



버전 15

실험 설계 가이드

“진정 무엇인가를 발견하는 여행은 새로운 풍경을 바라보는
것이 아니라 새로운 눈을 가지는 데 있다.”

Marcel Proust

JMP, A Business Unit of SAS
SAS Campus Drive
Cary, NC 27513

15.0

The correct bibliographic citation for this manual is as follows: SAS Institute Inc. 2019. JMP® 15 실험 설계 가이드. Cary, NC: SAS Institute Inc.

JMP® 15 실험 설계 가이드

Copyright © 2019, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

All rights reserved. Produced in the United States of America.

U.S. Government License Rights; Restricted Rights: The Software and its documentation is commercial computer software developed at private expense and is provided with RESTRICTED RIGHTS to the United States Government. Use, duplication or disclosure of the Software by the United States Government is subject to the license terms of this Agreement pursuant to, as applicable, FAR 12.212, DFAR 227.7202-1(a), DFAR 227.7202-3(a) and DFAR 227.7202-4 and, to the extent required under U.S. federal law, the minimum restricted rights as set out in FAR 52.227-19 (DEC 2007). If FAR 52.227-19 is applicable, this provision serves as notice under clause (c) thereof and no other notice is required to be affixed to the Software or documentation. The Government's rights in Software and documentation shall be only those set forth in this Agreement.

SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513-2414.

September 2019

SAS® and all other SAS Institute Inc. product or service names are registered trademarks or trademarks of SAS Institute Inc. in the USA and other countries. ® indicates USA registration.

Other brand and product names are trademarks of their respective companies.

SAS software may be provided with certain third-party software, including but not limited to open-source software, which is licensed under its applicable third-party software license agreement. For license information about third-party software distributed with SAS software, refer to <http://support.sas.com/thirdpartylicenses>.

목차

실험 설계 가이드

1	JMP 알아보기	17
	설명서 및 추가 리소스	
	서식 규칙	19
	JMP 도움말	20
	JMP 설명서 라이브러리	20
	JMP 학습을 위한 추가 리소스	26
	자습서	26
	샘플 데이터 테이블	26
	통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기	27
	JMP 팁 및 힌트 알아보기	27
	툴팁	27
	JMP 사용자 커뮤니티	27
	무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정	28
	새로운 사용자를 위한 입문 키트	28
	Statistics Knowledge 포털	28
	JMP 교육 과정	28
	사용자가 작성한 JMP 설명서	28
	JMP 시작하기 창	28
	기술 지원	29
2	DOE 소개	31
	실험 설계 플랫폼 개요	
3	DOE 로 시작	35
	예제 및 핵심 개념	
	실험 설계 및 DOE 워크플로우 개요	37
	커피 강도 실험	38
	연구 및 목표 정의	38
	설계 생성	40
	실험 실행	46
	데이터 분석	46
	DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계	52

반응 및 요인 정의	53
모형 지정	54
설계 생성	54
설계 평가	55
테이블 생성	56
실험 설계의 원리와 지침	56
효과 계층성	56
효과 유전성	57
효과 회소성	57
중앙점, 반복 런 및 검정	57

4 사용자 설계

요구 사항을 충족하는 설계 구성

사용자 설계 개요	61
사용자 설계의 예	62
설계 생성	63
데이터 분석	72
사용자 설계 창	79
반응	79
요인	81
요인 제약 조건 정의	87
모형	90
별칭 항	91
설계 생성	92
설계	94
출력 옵션	95
사용자 설계 옵션	97
옵션 설명	97
반응 시뮬레이션	100
행렬 X 저장	102
시작 수	104
설계 검색 시간	105
검정력을 위한 델타 설정	105
사용자 설계에 대한 기술 상세 정보	106
랜덤화 제한이 있는 설계	106
변경하기 힘든 수준의 공변량	115
주구 및 하위구 수	115
최적 기준	116
D 효율도	120
좌표 교환 알고리즘	120

5 사용자 설계의 예	121
요구 사항을 충족하는 실험 수행	
선별 실험	123
주효과만추정하는 설계	123
모든 2 요인 교호작용을 추정하는 설계	126
주효과와 2 요인 교호작용의 별칭 관계를 방지하는 설계	128
과포화 선별 설계	131
고정 블록 설계	139
반응 표면 실험	143
반응 표면 설계	143
유연한 블록화 방법을 사용하는 반응 표면 설계	149
D- 최적과 I- 최적의 반응 표면 설계 비교	152
제약 조건 및 범주형 요인이 있는 반응 표면 설계	156
혼합물 실험	162
비혼합 요인이 있는 혼합물 설계	162
혼합물 혼합 설계	166
공변량이 포함된 실험	170
고정 공변량이 포함된 설계	171
변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계	173
시간 선행 추세에 포함된 설계	177
랜덤화 제한이 있는 실험	180
분할구 실험	180
이원 분할구 실험	184
로버스트 공정 및 제품 설계를 위한 실험	191
6 설계 확대	195
설계 확대 플랫폼을 사용한 예	197
확대된 설계 분석	199
설계 확대 플랫폼 시작	203
설계 확대 창	204
요인	204
요인 제약 조건 정의	205
확대 옵션	208
설계 확대 플랫폼 옵션	208
확대 옵션의 추가 예	212
설계 반복	212
설계에 중앙점 추가	214
설계 접기 생성	214
설계에 축 점 추가	215

공간 채움 확대	216
통계 상세 정보	218
7 확증적 선별 설계	219
확증적 선별 설계 개요	221
확증적 선별 설계의 예	223
확증적 선별 설계	223
부분 요인 설계와 비교	226
블록화를 사용한 확증적 선별 설계	228
확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계 비교	231
확증적 선별 설계 창	235
반응	236
요인	237
설계 옵션	239
설계	241
설계 평가	242
출력 옵션	242
확증적 선별 설계 옵션	244
반응 시뮬레이션	246
기술 상세 정보	248
확증적 선별 설계의 구조	248
실험 데이터 분석	250
8 확증적 선별 적합 플랫폼	253
확증적 선별 실험의 데이터 분석	
확증적 선별 적합 플랫폼 개요	255
DSD 를 위한 유효 모형 선택	255
확증적 선별 적합 플랫폼의 예	256
모형 적합	256
결과 검토	256
모형 축소	258
확증적 선별 적합 플랫폼 시작	260
확증적 선별 적합 보고서	260
1 단계 - 주효과 추정값	261
2 단계 - 짝수 차수 효과 추정값	262
결합 모형 모수 추정값	263
주효과 잔차 그림	263
확증적 선별 적합 플랫폼 옵션	264
확증적 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보	264

DSD 를 위한 유효 모형 선택 알고리즘	264
9 선별 설계	269
선별 설계 개요	271
기본 원리	271
선별 설계 결과 분석	271
선별 설계의 예	272
부분 요인 설계와 주효과 선별 설계 비교	272
표준 설계가 없는 경우의 주효과 선별 설계	279
선별 설계 창	281
반응	282
요인	284
선별 유형 선택	286
부분 요인 설계 목록에서 선택	287
설계 유형	287
교락 측도를 나타내는 해상도	290
설계 표시 및 수정	291
주효과 선별 설계	293
설계 생성	294
설계	295
출력 옵션	295
테이블 생성	297
선별 설계 옵션	297
선별 설계의 추가 예	300
부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정	300
Plackett-Burman 설계	306
10 2 수준 선별 적합 플랫폼	311
선별 실험의 데이터 분석	
2 수준 선별 적합 플랫폼 개요	313
2 수준 선별 적합 플랫폼의 예	313
2 수준 선별 적합 플랫폼 시작	316
선별 보고서	317
대비	317
1/2 정규 확률도	318
모형 생성 또는 실행	318
2 수준 선별 적합 분석의 추가 예	319
Plackett-Burman 설계 분석	319
효과 유전성 예	320

과포화 설계 분석	322
2 수준 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보	323
효과 입력 순서	324
2 수준 선별 적합과 직교 회전	324
Lenth 유사 표준 오차	325
Lenth t-비	325
11 반응 표면 설계	329
반응 표면 설계 개요	331
반응 표면 설계의 예	333
Box-Behnken 설계 구성	334
실험 데이터 분석	335
최적 설정 탐색	337
반응 표면 설계 창	340
반응	341
요인	342
설계 선택	344
출력 옵션 지정	346
테이블 생성	346
반응 표면 설계 옵션	348
12 완전 요인 설계	351
완전 요인 설계 개요	353
완전 요인 설계의 예	353
설계 구성	353
실험 데이터 분석	355
완전 요인 설계 창	359
반응	359
요인	361
출력 옵션 선택	363
테이블 생성	364
완전 요인 설계 옵션	365
13 혼합물 설계	369
배합 설계	
혼합물 설계 개요	371
혼합물 설계 창	371
반응	371
요인	373

삼원 그림 개요	375
혼합물 설계 유형의 예	375
최적 혼합물 설계	376
심플렉스 중심 설계	377
심플렉스 격자 설계	379
꼭지점 설계	380
ABCD 설계	384
공간 채움 설계	384
혼합물 설계 적합	387
전체 모형 검정 및 분산 분석 보고서	388
화학 혼합물 예	388
설계 생성	389
혼합 모형 분석	391
예측 프로파일러	391
혼합물 프로파일러	392
14 Taguchi 설계	395
잡음 요인이 있는 설계	
Taguchi 설계 개요	397
Taguchi 설계의 예	397
Taguchi 설계 창	401
반응	401
요인	402
내측 및 외측 배열 설계 선택	402
설계 테이블 생성	403
Taguchi 설계 옵션	404
15 설계 평가	407
설계 특성 탐색	
설계 평가 플랫폼 개요	409
설계 평가의 예	409
손실된 런의 영향 평가	409
지정된 모형에 대한 검정력 평가	416
설계 평가 시작 창	418
설계 평가 창	418
요인	419
모형	420
별칭 항	421
설계	421
검정력 분석	422

예측 분산 프로파일	428
설계 공간 비율 그림	429
예측 분산 표면	430
추정 효율도	431
별칭 행렬	433
상관 색상 맵	434
설계 진단	435
설계 평가 옵션	437
16 설계 비교	439
설계를 동시에 비교 및 평가	
설계 비교 플랫폼 개요	441
설계 비교의 예	441
런 크기가 같은 설계	441
런 크기가 다른 설계	446
주구 수가 다른 분할구 설계	450
설계 비교 플랫폼 시작	453
설계 비교 창: 모형 및 별칭 항 지정	455
참조 설계	456
모형	456
설계 비교 창: 설계 평가	456
검정력 분석	457
예측 분산 프로파일	460
설계 공간 비율 그림	462
상대 추정 효율도	463
별칭 행렬 요약	465
절대 상관	466
설계 진단	468
설계 비교 옵션	470
17 예상 표본 크기 및 검정력	471
표본 크기 및 검정력 플랫폼 시작	474
1 표본 평균 계산기	475
1 표본 평균 계산기의 예	475
1 표본 평균 계산기 필드	479
1 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보	480
2 표본 평균 계산기	481
2 표본 평균 계산기의 예	481
2 표본 평균 계산기 필드	482

2 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보	483
k 표본 평균 계산기	484
k 표본 평균 계산기의 예	484
k 표본 평균 계산기 필드	486
k 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보	487
1 표본 표준편차 계산기	488
1 표본 표준편차 계산기의 예	488
1 표본 표준편차 계산기 필드	489
1 표본 표준편차 계산기에 대한 통계 상세 정보	490
1 표본 비율 계산기	491
1 표본 비율 계산기의 예	491
1 표본 비율 계산기 필드	492
단일 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보	493
2 표본 비율 계산기	494
2 표본 비율 계산기의 예	494
2 표본 비율 계산기 필드	495
두 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보	496
단위별 개수 계산기	497
단위별 개수 계산기의 예	497
단위별 개수 계산기 필드	498
단위별 개수 계산기에 대한 통계 상세 정보	498
시그마 품질 수준 계산기	499
시그마 품질 수준 계산기의 예	499
결함 수 계산의 예	500
시그마 품질 수준 계산기 필드	501
시그마 품질 계산기에 대한 통계 상세 정보	501
신뢰도 시험 계획 계산기	501
신뢰도 시험 계획 계산기의 예	501
신뢰도 시험 계획 계산기 필드	503
신뢰도 시험 계획 계산기에 대한 통계 상세 정보	505
신뢰도 데모 계산기	505
신뢰도 데모 계산기의 예	506
신뢰도 데모 계산기 필드	507
신뢰도 데모 계산기에 대한 통계 상세 정보	508
18 선택 설계	511
기본 제품 프로파일 선택을 위한 설계 생성	
선택 설계 개요	513
선택 설계 용어	513
페이지안 D- 최적	513

선택 설계의 예	514
분석을 사용한 선택 설계의 예	516
파일럿 연구를 위한 선택 설계 생성	516
파일럿 연구 데이터 분석	518
사전 정보를 사용하여 최종 선택 실험 설계	520
설계 실행 및 결과 분석	521
선택 설계 창	524
속성	525
모형	526
설계 생성	527
설계	528
테이블 생성	529
선택 설계 옵션	529
기술 상세 정보	531
페이지안 D- 최적 및 설계 구성	531
유틸리티 중립 설계 및 로컬 D- 최적 설계	531
19 최대차이 설계	533
최선 - 최악 항목 선택을 위한 설계 생성	
최대차이 설계 플랫폼 개요	535
최대차이 설계의 예	535
최대차이 설계 시작 창	539
최대차이 창	539
설계 옵션 개요	539
테이블 생성	540
최대차이 옵션	540
20 덮기 배열	543
성분 교호작용으로 인한 고장 감지	
덮기 배열 개요	545
요인 수준 제한이 없는 덮기 배열의 예	546
설계 생성	547
실험 데이터 분석	549
요인 수준 제한이 있는 덮기 배열의 예	550
설계 생성	551
실험 데이터 분석	555
덮기 배열 창	556
요인	557
요인 수준 조합 제한	558
설계	560

지표	562
출력 옵션	563
덧기 배열 데이터 테이블	563
덧기 배열 옵션	565
덧기 배열에 대한 기술 상세 정보	566
지표 계산식	566

21 공간 채움 설계 569

공간 채움 설계 개요	571
공간 채움 설계 창	572
반응	572
요인	574
요인 제약 조건 정의	575
공간 채움 설계 방법	578
설계	579
공간 채움 설계 옵션	579
Sphere-Packing 설계	581
Sphere-Packing 설계 생성	581
Sphere-Packing 설계 시각화	583
라틴 초입방체 설계	584
라틴 초입방체 설계 생성	584
라틴 초입방체 설계 시각화	586
균등 설계	588
Sphere-Packing, 라틴 초입방체 및 균등 방법 비교	590
최소 잠재 설계	591
최대 엔트로피 설계	593
가우스 과정 IMSE 최적 설계	595
쾌속 유연 채움 설계	596
평균 군집 크기 설정	597
제약 조건	598
제약된 쾌속 유연 채움 설계 생성 및 보기	598
맵 셰이프를 위한 공간 채움 설계 생성	600
Sphere-Packing 설계의 예	605
Borehole 데이터에 대한 Sphere-Packing 설계 생성	605
결정적 데이터 분석을 위한 지침	606

22 가속 수명 시험 설계 611

가속 수명 시험을 위한 실험 설계	
가속 수명 시험 설계 개요	613

가속 수명 시험 설계의 예	613
사전 추정값 구하기	614
기본 규격 입력	615
사전 정보 및 나머지 규격 입력	616
설계 생성	618
시뮬레이션 실행	620
설계 저장	621
가속 수명 시험 설계 확대의 예	621
가속 수명 시험 계획 창	625
설계 구조 지정	627
가속 요인 지정	627
설계 상세 정보 지정	628
균형 설계 진단 검토 및 규격 업데이트	630
최적 설계 생성 및 평가	632
설계 테이블 생성	633
플랫폼 옵션	634
ALT 설계 플랫폼에 대한 통계 상세 정보	634

23 비선형 설계 637

비선형 설계 개요	639
비선형 설계의 예	640
사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성	640
사전 데이터를 사용하여 설계 확대	644
이항 반응에 대한 설계 생성	648
비선형 설계 시작 창	651
비선형 설계 창	652
요인	653
설계 생성	654
비선형 설계 옵션	654
비선형 설계에 대한 통계 상세 정보	655
비선형 모형	655
최적 기준의 방사형 - 구형 적분	656
최적 설계 찾기	656

24 균형 불완비 블록 설계 657

균형 불완비 블록 설계의 예	659
균형 불완비 블록 설계 시작 창	661
균형 불완비 블록 설계 창	661

처리, 블록 지정 및 설계 생성	661
균형 불완비 블록 설계 옵션	662
균형 불완비 블록 설계에 대한 통계 상세 정보	663
25 그룹 직교 과포화 설계	665
그룹 직교 과포화 설계 생성	
그룹 직교 과포화 설계 개요	667
그룹 직교 과포화 설계의 예	667
그룹 직교 과포화 설계 플랫폼 시작	669
그룹 직교 과포화 설계 창	669
요인, 구조 지정 및 설계 생성	670
그룹 직교 과포화 설계 옵션	671
그룹 직교 과포화 설계에 대한 통계 상세 정보	672
26 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼	673
그룹 직교 과포화 설계의 데이터 분석	
그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 개요	675
그룹 직교 과포화 설계 적합의 예	675
그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 시작	677
그룹 직교 과포화 설계 적합 보고서	679
그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 옵션	680
A 열 특성	681
DOE에서 할당하는 열 특성 이해	
열 특성 추가 및 보기	683
반응 한계	684
반응 한계의 예	685
반응 한계 편집	688
설계 역할	691
설계 역할의 예	691
코딩	693
하한값과 상한값	694
코딩 열 특성 및 중심화 다항식	694
코딩의 예	694
코딩 할당	697
혼합	700
혼합의 예	702
요인 변경	705
요인 변경의 예	706
값 순서	708
값 순서의 예	709

값 순서 할당	711
값 라벨	712
값 라벨의 예	712
블록당 런 수	714
블록당 런 수의 예	714
제약 조건 상태	715
제약 조건 상태의 예	715
B 기술 상세 정보	719
별칭 행렬	721
변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인이 있는 설계	721
If Possible 효과가 있는 설계	722
검정력 계산	722
단일 모수에 대한 검정력	722
범주형 효과에 대한 검정력	723
상대 예측 분산	724
C 참조 자료	727
D 기술 라이선스 표시	733

1 장

JMP 알아보기

설명서 및 추가 리소스

이 장에는 설명서 서식 규칙, 각 JMP 문서에 대한 설명, 도움말 시스템, 기타 지원 제공 위치 등 JMP 설명서에 대한 상세 정보가 포함되어 있습니다.

목차

서식 규칙.....	19
JMP 도움말.....	20
JMP 설명서 라이브러리	20
JMP 학습을 위한 추가 리소스	26
자습서	26
샘플 데이터 테이블	26
통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기.....	27
JMP 팁 및 힌트 알아보기	27
툴팁	27
JMP 사용자 커뮤니티	27
무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정	28
새로운 사용자를 위한 입문 키트	28
Statistics Knowledge 포털	28
JMP 교육 과정	28
사용자가 작성한 JMP 설명서	28
JMP 시작하기 창	28
기술 지원.....	29

서식 규칙

설명서 자료가 가리키는 화면 정보를 쉽게 알아볼 수 있도록 다음과 같은 서식 규칙이 사용됩니다.

- 샘플 데이터 테이블 이름, 열 이름, 경로 이름, 파일 이름, 파일 확장자 및 폴더는 **Helvetica** (또는 [sans-serif online](#)) 글꼴로 표시됩니다.
- 코드는 **Lucida Sans Typewriter**(또는 [monospace online](#)) 글꼴로 표시됩니다.
- 코드 출력은 **Lucida Sans Typewriter** 기울임꼴 (또는 [monospace italic online](#)) 글꼴로 표시되고 앞의 코드보다 더 많은 들여쓰기가 적용됩니다.
- **Helvetica bold**(또는 [bold sans-serif online](#)) 서식은 작업을 수행하기 위해 사용자가 선택하는 다음과 같은 항목을 나타냅니다.
 - 버튼
 - 체크박스
 - 명령
 - 선택 가능한 목록 이름
 - 메뉴
 - 옵션
 - 탭 이름
 - 텍스트 상자
- 다음 항목은 기울임꼴로 표시됩니다.
 - 중요하거나 JMP 와 관련된 정의가 있는 단어 또는 구
 - 설명서 제목
 - 변수
- JMP Pro 에만 해당되는 기능에는 JMP Pro 아이콘  이 표시됩니다. JMP Pro 기능의 개요는 <https://www.jmp.com/software/pro/> 에서 확인할 수 있습니다.

참고 : 참고 섹션에는 특수한 정보와 제한 사항이 표시됩니다.

팁 : 팁 섹션에는 유용한 정보가 표시됩니다.

JMP 도움말

"도움말" 메뉴의 "JMP 도움말"에서는 JMP 기능, 통계적 방법 및 JSL(JMP Scripting Language)에 대한 정보를 검색할 수 있습니다. 다음과 같은 몇 가지 방법으로 JMP 도움말을 열 수 있습니다.

- Windows 에서 **도움말 > JMP 도움말**을 선택하여 JMP 도움말을 검색하고 봅니다.
- Windows 에서 F1 키를 눌러 기본 브라우저로 도움말 시스템을 엽니다.
- 데이터 테이블 또는 보고서 창의 특정 부분에 대한 도움말을 확인합니다. **도구** 메뉴에서 도움말 도구 를 선택한 후 데이터 테이블 또는 보고서 창의 아무 곳이나 클릭하면 해당 영역에 대한 도움말이 표시됩니다.
- JMP 창 내에서 **도움말** 버튼을 클릭합니다.

참고: JMP 도움말은 인터넷이 연결되어 있어야 사용할 수 있습니다. 인터넷이 연결되어 있지 않으면 **도움말 > JMP 설명서 라이브러리**를 선택하여 단일 PDF 파일에서 모든 설명서를 검색할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[JMP 설명서 라이브러리](#)"(20 페이지)에서 확인하십시오.

JMP 설명서 라이브러리

도움말 시스템 콘텐츠는 JMP 설명서 라이브러리라는 단일 PDF 파일로도 제공됩니다. 이 파일을 열려면 **도움말 > JMP 설명서 라이브러리**를 선택합니다. JMP 라이브러리에 포함된 각 문서의 개별 PDF 파일을 검색하려면 <https://www.jmp.com/documentation>에서 파일을 다운로드하십시오.

다음 표에서는 JMP 라이브러리에 포함된 각 문서의 용도와 내용을 설명합니다.

문서 제목	문서 용도	문서 내용
JMP 살펴보기	JMP에 익숙하지 않다면 이 설명서부터 시작하십시오.	JMP에 대해 소개하고 데이터 생성 및 분석을 시작하기 위한 정보를 제공합니다. 또한 결과를 공유하는 방법도 알아볼 수 있습니다.
JMP 사용	JMP 데이터 테이블과 기본적인 작업을 수행하는 방법에 대해 알아봅니다.	데이터 가져오기, 열 특성 수정, 데이터 정렬, SAS 연결 등을 비롯하여 JMP의 모든 영역에 걸친 일반적인 JMP 개념 및 기능을 다룹니다.

문서 제목	문서 용도	문서 내용
기본 분석	이 문서를 사용하여 기본적인 분석을 수행합니다.	"분석" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 분포 • X로 Y 적합 • 테이블 생성 • 텍스트 탐색기 "분석" > "X로 Y 적합" 을 통해 이변량 분석, 일원 ANOVA 및 분할 분석을 수행하는 방법을 다룹니다. 붓스트랩을 사용하여 표본 분포를 근사화하는 방법과 시뮬레이션 플랫폼을 사용하여 모수적 재표집을 수행하는 방법도 포함되어 있습니다.
Essential Graphing	데이터에 이상적인 그래프를 찾습니다.	"그래프" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 그래프 빌더 • 3D 산점도 • 등고선 그림 • 버블 그림 • 평행 그림 • 셀 그림 • 산점도 행렬 • 삼원 그림 • 트리맵 • 차트 • 중첩 그림 이 설명서에서는 배경 맵 및 사용자 맵을 생성하는 방법도 다룹니다.
Profilers	반응 표면의 횡단면을 볼 수 있게 해주는 대화식 프로파일링 도구의 사용 방법을 알아봅니다.	"그래프" 메뉴에 나열된 모든 프로파일러를 다룹니다. 랜덤 입력을 사용한 시뮬레이션 실행과 함께 잡음 요인 분석이 포함됩니다.

문서 제목	문서 용도	문서 내용
실험 설계 가이드	실험 설계 방법을 알아보고 적절한 표본 크기를 결정합니다.	"DOE" 메뉴의 모든 항목을 다룹니다.
Fitting Linear Models	모형 적합 플랫폼과 이 플랫폼의 다양한 분석법에 대해 알아봅니다.	"분석" 메뉴의 모형 적합 플랫폼에서 사용할 수 있는 다음 분석법에 대해 설명합니다. - 표준 최소 제곱 - 단계별 - 일반화 회귀 - 혼합 모형 - MANOVA - 로그 선형 분산 - 명목형 로지스틱 - 순서형 로지스틱 - 일반화 선형 모형

문서 제목	문서 용도	문서 내용
Predictive and Specialized Modeling	추가 예측 모형 기법에 대해 알아봅니다.	"분석">"예측 모형" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 신경망 • 파티션 • 붓스트랩 포레스트 • 부스티드 트리 • K 최근접 이웃 • Naive Bayes • 서포트 벡터 머신 • 모형 비교 • 검증 열 생성 • 계산식 저장소 "분석">"전문 모형" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 곡선 적합 • 비선형 • 함수 데이터 탐색기 • 가우스 과정 • 시계열 • 매칭 쌍 "분석">"선별" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 모형화 유틸리티 • 반응 변수 선별 • 공정 변수 선별 • 예측 변수 선별 • 연관성 분석 • 공정 기록 탐색기

문서 제목	문서 용도	문서 내용
Multivariate Methods	몇 개의 변수를 동시에 분석하기 위한 기법을 알아봅니다.	"분석">"다변량 방법" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 다변량 • 주성분 • 판별 • 부분 최소 제곱 • 다중 대응 분석 • 구조 방정식 모형 • 요인 분석 • 다차원 척도법 • 항목 분석 "분석">"군집화" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 계층적 군집화 • K 평균 군집화 • 정규 혼합 • 잠재 계층 분석 • 변수 군집화
Quality and Process Methods	공정 평가 및 개선을 위한 도구에 대해 알아봅니다.	"분석">"품질 및 공정" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 관리도 빌더 및 개별 관리도 • 측정 시스템 분석 • 계량형 / 계수형 게이지 차트 • 공정 능력 • 모형 기반 다변량 관리도 • 파레토도 • 다이어그램 • 규격 한계 관리

문서 제목	문서 용도	문서 내용
Reliability and Survival Methods	제품 또는 시스템의 신뢰도 평가 및 향상 방법과 사람 및 제품의 생존 데이터 분석 방법을 알아봅니다.	"분석">"신뢰성 및 생존" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 수명 분포 • 수명 분포 적합 • 누적 손상 • 재발 분석 • 열화 • 파괴 열화 • 신뢰도 예측 • 신뢰도 성장 • 신뢰도 블록 다이어그램 • 수리 가능 시스템 시뮬레이션 • 생존 • 모수 생존 모형 적합 • 비례 위험 모형 적합
Consumer Research	소비자 선호도를 연구하고 해당 정보를 사용하여 보다 나은 제품 및 서비스를 개발하기 위한 방법을 알아봅니다.	"분석">"소비자 조사" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. • 범주형 • 선택 • 최대차이 • Uplift • 다중 요인 분석
Scripting Guide	강력한 JSL(JMP 스크립트 언어)의 활용 방법을 알아봅니다.	스크립트 작성 / 디버깅, 데이터 테이블 조작, 표시 상자 생성 및 JMP 응용 프로그램 생성 등의 다양한 주제를 다룹니다.
JSL Syntax Reference	다양한 JSL 함수 및 인수, 그리고 개체 및 표시 상자로 보내는 메시지에 대해 알아봅니다.	JSL 명령의 구문, 예제 및 참고 사항이 포함되어 있습니다.

JMP 학습을 위한 추가 리소스

JMP 도움말 외에도 다음 리소스를 사용하여 JMP 에 대해 배울 수 있습니다 .

- " 자습서 "
- " 샘플 데이터 테이블 "
- " 통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기 "
- "JMP 팁 및 힌트 알아보기 "
- " 툴팁 "
- "JMP 사용자 커뮤니티 "
- " 무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정 "
- " 새로운 사용자를 위한 입문 키트 "
- "Statistics Knowledge 포털 "
- "JMP 교육 과정 "
- " 사용자가 작성한 JMP 설명서 "
- "JMP 시작하기 창 "

자습서

도움말 > 자습서를 선택하여 JMP 자습서에 액세스할 수 있습니다 . **자습서** 메뉴의 첫 번째 항목은 **자습서 디렉터리**입니다 . 이 항목을 클릭하면 모든 자습서가 범주별로 그룹화되어 있는 새 창이 열립니다 .

JMP 에 익숙하지 않다면 **초보자 자습서**부터 시작하십시오 . 이 자습서에서는 JMP 인터페이스를 단계별로 안내하며 JMP 를 사용하는 데 필요한 기본 사항을 설명합니다 .

나머지 자습서는 실험 설계 , 표본 평균과 상수의 비교 같은 JMP 의 특정 측면을 이해하는 데 유용합니다 .

샘플 데이터 테이블

JMP 설명서 모음에 포함된 모든 예에서는 샘플 데이터를 사용합니다 . 샘플 데이터 디렉터리를 열려면 **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하십시오 .

샘플 데이터 테이블의 사전순 목록을 보거나 범주별로 샘플 데이터를 보려면 **도움말 > 샘플 데이터**를 선택하십시오 .

샘플 데이터 테이블은 다음 디렉터리에 설치되어 있습니다 .

Windows: C:\Program Files\SAS\JMP\15\Samples\Data

macOS: \Library\Application Support\JMP\15\Samples\Data

JMP Pro 의 경우에는 JMP 디렉터리가 아니라 JMPPRO 디렉터리에 샘플 데이터가 설치되어 있습니다.

샘플 데이터를 사용한 예를 보려면 **도움말 > 샘플 데이터**를 선택하고 교육 자료 섹션으로 이동하십시오. 교육 자료에 대한 자세한 내용은 <https://jmp.com/tools> 에서 확인하십시오.

통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기

도움말 메뉴에는 다음과 같은 인덱스가 포함되어 있습니다.

통계 분석 인덱스 통계 용어에 대한 정의를 제공합니다.

스크립트 인덱스 JSL 함수, 개체 및 표시 상자에 대한 정보를 검색할 수 있습니다." 스크립트 인덱스 "에서는 샘플 스크립트를 편집 및 실행하고 명령에 대한 도움말을 볼 수도 있습니다.

JMP 팁 및 힌트 알아보기

JMP 를 처음 시작할 때는 "오늘의 유익한 정보" 창이 표시됩니다. 이 창에서는 JMP 를 사용하기 위한 팁을 제공합니다.

"오늘의 유익한 정보" 기능을 해제하려면 **시작할 때 정보 표시** 체크박스를 선택 해제하십시오. 이 창을 다시 보려면 **도움말 > 오늘의 유익한 정보**를 선택하십시오. 또는 "환경 설정" 창을 사용하여 이 기능을 해제할 수도 있습니다.

툴팁

JMP 에서 다음과 같은 항목 위에 커서를 놓으면 설명 툴팁 (또는 가리키기 라벨) 이 제공됩니다.

- 메뉴 또는 도구 모음 옵션
- 그래프의 라벨
- 보고서 창의 텍스트 결과 (커서를 원 모양으로 움직이면 표시됨)
- 홈 창의 파일 또는 창
- 스크립트 편집기의 코드

팁: Windows 의 경우 JMP 환경 설정에서 툴팁을 숨길 수 있습니다. **파일 > 환경 설정 > 일반**을 선택한 후 **메뉴 팁 표시**를 선택 취소합니다. 이 옵션은 macOS 에서는 사용할 수 없습니다.

JMP 사용자 커뮤니티

JMP 사용자 커뮤니티에서는 JMP 에 대해 알아보고 다른 JMP 사용자와 교류하는 데 도움이 되는 다양한 옵션을 제공합니다. 한 페이지 분량의 가이드, 자습서 및 데모로 구성된 학습 라이브러리부터 시작하는 것이 좋습니다. 다양한 JMP 교육 과정에 등록하여 학습을 계속할 수도 있습니다.

그 밖에도 토론 포럼, 샘플 데이터 및 스크립트 파일 교환, 웹 캐스트 및 소셜 네트워킹 그룹을 비롯한 리소스가 있습니다.

웹 사이트에서 JMP 리소스에 액세스하려면 **도움말 > JMP 사용자 커뮤니티**를 선택하거나 <https://community.jmp.com/> 을 방문하십시오.

무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정

이 무료 온라인 교육 과정에서는 탐색적 데이터 분석, 품질 관리 방법, 상관 및 회귀 등의 항목에 대한 실용적인 통계적 기술을 배울 수 있습니다. 이 교육 과정은 짧은 비디오와 데모, 연습 등으로 구성되어 있습니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/statisticalthinking> 에서 확인하십시오.

새로운 사용자를 위한 입문 키트

새로운 사용자를 위한 입문 키트는 JMP의 기본 사항을 빨리 익힐 수 있도록 돕기 위한 것입니다. 30개의 짧은 데모 비디오 및 작업을 마치면 좀더 편하게 소프트웨어 사용 방법을 익히고 세계 최대 규모의 JMP 사용자 온라인 커뮤니티와 연결할 수 있습니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/welcome> 에서 확인하십시오.

Statistics Knowledge 포털

Statistics Knowledge 포털에서는 방문자가 확실한 기초를 토대로 통계적 기술을 쌓을 수 있도록 간단한 통계 설명과 함께 명확한 예시 및 그래픽을 제공합니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/skp> 에서 확인하십시오.

JMP 교육 과정

SAS에서는 숙련된 JMP 전문가 팀의 주도로 다양한 주제에 대한 교육 과정을 제공합니다. 공개 교육, 라이브 웹 교육, 현장 교육 등이 제공되며, 온라인 e-learning 구독을 선택하여 편리한 시간에 학습할 수도 있습니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/training> 에서 확인하십시오.

사용자가 작성한 JMP 설명서

JMP 웹 사이트에서는 JMP 사용자가 작성한 추가 JMP 사용 설명서가 제공됩니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/books> 에서 확인하십시오.

JMP 시작하기 창

JMP 또는 데이터 분석에 익숙하지 않다면 먼저 "JMP 시작하기" 창을 살펴보십시오. 이 창에는 옵션이 범주별로 설명되어 있으며 버튼을 클릭하여 옵션을 시작할 수 있습니다. "JMP 시작하기" 창

에는 "분석", "그래프", "테이블" 및 "파일" 메뉴에 있는 다양한 옵션이 포함됩니다. 또한 이 창에는 JMP Pro의 기능 및 플랫폼도 나열됩니다.

- "JMP 시작하기" 창을 열려면 **보기** (macOS의 경우 **창**) > **JMP 시작하기**를 선택합니다.
- Windows에서 JMP를 열 때 자동으로 "JMP 시작하기"를 표시하려면 **파일 > 환경 설정 > 일반**을 선택한 후 "초기 JMP 창" 목록에서 **JMP 시작하기**를 선택합니다. macOS에서는 **JMP > 환경 설정 > 초기 JMP 시작하기 창**을 선택합니다.

기술 지원

JMP 기술 지원은 통계학자 또는 SAS 및 JMP의 교육을 받은 엔지니어가 제공하며, 이들 중 상당수는 통계 또는 기타 기술 분야의 석사 학위를 갖고 있습니다.

기술 지원 전화 번호를 포함한 많은 기술 지원 옵션이 <https://www.jmp.com/support>에서 제공됩니다.

2 장

DOE 소개

실험 설계 플랫폼 개요

JMP DOE 플랫폼은 실험을 설계하도록 도와줍니다. 대부분의 플랫폼은 다양한 유형의 설계를 구성하는 데 초점을 맞춥니다. 그 외의 다른 플랫폼은 설계 작업을 지원합니다. 이 섹션에서는 DOE 메뉴에 있는 각 플랫폼에 대해 개략적으로 살펴봅니다.

설계 구성 플랫폼

사용자 설계 다양한 설정에 맞는 설계를 구성합니다. 사용자 설계는 전통적 설계에만 기반한 방법보다 비용 효율적이고 더 유연합니다.

사용자 설계는 다양한 유형의 요인, 제약 조건, 허용되지 않는 조합 등을 수용합니다. 주어진 런 수를 고려하여 추정치 필요한 효과 및 적합한 효과를 지정할 수 있습니다. 실험 환경의 예산에 맞도록 런 수를 지정할 수 있습니다. 또한 사용자 설계는 변경하기 힘든 요인 또는 매우 변경하기 힘든 요인을 지원하므로 분할구 설계 및 관련 설계를 구성할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼은 다음과 같은 여러 가지 특수 설계 유형을 구성합니다.

- 선별
- 반응 표면
- 혼합물
- 랜덤 블록
- 분할구
- 분할 - 분할구
- 이원 분할구

다른 플랫폼을 사용하여 전통적 선별, 반응 표면 및 혼합물 설계를 구성할 수도 있습니다. 그러나 사용자 설계 플랫폼은 다른 플랫폼에서 사용할 수 없는 유연성을 제공합니다. 분할구 설계는 사용자 설계 플랫폼을 통해서만 구성할 수 있습니다.

확증적 선별 설계 연속형 요인 및 2 수준 범주형 요인에 대한 선별 설계를 구성합니다. 확증적 선별 설계는 활성 교호작용 또는 곡률이 의심되는 경우에 유용합니다. 확증적 선별 설계를 사용하면 2 차까지의 효과 사이에 완전 교락을 방지하면서 강력한 비선형 효과의 원인을 식별할 수 있습니다.

확증적 선별 설계는 요인이 4 개 이상 있는 실험에 가장 적합합니다. 확증적 선별 설계에서는 런을 블록으로 그룹화할 수 있습니다. 블록 수는 사용자가 지정합니다.

확증적 선별 적합 설계 DSD 를 위한 유효 모형 선택이라는 방법론을 사용하여 확증적 선별 설계를 분석합니다. 이 방법론은 확증적 선별 설계의 특수 구조를 활용합니다.

선별 설계 임의 개수의 수준으로 연속형, 이산 수치형 및 범주형 요인에 대한 선별 설계를 구성합니다. 표준 설계가 있는 경우 다음과 같은 두 가지 옵션을 사용할 수 있습니다.

- 전통적 선별 설계 목록에서 선택합니다. 이 설계는 2 수준 연속형 요인, 2 수준 / 3 수준 범주형 요인 또는 이산 연속형 요인을 허용합니다.
- 주효과에 대한 직교 설계 또는 근사 직교 설계를 생성합니다. 근사 직교 설계는 2 수준 연속형 요인뿐 아니라 원하는 수의 수준으로 범주형 및 이산 수치형 요인을 허용합니다. 이 설계는 무시할 수 있는 교호작용이 있는 경우 주효과를 추정하는 데 중점을 둡니다.

대부분의 선별 상황에서 표준 설계를 사용할 수 없습니다. 이러한 경우 근사 직교 선별 설계를 구성할 수 있습니다.

반응 표면 설계 연속형 요인의 2 차 함수를 모델링하는 설계를 구성합니다. 2 차 효과를 적합시키려면 반응 표면 설계에 각 요인에 대한 세 가지 설정이 필요합니다. JMP에서는 최대 8 개 요인에 대한 반응 표면 설계를 제공합니다.

중심 합성 설계 또는 Box-Behnken 설계 목록에서 선택할 수 있습니다. 필요한 경우 직교로 블록화하는 중심 합성 설계가 목록에 포함됩니다. 중심 합성 설계에 대한 다양한 수정도 지원됩니다.

완전 요인 설계 여러 개의 연속형 요인 또는 범주형 요인에 대한 완전 요인 설계를 구성합니다. 두 경우 모두 수준 수에 제한이 없습니다. 완전 요인 설계에서는 요인 설정 조합이 있을 때마다 런이 발생합니다. 완전 요인 설계는 큰 경향이 있습니다. 런 수는 요인 수준 수의 곱과 같습니다.

혼합물 설계 요인이 혼합물 내 성분일 때 사용하는 설계를 구성합니다. 혼합물 실험에서 한 성분의 비율을 변경하려면 나머지 성분 중 하나 이상을 변경하여 합계를 유지해야 합니다. 일부 전통적 혼합물 설계 방법을 포함하여 최적, 심플렉스 중심, 심플렉스 격자, 꼭지점, ABCD, 공간 채움 등 여러 설계 유형 중에서 선택할 수 있습니다. 최적, 꼭지점 및 공간 채움 혼합물 설계의 경우 선형 부등식 제약 조건을 지정하여 설계 공간을 제한할 수 있습니다.

JMP PRO **덮기 배열** 소프트웨어, 네트워크 및 기타 시스템을 테스트하는 데 사용할 수 있는 조합 설계를 구성합니다. 강도 t 덮기 배열은 모든 t 요인의 모든 수준 조합이 하나 이상의 런에 나타나는 특성을 가지고 있습니다. 덮기 배열에서 허용하는 범주형 요인의 수는 제한이 없으며 각 요인은 임의 개수의 수준을 사용합니다. 허용되지 않는 조합을 지정할 수 있습니다.

선택 설계 잠재적 제품을 비교하는 데 사용할 수 있는 설계를 구성합니다. 선택 설계의 요인은 제품 속성입니다. 이 설계는 다양한 속성의 조합인 제품 프로파일을 한 쌍으로 또는 3~4 개의 그룹으로 배열합니다. 실험은 각 응답자가 한 쌍의 프로파일 중 어떤 프로파일을 선호하는지 나타내도록 구성됩니다. 제품 속성에 대한 사전 정보를 반영하는 선택 설계를 생성할 수 있습니다.

최대차이 최대차이 연구 중에 응답자에게 제공할 수 있는 선택 집합으로 구성된 설계를 생성합니다. 응답자는 소수의 선택 집합 중에서 가장 선호하는 옵션과 가장 선호하지 않는 옵션만 보고합니다. 이렇게 하면 응답자가 선호도를 기준으로 옵션 순위를 지정하게 되고, 이로 인해 표준 선호도 척도를 사용하는 것보다 더 확증적인 순위를 얻는 경우가 많습니다.

공간 채움 설계 관심 시스템이 결정적 또는 근사 결정적 시스템인 상황에 대한 설계를 구성합니다. 일반적으로 매우 복잡한 결정적 컴퓨터 시뮬레이션 모형의 단순한 대리 모형을 생성하는 작업을 포함합니다.

결정적 시스템에서는 변동이 없습니다. 이 설계의 목표는 적합 모형과 참모형 사이의 차이 (편향) 를 최소화하는 것입니다. 공간 채움 설계는 각 설계점을 가능한 한 멀리 분산시키거나 설계 영역 전체에 균등하게 간격을 두어 이 목표를 달성하려고 합니다.

JMP에서는 7 개의 공간 채움 설계 방법을 제공합니다. 이 중 하나인 쾌속 유연 채움 설계는 수준이 여러 개 있는 범주형 요인을 수용하고 선형 제약 조건을 지원합니다.

가속 수명 시험 설계 고장 시간을 가속화하기 위한 극단적 조건에서 제품을 테스트하는 데 유용한 설계를 구성하고 확대합니다. 이 실험 결과를 사용하면 일반적인 작동 조건에서 신뢰도를 예측할 수 있습니다.

수명 분포는 로그 정규 또는 Weibull 일 수 있습니다. 설계에 하나 또는 두 개의 가속 요인이 포함될 수 있습니다. 가속 요인이 두 개인 경우 요인 교호작용을 포함하도록 선택할 수 있습니다. 가속 모형 모수에 대한 사전 분포를 지정할 수 있습니다. D- 최적 설계 및 두 가지 유형의 I- 최적 설계를 사용할 수 있습니다.

비선형 설계 모수에서 비선형인 모형을 적합시키는 데 사용하는 설계를 구성하고 확대합니다. 기존 데이터에 적합된 모형의 추정값을 사용하여 설계를 구성할 수 있습니다. 모형 기반 추정값이 없는 경우에는 사전 지식을 적용하여 설계를 구성할 수도 있습니다.

균형 불완비 블록 설계 한 블록에서 k 개 처리 ($k < a$) 만 실행할 수 있는 경우, b 개 블록에서 a 개 처리를 검정하기 위한 설계를 구성합니다.

Taguchi 배열 신호 대 잡음 분석에 사용하는 설계를 구성합니다. 이 설계는 Taguchi 의 내측 및 외측 배열 방법을 기반으로 합니다. 제어 요인 설정은 내측 배열을 구성하고 잡음 요인 설정은 외측 배열을 구성합니다. 평균과 신호 대 잡음 비가 관심 반응입니다.

Taguchi 배열을 사용하는 대신 제어 요인, 잡음 요인 및 제어 * 잡음 교호작용을 포함하는 사용자 설계를 구성할 수 있습니다. **결합 배열**이라고 하는 이 설계는 일반적으로 Taguchi 배열보다 비용 효율성이 높고 유익합니다.

지원 플랫폼

설계 평가 기존 실험 설계에 진단 기능을 제공합니다. 설계 평가 플랫폼은 설계의 장점과 한계를 평가할 수 있는 다양한 방법을 제공합니다. 이 플랫폼은 JMP 로 생성한 설계뿐 아니라 모든 데이터 테이블과 함께 사용할 수 있습니다.

다음과 같은 몇 가지 진단이 제공됩니다.

- 검정력 분석
- 예측 분산 그림
- 모수에 대한 추정 효율도
- 별칭 행렬 - 모형 효과에 대한 편향 구조 표시
- 색상 맵 - 효과 간의 절대 상관 표시

- 설계 효율도 값

설계 비교 최대 4 개의 설계를 참조 설계와 비교합니다. 이 플랫폼을 사용하여 설계 성능을 탐색, 평가 및 비교할 수 있습니다. 진단 결과는 설계 작동 상태를 독립적 방식 및 서로 상대적인 방식으로 나누어 보여 줍니다.

설계 확대 결과 설계가 최적 상태가 되도록 기존 설계에 런을 추가합니다. 설계 확대를 사용하면 반복적인 방식으로 실험을 수행할 수 있습니다. 설계 반복, 중앙점 추가, 설계 접기, 축점 추가, 점을 추가하여 공간 채움 설계 생성 또는 지정된 수의 런으로 설계 확대 등이 가능합니다. 런을 블록으로 그룹화하여 원래 런을 확대된 런과 구분할 수 있습니다. 원래 모형에 없는 모형 효과를 추가하고 해당 효과에 대한 추정 가능성 요구 사항을 지정할 수 있습니다.

표본 크기 및 검정력 하나 이상의 표본 평균, 표준편차, 단일 또는 두 비율, 단위별 개수 (Poisson 평균), 시그마 품질 수준 등과 같은 다양한 검정 상황에 대한 표본 크기 및 검정력 계산을 제공합니다. 이러한 옵션에 대해 세 가지 통계량 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다. 세 가지 통계량은 감지할 차이, 표본 크기 및 검정력입니다. 이 값 중 하나만 제공하면 다른 두 값 사이의 관계를 보여 주는 그림이 제공됩니다.

고장 확률 추정이 목표인 경우 신뢰도 시험 계획에 필요한 표본 크기를 계산할 수 있습니다. 또한 제품이 특정 표준을 충족하거나 초과한다는 것을 증명하는 것이 목표인 경우 신뢰도 데모에 필요한 표본 크기도 계산할 수 있습니다.

3 장

DOE 로 시작 예제 및 핵심 개념

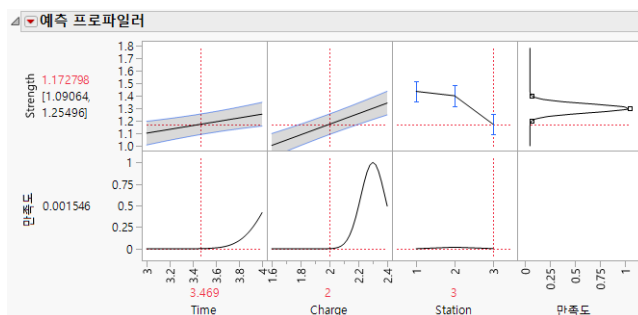
설계된 실험은 요인과 여러 반응 사이의 관계를 모델링하고 탐색하기 위한 제어된 검정 집합입니다. JMP에는 상황에 맞는 효율적인 실험 설계를 생성할 수 있도록 다양한 도구가 포함되어 있습니다. 특히 다음과 같은 종류의 설계를 사용할 수 있습니다.

- 사용자 설계 플랫폼은 고유한 상황에 맞게 사용자가 원하는 대로 설계를 만들 수 있습니다. 이 플랫폼은 모든 유형의 요인과 변경하기 어려운 요인 (분할구 상황) 을 원하는 만큼 수용하는 설계를 구성합니다. 사용자가 런 수를 제어할 수 있습니다.
- 확증적 선별 설계 플랫폼은 주효과가 다른 주효과 또는 이원 교호작용과 별칭 관계가 없는 혁신적인 선별 설계를 구성합니다. 이 설계를 사용하면 2 차 항 추정도 가능합니다.
- 선별 설계, 반응 표면 설계, 완전 요인 설계, 혼합물 설계 및 Taguchi 배열 플랫폼은 전통적 실험 설계를 구성합니다.
- 덮기 배열, 선택 설계, 공간 채움 설계, 가속 수명 시험 설계 및 비선형 설계 플랫폼은 특수한 용도의 설계 유형을 구성합니다.

설계 평가 및 설계 확대 플랫폼은 기존 설계를 평가하고 확대하기 위한 도구를 제공합니다. 표본 크기 및 검정력 플랫폼은 특수 상황에 대한 표본 크기 및 검정력 계산을 처리합니다.

이 장에서는 DOE 에 대한 JMP 접근 방식을 보여 주는 예를 제공합니다. 또한 DOE 의 프레임워크, 설계 생성을 지원하는 워크플로우 및 DOE 의 기본 원리에 대해서도 설명합니다.

그림 3.1 프로파일러 그림의 예



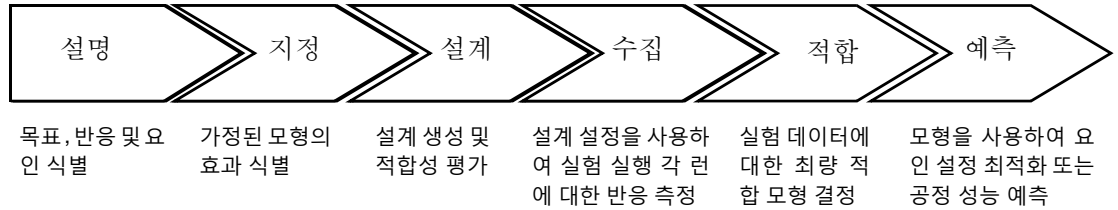
목차

실험 설계 및 DOE 워크플로우 개요	37
커피 강도 실험	38
연구 및 목표 정의	38
설계 생성	40
실험 실행	46
데이터 분석	46
DOE 워크플로우 : 기술, 지정, 설계	52
반응 및 요인 정의	53
모형 지정	54
설계 생성	54
설계 평가	55
테이블 생성	56
실험 설계의 원리와 지침	56
효과 계층성	56
효과 유전성	57
효과 회소성	57
중앙점, 반복 런 및 검정	57

실험 설계 및 DOE 워크플로우 개요

6 단계 프레임워크는 실험 설계, 실험 실행 및 결과 분석을 위한 구조를 제공합니다. 이러한 모든 단계에서 음향 엔지니어링과 각 공정에 대한 지식이 매우 중요합니다.

그림 3.2 실험 설계 프레임워크



DOE 플랫폼에서 처음 세 단계를 수행합니다. 최종 결과는 작업 환경에서 실행할 수 있는 설계입니다. 이 세 단계의 워크플로우에 대한 자세한 설명은 "[DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계](#)"(52 페이지)에서 확인하십시오.

설명 실험의 목표를 결정합니다. 반응과 요인을 식별합니다.

활성 요인 식별, 최적의 요인 설정 찾기, 예측 모형 구축 등이 목표일 수 있습니다.

지정 실제 상황을 충분히 설명한다고 간주되는 가정된 모형을 결정하거나 지정합니다.

가정된 모형은 추정할 모든 효과를 이상적으로 포함하는 초기 모형입니다. 일부 플랫폼에서는 관심 모형을 명시적으로 구축할 수 있습니다. 그 외 플랫폼에서는 모형이 암시적으로 선택됩니다. 예를 들어 선별 설계 플랫폼의 경우 지정된 해상도로 모형을 선택할 수 있습니다. 설계 해상도는 교락되는 효과를 결정합니다. 효과 교락이 발생하면 실제로 어떤 효과가 활성화되는지 모호해질 수 있습니다.

설계 가정된 모형과 일치하는 설계를 생성합니다. 이 설계를 평가하여 설계의 장점과 한계를 이해하고 모형과 목표에 따라 필요한 정보를 제공하도록 합니다.

설계 생성 플랫폼의 "설계 평가" 또는 "설계 진단" 개요를 통해 설계 특성을 파악할 수 있습니다.

다음은 제어된 조건에서 실험이 실행되는 데이터 수집 단계입니다.

수집 각 실험을 수행하고 반응 값을 기록합니다.

실험을 실행한 후 생성된 데이터 테이블의 스크립트를 통해 모형 적합 및 선별과 같은 플랫폼을 사용하여 모형을 적합시킬 수 있습니다. 모형은 목표에 따라 활성 효과를 식별하거나 최적 설정을 찾는 데 도움이 됩니다.

적합 가정된 모형을 실험 데이터에 적합시킵니다.

JMP 모델링 플랫폼을 사용하여 모형을 적합시키고 구체화합니다. 경우에 따라 모형 모호성을 해결하기 위해 설계를 확대하고 추가 런을 수행해야 할 수도 있습니다.

예측 구체화된 모형을 사용하여 실험 목표를 처리합니다.

활성 효과를 확인하고, 반응을 최적화할 요인 수준을 찾거나, 예측 모형을 구축합니다.

설계된 실험은 일반적으로 공정 지식을 구성하기 위해 순차적으로 사용됩니다. 보통 설계 전략은 선별 설계로 시작하여 잠재적 활성 요인 목록의 범위를 좁힙니다. 그런 다음 식별된 요인을 교호작용 및 2 차 효과에 대한 이해를 높이는 데 초점을 맞춘 설계에서 연구합니다. 효과의 원인이 되는 요인과 관련된 모호성을 해결하기 위해 설계를 확대해야 할 경우도 있습니다. 이 섹션에 설명된 단계는 단일 실험을 수행하고 분석하는 것과 관련이 있습니다. 그러나 목표 달성을 위해 순차적인 실험이 필요할 수도 있습니다.

"커피 강도 실험"(38 페이지)에 나오는 예에서는 DOE 워크플로우 공정의 단계를 명시적으로 보여 줍니다. 또한 데이터 테이블 스크립트를 사용하여 실험 데이터를 분석하는 방법도 보여 줍니다. 실험 설계 가이드에 나오는 대부분의 예에서는 적합한 설계를 지원하는 워크플로우와 연구를 통한 실험 데이터 분석을 둘 다 보여 줍니다.

커피 강도 실험

- "연구 및 목표 정의"
- "설계 생성"
- "실험 실행"
- "데이터 분석"

연구 및 목표 정의

당신은 지역 내 중소규모 커피 로스터 회사의 직원입니다. 개별적으로 추출한 12 온스 커피의 강도 문제를 처리해야 합니다. 커피 강도에 영향을 미치는 요인을 확인하고 해당 요인에 대한 최적 설정을 찾으려고 합니다.

반응

반응은 커피 **Strength** 입니다. 이 값은 굴절계를 사용하여 총 용해성 물질로 측정됩니다. 커피는 한 잔 분량의 커피 드리퍼를 사용하여 추출되며, 그라운드에서 액체가 나오고 5 분 후에 측정됩니다.

이전 연구에서는 강도 1.3 이 가장 적합하고 1.2 와 1.4 사이의 농도가 허용되는 것으로 나타났습니다.

요인

이 연구에 대해 식별된 네 가지 요인은 **Grind**, **Temperature**, **Time** 및 **Charge** 입니다. 커피는 작업장 내 세 군데 위치에서 추출됩니다. 추출 위치로 인한 변동을 고려하기 위해 **Station** 이 블록 요인으로 연구에 포함되었습니다. 다음은 각 요인에 대한 설명입니다.

- **Grind** 는 커피 입자의 굵기입니다. **Grind** 는 두 가지 수준 (**Medium**, **Coarse**) 으로 설정됩니다.

- Temperature 는 물을 그라운드에 따르기 직전에 측정한 온도 (화씨) 입니다 . Temperature 는 화씨 195 도와 205 도로 설정됩니다 .
- Time 은 추출 시간 (분) 입니다 . Time 은 3 분 또는 4 분으로 설정됩니다 .
- Charge 는 콘 필터에 넣은 커피의 양이며 , 물 1 온스당 커피 원두 (그램) 로 측정됩니다 . Charge 는 1.6 과 2.4 로 설정됩니다 .
- Station 은 커피를 추출하는 장소입니다 . 세 위치에 1, 2, 3 라벨이 지정됩니다 .

표 3.1 에는 요인 및 요인 설정에 대한 정보가 요약되어 있습니다 . 요인과 수준은 Design Experiment 폴더의 Coffee Factors.jmp 샘플 데이터 테이블에도 제공됩니다 .

표 3.1 커피 실험의 요인 및 설정 범위

요인	역할	설정 범위
Grind	범주형	Medium, Coarse
Temperature	연속형	195 ~ 205
Time	연속형	3 ~ 4
Charge	연속형	1.6 ~ 2.4
Station	블록화	1, 2, 3

다음 사항을 알 수 있습니다 .

- Grind 는 수준이 두 개인 범주형 요인입니다 .
- Temperature, Time 및 Charge 는 연속형 요인입니다 .
- Station 은 수준이 세 개인 블록 요인입니다 .

모든 요인은 각 런마다 변경하고 재설정할 수 있습니다 . 이 실험에는 변경하기 힘든 요인이 없습니다 .

커피 실험을 실행하는 데 사용되는 장비는 그림 3.3 에 나와 있습니다 . 이 그림은 세 군데 추출 위치 중 한 곳에 준비된 장비를 보여 줍니다 . 다른 두 위치에도 같은 종류의 장비가 있습니다 .

그림 3.3 커피 실험 장비



런 수

사용 가능한 리소스와 시간에 따라 총 12 개의 런을 수행할 수 있다고 결정합니다. 위치가 세 군데이므로 각 위치에서 4 번의 런을 수행합니다.

설계 생성

"DOE 워크플로우 : 기술, 지정, 설계"에 설명된 설계 워크플로우 공정 단계에 따라 설계를 생성합니다.

- "반응 및 요인 정의"
- "모형 지정"
- "설계 생성"
- "설계 평가"
- "테이블 생성"

반응 및 요인 정의

표시되는 첫 번째 개요에 반응 및 요인 정보를 입력합니다.

반응

1. DOE > 사용자 설계를 선택합니다.

2. " 반응 이름 " 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 **Strength** 를 입력합니다.
기본 목표는 **최대화**로 되어 있습니다. 이 실험에서는 허용 한계(1.2, 1.4) 내에서 목표 강도 1.3 의 커피를 추출할 수 있는 요인 설정을 찾으려고 합니다.
3. 기본 목표 **최대화**를 클릭한 후 **목표값 일치**로 변경합니다.

그림 3.4 목표값 일치를 목표로 선택

4. **하한** 아래를 클릭하고 1.2 를 입력합니다.
5. **상한** 아래를 클릭하고 1.4 를 입력합니다.
6. **중요도** 아래 영역은 비워 둡니다.

반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1 로 지정됩니다.

완료된 반응 개요는 그림 3.5 에 나와 있습니다.

요인

요인을 수동으로 입력하거나, 요인과 설정이 포함된 기존 테이블을 사용하여 입력합니다. 새 실험을 설계하는 경우 먼저 수동으로 요인을 입력해야 합니다. " 요인 저장 " 옵션을 사용하여 데이터 테이블에 요인을 저장한 후에는 저장된 테이블을 사용하여 요인을 불러올 수 있습니다.

이 예에서는 두 방법 중 하나를 선택할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**수동으로 요인 입력**"(41 페이지) 또는 "**요인 불러오기를 사용하여 요인 입력**"(42 페이지)에서 확인하십시오.

수동으로 요인 입력

1. **요인 추가 > 범주형 > 2 수준**을 클릭합니다.
2. 기본 이름 X1 을 **Grind** 로 변경합니다.
요청한 대로 "역할" 이 " 범주형 " 으로 설정되어 있습니다. " 변경 " 속성은 기본적으로 " 쉬움 " 으로 설정되어 매 런마다 **Grind** 설정을 재설정할 수 있음을 나타냅니다.
3. 기본 값 "L1" 과 "L2" 를 클릭하고 "Coarse" 와 "Medium" 으로 변경합니다.
4. **N 개 요인 추가** 옆에 3 을 입력한 후 **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
5. 기본 항목을 다음 이름과 값으로 변경합니다.
 - Temperature(195, 205)
 - Time(3, 4)

- Charge(1.6, 2.4)
6. **요인 추가 > 블록화 > 블록당 4 회** 런을 클릭합니다.

예산에 따라 결정한 총 런 수는 12 회입니다. 실행 위치 세 곳 사이에 이러한 런의 균형을 맞추려고 합니다.

7. 기본 이름 X5 를 **Station** 으로 변경합니다.

"역할" 이 "블록화" 로 설정되어 있고 "값" 설정에 1 만 나타납니다. 원하는 런 수가 지정되지 않으면 JMP 에서 블록 수를 결정할 수 없기 때문입니다. "설계 생성" 개요에서 "런 수" 를 지정하면 **Station** 의 수준 수가 필요한 값으로 업데이트됩니다.

그림 3.5 완료된 반응 및 요인 개요

반응

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Strength	목표값 일치	1.2	1.4	1

요인

이름	역할	변경	값
X1	범주형	쉬움	Coarse, Medium
Temperature	연속형	쉬움	195, 205
Time	연속형	쉬움	3, 4
Charge	연속형	쉬움	1.6, 2.4
Station	블록화	쉬움	1

요인 지정

요인 추가 버튼을 클릭하여 요인을 추가하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

8. **계속**을 클릭합니다.
- 다음 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다.
- 요인 제약 조건 정의 (이 예에서 사용되지 않음)
 - 모형
 - 별칭 항
 - 설계 생성

요인 불러오기를 사용하여 요인 입력

요인 정보가 포함된 테이블을 사용하여 요인을 입력하려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Coffee Factors.jmp 를 엽니다.

요인을 불러오면 "사용자 설계" 창이 업데이트됩니다. 다음 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다.

- 요인 제약 조건 정의 (이 예에서 사용되지 않음)
- 모형
- 별칭 항
- 설계 생성

요인 제약 조건 정의

" 요인 제약 조건 정의 " 개요는 요인을 수동으로 입력하고 " 계속 " 을 클릭하거나 , 요인 테이블에서 요인을 불러온 후에 나타납니다 . 요인 제약 조건이 있으면 반응 및 요인 단계의 일부로 제약 조건을 추가합니다 . 이 설계에는 요인 설정에 대한 제약 조건이 없으므로 개요를 변경하지 말고 그대로 두십시오 .

모형 지정

모형 개요

그림 3.7 에서는 " 모형 " 개요를 보여 줍니다 . " 모형 " 개요에서는 추정할 효과를 포함하는 가정된 모형을 지정합니다 . 자세한 내용은 " 지정 "(37 페이지) 에서 확인하십시오 . 기본적으로 나타나는 목록에는 모든 주효과가 **필수**로 표시되어 설계에서 모든 주효과를 추정할 수 있음을 나타냅니다 . 현재는 주요 관심이 요인의 주효과에 있으므로 " 모형 " 개요에 다른 효과를 추가하지 않습니다 .

그림 3.6 주효과만 포함된 모형 개요

이름	추정 가능성
절편	필수
Grind	필수
Temperature	필수
Time	필수
Charge	필수
Station	필수

결과 복제 단계 (선택 사항)

사용자 설계 알고리즘은 랜덤 시작 설계로 시작하므로 설계가 그림 3.8에 표시된 것과 다를 수 있습니다 . 완전히 같은 런이 포함된 설계를 가져오려면 설계를 생성하기 전에 다음 단계를 수행하십시오 .

1. " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다 .
2. 569534903 을 입력합니다 .
3. **확인**을 클릭합니다 .
4. " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택합니다 .

5. 100 을 입력합니다 .
6. **확인**을 클릭합니다 .

참고 : 난수 시드값과 시작 수를 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 설계가 재현됩니다 . 그러나 설계 테이블의 행 순서는 다를 수 있습니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

설계 생성

"설계 생성" 개요에서는 설계의 구조와 크기에 대한 추가 정보를 입력할 수 있습니다 . 설계의 기본 런 수는 12 회로 표시됩니다 . 설계 예산에 따라 결정한 총 런 수는 12 회입니다 ("런 수"(40 페이지) 참조) .

그림 3.7 설계 생성 개요

설계 생성

중앙점 수:

반복 런 수:

런 수:

☐ 최소값 6

☒ 기본값 12

☐ 사용자 지정

설계 생성

1. **설계 생성**을 클릭합니다 .

"설계" 및 "설계 평가" 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다 . "출력 옵션" 패널도 나타납니다 .

"설계" 개요에서는 설계를 보여 줍니다 (그림 3.8) . "결과 복제 단계 (선택 사항)"(43 페이지)에 설명된 단계를 수행하지 않은 경우 설계가 그림 3.8에 표시된 것과 다를 수 있습니다 . 이는 알고리즘이 랜덤 시작 설계로 시작하기 때문입니다 .

그림 3.8 커피 실험 설계

런	Grind	Temperature	Time	Charge	Station
1	Coarse	195	3	1.6	1
2	Medium	195	4	2.4	2
3	Medium	195	4	1.6	3
4	Medium	205	4	2.4	1
5	Coarse	205	3	2.4	2
6	Medium	205	3	2.4	3
7	Medium	205	3	1.6	1
8	Coarse	205	4	1.6	2
9	Coarse	205	4	1.6	3
10	Coarse	195	4	2.4	1
11	Medium	195	3	1.6	2
12	Coarse	195	3	2.4	3

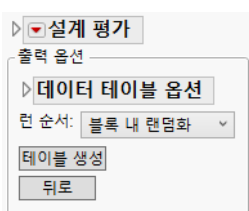
설계 평가

"설계 평가" 개요에서는 설계를 평가하는 다양한 방법을 제공합니다. 이 주제는 중요하지만 간단하게 하기 위해 이 예에서는 다루지 않습니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 장 (407 페이지) 에서 확인하십시오.

테이블 생성

"출력 옵션" 패널을 사용하여 데이터 테이블에서 런 순서를 지정합니다. 기본 선택 항목인 **블록 내 랜덤화**가 적합합니다. 이 항목을 선택하면 각 **Station**에 대해 랜덤 순서로 런이 배열됩니다.

그림 3.9 출력 옵션



1. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 3.10에 표시된 데이터 테이블이 열립니다. "결과 복제 단계 (선택 사항)"(43 페이지)에 설명된 단계를 수행하지 않은 경우 설계 테이블이 다를 수 있습니다. 설계 테이블은 다른 최적 설계를 나타냅니다.

그림 3.10 사용자 설계 테이블

사용자 설계		Grind	Temperature	Time	Charge	Station	Strength
설계 기준	D 최적	1	Coarse	195	4	2.4	1
모형		2	Medium	205	3	1.6	1
설계 평가		3	Medium	205	4	2.4	1
일반화 회귀		4	Coarse	195	3	1.6	1
DOE 대화상자		5	Medium	195	4	2.4	2
		6	Medium	195	3	1.6	2
		7	Coarse	205	4	1.6	2
		8	Coarse	205	3	2.4	2
		9	Medium	195	4	1.6	3
		10	Medium	205	3	2.4	3
		11	Coarse	205	4	1.6	3
		12	Coarse	195	3	2.4	3

"열" 패널에서 요인과 반응의 오른쪽에 있는 별표에 유의하십시오. 이는 데이터 테이블의 열에 저장된 열 특성을 나타냅니다. 이러한 열 특성은 데이터 분석에 사용됩니다. 자세한 내용은 "요인"(81 페이지) 및 "요인 열 특성"(86 페이지)에서 확인하십시오.

실험 실행

여기서는 실험을 수행합니다. 각 **Station** 에서 설계 테이블에 표시된 순서대로 4 번씩 런이 수행됩니다. 장비와 재료는 각 런이 수행될 때마다 재설정됩니다. 예를 들어 연속된 두 번의 런에 필요한 물 온도가 195 도인 경우 가열 용기가 식은 후 12 온스의 물이 각각 195 도까지 가열됩니다. Strength 측정값이 기록됩니다.

Strength 에 대한 설계 및 실험 결과는 Design Experiment 폴더에 있는 Coffee Data.jmp 샘플 데이터 테이블 (그림 3.11) 에 제공됩니다.

그림 3.11 강도 결과가 포함된 커피 설계

	Grind	Temperature	Time	Charge	Station	Strength
1	Medium	205	4	2.4	1	1.78
2	Coarse	195	3	1.6	1	1.25
3	Medium	205	3	1.6	1	1.10
4	Coarse	195	4	2.4	1	1.63
5	Coarse	205	4	1.6	2	1.26
6	Medium	195	4	2.4	2	1.63
7	Medium	195	3	1.6	2	1.22
8	Coarse	205	3	2.4	2	1.51
9	Coarse	205	4	1.6	3	1.07
10	Coarse	195	3	2.4	3	1.26
11	Medium	195	4	1.6	3	1.13
12	Medium	205	3	2.4	3	1.25

데이터 분석

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 생성된 모형 스크립트를 설계 테이블에 저장하여 데이터 분석 작업을 쉽게 수행할 수 있습니다 (그림 3.10). 실험을 수행하고 데이터를 입력한 후 이 스크립트를 실행합니다. 그러면 "사용자 설계" 창의 "모형" 개요에서 지정한 효과가 포함된 "모형 적합" 창이 열립니다.

모형 적합

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Coffee Data.jmp 를 엽니다.
테이블 패널에 "사용자 설계" 로 생성한 "Model" 스크립트가 있습니다.
2. "Model" 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
"모형 규격" 창에 "모형" 개요에서 지정한 효과가 표시됩니다.

그림 3.12 모형 규격 창

모형 규격

모형 선택

6개 열

- Grind
- Temperature
- Time
- Charge
- Station
- Strength

역할 변수 선택

Y	Strength
가중치	선택적 숫자
빈도	선택적 숫자
검증	선택적
기준	선택적

분석법: 표준 최소 제곱

강조: 효과 선별

도움말 실행

재호출 ☐ 대화상자 열린 채 유지

제거

모형 효과 생성

추가 Grind

교차 Temperature

내포 Time

매크로 Charge

Station

차수 2

속성 ☐

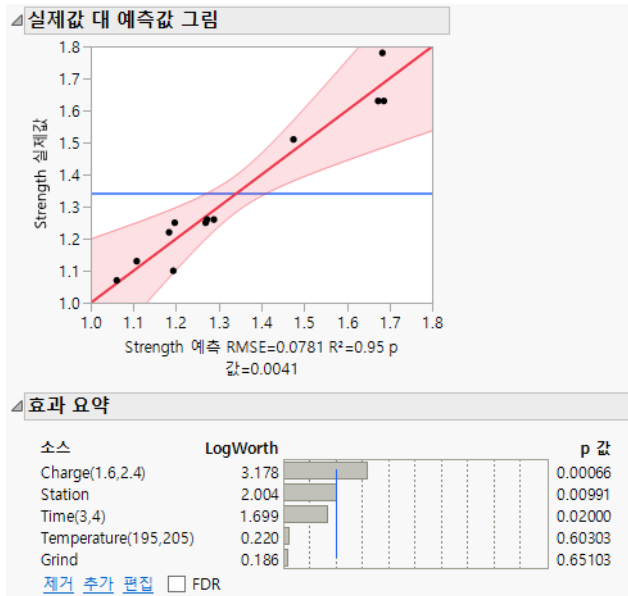
변환 ☐

☐ 절편 없음

3. 대화상자 열린 채 유지 옵션을 선택합니다.
4. 실행을 클릭합니다.

모형 분석

"효과 요약" 및 "실제값 대 예측값 그림" 보고서는 모형에 대한 개요 정보를 제공합니다.

그림 3.13 전체 모형에 대한 효과 요약 및 실제값 대 예측값 그림

다음 사항을 알 수 있습니다.

- " 실제값 대 예측값 그림 " 에 적합 결여의 증거가 없습니다.
- " 실제값 대 예측값 " 그림에 따르면 모형이 유의합니다 . 그림 아래의 **p 값 = 0.0041** 은 전체 모형 검정의 유의 수준을 제공합니다.
- " 효과 요약 " 보고서는 Charge, Station 및 Time 이 0.05 수준에서 유의함을 보여 줍니다.
- " 효과 요약 " 보고서는 또한 Temperature 와 Grind 가 유의하지 않다는 것을 보여 줍니다.

모형 축소

Temperature 와 Grind 는 활성 효과가 아니므로 모형에 랜덤 잡음을 적용합니다 . 활성 효과와 관련된 모형 모수를 더 정확하게 추정하려면 이러한 효과 없이 모형을 재적합시키십시오 .

1. " 모형 규격 " 창의 " 모형 효과 생성 " 목록에서 Temperature 와 Grind 를 선택합니다.
2. **제거**를 클릭합니다.
3. 모형 강조가 **효과 선별**로 설정되도록 합니다.

" 효과 선별 " 강조는 실험 설계를 분석하는 데 유용한 보고서 (예 : 예측 프로파일러) 를 제공합니다.

4. **실행**을 클릭합니다.

그림 3.14 축소 모형의 부분 출력

모수 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	1.3408333	0.020047	66.88	<.0001*	
Time(3,4)	0.0758333	0.020047	3.78	0.0069*	
Charge(1,6,2,4)	0.1691667	0.020047	8.44	<.0001*	
Station[1]	0.0991667	0.028351	3.50	0.0100*	
Station[2]	0.0641667	0.028351	2.26	0.0580	
효과 검정					
소스	N모수	DF	제곱합	F 비	Prob > F
Time(3,4)	1	1	0.06900833	14.3093	0.0069*
Charge(1,6,2,4)	1	1	0.34340833	71.2078	<.0001*
Station	2	2	0.16251667	16.8494	0.0021*
효과 상세 정보					
척도화된 추정값					
명목형 요인이 모든 수준으로 확장되었습니다.					
항	척도화된 추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	1.3408333	0.020047	66.88	<.0001*	
Time(3,4)	0.0758333	0.020047	3.78	0.0069*	
Charge(1,6,2,4)	0.1691667	0.020047	8.44	<.0001*	
Station[1]	0.0991667	0.028351	3.50	0.0100*	
Station[2]	0.0641667	0.028351	2.26	0.0580	
Station[3]	-0.1633333	0.028351	-5.76	0.0007*	

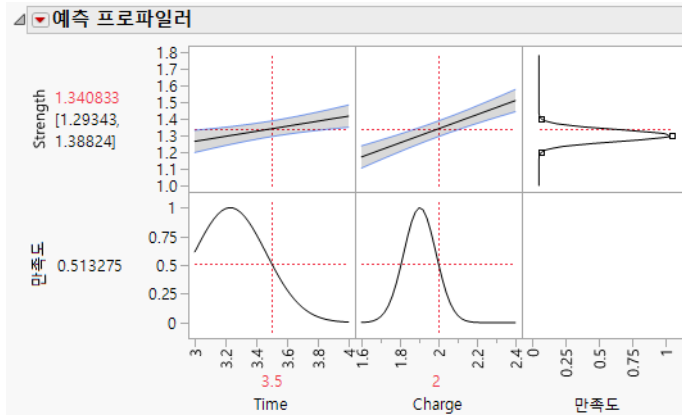
다음 사항을 알 수 있습니다.

- "효과 검정" 보고서에 세 가지 효과가 모두 유의한 것으로 나타납니다.
- "척도화된 추정값" 보고서는 Station[1] 과 Station[3] 평균이 Strength 의 평균 반응과 유의하게 다르다는 것을 나타냅니다.
- "모수 추정값" 보고서에 나타나는 추정값이 "척도화된 추정값" 보고서의 추정값과 동일합니다. 이는 효과가 코드화되어 있기 때문입니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "코딩"(693 페이지)에서 확인하십시오.
- Station[3] 의 추정값은 "척도화된 추정값" 보고서에만 나타납니다. 이 보고서에는 명목형 요인이 확장되어 모든 수준의 추정값을 표시합니다.
- "모수 추정값" 보고서는 코드화된 효과와 관련하여 모형이 지정된 모형 계수의 추정값을 제공합니다.

모형 탐색

"예측 프로파일러"가 보고서 맨 아래에 나타납니다.

그림 3.15 예측 프로파일러



실험을 설계할 때 1.2 와 1.4 를 한계로 하여 목표값 일치를 반응 목표로 설정했습니다. JMP 에서 는 이 정보를 사용하여 사용자가 지정한 사항을 반영하는 만족도 함수를 구성합니다. 자세한 내용은 " **요인** " (81 페이지) 에서 확인하십시오 .

그림 3.15 에서 다음 사항을 알 수 있습니다 .

- 그래프의 위쪽 행에 있는 처음 두 그림은 다른 요인의 설정이 주어졌을 때 한 요인에 대해 Strength 가 어떻게 변화하는지 보여 줍니다 . 예를 들어 Charge 가 2 일 때 Time 그림의 선은 예측 Strength 가 Time 에 따라 어떻게 변하는지 보여 줍니다 .
- 위쪽 행에 나오는 그림 왼쪽의 값은 선택한 요인 설정에 대한 예측 Strength (빨간색) 및 평균 Strength 의 신뢰 구간을 제공합니다 .
- 위쪽 행의 맨 오른쪽 그림은 Strength 에 대한 만족도 함수를 보여 줍니다 . 이 만족도 함수는 목표값 1.3 이 가장 적합하다는 것을 나타냅니다 . 해당 목표값에서 멀어질수록 만족도가 감소합니다 . 한계값 1.2 와 1.4 에서는 만족도가 0 에 가까워집니다 .
- 아래쪽 행의 그림은 다른 요인의 설정에 대해 각 요인의 만족도 트레이스를 보여 줍니다 .
- 아래쪽 행에 나오는 그림 왼쪽의 값은 선택한 요인 설정에 대한 반응 값의 만족도를 제공합니다 .

Time 및 Charge 열의 빨간색 수직 과선을 드래그하여 다양한 요인 설정을 탐색합니다. 모형에 교호작용이 없으므로 프로파일러는 Charge 를 증가하면 Strength 도 증가함을 나타냅니다 . 또한 Strength 는 Time 의 변화보다 Charge 의 변화에 더 민감한 것으로 보입니다 .

Station 은 블록 요인이므로 예측 프로파일러에 나타나지 않습니다 . 그러나 Station 에 따라 예측 Strength 가 어떻게 달라지는지 확인하고 싶을 수 있습니다 . 예측 프로파일러에 Station 을 포함하려면 다음 단계를 수행하십시오 .

1. " 예측 프로파일러 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 격자 재설정** 을 선택합니다 .

Time, Charge 및 Station 열이 포함된 " 요인 설정 " 창이 나타납니다 . Station 아래의 표시 상자가 선택되어 있지 않습니다. 이는 Station이 예측 프로파일러에 표시되지 않음을 나타냅니다.

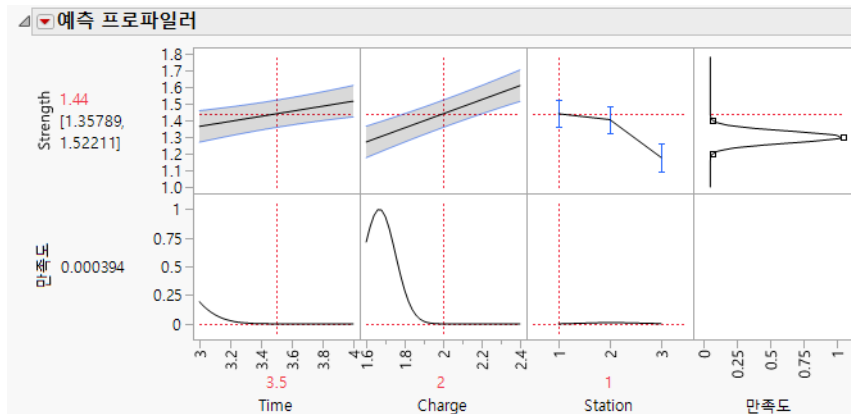
2. Station 아래에서 **표시** 행의 상자를 선택합니다.
3. Station 아래에서 **요인 설정 잠금** 행의 상자를 선택 취소합니다.

그림 3.16 요인 설정 창

요인	Time	Charge	Station
현재 값:	3.5	2	
최소 설정:	3	1.6	
최대 설정:	4	2.4	
그림에 그린 점의 수:	41	41	
표시	☒	☒	☒
요인 설정 잠금:	☐	☐	☐

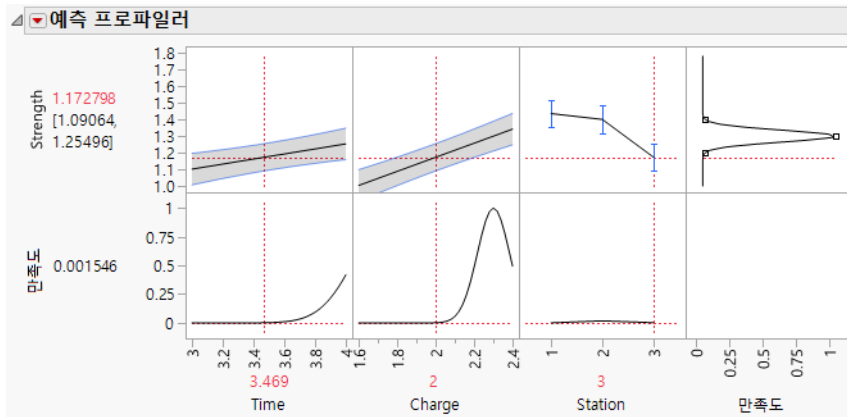
4. **확인**을 클릭합니다.
- Station 그림이 "예측 프로파일러"에 나타납니다.
5. Station 위의 두 그림 중 하나를 클릭하여 빨간색 수직 파선을 삽입합니다.
 6. 빨간색 수직 파선을 **Station 1**로 이동합니다.

그림 3.17 Station 1의 결과를 보여주는 예측 프로파일러



7. 빨간색 수직 파선을 **Station 3**으로 이동합니다.

그림 3.18 Station 3 의 결과를 보여 주는 예측 프로파일러



Station 1 의 설계 영역 가운데에 있는 예측 Strength 는 1.44 입니다 . Station 3 의 경우 예측 Strength 는 약 1.18 입니다 . 이 차이의 크기는 Station 변동을 해결해야 함을 나타냅니다 . Station 변동을 잘 제어하면 일관된 Strength 를 얻을 수 있습니다 . Station 일관성이 확보되면 Time 과 Charge 에 대한 공통 최적 설정을 결정할 수 있습니다 .

커피 실험 설계를 구성하는 데 사용한 공정은 DOE 워크플로우의 단계를 따릅니다 . 다음 섹션에서는 DOE 워크플로우에 대해 자세히 설명합니다 .

DOE 워크플로우 : 기술, 지정, 설계

DOE 플랫폼은 실험 설계에 내재된 워크플로우를 제공하는 일련의 단계로 구성됩니다 . 각 단계를 완료하면 **계속**을 클릭하여 다음 단계로 이동합니다 . 이 섹션에서 설명하는 요소는 9 개의 실험 설계 플랫폼에 공통으로 적용됩니다 . 이 섹션에서는 다음 플랫폼에 대해 설명합니다 .

- 사용자 설계
- 확증적 선별 설계
- 선별 설계
- 반응 표면 설계
- 완전 요인 설계
- 혼합물 설계
- JMP PRO 덮기 배열
- 공간 채움 설계
- Taguchi 배열

선택 설계, 가속 수명 시험 설계 및 비선형 설계는 위의 플랫폼과 많이 다른 특수 목적의 플랫폼입니다 . 이러한 세 플랫폼은 이 섹션에서 다루지 않습니다 .

이 섹션에서는 DOE 워크플로우의 단계를 설명합니다. 또한 다양한 설계 플랫폼에서의 구현에 대해서도 설명합니다.

반응 및 요인 정의

실험 설계 프레임워크의 설명 단계에서는 다음을 수행합니다.

- 관심 반응 및 요인을 식별합니다.
- 실험 목표를 결정합니다. 반응을 최대화하거나 목표값 적중을 원할 수 있습니다. 이때 해당 목표값을 지정합니다. 아니면 단순히 반응에 영향을 미치는 요인을 식별할 수도 있습니다.
- 실험 범위 또는 설계 공간을 설명하는 요인 설정을 식별합니다.

대부분의 JMP DOE 플랫폼을 열면 반응과 요인을 나열할 수 있는 개요가 표시됩니다. "반응" 개요는 전체 플랫폼에서 공통입니다. 여기에서는 반응 및 추가 정보 (예: 반응 목표, 하한, 상한, 중요도)를 삽입합니다.

"요인" 개요는 플랫폼마다 다릅니다. 이는 각 플랫폼에서 다루는 요인의 유형과 특정 설계 상황에 맞추기 위한 것입니다. 특정 플랫폼에서 반응과 요인을 입력한 후 "계속"을 클릭하면 "요인 제약 조건 정의" 개요가 나타납니다. 이 개요에서는 설계에 사용 가능한 요인의 값을 제한할 수 있습니다.

그림 3.19에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Box Corrosion Split-Plot.jmp 샘플 데이터 테이블에서 설계를 구성하기 위해 사용자 설계 플랫폼을 사용한 "반응" 및 "요인" 개요를 보여 줍니다. 또한 "계속"을 클릭하면 나타나는 "요인 제약 조건 정의" 개요도 표시됩니다. "제약 조건 정의" 개요를 사용하면 요인 설정이 충족해야 하는 제한을 지정할 수 있습니다.

그림 3.19 Box Corrosion Split-Plot 실험의 반응 및 요인

사용자 설계

반응

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Corrosion Resistance	최대화	.	.	.

요인

이름	역할	변경	값
Furnace Temp	범주형	어려움	360 370 380
Coating	범주형	쉬움	C1 C2 C3 C4

요인 제약 조건 정의

- ☒ 없음
- ☐ 선형 제약 조건 지정
- ☐ 허용되지 않는 조합 필터 사용
- ☐ 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

모형 지정

"반응" 및 "요인" 개요에 필요한 정보를 모두 입력한 후 **계속** 버튼을 클릭합니다. 그러면 설계 구성의 다음 단계로 이동하여 가정된 모형을 명시적 또는 암시적으로 선택할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 적합시킬 모형을 명시적으로 지정할 수 있습니다. 이 모형에 대한 최적 설계가 생성됩니다. 다른 설계 플랫폼에서는 모형을 명시적으로 지정할 수 없습니다. 예를 들어 선별 플랫폼에서 한 옵션을 사용하면 완전 요인, 부분 요인 및 Plackett-Burman 설계 목록에서 선택할 수 있습니다. 이러한 설계의 별칭 관계는 적합시킬 수 있는 모형을 암시적으로 정의합니다.

"사용자 설계"에서 "반응" 및 "요인"에 정보를 입력한 후 "계속"을 클릭하면 "모형" 개요가 나타납니다. Box Corrosion Split-Plot.jmp 샘플 데이터 테이블에 사용된 설계의 예가 그림 3.20에 나와 있습니다. 가정된 모형은 주효과 (Furnace Temp, Coating) 및 교호작용을 추정할 수 있어야 합니다. 생성된 설계는 이러한 효과의 추정 가능성을 보장합니다.

대부분의 다른 플랫폼에서 "계속"을 클릭하면 선택할 수 있는 설계 모음이 제공됩니다. 완전 요인에서는 "요인" 개요가 완료된 후 설계가 결정되므로 "계속"을 클릭하면 "출력 옵션"으로 바로 이동합니다.

그림 3.20 Box Corrosion Split-Plot 실험의 모형 개요

모형	
주효과	교호작용 ▼
RSM	교차
역 ▼	항 제거
이름	추정 가능성
절편	필수
Furnace Temp	필수
Coating	필수
Furnace Temp*Coating	필수

설계 생성

대부분의 DOE 플랫폼에서 최종 설계의 크기를 어느 정도 제어할 수 있습니다. 사용자 설계에서는 런 수를 지정하고 필요한 경우 중앙점 및 반복 런 수를 지정할 수 있습니다. 다른 플랫폼에서는 다양한 수준의 유연성이 제공됩니다. 설계의 중앙점 수, 반복 런 수 또는 반복 실험 횟수를 지정할 수 있는 경우가 많습니다.

런 수와 관련된 옵션을 지정했으면 "설계 생성"을 클릭합니다. 그러면 DOE 창이 업데이트되어 "설계" 개요에 설계가 표시됩니다.

Box Corrosion Split-Plot.jmp 실험을 위한 사용자 설계 (24 회 런)의 "설계" 개요가 그림 3.21에 나와 있습니다. Furnace Temp의 **변경이 어려움**으로 지정되었으므로 주구 요인은 Furnace Temp 설정의 랜덤 블록을 나타내도록 구성됩니다.

그림 3.21 Box Corrosion Split-Plot 실험의 설계 개요

설계			
런	주구	Furnace Temp	Coating
1	1	370	C2
2	1	370	C3
3	1	370	C1
4	1	370	C4
5	2	370	C3
6	2	370	C4
7	2	370	C2
8	2	370	C1
9	3	360	C3
10	3	360	C2
11	3	360	C4
12	3	360	C1
13	4	380	C4
14	4	380	C3
15	4	380	C2
16	4	380	C1
17	5	380	C4
18	5	380	C2
19	5	380	C1
20	5	380	C3
21	6	360	C3
22	6	360	C1
23	6	360	C4
24	6	360	C2

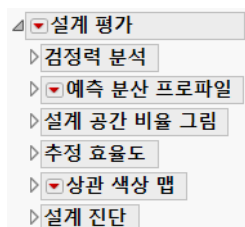
참고 : 사용자 설계에서 설계를 생성하면 " 모형 " 및 " 별칭 " 개요의 컨트롤이 비활성화됩니다 . " 뒤로 " 버튼을 사용하여 모형 또는 별칭 항목을 변경할 수 있습니다 .

설계 평가

대부분의 플랫폼에서 " 설계 생성 " 을 클릭하면 " 설계 평가 " 개요가 나타납니다 . 여기서는 생성된 설계를 효과 감지 검정력 , 예측 분산 , 추정 효율도 , 별칭 관계 , 효과 간 상관 및 기타 설계 효율도 측도로 분석할 수 있습니다 . 그림 3.22 에서는 사용자 설계의 " 설계 평가 " 개요를 보여 줍니다 . 설계 평가에 대한 내용은 " 설계 평가 " 장 (407 페이지) 에서 확인하십시오 .

일부 플랫폼의 경우 다른 유형의 설계 진단이 적합합니다 . 예를 들어 공간 채움 설계는 공간 채움 설계에 특정한 지표가 포함된 " 설계 진단 " 개요를 제공합니다 . 덮기 배열은 포함 범위에 특정한 측도가 포함된 " 지표 " 개요를 제공합니다 .

그림 3.22 사용자 설계의 설계 평가 개요

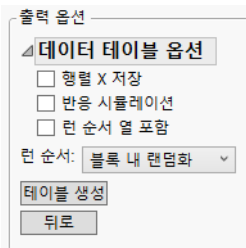


테이블 생성

대부분의 플랫폼은 "출력 옵션" 노드 또는 패널을 제공합니다. 플랫폼과 설계에 따라 "출력 옵션" 패널을 사용하여 추가 설계 구조를 지정할 수 있습니다. 예를 들어 런 수, 중앙점 수, 반복 실험 횟수 또는 생성된 데이터 테이블에 설계 런이 표시되는 순서 등을 지정할 수 있습니다.

그림 3.23 에는 Design Experiment 폴더에 있는 Wine.jmp 샘플 데이터 테이블의 실험에 대한 "출력 옵션" 패널이 표시됩니다. 이 예에서는 다양한 "런 순서" 옵션을 선택하고 설계 데이터 테이블을 구성할 수 있습니다. 뒤로 이동하여 설계를 재구성하도록 선택할 수도 있습니다.

그림 3.23 와인 실험의 출력 옵션 패널



실험 설계의 원리와 지침

특정 원리는 실험 설계 및 실험 데이터 분석의 기초가 됩니다. 효과 계층성, 효과 유전성 및 효과 회소성 원리는 주로 모형 선택과 관련이 있습니다. 이러한 원리는 최적 모형을 검색할 때 가능한 모형 집합을 줄이는 데 도움이 됩니다. 자세한 내용은 Hamada and Wu(1992), Wu and Hamada(2009), Goos and Jones(2011) 에서 확인하십시오.

- " 효과 계층성 "
- " 효과 유전성 "
- " 효과 회소성 "
- " 중앙점, 반복 런 및 검정 "

효과 계층성

회귀 모델링에서 효과 계층성은 주효과 (1 차) 가 반응의 변동을 가장 많이 설명한다는 원리입니다. 2 차 효과 (second-order effect), 즉 교호작용 효과와 2 차 항이 변동을 두 번째로 많이 설명합니다. 그런 다음 차수가 높은 항이 계층 순서대로 나옵니다.

모델링은 주효과가 2 차 효과 (second-order effect) 보다 중요하고 2 차 효과가 3 차 효과보다 중요하다는 의미를 가지고 있습니다. 즉, 차수가 높을수록 중요도가 낮습니다.

효과 유전성

효과 유전성 원리는 고차 효과의 저차 성분 모형 포함과 관련이 있습니다. 이 원리는 주효과의 크기가 작은 요인들 간에는 유의한 교호작용 효과가 없다는 관측 증거를 동기로 합니다.

강한 효과 유전성을 위해서는 모형 효과의 모든 낮은 차수 성분이 모형에 포함되어야 합니다. 삼원 교호작용 (ABC) 이 모형에 있다고 가정해 보겠습니다. 그러면 모든 성분 주효과와 이원 교호작용 (A, B, C, AB, AC, BC) 도 모형에 포함되어야 합니다.

약한 효과 유전성을 위해서는 모형 효과 중 연속된 낮은 차수 성분의 시퀀스만 포함되어야 합니다. 삼원 교호작용이 모형에 있는 경우 관련 요인 중 하나와 해당 요인을 포함하는 이원 교호작용 하나가 모형에 포함되어야 합니다. 삼원 교호작용 (ABC) 이 모형에 있다고 가정해 보겠습니다. B 와 BC 도 모형에 있으면 해당 모형은 약한 효과 유전성을 충족합니다.

연속형 요인의 경우 효과 유전성은 요인의 위치 및 척도가 달라져도 모형이 변하지 않도록 합니다.

효과 희소성

효과 희소성 원리는 반응에 대한 대부분의 변동이 상대적으로 적은 수의 효과로 설명된다고 주장합니다. 많은 효과를 연구하는 선별 설계는 효과 희소성에 크게 의존합니다. 경험에 따르면 선별 설계에 사용된 런 수는 유의하다고 할 수 있는 효과 수의 두 배 이상이어야 합니다.

중양점, 반복 런 및 검정

일부 DOE 플랫폼을 사용하면 중양점 (연속형 요인의 경우), 반복 런 또는 전체 반복 실험을 설계에 추가할 수 있습니다. 다음은 설계점 추가와 관련된 몇 가지 상황입니다.

중양점 추가

연속형 요인의 중양점을 사용하면 비선형 효과로 인한 적합 결여를 검정할 수 있습니다. 적합 결여 검정은 모형 항 누락으로 인해 오차 분산 추정값이 부풀려졌는지 여부를 판별하는 데 도움이 됩니다. 이 방법은 현명한 런 투자일 수 있습니다.

중양점에서만 런을 반복하거나 다른 설계 런을 반복할 수 있습니다. JMP에서는 반복 런을 사용하여 모형에 독립적인 오차 추정값 (순수 오차 추정값) 을 생성합니다. 이 순수 오차 추정값을 사용하면 적합 결여를 검정할 수 있습니다.

중양점은 모형 효과의 정확한 추정값을 얻는 데 도움이 되지 않습니다. 중양점을 사용하면 곡률의 증거를 검정할 수 있지만 원인이 되는 비선형 효과를 식별할 수는 없습니다.

곡률의 원인을 식별하려면 최소 3 개 수준으로 연속형 요인을 설정해야 합니다. 확증적 선별 설계는 반응에 대해 강력한 비선형 효과를 일으키는 요인을 감지하고 식별할 수 있는 3 수준 설계입니다. 자세한 내용은 7 장, "확증적 선별 설계"에서 확인하십시오.

반복 런 추가

런 예산으로 가능한 경우 런을 반복하거나 설계 공간 내에서 새 런을 최적으로 배포할 수 있습니다. 반복 런을 추가하면 일부 추정값에 대한 정밀도가 추가되고 적합 결여 검정의 검정력이 향상됩니다. 그러나 런 예산이 지정된 경우 반복 런을 추가하면 일반적으로 설계의 모형 효과 추정 능력이 저하됩니다. 설계 공간 내에서 최적으로 런을 배포하는 것만큼 많은 항을 추정할 수 없습니다.

적합 결여 검정

설계된 실험은 대개 실험 목표에 맞게 가능한 한 적은 수의 런이 필요하도록 구성됩니다. 런 수가 너무 적으면 극단적으로 큰 효과만 감지할 수 있습니다. 예를 들어 지정된 효과의 t 검정 통계량은 표준 오차에 대한 반응 평균의 변화 비율입니다. 오차 DF(자유도)가 1 뿐이면 검정 임계값이 12를 초과합니다. 따라서 거의 포화된 설계에서 효과를 감지하려면 크기가 매우 커야 합니다.

유사 관측이 적합 결여 검정에 적용됩니다. 적합 결여를 감지하는 이 검정의 검정력은 분자와 분모의 자유도 값에 따라 달라집니다. 각 종류마다 df가 1 뿐인 경우 0.05 수준에서 유의성을 선언하려면 F 값이 150을 초과해야 합니다. 각 종류의 df가 2인 경우에는 F 값이 19를 초과해야 합니다. 두 번째 경우에서 검정이 유의하려면 적합 결여 평균 제곱이 순수 오차 평균 제곱보다 19배 커야 합니다. 적합 결여 검정이 이상치에 민감한 것도 사실입니다.

적합 결여 검정에 대한 자세한 내용은 Fitting Linear Models 의 "Standard Least Squares Report and Options" 장에서 확인하십시오.

런 수 결정

산업 응용 분야에서는 런을 수행할 때마다 비용이 많이 들기 때문에 런 수를 최소화해야 합니다. 관심 있는 고정 효과를 추정하려면 모형에 있는 항과 같은 수의 런만 있으면 됩니다. 효과가 활성 상태인지 여부를 판별하려면 적절한 오차 분산 추정값이 필요합니다. 이 분산의 추정값이 충분하지 않으면 모형 항을 추정하는 데 필요한 수에 4 회 이상의 런을 추가하는 것이 좋습니다.

4 장

사용자 설계

요구 사항을 충족하는 설계 구성

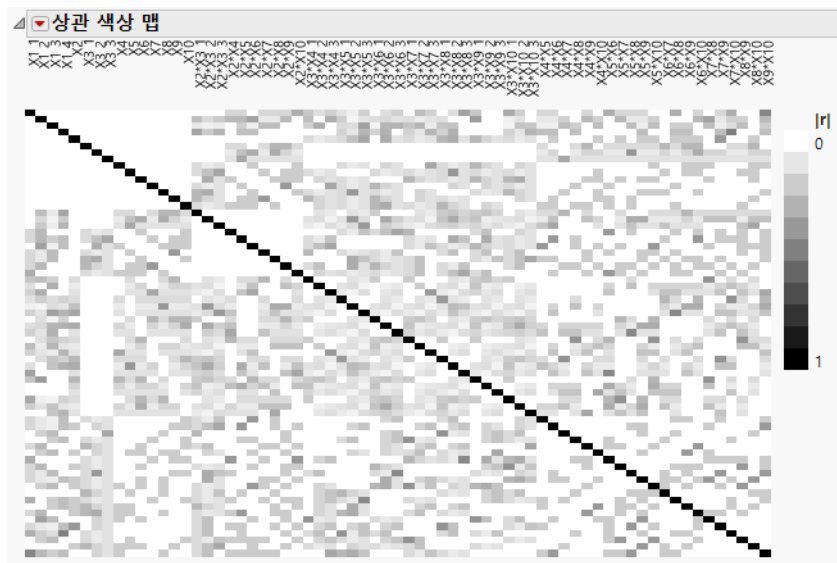
사용자 설계 플랫폼을 사용하면 특정 실험 설정에 맞게 사용자 정의된 최적 설계를 구성할 수 있습니다. 일반적으로 사용자 설계는 다른 방법을 사용하여 구성한 설계보다 비용 효율적입니다. 다음과 같은 작업을 수행할 수 있습니다.

- 다양한 유형의 요인을 입력합니다.
- 설계 공간에 제약 조건을 지정합니다.
- 주어진 런 수를 고려하여 추정이 필요한 효과 및 적합한 효과 (가능한 경우)를 나타냅니다.
- 예산에 맞는 실험 런 수를 지정합니다.

사용자 설계 플랫폼은 선별, 반응 표면, 혼합물, 랜덤 블록, 분할구, 분할 - 분할구 및 이원 분할구와 같은 특수 설계 유형을 포함하여 다양한 유형의 설계를 구성합니다.

이 장에는 사용자 설계 플랫폼의 사용 방법을 보여 주는 자세한 예와 플랫폼 정보가 포함되어 있습니다. 자세한 내용은 "[사용자 설계의 예](#)" 장 (121 페이지) 에서 확인하십시오.

그림 4.1 절대 상관의 색상 맵



목차

사용자 설계 개요	61
사용자 설계의 예	62
설계 생성	63
데이터 분석	72
사용자 설계 창	79
반응	79
요인	81
요인 제약 조건 정의	87
모형	90
별칭 항	91
설계 생성	92
설계	94
설계 평가	94
출력 옵션	95
사용자 설계 옵션	97
옵션 설명	97
반응 시뮬레이션	100
행렬 X 저장	102
시작 수	104
설계 검색 시간	105
검정력을 위한 델타 설정	105
사용자 설계에 대한 기술 상세 정보	106
랜덤화 제한이 있는 설계	106
변경하기 힘든 수준의 공변량	115
주구 및 하위구 수	115
최적 기준	116
D 효율도	120
좌표 교환 알고리즘	120

사용자 설계 개요

특정 실험 요구에 맞게 사용자 정의된 최적의 설계를 구성하려면 사용자 설계 플랫폼을 사용합니다.

다음과 같은 다양한 유형의 요인을 포함할 수 있습니다.

- 연속형
- 이산 수치형 (원하는 수의 수준 포함)
- 범주형 (원하는 수의 수준 포함)
- 블록화 (블록당 지정된 수의 런 포함)
- 공변량
- 혼합
- 상수
- 제어되지 않음

작동 가능 영역 지정

선형 요인 제약 조건 또는 허용되지 않는 조합을 사용하여 실험 영역이 작동 조건을 반영하도록 제한할 수 있습니다. 특히 범주형, 연속형 및 이산 수치형 요인에 대해 제한을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[요인 제약 조건 정의](#)"(87 페이지)에서 확인하십시오.

변경하기 힘든 수준의 요인 지정

연속형, 이산 수치형, 범주형 및 혼합 요인의 경우 두 가지 수준의 변경하기 힘든 요인으로 나타낼 수 있습니다. 이러한 난이도 수준은 주구 또는 주구와 분할구로 표시됩니다. 변경하기 힘든 공변량도 지정할 수 있습니다.

기본 관심 효과 지정

가정된 모형을 명시적으로 지정할 수 있습니다. 가정된 모형은 추정할 모든 효과를 이상적으로 포함하는 초기 모형입니다. 주효과, 교호작용, 반응 표면 효과 및 다항식 효과 (최대 5 제곱) 의 조합이 모형에 포함될 수 있습니다. 추정이 필요한 효과와 적합한 효과를 지정할 수 있습니다. 사용자 설계는 베이지안 최적 방법을 사용하여 런 수에 따라 추정이 적합한 효과를 추정합니다. 자세한 내용은 "[모형](#)"(90 페이지)에서 확인하십시오.

런 수 지정

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 실험 환경의 예산에 맞도록 런 수를 지정할 수 있습니다. 이 플랫폼은 필요한 효과를 추정하는 데 사용할 수 있는 최소 런 수를 나타내고 기본 런 수를 제공합니다. 이러한 값을 가이드로 사용하여 실현 가능한 런 수를 결정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[설계 생성](#)"(92 페이지)에서 확인하십시오.

적절한 설계 유형 구성

사용자 설계는 다양한 설계 유형을 구성할 수 있습니다. 여기에는 전통적 설계와 랜덤 블록 설계가 포함됩니다. 다양한 설계 유형의 예는 "[사용자 설계의 예](#)" 장(121 페이지)에서 확인하십시오.

최적 설계 구성

사용자 설계 플랫폼은 특정 요구 사항에 맞는 최적 설계를 구성합니다. 이 알고리즘은 다음과 같은 몇 가지 최적 기준을 지원합니다.

- D 최적
- I 최적
- 베이지안 D 및 I 최적 (If Possible 효과 사용)
- A 최적
- 별칭 최적

자세한 내용은 "[최적 기준](#)"(116 페이지)에서 확인하십시오.

설계는 좌표 교환 알고리즘 (Meyer and Nachtsheim, 1995) 을 사용하여 구성됩니다. 자세한 내용은 "[좌표 교환 알고리즘](#)"(120 페이지)에서 확인하십시오.

사용자 설계의 예

다음 예에서는 와인 시음 실험을 설명합니다. 고용주는 서로 다른 방식으로 가공할 수 있는 두 가지 품종의 Pinot Noir 포도를 재배합니다. Pinot Noir 와인 맛에 영향을 주는 요인을 판별하는 것이 목표입니다. 포도를 가공하기 전에 실험 설계를 설정합니다. 가공된 와인 샘플은 12 개월 동안 숙성된 후 여과 및 병에 담은 과정을 거칩니다. 이 시점에서 전문 와인 테스터가 와인 샘플의 품질을 평가합니다.

반응

포도밭에서 수확한 제품은 대부분 5 개의 대형 와인 유통업체에 판매됩니다. 각 업체의 와인 시음 전문가가 와인 샘플의 품질을 평가할 수 있도록 준비해야 합니다. 연구할 수 있는 요인의 수를 최대화하기 위해 각 전문가가 8 개의 서로 다른 샘플을 평가해야 한다고 결정합니다. 즉, 설계에 40 개의 와인 샘플 또는 런이 포함되어야 합니다.

등급 척도는 0 ~ 20 이며, 0 이 최하위이고 20 이 최상위입니다. Rating 은 전문가 평가로 구성된 관심 반응 변수입니다. 반응을 최대화하는 와인 관련 요인을 식별하는 것이 목표입니다.

블록 요인

블록 요인은 직접적 관심 대상이 아닌 변동을 처리하는 데 사용됩니다. 특히 한 요인 수준의 관측값이 다른 수준의 관측값보다 더 유사할 것으로 예상될 때 블록 요인이 효과적입니다. 실험에서 한 전문가의 등급은 비슷한 특성을 가지며 다른 전문가의 등급과 다를 가능성이 있습니다. 그러나 관심 사항은 모든 전문가로부터 높은 등급을 받는 특성이 무엇인지 판별하는 것입니다.

각 평가자가 8 개 와인을 시음하므로 **Rater** 는 블록당 8 개의 런이 있는 블록 요인입니다 . 이 실험의 경우 5 명의 평가자만 대상입니다 . 평가자 모집단을 더 크게 일반화하는 것에는 관심이 없습니다 .

공정 요인

연구에 필요한 9 개의 공정 요인을 식별했습니다 . 여기에는 포도 품종 , 포도를 재배한 밭 그리고 가공과 관련된 기타 요인 7 개가 포함됩니다 . 이러한 요인을 필요에 따라 조합하여 실험할 수 있습니다 . 또한 실험 중간에 원하는 대로 요인에 변화를 줄 수도 있습니다 . 이러한 요인은 모두 실험에서 상대적으로 변경하기 " 쉬운 " 요인입니다 . 요인 변경을 지정하는 방법에 대한 자세한 내용은 " [변경 및 랜덤 블록](#) "(84 페이지) 에서 확인하십시오 .

표 4.1 에는 요인과 요인 수준이 나와 있습니다 . 이러한 모든 요인은 범주형입니다 . 요인과 해당 수준은 샘플 데이터의 **Design Experiment** 폴더에 있는 **Wine Factors.jmp** 요인 테이블에도 제공됩니다 .

가능한 모든 요인 조합으로 실험하기 위해 필요한 런 수는 $4 \times 2^8 = 1024$ 회입니다 . 그러나 이 예에서는 40 회의 런으로 최상의 설계를 구성할 수 있습니다 .

표 4.1 와인 시음 실험의 공정 요인 및 수준

요인	수준
Variety	Bernard, Dijon
Field	1, 2, 3, 4
De-Stem	No, Yes
Yeast	Cultured, Wild
Temperature	High, Low
Press	Hard, Soft
Barrel Age	New, 2 Years
Barrel Seasoning	Air, Kiln
Filtering	No, Yes

설계 생성

참고 : 이 예에서는 사용자 설계 개요를 소개하고 설명하기 위해 연속해서 계속 진행합니다 .

사용자 설계를 생성하려면 다음 섹션의 단계를 따르십시오 .

- " [반응](#) "(64 페이지)

- "요인"(64 페이지)
- "모형"(66 페이지)
- "별칭 항"(67 페이지)
- "결과 복제 (선택 사항)"(67 페이지)
- "설계 생성"(68 페이지)
- "설계"(68 페이지)
- "설계 평가"(69 페이지)
- "출력 옵션"(72 페이지)

전체 DOE 워크플로우에 대한 자세한 내용은 "DOE 로 시작" 장의 "[DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계](#)"(52 페이지)에서 확인하십시오.

반응

반응과 반응 목표를 추가하고 필요한 경우 하한, 상한 및 중요도를 추가합니다. 여기서 반응은 Rating입니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Rating을 입력합니다.
기본 목표는 "최대화"로 되어 있습니다. 맞 등급을 최대화해야 하므로 목표를 변경하지 마십시오.
3. "하한"아래를 클릭하고 0을 입력합니다.
최하위 등급이 0입니다.
4. "상한"아래를 클릭하고 20을 입력합니다.
최상위 등급이 20입니다.
5. "중요도"아래 영역은 비워 둡니다.
반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1로 지정됩니다.

[그림 4.2](#)(66 페이지)에서는 완료된 "반응" 개요를 보여 줍니다.

요인

요인을 수동으로 입력하거나, 요인과 설정이 포함된 기존 테이블을 사용하여 자동으로 입력합니다.

- 새 실험을 설계하는 경우 먼저 수동으로 요인을 입력해야 합니다. 자세한 내용은 "[수동으로 요인 입력](#)"(65 페이지)에서 확인하십시오.
- "요인 저장" 옵션을 사용하여 요인을 저장한 후에는 저장된 테이블을 사용하여 요인을 자동으로 불러올 수 있습니다. 자세한 내용은 "[요인 불러오기를 사용하여 요인 입력](#)"(66 페이지)에서 확인하십시오.

두 방법 모두 네 가지 개요, 즉 "요인 제약 조건 정의", "모형", "별칭 항" 및 "설계 생성" 개요를 "사용자 설계" 창에 추가합니다.

수동으로 요인 입력

1. 먼저 블록 요인 Rater 를 추가합니다. **요인 추가 > 블록화 > 블록당 8 회** 런을 클릭합니다.
2. 기본 이름 X1 을 Rater 로 변경합니다.
"역할" 이 "블록화" 로 설정되어 있습니다. 또한 "값" 설정에 1 만 나타납니다. 원하는 런 수가 지정되지 않으면 블록 수를 결정할 수 없기 때문입니다. "설계 생성" 개요에서 "런 수" 를 지정하면 Rater 의 수준 수가 필요한 값으로 업데이트됩니다.
3. **요인 추가 > 범주형 > 2 수준**을 클릭합니다.
4. 기본 이름 X2 를 Variety 로 변경합니다.
요청한 대로 "역할" 이 "범주형" 으로 설정되고 "변경" 이 "쉬움" (기본값) 으로 설정되어 있습니다.
5. L1 과 L2 를 클릭하고 각각 Bernard 와 Dijon 으로 변경합니다.
6. **요인 추가 > 범주형 > 4 수준**을 클릭합니다.
7. 기본 이름 X3 을 Field 로 변경합니다.
8. L1, L2, L3 및 L4 를 클릭하고 각각 1, 2, 3, 4 로 변경합니다.
9. **요인 추가 > 범주형 > 2 수준**을 클릭합니다.
10. 기본 이름 X4 를 De-Stem 으로 변경합니다.
11. L1 과 L2 를 클릭하고 각각 No 와 Yes 로 변경합니다.
나머지 요인을 다음과 같이 추가합니다.
12. **N 개 요인 추가** 옆에 6 을 입력한 후 **요인 추가 > 범주형 > 2 수준**을 클릭합니다.
13. 기본 항목을 다음 이름과 값으로 변경합니다.
 - Yeast(Cultured, Wild)
 - Temperature(High, Low)
 - Press(Hard, Soft)
 - Barrel Age(New, Two Years)
 - Barrel Seasoning(Air, Kiln)
 - Filtering(No, Yes)

그림 4.2 완료된 반응 및 요인 개요

반응

반응 추가 ▼

제거

반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Rating	최대화	0	20	.
선택적 항목				

요인

요인 추가 ▼

제거

N개 요인 추가

1

이름	역할	변경	값
Rater	블록화	쉬움	1
Variety	범주형	쉬움	Bernard
Field	범주형	쉬움	1
De-Stem	범주형	쉬움	No
Yeast	범주형	쉬움	Cultured
Temperature	범주형	쉬움	High
Press	범주형	쉬움	Hard
Barrel Age	범주형	쉬움	New
Barrel Seasoning	범주형	쉬움	Air
Filtering	범주형	쉬움	No

14. **계속**을 클릭합니다.

다음 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다.

- 요인 제약 조건 정의 (이 예에서 사용되지 않음)
- 모형
- 별칭 항
- 설계 생성

요인 불러오기를 사용하여 요인 입력

요인 정보가 포함된 테이블을 사용하여 요인을 입력하려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Wine Factors.jsp를 엽니다.
2. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

요인을 불러오면 "사용자 설계" 창이 자동으로 업데이트됩니다. 다음 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다.

- 요인 제약 조건 정의 (이 예에서 사용되지 않음)
- 모형
- 별칭 항
- 설계 생성

모형

"모형" 개요에는 모든 주효과가 "필수"로 표시되어 설계에서 모든 주효과를 추정할 수 있어야 함을 나타냅니다. 이 예에서는 가정된 모형에 주효과에 대한 관심만 반영됩니다. 그러나 다른 효

과를 추정하려면 "모형" 개요에 해당 효과를 추가하면 됩니다. 모형에 대한 자세한 내용은 "[모형](#)"(90 페이지)에서 확인하십시오.

그림 4.3 모형 개요

모형	
주효과	교호작용 ▼ RSM 교차 맥 ▼ 항 제거
이름	추정 가능성
절편	필수
Variety	필수
Field	필수
De-Stem	필수
Yeast	필수
Temperature	필수
Press	필수
Barrel Age	필수
Barrel Seasoning	필수
Filtering	필수
Rater	필수

별칭 항

"별칭 항" 개요에서는 나중에 나타나는 "별칭 행렬"에 표시할 효과를 지정합니다. 별칭 행렬은 "모형" 항과 "별칭 항" 개요에 나열된 효과 사이의 별칭 관계를 보여 줍니다. "별칭 항" 개요 노드를 열어 모든 2 요인 교호작용이 나열되어 있는지 확인합니다. 별칭 행렬에 대한 자세한 내용은 "[별칭 행렬](#)"(70 페이지)에서 확인하십시오.

그림 4.4 별칭 항 개요 (일부분)

별칭 항	
주효과	교호작용 ▼ RSM 교차 맥 ▼ 항 제거
이름	
Variety*Field	
Variety*De-Stem	
Variety*Yeast	
Variety*Temperature	
Variety*Press	
Variety*Barrel Age	
Variety*Barrel Seasoning	
Variety*Filtering	
Field*De-Stem	
Field*Yeast	

결과 복제 (선택 사항)

다음 단계에서는 설계를 생성합니다. 사용자 설계 알고리즘은 랜덤 시작 설계로 시작하므로 설계가 그림 4.5에 표시된 것과 다를 수 있습니다. 런 및 런 순서가 완전히 같은 설계를 가져오려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다.
2. 100526291(난수 시드값)을 입력합니다.
3. **확인**을 클릭합니다.

4. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택합니다.
5. 2를 입력합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.

참고 : 난수 시드값과 시작 수를 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

"설계 생성" 섹션으로 진행합니다.

설계 생성

"설계 생성" 개요에서는 설계의 구조와 크기에 대한 추가 정보를 입력할 수 있습니다. 이 예에서 설계의 기본 런 수는 16 회로 표시됩니다. 그러나 5 명의 평가자가 각각 8 개 와인을 시음할 수 있습니다. 즉, 런 수가 40 회인 설계를 생성하려고 합니다. 다음과 같이 런 수를 변경하십시오.

1. **런 수** 아래의 **사용자 지정** 상자에 **40**을 입력합니다.
런 반복을 원하지 않으므로 **반복 런 수** 설정을 **0**으로 유지합니다.
2. **설계 생성**을 클릭합니다.

"설계" 및 "설계 평가" 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다. "출력 옵션" 패널도 나타납니다.

설계

"설계" 개요에는 생성한 설계의 런이 표시됩니다. 나중에 "출력 옵션"에서 런 순서를 랜덤화할 수 있습니다. 지금은 이 설계가 실험에 적합한지 확인합니다. 예를 들어 5 명의 평가자가 와인을 8 개씩 평가하는지, 필요한 모든 요인이 표시되는지, 그리고 실현 불가능한 조합을 나타내는 설정이 없는지 확인합니다.

그림 4.5 와인 실험 설계

런	Rater	Variety	Field	De-Stem	Yeast	Temperature	Press	Barrel		
								Barrel Age	Seasoning	Filtering
1	1	Dijon	3	No	Wild	High	Soft	New	Kiln	Yes
2	2	Bernard	4	Yes	Cultured	Low	Hard	New	Kiln	No
3	3	Bernard	2	Yes	Wild	High	Hard	New	Air	No
4	4	Bernard	1	Yes	Wild	Low	Hard	2 Years	Air	Yes
5	5	Dijon	1	Yes	Wild	Low	Soft	New	Kiln	No
6	1	Dijon	2	Yes	Cultured	Low	Soft	2 Years	Air	Yes
7	2	Dijon	1	No	Cultured	High	Hard	New	Air	No
8	3	Dijon	4	No	Cultured	High	Soft	New	Air	Yes
9	4	Dijon	4	Yes	Wild	High	Hard	New	Kiln	Yes
10	5	Bernard	2	No	Wild	Low	Hard	New	Air	Yes
11	1	Bernard	3	Yes	Wild	High	Hard	New	Air	No
12	2	Dijon	1	Yes	Wild	High	Soft	2 Years	Air	Yes
13	3	Bernard	4	Yes	Wild	Low	Soft	2 Years	Kiln	No
14	4	Bernard	3	No	Cultured	Low	Soft	New	Air	No
15	5	Dijon	2	No	Cultured	High	Soft	2 Years	Kiln	No
16	1	Dijon	1	Yes	Cultured	Low	Hard	2 Years	Kiln	Yes
17	2	Bernard	2	No	Cultured	Low	Hard	2 Years	Air	No
18	3	Dijon	2	Yes	Cultured	High	Hard	New	Kiln	No
19	4	Bernard	1	No	Cultured	Low	Hard	New	Kiln	Yes
20	5	Bernard	3	Yes	Cultured	High	Hard	2 Years	Air	Yes
21	1	Bernard	4	No	Wild	High	Hard	2 Years	Kiln	No
22	2	Bernard	4	Yes	Cultured	High	Soft	2 Years	Kiln	Yes
23	3	Dijon	1	No	Wild	Low	Hard	2 Years	Kiln	No
24	4	Dijon	2	Yes	Wild	High	Soft	2 Years	Air	No
25	5	Bernard	1	No	Cultured	High	Soft	New	Kiln	No
26	1	Bernard	2	No	Wild	Low	Soft	New	Kiln	Yes
27	2	Dijon	3	No	Wild	High	Hard	New	Kiln	Yes
28	3	Bernard	1	No	Wild	High	Soft	2 Years	Air	Yes
29	4	Bernard	3	Yes	Cultured	High	Soft	2 Years	Kiln	No
30	5	Dijon	3	Yes	Wild	Low	Hard	2 Years	Kiln	No
31	1	Dijon	4	No	Cultured	Low	Hard	2 Years	Air	No
32	2	Bernard	2	Yes	Wild	Low	Soft	New	Kiln	Yes
33	3	Bernard	3	No	Cultured	Low	Soft	2 Years	Kiln	Yes
34	4	Dijon	2	No	Cultured	High	Hard	2 Years	Kiln	Yes
35	5	Dijon	4	Yes	Cultured	Low	Soft	New	Air	Yes
36	1	Bernard	1	Yes	Cultured	High	Soft	New	Air	No
37	2	Dijon	3	No	Wild	Low	Soft	2 Years	Air	No
38	3	Dijon	3	Yes	Cultured	Low	Hard	New	Air	Yes
39	4	Dijon	4	No	Wild	Low	Soft	New	Air	No
40	5	Bernard	4	No	Wild	High	Hard	2 Years	Air	Yes

설계 평가

"설계 평가" 개요에서는 설계를 평가하는 다양한 방법을 제공합니다.

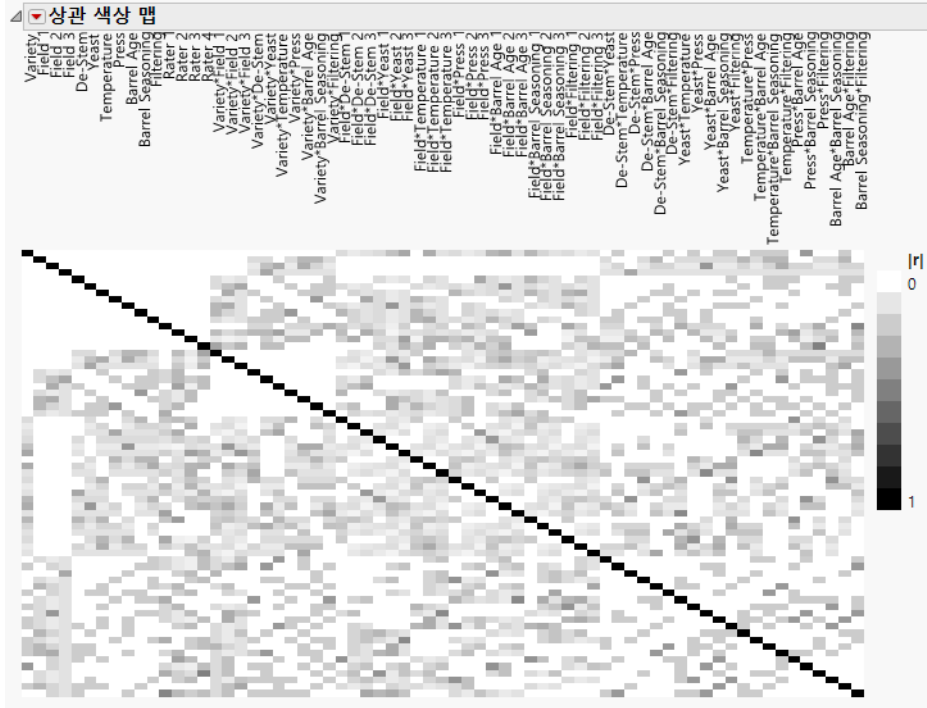
참고: "설계 평가" 개요에 대한 자세한 내용은 "[설계 평가](#)" 장 (407 페이지) 에서 확인하십시오.

이 예에서는 "설계 평가" 개요를 열고 "상관 색상 맵", "별칭 행렬" 및 "설계 진단"을 검토합니다.

상관 색상 맵

"상관 색상 맵"에는 "모형" 개요 또는 "별칭 항" 개요에 나타나는 두 효과 간의 절대 상관 값이 표시됩니다.

그림 4.6 상관 색상 맵



주효과는 맵의 왼쪽 위에 15 개의 항목으로 표시됩니다. 주효과와 다른 주효과의 상관에 해당하는 흰색은 상관계수 0 을 나타냅니다. 이는 모든 주효과가 직교되고 독립적으로 추정할 수 있음을 의미합니다.

그림 4.6 에서 검은색은 주대각 위에만 있습니다. 이 색은 절대 상관 1 을 나타내며 각 항목이 자신과 완벽하게 상관된다는 것을 반영합니다. 따라서 주효과는 모든 이원 교호작용과 완전히 교락되지 않습니다. 실제로 주효과와 이원 교호작용의 절대 상관 값이 매우 낮습니다. 이는 주효과의 추정값이 활성 이원 교호작용이 있을 때만 약간 편향될 수 있음을 의미합니다.

팁: 효과 사이의 절대 상관을 보려면 색상 맵의 셀 위에 마우스 포인터를 놓습니다. 범례 아래를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하여 상관을 데이터 테이블에 저장하십시오.

별칭 행렬

별칭 행렬의 왼쪽 열에 모형 효과가 나열됩니다. 주어진 모형 효과에 대해 열 항목은 열 효과 (활성화된 경우) 로 인해 모형 효과의 추정값이 편향되는 정도를 나타냅니다.

그림 4.7 별칭 행렬 (일부분)

별칭 행렬									
효과	Variety*Field 1	Variety*Field 2	Variety*Field 3	Variety*De-Stem	Variety*Yeast	Variety*Temperature	Variety*Press	Variety*Barrel Age	
절편	0	0	0	0	0	0	0	0	
Variety	0	0	0	0	0	0	0	0	
Field 1	0	0	0	0.141	0.141	0	-0.14	0.283	
Field 2	0	0	0	0.082	-0.24	-0.33	0.082	0.327	
Field 3	0	0	0	-0.12	0.346	0.115	-0.12	-0.12	
De-Stem	0.141	0.082	-0.12	0	0	-0.2	0	0	
Yeast	0.141	-0.24	0.346	0	0	0	-0.2	0	
Temperature	0	-0.33	0.115	-0.2	0	0	0	-0.2	
Press	-0.14	0.082	-0.12	0	-0.2	0	0	0	
Barrel Age	0.283	0.327	-0.12	0	0	-0.2	0	0	
Barrel Seasoning	0.283	0.163	0.115	0	-0.2	0.2	0.4	0	
Filtering	-0.14	-0.08	0.115	-0.2	0.2	0.2	0	0.2	
Rater 1	0	0	0	-0.16	-0.16	0	-0.16	0.158	
Rater 2	-0.26	0.149	-0.21	-0.27	0.274	-0.37	-0.09	-0.09	
Rater 3	0.091	-0.05	0.075	0	-0.19	-0.06	-0.26	-0.26	
Rater 4	0.354	-0.2	0.289	0	0.25	-0.25	0	0	

모형 효과 Barrel Seasoning을 예로 들어보겠습니다. Variety*Press가 활성화된 경우 Barrel Seasoning 효과의 추정 기대값이 해당 효과의 비편향 추정값과 다릅니다 . 이 차이는 Variety*Press 효과의 0.4 배와 같습니다 . 따라서 유의한 Barrel Seasoning 추정 효과로 보이는 것이 실제로는 유의한 Variety*Press 효과일 수 있습니다 .

설계 진단

" 설계 진단 " 개요에서는 설계 효율도 정보를 제공합니다 . 효율도 측도는 설계를 이론상 최적 설계 (존재하지 않을 수 있음) 와 비교합니다 . 효율도 값은 이 최적 설계의 효율도에 대한 설계 효율도의 비율 (%)입니다 . 효율도 측도에 대한 자세한 내용은 " 설계 평가 " 장의 " 추정 효율도 "(431 페이지) 에서 확인하십시오 .

그림 4.8 설계 진단 개요

설계 진단	
D 최적 설계	
D 효율도	100
G 효율도	100
A 효율도	100
예측 평균 분산	0.4
설계 생성 시간(초)	0.05

D, G 및 A 효율도 값이 모두 100% 입니다 . 생성된 설계는 주효과에 대해 직교이므로 이 세 가지 효율도 기준에 따라 주효과 모형에 최적 설계입니다 .

" 설계 진단 " 개요의 첫 번째 줄은 설계가 D 효율도 기준을 최적화하도록 구성되었음을 나타냅니다 . 자세한 내용은 " 사용자 설계 옵션 "(97 페이지) 에서 " 최적 기준 " 설명을 참조하십시오 . 이 경우에는 설계의 D 효율도가 100% 입니다 .

출력 옵션

"출력 옵션" 패널을 사용하여 데이터 테이블에서 런 순서를 지정합니다. 기본 선택 항목인 **블록 내 랜덤화**가 이 예에 적합합니다. **테이블 생성**을 클릭하십시오.

그림 4.9의 테이블과 유사한 사용자 설계 테이블이 생성되어 열립니다.

참고: 테이블을 생성하는 알고리즘이 랜덤 시작 설계를 사용하므로 테이블이 그림과 다르게 보일 수 있습니다. 그림 4.9에 표시된 것과 정확히 같은 테이블을 얻으려면 **"결과 복제 (선택 사항)"**(67 페이지)의 단계를 따르십시오.

그림 4.9 사용자 설계 테이블

▼ 사용자 설계													
설계 기준	사용자 설계 D 최적												
▶ 모형		1	1	Dijon	4	No	Cultured	Low	Hard	2 Years	Air	No	
▶ 설계 평가		2	1	Bernard	1	Yes	Cultured	High	Soft	New	Air	No	
▶ 일반화 회귀		3	1	Bernard	3	Yes	Wild	High	Hard	New	Air	No	
▶ DOE 대화상자		4	1	Dijon	1	Yes	Cultured	Low	Hard	2 Years	Kiln	Yes	
		5	1	Dijon	2	Yes	Cultured	Low	Soft	2 Years	Air	Yes	
		6	1	Dijon	3	No	Wild	High	Soft	New	Kiln	Yes	
▼ 열(11/0)		7	1	Bernard	2	No	Wild	Low	Soft	New	Kiln	Yes	
■ Rater *		8	1	Bernard	4	No	Wild	High	Hard	2 Years	Kiln	No	
■ Variety *		9	2	Bernard	4	Yes	Cultured	Low	Hard	New	Kiln	No	
■ Field *		10	2	Bernard	2	Yes	Wild	Low	Soft	New	Kiln	Yes	
■ De-Stem *		11	2	Bernard	2	No	Cultured	Low	Hard	2 Years	Air	No	
■ Yeast *		12	2	Bernard	4	Yes	Cultured	High	Soft	2 Years	Kiln	Yes	
■ Temperature *		13	2	Dijon	3	No	Wild	Low	Soft	2 Years	Air	No	
■ Press *		14	2	Dijon	3	No	Wild	High	Hard	New	Kiln	Yes	
■ Barrel Age *		15	2	Dijon	1	Yes	Wild	High	Soft	2 Years	Air	Yes	
■ Barrel Seasoning *		16	2	Dijon	1	No	Cultured	High	Hard	New	Air	No	
■ Filtering *		17	3	Bernard	4	Yes	Wild	Low	Soft	2 Years	Kiln	No	
■ Rating *		18	3	Dijon	3	Yes	Cultured	Low	Hard	New	Air	Yes	

다음 사항을 알 수 있습니다.

- 설계 생성 중에 테이블 패널에 "모형", "설계 평가" 및 "DOE 대화상자" 스크립트가 추가되었습니다. "모형" 스크립트는 "사용자 설계" 대화상자에서 "필수"로 지정한 효과가 포함된 "모형 적합" 창을 엽니다. "DOE 대화상자" 스크립트는 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 창을 다시 생성합니다.
- "열" 패널에서 요인과 반응의 오른쪽에 있는 별표는 데이터 테이블의 열에 저장된 열 특성을 나타냅니다. 이러한 열 특성은 데이터 분석에 사용됩니다. 열 특성에 대한 자세한 내용은 **"요인"**(81 페이지) 및 **"요인 열 특성"**(86 페이지)에서 확인하십시오.

데이터 분석

이제 실험을 실행하고, **Rating** 데이터를 수집한 후, 결과를 "사용자 설계" 테이블의 **Rating** 열에 삽입할 수 있습니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Wine Data.jmp를 엽니다.

Wine Data.jmp 테이블은 기록한 실험 결과를 포함한다는 점만 제외하면 그림 4.9에 표시된 사용자 설계 테이블과 정확히 동일합니다.

2. 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다 .

그림 4.10 와인 실험의 모형 적합 대화상자

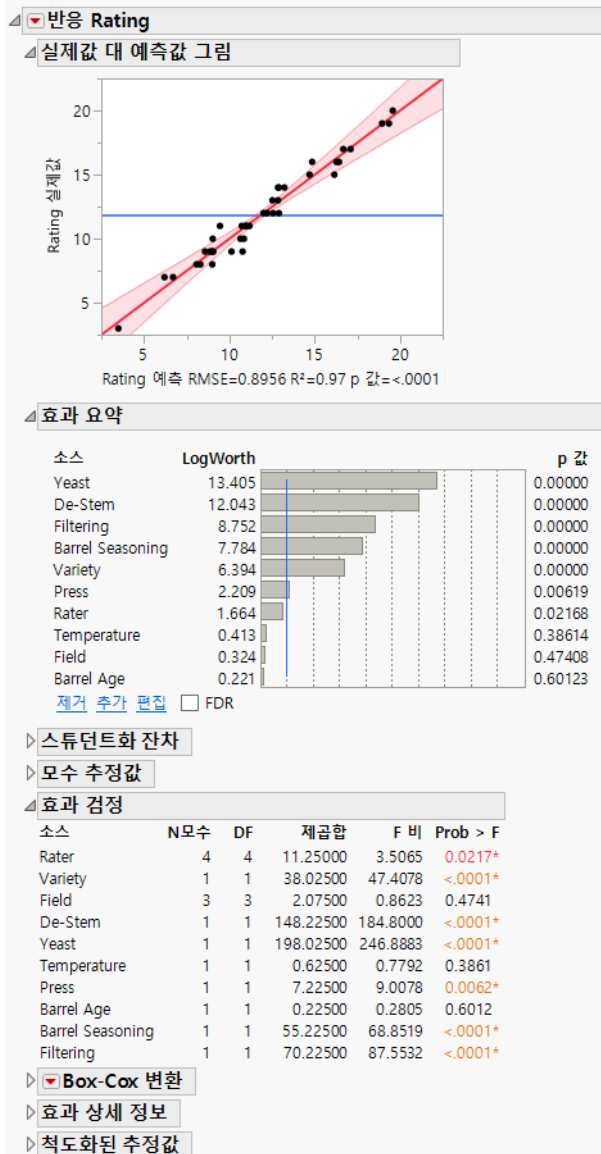
블록 요인 **Rater** 가 랜덤 블록 효과 대신 고정 효과로 추가되어 있습니다 . 이는 5 명의 평가자가 명확하게 선택되었고 큰 모집단의 랜덤 표본이 아니므로 적합합니다 .

3. **실행**을 클릭합니다 .

전체 모형 결과 해석

결과는 아래와 같습니다 .

그림 4.11 모형 적합 결과 (일부분)



다음 사항을 알 수 있습니다.

- "실제값 대 예측값 그림"에 적합 결여의 뚜렷한 증거가 없습니다.
- "실제값 대 예측값" 그림과 그 아래의 p 값에 따르면 모형이 유의합니다.
- "효과 검정" 보고서는 7개 모형 항이 0.05 수준에서 유의함을 나타냅니다. Field, Temperature 및 Barrel Age는 유의하지 않습니다.

- "효과 요약" 보고서에는 이러한 효과가 유의성이 큰 것부터 순서대로 나열됩니다. LogWorth 값이 클수록 p 값이 작고 유의성이 큼니다.

모형 축소

비활성으로 식별된 효과를 제거하여 모형을 축소합니다.

1. "효과 요약" 보고서에서 Ctrl 키를 누른 채로 Temperature, Field 및 Barrel Age 를 선택합니다.
2. **제거**를 클릭합니다.

보고서가 업데이트되어 이 세 효과가 제거된 모형 적합이 표시됩니다.

축소 모형 결과 해석

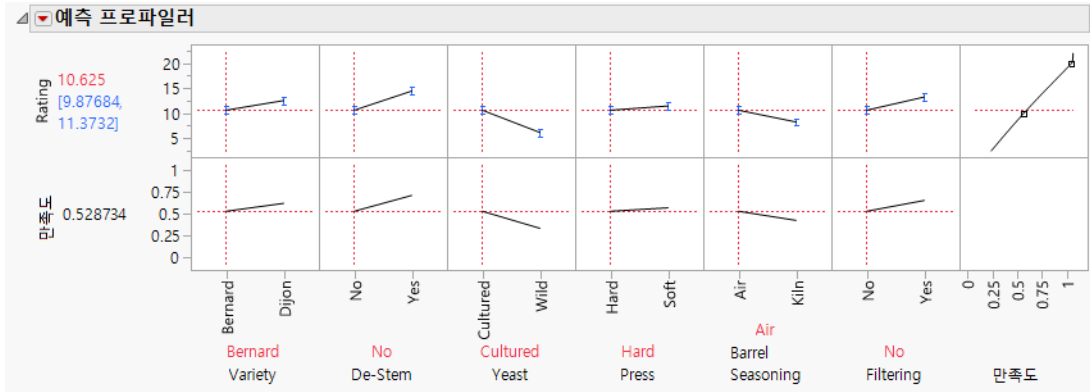
축소 모형의 "실제값 대 예측값 그림"은 적합 결여 문제가 없음을 보여 줍니다. "효과 요약" 및 "효과 검정" 보고서는 나머지 7 개 항이 0.05 수준에서 유의함을 보여 줍니다.

그림 4.12에서는 예측 프로파일러를 보여 줍니다. 반응 목표를 "최대화"로 지정하고 하한과 상한을 각각 0 과 20 으로 설정했습니다. 이러한 제한을 설정하여 "반응 한계" 열 특성이 "사용자 설계" 테이블의 Rating 열에 저장되었습니다. 예측 프로파일러는 반응 한계 정보를 사용하여 그림 4.12의 위쪽 행에서 맨 오른쪽 그림에 나타나는 만족도 함수를 구성합니다. 아래쪽 행은 만족도 트레이스를 표시합니다.

위쪽 행의 처음 6 개 그림은 예측 모형의 트레이스를 표시합니다. 각 요인에 대해 그림의 선은 다른 모든 요인이 빨간색 수직 파선에 의해 정의된 값으로 설정될 때 Rating 이 어떻게 변하는지 보여 줍니다. 기본적으로 프로파일러는 낮은 값으로 설정된 범주형 요인과 함께 나타냅니다. 요인의 설정을 변경하면 와인에 대한 예측 Rating 이 어떻게 변하는지 확인할 수 있습니다. 평균 예측 Rating 에 대해 신뢰 구간이 제공됩니다.

프로파일러에 표시된 요인 중에 Rater 가 포함되어 있지 않습니다. Rater 는 블록 변수이기 때문입니다. 변동을 설명하기 위해 Rater 를 포함했지만 Rater 는 공정 요인 설정의 최적화에 있어서 직접적 관심 요인이 아닙니다. 지정된 설정을 사용한 와인의 예측 Rating 은 모든 평가자가 해당 와인에 대해 평가한 예측 등급의 평균입니다.

그림 4.12 축소 모형의 프로파일러



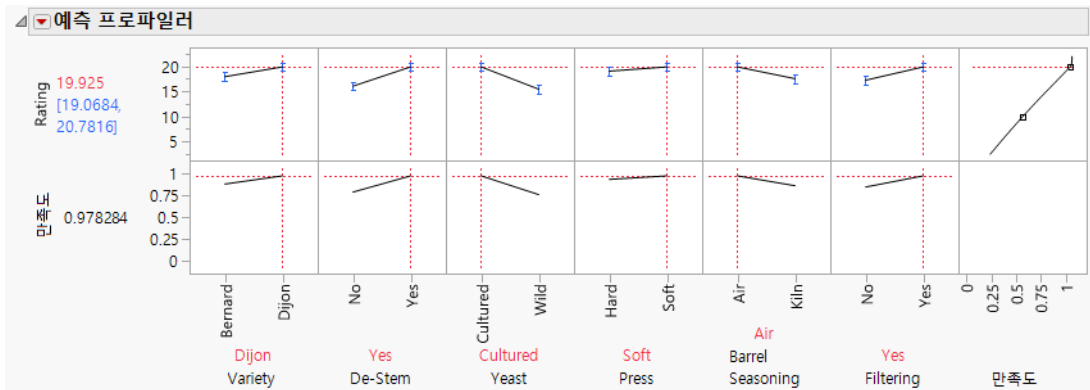
요인 설정 최적화

평가자 전체에서 **Rating** 을 최대화하는 설정을 식별하려고 합니다 .

1. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다 .

"예측 프로파일러"의 빨간색 수직 파선이 업데이트되어 각 요인에 대한 최적 설정이 표시됩니다 . 최적 설정의 예측 등급 결과는 19.925 입니다 . 일반적으로 동일한 최적값을 얻는 요인 설정 집합이 여러 개 있을 수 있습니다 .

그림 4.13 요인 설정이 최적화된 예측 프로파일러



2. 모든 런의 예측 등급을 보려면 예측 계산식을 저장합니다 . "반응 Rating"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **열 저장 > 예측 계산식**을 선택합니다 .

예측 계산식 **Rating** 열이 데이터 테이블에 추가됩니다 . 전체 런 중 하나 (33 행) 에 Rater 5 가 최대 등급 20 을 지정했습니다 . Rater 5 가 평가하는 이 런의 예측 등급은 19.550 입니다 . 그러나 33 행 실험은 최적 설정으로 실행되었습니다 . "예측 프로파일러"에서 이러한 설정에

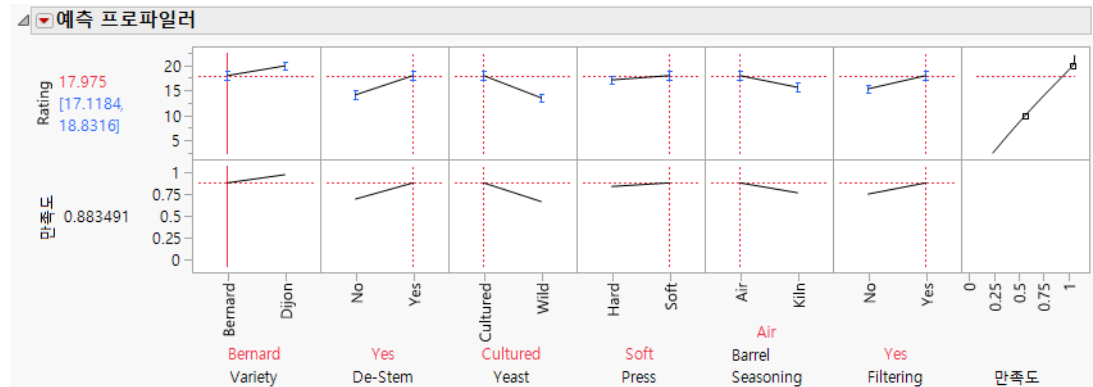
지정된 예측값 19.925 는 5 명의 모든 평가자가 해당 런에 대해 평가한 예측 등급의 평균을 구하여 계산됩니다.

요인 수준 잠금

만족도를 최대화한 결과 Dijon 품종의 포도에서 최적 등급을 얻는다는 사실을 알게 되었습니다 (그림 4.13). 관리자는 Bernard 포도를 재배하는 밭에 어린 Dijon 포도나무를 새로 심는 것은 비용이 많이 발생할 수 있다는 점을 지적합니다. 따라서 Bernard 포도에 대한 최적의 공정 설정과 예측 등급을 찾아야 합니다.

1. " 예측 프로파일러 " 의 Variety 그림에서 빨간색 수직 파선을 Bernard 로 드래그합니다 .
2. Ctrl 키를 누르고 Variety 그림 중 하나를 클릭합니다 .
" 요인 설정 " 창이 나타납니다 .
3. **요인 설정 잠금**을 선택하고 **확인**을 클릭합니다 .
4. " 예측 프로파일러 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다 .

그림 4.14 Bernard 품종에 대한 최적 설정을 사용한 예측 프로파일러



모형에 교호작용 항이 없으므로 최적 설정이 변경되지 않습니다 . 이 설정에서 예측 등급은 17.975 입니다 .

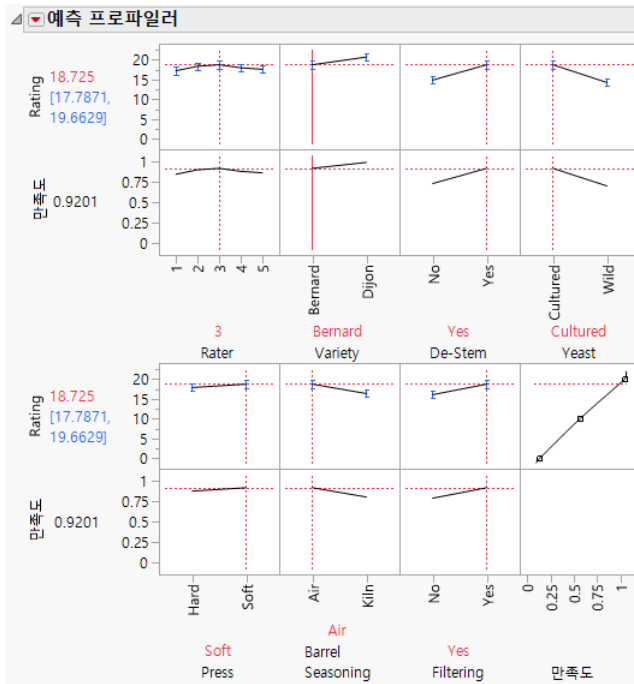
Rater 를 포함한 프로파일러

Rater 수준에 대한 프로파일러 트레이스를 보려면 다음 단계를 수행하십시오 .

1. " 예측 프로파일러 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 격자 재설정**을 선택합니다 .
Rater 를 포함하여 모든 요인에 대한 열이 포함된 " 요인 설정 " 창이 나타납니다 . **Rater** 아래의 **표시** 옆에 있는 상자는 선택되어 있지 않습니다 . 이는 **Rater**가 예측 프로파일러에 표시되지 않음을 나타냅니다 .
2. **Rater** 아래에서 **표시** 행의 상자를 선택합니다 .

3. Rater 아래에서 **요인 설정 잠금** 행의 상자를 선택 취소합니다.
4. **확인**을 클릭합니다.
프로파일러가 업데이트되어 Rater 그림이 표시됩니다.
5. Rater 위의 그림 중 하나를 클릭합니다.

그림 4.15 Rater 를 표시하는 축소 모형의 프로파일러



빨간색 수직 파선이 나타납니다. 이 선을 드래그하여 각 평가자의 트레이스를 확인할 수 있습니다. Variety 가 Bernard 에서는 계속 잠금 상태입니다. Variety 잠금을 해제하려면 Ctrl 키를 누르고 Variety 그림 중 하나를 클릭합니다. "요인 설정" 창이 나타나면 **요인 설정 잠금**을 선택 취소합니다.

요약

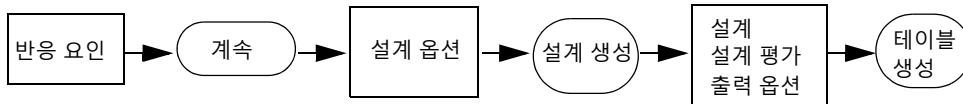
와인 시음 실험에서 런을 40 개만 사용하여 9 개 요인 중 Pinot Noir 포도 등급에 영향을 미치는 6 개의 요인을 식별했습니다. 해당 요인에 대한 최적 설정에서 최대 20 점 중 19.925 의 예측 등급을 얻을 수 있음을 확인했습니다. 또한 두 품종의 포도에 모두 맞는 최적 설정도 식별했습니다.

이 섹션에서는 "사용자 설계" 창의 개요를 사용하여 설계를 구성했습니다. 다음 섹션에서는 각 개요 및 설계 단계에 대해 자세히 설명합니다.

사용자 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "사용자 설계" 창이 업데이트됩니다. 개요는 창을 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 4.16 의 흐름을 따릅니다.

그림 4.16 사용자 설계 흐름



이 섹션에서는 "사용자 설계" 창의 개요에 대해 설명합니다.

반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

팁: "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

그림 4.17 반응 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y 선택적 항목	최대화	.	.	1

반응 추가 "최대화", "목표값 일치", "최소화" 또는 "없음" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

제거 선택한 반응을 제거합니다.

반응 수 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

반응 이름 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

목표, 하한, 상한 "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "[반응 한계](#)"(684 페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.
- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

참고: 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 ([열 > 열 정보](#)) 원하는 목표값을 입력하십시오.

중요도 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "[반응 한계](#)"(684 페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

요인

"요인" 개요에서 요인을 추가합니다.

팁 : "요인" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이렇게 하면 요인 이름, 역할, 변경 및 값 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다.

그림 4.18 요인 개요

요인 추가 요인 유형을 선택합니다. 자세한 내용은 "**요인 유형**"(82 페이지)에서 확인하십시오.

제거 선택한 요인을 제거합니다.

참고 : "계속" 또는 "뒤로" 버튼을 클릭한 후 모든 요인을 제거하려고 하면 연속형 요인 하나가 남습니다. 새 요인을 추가한 후 이 요인을 삭제할 수 있습니다.

N 개 요인 추가 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭한 후 요인 유형을 선택합니다. 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

요인 개요

"요인" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

이름 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

역할 요인의 설계 역할을 지정합니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다.

변경 요인 수준의 변경 정도를 "쉬움", "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 나타냅니다. 기본 값 "쉬움"을 클릭하여 변경할 수 있습니다. 요인 변경을 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정하면 설계에서 랜덤화할 때 이 제한이 반영됩니다. "요인" 목록에 "어려움"으로 지정된 요인이 없으면 요인을 "매우 어려움"으로 지정할 수 없습니다. "요인 변경" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 자세한 내용은 "**변경 및 랜덤 블록**"(84 페이지)에서 확인하십시오.

값 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

요인 개요 편집

"요인" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 범주형 요인은 요인 이름 왼쪽에 아래쪽 화살표가 있습니다. 이 화살표를 클릭하여 수준을 추가합니다.
- 요인 수준을 제거하려면 값을 클릭하고 **삭제**를 클릭한 후 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다.
- "변경" 아래의 항목을 수정하려면 **변경** 열의 값을 클릭하고 적절한 항목을 선택합니다.
- 값을 편집하려면 **값** 열의 값을 클릭합니다.

요인 유형

요인 유형을 선택하려면 "사용자 설계"에서 **요인 추가**를 클릭합니다.

참고: 각 요인의 역할을 포함하는 "설계 역할" 열 특성이 생성된 설계 테이블의 해당 요인 열에 추가됩니다. "설계 역할" 열 특성은 요인이 올바르게 모델링되도록 합니다.

연속형 숫자 데이터 유형만 가능합니다. 연속형 요인은 개념적으로 공정 및 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다.

이산 수치형 숫자 데이터 유형만 가능합니다. 이산 수치형 요인은 이산형 숫자 값만 가질 수 있습니다. 이러한 값에는 암시적 순서가 있습니다.

수준 수가 k 개 ($k > 2$) 인 이산 수치형 요인의 기본값은 정수 $1, 2, \dots, k$ 입니다. $k = 2$ 수준이 있는 이산 수치형 요인의 기본값은 -1 과 1 입니다. 기본값을 실험에 사용할 설정으로 바꿉니다.

참고: 이산 수치형 요인의 일부 수준만 설계에 나타납니다. 나타나는 수준은 "모형" 개요에서 사용자가 지정한 내용에 따라 결정됩니다. 설계에 모든 수준을 나타내야 하는 경우 선별 설계 플랫폼을 사용하는 것이 좋습니다.

가정된 모형에서 k 개의 수준이 있는 이산 수치형 요인에 대한 효과는 해당 효과에 다항식 항을 포함합니다 (최대 $k-1$ 차). k 가 6 보다 큰 경우 최대 5 제곱 수준이 포함됩니다. 다항식 효과 (2 제곱 이상) 의 추정 가능성은 If Possible 로 설정됩니다. 이렇게 하면 알고리즘이 런 크기에 따라 배수 수준을 사용할 수 있습니다. 다항식 항이 포함되지 않으면 주효과만 추정하는 설계가 생성됩니다. 가정된 모형에서 이산 수치형 요인을 처리하는 방법에 대한 자세한 내용은 "모형" (90 페이지) 에서 확인하십시오.

"모형 적합"에서는 이산 수치형 요인을 연속형 예측 변수로 처리합니다. 설계 테이블에 저장된 "모형" 스크립트는 2 보다 큰 차수의 다항식 항을 포함하지 않습니다.

범주형 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 범주형입니다. 수준의 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다. 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 "값 순서" 열 특성에 저장됩니다.

블록화 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 블록 요인은 모형을 주효과로만 입력할 수 있는 범주형 요인의 특수 유형입니다. 블록 요인을 정의할 때 블록당 런 수를 지정합니다. "블록당 런 수" 열 특성은 설계 테이블에 저장됩니다. 기본 런 크기는 항상 블록이 2 개 이상 있다고 가정합니다. 블록당 런 수의 정수 배수가 아닌 런 크기를 지정하면 JMP 에서 가능한 최대 범위로 설계 균형을 맞추려고 합니다. 설계 균형을 맞출 때 JMP 는 블록당 런 수가 2 회 이상이 되도록 합니다.

공변량 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 공변량 요인의 값은 실험 단위에 대한 측정값으로 실험 전에 공지됩니다. 공변량 값은 최적 기준과 관련하여 결과 설계의 최적성을 보장하기 위해 선택됩니다. 자세한 내용은 "[변경 및 랜덤 블록](#)"(84 페이지) 및 "[변경하기 힘든 수준의 공변량](#)"(115 페이지)에서 확인하십시오.

JMP 는 사용 가능한 실험 단위에 대해 측정된 공변량을 포함하는 데이터 테이블에서 공변량 요인과 값을 가져옵니다. 이 데이터 테이블을 현재 데이터 테이블로 지정합니다. "공변량"을 선택하면 현재 데이터 테이블의 열 목록이 열리고 이 목록에서 공변량이 포함된 열을 선택합니다. 설계의 런 수가 공변량 테이블의 행 수보다 많으면 안 됩니다. 설계의 런 수가 공변량 행 수보다 적으면 설계 테이블에 공변량 행 인덱스 열이 포함됩니다. 이 열은 공변량 테이블에서 각 실험 런에 해당하는 행을 나타냅니다.

경우에 따라 더 큰 후보 설정 집합에서 소수의 설계점 집합을 선택할 수도 있습니다. 예를 들어 하나의 큰 단위에 대해 측정 열(요인)이 여러 개 있을 수 있습니다. 각 단위에 대한 측정값을 후보 런으로 처리하려고 합니다. 이러한 후보 런에서 반응을 측정하는 데 사용할 작지만 최적의 모음을 선택할 수 있습니다. 이 경우 모든 후보 런이 포함된 데이터 테이블을 활성 테이블로 지정하고 "요인 추가" > "공변량"을 선택한 다음, 모든 측정 열을 공변량으로 입력합니다. 그리고 원하는 런 크기를 지정합니다. 사용자 설계 플랫폼에서 최적의 설계 설정 모음을 식별합니다.

참고: 공변량 데이터 테이블의 행 수를 초과하는 "런 수" 또는 "주구 수"를 지정할 수 없습니다.

혼합 혼합 내 성분을 나타내는 연속형 요인입니다. 혼합 요인 값의 합은 상수여야 합니다. 기본적으로 모든 혼합 요인 값의 합은 1 입니다. 혼합 성분의 합을 다른 양수 값으로 설정하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **고급 옵션 > 혼합물 합**을 선택합니다. "혼합" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다.

상수 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 상수 요인은 실험 중에 값이 고정되는 요인입니다. 상수 요인은 "모형" 개요 또는 데이터 테이블에 저장된 "모형" 스크립트에 포함되지 않습니다.

제어되지 않음 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 제어되지 않은 요인은 생성 중에 값을 제어할 수 없지만 모형에 포함하려는 요인입니다. 각 실험 런에 대해 요인의 값을 기록할 수 있다고 가정합니다.

연속형 모델링 유형이 포함된 빈 열이 설계 테이블에 생성됩니다. 필요한 경우 "열 정보" 창에서 열의 "데이터 유형"과 "모델링 유형"을 변경할 수 있습니다. 이 열에 데이터를 입력합니다. 제어되지 않은 요인은 "모형" 개요 및 데이터 테이블에 저장된 "모형" 스크립트에 포함됩니다.

변경 및 랜덤 블록

런 간 요인 변경의 상대적 난이도를 지정하는 기능은 산업 실험에 유용합니다. 변경하기 힘든 요인을 일부 설정에서 고정시키고 런을 여러 번 수행하면 편리합니다. "변경" 값을 "어려움"으로 설정하면 분할구 설계가 생성됩니다. "변경" 값을 "매우 어려움"으로 설정하면 분할-분할구 설계 또는 이원 분할구 설계가 생성됩니다.

연속형, 이산 수치형, 범주형 및 혼합 요인의 "변경"을 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 설정할 수 있습니다. 요인을 "매우 어려움"으로 설정하려면 목록에 "어려움"으로 설정된 다른 요인이 포함되어 있어야 합니다.

공변량 요인의 "변경"을 "어려움"으로 설정할 수 있습니다. 이 경우 다른 모든 공변량도 "어려움"으로 설정되고 나머지 요인은 "쉬움"으로 설정됩니다. 이 알고리즘을 사용하려면 행 교환과 좌표 교환의 조합이 필요합니다. 따라서 적당한 크기의 설계도 생성하는 데 시간이 걸릴 수 있습니다.

변경하기 힘든 요인 또는 매우 변경하기 힘든 요인이 포함된 설계의 경우, 사용자 설계는 지정된 최적 기준을 고려하여 최적의 설계를 찾습니다. 자세한 내용은 "[최적 기준](#)"(116 페이지)에서 확인하십시오. 분할구 설계를 생성하는 데 사용되는 방법론에 대한 자세한 내용은 Jones and Goos(2007)에서 확인하십시오. 변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계에 대한 자세한 내용은 Jones and Goos(2015)에서 확인하십시오.

그림 4.19에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Cheese Factors.jmp 샘플 데이터 테이블의 요인을 사용한 분할-분할구 시나리오를 보여 줍니다.

그림 4.19 분할-분할구 설계를 위한 요인 및 설계 생성 개요

▼ 사용자 설계

▶ 반응

▶ 요인

이름	요인	변경	값
storage 1	매우 어렵	-1	1
storage 2	매우 어렵	L1	L2
curds 1	어려움	-1	1
curds 2	어려움	-1	1
curds 3	어려움	L1	L2
curds 4	어려움	-1	1
curds 5	어려움	L1	L2 L3 L4
cheese 1	쉬움	-1	1
cheese 2	쉬움	-1	1

▶ 요인 제약 조건 정의

▶ 모형

▶ 별칭 항

▶ 설계 생성

☐ 변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다.

주구 수

하위구 수

런 수:

☐ 최소값 14

☐ 기본값 30

☒ 사용자 지정

설계 생성

하나 이상의 요인에 대해 "변경"을 "어려움"으로 할당하지만 "변경"이 "매우 어려움"으로 할당된 요인이 없는 경우 주구라는 범주형 요인이 설계에 추가됩니다. 이 경우 다음과 같은 분할 구 설계가 생성됩니다.

- 주구의 각 수준은 변경하기 힘든 요인의 상수 설정 블록에 해당합니다.
- 설계 테이블의 "모형" 스크립트는 주구 요인에 "임의 효과" 속성을 적용합니다.
- "랜덤 블록" 값이 지정된 "설계 역할" 열 특성이 주구 요인에 할당됩니다.

"변경"을 "어려움"과 "매우 어려움" 둘 다로 지정하면 하위구와 주구라는 범주형 요인이 설계에 추가됩니다. 이 경우 다음과 같은 분할-분할구 설계가 생성됩니다.

- 하위구의 각 수준은 변경하기 힘든 요인의 상수 설정 블록에 해당합니다.
- 주구의 각 수준은 매우 변경하기 힘든 요인의 상수 설정 블록에 해당합니다.
- 설계 테이블의 "모형" 스크립트는 주구 및 하위구 효과에 "임의 효과" 속성을 적용합니다.
- 변경하기 힘든 요인의 수준은 기본적으로 매우 변경하기 힘든 요인의 수준 내에 내포되어 있다고 가정합니다.
- "랜덤 블록" 값이 지정된 "설계 역할" 열 특성이 설계 테이블의 주구 요인과 하위구 요인 둘 다에 할당됩니다.

이원 분할구 설계를 구성하려면 "설계 생성" 아래의 **변경하기 힘든 요인**은 매우 **변경하기 힘든 요인**과 **독립적으로 변화할 수 있습니다**. 옵션을 선택합니다. 이 옵션은 변경하기 힘든 요인의 수준

을 매우 변경하기 힘든 요인의 수준과 교차시킵니다. 자세한 내용은 "[이원 분할구 설계](#)"(112 페이지)에서 확인하십시오.

"주구 수" 및 "하위구 수" 텍스트 상자를 사용하여 주구 또는 하위구 수의 값을 지정합니다. 이 텍스트 상자는 제안된 주구 및 하위구 수로 초기화됩니다. 이러한 값을 얻는 방법에 대한 자세한 내용은 "[주구 및 하위구 수](#)"(115 페이지)에서 확인하십시오.

랜덤 블록 분할구, 분할-분할구 및 이원 분할구 설계를 설명하는 자세한 내용과 시나리오는 "[랜덤화 제한이 있는 설계](#)"(106 페이지)에서 확인하십시오. 변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계에 대한 자세한 내용은 "[변경하기 힘든 수준의 공변량](#)"(115 페이지)에서 확인하십시오.

요인 열 특성

각 요인에 대한 다양한 열 특성이 데이터 테이블에 저장됩니다. 이러한 열 특성 및 관련 예에 대한 자세한 내용은 [부록 A, "열 특성"](#)에서 확인할 수 있습니다.

설계 역할 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 지정됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. "설계 생성"에서 랜덤 블록을 추가하면 해당 요인에 "랜덤 블록" 값이 할당됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[설계 역할](#)"(691 페이지)에서 확인하십시오.

요인 변경 각 요인에 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. "변경"에 지정하는 값에 따라 "요인 변경" 열 특성의 값이 결정됩니다. "요인 변경" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 사용되는 방식을 반영합니다. "요인 변경" 값은 설계 확대 및 설계 평가 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[요인 변경](#)"(705 페이지)에서 확인하십시오.

코딩 "역할"이 "연속형", "이산 수치형", 연속형 "공변량" 또는 "제어되지 않음"인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한값과 상한값이 각각 -1 과 +1에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[코딩](#)"(693 페이지)에서 확인하십시오.

값 순서 "역할"이 "범주형" 또는 "블록화"인 경우 요인의 "값 순서" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[값 순서](#)"(708 페이지)에서 확인하십시오.

혼합 "역할"이 "혼합"인 경우 요인의 "혼합" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 및 혼합물 합의 한계를 나타냅니다. 또한 혼합 요인에 대한 코딩을 선택할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[혼합](#)"(700 페이지)에서 확인하십시오.

블록당 런 수 블록 요인에 대해 각 블록에서 허용되는 최대 런 수를 나타냅니다. "요인" 개요에 "블록화" 요인이 지정되면 해당 요인에 대해 "블록당 런 수" 열 특성이 저장됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[블록당 런 수](#)"(714 페이지)에서 확인하십시오.

요인 제약 조건 정의

참고 : 덮기 배열 작업을 수행 중인 경우 "[덮기 배열](#)" 장 (543 페이지) 의 내용을 참조하십시오 .

"요인 제약 조건 정의"를 사용하여 설계 공간을 제한할 수 있습니다. 제약 조건을 불러오거나 스크립트의 일부로 포함하지 않은 경우 **없음** 옵션이 선택됩니다. 제약 조건을 지정하려면 다른 옵션 중 하나를 선택합니다 .

선형 제약 조건 지정 요인의 선형 조합에 대한 부등식 제약 조건을 지정합니다 . " 연속형 " 또는 " 혼합 " 역할이 설정된 요인에만 사용할 수 있습니다 . 자세한 내용은 "[선형 제약 조건 지정](#)" 에서 확인하십시오 .

참고 : 선형 제약 조건을 포함하는 설계의 스크립트를 저장하면 해당 스크립트에 선형 제약 조건이 보다 작거나 같음 부등식 ($\leq$) 으로 표현됩니다 .

허용되지 않는 조합 필터 사용 개별 요인의 값 제한을 기반으로 제약 조건 집합을 정의합니다 . AND 제약 조건과 OR 제약 조건을 모두 정의할 수 있습니다 . 자세한 내용은 "[허용되지 않는 조합 필터 사용](#)" 에서 확인하십시오 .

허용되지 않는 조합 스크립트 사용 허용되지 않는 조합 및 기타 제약 조건을 스크립트 편집기 상자에 부울 JSL 표현식으로 정의합니다 . 자세한 내용은 "[허용되지 않는 조합 스크립트 사용](#)" 에서 확인하십시오 .

선형 제약 조건 지정

설계 공간에서 연속형 요인을 독립적으로 변경할 수 없는 경우 선형 부등식 제약 조건을 지정할 수 있습니다 . 선형 부등식은 허용되는 요인 수준 설정을 정의합니다 .

추가를 클릭하여 하나 이상의 선형 부등식 제약 조건을 입력합니다 .

추가 설계의 모든 연속형 요인을 포함하는 선형 표현식 템플릿을 추가합니다 . 요인에 대한 계수 값을 입력한 후 선형 제약 조건을 반영하는 부등식 방향을 선택합니다 . 부등식의 오른쪽 상자에 제약 값을 지정합니다 . 제약 조건을 더 추가하려면 **추가**를 다시 클릭합니다 .

참고 : " 구 반지름 " 을 지정하여 설계 영역을 이미 제한한 경우에는 " 추가 " 옵션이 비활성화됩니다 .

마지막 제약 조건 제거 마지막 제약 조건을 제거합니다 .

제약 조건 검사 제약 조건의 일관성을 확인합니다 . 이 옵션은 중복 제약 조건을 제거하고 실행 가능성 검사를 수행합니다 . 문제가 있으면 JMP 경고가 나타납니다 . 제약 조건이 요인의 한 계와 동등한 경우 " 요인 " 개요의 한계가 업데이트되었음을 알리는 JMP 경고가 나타납니다 .

허용되지 않는 조합 필터 사용

이 옵션은 허용되지 않는 조합을 쉽게 지정하기 위해 데이터 필터를 조정하여 사용합니다 . 자세한 내용은 JMP 사용의 "JMP 보고서 " 장에서 확인하십시오 .

"필터 요인 추가" 목록에서 요인을 선택하고 **추가**를 클릭합니다. 그런 다음 슬라이더를 사용하거나 (연속형 요인의 경우) 수준을 선택하여 (범주형 요인의 경우) 허용되지 않는 조합을 지정합니다.

"필터 요인 추가" 메뉴의 빨간색 삼각형 옵션은 많은 플랫폼 시작 창의 "열 선택" 패널에 있는 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 **JMP 사용**의 "시작하기" 장에서 확인하십시오.

"추가"를 클릭하면 "허용되지 않는 조합" 제어판에 선택한 요인이 표시되고 추가 제어 옵션이 제공됩니다. 요인은 모델링 유형에 따라 다음과 같이 나타납니다.

연속형 요인 연속형 요인의 경우 요인 설정 범위를 따라 양방향 화살표 슬라이더가 나타납니다. 부등식을 사용하여 범위를 설명하는 표현식이 슬라이더 위에 표시됩니다. 슬라이더 화살표를 드래그하거나, 표현식에서 부등식 한계를 클릭하고 원하는 제약조건을 입력하여 허용되지 않는 설정을 지정할 수 있습니다. 슬라이더에서 파란색 강조 표시는 허용되지 않는 값을 나타냅니다.

범주형 요인 범주형 요인의 경우 가능한 수준은 라벨이 지정된 블록으로 표시되거나, 수준 수가 많으면 목록 항목으로 표시됩니다. 허용하지 않을 수준을 선택합니다. 여러 수준을 선택하려면 Ctrl 키를 누른 채로 선택합니다. 해당 블록 또는 목록 항목은 강조 표시되어 허용되지 않는 수준임을 나타냅니다. "허용되지 않는 조합" 패널에 범주형 요인을 추가하면 해당 요인의 수준 수가 요인 이름 뒤의 괄호 안에 표시됩니다.

허용되지 않는 조합 옵션

제어판에는 다음과 같은 컨트롤이 있습니다.

지우기 지정한 허용되지 않는 요인 수준 설정을 모두 지웁니다. 선택한 요인은 지워지지 않습니다.

다시 시작 선택한 모든 요인을 제거하고 초기 요인 목록으로 돌아갑니다.

AND "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 AND 그룹이 됩니다. AND 그룹 내에 지정된 요인 수준 조합은 허용되지 않습니다.

나중에 AND 그룹에 요인을 추가하려면 그룹 개요를 클릭하여 강조 표시된 직사각형을 표시합니다. 그런 다음 "AND"를 선택하고 요인을 추가합니다.

단일 요인을 제거하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **삭제**를 선택합니다.

OR "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 별도의 AND 그룹이 됩니다. OR 로 구분된 AND 그룹의 경우 하나 이상의 AND 그룹에 지정된 조합은 허용되지 않습니다.

요인에 대한 빨간색 삼각형 메뉴 옵션

한 요인이 여러 OR 그룹에 나타날 수 있습니다. 특정 OR 그룹에 요인이 나타나는 경우 이를 해당 요인의 인스턴스라고 합니다.

삭제 "허용되지 않는 조합" 패널에서 선택한 요인 인스턴스를 제거합니다.

선택 해제 요인 인스턴스에 대한 선택을 취소합니다.

선택 반전 요인 인스턴스에 대해 선택된 값을 선택 취소하고 이전에 선택되지 않은 값을 선택합니다.

표시 옵션 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 표시 모양을 변경합니다. 각 수준을 블록, 목록 또는 단일 범주로 표시하거나 각 값 옆에 체크박스를 추가하는 옵션을 사용할 수 있습니다.

찾기 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 요인 이름 아래에 요인 수준에 대한 검색 문자열을 입력할 수 있는 텍스트 상자를 제공합니다. Enter 키를 누르거나 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭하면 검색이 수행됩니다. **찾기**가 선택되면 찾기 텍스트 상자 드롭다운 메뉴에 찾기 옵션이 나타납니다.

허용되지 않는 조합 스크립트 사용

이 옵션을 사용하면 JSL 스크립트를 사용하여 요인 수준 조합을 허용하지 않도록 설정할 수 있습니다. 이 옵션은 연속형 요인 또는 연속형과 범주형이 혼합된 요인과 함께 사용할 수 있습니다.

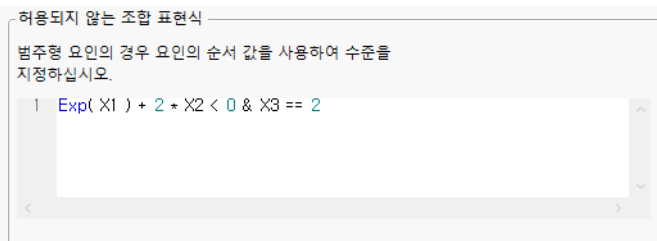
이 옵션은 허용하지 않을 조합을 식별하는 스크립트를 삽입할 수 있는 스크립트 창을 엽니다. 스크립트는 부울 표현식으로 평가되어야 합니다. 표현식이 true 로 평가되면 지정된 조합이 허용되지 않습니다.

범주형 요인에 대한 표현식을 작성할 때는 수준의 순서 값 또는 수준 이름을 사용합니다. "요인" 개요에서 요인 수준이 높음, 중간, 낮음으로 순서대로 지정된 경우 관련 서수 값은 1, 2, 3 입니다. 예를 들어 두 개의 연속형 요인 (X1, X2) 과 세 가지 수준 (L1, L2, L3) 이 순서대로 설정된 범주형 요인 하나가 있다고 가정해 보겠습니다. 다음 표현식이 true 인 경우 수준을 허용하지 않으려고 합니다.

$$e^{X_1 + 2X_2} < 0 \text{ 및 } X_3 = L_2$$

(Exp(X1) + 2*X2 < 0) & (X3 == 2) 표현식을 스크립트 창에 입력합니다.

그림 4.20 스크립트 편집기의 표현식



(그림에서 불필요한 괄호는 파싱을 통해 제거됨) 함수를 부울 표현식의 일부로 입력할 수 있습니다. (Exp(X1) + 2*X2 < 0) & (X3 == "L2") 표현식도 유효합니다.

모형

"모형" 개요에서 가정된 모형, 즉 추정할 모든 효과를 포함하는 모형을 지정합니다. 지정하는 각 효과에 대해 추정 가능성을 지정할 수 있습니다. 추정 가능성 값은 해당 효과를 반드시 추정해야 하는지 여부(필수) 또는 가능한 경우 해당 효과를 추정할지 여부(If Possible)를 나타냅니다.

초기 "모형" 개요에는 모든 요인의 주효과가 포함됩니다. 수준이 3 개 이상인 이산 수치형 요인을 입력한 경우 다항식 항도 초기 모형에 포함됩니다. 2 차 이상 항의 추정 가능성은 If Possible로 설정됩니다. 이러한 항을 추정할 수 있게 하려면 추정 가능성을 필수로 변경합니다.

참고 : 이산 수치형 다항식 항의 추정 가능성이 항상 "필수"로 설정되게 할 수 있습니다. **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE** 를 선택합니다. 그런 다음 "이산 수치형 요인의 맥 설정 필수"를 선택하십시오.

그림 4.21 모형 개요

이름	추정 가능성
절편	필수
X1	필수
X2	필수

설계 테이블을 구성할 때 JMP에서 "모형" 스크립트를 데이터 테이블에 저장합니다. 이산 수치형 요인을 제외하고 "모형" 개요에 표시된 모든 효과가 "모형" 스크립트에 포함됩니다. 이산 수치형 요인의 경우 주효과와 2 차 항만 "모형" 스크립트에 포함됩니다.

"모형" 개요에는 다음과 같은 버튼과 필드가 포함되어 있습니다.

주효과 모형의 모든 요인에 대한 주효과와 이산 수치형 요인에 대한 다항식 항을 추가합니다.

교호작용 교호작용 효과를 추가합니다. "요인" 개요에서 요인을 선택하지 않은 경우 "2 차", "3 차", "4 차" 또는 "5 차"를 선택하여 적절한 모든 교호작용을 해당 차수까지 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하고 "교호작용"을 선택한 후 적절한 차수를 지정하여 특정 요인에 대해 지정된 차수까지 교호작용을 추가합니다. 비혼합 요인과 혼합 요인 간의 교호작용 및 블록 요인과 상수 요인 간의 교호작용은 추가되지 않습니다.

RSM 모든 연속형 요인에 대해 교호작용 및 2 차 항을 최대 2 차까지 추가합니다 (반응 표면 모형 항). 범주형 요인은 RSM 항에 포함되지 않습니다. 모든 혼합 요인과 상호 작용하는 비혼합 요인의 주효과는 제거됩니다.

교차 특정 교호작용 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하고 "모형" 개요에서 효과 이름을 선택합니다. "교차"를 클릭하면 교차된 항이 "모형" 개요에 추가됩니다.

며 다항식 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하지 않으면 모든 연속형 요인에 대해 다항식 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하면 해당 요인에 대해서만 다항식 항을 추가합니다. "2 차", "3 차", "4 차" 또는 "5 차"를 선택하면 해당 차수의 다항식 항이 추가됩니다.

Scheffe 입방 (혼합 요인에 사용 가능) 모든 혼합 요인에 대해 Scheffe 입방 항을 추가합니다. 이 항은 3 차 다항식 항을 포함하는 혼합 모형을 지정하는 데 사용됩니다.

항 제거 선택한 효과를 제거합니다.

이름 효과의 이름입니다.

추정 가능성 효과에 대한 추정 필요성을 지정한 정보입니다.

- "추정 가능성"이 "필수"로 설정된 경우 알고리즘은 해당 효과를 추정할 수 있도록 합니다.
- "추정 가능성"이 "If Possible"로 설정된 경우 알고리즘은 지정된 런 수에 따라 해당 효과를 추정할 수 있도록 시도합니다.

기본적으로 이산 수치형 요인의 다항식 항을 제외한 모든 효과가 "필수"로 지정됩니다. 효과의 추정 가능성 값을 클릭하여 변경할 수 있습니다.

If Possible 효과의 베이지안 D- 최적 및 추정

베이지안 D-최적 설계 방법은 모든 필수 항에 대한 정밀한 추정값을 구하고 If Possible 항에 대한 일괄 감지 기능 및 일부 추정 가능성을 제공합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계의 예" 장의 [반응 표면 실험](#) (143 페이지) 및 [베이지안 D- 최적](#) (117 페이지)에서 확인하십시오.

별칭 항

가정된 모형에 포함되지 않은 효과가 활성화되었을 수 있습니다. "별칭 항" 개요에서는 가정된 모형에 없지만 모형 항의 추정값을 편향시킬 수 있는 잠재적 활성 효과를 추가합니다. 설계를 생성하면 "설계 평가" 아래에 "별칭 행렬" 개요가 나타납니다. 별칭 행렬 항목은 "별칭 항" 개요에서 지정한 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 [별칭 행렬](#) (721 페이지)에서 확인하십시오.

기본적으로 "별칭 항" 개요에는 "모형" 개요에 없는 모든 이원 교호작용 효과가 포함됩니다 (블록 요인을 포함하는 항은 제외). 버튼을 사용하여 항을 추가합니다. 이러한 버튼을 사용하여 "별칭 항" 테이블에 효과를 추가하는 방법에 대한 설명은 [모형](#) (90 페이지)에서 확인하십시오.

참고: 교호작용 항의 경우 선택한 차수의 교호작용만 추가됩니다. 선택한 차수 및 모든 낮은 차수의 교호작용이 모형에 추가되는 "모형" 개요와 다릅니다.

예를 들어 3 개의 연속형 요인이 있는 설계를 지정한다고 가정해 보겠습니다. "모형" 개요에서 지정하는 가정된 모형에는 3 개의 주효과만 포함됩니다. 이 경우 런을 6 회만 수행할 수 있습니다. 주효과의 추정값이 활성 이원 교호작용 및 삼원 교호작용에 의해 어느 정도 편향될 수 있는지 확인하려고 합니다.

" 별칭 항 " 테이블에는 기본적으로 모든 이원 교호작용이 포함됩니다 . **교호작용 > 3 차**를 선택하여 삼원 교호작용을 추가할 수 있습니다 .

그림 4.22 별칭 항 개요

별칭 항

주효과 | **교호작용** | RSM | 교차 | 맥 | 항 제거

이름

X1*X2
X1*X3
X2*X3
X1*X2*X3

" 설계 생성 " 개요에서 6 회 런을 지정하고 **설계 생성**을 클릭하면 " 설계 평가 " 개요가 나타납니다 . " 설계 평가 " 개요와 " 별칭 행렬 " 개요를 차례로 엽니다 .

그림 4.23 별칭 행렬

효과	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1*X2*X3
절편	0	0	0	1
X1	0	0	1	0
X2	0	1	0	0
X3	1	0	0	0

별칭 행렬은 각 주효과가 두 교호작용과 부분적으로 별칭 관계가 있음을 나타냅니다 . 자세한 내용은 " 설계 평가 " 장의 " **별칭 행렬** "(433 페이지) 및 " 기술 상세 정보 " 부록의 " **별칭 행렬** "(721 페이지) 에서 확인하십시오 .

설계 생성

" 설계 생성 " 개요에서는 설계의 크기 및 구조와 관련된 옵션을 선택할 수 있습니다 . 일반적으로 입력 영역은 다음과 같은 두 부분으로 되어 있습니다 .

- 설계 구조 옵션
- 런 수 옵션

그림 4.24 설계 생성 개요

설계 생성

☐ 런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화: 2

중앙점 수: 0

반복 런 수: 0

런 수:

☐ 최소값 3

☐ 기본값 8

☒ 사용자 지정 8

설계 생성

설계 구조 옵션

런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화 (블록 요인이 지정된 경우 사용할 수 없음) 랜덤 블록 설계를 구성하려면 각 블록에 포함할 런 수를 입력합니다. 표본 크기를 지정하면 랜덤 블록이라는 요인이 생성됩니다. 요인 수준은 지정된 런 수를 고려하여 입력한 블록 크기와 일치하는 크기의 블록을 정의합니다. 런 수가 블록 크기의 정수 배수인 경우 블록 크기는 지정된 값과 동일합니다.

주구 수 변경하기 힘든 요인 또는 매우 변경하기 힘든 요인을 지정할 때 나타납니다. 주구 요인은 매우 변경하기 힘든 요인 (분할 - 분할구 설계) 아니면 변경하기 힘든 요인 (분할구 설계)에 해당합니다. JMP에서는 모형의 계수에 대한 정보를 최대화하는 값을 주구 수로 제안합니다. 주구 수의 값을 직접 입력할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "**주구 및 하위구 수**"(115 페이지)에서 확인하십시오.

하위구 수 매우 변경하기 힘든 요인을 지정할 때 나타납니다. 하위구 요인은 분할 - 분할구 설계에서 매우 변경하기 힘든 요인에 해당합니다. JMP에서는 모형의 계수에 대한 정보를 최대화하는 값을 주구 및 하위구 수로 제안합니다. 하위구 수의 값을 직접 입력할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "**주구 및 하위구 수**"(115 페이지)에서 확인하십시오.

변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다. 조각구(이원 분할구 또는 분할 블록이라고도 함) 설계를 생성하려면 이 옵션을 선택합니다. 이 옵션은 변경하기 힘든 요인이 매우 변경하기 힘든 요인의 수준 내에서 랜덤화되는 설계를 생성합니다. 이러한 요인은 매우 변경하기 힘든 요인 내에 내포되어 있지 않습니다.

중앙점 수 설계에 연속형 또는 혼합 유형의 요인이 포함된 경우에만 나타납니다. 설계에 중앙점으로 포함할 추가 런 수를 지정합니다. 중앙점은 각 연속형 요인에 대한 설정이 상한 설정과 하한 설정의 중간에 있는 런입니다. 자세한 내용은 "DOE 로 시작" 장의 "**중앙점, 반복 런 및 검정**"(57 페이지)에서 확인하십시오.

설계에 연속형 요인과 다른 유형의 요인이 모두 포함된 경우 중앙점이 다른 요인의 수준과 관련하여 균형이 맞지 않을 수 있습니다. 사용자 설계는 설계의 D 효율도, I 효율도 또는 별칭 효율도를 최대화하기 위해 중앙점을 선택합니다.

반복 런 수 설계에 추가할 반복 시도 수를 지정합니다. 전체 설계를 반복하는 것이 아니라 반복할 최적 설계점을 선택합니다. 자세한 내용은 "DOE 로 시작" 장의 "**중앙점, 반복 런 및 검정**"(57 페이지)에서 확인하십시오.

런 수 옵션

최소값 설계 생성이 실패하지 않게 하기 위해 필요한 런 수의 하한입니다. 최소값을 선택하면 결과 설계가 포화됩니다. 따라서 오차 자유도가 없습니다.

참고: 런 수를 "최소값"으로 선택하면 검정할 오차 항이 없게 됩니다. 모수 추정값을 검정할 수 없습니다. 이 선택은 추가 런 비용이 너무 높은 경우에만 적합합니다.

기본값 런 수를 제안합니다. 이 값은 런 수가 최소 런 수보다 4 회 이상 많은 균형 설계를 생성하기 위한 발전적 방법을 기반으로 합니다.

사용자 지정 원하는 런 수를 지정합니다. 런 수 텍스트 상자에 해당 값을 입력합니다. 이 옵션을 사용하면 추가 런 비용을 잠재적 정보 획득으로 상쇄할 수 있습니다.

