



버전 17

신뢰성 및 생존 방법

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

Marcel Proust

JMP Statistical Discovery LLC
SAS Campus Drive
Cary, North Carolina 27513-2414

17.1

The correct bibliographic citation for this manual is as follows: JMP Statistical Discovery LLC 2022–2023. *JMP® 17 Reliability and Survival Methods*. Cary, NC: JMP Statistical Discovery LLC

JMP® 17 Reliability and Survival Methods

Copyright © 2022–2023, JMP Statistical Discovery LLC, Cary, NC, USA

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

JMP Statistical Discovery LLC, SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513-2414.

October 2022

March 2023

JMP® and all other JMP Statistical Discovery LLC product or service names are registered trademarks or trademarks of JMP Statistical Discovery LLC in the USA and other countries. ® indicates USA registration.

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

JMP 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 JMP software, refer to <http://support.sas.com/thirdpartylicenses>.

JMP 활용하기

JMP를 처음 사용하든 오랫동안 사용해왔든, JMP와 관련해서 배워야 하는 것은 언제나 있습니다. JMP.com을 방문하면 다음과 같은 유용한 자료를 볼 수 있습니다.

- JMP 시작 방법에 대한 라이브 및 녹화 웹 캐스트
- 새로운 기능과 고급 기법에 대한 비디오 데모 및 웹 캐스트
- JMP 교육 과정 등록에 대한 상세 정보
- 현지에서 개최되는 세미나 일정
- 다른 사용자들이 JMP를 사용하는 방법을 보여주는 성공 사례
- JMP 사용자 커뮤니티, 추가기능 및 스크립트 예를 포함한 사용자용 리소스, 포럼, 블로그, 컨퍼런스 정보 등

[**jmp.com/getstarted**](https://jmp.com/getstarted)

목차

신뢰성 및 생존 방법

1	JMP 알아보기	13
	설명서 및 추가 리소스	
	JMP 설명서에 사용되는 서식 규칙	15
	JMP 도움말	16
	JMP 설명서 라이브러리	16
	JMP 학습을 위한 추가 리소스	22
	JMP 검색	23
	JMP 자습서	23
	샘플 데이터 테이블	23
	통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기	24
	JMP 팁 및 힌트 알아보기	24
	JMP 툴팁	24
	JMP 사용자 커뮤니티	24
	무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정	25
	JMP 새로운 사용자를 위한 입문 키트	25
	Statistics Knowledge 포털	25
	JMP 교육 과정	25
	사용자가 작성한 JMP 설명서	25
	JMP 시작하기 창	25
	JMP 기술 지원	26
2	신뢰성 및 생존 소개	27
	수명 및 고장 분석	
3	수명 분포	29
	수명 데이터에 분포 적합	
	수명 분포 플랫폼 개요	31
	수명 분포 플랫폼의 예	31
	수명 분포 플랫폼 시작	34
	수명 분포 보고서	37
	사건 그림	38
	수명 분포에서 분포 비교	40

수명 분포 통계량	43
수명 분포 보고서 옵션	50
혼합 적합	52
경쟁 위험 혼합 모형 적합	54
Weibayes 보고서	55
경쟁 원인 보고서	57
경쟁 원인 워크플로우	57
경쟁 원인 모형	58
원인 결합	58
경쟁 원인 통계량	59
개별 원인	60
경쟁 원인 보고서 옵션	61
수명 분포 - 그룹 비교 보고서	63
그룹 비교 통계량	63
개별 그룹	64
수명 분포 - 그룹 비교 보고서 옵션	64
수명 분포 플랫폼의 추가 예	66
경쟁 원인 생략의 예	66
분포 비교 그림에서 축 척도 변경의 예	68
그룹 간 동일 분포 비교의 예	69
Weibayes 분석의 예	71
혼합 분포 적합의 예	73
경쟁 위험 혼합 적합의 예	76
수명 분포 플랫폼에 대한 통계 상세 정보	78
분포에 대한 통계 상세 정보	78
경쟁 원인에 대한 통계 상세 정보	91
중앙값 순위 회귀에 대한 통계 상세 정보	96

4 수명 분포 적합 97

단일 요인 모형을 사건 발생 시간 데이터에 적합

수명 분포 적합 플랫폼 개요	99
수명 분포 적합 플랫폼의 예	99
수명 분포 적합 플랫폼 시작	102
수명 분포 적합 보고서	104
데이터 요약	104
산점도	105
비모수 중첩	107
비교	108
결과	112
사용자 정의 관계	122

수명 분포 적합 플랫폼 옵션	124
수명 분포 적합 플랫폼의 추가 예	125
5 누적 손상	127
시간 경과에 따른 변동 스트레스로 제품 퇴화 모델링	
누적 손상 플랫폼 개요	129
누적 손상 플랫폼의 예	129
누적 손상 플랫폼 시작	132
사건 발생 시간	134
스트레스 패턴	135
누적 손상 보고서	137
사건 그림	138
스트레스 패턴 보고서	138
모형 목록	138
모형 결과	138
누적 손상 플랫폼 옵션	139
스트레스 패턴 옵션	139
누적 손상 플랫폼의 추가 예	141
6 재발 분석	143
시간 경과에 따른 재발 사건의 빈도 또는 비용 모델링	
재발 분석 플랫폼의 예	145
재발 분석 플랫폼 시작	148
데이터 형식	149
재발 분석 플랫폼 옵션	149
모형 적합	150
재발 분석 플랫폼의 추가 예	154
비용 열을 사용한 재발 분석의 예	154
시작 및 종료 타임스탬프를 사용한 재발 분석의 예	157
7 열화	161
시간 경과에 따른 제품 퇴화 모델링	
열화 플랫폼 개요	163
열화 플랫폼의 예	163
열화 플랫폼 시작	165
열화 플랫폼 보고서	166
모형 규격	169
단순 선형 경로	169
비선형 경로	171
역추정 예측	178
예측 그래프	180

열화 플랫폼 옵션	181
열화 모형 요약 보고서	183
모형 목록	183
보고서	184
사용자 파괴 열화 모형	185
열화 플랫폼의 안정성 분석	190
열화 플랫폼의 안정성 분석에 대한 통계 상세 정보	193
8 반복 측정 열화	195
계층적 베이지안 모델링 방법 사용	
반복 측정 열화의 예	197
반복 측정 열화 플랫폼 시작	200
두 개의 Y 열 지정	201
반복 측정 열화 보고서	202
데이터 및 초기 모형 그림 옵션	203
반복 측정 열화 보고서 옵션	203
모형	204
반복 측정 열화 반응 보고서	207
반응 보고서 옵션	209
반복 측정 열화 베이지안 추정값 보고서	209
사전 확률 보고서	209
사후 추정값 보고서	210
진단 보고서	210
수명 분포 프로파일러 보고서	211
베이지안 추정값 보고서 옵션	211
반복 측정 열화 플랫폼의 추가 예	212
반복 측정 열화 플랫폼에 대한 통계 상세 정보	215
9 파괴 열화	217
시간 경과에 따른 제품 퇴화 모델링	
파괴 열화 플랫폼의 예	219
파괴 열화 플랫폼 시작	225
두 개의 Y 열 지정	226
파괴 열화 그림 옵션 및 모형	226
그림 옵션	228
모형	228
파괴 열화 보고서	232
모형 목록	232
모형 개요	233
파괴 열화 플랫폼 옵션	236

파괴 열화 플랫폼에 대한 통계 상세 정보	236
10 신뢰도 예측	239
생산 및 고장 데이터를 사용하여 제품 고장 예측	
신뢰도 예측 플랫폼 개요	241
신뢰도 예측 플랫폼의 예	241
신뢰도 예측 플랫폼 시작	244
신뢰도 예측 보고서	247
관측된 데이터 보고서	247
수명 분포 보고서	248
예측 보고서	248
신뢰도 예측 플랫폼 옵션	252
신뢰도 예측 플랫폼의 추가 예	253
11 신뢰도 성장	257
변경 사항 구현에 따른 시스템 신뢰도 모델링	
신뢰도 성장 플랫폼 개요	259
신뢰도 성장 플랫폼의 예	260
신뢰도 성장 플랫폼 시작	264
시작 창 역할	265
데이터 테이블 구조	266
신뢰도 성장 보고서	268
모형 설명 및 실행 가능성	268
관측된 데이터 보고서	268
신뢰도 성장 플랫폼 옵션	271
모형 보고서	272
Crow AMSAA	272
수정된 MLE 를 포함하는 Crow AMSAA	279
고정 모수 Crow AMSAA	280
조각별 Weibull NHPP	281
다시 초기화된 Weibull NHPP	285
조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지	288
신뢰도 성장 플랫폼의 추가 예	289
구간 중도절단 데이터를 사용한 신뢰도 성장 모형의 예	289
조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지의 예	291
신뢰도 성장 플랫폼에 대한 통계 상세 정보	293
Crow-AMSAA 보고서에 대한 통계 상세 정보	293
조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지 보고서에 대한 통계 상세 정보	294

12 신뢰도 블록 다이어그램	297
시스템 신뢰도 엔지니어링	
신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼 개요	299
신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼의 예	299
신뢰도 블록 다이어그램 창	307
미리보기 창	308
신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼 옵션	309
작업 영역 옵션	312
구성 설정	312
분포 구성	313
비모수 분포 지정	314
설계 및 라이브러리 항목 옵션	316
프로파일러	317
부품 중요도 및 고장 시간	319
부품 그림	321
대수 신뢰도 계산식 출력	324
대수 표현식 데이터 테이블 생성	324
복제 및 삭제	325
13 수리 가능 시스템 시뮬레이션	327
복잡한 시스템의 불능 시간 추정	
수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼 개요	329
수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼을 사용한 예	329
수리 가능 시스템 시뮬레이션 창	331
시스템 다이어그램	332
세이프 도구 모음	333
구성 패널	334
이벤트 추가 패널	336
작업 추가 패널	337
수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼 옵션	340
블록 항목에 대한 옵션	340
분포 옵션	340
비모수 또는 추정 분포 지정	341
이벤트 설정	343
작업 설정	343
시뮬레이션 결과 테이블	344
시뮬레이션 결과	345
수리 가능 시스템 시뮬레이션 결과 옵션	346

14 생존 분석	349
생존 시간 데이터 분석	
생존 분석 플랫폼 개요	351
생존 분석의 예	352
생존 플랫폼 시작	354
생존 그림	355
생존 플랫폼 옵션	356
지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 적합	358
적합 분포 그림	361
여러 경쟁 원인	362
생존 플랫폼의 추가 예	363
생존 대신 고장 그림 표시의 예	363
경쟁 원인의 예	365
구간 중도절단의 예	368
생존 분석에 대한 통계 상세 정보	369
15 모수 생존 모형 적합	373
회귀 모형을 사용하여 생존 데이터 적합	
모수 생존 모형 적합 플랫폼 개요	375
모수 생존 모형 적합 플랫폼의 예	375
모수 생존 모형 적합 플랫폼 시작	377
모수 생존 적합 보고서	378
모수 생존 - 전체 분포 보고서	380
모수 경쟁 원인 보고서	381
모수 생존 모형 적합 옵션	382
비선형 모수 생존 모형	384
모수 생존 모형 적합의 추가 예	384
아레니우스 가속 고장 로그 정규 모형의 예	385
구간 중도절단 가속 고장 시간 모형의 예	388
왼쪽 중도절단 데이터 분석의 예	389
모수 생존 모형 적합 플랫폼에 대한 통계 상세 정보	391
16 비례 위험 모형 적합	395
준모수 회귀 모형을 사용하여 생존 데이터 적합	
비례 위험 모형 적합 플랫폼 개요	397
비례 위험 모형 적합 플랫폼의 예	397
비례 위험 모형 적합 플랫폼 시작	400
비례 위험 모형 적합 보고서	401
비례 위험 모형 적합 플랫폼 옵션	401

A **참조 자료**..... 403

B **기술 라이선스 고지 사항**..... 407

1 장

JMP 알아보기 설명서 및 추가 리소스


설명서 서식 규칙, 각 JMP 문서에 대한 설명, 도움말 시스템, 기타 지원 제공 위치 등 JMP 설명서에 대해 알아봅니다.

목차

JMP 설명서에 사용되는 서식 규칙	15
JMP 도움말	16
JMP 설명서 라이브러리	16
JMP 학습을 위한 추가 리소스	22
JMP 검색	23
JMP 자습서	23
샘플 데이터 테이블	23
통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기	24
JMP 팁 및 힌트 알아보기	24
JMP 툴팁	24
JMP 사용자 커뮤니티	24
무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정	25
JMP 새로운 사용자를 위한 입문 키트	25
Statistics Knowledge 포털	25
JMP 교육 과정	25
사용자가 작성한 JMP 설명서	25
JMP 시작하기 창	25
JMP 기술 지원	26

JMP 설명서에 사용되는 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 jmp.com/software/pro 에서 확인할 수 있습니다.

참고 : 참고 섹션에는 특수 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](#)"에서 확인하십시오.

JMP 설명서 라이브러리

도움말 시스템 콘텐츠는 JMP 설명서 라이브러리라는 단일 PDF 파일로도 제공됩니다. 이 파일을 열려면 **도움말 > JMP 설명서 라이브러리**를 선택합니다. Documentation PDF Files 추가기능을 다운로드하여 JMP 라이브러리에 있는 각 문서의 개별 PDF 파일을 검색할 수도 있습니다. <https://community.jmp.com>에서 사용 가능한 추가기능을 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.	<p>"분석" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 분포 • X로 Y 적합 • 테이블 생성 • 텍스트 탐색기 <p>분석 > X로 Y 적합을 통해 이변량 분석, 일원 ANOVA 및 분할 분석을 수행하는 방법을 다룹니다. 붓스트랩을 사용하여 표집 분포에 근사한 값을 산출하는 방법과 시뮬레이션 플랫폼을 사용하여 모수 재표집을 수행하는 방법도 포함되어 있습니다.</p>
Essential Graphing	데이터에 이상적인 그래프를 찾습니다.	<p>"그래프" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 그래프 빌더 • 3D 산점도 • 등고선 그림 • 버블 그림 • 평행 그림 • 셀 그림 • 산점도 행렬 • 삼원 그림 • 트리맵 • 차트 • 중첩 그림 <p>이 설명서에서는 배경 맵 및 사용자 맵을 생성하는 방법도 다룹니다.</p>
Profilers	반응 표면의 횡단면을 볼 수 있게 해주는 대화식 프로파일링 도구의 사용 방법을 알아봅니다.	<p>"그래프" 메뉴에 나열된 모든 프로파일러를 다룹니다. 랜덤 입력을 사용한 시뮬레이션 실행과 함께 잡음 요인 분석이 포함됩니다.</p>

문서 제목	문서 용도	문서 내용
실험 설계 가이드	실험 설계 방법을 알아 보고 적절한 표본 크기 를 결정합니다.	"DOE" 메뉴의 모든 항목을 다룹니다.
선형 모형 적합	모형 적합 플랫폼과 이 플랫폼의 다양한 분석 법에 대해 알아봅니다.	"분석" 메뉴의 모형 적합 플랫폼에서 사용 할 수 있는 다음 분석법에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"> 표준 최소 제곱 단계별 일반화 회귀 혼합 모형 일반화 선형 혼합 모형 MANOVA 로그 선형 분산 명목형 로지스틱 순서형 로지스틱 일반화 선형 모형

문서 제목	문서 용도	문서 내용
예측 및 전문 모델링	추가 모델링 기법에 대해 알아봅니다.	<p>분석 > 예측 모델링 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 신경망 • 파티션 • 붓스트랩 포레스트 • 부스티드 트리 • K 최근접 이웃 • Naive Bayes • 서포트 벡터 머신 • 모형 비교 • 모형 선별 • 검증 열 생성 • 계산식 저장소 <p>분석 > 전문 모델링 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 곡선 적합 • 비선형 • 함수 데이터 탐색기 • 가우스 과정 • 시계열 • 매칭 쌍 <p>분석 > 선별 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 이상치 탐색 • 결측값 탐색 • 패턴 탐색 • 반응 변수 선별 • 예측 변수 선별 • 연관성 분석 • 공정 기록 탐색기

문서 제목	문서 용도	문서 내용
다변량 방법	몇 개의 변수를 동시에 분석하기 위한 기법을 알아봅니다.	<p>분석 > 다변량 방법 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 다변량 • 주성분 • 판별 • 부분 최소 제곱 • 다중 대응 분석 • 구조 방정식 모형 • 요인 분석 • 다차원 척도법 • 다변량 임베딩 • 항목 분석 <p>분석 > 군집화 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 계층적 군집화 • K 평균 군집화 • 정규 혼합 • 잠재 계층 분석 • 변수 군집화

문서 제목	문서 용도	문서 내용
품질 및 공정 방법	공정 평가 및 개선을 위한 도구에 대해 알아봅니다.	<p>분석 > 품질 및 공정 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 관리도 빌더 및 개별 관리도 • 측정 시스템 분석(EMP 및 유형 1 페이지) • 계량형 / 계수형 페이지 차트 • 공정 변수 선별 • 공정 능력 • 모형 기반 다변량 관리도 • 레거시 관리도 • 파레토도 • 다이어그램 • 규격 한계 관리 • OC 곡선
신뢰성 및 생존 방법	제품 또는 시스템의 신뢰도 평가 및 향상 방법과 사람 및 제품의 생존 데이터 분석 방법을 알아봅니다.	<p>분석 > 신뢰성 및 생존 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 수명 분포 • 수명 분포 적합 • 누적 손상 • 재발 분석 • 열화 • 반복 측정 열화 • 파괴 열화 • 신뢰도 예측 • 신뢰도 성장 • 신뢰도 블록 다이어그램 • 수리 가능 시스템 시뮬레이션 • 생존 • 모수 생존 모형 적합 • 비례 위험 모형 적합

문서 제목	문서 용도	문서 내용
소비자 조사	소비자 선호도를 연구하고 해당 정보를 사용하여 보다 나은 제품 및 서비스를 개발하기 위한 방법을 알아봅니다.	분석 > 소비자 조사 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"> • 범주형 • 선택 • 최대차이 • Uplift • 다중 요인 분석
유전학	JMP에서 유전자 데이터를 분석하고, 해당 데이터를 사용하여 최적의 유전자 교배를 예측하기 위한 육종 프로그램을 시뮬레이션하는 데 사용할 수 있는 방법을 알아봅니다.	분석 > 유전학 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"> • 표지자 통계량 • 표지자 시뮬레이션
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 JMP에 대해 배울 수 있습니다.

- "JMP 검색 "
- "JMP 자습서 "
- " 샘플 데이터 테이블 "
- " 통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기 "
- "JMP 팁 및 힌트 알아보기 "
- "JMP 툴팁 "
- "JMP 사용자 커뮤니티 "
- " 무료 온라인 [Statistical Thinking](#) 교육 과정 "

- "JMP 새로운 사용자를 위한 입문 키트 "
- "Statistics Knowledge 포털 "
- "JMP 교육 과정 "
- " 사용자가 작성한 JMP 설명서 "
- "JMP 시작하기 창 "

JMP 검색

통계 절차의 위치를 잘 모르면 JMP에서 검색을 수행하십시오. 결과는 데이터 테이블 또는 보고서와 같이 검색 시작 창에 맞게 조정됩니다.

1. **도움말 > JMP 검색**을 클릭합니다. 또는 Ctrl+ 쉽표를 누릅니다.
2. 검색 텍스트를 입력합니다.
3. 원하는 절차가 포함된 결과를 클릭합니다.
오른쪽에는 절차에 대한 설명과 위치가 표시됩니다.
4. 해당 버튼을 클릭하여 결과를 열거나 이동합니다.

JMP 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.

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

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

샘플 데이터 테이블

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

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

샘플 데이터 테이블은 다음 디렉터리에 설치되어 있습니다.

Windows: C:\Program Files\SAS\JMP\17\Samples\Data

macOS: \Library\Application Support\JMP\17\Samples\Data

JMP Pro의 경우에는 JMP 디렉터리가 아니라 JMPPRO 디렉터리에 샘플 데이터가 설치되어 있습니다.

샘플 데이터를 사용한 예를 보려면 **도움말 > 샘플 인덱스**를 선택하고 "교육 자료" 섹션으로 이동하십시오. 교육 자료에 대한 자세한 내용은 jmp.com/tools에서 확인하십시오.

통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기

통계 용어에 대한 도움말을 보려면 "도움말 > 통계 분석 인덱스"를 선택합니다. JSL 스크립트 및 예제에 대한 도움말을 보려면 **도움말 > 스크립트 인덱스**를 선택합니다.

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

JMP를 처음 시작할 때는 "오늘의 유익한 정보" 창이 표시됩니다. 이 창에서는 JMP를 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.

JMP 톨팁

JMP에서 다음과 같은 항목을 커서로 가리키면 설명 톨팁 (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 : Windows의 경우 JMP 환경 설정에서 톨팁을 숨길 수 있습니다. **파일 > 환경 설정 > 일반**을 선택한 후 **메뉴 팁 표시**를 선택 취소합니다. 이 옵션은 macOS에서는 사용할 수 없습니다.

JMP 사용자 커뮤니티

JMP 사용자 커뮤니티에서는 JMP에 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 사이트의 JMP 리소스에 액세스하려면 **도움말 > JMP 웹 > 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 [jmp.com/statisticalthinking](https://community.jmp.com/statisticalthinking) 에서 확인하십시오.

JMP 새로운 사용자를 위한 입문 키트

JMP 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 [jmp.com/welcome](https://community.jmp.com/welcome) 에서 확인하십시오.

Statistics Knowledge 포털

Statistics Knowledge 포털에서는 방문자가 확실한 기초를 토대로 통계적 기술을 쌓을 수 있도록 간략한 통계 설명과 함께 명확한 예시 및 그래픽을 제공합니다. 자세한 내용은 [jmp.com/skp](https://community.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 [jmp.com/training](https://community.jmp.com/training) 에서 확인하십시오.

사용자가 작성한 JMP 설명서

JMP 웹 사이트에서는 JMP 사용자가 작성한 추가 JMP 사용 설명서가 제공됩니다. 자세한 내용은 [jmp.com/books](https://community.jmp.com/books) 에서 확인하십시오.

JMP 시작하기 창

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

- Windows 에서 JMP 를 열 때 자동으로 "JMP 시작하기 " 를 표시하려면 **파일 > 환경 설정 > 일반**을 선택한 후 " 초기 JMP 창 " 목록에서 **JMP 시작하기**를 선택합니다 . macOS 에서는 **JMP > 환경 설정 > 초기 JMP 시작하기 창**을 선택합니다 .

JMP 기술 지원

JMP 기술 지원은 통계학자 또는 SAS 및 JMP 의 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 jmp.com/support에서 제공됩니다.

신뢰성 및 생존 소개

수명 및 고장 분석

신뢰성 및 생존 방법에서는 제품이나 시스템의 신뢰도를 평가 및 개선하고, 사람이나 제품의 생존 데이터를 분석하기 위해 JMP에서 사용할 수 있는 다양한 방법과 도구를 설명합니다.

- 수명 분포 플랫폼을 사용하면 제품, 구성 요소 또는 시스템의 수명을 분석하여 품질과 신뢰성을 향상시킬 수 있습니다. 이 분석을 통해 제품에 가장 적합한 재료와 제조 공정을 결정할 수 있으므로 제품의 품질과 신뢰성을 높일 수 있습니다. 자세한 내용은 "[수명 분포](#)"에서 확인하십시오.
- 수명 분포 적합 플랫폼은 요인이 하나만 있을 때 수명 사건을 분석하는 데 도움이 됩니다. 다양한 변환을 사용하여 사건과 요인 간의 관계를 모델링하거나, 데이터의 사용자 변환을 생성하도록 선택할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[수명 분포 적합](#)"에서 확인하십시오.
- 누적 손상 플랫폼을 사용하면 시간이 지남에 따라 스트레스 수준이 변경될 수 있는 가속 수명 시험을 분석할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[누적 손상](#)"에서 확인하십시오.
- 재발 분석 플랫폼에서는 각 유닛에 대해 사건이 여러 번 반복될 수 있는 사건 시간을 분석합니다. 일반적으로 이러한 사건은 장치가 고장 나서 수리한 후 다시 사용하기 시작할 때 발생합니다. 자세한 내용은 "[재발 분석](#)"에서 확인하십시오.
- 열화 플랫폼에서는 열화 데이터를 분석하여 유사 고장 시간을 예측합니다. 그런 다음 다른 신뢰성 플랫폼에서 이러한 유사 고장 시간을 분석하여 고장 분포를 추정할 수 있습니다. 설명 요인을 포함할 수 있습니다. 안정성 분석을 수행하여 제품 유효 기간을 설정할 수 있습니다. 사용자 파괴 열화 모형을 적합시킬 수도 있습니다. 자세한 내용은 "[열화](#)"에서 확인하십시오.
- 반복 측정 열화 플랫폼에서는 계층적 베이지안 모델링 방법을 사용하여 파괴되지 않고 측정할 수 있는 관측 유닛의 측정값을 분석합니다. 가속 요인을 사용하거나 사용하지 않고 관측값을 분석할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[반복 측정 열화](#)"에서 확인하십시오.
- 파괴 열화 플랫폼에서는 측정을 위해 제품을 파괴해야 하는 제품 특성에 대한 고장 데이터를 모델링합니다. 따라서 제품 유닛당 하나의 관측값이 생성됩니다. 가속 요인을 포함할 수도 있습니다. 다양한 유형의 공통 열화 모형을 사용할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[파괴 열화](#)"에서 확인하십시오.
- 신뢰도 예측 플랫폼은 미래 고장 수를 예측하는 데 도움이 됩니다. 분석할 때 생산 날짜, 고장 날짜 및 생산량을 사용하여 수명 분포에 대한 모수를 추정합니다. 자세한 내용은 "[신뢰도 예측](#)"에서 확인하십시오.
- 신뢰도 성장 플랫폼에서는 시간이 경과하면서 설계에 개선 사항이 반영됨에 따른 단일 수리 가능 시스템의 신뢰성 변화를 모델링합니다. 자세한 내용은 "[신뢰도 성장](#)"에서 확인하십시오.

- **JMP PRO** 신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼에서는 시스템 부품 간의 신뢰도 관계를 표시하고, 부품에 신뢰도 분포가 주어진 경우 신뢰도 동작을 분석적으로 추정합니다. 자세한 내용은 "[신뢰도 블록 다이어그램](#)"에서 확인하십시오.
- **JMP PRO** 수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼을 사용하면 수리 가능 시스템의 부품 간 관계를 대화식으로 정의할 수 있습니다. 시스템의 다운 시간을 시뮬레이션할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "[수리 가능 시스템 시뮬레이션](#)"에서 확인하십시오.
- 생존 플랫폼에서는 하나 이상의 그룹에 대한 생존 추정값을 계산합니다. 이를 완전 분석으로 사용할 수 있으며, 좀 더 복잡한 모형 적합을 위한 정보를 얻을 수 있는 탐색적 분석으로도 유용합니다. 자세한 내용은 "[생존 분석](#)"에서 확인하십시오.
- 모수 생존 모형 적합 플랫폼에서는 위치 효과와 척도 효과를 모두 포함할 수 있는 선형 회귀 모형을 사용하여 사건 발생 시간 변수를 적합시킵니다. 여러 분포를 사용하여 적합이 수행됩니다. 자세한 내용은 "[모수 생존 모형 적합](#)"에서 확인하십시오.
- 비례 위험 모형 적합 플랫폼에서는 예측 변수와 위험 함수 간의 곱셈 관계를 가정하는 Cox 비례 위험 모형을 적합시킵니다. 자세한 내용은 "[비례 위험 모형 적합](#)"에서 확인하십시오.

3 장

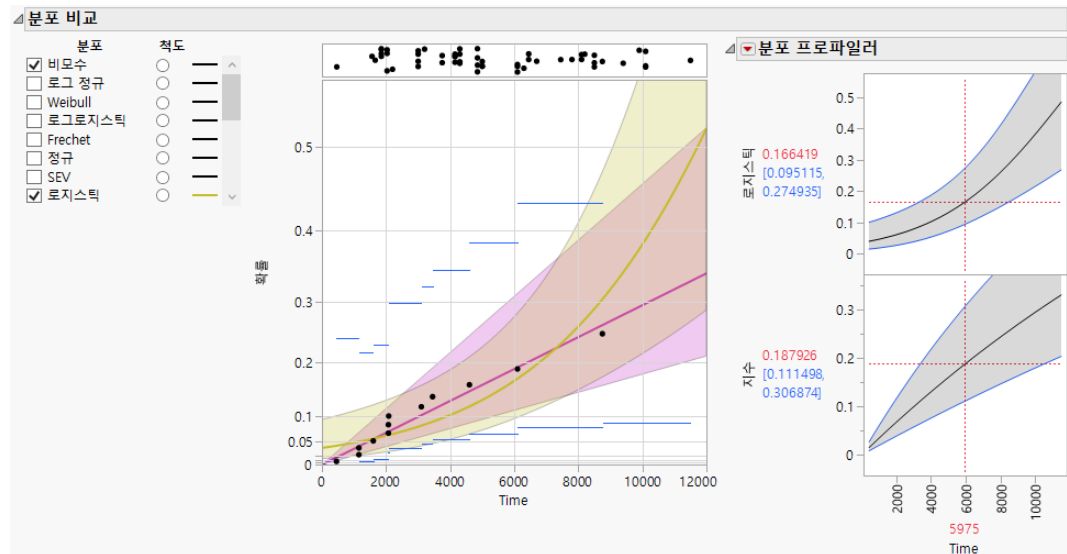
수명 분포 수명 데이터에 분포 적합

수명 분포 플랫폼에서는 사건 발생 시간 데이터를 모델링합니다. 이 플랫폼은 오른쪽 중도절단 데이터와 구간 중도절단 데이터를 모두 수용합니다.

수명 분포 플랫폼을 사용하여 다음을 수행할 수 있습니다.

- 여러 분포 적합을 비교하여 데이터에 가장 적합한 분포를 결정합니다.
- 베이지안 적합을 생성합니다.
- 무고장 데이터를 모델링합니다.
- 그룹을 비교하여 그룹 차이를 분석합니다.
- 여러 고장 원인을 분석합니다.
- 혼합 성분을 추정하고, 주어진 성분에서 관측값이 나올 확률을 추정합니다.
- 경쟁 위험 혼합의 성분을 추정하고, 성분이 관측값에 미치는 영향을 추정합니다.

그림 3.1 분포 적합 및 비교



목차

수명 분포 플랫폼 개요.....	31
수명 분포 플랫폼의 예.....	31
수명 분포 플랫폼 시작.....	34
수명 분포 보고서.....	37
사건 그림.....	38
수명 분포에서 분포 비교.....	40
수명 분포 통계량.....	43
수명 분포 보고서 옵션.....	50
혼합 적합.....	52
경쟁 위험 혼합 모형 적합.....	54
Weibayes 보고서.....	55
경쟁 원인 보고서.....	57
경쟁 원인 워크플로우.....	57
경쟁 원인 모형.....	58
원인 결합.....	58
경쟁 원인 통계량.....	59
개별 원인.....	60
경쟁 원인 보고서 옵션.....	61
수명 분포 - 그룹 비교 보고서.....	63
그룹 비교 통계량.....	63
개별 그룹.....	64
수명 분포 - 그룹 비교 보고서 옵션.....	64
수명 분포 플랫폼의 추가 예.....	66
경쟁 원인 생략의 예.....	66
분포 비교 그림에서 축 척도 변경의 예.....	68
그룹 간 동일 분포 비교의 예.....	69
Weibayes 분석의 예.....	71
혼합 분포 적합의 예.....	73
경쟁 위험 혼합 적합의 예.....	76
수명 분포 플랫폼에 대한 통계 상세 정보.....	78
분포에 대한 통계 상세 정보.....	78
경쟁 원인에 대한 통계 상세 정보.....	91
중앙값 순위 회귀에 대한 통계 상세 정보.....	96

수명 분포 플랫폼 개요

수명 분포 분석 또는 수명 데이터 분석은 수명 또는 고장 시간을 예측하기 위해 제품, 구성 요소 또는 시스템의 수명을 모델링하는 과정입니다. 이 기법을 사용하면 제품의 재료와 제조 공정을 비교할 수 있으므로 제품의 품질과 신뢰성을 높일 수 있습니다. 예를 들어 시간 경과에 따른 고장 비율을 관측하여 컴퓨터 구성 요소가 고장 날 수 있는 시기를 예측할 수 있습니다.

수명 분포 플랫폼을 사용하면 일부 시간 관측값을 알 수 없는 **중도절단** 데이터를 분석할 수 있습니다. 또한 잠재적 고장 원인이 여러 개인 경우 **경쟁** 원인을 분석하여 영향력이 더 큰 원인을 추정할 수 있습니다.

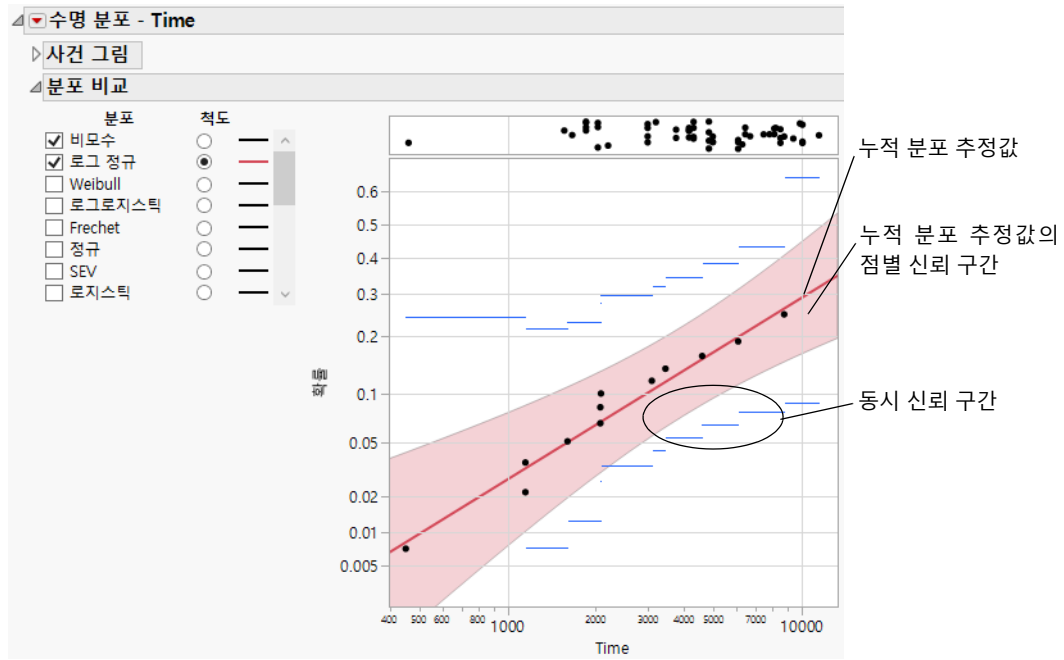
신뢰도 수명 검정 및 신뢰도 데모 계산기를 사용하여 신뢰도 연구에 적절한 표본 크기를 선택할 수 있습니다. 이러한 계산기는 DOE > 표본 크기 탐색기에 있습니다. 자세한 내용은 실험 설계 가이드에서 확인하십시오.

수명 분포 플랫폼의 예

일부 고장 시간이 중도절단된 70 개 엔진 팬의 고장 시간에 분포를 적합시키려는 경우를 가정해 보겠습니다. 다양한 신뢰도 측정값도 추정하려고 합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Fan.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포**를 선택합니다.
3. Time 을 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. Censor 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.
"수명 분포" 보고서 창이 나타납니다.
6. "분포 비교" 보고서에서 **로그 정규** 분포 및 해당 **척도** 라디오 버튼을 선택합니다.
보고서 창에 확률도가 나타납니다.