런 수 "변경"이 "쉬움"으로 설정된 공변량 요인을 지정하면 이 옵션만 나타납니다. 표시된 런 수는 데이터 테이블에서 하나 이상의 공변량과 관련된 행 수입니다. 더 적은 수의 런을 지정할 수 있습니다. 이 경우 선택된 공변량 런은 설계 기준을 최적화합니다.

설계 생성

"설계 생성" 개요를 완료한 후 **설계 생성**을 클릭합니다. 사용자 설계에서 설계를 생성하여 "설계" 개요에 표시하고 "설계 평가" 개요에 평가 정보를 제공합니다. "모형" 및 "별칭" 개요의 컨트롤은 비활성화됩니다. "뒤로" 버튼을 사용하여 모형 또는 별칭 항목을 변경할 수 있습니다. 설계 테이블을 생성할 수 있는 "출력 옵션" 패널도 나타납니다.

참고: 여러 설계가 최적 기준을 최적화할 때도 있습니다. 이 경우 **뒤로** 및 **설계 생성** 버튼을 반복해서 클릭하면 설계 알고리즘이 또 다른 설계를 생성할 수 있습니다.

설계

"설계" 개요에서는 지정한 조건에 맞는 최적 설계를 위한 런을 보여 줍니다. 런이 랜덤화되지 않을 수도 있습니다. 설계 테이블을 생성하기 전에 "출력 옵션" 패널에서 "런 순서" 옵션을 선택할 수 있습니다.

설계 평가

"설계 평가" 개요에서는 생성된 설계의 특성을 평가하는 다양한 방법을 제공합니다. "설계 평가" 개요를 열고 다음 옵션을 확인합니다.

검정력 분석 주어진 크기의 효과를 감지할 수 있는지 분석할 수 있습니다.

예측 분산 프로파일 요인 설정 범위에 대한 예측 분산을 보여 줍니다.

설계 공간 비율 그림 모형 예측 분산이 지정된 값보다 얼마나 아래 또는 위에 있는지 보여 줍니다.

예측 분산 표면 두 개의 연속형 요인에 대한 예측 분산의 표면 그림을 보여 줍니다.

추정 효율도 각 모수에 대해 이상적인 직교 설계 (존재하지 않을 수 있음)와 비교하여 신뢰 구간 길이에 대한 증가 비율을 제공합니다. 모수의 상대 표준 오차도 제공합니다.

별칭 행렬 모형에 없지만 활성화 가능성이 있는 효과에 의해 모형 모수가 편향되는 정도를 나타내는 계수를 제공합니다. "별칭 항목" 테이블에서 잠재적 활성 효과를 나타내는 항목을 지정합니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "**별칭 행렬**"(721 페이지)에서 확인하십시오.

상관 색상 맵 강도 척도를 사용하여 그림에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다.

설계 진단 설계를 구성하는 데 사용되는 최적 기준을 나타냅니다. 설계의 효율도 측도도 제공합니다. 자세한 내용은 "**사용자 설계 옵션**"(97 페이지)의 "최적 기준" 및 "**최적 기준**"(116 페이지)에서 확인하십시오.

참고: "변경"이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 설정되거나 "추정 가능성"이 "If Possible"로 설정된 요인이 모형에 포함된 경우 "설계 진단" 개요에 D 효율도, G 효율도 및 A 효율도 통계량이 제공되지 않습니다.

"설계 평가" 개요에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "[설계 평가](#)"(421 페이지)에서 확인하십시오.

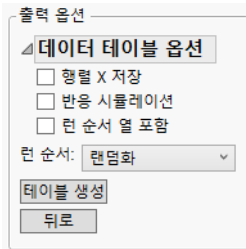
출력 옵션

"출력 옵션" 패널을 사용하여 다음 작업을 수행할 수 있습니다.

- 사용자 설계 데이터 테이블을 표시하는 방법을 지정합니다.
- 설계 테이블을 구성합니다.
- "사용자 설계" 창의 이전 지점으로 돌아갑니다.

대부분의 경우 "출력 옵션" 패널은 그림 4.25 와 같이 나타납니다.

그림 4.25 출력 옵션 패널



"출력 옵션" 패널에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

- "[데이터 테이블 옵션](#)"(95 페이지)
- "[런 순서](#)"(96 페이지)
- "[테이블 생성](#)"(96 페이지)
- "[뒤로](#)"(97 페이지)

데이터 테이블 옵션

데이터 테이블 옵션에는 [행렬 X 저장](#) ("[행렬 X 저장](#)"(102 페이지)), [반응 시뮬레이션](#) ("[반응 시뮬레이션](#)"(100 페이지)) 및 [런 순서 열 포함](#) 옵션이 포함되어 있습니다.

런 순서 열 포함 "설계" 개요에서 설계 순서에 해당하는 열을 설계 데이터 테이블에 추가합니다.

팁: 런 순서가 정렬된 데이터를 저장하는 경우 "런 순서 열 포함"을 사용하십시오. 그러면 설계 개요에서 런 순서가 랜덤화된 열이 제공됩니다.

런 순서

런 순서 옵션은 설계 테이블의 런 순서를 결정합니다. 다음과 같은 옵션을 선택할 수 있습니다.

동일하게 유지 설계 테이블에 표시되는 행 순서가 "설계" 개요의 순서와 동일합니다.

좌에서 우로 정렬 설계 테이블의 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

랜덤화 설계 테이블의 행이 랜덤 순서로 나타납니다.

우에서 좌로 정렬 설계 테이블의 열이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬됩니다.

블록 내 랜덤화 설계 테이블의 행이 블록 내에서 랜덤 순서로 나타납니다.

테이블 생성

테이블 생성을 클릭하여 사용자 설계 데이터 테이블을 구성합니다. "사용자 설계" 테이블의 왼쪽 위에 있는 테이블 패널은 지정된 설계에 따라 필요한 스크립트를 포함할 수 있습니다. "모형", "설계 평가" 및 "DOE 대화상자" 스크립트는 항상 제공됩니다. 스크립트를 실행하려면 스크립트 이름 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다. 설계에 공변량이 포함된 경우 일부 공변량 행만 설계에 사용되면 설계 테이블에 공변량 행 인덱스 열이 포함됩니다.

그림 4.26 스크립트를 보여 주는 사용자 설계 테이블

설계 사용자 설계 기준 최적		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Y	
▶ 모형	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1		•
▶ 설계 평가	2	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1		•
▶ 일반화 회귀	3	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1		•
▶ 제약 조건	4	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1		•
▶ DOE 대화상자	5	1	-1	1	1	1	1	1	1		•
	6	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1		•
	7	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1		•
	8	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1		•
	9	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1		•

가능한 스크립트는 다음과 같습니다.

모형 분석 > 모형 적합 플랫폼을 실행합니다. 스크립트에서 설명하는 모형은 "모형" 개요에서 선택한 설정과 설계 유형에 따라 결정됩니다.

설계 평가 DOE > 설계 진단 > 설계 평가 플랫폼을 실행합니다. 스크립트에서 설명하는 모형은 "모형" 개요에서 선택한 설정과 설계 유형에 따라 결정됩니다.

제약 조건 "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **선형 제약 조건 지정** 옵션을 사용하여 입력한 모형 제약 조건을 보여 줍니다.

허용되지 않는 조합 "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **허용되지 않는 조합 필터 사용** 또는 **허용되지 않는 조합 스크립트 사용** 옵션을 사용하여 입력한 모형 제약 조건을 보여 줍니다.

DOE 대화상자 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "사용자 설계" 창을 다시 생성합니다. 또한 이 스크립트는 설계를 생성하는 데 사용된 난수 시드값도 포함합니다.

뒤로

"뒤로" 버튼을 클릭하면 "설계 생성"을 클릭하기 전의 위치로 이동합니다. 이전 개요를 변경하고 설계를 다시 생성할 수 있습니다.

참고: "뒤로" 버튼을 클릭한 후 모든 요인을 제거하려고 하면 연속형 요인 하나가 남습니다. 새 요인을 추가한 후 이 연속형 요인을 삭제할 수 있습니다.

사용자 설계 옵션

- "옵션 설명"
- "반응 시뮬레이션"
- "행렬 X 저장"
- "시작 수"
- "설계 검색 시간"
- "검정력을 위한 델타 설정"

옵션 설명

"사용자 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 저장 "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

반응 불러오기 "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

요인 저장 "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

참고: 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

요인 불러오기 "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

제약 조건 저장 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제

약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "**제약 조건 상태**"(715 페이지)에서 확인하십시오.

제약 조건 불러오기 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고 : 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.
- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**반응 시뮬레이션**"(100 페이지)에서 확인하십시오.

참고 :  "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.

행렬 X 저장 "적률 행렬" 및 "모형 행렬"을 설계 데이터 테이블의 테이블 스크립트에 저장합니다. 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다. 자세한 내용은 "**행렬 X 저장**"(102 페이지)에서 확인하십시오.

주의 : 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장 > 코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

최적 기준 설계 최적 기준을 변경합니다. 기본 기준인 **권장 사항**은 "모형" 개요에서 "RSM" 버튼을 사용하여 2 차 효과를 추가한 경우를 제외하고 모든 설계 유형에 대해 D- 최적을 지정합니다. D- 최적, I- 최적 및 별칭 - 최적 설계에 대한 자세한 내용은 "**최적 기준**"(116 페이지)에서 확인하십시오.

참고 : 항상 정해진 최적 기준을 사용하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. "최적 기준" 을 선택한 후 기본 기준을 선택합니다.

시작 수 설계 구성에 사용되는 랜덤 시작 횟수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**시작 수**"(104 페이지)에서 확인하십시오.

설계 검색 시간 설계 검색을 위한 최대 시간 (초) 입니다. 기본 검색 시간은 설계 복잡성을 기반으로 합니다. 자세한 내용은 "**설계 검색 시간**"(105 페이지) 및 "**시작 수**"(104 페이지)에서 확인하십시오.

알고리즘 반복에 몇 초 이상이 필요한 경우 "설계 계산 중" 진행률 창이 나타납니다. 진행률 창에서 **취소**를 클릭하면 계산이 중지되고 해당 시점에서 찾은 최적 설계가 제공됩니다. 또한 "변경" 이 "어려움" 또는 "매우 어려움" 으로 설정되거나 "추정 가능성" 이 "If Possible" 로 설정된 요인이 포함되지 않은 D- 최적 설계에 대한 D 효율도가 진행률 창에 표시됩니다.

참고 : "설계 검색 시간"에 대한 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. "설계 검색 시간" 을 선택한 후 최대 시간 (초) 을 입력합니다. 시간이 더 필요한 특정 상황에서는 JMP 가 검색 시간을 연장합니다.

구 반지름 설계의 연속형 요인을 초구로 제한합니다. 반지름을 지정하고 **확인**을 클릭합니다. 0 과의 간격이 구 반지름과 같도록 설계점이 선택됩니다. "설계 생성" 을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

참고 : 구 반지름 제약 조건은 "선형 제약 조건 지정" 옵션을 사용하여 추가한 제약 조건과 결합할 수 없습니다. 또한 변경하기 힘든 요인 (분할구 설계) 이 포함된 경우에는 이 옵션을 사용할 수 없습니다.

고급 옵션 > 혼합물 합 혼합 요인의 합을 양수 값으로 설정합니다. 전체 실험에서 혼합 성분을 일정하게 유지하려면 이 옵션을 사용합니다.

고급 옵션 > 분할구 분산비 오차 분산에 대한 랜덤 주구 분산 및 하위구 분산 (있는 경우) 의 비를 지정합니다. 이 값을 설정하려면 먼저 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인 또는 분할 - 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인을 정의해야 합니다. 그런 다음 분할구 설계를 지정했는지 아니면 분할 - 분할구 설계를 지정했는지에 따라 분산 비율에 하나 또는 두 개의 양수를 입력할 수 있습니다.

고급 옵션 > 사전 모수 분산 (" 모형 " 개요가 있는 경우에만 사용 가능) " 추정 가능성 " 이 "If Possible" 로 설정된 요인에 사용되는 가중치를 지정합니다. " 설계 생성 " 을 클릭하면 옵션이 업데이트되어 기본 가중치가 표시됩니다. 가중치를 지정할 각 항에 대해 양수를 입력합니다. 입력한 값은 사전 분산에 대한 역수의 제곱근입니다. 값이 클수록 분산이 작으므로 효과가 활성화되지 않는다는 더 많은 사전 정보가 있습니다.

페이지안 D- 최적 또는 I- 최적은 If Possible 요인이 있는 설계를 구성할 때 사용됩니다. 알고리즘에 사용되는 기본값은 필수 항의 경우 0, If Possible 항이 포함된 교호작용의 경우 4, If Possible 항의 경우 1 입니다. 자세한 내용은 " 기술 상세 정보 " 부록의 " 별칭 행렬 "(721 페이지) 및 " 최적 기준 "(116 페이지) 에서 확인하십시오.

고급 옵션 > 모수 가중치 (A- 최적 설계에 사용) 모형 모수에 대한 가중치를 지정합니다. 예를 들어 2 차 효과 (second-order effect) 보다 주효과의 분산에 더 비중을 둘 수 있습니다. 모수 가중치에 대한 자세한 내용은 Morgan and Stallings(2017) 에서 확인하십시오.

고급 옵션 > D 효율도 가중치 설계를 구성할 때 별칭 최적에 대한 D 효율도의 상대 중요도를 지정합니다. 계수의 분산을 줄이는 것과 적합한 별칭 구조를 얻는 것 사이의 균형을 잡으려면 이 옵션을 선택합니다. 값은 0 에서 1 사이여야 합니다. 값이 클수록 D 효율도에 더 많은 가중치를 둡니다. 기본값은 0.5 입니다. 이 옵션은 " 최적 설계 별칭 생성 " 을 " 최적 기준 " 으로 선택한 경우에만 효과가 있습니다.

D 효율도의 정의는 " 최적 기준 "(116 페이지) 에서 확인하십시오. 별칭 최적에 대한 자세한 내용은 " 별칭 최적 "(119 페이지) 에서 확인하십시오.

고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정 모형 효과에 대해 감지할 평균 반응의 차이를 지정합니다. 자세한 내용은 " 검정력을 위한 델타 설정 "(105 페이지) 에서 확인하십시오.

스크립트를 스크립트 창에 저장 " 사용자 설계 " 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

반응 시뮬레이션

" 테이블 생성 " 을 클릭하여 설계 테이블을 생성할 때 " 반응 시뮬레이션 " 옵션이 각 반응에 대해 다음을 수행합니다.

- 설계 테이블의 반응 열에 확률 반응 값을 추가합니다.
- 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열을 설계 테이블에 추가합니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.

모수 값을 지정하고 시뮬레이션을 위한 반응 분포를 선택할 수 있는 " 모형 " 창이 열립니다. " 모형 " 창에서 " 적용 " 을 클릭하면 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 각 열이 업데이트됩니다.

컨트롤 창

그림 4.27에서는 연속형 요인 (X1) 과 3 수준 범주형 요인 (X2) 이 각각 하나씩 있는 설계의 " 모형 " 창을 보여 줍니다. X2 는 두 개의 모형 항목으로 나타납니다.

그림 4.27 반응 시뮬레이션 컨트롤 창

초기 창에는 계수 값이 1 또는 -1로 표시되고, 오차 표준편차가 1인 정규 분포가 선택되어 있습니다. DOE 창의 "설계 평가"에서 "검정력 분석"의 일부로 "예상 계수"를 설정한 경우, "검정력 분석" 개요에서 "예상 계수" 및 "예상 RMSE"(오차 표준편차)로 지정한 값이 "반응 시뮬레이션" 개요의 기본값이 됩니다. 데이터 테이블의 모형 스크립트에 지정된 모형을 적합시킬 수 없는 경우 절편과 계수의 기본값은 0입니다.

반응 시뮬레이션

시뮬레이션된 값에 대한 모형을 지정하려면 다음을 수행하십시오.

1. "효과" 목록의 각 항목에 대해 반응 값을 시뮬레이션하는 데 사용되는 선형 모형의 계수를 입력합니다. 이 값은 선형 함수 $L(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) = \mathbf{x}'\boldsymbol{\beta}$ 를 정의합니다. 그림 4.27의 "반응 시뮬레이션" 개요를 참조하십시오.
 - 벡터 $\mathbf{x}$ 는 "효과" 아래에 나열된 효과를 정의하는 항으로 구성됩니다.
 - 벡터 $\boldsymbol{\beta}$ 는 "Y" 아래에 지정한 모형 계수의 벡터입니다.
2. "분포"에서 반응 분포를 선택합니다.
3. **적용**을 클릭합니다. 시뮬레이션된 값과 계산식을 포함하는 <Y> 시뮬레이션 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 여기서 Y는 반응 열의 이름입니다.

분포

"반응 시뮬레이션" 창에서 다음 분포 중 하나를 선택합니다.

정규 정규 분포에서 값을 시뮬레이션합니다. "오차 σ "에 정규 분포 오차의 표준편차 값을 입력합니다. "요인" 개요에서 요인의 "변경"을 "어려움"으로 지정한 경우 "주구 σ "에 주구 오차 값을 입력할 수 있습니다. 요인의 "변경"을 "어려움" 및 "매우 어려움"으로 지정한 경우에는 하위구 오차와 주구 오차 값을 둘 다 입력할 수 있습니다. "적용"을 클릭하면 모형에 기초하여 확률 반응 벡터가 포함된 계산식과 난수 값이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다.

이항 이항 분포에서 값을 시뮬레이션합니다. "N"에 시도 수 값을 입력합니다. 성공 확률이 $1/(1 + \exp(-L(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta})))$ 이고 시도 횟수가 N인 이항 분포에 따라 정수인 난수가 생성됩니다. "적용"

을 클릭하면 난수 값과 계산식이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다. N 값을 포함하는 시도 수 열도 데이터 테이블에 추가됩니다.

Poisson 모수 $\exp((L(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}))$ 를 사용하여 Poisson 분포에 따라 정수인 난수를 시뮬레이션합니다. "적용" 을 클릭하면 난수 값과 계산식이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다.

참고: "테이블 생성" 을 클릭할 때마다 반응을 시뮬레이션하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 이렇게 하려면 **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE** 를 선택합니다. 그런 다음 **반응 시뮬레이션** 을 선택합니다.

행렬 X 저장

이 옵션은 적률 행렬과 모형 행렬을 각각 포함하는 "적률 행렬" 및 "모형 행렬" 스크립트를 설계 데이터 테이블에 저장합니다. 적률 행렬과 모형 행렬은 "설계 평가" 개요의 "설계 진단" 섹션에 나오는 "예측 평균 분산" 을 계산하는 데 사용됩니다. 자세한 내용은 Goos and Jones(2011) 에서 확인하십시오. 분할구 설계의 경우 "V 역" 스크립트도 저장됩니다. "V 역" 스크립트에는 반응에 대한 공분산 행렬의 역이 포함됩니다.

주의: 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장 > 코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

참고: 행렬 스크립트를 항상 저장하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE** 를 선택합니다. 그런 다음 "행렬 X 저장" 을 선택합니다.

모형 행렬

모형 행렬은 실험에 대한 설계를 설명합니다. 모형 행렬에는 "모형" 개요에서 지정한 모형의 각 항에 대한 열과 각 런에 대한 행이 있습니다. 각 런에 해당하는 모형 행렬의 행에는 모형 항의 코드화된 값이 포함됩니다.

- 연속형 항은 -1 ~ 1 범위로 코드화됩니다.
- 명목형 항은 선형 모형을 적합시키는 데 사용하는 코딩 벡터에 Gram-Schmidt 직교화 프로시저를 적용하여 코드화됩니다.

Gram-Schmidt 직교화 프로시저에 대한 자세한 내용은 Horn and Johnson(2012) 에서 확인하십시오.

참고: 검정력 분석의 코딩은 선형 모형 적합의 코딩과 매칭됩니다. 선형 모형 적합에서 명목형 항에 사용되는 코딩에 대한 자세한 내용은 **Fitting Linear Models** 의 "Standard Least Squares Report and Options" 장에서 확인하십시오.

적률 행렬

적률 행렬은 모형 효과에 종속되지만 설계와 독립적입니다. 이 행렬은 다음과 같이 정의됩니다.

$$\mathbf{M} = \int_R f(\mathbf{x})f(\mathbf{x})'d\mathbf{x}$$

여기서 $f(\mathbf{x})$ 는 요인 벡터 $\mathbf{x}$ 의 요인 조합에 해당하는 모형 효과를 나타내고 R 는 설계 공간을 나타냅니다. 적률 행렬과 설계 행렬에 대한 자세한 내용은 Goos and Jones(2011) 및 Myers et al. (2009)에서 확인하십시오. 적률 행렬을 Myers et al. (2009)에서는 영역 적률 (region moments) 행렬이라고 합니다.

스크립트

"사용자 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **행렬 X 저장**을 선택합니다. 설계와 테이블이 생성된 후 "적률 행렬", "모형 행렬" 및 "V 역" (분할구 설계의 경우) 스크립트가 "사용자 설계" 테이블에 테이블 스크립트로 저장됩니다.

- "적률 행렬", "모형 행렬" 또는 "V 역" 스크립트에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 **편집**을 선택합니다. 스크립트에 해당 행렬이 표시됩니다. 작성한 스크립트에 이 행렬을 복사할 수 있습니다.
- "적률 행렬" 스크립트를 실행하면 로그에 "Moments"라는 적률 행렬의 행 수가 표시됩니다.
- "모형 행렬" 스크립트를 실행하면 로그에 "X"라는 모형 행렬의 행 수가 표시됩니다.
- "V 역" 스크립트를 실행하면 로그에 "V Inverse"라는 공분산 역행렬의 행 수가 표시됩니다.

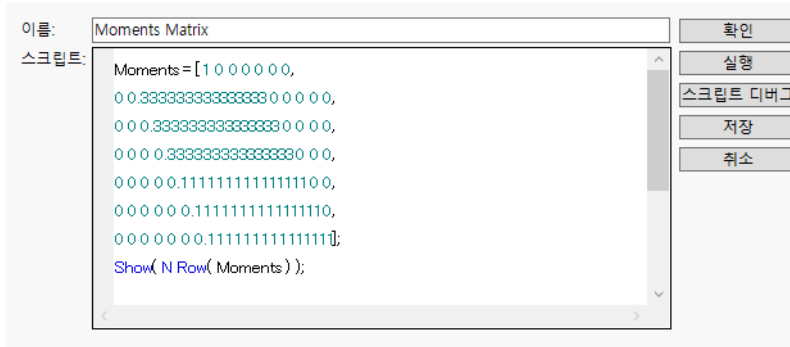
예제

이러한 예를 이용하여 설명하려면 다음 단계를 수행하십시오.

팁: 로그를 보려면 **보기 > 로그** (Mac에서는 **창 > 로그**)를 선택하십시오.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. 연속형 요인을 3 개 추가하고 **계속**을 클릭합니다.
3. **교호작용 > 2 차**를 클릭합니다.
4. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **행렬 X 저장**을 선택합니다.
5. 기본값 런 수 (12)를 사용하고 **설계 생성, 테이블 생성**을 차례로 클릭합니다.
6. 테이블 패널에서 "적률 행렬"을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집**을 선택합니다.
스크립트 창에 스크립트가 나타납니다. 이 스크립트에는 **Moments**라는 적률 행렬이 표시됩니다.

그림 4.28 적률 행렬 스크립트



7. 로그가 아직 열려 있지 않으면 **보기 > 로그** (Mac에서는 **창 > 로그**) 를 선택합니다.
8. 테이블 패널에서 "적률 행렬" 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
행 수가 로그에 **N Row(Moments)=7** 로 나타납니다.
9. 테이블 패널에서 "모형 행렬" 을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집** 을 선택합니다.
스크립트 창에 스크립트가 나타납니다. 이 스크립트에는 **X** 라는 모형 행렬이 표시됩니다.
10. **실행** 을 클릭합니다.
행 수가 로그에 **N Row(X)=12** 로 나타납니다.
11. 모형 행렬을 데이터 테이블로 보려면 다음 행을 스크립트에 추가합니다.

```
dt = New Table( "Model Matrix" );
dt << Set Matrix( X );
```
12. **실행** 을 클릭합니다.

시작 수

시작 수는 좌표 교환 알고리즘이 새 설계로 시작하는 횟수입니다. 자세한 내용은 "[좌표 교환 알고리즘](#)" (120 페이지) 에서 확인하십시오. **시작 수** 옵션을 사용하여 원하는 값을 지정할 수 있습니다. 랜덤 시작 횟수가 증가하면 결과 설계의 최적성이 향상되는 경향이 있습니다.

"시작 수" 값을 지정하고 "확인" 을 클릭하는 경우 외에는 설계 검색 시간에 의해 시작 수가 제어됩니다. 설계를 구성하는 데 사용된 시작 수를 확인하려면 "설계 생성" 을 클릭합니다. 그런 다음 "시작 수" 를 선택합니다. 텍스트 상자의 값이 특정 설계를 구성하는 데 사용된 시작 수입니다.

특수 경우에 대한 전역 최적 설계 이론이 있습니다. 좌표 교환 알고리즘은 최적 설계를 찾았음을 감지하면 검색을 중지하고 해당 설계를 반환합니다.

팁: 특정 설계를 재현하려면 설계를 생성하는 데 사용된 원래 "시작 수" 와 "난수 시드값" 을 지정해야 합니다. "설계 생성" 을 클릭한 후 빨간색 삼각형 옵션에서 이러한 값을 확인하십시오.

이 설명서의 사용자 설계 예에서는 설명 중인 설계를 정확하게 재생성할 수 있도록 난수 시드값과 시작 수를 제공하는 경우가 많습니다.

설계 검색 시간

설계 검색 시간은 최적 설계를 찾는 데 할당된 시간입니다. 사용자 설계의 좌표 교환 알고리즘은 랜덤 시작 설계를 기반으로 하여 근사 최적 설계를 찾는 것으로 구성됩니다. 자세한 내용은 "[좌표 교환 알고리즘](#)"(120 페이지)에서 확인하십시오. 설계 검색 시간은 랜덤 시작 설계를 기반으로 생성되는 설계 수를 결정합니다.

설계 검색 시간 옵션을 사용하여 원하는 값을 지정할 수 있습니다. 검색 시간을 늘리면 결과 설계의 최적성이 향상되는 경향이 있습니다.

알고리즘을 재실행하여 생성된 설계는 다를 수 있습니다. 동일한 난수 시드값을 사용하더라도 계산 속도와 기타 요인의 변동으로 인해 최종 설계를 구성하는 데 사용되는 시작 설계의 수가 다를 수 있습니다.

참고: 시작 설계 수는 "시작 수" 텍스트 상자의 값으로 지정됩니다. 그러나 이 값은 "설계 생성"을 클릭하여 설계를 구성한 후에 업데이트됩니다.

특수 경우에 대한 전역 D- 최적 설계 이론이 있습니다. 예를 들면 다음과 같습니다.

- 2 수준 부분 요인 설계 또는 비정칙 직교 배열. 이는 모든 주효과와 2 요인 교호작용 모형을 위한 전역 D- 최적 설계입니다.
- 라틴 정방 설계. 이는 표본 크기와 요인 수준 수가 동일하다는 가정하에 주효과 모형을 위한 D- 최적 설계입니다.
- Plackett-Burman 설계. 이는 주효과 모형을 위한 D- 최적 설계입니다.

좌표 교환 알고리즘은 최적 설계를 찾았음을 감지하면 검색을 중지하고 해당 설계를 반환합니다.

검정력을 위한 델타 설정

이 옵션은 모형 효과에 대해 감지할 수 있는 평균 반응의 차이를 지정합니다. 검정력 계산은 "설계 평가" 개요 내의 "검정력 분석" 개요에 나타납니다. 지정된 델타 차이를 감지하여 각 모형 모수에 대한 검정력이 계산됩니다. 범주형 효과의 경우 검정력 계산은 두 수준 사이의 최대 델타 변동을 감지하는 데 기반합니다.

예를 들어 평균 반응에서 3 단위의 변동을 감지하려고 한다고 가정해 보겠습니다. 모든 요인은 연속형입니다. 요인은 코드화된 단위 (코드화된 수준 -1 과 1) 로 표현되므로 반응에서 3 단위의 변동은 모수 계수 값 1.5 에 해당합니다. "검정력을 위한 델타 설정" 텍스트 상자에 3 을 지정하면 "검정력 분석" 개요의 "예상 계수" 가 1.5 로 설정됩니다. 각 모수에 대해 반응에서 3 단위 변동을 감지할 확률은 모수 오른쪽의 "검정력" 열에 나타납니다.

기본적으로 델타는 2로 설정됩니다. 각 연속형 효과의 기본 계수는 1로 설정됩니다. n 수준 범주형 요인은 $n-1$ 표시 변수로 나타납니다. 범주형 요인을 나타내는 $n-1$ 항의 기본 계수는 1과 -1 값이 교대로 나타납니다. 자유도가 2 이상인 교호작용 효과의 기본 계수도 1과 -1 값이 교대로 나타납니다.

참고: "검정력 분석" 보고서에 나타나는 모수의 순서는 "표준 최소 제곱"을 사용하여 얻은 "모수 추정값" 보고서의 모수 순서와 동일하지 않을 수 있습니다. 이 차이는 모형에 포함되는 교호작용의 자유도가 2 이상인 경우에만 발생할 수 있습니다.

델타 값이 지정되면 "예상 계수" 목록의 각 계수는 델타/2에 기본 계수를 곱한 값으로 설정됩니다. 연속형 요인의 경우 이렇게 할당하면 계산된 검정력으로 델타 차이를 감지할 수 있습니다. 범주형 요인의 경우 계수를 이렇게 할당하면 계산된 검정력으로 두 수준 사이의 최대 델타 차이를 감지할 수 있습니다.

사용자 설계에 대한 기술 상세 정보

- "랜덤화 제한이 있는 설계"
- "변경하기 힘든 수준의 공변량"
- "주구 및 하위구"
- "최적 기준"
- "D 효율도"
- "좌표 교환 알고리즘"

랜덤화 제한이 있는 설계

이 섹션에서는 요인 수준에 대한 실험 단위 랜덤 할당이 제한되는 다양한 유형의 설계를 사용자 설계 플랫폼에서 어떻게 처리하는지 설명합니다. 랜덤 블록 설계 및 다양한 유형의 분할구 설계가 포함됩니다.

랜덤 블록 설계

랜덤 블록 설계는 실험의 런을 더 큰 모집단에서 무작위로 선택한 것으로 간주되는 블록으로 그룹화합니다. 대개 런 블록 내의 런은 다른 블록의 런보다 동질적입니다. 이러한 경우 블록화 변수로 설명된 변동을 처리하면 다른 효과를 더 잘 식별할 수 있습니다.

랜덤 블록 설계 시나리오

Goos(2002)는 페이스트리 반죽 혼합물 실험과 관련된 예를 제공합니다. 실험의 목적은 반죽의 특정 특성이 공급 유량, 초기 수분 함량, 회전 나사 속도라는 세 가지 요인에 어떻게 의존하는지 이해하는 것입니다. 하루에 런을 4회만 수행할 수 있으므로 실험을 실행하는 데 며칠이 걸렸습니다. 환경 변수에 대한 랜덤 일별 차이가 특정 일에 수행되는 모든 런에 영향을 줄 가능성이 있

습니다. 일별 변동을 처리하기 위해 런을 크기 4의 블록으로 그룹화하여 이 변동이 세 요인에 대한 정보를 손상시키지 않도록 했습니다.

블록 요인 Day는 매일 수행되는 런으로 구성됩니다. 실험이 수행된 날은 환경 조건이 다른 여러 날의 큰 모집단을 대표합니다. 따라서 Day는 랜덤 블록 요인입니다.

랜덤 블록 설계 설정

랜덤 블록 설계를 생성하려면 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 반응과 요인을 입력하고 모형을 정의합니다." 설계 생성 " 개요에서 **런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화** 옵션을 선택하고 각 블록에 포함할 런 수를 입력합니다. 자세한 내용은 "[설계 구조 옵션](#)"(93 페이지)에서 확인하십시오.

참고: 고정 블록 요인을 정의하려면 "요인" 개요에 블록 요인을 입력합니다. 랜덤 블록 요인을 정의하려면 "요인" 개요에 블록 요인을 입력하지 마십시오. 대신 "설계 생성" 아래의 **런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화** 옵션을 선택합니다.

분할구 설계

분할구 설계는 특정 요인의 설정이 런 그룹에 대해 일정하게 유지되는 상황에서 사용됩니다. 산업 분야에서 이러한 요인은 대개 런 간 변경이 어렵거나 비용이 많이 듭니다. 런 그룹에 대해 설정을 일정하게 유지해야 하는 요인은 JMP에서 **변경하기 힘든 요인**으로 분류됩니다.

특정 요인은 변경하기 힘들기 때문에 실험 단위에 요인을 무작위로 할당하는 것은 실용적이지 않습니다. 대신 단위 그룹에 요인을 할당합니다. 이렇게 하면 설계 생성 및 결과 분석에서 고려해야 할 랜덤화에 대한 제한이 적용됩니다.

분할구 설계 시나리오

Box et al. (2005)은 철근의 내식성을 연구하기 위한 실험을 제공합니다. 철근은 경화를 위해 용광로에 놓입니다. 그 후에 내식성 증가를 위해 코팅이 적용됩니다. 두 가지 관심 요인은 다음과 같습니다.

- Furnace 섭씨 온도 - 360, 370, 380 수준
- Coating 코팅 유형 - C1, C2, C3, C4 수준

Furnace Temp는 용광로 온도를 재설정하는 데 소요되는 시간 때문에 변경하기 힘든 요인입니다. 따라서 용광로 온도 설정마다 각각 4개의 철근이 처리됩니다. 이후 단계에서는 4개의 코팅이 무작위로 4개의 철근에 할당됩니다.

실험 단위는 철근입니다. Furnace Temp는 수준으로 주구를 정의하는 변경하기 힘든 요인입니다. 각 주구 내에서 Coating 요인은 주구 요인이 적용된 실험 단위에 무작위로 할당됩니다.

그림 4.29 분할구 설계를 위한 요인 및 설계 개요

요인

요인 추가

제거

N개 요인 추가

이름	역할	변경	값
Furnace Temp	범주형	어려움	360 370 380
Coating	범주형	쉬움	C1 C2 C3 C4

요인 제약 조건 정의

모형

별칭 항

설계

런	주구	Furnace Temp	Coating
1	1	370	C1
2	1	370	C3
3	1	370	C2
4	2	370	C4
5	2	370	C2
6	2	370	C1
7	3	380	C3
8	3	380	C1
9	3	380	C4
10	4	360	C4
11	4	360	C2
12	4	360	C3
13	5	380	C1
14	5	380	C4
15	5	380	C2

부식 실험의 "요인" 개요에는 Furnace Temp 의 "변경" 이 "어려움" 으로 설정되고 Coating 의 "변경" 이 "쉬움" 으로 설정되어 있습니다. 15 회 런이 5 개의 주구로 구성되며, 주구 내에서 Temperature 설정이 일정하게 유지됩니다.

분할구 설계 설정

일반적으로 설정을 변경하기 힘든 몇 가지 요인을 처리 단계에 적용할 수 있습니다. 용광로 예에서는 온도뿐만 아니라 용광로 위치도 고려할 수 있습니다. "요인" 개요의 "변경" 열에서 이러한 요인의 "변경" 값을 "어려움" 으로 지정합니다.

사용자 설계에 변경하기 쉬운 요인과 변경하기 힘든 요인만 포함된 경우 변경하기 힘든 요인의 런은 주구라는 새 요인을 사용하여 그룹화됩니다. 주구 값은 변경하기 힘든 요인에 대해 동일한 설정으로 런 블록을 지정합니다. 설계 테이블에 저장된 "모형" 스크립트는 주구를 임의 효과로 처리합니다. 자세한 내용은 "변경"(81페이지) 및 "설계 구조 옵션"(93페이지)에서 확인하십시오.

분할구 설계를 생성하고 실험 데이터를 분석하는 예는 "사용자 설계의 예" 장의 "분할구 실험"(180페이지)에서 확인하십시오.

분할 - 분할구 설계

분할 - 분할구 설계는 변경하기 힘든 두 가지 수준의 요인이 있을 때 사용됩니다. 산업 분야에서 첫 번째 처리 단계의 재료나 실험 단위를 두 번째 처리 단계에 일괄적으로 전달할 때 이러한 설계

가 종종 수행됩니다. 첫 번째 단계에서 일련의 재료에 요인이 적용됩니다. 그런 다음 추가 요인을 연구하는 두 번째 단계 처리를 위해 해당 배치가 나뉩니다. 첫 번째 단계 요인은 매우 변경하기 힘든 요인이고, 두 번째 단계 요인은 변경하기 힘든 요인으로 간주됩니다. 두 번째 처리 단계 후에 실험 단위에 추가 요인을 적용할 수 있습니다. 이러한 요인은 변경하기 쉬운 요인으로 간주됩니다.

분할 - 분할구 설계에서는 배치가 랜덤 블록으로 간주됩니다. 배치는 두 번째 단계 처리를 위해 나누어지므로 두 번째 단계 요인이 첫 번째 단계 요인 내에 내포됩니다.

분할 - 분할구 설계 시나리오

Schoen(1999) 은 치즈 품질과 관련된 분할 - 분할구 설계의 예를 제공합니다. 요인은 Design Experiment 폴더에 있는 Cheese Factors JMP 데이터 테이블에 제공됩니다. 실험은 다음과 같은 세 단계의 처리로 구성됩니다.

- 농부로부터 우유를 받아 큰 탱크에 저장합니다.
- 이 탱크의 우유를 커드 가공에 사용되는 더 작은 탱크로 분배합니다.
- 각 탱크의 커드를 개별 치즈 가공을 위해 프레스로 이동합니다.

실험은 다음 요인에 대한 검정으로 구성됩니다.

- 우유가 큰 저장 탱크에 있을 때 적용된 두 개 요인
- 더 작은 커드 가공 탱크에 적용된 5 개 요인
- 커드 가공 탱크의 개별 치즈에 적용된 3 개 요인

커드 가공 탱크에 적용된 요인의 수준 (하위구) 은 우유 저장 탱크에 적용된 요인의 수준 (주구) 에 내포됩니다.

치즈 실험의 "요인" 개요에는 "변경" 이 다음과 같이 설정되어 있습니다.

- 매우 어려움 - 저장 탱크 요인 두 개
- 어려움 - 커드 가공 탱크 요인 5 개
- 쉬움 - 치즈에 무작위로 할당할 수 있는 요인 3 개

기본 주구 수는 5 이고 기본 하위구 수는 10 입니다. 런 수는 22 로 설정되어 있습니다. 하위구가 10 개만 사용될 경우 설계의 주구 수가 충분하지 않아 하위구 분산을 추정할 수 없습니다. 하위구 수를 11 로 변경하고 **설계 생성**을 클릭하여 22 개 런 설계를 확인합니다.

그림 4.31 치즈 시나리오의 분할 - 분할구 설계

설계													
런	주구	하위구	storage 1	storage 2	curds 1	curds 2	curds 3	curds 4	curds 5	cheese 1	cheese 2	cheese 3	
1	1	1	1	L2	-1	-1	L1	-1	L1	1	-1	L1	
2	1	1	1	L2	-1	-1	L1	-1	L1	-1	1	L2	
3	1	1	1	L2	-1	-1	L1	-1	L1	1	-1	L3	
4	1	2	1	L2	1	1	L1	1	L2	1	1	L3	
5	1	2	1	L2	1	1	L1	1	L2	-1	-1	L1	
6	2	3	-1	L2	1	1	L1	-1	L3	1	1	L2	
7	2	3	-1	L2	1	1	L1	-1	L3	-1	-1	L3	
8	2	3	-1	L2	1	1	L1	-1	L3	1	-1	L1	
9	2	4	-1	L2	-1	1	L2	1	L1	-1	-1	L2	
10	2	4	-1	L2	-1	1	L2	1	L1	1	1	L1	
11	3	5	1	L1	-1	-1	L2	1	L3	-1	1	L3	
12	3	5	1	L1	-1	-1	L2	1	L3	1	-1	L2	
13	3	6	1	L1	1	1	L2	-1	L4	1	1	L2	
14	3	6	1	L1	1	1	L2	-1	L4	-1	-1	L1	
15	4	7	-1	L1	-1	1	L1	-1	L2	-1	1	L1	
16	4	7	-1	L1	-1	1	L1	-1	L2	1	-1	L3	
17	4	8	-1	L1	1	-1	L1	1	L1	-1	1	L3	
18	4	8	-1	L1	1	-1	L1	1	L1	1	-1	L2	
19	5	9	-1	L2	1	-1	L2	-1	L2	1	1	L1	
20	5	9	-1	L2	1	-1	L2	-1	L2	-1	-1	L2	
21	5	10	-1	L2	-1	-1	L1	1	L4	-1	1	L1	
22	5	10	-1	L2	-1	-1	L1	1	L4	1	-1	L3	

5 개 주구는 저장 요인 **storage 1** 과 **storage 2** 에 해당합니다. 저장 요인의 설정은 주구 내에서 일정합니다. 이어지는 새 주구에서 주구 요인의 설정이 같을 경우에는 해당 주구 간에 요인 수준을 재설정해야 합니다. 예를 들어 런 10 과 11 간, 런 14 와 15 간에 **storage 1** 수준을 재설정하고, 런 18 과 19 간에 **storage 2** 수준을 재설정해야 합니다. 주구 변동을 포착하려면 지정된 설정이 같더라도 주구 간 요인을 재설정해야 합니다.

11 개 하위구는 커드 요인에 해당합니다. 하위구 내에서 커드 요인의 설정은 일정합니다. 하위구의 각 수준은 주구의 한 수준 내에만 표시되어 하위구 수준이 주구 수준에 내포되어 있음을 나타냅니다.

치즈 요인의 수준은 각 런마다 무작위로 달라집니다.

분할 - 분할구 설계 설정

분할 - 분할구 설계의 "요인" 개요에는 "변경" 이 "매우 어려움" 및 "어려움" 으로 설정된 요인이 포함됩니다. "변경" 이 "쉬움" 으로 설정된 요인도 설계에 포함될 수 있습니다. 다음과 같은 두 요인이 생성됩니다.

- 주구 요인은 "변경" 이 "매우 어려움" 으로 설정된 요인의 상수 수준 블록을 나타냅니다.
- 하위구 요인은 "변경" 이 "어려움" 으로 설정된 요인의 상수 수준 블록을 나타냅니다.
- 하위구 요인은 "변경" 이 "매우 어려움" 으로 설정된 요인의 수준에 "변경" 이 "어려움" 으로 설정된 요인의 수준이 내포되어 있음을 반영합니다.
- "변경" 이 "쉬움" 으로 설정된 요인의 수준은 하위구 내의 단위에 무작위로 할당됩니다.
- 주구 및 하위구 요인은 설계 테이블에 저장된 "모형" 스크립트에서 임의 효과로 처리됩니다.

자세한 내용은 " **요인 개요** "(81 페이지) 및 " **설계 구조 옵션** "(93 페이지) 에서 " 변경 " 에 대한 설명을 참조하십시오 .

이원 분할구 설계

이원 분할구 (조각구 또는 분할 블록이라고도 함) 설계는 두 개의 분할구 성분으로 구성됩니다 . 산업 분야에서 첫 번째 처리 단계의 재료나 실험 단위를 두 번째 처리 단계에 일괄적으로 전달할 때 이러한 설계가 수행됩니다 . 그러나 첫 번째 처리 단계 후에 배치를 하위 배치로 나눌 수 있습니다 . 두 번째 단계 처리 요인은 이러한 하위 배치에 무작위로 적용됩니다 . 두 번째 단계의 특정 실험 설정이 있는 경우 해당 설정에 할당된 모든 하위 배치를 동시에 처리할 수 있습니다 . 두 번째 처리 단계 후에 실험 단위에 추가 요인을 적용할 수 있습니다 .

분할 - 분할구 설계와 달리 두 번째 단계 요인이 첫 번째 단계 요인에 내포되지 않습니다 . 첫 번째 단계 후 배치가 나뉘어져 새 배치가 만들어집니다 . 따라서 첫 번째 단계 요인과 두 번째 단계 요인 둘 다 전체 배치에 적용됩니다 .

두 단계의 요인이 동등하게 변경하기 힘들 수 있지만 JMP 는 첫 번째 단계 요인을 매우 변경하기 힘든 것으로 나타내고 두 번째 단계 요인을 변경하기 힘든 것으로 나타내 이러한 요인을 구분합니다 . 두 번째 처리 단계 후 실험 단위에 적용된 추가 요인은 변경하기 쉬운 것으로 간주됩니다 .

이원 분할구 설계 시나리오

Vivacqua and Bisgaard(2004) 는 배터리 셀의 개회로 전압을 개선하기 위한 실험을 설명합니다 . 다음 두 개의 처리 단계가 관심 영역입니다 .

- 첫 번째 단계 : 연속 조립 공정
- 두 번째 단계 : 5 일 주기 시간의 큐어링 공정

엔지니어는 다음과 같은 2 수준 요인 6 개를 연구하려고 합니다 .

- 조립 공정에 적용되는 네 개의 요인 (X1, X2, X3, X4)
- 큐어링 공정에 적용되는 두 개의 요인 (X5, X6)

모든 요인이 2 수준인 완전 요인 설계에는 $2^6 = 64$ 회의 런이 필요하며 $64 \times 5 = 320$ 일이 소요됩니다 . 또한 개별 배터리의 조립 조건을 변경하는 것은 실용적이지 않습니다 . 그러나 2000 개 배터리 배치와 같은 큰 배치에 대해서는 조립 조건을 변경할 수 있습니다 .

첫 번째 단계 요인과 두 번째 단계 요인은 둘 다 변경하기 어렵습니다 . 어떤 의미에서는 두 개의 분할구 설계로 볼 수 있습니다 . 그러나 첫 번째 단계 실험에서 2,000 개 배터리를 각각 500 개의 배터리로 구성된 하위 배치 4 개로 나눌 수 있습니다 . 이 하위 배치를 두 번째 단계 요인 두 개에 대한 4 개의 설정에 무작위로 할당할 수 있습니다 . 주어진 큐어링 조건 집합에 할당된 모든 배치를 동시에 처리할 수 있습니다 . 즉 , 첫 번째 단계와 두 번째 단계의 요인이 교차됩니다 .

첫 번째 단계와 두 번째 단계의 요인을 구분하기 위해 첫 번째 단계 요인의 " 변경 " 을 " 매우 어려움 " 으로 지정하고 두 번째 단계 요인의 " 변경 " 을 " 어려움 " 으로 지정합니다 (그림 4.32). 또한 " 설계 생성 " 아래의 " 변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수

있습니다." 옵션에 주의하십시오. 이 옵션을 선택하지 않으면 두 수준에서 요인이 내포된 분할 - 분할구 설계로 처리됩니다. 이원 분할구 설계를 생성하려면 이 옵션을 선택하십시오.

그림 4.32 이원 분할구 설계를 위한 요인 및 설계 생성 개요

요인

요인 추가

제거

N개 요인 추가

1

이름	역할	변경	값
X1	연속형	매우 어려움	-1
X2	연속형	매우 어려움	-1
X3	연속형	매우 어려움	-1
X4	연속형	매우 어려움	-1
X5	연속형	어려움	-1
X6	연속형	어려움	-1

요인 제약 조건 정의

모형

별칭 항

설계 생성

☒ 변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다.

주구 수

7

하위구 수

14

런 수:

☐ 최소값

15

☐ 기본값

42

☒ 사용자 지정

28

설계 생성

기본 주구 수는 7 이고 기본 하위구 수는 14 입니다. **설계 생성**을 클릭하여 28 회 런 설계를 확인합니다.

그림 4.33 배터리 셀의 이원 분할구 설계

설계									
런	주구	하위구	X1	X2	X3	X4	X5	X6	
1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	
2	1	2	1	1	1	-1	-1	1	
3	1	3	1	1	1	-1	-1	-1	
4	1	4	1	1	1	-1	1	1	
5	2	5	-1	-1	-1	-1	-1	1	
6	2	6	-1	-1	-1	-1	1	-1	
7	2	7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
8	2	8	-1	-1	-1	-1	1	1	
9	3	9	1	1	-1	-1	-1	1	
10	3	10	1	1	-1	-1	1	-1	
11	3	11	1	1	-1	-1	-1	-1	
12	3	12	1	1	-1	-1	1	1	
13	4	13	1	-1	-1	1	-1	-1	
14	4	14	1	-1	-1	1	1	1	
15	4	1	1	-1	-1	1	1	-1	
16	4	2	1	-1	-1	1	-1	1	
17	5	3	-1	1	-1	1	-1	-1	
18	5	4	-1	1	-1	1	1	1	
19	5	5	-1	1	-1	1	-1	1	
20	5	6	-1	1	-1	1	1	-1	
21	6	7	1	-1	1	1	-1	-1	
22	6	8	1	-1	1	1	1	1	
23	6	9	1	-1	1	1	-1	1	
24	6	10	1	-1	1	1	1	-1	
25	7	11	-1	-1	1	-1	-1	-1	
26	7	12	-1	-1	1	-1	1	1	
27	7	13	-1	-1	1	-1	-1	-1	
28	7	14	-1	-1	1	-1	1	1	

7 개 주구는 첫 번째 단계 요인 X1, X2, X3 및 X4 에 해당합니다 . 이 요인의 설정은 주구 내에서 일정합니다 . 14 개 하위구는 두 번째 단계 요인 X5 와 X6 에 해당합니다 . 예를 들어 주구가 다른 런 1 과 15 의 하위구에 동일한 하위구 처리가 적용됩니다 . 여기서 X5 는 1 로 설정되고 X6 은 -1 로 설정됩니다 .

이원 분할구 설계 설정

이원 분할구 설계에는 " 변경 " 이 " 매우 어려움 " 및 " 어려움 " 으로 설정된 요인이 필요합니다 . " 분할 - 분할구 설계 설정 "(111 페이지) 에 설명된 대로 주구와 하위구라는 요인이 생성됩니다 . 그러나 이원 분할구 설계에서 하위구는 " 변경 " 이 " 매우 어려움 " 으로 설정된 요인의 수준에 " 변경 " 이 " 어려움 " 으로 설정된 요인의 수준을 내포하지 않습니다 . 주구와 하위구는 둘 다 설계 테이블에 저장된 " 모형 " 스크립트에서 임의 효과로 처리됩니다 .

하위구 요인이 주구 요인에 내포되지 않도록 해야 합니다 . 이렇게 하려면 " 설계 생성 " 개요에서 **변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다** . 옵션을 선택합니다 (그림 4.32) . 자세한 내용은 " 변경 "(81 페이지) 및 " 설계 구조 옵션 "(93 페이지) 에서 확인하십시오 .

분할구 설계를 생성하고 실험 데이터를 분석하는 예는 " 사용자 설계의 예 " 장의 " 이원 분할구 실험 "(184 페이지) 에서 확인하십시오 .

변경하기 힘든 수준의 공변량

실험 요인 검정에 사용할 수 있는 재료 배치에 대한 측정값이 있다고 가정해 보겠습니다. 또는 실험 요인 검정에 참여하기 위해 선택된 개인에 대한 측정값이 있다고 가정해 보겠습니다. 배치 또는 개인에 대한 측정값은 실험 전에 공지되며 공변량으로 간주됩니다.

배치 또는 개인은 주구에 해당합니다. 이러한 주구 중 일부만 실험에 사용하고 싶을 수도 있습니다. 공변량 형태의 주구 정보를 사용할 수 있으므로 설계는 최적의 방식으로 주구를 선택해야 합니다.

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 "요인" 개요에서 공변량을 변경하기 힘든 요인으로 지정할 수 있습니다. "모형" 개요에 포함된 항에 의해 주어진 모형은 공변량 및 실험 요인을 사용하여 구성된 교호작용과 검정력을 포함할 수 있습니다.

참고: "공변량" 요인의 "변경" 을 "어려움" 으로 설정하면 다른 모든 공변량도 "어려움" 으로 설정됩니다. 나머지 요인은 "쉬움" 으로 설정해야 합니다. 이 알고리즘을 사용하려면 행 교환과 좌표 교환의 조합이 필요하므로 적당한 크기의 설계도 생성하는 데 시간이 걸릴 수 있습니다.

변경하기 힘든 공변량이 포함된 실험 시나리오

폴리프로필렌 판과 관련된 실험은 Goos and Jones(2011, Chapter 9) 및 Jones and Goos(2015) 에 설명되어 있습니다. 여러 변수에 의해 결정된 다양한 배합에 따라 다수의 폴리프로필렌 판 배치가 생성됩니다. 일부 판은 바로 사용되고 나머지는 이후 실험용으로 보관됩니다. 보관된 배치의 구성은 알려져 있습니다.

고객은 판 배합과 관련하여 특정 요구 사항을 가지고 있습니다. 이후 실험에는 기체 플라스마 처리를 고객이 요구하는 유형의 배합으로 사용자 정의하는 것이 포함됩니다. 구성 변수는 변경하기 힘든 공변량으로 간주됩니다. 기체 플라스마 처리 요인을 주어진 배합으로 판 하위 배치에 적용할 수 있습니다.

최적 설계는 사용할 배치 (공변량으로 정의됨) 를 식별하고, 사용할 각 배치의 판 수를 결정하고, 기체 플라스마 수준에 대한 설정을 제공합니다. 주어진 배치에서 최적의 배치 및 판 수는 공변량에 따라 다릅니다.

"사용자 설계의 예" 장 (121 페이지) 에 예가 제공됩니다.

주구 및 하위구 수

JMP에서는 주구 수와 하위구 수의 기본값을 제안합니다. 이 값은 "모형" 개요에서 지정한 효과를 추정할 수 있는 균형 설계를 생성하기 위한 발견적 방법을 기반으로 합니다.

"주구 수" 또는 "하위구 수" 에 결측값을 입력하면 설계의 D 효율도를 최대화하는 값이 자동으로 선택됩니다. 이 알고리즘은 "분할구 분산비" 옵션에 지정된 값을 사용합니다. 자세한 내용은 "고급 옵션 > 분할구 분산비" (99 페이지) 에서 확인하십시오. D 효율도는 $\mathbf{X}'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X}$ 행렬식으로 지정됩니다. 여기서 $\mathbf{V}^{-1}$ 은 반응에 대한 분산 행렬의 역입니다. 자세한 내용은 Goos(2002) 에서 확인하십시오.

"주구 수"와 "하위구 수"에 값을 입력하면 사용자 설계에서 결과 설계의 최적성을 최대화하려고 합니다. 분할구 설계에 대한 자세한 내용은 Jones and Goos(2007)에서 확인하십시오. 변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계에 대한 자세한 내용은 Jones and Goos(2015)에서 확인하십시오.

최적 기준

이 섹션에서는 다음 설계에 대한 정보를 제공합니다.

- "D- 최적"(116 페이지)
- "베이지안 D- 최적"(117 페이지)
- "I- 최적"(118 페이지)
- "베이지안 I- 최적"(118 페이지)
- "A- 최적"(118 페이지)
- "별칭 최적"(119 페이지)

D- 최적

기본적으로 사용자 설계 플랫폼은 "RSM" 버튼을 사용하여 완전 2 차 모형을 생성하는 경우를 제외하고 D- 최적 기준을 최적화합니다. "RSM" 버튼을 사용하는 경우에는 I- 최적 설계가 생성됩니다.

D- 최적 기준은 모형 계수 추정값의 공분산 행렬에 대한 행렬식을 최소화합니다. 결과적으로 D- 최적은 효과의 정확한 추정에 중점을 둡니다. 이 기준은 다음과 같은 경우에 적합합니다.

- 선별 설계
- 효과 추정 또는 유의성 검정에 중점을 둔 실험
- 활성 요인 식별이 실험 목표인 설계

D- 최적 기준은 가정된 모형에 종속됩니다. 참모형의 형태를 미리 알 수 없는 경우가 많아서 제한이 있습니다. D- 최적 설계의 런은 가정된 모형의 계수 정밀도를 최적화합니다. 극단적으로 D- 최적 설계는 런 수가 모수와 동일하고 적합 결여의 자유도가 없는 포화 상태일 수 있습니다.

특히 D- 최적 설계는 D 를 최대화합니다. 여기서 D 는 다음과 같이 정의됩니다.

$$D = \det[\mathbf{X}'\mathbf{X}]$$

$\mathbf{X}$ 는 "반응 시뮬레이션"(100 페이지)에 정의된 모형 행렬입니다.

D- 최적 분할구 설계는 D 를 최대화합니다. 여기서 D 는 다음과 같이 정의됩니다.

$$D = \det[\mathbf{X}'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X}]$$

$\mathbf{V}^{-1}$ 은 반응에 대한 공분산 행렬의 대각 블록입니다 (Goos 2002).

D- 최적 설계는 계수의 표준 오차를 최소화하는 데 중점을 두기 때문에 모형이 올바른지 확인하지 못할 수 있습니다. 예를 들어 D- 최적 설계에는 1 차 모형의 중앙점이 포함되지 않습니다. 가

정된 모형에 포함되지 않은 잠재적 활성 항이 있는 경우 If Possible 항을 지정하고 베이지안 D-최적 설계를 사용하는 것이 더 좋은 방법입니다.

베이지안 D- 최적

베이지안 D- 최적은 수정된 D- 최적 기준입니다. 베이지안 D- 최적 기준은 잠재적 활성 교호작용 또는 비선형 효과가 있을 때 유용합니다. 자세한 내용은 DuMouchel and Jones(1994) 및 Jones et al(2008) 에서 확인하십시오.

베이지안 D- 최적은 지정된 모형 모수 집합을 정확하게 추정합니다. 이는 "모형" 개요에서 "추정 가능성" 을 "필수" 로 지정한 효과입니다. 그러나 이와 동시에 베이지안 D- 최적은 런 크기에서 허용하는 대로 다른 효과 (대개 고차 효과) 를 추정할 수 있습니다. 이는 "모형" 개요에서 "추정 가능성" 을 "If Possible" 로 지정한 효과입니다. 런 크기 제한이 주어졌을 때 베이지안 D- 최적 설계는 필수 효과만 포함된 모형에서 부적합성을 감지할 수 있습니다.

베이지안 D- 최적 기준은 런 수가 "필수" 항의 수보다 많지만 "필수" 항과 "If Possible" 항의 합보다 작을 때 가장 효과적입니다. 이 경우 런 수는 추정할 모수의 수보다 적습니다. 베이지안 설정의 사전 정보를 사용하면 모든 필수 항을 정확하게 추정할 수 있는 동시에 일부 If Possible 항을 감지하고 추정할 수 있습니다.

의미 있는 사전 분포를 모형의 모수에 적용하기 위해 반응과 요인이 특정한 특성을 갖도록 조정됩니다 (DuMouchel and Jones, 1994, Section 2.2).

다음 표기를 고려하십시오.

- **X** 는 "반응 시뮬레이션" (100 페이지) 에 정의된 모형 행렬입니다.
- **K** 는 다음과 같은 값을 갖는 대각 행렬입니다.
 - $k=0$ (필수 항의 경우)
 - $k=1$ (If Possible 주효과, 검정력, 3 수준 이상의 범주형 요인과 관련된 교호작용의 경우)
 - $k=4$ (다른 모든 If Possible 항의 경우)

If Possible 모수의 벡터에 설정된 사전 분포는 평균 벡터가 **0** 이고, 대각 공분산 행렬의 대각 항목이 $1/k^2$ 인 다변량 정규 분포입니다. 따라서 k^2 값은 해당 모수의 사전 분산에 대한 역수입니다.

k 의 값은 경험적으로 결정됩니다. If Possible 주효과, 검정력, 자유도가 2 이상인 교호작용의 사전 분산은 1 입니다. 다른 If Possible 항의 사전 분산은 $1/16$ 입니다. DuMouchel and Jones(1994) 표기에서 $k=1/\tau$ 입니다.

If Possible 항에 대한 가중치를 제어하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **고급 옵션 > 사전 모수 분산** 을 선택합니다. 자세한 내용은 "고급 옵션 > 사전 모수 분산" (100 페이지) 에서 확인하십시오.

모수에 대한 사후 분포에는 공분산 행렬 $(\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{K}^2)^{-1}$ 이 있습니다. 베이지안 D- 최적 설계는 사후 공분산 행렬의 역에 대한 행렬식을 최대화하여 생성됩니다.

$$\det(\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{K}^2)$$

I- 최적

I- 최적 설계는 설계 공간에 대해 예측 평균 분산을 최소화합니다. 1 차 실험 목표가 계수 추정이 아니라 다음을 수행하는 것이라면 I- 최적 기준이 D- 최적보다 더 적합합니다.

- 반응 예측
- 최적의 작동 조건 결정
- 설계 공간에서 반응이 허용 가능한 범위 내에 속하는 영역 결정

이 경우에는 정확한 반응 예측이 정확한 모수 추정보다 우선합니다.

설계 공간의 x_0 지점에서 미지의 오차 분산에 대한 예측 분산은 다음과 같이 계산할 수 있습니다.

$$\text{var}(\hat{Y}|x_0) = f(x_0)'(X'X)^{-1}f(x_0)$$

X 는 "반응 시뮬레이션"(100 페이지)에 정의된 모형 행렬입니다.

I- 최적 설계는 전체 설계 공간에 대해 예측 분산의 적분 I 를 최소화합니다. 여기서 I 는 다음과 같이 지정됩니다.

$$I = \int_R f(x)'(X'X)^{-1}f(x)dx = \text{trace}[(X'X)^{-1}M]$$

M 은 적률 행렬입니다.

$$M = \int_R f(x)f(x)'dx$$

자세한 내용은 "반응 시뮬레이션"(100 페이지)에서 확인하십시오. 반응 시뮬레이션에 대한 자세한 내용은 Goos and Jones(2011b)에서 확인하십시오.

적률 행렬은 설계에 의존하지 않으며 미리 계산할 수 있습니다. 행 벡터 $f(x)'$ 는 1 다음에 가정된 모형에 해당하는 효과가 나옵니다. 예를 들어 연속형 요인이 두 개 있는 완전 2 차 모형의 경우 $f(x)'$ 는 다음과 같이 정의됩니다.

$$f(x)' = (1, x_1, x_2, x_1x_2, x_1^2, x_2^2)$$

A- 최적

A- 최적 기준은 모형 계수 추정값의 공분산 행렬에 대한 대각합을 최소화합니다. 대각합은 행렬에서 주대각 요소의 합입니다. A- 최적 설계는 회귀 계수 분산의 합을 최소화합니다.

베이지안 I- 최적

베이지안 I- 최적 설계는 설계 영역에 대해 필수 항과 If Possible 항에 대한 평균 예측 분산을 최소화합니다.

다음 표기를 고려하십시오 .

- $\mathbf{X}$ 는 " 반응 시뮬레이션 "(100 페이지) 에 정의된 모형 행렬입니다 .
- $\mathbf{K}$ 는 다음과 같은 값을 갖는 대각 행렬입니다 .
 - $k=0$ (필수 항의 경우)
 - $k=1$ (If Possible 주효과 , 검정력 , 3 수준 이상의 범주형 요인과 관련된 교호작용의 경우)
 - $k=4$ (다른 모든 If Possible 항의 경우)

If Possible 모수의 벡터에 설정된 사전 분포는 평균 벡터가 $\mathbf{0}$ 이고 , 대각 공분산 행렬의 대각 항목이 $1/k^2$ 인 다변량 정규 분포입니다 . k 값에 대한 자세한 내용은 " 베이지안 D- 최적 "(117 페이지) 에서 확인하십시오 .

$\mathbf{x}_0$ 지점에서 예측값의 사후 분산은 다음과 같습니다 .

$$\text{var}(\hat{\mathbf{Y}}|\mathbf{x}_0) = f(\mathbf{x}_0)'(\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{K}^2)^{-1} f(\mathbf{x}_0)$$

베이지안 I- 최적 설계는 설계 영역에 대해 다음과 같이 평균 예측 분산을 최소화합니다 .

$$I_B = \text{trace}[(\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{K}^2)^{-1} \mathbf{M}]$$

$\mathbf{M}$ 은 적를 행렬입니다 . 자세한 내용은 " 반응 시뮬레이션 "(100 페이지) 에서 확인하십시오 .

별칭 최적

별칭 최적은 가정된 모형에 있는 효과와 모형에 없지만 잠재적 활성 상태인 효과 사이의 별칭 관계를 최소화하려고 합니다 . 모형에 없지만 잠재적 관심 대상인 효과를 **별칭 효과**라고 합니다 . 별칭 - 최적 설계에 대한 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2011b) 에서 확인하십시오 .

구체적으로 $\mathbf{X}_1$ 을 " 반응 시뮬레이션 "(100 페이지) 에서 정의된 가정된 모형의 항에 해당하는 모형 행렬로 지정하겠습니다 . 설계는 별칭 효과에 해당하는 모형을 정의합니다 . $\mathbf{X}_2$ 로 별칭 효과에 대한 모형 항 행렬을 나타냅니다 .

별칭 행렬은 다음과 같이 정의된 행렬 $\mathbf{A}$ 입니다 .

$$\mathbf{A} = (\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_2$$

별칭 행렬의 항목은 모형 항 추정값과 관련된 편향 정도를 나타냅니다 . 별칭 행렬의 과생에 대한 자세한 내용은 " 기술 상세 정보 " 부록의 " 별칭 행렬 "(721 페이지) 에서 확인하십시오 .

$\mathbf{A}$ 에 있는 항목의 제곱합은 편향에 대한 요약 지표를 제공합니다 . 이 제곱합은 다음과 같이 대각합으로 나타낼 수 있습니다 .

$$\text{trace}(\mathbf{A}'\mathbf{A})$$

대각합 기준을 감소하는 설계는 일반적으로 D- 최적 설계보다 D 효율도가 낮습니다 . 결과적으로 별칭 최적은 D 효율도의 하한에 따라 $\mathbf{A}'\mathbf{A}$ 의 대각합을 최소화하려고 합니다 . D 효율도의 정

의는 "최적 기준"(116 페이지)에서 확인하십시오. D 효율도의 하한은 "고급 옵션"에서 D 효율도 가중치를 지정하여 구할 수 있습니다. 자세한 내용은 "고급 옵션 > D 효율도 가중치"(100 페이지)에서 확인하십시오.

D 효율도

$\mathbf{X}$ 는 p 개 모수를 사용하는 가정된 모형의 설계 또는 모형 행렬을 나타냅니다. 모형 행렬의 정의는 "반응 시뮬레이션"(100 페이지)에서 확인하십시오. $\mathbf{X}_D$ 는 가정된 모형의 D-최적 설계에 대한 모형 행렬을 나타냅니다. 그러면 $\mathbf{X}$ 에 의해 지정된 설계의 D 효율도가 다음과 같습니다.

$$D \text{ 효율도} = \left[\frac{\det(\mathbf{X}'\mathbf{X})}{\det(\mathbf{X}_D'\mathbf{X}_D)} \right]^{1/p}$$

좌표 교환 알고리즘

사용자 설계는 여러 최적 기준 중 하나를 최적화하는 설계를 구성합니다. 자세한 내용은 "최적 기준"(116 페이지)에서 확인하십시오. 기준을 최적화하기 위해 사용자 설계는 좌표 교환 알고리즘(Meyer and Nachtsheim, 1995)을 사용합니다. 이 알고리즘은 시작 설계를 생성하기 위해 각 요인 및 각 런에 대해 지정된 설계 영역 내에서 무작위로 값을 선택하는 것에서 시작됩니다.

요인 제약 조건이 없는 연속형 요인 및 주효과 모형이 연구에 필요하다고 가정해 보겠습니다. 반복은 다음과 같이 모형 행렬의 각 값을 검정하는 것으로 구성됩니다.

- 각 요인의 현재 값은 최극단값 두 개로 대체됩니다.
- 두 대체 값에 대해 최적 기준이 계산됩니다.
- 값 중 하나가 최적 기준을 증가시키면 이 값이 이전 값을 대체합니다.

이 과정은 전체 반복에 대해 값 대체가 없을 때까지 계속됩니다.

다항식 항, 명목형 요인 및 요인 제약 조건을 처리하기 위해 알고리즘이 적절하게 조정됩니다.

이 과정에서 얻은 설계는 다양한 종류의 근접 설계에서 최적입니다. 그러나 이 설계는 로컬에서만 최적입니다. 전역 최적 설계를 찾을 확률을 높이기 위해 좌표 교환 알고리즘이 여러 번 반복됩니다. Goos and Jones(2011, p. 36)는 가장 자명한 경우를 제외한 모든 설계 상황에 대해 1,000 회 이상의 랜덤 시작을 사용하도록 권장합니다. 시작 설계 수는 "시작 수" 옵션에 의해 제어됩니다. 자세한 내용은 "시작 수"(104 페이지)에서 확인하십시오. 사용자 설계는 생성된 모든 설계 중에서 최적 기준을 최대화하는 설계를 제공합니다.

사용자 설계의 예

요구 사항을 충족하는 실험 수행

사용자 설계 플랫폼을 광범위한 실험 설계를 구성하기 위한 기본 도구로 사용합니다. 다양한 설계 유형을 구성하고 특정 실험 요구 및 리소스 예산에 맞게 세부적으로 조정할 수 있습니다.

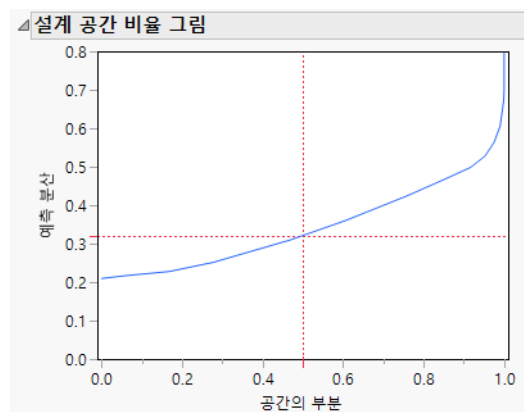
사용자 설계는 선별, 반응 표면, 완전 요인 및 혼합물 설계 플랫폼보다 많은 옵션과 컨트롤을 제공합니다. 구성한 설계는 목표에 맞게 특별히 생성됩니다. 따라서 목표를 충분히 충족시킬 수 없는 전통적 설계를 찾을 필요가 없습니다.

사용자 설계를 사용하여 구성할 수 있는 특수 목적의 유연한 설계는 다음과 같습니다.

- 선별 설계 (과포화 선별 설계 포함)
- 반응 표면 설계 (범주형 요인이 추가된 설계 포함)
- 혼합물 설계 (공정 요인이 추가된 설계, 혼합물 혼합 설계 포함)
- 공변량을 포함하는 설계 또는 시간 선형 추세에 대한 로버스트 설계
- 고정 및 랜덤 블록 설계
- 분할구, 분할 - 분할구 및 이원 분할구 (조각구) 설계

이 장에서는 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 이러한 설계 유형을 구성해 봅니다. 대부분의 경우 실험 결과도 분석합니다. 사용자 설계 플랫폼에 대한 자세한 내용은 "[사용자 설계](#)" 장 (59 페이지) 에서 확인하십시오.

그림 5.1 설계 공간 비율 그림



목차

선별 실험.....	123
주효과만추정하는 설계.....	123
모든 2요인 교호작용을 추정하는 설계.....	126
주효과와 2요인 교호작용의 별칭 관계를 방지하는 설계.....	128
과포화 선별 설계.....	131
고정 블록 설계.....	139
반응 표면 실험.....	143
반응 표면 설계.....	143
유연한 블록화 방법을 사용하는 반응 표면 설계.....	149
D-최적과 I-최적의 반응 표면 설계 비교.....	152
제약 조건 및 범주형 요인이 있는 반응 표면 설계.....	156
혼합물 실험.....	162
비혼합 요인이 있는 혼합물 설계.....	162
혼합물 혼합 설계.....	166
공변량이 포함된 실험.....	170
고정 공변량이 포함된 설계.....	171
변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계.....	173
시간 선형 추세가 포함된 설계.....	177
랜덤화 제한이 있는 실험.....	180
분할구 실험.....	180
이원 분할구 실험.....	184
로버스트 공정 및 제품 설계를 위한 실험.....	191

선별 실험

공정을 연구하는 초기 단계에서는 하나 이상의 반응에 영향을 줄 수 있는 요인 목록을 식별합니다. **활성 요인**, 즉 실제로 반응에 영향을 주는 요인을 식별하는 데 관심이 있습니다. 선별 설계는 활성 가능성이 있는 요인을 판별하는 데 도움이 됩니다. 활성 요인이 식별되면 반응 표면 설계와 같은 더 정교한 설계를 구성하여 교호작용과 곡률을 모델링할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼을 사용하여 구성된 선별 설계는 선별 설계 플랫폼에서 제공하는 전통적 설계와 동등한 경우가 많습니다. 그러나 사용자 설계는 전통적 선별 설계를 사용할 수 없는 경우 설계를 구성할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼은 D- 최적 또는 베이지안 D- 최적 기준을 사용하여 선별 설계를 구성합니다. D- 최적 기준은 모형 계수 추정값의 공분산 행렬에 대한 행렬식을 최소화합니다. 결과적으로 D- 최적은 효과의 정확한 추정에 중점을 둡니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**최적 기준**"(116 페이지)에서 확인하십시오.

- "**주효과만추정하는 설계**"
- "**모든 2 요인 교호작용을 추정하는 설계**"
- "**주효과와 2 요인 교호작용의 별칭 관계를 방지하는 설계**"
- "**과포화 선별 설계**"
- "**고정 블록 설계**"

주효과만추정하는 설계

참고: 주효과만 선별하는 설계에 대한 자세한 내용은 "**선별 설계**" 장 (269 페이지)에서 확인하십시오.

이 예에서는 6 개 요인의 주효과를 연구하려고 합니다. 모든 주효과가 직교하는 선별 설계를 구성합니다. 그러나 주효과는 2 요인 교호작용과 별칭 관계를 갖습니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "요인" 개요에서 **N 개 요인 추가** 옆에 6 을 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.

"모형" 개요가 나타납니다. 여기에는 "추정 가능성"이 "필수"로 지정된 주효과만 포함되어 있습니다. 즉, 생성된 설계에서 모든 주효과를 추정할 수 있습니다.

그림 5.2 모형 개요를 보여 주는 사용자 설계 창

▲ 사용자 설계

▶ 반응

▲ 요인

요인 추가 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1
X2	연속형	쉬움	-1
X3	연속형	쉬움	-1
X4	연속형	쉬움	-1
X5	연속형	쉬움	-1

▶ 요인 제약 조건 정의

▲ 모형

주효과 교호작용 ▼ RSM 교차 먹 ▼ 항 제거

이름	추정 가능성
절편	필수
X1	필수
X2	필수
X3	필수
X4	필수
X5	필수
X6	필수

▶ 별칭 항

▲ 설계 생성

☐ 한을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화: 2

중앙점 수: 0

반복 런 수: 0

런 수:

☐ 최소값 7

☐ 기본값 12

☒ 사용자 지정 12

설계 생성

기본값 런 수 12 를 그대로 유지합니다.

참고 : 5 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 6 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

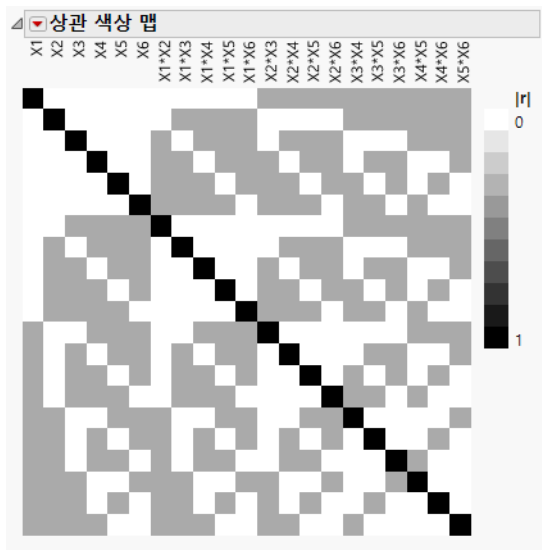
5. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
6. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 1 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
7. **설계 생성**을 클릭합니다.

그림 5.3 주효과만 추정하는 설계

설계	런	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	2	1	-1	1	-1	-1	-1
3	3	1	1	-1	1	-1	-1
4	4	-1	1	1	-1	1	-1
5	5	1	-1	1	1	-1	1
6	6	1	1	-1	1	1	-1
7	7	1	1	1	-1	1	1
8	8	-1	1	1	1	-1	1
9	9	-1	-1	1	1	1	-1
10	10	-1	-1	-1	1	1	1
11	11	1	-1	-1	-1	1	1
12	12	-1	1	-1	-1	-1	1

8. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다.

그림 5.4 상관 색상 맵



다음을 확인할 수 있습니다.

- 주효과는 맵의 왼쪽 위에 6 개 행으로 나타납니다.
- 6 개 주효과와 다른 주효과의 상관에 해당하는 흰색은 상관계수 0 을 나타냅니다. 이는 모든 주효과가 직교되고 서로 독립적으로 추정할 수 있음을 의미합니다.
- 일부 이원 교호작용에 해당하는 사각형의 연한 회색은 해당 효과가 서로 상관되어 있음을 나타냅니다. 이는 해당 효과를 다른 효과와 독립적으로 추정할 수 없음을 의미합니다. 사각형 위에 커서를 놓으면 정확한 상관관계가 표시됩니다.
- 서로 완전히 교락되는 효과는 없습니다. 절대 상관 1 을 나타내는 검은색 사각형은 주대각 위에만 있습니다.

9. 설계 평가 > 별칭 행렬 개요를 엽니다.

그림 5.5 별칭 행렬

효과	X1*X2	X1*X3	X1*X4	X1*X5	X1*X6	X2*X3	X2*X4	X2*X5	X2*X6	X3*X4	X3*X5	X3*X6	X4*X5	X4*X6	X5*X6
절편	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X1	0	0	0	0	0	-0.33	0.333	0.333	-0.33	-0.33	-0.33	0.333	-0.33	-0.33	0.333
X2	0	-0.33	0.333	0.333	-0.33	0	0	0	0	-0.33	0.333	0.333	-0.33	-0.33	-0.33
X3	-0.33	0	-0.33	-0.33	0.333	0	-0.33	0.333	0.333	0	0	0	-0.33	0.333	-0.33
X4	0.333	-0.33	0	-0.33	-0.33	-0.33	0	-0.33	-0.33	0	-0.33	0.333	0	0	-0.33
X5	0.333	-0.33	-0.33	0	0.333	0.333	-0.33	0	-0.33	-0.33	0	-0.33	0	-0.33	0
X6	-0.33	0.333	-0.33	0.333	0	0.333	-0.33	-0.33	0	0.333	-0.33	0	-0.33	0	0

"별칭 행렬"은 모형에서 주효과 항의 계수가 잠재적 활성 상태인 2 요인 교호작용 효과에 의해 어떻게 편향되는지 보여 줍니다. 열 라벨은 교호작용을 식별합니다. 예를 들어 X1 행에서 X2*X3 열의 값은 -0.33 이고, X2*X4 열의 값은 0.333 입니다. 즉, X1 주효과에 X2*X3 효과의 -0.33 배를 더하고, X2*X4 효과의 0.333 배를 더하는 식으로 X1 행의 남은 항까지 계산하여 X1 주효과의 기대값을 구할 수 있습니다. X1 주효과의 추정값이 유의하려면 X1 효과와 비교하여 이러한 교호작용의 크기를 무시할 수 있는 것으로 가정해야 합니다.

팁: 별칭 행렬은 부분 요인 설계에서 교락 패턴을 일반화한 것입니다.

모든 2 요인 교호작용을 추정하는 설계

그림 5.5의 별칭 행렬은 효과의 부분 별칭 구조를 보여 줍니다. 다른 경우에는 주효과가 2 요인 교호작용과 완전히 별칭 관계가 되거나 교락될 수 있습니다. 두 경우 모두 강력한 2 요인 교호작용으로 인해 주효과만 추정하는 실험의 결과에 혼동을 줄 수 있습니다. 이러한 위험을 방지하기 위해 모든 2 요인 교호작용을 해결하는 설계를 생성합니다.

이 예에서는 해상도 V 선별 설계를 생성합니다. 2 요인 교호작용은 직교이지만 3 요인 교호작용과 교락됩니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 옆에 5 를 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. "모형" 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 선택합니다.

그림 5.6 교호작용을 보여 주는 모형 개요

모형	
주효과	교호작용 ▼ RSM 교차 맥 ▼ 항 제거
이름	추정 가능성
절편	필수
X1	필수
X2	필수
X3	필수
X4	필수
X5	필수
X1*X2	필수
X1*X3	필수
X1*X4	필수
X1*X5	필수
X2*X3	필수
X2*X4	필수
X2*X5	필수
X3*X4	필수
X3*X5	필수
X4*X5	필수

6. **최소값**을 클릭하여 런 수에 16 을 적용합니다 .

참고 : 7 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하고 8 단계에서 " 시작 수 " 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

7. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정** 을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .
8. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수** 를 선택한 후 1 을 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .
9. **설계 생성** 을 클릭합니다 .

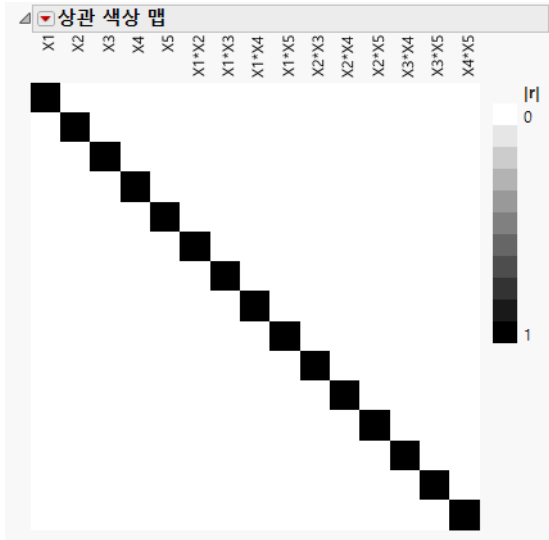
그림 5.7 에서는 설계의 런을 보여 줍니다 . " 모형 " 개요에서 모든 주효과와 2 요인 교호작용의 " 추정 가능성 " 이 " 필수 " (기본값) 로 지정되었으므로 효과를 추정할 수 있습니다 .

그림 5.7 모든 2 요인 교호작용을 추정하기 위한 설계

설계						
런	X1	X2	X3	X4	X5	
1	-1	-1	1	-1	-1	
2	-1	-1	-1	1	-1	
3	1	1	1	1	1	
4	-1	-1	1	1	1	
5	1	-1	1	-1	1	
6	1	1	-1	1	-1	
7	1	-1	-1	-1	-1	
8	1	-1	1	1	-1	
9	-1	1	1	-1	1	
10	-1	-1	-1	-1	1	
11	-1	1	-1	1	1	
12	1	1	-1	-1	1	
13	1	1	1	-1	-1	
14	-1	1	1	1	-1	
15	1	-1	-1	1	1	
16	-1	1	-1	-1	-1	

10. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다.

그림 5.8 상관 색상 맵



색상 맵은 5 개의 주효과와 10 개의 이원 교호작용이 모두 상호 직교함을 나타냅니다.

주효과와 2 요인 교호작용의 별칭 관계를 방지하는 설계

6 개 연속형 요인의 주효과를 추정하는 것에 가장 관심이 있다고 가정해 보겠습니다. 그러나 주효과와 잠재적 활성 상태인 2 요인 교호작용의 별칭 관계를 최소화하는 방식을 사용하려고 합니다.

예산을 고려할 때 가능한 런 수는 16 회입니다. 요인이 6 개이고 가능한 2 요인 교호작용은 15 개입니다. 상수, 주효과 6 개 및 2 요인 교호작용 15 개를 적합시키는데 필요한 최소 런 수는 22 입니다.

이 예에서는 주효과만 추정하는 8 회 런 설계 ("[주효과만추정하는 설계](#)"(123 페이지) 참조)와 모든 2 요인 교호작용을 적합시킬 수 있는 22 회 런 설계의 절충안을 찾습니다. 목표 달성을 위해 "별칭 최적"을 최적 기준으로 사용합니다.

1. DOE > 사용자 설계를 선택합니다.
2. N 개 요인 추가 옆에 6 을 입력합니다.
3. 요인 추가 > 연속형을 클릭합니다.
4. 계속을 클릭합니다.

기본적으로 모형에 주효과 항이 포함됩니다. 이 항의 기본 추정 가능성은 "필수"입니다. "별칭 항" 개요에 2 차 교호작용이 추가되어 있습니다. 기본적으로 가정된 모형에 포함되지 않은 모든 이원 교호작용은 "별칭 항" 목록에 추가됩니다.

5. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 최적 기준 > 최적 설계 별칭 생성을 선택합니다.

" 최적 설계 별칭 생성 " 을 선택하면 JMP 에서 D 효율도를 사용하여 별칭 축소의 균형을 맞추는 설계를 생성합니다 . 자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 " 별칭 최적 "(119 페이지) 에서 확인하십시오 .

6. 사용자 지정을 클릭하고 런 수를 16 으로 변경합니다 .

그림 5.9 요인 , 모형 , 별칭 항 및 런 수

▲ 사용자 설계

반응

요인

요인 추가 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1 1
X2	연속형	쉬움	-1 1
X3	연속형	쉬움	-1 1
X4	연속형	쉬움	-1 1
X5	연속형	쉬움	-1 1

요인 제약 조건 정의

모형

주효과 교호작용 ▼ RSM 교차 맥 ▼ 항 제거

이름	추정 가능성
절편	필수
X1	필수
X2	필수
X3	필수
X4	필수
X5	필수
X6	필수

별칭 항

주효과 교호작용 ▼ RSM 교차 맥 ▼ 항 제거

이름
X1*X2
X1*X3
X1*X4
X1*X5
X1*X6
X2*X3
X2*X4
X2*X5

설계 생성

☐ 런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화: 2

중앙점 수: 0

반복 런 수: 0

런 수:

☐ 최소값 7

☐ 기본값 12

☒ 사용자 지정 16

설계 생성

참고 : 7 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하고 8 단계에서 " 시작 수 " 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

7. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
8. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 10을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
9. **설계 생성**을 클릭합니다.
10. **설계 평가 > 별칭 행렬** 개요를 엽니다.

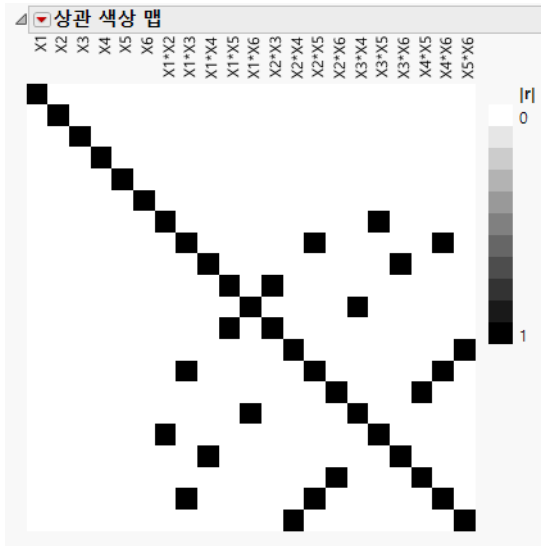
그림 5.10 별칭 행렬

별칭 행렬																
효과	X1*X2	X1*X3	X1*X4	X1*X5	X1*X6	X2*X3	X2*X4	X2*X5	X2*X6	X3*X4	X3*X5	X3*X6	X4*X5	X4*X6	X5*X6	
절편	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

모든 행에 0만 포함되어 있으며 이는 절편 및 주효과 항이 2 요인 교호작용에 의해 편향되지 않음을 의미합니다.

11. **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

그림 5.11 상관 색상 맵



"상관 색상 맵"에서는 주효과를 이원 교호작용과 독립적으로 추정할 수 있음을 보여 줍니다. 그러나 일부 이원 교호작용은 다른 이원 교호작용과 완전히 별칭 관계가 됩니다. 비대각 빨간색 삼각형 위에 커서를 놓으면 교락된 이원 교호작용이 표시됩니다.

이 특정 설계는 해상도 IV 직교 선별 설계입니다. 주효과는 다른 주효과 또는 이원 교호작용과 별칭 관계를 갖지 않습니다. 그러나 이원 교호작용은 다른 이원 교호작용과 완전히 별칭 관계가 됩니다.

과포화 선별 설계

일반적으로 브레인스토밍 세션에서 수십 개의 잠재적 활성 요인을 식별합니다. 데이터의 이점을 사용하지 않고 목록을 줄이는 대신 과포화 설계를 사용할 수 있습니다.

포화 설계에서는 런 수가 모형 항의 수와 같습니다. 과포화 설계에서는 모형 항의 수가 런 수를 초과합니다(Lin, 1993). 과포화 설계는 요인 수의 절반보다 적은 런을 사용하여 수십 개의 요인을 검토할 수 있습니다. 이 설계는 요인이 많고 실험 런의 비용이 많이 드는 경우 요인 선별을 위한 유용한 선택입니다.

기존의 과포화 설계보다 우수한 활성 효과 식별을 위해 그룹 직교 과포화 설계를 사용할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "[그룹 직교 과포화 설계](#)" 장 (665 페이지) 에서 확인하십시오.

과포화 설계의 제한

과포화 설계에는 다음과 같은 단점이 있습니다.

- 활성 요인의 수가 실험 런 수의 절반보다 많으면 이러한 요인을 식별하지 못할 가능성이 있습니다. 일반적으로 런 수는 활성 요인 수보다 4 배 이상 많아야 합니다. 즉, 활성 요인이 최대 5 개 정도 있을 것으로 예상되는 경우 최소 20 회의 런을 계획해야 합니다.
- 아직은 과포화 설계 분석을 자동 프로시저로 축소할 수 없습니다. 그러나 단계별 전진 회귀를 사용하는 것은 적절합니다. 또한 선별 플랫폼 (DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합) 은 간소화된 분석을 제공합니다.

과포화 설계 생성

이 예에서는 8 회 런을 수행하여 12 개 요인을 연구하기 위해 과포화 설계를 구성하려고 합니다. 과포화 설계를 생성하려면 절편을 제외한 모든 모형 항의 "추정 가능성" 을 "If Possible" 로 설정합니다.

참고: 이 예는 설명을 위한 것입니다. 과포화 설계의 런 수는 14 개 이상이어야 합니다. 활성 요인의 수가 4 개 이하인 경우 8 회 런 설계의 결과를 해석하기가 매우 어렵습니다. 자세한 내용은 "[과포화 설계의 제한](#)" (131 페이지) 에서 확인하십시오.

1. DOE > 사용자 설계를 선택합니다.
2. N 개 요인 추가 옆에 12 를 입력합니다.
3. 요인 추가 > 연속형을 클릭합니다.
4. 계속을 클릭합니다.
5. "모형" 개요에서 절편을 제외한 모든 항을 선택합니다.

6. 효과 옆의 필수를 클릭한 후 **If Possible** 로 변경합니다.

효과를 **If Possible** 로 설정하면 JMP 에서 베이지안 D- 최적 기준을 사용하여 설계를 구성합니다.

그림 5.12 요인, 모형 및 런 수

The image shows the JMP software interface for setting up a fractional factorial design. The '요인' (Factors) section lists 12 factors (X1 to X12) with their levels and values. The '요인 제약 조건 정의' (Factor Constraint Definition) section shows the '모형' (Model) tab selected, with '주효과' (Main Effects) and '교호작용' (Interaction) options. The '별칭 항' (Alias Term) section shows the '설계 생성' (Generate Design) button. The '런 수' (Number of Runs) section shows the '사용자 지정' (Custom) option selected with a value of 8.

이름	의미	변경	값
X1	정수	쉬움	-1
X2	정수	쉬움	-1
X3	정수	쉬움	-1
X4	정수	쉬움	-1
X5	정수	쉬움	-1
X6	정수	쉬움	-1
X7	정수	쉬움	-1
X8	정수	쉬움	-1
X9	정수	쉬움	-1
X10	정수	쉬움	-1
X11	정수	쉬움	-1
X12	정수	쉬움	-1

이름	추정 가능성
절편	필수
X1	If Possible
X2	If Possible
X3	If Possible
X4	If Possible
X5	If Possible
X6	If Possible
X7	If Possible
X8	If Possible
X9	If Possible
X10	If Possible
X11	If Possible
X12	If Possible

별칭 항

설계 생성

런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화: 2

중앙점 수: 0

반복 런 수: 0

런 수:

☐ 최소값 1

☐ 기본값 8

☒ 사용자 지정 8

설계 생성

7. " 별칭 항 " 개요에서 모든 효과를 선택하고 **항 제거**를 클릭합니다.

이렇게 하면 " 상관 색상 맵 " 에 주효과만 나타납니다. 이 그림은 설계가 생성되면 만들어집니다.

8. " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **반응 시뮬레이션**을 선택합니다.

이 옵션은 설계 테이블에 나타나는 확률 반응을 생성합니다. 이 반응을 사용하여 실험 데이터 분석 방법을 확인할 수 있습니다.

기본값 8 로 설정된 " 런 수 " 를 유지합니다 .

참고 : 9 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하고 10 단계에서 " 시작 수 " 를 설정하면 이 예에 표시된 설계가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

9. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정** 을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .
10. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수** 를 선택한 후 5 를 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .
11. **설계 생성** 을 클릭합니다 .
12. **테이블 생성** 을 클릭합니다 .

" 사용자 설계 " 창을 닫지 마십시오 . 이 예에서 나중에 다시 여기로 돌아갑니다 .

그림 5.13 시뮬레이션된 반응을 포함하는 설계 테이블

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	Y	Y 시뮬레이션
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	4.2629915771	4.26299158
2	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1.438125879	-1.4381259
3	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	5.0497191395	5.04971914
4	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	4.5974960573	4.59749606
5	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-2.460527065	-2.4605271
6	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	2.5502111384	2.55021114
7	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-6.713917002	-6.713917
8	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	2.7967724032	2.7967724

반응 열 Y 와 Y 시뮬레이션은 동일한 시뮬레이션 값으로 시작됩니다 . 이 값은 $N(0, s)$ 분포의 난수 값입니다 . 여기서 s 는 검정력 분석 대화상자의 RMSE(기본값 1) 입니다 . Y 시뮬레이션 값은 " 반응 시뮬레이션 " 창의 모수 값으로 정의된 모형을 사용하여 무작위로 생성된 값으로 업데이트됩니다 . Y 열은 실험 실행 후의 실제 반응을 위한 것입니다 .

그림 5.14 반응 시뮬레이션 창

반응 시뮬레이션

효과	Y
절편	1
X1	1
X2	1
X3	1
X4	1
X5	1
X6	1
X7	1
X8	1
X9	1
X10	1
X11	1
X12	1

계수 재설정

분포

☒ 정규 오차 σ : 1

☐ 이항

☐ Poisson

적용

"반응 시뮬레이션" 창에는 모든 항에 대한 기본 계수 1, "정규" 분포 선택 및 "오차 σ " 1 이 표시됩니다. 현재 Y 및 Y 시뮬레이션 열의 값은 랜덤 변동만 반영합니다.

13. "반응 시뮬레이션" 창의 계수 값을 그림 5.15 에 표시된 것과 같이 변경합니다.

그림 5.15 시뮬레이션된 반응의 모수 값

반응 시뮬레이션

효과

Y

절편

100

X1

10

X2

0

X3

0

X4

0

X5

0

X6

0

X7

0

X8

0

X9

0

X10

0

X11

10

X12

0

계수 재설정

분포

☒ 정규 오차 σ : 1

☐ 이항

☐ Poisson

적용

14. **적용**을 클릭합니다.

Y 시뮬레이션 열의 반응 값이 변경됩니다.

참고 : 반응 값은 무작위로 생성됩니다 . 따라서 그림 5.16 의 값과 정확하게 일치하지 않습니다 .

그림 5.16 X1 과 X11 이 활성화된 Y 시뮬레이션 반응 열

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	Y	Y 시뮬레이션
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1.9857593616	119.909452
2	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-0.473978186	101.723966
3	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	3.6967015066	99.6456459
4	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	5.9301049639	120.76769
5	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-2.330327733	78.8758324
6	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	0.2896293763	99.5619574
7	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-4.470095326	80.0586406
8	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	4.3374767582	100.140816

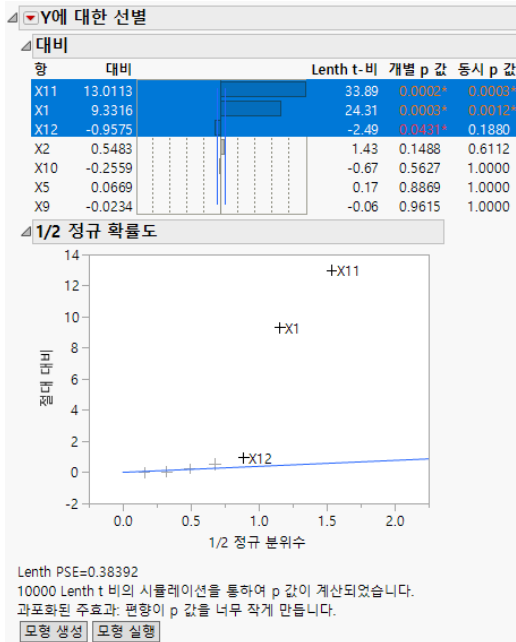
시뮬레이션에서 X1 과 X11 을 오차 변동에 비례하여 효과가 큰 활성 요인으로 지정했습니다 . 따라서 데이터 분석 결과 이러한 두 요인이 활성 요인으로 식별되어야 합니다 .

선별 플랫폼을 사용하여 과포화 설계 분석

선별 플랫폼은 활성 요인을 식별하는 방법을 제공합니다. 선별 플랫폼을 사용하여 설계 테이블의 Y 시뮬레이션 값을 분석합니다 (그림 5.16). 선별 플랫폼은 **DOE > 전통적 설계** 메뉴에 있습니다.

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**을 선택합니다.
2. Y 시뮬레이션을 선택하고 **Y** 를 클릭합니다.
3. X1 ~ X12 를 선택하고 **X** 를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

그림 5.17 과포화 설계에 대한 선별 보고서



X1 요인과 X11 요인의 " 대비 " 및 "Lenth t- 비 " 값이 큼니다. 또한 이 요인의 " 동시 p 값 " 은 작습니다. "1/2 정규 확률도 " 에서 X1 과 X11 은 둘 다 선에서 멀리 떨어져 있습니다. " 대비 " 및 "1/2 정규 확률도 " 보고서는 X1 과 X11 이 활성 요인임을 나타냅니다. X12 는 " 개별 p 값 " 이 0.05 미만이지만 X1 및 X11 과 비교하여 효과가 훨씬 작습니다.

과포화된 설계이므로 모든 효과를 추정할 수 있는 모형의 경우보다 p 값이 작을 수 있습니다. 효과 추정값이 다른 잠재적 활성 주효과에 의해 편향되기 때문입니다. 그림 5.17 에서 " 모형 생성 " 버튼 바로 위에 이 가능성에 대한 경고 메시지가 있습니다.

활성으로 보이는 효과가 다른 효과와 높은 상관관계가 있는지 여부를 확인할 수도 있습니다. 상관관계가 높으면 한 효과가 다른 효과의 참유의성을 감출 수 있습니다. 그림 5.19 의 색상 맵은 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다.

4. **모형 생성**을 클릭합니다.

생성된 모형에는 X1, X11 및 X12 효과만 포함됩니다.

5. "모형 규격" 창에서 **실행**을 클릭합니다.

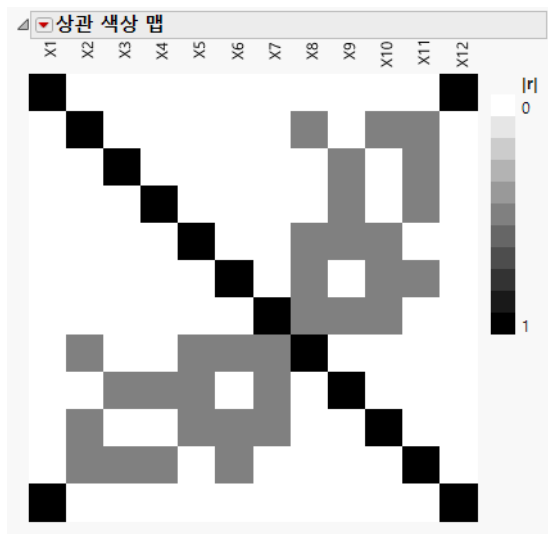
그림 5.18 모형의 모수 추정값

모수 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	100.12645	0.319502	313.38	<.0001*	
X11	11.347787	0.360447	31.48	<.0001*	
X1	9.8209584	0.319502	30.74	<.0001*	
X12	-1.1329	0.360447	-3.14	0.0347*	

X11 및 X1의 모수 추정값은 모형을 시뮬레이션할 때 사용한 이론적 값에 가깝습니다. 자세한 내용은 그림 5.15에서 확인하십시오. 여기서 X1 = 10 과 X11 = 10 을 사용하여 모형을 지정했습니다. X12 요인의 유의성은 False Positive 의 예입니다.

6. "사용자 설계" 창에서 **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

그림 5.19 상관 색상 맵 개요



커서를 사용하여 마우스 포인터를 셀 위에 놓으면 절대 상관이 표시됩니다. X1은 다른 주요 변수(X4, X5, X7)와 최대 0.5의 상관관계가 있습니다. 그림 5.19에는 JMP 기본 색상이 사용됩니다.

단계별 회귀를 사용하여 과포화 설계 분석

단계별 회귀는 활성 요인을 식별하는 또 다른 방법입니다. 그림 5.16의 설계 테이블에는 3개의 스크립트가 포함되어 있습니다. "모형" 스크립트는 모형 적합 플랫폼에서 단계별 회귀를 사용하여 데이터를 분석합니다.

1. 설계 테이블의 테이블 패널에서 **모형** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
2. 분석법을 **표준 최소 제곱**에서 **단계별**로 변경합니다.

3. 실행을 클릭합니다.

4. "Y에 대한 단계별 회귀 적합" 보고서에서 **중지 규칙**을 **최소 AICc**로 변경합니다.

설계된 실험의 경우 BIC 중지 규칙은 모형에 비활성 효과를 허용하는 경향이 있으므로 대개 AICc 보다 관대합니다.

5. 시작을 클릭합니다.

그림 5.20 과포화 설계에 대한 단계별 회귀

Y에 대한 단계별 회귀 적합

단계별 회귀 제어

중지 규칙: 최소 AICc [모두 입력] [모형 생성]

방향: 전진 선택 [모두 제거] [모형 실행]

[시작] [중지] [단계]

	SSE	DFE	RMSE	R ²	Adj-R ²	Cp	p	AICc	BIC
	10.303713	5	1.4355287	0.9950	0.9930	.	3	46.06085	33.04528

현재 추정값

잠금	추가	모수	추정값	nDF	SS	"F 비"	"Prob>F"
☒	☒	절편	100.288292	1	0	0.000	1
☐	☒	X1	9.65911557	1	696.6289	338.048	8.75e-6
☐	☐	X2	0	1	6.663958	7.324	0.05375
☐	☐	X3	0	1	0.025784	0.010	0.92503
☐	☐	X4	0	1	1.069475	0.463	0.53346
☐	☐	X5	0	1	0.367431	0.148	0.72011
☐	☐	X6	0	1	1.775829	0.833	0.41305
☐	☐	X7	0	1	1.01185	0.436	0.54533
☐	☐	X8	0	1	1.087016	0.472	0.52993
☐	☐	X9	0	1	1.130717	0.493	0.52127
☐	☐	X10	0	1	1.039842	0.449	0.53951
☐	☒	X11	10.8622582	1	825.9206	400.788	5.75e-6
☐	☐	X12	0	1	7.334066	9.879	0.03475

단계 기록

단계	모수	작업	"유의 확률"	Seq SS	R ²	Cp	p	AICc	BIC
1	X11	추가	0.0147	1354.353	0.6570	.	2	70.555	64.7933 ○
2	X1	추가	0.0000	696.6289	0.9950	.	3	46.0609	33.0453 ○
3	X12	추가	0.0347	7.334066	0.9986	.	4	54.775	25.1722 ○
4	X2	추가	0.0374	2.405438	0.9997	.	5	97.4888	13.9655 ○
5	X10	추가	0.0362	0.524072	1.0000	.	6	.	-5.1002 ○
6	X5	추가	0.2140	0.035771	1.0000	.	7	.	-20.77 ○
7	최선	특정	.	.	0.9950	.	3	46.0609	33.0453 ●

그림 5.20에서는 선택된 모형이 두 가지 활성 요인 (X1, X11)으로 구성되어 있음을 보여 줍니다. 보고서 아래쪽에 단계 기록이 나타납니다. X1 및 X11과 다른 요인과의 상관관계는 다른 활성 요인의 효과를 감출 수 있다는 점에 유의하십시오 (그림 5.19).

참고 : 이 예에서는 큰 주효과를 두 개 정의하고 나머지는 0으로 설정합니다. 실제 상황에서는 이와 같이 뚜렷하게 차별화되는 효과를 가질 가능성이 낮을 수 있습니다.

고정 블록 설계

기존 선별 설계에서는 블록 크기가 2 의 거듭제곱이어야 합니다 . 그러나 사용자 설계 플랫폼은 원하는 크기의 고정 블록으로 설계를 생성할 수 있습니다 .

세 가지 요인을 연구하려고 한다고 가정해 보겠습니다. 하루에 세 번만 실험을 실행할 수 있고 일별 변동이 상당할 것으로 예상됩니다. 결과적으로 여러 날 동안의 설계를 블록화해야 합니다. 또한 이 연구에서 모든 2 요인 교호작용을 추정하는 데 관심이 있습니다 . 이 예에서는 블록당 3 회 런을 사용하여 설계를 구성합니다 .

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다 .
2. " 요인 " 개요에서 **N 개 요인 추가** 옆에 3 을 입력합니다 .
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다 .
4. **요인 추가 > 블록화 > 블록당 3 회 런**을 클릭합니다 .

블록 요인 X4의 값 아래에 한 수준만 표시됩니다. 여기서는 런 크기를 알 수 없기 때문입니다.

그림 5.21 X4 에 대한 블록 하나를 보여 주는 요인 개요

요인

요인 추가

제거

N 개 요인 추가

1

이름	역할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1 1
X2	연속형	쉬움	-1 1
X3	연속형	쉬움	-1 1
X4	블록화	쉬움	1

요인 지정

요인 추가 버튼을 클릭하여 요인을 추가하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

5. **계속**을 클릭합니다 .

그림 5.22 X4에 대한 블록 3개를 보여 주는 요인 개요

사용자 설계

반응

요인

요인 추가 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1 1
X2	연속형	쉬움	-1 1
X3	연속형	쉬움	-1 1
X4	블록화	쉬움	1 2 3

요인 제약 조건 정의

모형

별칭 항

설계 생성

중앙점 수: 0

반복 런 수: 0

런 수:

☐ 최소값 5

☐ 기본값 9

☒ 사용자 지정 9

설계 생성

이제 "요인" 개요에 적절한 블록 수가 표시됩니다. 이 값은 기본 런 크기를 블록당 런 수로 나누어 계산됩니다. 이 예의 경우 기본 표본 크기 9에 3개의 블록이 필요합니다. 이제 "요인" 개요에는 X4에 대한 3개의 값이 표시되어 블록이 3개임을 나타냅니다.

참고: 다른 런 수를 지정하면 "요인" 개요가 업데이트되어 블록 요인에 대해 적절한 수의 값이 표시됩니다.

- "요인" 개요에서 연속형 요인 X1, X2, X3을 선택합니다.
- "모형" 개요에서 **교호작용 > 2**를 클릭합니다.

그림 5.23 X4 에 대한 블록 6 개를 보여 주는 요인 개요

요인

요인 추가

제거

N개 요인 추가

1

이름	역할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1
X2	연속형	쉬움	-1
X3	연속형	쉬움	-1
X4	블록화	쉬움	1

요인 제약 조건 정의

모형

주효과

교호작용

RSM

교차

역

항 제거

이름	추정 가능성
절편	필수
X1	필수
X2	필수
X3	필수
X4	필수
X1*X2	필수
X1*X3	필수
X2*X3	필수

별칭 항

설계 생성

중앙점 수:

0

반복 런 수:

0

런 수:

최소값

12

기본값

18

사용자 지정

18

설계 생성

이제 "런 수" 패널에 기본 런 크기가 18로 표시됩니다. "요인" 개요에는 X4 에 대한 6 개의 값이 표시되어 블록이 6 개임을 나타냅니다.

참고 : 8 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 9 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

- (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
- (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 5 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
- 설계 생성**을 클릭합니다.

그림 5.24 고정 블록 설계

설계	런	X1	X2	X3	X4
	1	1	-1	-1	1
	2	-1	-1	-1	2
	3	1	1	-1	3
	4	-1	-1	-1	4
	5	1	1	1	5
	6	-1	-1	1	6
	7	-1	1	-1	1
	8	1	1	-1	2
	9	-1	1	1	3
	10	1	-1	1	4
	11	-1	-1	1	5
	12	-1	1	-1	6
	13	-1	-1	1	1
	14	-1	1	1	2
	15	1	-1	1	3
	16	-1	1	1	4
	17	1	-1	-1	5
	18	1	1	1	6

설계에서 블록 요인 X4 를 살펴보십시오. 6 개 블록이 표시됩니다. 실험을 수행할 때 매일 세 번씩 시도되며, 첫째 날의 X4 = 1, 둘째 날의 X4 = 2 등으로 지정됩니다. 따라서 설계 테이블에서 블록 내의 시도를 랜덤화하려고 합니다. "출력 옵션" 패널에서 "런 순서"에 대해 "블록 내 랜덤화" 옵션이 이미 선택되어 있습니다.

11. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 5.25 고정 블록 설계에 대한 설계 테이블

	X1	X2	X3	X4	Y
1	1	-1	-1	1	•
2	-1	-1	1	1	•
3	-1	1	-1	1	•
4	-1	1	1	2	•
5	1	1	-1	2	•
6	-1	-1	-1	2	•
7	-1	1	1	3	•
8	1	-1	1	3	•
9	1	1	-1	3	•
10	-1	1	1	4	•
11	1	-1	1	4	•
12	-1	-1	-1	4	•
13	-1	-1	1	5	•
14	1	1	1	5	•
15	1	-1	-1	5	•
16	-1	-1	1	6	•
17	1	1	1	6	•
18	-1	1	-1	6	•

설계 테이블의 행은 하루에 시도되는 런으로 그룹화됩니다. 이 설계를 사용하면 블록 효과, 모든 주효과 및 2 요인 교호작용을 추정할 수 있습니다.

반응 표면 실험

반응 표면 실험은 대개 활성 요인으로 식별된 소수 (일반적으로 2~8 개) 의 연속형 요인을 포함합니다. 반응 표면 실험의 주 목표는 요인과 반응 간의 관계에 대한 예측 모형을 개발하는 것입니다. 종종 이 예측 모형을 사용하여 공정에 대해 더 나은 작동 설정을 찾습니다. 따라서 반응 표면 실험의 가정된 모형은 일반적으로 2 차입니다.

선별 설계는 활성 효과를 식별하는 데 중점을 두기 때문에 품질을 결정하는 측도는 계수의 상대 분산 크기입니다. 이러한 상대 분산을 작게 하려고 합니다. D- 최적으로 상대 분산을 해결할 수 있습니다.

반응 표면 실험에서는 요인 범위에 대한 예측 분산이 계수 분산보다 중요합니다. 설계 공간에 대한 예측 분산은 I- 최적으로 해결됩니다. I- 최적 설계는 D- 최적 설계와 비교하여 설계 공간의 극단에 더 적은 런을 배치하는 경향이 있습니다. D- 최적 및 I- 최적에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**최적 기준**"(116 페이지) 에서 확인하십시오.

기본적으로 사용자 설계는 "최적 기준"에 대해 "권장 사항" 옵션을 사용합니다. 사용자 설계는 "모형" 개요에서 "RSM" 버튼을 사용하여 2 차 효과를 추가할 때마다 I- 최적 기준을 "권장 사항" 기준으로 사용합니다. 그렇지 않은 경우에는 D- 최적 기준을 "권장 사항" 기준으로 사용합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**최적 기준**"(116 페이지) 에서 확인하십시오.

- "**반응 표면 설계**"
- "**유연한 블록화 방법을 사용하는 반응 표면 설계**"
- "**D- 최적과 I- 최적의 반응 표면 설계 비교**"
- "**제약 조건 및 범주형 요인이 있는 반응 표면 설계**"

반응 표면 설계

다음 예제에는 아래의 섹션이 포함되어 있습니다.

- "**반응 표면 설계 구성**"(143 페이지)
- "**실험 결과 분석**"(146 페이지)

반응 표면 설계 구성

활성 요인으로 식별된 3 개의 연속형 요인에 대한 반응 표면 설계를 구성합니다. 규격 내에서 반응 (Y) 을 유지하기 위한 공정 설정을 찾으려고 합니다. Y 에 대한 규격 하한 및 상한은 각각 54, 56 입니다 (목표값 55).

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "반응" 개요에서 **최대화**를 클릭하고 **목표값 일치**를 선택합니다.
3. **하한**에 54 를 입력하고 **상한**에 56 을 입력합니다.
4. **중요도**는 비워 둡니다.

반응이 하나뿐이므로 중요도 값은 기본적으로 1로 설정됩니다.

5. **N 개 요인 추가** 옆에 3을 입력합니다.

6. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.

X1, X2, X3 이라는 3 개의 연속형 요인이 추가됩니다.

7. **계속**을 클릭합니다.

8. "모형" 개요에서 **RSM** 버튼을 클릭합니다.

2 차 항과 교호작용 항이 모형에 추가됩니다. 또한 "권장 사항" 최적 기준의 값이 I- 최적으로 설정됩니다. "설계 생성"을 클릭한 후 "설계 진단" 개요에서 이를 확인할 수 있습니다. 16 으로 설정된 기본값 런 수를 그대로 둡니다.

참고 : 9 단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 10 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

9. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 929281409를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.

10. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 40을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.

11. **설계 생성**을 클릭합니다.

"설계" 개요에 설계가 표시됩니다.

그림 5.26 RSM 설계

설계			
런	X1	X2	X3
1	0	-1	0
2	1	-1	1
3	0	0	0
4	-1	1	1
5	-1	0	0
6	1	1	1
7	-1	1	-1
8	-1	-1	-1
9	0	0	1
10	1	0	0
11	0	1	0
12	0	0	0
13	1	1	-1
14	0	0	-1
15	-1	-1	1
16	1	-1	-1

2 차 효과 추정을 위해 반응 표면 설계는 각 요인에 대해 3 개의 수준을 사용합니다. 그림 5.26의 설계는 중앙점이 두 개 있는 면심 중심 합성 설계입니다.

12. **설계 평가 > 설계 진단** 개요를 엽니다.

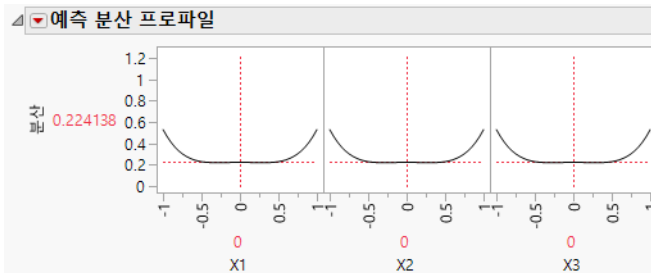
그림 5.27 설계 진단 개요

설계 진단	
I 최적 설계	
D 효율도	42.99905
G 효율도	78.54821
A 효율도	30.68134
예측 평균 분산	0.340517
설계 생성 시간(초)	0

"설계 진단" 개요의 첫 번째 행은 사용 중인 최적 기준을 나타냅니다. 이 설계는 I-최적입니다.

13. 설계 평가 > 예측 분산 프로파일 개요를 엽니다.

그림 5.28 예측 분산 프로파일

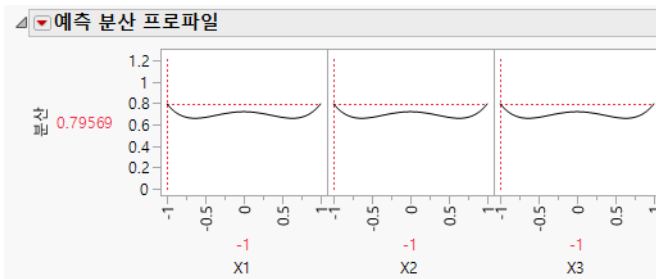


세로 축은 반응 기대값의 상대 예측 분산을 보여 줍니다. 상대 예측 분산은 예측 분산을 오차 분산으로 나눈 값입니다. 상대 예측 분산이 1 인 경우 절대 분산은 회귀 모형의 오차 분산과 같습니다.

프로파일러는 설계 공간에 대한 상대 예측 분산 값을 보여 줍니다. 슬라이더를 움직여 예측 분산의 동작을 탐색할 수 있습니다. 예측 분산은 설계 공간의 중심에서 가장 작습니다. 이 값은 -0.5 와 0.5 사이의 요인 설정에 대해 0.2 보다 조금 큰 값으로 비교적 일정하게 유지됩니다. 설정이 설계 공간 경계에 근접할수록 예측 분산이 증가합니다.

14. "예측 분산 프로파일"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **분산 최대화**를 선택합니다.

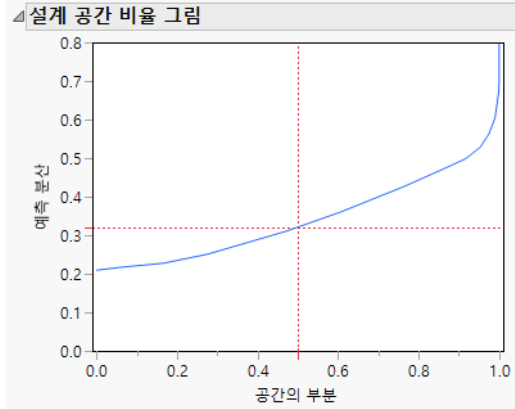
그림 5.29 상대 분산이 최대화된 예측 분산 프로파일



프로파일러는 상대 예측 분산의 최대값이 0.79569 임을 보여 줍니다.

15. 설계 평가 > 설계 공간 비율 그림 개요를 엽니다.

그림 5.30 설계 공간 비율 그림



그림에서 파란색 곡선은 상대 예측 분산을 설계 공간 비율 함수로 표시한 것입니다. 빨간색 십자 기호 파선은 설계 공간의 50%에 대해 예측 분산이 약 0.32 이하임을 나타냅니다. 십자기호 도구를 사용하여 다른 추론을 이끌어 낼 수 있습니다. 예를 들어 "공간 비율"이 0.95일 때 예측 분산은 약 0.52입니다. 이는 설계 공간의 95%에 대해 상대 예측 분산이 0.52 미만임을 의미합니다.

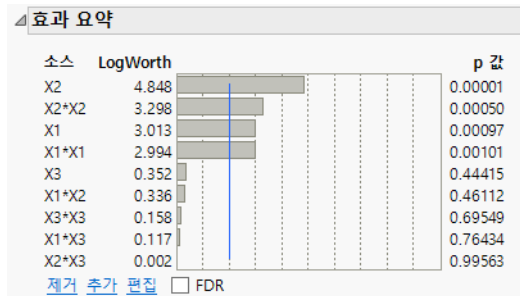
실험 결과 분석

Custom RSM.jmp 샘플 데이터 테이블에는 실험 결과가 포함되어 있습니다. "Model" 스크립트는 DOE 창의 "모형" 개요에서 지정한 모든 효과를 보여 주는 "모형 적합" 창을 엽니다. 이 스크립트는 사용자 설계 플랫폼에서 데이터 테이블에 저장되었습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Custom RSM.jmp를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
3. **실행**을 클릭합니다.

"효과 요약" 보고서에는 모형의 각 효과에 대한 LogWorth 및 p 값이 표시됩니다. 그림의 파란색 수직선은 값 2에서 설정됩니다. 2를 초과하는 LogWorth는 0.01 수준에서 유의합니다.

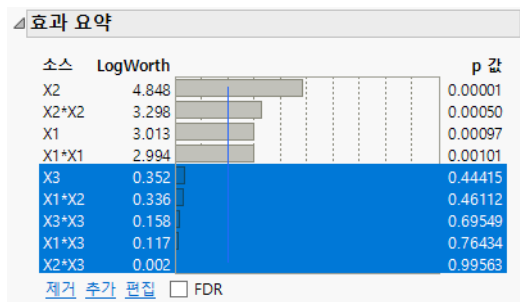
그림 5.31 효과 요약 보고서



이 보고서는 X1, X2, X1*X1 및 X2*X2 가 0.01 수준에서 유의함을 보여 줍니다 . 다른 효과는 0.10 수준에서도 유의하지 않습니다 . 유의하지 않은 이러한 효과를 제거하여 모형을 축소합니다 .

4. " 효과 요약 " 보고서에서 X3, X1*X2, X3*X3, X1*X3 및 X2*X3 을 선택합니다 .

그림 5.32 유의하지 않은 효과가 선택된 효과 요약 보고서



5. **제거**를 클릭합니다 .

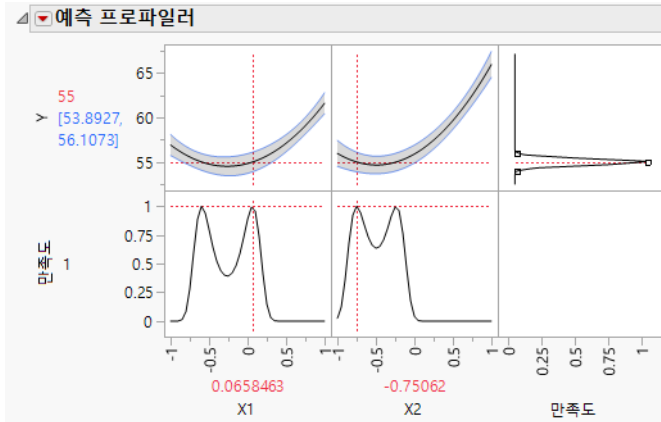
" 최소 제곱 적합 " 보고서가 업데이트되어 유의한 효과 (X1, X2, X1*X1 X2*X2) 만 포함하는 모형이 표시됩니다 .

" 최소 제곱 적합 " 창의 아래쪽에 있는 " 예측 프로파일러 " 를 사용하여 X1 및 X2 요인이 달라지면 예측 반응 (Y) 이 어떻게 변경되는지 확인합니다 . X1 및 X2 의 전체 값에서 Y 의 2 차 동작에 유의하십시오 .

" 사용자 설계 " 창의 " 반응 " 개요에서 Y 에 대한 반응 한계를 입력했습니다 . 따라서 " 반응 한계 " 열 특성이 설계 테이블의 Y 열에 연결됩니다 . Y 의 만족도 함수 (오른쪽 상단 그림) 는 " 반응 한계 " 열 특성에 포함된 정보를 기반으로 합니다 . JMP 는 이 함수를 사용하여 X1 및 X2 설정의 함수로 만족도를 계산합니다 . 만족도 함수의 트레이스는 그림의 아래쪽 행에 나타납니다 .

6. " 예측 프로파일러 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다 .

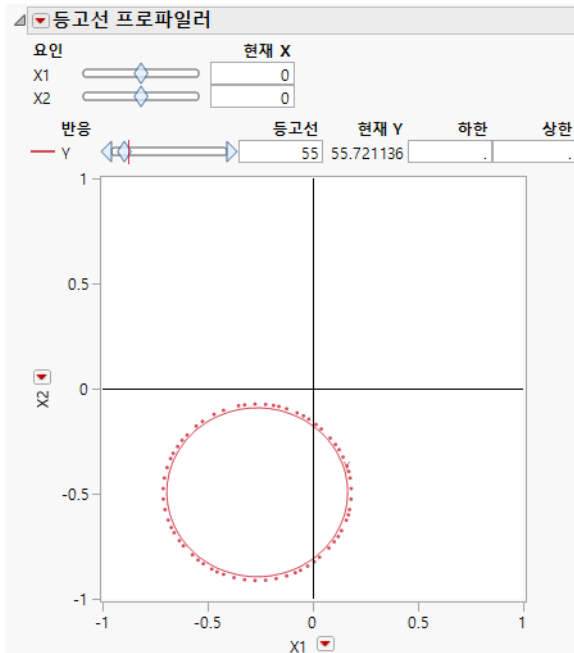
그림 5.33 만족도가 최대화된 예측 프로파일러



예측 반응은 X_1 및 X_2 위에 빨간색으로 표시된 공정 설정에서 목표값 55를 달성합니다. 그림 5.33에서는 $X_2 = -0.75062$ 일 때 -0.65 에 가까운 X_1 값도 예측값 55를 달성한다는 것을 보여줍니다. 사실상 예측 프로파일러에 표시된 설정과 만족도를 최대화하는 설정이 다를 수 있습니다. X_1 과 X_2 의 많은 설정에 대한 예측 반응이 55이기 때문입니다.

7. "반응 Y"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 프로파일링 > 등고선 프로파일러**를 선택합니다.
8. "등고선 프로파일러" 보고서에서 **등고선** 값에 55를 입력합니다.

그림 5.34 등고선 프로파일러



빨간색 등고선에 해당하는 X1 및 X2 설정의 예측 반응 값은 55 입니다 . 비용 효율성에 따라 이러한 공정 설정 중에서 선택할 수 있습니다 .

유연한 블록화 방법을 사용하는 반응 표면 설계

공정을 최적화할 때 연속형 요인뿐 아니라 질적 요인도 실험에 포함해야 할 수 있습니다. 배치 또는 날짜와 같은 질적 요인으로 블록화하거나, 기계 또는 배송 메커니즘과 같은 질적 요인을 포함해야 합니다 . 그러나 반응 표면 설계 플랫폼은 연속형 요인만 지원합니다 . 질적 요인을 포함하는 반응 표면 설계를 생성하려면 각 요인 수준에 대해 설계를 반복하면 됩니다 . 그러나 이 방법은 비효율적입니다 . 사용자 설계 플랫폼은 더 적은 수의 런으로 최적 설계를 구성합니다 .

이 예에서는 두 개의 연속형 요인과 블록당 4 회 런이 포함된 블록 요인을 수용하는 반응 표면 설계를 구성합니다 . 비슷한 방식으로 범주형 또는 이산 수치형 요인을 포함할 수 있습니다 .

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다 .
2. **N 개 요인 추가** 옆에 2 를 입력합니다 .
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다 .
4. **요인 추가 > 블록화 > 블록당 4 회 런**을 클릭합니다 .

" 값 " 아래에 한 수준만 나타납니다 . 런 수가 지정되지 않으면 블록 수를 결정할 수 없기 때문입니다 .

그림 5.35 연속형 요인 두 개와 블록 요인이 추가된 요인 개요

요인				
요인 추가 ▼ 제거 N개 요인 추가 				
이름	역할	변경	값	
 X1	연속형	쉬움	-1	1
 X2	연속형	쉬움	-1	1
 X3	블록화	쉬움	1	

5. **계속**을 클릭합니다 .
기본값 런 수는 12 입니다 . " 요인 " 개요가 업데이트되어 블록 요인 X3 에 대해 세 개의 수준이 표시됩니다 . X3 에 블록당 4 회 런이 필요하므로 12 회 런에는 세 개의 블록이 허용됩니다 .
6. **RSM** 을 클릭합니다 .
블록 요인은 교호작용 또는 2 차 항에 나타날 수 없음을 알려 주는 JMP 경고 창이 표시됩니다 . JMP 는 적절한 RSM 항만 목록에 추가합니다 .
7. **확인**을 클릭하여 메시지를 해제합니다 .
X1 과 X2 의 2 차 및 교호작용 항이 모형에 추가됩니다 . RSM 항을 추가했으므로 " 권장 사항 " 최적 기준이 " D- 최적 " 에서 " I- 최적 " 으로 변경됩니다 . 나중에 " 설계 진단 " 개요에서 이를 확인할 수 있습니다 .

그림 5.36 반응 표면 효과가 추가된 모형 개요

모형	
주효과	교호작용 ▼
RSM	교차
역 ▼	항 제거
이름	추정 가능성
절편	필수
X1	필수
X2	필수
X3	필수
X1*X1	필수
X1*X2	필수
X2*X2	필수

참고 : 8 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 9 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

8. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
9. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 5를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
10. **설계 생성**을 클릭합니다.
11. **설계 평가 > 설계 진단** 개요를 엽니다.

그림 5.37 설계 진단 개요

설계 진단	
I 최적 설계	
D 효율도	50.85382
G 효율도	56.88003
A 효율도	37.51264
예측 평균 분산	0.49973
설계 생성 시간(초)	0.016667

"설계 진단" 개요의 첫 번째 행은 사용 중인 최적 기준을 나타냅니다. 이 설계는 I-최적입니다.

12. **테이블 생성**을 클릭합니다.

그림 5.38 블록 요인이 포함된 설계 테이블

	X1	X2	X3	Y
1	0	-1	1	•
2	1	1	1	•
3	-1	0	1	•
4	0	0	1	•
5	0	0	2	•
6	1	0	2	•
7	-1	1	2	•
8	0	-1	2	•
9	0	0	3	•
10	1	-1	3	•
11	-1	-1	3	•
12	0	1	3	•

기본 "런 순서"를 "블록 내 랜덤화"로 지정했으므로 블록 요인 (X3) 수준이 정렬됩니다.
13. 설계 테이블의 테이블 패널에서 **모형** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

그림 5.39 모형 적합 창

모형 규격

열 선택: 4개 열
☒ X1
☒ X2
☒ X3
☒ Y

역할 변수 선택:
Y: ☒ Y (선택적)
가중치: 선택적 숫자
반도: 선택적 숫자
검증: 선택적
기준: 선택적

분석법: 표준 최소 제곱
강조: 효과 선별

도움말 실행
재호출 ☐ 대화상자 열린 채 유지
제거

모형 효과 생성:
추가: X1 & RS, X2 & RS, X3
교차: X1*X1, X1*X2, X2*X2
내포: X1*X2
매크로:
차수: 2
속성:
변환:
☐ 절편 없음

다음을 확인할 수 있습니다.

- 블록 요인 (X3) 이 효과로 입력되었습니다.
- X3 과 관련된 교호작용이 포함되지 않았습니다.
- 나머지 5 개 효과는 X1 과 X2 에 대한 반응 표면 모형을 정의합니다.

D- 최적과 I- 최적의 반응 표면 설계 비교

이 예를 통해 2 요인 반응 표면 설계에서 I- 최적과 D- 최적 간 차이에 대해 알아보겠습니다.

I- 최적 설계

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 옆에 2 를 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. **RSM** 을 클릭합니다.

X1 과 X2 의 2 차 및 교호작용 항이 모형에 추가됩니다. RSM 항을 추가했으므로 "권장 사항" 최적 기준이 "D- 최적" 에서 "I- 최적" 으로 변경됩니다. 나중에 "설계 진단" 개요에서 이를 확인할 수 있습니다.

참고 : 6 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 7 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

6. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 383570403 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
7. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 8 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
8. **설계 생성**을 클릭합니다.

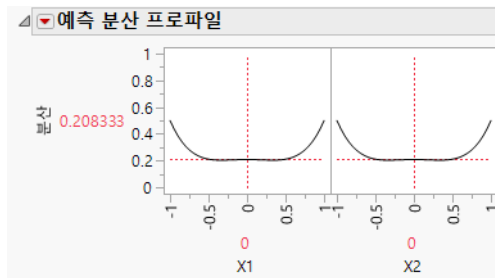
그림 5.40 I- 최적 설계

설계		
런	X1	X2
1	0	0
2	1	0
3	-1	-1
4	0	0
5	0	1
6	-1	0
7	0	0
8	-1	1
9	1	-1
10	0	0
11	0	-1
12	1	1

이 I- 최적 설계에서 런 1, 4, 7, 10 은 중앙점 ($X1 = 0, X2 = 0$) 에 있습니다. I- 최적 설계는 D- 최적 설계와 비교하여 설계 공간의 중심에 더 많은 런을 배치하는 경향이 있습니다. 따라서 극단에 배치되는 런의 수가 더 적습니다. 이 설계를 그림 5.42 에 표시된 D- 최적 설계와 비교할 수 있습니다.

9. **설계 평가 > 예측 분산 프로파일** 개요를 엽니다.

그림 5.41 I- 최적 모형에 대한 예측 분산 프로파일



기대 반응의 상대 예측 분산은 설계 공간의 중심에서 가장 작습니다.

10. 설계 공간 비율 그림 개요를 엽니다.

설계 공간 비율 그림은 그림 5.44의 왼쪽에 나옵니다. "공간 비율"이 0.95일 때 파란색 곡선의 수직 좌표는 약 0.5입니다. 이는 설계 공간의 약 95%에 대해 상대 예측 분산이 오차 분산의 50% 미만임을 의미합니다.

현재 "사용자 설계" 창에는 I- 최적 설계가 포함되어 있습니다. 이 창을 열어 두십시오. 다음 섹션에서 D- 최적 설계를 생성하고 두 설계를 비교해 보겠습니다.

D- 최적 설계

I- 최적 설계 및 D- 최적 설계에 대한 예측 분산 프로파일과 설계 공간 비율 그림을 비교하려면

1. I- 최적 설계를 포함하는 "사용자 설계" 창에서 "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **스크립트를 스크립트 창에 저장**을 선택합니다.
작업을 재현하는 스크립트가 표시된 창이 나타납니다.
2. 이 새 스크립트 창에서 **편집 > 스크립트 실행**을 선택합니다.
중복 "사용자 설계" 창이 나타나지만 "설계 평가" 개요가 닫혀 있습니다.
3. 이 새 "사용자 설계" 창에서 **뒤로**를 클릭합니다.
4. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적 기준 > D- 최적 설계 생성**을 선택합니다.
5. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 383570403을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
6. **설계 생성**을 클릭합니다.

현재 "사용자 설계" 창에는 D- 최적 설계가 포함되어 있습니다.

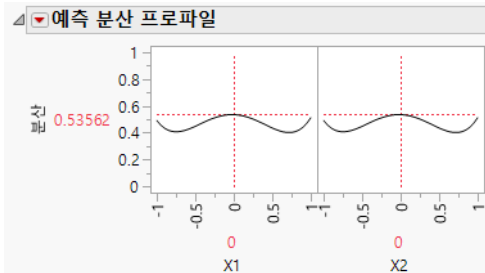
그림 5.42 D- 최적 설계

설계		
런	X1	X2
1	0	0
2	1	0
3	-1	-1
4	1	-1
5	0	1
6	-1	0
7	-1	-1
8	-1	1
9	1	-1
10	-1	1
11	0	-1
12	1	1

이 D- 최적 설계에서는 런 1 만 중앙점에 있습니다. D- 최적 설계는 I- 최적 설계와 비교하여 설계 공간의 극단에 더 많은 런을 배치하는 경향이 있습니다. I- 최적 설계의 중앙점 런은 4 개였습니다 (그림 5.40).

7. 설계 평가 > 예측 분산 프로파일 개요를 엽니다.

그림 5.43 D- 최적 모형에 대한 예측 분산 프로파일



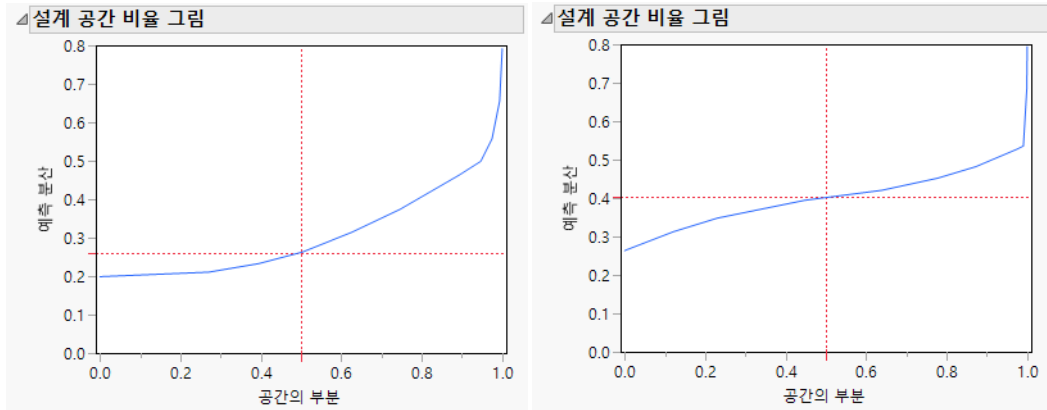
설계 영역의 중심에서 상대 예측 분산은 0.53562 이며, I- 최적 설계의 경우 0.208333 이었습니다 (그림 5.41). 이는 상대 표준 오차가 D- 최적 설계의 경우 0.732 이고 I- 최적 설계의 경우 0.456 이라는 의미입니다. 다른 조건이 모두 같다고 가정할 때 설계 영역의 중심에서 D- 최적 설계의 기대 반응에 대한 신뢰 구간이 I- 최적 설계의 경우보다 약 60% 더 넓습니다.

" 설계 " 개요에서는 D- 최적 설계에 -1, 0, 1 로 설정된 X1 과 X2 의 모든 조합에 대해 하나씩 9 개의 설계점이 있음을 보여 줍니다. D- 최적 기준은 이러한 각 설계점에서 상대 예측 분산을 낮추려고 합니다. X1 및 X2 의 슬라이더를 -1 과 1 로 움직여 설계 영역의 극단에서 분산을 탐색합니다. 이러한 극점에서의 분산은 대개 같은 지점에서 I- 최적 설계의 분산보다 작습니다.

8. 설계 평가 > 설계 공간 비율 그림 개요를 엽니다.

설계 공간 비율 그림은 그림 5.44 의 오른쪽에 나옵니다.

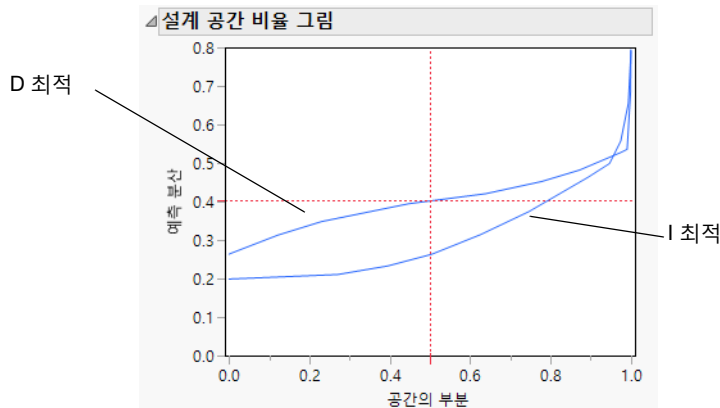
그림 5.44 설계 공간 비율 그림 (왼쪽 : I- 최적 , 오른쪽 : D- 최적)



각 그림의 빨간색 십자기호는 설계 공간의 50%에 대한 최대 예측 분산을 나타냅니다. 설계 공간의 50%에 대한 I- 최적 설계의 예측 분산은 약 0.27 미만입니다. D- 최적 설계의 경우 예측 분산은 약 0.4입니다.

9. I- 최적 설계에 대한 설계 공간 비율 그림에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭합니다. **편집 > 프레임 내용 복사**를 선택합니다.
10. D- 최적 설계에 대한 설계 공간 비율 그림에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭합니다. **편집 > 프레임 내용 붙여넣기**를 선택합니다.

그림 5.45 겹쳐진 설계 공간 비율 그림



I- 최적 설계의 분산 곡선은 설계 공간의 90% 이상에서 D- 최적 설계의 분산 곡선 아래에 있습니다. 이는 I- 최적 기준이 전체 설계 공간에서 예측 분산을 최소화하려고 한다는 사실을 반영합니다. 반면에 D- 최적 기준은 설계점에서 예측 분산을 줄이는 데 중점을 둡니다.

제약 조건 및 범주형 요인이 있는 반응 표면 설계

이 예에서는 화학 반응의 수율을 최적화하는 설계를 생성합니다. 실험 요인에는 세 가지 수준의 범주형 요인이 포함되고 이 중 두 가지 수준이 제약 조건에 포함됩니다. 이 예에서는 허용되지 않는 조합 필터를 사용하여 제약 조건을 입력할 것입니다.

실험의 반응은 Yield 입니다. 요인은 다음과 같습니다.

- Time: 관심 범위는 500 ~ 560 초입니다.
- Temperature: 관심 범위는 350 ~ 750 도 (켈빈) 입니다.
- Catalyst: 세 가지 촉매 (A, B, C) 를 테스트해야 합니다.

설계 시 Catalyst 의 두 가지 수준에 대한 제약 조건을 고려해야 합니다.

- 촉매 B 를 사용할 경우 온도는 400 도를 초과해야 합니다.
- 촉매 C 를 사용할 경우 온도는 650 도 미만이어야 합니다.

반응 및 요인 정의

1. DOE > 사용자 설계를 선택합니다.
2. " 반응 " 개요에서 Y 를 두 번 클릭한 후 Yield 로 변경합니다.
Yield 를 최대화하는 것이 목표이므로 " 최대화 " 로 설정된 목표를 그대로 두십시오.
3. " 요인 " 개요에서 N 개 요인 추가 옆에 2 를 입력합니다.
4. 요인 추가 > 연속형을 클릭합니다.
5. 요인 추가 > 범주형 > 3 수준을 클릭합니다.
6. 요인 이름을 Time, Temperature, Catalyst 로 각각 바꿉니다.
7. Time 의 값을 500 과 560 으로 변경합니다.
8. Temperature 의 값을 350 과 750 으로 변경합니다.
9. Catalyst 의 값을 A, B, C 로 변경합니다.

그림 5.46 요인 설정

이름	역할	변경	값
Time	연속형	쉬움	500 560
Temperature	연속형	쉬움	350 750
Catalyst	범주형	쉬움	A B C

10. 계속을 클릭합니다.

제약 조건 정의

1. "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **허용되지 않는 조합 필터 사용**을 선택합니다.
2. **필터 요인 추가** 목록에서 Temperature 와 Catalyst 를 선택합니다.
3. **추가**를 클릭합니다.
4. "Temperature" 슬라이더 위에 보이는 750 을 클릭한 후 400 으로 변경합니다. Enter 키를 누르거나 다른 곳을 클릭합니다.
그러면 Temperature 값이 400 미만인 요인 설정이 허용되지 않습니다.
5. Catalyst 아래의 B 블록을 클릭합니다.
그러면 Temperature 제약 조건을 함께 사용하여 Catalyst 가 B 이고 Temperature 가 400 미만인 요인 설정이 허용되지 않습니다.
6. **OR** 를 클릭합니다.
이렇게 하면 두 번째 제약 조건을 정의할 수 있습니다.
7. **필터 요인 추가** 목록에서 Temperature 와 Catalyst 를 선택합니다. 이전 선택이 유지되었을 수 있습니다.
8. **추가**를 클릭합니다.
9. 단어 "OR" 의 아래쪽 패널에서 "Temperature" 슬라이더 위에 보이는 350 을 클릭한 후 650 으로 변경합니다. Enter 키를 누르거나 다른 곳을 클릭합니다.
그러면 Temperature 값이 650 을 초과하는 요인 설정이 허용되지 않습니다.
10. Catalyst 아래의 C 블록을 클릭합니다.
그러면 Temperature 제약 조건을 함께 사용하여 Catalyst 가 C 이고 Temperature 가 650 을 초과하는 요인 설정이 허용되지 않습니다.

그림 5.47 제약 조건 정의

요인 제약 조건 정의

☐ 없음
☐ 선형 제약 조건 지정
☒ 허용되지 않는 조합 필터 사용
☐ 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

허용되지 않는 조합

지우기 도움말

Temperature ×

350 400

Catalyst (3) ×

A B C

OR

Temperature ×

650 750

Catalyst (3) ×

A B C

AND OR

반응 표면 항 추가 및 설계 생성

1. "모형" 개요에서 **RSM** 을 선택합니다.

연속형 요인에 대한 2 차 항만 모형에 추가됨을 알려 주는 JMP 경고가 표시됩니다.

2. **확인**을 클릭하여 경고를 해제합니다.

JMP 는 적절한 반응 표면 항만 모형에 추가합니다.

참고 : 3 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 4 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

3. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 654321 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
4. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 1000 으로 설정합니다. **확인**을 클릭합니다.
5. **설계 생성**을 클릭합니다.

그림 5.48 제약 조건을 충족하는 설계

설계			
런	Time	Temperature	Catalyst
1	500	750	B
2	500	410	B
3	560	750	A
4	521	750	A
5	542	350	A
6	500	648.7299	C
7	500	350	A
8	533	630	C
9	506	350	C
10	560	530	A
11	560	410	B
12	530	570	B
13	530	550	A
14	530	570	B
15	557	645.1294	C
16	500	570	A
17	560	750	B
18	560	350	C

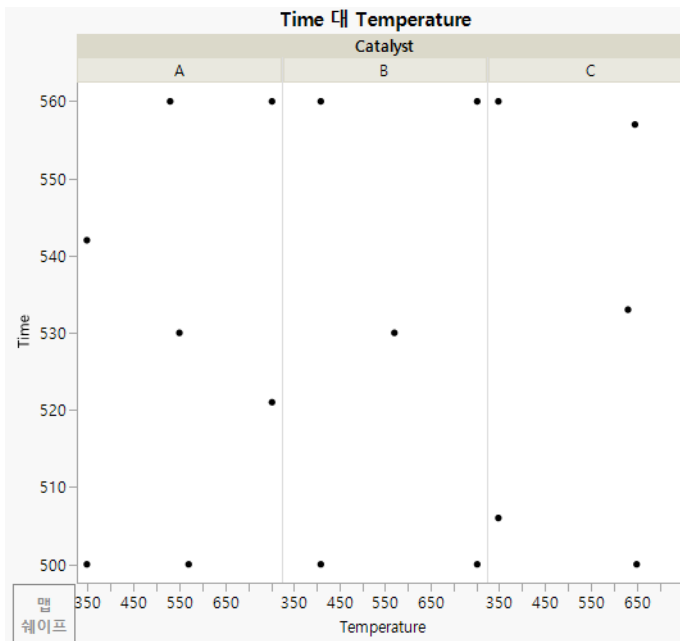
RSM 항을 "모형" 개요에 추가했으므로 I- 최적 설계가 생성됩니다. 이 설계는 다음 제약 조건을 충족합니다.

- 촉매 B 를 사용할 경우 온도는 400 도를 초과해야 합니다.
- 촉매 C 를 사용할 경우 온도는 650 도 미만이어야 합니다.

설계 보기

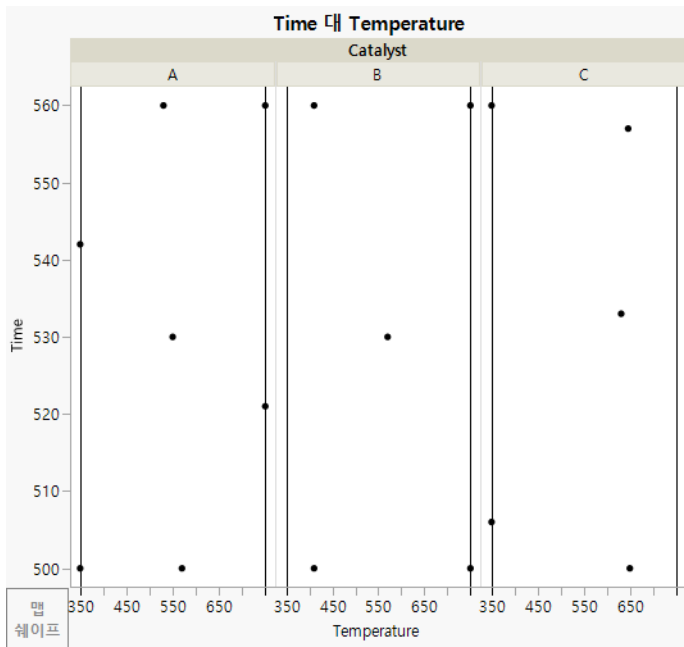
설계 영역은 500 ~ 560 사이의 **Time** 설정과 350 ~ 750 사이의 **Temperature** 설정으로 구성되었습니다. 설계 영역 내의 설계점을 기하학적 보기로 표시하려면 다음을 수행하십시오.

1. **테이블 생성**을 클릭합니다.
2. **그래프 > 그래프 빌더**를 선택합니다.
3. **Time** 과 **Temperature** 를 선택하고 템플릿의 가운데로 드래그합니다.
4. **평활기** 아이콘을 선택 취소합니다. 아 아이콘은 템플릿 상단의 왼쪽에서 두 번째에 있습니다.
5. **Catalyst** 를 선택하고 템플릿의 맨 위에 있는 **그룹 X** 영역으로 드래그합니다.

그림 5.49 세 가지 수준의 Catalyst 에 대한 설계점

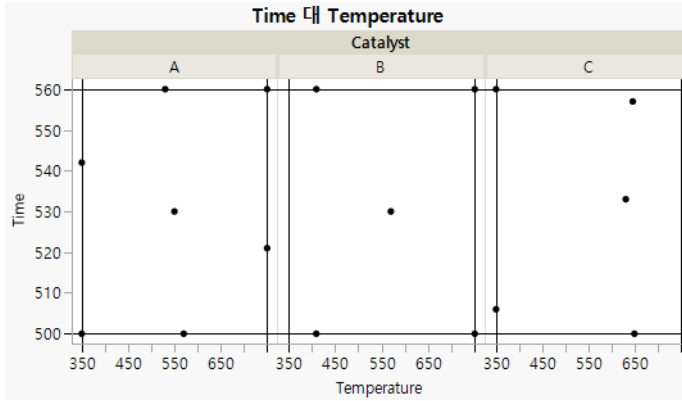
6. Temperature 축을 두 번 클릭합니다.
7. " 참조선 " 아래에서 다음을 수행합니다 .
 - 값 옆에 350 을 입력합니다 .
 - 추가를 클릭합니다 .
 - 값 옆에 750 을 입력합니다 .
 - 추가를 클릭합니다 .
8. 확인을 클릭합니다 .

그림 5.50 세 가지 수준의 Catalyst 에 대한 Temperature 설계 경계



9. Time 축을 두 번 클릭합니다.
10. " 참조선 " 아래에서 다음을 수행합니다.
 - 값 옆에 500 을 입력합니다.
 - 추가를 클릭합니다.
 - 값 옆에 560 을 입력합니다.
 - 추가를 클릭합니다.
11. 확인을 클릭합니다.
12. 완료를 클릭합니다.

참고 : 그림 5.51 의 그림은 세로로 크기가 조정됩니다.

그림 5.51 세 가지 수준의 Catalyst 에 대한 설계 영역

Catalyst A 의 6 개 설정은 설계 영역의 가장자리에 있습니다. Catalyst B 의 모든 Temperature 설정은 400 도 제약 조건보다 높고, Catalyst C 의 모든 Temperature 설정은 650 도 제약 조건보다 낮습니다.

혼합물 실험

사용자 설계 플랫폼과 혼합물 설계 플랫폼은 둘 다 모든 요인이 혼합 내 성분인 상황에 대한 설계를 구성합니다. 그러나 혼합물 실험은 비혼합 공정 변수 (공정 요인) 를 포함할 수 있습니다. 사용자 설계 플랫폼은 혼합 요인만 있는 설계뿐 아니라 혼합 요인과 공정 요인을 모두 수용하는 설계를 구성할 수 있습니다. 또한 사용자 설계 플랫폼에서는 혼합 성분의 합이 임의의 양수가 될 수 있습니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "요인 유형"(82 페이지) 에서 "혼합" 에 대한 설명을 참조하십시오.

- "비혼합 요인이 있는 혼합물 설계"
- "혼합물 혼합 설계"

비혼합 요인이 있는 혼합물 설계

Atkinson and Donev(1992)에 나오는 다음 예에서는 혼합 요인과 공정 요인을 둘 다 포함하는 실험을 위한 설계를 생성합니다. 범주형 요인의 수준에 따라 균형이 조정된 18 회 런 설계가 생성됩니다. 이 설계를 사용하면 전체 반응 표면을 적합시킬 수 있습니다. "설계 평가" 그림과 결과를 사용하여 설계의 상대 예측 분산을 검토합니다.

설계에 포함된 반응과 요인은 다음과 같습니다.

- 반응은 아크릴로니트릴 파우더의 전자기 감쇠를 측정하는 Damping 입니다.
- 세 가지 혼합 성분은 다음과 같습니다.
 - CuSO_4 (황산구리), 0.2 ~ 0.8 범위

- Na₂S₂O₃(티오황산나트륨), 0.2 ~ 0.8 범위
- Glyoxal(글리옥살), 0 ~ 0.6 범위
- 관심 있는 비혼합 환경 요인은 Wavelength(전자파 파장)이며 세 가지 수준 L1, L2, L3 으로 나타냅니다 .

Wavelength 는 연속형 변수입니다 . 그러나 연구원들은 세 가지 특정 파장에서의 예측에만 관심이 있었습니다 . 이 때문에 Wavelength 를 3 수준 범주형 요인으로 처리합니다 .

이 예에는 다음과 같은 단계가 포함되어 있습니다 .

- " 설계 생성 "(163 페이지)
- " 설계 평가 "(165 페이지)

설계 생성

1. DOE > 사용자 설계를 선택합니다 .
2. " 반응 이름 " 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 Damping 을 입력합니다 .
3. " 목표 " 아래의 **최대화**를 클릭한 후 **없음**으로 변경합니다 .

연구 작성자가 적절한 감쇠 크기에 대해 언급하지 않으므로 목표가 " 없음 " 으로 설정됩니다 .
도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Donev Mixture Factors.jmp 를 엽니다 .

4. " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다 .

그러면 세 가지 혼합 성분과 범주형 환경 요인을 불러옵니다 . 세 가지 혼합 요인의 값에 대한 한계도 불러옵니다 .

그림 5.52 반응 개요 및 요인 개요

반응

반응 추가
제거
반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Damping	없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음

선택적 항목

요인

요인 추가
제거
N개 요인 추가
1

이름	역할	변경	값
▲ CuSO ₄	혼합	쉬움	0.2 0.8
▲ Na ₂ S ₂ O ₃	혼합	쉬움	0.2 0.8
▲ Glyoxal	혼합	쉬움	0 0.6
▼ Wavelength	범주형	쉬움	L1 L2 L3

5. " 모형 " 개요에서 **교호작용 > 2** 차를 클릭합니다 .

모든 혼합 요인과 상호 작용하는 비혼합 요인의 주효과 항이 제거됨을 알려 주는 JMP 경고창이 표시됩니다 . 즉, Wavelength 의 주효과는 제거되지만 혼합 요인과 Wavelength 의 모든 이원 교호작용은 추가됩니다 .

6. **확인**을 클릭하여 메시지를 해제합니다.

"모형" 개요의 효과는 파장의 가법 효과와 함께 혼합 성분의 반응 표면 모형을 정의합니다.
자세한 내용은 Scheffé(1958)에서 확인하십시오.

그림 5.53 모형 및 설계 생성 개요

모형

주효과 | 교호작용 | 교차 | 맥 | Scheffé 입방 | 항 제거

이름	주정 가능성
CuSO4	필수
Na2S2O3	필수
Glyoxal	필수
CuSO4*Na2S2O3	필수
CuSO4*Glyoxal	필수
CuSO4*Wavelength	필수
Na2S2O3*Glyoxal	필수
Na2S2O3*Wavelength	필수
Glyoxal*Wavelength	필수

▶ **별칭 항**

▶ **설계 생성**

☐ 런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화: 2

중앙점 수: 0

반복 런 수: 0

런 수:

☐ 최소값 12

☐ 기본값 18

☒ 사용자 지정 18

설계 생성

7. 기본값 런 수 18 을 그대로 둡니다.

18 회 런을 선택하면 파장 요인의 세 가지 수준 각각에 대해 6 회씩 런을 수행할 수 있습니다.

참고 : 8 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 9 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

8. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.9. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 5 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.10. **설계 생성**을 클릭합니다.

그림 5.54 18 회 런 설계를 보여 주는 설계 개요

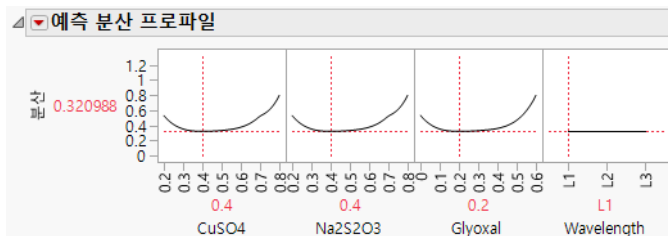
런	CuSO4	Na2S2O3	Glyoxal	Wavelength
1	0.8	0.2	0	L3
2	0.2	0.2	0.6	L3
3	0.8	0.2	0	L2
4	0.2	0.8	0	L2
5	0.5	0.5	0	L3
6	0.2	0.2	0.6	L1
7	0.5	0.2	0.3	L1
8	0.8	0.2	0	L1
9	0.2	0.2	0.6	L2
10	0.5	0.5	0	L1
11	0.2	0.8	0	L3
12	0.2	0.5	0.3	L2
13	0.5	0.5	0	L2
14	0.2	0.5	0.3	L1
15	0.5	0.2	0.3	L3
16	0.2	0.5	0.3	L3
17	0.5	0.2	0.3	L2
18	0.2	0.8	0	L1

각 Wavelength 수준에 대해 6 개의 런이 있는지 확인할 수 있습니다.

설계 평가

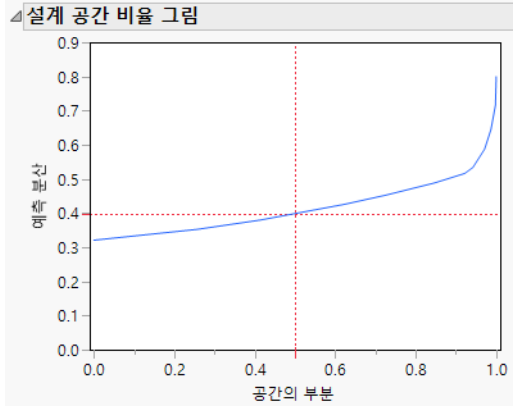
1. 설계 평가 > 예측 분산 프로파일 개요를 엽니다.

그림 5.55 18 회 런 설계에 대한 예측 분산 프로파일



Wavelength 의 슬라이더를 움직여 혼합 요인에 대한 상대 예측 분산 프로파일이 전체 Wavelength 수준에서 변하지 않는지 확인합니다. 혼합 요인 중 하나의 슬라이더를 움직여 봅니다. 혼합 성분의 합이 1 이 되도록 다른 두 혼합 요인의 슬라이더가 조정됩니다. 혼합 요인의 중심 설정 가까이에서 상대 예측 분산이 가장 작습니다.

2. " 예측 분산 프로파일 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **분산 최소화**를 선택합니다.
설계 공간에 대한 최대 상대 예측 분산은 오차 분산의 0.8 배입니다.
3. **설계 공간 비율 그림** 개요를 엽니다.

그림 5.56 18 회 런 설계에 대한 설계 공간 비율 그림

전체 설계 공간에서 상대 예측 분산은 0.8 미만입니다. 최소 상대 예측 분산은 약 0.32 입니다. 그림 5.55 에 표시된 것과 같이 혼합 요인의 중심 설정 가까이에서 값이 가장 작습니다.

4. 설계 진단 개요를 엽니다.

그림 5.57 18 회 런 설계에 대한 설계 진단

설계 진단	
D 최적 설계	
D 효율도	3.627407
G 효율도	83.33333
A 효율도	0.328715
예측 평균 분산	0.412892
설계 생성 시간(초)	0.066667

이 설계는 D 효율도 (3.6%) 가 매우 낮지만 D- 최적 기준에 따라 최적 설계입니다. 혼합물 설계는 혼합 제약 조건으로 인해 직교와 거리가 멀기 때문에 일반적으로 D 효율도가 매우 낮습니다. 예측 평균 분산 (상대) 은 0.412864 입니다. 이 값은 그림 5.56 의 설계 공간 비율 그림과 일치합니다.

혼합물 혼합 설계

이 예에서는 혼합물이 혼합되는 상황에 대한 설계를 구성합니다.

케이크에 들어가는 재료를 예로 들어보겠습니다. 마른 재료에는 밀가루, 설탕, 코코아가 있습니다. 젖은 재료에는 우유, 녹인 버터, 계란이 있습니다. 케이크의 젖은 성분과 마른 성분은 먼저 따로따로 섞은 후 하나로 혼합되는 두 가지 혼합물입니다. 표 5.1 에는 각 요인 및 실험 중에 해당 요인에 변화를 줄 수 있는 범위가 나와 있습니다.

표 5.1 마른 성분과 젖은 성분 및 실험 범위

혼합물	성분	하한 및 상한 수준
Dry	Cocoa	0.1 ~ 0.2
	Sugar	0 ~ 0.15
	Flour	0.2 ~ 0.3
Wet	Butter	0.1 ~ 0.2
	Milk	0.25 ~ 0.35
	Eggs	0.05 ~ 0.20

마른 성분 (코코아, 설탕 및 밀가루 혼합물) 은 합친 혼합물의 45% 를 차지합니다 . 젖은 성분 (버터, 우유, 계란) 은 55% 를 차지합니다 .

참고 : 마른 재료와 젖은 재료에 대한 제약 조건을 사용하여 혼합 모형에 6 개 요인을 모두 포함하면 모형 특이성이 존재합니다 .

실험 목표는 Taste(맛) 등급을 최적화하는 것입니다 . Taste 는 1 ~ 10 의 척도로 평가되며 , 10 이 제일 좋은 맛을 나타냅니다 .

주효과 모형을 적합시키기 위해 10 회 런 설계를 구성합니다 . 마른 재료와 젖은 재료 비율에 대한 제약 조건 때문에 특이성을 방지하기 위해 " 모형 " 개요에 5 개 요인만 포함해야 합니다 . 포함하지 않을 요인은 임의로 선택합니다 .

이 예에는 다음과 같은 단계가 포함되어 있습니다 .

- " 설계 생성 "(167 페이지)
- " 실험 결과 분석 "(169 페이지)

설계 생성

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다 .
2. " 반응 이름 " 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 Taste 를 입력합니다 .
기본 목표는 " 최대화 " 로 되어 있습니다 . Taste 등급을 최대화해야 하므로 목표를 변경하지 마십시오 .
3. " 하한 " 아래를 클릭하고 0 을 입력합니다 .
최하위 등급이 0 입니다 .
4. " 상한 " 아래를 클릭하고 10 을 입력합니다 .
최상위 등급이 10 입니다 .
5. " 중요도 " 아래 영역은 비워 둡니다 .

반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1로 지정됩니다.

6. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Cake Factors.jmp**를 엽니다.
7. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

그림 5.58 완료된 반응 및 요인 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Taste	최대화	0	10	1

이름	역할	변경	값	중요도
Cocoa	혼합	쉬움	0.1	0.2
Sugar	혼합	쉬움	0	0.15
Flour	혼합	쉬움	0.2	0.3
Butter	혼합	쉬움	0.1	0.2
Milk	혼합	쉬움	0.25	0.35
Eggs	혼합	쉬움	0.05	0.2

요인은 모두 혼합 요인입니다. 실험의 설정 범위를 정의하는 "값"은 요인마다 다릅니다.

8. "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **선형 제약 조건 지정**을 선택합니다.
9. "선형 제약 조건" 패널에서 **추가**를 두 번 클릭합니다.
10. 그림 5.59에 표시된 제약 조건을 입력합니다.

그림 5.59 요인 제약 조건 정의

○ 없음
☒ 선형 제약 조건 지정
 ○ 허용되지 않는 조합 필터 사용
 ○ 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

선형 제약 조건

추가

1 Cocoa + 1 Sugar + 1 Flour + 0 Butter + 0 Milk + 0 Eggs ≤ 0.45

-1 Cocoa + -1 Sugar + -1 Flour + 0 Butter + 0 Milk + 0 Eggs ≤ -0.45

마지막 제약 조건 제거

제약 조건 검사

두 번째 제약 조건은 Cocoa, Sugar, Flour의 합이 0.45보다 크거나 같음을 지정하는 것과 동등합니다. 두 제약 조건은 Cocoa, Sugar, Flour가 혼합물의 정확히 45%를 차지하여 젖은 요인이 나머지 55%를 구성한다는 것을 의미합니다.

11. "모형" 개요에서 "Eggs"를 선택하고 **항 제거**를 클릭합니다.

등식 제약 조건 때문에 6개 효과를 모두 포함하는 모형은 특이 모형입니다.

12. **사용자 지정** 옆에 10을 입력합니다.

실험에서 10 개의 케이크를 구워야 합니다.

참고 : 13 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하고 14 단계에서 " 시작 수 " 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

13. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정** 을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .
14. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수** 를 선택한 후 40 을 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .
15. **설계 생성** 을 클릭합니다 .
요인 제약 조건에 등식 제약 조건이 포함되어 있음을 알려 주는 JMP 경고가 표시됩니다 . 마른 재료 비율의 합이 45% 로 제한되므로 이는 의도한 대로 된 것입니다 .
16. **확인** 을 클릭하여 JMP 경고를 해제합니다 .
17. **테이블 생성** 을 클릭합니다 .

그림 5.60 혼합물 혼합 설계

	Cocoa	Sugar	Flour	Butter	Milk	Eggs	Taste
1	0.2	0	0.25	0.2	0.3	0.05	•
2	0.1	0.15	0.2	0.15	0.35	0.05	•
3	0.1	0.05	0.3	0.2	0.25	0.1	•
4	0.2	0.05	0.2	0.1	0.25	0.2	•
5	0.2	0.05	0.2	0.1	0.35	0.1	•
6	0.1	0.15	0.2	0.1	0.25	0.2	•
7	0.1	0.05	0.3	0.1	0.25	0.2	•
8	0.1	0.15	0.2	0.2	0.3	0.05	•
9	0.15	0	0.3	0.1	0.35	0.1	•
10	0.2	0.05	0.2	0.2	0.25	0.1	•

마른 재료인 Cocoa, Sugar 및 Flour 설정의 합이 혼합물의 45% 이고 젖은 재료인 Butter, Milk 및 Eggs 설정의 합이 혼합물의 55% 입니다 . 또한 이 설정은 " 요인 " 개요에 지정된 상한과 하한에 맞습니다 .

실험 결과 분석

Cake Data.jmp 샘플 데이터 테이블은 실험 결과를 보여 줍니다 . 이 설계 테이블에 포함된 "Model" 스크립트는 DOE 창의 " 모형 " 개요에서 지정한 5 개 주효과를 보여 주는 " 모형 적합 " 창을 엽니다 . Eggs 의 주효과는 이 설계의 " 모형 " 개요에 포함되어 있지 않습니다 . 나머지 5 개 요인의 설정과 마른 재료 제약 조건에 의해 Eggs 수준을 결정할 수 있습니다 . 이 스크립트는 사용자 설계에서 생성되는 데이터 테이블에 저장되었습니다 .

1. Design Experiment 폴더의 Cake Data.jmp 샘플 데이터 테이블을 엽니다 .
2. 설계 테이블의 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다 .

Eggs 로 인한 주효과는 포함되어 있지 않습니다. 모형 특이성을 방지하기 위해 "사용자 설계" 창의 "모형" 개요에서 Eggs 효과가 제외되었습니다. 5 개 효과는 반응 표면 효과와 혼합 효과로 지정됩니다.

3. 실행을 클릭합니다.

일부 요인에 대한 혼합물 혼합 제약 조건 때문에 프로파일러를 표시할 수 없음을 알려 주는 JMP 경고가 나타납니다.

4. 확인을 클릭하여 JMP 경고를 해제합니다.

"모수 추정값" 보고서는 Sugar, Flour 및 Butter 가 0.05 수준에서 유의함을 나타냅니다.

그림 5.61 모수 추정값 보고서

모수 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
(Cocoa-0.1)/0.35	5.1056115	2.360215	2.16	0.0829	
Sugar/0.35	16.873989	1.675197	10.07	0.0002*	
(Flour-0.2)/0.35	15.750757	2.207353	7.14	0.0008*	
(Butter-0.1)/0.35	5.3740398	2.654689	2.02	0.0988	
(Milk-0.25)/0.35	1.5973046	2.435648	0.66	0.5409	

공변량이 포함된 실험

실험에 사용할 실험 단위에 대한 측정값을 사용할 수 있는 경우가 있습니다. 이러한 측정값이 실험 반응에 영향을 줄 수 있습니다. 공변량이라고 하는 이 변수를 설계 요인으로 포함하면 유용합니다. 이러한 값을 직접 제어할 수는 없지만 모든 효과를 가장 정확하게 추정할 수 있도록 다른 요인의 수준을 선택할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼은 공변량 값을 최적의 방식으로 선택하는 설계를 구성합니다. 공변량 값은 잠재적 실험 단위에 대한 공변량 정보를 제공하는 기존 데이터 테이블에서 선택됩니다. 데이터 테이블에 나열된 실험 단위의 수보다 적은 수의 런을 지정할 수 있습니다. 변경하기 힘든 공변량도 지정할 수 있습니다. 설계를 생성할 때 런 수가 공변량 테이블의 행 수보다 적으면 설계 테이블에 공변량 행 인덱스 열이 포함됩니다. 이 열은 공변량 테이블에서 각 실험 런에 해당하는 행을 나타냅니다.

참고: 공변량 데이터 테이블에서 공변량 요인의 값이 비결측인 행 수는 지정된 런 수보다 크거나 같아야 합니다.

- "고정 공변량이 포함된 설계"
- "변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계"
- "시간 선형 추세가 포함된 설계"

고정 공변량이 포함된 설계

이 예에서는 사출 성형 공정에 의해 생산된 부품의 Shrinkage 를 모델링하려고 합니다 . Design Experiment 폴더의 Thermoplastic JMP 샘플 데이터 테이블에는 연구에 사용할 수 있는 25 개의 원료 (열가소성수지) 배치가 나열됩니다 . 각 배치에 대해 Specific Gravity 및 Tensile Strength 측정 값을 구하기 위해 재료가 제거되었습니다 . 세 번째 공변량인 Supplier 도 사용할 수 있습니다 .

Temperature(금형 온도), Speed(스크류 속도) 및 Time(보압 시간) 이라는 세 가지 제어 가능한 요인이 Shrinkage 에 미치는 효과를 연구하려고 합니다 . 그러나 Specific Gravity, Tensile Strength 및 Supplier 와 같은 공변량의 효과도 연구하고 싶습니다 . 현재 리소스로 가능한 런 수는 12 회입니다 .

설계 생성

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Thermoplastic.jmp 를 엽니다 .
2. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다 .
3. " 반응 이름 " 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 Shrinkage 를 입력합니다 .
4. " 목표 " 아래의 **최대화**를 클릭한 후 **최소화**로 변경합니다 .
5. **요인 추가**를 클릭하고 **공변량**을 선택합니다 .
6. 목록에서 Specific Gravity, Tensile Strength 및 Supplier 를 선택하고 **확인**을 클릭합니다 .
이 항목은 공변량이며 제어할 수 없습니다 .
7. **N 개 요인 추가** 옆에 3 을 입력합니다 .
8. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다 .
9. 세 가지 연속형 요인의 이름을 Temperature, Speed, Time 으로 각각 바꿉니다 .
이 항목은 요인이며 제어할 수 있습니다 .

그림 5.62 반응 및 요인 개요

반응

반응 추가 ▼ 제거 반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Shrinkage	최소화	.	.	.
선택적 항목				

요인

요인 추가 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	변경	값
▲ Specific Gravity	공변량	쉬움	1.004 1.144
▲ Tensile Strength	공변량	쉬움	6.42 8.07
▼ Supplier	공변량	쉬움	A B C
▲ Temperature	연속형	쉬움	-1 1
▲ Speed	연속형	쉬움	-1 1
▲ Time	연속형	쉬움	-1 1

10. **계속**을 클릭합니다 .

런 수는 공변량 값이 있는 행 수를 나타냅니다. 공변량을 측정한 25 개의 배치가 있습니다.

11. 런 수 옆에 12 를 입력합니다.

참고 : 12 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하고 13 단계에서 " 시작 수 " 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

12. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정** 을 선택한 후 84951 을 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .

13. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수** 를 선택한 후 40 을 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .

14. **설계 생성** 을 클릭합니다 .

그림 5.63 12 회 런 최적 설계

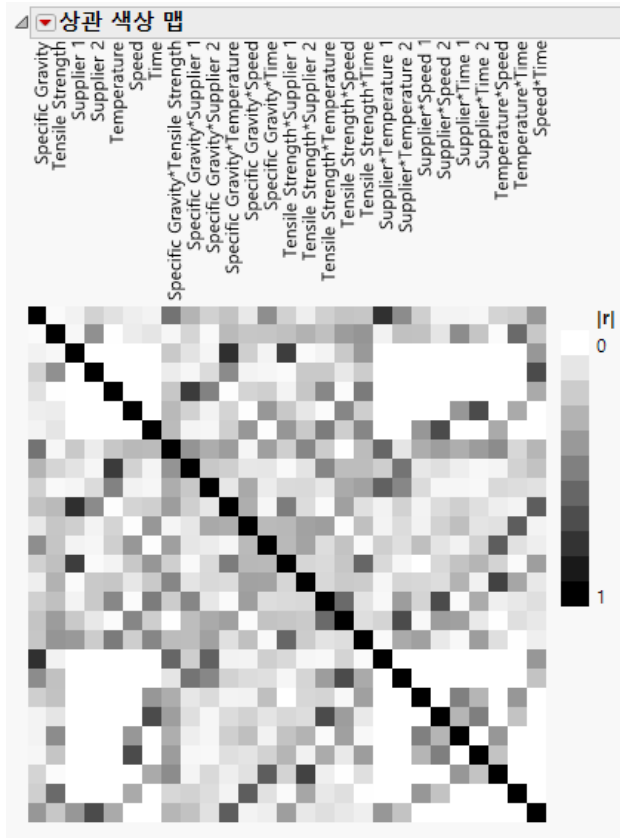
설계						
런	Specific Gravity	Tensile Strength	Supplier	Temperature	Speed	Time
1	1.107	8.07	B	1	1	1
2	1.144	6.82	B	1	-1	-1
3	1.004	6.52	C	1	1	-1
4	1.015	7.46	A	-1	1	-1
5	1.129	6.97	A	1	-1	-1
6	1.139	6.94	C	-1	1	-1
7	1.004	7.12	C	1	-1	1
8	1.067	6.7	B	-1	1	1
9	1.047	6.42	A	-1	-1	1
10	1.03	7.54	B	-1	-1	-1
11	1.094	6.48	A	1	1	1
12	1.113	6.89	C	-1	-1	1

이 설계는 잠재적 공변량 값을 고려한 D-최적입니다. 이 설계는 최적의 공변량 값 집합 및 제어 가능 요인의 최적 설정을 선택합니다.

설계 평가

1. **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

그림 5.64 상관 색상 맵



주요 효과에 해당하는 7 개 항이 색상 맵 왼쪽 위에 나타납니다. 이 7 개 항은 직교에 가깝습니다. Tensile Strength 와 Supplier 2 사이의 절대 상관관계가 가장 큼니다. 이 절대 상관관계 (약 0.43) 은 사용 가능한 공변량 값의 결과입니다. 그림 5.64 에는 JMP 기본 색상이 사용됩니다.

변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계

이 예에서는 마모 (Wear) 특성이 심한 달리기 선수가 신을 운동화를 개발하기 위한 설계를 구성합니다. 실험 요인은 다음과 같습니다.

- 밑창 두께 (Thickness)
- 젤 쿠션재 양 (Gel)
- 구두창 재료 (Outsole)
- 중창 재료 (Midsole)

일반화할 수 있는 결론을 얻으려면 신발을 테스트할 대상 선수의 범위를 넓게 잡아야 합니다. 실험 예산에 맞추기 위해 각 선수가 몇 가지 실험 조합을 테스트해야 합니다.

연구에 참가할 100명의 선수를 대상으로 데이터를 수집했습니다. 선수들에 대해 측정한 병존 변수(공변량)는 일일 평균 달린 거리(Miles), 몸무게(Weight) 및 지면에 발이 부딪히는 지점(Strike Point)입니다.

다음과 같이 설계를 생성합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Runners Covariates.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
3. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 **Wear**를 입력합니다.
4. "목표" 아래의 **최대화**를 클릭한 후 **최소화**로 변경합니다.
5. **요인 추가**를 클릭하고 **공변량**을 선택합니다.
6. 목록에서 Miles, Weight 및 Strike Point를 선택하고 **확인**을 클릭합니다.
이 항목은 달리기 선수와 관련된 변경하기 힘든 공변량입니다.
7. Miles, Weight, Strike Point 요인 중 하나에 대해 "변경" 아래에서 **쉬움**을 클릭한 후 **어려움**으로 변경합니다.

그러면 세 공변량의 "변경" 값이 모두 "어려움"으로 변경됩니다.

나머지 요인을 수동으로 추가하려면 8 단계 ~ 16 단계의 작업을 수행합니다. 또는 저장된 테이블에서 요인을 불러오려면 "사용자 설계"의 빨간색 삼각형에서 **요인 불러오기**를 선택합니다. Design Experiment 폴더의 Runners Factors.jmp 샘플 데이터 테이블을 엽니다. **요인 불러오기**를 선택한 경우에는 8 단계 ~ 16 단계의 작업을 건너뛰십시오.

8. **N 개 요인 추가** 옆에 2를 입력합니다.
9. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
10. 두 요인의 이름을 Thickness와 Gel로 각각 바꿉니다.
11. Thickness의 **값**을 5와 20으로 변경합니다.
12. Gel의 **값**을 1과 10으로 변경합니다.
13. **N 개 요인 추가** 옆에 2를 입력합니다.
14. **요인 추가 > 범주형 > 3 수준**을 클릭합니다.
15. 두 요인의 이름을 Outsole과 Midsole로 각각 바꿉니다.
이 요인의 **값**은 기본값을 유지합니다.

그림 5.65 반응 및 요인 개요

반응

반응 추가
제거
반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Wear	최소화	.	.	.
선택적 항목				

요인

요인 추가
제거
N개 요인 추가
1

이름	역할	변경	값
Miles	공변량	어려움	6 14.8
Weight	공변량	어려움	138 152
Strike Point	공변량	어려움	Forefoot Heel Midfoot
Thickness	연속형	쉬움	5 20
Gel	연속형	쉬움	1 10
Outsole	범주형	쉬움	L1 L2 L3
Midsole	범주형	쉬움	L1 L2 L3

16. 계속을 클릭합니다.

17. 교호작용 > 2 차를 선택합니다.

지정된 모형은 공변량과 실험 요인의 교호작용을 포함하여 모든 2요인 교호작용을 적합시킵니다.

18. 주구 (선수) 수를 32 로 설정합니다 (이 값으로 설정되지 않은 경우).

19. "런 수" 의 "사용자 지정" 옆에 64 를 입력합니다 (이 값으로 설정되지 않은 경우).

참고 : 20 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 21 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

20. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 난수 시드값 설정을 선택한 후 12345 를 입력하고 확인을 클릭합니다.

21. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 시작 수를 선택한 후 1 로 설정합니다 (이 값으로 설정되지 않은 경우). 확인을 클릭합니다.

22. 설계 생성을 클릭합니다.

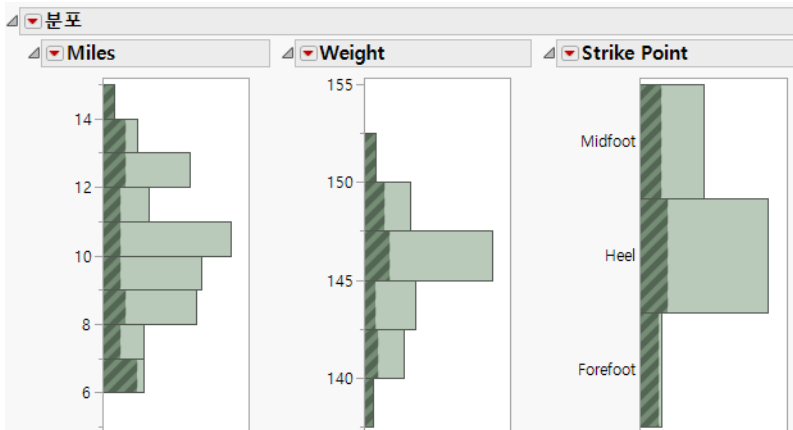
그림 5.66 변경하기 힘든 공변량에 대한 설계의 처음 20 회 런

런	주구	Miles	Weight	Strike Point	Thickness	Gel	Outsole	Midsole
1	1	7.6	144	Midfoot	5	10	L3	L2
2	1	7.6	144	Midfoot	20	1	L2	L1
3	2	7.6	145	Midfoot	20	10	L3	L3
4	2	7.6	145	Midfoot	5	1	L1	L1
5	3	14.8	141	Midfoot	20	1	L1	L3
6	3	14.8	141	Midfoot	5	10	L2	L1
7	4	6.4	146	Heel	20	10	L1	L2
8	4	6.4	146	Heel	5	1	L2	L3
9	5	11.2	138	Heel	5	1	L2	L3
10	5	11.2	138	Heel	20	10	L3	L2
11	6	11.2	144	Forefoot	20	1	L3	L3
12	6	11.2	144	Forefoot	5	10	L2	L1
13	7	12.8	139	Heel	5	10	L3	L1
14	7	12.8	139	Heel	20	1	L1	L2
15	8	14	139	Midfoot	5	1	L1	L2
16	8	14	139	Midfoot	20	10	L2	L3
17	9	6	150	Heel	20	10	L2	L2
18	9	6	150	Heel	5	1	L3	L3
19	10	10.8	143	Forefoot	20	1	L3	L1
20	10	10.8	143	Forefoot	5	10	L2	L2

100 명의 선수 중 공변량 값을 기준으로 32 명이 선택됩니다 . 선택된 선수에 해당하는 행은 RunnersCovariates.jmp 샘플 데이터 테이블에서 선택합니다 . 실험 요인인 Thickness, Gel, Insole 및 Outsole 의 설정은 " 모형 " 개요에 설명된 모형을 위한 최적 설계가 생성될 수 있도록 결정됩니다 .

23. RunnersCovariates.jmp 샘플 데이터 테이블을 활성 테이블로 사용하여 분석 > 분포를 선택합니다 .
24. 세 열을 모두 Y, 열로 선택합니다 .
25. 히스토그램만을 선택합니다 .
26. 확인을 클릭합니다 .

그림 5.67 100 명의 선수에 대한 히스토그램 (선택된 선수 데이터는 음영 처리됨)



이 히스토그램은 설계에서 공변량 간에 런 균형을 맞추기 위해 대상 선수가 선택된 방법을 보여 줍니다. 선택된 선수의 분포는 각 공변량에 대한 모든 선수의 전체 분포와 유사합니다.

시간 선형 추세가 포함된 설계

시간 순서에 따라 실험을 수행할 때 반응에서 선형 흐름이 나타나는 경우가 종종 있습니다. 일반적으로 런 순서를 랜덤화하면 추정된 요인 효과가 흐름 효과에 의해 편향되지 않습니다. 그러나 흐름을 고려하면 해당 효과의 분산을 줄일 수 있습니다.

요인 변화와 독립적으로 시간에 따라 반응에서 강한 선형 추세를 의심할 이유가 있다고 가정해 보겠습니다. 추세를 설명하기 위해 선형 공변량을 포함하는 설계를 구성할 수 있습니다. 결과 설계는 이 추세 공변량을 고려한 최적입니다.

이 예에서는 7 개 요인에 대한 실험을 설계합니다. 선형 추세에 대해 로버스트한 16 회 런 설계를 구성합니다.

1. **파일 > 새로 만들기 > 데이터 테이블**을 선택합니다.
2. 열 1 을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 정보**를 선택합니다.
3. 열 이름을 Run Order 로 변경합니다.
4. **데이터 초기화** 옵션 목록에서 **시퀀스 데이터**를 선택합니다.
5. 끝 옆에 16 을 입력합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.
1 부터 16 까지 연속된 정수가 데이터 테이블에 입력되었습니다.
7. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
8. **요인 추가 > 공변량**을 클릭합니다.
9. Run Order 를 선택하고 **확인**을 클릭합니다.
10. **N 개 요인 추가** 옆에 7 을 입력합니다.
11. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.

그림 5.68 반응 및 요인 개요

사용자 설계

반응

반응 추가 ▼ 제거 반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y 선택적 항목	최대화	.	.	.

요인

요인 추가 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	변경	값
Run Order	공변량	쉬움	1
X2	연속영	쉬움	-1
X3	연속영	쉬움	-1
X4	연속영	쉬움	-1
X5	연속영	쉬움	-1
X6	연속영	쉬움	-1
X7	연속영	쉬움	-1
X8	연속영	쉬움	-1

12. **계속**을 클릭합니다.