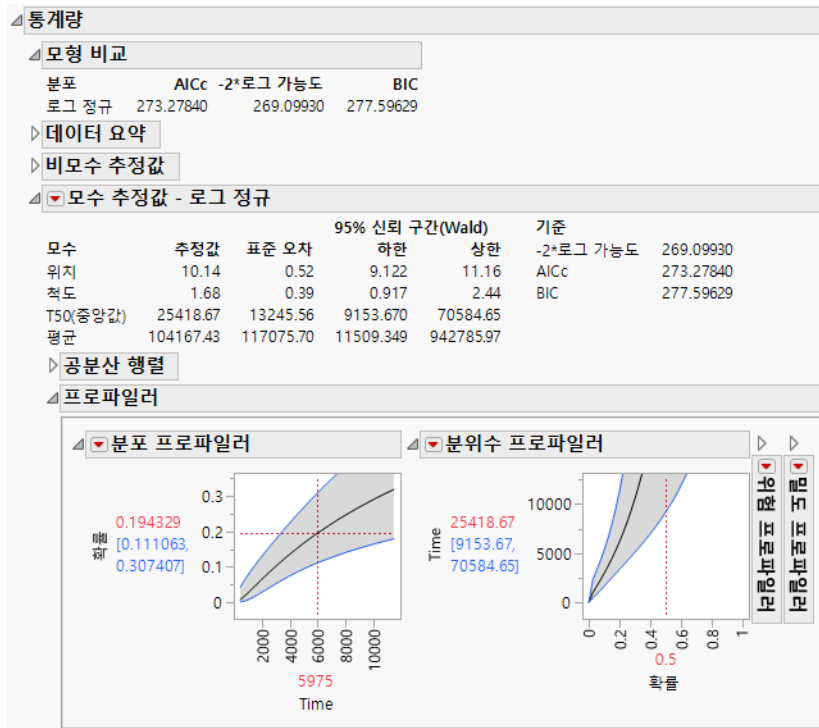
그림 3.2 확률도



확률도에서 데이터 점이 일반적으로 빨간색 선을 따라 분포되어 있으므로 로그 정규 적합이 적절하다는 것을 나타냅니다.

"분포 비교" 보고서 아래에 "통계량" 보고서가 나타납니다. 이 보고서에는 "모형 비교" 보고서, 비모수 및 모수 추정값, 프로파일러 등이 제공됩니다.

그림 3.3 통계량 보고서



로그 정규 분포에 대한 모수 추정값이 제공됩니다. 프로파일러는 적합 분포를 시각화하고 확률 및 분위수를 추정하는 데 유용합니다. 예를 들어 분위수 프로파일러에서는 추정된 중앙값 고장 시간이 25,418.67 시간임을 나타냅니다.

수명 분포 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포를 선택하여 수명 분포 플랫폼을 시작합니다.

그림 3.4 수명 분포 시작 창

The image shows the '수명 분포' (Survival Distribution) start window. It has two tabs: '수명 분포' (selected) and '그룹 비교' (Group Comparison). The window is divided into three main sections: '열 선택' (Column Selection), '선택한 열 역할 지정' (Assign Roles to Selected Columns), and '작업' (Actions).

- 열 선택 (Column Selection):** A list of columns to select from: '5개 열' (5 columns), 'Time', 'Censor', 'Exponential', 'Weibull', and 'Extreme value'. Below this is a '중도절단 코드:' (Censoring Code) field with a dropdown arrow, and a '신뢰 구간 방법 선택' (Select Confidence Interval Method) section with a 'Wald' dropdown.
- 선택한 열 역할 지정 (Assign Roles to Selected Columns):** A table where roles are assigned to the selected columns.

선택한 열	역할 지정
Y, 사건 발생 시간	필수 숫자 선택적 숫자
중도절단	선택적
고장 원인	선택적
빈도	선택적 숫자
라벨	선택적
기준	선택적
- 작업 (Actions):** A vertical stack of buttons: '확인' (OK), '취소' (Cancel), '제거' (Remove), '재호출' (Re-call), and '도움말' (Help).

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용에서 확인하십시오.

시작 창 탭

시작 창에는 두 개의 탭이 있습니다.

- "수명 분포" 탭에서는 그룹 해제된 데이터를 모델링합니다. 다음과 같은 유형의 보고서가 생성될 수 있습니다.
 - 고장 원인 역할을 지정하지 않으면 "수명 분포" 보고서가 나타납니다. 이 보고서에서 공통 분포를 비교하고 통계량을 검토할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[수명 분포 보고서](#)"에서 확인하십시오.
 - 무고장 데이터의 경우 "Weibayes" 보고서가 나타납니다. 자세한 내용은 "[Weibayes 보고서](#)"에서 확인하십시오.
 - 고장 원인 역할을 지정하면 "경쟁 원인" 보고서가 나타납니다. "수명 분포" 보고서의 기능뿐 아니라 개별 고장 원인을 비교할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "[경쟁 원인 보고서](#)"에서 확인하십시오.

참고: "수명 분포" 및 "경쟁 원인" 보고서에서 고정 모수 모형과 베이지안 모형을 검토할 수 있습니다.

- "그룹 비교" 탭에서는 그룹화 변수를 지정할 수 있습니다. "그룹 비교" 보고서는 지정된 단일 분포를 사용하여 여러 그룹을 비교합니다. 예를 들어 공급업체별로 그룹화된 구성 요소의 Weibull 적합을 비교할 수 있습니다. 반면에 "수명 분포" 탭에서는 단일 그룹에 대한 여러 적합 분포를 비교합니다. 자세한 내용은 "[수명 분포 - 그룹 비교 보고서](#)"에서 확인하십시오.

시작 창 옵션

시작 창에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

Y, 사건 발생 시간 하나 이상의 반응 열입니다. 지정된 반응 열 수는 데이터 테이블의 중도절단 구조에 따라 다릅니다.

- 하나의 변수가 지정되는 경우 해당 변수는 사건 발생 시간(예: 고장 시간) 또는 오른쪽 중도절단 시간으로 해석됩니다. 중도절단 열을 사용하여 오른쪽 중도절단 반응을 나타냅니다. 오른쪽 중도절단에 대한 자세한 내용은 "[단일 사건 발생 시간 열](#)"에서 확인하십시오.
- 두 개의 변수가 지정되는 경우 해당 변수는 구간 중도절단 관측값으로 해석됩니다. 첫 번째 Y 변수는 각 유닛에 대한 하한을 제공하고 두 번째 Y 변수는 상한을 제공합니다. 두 개의 반응 열을 사용하여 다양한 유형의 중도절단을 나타내는 예는 [그림 3.5](#)에서 확인하십시오. 두 개의 반응 열을 사용한 중도절단에 대한 자세한 내용은 "[두 개의 사건 발생 시간 열](#)"에서 확인하십시오.

그림 3.5 두 개의 반응 변수에 대한 중도절단 데이터 유형

	Start Time	End Time	Count	Censoring Type
1	•	50	50	Left
2	•	100	6	Left
3	25	•	30	Right
4	75	•	10	Right
5	80	150	4	Interval
6	100	250	7	Interval

- 세 개 이상의 변수가 지정되는 경우 보고서에는 지정된 각 변수를 사건 발생 시간 데이터로 사용하여 계산된 개별 분석이 포함됩니다.

그룹화 ("그룹 비교" 탭에만 표시됨) 비교할 그룹을 포함하는 열입니다. 예는 "[그룹 간 동일 분포 비교의 예](#)"에서 확인하십시오.

중도절단 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별하는 열입니다. "열 선택" 목록 아래의 "중도절단 코드" 메뉴에서 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별하는 값을 선택합니다. 중도절단 열은 하나의 Y가 입력된 경우에만 사용됩니다.

고장 원인 여러 고장 원인을 포함하는 열입니다. 고장 원인 열을 선택하면 섹션이 창에 추가됩니다. 이 섹션에는 고장 모드에서 ZI 분포, TH 분포, DS 분포, 고정 모수 모형 또는 베이지안 모형을 분석에 사용하도록 허용하는 체크박스가 포함되어 있습니다. 다음 옵션도 사용할 수 있습니다.

분포 각 고장 원인에 대해 적합시킬 초기 분포를 지정합니다. 모든 원인에 대해 적합시킬 하나의 분포를 선택합니다. 각 원인에 대한 최량 적합을 플랫폼에서 자동으로 선택하게 하려면 **개별 최선**을 선택하고, "수명 분포" 보고서가 생성된 후 각 고장 원인에 대해 적합시킬 분포를 수동으로 선택하려면 **수동 선택**을 선택합니다. "수명 분포" 보고서에서 분포 적합을 변경할 수도 있습니다.

비교 기준 (**개별 최선** 분포 적합을 선택한 경우에만 표시됨) AICc(수정 Akaike 정보 기준), BIC(베이지안 정보 기준) 또는 $-2 \times$ 로그 가능도(음의 로그 가능도의 두 배) 중 JMP에서 최량 분포를 선택하는 데 사용할 방법을 지정합니다. 자세한 내용은 **선형 모형 적합**에서 확인하십시오. 나중에 "모형 비교" 보고서에서 방법을 변경할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**모형 비교**"에서 확인하십시오.

고장 원인 열의 중도절단 표시자 관측값에 문제가 없음을 나타내기 위해 **고장 원인** 열에 사용되는 값을 식별합니다. 이러한 표시자를 지정하려면 이 옵션을 선택한 후 나타나는 상자에 표시자를 입력합니다. 상자 오른쪽의 목록에서 값을 선택할 수도 있습니다.

여러 고장 원인에 대한 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, ch. 15)에서 확인하십시오. "**경쟁 원인 생략의 예**"에서는 여러 원인을 분석하는 방법을 보여 줍니다.

빈도 행의 정보가 여러 유닛을 나타내는 경우 빈도 또는 관측값 수를 포함하는 열입니다. 행의 값이 0 또는 양수인 경우 값은 해당 행에 대한 관측값 빈도 또는 개수를 나타냅니다.

라벨 행 번호 이외의 식별자를 포함하는 열입니다. 이러한 라벨은 사건 그림의 Y축에 나타납니다.

기준 각 수준으로 개별 모형을 생성하는 데 사용되는 행을 정의하는 선택적 변수입니다.

중도절단 코드 오른쪽 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값을 식별합니다. 중도절단 열이 선택되면 JMP는 자동으로 중도절단 코드를 감지하여 상자에 표시하려고 시도합니다. 이를 변경하려면 빨간색 삼각형을 클릭하고 값 목록에서 선택합니다. 상자에 다른 값을 입력할 수도 있습니다. 중도절단 열에 "값 라벨" 열 특성이 포함된 경우 값 라벨이 값 목록에 나타납니다. 결측값은 분석에서 제외됩니다.

신뢰 구간 방법 선택 (원인을 지정하지 않은 경우에만 표시됨) 모수에 대한 신뢰 구간을 계산하는 데 사용되는 방법을 정의합니다. 기본값은 "Wald"이지만 "가능도"를 선택할 수도 있습니다. 그러나 프로파일러에 제공된 모든 신뢰 구간은 Wald 방법을 기반으로 합니다. 이 방법을 사용하면 계산 시간이 단축되기 때문입니다. 자세한 내용은 "**추정 및 신뢰 구간**"에서 확인하십시오.

원인별 고장 분포 ("수명 분포" 탭에서 원인을 지정한 경우에만 표시됨) 개별 원인에 대한 수명 분포를 모델링하는 데 사용할 수 있는 분포 계열을 지정합니다. "분포" 메뉴에서 초기 분포, "개별 최선" 또는 "수동 선택"을 선택합니다. 자세한 내용은 "**고장 원인**"에서 확인하십시오.

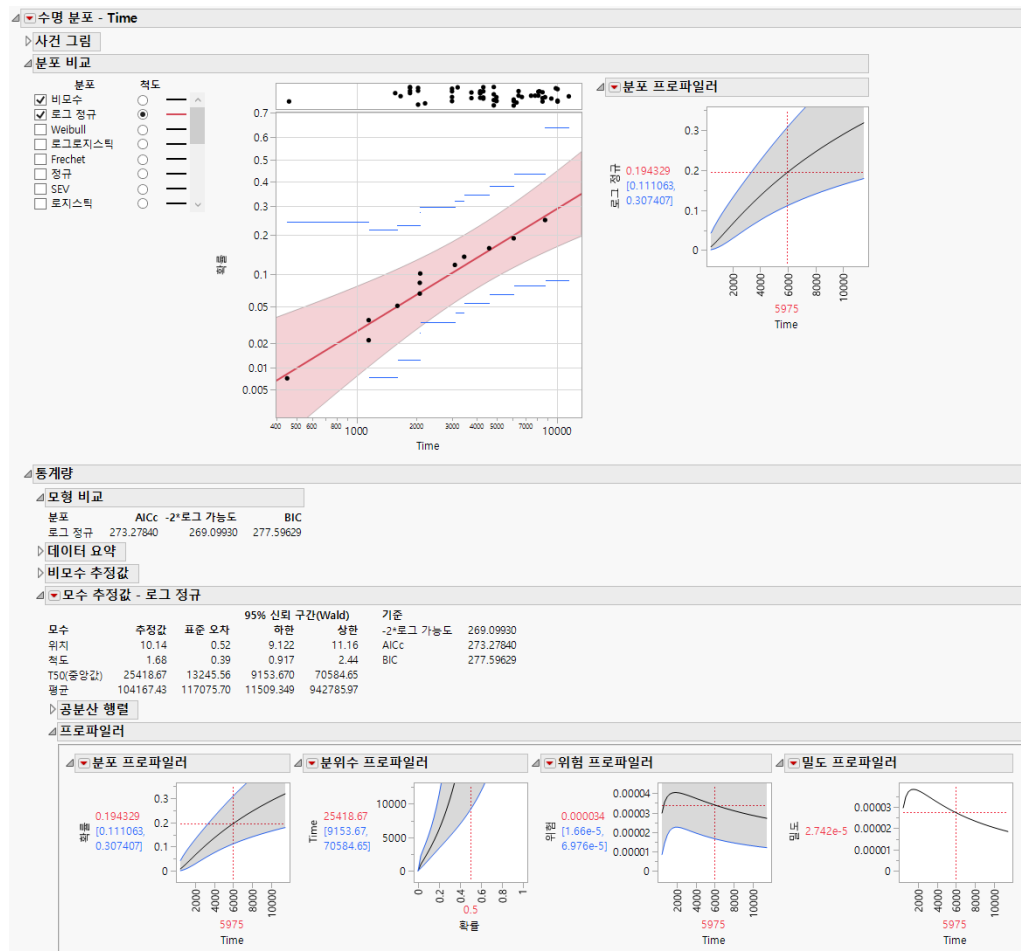
수명 분포 보고서

"수명 분포" 보고서를 사용하면 일부 시간 관측값이 중도절단될 수 있는 수명 데이터를 분석할 수 있습니다. "수명 분포" 보고서에는 다음 내용이 포함되어 있습니다.

- "사건 그림"
- "수명 분포에서 분포 비교"
- "수명 분포 통계량"

팁: 보고서 창이 너무 길면 "수명 분포"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **탭 형식 보고서**를 선택합니다.

그림 3.6 Fan.jmp 에 대한 수명 분포 보고서의 예



사건 그림

"사건 그림" 표시 아이콘을 클릭하여 고장 또는 중도절단 시간 그림을 확인합니다. "사건 그림"에는 데이터 테이블의 각 행에 대해 행의 유닛이 중도절단되었는지 여부를 나타내는 가로선이 표시됩니다. 유닛이 중도절단된 경우 선은 중도절단의 특성을 나타냅니다.

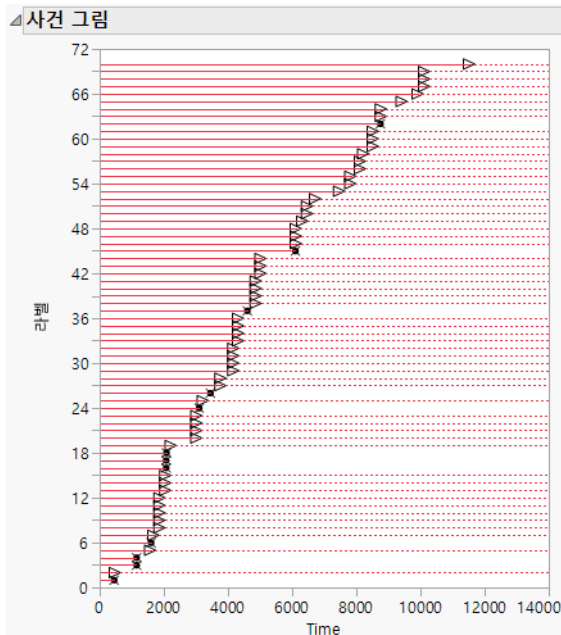
- 행의 유닛이 작동하는 것으로 확인된 기간은 실선으로 표시됩니다.
- 행의 유닛이 작동하는지 여부를 알 수 없는 기간은 파선으로 표시됩니다.
- 행의 유닛이 고장 난 것으로 확인되면 선이 끝납니다.

단일 사건 발생 시간 열

Fan.jmp 샘플 데이터 테이블에는 고장 시간을 나타내는 단일 Time 열이 있습니다. 고장 시간을 알 수 없는 경우 Censor 열에 "Censored" 값이 기록됩니다. 중도절단된 모든 유닛은 오른쪽 중도절단된 것으로 가정됩니다. [그림 3.7](#)에서는 이 데이터에 대한 사건 그림을 보여 줍니다.

참고 : [그림 3.7](#)의 그림을 생성하려면 **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Fan.jmp를 엽니다. **Life Distribution - Exponential** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다. **사건 그림** 표시 아이콘을 클릭합니다.

그림 3.7 오른쪽 중도절단 데이터의 사건 그림



3행의 유닛은 Time 1150에서 고장 났습니다. 수명은 Time 1150에서 끝나는 가로 실선으로 표시됩니다. 고장 시간은 "x"로 표시됩니다.

5행의 유닛은 오른쪽 중도절단됩니다. 유닛이 작동한다고 마지막으로 확인된 시간은 Time 1560입니다. 유닛이 작동하는 것으로 확인된 기간은 Time 1560에서 끝나는 가로 실선으로 표시됩니다. Time 1560에 오른쪽 화살표가 표시되어 있습니다. 이 선은 파선으로 계속되므로 고장 시간을 알 수는 없지만 1560보다 크다는 것을 나타냅니다.

두 개의 사건 발생 시간 열

Censor Labels.jmp 샘플 데이터 테이블에는 Start Time과 End Time이라는 두 개의 열이 있습니다. Start Time은 행의 유닛이 작동한다고 마지막으로 확인된 시간을 나타냅니다. End Time은 해당 행의 유닛이 고장 난 것으로 처음 확인된 시간을 나타냅니다.

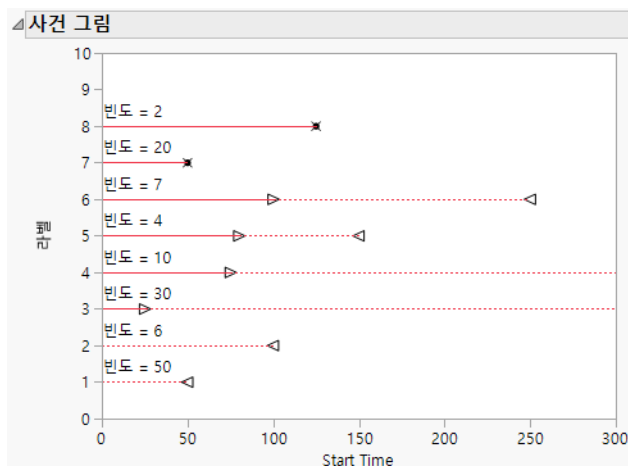
Start Time 및 End Time 값은 유닛에 대해 다음 정보를 나타냅니다.

- 1 행과 2 행의 유닛은 왼쪽 중도절단됩니다. 이 유닛은 End Time 열의 시간 전에 고장 난 것으로 확인되지만 정확한 고장 시간은 알 수 없습니다.
- 3 행과 4 행의 유닛은 오른쪽 중도절단됩니다. 이 유닛이 작동한다고 마지막으로 확인된 시간이 Start Time 열의 시간이지만 고장 시간은 알 수 없습니다.
- 5 행과 6 행의 유닛은 구간 중도절단됩니다. 이 유닛은 Start Time 과 End Time 으로 정의된 구간 내에서 고장 나는 것으로 확인되었습니다.
- 7 행과 8 행의 유닛은 중도절단되지 않습니다. 고장 시간은 Start Time 및 End Time 열의 값으로 제공되며, 이 값은 동일합니다.





그림 3.8에서는 이 데이터에 대한 사건 그림을 보여 줍니다.

참고 : 그림 3.8의 그림을 생성하려면 **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Censor Labels.jmp를 엽니다. **Life Distribution** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

그림 3.8 혼합 중도절단 데이터의 사건 그림



"사건 그림"의 선 패턴은 다양한 유형의 중도절단을 나타냅니다.

-  패턴은 오른쪽 중도절단을 나타냅니다. 마지막 검사 후 유닛이 고장 났습니다.
-  패턴은 왼쪽 중도절단을 나타냅니다. 시험을 시작한 후 표시된 시간 전에 유닛이 고장 났지만 언제 마지막으로 작동했는지 알 수 없습니다.
-  패턴은 두 개의 화살촉으로 표시된 시간 구간 동안 유닛이 고장 났음을 나타냅니다.
-  패턴은 중도절단이 없음을 나타냅니다. x로 표시된 시간에 유닛이 고장 났습니다.

수명 분포에서 분포 비교

수명 분포 플랫폼에서 "분포 비교" 보고서를 사용하면 여러 고장 시간 분포를 적합시키고 비교할 수 있습니다. 이 보고서에는 두 개의 목록이 포함되어 있습니다.

분포 반응에 대한 분포를 선택합니다. 데이터 특성에 따라 여러 분포가 나타납니다. 사용 가능한 분포에 대한 자세한 내용은 "[사용 가능한 모수 분포](#)"에서 확인하십시오.

척도 확률 축에 대한 척도를 선택합니다. 확률 척도는 "척도" 버튼 왼쪽에 나열된 분포에 해당합니다. 이 척도를 사용하면 적합 모형이 선으로 표시됩니다. 주어진 분포를 적합시킨 후 해당 분포를 사용하여 축의 척도를 조정한다고 가정해 보겠습니다. 점이 일반적으로 선을 따라 분포되면 해당 분포 적합이 적절하다는 것을 나타냅니다.

수명 분포 플랫폼에서는 비모수 Kaplan-Meier 계단 함수의 중간점 추정값을 사용하여 확률도를 생성합니다. 기본 그림에는 중도절단되지 않은 데이터 값에 대한 계단 함수의 중간점 추정값과 해당 신뢰 구간이 표시됩니다. 신뢰 구간은 파란색 가로선으로 표시됩니다.

팁: 비모수 추정값 그림을 사용자 정의하려면 **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > 수명 분포**를 선택하고 **음영 점별 구간 표시, 음영 동시 구간 표시** 또는 **계단 스타일 함수 표시** 환경 설정 중 하나 이상을 선택합니다.

기본적으로 그림 맨 위에는 오른쪽 중도절단 관측값의 시간을 표시하는 패널이 있습니다.

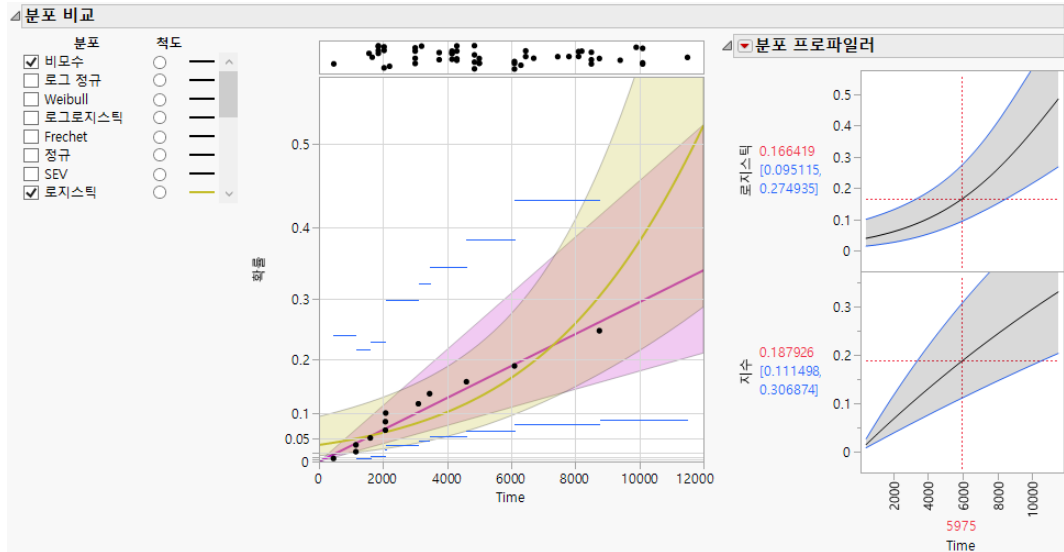
팁: 오른쪽 중도절단 데이터에 대한 표식이 포함된 패널을 숨기려면 **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > 수명 분포**를 선택하고 **오른쪽 중도절단된 관측값에 대해 표식 표시**를 선택 해제합니다.

선택한 각 분포에 대해 "분포 비교" 보고서가 업데이트되어 다음을 표시합니다.

- 확률도에 표시되는 추정된 누적 분포 곡선
- 누적 분포에 대한 신뢰 구간을 나타내는 음영 영역
- 주어진 기간 동안의 누적 고장 확률을 보여 주는 분포 프로파일러

[그림 3.9](#)에서는 "분포 비교" 보고서의 예를 보여 줍니다. 로지스틱(노란색) 분포와 지수(자홍색) 분포가 표시됩니다. 지수 분포를 사용하여 그림의 척도가 조정됩니다.

그림 3.9 분포 비교 보고서와 분포 프로파일러



사용 가능한 모수 분포

이 섹션에서는 "분포 비교" 보고서에서 사용할 수 있는 분포에 대해 설명합니다.

참고 : "경쟁 원인" 보고서에 대한 분포는 "경쟁 원인 분포 비교 보고서에 사용 가능한 분포"에서 다룹니다.

사용 가능한 분포 목록 및 자세한 설명은 "모수 분포"에서 확인하십시오. 모수 분포에는 다음과 같은 네 가지 주요 그룹이 있습니다.

- "기본 고장 시간 분포"
- "임계 분포"
- "결함 부모집단 분포"
- "영과잉 분포"

팁 : 기본적으로 사용 가능한 분포를 제한하려면 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > 수명 분포를 선택한 후 표시하지 않을 분포를 선택 해제합니다. 나열된 분포에는 임계, 결함 부모집단, 영과잉, 로그 일반화 감마 및 일반화 감마 분포가 포함됩니다. 기본적으로 모든 분포가 선택되어 사용 가능합니다.

"분포 비교" 패널에 나타나는 분포를 결정하는 규칙은 특정 구현에 따라 다릅니다. 일반적으로 분포는 환경 설정에서 비활성화되지 않은 경우와 주어진 상황에서 적절한 경우 사용 가능합니다.

기본 고장 시간 분포

기본 고장 시간 분포는 모든 고장 시간이 양수일 때 항상 사용할 수 있습니다. 여기에는 다음이 포함됩니다.

- 로그 정규
- Weibull
- 로그로지스틱
- Frechet
- 정규
- SEV
- 로지스틱
- LEV
- 지수
- 로그 일반화 감마
- 일반화 감마

참고 : 고장 시간이 음수이거나 0 인 경우 정규, SEV, 로지스틱, LEV 및 로그 일반화 감마만 사용할 수 있습니다.

임계 분포

TH(임계) 분포는 항상 사용할 수 있습니다. 임계 분포는 임계 모수가 있는 로그 - 위치 - 척도 분포입니다. 임계 모수는 분포를 0 에서 이동합니다. 이러한 분포는 모든 유닛이 임계값까지 생존한다고 가정합니다. 임계 분포는 보통 또는 심하게 이동된 분포를 적합시키는 데 유용합니다. 임계 분포는 다음과 같습니다.

- TH 로그 정규
- TH Weibull
- TH 로그로지스틱
- TH Frechet

결함 부모집단 분포

DS(결함 부모집단) 분포는 모든 고장 시간이 양수일 때 사용할 수 있습니다. 이러한 분포는 고장 원인이 되는 특정 결함이 모집단의 일부에만 있을 때 유용합니다. 부모집단에서만 발생하는 고장을 모델링하려면 DS 분포 옵션을 사용합니다. DS 분포는 다음과 같습니다.

- DS 로그 정규
- DS Weibull
- DS 로그로지스틱

- DS Frechet

영과잉 분포

사건 발생 시간 데이터에 수명 분포 플랫폼의 최소값으로 0 이 포함된 경우 다음과 같은 영과잉 분포를 사용할 수 있습니다.

- ZI 로그 정규 (영과잉 로그 정규)
- ZI Weibull(영과잉 Weibull)
- ZI 로그로지스틱 (영과잉 로그로지스틱)
- ZI Frechet(영과잉 Frechet)

영과잉 분포는 특정 비율의 유닛이 시간 0에서 고장 나는 경우 사용됩니다. 데이터에 포함된 0이 표준 모형에서 예상한 것보다 많으면 0의 수가 부풀려집니다.

무고장 데이터

무고장 데이터의 경우 기본적으로 위의 분포를 사용할 수 없습니다. "베이지안 추정값" 옵션을 사용할 수 있는 분포에 대한 베이지안 적합을 구하려면 **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > 수명 분포**를 선택하고 **무고장 데이터에 대해서만 Weibayes**를 선택 해제합니다. 자세한 내용은 "**무고장 데이터에 대해서만 Weibayes**"에서 확인하십시오.

베이지안 추정을 허용하는 모수 분포

다음 모수 분포에 대해 베이지안 추정을 사용할 수 있습니다.

- 로그 정규
- Weibull
- 로그로지스틱
- Frechet
- 정규
- SEV
- 로지스틱
- LEV

이러한 분포의 초모수에 대한 사전 분포로 사용할 수 있는 분포 목록은 "**베이지안 추정을 위한 사전 분포**"에서 확인하십시오.

수명 분포 통계량

수명 분포 플랫폼의 "통계량" 섹션에는 다음 보고서가 포함됩니다.

- "**모형 비교**"

- "데이터 요약"
- "비모수 추정값"
- "모수 추정값 - <분포 이름>" ("분포 비교" 보고서에서 선택한 각 분포에 대해 하나의 보고서가 표시됨)

모형 비교

"모형 비교" 보고서에는 각 적합 분포에 대한 AICc, -2*로그 가능도 및 BIC 통계량이 제공됩니다. 이러한 각 통계량의 값이 작을수록 더 나은 적합을 나타냅니다. 이러한 통계량에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합에서 확인하십시오.

처음에는 AICc를 기준으로 행이 정렬됩니다. 보고서를 정렬하는 데 사용되는 통계량을 변경하려면 "수명 분포"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **비교 기준**을 선택합니다. 이 옵션에 대한 자세한 내용은 "수명 분포 보고서 옵션"에서 확인하십시오.

데이터 요약

"데이터 요약" 보고서에는 관측된 총 유닛 수, 중도절단되지 않은 유닛 수, 오른쪽 중도절단, 왼쪽 중도절단 및 구간 중도절단된 유닛 수가 표시됩니다.

비모수 추정값

"비모수 추정값" 보고서에는 각 관측값에 대한 비모수 추정값이 표시됩니다. 단일 사건 발생 시간 열로 지정된 오른쪽 중도절단 데이터의 경우 보고서에 다음 값이 제공됩니다.

중간점 추정값 중간점 조정 Kaplan-Meier 추정값입니다.

95% 점별 구간 (하한, 상한) 95% 점별 신뢰 구간입니다. 보고서 옵션에서 "신뢰 수준 변경"을 선택하여 신뢰 수준을 변경할 수 있습니다.

95% 동시 구간 (Nair)(하한, 상한) 동시 95% 신뢰 구간입니다. 보고서 옵션에서 "신뢰 수준 변경"을 선택하여 신뢰 수준을 변경할 수 있습니다. 자세한 내용은 Nair(1984) 및 Meeker & Escobar(1998)에서 확인하십시오.

Kaplan-Meier 추정값 표준 Kaplan-Meier 추정값입니다.

두 개의 사건 발생 시간 열로 고장 시간을 나타내는 경우 보고서에는 Turnbull 추정값("추정값" 열), 점별 신뢰 구간 및 동시 신뢰 구간(Nair)이 제공됩니다.

비모수 추정값에 대한 자세한 내용은 "비모수 적합"에서 확인하십시오.

모수 추정값 - < 분포 이름 >

적합된 각 분포에 대해 "모수 추정값 - <분포 이름>" 보고서가 나타냅니다. 이 보고서에는 분포의 모수 추정값, 해당 표준 오차 및 신뢰 구간이 제공됩니다. "모형 비교" 보고서에 나오는 기준이 "기준" 아래에 표시됩니다. 결합 부모집단 모형을 적합시키면 해당하는 무결합 부모집단 모형도 적합됩니다. 모형 비교를 위해 가능도비 검정도 수행됩니다.

참고 : 평균 추정값이 제공되는 경우, 시작 창에서 "가능도"를 신뢰 구간 방법으로 선택하더라도 신뢰 구간이 항상 Wald 구간으로 계산됩니다. 이 경우 "모수" 열에 "평균 (Wald CI)"이 표시되어 해당 평균의 신뢰 구간이 Wald 구간임을 나타냅니다.

분포의 파라미터화 방법에 대한 자세한 내용은 "[모수 분포](#)"에서 확인하십시오.

"모수 추정값" 보고서에는 다음 보고서가 포함됩니다.

- "[공분산 행렬](#)"
- "[프로파일러](#)"
- "모수 추정값"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 보고서 옵션을 선택하여 보고서를 더 추가할 수 있습니다. 여기에는 모수 고정, 베이지안 추정값, 사용자 추정 (확률 추정, 분위수 추정) 및 평균 잔존 수명 보고서가 포함됩니다. 자세한 내용은 "[모수 추정값 옵션](#)"에서 확인하십시오.

공분산 행렬

각 분포의 "공분산 행렬" 보고서에는 추정값에 대한 공분산 행렬이 표시됩니다.

프로파일러

각 분포에 대해 다음 네 가지 유형의 프로파일러가 나타납니다.

- 분포 프로파일러는 누적 고장 확률을 시간의 함수로 표시합니다.
- 분위수 프로파일러는 고장 시간을 누적 확률의 함수로 표시합니다.
- 위험 프로파일러는 위험률을 시간의 함수로 표시합니다.
- 밀도 프로파일러는 분포에 대한 밀도 함수를 표시합니다.

프로파일러에는 다음과 같은 빨간색 삼각형 메뉴 옵션이 있습니다.

신뢰 구간 분포, 분위수 및 위험 프로파일러에서는 표시된 함수에 대한 Wald 기반 신뢰 곡선을 보여 줍니다. 이 옵션은 신뢰 곡선을 표시하거나 숨깁니다.

요인 격자 재설정 요인의 현재 설정에 대한 특정 값을 입력하고, 해당 설정을 잠그거나, 격자의 여러 요소를 제어할 수 있도록 각 요인에 대한 창을 표시합니다. 자세한 내용은 **Profilers**에서 확인하십시오.

요인 설정 여러 옵션으로 구성된 메뉴를 제공합니다. 자세한 내용은 **Profilers**에서 확인하십시오.

참고 : 프로파일러에 제공된 신뢰 구간은 시작 창에서 가능도 신뢰 구간 방법을 선택한 경우에도 Wald 방법을 기반으로 합니다. 이 방법을 사용하면 계산 시간이 단축되기 때문입니다.

모수 추정값 옵션

"모수 추정값"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

확률 추정값 저장 추정된 고장 확률 및 신뢰 구간을 데이터 테이블에 저장합니다.

분위수 추정값 저장 추정된 분위수 및 신뢰 구간을 데이터 테이블에 저장합니다.

위험 추정값 저장 추정된 위험 값 및 신뢰 구간을 데이터 테이블에 저장합니다.

가능도 등고선 표시 로그 가능도 함수의 등고선 그림을 표시하거나 숨깁니다. Weibull 분포를 선택한 경우 알파 - 베타 파라미터화에 대한 두 번째 등고선 그림이 나타납니다. 이 옵션은 모수가 두 개인 분포에만 사용할 수 있습니다.

가능도 프로파일러 표시 로그 가능도 함수의 프로파일러를 표시하거나 숨깁니다. TH(임계) 분포에는 이 옵션을 사용할 수 없습니다.

모수 고정 모수 값을 지정할 수 있는 보고서를 엽니다. 여기서 고정 모수 값을 입력하고 적절한 체크박스를 선택한 후 **업데이트**를 클릭합니다. 그러면 JMP에서 새 모수를 기반으로 다른 모수, 공분산 및 프로파일러를 다시 추정하여 "모수 고정" 보고서에 표시합니다. 고정 모수 모형의 분포 프로파일러 아래에 무제약 모형의 분포 프로파일러가 표시됩니다. 경쟁 원인 상황의 예는 "**고정 모수 모형을 원인에 대한 분포로 지정**"에서 확인하십시오.

Weibull 분포의 경우 **모수 고정** 옵션을 사용하여 Weibayes 방법을 선택할 수 있습니다. 예는 "**Weibayes 분석의 예**"에서 확인하십시오. 구간 중도절단 데이터에는 Weibayes 옵션을 사용할 수 없습니다.

베이지안 추정값 사전 분포를 지정하는 세 가지 방법 (위치 및 척도 사전 분포, 분위수 및 모수 사전 분포, 고장 확률 사전 분포)을 기반으로 특정 분포에 대한 베이지안 모수 추정을 수행합니다. 자세한 내용은 "**베이지안 추정 - <분포 이름>**"에서 확인하십시오. 이 옵션은 로그 정규, Weibull, 로그로지스틱, Frechet, 정규, SEV, 로지스틱, LEV 분포에만 사용할 수 있습니다.