13. **별칭 항** 개요를 엽니다.

14. 목록에서 모든 효과를 선택하고 **항 제거**를 클릭합니다.

이렇게 하면 상관 색상 맵에서 교호작용 효과를 생략하고 주효과만 남습니다.

참고 : 15 단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 16 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

15. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 1084680980을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.

16. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 30000을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.

17. **설계 생성**을 클릭합니다.

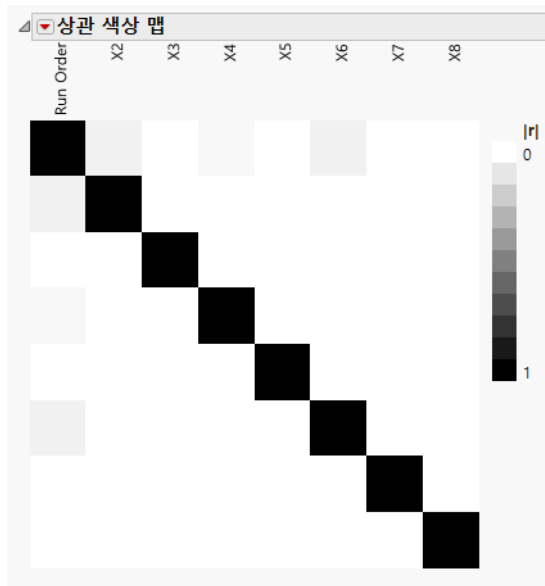
진행률 표시줄에 경과 시간과 D 효율도가 표시됩니다.

그림 5.69 설계 개요

설계	Run Order	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1
2	2	1	-1	1	1	-1	-1	-1
3	3	1	-1	-1	1	1	1	1
4	4	-1	-1	1	-1	1	-1	1
5	5	-1	1	1	1	-1	1	-1
6	6	-1	1	-1	1	1	-1	1
7	7	-1	1	1	-1	-1	1	1
8	8	-1	1	-1	1	1	1	-1
9	9	1	1	1	-1	1	1	1
10	10	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1
11	11	1	-1	1	-1	1	1	-1
12	12	1	-1	-1	1	-1	1	1
13	13	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
14	14	-1	-1	1	1	-1	-1	1
15	15	1	1	-1	-1	-1	-1	1
16	16	1	1	1	1	1	-1	-1

18. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다.

그림 5.70 Run Order 와의 절대 상관을 보여 주는 색상 맵



색상 맵은 다음을 보여 줍니다.

- 7 개 연속형 요인 (X2 ~ X8) 은 서로 직교합니다.
- 시간 선형 추세 변수인 Run Order 와 X2 ~ X8 의 절대 상관은 극단적으로 낮습니다.

19. 설계 평가 > 추정 효율도 개요를 엽니다.

그림 5.71 추정 효율도 개요

추정 효율도		
항	CI 길이의 부분적 증가	추정값의 상대 표준 오차
절편	0	0.25
Run Order	0.632	0.408
X2	0.001	0.25
X3	0	0.25
X4	4e-4	0.25
X5	0	0.25
X6	0.001	0.25
X7	0	0.25
X8	0	0.25

X2 ~ X8 과 Run Order 의 절대 상관이 작으므로 이상적인 직교 설계에 비해 신뢰 구간 길이의 증가가 매우 작습니다. X2 ~ X8 의 신뢰 구간 길이 증가는 모두 0.1% 미만입니다.

이 예에서 런 순서 요인은 요인 효과와 거의 직교합니다. 경우에 따라 런 순서 요인과 다른 요인 간의 상관이 상당히 클 수 있습니다. 이런 상황에서도 런 순서를 요인으로 포함하면 선형 추세 효과가 설명됩니다. 또한 런 순서를 포함하면 다른 요인 효과를 더 정확하게 추정할 수 있습니다.

랜덤화 제한이 있는 실험

사용자 설계 플랫폼은 D- 최적 또는 I- 최적인 분할구, 분할 - 분할구 및 이원 분할구 (조각구) 설계를 구성합니다. 이러한 설계를 구성하는 방법에 대한 자세한 내용은 Goos(2002) 에서 확인하십시오.

- "분할구 실험"
- "이원 분할구 실험"

분할구 실험

분할구 설계는 농업에서 시작되었지만 제조 및 엔지니어링 연구에서 매우 흔합니다. 분할구 실험에서 변경하기 힘든 요인은 하나의 주구와 다음 주구 사이에서만 재설정됩니다. 주구는 하위구로 나뉘며, 변경하기 쉬운 요인의 수준이 각 하위구에 무작위로 할당됩니다.

이 섹션의 예는 Kowalski, Cornell, and Vining(2002) 에서 채택되었습니다. 자동차 시트 커버를 만드는 데 사용되는 비닐 두께에 대한 5 개 요인의 효과를 연구하려고 합니다. 실험의 반응과 요인은 다음과 같습니다.

- 반응은 생산되는 비닐의 두께입니다. 두께를 최대화하는 것이 목표입니다. 두께 값의 하한은 10 입니다.
- 주구 요인은 압출률 (extrusion rate) 과 건조 온도 (temperature) 입니다. 이러한 요인은 공정 변수이며 변경하기가 어렵습니다.
- 하위구 요인은 비율 (m_1, m_2, m_3) 의 합이 1 인 세 가지 가소제입니다. 이러한 요인은 혼합 성분입니다.

실험 예산을 고려하면 주구 요인의 7 개 설정을 실행할 수 있습니다. 각 주구마다 하위구 요인에 대한 런을 4 회 수행할 수 있습니다. 따라서 총 28 회 런이 가능합니다.

설계 생성

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 **thickness** 를 입력합니다.
"최대화"로 설정된 기본 목표를 유지합니다.
3. "하한"에 10 을 입력합니다.

요인을 수동으로 추가하려면 4 단계 ~ 11 단계의 작업을 수행합니다. 또는 저장된 테이블에서 요인을 불러오려면 "사용자 설계"의 빨간색 삼각형에서 **요인 불러오기**를 선택합니다. Design Experiment 폴더의 Vinyl Factors.jmp 샘플 데이터 테이블을 엽니다. **요인 불러오기**를 선택한 경우에는 4 단계 ~ 11 단계의 작업을 건너뛰십시오.

4. **N 개 요인 추가** 옆에 2 를 입력합니다.
5. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
6. 요인 이름을 **extrusion rate** 와 **temperature** 로 각각 바꿉니다.
이러한 두 요인의 "값"은 기본값 -1 과 1 을 유지합니다.
7. **extrusion rate** 와 **temperature** 둘 다에 대해 **쉬움**을 클릭하고 **어려움**을 선택합니다.
이렇게 하면 **extrusion rate** 와 **temperature** 가 주구 요인으로 정의됩니다.
8. **N 개 요인 추가** 옆에 3 을 입력합니다.
9. **요인 추가 > 혼합**을 클릭합니다.
10. 세 가지 혼합 요인의 이름을 **m1**, **m2**, **m3** 으로 각각 바꿉니다.
세 요인의 "값"은 기본값 0 과 1 을 유지합니다.

그림 5.72 반응 및 요인 개요

The screenshot shows the 'User Design' dialog box in JMP. The 'Response' section has 'thickness' as the response name, 'Maximize' as the goal, and '10' as the lower bound. The 'Factors' section lists six factors: 'extrusion rate' (Continuous, Difficulty), 'temperature' (Continuous, Difficulty), 'm1' (Mixture, Ease), 'm2' (Mixture, Ease), and 'm3' (Mixture, Ease). Each factor has a 'Level' column with values -1, 0, or 1, and a 'Weight' column with values 1 or 0.

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
thickness	최대화	10	.	.

이름	역할	변경	값	중요도
extrusion rate	연속형	어려움	-1	1
temperature	연속형	어려움	-1	1
m1	혼합	쉬움	0	1
m2	혼합	쉬움	0	1
m3	혼합	쉬움	0	1

11. **계속**을 클릭합니다.

12. **교호작용 > 2 차**를 클릭합니다.
13. **확인**을 클릭하여 정보 메시지를 해제합니다.
"주구 수"의 기본값은 3 입니다.
14. **주구 수** 옆에 7 을 입력합니다.
15. **사용자 지정** 옆에 28 을 입력합니다.

참고 : 16 단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 17 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

16. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
17. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 5 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
18. **설계 생성**을 클릭합니다.

그림 5.73 설계 개요

런	주구	extrusion		m1	m2	m3
		rate	temperature			
1	1	1	1	1	0	0
2	1	1	1	0.5	0.5	0
3	1	1	1	0	0.5	0.5
4	1	1	1	0	0	1
5	2	-1	1	0	0	1
6	2	-1	1	0	1	0
7	2	-1	1	0.5	0	0.5
8	2	-1	1	1	0	0
9	3	-1	-1	0	1	0
10	3	-1	-1	0.4	0	0.6
11	3	-1	-1	0	0.5	0.5
12	3	-1	-1	1	0	0
13	4	1	-1	0	0.5	0.5
14	4	1	-1	1	0	0
15	4	1	-1	0	1	0
16	4	1	-1	0	0	1
17	5	1	1	1	0	0
18	5	1	1	0	1	0
19	5	1	1	0.5	0	0.5
20	5	1	1	0	0	1
21	6	-1	-1	1	0	0
22	6	-1	-1	0	1	0
23	6	-1	-1	0.5	0.5	0
24	6	-1	-1	0	0	1
25	7	1	-1	0	0	1
26	7	1	-1	0.6	0	0.4
27	7	1	-1	0	1	0
28	7	1	-1	0.560358	0.439642	0

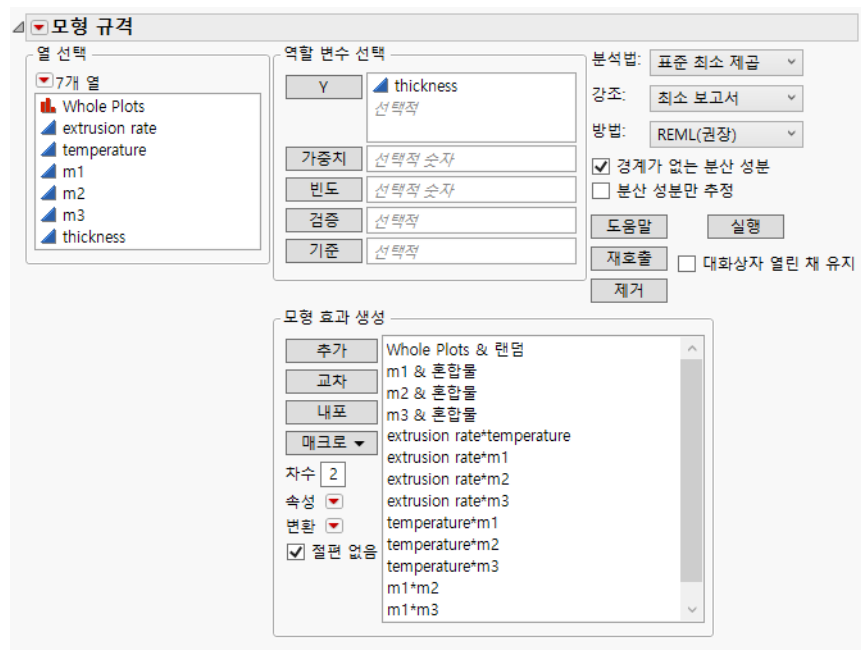
주구 요인 extrusion rate 와 temperature 는 주구 요인의 수준에 따라 7 번 재설정됩니다 . 주구의 각 수준 내에서 혼합 성분 m1, m2 및 m3 에 대한 설정이 무작위로 할당됩니다 .

결과 분석

Vinyl Data.jmp 샘플 데이터 테이블에는 이전 버전의 JMP 에서 생성된 설계를 사용한 실험 결과가 포함되어 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Vinyl Data.jmp 를 엽니다.
이 샘플 데이터 테이블에는 28 회 런과 반응 값이 있습니다. 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 생성한 테이블의 설계 설정과 Vinyl Data.jmp 설계에 사용된 설정이 다를 수 있습니다.
2. 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

그림 5.74 모형 적합 창



"모형 적합" 창에서 다음을 확인할 수 있습니다.

- Whole Plots 요인에 "임의 효과 (& 랜덤)" 라는 속성이 있습니다. 이는 Whole Plots 의 수준이 랜덤하게 구현됨을 나타냅니다. 또한 관련된 오차 항이 있습니다.
- 분석 방법은 **REML(권장)** 입니다. 모형에 임의 효과가 포함되어 있으므로 이 방법이 지정됩니다. REML 모형에 대한 자세한 내용은 Fitting Linear Models 의 "Standard Least Squares Report and Options" 장에서 확인하십시오.

팁: JMP Pro 사용자는 "모형 적합" 창에서 "분석법"을 "혼합 모형"으로 변경할 수 있습니다.

3. **실행**을 클릭합니다.

그림 5.75 분할구 분석 결과

모수 추정값						
항	추정값	표준 오차	DFDen	t 비	Prob> t	
m1	9.4464782	0.989604	7.99	9.55	<.0001*	
m2	5.378571	1.120267	10.35	4.80	0.0007*	
m3	5.5546291	1.030955	8.786	5.39	0.0005*	
extrusion rate*temperature	-1.866921	0.740748	2.858	-2.52	0.0903	
extrusion rate*m1	-0.647611	0.958111	7.261	-0.68	0.5200	
extrusion rate*m2	0.2944425	0.997579	8.162	0.30	0.7752	
extrusion rate*m3	2.6611621	0.979087	7.733	2.72	0.0272*	
temperature*m1	-1.8151	0.961061	7.328	-1.89	0.0990	
temperature*m2	1.2044413	0.993319	8.065	1.21	0.2596	
temperature*m3	-1.498647	0.97904	7.731	-1.53	0.1657	
m1*m2	-6.458845	5.83806	13.36	-1.11	0.2881	
m1*m3	8.5532871	5.607183	13.15	1.53	0.1508	
m2*m3	10.575333	5.226599	13.04	2.02	0.0640	

REML 분산 성분 추정값						
임의 효과	분산 비율	분산 성분	표준 오차	95% 하한	95% 상한	Wald p 값
Whole Plots	0.6350069	2.476748	2.9711536	-3.346606	8.3001021	0.4045
잔차		3.9003483	1.5898101	2.0073487	10.607283	
합계		6.3770963	3.1515558	2.9308168	22.945461	

-2*로그 우도 = 82.032495402
참고: 합계는 양의 분산 성분의 합입니다.
음수 추정값을 포함한 합계 = 6.3770963

"모수 추정값" 보고서는 세 가지 혼합 성분 및 **extrusion rate*m3** 교호작용이 0.05 수준에서 유의함을 보여 줍니다.

"REML 분산 성분 추정값" 보고서는 주구와 관련된 분산 성분이 2.476748 임을 나타냅니다. 이는 총 변동의 38.838%입니다. 결과적으로 주구 반복과 관련된 오차 항이 잔차(내부) 오차 항보다 작습니다.

이원 분할구 실험

이원 분할구(조각구 또는 분할 블록이라고도 함) 설계는 두 개의 분할구 성분으로 구성됩니다. 산업 분야에서 첫 번째 처리 단계의 재료나 실험 단위를 두 번째 처리 단계에 일괄적으로 전달할 때 이러한 설계가 수행됩니다. 이원 분할구 설계를 사용하려면 단계 간 단위를 재정렬할 수 있어야 합니다.

첫 번째 처리 단계 후에 배치를 하위 배치로 나눌 수 있어야 합니다. 두 번째 단계 처리 요인은 이러한 하위 배치에 무작위로 적용됩니다. 두 번째 단계의 특정 실험 설정이 있는 경우 해당 설정에 할당된 모든 하위 배치를 동시에 처리할 수 있습니다. 두 번째 처리 단계 후에 실험 단위에 추가 요인을 적용할 수 있습니다.

분할-분할구 설계와 달리 두 번째 단계 요인이 첫 번째 단계 요인에 내포되지 않습니다. 첫 번째 단계 후 배치가 나뉘어져 새 배치가 만들어집니다. 따라서 첫 번째 단계 요인과 두 번째 단계 요인 둘 다 전체 배치에 적용됩니다.

두 단계의 요인이 동등하게 변경하기 힘들 수 있지만 JMP는 첫 번째 단계 요인을 매우 변경하기 힘든 것으로 나타내고 두 번째 단계 요인을 변경하기 힘든 것으로 나타내 이러한 요인을 구분합니다. 두 번째 처리 단계 후 실험 단위에 적용된 추가 요인은 변경하기 쉬운 것으로 간주됩니다.

이원 분할구 설계 시나리오

이 예는 배터리 셀의 OCV(개회로 전압) 를 개선하기 위한 실험을 기반으로 합니다 (Vivacqua and Bisgaard, 2004). 셀이 저질로 방전되는 것을 방지하기 위해 OCV 를 최소화해야 합니다 .

배터리 셀은 다음과 같은 두 단계의 처리 과정을 거칩니다 .

- 첫 번째 단계 : 배터리를 2000 개씩 일괄 처리하는 연속 조립 공정
- 두 번째 단계 : 4000 개 배터리를 수용할 수 있는 공간에서 5 일 주기 시간의 큐어링 공정

다음과 같은 여섯 가지 2 수준 연속형 요인에 대해 연구하려고 합니다 .

- 조립 공정에 적용되는 네 개의 요인 (A1, A2, A3, A4). 첫 번째 단계 요인에 대해 실행할 수 있는 시도 수는 16 회입니다 .
- 큐어링 공정에 적용되는 두 개의 요인 (C5, C6). 큐어링에는 5 일 주기 시간이 필요하므로 두 번째 단계 요인에 대해 실행할 수 있는 주기는 6 회 (30 일) 뿐입니다 . 6 회 의 큐어링 주기를 사용하면 큐어링 설정을 부분 반복하여 큐어링 효과를 검정할 수 있습니다 .

첫 번째 단계 요인과 두 번째 단계 요인은 둘 다 변경하기 힘들기 때문에 분할구 두 개를 제안합니다 . 그러나 첫 번째 단계 실험에서 2,000 개 배터리를 각각 500 개의 배터리로 구성된 하위 배치로 나눌 수 있습니다 . 이러한 하위 배치 중 8 개를 무작위로 선택하여 큐어링 공간에서 동시에 처리할 수 있습니다 .

이 실험에는 48 개의 실험 단위가 있습니다 . 첫 번째 단계와 두 번째 단계의 요인이 교차된다는 것에 유의하십시오 .

설계 생성

이원 분할구 실험을 설계하려면

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다 .
2. " 반응 이름 " 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 OCV 를 입력합니다 .
3. " 목표 " 아래의 **최대화**를 클릭한 후 **최소화**를 선택합니다 .
4. 요인을 수동으로 추가하려면 5 단계 ~ 10 단계의 작업을 수행합니다 . 저장된 테이블에서 요인을 불러오려면 다음을 수행하십시오 .
 - a. " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다 .
 - b. Design Experiment 폴더의 Battery Factors.jmp 샘플 데이터 테이블을 엽니다 .
 - c. 11 단계로 진행합니다 .
5. **N 개 요인 추가** 옆에 6 을 입력합니다 .
6. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다 .
7. 요인 이름을 A1, A2, A3, A4, C1, C2 로 각각 바꿉니다 .
이러한 요인의 " 값 " 은 기본값 -1 과 1 을 유지합니다 .

8. A1, A2, A3 및 A4 요인에 대해 각각 "변경" 아래에서 **쉬움**을 클릭한 후 **매우 어려움**으로 변경합니다.

첫 번째 단계와 두 번째 단계의 요인을 구분하기 위해 첫 번째 단계 요인의 "변경"을 "매우 어려움"으로 지정하고 두 번째 단계 요인의 "변경"을 "어려움"으로 지정합니다.

9. C1 및 C2 요인에 대해 각각 "변경" 아래에서 **쉬움**을 클릭한 후 **어려움**으로 변경합니다.

그림 5.76 반응 및 요인 개요

반응

반응 추가 ▾

제거

반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
OCV	최소화	.	.	.
선택적 항목				

요인

요인 추가 ▾

제거

N개 요인 추가

1

이름	역할	변경	값	
▲A1	연속형	매우 어려움	-1	1
▲A2	연속형	매우 어려움	-1	1
▲A3	연속형	매우 어려움	-1	1
▲A4	연속형	매우 어려움	-1	1
▲C1	연속형	어려움	-1	1
▲C2	연속형	어려움	-1	1

10. **계속**을 클릭합니다.

11. "모형" 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 선택합니다.

12. "설계 생성" 개요에서 **변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다**. 옵션을 선택합니다.

자세한 내용은 그림 5.77에서 확인하십시오. 이 옵션을 선택하면 이원 분할구 설계가 생성됩니다. 이 옵션을 선택하지 않으면 두 수준에서 요인이 내포된 분할 - 분할구 설계로 처리됩니다.

13. **주구 수**에 16을 입력합니다.

이 값은 첫 번째 단계 요인에 대해 실행할 수 있는 시도 수입니다.

14. **하위구 수**에 6을 입력합니다.

이 값은 두 번째 단계 요인에 대해 실행할 수 있는 시도 수입니다.

15. "런 수" 아래에서 **사용자 지정** 옆에 48을 입력합니다.

이 값은 총 실험 단위 수입니다.

그림 5.77 설계 생성 개요

설계 생성

☒ 변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다.

주구 수

하위구 수

런 수:

☐ 최소값 22
 ☐ 기본값 30
 ☒ 사용자 지정

설계 생성

참고 : 16 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하고 17 단계에서 " 시작 수 " 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

16. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정** 을 선택한 후 1866762673 을 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .
17. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수** 를 선택한 후 21 을 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .
18. **설계 생성** 을 클릭합니다 .
19. **테이블 생성** 을 클릭합니다 .

그림 5.78 설계 테이블 (일부분)

	주구	하위구	A1	A2	A3	A4	C1	C2	OCV
1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	•
2	1	2	-1	1	-1	1	1	1	•
3	1	3	-1	1	-1	1	1	-1	•
4	2	4	1	1	-1	1	1	1	•
5	2	5	1	1	-1	1	-1	1	•
6	2	6	1	1	-1	1	-1	-1	•
7	3	1	-1	-1	-1	1	-1	1	•
8	3	2	-1	-1	-1	1	1	1	•
9	3	3	-1	-1	-1	1	1	-1	•
10	4	4	-1	-1	-1	-1	1	1	•
11	4	5	-1	-1	-1	-1	-1	1	•
12	4	6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	•
13	5	1	1	1	-1	-1	-1	1	•
14	5	2	1	1	-1	-1	1	1	•
15	5	3	1	1	-1	-1	1	-1	•
16	6	4	1	-1	-1	-1	1	1	•

설계 테이블은 주구의 16 개 수준을 보여 줍니다 . 주구의 각 수준에 대해 네 가지 조립 요인의 설정이 일정합니다 . 주구의 각 수준에서 500 개의 배터리로 구성된 3 개의 배치 (하위구) 가 큐어링 요인의 설정에 무작위로 할당됩니다 . 큐어링 조건 집합 두 개가 반복됩니다 (C1 = -1, C2 = 1 과 C1 = 1, C2 = 1). 이를 확인하려면 C1 및 C2 열을 선택하고 머리글 영역을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭한 후 **정렬 > 오름차순** 을 선택하십시오 .

결과 분석

Battery Data.jmp 샘플 데이터 테이블에는 생성한 설계의 실험 결과가 포함되어 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Battery Data.jmp 를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
 - "모형 적합" 창에서 다음을 확인할 수 있습니다.
 - Whole Plots 요인에 "임의 효과"(& 랜덤) 라는 속성이 있습니다. 이는 Whole Plots 의 수준이 랜덤하게 구현됨을 나타냅니다. 또한 관련된 오차 항이 있습니다.
 - Subplots 요인에도 "임의 효과" 속성 (& 랜덤) 이 있습니다.
 - 분석 방법은 **REML(권장)** 입니다. 모형에 임의 효과가 포함되어 있으므로 이 방법이 지정됩니다. REML 모형에 대한 자세한 내용은 Fitting Linear Models 의 "Standard Least Squares Report and Options" 창에서 확인하십시오.

팁 : JMP Pro 사용자는 "모형 적합" 창에서 "분석법" 을 "혼합 모형" 으로 변경할 수 있습니다.

3. **대화상자 열린 채 유지** 옵션을 선택합니다.
4. **실행**을 클릭합니다.

그림 5.79 전체 모형에 대한 보고서

모수 추정값						
항	추정값	표준 오차	DFDen	t 비	Prob> t	
절편	38.183196	1.673404	2.075	22.82	0.0016*	
A1	-4.657571	1.093074	2.916	-4.26	0.0251*	
A2	0.147742	1.093074	2.916	0.14	0.9013	
A3	0.9486795	1.093074	2.916	0.87	0.4510	
A4	4.0716925	1.190175	3.214	3.42	0.0376*	
C1	-1.827487	1.606207	0.868	-1.14	0.4804	
C2	-15.73288	1.35446	0.719	-11.62	0.1065	
A1*A2	0.1289012	1.080526	2.784	0.12	0.9131	
A1*A3	-1.114015	1.080526	2.784	-1.03	0.3837	
A1*A4	-1.92398	1.176342	3.04	-1.64	0.1993	
A1*C1	-3.271232	0.480531	20.65	-6.81	<.0001*	
A1*C2	3.737258	0.478635	20.09	7.81	<.0001*	
A2*A3	0.3768179	1.080526	2.784	0.35	0.7520	
A2*A4	1.4693535	1.176342	3.04	1.25	0.2992	
A2*C1	1.9072313	0.480531	20.65	3.97	0.0007*	
A2*C2	-0.161179	0.478635	20.09	-0.34	0.7398	
A3*A4	0.0764369	1.176342	3.04	0.06	0.9522	
A3*C1	0.1761619	0.480531	20.65	0.37	0.7176	
A3*C2	-0.445242	0.478635	20.09	-0.93	0.3633	
A4*C1	0.5306856	0.511896	20.84	1.04	0.3118	
A4*C2	1.3506119	0.502894	20.12	2.69	0.0142*	
C1*C2	-0.425326	1.606207	0.868	-0.26	0.8401	

임의 효과 예측							
REML 분산 성분 추정값							
임의 효과	분산 비율	분산 성분	표준 오차	95% 하한	95% 상한	Wald p 값	총계 백분율
Whole Plots	1.6095523	15.451509	15.876576	-15.66601	46.569027	0.3304	45.968
Subplots	0.8919389	8.562507	16.314188	-23.41271	40.537728	0.5997	25.473
잔차		9.5998804	3.0299487	5.6239301	19.985723		28.559
합계		33.613897	16.824615	15.325965	123.59174		100.000
-2*로그 우도 = 227.810084							
참고: 합계는 양의 분산 성분의 합입니다.							
음수 추정값을 포함한 합계 = 33.613897							

"모수 추정값" 보고서는 이원 교호작용 4 개 (A1*C1, A1*C2, A2*C1, A4*C2) 와 주효과 두 개 (A1, A4) 가 0.05 수준에서 유의함을 나타냅니다.

- Battery Data.jmp 의 테이블 패널에서 **Reduced Model 1** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

그러면 유의하지 않은 교호작용이 제거된 "모형 적합" 창이 열립니다. 남은 효과는 모든 주 효과와 이원 교호작용 4 개 (A1*C1, A1*C2, A2*C1, A4*C2) 입니다. 이 모형 축소 방법은 보수적입니다.

- 실행을 클릭합니다.

그림 5.80 예비 축소 모형에 대한 보고서

모수 추정값						
항	추정값	표준 오차	DFDen	t 비	Prob> t	
절편	38.249531	1.373127	7.723	27.86	<.0001*	
A1	-4.723906	1.175023	8.5	-4.02	0.0034*	
A2	0.0497917	1.165418	8.228	0.04	0.9669	
A3	0.7560417	1.165418	8.228	0.65	0.5342	
A4	4.2328205	1.207654	9.16	3.50	0.0065*	
C1	-2.195626	0.866042	1.083	-2.54	0.2234	
C2	-15.79922	0.840903	1.008	-18.79	0.0331*	
A1*C1	-3.283225	0.452505	25.17	-7.26	<.0001*	
A1*C2	3.8035937	0.4498	24.42	8.46	<.0001*	
A2*C1	1.8797279	0.452505	25.17	4.15	0.0003*	
A4*C2	1.3877006	0.482556	24.95	2.88	0.0081*	

주효과 C2 는 이제 0.05 수준에서 유의합니다 (Prob>|t| = 0.0331).

7. " 모형 적합 " 창에서 A3 을 제거합니다 .

주효과 중 A3 만 유의하지 않고 이원 교호작용에 포함되지 않습니다 .

8. 실행을 클릭합니다 .

그림 5.81 축소 모형에 대한 보고서

모수 추정값						
항	추정값	표준 오차	DFDen	t 비	Prob> t	
절편	38.249531	1.362184	6.639	28.08	<.0001*	
A1	-4.723906	1.137313	9.131	-4.15	0.0024*	
A2	0.0497917	1.127389	8.818	0.04	0.9658	
A4	4.2131272	1.173862	9.921	3.59	0.0050*	
C1	-2.166553	0.899138	1.037	-2.41	0.2432	
C2	-15.79922	0.874257	0.963	-18.07	0.0389*	
A1*C1	-3.282201	0.452234	25.24	-7.26	<.0001*	
A1*C2	3.8035938	0.449735	24.43	8.46	<.0001*	
A2*C1	1.8843473	0.452234	25.24	4.17	0.0003*	
A4*C2	1.3851686	0.4823	24.91	2.87	0.0082*	

임의 효과 예측						
REML 분산 성분 추정값						
임의 효과	분산 비율	분산 성분	표준 오차	95% 하한	95% 상한	Wald p 값
Whole Plots	2.0231563	17.459497	9.7154555	-1.582446	36.50144	0.0723
Subplots	0.3473621	2.9976761	5.8732929	-8.513766	14.509119	0.6098
잔차		8.6298312	2.4692519	5.2816799	16.588508	
합계		29.087005	9.1941655	17.028461	60.633509	

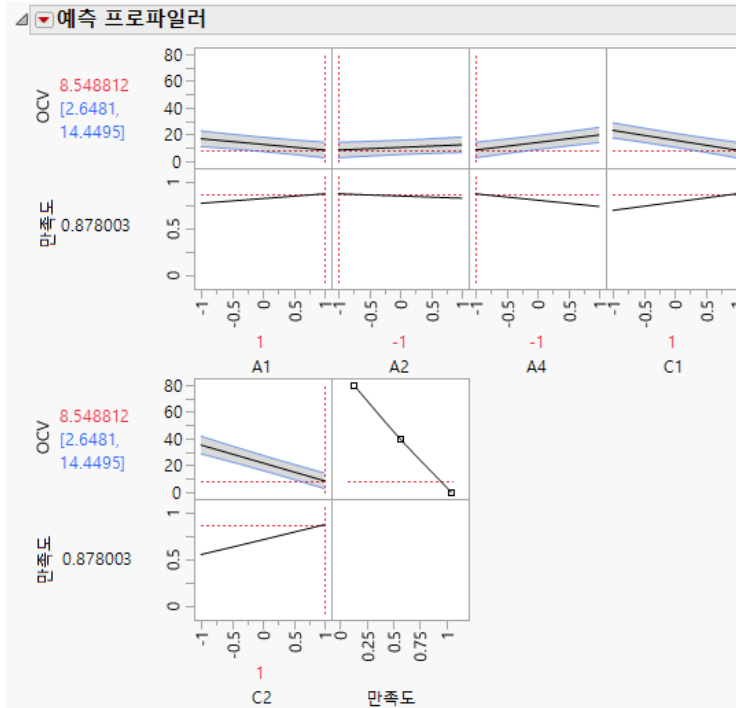
-2*로그 우도 = 254.17861349
참고: 합계는 양의 분산 성분의 합입니다.
음수 추정값을 포함한 합계 = 29.087005

"REML 분산 성분 추정값" 보고서는 주구와 관련된 분산 성분이 하위구의 분산 성분보다 약 6 배 정도 크다는 것을 보여 줍니다. 즉, 조립 공정이 큐어링 공정보다 가변성이 더 크다는 것을 나타냅니다. 또한 내부 (잔차) 오차가 하위구의 오차보다 큼니다. 변동 줄이려면 조립 공정 및 배터리 간 차이에 중점을 두어야 합니다.

9. " 반응 OCV "의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 프로파일링 > 프로파일러**를 선택합니다.

10. " 예측 프로파일러 "의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

그림 5.82 OCV 최소화 설정을 사용한 예측 프로파일러



프로파일러는 활성으로 식별된 5 개 요인 및 OCV 를 최소화하는 설정을 보여 줍니다.

로버스트 공정 및 제품 설계를 위한 실험

공정 또는 제품은 잡음 요인의 영향을 받는 경우가 많습니다. 이러한 요인은 제어하기가 어렵고 비용 효율성이 낮습니다. 잡음 요인의 영향을 가장 적게 받는 제어 가능한 요인의 공정 또는 제품 설정을 찾아야 합니다. 과거에는 Taguchi 설계가 잡음 요인이 있을 때 실험할 수 있는 방법을 제공했습니다. 실험 중에 잡음 요인을 제어해야 합니다.

Taguchi 설계의 대안으로 결합 배열 및 혼합 해상도 설계 (Borror 2000) 를 사용할 수 있습니다. 혼합 해상도 설계는 제어 요인과 잡음 요인을 모두 포함하는 설계를 생성하는 데 사용됩니다. 이 설계의 목표는 제어 변수에 대한 로버스트 설정을 찾는 것입니다. 핵심은 특정 효과를 추정할 수 있는지 여부입니다. 특히 제어 변수의 주효과, 잡음 변수의 주효과, 제어 간 교호작용, 잡음 * 제어 교호작용 및 제어 변수의 2 차 항을 추정하는 데 관심이 있습니다.

사용자 설계 도구를 사용하여 로버스트 공정 설정 연구를 위한 설계를 생성할 수 있습니다.

이 예에서는 세 가지 잡음 요인이 있을 때 네 가지 제어 설정에 대한 최적 설정을 찾으려고 합니다.

1. DOE > 사용자 설계를 선택합니다.
2. " 요인 " 개요에서 N 개 요인 추가 옆에 4 를 입력합니다.

3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. "요인" 개요에서 **N 개 요인 추가** 옆에 3 을 입력합니다.
5. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
6. X5 를 두 번 클릭한 후 Z1 로 변경하여 잡음 요인을 지정합니다. 계속해서 X6 과 X7 도 Z2 와 Z3 으로 변경합니다.

그림 5.83 제어 요인 4 개와 잡음 요인 3 개가 있는 설계의 요인 개요

요인					
요인 추가 ▼		제거	N개 요인 추가		1
이름	역할	변경	값		
▲ X1	연속형	쉬움	-1	1	
▲ X2	연속형	쉬움	-1	1	
▲ X3	연속형	쉬움	-1	1	
▲ X4	연속형	쉬움	-1	1	
▲ Z1	연속형	쉬움	-1	1	
▲ Z2	연속형	쉬움	-1	1	
▲ Z3	연속형	쉬움	-1	1	

7. "계속" 을 클릭합니다.

이제, 잡음 요인의 영향을 가장 적게 받는 제어 요인의 최적 설정을 탐색하기 위한 모형을 설정합니다.

8. 모형에는 기본적으로 모든 주효과가 포함됩니다.
9. **교호작용 > 2 차**를 클릭하여 모든 이원 교호작용을 추가합니다.
이렇게 하면 제어 간 교호작용, 제어 * 잡음 교호작용 및 잡음 간 교호작용이 입력됩니다. 잡음 요인 간의 교호작용은 추정하고 싶지 않습니다.
10. 목록 맨 아래로 스크롤하여 **Z1*Z2, Z1*Z3** 및 **Z2*Z3** 을 강조 표시한 후 "항 제거"를 클릭합니다. 그러면 잡음 간 교호작용이 제거됩니다.
11. "요인" 개요에서 X1, X2, X3, X4 를 선택합니다.
12. "모형" 개요에서 "떡 > 2 차" 를 클릭하여 제어 변수 2 차 항을 추가합니다.

그림 5.84 잡음 요인이 있는 설계의 모형 개요

모형	
주효과	교호작용 ▼ RSM 교차 맥 ▼ 항 제거
이름	추정 가능성
절편	필수
X1	필수
X2	필수
X3	필수
X4	필수
Z1	필수
Z2	필수
Z3	필수
X1*X2	필수
X1*X3	필수
X1*X4	필수
X1*Z1	필수
X1*Z2	필수
X1*Z3	필수
X2*X3	필수
X2*X4	필수
X2*Z1	필수
X2*Z2	필수
X2*Z3	필수
X3*X4	필수
X3*Z1	필수
X3*Z2	필수
X3*Z3	필수
X4*Z1	필수
X4*Z2	필수
X4*Z3	필수
X1*X1	필수
X2*X2	필수
X3*X3	필수
X4*X4	필수

13. **중앙점 수** : 텍스트 상자에 2 를 입력하여 중앙점 두 개를 추가합니다 .

14. **설계 생성** 을 클릭합니다 .

세 가지 잡음 요인이 있을 때 제어 요인을 평가하고 최적화할 수 있는 36 회 런 설계가 생성됩니다 . 분석 목표는 중요한 효과를 판별한 후 잡음 요인의 영향을 가장 적게 받는 제어 요인에 대한 설정을 선택하는 것입니다 .

6 장

설계 확대

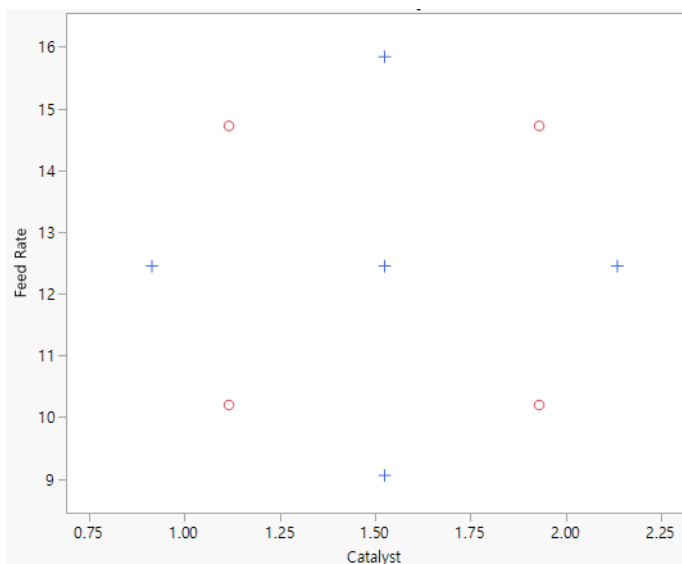
설계 확대 플랫폼을 사용하면 기존 실험 설계에 런을 추가할 수 있습니다. 실험은 대개 순차적 공정이며 설계된 실험을 확대하면 단일 설계의 모호성을 해결하는 데 도움이 됩니다.

설계 확대 플랫폼은 기존 설계 테이블에 대해 전체 설계를 최적화하는 추가 런을 구성합니다. 다음과 같은 목표를 달성하기 위해 런을 추가할 수 있습니다.

- 설계를 지정된 횟수만큼 반복합니다.
- 중앙점을 추가합니다.
- 설계 접기를 생성합니다.
- 중앙점과 함께 축 점을 추가하여 선별 설계를 반응 표면 설계로 변환합니다.
- 설계에 공간 채움 점을 추가합니다.
- 특정 모형 적합을 위해 설계에 런을 추가합니다.

설계 확대에 대한 자세한 내용은 [Goos and Jones\(2011\)](#) 에서 확인하십시오.

그림 6.1 원래 설계 런 (+) 과 확대된 런 (o)



목차

설계 확대 플랫폼을 사용한 예	197
확대된 설계 분석	199
설계 확대 플랫폼 시작	203
설계 확대 창	204
요인	204
요인 제약 조건 정의	205
확대 옵션	208
설계 확대 플랫폼 옵션	208
확대 옵션의 추가 예	212
설계 반복	212
설계에 중앙점 추가	214
설계 접기 생성	214
설계에 축 점 추가	215
공간 채움 확대	216
통계 상세 정보	218

설계 확대 플랫폼을 사용한 예

이 예에서는 설계 확대 플랫폼을 사용하여 선별 설계 결과의 모호성을 해결하는 방법을 보여 줍니다. 이 연구에서 화학 엔지니어는 화학 공정의 반응 백분율에 대한 5 개 요인의 효과를 조사합니다. 원래 설계는 주효과를 적합시키기 위한 8 회 런 설계였습니다. 이 예에서는 총 16 회 런을 사용하여 모든 2 요인 교호작용을 추정할 수 있도록 8 회 런 설계를 확대합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp**를 엽니다.
2. **DOE > 설계 확대**를 선택합니다.
3. **Percent Reacted**를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. **Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature** 및 **Concentration**을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.

그림 6.2 반응기 예제의 요인

이름	역할	변경	값
Feed Rate	연속형	쉬움	10
Catalyst	연속형	쉬움	1
Stir Rate	연속형	쉬움	100
Temperature	연속형	쉬움	140
Concentration	연속형	쉬움	3

☐ 새 런을 별도의 블록으로 그룹화

요인 제약 조건 정의

확대 옵션

반복 중앙점 추가 설계 점기 축 추가 공간 채움 확대

참고 : 새 런을 별도의 블록으로 그룹화를 선택하여 설계에 블록 요인을 추가할 수 있습니다. 그러나 이 예에서는 16 회 런으로 모든 2 요인 교호작용을 추정하며 모형에 추가 블록 요인이 있으면 이를 수행할 수 없습니다.

6. **확대**를 클릭합니다.

그림 6.3 에 표시된 모형은 데이터 테이블의 "Model" 스크립트를 사용하여 정의됩니다. 8 회 런을 사용하여 최대 7 개 효과를 추정할 수 있습니다. 스크립트의 모형은 5 개의 모든 주효과 및 2 개의 교호작용 항을 포함합니다. 모든 항은 모형에 대해 필수로 정의됩니다. 효과 추정 가능성에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**모형**"(90 페이지)에서 확인하십시오.

그림 6.3 초기 설계 확대 플랫폼

설계 확대

요인

이름	역할	변경	값
Feed Rate	연속형	쉬움	10
Catalyst	연속형	쉬움	1
Stir Rate	연속형	쉬움	100
Temperature	연속형	쉬움	140
Concentration	연속형	쉬움	3

☐ 새 런을 별도의 블록으로 그룹화

요인 제약 조건 정의

모형

주효과

교호작용

RSM

교차

역

항 제거

이름	추정 가능성
절편	필수
Feed Rate	필수
Catalyst	필수
Stir Rate	필수
Temperature	필수
Concentration	필수
Feed Rate*Catalyst	필수
Feed Rate*Stir Rate	필수

별칭 항

요인 설계

런	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration
1	15	2	100	140	3
2	10	2	120	140	6
3	15	1	120	140	3
4	10	2	100	180	3
5	10	1	120	180	3
6	10	1	100	140	6
7	15	2	120	180	6
8	15	1	100	180	6

설계 생성

런 수를 입력하십시오(8 수가 런 수에 포함):

16

설계 생성

7. "모형" 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 선택합니다.

모든 2 요인 교호작용이 모형에 추가됩니다. 지정된 모형에 대한 최소 런 수는 "설계 생성" 텍스트 편집 상자에 표시된 것과 같이 16 회입니다.

참고 : 8 단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 9 단계에서 "시작 수"를 설정하면 그림 6.4에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 선택 사항입니다.

- (선택 사항)"설계 확대"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 282322901을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
- (선택 사항)"설계 확대"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 800을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
- 설계 생성**을 클릭합니다.
- 설계** 표시 아이콘을 클릭하여 설계를 확인합니다.

그림 6.4 16 회 런으로 확대된 설계

설계	런	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration
	1	15	2	100	140	3
	2	10	2	120	140	6
	3	15	1	120	140	3
	4	10	2	100	180	3
	5	10	1	120	180	3
	6	10	1	100	140	6
	7	15	2	120	180	6
	8	15	1	100	180	6
	9	15	1	120	180	6
	10	10	2	100	140	6
	11	10	1	100	180	6
	12	15	2	120	140	6
	13	15	2	120	180	3
	14	10	2	120	180	3
	15	10	1	100	140	3
	16	10	1	120	140	3

12. **테이블 생성**을 클릭하여 원래 설계와 결과 및 확대된 런을 포함하는 설계 테이블을 생성합니다.

확대된 설계 분석

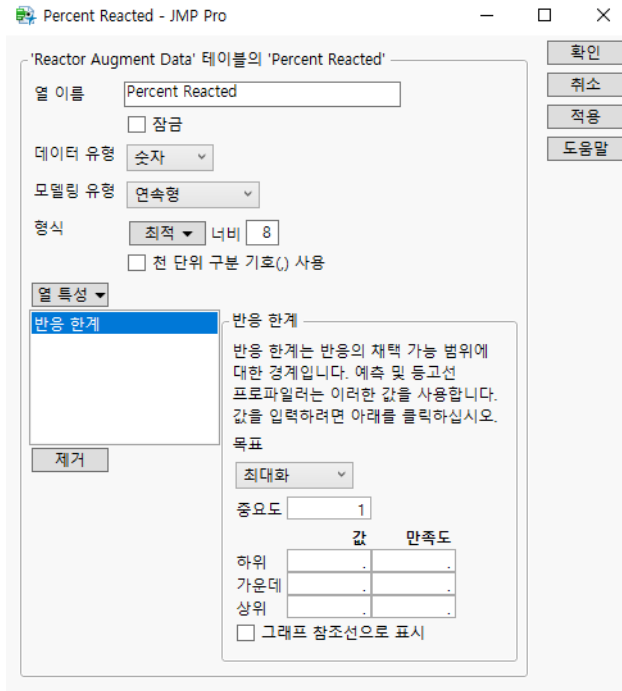
추가 실험 런을 수행하고 분석을 위해 결과를 기록했다고 가정해 보겠습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Reactor Augment Data.jsp**를 엽니다.

Percent Reacted를 최대화하는 것이 목표입니다. 그러나 이 샘플 데이터 테이블에서 이 열의 "반응 한계" 열 특성이 **최소화**로 설정되어 있습니다.

2. 데이터 테이블의 "열" 패널에서 **Percent Reacted** 열 이름 옆의 별표를 클릭하고 **반응 한계**를 선택하거나, "열" 메뉴에서 **열 정보**를 선택합니다.
3. "열 정보" 대화상자가 나타나면 반응 한계 목표를 **최대화**로 변경합니다.

그림 6.5 Percent Reacted 열의 반응 한계 열 특성 변경



4. **확인**을 클릭합니다.

이제 분석을 실행할 수 있습니다.

5. 데이터 테이블의 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

Model 스크립트는 모든 주효과 및 2요인 교호작용이 효과로 추가된 "모형 적합" 창을 엽니다.

6. 적합 분석법을 **표준 최소 제곱**에서 **단계별로 변경**한 다음 **실행**을 클릭합니다.

7. "단계별 회귀 제어" 패널의 **중지 규칙** 메뉴에서 **p 값 임계**를 선택하고 **방향** 메뉴에서 **혼합**을 선택합니다. **선택 확률**에 0.05를 입력하고 **제거 확률**에 0.1을 입력합니다.

8. "현재 추정값" 패널에서 모든 주효과 항 (Feed Rate ~ Concentration)에 대해 **추가** 체크박스를 선택한 다음 **시작**을 클릭합니다.

그림 6.6 완료된 단계별 모형

▼ Percent Reacted에 대한 단계별 회귀 적합

▲ 단계별 회귀 제어

중지 규칙: p 값 임계 모두 입력 모형 생성
선택 확률 0.05 모두 제거 모형 실행
제거 확률 0.1

방향: 혼합

규칙: 결합

시작 중지 단계

SSE	DFE	RMSE	R ²	Adj-R ²	Cp	p	AICc	BIC
563.79127	10	7.5086035	0.8562	0.7843	.	6	130.3996	121.8077

▲ 현재 추정값

잠금	추가	모수	추정값	nDF	SS	"F 비"	"Prob>F"
☒	☒	절편	66.8806818	1	0	0.000	1
☐	☒	Feed Rate(10,15)	-3.6351675	1	184.1212	3.266	0.10087
☐	☒	Catalyst(1,2)	11.2894737	1	1986.947	35.243	0.00014
☐	☒	Stir Rate(100,120)	2.81937799	1	110.7546	1.964	0.1913
☐	☒	Temperature(140,180)	5.28947368	1	436.1781	7.737	0.0194
☐	☒	Concentration(3,6)	-5.7556818	1	507.0005	8.993	0.01337
☐	☐	Catalyst*Stir Rate	0	1	32.87158	0.557	0.47443
☐	☐	Catalyst*Concentration	0	1	1.012038	0.016	0.90156
☐	☐	Feed Rate*Catalyst	0	1	5.288383	0.085	0.77696
☐	☐	Feed Rate*Stir Rate	0	1	265.9167	8.034	0.01958
☐	☐	Feed Rate*Temperature	0	1	170.3623	3.897	0.07981
☐	☐	Feed Rate*Concentration	0	1	0.877151	0.014	0.90833
☐	☐	Catalyst*Temperature	0	1	391.7848	20.500	0.00143
☐	☐	Stir Rate*Temperature	0	1	47.28838	0.824	0.38767
☐	☐	Stir Rate*Concentration	0	1	5.636252	0.091	0.76991
☐	☐	Temperature*Concentration	0	1	45.43037	0.789	0.39758

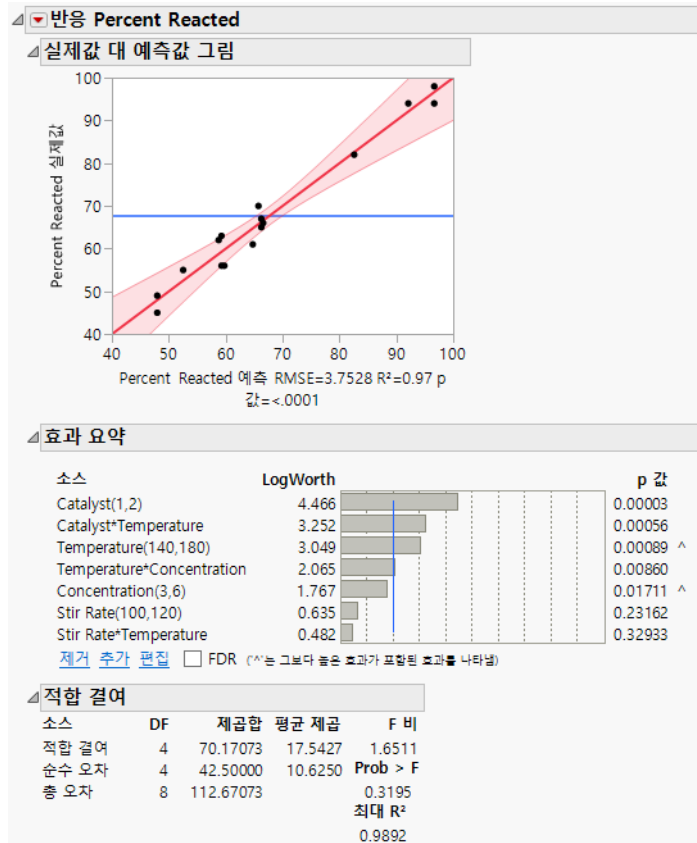
단계별 회귀는 주효과로 시작하고 p 값 기반 검색을 사용하여 4 개의 주효과 항과 3 개의 교호작용 항이 있는 모형을 생성합니다. Feed Rate 주효과는 모형에서 제거되고 Catalyst*Temperature, Stir Rate*Temperature 및 Temperature*Concentration 교호작용은 모형에 추가되었습니다.

9. " 단계별 회귀 제어 " 패널에서 **모형 생성**을 클릭합니다.

단계별 절차를 사용하여 생성된 모형에 대한 모형 적합 플랫폼이 시작됩니다.

10. **실행**을 클릭합니다.

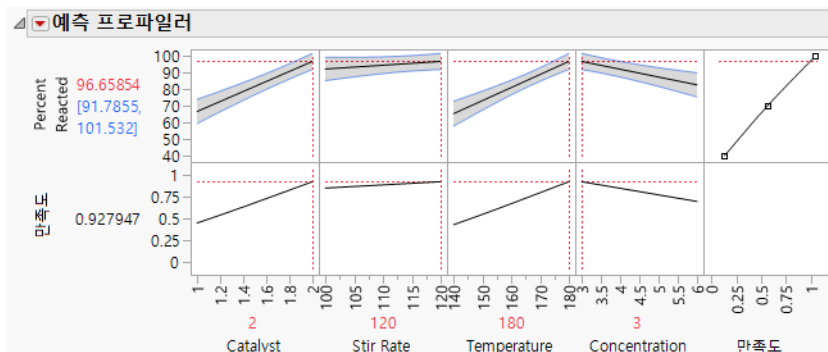
그림 6.7 예측 모형 분산 분석 및 적합 결여 검정



"실제값 대 예측값 그림"은 전체 모형이 유의함을 나타냅니다 (p 값 < .0001). "실제값 대 예측값 그림"과 "적합 결여" 검정 둘 다 모형 오지정 증거를 나타내지 않습니다. "효과 요약" 보고서는 Catalyst가 가장 유의한 효과임을 보여 줍니다. 그러나 세 가지 2 요인 교호작용 역시 유의합니다.

- "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

그림 6.8 Percent Reacted 최대값



이 예측 프로파일 그림은 Catalyst, Stir Rate 및 Temperature 설정이 높고 Concentration 설정이 낮을 때 반응 백분율이 최대가 된다는 것을 보여 줍니다. 이러한 극단적 설정에서 Percent Reacted의 추정값은 98.38입니다.

설계 확대 플랫폼 시작

확대할 설계가 포함된 데이터 테이블에서 DOE > 설계 확대를 선택하여 설계 확대 플랫폼을 시작합니다.

그림 6.9 설계 확대 시작 창

기존 데이터 테이블에 런을 더 추가하십시오. 반복실험, 중앙점 추가, 설계 절기 또는 모형의 항목을 추가합니다.

열 선택

7개 열

- Pattern
- Feed Rate
- Catalyst
- Stir Rate
- Temperature
- Concentration
- Percent Reacted

선택한 열 역할 지정

Y, 반응

필수 숫자
선택적 숫자

X, 요인

필수
선택적

작업

확인

취소

제거

재호출

도움말

Y, 반응 하나 이상의 수치형 반응 열을 입력합니다. 반응 입력은 필수입니다.

X, 요인 요인 열을 입력합니다. 요인은 모든 데이터 유형 또는 모델링 유형이 될 수 있습니다.

설계 확대 창

초기 "설계 확대" 창은 "요인" 개요, "요인 제약 조건 정의" 개요 및 "확대 옵션" 패널로 구성됩니다.

그림 6.10 Reactor 8 Runs JMP 를 사용한 초기 설계 확대 창

이름	역할	변경	값
Feed Rate	연속형	쉬움	10
Catalyst	연속형	쉬움	1
Stir Rate	연속형	쉬움	100
Temperature	연속형	쉬움	140
Concentration	연속형	쉬움	3

요인

이름 설계 역할 열 특성이 "랜덤 블록" 인 요인을 제외하고 "설계 확대" 시작 창에 **X, 요인**으로 나열된 모든 요인을 보여 줍니다.

역할 열 특성에 지정된 요인의 설계 역할을 지정합니다. 요인에 "설계 역할" 열 특성이 없고 상수이면 "역할" 열에 **상수**가 나타납니다. 그렇지 않으면 요인의 모델링 유형이 "역할" 열에 나타납니다.

변경 데이터 테이블에서 "요인 변경" 열 특성에 지정한 요인 변경 수준을 "쉬움", "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 나타냅니다. 요인에 "요인 변경" 열 특성이 없으면 "변경"이 "쉬움"으로 지정됩니다.

참고 : 요인의 "요인 변경" 열 특성이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 설정된 경우에는 해당 주구 요인이 "설계 확대" 시작 창의 **X, 요인** 목록에 포함되어야 합니다.

값 연속형 요인의 경우 최소값과 최대값을 표시합니다. 범주형 요인의 경우 수준을 표시합니다.

팁 : 역할이 "범주형" 또는 "상수" 인 요인은 아래쪽 화살표 아이콘과 함께 "이름" 열에 나타납니다. 아래쪽 화살표를 클릭하여 수준을 추가할 수 있습니다. 요인이 "상수" 이고 범주형 모델링 유형을 사용하는 경우 여러 수준을 추가할 수 있습니다. 요인이 "상수" 이고 연속형 모델링 유형을 사용하는 경우에는 수준을 하나만 추가할 수 있습니다.

새 런을 별도의 블록으로 그룹화 원래 설계에 대한 블록과 확대된 런에 대한 블록을 사용하여 설계에 블록 요인을 추가합니다.

요인 제약 조건 정의

"공간 채움" 또는 "확대" 옵션을 사용하여 설계를 확대하는 경우 추가된 런의 설계 공간에 대한 제한을 정의할 수 있습니다.

"요인 제약 조건 정의"를 사용하여 설계 공간을 제한할 수 있습니다. 제약 조건을 불러오거나 스크립트의 일부로 포함하지 않은 경우 **없음** 옵션이 선택됩니다. 제약 조건을 지정하려면 다른 옵션 중 하나를 선택합니다.

선형 제약 조건 지정 요인의 선형 조합에 대한 부등식 제약 조건을 지정합니다. "연속형" 또는 "혼합" 역할이 설정된 요인에만 사용할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**선형 제약 조건 지정**"에서 확인하십시오.

참고 : 선형 제약 조건을 포함하는 설계의 스크립트를 저장하면 해당 스크립트에 선형 제약 조건이 보다 작거나 같음 부등식 ($\leq$) 으로 표현됩니다.

허용되지 않는 조합 필터 사용 개별 요인의 값 제한을 기반으로 제약 조건 집합을 정의합니다. AND 제약 조건과 OR 제약 조건을 모두 정의할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**허용되지 않는 조합 필터 사용**"에서 확인하십시오.

허용되지 않는 조합 스크립트 사용 허용되지 않는 조합 및 기타 제약 조건을 스크립트 편집기 상자에 부울 JSL 표현식으로 정의합니다. 자세한 내용은 "**허용되지 않는 조합 스크립트 사용**"에서 확인하십시오.

선형 제약 조건 지정

설계 공간에서 연속형 요인을 독립적으로 변경할 수 없는 경우 선형 부등식 제약 조건을 지정할 수 있습니다. 선형 부등식은 허용되는 요인 수준 설정을 정의합니다.

추가를 클릭하여 하나 이상의 선형 부등식 제약 조건을 입력합니다.

추가 설계의 모든 연속형 요인을 포함하는 선형 표현식 템플릿을 추가합니다. 요인에 대한 계수 값을 입력한 후 선형 제약 조건을 반영하는 부등식 방향을 선택합니다. 부등식의 오른쪽 상자에 제약 값을 지정합니다. 제약 조건을 더 추가하려면 **추가**를 다시 클릭합니다.

참고 : "구 반지름" 을 지정하여 설계 영역을 이미 제한한 경우에는 "추가" 옵션이 비활성화됩니다.

마지막 제약 조건 제거 마지막 제약 조건을 제거합니다.

제약 조건 검사 제약 조건의 일관성을 확인합니다. 이 옵션은 중복 제약 조건을 제거하고 실행 가능성 검사를 수행합니다. 문제가 있으면 JMP 경고가 나타납니다. 제약 조건이 요인의 한계와 동등한 경우 "요인" 개요의 한계가 업데이트되었음을 알리는 JMP 경고가 나타납니다.

허용되지 않는 조합 필터 사용

이 옵션은 허용되지 않는 조합을 쉽게 지정하기 위해 데이터 필터를 조정하여 사용합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "JMP 보고서" 장에서 확인하십시오.

"필터 요인 추가" 목록에서 요인을 선택하고 **추가**를 클릭합니다. 그런 다음 슬라이더를 사용하거나 (연속형 요인의 경우) 수준을 선택하여 (범주형 요인의 경우) 허용되지 않는 조합을 지정합니다.

"필터 요인 추가" 메뉴의 빨간색 삼각형 옵션은 많은 플랫폼 시작 창의 "열 선택" 패널에 있는 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "시작하기" 장에서 확인하십시오.

"추가"를 클릭하면 "허용되지 않는 조합" 제어판에 선택한 요인이 표시되고 추가 제어 옵션이 제공됩니다. 요인은 모델링 유형에 따라 다음과 같이 나타납니다.

연속형 요인 연속형 요인의 경우 요인 설정 범위를 따라 양방향 화살표 슬라이더가 나타납니다. 부등식을 사용하여 범위를 설명하는 표현식이 슬라이더 위에 표시됩니다. 슬라이더 화살표를 드래그하거나, 표현식에서 부등식 한계를 클릭하고 원하는 제약 조건을 입력하여 허용되지 않는 설정을 지정할 수 있습니다. 슬라이더에서 파란색 강조 표시는 허용되지 않는 값을 나타냅니다.

범주형 요인 범주형 요인의 경우 가능한 수준은 라벨이 지정된 블록으로 표시되거나, 수준 수가 많으면 목록 항목으로 표시됩니다. 허용하지 않을 수준을 선택합니다. 여러 수준을 선택하려면 Ctrl 키를 누른 채로 선택합니다. 해당 블록 또는 목록 항목은 강조 표시되어 허용되지 않는 수준임을 나타냅니다. "허용되지 않는 조합" 패널에 범주형 요인을 추가하면 해당 요인의 수준 수가 요인 이름 뒤의 괄호 안에 표시됩니다.

허용되지 않는 조합 옵션

제어판에는 다음과 같은 컨트롤이 있습니다.

지우기 지정한 허용되지 않는 요인 수준 설정을 모두 지웁니다. 선택한 요인은 지워지지 않습니다.

다시 시작 선택한 모든 요인을 제거하고 초기 요인 목록으로 돌아갑니다.

AND "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 AND 그룹이 됩니다. AND 그룹 내에 지정된 요인 수준 조합은 허용되지 않습니다.

나중에 AND 그룹에 요인을 추가하려면 그룹 개요를 클릭하여 강조 표시된 직사각형을 표시합니다. 그런 다음 "AND"를 선택하고 요인을 추가합니다.

단일 요인을 제거하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **삭제**를 선택합니다.

OR "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 별도의 AND 그룹이 됩니다. OR로 구분된 AND 그룹의 경우 하나 이상의 AND 그룹에 지정된 조합은 허용되지 않습니다.

요인에 대한 빨간색 삼각형 메뉴 옵션

한 요인이 여러 OR 그룹에 나타날 수 있습니다. 특정 OR 그룹에 요인이 나타나는 경우 이를 해당 요인의 인스턴스라고 합니다.

삭제 " 허용되지 않는 조합 " 패널에서 선택한 요인 인스턴스를 제거합니다 .

선택 해제 요인 인스턴스에 대한 선택을 취소합니다 .

선택 반전 요인 인스턴스에 대해 선택된 값을 선택 취소하고 이전에 선택되지 않은 값을 선택합니다 .

표시 옵션 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다 . 표시 모양을 변경합니다 . 각 수준을 블록 , 목록 또는 단일 범주로 표시하거나 각 값 옆에 체크박스를 추가하는 옵션을 사용할 수 있습니다 .

찾기 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다 . 요인 이름 아래에 요인 수준에 대한 검색 문자열을 입력할 수 있는 텍스트 상자를 제공합니다 . Enter 키를 누르거나 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭 하면 검색이 수행됩니다 . **찾기**가 선택되면 찾기 텍스트 상자 드롭다운 메뉴에 찾기 옵션이 나타납니다 .

허용되지 않는 조합 스크립트 사용

이 옵션을 사용하면 JSL 스크립트를 사용하여 요인 수준 조합을 허용하지 않도록 설정할 수 있습니다 . 이 옵션은 연속형 요인 또는 연속형과 범주형이 혼합된 요인과 함께 사용할 수 있습니다 .

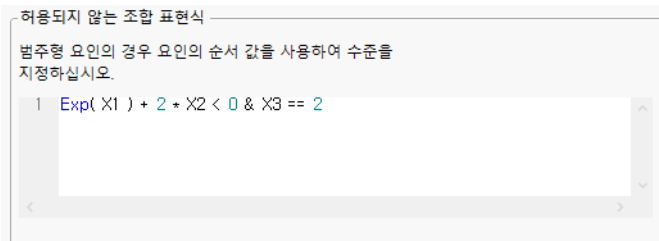
이 옵션은 허용하지 않을 조합을 식별하는 스크립트를 삽입할 수 있는 스크립트 창을 엽니다 . 스크립트는 부울 표현식으로 평가되어야 합니다 . 표현식이 true 로 평가되면 지정된 조합이 허용되지 않습니다 .

범주형 요인에 대한 표현식을 작성할 때는 수준의 순서 값 또는 수준 이름을 사용합니다 . " 요인 " 개요에서 요인 수준이 높음 , 중간 , 낮음으로 순서대로 지정된 경우 관련 서수 값은 1, 2, 3 입니다 . 예를 들어 두 개의 연속형 요인 (X1, X2) 과 세 가지 수준 (L1, L2, L3) 이 순서대로 설정된 범주형 요인 하나가 있다고 가정해 보겠습니다 . 다음 표현식이 true 인 경우 수준을 허용하지 않으려고 합니다 .

$$e^{X_1 + 2X_2} < 0 \text{ 및 } X_3 = L_2$$

(Exp(X1) + 2*X2 < 0) & (X3 == 2) 표현식을 스크립트 창에 입력합니다 .

그림 6.11 스크립트 편집기의 표현식



(그림에서 불필요한 괄호는 파싱을 통해 제거됨) 함수를 부울 표현식의 일부로 입력할 수 있습니다 . (Exp(X1) + 2*X2 < 0) & (X3 == "L2") 표현식도 유효합니다 .

확대 옵션

설계 확대 플랫폼에는 다음과 같은 확대 옵션이 있습니다.

반복 설계를 지정된 횟수만큼 반복합니다. 자세한 내용은 "[설계 반복](#)"(212 페이지)에서 확인하십시오.

중앙점 추가 중앙점을 추가합니다. 설계에 중앙점으로 포함할 추가 런 수를 지정합니다. 중앙점은 각 연속형 요인에 대한 설정이 상한 설정과 하한 설정의 중간에 있는 런입니다. 자세한 내용은 "DOE 로 시작" 장의 "[중앙점, 반복 런 및 검정](#)"(57 페이지)에서 확인하십시오.

설계에 연속형 요인과 다른 유형의 요인이 모두 포함된 경우 중앙점이 다른 요인의 수준과 관련하여 균형이 맞지 않을 수 있습니다. 설계 확대는 설계의 D 효율도, I 효율도 또는 별칭 효율도를 최대화하기 위해 중앙점을 선택합니다.

자세한 내용은 "[설계에 중앙점 추가](#)"(214 페이지)에서 확인하십시오.

설계 접기 설계 접기를 생성합니다. 자세한 내용은 "[설계 접기 생성](#)"(214 페이지)에서 확인하십시오.

축 추가 축 점과 중앙점을 설계에 추가합니다. "축 추가"를 사용하여 선별 설계에서 중심 합성 설계를 생성할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[설계에 축 점 추가](#)"(215 페이지)에서 확인하십시오.

공간 채움 연속형 요인으로 구성된 설계에 런을 추가합니다. 추가 런은 채움 유연 채움 방법론을 사용하여 구성됩니다. 자세한 내용은 "[공간 채움 확대](#)"(216 페이지)에서 확인하십시오. 공간 채움은 새 런을 별도의 블록으로 그룹화하는 것을 지원하지 않습니다.

확대 모형을 사용하여 설계에 런을 추가합니다. 대개 이 모형에는 원래 모형보다 항이 더 많습니다. 자세한 내용은 "[설계 확대 플랫폼을 사용한 예](#)"(197 페이지)에서 확인하십시오.

설계 확대 플랫폼 옵션

이 섹션에서는 "설계 확대"의 빨간색 삼각형 메뉴에 있는 옵션에 대해 설명합니다.

반응 저장 "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

반응 불러오기 "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

요인 저장 "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

참고 : 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

요인 불러오기 "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

계약 조건 저장 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 계약 조건 정의" 또는 "선형 계약 조건" 개요에서 정의한 요인 계약 조건을 각 계약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 계약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

계약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 계약 조건 열에는 계약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 계약 조건으로 식별하는 계약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 **"계약 조건 상태"**(715 페이지)에서 확인하십시오.

계약 조건 불러오기 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "계약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 계약 조건을 불러옵니다.

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고 : 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.
- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기

서 Y 는 반응 이름입니다. " 적용 " 을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 " 반응 시뮬레이션 "(100 페이지) 에서 확인하십시오.

참고 : **JMP PRO** " 반응 시뮬레이션 " 을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 " 시뮬레이션 " 장에서 확인하십시오.

행렬 X 저장 " 적률 행렬 " 과 " 모형 행렬 " 이라는 스크립트를 설계 데이터 테이블에 저장합니다. 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다. 자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 " 행렬 X 저장 "(102 페이지) 에서 확인하십시오.

주의 : 명목형 요인이 있는 설계의 경우 " 행렬 X 저장 " 옵션으로 저장한 " 모형 행렬 " 스크립트의 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. " Model " 스크립트를 실행할 때 나타나는 " 모형 적합 " 보고서에서 " 열 저장 > 코드화 테이블 저장 " 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

최적 기준 설계 최적 기준을 변경합니다. 기본 기준인 **권장 사항**은 " 모형 " 개요에서 " RSM " 버튼을 사용하여 2 차 효과를 추가한 경우를 제외하고 모든 설계 유형에 대해 D- 최적을 지정합니다. D- 최적, I- 최적 및 별칭 - 최적 설계에 대한 자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 " 최적 기준 "(116 페이지) 에서 확인하십시오.

참고 : 항상 정해진 최적 기준을 사용하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. " 최적 기준 " 을 선택한 후 기본 기준을 선택합니다.

시작 수 설계 구성에 사용되는 랜덤 시작 횟수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 " 시작 수 "(104 페이지) 에서 확인하십시오.

설계 검색 시간 설계 검색을 위한 최대 시간 (초) 입니다. 기본 검색 시간은 설계 복잡성을 기반으로 합니다. 자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 " 설계 검색 시간 "(105 페이지) 및 " 사용자 설계 " 장의 " 시작 수 "(104 페이지) 에서 확인하십시오.

알고리즘 반복에 몇 초 이상이 필요한 경우 " 설계 계산 중 " 진행률 창이 나타납니다. 진행률 창에서 **취소**를 클릭하면 계산이 중지되고 해당 시점에서 찾은 최적 설계가 제공됩니다. 또한 " 변경 " 이 " 어려움 " 또는 " 매우 어려움 " 으로 설정되거나 " 추정 가능성 " 이 " If Possible " 로 설정된 요인이 포함되지 않은 D- 최적 설계에 대한 D 효율도가 진행률 창에 표시됩니다.

참고 : " 설계 검색 시간 " 에 대한 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. " 설계 검색 시간 " 을 선택한 후 최대 시간 (초) 을 입력합니다. 시간이 더 필요한 특정 상황에서는 JMP 가 검색 시간을 연장합니다.

구 반지름 설계의 연속형 요인을 초구로 제한합니다. 반지름을 지정하고 **확인**을 클릭합니다. 0 과의 간격이 구 반지름과 같도록 설계점이 선택됩니다. " 설계 생성 " 을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

참고: 구 반지름 제약 조건은 "선형 제약 조건 지정" 옵션을 사용하여 추가한 제약 조건과 결합할 수 없습니다. 또한 변경하기 힘든 요인 (분할구 설계) 이 포함된 경우에는 이 옵션을 사용할 수 없습니다.

고급 옵션

혼합물 합 혼합 요인의 합을 양수 값으로 설정합니다. 전체 실험에서 혼합 성분을 일정하게 유지하려면 이 옵션을 사용합니다.

분할구 분산비 오차 분산에 대한 랜덤 주구 분산 및 하위구 분산 (있는 경우) 의 비를 지정합니다. 이 값을 설정하려면 먼저 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인 또는 분할 - 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인을 정의해야 합니다. 그런 다음 분할구 설계를 지정했는지 아니면 분할 - 분할구 설계를 지정했는지에 따라 분산 비율에 하나 또는 두 개의 양수를 입력할 수 있습니다.

사전 모수 분산 ("모형" 개요가 있는 경우에만 사용 가능) "추정 가능성" 이 "If Possible" 로 설정된 요인에 사용되는 가중치를 지정합니다. "설계 생성" 을 클릭하면 옵션이 업데이트되어 기본 가중치가 표시됩니다. 가중치를 지정할 각 항에 대해 양수를 입력합니다. 입력한 값은 사전 분산에 대한 역수의 제공근입니다. 값이 클수록 분산이 작으므로 효과가 활성화되지 않는다는 더 많은 사전 정보가 있습니다.

베이지안 D- 최적 또는 I- 최적은 If Possible 요인이 있는 설계를 구성할 때 사용됩니다. 알고리즘에 사용되는 기본값은 필수 항의 경우 0, If Possible 항이 포함된 교호작용의 경우 4, If Possible 항의 경우 1 입니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "**별칭 행렬**"(721 페이지) 및 "사용자 설계" 장의 "**최적 기준**"(116 페이지) 에서 확인하십시오.

D 효율도 가중치 설계를 구성할 때 별칭 최적에 대한 D 효율도의 상대 중요도를 지정합니다. 계수의 분산을 줄이는 것과 적합한 별칭 구조를 얻는 것 사이의 균형을 잡으려면 이 옵션을 선택합니다. 값은 0 에서 1 사이여야 합니다. 값이 클수록 D 효율도에 더 많은 가중치를 둡니다. 기본값은 0.5 입니다. 이 옵션은 "최적 설계 별칭 생성" 을 "최적 기준" 으로 선택한 경우에만 효과가 있습니다.

D 효율도의 정의는 "사용자 설계" 장의 "**최적 기준**"(116 페이지) 에서 확인하십시오. 별칭 최적에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**별칭 최적**"(119 페이지) 에서 확인하십시오.

검정력을 위한 델타 설정 모형 효과에 대해 감지할 평균 반응의 차이를 지정합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**검정력을 위한 델타 설정**"(105 페이지) 에서 확인하십시오.

스크립트를 스크립트 창에 저장 "사용자 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

확대 옵션의 추가 예

설계 반복

설계를 반복하면 오차 분산이 일정하다는 가정을 직접 확인할 수 있습니다. 또한 공정이나 측정의 변동이 클 때 회귀 계수의 변동이 감소합니다.

이 예에서는 8 회 런 설계를 반복합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp** 를 엽니다.
2. **DOE > 설계 확대**를 선택합니다.
3. **Percent Reacted** 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. **Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature** 및 **Concentration** 을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.

그림 6.12 확대 유형 선택

이름	역할	변경	값
Feed Rate	연속형	쉬움	10 15
Catalyst	연속형	쉬움	1 2
Stir Rate	연속형	쉬움	100 120
Temperature	연속형	쉬움	140 180
Concentration	연속형	쉬움	3 6

☒ 새 런을 별도의 블록으로 그룹화

▷ 요인 제약 조건 정의

확대 옵션

반복 중앙점 추가 설계 접기 축 추가 공간 채움 확대

6. **새 런을 별도의 블록으로 그룹화**를 선택하여 설계에 블록 변수를 추가합니다.
7. **반복**을 클릭하고 2 를 입력한 후 **확인**을 클릭합니다.

참고 : 반복 대화상자가 표시되어 각 런을 수행할 횟수를 입력하도록 요청합니다. 2 를 입력하면 각 런이 결과 설계에 두 번 나타나도록 지정됩니다. 이렇게 되면 기존 설계가 한 번 반복됩니다.

그림 6.13 반복을 사용하여 확대한 반응기 데이터 설계

요인 설계						
런	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	블록
1	15	2	100	140	3	1
2	10	2	120	140	6	1
3	15	1	120	140	3	1
4	10	2	100	180	3	1
5	10	1	120	180	3	1
6	10	1	100	140	6	1
7	15	2	120	180	6	1
8	15	1	100	180	6	1
9	15	2	100	140	3	2
10	10	2	120	140	6	2
11	15	1	120	140	3	2
12	10	2	100	180	3	2
13	10	1	120	180	3	2
14	10	1	100	140	6	2
15	15	2	120	180	6	2
16	15	1	100	180	6	2

원래 설계의 8 회 런은 블록 1 에 있고 반복된 런은 블록 2 에 있습니다.

참고 : 설계 확대 플랫폼에서 전체 설계를 평가할 수 있습니다. 설계 평가에 대한 자세한 내용은 [15 장](#), "설계 평가"에서 확인하십시오.

8. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 6.14 반복된 설계

	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	블록	Percent Reacted
1	15	2	100	140	3	1	61
2	10	2	120	140	6	1	67
3	15	1	120	140	3	1	56
4	10	2	100	180	3	1	94
5	10	1	120	180	3	1	66
6	10	1	100	140	6	1	56
7	15	2	120	180	6	1	82
8	15	1	100	180	6	1	45
9	15	2	100	140	3	2	•
10	10	2	120	140	6	2	•
11	15	1	120	140	3	2	•
12	10	2	100	180	3	2	•
13	10	1	120	180	3	2	•
14	10	1	100	140	6	2	•
15	15	2	120	180	6	2	•
16	15	1	100	180	6	2	•

이 테이블에는 원래 설계 및 결과가 블록 1 에 있습니다. 확대된 런은 블록 2 에 있습니다. 반응 백분율 값을 확대된 런을 측정 한 후 테이블에 추가 될 수 있습니다.

설계에 중앙점 추가

중앙점 추가는 곡률을 확인하고 요인 영역의 중심에서 예측 오차를 줄이는 데 유용합니다. 일반적으로 중앙점은 적합 결여 검정에 사용할 수 있는 순수 오차를 독립적으로 추정할 수 있는 반복된 점입니다.

이 예에서는 8 회 런 설계에 중앙점 두 개를 추가합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 설계 확대**를 선택합니다.
3. Percent Reacted 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature 및 Concentration 을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.
6. **새 런을 별도의 블록으로 그룹화**를 선택하여 설계에 블록 변수를 추가합니다.
7. **중앙점 추가**를 클릭하고 2 를 입력한 후 **확인**을 클릭합니다.
8. **테이블 생성**을 클릭합니다.

그림 6.15 중앙점이 두 개 추가된 설계

	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	블록	Percent Reacted
1	15	2	100	140	3	1	61
2	10	2	120	140	6	1	67
3	15	1	120	140	3	1	56
4	10	2	100	180	3	1	94
5	10	1	120	180	3	1	66
6	10	1	100	140	6	1	56
7	15	2	120	180	6	1	82
8	15	1	100	180	6	1	45
9	12.5	1.5	110	160	4.5	2	•
10	12.5	1.5	110	160	4.5	2	•

2 개의 중앙점 런에 대한 데이터가 수집되면 모형에 곡률이 있는지 검정할 수 있습니다.

설계 접기 생성

설계 접기를 수행하면 2 요인 교호작용과 주효과의 교락이 제거됩니다. 이 방법은 특히 포화 또는 근사 포화 부분 요인 설계나 Plackett-Burman 설계에 대한 추가 작업으로 유용합니다.

이 예에서는 8 회 런 설계의 설계 접기를 생성합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 설계 확대**를 선택합니다.
3. Percent Reacted 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature 및 Concentration 을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.

5. **확인**을 클릭합니다.
6. **새 런을 별도의 블록으로 그룹화**를 선택하여 설계에 블록 변수를 추가합니다.
7. **설계 접기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

설계 접기 대화상자에서 요인을 선택하지 않으면 모든 설계 요인이 설계 접기에 포함됩니다. 일부 요인만 설계 접기하도록 선택하면 나머지 요인은 원래 런에서 반복됩니다.

그림 6.16 모든 요인에 대한 설계 접기

요인 설계						
런	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	블록
1	15	2	100	140	3	1
2	10	2	120	140	6	1
3	15	1	120	140	3	1
4	10	2	100	180	3	1
5	10	1	120	180	3	1
6	10	1	100	140	6	1
7	15	2	120	180	6	1
8	15	1	100	180	6	1
9	10	1	120	180	6	2
10	15	1	100	180	3	2
11	10	2	100	180	6	2
12	15	1	120	140	6	2
13	15	2	100	140	6	2
14	15	2	120	180	3	2
15	10	1	100	140	3	2
16	10	2	120	140	3	2

8. **테이블 생성**을 클릭합니다.

블록 1의 런에 대한 요인 수준을 낮음에서 높음으로 또는 그 반대로 변경하여 블록 2의 각 런을 얻을 수 있습니다.

설계에 축 점 추가

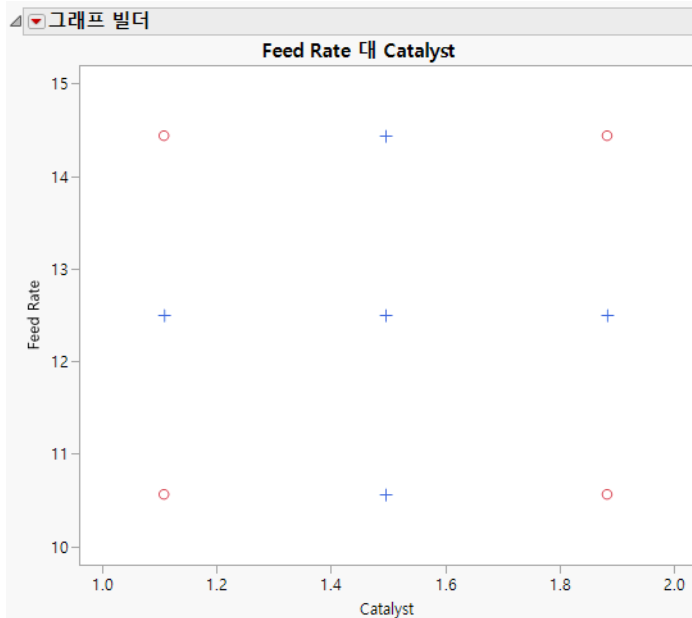
반응 표면 설계를 얻기 위해 축 점과 중앙점을 추가하여 선별 설계를 확대할 수 있습니다. 이렇게 하면 반응 표면 모형을 데이터에 적합시켜 반응에 대한 요인 설정을 최적화할 수 있습니다.

이 예에서는 축 점과 중앙점을 사용하여 8회 런 선별 설계를 확대합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp를 엽니다.
2. **DOE > 설계 확대**를 선택합니다.
3. **Percent Reacted**를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. **Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature** 및 **Concentration**을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.
6. **새 런을 별도의 블록으로 그룹화**를 선택하여 설계에 블록 변수를 추가합니다.
7. **축 추가**를 클릭하고 축 값과 중앙점 수에 각각 1과 2를 입력한 후 **확인**을 클릭합니다.
8. **테이블 생성**을 클릭합니다.
9. "설계 확대" 테이블에서 **행 > 열 값에 따른 색상 또는 표식**을 선택합니다.

10. 블록을 선택하고 "표식"에서 **표준**을 선택한 후 **확인**을 클릭합니다.
11. **그래프 > 그래프 빌더**를 선택합니다.
12. **Feed Rate**를 Y로 드래그하고 **Catalyst**를 X로 드래그합니다. 그런 다음 평활기 아이콘을 클릭하여 제거합니다.

그림 6.17 두 가지 요인에 대한 설계 확대의 그래픽 보기



Feed Rate 대 Catalyst 그래프의 "+" 점은 추가된 축 점과 중앙점입니다. 축 점은 설계 공간의 표면에 있습니다. 설계를 확대할 때 축 값을 늘리거나 줄이면 축 점이 설계 공간을 벗어나거나 내부로 이동합니다.

공간 채움 확대

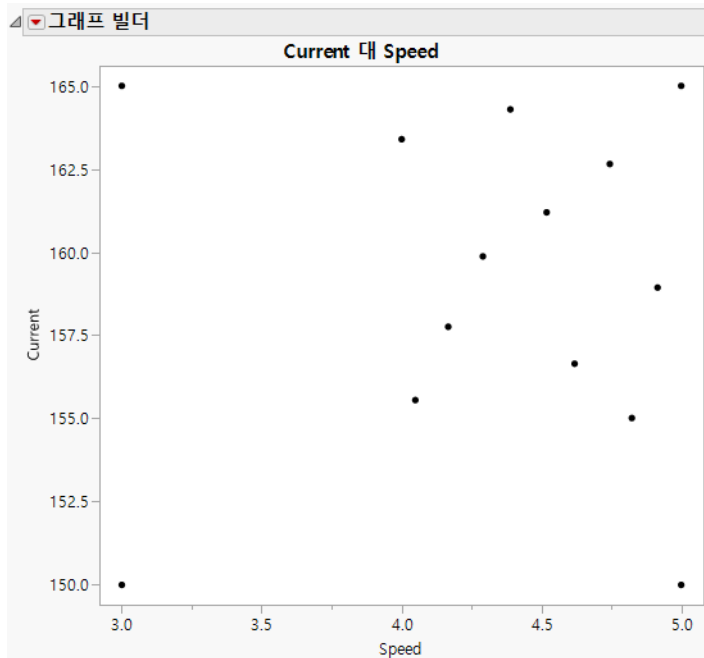
"공간 채움" 확대 옵션은 연속형 요인으로 구성된 설계에 점을 추가합니다. 사용된 알고리즘에 대한 자세한 내용은 "[통계 상세 정보](#)"(218 페이지)에서 확인하십시오. "공간 채움" 옵션은 설계 공간에 대한 제약 조건을 수용합니다. 선형 제약 조건 또는 허용되지 않는 조합을 지정할 수 있습니다.

이 예에서는 설계 공간에서 두 요인에 대한 제약 조건이 추가되어 반응 (Depth) 이 최대화된 제한 영역을 탐색하기 위해 설계를 확대합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/DOE Example 1.jmp를 엽니다.
2. **DOE > 설계 확대**를 선택합니다.
3. **Depth**를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.

4. Speed 와 Current 를 선택하고 **X, 요인**을 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다 .
5. " 요인 제약 조건 정의 " 개요를 엽니다 .
6. **선형 제약 조건 지정**을 선택하고 **추가**를 클릭합니다 .
7. Speed 에 1 을 입력하고 " 크거나 같음 " 부호를 선택한 후 Speed 하한에 4 를 입력합니다 .
8. **추가**를 클릭합니다 .
9. Current 에 1 을 입력하고 " 크거나 같음 " 부호를 선택한 후 Current 하한에 155 를 입력합니다 .
10. **공간 채움**을 클릭합니다 .
11. 10 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다 .
12. **테이블 생성**을 클릭합니다 .
13. " 설계 확대 " 테이블에서 " 그래프 빌더 " 를 선택합니다 .
14. Speed 를 X 놓기 영역으로 드래그하고 Current 를 Y 놓기 영역으로 드래그합니다 .

그림 6.18 공간 채움 확대 런



확대된 런이 설계 공간에서 오른쪽 위의 공간을 채웁니다 . 이 공간이 제한된 설계 공간입니다 .

통계 상세 정보

이 섹션에는 공간 채움 확대 옵션을 위한 점을 선택하는 데 사용되는 알고리즘에 대한 통계 상세 정보가 포함되어 있습니다.

설계를 확대하는 데 사용되는 알고리즘은 지정된 설계 영역에서 다수의 랜덤 점을 생성하는 것으로 시작합니다. 그런 다음 빠른 Ward 알고리즘을 사용하여 이러한 점을 여러 군집으로 군집화합니다. 이때 군집 수는 사용자가 지정하는 추가 런 수와 같습니다.

최종 설계점은 기존 런과 추가 런에 대해 MaxPro(최대 투영) 기준을 최적화하여 결정됩니다. p 개 요인이 있고 n 이 기존 런과 추가 런의 수와 같은 경우 MaxPro 기준은 군집에서 다음 기준을 최소화하는 점을 찾습니다.

$$C_{MaxPro} = \sum_i^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[1 / \prod_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]$$

MaxPro 기준은 모든 요인을 포함하는 방식으로 설계점 간 거리의 곱을 최대화합니다. 이는 요인 투영에 적합한 공간 채움 특성을 제공한다는 목표를 지원합니다. 자세한 내용은 Joseph et al. (2015) 에서 확인하십시오.

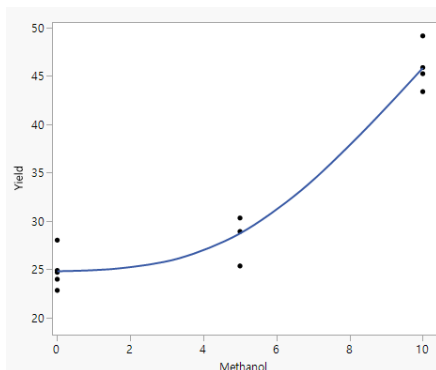
확증적 선별 설계

DSD(확증적 선별 설계) 는 선별 설계입니다 . 이 설계는 일반적으로 4 개 이상의 요인이 있는 초기 단계 실험 작업에 적합합니다 . DSD 는 연속형 요인 또는 2 수준 범주형 요인의 조합에 사용될 수 있습니다 . 대부분의 요인이 연속형일 때 가장 잘 작동합니다 . 각 연속형 요인은 연속형 요인에 대한 2 차 모형 항을 조사할 수 있는 세 가지 수준을 사용합니다 .

다음과 같은 면에서 확증적 선별 설계가 표준 선별 설계보다 우수하다고 할 수 있습니다 .

- 각 연속형 요인을 세 가지 수준으로 처리하여 비선형 효과의 원인을 식별하는 데 도움이 됩니다 . 표준 선별 설계의 연속형 요인에는 두 가지 수준만 있습니다 . 선별 설계에 중앙점을 추가할 수 있지만 이 점은 곡률이 있는 경우에만 설정됩니다 . 2 차 효과의 원인이 되는 요인은 식별할 수 없습니다 .
- 2 차까지의 모든 효과 사이에 교락을 방지합니다 . 연속형 요인을 사용하는 확증적 선별 설계의 주효과는 다른 주효과와 서로 직교하고 2 요인 교호작용 및 2 차 효과와 직교합니다 . 2 요인 교호작용은 서로 완전히 교락되지 않습니다 . 런 수가 비슷한 많은 표준 선별 설계에서는 교락이 발생합니다 .
- 표준 선별 설계의 초기 결과에서 모호성을 해결하기 위해 비용이 많이 드는 추가 실험이 필요하지 않습니다 .

그림 7.1 곡률을 보여 주는 요인 값 대 반응 그림



목차

확증적 선별 설계 개요.....	221
확증적 선별 설계의 예.....	223
확증적 선별 설계.....	223
부분 요인 설계와 비교.....	226
블록화를 사용한 확증적 선별 설계.....	228
확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계 비교.....	231
확증적 선별 설계 창.....	235
반응.....	236
요인.....	237
설계 옵션.....	239
설계.....	241
설계 평가.....	242
출력 옵션.....	242
확증적 선별 설계 옵션.....	244
반응 시뮬레이션.....	246
기술 상세 정보.....	248
확증적 선별 설계의 구조.....	248
실험 데이터 분석.....	250

확증적 선별 설계 개요

조사자는 반응에 가장 큰 영향을 미치는 요인을 식별하려고 할 때 선별 설계를 사용합니다. 선별 설계를 사용하면 상당히 작은 실험에서 많은 요인을 연구할 수 있습니다.

많은 표준 선별 설계는 주효과를 추정하는 데 중점을 둡니다. 확증적 선별 설계는 표준 선별 설계에 비해 몇 가지 장점을 제공합니다. 이 설계는 효과 교락을 방지하고, 반응에 대해 비선형 효과를 가지는 요인을 식별할 수 있습니다. 확증적 선별 설계의 장점과 구성에 대한 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2011a)에서 확인하십시오.

연속형 요인만 포함하는 설계의 경우 확증적 선별 설계와 표준 선별 설계에서 다음 특성을 비교해 보십시오.

참고: 2 차 효과가 언급되면 표준 선별 설계에 중앙점이 있는 것으로 가정합니다.

- 주효과가 2 요인 교호작용과 직교합니다.
 - 확증적 선별 설계: 항상
 - 표준 선별 설계: 해상도 IV 이상에만 해당
- 2 요인 교호작용이 다른 2 요인 교호작용과 완전히 교락되지 않습니다.
 - 확증적 선별 설계: 항상
 - 표준 선별 설계: 해상도 V 이상에만 해당
- 주효과와 2 차 효과만 포함하는 모형에서 모든 2 차 효과를 추정할 수 있습니다.
 - 확증적 선별 설계: 항상
 - 표준 선별 설계: 아님

이러한 특성은 이 섹션의 나머지 부분에서 더 자세히 설명됩니다.

표준 선별 설계

부분 요인 설계 또는 Plackett-Burman 설계와 같은 표준 선별 설계는 비교적 적은 리소스 할당으로 많은 요인을 연구하려고 합니다. 그러나 표준 선별 설계에는 다음과 같은 원치 않는 기능이 있습니다.

- 일부 주효과와 2 요인 교호작용의 별칭 관계를 지정할 수 있습니다. 예를 들어 Plackett-Burman 설계에서 주효과는 몇 가지 2 요인 교호작용과 상관관계가 있습니다. 하나 이상의 2 요인 교호작용 효과가 큰 경우 실험자는 추가 런을 수행하여 모호성을 해결해야 합니다.
- 일부 2 요인 교호작용이 서로 교락될 수도 있습니다. 따라서 2 요인 교호작용 효과가 큰 경우 실험자는 추가 런을 수행하여 모호성을 해결해야 합니다.
- 일반적으로 연속형 요인은 두 가지 수준 (낮음, 높음)으로 설정됩니다. 그러나 엔지니어와 과학자들은 연속형 요인이 세 가지 수준 (낮음, 중간, 높음)으로 설정된 설계를 선호하는 경우가 많습니다. 두 가지 수준으로는 실제 시스템에서 흔히 볼 수 있는 비선형성을 감지하

기가 어렵기 때문입니다. 중앙점이 추가된 기존 선별 설계를 사용하여 비선형성을 감지할 수는 있지만 이 설계는 원인이 되는 요인을 식별하지 못합니다.

확증적 선별 설계

확증적 선별 설계를 사용하여 다음을 수행할 수 있습니다.

- 중요한 요인을 더 빠르고 효율적으로 식별할 수 있도록 모형 모호성을 방지합니다.
- 최대 2 차 항까지의 교락을 방지하면서 비선형 효과의 원인을 식별합니다. 따라서 기존 선별 설계에서 중앙점을 사용할 때와 같이 비선형성을 감지할 수 있을 뿐만 아니라 원인이 되는 요인을 식별할 수 있습니다.

확증적 선별 설계는 다음과 같은 장점을 제공합니다.

- 확증적 선별 설계에는 적은 수의 런만 있으면 됩니다. 요인이 6 개 이상인 경우 필요한 최소 런 수는 보통 요인 수의 두 배 정도면 됩니다. 런 수에 대한 자세한 내용은 "[컨퍼런스 행렬 및 런 수](#)"(249 페이지)에서 확인하십시오.
- 주효과가 2 요인 교호작용과 직교합니다. 이는 활성 2 요인 교호작용이 모형에 포함되는지 여부에 관계없이 주효과의 추정값이 이러한 교호작용에 의해 편향되지 않음을 의미합니다. 해상도 III 선별 설계에서는 일부 주효과와 교호작용 효과가 교락됩니다. 또한 Plackett-Burman 설계에서는 활성 2 요인 교호작용이 있을 때 주효과 추정값이 편향됩니다.
- 2 요인 교호작용이 다른 2 요인 교호작용과 완전히 교락되지 않습니다. 그러나 2 요인 교호작용이 다른 2 요인 교호작용과 상관될 수 있습니다. 해상도 IV 선별 설계에서는 일부 2 요인 교호작용 효과가 완전히 교락됩니다.
- 주효과와 2 차 항으로만 구성된 모형에서 모든 2 차 효과를 추정할 수 있습니다. 이를 통해 비선형성을 설명하는 요인을 식별할 수 있습니다. 중앙점이 추가된 기존 선별 설계에서는 주효과와 2 차 효과로 구성된 모형에서 모든 2 차 효과를 추정할 수 없습니다.
- 2 차 효과는 주효과와 직교하며 다른 2 요인 교호작용과 완전히 교락되지 않습니다. 2 차 효과는 교호작용 효과와 상관될 수 있습니다.
- 요인이 6 개에서 30 개 이상인 경우, 3 개 이하의 요인을 포함하는 완전 2 차 모형의 모수를 높은 정밀도로 추정할 수 있습니다.
- 요인이 18 개 이상인 경우 4 개의 요인으로 완전 2 차 모형을 적합시킬 수 있습니다. 요인이 24 개 이상인 경우에는 5 개의 요인으로 완전 2 차 모형을 적합시킬 수 있습니다.

확증적 선별 설계 플랫폼

확증적 선별 설계 플랫폼을 사용하면 연속형 요인 및 2 수준 범주형 요인에 대한 확증적 선별 설계를 구성할 수 있습니다. 또한 블록화된 설계를 구성할 수 있습니다. 많은 효과가 활성화되어 있을 때 설계의 효과 감지 능력에 대한 신뢰성을 향상시키는 비중앙점 런을 더 추가할 수 있습니다.

효과 간의 절대 상관 값을 보려면 "확증적 선별 설계" 창의 "설계 평가" 개요에 포함된 "상관 색상 맵"을 사용합니다. 확증적 선별 설계와 다른 설계의 상관 색상 맵을 비교하면 해당 설계의 별칭 구조를 비교할 수 있습니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 창의 "[상관 색상 맵](#)"(434 페이지)에서 확인하십시오.

확증적 선별 설계의 구조에 대한 자세한 내용은 "[확증적 선별 설계의 구조](#)"(248 페이지)에서 확인하십시오. 블록을 사용한 확증적 선별 설계에 대한 자세한 내용은 "[확증적 선별 설계의 블록화](#)"(240 페이지)에서 확인하십시오. 확증적 선별 설계를 사용하여 얻은 데이터를 분석하는 방법에 대한 제안은 "[실험 데이터 분석](#)"(250 페이지)에서 확인하십시오.

확증적 선별 적합 플랫폼

DSD(확증적 선별 설계)를 실행한 후 확증적 선별 적합 플랫폼을 사용하여 결과를 분석합니다. DSD에 적용된 표준 모형 선택 방법을 사용하면 활성 효과를 식별하지 못할 수 있습니다. 확증적 선별 적합 플랫폼은 DSD를 위한 **유효 모형 선택**이라는 알고리즘을 사용하여 활성 주효과와 2차 효과(second-order effect)를 식별합니다. 이 알고리즘은 DSD의 특수 구조를 활용합니다. 자세한 내용은 [8 장](#), "[확증적 선별 적합 플랫폼](#)"에서 확인하십시오.

JMP에서 DSD를 생성하면 "확증적 선별 적합"이라는 스크립트가 설계 테이블에 포함됩니다. 이 스크립트는 DSD를 위한 유효 모형 선택 방법론을 사용하여 자동으로 분석을 실행합니다.

확증적 선별 설계의 예

- "[확증적 선별 설계](#)"
- "[부분 요인 설계와 비교](#)"
- "[블록화를 사용한 확증적 선별 설계](#)"
- "[확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계 비교](#)"

확증적 선별 설계

6개 요인 중 추출 공정의 수율에 영향을 미치는 요인을 판별해야 한다고 가정해 보겠습니다.

설계 생성

요인과 해당 설정은 Extraction Factors.jmp 데이터 테이블에 제공됩니다. 조사를 위해 확증적 선별 설계를 생성합니다.

1. **DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Yield를 입력합니다.
3. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Extraction Factors.jmp를 엽니다.
4. "확증적 선별 설계" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
요인 이름과 범위가 "요인" 개요에 추가됩니다.

그림 7.2 Extraction 설계의 반응 및 요인

반응

반응 추가

제거

반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Yield	최대화	.	.	.
선택적 항목				

요인

연속형

범주형

제거

N개 요인 추가

1

이름	역할	값
▲Methanol	연속형	0
▲Ethanol	연속형	0
▲Propanol	연속형	0
▲Butanol	연속형	0
▲pH	연속형	6
▲Time	연속형	1

요인 지정

해당 버튼을 클릭하여 연속형 또는 범주형 요인을 추가하십시오.
편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

5. **계속**을 클릭합니다.

"설계 옵션" 개요가 열립니다. 여기서는 블록화 구조를 지정할 수 있습니다. 이 예에서는 블록화할 필요가 없으므로 기본 선택 **블록이 필요하지 않음**을 적용합니다.

추가 런을 포함하도록 선택하여 2 차 효과 (second-order effect) 감지 능력을 크게 향상시킬 수도 있습니다. 최소 4 회의 추가 런이 권장되며 이 값이 기본으로 설정됩니다.

6. **설계 생성**을 클릭합니다.

"확증적 선별 설계" 창이 업데이트되어 "설계" 개요와 "설계 평가" 개요가 표시됩니다.

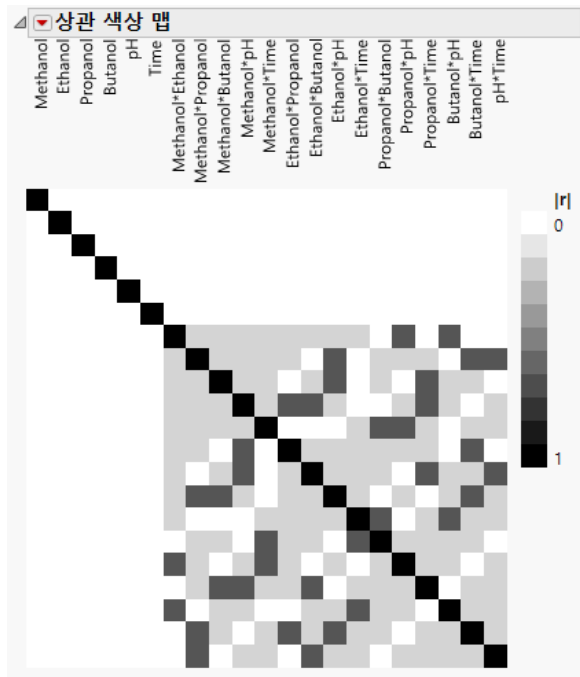
그림 7.3 설계 개요

설계	런	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol	pH	Time
	1	5	10	10	10	9	2
	2	5	0	0	0	6	1
	3	10	5	10	10	6	2
	4	0	5	0	0	9	1
	5	10	0	5	10	9	1
	6	0	10	5	0	6	2
	7	10	0	0	5	9	2
	8	0	10	10	5	6	1
	9	10	10	0	0	7.5	2
	10	0	0	10	10	7.5	1
	11	10	0	10	0	6	1.5
	12	0	10	0	10	9	1.5
	13	10	10	0	10	6	1
	14	0	0	10	0	9	2
	15	10	10	10	0	9	1
	16	0	0	0	10	6	2
	17	5	5	5	5	7.5	1.5

7. **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

" 상관 색상 맵 " 은 모든 주효과 및 2 요인 교호작용의 절대 상관 값에 색상 강도 척도를 할당합니다.

그림 7.4 Extraction 설계의 상관 색상 맵



다음 사항을 알 수 있습니다.

- 단색의 진한 파란색 영역은 주효과 간 또는 주효과와 2 요인 교호작용 간에 상관관계가 없음을 나타냅니다.
- 연한 파란색 및 회색 영역은 2 요인 교호작용 간의 절대 상관이 작음을 나타냅니다.
- 단색의 빨간색 사각형은 절대 상관 1 을 나타냅니다. 이 사각형은 모두 주대각 위에 나타나며 효과 자체의 기대 상관을 반영합니다.

" 출력 옵션 " 패널에서 " 런 순서 " 가 **랜덤화**로 설정되어 있습니다.

8. **테이블 생성**을 클릭하여 그림 7.5 에 표시된 데이터 테이블을 생성합니다.

참고 : 생성된 설계의 런은 그림 7.5 에 표시된 순서와 다르게 나타날 수 있습니다.

그림 7.5 추출 공정의 확증적 선별 설계

	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol	pH	Time	Yield	
1	5	0	0	0	6	1	•	
2	0	0	10	0	9	2	•	
3	5	10	10	10	9	2	•	
4	0	5	0	0	9	1	•	
5	10	0	10	0	6	1.5	•	
6	10	10	10	0	9	1	•	
7	10	5	10	10	6	2	•	
8	0	10	0	10	9	1.5	•	
9	0	10	5	0	6	2	•	
10	5	5	5	5	7.5	1.5	•	
11	10	10	0	10	6	1	•	
12	10	10	0	0	7.5	2	•	
13	10	0	5	10	9	1	•	
14	0	10	10	5	6	1	•	
15	10	0	0	5	9	2	•	
16	0	0	0	10	6	2	•	
17	0	0	10	10	7.5	1	•	

부분 요인 설계와 비교

"확증적 선별 설계"(223 페이지)에서 확증적 선별 설계 대신 기존 선별 설계를 선택했다고 가정해 보겠습니다. 이 예에서는 교락에 대해 두 설계를 비교합니다.

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Yield를 입력합니다.
3. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Extraction Factors.jmp를 엽니다.
4. "선별 설계" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
요인 이름과 범위가 "요인" 개요에 추가됩니다.
5. **계속**을 클릭합니다.
6. **부분 요인 설계 목록에서 선택**을 선택합니다.
7. **계속**을 클릭합니다.
가능한 설계가 "설계 목록"에 나타납니다.

그림 7.6 6 개 연속형 요인에 대한 선별 설계 목록

설계 목록			
목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.			
수	블록	설계 유형	해상도
런	크기		- 추정 가능한 항목
8		부분 요인	3 - 주효과만
8 4		부분 요인	3 - 주효과만
12		Plackett-Burman	3 - 주효과만
16		부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16 8		부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16 4		부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16 2		부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32		부분 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용
32 16		부분 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용
32 8		부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32 4		부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32 2		부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
64		완전 요인	>6 - 전체 해상도
64 32		완전 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용

8. 그림 7.6 에 강조 표시된 16 회 런 부분 요인 설계 (블록 없음) 를 선택합니다.

9. **계속**을 클릭합니다.

10. **설계 표시 및 수정 > 효과의 별칭 구조** 개요를 엽니다.

그림 7.7 부분 요인 설계에 대한 효과의 별칭 구조

효과		별칭
Methanol*Ethanol		= pH*Time
Methanol*Propanol		= Butanol*Time
Methanol*Butanol		= Propanol*Time
Methanol*pH		= Ethanol*Time
Methanol*Time		= Ethanol*pH = Propanol*Butanol
Ethanol*Propanol		= Butanol*pH
Ethanol*Butanol		= Propanol*pH

16 회 런 부분 요인 설계에 대한 " 효과의 별칭 구조 " 개요에서는 모든 2 요인 교호작용이 하나 이상의 다른 2 요인 교호작용과 교락된다는 것을 보여 줍니다. 이 부분 요인 설계에서 **Ethanol*Time** 교호작용은 **Methanol*pH** 교호작용과 교락됩니다. 활성 교호작용을 판별하려면 추가 시도를 실행해야 합니다. 요인이 다른 순서로 입력된 경우 **Ethanol*Time** 교호작용이 다른 2 요인 교호작용 두 개와 별칭 구조를 가질 수 있습니다.

" **확증적 선별 설계** "(223 페이지) 섹션에서 17 회 런 확증적 선별 설계를 구성했습니다. 이 DSD 의 " 상관 색상 맵 "(그림 7.4) 은 다른 2 요인 교호작용과 교락되는 2 요인 교호작용이 없음을 보여 줍니다. 부분 요인 설계의 경우 교락된 2 요인 교호작용이 7 개 있습니다. 활성 2 요인 효과가 있다고 의심되면 DSD 를 선택하는 것이 더 좋습니다.

설계 비교 플랫폼 (DOE > 설계 진단 > 설계 비교) 을 사용하여 두 설계를 더 철저하게 비교할 수 있습니다. 자세한 내용은 **16 장**, " **설계 비교** " 에서 확인하십시오.

블록화를 사용한 확증적 선별 설계

원료 제약 조건으로 인해 두 개의 개별 로트에서 재료를 사용하여 추출 실험을 실행해야 한다고 가정해 보겠습니다. 잠재적 로트 변동을 설명하기 위해 블록 변수를 사용하여 확증적 선별 설계를 생성할 수 있습니다.

설계 생성

추출 요인과 해당 설정은 **Extraction Factors.jmp** 데이터 테이블에 제공됩니다. 다음과 같이 블록을 사용하여 확증적 선별 설계를 생성합니다.

1. **DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 **Yield**를 입력합니다.
3. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Extraction Factors.jmp**를 엽니다.
4. "확증적 선별 설계" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
요인 이름과 범위가 "요인" 개요에 추가됩니다.
5. **계속**을 클릭합니다.
"설계 옵션" 개요가 열립니다. 여기서는 블록화 구조를 지정할 수 있습니다.
6. **2차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가**를 선택합니다.
2로 설정된 **블록 수**를 그대로 둡니다.
추가 런 없이 생성된 **Extraction2 Data.jmp** 샘플 데이터 테이블에 대한 설계를 다시 생성하는 중입니다. 추가 런을 4회 실행하는 것이 좋지만 이 예에서는 추가 런을 지정하지 않습니다.
7. **추가 런 수** 옆에서 0을 선택합니다.
8. **설계 생성**을 클릭합니다.
"확증적 선별 설계" 창이 업데이트되어 "설계" 개요와 "설계 평가" 개요가 표시됩니다.
"요인" 및 "설계" 개요에 블록이 추가되었는지 확인합니다.
9. "요인" 개요에서 블록을 두 번 클릭하고 **Lot**를 입력합니다.
"출력 옵션" 패널에서 "런 순서"가 "블록 내 랜덤화"로 설정되어 있습니다.
10. **테이블 생성**을 클릭합니다.

참고: 생성된 설계의 런은 그림 7.8에 표시된 순서와 다르게 나타날 수 있습니다.

그림 7.8 추출 공정에 대해 블록을 사용한 확증적 선별 설계

	블록	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol	pH	Time	Yield	
1	1	5	5	5	5	7.5	1.5	•	
2	1	5	10	10	10	9	2	•	
3	1	5	0	0	0	6	1	•	
4	1	10	0	5	0	9	2	•	
5	1	0	0	0	10	7.5	2	•	
6	1	0	10	5	10	6	1	•	
7	1	10	10	10	0	7.5	1	•	
8	2	10	5	0	10	9	1	•	
9	2	0	10	0	0	9	1.5	•	
10	2	0	0	10	5	9	1	•	
11	2	10	0	10	10	6	1.5	•	
12	2	0	5	10	0	6	2	•	
13	2	10	10	0	5	6	2	•	
14	2	5	5	5	5	7.5	1.5	•	

런 1 은 Lot 1 의 중앙점 런이고 런 14 는 Lot 2 의 중앙점 런입니다 .

실험 데이터 분석

이제 실험을 수행하고 설계 테이블의 **Yield** 열에 데이터를 기록합니다 (그림 7.8). **Extraction2 Data.jmp** 샘플 데이터 테이블에 실험 결과가 포함되어 있습니다 . **Extraction2 Data.jmp** 샘플 데이터 테이블의 런은 그림 7.8 의 런과 순서가 다릅니다 .

모든 2 차 효과 (second-order effect) 를 탐색하려면 모든 가능 모형 회귀를 사용하는 것이 한 가지 옵션입니다 . 다른 옵션은 단계별 전진 회귀를 사용하는 것입니다 . 그러나 이와 같은 표준 방법은 활성 효과를 식별하지 못하는 경우가 많습니다 . 이러한 이유로 확증적 선별 적합 플랫폼을 사용합니다 .

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Extraction2 Data.jmp** 를 엽니다 .
2. 설계 테이블의 테이블 패널에서 **Fit Definitive Screening** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭 합니다 .

그림 7.9 확증적 선별 적합 보고서

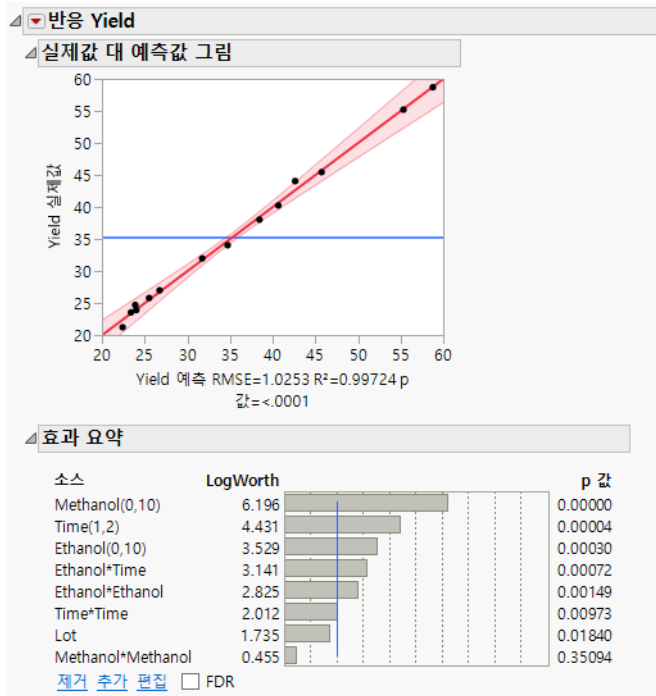
Yield에 대한 확증적 선별 적합					
1단계 - 주효과 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
Methanol	10.11	0.2516	40.188	<.0001*	
Ethanol	2.89	0.2516	11.488	0.0014*	
Time	4.4436	0.2516	17.664	0.0004*	
통계량	값				
RMSE	0.7955				
DF	3				
☒ 이자항 강 유전성 따르기					
☒ 교호작용 강 유전 따르기					
2단계 - 짝수 순서 효과 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	29.537	0.1114	265.03	0.0024*	
Lot[1]	2.4953	0.1178	21.179	0.0300*	
Methanol*Ethanol	0.7474	0.0682	10.952	0.0580	
Ethanol*Time	5.9347	0.1362	43.587	0.0146*	
Methanol*Methanol	-1.685	0.264	-6.383	0.0989	
Ethanol*Ethanol	6.3325	0.1599	39.6	0.0161*	
Time*Time	3.4031	0.1674	20.324	0.0313*	
통계량	값				
RMSE	0.1666				
DF	1				
결합 모형 모수 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	29.537	0.4642	63.636	<.0001*	
Lot[1]	2.4953	0.4907	5.0852	0.0071*	
Methanol	10.11	0.2194	46.07	<.0001*	
Ethanol	2.89	0.2194	13.169	0.0002*	
Time	4.4436	0.2194	20.249	<.0001*	
Methanol*Ethanol	0.7474	0.2842	2.6297	0.0582	
Ethanol*Time	5.9347	0.5671	10.465	0.0005*	
Methanol*Methanol	-1.685	1.0994	-1.533	0.2001	
Ethanol*Ethanol	6.3325	0.666	9.5082	0.0007*	
Time*Time	3.4031	0.6974	4.8799	0.0082*	
통계량	값				
RMSE	0.694				
DF	4				
모형 생성 모형 실행					

확증적 선별 적합에 의해 잠재적 활성 상태인 것으로 식별된 효과가 "결합 모형 모수 추정값" 보고서에 나열됩니다.

3. "결합 모형 모수 추정값" 보고서 맨 아래의 **모형 실행** 버튼을 클릭합니다.

그러면 잠재적 활성 상태인 것으로 식별된 효과에 대해 표준 최소 제곱 모형을 적합시킵니다.

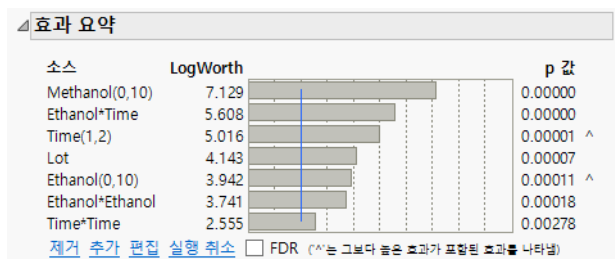
그림 7.10 표준 최소 제곱 보고서



"실제값 대 예측값 그림"에 적합 결여의 증거가 없습니다."효과 요약" 보고서는 Methanol*Methanol 이 유의하지 않음을 보여 줍니다. 모형에서 이 효과를 제거하기로 결정했습니다.

- "효과 요약" 보고서에서 Methanol*Methanol 을 선택하고 제거를 클릭합니다.

그림 7.11 최종 활성 효과 집합



나머지 효과는 모두 유의합니다. 이러한 효과가 활성 효과인 것으로 결론을 내릴 수 있습니다.

확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계 비교

Plackett-Burman 설계는 선별을 위한 부분 요인 설계 대신 사용할 수 있습니다. 그러나 Plackett-Burman 설계에는 2 요인 교호작용에 의한 주효과의 복잡한 별칭 구조가 있습니다.

이 예에서는 설계 평가 플랫폼을 사용하여 확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계를 비교하는 방법을 보여 줍니다. 설계 비교 플랫폼을 사용한 자세한 예는 "설계 비교" 장의 "[런 크기가 같은 설계](#)"(441 페이지)에서 확인하십시오.

확증적 선별 설계

1. **DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 설계**를 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 상자에 **4** 를 입력하고 **연속형**을 클릭합니다.
3. **N 개 요인 추가** 상자에 **2** 를 입력하고 **범주형**을 클릭합니다.
창이 그림 7.12 에 표시된 것처럼 보입니다.

그림 7.12 연속형 요인 4 개와 범주형 요인 2 개가 포함된 확증적 선별 대화상자

확증적 선별 설계

반응

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y 선택적 항목	최대화	.	.	.

요인

이름	역할	값
X1	연속형	-1, 1
X2	연속형	-1, 1
X3	연속형	-1, 1
X4	연속형	-1, 1
X5	범주형	L1, L2
X6	범주형	L1, L2

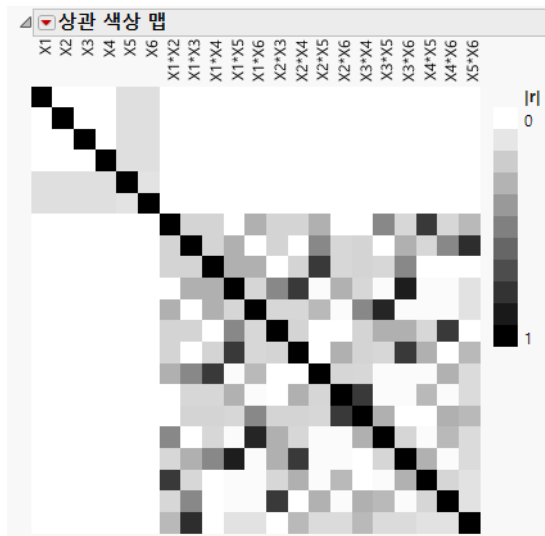
요인 지정

해당 버튼을 클릭하여 연속형 또는 범주형 요인을 추가하십시오.
편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

4. **계속**을 클릭합니다.
이 예에서는 블록이 필요하지 않습니다. "설계 옵션" 개요에서 "블록이 필요하지 않음" 옵션이 선택되어 있는지 확인하십시오.
거의 같은 크기의 설계를 비교하기 위해 추가 런을 지정하지 않습니다.
5. **추가 런 수** 옆에서 **0** 을 선택합니다.
6. **설계 생성**을 클릭합니다.
14 회 런 설계가 생성됩니다.
7. **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

그림 7.13 확증적 선별 설계의 색상 맵



범주형 주효과는 다른 범주형 주효과 및 연속형 요인의 주효과와 약간 상관되어 있습니다 . 이로 인해 추정값의 정밀도가 조금 감소합니다 .

8. 아래의 Plackett-Burman 설계와 색상 맵을 비교할 때까지 " 확증적 선별 설계 " 창을 닫지 않습니다 .

Plackett-Burman 설계

이제 같은 요인 구조를 사용하여 Plackett-Burman 설계를 생성합니다 .

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다 .
2. **N 개 요인 추가** 상자에 **4** 를 입력하고 **연속형**을 클릭합니다 .
3. **N 개 요인 추가** 상자에 **2** 를 입력하고 **범주형 > 2 수준**을 클릭합니다 .
4. **계속**을 클릭합니다 .
5. **부분 요인 설계 목록**에서 **선택**을 선택하고 **계속**을 클릭합니다 .
가능한 설계가 " 설계 목록 "에 나타납니다 .

그림 7.14 Plackett-Burman 설계

▲ 선별 설계

▲ 반응

반응 추가 ▼ 제거 반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y	최대화	.	.	.
선택적 항목				

▲ 요인

연속형 이산 수치형 ▼ 범주형 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	값
X1	연속형	-1 1
X2	연속형	-1 1
X3	연속형	-1 1
X4	연속형	-1 1
X5	범주형	L1 L2
X6	범주형	L1 L2

▲ 설계 목록

목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.

수	블록 크기	설계 유형	해상도
- 추정 가능한 항목			
8	부분 요인	3 - 주효과만	
8 4	부분 요인	3 - 주효과만	
12	Plackett-Burman	3 - 주효과만	
16	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
16 8	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
16 4	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
16 2	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
32	부분 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용	
32 16	부분 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용	
32 8	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
32 4	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
32 2	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
64	완전 요인	>6 - 전체 해상도	
64 32	완전 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용	

6. 12 회 런 Plackett-Burman 설계를 선택합니다 (그림 7.14).

7. 계속을 클릭합니다 .

8. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다 .

12 회 런 Plackett-Burman 설계의 색상 맵을 14 회 런 확증적 선별 설계의 색상 맵과 비교합니다 .

그림 7.15 Plackett-Burman 상관 (왼쪽) 과 확증적 선별 상관 (오른쪽)

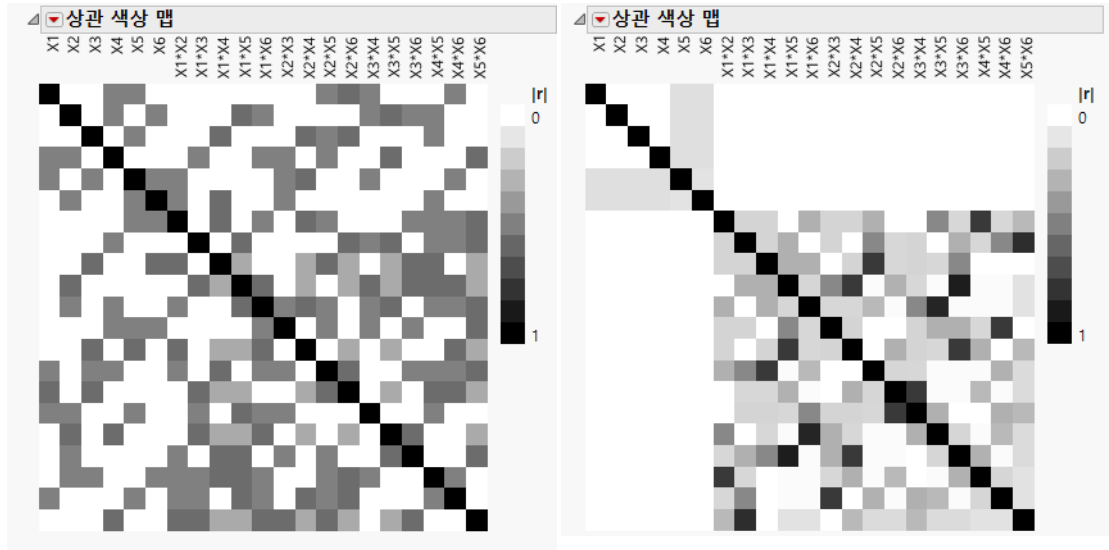


그림 7.15 에는 두 가지 색상 맵이 모두 표시되지만 Plackett-Burman 색상 맵에서 주효과와 이원 교호작용이 포함된 부분만 표시됩니다. 삼원 교호작용 없이 Plackett-Burman 설계의 색상 맵을 구성하려면 설계를 구성한 다음, "설계 평가"를 사용하여 색상 맵을 확인하십시오.

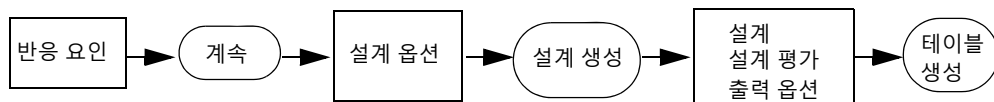
왼쪽의 Plackett-Burman 설계 색상 맵에서 대부분의 2 요인 교호작용이 주효과와 상관되어 있음을 확인할 수 있습니다. 이는 무시할 수 없는 2 요인 교호작용이 몇 가지 주효과를 편향시킨다는 것을 의미합니다. 이로 인해 활성 주효과를 식별하지 못하거나, 비활성 주효과가 활성 효과라는 잘못된 결론을 내릴 수 있습니다.

이를 오른쪽의 확증적 선별 설계 색상 맵과 대조해 봅니다. 추가 런이 두 개 포함된 확증적 선별 설계는 주효과의 분산이 약간 증가하는 대신 주효과 및 2 요인 교호작용에 대한 완전한 독립성을 얻습니다.

확증적 선별 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "확증적 선별 설계" 창이 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "DOE 로 시작" 장의 "DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계" (52 페이지) 에서 확인하십시오. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 7.16 의 흐름을 따릅니다.

그림 7.16 확증적 선별 설계 흐름



반응

" 반응 " 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

팁 : " 반응 " 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

그림 7.17 반응 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y 선택적 항목	최대화			

반응 추가 " 최대화 ", " 목표값 일치 ", " 최소화 " 또는 " 없음 " 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. " 목표값 일치 "를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. " 최대화 " 또는 " 최소화 "를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

제거 선택한 반응을 제거합니다.

반응 수 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 " 목표값 일치 "로 설정됩니다. 테이블에서 " 목표 " 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

" 반응 " 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

반응 이름 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

목표, 하한, 상한 " 목표 "는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 " 반응 한계 " 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. " 프로파일러 " 및 " 등고선 프로파일러 "는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장 및 " 열 특성 " 부록의 " **반응 한계** "(684 페이지)에서 확인하십시오.

- " 최대화 " 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 " 하한 " 또는 " 상한 "으로 지정할 수 있습니다.
- " 최소화 " 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 " 하한 " 또는 " 상한 "으로 지정할 수 있습니다.
- " 목표값 일치 " 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.

- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

참고 : 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

중요도 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "**반응 한계**"(684 페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

요인

"요인" 개요에서 요인을 추가합니다.

그림 7.18 요인 개요

"요인" 개요에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

연속형 N 개 요인 추가에 지정된 수의 연속형 요인을 입력합니다.

범주형 N 개 요인 추가에 지정된 수의 명목형 요인을 입력합니다.

제거 선택한 요인을 제거합니다.

N 개 요인 추가 지정된 유형의 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 "연속형" 또는 "범주형"을 클릭합니다. 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

팁: "요인" 패널을 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 "요인 저장"을 선택하십시오. 이렇게 하면 요인 이름과 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다. 자세한 내용은 ["확증적 선별 설계 옵션"](#)(244 페이지)에서 확인하십시오.

"요인" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

이름 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

역할 요인의 설계 역할을 지정합니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다.

값 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

요인 개요 편집

"요인" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 값 열의 값을 클릭합니다.

요인 유형

연속형 숫자 데이터 유형만 가능합니다. 연속형 요인은 개념적으로 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다.

범주형 두 가지 수준의 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 범주형 요인의 경우 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다. 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 "값 순서" 열 특성에 저장됩니다.

요인 열 특성

각 요인에 대한 다양한 열 특성이 데이터 테이블에 저장됩니다.

설계 역할 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 할당됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. "설계 옵션"에서 블록을 추가하면 해당 요인에 "블록화" 값이 할당됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

요인 변경 각 요인에 "위험"으로 설정된 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. 확증적 선별 설계에서는 각 실험 런에 대해 요인 수준을 변경할 수 있다고 가정합니다. "요인 변경" 값은 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

코딩 "설계 역할"이 "연속형"인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한 값과 상한값이 각각 -1 과 +1 에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. "최소 제곱 적합" 보고서의 추정값과 검정은 변환된 값을 기반으로 합니다.

값 순서 "설계 역할"이 "범주형" 또는 "블록화"인 경우 요인의 "값 순서" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다.

블록당 런 수 각 블록의 런 수를 나타냅니다. "설계 옵션" 개요에서 블록을 선택하고 "설계 생성"을 클릭하면 기본 이름이 "블록"인 요인이 "요인" 목록에 추가됩니다. "블록당 런 수" 열 특성은 해당 요인에 대해 저장됩니다.

설계 옵션

"설계 옵션" 개요에서는 블록화 구조, 블록 수 및 추가 런 수를 지정할 수 있습니다. 블록 효과는 주효과와 직교합니다. 블록 크기가 같을 필요는 없습니다.

이 개요에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

블록이 필요하지 않음 설계에 블록 요인이 포함되지 않음을 나타냅니다. 기본적으로 이 항목이 선택됩니다.

2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가 "블록 수" 텍스트 상자에 지정된 수의 블록을 추가합니다. 블록 효과가 주효과와 직교하고 모든 주효과 및 2 차 효과로 구성된 모형을 추정할 수 있는 설계를 구성합니다. 자세한 내용은 "[2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가](#)"(240 페이지)에서 확인하십시오.

추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가 "블록 수" 텍스트 상자에 지정된 수의 블록을 추가합니다. 설계 구조에 필요한 만큼만 중앙점 런을 추가합니다. 블록 효과가 주효과와 직교하지만 모든 주효과 및 2 차 효과로 구성된 모형을 추정할 수 없는 설계를 구성합니다. 자세한 내용은 "[추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가](#)"(241 페이지)에서 확인하십시오.

참고: 일부 2 차 효과는 중요하지 않다고 가정할 수 있는 경우에만 **추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가** 옵션을 사용하십시오.

블록 수 추가할 블록 수를 나타냅니다. 추가할 수 있는 블록 수는 2 개에서 요인 수까지입니다.

추가 런 수 유효 모형 선택을 수행할 수 있는 비중앙점 런을 추가합니다. 자세한 내용은 "**추가 런**"(250 페이지) 및 "확증적 선별 적합 플랫폼" 장의 "**DSD 를 위한 유효 모형 선택**"(255 페이지)에서 확인하십시오.

팁: 추가 런 옵션을 사용하여 설계에 런을 추가하면 활성 효과가 많이 있을 때 효과를 감지할 수 있는 능력이 향상됩니다. 권장되는 추가 런 수는 4 회이며, 이렇게 하면 활성 2 차 효과(second-order effect)를 식별할 수 있도록 설계 성능이 크게 향상됩니다.

설계 생성 설계를 생성하여 "설계" 개요에 표시하고 "설계 평가" 개요에 평가 정보를 제공합니다. 설계 테이블을 생성할 수 있는 "출력 옵션" 패널도 나타납니다.

확증적 선별 설계의 블록화

이 섹션에서는 다음과 같은 두 가지 블록화 옵션에 대해 설명합니다.

- "**2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가**"(240 페이지)
- "**추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가**"(241 페이지)

설계에 범주형 요인이 포함된 경우 **중앙점 런**은 모든 연속형 요인이 중간 값으로 설정되는 런입니다. 모든 요인이 범주형인 경우 두 가지 블록화 옵션을 사용할 수 있습니다. 두 옵션 모두 블록이 주효과와 직교하는 설계를 생성합니다.

2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가

참고: 2 차 효과를 추정하는 블록화된 설계의 구성 및 특성에 대한 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2016)에서 확인하십시오. 이 연구 자료에는 블록을 임의 효과로 처리하는 데 대한 내용도 포함되어 있습니다.

2차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가 옵션은 다음과 같은 특성이 있는 설계를 구성합니다.

- 블록 효과가 주효과와 직교합니다.
- 모든 주효과와 2 차 효과로 구성된 모형을 추정할 수 있습니다.

설계에 연속형 요인만 포함된 경우 k 요인에 대해 이러한 특성이 있는 블록화된 설계를 다음과 같이 구성할 수 있습니다.

- k 요인에 대한 DSD 설계에서 중앙점 런을 제거합니다.
- 같은 블록에 컨퍼런스 행렬 접기 쌍을 할당합니다.
- 각 블록에 중앙점 런을 하나씩 추가합니다.

일부 요인이 범주형인 경우 **2차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가** 옵션은 특정 블록 내에 중앙점 런 쌍을 추가합니다. 이 구조는 직교성 및 모든 주효과와 2 차 효과의 추정 가능성을 보장합니다.

블록에 접기 쌍이 포함되어야 한다는 블록 크기 요구 사항이 있으므로 블록 수의 범위는 k 가 짝수이면 $2 \sim k$ 개, k 가 홀수이면 $2 \sim k+1$ 개일 수 있습니다. 자세한 내용은 "[컨퍼런스 행렬 및 런 수](#)"(249 페이지)에서 확인하십시오. JMP 는 같은 크기의 블록을 구성하려고 시도합니다.

추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가

추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가 옵션은 모든 요인이 연속형일 때 중앙점 런이 하나 있고 일부 요인이 범주형일 때는 중앙점 런이 두 개 있는 설계를 구성합니다. 결과 설계의 특성은 다음과 같습니다.

- 블록 효과가 주효과와 직교합니다.
- 블록 효과가 2 차 효과의 선형 조합과 교락될 가능성이 있습니다. 즉, 모든 주효과와 2 차 효과로 구성된 모형을 추정하지 못할 수 있습니다.

따라서 일부 2 차 효과를 무시할 수 있다고 가정할 수 있는 경우에만 이 옵션을 사용하십시오.

추가 중앙점 런 없이 k 요인에 대한 블록화된 설계는 다음과 같이 구성됩니다.

- 같은 블록에 컨퍼런스 행렬 접기 쌍을 할당합니다.
- 모든 요인이 연속형인 경우 단일 블록에 단일 중앙점 런을 할당합니다.
- 범주형 요인이 있는 경우 블록화되지 않은 확증적 선별 설계에는 컨퍼런스 행렬에 의해 정의된 접기 쌍에 두 개의 중앙점 런을 추가해야 합니다. 자세한 내용은 "[컨퍼런스 행렬 및 런 수](#)"(249 페이지)에서 확인하십시오. 추가 중앙점 런 없이 블록화된 설계를 구성하기 위해 이러한 두 개의 중앙점 런이 단일 블록에 추가됩니다.

블록에 접기 쌍이 포함되어야 한다는 블록 크기 요구 사항이 있으므로 블록 수의 범위는 k 가 짝수이면 $2 \sim k$ 개, k 가 홀수이면 $2 \sim k+1$ 개일 수 있습니다. 자세한 내용은 "[컨퍼런스 행렬 및 런 수](#)"(249 페이지)에서 확인하십시오. JMP 는 같은 크기의 블록을 구성하려고 시도합니다.

설계

"설계" 개요에서는 확증적 선별 설계를 위한 런을 보여 줍니다. 런은 표준 순서로 제공됩니다. 설계 테이블의 런 순서를 변경하려면 테이블을 생성하기 전에 "출력 옵션" 패널에서 "런 순서" 옵션을 선택할 수 있습니다.

참고 : 4 개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계는 5 개 요인 설계를 기반으로 합니다. 자세한 내용은 "[4 개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계](#)"(250 페이지)에서 확인하십시오.

설계 평가

참고 : Cotter 설계에는 " 설계 평가 " 개요가 표시되지 않습니다 .

" 설계 평가 " 개요에서는 생성된 설계의 특성을 평가하는 다양한 방법을 제공합니다 . " 설계 평가 " 개요를 열고 다음 옵션을 확인합니다 .

검정력 분석 주어진 크기의 효과를 감지할 수 있는지 분석할 수 있습니다 .

예측 분산 프로파일 요인 설정 범위에 대한 예측 분산을 보여 줍니다 .

설계 공간 비율 그림 모형 예측 분산이 지정된 값보다 얼마나 아래 또는 위에 있는지 보여 줍니다 .

예측 분산 표면 두 개의 연속형 요인에 대한 예측 분산의 표면 그림을 보여 줍니다 .

추정 효율도 각 모수에 대해 이상적인 직교 설계 (존재하지 않을 수 있음) 와 비교하여 신뢰 구간 길이에 대한 증가 비율을 제공합니다 . 모수의 상대 표준 오차도 제공합니다 .

별칭 행렬 모형에 없지만 활성화 가능성이 있는 효과에 의해 모형 모수가 편향되는 정도를 나타내는 계수를 제공합니다 .

상관 색상 맵 강도 척도를 사용하여 그림에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다 .

설계 진단 설계를 구성하는 데 사용되는 최적 기준을 나타냅니다 . 설계의 효율도 측도도 제공합니다 .

참고 : 설계 진단에 사용된 모형에는 모든 주효과 및 2 요인 교호작용이 포함됩니다 (모든 2 요인 교호작용을 추정할 수 있는 경우) . 그렇지 않은 경우에는 모형에 모든 주효과가 포함됩니다 .

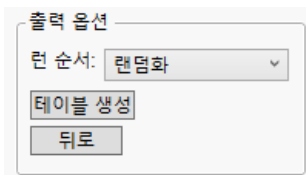
" 설계 평가 " 패널에 대한 자세한 내용은 " 설계 평가 " 장의 " 설계 평가 "(421 페이지) 에서 확인하십시오 .

출력 옵션

" 출력 옵션 " 패널을 사용하여 다음 작업을 수행할 수 있습니다 .

- 설계 데이터 테이블의 런 순서를 지정합니다 .
- 설계 테이블을 구성합니다 .
- " 확증적 선별 설계 " 창의 이전 지점으로 돌아갑니다 .

그림 7.19 출력 옵션 패널



설계		확증적 선별 설계 2		블록	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y
	확증적 선별 설계		1	1	0	0	0	0	L1	L1	.
	확증적 선별 설계		2	1	0	0	0	0	L2	L2	.
	설계 평가		3	1	-1	1	0	-1	L1	L2	.
	DOE 대화상자		4	1	1	-1	0	1	L2	L1	.
	열(8/0)		5	1	0	1	1	1	L2	L2	.
	블록 *		6	1	0	-1	-1	-1	L1	L1	.
	X1 *		7	1	1	1	-1	1	L1	L1	.
	X2 *		8	1	-1	-1	1	1	L1	L1	.
	X3 *		9	1	-1	-1	1	-1	L2	L2	.
	X4 *		10	1	1	1	-1	-1	L2	L2	.
	X5 *		11	2	-1	1	1	0	L1	L1	.
	X6 *		12	2	1	1	1	-1	L2	L1	.
	Y *		13	2	1	-1	1	-1	L1	L2	.
	행		14	2	-1	-1	-1	1	L1	L2	.
	모든 행 선택됨	18	15	2	-1	1	-1	1	L2	L1	.
	제외	0	16	2	1	0	1	1	L1	L2	.
	숨김	0	17	2	-1	0	-1	-1	L2	L1	.
	라벨 지정	0	18	2	1	-1	-1	0	L2	L2	.

뒤로

"뒤로" 버튼을 클릭하면 "설계 생성"을 클릭하기 전의 위치로 이동합니다. 이전 개요를 변경하고 설계를 다시 생성할 수 있습니다.

확증적 선별 설계 옵션

확증적 선별 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 저장 "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

반응 불러오기 "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

요인 저장 "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

참고: 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

요인 불러오기 "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

제약 조건 저장 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "**제약 조건 상태**"(715 페이지)에서 확인하십시오.

제약 조건 불러오기 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고 : 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.
- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 창의 "**반응 시뮬레이션**"(100 페이지)에서 확인하십시오.

참고 : **JMP PRO** "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션"장에서 확인하십시오.

행렬 X 저장 "적률 행렬" 및 "모형 행렬"을 설계 데이터 테이블의 테이블 스크립트에 저장합니다. 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 창의 "**행렬 X 저장**"(102 페이지)에서 확인하십시오.

주의 : 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장 > 코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정 모형 효과에 대해 감지할 평균 반응의 차이를 지정합니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 창의 "**설계 평가 옵션**"(437 페이지)에서 확인하십시오.

스크립트를 스크립트 창에 저장 "확증적 선별 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

반응 시뮬레이션

"테이블 생성"을 클릭하여 설계 테이블을 생성할 때 "반응 시뮬레이션" 옵션이 각 반응에 대해 다음을 수행합니다.

- 설계 테이블의 반응 열에 확률 반응 값을 추가합니다.
- 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열을 설계 테이블에 추가합니다. 계산식과 값은 주효과 모형에 기초합니다.

모형을 정의하기 위해 효과를 추가 및 제거하고, 모수 값을 지정하고, 시뮬레이션을 위한 반응 분포를 선택할 수 있는 "모형" 창이 열립니다. "모형" 창에서 "적용"을 클릭하면 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 각 열이 업데이트됩니다.

컨트롤 창

그림 7.21에서는 연속형 요인이 두 개 (X_1, X_2), 2 수준 범주형 요인이 한 개 (X_3) 있는 설계의 "모형" 창을 보여 줍니다.

그림 7.21 반응 시뮬레이션 컨트롤 창

요인

▲ X1
▲ X2
■ X3
선택적

교호작용 RSM

적

반응 시뮬레이션

효과	Y
절편	1
X1	1
X2	1
X3 1	1

계수 재설정

항 제거

분포

☒ 정규 오차 σ : 1

☐ 이항

☐ Poisson

적용

이 창에는 다음과 같은 세 가지 개요가 있습니다.

- 요인
- 반응 시뮬레이션
- 분포

초기 "반응 시뮬레이션" 개요에는 모든 계수의 값이 1 인 주효과 모형의 항이 표시됩니다. "분포" 개요에는 오차 표준편차가 1 인 정규 분포가 표시됩니다. DOE 창의 "설계 평가"에서 "검정력 분석"의 일부로 "예상 계수"를 설정한 경우, "검정력 분석" 개요에서 "예상 계수" 및 "예상 RMSE"(오차 표준편차)로 지정한 값이 "반응 시뮬레이션" 개요의 초기값이 됩니다.

요인

"요인" 개요를 사용하여 시뮬레이션 모형에 항을 추가합니다.

교호작용 목록에서 요인을 선택합니다. 그런 다음 "교호작용" 메뉴에서 교호작용 차수를 선택합니다. 해당 교호작용은 "반응 시뮬레이션" 개요의 "효과" 목록에 추가됩니다.

RSM 가능한 모든 반응 표면 항을 "반응 시뮬레이션" 개요의 "효과" 목록에 추가합니다.

떡 목록에서 요인을 선택합니다. 그런 다음 "떡" 메뉴에서 차수를 선택합니다. 해당 떡은 "반응 시뮬레이션" 개요의 "효과" 목록에 추가됩니다.

반응 시뮬레이션

시뮬레이션된 값에 대한 모형을 지정하려면 다음을 수행하십시오.

1. "효과" 목록의 각 항에 대해 반응 값을 시뮬레이션하는 데 사용되는 선형 모형의 계수를 입력합니다. 이 값은 선형 함수 $L(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) = \mathbf{x}'\boldsymbol{\beta}$ 를 정의합니다. 그림 7.21 의 "반응 시뮬레이션" 개요를 참조하십시오.
 - 벡터 $\mathbf{x}$ 는 "효과" 아래에 나열된 효과를 정의하는 항으로 구성됩니다.
 - 벡터 $\boldsymbol{\beta}$ 는 "Y" 아래에 지정한 모형 계수의 벡터입니다.
2. "분포"에서 반응 분포를 선택합니다.
3. **적용**을 클릭합니다. 시뮬레이션된 값과 계산식을 포함하는 <Y> 시뮬레이션 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 여기서 Y 는 반응 열의 이름입니다.

계수 재설정 모든 계수를 0 으로 설정합니다.

항 제거 "효과" 목록에서 항을 제거합니다. 제거할 효과를 선택하고 "항 제거"를 클릭합니다. 이때 주효과는 제거할 수 없습니다.

분포

"반응 시뮬레이션" 창에서 다음 분포 중 하나를 선택합니다.

정규 정규 분포에서 값을 시뮬레이션합니다. "오차 σ "에 정규 분포 오차의 표준편차 값을 입력합니다. "요인" 개요에서 요인의 "변경"을 "어려움"으로 지정한 경우 "주구 σ "에 주구 오차 값을 입력할 수 있습니다. 요인의 "변경"을 "어려움" 및 "매우 어려움"으로 지정한 경우에는 하위구 오차와 주구 오차 값을 둘 다 입력할 수 있습니다. "적용"을 클릭하면 모형에 기초하여 확률 반응 벡터가 포함된 계산식과 난수 값이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다.

이항 이항 분포에서 값을 시뮬레이션합니다. "N"에 시도 수 값을 입력합니다. 성공 확률이 $1/(1 + \exp(-L(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta})))$ 이고 시도 횟수가 N인 이항 분포에 따라 정수인 난수가 생성됩니다. "적용"

을 클릭하면 난수 값과 계산식이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다. N 값을 포함하는 시도 수 열도 데이터 테이블에 추가됩니다.

Poisson 모수 $\exp(L(\mathbf{x}, \beta))$ 를 사용하여 Poisson 분포에 따라 정수인 난수를 시뮬레이션합니다. "적용" 을 클릭하면 난수 값과 계산식이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다.

참고: "테이블 생성" 을 클릭할 때마다 반응을 시뮬레이션하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 이렇게 하려면 **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE** 를 선택합니다. 그런 다음 **반응 시뮬레이션** 을 선택합니다.

기술 상세 정보

- "확증적 선별 설계의 구조"
- "실험 데이터 분석"

확증적 선별 설계의 구조

그림 7.22에서는 8 개의 연속형 요인과 가짜 요인에 해당하는 4 개의 추가 런을 사용한 확증적 선별 설계의 예를 보여 줍니다. 다음을 확인할 수 있습니다.

- 각 행 쌍은 접기 쌍이며 짝수 번호 행의 값은 이전 행의 -1 배입니다. 설계 접기를 수행하면 2 요인 교호작용과 주효과의 교락이 제거됩니다.
- 각 요인은 3 회 런의 중앙값으로 설정되며 설계 구성과 함께 모든 2 차 효과를 추정할 수 있게 합니다.
- 17 ~ 20 행은 가짜 요인에 해당하는 추가 런입니다.
- 마지막 행에 중앙점 런을 추가하면 절편 및 모든 주효과와 2 차 효과를 포함하는 모형을 적합시킬 수 있습니다.

이 구조는 연속형 요인에 대한 확증적 선별 설계의 대표적인 예입니다.

그림 7.22 8 개의 연속형 요인에 대한 확증적 선별 설계

설계	런	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	2	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	3	1	0	-1	-1	-1	-1	1	1
	4	-1	0	1	1	1	1	-1	-1
	5	1	-1	0	-1	1	1	-1	-1
	6	-1	1	0	1	-1	-1	1	1
	7	1	-1	-1	0	1	1	1	1
	8	-1	1	1	0	-1	-1	-1	-1
	9	1	-1	1	1	0	-1	-1	1
	10	-1	1	-1	-1	0	1	1	-1
	11	1	-1	1	1	-1	0	1	-1
	12	-1	1	-1	-1	1	0	-1	1
	13	1	1	-1	1	-1	1	0	-1
	14	-1	-1	1	-1	1	-1	0	1
	15	1	1	-1	1	1	-1	-1	0
	16	-1	-1	1	-1	-1	1	1	0
	17	1	1	1	-1	-1	1	-1	1
	18	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1
	19	1	1	1	-1	1	-1	1	-1
	20	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1
	21	0	0	0	0	0	0	0	0

컨퍼런스 행렬 및 런 수

JMP의 확증적 선별 설계는 컨퍼런스 행렬 (Xiao et al., 2012)을 사용하여 구성됩니다. 컨퍼런스 행렬은 $m \times m$ 행렬 $\mathbf{C}$ 입니다. 여기서 m 은 짝수입니다. $\mathbf{C}$ 행렬은 대각 항목이 0, 비대각 항목이 1 또는 -1 이고 다음을 충족합니다.

$$\mathbf{C}'\mathbf{C} = (m-1)\mathbf{I}_{m \times m}$$

참고: m 의 특정 짝수 값에 대해 컨퍼런스 행렬이 있는지 여부는 알 수 없습니다.

요인 수 k 가 5 이상이라고 가정해 보겠습니다. $k \leq 4$ 요인인 경우에는 "4 개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계"(250 페이지)의 설명을 참조하십시오.

k 개의 연속형 요인의 경우 컨퍼런스 행렬을 사용할 수 있다고 가정해 보겠습니다.

- k 가 짝수인 경우 $k \times k$ 컨퍼런스 행렬을 사용하여 설계의 k 회 런을 정의합니다. 음의 $-\mathbf{C}$ 는 설계 접기한 런을 정의합니다. 절편, 주효과 및 2 차 효과를 포함하는 모형을 추정할 있도록 설계에 중앙점이 추가됩니다. 따라서 짝수 k 에 대해 확증적 선별 설계의 최소 런 수는 $2k+1$ 입니다.
- k 가 홀수인 경우 $(k+1) \times (k+1)$ 컨퍼런스 행렬이 사용되고 마지막 열은 삭제됩니다. 중앙점이 추가됩니다. 따라서 홀수 k 에 대해 선별 설계의 최소 런 수는 $2k+3$ 입니다.

일부 요인이 범주형이고 컨퍼런스 행렬을 사용할 수 있는 경우 비슷한 프로시저가 사용됩니다. 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2013)에서 확인하십시오.

- 단일 중앙점 대신 두 개의 추가 런이 필요합니다. 이 두 런은 모든 연속형 요인이 중간 값으로 설정된 중앙점 런입니다.
- k 개 요인이 있고 k 가 짝수인 경우 설계의 런 수는 $2k+2$ 입니다.
- k 가 홀수인 경우 런 수는 $2k+4$ 입니다.

컨퍼런스 행렬을 사용할 수 없는 m 값에 대해서는 그 다음으로 큰 컨퍼런스 행렬을 사용하여 확증적 선별 설계를 구성할 수 있습니다. 결과적으로 필요한 런 수는 연속형 요인의 경우 $2k+3$, 범주형 요인의 경우 $2k+4$ 를 초과할 수 있습니다.

추가 런

추가 런은 가상 (가짜) 요인을 사용하여 구성됩니다. k_1 개의 가짜 요인을 설계에 추가하면 추가 런이 2^{k_1} 개 구성됩니다.

실험 연구에서 요인 수는 k 로 나타냅니다. 추가 런은 "컨퍼런스 행렬 및 런 수"(249 페이지)에서 설명한 대로 $k+k_1$ 요인에 대한 설계를 생성한 후 마지막 k_1 열을 삭제하여 구성됩니다. $k_1=2$ 인 경우 4 개의 추가 런이 구성됩니다. $k_1=3$ 인 경우 8 개의 추가 런이 구성됩니다. 추가 런이 4 개만 있어도 모형 선택에 매우 유용할 수 있습니다.

추가 런을 사용하는 방법에 대한 자세한 내용은 "확증적 선별 적합 플랫폼" 장의 "DSD 를 위한 유효 모형 선택"(255 페이지)에서 확인하십시오.

4 개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계

4 개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계는 5 개 요인의 확증적 선별 설계를 기준으로 사용하여 구성됩니다. 컨퍼런스 행렬 방법에 따라 엄격하게 구성된 $k \leq 4$ 요인 설계의 경우 바람직하지 않은 특성이 있기 때문입니다. 특히 2 차 효과 (second-order effect) 를 분리하기가 어렵습니다.

$k \leq 4$ 요인을 지정하면 5 개 요인에 대한 확증적 선별 설계가 구성되고 불필요한 열이 삭제됩니다. 따라서 $k \leq 4$ 요인이 포함된 블록화되지 않은 설계의 런 수는 모든 요인이 연속형인 경우 13 이고 일부 요인이 범주형인 경우에는 14 입니다.

실험 데이터 분석

일반적으로 이원 교호작용이 활성일 가능성을 허용하는 모형을 적합시키려고 합니다. 순수 2 차 항을 모형에 포함할 수도 있습니다. 완전 2 차 모형을 가정하거나, 특정 2 차 항만 포함하는 사전 모형을 지정할 수 있습니다.

이원 교호작용

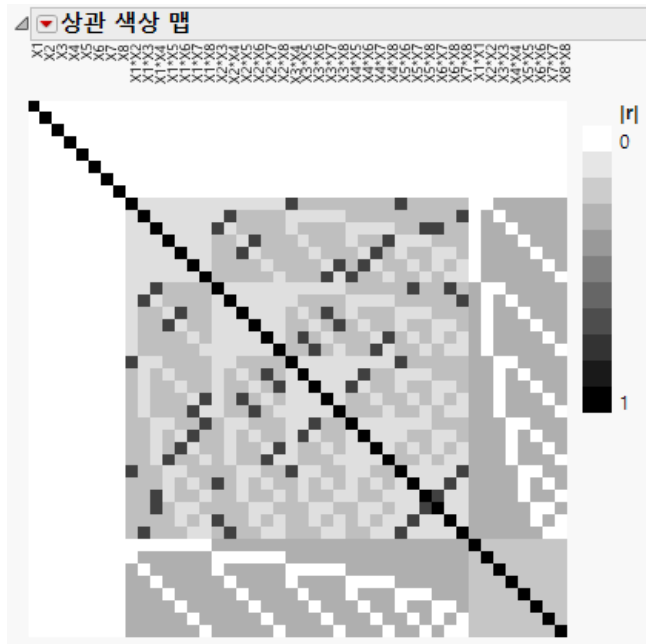
이러한 모형을 적합시킬 때 다음 두 가지 사실을 염두에 두어야 합니다.

- 이원 교호작용 효과와 2 차 효과는 상관되는 경우가 종종 있습니다.

- 이원 교호작용 효과와 2 차 효과를 모두 동시에 추정할 수는 없습니다.

그림 7.23 에서는 그림 7.22 에 나오는 8 개의 연속형 요인을 사용한 설계의 상관 색상 맵을 보여줍니다. 이 색상 맵은 완전 2 차 설계에 대한 것입니다. 8 개의 순수 2 차 효과는 맨 오른쪽에 나열됩니다. "DOE > 설계 진단 > 설계 평가" 를 사용하고 "별칭 항" 목록에 적절한 항을 입력하여 이 그림을 구성할 수 있습니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "[별칭 항](#)"(421 페이지) 에서 확인하십시오.

그림 7.23 완전 2 차 모형의 상관 색상 맵



효과 간 절대 상관을 보려면 커서를 사용하여 마우스 포인터를 색상 맵의 셀 위에 놓습니다. 주 효과는 모든 이원 교호작용 및 순수 2 차 효과와 상관관계가 없음을 알 수 있습니다. 또한 주대각 위에 빨간색 셀만 있으므로 다른 효과와 완전히 교락되는 효과가 없다는 것도 알 수 있습니다. 그러나 2 요인 교호작용 간의 절대 상관 중 일부는 0.75 로 상당히 큰 편입니다. 또한 2 요인 교호작용과 순수 2 차 효과 간의 절대 상관은 0 또는 0.3118 입니다.

주효과와 순수 2 차 효과만 활성화된 경우 주효과와 2 차 효과가 포함된 포화 모형을 적합시킬 수 있습니다. 이 모형은 3차 이상의 활성 효과가 없다고 가정할 때 비편향 효과 추정값을 산출합니다.

2 차 효과 (second-order effect) 와 관련된 상관관계 때문에 이원 교호작용이 포함된 모형을 적합시키는 데 주의해야 합니다. 분석 방법론에는 다음이 포함되며 첫 번째 방법이 선호됩니다.

- 유효 모형 선택 방법은 특히 많은 효과가 활성화될 가능성이 있는 경우에 적합합니다. 자세한 내용은 "확증적 선별 적합 플랫폼" 장의 "[DSD 를 위한 유효 모형 선택](#)"(255 페이지) 에서 확인하십시오.

- 단계별 전진 회귀 또는 모든 가능한 부분집합 회귀는 다음 조건이 충족될 경우에 적합합니다.
 - 활성 효과의 수가 런 수의 절반 이하입니다.
 - 활성 이원 교호작용이 최대 2 개이거나 활성 2 차 효과가 최대 1 개입니다.
- 자세한 내용은 " 단계별 전진 회귀 또는 모든 가능한 부분집합 회귀 "(252 페이지) 에서 확인하십시오.

단계별 전진 회귀 또는 모든 가능한 부분집합 회귀

이 방법은 먼저 전체 반응 표면 모형을 지정하는 것으로 구성됩니다 . 그 후 다음 중 하나를 수행합니다 .

- 모형 유전성을 보장하기 위해 " 중지 규칙 " 을 " 최소 AICc " 로 설정하고 " 규칙 " 을 " 결합 " 으로 설정한 상태로 단계별 전진 회귀를 사용합니다 .
- 모든 가능 모형 회귀를 사용합니다 . 이때 유전성 제한을 적용하는 옵션을 선택하고 모형 선택에 AICc 기준을 사용합니다 .

런 수가 모수의 수보다 적어서 전체 반응 표면 모형을 적합시킬 수 없습니다 . 따라서 효과 회소성 , 즉 활성 효과의 수가 런 수보다 적다는 가정하에 분석을 수행합니다 . 이 방법에는 다음과 같은 몇 가지 제한이 있습니다 .

- 활성 효과의 수가 런 수의 절반을 초과하면 단계별 회귀와 모든 가능 모형 회귀 둘 다 적절한 모형을 찾는 데 어려움이 있습니다 .
- 중간 2 차 효과를 감지하기 위한 검정력이 낮습니다 . 검정력이 0.9 를 초과하려면 2 차 효과가 오차 표준편차의 3 배보다 많아야 합니다 .
- 효과 교락 때문에 여러 모형이 동등해질 수 있습니다 . 교락을 해결하려면 추가 런이 필요합니다 .

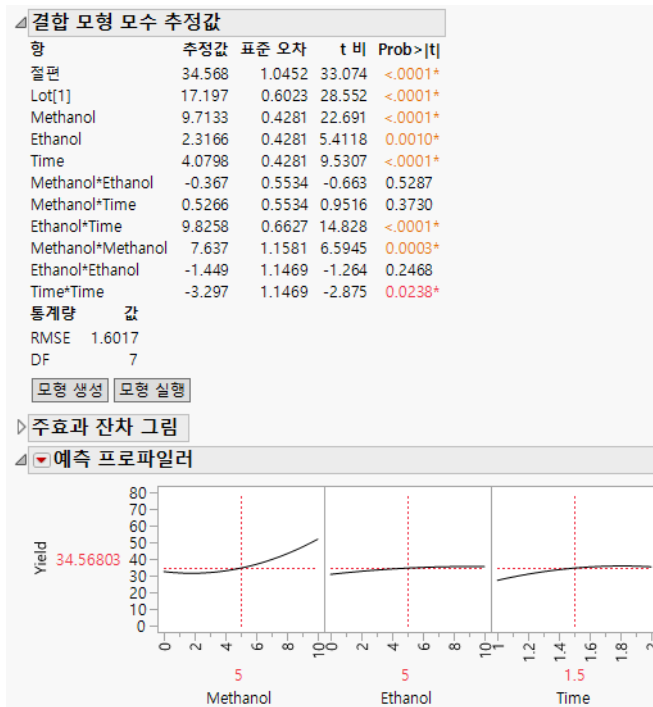
확증적 선별 적합 플랫폼

확증적 선별 실험의 데이터 분석

확증적 선별 적합 플랫폼을 사용하면 DSD 를 위한 유효 모형 선택이라는 방법론을 사용하여 DSD(확증적 선별 설계) 를 분석할 수 있습니다 . 이 방법론은 확증적 선별 설계의 고유 구조를 활용합니다 .

DSD 에 적용된 표준 모형 선택 방법을 사용하면 활성 효과를 식별하지 못할 수 있습니다 . DSD 를 위한 유효 모형 선택 알고리즘은 DSD 구조를 활용하여 활성 주효과와 2 차 효과 (second-order effect) 를 식별합니다 .

그림 8.1 확증적 선별 적합 결과



목차

확증적 선별 적합 플랫폼 개요	255
DSD에서 활성 효과 식별	255
DSD를 위한 유효 모형 선택	255
확증적 선별 적합 플랫폼의 예	256
모형 적합	256
결과 검토	256
모형 축소	258
확증적 선별 적합 플랫폼 시작	260
확증적 선별 적합 보고서	260
1단계 - 주효과 추정값	261
2단계 - 짝수 차수 효과 추정값	262
결합 모형 모수 추정값	263
주효과 잔차 그림	263
예측 프로파일러	263
확증적 선별 적합 플랫폼 옵션	264
확증적 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보	264
DSD를 위한 유효 모형 선택 알고리즘	264

확증적 선별 적합 플랫폼 개요

확증적 선별 적합 플랫폼은 DSD의 특수 구조를 활용하는 방법론을 사용하여 DSD(확증적 선별 설계)를 분석합니다. 이 방법론을 DSD를 위한 유효 모형 선택이라고 합니다. JMP에서 설계를 생성하면 "확증적 선별 적합"이라는 스크립트가 설계 테이블에 포함됩니다. 이 스크립트는 DSD를 위한 유효 모형 선택 방법론을 사용하여 자동으로 분석을 실행합니다.

DSD에서 활성 효과 식별

DSD는 단일 실험에서 주효과와 2차 효과(second-order effect)를 식별하는 데 유용한 3수준 설계입니다. 최소 런 크기 DSD는 활성 효과의 수가 런 수의 약 절반 미만인 경우와 효과 크기가 표준편차의 2배를 초과하는 경우에 높은 확률로 활성 항을 정확하게 식별할 수 있습니다.

그러나 4개 이상의 적절하게 선택된 런으로 최소 런 크기 DSD를 확대하면 높은 확률로 훨씬 더 많은 효과를 식별할 수 있습니다. 이러한 런은 추가 런이라고 하며 가짜 요인이라고 하는 가상의 비활성 요인에 해당합니다. 추가 런에 대한 자세한 내용은 "확증적 선별 설계"장의 "[확증적 선별 설계의 구조](#)"(248 페이지)에서 확인하십시오.

추가 런은 설계의 2차 효과(second-order effect) 감지 능력을 크게 향상시킵니다. 이러한 이유로 Jones and Nachtsheim(2016)에서는 최소 4회의 추가 런을 포함할 것을 권장합니다.

DSD를 위한 유효 모형 선택

DSD에 표준 모형 선택 방법이 적용되면 활성 효과를 식별하지 못할 수 있습니다. 자세한 내용은 Errore et al. (2017)에서 확인하십시오. 또한 표준 선택 방법은 DSD의 구조를 활용하지 않습니다. 확증적 선별 적합 플랫폼은 DSD의 구조를 최대한 활용하는 DSD를 위한 유효 모형 선택 방법을 사용합니다.

Jones and Nachtsheim(2016)에서는 표준 방법과 DSD를 위한 유효 모형 선택 방법을 사용한 시뮬레이션 연구 결과를 보고합니다. DSD에서 요인 수와 가짜 요인 수의 합을 c 로 나타냅니다. 여러 상황에서 활성 주효과 수가 3을 초과하면 최대 $c/2$ 개의 활성 2차 효과(second-order effect)를 명확하게 식별할 수 있습니다. 강한 효과 유전성을 가정할 때 활성 주효과가 3개 이하이면 모든 활성 2차 효과(second-order effect)를 명확하게 식별할 수 있습니다. 명확한 식별은 오차 표준편차에 대한 계수 절대값의 비율이 3을 초과하고 효과 감지를 위한 검정력이 0.80을 초과한다는 의미입니다.

확증적 선별 적합 플랫폼 기본 설정은 강한 효과 유전성을 가정합니다. 강한 효과 유전성은 A와 B가 모두 포함된 경우에만 $A*B$ 교호작용이 모형에 포함될 수 있음을 의미합니다. 강한 효과 유전성을 위해서는 모형 효과의 모든 낮은 차수 성분이 모형에 포함되어야 합니다. 활성 2차 효과(second-order effect)를 식별할 때 이 알고리즘은 강한 효과 유전성 및 앞에서 명확하게 식별할 수 있는 활성 2차 효과(second-order effect) 수에 대해 언급한 결과를 사용합니다.

DSD에서 주효과와 2차 효과(second-order effect)는 서로 직교합니다. DSD를 위한 유효 모형 선택 방법은 이 사실을 활용합니다. 반응의 선형 공간은 주효과가 차지하는 부분 공간과 이 부분

공간의 직교 여공간으로 구분됩니다. Miller and Sitter(2005)에서는 주효과가 차지하는 선형 부분 공간을 **홀수 공간**이라고 합니다. 주효과, 3 요인 효과, 5 요인 효과 등 홀수 효과에 대한 모든 정보가 이 공간에 포함되기 때문입니다. 또한 이 공간의 직교 여공간을 **짝수 공간**이라고 합니다. 절편, 2요인 효과, 4요인 효과 등 짝수 효과에 대한 모든 정보가 이 공간에 포함되기 때문입니다.

확증적 선별 적합은 이 개념을 따릅니다. 주효과가 차지하는 부분 공간은 홀수 공간입니다. 이 공간의 직교 여공간, 즉 짝수 공간에는 2 차 효과 (second-order effect) 와 블록 변수 (있는 경우) 가 포함됩니다. 이 알고리즘에 대한 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2016) 및 "[DSD 를 위한 유효 모형 선택 알고리즘](#)"(264 페이지) 에서 확인하십시오 .

확증적 선별 적합 플랫폼의 예

Extraction 3 Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 설계는 두 블록의 6 개 요인에 대한 확증적 선별 설계입니다. **2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가** 옵션을 선택하고 추가 런 수를 4 회로 지정하여 설계를 생성했습니다. 결과 설계에 포함된 런 수는 18 회입니다. 이 설계는 확증적 선별 설계의 분석을 탐색하는 데 사용됩니다.

- "[모형 적합](#)"
- "[결과 검토](#)"
- "[모형 축소](#)"

참고 : 연속형 요인과 범주형 요인이 있는 설계의 예를 보려면 Peanut Data.jmp 샘플 데이터 파일을 열고 "Fit Definitive Screening" 테이블 스크립트를 실행하십시오 .

모형 적합

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Extraction 3 Data.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 적합**을 선택합니다.
3. Yield 를 선택하고 **Y** 를 클릭합니다.
4. Lot ~ Time 을 선택하고 **X** 를 클릭합니다.
5. 확인을 클릭합니다.

적합은 2 단계 분석을 수행합니다. 알고리즘에 대한 자세한 내용은 "[확증적 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보](#)"(264 페이지) 에서 확인하십시오 .

결과 검토

1 단계 : 주효과 추정값

1 단계에서는 활성 가능성이 있는 주효과를 판별합니다.

그림 8.2 주효과에 대한 1 단계 보고서

1단계 - 주효과 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
Methanol	9.7133	0.3674	26.438	<.0001*	
Ethanol	2.3166	0.3674	6.3055	0.0015*	
Time	4.0798	0.3674	11.104	0.0001*	
통계량	값				
RMSE	1.3747				
DF	5				
☒ 이차항 강 유전성 따르기					
☒ 교호작용 강 유전 따르기					

참고 : 가짜 요인은 설계 또는 분석에서 요인으로 나타나지 않습니다.

자유도 2의 오차 제곱합은 두 개의 가짜 요인에 해당하는 4 회 런에서 계산됩니다. 가짜 요인은 비활성이므로 이 오차 분산 추정값은 비편향입니다. 각 주효과에 대해 주효과 반응 Y_{ME} 를 이 추정값과 대조하여 검정합니다. 이 예에서는 세 가지 요인 Methanol, Ethanol 및 Time 의 p 값이 임계값보다 작고 활성으로 유지됩니다. 임계값에 대한 자세한 내용은 "[1 단계 방법론](#)"(265 페이지)에서 확인하십시오.

세 가지 비활성 요인인 Propanol, Butanol 및 pH 의 변동은 가짜 요인 제곱합과 합동하여 그림 8.2에 표시된 자유도 5의 RMSE 통계량을 산출합니다.

2 단계 : 짝수 차수 효과 추정값

2 단계에서는 단계별 부분집합 선택 방법을 사용하여 활성 가능성이 있는 2 차 효과 (second-order effect) 목록을 생성합니다. 교호작용 및 2 차 항은 2 차 (second-order effect) 또는 짝수 차수 효과입니다.

그림 8.3 짝수 차수 효과에 대한 2 단계 보고서

2단계 - 짝수 순서 효과 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	34.568	1.3459	25.683	0.0015*	
Lot[1]	17.197	0.7757	22.171	0.0020*	
Methanol*Ethanol	-0.367	0.7127	-0.515	0.6581	
Methanol*Time	0.5266	0.7127	0.7389	0.5369	
Ethanol*Time	9.8258	0.8534	11.514	0.0075*	
Methanol*Methanol	7.637	1.4914	5.1208	0.0361*	
Ethanol*Ethanol	-1.449	1.477	-0.981	0.4299	
Time*Time	-3.297	1.477	-2.232	0.1552	
통계량	값				
RMSE	2.0626				
DF	2				

1 단계에서 세 가지 주효과가 활성으로 식별되었으므로 활성 2 차 효과 (second-order effect)에 대한 단계별 부분집합 선택 절차는 모든 2 차 효과 (second-order effect)가 포함될 때까지 계속될 수 있습니다. 2 단계에서 6 개의 2 차 효과 (second-order effect)가 모두 보고되므로 2 단계 RMSE가 1 단계 RMSE보다 더 큼니다. 자세한 내용은 "[2 단계 방법론](#)"(266 페이지)에서 확인하십시오.

2 단계 보고서에 제공된 자유도 2 의 RMSE 는 모든 2 차 효과 (second-order effect) 6 개의 최종 부분집합에서 얻은 오차 추정값입니다 .

결합 결과

모형에 대해 선택한 효과가 " 결합 모형 모수 추정값 " 보고서에 나열됩니다 .

그림 8.4 결합 모형 모수 추정값 보고서

결합 모형 모수 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
절편	34.568	1.0452	33.074	<.0001*
Lot[1]	17.197	0.6023	28.552	<.0001*
Methanol	9.7133	0.4281	22.691	<.0001*
Ethanol	2.3166	0.4281	5.4118	0.0010*
Time	4.0798	0.4281	9.5307	<.0001*
Methanol*Ethanol	-0.367	0.5534	-0.663	0.5287
Methanol*Time	0.5266	0.5534	0.9516	0.3730
Ethanol*Time	9.8258	0.6627	14.828	<.0001*
Methanol*Methanol	7.637	1.1581	6.5945	0.0003*
Ethanol*Ethanol	-1.449	1.1469	-1.264	0.2468
Time*Time	-3.297	1.1469	-2.875	0.0238*
통계량	값			
RMSE	1.6017			
DF	7			

보고서 맨 아래에 제공된 RMSE 와 자유도는 일반적인 표준 최소 제곱 통계량입니다 . 이러한 효과를 최종 모형에 대한 잠재 요인으로 사용합니다 .

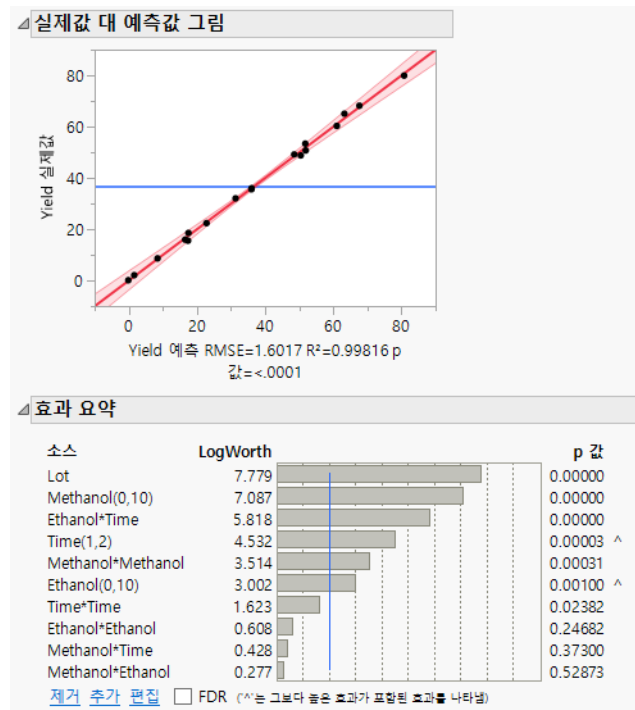
모형 축소

" 모형 생성 " 버튼은 " 모형 적합 " 규격 창에 나열된 항에 맞는 모형을 생성합니다 . 표준 최소 제곱을 사용하여 모형을 직접 실행하려면 " 모형 실행 " 버튼을 클릭합니다 .

1. 모형 실행을 클릭합니다 .

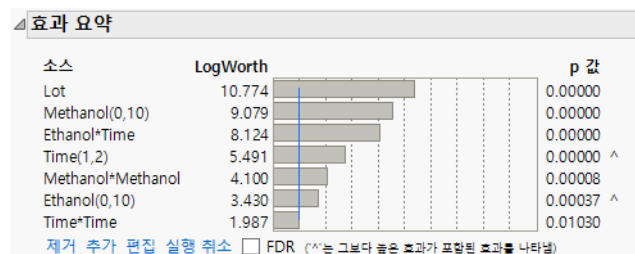
" 실제값 대 예측값 그림 " 은 적합 결여가 없음을 보여 줍니다 . " 효과 요약 " 보고서는 모형을 더 축소할 수 있음을 나타냅니다 .

그림 8.5 실제값 대 예측값 그림 및 효과 요약 보고서



- " 효과 요약 " 보고서에서 Methanol*Ethanol 을 선택하고 **제거**를 클릭합니다 .
Methanol*Time 의 p 값은 0.33750 입니다 . 다음에 이 효과를 제거합니다 .
- " 효과 요약 " 보고서에서 Methanol*Time 을 선택하고 **제거**를 클릭합니다 .
Ethanol*Ethanol 의 p 값은 0.15885 입니다 . 다음에 이 효과를 제거합니다 .
- " 효과 요약 " 보고서에서 Ethanol*Ethanol 을 선택하고 **제거**를 클릭합니다 .

그림 8.6 최종 모형의 효과를 보여 주는 효과 요약 보고서



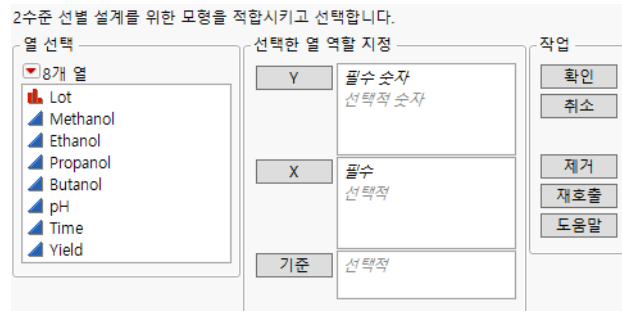
나머지 효과는 유의합니다 . 이러한 효과가 활성 효과인 것으로 결론을 내릴 수 있습니다 .

확증적 선별 적합 플랫폼 시작

확증적 선별 적합 플랫폼을 시작하려면 **DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 적합**을 선택합니다. 그림 8.7의 시작 창은 **Extraction3 Data.jmp**를 사용합니다.

참고: JMP에서 설계를 생성하면 "확증적 선별 적합"이라는 스크립트가 설계 테이블에 포함됩니다. 분석을 바로 시작하려면 이 스크립트를 실행하십시오.

그림 8.7 확증적 선별 적합 시작 창



Y 하나 이상의 수치형 반응 변수입니다.

X 연속형 또는 2 수준 범주형 요인입니다. 이 플랫폼은 분석을 수행할 때 DSD의 고유 기능을 사용하므로 이러한 요인으로 DSD 또는 설계 접기를 정의해야 합니다.

기준 각 수준으로 개별 분석을 정의하는 열입니다. 지정된 열의 각 수준에 대해 해당하는 행이 분석됩니다. 결과는 별도의 보고서에 나타납니다. 기준 변수가 둘 이상 할당되면 기준 변수의 가능한 각 수준 조합에 대해 개별 분석이 생성됩니다.

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 "시작하기" 장에서 확인하십시오.

확증적 선별 적합 보고서

- "1 단계 - 주효과 추정값"
- "2 단계 - 짝수 차수 효과 추정값"
- "결합 모형 모수 추정값"
- "주효과 잔차 그림"
- "예측 프로파일러"

1 단계 - 주효과 추정값

"주효과 추정값" 보고서에는 활성으로 식별된 주효과가 나열됩니다. p 값이 p 값 임계보다 작은 주효과가 활성으로 간주됩니다.

- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 있는 경우 모형과 독립적인 오차 분산 추정량이 생성됩니다. 이 추정값과 대조하여 주효과를 검정합니다.
- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 없는 경우 비활성 주효과에서 생성된 오차 분산 추정값과 대조하여 주효과 부분집합을 순차적으로 검정합니다. 이 절차를 실행하려면 하나 이상의 주효과가 비활성이어야 합니다.

두 경우 모두 비활성 주효과의 변동은 주효과를 검정하는 데 사용된 오차 분산에 통합됩니다.

그림 8.8 1 단계 보고서

1단계 - 주효과 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
Methanol	9.7133	0.3674	26.438	<.0001*
Ethanol	2.3166	0.3674	6.3055	0.0015*
Time	4.0798	0.3674	11.104	0.0001*
통계량	값			
RMSE	1.3747			
DF	5			
☒ 이차항 강 유전성 따르기				
☒ 교호작용 강 유전 따르기				

항 활성으로 식별된 주효과입니다. "[1 단계 방법론](#)"(265 페이지)에 설명된 대로 검정했을 때 이 효과의 p 값은 임계값보다 작습니다.

추정값 주효과에 대한 Y 회귀 적합의 모수 추정값입니다.

표준 오차 1 단계 RMSE 를 사용하여 계산된 추정값의 표준 오차입니다.

t 비 추정값을 표준 오차로 나눈 값입니다.

Prob>|t| t 비와 오차 DF(자유도)를 사용하여 계산된 p 값입니다.

RMSE 1 단계 분석 결과로 구한 평균 제곱 오차의 제곱근입니다.

- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 있는 경우, 평균 제곱 오차는 활성으로 식별되지 않은 주효과에서 생성되는 분산 추정값과 합동된 가짜 요인 또는 중앙점의 분산 추정값입니다.
- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 없는 경우, 평균 제곱 오차는 활성으로 식별되지 않은 주효과에서 생성되는 분산 추정값입니다.

DF RMSE 를 생성하는 데 사용되는 오차 추정값과 관련된 자유도입니다.

- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 있는 경우 DF 는 가짜 요인 수, 중앙점 반복 실험 수 및 활성으로 식별되지 않은 주효과 수의 합입니다.
- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 없는 경우 DF는 활성으로 식별되지 않은 주효과 수입니다.

2 차 항 강 유전성 따르기 2 단계에서 2 차 항에 적용되는 유전성 규칙을 제어하려면 선택하거나 선택 해제합니다.

교호작용 강 유전성 따르기 2 단계에서 교호작용에 적용되는 유전성 규칙을 제어하려면 선택하거나 선택 해제합니다.

참고 : 강한 효과 유전성은 A 와 B 가 모두 포함된 경우에만 A*B 교호작용이 모형에 포함될 수 있음을 의미합니다. 강한 효과 유전성을 위해서는 모형 효과의 모든 낮은 차수 성분이 모형에 포함되어야 합니다.

2 단계 - 짝수 차수 효과 추정값

"짝수 차수 효과 추정값" 보고서에는 활성으로 식별된 2 차 효과 (second-order effect) 가 나열됩니다. 활성 2 차 효과 (second-order effect) 는 "2 단계 방법론"(266 페이지)에 설명된 대로 단계별 변수 선택 절차 또는 전진 선택을 사용하여 식별됩니다. 블록 효과 (포함된 경우) 도 유의성과 관계없이 나열됩니다.

그림 8.9 2 단계 보고서

2단계 - 짝수 순서 효과 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	34.568	1.3459	25.683	0.0015*	
Lot[1]	17.197	0.7757	22.171	0.0020*	
Methanol*Ethanol	-0.367	0.7127	-0.515	0.6581	
Methanol*Time	0.5266	0.7127	0.7389	0.5369	
Ethanol*Time	9.8258	0.8534	11.514	0.0075*	
Methanol*Methanol	7.637	1.4914	5.1208	0.0361*	
Ethanol*Ethanol	-1.449	1.477	-0.981	0.4299	
Time*Time	-3.297	1.477	-2.232	0.1552	
통계량	값				
RMSE	2.0626				
DF	2				

항 활성으로 식별된 블록 요인 및 2 차 효과 (second-order effect) 입니다.

추정값 Y_{2nd} 로 정의된 2 단계 2 차 효과 (second-order effect) 에 대한 Y 회귀 적합의 모수 추정값입니다. 자세한 내용은 "반응 분해"(264 페이지)에서 확인하십시오.

표준 오차 2 단계 RMSE 를 사용하여 계산된 추정값의 표준 오차입니다.

t 비 추정값을 표준 오차로 나눈 값입니다.

Prob>|t| t 비와 오차 DF (자유도) 를 사용하여 계산된 p 값입니다.

RMSE 2 단계 분석 결과로 구한 평균 제곱 오차의 제곱근입니다. RMSE 는 활성으로 식별된 2 차 효과 (second-order effect) 를 적합시킨 후 Y_{2nd} 의 잔차 분산으로 추정됩니다. 자세한 내용은 "반응 분해"(264 페이지)에서 확인하십시오.

DF RMSE 를 생성하는 데 사용되는 오차 추정값과 관련된 자유도입니다.

결합 모형 모수 추정값

"결합 모형 모수 추정값" 보고서에는 최종 모형의 항과 각 항의 표준 최소 제곱 추정값, 표준 오차, t 비, p 값, RMSE 및 모형 자유도가 나열됩니다.

보고서 아래에는 결합 모형을 생성하거나 실행하는 버튼이 있습니다.

그림 8.10 결합 모형 모수 추정값 보고서

결합 모형 모수 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
절편	34.568	1.0452	33.074	<.0001*
Lot[1]	17.197	0.6023	28.552	<.0001*
Methanol	9.7133	0.4281	22.691	<.0001*
Ethanol	2.3166	0.4281	5.4118	0.0010*
Time	4.0798	0.4281	9.5307	<.0001*
Methanol*Ethanol	-0.367	0.5534	-0.663	0.5287
Methanol*Time	0.5266	0.5534	0.9516	0.3730
Ethanol*Time	9.8258	0.6627	14.828	<.0001*
Methanol*Methanol	7.637	1.1581	6.5945	0.0003*
Ethanol*Ethanol	-1.449	1.1469	-1.264	0.2468
Time*Time	-3.297	1.1469	-2.875	0.0238*
통계량	값			
RMSE	1.6017			
DF	7			
모형 생성 모형 실행				

모형 생성 "결합 모형 모수 추정값" 보고서의 모형 항과 "확증적 선별 적합" 분석에 지정된 반응을 포함하는 "모형 적합" 창에 대한 모형을 생성합니다. "표준 최소 제곱" 분석법이 지정됩니다.

모형 실행 "결합 모형 모수 추정값" 보고서의 모형 항과 "확증적 선별 적합" 분석에 지정된 반응에 대한 표준 최소 제곱 적합을 실행합니다.

주효과 잔차 그림

다른 모든 요인에 적합된 주효과 모형의 잔차 대 표시된 요인의 수준에 대한 그림을 보여 줍니다. 수준에 따라 잔차가 다른 요인은 중요한 주효과를 나타냅니다.

참고: 블록 요인에 대한 그림은 없습니다.

예측 프로파일러

결합 모형에 대한 예측 프로파일러를 보여 줍니다. 예측 프로파일러에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

확증적 선별 적합 플랫폼 옵션

1 단계 p 값 설정 1 단계에 사용되는 p 값 임계를 설정합니다. 자세한 내용은 "[1 단계 방법론](#)"(265 페이지)에서 확인하십시오.

2 단계 비율 설정 1 단계 MSE에 대한 2 단계 MSE의 비율을 지정합니다. 자세한 내용은 "[2 단계 방법론](#)"(266 페이지)에서 확인하십시오.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 "JMP 보고서"장에서 확인하십시오.

로컬 데이터 필터 특정 보고서에서 사용되는 데이터를 필터링할 수 있는 로컬 데이터 필터를 표시하거나 숨깁니다.

다시 실행 분석을 반복하거나 다시 시작할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 이 기능을 지원하는 플랫폼에서 "자동 재계산" 옵션은 해당하는 보고서 창에서 데이터 테이블에 대한 변경 사항을 즉시 반영합니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

확증적 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보

DSD를 위한 유효 모형 선택 알고리즘

이 섹션에서는 확증적 선별 적합 플랫폼에 사용되는 알고리즘의 요약 정보를 제공합니다. 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2016)에서 확인하십시오.

반응 분해

유효 모형 선택 알고리즘은 반응 Y 를 Y_{ME} 와 Y_{2nd} 라는 두 가지 반응으로 표현하여 $Y = Y_{ME} + Y_{2nd}$ 가 되도록 합니다.

- Y_{ME} 는 주효과 및 가짜 요인에 대한 Y 회귀에서 구한 예측값입니다.
설계의 접기 구조 때문에 Y_{ME} 에 블록 요인을 포함할 필요가 없습니다. 블록 요인은 Y_{2nd} 에 포함됩니다.
- Y_{2nd} 는 $Y_{2nd} = Y - Y_{ME}$ 로 지정됩니다.

참고: DSD에서 Y_{ME} 열과 Y_{2nd} 열은 직교입니다.

분석은 다음 두 단계로 진행됩니다.

- 1 단계: 반응 Y_{ME} 를 사용하여 주효과를 식별합니다. 1 단계에서는 활성으로 간주되는 주효과를 식별합니다.

- 2 단계 : 반응 Y_{2nd} 를 사용하여 2 차 효과 (second-order effect) 를 식별합니다 . 2 단계에서는 1 단계의 활성 주효과에 있는 모든 2 차 항을 고려하고 이러한 포함 효과 중에서 활성으로 간주되는 부분집합을 결정합니다 .

참고 : 블록 요인이 있으면 유의하지 않더라도 2 단계의 효과 목록에 포함됩니다 .

1 단계 방법론

1 단계 방법론은 설계에 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 포함되는지 여부에 따라 달라집니다 .

사례 1: 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 있는 경우

1. 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험을 사용하면 모형과 독립적인 오차 분산 추정량이 생성됩니다 . 3 차 이상의 홀수 차수 활성 효과가 없다고 가정할 경우 이 추정값은 비편향입니다 .
2. Y_{ME} 를 사용하여 주효과를 이 추정값과 대조하여 검정합니다 . p 값이 p 값 임계값보다 작은 주효과가 활성으로 간주됩니다 . 임계값은 다음과 같습니다 .
 - 오차 자유도가 1 인 경우 임계값은 0.20 입니다 .
 - 오차 자유도가 2 인 경우 임계값은 0.10 입니다 .
 - 오차 자유도가 3 이상인 경우 임계값은 0.05 입니다 .
 - 사용자 지정 p 값이 임계값입니다 .

참고 : 다른 p 값 임계를 지정하려면 " 확증적 선별 적합 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **1 단계 p 값 설정** 을 선택하십시오 .

3. 주효과의 p 값이 임계값보다 작지 않으면 활성 주효과 및 활성 2 요인 효과가 없다는 결론을 내립니다 . 절차가 종료됩니다 .
4. 활성 주효과가 발견되면 비활성 주효과의 변동이 (1) 에서 생성된 오차 분산과 통합됩니다 .

참고 : 범주형 요인이 설계에 있는 경우 주효과가 활성으로 선택될 때마다 추정 계수가 다시 계산됩니다 .

사례 2: 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 없는 경우

이 경우에는 모형에 독립적인 오차 분산 추정량이 제공되지 않습니다 . 비활성 주효과에서 생성된 오차 분산 추정값과 대조하여 주효과 부분집합을 순차적으로 검정합니다 . m 개의 주효과가 있다고 가정해 보겠습니다 .

1. Y_{ME} 를 반응으로 사용한 추정 효과의 절대값이 내림차순으로 정렬됩니다 .
2. 각 $1 \leq i < m$ 에 대해 절대값이 i^{th} 번째로 큰 효과를 해당 효과 및 절대값이 더 큰 모든 효과 포함된 모형의 조정된 잔차 제곱합과 대조하여 검정합니다 .
3. 모형에서 p 값이 가장 작은 효과가 활성 효과로 간주됩니다 .

4. 활성 주효과가 발견되면 비활성 주효과와 변동을 사용하여 Y_{ME} 를 반응으로 사용한 오차 분산의 추정값을 생성합니다.

참고 : 사례 2 에서 확증적 선별 적합 절차가 제대로 작동하려면 주효과 중 하나 이상이 활성이어야 하고 하나 이상이 비활성이어야 합니다 . 활성 주효과가 없거나 모든 주효과가 활성이면 절차에서 주효과 집합이 식별되지만 해당 부분집합을 얻기 위한 절차의 정확성이 떨어집니다 .

2 단계 방법론

2 단계에서 고려되는 요인은 강 유전성 옵션에 따라 달라집니다 . 강 유전성이 선택되면 1 단계에서 주효과가 활성으로 식별된 요인과 관련된 2 차 효과 (second-order effect) 만 고려됩니다 . 2 단계 방법론은 1 단계에서 식별된 활성 주효과와 수에 따라 달라집니다 .

사례 1: 활성 주효과가 7 개 이하인 경우

2 단계에서는 단계별 부분집합 선택 절차를 사용합니다 . 목표는 1 단계의 RMSE 에 대한 2 단계의 RMSE 비율이 지정된 임계값보다 큰 경우 계속해서 모형에 2 차 효과 (second-order effect) 를 추가하는 것입니다 . 비율이 임계값보다 작거나 같으면 모형에 추가할 2 차 효과 (second-order effect) 가 더 없음을 나타냅니다 . 기본 임계값은 1 입니다 . 임계값이 작을수록 더 큰 임계값에 비해 활성으로 식별될 수 있는 항 수가 증가합니다 .

참고 : RMSE 비율 임계값을 1 이 아닌 다른 값으로 지정하려면 " 확증적 선별 적합 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **2 단계 비율 설정** 을 선택하십시오 .

2 단계에서

- 오차 자유도가 1 인 경우 임계값은 0.20 입니다 .
 - 오차 자유도가 2 인 경우 임계값은 0.10 입니다 .
 - 오차 자유도가 3 이상인 경우 임계값은 0.05 입니다 .
 - 사용자 지정 p 값이 임계값입니다 .
1. Y_{2nd} 의 변동을 1 단계의 오차 추정값과 대조하여 검정한 후 2 차 효과 (second-order effect) 로 인한 추가 변동이 있는지 여부를 판별합니다 .
 - 이 검정의 p 값이 임계값을 초과하면 절차가 종료되고 활성 2 차 효과 (second-order effect) 가 식별되지 않습니다 .
 2. 이 검정의 p 값이 임계값보다 작거나 같으면 k 크기 ($k = 1, 2, 3, \dots$) 의 부분집합이 $k = 1$ 부터 시작하여 계속 검정됩니다 .
 3. 각 k 에 대해 해당 크기의 각 부분집합에 대한 잔차 제곱합을 1 단계의 오차 추정값과 대조하여 검정합니다 . RMSE 가 가장 작은 부분집합이 식별됩니다 .
 4. 1 단계 RMSE 에 대한 RMSE 의 비율이 2 단계 비율보다 작은 k 가 발견될 때까지 절차가 계속됩니다 .
 5. 최종값 k 에 해당하는 앞선 부분집합의 효과는 활성 2 요인 효과로 간주됩니다 .

사례 2: 활성 주효과가 8 개 이상인 경우

1 단계에서 활성 주효과가 8 개 이상 식별된 경우 2 단계에서는 2 차 항에 대해 전진 선택을 사용합니다.

선별 설계는 산업 실험에 가장 많이 사용되는 설계 중 하나입니다. 대개 실험 초기 단계에서 사용되며 여러 요인을 검토하여 반응에 가장 큰 영향을 미치는 요인을 식별합니다. 요인이 식별되면 좀 더 민감한 설계를 사용하여 해당 요인을 연구합니다. 일반적으로 선별 설계에 필요한 실험 런 수가 다른 설계보다 적기 때문에 공정 개선을 시작하기 위한 비교적 저렴하고 효율적인 방법입니다.

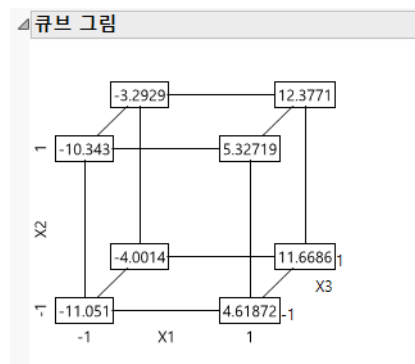
실험 상황에 맞는 표준 선별 설계가 있는 경우 몇 가지 표준 선별 설계 중에서 선택할 수 있습니다. 해당되는 경우 블록화된 설계도 목록에 포함됩니다. 요인은 2 수준 연속형 요인, 3 수준 범주형 요인 또는 이산형 값만 가정할 수 있는 연속형 요인 (이산 수치형 요인) 일 수 있습니다.

그러나 표준 선별 설계를 사용할 수 없는 상황이 있습니다. 이러한 경우 선별 설계 플랫폼은 주효과 선별 설계를 구성합니다. 주효과 선별 설계는 직교 또는 근사 직교 설계입니다. 이 설계는 무시할 수 있는 교호작용이 있는 경우 주효과를 추정하는 데 중점을 둡니다.

또한 JMP 는 다음과 같이 선별 설계를 대신하는 두 가지 방법을 제공합니다.

- 확증적 선별 설계는 활성 2 요인 교호작용이 있다고 생각되거나, 반응에 대한 연속형 요인의 효과 그림에 강한 곡률이 나타난다고 의심되는 경우에 특히 유용합니다. 자세한 내용은 7 장, "확증적 선별 설계" 에서 확인하십시오.
- 사용자 설계는 다른 방법을 사용하여 구성한 설계보다 훨씬 유연하고 비용 효율적입니다. 자세한 내용은 4 장, "사용자 설계" 에서 확인하십시오.

그림 9.1 부분 요인 설계의 결과



목차

선별 설계 개요	271
기본 원리	271
선별 설계 결과 분석	271
선별 설계의 예	272
부분 요인 설계와 주효과 선별 설계 비교	272
표준 설계가 없는 경우의 주효과 선별 설계	279
선별 설계 창	281
반응	282
요인	284
선별 유형 선택	286
부분 요인 설계 목록에서 선택	287
설계 유형	287
교락 측도를 나타내는 해상도	290
설계 표시 및 수정	291
주효과 선별 설계	293
설계 생성	294
설계	295
설계 평가	295
출력 옵션	295
테이블 생성	297
선별 설계 옵션	297
선별 설계의 추가 예	300
부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정	300
Plackett-Burman 설계	306

선별 설계 개요

선별 실험은 대개 규모가 작고 반응에 영향을 미치는 요인을 식별하는 데 목적이 있습니다. 정교한 모델링 대신 식별이 목표이므로 선별 설계의 연속형 요인은 보통 두 가지 수준으로 설정됩니다. 그러나 선별 상황에 이산 수치형 요인이나 범주형 요인도 포함될 수 있으며 이 경우 전통적 선별 설계는 상황에 적합하지 않을 수 있습니다. 선별 설계 플랫폼은 세 가지 유형의 요인, 즉 2 수준 연속형 요인, 범주형 요인 및 이산 수치형 요인을 모두 처리할 수 있습니다.

이 설계에는 다음과 같은 두 가지 유형이 있습니다.

- 전통적 설계: 표준 선별 설계가 있는 경우 부분 요인 설계, Plackett-Burman, Cotter 및 혼합 수준 설계가 포함된 목록에서 선택할 수 있습니다.
- 주효과 선별 설계: 표준 설계가 가능한지 여부에 관계없이 JMP에 주효과 선별 설계를 구성하도록 요청할 수 있습니다. 이 설계는 직교 또는 근사 직교이며, 무시할 수 있는 교호작용이 있는 경우 주효과를 추정하는 데 중점을 둡니다. 자세한 내용은 "[주효과 선별 설계](#)"(293 페이지)에서 확인하십시오.

기본 원리

실험 공정의 초기에 주효과 연구에 중점을 두는 것은 효과 계층성이라는 경험적 원리에 의해 뒷받침됩니다. 이 원리는 낮은 차수 효과가 높은 차수 효과보다 중요할 가능성이 높다고 주장합니다. 이러한 이유로 선별 설계는 활성 주효과를 식별하는 데 중점을 둡니다. 차수가 높은 교호작용에 관심이 있는 경우 선별 설계는 2 요인 교호작용이 3 요인 교호작용보다 중요하다고 가정합니다. 자세한 내용은 Wu and Hamada(2009) 및 "DOE로 시작" 장의 "[효과 계층성](#)"(56 페이지)에서 확인하십시오.

선별 설계의 효율성은 효과 회소성 원리에도 영향을 받습니다. 효과 회소성 원리는 반응에 대한 대부분의 변동이 상대적으로 적은 수의 효과로 설명된다고 주장합니다. 자세한 내용은 "DOE로 시작" 장의 "[효과 회소성](#)"(57 페이지)에서 확인하십시오.

효과 회소성의 중요성을 제대로 이해하기 위해 7 개의 2 수준 요인이 있다고 가정해 보겠습니다. 완전 요인 설계와 선별 설계를 비교해 보십시오.

- 완전 요인 설계는 요인 수준의 모든 조합으로 구성됩니다. 런 수는 각 요인에 대한 수준 수의 곱입니다. 이 예에서 완전 요인 설계의 런 수는 $2^7 = 128$ 회입니다.
- 반면에 선별 설계에는 완전 요인 설계의 런 중 일부만 필요합니다. 7 개 요인의 주효과를 8 회 런 선별 설계로 연구할 수 있습니다.

선별 설계 결과 분석

선별 설계는 많은 수의 요인 또는 교호작용을 검정하는 데 종종 사용됩니다. 오차 자유도가 있어 오차 추정값을 생성할 수 있는 경우 일반적인 회귀 기법을 사용하여 실험 결과를 분석할 수 있습니다("분석 > 모형 적합").

그러나 오차 자유도가 없는 경우가 있습니다 . 이 경우 효과 회소성을 가정하면 선별 플랫폼 ("DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합 ") 에서 2 수준 설계의 결과를 분석하는 방법을 제공합니다 . 선별 플랫폼은 여러 개의 반응과 요인을 허용합니다 . 그림과 통계량으로 유의한 효과를 자동으로 표시합니다 . 자세한 내용은 "2 수준 선별 적합 플랫폼 " 장 (311 페이지) 에서 확인하십시오 . 현재 장에 나오는 예는 "부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정 "(300 페이지) 및 "Plackett-Burman 설계 "(306 페이지) 에서 확인하십시오 .

선별 설계의 예

- "부분 요인 설계와 주효과 선별 설계 비교 "
- "표준 설계가 없는 경우의 주효과 선별 설계 "

부분 요인 설계와 주효과 선별 설계 비교

이 예에서는 엔지니어가 전자 빔 용접기를 사용하여 두 부품을 결합하는 공정을 조사하려는 경우를 가정해 보겠습니다 . 엔지니어는 두 부품을 용접 고정기에 꼭 맞게 끼웁니다 . 빔 발전기에 전압이 가해지면 두 부품을 가열하는 전자 흐름이 생성되어 융합을 일으킵니다 . 융합 영역의 이상적인 깊이는 0.17 인치입니다 . 엔지니어는 용접 공정을 연구하여 빔 발전기에서 원하는 융합 영역 깊이를 만들 수 있는 최적의 설정을 판별하려고 합니다 .

이 연구를 위해 엔지니어는 다음과 같은 7 개 요인을 탐색하려고 합니다 .

- Operator 는 용접기를 조작하는 기술자입니다 . 일반적으로 두 명의 기술자가 기계를 작동합니다 .
- Speed(rpm) 는 부품이 빔 아래에서 회전하는 속도입니다 .
- Current(암페어) 는 빔 강도에 영향을 주는 전류입니다 .
- Mode 는 사용되는 용접 방법입니다 .
- Wall Size(mm) 는 부품 벽의 두께입니다 .
- Geometry 는 조인트가 V 형 조인트인지 아니면 K 형 조인트인지를 나타냅니다 .
- Material 은 용접되는 재료 유형입니다 .

여기서 세 가지 요인 Speed, Current, Wall Size 는 연속형입니다 . 네 가지 요인 Operator, Mode, Geometry 및 Material 은 범주형입니다 . 각 범주형 요인의 수준은 2 개입니다 .

엔지니어는 각 공정이 실행된 후 부품을 반으로 자릅니다 . 이로써 두 부품이 융합된 부분이 드러납니다 . 이 융합 영역의 길이 (인치) 는 용입 깊이입니다 . 용입 깊이가 이 연구의 반응입니다 .

연구 목표는 다음과 같습니다 .

- 용접 깊이에 영향을 주는 요인을 찾습니다 .
- 요인 효과를 계량화합니다 .
- 용접 깊이 0.17 인치 (공차 ± 0.05 인치) 를 예측하는 특정 요인 설정을 찾습니다 .

실험 예산으로 최대 12 회 런이 가능합니다. 실험 상황에 대한 두 가지 설계를 구성하고 비교해 봅니다. 첫 번째 방법은 8 회 런을 사용한 전통적 부분 요인 설계입니다. 두 번째 방법은 12 회 런을 사용한 주효과 선별 설계입니다.

표준 선별 설계 구성

이 섹션에서는 현재 실험 상황에 대한 표준 선별 설계를 구성합니다.

반응 지정

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.
2. "반응" 패널에서 "반응 이름" 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 **Depth** 를 입력합니다.
기본 목표는 "최대화"로 되어 있습니다. 이 실험에서는 허용 한계 (0.12, 0.22) 내에서 목표 값이 0.17 을 얻을 수 있는 요인 설정을 찾으려고 합니다.
3. 기본 목표 "최대화"를 클릭한 후 **목표값 일치**로 변경합니다.
4. **하한** 아래를 클릭하고 0.12 를 입력합니다.
5. **상한** 아래를 클릭하고 0.22 를 입력합니다.
6. **중요도** 아래 영역은 비워 둡니다.

반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1 로 지정됩니다.

완료된 반응 개요는 그림 9.2 에 나와 있습니다. 이제 요인을 지정합니다.

요인 지정

수동 또는 자동으로 요인을 입력할 수 있습니다.

- 요인을 수동으로 입력하려면 "**수동으로 요인 지정**"(273 페이지)의 내용을 참조하십시오.
- 요인을 자동으로 입력하려면 **Weld Factors.jmp** 데이터 테이블을 사용하십시오.
 1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Weld Factors.jmp**를 엽니다.
 2. "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다. "**설계 선택**"(274 페이지)으로 진행합니다.

수동으로 요인 지정

1. **N 개 요인 추가** 상자에 **3** 을 입력하고 **연속형**을 클릭합니다.
2. X1 을 두 번 클릭하고 **Speed** 를 입력합니다.
3. Tab 키를 사용하여 나머지 값 및 요인에서 이동합니다. 다음과 같이 변경합니다.
 - a. **Speed** 값을 3 과 5 로 변경합니다.
 - b. X2 를 **Current** 로 변경하고 값을 150 과 165 로 변경합니다.

- c. X3 을 Wall Size 로 변경하고 값을 20 과 30 으로 변경합니다 .
4. **N 개 요인 추가** 상자에 **4** 를 입력하고 **범주형 > 2 수준**을 선택합니다 .
5. X4 를 두 번 클릭하고 **Operator** 를 입력합니다 .
6. Tab 키를 사용하여 나머지 값 및 요인에서 이동합니다 . 다음과 같이 변경합니다 .
 - a. **Operator** 값을 John 과 Mary 로 변경합니다 .
 - b. X5 를 **Mode** 로 변경하고 값을 **Conductance** 와 **Keyhole** 로 변경합니다 .
 - c. X6 을 **Geometry** 로 변경하고 값을 **Double** 과 **Single** 로 변경합니다 .
 - d. X7 을 **Material** 로 변경하고 값을 **Aluminum** 과 **Magnesium** 으로 변경합니다 .

그림 9.2 용접 실험을 위한 반응 및 요인 개요

선별 설계

반응

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Depth	목표값 일치	0.12	0.22	.

요인

이름	역할	값
Speed	연속형	3 ~ 5
Current	연속형	150 ~ 165
Wall Size	연속형	20 ~ 30
Operator	범주형	John ~ Mary
Mode	범주형	Conductance ~ Keyhole
Geometry	범주형	Double ~ Single
Material	범주형	Aluminum ~ Magnesium

요인 지정

해당 버튼을 클릭하여 연속형 또는 범주형 요인을 추가하십시오.
편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

설계 선택

1. **계속**을 클릭합니다 .

지정한 요인과 수준 조합을 표준 부분 요인 설계에서 수용할 수 있으므로 "선별 유형 선택" 패널이 나타납니다 . 목록에서 표준 설계를 선택하거나 주효과 설계를 구성할 수 있습니다 .

참고 : 다음 단계에서 난수 시드값을 설정하면 이 예에 나오는 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다 .

2. (선택 사항) "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다 .
3. 기본 선택인 **부분 요인 설계 목록에서 선택**을 적용하고 **계속**을 클릭합니다 .

4. 첫 번째 부분 요인 설계를 선택합니다.

그림 9.3 연속형 요인 3 개와 범주형 요인 4 개에 대한 설계 목록

설계 목록		
목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.		
수 런	블록 크기	해상도 설계 유형
8		부분 요인
12		Plackett-Burman
16		부분 요인
16 8		부분 요인
16 4		부분 요인
16 2		부분 요인
32		부분 요인
32 16		부분 요인
32 8		부분 요인
32 4		부분 요인
32 2		부분 요인
64		부분 요인
64 32		부분 요인
64 16		부분 요인

이렇게 하면 8 회 런의 해상도 3 부분 요인 설계가 지정됩니다. 해상도에 대한 자세한 내용은 "[교락 측도를 나타내는 해상도](#)"(290 페이지)에서 확인하십시오.

5. **계속**을 클릭합니다.

"출력 옵션" 개요에서 "런 순서"가 **랜덤화**로 설정되어 있습니다. 이는 설계 런이 랜덤 순서로 나타난다는 의미입니다. 이 순서대로 실험 런을 구성해야 합니다.

그림 9.4 완료된 선별 설계 창

선별 설계

반응

반응 추가 ▼ 제거 반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Depth	목표값 일치	0.12	0.22	.

선택적 항목

요인

연속형 이산 수치형 범주형 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	값
Speed	연속형	3 5
Current	연속형	150 165
Wall Size	연속형	20 30
Operator	범주형	John Mary
Mode	범주형	Conductance Keyhole
Geometry	범주형	Double Single
Material	범주형	Aluminum Magnesium

설계 표시 및 수정

▶ 생성 규칙 변경

▶ 효과의 별칭 구조

▶ 코드화된 설계

▶ 설계 평가

출력 옵션

런 순서: 랜덤화 ▼

설계에서 JMP 테이블 생성

중앙점 수: 0

반복 실험 수: 0

테이블 생성

뒤로

6. "설계 표시 및 수정"에서 "효과 of 별칭 구조" 개요를 엽니다.

그림 9.5 8 회 런 부분 요인 설계의 별칭 구조

효과 of 별칭 구조

효과	별칭
Speed	= Current*Material = Wall Size*Geometry = Operator*Mode
Current	= Speed*Material = Wall Size*Mode = Operator*Geometry
Wall Size	= Speed*Geometry = Current*Mode = Operator*Material
Operator	= Speed*Mode = Current*Geometry = Wall Size*Material
Mode	= Speed*Operator = Current*Wall Size = Geometry*Material
Geometry	= Speed*Wall Size = Current*Operator = Mode*Material
Material	= Speed*Current = Wall Size*Operator = Mode*Geometry

해상도 3 설계를 선택했습니다 (그림 9.3). 해상도 3 설계에서는 일부 주효과가 이원 교호작용과 교락됩니다. "효과 of 별칭 구조" 개요에서는 이 해상도 3 설계에서 모든 주효과가 3 개의 이원 교호작용과 완전히 교락되어 있음을 나타냅니다. 이원 교호작용의 활성이 의심된다면 이것은 잘못된 설계입니다. 교락에 대한 설명은 "2 수준 정칙 부분 요인 "(288 페이지) 에서 확인하십시오.

7. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 9.6 설계 데이터 테이블

	패턴	Speed	Current	Wall Size	Operator	Mode	Geometry	Material	Depth
1	++++++	5	165	30	Mary	Keyhole	Single	Magnesium	•
2	--+--+	3	165	20	Mary	Conductance	Single	Aluminum	•
3	+--+--	5	150	30	John	Conductance	Single	Aluminum	•
4	-----	3	150	20	John	Keyhole	Single	Magnesium	•
5	--+--+	3	165	30	John	Keyhole	Double	Aluminum	•
6	++++++	5	165	20	John	Conductance	Double	Magnesium	•
7	+--+--	5	150	20	Mary	Keyhole	Double	Aluminum	•
8	--+--+	3	150	30	Mary	Conductance	Double	Magnesium	•

다음을 확인할 수 있습니다.

- 이 테이블에는 앞에서 지정한 반응, 요인 및 수준 이름이 사용됩니다.
- 패턴 열에는 설계 런에 대한 상한 및 하한 설정 할당이 표시됩니다.
- 이 부분 요인 설계는 해상도 3 설계입니다. 이 설계를 사용하여 8 회 런으로 7 개 요인의 주효과를 연구할 수 있습니다.

주효과 선별 설계 생성

주효과 선별 설계는 직교 또는 근사 직교 설계입니다. 이 섹션에서는 7 개 요인에 대한 주효과 선별 설계를 구성합니다.

1. " 선별 설계 " 창을 엽니다. 창을 닫았으면 설계 데이터 테이블에서 **DOE 대화상자** 스크립트를 실행합니다.
2. **뒤로**를 클릭합니다.
3. **계속**을 클릭합니다.

참고 : 다음 두 단계에서 난수 시드값과 시작 수를 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

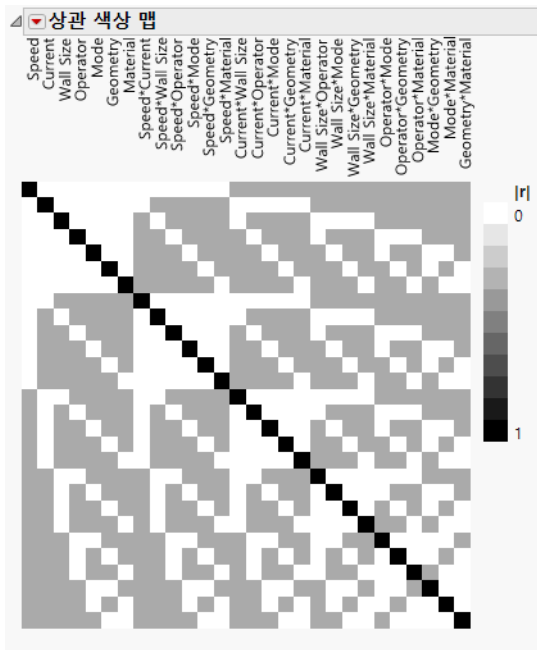
4. (선택 사항) " 선별 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
5. (선택 사항) " 선별 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 50 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
6. " 선별 유형 선택 " 패널에서 **주효과 선별 설계 생성** 옵션을 선택합니다.
7. **계속**을 클릭합니다.
" 런 수 " 아래에 런 수가 12 로 설정된 **기본값** 옵션이 선택되어 있습니다. 이 설정을 그대로 유지합니다.
8. **설계 생성**을 클릭합니다.

그림 9.7 주효과 선별 설계

Run	Speed	Current	Wall Size	Operator	Mode	Geometry	Material
1	3	165	20	John	Conductance	Single	Aluminum
2	5	150	30	Mary	Conductance	Double	Aluminum
3	3	150	30	John	Keyhole	Double	Aluminum
4	5	165	20	Mary	Keyhole	Double	Magnesium
5	3	165	20	Mary	Conductance	Double	Aluminum
6	5	150	20	John	Conductance	Double	Magnesium
7	3	150	30	Mary	Conductance	Single	Magnesium
8	5	150	20	John	Keyhole	Single	Aluminum
9	3	165	30	John	Keyhole	Double	Magnesium
10	5	165	30	John	Conductance	Single	Magnesium
11	3	150	20	Mary	Keyhole	Single	Magnesium
12	5	165	30	Mary	Keyhole	Single	Aluminum

9. "설계 평가" 개요를 열고 "상관 색상 맵" 개요를 엽니다.

그림 9.8 12 회 런 주효과 선별 설계의 상관 색상 맵



"상관 색상 맵"에서는 주효과 간에 상관관계가 없음을 보여 줍니다. 이는 색상 맵 왼쪽 위의 흰색 비대각 셀로 표시됩니다. 각 주효과는 일부 이원 교호작용과 부분적으로 별칭 관계가 있습니다 (회색 셀로 표시). 회색 셀 중 하나를 커서로 가리키면 절대 상관이 0.333임을 확인할 수 있습니다.

이 경우 12 회 런 주효과 선별 설계는 Plackett-Burman 설계이며 "설계 목록"에서 선택할 수 있습니다. 그러나 많은 설계 상황에서는 주효과 설계에서 발생하는 부분 별칭 구조가 실험 상황에 맞게 조정한 부분 요인 설계에서 발생하는 완전 교락보다 낫습니다.

다음 섹션에서는 표준 설계가 없는 상황에 대한 예를 보여 줍니다. 이 경우 JMP 는 주효과 선별 설계를 구성합니다.

표준 설계가 없는 경우의 주효과 선별 설계

주효과 선별 설계는 주효과에 대한 직교 또는 근사 직교 설계입니다. 표준 설계가 없는 상황에서 표준 설계 대신 이 설계를 사용할 수 있습니다. 주효과 선별 설계는 교호작용을 무시할 수 있는 경우 주효과를 추정하는 데 탁월합니다.

다음 실험 상황에서는 표준 설계가 없습니다. 각각 수준이 4 개, 6 개인 범주형 요인 2 개와 연속형 요인이 11 개인 총 13 개 요인을 연구하기 위한 설계가 필요합니다.

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.

"반응" 패널에 Y 라는 기본 반응이 하나 있습니다. 기본 반응을 그대로 유지합니다.

2. "요인" 패널에서 **범주형**을 클릭하고 **4 수준**을 선택합니다.

L1 ~ L4 수준이 지정된 X1 변수가 추가됩니다.

3. **범주형**을 클릭하고 **6 수준**을 선택합니다.

L1 ~ L6 수준이 지정된 X2 변수가 추가됩니다.

4. **N 개 요인 추가** 옆에 11 을 입력합니다.

5. **연속형**을 클릭합니다.

각각 두 개의 수준 (-1 과 1) 이 지정된 11 개 요인 X3 ~ X13 이 추가됩니다.

6. **계속**을 클릭합니다.

"설계 생성" 패널이 나타납니다.

이 상황에서 사용할 수 있는 표준 설계가 없으므로 "설계 목록"에서 설계를 선택하는 옵션이 없습니다.

기본 런 수, 24 를 그대로 유지합니다.

그림 9.9 설계 생성 패널이 있는 13 개 요인 설계를 위한 선별 설계 창

반응

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
선택적 항목	최대화			

요인

이름	역할	값
X1	범주형	L1 L2 L3 L4
X2	범주형	L1 L2 L3 L4 L5 L6
X3	연속형	-1 1
X4	연속형	-1 1
X5	연속형	-1 1

설계 생성

런 수:

☐ 최소값 20

☒ 기본값 24

☐ 사용자 지정 24

설계 생성

뒤로

7. **설계 생성**을 클릭합니다.

"설계" 및 "설계 평가" 개요가 나타납니다.

8. "설계" 개요를 열어 랜덤화된 설계를 확인합니다.

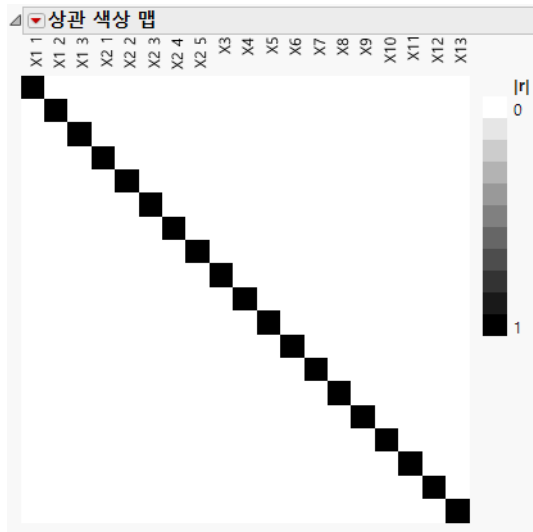
참고 : 설계를 생성하는 알고리즘은 랜덤 시작 설계를 사용합니다. 이 설계를 재현하려면 보고서 제목 옆의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **스크립트를 스크립트 창에 저장**을 선택하여 난수 시드값과 함께 스크립트를 저장하십시오.

이제 "상관 색상 맵"을 검토하여 이 특정 설계가 직교인지 확인합니다.

9. **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

색상 맵 (그림 9.10)의 주대각 위에 검은색 항목 (JMP 기본 색상 사용)이 표시되어 상관관계수가 1인 상관관계를 나타냅니다. 각 주대각 셀은 항 자체의 상관관계 (1)에 해당하기 때문입니다. 비대각 상관은 모두 흰색이며 개별 항 간의 상관관계가 0임을 나타냅니다. 셀 위에 마우스 포인터를 놓으면 관련 항 및 해당 항의 절대 상관이 표시됩니다.

그림 9.10 상관 색상 맵



10. **테이블 생성**을 클릭하여 설계 테이블을 구성합니다.

이 테이블에는 실험 런이 랜덤 순서로 포함되어 있습니다. 랜덤화된 이 순서로 실험을 수행하고 결과를 Y 열에 삽입합니다. 데이터 테이블에서 **모형** 스크립트를 실행하여 결과를 분석합니다.

선별 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "선별 설계" 창이 업데이트됩니다. 자세한 내용은 ["DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계"](#) (52 페이지) 에서 확인하십시오. 개요는 창을 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타납니다. 이러한 개요는 아래 그림의 흐름을 따릅니다.

그림 9.11 표준 설계가 있을 때 선별 설계 흐름

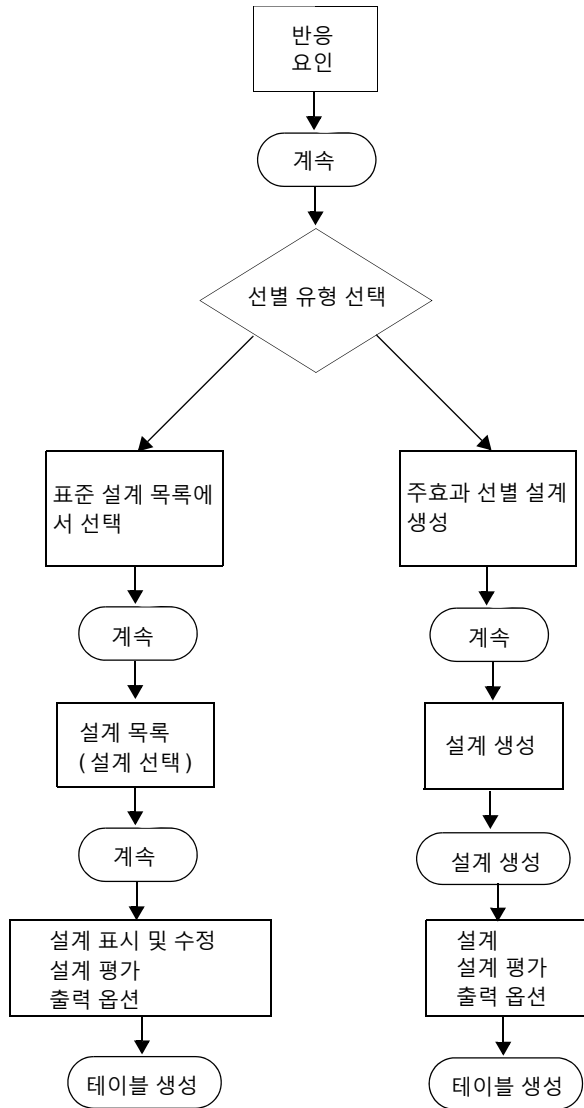
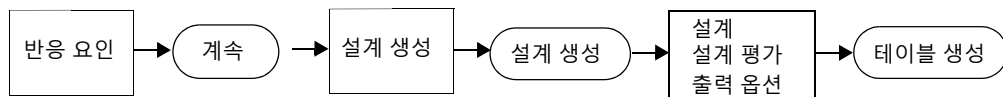


그림 9.12 표준 설계가 없을 때 선별 설계 흐름



반응

" 반응 " 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다 .

팁 : " 반응 " 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다 . 이 옵션을 사용하면 반응 이름 , 목표 , 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다 .

그림 9.13 반응 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y 선택적 항목	최대화	L	L	L

반응 추가 제거 반응 수...

반응 추가 " 최대화 ", " 목표값 일치 ", " 최소화 " 또는 " 없음 " 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다 . " 목표값 일치 " 를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다 . " 최대화 " 또는 " 최소화 " 를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다 .

제거 선택한 반응을 제거합니다 .

반응 수 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다 . 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다 . 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 " 목표값 일치 " 로 설정됩니다 . 테이블에서 " 목표 " 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다 .

" 반응 " 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다 .

반응 이름 반응의 이름입니다 . 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다 . 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다 .

목표 , 하한 , 상한 " 목표 " 는 반응 최대화 , 반응 최소화 , 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP 에 알려 줍니다 . JMP 는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 " 반응 한계 " 열 특성을 할당합니다 . 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다 . " 프로파일러 " 및 " 등고선 프로파일러 " 는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다 . 자세한 내용은 **Profilers** 의 "Profiler" 장 및 " 열 특성 " 부록의 **" 반응 한계 "** (684 페이지) 에서 확인하십시오 .

- " 최대화 " 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다 . 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 " 하한 " 또는 " 상한 " 으로 지정할 수 있습니다 .
- " 최소화 " 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다 . 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 " 하한 " 또는 " 상한 " 으로 지정할 수 있습니다 .
- " 목표값 일치 " 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다 . 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다 .
- " 없음 " 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다 . 만족도 함수가 구성되지 않습니다 .

참고 : 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 " 열 정보 " 창을 열고 (열 > 열 정보) 원하는 목표값을 입력하십시오.

중요도 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

반응 개요 편집

" 반응 " 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 " 목표 ", " 하한 ", " 상한 " 및 " 중요도 " 를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 " 반응 한계 " 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 " 예측 프로파일러 " 에서 사용됩니다. " 반응 한계 " 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 " 열 특성 " 부록의 " 반응 한계 "(684 페이지) 에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

요인

" 요인 " 개요에서 요인을 추가합니다.

팁 : " 요인 " 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 요인 이름, 역할, 변경 및 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

그림 9.14 요인 개요

이름	역할	값
X1	연속형	-1 1

요인 지정

해당 버튼을 클릭하여 연속형 또는 범주형 요인을 추가하십시오.
편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

연속형 연속형 요인을 추가합니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 숫자입니다. 연속형 요인은 개념적으로 공정 및 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다.

이산 수치형 이산 수치형 요인을 추가합니다. 이산 수치형 요인은 이산형 숫자 값만 가질 수 있습니다. 이러한 값에는 암시적 순서가 있습니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 숫자입니다.

선별 설계는 이산 수치형 요인의 모든 수준을 포함하며 수준의 균형을 맞추려고 시도합니다. "모형 적합"에서는 이산 수치형 요인을 연속형 예측 변수로 처리합니다.

수준 수가 k 개 ($k > 2$) 인 이산 수치형 요인의 기본값은 정수 $1, 2, \dots, k$ 입니다. $k=2$ 수준이 있는 이산 수치형 요인의 기본값은 -1 과 1 입니다. 기본값을 실험에 사용할 설정으로 바꿉니다.

범주형 범주형 요인을 추가합니다. 클릭하여 수준 수를 선택하거나 지정합니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 문자입니다. 수준의 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다. 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 "값 순서" 열 특성에 저장됩니다. 범주형 요인의 기본값은 $L1, L2, \dots, Lk$ 이며 여기서 k 는 지정한 수준 수입니다. 기본값을 실험과 관련된 수준 이름으로 바꿉니다.

제거 선택한 요인을 제거합니다.

N 개 요인 추가 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭한 후 요인 유형을 선택합니다. 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

요인 개요

"요인" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

이름 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 $X1, X2$ 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

역할 요인의 설계 역할입니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다. 요인의 역할에 따라 데이터 테이블에 저장되는 다른 요인 특성이 결정됩니다. 자세한 내용은 "[요인 열 특성](#)"(286 페이지)에서 확인하십시오.

값 요인에 대한 실험 설정입니다.

요인 개요 편집

"요인" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 "값" 열의 값을 클릭합니다.

요인 열 특성

각 요인에 대해 "선별 설계" 창에서 "테이블 생성"을 선택하여 설계를 생성하면 다양한 열 특성이 설계 테이블에 저장됩니다. 또한 "요인 저장" 옵션을 선택할 때 생성되는 데이터 테이블에도 이러한 특성이 자동으로 저장됩니다. 이러한 열 특성 및 관련 예에 대한 자세한 내용은 [부록 A, "열 특성"](#)에서 확인하십시오.

코딩 "역할"이 "연속형" 또는 "이산 수치형"인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한값과 상한값이 각각 -1 과 +1 에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["열 특성"](#)(681 페이지)에서 확인하십시오.

값 순서 "역할"이 "범주형"이거나 블록 변수가 구성된 경우 요인의 "값 순서" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["값 순서"](#)(708 페이지)에서 확인하십시오.

설계 역할 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 지정됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. 블록이 있는 설계를 선택하면 해당 블록 요인에 "블록화" 값이 할당됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["설계 역할"](#)(691 페이지)에서 확인하십시오.

요인 변경 각 요인에 값이 "쉬움"인 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. "요인 변경" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 사용되는 방식을 반영합니다. "요인 변경" 값은 설계 확대 및 설계 평가 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["요인 변경"](#)(705 페이지)에서 확인하십시오.

블록당 런 수 블록 요인에 대해 각 블록에서 허용되는 최대 런 수를 나타냅니다. "요인" 개요에 "블록화" 요인이 지정되면 해당 요인에 대해 "블록당 런 수" 열 특성이 저장됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["블록당 런 수"](#)(714 페이지)에서 확인하십시오.

선별 유형 선택

반응과 요인을 입력한 후 **계속**을 클릭하면 다음 결과 중 하나가 발생합니다.

- 표준 설계에서 요인과 수준을 수용할 수 있는 경우 "선별 유형 선택" 패널에 두 가지 옵션이 나타납니다. 자세한 내용은 ["선별 유형 선택 옵션"](#)(287 페이지)에서 확인하십시오.

- 요인과 수준에 맞는 표준 설계가 나열되지 않으면 "선별 유형 선택" 패널이 나타나지 않습니다. 주효과 선별 설계를 구성하기 위한 "설계 생성" 개요가 열립니다. 자세한 내용은 "[설계 생성](#)"(294 페이지)에서 확인하십시오.

선별 유형 선택 옵션

부분 요인 설계 목록에서 선택 설계 목록에서 선택할 수 있습니다. 이 옵션이 기본값입니다. 자세한 내용은 "[부분 요인 설계 목록에서 선택](#)"(287 페이지)에서 확인하십시오.

주효과 선별 설계 생성 주효과 선별 설계의 런 수를 지정할 수 있는 "설계 생성" 개요를 엽니다. 주효과 선별 설계에 대한 자세한 내용은 "[주효과 선별 설계](#)"(293 페이지)에서 확인하십시오.

부분 요인 설계 목록에서 선택

선택할 수 있는 선별 설계 목록에는 실험 런을 같은 크기 (2의 거듭제곱)의 블록으로 그룹화하는 설계가 포함됩니다. 사용할 선별 설계 유형을 선택하고 **계속**을 클릭합니다.

그림 9.15 부분 요인 설계 유형 선택

설계 목록			
목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.			
수	블록	설계 유형	해상도
런	크기		- 추정 가능한 항목
4		부분 요인	3 - 주효과만
8		완전 요인	>6 - 전체 해상도
8 4		완전 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용
8 2		완전 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용

"설계 목록"에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

런 수 설계의 총 런 수입니다.

블록 크기 블록 내 런 수입니다. 블록 수는 런 수를 블록 크기로 나눈 값입니다.

설계 유형 설계 유형에 대한 설명입니다. 자세한 내용은 "[설계 유형](#)"(287 페이지)에서 확인하십시오.

해상도 설계 해상도 및 별칭 구조 유형에 대한 간략한 설명을 제공합니다. 자세한 내용은 "[교락 측도를 나타내는 해상도](#)"(290 페이지)에서 확인하십시오.

설계 유형

"설계 목록"은 다음과 같은 유형의 설계를 제공합니다.

- "[2 수준 완전 요인](#)"(288 페이지)
- "[2 수준 정칙 부분 요인](#)"(288 페이지)
- "[Plackett-Burman 설계](#)"(288 페이지)
- "[혼합수준 설계](#)"(289 페이지)

- "Cotter 설계 "(289 페이지)

2 수준 완전 요인

완전 요인 설계는 요인 수준의 모든 조합에 대한 런을 포함합니다 . 표본 크기는 요인 수준의 곱입니다 . 2 수준 설계의 경우 표본 크기는 2^k 이며 여기서 k 는 요인 수입니다 .

완전 요인 설계는 모든 효과에 대해 직교입니다 . 따라서 효과 추정값은 상관관계가 없습니다 . 또한 분석에서 효과를 제거해도 다른 추정값이 변경되지 않습니다 . 오차 분산의 추정값과 자유도가 다르기 때문에 p 값은 약간 변경됩니다 .

완전 요인 설계를 사용하면 최대 요인 수까지 모든 차수의 교호작용을 추정할 수 있습니다 . 그러나 대부분의 경험적 모델링은 요인과 반응 간의 실제 함수 관계에 대한 1 차 또는 2 차 근사만 포함합니다 . 이러한 관점에서 완전 요인 설계는 실험 런을 비효율적으로 사용하는 것입니다 .

2 수준 정칙 부분 요인

정칙 부분 요인 설계의 표본 크기도 2 의 거듭제곱입니다 . 2 수준 설계의 경우 k 가 요인 수이면 정칙 부분 요인 설계의 런 수는 2^{k-p} 이며 여기서 $p < k$ 입니다 . 2^{k-p} 부분 요인 설계는 요인 수가 k 개인 완전 요인 설계의 $1/2^p$ 배입니다 . 완전 요인 설계와 마찬가지로 정칙 부분 요인 설계도 직교입니다 .

k 개 요인에 대한 완전 요인 설계는 최대 k 차까지 모든 교호작용 효과의 추정값을 제공합니다 . 그러나 실험 런은 대개 비용이 많이 들기 때문에 작은 규모의 설계가 선호됩니다 . 규모가 작은 설계에서는 일부 고차 효과가 다른 효과와 교락되므로 효과를 서로 구별할 수 없습니다 . 교락된 효과의 선형 조합을 추정할 수는 있지만 변동의 원인을 하나 이상의 특정 효과로 지정할 수는 없습니다 .

실제로 부분 요인 설계는 다른 교호작용 효과와 교락되는 교호작용 효과를 미리 결정하여 구성됩니다 . 일반적으로 실험자는 3 개 이상의 요인을 포함하는 교호작용에는 관심이 없습니다 . 3 차 이상의 교호작용 효과는 무시할 수 있는 것으로 가정하는 경우가 많습니다 .

Plackett-Burman 설계

Plackett-Burman 설계는 선별을 위한 정칙 부분 요인 설계 대신 사용할 수 있습니다 . Plackett-Burman 설계의 런 수는 2 의 거듭제곱이 아니라 4 의 배수입니다 . 런 크기가 16 ~ 32 인 2 수준 부분 요인 설계는 없습니다 . 그러나 20 회 , 24 회 및 28 회 런 Plackett-Burman 설계는 있습니다 .

Plackett-Burman 설계에서 주효과는 서로 직교하고 2 요인 교호작용은 주효과와 부분적으로 교락됩니다 . 이에 반해 해상도 3 정칙 부분 요인 설계에서는 일부 2 요인 교호작용을 주효과와 구별할 수 없습니다 . Plackett-Burman 설계는 여러 요인 중에서 큰 주효과를 감지하는 데 관심이 있고 교호작용을 무시할 수 있을 때 유용합니다 .

혼합수준 설계

수준이 3 개 이상인 범주형 또는 이산 수치형 요인을 포함하는 대부분의 설계에는 사용 가능한 표준 설계가 없습니다. 이 경우 선별 플랫폼은 주효과 선별 설계를 생성합니다. 이러한 설계는 주효과에 대한 직교 또는 근사 직교 설계입니다.

표준 혼합수준 설계가 있는 경우 가능한 설계가 "설계 목록"에 제공됩니다. "설계 목록"은 최대 13 개 요인으로 순수 3 수준 요인에 대한 부분 요인 설계를 제공합니다. 2 수준 설계와 3 수준 설계가 혼합된 경우에는 표 9.1 에 나열된 완전 요인 및 직교 배열 설계가 "설계 목록"에 포함됩니다.

요인 수가 표에 나열된 설계의 수를 초과하지 않으면 해당 열의 적절한 부분집합을 사용하여 설계를 조정할 수 있습니다.

표 9.1 혼합수준 설계 테이블

설계	요인 수	
	2 수준	3 수준
L18 John 및 L18 Taguchi	1	7
L18 Chakravarty	3	6
L18 Hunter	8	4
L36 Taguchi	11	12

Cotter 설계

참고 : 기본적으로 Cotter 설계는 "설계 목록"에 포함되지 않습니다. Cotter 설계를 포함하려면 "선별 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **Cotter 설계 제한**을 선택 취소합니다. Cotter 설계를 항상 표시하려면 **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE**를 선택한 후 **Cotter 설계 제한**을 선택 취소하십시오.

Cotter 설계는 일부 요인이 상호 작용할 수도 있는 많은 요인을 매우 적은 수의 런으로 검정해야 할 때 유용합니다. Cotter 설계는 효과 회소성 원리에 의존합니다. 이 설계는 효과를 합할 때 합 성분 중 하나에 활성 효과가 있을 경우 해당 효과를 효과 합에 표시한다고 가정합니다. 단점은 부호가 혼합된 여러 활성 효과의 합이 0 에 가까워져 효과를 나타내지 못할 수 있다는 것입니다. 이 False Negative 위험 때문에 많은 통계학자들이 이 설계의 사용을 권장하지 않습니다.

k 개 요인의 경우 Cotter 설계의 런 수는 $2k+2$ 회입니다. 설계 구조는 "한 번에 하나의 요인 변경 (OFAT)" 방법과 비슷합니다.

Cotter 설계는 다음과 같이 구성됩니다.

- 모든 요인이 높은 수준으로 설정된 런이 정의됩니다.
- 다음 k 런에 대해 각각 차례로 한 요인은 낮은 수준으로 설정되고 나머지 요인은 높은 수준으로 설정됩니다.
- 다음 런은 모든 요인이 낮은 수준으로 설정됩니다.
- 다음 k 런에 대해 각각 차례로 한 요인은 높은 수준으로 설정되고 나머지 요인은 낮은 수준으로 설정됩니다.
- 런이 랜덤화됩니다.

Cotter 설계를 구성할 때 설계 데이터 테이블에는 회귀변수로 사용할 열 집합이 포함됩니다. 열 이름은 < 요인 이름 > Odd 및 < 요인 이름 > Even 형식을 사용합니다. 이 설계는 제공된 요인을 포함하는 홀수 차수 교호작용 항과 짝수 차수 교호작용 항을 각각 합하여 구성됩니다.

예를 들어 A, B, C 라는 세 가지 요인이 있다고 가정해 보겠습니다. 표 9.2에서는 회귀변수 열의 값이 계산되는 방법을 보여 줍니다.

표 9.2 Cotter 설계 테이블

홀수 회귀변수 열과 짝수 회귀변수 열의 합산 효과	
AOdd = A + ABC	AEven = AB + AC
BOdd = B + ABC	BEven = AB + BC
COdd = C + ABC	CEven = BC + AC

홀수 (Odd) 및 짝수 (Even) 열은 직교 변환을 정의합니다. 따라서 홀수 및 짝수 열의 모수 검정은 원래 효과에 대한 조합을 검정하는 것과 동등합니다.

교락 측도를 나타내는 해상도

설계 해상도는 설계의 교락 정도에 대한 측도입니다. 선별 설계에서는 런 수와 설계 해상도 사이의 균형을 맞추어야 합니다.

실험은 해상도 번호에 따라 다음과 같은 그룹으로 분류됩니다.

- 해상도 3 은 일부 주효과가 하나 이상의 2 요인 교호작용과 교락됨을 의미합니다. 주효과가 유의하려면 이러한 교호작용을 무시할 수 있는 것으로 가정해야 합니다.
- 해상도 4 는 주효과가 다른 주효과 또는 2 요인 교호작용과 교락되지 않음을 의미합니다. 그러나 일부 2 요인 교호작용은 다른 2 요인 교호작용과 교락됩니다.
- 해상도 5 는 주효과와 다른 주효과, 주효과와 2 요인 교호작용, 2 요인 교호작용 쌍 사이에 각각 교락이 없음을 의미합니다. 일부 2 요인 교호작용은 3 요인 교호작용과 교락됩니다.
- 해상도 5+ 는 설계의 해상도가 5 보다 크지만 완전 요인 설계는 아님을 의미합니다.

- 해상도 6 은 모든 차수의 효과 사이에 교락이 없음을 의미합니다 . 이 설계는 완전 요인 설계입니다 .

최소 일탈 설계는 주어진 해상도에 대한 교락 수를 최소화합니다 . 주어진 해상도의 최소 일탈 설계는 관계 정의에서 최소 길이의 단어 수를 최소화합니다 . 단어에 대한 설명은 " [생성 규칙 변경](#) "(291 페이지) 에서 확인하십시오 . 최소 일탈 설계에 대한 자세한 내용은 Fries and Hunter(1984) 에서 확인하십시오 .

설계 표시 및 수정

" 설계 목록 " 에서 모든 연속형 요인 또는 2 수준 범주형 요인과 블록 요인 (가능한 경우) 이 포함된 부분 요인 설계를 선택하는 경우 " 계속 " 을 클릭하면 " 설계 표시 및 수정 " 개요가 열립니다 . 이 개요의 보고서를 사용하여 설계를 수정합니다 . 생성 규칙을 변경하여 설계를 구성하는 예는 " [부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정](#) "(300 페이지) 에서 확인하십시오 .

참고 : 교호작용이 주효과와 동일하지 않으므로 Plackett-Burman 설계 또는 Cotter 설계의 경우 " 생성 규칙 변경 " 및 " 효과의 별칭 구조 " 개요가 나타나지 않습니다 .

생성 규칙 변경 설계의 관계 정의를 지정합니다 . 관계 정의는 JMP 에서 제공하는 완전 요인 설계의 부분을 결정합니다 . 자세한 내용은 " [생성 규칙 변경](#) "(291 페이지) 에서 확인하십시오 .

효과의 별칭 구조 부분 요인 설계의 교락 패턴을 표시합니다 . 패널 아래쪽의 빨간색 화살표를 클릭하여 지정된 차수에 대한 교호작용을 확인합니다 . 교호작용 및 별칭 구조가 데이터 테이블에 제공됩니다 .

코드화된 설계 각 런에서 요인의 상한값과 하한값 패턴을 표시합니다 .

참고 : Cotter 설계의 경우 " 생성 규칙 변경 " 및 " 효과의 별칭 구조 " 개요가 적용되지 않으므로 표시되지 않습니다 .

생성 규칙 변경

생성 규칙은 특정 부분 요인 설계를 구성하는 데 사용되는 관계를 정의합니다 . 선별 플랫폼의 기본 생성자는 최소 일탈 설계를 생성합니다 . 최소 일탈 설계는 낮은 차수 효과의 별칭 구조를 최소화합니다 . 실험 상황에 따라 표준 부분과 다른 코딩 또는 별칭 구조를 제공하는 설계 부분을 정의해야 할 수 있습니다 . " 설계 표시 및 수정 " 개요에서 생성 규칙을 변경하여 이 작업을 수행할 수 있습니다 . 관계 정의 및 생성 규칙에 대한 자세한 내용은 Montgomery(2009) 에서 확인하십시오 .

팁 : 특정 효과 추정을 위한 설계를 생성하려면 사용자 설계 도구를 사용하는 것이 좋습니다 . 사용자 설계에 대한 자세한 내용은 " [사용자 설계](#) " 장 (59 페이지) 에서 확인하십시오 .

설계의 관계 정의는 생성 규칙의 단어에 의해 결정됩니다 . 단어는 요인의 곱으로 나타내지만 설계 행렬에서 해당 열에 대한 항목의 요소별 곱으로 해석됩니다 . 관계 정의는 곱이 1 의 열 (항등) 인 단어로 구성됩니다 .

그림 9.16에서는 2^{5-3} 설계 (5 개 요인과 8 회 런)에 대한 기본 생성 규칙을 보여 줍니다.

그림 9.16 표준 2^{5-3} 설계의 생성 규칙

요인	Temperature	Concentration
Feed Rate	☒	☐
Catalyst	☒	☒
Stir Rate	☒	☒
+/-	☒	☒

적용

효과의 별칭 구조

효과	별칭
Feed Rate	= Temperature*Concentration
Catalyst	= Stir Rate*Concentration
Stir Rate	= Catalyst*Concentration
Temperature	= Feed Rate*Concentration
Concentration	= Feed Rate*Temperature = Catalyst*Stir Rate
Feed Rate*Catalyst	= Stir Rate*Temperature
Feed Rate*Stir Rate	= Catalyst*Temperature

코드화된 설계

" 생성 규칙 변경 " 패널의 각 열에서 맨 위에 나열된 요인과 상자가 선택된 열의 요인이 관계 정의의 단어를 구성합니다. 예를 들어 첫 번째 열은 **Temperature = Feed Rate*Catalyst*Stir Rate**가 관계 정의의 단어임을 나타냅니다.

- +/- 상자가 선택된 경우 생성 규칙과 관련된 부호가 양수이고 해당 단어가 항등과 같습니다.
- +/- 상자가 선택되지 않은 경우 생성 규칙과 관련된 부호가 음수이고 해당 단어가 마이너스 항등과 같습니다.

자세한 내용은 "[2⁵⁻³ 설계에서 관계 정의 얻기](#)" (292 페이지)에서 확인하십시오.

완전 요인 설계의 주 부분은 모든 관계 정의를 항등과 같게 설정하여 얻은 부분 요인 설계입니다. 기본적으로 JMP에서 제공하는 요인 설계는 주 부분입니다. +/- 상자는 기본적으로 모든 생성 규칙에 대해 선택되므로 관계 정의의 각 단어는 항등과 같습니다.

생성 규칙은 설계에 대한 코딩 및 효과의 별칭 구조를 결정합니다. 경우에 따라 표준 부분과 다른 코딩 또는 별칭 구조를 생성하는 부분을 사용할 수도 있습니다.

- 생성 규칙을 변경하려면 해당하는 상자를 선택합니다.
- 선택 항목에 따라 " 효과의 별칭 구조 " 결과 및 " 코드화된 설계 "가 어떻게 변하는지 확인하려면 **적용**을 클릭합니다.

예는 "[다른 부분을 얻기 위해 생성 규칙 변경](#)" (303 페이지)에서 확인하십시오.

2^{5-3} 설계에서 관계 정의 얻기

그림 9.16에서는 다음과 같은 두 개의 체크박스 열을 보여 줍니다.

- 첫 번째 열은 **Temperature = Feed Rate*Catalyst*Stir Rate** 라는 단어를 나타냅니다.

- 두 번째 열은 $\text{Concentration} = \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$ 라는 단어를 나타냅니다.

+1 값으로 구성된 열을 나타내도록 I 를 정의합니다. 모든 요인 수준이 -1 또는 +1 이므로 첫 번째 열의 단어는 $\text{Temperature} * \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate} = I$ 와 동등합니다. 두 번째 열의 단어는 $\text{Concentration} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate} = I$ 와 동등합니다. 이 둘을 함께 사용하여 다음과 같이 2⁵⁻³ 설계에 대한 관계 정의가 제공됩니다.

$$I = \text{Temperature} * \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate} = \text{Concentration} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$$

2⁵⁻³ 설계에서 효과의 별칭 구조 관계 얻기

"효과 별칭 구조" 개요의 별칭 구조는 관계 정의 및 요인 수준이 +1 과 -1 이라는 사실에 의해 결정됩니다. 첫 번째 생성 규칙은 $\text{Temperature} = \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$ 이고, 두 번째 생성 규칙은 $\text{Concentration} = \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$ 입니다.

"효과 별칭 구조" 개요에서 첫 번째 관계를 얻기 위해 이 두 생성 규칙을 적용하면 다음과 같은 표현식이 제공됩니다.

$$\text{Temperature} = \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate} = \text{Feed Rate} * \text{Concentration}$$

- 두 번째 등식은 두 번째 생성 규칙을 사용하여 $\text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$ 를 Concentration 으로 대체한 결과입니다.

이제 첫 번째 표현식과 세 번째 표현식에 Concentration 으로 사후 곱셈을 적용하여 다음 표현식을 얻습니다.

$$\text{Temperature} * \text{Concentration} = \text{Feed Rate} * \text{Concentration} * \text{Concentration}$$

설계 행렬의 Concentration 열에 -1 및 +1 값이 포함되어 있으므로 $\text{Concentration} * \text{Concentration}$ 항은 +1 값의 열을 나타냅니다. 다음 표현식은 "효과 별칭 구조" 개요에 표시되는 첫 번째 별칭 관계가 됩니다.

$$\text{Temperature} * \text{Concentration} = \text{Feed Rate} * I = \text{Feed Rate}$$

비슷한 계산을 사용하여 다른 별칭 관계도 구할 수 있습니다.

주효과 선별 설계

실험에 범주형 또는 이산 수치형 요인이 포함되거나 런 수가 제한되는 경우 주효과 선별을 위한 직교 설계를 구성하지 못할 수 있습니다. 그러나 주효과 선별 설계를 구성할 수 있습니다. 자세한 내용은 Lekivetz et al. (2015) 에서 확인하십시오.

주효과 선별 설계는 카이제곱 기준에 설명된 대로 균형 특성이 좋은 설계입니다. 자세한 내용은 "카이제곱 효율도" (294 페이지) 에서 확인하십시오. 이러한 설계에는 주효과 모형에 대해 적합한 통계 특성이 있습니다.

설계를 생성하는 데 사용되는 알고리즘은 강도 2 의 직교 배열을 구성하려고 합니다. 강도 2 직교 배열은 교호작용을 무시할 수 있을 때 주효과의 직교 추정을 허용합니다. 이러한 배열은 선별 설계에 이상적입니다. 해상도 3 의 정칙 부분 요인 설계와 Plackett-Burman 설계는 강도 2 직교 배열의 예입니다.

설계에서 요인 수준에 대해 가능한 모든 쌍을 고려하십시오. 알고리즘은 수준 쌍 수의 균형을 가
능한 한 맞추려고 합니다. 고정된 수의 열이 생성되었다고 가정하면 균형된 새 열이 무작위로 구
성됩니다. 새 열을 포함하는 쌍에 대해 달성한 균형 정도를 반영하는 측도가 정의됩니다. 알고
리즘은 새 열 내에서 수준을 교환하여 이 측도를 최소화하려고 합니다.

카이제곱 효율도

설계에 설계 행렬의 열에 해당하는 n 회 런과 p 개 요인이 있다고 가정해 보겠습니다.

- 요인 k 와 l 의 수준을 각각 $a = 0, 1, \dots, s_k - 1$ 과 $b = 0, 1, \dots, s_l - 1$ 로 나타냅니다.
- 수준 조합 (a, b) 가 k 및 l 열에 나타나는 횟수를 $n_{kl}(a, b)$ 로 나타냅니다.

k 및 l 열에 의해 증명되는 직교성 결여 측도는 다음 표현식으로 지정됩니다.

$$\chi_{kl}^2 = \sum_{a=0}^{s_k-1} \sum_{b=0}^{s_l-1} \frac{[n_{kl}(a, b) - n/(s_k s_l)]^2}{n/(s_k s_l)}$$

설계의 평균 비직교성 측도는 다음 표현식으로 지정됩니다.

$$\chi^2 = \sum_{1 \leq k < l \leq p} \chi_{kl}^2 / [p(p-1)/2]$$

χ^2 의 가능한 최대값 (χ_{max}^2) 이 계산됩니다. 설계의 카이제곱 효율도는 다음과 같이 정의됩니다.

$$\text{카이제곱 효율도} = 100(1 - \chi^2 / \chi_{max}^2)$$

카이제곱 효율도는 수준 쌍이 극단적 균형 부족을 나타내는 설계와 비교하여 χ^2 가 0 에 얼마나
가까운지 나타냅니다.

설계 생성

주효과 선별 설계를 구성할 때 "설계 생성" 개요를 사용하여 런 수를 지정할 수 있습니다. 설계를
생성하려면 **설계 생성**을 클릭합니다.

최소값 설계 생성이 실패하지 않게 하기 위해 필요한 런 수의 하한입니다. 최소값을 선택하면 결
과 설계가 포화됩니다. 따라서 오차 자유도가 없습니다.

참고 : 런 수를 "최소값" 으로 선택하면 검정할 오차 향이 없습니다. 모수 추정값을 검정할
수 없습니다. 이 선택은 추가 런 비용이 너무 높은 경우에만 적합합니다.

기본값 런 수를 제안합니다. 이 값은 런 수가 최소 런 수보다 4 회 이상 많은 균형 설계를 생성하
기 위한 발견적 방법을 기반으로 합니다.

사용자 지정 원하는 런 수를 지정합니다. 런 수 텍스트 상자에 해당 값을 입력합니다. 이 옵션을
사용하면 추가 런 비용을 잠재적 정보 획득으로 상쇄할 수 있습니다.

설계

"설계" 개요에서는 주효과 선별 설계를 위한 런을 보여 줍니다. 설계 테이블의 런 순서를 변경하려면 테이블을 생성하기 전에 "출력 옵션" 패널에서 "런 순서" 옵션을 선택할 수 있습니다.

설계 평가

참고: Cotter 설계에는 "설계 평가" 개요가 표시되지 않습니다.

"설계 평가" 개요에서는 생성된 설계의 특성을 평가하는 다양한 방법을 제공합니다. "설계 평가" 개요를 열고 다음 옵션을 확인합니다.

검정력 분석 주어진 크기의 효과를 감지할 수 있는지 분석할 수 있습니다.

예측 분산 프로파일 요인 설정 범위에 대한 예측 분산을 보여 줍니다.

설계 공간 비율 그림 모형 예측 분산이 지정된 값보다 얼마나 아래 또는 위에 있는지 보여 줍니다.

예측 분산 표면 두 개의 연속형 요인에 대한 예측 분산의 표면 그림을 보여 줍니다.

추정 효율도 각 모수에 대해 이상적인 직교 설계 (존재하지 않을 수 있음)와 비교하여 신뢰 구간 길이에 대한 증가 비율을 제공합니다. 모수의 상대 표준 오차도 제공합니다.

별칭 행렬 모형에 없지만 활성화 가능성이 있는 효과에 의해 모형 모수가 편향되는 정도를 나타내는 계수를 제공합니다.

상관 색상 맵 강도 척도를 사용하여 그림에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다.

설계 진단 설계를 구성하는 데 사용되는 최적 기준을 나타냅니다. 설계의 효율도 측도도 제공합니다.

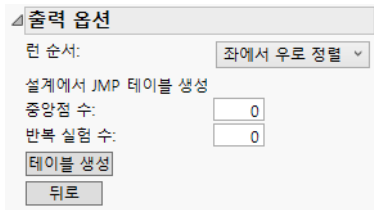
참고: 설계 진단에 사용된 모형에는 모든 주효과 및 2 요인 교호작용이 포함됩니다 (모든 2 요인 교호작용을 추정할 수 있는 경우). 그렇지 않은 경우에는 모형에 모든 주효과가 포함됩니다.

"설계 평가" 패널에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "[설계 평가](#)"(421 페이지)에서 확인하십시오.

출력 옵션

"출력 옵션" 패널에서 출력 데이터 테이블에 대한 상세 정보를 지정합니다. 끝나면 **테이블 생성**을 클릭하여 설계에 대한 데이터 테이블을 구성합니다. 그림 9.17에서는 "설계 목록"에서 선택한 표준 설계의 "출력 옵션" 패널을 보여 줍니다. 주효과 선별 설계의 경우 "런 순서"만 있습니다.

그림 9.17 출력 옵션 선택



런 순서

런 순서 옵션은 설계 테이블의 런 순서를 결정합니다. 다음과 같은 옵션을 선택할 수 있습니다.

동일하게 유지 설계 테이블에 표시되는 행 순서가 "코드화된 설계" 또는 "설계" 개요의 순서와 동일합니다.

좌에서 우로 정렬 설계 테이블의 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

랜덤화 설계 테이블의 행이 랜덤 순서로 나타납니다.

우에서 좌로 정렬 설계 테이블의 열이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬됩니다.

블록 내 랜덤화 설계 테이블의 행이 블록 내에서 랜덤 순서로 나타납니다. **주효과 선별 설계 생성**을 선택한 경우에는 사용할 수 없습니다.

중앙점 및 반복 실험

중앙점 수 설계에 중앙점으로 포함할 추가 런 수를 지정합니다. 중앙점은 모든 연속형 요인이 요인 범위의 가운데에 설정되는 런입니다. **주효과 선별 설계 생성**을 선택한 경우에는 이 옵션을 사용할 수 없습니다.

설계에 연속형 요인과 범주형 요인이 모두 포함되어 있다고 가정해 보겠습니다. "출력 옵션" 패널에서 중앙점을 요청할 경우 다음과 같이 중앙점이 분포됩니다.

1. 범주형 요인의 설정은 "요인" 개요에 지정된 값 순서를 사용하여 정렬됩니다.
2. 범주형 요인의 각 설정 조합에 순서대로 중앙점 하나가 할당되고 모든 중앙점이 할당될 때까지 반복됩니다.

반복 실험 수 "설계 목록"의 설계에 대해 중앙점을 포함하여 전체 설계를 반복할 횟수를 지정합니다. 한 번 반복하면 런 수가 두 배가 됩니다. **주효과 선별 설계 생성**을 선택한 경우에는 이 옵션을 사용할 수 없습니다.

참고: 중앙점 또는 반복 실험을 요청하고 "테이블 생성"을 반복해서 클릭하면 가장 최근에 구성된 설계 테이블에 이러한 작업이 적용됩니다.

테이블 생성

테이블 생성을 클릭하여 실험 런이 포함된 데이터 테이블을 생성합니다. 이 테이블에는 지정된 상한값과 하한값이 각 런에 대해 나타납니다.

그림 9.18 설계 데이터 테이블

부분 요인 2								
설계	부분 요인	패턴	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
선불		1 --+-+	10	2	120	140	6	
모형		2 +-+--	15	1	120	140	3	
설계 평가		3 -+--+	10	2	100	180	3	
DOE 대화상자		4 +++++	15	2	120	180	6	
열(7/0)		5 ---+-	10	1	120	180	3	
패턴		6 +-++	15	1	100	180	6	
Feed Rate *		7 -----	10	1	100	140	6	
Catalyst *		8 ++----	15	2	100	140	3	
Stir Rate *								
Temperature *								
Concentration *								
Percent Reacted *								

테이블 이름은 해당 테이블을 생성한 설계 유형입니다.

설계 테이블에는 다음과 같은 스크립트가 포함되어 있습니다.

선별 "DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합" 플랫폼을 실행합니다. 모든 요인이 2 수준인 경우에만 제공됩니다.

모형 "분석 > 모형 적합" 플랫폼을 실행합니다.

설계 평가 "DOE > 설계 진단 > 설계 평가" 플랫폼을 실행합니다.

DOE 대화상자 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "선별 설계" 창을 다시 생성합니다. 또한 이 스크립트는 설계를 생성하는 데 사용된 난수 시드값도 포함합니다.

데이터를 분석하려면 **선별** 또는 **모형** 스크립트를 실행합니다.

"설계 목록"에서 설계를 선택한 경우 설계 테이블에 패턴 열이 포함됩니다. 패턴 열에는 지정된 행의 런을 요약하는 항목이 포함되어 있습니다. 하한 설정은 "-", 상한 설정은 "+", 중앙점은 "0"으로 각각 나타냅니다. 패턴은 그림에서 라벨 변수로 유용할 수 있습니다.

선별 설계 옵션

"선별 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 저장 "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

반응 불러오기 "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

요인 저장 "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

참고 : 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

요인 불러오기 "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

제약 조건 저장 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부동식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "**제약 조건 상태**"(715 페이지)에서 확인하십시오.

제약 조건 불러오기 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고 : 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**반응 시뮬레이션**"(100 페이지)에서 확인하십시오.

참고 : JMP Pro "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션"장에서 확인하십시오.

행렬 X 저장 "적률 행렬" 및 "모형 행렬"을 설계 데이터 테이블의 테이블 스크립트에 저장합니다. 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**행렬 X 저장**"(102 페이지)에서 확인하십시오.

주의 : 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장 > 코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

Cotter 설계 제한 설계 목록에서 Cotter 설계를 제외합니다. 이 옵션은 기본적으로 선택되어 있습니다. 설계 목록에 Cotter 설계를 표시하려면 이 옵션을 선택 취소합니다.

참고 : Cotter 설계를 항상 표시하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE를 선택한 후 "Cotter 설계 제한"을 선택 취소하십시오.

시작 수 (주효과 선별 설계에만 사용 가능) 최종 설계를 최적화하기 위해 알고리즘이 전체 설계를 처음부터 다시 생성하는 최대 횟수를 지정합니다.

설계 검색 시간 (주효과 선별 설계에만 사용 가능) 설계 검색을 위한 최대 시간(초)을 지정합니다. 기본 검색 시간은 15초입니다.

알고리즘 반복에 몇 초 이상이 필요한 경우 "설계 계산 중" 진행률 창이 나타납니다. 진행률 표시줄에 카이제곱 효율도가 표시됩니다. 자세한 내용은 "**카이제곱 효율도**"(294 페이지)에서 확인하십시오. 진행률 창에서 취소를 클릭하면 계산이 중지되고 해당 시점에서 찾은 최적 설계가 제공됩니다.

참고 : "설계 검색 시간"에 대한 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE를 선택합니다. **설계 검색 시간**을 선택한 후 최대 시간(초)을 입력합니다. 직교 배열이 발견되면 검색이 종료됩니다. 시간이 더 필요한 특정 상황에서는 JMP가 검색 시간을 자동으로 연장합니다.

열 시작 수 (주효과 선별 설계에만 사용 가능) 다음 열을 구성하기 전에 알고리즘이 지정된 열을 최적화하려고 시도하는 최대 횟수를 지정합니다. 기본 열 시작 수는 50 입니다. 자세한 내용은 "[주효과 선별 설계](#)"(293 페이지) 에서 확인하십시오.

고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정 모형 효과에 대해 감지할 평균 반응의 차이를 지정합니다. 자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 "[검정력을 위한 델타 설정](#)"(105 페이지) 에서 확인하십시오.

스크립트를 스크립트 창에 저장 "선별 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

선별 설계의 추가 예

- "[부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정](#)"
- "[Plackett-Burman 설계](#)"

부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정

Meyer, *et al.* (1996) 에서 채택된 다음 예에서는 많은 요인이 있을 때 선별 설계 플랫폼을 사용하는 방법을 보여 줍니다. 이 예에서 화학 엔지니어는 화학 공정의 반응 백분율에 대한 5 개 요인의 효과를 조사합니다. 요인은 다음과 같습니다.

- Feed Rate - 반응실에 추가되는 원료의 양 (리터 / 분)
- Catalyst(%)
- Stir Rate - 반응실의 프로펠러 RPM
- Temperature(섭씨)
- Concentration(반응물 농도)

생산 제약 조건에 따라 실험 크기가 12 회 런 이하로 제한됩니다. 8 회 런 부분 요인 설계와 12 회 런 Plackett-Burman 설계를 고려하기로 결정했습니다. 또한 다음 내용이 참이라고 가정합니다.

- Temperature*Concentration 교호작용이 활성이므로 이 교호작용이 주효과와 별칭 관계를 갖지 않는 설계를 원합니다.
- Catalyst*Temperature* 교호작용이 활성일 가능성이 낮습니다.
- Stir Rate*Concentration 교호작용이 활성일 가능성이 낮습니다.

이 정보를 사용하여 설계를 구성합니다.

표준 부분 요인 설계 생성

표준 부분 요인 설계를 생성하려면 다음을 수행하십시오.

- "[반응 지정](#)"(301 페이지)

- "요인 지정"(301 페이지) 또는 "수동으로 요인 지정"(301 페이지)
- "설계 선택"(302 페이지)

반응 지정

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 **Percent Reacted** 를 입력합니다.
기본 목표는 "최대화" 로 되어 있습니다. 목표는 반응을 최대화하는 것이지만 허용 가능한 최소 반응 백분율은 90(하한) 이고 상한은 100(상한) 입니다.
3. "하한" 아래를 클릭하고 90 을 입력합니다.
4. "상한" 아래를 클릭하고 100 을 입력합니다.
5. "중요도" 아래 영역은 비워 둡니다.
반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1 로 지정됩니다.
그럼 9.19 에서는 완료된 "반응" 개요를 보여 줍니다. 이제 요인을 지정합니다.

요인 지정

수동 또는 자동으로 요인을 입력할 수 있습니다.

- 요인을 자동으로 입력하려면 **Reactor Factors.jmp** 데이터 테이블을 사용하십시오.
 1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Reactor Factors.jmp** 를 엽니다.
 2. "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다. "설계 선택"(302 페이지) 으로 진행합니다.
- 요인을 수동으로 입력하려면 아래 단계를 수행하십시오.

수동으로 요인 지정

1. **N 개 요인 추가** 상자에 5 를 입력하고 **연속형**을 클릭하여 5 개의 연속형 요인을 추가합니다.
2. 기본 요인 이름 (X1 ~ X5) 을 **Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature** 및 **Concentration** 으로 변경합니다.
3. 하한 및 상한 값을 다음과 같이 입력합니다.
 - Feed Rate: 10, 15
 - Catalyst: 1, 2
 - Stir Rate: 100, 120
 - Temperature: 140, 180
 - Concentration: 3, 6

그림 9.19 반응 및 요인 개요

선별 설계

반응

반응 추가 ▼ 제거 반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Percent Reacted	최대화	90	100	1

요인

연속형 이산 수치형 범주형 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	값
Feed Rate	연속형	10 15
Catalyst	연속형	1 2
Stir Rate	연속형	100 120
Temperature	연속형	140 180
Concentration	연속형	3 6

요인 지정

해당 버튼을 클릭하여 연속형 또는 범주형 요인을 추가하십시오.
편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

설계 선택

1. 계속을 클릭합니다.
2. "선별 유형 선택" 패널에서 기본 선택인 **부분 요인 설계 목록**에서 선택을 적용하고 계속을 클릭합니다.

지정한 요인과 수준에 대한 설계가 "설계 목록"에 나열됩니다 (그림 9.20).

그림 9.20 5 개 연속형 요인에 대한 부분 요인 설계

선별 설계

반응

요인

설계 목록

목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.

수	블록	설계 유형	해상도
8	부분 요인	3 - 추정 가능한 항목	3 - 주효과만
8 4	부분 요인	3 - 주효과만	3 - 주효과만
12	Plackett-Burman	3 - 주효과만	3 - 주효과만
16	부분 요인	5 - 모든 2요인 교호작용	5 - 모든 2요인 교호작용
16 8	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16 4	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16 2	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32	완전 요인	>6 - 전체 해상도	>6 - 전체 해상도
32 16	완전 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용	5+ - 모든 2요인 교호작용
32 8	완전 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용	5+ - 모든 2요인 교호작용
32 4	완전 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32 2	완전 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용	4 - 몇 가지 2요인 교호작용

계속

뒤로

- 원하는 설계가 목록에서 맨 처음에 나오고 기본으로 선택되어 있습니다 (그림 9.20). 해당 선택을 적용하고 **계속**을 클릭합니다 .

8 회 런으로 제한되고 블록 요인이 없으므로 최적 설계 옵션은 블록이 없는 8 회 런 부분 요인 설계입니다 . 이 설계는 2^{5-2} 부분 요인 설계입니다 . 즉 , 5 개 요인에 대한 완전 요인 설계의 1/4 입니다 .

다른 부분을 얻기 위해 생성 규칙 변경

이 예에서는 **Temperature*Concentration** 교호작용이 주효과와 교락되는지 여부를 알아보려고 합니다 . "설계 표시 및 수정" 개요를 사용하여 선택한 설계의 별칭 구조를 검토하고 해당하는 경우 변경하십시오 .

- " 효과의 별칭 구조 " 개요를 엽니다 .

그림 9.21 효과의 별칭 구조 개요

효과 별칭 구조	
효과	별칭
Feed Rate	= Temperature*Concentration
Catalyst	= Stir Rate*Concentration
Stir Rate	= Catalyst*Concentration
Temperature	= Feed Rate*Concentration
Concentration	= Feed Rate*Temperature = Catalyst*Stir Rate
Feed Rate*Catalyst	= Stir Rate*Temperature
Feed Rate*Stir Rate	= Catalyst*Temperature

활성으로 의심되는 **Temperature*Concentration** 교호작용은 주효과 **Feed Rate** 와 교락됩니다 . **Feed Rate** 가 비활성으로 의심되는 효과와 별칭 관계가 있고 **Temperature*Concentration** 교호작용이 주효과와 별칭 관계가 없는 설계를 구성하기 위해 생성 규칙을 변경하려고 합니다 .

- " 생성 규칙 변경 " 개요를 엽니다 .

기본 생성 규칙은 완전 요인 설계의 표준 (주) 1/4 부분을 제공합니다 . **Catalyst*Temperature** 및 **Stir Rate*Concentration** 교호작용이 활성일 가능성이 낮다고 의심했습니다 . 이러한 두 교호작용이 **Feed Rate** 와 교락되도록 생성 규칙을 재정의합니다 . 재정의된 생성 규칙은 완전 요인 설계의 다른 1/4 부분을 제공합니다 .

- 다음을 수행합니다 .
 - Temperature** 열에서 **Stir Rate** 를 선택 취소합니다 .
 - Concentration** 열에서 **Catalyst** 를 선택 취소합니다 .
 - Concentration** 열에서 **Feed Rate** 를 선택합니다 .

그림 9.22 새 생성 규칙

생성 규칙 변경

요인	Temperature	Concentration
Feed Rate	☒	☒
Catalyst	☒	☐
Stir Rate	☐	☒
+/-	☒	☒

4. **적용**을 클릭합니다.

그림 9.23 수정된 생성 규칙에 대한 효과의 별칭 구조 개요

효과의 별칭 구조

효과	별칭
Feed Rate	= Catalyst*Temperature + Stir Rate*Concentration
Catalyst	= Feed Rate*Temperature
Stir Rate	= Feed Rate*Concentration
Temperature	= Feed Rate*Catalyst
Concentration	= Feed Rate*Stir Rate
Catalyst*Stir Rate	= Temperature*Concentration
Catalyst*Concentration	= Stir Rate*Temperature

정의한 설계에서는 **Feed Rate** 가 **Catalyst*Temperature** 및 **Stir Rate*Concentration** 과 교락됩니다. 또한 **Temperature*Concentration** 교호작용이 이제 이원 교호작용 **Catalyst*Stir Rate** 와 교락됩니다.

5. "출력 옵션" 개요에서 기본 런 순서 설정인 **랜덤화**를 적용하고 **테이블 생성**을 클릭합니다.

그림 9.24 8 회 런 부분 요인 설계 테이블

부분 요인

설계	부분 요인	패턴	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	---	1	10	1	100	180	6	•
2	++	2	10	2	120	140	3	•
3	+-	3	15	1	120	140	6	•
4	++	4	10	1	120	180	3	•
5	+-	5	15	2	100	180	3	•
6	+++	6	15	2	120	180	6	•
7	++	7	10	2	100	140	6	•
8	+-	8	15	1	100	140	3	•

열 (7/0)

- 패턴
- Feed Rate *
- Catalyst *
- Stir Rate *
- Temperature *
- Concentration *
- Percent Reacted *

설계 테이블에서는 구성된 설계를 보여 줍니다. 이 테이블에는 "선별" 창에서 정의한 반응에 대한 열 (Percent Reacted) 이 포함되어 있으며, 여기에 실험 결과를 기록할 수 있습니다. 선별, 모형 및 DOE 대화상자 스크립트도 포함되어 있습니다. 이러한 스크립트에 대한 자세한 내용은 "테이블 생성"(297 페이지)에서 확인하십시오.

결과 분석

이제 실험을 수행하고 데이터를 기록한 후 결과 분석을 진행합니다.

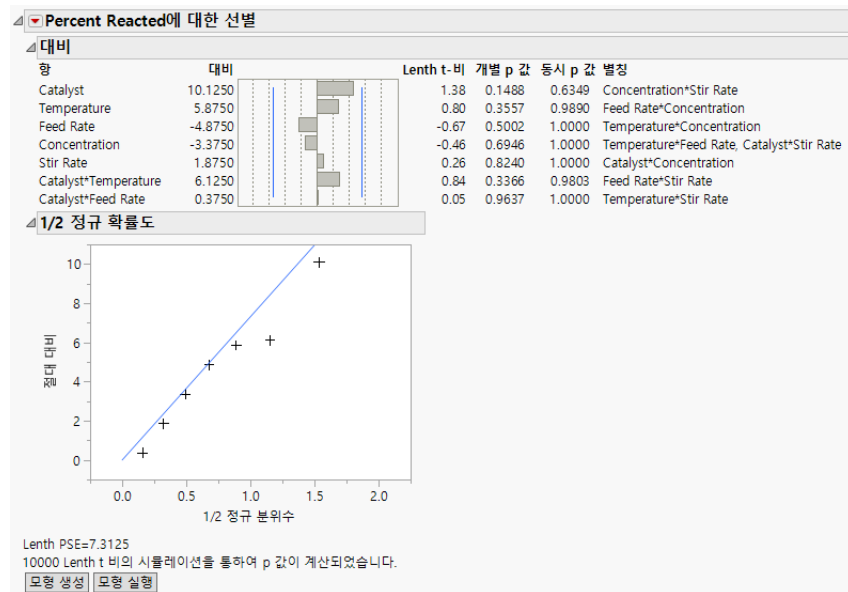
1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp** 를 엽니다.

8 회 런으로 7 개 효과를 추정할 수 있습니다. 이 중 몇 개만 활성일 것으로 예상합니다. 7 개 효과를 추정하려고 하므로 오차에 대한 자유도가 없습니다. 이러한 이유로 선별 플랫폼을 사용하여 결과를 분석합니다.

2. 데이터 테이블에서 **선별** 스크립트를 실행합니다.

선별 스크립트는 반응 및 요인에 대한 선별 플랫폼 (**DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**) 을 시작합니다.

그림 9.25 선별 보고서의 예



참고 : p 값은 시뮬레이션 기반 기법을 사용하여 계산되므로 여기에 표시된 값과 p 값이 정확하게 일치하지 않을 수 있습니다.

보고서에는 Lenth t -비를 기반으로 개별 및 동시 p 값이 모두 표시됩니다. 개별 p 값과 관련해서도 유의한 효과가 없습니다. "1/2 정규 확률도"는 효과에 랜덤 잡음만 반영됨을 나타냅니다.

선별 보고서에 대한 자세한 내용은 "2 수준 선별 적합 플랫폼" 장의 "[선별 보고서](#)" (317 페이지) 에서 확인하십시오.

Plackett-Burman 설계

부분 요인 예에서는 5 개 연속형 요인에 대한 8 회 런 부분 요인 설계를 보여 줍니다. 그러나 4 회 런을 더 추가할 수 있다고 가정해 보겠습니다. 이 예에서는 12 회 런 Plackett-Burman 설계를 구성합니다. "선별" 창을 쉽게 완료하기 위해 "반응 불러오기" 및 "요인 불러오기" 명령을 사용합니다.

Plackett-Burman 설계 생성

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.
2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor Response.jsp 를 엽니다.
3. "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **반응 불러오기**를 선택합니다.
4. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor Factors.jsp 를 엽니다.
5. "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

반응 불러오기 및 **요인 불러오기** 명령을 사용하면 "반응" 및 "요인" 개요에 반응 / 요인 이름, 반응의 목표와 한계, 요인 값 등이 채워집니다. 완료된 반응 및 요인 개요는 그림 9.19 에서 확인하십시오.

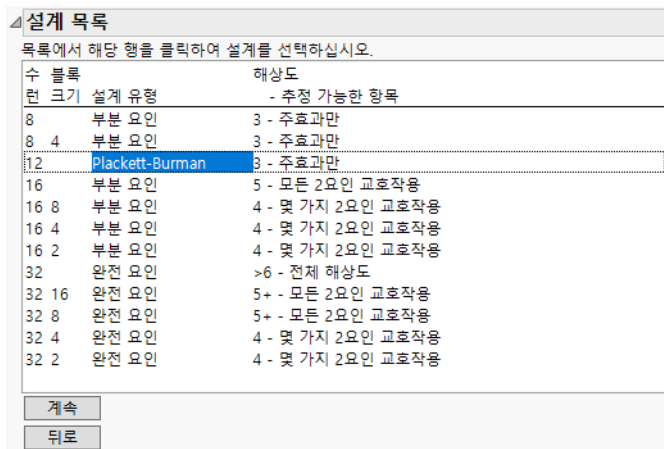
6. **계속**을 클릭합니다.

참고 : 다음 단계에서 난수 시드값을 설정하면 이 예에 나오는 런 순서가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

7. (선택 사항) "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 34567 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
8. "선별 유형 선택" 패널에서 기본 선택인 **부분 요인 설계 목록에서 선택**을 적용하고 **계속**을 클릭합니다.
9. **Plackett-Burman** 설계를 선택합니다.

런 크기가 2 의 거듭제곱이 아닌 Plackett-Burman 설계는 복잡한 별칭 구조를 갖는 경향이 있습니다. 특히 주효과는 여러 가지 이원 교호작용과 부분적으로 별칭 관계를 가질 수 있습니다. 자세한 내용은 "**설계 평가**"(307 페이지)에서 확인하십시오. 12 회 런 Plackett-Burman 설계는 해상도 3 으로 지정됩니다.

그림 9.26 Plackett-Burman 선별 설계를 보여 주는 설계 목록



10. **계속**을 클릭합니다.

11. **테이블 생성**을 클릭합니다.

그림 9.27 Plackett-Burman 설계에 대한 설계 테이블

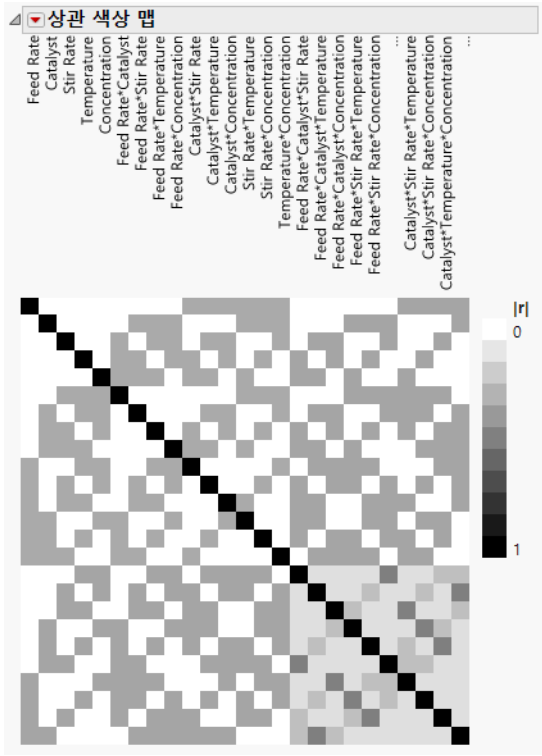
패턴	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1 +++++	15	2	120	180	6	•
2 +----+	15	1	100	140	6	•
3 +-+++	15	1	120	180	6	•
4 -+++-	10	2	120	180	3	•
5 ++---	15	2	100	140	3	•
6 ---+-	10	1	100	180	3	•
7 -+--+	10	2	100	180	6	•
8 +++--	15	2	120	140	3	•
9 --+++	10	1	120	140	6	•
10 --+--	10	1	120	140	3	•
11 -+--+	10	2	100	140	6	•
12 +--+	15	1	100	180	3	•

Percent Reacted 열이 설계 테이블에 포함되어 있습니다. 테이블에 표시된 순서대로 실험 런을 수행하고 결과를 Percent Reacted 열에 기록해야 합니다.

설계 평가

1. " 선별 설계 " 창으로 돌아갑니다. 창을 닫았으면 설계 테이블에서 "DOE 대화상자 " 스크립트를 실행합니다.
2. **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

그림 9.28 절대 상관의 색상 맵



주대각 셀은 예상대로 상관계수가 1 인 상관관계를 가집니다 . 흰색 셀은 상관관계가 0 인 효과에 해당합니다 . 회색 및 검은색 셀은 상관관계가 0 보다 큰 효과에 해당합니다 . 이러한 셀 중 몇 개 위에 커서를 놓으면 관련 효과 및 해당 효과의 절대 상관이 표시됩니다 . 예를 들어 **Feed Rate** 는 몇 가지 이원 및 삼원 교호작용과 상관관계가 있습니다 .

3. " 별칭 행렬 " 개요를 엽니다 .

그림 9.29 최대 이원 교호작용을 보여 주는 별칭 행렬 (일부분)

별칭 행렬													
효과	Feed Rate*Catalyst	Feed Rate*Stir Rate	Feed Rate*Temperature	Feed Rate*Concentration	Catalyst*Stir Rate	Catalyst*Temperature	Catalyst*Concentration	Stir Rate*Temperature	Stir Rate*Concentration	Temperature*Concentration			
절편	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Feed Rate	0	0	0	0	0.333	-0.33	-0.33	0.333	0.333	0.333			
Catalyst	0	0.333	-0.33	-0.33	0	0	0	0.333	-0.33	0			
Stir Rate	0.333	0	0.333	0.333	0	0.333	-0.33	0	0	0.333			
Temperature	-0.33	0.333	0	0.333	0.333	0	0.333	0	0.333	0			
Concentration	-0.33	0.333	0.333	0	-0.33	0.333	0	0.333	0	0			

설계가 주효과에 대해 직교이므로 " 별칭 행렬 " 에서 효과 간 상관관계를 나타내는 숫자 값을 제공합니다 . 자세한 내용은 " 설계 평가 " 장의 " 별칭 행렬 "(433 페이지) 에서 확인하십시오 . 예를 들어 **Feed Rate** 는 6 개의 이원 교호작용 및 4 개의 삼원 교호작용과 부분적으로 별칭 관계를 갖습니다 . 이러한 교호작용은 **Feed Rate** 행에서 0.333 및 -0.33 항목에 해당합니다 .

결과 분석

Plackett-Burman.jmp 데이터 테이블에는 설계된 실험의 결과가 포함되어 있습니다. Temperature*Concentration 교호작용이 활성일 것으로 의심했습니다. 이 교호작용만 잠재적 활성 교호작용이라는 가정하에 진행합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Plackett-Burman.jmp 를 엽니다.
2. 왼쪽의 아이콘을 클릭하여 **Model** 스크립트를 실행합니다.
3. "열 선택" 목록에서 **Temperature** 를 선택하고 "모형 효과 생성" 목록에서 **Concentration** 을 선택합니다.
4. **교차**를 클릭합니다.
5. **실행**을 클릭합니다.

그림 9.30 전체 모형의 모수 추정값

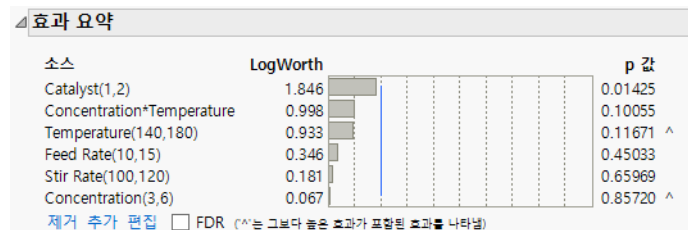
모수 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
절편	66.16667	2.639444	25.07	<.0001*
Feed Rate(10,15)	-2.333333	2.850926	-0.82	0.4503
Catalyst(1,2)	10.5	2.850926	3.68	0.0142*
Stir Rate(100,120)	1.333333	2.850926	0.47	0.6597
Temperature(140,180)	5	2.639444	1.89	0.1167
Concentration(3,6)	-0.5	2.639444	-0.19	0.8572
Concentration*Temperature	-6.5	3.232646	-2.01	0.1006

"실제값 대 예측값 그림"은 모형 적합 결여가 없음을 나타냅니다. "모수 추정값" 보고서는 Catalyst 가 0.05 수준에서 유의하고 Concentration*Temperature 교호작용이 0.10 수준에서 거의 유의하다는 것을 보여 줍니다.

모형 축소

반응에 가장 큰 영향을 미치는 효과를 식별하려고 합니다. 이러한 활성 효과를 더 명확하게 보려면 "효과 요약" 개요를 사용하여 유의하지 않은 효과를 제거합니다.

그림 9.31 전체 모형의 효과 요약 개요

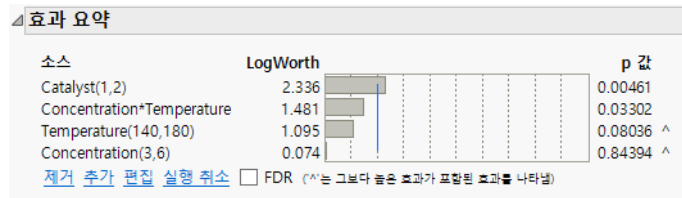


Concentration 은 최소 유의 효과이지만 p 값 오른쪽의 캐럿에 표시된 대로 고차 교호작용 (Concentration*Temperature) 에 포함됩니다. 효과 유전성 원리에 따라 Concentration*Temperature

교호작용이 모형에 남아 있는 동안에는 **Concentration** 을 모형에서 제거하면 안 됩니다 . 자세한 내용은 "DOE 로 시작 " 장의 "**효과 유전성**"(57 페이지) 에서 확인하십시오 . 그 다음 최소 유의 효과는 **Stir Rate** 입니다 .

1. " 효과 요약 " 개요에서 **Stir Rate** 를 선택하고 **제거**를 클릭합니다 .
제거할 수 있는 다음 최소 유의 효과는 **Feed Rate** 입니다 .
2. " 효과 요약 " 개요에서 **Feed Rate** 를 선택하고 **제거**를 클릭합니다 .

그림 9.32 축소 모형의 효과 요약 개요



"p 값" 열은 **Catalyst** 주효과와 **Concentration*Temperature** 교호작용 둘 다 0.05 수준에서 유의함을 나타냅니다 . 모형을 더 이상 축소하면 안 됩니다 . 다른 모든 교호작용이 비활성이거나 무시할 수 있는 경우 **Catalyst** 및 **Concentration*Temperature** 교호작용이 활성 효과라는 결론을 내릴 수 있습니다 .

10 장

2 수준 선별 적합 플랫폼

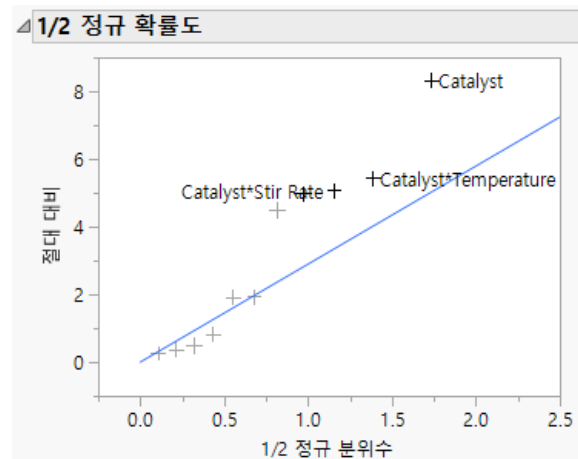
선별 실험의 데이터 분석

2 수준 선별 적합 플랫폼은 선별 설계의 실험 데이터 결과를 분석하는 데 사용할 수 있는 모델링 플랫폼입니다. 2 수준 선별 적합 플랫폼은 반응에 큰 영향을 미치는 효과를 식별하는 데 유용합니다.

2 수준 선별 적합 플랫폼은 효과 희소성 원리를 기반으로 합니다 (Box and Meyer 1986). 이 원리는 선별 설계에서 연구하는 효과 중 활성 효과는 상대적으로 적다고 주장합니다. 대부분은 비활성이므로 실제 효과를 무시할 수 있으며 추정값을 랜덤 오차로 처리할 수 있습니다.

관심 모형에 교호작용 항이 포함되어 있으면 선별 설계에서 오차 자유도를 제공하지 않는 경우가 종종 있습니다. 결과적으로 효과에 대해 전통적 검정을 사용할 수 없습니다. 이러한 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼이 특히 유용합니다.

그림 10.1 2 수준 선별 적합 보고서의 1/2 정규 확률도



목차

2 수준 선별 적합 플랫폼 개요.....	313
2 수준 선별 적합 플랫폼의 예.....	313
2 수준 선별 적합 플랫폼 시작.....	316
선별 보고서.....	317
대비	317
1/2 정규 확률도	318
모형 생성 또는 실행.....	318
2 수준 선별 적합 분석의 추가 예	319
Plackett-Burman 설계 분석	319
효과 유전성 예	320
과포화 설계 분석	322
2 수준 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보.....	323
효과 입력 순서	324
2수준 선별 적합과 직교 회전	324
Lenth 유사 표준 오차	325
Lenth t-비	325

2 수준 선별 적합 플랫폼 개요

선별 설계 분석은 반응의 변동이 대부분 적은 수의 효과로 설명된다는 **효과 희소성** 원리를 기반으로 합니다. 이 원리에 따라 추정값이 작은 효과를 사용하여 모형의 오차를 추정합니다. 그런 다음 더 큰 효과가 활성인지 여부를 검정할 수 있습니다.

"모형 적합"("분석 > 모형 적합") 또는 "2 수준 선별 적합"("DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합")을 사용하여 선별 실험의 데이터를 분석할 수 있습니다. 다음 지침을 사용하여 적절한 모델링 플랫폼을 선택하십시오.

- 요인이 모두 2 수준 및 직교인 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼의 모든 통계량이 적합합니다.
- 과포화 주효과 설계의 데이터가 있는 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼은 활성 요인을 선택하는데 효과적이지만 오차 또는 유의성을 추정하는 데는 효과적이지 않습니다. p 값 생성을 위한 몬테카를로 시뮬레이션은 이 경우에 유효하지 않은 가정을 사용합니다.
- 수준이 3 개 이상인 범주형 또는 이산 수치형 요인이 있는 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼이 적합하지 않습니다. JMP 는 연관된 모형 항을 연속형으로 처리합니다. 이러한 요인의 경우 주효과와 다항식 효과 전체에 변동이 분산됩니다. 이 상황에서는 모형 적합 플랫폼을 사용하는 것이 좋습니다.
- 데이터가 직교하지 않는 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼에서 생성된 추정값은 표준 회귀 추정값과 다릅니다. JMP 는 큰 효과를 식별할 수 있지만 각 효과를 효율적으로 검정하지 못합니다. 이는 효과를 모형에 입력할 때 인위적으로 직교화하여 초기에 모형에 입력되는 효과가 표준 회귀에서보다 덜 유의하게 보이게 하기 때문입니다. 자세한 내용은 "**효과 입력 순서**"(324 페이지)에서 확인하십시오.
- 혼합물 설계의 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼이 적합하지 않습니다. 자세한 내용은 "혼합물 설계" 장의 "**혼합물 설계 적합**"(387 페이지)에서 확인하십시오.

2 수준 선별 적합 플랫폼의 예

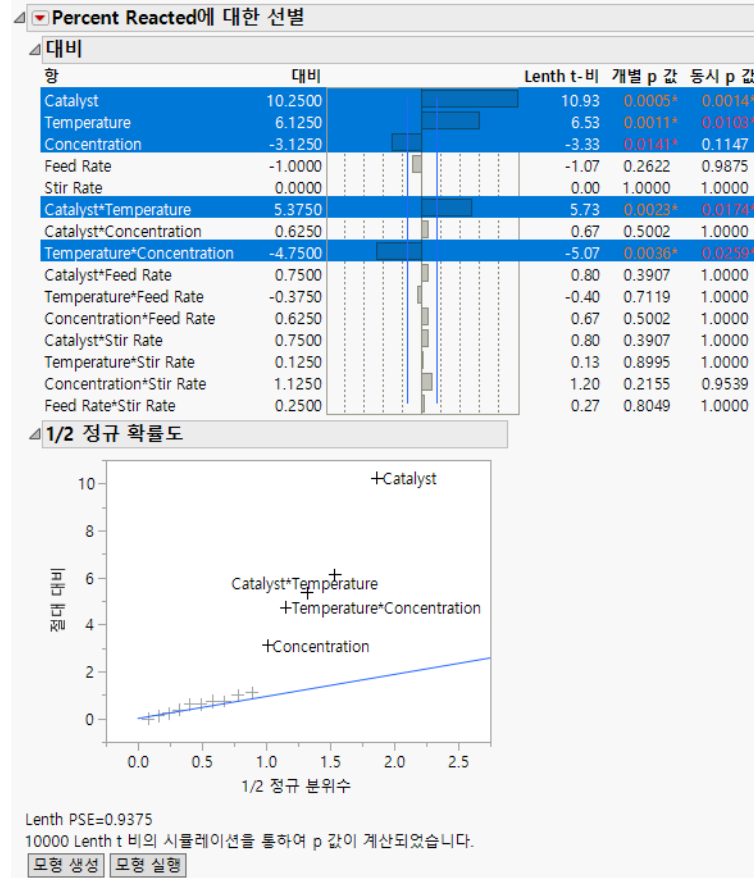
Reactor Half Fraction.jmp 샘플 데이터 테이블에는 Box et al.(1978)에서 논의한 설계에서 파생된 실험 결과가 포함되어 있습니다. 주효과와 이원 교호작용이 포함된 모형에서 유의한 효과를 식별하려고 합니다. 이 예에서는 16 회 런 설계에 대해 15 개의 모수가 있는 모형을 사용합니다. 또한 이 예에서는 2 수준 선별 적합 플랫폼과 모형 적합 플랫폼을 둘 다 사용하여 분석합니다.

2 수준 선별 적합

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Reactor Half Fraction.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**을 선택합니다.
3. Percent Reacted 를 선택하고 **Y** 를 클릭합니다.
4. Feed Rate ~ Concentration 을 선택하고 **X** 를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

참고 : 2 수준 선별 적합 플랫폼은 교호작용 항이 포함된 모형을 자동으로 생성합니다. 이는 모형에 포함할 교호작용을 수동으로 지정하는 모형 적합 플랫폼과 대조적입니다.

그림 10.2 Reactor Half Fraction.jmp 2 수준 선별 적합 설계 보고서



선별 보고서에서 다음과 같은 특징을 알 수 있습니다.

- 개별 p 값이 0.10 미만인 효과가 선택되었습니다.
- Lenth PSE(유사 표준 오차)를 사용하여 t 비를 계산합니다. Lenth PSE 값은 "1/2 정규 확률도" 아래에 표시됩니다.
- 개별 p 값과 동시 p 값이 둘 다 표시됩니다. 0.05 미만인 값에는 별표가 표시됩니다.
- "1/2 정규 확률도"를 사용하면 효과를 빠르게 검토할 수 있습니다. 효과 목록에서 처음에 선택한 효과도 이 그림에 라벨이 지정되어 있습니다.

이 예에서는 Catalyst, Temperature 및 Concentration 과 2 요인 교호작용 두 개가 함께 선택됩니다. 또는 모형 적합 플랫폼에서 같은 모형을 적합시킬 수도 있습니다.

모형 적합

1. Reactor Half Fraction.jmp 테이블에서 **분석 > 모형 적합**을 선택합니다 .
2. Percent Reacted 를 선택하고 **Y** 를 클릭합니다 .
3. Feed Rate ~ Concentration 을 선택한 후 **매크로 > 특정 차수까지의 요인**을 선택합니다 .
4. **실행**을 클릭합니다 .
5. " 모수 추정값 " 개요를 엽니다 .

그림 10.3 Reactor Half Fraction.jmp 에 대한 포화 설계 모수 추정값

반응 Percent Reacted				
효과 요약				
모수 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
절편	65.25	.	.	.
Feed Rate(10,15)	-1	.	.	.
Catalyst(1,2)	10.25	.	.	.
Stir Rate(100,120)	0	.	.	.
Temperature(140,180)	6.125	.	.	.
Concentration(3,6)	-3.125	.	.	.
Feed Rate*Catalyst	0.75	.	.	.
Feed Rate*Stir Rate	0.25	.	.	.
Feed Rate*Temperature	-0.375	.	.	.
Feed Rate*Concentration	0.625	.	.	.
Catalyst*Stir Rate	0.75	.	.	.
Catalyst*Temperature	5.375	.	.	.
Catalyst*Concentration	0.625	.	.	.
Stir Rate*Temperature	0.125	.	.	.
Stir Rate*Concentration	1.125	.	.	.
Temperature*Concentration	-4.75	.	.	.

관측값이 16 개이고 모형 항이 16 개이므로 오차 항을 추정하기에 관측값이 부족합니다 . 오차 추정값이 없으면 표준 검정을 수행할 수 없습니다 . 모수 추정값이 제공되지만 오차 자유도가 없으므로 표준 오차, t 비, p 값이 모두 결측입니다 . 이는 선별 설계의 정보를 최대한 활용할 수 있는 2 수준 선별 적합 플랫폼의 장점을 보여 줍니다 .

2 수준 선별 적합 플랫폼 시작

DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합을 선택하여 2 수준 선별 적합 플랫폼을 시작합니다.

그림 10.4 2 수준 선별 적합 플랫폼의 시작 창

2수준 선별 설계를 위한 모형을 적합시키고 선택합니다.

열 선택	선택한 열 역할 지정	작업
▼ 7개 열 - Pattern - Feed Rate - Catalyst - Stir Rate - Temperature - Concentration - Percent Reacted	Y 결과 숫자 선택적 숫자	확인 취소
	X 결과 선택적	제거 재호출 도움말
	기준 선택적	

Y 분석할 열입니다. 데이터 유형이 숫자여야 합니다.

X 연속형 또는 이산형 2 수준 직교 요인입니다.

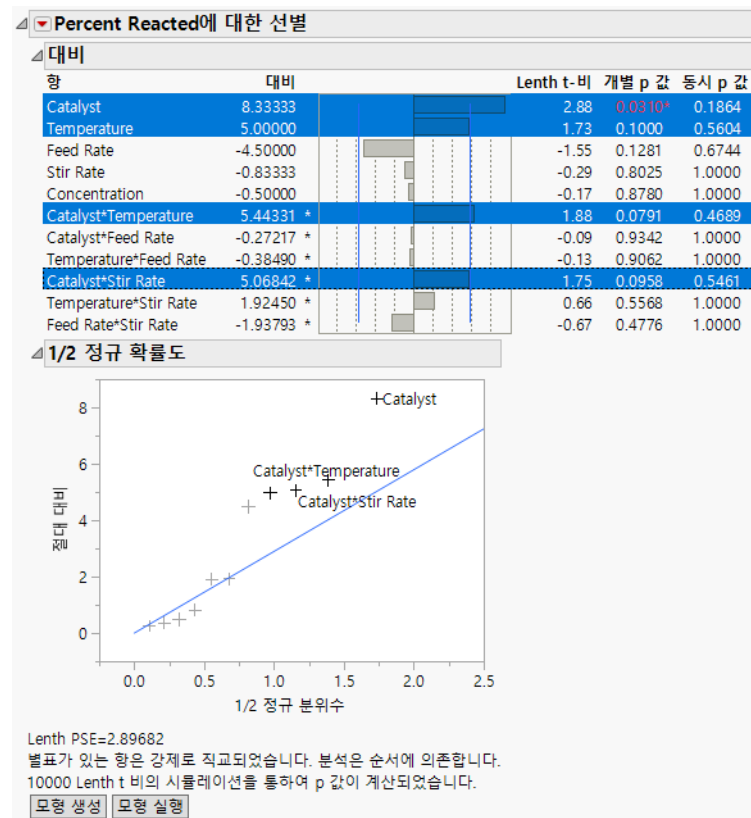
기준 각 수준으로 개별 분석을 정의하는 열입니다. 지정된 열의 각 수준에 대해 해당하는 행이 분석됩니다. 결과는 별도의 보고서에 나타납니다. 기준 변수가 둘 이상 할당되면 기준 변수의 가능한 각 수준 조합에 대해 개별 분석이 생성됩니다.

참고: 선별 설계 플랫폼의 부분 요인 설계 목록에서 설계를 생성한 경우 설계 테이블에 **선별**이라는 스크립트가 포함됩니다. 분석을 바로 시작하려면 이 스크립트를 실행하십시오.

선별 보고서

"2 수준 선별 적합" 보고서는 설계 대비 (후보 모형 항) 요약 테이블과 1/2 정규 확률도를 보여 줍니다. 보고서에서 선택한 모형을 시작하거나 실행할 수 있습니다.

그림 10.5 선별 보고서



- " 대비 "(317 페이지)
- "1/2 정규 확률도 "(318 페이지)
- " 모형 생성 또는 실행 "(318 페이지)

대비

" 대비 " 보고서에는 모형 효과, 대비 값, Lenth t -비, 개별 / 동시 p 값 및 별칭 (있는 경우) 이 나 열됩니다. 계층 순서에 따라 효과가 분석에 입력됩니다. 자세한 내용은 " 효과 입력 순서 "(324 페이지) 에서 확인하십시오. 개별 p 값이 0.10 미만인 효과가 선택되었습니다.

항 요인의 이름입니다.

대비 요인의 추정값입니다. 직교 설계의 경우 이 값은 회귀 모수 추정값과 동일합니다. 비직교 설계의 경우에는 해당하지 않습니다. 대비 옆에 별표가 표시되어 직교성 결여를 나타낼 수 있습니다.

막대 차트 0.10 수준에서 유의한 값을 나타내는 파란색 수직선으로 Lenth t -비를 표시합니다.

Lenth t -비 대비 /PSE 로 계산된 Lenth t -비이며, 여기서 PSE 는 Lenth 유사 표준 오차입니다. 자세한 내용은 "[Lenth 유사 표준 오차](#)"(325 페이지) 에서 확인하십시오.

개별 p 값 선형 모형의 표준 p 값과 유사합니다. 개별 p 값이 작으면 유의한 효과를 나타냅니다. 자세한 내용은 "[Lenth 유사 표준 오차](#)"(325 페이지) 에서 확인하십시오.

참고: 분석을 다시 실행하는 경우 p 값이 정확히 동일할 것으로 예상하지 마십시오. 몬테카를로 방법에 따르면 같은 분석이 반복되는 경우 유사하지만 동일하지 않은 값을 제공해야 합니다.

동시 p 값 다중 비교를 위한 조정 p 값입니다.

별칭 초기 효과에 대한 후기 효과의 정확한 별칭이 있는 경우에만 나타납니다.

1/2 정규 확률도

1/2 정규 확률도는 1/2 정규 분포의 분위수 절대값에 대해 그림에 표시된 대비 절대값을 보여 줍니다. 파란색 선은 Lenth 추정값 σ 의 기울기로 원점을 통과합니다. 작은 효과는 오차 항으로 간주되며 평균 0, 표준편차 σ 인 정규 분포가 있는 것으로 가정합니다. 이러한 항은 파란색 선에 있습니다. 유의한 효과는 평균이 0 이 아니고 파란색 선을 벗어납니다.

1/2 정규 확률도는 대화식입니다. 관심 효과 주위를 직사각형 형태로 드래그하여 모형 효과를 선택할 수 있습니다. Ctrl 버튼을 누른 채로 보고서에서 효과 이름을 클릭할 수도 있습니다.

모형 생성 또는 실행

모형 생성 버튼은 선택한 효과가 채워진 "모형 적합" 창을 시작합니다.

모형 실행 버튼은 선택한 효과에 대한 효과 선별 모형을 실행합니다.

참고: 선택한 모형이 효과 유전성을 따르지 않을 경우 JMP 경고가 나타납니다. **취소**를 클릭하고 **모형 생성** 버튼을 사용하여 "모형 적합" 창을 시작한 후 결측 항을 추가할 수 있습니다. 아니면 **계속**을 클릭한 후 효과 유전성 규칙을 따르지 않는 모형을 생성할 수 있습니다. 자세한 내용은 "DOE 로 시작" 장의 "[효과 유전성](#)"(57 페이지) 에서 확인하십시오.

2 수준 선별 적합 분석의 추가 예

- "Plackett-Burman 설계 분석"
- "효과 유전성 예"
- "과포화 설계 분석"

Plackett-Burman 설계 분석

Plackett-Burman 설계는 부분 요인 선별 설계 대신 사용할 수 있습니다. 2 수준 부분 요인 설계는 특성상 2의 거듭제곱과 동일한 수의 여러 런이 있어야 합니다. 그러나 12, 24 및 28 회 런 설계의 경우 Plackett-Burman 설계를 사용할 수 있습니다.

Weld-Repaired Castings.jmp 샘플 데이터 테이블은 Plackett-Burman 설계를 사용하며 Box et al. (1978) 에서 찾을 수 있습니다. 7 개 요인이 용접 품질에 영향을 줄 것으로 추정됩니다. 7 개 요인에는 Initial Structure, Bead Size, Pressure Treatment, Heat Treatment, Cooling Rate, Polish 및 Final Treatment 가 포함됩니다. 12 회 런이 포함된 Plackett-Burman 설계를 사용하여 7 개 요인의 중요도를 조사합니다. 반응은 $100 \times \log(\text{수명})$ 입니다. 오차를 모델링하는 데 사용된 4 개의 항도 샘플 데이터 테이블에 포함되어 있지만 이 분석에는 사용되지 않습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Weld-Repaired Castings.jmp 를 엽니다.

2. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**을 선택합니다.

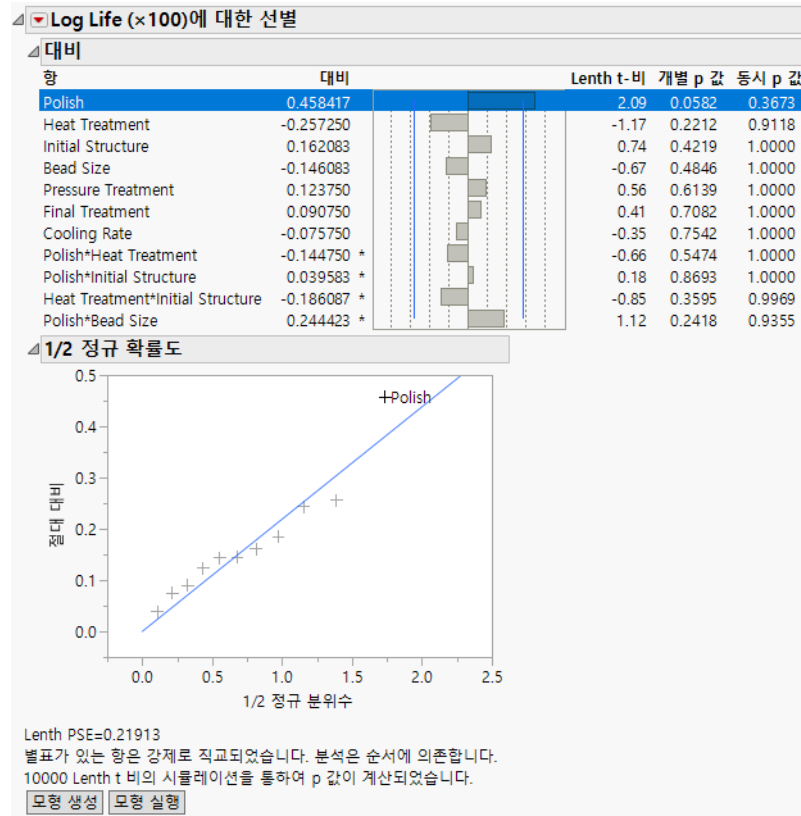
열 특성을 기반으로 시작 창이 채워져 있습니다. Log Life (x100) 가 반응 **Y** 입니다.

7 개 요인 Initial Structure, Bead Size, Pressure Treatment, Heat Treatment, Cooling Rate, Polish 및 Final Treatment 가 **X** 에 대해 지정되어 있습니다.

3. **X** 창 맨 아래로 스크롤합니다. ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 및 ϵ_4 를 선택하고 **제거**를 클릭합니다.

4. **확인**을 클릭합니다.

그림 10.6 Weld-Repaired Castings.jmp 에 대한 선별 보고서



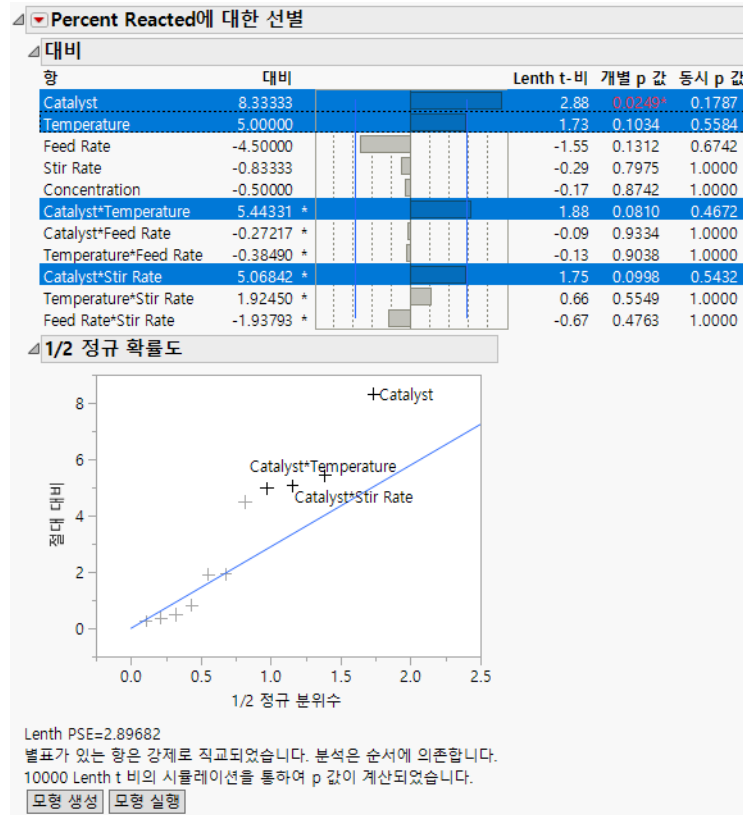
유의한 것으로 식별된 효과는 Polish 뿐입니다. 별표가 표시된 4 개 항은 앞의 효과와 직교하지 않음을 나타냅니다. 이러한 효과에 대해 계산된 대비 값은 직교화 후의 값입니다. 따라서 이러한 추정값은 해당하는 회귀 분석에서 구한 추정값과 일치하지 않습니다. **모형 실행** 버튼을 사용하여 단일 요인 모형을 적합시킬 수 있습니다.

효과 유전성 예

이 예에서는 2 수준 선별 적합 플랫폼에서 효과 유전성을 따르지 않는 모형을 식별할 때 모형을 생성하는 것을 보여 줍니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Plackett-Burman.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**을 선택합니다.
3. Percent Reacted 를 선택하고 **Y** 를 클릭합니다.
4. Feed Rate ~ Concentration 을 선택하고 **X** 를 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.

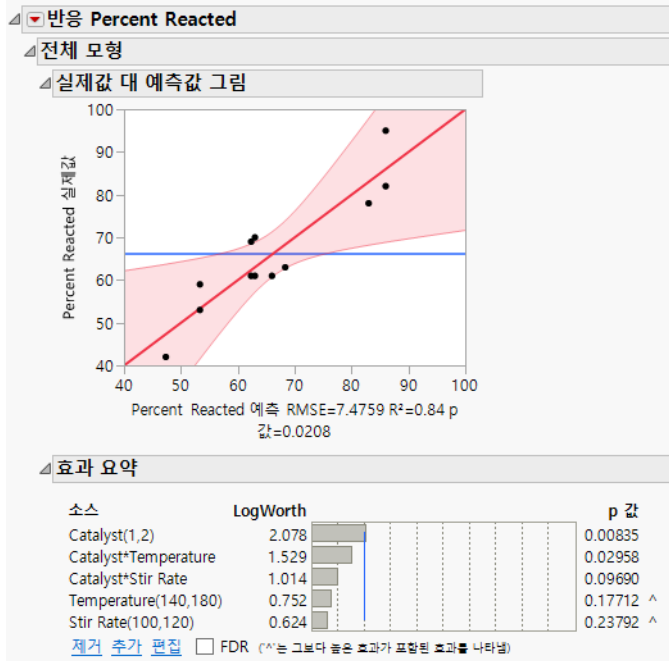
그림 10.7 모형 대비



Catalyst*Stir Rate 교호작용은 강조 표시되어 있는데 Stir Rate 주효과는 강조 표시되지 않습니다. 효과 유전성 원리에 따라 Stir Rate 주효과를 모형에 추가해야 합니다. 자세한 내용은 "DOE 로 시작" 장의 "효과 유전성"(57 페이지)에서 확인하십시오.

6. 모형 생성을 클릭합니다.
7. Stir Rate 를 선택하고 "모형 효과 생성" 섹션에서 추가를 클릭합니다.
8. 실행을 클릭합니다.

그림 10.8 모형 적합 보고서 (일부분)



Stir Rate 및 Temperature 의 p 값 오른쪽에 있는 ^ 기호는 이러한 효과가 유의하지는 않지만 유의한 고차 효과에 포함되어 있음을 나타냅니다.

과포화 설계 분석

과포화 설계는 런보다 요인이 더 많습니다. 이 설계는 분석할 때 효과 희소성에 크게 의존하므로 2 수준 선별 적합 플랫폼이 분석에 이상적입니다. 목표는 활성 효과를 판별하는 것입니다.

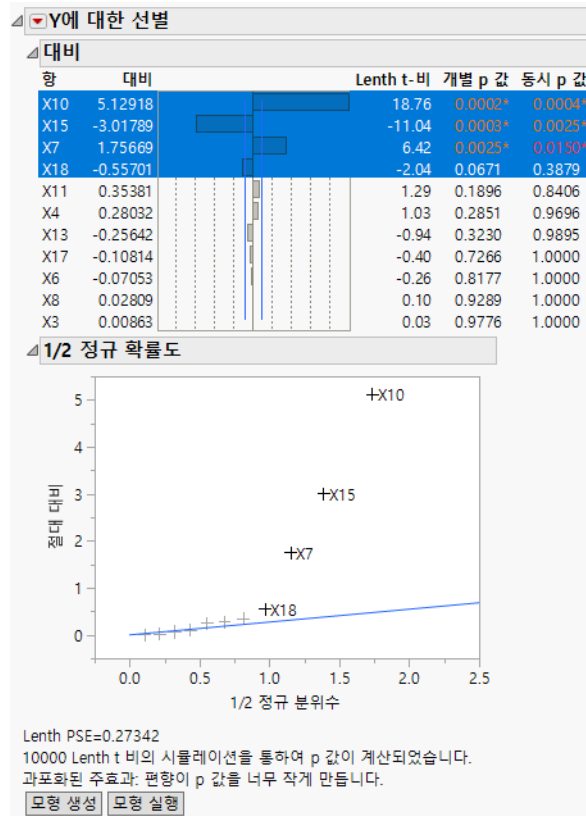
이 예에서는 요인이 18 개이지만 런이 12 회뿐인 시뮬레이션된 설계가 고려됩니다. Y 는 다음에 의해 생성됩니다.

$$Y = 2(X7) + 5(X10) - 3(X15) + \varepsilon$$

여기서 $\varepsilon \sim N(0,1)$ 입니다. 따라서 3 개의 활성 요인으로 Y 가 생성되었습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Supersaturated.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**을 선택합니다.
3. Y 를 선택하고 **Y** 를 클릭합니다.
4. X1 ~ X18 을 선택하고 **X** 를 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.

그림 10.9 Supersaturated.jmp 에 대한 선별 보고서



4 개 요인이 강조 표시되어 있습니다. 0.05 임계값 기준에 따라 X10, X15, X7 요인이 활성입니다. "1/2 정규 확률도" 에서 X18 은 파란색 선에 가까우며, 이는 유의성에 대한 0.1 경계 값에 가깝다는 것을 나타냅니다. 0.1 임계값은 활성 가능성이 있는 요인이 누락되지 않도록 요인 선택에 관대합니다.

X10, X15, X7 에 대한 대비 추정값 5.1, -3, 1.8 은 시뮬레이션된 값 (5, -3, 2) 에 가깝습니다.

p 값은 직교 설계를 가정하는 시뮬레이션을 기반으로 하므로 통계적으로 완전히 유효하지는 않습니다 (과포화 설계의 경우 해당하지 않음). 그러나 위에 표시된 것처럼 추가 조사를 위한 효과를 식별하는 데 유용할 수 있습니다.

2 수준 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보

- "효과 입력 순서"
- "2 수준 선별 적합과 직교 회전"
- "Lenth 유사 표준 오차"

- "Lenth t-비"

효과 입력 순서

2 수준 선별 적합 플랫폼에는 다음과 같이 작업 순서가 신중하게 정의되어 있습니다.

1. 맨 먼저 대비의 절대 크기에 따라 주효과 항이 모형에 입력됩니다. 모든 효과는 모형에서 앞의 효과와 직교됩니다. 이 방법을 사용하면 효과 순서가 단계별 전진 회귀의 경우와 동일하게 됩니다. 또한 주효과를 기준으로 정렬하면 과정 후반에서 기본 별칭 항을 선택하는 데 도움이 됩니다.
2. 주효과 후에 모든 2 차 교호작용, 3 차 교호작용 등이 순서대로 모형에 입력됩니다. B와 C가 모두 D보다 크기 때문에 2 차 교호작용은 이전의 모든 항과 교차한 후 새 항을 가져옵니다. 전체 입력 순서는 AB, AC, BC, AD, BD, CD 입니다.
3. 모형에 이미 있는 효과에 대한 정확한 별칭 효과가 "별칭" 열에 나타납니다. 몇 가지 이전 효과의 선형 조합인 효과는 나타나지 않습니다. 직교성 결여로 인한 부분 별칭 구조가 있는 경우 관련된 효과에 별표가 표시됩니다.
4. 이 과정은 n 개 효과를 얻을 때까지 계속됩니다. 여기서 n 은 데이터 테이블의 행 수이므로 완전히 포화된 모형을 생성합니다. 요인으로 완전 포화가 불가능한 경우 JMP 는 임의의 직교된 효과를 생성하여 나머지 변동을 흡수합니다. 이러한 효과에는 Null n 이라는 라벨이 지정되며 여기서 n 은 숫자입니다. 예를 들어 설계에 정확한 반복 행이 있는 경우 이 상황이 발생합니다.

2 수준 선별 적합과 직교 회전

수학적 개념으로 보면 2 수준 선별 적합 플랫폼은 반응 벡터에서 n 개 값을 가져와 n 개의 새로운 값으로 회전시킵니다. 그런 다음 회전된 값은 요인 및 요인 교호작용의 공간에 의해 매핑됩니다.

$$\text{대비} = \mathbf{T}' \times \text{반응}$$

위의 방정식에서 $\mathbf{T}$ 는 n 개 값을 얻을 때까지 절편, 요인의 주효과, 이원 교호작용, 삼원 교호작용 등으로 시작하는 $n \times n$ 개의 정규직교화된 값 집합입니다. $\mathbf{T}$ 의 첫 번째 열이 절편이고 다른 모든 열이 여기에 직교하므로 이러한 다른 열은 모두 대비입니다. 즉, 합이 0 입니다. $\mathbf{T}$ 는 직교이므로 선형 모형에서 $\mathbf{X}$ 로 사용할 수 있습니다. $\mathbf{T}'$ 는 $\mathbf{T}^{-1}$ 및 $(\mathbf{T}'\mathbf{T})\mathbf{T}'$ 와 동등하므로 역변환이 필요하지 않습니다. 대비는 선형 모형에서 추정된 모수입니다.

절편을 제외하고 활성인 효과가 모형에 없는 경우 대비는 랜덤 독립 변량을 다른 랜덤 독립 변량으로 직교 회전하는 것에 불과합니다. 직교 회전한 이 랜덤 변량은 원래의 랜덤 독립 변량과 분산이 같습니다. 일부 효과가 활성인 경우에도 비활성 효과는 모형의 오차와 동일한 변동을 나타냅니다. 효과 및 설계가 활성 효과와 랜덤 오차 효과를 분리할 수 있을 만큼 강력해야 합니다.

Lenth 유사 표준 오차

Lenth PSE(유사 표준 오차) 라고 하는 Lenth 방법 (Lenth 1989) 은 비활성으로 보이는 효과를 사용하여 잔차 표준 오차의 추정값을 생성합니다. Lenth PSE 를 사용하면 대비가 독립적이고 공통 분산을 갖는 실험의 표준 오차를 추정할 수 있습니다.

n 개 행이 있는 경우 이 플랫폼은 $n - 1$ 개 대비를 생성합니다. 이러한 대비는 $\hat{C}_i$ 로 나타내고, 여기서 $i = 1, \dots, n - 1$ 입니다.

Lenth PSE 를 구하려면 먼저 다음을 계산합니다.

$$v = 1.5[\text{median}_{i=1, \dots, n-1} |\hat{C}_i|]$$

Lenth PSE 는 비활성 가능성이 있는 효과를 기반으로 하며 다음과 같이 정의됩니다.

$$PSE = 1.5 \left[\text{median}_{|\hat{C}_i| < 2.5v} |\hat{C}_i| \right]$$

Lenth PSE 값은 " 선별 " 보고서 맨 아래에 표시됩니다.

Lenth t- 비

각 대비에 대해 t 비는 대비를 PSE 로 나눈 값으로 계산됩니다. 귀무가설 하에서 이러한 t 비의 기준 분포는 계산적으로 처리하기가 어렵습니다. 따라서 시뮬레이션을 통해 계산됩니다. 아래에 설명된 이 방법은 Ye and Hamada(2000) 의 논의를 기반으로 합니다.

i^{th} 대비의 t 비는 다음과 같이 t_i 로 나타냅니다.

$$t_i = \hat{C}_i / (PSE)$$

선별 실험에서 중요한 것은 개별 오차율, 즉 특정 효과가 활성이 아닐 때 활성으로 선언할 확률입니다. 개별 오차는 i^{th} 효과의 경우 $|t_i|$ 가 크고 기준 분포의 상위 꼬리에 속할 때 발생합니다.

이 플랫폼은 비교적 많은 수의 효과를 생성하므로 실험별 오차율도 중요합니다. 실험별 오차율은 활성 효과가 없을 때 어떤 한 효과를 활성으로 선언할 확률입니다. 실험별 오차는 활성 효과가 없을 경우 절대 t 비의 최대값 ($\max |t_i|$) 이 크고 기준 분포의 상위 꼬리에 속할 때 발생합니다.

2 수준 선별 적합 플랫폼은 몬테카를로 시뮬레이션을 사용하여 두 가지 유형의 오차율에 대한 기준 분포를 얻습니다. 평균이 0 이고 표준편차가 PSE 와 동일한 정규 분포에서 시뮬레이션된 $n - 1$ 개 값의 집합을 고려하십시오. 이 값 집합은 활성 효과가 없다는 귀무가설 하에서 실험에 대한 잠재적 대비 값을 나타냅니다. $n - 1$ 개의 랜덤 대비 값 집합이 총 10,000 개 생성됩니다.

개별 p 값

i^{th} 대비를 가정해 보겠습니다. 10,000*($n - 1$) 개의 시뮬레이션 값을 각각 사용하여 Lenth t - 비가 생성됩니다. 개별 오차율에 대한 기준 분포는 이러한 t 비의 절대값에 의해 근사값이 계산됩니다. 개별 p 값은 내림차순으로 정렬되어 있는 시뮬레이션된 절대 t 비 10,000*($n - 1$) 개 중 관측된 절

대 Lenth t -비의 보간 부분 위치입니다. 이는 기준 분포에 대해 관측된 절대 Lenth t -비 절대값의 오른쪽 영역에 근사한 값을 산출합니다.

동시 p 값

모든 효과가 비활성일 때 t 비로 인해 귀무가설이 기각될 경우 실험별 오차가 발생합니다. 이와 동등하게 절대 t 비의 최대값 ($\max |t_i|$) 으로 인해 귀무가설이 기각될 경우 실험별 오차가 발생합니다.

이 경우 기준 분포를 얻으려면 10,000 개의 각 시뮬레이션에서 계산된 절대 t 비의 최대값을 고려하십시오. 10,000 개의 이 최대값이 기준 분포를 구성합니다. 동시 p 값은 내림차순으로 정렬되어 있는 시뮬레이션된 절대 t 비 최대값 10,000 개 중 관측된 절대 Lenth t -비의 보간 부분 위치입니다. 이는 시뮬레이션된 절대 t 비의 최대값을 기반으로 기준 분포에 대한 절대 Lenth t -비 절대값의 오른쪽 영역에 근사한 값을 산출합니다.

몬테카를로 시뮬레이션 옵션

기본 시뮬레이션 집합 수 (10,000) 를 변경하려면 LenthSimN이라는 전역 JSL 변수에 값을 할당해야 합니다. p 값을 도출하는 데 사용된 시뮬레이션 수가 보고서 창에 보고됩니다.

다음 예에서는 시뮬레이션 수를 50,000 으로 설정합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Reactor Half Fraction.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**을 선택합니다.
3. Percent Reacted 를 선택하고 **Y** 를 클릭합니다.
4. Feed Rate ~ Concentration 을 선택하고 **X** 를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.
5. "Percent Reacted 에 대한 선별 " 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **스크립트 저장 > 스크립트 창**에 선택합니다.
6. 스크립트의 첫 번째 줄에 **LenthSimN=50000;** 을 삽입합니다.

```
LenthSimN=50000;
```

```
Fit Two Level Screening(
```

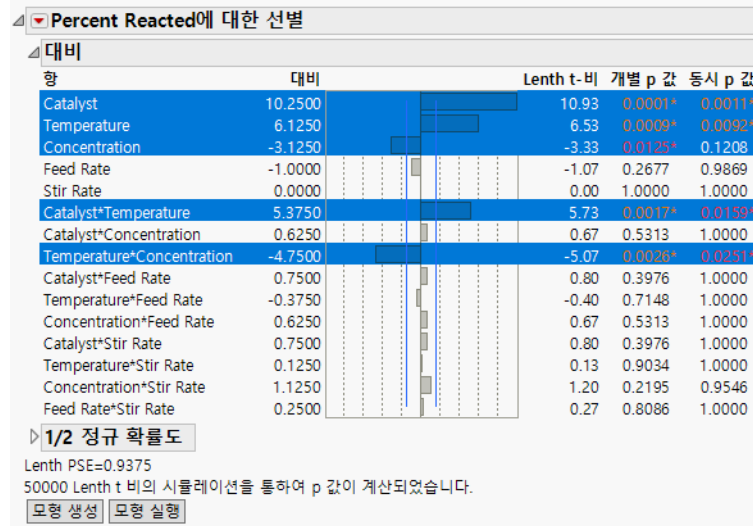
```
  Y( :Percent Reacted),
```

```
  X( :Feed Rate, :Catalyst, :Stir Rate, :Temperature, :Concentration )
```

```
);
```

7. 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **스크립트 실행**을 선택합니다.

그림 10.10 p 값 도출을 위해 $N = 50,000$ 시뮬레이션을 사용한 2 수준 적합



시뮬레이션 수가 보고서 창에 명시됩니다.

참고 : LenthSimN=0 이면 표준 t 분포가 사용되고 동시 p 값은 제공되지 않습니다. 이 방법은 권장되지 않습니다.

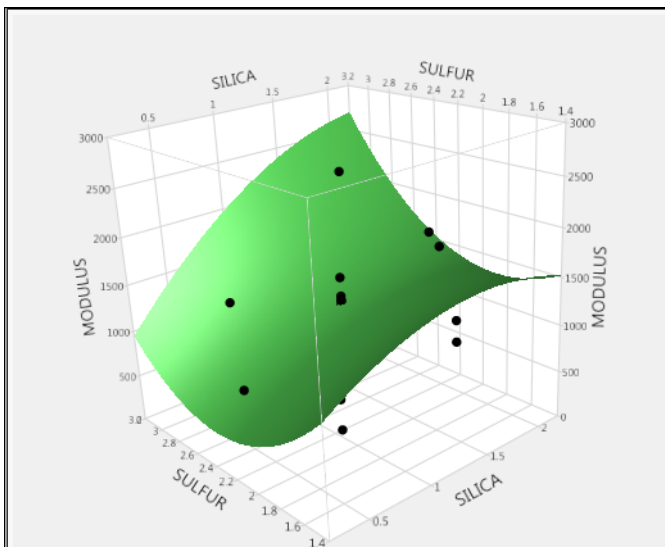
11 장

반응 표면 설계

반응 표면 설계는 2 차 표면을 모델링하는 데 유용합니다. 반응 표면 모형은 설계 영역 내에서 반응의 최소값 또는 최대값이 발생하는 점을 식별할 수 있습니다. 2 차 함수를 적합시키려면 각 요인에 대해 3 개의 구분되는 값이 필요하므로 표준 2 수준 설계는 곡면을 적합시키는 데 적절하지 않습니다.

반응 표면 설계는 반응에 대한 2 차 예측 방정식을 적합시킬 수 있습니다. 이러한 방정식의 2 차 항은 실제 반응 함수에서 곡률을 모델링합니다. 설계 영역 내에 최대값 또는 최소값이 있는 경우 해당 값이 발생하는 점을 추정할 수 있습니다.

그림 11.1 반응 표면 설계 결과 모형



목차

반응 표면 설계 개요.....	331
반응 표면 설계의 예.....	333
Box-Behnken 설계 구성	334
실험 데이터 분석	335
최적 설정 탐색	337
반응 표면 설계 창.....	340
반응	341
요인	342
설계 선택.....	344
출력 옵션 지정	346
테이블 생성.....	346
반응 표면 설계 옵션.....	348

반응 표면 설계 개요

반응 표면 설계 플랫폼은 중심 합성 설계와 Box-Behnken 설계라는 전통적 설계를 제공합니다(블록화된 설계 포함). 중심 합성 설계의 경우 축 점 배치 및 설계의 여러 측면을 제어할 수 있습니다. 반응 표면 설계는 연속형 요인에만 사용할 수 있으며 최대 8 개 요인에 대해 제공됩니다.

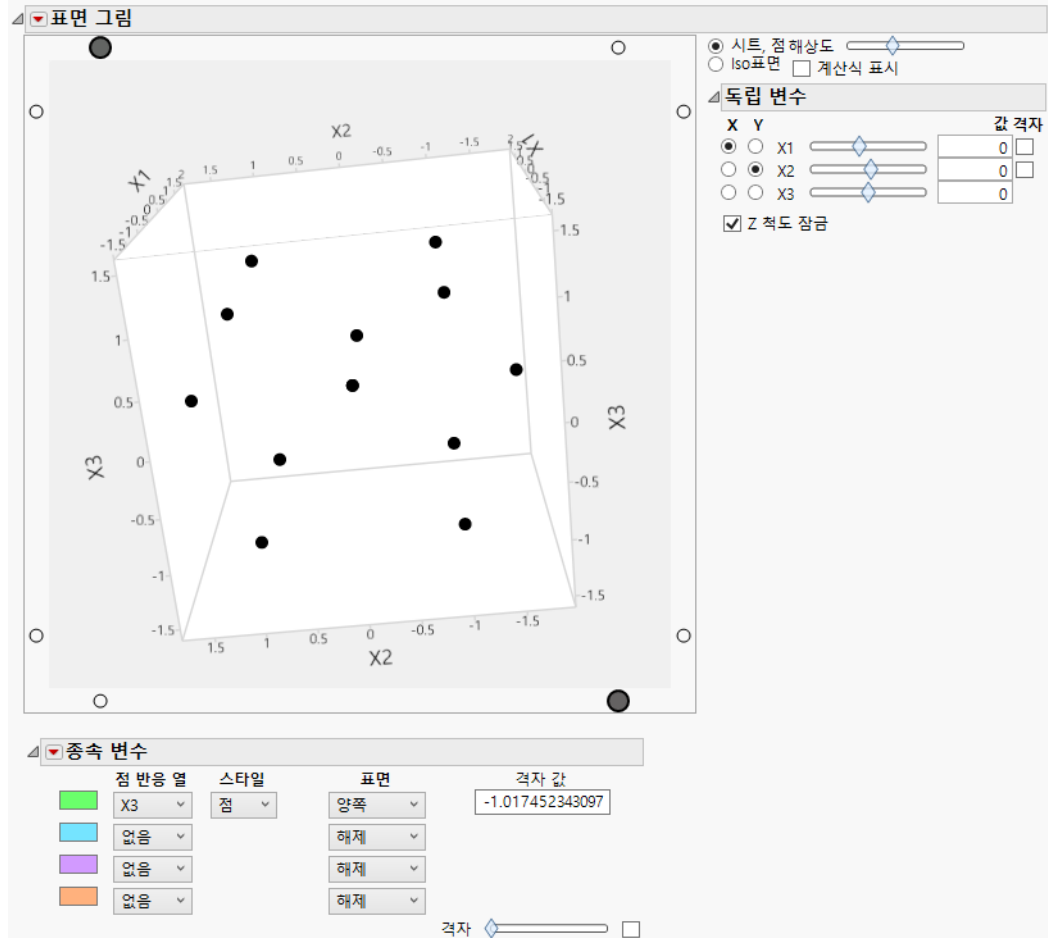
팁 : "DOE > 사용자 설계 " 를 사용하여 특정 실험 상황에 맞는 최적의 반응 표면 설계를 구성할 수 있습니다. 사용자 설계는 전통적 반응 표면 설계보다 훨씬 유연한 반응 표면 설계를 구성합니다. 특히 사용자 설계 플랫폼을 사용하면 범주형 요인 또는 9 개 이상의 연속형 요인이 포함된 반응 표면 설계를 생성할 수 있습니다. 런 수 및 설계 공간에 대한 제한을 지정할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "사용자 설계의 예 " 장의 "[반응 표면 실험](#)"(143 페이지) 에서 확인하십시오.

중심 합성 설계 (그림 11.2) 는 2 수준 부분 요인 설계와 다음과 같은 두 가지 다른 유형의 점을 결합합니다.

- 중앙점 . 모든 요인 값이 범위의 중앙 값으로 설정됩니다 .
- 축 점 . 한 요인은 상한 또는 하한값 (축 값) 으로 설정되고 다른 모든 요인은 범위의 중앙 값으로 설정됩니다 .

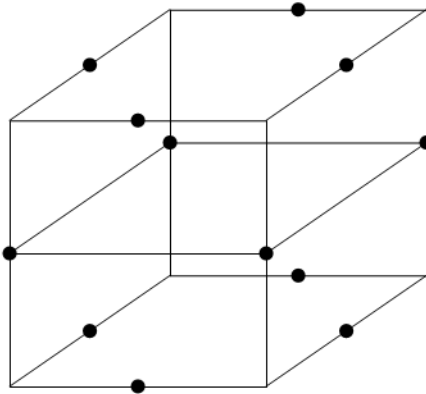
축 점을 기준으로 한 선택에 따라 중심 합성 설계는 각 요인에 대해 최대 5 개의 고유 설정을 가질 수 있으며 축 점은 지정된 요인 범위를 넘어 확장될 수 있습니다 .

그림 11.2 세 가지 요인에 대한 중심 합성 설계



Box-Behnken 설계 (그림 11.3)에 요인당 수준이 세 개뿐이며 요인 범위에 의해 정의된 입방체의 꼭지점에 설계점이 없습니다. 이 유형의 설계는 엔지니어링 고려 사항으로 인해 설계점을 사용하지 않아야 할 때 유용할 수 있습니다. 그러나 입방체 꼭지점에 설계점이 없다는 것은 Box-Behnken 설계가 중심 합성 설계에 비해 꼭지점 근처에서 예측 분산이 높고 정밀도가 낮다는 의미입니다.

그림 11.3 세 가지 요인에 대한 Box-Behnken 설계



JMP 에서 다음 두 가지 방법으로 반응 표면 설계를 구성할 수 있습니다.

- 반응 표면 설계 플랫폼 사용 (최대 8 개의 연속형 요인)
- 사용자 설계 플랫폼 사용 후 " 모형 " 개요에서 " RSM " 버튼 클릭

두 경우 모두 모형 적합을 위해 실행할 수 있는 " 모형 " 스크립트가 설계 테이블에 포함됩니다. " 모형 " 스크립트는 " 반응 표면 효과 " 속성을 각 주효과에 적용하여 " 모형 적합 " 창에서 주효과 뒤에 **&RS** 가 표시되도록 합니다. 이 속성을 사용하면 " 최소 제곱 적합 " 보고서에 " 반응 표면 " 보고서가 포함됩니다. 이 보고서에 대한 자세한 내용은 **Fitting Linear Models** 의 " Standard Least Squares Report and Options " 장에서 확인하십시오.

참고 : 연속형 요인이 20 개 넘게 포함된 반응 표면 설계의 경우 " 표준 최소 제곱 " 보고서에 " 반응 표면 " 개요가 표시되지 않습니다.

반응 표면 설계의 예

이 예에서는 타이어 트레드 실험을 위한 Box-Behnken 설계를 구성합니다. 연장 (Stretch) 측정을 위해 목표값 450 과 일치시키는 것이 실험 목표입니다. 연장 값은 타이어 트레드 컴파운드를 제조하는 데 사용되는 **Silica**, **Silane** 및 **Sulfur** 양에 따라 달라집니다. 목표값을 달성하는 설정을 찾기 위해 광범위한 요인 설정을 대상으로 실험하려고 합니다.

- "Box-Behnken 설계 구성 "
- " 실험 데이터 분석 "
- " 최적 설정 탐색 "

Box-Behnken 설계 구성

편의상 이 예에서는 기존 테이블의 반응과 요인을 불러옵니다. 새 실험을 직접 설계할 때는 반응과 요인을 수동으로 입력합니다. 자세한 내용은 "반응"(341 페이지) 및 "요인"(342 페이지)에서 확인하십시오.

1. DOE > 전통적 설계 > 반응 표면 설계를 선택합니다.
2. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Bounce Response.jmp 를 엽니다.
3. "반응 표면 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 반응 불러오기를 선택합니다.
4. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Bounce Factors.jmp 를 엽니다.
5. "반응 표면 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 요인 불러오기를 선택합니다.

그림 11.4 타이어 트레드 설계를 위한 반응 및 요인 개요

반응 표면 설계

반응

반응 추가 ▼ 제거 반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Stretch 선택적 항목	목표값 일치	350	550	1

요인

이름	역할	값
▲ Silica	연속형	0.7 1.7
▲ Sulfur	연속형	1.8 2.8
▲ Silane	연속형	40 60

3 요인 설계 선택

런 수	블록	중앙점	설계 유형
15	3		Box-Behnken
16	2		중심 합성 설계
20	6		CCD-균등 정밀
20	6		CCD-직교 블록
23	9		CCD-직교

계속 뒤로

"반응" 개요에 Stretch의 목표가 "목표값 일치"로 설정되어 있습니다.

"설계 선택" 패널에 가능한 설계가 나타납니다.

참고: 6 단계에서 "난수 시드값"을 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

6. (선택 사항) "반응 표면 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다.
"12345"를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
7. **계속**을 클릭하여 Box-Behnken 설계 선택을 유지합니다.
8. **테이블 생성**을 클릭합니다.

그림 11.5 Box-Behnken 설계 테이블

	팩턴	Silica	Sulfur	Silane	Stretch
1	-0+	0.7	2.3	60	•
2	0+-	1.2	2.8	40	•
3	000	1.2	2.3	50	•
4	000	1.2	2.3	50	•
5	+0-	1.7	2.3	40	•
6	+0+	1.7	2.3	60	•
7	0-+	1.2	1.8	60	•
8	0++	1.2	2.8	60	•
9	-0-	0.7	2.3	40	•
10	--0	0.7	2.8	50	•
11	000	1.2	2.3	50	•
12	--0	0.7	1.8	50	•
13	0--	1.2	1.8	40	•
14	+-0	1.7	1.8	50	•
15	++0	1.7	2.8	50	•

이제 실험을 수행하고 데이터 테이블에 반응을 입력합니다.

실험 데이터 분석

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Bounce Data.jmp를 엽니다.
Bounce Data.jmp 파일에 실험 결과가 포함되어 있습니다.
2. **Model** 스크립트를 실행합니다.
"모형 효과 생성" 목록의 주효과 뒤에 **& RS**가 표시됩니다. 이 접미사는 해당 주효과가 "표준 최소 제곱" 보고서에 "반응 표면" 보고서를 생성하는 반응 표면 효과임을 나타냅니다.
3. **실행**을 클릭합니다.

그림 11.6 적합 결여 및 효과 검정 보고서

▲ 적합 결여					
소스	DF	제곱합	평균 제곱	F 비	
적합 결여	3	11.750000	3.91667	0.9792	
순수 오차	2	8.000000	4.00000		Prob > F
총 오차	5	19.750000		0.5411	
				최대 R²	
				0.9999	

▷ 모수 추정값					
▲ 효과 검정					
소스	N모수	DF	제곱합	F 비	Prob > F
Silica(0.7,1.7)	1	1	12880.125	3260.791	<.0001*
Sulfur(1.8,2.8)	1	1	5778.125	1462.816	<.0001*
Silane(40,60)	1	1	968.000	245.0633	<.0001*
Silica*Sulfur	1	1	52441.000	13276.20	<.0001*
Silica*Silane	1	1	0.250	0.0633	0.8114
Sulfur*Silane	1	1	8556.250	2166.139	<.0001*
Silica*Silica	1	1	2592.923	656.4362	<.0001*
Sulfur*Sulfur	1	1	4653.231	1178.033	<.0001*
Silane*Silane	1	1	0.231	0.0584	0.8186

▷ Box-Cox 변환					

적합 결여를 나타내는 징후가 없고 "효과 검정" 보고서에 따르면 두 개의 고차항(Silica*Silane, Silane*Silane)을 제외한 모든 항의 p 값이 0.0001 미만입니다. 그림 11.6의 테이블 해석에 대한 자세한 내용은 Fitting Linear Models의 "Standard Least Squares Report and Options"장에서 확인하십시오.

4. "반응 표면" 옆의 표시 아이콘을 클릭하여 보고서를 엽니다.
5. "정준 곡률" 옆의 표시 아이콘을 클릭합니다.

그림 11.7 반응 표면 보고서

▲ 반응 표면				
계수	Silica(0.7,1.7)	Sulfur(1.8,2.8)	Silane(40,60)	Stretch
Silica(0.7,1.7)	26.5	114.5	-0.25	-40.125
Sulfur(1.8,2.8)	.	-35.5	46.25	-26.875
Silane(40,60)	.	.	0.25	11

▲ 해	
변수	임계값
Silica(0.7,1.7)	1.7912411
Sulfur(1.8,2.8)	2.1986422
Silane(40,60)	23.424426
해: 안장점	
임계값이 데이터 범위를 벗어납니다.	
해의 예측값	360.38388

▲ 정준 곡률				
	고유값 및 고유 벡터			
고유값	62.9095	3.2989	-74.9584	
Silica(0.7,1.7)	0.82779	-0.29879	-0.47486	
Sulfur(1.8,2.8)	0.52687	0.12315	0.84097	
Silane(40,60)	0.19280	0.94634	-0.25937	

보고서의 첫 번째 부분으로 표시된 "계수" 테이블에는 추정된 모형 모수가 간략하게 요약되어 있습니다. 처음 세 열은 2차 항의 계수를 제공합니다. 마지막 열은 선형 항의 계수를 제공

합니다. 예측 표현식을 전체적으로 표시하려면 "반응 Stretch"의 빨간색 삼각형에서 **추정값 > 예측 표현식 표시**를 선택합니다.

"해" 보고서는 단일 임계값이 발생하는 점의 좌표를 제공합니다. 이 경우 해당 점은 안장점 (최대값도 아니고 최소값도 아닌 점)이며 설계 공간 범위를 벗어납니다.

"정준 곡물" 보고서는 효과의 고유값 및 고유 벡터를 표시합니다. 이러한 값은 표면 곡물의 특성과 방향에 대한 정보를 제공합니다. 큰 양의 고유값 62.9095는 양의 곡물을 나타내고 고유 벡터 값은 곡물이 주로 Silica 방향에 있음을 나타냅니다. 큰 음의 고유값 -74.9584는 음의 곡물을 나타내고 고유 벡터 값은 곡물이 주로 Sulfur 방향에 있음을 나타냅니다.

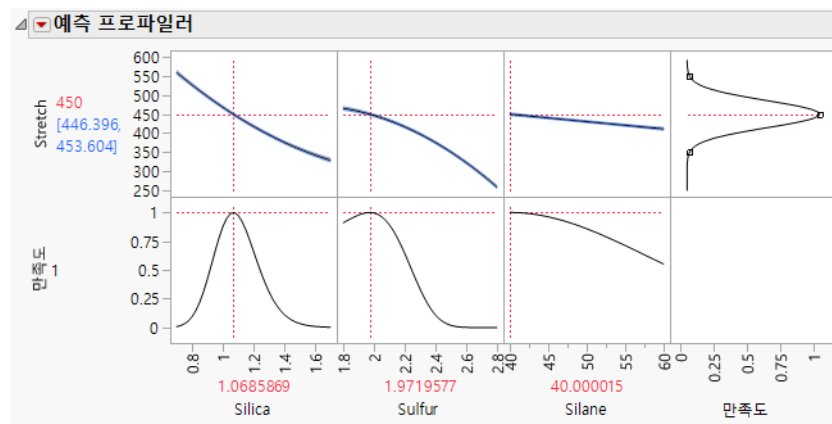
그림 11.7의 반응 표면 분석 테이블에 대한 자세한 내용은 Fitting Linear Models의 "Standard Least Squares Report and Options"장에서 확인하십시오.

이제 예측 프로파일러 및 등고선 프로파일러를 사용하여 최적 설정을 찾습니다.

최적 설정 탐색

1. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

그림 11.8 만족도가 최대화된 Bounce Data.jmp의 예측 프로파일러



참고 : 그림에 표시된 것과 최적 설정이 다를 수 있습니다. 예측 Stretch가 450인 점이 많이 있기 때문입니다.

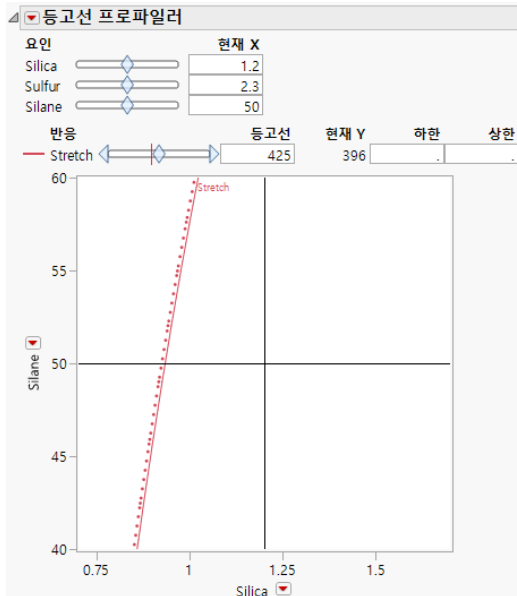
반응을 지정할 때 목표는 하한과 상한이 각각 350, 550인 상태에서 목표값 (450) 일치로 설정되었습니다. 이 목표는 설계 테이블로 이어지고 한계 값은 Stretch의 "반응 한계" 열 특성에 입력되었습니다. 이러한 반응 한계에서 만족도 함수가 구성됩니다 (그림 11.8의 오른쪽 위 셀). 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "반응 한계" (684 페이지)에서 확인하십시오.

만족도 함수를 최대화할 때 JMP는 예측 Stretch가 450이 되는 가능한 여러 요인 수준 설정 조합 중에서 하나를 식별합니다. 그림 11.8에서는 이러한 설정을 Silica = 1.069, Sulfur = 1.972, Silane = 40.000으로 나타냅니다. 이제 "등고선 프로파일러"를 사용하여 만족도 함수를 최대화하는 다른 점을 식별합니다.

예측 프로파일러에 대한 자세한 내용은 Profilers 의 "Profiler" 장에서 확인하십시오 .

2. " 반응 Stretch" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 프로파일링 > 등고선 프로파일러** 를 선택합니다 . Sulfur 값을 2.0 으로 설정하고 목표값을 달성하려는 경우를 가정해 보겠습니다 . 또한 Silane 및 Silica 에 대해 선택한 설정이 예측 Stretch 를 450(5 단위) 이내에 유지하도록 해야 합니다 .
3. 세로 축에서 Sulfur 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 Silane 을 선택합니다 .

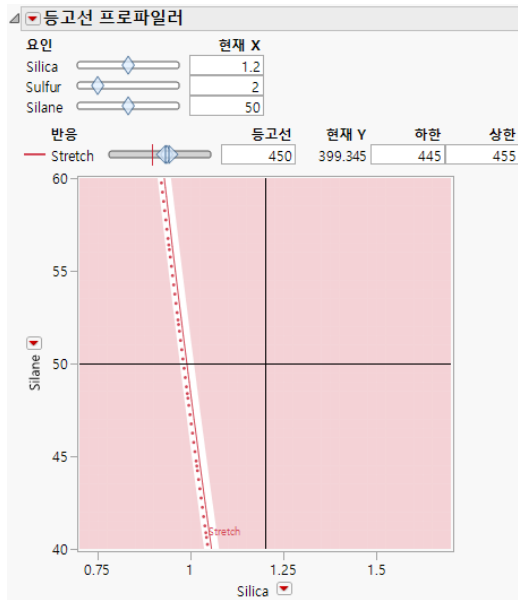
그림 11.9 Bounce Data.jmp 의 등고선 프로파일러



이 그림은 Stretch가 425이고 Sulfur가 2.3인 경우 Silane 및 Silica 값의 등고선을 보여 줍니다.

4. Sulfur 의 **현재 X** 를 2 로 설정합니다 .
5. Stretch 의 **등고선** 을 450 으로 설정합니다 .
6. Stretch 의 **하한** 및 **상한** 을 각각 445 와 455 로 설정합니다 . Enter 키를 누릅니다 .

그림 11.10 Silica 및 Silane 의 최적 설정을 보여 주는 등고선 프로파일러

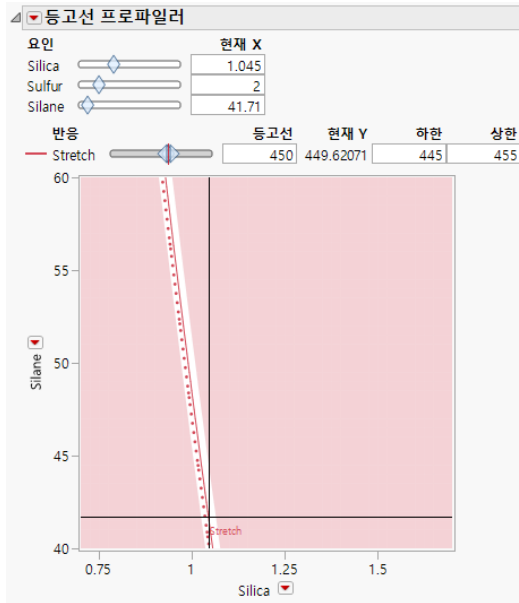


Silica 및 Silane 값의 음영 처리되지 않은 띠는 Sulfur 가 2.0 으로 설정된 경우 445 에서 455 사이의 예측 Stretch 를 제공합니다. 단색의 빨간색 곡선 위의 값은 예측 Stretch 값 450 을 나타냅니다.

7. 그림에 나타나는 십자기호를 음영 처리되지 않은 띠로 드래그하여 실제적 관점에서 공정에 가장 적합한 Silica 및 Silane 설정을 찾습니다.

공정은 높은 수준보다 낮은 수준의 Silane 에서 더 로버스트하다고 가정해 보겠습니다. 그러면 그림 11.11 의 설정을 고려할 수 있습니다.

그림 11.11 Silica 및 Silane 의 특정 설정을 보여 주는 등고선 프로파일러



Sulfur = 2.0 의 경우 십자가호로 식별된 요인 설정은 Silica = 1.045, Silane = 41.71 입니다. 이 설정은 "현재 X" 아래에 표시됩니다. 이 설정에서 예측 Stretch 는 449.62071 이며 "현재 Y" 옆에 표시됩니다.

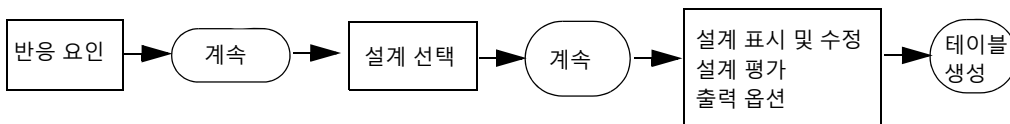
등고선 프로파일러에 대한 자세한 내용은 Profilers 의 "Contour Profiler" 장에서 확인하십시오.

반응 표면 설계 창

"반응 표면 설계" 창은 2 차 표면을 모델링하기 위한 설계를 구성하는 단계를 안내합니다. 중심 합성 설계, Box-Behnken 설계 또는 이 두 설계 유형 중 하나의 블록화된 버전을 선택할 수 있습니다. 중심 합성 설계를 선택하면 축 점을 조정할 수 있습니다.

설계 단계를 진행하는 동안 "반응 표면 설계" 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 11.12 의 흐름을 따릅니다.

그림 11.12 반응 표면 설계 흐름



반응

" 반응 " 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

팁 : " 반응 " 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

그림 11.13 반응 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y	최대화	.	.	.

선택적 항목

반응 추가 " 최대화 ", " 목표값 일치 ", " 최소화 " 또는 " 없음 " 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. " 목표값 일치 "를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. " 최대화 " 또는 " 최소화 "를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

제거 선택한 반응을 제거합니다.

반응 수 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 " 목표값 일치 "로 설정됩니다. 테이블에서 " 목표 " 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

" 반응 " 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

반응 이름 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

목표, 하한, 상한 " 목표 "는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 " 반응 한계 " 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. " 프로파일러 " 및 " 등고선 프로파일러 "는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장 및 " 열 특성 " 부록의 **" 반응 한계 "**(684 페이지)에서 확인하십시오.

- " 최대화 " 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 " 하한 " 또는 " 상한 "으로 지정할 수 있습니다.
- " 최소화 " 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 " 하한 " 또는 " 상한 "으로 지정할 수 있습니다.
- " 목표값 일치 " 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.

- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

참고 : 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

중요도 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "**반응 한계**"(684 페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler"장에서 확인하십시오.

요인

반응 표면 설계의 요인은 연속형만 가능합니다.

팁 : 범주형 요인을 포함하는 반응 표면 설계를 생성하려면 **DOE > 사용자 설계**를 사용하십시오.

반응 표면 설계의 초기 "요인" 패널에는 두 가지 연속형 요인이 나타납니다.

그림 11.14 요인 개요

이름	역할	값
X1	연속형	-1
X2	연속형	-1

"요인" 개요에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

추가 지정된 수의 연속형 요인을 입력합니다.

선택한 항목 제거 선택한 요인을 제거합니다.

팁 : "요인" 패널을 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 "요인 저장" 을 선택하십시오. 이렇게 하면 요인 이름과 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다. 자세한 내용은 "[반응 표면 설계 옵션](#)" (348 페이지) 에서 확인하십시오.

"요인" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

이름 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

역할 요인의 설계 역할을 "연속형" 으로 지정합니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다.

값 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

요인 열 특성

각 요인에 대한 다양한 열 특성이 완료된 설계의 데이터 테이블에 저장됩니다.

설계 역할 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 할당됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. 블록이 있는 설계를 선택하면 해당 요인에 "블록화" 값이 할당됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

요인 변경 각 요인에 "쉬움" 으로 설정된 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. 반응 표면 설계 플랫폼에서는 각 실험 런에 대해 요인 수준을 변경할 수 있다고 가정합니다. "요인 변경" 값은 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

코딩 "설계 역할"이 "연속형"인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한 값과 상한값이 각각 -1 과 +1 에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. "최소 제곱 적합" 보고서의 추정값과 검정은 변환된 값을 기반으로 합니다.

블록당 런 수 각 블록의 런 수를 나타냅니다. 블록이 있는 설계를 선택하고 "테이블 생성"을 클릭하면 기본 이름이 "블록"인 요인이 "요인" 목록에 추가됩니다. "블록당 런 수" 열 특성은 해당 요인에 대해 저장됩니다.

설계 선택

반응과 요인을 입력하고 **계속**을 클릭한 후 설계 목록에서 선택합니다. 설계에는 다음 두 가지 유형이 포함됩니다.

- "Box-Behnken 설계"(344 페이지)
- "중심 합성 설계"(344 페이지)

사용할 설계를 선택하고 **계속**을 클릭합니다.

그림 11.15 네 가지 요인에 대한 설계 선택 패널

4 요인
설계 선택

런 수	블록	중앙점	설계 유형
27		3	Box-Behnken
27	9	3	Box-Behnken
26		2	중심 합성 설계
30	10	6	CCD-직교 블록
31		7	CCD-균등 정밀
36		12	CCD-직교

계속
뒤로

Box-Behnken 설계

Box-Behnken 설계에 요인당 수준이 세 개뿐이며 요인 범위에 의해 정의된 입방체의 꼭지점에 설계점이 없습니다. 이러한 설계는 엔지니어링 고려 사항으로 인해 극단적 설정을 피해야 할 때 유용할 수 있습니다. 그러나 이 설계는 중심 합성 설계에 비해 꼭지점 근처에서 예측 분산이 더 높습니다.

중심 합성 설계

중심 합성 설계에는 중앙점과 축 점이 있습니다. 축 점은 한 요인은 상한 또는 하한값(축 값)으로 설정되고 다른 모든 요인은 범위의 중앙 값으로 설정되는 점입니다.

중심 합성 설계에는 지정된 요인 범위에 의해 정의된 초입방체의 면을 벗어나는 축 점이 있을 수 있습니다. 즉, 각 요인에는 "요인" 개요에 지정된 값 범위를 벗어나는 두 가지 설정을 포함하여 5 개의 고유 설정이 필요할 수 있습니다. 그러나 JMP 를 사용하면 면에 설계점을 놓을 수 있습니다.

다음과 같은 유형의 중심 합성 설계를 사용할 수 있습니다.

중심 합성 설계 지정된 수의 요인에 대한 일반적인 중심 합성 설계입니다.

CCD- 균등 정밀 설계 공간의 중심 근처에서 예측 분산이 매우 고르게 되도록 중앙점 수가 선택됩니다.

CCD- 직교 2 차 모수 추정값이 다른 모수 추정값과 최소로 상관되도록 중앙점 수와 축 값이 선택됩니다.

CCD- 직교 블록 2 차 모수 추정값 및 블록 효과가 다른 모수 추정값과 최소로 상관됩니다.

축 값

중심 합성 설계를 선택한 후 **계속**을 클릭하면 축 크기 조정 정보를 제공하는 옵션을 사용할 수 있습니다. 표시된 값은 축 값을 놓을 때 지정된 요인 범위의 1/2 을 곱하는 데 사용됩니다. "축 값" 옆에 1.0 을 지정하면 결과 설계의 축 점은 요인에 의해 정의된 입방체의 면에 놓입니다. 다음 옵션에 따라 축 값을 설정할 수 있습니다.

그림 11.16 축 값 패널

Design Center	Design Center
☐ 회전	1.682
☐ 직교	1.287
☐ 평면 위	1.000
☒ 사용자 지정	1.000
☐ 내접	

회전 예측 분산은 설계 중심과의 척도화된 거리에만 의존합니다. 축 점은 요인 범위보다 더 극단적입니다. 이 요인 범위를 실제로 달성할 수 없는 경우 **평면 위**를 선택하거나 값을 직접 지정하십시오.

직교 효과가 직교합니다. 축 점은 요인 범위보다 더 극단적입니다. 이 요인 범위를 실제로 달성할 수 없는 경우 **평면 위**를 선택하거나 값을 직접 지정하십시오.

평면 위 축 점을 지정된 요인 범위의 극단에 놓습니다.

사용자 지정 "축 값" 텍스트 상자에 입력한 값으로 지정된 거리에 축 점을 놓습니다.

내접 축 점이 요인 범위의 아래쪽 및 위쪽 끝에 놓이도록 설계의 척도를 재조정합니다. 요인 설계점은 이 척도에 따라 축소됩니다.

출력 옵션 지정

"출력 옵션" 패널에서 출력 데이터 테이블에 대한 상세 정보를 지정할 수 있습니다. 끝나면 **테이블 생성**을 클릭하여 설계에 대한 데이터 테이블을 구성합니다.

런 순서

런 순서 옵션은 설계 테이블의 런 순서를 결정합니다. 다음과 같은 옵션을 선택할 수 있습니다.

동일하게 유지 설계 테이블에 표시되는 행 순서가 "설계" 및 "예상 계수" 개요의 순서와 동일합니다.

좌에서 우로 정렬 설계 테이블의 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

랜덤화 설계 테이블의 행이 랜덤 순서로 나타납니다.

우에서 좌로 정렬 설계 테이블의 열이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬됩니다.

블록 내 랜덤화 설계 테이블의 행이 블록 내에서 랜덤 순서로 나타납니다.

중앙점 및 반복 실험

중앙점 수 설계에 나타나는 중앙점의 수입니다. 중앙점은 모든 연속형 요인이 요인 범위의 가운데에 설정되는 런입니다. 표시된 초기값은 선택한 설계의 중앙점 수입니다.

반복 실험 수 중앙점을 포함하여 전체 설계를 반복할 횟수입니다. 한 번 반복하면 런 수가 두 배가 됩니다.

테이블 생성

테이블 생성을 클릭하여 실험 런이 포함된 설계 테이블을 생성합니다.

그림 11.17 Bounce 요인 및 반응에 대한 직교 중심 합성 설계

패턴	Silica	Sulfur	Silane	Stretch
1 000	1.2	2.3	50	•
2 000	1.2	2.3	50	•
3 --+	0.7	2.8	60	•
4 A00	2.0340158846	2.3	50	•
5 +-+	1.7	1.8	60	•
6 000	1.2	2.3	50	•
7 a00	0.3659841154	2.3	50	•
8 000	1.2	2.3	50	•
9 ---	0.7	1.8	40	•
10 00a	1.2	2.3	33.319682308	•
11 ++-	1.7	2.8	40	•
12 +--	1.7	1.8	40	•
13 000	1.2	2.3	50	•
14 000	1.2	2.3	50	•
15 000	1.2	2.3	50	•
16 00A	1.2	2.3	66.680317692	•
17 0a0	1.2	1.4659841154	50	•
18 --+	0.7	2.8	40	•
19 ---	0.7	1.8	60	•
20 000	1.2	2.3	50	•
21 0A0	1.2	3.1340158846	50	•
22 +++	1.7	2.8	60	•
23 000	1.2	2.3	50	•

왼쪽 위의 테이블 패널에 있는 **설계** 노트는 테이블을 생성한 설계 유형을 나타냅니다 (중심 합성 설계). 이 정보는 여러 설계를 비교하는 경우 유용할 수 있습니다.

패턴 열

패턴 열은 요인 값에 관한 각 행의 런에 대한 설명을 기호로 표시합니다.

팁 : 패턴은 그림에서 라벨 변수로 유용할 수 있습니다.

표 11.1 패턴 열 설명

-	하한값
+	상한값
0	범위의 중앙 값
a	측 하한값
A	측 상한값

설계 테이블 스크립트

설계 테이블에는 다음과 같은 스크립트가 포함되어 있습니다.

모형 분석 > 모형 적합 플랫폼을 실행합니다.

설계 평가 "DOE > 설계 진단 > 설계 평가" 플랫폼을 실행합니다.

DOE 대화상자 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "반응 표면 설계" 창을 다시 생성합니다. 또한 이 스크립트는 설계를 생성하는 데 사용된 난수 시드값도 포함합니다.

반응 표면 설계 옵션

반응 표면 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 저장 "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

반응 불러오기 "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

요인 저장 "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

참고: 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

요인 불러오기 "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

제약 조건 저장 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "**제약 조건 상태**"(715 페이지)에서 확인하십시오.

제약 조건 불러오기 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화

- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고 : 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자 " 스크립트 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.
- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 창의 "**반응 시뮬레이션**"(100 페이지)에서 확인하십시오.

참고 :  "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE에는 기본 분석의 "시뮬레이션" 창에서 확인하십시오.

행렬 X 저장 "적률 행렬" 및 "모형 행렬"을 설계 데이터 테이블의 테이블 스크립트에 저장합니다. 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 창의 "**행렬 X 저장**"(102 페이지)에서 확인하십시오.

주의 : 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장 > 코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정 모형 효과에 대해 감지할 평균 반응의 차이를 지정합니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 창의 "**설계 평가 옵션**"(437 페이지)에서 확인하십시오.

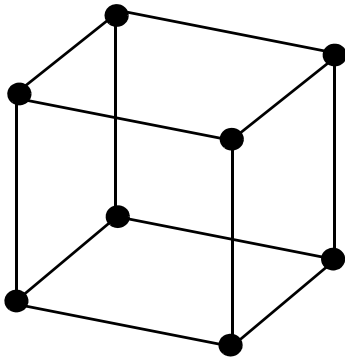
스크립트를 스크립트 창에 저장 "반응 표면 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

12 장

완전 요인 설계

완전 요인 설계는 가능한 모든 요인 설정 조합으로 실행되는 실험을 정의합니다. 완전 요인 설계를 사용하면 가능한 모든 교호작용을 추정할 수 있습니다. 완전 요인 설계는 선별 설계에 비해 규모가 크고, 높은 수준의 교호작용이 활성화되지 않는 경우가 종종 있으므로 비효율적일 수 있습니다. 일반적으로 이 설계는 요인과 수준의 수가 적고 가능한 모든 교호작용에 대한 정보가 필요할 때 사용됩니다. 예를 들어 완전 요인 설계는 MSA(측정 시스템 분석)의 기초를 형성하는 경우가 많습니다.

그림 12.1 세 가지 2 수준 요인에 대한 완전 요인 설계



목차

완전 요인 설계 개요.....	353
완전 요인 설계의 예.....	353
설계 구성.....	353
실험 데이터 분석.....	355
완전 요인 설계 창.....	359
반응.....	359
요인.....	361
출력 옵션 선택.....	363
테이블 생성.....	364
완전 요인 설계 옵션.....	365

완전 요인 설계 개요

완전 요인 설계에서는 요인 수준의 모든 조합으로 실험 런을 수행합니다. 표본 크기는 요인 수준 수의 곱입니다. 예를 들어 2 수준 요인, 3 수준 요인 및 4 수준 요인이 포함된 요인 실험의 런 수는 $2 \times 3 \times 4 = 24$ 입니다.

완전 요인 설계 플랫폼은 수준 수에 제한이 없는 연속형 요인과 범주형 요인을 모두 지원합니다. 완전히 랜덤한 방식으로 실험을 실행할 수 있다고 가정합니다.

완전 요인 설계는 모든 설계 유형 중에서 가장 보수적입니다. 그러나 표본 크기는 요인 수에 따라 기하급수적으로 증가하므로 완전 요인 설계를 실행하는 데 비용이 너무 많이 들 수 있습니다. 사용자 설계, 확증적 선별 설계 및 선별 설계는 덜 보수적이지만 더 유용하고 비용 효율적입니다.

완전 요인 설계의 예

이 예에서는 반응기 수율에 영향을 미치는 2 수준 요인 5 개 (Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature, Concentration) 의 효과를 연구하기 위해 완전 요인 설계를 구성합니다. 각각 수준이 2 개인 요인이 5 개 있으므로 완전 요인 설계의 런은 최소 $2^5 = 32$ 회입니다. 이 실험 상황과 관련하여 규모가 더 작은 선별 설계에 대한 내용은 " 선별 설계 " 장의 " 선별 설계의 추가 예 "(300 페이지) 에서 확인하십시오.

이 예에서는 기존 테이블의 반응과 요인을 불러옵니다. 새 실험을 직접 설계할 때는 반응과 요인을 수동으로 입력합니다. 자세한 내용은 " 반응 "(359 페이지) 및 " 요인 "(361 페이지) 에서 확인하십시오.

설계 구성

1. **DOE > 전통적 설계 > 완전 요인 설계**를 선택합니다.
2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor Response.jmp 를 엽니다.
3. " 완전 요인 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **반응 불러오기**를 선택합니다.
4. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor Factors.jmp를 엽니다.
5. " 완전 요인 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
6. **계속**을 클릭합니다.

그림 12.2 완전 요인 예의 반응 및 요인 패널

▼ 완전 요인 설계

반응

반응 추가 ▼ 제거 반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Percent Reacted	최대화	90	100	1

요인

연속형 ▼ 범주형 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	값
Feed Rate	연속형	10
Catalyst	연속형	1
Stir Rate	연속형	100
Temperature	연속형	140
Concentration	연속형	3

2x2x2x2x2 요인

출력 옵션

런 순서: 랜덤화 ▼

런 수: 32

중앙점 수: 0

반복 실험 수: 0

테이블 생성

뒤로

참고 : 7 단계에서 난수 시드값을 설정하면 설계 테이블의 런이 이 예와 같은 순서로 나타납니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

7. (선택 사항) "완전 요인 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다. "12345"를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.

"출력 옵션" 패널의 "런 순서"가 랜덤화로 설정되어 있습니다. 설계 테이블의 런 순서는 난수 시드값에 따라 랜덤으로 결정됩니다.

"런 수"는 32로 설정되어 있습니다. 이 값은 가능한 모든 요인 수준 조합의 수입니다.

8. **테이블 생성**을 클릭합니다.

설계 데이터 테이블의 첫 번째 열에는 각 런의 요인 수준 조합이 + 및 - 기호로 표시되어 상한 및 하한 요인 설정을 나타냅니다. 또한 이 테이블에는 실험을 수행할 때 반응 값을 입력하기 위한 빈 Y 열 (Percent Reacted)이 있습니다.

그림 12.3 반응기 실험에 대한 완전 요인 설계

패턴	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1 +-+--	15	2	100	180	3	•
2 +++++	15	2	120	180	6	•
3 -+---	10	2	120	140	3	•
4 -+--+	10	2	100	140	6	•
5 -++++	10	2	120	180	6	•
6 -+---	10	2	100	140	3	•
7 +-+--+	15	2	100	140	6	•
8 --+--+	10	1	120	140	6	•
9 -----	10	1	100	140	3	•
10 +-+--+	15	2	100	180	6	•
11 +-+--	15	1	120	180	3	•
12 -++++	10	2	120	180	3	•
13 +-+--	15	1	100	180	3	•
14 --+--+	10	1	120	180	3	•
15 -++++	10	2	120	140	6	•
16 +++++	15	2	120	140	6	•
17 +-+--	15	1	100	180	6	•
18 +++++	15	2	120	180	3	•
19 -----	10	1	100	180	3	•
20 +++++	15	1	100	140	6	•
21 -+--+	10	2	100	180	6	•
22 -----	10	1	100	180	6	•
23 +-+---	15	2	100	140	3	•
24 +-+--+	15	1	120	140	6	•
25 --+++	10	1	120	180	6	•
26 +++++	15	2	120	140	3	•
27 +-+---	15	1	120	140	3	•
28 --+---	10	1	120	140	3	•
29 -----	10	1	100	140	6	•
30 -+--+	10	2	100	180	3	•
31 +-+---	15	1	100	140	3	•
32 +-+++	15	1	120	180	6	•

실험 데이터 분석

이제 완료된 실험의 데이터 분석을 진행합니다. 선별과 단계별 회귀라는 두 가지 방법을 사용하여 결과를 분석합니다. 그런 다음 예측 프로파일러를 사용하여 최적 설정을 찾을 수 있습니다.

선별 플랫폼을 사용한 분석

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor 32 Runs.jmp 를 엽니다.
2. **Screening** 스크립트를 실행합니다.

"선별" 보고서는 "대비" 보고서와 "1/2 정규 확률도"를 보여 줍니다. "대비" 보고서는 최대 5 원 교호작용까지 총 31 개의 잠재적 효과에 대한 추정값을 보여 줍니다.