사용자 추정 고장 확률, 생존 확률 및 특정 시간과 고장 확률 값에 대한 분위수를 예측할 수 있는 계산기를 제공합니다. 계산된 각 통계량에는 양측 또는 단측 (방향에 관계없음) 신뢰 구간이 포함됩니다. "확률 추정"과 "분위수 추정"이라는 두 보고서가 나타납니다. 자세한 내용은 "**사용자 추정**"에서 확인하십시오.

평균 잔존 수명 유닛의 평균 잔존 수명을 추정할 수 있는 계산기를 제공합니다. "평균 잔존 수명 계산기"에 시간을 입력하고 **Enter** 키를 누르면 추정값이 표시됩니다. 다른 시간을 더 입력하려면 더하기 기호를 클릭합니다. 이 계산기는 로그 정규, Weibull, 로그로지스틱, Frechet, 정규, SEV, 로지스틱, LEV 및 지수 분포에 사용할 수 있습니다.

베이지안 추정 - < 분포 이름 >

특정 분포의 경우 베이지안 모형을 적합시킬 수 있습니다. 이는 기각 표집 또는 MCMC(Markov 체인 몬테카를로) 알고리즘을 사용하여 수행됩니다. 더 구체적으로 말하면, 이 플랫폼에서는 기본 기각 표집기를 시도합니다. 기각 표집기에서 유효한 결과를 생성하면 이러한 결과가 보고됩니다. 기각 표집기에서 유효한 결과를 생성할 수 없는 경우 플랫폼에서 확률 보행 Metropolis-Hastings 알고리즘을 사용하고 "베이지안 추정" 보고서 상단에 노트를 추가합니다. 자세한 내용은 Robert & Casella(2004)에서 확인하십시오.

"모수 추정값 - <분포 이름>" 보고서 개요에서 **베이지안 추정값**을 선택합니다. 그러면 "베이지안 추정 - <분포 이름>" 개요가 열립니다. 초기 보고서에는 사전 분포에 대한 모수를 지정하고 시뮬레이션 제한을 제어할 수 있는 제어판입니다.

다음 단계에서는 워크플로우를 기술합니다.

- " 베이지안 추정 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 사전 규격 방법을 선택하고 사전 분포에 대한 모수 값을 설정합니다. 자세한 내용은 " 베이지안 추정 빨간색 삼각형 옵션 " 에서 확인하십시오.
- 시뮬레이션 옵션을 지정합니다. 자세한 내용은 " 베이지안 추정값 - 결과 <N>" 에서 확인하십시오.
- "모형 적합"을 선택하여 모형을 적합시킵니다. 자세한 내용은 "베이지안 추정값 - 결과 <N>" 에서 확인하십시오.

베이지안 추정 빨간색 삼각형 옵션

" 베이지안 추정 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 다음과 같은 사전 규격 방법을 선택할 수 있습니다.

위치 및 척도 사전 분포 일반 모수 (위치 및 척도 모수) 에 대한 사전 분포의 초모수를 지정할 수 있습니다. " 사전 분포 " 의 빨간색 삼각형 메뉴를 선택하여 각 모수에 대한 분포를 선택합니다. 사전 분포의 초모수에 대한 새 값을 입력할 수 있습니다. 제공된 초기값은 MLE 와 일치하는 추정값입니다. 자세한 내용은 " 베이지안 추정을 위한 사전 분포 " 에서 확인하십시오.

분위수 및 모수 사전 분포 분위수와 척도 모수 (모수 적합이 Weibull 인 경우 Weibull β) 에 대한 사전 정보를 지정할 수 있습니다. 분위수는 " 확률 " 옆의 값으로 정의됩니다. 기본 확률 값은 0.10이지만 관심 분위수에 해당하는 값을 지정할 수 있습니다. 각 사전 분포 범위에 대한 99% 하한 및 상한으로 사전 정보를 지정합니다. 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998) 에서 확인하십시오. 제공된 초기값은 MLE 와 일치하는 추정값입니다. 자세한 내용은 " 베이지안 추정을 위한 사전 분포 " 에서 확인하십시오.

고장 확률 사전 분포 두 개의 개별 시점에서 고장 확률에 대한 사전 정보를 지정할 수 있습니다. 두 시점을 지정할 수 있습니다. 각 시점의 사전 분포는 베타입니다. 다음과 같은 두 가지 동기화된 방법 중 하나를 사용하여 사전 분포를 지정할 수 있습니다.

1. 추정값 및 오차 비율로 고장 확률 지정. 확률 추정값 및 추정값 오차를 사용하여 각 베타 사전 분포에 대한 사전 정보를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 Kaminskiy & Krivtsov(2005) 에서 확인하십시오.
2. 고장 확률 추정값 범위 지정. 다음과 같은 방법으로 두 베타 분포의 99% 범위를 지정할 수 있습니다.
 - 각 고장 시간에 대해 99% 하한 및 상한의 초기값을 입력합니다.
 - 그래프에서 세로 선분을 클릭하고 두 시점으로 드래그합니다. 각 표식의 수직 퍼짐을 조정하여 99% 한계를 지정합니다.

시뮬레이션 옵션

" 베이지안 추정 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 선택한 사전 규격 방법에 대해 패널 하단에 다음 옵션이 나타납니다.

몬테카를로 반복 수 번인 절차 후 사후 분포에서 추출할 표본 크기를 제어합니다.

난수 시드값 시뮬레이션의 초기 상태를 설정합니다. 기본적으로 시계 시간입니다. 값은 1 보다 큰 양의 정수여야 합니다. 1 을 지정하면 현재 시계 시간이 사용됩니다.

사전 분포 산점도 표시 사전 분포에서 랜덤 표본을 추출하고 산점도에 결과를 표시하려면 이 옵션을 선택합니다. "모형 적합" 을 선택하면 "베이지안 추정값 - 결과 <N>" 보고서의 "사전 분포 산점도" 개요에 산점도가 나타납니다.

가능도 중첩 등고선 "베이지안 추정값 - 결과" 보고서의 산점도에 가능도 기반 등고선을 중첩합니다.

모형 적합 지정한 값을 사용하여 JMP 에서 적합한 사전 분포를 기반으로 사후 수명 분포를 추정합니다. "베이지안 추정값 - 결과 <N>" 이라는 제목의 보고서를 추가합니다. 여기서 N 은 베이지안 결과 보고서에 연속으로 번호를 매기는 정수입니다.

베이지안 추정값 - 결과 <N>

빨간색 삼각형 메뉴 옵션 중 하나를 사용하여 사전 분포를 지정한 후 "모형 적합"을 선택합니다. 선택한 각 사전 분포에 대해 "베이지안 추정값 - 결과 <N>" 보고서가 제공됩니다. 이 보고서에는 다음 머리글이 포함되어 있습니다.

사전 확률 베이지안 모형 적합을 위해 "베이지안 추정" 보고서에 입력한 규격을 기록합니다. "사전 확률" 보고서에는 난수 시드값도 지정됩니다.

사후 추정값 일반 모수 (위치 및 척도 모수) 의 사후 분포를 설명하는 다섯 가지 주변 통계량을 표시합니다. 주변 통계량은 몬테카를로 표본에서 계산된 중앙값, 0.025 분위수 (하한), 0.975 분위수 (상한), 평균 및 표준편차입니다. "분위수 및 모수 사전 분포" 규격을 사용하여 사후 추정값이 생성되는 경우 이 테이블에는 분위수 및 기울기 β (Weibull 분포의 경우) 의 사후 추정값도 포함됩니다.

일반 모수의 사후 추정값을 기반으로 다른 파생 변수에 대한 통계량을 계산하려면 "몬테카를로 표본 내보내기" 링크를 클릭합니다.

사전 분포 산점도 "모형 적합" 을 클릭하기 전에 "사전 분포 산점도 표시" 를 선택하면 나타납니다. 분포에 대한 사전 규격 방법과 관련된 모수 또는 이와 동등한 통계량의 사전 분포 산점도를 표시합니다.

사후 분포 산점도 분포에 대한 사전 규격 방법과 관련된 모수 또는 이와 동등한 통계량의 사후 분포 산점도를 표시합니다.

프로파일러 사후 분포의 표본을 기반으로 두 개의 프로파일러를 표시합니다.

주어진 시간 t 에서 분포 프로파일러에 표시된 값은 다음과 같이 계산됩니다.

- 사후 분포에서 표집된 각 모수 값 집합에 대해 시간 t 에서의 누적 분포 함수 값이 계산됩니다.
- 예측값은 이러한 계산된 값의 중앙값입니다.
- 신뢰 상한 및 하한은 이러한 계산된 값의 0.025 및 0.975 분위수입니다.

분위수 프로파일러에 표시된 그림과 신뢰 한계도 비슷한 방식으로 구합니다. 주어진 확률 값 p 에 대해 p 에 해당하는 분위수는 사후 모수 값과 관련된 분포에서 계산됩니다.

무고장 데이터에 대해서만 Weibayes

무고장 상황에서는 고장이 발생하는 유닛이 없습니다. 모든 관측값이 오른쪽 중도절단됩니다. 무고장 데이터가 있는 경우 베이지안 추정 또는 Weibayes 추론을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[Weibayes 보고서](#)"에서 확인하십시오.

참고 : 기본적으로 무고장 데이터는 Weibayes 방법을 사용하여 분석됩니다. 무고장 데이터에 대해 더 광범위한 베이지안 분석을 수행하려면 **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > 수명 분포**를 선택하고 **무고장 데이터에 대해서만 Weibayes**를 선택 해제합니다.

사용자 추정

"사용자 추정" 옵션은 "확률 추정"과 "분위수 추정"이라는 두 가지 보고서를 생성합니다. "확률 추정" 보고서에는 특정 시간 값에 대한 고장 및 생존 확률을 예측할 수 있는 계산기가 포함되어 있습니다. "분위수 추정" 보고서에는 특정 고장 확률 값에 대한 분위수를 예측할 수 있는 계산기가 포함되어 있습니다. 추정된 각 통계량에 대해 Wald 기반 신뢰 구간과 가중도 기반 신뢰 구간이 모두 표시됩니다. 이러한 구간에 대한 신뢰 수준은 "수명 분포"의 빨간색 삼각형 메뉴에 있는 "신뢰 수준 변경" 옵션으로 결정됩니다.

확률 추정

"확률 추정" 계산기에 시간 값을 입력합니다. **Enter** 키를 누르면 고장 확률 및 생존 확률 추정값과 해당 신뢰 구간이 표시됩니다. 여러 확률 추정값을 계산하려면 더하기 기호를 클릭하고 상자에 다른 시간 값을 입력한 후 **Enter** 키를 누릅니다. 빼기 기호를 클릭하면 마지막 항목이 제거됩니다.

"확률 추정" 계산기에는 구간 형태를 변경할 수 있는 "측면" 옵션이 포함되어 있습니다. 다음 하위 옵션 중 하나를 선택합니다.

양측 고장 확률 및 생존 확률에 대한 양측 신뢰 구간을 제공합니다.

고장 확률 상한 고장 확률의 상한과 생존 확률의 하한을 포함하는 단측 신뢰 구간을 제공합니다.

고장 확률 하한 고장 확률의 하한과 생존 확률의 상한을 포함하는 단측 신뢰 구간을 제공합니다.

분위수 추정

"분위수 추정" 보고서에 고장 확률 값을 입력합니다. **Enter** 키를 누르면 분위수 추정값과 해당 신뢰 구간이 표시됩니다. 여러 분위수 추정값을 계산하려면 더하기 기호를 클릭하고 상자에 다른 고장 확률 값을 입력한 후 **Enter** 키를 누릅니다. 빼기 기호를 클릭하면 마지막 항목이 제거됩니다.

"분위수 추정" 계산기에는 구간 형태를 변경할 수 있는 "측면" 옵션이 포함되어 있습니다. 다음 하위 옵션 중 하나를 선택합니다.

양측 분위수에 대한 양측 신뢰 구간을 제공합니다.

하한 분위수의 하한을 포함하는 단측 신뢰 구간을 제공합니다.

상한 분위수의 상한을 포함하는 단측 신뢰 구간을 제공합니다.

수명 분포 보고서 옵션

"수명 분포"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

모든 분포 적합 TH(임계) 분포를 제외한 모든 분포를 적합시킵니다. "모형 비교" 보고서에서 분포가 비교됩니다. 자세한 내용은 "[수명 분포에서 분포 비교](#)"에서 확인하십시오.

팁: 최량 분포를 찾기 위한 기준을 변경하려면 **비교 기준** 옵션을 선택합니다.

모든 비음 분포 적합 모든 비음 분포 (지수, 로그 정규, 로그로지스틱, Frechet, Weibull 및 일반화 감마)를 적합시킵니다. "모형 비교" 보고서에서 분포가 비교됩니다. 자세한 내용은 "[수명 분포에서 분포 비교](#)"에서 확인하십시오. 다음 사항에 유의하십시오.

- 이 옵션은 DS 또는 TH 분포를 적합시키지 않습니다.
- 데이터에 음수 값이 있는 경우 결과가 생성되지 않습니다.
- 데이터에 0이 있는 경우 로그 정규, ZI Weibull, ZI 로그로지스틱 및 ZI Frechet 라는 네 가지 ZI (영과잉) 분포가 적합됩니다. 영과잉 분포에 대한 자세한 내용은 "[영과잉 분포](#)"에서 확인하십시오.

모든 DS 분포 적합 DS 로그 정규, DS Weibull, DS 로그로지스틱 및 DS Frechet 라는 모든 DS(결함 부모집단) 분포를 적합시킵니다. 결함 부모집단 분포에 대한 자세한 내용은 "[결함 부모집단 분포](#)"에서 확인하십시오.

혼합 적합 TH(임계) 분포 이외의 분포가 혼합된 분포를 적합시킵니다. 자세한 내용은 "[혼합 적합](#)"에서 확인하십시오.

경쟁 위험 혼합 모형 적합 경쟁 위험 혼합 분포를 데이터에 적합시킵니다. 자세한 내용은 "[경쟁 위험 혼합 모형 적합](#)"에서 확인하십시오.

비모수 추정값 그림 옵션 확률도에 데이터를 표시하는 방법에 대한 옵션 하위 메뉴입니다.

점 확률도에 Kaplan-Meier 계단 함수의 중간점 추정값을 표시합니다. "점" 옵션은 기본적으로 선택되어 있습니다.

계단 함수 확률도에 Kaplan-Meier 추정값을 표시합니다.

둘 다 확률도에 중간점 추정값과 Kaplan-Meier 추정값을 모두 표시합니다.

없음 확률도에서 중간점 추정값과 Kaplan-Meier 추정값을 숨깁니다.

사건 그림 빈도 라벨 표시 (빈도 변수를 지정한 경우에만 표시됨) 사건 그림에 "빈도" 라벨을 표시하거나 숨깁니다.

생존 곡선 표시 분포 비교 확률도 및 분포 프로파일러 그림에서 고장 확률과 생존 곡선 간을 전환합니다.

분위수 함수 표시 선택한 분포에 대한 그림을 중첩하는 분위수 프로파일러를 표시하거나 숨깁니다. 분위수 그림에는 시간 값에 찍힌 점도 표시됩니다. 그림은 "분포 비교" 보고서 아래에 나타납니다. "분포 비교", "분위수 프로파일러" 및 "위험 프로파일러" 그림에서 분포를 선택하면 다른 두 그림에 분포가 나타납니다.

위험 함수 표시 선택한 분포에 대한 그림을 중첩하는 위험 프로파일러를 표시하거나 숨깁니다. 그림은 "통계량" 보고서 위에 나타납니다. "분포 비교", "분위수 프로파일러" 및 "위험 프로파일러" 그림에서 분포를 선택하면 다른 두 그림에 분포가 나타납니다.

통계량 표시 "통계량" 보고서를 표시하거나 숨깁니다. 자세한 내용은 "[수명 분포 통계량](#)"에서 확인하십시오.

탭 형식 보고서 그래프와 데이터를 기본 개요 스타일이 아니라 개별 탭에 표시합니다.

신뢰 영역 표시 그림에 음영 신뢰 영역을 표시하거나 숨깁니다.

구간 유형 "분포 비교" 그림의 "비모수" 적합에 표시되는 신뢰 구간 유형을 결정합니다. 점별 또는 동시 신뢰 구간 중 하나를 선택합니다.

신뢰 수준 변경 전체 플랫폼에 대한 신뢰 수준을 변경할 수 있습니다. 이에 따라 모든 그림과 보고서가 업데이트됩니다.

비교 기준 "모형 비교" 보고서에서 모형의 순위를 결정하는 데 사용되는 기준을 선택할 수 있습니다. 세 가지 기준 모두 값이 작을수록 더 나은 적합을 나타냅니다. Burnham & Anderson (2002) 및 Akaike(1974)에서는 모형 선택을 위해 AICc 및 BIC를 사용하는 데 대한 내용을 설명합니다. 자세한 내용은 [선형 모형 적합](#)에서 확인하십시오.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 [JMP 사용](#)의 에서 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.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

기준 변수를 지정한 경우 기준 변수의 각 수준에 대해 개별 "수명 분포" 보고서가 나타납니다.

기준 그룹별 결과 저장 각 기준 그룹에 대해 해당 그룹의 모든 "모수 추정값" 보고서에 나타나는 추정값을 새 테이블의 개별 행으로 저장합니다.

모든 그룹에 대해 동일한 분석 수행 현재 그룹에 대해 선택한 모든 옵션을 다른 모든 기준 그룹에 적용합니다.

혼합 적합

수명 분포 플랫폼의 "혼합 적합" 옵션은 "혼합" 개요를 보고서에 추가합니다. "혼합" 개요에서 혼합 분포를 데이터에 적합시킬 수 있습니다. 예는 "[혼합 분포 적합의 예](#)"에서 확인하십시오.

혼합 분포의 확률 함수 $F(x)$ 는 다음과 같이 정의됩니다.

$$F(x) = \sum_{i=1}^k w_i F_i(x)$$

여기서 $F_i(x)$ 는 지원되는 분포 중 하나, k 는 혼합 성분의 수, w_i 는 합이 1이 되는 양수 가중치입니다. "혼합 적합" 옵션은 각 성분 분포인 $F_i(x)$ 에서 추출되는 관측값 군집을 식별하려고 합니다. 혼합물의 모수 및 주어진 성분에서 관측값이 추출될 확률을 추정합니다.