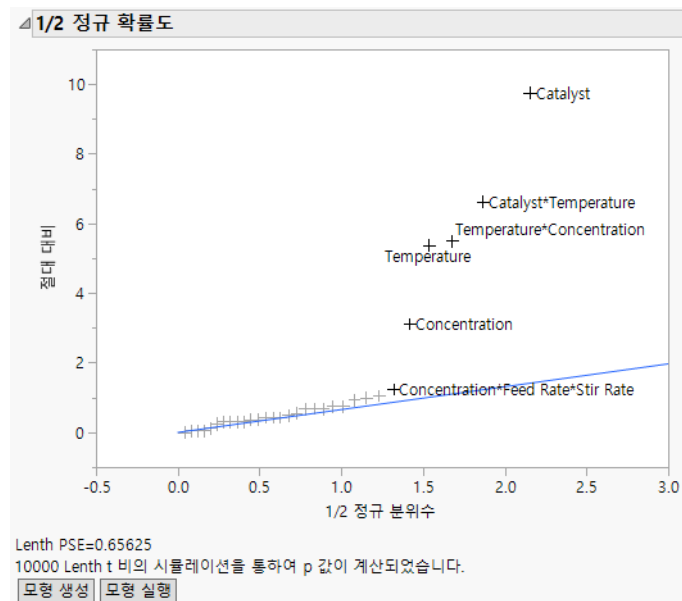
그림 12.4 Reactor 32 Runs.jmp 에 대한 대비 보고서

대비					
항	대비		Lenth t-비	개별 p 값	동시 p 값
Catalyst	9.75000		14.86	<.0001*	<.0001*
Temperature	5.37500		8.19	<.0001*	0.0005*
Concentration	-3.12500		-4.76	0.0011*	0.0152*
Feed Rate	-0.68750		-1.05	0.2883	0.9998
Stir Rate	-0.31250		-0.48	0.6494	1.0000
Catalyst*Temperature	6.62500		10.10	<.0001*	0.0002*
Catalyst*Concentration	1.00000		1.52	0.1335	0.9553
Temperature*Concentration	-5.50000		-8.38	<.0001*	0.0004*
Catalyst*Feed Rate	0.68750		1.05	0.2883	0.9998
Temperature*Feed Rate	-0.43750		-0.67	0.4941	1.0000
Concentration*Feed Rate	0.06250		0.10	0.9266	1.0000
Catalyst*Stir Rate	0.43750		0.67	0.5212	1.0000
Temperature*Stir Rate	1.06250		1.62	0.1139	0.9205
Concentration*Stir Rate	0.43750		0.67	0.4941	1.0000
Feed Rate*Stir Rate	0.37500		0.57	0.5859	1.0000
Catalyst*Temperature*Concentration	-0.12500		-0.19	0.8557	1.0000
Catalyst*Temperature*Feed Rate	0.68750		1.05	0.2883	0.9998
Catalyst*Concentration*Feed Rate	-0.93750		-1.43	0.1587	0.9784
Temperature*Concentration*Feed Rate	0.31250		0.48	0.6494	1.0000
Catalyst*Temperature*Stir Rate	0.56250		0.86	0.3772	1.0000
Catalyst*Concentration*Stir Rate	0.06250		0.10	0.9266	1.0000
Temperature*Concentration*Stir Rate	0.06250		0.10	0.9266	1.0000
Catalyst*Feed Rate*Stir Rate	0.75000		1.14	0.2478	0.9989
Temperature*Feed Rate*Stir Rate	-0.37500		-0.57	0.5859	1.0000
Concentration*Feed Rate*Stir Rate	-1.25000		-1.90	0.0705	0.7592
Catalyst*Temperature*Concentration*Feed Rate	0.31250		0.48	0.6494	1.0000
Catalyst*Temperature*Concentration*Stir Rate	-0.31250		-0.48	0.6494	1.0000
Catalyst*Temperature*Feed Rate*Stir Rate	0.00000		0.00	1.0000	1.0000
Catalyst*Concentration*Feed Rate*Stir Rate	0.75000		1.14	0.2478	0.9989
Temperature*Concentration*Feed Rate*Stir Rate	0.50000		0.76	0.4328	1.0000
Catalyst*Temperature*Concentration*Feed Rate*Stir Rate	-0.25000		-0.38	0.7150	1.0000

참고 : " 대비 " 보고서의 p 값은 몬테카를로 시뮬레이션을 사용하여 계산되므로 그림 12.4 에 표시된 값과 동일하지 않을 수 있습니다 . 자세한 내용은 "2 수준 선별 적합 플랫폼 " 장의 "Lenth 유사 표준 오차"(325 페이지) 에서 확인하십시오 .

" 대비 " 개요에 강조 표시된 6 개 효과는 "1/2 정규 확률도 "에서 라벨이 지정되어 있습니다 .

그림 12.5 Reactor 32 Runs.jmp 에 대한 1/2 정규 확률도



"1/2 정규 확률도" 는 라벨이 지정된 효과 중 5 개 이상이 랜덤 변형의 결과일 경우 예상할 수 있는 것보다 더 크다는 강력한 증거를 제시합니다. 즉, 이러한 효과가 활성임을 나타냅니다. 이 그림에는 삼원 교호작용 **Concentration*Feed Rate*Stir Rate**가 활성이라는 징후가 명확하게 나타나지 않습니다.

그림 12.4 의 " 대비 " 개요에서 삼원 교호작용 **Concentration*Feed Rate*Stir Rate** 의 " 개별 p 값 " 은 0.0705 이고 " 동시 p 값 " 은 0.7592 입니다. 이 효과는 "1/2 정규 확률도" 에서 강조되지 않고 p 값이 크기 때문에 모형에 포함하지 않기로 결정합니다.

3. "1/2 정규 확률도" 에서 직사각형 형태로 드래그하여 **Concentration*Feed Rate*Stir Rate** 를 제외하고 라벨이 지정된 모든 효과를 선택합니다.
4. **모형 생성** 을 클릭하여 5 개 효과가 포함된 " 모형 적합 " 창을 엽니다.
5. **실행** 을 클릭합니다.

" 실제값 대 예측값 그림 " 에 적합 결여의 증거가 없으며 " 효과 요약 " 개요에서는 5 개 효과가 모두 유의함을 보여 줍니다.

단계별 회귀를 사용한 분석

1. Reactor 32 Runs.jmp 데이터 테이블로 돌아가거나, **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리** 를 선택한 후 Design Experiment/Reactor 32 Runs.jmp 를 열어 데이터 테이블을 다시 엽니다.
2. **Model** 스크립트를 실행합니다.

" 모형 효과 생성 " 목록에 이원 교호작용까지만 포함되어 있습니다. 하지만 모든 교호작용을 고려하려고 합니다.

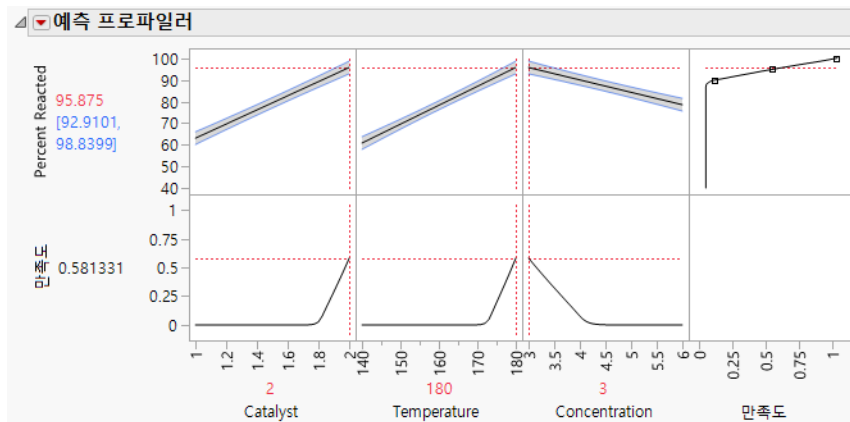
3. " 열 선택 " 목록에서 **Feed Rate ~ Concentration** 을 선택합니다 .
4. **매크로 > 완전 요인**을 클릭합니다 .
가능한 모든 효과가 " 모형 효과 생성 " 목록에 추가됩니다 .
5. **분석법을 단계별**로 변경합니다 .
6. **실행**을 클릭합니다 .
7. **중지 규칙을 최소 AICc** 로 변경합니다 .
설계된 실험의 경우 AICc 가 BIC 보다 선호됩니다 . BIC 중지 규칙은 모형에 비활성 효과를 허용하는 경향이 있어서 대개 AICc 보다 관대하기 때문입니다 .
8. **시작**을 클릭합니다 .
단계별 절차에서는 6 개 효과를 잠재적 활성 효과로 선택합니다 .
9. **모형 실행**을 클릭합니다 .
그러면 6개 효과를 사용하여 모형을 적합시킵니다 . "효과 요약" 개요에서는 Catalyst*Concentration 의 p 값이 0.0896 이므로 0.05 유의 수준에서 유의하지 않음을 나타냅니다 .
10. " 효과 요약 " 개요에서 Catalyst*Concentration 을 선택하고 **제거**를 클릭합니다 .
나머지 5 개 효과는 모두 매우 유의합니다 . 해당 효과는 선별 플랫폼을 사용하여 식별한 5 개 효과와 동일합니다 ("**선별 플랫폼을 사용한 분석**" (355 페이지) 참조) .

예측 프로파일러를 사용한 최적 설정

이제 모형에 유지한 5 개의 유의 효과와 관련된 세 가지 활성 요인에 대한 최적 설정을 찾습니다 .

1. Reactor 32 Runs.jsp 데이터 테이블에서 **Reduced Model** 스크립트를 실행합니다 .
"Reduced Model" 스크립트는 "**선별 플랫폼을 사용한 분석**" (355 페이지) 및 "**단계별 회귀를 사용한 분석**" (357 페이지) 에서 식별한 5 개 효과 모형에 대한 " 모형 적합 " 창을 엽니다 .
2. **실행**을 클릭합니다 .
" 완전 요인 " 창에서 반응을 정의할 때 " 목표 " 를 " 최대화 " 로 지정했으므로 " 예측 프로파일러 " 보고서에 " 만족도 " 가 표시됩니다 . 프로파일러의 위쪽 행에서 맨 오른쪽에 표시된 만족도 함수는 값이 100 일 때 가장 적합하고 값이 90 이하일 때 가장 적합하지 않음을 나타냅니다 .
3. " 예측 프로파일러 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다 .

그림 12.6 만족도 최대화 설정을 보여 주는 예측 프로파일러

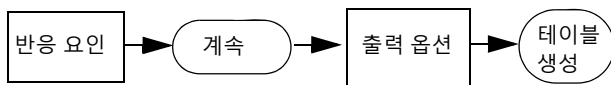


표시된 설정에서 **Percent Reacted** 예측 평균은 95.875 이고 신뢰 구간은 92.91 ~ 98.84 입니다 . 세 가지 요인 모두 식별된 설정이 실험에 사용된 범위의 극단에 있습니다 . 이후 실험에서는 이러한 설정 이외에서 공정 동작을 분석해야 합니다 .

완전 요인 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 " 완전 요인 설계 " 창이 업데이트됩니다 . 자세한 내용은 "[DOE 워크 플로우 : 기술, 지정, 설계](#)" (52 페이지) 에서 확인하십시오 . 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 12.7 의 흐름을 따릅니다 .

그림 12.7 완전 요인 설계 흐름



반응

" 반응 " 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다 .

팁 : " 반응 " 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다 . 이 옵션을 사용하면 반응 이름 , 목표 , 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다 .

그림 12.8 반응 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y 선택적 항목	최대화	.	.	.

반응 추가 "최대화", "목표값 일치", "최소화" 또는 "없음" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

제거 선택한 반응을 제거합니다.

반응 수 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

반응 이름 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

목표, 하한, 상한 "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(684 페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.
- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

참고: 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (열 > 열 정보) 원하는 목표값을 입력하십시오.

중요도 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다 . 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다 . 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1 로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다 .

반응 개요 편집

" 반응 " 개요에서 다음 사항에 유의하십시오 .

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다 .
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다 .
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다 .
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다 .

반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 " 목표 ", " 하한 ", " 상한 " 및 " 중요도 " 를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다 . 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 " 반응 한계 " 열 특성으로 저장됩니다 . JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다 . 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 " 예측 프로파일러 " 에서 사용됩니다 . " 반응 한계 " 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 " 열 특성 " 부록의 " 반응 한계 "(684 페이지) 에서 확인하십시오 .

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP 는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다 . 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다 . 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers 의 "Profiler" 창에서 확인하십시오 .

요인

완전 요인 설계의 요인은 연속형 또는 범주형일 수 있습니다 .

팁 : " 요인 " 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다 . 이 옵션을 사용하면 요인 이름 , 역할 , 변경 및 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다 .

그림 12.9 요인 개요

연속형 연속형 요인을 추가합니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 숫자입니다. 연속형 요인은 개념적으로 공정 및 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다.

범주형 범주형 요인을 추가합니다. 클릭하여 수준 수를 선택하거나 지정합니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 문자입니다. 수준의 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다. 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 "값 순서" 열 특성에 저장됩니다.

범주형 요인의 기본값은 L1, L2,..., Lk 이며 여기서 k는 지정한 수준 수입니다. 기본값을 실험과 관련된 수준 이름으로 바꿉니다.

제거 선택한 요인을 제거합니다.

N 개 요인 추가 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭한 후 요인 유형을 선택합니다. 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

요인 개요

"요인" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

이름 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

역할 요인의 설계 역할입니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다. 요인의 역할에 따라 데이터 테이블에 저장되는 다른 요인 특성이 결정됩니다. 자세한 내용은 "[요인 열 특성](#)"(363 페이지)에서 확인하십시오.

값 요인에 대한 실험 설정입니다.

요인 개요 편집

"요인" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 "값" 열의 값을 클릭합니다.

요인 열 특성

각 요인에 대해 "선별 설계" 창에서 "테이블 생성" 을 선택하여 설계를 생성하면 다양한 열 특성이 설계 테이블에 저장됩니다. 또한 "요인 저장" 옵션을 선택할 때 생성되는 데이터 테이블에도 이러한 특성이 자동으로 저장됩니다. 이러한 열 특성 및 관련 예에 대한 자세한 내용은 [부록 A, "열 특성"](#) 에서 확인하십시오.

코딩 "역할" 이 "연속형" 인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한값과 상한값이 각각 -1 과 +1 에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["코딩"](#) (693 페이지) 에서 확인하십시오.

값 순서 "역할" 이 "범주형" 이거나 블록 변수가 구성된 경우 요인의 "값 순서" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["값 순서"](#) (708 페이지) 에서 확인하십시오.

설계 역할 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 지정됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["설계 역할"](#) (691 페이지) 에서 확인하십시오.

요인 변경 각 요인에 값이 "쉬움" 인 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. "요인 변경" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 사용되는 방식을 반영합니다. "요인 변경" 값은 설계 확대 및 설계 평가 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["요인 변경"](#) (705 페이지) 에서 확인하십시오.

출력 옵션 선택

반응과 요인을 입력하고 **계속**을 클릭한 후 "출력 옵션" 개요에서 설계 테이블에 대한 옵션을 선택할 수 있습니다. 완전 요인 설계의 구조가 개요 맨 위에 나타납니다.

그림 12.10 출력 옵션 패널

2x2x3x4 요인
출력 옵션

런 순서: 랜덤화

런 수: 48

중앙점 수: 0

반복 실험 수: 0

테이블 생성

뒤로

런 순서

런 순서 옵션은 설계 테이블의 런 순서를 결정합니다. 다음과 같은 옵션을 선택할 수 있습니다.

동일하게 유지 설계 테이블의 행이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

좌에서 우로 정렬 설계 테이블의 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

랜덤화 설계 테이블의 행이 랜덤 순서로 나타납니다.

우에서 좌로 정렬 설계 테이블의 열이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬됩니다.

중앙점 및 반복 실험

런 수 중앙점 또는 반복 실험을 추가하기 전 설계의 런 수를 표시합니다.

중앙점 수 설계에 중앙점으로 포함할 추가 런 수를 지정합니다. 중앙점은 모든 연속형 요인이 요인 범위의 가운데에 설정되는 런입니다.

설계에 연속형 요인과 범주형 요인이 모두 포함되어 있다고 가정해 보겠습니다. "출력 옵션" 패널에서 중앙점을 요청할 경우 다음과 같이 중앙점이 분포됩니다.

1. 범주형 요인의 설정은 "요인" 개요에 지정된 값 순서를 사용하여 정렬됩니다.
2. 범주형 요인의 각 설정 조합에 순서대로 중앙점 하나가 할당되고 모든 중앙점이 할당될 때까지 반복됩니다.

반복 실험 수 중앙점을 포함하여 전체 설계를 반복할 횟수입니다. 한 번 반복하면 런 수가 두 배가 됩니다.

테이블 생성

"테이블 생성"을 클릭하면 실험 런이 포함된 데이터 테이블이 생성됩니다. 그림 12.11의 예에서는 X1(2 수준 연속형 요인), X2(3 수준 연속형 요인), X3(2 수준 범주형 요인)이라는 세 가지 요인에 대한 5개 중앙점이 포함된 완전 요인 설계를 보여 줍니다. 이 설계는 요인 수준의 기본값을 사용합니다. 중앙점은 7, 8, 12, 14 및 17 행에 있습니다. 자세한 내용은 "**패턴 열**"(365 페이지)에서 확인하십시오.

그림 12.11 설계 데이터 테이블

설계	2x3x2 요인	패턴	X1	X2	X3	Y
모형		1	-22	-1	2 L2	•
설계 평가		2	-11	-1	1 L1	•
DOE 대화상자		3	-32	-1	3 L2	•
		4	+11	1	1 L1	•
		5	+32	1	3 L2	•
		6	+22	1	2 L2	•
		7	001	0	2 L1	•
		8	002	0	2 L2	•
		9	-31	-1	3 L1	•
		10	+31	1	3 L1	•
		11	-21	-1	2 L1	•
		12	001	0	2 L1	•
		13	+12	1	1 L2	•
		14	002	0	2 L2	•
		15	-12	-1	1 L2	•
		16	+21	1	2 L1	•
		17	001	0	2 L1	•

왼쪽 위에 표시된 테이블 이름은 해당 테이블을 생성한 설계 유형입니다.

설계 테이블 스크립트

설계 테이블에는 다음과 같은 스크립트가 포함되어 있습니다.

모형 "분석>모형 적합" 플랫폼을 실행합니다.

설계 평가 "DOE>설계 진단>설계 평가" 플랫폼을 실행합니다.

DOE 대화상자 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "완전 요인 설계" 창을 다시 생성합니다. 또한 이 스크립트는 설계를 생성하는 데 사용된 난수 시드 값도 포함합니다.

데이터를 분석하려면 **선별** 또는 **모형** 스크립트를 실행합니다.

패턴 열

패턴 열에는 지정된 행의 런을 요약하는 항목이 포함되어 있습니다. 패턴을 그림의 라벨 변수로 사용할 수 있습니다.

- 2 수준 연속형 요인의 경우 하한 설정은 "-", 상한 설정은 "+", 중앙점은 "0" 으로 각각 나타냅니다.
- 3 수준 이상 연속형 요인의 경우 다음과 같습니다.
 - 중앙점이 아닌 경우 요인 설정은 런의 값 수준에 해당하는 정수로 나타냅니다.
 - 중앙점인 경우 요인 설정은 "0" 으로 나타냅니다.
- 범주형 요인의 경우 요인 설정은 런의 값 수준에 해당하는 정수로 나타냅니다.

완전 요인 설계 옵션

완전 요인 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 저장 "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

반응 불러오기 "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

요인 저장 "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

참고: 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성>설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

요인 불러오기 " 요인 저장 " 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

제약 조건 저장 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) " 요인 제약 조건 정의 " 또는 " 선형 제약 조건 " 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 " 열 특성 " 부록의 " **제약 조건 상태** "(715 페이지) 에서 확인하십시오.

제약 조건 불러오기 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) " 제약 조건 저장 " 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

난수 시드값 설정 JMP 가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고 : 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

" 테이블 생성 "을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 " 모형 " 창이 나타납니다.
- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 " 모형 " 창을 다시 엽니다.

" 모형 " 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. " 적용 "을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. " 적용 "을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 " **반응 시뮬레이션** "(100 페이지) 에서 확인하십시오.

참고 :  "반응 시뮬레이션" 을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.

고급 옵션 사용할 수 없음

스크립트를 스크립트 창에 저장 "완전 요인 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

13 장

혼합물 설계

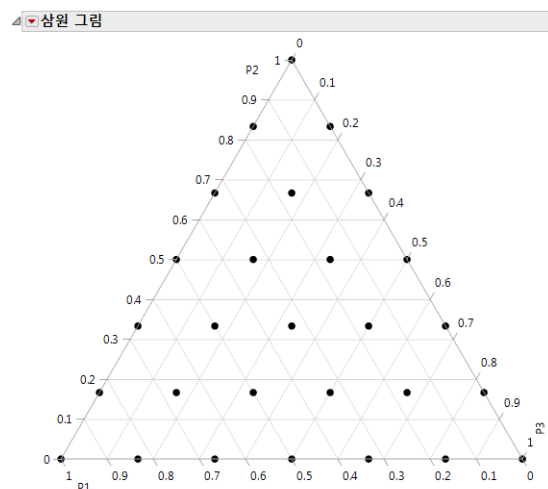
배합 설계

혼합물 설계 플랫폼을 사용하면 혼합물의 성분인 요인으로 실험을 구축할 수 있습니다. 심플렉스, 꼭지점 및 격자와 같은 몇 가지 전통적 혼합물 설계 방법 중에서 선택합니다. 꼭지점 방법의 경우 혼합 요인 공간의 형상을 제한하는 일련의 선형 부등식 제약 조건을 제공할 수 있습니다.

혼합물 실험에서 요인 값은 혼합물의 비율이며 0 과 1 사이입니다. 혼합물 실험에는 요인 비율의 합이 1(100%) 인 3 개 이상의 요인이 포함됩니다. 혼합물 실험은 요인을 서로 독립적으로 변경할 수 없다는 점에서 다른 실험 유형과 다릅니다. 한 요인의 비율을 변경하면 하나 이상의 다른 요인의 비율도 변경되어야 합니다. 이 단순한 사실이 요인 공간, 설계 특성, 결과 해석 등 혼합물 실험의 모든 측면에 큰 영향을 미칩니다.

혼합 성분은 합이 1 이 되는 비율이므로 혼합물 설계의 실현 가능 영역은 심플렉스 형태가 됩니다. 예를 들어 3 요인 설계는 삼각형 2D 그래프로 시각화하고 4 요인 설계는 3D 4 면체로 시각화할 수 있습니다.

그림 13.1 삼원 그림



목차

혼합물 설계 개요	371
혼합물 설계 창	371
반응	371
요인	373
삼원 그림 개요	375
혼합물 설계 유형의 예	375
최적 혼합물 설계	376
심플렉스 중심 설계	377
심플렉스 격자 설계	379
꼭지점 설계	380
ABCD 설계	384
공간 채움 설계	384
혼합물 설계 적합	387
전체 모형 검정 및 분산 분석 보고서	388
반응 표면 보고서 이해	388
화학 혼합물 예	388
설계 생성	389
혼합 모형 분석	391
예측 프로파일러	391
혼합물 프로파일러	392

혼합물 설계 개요

다음과 같은 혼합물 설계 유형을 선택할 수 있습니다.

최적 사용자 설계 도구를 사용하여 최적 혼합물 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "[최적 혼합물 설계](#)"(376 페이지)에서 확인하십시오.

심플렉스 중심 순수 혼합물 및 지정된 차수까지의 요인 혼합으로 설계를 생성합니다. 순수 혼합물에서는 한 성분이 100% 이고 다른 모든 성분은 0% 입니다. 자세한 내용은 "[심플렉스 중심 설계](#)"(377 페이지)에서 확인하십시오.

심플렉스 격자 순수 혼합물 및 런에 대한 삼각 격자를 생성하는 공간 채움 혼합으로 설계를 생성합니다. 격자 수준의 수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[심플렉스 격자 설계](#)"(379 페이지)에서 확인하십시오.

꼭지점 제약이 있는 요인 공간의 꼭지점 및 꼭지점 조합을 기반으로 설계를 생성합니다. 하나 이상의 요인에 대해 선형 제약 조건 또는 제한된 상한 / 하한이 있는 경우에 사용할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[꼭지점 설계](#)"(380 페이지)에서 확인하십시오.

ABCD 설계 Snee(1975)가 고안한 혼합에 대한 선별 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "[ABCD 설계](#)"(384 페이지)에서 확인하십시오.

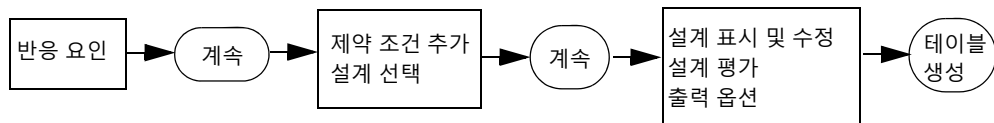
공간 채움 선형 제약 조건을 수용하는 공간 채움 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "[공간 채움 설계](#)"(384 페이지)에서 확인하십시오.

참고: 최적, 꼭지점 및 공간 채움 설계는 성분에 대한 선형 제약 조건과 제한을 통합할 수 있습니다.

혼합물 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "혼합물 설계" 창이 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "[DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계](#)"(52 페이지)에서 확인하십시오. 워크플로우와 개요는 설계 유형에 따라 다릅니다.

그림 13.2 혼합물 설계 워크플로우



반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

팁: "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

그림 13.3 반응 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
선택적 항목	최대화			

반응 추가 "최대화", "목표값 일치", "최소화" 또는 "없음" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

제거 선택한 반응을 제거합니다.

반응 수 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

반응 이름 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

목표, 하한, 상한 "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 **"반응 한계"**(684 페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.
- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

참고 : 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

중요도 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "**반응 한계**"(684 페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler"장에서 확인하십시오.

요인

"요인" 개요에서 요인을 추가합니다.

팁 : "요인" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이렇게 하면 요인 이름, 역할, 변경 및 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다.

그림 13.4 요인 개요

추가 추가할 요인 수를 입력하고 "추가"를 클릭합니다.

선택한 항목 제거 선택한 요인을 제거합니다.

요인 목록

"요인" 목록에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

이름 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

역할 요인의 설계 역할을 지정합니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다.

값 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

요인 목록 편집

"요인" 목록에서 다음을 수행합니다.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 값 열의 값을 클릭합니다.

선형 제약 조건

하나 이상의 선형 부등식 제약 조건을 입력하려면 **선형 제약 조건** 버튼을 클릭합니다. 설계의 모든 연속형 요인을 포함하는 선형 표현식 템플릿이 나타납니다. 요인에 대한 계수 값을 입력한 후 선형 제약 조건을 반영하는 부등식 방향을 선택합니다. 부등식의 오른쪽 상자에 제약 값을 지정합니다. 제약 조건을 더 추가하려면 **선형 제약 조건**을 다시 클릭합니다.

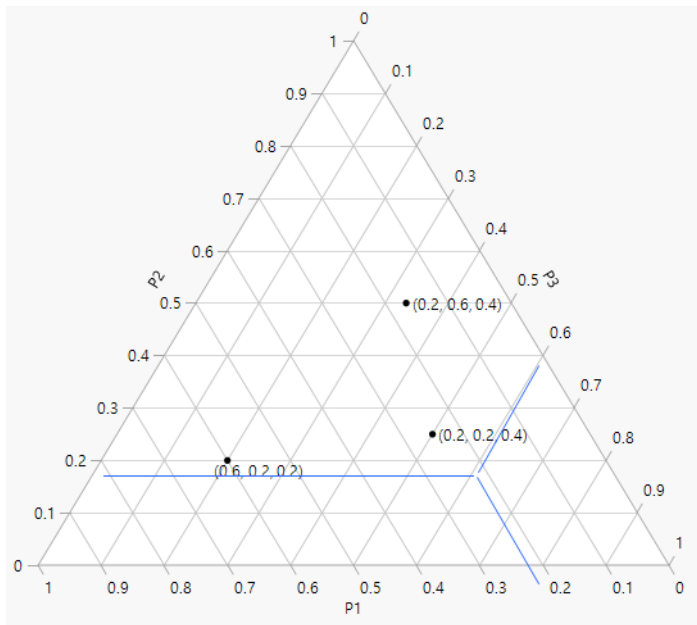
참고: 선형 제약 조건을 포함하는 설계의 스크립트를 저장하면 해당 스크립트에 선형 제약 조건이 보다 작거나 같음 부등식 ($\leq$) 으로 표현됩니다.

삼원 그림 개요

삼원 그림은 합이 상수가 되는 세 가지 혼합 성분을 2차원으로 표현한 것입니다. 이 그림은 각 성분에 대한 모서리가 있는 정삼각형입니다. 제약이 없는 경우 삼각형의 각 꼭지점은 순수 혼합에 해당합니다. 즉, 한 성분이 1(100%) 이고 다른 모든 성분은 0 입니다. 성분에 제약이 있는 경우 실현 가능한 혼합은 삼원 그림의 부분으로 표현됩니다. 음영은 그림에서 실현 불가능한 부분을 제외하는 데 사용됩니다.

그림 13.5 에는 세 가지 성분 (P_1 , P_2 , P_3) 이 표시됩니다. 세 성분은 0 에서 1(100%) 사이의 각 비율 범위로 제약되지 않습니다. 세 점에는 좌표, 즉 (P_1 , P_2 , P_3) 형식으로 라벨이 지정됩니다. 한 점 (0.2, 0.2, 0.6) 에는 각 혼합 성분의 축 격자선을 따라 파란색 선이 포함되어 축 값을 읽을 수 있습니다.

그림 13.5 삼원 그림의 예



혼합물 설계 유형의 예

- "최적 혼합물 설계"
- "심플렉스 중심 설계"
- "심플렉스 격자 설계"
- "꼭지점 설계"
- "ABCD 설계"

- "공간 채움 설계"

최적 혼합물 설계

최적 혼합물 설계는 혼합물 설계 플랫폼 또는 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 생성할 수 있습니다.

여기서는 혼합물 설계 플랫폼을 사용하여 세 가지 요인이 있는 최적 혼합물 설계의 예를 생성합니다.

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. (선택 사항) 이 예의 출력과 일치시키려면 "혼합물 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 "난수 시드값 설정"을 선택한 후 1409를 입력합니다.
3. (선택 사항) 이 예의 출력과 일치시키려면 "혼합물 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 "시작 수"를 선택한 후 2를 입력합니다.
4. 이 예에서는 세 가지 요인을 사용합니다."요인" 섹션을 변경할 필요가 없습니다.
5. **계속**을 클릭합니다.
6. "혼합물 설계 유형 선택" 패널에서 **최적**을 클릭합니다.
7. **요인 제약 조건 정의**의 패널에서 **선형 제약 조건 지정**을 클릭한 후 **추가**를 클릭합니다.
8. "X1" 및 "X2" 상자에 1을 입력하고 제약 조건 상자에 0.8을 입력합니다.
이렇게 하면 $X1+X2$ 가 혼합물의 80% 미만으로 제한됩니다.
9. **모형** 패널에서 **교호작용 > 2차**를 클릭합니다.
이렇게 하면 모형에 교호작용 효과가 추가됩니다.
10. **설계 생성** 패널에서 **중앙점 수**에 2를 입력합니다.
11. **설계 생성**을 클릭합니다.

그림 13.6 12회 런 최적 설계

설계			
런	X1	X2	X3
1	0.8	0	0.2
2	0	0	1
3	0	0.8	0.2
4	0	0	1
5	0	0.4	0.6
6	0.4	0	0.6
7	0	0.8	0.2
8	0.4	0	0.6
9	0.4	0.4	0.2
10	0.8	0	0.2
11	0.264183	0.269687	0.46613
12	0.264183	0.269687	0.46613

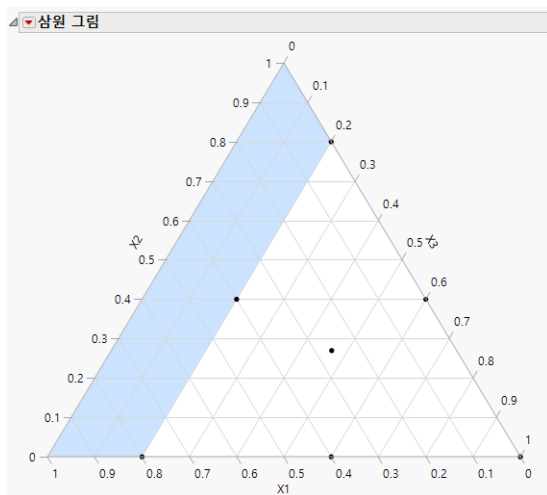
12. **테이블 생성**을 클릭합니다.

참고 : 실제로는 혼합물 양을 적절한 정밀도 수준으로 반올림합니다 .

설계 시각화

1. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다 .
2. X1, X2, X3 을 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다 .

그림 13.7 최적 설계의 삼원 그림



삼원 그림은 설계를 구성하는 7 개의 고유 혼합물을 보여 줍니다 . 음영은 제약된 영역을 나타냅니다 . 삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)" (375 페이지) 에서 확인하십시오 .

심플렉스 중심 설계

n 개 요인이 포함된 k 차 심플렉스 중심 설계는 다음과 같은 특성을 가진 혼합물로 구성됩니다 .

- 단일 요인 혼합물 (순수 혼합물)
- 동일한 수준으로 두 가지 요인 모두 혼합
- 동일한 k 수준으로 한 번에 최대 k 개 요인을 추가 혼합

모든 성분의 양이 동일한 중앙점 런이 항상 포함됩니다 .

설계 생성

심플렉스 중심 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다 .
2. 이 예에서는 세 가지 요인을 사용합니다 . " 요인 " 섹션을 변경할 필요가 없습니다 .

3. **계속**을 클릭합니다.
4. **심플렉스 중심**을 클릭하여 설계를 생성합니다.

참고 : 기본 설정 $k=2$ 가 사용되었습니다. k 값을 조정할 수 있는 텍스트 상자가 있습니다.

그림 13.8 세 가지 요인의 2 차 심플렉스 중심 설계

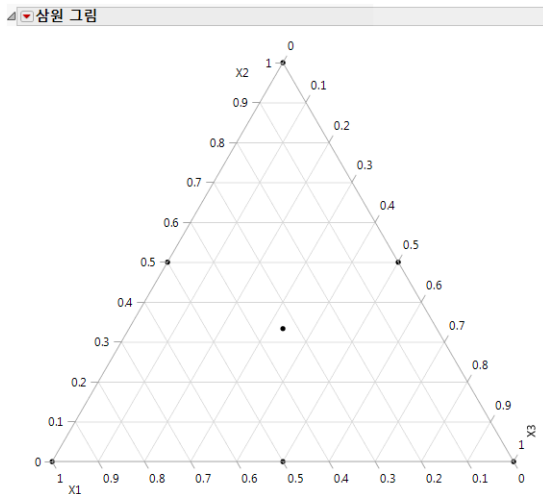
설계			
런	X1	X2	X3
1	1.00000	0.00000	0.00000
2	0.00000	1.00000	0.00000
3	0.00000	0.00000	1.00000
4	0.50000	0.50000	0.00000
5	0.50000	0.00000	0.50000
6	0.00000	0.50000	0.50000
7	0.33333	0.33333	0.33333

5. **테이블 생성**을 클릭합니다.

설계 시각화

6. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.
7. X1, X2, X3 을 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

그림 13.9 심플렉스 중심 설계의 삼원 그림



삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)"(375 페이지)에서 확인하십시오.

심플렉스 격자 설계

심플렉스 격자 설계는 런에 대한 삼각 격자를 생성하는 공간 채움 설계입니다. 이 설계는 요인의 값이 i/m 인 혼합물 집합입니다. 여기서 i 는 $0 \sim m$ 사이에서 달라지며 요인의 합은 1 입니다. 3 수준 설계의 경우 요인을 0, 0.33, 0.66 또는 1 로 설정할 수 있습니다.

심플렉스 격자 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. 이 예에서는 세 가지 요인을 사용합니다. "요인" 섹션을 변경할 필요가 없습니다.
3. **계속**을 클릭합니다.
4. **심플렉스 격자**를 클릭하여 설계를 생성합니다.

참고 : 기본 설정 5 수준이 사용되었습니다. 수준 수를 조정할 수 있는 텍스트 상자가 있습니다.

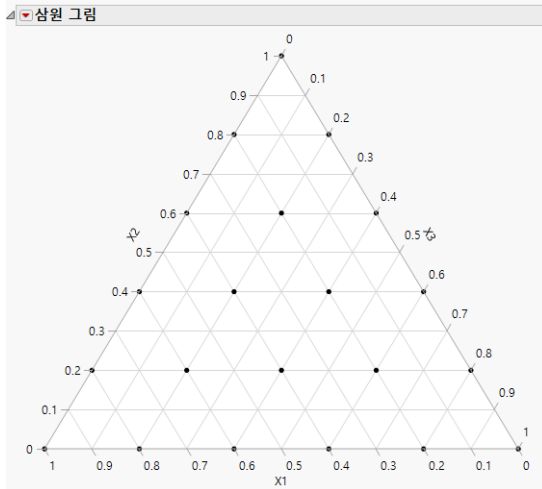
그림 13.10 세 가지 요인의 5 수준 심플렉스 격자 설계

설계			
런	X1	X2	X3
1	0.00000	0.00000	1.00000
2	0.00000	0.20000	0.80000
3	0.00000	0.40000	0.60000
4	0.00000	0.60000	0.40000
5	0.00000	0.80000	0.20000
6	0.00000	1.00000	0.00000
7	0.20000	0.00000	0.80000
8	0.20000	0.20000	0.60000
9	0.20000	0.40000	0.40000
10	0.20000	0.60000	0.20000
11	0.20000	0.80000	0.00000
12	0.40000	0.00000	0.60000
13	0.40000	0.20000	0.40000
14	0.40000	0.40000	0.20000
15	0.40000	0.60000	0.00000
16	0.60000	0.00000	0.40000
17	0.60000	0.20000	0.20000
18	0.60000	0.40000	0.00000
19	0.80000	0.00000	0.20000
20	0.80000	0.20000	0.00000
21	1.00000	0.00000	0.00000

5. **테이블 생성**을 클릭합니다.

설계 시각화

6. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.
7. X1, X2, X3 을 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

그림 13.11 심플렉스 격자 설계의 삼원 그림

삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)"(375 페이지)에서 확인하십시오.

수준 수가 증가하면 설계점 수도 증가하여 설계점 사이 간격이 줄어듭니다. 심플렉스 중심 설계와 달리 심플렉스 격자 설계는 중심을 반드시 포함하지는 않습니다.

꼭지점 설계

꼭지점 설계를 사용하려면 "요인" 패널에 정의한 한계 또는 선형 제약 조건에 따라 하나 이상의 요인에 대해 제한된 범위가 필요합니다. 꼭지점 설계는 요인 공간의 꼭지점과 지정된 차수까지의 꼭지점 평균의 혼합으로 구성됩니다. 선으로 연결된 두 인접 꼭지점의 중심점은 2 차 중심입니다. 평면을 공유하는 꼭지점의 중심점은 3 차 중심입니다.

범위 제약 조건이 있는 꼭지점의 예

꼭지점 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. "요인"에서 추가할 요인 수에 2 를 입력하고 **추가**를 클릭합니다.
3. 그림 13.12 에 표시된 대로 5 개 요인의 범위를 설정하고 **계속**을 클릭합니다.

그림 13.12 5 개 요인의 범위

이름	역할	값	값
▲X1	혼합	0.05	0.25
▲X2	혼합	0.1	0.3
▲X3	혼합	0.1	0.3
▲X4	혼합	0.1	0.4
▲X5	혼합	0.05	0.25

4. **차수** 텍스트 상자에 4 를 입력하고 **꼭지점**을 클릭합니다 .

그림 13.13 꼭지점 예의 표시 및 수정 패널

설계 표시 및 수정

출력 옵션

런 순서: 랜덤화 ▼

설계에서 JMP 테이블 생성

반복 실험 수: 116

테이블 생성 뒤로

이 5 개 요인의 4 차 꼭지점 설계에 사용할 기본 런 수는 116 입니다 . 이 값은 5 개 요인에 대한 꼭지점 수이며 요인 범위에 제약 조건이 지정될 경우 요인의 최대 4 차까지의 꼭지점 평균입니다 . JMP 는 기본 혼합 집합을 후보 집합으로 사용하여 더 작은 D 최적 설계를 생성합니다 .

5. (선택 사항) 이 예의 출력과 일치시키려면 " 혼합물 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 " 난수 시드값 설정 " 을 선택한 후 1409 를 입력합니다 .
6. " 원하는 표본 크기 선택 : " 상자에 10 을 입력하고 **부분집합 찾기**를 클릭하여 설계를 생성합니다 .

참고 : **부분집합 찾기** 옵션은 행 교환 방법 (좌표 교환 아님) 을 사용하여 행의 최적 부분집합을 찾습니다 .

그림 13.14 10 회 런 D- 최적 꼭지점 설계

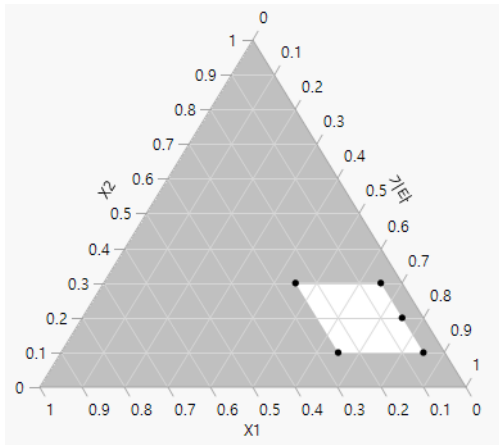
설계					
런	X1	X2	X3	X4	X5
1	0.05000	0.30000	0.20000	0.40000	0.05000
2	0.05000	0.10000	0.30000	0.40000	0.15000
3	0.25000	0.30000	0.10000	0.10000	0.25000
4	0.05000	0.30000	0.30000	0.10000	0.25000
5	0.25000	0.10000	0.30000	0.10000	0.25000
6	0.25000	0.30000	0.30000	0.10000	0.05000
7	0.25000	0.10000	0.30000	0.30000	0.05000
8	0.05000	0.20000	0.10000	0.40000	0.25000
9	0.25000	0.30000	0.10000	0.30000	0.05000
10	0.25000	0.10000	0.10000	0.30000	0.25000

7. **테이블 생성**을 클릭합니다 .

설계 시각화

8. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다 .
9. X1, X2, X3, X4, X5 를 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다 .

그림 13.15 5 개 요인 설계의 삼원 그림 출력 (일부분)



혼합 성분이 4 개 이상 있는 경우 삼원 그림에 일련의 그림의 표시됩니다. 각 그림에는 두 개의 성분 축이 있고 세 번째 축은 다른 모든 성분의 합입니다. 제약된 영역이 있으면 그림에 음영이 적용됩니다. 음영 처리되지 않은 부분은 실현 가능 영역을 나타냅니다. 삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "삼원 그림 개요"(375 페이지)에서 확인하십시오.

선형 제약 조건이 있는 꼭지점의 예

Snee(1979) 및 Piepel(1988) 이 제안한 전통적 예를 고려해 보겠습니다. 이 예에서는 요인 한계와 3 개의 선형 제약 조건이 있는 세 가지 요인 (X_1 , X_2 , X_3) 을 사용합니다.

이 예에 대한 꼭지점 설계를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. X_1 , X_2 및 X_3 에 대해 그림 13.16 의 값을 입력하고 **계속**을 클릭합니다.

그림 13.16 Snee 및 Piepel 예에 대한 값과 선형 제약 조건

요인			
이름	역할	값	
X_1	혼합	0.1	0.5
X_2	혼합	0.1	0.7
X_3	혼합	0	0.7

-0.85

X_1 +

-0.9

X_2 +

-1

X_3

$\leq$

-0.9

0.85

X_1 +

0.9

X_2 +

1

X_3

$\leq$

0.95

-0.7

X_1 +

0

X_2 +

-1

X_3

$\leq$

-0.4

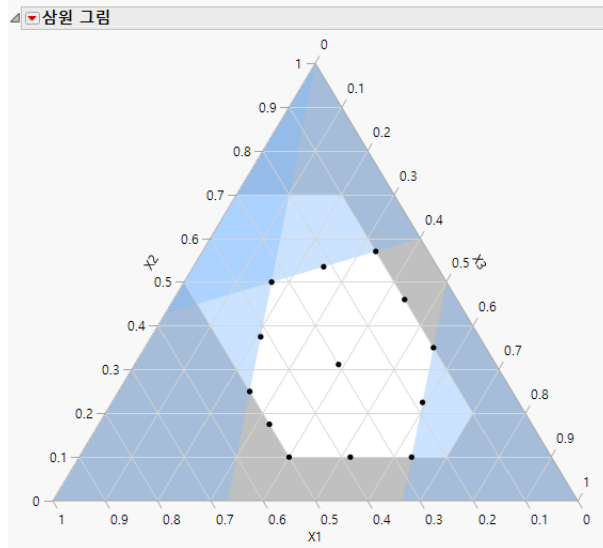
3. **선형 제약 조건**을 세 번 클릭합니다. 그림 13.16 에 표시된 대로 제약 조건을 입력합니다.

4. **꼭지점** 버튼을 클릭합니다 .
5. **테이블 생성**을 클릭합니다 .

설계 시각화

6. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다 .
7. X1, X2, X3 을 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다 .

그림 13.17 제약 조건이 있는 Piepel 예를 보여주는 삼원 그림



삼원 그림은 요인 한계 및 선형 제약 조건의 정의에 따라 실현 가능 영역을 보여 줍니다 . 설계점은 실현 가능 영역의 6 개 꼭지점 , 6 개의 모서리 중간점 및 전체 중심에 있습니다 . 삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)"(375 페이지) 에서 확인하십시오 .

꼭지점 방법에 대한 통계 상세 정보

선형 제약 조건이 있는 경우 JMP 는 R.E. Wheeler 가 개발한 CONSIM 알고리즘을 사용합니다 . 이 알고리즘은 Snee(1979) 에 설명되어 있고 , Piepel(1988) 에 의해 CONVRT 로 제안되었습니다 . 이 방법은 Cornell(1990, Appendix 10a) 에도 설명되어 있습니다 . 이 방법은 제약 조건을 결합하고 꼭지점이 제약 조건을 위반하는지 확인합니다 . 위반할 경우 해당 꼭지점을 삭제하고 새로 계산합니다 . 중심점 수행을 위한 CONAEV 방법은 Piepel (1988) 에 의해 제안되었습니다 .

선형 제약 조건이 없는 경우(범위 제약 조건만 있음)에는 Snee and Marquardt(1974) 및 Snee(1975) 에 의해 개발된 XVERT 방법을 사용하여 꼭지점 설계가 구성됩니다 . 꼭지점을 찾은 후 심플렉스 중심 방법으로 지정된 차수까지의 꼭지점 조합을 생성합니다 .

XVERT 방법은 먼저 범위가 가장 작은 $n_f - 1$ 개 요인의 주어진 하한 및 상한 값을 사용하여 전체 $2^{n_f - 1}$ 설계를 생성합니다 . 그런 다음 요인 값의 합이 1 이 되어야 한다는 제한에 따라 제외된 한

요인의 값을 계산합니다. 요인 범위에 속하지 않는 점을 유지합니다. 그렇지 않으면 값을 증가하거나 감소하여 범위 내로 가져오고, 다른 요인을 각각 차례로 동일한 양만큼 감소하거나 증가합니다. 이 방법은 초기 제한을 충족하는 점을 유지합니다.

위의 알고리즘은 요인 제약 조건으로 정의된 심플렉스에서 실현 가능 영역의 꼭지점을 생성합니다. 그러나 Snee(1975)에서는 실현 가능 영역의 모서리와 면에 대한 중심을 갖는 것도 유용할 수 있음을 보여 주었습니다. 실현 가능 영역의 일반화된 n 차원 면은 경계의 $nf - n$ 및 면 위에 있는 꼭지점의 평균으로 정의된 중심에 의해 정의됩니다. 이 알고리즘은 경계 조건의 가능한 모든 조합을 생성한 후 첫 번째 단계에서 생성된 꼭지점에 대해 평균을 계산합니다.

ABCD 설계

ABCD 설계는 혼합에 대한 선별 설계입니다. 자세한 내용은 Snee(1975)에서 확인하십시오.

ABCD 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. "요인"에서 추가할 요인 수에 3을 입력하고 **추가**를 클릭합니다.
3. **계속**을 클릭합니다.
4. **ABCD 설계**를 클릭합니다.

그림 13.18 28 회 런의 6 개 요인 ABCD 설계 중 14 회 런

설계	런	X1	X2	X3	X4	X5	X6
	1	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	2	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	3	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	4	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000
	5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000
	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000
	7	0.50000	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	8	0.50000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000
	9	0.50000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000
	10	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000
	11	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000
	12	0.00000	0.50000	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000
	13	0.00000	0.50000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000
	14	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000

5. **테이블 생성**을 클릭합니다.

공간 채움 설계

공간 채움 혼합물 설계는 설계 영역 전체에 설계점을 분산시킵니다. 이 설계는 선형 제약 조건을 수용합니다. "DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계"에 있는 쾌속 유연 채움 설계 방법과 비슷한 방식으로 설계가 생성됩니다 ("쾌속 유연 채움 설계"(596 페이지) 참조).

"혼합물 설계"의 빨간색 삼각형 옵션 중 다음 두 가지는 공간 채움 설계와 관련이 있습니다.

FFF 최적 기준 쾌속 유연 채움 혼합물 설계 유형의 경우 MaxPro 기준 (기본값) 과 Centroid 기준 중 하나를 선택할 수 있습니다. 자세한 내용은 "FFF 최적 기준"(386 페이지)에서 확인하십시오.

고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정 쾌속 유연 채움 혼합물 설계 유형의 경우 각 군집 또는 각 설계점을 정의하는 데 사용하기 위해 무작위로 생성되는 평균 점 개수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "평균 군집 크기 설정"(387 페이지)에서 확인하십시오.

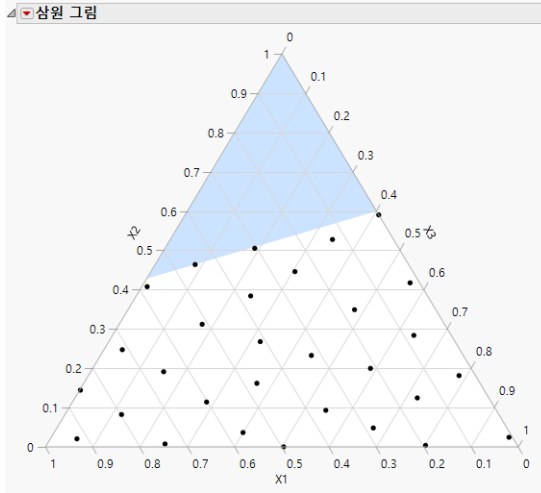
공간 채움 예

공간 채움 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. (선택 사항) 이 예의 출력과 일치시키려면 "혼합물 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 "난수 시드값 설정"을 선택한 후 1409를 입력합니다.
3. 이 예에서는 세 가지 요인을 사용합니다."요인" 섹션을 변경할 필요가 없습니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. **선형 제약 조건**을 클릭합니다.
6. X1 및 X3 상자에 각각 0.7 과 1 을 입력하고 부등식 방향을 $\geq$ 으로 변경한 후 제약 조건 상자에 0.4 를 입력합니다.
이렇게 하면 $0.7X1 + X3$ 이 혼합물의 40% 이상으로 제한됩니다.
7. **런** 상자에 30 을 입력합니다.
8. **공간 채움**을 클릭합니다.
9. **테이블 생성**을 클릭합니다.

설계 시각화

10. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.
11. X1, X2, X3 을 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

그림 13.19 선형 제약 조건이 1 개 있는 공간 채움 설계

이 설계는 Centroid FFF 최적 기준을 사용하여 구성됩니다. 점은 제약된 설계 영역에 속해 있고 이 영역 전체에 대해 상당히 잘 분산되어 있습니다. 삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)"(375 페이지)에서 확인하십시오.

혼합물 공간 채움 설계에 대한 통계 상세 정보

FFF 최적 기준

패속 유연 채움 설계를 위한 알고리즘은 지정된 설계 영역에서 다수의 랜덤 점을 생성하는 것으로 시작합니다. 그런 다음 빠른 Ward 알고리즘을 사용하여 이러한 점을 여러 군집으로 군집화합니다. 이때 군집 수는 사용자가 지정한 런 수와 같습니다.

최종 설계점은 기본 MaxPro(최대 투영) 최적 기준을 사용하거나 Centroid 기준을 선택하여 얻을 수 있습니다. 이러한 옵션은 보고서의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "FFF 최적 기준" 아래에 있습니다.

MaxPro p 개 요인이 있고 n 이 지정된 런 수와 같은 경우 MaxPro 기준은 군집에서 다음 기준을 최소화하는 점을 찾습니다.

$$C_{MaxPro} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[1 / \prod_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]$$

MaxPro 기준은 모든 요인을 포함하는 방식으로 잠재적 설계점 간 거리의 곱을 최대화합니다. 이는 요인 투영에 적합한 공간 채움 특성을 제공한다는 목표를 지원합니다. 자세한 내용은 Joseph et al. (2015)에서 확인하십시오. MaxPro 옵션이 기본값입니다.

Centroid 이 방법은 각 군집의 중심에 설계점을 놓습니다. 설계 공간의 임의의 점에서 가장 가까운 인접 설계점까지의 평균 거리가 다른 설계보다 작다는 특성이 있습니다.

참고 : 항상 정해진 최적 기준을 사용하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE** 를 선택합니다. "FFF 최적 기준" 을 선택한 후 기본 기준을 선택합니다.

평균 군집 크기 설정

평균 군집 크기 설정 옵션은 "혼합물 설계" 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "고급 옵션" 아래에 있습니다. 이 옵션을 사용하면 각 군집 또는 각 설계점을 정의하는 데 사용하기 위해 균등하게 생성되는 평균 점 개수를 지정할 수 있습니다.

기본적으로 공간 채움 설계 유형의 런 수가 200 이하인 경우 균등하게 생성된 총 10,000 개의 랜덤 점이 군집화 알고리즘의 기초로 사용됩니다. 런 수가 200 을 초과하는 경우 기본값은 50 입니다. 이 값을 늘리면 요인 수가 많은 설계에 특히 유용할 수 있습니다.

참고 : 요인 수와 지정된 런 값에 따라 **고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정** 을 선택하여 설계점당 평균 초기점 수를 늘릴 수 있습니다.

선형 제약 조건

"선형 제약 조건" 개요에서 **선형 제약 조건** 옵션을 선택하여 설계 영역을 제한할 수 있습니다.

선형 제약 조건을 지정하면 군집화 알고리즘의 기초를 구성하는 랜덤 점이 제약된 설계 영역 내에 무작위로 분포됩니다. 군집화 알고리즘에 이러한 점이 사용됩니다.

혼합물 설계 적합

혼합물 설계에 대한 모형을 적합시킬 때 요인의 합이 상수라는 점을 고려해야 합니다. 기존의 완전 선형 모형은 전체를 추정할 수 없습니다.

혼합물 반응에 적합한 반응 표면 모형은 Scheffé 다항식 (Scheffé 1958) 입니다. 자세한 내용은 **Fitting Linear Models** 의 "Standard Least Squares Report and Options" 장에서 Cox 혼합 및 Scheffé 입방 매크로에 대한 설명을 참조하십시오. Scheffé 다항식 모형은 다음을 수행합니다.

- 절편 표시 안 함
- 모든 선형 주효과 항 포함
- 모든 제곱 항 제외 (예 : X_1^2)
- 모든 교차 항 포함 (예 : $X_1 X_2$)

이 모형에서는 모수를 쉽게 해석할 수 있습니다 (Cornell 1990). 선형 항의 계수는 혼합물이 단일 요인으로 구성된 극점에서 적합된 반응입니다. 교차 항의 계수는 요인 공간의 각 모서리에서의 곡률을 나타냅니다.

3 차 다항식 항이 있는 혼합 모형의 경우 Scheffé 입방 모형을 사용할 수 있습니다. Scheffé 입방 모형은 $X_1 X_2 (X_1 + X_2)$ 형식의 항을 포함합니다.

- Scheffé 다항식 모형을 적합시키려면 "모형 적합" 플랫폼에서 "혼합물 반응 표면" 매크로를 사용합니다.
- Scheffé 입방 모형을 적합시키려면 "모형 적합" 플랫폼에서 **Scheffe 입방** 매크로를 사용합니다.
- 다른 혼합 모형을 적합시키도록 선택한 경우 "모형 적합" 플랫폼에 "절편 없음" 모형 및 "혼합 효과"에 대한 옵션이 효과 속성으로 포함됩니다.

팁: 사용자 설계 모형 개요에는 Scheffé 입방 모형 항을 추가할 수 있는 옵션이 있습니다. 생성된 설계 테이블에 Scheffé 입방 모형에 대한 스크립트가 포함됩니다.

전체 모형 검정 및 분산 분석 보고서

일반적으로 JMP는 전체 모형 분산 분석 테이블에서 절편을 제외한 모든 모수가 0인지 검정합니다. 절편이 없는 혼합 모형의 경우 JMP는 선형 효과 조합이 상수라는 점에서 숨겨진 절편을 찾습니다. 숨겨진 절편을 찾으면 0 절편 모형이 아니라 절편 모형에 대한 전체 모형 검정을 수행합니다. 이 검정은 선형 모수를 제외한 모든 모수가 0인지 그리고 모수가 같은지 검정하는 것과 동등합니다.

또한 숨겨진 절편 특성을 사용하면 R^2 이 결측으로 보고되지 않고 절편 모형과 관련하여 보고됩니다.

반응 표면 보고서 이해

반응 표면 효과 "&RS"로 표시된 효과가 있는 경우 JMP는 적합 반응 표면을 분석하는 추가 보고서를 생성합니다. 이 보고서는 원래 혼합 모형이 아니라 전체 반응 모형을 위해 만들어졌습니다. 그러나 JMP에서 절편이 없는 모형이 나타나면 숨긴 절편을 갖는 선형 반응 표면 항을 찾게 됩니다. 단, 제곱 항은 없습니다. 이 경우 계산을 중단하고 마지막 반응 표면 항에서 축소하여 최적의 임계값을 계산합니다. 상수를 산출하고 마지막 반응 표면 항을 포함하는 모든 조합에 대해 이를 수행할 수 있습니다.

화학 혼합물 예

세 가지 가소제 (p1, p2, p3)가 자동차 시트 커버에 사용되는 비닐의 79.5%를 차지합니다(Cornell, 1990). 이 79.5% 내에서 각 가소제는 $0.409 \leq x_1 \leq 0.849$, $0 \leq x_2 \leq 0.252$, $0.151 \leq x_3 \leq 0.274$ 제약 조건으로 제한됩니다. Cornell은 14회 런 설계를 사용하여 2차 혼합 모형을 수집된 반응에 적합시킵니다. 이 설계는 4개의 꼭지점과 전체 중심에서 반복 측정을 수행하는 3차 꼭지점 설계입니다.

- "설계 생성"
- "혼합 모형 분석"

- " 예측 프로파일러 "
- " 혼합물 프로파일러 "

설계 생성

JMP 에서 Cornell 의 혼합물 설계를 생성하려면

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Plastifactors.jmp** 를 엽니다 .
2. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다 .
3. " 혼합물 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다 .

그림 13.20 가소제 실험에 대한 요인 및 요인 제약 조건

요인

추가

1

혼합

선택한 항목 제거

이름	역할	값	
▶ p1	혼합	0.409	0.849
▶ p2	혼합	0	0.252
▶ p3	혼합	0.151	0.274

4. **계속**을 클릭합니다 .
5. **차수** 상자에 3 을 입력합니다 .
6. **꼭지점**을 클릭합니다 .
7. **테이블 생성**을 클릭합니다 . JMP 에서 9 개 요인 설정을 사용하여 JMP 테이블을 생성합니다 .

그림 13.21 꼭지점 혼합물 설계

	p1	p2	p3	Y
1	0.597	0.252	0.151	•
2	0.726	0	0.274	•
3	0.6615	0.126	0.2125	•
4	0.6	0.126	0.274	•
5	0.7875	0	0.2125	•
6	0.849	0	0.151	•
7	0.5355	0.252	0.2125	•
8	0.474	0.252	0.274	•
9	0.723	0.126	0.151	•

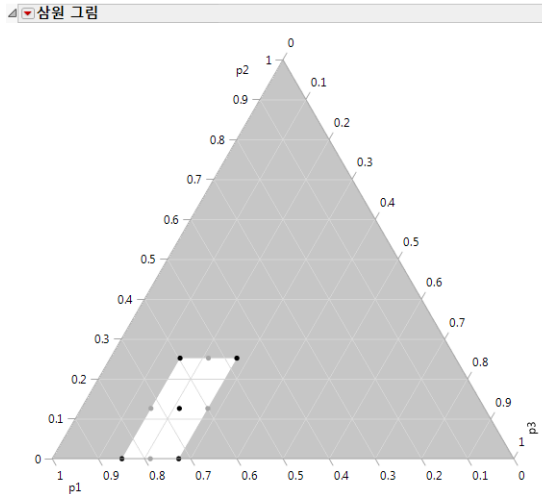
참고 : 설계 생성 시 사용된 난수 시드값 때문에 테이블이 다를 수 있습니다 .

이제 꼭지점과 전체 중심을 복제하여 추가 설계 런을 5 회 지정한 후 14 회 런 설계를 생성합니다 .

8. 꼭지점과 중심을 식별하려면 삼원 그림을 사용합니다 . 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다 .

9. p_1, p_2, p_3 을 선택하고 **X**, **그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

그림 13.22 설계의 삼원 그림



10. 꼭지점과 중심점을 강조 표시합니다.

그림 13.23 꼭지점 및 중앙점 식별

	p1	p2	p3	Y
1	0.597	0.252	0.151	•
2	0.726	0	0.274	•
3	0.6615	0.126	0.2125	•
4	0.6	0.126	0.274	•
5	0.7875	0	0.2125	•
6	0.849	0	0.151	•
7	0.5355	0.252	0.2125	•
8	0.474	0.252	0.274	•
9	0.723	0.126	0.151	•

11. **편집 > 복사**를 선택하여 선택된 행을 클립보드에 복사합니다.

12. 행 10의 첫 번째 셀을 클릭하고 **편집 > 붙여넣기**를 선택하여 중복 행을 테이블에 추가합니다.

참고: 2 차 모형, 중앙점 2 개, 설계 반복 4 회 및 런 14 회를 포함하는 사용자 설계 도구를 사용하여 유사한 설계를 생성할 수 있습니다.

Cornell 이 얻은 결과 (Y 값) 가 포함된 가소제 설계는 Plasticizer.jmp 샘플 데이터 파일에 제공됩니다.

혼합 모형 분석

가소제 실험을 분석하려면 Plasticizer JMP 샘플 데이터 테이블을 사용하십시오.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Plasticizer.jmp 를 엽니다.
2. 데이터 테이블 왼쪽 위에 있는 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
완료된 "모형 적합" 시작 창이 나타납니다.

참고: 설계를 생성하면 모형 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다.

3. **실행**을 클릭하여 반응 표면 분석을 표시합니다.
4. Plasticizer.jmp 에는 예측 계산식 Y 열이 포함되어 있습니다. 이 열은 분석 후 "반응 Y"의 빨간색 삼각형에서 **열 저장 > 예측 계산식**을 선택하여 추가되었습니다.
5. 예측 계산식을 보려면 열 목록에서 더하기 기호를 클릭합니다.

$$0 - 50.1465 * p1 - 282.198 * p2 - 911.648 * p3 + p2 * p1 * 317.363 + p3 * p1 * 1464.330 + p3 * p2 * 1846.218$$

참고: 이 결과는 Cornell(1990)에 보고된 계수를 수정합니다.

반응 표면 해 보고서에 따르면 (0.63505, 0.15568, 0.20927) 점에서 최대 예측값 19.570299가 발생합니다.

그림 13.24 혼합물 반응 표면 분석

반응 표면

계수

	$(p1-0.474)/0.375$	$p2/0.375$	$(p3-0.151)/0.375$	Y
$(p1-0.474)/0.375$	0	44.62923	205.92138	7.4923077
$p2/0.375$	.	0	259.62437	-1.491318
$(p3-0.151)/0.375$	.	.	0	-138.2039

해

변수	임계값
$(p1-0.474)/0.375$	0.635052
$p2/0.375$	0.1556806
$(p3-0.151)/0.375$	0.2092675

해: 최대값

다음 혼합물 합을 가정합니다. $p1+p2+p3=1$

해의 예측값 19.570299

예측 프로파일러

이 보고서에는 예측 프로파일러가 포함되어 있습니다.

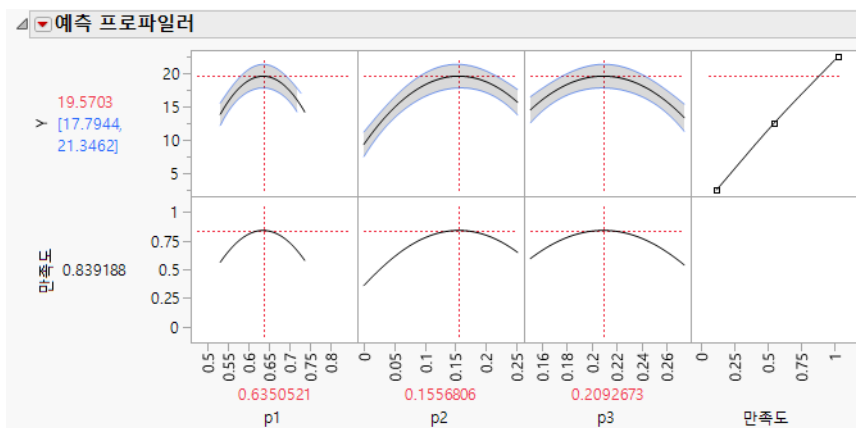
1. 예측 프로파일러에서는 교차효과가 예측 트레이스에서 곡물로 표시되는 방식을 확인할 수 있습니다. 한 성분의 값을 변경하면 (빨간색 선 드래그) 다른 두 성분의 값이 반대 방향으로 이동하여 비율과 전체 혼합 제약 조건 (성분의 합이 100% 여야 함)을 유지합니다.

참고 : 예측 프로파일러 트레이스의 축은 요인 (p1, p2, p3) 에 대해 정의된 상한 및 하한에서 시작합니다. 성분 효과를 탐색할 때 두 번째 성분의 한계에 도달하면 성분을 더 이상 이동할 수 없으며 세 번째 변수만 변경되어 혼합 제약 조건을 유지합니다.

2. 프로파일 곡선을 세 가지 모든 성분의 수준을 고려한 경계까지 표시하려면 " 예측 프로파일러 "의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **경계에서 프로파일 > 경계에서 중지**를 선택합니다.
3. 혼합 성분을 최적화하려면 " 예측 프로파일러 "의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 함수**를 선택합니다.
4. " 예측 프로파일러 "의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택하여 최대 Y를 위한 최적 요인 설정을 얻습니다.

프로파일러에 표시된 최적 설정 (반올림) 은 0.6350(p1), 0.1557(p2), 0.2093(p3) 이고 이 설정은 반응 추정값 19.5703 을 제공합니다.

그림 13.25 혼합물 분석 예에 대한 프로파일러의 최대 만족도



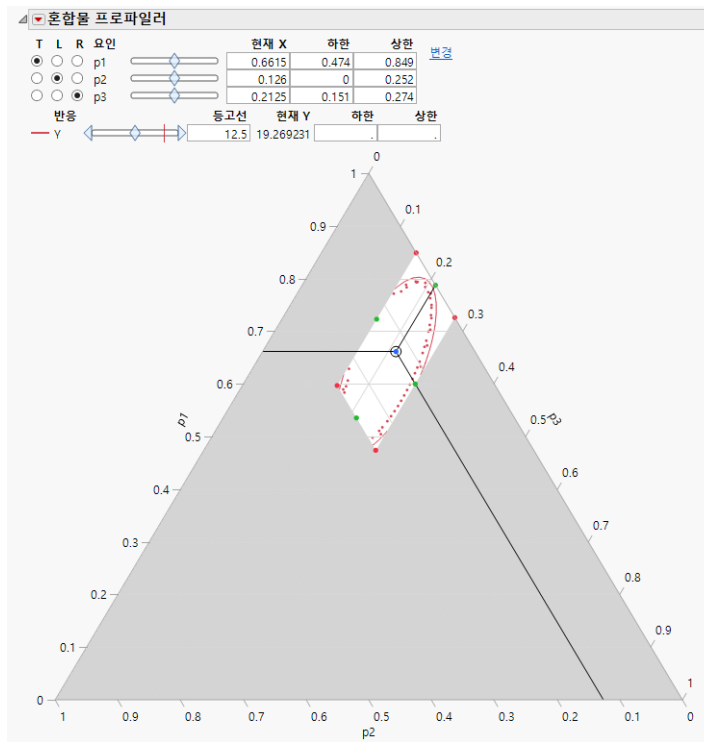
혼합물 프로파일러

"모형 적합" 보고서에는 혼합물 실험에서 반응 표면을 시각화하고 최적화하는 데 유용한 **혼합물 프로파일러**도 있습니다. 대부분의 기능이 등고선 프로파일러의 기능과 동일합니다. 그러나 다음과 같은 몇몇 기능은 혼합물 프로파일러에 고유합니다.

- Cartesian 그림 대신 삼원 그림을 사용하여 세 가지 혼합 요인을 한 번에 볼 수 있습니다.
- 요인이 4 개 이상인 경우 라디오 버튼을 사용하여 그림에 그릴 요인을 선택할 수 있습니다.
- 요인에 제약 조건이 있는 경우 "하한" 및 "상한" 열에 요인의 하한과 상한을 입력할 수 있습니다. 이 설정은 프로파일러에서 실현 불가능한 영역에 음영을 적용합니다.

"반응 Y"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 프로파일링 > 혼합물 프로파일러**를 선택하여 가소제 데이터의 혼합물 프로파일러를 표시합니다.

그림 13.26 가소제 예에 대한 혼합물 프로파일러



14 장

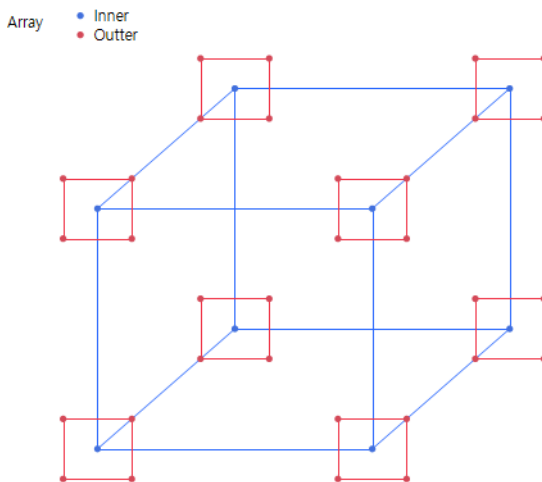
Taguchi 설계

잡음 요인이 있는 설계

Taguchi 설계는 교차 배열을 사용하여 잡음이 있는 요인을 탐색합니다. Taguchi 설계는 제어 요인을 위한 내측 배열 설계와 잡음 요인을 위한 외측 배열 설계라는 두 부분으로 나뉩니다. 전체 설계는 두 배열의 교차 곱입니다.

생산 단계에서 제어하기 어렵거나 비용이 많이 드는 잡음 요인을 실험 중에 제어해야 합니다. Taguchi 설계의 대안으로 결합 배열 및 혼합 해상도 설계 (Borror 2000) 를 사용할 수 있습니다. 사용자 설계 도구를 사용하여 잡음 요인이 있는 설계를 생성하는 예는 "사용자 설계의 예" 장의 "로버스트 공정 및 제품 설계를 위한 실험" (191 페이지) 에서 확인하십시오.

그림 14.1 제어 요인 3 개와 잡음 요인 2 개가 있는 Taguchi 설계



목차

Taguchi 설계 개요	397
Taguchi 설계의 예	397
Taguchi 설계 창	401
반응	401
요인	402
내측 및 외측 배열 설계 선택	402
코드화된 설계 표시	403
설계 테이블 생성	403
Taguchi 설계 옵션	404

Taguchi 설계 개요

Taguchi 설계는 제어 요인과 잡음 요인이라는 두 가지 유형의 요인을 사용합니다.

- 내측 설계는 제어 요인을 위해 구성됩니다.
- 외측 설계는 잡음 요인을 위해 구성됩니다.

내측 및 외측 설계 런의 모든 조합에 대해 실험이 수행됩니다. 실험 중에 잡음 요인을 제어해야 합니다. 잡음 설정 전체에서 내측 배열의 각 설정에 대한 평균과 표준편차는 분석을 위해 신호 대 잡음 측도로 결합됩니다. 표 14.1 에는 신호 대 잡음 성능 통계량이 나열됩니다.

표 14.1 권장 성능 통계량

목표	S/N 비율 계산식
망목 (NTB)	$\frac{S}{N} = 10\log\left(\frac{\bar{Y}^2}{s^2}\right)$
망대 (LTB) - 최대화	$\frac{S}{N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_i \frac{1}{Y_i^2}\right)$
망소 (STB) - 최소화	$\frac{S}{N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_i Y_i^2\right)$

Taguchi 설계의 예

다음 예는 Byrne and Taguchi(1986) 에 설명된 실험입니다. 실험 목표는 나일론 튜브의 접착력 (이탈력) 을 최대화하기 위한 제어 요인의 설정을 찾는 것입니다. 세 가지 잡음 요인에 대해 네 가지 제어 요인이 평가됩니다.

이 예의 신호 요인은 다음과 같습니다.

Interfer 튜브 및 커넥터 간섭. 수준이 3 개인 신호 요인입니다.

Wall 커넥터의 벽 두께. 수준이 3 개인 신호 요인입니다.

Depth 커넥터에 튜브를 삽입하는 깊이. 수준이 3 개인 신호 요인입니다.

Adhesive 접착제 비율. 수준이 3 개인 신호 요인입니다.

이 예의 잡음 요인은 다음과 같습니다.

Time 처리 시간. 수준이 2 개인 잡음 요인입니다.

Temperature 온도. 수준이 2 개인 잡음 요인입니다.

Humidity 상대 습도 . 수준이 2 개인 잡음 요인입니다 .

설계 생성

1. **DOE > 전통적 설계 > Taguchi 배열**을 선택합니다 .
2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Byrne Taguchi Factors.jmp를 엽니다 .
3. "Taguchi 배열 " 창에서 "Taguchi 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다 .

" 요인 " 패널에 3 수준 제어 (신호) 요인 4 개와 잡음 요인 3 개가 표시됩니다 .

참고 : 반응에 대해 선택한 " 목표 " 에 따라 설계 데이터 테이블에 추가되는 SN 비율 계산식이 결정됩니다 .

4. 내측 배열에 **L9 - Taguchi**가 선택되어 있는지 확인합니다 .
5. 외측 배열 설계에 대해 **L8**을 클릭합니다 .

그림 14.2 완료된 Taguchi 설계 창

Taguchi 설계

반응

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y	망대(LTB)			

요인

이름	역할	값
Interfer	신호	1 2 3
Wall	신호	1 2 3
Depth	신호	1 2 3
Adhesive	신호	1 2 3
Time	잡음	L1 L2

7요인

내측 및 외측 배열 설계 선택

내측 배열	외측 배열
수	설계 이름
9 L9 - Taguchi	L4
27 L27 - Taguchi	L8
81 완전 요인	

계속

뒤로

6. **계속**을 클릭합니다 .
7. **테이블 생성**을 클릭하여 그림 14.3에 표시된 설계 테이블을 생성합니다 .

내측 배열에는 각각 수준이 3 개인 신호 요인 4 개에 대한 9 개의 런이 있습니다 . 신호 요인 설정은 테이블의 처음 네 열에 제공됩니다 .

외측 설계는 2 수준 잡음 요인 3 개에 대한 완전 요인 설계입니다 . 외측 배열은 데이터 테이블의 8 개 열에 제공됩니다 . 열 이름은 외측 배열 런의 패턴입니다 . 예를 들어 "----" 열은 모든 잡음 수준이 낮을 때 수집된 결과를 나타냅니다 . 9 회의 각 시도가 잡음 요인의 8 개 조합에서 수행되어 실험 시도는 총 72 회입니다 .

그림 14.3 데이터 입력 전 Taguchi 설계

Interfer	Wall	Depth	Adhesive	패턴	---	--+	-+-	++-	+--	+-+	++-	+++	평균	SN 비
1	1	1	1	----	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	1	2	2	-000	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	1	3	3	--++	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4	2	1	2	0-0+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5	2	2	3	00+-	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6	2	3	1	0+-0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
7	3	1	3	+-+0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8	3	2	1	+0-+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9	3	3	2	++0-	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

이 설계 테이블에 72 개의 실험 결과를 입력할 수 있습니다.

8. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Byrne Taguchi Data.jmp 를 엽니다.

그림 14.4 완전한 Taguchi 설계 테이블 (Byrne Taguchi Data.jmp)

Interfer	Wall	Depth	Adhesive	Pattern	Y---	Y--+	Y-+-	Y-++	Y+--	Y++-	Y++-	Y+++	Mean Y	SN Ratio Y
1	1	1	1	----	15.6	9.5	16.9	19.9	19.6	19.6	20	19.1	17.525	24.02534
2	1	2	2	-000	15	16.2	19.4	19.6	19.7	19.8	24.2	21.9	19.475	25.52164
3	1	3	3	--++	16.3	16.7	19.1	15.6	22.6	18.2	23.3	20.4	19.025	25.33476
4	2	1	2	0-0+	18.3	17.4	18.9	18.6	21	18.9	23.2	24.7	20.125	25.90425
5	2	2	3	00+-	19.7	18.6	19.4	25.1	25.6	21.4	27.5	25.3	22.825	26.90753
6	2	3	1	0+-0	16.2	16.3	20	19.8	14.7	19.6	22.5	24.7	19.225	25.32574
7	3	1	3	+-+0	16.4	19.1	18.4	23.6	16.8	18.6	24.3	21.6	19.85	25.71081
8	3	2	1	+0-+	14.2	15.6	15.1	16.8	17.8	19.6	23.2	24.4	18.3375	24.83231
9	3	3	2	++0-	16.1	19.9	19.3	17.3	23.1	22.7	22.6	28.6	21.2	26.15198

SN 비 Y 열은 반응을 최대화하기 위한 성능 통계량인 망대 (LTB) 입니다. 이 값은 다음과 같이 반응의 역수 제곱 평균에 대한 상용로그의 -10 배로 계산됩니다.

$$-10\log_{10} \left[\text{Mean} \left[\frac{1}{(Y_{---})^2}, \frac{1}{(Y_{--+})^2}, \frac{1}{(Y_{-+-})^2}, \frac{1}{(Y_{-++})^2}, \frac{1}{(Y_{+--})^2}, \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1}{(Y_{++-})^2}, \frac{1}{(Y_{+++})^2} \right] \right]$$

모든 개별 y 반응 값이 클 때 이 표현식도 큼니다. 즉, 전체 잡음 설정에서 반응이 가장 큰 신호 설정을 찾으려고 합니다.

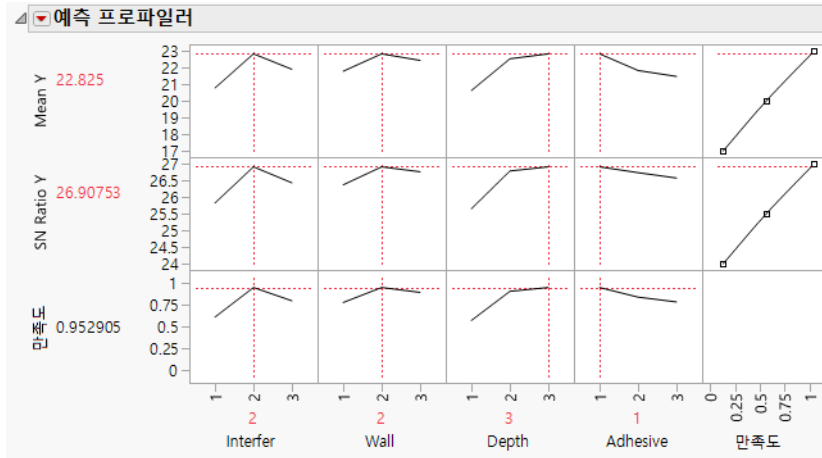
데이터 분석

이제 데이터를 분석할 수 있습니다. 분석 목표는 평균과 신호 대 잡음 비를 모두 최대화하는 요인 설정을 찾는 것입니다.

1. Byrne Taguchi Data.jmp 데이터 테이블에서 녹색 화살표를 클릭하여 "Model" 스크립트를 실행합니다.

4. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

그림 14.7 Byrne Taguchi 데이터에 대한 최적 요인 설정

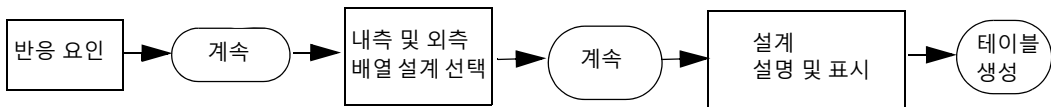


이 예에서 Interfer 및 Wall의 최적 설정은 2, Depth는 3, Adhesive는 1입니다. 이 설정은 예측 평균 값 22.8과 SN 비 26.9를 산출합니다.

Taguchi 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "Taguchi 설계" 창이 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계" (52 페이지)에서 확인하십시오. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 14.8의 흐름을 따릅니다.

그림 14.8 Taguchi 설계 흐름



반응

"반응" 개요를 사용하여 반응을 지정합니다.

그림 14.9 반응 개요

반응				
반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y	장대(LTB)	.	.	.

" 반응 " 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다 .

반응 이름 반응의 이름입니다 (기본값 Y). 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 다른 이름을 입력합니다 .

목표 , 하한 , 상한 " 목표 " 에 따라 신호 대 잡음 함수의 형식이 결정됩니다 (표 14.1 (397 페이지 참조) . " 망대 (LTB) " , " 망목 (NTB) " , " 망소 (STB) " 또는 " 없음 " 중 하나를 목표로 선택합니다 . 설계를 생성할 때 JMP 는 선택한 목표를 반영하는 SN 비 계산식을 데이터 테이블에 저장합니다 . 목표를 변경하려면 해당 목표를 클릭한 후 다른 목표를 입력합니다 . 반응에 대한 제한이 있는 경우 " 하한 " 및 " 상한 " 을 사용합니다 .

중요도 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다 . 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다 . Taguchi 설계의 경우 반응이 하나뿐이므로 중요도 값은 기본적으로 1 로 설정됩니다 . 중요도 값이 필요하지 않습니다 .

요인

" 요인 " 개요를 사용하여 요인을 지정합니다 .

신호 두 개 이상의 2 수준 또는 3 수준 신호 요인을 지정합니다 . 신호 요인은 시스템 제어 입력 변수입니다 . 이 요인은 생산 단계에서 제어할 수 있습니다 .

잡음 하나 이상의 잡음 요인을 지정합니다 . 잡음 요인은 생산 단계에서 제어하기 어렵거나 비용이 많이 드는 변수입니다 . 그러나 실험 중에 잡음 요인을 제어할 수 있어야 합니다 . " 잡음 " 을 클릭하여 잡음 요인을 추가합니다 .

제거 선택한 요인을 제거합니다 .

이름 요인의 이름입니다 . 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다 . 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 다른 이름을 입력합니다 .

역할 요인의 설계 역할 (신호 또는 잡음) 을 지정합니다 . 역할은 요인을 추가할 때 설정됩니다 .

값 요인에 대한 실험 설정입니다 . 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다 .

그림 14.10 요인 개요

신호

잡음

제거

이름	역할	값
X1	신호	1 2
X2	신호	1 2

내측 및 외측 배열 설계 선택

" 요인 지정 " 패널에서 " 계속 " 을 클릭하면 " 내측 및 외측 배열 설계 선택 " 옵션이 나타납니다 . 신호 요인에 따라 내측 배열에 대해 직교 설계를 위한 하나 이상의 선택 옵션이 있습니다 . 직교 " L " 설계를 위한 외측 배열 선택 옵션은 설계의 요인 수와 유형에 따라 다릅니다 .

코드화된 설계 표시

내측 및 외측 배열에 대한 설계 유형을 선택한 후 내측 배열에 2 수준 요인이 있으면 " 코드화된 설계 "가 표시됩니다.

그림 14.11 8 개 요인 L12 설계를 위한 코딩



" 코드화된 설계 " 는 각 런에서 요인의 상한값과 하한값 패턴을 표시합니다.

설계 테이블 생성

테이블 생성을 클릭하면 그림 14.12 에 표시된 것과 유사한 테이블이 나타납니다. 데이터 테이블에서 각 행은 내측 배열 런을 나타냅니다. 패턴 변수의 값에서 더하기 기호는 상한을 나타내고 빼기 기호는 하한을 나타냅니다. 또한 각 요인에 대한 열과 " 패턴 " 열에 나타나는 각 패턴에 대한 열도 테이블에 포함됩니다. 패턴 열은 실험에 대한 반응을 포함합니다. "Taguchi 설계 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 " 반응 시뮬레이션 " 을 선택한 경우에는 시뮬레이션된 반응 값이 패턴 열에 채워집니다.

그림 14.12 8 개 요인 L12 설계에 대한 Taguchi 설계 테이블

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	패턴	run 1	run 2	평균	SN 비
1	1	1	1	1	1	1	1	1	-----	*	*	*	*
2	1	1	1	1	1	2	2	2	-----++	*	*	*	*
3	1	1	2	2	2	1	1	1	-----	*	*	*	*
4	1	2	1	2	2	1	2	2	-----++	*	*	*	*
5	1	2	2	1	2	2	1	2	-----++	*	*	*	*
6	1	2	2	2	1	2	2	1	-----++	*	*	*	*
7	2	1	2	2	1	1	2	2	-----++	*	*	*	*
8	2	1	2	1	2	2	2	1	-----++	*	*	*	*
9	2	1	1	2	2	2	1	2	-----++	*	*	*	*
10	2	2	2	1	1	1	1	2	-----++	*	*	*	*
11	2	2	1	2	1	2	1	1	-----++	*	*	*	*
12	2	2	1	1	2	1	2	1	-----++	*	*	*	*

Taguchi 설계 옵션

반응 저장 "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

반응 불러오기 "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

요인 저장 "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

참고 : 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

요인 불러오기 "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

제약 조건 저장 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "**제약 조건 상태**"(715 페이지)에서 확인하십시오.

제약 조건 불러오기 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고 : 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.

- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.
- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 창의 "**반응 시뮬레이션**"(100 페이지)에서 확인하십시오.

참고 :  "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 창에서 확인하십시오.

15 장

설계 평가 설계 특성 탐색

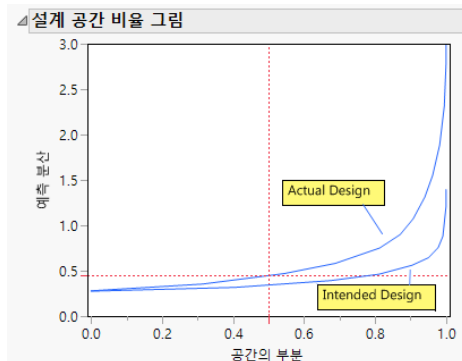
"설계 평가" 플랫폼을 사용하면 다음을 수행할 수 있습니다.

- 기존 실험 설계의 장점과 한계를 확인합니다.
- 설계에서 반응에 대한 중요한 변화와 관련된 효과를 감지할 수 있는지 판별합니다.
- 추정값의 정밀도와 예측 분산을 처리합니다.
- 별칭 구조를 파악합니다.
- 효율도 측도를 얻습니다.

설계 평가 플랫폼은 여러 DOE 플랫폼에서 제공한 "설계 평가" 개요에 나타나는 결과를 생성합니다. "설계 평가" 개요에 제공되는 설계 진단은 다음과 같습니다.

- 검정력 분석
- 예측 분산 프로파일러 및 표면 그림
- 설계 공간 비율 그림 - 설계 공간에서 지정된 값을 초과하는 예측 분산의 정도 표시
- 모수 추정값을 위한 추정 효율도 측도
- 별칭 행렬 - 모형 효과에 대한 편향 구조 표시
- 색상 맵 - 효과 간의 절대 상관 표시
- 설계 효율도 값

그림 15.1 두 개의 설계 공간 비율 그림 비교



목차

설계 평가 플랫폼 개요.....	409
설계 평가의 예.....	409
손실된 런의 영향 평가.....	409
지정된 모형에 대한 검정력 평가.....	416
설계 평가 시작 창.....	418
설계 평가 창.....	418
요인.....	419
모형.....	420
별칭 항.....	421
설계.....	421
설계 평가.....	421
검정력 분석.....	422
예측 분산 프로파일.....	428
설계 공간 비율 그림.....	429
예측 분산 표면.....	430
추정 효율도.....	431
별칭 행렬.....	433
상관 색상 맵.....	434
설계 진단.....	435
설계 평가 옵션.....	437

설계 평가 플랫폼 개요

설계 평가 플랫폼은 설계의 특성을 평가할 수 있는 강력한 도구를 제공합니다. 설계를 JMP로 생성했는지 다른 도구로 생성했는지는 상관없습니다. 실험을 수행하기 전에 플랫폼을 사용하여 여러 설계 중에서 선택할 수 있습니다. 수행한 설계에서 올바르지 않은 설정이나 손실된 런으로 인한 영향도 평가할 수 있습니다. 가정된 모형의 항을 수정하여 수정된 모형을 추정할 때의 영향을 확인할 수 있습니다. 또한 "별칭 항" 개요에 나타나는 항을 수정하여 별칭 행렬에 미치는 영향을 확인할 수도 있습니다.

시작 창에 설계 정보를 입력하는 것으로 시작합니다. 그런 다음 가정된 모형을 수정하고, 모형에 없는 효과 중 잠재적 관심 대상인 효과를 지정할 수 있습니다. 설계 평가 플랫폼은 사용자가 지정한 내용에 따라 생성된 설계의 특성을 평가하는 다양한 방법을 제공합니다.

검정력 분석 주어진 크기의 효과를 감지할 수 있는지 분석할 수 있습니다.

예측 분산 프로파일 요인 설정 범위에 대한 예측 분산을 보여 줍니다.

설계 공간 비율 그림 모형 예측 분산이 지정된 값보다 얼마나 아래 또는 위에 있는지 보여 줍니다.

예측 분산 표면 두 개의 연속형 요인에 대한 예측 분산의 표면 그림을 보여 줍니다.

추정 효율도 각 모수에 대해 이상적인 직교 설계 (존재하지 않을 수 있음)와 비교하여 신뢰 구간 길이에 대한 증가 비율을 제공합니다. 모수의 상대 표준 오차도 제공합니다.

별칭 행렬 모형에 없지만 활성화 가능성이 있는 효과에 의해 모형 모수가 편향되는 정도를 나타내는 계수를 제공합니다.

상관 색상 맵 강도 척도를 사용하여 그림에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다.

설계 진단 설계의 효율도 측도를 제공합니다.

참고: 몇 가지 DOE 플랫폼에서는 설계를 구성할 때 "설계 평가" 개요가 나타납니다. 이 개요는 "설계 평가" 플랫폼에서 제공한 결과를 보여 줍니다. "설계 평가" 개요를 제공하는 플랫폼은 사용자 설계, 확증적 선별 설계, 선별 설계, 반응 표면 설계, 최적 설계 유형을 사용한 혼합물 설계입니다.

설계 평가의 예

- "손실된 런의 영향 평가"
- "지정된 모형에 대한 검정력 평가"

손실된 런의 영향 평가

테니스 공의 탄력성 (Stretch)에 대한 세 가지 요인 (Silica, Sulfur, Silane)의 효과를 탐색하기 위한 실험이 수행되었습니다. 실험 목표는 Stretch에 대한 예측 모형을 개발하는 것입니다. 반응

표면 설계 플랫폼을 사용하여 15 회 런 Box-Behnken 설계가 선택되었습니다. 실험 후 연구원은 Silica = 0.7, Silane = 50 인 두 번의 런이 올바르게 처리되지 않았음을 알게 되었습니다. 이러한 런은 데이터 분석에 포함할 수 없습니다.

설계 평가 플랫폼을 사용하여 이 두 런이 포함되지 않을 경우에 대한 영향을 평가합니다. 의도한 15 회 런 설계의 진단 결과를 얻은 후 이를 두 런이 없는 실제 13 회 런 설계와 비교합니다.

의도한 설계와 실제 설계 구성

의도한 설계

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Bounce Data.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 설계 진단 > 설계 평가**를 선택합니다.
3. Silica, Sulfur, Silane 을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.
원할 경우 Stretch 를 **Y, 반응**으로 추가할 수 있습니다. 그러나 반응을 지정해도 설계 특성에 영향을 미치지 않습니다.
4. **확인**을 클릭합니다.

의도한 설계의 "설계 평가" 창을 열어 두십시오.

팁: 의도한 설계의 "설계 평가" 창을 화면 왼쪽 영역에 두십시오. 다음 단계 후 실제 설계에 대한 평가 창을 오른쪽에 둡니다.

누락된 런이 있는 실제 설계

이 섹션에서는 Silica = 0.7, Silane = 50 인 두 런을 제외합니다. 해당 런은 데이터 테이블의 3 행과 7 행입니다.

1. Bounce Data.jmp 에서 3 행과 7 행을 선택하고 강조 표시된 영역에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭한 후 **숨기고 제외하기**를 선택합니다.
2. **DOE > 설계 진단 > 설계 평가**를 선택합니다.
3. **재호출**을 클릭합니다.
4. **확인**을 클릭합니다.

실제 설계의 "설계 평가" 창을 열어 두십시오.

팁: 두 설계를 쉽게 비교할 수 있도록 실제 설계의 "설계 평가" 창을 의도한 설계의 "설계 평가" 창 오른쪽에 두십시오.

의도한 설계와 실제 설계 비교

이제 다음 방법을 사용하여 두 설계를 비교할 수 있습니다.

- "**검정력 분석**"(411 페이지)

- " 예측 분산 프로파일 "(412 페이지)
- " 설계 공간 비율 그림 "(413 페이지)
- " 추정 효율도 "(414 페이지)
- " 상관 색상 맵 "(415 페이지)
- " 설계 진단 "(415 페이지)

검정력 분석

각 창에서 다음을 수행합니다 .

1. " 검정력 분석 " 개요를 엽니다 .

이 개요에는 모든 " 예상 계수 "의 값이 기본값 1로 표시됩니다 . 이 값은 교호작용 항과 2 차 항이 비활성이라는 가정하에 주효과 항의 전체 수준에서 2 단위의 예상 반응 변화를 감지하는 것에 해당합니다 .

검정력 계산은 오차 항 (예상 RMSE) 을 1로 가정합니다 . 이전 연구를 통해 RMSE 를 대략 2로 간주합니다 .

2. **예상 RMSE** 옆에 2 를 입력합니다 .

텍스트 상자 바깥쪽을 클릭하면 검정력 값이 업데이트됩니다 .

교호작용 항과 2 차 항이 비활성이라는 가정하에 주효과 항의 전체 수준에서 약 6 단위의 예상 반응 차이를 감지하려고 합니다 . 이를 균등하게 설정하기 위해 빨간색 삼각형 옵션을 사용합니다 .

3. "설계 평가"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정**을 선택합니다 .
4. 델타 값을 6 으로 입력합니다 .
5. **확인**을 클릭합니다 .

그림 15.2에서는 " 설계 및 예상 반응 " 개요가 닫혀 있는 두 개요를 보여 줍니다 .

그림 15.2 검정력 분석 개요 - 의도한 설계 (왼쪽), 실제 설계 (오른쪽)

검정력 분석				검정력 분석			
유의 수준	0.05			유의 수준	0.05		
예상 RMSE	2			예상 RMSE	2		
항	예상 계수	검정력		항	예상 계수	검정력	
절편	3	0.553		절편	3	0.432	
Silica	3	0.919		Silica	3	0.533	
Sulfur	3	0.919		Sulfur	3	0.533	
Silane	3	0.919		Silane	3	0.798	
Silica*Sulfur	3	0.672		Silica*Sulfur	3	0.231	
Silica*Silane	3	0.672		Silica*Silane	3	0.533	
Sulfur*Silane	3	0.672		Sulfur*Silane	3	0.533	
Silica*Silica	3	0.639		Silica*Silica	3	0.379	
Sulfur*Sulfur	3	0.639		Sulfur*Sulfur	3	0.379	
Silane*Silane	3	0.639		Silane*Silane	3	0.379	
예상 계수에 변경 사항 적용				예상 계수에 변경 사항 적용			
설계 및 예상 반응				설계 및 예상 반응			

실제 설계의 검정력 값은 의도한 설계의 값과 비교할 때 균등하게 작습니다. Silica와 Sulfur의 경우 의도한 설계의 검정력이 실제 설계의 검정력에 비해 거의 두 배입니다. Silica*Sulfur 교호작용의 경우 의도한 설계의 검정력은 0.672 인데 비해 실제 설계의 검정력은 0.231 입니다. 실제 설계는 의도한 설계와 비교하여 검정력 손실이 상당히 큼니다.

예측 분산 프로파일

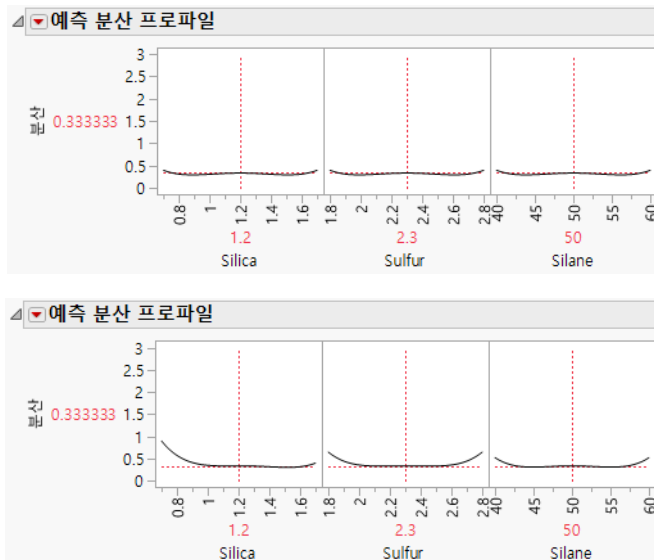
1. 각 창에서 "예측 분산 프로파일" 개요를 엽니다.
2. 실제 설계의 창에서 세로 축에 대한 척도에 커서를 놓습니다. 커서가 손 모양이 되면 마우스 오른쪽 버튼을 클릭합니다. **편집 > 축 설정 복사**를 선택합니다.

이렇게 하면 축 설정을 포함하는 스크립트가 생성됩니다. 이제 이 축 설정을 의도한 설계의 "예측 분산 프로파일" 그림에 적용합니다.

3. 의도한 설계의 "설계 평가" 창에서 "예측 분산 프로파일" 개요를 찾은 후 세로 축에 대한 척도에 커서를 놓습니다. 커서가 손 모양이 되면 마우스 오른쪽 버튼을 클릭합니다. **편집 > 축 설정 붙여넣기**를 선택합니다.

그림 15.5 에 표시된 그림을 참조하십시오. 의도한 설계에 대한 그림이 위에 있고 실제 설계에 대한 그림이 아래에 있습니다.

그림 15.3 예측 분산 프로파일 - 의도한 설계 (위), 실제 설계 (아래)



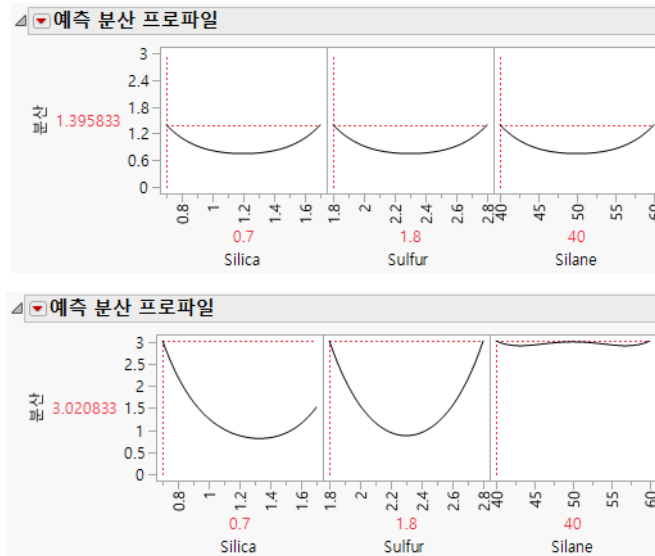
"예측 분산 프로파일" 그림은 상대 예측 분산의 프로파일러 보기입니다. 설계 공간의 다양한 영역에서 상대 예측 분산을 탐색할 수 있습니다.

두 그림 모두 설계 공간의 중심에서 동일한 상대 예측 분산 값을 보여 줍니다. 그러나 설계 공간 가장자리 근처의 점에 대한 분산은 의도한 설계의 동일한 점에 비해 크게 나타납니다. 세 개의 수직선을 모두 요인 설정 가장자리 근처의 점으로 움직여 이 현상을 살펴보십시오.

4. 두 창에서 "예측 분산 프로파일"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **분산 최대화**를 선택합니다.

그림 15.4 에서는 의도한 설계와 실제 설계에 대한 최대 상대 예측 분산을 보여 줍니다.

그림 15.4 최대화된 예측 분산 프로파일 - 의도한 설계 (위), 실제 설계 (아래)



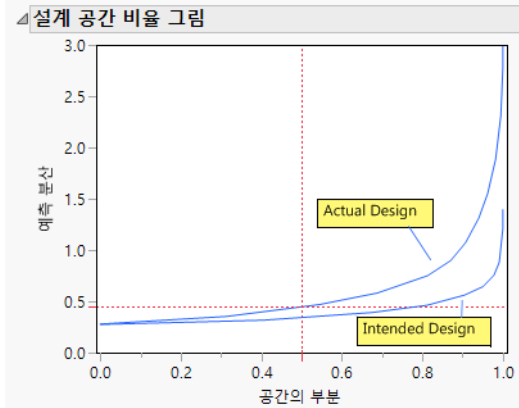
두 설계 모두 동일한 점 (Silica=0.7, Sulfur=1.8, Silane=40) 을 최대 예측 분산이 발생하는 설계 점 중 하나로 식별합니다. 최대 예측 분산은 의도한 설계의 경우 1.396 이고 실제 설계의 경우 3.021 입니다. 예측 분산이 최대화되는 다른 실험점도 있습니다. 실제 설계의 최대 예측 분산이 크면 설계 공간의 일부에서 의도한 설계를 수행했을 때보다 예측 정확도가 낮아진다는 것을 의미합니다.

설계 공간 비율 그림

1. 각 창에서 "설계 공간 비율 그림" 개요를 엽니다.
2. 의도한 설계 창에서 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집 > 프레임 내용 복사**를 선택합니다.
3. 실제 설계 창에서 "설계 공간 비율 그림" 개요를 찾습니다.
4. 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집 > 프레임 내용 붙여넣기**를 선택합니다.

그림 15.5 에서는 주석이 추가된 그림을 보여 줍니다. 각 "설계 공간 비율 그림" 은 설계 공간에서 상대 예측 분산이 특정 값 미만이 되는 비율을 보여 줍니다.

그림 15.5 설계 공간 비율 그림



실제 설계의 상대 예측 분산은 전체 설계 공간에 대해 의도한 설계의 분산보다 큽니다. 설계 공간 범위가 클수록 차이가 증가합니다.

추정 효율도

각 창에서 "추정 효율도" 개요를 엽니다.

그림 15.6 추정 효율도 개요 - 의도한 설계 (왼쪽), 실제 설계 (오른쪽)

추정 효율도			추정 효율도		
항	CI 길이의 부분적 증가	추정값의 상대 표준 오차	항	CI 길이의 부분적 증가	추정값의 상대 표준 오차
절편	1.236	0.577	절편	1.082	0.577
Silica	0.369	0.354	Silica	0.803	0.5
Silane	0.369	0.354	Sulfur	0.803	0.5
Sulfur	0.369	0.354	Silane	0.275	0.354
Silica*Silane	0.936	0.5	Silica*Sulfur	2.122	0.866
Silica*Sulfur	0.936	0.5	Silica*Silane	0.803	0.5
Sulfur*Silane	0.936	0.5	Sulfur*Silane	0.803	0.5
Silica*Silica	1.016	0.52	Silica*Silica	1.268	0.629
Silane*Silane	1.016	0.52	Sulfur*Sulfur	1.268	0.629
Sulfur*Sulfur	1.016	0.52	Silane*Silane	1.268	0.629

실제 설계 (오른쪽) 에서 모든 모수의 상대 표준 오차가 의도한 설계 (왼쪽) 의 표준 오차를 초과하거나 같습니다. 비절편 모수 3 개를 제외한 모든 경우에 대해 실제 설계의 상대 표준 오차가 의도한 설계의 표준 오차를 초과합니다.

"CI 길이의 증가 비율" 은 현재 설계에서 제공한 모수 신뢰 구간의 길이를 런 크기가 동일한 이상적 설계에서 제공한 신뢰 구간의 길이와 비교합니다. 신뢰 구간 길이와 이에 따른 CI 길이의 증가 비율은 런 수의 영향을 받습니다. 자세한 내용은 "CI 길이의 증가 비율"(431 페이지) 에서 확인하십시오. 실제 설계의 경우 런 수가 감소했지만 Silane, Silica*Silane 및 Sulfur*Silane 항은 의도한 설계에 비해 증가 정도가 적습니다. 실제 설계를 정의하기 위해 제거된 두 런에서 Silane 이 중앙점으로 설정되었기 때문입니다. 이러한 런을 제거한 결과, 해당 모수에 대한 신뢰 구간의 너비가 중앙점이 없는 이상적 직교 설계의 너비와 더 유사합니다.

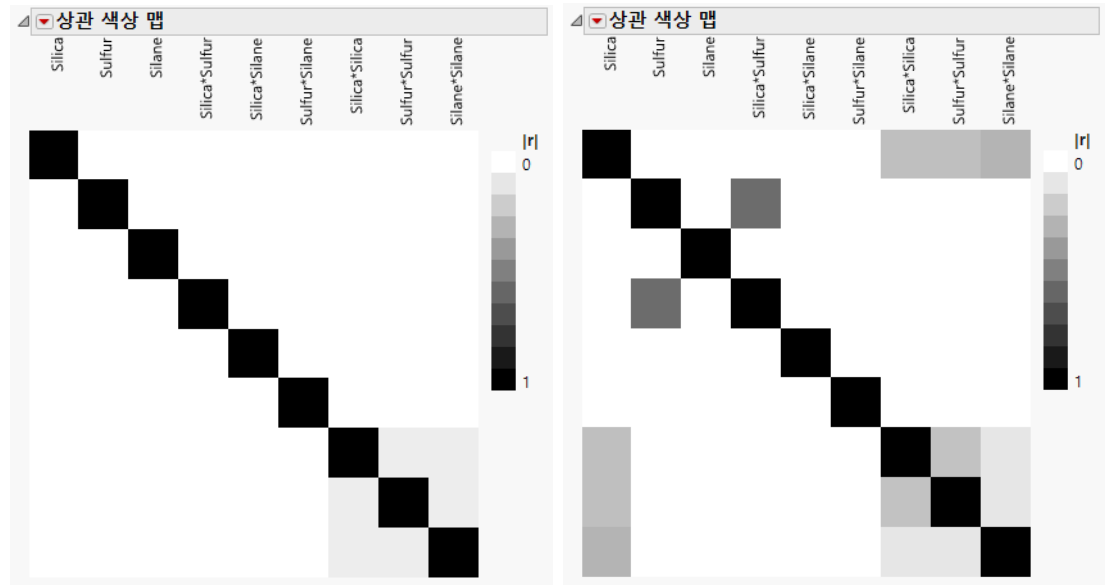
상관 색상 맵

각 보고서에서 다음을 수행합니다.

1. 상관 색상 맵 개요를 엽니다.

두 색상 맵은 "모형" 개요의 효과를 보여 줍니다. 각 그림은 JMP 기본 강도 척도 (흰색 ~ 검은색) 를 사용하여 색상이 적용된 효과 간 절대 상관을 보여 줍니다. 효과 간 상관이 0 이거나 매우 작으면 이상적입니다.

그림 15.7 상관 색상 맵 - 의도한 설계 (왼쪽), 실제 설계 (오른쪽)



절대 상관 값의 범위는 0(흰색) 에서 1(검은색) 까지입니다. 셀을 커서로 가리키면 절대 상관 값이 표시됩니다. 실제 설계의 색상 맵은 의도한 설계의 색상 맵보다 큰 절대 상관을 보여 줍니다. 예를 들어 Sulfur 와 Silica*Sulfur 간 상관이 의도한 설계의 경우 $< .0001$ 이고 실제 설계의 경우 0.5774 입니다.

설계 진단

각 보고서에서 " 설계 진단 " 개요를 엽니다.

그림 15.8 설계 진단 - 의도한 설계 (왼쪽), 실제 설계 (오른쪽)

설계 진단		설계 진단	
D 효율도	36.6429	D 효율도	32.04245
G 효율도	47.76119	G 효율도	25.46419
A 효율도	29.3578	A 효율도	22.65219
예측 평균 분산	0.384722	예측 평균 분산	0.570833
설계 생성 시간(초)	0	설계 생성 시간(초)	0

의도한 설계 (왼쪽) 는 실제 설계 (오른쪽) 보다 효율도 값이 높고 평균 예측 분산이 낮습니다. 설계 평가를 분석한 결과, 손실된 두 런이 설계에 좋지 않은 영향을 미쳤음을 알 수 있습니다.

효율도 측도를 계산할 때 런 수와 모형 행렬 둘 다 고려된다는 점에 유의하십시오. 특히 D 효율도, G 효율도 및 A 효율도는 주어진 설계의 런 크기에 이상적인 설계를 기준으로 계산됩니다. 규모가 큰 설계가 작은 설계보다 효율적이지만 반드시 그런 것은 아닙니다. 그러나 주어진 수의 요인에 대해 설계가 크면 작은 설계보다 예측 평균 분산 값이 더 작은 경향이 있습니다. 효율도 측도를 정의하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[설계 진단](#)"(435 페이지) 에서 확인하십시오.

지정된 모형에 대한 검정력 평가

이 예에서는 6 개 요인 중 추출 공정의 수율에 영향을 미치는 요인을 판별하기 위해 확증적 선별 설계를 구성했습니다. 데이터는 Design Experiment 폴더에 있는 **Extraction Data.jmp** 샘플 데이터 테이블에 제공됩니다. 설계가 확증적 선별 설계이므로 각 요인의 수준은 3 개입니다. 자세한 내용은 "[확증적 선별 설계](#)" 장 (219 페이지) 에서 확인하십시오.

강력한 2 차 효과를 감지하기 위한 검정력에 관심이 있습니다. 강한 효과는 크기가 오차 변동의 3 배 이상인 것으로 간주합니다.

실험에서 6 개 요인을 연구하지만 효과 최소성에 따라 몇 가지 요인만 활성이라는 것을 알 수 있습니다. 결과적으로 모형에서 더 적은 수의 요인을 기반으로 검정력을 조사할 수 있습니다. 또한 관련 공정에 대한 과거 연구에서는 세 가지 요인 (Propanol, Butanol, pH) 에 무시할 수 있는 주효과가 있고, 다른 요인과의 교호작용이 없으며, 2 차 효과가 없다는 강력한 증거를 제시합니다. 이를 통해 예상 모형에 Methanol, Ethanol 및 Time 에 대해서만 주효과, 교호작용 효과 및 2 차 효과가 포함된다고 간주할 수 있습니다. 3 요인 반응 표면 모형의 컨텍스트에서 검정력을 조사하기로 결정했습니다.

설계 평가 플랫폼을 사용하여 Methanol, Ethanol 또는 Time 의 강력한 2 차 효과를 감지하기 위한 설계 검정력을 확인할 수 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Extraction Data.jmp를 엽니다.
2. **DOE > 설계 진단 > 설계 평가**를 선택합니다.
3. Methanol, Ethanol 및 Time 을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.
원할 경우 Yield 를 **Y, 반응**으로 추가할 수 있습니다. 그러나 반응을 지정해도 설계 특성에 영향을 미치지 않습니다.
4. **확인**을 클릭합니다.
5. "모형" 개요에서 **RSM** 을 클릭합니다.
이렇게 하면 세 요인에 대한 교호작용 항과 2 차 항이 추가됩니다.
6. "검정력 분석" 개요를 엽니다.
"예상 RMSE" 가 기본적으로 1 로 설정되어 있습니다. 과거 연구에서 얻은 RMSE 추정값이 있지만 입력하지 않아도 됩니다. 관심 효과의 크기가 오차 변동의 3 배이기 때문입니다.
7. **예상 계수**에서 Methanol*Methanol, Ethanol*Ethanol 및 Time*Time 옆에 3 을 입력합니다.

8. **예상 계수에 변경 사항 적용**을 클릭합니다 .

그림 15.9 계수에 변경 사항을 적용한 후의 검정력 분석 개요

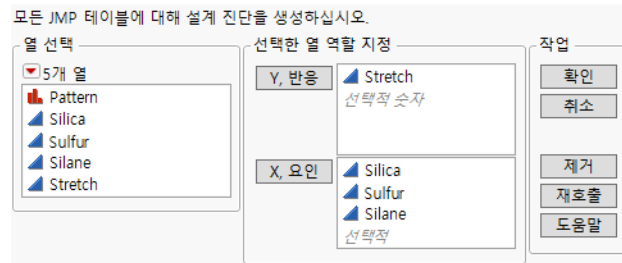
검정력 분석		
유의 수준	0.05	
예상 RMSE	1	
항	예상 계수	검정력
절편	1	0.111
Methanol	1	0.573
Ethanol	1	0.573
Time	1	0.573
Methanol*Methanol	3	0.737
Methanol*Ethanol	-1	0.331
Ethanol*Ethanol	3	0.737
Methanol*Time	-1	0.331
Ethanol*Time	1	0.331
Time*Time	3	0.737
예상 계수에 변경 사항 적용		

크기가 오차 변동의 3 배인 2 차 효과를 감지하는 검정력은 0.737 입니다 . 이는 세 가지 요인의 반응 표면인 최종 모형을 가정합니다 . 또한 검정의 유의 수준을 0.05 로 가정합니다 .

설계 평가 시작 창

설계 평가 플랫폼을 시작하려면 대상 데이터 테이블을 열고 **DOE > 설계 진단 > 설계 평가**를 선택합니다. 그림 15.10의 예에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블을 사용합니다.

그림 15.10 설계 평가 시작 창



시작 창에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

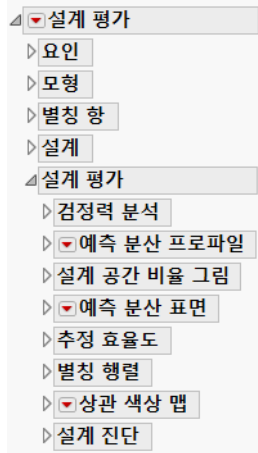
- Y, 반응** 하나 이상의 반응 열을 입력합니다. 반응 입력은 선택 사항입니다. 반응 값은 설계 평가에 사용되지 않습니다. 반응은 숫자여야 합니다.
- X, 요인** 요인 열을 입력합니다. 요인은 모든 데이터 유형 또는 모델링 유형이 될 수 있습니다.

설계 평가 창

"설계 평가" 창은 두 부분으로 구성됩니다. 그림 15.11을 참조하십시오. 이 그림에는 모든 개요 노드가 닫혀 있습니다.

- "요인", "모형", "별칭 항" 및 "설계" 개요는 모형과 설계를 정의합니다.
- "설계 평가" 개요는 설계의 특성을 설명하는 결과를 제공합니다.

그림 15.11 가능한 모든 개요를 보여 주는 설계 평가 창



"요인", "모형", "별칭 항목" 및 "설계" 개요에는 요인, 가정된 모형, 잠재적으로 별칭 구조를 가지는 관심 효과 및 실제 설계에 대해 입력하는 정보가 포함됩니다. JMP는 시작 창에서 사용자가 선택한 항목과 설계 테이블을 사용하여 이러한 개요를 채웁니다. 그러나 "모형" 및 "별칭 항목" 개요에서 효과를 수정할 수 있습니다. 내용을 지정하면 "설계 평가" 개요가 업데이트됩니다. 이러한 개요를 열어 설계 정보를 제공하는 보고서 또는 컨트롤 창을 확인할 수 있습니다.

- "요인"
- "모형"
- "별칭 항목"
- "설계"
- "설계 평가"
- "검정력 분석"
- "예측 분산 프로파일"
- "설계 공간 비율 그림"
- "예측 분산 표면"
- "추정 효율도"
- "별칭 행렬"
- "상관 색상 맵"
- "설계 진단"

요인

"요인" 개요에는 시작 창에 입력한 요인이 나열됩니다. "모형" 개요에서 효과를 구성할 요인을 선택할 수 있습니다.

그림 15.12 요인 개요

요인	
이름	범위
▲ Silica	정수
▲ Sulfur	정수
▲ Silane	정수

모형

"모형" 개요에 나타나는 항목은 관련 데이터 테이블에 "모형" 또는 "모형 적합" 스크립트가 포함되어 있는지 여부에 따라 다릅니다.

- 스크립트가 있으면 해당 스크립트에 지정된 추정 가능 효과가 "모형" 개요에 포함됩니다. 효과는 스크립트에 지정된 순서대로 모형에 입력됩니다. "모형" 스크립트에 있는 효과가 추정 가능 효과보다 많을 경우 추정할 수 없는 효과는 평가를 위해 모형에 포함되지 않습니다.
- 스크립트가 없으면 주효과만 "모형" 개요에 포함됩니다.

그림 15.13에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 데이터 테이블에 대한 "모형" 개요를 보여 줍니다. 데이터 테이블의 "모형" 스크립트에는 세 가지 요인 (Silica, Silane, Sulfur)에 대한 반응 표면 효과가 포함되어 있습니다. 따라서 "모형" 개요에 이 세 요인에 대한 주효과, 이원 교호작용 및 2 차 효과가 포함됩니다.

그림 15.13 Bounce Data.jmp 에 대한 모형 개요

모형	
주효과	교호작용 ▼ RSM 교차 맥 ▼ 항 제거
절편	
Silica	
Silane	
Sulfur	
Silica*Silane	
Silica*Sulfur	
Sulfur*Silane	
Silica*Silica	
Silane*Silane	
Sulfur*Sulfur	

다음 버튼을 사용하여 "모형" 개요에 효과를 추가할 수 있습니다.

주효과 모형의 모든 요인에 대한 주효과를 추가합니다.

교호작용 교호작용 효과를 추가합니다. "요인" 개요에서 요인을 선택하지 않은 경우 "2 차", "3 차", "4 차" 또는 "5 차"를 선택하여 적절한 모든 교호작용을 해당 차수까지 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하고 "교호작용"을 선택한 후 적절한 차수를 지정하여 특정 요인에 대해 지정된 차수까지 교호작용을 추가합니다. 비혼합 요인과 혼합 요인 간의 교호작용 및 블록 요인과 상수 요인 간의 교호작용은 추가되지 않습니다.

RSM 연속형 요인에 대해 교호작용 및 2 차 항을 최대 2 차까지 추가합니다 (반응 표면 모형 항). 범주형 요인은 RSM 항에 포함되지 않습니다. 모든 혼합 요인과 상호 작용하는 비혼합 요인의 주효과는 제거됩니다.

교차 특정 교호작용 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하고 "모형" 개요에서 효과 이름을 선택합니다. "교차"를 클릭하면 교차된 항이 "모형" 개요에 추가됩니다.

역 다항식 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하지 않으면 모든 연속형 요인에 대해 다항식 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하면 해당 요인에 대해서만 다항식 항을 추가합니다. "2 차", "3 차", "4 차" 또는 "5 차"를 선택하면 해당 차수의 다항식 항이 추가됩니다.

Scheffe 입방 모든 혼합 요인에 대해 Scheffe 입방 항을 추가합니다. 이 항은 3 차 다항식 항을 포함하는 혼합 모형을 지정하는 데 사용됩니다.

항 제거 선택한 효과를 제거합니다.

별칭 항

가정된 모형에 포함되지 않은 효과가 활성화되었을 수 있습니다. "별칭 항" 개요에서는 가정된 모형에 없지만 모형 항의 추정값을 편향시킬 수 있는 잠재적 활성 효과를 나열합니다. 별칭 행렬 항목은 "별칭 항" 개요에서 지정한 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "별칭 행렬"(721 페이지)에서 확인하십시오.

기본적으로 "별칭 항" 개요에는 "모형" 개요에 없는 모든 이원 교호작용 효과가 포함됩니다(블록 요인을 포함하는 항은 제외). 버튼을 사용하여 항을 추가하거나 제거합니다. 이러한 버튼을 사용하여 "별칭 항" 테이블에 효과를 추가하는 방법에 대한 설명은 "모형"(420 페이지)에서 확인하십시오.

설계 평가 플랫폼에서 "별칭 행렬" 개요는 별칭 행렬 효과에 대한 변경 사항을 반영하기 위해 즉시 업데이트됩니다. 사용자 설계 플랫폼의 "별칭 항" 개요에서 효과를 수정한 후에는 "설계 생성"을 클릭해야 합니다. 설계를 구성하는 다른 DOE 플랫폼에는 "별칭 항" 개요가 없습니다. 그러나 설계를 구성한 후 적절한 효과가 포함된 "별칭 행렬" 개요가 "설계 평가"에 나타납니다.

설계

"설계" 개요에서는 시작 창에서 지정한 요인에 대한 설계 런을 보여 줍니다. "설계 평가" 개요에서 특성을 탐색하면서 쉽게 설계를 볼 수 있습니다.

설계 평가

설계 평가 플랫폼 내의 "설계 평가"는 선택한 설계 및 "모형" 개요와 "별칭 항" 개요에서 지정한 내용을 기반으로 합니다. "설계 평가" 개요를 제공하는 몇 가지 DOE 설계 플랫폼은 사용자 설계, 확증적 선별 설계, 선별 설계, 반응 표면 설계, 최적 설계 유형을 사용한 혼합물 설계입니다. 이러한 플랫폼의 "설계 평가"는 구성된 설계를 기반으로 합니다.

검정력 분석

"검정력 분석" 개요에서는 모형의 모수에 대한 검정력을 계산합니다. 검정력은 주어진 크기의 활성 효과를 감지할 확률입니다. "검정력 분석" 개요는 설계에서 실제로 중요한 효과를 감지하는 능력을 평가하는 데 도움이 됩니다. 계수와 RMSE 가정이 정확하다고 간주할 때 검정력이 높을수록 유의 효과를 감지할 확률이 큼니다. 검정력은 런 수, 유의 수준 및 추정 오차 변동에 따라 달라집니다. 특히 추가 런이 필요한지 여부를 판별할 수 있습니다.

이 섹션에서는 다음 항목을 다룹니다.

- "검정력 분석 개요"(422 페이지)
- "검정력 분석 상세 정보"(423 페이지)
- "개별 모수 검정"(424 페이지)
- "수준이 세 개 이상인 범주형 효과 검정"(425 페이지)
- "설계 및 예상 반응 개요"(425 페이지)
- "커피 실험에 대한 검정력 분석"(426 페이지)

검정력 분석 개요

"모형" 개요에 나열된 효과에 대해 검정력이 계산됩니다. 여기에는 연속형, 이산 수치형, 범주형, 블록화, 혼합 및 공변량 요인이 포함됩니다. 검정은 개별 모형 모수 및 전체 효과에 대해 수행됩니다. 검정력을 계산하는 방법에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[검정력 계산](#)"(722 페이지)에서 확인하십시오.

검정력은 모형 모수의 지정된 값에서 효과가 없다는 귀무가설을 기각할 확률입니다. 사실 모형 모수의 값이 아니라 실제로 중요한 평균 반응의 차이를 감지하는 데 관심이 있습니다. "검정력 분석" 개요에서는 예상 계수의 지정된 값에 대한 예상 반응을 계산할 수 있습니다. 이 기능은 평균 반응에서 감지할 차이와 관련된 계수 값을 결정하는 데 도움이 됩니다.

그림 15.14에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Coffee Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 설계에 대한 "검정력 분석" 개요를 보여 줍니다. "모형" 스크립트에 지정된 모형은 주효과만 포함된 모형입니다.

"검정력 분석" 보고서의 위쪽 부분은 "예상 계수"의 기본값과 함께 열립니다 (그림 15.14 참조). 기본값은 델타를 기반으로 합니다. 자세한 내용은 "고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정"(437 페이지)에서 확인하십시오.

참고 : 설계가 과포화되어 추정할 모수의 수가 런 수를 초과하면 예상 계수가 0 으로 설정됩니다.

그림 15.15 에서는 예상 계수의 값이 지정된 "검정력 분석" 보고서의 위쪽 부분을 보여 줍니다. 이러한 값은 감지할 차이를 반영합니다.

그림 15.15 Coffee Data.jmp 에 대해 지정된 예상 계수

검정력 분석		
유의 수준	0.05	
예상 RMSE	0.1	
항	예상 계수	검정력
절편	1.4	1
Grind	0.05	0.291
Temperature	0.05	0.291
Time	0.05	0.291
Charge	0.05	0.291
Station 1	0.1	0.507
Station 2	0.1	0.507
예상 계수에 변경 사항 적용		
효과	검정력	
Station	0.888	

개별 모수 검정

"항" 열에는 모형 항이 나열됩니다. 각 항의 "예상 계수" 열에는 해당 항의 값이 포함됩니다. "검정력" 열의 값은 예상 계수에 의해 계수의 참 값이 주어진 경우 해당 항의 계수가 0 이라는 검정의 검정력입니다.

항 검정 대상 계수와 관련된 모형 항입니다.

참고 : "검정력 분석" 보고서에 나타나는 모형 항의 순서는 "표준 최소 제곱"을 사용하여 얻은 "모수 추정값" 보고서의 모수 순서와 동일하지 않을 수 있습니다. 이 차이는 모형에 포함되는 교호작용의 자유도가 2 이상인 경우에만 발생할 수 있습니다.

예상 계수 모형 항과 관련된 계수의 값입니다. 이 값은 검정력 계산에 사용됩니다. 또한 "설계 및 예상 반응" 개요에서 "예상 반응" 열을 계산할 때도 사용됩니다. "예상 계수" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 계수에 변경 사항 적용**을 클릭하여 "검정력" 및 "예상 반응" 열을 업데이트합니다.

참고 : 연속형 효과에 대한 예상 계수의 기본값은 1 입니다. 범주형 효과의 경우에는 1 과 -1 값이 교대로 나타납니다. 빨간색 삼각형 메뉴에서 **고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정**을 선택하여 델타 값을 지정할 수 있습니다. 델타 값을 변경하면 예상 계수의 절대값이 델타의 1/2 이 되도록 계수가 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "**고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정**"(437 페이지)에서 확인하십시오.

검정력 지정된 예상 계수에 의해 계수의 참 값이 주어진 경우 효과가 없다는 귀무가설을 기각할 확률입니다. 수치형 요인과 관련된 계수의 경우 평균 반응의 변화 (모형 기반) 는 계수 값의

두 배입니다. 범주형 요인과 관련된 계수의 경우 전체 요인 수준에서 평균 반응의 변화 (모형 기반) 는 예상 계수 절대값의 두 배와 같습니다.

지정된 유의 수준과 예상 RMSE 가 계산에 사용됩니다. 검정력 계산에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "단일 모수에 대한 검정력"(722 페이지) 에서 확인하십시오.

예상 계수에 변경 사항 적용 "예상 계수" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 계수에 변경 사항 적용** 을 클릭하여 "검정력" 및 "예상 반응" 열을 업데이트합니다.

수준이 세 개 이상인 범주형 효과 검정

수준이 세 개 이상인 범주형 효과가 모형에 포함된 경우 "예상 계수에 변경 사항 적용" 버튼 아래에 다음 열이 나타납니다.

효과 범주형 효과입니다.

검정력 효과 없음 검정에 대한 검정력 계산입니다. 검정의 귀무가설은 효과에 해당하는 모든 모형 변수가 0 이라는 것입니다. 감지할 차이는 "예상 계수" 열에서 효과의 모형 항에 해당하는 값으로 정의됩니다. 검정력 계산은 예상 계수에 의해 결정된 반응 평균의 차이를 반영합니다.

지정된 유의 수준과 예상 RMSE 가 계산에 사용됩니다. 검정력 계산에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "범주형 효과에 대한 검정력"(723 페이지) 에서 확인하십시오.

설계 및 예상 반응 개요

"설계 및 예상 반응" 개요에는 설계 앞에 "예상 반응" 열이 표시됩니다. 첫 번째 열의 각 항목은 설계 설정에 해당하는 예상 반응입니다. 예상 반응은 예상 계수를 사용하여 계산됩니다.

그림 15.16 에서는 그림 15.15 에 제공된 예상 계수 지정 값에 해당하는 "설계 및 예상 반응" 개요를 보여 줍니다.

그림 15.16 Coffee Data.jmp 에 대한 예상 반응

설계 및 예상 반응					
예상 반응	Grind	Temperature	Time	Charge	Station
1.6	Medium	205	4	2.4	1
1.4	Coarse	195	3	1.6	1
1.4	Medium	205	3	1.6	1
1.6	Coarse	195	4	2.4	1
1.6	Coarse	205	4	1.6	2
1.5	Medium	195	4	2.4	2
1.3	Medium	195	3	1.6	2
1.6	Coarse	205	3	2.4	2
1.3	Coarse	205	4	1.6	3
1.2	Coarse	195	3	2.4	3
1.1	Medium	195	4	1.6	3
1.2	Medium	205	3	2.4	3

예상 반응에 변경 사항 적용

"예상 반응" 열에서 각 요인 설정의 값을 지정할 수 있습니다. 이러한 값은 감지할 차이를 반영합니다.

예상 반응에 변경 사항 적용을 클릭하면 "예상 계수" 열과 "검정력" 열이 모두 업데이트됩니다.

예상 반응 예상 계수 값을 모형의 계수로 사용하여 구한 반응 값입니다. 개요가 처음 나타날 때는 "예상 계수" 열의 기본값을 기반으로 예상 반응 값이 계산됩니다. "예상 반응" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 반응에 변경 사항 적용**을 클릭하여 "예상 계수" 및 "검정력" 열을 업데이트합니다.

설계 "예상 반응" 열의 오른쪽 열에 설계의 모든 런에 대한 요인 설정이 표시됩니다.

예상 반응에 변경 사항 적용 "예상 반응" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 반응에 변경 사항 적용**을 클릭하여 "예상 계수" 및 "검정력" 열을 업데이트합니다.

커피 실험에 대한 검정력 분석

Coffee Data.jmp 데이터 테이블의 설계를 예로 사용합니다. **Strength**에 대한 다양한 크기의 효과를 감지할 설계 검정력에 관심이 있다고 가정해 보겠습니다. **Grind**는 2 수준 범주형 요인, **Temperature**, **Time** 및 **Charge**는 연속형 요인, **Station**은 3 수준 범주형 (블록) 요인입니다.

이 예에서는 블록 요인 역할의 **Station**을 무시합니다. 대신 **Station**이 **Strength**에 미치는 영향에 관심이 있습니다. **Station**은 3 수준 범주형 요인이므로 "모수" 목록에 두 개의 항 (**Station 1**, **Station 2**)으로 표시됩니다.

특히 평균 **Strength**에서 다음과 같은 변화를 감지할 확률에 대해 알아보려고 합니다.

- **Grind**를 Coarse에서 Medium으로 바꿀 때 0.10 단위 변경
- **Temperature**, **Time** 및 **Charge**를 낮은 수준에서 높은 수준으로 바꿀 때 0.10 단위 이상 변경
- 전체 예상 평균을 초과하는 0.10 단위의 각 **Station 1**과 **Station 2**로 인한 증가. 이는 전체 예상 평균에서 0.20 단위의 **Station 3**으로 인한 감소에 해당합니다.

0.05를 유의 수준으로 설정합니다. 고정 설계 설정에 대한 **Strength**의 표준편차 추정값은 0.1이며 이 값을 예상 RMSE로 입력합니다.

그림 15.17에서는 이러한 값이 입력된 "검정력 분석" 노드를 보여 줍니다. 구체적으로 유의 수준, 예상 RMSE 및 각 예상 계수 값을 지정합니다.

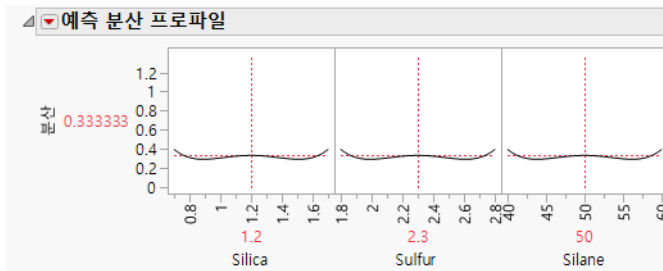
"예상 계수에 변경 사항 적용"을 클릭하면 지정한 모형을 반영하여 "예상 반응" 값이 업데이트됩니다.

예측 분산 프로파일

예측 분산 프로파일은 설계 공간에서 대략적인 예측 변동을 이해하는 데 도움이 됩니다. 예측 분산이 낮아야 좋습니다. 최대 분산을 찾으려면 **분산 최대화** 옵션을 사용합니다. 자세한 내용은 "**분산 최대화**"(428 페이지)에서 확인하십시오.

예측 분산 프로파일은 상대 예측 분산을 다른 요인의 값이 고정된 상태에서 각 요인의 함수로 그림에 나타냅니다. 그림 15.18에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 데이터 테이블의 예측 분산 프로파일을 보여 줍니다.

그림 15.18 예측 분산 프로파일러



상대 예측 분산

주어진 요인 설정에 대한 예측 분산은 설계 및 요인 설정에 따라 달라지는 양과 오차 분산의 곱입니다. 실험을 실행하기 전에는 오차 분산을 알 수 없으므로 예측 분산도 알 수 없습니다. 그러나 오차 분산에 대한 예측 분산의 비는 오차 분산의 함수가 아닙니다. 상대 예측 분산이라고 하는 이 비율은 설계와 요인 설정에만 영향을 받습니다. 따라서 데이터를 얻기 전에 상대 예측 분산을 계산할 수 있습니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "**상대 예측 분산**"(724 페이지)에서 확인하십시오.

실험을 실행하고 최소 제곱 모형을 적합시킨 후 모형 적합의 MSE(평균 제곱 오차)를 사용하여 오차 분산을 추정할 수 있습니다. 설정에 대한 상대 예측 분산을 곱해 설정에서 실제 예측 분산을 추정할 수 있습니다.

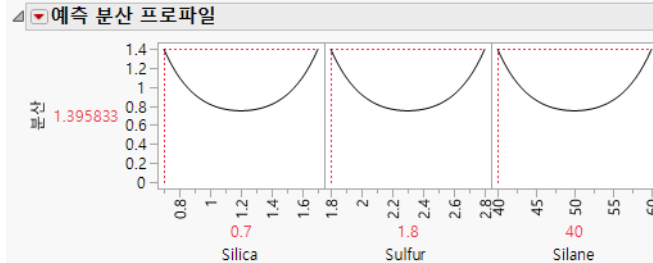
설계 공간 전체에서 예측 분산이 작은 것이 이상적입니다. 일반적으로 표본 크기가 증가하면 오차 분산이 감소합니다. 설계를 비교할 때 두 설계의 예측 분산 프로파일러를 나란히 놓을 수 있습니다. 평균적으로 예측 분산이 낮은 설계가 선호됩니다.

분산 최대화

최대 상대 예측 분산의 측면에서 설계를 평가하거나 비교할 수 있습니다. "예측 분산 프로파일" 옆의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **분산 최대화** 옵션을 선택합니다. JMP는 상대 예측 분산을 최대화하는 만족도 함수를 사용합니다. "예측 분산 프로파일"에서 최대 분산 값은 상대 예측 분산의 최약 값(설계 관점에서 가장 적합하지 않음)입니다. 최대 분산은 둘 이상의 요인 설정 조합에서 발생할 수 있습니다.

그림 15.19 에서는 " 분산 최대화 " 가 선택된 " 예측 분산 프로파일 " 을 보여 줍니다 . Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블을 대상으로 한 그림이 표시됩니다 . 상대 예측 분산의 최대값은 Silica = 0.7, Sulfur = 1.8, Silane = 40 일 때 1.3958 입니다 . 그러나 여러 요인 설정에서 이와 동일한 상대 분산을 가질 수 있다는 점에 유의하십시오 . Silica = 1.6, Sulfur = 2.8, Silane = 60 인 설계점의 상대 예측 분산도 1.3958 입니다 . 표면을 사용하여 예측 분산을 평가하려면 " 예측 분산 표면 "(430 페이지) 에 나오는 내용을 참조하십시오 .

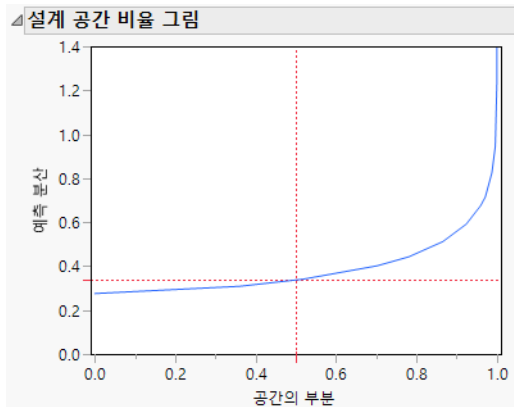
그림 15.19 최대 분산을 보여 주는 예측 분산 프로파일



설계 공간 비율 그림

" 설계 공간 비율 그림 " 은 설계 공간에서 상대 예측 분산이 특정 값 미만인 비율을 보여 줍니다 . 예측 분산 값이 낮은 설계 공간의 비율이 클수록 바람직합니다 . 그림 15.20 에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 " 설계 공간 비율 그림 " 을 보여 줍니다 .

그림 15.20 설계 공간 비율 그림



그림의 X 축은 설계 공간의 비율을 나타냅니다 (0 ~ 100% 범위). Y 축은 상대 예측 분산 값을 나타냅니다 . 파란색 곡선에 있는 (x, y) 점의 경우 x 값은 분산이 y 보다 작거나 같은 설계 공간의 비율입니다 . 빨간색 점선 십자기호는 설계 공간의 50%에 대해 상대 예측 분산의 경계를 이루는 값을 표시합니다 .

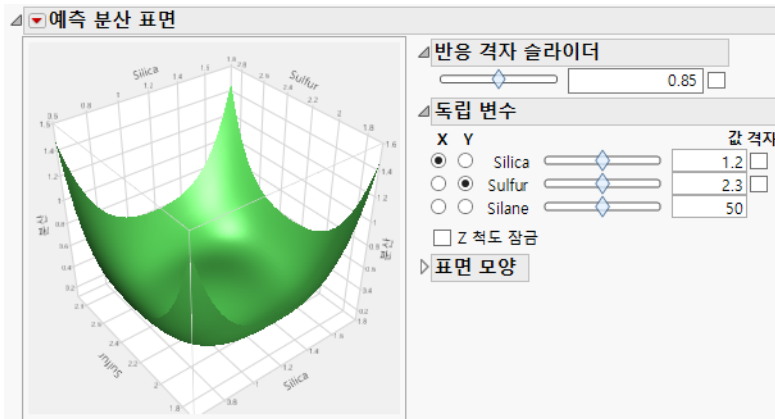
그림 15.20에서는 상대 예측 분산의 최소값이 0.3 보다 약간 작고 최대값이 1.4 미만임을 보여 줍니다. 실제 최대값은 그림 15.19에 표시된 대로 1.395833입니다. 빨간색 점선 십자기호는 설계 공간의 약 50%에 대해 상대 예측 분산이 0.34 미만임을 나타냅니다. 십자기호 도구를 사용하여 "공간 비율" 값에 해당하는 최대 상대 예측 분산을 찾을 수 있습니다. 그림 15.20의 십자기호 도구를 사용하여 예측 분산 값의 90%가 약 0.55 미만인지 확인하십시오.

참고: 설계 공간 비율 그림을 구성할 때 설계 공간의 몬테카를로 표집이 사용됩니다. 따라서 같은 설계에 대한 그림이 약간 다를 수 있습니다.

예측 분산 표면

"예측 분산 표면" 보고서는 상대 예측 분산 표면을 두 설계 요인의 함수로 그림에 나타냅니다. 그림 15.21에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 "예측 분산 표면" 개요를 보여 줍니다. 빨간색 삼각형 메뉴에서 **제어판**을 선택하여 컨트롤을 표시하거나 숨길 수 있습니다. 자세한 내용은 "**제어판**"(430 페이지)에서 확인하십시오.

그림 15.21 예측 분산 표면



요인이 두 개 이상이면 "예측 분산 표면" 개요에 두 변수에 대한 상대 예측 분산 그림이 표시됩니다. "예측 분산 표면" 개요에는 상대 예측 분산 계산식이 그림에 표시됩니다. 그림을 드래그하여 투시도를 회전하고 변경할 수 있습니다.

제어판

제어판은 다음 컨트롤로 구성됩니다.

반응 격자 슬라이더 **격자** 체크박스는 분산의 상수 값을 표시하는 격자를 겹쳐 놓습니다. 분산 값은 텍스트 상자에 표시됩니다. 슬라이더를 사용하여 격자 배치를 조정할 수 있습니다. 또는 텍스트 상자에 분산 값을 입력할 수도 있습니다. 상자 바깥쪽을 클릭하면 그림이 업데이트됩니다.

독립 변수 이 패널을 사용하면 그림의 축으로 사용할 두 요인을 선택하고 축으로 사용되지 않는 요인의 설정을 지정할 수 있습니다. 해당 열을 클릭하여 X 축과 Y 축에 대한 요인을 각각 선택합니다. 슬라이더와 텍스트 상자를 사용하여 축에 대해 선택되지 않은 각 요인의 값을 지정할 수 있습니다. 그림에는 축으로 사용되지 않는 요인의 지정된 값에서 표면의 3차원 조각이 표시됩니다. 슬라이더를 움직여 다른 조각을 볼 수 있습니다.

각 격자 체크박스는 해당 요인에 대한 격자를 활성화합니다. 슬라이더를 사용하여 각 격자의 배치를 조정할 수 있습니다.

"Z 척도 잠금"은 z 축을 현재 값으로 잠급니다. 이 기능은 축에 해당되지 않는 슬라이더를 움직일 때 유용합니다.

표면 모양 해상도 슬라이더는 계산식에 대해 평가되는 점 수에 영향을 줍니다. 해상도가 정밀하지 않고 너무 거칠면 급격한 변화가 있는 함수가 잘 표현되지 않을 수 있습니다. 그러나 해상도를 높게 설정하면 표면 평가 및 표시 속도가 느려질 수 있습니다.

직교 투영 체크박스는 2차원으로 투영된 그림을 표시합니다.

등고선 메뉴는 등고선 곡선의 배치를 제어합니다. 등고선 곡선은 반응 값이 일정한 점의 집합입니다. 등고선을 "해제" (기본값) 하여 표시하지 않거나 "아래쪽", "위쪽" 또는 "표면 상"에 배치하도록 선택할 수 있습니다.

추정 효율도

이 보고서는 모형의 각 모수 추정값에 대한 CI(신뢰 구간) 길이의 증가 비율 및 추정값의 상대 표준 오차를 제공합니다. 두 값 모두 작을수록 좋습니다. 그림 15.22에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 "추정 효율도" 개요를 보여 줍니다.

그림 15.22 추정 효율도 개요

추정 효율도		
항	CI 길이의 부분적 증가	추정값의 상대 표준 오차
절편	1.236	0.577
Silica	0.369	0.354
Silane	0.369	0.354
Sulfur	0.369	0.354
Silica*Silane	0.936	0.5
Silica*Sulfur	0.936	0.5
Sulfur*Silane	0.936	0.5
Silica*Silica	1.016	0.52
Silane*Silane	1.016	0.52
Sulfur*Sulfur	1.016	0.52

CI 길이의 증가 비율

"CI 길이의 증가 비율"은 현재 설계에서 제공한 모수 신뢰 구간의 길이를 이상적 설계에서 제공한 신뢰 구간의 길이와 비교합니다.

- 모수에 대한 이상적인 신뢰 구간의 길이를 실제 신뢰 구간의 길이에서 뺍니다.
- 이 차이를 이상적 신뢰 구간의 길이로 나눕니다.

직교 D- 최적 설계의 경우 증가 비율이 0 입니다. 설계를 선택할 때 신뢰 구간 길이의 증가 비율을 가능한 한 작게 하려고 합니다.

이상적 설계

보통 최소 제곱 추정량의 공분산 행렬은 $\sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 입니다. $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의 주대각 요소는 모수 추정값의 상대 분산 (분산을 σ^2 으로 나눈 값) 입니다. 2 수준 설계에서 효과 코드화 규칙 ("열 특성" 부록의 "코딩"(693 페이지) 참조)을 사용할 경우 모수 추정값에 대한 상대 분산의 최소값은 $1/n$ 입니다. 여기서 n 은 런 수입니다. 이는 설계의 모든 효과가 직교이고 설계가 D- 최적일 때 해당 됩니다.

$\hat{\beta}$ 가 모수 추정값의 벡터라고 하면 이상적 설계 (존재하지 않을 수 있음)는 공분산 행렬이 다음과 같이 지정된 설계입니다.

$$\text{Var}(\hat{\beta}) = (\sigma^2/n)\mathbf{I}_n$$

여기서 $\mathbf{I}_n$ 은 $n \times n$ 단위 행렬이고 σ 는 반응의 표준편차입니다.

직교 D- 최적 설계가 존재하면 해당 설계가 이상적입니다. 그러나 위의 정의는 이상적 설계의 개념을 직교와 D- 최적을 모두 충족하는 설계가 존재하지 않는 상황으로 확장합니다.

이 정의는 여러 수준의 범주형 요인이 있는 설계에도 적합합니다. 범주형 요인에 사용되는 직교 코드화를 통해 이러한 설계가 이상적 공분산 행렬을 가질 수 있습니다. 사용자 설계의 경우 "사용자 설계" 창의 옵션에서 "행렬 X 저장"을 선택하고, 설계 테이블을 생성한 다음, 설계 테이블에 저장된 "모형 행렬" 스크립트를 확인하면 코딩 행렬을 볼 수 있습니다.

신뢰 구간 길이의 증가 비율

이상적 설계에서 모수 추정값의 표준 오차는 다음과 같이 지정됩니다.

$$SE_{Ideal}(\hat{\beta}) = (\sigma/\sqrt{n})\mathbf{I}_n$$

신뢰 구간 길이는 표준 오차에 의해 결정됩니다. 신뢰 구간 길이의 증가 비율은 주어진 설계의 표준 오차와 이상적 설계의 표준 오차 간 차이를 이상적 설계의 표준 오차로 나눈 값입니다.

i^{th} 모수 추정값의 경우 신뢰 구간 길이의 증가 비율은 다음과 같이 정의됩니다.

$$FI = \frac{\sigma\sqrt{(\mathbf{X}'\mathbf{X}_{ii})^{-1}} - (\sigma/(\sqrt{n}))}{(\sigma/\sqrt{n})} = \sqrt{n(\mathbf{X}'\mathbf{X}_{ii})^{-1}} - 1$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

σ^2 은 알려지지 않은 반응 분산입니다.

$\mathbf{X}$ 는 주어진 설계의 모형 행렬이며, "기술 상세 정보" 부록의 "별칭 행렬"(721 페이지)에 정의되어 있습니다.

$(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}$ 은 $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의 i^{th} 주대각 항목입니다.

n 은 런 수입니다.

추정값의 상대 표준 오차

추정값의 상대 표준 오차는 오차 표준편차에 대한 모수 추정값의 표준편차 비율을 제공합니다. 이 값은 오차 표준편차를 기준으로 모형 모수 추정값의 표준 오차 크기를 나타냅니다. i^{th} 모수 추정값의 경우 추정값의 상대 표준 오차는 다음과 같이 정의됩니다.

$$SE = \sqrt{(X'X)^{-1}_{ii}}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

X 는 " 기술 상세 정보 " 부록의 " **별칭 행렬** "(721 페이지) 에 정의된 모형 행렬입니다.
 $(X'X)^{-1}_{ii}$ 은 $(X'X)^{-1}$ 의 i^{th} 주대각 항목입니다.

별칭 행렬

별칭 행렬은 실제로 활성이지만 모형에 포함되지 않은 항이 모형 항 추정에 영향을 미치는 방식에 대한 문제를 처리합니다. " 별칭 항 " 개요에서는 가정된 모형에 없지만 모형 항의 추정값을 편향시킬 수 있는 잠재적 활성 효과를 나열합니다. 별칭 행렬 항목은 " 별칭 항 " 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 자세한 내용은 " **별칭 항** "(421 페이지) 에서 확인하십시오.

별칭 행렬의 행은 " 모형 " 개요에 나열된 모형 효과에 해당하는 항입니다. 열은 " 별칭 항 " 개요에 나열된 효과에 해당하는 항입니다. 주어진 행과 열의 항목은 별칭 항이 모형 항에 해당하는 모수 추정값에 영향을 미치는 정도를 나타냅니다.

설계를 평가할 때 별칭 행렬의 항목과 관련하여 다음 두 가지 상황 중 하나가 발생하면 가장 이상적입니다. 항목이 작거나, 그렇지 않은 경우 별칭 항의 효과가 작아서 편향도 작아집니다. 별칭 항의 효과가 상당히 클 것으로 생각되면 해당 항을 모형에 포함하거나 별칭 최적 설계를 고려해야 합니다.

별칭 행렬 계산에 대한 자세한 내용은 " 기술 상세 정보 " 부록의 " **별칭 행렬** "(721 페이지) 에서 확인하십시오. Lekivetz, R.(2014) 도 참조하십시오.

다음 사항을 알 수 있습니다.

- 가정된 모형에 대한 직교 설계의 경우 별칭 행렬의 상관은 상관 색상 맵의 절대 상관에 해당합니다.
- 설계 복잡성에 따라 별칭 행렬 항목이 1 보다 크거나 -1 보다 작을 수 있습니다.

별칭 행렬의 예

Design Experiment 폴더의 **Cake Data.jmp** 샘플 데이터 테이블을 예로 들어보겠습니다. 이 설계는 주효과 모형을 가정합니다. 데이터 테이블에서 " 모형 " 스크립트를 실행하여 이를 확인할 수 있습니다. 결과적으로 " 설계 평가 " 창의 " 모형 " 개요에 절편과 5 개 주효과만 나타납니다. " 별칭 항 " 개요에는 이원 교호작용이 포함되어 있습니다.

그림 15.23 Coffee Data.jmp 에 대한 별칭 행렬

효과	Grind*Temperature	Grind*Time	Grind*Charge	Temperature*Time	Temperature*Charge	Time*Charge
절편	0	0	0	0	0	0
Grind	0	0	0	0.333	-0.33	-0.33
Temperature	0	0.333	-0.33	0	0	-0.33
Time	0.333	0	-0.33	0	-0.33	0
Charge	-0.33	-0.33	0	-0.33	0	0
Station 1	-0.41	0	0	0	0	0.816
Station 2	0.707	0	0	0	0	0

별칭 행렬의 첫 번째 열에는 모형 항이 표시되어 행을 정의합니다. 별칭 항의 이원 교호작용이 위쪽에 나열되어 열을 정의합니다. 모형 효과 Temperature 를 예로 들어보겠습니다. Grind*Time 교호작용만 활성 이원 교호작용인 경우, Temperature 의 계수 추정값은 Grind*Time 효과의 참 값보다 0.333 배만큼 편향됩니다. 다른 교호작용이 활성인 경우 " 별칭 행렬 " 의 값은 Temperature 계수 추정값에 의해 발생하는 추가 편향의 크기를 나타냅니다.

상관 색상 맵

" 상관 색상 맵 " 에는 " 모형 " 개요 또는 " 별칭 항 " 개요에 나타나는 두 효과 간의 절대 상관 값이 표시됩니다. 색상 맵의 셀은 맵 위에서 식별됩니다. " 모형 " 개요의 각 효과에 대한 셀과 " 별칭 항 " 개요의 각 효과에 대한 셀이 있습니다. 값이 작을수록 좋습니다.

기본적으로 절대 상관 크기는 흰색에서 회색, 검은색까지의 강도 색상 테마를 사용하여 나타냅니다. 일반적으로 좋은 설계의 색상 맵에는 흰색 비대각이 많이 표시되어 직교성 또는 개별 항 간의 상관이 적음을 나타냅니다. 효과 간의 절대 상관 값이 크면 추정값 표준 오차가 증가합니다.

두 효과 간의 절대 상관 값을 보려면 해당 셀을 커서로 가리킵니다. 전체 그림에 대한 색상 테마를 변경하려면 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 " 색상 테마 " 를 선택합니다. 상관계수표를 저장하려면 범례 아래의 그림 오른쪽을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **상관계수표**를 선택합니다.

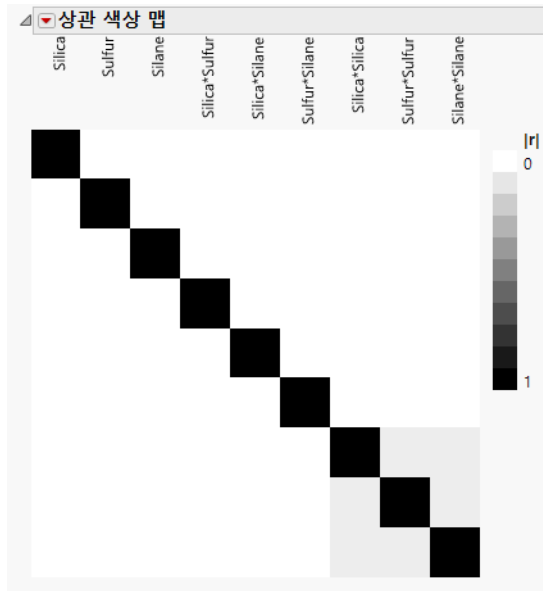
색상 맵의 예

그림 15.24 에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 " 상관 색상 맵 " 을 보여 줍니다. 검은색은 절대 상관 1 을 나타냅니다. 주대각의 검은색 셀은 모형 항 자체의 상관관계를 보여 줍니다.

다른 모든 셀은 검은색 또는 회색입니다. 회색 사각형은 2 차 항 간의 상관에 해당합니다. 이 값을 보려면 각 회색 사각형을 커서로 가리킵니다. 다른 2 차 항과의 절대 상관 값은 0.0714 로 작습니다.

상관 측면에서 볼 때 이 설계는 양호합니다. 효과 상관관계가 높으면 반응에 영향을 주는 효과를 판별하기가 어렵습니다.

그림 15.24 상관 색상 맵



팁 : 상관계수표를 저장하려면 범례 아래의 그림 오른쪽을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **상관계수표**를 선택합니다.

설계 진단

"설계 진단" 개요에서는 *D* 효율도, *G* 효율도, *A* 효율도 및 평균 예측 분산을 보여 줍니다. "변경" 이 "어려움" 이나 "매우 어려움" 으로 설정된 요인 또는 "추정 가능성" 이 "If Possible" 로 지정된 효과를 포함하는 설계의 경우 이러한 진단이 표시되지 않습니다.

설계 평가 이외의 DOE 플랫폼에서 "설계 진단"에 액세스한 경우 설계를 생성하는 데 필요한 시간이 "설계 생성 시간"에 표시됩니다. 설계 평가 플랫폼에서 "설계 진단"에 액세스한 경우에는 설계 평가 플랫폼에서 결과를 계산하는 데 필요한 시간이 "설계 생성 시간"에 표시됩니다.

그림 15.25에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 "설계 진단" 개요를 보여 줍니다.

그림 15.25 설계 진단 개요

설계 진단	
D 효율도	36.6429
G 효율도	47.76119
A 효율도	29.3578
예측 평균 분산	0.384722
설계 생성 시간(초)	0

주의: 효율도 측도를 독자적으로 해석하면 안 됩니다. 그러나 설계를 비교할 때 사용할 수 있습니다. 두 가지 설계가 주어진 경우 효율도 측도가 높은 설계가 더 좋습니다. 모든 기준에 대한 최대 효율도는 100 이지만 많은 설계 문제로 인해 100% 효율도는 불가능합니다.

표기

아래에 나오는 효율도 측도에 대한 설명에 다음 표기가 사용됩니다.

- $\mathbf{X}$ 는 모형 행렬입니다.
- n 은 설계의 런 수입니다.
- p 는 모형의 항 수입니다 (절편 포함).
- $Var(\hat{y}|\mathbf{x})$ 는 점 $\mathbf{x}$ 에서의 상대 예측 분산입니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[상대 예측 분산](#)"(724 페이지)에서 확인하십시오.
- $Var(\hat{y}|\mathbf{x})_{max}$ 는 설계 영역에 대한 최대 상대 예측 분산입니다.

D 효율도

D- 최적 기준 관점에서 이상적 직교 설계의 효율도에 대한 설계 효율도입니다. D- 최적 설계는 회귀 계수 벡터에 대한 결합 신뢰 영역의 크기를 최소화합니다.

$$D\text{효율도} = 100\left(\frac{1}{n}|\mathbf{X}'\mathbf{X}|^{1/p}\right)$$

G 효율도

G- 최적 기준 관점에서 이상적 직교 설계의 효율도에 대한 설계 효율도입니다. G- 최적 설계는 설계 영역에 대한 최대 예측 분산을 최소화합니다.

$$G\text{효율도} = 100p/(nVar(\hat{y}|\mathbf{x})_{max})$$

D 가 설계 영역이라고 하면

$$Var(\hat{y}|\mathbf{x})_{max} = \underset{\mathbf{x} \text{ in } D}{\text{maximum}}[\mathbf{x}'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{x}]$$

참고: G 효율도는 설계 공간의 몬테카를로 표집을 사용하여 계산됩니다. 따라서 같은 설계에 대한 계산이 약간 다를 수 있습니다.

A 효율도

A- 최적 기준 관점에서 이상적 직교 설계의 효율도에 대한 설계 효율도입니다. A- 최적 설계는 회귀 계수 분산의 합을 최소화합니다.

$$A\text{-efficiency} = 100p / (n \text{Trace}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1})$$

예측 평균 분산

설계 공간의 점 $\mathbf{x}$ 에서 상대 예측 분산은 다음과 같이 정의됩니다.

$$\text{Var}(\hat{y}|\mathbf{x}) = \mathbf{x}'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{x}$$

이것은 예측 분산을 오차 분산으로 나눈 값입니다. 계산에 대한 자세한 내용은 Goos and Jones(2011)의 "Section 4.3.5"에서 확인하십시오.

설계 생성 시간 (초)

설계 평가 플랫폼에서 결과를 계산하는 데 필요한 시간이 "설계 생성 시간"에 표시됩니다.

설계 평가 옵션

"설계 평가"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

고급 옵션 > 분할구 분산비 오차 분산에 대한 랜덤 주구 분산 및 하위구 분산(있는 경우)의 비를 지정합니다. 이 값을 설정하려면 먼저 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인 또는 분할-분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인을 정의해야 합니다. 그런 다음 분할구 설계를 지정했는지 아니면 분할-분할구 설계를 지정했는지에 따라 분산 비율에 하나 또는 두 개의 양수를 입력할 수 있습니다.

고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정 감지할 차이에 대한 값을 지정합니다. 이 값은 "검정력 분석" 보고서의 "예상 계수"에 적용됩니다. 연속형 효과에 대한 "예상 계수" 값은 델타/2로 설정됩니다. 범주형 효과의 경우 델타/2와 -델타/2 값이 교대로 나타납니다. 검정력 분석에 대한 자세한 내용은 "[검정력 분석](#)"(422 페이지)에서 확인하십시오.

기본적으로 델타는 2로 설정됩니다. 따라서 "예상 계수" 기본값은 연속형 효과의 경우 1이고 범주형 효과의 경우 1과 -1이 교대로 나타납니다. 델타가 2일 때 예상 계수로 입력되는 기본값의 특성은 다음과 같습니다.

- 수치형 효과에 대한 검정력 계산에서는 요인이 설계 영역의 가장 낮은 설정에서 가장 높은 설정으로 변경될 때 선형 주효과로 인한 반응 평균의 델타 변화를 가정합니다.
- 2수준 범주형 요인과 관련된 모수에 대한 검정력 계산에서는 전체 요인 수준에서 반응 평균의 델타 변화를 가정합니다.

- 수준이 3 개 이상인 범주형 효과에 대한 검정력 계산은 모든 수준의 반응 평균이 동일하다는 귀무가설에 대한 다중 자유도 F 검정을 기반으로 합니다. 예상 계수에 의해 결정된 반응 평균의 값으로 검정력이 계산됩니다. 예상 계수의 다양한 구성으로 수준의 차이를 델타 값만큼 정의할 수 있습니다. 그러나 이러한 구성의 검정력 값은 다른 수준의 예상 계수에 따라 달라집니다.

스크립트를 스크립트 창에 저장 "설계 평가" 창을 재현하는 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

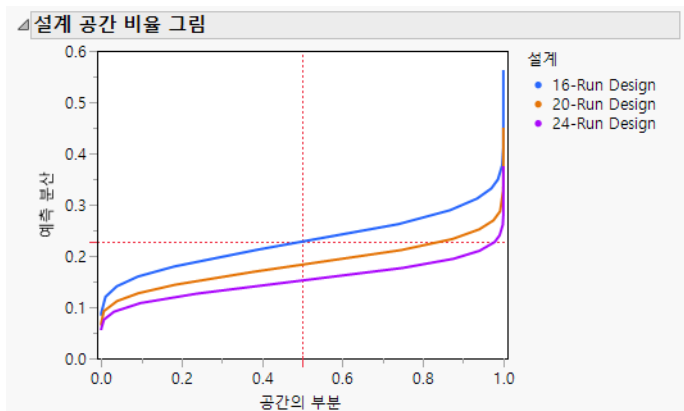
16 장

설계 비교

설계를 동시에 비교 및 평가

설계 비교 플랫폼은 최대 4 개의 설계를 참조 설계와 비교합니다. 이 플랫폼을 사용하여 설계 성능을 탐색, 평가 및 비교할 수 있습니다. 진단 결과는 설계 작동 상태를 독립적 방식 및 서로 상대적인 방식으로 나누어 보여 줍니다. 특정 요구 사항에 관하여 설계를 비교하기 위해 가정된 모형 및 별칭 항 목록에서 항을 변경할 수 있습니다.

그림 16.1 런 크기가 다른 세 가지 설계 비교



목차

설계 비교 플랫폼 개요.....	441
설계 비교의 예.....	441
런 크기가 같은 설계.....	441
런 크기가 다른 설계.....	446
주구 수가 다른 분할구 설계.....	450
설계 비교 플랫폼 시작.....	453
설계 비교 창: 모형 및 별칭 항 지정.....	455
참조 설계.....	456
요인.....	456
모형.....	456
별칭 항.....	456
설계 비교 창: 설계 평가.....	456
검정력 분석.....	457
예측 분산 프로파일.....	460
설계 공간 비율 그림.....	462
상대 추정 효율도.....	463
별칭 행렬 요약.....	465
절대 상관.....	466
설계 진단.....	468
설계 비교 옵션.....	470

설계 비교 플랫폼 개요

설계 평가 플랫폼의 확장인 설계 비교 플랫폼을 사용하면 최대 4 개의 설계를 참조 설계와 쉽게 비교할 수 있습니다. 하나 또는 두 설계의 성능을 다른 설계와 비교하려면 기준 설계로 간주되는 참조 설계를 선택합니다. "모형" 개요에서 효과를 지정하고 "별칭 항" 개요에서 관심 효과를 지정할 수 있습니다.

"설계 평가" 보고서는 다음 항목에 대한 진단 결과 및 그림을 보여 줍니다.

- 검정력 분석
- 예측 분산
- 설계 공간 비율
- 상대 추정 효율도
- 별칭 행렬 진단
- 효과 간 상관 (교락 포함)
- 전체 설계에 대한 상대 효율도 측도

설계 비교의 예

- "런 크기가 같은 설계"
- "런 크기가 다른 설계"
- "주구 수가 다른 분할구 설계"

런 크기가 같은 설계

이 예에서는 각각 13 회 런을 수행하는 6 개 요인에 대한 두 설계를 비교합니다. 하나는 단일 중앙점을 사용하여 확대된 12 회 런 PB(Plackett-Burman) 설계이고 다른 하나는 DSD(확증적 선별 설계)입니다.

주효과만 비교

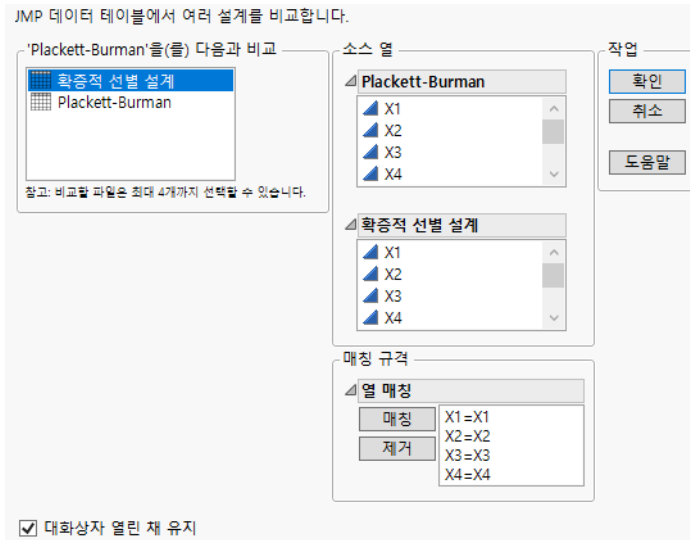
먼저 추정할 모형에 주효과만 포함된 경우를 가정하고 두 설계를 비교합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터를 선택하고 샘플 스크립트 디렉터리 열기를 클릭한 후 Compare Same Run Size.jsl 을 선택합니다.
2. 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 스크립트 실행을 선택합니다.

"확증적 선별 설계"와 "Plackett-Burman"이라는 13 회 런 설계 테이블 두 개가 구성됩니다. 이 두 설계를 비교하려고 합니다. Plackett-Burman 테이블이 활성화되어 있으므로 이 설계를 참조 설계로 사용하여 DSD 를 비교합니다.

3. "Plackett-Burman" 데이터 테이블에서 **DOE > 설계 진단 > 설계 비교**를 선택합니다.
4. **'Plackett-Burman' 을 (를) 다음과 비교** 목록에서 **확증적 선별 설계**를 선택합니다.
5. "Plackett-Burman" 패널과 "확증적 선별 설계" 패널에서 **X1 ~ X6**을 선택합니다.
6. "열 매칭" 개요를 열고 **매칭**을 클릭합니다.

그림 16.2 매칭된 열이 있는 시작 창

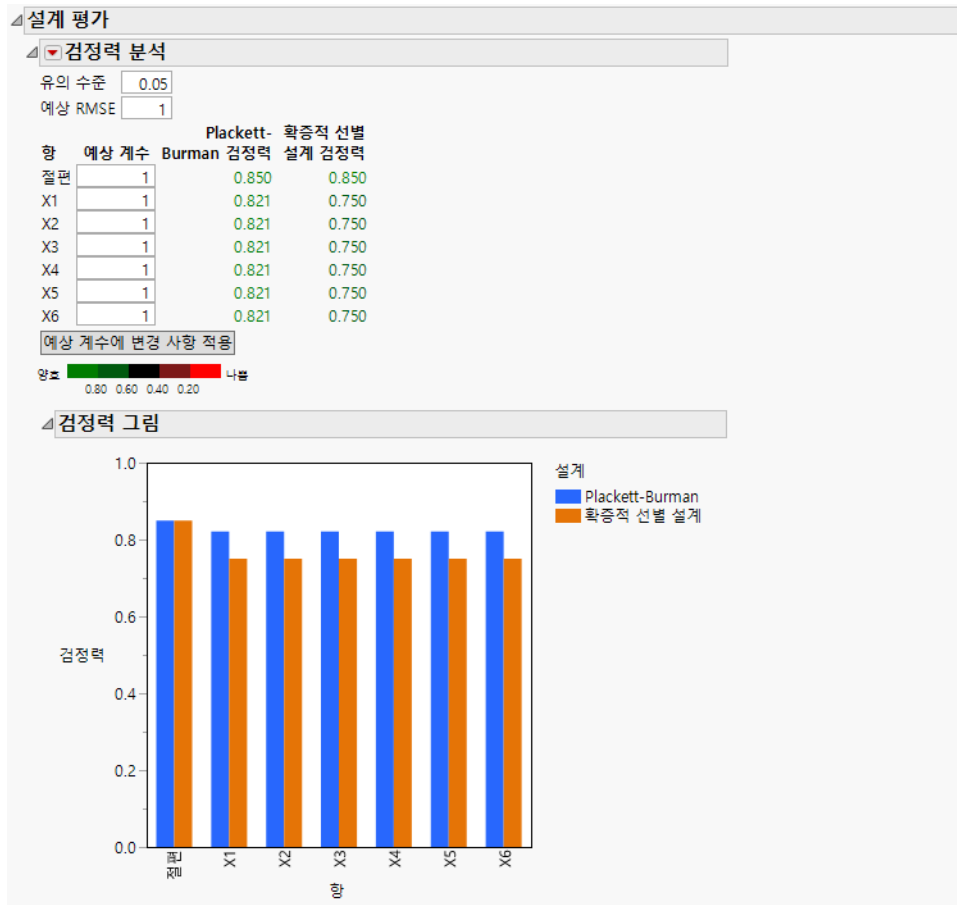


이렇게 하면 두 설계의 요인 간에 대응 관계가 정의됩니다.

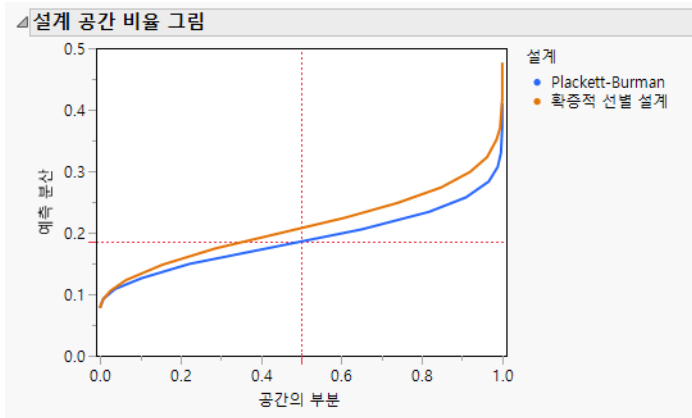
7. **확인**을 클릭합니다.

참조 설계는 Plackett-Burman 설계입니다. "설계 평가" 개요에서 비교 지표로 PB 와 DSD 를 비교합니다. 검정력, 예측 분산, 추정 효율도, 별칭 구조 및 설계 효율도 측도를 기준으로 설계가 비교됩니다.

그림 16.3 PB 와 DSD 비교를 위한 검정력 분석



검정력, 예측 분산 및 추정 효율도 측면에서 PB 설계가 DSD 보다 우수합니다. 그림 16.3 에서는 유의 수준, 예상 RMSE 및 계수가 기본 설정으로 지정된 "검정력 분석" 보고서를 보여 줍니다. 주효과 검정의 경우 PB 설계가 DSD 보다 검정력이 높습니다.

그림 16.4 PB 와 DSD 비교를 위한 설계 공간 비율 그림

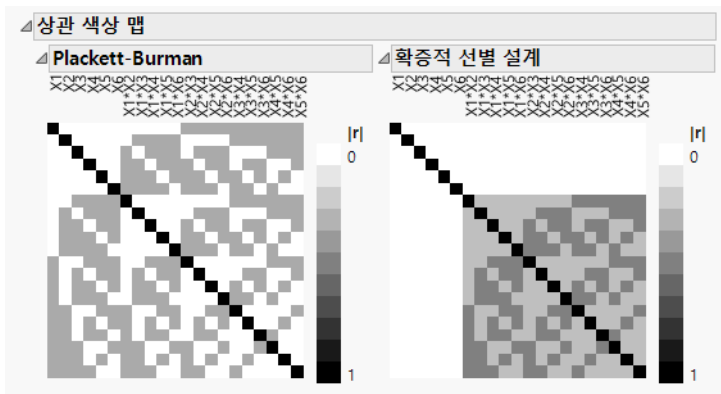
"설계 공간 비율 그림"은 전체 설계 공간에서 PB 설계가 DSD 보다 예측 분산이 작음을 나타냅니다.

주효과만 활성인 것으로 의심되는 경우 PB 설계가 적합하다고 결론을 내릴 수 있습니다.

이원 교호작용 비교

이제 일부 이원 교호작용이 활성 효과일 수 있다고 의심하는 경우를 가정해 보겠습니다. 아래 분석에서는 해당 이원 교호작용이 실제로 활성일 경우 PB 가 DSD 보다 적합하지 않다는 것을 보여줍니다.

1. "절대 상관" 보고서에서 "상관 색상 맵" 보고서를 열고 아래의 색상 맵 보고서를 엽니다.

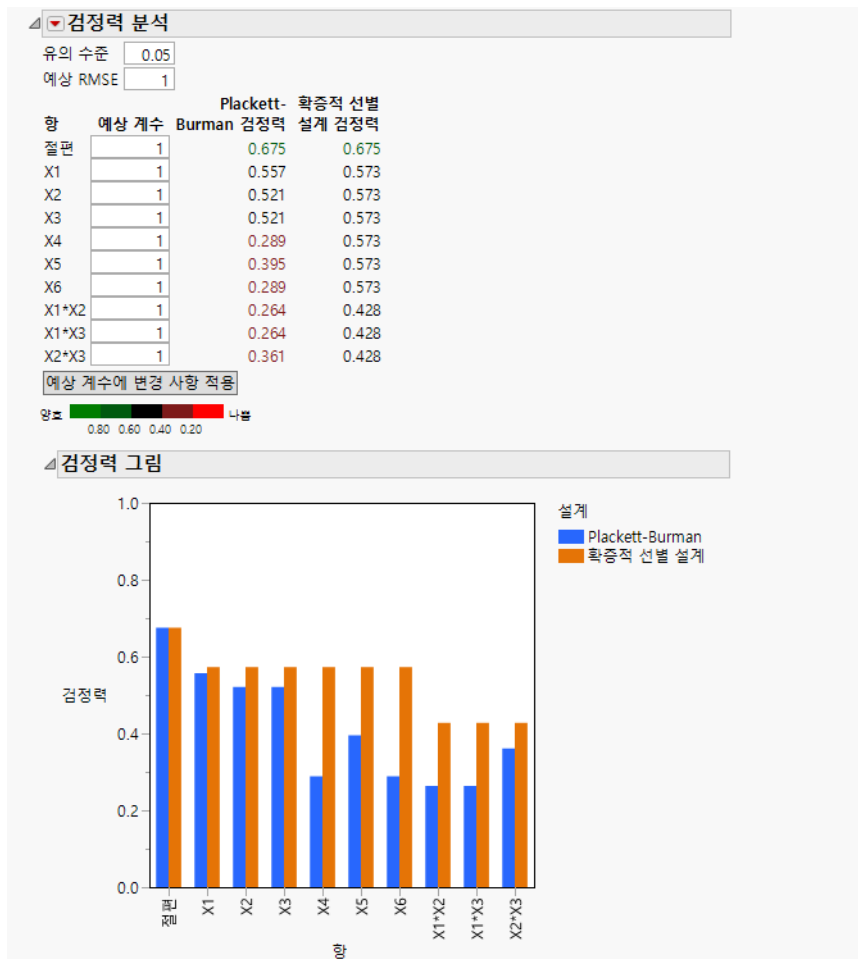
그림 16.5 PB 와 DSD 비교를 위한 색상 맵

"상관 색상 맵" 그림을 보면 PB 설계에서는 주효과와 이원 교호작용이 별칭 관계를 가집니다. 반면에 DSD 에서는 주효과와 이원 교호작용이 별칭 관계를 갖지 않습니다.

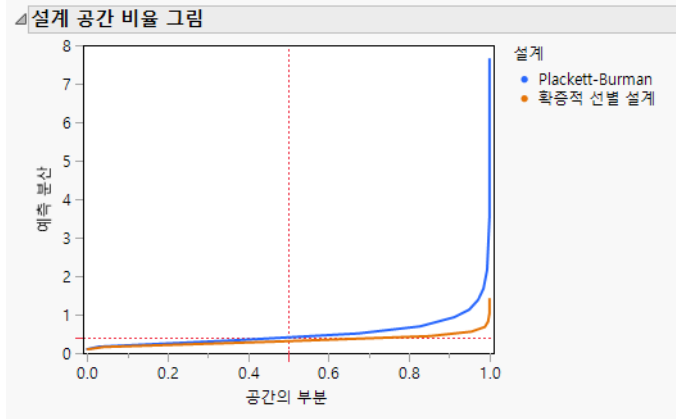
일부 이원 교호작용이 활성화된 경우 설계를 비교하는 방법에 대해 더 자세히 알아보려면 " 모형 " 개요에서 이원 교호작용을 추가합니다 .

2. " 요인 " 개요에서 $X1 \sim X3$ 을 선택합니다 .
3. " 모형 " 개요에서 **교호작용 > 2 차** 를 선택합니다 .

그림 16.6 교호작용이 있는 PB 와 DSD 비교를 위한 검정력 분석



" 항 " 목록에 세 가지 이원 교호작용이 표시됩니다 . 이러한 이원 교호작용이 활성화되면 모든 효과에서 검정력을 비교할 때 DSD 가 PB 보다 성능이 우수합니다 .

그림 16.7 교호작용이 있는 PB 와 DSD 비교를 위한 예측 분산

또한 모형의 세 가지 교호작용에 대한 예측 분산을 보면 DSD 가 PB 설계보다 우수합니다. 다른 보고서를 탐색하여 잠재적 활성 교호작용이 있을 때 DSD 가 더 적합하다는 것을 확인할 수 있습니다.

런 크기가 다른 설계

이 예에서는 런 크기가 각각 16, 20, 24 인 세 가지 설계를 비교합니다. 주효과 모형에 대한 설계가 구성됩니다. 설계 비교 플랫폼을 사용하면 런 크기가 클 때 얻을 수 있는 잠재적 이점이 추가 리소스 비용을 감수할 만큼 가치가 있는지 확인할 수 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터**를 선택하고 **샘플 스크립트 디렉터리 열기**를 클릭한 후 **Compare Three Run Sizes.jsl** 을 선택합니다.
2. 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **스크립트 실행**을 선택합니다.

사용자 설계를 사용하여 다음 세 가지 설계 테이블이 구성됩니다. 여기에는 주효과만 "모형" 개요의 항목으로 포함됩니다.

- 16-Run Design
- 20-Run Design
- 24-Run Design

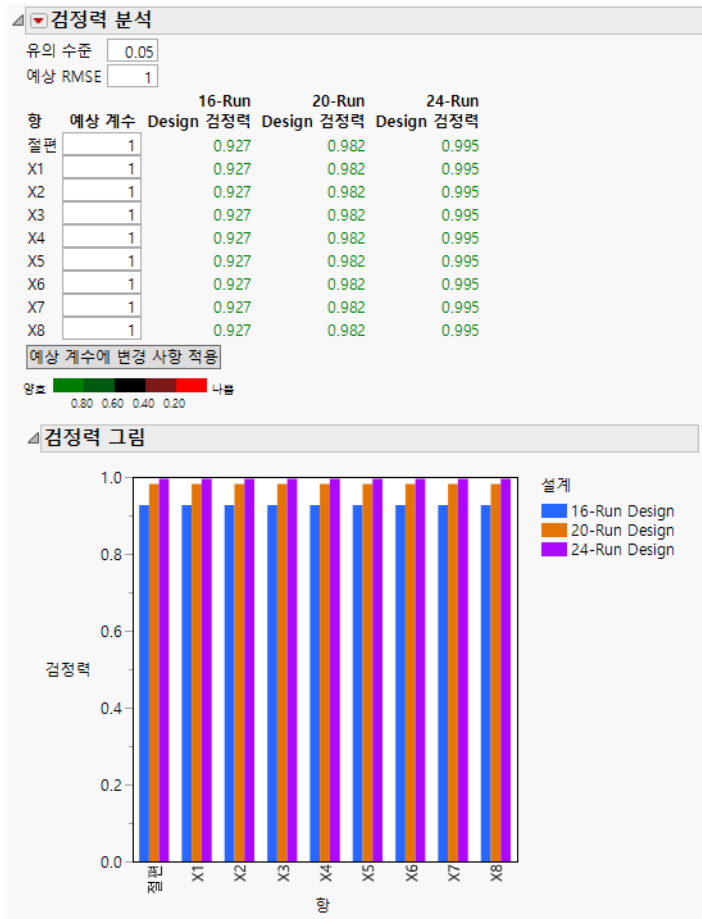
이 세 가지 설계를 비교하려고 합니다. 16-Run Design 테이블이 활성화되어 있습니다.

3. 16-Run Design 데이터 테이블에서 **DOE > 설계 진단 > 설계 비교**를 선택합니다.
4. **'16-Run Design' 을 (를) 다음과 비교** 목록에서 20-Run Design 과 24-Run Design 을 선택합니다.

각 설계에 대한 패널이 시작 창에 추가됩니다. JMP 는 세 가지 설계 테이블에 나타나는 순서에 따라 자동으로 열을 매칭합니다.

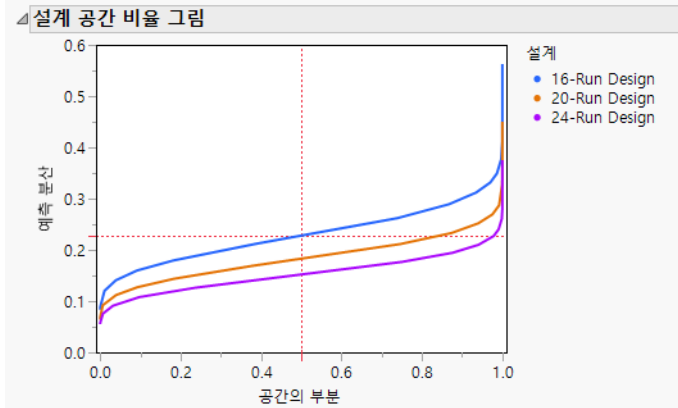
5. **확인**을 클릭합니다.

그림 16.8 검정력 분석 비교



계수가 "예상 RMSE"의 차수인 경우 세 가지 설계 모두 주효과를 감지할 수 있는 검정력이 높습니다.

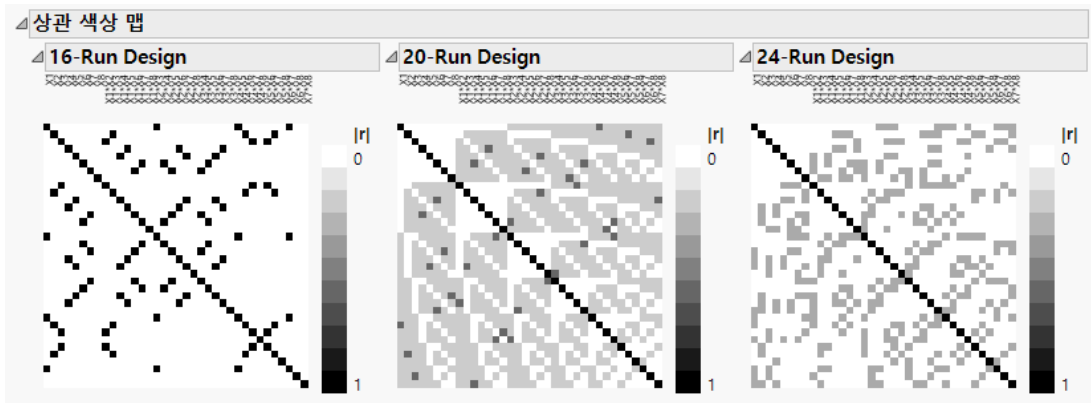
그림 16.9 설계 공간 비율 비교



전체 설계 공간에 대한 예측 분산을 보면 예상대로 24 회 런 설계가 다른 두 설계보다 우수합니다. 20 회 런 설계는 16 회 런 설계보다 우수합니다.

6. "절대 상관" 보고서에서 "상관 색상 맵" 보고서를 열고 아래 3 개의 색상 맵 보고서를 엽니다.

그림 16.10 상관 색상 맵 비교



16 회 런 설계의 "상관 색상 맵"은 일부 주효과와 일부 2 요인 교호작용 간의 교락 및 2 요인 교호작용의 교락이 있음을 나타냅니다.

20 회 런 설계의 "상관 색상 맵"은 일부 주효과와 일부 2 요인 교호작용 간의 상관 및 일부 2 요인 교호작용 간의 상관이 크다는 것을 나타냅니다.

24 회 런 설계는 주효과와 2 요인 교호작용 간의 상관 및 2 요인 교호작용 간의 상관이 중간 정도로 보통이라는 것을 나타냅니다.

그림 16.11 절대 상관 비교

절대 상관			
모형 x 모형	평균 상관	교락 수	쌍 수
16-Run Design	0.000	0	28
20-Run Design	0.000	0	28
24-Run Design	0.000	0	28
모형 x 별칭	평균 상관	교락 수	쌍 수
16-Run Design	0.094	21	224
20-Run Design	0.166	0	224
24-Run Design	0.098	0	224
별칭 x 별칭	평균 상관	교락 수	쌍 수
16-Run Design	0.056	21	378
20-Run Design	0.121	0	378
24-Run Design	0.085	0	378

양호 0.10 0.30 0.50 0.70 나쁨

" 절대 상관 " 테이블에는 " 상관 색상 맵 " 에 표시된 정보가 요약됩니다 . 세 가지 설계 모두 주효과만으로 모형이 구성되고 별칭 행렬에 2 요인 교호작용이 포함됩니다 .

16 회 런 설계의 경우 테이블의 " 모형 x 별칭 " 부분은 주효과와 2 요인 교호작용 간의 교락이 9 개 있음을 나타냅니다 . " 별칭 x 별칭 " 부분은 6 개의 2 요인 교호작용이 교락되어 있음을 나타냅니다 .

그림 16.12 설계 진단 비교

설계 진단		
	20-Run Design에 상대적인 16-Run Design의 효율도	24-Run Design에 상대적인 16-Run Design의 효율도
D 효율도	0.800	0.667
G 효율도	0.800	0.667
A 효율도	0.800	0.667
I 효율도	0.800	0.667
추가 런 크기	-4	-8

양호 1.50 1.25 0.80 0.67 나쁨

" 설계 진단 " 보고서는 여러 가지 효율도 측도에 관해 16 회 런 설계의 효율도를 20 회 런 설계 및 24 회 런 설계와 모두 비교합니다 . 상대 효율도 값이 1 을 초과하면 주어진 측도에 대해 참조 설계가 바람직하다는 것을 나타냅니다 . 값이 1 보다 작으면 참조 설계와 비교되는 설계가 바람직하다는 것을 나타냅니다 . 16 회 런 설계는 모든 지표에서 다른 두 설계보다 효율도가 낮으므로 더 큰 설계가 바람직하다는 것을 나타냅니다 .

- " 요인 " 개요에서 X1 ~ X3 을 선택합니다 .
- " 모형 " 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 선택합니다 .

" 추정할 수 없는 항 " 창이 나타나 16 회 런 설계가 방금 모형에 추가된 효과 중 하나 (X1*X2) 를 적합시킬 수 없음을 알려 줍니다 .

- 확인**을 클릭합니다 .

다른 두 효과 (X1*X3, X2*X3) 는 " 설계 비교 " 보고서에 추가됩니다 . 두 교호작용이 활성인 경우 보고서를 검토하여 설계를 비교할 수 있습니다 .

주구 수가 다른 분할구 설계

이 예에서는 주구 수가 다른 두 분할구 설계를 비교합니다. 다음과 같은 세 요인에 대한 설계입니다.

- 변경하기 힘든 연속형 요인
- 변경하기 쉬운 연속형 요인
- 변경하기 쉬운 3 수준 범주형 요인

설계는 모든 2 요인 교호작용을 가정된 모형에 포함합니다. 20 회 런이 가능하고 4 개 또는 8 개의 주구를 사용하여 비교하려고 합니다.

설계 비교 시작

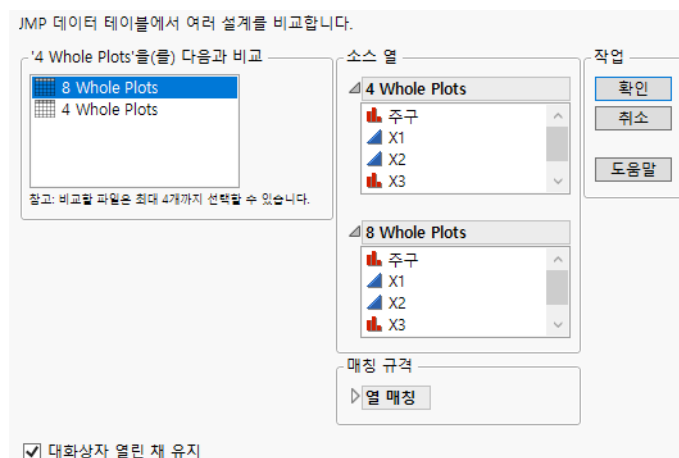
1. **도움말 > 샘플 데이터**를 선택하고 **샘플 스크립트 디렉터리 열기**를 클릭한 후 **Compare Split Plots.jsl** 을 선택합니다.
2. 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **스크립트 실행**을 선택합니다.
사용자 설계를 사용하여 다음 두 설계 테이블이 구성됩니다.
 - 4 Whole Plots
 - 8 Whole Plots

이 두 설계를 비교하려고 합니다. 4 Whole Plots 테이블이 활성화되어 있습니다.

3. 4 Whole Plots 테이블에서 **DOE > 설계 진단 > 설계 비교**를 선택합니다.
4. **'4 Whole Plots' 을 (를) 다음과 비교** 목록에서 8 Whole Plots 를 선택합니다.

이 설계에 대한 패널이 시작 창에 추가됩니다. JMP 는 두 설계 테이블에 나타나는 순서에 따라 자동으로 열을 매칭합니다.

그림 16.13 완료된 시작 창



5. **확인**을 클릭합니다 .
6. " 참조 설계 : 20 런 '4 Whole Plots'" 아래의 **매칭 규격** 개요를 엽니다 .

그림 16.14 분할구 설계를 위한 매칭 규격

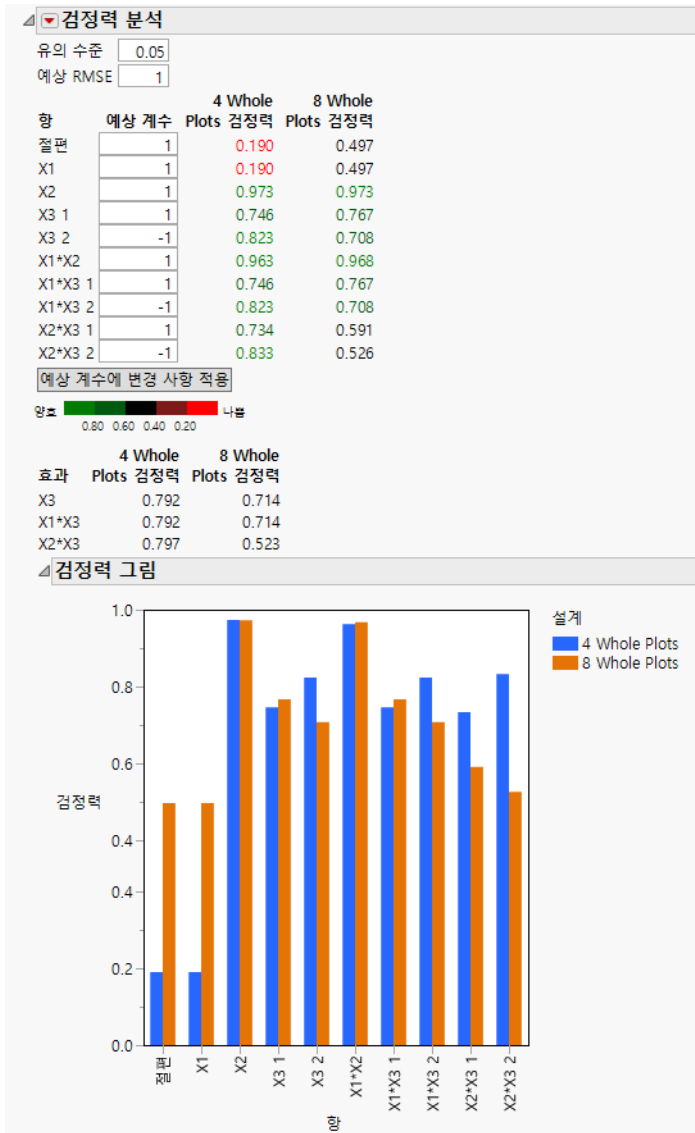
참조 설계: 20 런 '4 Whole Plots'	
매칭 규격	
참조 설계: 4 Whole Plots	8 Whole Plots
주구	주구
X1	X1
X2	X2
X3	X3

" 주구 " 열은 설계의 일부로 입력됩니다 . 설계 비교를 수행하려면 주구 구조를 알아야 하므로 이 열이 필요합니다 .

보고서 검토

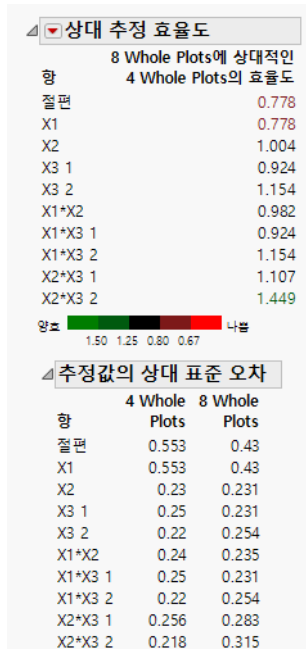
" 설계 평가 " 보고서는 두 설계를 비교하는 다양한 진단 결과를 제공합니다 .

그림 16.15 두 분할구 설계에 대한 검정력 분석



"검정력 분석" 보고서는 주구 요인 X1에 대한 검정력의 경우 4 주구 설계 (0.19)가 8 주구 설계 (0.497)보다 훨씬 작습니다. 그러나 4 주구 설계는 분할구 효과, 특히 두 분할구 요인의 교호작용 X2*X3을 감지할 수 있는 검정력 (0.797)이 다른 설계 (0.523)보다 높습니다. 결합 효과 X2*X3에 대한 검정력은 색상 막대 및 범례 아래에 제공됩니다.

그림 16.16 분할구 설계를 비교하는 상대 추정 효율도



"상대 추정 효율도" 보고서는 X1의 상대 추정 효율도가 0.778임을 보여 줍니다. 이는 X1의 표준 오차가 8 주구 설계보다 4 주구 설계에서 현저히 크다는 것을 나타냅니다.

"추정값의 상대 표준 오차" 보고서를 엽니다. 4 주구 설계에서 X1의 상대 표준 오차가 0.553이고 8 주구 설계의 오차는 0.43임을 확인할 수 있습니다.

"상대 추정 효율도" 보고서에서 X2*X3 2의 상대 추정 효율도는 1.449이며, 이는 X2*X3 2와 관련된 모수의 표준 오차가 4 주구 설계보다 8 주구 설계에서 현저히 크다는 것을 나타냅니다.

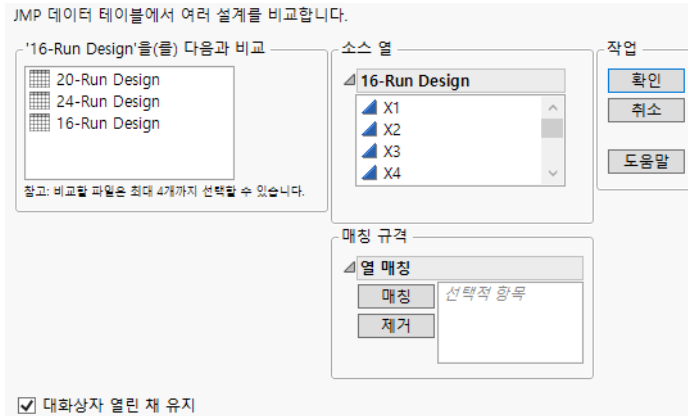
"검정력 분석" 및 "상대 추정 효율도" 보고서는 설계 선택이 주구 효과 X1 감지의 중요성과 관련이 있음을 나타냅니다. 8 주구 설계를 사용하면 주구 효과를 더 잘 감지할 수 있습니다. 4 주구 설계는 범주형 변수를 포함하는 분할구 효과를 감지하는 데 약간 더 좋습니다.

설계 비교 플랫폼 시작

DOE > 설계 진단 > 설계 비교를 선택하여 설계 비교 플랫폼을 시작합니다. 열려 있는 모든 데이터 테이블이 왼쪽 목록에 나타납니다. 활성 데이터 테이블과 열은 "소스 열" 패널에 나타납니다. 초기 "소스 열" 패널의 설계는 참조 설계, 즉 다른 설계와 비교되는 설계입니다. 참조 설계와 비교할 설계를 추가하면 해당 열이 참조 설계 패널 아래의 패널에 나타납니다.

그림 16.17에서는 "런 크기가 다른 설계"(446 페이지)의 세 가지 설계에 대한 시작 창을 보여 줍니다.

그림 16.17 설계 비교 시작 창



설계 테이블 선택

왼쪽 목록에서 최대 4 개의 설계 테이블을 선택합니다.

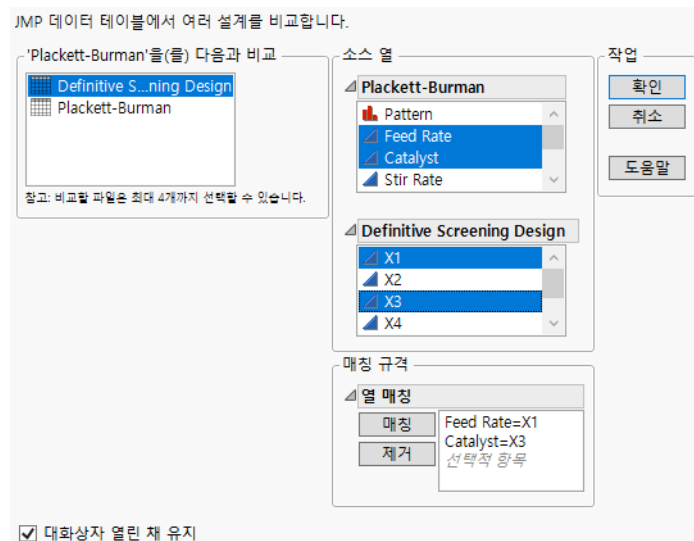
- 여러 설계를 참조 설계와 비교하려면 왼쪽 목록에서 해당 설계 테이블을 동시에 선택해야 합니다.
- "소스 열" 목록에서 하나 이상의 설계를 바꾸려면 왼쪽의 목록에서 원하는 테이블을 선택합니다. 그러면 참조 설계 테이블 아래의 설계 테이블이 바뀝니다.

참고: 참조 설계 테이블을 자체적으로 비교할 수 있으며 이렇게 하면 요인에 대한 설계 열 할당을 탐색할 때 유용합니다.

열 매칭

"열 매칭" 패널에서 각 설계 테이블의 열 중 서로 일치하는 열을 지정합니다. 열을 매칭하려면 "소스 열" 목록의 각 설계 테이블에서 매칭할 열을 선택한 후 "매칭"을 클릭합니다.

그림 16.18 매칭할 열 선택



- 각 목록의 단일 열을 매칭하려면 각 목록에서 단일 열을 선택한 후 "매칭"을 클릭합니다.
- 각 목록에서 올바른 매칭 순서로 나타나는 여러 열을 매칭하려면 각 목록에서 해당 열을 선택합니다. "매칭" 버튼을 클릭합니다. 그러면 목록 순서대로 매칭됩니다 (그림 16.18 참조). 이 예에서 Feed Rate는 X1과 매칭되고 Catalyst는 X3과 매칭됩니다.
- 목록에 같은 수의 열이 있는 경우 목록에 나오는 순서대로 매칭하려면 "매칭"을 클릭할 필요가 없습니다. "확인"을 클릭하여 시작 창이 실행되면 JMP에서 열을 목록에 나오는 순서대로 자동 매칭합니다. 보고서의 "매칭 규칙" 개요에서 매칭을 검토할 수 있습니다.

설계 비교 창: 모형 및 별칭 항 지정

"설계 비교" 창은 다음과 같은 두 가지 개요 집합으로 구성됩니다.

- "요인", "모형" 및 "별칭 항" 개요를 사용하여 모형에 있는 효과와 잠재적 활성 효과를 지정합니다.
- "설계 평가" 개요의 진단을 사용하여 설계를 비교합니다. "모형" 및 "별칭 항" 개요에서 변경한 내용은 "설계 평가" 보고서에 업데이트됩니다.

"설계 비교" 보고서는 참조 설계의 열 이름을 사용합니다.

이 섹션에서는 "참조 설계", "요인", "모형" 및 "별칭 항" 개요에 대해 설명합니다. "설계 평가" 개요에 대한 설명은 "설계 비교 창: 설계 평가" (456 페이지)에서 확인하십시오.

참조 설계

참조 설계에 대한 창 이름이 개요 제목에 나타납니다. "매칭 규격" 개요에는 시작 창에 입력한 규격이 나열됩니다.

요인

"요인" 개요를 사용하여 "모형" 및 "별칭 항" 목록에 효과를 추가합니다.

"요인" 개요에는 참조 설계의 열 이름과 코드화된 값을 사용하여 요인이 나열됩니다. 주구 및 하위구 열은 요인이 아니므로 "요인" 개요에 나타나지 않습니다. 그러나 이 열은 분석을 위해 필요합니다.

모형

모형에 있어야 한다고 생각되는 효과에 대해 설계를 비교하기 위해 효과를 추가하거나 제거합니다. 초기에는 참조 설계 테이블의 "모형" 스크립트에 있는 효과 및 비교되는 모든 설계에서 추정하는 효과가 "모형" 개요에 나열됩니다. 참조 설계 테이블에 "모형" 스크립트가 없는 경우에는 비교되는 모든 설계에서 추정할 수 있는 주효과만 "모형" 개요에 표시됩니다. 효과를 추가하고 제거하는 방법에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 ["모형"](#)(420페이지)에서 확인하십시오.

참고: 설계가 과포화되어 추정할 모수의 수가 런 수를 초과하면 추정할 수 있는 효과 집합만 "모형" 개요에 나열됩니다.

별칭 항

활성 가능성이 있는 효과에 대해 설계를 비교하기 위해 효과를 추가하거나 제거합니다. 초기에는 "모형" 개요에 없는 모든 2 요인 교호작용이 "별칭 항" 개요에 포함됩니다. 이 개요의 효과는 "별칭 행렬 요약" 및 "절대 상관" 개요의 계산에 영향을 줍니다. 자세한 내용은 ["별칭 행렬 요약"](#)(465 페이지) 및 ["절대 상관"](#)(466 페이지)에서 확인하십시오.

효과를 추가하고 제거하는 방법에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 ["별칭 항"](#)(421 페이지)에서 확인하십시오.

설계 비교 창 : 설계 평가

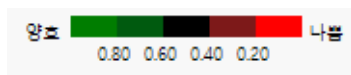
- ["검정력 분석"](#)
- ["예측 분산 프로파일"](#)
- ["설계 공간 비율 그림"](#)
- ["상대 추정 효율도"](#)

- "별칭 행렬 요약"
- "절대 상관"
- "설계 진단"

색상 대시보드

"설계 평가"의 몇몇 개요는 색상 막대에 따라 색상이 적용된 값을 보여 줍니다. 색상은 진단 측도에 적용되며 양호한 동작 또는 나쁜 동작을 반영하는 값(설계)을 확인하는 데 도움이 됩니다. 범례 값을 편집하여 양호한 동작과 나쁜 동작의 정의를 반영하는 색상을 적용할 수 있습니다.

그림 16.19 색상 대시보드



개요의 빨간색 삼각형 메뉴에서 다음 두 옵션을 선택하거나 색상 막대를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하여 색상 막대를 수정할 수 있습니다.

범례 값 표시 색상 막대 아래에 나타나는 값을 표시하거나 숨깁니다.

범례 값 편집 색상을 정의하는 값을 지정합니다.

검정력 분석

검정력은 주어진 크기의 활성 효과를 감지할 확률입니다. "검정력 분석" 보고서는 설계에서 실제로 중요한 효과를 감지하는 능력을 평가하고 비교하는 데 도움이 됩니다. 각 설계의 "검정력 분석" 보고서는 "모형" 개요에 있는 효과에 대한 검정력을 계산합니다.

"검정력 분석" 보고서는 개별 모형 모수 및 전체 효과에 대한 검정력을 제공합니다. 또한 "검정력 그림" 과 "검정력과 표본 크기 비교" 그림도 제공합니다.

검정력은 런 수, 유의 수준 및 추정 오차 변동에 따라 달라집니다. 검정력을 계산하는 방법에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[검정력 계산](#)"(722 페이지)에서 확인하십시오.

그림 16.20 세 가지 설계에 대한 검정력 분석 개요

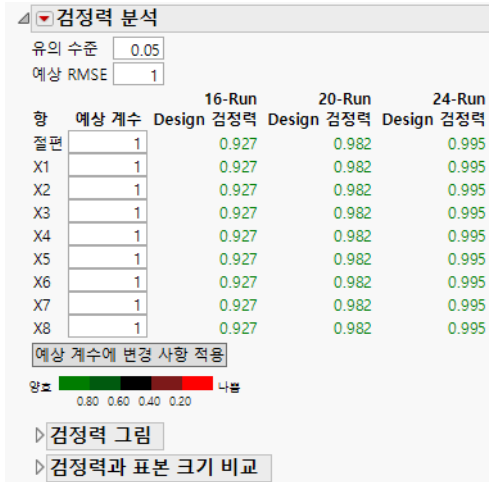


그림 16.20에서는 "런 크기가 다른 설계"(446 페이지)에서 구성한 세 가지 설계의 "검정력 분석" 개요를 보여 줍니다. 두 가지 이원 교호작용이 "모형" 개요에 추가되었습니다.

검정력 분석 보고서

"유의 수준" 및 "예상 RMSE"에 값을 지정하면 모형 모수에 대한 검정력을 계산할 때 이 값이 사용됩니다. 감지할 차이를 반영하는 계수 값을 "예상 계수"로 입력합니다. 모든 설계의 결과를 업데이트하려면 "예상 계수에 변경 사항 적용"을 클릭합니다.

유의 수준 효과가 없다는 가설이 참인데도 이를 기각할 확률입니다. 값을 입력하면 검정력 계산이 즉시 업데이트됩니다.

예상 RMSE 오차 변동의 제곱근에 대한 추정값입니다. 값을 입력하면 검정력 계산이 즉시 업데이트됩니다.

"예상 계수에 변경 사항 적용" 버튼 아래에 나오는 색상 그래디언트에 따라 검정력 값에 색상이 적용됩니다. "검정력 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "색상 대시보드"(457 페이지)에서 확인하십시오.

검정력 그림에 대한 자세한 내용은 "검정력 그림"(459 페이지)에서 확인하십시오.

참고: 설계가 과포화되어 추정할 모수의 수가 런 수를 초과하면 추정할 수 있는 효과 집합만 "검정력 분석" 개요에 나열됩니다.

개별 모수 검정

"항" 열에는 모형 항이 나열됩니다. 각 항의 "예상 계수" 열에는 해당 항의 값이 포함됩니다. "검정력" 값은 예상 계수에 의해 계수의 참 값이 주어진 경우 해당 항의 계수가 0 이라는 검정의 검정력입니다. 이때 설계 및 "모형" 개요의 항이 제공됩니다.

항 검정 대상 계수와 관련된 모형 항입니다.

예상 계수 모형 항과 관련된 계수의 값입니다. 이 값은 검정력 계산에 사용됩니다. "예상 계수" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 계수에 변경 사항 적용**을 클릭하여 "검정력" 계산을 업데이트합니다.

참고: 연속형 효과에 대한 예상 계수의 기본값은 1 입니다. 범주형 효과의 경우에는 1 과 -1 값이 교대로 나타납니다.

검정력 지정된 예상 계수에 의해 계수의 참 값이 주어진 경우 효과가 없다는 귀무가설을 기각할 확률입니다.

- 수치형 요인과 관련된 계수의 경우 상한 설정에서 하한 설정까지 평균 반응의 변화 (모형 기반) 는 계수 값의 두 배입니다.
- 범주형 요인과 관련된 계수의 경우 전체 요인 수준에서 평균 반응의 변화 (모형 기반) 는 예상 계수 절대값의 두 배와 같습니다. 범주형 요인의 검정력에 대한 자세한 내용은 "[수준이 세 개 이상인 범주형 효과 검정](#)"(459 페이지) 에서 확인하십시오.

지정된 유의 수준과 예상 RMSE 가 계산에 사용됩니다. 검정력 계산에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[단일 모수에 대한 검정력](#)"(722 페이지) 에서 확인하십시오.

예상 계수에 변경 사항 적용 "예상 계수" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 계수에 변경 사항 적용**을 클릭하여 "검정력" 값을 업데이트합니다.

수준이 세 개 이상인 범주형 효과 검정

수준이 세 개 이상인 범주형 효과가 모형에 포함된 경우 "예상 계수에 변경 사항 적용" 버튼 아래에 다음 열이 나타납니다.

효과 범주형 효과입니다.

검정력 효과 없음 검정에 대한 검정력 계산입니다. 검정의 귀무가설은 효과에 해당하는 모든 모형 모수가 0 이라는 것입니다. 감지할 차이는 "예상 계수" 열에서 효과의 모형 항에 해당하는 값으로 정의됩니다. 검정력 계산은 예상 계수에 의해 결정된 반응 평균의 차이를 반영합니다.

지정된 유의 수준과 예상 RMSE 가 계산에 사용됩니다. 검정력 계산에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[범주형 효과에 대한 검정력](#)"(723 페이지) 에서 확인하십시오.

검정력 그림

"검정력 그림"은 검정력 분석의 검정력 값을 그래픽 형식으로 보여 줍니다. 이 그림은 각 효과 및 각 설계에 대한 검정력을 병렬 막대 차트로 표시합니다.

그림 16.21 세 가지 설계에 대한 검정력 그림

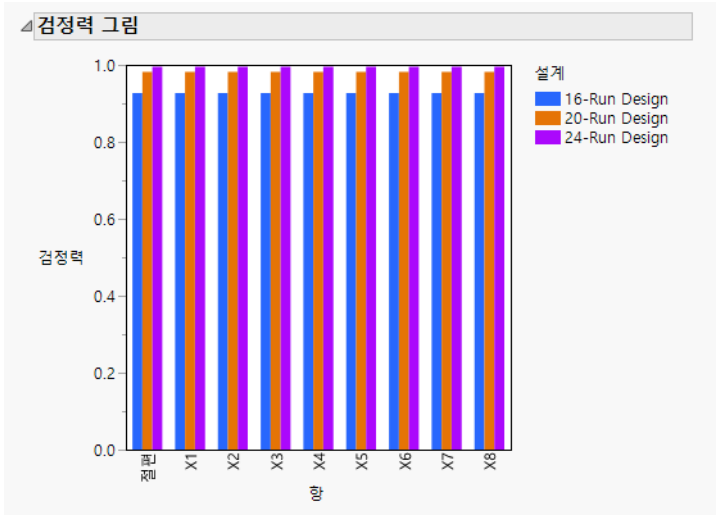
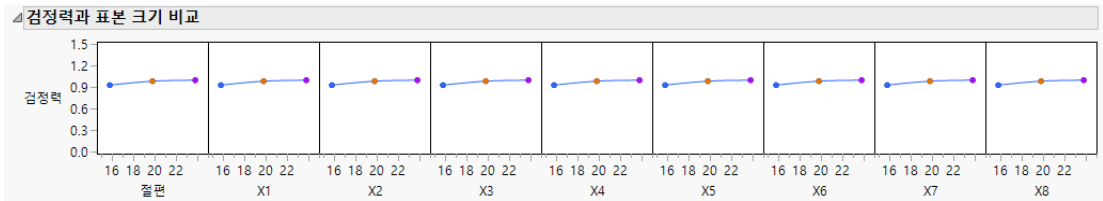


그림 16.21의 "검정력 그림"은 "런 크기가 다른 설계"(446 페이지)에서 구성한 세 가지 설계의 주효과를 대상으로 합니다.

검정력과 표본 크기 비교

"검정력과 표본 크기 비교" 그림은 비교하는 설계의 런 크기가 다른 경우에만 나타납니다. 이 그림을 사용하면 표본 크기가 모형의 각 효과에 대한 검정력에 미치는 영향을 확인할 수 있습니다. "검정력 그림" 그래프와 동일한 정보를 제공하지만 형식이 다릅니다. 정수 표본 크기의 검정력 값이 선분으로 연결됩니다.

그림 16.22 세 가지 설계에 대한 검정력과 표본 크기 비교 프로파일러



예측 분산 프로파일

"예측 분산 프로파일" 개요에서는 비교 중인 각 설계에 대한 상대 예측 분산 프로파일러를 보여줍니다. 각 그림은 상대 예측 분산을 다른 요인의 값이 고정된 상태에서 각 요인의 함수로 표시합니다.

설계 공간에서 참조 설계에 대한 상대 예측 분산의 최대값을 찾으려면 "예측 분산 프로파일" 옆의 빨간색 삼각형에서 **분산 최대화** 옵션을 선택합니다. 자세한 내용은 "분산 최대화"(461 페이지)에서 확인하십시오.

그림 16.23 세 가지 설계에 대한 예측 분산 프로파일

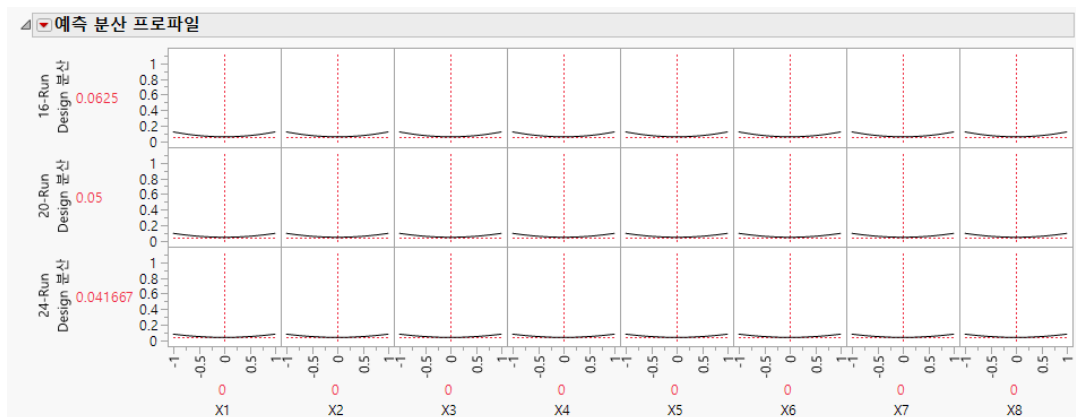


그림 16.23의 "예측 분산 프로파일" 그림은 "런 크기가 다른 설계"(446 페이지)에서 구성한 세 가지 설계를 대상으로 합니다. 두 가지 이원 교호작용 ($X1 \times X3$, $X2 \times X3$) 이 "모형" 개요에 추가되었습니다. 그림에서 각 연속형 요인의 초기값은 설계 설정의 중간점입니다. 왼쪽의 "분산" 값은 런 수가 증가할수록 중앙점에서 분산이 감소함을 나타냅니다.

상대 예측 분산

주어진 요인 설정에 대한 예측 분산은 설계 및 요인 설정에 따라 달라지는 양과 오차 분산의 곱입니다. 실험을 실행하기 전에는 오차 분산을 알 수 없으므로 예측 분산도 알 수 없습니다. 그러나 오차 분산에 대한 예측 분산의 비는 오차 분산의 함수가 아닙니다. 상대 예측 분산이라고 하는 이 비율은 설계와 요인 설정에만 영향을 받습니다. 따라서 데이터를 얻기 전에 상대 예측 분산을 계산할 수 있습니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "상대 예측 분산"(724 페이지)에서 확인하십시오.

실험을 실행하고 최소 제곱 모형을 적합시킨 후 모형 적합의 MSE(평균 제곱 오차)를 사용하여 오차 분산을 추정할 수 있습니다. 설정에 대한 상대 예측 분산을 곱해 설정에서 실제 예측 분산을 추정할 수 있습니다.

설계 공간 전체에서 예측 분산이 작은 것이 이상적입니다. 일반적으로 표본 크기가 증가하면 오차 분산이 감소합니다. 설계를 비교할 때 평균적으로 예측 분산이 낮은 설계가 선호됩니다.

분산 최대화

최대 상대 예측 분산의 측면에서 설계를 평가하거나 비교할 수도 있습니다. "예측 분산 프로파일" 옆의 빨간색 삼각형에서 **분산 최대화** 옵션을 선택합니다. JMP는 상대 예측 분산을 최대화

하는 만족도 함수를 사용합니다. "예측 분산 프로파일"의 "분산" 값은 상대 예측 분산의 최악 값 (설계 관점에서 가장 적합하지 않음) 입니다.

그림 16.24 세 가지 설계에 대한 최대 분산을 보여 주는 예측 분산 프로파일

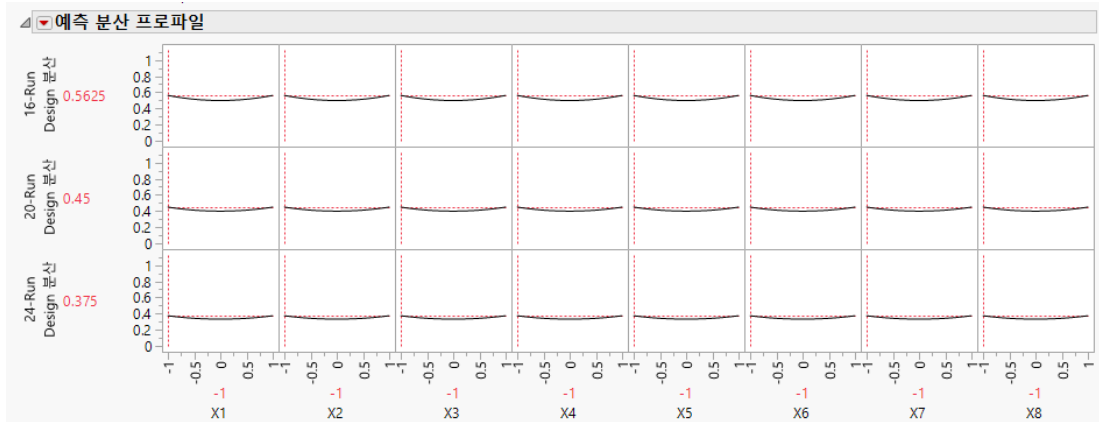


그림 16.24에서는 "런 크기가 다른 설계"(446 페이지)에서 구성한 세 가지 설계에 대해 "분산 최대화"를 선택한 후의 "예측 분산 프로파일"을 보여 줍니다. 예상대로 런 크기가 증가하면 최대 상대 예측 분산이 감소합니다. 이 최악 상대 분산 값을 제공하는 요인의 값도 그림에 표시됩니다. 그러나 여러 설정에서 동일한 최대 상대 분산을 산출할 수 있음을 염두에 두십시오.

설계 공간 비율 그림

"설계 공간 비율 그림"은 설계 공간에서 상대 예측 분산이 특정 값 미만인 비율을 보여 줍니다.

그림 16.25 세 가지 설계에 대한 설계 공간 비율 그림

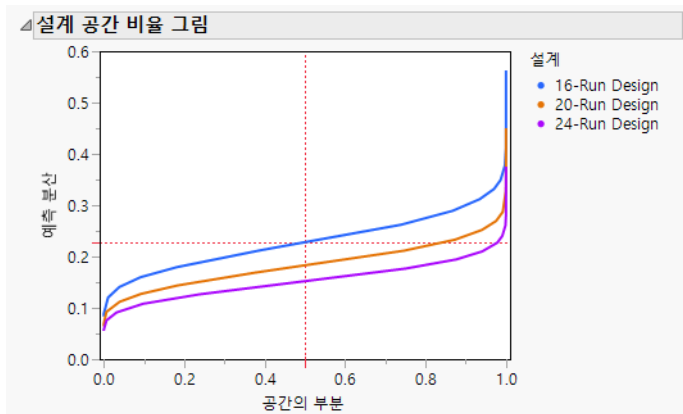


그림 16.25에서는 "런 크기가 다른 설계"(446 페이지)에서 구성한 세 가지 설계에 대한 "설계 공간 비율 그림"을 보여 줍니다. 다음 사항을 알 수 있습니다.

- 그림의 X 축은 설계 공간의 비율을 나타냅니다 (0 ~ 100% 범위).
- Y 축은 상대 예측 분산 값을 나타냅니다.
- 주어진 곡선에 있는 (x, y) 점의 경우 x 값은 분산이 y 보다 작거나 같은 설계 공간의 비율입니다.
- 빨간색 점선 십자기호는 설계 공간의 50%에서 참조 설계에 대한 상대 예측 분산의 경계를 이루는 값을 표시합니다.

그림 16.25에서는 24 회 런 설계의 상대 예측 분산이 다른 두 설계에 비해 균등하게 작다는 것을 보여 줍니다. 20 회 런 설계의 예측 분산은 16 회 런 설계보다 균등하게 작습니다. 빨간색 점선 십자기호는 설계 공간의 약 50%에 대해 20 회 런 설계의 상대 예측 분산이 약 0.23 미만임을 나타냅니다.

십자기호 도구를 사용하여 "공간 비율" 값에 해당하는 최대 상대 예측 분산을 찾을 수 있습니다. 예를 들어 십자기호 도구를 사용하여 24 회 런 설계에 대한 예측 분산 값의 90%가 약 0.20 미만인지 확인하십시오.

참고: 설계 공간 비율 그림을 구성할 때 설계 공간의 몬테카를로 표집이 사용되므로 같은 설계에 대한 그림이 약간 다를 수 있습니다.

상대 추정 효율도

"상대 추정 효율도" 보고서는 가정된 모형에 있는 모수에 대한 모수 추정값의 표준 오차 측면에서 설계를 비교합니다. 표준 오차는 모수 추정값의 신뢰 구간 길이를 제어합니다. 이 보고서는 효율도 비율과 상대 표준 오차를 제공합니다.

상대 추정 효율도 값 테이블 아래에 나오는 색상 그래디언트에 따라 상대 추정 효율도 값에 색상이 적용됩니다. "상대 추정 효율도"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "색상 대시보드"(457 페이지)에서 확인하십시오.

그림 16.26 두 가지 분할구 설계를 비교하는 상대 추정 효율도



그림 16.26에서는 "주구 수가 다른 분할구 설계"(450 페이지)에서 비교한 분할구 설계의 "상대 추정 효율도" 개요를 보여 줍니다.

상대 추정 효율도

주어진 항에 대해 비교 설계에 대한 참조 설계의 추정 효율도는 비교 설계 항의 상대 표준 오차를 참조 설계 항의 상대 표준 오차로 나눈 값입니다. 값이 1 보다 작으면 참조 설계가 비교 설계만큼 효율적이지 않음을 나타냅니다. 값이 1 보다 크면 참조 설계가 더 효율적임을 나타냅니다.

추정값의 상대 표준 오차

"추정값의 상대 표준 오차" 보고서는 오차 표준편차에 대한 모수 추정값의 표준편차 비율을 제공합니다. 이 값은 오차 표준편차를 기준으로 모형 모수 추정값의 표준 오차 크기를 나타냅니다. i^{th} 모수 추정값의 경우 추정값의 상대 표준 오차는 다음과 같이 정의됩니다.

$$SE = \sqrt{(X'X)^{-1}_{ii}}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

X 는 "기술 상세 정보" 부록의 "별칭 행렬"(721 페이지)에 정의된 모형 행렬입니다.

$(X'X)^{-1}_{ii}$ 은 $(X'X)^{-1}$ 의 i^{th} 주대각 항목입니다.

별칭 행렬 요약

별칭 행렬은 실제로 활성이지만 모형에 포함되지 않은 항이 모형 항 추정에 영향을 미치는 방식에 대한 문제를 처리합니다. "별칭 항" 개요에서는 가정된 모형에 없지만 모형 항의 추정값을 편향시킬 수 있는 잠재적 활성 효과를 나열합니다. 별칭 행렬 항목은 "별칭 항" 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 자세한 내용은 "별칭 항"(456 페이지) 및 "별칭 행렬"(465 페이지)에서 확인하십시오.

"별칭 행렬 요약" 테이블에는 가정된 모형의 항이 나열됩니다. 이러한 항은 "모형" 개요에 나열된 효과에 해당합니다. 설계가 주어지면 "항" 열의 각 항목에 대해 "별칭 항" 개요의 효과에 해당하는 항에 대한 별칭 행렬 항목 제공합의 제공근이 계산됩니다. 이 값은 주어진 설계의 "제공근 평균 제공 값" 열에 보고됩니다. 예는 "별칭 행렬 요약 값 계산의 예"(466 페이지)에서 확인하십시오.

참고: "별칭 행렬 요약" 보고서는 "별칭 항" 목록에 효과가 있는 경우에만 나타납니다.

그림 16.27 두 설계에 대한 별칭 행렬 요약

항	루트 평균 제공 값	루트 평균 제공 값
	확정적 선별 설계	Plackett-Burman
절편	0.0000	0.0000
X1	0.0000	0.2722
X2	0.0000	0.2722
X3	0.0000	0.2722
X4	0.0000	0.2722
X5	0.0000	0.2722
X6	0.0000	0.2722
합계	0.0000	0.2520

색상 그래디언트: 0.10 0.30 0.50 0.70 나열

그림 16.27에서는 "런 크기가 같은 설계"(441 페이지)에서 구성한 Plackett-Burman 설계와 확정적 선별 설계의 "별칭 행렬 요약" 보고서를 보여 줍니다. "모형" 개요에는 주효과만 있습니다. 모든 2 요인 교호작용은 "별칭 항" 목록에 있습니다. 이 테이블에서는 확정적 선별 설계의 경우 주효과가 2 요인 교호작용과 상관 관계가 없음을 보여 줍니다.

"별칭 행렬 요약" 테이블 아래에 나오는 색상 그래디언트에 따라 제공근 평균 제공 값에 색상이 적용됩니다. "별칭 행렬 요약"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "색상 대시보드"(457 페이지)에서 확인하십시오.

별칭 행렬

별칭 행렬의 행은 "모형" 개요에 나열된 모형 효과에 해당하는 항입니다. 열은 "별칭 항" 개요에 나열된 효과에 해당하는 항입니다. 주어진 행과 열의 항목은 별칭 항이 모형 항에 해당하는 모수 추정값에 영향을 미치는 정도를 나타냅니다.

설계를 평가할 때 별칭 행렬의 항목과 관련하여 다음 두 가지 상황 중 하나가 발생하면 가장 이상적입니다. 항목이 작거나, 그렇지 않은 경우 별칭 항의 효과가 작아서 편향도 작습니다. 별칭 항

의 효과가 상당히 클 것으로 생각되면 해당 항을 모형에 포함하거나 별칭 최적 설계를 고려해야 합니다. 별칭 최적은 별칭 행렬의 제공 값을 기반으로 합니다.

별칭 행렬에 대한 자세한 배경 정보는 "기술 상세 정보" 부록의 "**별칭 행렬**"(721 페이지)에서 확인하십시오. Lekivetz, R.(2014) 도 참조하십시오.

별칭 행렬 요약 값 계산의 예

이 예에서는 "별칭 행렬 요약" 개요에 나타나는 값의 계산을 보여 줍니다. 여기서는 주효과만 활성이라는 가정하에 두 설계를 비교합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터**를 선택하고 **샘플 스크립트 디렉터리 열기**를 클릭한 후 **Compare Same Run Size.jsl** 을 선택합니다.

2. 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **스크립트 실행**을 선택합니다.

다음과 같은 두 개의 13 회 런 설계 테이블이 구성됩니다.

- 확증적 선별 설계
- Plackett-Burman

Plackett-Burman 설계에만 관심이 있습니다. 이 테이블이 활성 테이블입니다.

3. Plackett-Burman 테이블에서 **DOE > 설계 진단 > 설계 평가**를 선택합니다.

4. **X1 ~ X6** 을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.

5. **확인**을 클릭합니다.

6. "별칭 항" 개요를 열어 모든 2 요인 교호작용이 "별칭 항" 목록에 있는지 확인합니다.

7. "별칭 행렬" 개요를 엽니다.

"효과" 열에 나열된 각 모형 항에 대해 주어진 열의 해당 행에 있는 항목은 별칭 항이 모형 항에 해당하는 모수 추정값에 영향을 미치는 정도를 나타냅니다.

예를 들어 그림 16.27 의 X1 에 해당하는 별칭 행렬 요약 항목을 얻으려면 별칭 행렬에서 X1 에 대한 행의 항을 제공하여 평균을 구한 후 제곱근을 취합니다. 결과 값은 0.2722 입니다.

절대 상관

"절대 상관" 보고서에는 모형 항과 별칭 항 간의 상관관계 정보가 요약됩니다.

그림 16.28 세 가지 설계에 대한 절대 상관 보고서

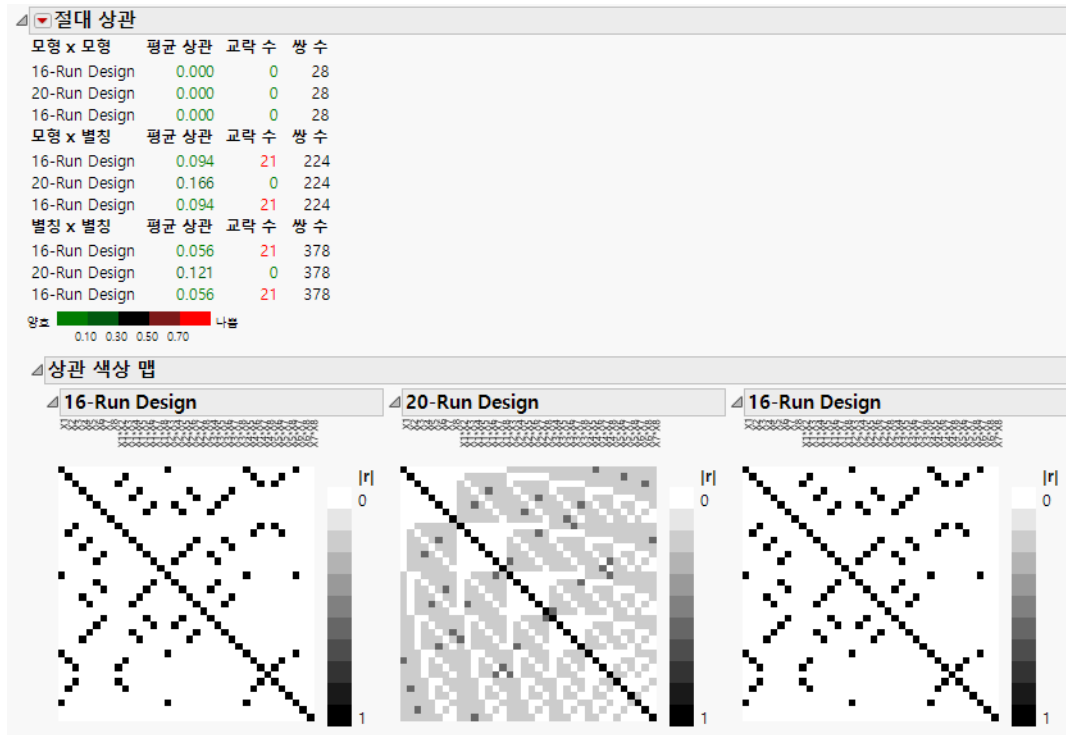


그림 16.28에서는 "런 크기가 다른 설계"(446 페이지)에서 구성한 세 가지 설계의 "절대 상관" 보고서를 보여 줍니다. "모형" 개요에는 주효과만 있습니다.

절대 상관 테이블

"절대 상관" 보고서의 테이블은 다음 세 섹션으로 구분됩니다.

- "모형 x 모형"은 "모형" 목록의 효과에 해당하는 항 간의 상관을 고려합니다.
- "모형 x 별칭"은 "모형" 목록의 효과에 해당하는 항과 "별칭" 목록의 효과에 해당하는 항 간의 상관을 고려합니다.
- "별칭 x 별칭"은 "별칭" 목록의 효과에 해당하는 항 간의 상관을 고려합니다.

참고 : 별칭 항이 없으면 "모형 x 모형" 섹션만 나타납니다.

보고서의 각 섹션에 대해 다음 항목이 제공됩니다.

평균 상관 보고서의 이 섹션에서 고려된 모든 항 쌍에 대한 상관의 평균입니다.

교락 수 교락된 항으로 구성된 항 쌍의 수입니다.

항 수 보고서의 이 섹션에서 고려된 항 쌍의 총 수입니다.

"절대 상관" 테이블 아래에 나오는 색상 그라디언트에 따라 이 테이블의 값에 색상이 적용됩니다. "절대 상관"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "색상 대시보드"(457 페이지)에서 확인하십시오.

상관 색상 맵

"상관 색상 맵" 개요에는 각 설계에 대한 그림이 표시됩니다. 색상 맵의 셀은 맵 위에서 식별됩니다. "모형" 개요 또는 "별칭 항" 개요에 나타나는 효과에 해당하는 모든 항에 대한 셀이 있습니다. 각 셀은 두 항 간의 절대 상관 값에 따라 색상이 적용됩니다.

기본적으로 절대 상관 크기는 파란색에서 회색, 빨간색까지의 강도 색상 테마를 사용하여 나타냅니다. 일반적으로 좋은 설계의 색상 맵에는 파란색 비대각이 많이 표시되어 직교성 또는 개별 항 간의 상관이 적음을 나타냅니다. 효과 간의 절대 상관이 크면 추정값 표준 오차가 증가합니다.

두 효과 간의 절대 상관 값을 보려면 해당 셀 위에 포인터를 놓습니다. 전체 그림에 대한 색상 테마를 변경하려면 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 "색상 테마"를 선택합니다.

절대 상관 및 상관 색상 맵의 예

그림 16.28에서는 "런 크기가 다른 설계"(446 페이지)에서 구성한 Plackett-Burman 설계와 확증적 선별 설계의 "절대 상관" 보고서를 보여 줍니다. "모형" 개요에 주효과만 포함되므로 "별칭 항" 개요에 모든 2 요인 교호작용이 포함됩니다. 모든 주효과 및 이원 교호작용이 색상 맵에 표시됩니다.

16 회 런 설계의 "상관 색상 맵"에서 비대각의 빨간색 셀은 해당 항의 상관관계가 1 이므로 완전히 교락됨을 나타냅니다. 모형 항(주효과)이 별칭 항(2 요인 교호작용)과 교락되는 경우가 9 개 있고 별칭 항이 서로 교락되는 경우가 6 개 있습니다. 이는 보고서의 "쌍별 교락" 아래에 표시됩니다.

20 회 런 및 24 회 런 설계의 색상 맵에는 단색의 빨간색 비대각 셀이 없습니다. 따라서 이러한 설계는 주효과 또는 이원 교호작용 효과 쌍 간의 교락이 없습니다. 그러나 20 회 런 설계와 24 회 런 설계 모두 16 회 런 설계보다 "모형 x 별칭" 항의 "평균 상관"이 높다는 점에 주목하십시오. 16 회 런 설계는 교락을 나타내지만 평균 상관관계가 20 회 런 및 24 회 런 설계보다 낮습니다.

설계 진단

"설계 진단" 개요에서는 비교 설계를 기준으로 참조 설계의 D 효율도, G 효율도, A 효율도 및 I 효율도를 보여 줍니다. "추가 런 크기"도 표시됩니다. 두 가지 설계가 주어진 경우 상대 효율도 측도가 높은 설계가 더 좋습니다.

그림 16.29 세 가지 설계에 대한 설계 진단

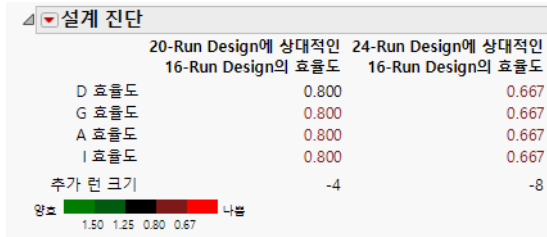


그림 16.29에서는 "런 크기가 다른 설계"(446 페이지)에서 구성한 세 가지 설계의 "설계 진단" 보고서를 보여 줍니다. "모형" 개요에는 주효과만 있습니다.

"설계 진단" 테이블 아래에 나오는 색상 그래디언트에 따라 이 테이블의 값에 색상이 적용됩니다. "설계 진단"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "색상 대시보드"(457 페이지)에서 확인하십시오.

효율도 및 추가 런 크기

D 효율도, G 효율도, A 효율도 및 I 효율도 각각에 대한 상대 효율도가 "설계 진단" 보고서에 표시됩니다. 이 값은 각 설계의 효율도 값을 계산한 후 적절한 비율을 적용하여 구할 수 있습니다. 상대 효율도 측도에 대한 설명은 "상대 효율도 측도"(469 페이지)에서 확인하십시오.

추가 런 크기는 참조 설계의 런 수에서 비교 설계의 런 수를 뺀 값입니다. 참조 설계의 런 수가 비교 설계보다 많은 경우 참조 설계의 효율도를 달성하기 위해 필요한 추가 런 수가 "추가 런 크기"에 표시됩니다.

상대 효율도 측도

표기

- $\mathbf{X}$ 는 모형 행렬입니다.
- p 는 모형의 항 수입니다 (절편 포함).
- $\text{Var}(\hat{y}|\mathbf{x})$ 는 점 $\mathbf{x}$ 에서의 상대 예측 분산입니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "상대 예측 분산"(724 페이지)에서 확인하십시오.

상대 효율도

비교 설계 (Comp)에 대한 참조 설계 (Ref)의 상대 효율도는 다음 표현식을 사용하여 구합니다.

D 효율도 $\text{Eff}_{\text{Ref}}/\text{Eff}_{\text{Comp}}$ 여기서 각 설계의 Eff 는 다음과 같이 지정됩니다.

$$\text{Eff} = |\mathbf{X}'\mathbf{X}|^{1/p}$$

G 효율도 $\text{Eff}_{\text{Comp}}/\text{Eff}_{\text{Ref}}$ 여기서 각 설계의 Eff 는 다음과 같이 지정됩니다.

$$Eff = Var(\hat{y}|\mathbf{x})_{max} = \underset{\mathbf{x} \text{ in } D}{\text{maximum}}[\mathbf{x}'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{x}]$$

D 가 설계 영역이라고 하면

참고 : G 효율도는 설계 공간의 몬테카를로 표집을 사용하여 계산됩니다. 보고된 값은 더 큰 $Var(\hat{y}|\mathbf{x})_{max}$ 또는 몬테카를로 표집의 예측 분산을 기반으로 합니다. 따라서 같은 설계에 대한 계산이 약간 다를 수 있습니다.

A 효율도 Eff_{Comp}/Eff_{Ref} 여기서 각 설계의 Eff 는 다음과 같이 지정됩니다.

$$Eff = \text{Trace}[(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}]$$

I 효율도 Eff_{Comp}/Eff_{Ref} 여기서 각 설계의 Eff 는 다음과 같이 지정됩니다.

$$Eff = \frac{\int \mathbf{x}'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{x}d\mathbf{x}}{\int d\mathbf{x}}$$

계산에 대한 자세한 내용은 Goos and Jones(2011)의 "Section 4.3.5"에서 확인하십시오.

설계 비교 옵션

고급 옵션 > 분할구 분산비 오차 분산에 대한 랜덤 주구 분산 및 하위구 분산 (있는 경우)의 비를 지정합니다. 이 값을 설정하려면 먼저 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인 또는 분할-분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인을 정의해야 합니다. 그런 다음 분할구 설계를 지정했는지 아니면 분할 - 분할구 설계를 지정했는지에 따라 분산 비율에 하나 또는 두 개의 양수를 입력할 수 있습니다.

고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정 모형 효과에 대해 감지할 평균 반응의 차이를 지정합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 창의 "**검정력을 위한 델타 설정**"(105 페이지)에서 확인하십시오.

17 장

예상 표본 크기 및 검정력

표본 크기 및 검정력 플랫폼을 사용하면 실험이나 연구를 계획할 때 특정 질문에 답하는 능력에 표본 크기가 미치는 영향을 조사할 수 있습니다.

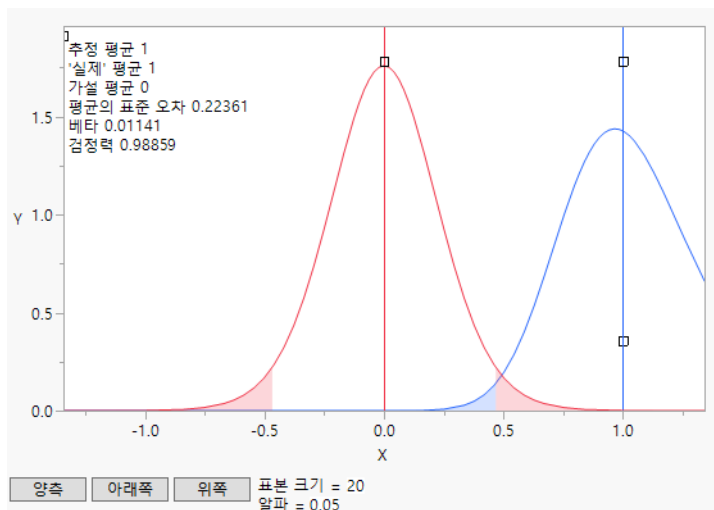
- 테스트할 단위 수는 몇 개입니까?
- 처리 평균의 차이를 감지할 수 있습니까?
- 고장 시간을 추정하기 위해 테스트해야 할 단위 수는 몇 개입니까?

표본 크기 및 검정력 플랫폼은 계산기 모음입니다. 계산기에는 데이터 입력 및 계산된 값을 위한 필드가 있습니다. 지정할 값과 계산할 값을 선택할 수 있습니다. 예를 들어 검정력 및 감지할 효과 크기를 지정한 후 필요한 표본 크기를 계산할 수 있습니다. 아니면 표본 크기와 검정력을 지정하여 감지할 수 있는 효과 크기를 계산할 수도 있습니다.

가설 검정을 위한 표본 크기 계산은 제 1 종 오류와 제 2 종 오류 간의 균형을 기반으로 합니다. 제 1 종 오류 (α)는 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 제 2 종 오류 (β)는 귀무가설이 거짓일 때 귀무가설을 채택할 확률입니다. 일반적으로 α 와 β 를 작게 하려고 합니다. 검정력 ($1 - \beta$)은 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다.

JMP의 검정력과 표본 크기에 대한 자세한 내용은 [Barker\(2011\)](#)에서 확인하십시오.

그림 17.1 1 표본 평균에 대한 검정력 애니메이션



목차

표본 크기 및 검정력 플랫폼 시작.....	474
1 표본 평균 계산기.....	475
1표본 평균 계산기의 예.....	475
1표본 평균 계산기 필드.....	479
1표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보.....	480
2 표본 평균 계산기.....	481
2표본 평균 계산기의 예.....	481
2표본 평균 계산기 필드.....	482
2표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보.....	483
k 표본 평균 계산기.....	484
k 표본 평균 계산기의 예.....	484
k 표본 평균 계산기 필드.....	486
k 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보.....	487
1 표본 표준편차 계산기.....	488
1표본 표준편차 계산기의 예.....	488
1표본 표준편차 계산기 필드.....	489
1표본 표준편차 계산기에 대한 통계 상세 정보.....	490
1 표본 비율 계산기.....	491
1표본 비율 계산기의 예.....	491
1표본 비율 계산기 필드.....	492
단일 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보.....	493
2 표본 비율 계산기.....	494
2표본 비율 계산기의 예.....	494
2표본 비율 계산기 필드.....	495
두 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보.....	496
단위별 개수 계산기.....	497
단위별 개수 계산기의 예.....	497
단위별 개수 계산기 필드.....	498
단위별 개수 계산기에 대한 통계 상세 정보.....	498
시그마 품질 수준 계산기.....	499
시그마 품질 수준 계산기의 예.....	499
결함 수 계산의 예.....	500
시그마 품질 수준 계산기 필드.....	501
시그마 품질 계산기에 대한 통계 상세 정보.....	501
신뢰도 시험 계획 계산기.....	501
신뢰도 시험 계획 계산기의 예.....	501
신뢰도 시험 계획 계산기 필드.....	503
신뢰도 시험 계획 계산기에 대한 통계 상세 정보.....	505

신뢰도 데모 계산기	505
신뢰도 데모 계산기의 예	506
신뢰도 데모 계산기 플드	507
신뢰도 데모 계산기의 예	506

표본 크기 및 검정력 플랫폼 시작

표본 크기 및 검정력 플랫폼은 실험이나 연구를 계획하기 위한 계산기 모음입니다. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택하여 표본 크기 및 검정력 플랫폼을 시작합니다.

그림 17.2 표본 크기 및 검정력 시작 창

표본 크기

전향적 검정력 및 표본 크기 계산

표본 크기 또는 검정력 계산에 대한 상황 선택

1표본 평균 단일 표본의 평균을 검정하기 위한 표본 크기

2표본 평균 2개의 표본 간에 평균이 다른지 검정합니다.

k 표본 평균 k개의 표본 간에 평균이 다른지 검정합니다.

1표본 표준편차 표준편차의 변화를 감지하기 위한 표본 크기

1표본 비율 단일 표본의 비율을 검정하기 위한 표본 크기

2표본 비율 2개 표본 간 비율을 검정하기 위한 표본 크기

단위별 개수 단위별 개수(예: DPU(Defects per Unit))의 변화를 감지하기 위한 표본 크기

시그마 품질 수준 기회별 결함의 측면에서 보편적 인덱스를 위한 계산기

신뢰도 시험 계획 신뢰도 연구를 위한 표본 크기

신뢰도 데모 신뢰도 데모 계획을 위한 계산

다음 계산기 중에서 선택합니다.

- "1 표본 평균 계산기"(475 페이지)
- "2 표본 평균 계산기"(481 페이지)
- "k 표본 평균 계산기"(484 페이지)
- "1 표본 표준편차 계산기"(488 페이지)
- "1 표본 비율 계산기"(491 페이지)
- "2 표본 비율 계산기"(494 페이지)
- "단위별 개수 계산기"(497 페이지)
- "시그마 품질 수준 계산기"(499 페이지)
- "신뢰도 시험 계획 계산기"(501 페이지)
- "신뢰도 데모 계산기"(505 페이지)

1 표본 평균 계산기

단일 평균에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "1 표본 평균" 계산기를 사용합니다. 표본 크기, 검정력, 유의성과 감지할 가설 차이 간의 균형을 연구해야 합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \mu = \mu_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \mu \neq \mu_0$$

여기서 μ 는 실제 평균이고 μ_0 은 귀무가설 평균 또는 참조 값입니다. 감지할 차이는 표본 집합을 기반으로 감지해야 한다고 간주되는 크기 (δ) 로, μ_0 과의 차이입니다. 동일한 유의 수준과 검정력이 주어진 경우 큰 차이를 감지하는 것보다 작은 차이를 감지하기 위해 더 큰 표본 크기가 필요합니다. 관심 모집단은 평균 μ 와 표준편차 σ 의 정규 분포를 따른다고 가정합니다.

그림 17.3 단일 평균에 대한 초기 표본 크기 및 검정력 계산기

1 표본 평균 계산기의 예

다음 예에서는 회사에서 개발 중인 새 직물의 가연성이 현재 소재에 비해 성능이 개선되었음을 입증하려고 합니다. 이전 테스트에 따르면 이 직물의 연소 시간에 대한 표준편차는 2 초입니다.

표본 크기 계산의 예

이 초기 예에서는 유의 수준 $\alpha = 0.05$ 에서 1.5 초 차이를 감지할 수 있는 검정력이 90% 인 실험을 설계하려고 합니다. "1 표본 평균" 계산기를 사용하여 테스트할 직물 표본 수를 계산하십시오.

1. DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.

2. **1 표본 평균** 버튼을 클릭합니다.
3. **알파** 설정값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. **표준편차**에 2 를 입력합니다.
5. **추가 모수** 설정값 0 을 그대로 둡니다.
6. **감지할 차이**에 1.5 를 입력합니다.
7. **표본 크기**는 비워 둡니다.
8. **검정력**에 0.9 를 입력합니다.
9. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.4 1 표본 평균 계산기

유의 수준이 0.05 일 때 연소 시간에서 1.5 초의 유의차를 감지할 확률이 90% 가 되려면 21 개의 식물 표본이 필요합니다.

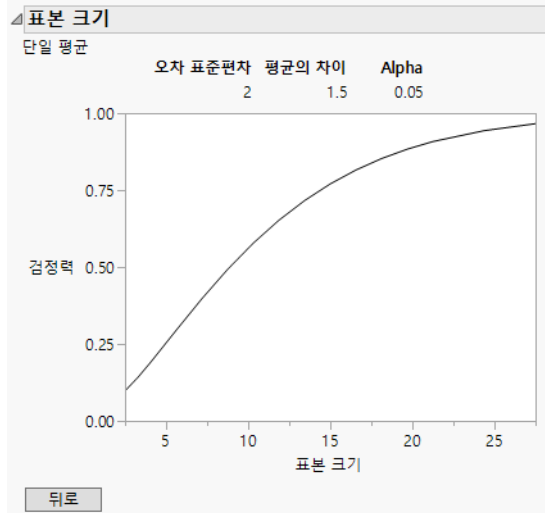
검정력과 표본 크기 비교 그림의 예

식물 실험에서 표본 크기와 검정력 간의 균형을 탐색하려면 검정력과 표본 크기 비교 그림을 사용합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **1 표본 평균**을 클릭합니다.
3. **알파** 설정값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. **표준편차**에 2 를 입력합니다.
5. **추가 모수** 설정값 0 을 그대로 둡니다.
6. **감지할 차이**에 1.5 를 입력합니다.
7. **표본 크기**는 비워 둡니다.

8. **검정력**은 비워 둡니다.
9. **계속**을 클릭하여 표본 크기별 검정력 그림을 시작합니다.

그림 17.5 표본 크기별 검정력



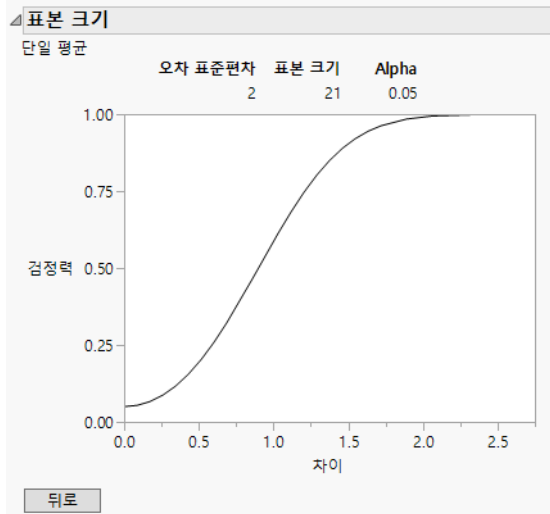
이 그림은 약 0.1 ~ 0.95 사이에서 변화하는 검정력에 대한 표본 크기 범위를 보여 줍니다. 실험의 테스트 횟수를 약 15 회로 줄이고 검정력이 75% 를 초과하도록 유지할 수 있습니다. 그러나 테스트를 10 회만 실행하면 유의차 1.5 를 감지할 수 있는 검정력이 약 50% 로 떨어집니다.

팁 : 그림에서 표본 크기와 검정력 조합을 얻으려면 십자도구 기호를 사용하십시오.

검정력과 차이 비교 그림의 예

직물 실험에서 21 개 관측값으로 감지할 수 있는 차이 크기와 검정력 간의 균형을 탐색하려면 검정력과 차이 비교 그림을 사용합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **1 표본 평균**을 클릭합니다.
3. **알파** 설정값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. **표준편차**에 2 를 입력합니다.
5. **추가 모수** 설정값 0 을 그대로 둡니다.
6. **감지할 차이**는 비워 둡니다.
7. **표본 크기**에 21 을 입력합니다.
8. **검정력**은 비워 둡니다.
9. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.6 표본 크기 21 에 대해 감지할 차이별 검정력 그림

유의 수준이 0.05 이고 관측값 수가 21 일 때 90%의 검정력으로 1.5 초 차이를 감지할 수 있습니다. 차이가 1 초로 작아지면 21 개 식물 표본을 사용하여 차이를 감지할 수 있는 검정력은 약 50%입니다.

애니메이션 스크립트의 예

표본 크기를 변경할 때 검정력에 어떤 영향을 주는지 살펴보려면 애니메이션 스크립트를 사용합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **1 표본 평균**을 클릭합니다.
3. **알파** 설정값 0.05 를 그대로 둡니다.

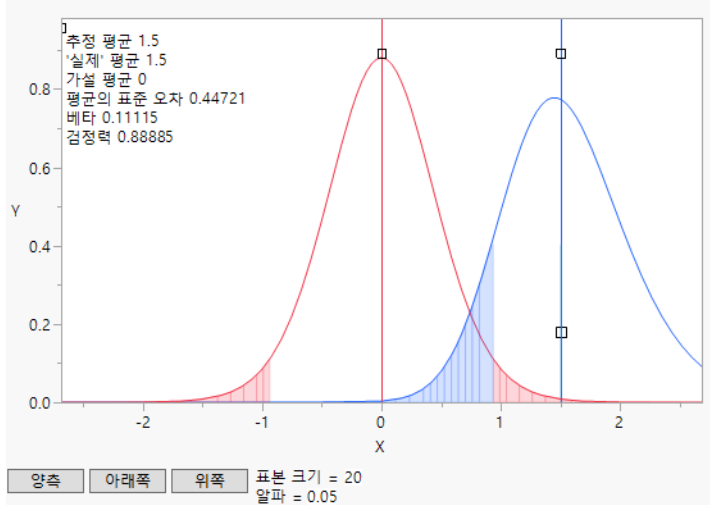
팁 : 애니메이션이 시작된 후 애니메이션 창에서 "알파" 값을 클릭하여 유의 수준을 변경할 수 있습니다.

4. **표준편차**에 2 를 입력합니다.
5. **추가 모수** 설정값 0 을 그대로 둡니다.
6. **감지할 차이**에 1.5 를 입력합니다.
7. **표본 크기**는 비워 둡니다.

팁 : 표본 크기를 비워 두면 기본 표본 크기가 20 으로 설정됩니다. 애니메이션 스크립트가 시작된 후 기본값 20 이 표시됩니다. 애니메이션이 시작되기 전이나 후에 표본 크기를 변경할 수 있습니다. 애니메이션이 시작된 후 변경하려면 애니메이션 창에서 "표본 크기" 값을 클릭하십시오.

8. 검정력은 비워 둡니다.
9. 애니메이션 스크립트를 클릭합니다.

그림 17.7 검정력을 보여 주는 초기 애니메이션 스크립트



초기 애니메이션 그림에는 다음과 같은 두 개의 t 밀도 곡선이 표시됩니다.

- 빨간색 곡선은 실제 평균이 0 일 때 t 분포를 표시합니다.
- 파란색 곡선은 실제 평균이 1.5, 즉 감지할 차이일 때 t 분포를 표시합니다.
- 파란색 음영은 제 2 종 오류가 발생할 확률을 나타냅니다. 제 2 종 오류는 차이가 있는데 차이를 감지하지 못할 확률입니다. 제 2 종 오류의 확률은 흔히 β 로 표시됩니다.
- 빨간색 음영은 제 1 종 오류가 발생할 확률을 나타냅니다. 제 1 종 오류는 평균의 차이가 없는데 차이가 유의하다는 결론을 내릴 확률입니다. 제 1 종 오류의 확률은 흔히 α 로 표시됩니다.

사각형 핸들을 선택하여 드래그하면 곡선 위치를 기준으로 통계량의 변화를 볼 수 있습니다. 표본 크기 및 알파 값을 변경하려면 그림 아래의 해당 값을 클릭합니다.

기본적으로 애니메이션은 양측 검정을 보여 줍니다. **양측**, **아래쪽** 및 **위쪽** 버튼을 사용하여 대립 가설을 같지 않음, 보다 작음 또는 보다 큼으로 전환할 수 있습니다.

1 표본 평균 계산기 필드

다음 통계량을 지정합니다.

알파 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

팁 : 단측 검정의 경우 $\alpha = \alpha * 2$ 를 사용합니다. $\alpha = 0.05$ 인 단측 검정의 경우 $\alpha = 0.10$ 인 양측 계산기를 사용합니다. 결과 값은 $\alpha = 0.05$ 인 단측 검정에 필요한 값입니다.

표준편차 가정된 표준편차입니다. 오차 표준편차의 추정값은 이전 모형 적합에서 구한 RMSE(제곱근 평균 제곱 오차) 일 수 있습니다.

팁 : 표준편차 단위로 측정된 차이를 감지하는 데 필요한 표본 크기를 추정하려면 표준편차 1을 사용하십시오.

추가 모수 가설 검정에서 μ 이외의 모수 수입니다. 이 옵션은 다요인 설계에 사용할 수 있습니다. 간단한 사례의 경우 이 필드의 기본값 0 을 그대로 유지합니다.

효과가 직교인 다요인 설계의 경우 여기에 추가 모형 모수의 수를 지정할 수 있습니다. 예를 들어 3 개의 2 요인 교호작용이 모두 포함된 3 요인 2 수준 설계의 경우 추가 모수의 수는 다른 주효과에 대한 모수 2 개와 교호작용에 대한 모수 3 개를 합해 모두 5 개입니다.

다음 값 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산하거나, 한 값을 지정하여 다른 두 값 사이의 관계 그림을 볼 수 있습니다.

감지할 차이 실제 평균과 가설 평균 또는 참조 평균 사이에 통계적으로 유의하다고 선언할 수 있는 최소 차이입니다.

표본 크기 실험의 총 관측값 (런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다.

검정력 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

계산기 버튼

계속 두 개의 모수가 지정된 경우 결측값을 계산하거나, 모수가 하나만 지정된 경우 두 개의 결측 모수를 비교하는 그림을 시작합니다.

뒤로 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

애니메이션 스크립트 검정력과 감지할 차이의 관계를 설명하고 탐색하기 위한 대화식 그림을 시작합니다. 자세한 내용은 "[애니메이션 스크립트의 예](#)"(478 페이지) 에서 확인하십시오.

1 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보

1 표본 평균 계산은 다음 가설 검정을 위한 기존 전체 F- 검정과 축소 F- 검정의 비교를 기반으로 합니다.

$$H_0: \mu = \mu_0 \text{ 대 } H_a: \mu \neq \mu_0$$

JMP 는 다음과 같이 검정력을 계산합니다 .

$$\Pr(\text{reject } H_0 \mid \mu = \mu_0 + \delta) = 1 - F\left(f_{1-\alpha}, 1, n-p-1, \frac{n\delta^2}{\sigma^2}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다 .

α 는 유의 수준입니다 .

n 은 표본 크기입니다 .

p 는 추가 모수의 수입니다 .

δ 는 감지할 차이입니다 .

$f_{1-\alpha}$ 는 $F(1, n-p-1)$ 분포의 $(1-\alpha)^{\text{th}}$ 분위수입니다 .

$F(x, df_1, df_2, nc)$ 는 자유도가 df_1 및 df_2 이고, x 에서 계산된 비중심성 모수 nc 가 있는 비중심 F 분포의 누적 분포 함수입니다 .

δ 및 n 에 대한 분석 해가 존재하지 않으므로 수치 해를 사용하여 계산합니다 .

JMP 의 계산에 대한 자세한 내용은 [Barker\(2011, Section 2.1\)](#) 에서 확인하십시오 .

2 표본 평균 계산기

두 평균에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "2 표본 평균" 계산기를 사용합니다 . 표본 크기 , 유의 수준 , 원하는 검정력이 주어지고 데이터 변동이 가정된 경우 감지 가능한 처리 효과의 크기와 같은 질문에 대한 답을 구할 수 있습니다 . 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다 .

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

여기서 μ_1 과 μ_2 는 두 모집단의 실제 평균입니다 . 관심 모집단은 정규 분포를 따르고 , 평균 간의 차이 (δ) 를 감지하려고 한다고 가정합니다 .

2 표본 평균 계산기의 예

두 그룹을 비교 중이고 0.05 유의 수준에서 80% 검정력으로 그룹 평균 간의 1 표준편차 차이를 감지하려는 경우를 가정해 보겠습니다 .

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다 .
2. **2 표본 평균**을 클릭합니다 .
3. **알파** 값 0.05 를 그대로 둡니다 .

4. **표준편차**에 1 을 입력합니다 .
5. **추가 모수** 값 0 을 그대로 둡니다 .
6. **감지할 차이**에 1 을 입력합니다 .
7. **표본 크기**는 비워 둡니다 .
8. **검정력**에 0.8 을 입력합니다 .
9. **계속**을 클릭합니다 .

그림 17.8 2 표본 평균 계산기 결과

표본 크기는 34 로 계산됩니다 . 각 그룹에서 17 개의 표본을 사용하면 $\alpha = 0.05$ 유의 수준에서 두 표본 평균 간의 1 표준편차 차이를 감지할 확률이 80% 입니다 .

2 표본 평균 계산기 필드

다음 통계량을 지정합니다 .

알파 제 1 종 오류의 확률 , 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다 . 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다 . 기본 유의 수준은 0.05 입니다 .

표준편차 두 그룹의 표준편차가 동일하다는 전제하에 가정된 표준편차입니다 .

추가 모수 가설 검정에서 μ_1 과 μ_2 이외의 모수 수입니다 . 이 옵션은 다요인 설계에 사용할 수 있습니다 . 간단한 사례의 경우 이 필드의 기본값 0 을 그대로 유지합니다 .

다요인 균형 설계의 경우 여기에 추가 모형 모수의 수를 지정할 수 있습니다 . 예를 들어 3 개의 2 요인 교호작용이 모두 포함된 3 요인 2 수준 설계의 경우 추가 모수의 수는 다른 주효과에 대한 모수 1 개와 교호작용에 대한 모수 3 개를 합해 모두 4 개입니다 .

다음 모수 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산하거나 , 한 값을 지정하여 다른 두 모수 사이의 관계 그림을 볼 수 있습니다 .

감지할 차이 두 평균 사이에 통계적으로 유의하다고 선언할 수 있는 최소 차이입니다 .

표본 크기 실험의 총 관측값 (런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다. 각 그룹에서 이 표본 크기의 1/2 씩 사용합니다.

검정력 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

계산기 버튼

계속 두 개의 모수가 지정된 경우 결측값을 계산하거나, 모수가 하나만 지정된 경우 두 개의 결측 모수를 비교하는 그림을 시작합니다.

뒤로 이전 " 표본 크기 및 검정력 " 시작 창으로 돌아갑니다.

2 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보

2 표본 평균 계산은 다음 가설 검정을 위한 기존 전체 F- 검정과 축소 F- 검정의 비교를 기반으로 합니다.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ 대 } H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

JMP 는 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = \Pr(\text{reject } H_0 | (\mu_1 - \mu_2 = \delta)) = 1 - F\left(f_{1-\alpha}, 1, 2n - p - 2, \frac{n\delta^2}{2\sigma^2}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

α 는 유의 수준입니다.

n 은 그룹당 표본 크기입니다.

p 는 추가 모수의 수입니다.

δ 는 감지할 차이입니다.

$f_{1-\alpha}$ 는 $F(1, 2n - p - 2)$ 분포의 $(1 - \alpha)^{\text{th}}$ 분위수입니다.

$F(x, df_1, df_2, nc)$ 는 자유도가 df_1 및 df_2 이고, x 에서 계산된 비중심성 모수 nc 가 있는 비중심 F 분포의 누적 분포 함수입니다.

δ 및 n 에 대한 분석 해가 존재하지 않으므로 수치 해를 사용하여 계산합니다.

JMP 의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 2.2) 에서 확인하십시오.

k 표본 평균 계산기

약 2~10 개 평균에 대한 가설 검정에 적합한 표본 크기를 결정하려면 k 표본 평균 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \text{모든 평균이 동일하지는 않음}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$X_{ij} \sim N(\mu_j, \sigma^2) \text{ for } i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, k$$

k 표본 평균 계산기의 예

4 개의 각 그룹에 관측값이 4 개씩 있고 모든 그룹 평균이 동일한지 여부를 테스트하려는 경우를 가정해 보겠습니다. 표준편차가 0.9 일 때 그룹 평균은 10, 11, 12, 13 일 것으로 예상합니다. 0.05 유의 수준에서 하나 이상의 평균에 대한 차이를 감지할 검정력을 계산합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **k 표본 평균**을 클릭합니다.
3. **알파** 값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. **표준편차**에 0.9 를 입력합니다.
5. **추가 모수** 값 0 을 그대로 둡니다.
6. 예상 평균의 4 개 수준에 10, 11, 12, 13 을 입력합니다.
7. **표본 크기**에 16 을 입력합니다.
8. **검정력**은 비워 둡니다.
9. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.9 4 개 평균에 대한 예상 검정력

표본 크기

K 평균

K 평균 간에 차이가 있는지 검정합니다.

Alpha0.05

표준편차0.9

추가 모수0

그룹 간 구분을 보여 주는 최대 10개의 전향적 평균을 입력하십시오.

10

11

12

13

.

.

.

.

.

.

다른 값을 구하려면 검정력 또는 표본 크기를 입력하십시오.

검정력 대 표본 크기 그룹을 구하려면 아무 것도 입력하지 마십시오.

표본 크기16

검정력0.9545798279

표본 크기는 총 표본 크기입니다. 그룹당은 n/k입니다.

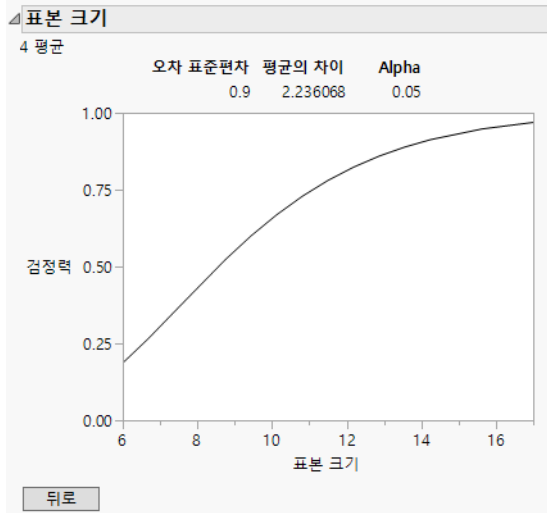
계속

뒤로

검정력은 약 0.95 로 계산됩니다 . 즉 , 모평균이 10, 11, 12, 13 이고 표준편차는 0.9, 총 표본 크기는 16 으로 가정할 때 0.05 유의 수준에서 하나 이상의 평균이 다르다는 것을 감지할 확률이 95% 입니다 .

10. " 표본 크기 " 16 을 클릭하고 삭제합니다 .
11. " 검정력 " 0.95 를 클릭하고 삭제합니다 .
12. **계속** 을 클릭하여 검정력과 표본 크기 비교 그림을 시작합니다 .

그림 17.10 K 평균에 대한 예상 검정력 및 표본 크기별 검정력 그림



검정력과 표본 크기 비교 그림에서 표본 크기 16 이 허용 가능한지 확인할 수 있습니다. "표본 크기" 축에 커서를 놓고 드래그하여 축을 16 이상으로 확장합니다. 표본 크기가 16 을 초과할 경우 검정력이 약간 증가하는 것을 확인할 수 있습니다.

또한 평균의 차이도 그림에 보고되며 이 값은 총 평균으로부터의 편차에 대한 제곱합의 제곱근으로 계산됩니다. 이 경우에는 $(-1.5)^2 + (-0.5)^2 + (0.5)^2 + (1.5)^2$ 의 제곱근, 즉 5 의 제곱근입니다. 따라서 이 예에서 평균의 차이는 약 2.236 입니다.

k 표본 평균 계산기 필드

다음 통계량을 지정합니다.

알파 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

표준편차 모든 그룹의 표준편차가 동일하다는 전제하에 가정된 표준편차입니다.

추가 모수 가설 검정에서 μ 이외의 모수 수입니다. 이 옵션은 다요인 설계에 사용할 수 있습니다. 간단한 사례의 경우 이 필드의 기본값 0 을 그대로 유지합니다.

예상 평균 평균에 대해 가정된 값입니다. 두 개 이상의 평균을 지정해야 합니다.

다음 값 중 하나를 지정하여 두 번째 값을 계산하거나, 두 값을 모두 비워 두어 두 값 사이의 관계 그림을 볼 수 있습니다.

표본 크기 실험의 총 관측값 (런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다. 각 그룹에서 n/k 표본 크기를 사용합니다. 여기서 n 은 총 관측값 수입니다.

검정력 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

계산기 버튼

계속 하나의 모수가 지정된 경우 결측값을 계산하거나, 모수가 지정되지 않은 경우 두 모수를 비교하는 그림을 시작합니다.

뒤로 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

k 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보

k 표본 평균 계산은 다음을 기반으로 합니다.

$$\text{검정력} = 1 - F\left(f_{1-\alpha}, 1k-1, 2kn-p-2k, \frac{n \sum_{j=1}^k (\mu_j - \bar{\mu})^2}{\sigma^2}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

α 는 유의 수준입니다.

σ 는 k 그룹 사이에서 공통 표준편차입니다.

n 은 그룹당 표본 크기입니다.

p 는 추가 모수의 수입니다.

$\bar{\mu}$ 는 k 그룹 예상 평균의 평균입니다.

$f_{1-\alpha}$ 는 $F(k-1, kn-p-k)$ 분포의 $(1-\alpha)^{\text{th}}$ 분위수입니다.

$F(x, df_1, df_2, nc)$ 는 자유도가 df_1 및 df_2 이고, x 에서 계산된 비중심성 모수 nc 가 있는 비중심 F 분포의 누적 분포 함수입니다.

수치 해를 사용하여 n 을 계산합니다.

평균의 차이

평균의 차이는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\sqrt{\frac{k}{\sum_{j=1}^k (\mu_j - \bar{\mu})^2}}$$

JMP 의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 2.3) 에서 확인하십시오.

1 표본 표준편차 계산기

단일 표준편차에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "1 표본 표준편차" 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \sigma = \sigma_0$$

다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: \sigma > \sigma_0 \text{ 또는 } H_a: \sigma < \sigma_0$$

여기서 σ 는 모표준편차이고 σ_0 는 가설 값입니다. 감지할 차이는 표본 집합을 기반으로 감지해야 한다고 간주되는 크기 (δ) 로, σ_0 과의 차이입니다.

1 표본 표준편차 계산기의 예

참고 : 이 예는 NIST(미국 국립표준기술연구소) 의 온라인 설명서에서 발췌했습니다 . <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section2/prc232.htm> 에서 NIST 설명서 예제에 액세스할 수 있습니다 .

실리콘 웨이퍼 로트의 저항력 측정에 대한 분산은 100 ohm-cm² 여야 합니다 . 구매자는 분산이 155 ohm-cm² 보다 크면 로트를 수락하지 않으려고 합니다 . 목표값 100 ohm-cm² 에서 55 ohm-cm² 증가를 감지하기 위해 로트 분산을 정확하게 추정하려면 몇 개의 웨이퍼를 테스트해야 합니까 ? 표준편차 측면에서 가설 표준편차 σ_0 은 10(100 의 제곱근) 이고 σ 는 12.4499(100 + 55 = 155 의 제곱근) 입니다 . 감지할 차이는 12.4499 - 10 = 2.4499 입니다 . 원하는 검정력은 0.99 이고 유의 수준은 0.05 입니다 .

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다 .
2. **1 표본 표준편차**를 클릭합니다 .
3. **알파** 값 0.05 를 그대로 둡니다 .
4. **가설 표준편차**에 10 을 입력합니다 .
5. **대립가설 표준편차**에서 " 크게 " 를 선택합니다 .
6. **감지할 차이**에 2.4499 를 입력합니다 .
7. **표본 크기**는 비워 둡니다 .
8. **검정력**에 0.99 를 입력합니다 .
9. **계속**을 클릭합니다 .

그림 17.11 1 표본 표준편차 계산기

표본 크기

1 표본 표준편차

표준편차의 차이를 감지하기 위한 표본 크기

Alpha 0.05

가설 표준편차 10

대체 표준편차 크게

세 번째 값을 결정하려면 두 개의 값을 제공하십시오.

감지할 차이 2.4499

표본 크기 171

검정력 0.99

계속

뒤로

유의 수준이 0.05 일 때 표준편차 10 에서 2.4499 증가를 감지할 확률이 99% 가 되려면 171 개의 웨이퍼를 테스트해야 합니다.

1 표본 표준편차 계산기 필드

다음을 지정합니다.

알파 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

가설 표준편차 표본 표준편차를 비교할 가설 또는 기준 표준편차입니다.

대립가설 표준편차 감지할 변화의 방향이며 "크게" 또는 "작게"를 선택합니다.

참고: "대립가설 표준편차" 메뉴에서 "작게"를 선택한 경우 "감지할 차이"에 음수를 입력하십시오.

다음 값 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다.

감지할 차이 감지 가능한 최소 차이입니다 (통계적으로 유의하다고 선언할 수 있는 최소 차이). 이 값은 가설 값과 실제 값의 차이입니다.

표본 크기 실험의 총 관측값 (런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다.

검정력 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

계산기 버튼

계속 결측값을 계산합니다.

뒤로 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

1 표본 표준편차 계산기에 대한 통계 상세 정보

JMP 에서 검정력을 계산하는 데 사용하는 계산식은 " 대립가설 표준편차 " 옵션의 설정에 따라 달라집니다.

대립가설 표준편차가 " 크게 " 로 설정된 경우 JMP 는 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = 1 - F\left(\frac{\sigma_0^2 \cdot \chi_{1-\alpha}}{(\sigma_0 + \delta)^2}, n-1\right)$$

$$\delta = \sigma_0 \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}}{\chi_\beta}} - \sigma_0$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

σ_0 은 가설 표준편차입니다.

σ 는 실제 표준편차입니다.

X_p 는 X_{n-1}^2 분포의 $(1-p)^{\text{th}}$ 분위수입니다.

$F(x, n-1)$ 는 x 에서 계산된 X_{n-1}^2 분포의 누적 분포 함수입니다.

대립가설 표준편차가 " 작게 " 로 설정된 경우 JMP 는 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = 1 - F\left(\frac{\sigma_0^2 \cdot \chi_\alpha}{(\sigma_0 + \delta)^2}, n-1\right)$$

$$\delta = \sigma_0 \sqrt{\frac{\chi_\alpha}{\chi_{1-\beta}}} - \sigma_0$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

σ_0 은 가설 표준편차입니다.

σ 는 실제 표준편차입니다.

X_p 는 X_{n-1}^2 분포의 $(1-p)^{\text{th}}$ 분위수입니다.

$F(x, n-1)$ 는 x 에서 계산된 X_{n-1}^2 분포의 누적 분포 함수입니다.

수치 해를 사용하여 n 을 계산합니다.

JMP 의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 2.4) 에서 확인하십시오.

1 표본 비율 계산기

단일 비율에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "1 표본 비율" 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: p = p_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: p \neq p_0$$

또는 다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: p < p_0 \text{ 또는 } H_a: p > p_0$$

여기서 p 는 모비율이고 p_0 은 귀무가설 비율입니다.

단일 비율 계산기는 실제 검정 크기도 제공합니다. 이 값은 지정된 가정에 대한 실제 제 1 종 오류 비율입니다. 이항 분포는 이산형이므로 표본이 작거나 비율이 0 또는 1 에 가까운 경우 실제 검정 크기는 명시된 유의 수준과 크게 다를 수 있습니다. 유의 수준이 명시된 수준 이상이 되게 하려면 "정확 Clopper-Pearson" 방법을 사용하십시오.

1 표본 비율 계산기의 예

조립 라인의 과거 결함 비율이 0.1 과 같다고 가정해 보겠습니다. 표본 크기가 100 이고 유의 수준이 0.05 인 경우 과거 비율과 0.1 이상 차이가 나는 결함 비율을 감지할 수 있는 검정력을 계산하려고 합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **1 표본 비율**을 클릭합니다.
3. **알파** 값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. **비율** 값 0.1 을 그대로 둡니다.
5. **방법** 값 "정확 Agresti-Coull" 을 그대로 둡니다.
6. 검정 유형 값 **양측**을 그대로 둡니다.
7. **귀무가설 비율** 값 0.2 를 그대로 둡니다.
8. **표본 크기**에 100 을 입력합니다.
9. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.12 1 표본 비율 계산기

표본 크기가 100 인 경우 검정력은 약 70% 입니다. 실제 검정 크기는 원하는 값 0.05 보다 약간 작은 0.0467 정도입니다. 표본 크기가 100 인 경우 결함 비율이 0.2 이면 귀무가설을 기각하는 제 1 종 오류의 확률은 5% 입니다. 또는 귀무가설을 기각하지 않는 제 2 종 오류의 확률은 30%(1 - 검정력) 입니다.

1 표본 비율 계산기 필드

다음 통계량 및 검정 설정을 지정합니다.

알파 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

비율 알려져 있거나 가설에 지정된 실제 비율입니다. 기본값은 0.1 입니다.

팁: 다른 모든 모수가 고정된 경우 비율이 0.5 일 때 표본 크기가 가장 큼니다.

방법 방법을 선택합니다. "정확 Agresti-Coull" 또는 "정확 Clopper-Pearson" 을 선택할 수 있습니다. Clopper-Pearson 방법은 Agresti-Coull 방법보다 더 보수적인 경향이 있습니다 (표본 크기가 더 큼).

단측 또는 양측 단측 또는 양측 검정 중 하나를 선택합니다.

다음 모수 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산하거나, 한 값을 지정하여 다른 두 모수 사이의 관계 그림을 볼 수 있습니다.

참고: 이 그림은 정확 방법 대신 정규 근사 방법을 사용합니다.

귀무가설 비율 (p_0) 에 대한 검정 비율입니다. 기본값은 0.2 입니다.

표본 크기 실험의 총 관측값 (런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다.

검정력 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

계산기 버튼

계속 두 개의 모수가 지정된 경우 결측값을 계산하거나, 모수가 하나만 지정된 경우 두 개의 결측 모수를 비교하는 그림을 시작합니다.

뒤로 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

단일 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보

단일 비율 표본 크기 계산은 이항 분포를 기반으로 한 정확 방법을 사용합니다. 정확 계산을 사용하면 명시된 검정력 수준을 얻을 수 있습니다.

Agresti-Coull 방법

정확 Agresti-Coull 방법은 수정 Wald 기반 검정 통계량을 사용합니다. JMP는 양측 귀무가설 하에서 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = \sum_{y=0}^n \Pr\{Y=y|Y \sim \text{binomial}(n, p)\} I\{T(y) \geq \chi_{1-\alpha}\}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$T(y) = \frac{(\hat{p} - p_0)^2}{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n+4}}$$

$$\hat{p} = \frac{y+2}{n+4}$$

$I\{T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha}\} = 1$ 단, $(T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha})$ 그렇지 않은 경우 0

$\chi_{1-\alpha}$ 는 χ^2 분포의 $(1-\alpha)^{\text{th}}$ 분위수입니다.

n 또는 p_0 에 대해 닫힌 형식의 표현식이 없으므로 수치적 기법을 사용하여 n 또는 p_0 을 계산합니다.

수정 Wald 검정 통계량에 대한 자세한 내용은 Agresti and Coull(1998)에서 확인하십시오. JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 3.3)에서 확인하십시오.

Clopper-Pearson 방법

정확 Clopper-Pearson 방법은 이항 분포를 기반으로 합니다. 이 방법을 사용하면 유의 수준이 명시된 수준 이상이 됩니다. Clopper-Pearson 방법은 Agresti-Coull 방법보다 더 보수적입니다(표본 크기가 더 큼).

정확 Clopper-Pearson 방법은 이항 분포를 직접 사용합니다. 수치적 기법을 사용하여 미지의 모수를 계산합니다.

정확 Clopper-Pearson 방법에 대한 자세한 내용은 Clopper and Pearson(1934) 또는 Agresti and Coull(1998, Section 1) 에서 확인하십시오.

2 표본 비율 계산기

두 비율에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "2 표본 비율" 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: p_1 - p_2 = D_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: p_1 - p_2 \neq D_0$$

또는 다음 단측 대립가설 중 하나와 비교

$$H_a: (p_1 - p_2) < D_0 \text{ 또는 } H_a: (p_1 - p_2) > D_0$$

여기서 p_1 과 p_2 는 두 모집단의 모비율이고, D_0 은 가설 비율 차이입니다.

두 비율 계산기는 실제 검정 크기도 제공합니다. 이 값은 지정된 가정에 대한 실제 제 1 종 오류 비율입니다. 이항 분포는 이산형이므로 표본이 작거나 비율이 0 또는 1 에 가까운 경우 실제 검정 크기는 명시된 유의 수준과 크게 다를 수 있습니다.

2 표본 비율 계산기의 예

두 개의 실리콘 웨이퍼 조립 라인에 대한 책임자라고 가정해 보겠습니다. 많은 런을 통해 얻은 지식을 바탕으로 조립 라인 중 하나의 결함 비율은 8% 이고 다른 라인의 결함 비율은 6% 입니다. 80% 의 검정력으로 결함 비율에 차이가 있다는 결론을 내리기 위해 필요한 표본 크기를 알아보려고 합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **2 표본 비율**을 클릭합니다.
3. **알파** 설정값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. **비율 1** 에 0.08 을 입력합니다.
5. **비율 2** 에 0.06 을 입력합니다.
6. **양측** 검정을 선택합니다.
7. **귀무가설의 비율 차이**에 0 을 입력합니다.
8. **표본 크기 1** 과 **표본 크기 2** 는 비워 둡니다.

9. **검정력**에 0.8 을 입력합니다 .

10. **계속**을 클릭합니다 .

그림 17.13 양측 검정에 대한 두 비율의 차이

표본 크기

두 비율

두 비율이 서로 다른지 검정합니다.

Alpha 0.05 $H_0: P1 - P2 = \Delta_0$

비율 1 0.08

비율 2 0.06

☒ 양측
☐ 단측

세 번째 값을 결정하려면 (자이, 표본 크기, 검정력) 중 두 개를 제공하십시오.
표본 크기를 입력할 때 두 그룹 모두의 값을 입력하십시오.

비율의 Null 차이	0
표본 크기 1	2554
표본 크기 2	2554
검정력	0.8

실제 검정 크기 = 0.0495189
고정 P1 을 보유하고 P2 = P1 - Δo 를 사용하여 계산된 크기

이 계산기는 결함 비율의 차이를 감지하려면 각 생산 라인에서 2,554 개의 웨이퍼 표본을 테스트해야 한다는 것을 보여 줍니다 .

2 표본 비율 계산기 필드

다음 통계량 및 검정 설정을 지정합니다 .

알파 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다 . 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다 . 기본 유의 수준은 0.05 입니다 .

비율 1 알려져 있거나 가설에 지정된 모집단 1 의 비율입니다 . 기본값은 0.5 입니다 .

비율 2 알려져 있거나 가설에 지정된 모집단 2 의 비율입니다 . 기본값은 0.1 입니다 .

단측 또는 양측 단측 또는 양측 검정 중 하나를 선택합니다 .

표본 크기가 하나의 모수로 간주되는 경우 다음 모수 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다 . 표본 크기를 계산하려면 둘 다 입력하거나 둘 다 비워 두어야 합니다 .

귀무가설의 비율 차이 귀무가설 하의 비율 차이입니다 . 기본값은 0.2 입니다 .

표본 크기 1 비율 1 을 추정하기 위한 실험의 총 관측값 (런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다 .

표본 크기 2 비율 2 를 추정하기 위한 실험의 총 관측값 (런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다 .

참고 : 표본 크기가 계산되는 경우 표본 크기 1 과 표본 크기 2 의 값이 같습니다 . 표본 크기를 직접 입력하는 경우에는 두 값이 같을 필요가 없습니다 .

검정력 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 검정력이 높아야 좋습니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

계산기 버튼

계속 결측값을 계산합니다.

뒤로 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

두 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보

두 비율 계산기는 단일 비율 계산기에 사용된 것과 유사한 정확 방법을 기반으로 합니다. 양측 가설이 다음과 같은 경우

$$H_0: p_1 - p_2 = D_0 \text{ 대 } H_a: p_1 - p_2 \neq D_0$$

JMP 는 귀무가설 하에서 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = \sum_{y_1=0}^{n_1} \sum_{y_2=0}^{n_2} \Pr(Y_1 = y_1) \Pr(Y_2 = y_2) I\{T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha}\}$$

수정 Wald 통계량은 다음과 같이 정의됩니다.

$$T(y_1, y_2) = \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - \delta_0)^2}{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1+2} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2+2}} \text{ where } \hat{p}_j = \frac{y_j+1}{n_j+2} \text{ 의 경우 } j = 1, 2$$

및

$$I\{T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha}\} = 1 \text{ 단, } (T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha}) \text{ 그렇지 않은 경우 } 0$$

$\chi_{1-\alpha}$ 는 χ^2 분포의 $(1-\alpha)^{\text{th}}$ 분위수입니다.

n_i 또는 δ_0 에 대해 닫힌 형식의 표현식이 없으므로 수치적 기법을 사용하여 n_i 및 δ_0 을 계산합니다.

수정 Wald 검정 통계량에 대한 자세한 내용은 Agresti and Coull(1998) 에서 확인하십시오. JMP 의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 3.3) 에서 확인하십시오.

단위별 개수 계산기

단위별 결함 수에 대한 단측 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "단위별 개수" 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \lambda \leq \lambda_0$$

다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: \lambda > \lambda_0$$

여기서 λ 는 Poisson 분포의 비율입니다.

단위별 개수 계산기의 예

웨이퍼당 결함 수가 4 개 (목표값) 이하인 웨이퍼 제조 공정을 가정해 보겠습니다. 새 공정이 목표값을 충족하는지 확인하려고 합니다. 0.05 유의 수준에서 90% 의 검정력으로 목표값에 대해 웨이퍼당 결함 수 차이 1 을 감지하려면 몇 개의 웨이퍼를 테스트해야 합니까?

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **단위별 개수**를 클릭합니다.
 1. **알파** 값 0.05 를 그대로 둡니다. 이 값은 새 공정이 목표와 같을 때 검정에 실패할 확률입니다.
 2. **기준 단위별 개수**에 4 를 입력합니다. 이 값은 웨이퍼당 목표 결함 수가 4 개임을 나타냅니다.
 3. **감지할 차이**에 1 을 입력합니다.
 4. "검정력"에 0.9 를 입력합니다.

이 값은 1 보다 큰 변화, 즉 웨이퍼당 결함 수가 5 이상임을 감지할 확률입니다. 이러한 경우 유의 수준 (알파) 을 생산자 위험이라고 하고 검정력 (베타) 을 소비자 위험이라고 합니다.
5. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.14 단위별 개수 계산기

표본 크기

단위별 개수

단위별 개수 변화를 감지합니다(예: DPU(Defects per Unit)).

Alpha

기준 단위별 개수

세 번째 값을 결정하려면 두 개의 값을 제공하십시오.

감지할 차이

표본 크기

검정력

정규 근사를 사용합니다.

계속

뒤로

38 개 웨이퍼를 테스트해야 합니다. 결함이 173 개 미만일 경우 공정이 목표값을 충족합니다.

참고 : 173 개의 결함은 귀무가설을 기각하지 않고 38 개 웨이퍼에서 발생할 수 있는 최대 결함 수입니다.

단위별 개수 계산기 필드

다음 통계량을 지정합니다.

알파 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

기준 단위별 개수 단위별 목표 결함 수입니다. 기본값은 0.1 입니다.

다음 통계량 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다.

감지할 차이 지정된 단위별 결함 수에 대해 검정할 최소 감지 가능 차이입니다.

표본 크기 단위 수입니다.

검정력 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

계산기 버튼

계속 결측값을 계산합니다.

뒤로 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

단위별 개수 계산기에 대한 통계 상세 정보

단위별 개수 계산기의 계산은 Poisson 분포에 정규 근사 적용을 기반으로 합니다. 이 검정에는 다음 가설이 사용됩니다.

$$H_0: \lambda \leq \lambda_0 \text{ 대 } H_a: (\lambda > \lambda_0)$$

위의 가설에는 다음 검정 통계량이 사용됩니다.

$$T = \frac{\bar{d} - \lambda_0}{\sqrt{\lambda_0/n}}$$

여기서 n 은 표본 크기이고 $\bar{d}$ 는 표본의 단위별 평균 결함 수입니다. T 는 대략적으로 정규 분포 되었다고 가정합니다. 검정력 계산은 귀무가설과 대립가설 하에서 T 분포를 기반으로 합니다.

$$\begin{aligned}\text{검정력} &= \Pr(\text{reject } H_0 \mid \lambda = \lambda_0 + \delta) \\ &= \Pr[T > Z_{1-\alpha} \mid (\lambda = \lambda_0 + \delta)] = 1 - \Phi\left(\frac{Z_{1-\alpha} - \delta\sqrt{n/\lambda_0}}{\sqrt{(\lambda_0 - \delta)/\lambda_0}}\right)\end{aligned}$$

여기서 $\Phi()$ 는 표준 정규 누적 분포 함수이고 Z_{1-p} 는 표준 정규 분포의 $(1 - p)^{\text{th}}$ 분위수입니다.

$1 - \beta$ 를 사용하여 귀무가설 기각을 위한 원하는 검정력을 나타내면 표본 크기가 다음과 같이 계산됩니다.

$$n = \frac{\lambda_0}{\delta^2} \left(Z_{1-\alpha} - Z_\beta \sqrt{\frac{\lambda_0 + \delta}{\lambda_0}} \right)^2$$

δ 에 대한 분석 해가 존재하지 않으므로 검정력과 n 이 주어지면 수치적 방법을 사용하여 δ 값을 계산합니다.

JMP 의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 2.5) 에서 확인하십시오.

시그마 품질 수준 계산기

결함 수, 결함 기회 수 및 시그마 품질 수준 간의 관계를 탐색하려면 "시그마 품질 수준" 계산기를 사용합니다. 시그마 품질 수준은 주어진 결함 비율을 6 시그마 척도와 관련짓는 통계량입니다. 예를 들어 백만 개의 기회별 3.4 결함 비율은 6 시그마 공정이 됩니다.

시그마 품질 수준 계산기의 예

플랜트에서 1,000,000 개의 기회 중 50 개 결함에 대한 시그마 품질 수준을 추정하려고 합니다. 기회는 결함 수에 대한 단위입니다. 단일 항목일 수도 있고, 각 잠재적 결함이 기회인 단일 항목에 여러 결함이 있을 수도 있습니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **시그마 품질 수준**을 클릭합니다.
3. **결함 수**에 50 을 입력합니다.
4. **기회 수**에 1000000 을 입력합니다.
5. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.15 시그마 품질 수준 계산기

표본 크기

시그마 품질 수준

정규 분위수(1-결함/기회)+1.5

세 번째 값을 결정하려면 두 개의 값을 제공하십시오.

결함 수	50
기회 수	1000000
시그마 품질 수준	5.3905918864

계속

뒤로

시그마 품질 수준은 약 5.4 입니다.

결함 수 계산의 예

백만 개의 기회 중 발생할 수 있는 최대 결함 수를 계산하고 6 시그마 품질 수준 공정을 계속 사용하려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **시그마 품질 수준** 버튼을 클릭합니다.
3. **결함 수**는 비워 둡니다.
4. **기회 수**에 1000000 을 입력합니다.
5. **시그마 품질 수준**에 6 을 입력합니다.
6. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.16 1,000,000 개 기회에 대한 6 시그마 품질 수준

표본 크기

시그마 품질 수준

정규 분위수(1-결함/기회)+1.5

세 번째 값을 결정하려면 두 개의 값을 제공하십시오.

결함 수	3.3976731247
기회 수	1000000
시그마 품질 수준	6

계속

뒤로

계산 결과, 6 시그마 품질 수준 공정을 달성하려면 1,000,000 개 기회 중 **결함 수**가 3 을 초과할 수 없음을 알 수 있습니다.

시그마 품질 수준 계산기 필드

다음 통계량 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다.

결함 수 결함 수입니다.

기회 수 결함에 대한 기회 수입니다.

시그마 품질 수준 표준편차 단위의 결함 비율입니다.

계산기 버튼

계속 결측값을 계산합니다.

뒤로 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

시그마 품질 계산기에 대한 통계 상세 정보

시그마 품질 계산기의 계산은 n 개 기회 중 d 개 결함에 대한 시그마 품질 수준 σ_q 의 정의를 기반으로 합니다.

$$\sigma_q = Z_{1-\frac{d}{n}} + 1.5$$

이 정의에서 d 와 n 은 다음과 같이 계산할 수 있습니다.

$$d = n[1 - \Phi(\sigma_q - 1.5)]$$

$$n = d[1 - \Phi(\sigma_q - 1.5)]^{-1}$$

여기서 $\Phi()$ 는 표준 정규 누적 분포 함수이고 $Z_{1-d/n}$ 는 표준 정규 분포의 $(1 - d/n)^{\text{th}}$ 분위수입니다.

신뢰도 시험 계획 계산기

신뢰성 연구에 필요한 표본 크기, 연구 기간 또는 정밀도를 결정하려면 "신뢰도 시험 계획" 계산기를 사용합니다. 신뢰도 연구는 제품의 고장 시간 및 고장 확률을 추정하는 데 사용됩니다. 시험 계획 계산기는 기대 신뢰 구간을 사용하여 추정값의 정밀도를 정의합니다. 이러한 추정값은 적합 고장 분포를 기반으로 합니다. 고장 분포를 적합시키려면 최소한의 고장 수가 관측되어야 합니다.

신뢰도 시험 계획 계산기의 예

회사에서 신제품을 개발한 후 양측 절대 정밀 200 시간과 95% 신뢰 구간을 사용하여 단위의 20%가 고장 날 때까지의 시간을 추정하기 위해 시험할 단위 수를 추정하려고 합니다. 즉, 추정 시간에 대한 신뢰 구간이 생성될 때 상한과 하한의 차이가 약 200 시간이어야 합니다. 회사는 2,500 시

간 동안 시험을 실행할 수 있습니다. 또한 유사 제품에 대한 연구를 통해 대략적인 고장 분포를 위치 모수 $\alpha = 2000$, 척도 모수 $\beta = 3$ 인 Weibull 분포로 가정합니다.

필요한 표본 크기를 계산하려면

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **신뢰도 시험 계획**을 클릭합니다.
3. "알파" 설정값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. "분포" 목록에서 **Weibull** 을 선택합니다.
5. **Weibull** α 모수에 2000 을 입력합니다.
6. **Weibull** β 모수에 3 을 입력합니다.
7. "정밀 측정" 목록에서 **양측 구간 절대 너비**를 선택합니다.
8. **지정된 고장 확률 p**와 **연결된 시간 추정**을 선택하고 **p**에 0.2 를 입력합니다.

참고 : 연구 목적에 따라 누적 분포 함수 그림에 라벨이 지정됩니다. 여기서 시간 = 1213 은 20% 의 단위 고장에 대한 시간 추정값입니다.

9. **표본 크기**는 비워 둡니다.
10. **중도절단 시간**에 2500 을 입력합니다.
11. **정밀**에 200 을 입력합니다.
12. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.17 신뢰도 시험 계획 계산기

표본 크기

신뢰도 시험 계획

신뢰도 연구 설계를 위한 계산

Alpha

분포

Weibull α

Weibull β

정밀 측정

● 지정된 고장 확률 p와 연결된 시간 추정 =

○ 시간 t에서의 고장 확률 추정 =

시간 = 1213.086

1.00

0.75

0.50

0.25

0.00

확률

0

500

1000

1500

2000

2500

3000

시간

세 번째 값을 결정하려면 두 개의 값을 제공하십시오.

표본 크기

중도절단 시간

정밀

기대 고장 수

고장이 3개보다 적을 확률

대표본 근사 공분산 행렬

계속

뒤로

200 시간의 정밀도로 단위의 20%가 고장 날 때까지 걸린 시간을 추정하려면 2,500 시간 동안 217개 단위를 시험해야 합니다. 이 시험의 기대 고장 수는 약 186개로, 고장 분포 추정에 필요한 최소값 3개보다 훨씬 큼니다.

신뢰도 시험 계획 계산기 필드

다음 통계량 및 검정 설정을 지정합니다.

알파 정밀 측정을 정의하는 데 사용되는 신뢰 구간의 유의 수준입니다.

분포 가정된 고장 분포입니다. 사용 가능한 분포는 Weibull, 로그 정규, Frechet, 로그로지스틱, SEV, 정규, LEV 및 로지스틱입니다. 각 분포에 대한 자세한 내용은 Reliability and Survival Methods의 "Life Distribution" 장에서 확인하십시오.

위치 고장 분포의 위치 모수입니다.

참고 : " 분포 " 가 "Weibull" 로 설정되면 " 위치 " 필드가 "Weibull α " 로 표시됩니다.

척도 고장 분포의 척도 모수입니다.

참고 : " 분포 " 가 "Weibull" 로 설정되면 " 척도 " 필드가 "Weibull β " 로 표시됩니다.

정밀 측정 정밀 측정의 정의입니다. 정의는 추정되는 수량 (고장 시간 또는 확률) 의 기대 신뢰 구간을 기반으로 합니다. 정밀 측정에 선택할 수 있는 옵션은 다음과 같습니다.

구간 비율 정밀 값을 하한에 대한 상한 비율의 제공근으로 정의합니다. 상한이 하한보다 크거나 같으므로 이 비율은 항상 1 보다 큼니다. 추정값의 정밀도가 증가하면 구간 비율이 감소합니다.

양측 구간 절대 너비 정밀 값을 신뢰 구간의 너비 또는 상한과 하한의 차이로 정의합니다.

하위 단측 구간 절대 너비 정밀 값을 하위 구간의 너비 또는 추정값 신뢰 구간의 하한과 추정값의 차이로 정의합니다.

양측 구간 상대 너비 정밀 값을 추정값에 상대적인 신뢰 구간 너비로 정의합니다. 이 값은 상한과 하한 간의 차이를 추정값으로 나눈 것입니다.

하위 단측 구간 상대 너비 정밀 값을 추정값에 상대적인 하위 구간 너비로 정의합니다. 이 값은 추정값과 하한 간의 차이를 추정값으로 나눈 것입니다.

목적 연구 목적입니다. 다음 목적 중 하나를 선택하고 해당 값을 입력합니다.

- 지정된 고장 확률 p 와 연결된 시간 추정
- 시간 t 에서의 고장 확률 추정

참고 : 그림은 고장 분포의 누적 분포 함수입니다. 연구 목적에 따라 시간 또는 확률 추정값 라벨이 그림에 지정됩니다.

다음 통계량 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다.

표본 크기 신뢰도 시험에 포함할 단위 수입니다.

중도절단 시간 신뢰도 시험을 실행하는 데 사용 가능한 시간입니다.

정밀 정밀 수준입니다. 이 값에 대한 단위의 정의는 선택한 정밀 측정에 해당합니다.

계산기 버튼

계속 결측값을 계산합니다.

뒤로 이전 " 표본 크기 및 검정력 " 시작 창으로 돌아갑니다.

추가 신뢰도 시험 계획 계산

표본 크기, 중도절단 시간 또는 정밀뿐만 아니라 다음 통계량도 계산됩니다.

기대 고장 수 지정된 신뢰도 시험에 대해 기대되는 고장 수입니다.

고장이 3 개보다 적을 확률 지정된 신뢰도 시험으로 인한 고장 수가 3 개보다 적을 확률입니다. 이 값은 고장 분포의 위치 및 척도 모수에 대해 안정적인 추정값을 얻기 위해 필요한 최소 고장 수가 3 개이므로 중요합니다. 고장 수가 한 개 또는 두 개뿐이면 추정값이 불안정합니다. 이 확률이 크면 분포 모수의 추정을 신뢰할 수 있을 만큼 충분한 수의 고장을 관측하지 못할 위험이 있습니다. 표본 크기 또는 중도절단 시간을 늘리면 고장이 3 개보다 적을 확률을 낮출 수 있습니다.

대표본 근사 공분산 행렬 고장 분포의 위치 모수와 척도 모수에 대한 근사 분산 및 공분산을 제공합니다.

신뢰도 시험 계획 계산기에 대한 통계 상세 정보

신뢰도 시험 계획의 목적은 다음 통계량

$$q(p) = \exp[\sigma\Phi^{-1}(p) + \mu]$$

또는 다음 고장 확률을 추정하는 것입니다.

$$p(t) = \Phi\left[\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right]$$

이때 가정된 고장 시간 분포 및 정밀 측정과 함께 지정된 유의 수준이 사용됩니다. $\Phi()$ 는 위치 모수가 μ 이고 척도 모수가 σ 인 가정된 고장 시간 분포의 표준 누적 분포 함수입니다. Wald 신뢰 구간 및 정밀 측정은 t (시간) 와 n (표본 크기) 의 함수로 정밀 수준을 정의합니다. 수치적 방법을 사용하여 원하는 수량을 계산합니다.

JMP 의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 6) 에서 확인하십시오.

신뢰도 데모 계산기

지정된 기간 동안 지정된 수의 단위를 시험하려면 "신뢰도 데모" 계산기를 사용합니다. k 개 미만의 단위에서 고장이 발생하면 데모를 통과하고, 제품 신뢰도가 신뢰도 표준을 충족하거나 초과한다는 결론을 내릴 수 있습니다. 신뢰도 데모를 다음과 같은 가설 검정으로 제시해 보겠습니다.

$$H_0: p < p^* \text{ 대 } H_a: p \geq p^*$$

여기서 p 는 신제품에 대한 t^* 에서의 생존 시간 확률이고, p^* 는 시간 t^* 에서의 표준 생존 확률입니다.

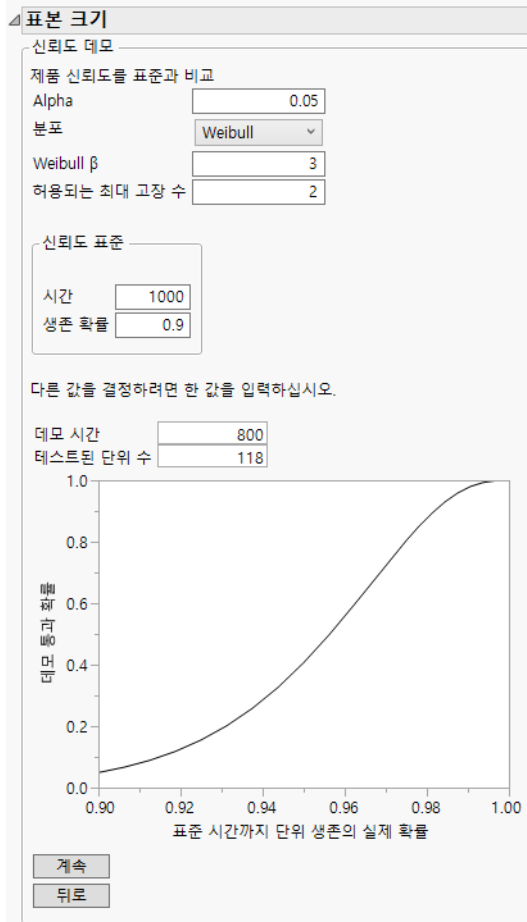
신뢰도 데모 계산기의 예

회사에서 1,000 시간 후의 생존 확률에 대한 과거 신뢰도 표준 (90%) 과 비교하여 신제품의 신뢰도를 평가하는 데 필요한 표본 크기를 추정하려고 합니다. 유사 제품에 대한 이전 연구를 통해 고장 시간 분포를 β 모수가 3 인 Weibull 로 가정합니다. 800 시간 동안 데모를 실행할 수 있으며 실험 결과로 허용되는 최대 고장 수는 2 개입니다.

필요한 표본 크기를 계산하려면

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **신뢰도 데모**를 클릭합니다.
3. "알파" 설정값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. "분포" 목록에서 **Weibull** 을 선택합니다.
5. **Weibull** β 에 3 을 입력합니다.
6. **허용되는 최대 고장 수**에 2 를 입력합니다.
7. **시간**에 1000 을 입력합니다.
8. **생존 확률**에 0.9 를 입력합니다.
9. **데모 시간**에 800 을 입력합니다.
10. **테스트된 단위 수**는 비워 둡니다.
11. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.18 신뢰도 데모 계산기



데모에서 118 개의 단위를 실행해야 합니다. 또한 800 시간 동안 관측된 고장 수가 2 개 이하이면 신제품 신뢰도가 표준 이상이라는 결론을 내릴 수 있습니다.

이 그림은 신뢰도 표준의 시간까지 단위 생존의 실제 확률이 증가할수록 데모 통과 확률이 증가함을 보여 줍니다. 이 예에서 표준 시간까지 단위 생존 확률이 92% 를 넘지 못하면 신제품의 데모 통과 확률은 약 12.5% 에 불과합니다.

신뢰도 데모 계산기 필드

다음 통계량 및 검정 설정을 지정합니다.

알파 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

분포 가정된 고장 시간 분포입니다. 사용 가능한 분포는 Weibull, 로그 정규, Frechet, 로그로지스틱, SEV, 정규, LEV 및 로지스틱입니다. 각 분포에 대한 자세한 내용은 Reliability and Survival Methods 의 "Life Distribution" 장에서 확인하십시오.

척도 고장 시간 분포의 척도 모수입니다.

참고 : " 분포 " 가 "Weibull" 로 지정되면 " 척도 " 필드가 "Weibull β " 로 표시됩니다.

허용되는 최대 고장 수 테스트 데모 성공을 위해 허용되는 최대 고장 수입니다.

신뢰도 표준 테스트 중인 표준의 정의입니다. 이 표준은 시간 및 해당 시간까지 항목이 생존할 확률을 기반으로 합니다.

시간 테스트 대상 항목이 생존해야 하는 최소 시간입니다.

생존 확률 테스트 대상 항목이 신뢰도 표준에 정의된 시간까지 생존할 확률입니다.

다음 두 값 중 하나를 입력하여 다른 값을 계산합니다.

데모 시간 데모 실행 시간입니다.

테스트된 단위 수 데모에 필요한 단위 수입니다.

계산기 버튼

계속 결측값을 계산합니다.

뒤로 이전 " 표본 크기 및 검정력 " 시작 창으로 돌아갑니다.

신뢰도 데모 계산기에 대한 통계 상세 정보

신뢰도 데모는 척도 모수가 σ 인 가정된 고장 시간 분포에 따라 달라집니다. 신뢰도 표준, 즉 시간 t 와 위치 μ 에서의 생존 확률은 다음과 같이 명시됩니다.

$$p = 1 - \Phi\left[\frac{\log t - \mu}{\sigma}\right]$$

여기서 μ 는 다음 식을 사용하여 계산됩니다.

$$\mu = \log(t) - \sigma \Phi^{-1}(1 - p).$$

표본 크기와 검정 크기를 계산하기 위해 시간 t 에서의 생존 확률이 다음과 같은 가설 검정으로 제시됩니다.

$$H_0: p < p^* \text{ 대 } H_a: p \geq p^*$$

여기서 p^* 는 시간 t^* 에서의 표준 생존 확률입니다.

다음과 같은 α 수준에서 가설을 검정하려고 합니다 .

$$\alpha = \Pr(k \text{ 개 이하의 고장 수} \mid H_0 \text{ true}).$$

n 개의 독립 단위에 대한 검정이므로 고장 수는 (n, p) 이항 분포를 갖습니다. 여기서 p 는 시간 t 전에 단위가 고장 날 확률입니다 . 따라서 α 를 t 와 n 의 함수로 표현할 수 있습니다 .

$$\alpha = \Pr\left(x \leq k \mid x \sim \text{Bin}\left\{n, \Phi\left[\frac{\log t - \mu^*}{\sigma^*}\right]\right\}\right)$$

여기서 μ^* 와 σ^* 는 가정된 신뢰도 표준의 값입니다 .

이항 분포와 베타 분포의 특성으로 인해 다음 식을 사용하여 t 를 계산할 수 있습니다 .

$$t = \frac{t^* \exp\{\sigma^* \Phi^{-1}[1 - B^{-1}(\alpha; n - k, k + 1)]\}}{\exp[\sigma^* \Phi^{-1}(1 - p^*)]}$$

n 의 경우 Brent 방법을 사용하여 다음 식의 근을 찾습니다 .

$$B^{-1}(\alpha; n - k, k + 1) - 1 + \Phi\left[\frac{\log t - (\log t^*) + \sigma^* \Phi^{-1}(1 - p^*)}{\sigma^*}\right] = 0$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다 .

$B^{-1}(\alpha; n - k, k + 1)$ 은 $\text{Beta}(n - k; k + 1)$ 분포의 α 분위수입니다 .

$\Phi()$ 는 가정된 고장 시간 분포의 누적 분포 함수입니다 .

JMP 의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 5) 에서 확인하십시오 .

18 장

선택 설계

기본 제품 프로파일 선택을 위한 설계 생성

선택 (또는 이산 선택) 실험은 이산 선호도를 모델링하기 위한 데이터를 제공합니다 . 연구 참가자에게는 다양한 속성을 가진 잠재적 제품 집합 , 즉 제품 프로파일이 제공됩니다 . 참가자는 각 프로파일 집합에서 선호하는 프로파일을 선택합니다 . 예를 들어 컴퓨터 회사에서 고급 랩톱을 설계할 때 프로세서 속도 , 하드 디스크 크기 , 화면 크기 , 배터리 수명 및 가격과 같은 주요 특징의 상대적 중요도에 관심이 있을 수 있습니다 . 선택 실험은 고객에게 이러한 특징의 상대 값을 제시하고 제품 특징 간에 최적의 절충안을 나타냅니다 .

선택 실험 결과는 컨조인트 분석 방법을 사용하여 분석됩니다 . 자세한 내용은 Consumer Research 의 "Choice Models" 장에서 확인하십시오 .

그림 18.1 8 개의 선택 집합이 있는 설문 조사

	선택 집합	선택 ID	Disk Size	Speed	Battery Life	Price
1	1	1	40 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1000
2	1	2	80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1500
3	2	1	80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1200
4	2	2	40 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1500
5	3	1	40 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1200
6	3	2	80 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1500
7	4	1	40 GB	2.0 GHz	4 Hrs	\$1000
8	4	2	80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1500
9	5	1	80 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1200
10	5	2	40 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1000
11	6	1	40 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1500
12	6	2	80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1000
13	7	1	80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1000
14	7	2	40 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1200
15	8	1	80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1200
16	8	2	80 GB	2.0 GHz	4 Hrs	\$1500

목차

선택 설계 개요	513
선택 설계 용어	513
베이지안 D-최적	513
선택 설계의 예	514
분석을 사용한 선택 설계의 예	516
파일럿 연구를 위한 선택 설계 생성	516
파일럿 연구 데이터 분석	518
사전 정보를 사용하여 최종 선택 실험 설계	520
설계 실행 및 결과 분석	521
선택 설계 창	524
속성	525
모형	526
설계 생성	527
설계	528
테이블 생성	529
선택 설계 옵션	529
분석을 사용한 선택 설계의 예	516
베이지안 D-최적 및 설계 구성	531
유틸리티 중립 설계 및 로컬 D-최적 설계	531

선택 설계 개요

이산 선택 실험은 제품 설계 공정을 뒷받침합니다. 이러한 실험을 통해 사람들이 사고 싶어 하는 제품을 설계할 수 있도록 회사 시장에 맞는 제품 특징의 우선 순위를 정할 수 있습니다. 선택 설계 플랫폼은 제품 속성을 요인으로 사용하여 실험을 생성합니다. 연구할 속성과 해당 값을 선택하는 것은 매우 중요합니다. 소비자의 제품 구매 결정에 영향을 미칠 수 있는 모든 속성을 포함해야 합니다. 선택 실험 설계에 대한 자세한 내용과 지침은 [Sall\(2008\)](#)에서 확인하십시오.

선택 설계 용어

다음은 선택 설계와 관련된 용어입니다.

- 속성은 제품의 특징입니다.
- 프로파일은 제품 속성의 규격입니다.
- 선택 집합은 프로파일 모음입니다.
- 설문 조사는 선택 집합 모음입니다.
- 부분 프로파일은 각 선택 집합 내에서 지정된 수의 속성만 변경되는 선택 설계의 프로파일입니다. 나머지 속성은 변하지 않습니다.

이산 선택 실험에서는 여러 선택 집합을 포함하는 설문 조사를 응답자에게 제공합니다. 일반적으로 선택 집합은 의사결정 과정을 쉽게 완료하기 위해 소수의 프로파일만 포함합니다. 각 응답자는 각 선택 집합 내에서 자신이 선호하는 프로파일을 지정합니다. 예를 들어 랩톱 실험의 속성에는 속도, 저장 용량, 화면 크기, 배터리 수명 및 가격이 포함될 수 있습니다. 이러한 속성의 다양한 조합으로 제품 프로파일이 구성됩니다. 선택 집합은 두 개의 프로파일로 구성될 수 있습니다. 응답자는 각 선택 집합에서 원하는 프로파일을 선택합니다.

관련된 속성이 많은 경우 각 선택 집합에 **부분 프로파일**이 포함되는 설문 조사를 구성할 수 있습니다. 부분 프로파일이 있는 선택 집합에서는 지정된 수의 속성만 변하고 나머지 속성은 일정하게 유지됩니다. 이렇게 하면 선택 작업의 복잡성을 줄일 수 있습니다.

베이지안 D- 최적

이산 선택 모형은 모수에서 비선형이므로 선택 설계의 효율도는 미지의 모수에 따라 달라집니다. 선택 설계 플랫폼은 사용자가 지정하는 모수 확률 값의 사전 분포에 대해 설계를 최적화하는 베이지안 방법을 사용합니다. 베이지안 D- 최적 기준은 사전 분포와 관련된 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다. 선택 설계 플랫폼은 사전 확률 분포와 관련하여 이 기대를 최대화합니다. 자세한 내용은 "[베이지안 D- 최적 및 설계 구성](#)"(531 페이지) 및 [Kessels et al. \(2011\)](#)에서 확인하십시오.

다음과 같은 유형의 설계도 생성할 수 있습니다.

- 유틸리티 중립 설계 - 유틸리티 중립 설계에서는 선택 집합 내의 모든 선택 항목에 대한 확률이 동등합니다. 사전 평균은 0 으로 설정됩니다.

- 로컬 D- 최적 설계 - 로컬 D- 최적 설계는 사전 평균을 고려하지만 사전 공분산 행렬의 정보는 포함하지 않습니다.

유틸리티 중립 설계와 로컬 D- 최적 설계에 대한 자세한 내용은 "[유틸리티 중립 설계 및 로컬 D- 최적 설계](#)"(531 페이지)에서 확인하십시오.

선택 설계의 예

실험 정보

이 예의 경우 커피숍에서 대부분의 고객을 만족시킬 수 있는 이상적인 커피를 만들고 싶어 합니다. 관리자는 고객 선호도에 영향을 주는 요인을 판별해 줄 것을 요청했습니다. 특히 다음 요인(속성)에 대해 이상적인 커피를 만드는 설정을 판별해야 합니다.

- 커피 입자 크기 (중간 또는 굵게)
- 온도 (195°, 200°, 205°)
- 추출 시간 (3 분, 3.5 분, 4 분)
- 1 온스당 커피 양 (1.6g, 2g, 2.4g)

요인 수준의 각 조합을 프로파일이라고 합니다. 가능한 모든 프로파일을 모든 응답자 표본에 제공하여 선호도 정보를 얻는 것은 실용적이지 않습니다. 그러나 소수의 프로파일로 구성된 선택 집합에서 선호하는 프로파일을 선택하도록 응답자에게 요청할 수 있습니다.

이 예에서는 각 응답자가 여러 선택 집합에서 자신의 선호도를 나타내는 실험을 설계합니다. 설계 구조는 다음과 같습니다.

- 응답자 10 명
- 선택 집합 12 개
- 선택 집합당 프로파일 2 개
- 응답자당 12 개의 선택 집합이 모두 포함된 설문 조사 1 개

실험 결과 각 응답자마다 12 개의 반응이 나옵니다. 이러한 선호도를 분석하면 대부분의 고객을 만족시키는 커피를 만드는 방법에 대한 결론을 내릴 수 있습니다.

설계 생성

요인을 수동으로 입력하거나, 요인과 설정이 포함된 기존 테이블을 사용하여 자동으로 입력합니다. 편의상 이 예에서는 기존 테이블을 사용합니다. 그러나 새 실험을 설계하는 경우 먼저 수동으로 요인을 입력해야 합니다. 요인을 수동으로 입력하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[속성](#)"(525 페이지)에서 확인하십시오.

1. **DOE > 소비자 연구 > 선택 설계**를 선택합니다.
2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Coffee Choice Factors.jmp를 엽니다.

3. " 선택 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다 .

그림 18.2 속성이 정의된 선택 설계 창

이름	역할	속성 수준		
Grind	범주형	Medium Coarse		
Temperature	범주형	195	200	205
Time	범주형	3	3.5	4
Charge	범주형	1.6	2	2.4

속성 지정
요인 추가 버튼을 클릭하여 속성을 추가하십시오. 편집하려면 속성 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

4. **계속**을 클릭합니다 .
5. (선택 사항) "DOE 모형 제어 " 개요를 엽니다 .
주효과만 있습니다. 이 예에서는 네 가지 요인의 주효과를 포함하는 모형에만 관심이 있습니다. 그러나 추가 효과를 추정할 수 있는 설계를 생성하려면 이 개요에서 원하는 효과를 추가합니다 .
6. " 설계 생성 " 패널에서 다음을 수행합니다 .
- 한 선택 집합 안에서 변경될 수 있는 속성 수 4 를 그대로 유지합니다 .
 - 선택 집합별 프로파일 수 2 를 그대로 유지합니다 .
 - 설문 조사별 선택 집합 수에 12 를 입력합니다 .
이 예에서는 응답자가 12 개의 선택 집합을 평가합니다 .
 - 설문 조사 수 1 을 그대로 유지합니다 .
 - 설문 조사별 기대 응답자 수에 10 을 입력합니다 .
이 예에서는 응답자가 10 명입니다 .

그림 18.3 완료된 설계 생성 패널

4 한 선택 집합 안에서 변경될 수 있는 속성 수

2 선택 집합별 프로파일 수

12 설문 조사별 선택 집합 수

1 설문 조사 수

10 설문 조사별 기대 응답자 수

설계 생성

뒤로

참고 : 7 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다 .

7. (선택 사항) " 선택 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다 . "12345" 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다 .
8. **설계 생성**을 클릭합니다 .
12 개의 선택 집합이 있고 각 선택 집합은 두 개의 커피 프로파일로 구성됩니다 .
9. **프로파일 및 반응에 대해 별도의 테이블 출력**을 선택합니다 .
이렇게 하면 선택 집합에 대한 설명이 " 선택 프로파일 " 이라는 데이터 테이블에 추가됩니다 . 두 번째 데이터 테이블("선택 런")은 반응 정보를 쉽게 입력할 수 있도록 하기 위해 생성됩니다 .
10. **테이블 생성**을 클릭합니다 .
" 선택 프로파일 " 테이블은 각각 두 개의 프로파일로 구성된 선택 집합 12 개를 보여 줍니다 . " 선택 런 " 테이블에서는 프로파일 ID 를 사용하여 반응 열에 선호하는 프로파일을 기록할 수 있습니다 . 선호하는 프로파일이 선택 1 이면 1 을 입력하고 선택 2 이면 2 를 입력합니다 . 응답자가 선호하는 항목이 없을 경우에는 반응을 결측 상태로 둘 수도 있습니다 .
" 선택 프로파일 " 테이블의 **선택 스크립트**를 사용하면 실험 결과를 쉽게 분석할 수 있습니다 . 이 스크립트는 " 선택 모형 " 의 완료된 시작 창을 엽니다 . " 선택 모형 " 에 대한 자세한 내용은 Consumer Research 의 "Choice Models" 장에서 확인하십시오 .
" 선택 프로파일 " 테이블의 **DOE 대화상자** 스크립트는 설계 대화상자를 다시 시작합니다 .

분석을 사용한 선택 설계의 예

이 예에서는 컴퓨터 제조업체가 신형 랩톱을 제조하려고 하는데 비용이 많이 드는 개발 공정을 시작하기 전에 고객 선호도 정보를 얻으려고 합니다 . 제조업체는 두 개의 프로파일 집합으로 구성된 설계를 구성하여 10 명의 응답자에게 제공하기로 결정합니다 . 이 선택 설계의 목표는 잠재적 랩톱 구매자가 다음과 같은 네 가지 속성 모음의 이점에 대해 어떻게 생각하는지 이해하는 것입니다 .

- 하드 드라이브 디스크 크기 (40GB 또는 80GB)
- 프로세서 속도 (1.5GHz 또는 2.0GHz)
- 배터리 수명 (4 시간 또는 6 시간)
- 컴퓨터 가격 (1000 달러 , 1200 달러 또는 1500 달러)

10 명의 응답자에 대한 설계를 구성하려면 먼저 응답자 한 명만 대상으로 소규모 파일럿 연구를 수행합니다 . 그런 다음 결과를 분석하고 해당 모수 추정값을 10 명의 응답자에 대한 최종 연구를 설계할 때 사전 정보로 사용합니다 .

파일럿 연구를 위한 선택 설계 생성

이 섹션에서는 응답자가 한 명인 연구를 위한 선택 설계를 구성합니다 .

요인 및 수준 정의

이 예에서는 기존 테이블의 요인을 불러옵니다. 새 실험을 직접 설계할 때는 요인을 수동으로 입력합니다.

1. **DOE > 소비자 연구 > 선택 설계**를 선택합니다.
2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Laptop Factors.jmp를 엽니다.
3. "선택 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

그림 18.4 속성이 정의된 선택 설계 창

선택 설계

속성

요인 추가 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	속성 수준		
Disk Size	범주형	40 GB	80 GB	
Speed	범주형	1.5 GHz	2.0 GHz	
Battery Life	범주형	4 Hrs	6 Hrs	
Price	범주형	\$1500	\$1200	\$1000

속성 지정

요인 추가 버튼을 클릭하여 속성을 추가하십시오. 편집하려면 속성 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

설계 생성

1. **계속**을 클릭합니다.
2. 이 파일럿 설문 조사는 단일 응답자에게 제공됩니다. "DOE 모형 제어", "사전 규격" 및 "설계 생성" 패널의 기본값은 그대로 유지합니다.
3. (선택 사항) "선택 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다. "12345"를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
4. **설계 생성**을 클릭합니다.

참고: 3 단계에서 "난수 시드값"을 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

그림 18.5 파일럿 설계

선택 집합	Disk Size	Speed	Battery Life	Price
1	40 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1000
1	80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1500
2	80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1200
2	40 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1500
3	40 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1200
3	80 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1500
4	40 GB	2.0 GHz	4 Hrs	\$1000
4	80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1500
5	80 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1200
5	40 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1000
6	40 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1500
6	80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1000
7	80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1000
7	40 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1200
8	80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1200
8	80 GB	2.0 GHz	4 Hrs	\$1500

☐ 프로파일 및 반응에 대해 별도의 테이블 출력
☒ 프로파일과 반응을 한 테이블에 결합

테이블 생성

뒤로

단일 설문 조사에는 8개의 선택 집합이 포함되고 각 선택 집합은 두 개의 랩톱 프로파일로 구성됩니다.

5. **프로파일과 반응을 한 테이블에 결합** 옵션이 선택되어 있는지 확인합니다.

이렇게 하면 선택 집합과 설문 조사 결과가 동일한 테이블에 추가됩니다.

6. **테이블 생성**을 클릭합니다.

이 설문 조사는 사전 정보가 없다는 가정하에 설계되었습니다. 이로 인해 일부 선택 집합에서 유용한 정보를 끌어내지 못할 수 있습니다. 계획은 단일 응답자로부터 설문 조사 결과를 얻고 결과를 분석한 후 파일럿 설문 조사 결과를 최종 연구 설계의 사전 정보로 사용하는 것입니다.

파일럿 연구 데이터 분석

파일럿 설문 조사 설계가 완료되었으므로 단일 응답자에게 제공합니다. 응답자는 각 집합에서 하나의 프로파일을 선택한 후 선택한 프로파일에는 1을 입력하고 거부한 프로파일에는 0을 입력합니다. 그러면 선택 플랫폼을 사용하여 결과를 분석합니다.

참고: 선택 플랫폼에 대한 자세한 내용은 Consumer Research의 "Choice Models" 장에서 확인하십시오.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Laptop Design.jmp를 엽니다.
2. **Choice** 스크립트를 실행합니다.

그림 18.6 선택 모형 시작 창

데이터 형식 테이블 한 개, 쌓여짐

데이터 테이블 선택 Laptop Design

열 선택

6개 열

- Choice Set
- Response Indicator
- Disk Size
- Speed
- Battery Life
- Price

역할 변수 선택

반응 표시자 Response Indicator

개제 ID 필수

선택 집합 ID 필수

그룹화 Choice Set

기준 선택적

모형 실행

도움말

제거

☒ Firth 편향 조정 추정값

☐ 계층적 Bayes

베이지안 반복 수 5000

프로파일 효과 생성

추가

교차

내포

매크로

次数 2

변환

개제 효과 생성(선택 사항)

추가

교차

내포

매크로

次数 2

변환

☐ 응답자는 "없음" 또는 "선택 안 함"을 선택할 수 있습니다.

단일 설문 조사 및 단일 응답자가 있으므로 그룹화 변수는 Choice Set 뿐입니다.

3. **모형 실행**을 클릭합니다.

그림 18.7 파일럿 연구의 모수 추정값

모수 추정값		
항	추정값	표준 오차
Disk Size[40 GB]	-0.007125177	0.4991763970
Speed[1.5 GHz]	0.214880936	0.5265848733
Battery Life[4 Hrs]	0.052925888	0.4895109018
Price[\$1500]	-0.978517706	0.7062009731
Price[\$1200]	0.076206148	0.7442825255
AIcC	43.487115	
BIC	13.884322	
-2*로그 우도	3.4871145	
-2*Firth 로그 우도	-2.203446	
그래디언트에 수렴됨		
Firth 편향 조정 추정값		

10명의 응답자에게 제공할 최종 선택 설계를 구성하려면 모수 추정값의 사전 평균 및 분산이 필요합니다. 그림 18.7의 분석은 모수 평균 추정값 ("추정값")과 표준 오차 추정값 ("표준 오차")을 제공합니다. 표준 오차를 표준편차의 사전 추정값으로 처리합니다. 속성의 분산 추정값을 계산하려면 JMP 테이블을 생성하고 표준 오차 제곱을 계산합니다.

- "모수 추정값" 보고서를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **데이터 테이블로 만들기를 선택**합니다.
- 새 데이터 테이블에서 **표준 오차 열 머리글**을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **새 계산식 열 > 변환 > 제곱**을 선택합니다.

표준 오차 $\wedge 2$ 열이 데이터 테이블에 추가됩니다. 이 값은 선택 모형 모수에 대한 사전 분산 추정값으로 사용됩니다.

그림 18.8 마지막 열에 분산 추정값이 추가된 제목 없음 데이터 테이블

	항	추정값	표준 오차	표준 오차 $\wedge 2$
1	Disk Size[40 GB]	-0.007125177	0.4991763970	0.2491770753
2	Speed[1.5 GHz]	0.214880936	0.5265848733	0.2772916288
3	Battery Life[4 Hrs]	0.052925888	0.4895109018	0.2396209229
4	Price[\$1500]	-0.978517706	0.7062009731	0.4987198144
5	Price[\$1200]	0.076206148	0.7442825255	0.5539564778

참고: 여기서 " 제목 없음 " 데이터 테이블을 닫지 마십시오.

사전 정보를 사용하여 최종 선택 실험 설계

이 섹션에서는 파일럿 랩톱 연구를 통해 얻은 사전 정보를 사용하여 최종 설계를 구성합니다. 최종 설계는 10 명의 참가자 집합에 제공됩니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Laptop Factors.jmp**를 엽니다.
2. **DOE > 소비자 연구 > 선택 설계**를 선택합니다.
3. " 선택 설계 "의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. " 제목 없음 " 테이블에서 추정값 열의 값을 " 선택 설계 " 창의 "사전 평균" 개요에 입력합니다 (그림 18.9 참조).
" 제목 없음 " 테이블에서 전체 열을 복사한 다음, "사전 평균" 개요의 **사전 평균** 아래에 있는 **Disk Size** 텍스트 상자를 클릭하고 마우스 오른쪽 버튼을 클릭한 후 " 붙여넣기 "를 선택할 수 있습니다.
6. " 제목 없음 " 테이블에서 표준 오차 $\wedge 2$ 열의 값을 " 선택 설계 " 창에 있는 "사전 분산 행렬" 개요의 주대각 항목에 입력합니다 (그림 18.9 참조). 이 값은 소수점 이하 세 자리로 반올림하여 하나씩 입력합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Laptop Results.jmp를 엽니다.
2. **Choice** 스크립트를 실행합니다.

그림 18.10 선택 모형 시작 창

데이터 형식 테이블 한 개, 쌓여짐

데이터 테이블 선택 Laptop Results

열 선택

8개 열

- Respondent
- Survey
- Choice Set
- Response Indicator
- Disk Size
- Speed
- Battery Life
- Price

역할 변수 선택

반응 표시자 Response Indicator

개체 ID 필수

선택 집합 ID 필수

그룹화 Respondent, Survey, Choice Set

기준 선택적

모형 실행

도움말

제거

☒ Firth 편향 조정 추정값

☐ 계층적 Bayes

베이지안 반복 수 5000

프로파일 효과 생성

추가

교차

내포

매크로

次数 2

변환

Disk Size, Speed, Battery Life, Price

개체 효과 생성(선택 사항)

추가

교차

내포

매크로

次数 2

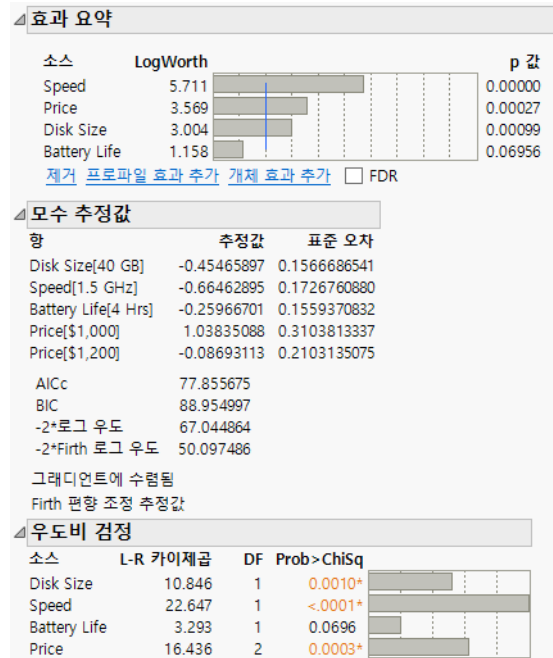
변환

☐ 응답자는 "없음" 또는 "선택 안 함"을 선택할 수 있습니다.

여러 설문 조사 및 응답자가 있으므로 Respondent, Survey 및 Choice Set 라는 세 가지 그룹화 변수가 있습니다.

3. 모형 실행을 클릭합니다.

그림 18.11 최종 랩톱 설계의 초기 분석



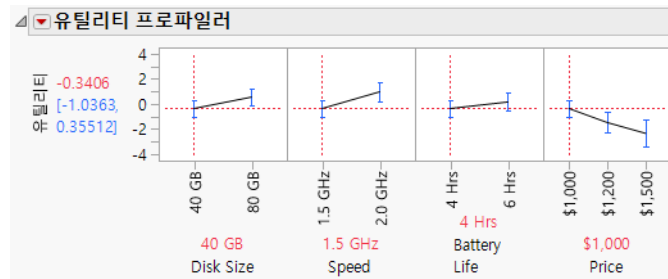
"효과 요약" 및 "우도비 검정" 개요에서는 Disk Size, Speed 및 Price 가 0.05 수준에서 유의하고 "Battery Life" 는 아주 약간 유의함을 나타냅니다.

단위 비용 및 기회 비용 찾기

이제 프로파일러를 사용하여 유틸리티 값을 보고 랩톱 속성이 변경될 때 이 값이 어떻게 변하는지 확인합니다.

1. "선택 모형"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **유틸리티 프로파일러**를 선택합니다.

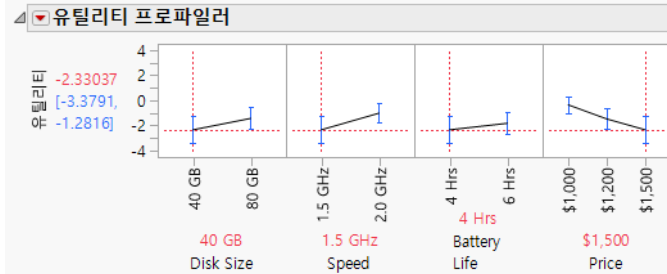
그림 18.12 Price = \$1000 의 유틸리티 프로파일러



각 속성 값이 가장 낮은 값으로 설정된 경우 "유틸리티" 값은 -0.3406 입니다. 가장 먼저 단위 유틸리티 비용을 확인하려고 합니다.

2. Price 슬라이더를 \$1,500 로 움직입니다 .

그림 18.13 Price = \$1500 의 유틸리티 프로파일러

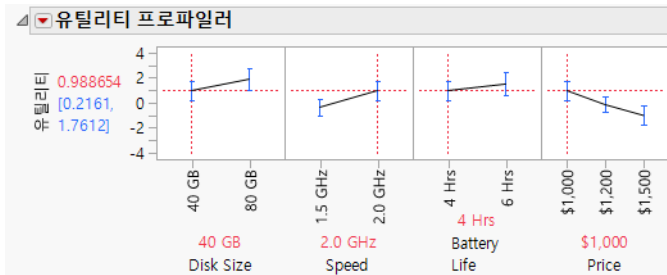


Price 가 \$1,000 에서 \$1,500 로 변경되면 " 유틸리티 " 가 -0.3406 에서 -2.3303 으로 변합니다 . 즉, 랩톱 가격을 500 달러 인상하면 유틸리티 (만족도) 가 약 2 단위 낮아집니다 . 따라서 단위 유틸리티 비용을 약 250 달러로 추정할 수 있습니다 .

이제 이 단위 유틸리티 비용 추정값으로 다른 속성을 변경하고, 유틸리티 변화를 확인하고, 속성 변경과 관련된 금전적 가치 근사값을 찾을 수 있습니다 . 예를 들어 가장 유의한 속성은 Speed 입니다 (그림 18.11 참조) .

3. " 유틸리티 프로파일러 " 에서 " Price " 를 다시 \$1,000 (가장 낮은 값) 로 설정하고 " Speed " 를 2.0GHz (더 높은 값) 로 변경합니다 .

그림 18.14 Speed 값을 증가할 때의 유틸리티 값



" 유틸리티 " 값은 그림 18.12 에 표시된 원래 값 -0.3406 에서 0.9886 으로 바뀌어 총 1.3292 단위의 변화를 보입니다 . 유틸리티 비용 추정값 또는 250 달러를 사용하면 1.5GHz 랩톱에 비해 2.0GHz 랩톱의 가격 인상은 $1.3292 \times \$250.00 = \$332.30$ 달러로 계산될 수 있습니다 . 이것은 선택 연구에서 제조업체가 이 랩톱 속성의 가격을 결정하는 기준으로 사용할 수 있는 달러 값입니다 . 다른 속성에 대해서도 유사한 계산을 할 수 있습니다 .

선택 설계 창

" 선택 설계 " 창은 속성 선호도를 모델링하기 위한 선택 설계를 구성하는 단계를 안내합니다 . 가 정된 모형과 사전 정보를 지정할 수 있습니다 .

설계 단계를 진행하는 동안 "선택 설계" 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 18.15의 흐름을 따릅니다.

그림 18.15 선택 설계 흐름



속성

선택 설계의 속성은 범주형만 가능합니다.

팁: "속성" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이렇게 하면 속성 이름, 역할 및 수준을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러와 사용할 수 있습니다.

그림 18.16 속성 개요

이름	역할	속성 수준		
X1	범주형	L1	L2	
X2	범주형	L1	L2	L3

속성 지정
요인 추가 버튼을 클릭하여 속성을 추가하십시오. 편집하려면 속성 이름을 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

"속성" 개요에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

요인 추가 선택한 수준 수를 사용하는 속성을 추가합니다.

제거 선택한 속성을 제거합니다.

N 개 요인 추가 여러 속성을 추가합니다. 추가할 속성 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭한 후 수준 수를 선택합니다. 수준 수가 다른 여러 속성을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

"속성" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

이름 속성의 이름입니다. X1, X2 등의 기본 이름이 속성에 지정됩니다. 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

역할 속성의 설계 역할을 "범주형"으로 지정합니다.

속성 수준 속성 이름 또는 설명입니다. "속성 수준"을 삽입하려면 기본 수준을 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

속성 개요 편집

- 속성 이름을 편집하려면 해당 속성 이름을 두 번 클릭합니다.
- 속성 수준을 편집하려면 해당 수준을 클릭합니다.

속성 열 특성

각 속성에 대해 JMP 는 선택 플랫폼에서 구성된 데이터 테이블에 " 값 순서 " 열 특성을 저장합니다. " 값 순서 " 열 특성은 " 속성 " 개요에 지정된 순서대로 보고서에 수준이 나타나도록 지정합니다. 자세한 내용은 " 열 특성 " 부록의 "[값 순서](#)"(708 페이지) 에서 확인하십시오.

모형

모형 개요는 다음 두 부분으로 구성됩니다.

- 가정된 모형 , 즉 추정할 모든 효과를 포함하는 모형을 지정할 수 있습니다 . 자세한 내용은 "[DOE 모형 제어](#)"(526 페이지) 에서 확인하십시오 .
- 속성 수준에 대한 사전 지식을 지정하여 더 적합한 설계를 생성할 수 있습니다 . 자세한 내용은 "[사전 규격](#)"(527 페이지) 에서 확인하십시오 .

DOE 모형 제어

"DOE 모형 제어 " 개요에서 가정된 모형을 지정합니다 . 모든 주효과는 기본적으로 포함됩니다 . 모든 이원 교호작용을 추가하려면 " 교호작용 " 버튼을 클릭합니다 .

그림 18.17 DOE 모형 제어 개요



설계 테이블을 구성할 때 JMP 에서 " 선택 " 스크립트를 데이터 테이블에 저장합니다. " 선택 " 스크립트는 "DOE 모형 제어 " 개요에서 선택한 모형이 포함된 선택 플랫폼을 시작합니다.

"DOE 모형 제어 " 개요에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

주효과 모형의 모든 속성에 대한 주효과를 추가합니다 .

교호작용 모든 2 차 교호작용을 추가합니다 . 일부 교호작용을 포함하지 않으려면 제거할 교호작용을 선택하고 **항 제거**를 클릭합니다 .

항 제거 선택한 효과를 제거합니다 .

사전 규격

모형 모수에 대해 다변량 정규 사전 분포의 규격을 입력합니다. "사전 평균" 개요에 사전 분포의 평균을 입력하고 "사전 분산 행렬" 개요에 공분산 행렬을 입력합니다.

그림 18.18 사전 규격 개요

사전 규격

☐ 사전 규격을 무시합니다. 유틸리티 중립 설계를 생성합니다.

사전 평균

효과 사전 평균

X1	0.000
X2 1	0.000
X2 2	0.000

☐ 사전 분산을 무시합니다. 사전 평균에 대한 로컬 설계를 생성합니다.

사전 분산 행렬

효과	X1	X2 1	X2 2
X1	1.000	0.000	0.000
X2 1		1.000	0.000
X2 2			1.000

다음 옵션을 사용하여 사전 규격을 무시할 수 있습니다.

사전 규격을 무시합니다. 유틸리티 중립 설계를 생성합니다. 사전 평균을 0 으로 설정하고 로컬 D-최적 설계를 생성합니다. 이 설계를 유틸리티 중립 설계라고 합니다. 자세한 내용은 Huber and Zwerina(1996) 에서 확인하십시오.

사전 분산을 무시합니다. 사전 평균에 대한 로컬 설계를 생성합니다. 로컬 D-최적 설계를 생성합니다. 로컬 설계는 사전 평균을 고려하지만 공분산 행렬은 무시합니다. 자세한 내용은 Huber and Zwerina(1996) 에서 확인하십시오.

설계 생성

"설계 생성" 패널에서 설계 구조를 정의하는 규격을 입력합니다.

그림 18.19 커피 예에 대한 설계 생성 패널

설계 생성

4 한 선택 집합 안에서 변경될 수 있는 속성 수

2 선택 집합별 프로파일 수

12 설문 조사별 선택 집합 수

1 설문 조사 수

10 설문 조사별 기대 응답자 수

설계 생성

뒤로

참고 : 그림 18.19 는 커피 예에서 가져왔습니다. 자세한 내용은 "선택 설계의 예"(514 페이지)에서 확인하십시오.

다음 각 항목에 대한 수를 입력합니다.

한 선택 집합 안에서 변경될 수 있는 속성 수 총 속성 수보다 작거나 같은 수를 입력합니다. 이 값은 주로 총 속성 수로 설정됩니다. 그러나 여러 속성을 비교하는 경우 응답자의 선택 과정을 간소화하려면 총 속성 수보다 작은 값으로 설정하십시오.

선택 집합별 프로파일 수 응답자가 선호도를 지정할 때 선택해야 하는 프로파일의 수를 입력합니다.

설문 조사별 선택 집합 수 각 응답자로부터 얻으려는 선호도의 수를 입력합니다.

설문 조사 수 고유한 선택 집합 모음의 수를 입력합니다. 여러 응답자에게 설문 조사를 제공하려는 경우에 유용합니다.

설문 조사별 기대 응답자 수 총 응답자 수를 총 설문 조사 수로 나눈 값을 입력합니다.

설계 생성

"설계 생성" 개요를 완료한 후 **설계 생성**을 클릭하여 설계를 생성합니다. 설계가 "설계" 개요에 나타납니다.

설계

"설계" 개요에서는 선택 사항에 따라 최적 설계를 위한 런을 보여 줍니다. 설계를 검토하여 요구 사항을 충족하는지 확인합니다.

그림 18.20 커피 예에 대한 설계 개요

설계				
선택 집합	Grind	Temperature	Time	Charge
1	Coarse	195	3	2
1	Medium	200	4	1.6
2	Medium	205	3	2
2	Coarse	200	3.5	2.4
3	Coarse	195	3	1.6
3	Medium	200	3.5	2.4
4	Coarse	200	3	2.4
4	Medium	205	3.5	2
5	Coarse	195	3.5	1.6
5	Coarse	200	3	2
6	Medium	195	3.5	2
6	Medium	205	4	2.4
7	Coarse	195	3.5	2.4
7	Medium	200	3	1.6
8	Medium	195	4	2
8	Coarse	205	3	1.6
9	Coarse	200	3.5	1.6
9	Medium	195	3	2.4
10	Medium	200	3	1.6
10	Coarse	205	4	2
11	Coarse	200	3.5	2
11	Medium	195	4	1.6
12	Coarse	200	4	2
12	Medium	205	3.5	2.4

☐ 프로파일 및 반응에 대해 별도의 테이블 출력
☒ 프로파일과 반응을 한 테이블에 결합

참고 : 그림 18.20 은 커피 예에서 가져왔습니다 . 자세한 내용은 "**선택 설계의 예**"(514 페이지) 에서 확인하십시오 .

참고 : 최적 설계를 찾기 위한 알고리즘은 랜덤 시작 설계를 기반으로 합니다 . 이 때문에 생성된 설계가 고유하지 않습니다 . **뒤로** 및 **설계 생성** 버튼을 반복해서 클릭하면 설계 알고리즘이 또 다른 설계를 생성합니다 .

출력 옵션

다음 출력 옵션 중 하나를 선택합니다 .

프로파일 및 반응에 대해 별도의 테이블 출력 다음과 같은 두 개의 데이터 테이블을 표시합니다 .

- " 선택 프로파일 " 테이블에는 설문 조사 및 선택 집합 열로 식별되는 각 행에 프로파일이 나열됩니다 . 선택 집합 내에서 프로파일은 선택 ID 로 식별됩니다 . 이 테이블은 설문 조사 도구를 구성하는 데 유용합니다 .
- " 선택 런 " 테이블에는 응답자 선호도를 입력할 수 있는 빈 반응 열이 제공됩니다 . 각 행은 단일 선택 집합에 해당합니다 . 행은 응답자 , 설문 조사 및 선택 집합별로 정렬됩니다 . 다음 열에 선택 집합 ID 가 제공되고 그 뒤에 반응 열이 있습니다 . 응답자의 선호도에 대한 선택 집합 ID 를 " 반응 " 열에 입력합니다 .

프로파일과 반응을 한 테이블에 결합 응답자 선호도를 입력할 수 있는 빈 반응 표시자 열이 포함된 단일 " 선택 프로파일 " 테이블을 제공합니다 . 각 행은 단일 프로파일에 해당합니다 . 테이블은 응답자 , 설문 조사 및 선택 집합별로 정렬됩니다 . 응답자가 선호하는 프로파일에 1(또는 0 이 아닌 다른 수치 표시자) 을 입력하고 선택 집합의 다른 프로파일에 0 표시자를 입력합니다 .

참고 : 반응 표시자 열에 입력하는 값은 숫자여야 합니다 .

테이블 생성

테이블 생성을 클릭하여 "**출력 옵션**"(529 페이지) 에서 선택한 하나 이상의 테이블을 구성합니다 . " 선택 프로파일 " 테이블의 테이블 패널에 **선택** 스크립트가 있습니다 . 이 스크립트를 실행한 후 **모형 실행**을 클릭하여 실험 결과를 분석할 수 있습니다 .

" 선택 모형 " 보고서에 대한 자세한 내용은 Consumer Research 의 "Choice Models" 장에서 확인하십시오 .

선택 설계 옵션

요인 저장 " 요인 " 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다 . 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다 . 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다 . 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다 .

참고 : 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

요인 불러오기 "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고 : 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 선택 모형 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 확률을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 선택 모형 반응 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 주변 유틸리티 값을 설정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.
- **선택 모형 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 주변 유틸리티를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 선택 모형 반응 값의 계산식이 "선택 모형 시뮬레이션" 열에서 업데이트됩니다. "적용"을 다시 클릭하면 이 열의 계산식과 값이 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 **"반응 시뮬레이션"**(100 페이지)에서 확인하십시오.

참고 : **JMP PRO** "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션"장에서 확인하십시오.

시작 수 설계 구성에 사용되는 랜덤 시작 횟수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 **"베이지안 D-최적 및 설계 구성"**(531 페이지)에서 확인하십시오.

고급 옵션 선택 설계에는 사용할 수 없습니다.

스크립트를 스크립트 창에 저장 "선택 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

기술 상세 정보

베이지안 D- 최적 및 설계 구성

베이지안 D- 최적 기준은 사전 분포와 관련한 다항 로짓 모형에서 모수 추정량 최대 우도의 정보 행렬 행렬식에 대한 로그 기대값입니다. 선택 설계 플랫폼은 사전 확률 분포를 나타내는 모수 벡터 표본과 관련하여 이 기대를 최대화합니다. 자세한 내용은 Kessels et al. (2011) 에서 확인하십시오.

부분 프로파일 설계의 경우 JMP 는 다음과 같은 2 단계 설계 알고리즘을 사용합니다.

1. 각 선택 집합의 상수 속성은 속성 균형 방식을 사용하여 결정됩니다.
2. 비상수 속성의 수준은 베이지안 D- 최적을 사용하여 결정됩니다.

속성 균형은 알고리즘이 전체 설계에서 각 속성이 상수로 고정되는 횟수의 균형을 맞추려고 시도하는 것을 의미합니다. 둘 이상의 속성이 상수로 고정되면 알고리즘은 설계에서 상수로 고정된 속성 쌍의 발생이 균형을 이루도록 합니다.

비상수 속성의 수준은 베이지안 D- 최적 기준을 최적화하도록 결정됩니다. 랜덤 시작 설계가 발견됩니다. 그러면 좌표 교환 알고리즘을 사용하여 비상수 속성의 수준이 생성되고 베이지안 D- 최적 기준이 최적화될 때까지 평가됩니다. 다변량 정규 사전 분포에 대한 적분을 포함하는 계산은 Gotwalt et al. (2009) 에 설명된 구적법을 사용합니다.

참고 : 베이지안 D- 최적 기준으로 인해 일부 비상수 속성의 수준이 동일한 선택 집합이 생성될 수 있습니다. 프로파일 내에서 비상수 수준을 변경하여 모든 프로파일의 확률이 매우 높거나 낮은 무정보적 선택 집합이 생성되는 경우가 여기에 해당합니다.

유틸리티 중립 설계 및 로컬 D- 최적 설계

선택 설계 플랫폼을 사용하는 경우 사전 평균을 0 으로 설정하여 유틸리티 중립 설계를 생성할 수 있습니다. 유틸리티 중립 설계에서는 선택 집합 내의 모든 선택 항목에 대한 확률이 동등합니다. 자세한 내용은 Huber and Zwerina(1996) 에서 확인하십시오.

로컬 D- 최적 설계도 생성할 수 있습니다. 로컬 D- 최적 설계는 사전 평균을 고려하지만 사전 공분산 행렬의 정보는 포함하지 않습니다. 자세한 내용은 Huber and Zwerina(1996) 에서 확인하십시오.

19 장

최대차이 설계

최선 - 최악 항목 선택을 위한 설계 생성

최대차이 (최대 차이 척도화) 연구는 표준 선호도 척도를 사용하여 평가 항목의 상대 중요도를 결정하는 연구의 대안입니다 . 최대차이 연구에서 응답자는 소수의 선택 집합 중에서 가장 선호하는 옵션과 가장 선호하지 않는 옵션만 보고합니다 . 이렇게 하면 응답자가 선호도를 기준으로 옵션 순위를 지정하게 되고 , 이로 인해 표준 선호도 척도를 사용하는 것보다 더 확증적인 순위를 얻는 경우가 많습니다 .

최대차이 연구 중에 응답자에게 제공할 수 있는 한 요인에 대한 선택 집합으로 구성된 설계를 생성해야 할 때 최대차이 플랫폼을 사용합니다 . 연구를 수행한 후 최대차이 분석 플랫폼을 사용하여 데이터를 분석합니다 .

그림 19.1 최대차이 설계 테이블

	개체	선택 집합	Candy	선택
1	1	1	Reese's Cups	•
2	1	1	Hershey Bar	•
3	1	1	Snickers	•
4	1	1	Butterfinger	•
5	1	2	Butterfinger	•
6	1	2	Heath Bars	•
7	1	2	Plain M&Ms	•
8	1	2	Snickers	•
9	1	3	Plain M&Ms	•
10	1	3	Snickers	•
11	1	3	Peanut M&Ms	•
12	1	3	Hershey Bar	•
13	1	4	Snickers	•
14	1	4	Peanut M&Ms	•
15	1	4	Reese's Cups	•
16	1	4	Heath Bars	•

목차

최대차이 설계 플랫폼 개요..... 535

최대차이 설계의 예..... 535

최대차이 설계 시작 창..... 539

최대차이 창..... 539

 설계 옵션 개요..... 539

 설계 개요..... 540

 쌍별 따름 행렬..... 540

 테이블 생성..... 540

최대차이 옵션..... 540

최대차이 설계 플랫폼 개요

선택 집합은 응답자가 가장 선호하는 항목 (최선 항목) 과 가장 선호하지 않는 항목 (최악 항목) 을 선택해야 하는 항목 모음입니다. 최대차이 플랫폼을 사용하면 선택 집합에 나타나는 항목 수와 응답자에게 제공할 선택 집합 수를 지정할 수 있습니다.

최대차이 플랫폼은 단일 설문 조사를 제공합니다. 응답자가 여러 명이면 동일한 설문 조사를 모든 응답자에게 제공하거나 각 응답자에 대한 설문 조사를 구성할 수 있습니다.

최대차이 설계는 균형 불완비 블록 설계의 따름 행렬을 가능한 한 근사하게 매칭하도록 구성됩니다. 이것은 설계에서 각 항목 쌍의 발생 횟수가 동일하다는 의미입니다. 선택 집합의 수가 선택 집합에서 지정된 수의 항목에 대해 균형 불완비 블록을 구성할 수 있을 정도이면 균형 불완비 블록 설계가 구성됩니다.

항목 또는 프로파일은 처리 요인의 수준으로 간주됩니다. 선택 집합은 블록으로 간주됩니다. 최대차이 연구에서 블록 크기는 처리 수보다 작습니다.

최대차이 설계의 예

회사의 사무용품 구매자로서 명절 파티를 위해 사탕을 사야 합니다. 먼저 사람들이 좋아하는 사탕 종류를 결정하려고 합니다. 이를 확인하기 위해 최대차이 연구를 수행합니다.

동료 5 명을 무작위로 선택하여 7 개 종류의 사탕을 평가하도록 요청합니다. 이전 연구의 경험을 바탕으로 평가자가 7 개 종류의 항목을 선호도 순으로 순위를 지정하기가 어렵다는 것을 알고 있습니다. 대신 크기가 4 인 선택 집합으로 구성된 설계를 생성합니다. 관리 가능한 연구를 위해 설문 조사를 최대차이 연구로 구성합니다. 이 연구에서는 각 동료에게 7 개의 각 선택 집합에서 가장 선호하는 사탕과 가장 선호하지 않는 사탕을 지정하도록 요청합니다. 이렇게 선택하면 균형 불완비 블록 설계가 생성됩니다. 자세한 내용은 Cochran and Cox(1957) 에서 확인하십시오. 각 동료에게 동일한 설문 조사를 제공합니다.

설계 생성

선택 집합에 대한 항목 또는 프로파일이 나열된 테이블을 구성합니다. 이 예에서는 항목 테이블 Candy Profiles.jmp 가 이미 구성되어 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Candy Profiles.jmp 를 엽니다.
이 테이블에는 7 개 사탕 종류가 나열되어 있습니다.
2. **DOE > 소비자 연구 > 최대차이 설계**를 선택합니다.
3. "열 선택" 목록에서 Candy 를 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.
4. **확인**을 클릭합니다.
5. "설계 옵션" 개요에서 다음을 수행합니다.
 - **선택 집합별 프로파일 수**를 4 로 설정합니다.

- 선택 집합 수를 7 로 설정합니다 .

참고 : 6 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 .
설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다 .

6. (선택 사항) " 최대차이 연구 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다 .
"12345" 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다 .
7. **설계 생성**을 클릭합니다 .
" 설계 " 개요에는 각각 4 개의 사탕 종류로 구성된 선택 집합 7 개가 표시됩니다 . " 쌍별 따름
행렬 " 은 각 사탕 종류 쌍이 함께 나타나는 선택 집합 수의 행렬을 제공합니다 . 행렬의 주대
각은 각 사탕 종류가 나타나는 선택 집합의 수입니다 . 이 예의 경우 각 사탕은 4 개의 선택 집
합에 나타나고 4 개의 선택 집합 중 2 개에서 서로 다른 종류의 사탕과 함께 나타납니다 .
8. **테이블 생성**을 클릭합니다 .

그림 19.2 사탕 선호도 설문 조사에 대한 설계 테이블 (일부분)

	개체	선택 집합	Candy	선택
1	1	1	Reese's Cups	•
2	1	1	Hershey Bar	•
3	1	1	Snickers	•
4	1	1	Butterfinger	•
5	1	2	Butterfinger	•
6	1	2	Heath Bars	•
7	1	2	Plain M&Ms	•
8	1	2	Snickers	•
9	1	3	Plain M&Ms	•
10	1	3	Snickers	•
11	1	3	Peanut M&Ms	•
12	1	3	Hershey Bar	•
13	1	4	Snickers	•
14	1	4	Peanut M&Ms	•
15	1	4	Reese's Cups	•
16	1	4	Heath Bars	•

설계 테이블에는 선호도 기록을 위한 선택 열이 포함되어 있습니다 . 각 선택 집합에 대해
가장 선호하는 사탕에는 1, 가장 선호하지 않는 사탕에는 -1, 다른 두 사탕에는 0 을 각각
기록합니다 .

연구 결과 분석

연구를 수행하고 Candy Survey.jmp 에 데이터를 기록합니다 .

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Candy Survey.jmp 를 엽니다 .
테이블에는 Subject 열에 나열된 5명의 각 응답자에게 설문 조사를 실시한 결과가 표시됩니다 .
2. **분석 > 소비자 조사 > 최대차이**를 선택합니다 .
3. " 데이터 테이블 선택 " 을 클릭하고 Candy Survey 를 선택한 후 **확인**을 클릭합니다 .
4. 다음과 같이 열에 역할을 할당합니다 .

- Choice 를 선택하고 **반응 표시자**를 클릭합니다.
- Subject 를 선택하고 **개체 ID** 를 클릭합니다.
- Choice Set 를 선택하고 **선택 집합 ID** 를 클릭합니다.
- Candy 를 선택하고 "프로파일 효과 생성" 패널에서 **추가**를 클릭합니다.

그림 19.3 완료된 최대차이 분석 시작 창

최선 선택을 1 로 지정하고 최악 선택을 -1 로 지정했으므로 시작 창 왼쪽 아래의 "최선" 및 "최악" 선택을 변경하지 마십시오.

5. 모형 실행을 클릭합니다.

그림 19.4 최대차이 보고서

최대차이 모형		
최대차이 결과		
주변 유틸리티	주변 확률	Candy
0.9027	0.2664	Plain M&Ms
0.6765	0.2125	Reese's Cups
0.6599	0.2090	Peanut M&Ms
0.2466	0.1382	Heath Bars
0.0302	0.1113	Hershey Bar
-1.061	0.0374	Butterfinger
-1.455	0.0252	Snickers
모수 추정값		
우도비 검정		
소스	L-R 카이제곱	DF Prob>ChiSq
Candy	39.769	6 <.0001*

이 보고서는 Candy 가 유의함을 나타냅니다 . 유틸리티가 가장 높은 세 가지 사탕 종류는 Plain M&Ms, Reese's Cups, Peanut M&Ms 입니다 .

6. " 최대차이 모형 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모든 수준 비교 보고서**를 선택합니다 .

그림 19.5 사탕 종류에 대한 모든 수준 비교 보고서

모든 수준 비교 보고서							
차이(행-열) 차이의 표준 오차 Wald p 값	Butterfinger	Heath Bars	Hershey Bar	Peanut M&Ms	Plain M&Ms	Reese's Cups	Snickers
Butterfinger	0 0.52954 0.01964	-1.3079 0.52954 0.04478	-1.0915 0.52038 0.04478	-1.7212 0.54692 0.0038	-1.964 0.56495 0.00162	-1.7378 0.54938 0.00364	0.39343 0.5059 0.44306
Heath Bars	1.30792 0.52954 0.01964	0 0.52954 0.01964	0.21642 0.47619 0.65286	-0.4133 0.48741 0.40343	-0.656 0.49094 0.19185	-0.4299 0.46959 0.36752	1.70135 0.54758 0.0042
Hershey Bar	1.0915 0.52038 0.04478	-0.2164 0.47619 0.65286	0 0.47406 0.19443	-0.6297 0.49706 0.09149	-0.8725 0.49984 0.09149	-0.6463 0.49096 0.19835	1.48493 0.53808 0.00992
Peanut M&Ms	1.72121 0.54692 0.0038	0.41329 0.48741 0.40343	0.62971 0.47406 0.19443	0 0.49706 0.62896	-0.2427 0.49706 0.62896	-0.0166 0.49054 0.97325	2.11463 0.56901 0.00086
Plain M&Ms	1.96396 0.56495 0.00162	0.65604 0.49094 0.19185	0.87246 0.49984 0.09149	0.24275 0.49706 0.62896	0 0.49327 0.65002	0.22616 0.49327 0.65002	2.35738 0.58562 0.00037
Reese's Cups	1.7378 0.54938 0.00364	0.42988 0.46959 0.36752	0.6463 0.49096 0.19835	0.01659 0.49054 0.97325	-0.2262 0.49327 0.65002	0 0.49327 0.65002	2.13123 0.5714 0.00083
Snickers	-0.3934 0.5059 0.44306	-1.7013 0.54758 0.0042	-1.4849 0.53808 0.00992	-2.1146 0.56901 0.00086	-2.3574 0.58562 0.00037	-2.1312 0.5714 0.00083	0 0 0

비교 보고서는 유틸리티 측면에서 유의한 차이가 있는 사탕 종류의 쌍을 나타냅니다 . 각 셀의 세 번째 항목은 행 항목의 유틸리티에서 열 항목의 유틸리티를 뺀 값으로 정의된 차이의 p 값입니다 . p 값의 색상 강도는 차이가 얼마나 유의한지를 나타냅니다 . 파란색 또는 빨간색 음영은 차이 (행 - 열) 가 음수인지 아니면 양수인지를 나타냅니다 . p 값은 다중 비교 오차를 제어하기 위해 조정되지 않으며 지침으로만 사용해야 합니다 . 모든 수준 비교 보고서에 대한 자세한 내용은 Consumer Research 의 "MaxDiff" 장에서 확인하십시오 .

최대차이 설계 시작 창

최대차이 설계 플랫폼을 사용하려면 시작 데이터 테이블이 필요합니다. 시작 데이터 테이블에는 평가를 위해 응답자에게 제공할 항목을 나열하는 문자 데이터 열이 포함되어야 합니다.

JMP 에서 시작 데이터 테이블을 활성화하고 **DOE > 소비자 연구 > 최대차이 설계**를 선택합니다. 활성화 데이터 테이블이 없으면 시작 데이터 테이블을 찾기 위한 대화상자가 나타납니다.

그림 19.6 Candies.jmp 를 사용한 최대차이 시작 창

비교할 품목 목록이 포함된 열을 선택하십시오.

열 선택

▼ 1개 열

Candy

선택한 열 역할 지정

X, 요인 필수 문자

작업

확인

취소

제거

재호출

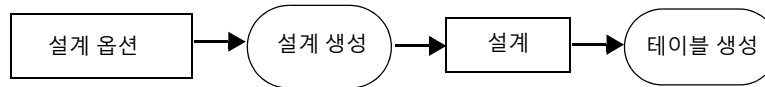
도움말

X, 요인 응답자가 평가할 항목이 포함된 문자 열입니다.

최대차이 창

설계 단계를 진행하는 동안 "최대차이 연구" 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 19.7 의 흐름을 따릅니다.

그림 19.7 최대차이 설계 흐름



"설계 옵션" 개요를 보여 주는 "최대차이 연구" 창이 열립니다. "설계 생성"을 클릭하면 "설계" 개요가 나타납니다. 설계 테이블을 구성하려면 "테이블 생성"을 클릭합니다.

설계 옵션 개요

다음을 지정합니다.

선택 집합별 프로파일 수 각 선택 집합에 포함할 항목 수입니다.

선택 집합 수 응답자가 받아서 평가할 항목 집합의 총 수입니다.

설계 개요

"설계" 개요는 연속된 양의 정수를 사용하여 선택 집합을 식별합니다. 각 선택 집합을 구성하는 항목이 나열됩니다.

쌍별 따름 행렬

"쌍별 따름 행렬" 개요는 각 요인 수준 쌍이 함께 나타나는 선택 집합 수의 행렬을 제공합니다. 행렬의 주대각은 각 요인 수준이 나타나는 선택 집합의 수입니다.

테이블 생성

"테이블 생성" 버튼은 설계 테이블을 생성합니다. 설계 테이블은 다음과 같은 네 개의 열로 구성됩니다.

개체 처음에는 1로 채워져 있습니다. 이 값을 응답자를 나타내는 적절한 식별자로 바꿉니다.

팁: 응답자 식별자를 쉽게 추가하는 방법은 **JMP 사용의 "데이터 입력 및 편집" 장에서 확인**하십시오. 식별자를 이름으로 변경하려면 "열 > 재코딩"을 사용합니다.

선택 집합 각 선택 집합에 대한 지정자입니다.

요인 지정한 요인의 수준입니다. 이 수준은 선택 집합의 항목입니다.

선택 결과를 입력할 수 있는 열입니다. 숫자 값을 사용하여 최선 선택, 최악 선택 및 중간 선택을 나타냅니다. 일반적으로 1, -1, 0 값이 사용되고 이 값은 최대차이 분석 플랫폼 ("분석 > 소비자 조사 > 최대차이")에서 분석할 때 필요합니다.

최대차이 옵션

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고: 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 반응 값을 시뮬레이션하려면 이 옵션을 선택합니다. "테이블 생성"을 클릭하면 설계 테이블과 함께 "선택 모형 시뮬레이션" 창이 열리고 "확률" 및 "선택 모형 시뮬레

이션 "열이 설계 테이블에 추가됩니다." 선택 모형 시뮬레이션 "계산식 열에는 확률 반응이 포함되고 "확률" 계산식 열에는 확률이 포함됩니다.

반응 시뮬레이션에 사용된 모형을 변경하려면 "선택 모형 시뮬레이션" 창의 "주변 유틸리티" 열에 마지막 수준을 제외한 모든 요인 수준의 값을 입력합니다. 주변 유틸리티의 합이 0 이어야 하므로 마지막 수준의 주변 유틸리티를 편집할 수 없습니다. 나머지 주변 유틸리티 값을 지정하면 요인의 마지막 수준이 적절하게 조정됩니다.

시작 수 설계 구성에 사용되는 랜덤 시작 횟수입니다. 이 값은 기본적으로 10 으로 설정됩니다.

고급 옵션 최대차이 설계에는 사용할 수 없습니다.

성분 교호작용으로 인한 고장 감지

덮기 배열은 성분 또는 부시스템 간의 교호작용으로 인해 고장이 발생하는 결정적 시스템을 테스트하는 데 사용됩니다. 설계 목표는 교호작용으로 인해 시스템 고장이 유발되는지 여부를 알아내는 것입니다. 응용 분야에는 소프트웨어, 회로 및 네트워크 설계가 포함됩니다.

결정적 테스트가 수행되므로 설계의 주안점은 필요한 모든 교호작용을 포함해야 한다는 것입니다. 덮기 배열 플랫폼은 고효율의 덮기 배열을 생성합니다. 테스트 프로토콜에 실현 가능하지 않은 요인 수준 조합을 제외할 수도 있습니다.

그림 20.1 강도 3 덮기 배열

설계						
런	X1	X2	X3	X4	X5	
1	L1	L1	L1	L1	L1	
2	L1	L1	L1	L2	L2	
3	L2	L2	L2	L2	L2	
4	L2	L1	L2	L2	L1	
5	L2	L2	L2	L1	L2	
6	L2	L2	L1	L1	L1	
7	L2	L1	L1	L1	L2	
8	L1	L2	L2	L1	L1	
9	L1	L2	L1	L2	L2	
10	L1	L2	L2	L2	L1	
11	L1	L1	L2	L1	L2	
12	L2	L2	L1	L2	L1	

목차

덮기 배열 개요	545
요인 수준 제한이 없는 덮기 배열의 예	546
설계 생성	547
실험 데이터 분석	549
요인 수준 제한이 있는 덮기 배열의 예	550
설계 생성	551
실험 데이터 분석	555
덮기 배열 창	556
요인	557
요인 수준 조합 제한	558
설계	560
지표	562
출력 옵션	563
덮기 배열 데이터 테이블	563
덮기 배열 옵션	565
덮기 배열에 대한 기술 상세 정보	566
최적화 알고리즘	566
지표 계산식	566

JMP PRO 덮기 배열 개요

덮기 배열을 사용하면 성분 또는 부시스템 간의 교호작용으로 인해 고장이 발생하는 시스템을 테스트할 수 있습니다. 덮기 배열은 다음 조건에 해당되는 소프트웨어, 회로 및 네트워크 설계 등의 분야에 주로 사용됩니다.

- 대개 테스트 비용이 많이 듭니다.
- 고장이 발생하는 교호작용을 밝히는 데 중점을 두고 테스트합니다.
- 테스트 런은 대개 결정론적이므로 결과가 성공 또는 실패로 나타납니다.
- 반복 런은 동일한 결과를 생성하므로 낭비입니다.
- 설계 효율도는 중복 런을 포함하지 않고 적용할 수 있는 가능 조건의 수를 기반으로 합니다.

시스템 테스트는 비용이 많이 들기 때문에 테스트 크기를 줄이는 것이 중요합니다. 일반적으로 가능한 모든 교호작용을 테스트하려면 비용이 너무 많이 들고 불필요한 경우도 종종 있습니다. 경험에 따르면 대부분의 고장은 소수 성분 간의 교호작용으로 인해 발생합니다. 고장을 유발할 가능성이 있는 성분 조합의 가장 큰 크기를 **강도**라고 하며 이로 인해 설계 크기가 결정됩니다.

덮기 배열 플랫폼에서 필요한 설계 강도를 지정합니다. 필요하다면 허용되지 않는 요인 수준 조합을 정의합니다. 덮기 배열 플랫폼은 요구 사항에 맞는 고효율의 설계를 생성합니다. 포함 범위 측면에서 설계 품질을 평가하는 데 사용할 수 있는 지표를 제공합니다. 또한 결과를 분석하는 데 사용할 수 있는 스크립트를 설계 데이터 테이블에 제공합니다.

덮기 배열은 요인 수준 설정의 특정 조합을 실현할 수 없는 상황에서 주로 사용됩니다. 덮기 배열 플랫폼은 요인 수준 조합에 제한이 있는 경우에도 매우 효율적인 덮기 배열을 찾을 수 있습니다.