모형 적합 및 혼합 시작 값 방법

적합 방법론은 시작 값 방법이라고 하는 기본 군집에 대한 가정을 기반으로 합니다. k 개의 분포를 지정한다고 가정해 보겠습니다. 다음과 같은 세 가지 시작 값 방법이 있습니다.

- 단일 군집에서는 모든 관측값이 모든 성분 분포의 영향을 어느 정도 받는다고 가정합니다. 관측값의 일부에만 영향을 미치는 것으로 나타나는 밀도는 없습니다.
- 분리 가능 군집에서는 성분 분포가 일부 관측값에 더 크게 영향을 준다고 가정합니다. 분리 가능 군집의 경우 k 개의 각 밀도는 식별 가능한 최빈값을 가지며 군집을 정의합니다.
- 중첩 군집에서는 단일 군집과 분리 가능 군집 사이의 중간 상황을 가정합니다. 일부 밀도는 눈에 띄지만 다른 밀도는 관측값 일부에 공동으로 영향을 미칩니다. 이 경우 데이터에는 m 개의 군집이 있으며, 여기서 m 은 총 밀도 수인 k 보다 작습니다.

적합 프로세스는 다음 단계로 구성됩니다.

1. 관측값 군집이 정의됩니다.
2. 시작 값 방법을 기반으로 밀도에 군집이 할당됩니다.
 - 분리 가능 군집의 경우 가능한 순열을 검토하여 지정된 성분 밀도에 군집의 가장 큰 가능성도 할당이 결정됩니다.
 - 중첩 군집의 경우 군집의 가능한 순열과 관측값 조합을 검토하여 지정된 성분 밀도에 군집의 가장 큰 가능성도 할당이 결정됩니다.

참고: 주어진 시작 값 방법을 사용하여 모형을 적합시킨 후 다른 시작 값 방법을 선택한다고 가정해 보겠습니다. 가능성도 값을 기반으로 더 나은 적합을 얻을 수 없으면 새 모형이 추가되지 않습니다.

혼합 제어판

제어판은 다음 항목으로 구성됩니다.

성분 적합 혼합 분포의 성분으로 사용할 수 있는 분포를 나열합니다.

수량 혼합 분포에서 주어진 분포를 갖는 성분 수를 선택합니다. "수량" 값의 합은 혼합의 밀도 수인 k 입니다.

시작 값 방법 혼합에 대한 가정을 반영하는 방법을 선택합니다. 자세한 내용은 "[모형 적합 및 혼합 시작 값 방법](#)"에서 확인하십시오.

중첩 중도절단되지 않은 데이터 값에 대한 비모수 추정값 (Kaplan-Meier-Turnbull) 을 표시합니다. 혼합을 적합시키면 그림이 업데이트되어 모형과 95% 수준 신뢰 대역을 표시합니다. 이러한 대역에 대한 신뢰 수준은 "수명 분포" 의 빨간색 삼각형 메뉴에 있는 "신뢰 수준 변경" 옵션으로 결정됩니다. 그림 오른쪽에 범례가 나타납니다.

시작 원하는 혼합을 적합시키려면 **시작**을 클릭합니다. 적합시킨 모형으로 모형 목록이 없게 되므로 혼합 모형 이름이 포함된 보고서가 추가됩니다.

혼합 적합 보고서

모형 목록

"모형 목록" 보고서에는 적합시킨 혼합 분포가 나열됩니다. 이 보고서는 각 혼합 분포에 대한 모수 수, 실제 관측값 수, AICc, -2* 로그 가능도 및 BIC 통계량을 제공합니다. 이러한 통계량에 대한 자세한 내용은 [선형 모형 적합](#)에서 확인하십시오.

다음 사항에 유의하십시오.

- 이러한 각 통계량의 값이 작을수록 더 나은 적합을 나타냅니다.
- AICc 를 기준으로 행이 정렬됩니다.
- **비교 기준** 빨간색 삼각형 옵션은 "모형 목록" 의 모형 순서에 영향을 주지 않습니다.
- AICc, -2* 로그 가능도 및 BIC 통계량은 "모형 비교" 테이블에도 나타납니다. 이를 통해 혼합 분포를 데이터의 다른 분포와 비교할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[모형 비교](#)"에서 확인하십시오.

혼합 보고서

"모형 목록" 보고서 다음에는 적합시킨 각 혼합 분포에 대한 보고서가 나옵니다. 각 보고서의 제목은 지정된 성분과 수량을 사용하여 해당 혼합을 설명합니다. 이 보고서에는 모수, 추정값, 표준 오차 및 95% Wald 신뢰 구간이 나열됩니다. 이러한 구간은 시작 창에서 가능도 신뢰 구간 방법을 선택하더라도 영향을 받지 않습니다.

혼합의 각 분포에 대한 모수 추정값이 제공됩니다. "모수" 열에는 "부분 $\langle i \rangle$ "라는 모수도 포함되며, 여기서 $i = 1, 2, \dots, k-1$ 입니다. 이러한 값은 혼합에 대한 가중치 w_i 의 추정값입니다. 가중치 합은 1이므로 처음 $k-1$ 개의 가중치에서 k 번째 가중치를 계산할 수 있습니다.

밀도 중첩 그림

"밀도 중첩" 그림에는 각 혼합 성분에 대한 밀도 함수의 추정값이 표시됩니다. 그림 오른쪽의 범례를 사용하여 표시할 밀도 함수를 선택할 수 있습니다.

혼합 보고서 옵션

빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

제거 모형 보고서 및 "모형 목록"의 모형 항목을 제거합니다.

프로파일러 표시 결합된 혼합 분포 F 에 대한 네 가지 유형의 프로파일러를 표시합니다. 빨간색 삼각형 옵션에 대한 설명은 "[혼합물 프로파일러 옵션](#)"에서 확인하십시오.

- 분포 프로파일러는 누적 고장 확률을 시간의 함수로 표시합니다.
- 분위수 프로파일러는 고장 시간을 누적 확률의 함수로 표시합니다.
- 위험 프로파일러는 위험률을 시간의 함수로 표시합니다.
- 밀도 프로파일러는 분포에 대한 밀도 함수를 표시합니다.

예측 저장 각 혼합 밀도에 대해 관측값이 해당 밀도에 속할 확률을 포함하는 열을 데이터 테이블에 저장합니다. 계산에 사용되는 계산식은 "[혼합 적합의 예측 계산식 저장](#)"에서 확인하십시오.

혼합물 프로파일러 옵션

각 혼합 보고서의 프로파일러에는 다음과 같은 빨간색 삼각형 옵션이 포함되어 있습니다.

신뢰 구간 분포, 분위수 및 위험 프로파일러에서는 표시된 함수에 대한 95% Wald 기반 신뢰 구간을 보여 줍니다. 이 옵션은 신뢰 곡선을 표시하거나 숨깁니다. 이러한 곡선에 대한 신뢰 수준은 "수명 분포"의 빨간색 삼각형 메뉴에 있는 "신뢰 수준 변경" 옵션으로 결정됩니다.

참고: 시작 창에서 가능도 신뢰 구간 방법을 선택한 경우에도 프로파일러에 제공된 신뢰 구간은 계산 시간을 줄이기 위해 Wald 방법을 기반으로 합니다.

요인 격자 재설정 요인의 현재 설정에 대한 특정 값을 입력하고, 해당 설정을 잠그거나, 격자의 여러 요소를 제어할 수 있도록 각 요인에 대한 창을 표시합니다. 자세한 내용은 **Profilers**에서 확인하십시오.

요인 설정 프로파일러 설정, 스크립트 및 프로파일러 연결과 관련된 옵션을 포함하는 메뉴를 제공합니다. 자세한 내용은 **Profilers**에서 확인하십시오.

경쟁 위험 혼합 모형 적합

수명 분포 플랫폼에서 "경쟁 위험 혼합 모형 적합" 옵션을 사용하면 경쟁 위험 혼합 분포를 적합시킬 수 있습니다. 각 성분 혼합 분포가 나타내는 원인으로 인해 주어진 관측값이 실패할 확률을 추정합니다. 예는 "[경쟁 위험 혼합 적합의 예](#)"에서 확인하십시오.

경쟁 위험 혼합 확률 분포 함수 $F(x)$ 는 다음과 같이 정의됩니다.

$$F(x) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - F_i(x))$$

여기서 $F_i(x)$ 는 i 번째 위험에 대한 누적 고장 분포를 나타내고 k 는 혼합의 성분(위험) 수입니다. "경쟁 위험 혼합 모형 적합" 옵션은 각 성분 분포인 $F_i(x)$ 에서 추출되는 관측값 군집을 식별하려고 합니다. 혼합물의 모수 및 주어진 성분에서 관측값이 추출될 확률을 추정합니다.

"경쟁 위험 혼합" 보고서는 "혼합" 보고서를 반영하는 방식으로 구성됩니다. 자세한 내용은 "[혼합 적합](#)"에서 확인하십시오. 그러나 경쟁 위험 혼합 적합 보고서에는 "밀도 중첩" 그림이 표시되지 않습니다. 대신 "분포 중첩" 그림이 표시됩니다.

분포 중첩 그림

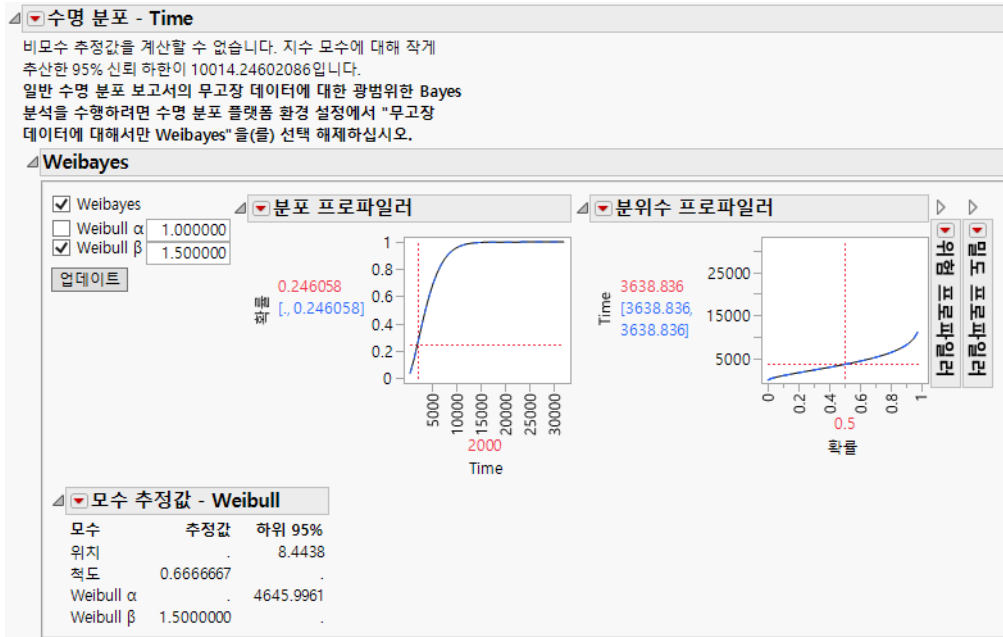
"분포 중첩" 그림에는 각 혼합 성분 및 결합된 혼합물("집계")에 대한 누적 분포 함수가 표시됩니다. 그림 오른쪽의 범례를 사용하여 표시할 누적 분포 함수를 선택할 수 있습니다.

Weibayes 보고서

수명 분포 플랫폼에서 무고장 (오른쪽 중도절단) 데이터가 있고 **무고장 데이터에 대해서만 Weibayes** 환경 설정을 해제하지 않은 경우 특수한 Weibayes 보고서가 나타납니다. [그림 3.10](#)에

서는 Reliability 폴더에 있는 Weibayes No Failures.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 Weibayes 보고서를 보여 줍니다.

그림 3.10 Weibayes 보고서



지수 모형을 가정하여 분석을 시작합니다. 보고서 맨 위의 노트에는 지수 분포의 모수에 대한 신뢰 하한이 제공됩니다. 이 신뢰 하한은 Meeker & Escobar(1998, sec. 7.7)에 설명된 방법을 사용하여 계산됩니다.

보고서의 "Weibayes" 섹션에서는 Weibayes 분석을 수행합니다. 절차에 대한 설명은 Nelson(1985)에서 확인하십시오.

Weibayes 추정값을 구하려면 "Weibayes" 및 "Weibull β " 옵션이 선택되어야 합니다. Weibull β 값을 변경하고 "업데이트"를 클릭합니다. 추정값과 프로파일러가 업데이트됩니다. 프로파일러에 표시된 값은 보수적 신뢰경계를 사용합니다. 예는 "고장이 없는 데이터에 대한 Weibayes 예"에서 확인하십시오.

참고 : "Weibayes" 옵션을 선택 취소하면 고정 모수 MLE 가 표시됩니다.

데이터 테이블에 하나 이상의 고장이 포함된 경우 전체 수명 분포 보고서가 나타나지만 최대 가능도 추론으로 유용한 결과가 생성되지 않을 수 있습니다. 이 경우 Weibayes 분석을 수행하는 것이 더 좋을 수 있습니다. 예는 "고장이 한 개 있는 데이터에 대한 Weibayes 예"에서 확인하십시오.

참고 : 무고장 데이터가 있을 때 일반적인 수명 분포 옵션을 사용하여 베이지안 추론을 수행하려면 분석을 시작하기 전에 **파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > 수명 분포**를 선택하고 **무고장 데이터에 대해서만 Weibayes**를 선택 취소합니다.

경쟁 원인 보고서

수명 분포 플랫폼에서 "경쟁 원인" 보고서를 사용하면 경쟁 원인을 분석하여 영향력 있는 원인을 확인할 수 있습니다.

"경쟁 원인" 보고서는 시작 창에서 고장 원인 열을 할당한 경우에 나타납니다. 이 보고서의 예는 "경쟁 원인 생략의 예"에서 확인하십시오. 기술 상세 정보는 "경쟁 원인에 대한 통계 상세 정보"에서 확인하십시오.

"경쟁 원인" 보고서에는 다음 내용과 옵션이 포함되어 있습니다.

- "경쟁 원인 워크플로우"
- "경쟁 원인 모형"
- "원인 결함"
- "경쟁 원인 통계량"
- "개별 원인"
- "경쟁 원인 보고서 옵션"

팁: 보고서 창이 너무 길면 "경쟁 원인"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **탭 형식 보고서**를 선택합니다.

경쟁 원인 워크플로우

"경쟁 원인" 보고서를 쉽게 사용하려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. 편의를 위해 "경쟁 원인"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 "탭 형식 보고서" 옵션을 선택합니다.
2. "개별 원인" 탭을 선택합니다. 각 고장 원인에 대해 개별 수명 분포 개요의 옵션을 사용하여 분포 적합을 선택합니다. 자세한 내용은 "개별 원인"에서 확인하십시오.
3. "원인 결함" 탭을 선택합니다. 각 고장 원인에 대해 각 **분포** 목록에서 원하는 분포를 지정합니다. 자세한 내용은 "원인 결함"에서 확인하십시오.
4. **모형 업데이트**를 클릭합니다.
5. "통계량" 탭을 선택하여 모형에 대한 결과를 탐색하고 저장합니다. 자세한 내용은 "경쟁 원인 통계량"에서 확인하십시오.

참고 : 모형을 변경하고 **모형 업데이트**를 다시 클릭하면 "통계량" 개요의 경쟁 원인 모형 보고서에 대한 사용자 정의가 손실될 수 있습니다.

경쟁 원인 모형

경쟁 원인 상황에서 집계 고장 함수는 다음과 같이 쓸 수 있습니다.

$$F(x) = 1 - \prod_{i=1}^K [1 - F_i(x)]$$

여기서 $F_i(x)$ 는 i 번째 원인에 대한 누적 고장 분포이고 k 는 총 원인 수입니다. $F_i(x)$ 함수는 원인에 따라 다릅니다. 이는 원인 i 만으로 인한 고장 확률을 반영하며 다른 고장 원인은 고려하지 않습니다.

대체 공식은 다음과 같이 정의됩니다.

$$F(x) = \sum_{i=1}^K \tilde{F}_i(x)$$

여기서 각 \tilde{F}_i 는 $[0, 1]$ 구간의 값을 갖는 단조 증가 함수입니다. 함수 \tilde{F}_i 는 하위 분포라고 합니다. 이러한 집계 고장 분포 형식은 다른 원인으로 인한 고장을 고려하여 개별 원인과 관련된 고장 비율을 예측하는 데 사용됩니다.

원인 결합

경쟁 원인 분석을 위한 "원인 결합" 보고서를 사용하면 다양한 원인에 대해 여러 고장 시간 분포 ($F_i(x)$)를 적합시키고 비교할 수 있습니다. 시작 창에서 선택한 내용에 따라 여러 분포를 사용할 수 있습니다. 음수 및 0 고장 시간은 허용되지 않습니다.

기본 그림은 선형 척도를 기반으로 하며 다음을 보여 줍니다.

- 중도절단되지 않은 데이터 값의 비모수 추정값 (Kaplan-Meier-Turnbull) 과 해당 신뢰 구간. 신뢰 구간은 파란색 가로선으로 표시됩니다.
- 각 원인에 대한 누적 고장 분포 ($F_i(x)$)의 적합. 초기 분포는 시작 창에서 선택한 분포입니다. "개별 최선"을 선택한 경우 각 그룹에 대한 최량 분포가 계산되고 이러한 적합이 표시됩니다. 이 옵션을 선택하면 시간이 많이 걸릴 수 있습니다. "수동 선택"을 선택한 경우 초기 분포는 모든 그룹에 대해 비모수이며 비모수 적합이 표시됩니다. 그림 오른쪽에 범례가 나타납니다.
- 검은색 선으로 표시된 집계 누적 고장 분포 $F(x)$. 이 함수는 선택한 원인 분포를 기반으로 계산됩니다. 원인에 대해 비모수 분포가 지정된 경우 집계 누적 고장 분포는 해당 원인에 대한 최종 시간 관측값까지만 확장됩니다.

보고서와 상호 작용하면 집계 모형에 대한 통계량이 업데이트됩니다.

"원인 결합" 보고서에는 다음 요소가 포함되어 있습니다.

척도 원인 결합 그림의 세로 축에 대한 확률 척도를 지정합니다. 척도가 분포 적합에 미치는 영향에 대한 자세한 내용은 "**분포 비교 그림에서 축 척도 변경의 예**"에서 확인하십시오.