덮기 배열의 구조와 배열 계산 알고리즘에 대한 배경 지식은 Colbourn(2004), Colbourn et al. (2011), Hartman and Raskin(2004) 및 Martirosyan(2003)에서 확인하십시오. 요인 수준에 제한이 있는 덮기 배열에 대한 자세한 내용은 Cohen et al. (2007) 및 Morgan(2009)에서 확인하십시오.

JMP PRO 덮기 배열 및 강도

강도 t 덮기 배열은 t 요인 수준 설정의 모든 조합을 테스트하는 설계입니다. k 요인에 대한 특정 설정으로 정의된 교호작용을 가정해 보겠습니다. 해당 교호작용을 포함하는 모든 테스트에서 고장이 발생하면 해당 교호작용이 고장을 감지합니다. 이 용어 설명에 따르면 강도 t 설계를 생성하여 최대 t 요인의 교호작용과 관련된 고장을 감지할 수 있습니다.

문헌에서는 덮기 배열 (covering array) 을 요인 덮기 설계 (factor covering design) 라고도 합니다. 배경 지식 및 자세한 내용은 Yilmaz et al. (2014), Cohen et al. (2003) 및 Dalal and Mallows(1998)에서 확인하십시오.

덮기 배열의 특성을 설명하기 위해 각각 수준이 두 개인 7 개의 범주형 요인에 대한 상황을 가정해 보겠습니다. 요인 수준의 모든 쌍별 조합을 테스트하려고 합니다.

이 경우 사용할 수 있는 설계는 다음과 같은 8 회 런 해상도 III 주효과 설계입니다.

그림 20.2 해상도 III 설계 (강도 2)

설계								
런	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	
1	L2	L2	L2	L2	L2	L2	L2	
2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	
3	L2	L1	L1	L2	L2	L1	L1	
4	L1	L1	L2	L2	L1	L1	L2	
5	L2	L2	L2	L1	L1	L1	L1	
6	L1	L2	L1	L1	L2	L1	L2	
7	L2	L1	L1	L1	L1	L2	L2	
8	L1	L1	L2	L1	L2	L2	L1	

두 요인의 수준에 대한 모든 쌍별 조합이 나타나므로 이 요인 설계는 강도 2 뎡기 배열입니다. 예를 들어 X1 과 X2 의 경우 다음 조합이 각각 두 번 나타납니다.

- L2, L1
- L2, L2
- L1, L1
- L1, L2

그러나 강도 2 뎡기 배열에는 다음과 같이 런이 6 개만 있으면 됩니다.

그림 20.3 강도 2 뎡기 배열

설계								
런	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	
1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	2	2	1	
3	2	2	2	1	1	1	2	
4	2	1	1	2	2	1	2	
5	1	2	1	2	1	2	2	
6	1	1	2	1	2	2	1	

두 요인의 수준에 대한 모든 쌍별 조합이 6 회 런에서 한 번 이상 나타납니다. 뎡기 배열 설계는 더 적은 수의 런으로 강도 2 포함 범위를 달성하므로 해상도 III 설계보다 효율적입니다.

뎡기 배열의 효율도는 필요한 포함 범위를 달성하기 위해 사용된 런 수로 측정됩니다. 런 수가 적을수록 설계 효율도가 높아집니다.

JMP PRO 요인 수준 제한이 없는 뎡기 배열의 예

이 예의 데이터는 소프트웨어 테스트 분야의 상호 운용성과 관련이 있습니다. 관심 요인은 다음 4 개입니다.

- Web Browser: Safari, IE, Firefox, Chrome, Other
- Operating System: Windows 또는 Macintosh
- RAM: 4, 8 또는 16 MB

- Connection Speed: 0-1, 1-5 또는 >5 Mbps

이러한 요인 조합 중 고장을 일으킬 가능성이 있는 조합을 알아내려고 합니다.

반응은 각 요인 설정 조합에서 시스템이 제대로 작동하는지 여부입니다.

각 설정 조합을 테스트하려면 실험을 90(5x2x3x3) 번 시도해야 합니다. 런 크기를 관리할 수 있도록 하기 위해 세 요인의 모든 조합이 테스트됨을 나타내는 강도 3 포함 범위가 필요하다고 결정합니다.

JMP[®] PRO 설계 생성

다음 단계를 수행하여 강도 3 ȳ기 배열을 생성합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Software Factors.jmp 를 엽니다.
- Software Factors.jmp 데이터 테이블에는 요인과 해당 설정이 포함되어 있습니다.
2. **DOE > 특수 용도 > ȳ기 배열**을 선택합니다.
3. **강도 : t =** 옆의 메뉴에서 3 을 선택합니다.
4. "ȳ기 배열" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택한 후 **계속**을 클릭합니다.
"요인" 개요에 네 가지 요인과 요인 수준이 채워져 있습니다.

그림 20.4 소프트웨어 요인에 대한 요인 개요

요인

요인 추가 ▼ 제거 N개 요인 추가 1 강도: t = 3 ▼

이름	역할	값
▼ Web Browser	범주형	Safari IE Firefox Chrome Other
▼ Operating System	범주형	Macintosh Windows
▼ RAM	범주형	4 MB 8 MB 16 MB
▼ Connection Speed	범주형	>5 Mbps 0-1 Mbps 1-5 Mbps

요인 지정

요인 추가 버튼을 클릭하여 요인을 추가하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

5. **계속**을 클릭합니다.
- 설계 설정에 대한 제한을 입력할 수 있는 "요인 수준 조합 제한" 개요가 열립니다. 이 설계에는 제한이 없으므로 기본 선택인 **없음**을 변경하지 마십시오.
6. **설계 생성**을 클릭합니다.
- "설계" 개요가 열리고 45 회 런 설계가 표시됩니다.

그림 20.5 소프트웨어 요인에 대한 설계 및 지표 개요

설계				
런	Web Browser	Operating System	RAM	Connection Speed
1	Safari	Macintosh	4 MB	>5 Mbps
2	Safari	Windows	4 MB	0-1 Mbps
3	Safari	Macintosh	4 MB	1-5 Mbps
4	Safari	Windows	8 MB	>5 Mbps
5	Safari	Macintosh	8 MB	0-1 Mbps
6	Safari	Macintosh	8 MB	1-5 Mbps
7	Safari	Macintosh	16 MB	>5 Mbps
8	Safari	Macintosh	16 MB	0-1 Mbps
9	Safari	Windows	16 MB	1-5 Mbps
10	IE	Windows	4 MB	>5 Mbps
11	IE	Macintosh	4 MB	0-1 Mbps
12	IE	Macintosh	4 MB	1-5 Mbps
13	IE	Macintosh	8 MB	>5 Mbps
14	IE	Macintosh	8 MB	0-1 Mbps

최적화 최대 반복 수: 250

측정 기준

런 수: 45

t	포함 범위	다양성
3	100.00	68.33
4	50.00	100.00

"지표" 개요에서 $t=3$ 에 해당하는 행을 예로 들어보겠습니다. "포함 범위"는 100%로, 설계에 3 요인 교호작용이 100% 포함됨을 나타냅니다. 강도 3 설계를 요청했으므로 이는 예상된 결과입니다. $t=3$ 의 "다양성" 열은 표시되는 3 요인 교호작용의 68.33%가 고유함을 나타냅니다. 즉, 일부 3 요인 조합이 반복됩니다.

$t=4$ 의 "포함 범위"는 50%로, 설계에 4 요인 교호작용의 1/2만 포함됨을 나타냅니다. 4 요인 설정의 가능한 고유 조합은 90 개입니다. 설계의 45 회 런은 이 고유 조합의 1/2을 구성합니다. "다양성" 값 100%는 4 원 교호작용이 반복되지 않는다는 사실을 뒷받침합니다.

7. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 20.6 소프트웨어 요인에 대한 설계 테이블 (일부분)

▼ 기기 배열		▶	▶	▶				
설계	기기 배열	강도 3	▼	반응	Web Browser	Operating System	RAM	Connection Speed
▶ DOE 대화상자								
▶ 분석								
▼ 열(5/0)								
▶ 반응								
▶ Web Browser *								
▶ Operating System *								
▶ RAM *								
▶ Connection Speed *								
▼ 행								
모든 행		45						
선택됨		0						

설계가 데이터 테이블에 표시됩니다. 왼쪽 위의 테이블 패널에서 다음을 확인할 수 있습니다.

- "설계" 노트는 현재 설계가 강도 3 댕기 배열임을 나타냅니다.
- "DOE 대화상자" 스크립트는 "댕기 배열" 창 설정을 재현합니다.
- "분석" 스크립트는 실험 데이터를 분석합니다.

JMP PRO 실험 데이터 분석

설계 테이블이 준비되었으므로 실험을 수행하고 설계 테이블의 반응 열에 데이터를 기록할 수 있습니다 (그림 20.6 참조). 실험 결과는 **Software Data.jmp** 샘플 데이터 테이블에 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Software Data.jmp** 를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 **Analysis** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

그림 20.7 소프트웨어 실험 데이터 분석

Summary		
Success Runs	38	
Failure Runs	3	
Missing	4	
Failure Analysis Details		
3 Factor Interactions		
Factors	Failure Levels	Failure Count
Web Browser, Operating System, RAM	Firefox, Macintosh, 8 MB	2
Web Browser, RAM, Connection Speed	Firefox, 4 MB, 0-1 Mbps	1
	Firefox, 8 MB, 1-5 Mbps	1
	Firefox, 8 MB, >5 Mbps	1

"Summary" 개요에서는 실패한 테스트가 3 개이고 통과 또는 실패 결과가 없는 테스트가 4 개임을 나타냅니다.

"Failure Analysis Details" 개요에서는 관련된 삼원 교호작용의 측면에서 고장 분석 결과를 제공합니다. 이 개요에는 모든 테스트가 실패한 요인 수준 조합만 나열됩니다. 주어진 삼원 설정 조합이 포함된 테스트가 성공하면 해당 삼원 설정 조합은 시스템 고장의 원인이 될 수 없습니다.

Web Browser 가 Firefox, Operating System 이 Macintosh, RAM 이 8MB 로 각각 설정된 경우 두 번의 고장이 발생했습니다. 이 조합을 사용하면 Connection Speed 설정에 관계없이 고장이 발생했습니다.

3. "3 Factor Interactions" 보고서에서 첫 번째 행을 선택합니다.

그림 20.8 분석 보고서에서 교호작용 선택

Failure Analysis Details		
3 Factor Interactions		
Factors	Failure Levels	Failure Count
Web Browser, Operating System, RAM	Firefox, Macintosh, 8 MB	2
Web Browser, RAM, Connection Speed	Firefox, 4 MB, 0-1 Mbps	1
	Firefox, 8 MB, 1-5 Mbps	1
	Firefox, 8 MB, >5 Mbps	1

이렇게 하면 데이터 테이블에서 해당 행과 열이 선택됩니다.

그림 20.9 데이터 테이블에서 해당 행과 열 선택

Software Data							
장기 파일 C:\Program File							
설계 Covering Array							
노트 Strength covering arr							
DOE 대화상자							
분석							
열 (5/3)							
Response							
Web Browser *							
Operating System *							
RAM *							
Connection Speed *							
		1	1	Safari	Macintosh	16 MB	0-1 Mbps
		2	1	Safari	Windows	16 MB	1-5 Mbps
		3	1	Safari	Macintosh	16 MB	>5 Mbps
		4	1	Safari	Windows	4 MB	0-1 Mbps
		5	1	Safari	Macintosh	4 MB	1-5 Mbps
		6	1	Safari	Macintosh	4 MB	>5 Mbps
		7	1	Safari	Macintosh	8 MB	0-1 Mbps
		8	1	Safari	Macintosh	8 MB	1-5 Mbps
		9	1	Safari	Windows	8 MB	>5 Mbps
		10	1	IE	Windows	16 MB	0-1 Mbps
		11	1	IE	Macintosh	16 MB	1-5 Mbps
		12	1	IE	Macintosh	16 MB	>5 Mbps
		13	1	IE	Macintosh	4 MB	0-1 Mbps

Web Browser, RAM, 및 Connection Speed 조합과 관련하여 세 번의 고장이 발생했습니다. 이중 두 개 (Firefox, 8MB, 1-5Mbps와 Firefox, 8MB, >5Mbps)는 Web Browser, Operating System, RAM 교호작용에 대한 두 가지 고장에 해당합니다. 보고서에서 이러한 행을 선택하면 데이터 테이블에서도 해당 행과 열이 선택됩니다.

JMP PRO 요인 수준 제한이 있는 덮기 배열의 예

다음 예는 Dalal and Mallows(1998)에 설명된 예를 참조하여 새로 구성되었습니다. 발신 전화기 (Near Phone)로 수신 전화기 (Far Phone)에 전화를 겁니다. 각 전화 통화는 A형 또는 B형 인터페이스를 통과합니다. 관심 요인은 다음 5개입니다.

- Market: USA, UK, Canada, France, Mexico
- Near Phone: ISDN, Bus(Business), Coin, Res(Residential)
- Near Interface: A 또는 B
- Far Phone: ISDN, Bus(Business), Coin, Res(Residential)
- Far Interface: A 또는 B

이러한 요인 쌍 조합 중 고장을 일으킬 가능성이 있는 조합을 알아내려고 합니다. 그러나 다음과 같은 특정 조합은 불가능합니다.

- 한 전화기 (Near 또는 Far) 의 ISDN 회선은 A 인터페이스를 사용할 수 없습니다.
- 발신 전화기 (Near) 의 Business 및 Residential 회선은 B 인터페이스를 사용할 수 없습니다.

JMP^{PRO} 설계 생성

요인과 해당 설정은 Phone Factors.jmp 데이터 테이블에 제공됩니다. 다음 단계를 수행하여 강도 2 덮기 배열을 생성합니다.

JMP^{PRO} 요인 불러오기

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Phone Factors.jmp 를 엽니다.
Phone Factors.jmp 데이터 테이블에는 요인과 해당 설정이 포함되어 있습니다.
2. **DOE > 특수 용도 > 덮기 배열**을 선택합니다.
강도 : t = 옆의 메뉴는 기본적으로 2 로 설정되어 있습니다.
3. "덮기 배열" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
"요인" 개요에 다섯 가지 요인과 요인 수준이 채워져 있습니다.

그림 20.10 전화기 요인에 대한 요인 개요

이름	역할	값
Market	범주형	USA UK Canada France Mexico
Near Phone	범주형	ISDN Bus Coin Res
Near Interface	범주형	A B
Far Phone	범주형	ISDN Bus Coin Res
Far Interface	범주형	A B

요인 지정

요인 추가 버튼을 클릭하여 요인을 추가하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.

계속

4. **계속**을 클릭합니다.
"요인 수준 조합 제한" 개요가 열립니다.

JMP^{PRO} 요인 수준 조합 제한

다음 두 가지 방법으로 허용되지 않는 조합을 지정할 수 있습니다.

- 허용되지 않는 조합 필터 사용

- 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

필터를 사용하면 허용되지 않는 조합을 직관적으로 지정할 수 있습니다. 스크립트를 사용하면 허용되지 않는 조합을 쉽고 빠르게 지정할 수 있지만 먼저 스크립트를 작성하거나 저장해야 합니다. 이 예에서 필터를 사용하여 조합을 지정하지 않으려면 "[스크립트를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정](#)"(553 페이지)으로 건너뛰니다.

다음과 같은 제한이 있습니다

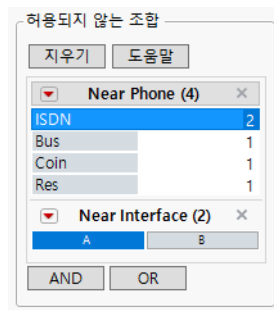
- 한 전화기 (Near 또는 Far) 의 ISDN 회선은 A 인터페이스를 사용할 수 없습니다.
- 발신 전화기 (Near) 의 Business 및 Residential 전화는 B 인터페이스를 사용할 수 없습니다.

JMP PRO 필터를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정

필터 인터페이스를 사용하여 허용되지 않는 조합을 입력하려면 이 방법을 사용합니다. 아니면 "[스크립트를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정](#)"(553 페이지)에 표시된 스크립트를 붙여넣을 수 있습니다.

1. **허용되지 않는 조합 필터 사용**을 선택합니다.
2. "필터 요인 추가" 목록에서 Near Phone 과 Near Interface 를 선택하고 **추가**를 클릭합니다.
3. Ctrl 키를 누른 채로 Near Phone에서 ISDN을 클릭하고 Near Interface에서 A를 클릭합니다.

그림 20.11 첫 번째 제약 조건을 보여 주는 허용되지 않는 조합 패널



두 블록 모두 진하게 바뀝니다. 발신 전화기 (Near) 의 ISDN 회선은 A 인터페이스를 사용할 수 없다는 제약 조건을 추가했습니다.

4. **OR** 를 클릭합니다.
5. "필터 요인 추가" 목록에서 Far Phone 과 Far Interface 를 선택하고 **추가**를 클릭합니다.
6. Ctrl 키를 누른 채로 Far Phone에서 ISDN을 클릭하고 Far Interface에서 A를 클릭합니다.
수신 전화기 (Far) 의 ISDN 회선은 A 인터페이스를 사용할 수 없다는 제약 조건을 추가했습니다.
7. **OR** 를 클릭합니다.
8. "필터 요인 추가" 목록에서 Near Phone 과 Near Interface 를 선택하고 **추가**를 클릭합니다.

9. Ctrl 키를 누른 채로 Near Phone 에서 Bus 와 Res 를 클릭하고 Near Interface 에서 B 를 클릭합니다.

발신 전화기 (Near) 의 Business 및 Residential 회선은 B 인터페이스를 사용할 수 없다는 제한을 추가했습니다.

그림 20.12 완료된 허용되지 않는 조합 필터

허용되지 않는 조합

지우기 도움말

☒ Near Phone (4) ×

ISDN	2
Bus	1
Coin	1
Res	1

☒ Near Interface (2) ×

A	B

OR

☒ Far Phone (4) ×

ISDN	2
Bus	1
Coin	1
Res	1

☒ Far Interface (2) ×

A	B

OR

☒ Near Phone (4) ×

ISDN	2
Bus	1
Coin	1
Res	1

☒ Near Interface (2) ×

A	B

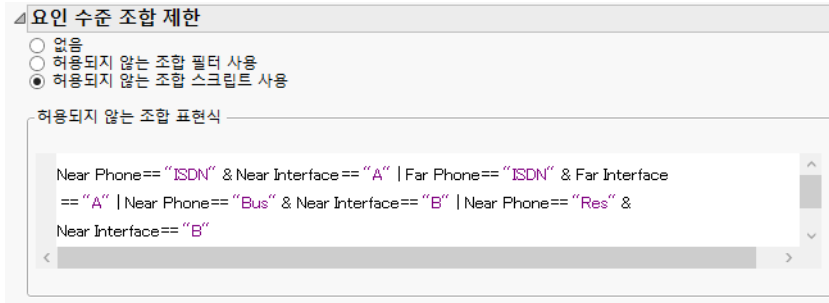
AND OR

JMP PRO 스크립트를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정

스크립트를 작성하여 허용되지 않는 조합을 지정할 수도 있습니다. 요인을 불러온 후 ("[요인 불러오기](#)" (551 페이지) 참조) 다음을 수행하십시오.

1. **계속**을 클릭합니다.
2. **허용되지 않는 조합 스크립트 사용**을 선택합니다.
3. 다음 스크립트를 복사하여 "허용되지 않는 조합 표현식" 스크립트 상자에 붙여넣습니다.


```
(Near Phone == "ISDN" & Near Interface == "A") |
(Near Phone == "ISDN" & Near Interface == "B") |
(Near Phone == "Bus" & Near Interface == "A") |
(Near Phone == "Bus" & Near Interface == "B") |
(Near Phone == "Coin" & Near Interface == "A") |
(Near Phone == "Coin" & Near Interface == "B") |
(Near Phone == "Res" & Near Interface == "A") |
(Near Phone == "Res" & Near Interface == "B")
```

그림 20.13 완료된 허용되지 않는 스크립트 창

JMP PRO 설계 테이블 구성

참고: 다음 두 단계에서 난수 시드값을 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

1. "덮기 배열"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다.
2. 632를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
3. **설계 생성**을 클릭합니다.

"설계" 개요가 열리고 20회 런 설계가 표시됩니다. "지표" 개요가 창에 추가됩니다.

그림 20.14 전화기 설계에 대한 지표 개요

측정 기준		
런 수:	20	
t	포함 범위	다양성
2	100.00	54.00
3	63.14	83.00
4	30.29	97.00

"지표" 개요에서는 강도 2 포함 범위가 100%임을 나타냅니다. 즉, 허용 가능한 모든 2 요인 조합이 설계에 표시됩니다. 또한 모든 3 요인 조합의 65%가 설계에 포함됩니다.

4. **테이블 생성**을 클릭합니다.

설계 테이블에 설계가 추가됩니다. 다양한 스크립트와 반응 열이 제공됩니다.

그림 20.15 뎁기 배열 설계 테이블

	Response	Market	Near Phone	Near Interface	Far Phone	Far Interface
1		• Mexico	Res	A	Res	A
2		• Mexico	Bus	A	Bus	A
3		• France	Coin	B	Bus	B
4		• UK	Res	A	Coin	A
5		• UK	ISDN	B	Bus	B
6		• France	ISDN	B	Res	A
7		• Canada	Bus	A	Res	A
8		• Mexico	ISDN	B	ISDN	B
9		• Canada	ISDN	B	Coin	B
10		• UK	Bus	A	ISDN	B
11		• Canada	Res	A	Bus	B
12		• USA	ISDN	B	ISDN	B
13		• UK	Coin	B	Res	B
14		• Mexico	Coin	B	Coin	B
15		• USA	Bus	A	Bus	A
16		• USA	Coin	A	Coin	A
17		• USA	Res	A	Res	A
18		• France	Res	A	ISDN	B
19		• France	Bus	A	Coin	B
20		• Canada	Coin	B	ISDN	B

JMP[®] PRO 실험 데이터 분석

설계 테이블이 준비되었으므로 실험을 수행하고 설계 테이블의 반응 열에 데이터를 기록할 수 있습니다. 실험 결과는 **Phone Data.jmp** 샘플 데이터 테이블에 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Phone Data.jmp** 를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 **Analysis** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

그림 20.16 전화기 실험 데이터 분석

Summary		
Success Runs	17	
Failure Runs	3	
Missing	0	
Failure Analysis Details		
2 Factor Interactions		
Factors	Failure Levels	Failure Count
Near Interface, Far Phone	A, Coin	3
Far Phone, Far Interface	Coin, A	2
Market, Near Phone	USA, Coin	1
Market, Near Phone	UK, Res	1
Market, Near Phone	France, Bus	1
Market, Far Phone	USA, Coin	1
Market, Far Phone	UK, Coin	1
Market, Far Phone	France, Coin	1
Market, Far Interface	UK, A	1
Near Phone, Near Interface	Coin, A	1
Near Phone, Far Phone	Bus, Coin	1
Near Phone, Far Phone	Res, Coin	1
Near Phone, Far Interface	Coin, A	1

"Summary" 개요에서는 3 개의 테스트가 실패했음을 나타냅니다.

이 원 교호작용이 고장을 감지하는 가장 낮은 수준의 교호작용이므로 "Failure Analysis Details" 개요에 "2 Factor Interactions" 보고서가 포함됩니다.

"2 Factor Interactions" 보고서에는 세 가지 고장의 원인이 될 수 있는 조합이 표시됩니다. **Near Interface** 가 A 로 설정되고 **Far Phone** 이 Coin 으로 설정된 조합 하나가 세 가지 실패 모두의 원인이 될 수 있습니다. 아니면 두 개 또는 세 개의 다른 조합으로 인해 세 가지 고장이 발생했을 수 있습니다.

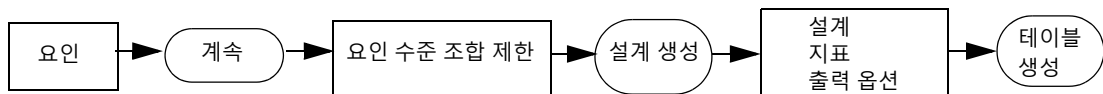
3. "2 Factor Interactions" 보고서에서 첫 번째 행을 선택합니다.

데이터 테이블에서 4, 16 및 19 행이 선택됩니다. 이 조합의 경우 **Market, Near Phone** 및 **Far Interface** 설정에 관계없이 고장이 발생합니다. 그러나 요인 설정의 다른 조합도 이러한 고장의 원인이 될 수 있다는 점에 유의하십시오.

JMP PRO 덮기 배열 창

설계 단계를 진행하는 동안 덮기 배열 창이 업데이트됩니다. DOE 창의 일반적인 흐름에 대한 자세한 내용은 "DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계"(52 페이지)에서 확인하십시오. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 20.17의 흐름을 따릅니다.

그림 20.17 덮기 배열 흐름



값 요인에 대한 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다. 설계 테이블의 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다.

JMP[®] PRO 요인 테이블 편집

다음 내용을 참조하여 "요인" 개요에서 작업을 수행합니다.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 범주형 요인은 요인 이름 왼쪽에 아래쪽 화살표가 있습니다. 이 화살표를 클릭하여 수준을 추가합니다.
- 요인 수준을 제거하려면 값을 클릭하고 **삭제**를 클릭한 후 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 값 열의 값을 클릭합니다.

JMP[®] PRO 요인 열 특성

각 요인의 "값 라벨" 열 특성은 설계 테이블에 저장됩니다. "값 라벨" 열 특성은 라벨이 지정된 열에 값을 나타냅니다. 이러한 라벨은 데이터 테이블에 표시되고 그림과 보고서에 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "**값 라벨**"(712 페이지)에서 확인하십시오.

JMP[®] PRO 요인 수준 조합 제한

"요인" 개요를 완료하고 "계속"을 클릭하면 "요인 수준 조합 제한" 개요가 나타납니다. 이 개요를 사용하면 허용되지 않는 요인 수준 조합을 지정할 수 있습니다. 제약 조건을 불러오거나 스크립트의 일부로 포함하지 않은 경우 **없음** 옵션이 선택됩니다. 제약 조건을 지정하려면 다른 옵션 중 하나를 선택합니다.

허용되지 않는 조합 필터 사용 개별 요인의 값 제한을 기반으로 제약 조건 집합을 정의합니다. AND 제약 조건과 OR 제약 조건을 모두 정의할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**허용되지 않는 조합 필터 사용**"(558 페이지)에서 확인하십시오.

허용되지 않는 조합 스크립트 사용 허용되지 않는 조합 및 기타 제약 조건을 스크립트 편집기 상자에 부울 JSL 표현식으로 정의합니다. 자세한 내용은 "**허용되지 않는 조합 스크립트 사용**"(560 페이지)에서 확인하십시오.

JMP[®] PRO 허용되지 않는 조합 필터 사용

이 옵션은 허용되지 않는 조합을 쉽게 지정하기 위해 데이터 필터를 조정하여 사용합니다. 데이터 필터 사용 방법에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 "JMP 보고서" 장에서 확인하십시오.

허용되지 않는 조합을 추가하려면

1. "필터 요인 추가" 목록에서 요인을 선택하고 **추가**를 클릭합니다.
2. 수준을 선택하여 허용되지 않는 조합을 지정합니다.

참고: "필터 요인 추가" 메뉴의 빨간색 삼각형 옵션은 많은 플랫폼 시작 창의 "열 선택" 패널에 있는 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "시작하기" 장에서 확인하십시오.

"추가"를 클릭하면 초기 패널이 업데이트됩니다." 허용되지 않는 조합 "제어판에 선택한 요인이 표시되고 추가 제어 옵션이 제공됩니다.

덮기 배열 플랫폼은 범주형 요인만 허용합니다. 범주형 요인의 경우 가능한 수준은 라벨이 지정된 블록으로 표시되거나, 수준 수가 많으면 목록 항목으로 표시됩니다. 허용하지 않을 수준을 선택합니다. 여러 수준을 선택하려면 Ctrl 키를 누른 채로 선택합니다. 해당 블록 또는 목록 항목은 강조 표시되어 허용되지 않는 수준임을 나타냅니다." 허용되지 않는 조합 "패널에 요인을 추가하면 해당 범주형 요인의 수준 수가 요인 이름 뒤의 괄호 안에 표시됩니다.

허용되지 않는 조합 옵션

지우기 지정한 허용되지 않는 요인 수준 설정을 모두 지웁니다. 선택한 요인은 지워지지 않습니다.

AND "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 AND 그룹이 됩니다. AND 그룹 내에 지정된 요인 수준 조합은 허용되지 않습니다.

나중에 AND 그룹에 요인을 추가하려면 그룹 개요를 클릭하여 강조 표시된 직사각형을 표시합니다. 그런 다음 "AND"를 선택하고 요인을 추가합니다.

단일 요인을 제거하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **삭제**를 선택합니다.

OR "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 별도의 AND 그룹이 됩니다. OR 로 구분된 AND 그룹의 경우 하나 이상의 AND 그룹에 지정된 조합은 허용되지 않습니다.

요인에 대한 빨간색 삼각형 메뉴 옵션

한 요인이 여러 OR 그룹에 나타날 수 있습니다. 특정 OR 그룹에 요인이 나타나는 경우 이를 해당 요인의 인스턴스라고 합니다.

삭제 "허용되지 않는 조합" 패널에서 선택한 요인 인스턴스를 제거합니다.

선택 해제 요인 인스턴스에 대한 선택을 취소합니다.

선택 반전 요인 인스턴스에 대해 선택된 값을 선택 취소하고 이전에 선택되지 않은 값을 선택합니다.

표시 옵션 표시 모양을 변경합니다. 다음과 같은 옵션이 있습니다.

블록 표시 각 수준을 블록으로 표시합니다.

목록 표시 각 수준을 목록의 멤버로 표시합니다.

단일 범주 표시 각 수준을 표시합니다.

체크박스 표시 각 값 옆에 체크박스를 추가합니다.

라디오 상자 표시 단일 선택을 위해 각 값 옆에 라디오 선택 항목을 추가합니다.

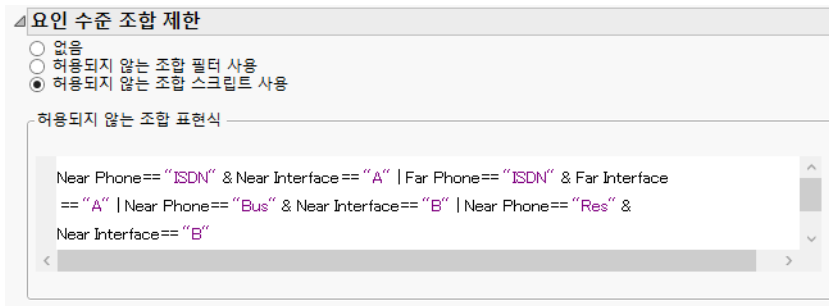
찾기 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 요인 이름 아래에 요인 수준에 대한 검색 문자열을 입력할 수 있는 텍스트 상자를 제공합니다. Enter 키를 누르거나 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭하면 검색이 수행됩니다. **찾기**가 선택되면 찾기 텍스트 상자 드롭다운 메뉴에 찾기 옵션이 나타납니다.

JMP^{PRO} 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

이 옵션은 허용하지 않을 조합을 식별하는 스크립트를 삽입할 수 있는 스크립트 창을 엽니다. 스크립트는 부울 표현식으로 평가되어야 합니다. 표현식이 true 로 평가되면 지정된 조합이 허용되지 않습니다.

표현식을 작성할 때 수준 이름을 인용 부호로 묶습니다. 수준에 순서 값을 사용하지 마십시오. 예를 들어 그림 20.19에서는 전화기 인터페이스 예, "[스크립트를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정](#)"(553 페이지)에서 입력한 스크립트를 보여 줍니다.

그림 20.19 따옴표로 묶은 수준 이름을 보여 주는 스크립트 창



JMP^{PRO} 설계

"설계 생성"을 클릭하면 "설계" 및 "지표" 개요가 나타납니다. 계산이 많이 필요한 설계의 경우 진행률 표시줄이 나타납니다.

"설계" 개요에는 생성한 설계가 표시됩니다. 첫 번째 열은 런 순서 목록입니다. 모든 런을 보려면 스크롤 막대를 사용해야 할 수도 있습니다. 나머지 열은 각 런의 요인 설정을 보여 줍니다.

최적화

덮기 배열 플랫폼에서 구성했거나 "설계 불러오기" 빨간색 삼각형 옵션을 사용하여 불러온 설계의 크기를 줄이려면 "최적화"를 선택합니다. 덮기 배열 플랫폼에서 구성한 설계가 최적으로 확인되면 "최적화"를 사용할 수 없습니다. 특히 2 수준 요인에 대해 이 플랫폼에서 구성한 모든 무제약 강도 2 설계는 최적입니다. 또한 $t+1$ 요인에 대한 무제약 강도 t 설계는 모든 t 에 최적입니다.

알고리즘에 대한 자세한 내용은 "[최적화 알고리즘](#)"(566 페이지)에서 확인하십시오.

참고 : 최적화는 시간이 많이 걸리는 작업이지만 반복적으로 실행하여 점진적으로 더 좋은 설계를 생성할 수 있습니다.

최대 반복 수 옵션을 사용하여 설계를 최적화하는 데 사용할 최대 반복 수를 지정합니다.

JMP PRO 불충족 제약 조건

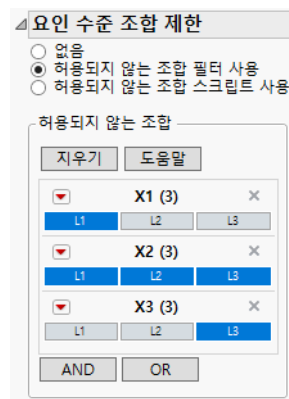
필요한 모든 요인 수준을 나타내는 덮기 배열을 생성할 수 없게 하는 제약 조건 집합을 불충족 제약 조건이라고 합니다.

불충족 제약 조건의 예

각각 수준이 세 개인 세 가지 요인에 대한 강도 2 설계를 가정해 보겠습니다.

1. DOE > 특수 용도 > 덮기 배열을 선택합니다.
2. N 개 요인 추가 옆에 3 을 입력합니다.
3. 요인 추가 메뉴에서 3 수준을 선택합니다.
4. 계속을 클릭합니다.
5. 허용되지 않는 조합 필터 사용을 선택합니다.
6. 필터 요인 추가 목록에서 세 요인을 모두 선택하고 추가를 클릭합니다.
7. Ctrl 키를 누른 채로 다음 수준을 선택합니다.
 - X1 에서 L1 을 선택합니다.
 - X2 에서 L1, L2, L3 을 선택합니다.
 - X3 에서 L3 을 선택합니다.

그림 20.20 완료된 요인 수준 조합 제한 패널



참고 : 다음 두 단계에서 난수 시드값을 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

- 8. " 뒤틀기 배열 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정** 을 선택합니다 .
- 9. 12345 를 입력하고 **확인** 을 클릭합니다 .
- 10. **설계 생성** 을 클릭합니다 .

그림 20.21 설계 및 지표 개요

설계

허용되지 않는 요인 수준 조합으로 인해 1개의 런에 결측 설정이 있습니다.

런	X1	X2	X3
1	L1	L1	L1
2	L3	L2	L1
3	L2	L2	L3
4	L1	L2	L2
5	L2	L1	L2
6	L3	L3	L2
7	L2	L3	L1
8	L3	L1	L3
9	L1	.	L3
10	L1	L3	L1

최적화

최대 반복 수: 250

측정 기준

런 수	t	포함 범위	다양성
2	96.30	92.96	
3	37.50	100.00	

" 설계 " 개요 아래의 노트는 제약 조건으로 인해 1 개의 런에 결측 설정이 있음을 나타냅니다 . 해당 런은 런 9 입니다 . 뒤틀기 배열의 강도가 2 가 되게 하려면 X1 = L1, X3 = L3 조합이 필요합니다 . 그러나 이러한 설정의 경우 제약 조건으로 인해 X2 에 대한 모든 설정이 허용되지 않습니다 .

JMP[®] PRO 지표

" 지표 " 개요는 설계가 강도 요구 사항을 얼마나 잘 충족하는지에 대한 정보를 제공합니다 . 무제약 설계의 이러한 지표에 대한 배경 지식은 Dalal and Mallows(1998) 에서 확인하십시오 .

t 요인 수입니다 .

포함 범위 설계에 나오는 고유 t 요인 설정의 수를 가능한 t 요인 설정의 총 수에 대한 비율 (백분율) 로 나타낸 값입니다. t 포함 범위가 100% 이면 가능한 모든 t 요인 설정이 설계에 포함됩니다. 각 t 요인 설정은 여러 번 나타날 수 있습니다.

제약 및 불충족 설계의 경우 모든 t 요인 조합에 제약 조건이 적용된 후 가능한 t 요인 설정의 수에 맞게 포함 범위 정의가 조정됩니다. 자세한 내용은 "[지표 계산식](#)"(566 페이지) 에서 확인하십시오.

다양성 설계에서 고유 t 요인 설정의 수를 t 요인 설정의 총 수에 대한 비율 (백분율) 로 나타낸 값입니다. t 다양성은 설계에서 반복이 방지되는 정도를 측정합니다. t 다양성이 100% 이면 t 요인 설정이 반복되지 않습니다. t 다양성이 50% 이면 고유 t 요인 설정이 나타나는 평균 횟수가 2 회입니다.

제약 및 불충족 설계의 경우 결측 설정이 있는 런 수에 맞게 다양성 정의가 조정됩니다. 자세한 내용은 "[지표 계산식](#)"(566 페이지) 에서 확인하십시오.

JMP PRO 출력 옵션

테이블 생성 "뎛기 배열" 데이터 테이블을 생성합니다.

뒤로 "요인" 개요로 돌아갑니다. 이전 개요를 변경하고 설계를 다시 생성할 수 있습니다.

참고: "요인 수준 조합 제한" 개요에서 허용되지 않는 조합을 정의하면 해당 조합이 스크립트로 유지됩니다. "계속" 을 클릭하면 "허용되지 않는 조합 스크립트 사용" 패널에 스크립트가 표시됩니다.

JMP PRO 뎛기 배열 데이터 테이블

"뎛기 배열" 데이터 테이블에 포함된 첫 번째 열에 반응을 입력할 수 있습니다. 나머지 열은 요인 설정을 제공합니다.

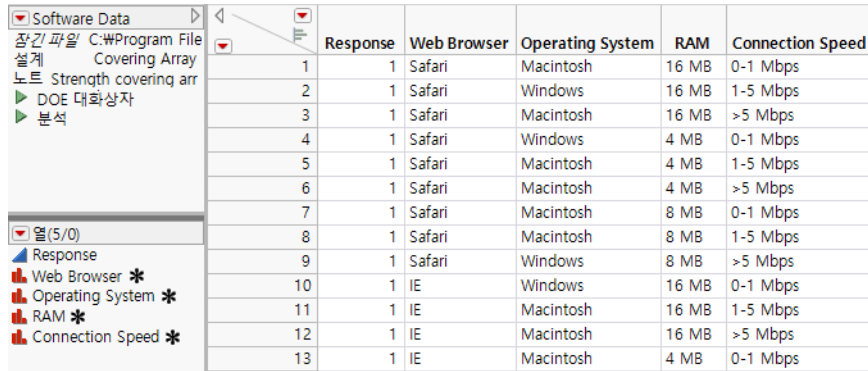
왼쪽 위의 테이블 패널에는 설계가 뎛기 배열임을 나타내고 설계 강도를 제공하는 "설계" 노트가 포함되어 있습니다. 테이블 패널에는 다음 스크립트도 있습니다.

DOE 대화상자 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "뎛기 배열" 창을 다시 생성합니다.

허용되지 않는 조합 "요인 수준 조합 제한" 개요에 입력한 요인 수준 제한을 표시합니다.

분석 실험 데이터 분석 결과를 제공합니다. 스크립트에 대한 자세한 내용은 "[분석 스크립트](#)"(564 페이지) 에서 확인하십시오. 배경 지식은 Zhang and Zhang(2011) 에서 확인하십시오.

팁: 스크립트를 실행하려면 스크립트 이름 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

그림 20.22 스크립트를 보여 주는 Software Data.jmp 의 덮기 배열 테이블 (일부분)


	Response	Web Browser	Operating System	RAM	Connection Speed
1	1	Safari	Macintosh	16 MB	0-1 Mbps
2	1	Safari	Windows	16 MB	1-5 Mbps
3	1	Safari	Macintosh	16 MB	>5 Mbps
4	1	Safari	Windows	4 MB	0-1 Mbps
5	1	Safari	Macintosh	4 MB	1-5 Mbps
6	1	Safari	Macintosh	4 MB	>5 Mbps
7	1	Safari	Macintosh	8 MB	0-1 Mbps
8	1	Safari	Macintosh	8 MB	1-5 Mbps
9	1	Safari	Windows	8 MB	>5 Mbps
10	1	IE	Windows	16 MB	0-1 Mbps
11	1	IE	Macintosh	16 MB	1-5 Mbps
12	1	IE	Macintosh	16 MB	>5 Mbps
13	1	IE	Macintosh	4 MB	0-1 Mbps

JMP PRO 분석 스크립트

" 분석 " 스크립트는 반응 열에 대해 다음과 같이 가정합니다.

- 반응은 고장이 발생할 경우 0, 성공할 경우 1 로 기록됩니다.
- 결측값이 허용됩니다.
- 반응 열은 연속형입니다.
- 반응 열을 이동하거나 이름을 바꿀 수 있습니다.

" 분석 " 스크립트는 다음과 같은 두 가지 개요가 포함된 보고서를 생성합니다.

- " 요약 " 개요는 성공한 런 수, 고장이 발생한 런 수 및 반응이 없는 런 수를 제공합니다.
- " 고장 분석 상세 정보 " 보고서에는 "<k> 요인 교호 작용 " 보고서가 포함됩니다. k 값은 고장을 감지하는 최소 교호작용 개수입니다. 감지의 정의는 " 덮기 배열 및 강도 "(545 페이지) 에서 확인하십시오. 세 열에는 다음 항목이 포함됩니다.
 - **요인** 열에는 고장을 감지하는 모든 k 요인 조합이 나열됩니다.
 - **고장 수준** 열에는 **요인** 열에서 고장을 감지하는 k 요인의 값이 나열됩니다.
 - **고장 개수** 열에는 **고장 수준**의 k 요인 조합에 해당하는 고장 수가 표시됩니다.

참고 : 고장 관측값은 **고장 수준** 열에 나열된 둘 이상의 k 요인 조합에 나타날 수 있습니다.

"<k> 요인 교호작용 " 보고서의 행은 데이터 테이블에 동적으로 연결되어 있습니다. 보고서에서 하나 이상의 행을 선택하면 데이터 테이블에서도 해당 행이 선택됩니다.

JMP PRO 뎃기 배열 옵션

뎃기 배열 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

요인 저장 각 요인에 대해 요인 수준을 포함하는 열로 구성된 데이터 테이블을 생성합니다. 각 요인 열에는 "설계 역할", "값 순서" 및 "요인 변경"이라는 열 특성이 포함됩니다. 요인을 저장하면 DOE 창에 요인을 빠르게 불러올 수 있습니다.

참고: 빈 테이블에 데이터를 입력하여 뎃기 배열의 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할 ("범주형")을 할당해야 합니다. 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 "범주형"을 선택합니다.

요인 불러오기 "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 "요인" 개요에 불러옵니다.

설계 불러오기 활성 데이터 테이블에서 설계를 불러옵니다. 활성 데이터 테이블이 없으면 테이블을 열기 위한 대화상자가 나타납니다. "설계 불러오기"를 선택하면 설계에서 요인으로 지정할 열을 선택할 수 있는 메뉴가 나타납니다. 모든 열을 범주형으로 가져옵니다. 열과 열 값이 "요인" 개요에 나열됩니다. "설계" 개요에는 데이터 테이블의 각 행에 대한 런이 표시되고 각 런에 대한 요인 값이 제공됩니다.

"설계 불러오기" 옵션을 사용하면 다음과 같이 기존 설계의 지표를 가져오고, 설계를 수정하거나, "분석" 스크립트를 구성할 수 있습니다.

- "지표" 개요에는 지정된 설계의 t 포함 범위 및 t 다양성이 표시됩니다.
- **뒤로**를 클릭하여 요인 수준 제한을 적용한 후 새 설계를 구성할 수 있습니다.
- **테이블 생성**을 클릭하면 반응을 입력할 수 있는 설계 테이블이 생성됩니다. 이 테이블에는 설계에 대한 "분석" 스크립트가 포함되어 있습니다.

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 특정 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 시드값은 뎃기 배열을 위한 시작 설계 및 반복 횟수를 선택합니다. 대부분의 설계에서 난수 시드값은 설계를 그대로 재현하지만 런 순서는 다를 수 있습니다.

참고: 시간 상한 및 반복 횟수는 설계 생성 시간을 제한하는 데 사용됩니다. 일부 대형 설계와 고강도 설계의 경우 시스템에 따라 시간 제한이 반복 제한보다 우선할 수 있습니다. 이러한 설계에서는 난수 시드값으로 설계가 재현되지 않을 수 있습니다.

설계를 재현하려면 "설계 생성"을 클릭하기 전에 설계 생성에 사용되는 난수 시드값을 입력합니다.

참고: 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

고급 옵션 뎃기 배열에는 사용할 수 없습니다.

스크립트를 스크립트 창에 저장 "덮기 배열" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

JMP PRO 덮기 배열에 대한 기술 상세 정보

- "최적화 알고리즘"
- "지표 계산식"

JMP PRO 최적화 알고리즘

"최적화" 버튼은 생성 후 랜덤화된 최적화 도구 (Nayeri et al., 2013) 라고도 하는 덮기 배열 최적화 도구 클래스와 개념적으로 유사한 알고리즘을 호출합니다. 그러나 JMP 의 알고리즘은 제약 조건이 있는 설계도 처리한다는 점에서 완전히 다릅니다. 특히 제약된 덮기 배열은 물론 불충족 제약 덮기 배열도 최적화합니다.

이 알고리즘은 최적화할 설계를 강도가 지정된 덮기 배열이라고 가정합니다. 강도 t 의 K 요인 설계인 경우, 모든 $K\mathbf{C}_t$ 요인 투영을 반복적으로 검사하여 런을 제거하거나 병합할 수 있는지 여부를 결정합니다. 따라서 K 또는 t 가 커지면 알고리즘 실행 시간이 빠르게 증가합니다. 성능을 개선하기 위해 워크스테이션에서 사용 가능한 최대 CPU 코어를 사용하도록 JMP 구현이 스레드 됩니다.

JMP PRO 지표 계산식

포함 범위 및 다양성 계산식은 제약 조건이 있는지 여부에 따라 달라집니다. 다음 표기가 사용됩니다.

${}_u\mathbf{C}_v$ 는 한 번에 v 씩 적용된 u 개 항목의 조합 수입니다.

t 는 설계 강도입니다.

K 는 요인 수입니다.

$M = K\mathbf{C}_t$

$i = 1, 2, \dots, M$ 은 t 요인의 모든 조합 또는 투영을 정렬하는 인덱스입니다.

v_{ik} 는 k^{th} 요인의 수준 수입니다.

n_i 는 설계에서 i^{th} 투영에 대한 고유 t 투플의 수입니다.

p_i 는 i^{th} 투영에서 요인에 대한 v_{ik} 의 곱입니다.

r 는 설계의 런 수입니다.

JMP PRO 무제약 설계

포함 범위 및 다양성은 다음 식을 사용하여 구합니다 .

$$Coverage = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M n_i/p_i$$

$$Diversity = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M n_i/r$$

JMP PRO 제약 설계

제약된 설계에서는 특정 t 투플이 허용되지 않습니다 . 이로 인해 일부 t 투플에 대한 결측값이 발생할 수 있습니다 . t 요인의 일부 조합에서 유효한 t 투플이 없을 수 있습니다 . 포함 범위와 다양성은 가능한 유효 조합의 관점에서 정의해야 합니다 . 따라서 제약된 설계의 계산식에는 다음과 같은 추가 표기가 필요합니다 .

a_i 는 i^{th} 투영의 요인으로 인해 유효하지 않은 t 투플의 수입입니다 .

m 은 유효한 t 투플이 없는 투영의 수입입니다 .

q_i 는 설계에서 i^{th} 투영의 요인에 대한 결측값이 있는 런 수입입니다 .

$r_i = r - q_i$

$M' = M - m$

포함 범위 및 다양성은 다음 식을 사용하여 구합니다 .

$$Coverage = \frac{1}{M'} \sum_{i=1}^{M'} n_i/(p_i - a_i)$$

$$Diversity = \frac{1}{M'} \sum_{i=1}^{M'} n_i/r_i$$

유효하지 않은 t 투플이 없고 ($M' = M$) 결측값도 없는 경우 (모든 i 에 대해 $r_i = r$), 제약된 설계의 포함 범위 및 다양성에 대한 정의가 무제약 설계에 대한 정의로 축소됩니다 . 자세한 내용은 Morgan(2014) 에서 확인하십시오 .

21 장

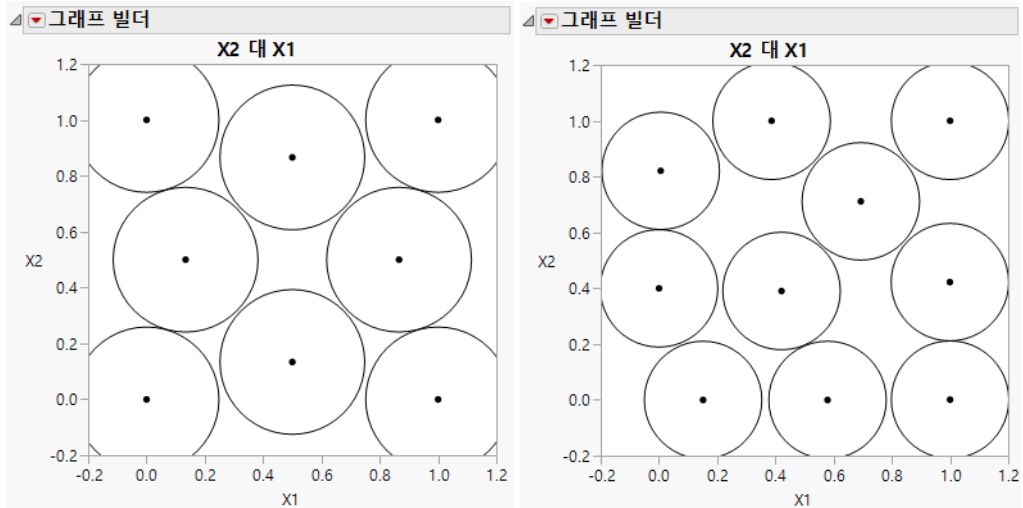
공간 채움 설계

공간 채움 설계는 런 간의 변동보다 모형 형태에 대한 관심이 훨씬 큰 상황에서 유용합니다. 컴퓨터 시뮬레이션 모형의 민감도 연구를 예로 들겠습니다. 이 상황에서 기계적 또는 결정적 모델링 문제에 대한 변동은 무시할 정도로 작습니다. 변동이 없는 시스템의 경우 반복, 랜덤화, 블록화 등은 관련이 없습니다.

공간 채움 플랫폼은 연속형 요인과 범주형 요인이 모두 있는 상황에 적합한 설계를 제공합니다. 연속형 요인의 경우 공간 채움 설계를 사용하는 목적은 다음과 같습니다.

- 두 설계점 사이의 거리 최대화
- 점 사이의 간격을 균등하게 설정

그림 21.1 공간 채움 설계



목차

공간 채움 설계 개요.....	571
공간 채움 설계 창.....	572
반응.....	572
요인.....	574
요인 제약 조건 정의.....	575
공간 채움 설계 방법.....	578
설계.....	579
설계 진단.....	579
설계 테이블.....	579
공간 채움 설계 옵션.....	579
Sphere-Packing 설계.....	581
Sphere-Packing 설계 생성.....	581
Sphere-Packing 설계 시각화.....	583
라틴 초입방체 설계.....	584
라틴 초입방체 설계 생성.....	584
라틴 초입방체 설계 시각화.....	586
균등 설계.....	588
Sphere-Packing, 라틴 초입방체 및 균등 방법 비교.....	590
최소 잠재 설계.....	591
최대 엔트로피 설계.....	593
가우스 과정 IMSE 최적 설계.....	595
쾌속 유연 채움 설계.....	596
FFF 최적 기준.....	596
평균 군집 크기 설정.....	597
제약 조건.....	598
제약된 쾌속 유연 채움 설계 생성 및 보기.....	598
맵 웨이프를 위한 공간 채움 설계 생성.....	600
Sphere-Packing 설계의 예.....	605
Borehole 데이터에 대한 Sphere-Packing 설계 생성.....	605
결정적 데이터 분석을 위한 지침.....	606

공간 채움 설계 개요

공간 채움 설계는 결정적 또는 근사 결정적 시스템을 모델링하는 데 유용합니다. 컴퓨터 시뮬레이션을 결정적 시스템의 한 예로 들 수 있습니다. 이러한 시뮬레이션은 복잡하게 연관된 많은 변수를 포함하여 매우 복잡해질 수 있습니다. 이러한 시스템에 대해 설계된 실험의 목표는 제한된 요인 범위에서 시스템 동작을 적절하게 예측하는 단순한 경험적 모형을 찾는 것입니다.

랜덤 잡음이 상당히 큰 시스템에 대한 실험 목표는 예측 분산을 최소화하는 것입니다. 결정적 시스템에 대한 실험의 경우 분산은 없지만 편향이 있습니다. 편향은 근사 모형과 실제 수학 함수 간의 차이입니다. 공간 채움 설계 목표는 이러한 편향의 경계를 나타내는 것입니다.

편향의 경계를 나타내는 한 가지 방법은 실험 경계를 벗어나지 않고 설계점을 가능한 한 서로 멀리 퍼뜨리는 것입니다. 또한 관심 영역에서 설계점 간격을 균등하게 두는 것도 방법이 될 수 있습니다.

공간 채움 설계 도구는 다음 설계 방법을 지원합니다.

Sphere Packing 설계점 쌍 사이의 최소 거리를 최대화합니다. 자세한 내용은 "[Sphere-Packing 설계](#)"(581 페이지) 및 "[Borehole 데이터에 대한 Sphere-Packing 설계 생성](#)"(605 페이지)에서 확인하십시오.

라틴 초입방체 설계점 사이의 최소 거리를 최대화하지만 각 요인의 수준 간격이 균등해야 합니다. 이 방법은 균등 분포와 비슷한 설계를 생성합니다. 라틴 초입방체 방법은 Sphere-Packing 방법과 균등 설계 방법을 절충한 것입니다. 자세한 내용은 "[라틴 초입방체 설계](#)"(584 페이지)에서 확인하십시오.

균등 경험적 균등 분포를 갖는 설계점과 이론적 균등 분포 사이의 불일치를 최소화합니다. 자세한 내용은 "[균등 설계](#)"(588 페이지)에서 확인하십시오.

최소 잠재 구형 안에서 중심 가까이에 점을 펼쳐 놓습니다. 자세한 내용은 "[최소 잠재 설계](#)"(591 페이지)에서 확인하십시오.

최대 엔트로피 데이터 집합 분포에 포함된 정보의 양을 측정합니다. 자세한 내용은 "[최대 엔트로피 설계](#)"(593 페이지)에서 확인하십시오.

가우스 과정 IMSE 최적 실험 영역에 대한 가우스 과정의 통합 평균 제곱 오차를 최소화하는 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "[가우스 과정 IMSE 최적 설계](#)"(595 페이지)에서 확인하십시오.

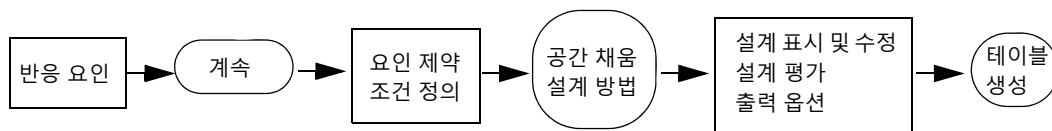
쾌속 유연 채움 쾌속 유연 채움 방법은 설계 공간의 랜덤 점으로 군집을 이룹니다. 이러한 군집은 최적화 기준에 따라 설계점을 선택하는 데 사용됩니다. 이 방법만 범주형 요인을 수용하고 설계 공간에 제약 조건을 지정할 수 있습니다. 선형 제약 조건 및 허용되지 않는 조합을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[쾌속 유연 채움 설계](#)"(596 페이지) 및 "[제약된 쾌속 유연 채움 설계 생성 및 보기](#)"(598 페이지)에서 확인하십시오.

참고: 런 수가 500 이하이면 가우스 과정 모형이 데이터 테이블에 저장됩니다. 런 수가 500 을 초과하면 신경망 모형이 데이터 테이블에 저장됩니다.

공간 채움 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "공간 채움 설계" 창이 업데이트됩니다. 개요는 창을 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 21.2의 흐름을 따릅니다.

그림 21.2 공간 채움 설계 흐름



반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

팁: "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

그림 21.3 반응 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y	최대화	.	.	.

선택적 항목

반응 추가 "최대화", "목표값 일치", "최소화" 또는 "없음" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

제거 선택한 반응을 제거합니다.

반응 수 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

반응 이름 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

목표, 하한, 상한 "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "**반응 한계**"(684 페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.
- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

참고: 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

중요도 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "**반응 한계**"(684 페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

요인

" 요인 " 개요에서 요인을 추가합니다 .

그림 21.4 요인 개요

이름	역할	값
X1	연속형	-1
X2	연속형	-1

요인 지정
원하는 요인 수를 지정하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 설정을 두 번 클릭하십시오.

계속

" 요인 " 개요에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다 .

연속형 N 개 요인 추가에 지정된 수의 연속형 요인을 입력합니다 .

범주형 N 개 요인 추가에 지정된 수의 명목형 요인을 입력합니다 .

제거 선택한 요인을 제거합니다 .

N 개 요인 추가 지정된 유형의 여러 요인을 추가합니다 . 추가할 요인 수를 입력하고 " 연속형 " 또는 " 범주형 " 을 클릭합니다 . 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다 .

팁 : " 요인 " 패널을 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하십시오 . 이렇게 하면 요인 이름과 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다 . 자세한 내용은 "[공간 채움 설계 옵션](#)"(579 페이지) 에서 확인하십시오 .

요인 개요

" 요인 " 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다 .

이름 요인의 이름입니다 . 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다 . 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다 .

역할 요인의 설계 역할을 지정합니다 . 요인의 " 설계 역할 " 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다 . 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다 .

값 요인에 대한 실험 설정입니다 . 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다 .

요인 개요 편집

" 요인 " 개요에서 다음 사항에 유의하십시오 .

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다 .

- 범주형 요인은 요인 이름 왼쪽에 아래쪽 화살표가 있습니다 . 이 화살표를 클릭하여 수준을 추가합니다 .
- 요인 수준을 제거하려면 값을 클릭하고 **삭제**를 클릭한 후 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다 .
- 값을 편집하려면 값 열의 값을 클릭합니다 .

요인 유형

연속형 숫자 데이터 유형만 가능합니다 . 연속형 요인은 개념적으로 공정 및 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다 .

범주형 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다 . 범주형 요인의 경우 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다 . 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 " 값 순서 " 열 특성에 저장됩니다 .

요인 열 특성

각 요인에 대한 다양한 열 특성이 데이터 테이블에 저장됩니다 .

설계 역할 각 요인에 " 설계 역할 " 열 특성이 할당됩니다 . 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 " 설계 역할 " 열 특성의 값이 결정됩니다 . " 설계 역할 " 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다 . " 설계 역할 " 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다 .

요인 변경 각 요인에 " 쉬움 " 으로 설정된 " 요인 변경 " 열 특성이 할당됩니다 . 공간 채움 설계에서는 각 실험 런에 대해 요인 수준을 변경할 수 있다고 가정합니다 . " 요인 변경 " 값은 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다 .

코딩 " 역할 " 이 " 연속형 " 인 경우 요인의 " 코딩 " 열 특성이 저장됩니다 . 이 특성은 하한값과 상한값이 각각 -1 과 +1 에 해당하도록 요인 값을 변환합니다 . " 최소 제곱 적합 " 보고서의 추정값과 검정은 변환된 값을 기반으로 합니다 .

값 순서 " 역할 " 이 " 범주형 " 또는 " 블록화 " 인 경우 요인의 " 값 순서 " 열 특성이 저장됩니다 . 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다 .

요인 제약 조건 정의

참고 : 캐속 유언 채움 방법을 사용하여 구성된 설계에만 제약 조건을 지정할 수 있습니다 .

" 요인 제약 조건 정의 " 를 사용하여 설계 공간을 제한할 수 있습니다 . 제약 조건을 불러오거나 스크립트의 일부로 포함하지 않은 경우 **없음** 옵션이 선택됩니다 . 제약 조건을 지정하려면 다른 옵션 중 하나를 선택합니다 .

선형 제약 조건 지정 요인의 선형 조합에 대한 부등식 제약 조건을 지정합니다 . " 연속형 " 또는 " 혼합 " 역할이 설정된 요인에만 사용할 수 있습니다 . 자세한 내용은 " **선형 제약 조건 지정** " 에서 확인하십시오 .

참고 : 선형 제약 조건을 포함하는 설계의 스크립트를 저장하면 해당 스크립트에 선형 제약 조건이 보다 작거나 같음 부등식 ($\leq$) 으로 표현됩니다.

허용되지 않는 조합 필터 사용 개별 요인의 값 제한을 기반으로 제약 조건 집합을 정의합니다. AND 제약 조건과 OR 제약 조건을 모두 정의할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[허용되지 않는 조합 필터 사용](#)" 에서 확인하십시오.

허용되지 않는 조합 스크립트 사용 허용되지 않는 조합 및 기타 제약 조건을 스크립트 편집기 상자에 부울 JSL 표현식으로 정의합니다. 자세한 내용은 "[허용되지 않는 조합 스크립트 사용](#)" 에서 확인하십시오.

선형 제약 조건 지정

설계 공간에서 연속형 요인을 독립적으로 변경할 수 없는 경우 선형 부등식 제약 조건을 지정할 수 있습니다. 선형 부등식은 허용되는 요인 수준 설정을 정의합니다.

추가를 클릭하여 하나 이상의 선형 부등식 제약 조건을 입력합니다.

추가 설계의 모든 연속형 요인을 포함하는 선형 표현식 템플릿을 추가합니다. 요인에 대한 계수 값을 입력한 후 선형 제약 조건을 반영하는 부등식 방향을 선택합니다. 부등식의 오른쪽 상자에 제약 값을 지정합니다. 제약 조건을 더 추가하려면 **추가**를 다시 클릭합니다.

참고 : "구 반지름" 을 지정하여 설계 영역을 이미 제한한 경우에는 "추가" 옵션이 비활성화됩니다.

마지막 제약 조건 제거 마지막 제약 조건을 제거합니다.

제약 조건 검사 제약 조건의 일관성을 확인합니다. 이 옵션은 중복 제약 조건을 제거하고 실험 가능성 검사를 수행합니다. 문제가 있으면 JMP 경고가 나타납니다. 제약 조건이 요인의 한계와 동등한 경우 "요인" 개요의 한계가 업데이트되었음을 알리는 JMP 경고가 나타납니다.

허용되지 않는 조합 필터 사용

이 옵션은 허용되지 않는 조합을 쉽게 지정하기 위해 데이터 필터를 조정하여 사용합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "[JMP 보고서](#)" 장에서 확인하십시오.

"필터 요인 추가" 목록에서 요인을 선택하고 **추가**를 클릭합니다. 그런 다음 슬라이더를 사용하거나 (연속형 요인의 경우) 수준을 선택하여 (범주형 요인의 경우) 허용되지 않는 조합을 지정합니다.

"필터 요인 추가" 메뉴의 빨간색 삼각형 옵션은 많은 플랫폼 시작 창의 "열 선택" 패널에 있는 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "[시작하기](#)" 장에서 확인하십시오.

"추가" 를 클릭하면 "허용되지 않는 조합" 제어판에 선택한 요인이 표시되고 추가 제어 옵션이 제공됩니다. 요인은 모델링 유형에 따라 다음과 같이 나타납니다.

연속형 요인 연속형 요인의 경우 요인 설정 범위를 따라 양방향 화살표 슬라이더가 나타납니다. 부등식을 사용하여 범위를 설명하는 표현식이 슬라이더 위에 표시됩니다. 슬라이더 화살표

를 드래그하거나, 표현식에서 부등식 한계를 클릭하고 원하는 제약 조건을 입력하여 허용되지 않는 설정을 지정할 수 있습니다. 슬라이더에서 파란색 강조 표시는 허용되지 않는 값을 나타냅니다.

범주형 요인 범주형 요인의 경우 가능한 수준은 라벨이 지정된 블록으로 표시되거나, 수준 수가 많으면 목록 항목으로 표시됩니다. 허용하지 않을 수준을 선택합니다. 여러 수준을 선택하려면 Ctrl 키를 누른 채로 선택합니다. 해당 블록 또는 목록 항목은 강조 표시되어 허용되지 않는 수준임을 나타냅니다. "허용되지 않는 조합" 패널에 범주형 요인을 추가하면 해당 요인의 수준 수가 요인 이름 뒤의 괄호 안에 표시됩니다.

허용되지 않는 조합 옵션

제어판에는 다음과 같은 컨트롤이 있습니다.

지우기 지정한 허용되지 않는 요인 수준 설정을 모두 지웁니다. 선택한 요인은 지워지지 않습니다.

다시 시작 선택한 모든 요인을 제거하고 초기 요인 목록으로 돌아갑니다.

AND "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 AND 그룹이 됩니다. AND 그룹 내에 지정된 요인 수준 조합은 허용되지 않습니다.

나중에 AND 그룹에 요인을 추가하려면 그룹 개요를 클릭하여 강조 표시된 직사각형을 표시합니다. 그런 다음 "AND" 를 선택하고 요인을 추가합니다.

단일 요인을 제거하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **삭제**를 선택합니다.

OR "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 별도의 AND 그룹이 됩니다. OR 로 구분된 AND 그룹의 경우 하나 이상의 AND 그룹에 지정된 조합은 허용되지 않습니다.

요인에 대한 빨간색 삼각형 메뉴 옵션

한 요인이 여러 OR 그룹에 나타날 수 있습니다. 특정 OR 그룹에 요인이 나타나는 경우 이를 해당 요인의 인스턴스라고 합니다.

삭제 "허용되지 않는 조합" 패널에서 선택한 요인 인스턴스를 제거합니다.

선택 해제 요인 인스턴스에 대한 선택을 취소합니다.

선택 반전 요인 인스턴스에 대해 선택된 값을 선택 취소하고 이전에 선택되지 않은 값을 선택합니다.

표시 옵션 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 표시 모양을 변경합니다. 각 수준을 블록, 목록 또는 단일 범주로 표시하거나 각 값 옆에 체크박스를 추가하는 옵션을 사용할 수 있습니다.

찾기 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 요인 이름 아래에 요인 수준에 대한 검색 문자열을 입력할 수 있는 텍스트 상자를 제공합니다. Enter 키를 누르거나 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭하면 검색이 수행됩니다. **찾기**가 선택되면 찾기 텍스트 상자 드롭다운 메뉴에 찾기 옵션이 나타납니다.

허용되지 않는 조합 스크립트 사용

이 옵션을 사용하면 JSL 스크립트를 사용하여 요인 수준 조합을 허용하지 않도록 설정할 수 있습니다. 이 옵션은 연속형 요인 또는 연속형과 범주형이 혼합된 요인과 함께 사용할 수 있습니다.

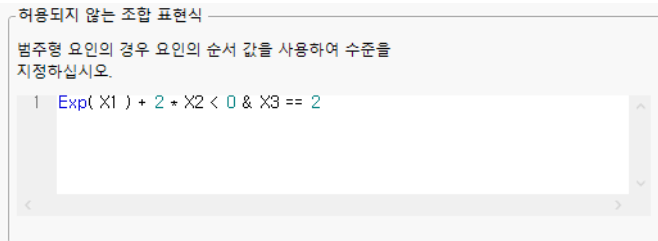
이 옵션은 허용하지 않을 조합을 식별하는 스크립트를 삽입할 수 있는 스크립트 창을 엽니다. 스크립트는 부울 표현식으로 평가되어야 합니다. 표현식이 **true** 로 평가되면 지정된 조합이 허용되지 않습니다.

범주형 요인에 대한 표현식을 작성할 때는 수준의 순서 값 또는 수준 이름을 사용합니다. "요인" 개요에서 요인 수준이 높음, 중간, 낮음으로 순서대로 지정된 경우 관련 서수 값은 1, 2, 3 입니다. 예를 들어 두 개의 연속형 요인 (X1, X2) 과 세 가지 수준 (L1, L2, L3) 이 순서대로 설정된 범주형 요인 하나가 있다고 가정해 보겠습니다. 다음 표현식이 **true** 인 경우 수준을 허용하지 않으려고 합니다.

$$e^{X_1 + 2X_2} < 0 \text{ 및 } X_3 = L2$$

(Exp(X1) + 2*X2 < 0) & (X3 == 2) 표현식을 스크립트 창에 입력합니다.

그림 21.5 스크립트 편집기의 표현식



(그림에서 불필요한 괄호는 파싱을 통해 제거됨) 함수를 부울 표현식의 일부로 입력할 수 있습니다. (Exp(X1) + 2*X2 < 0) & (X3 == "L2") 표현식도 유효합니다.

공간 채움 설계 방법

다음과 같은 방법을 사용하여 공간 채움 설계를 구성할 수 있습니다.

- "Sphere-Packing 설계 "(581 페이지)
- " 라틴 초입방체 설계 "(584 페이지)
- " 균등 설계 "(588 페이지)
- " 최소 잠재 설계 "(591 페이지)
- " 최대 엔트로피 설계 "(593 페이지)
- " 가우스 과정 IMSE 최적 설계 "(595 페이지)
- " 쾌속 유연 채움 설계 "(596 페이지)

설계

"설계" 개요에서는 공간 채움 설계를 위한 런을 보여 줍니다.

설계 진단

"설계 진단" 개요에는 요인의 값이 0~1 척도로 표시됩니다. "최소 거리"는 척도화된 값을 기반으로 하며 각 점에서 최근접 이웃까지의 최소 거리입니다. 최근접 이웃의 행 번호는 "최근접 점" 열에 제공됩니다. 테이블 아래에 표시된 불일치 값은 설계점과 균등 분포 사이의 통합 차이입니다.

MaxPro(최대 투영) 기준은 전체 설계 및 사용된 범주형 변수의 각 수준에 대해 제공됩니다. 값이 작을수록 좋습니다. MaxPro 기준에 대한 자세한 내용은 "MaxPro"(596 페이지)에서 확인하십시오.

참고: 임의의 차원에 대해 두 점이 동일한 값 ($x_{ik} = x_{jk}$) 을 가질 수 있으면 MaxPro 기준이 정의되지 않습니다. 이 경우에는 "설계 진단"에 MaxPro 대한 결측값이 표시됩니다.

설계 테이블

테이블 생성 "공간 채움 설계" 데이터 테이블을 생성합니다.

뒤로 설계 생성을 클릭하기 전의 위치로 이동합니다. 이전 개요를 변경하고 설계를 다시 생성할 수 있습니다.

공간 채움 설계 옵션

공간 채움 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 저장 "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

반응 불러오기 "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

요인 저장 "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

참고: 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

요인 불러오기 "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

제약 조건 저장 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "**제약 조건 상태**"(715 페이지)에서 확인하십시오.

제약 조건 불러오기 (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

난수 시드값 설정 JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

참고 : 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.
- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 창의 "**반응 시뮬레이션**"(100 페이지)에서 확인하십시오.

참고 : **JMP PRO** " 반응 시뮬레이션 " 을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다 . 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 " 시뮬레이션 " 장에서 확인하십시오 .

FFF 최적 기준 쾌속 유연 채움 설계 방법의 경우 MaxPro 기준 (기본값) 과 Centroid 기준 중 하나를 선택할 수 있습니다 . 자세한 내용은 "**FFF 최적 기준**" (596 페이지) 에서 확인하십시오 .

시작 수 새 설계를 생성하기 위해 선택한 설계 유형의 알고리즘이 시작되는 횟수를 지정합니다 . 지정된 설계 유형에 대한 기준에 따라 최선의 설계가 반환됩니다 . 기본적으로 모든 설계 유형에 대해 1 로 설정합니다 . 쾌속 유연 채움 설계에는 사용되지 않습니다 .

고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정 쾌속 유연 채움 설계 방법의 경우 각 군집 또는 각 설계점을 정의하는 데 사용하기 위해 무작위로 생성되는 평균 점 개수를 지정할 수 있습니다 .

고급 옵션 > MaxPro 범주형 가중치 쾌속 유연 채움 설계 방법의 경우 MaxPro 계산에서 범주형 요인에 사용되는 가중치를 지정할 수 있습니다 . 범주형 수준이 동일한 점에 가중치를 곱합니다 . 이렇게 하면 범주형 요인의 각 수준에 대한 하위 설계에서 더 좋은 공간 채움 특성이 제공됩니다 .

스크립트를 스크립트 창에 저장 공간 채움 설계 플랫폼에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다 .

Sphere-Packing 설계

Sphere-Packing 설계 방법은 설계점 쌍 사이의 최소 거리를 최대화합니다 . 이 최대화를 통해 설계 영역 내에서 점을 가능한 한 많이 퍼뜨릴 수 있습니다 .

- "**Sphere-Packing 설계 생성**"
- "**Sphere-Packing 설계 시각화**"

Sphere-Packing 설계 생성

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다 .
2. 반응과 요인을 입력합니다 .
자세한 내용은 "**반응**" (572 페이지) 에서 확인하십시오 .
3. 필요한 경우 요인 수준 값을 변경합니다 . 예를 들어 그림 21.6 에서는 값이 -1 ~ 1 (기본값) 대신 0 ~ 1 범위로 설정된 기준의 두 요인 X1 과 X2 를 보여 줍니다 .

그림 21.6 두 요인에 대한 공간 채움 설계 대화상자

공간 채움 설계

반응

반응 추가 ▼ 제거 반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y 선택적 항목	최대화	.	.	.

요인

연속형 범주형 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	값
X1	연속형	0 1
X2	연속형	0 1
선택적 항목		

요인 지정

원하는 요인 수를 지정하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 설정을 두 번 클릭하십시오.

계속

4. **계속**을 클릭합니다.

5. 설계 규격 대화상자에서 표본 크기 (**런 수**)를 지정합니다. 그림 21.7에는 표본 크기가 8로 지정되어 있습니다.

그림 21.7 공간 채움 설계 대화상자

공간 채움 설계 방법

런 수: 8

Sphere Packing 구형의 최적 패킹
입방 내에 있습니다.

라틴 초입방 최적 구간의 라틴 초입방입니다.

균등 균등 설계

최소 잠재 구형 영역의 최소 에너지 설계입니다.

최대 엔트로피 가우스 과정에 대한 최대 엔트로피 설계입니다.

가우스 과정 IMSE 최적 가우스 과정에 대한 통합 평균 제곱 오차 최적 설계입니다.

빠르고 유연한 충전 군집화를 통한 공간 채움 설계입니다.

뒤로

6. **Sphere Packing**을 클릭합니다.

설계가 생성되고 설계 런과 설계 진단이 표시됩니다. 그림 21.8에서는 **최소 거리**가 0.518인 "설계 진단" 패널을 보여 줍니다. 결과가 아래 그림과 약간 다를 수 있지만 최소 거리는 같습니다. 한 차원에 대해 점의 값이 동일할 수 있으므로 Sphere Packing에 대한 MaxPro 통계량은 정의되지 않았습니다.

그림 21.8 Sphere-Packing 설계 진단

설계 진단				
런	적도화X1	적도화X2	최소 거리	최근접 점
1	0.50000	0.86602	0.518	3
2	0.86603	0.50000	0.518	6
3	0.13397	0.50000	0.518	1
4	0.50000	0.13398	0.518	7
5	0.00000	1.00000	0.518	1
6	1.00000	1.00000	0.518	2
7	1.00000	0.00000	0.518	4
8	0.00000	0.00000	0.518	3

불일치 = 0.046969
MaxPro

전체 설계
설계 테이블

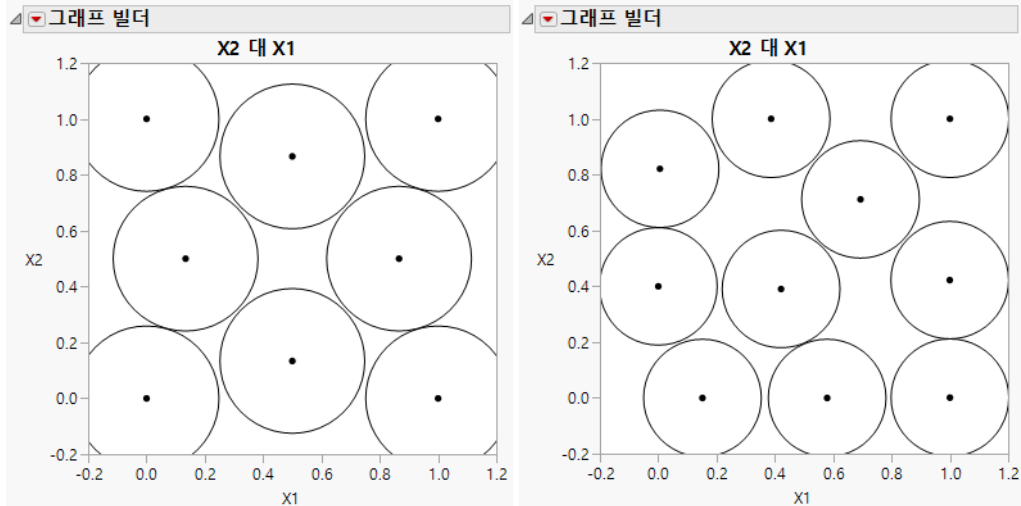
테이블 생성 뒤로

7. **테이블 생성**을 클릭합니다. 이 테이블을 사용하여 다음 섹션에서 설명하는 시각화 예를 완료합니다.

Sphere-Packing 설계 시각화

Sphere-Packing 기법의 특성을 시각화하려면 그래프 빌더를 사용하여 그림을 생성합니다. 방금 생성한 테이블을 사용하여 다음 단계를 수행하십시오.

1. **그래프 > 그래프 빌더**를 선택합니다.
2. X1 을 **X** 로 지정하고 X2 를 **Y** 로 지정합니다.
3. 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **그래프 > 크기 / 척도 > 등간격 가로 - 세로 축**을 선택하여 프레임이 정사각형이 되도록 프레임 크기를 조정합니다.
4. 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **사용자 정의**를 선택합니다. "사용자 정의" 패널이 나타나면 더하기 기호를 클릭하여 텍스트 편집 영역을 표시한 후 다음 스크립트를 입력합니다.
For Each Row(Circle({:X1, :X2}, 0.518/2))
 여기서 **0.518**은 "설계 진단" 패널에서 확인한 최소 거리 값입니다. 이 스크립트는 그림 21.9의 왼쪽에 표시된 것과 같이 각 설계점이 중심에 있고 반지름이 0.259(지름 0.518 의 1/2) 인 원을 그립니다. 이 그림은 JMP 가 설계점을 효율적으로 채우는 방법을 보여 줍니다.
5. 이제 이전 섹션에서 설명한 절차를 표본 크기만 8 대신 10 으로 지정하고 똑같이 반복합니다.
 그래프 스크립트에서 **0.518** 을 10 회 런으로 생성된 최소 거리로 변경해야 합니다. 그림이 나타나면 다시 프레임 크기를 설정하고, 진단 보고서의 최소 거리를 원의 지름으로 사용하여 그래프 스크립트를 생성합니다. 그림 21.9 의 오른쪽 그래프와 유사한 그래프가 표시됩니다. Sphere Packing 의 불규칙 특성에 유의하십시오. 배열은 랜덤 시작점에 기반하므로 실제로 이 과정을 세 번 정도 반복하면 그림이 약간 다를 수 있습니다.

그림 21.9 8 회 런 (왼쪽) 과 10 회 런 (오른쪽) 을 사용한 Sphere-Packing 예

라틴 초입방체 설계

라틴 초입방체 설계에서 각 요인의 수준 수는 설계의 런 수와 동일합니다. 수준은 요인의 하한에서 상한까지 간격이 균등합니다. Sphere Packing 방법과 마찬가지로 라틴 초입방체 방법도 설계 점 사이의 최소 거리를 최대화하도록 점을 선택하지만 제약 조건이 있습니다. 이 제약 조건으로 인해 요인 수준 사이 간격이 균등하게 유지됩니다.

- "라틴 초입방체 설계 생성"
- "라틴 초입방체 설계 시각화"

라틴 초입방체 설계 생성

라틴 초입방체 방법을 사용하려면

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 반응과 요인 (필요한 경우) 을 입력합니다.
자세한 내용은 "반응"(572 페이지) 에서 확인하십시오.
3. 필요한 경우 요인 수준 값을 변경합니다. 그림 21.10 에서는 기존의 두 요인에 요인을 두 개 더 추가하고 값을 기본값 -1 과 1 대신 1 과 8 로 변경합니다.

그림 21.10 네 요인에 대한 공간 채움 설계 대화상자

▼ 공간 채움 설계

반응

반응 추가 ▼ 제거 반응 수...

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y 선택적 항목	최대화	.	.	.

요인

연속형 범주형 ▼ 제거 N개 요인 추가 1

이름	역할	값
X1	연속형	1
X2	연속형	1
X3	연속형	1
X4	연속형	1

요인 지정

원하는 요인 수를 지정하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 설정을 두 번 클릭하십시오.

계속

4. **계속**을 클릭합니다.
5. 설계 규격 대화상자에서 표본 크기 (**런 수**)를 지정합니다. 이 예에서는 표본 크기 8을 사용합니다.
6. **라틴 초입방체**를 클릭합니다 (그림 21.7 참조). 그림 21.11에 표시된 것과 유사한 요인 설정 및 설계 진단 결과가 나타납니다. 이 그림은 요인이 4개이고 런 수가 8인 라틴 초입방체 설계를 보여 줍니다.

참고: 이 예의 목적은 각 열 (요인)에 각 수준이 한 번만 할당되고 각 열의 수준 순열이 다름을 보여 주는 것입니다.

그림 21.11 수준이 8 개인 4 개 요인과 8 회 런에 대한 라틴 초입방체 설계

4 요인
공간 채움 라틴 초입방

설계				
런	X1	X2	X3	X4
1	4.00000	7.00000	1.00000	4.00000
2	2.00000	6.00000	5.00000	7.00000
3	1.00000	4.00000	6.00000	1.00000
4	7.00000	5.00000	3.00000	8.00000
5	5.00000	2.00000	8.00000	6.00000
6	6.00000	8.00000	7.00000	3.00000
7	8.00000	3.00000	4.00000	2.00000
8	3.00000	1.00000	2.00000	5.00000

설계 진단						
런	적도화X1	적도화X2	적도화X3	적도화X4	최소 거리	최근접 점
1	0.42857	0.85714	0.00000	0.42857	0.782	2
2	0.14286	0.71429	0.57143	0.85714	0.782	1
3	0.00000	0.42857	0.71429	0.00000	0.926	2
4	0.85714	0.57143	0.28571	1.00000	0.795	2
5	0.57143	0.14286	1.00000	0.71429	0.845	2
6	0.71429	1.00000	0.85714	0.28571	0.892	7
7	1.00000	0.28571	0.42857	0.14286	0.892	6
8	0.28571	0.00000	0.14286	0.57143	0.892	1

불일치 = 0.039317
MaxPro
전체 설계 11.40992

라틴 초입방체 설계 시각화

라틴 초입방체 기법의 특성을 시각화하려면 그래프 빌더를 사용하여 그림을 생성합니다.

1. 기본 X1 및 X2 요인을 사용하여 다른 라틴 초입방체 설계를 생성합니다.
2. 요인 값을 기본값 -1 과 1 대신 0 과 1 이 되도록 변경해야 합니다.
3. **계속**을 클릭합니다.
4. 표본 크기 (런 수) 를 8 로 지정합니다.
5. **라틴 초입방체**를 클릭합니다.

그림 21.12 2 개 요인과 8 회 런을 사용한 라틴 초입방체 설계

2 요인
공간 채움 라틴 초입방

설계		
런	X1	X2
1	0.28571	0.00000
2	0.00000	0.85714
3	0.57143	0.28571
4	0.42857	0.71429
5	0.14286	0.42857
6	1.00000	0.14286
7	0.85714	0.57143
8	0.71429	1.00000

설계 진단				
런	적도화X1	적도화X2	최소 거리	최근접 점
1	0.28571	0.00000	0.404	3
2	0.00000	0.85714	0.452	4
3	0.57143	0.28571	0.404	1
4	0.42857	0.71429	0.404	5
5	0.14286	0.42857	0.404	4
6	1.00000	0.14286	0.452	7
7	0.85714	0.57143	0.404	3
8	0.71429	1.00000	0.404	4

불일치 = 0.009279
MaxPro
전체 설계 11.32801

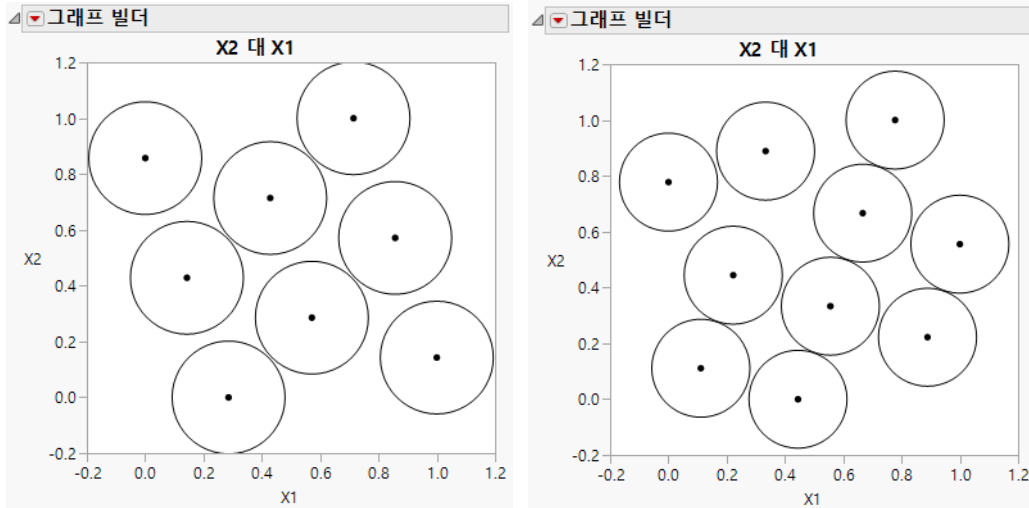
- 테이블 생성을 클릭합니다.
- 그래프 > 그래프 빌더를 선택합니다.
- X1 을 **X** 로 지정하고 X2 를 **Y** 로 지정합니다.
- 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **그래프 > 크기 / 척도 > 등간격 가로 - 세로 축**을 선택하여 프레임이 정사각형이 되도록 프레임 크기를 조정합니다.
- 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 메뉴에서 **사용자 정의**를 선택합니다. " 사용자 정의 " 패널에서 큰 더하기 기호를 클릭하여 텍스트 편집 영역을 표시한 후 다음 스크립트를 입력합니다.

```
For Each Row(Circle({:X1, :X2}, 0.404/2))
```

여기서 **0.404** 는 " 설계 진단 " 패널에서 확인한 최소 거리 값입니다 (그림 21.12 참조). 이 스크립트는 그림 21.13 의 왼쪽에 표시된 것과 같이 각 설계점이 중심에 있고 반지름이 0.202(지름 0.404 의 1/2) 인 원을 그립니다. 이 그림은 JMP 가 설계점을 효율적으로 채우는 방법을 보여 줍니다.

- 위의 절차를 런 수만 8 대신 10 으로 지정하고 똑같이 반복합니다 (5 단계). 그래픽 스크립트에서 **0.404** 를 10 회 런으로 생성된 최소 거리로 변경해야 합니다.

그림 21.13 의 오른쪽 그래프와 유사한 그래프가 표시됩니다. **Sphere Packing** 의 불규칙 특성에 유의하십시오. 배열은 랜덤 시작점에 기반하므로 실제로 이 과정을 반복하면 그림이 약간 다를 수 있습니다.

그림 21.13 8 회 런 (왼쪽) 과 10 회 런 (오른쪽) 을 사용한 라틴 초입방체 설계 비교

라틴 초입방체 설계에서 각 점 쌍 사이의 최소 거리는 Sphere-Packing 설계의 경우보다 작습니다. 라틴 초입방체 설계는 각 요인의 수준 간격이 균등하도록 제한하기 때문입니다. Sphere-Packing 설계는 제약 조건 없이 최소 거리를 최대화합니다.

균등 설계

균등 설계는 설계점 (경험적 균등 분포) 과 이론적 균등 분포 사이의 불일치를 최소화합니다.

참고 : 이 설계는 미지의 함수 적분에 대해 정확한 단순 추정값을 얻는 데 가장 유용합니다. 추정값은 실험에서 관측한 반응의 평균입니다.

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 반응과 요인 (필요한 경우) 을 입력합니다.
자세한 내용은 "**반응**"(572 페이지) 에서 확인하십시오.
3. 요인 수준 값을 0 과 1 로 변경합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. 설계 규격 대화상자에서 표본 크기를 지정합니다. 이 예에서는 표본 크기 (런 수) 8 을 사용합니다.
6. **균등** 버튼을 클릭합니다. 설계가 생성되고 설계 런과 설계 진단이 표시됩니다(그림 21.14 참조).

참고 : 균등 분포의 주안점은 점을 퍼뜨리는 것이 아닙니다. 그림 21.14 의 최소 거리는 서로 상당히 다릅니다.

그림 21.14 8 회 런을 사용한 균등 공간 채움 설계의 요인 설정 및 진단

2 요인
공간 채움 균등 설계

설계		
런	X1	X2
1	0.93092	0.69041
2	0.69276	0.18514
3	0.06860	0.32218
4	0.18696	0.81304
5	0.56496	0.93540
6	0.81410	0.43443
7	0.32218	0.06860
8	0.43643	0.56357

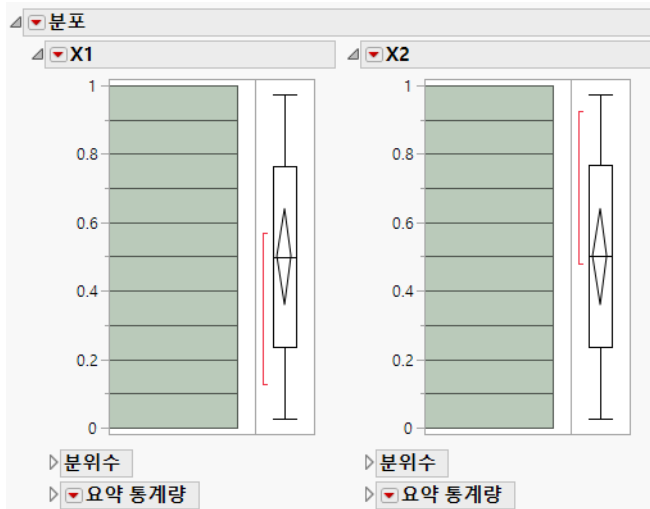
설계 진단				
런	적도화X1	적도화X2	최소 거리	최근접 점
1	0.93092	0.69041	0.281	6
2	0.69276	0.18514	0.277	6
3	0.06860	0.32218	0.359	7
4	0.18696	0.81304	0.353	8
5	0.56496	0.93540	0.393	8
6	0.81410	0.43443	0.277	2
7	0.32218	0.06860	0.359	3
8	0.43643	0.56357	0.353	4

불일치 = 0.004663
MaxPro
전체 설계 15.40271

7. 테이블 생성을 클릭합니다.

균등 설계를 생성해도 요인 수준 간격이 균등하지 않을 수 있습니다. 그러나 런 수를 늘리고 각 요인에 대해 분포를 실행하면 (분석 > 분포 사용) 평평한 히스토그램이 표시됩니다.

그림 21.15 런 수가 20 으로 증가한 경우 각 요인에 대한 평평한 히스토그램



Sphere-Packing, 라틴 초입방체 및 균등 방법 비교

공간 채움 설계 방법을 비교하기 위해 이전 예에 나와 있는 대로 **Sphere Packing, 라틴 초입방체 및 균등** 설계를 생성합니다. "설계 진단" 테이블에 요인의 값이 0~1 척도로 표시됩니다. "최소 거리"는 척도화된 값을 기반으로 하며 각 점에서 최근접 이웃까지의 최소 거리입니다. 불일치 값은 설계점과 균등 분포 사이의 통합 차이입니다.

그림 21.16에서는 세 가지 8 회 런 공간 채움 설계의 설계 진단 비교를 보여 줍니다. 균등 설계의 불일치가 가장 작습니다 (최선). Sphere-Packing 설계의 불일치가 가장 큼니다 (최악). 라틴 초입방체 설계의 불일치는 최적값에 더 가까운 중간 값입니다. MaxPro 기준은 균등 설계에 비해 라틴 초입방체 설계에서 더 작습니다.

또한 점 쌍 사이의 최소 거리는 Sphere-Packing 방법을 사용할 때 가장 큼니다 (최선). 균등 설계의 점 쌍은 약 절반 씩만 떨어져 있습니다. 라틴 초입방체 설계는 점을 퍼트리는 데 있어서 Sphere-Packing 설계와 더 비슷하게 동작합니다.

퍼트리기와 불일치 둘 다를 기준으로 볼 때 라틴 초입방체 설계에서 양호한 절충안을 나타냅니다.

그림 21.16 세 가지 8 회 런 공간 채움 방법의 진단 비교

공간 채움 Sphere Packing					공간 채움 라틴 초입방				
▶ 설계					▶ 설계				
▲ 설계 진단					▲ 설계 진단				
런	척도화X1	척도화X2	최소 거리	최근접 점	런	척도화X1	척도화X2	최소 거리	최근접 점
1	0.50000	0.86602	0.518	3	1	0.28571	0.00000	0.404	3
2	0.86603	0.50000	0.518	6	2	0.00000	0.85714	0.452	4
3	0.13397	0.50000	0.518	1	3	0.57143	0.28571	0.404	1
4	0.50000	0.13398	0.518	7	4	0.42857	0.71429	0.404	5
5	0.00000	1.00000	0.518	1	5	0.14286	0.42857	0.404	4
6	1.00000	1.00000	0.518	2	6	1.00000	0.14286	0.452	7
7	1.00000	0.00000	0.518	4	7	0.85714	0.57143	0.404	3
8	0.00000	0.00000	0.518	3	8	0.71429	1.00000	0.404	4
불일치 = 0.046969					불일치 = 0.009279				
MaxPro					MaxPro				
전체 설계					전체 설계 11.32801				

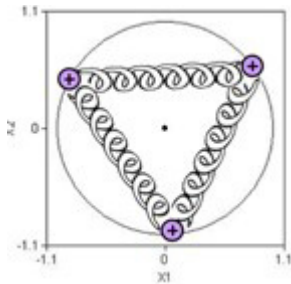
공간 채움 균등 설계				
▶ 설계				
▲ 설계 진단				
런	척도화X1	척도화X2	최소 거리	최근접 점
1	0.93092	0.69041	0.281	6
2	0.69276	0.18514	0.277	6
3	0.06860	0.32218	0.359	7
4	0.18696	0.81304	0.353	8
5	0.56496	0.93540	0.393	8
6	0.81410	0.43443	0.277	2
7	0.32218	0.06860	0.359	3
8	0.43643	0.56357	0.353	4
불일치 = 0.004663				
MaxPro				
전체 설계 15.40271				

또 다른 비교 항목은 설계를 계산하는 데 걸리는 시간입니다. 균등 설계 방법을 사용할 때 계산 시간이 가장 오래 걸립니다. 또한 설계 계산 시간은 런 수에 따라 빠르게 증가합니다. 비슷한 문제의 경우, 모든 공간 채움 설계 방법이 사용자 설계 도구의 *D*- 최적 설계보다 계산 시간이 더 오래 걸립니다.

최소 잠재 설계

최소 잠재 설계는 구형 안에 점을 펼쳐 놓습니다. 이 설계가 어떻게 생성되는지 이해하기 위해 그림 21.17에 표시된 것과 같이 점을 다른 모든 점에 스프링으로 연결된 전자로 가정해 보겠습니다. 쿨롱 힘은 점을 밀어내지만 스프링은 점을 서로 끌어당깁니다. 이 설계는 시스템의 잠재적 에너지를 최소화하는 점 간격입니다.

그림 21.17 최소 잠재 설계



최소 잠재 설계의 특징

- 구형 대칭을 갖습니다.
- 거의 직교입니다.
- 간격이 균등합니다.

최소 잠재 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 연속형 요인을 3 개 추가합니다.
자세한 내용은 "[요인](#)"(574 페이지)에서 확인하십시오.
3. 요인 수준 값을 0 과 1 로 변경합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. 그림 21.18 왼쪽에 표시된 설계 규격 대화상자에서 표본 크기 (런 수)를 입력합니다. 이 예에서는 표본 크기 12 를 사용합니다.
6. **최소 잠재** 버튼을 클릭합니다. 설계가 생성되고 설계 런과 설계 진단이 표시됩니다 (그림 21.18 의 오른쪽 참조).

그림 21.18 최소 잠재 설계를 위한 공간 채움 방법 및 설계 진단

공간 채움 설계 방법

런 수:

Sphere Packing 구형의 최적 패킹 입방 내에 있습니다.

라틴 초입방 최적 구간의 라틴 초입방입니다.

균등 균등 설계

최소 잠재 구형 영역의 최소 에너지 설계입니다.

최대 엔트로피 가우스 과정에 대한 최대 엔트로피 설계입니다.

가우스 과정 IMSE 최적 가우스 과정에 대한 통합 평균 제곱 오차 최적 설계입니다.

빠르고 유연한 충전 군집화를 통한 공간 채움 설계입니다.

뒤로

설계 진단

런	적도화X1	적도화X2	적도화X3	최소 거리	최근접 점
1	0.49845	0.50584	0.50273	0.488	12
2	0.39334	0.06387	0.70753	0.498	1
3	0.20787	0.68269	0.14320	0.485	9
4	0.61776	0.92918	0.27211	0.49	12
5	0.84983	0.15239	0.47495	0.499	1
6	0.33657	0.14577	0.19726	0.499	1
7	0.73480	0.45365	0.06714	0.498	1
8	0.26209	0.52317	0.93916	0.49	12
9	0.00665	0.45300	0.52058	0.485	3
10	0.75354	0.46263	0.92467	0.485	11
11	0.95475	0.69233	0.54729	0.485	10
12	0.38435	0.93546	0.70339	0.488	1

불일치 = 0.016537

설계 테이블

테이블 생성 **뒤로**

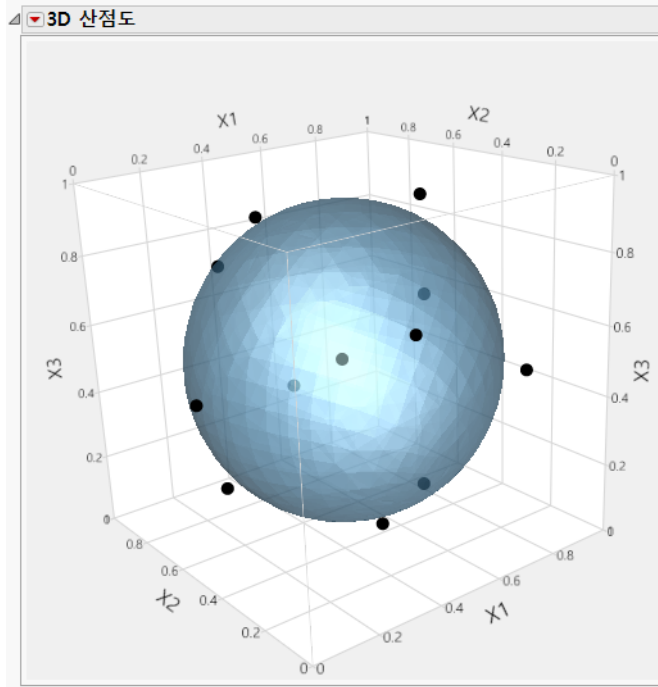
7. 테이블 생성을 클릭합니다.

3D 산점도 그래픽 플랫폼을 사용하여 최소 잠재 설계의 구형 대칭을 확인할 수 있습니다.

1. JMP 설계 테이블을 생성한 후 **그래프 > 3D 산점도** 명령을 선택합니다.
2. "3D 산점도" 시작 대화상자에서 X1, X2, X3 을 **Y, 열**로 선택하고 **확인**을 클릭하여 설계점의 초기 3 차원 산점도를 표시합니다.
3. 그림 21.19 에 나오는 것과 유사한 결과를 표시하려면 다음을 수행합니다.
 - "3D 산점도" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **정규 등고선 타원**을 선택합니다.
 - 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **설정**을 선택한 후 **표식 크기** 슬라이더를 사용하여 표식 크기를 늘립니다.

이제 점이 타원 표면에 균등하게 펼쳐지는 것을 시각화할 수 있습니다.

그림 21.19 구면의 최소 잠재 설계점

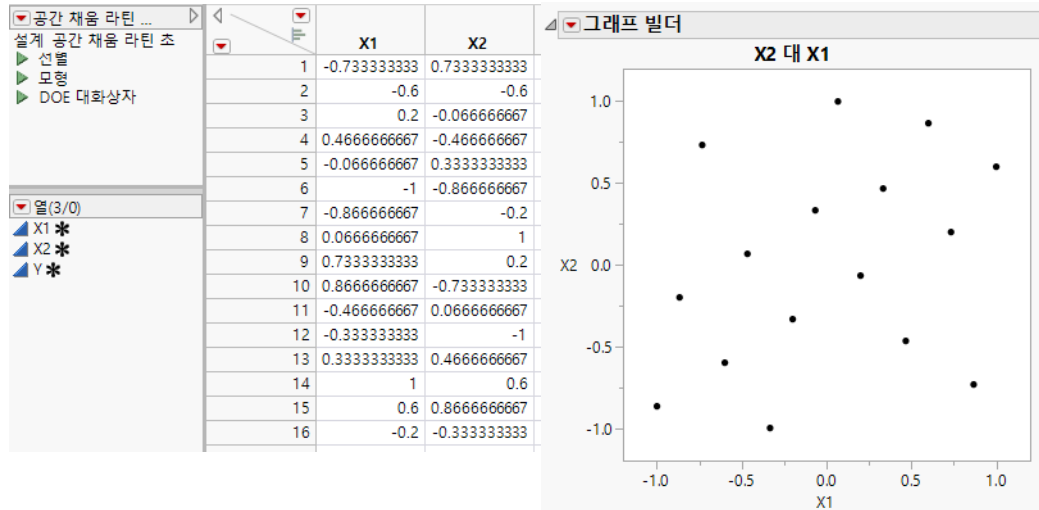


최대 엔트로피 설계

라틴 초입방체는 일반적으로 가우스 과정 모형과 함께 많이 사용되는 설계입니다. 컴퓨터 시뮬레이션 전문가는 좌표축에 대한 모든 투영이 균등한 라틴 초입방체 설계를 선호합니다.

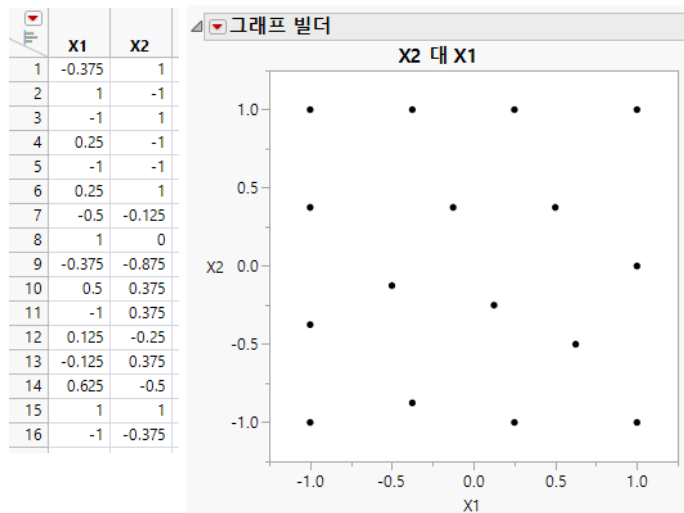
그러나 그림 21.20의 예에서 볼 수 있듯이 라틴 초입방체 설계는 최적의 공간 채움 특성을 제공하지 못할 수 있습니다. 이 예는 요인 수준이 -1~1 사이의 값으로 설정된 2요인 16회 런 라틴 초입방체 설계입니다. 두 요인에 대한 그림은 이 설계에 포함 범위가 없는 영역이 있음을 보여줍니다. 특히 0에 가까운 X_1 과 -1에 가까운 X_2 의 포함 범위가 적절하지 않습니다.

그림 21.20 2 요인 라틴 초입방체 설계



최대 엔트로피 설계는 컴퓨터 실험을 위한 라틴 초입방체 설계의 대안입니다. 최대 엔트로피 설계는 실험에 포함된 정보량을 최적화합니다. 자세한 내용은 아래 기술 정보를 참조하십시오. 요인 수준이 -1 ~ 1 사이로 설정된 경우, 그림 21.21에 표시된 2 요인 최대 엔트로피 설계가 그림 21.20의 라틴 초입방체 설계보다 영역을 더 잘 포함합니다. 런 수가 증가할수록 설계의 공간 채움 특성이 향상됩니다.

그림 21.21 2 요인 최대 엔트로피 설계



기술 정보 최대 엔트로피 설계는 데이터를 정규 분포 ($m, s^2 R$) 에서 수집한 것으로 가정하고 실험의 샤는 정보 (Shewry and Wynn(1987)) 를 최대화합니다 .

$$R_{ij} = \exp \left(- \sum_k \theta_k (x_{ik} - x_{jk})^2 \right)$$

위의 식은 서로 다른 두 설계점 (x_i, x_j) 에서 반응 값의 상관입니다 . 계산상으로 이 설계는 $|R|$, 즉 표본 상관 행렬의 행렬식을 최대화합니다 . x_i 와 x_j 가 멀리 떨어져 있으면 R_{ij} 는 0 에 근접합니다 . x_i 와 x_j 가 서로 가까이 있으면 R_{ij} 는 1 에 가깝습니다 .

가우스 과정 IMSE 최적 설계

가우스 과정 IMSE 최적 설계 방법은 가우스 과정 모형에 적합한 설계를 구성합니다 . 가우스 과정 모형은 다양한 표면을 적합시킵니다 . 가우스 과정 IMSE 최적 설계는 실험 영역에 대한 가우스 과정 모형의 통합 평균 제곱 오차를 최소화합니다 . 가우스 과정 IMSE 최적 설계 방법은 kriging 모형과 유사한 상관 구조를 사용합니다 . 자세한 내용은 Jones and Johnson(2009) 에서 확인하십시오 .

공분산 모수 벡터

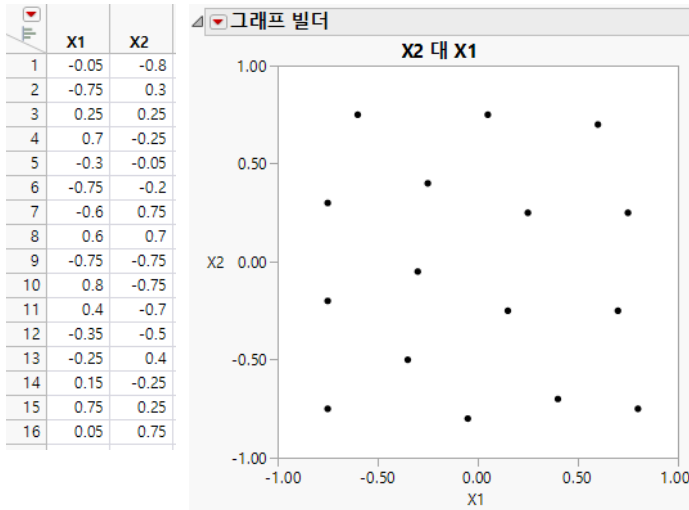
가우스 과정 모형의 가우스 과정 IMSE 최적 설계 배합에서 공분산 모수 벡터는 상관 구조를 결정합니다 . 각 요인에 대한 세타가 있습니다 . 세타 0 은 상관 1 에 해당하므로 적합한 표면이 해당 요인의 방향으로 편평하게 됩니다 . 세타가 증가하면 상관이 감소하여 요인 방향으로 유연한 표면을 생성할 수 있습니다 .

" 공분산 모수 벡터 " 개요에서 " 세타 " 아래의 값 목록에 표면 사전 지식을 반영하는 값을 입력할 수 있습니다 .

라틴 초입방체 설계와 가우스 과정 IMSE 최적 설계 비교

가우스 과정 IMSE 최적 설계는 라틴 초입방체 설계의 대안입니다 . IMSE 최적 설계를 앞에서 그림 21.20 에 표시된 라틴 초입방체와 비교할 수 있습니다 . 그림 21.22 의 테이블과 중첩 그림은 가우스 IMSE 최적 설계를 보여 줍니다 . 이 설계에서 요인 영역에 대해 균등한 포함 범위를 제공하는 것을 확인할 수 있습니다 .

그림 21.22 2 요인 라틴 초입방체 설계와 가우스 IMSE 최적 설계 비교



참고 : 최대 엔트로피 설계와 가우스 과정 IMSE 최적 설계 둘 다 100 회의 랜덤 시작을 사용하여 생성되었습니다.

쾌속 유연 채움 설계

참고 : 범주형 요인 또는 요인 제약 조건이 있으면 쾌속 유연 채움 방법만 사용할 수 있습니다.

FFF 최적 기준

쾌속 유연 채움 설계를 위한 알고리즘은 지정된 설계 영역에서 다수의 랜덤 점을 생성하는 것으로 시작합니다. 그런 다음 빠른 Ward 알고리즘을 사용하여 이러한 점을 여러 군집으로 군집화합니다. 이때 군집 수는 사용자가 지정한 런 수와 같습니다.

최종 설계점은 기본 MaxPro(최대 투영) 최적 기준을 사용하거나 Centroid 기준을 선택하여 얻을 수 있습니다. 이러한 옵션은 보고서의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "FFF 최적 기준" 아래에 있습니다.

MaxPro p 개 요인이 있고 n 이 지정된 런 수와 같은 경우 MaxPro 기준은 군집에서 다음 기준을 최소화하는 점을 찾습니다.

$$C_{MaxPro} = \sum_i^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[1 / \prod_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]$$

MaxPro 기준은 모든 요인을 포함하는 방식으로 잠재적 설계점 간 거리의 곱을 최대화합니다. 이는 요인 투영에 적합한 공간 채움 특성을 제공한다는 목표를 지원합니다. 자세한 내용은 Joseph et al. (2015) 에서 확인하십시오. MaxPro 옵션이 기본값입니다.

Centroid 이 방법은 각 군집의 중심에 설계점을 놓습니다. 설계 공간의 임의의 점에서 가장 가까운 인접 설계점까지의 평균 거리가 다른 설계보다 작다는 특성이 있습니다.

참고 : 항상 정해진 최적 기준을 사용하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE** 를 선택합니다. **FFF 최적 기준**을 선택한 후 기본 기준을 선택합니다.

범주형 요인

범주형 요인이 있는 경우 알고리즘은 다음과 같이 진행됩니다.

- 총 설계점 수는 범주형 요인의 총 수준 조합 수에서 균형을 이룹니다. m 개의 수준 조합이 있고 k 개의 설계점이 각 조합에 할당된다고 가정해 보겠습니다.
- 연속형 변수에 의해 정의된 설계 공간 내에 다수의 점이 생성됩니다. 이러한 점은 k 개의 기본 군집으로 그룹화됩니다.
- 점을 포함하는 k 개의 기본 군집은 각각 m 개의 하위 군집으로 다시 군집화됩니다.
- 각 기본 군집 내에서 지정된 FFF 최적 기준을 사용하여 m 개의 하위 군집 각각에 대해 설계점이 계산됩니다.
- k 개의 각 기본 군집에 대해 m 개의 수준 조합 중 하나가 m 개의 각 하위 군집 설계점에 무작위로 할당됩니다. 이를 통해 총 km 개의 설계점이 계산됩니다.
- k 개의 각 기본 군집에서 MaxPro 기준에 따라 m 개의 각 수준 조합에 대한 설계점이 선택됩니다. 범주형 요인의 수준이 동일한 점에는 MaxPro 범주형 가중치를 곱합니다. MaxPro 범주형 가중치에 대한 설명은 "공간 채움 설계 옵션"(579 페이지) 에서 확인하십시오. 이 과정은 k 개의 모든 기본 군집에서 10 회 반복하거나, 지정된 설계점을 변경해도 더 이상 개선되지 않을 때까지 계속됩니다.

평균 군집 크기 설정

"평균 군집 크기 설정" 옵션은 "공간 채움 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "고급 옵션" 아래에 있습니다. 이 옵션을 사용하면 각 군집 또는 각 설계점을 정의하는 데 사용하기 위해 무작위로 생성되는 평균 점 개수를 지정할 수 있습니다.

기본적으로 "런 수"를 200 이하로 설정하면 무작위로 생성된 총 10,000 개의 점이 군집화 알고리즘의 기초로 사용됩니다. 런 수가 200 을 초과하면 기본값 50 이 사용됩니다. 이 값을 늘리면

요인 수가 많거나, 허용되지 않는 조합이 군집화 알고리즘에 사용되는 점의 분포를 제한하는 설계에서 특히 유용할 수 있습니다.

참고: 요인 수와 지정된 런 수 값에 따라 **고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정**을 선택하여 설계점당 평균 초기점 수를 늘릴 수 있습니다.

제약 조건

"요인" 개요가 완료되면 **계속**을 클릭합니다. 그러면 "요인 제약 조건 정의" 개요가 나타납니다. 이 개요를 사용하여 설계 영역을 제한할 수 있습니다. 이 개요에 대한 자세한 내용은 "[요인 제약 조건 정의](#)"(575 페이지)에서 확인하십시오.

"허용되지 않는 조합 필터 사용" 및 "허용되지 않는 조합 스크립트 사용" 옵션을 사용하여 허용되지 않는 요인 수준 조합을 지정할 수 있습니다. 또는 "선형 제약 조건 지정" 옵션을 사용하여 선형 부등식에 대한 한계를 지정할 수 있습니다. 그러나 설계는 이 두 방법에 대해 다르게 생성됩니다.

허용되지 않는 조합 필터 사용 및 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

허용되지 않는 조합을 지정하면 군집화 알고리즘의 기초를 구성하는 랜덤 점이 무제약 설계 영역 내에 무작위로 분포됩니다. 그런 다음 허용되지 않는 점이 제거되고 나머지 점으로 군집화가 진행됩니다.

참고: 무작위로 생성된 초기점에 의한 무제약 설계 공간의 기본 포함 범위는 제약 조건의 특성과 지정된 런 수에 따라 필요한 런 수를 산출하기에 충분하지 않을 수 있습니다. 이 경우 "충분한 개수의 점을 찾을 수 없습니다."라는 JMP 경고가 나타날 수 있습니다. 군집화 알고리즘의 기초를 구성하는 초기점 수를 늘리려면 **고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정**을 선택하여 설계점당 평균 초기점 수를 더 큰 값으로 지정합니다. 자세한 내용은 "[평균 군집 크기 설정](#)"(597 페이지)에서 확인하십시오.

선형 제약 조건 지정

선형 제약 조건 지정 옵션을 사용하면 군집화 알고리즘의 기초를 구성하는 랜덤 점이 제약된 설계 영역 내에 무작위로 분포됩니다. 군집화 알고리즘에 이러한 점이 사용됩니다.

제약된 쾌속 유연 채움 설계 생성 및 보기

설계 구성

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 연속형 요인을 3 개 추가합니다.
3. 요인 수준 값을 0 과 1 로 변경하고 **계속**을 클릭합니다.

4. "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **선형 제약 조건 지정**을 선택합니다.
공간 채움 설계 방법 중 "패속 유연 채움"만 사용할 수 있습니다.
5. **추가**를 선택합니다.
6. 다음 계수와 한계를 입력합니다.
X1 - 1
X2 - 1
한계 - 0.8

그림 21.23 선형 제약 조건

요인 제약 조건 정의

☐ 없음

☒ 선형 제약 조건 지정

☐ 허용되지 않는 조합 필터 사용

☐ 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

선형 제약 조건

추가

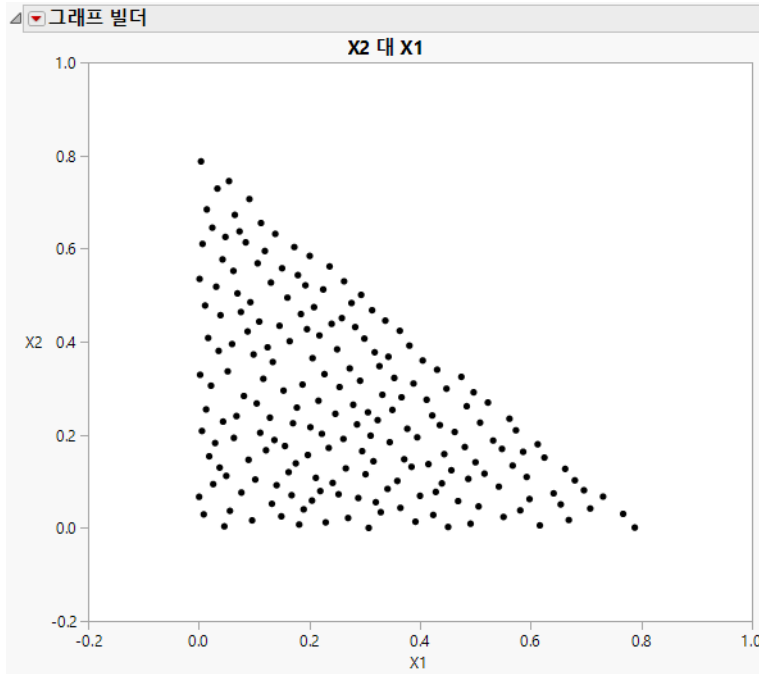
1 X1 + 1 X2 ≤ 0.8

7. **런 수** 옆에 200 을 입력합니다.
8. **패속 유연 채움**을 선택합니다.
제약 조건을 충족하는 설계가 생성됩니다." 설계" 개요를 열어 설계를 확인합니다.
9. **테이블 생성**을 선택하여 데이터 테이블을 구성합니다.

그림 구성

1. 데이터 테이블을 활성화하고 **그래프 > 그래프 빌더**를 선택합니다.
2. X1 을 **X** 라벨이 지정된 놓기 영역으로 드래그합니다.
3. X2 를 **Y** 라벨이 지정된 놓기 영역으로 드래그합니다.
4. 평활기 아이콘을 클릭하여 **평활기**를 제거합니다.
5. "그래프 빌더"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **제어판 표시**를 클릭하여 선택 취소합니다.

그림 21.24 의 그래프와 유사한 그래프가 표시됩니다. 점은 선형 제약 조건 $X1 + X2 \leq 0.8$ 을 충족합니다.

그림 21.24 선형 제약 조건이 1 개 있는 쾌속 유연 채움 설계

맵 웨이프를 위한 공간 채움 설계 생성

FFF(쾌속 유연 채움) 설계를 사용하면 맵 웨이프와 같은 영역에서 실행할 실험을 설계할 수 있습니다. 예를 들어 미국의 주 전역에 퍼져 있는 위치에서 두 가지 표본 수집 방법 (예 : 공기 또는 토양 표본) 을 비교하려는 경우 FFF 설계를 고려하십시오.

미국 조지아 주를 대상으로 가정해 보겠습니다. 주 전역에 퍼져 있는 40 개의 표본 (각 표본 추출 방법에 대해 20 개씩) 이 있어야 합니다. 맵 웨이프를 위한 FFF 설계를 생성하려면 맵 경계의 위도와 경도가 포함된 파일이 필요합니다. 자세한 내용은 **Essential Graphing**의 "Maps" 장에서 확인하십시오.

다음 예에서는 미국 조지아 주의 경도와 위도를 확인하고 주 웨이프를 정의한 후 설계를 생성합니다. 이 설계는 40 개 표본 각각에 대한 위치 및 표본 추출 방법을 제공합니다.

조지아 주의 경도 및 위도 찾기

1. 일반적으로 다음 위치에 있는 디렉터리로 이동합니다.

Windows: C:/Program Files/SAS/JMP/< 버전 >/Maps

Macintosh: /Library/Application Support/JMP/< 버전 >/Maps

2. US-State-XY.jmp 와 US-State-Name.jmp 를 엽니다.

US-State-Name.jmp 에서 Shape ID 11 이 미국 조지아 주에 해당합니다 . 이 예에서는 조지아 주를 대상으로 합니다 .

3. US-State-XY.jmp 에서 **행 > 행 선택 > 선택 조건**을 선택합니다 .
4. Shape ID 를 선택하고 텍스트 상자에 11 을 입력한 후 **확인**을 클릭합니다 .
이렇게 하면 조지아 주를 나타내는 Shape ID = 11 인 모든 행이 선택됩니다 .
5. **테이블 > 부분집합**을 선택하고 **확인**을 클릭하여 US-State-XY.jmp 테이블의 부분집합을 가져옵니다 . 여기에는 조지아 주의 위도 및 경도 데이터 (선택한 행) 가 포함됩니다 .
6. US-State-XY.jmp 와 US-State-Name.jmp 를 닫습니다 .

값 범위 가져오기

공간 채움 설계를 위한 공간을 정의하려면 조지아 주의 위도와 경도에 대한 값 범위를 알아야 합니다 . 그런 다음 이러한 값을 사용하여 설계 요인을 생성할 수 있습니다 .

1. **파일 > 새로 만들기 > 스크립트**를 선택합니다 . 스크립트 창에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 **중첩된 로그 표시**를 선택합니다 .
2. 다음 내용을 복사하여 새 스크립트에 붙여 넣습니다 .

```
dt = current data table();  
mymap = dt << get as matrix({X,Y});  
xx = mymap[0,1];  
yy = mymap[0,2];  
show(min(xx), max(xx));  
show(min(yy), max(yy));  
show(xx,yy);
```

3. US-State-XY.jmp 테이블의 부분집합을 활성화하고 스크립트를 실행합니다 .
조지아 주의 위도와 경도에 대한 값 범위 및 **xx** 행렬과 **yy** 행렬이 로그에 나타납니다 .

그림 21.25 범위 찾기 스크립트와 로그 결과

```

dt = current data table();
mymap = dt << get as matrix({X,Y});
xx = mymap[0,1];
yy = mymap[0,2];
show(min(xx), max(xx));
show(min(yy), max(yy));
show(xx,yy);

```

```

Min(xx) = -85.605165;
Max(xx) = -80.862814;
Min(yy) = 30.358035;
Max(yy) = 35.000771;
xx = [-83.108535, -83.3386899940506, -83.034712, -82.876864, -82.556835, -82.32448, -82.186154, -81.926336,
-81.939737, -81.743835, -81.492253, -81.41866, -81.186829, -81.117234, -80.885517, -80.862814, -81.203572
, -81.133493, -81.260076, -81.177254, -81.2884027924215, -81.493651, -81.444124, -81.949787, -82.043795,
-82.036825, -82.165192, -82.214839, -84.864693, -85.002368, -85.107516, -85.041305, -85.140731, -85.061144
, -84.890894303099, -85.007103, -84.96303, -85.1844, -85.605165, -84.321869];
yy = [35.000771, 34.6820015115479, 34.483495, 34.475303, 33.945353, 33.820033, 33.62088, 33.462937, 33.344941,
33.14145, 33.009342, 32.629392, 32.464086, 32.117605, 32.0346, 31.969346, 31.719448, 31.623348, 31.54828
, 31.517074, 31.211065104271, 30.977528, 30.709714, 30.827493, 30.729641, 30.377884, 30.358035, 30.568591,
30.711542, 31.000682, 31.186451, 31.540987, 31.857461, 32.134065, 32.2615038439169, 32.328362, 32.424244
, 32.861317, 34.984678, 34.988408];

```

요인 추가

- DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계를 선택합니다.
- 연속형 요인 두 개를 설계에 추가합니다. **N 개 요인 추가** 텍스트 상자에 2 를 입력하고 **연속형** 을 클릭합니다.
- 요인 이름을 longitude 와 latitude 로 바꿉니다. 다음과 같이 최소값과 최대값을 입력합니다.
 - longitude 값을 -85.6 과 -80.9 로 입력합니다. 이 값은 로그에서 x 의 최소 및 최대 경도 값 입니다.
 - latitude 값을 30.4 와 35.0 으로 입력합니다. 이 값은 로그에서 y 의 최소 및 최대 위도 값 입니다.
- 범주형 요인을 추가합니다. **범주형 > 2 수준** 을 클릭합니다. 요인 이름을 Method 로 바꿉니다.

그림 21.26 요인

요인			
이름	역할	값	
longitude	연속형	-85.6	-80.7
latitude	연속형	30.3	35
Method	범주형	L1	L2

- 계속을 클릭합니다.

셰이프 정의

공간 채움 설계를 위한 공간을 좀 더 자세히 정의하려면 다각형을 사용하여 해당 주의 셰이프를 정의해야 합니다.

1. 허용되지 않는 조합 스크립트 사용을 선택하여 " 허용되지 않는 조합 표현식 " 텍스트 상자를 엽니다 .

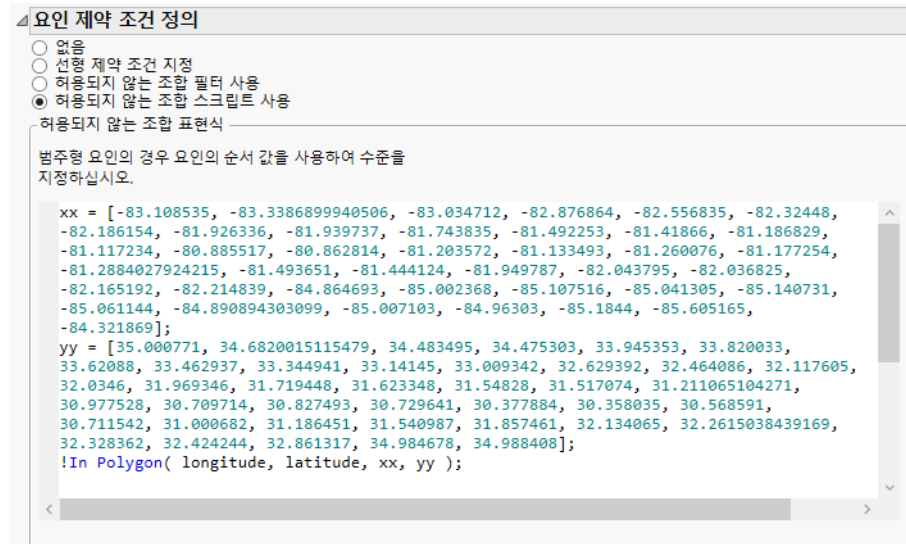
경도 및 위도 범위는 정사각형을 정의합니다 .조지아 주는 정사각형이 아니라 다각형입니다 . 조지아 주 다각형을 벗어나는 점을 허용하지 않으려고 합니다 .

2. 스크립트 창으로 이동한 후 스크립트 로그에서 **xx** 및 **yy** 행렬을 복사합니다 . 그런 다음 " 허용되지 않는 조합 표현식 " 텍스트 상자에 붙여 넣습니다 .
3. 끝에 다음 행을 추가합니다 .

!In Polygon(longitude, latitude , xx, yy);

이렇게 하면 **xx** 및 **yy** 좌표로 정의된 다각형에 없는 점이 제외됩니다 .

그림 21.27 허용되지 않는 조합 표현식

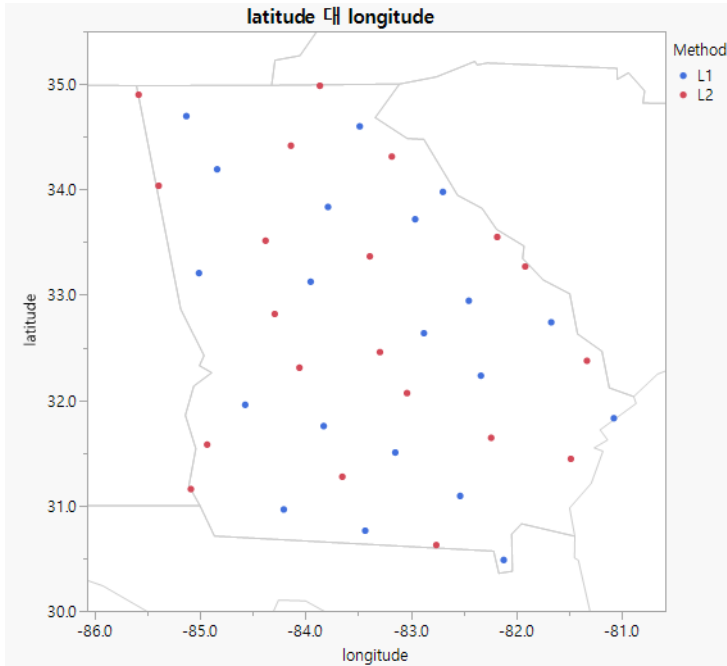


설계 생성

1. 런 수를 40 으로 변경하고 **패속 유연 채움**을 클릭합니다 .
2. **테이블 생성**을 클릭합니다 .
3. 설계 테이블에서 **그래프 > 그래프 빌더**를 선택합니다 .
4. 다음과 같이 열을 해당 영역으로 드래그합니다 .
 - longitude 열 - **X** 영역
 - latitude 열 - **Y** 영역
 - Method 열 - **색상** 영역
5. 그래프 위에서 " **평활기** " 요소를 클릭하여 기능을 해제합니다 .

6. 주 셰이프를 추가하려면 그래프를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **그래프 > 배경 맵**을 선택합니다.
7. **경계** 아래에서 **미국 주**를 선택하고 **확인**을 클릭합니다.

그림 21.28 미국 조지아 주에 대한 FFF 설계의 예



참고 : FFF 알고리즘의 랜덤 시작점으로 인해 맵에서 정확한 점 위치가 표시된 것과 다를 수 있습니다.

이 맵은 표본을 수집할 40 개 위치를 나타냅니다. 표본 추출 방법 (L1 또는 L2) 은 점 색상으로 표시됩니다.

"그래프 > 배경 맵 " 창에는 다음과 같은 추가 옵션이 있습니다.

- 검정할 자치주를 확인하려면 **경계** 아래에서 **미국 자치주**를 선택합니다.
- 검정 위치를 거리 수준으로 맵에 나타내려면 **이미지** 아래에서 **Street Map Service** 를 선택합니다.

Sphere-Packing 설계의 예

Worley(1987) 는 지표면에서 두 개의 대수층을 통과하여 뚫은 보어홀을 통한 물의 흐름 모형을 제시했습니다. 반응 변수 y 는 보어홀을 통한 흐름 속도 ($\text{m}^3/\text{년}$) 이며 다음 방정식에 의해 결정됩니다.

$$y = \frac{2\pi T_u (H_u - H_l)}{\ln(r/r_w) \left[1 + \frac{2LT_u}{\ln(r/r_w)r_w^2 K_w} + \frac{T_u}{T_l} \right]}$$

이 모형에는 다음과 같은 8 개 요인이 있습니다.

r_w = 보어홀 반지름 (0.05 ~ 0.15m)

r = 영향 반지름 (100 ~ 50,000m)

T_u = 상부 대수층의 투과율 ($63,070 \sim 115,600\text{m}^2/\text{년}$)

H_u = 상부 대수층의 등수압면 수두 (990 ~ 1100m)

T_l = 하부 대수층의 투과율 ($63.1 \sim 116\text{m}^2/\text{년}$)

H_l = 하부 대수층의 등수압면 수두 (700 ~ 820m)

L = 보어홀 길이 (1120 ~ 1680m)

K_w = 보어홀의 수리 전도도 ($9855 \sim 12,045\text{m}/\text{년}$)

Sphere Packing 설계를 사용하여 반응 y 계산을 위한 조건 집합을 얻을 수 있습니다. 그런 다음 설계에 사용된 입력 범위에서 참모형을 추정하기 위한 모형을 생성할 수 있습니다. 추정된 모형을 평가하면 8 개의 각 요인이 반응에 미치는 영향을 이해하는 데 도움이 됩니다.

Borehole 데이터에 대한 Sphere-Packing 설계 생성

저장된 요인 설정이 포함된 데이터 테이블을 사용하여 보어홀 모형에 대한 Sphere Packing 설계를 생성할 수 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Borehole Factors.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
3. "공간 채움 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

그림 21.29 보어홀 예의 요인 값을 불러온 요인 패널

요인			
연속형	범주형	제거	N개 요인 추가 1
이름	역할	값	
log10 Rw	연속형	-1.3	-0.82
log10 R	연속형	2	4.7
Tu	연속형	63070	115600
Tl	연속형	63.1	116
Hu	연속형	990	1110
Hl	연속형	700	820
L	연속형	1120	1680
Kw	연속형	9855	12045

참고 : r 및 r_w 의 로그가 요인으로 사용됩니다.

- 계속을 클릭합니다.
- " 런 수 "를 32로 설정하고 Enter 키를 누릅니다.
- Sphere Packing** 을 클릭하여 설계를 생성합니다.
- 테이블 생성**을 클릭하여 실험의 설계 설정을 보여 주는 테이블을 생성합니다.

참고 : 설계 테이블에 " 모형 " 테이블 스크립트가 포함되어 있습니다 . 이 스크립트는 반응 y 에 대해 가우스 과정 모형을 실행합니다 .

- (선택 사항) 이 예의 완료된 데이터 테이블을 보려면 **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Borehole Sphere Packing.jmp** 를 엽니다 .

설계가 난수 시드값에서 생성되므로 결과 설정은 완료된 테이블에 표시된 설정과 다를 수 있습니다 .

결정적 데이터 분석을 위한 지침

결정적 데이터에는 랜덤 성분이 없음을 기억해야 합니다 . 입력 값이 동일하면 생성되는 출력도 동일합니다 . 따라서 적합 통계 모형의 p 값은 일반적인 의미를 갖지 않습니다 . 큰 F 통계량 , 즉 낮은 p 값은 모형 향으로 인한 효과를 나타냅니다 . 그러나 효과 또는 모형 예측을 위한 유효한 신뢰 구간을 구성할 수 없습니다 .

결정적 데이터에 대한 모형 적합의 잔차는 잡음 측도가 아닙니다 . 대신 잔차는 모형 편향의 측도입니다 . 편향은 실제 값과 예측값의 차이입니다 . 잔차에 고유한 패턴이 있으면 편향을 줄이기 위해 모형에 추가 항을 고려해야 한다는 것을 나타냅니다 .

Borehole Sphere-Packing 설계 분석

참모형을 단순 분석 형태로 사용할 수 없는 경우가 종종 있습니다. 따라서 예측 편향은 관측된 데이터 점에서만 알 수 있습니다. 그러나 이 예에서는 참모형의 함수 형태가 알려져 있습니다. Borehole Sphere Packing.jmp 데이터 테이블의 **true model** 열에 알려진 함수의 계산식이 포함되어 있습니다. 이 계산식을 사용하면 요인 입력 영역에 대한 예측 편향을 프로파일링할 수 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Borehole Sphere Packing.jmp를 엽니다.
2. "Model (GP from DOE)" 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
"가우스 과정 모형" 보고서를 사용하여 요인과 결과 Y 간의 관계를 탐색합니다.
3. "Y의 가우스 과정 모형" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **예측 계산식 저장**을 선택합니다.
4. Borehole Sphere Packing.jmp 데이터 테이블로 돌아갑니다.
5. 데이터 격자에서 **true model** 및 Y 예측 계산식의 열 머리글을 선택합니다.
6. 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 **새 계산식 열 > 결합 > 차**를 선택합니다.
이렇게 하면 편향을 포함하는 새 열이 생성됩니다.
7. Borehole Sphere Packing.jmp 데이터 테이블에서 **그래프 > 프로파일러**를 선택합니다.
8. **true model-Y** 예측 계산식을 선택한 후 **Y, 예측 계산식**을 클릭합니다.
9. **중간 계산식 확장**을 선택합니다.
이 옵션은 편향을 8개 설계 요인의 함수로 표시합니다.

그림 21.30 Borehole Sphere-Packing 데이터의 프로파일러 대화상자

요인이 반응 계산식에 어떻게 영향을 주는지 살펴봅니다.

열 선택
☒ 17개 열

- log10 Rw
- log10 R
- Tu
- Tl
- Hu
- HI
- L
- Kw
- Y
- log y
- R
- Rw
- true model
- prediction formula
- prediction bias
- Y 예측 계산식
- true model+Y 예측 계산식**

선택한 열 역할 지정

Y, 예측 계산식 ☒ true model+Y 예측 계산식
선택적 숫자

잡음 요인 ☐ 선택적 숫자

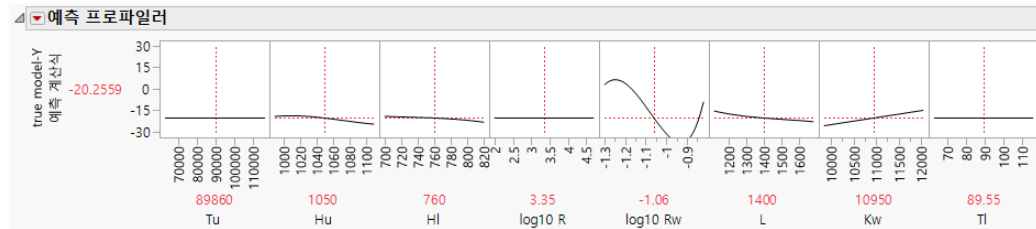
작업

모든 Y 열에 계산식이 있어야 합니다. 이러한 요인에서 전송된 변동과 관련된 로버스트(편향)을 연구하려는 경우에만 잡음 요인을 지정하십시오.

☒ 중간 계산식 확장

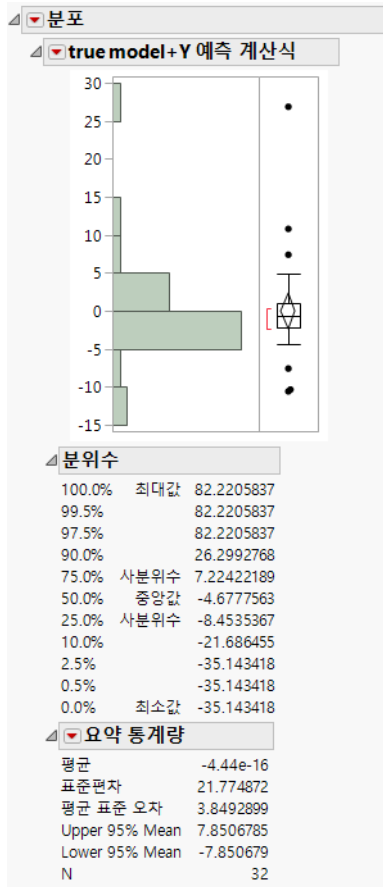
10. 확인을 클릭합니다.

프로파일러는 기본적으로 설계 영역의 중심으로 설정됩니다. 편향이 없으면 모든 프로파일 트레이스가 각 요인의 값 범위에서 일정합니다. 이 예에서는 $\log R_w$, H_u 및 H_I 변수가 편향에 가장 큰 영향을 미칩니다.

그림 21.31 Y 축이 -30 ~ 30 으로 설정된 Borehole GP 모형의 편향을 보여 주는 프로파일러

프로파일러를 사용하여 전체 도메인에 대한 예측 편향 범위를 탐색할 수 있습니다. 최소 및 최대 편향 점을 찾으려면 "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **최적화 및 만족도 > 만족도 함수**를 선택합니다. 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장에서 확인하십시오. 설계점에 대한 예측 편향을 평가하려면 **분석 > 분포**를 선택하여 분포 분석을 확인합니다.

그림 21.32 예측 편향 분포



이 예에서는 참모형이 알려져 있습니다. 그러나 많은 적용 분야에서 요인 설정에 대한 반응을 알 수 없습니다. 실험 데이터에 대한 예측 편향은 설계 도메인 전체의 편향을 과소 추정할 수 있습니다.

22 장

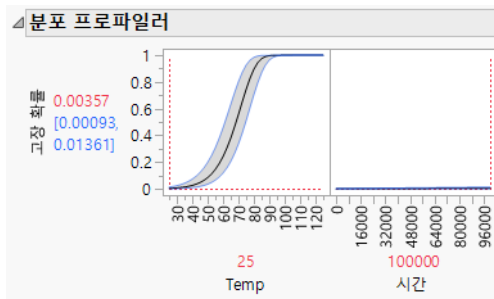
가속 수명 시험 설계

가속 수명 시험을 위한 실험 설계

정상적인 사용 조건에서는 보통 제품 신뢰도가 높기 때문에 고장 날 때까지 제품을 시험하는 데 필요한 시간이 너무 깁니다. 정상적인 사용 조건에서 제품을 시험하는 대신 더 열악한 조건에서 제품을 시험할 수 있습니다. 조건이 열악하면 제품 성능이 더 빨리 저하되고 더 빨리 고장 납니다. 그러면 이 가속 고장 데이터를 사용하여 정상적인 사용 조건에서의 제품 신뢰도를 예측할 수 있습니다.

가속 수명 시험 (ALT) 설계 플랫폼을 사용하면 가속 수명 시험 실험을 위한 계획을 설계할 수 있습니다. 초기 실험을 설계하거나 기존 실험을 확대할 수 있습니다.

그림 22.1 ALT 실험의 고장 확률을 보여 주는 프로파일러



목차

가속 수명 시험 설계 개요	613
가속 수명 시험 설계의 예	613
사전 추정값 구하기	614
기본 규격 입력	615
사전 정보 및 나머지 규격 입력	616
설계 생성	618
시뮬레이션 실행	620
설계 저장	621
가속 수명 시험 설계 확대의 예	621
가속 수명 시험 계획 창	625
설계 구조 지정	627
가속 요인 지정	627
설계 상세 정보 지정	628
균형 설계 진단 검토 및 규격 업데이트	630
최적 설계 생성 및 평가	632
설계 테이블 생성	633
플랫폼 옵션	634
ALT 설계 플랫폼에 대한 통계 상세 정보	634

가속 수명 시험 설계 개요

정상적인 사용 조건에서 제품 신뢰도가 높을 경우 이보다 열악한 조건에서 제품을 시험하여 고장 날 때까지의 시간을 줄일 수 있습니다. 이 가속 고장 데이터를 사용하여 정상적인 사용 조건에서의 제품 신뢰도를 예측할 수 있습니다.

이러한 시험을 가속 수명 시험 (ALT) 이라고 합니다. 정상 사용 수준보다 높게 설정된 요인을 가속 요인이라고 합니다. 일반적으로 가속 수명 시험 모형은 비선형 모형입니다. 비선형 모형에 대한 자세한 내용은 에서 확인하십시오. " 비선형 설계 " 장의 " 비선형 모형 "(655 페이지) 에서 확인하십시오.

ALT 설계 플랫폼은 하나 또는 두 개의 가속 요인을 포함하는 상황에 대한 설계를 생성하고 평가합니다. D- 최적, 분위수 추정 또는 고장 확률을 사용하여 설계를 최적화할 수 있습니다.

ALT 설계를 생성하려면 가속 모형 모수의 초기 추정값이 필요합니다. 주제 관련 지식을 사용하여 시작 추정값을 정의할 수 있습니다. 시작 추정값을 알리는 정보가 없으면 다변량 정규 사전 분포를 지정하여 불확도를 설명할 수 있습니다.

또한 가속 수명 시험 (ALT) 설계 플랫폼을 사용하여 현재 실험을 확대할 수 있습니다. 추정값 분산을 줄이기 위해 현재 설계를 확대할 수도 있습니다.

가속 수명 시험 설계의 예

이 예에서는 기계 부품에 대한 가속 수명 시험을 설계해야 한다고 가정해 보겠습니다. 단일 가속 요인은 토크이며 정상 사용 스트레스는 35Nm(뉴턴 미터) 입니다. 정상 사용 스트레스에서 단위의 10% 가 고장 나는 시간을 추정하려고 합니다. 고장 확률 최적 ALT 설계를 구성합니다.

다음은 시험 계획에 대한 특성입니다.

- 시험에 사용할 수 있는 총 단위 수는 100 입니다.
- 수명 분포는 Weibull 로 가정합니다.
- 수명 - 스트레스 관계는 로그 변환에 의해 제공됩니다.
- 세 가지 스트레스 수준 (50, 75 및 100Nm) 에서 토크를 시험할 계획입니다.
- 시험 수준에서 초기 고장 시간을 예측할 수 있는 사전 지식이 있습니다. 자세한 내용은 " [사전 추정값 구하기](#) "(614 페이지) 에서 확인하십시오.
- 시험은 5,000 회 주기 동안 계속됩니다.
- 연속적으로 고장에 대한 공정을 모니터링합니다.

사전 추정값 구하기

가속 수명 시험 설계를 생성하려면 모수의 사전 추정값을 제공해야 합니다. 사전 추정값을 구하는 방법은 다음과 같습니다.

1. 공정 지식을 사용하여 적은 수의 스트레스 수준에서 가설적이지만 가능성 있는 고장 시간 테이블을 생성합니다.
2. 수명 분포 적합 플랫폼을 사용하여 모형을 적합시키고 모형 모수의 추정값을 구합니다.
3. ALT 설계 플랫폼을 사용하여 설계를 생성할 때 이 추정값을 사전 값으로 사용합니다.

위에서 설명한 방법에 따라 균형 설계의 고장 주기 수 추정값을 포함하는 데이터 테이블을 생성합니다. 테이블은 설계에 사용할 세 가지 스트레스 수준에서 각각 5 개의 단위로 구성됩니다. 이 예에서는 샘플 데이터 라이브러리에 있는 **Torque Prior.jmp** 데이터 테이블을 사용합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Torque Prior.jmp** 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포 적합**을 선택합니다.
3. **Cycles** 를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. **Torque** 를 선택하고 **X**를 클릭합니다.
5. **관계** 목록에서 **로그**를 선택합니다.
6. **사용 조건**에 35 를 입력합니다.
7. **분포** 목록에서 **Weibull** 을 선택합니다.

그림 22.2 수명 분포 적합 시작 창

단일 회귀 계수로 파라미터화된 수명 분포를 모델링합니다.

The dialog box is titled "Life Distribution Fit" and contains the following sections:

- 열 선택 (Column Selection):** A list box showing "2개 열" (2 columns) selected, with "Torque" and "Cycles" listed below it.
- 중도절단 코드 (Censoring Code):** A dropdown menu set to "로그" (Log).
- 관계 (Relationship):** A checkbox labeled "내포 모형 검정" (Incorporate model test) is checked. Below it, a text field labeled "조건 사용" (Use condition) contains the value "35".
- 분포 (Distribution):** A dropdown menu set to "Weibull".
- 신뢰 구간 방법 선택 (Confidence Interval Method Selection):** A dropdown menu set to "Wald".
- 선택한 열 역할 지정 (Designated roles for selected columns):** A table with two columns: "Y, 사건 발생 시간" (Y, Event Time) and "X" (X). The rows are:

Cycles	선택적 숫자
Torque	선택적
중도절단	선택적
빈도	선택적 숫자
기준	선택적
- 작업 (Actions):** Buttons for "확인" (OK), "취소" (Cancel), "제거" (Remove), "재호출" (Reopen), and "도움말" (Help).

8. **확인**을 클릭합니다.
9. "Weibull 결과" 개요가 나올 때까지 아래로 스크롤하여 "공분산 행렬" 개요를 엽니다.

그림 22.3 사전 데이터의 수명 분포 적합 모형

결과					
Weibull 결과					
통계량	분포	분위수	위험	밀도	가속 요인
통계량					
추정값					
모수	추정값	표준 오차	하위 95%	상위 95%	
β_0	15.88154	0.21378153	15.46254	16.30055	
β_1	-1.86901	0.04980245	-1.96662	-1.77140	
σ	0.05454	0.01121285	0.03256	0.07652	
$\mu = 15.88154 - 1.869012 \cdot \text{Log}(\text{Torque})$					
공분산 행렬					
모수	β_0	β_1	σ		
β_0	0.0457025	-0.0106211	-0.0001523		
β_1	-0.0106211	0.0024803	0.0000231		
σ	-0.0001523	0.0000231	0.0001257		

평균에 대한 모형은 "추정값" 개요에 제공됩니다. "추정값" 열에는 절편 (β_0), 선형 계수 (β_1) 및 척도 (σ)에 대한 모수 추정값이 포함되어 있습니다. 모수 추정값의 추정 분산 및 공분산은 "공분산 행렬" 개요에 제공됩니다. ALT 설계를 구성할 때 이러한 모수 추정값과 공분산을 사전 값으로 사용합니다.

기본 규격 입력

1. **DOE > 특수 용도 > 가속 수명 시험 설계**를 선택합니다.
하나의 가속 요인에 대한 설계입니다. 및 연속 모니터링이 기본적으로 선택되어 있습니다.
2. **계속**을 클릭합니다.
3. **요인 이름**에서 X1 을 클릭하고 **Torque** 를 입력합니다.
수준 수는 기본적으로 3 으로 설정되어 있습니다.
4. "요인 변환"에서 **로그**를 선택합니다.
5. **낮은 사용 조건**과 **높은 사용 조건** 둘 다에 35 를 입력합니다.
낮은 사용 조건과 높은 사용 조건을 모두 공통 값 35 로 설정하면 35 가 정상 사용 조건임을 나타냅니다.
6. **최저 시험 조건**에 50 을 입력하고 **최고 시험 조건**에 100 을 입력합니다.

그림 22.4 완료된 ALT 규격 창

가속 수명 시험 계획						
요인 이름	수준 수	요인 변환	사용량 낮은 조건	사용량 높은 조건	최저 시험 조건	최고 시험 조건
Torque	3	로그	35	35	50	100
계속						

7. **계속**을 클릭합니다.

8. **Torque 수준 값**이 50, 75, 100 으로 설정되어 있습니다.
JMP 는 최저 시험 조건과 최고 시험 조건 사이에서 균등한 간격으로 수준 값을 설정합니다.
9. **분포 선택**에 **Weibull** 이 선택되어 있는지 확인합니다.

사전 정보 및 나머지 규격 입력

1. 수명 분포 적합 플랫폼에서 가상 데이터를 사용하여 구한 가속 모형 모수의 사전 추정값을 **사전 평균** 아래에 입력합니다. 그림 22.3 의 "추정값" 개요에 표시된 값을 다음과 같이 소수점 이하 두 자리로 반올림합니다.
 - **절편**에 15.88 을 입력합니다.
 - **토크 (Torque)** 에 -1.87 을 입력합니다.
 - **척도**에 0.05 를 입력합니다.
2. "사전 분산 행렬" 개요를 엽니다.
3. **사전 분산을 무시합니다. 사전 평균에 대한 로컬 설계를 생성합니다.** 옵션을 선택 취소합니다.
4. 사전 가속 모형의 추정 공분산을 입력합니다. 그림 22.3 의 "공분산 행렬" 개요에 표시된 값을 다음과 같이 소수점 이하 다섯 자리로 반올림합니다.
 - **절편** 행 및 열에서 0.10000 을 클릭하고 0.04570 을 입력합니다.
 - **절편** 행과 **Torque** 열에서 0.00000 을 클릭하고 -0.01062 를 입력합니다.
 - **절편** 행과 **척도** 열에서 0.00000 을 클릭하고 -0.00015 를 입력합니다.
 - **Torque** 행 및 열에서 0.10000 을 클릭하고 0.00248 을 입력합니다.
 - **Torque** 행과 **척도** 열에서 0.00000 을 클릭하고 0.00002 를 입력합니다.
 - **척도** 행 및 열에서 0.10000 을 클릭하고 0.00013 을 입력합니다.

그림 22.5 완료된 사전 규격 개요

▲ 가속 수명 시험 계획

▷ 요인

▲ 사전 규격

▲ 분포 선택

☐ 로그 정규
☒ Weibull

▲ 사전 평균

☒ 절편 지정
☐ 분위수 지정

효과	사전 평균
절편	15.88
역(Torque)	-1.87
척도	0.05

▲ 사전 분산 행렬

효과	절편	Torque	척도
절편	0.04570	-0.0106	-0.0002
Torque		0.00248	0.00002
척도			0.00013

☐ 사전 분산을 무시합니다. 사전 평균에 대한 로컬 설계를 생성합니다.

▷ 선택 설계

"가속 수명 시험 계획"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **ALT 최적 기준 > 최적 고장 확률** 생성을 선택합니다.

시험은 5,000회 주기까지 수행됩니다. 그러나 최대 10,000회 주기에 대해 예측하려고 합니다.

5. "진단 선택" 개요에서 **관심 시간 범위**의 두 상자에 모두 10,000을 입력합니다.
6. "선택 설계"에서 **시험 시간**에 5,000을 입력하고 **시험 단위 수**에 100을 입력합니다.

그림 22.6 완료된 설계 상세 정보 창

가속 수명 시험 계획

요인

Torque 수준 값

50
75
100

사전 규격

분포 선택

☐ 로그 정규

☒ Weibull

사전 평균

☒ 절편 지정

☐ 분위수 지정

효과 사전 평균

절편	15.88
역(Torque)	-1.87
척도	0.05

사전 분산 행렬

효과	절편	Torque	척도
절편	0.04570	-0.0106	-0.0002
Torque		0.00248	0.00002
척도			0.00013

☐ 사전 분산을 무시합니다. 사전 평균에 대한 로컬 설계를 생성합니다.

진단 선택

관심 시간 범위

10000	10000

선택 설계

시험 시간

5000

시험 단위 수

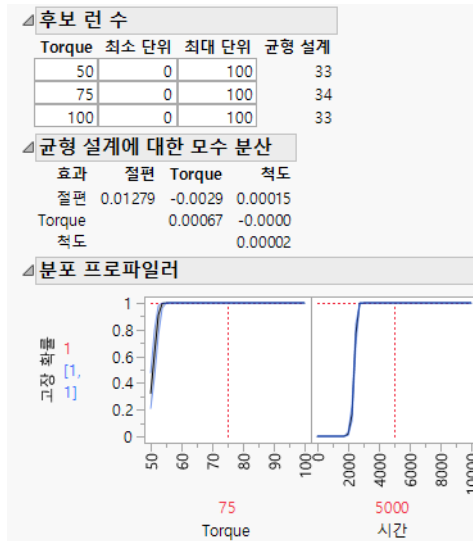
100

계속

설계 생성

1. **계속**을 클릭합니다.

그림 22.7 균형 설계 진단



균형 설계의 런 수가 "후보 런 수" 개요에 나타납니다. "균형 설계에 대한 모수 분산" 개요에는 이 설계의 모수에 대한 공분산 행렬이 표시됩니다. "분포 프로파일러"도 나타납니다. 최적 설계를 구하면 모수 분산 및 분포 프로파일러 결과를 균형 설계의 결과와 비교하여 불확도의 감소를 확인할 수 있습니다.

2. 설계 생성을 클릭합니다.

다른 결과와 함께 최적 실험 설계가 나타납니다.

그림 22.8 최적 설계

▲ 설계

Torque	N개 단위	기대 고장 수	모든 중도절단 확률
50	72	23.2	0.0
75	8	8.0	0.0
100	20	20.0	0.0

최적 설계는 시험 런의 수준, 시험할 총 단위 수 및 지정한 사전 정보를 기반으로 계산됩니다. 최적 설계는 각 토크 수준에서 다음 수의 단위를 시험하는 것으로 구성됩니다.

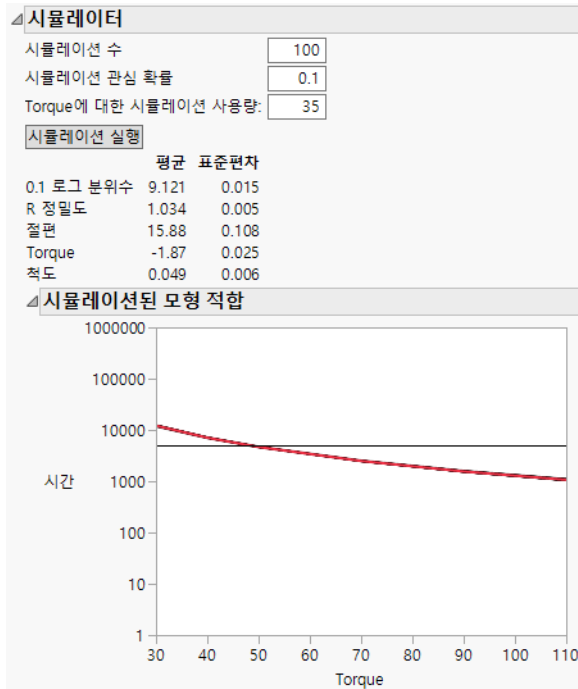
- 50Nm 에서 72 개 단위
- 75Nm 에서 8 개 단위
- 100Nm 에서 20 개 단위

시뮬레이션 실행

시뮬레이터를 사용하면 설계를 생성하는 데 사용된 가정을 기반으로 시험 계획 결과를 시뮬레이션할 수 있습니다. 이렇게 하면 시험 계획을 실행하기 전에 해당 계획이 충분한지 평가할 수 있습니다.

1. **시뮬레이션 수**에 100 을 입력합니다 .
2. **Torque** 에 대한 **시뮬레이션 사용량**에 35 를 입력합니다 .
3. **시뮬레이션 실행**을 클릭하여 실험 시뮬레이션을 100 회 실행합니다 . 이렇게 하면 설계의 사전 가정을 고려해 볼 때 시험할 단위 수 100 개가 충분한지 여부를 확인할 수 있습니다 .

그림 22.9 시뮬레이션 결과



시뮬레이션된 모형 적합을 보면 100 회의 모형 시뮬레이션이 모두 빨간색 곡선으로 표시된 평균에 가깝기 때문에 모두 유사하다는 것을 알 수 있습니다. Y 축은 로그 척도 위에 있습니다.

4. Y 축을 두 번 클릭하고 "유형" 메뉴에서 **선형**을 선택한 후 **확인**을 클릭합니다 .

이제 정상 사용 조건 (35) 주위의 시뮬레이션된 적합에서 변동을 쉽게 볼 수 있습니다. 정상 사용 조건의 추정에서 변동이 예상됩니다. 시뮬레이션은 ALT 계획이 허용 가능한지 여부를 평가하는 데 도움이 됩니다. 변동이 너무 크면 시험 단위 수 또는 시험 조건을 늘려야 할 수도 있습니다.

설계 저장

1. **시험 계획 생성**을 클릭하여 설계를 데이터 테이블에 저장합니다. 이 테이블은 설계를 요약한 것입니다.
2. **테이블 생성**을 클릭하여 설계를 데이터 테이블에 저장합니다. 이 테이블에는 각 시험 런에 대해 하나씩 총 100 개의 행이 있습니다.

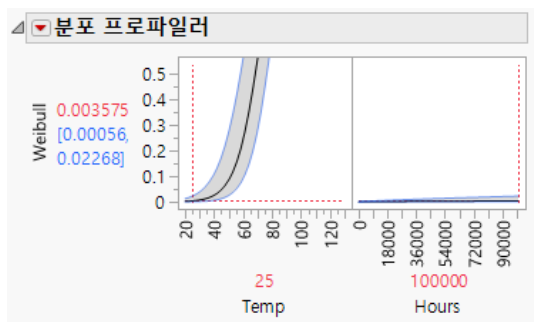
가속 수명 시험 설계 확대의 예

이 예에서는 가속 수명 시험 설계 플랫폼을 사용하여 기존 설계를 확대하는 방법을 보여 줍니다. 여기에서는 150 개의 축전기 단위를 세 가지 온도 (섭씨 85°, 105° 및 125°) 에서 1500 시간 동안 시험합니다. 실험 결과는 **Capacitor ALT.jmp** 샘플 데이터 테이블에 기록됩니다. 생성된 결과 모형은 정상 사용 온도 (섭씨 25°) 일 때 100,000 시간에서 고장 나는 모집단의 비율을 예측하는 데 사용됩니다.

현재 예측 검토

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Capacitor ALT.jmp** 를 엽니다.
2. 녹색 삼각형을 클릭하여 **Fit Life by X** 테이블 스크립트를 실행합니다.
3. "비교" 개요에 있는 "분포 프로파일러"의 "분포" 탭에서 다음을 수행합니다.
 - Temp 위의 105 를 클릭하고 25 로 변경합니다.
 - Hours 위의 750.5 를 클릭하고 100,000 으로 변경합니다.

그림 22.10 Capacitor 모형의 분포 프로파일러



현재 연구에 따르면 25° 일 때 100,000 시간에서 고장 나는 예측 모집단 비율은 0.00358 이고 95% 신뢰 구간은 0.00056 ~ 0.02268 입니다. 고장 비율을 더 정확하게 추정하려고 합니다. 신뢰 구간 너비를 줄이기 위해 추가 시험으로 연구를 확대할 수 있습니다.

설계 확대

예측 고장 비율의 더 정확한 추정값을 얻기 위해 설계를 확대하려고 합니다. 원래 설계는 85, 105 및 125 온도 설정을 사용했습니다. 확대된 설계에서는 온도 값을 90, 110, 125 로 설정하여 시험할 계획입니다. 이 중에서 두 설정이 새 값입니다. 최적으로 선택된 런을 사용하여 설계를 확대하려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. **DOE > 특수 용도 > 가속 수명 시험 설계**를 선택합니다.
2. **하나의 가속 요인에 대한 설계**입니다. 를 선택하고 **연속 모니터링**을 선택한 후 **계속**을 클릭합니다.
3. **요인 이름**에 Temp 를 입력합니다.
4. **수준 수**에 5 를 입력합니다.
확대된 런은 세 수준 (90, 110, 125) 만 포함하지만 원래 실험에 사용된 수준도 지정하여 총 5 개 수준이 되어야 합니다. "요인 변환" 은 기본적으로 "아레니우스 섭씨" 로 설정되어 있습니다.
5. **낮은 사용 조건**과 **높은 사용 조건** 둘 다에 25 를 입력합니다.
6. **최저 시험 조건**에 85 를 입력하고 **최고 시험 조건**에 125 를 입력합니다.
7. **계속**을 클릭합니다.
8. **Temp 수준 값**에 85, 90, 105, 110 및 125 를 입력합니다.
원래 실험의 수준이 세 개 있습니다 (85, 105, 125). 확대된 설계에는 새 수준 두 개 (90, 110) 와 첫 번째 실험의 수준 중 하나 (125) 가 있습니다.

참고 : 모든 수준이 나열되어야 합니다.

9. **분포 선택**에 **Weibull** 이 선택되어 있는지 확인합니다.
10. **사전 평균**에서 **절편 지정**을 선택합니다. "수명 분포 적합" 개요의 "Weibull 결과" 개요에 있는 "통계량" 탭에서 "추정값" 의 가속 모형 모수 추정값을 다음과 같이 입력합니다.

그림 22.11 Weibull 결과 개요의 모수 추정값 및 적합 모형

추정값				
모수	추정값	표준 오차	하위 95%	상위 95%
β_0	-35.19979	4.6912686	-44.39451	-26.00508
β_1	1.38891	0.1566297	1.08192	1.69589
σ	1.30471	0.1119128	1.08536	1.52405

$$\mu = -35.19979 + \frac{(1.388906 \cdot 11605)}{(Temp + 273.15)}$$

- **절편**에 -35.200 을 입력합니다.
- **활성화 에너지 (Temp)** 에 1.389 를 입력합니다.

가속 수명 시험 계획

요인

Temp 수준 값
85
90
105
110
125

사전 규격

분포 선택

☐ 로그 정규
☒ Weibull

사전 평균

☒ 절편 지정
☐ 분위수 지정

효과	사전 평균
절편	-35.2
활성화 에너지(Temp)	1.389
적도	1.305

사전 분산 행렬

효과	절편	Temp	적도
절편	0.10000	0.00000	0.00000
Temp		0.10000	0.00000
적도			0.10000

☒ 사전 분산을 무시합니다. 사전 평균에 대한 로컬 설계를 생성합니다.

진단 선택

관심 확률

선택 설계

시험 시간
 시험 단위 수

13. **계속**을 클릭합니다.

14. 이전 실험의 각 **Temp** 설정에 대한 단위를 설명하기 위해 **후보 런 수** 아래에 다음과 같이 입력합니다.

– 85, 105, 125 온도의 "최소 단위"에 각각 50 을 입력합니다.

15. "가속 수명 시험 계획"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **ALT 최적 기준 > 최적 고장 확률 생성**을 선택합니다.

이 기준에 대한 자세한 내용은 "**최적 고장 확률 생성**"(634 페이지)에서 확인하십시오.

16. **설계 생성**을 클릭합니다.

다른 결과와 함께 최적 실험 설계가 나타납니다.

그림 22.13 최적 설계

설계			
Temp	N개 단위	기대 고장 수	모든 중도절단 확률
85	50	6.9	0.0
90	89	18.8	0.0
105	50	30.0	0.0
110	0	0.0	0.0
125	61	60.5	0.0

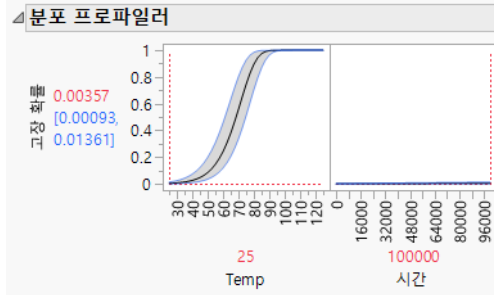
최적 설계는 시험 런의 수준, 최소 시험 단위 수, 시험할 총 단위 수("후보 런 수" 개요의 정보) 및 지정한 기타 정보를 기반으로 계산됩니다. 최적 설계는 각 온도 수준에서 다음 수의 단위를 시험하는 것으로 구성됩니다.

- 85°C 에서 50 개 단위 . 이전 실험을 수행할 때 이미 85°C 에서 50 개 단위를 시험했으므로 추가 단위가 필요하지 않습니다.
- 90°C 에서 89 개 단위
- 105°C 에서 50 개 단위 . 이전 실험을 수행할 때 105°C 에서 50 개 단위를 시험했으므로 추가 단위가 필요하지 않습니다.
- 110°C 에서 0 개 단위 . 이 수준은 필요하지 않습니다.
- 125°C 에서 61 개 단위 . 이전 실험을 수행할 때 125°C 에서 50 개 단위를 시험했으므로 11 개의 추가 단위가 필요합니다.

확대된 설계를 원래 연구와 비교

1. "분포 프로파일러"에서 "Temp"에 25 를 입력하고 "시간"에 100,000 을 입력합니다. 고장나는 모집단 비율의 추정값은 0.00357 이고 95% 신뢰 구간은 0.00093 ~ 0.01361 입니다. 이 구간은 초기 실험의 구간, 즉 0.00056 ~ 0.02268(그림 22.10 참조) 보다 좁습니다.

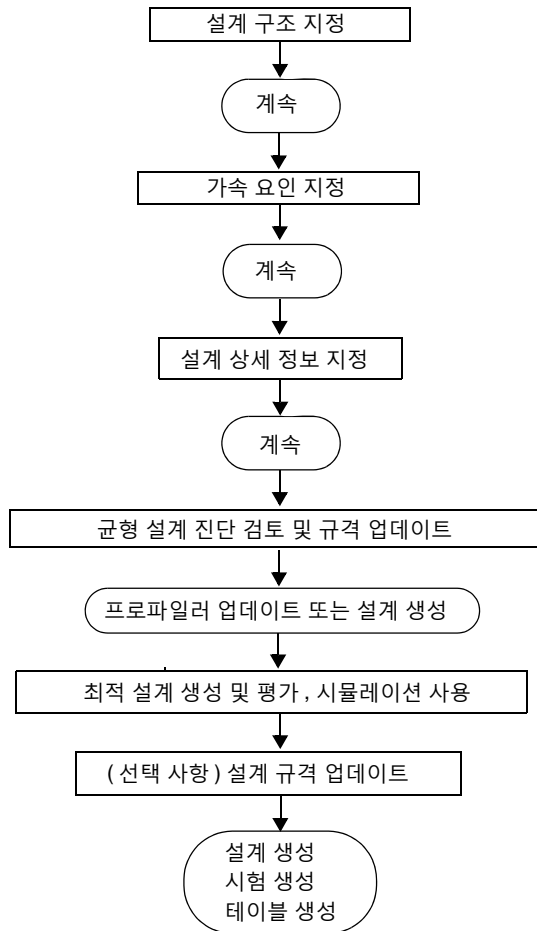
그림 22.14 Temp = 25, 시간 = 100000 에 대한 분포 프로파일러



가속 수명 시험 계획 창

설계 단계를 진행하는 동안 "가속 수명 시험 계획" 창이 업데이트됩니다. 개요는 창을 업데이트 하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 22.15 의 흐름을 따릅니다.

그림 22.15 가속 수명 시험 계획 흐름



이 섹션에서는 "가속 수명 시험 계획" 흐름의 개요를 설명합니다.

설계 구조 지정

"가속 수명 시험 계획" 개요를 사용하여 설계의 모형 구조 및 검사 유형을 정의합니다.

그림 22.16 초기 ALT 설계 창

하나의 가속 요인에 대한 설계입니다. 요인이 하나인 설계를 생성할 때 선택합니다.

두 개의 가속 요인

주효과 모형에 대한 설계입니다. 요인이 두 개인 경우, 주효과 모형에 대한 설계를 생성할 때 선택합니다.

교호작용 모형에 대한 설계입니다. 요인이 두 개인 경우, 모형에 주효과 및 두 요인의 교호작용 항이 포함되는 설계를 생성할 때 선택합니다.

구간 모니터링 특정 간격에 따라 단위의 고장을 검사한다고 가정합니다. 고장 시간은 구간 중도 절단됩니다. 검사 수, 1차 검사 시간 및 검사 구간을 입력합니다. 검사 구간이 불규칙한 경우 나중에 "선택 설계" 개요에서 검사 시간을 변경할 수 있습니다.

연속 모니터링 정확한 고장 시간이 기록된다고 가정합니다. 시험 시간을 초과하는 고장 시간은 오른쪽 중도절단됩니다.

가속 요인 지정

하나 이상의 가속 요인에 대한 상세 정보를 지정합니다.

그림 22.17 ALT 규격 창

요인 이름	수준 수	요인 변환	사용량 낮음 조건	사용량 높음 조건	최저 시험 조건	최고 시험 조건
X1	3	아래니우스 섭씨	20	30	90	110

요인 이름 각 가속 요인의 이름을 입력합니다.

수준 수 각 가속 요인에 대해 실험에 포함할 수준 수를 입력합니다.

요인 변환 각 가속 요인에 대해 변환 함수를 선택합니다. 이 변환은 수명 - 스트레스 관계, 즉 전체 스트레스 수준에서 수명 분포가 변하는 방식을 설명합니다. "아레니우스 섭씨", "역수", "로그", "제곱근" 및 "선형" 변환 중에서 하나를 사용할 수 있습니다.

낮은 사용 조건 각 가속 요인에 대해 일반적인 사용 조건의 하한 값을 입력합니다.

높은 사용 조건 각 가속 요인에 대해 일반적인 사용 조건의 상한 값을 입력합니다.

참고: "낮은 사용 조건" 값과 "높은 사용 조건" 값은 같을 수 있습니다. 사용 조건이 단일 값인 경우 동일한 값을 사용합니다.

최저 시험 조건 각 가속 요인에 대해 최저 시험 조건을 입력합니다.

최고 시험 조건 각 가속 요인에 대해 최고 시험 조건을 입력합니다.

참고: 최저 시험 조건과 최고 시험 조건은 설계에서 가속 요인의 끝점을 정의합니다. 초기 후보는 최저 시험 조건과 최고 시험 조건 사이에서 간격이 균등한 수준을 사용합니다. 설계를 구성하기 전에 수준을 조정할 수 있습니다.

설계 상세 정보 지정

요인 수준, 사전 분포의 세부 정보, 관심 시간 범위와 확률, 시험 시간 및 시험 단위 수를 지정합니다.

가속 수명 시험 계획

요인

X1 수준 값	
	90
	100
	110

사전 규격

분포 선택

☐ 로그 정규
☒ Weibull

사전 평균

☒ 절편 지정
☐ 분위수 지정

	효과	사전 평균
절편		-40
활성화 에너지(X1)		1.5
척도		2

사전 분산 행렬

	효과	절편	X1	척도
절편	0.10000	0.00000	0.00000	
X1		0.10000	0.00000	
척도			0.10000	

☒ 사전 분산을 무시합니다. 사전 평균에 대한 로컬 설정을 생성합니다.

선택 설계

시험 시간 1000

시험 단위 수 150

계속

사전 분산 행렬 가속 모형 모수에 대한 사전 분포의 분산 및 공분산 값을 입력합니다. 이러한 분산과 공분산은 가속 모형 모수의 사전 추정값에 대한 불확도를 반영합니다. 분산이 크면 불확도가 더 크다는 것을 나타냅니다.

사전 분산을 무시합니다. 사전 분포의 사전 분산 및 공분산을 무시하려면 이 옵션을 선택합니다. 이러한 분산과 공분산을 무시하면 "사전 평균"에 입력한 값을 실제 모수 값으로 간주하여 설계가 생성됩니다. 사전 평균 모수가 실제 값에 가까우면 이 설계가 최적에 가깝습니다. 그러나 이 설계는 모수 추정값 오지정에 로버스트하지 않습니다. 사전 추정값이 확실하지 않은 경우 "사전 분산 행렬"을 사용하여 불확도를 반영해야 합니다.

진단 선택 사용 가능한 선택 옵션은 설계 최적 기준에 따라 달라집니다. D- 최적 설계의 경우 진단 선택 옵션이 없습니다.

관심 시간 범위 (고장 확률 최적 설계에만 사용 가능) 고장 나는 모집단의 비율을 추정할 시간 구간을 지정합니다. 왼쪽 상자에 하한 값을 입력하고 오른쪽 상자에 상한 값을 입력합니다. 특정 시점에 관심이 있는 경우 해당 값을 두 상자에 모두 입력합니다.

관심 확률 (분위수 추정값 최적 설계에만 사용 가능) 시간을 추정할 고장 비율을 지정합니다. 예를 들어 단위의 10%가 고장 나는 시간을 추정하려면 0.10을 입력합니다.

선택 설계 시험 시간, 검사 구간 및 시험 단위 수와 관련된 값을 입력합니다. 다음 항목의 값을 입력합니다.

시험 시간 (연속 모니터링에만 사용 가능) 단위를 시험하는 시간을 지정합니다. 설계 테이블을 생성할 때 각 단위의 고장 시간 또는 우측 중도절단 여부를 기록합니다.

검사 시간 (구간 모니터링에만 사용 가능) 검사를 수행하는 시간을 지정합니다. 설계 테이블을 생성할 때 이 시간을 사용하여 시작 시간 및 종료 시간 열을 구성합니다. 각 구간에서 고장 나는 단위 수가 기록됩니다.

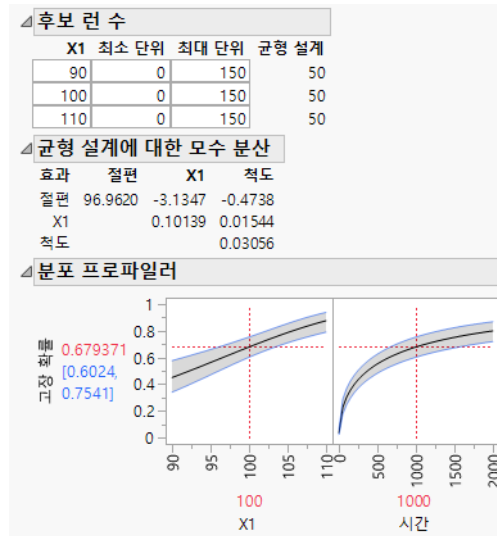
시험 단위 수 실험의 단위 수입니다.

- 초기 실험을 설계하는 경우 시험할 단위 수를 입력합니다.
- 이전 실험을 확대하는 경우 이전 실험에서 시험한 단위 수와 다음 실험의 단위 수를 더한 값을 입력합니다.

균형 설계 진단 검토 및 규격 업데이트

설계 상세 정보를 지정하고 **계속**을 클릭하면 세 가지 새 개요가 창에 추가됩니다.

그림 22.19 추가 개요 노트



후보 런 수 가속 요인의 각 수준에서 허용되는 최소 및 최대 단위 수를 입력합니다. 이전 실험을 확대하는 경우에는 각 설정에 대해 각 수준에서 이미 실행한 단위 수를 "최소 단위" 열에 포함합니다.

균형 설계에 대한 모수 분산 균형 설계에 대한 가속 모형 모수 추정값의 공분산 행렬에 비례하는 행렬을 제공합니다.

θ 모수와 관련하여 모형의 첫 번째 편도함수 행렬을 $\mathbf{X}$ 로 나타내고, 오차 분산을 σ^2 으로 나타냅니다. 일반적인 조건에서 θ 의 최소 제곱 추정량은 다음과 같은 점근 공분산 행렬을 사용하여 점근적 비편향입니다.

$$\text{Cov}(\hat{\theta}) = \sigma^2 (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$$

"균형 설계에 대한 모수 분산" 개요는 $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 을 제공하며 여기서 도함수가 수치로 계산됩니다. 이때 "사전 평균" 개요에 지정된 값이 실제 모수 값이라고 가정하여 계산이 수행됩니다.

자세한 내용은 "비선형 설계" 장의 "비선형 모형"(655 페이지)에서 확인하십시오.

분포 프로파일러 가속 요인과 시간의 변화에 따라 균형 설계에 기반한 고장 확률을 탐색할 수 있습니다. 이 확률은 "사전 평균"에 지정된 값이 실제 모수 값이라는 가정을 기반으로 합니다.

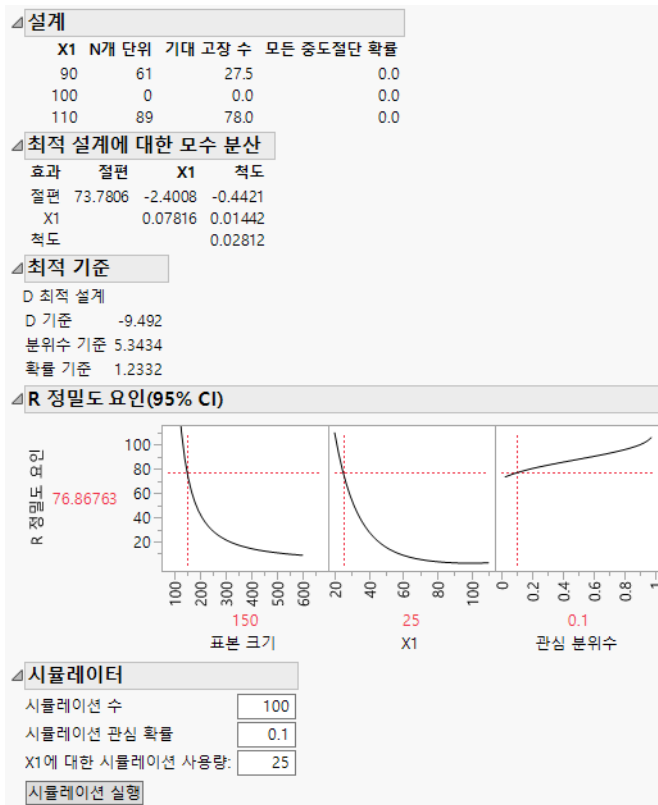
팁: "분포 선택", "사전 평균" 또는 "선택 설계"를 변경한 경우 **프로파일러 업데이트**를 클릭하여 프로파일러를 업데이트하십시오.

최적 설계 생성 및 평가

설계 생성을 클릭하여 최적 설계를 생성하고 설계 품질에 대한 결과를 확인합니다. 기본적으로 최적 설계는 D- 최적입니다. 빨간색 삼각형의 "ALT 최적 기준" 옵션을 선택하여 최적 기준을 변경할 수 있습니다.

설계 생성을 클릭하면 다음 보고서가 나타납니다.

그림 22.20 설계 개요



설계 가속 수준의 각 조합에서 시험할 단위 수를 표시합니다. 단일 요인의 경우 첫 번째 열은 요인 수준을 나타냅니다. 요인이 두 개인 경우 처음 두 열은 요인 수준을 나타냅니다.

N 개 단위 가속 수준의 각 조합에서 시험할 단위 수입니다.

기대 고장 수 설계 설정에 대한 기대 고장 수입니다. 기대 수는 사전 모형 규격을 사용하여 계산됩니다.

모든 중도절단 확률 가속 수준 조합에서 시험한 단위가 하나도 고장 나지 않을 확률입니다. 이 확률은 사전 모형 규격을 사용하여 계산됩니다.

참고 : 기대 고장 수와 중도절단 확률을 통해 사전 규격이 적절한지 판단할 수 있습니다.

최적 설계에 대한 모수 분산 최적 설계에 대한 가속 모형 모수 추정값의 공분산 행렬에 비례하는 행렬을 제공합니다. 이때 "사전 평균" 개요에 지정된 값이 실제 모수 값이라고 가정하여 계산이 수행됩니다. 자세한 내용은 "**균형 설계에 대한 모수 분산**"(631 페이지)에서 확인하십시오.

참고 : "최적 설계에 대한 모수 분산" 행렬의 값을 "균형 설계에 대한 모수 분산" 행렬의 값과 비교하여 최적 설계에 의해 추정값 분산이 어느 정도 감소되는지 확인할 수 있습니다.

최적 기준 다음과 같은 세 가지 최적 기준의 값이 나타납니다.

D 기준 설계의 D-최적. 자세한 내용은 "**D-최적 설계 생성**"(634 페이지)에서 확인하십시오.

분위수 기준 설계의 시간 I- 최적. 자세한 내용은 "**최적 분위수 추정값 생성**"(634 페이지)에서 확인하십시오.

확률 기준 설계의 확률 I- 최적. 자세한 내용은 "**최적 고장 확률 생성**"(634 페이지)에서 확인하십시오.

R 정밀도 요인 (95% CI) 표본 크기, 요인 수준 및 관심 분위수가 R 정밀도 요인에 미치는 영향을 평가하기 위한 프로파일러입니다. "R 정밀도 요인 (95% CI)"은 관심 분위수에 대한 신뢰 구간을 반영합니다.

시뮬레이터 데이터를 수집하기 전에 시뮬레이터를 사용하여 가속 모형을 탐색합니다.

시뮬레이션 수 실행할 시뮬레이션 시도 수입니다.

시뮬레이션 관심 확률 관심 있는 고장 확률입니다.

시뮬레이션 사용량 가속 요인의 사용 조건 값입니다.

"시뮬레이션 실행"을 클릭하면 요약 통계량 테이블과 모형 적합 그림이 나타납니다.

설계 테이블 생성

설계 생성 "분포 선택", "사전 평균", "사전 분산 행렬", "선택 설계" 또는 "후보 런 수"를 변경한 경우 최적 설계를 업데이트합니다.

시험 계획 생성 각 행이 개별 설계 설정에 해당하는 데이터 테이블을 생성합니다. 이 테이블에는 가속 요인 설계 설정 및 해당 설계 설정에서 시험할 단위 수가 나타납니다.

테이블 생성 고장 시간 데이터를 기록하는 데 사용할 수 있는 테이블을 생성합니다.

- 연속 모니터링의 경우, 시험할 각 단위와 해당 단위의 설계 설정에 해당하는 행이 테이블에 포함됩니다. 실험 중에 단위가 고장 나면 고장 시간 열에 해당 단위의 고장 시간을 기록하고 중도절단 열에 0을 기록합니다. 실험 중에 단위가 고장 나지 않으면 고장 시간 열에 최종 검사 시간을 기록하고 중도절단 열에 1을 기록합니다.

- 구간 모니터링의 경우, 각 설계 설정과 시간 구간 조합에 해당하는 행이 테이블에 포함됩니다. 시간 구간은 "선택 설계" 개요에 입력한 "검사 시간"을 기반으로 하는 시작 시간 및 종료 시간 열에 의해 정의됩니다. 각 설정 및 시간 구간에 대해 고장 난 단위의 수를 고장 수 열에 기록합니다.

플랫폼 옵션

"가속 수명 시험 계획"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 시뮬레이션 테이블 생성을 클릭하면 시뮬레이션된 반응을 테이블에 추가합니다. 시뮬레이션된 반응은 "사전 평균" 개요에 지정한 모수 값에 대해 선택한 분포에서 무작위로 추출하여 생성됩니다. 시뮬레이션된 반응이 지정된 시험 시간을 초과하면 시험 시간 값에서 관측이 중단됩니다.

ALT 최적 기준 다음과 같은 설계 최적 옵션을 포함합니다.

D- 최적 설계 생성 몬테카를로 구의 수가 0 보다 크면 베이지안 D- 최적 설계를 생성합니다. 최적 기준은 사전 분포와 관련된 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다. 몬테카를로 구의 수가 0 이면 로컬 D- 최적 설계를 생성합니다. 결과적으로 D- 최적은 계수의 정확한 추정에 중점을 둡니다.

최적 분위수 추정값 생성 지정된 사용 조건에서 지정된 백분위수의 분산을 최소화하는 설계를 생성합니다.

최적 고장 확률 생성 지정된 사용 조건에서 관심 시간 범위 동안 고장 확률 추정값의 분산을 최소화하는 설계를 생성합니다.

고급 옵션 다음과 같은 고급 옵션을 포함합니다.

N 몬테카를로 구 적분에 사용되는 0 이 아닌 반지름 값의 수를 설정할 수 있습니다. JMP 는 주어진 최적 기준을 최적화하는 비선형 설계를 찾기 위해 모수 사전 분포와 관련된 Fisher 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 적분을 최소화해야 합니다. 적분은 수치로 계산되어야 합니다. 적분 수행 방법에 대한 자세한 내용은 "비선형 설계" 장의 "[비선형 설계 옵션](#)"(654 페이지)에서 확인하십시오.

팁: 기본적으로 "N 몬테카를로 구"는 4 로 설정되어 있습니다. 값이 클수록 수치 정확도는 향상되지만 계산 시간은 길어집니다.

스크립트를 스크립트 창에 저장 "가속 수명 시험 계획" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

ALT 설계 플랫폼에 대한 통계 상세 정보

ALT 설계 플랫폼에서는 로그 정규 또는 Weibull 고장 분포를 선택할 수 있습니다.

이 섹션에는 각 분포의 pdf(확률 밀도 함수) 와 cdf(누적 분포 함수) 에 대한 파라미터화가 포함되어 있습니다 . Weibull 분포에 대한 자세한 내용은 **Reliability and Survival Methods** 의 "Life Distribution" 장에서 확인하십시오 .

로그 정규

로그 정규 분포는 데이터 범위가 10 의 여러 거듭제곱일 경우 고장 시간을 나타내는 데 흔히 사용됩니다. 보통 이 분포는 독립적이며 같은 분포를 따르는 다수의 작은 양수 확률 변수의 곱으로 개념화됩니다 . 이 분포는 데이터 값의 로그가 정규 분포로 나타날 때 적절합니다 . 일반적으로 확률 분포 함수는 강한 오른쪽 왜도가 특징입니다 .

로그 정규 계열은 위치 모수 (μ) 와 형태 모수 (σ) 로 파라미터화됩니다 . 로그 정규 pdf 및 cdf 는 다음과 같이 지정되며 , 여기서 로그는 밑이 e 입니다 .

$$f(x;\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma} \phi_{\text{nor}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right], \quad x > 0$$

$$F(x;\mu, \sigma) = \Phi_{\text{nor}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right],$$

아래 함수는

$$\phi_{\text{nor}}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$

및

$$\Phi_{\text{nor}}(z) = \int_{-\infty}^z \phi_{\text{nor}}(w) dw$$

각각 표준 정규 분포 ($N(0,1)$) 에 대한 pdf 와 cdf 입니다 .

Weibull

Weibull 분포를 사용하면 위험 비율이 증가하거나 감소하는 고장 시간 데이터를 모델링할 수 있습니다 . 이 분포는 형태 모수 값을 기반으로 다양한 유형의 데이터를 모델링할 때 엄청난 유연성을 제공하므로 신뢰성 분석에 자주 사용됩니다 .

일반적으로 Weibull pdf 와 cdf 는 다음과 같이 나타냅니다 .

$$f(x;\alpha, \beta) = \frac{\beta}{\alpha} x^{(\beta-1)} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right]; \quad x > 0, \alpha > 0, \beta > 0$$

$$F(x;\alpha, \beta) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right]$$

여기서 α 는 척도 모수이고 β 는 형태 모수입니다. Weibull 분포는 $\beta = 1$ 일 때 지수 분포로 축소됩니다.

Weibull 파라미터화

JMP 에서 Weibull 파라미터화는 σ 를 척도 모수로, μ 를 위치 모수로 정의합니다. 이 모수는 다음과 같이 α 및 β Weibull 파라미터화와 관련됩니다.

$$\alpha = \exp(\mu)$$

및

$$\beta = \frac{1}{\sigma}$$

이러한 모수를 사용할 경우 Weibull 분포의 pdf 와 cdf 는 $\mu = \log(\alpha)$ 및 $\sigma = 1/\beta$ 인 위치 - 척도 파라미터화를 사용하여 로그 변환된 SEV(최소 극단값 분포) 로 표현됩니다.

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma} \phi_{\text{sev}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right], \quad x > 0, \sigma > 0$$

$$F(x; \mu, \sigma) = \Phi_{\text{sev}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right]$$

여기서,

$$\phi_{\text{sev}}(z) = \exp[z - \exp(z)]$$

및

$$\Phi_{\text{sev}}(z) = 1 - \exp[-\exp(z)]$$

각각 표준화된 최소 극단값 ($\mu = 0, \sigma = 1$) 분포에 대한 pdf 와 cdf 입니다.

R 정밀도 요인 (95% CI)

R 정밀도 요인은 양수 t 에 대한 Wald 신뢰 구간입니다.

비선형 설계

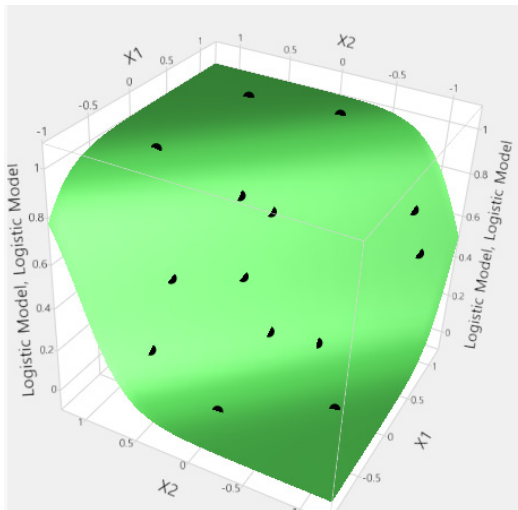
미지의 모수에 비선형 모형을 적합시키는 것이 실험 목표인 경우 비선형 모형 적합에 중요한 영역에 설계점을 배치하려면 비선형 설계를 사용합니다. 선형 모형에 최적인 직교 설계를 사용할 수 있지만 일반적으로 이 설계는 적합 모수 추정값의 불확도를 최소화하거나 정밀도를 최대화하는 위치에 설계점을 놓지 않습니다.

비선형 설계의 효율도는 미지의 모수 값에 따라 달라집니다. 이는 최선의 설계를 찾기 위해 모수를 미리 알아야 한다는 점에서 순환 문제의 원인이 됩니다. JMP는 베이지안 방법을 사용하여 모수 값의 지정된 범위에서 평균 효율도를 최대화하는 비선형 설계를 구성합니다. 이러한 범위를 적절하게 지정하려면 관심 시스템에 대한 정보가 있어야 합니다.

비선형 설계는 선형 모형 설계와 비교하여 다음과 같은 장점을 제공합니다.

- 잘 선택된 모형을 사용한 예측은 요인 설정이 다양한 경우에 적합합니다.
- 복잡한 곡률과 점근적 모습을 갖는 반응 표면을 모델링할 수 있습니다.

그림 23.1 비선형 모형의 설계점



목차

비선형 설계 개요	639
비선형 설계의 예	640
사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성	640
사전 데이터를 사용하여 설계 확대	644
이항 반응에 대한 설계 생성	648
비선형 설계 시작 창	651
비선형 설계 창	652
요인	653
모수	653
설계 생성	654
설계	654
테이블 생성 또는 확대	654
비선형 설계 옵션	654
비선형 설계에 대한 통계 상세 정보	655
비선형 모형	655
최적 기준의 방사형-구형 적분	656
최적 설계 찾기	656

비선형 설계 개요

비선형 설계 플랫폼을 사용하여 모수에서 비선형인 모형을 적합시키는 설계를 구성합니다. 비선형 모형에 대해 최적 설계를 구성하거나 기존 데이터를 최적으로 확대할 수 있습니다. 기본 공정을 기술하는 정보를 기반으로 한 비선형 설계는 다항식 모형에 대한 표준 설계를 사용할 때보다 더 정확하게 모형 모수의 값을 추정하고 공정 동작을 예측할 수 있습니다. 비선형 모형에 대한 배경 지식은 "[비선형 모형](#)"(655 페이지)에서 확인하십시오.

비선형 모형의 설계 효율도는 설계에서 추정하려는 모수의 알려지지 않은 값에 따라 달라집니다. 이러한 이유로 JMP는 베이지안 방법을 사용하여 광범위한 모수 확률 값에 대해 효율적인 설계를 구성합니다. 미지의 모수 값 범위와 사전 분포를 지정할 수 있습니다. 사전 분포는 "균등", "정규", "로그 정규" 및 "지수" 중에서 선택할 수 있습니다.

비선형 설계 플랫폼은 사용자가 지정하는 모수 확률 값의 사전 분포에 대해 설계를 최적화하는 베이지안 방법을 사용합니다. 베이지안 D-최적 기준은 이 사전 확률 분포를 나타내는 모수 벡터 표본과 관련하여 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다. 정보 행렬 항목은 설계점에서의 예측 분산에 따라 달라집니다. 분산이 작은 관측값, 즉 반응이 거의 확실한 경우에는 제공되는 정보가 매우 적습니다. 따라서 최적 설계는 일부 설계 설정을 분산이 높은 점에 배치합니다. 자세한 내용은 Gotwalt et al. (2009)에서 확인하십시오.

최적 설계의 주요 내용은 실현 가능한 실험 영역에서 최적 설계가 예측 분산이 가장 높은 위치에 점을 배치한다는 것입니다. 이 사실은 직관에 반대되는 것 같지만 대체 설계가 다른 위치에 점을 배치하면 최적 설계의 설계점에 대한 예측 분산이 훨씬 높아집니다. 모수에서 선형인 모형의 경우 분산이 높은 점은 실험 영역의 꼭지점에 있는 경향이 있습니다. 그러나 모수에서 비선형인 모형의 경우에는 그렇지 않을 수 있습니다.

참고: 비선형 설계는 랜덤 시작 설계를 사용하여 계산됩니다. 따라서 동일한 규격에 대해 생성된 비선형 설계가 대부분 다릅니다.

비선형 설계 플랫폼을 사용하려면 기존 데이터 테이블이 있어야 합니다. 해당 데이터 테이블에는 다음 요소가 포함되어야 합니다.

- 반응에 대한 열
- 각 요인에 대한 열
- 요인과 반응 간의 관계를 보여 주는 계산식이 포함된 열. 이 계산식은 미지의 모수를 포함해야 합니다.

참고: 이것은 모델링을 위해 비선형 플랫폼에서 사용되는 데이터 테이블에 필요한 형식과 동일합니다.

테이블은 다음 두 형식 중 하나일 수 있습니다.

- 열 정보만 포함하고 행은 없는 템플릿일 수 있습니다. 자세한 내용은 "[사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성](#)"(640 페이지)에서 확인하십시오.

- 예측 변수 정보가 있는 행을 포함할 수 있습니다. 이 경우 예측 변수 값이 비선형 설계에 포함됩니다. 자세한 내용은 "[사전 데이터를 사용하여 설계 확대](#)"(644 페이지)에서 확인하십시오.

비선형 설계의 예

- "사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성"
- "사전 데이터를 사용하여 설계 확대"
- "이항 반응에 대한 설계 생성"

사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성

이 예에서는 아직 데이터를 수집하지 않았지만 미지의 모수에 대해 추측할 수 있을 때 설계를 생성하는 방법을 보여 줍니다. 여기에서는 화학 반응에서 중간 생성물의 분별 수율 (Observed Yield) 을 모델링합니다. 분별 수율은 반응 시간과 온도의 함수입니다. 자세한 내용은 Box and Draper(1987) 에서 확인하십시오.

설계 생성

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reaction Kinetics Start.jmp 를 엽니다.
다음을 확인할 수 있습니다.
 - 데이터가 수집되지 않았으므로 데이터 테이블에 행이 없습니다.
 - 예측 변수 Reaction Temperature 와 Reaction Time 의 열에는 "코딩", "설계 역할" 및 "요인 변경" 특성이 있습니다. 특성을 확인하려면 "열" 패널에서 * 을 클릭합니다. 이러한 특성은 설계를 구성할 때 예측 변수를 처리하는 방법을 JMP 에 알려 줍니다. 열 특성을 저장하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[열 특성](#)" 장 (681 페이지) 에서 확인하십시오.
 - Observed Yield 열에는 실험을 실행하여 얻은 반응 데이터가 포함됩니다.
 - Yield Model 열은 예측 변수를 반응 (Observed Yield) 과 관련짓는 계산식을 포함합니다. 계산식을 보려면 "열" 패널에서 + 을 클릭합니다. 계산식은 t1 및 t3 모수에서 비선형입니다.
- DOE > 특수 용도 > 비선형 설계**를 선택합니다.
- Observed Yield 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
- Yield Model 을 선택하고 **X, 예측변수 계산식**을 클릭합니다.
- 확인**을 클릭합니다.
이 예에서 Reaction Temperature 값 (510, 540) 및 Reaction Time 값 (0.1, 0.3) 은 "코딩" 열 특성을 사용하여 지정되었습니다. "요인" 개요에서 적절한 값 범위를 직접 지정할 수도 있습니다.
- 모수 t1 의 값을 25 와 50 으로 변경하고 t3 의 값을 30 과 35 로 변경합니다.

이 새 값은 실험 상황에 대해 적절한 범위의 모수 값을 나타냅니다. 기본값은 예측 계산식 정의에 지정된 초기 모수 값을 기반으로 구성되었습니다. 계산식 구성에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 "계산식 편집기" 장에서 확인하십시오.

t1 과 t3 의 각 "분포" 아래에 표시된 사전 분포는 기본적으로 "정규"로 설정되어 있습니다.

7. "설계 생성" 패널에서 런 수를 12 로 변경합니다.

그림 23.2 Reaction Kinetics 실험의 완료된 개요

비선형 설계

요인

이름	역할	값
Reaction Temperature	연속형	510, 540
Reaction Time	연속형	0.1, 0.3

모수

이름	분포	값
t1	정규	19, 57
t3	정규	16, 48

설계 생성

런 수: 10

설계 생성

8. 설계 생성을 클릭합니다.
9. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 23.3 설계 테이블

	Reaction Temperature	Reaction Time	Observed Yield	Yield Model
1	540	0.3	•	58.093235
2	540	0.11	•	57.3016426
3	540	0.3	•	58.093235
4	530	0.2	•	54.9142081
5	510	0.1	•	11.2590804
6	540	0.3	•	58.093235
7	540	0.3	•	58.093235
8	510	0.1	•	11.2590804
9	517	0.1	•	17.8546023
10	530	0.21	•	55.9838913
11	540	0.11	•	57.3016426
12	540	0.3	•	58.093235

그림 23.3의 설계와 유사한 설계가 표시됩니다. 런 순서는 다를 수 있으며 이에 따라 Reaction Temperature 및 Reaction Time 의 값과 Yield Model 에 대해 계산된 값도 약간 다를 수 있습니다. Yield Model 열에는 모형의 계산식이 포함되므로 값이 나타납니다. 또한 비선형 모형을 관측값에 적합시키는 데 사용할 수 있는 모형 스크립트가 테이블에 포함되어 있습니다.

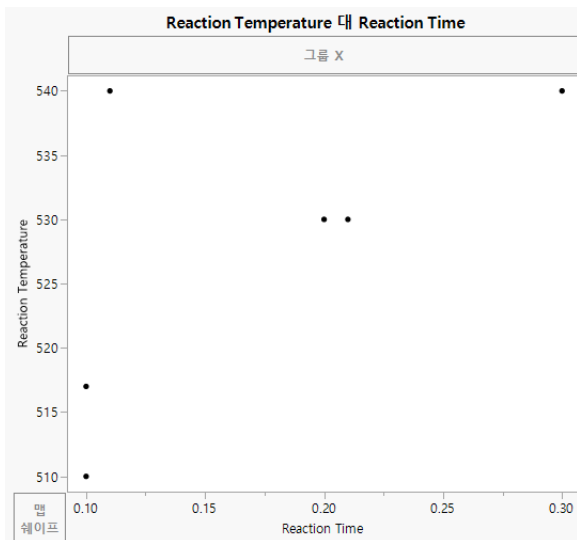
설계 테이블을 생성했으므로 실험을 실행하고 **Observed Yield** 열에 반응을 기록합니다 .
Design Experiment 폴더의 **Reaction Kinetics.jmp** 데이터 테이블에 설계에 대한 관측 결과가
포함되어 있습니다.

설계 탐색

결과를 분석하기 전에 설계 설정을 볼 수 있는 그림을 구성합니다 .

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reaction Kinetics.jmp 를 엽니다 .
1. **그래프 > 그래프 빌더**를 선택합니다 .
2. Reaction Temperature 를 **Y** 놓기 영역으로 드래그합니다 .
3. Reaction Time 을 **X** 놓기 영역으로 드래그합니다 .
4. 그래프 위의 두 번째 아이콘을 클릭하여 평활기를 선택 취소합니다 .

그림 23.4 설계 설정

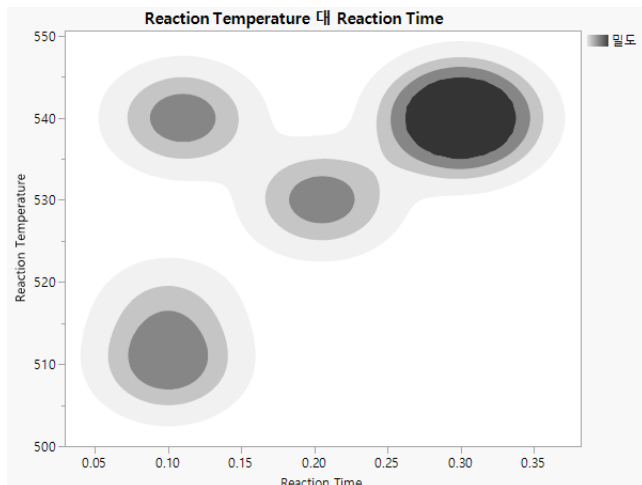


점이 세 영역에 있습니다 . 낮은 온도와 높은 시간 (그래프의 오른쪽 아래 부분) 에는 점이 없습니다 . 직교 설계와 달리 비선형 설계는 설계점을 설계 영역 모서리에 놓지 않을 수도 있습니다 . 이 예에서 낮은 온도와 높은 시간의 설계점은 비효율적입니다 .

나머지 세 모서리에서 설계점의 밀도를 보려면 등고선 도구를 사용합니다 .

5.  을 클릭하여 등고선 도구를 설정합니다 .
6. **완료**를 클릭합니다 .

그림 23.5 밀도 등고선을 사용한 설계 설정



낮은 시간과 높은 온도에서는 상대적으로 점 수가 적습니다. 설계 테이블에서 해당 점이 두 개뿐임을 확인할 수 있습니다. 모형 및 모수 규격 때문에 최적 설계는 높은 시간과 높은 온도에 설계점을 더 놓습니다.

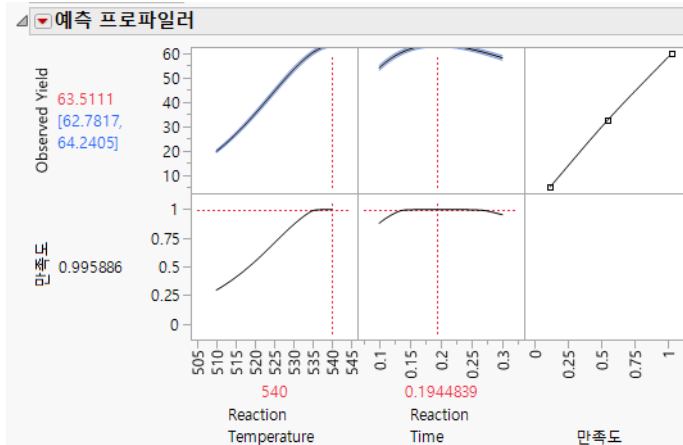
결과 분석

설계를 시각적으로 탐색했으므로 이제 결과를 분석합니다.

참고 : 1 단계 ~ 4 단계를 수행하는 대신 **모형** 스크립트를 실행할 수 있습니다.

1. **분석 > 전문 모델링 > 비선형**을 선택합니다.
2. Observed Yield 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
3. Yield Model 을 선택하고 **X, 예측변수 계산식**을 클릭합니다.
"사용자 계산식 적합 옵션" 패널에 모형이 나타납니다.
4. **확인**을 클릭합니다.
5. "제어판"에서 **시작**을 클릭합니다.
"중지 한계" 값 중 하나에 도달할 때까지 해 반복 검색 작업이 진행됩니다. 그런 다음 "해" 및 "추정값 상관계수" 보고서가 나타납니다.
6. "비선형 적합"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **프로파일러 > 프로파일러**를 선택합니다.
7. 수율을 최대화하려면 "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

그림 23.6 최대 수율을 위한 시간 및 온도 설정



추정된 최대 수율은 반응 온도 540 도 (켈빈) 와 반응 시간 0.1945 분에서 약 63.5% 입니다 .

사전 데이터를 사용하여 설계 확대

이 예에서는 사전 데이터가 있을 때 비선형 설계를 생성하는 방법을 보여 줍니다 . 여기에서는 화학 반응 데이터를 사용합니다 . 사용 가능한 유기 기질의 흡수율 (속도) 을 해당 기질의 농도 함수로 모델링하려고 합니다 . 자세한 내용은 Meyers(1986) 에서 확인하십시오 . 이미 실험을 실행했지만 결과를 활용하여 더 정확한 모수 추정값을 얻는 것이 목표입니다 .

사전 모수 추정값 구하기

기존 실험 데이터를 사용하여 더 적합한 모수 추정값을 구합니다 .

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Nonlinear Examples/Chemical Kinetics.jmp**를 엽니다 .
2. " 열 " 패널에서 **Model (x)** 옆의 더하기 기호를 클릭합니다 . 계산식 편집기가 열립니다 .
3. 계산식 편집기의 아래쪽 중간에 있는 **모수** 개요에는 모형 모수의 현재 값이 표시됩니다 . 값 ($b_1 = 1$, $b_2 = 1$) 은 초기 추정값입니다 . 이 값은 데이터 테이블에서 **Model (x)** 값을 계산하는 데 사용됩니다 . 다음 실험을 위해 이 값을 더 적합한 추정값으로 바꾸려고 합니다 .
4. **취소**를 클릭하여 계산식 편집기 창을 닫습니다 .
5. **분석 > 전문 모델링 > 비선형**을 선택합니다 .
6. **Velocity (y)**를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다 .
7. **Model (x)**를 선택하고 **X, 예측변수 계산식**을 클릭합니다 .

Model (x)에 의해 제공된 계산식이 " 사용자 계산식 적합 옵션 " 패널에 나타납니다 .

그림 23.7 비선형 분석 시작 창

최소 제공 또는 사용자 손실 함수를 사용하여 비선형 모형을 적합시킵니다.

열 선택

3개 열

- Velocity (y)
- Concentration
- Model (x)

모형 라이브러리

선택한 열 역할 지정

Y, 반응	Velocity (y)
X, 예측변수 계산식	Model (x)
그룹	선택적
가중치	선택적 숫자
빈도	선택적 숫자
손실	선택적 숫자
기준	선택적

X 예측 변수 열에 모수가 포함된 계산식이 있거나 X 예측 변수 열이 기본 제공 모형과 함께 사용할 독립 변수입니다.

사용자 계산식 적합 옵션

예측 변수

재설정

손실

재설정

☐ 수치 미분만

☐ 중간 계산식 확장

작업

확인

취소

제거

재호출

도움말

8. **확인**을 클릭합니다.

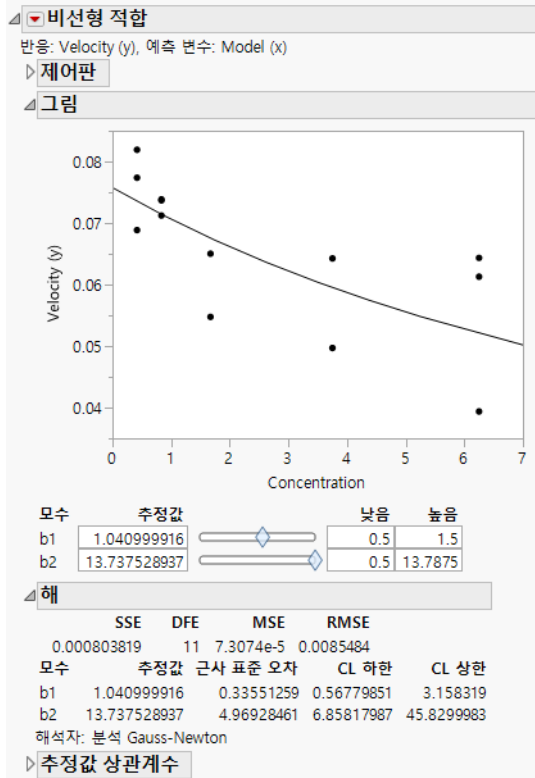
9. " 제어판 " 에서 **시작**을 클릭합니다.

" 중지 한계 " 값 중 하나에 도달할 때까지 해 반복 검색 작업이 진행됩니다. 그런 다음 " 해 " 및 " 추정값 상관계수 " 보고서가 나타납니다. 또한 " 해 " 보고서에 신뢰 한계를 추가할 수 있는 옵션이 " 제어판 " 에 나타납니다.

10. " 제어판 " 에서 **신뢰 한계**를 클릭합니다.

모수 b1 및 b2 에 대한 신뢰 구간이 " 해 " 보고서에 나타납니다.

그림 23.8 비선형 적합 결과



b1 과 b2 의 "CL 하한" 및 "CL 상한" 값은 모수의 값 범위를 정의합니다. 이제 확대된 비선형 설계에서 이 구간을 사용하여 사전 값의 범위를 정의합니다.

참고: 이 결과는 다음 단계에서 필요하므로 "비선형 적합" 보고서를 닫지 마십시오.

설계 확대

이제 비선형 모수를 더 정확하게 추정하기 위한 설계를 생성합니다.

1. Chemical Kinetics.jmp 데이터 테이블을 활성화하고 **DOE > 특수 용도 > 비선형 설계**를 선택합니다.
2. Velocity (y) 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
3. Model (x) 를 선택하고 **X, 예측변수 계산식**을 클릭합니다.
4. **확인**을 클릭합니다.

그림 23.9 비선형 설계의 요인 및 모수 개요

비선형 설계

요인

이름	역할	값
Concentration	연속형	0.417 6.25

모수

이름	분포	값
b1	정규	0.5 1.5
b2	정규	0.5 1.5

설계 생성

런 수를 입력하십시오(13 수가 런 수에 포함):

Chemical Kinetics.jmp 데이터에서 Concentration 값 범위는 0.417 ~ 6.25 입니다. 따라서 이 값은 처음에 " 요인 " 개요에 하한값과 상한값으로 나타납니다. 더 넓은 구간을 포함하도록 이 값을 변경하려고 합니다.

5. 0.417 을 클릭하고 0.1 을 입력합니다. 6.25 를 클릭하고 7 을 입력합니다.

6. 각 모수의 사전 분포는 설정값 " 정규 " 를 그대로 둡니다.

모수의 값 범위는 해당 모수에 대한 지식의 불확도를 반영합니다. 가능한 모수 값의 95% 를 포함하는 범위를 지정할 수 있습니다. 그림 23.8 에 표시된 " 비선형 적합 " 보고서의 신뢰 한계는 이러한 범위를 제공합니다. " 모수 " 개요에서 모수 값을 신뢰 한계 (소수점 이하 세 자리로 반올림) 로 바꿉니다.

7. DOE " 비선형 설계 " 창의 " 모수 " 에서 다음 값을 b1 및 b2 에 입력합니다.

- b1: 0.568, 3.158
- b2: 6.858, 45.830

그림 23.10 업데이트된 요인 및 모수 값

비선형 설계

이름	역할	값
Concentration	연속형	0.417 6.25

선택적 항목

이름	분포	값
b1	정규	0.5 1.5
b2	정규	0.5 1.5

선택적 항목

설계 생성

런 수를 입력하십시오(13 수가 런 수에 포함):

8. "설계 생성" 패널의 **런 수**에 40 을 입력합니다.

9. **설계 생성**을 클릭합니다.

"설계" 개요가 열리고 원래 13 회 런에 대한 **Concentration** 및 **Velocity (y)** 값과 추가 27 회 런에 대한 새 **Concentration** 설정을 보여 줍니다.

10. **테이블 생성**을 클릭합니다.

이렇게 하면 원래 13 회 런 설계에 대한 설정 및 결과와 27 회 새 런에 대한 설정이 포함된 JMP 설계 테이블이 새로 생성됩니다. "테이블 생성" 대신 "테이블 확대" 를 클릭하면 새 데이터 테이블을 생성하지 않고 기존 데이터 테이블에 새 런을 추가할 수 있습니다.

새 런은 더 넓은 **Concentration** 값 구간과 원래 실험에서 구해 사전 분포를 정의하는 데 사용되는 **b1** 및 **b2** 값 범위를 반영합니다. 둘 다 **b1** 및 **b2** 의 더 정확한 추정값을 얻을 수 있습니다.

이항 반응에 대한 설계 생성

일부 적용 분야에서는 성공 / 실패 (이항) 측정에 관심이 있을 수 있습니다. 이 예에서는 단일 설계 요인으로 이항 반응에 대한 비선형 설계를 구성합니다. 비선형 설정의 설계 및 특히 이항 사례에 대한 자세한 내용은 Gotwalt et al. (2009) 에서 확인하십시오.

로지스틱 연결 함수와 함께 일반화 선형 모델을 사용하여 이항 반응의 성공 확률을 단일 요인 x 의 함수로 모델링하려고 합니다.

$$Y(x) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x)}}$$

Y 의 분산은 가중치로 사용됩니다.

이 모형은 미지의 모수 β_0 및 β_1 에서 비선형입니다. 비선형 설계 도구를 사용하여 실험 설계를 계획합니다. 목표는 이항 반응 Y 에 대한 x 의 효과를 모델링하는 것입니다.

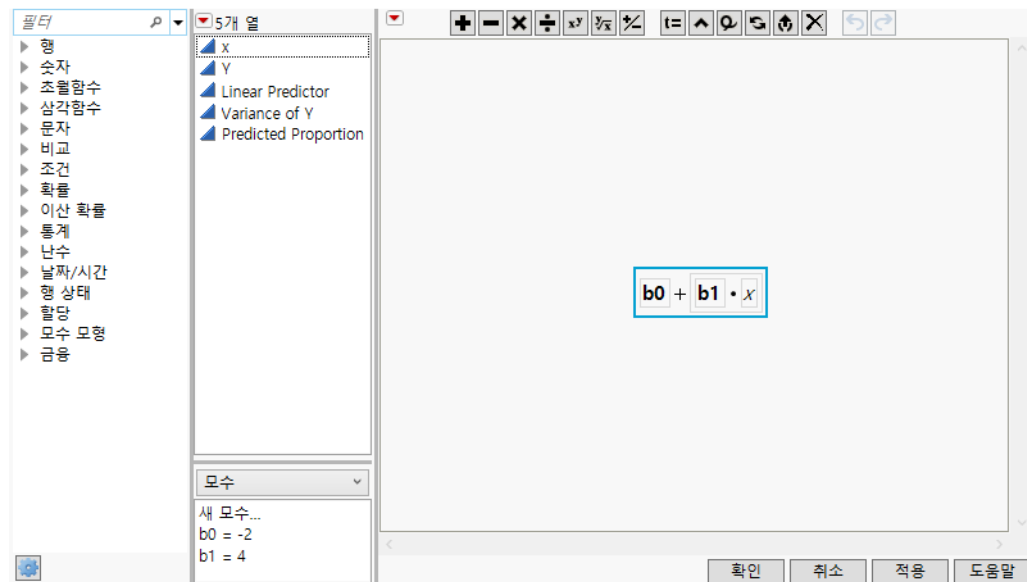
원하는 비선형 설계를 생성하려면 예측 변수 열, 적합시킬 비선형 반응 모형의 계산식 열 및 가중치 계산식 열을 포함하는 데이터 테이블이 있어야 합니다.

설계 구성을 위한 데이터 테이블

Design Experiment 폴더의 One Factor Logistic Design.jmp 데이터 테이블에는 다음 열이 포함되어 있습니다.

- 예측 변수 x 열. 이 열에 정의된 "코딩" 특성은 하한값과 상한값을 각각 0 과 1 로 설정합니다.
- 반응 Y 열. 이 열은 시험에서 수집된 반응 (0/1) 을 포함합니다.
- 연결 함수의 선형 부분에 대한 계산식을 포함하는 Linear Predictor 열. 계산식을 보려면 "열" 패널에서 Linear Predictor 오른쪽의 더하기 기호를 클릭합니다. 모형 계산식에는 b_0 및 b_1 모수의 초기 추정값이 포함됩니다. 계산식을 정의할 때 초기 모수 값이 설정됩니다. 이러한 값은 계산식 편집기 창의 아래쪽 중간에 있는 계산식 요소 패널에 표시됩니다.

그림 23.11 모수 추정값을 사용한 Linear Predictor 계산식



- 가정된 로지스틱 모형을 기반으로 하는 반응의 분산 계산식을 포함하는 Variance of Y 열. 이 계산식은 $p(1-p)$ 이며, 여기서 p 는 로지스틱 함수입니다. 이 열은 가중치 열로 사용됩니다.
- 로지스틱 연결 함수를 포함하는 Predicted Proportion 열

설계 생성

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/One Factor Logistic Design.jmp 를 엽니다.
2. DOE > 특수 용도 > 비선형 설계를 선택합니다.

3. Y 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다 .
4. Linear Predictor 를 선택하고 **X, 예측변수 계산식**을 클릭합니다 .
5. Variance of Y 를 선택하고 **가중치**를 클릭합니다 .
6. **확인**을 클릭합니다 .

그림 23.12 비선형 설계 창

비선형 설계

요인

이름	역할	값
x	연속형	0 1

모수

이름	분포	값
b0	정규	-1 -3
b1	정규	2 6

설계 생성

런 수: 10

설계 생성

" 요인 " 개요에는 값이 0 과 1 로 지정된 x 요인이 표시됩니다 . " 모수 " 개요에는 각 사전 분포가 정규 분포로 설정된 두 모형 모수가 표시됩니다 . JMP 는 모수 값의 초기 설정을 기반으로 기본값을 계산합니다 . 이 개요에서 모수의 값 범위와 가정된 분포를 변경할 수 있습니다 . 이 예에서는 모든 설정을 그대로 두십시오 . 기본 런 수는 10 입니다 .

7. " 비선형 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **고급 옵션 > N 몬테카를로 구**를 선택합니다 . 로컬 최적 설계를 생성하기 위해 구 수를 0 으로 설정합니다 . **확인**을 클릭합니다 .
8. **설계 생성**을 클릭합니다 .
9. **테이블 확대**를 클릭합니다 .

이렇게 하면 10 회 런 설계가 One Factor Logistic Design.jmp 에 추가됩니다 (그림 23.13 참조) . 최적화 알고리즘에 랜덤 성분이 있으므로 설계 테이블이 그림과 다릅니다 .

그림 23.13 One Factor Logistic Design.jmp 확대

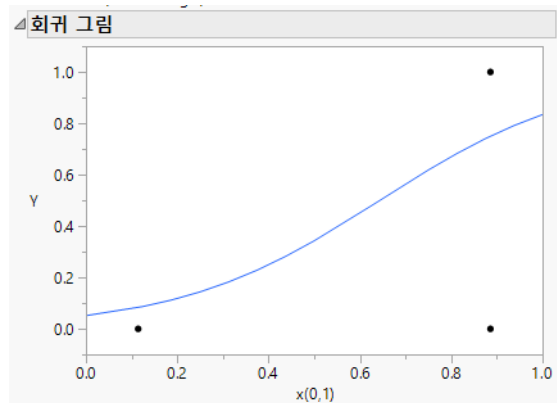
	x	Y	Linear Predictor	Variance of Y	Predicted Proportion
1	0.11415529	•	-1.5433788	0.14505292	0.17604463
2	0.11414232	•	-1.5434307	0.14504804	0.1760371
3	0.88584064	•	1.54336255	0.14505445	0.82395301
4	0.88585753	•	1.54343013	0.1450481	0.82396281
5	0.11414232	•	-1.5434307	0.14504804	0.1760371
6	0.88585753	•	1.54343013	0.1450481	0.82396281
7	0.88585753	•	1.54343013	0.1450481	0.82396281
8	0.11415529	•	-1.5433788	0.14505292	0.17604463
9	0.11414232	•	-1.5434307	0.14504804	0.1760371
10	0.88585753	•	1.54343013	0.1450481	0.82396281

데이터 테이블에 저장된 모형은 설계 생성에 사용된 "Linear Predictor"를 적합시키기 위한 비선형 모형입니다. Y 에 대한 x 효과를 모델링하려면 로짓 연결 함수와 함께 GLM(일반화 선형 모형)을 사용합니다. Y 값을 시뮬레이션하여 GLM 사용을 탐색하면 설계를 평가할 수 있습니다.

반응 시뮬레이션 및 분석

1. Y 열 머리글을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 "계산식"을 선택합니다.
2. "난수" 함수 목록에서 "Random Binomial"을 선택합니다.
3. n 에 1을 입력하고 p 에 Predicted Proportion을 입력한 후 **확인**을 클릭합니다.
4. **분석 > 모형 적합**을 선택합니다.
5. Y 를 선택하고 **Y**를 클릭합니다.
6. x 를 선택하고 **추가**를 클릭합니다.
7. "분석법"에서 "일반화 선형 모형"을 선택합니다.
8. "분포"에서 "이항"을 선택합니다.
9. "연결 함수"에서 "로짓"을 선택합니다.
10. "Firth 편향 조정 추정값"을 선택합니다.
11. **실행**을 클릭합니다.

그림 23.14 이항 DOE의 회귀 그림



비선형 설계 시작 창

비선형 설계 플랫폼을 사용하려면 다음 열이 포함된 기존 데이터 테이블이 있어야 합니다.

- 반응에 대한 열
- 각 요인에 대한 열

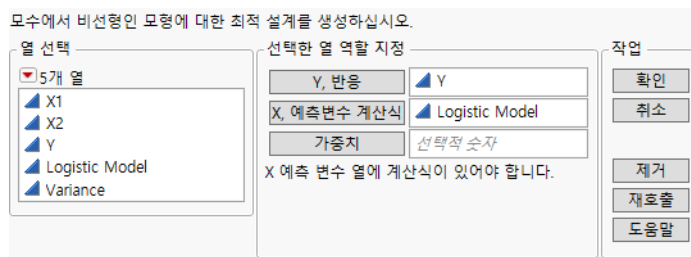
- 요인과 반응 간의 관계를 보여 주는 계산식이 포함된 열. 이 계산식은 미지의 모수를 포함해야 합니다.

계산식에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 " 계산식 편집기 " 장에서 확인하십시오.

테이블에 예측 변수 및 반응에 대한 값이 포함될 수 있습니다. 이러한 값이 포함된 경우 테이블에 내포된 설계를 확대하는 설계를 구성합니다. 예측 변수에 대해 결측값을 포함하는 행은 없습니다.

시작 데이터 테이블을 활성화하고 **DOE > 특수 용도 > 비선형 설계**를 선택합니다.

그림 23.15 비선형 시작 창



Y, 반응 반응 값에 대한 숫자 열입니다.

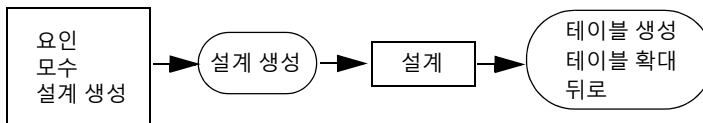
X, 예측변수 계산식 비선형 모형에 대한 계산식을 포함하는 숫자 열입니다. 이 계산식은 모수를 포함해야 합니다.

가중치 (선택 사항) 관측값에 가중치를 할당하는 숫자 열입니다.

비선형 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "비선형 설계" 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 23.16의 흐름을 따릅니다.

그림 23.16 비선형 설계 흐름



초기 설계 창에는 "요인", "모수" 및 "설계 생성" 개요가 표시됩니다.

그림 23.17 초기 설계 창

비선형 설계

요인

이름	역할	값
X	연속형	0 1

모수

이름	분포	값
b0	정규	-1 -3
b1	정규	2 6

설계 생성

런 수: 10

설계 생성

요인

모형 계산식에 사용된 열 이름이 "요인" 개요의 "이름" 열에 자동으로 삽입됩니다. 각 요인의 역할은 "연속형" 으로 설정됩니다.

처음에는 값 요인의 값이 -1 과 1 로 설정됩니다. "코딩" 열 특성을 사용하여 값을 정의한 경우에는 해당 값이 대신 사용됩니다. 요인 개요에서 이 값을 변경할 수 있습니다.

모수

모형 계산식에 사용된 모수 이름이 "모수" 개요의 "이름" 열에 자동으로 삽입됩니다.

처음에는 각 모수의 값이 모수 정의에 지정된 초기값을 중심으로 하여 대칭 간격으로 설정됩니다. 이 간격은 초기값의 거리를 0 으로 하고 초기값을 중심으로 이 너비의 간격을 구성하여 얻습니다. 이러한 값은 모형 모수에 대한 사전 분포를 정의하는 데 사용됩니다.

참고: 모형 모수에 대한 불확도를 반영하기 위해 분포 선택과 함께 모수 값을 조정하십시오.

"분포" 아래에 네 가지 계열의 사전 분포가 나열됩니다. 모수에 지정하는 값에 따라 사용되는 사전 분포 계열의 멤버가 결정됩니다. 하한값을 *low* 로, 상한값을 *high* 로 나타냅니다. 그러면 다음과 같이 분포가 결정됩니다.

- 균등: 간격 (*low*, *high*) 에서 균등한 분포입니다.
- 정규, 로그 정규, 지수: *low* 가 0.025 분위수이고 *high* 가 0.975 분위수인 분포입니다.

설계 생성

JMP 는 다음과 같이 결정된 런 수를 제안합니다.

- 데이터 테이블을 확대하지 않는 경우 런 수는 모수 수의 4 배에 2 를 더한 값입니다.
- 데이터 테이블을 확대하는 경우 런 수는 데이터 테이블의 런 수에 모수 수의 2 배를 더한 값입니다.

참고: 설계를 확대하는 경우 JMP 에서 제안하거나 사용자가 지정하는 런 수에는 데이터 테이블의 관측값에 해당하는 런이 포함됩니다. 런 수를 적절하게 조정하십시오.

설계

"설계 생성" 을 클릭하면 설계가 구성되고 "비선형 설계" 창에 "설계" 개요가 추가됩니다. "설계" 개요에서 요인 수준 설정을 검토할 수 있습니다.

테이블 생성 또는 확대

"테이블 생성" 버튼은 새 설계 테이블을 생성합니다. 원래 테이블에 기존 런이 포함된 경우 새 테이블에도 기존 런이 포함됩니다. **테이블 확대** 버튼은 기존 테이블에 새 런을 추가합니다.

비선형 설계 옵션

비선형 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 저장 "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

반응 불러오기 사용할 수 없음

요인 저장 "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

요인 불러오기 사용할 수 없음

제약 조건 저장 사용할 수 없음

제약 조건 불러오기 사용할 수 없음

반응 시뮬레이션 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성" 을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오. 그러면 결과 설계 테이블의 반응 열에 시뮬레이션된 값이 포함됩니다.

참고 : 반응을 항상 시뮬레이션하도록 환경 설정을 지정하려면 **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE** 를 선택한 후 **반응 시뮬레이션** 을 선택하십시오 .

시작 수 구적법을 사용하여 비선형 설계가 생성되는 횟수를 설정합니다. 생성된 설계 중에서 최적 기준을 최대화하는 설계가 선택됩니다 .

고급 옵션 > 몬테카를로 표본 수 최적 기준 계산에 사용되는 구당 팔각면 수를 설정합니다 . 기본값은 팔각면 1 개입니다 . 자세한 내용은 "[최적 기준의 방사형 - 구형 적분](#)"(656 페이지) 에서 확인하십시오 .

고급 옵션 > N 몬테카를로 구 최적 기준 계산에 사용되는 0 이 아닌 반지름 값의 수를 설정합니다 . 기본값은 2 입니다 . 자세한 내용은 "[최적 기준의 방사형 - 구형 적분](#)"(656 페이지) 에서 확인하십시오 .

참고 : "N 몬테카를로 구 "(반지름 수) 를 0 으로 설정하면 중앙점만 계산에 사용됩니다 . 이렇게 하면 모수의 초기값에 최적인 로컬 설계가 제공됩니다 . 상황에 따라 이 방법이 적절할 수 있습니다 .

비선형 설계에 대한 통계 상세 정보

- "[비선형 모형](#)"
- "[최적 기준의 방사형 - 구형 적분](#)"
- "[최적 설계 찾기](#)"

비선형 모형

n 개 반응의 벡터를 $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)'$ 으로 나타냅니다 . 비선형 모형은 다음 특성에 의해 정의됩니다 .

- Y_i 는 독립적이며 지수 계열 분포와 같은 분포를 따릅니다 .
- 예측 변수 값 $\mathbf{x}_i$ 의 벡터가 제공된 경우 각 Y_i 의 기대값은 모수 θ 의 비선형 함수입니다 . 이 함수를 다음과 같이 나타냅니다 .

$$E(Y_i(\mathbf{x})) = f(\theta, \mathbf{x}_i)$$

- 각 Y_i 는 다음과 같이 나타냅니다 .

$$Y_i = f(\theta, \mathbf{x}_i) + \varepsilon_i$$

- 오차 벡터 $\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)'$ 의 평균은 $\mathbf{0}$ 이고 공분산 행렬은 $\sigma^2 \mathbf{I}$ 입니다 . 여기서 $\mathbf{I}$ 는 $n \times n$ 단위 행렬입니다 .

모수 θ 와 관련하여 함수 f 의 첫 번째 편도함수 행렬을 X 로 나타냅니다 . 일반적인 조건에서 θ 의 최소 제곱 추정량은 다음과 같이 지정된 점근 공분산 행렬을 사용하여 점근적 비편향입니다 .

$$\text{Cov}(\hat{\theta}) = \sigma^2(X'X)^{-1}$$

이 결과에 대한 증명은 Wu(1981) 및 Jennrich(1969) 에서 확인하십시오 .

최적 기준의 방사형 - 구형 적분

최적 기준은 사전 분포와 관련한 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다 . 따라서 최적의 비선형 설계를 찾으려면 모수 사전 분포와 관련한 Fisher 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 적분을 최대화해야 합니다 . 이 적분은 수치로 계산되어야 합니다 . 비선형 설계 플랫폼에 사용되는 방법은 Gotwalt et al. (2009) 의 내용을 기반으로 합니다 .

사전 분포가 정규 분포인 경우 적분은 방사형 방향 하나와 모수 수에서 1 을 뺀 값과 동일한 여러 각 방향으로 다시 파라미터화됩니다 . 적분의 방사형 부분은 반지름 = 0 에 대한 결과와 함께 Radau-Gauss-Laguerre 구적을 사용하여 계산됩니다 . 이는 특정 수의 초팔각면 (hyperoctahedra) 을 구성하여 각각 무작위로 회전하는 방법으로 수행됩니다 .

사전 분포가 정규 분포가 아닌 경우에는 새 모수가 정규 분포를 따르도록 적분이 다시 파라미터화됩니다 . 그런 다음 방사형 - 구형 적분 방법이 적용됩니다 .

참고: 모수에 대한 사전 분포가 해에 적합하지 않고 프로세스가 실패하면 모수 공간의 영역에서 Fisher 정보 행렬이 특이하다는 메시지가 창에 추가됩니다 . 이 경우에는 사전 분포 또는 모수 범위를 변경해 보십시오 .

최적 설계 찾기

최적 설계를 찾는 데 사용되는 방법은 Meyer and Nachtsheim(1995) 에 설명된 좌표 교환 알고리즘과 유사합니다 . 비선형 최적 설계를 구하는 방법에 대한 자세한 내용은 Gotwalt et al. (2009) 에서 확인하십시오 . 일반적 방법은 다음과 같이 진행됩니다 .

- 비특이 시작 설계를 찾을 때까지 랜덤 설계를 시험합니다 .
- 반복이 수행됩니다 . 각 반복은 모든 런을 통과하도록 구성됩니다 .
- 각 런에 대해 요인이 한 번에 하나씩 최적화됩니다 .
- 목적 함수는 베이저안 D- 최적 기준입니다 . 이 기준은 사전 분포와 관련한 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다 .
- 목적 함수의 변화가 작으면 반복이 종료됩니다 .

균형 불완비 블록 설계

모든 처리 또는 요인 조합을 모든 블록에 포함할 수 없을 때 균형 불완비 블록 설계 (BIBD) 를 사용할 수 있습니다. 한 블록에서 k 개 처리만 실행할 수 있는 경우, b 개 블록에서 a 개 처리 ($k < a$) 를 시험하기 위해 BIBD 를 사용합니다. 예를 들어 동시에 시험할 수 있는 처리 수에 제한이 있을 수 있습니다. BIBD 설계는 각 처리 및 처리 쌍이 블록에 동일한 횟수로 함께 나타날 수 있게 구성됩니다. 이렇게 하면 균형 설계가 됩니다. 모든 블록에 모든 처리를 포함하지 않으면 불완비 설계가 됩니다.

균형 불완비 블록 설계 플랫폼을 사용하면 BIBD 를 구성할 수 있습니다. 또한 각 처리가 모든 블록에 나타나는 완비 블록 설계도 구성할 수 있습니다.

그림 24.1 크기 3 의 4 개 블록에서 4 개 처리에 대한 BIBD

설계			
블록			
1	L2	L3	L4
2	L3	L4	L1
3	L4	L1	L2
4	L1	L2	L3

목차

균형 불완비 블록 설계의 예 659

균형 불완비 블록 설계 시작 창..... 661

균형 불완비 블록 설계 창 661

 처리, 블록 지정 및 설계 생성 661

 설계 확인 및 테이블 생성 662

균형 불완비 블록 설계 옵션 662

균형 불완비 블록 설계에 대한 통계 상세 정보..... 663

균형 불완비 블록 설계의 예

이 예에서는 플랜트의 세 가지 새 제품 배합을 시험하고 일별로 블록화하려고 합니다. 하루에 실행할 수 있는 배합 수는 두 개로 제한됩니다. 또한 일주일 (작업 주) 안에 실험을 완료해야 합니다. 최대 5 개의 블록이 있는 설계가 필요합니다.

1. **DOE > 특수 용도 > 균형 불완비 블록 설계**를 선택합니다.
2. "처리 크기"를 3 으로 설정합니다.

팁: 처리 크기는 단일 요인의 수준 수 또는 둘 이상 요인의 수준 조합을 나타낼 수 있습니다.

3. **블록 크기**에 2 를 선택합니다.
4. **허용 가능한 블록**에 3 을 선택합니다.

3 개 또는 6 개 블록을 선택할 수 있습니다. 이 예에서는 각 블록이 하루이므로 5 일 또는 5 개 블록을 초과할 수 없습니다. 크기가 2 인 블록이 3 개이므로 런 수는 6 입니다.

참고: "처리 이름", "블록 이름" 및 "처리 라벨"을 입력하여 설계 테이블을 사용자 정의할 수 있습니다.

5. **설계 생성**을 클릭합니다.

그림 24.2 크기 2 의 3 개 블록에서 3 개 처리에 대한 BIBD

균형 불완비 블록 설계

설계 옵션

처리

처리 이름: 처리

처리 크기: 3

처리 라벨:

L1

L2

L3

블록

블록 이름: 블록

블록 크기: 2

허용 가능한 블록

3

6

☒ 블록 승수 포함

승수 지정: 3

설계 생성

블록 설계

런	블록	처리
1	1	L2
2	1	L3
3	2	L3
4	2	L1
5	3	L1
6	3	L2

☐ 테이블 생성 ☐ 순서 열 포함

설계

따름 행렬

"블록 설계" 개요에서 볼 수 있듯이 설계의 런 수는 6이며 각 블록에 처리가 2 개씩 포함된 3 개의 블록으로 구성됩니다. 다른 설계 정보를 더 보려면 "설계" 및 "따름 행렬" 개요를 엽니다. 자세한 내용은 "[설계 확인 및 테이블 생성](#)"(662 페이지)에서 확인하십시오.

원래 블록이 3 개 또는 6 개인 설계를 선택해야 했습니다. 플랜트 시간 제약 조건 때문에 3 개의 블록을 선택했습니다. 그러나 실험을 6 일 동안 실행할 수 있다고 가정해 보겠습니다. 그러면 6 개의 블록을 사용하도록 설계를 업데이트할 수 있습니다.

6. 허용 가능한 블록 메뉴에서 6 을 선택합니다.
7. 설계 생성을 클릭하여 설계를 업데이트합니다.
8. 따름 행렬 개요를 엽니다.

그림 24.3 크기 2 의 6 개 블록에서 3 개 처리에 대한 BIBD 설계 상세 정보

▶따름 행렬			
블록	처리		
	L1	L2	L3
1	1	0	1
2	1	0	1
3	0	1	1
4	0	1	1
5	1	1	0
6	1	1	0

▶쌍별 처리 빈도			
처리	L1	L2	L3
L1	4	2	2
L2		4	2
L3			4

▶위치 빈도		
처리	위치	
	1	2
L1	4	0
L2	2	2
L3	0	4

이제 설계에 6 개의 블록이 있습니다. 따름 행렬은 각 블록의 처리를 보여 줍니다. "쌍별 처리 빈도"를 보면 설계에서 각 처리가 네 번 (주대각 항목) 나오고 각 처리 쌍이 두 번 (비대각 항목) 나온다는 것을 알 수 있습니다. 각 블록에는 두 개의 위치가 있습니다. "위치 빈도"를 보면 처리 L1 은 항상 위치 1 에 나오고, L2 는 두 위치 사이에 나뉘고, L3 은 위치 2 에 나온다는 것을 알 수 있습니다.

균형 불완비 블록 설계 시작 창

DOE > 특수 용도 > 균형 불완비 블록 설계를 선택하여 균형 불완비 블록 설계 플랫폼을 시작합니다.

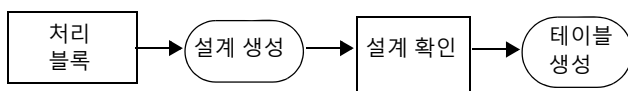
그림 24.4 균형 불완비 블록 설계 시작 창

이 창에 대한 자세한 내용은 "처리, 블록 지정 및 설계 생성"(661 페이지)에서 확인하십시오.

균형 불완비 블록 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 BIBD 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 24.5의 흐름을 따릅니다.

그림 24.5 균형 불완비 블록 설계 흐름



초기 설계 창에는 "설계 옵션" 개요가 표시됩니다.

처리, 블록 지정 및 설계 생성

"설계 옵션" 개요에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

처리 이름 처리 요인의 이름입니다.

처리 크기 처리 수입니다.

팁: 처리는 요인 수준 조합일 수 있습니다.

처리 라벨 처리에 사용할 라벨입니다. 기본적으로 L1 ~ La 라벨이 지정되며, 여기서 a는 총 처리 수입니다.

블록 이름 블록 요인의 이름입니다.

블록 크기 한 블록에서 실행할 수 있는 처리 수입니다.

참고 : 블록 크기 값은 처리 수에 따라 결정됩니다. 목록에 값이 없으면 BIBD 플랫폼에서 지정된 처리 수에 대해 해당 블록 크기의 설계를 생성할 수 없기 때문입니다.

허용 가능한 블록 처리 수와 블록 크기에 따라 설계에 허용되는 블록 수입니다.

블록 승수 포함 허용 가능한 초기 블록 크기의 배수 (사용자 지정) 와 동일한 수의 블록을 포함하는 설계를 선택할 수 있습니다. 추가 (배수) 블록은 원래 설계의 순환 순열입니다.

승수 지정 (" 블록 승수 포함 " 을 선택한 경우에만 사용 가능) 허용 가능한 초기 블록 크기에 적용할 승수입니다.

설계 생성 설계를 생성합니다.

설계 확인 및 테이블 생성

블록 설계 BIBD 를 기존 설계 레이아웃으로 표시합니다.

테이블 생성 BIBD 데이터 테이블을 생성합니다.

순서 열 포함 각 블록 내의 런 순서에 대한 열을 설계 테이블에 포함합니다.

설계 BIBD 를 각 행이 블록 및 해당 블록의 처리를 나타내는 블록 레이아웃으로 표시합니다.

따름 행렬 각 블록에 나오는 처리를 보여 줍니다. 행렬의 각 행은 설계의 블록에 해당하며 해당 블록에 처리가 있으면 1, 없으면 0 을 포함합니다.

쌍별 처리 빈도 각 처리가 다른 모든 처리와 함께 같은 블록에 나오는 횟수를 비대각 항목에 표시합니다. 주대각 항목은 각 처리의 총 발생 횟수입니다.

위치 빈도 각 처리가 각 블록 위치에 나오는 횟수를 표시합니다.

균형 불완비 블록 설계 옵션

균형 불완비 블록 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성" 을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

" 테이블 생성 " 을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 " 모형 " 창이 나타납니다.

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 창의 "**반응 시뮬레이션**"(100 페이지)에서 확인하십시오.

참고:  "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 창에서 확인하십시오.

스크립트를 스크립트 창에 저장 "균형 불완비 블록 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

균형 불완비 블록 설계에 대한 통계 상세 정보

BIBD의 총 관측값 수는 다음 방정식에 의해 결정됩니다.

$$N = ar = bk$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

a 는 처리 수입니다.

r 는 설계에서 각 처리가 나타나는 횟수입니다.

b 는 블록 수입니다.

k 는 각 블록의 처리 수입니다.

각 처리 쌍이 나타나는 블록 수는 다음과 같이 구합니다.

$$\lambda = \frac{r(k-1)}{a-1}$$

여기서 λ 는 정수여야 합니다.

이러한 조건은 BIBD가 존재하는 데 필요하지만 충분하지는 않습니다. BIBD 플랫폼은 BIBD를 생성할 수 있는 값을 제공합니다.

"블록 승수 포함"을 선택하면 원래 BIBD가 지정된 횟수만큼 복사됩니다. 추가(배수) 블록은 원래 설계의 순환 순열입니다. 복사된 설계에서 처리 위치는 원래 설계와 다릅니다.

BIBD에 대한 자세한 내용은 SAS Institute(2013)에서 확인하십시오.

그룹 직교 과포화 설계

그룹 직교 과포화 설계 생성

그룹 직교 과포화 설계는 선별 설계의 특수한 경우입니다. 이 설계는 조사할 요인의 수가 실현 가능한 런 수보다 많을 때 초기 단계 작업에 적절합니다. 과포화 설계는 모형 모수보다 관측값이 적은 설계입니다. 즉, 설계가 모든 주효과를 동시에 추정할 수 없습니다. 이로 인해 유의한 효과를 감지하기가 어렵습니다. 그룹 직교 과포화 설계는 모형 선택에 적합한 특성을 가진 2 수준 과포화 설계의 특수한 종류입니다.

목차

그룹 직교 과포화 설계 개요 667

그룹 직교 과포화 설계의 예 667

그룹 직교 과포화 설계 플랫폼 시작..... 669

그룹 직교 과포화 설계 창 669

 요인, 구조 지정 및 설계 생성 670

 설계 확인 및 테이블 생성 670

그룹 직교 과포화 설계 옵션 671

그룹 직교 과포화 설계에 대한 통계 상세 정보..... 672

그룹 직교 과포화 설계 개요

GOSSD(그룹 직교 과포화 설계) 는 모형을 쉽게 선택할 수 있는 특정 구조를 갖도록 구성됩니다 . 설계 요인은 그룹으로 분할되며 , 같은 그룹의 다른 요인과는 상관되지만 다른 그룹의 요인과는 직교하는 특징을 갖습니다 . 한 그룹은 세 개 이상의 " 가짜 " 요인으로 구성됩니다 . 이러한 가짜 요인은 설계 요인에 할당되지 않습니다 . 대신 설계 분석에만 사용됩니다 . 가짜 요인은 2 차 이상 효과를 무시할 수 있다는 가정하에 분산의 비편향 추정값을 제공합니다 .

실제로 GOSSD 를 설정하려면 다음과 같은 내용을 고려해야 합니다 .

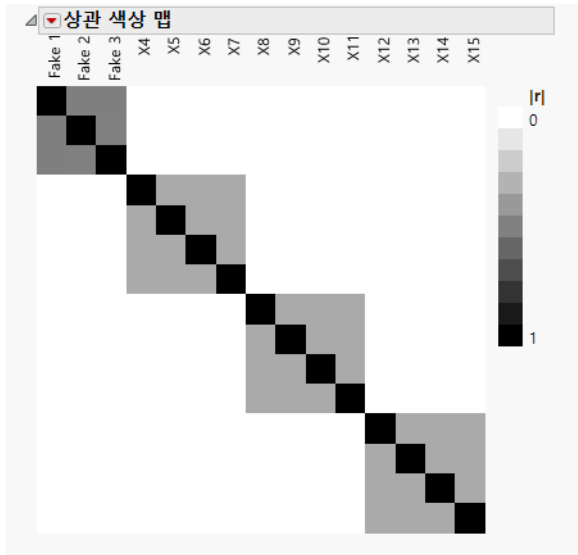
- 그룹은 많을수록 좋습니다 .
- 활성으로 간주되는 요인은 별도의 그룹에 두어야 합니다 .
- 예상 계수가 양수가 되도록 요인 수준을 선택합니다 .

그룹 직교 과포화 설계의 예

이 예에서는 최대 12 회 런으로 12 개의 요인을 연구하는 실험을 설계하려고 합니다 . 설계에 사용할 모수의 수는 최소 16 개입니다 . 절편에 대한 모수 하나가 필요하고 세 개 이상의 가짜 요인이 있어야 합니다 .

1. **DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계**를 선택합니다 .
2. **런 수**를 선택합니다 .
3. **런 수**에 12 를 입력하고 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다 .
4. " 구조 " 창에서 그룹 수 4, 그룹 크기 4, 모수 수가 16 인 두 번째 옵션을 선택합니다 .
5. X1 요인 이름을 클릭하고 이름을 **Fake 1** 로 변경합니다 .
6. X2 와 X3 에 대해 이 과정을 반복하여 각각 **Fake 2** 와 **Fake 3** 으로 이름을 지정합니다 .
7. **설계 생성**을 클릭합니다 .

그림 25.1 GOSSD 상관 색상 맵



설계 구조가 색상 맵에 분명히 나타나 있습니다. 그룹 내의 요인은 상관되어 있습니다. 서로 다른 그룹의 요인은 상관관계가 없으며 직교 상태임을 나타냅니다.

그룹 직교 과포화 설계 플랫폼 시작

DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계를 선택하여 그룹 직교 과포화 설계 플랫폼을 시작합니다.

그림 25.2 그룹 직교 과포화 설계 시작 창

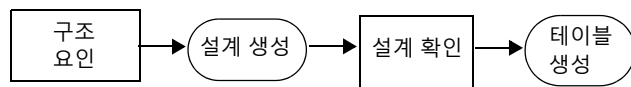
이 창에 대한 자세한 내용은 "요인, 구조 지정 및 설계 생성"(670 페이지)에서 확인하십시오.

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 "시작하기"장에서 확인하십시오.

그룹 직교 과포화 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 GOSSD 시작 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 25.3의 흐름을 따릅니다.

그림 25.3 그룹 직교 과포화 설계 흐름



요인 , 구조 지정 및 설계 생성

" 설계 옵션 " 개요에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다 .

팁 : 가능한 설계 구조를 정의하기 위한 런 수 또는 요인 수를 제공하십시오 .

런 수 설계 런 수를 정의합니다 .

요인 수 요인 수를 정의합니다 . 절편에 대한 요인과 3 ~ 5 개의 가짜 요인을 포함합니다 .

구조 설계에 사용 가능한 구조 목록을 제공합니다 . 이 목록의 열은 런 수를 설정했는지 아니면 요인 수를 설정했는지에 따라 다릅니다 .

그룹 수 설계의 그룹 수입니다 . 최소값은 2 입니다 .

그룹 크기 각 그룹의 요인 수입니다 .

런 수 (요인 수를 설정한 경우 사용 가능) 설계의 런 수입니다 .

모수 수 (런 수를 설정한 경우 사용 가능) 설계의 모수 수입니다 . 모수에는 절편 하나와 설계 요인이 포함되며 나머지 모수는 가짜 요인에 할당됩니다 .

요인

요인 이름 절편 이름은 고정되어 있습니다 . 나머지 요인은 이름을 바꿀 수 있습니다 .

역할 요인을 연속형 또는 범주형으로 정의할 수 있습니다 .

하한 각 요인의 하한을 설정할 수 있습니다 .

상한 각 요인의 상한을 설정할 수 있습니다 .

그룹 구조 각 그룹에 나타나는 요인을 표시합니다 .

바꾸기 그룹 간에 요인을 바꿀 수 있습니다 .

설계 생성 설계를 생성합니다 .

설계 확인 및 테이블 생성

설계 설계 행렬을 표시합니다 .

테이블 생성 GOSSD 데이터 테이블을 생성합니다 . 설계 테이블에는 다음과 같은 스크립트가 포함되어 있습니다 .

모형 (" 응답 " 열이 채워진 경우에만 실행됨) **DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계 적합** 플랫폼을 실행합니다 .

DOE 대화상자 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "GOSSD 설계 " 창을 다시 생성합니다 .

GOSSD 구조 설계 구조를 표시합니다 (런 수 , 모수 수 , 그룹 수 , 그룹 크기) .

다변량 설계 요인에 대해 **분석 > 다변량** 플랫폼을 실행합니다.

모형 행렬 설계 행렬을 포함합니다.

DOE 시뮬레이션 (반응을 시뮬레이션하는 경우 사용 가능) 시뮬레이션 창을 시작합니다.

설계 평가

상관 행렬 효과 사이의 상관 행렬을 표시합니다.

상관 색상 맵 강도 척도를 사용하여 그룹에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다. 빨간색 삼각형 메뉴에는 상관계수를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹 직교 과포화 설계 옵션

"그룹 직교 과포화 설계" 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

반응 시뮬레이션 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.
- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**반응 시뮬레이션**"(100 페이지)에서 확인하십시오.

참고: **JMP Pro** "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE에는 기본 분석의 "시뮬레이션"장에서 확인하십시오.

스크립트를 스크립트 창에 저장 "그룹 직교 과포화 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

그룹 직교 과포화 설계에 대한 통계 상세 정보

설계 구성에 대한 통계 상세 정보는 Jones, et.al. ([2019](#)) 에서 확인하십시오 .

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼

그룹 직교 과포화 설계의 데이터 분석

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼을 사용하면 그룹 직교 과포화 설계를 분석할 수 있습니다. 이 분석 기법은 그룹 직교 과포화 설계의 그룹 직교 구조를 활용합니다.

그림 26.1 그룹 직교 과포화 설계 적합 결과

응답에 대한 그룹 직교 과포화 설계 적합

그룹 1					
그룹 2					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
X7	3.1345	0.1542	20.331	0.0003*	
그룹 3					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
X10	3.1411	0.1542	20.374	0.0003*	
그룹 4					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
X13	3.3291	0.1635	20.359	0.0003*	
X14	0.4143	0.1635	2.5336	0.0852	

결합 모형 모수 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
X7	3.1345	0.2566	12.215	<.0001*	
X10	3.1411	0.2566	12.241	<.0001*	
X13	3.3291	0.2722	12.231	<.0001*	
X14	0.4143	0.2722	1.5222	0.1718	
통계량	값				
RMSE	0.8889				
DF	7				

모형 생성 모형 실행

회귀 그림

목차

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 개요 675

그룹 직교 과포화 설계 적합의 예 675

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 시작 677

그룹 직교 과포화 설계 적합 보고서 679

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 옵션 680

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼에 대한 통계 상세 정보 680

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 개요

GOSSD(그룹 직교 과포화 설계) 는 활성 효과를 쉽게 식별할 수 있도록 구성됩니다 . 이 설계는 같은 그룹의 요인은 서로 상관되지만 그룹 간의 요인은 직교하도록 요인을 그룹화합니다 . 이 구조로 인해 다음과 같은 두 가지 분석 기능을 사용할 수 있습니다 .

- 첫 번째 그룹에 할당된 가짜 요인은 2차 이상 효과를 무시할 수 있다는 가정하에 분산을 추정하는 데 사용됩니다 .
- 그룹 간 직교성을 통해 2 단계 모형 선택 절차가 가능합니다 .

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼은 2 단계 모형 선택 절차를 수행하고 , 모든 요인의 회귀 그림을 표시한 다음 , 모형 적합 플랫폼에서 이 모형을 검사하는 옵션과 함께 활성 효과에 대한 모형을 제공합니다 .

그룹 직교 과포화 설계 적합의 예

이 예에서는 최대 12 회 런으로 12 개의 요인을 연구하는 실험을 설계하려고 합니다 . GOSSD 에서 설계에 사용할 모수의 수는 최소 16 개입니다 . 절편에 대한 모수 1 개 , 가짜 요인에 대한 3 개 이상의 모수 , 설계 요인에 대한 12 개의 모수가 필요합니다 . 시뮬레이션된 반응을 사용하여 모형을 적합시킵니다 .

팁 : 가짜 요인은 3 개로 제한되지 않습니다 . 더 사용할 수 있습니다 .

설계 생성

1. **DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계**를 선택합니다 .
2. **런 수**를 선택합니다 .
3. **런 수**에 12 를 입력하고 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다 .
4. " 구조 " 섹션에서 **그룹 수 4, 그룹 크기 4, 모수 수가 16 인 두 번째 옵션**을 선택합니다 .
5. **X1 요인 이름**을 클릭하고 이름을 **Fake 1** 로 변경합니다 .
6. **X2 와 X3** 에 대해 이 과정을 반복하여 각각 **Fake 2 와 Fake 3** 으로 이름을 지정합니다 .
7. " 그룹 직교 과포화 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **반응 시뮬레이션**을 선택합니다 .
8. **설계 생성**을 클릭합니다 .
9. **테이블 생성**을 클릭합니다 .

그림 26.2 반응 시뮬레이션 창

반응 시뮬레이션

▶ 그룹 1

▶ 그룹 2

효과	응답
X4 1	0
X5 1	0
X6 1	0
X7 1	3.09

▶ 그룹 3

효과	응답
X8 1	0
X9 1	0
X10 1	3.18
X11 1	0

▶ 그룹 4

효과	응답
X12 1	0
X13 1	3.22
X14 1	0
X15 1	0

계수 재설정

분포

☒ 정규 오차 σ: 1

☐ 이항

☐ Poisson

적용

"반응 시뮬레이션" 창에는 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 설정이 표시됩니다."그룹 1"의 개요 상자는 닫혀 있습니다."그룹 1"은 "가짜" 요인을 포함합니다. 이 요인은 모형에 영향을 주지 않는다고 가정되므로 모두 0으로 설정됩니다. 값은 그림 26.2에 표시된 것과 다를 수 있습니다. 이 시뮬레이션의 경우 그룹당 활성화 효과가 하나씩 있습니다.

팁:"반응 시뮬레이션" 창을 사용하여 다른 시뮬레이션에 대한 새 값을 입력할 수 있습니다.

시뮬레이션된 반응 분석

1. DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계 적합을 선택합니다.
2. 응답을 선택하고 Y를 클릭합니다.
3. Fake 1 ~ X15를 선택하고 X를 클릭합니다.
4. 확인을 클릭합니다.

팁: 그룹 직교 과포화 설계 플랫폼을 사용하여 생성한 설계 테이블에 "모형" 스크립트가 포함되어 있습니다. 분석을 바로 시작하려면 이 스크립트를 실행하십시오.

그림 26.3 그룹 직교 과포화 설계 적합 결과

응답에 대한 그룹 직교 과포화 설계 적합

항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
X7	3.1345	0.1542	20.331	0.0003*

항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
X10	3.1411	0.1542	20.374	0.0003*

항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
X13	3.3291	0.1635	20.359	0.0003*
X14	0.4143	0.1635	2.5336	0.0852

결합 모형 모수 추정값

항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
X7	3.1345	0.2566	12.215	<.0001*
X10	3.1411	0.2566	12.241	<.0001*
X13	3.3291	0.2722	12.231	<.0001*
X14	0.4143	0.2722	1.5222	0.1718

통계량 값
RMSE 0.8889
DF 7

모형 생성 모형 실행

회귀 그림

시뮬레이션에서 X7, X10, X13 을 효과가 있는 요인으로 설정했습니다. GOSSD 적합 절차에서 이 세 요인이 유의하다고 식별되었습니다. 또한 X14 도 식별되었습니다. 효과의 크기와 유의성에 따라 추가적인 주의가 필요한지 여부를 결정해야 합니다.

참고: 시뮬레이션 결과는 랜덤 결과 생성으로 인해 그림 26.3 에 표시된 것과 다를 수 있습니다. 그룹에 활성 상태일 수 있는 추가 효과가 한 개 이상 있다는 경고가 나타날 수 있습니다. 이는 과포화 설계의 한계이며 결과가 판단에 결정적이라고 할 수 없습니다.

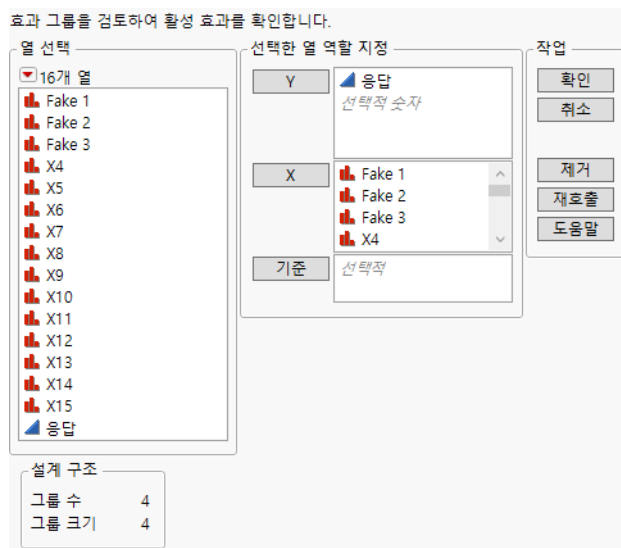
5. **모형 실행**을 클릭하여 식별된 모형을 실행합니다.

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 시작

DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계 적합을 선택하여 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼을 시작합니다.

참고: JMP 에서 그룹 직교 과포화 설계 플랫폼을 사용하여 설계를 생성한 경우 설계 테이블에 "모형" 스크립트가 포함됩니다. 분석을 바로 시작하려면 이 스크립트를 실행하십시오.

그림 26.4 그룹 직교 과포화 설계 적합 시작 창



Y 하나 이상의 수치형 반응 변수입니다.

X 2 수준 연속형 또는 범주형 요인입니다. 이 플랫폼은 분석을 수행할 때 GOSSD의 고유 구조를 사용하므로 이러한 요인으로 GOSSD를 정의해야 합니다.

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 "시작하기"장에서 확인하십시오.

그룹 직교 과포화 설계 적합 보고서

그룹 직교 과포화 설계 적합 보고서에는 두 섹션이 있습니다. 첫 번째 섹션에서는 그룹을 한 번에 하나씩 적합시켜 각 그룹 내에서 활성 효과의 추정값을 보고합니다. 활성 그룹만 표시됩니다. 이것이 분석의 1 단계입니다. 2 단계에서는 결합 모형이 구성됩니다.

그림 26.5 1 단계 결과

응답에 대한 그룹 직교 과포화 설계 적합					
그룹 1					
그룹 2					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
X7	3.1345	0.1542	20.331	0.0003*	
그룹 3					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
X10	3.1411	0.1542	20.374	0.0003*	
그룹 4					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
X13	3.3291	0.1635	20.359	0.0003*	
X14	0.4143	0.1635	2.5336	0.0852	

항 활성으로 식별된 주효과입니다.

추정값 주효과에 대한 Y 회귀 적합의 모수 추정값입니다.

표준 오차 그룹 1의 가짜 요인을 사용하여 계산된 추정값의 표준 오차입니다.

t 비 추정값을 표준 오차로 나눈 값입니다.

Prob>|t| t 비와 오차 DF(자유도)를 사용하여 계산된 p 값입니다.

보고서의 두 번째 섹션에는 2 단계 분석의 결과가 포함되어 있습니다. 2 단계에서는 설계 결과를 평가하는 데 사용되는 모형을 구성합니다.

그림 26.6 2 단계 결과

결합 모형 모수 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
X7	3.1345	0.2566	12.215	<.0001*	
X10	3.1411	0.2566	12.241	<.0001*	
X13	3.3291	0.2722	12.231	<.0001*	
X14	0.4143	0.2722	1.5222	0.1718	
통계량 값					
RMSE	0.8889				
DF	7				
모형 생성 모형 실행					
회귀 그림					

항 활성으로 식별된 주효과입니다.

추정값 주효과에 대한 Y 회귀 적합의 모수 추정값입니다.

표준 오차 전체 데이터 집합을 사용하여 지정된 모형과 절편을 적합시켜 구한 추정값의 표준 오차입니다.

t 비 추정값을 표준 오차로 나눈 값입니다.

Prob>|t| t 비와 오차 DF(자유도)를 사용하여 계산된 p 값입니다.

RMSE 평균 제곱 오차의 제곱근입니다.

DF RMSE를 생성하는 데 사용되는 오차 추정값과 관련된 자유도입니다.

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 옵션

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다. 다음 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 "JMP 보고서" 장에서 확인하십시오.

다시 실행 분석을 반복하거나 다시 시작할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 이 기능을 지원하는 플랫폼에서 "자동 재계산" 옵션은 해당하는 보고서 창에서 데이터 테이블에 대한 변경 사항을 즉시 반영합니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼에 대한 통계 상세 정보

2 단계 전략을 사용하여 그룹 직교 과포화 설계를 적합시킵니다. 첫 번째 단계에서는 활성 효과를 포함하는 그룹을 식별합니다.

- 가짜 요인으로 σ 추정값을 구한 후 추가 분석에서 가짜 요인을 제거합니다.
- 각 요인 그룹의 유의성을 검정합니다.

두 번째 단계에서는 활성 그룹의 개별 요인에 대한 유의성을 고려합니다. 이 단계에서는 단계별 부분집합 절차를 사용합니다. 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2016)에서 확인하십시오. 자세한 통계 정보는 Jones, et al. (2019)에서 확인하십시오.

부록 A

열 특성

DOE 에서 할당하는 열 특성 이해

DOE 플랫폼을 사용하여 설계를 구성할 경우 결과 설계를 포함하는 데이터 테이블에 열 특성이 저장됩니다. 이 부록에서는 DOE 플랫폼으로 구성된 설계에 저장되는 열 특성에 대해서만 설명합니다. DOE 플랫폼에서 각 열 특성을 할당하고 사용하는 방법을 예를 통해 보여 줍니다. DOE 플랫폼에서 할당하지 않은 열 특성에 대한 설명은 JMP 사용의 "열 정보 창" 장에 나와 있습니다.

이 부록에 설명된 일부 열 특성은 일반적인 모델링 상황에서 유용합니다. 특성을 보다 일반적으로 사용하려는 경우 특성을 직접 지정할 수 있습니다. 이 기능은 설계가 DOE 플랫폼에서 생성되지 않은 경우에 특히 유용합니다. 이 부록의 일부 예에서는 열 특성을 직접 추가하는 상황을 보여 줍니다.

그림 A.1 열 특성 별표 및 열 정보 창

	Grind	Temperature
1	Mediu...	205
2	Coarse	195
3	Mediu...	205
4	Coarse	195
5	Coarse	205
6	Mediu...	195
7	Mediu...	195
8	Coarse	205
9	Coarse	205
10	Coarse	195
11	Mediu...	195
12	Mediu...	205

목차

열 특성 추가 및 보기	683
반응 한계	684
반응 한계의 예	685
반응 한계 편집	688
설계 역할	691
설계 역할의 예	691
코딩	693
하한값과 상한값	694
코딩 열 특성 및 중심화 다항식	694
코딩의 예	694
코딩 할당	697
혼합	700
혼합의 예	702
요인 변경	705
요인 변경의 예	706
값 순서	708
값 순서의 예	709
값 순서 할당	711
값 라벨	712
값 라벨의 예	712
블록당 런 수	714
블록당 런 수의 예	714
제약 조건 상태	715
제약 조건 상태의 예	715

열 특성 추가 및 보기

DOE 플랫폼은 설계 테이블을 구성할 때 특정 열 특성을 자동으로 테이블에 저장합니다. 그러나 설계된 실험과 관련된 일부 열 특성은 일반적인 모델링 상황에서 유용합니다. DOE 플랫폼을 사용하여 생성하지 않은 데이터 테이블에서 이러한 열 특성을 사용하려면 특성을 직접 추가하면 됩니다.

열 특성 추가

하나 이상의 열에 열 특성을 할당하려면 다음을 수행하십시오.

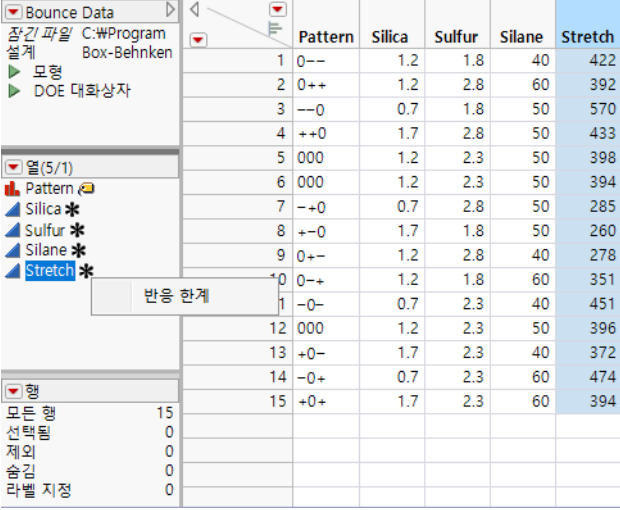
1. 특성을 할당할 열을 하나 이상 선택합니다.
2. 다음 중 하나를 수행합니다.
 - 머리글 영역을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성**을 선택한 후 특성을 선택합니다.
 - 머리글 영역을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 정보**를 선택한 후 "열 특성" 메뉴에서 특성을 선택합니다.
 - **열 > 열 정보**를 선택한 후 "열 특성" 메뉴에서 특성을 선택합니다.
3. 표시된 열 특성 패널에서 값을 지정하고 적절한 옵션을 선택합니다.
4. **적용**을 클릭하여 열 특성을 추가하거나, **확인**을 클릭하여 열 특성을 추가하고 열 특성 창을 닫습니다.

팁: 열에 이미 포함된 특성을 다른 열에 적용하려는 경우가 있습니다. 해당 특성을 다른 열에 적용하려면 "속성 표준화" 명령을 사용합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "열 정보 창" 장에서 확인하십시오.

열 특성 보기

특정 열에 할당된 특성을 보려면 "열" 패널에서 열 특성 별표 아이콘 (*) 을 클릭합니다. 특성을 클릭하여 설정을 보거나 편집할 수 있습니다. 그림 A.2에서는 Design Experiment 폴더의 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에서 Stretch에 할당된 열 특성을 보여 줍니다.

그림 A.2 두 개의 열 특성을 표시하는 Stretch 별표 아이콘



	Pattern	Silica	Sulfur	Silane	Stretch
1	0--	1.2	1.8	40	422
2	0++	1.2	2.8	60	392
3	--0	0.7	1.8	50	570
4	++0	1.7	2.8	50	433
5	000	1.2	2.3	50	398
6	000	1.2	2.3	50	394
7	--+0	0.7	2.8	50	285
8	+--0	1.7	1.8	50	260
9	0+-	1.2	2.8	40	278
10	0-+	1.2	1.8	60	351
11	-0-	0.7	2.3	40	451
12	000	1.2	2.3	50	396
13	+0-	1.7	2.3	40	372
14	-0+	0.7	2.3	60	474
15	+0+	1.7	2.3	60	394

"열 정보" 메뉴의 "열 특성" 목록에 액세스하여 열 특성을 볼 수도 있습니다. 열 특성을 표시할 열을 하나 이상 선택하고 다음 중 하나를 수행합니다.

- 머리글 영역을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 정보**를 선택한 후 "열 특성" 목록에서 특성을 선택합니다.
- **열 > 열 정보**를 선택한 후 "열 특성" 목록에서 특성을 선택합니다.

반응 한계

"반응 한계" 열 특성을 사용하여 다음을 지정할 수 있습니다.

- 반응의 변동 범위에 대한 경계
- 만족도 목표
- 반응의 중요도 측도
- 만족도 값

"반응 한계" 열 특성은 반응의 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

그림 A.3에서는 Design Experiment 폴더의 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에서 반응 (Stretch)에 대한 "열 정보" 창의 "반응 한계" 패널을 보여 줍니다.

그림 A.3 반응 한계 패널의 예

반응 한계

반응 한계는 반응의 재력 가능 범위에 대한 경계입니다. 예측 및 등고선 프로파일러는 이러한 값을 사용합니다. 값을 입력하려면 아래를 클릭하십시오.

목표

목표값 일치 ▾

중요도

	값	만족도
하위	350	.
가운데	450	.
상위	550	.

☐ 그래프 참조선으로 표시

"반응 한계" 패널은 다음 영역으로 구성됩니다.

목표 메뉴에서 반응 목표를 선택합니다. "최대화", "목표값 일치", "최소화" 및 "없음" 중에서 선택할 수 있습니다. JMP는 선택한 목표에 맞도록 반응의 만족도 함수를 정의합니다. 한계를 지정하면 해당 한계를 사용하여 만족도 함수가 정의됩니다. 한계를 지정하지 않으면 반응 분포에서 도출된 보수적 한계 값을 기반으로 만족도 함수가 정의됩니다. "없음"을 목표로 선택하면 모든 반응 값의 만족도가 동일하다고 간주됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "반응"(79 페이지)에서 확인하십시오.

중요도 반응이 여러 개인 경우 전체 만족도 함수를 계산할 때 각 반응에 대한 상대적 가중치를 입력합니다. 중요도 값은 모든 양수가 될 수 있습니다. 중요도 값을 지정하지 않으면 주어진 분석에서 모든 반응의 중요도 값이 동일한 것으로 간주됩니다. 반응이 하나뿐이면 중요도가 1로 지정됩니다.

값 반응의 하한 및 상한과 중간 값을 지정합니다. JMP는 이러한 값을 사용하여 반응의 만족도 함수를 구성합니다. 한계를 지정하지 않으면 보수적 한계 값을 기반으로 만족도 함수가 정의됩니다. 목표가 "목표값 일치"이고 "중간" 값을 지정하지 않으면 목표값이 하한과 상한의 중간점으로 정의됩니다.

만족도 "하한", "중간" 및 "상한" 값의 만족도를 반영하는 값을 지정합니다. 만족도 값은 0에서 1 사이여야 합니다. 만족도 값을 지정하지 않으면 선택된 목표에 따라 JMP에서 값을 할당합니다.

그래프 참조선으로 표시 "실제값 대 예측값 그림"과 "예측 프로파일러"에서 "하한", "중간" 및 "상한" 값에 대한 가로 참조선을 표시합니다. 이 옵션은 한계가 지정된 경우에만 적용됩니다.

반응 한계의 예

Design Experiment 폴더의 Coffee Data.jmp 샘플 데이터 테이블에는 커피 강도 (Strength)를 최적화하기 위해 수행된 실험 결과가 포함되어 있습니다. 실험 설계 및 분석에 대한 자세한 설명은 "DOE로 시작" 장의 "커피 강도 실험"(38 페이지)에서 확인하십시오.

가장 적합한 값으로 간주되는 목표 강도 1.3 의 커피를 추출할 수 있는 요인 설정을 찾는 것이 목표입니다. 1.2 보다 작은 값과 1.4 보다 큰 값은 허용되지 않습니다. 1.2 ~ 1.4 사이의 값은 1.3 에서 멀어질수록 만족도가 감소합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Coffee Data.jmp** 를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 **DOE Dialog** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
이 스크립트는 **Coffee Data.jmp** 에서 실험 설계를 생성하는 데 사용한 "사용자 설계" 대화상자를 다시 생성합니다.
3. "반응" 개요를 엽니다.

그림 A.4 사용자 설계 창의 반응 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Strength	목표값 일치	1.2	1.4	.

이 실험을 설계할 때 반응 목표를 "목표값 일치"로 지정하고 하한과 상한을 각각 1.2 와 1.4 로 지정했습니다. 중요도 값을 지정하지 않았습니다. 반응이 하나뿐이므로 기본적으로 1 로 지정됩니다. 설계 테이블을 구성할 때 "반응 한계" 열 특성이 **Strength** 에 할당되었습니다.

4. "사용자 설계" 창을 닫습니다.
5. **Coffee Data.jmp** 샘플 데이터 테이블에서 **Strength** 열을 선택한 후 **열 > 열 정보**를 선택합니다.
6. "열 특성" 목록에서 "반응 한계"를 선택합니다.

그림 A.5 Strength 에 대한 반응 한계 열 특성

다음을 확인할 수 있습니다.

- "목표" 가 **목표값 일치**로 설정되어 있습니다.

- "중요도" 값이 없습니다. 중요도 값이 없으면 주어진 분석에서 모든 반응의 중요도 값이 동일한 것으로 간주됩니다. 따라서 JMP 는 Strength 에 중요도 값 1 을 할당합니다.
 - 하한은 1.2 입니다.
 - 상한은 1.4 입니다.
 - 중간 값은 지정되지 않았습니다.
- 중간 값이 지정되지 않았으므로 목표값이 하한과 상한의 중간점인 1.3 으로 정의됩니다.
- "만족도" 값이 지정되지 않았습니다.

7. **그래프 참조선으로 표시** 옵션을 선택합니다.

이 옵션은 "실제값 대 예측값 그림" 과 "예측 프로파일러" 에서 "하한", "중간" 및 "상한" 값에 대한 가로 참조선을 표시합니다.

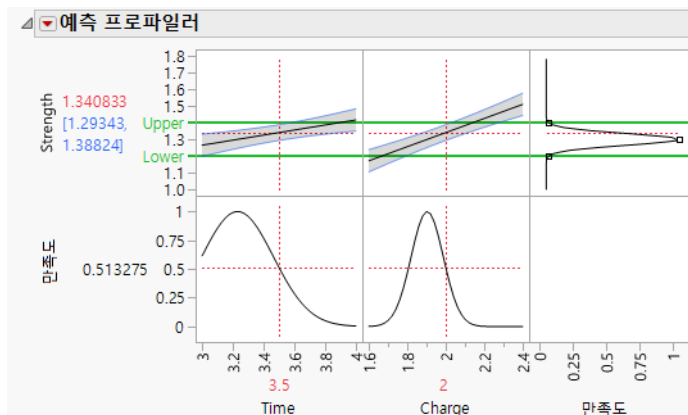
8. **확인**을 클릭합니다.

9. Coffee Data.jmp 데이터 테이블에서 **Reduced Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

10. **실행**을 클릭합니다.

"예측 프로파일러"가 보고서 맨 아래에 나타납니다.

그림 A.6 Strength 의 만족도 함수를 보여 주는 프로파일러



Strength 의 만족도 함수는 "만족도" 위의 오른쪽 그림에 나옵니다. 이 그림은 데이터 테이블에 Strength 에 대한 "반응 한계" 열 특성이 포함되어 있기 때문에 나타납니다. Strength 의 상한 및 하한에 대한 참조선도 "예측 프로파일러"에 표시됩니다.

11. Ctrl 키를 누른 채로 만족도에 대한 Strength 그림을 클릭합니다.

그림 A.7 Strength 의 반응 목표 창

Strength 값	만족도
높음: 1.4	0.0183
가운데: 1.3	1
낮음: 1.2	0.0183
중요도: 1	

확인 취소 도움말

다음을 확인할 수 있습니다.

- "중간" 값은 "반응 한계" 열 특성에 지정한 "상한" 과 "하한" 의 중간점으로 결정됩니다.
- "목표" 가 "목표값 일치" 로 설정되었으므로 "중간" 값의 "만족도" 는 1 로 설정됩니다.
- "상한" 및 "하한" 값의 "만족도" 는 매우 작은 값인 0.0183 으로 설정됩니다.
- 그림 A.6 의 만족도 그림은 그림 A.7 에 표시된 만족도 값이 JMP 에서 어떻게 사용되는지 보여 줍니다. 기본적으로 Strength 의 만족도 함수는 "하한" 및 "상한" 값을 벗어나면 0 이고, Strength 가 목표값 1.3 에 가까워질수록 서서히 1 로 증가합니다. 모형에 반응이 하나뿐이므로 "중요도" 값은 1 로 설정됩니다.

12. **취소**를 클릭하여 창을 닫습니다.

13. "예측 프로파일러" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

Time 및 Charge 설정이 업데이트되어 Strength 의 만족도 함수를 최대화하는 요인 설정을 보여 줍니다. 그러나 다른 많은 설정도 만족도 함수를 최대화합니다. 만족도 함수를 최대화하는 다른 설정을 식별하는 방법에 대한 자세한 내용은 Profilers 의 "Contour Profiler" 장에서 확인하십시오.

반응 한계 편집

Vinyl Data.jmp 샘플 데이터 테이블에는 반응 thickness(두께)에 "반응 한계" 열 특성이 이미 할당되어 있습니다. 이 특성의 목표는 thickness 를 최대화하는 것입니다. thickness 를 최대화하는 대신 thickness 목표값을 8.5 로 지정하고 비닐 thickness 가 6 ~ 10 사이의 값이 되게 하려고 합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Vinyl Data.jmp 를 엽니다.

2. thickness 열을 선택하고 **열 > 열 정보**를 선택합니다.

"열 특성" 목록에 "반응 한계" 특성이 표시됩니다. thickness 에 이 특성만 할당되었습니다. 목록 오른쪽에는 "반응 한계" 패널이 있습니다.

3. **최대화**를 클릭하고 **목표값 일치**를 선택합니다.

4. **중요도** 값에 1 을 입력합니다.

5. "값" 에서 "하한" 에 6, "중간" 에 8.5, "상한" 에 10 을 각각 입력합니다.

이 예는 비대칭 반응 한계를 보여 줍니다. **thickness** 값은 최소 6 에서 최대 10 까지 허용됩니다. 그러나 **thickness** 목표값은 8.5 입니다.

6. **그래프 참조선으로 표시**를 선택합니다.

이 옵션은 " 실제값 대 예측값 그림 " 과 " 예측 프로파일러 " 에서 " 하한 ", " 중간 " 및 " 상한 " 값에 대한 가로 참조선을 표시합니다.

그림 A.8 완료된 반응 한계 패널

'Vinyl Data' 테이블의 'thickness'

열 이름:

☐ 잠금

데이터 유형:

모델링 유형:

형식: 너비:

☐ 전 단위 구분 기호(,) 사용

열 특성

반응 한계

반응 한계는 반응의 채택 가능 범위에 대한 경계입니다. 예측 및 등고선 프로파일러는 이러한 값을 사용합니다. 값을 입력하려면 아래를 클릭하십시오.

목표:

중요도:

	값	만족도
하위	6	.
가운데	8.5	.
상위	10	.

☒ 그래프 참조선으로 표시

확인 취소 적용 도움말 제거

7. **확인**을 클릭합니다.

8. Vinyl Data.jmp 데이터 테이블에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

m1, m2 및 m3 은 혼합 요인입니다. 또한 **Whole Plots** 라는 랜덤 요인이 설계에 포함되어 있습니다. 이 때문에 기본 " 방법 " 이 "REML(권장)" 입니다.

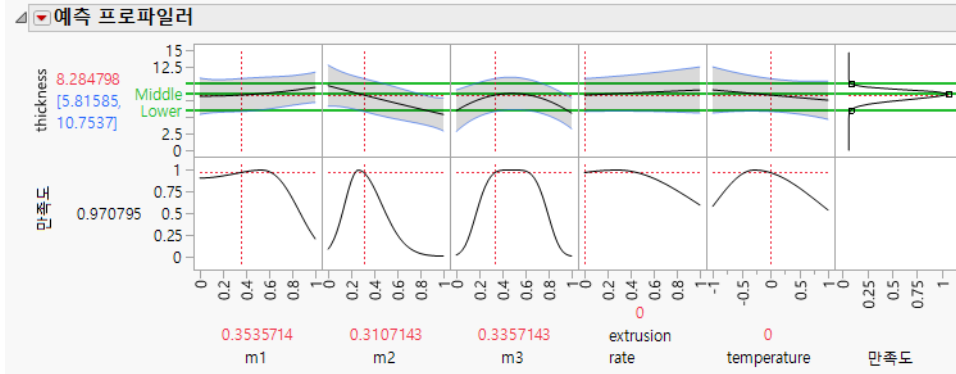
9. **실행**을 클릭합니다.

10. " 반응 thickness" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **행 진단 > 실제값 대 예측값 그림**을 선택합니다.

하한, 중간 및 상한에 대한 참조선이 " 실제값 대 예측값 그림 " 에 나타납니다.

11. " 반응 thickness" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 프로파일링 > 프로파일러**를 선택합니다.

그림 A.9 비대칭 만족도 함수를 보여주는 예측 프로파일러



"만족도" 위의 오른쪽 그림은 JMP가 **thickness**에 대해 구성한 만족도 함수를 보여 줍니다. 만족도는 "중간" 한계 8.5에서 1입니다. 기본적으로 6 미만이거나 10을 초과하는 **thickness** 값의 만족도는 0입니다.

12. Ctrl 키를 누른 채로 만족도에 대한 **thickness** 그림을 클릭합니다.

그림 A.10 Thickness의 반응 목표 창

목표값 일치 ▾

thickness 값	만족도
높음: 10	0.0183
가운데: 8.5	1
낮음: 6	0.0183
중요도: 1	

확인 취소 도움말

이 창에는 "상한", "중간" 및 "하한" 값 설정이 표시됩니다. 또한 실험 목표인 "목표값 일치"에 따라 JMP에서 할당하는 "만족도" 값도 표시됩니다. 그림 A.9에 표시된 만족도 함수는 그림 A.10에서 "상한", "중간" 및 "하한" 값의 만족도 설정과 일치하는 연속 곡선입니다. 다른 값에 대해 만족도 함수는 선택한 목표에 맞는 만족도를 할당합니다.

13. **취소**를 클릭합니다.

14. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

요인 설정이 업데이트되어 **thickness**의 만족도 함수를 최대화하는 값이 표시됩니다. 만족도 함수를 최대화하는 다른 설정도 많습니다. 이러한 최적 설정에서 예측 반응은 8.5입니다. 앞에서 한계값을 6과 10으로 지정하고 8.5를 목표값으로 설정했습니다.

15. 변경 사항을 저장하지 않고 **Vinyl Data.jmp** 샘플 데이터 테이블을 닫습니다.

설계 역할

일반 모형 및 설계된 실험의 요인은 다양한 방식으로 동작할 수 있습니다. JMP 는 설계 역할 열 특성을 사용하여 이러한 동작을 설명합니다. 다음과 같은 설계 역할을 사용할 수 있습니다.

- 연속형
- 이산 수치형
- 범주형
- 블록화
- 공변량
- 혼합
- 상수
- 제어되지 않음
- 랜덤 블록
- 신호
- 잡음

많은 JMP DOE 플랫폼에서 다양한 설계 역할을 사용하여 요인을 지정할 수 있습니다. 일부 플랫폼의 경우 설계 요구 사항으로 인해 JMP 에서 자동으로 요인을 정의합니다. 예를 들어 매우 변경하기 힘든 요인과 변경하기 힘든 요인을 지정하면 JMP 에서 주구 및 하위구 요인을 생성합니다. 다양한 설계 역할이 나타날 수 있는 플랫폼에서 JMP 가 설계 테이블을 생성하면 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 할당됩니다.

- "랜덤 블록", "신호" 및 "잡음" 이외의 설계 역할에 대한 설명은 "사용자 설계" 장의 ["요인 유형"](#) (82 페이지) 에서 확인하십시오.
- "랜덤 블록" 설계 역할에 대한 설명은 "사용자 설계" 장의 ["변경 및 랜덤 블록"](#) (84 페이지) 에서 확인하십시오.
- "신호" 및 "잡음" 설계 역할에 대한 설명은 "Taguchi 설계" 장의 ["요인"](#) (402 페이지) 에서 확인하십시오.

설계 역할의 예

Odor Control Original.jmp 샘플 데이터 테이블의 실험은 세 가지 요인이 odor(냄새)에 미치는 효과를 연구합니다. 15 회 런 실험을 설계하고 수행했습니다. 그러나 결과가 보고되었을 때 실험이 3 일 동안 수행되었음을 알게 되었습니다. 처음 5 회 런은 첫째 날에, 두 번째 5 회 런은 둘째 날에 그리고 나머지 5 회 런은 셋째 날에 각각 수행되었습니다.

온도와 습도의 변화가 반응에 영향을 줄 수 있으므로 Day 를 랜덤 블록 요인으로 포함하려고 합니다. 설계 테이블에 Day 열을 추가하는 것은 쉽습니다. 그러나 설계 평가 플랫폼을 사용하여 예기치 않은 블록이 포함된 설계를 원래 설계와 비교하려고 합니다. 또한 설계를 확대해야 할 경우

를 위해 설계 확대 플랫폼도 사용하기를 원합니다. 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼을 사용하려면 새 Day 열에 "설계 역할" 열 특성을 추가해야 합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Odor Control Original.jmp 를 엽니다.
2. 첫 번째 열 Run 을 선택합니다.
3. **열 > 새 열**을 선택합니다.
4. **열 이름** 옆에 Day 를 입력합니다.
5. **데이터 초기화** 목록에서 **시퀀스 데이터**를 선택합니다.
6. 다음을 입력합니다.
 - 시작 : 1
 - 끝 : 3
 - 단계 : 1
 - 각 값을 N 번 반복 : 5
7. **추가할 열의 수** 옆에 1 을 입력합니다.

그림 A.11 완료된 새 열 창

'Odor Control Original'에 열 추가

열 이름: Day

데이터 유형: 숫자

모델링 유형: 연속형

형식: 최적, 너비 12

☐ 천 단위 구분 기호(,) 사용

데이터 초기화: 시퀀스 데이터

시작: 1

끝: 3

단계: 1

각 값을 N 번 반복: 5

추가할 열의 수: 1

선택한 열 뒤에

열 특성

확인, 취소, 적용, 다음, 도움말

8. **확인**을 클릭합니다.
- Day 열이 데이터 테이블의 두 번째 열로 추가됩니다.
9. Day 열을 선택합니다.
10. **열 > 열 정보**를 선택합니다.

11. " 열 특성 " 목록에서 **설계 역할**을 선택합니다 .
12. " 설계 역할 " 패널에서 **연속형**을 클릭하고 **랜덤 블록**을 선택합니다 .
13. **확인**을 클릭합니다 .
" 열 " 패널에서 **Day** 옆에 별표가 표시됩니다 .
14. **Day** 옆의 별표를 클릭하여 " 설계 역할 " 열 특성이 할당되었는지 확인합니다 .
15. 변경 사항을 저장하지 않고 **Odor Control Original.jmp** 샘플 데이터 테이블을 닫습니다 .

코딩

" 코딩 " 열 특성은 숫자 데이터 유형의 열에만 적용됩니다 . 이 특성은 열의 데이터에 선형 변환을 적용합니다 . " 코딩 " 열 특성 창에서 하한값과 상한값을 지정합니다 . 원래 데이터의 하한값과 상한값이 각각 -1 과 +1 로 변환됩니다 . JMP 의 모형 적합 플랫폼에서 해당 열이 모형 효과로 입력될 때마다 이 변환된 데이터 값이 사용됩니다 .

코딩 특성은 다음과 같은 이유로 유용합니다 .

- 코드화된 예측 변수를 사용하여 구한 모수 추정값은 더 쉽게 해석하고 비교할 수 있습니다 .
- 코드화된 예측 변수를 사용하면 모형에서 교호작용 항 및 고차 항과의 다중공선성을 줄일 수 있습니다 .

가속 수명 시험 설계 이외의 DOE 플랫폼에서 설계를 생성하는 경우 JMP 는 숫자 데이터 유형을 사용하여 각 비혼합 요인의 " 코딩 " 열 특성을 정의합니다 . 그림 A.12에서는 Design Experiment 폴더의 **Reactor 20 Custom.jmp** 샘플 데이터 테이블에 포함된 **Feed Rate** 열의 " 코딩 " 열 특성 패널을 보여 줍니다 .

그림 A.12 Feed Rate 의 코딩 특성 패널

'Reactor 20 Custom' 테이블의 'Feed Rate'

열 이름:

☐ 잠금

데이터 유형:

모델링 유형:

형식: 너비:

☐ 천 단위 구분 기호(,) 사용

열 특성:

코딩은 모형에서 적합시킬 때 낮음-높음 범위가 -1 ~ 1 범위로 변환됨을 선언합니다. 이 특성은 검정 및 모수 추정값을 더 의미있게 만듭니다.

하한값:

상한값:

제거

확인
취소
적용
도움말

하한값과 상한값

DOE 플랫폼에서 설계 구성의 일부로 "코딩" 특성이 적용되는 경우 처음에는 요인의 최소 설정과 최대 설정이 "하한값"과 "상한값"으로 각각 지정됩니다.

"코딩" 특성을 이 특성이 포함되지 않은 열에 적용하면 JMP에서는 최소값을 "하한값"으로 삽입하고 최대값을 "상한값"으로 삽입합니다. 필요에 따라 이 값을 변경할 수 있습니다.

주의: "코딩" 열 특성이 열에 할당된 후 해당 열의 값을 변경하면 값이 자동으로 업데이트되지 않습니다. "코딩" 열 특성이 있는 열의 값을 변경할 경우 상한값과 하한값이 적절한지 검토하십시오.

"코딩" 열 특성은 상한값과 하한값의 중간점을 빼서 열의 각 값을 중심화합니다. 그런 다음 범위의 1/2로 나눕니다. H 가 상한값이고 L 가 하한값이라고 가정하면 열의 모든 X 가 다음 값으로 변환됩니다.

$$\frac{X - (H + L)/2}{(H - L)/2}$$

각 요인에 대해 변환된 값은 중간점이 0이고 -1 ~ +1 범위를 가집니다.

코딩 열 특성 및 중심화 다항식

"중심화 다항식" 옵션은 "모형 적합" 시작 창에서 "모형 규격"의 빨간색 삼각형 메뉴에 있습니다. 중심화 다항식을 사용하면 다항식 항과 관련된 연속형 열을 각 값의 평균을 빼는 방법으로 중심화합니다. 자세한 내용은 **Fitting Linear Models**의 "Model Specification"장에서 확인하십시오.

"중심화 다항식" 옵션은 "코딩" 열 특성이 할당된 열에는 영향을 주지 않습니다. 해당 열과 관련된 다항식 항의 값은 "코딩" 특성에 지정된 대로 중심화 및 척도화됩니다. 모형의 다른 열에 "코딩" 특성이 없고 "중심화 다항식" 옵션을 선택한다고 가정해 보겠습니다. 이 경우 해당 열은 표시되는 모든 다항식 항에서 평균을 기준으로 중심화됩니다.

코딩의 예

Reactor 20 Custom.jmp 샘플 데이터 테이블에는 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 구성된 20회 런 설계의 데이터가 포함되어 있습니다. 이 실험에서는 화학 공정의 반응 백분율 (Percent Reacted)에 대한 5개 요인의 효과를 조사합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor 20 Custom.jmp를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 **DOE Dialog** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
3. **요인** 개요를 엽니다.

그림 A.13 Reactor 20 Custom.jmp 에 사용된 설계의 요인 개요

요인				
요인 추가 ▼	제거	N개 요인 추가	1	
이름	역할	변경	값	
Feed Rate	연속형	쉬움	10	15
Catalyst	연속형	쉬움	1	2
Stir Rate	연속형	쉬움	100	120
Temperature	연속형	쉬움	140	180
Concentration	연속형	쉬움	3	6

Temperature 설정의 범위는 140 ~ 180 입니다. 설계가 생성될 때 Temperature 에 " 코딩 " 열 특성이 할당되었습니다. 하한값이 140 으로 설정되고 상한값이 180 으로 설정되었습니다.

- " 사용자 설계 " 창을 닫습니다.
- Reactor 20 Custom.jmp 샘플 데이터 테이블의 " 열 " 패널에서 Temperature 옆의 별표를 클릭하고 코딩을 선택합니다.

열 정보 창이 나타나고 " 코딩 " 열 특성 패널이 표시됩니다. JMP 가 설계 테이블을 구성할 때 하한값과 상한값을 지정하는 열 특성을 추가했음을 알 수 있습니다. 실제로 이 단계를 반복하면 JMP 가 5 개 요인 모두에 대해 " 코딩 " 특성을 추가했음을 확인할 수 있습니다.

그림 A.14 Temperature 의 코딩 패널

'Reactor 20 Custom' 테이블의 'Temperature'

열 이름: Temperature

☐ 잠금

데이터 유형: 숫자

모델링 유형: 연속형

형식: 최적, 너비 12

☐ 천 단위 구분 기호(,) 사용

열 특성 ▼

- 코딩
- 설계 역할
- 요인 변경

제거

코딩

코딩은 모형에서 적합시킬 때 낮음-높음 범위가 -1 ~ 1 범위로 변환됨을 선언합니다. 이 특성은 검정 및 모수 추정값을 더 의미있게 만듭니다.

하한값: 140

상한값: 180

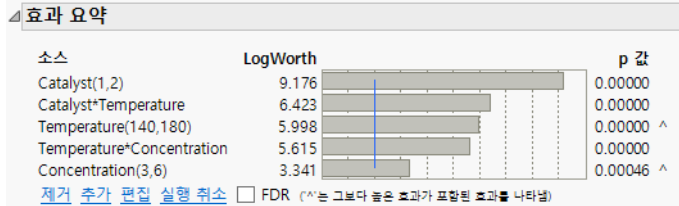
확인, 취소, 적용, 도움말

- 취소를 클릭하여 열 정보 창을 닫습니다.
- Reactor 20 Custom.jmp 샘플 데이터 테이블에서 **Reduced Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

이 스크립트는 전체 모형을 분석한 결과 유의한 것으로 판별된 5 개 효과만 포함하는 모형을 적합시킵니다.

- 실행을 클릭합니다.

그림 A.15 축소 모형에 대한 효과 요약 보고서



"소스" 목록에서 주효과, 즉 Catalyst, Temperature 및 Concentration 오른쪽의 괄호 안에 "코딩" 열 특성에 사용된 상한값과 하한값이 표시됩니다. 교호작용 효과에는 "코딩" 특성에 의해 설정된 범위가 표시되지 않습니다.

팁 : Temperature 와 Concentration 의 p 값 오른쪽에 "^" 기호가 있습니다. 이 기호는 해당 주 효과가 p 값이 더 작은 교호작용 효과의 성분임을 나타냅니다. 교호작용 효과가 모형에 포함된 경우 효과 유전성 원리에 따라 모든 성분 효과도 모형에 포함되어야 합니다. 자세한 내용은 "DOE 로 시작" 장의 "효과 유전성"(57 페이지)에서 확인하십시오.

9. "반응 Percent Reacted"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 추정값 > 예측 표현식 표시를 선택합니다.
"예측 표현식" 개요를 보고 코딩이 예측 계산식에 어떤 영향을 주는지 확인할 수 있습니다.

그림 A.16 축소 모형에 대한 예측 표현식

▲ 예측 표현식 표시

$$\begin{aligned}
 & 65.46506734 \\
 & + 9.9423400673 \cdot \left(\frac{(\text{Catalyst} - 1.5)}{0.5} \right) \\
 & + 5.5576599327 \cdot \left(\frac{(\text{Temperature} - 160)}{20} \right) \\
 & + -3.076599327 \cdot \left(\frac{(\text{Concentration} - 4.5)}{1.5} \right) \\
 & + \left(\frac{(\text{Catalyst} - 1.5)}{0.5} \right) \cdot \left(\frac{(\text{Temperature} - 160)}{20} \right) \cdot 6.0349326599 \\
 & + \left(\frac{(\text{Temperature} - 160)}{20} \right) \cdot \left(\frac{(\text{Concentration} - 4.5)}{1.5} \right) \cdot -5.150673401
 \end{aligned}$$

"코딩" 열 특성에 지정된 대로 각 요인이 변환됩니다. 예를 들어 Temperature 의 경우 다음을 확인할 수 있습니다.

- "코딩" 특성의 하한값은 140 으로 설정되었습니다. Temperature 값 140 은 -1 로 변환됩니다.
- "코딩" 특성의 상한값은 180 으로 설정되었습니다. Temperature 값 180 은 +1 로 변환됩니다.
- 하한값과 상한값의 중간점은 160 입니다. Temperature 값 160 은 0 으로 변환됩니다.

변환된 값은 효과를 비교하는 데 도움이 됩니다. Catalyst 의 추정 계수는 9.942 이고 Concentration 의 추정 계수는 -3.077입니다. 결과적으로 Percent Reacted에 대한 Catalyst의 예측 효과가 Percent Reacted에 대한 Concentration 효과의 3배가 넘습니다. 또한 이 계수를 보면 예측 Percent Reacted 는 Catalyst 가 커질수록 증가하고 Concentration 이 커질수록 감소한다는 것을 알 수 있습니다.

변환된 값은 계수를 해석하는 데 도움이 됩니다.

- 모든 요인이 중간점에 있을 때 변환된 값은 0입니다. 예측 Percent Reacted는 절편, 즉 65.465 입니다.
- Catalyst 와 Concentration 이 중간점에 있을 때 Temperature 가 20 단위 증가하면 Percent Reacted 가 5.558 단위 증가합니다.
- Concentration 이 중간점에 있고 변환된 값이 0 이라고 가정해 보겠습니다.
 - Catalyst 가 중간점에 있을 때 Temperature 가 20 단위 증가하면 Percent Reacted 가 5.558 단위 증가합니다.
 - Catalyst 가 상한 설정일 때 Temperature 가 20 단위 증가하면 Percent Reacted 가 11.593(5.558 + 6.035) 단위 증가합니다.

결과적으로 교호작용 항의 계수 6.035 는 Catalyst 가 0.5 단위 변경될 때 예측 Percent Reacted 에 대한 모형에서 기울기의 증가입니다.

코딩 할당

Tiretread JMP 샘플 데이터 테이블의 실험 데이터는 타이어 트레드 성능의 네 가지 측도에 대한 SILICA, SILANE 및 SULFUR 효과를 연구하는 실험 결과입니다. 이 예에서는 응답 중 하나인 ABRASION 만 고려합니다.

먼저 코드화되지 않은 요인을 사용하여 모형을 적합시킵니다. 그런 다음 코딩 특성을 요인에 할당하고 모형을 다시 실행하여 의미 있는 모수 추정값을 구합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Tiretread.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 모형 적합**을 선택합니다.
3. ABRASION 을 선택하고 **Y**를 클릭합니다.
4. SILICA, SILANE, SULFUR 를 선택하고 **매크로 > 반응 표면**을 클릭합니다.
5. **대화상자 열린 채 유지**를 선택합니다.
6. **실행**을 클릭합니다.
7. "반응 ABRASION"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **추정값 > 예측 표현식 표시**를 선택합니다.

그림 A.17 코드화되지 않은 요인을 사용하는 모형의 예측 표현식

▲ 예측 표현식 표시

```

-40.0394111
+ 32.987289493 •SILICA
+ 1.7880765099 •SILANE
+ 21.813076926 •SULFUR
+ (SILICA - 1.2) • ((SILICA - 1.2) • -16.03840362 )
+ (SILANE - 50) • ((SILICA - 1.2) • 1.025 )
+ (SILANE - 50) • ((SILANE - 50) • -0.034471056 )
+ (SULFUR - 2.3) • ((SILICA - 1.2) • 28.5 )
+ (SULFUR - 2.3) • ((SILANE - 50) • 1.575 )
+ (SULFUR - 2.3) • ((SULFUR - 2.3) • -6.288485272 )

```

계수는 효과 크기를 비교하는 데 도움이 되지 않습니다. 계수 크기는 설정 범위에서 효과가 ABRASION에 미치는 영향을 반영하지 않습니다. 또한 계수를 쉽게 해석할 수 없습니다. 예를 들어 SILICA가 범위의 중간점에 있을 때 계수로 예측 반응을 해석하기가 쉽지 않습니다. "코딩" 열 특성을 세 요인에 적용하여 코딩이 어떻게 계수를 더 의미 있게 만드는지 살펴봅니다.

8. Tiretread.jmp 데이터 테이블의 "열" 패널에서 SILICA, SILANE 및 SULFUR를 선택합니다. 강조 표시된 열 제목을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **속성 표준화**를 선택합니다.
9. "특성 표준화" 패널에서 **열 특성 > 코딩**을 선택합니다.
10. **확인**을 클릭합니다.
"열" 패널에서 SILICA, SILANE 및 SULFUR 옆에 별표가 나타나 해당 열에 열 특성이 할당되었음을 나타냅니다.
11. "모형 적합" 창에서 **실행**을 클릭합니다.
12. "반응 ABRASION"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **추정값 > 예측 표현식 표시**를 선택합니다.

그림 A.18 코드화된 요인을 사용하는 모형의 예측 표현식

▲ 예측 표현식 표시

$$\begin{aligned}
 &139.11923872 \\
 &+ 26.934121871 \cdot \left(\frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right) \\
 &+ 29.199289407 \cdot \left(\frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right) \\
 &+ 17.81037731 \cdot \left(\frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right) \\
 &+ \left(\frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right) \cdot \left(\frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right) \cdot -10.69235863 \\
 &+ \left(\frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right) \cdot \left(\frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right) \cdot 13.666781125 \\
 &+ \left(\frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right) \cdot \left(\frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right) \cdot -9.192358626 \\
 &+ \left(\frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right) \cdot \left(\frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right) \cdot 19.000159125 \\
 &+ \left(\frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right) \cdot \left(\frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right) \cdot 21.000175875 \\
 &+ \left(\frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right) \cdot \left(\frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right) \cdot -4.192358626
 \end{aligned}$$

코드화된 요인에 대한 계수를 사용하면 효과 크기를 비교할 수 있습니다. 설계 설정 범위에서 **ABRASION**에 가장 큰 영향을 주는 효과는 **SILANE**입니다. **SILICA** 효과와 **SILANE*SULFUR** 교호작용의 효과도 큼니다.

코드화된 요인에 대한 계수도 쉽게 해석됩니다. 예를 들어 모든 요인이 범위의 중심에 있을 때 **ABRASION** 예측값은 절편, 즉 139.12입니다.

13. 변경 사항을 저장하지 않고 **Tiretread jmp** 샘플 데이터 테이블을 닫습니다.

혼합

"혼합" 열 특성은 데이터 테이블의 열이 혼합 성분을 나타내는 경우에 유용합니다. 혼합 성분의 합은 특정 상수가 되어야 합니다. 이 때문에 비혼합 요인과 차이가 있습니다. "혼합" 열 특성은 다음 두 가지 용도로 사용됩니다.

- 열을 혼합 성분으로 식별합니다.

"분석 > 모형 적합" 창에서 "혼합" 열 특성이 할당된 열을 모형 효과로 추가하면 절편이 없는 모형이 자동으로 생성됩니다.

- 혼합 성분에 대한 코딩을 정의합니다.

혼합 성분의 코딩은 비혼합 요인의 코딩과 다릅니다. 그러나 비혼합 요인과 마찬가지로 혼합 요인에 대한 코딩도 모수 추정값을 해석하는 데 도움이 된다는 장점이 있습니다. 자세한 내용은 "[유사성분 코드화](#)"(701 페이지)에서 확인하십시오.

그림 A.19에서는 Design Experiment 폴더의 Vinyl Data.jmp 샘플 데이터 테이블에서 m1 요인에 대한 "혼합" 열 특성 패널을 보여 줍니다.

그림 A.19 혼합 열 특성 패널

"Vinyl Data" 테이블의 'm1'

열 이름:

☐ 잠금

데이터 유형:

모델링 유형:

형식: 너비:

☐ 천 단위 구분 기호(,) 사용

열 특성:

설계 역할
요인 변경

제거

확인
취소
적용
도움말

혼합

열과 다른 열이 더해져 상수가 되는 혼합에 열이 참가하는 경우 혼합이 지정됩니다.

하한:

상한:

항 합:

☒ L 유사성분 코드화
☐ U 유사성분 코드화
(둘 다 선택하면 가장 적합한 항목이 선택됨)

"혼합" 열 특성 패널에서 다음을 지정할 수 있습니다.

하한 유사성분 코드화에 사용되는 하한값을 지정합니다. DOE 플랫폼에서 설계 구성 중에 "혼합" 특성이 적용되는 경우 "하한"은 요인의 최소 설정으로 지정됩니다. "혼합" 특성을 해당 특성이 포함되지 않은 열에 적용하면 최소값이 "하한"으로 삽입됩니다. 필요에 따라 이 값을 변경할 수 있습니다.

상한 유사성분 코드화에 사용되는 상한값을 지정합니다. DOE 플랫폼에서 설계 구성 중에 "혼합" 특성이 적용되는 경우 "상한"은 요인의 최대 설정으로 지정됩니다. "혼합" 특성을 해당 특성이 포함되지 않은 열에 적용하면 최대값이 "상한"으로 삽입됩니다. 필요에 따라 이 값을 변경할 수 있습니다.

항합 혼합 성분의 합을 지정합니다. "혼합" 특성을 해당 특성이 포함되지 않은 열에 적용하면 기본값 1 이 "항합"에 삽입됩니다.

L 유사성분 코드화 하한이 0 에 해당하도록 데이터 값을 변환합니다.

U 유사성분 코드화 상한이 0 에 해당하도록 데이터 값을 변환합니다.

유사성분 코드화

유사성분은 선형 변환입니다. S 를 혼합 성분의 합으로 나타내고 i 열 $X_1, X_2, \dots, X_q$ 에 "혼합" 열 특성이 할당되었다고 가정합니다. 이러한 열과 이 열에서 구성된 효과가 "모형 적합" 창에 효과로 입력되는 경우를 가정해 보겠습니다.

다음을 정의합니다.

$$L = \sum_{i=1}^q L_i \text{ 여기서 } L_i \text{ 는 } X_i \text{ 의 하한입니다.}$$

$$U = \sum_{i=1}^q U_i \text{ 여기서 } U_i \text{ 는 } X_i \text{ 의 상한입니다.}$$

x_i 가 X_i 열의 값을 나타낸다고 하면 x_i 에서 L 유사성분은 다음과 같이 정의됩니다.

$$x_i^L = (X_i - L_i) / (S - L)$$

x_i 에서 U 유사성분은 다음과 같이 정의됩니다.

$$x_i^U = (U_i - X_i) / (U - S)$$

L 유사성분 코드화와 **U 유사성분 코드화**를 둘 다 선택하는 경우, $(S - L) < (U - S)$ 이면 모형 적합 플랫폼에서 L 코드화를 사용합니다. 그렇지 않은 경우 U 코드화가 사용됩니다.

모형 적합에서는 모수 추정값을 계산하기 전에 유사성분을 사용하여 혼합 요인이 변환됩니다. 이렇게 하면 모수 추정값을 더 의미 있게 만드는 데 도움이 됩니다. 모수 추정값과 관련된 보고서에서 혼합 주효과는 코딩 변환에 의해 제공됩니다. 프로파일러와 같은 다른 보고서는 코드화되지 않은 값을 기반으로 합니다.

혼합의 예

Design Experiment 폴더에 있는 Donev Mixture Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 데이터는 Atkinson and Donev(1992)의 예를 기반으로 합니다. 혼합 요인 3 개와 비혼합 요인 1 개가 설계에 포함되어 있습니다. 반응 및 요인은 다음과 같습니다.

- 반응은 아크릴로니트릴 파우더의 전자기 감쇠를 측정하는 Damping 입니다.
- 세 가지 혼합 성분은 황산구리 (CuSO_4), 티오황산나트륨 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), 글리옥살 (Glyoxal) 입니다.
- 관심 있는 비혼합 환경 요인은 빛의 파장 (Wavelength) 입니다.

이론적으로 Wavelength 는 연속형이지만 연구원들은 세 가지 개별 파장에서의 예측에만 관심이 있었습니다. 따라서 Wavelength 는 3 수준 범주형 요인으로 간주됩니다.

사용자 설계를 사용하여 이 상황에 맞는 설계를 구성하는 방법에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계의 예" 장의 "혼합물 실험"(162 페이지)에서 확인하십시오.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Donev Mixture Data.jmp 를 엽니다.
2. "열" 패널에서 CuSO_4 옆의 별표를 클릭하고 혼합을 선택합니다.

그림 A.20 CuSO_4 의 혼합 열 특성 패널

'Donev Mixture Data' 테이블의 'CuSO4'

열 이름:

☐ 잠금

데이터 유형:

모델링 유형:

형식: 너비:

☐ 전 단위 구분 기호(.) 사용

열 특성:

설계 역할:

제거

확인

취소

적용

도움말

혼합

열과 다른 열이 더해져 상수가 되는 혼합에 열이 참가하는 경우 혼합이 지정됩니다.

하한	0.2
상한	0.8
혼합	1

☒ L 유사성분 코드화

☐ U 유사성분 코드화

(둘 다 선택하면 가장 적합한 항목이 선택됨)

다음을 확인할 수 있습니다.

- "하한"은 0.2이며 CuSO_4 의 최소 설계 설정입니다.
- "상한"은 0.8이며 CuSO_4 의 최대 설계 설정입니다.
- "혼합"은 1로 설정되어 있습니다. 이 값은 세 가지 혼합 요인의 합입니다.

- **L 유사성분 코드화** 옵션이 선택되어 있습니다. 자세한 내용은 "**유사성분 코드화**"(701 페이지) 에서 확인하십시오.
- 3. **취소**를 클릭합니다.
- 4. "열" 패널에서 **Glyoxal** 옆의 별표를 클릭하고 **혼합**을 선택합니다.
이 요인에 대해 다음을 확인할 수 있습니다.
 - "하한" 은 0 이며 **Glyoxal** 의 최소 설계 설정입니다.
 - "상한" 은 0.6 이며 **Glyoxal** 의 최대 설계 설정입니다.
- 5. **취소**를 클릭합니다.
- 6. **Donev Mixture Data.jmp** 데이터 테이블에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
이 모형에는 혼합 요인의 주효과와 네 가지 모든 요인에 대한 이원 교호작용이 포함됩니다.
- 7. **실행**을 클릭합니다.
"모수 추정값" 보고서에서 혼합 요인은 유사성분 코드화된 형식으로 나타납니다. 교호작용에 나타나는 혼합 요인은 코드화된 형식으로 표시되지 않습니다. 그러나 모형 적합은 유사성분을 기반으로 합니다."모수 추정값" 보고서의 처음 세 행 (그림 A.21 참조) 은 혼합 요인에 대한 코드화된 형식을 보여 줍니다.

그림 A.21 모수 추정값 보고서

모수 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
(CuSO4-0.2)/0.6	6.1910821	0.918805	6.74	0.0005*
(Na2S2O3-0.2)/0.6	4.0089179	0.918805	4.36	0.0048*
Glyoxal/0.6	8.1666667	0.921638	8.86	0.0001*
CuSO4*Na2S2O3	11.293949	4.728922	2.39	0.0542
CuSO4*Glyoxal	4.3511692	4.512775	0.96	0.3722
CuSO4*Wavelength[L1]	-3.847343	1.113399	-3.46	0.0135*
CuSO4*Wavelength[L2]	1.8781509	1.079113	1.74	0.1324
Na2S2O3*Glyoxal	-18.4845	4.512775	-4.10	0.0064*
Na2S2O3*Wavelength[L1]	-0.275689	1.064004	-0.26	0.8042
Na2S2O3*Wavelength[L2]	0.4452853	1.103681	0.40	0.7006
Glyoxal*Wavelength[L1]	0.198283	1.090627	0.18	0.8617
Glyoxal*Wavelength[L2]	0.1905384	1.090647	0.17	0.8671

- 8. "반응 Damping" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **추정값 > 예측 표현식 표시**를 선택합니다.
"예측 표현식" 보고서는 적합된 모형을 보여 줍니다. 혼합 요인은 "L 유사성분 코드화" 를 사용하여 변환되었습니다.

그림 A.22 Damping 모형의 예측 표현식

예측 표현식 표시

$$\begin{aligned}
& 6.1910820765 \cdot \left(\frac{(\text{CuSO4} - 0.2)}{0.6} \right) \\
& + 4.0089179235 \cdot \left(\frac{(\text{Na2S2O3} - 0.2)}{0.6} \right) \\
& + 8.1666666667 \cdot \left(\frac{\text{Glyoxal}}{0.6} \right) \\
& + \left(\frac{(\text{CuSO4} - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \left(\frac{(\text{Na2S2O3} - 0.2)}{0.6} \right) \cdot 11.293949004 \\
& + \left(\frac{(\text{CuSO4} - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \left(\frac{\text{Glyoxal}}{0.6} \right) \cdot 4.3511691804 \\
& + \left(\frac{(\text{CuSO4} - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \text{Match}(\text{Wavelength}) \begin{pmatrix} \text{"L1"} \Rightarrow -3.847342876 \\ \text{"L2"} \Rightarrow 1.8781509412 \\ \text{"L3"} \Rightarrow 1.9691919345 \\ \text{else} \Rightarrow . \end{pmatrix} \\
& + \left(\frac{(\text{Na2S2O3} - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \left(\frac{\text{Glyoxal}}{0.6} \right) \cdot -18.48450251 \\
& + \left(\frac{(\text{Na2S2O3} - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \text{Match}(\text{Wavelength}) \begin{pmatrix} \text{"L1"} \Rightarrow -0.275688526 \\ \text{"L2"} \Rightarrow 0.44528528 \\ \text{"L3"} \Rightarrow -0.169596754 \\ \text{else} \Rightarrow . \end{pmatrix} \\
& + \left(\frac{\text{Glyoxal}}{0.6} \right) \cdot \text{Match}(\text{Wavelength}) \begin{pmatrix} \text{"L1"} \Rightarrow 0.1982830114 \\ \text{"L2"} \Rightarrow 0.1905384076 \\ \text{"L3"} \Rightarrow -0.388821419 \\ \text{else} \Rightarrow . \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Wavelength L2 에서의 예측에 관심이 있다고 가정해 보겠습니다 . 또한 Na2S2O3 와 Glyoxal 은 각각 하한값 0.2 와 0 으로 설정되고 CuSO4 는 상한값 0.8 로 설정된다고 가정합니다 . 이 경우 예측 Damping 은 CuSO4 의 모수 추정값 (6.191) 과 CuSO4*Wavelength[L2] 의 모수 추정값 (1.878) 을 더한 값과 동일합니다 . " 예측 프로파일러 " 에서 이를 확인할 수 있습니다 .

9. " 반응 Damping " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 열 저장 > 코드화 테이블 저장을 선택합니다 .

그림 A.23 코드화된 혼합 요인을 보여 주는 코드화 테이블의 처음 세 열

	(CuSO4-0.2)/0.6	(Na2S2O3-0.2)/0.6	Glyoxal/0.6
1	1	0	0
2	0.4	0.6	0
3	0	1	0
4	0.5	0	0.5
5	0	0.5	0.5
6	0	0	1
7	1	0	0
8	0.6	0.4	0
9	0	1	0
10	0.5	0	0.5
11	0	0.5	0.5
12	0	0	1
13	1	0	0
14	0.4	0.6	0
15	0	1	0
16	0.5	0	0.5
17	0	0.5	0.5
18	0	0	1

이 특정 설계의 경우 "L 유사성분 코드화"를 통해 혼합 요인이 0~1 사이의 범위로 변환됩니다. 일반적으로는 일어나지 않는 일입니다.

요인 변경

"요인 변경" 열 특성은 설계된 실험에서 요인 설정을 변경하기가 얼마나 어려운지를 나타냅니다. "요인 변경"에 사용 가능한 값은 "쉬움", "어려움" 및 "매우 어려움"입니다. 예를 들어 그림 A.24에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Battery Data.jmp 샘플 데이터 테이블에서 A1 요인에 대한 "요인 변경" 열 특성 패널을 보여 줍니다.

그림 A.24 요인 변경 열 특성 패널

'Battery Data' 테이블의 'A1'

열 이름: A1

☐ 잠금

데이터 유형: 숫자

모델링 유형: 연속형

형식: 최적, 너비: 12

☐ 전 단위 구분 기호(,) 사용

열 특성

코딩

설계 역할

요인 변경

노트

제거

확인

취소

적용

도움말

요인 변경: 매우 어려움

- 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인이 설계에 포함된 경우 하위구 및 주구 요인도 설계에 포함되어야 합니다.
 - 주구 요인의 수준은 매우 변경하기 힘든 요인의 수준이 일정하게 유지되는 런 그룹을 정의합니다.
 - 하위구 요인의 수준은 변경하기 힘든 요인의 수준이 일정하게 유지되는 런 그룹을 정의합니다.
- 변경하기 힘든 요인만 설계에 포함되고 매우 변경하기 힘든 요인은 없는 경우 주구 요인을 포함해야 합니다. 주구 요인의 수준은 변경하기 힘든 요인의 수준이 일정하게 유지되는 런 그룹을 정의합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**변경 및 랜덤 블록**"(84 페이지)에서 확인하십시오.

설계 확대 및 평가

설계 평가 및 설계 확대 플랫폼의 경우 "요인 변경" 열 특성은 "변경"이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정된 요인을 식별합니다. 그러나 이러한 플랫폼에서는 시작 창에서 주구 요인과 하위구 요인도 모형 효과로 입력해야 합니다. 주구 요인과 하위구 요인이 설계 구조의 일부이기 때문입니다.

사용자 설계

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 모든 요인 변경이 "쉬움"으로 지정된 설계를 생성할 수 있습니다. 분할구, 분할 - 분할구 또는 이원 분할구 (조각구) 설계를 구성할 수도 있습니다. 이러한 설계를 구성할 때는 값을 변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인을 식별해야 합니다. "요인 개요"에서 "변경"이 "쉬움", "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정되는 요인을 식별할 수 있습니다. 사용자 설계 플랫폼에서 설계 테이블을 구성할 때 "요인" 개요에 나타나는 모든 요인에 "요인 변경" 특성이 할당됩니다.

"변경"이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정된 요인에 대한 설계를 구성하려면 사용자 설계 플랫폼을 사용해야 합니다. 다른 DOE 플랫폼에서도 구성하는 요인에 "요인 변경" 열 특성을 할당하지만 해당 요인의 열 특성 값이 "쉬움"으로 설정됩니다.

"사용자 설계" 창에서 요인 테이블을 사용하여 요인을 불러오는 경우 "요인 변경" 열 특성을 해당 테이블의 열에 할당할 수 있습니다. 테이블을 사용하여 요인을 불러오면 지정된 요인 변경 설정이 "요인" 개요에 나타납니다.

요인 변경의 예

Design Experiment 폴더의 **Battery Data.jmp** 샘플 데이터 테이블에는 배터리의 OCV(개회로 전압)를 연구하는 실험 데이터가 포함되어 있습니다. 이 설계는 이원 분할구 설계입니다. 자세한 배경 정보는 "**사용자 설계의 예**" 장 (184 페이지)에서 확인하십시오.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Battery Data.jmp를 엽니다.
2. "열" 패널에서 C1 요인 오른쪽의 별표를 클릭합니다.
3. **요인 변경**을 선택합니다.

그림 A.25 C1의 요인 변경 패널

'Battery Data' 테이블의 'C1'

열 이름: C1

☐ 잠금

데이터 유형: 숫자

모델링 유형: 연속형

형식: 최적 | 너비: 12

☐ 천 단위 구분 기호(,) 사용

열 특성

- 코딩
- 설계 역할
- 요인 변경
- 노트

요인 변경: 어려움

제거

확인
취소
적용
도움말

C1의 "요인 변경" 값은 "어려움"입니다. 그림 A.24에서는 A1의 "요인 변경" 값이 "매우 어려움"으로 지정된 것을 보여 줍니다.

4. **확인**을 클릭합니다.
5. 데이터 테이블에서 **DOE Dialog** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
6. **요인** 개요를 엽니다.

그림 A.26 배터리 실험의 요인 개요

요인

요인 추가 | 제거 | N개 요인 추가 | 1

이름	역할	변경	값
A1	연속형	매우 어려움	-1
A2	연속형	매우 어려움	-1
A3	연속형	매우 어려움	-1
A4	연속형	매우 어려움	-1
C1	연속형	어려움	-1
C2	연속형	어려움	-1

A1, A2, A3 및 A4 요인은 "변경"이 "매우 어려움"으로 설정되고 C1 및 C2 요인은 "변경"이 "어려움"으로 설정되어 있습니다. 사용자 설계 플랫폼은 설계 테이블을 구성할 때 이러한 설정을 해당 열에 "요인 변경" 열 특성으로 저장합니다.

"설계" 개요에서 주구 및 하위구 요인을 확인하십시오.

그림 A.27 설계 개요 (일부분)

설계									
런	주구	하위구	A1	A2	A3	A4	C1	C2	
1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	
2	1	2	-1	-1	1	-1	1	-1	
3	1	3	-1	-1	1	-1	-1	1	
4	2	4	-1	1	1	1	1	1	
5	2	5	-1	1	1	1	-1	1	
6	2	6	-1	1	1	1	1	-1	
7	3	7	1	1	1	-1	-1	1	
8	3	8	1	1	1	-1	1	1	
9	3	9	1	1	1	-1	-1	-1	
10	4	10	1	-1	1	1	1	1	
11	4	11	1	-1	1	1	1	-1	
12	4	12	1	-1	1	1	-1	-1	

사용자 설계 플랫폼에서는 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정된 요인 변경을 설명하기 위해 두 개의 요인이 생성됩니다. 주구 요인은 "매우 어려움" 요인 수준이 일정하게 유지되는 런을 그룹화하고, 하위구 요인은 "어려움" 요인 수준이 일정하게 유지되는 런을 그룹화합니다. 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 "요인 변경" 열 특성을 포함하는 열을 입력할 때 이러한 요인을 모형 효과로 포함해야 합니다.

값 순서

"값 순서" 열 특성은 열의 값에 순서를 할당합니다. 이 순서는 그림과 분석에 사용됩니다. 보고서에 값이 나타나는 순서를 지정할 수 있습니다.

참고: JMP는 요일과 같이 일반 순서가 있는 특정 값을 보고서에 나타낼 때 적절한 방식을 사용하여 자동으로 정렬합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "열 정보 창"장에서 확인하십시오.

그림 A.28에서는 Car Physical Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 Type 열에 대한 "값 순서" 패널을 보여 줍니다. Type 값을 포함하는 보고서는 값 수준을 Sporty, Small, Compact, Medium, Large 순으로 배치합니다. "값 순서" 목록 오른쪽의 버튼을 사용하여 원하는 값 순서를 지정할 수 있습니다.

그림 A.28 Type 에 대한 값 순서 열 특성

대부분의 DOE 플랫폼을 사용하여 생성된 설계에서는 구성된 요인 (주구, 하위구) 을 포함하는 범주형 요인 및 블록 요인에 "값 순서" 특성이 할당됩니다. 이 특성은 수준을 "요인" 개요에 나타나는 순서에 따라 정렬합니다. 구성된 요인의 수준은 연속된 정수이며 "값 순서" 특성은 이러한 일반 순서를 지정합니다. 필요에 따라 요인의 "값 순서" 설정을 수정할 수 있습니다.

덧기 배열 또는 Taguchi 배열 플랫폼에서는 "값 순서" 특성이 할당되지 않습니다. 덧기 배열 플랫폼은 "값 라벨" 열 특성을 할당합니다. 자세한 내용은 "[값 라벨](#)"(712페이지)에서 확인하십시오.

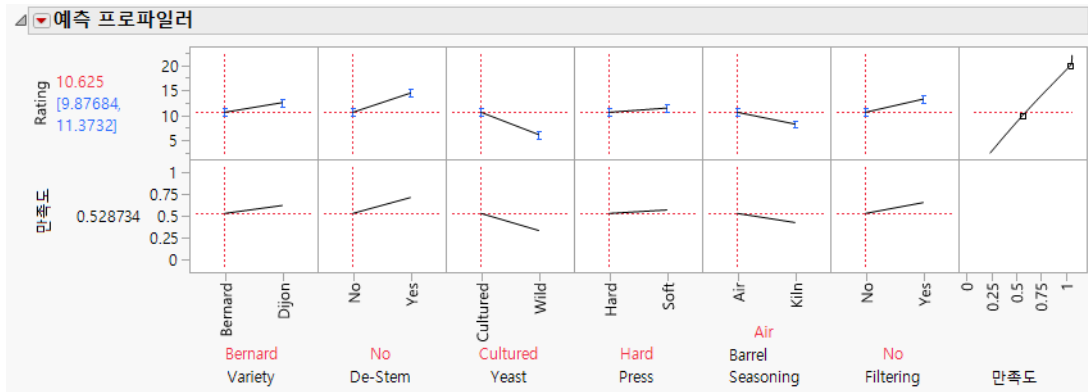
값 순서의 예

"예측 프로파일러" 에서 요인의 값을 다른 순서로 표시하려는 경우를 가정해 보겠습니다. 사용자 설계를 사용하여 구성된 와인 시음 실험을 예로 들겠습니다. 와인은 Wine Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 각각 Rater 로 나열된 5 명의 전문가에 의해 평가됩니다. Rater 는 고정 블록 요인입니다. 9 개 요인이 연구 대상입니다. 응답은 Rating 입니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Wine Data.jmp 를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 **Reduced Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
3. **실행**을 클릭합니다.

"예측 프로파일러" 가 보고서 맨 아래에 나타납니다.

그림 A.29 원래 값 순서로 표시된 프로파일러

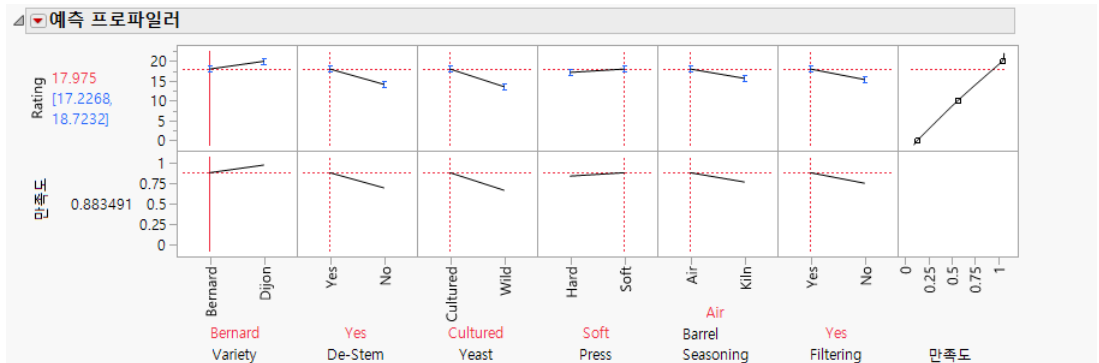


De-Stem 및 Filtering 값은 No 다음에 Yes 가 나오는 순서로 되어 있습니다. Yes 수준이 먼저 나오도록 순서를 바꾸려고 합니다.

팁 : 프로파일러를 정렬하려면 " 예측 프로파일러 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모양 > 행으로 배열**을 선택합니다. 이 예에서는 7을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.

4. " 반응 Rating" 보고서를 닫습니다.
5. 데이터 테이블의 " 열 " 패널에서 De-Stem 옆의 별표를 클릭하고 " 값 순서 " 를 선택합니다.
6. **역순**을 클릭합니다.
7. **확인**을 클릭합니다.
8. " 열 " 패널에서 Filtering 옆의 별표를 클릭하고 " 값 순서 " 를 선택합니다.
9. **역순**을 클릭합니다.
10. **확인**을 클릭합니다.
11. 다시 **Reduced Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
12. **실행**을 클릭합니다.

그림 A.30 새 값 순서로 표시된 프로파일러



이제 De-Stem 및 Filtering 수준이 Yes 다음에 No 가 나오는 순서로 되어 있습니다.

13. 변경 사항을 저장하지 않고 Wine Data.jmp 샘플 데이터 테이블을 닫습니다.

값 순서 할당

Candy Bars.jmp 샘플 데이터 테이블을 예로 들겠습니다. Brand 아래에 나열된 18 개 브랜드 중 Hershey 와 M&M/Mars 가 Name 열에 나열된 사탕 종류가 가장 많습니다. 이 두 브랜드를 보고서에 맨 먼저 나타내려고 합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Candy Bars.jmp 를 엽니다.
2. Brand 열을 선택합니다.
3. **열 > 열 정보**를 선택합니다.
4. "열 특성"에서 "값 순서"를 선택합니다.
5. "값 순서" 목록에서 "Hershey"를 선택합니다.

6. **위쪽 화살표**를 5 번 클릭합니다.

이제 Hershey 가 "값 순서" 목록에 맨 먼저 나옵니다.

7. "값 순서" 목록에서 "M&M/Mars"를 선택합니다.

8. **위쪽 화살표**를 7 번 클릭합니다.

이제 M&M/Mars 가 "값 순서" 목록에서 두 번째 위치에 나옵니다.

9. **확인**을 클릭합니다.

"값 순서" 열 특성을 나타내는 별표가 "열" 패널의 Brand 옆에 나타납니다. 이제 JMP 는 Brand 를 포함하는 보고서에서 Hershey 와 M&M/Mars 를 먼저 나열합니다.

10. **분석 > 분포**를 선택합니다.
11. Calories 를 선택하고 **Y, 열**을 클릭합니다.
12. Brand 를 선택하고 **기준**을 클릭합니다.

13. **확인**을 클릭합니다.

14. Ctrl 키를 누르고 "Calories" 의 빨간색 삼각형을 클릭한 후 **표시 옵션 > 가로 레이아웃**을 선택합니다.

18 개 브랜드 중 Hershey 와 M&M/Mars 에 대한 "분포" 보고서가 맨 먼저 나옵니다.

15. 변경 사항을 저장하지 않고 Candy Bars.jmp 샘플 데이터 테이블을 닫습니다.

값 라벨

"값 라벨" 열 특성은 라벨이 지정된 열에 값을 나타냅니다. 이러한 라벨은 데이터 테이블에 표시되고 그림과 보고서에 사용됩니다. 데이터 테이블에서 셀 내부를 두 번 클릭하면 원래 값을 볼 수 있습니다. "값 라벨" 열 특성을 할당하고 사용하는 방법에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 "열 정보 창" 장에서 확인하십시오.

DOE 플랫폼 중 덮기 배열 플랫폼에서만 "값 라벨" 열 특성을 할당할 수 있습니다. 덮기 배열 플랫폼은 "명목형" 모델링 유형을 사용하여 요인을 데이터 테이블에 저장합니다. 기본 값은 1 ~ 덮기 배열 "요인" 개요에 지정한 수준 수 범위의 연속된 정수입니다. "요인" 개요에서 지정한 값은 기본 정수에 할당되는 값 라벨입니다.

값 라벨의 예

인터넷 기반 소프트웨어 응용 프로그램을 테스트하여 운영 환경의 구성 요소에서 발생하는 문제를 감지하려고 합니다. 관심 있는 네 가지 구성 요소는 브라우저, 운영 체제, 컴퓨터 RAM 및 연결 속도입니다. 테스트 시간을 최소화하기 위해 이원 교호작용 검정으로 제한합니다.

필요한 요인 수준 조합을 검정하기 위해 강도 2 덮기 배열을 구성합니다.

1. **DOE > 특수 용도 > 덮기 배열**을 선택합니다.

2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Software Factors.jmp 를 엽니다.

3. "덮기 배열" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

요인과 요인 수준이 "요인" 개요에 나타납니다.

그림 A.31 소프트웨어 요인에 대한 요인 개요

요인				
요인 추가 ▾	제거	N개 요인 추가	1	강도: t = 2 ▾
이름	역할	값		
▼ Web Browser	범주형	Safari	IE	Firefox Chrome Other
▼ Operating System	범주형	Macintosh	Windows	
▼ RAM	범주형	4 MB	8 MB	16 MB
▼ Connection Speed	범주형	0-1 Mps	1-5 Mps	>5 Mps

네 가지 요인의 "역할" 이 "범주형" 으로 기술되어 있습니다.

4. **계속**을 클릭합니다.
"요인 수준 조합 제한" 개요가 열립니다. 모든 설정 조합이 가능하므로 이 설정을 **없음**으로 그대로 둡니다.
5. **설계 생성**을 클릭합니다.
6. **테이블 생성**을 클릭합니다.
7. "열" 패널에서 **Web Browser** 옆의 별표를 클릭하고 **값 라벨**을 선택합니다.

그림 A.32 요인 A 의 열 정보 창

'Software Data' 테이블의 'Web Browser'

열 이름: Web Browser

☐ 잠금

데이터 유형: 숫자

모델링 유형: 명목형

형식: 최적, 너비: 12

☐ 전 단위 구분 기호(,) 사용

열 특성

값 라벨

열에 값 라벨이 있고 값 라벨 사용이 선택된 경우 열 데이터가 표시되는 곳마다 라벨이 표시됩니다.

1 = Safari
2 = IE
3 = Firefox
4 = Chrome
5 = Other

☐ 허용 범위

값:

라벨:

☒ 값 라벨 사용

확인, 취소, 적용, 도움말, 추가, 변경, 제거, 제거

Web Browser의 데이터 유형은 "숫자"이고 모델링 유형은 "명목형"입니다. **Web Browser**의 기본 값은 정수 1, 2, 3, 4, 5입니다. 설계를 구성할 때 입력한 값에 해당하는 값 라벨이 이 값에 할당됩니다.

2에 대한 값 라벨을 "IE"에서 "Internet Explorer"로 변경합니다.

8. "값 라벨" 목록에서 **2 = IE**를 선택합니다.

그림 A.33 선택 항목이 포함된 값 라벨 패널

값 라벨

열에 값 라벨이 있고 값 라벨 사용이 선택된 경우 열 데이터가 표시되는 곳마다 라벨이 표시됩니다.

1 = Safari
2 = IE
3 = Firefox
4 = Chrome
5 = Other

추가
변경
제거

☐ 허용 범위

값 2

라벨 IE

☒ 값 라벨 사용

9. "라벨" 옆에 **Internet Explorer** 를 입력합니다.

10. **변경**을 클릭합니다.

변경 사항이 데이터 테이블에 나타납니다.

참고: 라벨이 아니라 숫자 값을 사용하려면 **값 라벨 사용**을 선택 취소하십시오.

블록당 런 수

DOE 플랫폼을 사용하여 블록 요인이 포함된 설계를 구성할 때 "블록화" 값이 지정된 "설계 역할" 열 특성이 요인에 할당됩니다. 또한 JMP 는 각 블록 요인에 "블록당 런 수" 열 특성을 할당합니다. "블록당 런 수" 특성은 각 블록에서 허용되는 최대 런 수를 나타냅니다. 이 특성은 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 요인의 블록화 구조를 나타내는 데 사용됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**블록화**"(83 페이지)에서 확인하십시오.

참고: "블록당 런 수" 열 특성은 설계 구성 중에 JMP 에서 할당합니다. 이 열 특성을 직접 할당할 수 없습니다.

블록당 런 수의 예

"사용자 설계" 장의 "**사용자 설계의 예**"(62 페이지)에 설명된 와인 시음 실험을 예로 들겠습니다. 5 명의 평가자 (Rater) 가 와인 샘플을 시음하고 각 평가자는 8 개의 샘플을 시음합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Wine Data.jmp 를 엽니다.

2. "열" 패널에서 Rater 옆의 별표를 클릭하고 **설계 역할**을 선택합니다.

"설계 역할"이 "블록화"로 설정되어 있습니다.

3. **취소**를 클릭합니다.

4. "열" 패널에서 Rater 옆의 별표를 클릭하고 **블록당 런 수**를 선택합니다.

그림 A.34 Rater 의 블록당 런 수 열 특성 패널

"블록당 런 수"의 값은 8입니다. "DOE 대화상자" 스크립트로 구성된 설계에는 40 회의 런이 있습니다. 평가자가 5명이므로 JMP는 각 평가자마다 8(40/5) 회 런을 실행하는 설계를 구성합니다.

제약 조건 상태

사용자 설계 및 혼합물 설계 플랫폼에서는 설계에 지정한 제약 조건을 저장할 수 있습니다. "제약 조건 저장"을 선택하면 각 선형 제약 조건의 계수가 데이터 테이블의 열에 나타납니다. 부등식을 제한하는 값은 테이블의 마지막 행에 제공됩니다.

각 제약 조건 열에는 "제약 조건 상태" 열 특성이 할당됩니다. 이 특성은 제약 조건을 정의하는 부등식의 방향을 지정합니다. 설계 플랫폼에서 "제약 조건 불러오기"를 선택하면 "제약 조건 상태" 열 특성이 JMP에 부등식의 방향을 알려 줍니다.

참고: "제약 조건 상태" 열 특성은 설계 구성 중에 JMP에서 할당합니다. 이 열 특성을 직접 할당할 수 없습니다.

제약 조건 상태의 예

Design Experiment 폴더의 Piepel.jmp 샘플 데이터 테이블에는 세 가지 연속형 요인을 사용하는 혼합물 설계가 포함되어 있습니다. 이 설계는 Snee(1979) 및 Piepel(1988)에 제시된 실험을 기반으로 하며, 각 요인에 대한 경계 제약 조건과 세 가지 추가 선형 제약 조건이 있습니다. 아래 예에서는 다음을 수행합니다.

1. 세 가지 추가 제약 조건 중 하나를 변경합니다.
2. 제약 조건을 테이블에 저장합니다.

3. " 제약 조건 상태 " 열 특성이 제약 조건의 부등식 방향을 설명하는 방식을 관찰합니다 .

여기에서 좀 더 발전된 예에 대한 자세한 내용은 " 혼합물 설계 " 장의 " 선형 제약 조건이 있는 꼭 지점의 예 "(382 페이지) 에서 확인하십시오 .

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Piepel.jmp** 를 엽니다 .

2. 테이블 패널에서 **DOE Dialog** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다 .

" 요인 " 개요 아래에 세 가지 선형 제약 조건이 있습니다 . 제약 조건을 더 쉽게 해석할 수 있도록 하기 위해 첫 번째 제약 조건을 " 보다 크거나 같음 " 부등식 측면에서 다시 작성하려고 합니다 .

그림 A.35 요인 개요 아래의 선형 제약 조건

요인				
이름	역할	값		
X1	혼합	0.1	0.5	
X2	혼합	0.1	0.7	
X3	혼합	0	0.7	

-85	X1 +	-90	X2 +	-100	X3	≤	-90
85	X1 +	90	X2 +	100	X3	≤	95
-0.7	X1 +	0	X2 +	-1	X3	≤	-0.4

3. 첫 번째 제약 조건에서 다음을 수행합니다 .

- X1 옆에 85 를 입력합니다 .
- X2 옆에 90 을 입력합니다 .
- X3 옆에 100 을 입력합니다 .
- 부등식 메뉴에서 $\geq$ 을 선택합니다 .
- 부등식 부호 오른쪽에 90 을 입력합니다 .

4. " 혼합물 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **제약 조건 저장**을 선택합니다 .

제약 조건 정보를 포함하는 테이블이 나타납니다 .

그림 A.36 제약 조건 테이블

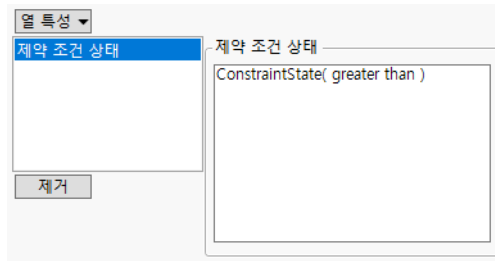
제약 조건 없음 62			
	제약 조건 1	제약 조건 2	제약 조건 3
1	-85	85	-0.7
2	-90	90	0
3	-100	100	-1
4	-90	95	-0.4

열(3/0)
제약 조건 1 *
제약 조건 2 *
제약 조건 3 *

각 열의 1 ~ 3 행에는 X1, X2, X3 요인의 계수가 포함되어 있습니다 . 4 행에는 부등식 부호의 오른쪽에 나오는 값이 있습니다 .

5. 제약 조건 1 옆의 별표를 클릭합니다.
6. **제약 조건 상태**를 클릭합니다.

그림 A.37 제약 조건 상태 열 특성 패널



- X1 의 " 제약 조건 상태 " 패널을 보면 부등식 방향이 " 보다 크거나 같음 "($\geq$) 을 나타내는 "greater than" 임을 알 수 있습니다.
7. **취소**를 클릭합니다.

부록 B

기술 상세 정보

이 부록에는 별칭 행렬, 검정력 계산 및 상대 예측 분산에 대한 정보가 포함되어 있습니다.

- " [별칭 행렬](#) "(721 페이지)
- " [검정력 계산](#) "(722 페이지)
- " [상대 예측 분산](#) "(724 페이지)

목차

별칭 행렬..... 721

 변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인이 있는 설계..... 721

 If Possible 효과가 있는 설계..... 722

검정력 계산..... 722

 단일 모수에 대한 검정력..... 722

 범주형 효과에 대한 검정력..... 723

상대 예측 분산..... 724

별칭 행렬

별칭 행렬 항목은 "별칭 항" 개요에서 지정한 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 별칭 행렬은 별칭 최적을 정의하는 데도 사용됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[별칭 최적](#)"(119 페이지)에서 확인하십시오.

별칭 행렬의 계산은 모형 행렬을 기반으로 합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[모형 행렬](#)"(102 페이지)에서 확인하십시오.

$\mathbf{X}_1$ 을 "모형" 개요의 항에 해당하는 모형 행렬로 지정하겠습니다. "별칭 항" 개요에 지정된 효과에 대한 모형 항 행렬을 $\mathbf{X}_2$ 로 나타냅니다.

가정된 모형은 다음과 같습니다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}_1\beta_1 + \varepsilon$$

일부 별칭 항이 활성이고 참모형이 다음과 같이 제공되는 경우를 가정해 보겠습니다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}_1\beta_1 + \mathbf{X}_2\beta_2 + \varepsilon$$

β_1 의 최소 제곱 추정량은 다음과 같이 구합니다.

$$\hat{\beta}_1 = (\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}_1'\mathbf{Y}$$

일반적인 회귀 가정하에서 $\hat{\beta}_1$ 의 기대값은 다음과 같이 구합니다.

$$E[\hat{\beta}_1] = \beta_1 + \mathbf{A}\beta_2$$

여기서 $\mathbf{A} = (\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_2$ 입니다.

행렬 $\mathbf{A}$ 를 별칭 행렬이라고 합니다.

변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인이 있는 설계

변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인이 있는 설계에 대한 별칭 행렬은 다음과 같이 제공됩니다.

$$\mathbf{A} = (\mathbf{X}_1'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}_1'(\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X}_2)$$

여기서 $\mathbf{V}$ 는 반응에 대한 공분산 행렬의 대각 블록입니다.

If Possible 효과가 있는 설계

If Possible 효과가 있는 설계 (베이지안 D- 최적 및 I- 최적 설계) 에 대한 별칭 행렬은 다음과 같이 제공됩니다 .

$$\mathbf{A} = (\mathbf{X}_1' \mathbf{X}_1 + \mathbf{K}^2)^{-1} \mathbf{X}_1' \mathbf{X}_2$$

여기서 $\mathbf{K}$ 는 다음 값을 갖는 대각 행렬입니다 .

- $k=0$ (필수 항의 경우)
- $k=1$ (If Possible 주효과, 검정력, 3 수준 이상의 범주형 요인과 관련된 교호작용의 경우)
- $k=4$ (다른 모든 If Possible 항의 경우)

베이지안 설계의 경우 별칭 행렬은 $\mathbf{K}^{-1}$ 의 사전 분산을 가진 능형 회귀에 해당하는 효과 별칭 구조를 제공합니다 . 베이지안 설계에 대한 자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 " 베이지안 D- 최적 " (117 페이지) 및 " 사용자 설계 " 장의 " 베이지안 I- 최적 " (118 페이지) 에서 확인하십시오 .

사용자 설계 플랫폼에서는 빨간색 삼각형 메뉴의 **고급 옵션 > 사전 모수 분산** 을 선택하여 If Possible 항에 사용되는 가중치를 제어할 수 있습니다 . 여기서 $\mathbf{K}$ 의 주대각 요소를 지정하여 모든 모형 항에 대한 사전 분산을 설정할 수 있습니다 . " 설계 생성 " 을 클릭하면 옵션이 업데이트 되어 기본 가중치가 표시됩니다 .

검정력 계산

" 검정력 분석 " 보고서는 단일 모수 값에 대한 검정력 계산 및 설계에 3 수준 이상의 범주형 요인이 포함된 경우 전체 효과에 대한 검정력 계산을 제공합니다 . 이 섹션에서는 다음 두 가지 경우에 대한 계산을 설명합니다 .

- " 단일 모수에 대한 검정력 " (722 페이지)
- " 범주형 효과에 대한 검정력 " (723 페이지)

단일 모수에 대한 검정력

이 섹션에서는 단일 모수에 대한 검정력을 계산하는 방법을 설명합니다 . 다음 표기가 사용됩니다 .

X 모형 행렬입니다 . 명목형 효과의 코딩에 대한 자세한 내용은 **Fitting Linear Models** 의 "Standard Least Squares Report and Options" 장에서 확인하십시오 . " 사용자 설계 " 장의 " 모형 행렬 " (102 페이지) 에 나오는 내용도 참조하십시오 .

참고 : 모형 적합을 실행하여 모형 행렬을 볼 수 있습니다 . 그런 다음 기본 보고서의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **열 저장 > 코드화 테이블 저장** 을 선택하십시오 .

β_i 관심 항에 해당하는 모수입니다 .

$\hat{\beta}_i$ β_i 의 최소 제곱 추정량입니다 .

β_i^A 예상 계수 값입니다. 감지할 차이는 $2\beta_i^A$ 입니다.

$\hat{\beta}_i$ 의 분산은 $\sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의 i^{th} 주대각 항목으로 구합니다. 여기서 σ^2 은 오차 분산입니다. $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의 i^{th} 주대각 항목은 $(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}$ 로 나타냅니다.

오차 분산 σ^2 은 MSE를 사용하여 추정되고 자유도가 $n-p-1$ 입니다. 여기서 n 은 관측값 수이고, p 는 모형에서 절편을 제외한 항 수입니다.

$H_0: \beta_i = 0$ 검정은 다음과 같이 지정됩니다.

$$\frac{\hat{\beta}_i}{\sqrt{MSE(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}}}$$

또는 다음과 같이 지정될 수도 있습니다.

$$F_0 = \frac{\hat{\beta}_i^2}{MSE(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}}$$

귀무가설 하에서 검정 통계량 F_0 은 1 및 $n-p-1$ 자유도에서 F 분포를 따릅니다.

β_i 의 실제 값이 β_i^A 인 경우 F_0 은 다음과 같이 계산된 비중심성 모수를 갖는 비중심 F 분포를 따릅니다.

$$\lambda = \frac{(\beta_i^A)^2}{\sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}}$$

검정력을 계산하려면 먼저 α 수준 임계값 (F_c)을 구합니다.

$$\alpha = 1 - FDist(F_c, 1, n-p-1)$$

그런 다음 아래와 같이 검정력을 계산합니다.

$$Power = 1 - FDist(F_c, 1, n-p-1, \lambda)$$

범주형 효과에 대한 검정력

이 섹션에서는 전체 범주형 효과에 대한 검정력을 계산하는 방법을 설명합니다. 다음 표기가 사용됩니다.

$\mathbf{X}$ 모형 행렬입니다. 자세한 내용은

β 모수 벡터입니다.

$\hat{\beta}$ β 의 최소 제곱 추정값입니다.

β^A 예상 계수 값의 벡터입니다.

L 범주형 효과에 대한 검정을 정의하는 행렬입니다. 행렬 **L** 은 β 에서 범주형 효과에 해당하는 모수의 값을 식별하여 0 으로 설정합니다. 범주형 효과 검정에 대한 귀무가설은 다음과 같이 지정됩니다.

$$H_0: L\beta = \mathbf{0}$$

r **L** 의 순위입니다. r 는 범주형 효과의 수준 수에서 1 을 뺀 값입니다.

참고: 모형 적합을 실행하여 설계 행렬을 볼 수 있습니다. 그런 다음 기본 보고서의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **열 저장 > 코드화 테이블 저장**을 선택하십시오.

$\hat{\beta}$ 의 공분산 행렬은 $\sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 로 구합니다. 여기서 σ^2 은 오차 분산입니다.

오차 분산 σ^2 은 MSE 를 사용하여 추정되고 자유도가 $n - p - 1$ 입니다. 여기서 n 은 관측값 수이고, p 는 모형에서 절편을 제외한 항 수입니다.

$H_0: L\beta = \mathbf{0}$ 검정은 다음과 같이 지정됩니다.

$$F_0 = \left((\mathbf{L}\hat{\beta})' [\mathbf{L}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{L}']^{-1} (\mathbf{L}\hat{\beta}) \right) / (r\text{MSE})$$

귀무가설 하에서 검정 통계량 F_0 은 r 및 $n - p - 1$ 자유도에서 F 분포를 따릅니다.

β 의 실제 값이 β^A 인 경우 F_0 은 다음과 같이 계산된 비중심성 모수를 갖는 비중심 F 분포를 따릅니다.

$$\lambda = \left((\mathbf{L}\beta^A)' [\mathbf{L}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{L}']^{-1} (\mathbf{L}\beta^A) \right) / \sigma^2$$

검정력을 계산하려면 먼저 α 수준 임계값 (F_c) 을 구합니다.

$$\alpha = 1 - \text{FDist}(F_c, r, n - p - 1)$$

그런 다음 아래와 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{Power} = 1 - \text{FDist}(F_c, r, n - p - 1, \lambda)$$

상대 예측 분산

다음 표기를 고려하십시오.

X 모형 행렬입니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**모형 행렬**"(102 페이지)에서 확인하십시오. 사용자 설계는 모형 행렬을 보여 주는 스크립트를 제공합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**행렬 X 저장**"(102 페이지)에서 확인하십시오.

σ^2 오차 분산입니다.

$\hat{\beta}$ 모수의 최소 제곱 추정값 벡터입니다.

$\mathbf{x}_i'$ $\mathbf{X}$ 의 i^{th} 행입니다.

이 표기를 사용할 경우 $\mathbf{X}$ 의 i^{th} 행에 대한 예측 반응은 다음과 같이 지정됩니다.

$$\hat{Y} = \mathbf{x}_i' \hat{\beta}$$

$\mathbf{x}_i$ 로 정의된 설정에서 상대 예측 분산은 다음과 같이 지정됩니다.

$$\frac{\mathbf{x}_i' \text{var}(\hat{Y}) \mathbf{x}_i}{\sigma^2} = \frac{\mathbf{x}_i' \text{var}(\mathbf{x}_i' \hat{\beta}) \mathbf{x}_i}{\sigma^2} = \mathbf{x}_i' (\mathbf{X}' \mathbf{X})^{-1} \mathbf{x}_i$$

-
- Agresti, A., and Coull, B. A. (1998). "Approximate Is Better than 'Exact' for Interval Estimation of Binomial Proportions." *American Statistician* 52:119–126.
- Agresti, A., and Caffo, B. N. (2000). "Simple and Effective Confidence Intervals for Proportions and Differences of Proportions Result from Adding Two Successes and Two Failures." *American Statistician* 54:280–288.
- Atkinson, A. C., and Donev, A. N. (1992). *Optimum Experimental Designs*. New York: Oxford University Press.
- Barker, C. (2011). "Power and Sample Size Calculations in JMP." Technical Report, Cary NC: SAS Institute Inc. Accessed May 6, 2018.
<https://www.jmp.com/content/dam/jmp/documents/en/technical-reports/powerAndSampleSize.pdf>.
- Borror, C.M. and Montgomery, D. C. (2000). "Mixed Resolution Designs as Alternatives to Taguchi Inner-Outer Array Designs for Robust Design Problems." *Quality and Reliability Engineering International* 16:117-128.
- Box, G. E. P. (1988). "Signal-to-Noise Ratio, Performance Criteria, and Transformations." *Technometrics* 30:1–40.
- Box, G. E. P., and Behnken, D. W. (1960). "Some New Three-Level Designs for the Study of Quantitative Variables." *Technometrics* 2:455–475.
- Box, G. E. P., and Draper, N. R. (1987). *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. New York: John Wiley & Sons.
- Box, G. E. P., Hunter, W. G., and Hunter, J. S. (1978). *Statistics for Experimenters*. New York: John Wiley & Sons.
- Box, G. E. P., Hunter, W. G., and Hunter, J. S. (2005). *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Box, G. E. P., and Meyer, R. D. (1986). "An Analysis of Unreplicated Fractional Factorials." *Technometrics* 28:11–18.
- Box, G. E. P., and Wilson, K. B. (1951). "On the Experimental Attainment of Optimum Conditions." *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 13:1–45.
- Byrne, D. M., and Taguchi, G. (1986). "The Taguchi Approach to Parameter Designs." *Quality Congress Transactions* 177:168–177.
- Clopper, C. J., and Pearson, E. S. (1934). "The Use of Confidence or Fiducial Limits Illustrated in the Case of the Binomial." *Biometrika* 26:404–413.

- Cochran, W. G., and Cox, G. M. (1957). *Experimental Designs*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Cohen, M. B., Gibbons, P. B., Mugridge, W. B., and Colbourn, C. J. (2003). "Constructing Test Suites for Interaction Testing." In *Proceedings 25th International Conference on Software Engineering*, 38–48.
- Cohen, M. B., Dwyer, M. B., and Shi, J. (2007). "Interaction Testing of Highly-Configurable Systems in the Presence of Constraints." In *Proceedings of the 2007 International Symposium on Software Testing and Analysis*, 129–139.
- Colbourn, C. (2004). "Combinatorial Aspects of Covering Arrays." *Le Matematiche* 58:121–167.
- Colbourn, C., and Dinitz, J., eds. (2010). *Handbook of Combinatorial Designs*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Cornell, J. A. (1990). *Experiments with Mixtures*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Dalal, S. R., and Mallows, C. L. (1998). "Factor-Covering Designs for Testing Software." *Technometrics* 40:234–243.
- DuMouchel, W., and Jones, B. (1994). "A Simple Bayesian Modification of *D*-Optimal Designs to Reduce Dependence on an Assumed Model." *Technometrics* 36:37–47.
- Errore, A., Jones, B., Li, W., and Nachtsheim, C. (2017). "Using Definitive Screening Designs to Identify Active First- and Second-Order Factor Effects." *Journal of Quality Technology* 49:244–264.
- Fries, A., and Hunter, W. G. (1984). "Minimum Aberration 2^{k-p} Designs." *Technometrics* 22:601–608.
- Gotwalt, C. M., Jones, B. A., and Steinberg, D. M., (2009). "Fast Computation of Designs Robust to Parameter Uncertainty for Nonlinear Settings." *Technometrics* 51:88–95.
- Goos, P. (2002). *The Optimal Design of Blocked and Split Plot Experiments*. New York: Springer.
- Goos, P., and Jones, B. (2011). *Optimal Design of Experiments: A Case Study Approach*. New York: John Wiley & Sons.
- Hamada, M., and Wu, C. F. J., (1992). "Analysis of Designed Experiments with Complex Aliasing." *Technometrics* 24:130–137.
- Hartman, A., and Raskin, L. (2004). "Problems and Algorithms for Covering Arrays." *Discrete Mathematics* 284:149–156.
- Horn, R., and Johnson, C. (2012). *Matrix Analysis*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Huber, J., and Zwerina, K. (1996). "The Importance of Utility Balance in Efficient Choice Designs." *Journal of Marketing Research* 33:307–317.
- Jennrich, R. I. (1969). "Asymptotic Properties of Non-Linear Least Squares Estimators." *Annals of Mathematical Statistics* 40:633–643.
- Johnson, M. E., and Nachtsheim, C. J. (1983). "Some Guidelines for Constructing Exact *D*-Optimal Designs on Convex Design Spaces." *Technometrics* 25:271–277.

- Jones, B. (1991). "An Interactive Graph For Exploring Multidimensional Response Surfaces." In *Proceedings of the Annual Joint Statistical Meetings of the American Statistical Association*. Alexandria, VA: American Statistical Association.
- Jones, B., and Goos, P. (2007). "A Candidate-set-free Algorithm for Generating D-optimal Designs." *Applied Statistics* 56:1–18. Accessed January 23, 2017.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3001117/>.
- Jones, B., and Goos, P. (2015). "Optimal Design of Blocked Experiments in the Presence of Supplementary Information about the Blocks." *Technometrics* 47:01–317.
- Jones, B., and Johnson, R. T. (2009). "Design and Analysis for the Gaussian Process Model." *Quality and Reliability Engineering International* 25:515–524. Accessed January 23, 2017.
https://www.stat.osu.edu/~comp_exp/jour.club/Jones_Johnson_QREI09.pdf.
- Jones, B., Lekivetz, R., Majumdar, D., Nachtsheim, C.J., and Stallings, J.W. (2019). "Construction, Properties, and Analysis of Group-Orthogonal Supersaturated Designs." *Technometrics*. Accessed September 24, 2019.
<https://doi.org/10.1080/00401706.2019.1654926>.
- Jones, B., Lin, D. K. J., and Nachtsheim, C. J. (2008). "Bayesian D-Optimal Supersaturated Designs." *Journal of Statistical Planning and Inference* 138:86–92.
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2011a). "A Class of Three-Level Designs for Definitive Screening in the Presence of Second-Order Effects." *Journal of Quality Technology* 43:1–15. Accessed January 23, 2017.
https://www.jmp.com/en_us/whitepapers/jmp/class-three-level-definitive-screening.html.
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2011b). "Efficient Designs with Minimal Aliasing." *Technometrics* 53:62–71.
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2013). "Definitive Screening Designs with Added Two-Level Categorical Factors." *Journal of Quality Technology* 45:121–129.
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2016a). "Blocking Schemes for Definitive Screening Designs." *Technometrics* 58:74–83.
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2016b). "Effective Model Selection for Definitive Screening Designs." *Technometrics*. Accessed September 28, 2017.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00401706.2016.1234979>.
- Joseph, V. R., Gul, E., and Ba, S. (2015). "Maximum Projection Designs for Computer Experiments." *Biometrika* 102:371–380.
- Kessels, R., Jones, B., Goos, P. (2011). "Bayesian Optimal Designs for Discrete Choice Experiments with Partial Profiles." *Journal of Choice Modelling* 4:52–74.
- Kowalski, S. M., Cornell, J. A., and Vining, G. G. (2002). "Split Plot Designs and Estimation Methods for Mixture Experiments with Process Variables." *Technometrics* 44:72–79.
- Lenth, R. V. (1989). "Quick and Easy Analysis of Unreplicated Fractional Factorials." *Technometrics* 31:469–473.
- Lekivetz, R. (2014). "What is an Alias Matrix?" Accessed January 23, 2017.
<https://blogs.sas.com/content/jmp/2014/06/05/what-is-an-alias-matrix/>.

- Lekivetz, R., Sitter, R., Bingham, D., Hamada, M. S., Moore, L. M., and Wendelberger, J. R. (2015). "On Algorithms for Obtaining Orthogonal and Near-Orthogonal Arrays for Main-Effects Screening." *Journal of Quality Technology* 47:2–13.
- Lin, D. K. J. (1993). "A New Class of Supersaturated Design." *Technometrics* 35:28–31.
- Martirosyan, S. (2003). "Perfect Hash Families, Identifiable Parent Property Codes and Covering Arrays." Ph.D. diss., Universitat Duisburg-Essen.
- Meyer, R. K., and Nachtsheim, C. J. (1995). The Coordinate Exchange Algorithm for Constructing Exact Optimal Designs." *Technometrics* 37:60–69.
- Meyer, R. D., Steinberg, D. M., and Box, G. (1996). Follow-up Designs to Resolve Confounding in Multifactor Experiments. *Technometrics* 38:307.
- Miller, A., and Sitter, R. R. (2005). "Using Folded-Over Nonorthogonal Designs." *Technometrics* 47:502–513.
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments*. 8th ed. New York: John Wiley & Sons.
- Morgan, J. (2009). "Constrained Covering Arrays: Resolving Invalid Level Combination Constraints." Technical Report, Cary NC: SAS Institute Inc., also in *Supplemental Proceedings of the 20th International Symposium on Software Reliability Engineering*. Accessed May 6, 2018. <https://www.jmp.com/content/dam/jmp/documents/en/technical-reports/ConstrainedCovArray09.pdf>.
- Morgan, J. (2014). "Computing Coverage and Diversity Metrics for Constrained Covering Arrays," Technical Report, Cary NC: SAS Institute Inc. Accessed May 6, 2018. <https://www.jmp.com/content/dam/jmp/documents/en/technical-reports/CoverageDiversity2014.pdf>.
- Morgan, J. P., and Stallings, J. (2017). "Optimal experimental design that targets meaningful information." *WIREs Comput Stat* 2017, 9:e1393. doi: 10.1002/wics.1393.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., and Anderson-Cook, C. M. (2009). *Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Mylona, K., Goos, P., and Jones, B. (2014). "Optimal Design of Blocked and Split-plot Experiments for Fixed Effects and Variance Component Estimation." *Technometrics* 56:132–144.
- Nayeri, P., Colbourn, C., and Konjevod, G. (2013). "Randomized Postoptimization of Covering Arrays." *European Journal of Combinatorics* 34:91–103.
- Piepel, G. F. (1988). "Programs for Generating Extreme Vertices and Centroids of Linearly Constrained Experimental Regions." *Journal of Quality Technology* 20:125–139.
- Sall, J. (2008). "Choice Experimental Designs Are Different." Accessed January 22, 2016. <https://blogs.sas.com/content/jmp/2008/12/16/choice-experimental-designs-are-different/>.
- SAS Institute Inc. (2013). "The %MktBIBD Macro." Accessed September 27, 2017. <https://support.sas.com/rnd/app/macros/mktbibd/mktbibd.htm>.
- Schoen, E. D. (1999). "Designing Fractional Two-level Experiments with Nested Error Structures." *Journal of Applied Statistics* 26: 495–508.

- Shewry, M. C., and Wynn, H. P. (1987). "Maximum Entropy Sampling." *Journal of Applied Statistics* 14:165–170.
- Snee, R. D., and Marquardt, D. W. (1974). "Extreme Vertices Designs for Linear Mixture Models." *Technometrics* 16:391–408.
- Snee, R. D. (1975). "Experimental Designs for Quadratic Models in Constrained Mixture Spaces." *Technometrics* 17:149–159.
- Snee, R. D. (1979). "Experimental Designs for Mixture Systems with Multicomponent Constraints." *Communications in Statistics -Theory and Methods* 8:303–326.
- Snee, R. D. (1985). "Computer Aided Design of Experiments - Some Practical Experiences." *Journal of Quality Technology* 17:222–236.
- Vivacqua, C. A., and Bisgaard, S. (2004). "Strip-Block Experiments for Process Improvement and Robustness." *Quality Engineering* 16:495–500.
- Worley, B. A. (1987). *Deterministic Uncertainty Analysis*. Technical Report ORN-0628, Oak Ridge National Laboratory.
- Wu, C. F. J. (1981). "Asymptotic Theory of Nonlinear Least Squares Estimation." *Annals of Mathematical Statistics* 9:501–513.
- Wu, C. F. J., and Hamada, M. S. (2009). *Experiments: Planning, Analysis, and Optimization*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Xiao, L., Lin, D. K. J., and Bai, F. (2012). "Constructing Definitive Screening Designs Using Conference Matrices." *Journal of Quality Technology* 44:2–8.
- Ye, K. Q., and Hamada, M. (2000). "Critical Values of the Lenth Method for Unreplicated Factorial Designs." *Journal of Quality Technology* 32:57–66.
- Yilmaz, C., Fouche, S., Cohen, M. B., Porter, A., Demiroz, G., and Koc, U. (2014). "Moving Forward with Combinatorial Interaction Testing." *Computer* 47:37–45.
- Zahran, A., Anderson-Cook, C. M., and Myers, R. H. (2003). "Fraction of Design Space to Assess the Prediction Capability of Response Surface Designs." *Journal of Quality Technology* 35:377–386.
- Zhang, Z., and Zhang, J. (2011). "Characterizing Failure-Causing Parameter Interactions by Adaptive Testing." In *Proceedings of the 2011 International Symposium on Software Testing and Analysis*, 331–341.

기술 라이선스 표시

- Scintilla - Copyright © 1998-2017 by Neil Hodgson <neilh@scintilla.org>.

All Rights Reserved.

Permission to use, copy, modify, and distribute this software and its documentation for any purpose and without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice appear in all copies and that both that copyright notice and this permission notice appear in supporting documentation.

NEIL HODGSON DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS, IN NO EVENT SHALL NEIL HODGSON BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

- Progress® Telerik® UI for WPF: Copyright © 2008-2019 Progress Software Corporation. All rights reserved. Usage of the included Progress® Telerik® UI for WPF outside of JMP is not permitted.
- ZLIB Compression Library - Copyright © 1995-2005, Jean-Loup Gailly and Mark Adler.
- Made with Natural Earth. Free vector and raster map data @ naturalearthdata.com.
- Packages - Copyright © 2009-2010, Stéphane Sudre (s.sudre.free.fr). All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.

Neither the name of the WhiteBox nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES

(INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- iODBC software - Copyright © 1995-2006, OpenLink Software Inc and Ke Jin (www.iodbc.org). All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

- Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
- Neither the name of OpenLink Software Inc. nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL OPENLINK OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- bzip2, the associated library “libbzip2”, and all documentation, are Copyright © 1996-2010, Julian R Seward. All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

The origin of this software must not be misrepresented; you must not claim that you wrote the original software. If you use this software in a product, an acknowledgment in the product documentation would be appreciated but is not required.

Altered source versions must be plainly marked as such, and must not be misrepresented as being the original software.

The name of the author may not be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHOR “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- R software is Copyright © 1999-2012, R Foundation for Statistical Computing.
- MATLAB software is Copyright © 1984-2012, The MathWorks, Inc. Protected by U.S. and international patents. See www.mathworks.com/patents. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See www.mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.
- libopc is Copyright © 2011, Florian Reuter. All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

- Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and / or other materials provided with the distribution.
- Neither the name of Florian Reuter nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- libxml2 - Except where otherwise noted in the source code (e.g. the files hash.c, list.c and the trio files, which are covered by a similar license but with different Copyright notices) all the files are:

Copyright © 1998 - 2003 Daniel Veillard. All Rights Reserved.

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL DANIEL VEILLARD BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.

Except as contained in this notice, the name of Daniel Veillard shall not be used in advertising or otherwise to promote the sale, use or other dealings in this Software without prior written authorization from him.

- Regarding the decompression algorithm used for UNIX files:

Copyright © 1985, 1986, 1992, 1993

The Regents of the University of California. All rights reserved.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE REGENTS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE REGENTS OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.

3. Neither the name of the University nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

- Snowball - Copyright © 2001, Dr Martin Porter, Copyright © 2002, Richard Boulton.
All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
3. Neither the name of the copyright holder nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- Pako - Copyright © 2014–2017 by Vitaly Puzrin and Andrei Tuputcyn.

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND

NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.

- HDF5 (Hierarchical Data Format 5) Software Library and Utilities Copyright 2006 –2015 by The HDF Group. NCSA HDF5 (Hierarchical Data Format 5) Software Library and Utilities Copyright 1998-2006 by the Board of Trustees of the University of Illinois. All rights reserved. DISCLAIMER: THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE HDF GROUP AND THE CONTRIBUTORS “AS IS” WITH NO WARRANTY OF ANY KIND, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED. In no event shall The HDF Group or the Contributors be liable for any damages suffered by the users arising out of the use of this software, even if advised of the possibility of such damage.
- agl-aglfn technology is Copyright © 2002, 2010, 2015 by Adobe Systems Incorporated. All Rights Reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

- Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
- Neither the name of Adobe Systems Incorporated nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- dmlc/xgboost is Copyright © 2019 SAS Institute.

Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License"); you may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at

<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License.