생략 "원인 결합" 그림에 나타나는 원인을 지정합니다. 해당 원인에 대한 적합을 제거하려면 상자를 선택합니다. 특정 원인이 해결된 경우 이 옵션을 사용합니다. 해당 원인으로 인한 고장 제거를 반영하도록 집계 모형이 업데이트됩니다. 원인 생략 효과에 대한 자세한 내용은 "경쟁 원인 생략의 예"에서 확인하십시오.

원인 원인 열에 원인을 나열합니다.

분포 각 원인에 사용할 수 있는 분포를 나열합니다. 특정 고장 원인에 대한 분포를 변경하려면 **분포** 목록에서 분포를 선택합니다. **모형 업데이트**를 클릭하면 새 분포 적합이 그림에 표시됩니다. "원인 요약" 보고서도 업데이트됩니다.

개수 지정된 고장 원인을 가진 관측값 수를 나열합니다.

모형 업데이트 선택한 분포를 그림에 표시하고, "원인 요약" 보고서를 선택한 모형으로 업데이트하며, 선택한 모형을 "개별 원인" 보고서에 가장 최근 모형으로 추가합니다.

경쟁 원인 통계량

수명 분포 플랫폼에서 "경쟁 원인" 보고서의 "통계량" 섹션에는 다음 보고서가 포함되어 있습니다.

- "원인 요약 보고서"
- "프로파일러"

원인 요약 보고서

"원인 요약" 보고서에서는 "원인 요약" 보고서의 "분포" 아래에 있는 현재 선택 항목에 의해 정의된 적합에 대한 정보를 보여 줍니다. 이 보고서에는 각 원인에 대한 고장 수와 각 고장 원인에 적합된 분포의 모수 추정값이 표시됩니다. "원인 결합" 보고서에서 분포 적합을 변경하고 "모형 업데이트"를 클릭하면 "원인 요약" 보고서가 업데이트됩니다.

다음 정보가 제공됩니다.

- "원인" 열에는 원인 라벨 또는 중도절단 코드가 표시됩니다.
- "개수" 열에는 각 원인에 대한 고장 수가 나열됩니다.
- "개수" 열의 숫자 항목은 해당 원인에 고려해야 할 충분한 수의 고장 사건이 있음을 나타냅니다. 사건이 두 개 미만인 원인은 오른쪽 중도절단된 것으로 간주됩니다. 이 열은 결측 원인도 식별합니다.
- "분포" 열은 각 원인에 대해 선택된 분포를 지정합니다.
- 선택된 분포에 따라 여러 열에 분포의 모수가 표시됩니다.
 - 위치 열은 다양한 분포에 대한 위치 모수를 지정합니다.
 - 척도 열은 다양한 분포에 대한 척도 모수를 지정합니다.
 - Weibull α 및 Weibull β 열은 알파 및 베타의 Weibull 추정값을 표시합니다.
 - 다른 열에는 선택한 다른 분포의 모수가 표시됩니다.

- 수렴 문제가 있는 경우 "수렴" 열이 나타납니다.

"원인 요약"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 집계 고장 분포에 대한 추정값을 데이터 테이블에 저장할 수 있는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

확률 추정값 저장 계산식 열을 데이터 테이블에 저장합니다. 이 열에는 집계 고장 분포에 대한 고장 확률 계산식이 포함됩니다.

분위수 추정값 저장 열을 데이터 테이블에 저장합니다. 첫 번째 열에는 집계 고장 분포에 대한 고장 확률이 포함됩니다. 두 번째 열에는 집계 고장 분포에 대한 시간 분위수가 포함됩니다.

위험 추정값 저장 계산식 열을 데이터 테이블에 저장합니다. 이 열에는 집계 고장 분포에 대한 위험 함수 계산식이 포함됩니다.

밀도 추정값 저장 계산식 열을 데이터 테이블에 저장합니다. 이 열에는 집계 고장 분포에 대한 밀도 함수 계산식이 포함됩니다.

프로파일러

분포, 분위수, 위험 및 밀도 프로파일러는 집계 고장 분포를 시각화하는 데 도움이 됩니다. 분포, 분위수 및 위험 프로파일러에는 95% 수준 신뢰 대역이 표시됩니다. 자세한 내용은 "[프로파일러](#)"에서 확인하십시오.

참고: 원인에 대해 비모수 분포가 지정된 경우 위험 및 밀도 프로파일러가 제공되지 않습니다. 또한 분포 및 분위수 프로파일러에 신뢰 한계가 제공되지 않습니다.

개별 원인

"개별 원인" 보고서에는 각 개별 원인에 대한 "수명 분포 - 고장 원인:<분포 이름>" 보고서가 포함됩니다. 각 "수명 분포 - 고장 원인:<분포 이름>" 보고서에는 보고서 제목에 표시된 개별 고장 원인에 대한 그림과 분포 적합 통계량이 표시됩니다.

"원인 결합" 보고서에서 "모형 업데이트"를 클릭할 때마다 선택한 새 원인 분포가 해당 원인에 대한 "수명 분포 - 고장 원인:<분포 이름>" 보고서에 추가됩니다. "수명 분포 - 고장 원인:<분포 이름>" 보고서에서 다음을 확인할 수 있습니다.

- "분포 비교" 보고서에서 분포가 선택됩니다.
- "모형 비교" 보고서에 분포가 추가됩니다.
- 해당 분포에 대한 모수 보고서가 추가됩니다.

각 "수명 분포 - 고장 원인<분포 이름>" 보고서는 "[수명 분포 보고서](#)"에 설명된 수명 분포 보고서입니다. 그러나 모든 신뢰 구간이 Wald 구간입니다. 이러한 구간은 시작 창에서 가능도 신뢰 구간 방법을 선택하더라도 영향을 받지 않습니다.

경쟁 원인 분포 비교 보고서에 사용 가능한 분포

시작 창에서 고장 원인을 지정하는 경우, 개별 원인에 대해 생성된 분포 비교 보고서에 허용할 분포 및 모형 그룹을 지정할 수 있습니다. ZI(영과잉), TH(임계) 및 DS(결함 부모집단) 분포를 선택할 수 있습니다. 고정 모수 및 베이지안 모형을 선택할 수도 있습니다.

참고: 환경 설정에서 허용하지 않은 분포는 표시되지 않습니다. 또한 수명 분포에 대해 나타나는 분포를 제어하는 규칙이 적용됩니다. 자세한 내용은 "[사용 가능한 모수 분포](#)"에서 확인하십시오.

경쟁 원인 보고서 옵션

"경쟁 원인"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

탭 형식 보고서 "경쟁 원인" 보고서의 섹션을 탭으로 구성합니다.

개별 원인에 대한 탭 형식 보고서 "개별 원인" 섹션의 "수명 분포" 보고서를 탭으로 구성합니다.

점 표시 "원인 결함" 그림에 데이터 점을 표시하거나 숨깁니다. 수명 분포 플랫폼에서는 계단 함수의 중간점 추정값을 사용하여 확률도를 생성합니다. "점 표시" 옵션을 선택 취소하면 중간점 추정값이 Kaplan-Meier 추정값으로 대체됩니다.

하위 분포 표시 각 개별 원인 하위 분포 \tilde{F}_i 에 대한 로파일러를 표시하거나 숨깁니다. 자세한 내용은 "[원인에 대한 개별 하위 분포 프로파일러](#)"에서 확인하십시오. "하위 분포 표시" 옵션을 선택하면 원인 결함 그림이 업데이트되어 모든 원인에 대한 하위 분포 함수가 표시됩니다.

참고: 베이지안 방법이 지정된 원인은 하위 분포 계산에 포함되지 않습니다.

잔존 수명 분포 표시 지정된 시간 동안 유닛 생존을 조건으로 잔존 수명 분포에 대한 프로파일러를 표시하거나 숨깁니다.

평균 잔존 수명 지정된 생존 시간에서 유닛의 평균 잔존 수명을 추정할 수 있는 "평균 잔존 수명 계산기"를 표시하거나 숨깁니다. "평균 잔존 수명 계산기"에 시간 값을 입력하고 **Enter** 키를 누르면 추정값이 표시됩니다. 다른 시간을 더 입력하려면 더하기 기호를 클릭합니다. 빼기 기호를 클릭하면 가장 최근 항목이 제거됩니다.

신뢰 구간을 구하려면 "평균 잔존 수명 계산기"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **구성** 옵션을 선택합니다. **평균 및 신뢰 구간 계산에 붓스트랩 사용** 옵션을 선택합니다. 계산 시간이 오래 걸릴 수 있다는 점을 고려하여 적절한 값을 입력합니다. 자세한 내용은 "[평균 잔존 수명 계산기](#)"에서 확인하십시오.

붓스트랩 결과 내보내기 (베이지안 모형을 선택하고 "모형 업데이트" 버튼을 클릭한 경우에만 사용 가능) 붓스트랩 결과를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 붓스트랩 방법을 사용하여 베이지안 추정값 또는 Weibayes 결과를 구합니다. 베이지안 및 Weibayes 방법의 경우 "분포 프로파일러"에 나타나는 집계 함수에 대한 신뢰 한계는 모수 붓스트랩을 사용하여 시뮬레이션해야 합니다.

붓스트랩 표본 크기 베이지안 추정값 또는 Weibayes 결과를 구하는 데 사용되는 붓스트랩 방법
에 사용할 표본 수를 지정합니다. 베이지안 및 Weibayes 방법의 경우 "분포 프로파일러"에
나타나는 집계 함수에 대한 신뢰 한계는 모두 붓스트랩을 사용하여 시뮬레이션해야 합니다.
자세한 내용은 "[원인에 대한 베이지안 모형 지정](#)"에서 확인하십시오.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**의 에서 확인하십시오.

로컬 데이터 필터 특정 보고서에서 사용되는 데이터를 필터링할 수 있는 로컬 데이터 필터를 포
시하거나 숨깁니다.

다시 실행 분석을 반복하거나 다시 시작할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 이 기능을 지원
하는 플랫폼에서 "자동 재계산" 옵션은 해당하는 보고서 창에서 데이터 테이블에 대한 변경
사항을 즉시 반영합니다.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫
폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어
있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를
여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경
우에만 사용할 수 있습니다.

원인에 대한 개별 하위 분포 프로파일러

주어진 원인에 대해 "원인에 대한 개별 하위 분포 프로파일러"에는 시간 t 에서 해당 원인의 추정
된 고장 확률 \hat{F}_i 가 표시됩니다. 추정된 확률은 경쟁 원인으로 인한 고장을 고려합니다. 자세한
내용은 "[경쟁 원인 모형](#)"에서 확인하십시오.

각 원인에 대한 하위 분포 프로파일러를 표시하려면 "경쟁 원인"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **하
위 분포 표시**를 선택합니다. "원인에 대한 개별 하위 분포 프로파일러" 보고서는 다른 프로파일
러 아래에 나타납니다. 이 보고서는 프로파일러와 계산기로 구성됩니다.

참고: "하위 분포 표시" 옵션을 선택하면 원인 결합 그림이 업데이트되어 모든 원인에 대한 하
위 분포 함수가 표시됩니다.

프로파일러 오른쪽의 목록에서 원인을 선택하면 해당 프로파일러가 표시됩니다. 프로파일러에
적용되는 옵션은 "원인에 대한 개별 하위 분포 프로파일러"의 빨간색 삼각형 메뉴에 제공됩니다.
자세한 내용은 "[프로파일러](#)"에서 확인하십시오.

"계산기" 패널을 사용하여 하나 이상의 사건 발생 시간 값에서 모든 원인에 대한 하위 분포 함수
의 값을 찾을 수 있습니다. 사건 발생 시간 변수의 값을 입력합니다. Enter 키를 누르거나 텍스트
상자 바깥쪽을 클릭하면 각 원인에 대한 값이 업데이트됩니다. 사건 발생 시간 값을 추가하려면
더하기 기호를 클릭합니다. 가장 최근 값을 제거하려면 빼기 기호를 클릭합니다.

수명 분포 - 그룹 비교 보고서

"수명 분포 - 그룹 비교" 보고서는 지정된 단일 분포를 사용하여 여러 그룹을 비교합니다. CDF, 분위수, 위험 및 밀도 함수를 비교할 수 있습니다. 모든 그룹의 확률 및 분위수 예측을 통합할 수도 있습니다. 예를 들어 공급업체별로 그룹화된 구성 요소의 Weibull 적합을 비교할 수 있습니다. 반면에 "수명 분포" 탭을 사용하여 생성된 분석에서는 단일 그룹에 대한 여러 적합 분포를 비교합니다.

팁: "분포 비교", "분위수 비교", "위험 비교" 및 "밀도 비교" 그림의 오른쪽에 있는 범례에서 하나 이상의 그룹을 선택할 수 있습니다. 범례에서 그룹을 선택하면 선택한 그룹에 초점을 맞출 수 있도록 그림의 다른 모든 그룹이 숨겨집니다.

이 보고서의 예는 "그룹 간 동일 분포 비교의 예"에서 확인하십시오.

"그룹 비교" 보고서에는 다음 내용과 옵션이 포함될 수 있습니다.

- "수명 분포에서 분포 비교"(분포 프로파일러 없음)
- "그룹 비교 통계량"
- "개별 그룹"
- "수명 분포 - 그룹 비교 보고서 옵션"

팁: 보고서 창이 너무 길어지면 "수명 분포 - 그룹 비교" 옆의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **탭 형식 보고서**를 선택합니다.

그룹 비교 통계량

그룹 비교에 대한 "통계량" 보고서에는 다음 보고서가 포함됩니다.

- "요약"
- "그룹 동질성 검정"
- "모형 비교"
- "모수 추정값"

참고: 전체 "분포 비교" 보고서에서 모수 분포를 선택하지 않으면 "모형 비교" 및 "모수 추정값" 보고서가 나타나지 않습니다.

요약

"요약" 보고서에는 각 그룹에 대한 행과 결함 데이터에 대한 행이 포함됩니다. 각 행에는 고장 난 유닛 수와 왼쪽, 구간 또는 오른쪽 중도절단된 유닛 수가 표시됩니다. 해당 평균 및 표준 오차도

각 행에 제공됩니다. 평균 및 표준 오차를 계산하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[생존 분석에 대한 통계 상세 정보](#)"에서 확인하십시오.

그룹 동질성 검정

"그룹 동질성 검정" 보고서에는 그룹 간 위험 함수의 동일성에 대한 세 가지 검정 결과가 포함됩니다. 검정은 시간 경과에 따라 관측값에 가중치를 부여하는 방식이 다릅니다.

로그 - 순위 로그 - 순위 검정은 모든 시점에 대해 동일한 가중치를 사용합니다.

Peto-Peto Peto-Peto 검정은 각 시점의 생존 비율을 가중치에 사용합니다.

Wilcoxon 일반화된 Wilcoxon 검정은 각 시점의 위험 수를 가중치에 사용합니다. 이 검정은 Klein & Moeschberger(1997)에서 Gehan 검정이라고 합니다.

위의 각 검정에 대해 보고서에는 각 검정의 카이제곱 근사, 관련 자유도 및 p 값이 포함됩니다. p 값이 작으면 그룹이 다르다는 것을 나타냅니다. 이러한 검정 및 고장 곡선 비교에 대한 자세한 내용은 Klein & Moeschberger(1997, ch. 7)에서 확인하십시오.

모수 추정값

"모수 추정값" 개요에는 적합된 각 분포에 대한 "모수 추정값 - <분포 이름>" 보고서가 포함되어 있습니다. "모수 추정값 - <분포 이름>" 보고서에서는 각 그룹에 대해 분포의 모수 추정값과 95% 수준 신뢰 구간을 제공합니다. 이러한 구간에 대한 신뢰 수준은 "수명 분포 - 그룹 비교" 메뉴의 "신뢰 수준 변경" 옵션으로 결정됩니다.

개별 그룹

"개별 그룹" 보고서 내의 탭에는 각 개별 그룹에 대한 수명 분포 보고서가 포함되어 있습니다. 이러한 보고서에 대한 자세한 내용은 "[수명 분포 보고서](#)" 및 "[수명 분포 보고서 옵션](#)"에서 확인하십시오.

수명 분포 - 그룹 비교 보고서 옵션

"그룹 비교"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 대부분의 옵션은 "수명 분포"의 빨간색 삼각형 메뉴에도 있습니다. 자세한 내용은 "[수명 분포 보고서 옵션](#)"에서 확인하십시오.

다음 옵션은 "그룹 비교"에만 해당됩니다.

분위수 함수 표시 "분위수 비교" 보고서를 표시하거나 숨깁니다. 분포를 선택합니다. 각 그룹에 대해 시간 변수의 추정 분위수를 보여 주는 곡선이 표시됩니다. 신뢰 대역이 표시됩니다. 그림 오른쪽에 범례가 표시됩니다. 한 번에 하나의 분포만 지정할 수 있습니다.

위험 함수 표시 "위험 비교" 보고서를 표시하거나 숨깁니다. 분포를 선택합니다. 각 그룹에 대해 위험 함수를 보여 주는 곡선이 표시됩니다. 신뢰 대역이 표시됩니다. 그림 오른쪽에 범례가 표시됩니다. 한 번에 하나의 분포만 지정할 수 있습니다.

밀도 함수 표시 " 밀도 비교 " 보고서를 표시하거나 숨깁니다. 분포를 선택합니다. 각 그룹에 대해 밀도 함수가 표시됩니다. 그림 오른쪽에 범례가 표시됩니다. 한 번에 하나의 분포만 지정할 수 있습니다.

확률 추정 " 분포 비교 " 에서 가장 최근에 선택한 분포에 해당하는 " 확률 추정 " 보고서를 추가합니다. 텍스트 상자에 사건 발생 시간 변수의 값을 입력하고 **Enter** 키를 누릅니다. 사건 발생 시간 값을 추가하려면 더하기 기호를 클릭합니다. 가장 최근 값을 제거하려면 빼기 기호를 클릭합니다. 자세한 내용은 " [확률 추정 보고서](#) " 에서 확인하십시오.

분위수 추정 (" 분위수 비교 " 를 선택한 경우에만 표시됨) " 분위수 비교 " 에서 가장 최근에 선택한 분포에 해당하는 " 분위수 추정 " 보고서를 추가합니다. 텍스트 상자에 관심 확률 값을 입력하고 **Enter** 키를 누릅니다. 확률 값을 추가하려면 더하기 기호를 클릭합니다. 가장 최근 값을 제거하려면 빼기 기호를 클릭합니다. 각 그룹 및 확률 값에 대해 사건 발생 시간 분위수와 95% Wald 및 가능도 신뢰 구간이 표시됩니다.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용** 의 에서 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.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

확률 추정 보고서

이 보고서는 각 그룹 및 사건 발생 시간 값에 대해 다음을 제공합니다.

중간점 추정값 지정된 시간까지 고장에 대한 중간점 조정 Kaplan-Meier 추정값입니다.

95% 점별 구간 (하한, 상한) 지정된 시간까지 고장 확률에 대한 95% 점별 신뢰 구간입니다.

95% 동시 구간 (Nair)(하한, 상한) 지정된 시간까지 고장 확률에 대한 동시 95% 신뢰 구간입니다. 자세한 내용은 Nair(1984) 및 Meeker & Escobar(1998) 에서 확인하십시오.

생존 확률 지정된 시간 이후의 생존에 대한 중간점 조정 추정값입니다.

95% 점별 생존 확률 구간 (하한, 상한) 지정된 시간 이후의 생존 확률에 대한 95% 점별 신뢰 구간입니다.

95% 동시 생존 확률 구간 (Nair)(하한, 상한) 지정된 시간 이후의 생존 확률에 대한 동시 95% 신뢰 구간입니다. 자세한 내용은 Nair(1984) 및 Meeker & Escobar(1998) 에서 확인하십시오.

수명 분포 플랫폼의 추가 예

이 섹션에는 수명 분포 플랫폼을 사용하는 예가 포함되어 있습니다.

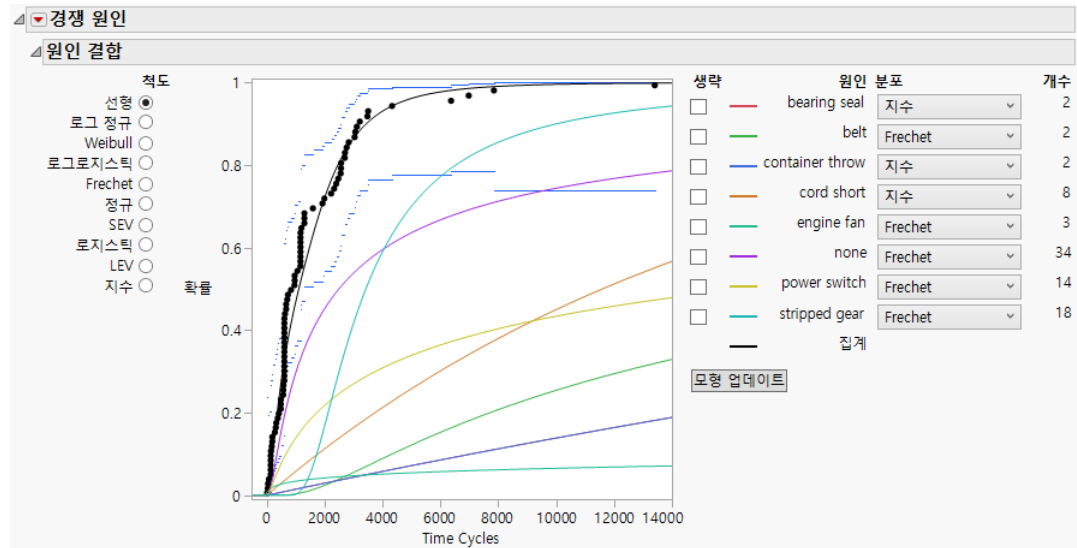
- "경쟁 원인 생략의 예"
- "분포 비교 그림에서 축 척도 변경의 예"
- "그룹 간 동일 분포 비교의 예"
- "Weibayes 분석의 예"
- "혼합 분포 적합의 예"
- "경쟁 위험 혼합 적합의 예"

경쟁 원인 생략의 예

이 예에서는 경쟁 원인에 대한 최량 적합을 결정하는 방법을 보여 줍니다.

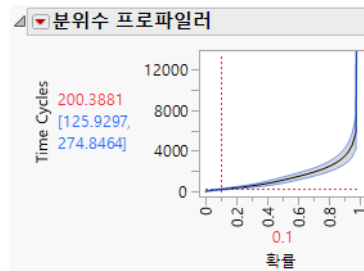
1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Blenders.jmp 를 엽니다.
 2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포**를 선택합니다.
 3. Time Cycles 를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
 4. Causes 를 선택하고 **고장 원인**을 클릭합니다.
 5. Censor 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
 6. "분포"에서 **개별 최선**을 선택합니다.
 7. "비교 기준"이 **AICc** 인지 확인합니다.
 8. **확인**을 클릭합니다.
- "경쟁 원인" 보고서에 각 고장 원인에 대한 최량 분포 적합이 표시됩니다.

그림 3.11 초기 경쟁 원인 보고서



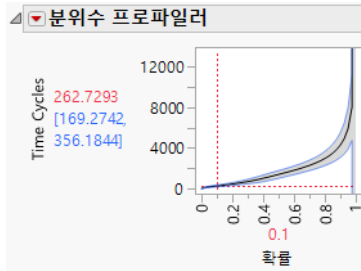
9. " 분위수 프로파일러 " 에서 " 확률 " 에 "0.1" 을 입력합니다 .
고장의 10% 가 발생하는 추정 시간은 200 입니다 .

그림 3.12 유닛의 10% 에 대한 추정 고장 시간



10. bearing seal, belt, container throw, cord short 및 engine fan(고장 수가 가장 적은 원인) 에 대해 **생략**을 선택합니다 .
이제 고장의 10% 가 발생하는 추정 시간은 263 입니다 .

그림 3.13 업데이트된 고장 시간



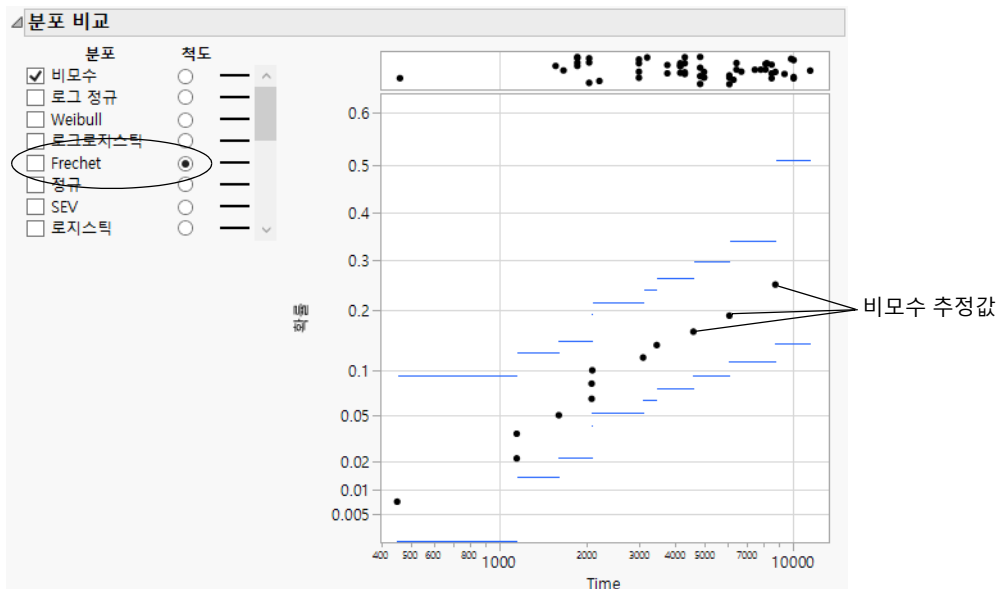
power switch와 stripped gear만 고장 원인인 경우 고장의 10%가 발생하는 추정 시간은 약 31% 증가합니다.

분포 비교 그림에서 축 척도 변경의 예

여러 척도를 사용하여 고장 시간 분포를 표시하는 것을 다양한 유형의 확률모순종이에 분포를 그리는 것이라고도 합니다. 초기 "분포 비교" 보고서에서 확률 및 시간 축은 선형입니다. 이 예에서는 Frechet 척도로 분포 추정값을 보는 방법을 보여 줍니다.

1. "수명 분포 플랫폼의 예"에서 1 단계 ~ 5 단계를 수행합니다.
2. "분포 비교" 보고서의 "척도" 열에서 **Frechet**를 선택합니다.
3. "수명 분포"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 구간 유형 > 점별을 선택합니다.

그림 3.14 Frechet 확률 척도를 사용한 비모수 추정값

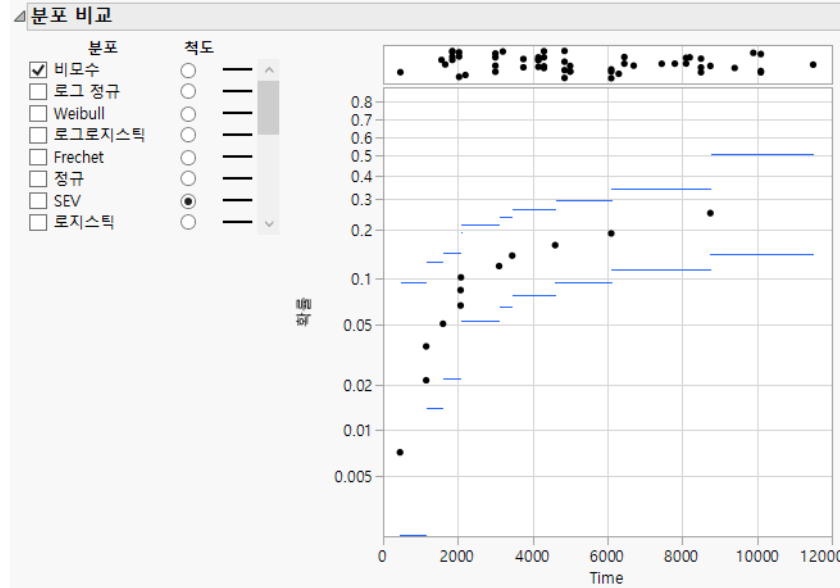


Frechet 척도를 사용하면 비모수 추정값이 직선에 가까워지므로 Frechet 적합이 적절할 수 있음을 의미합니다.

4. " 척도 " 열에서 **SEV** 를 선택합니다.

비모수 추정값이 더 이상 직선에 가깝지 않습니다. 이제 SEV 분포가 적절하지 않다는 것이 확인되었습니다.

그림 3.15 SEV 확률 척도를 사용한 비모수 추정값

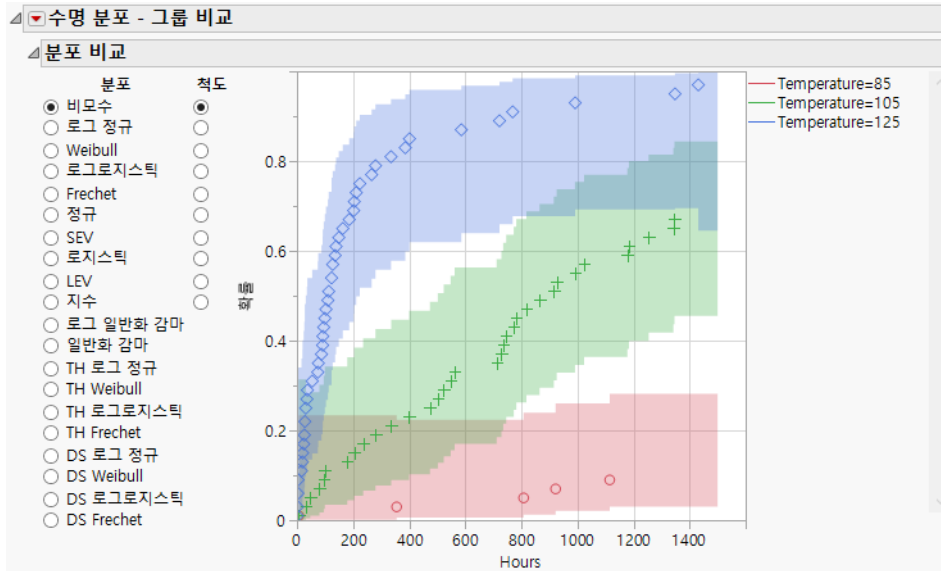


그룹 간 동일 분포 비교의 예

다른 그룹 간에 동일한 분포를 비교하는 경우를 가정해 보겠습니다. 세 가지 다른 온도에서 작동하는 단일 유형의 콘덴서에 대한 고장 확률 추정값을 검토하려고 합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Capacitor ALT.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포**를 선택합니다.
3. " 그룹 비교 " 탭을 클릭합니다.
4. **Hours** 를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
5. **Temperature** 를 선택하고 **그룹화**를 클릭합니다.
6. **Censor** 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
7. **Freq** 를 선택하고 **빈도**를 클릭합니다.
8. **확인**을 클릭합니다.

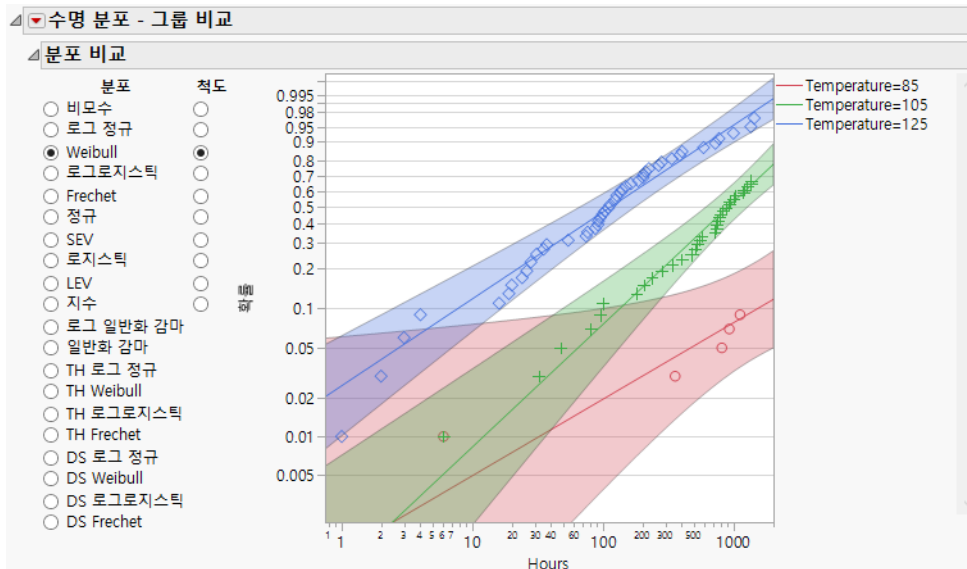
그림 3.16 그룹 분포 비교



기본 그래프에는 비모수 추정값이 표시됩니다. 온도가 높을수록 콘텐츠의 고장 확률이 더 높아집니다. 모수 분포를 적합시키려고 합니다.

9. "분포" 및 "적도"에 대해 **Weibull**을 선택합니다.

그림 3.17 그룹에 대한 Weibull 분포 비교



Weibull 확률 척도에 대해 표시된 점은 세 개의 선에 가까워집니다. 이는 Weibull 분포가 각 Temperature 그룹에 대해 적합하다는 것을 나타냅니다.

Weibayes 분석의 예

수명 분포 플랫폼에서는 Weibayes 분석을 수행할 수 있는 두 가지 방법을 제공합니다.

- 고장이 없고 (모든 관측값이 오른쪽 중도절단됨), **무고장 데이터에 대해서만 Weibayes** 환경 설정이 선택되어 있습니다. 그러면 Weibayes 보고서가 나타납니다. 자세한 내용은 "[고장이 없는 데이터에 대한 Weibayes 예](#)" 에서 확인하십시오.
- 고장 수가 적습니다. 전체 수명 분포 보고서가 제공됩니다. Weibull 분포를 적합시킵니다. "모수 추정값 - Weibull" 보고서에서 "모수 고정" 옵션을 선택합니다. 그런 다음 "고정 모수" 보고서에서 "Weibayes" 옵션을 선택합니다. 자세한 내용은 "[고장이 한 개 있는 데이터에 대한 Weibayes 예](#)" 에서 확인하십시오.

고장이 없는 데이터에 대한 Weibayes 예

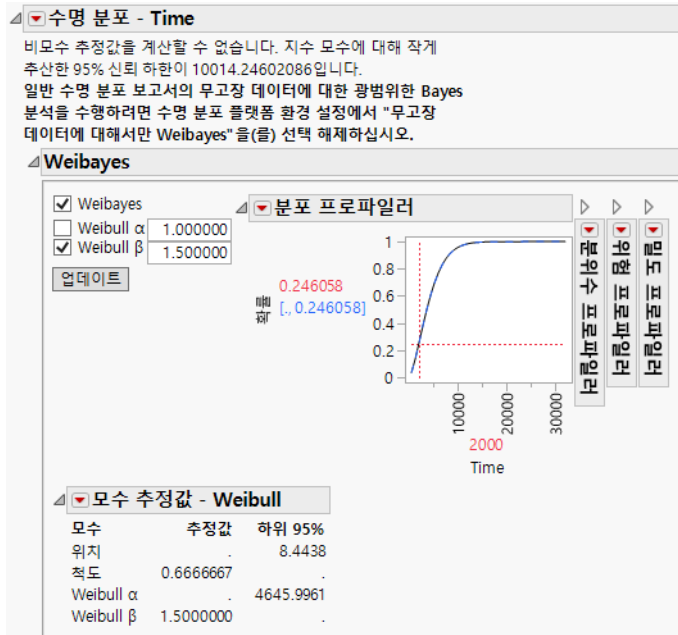
대부분 신뢰할 수 있는 제품에 대한 데이터가 있습니다. 1,000 시간 동안 30 개를 시험하여 고장이 발생하지 않았습니다. 2,000 시간에서의 고장 확률을 예측하려고 합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Weibayes No Failures.jsp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포**를 선택합니다.
3. Time 을 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. Censor 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
5. Freq 를 선택하고 **빈도**를 클릭합니다.
6. **가능도**를 신뢰 구간 방법으로 선택합니다.
7. **확인**을 클릭합니다.

특수한 "수명 분포" 보고서가 나타납니다. **Weibayes** 및 **Weibull 베타**를 선택해야 합니다.

8. 알려진 Weibull β 값으로 "1.5" 를 입력합니다.
값 1.5 는 이 예에 적절한 것으로 간주됩니다.
9. **업데이트**를 클릭합니다.
10. "분포 프로파일러" 에서 Time 에 "2000" 을 입력합니다.

그림 3.18 무고장에 대한 수명 분포 보고서



"분포 프로파일러"를 보면 2,000 시간에서 보수적 확률이 24.6058%임을 알 수 있습니다. 즉, 고장 확률에 대한 한쪽 꼬리 보수적 95% 신뢰 한계가 24.6058%입니다.

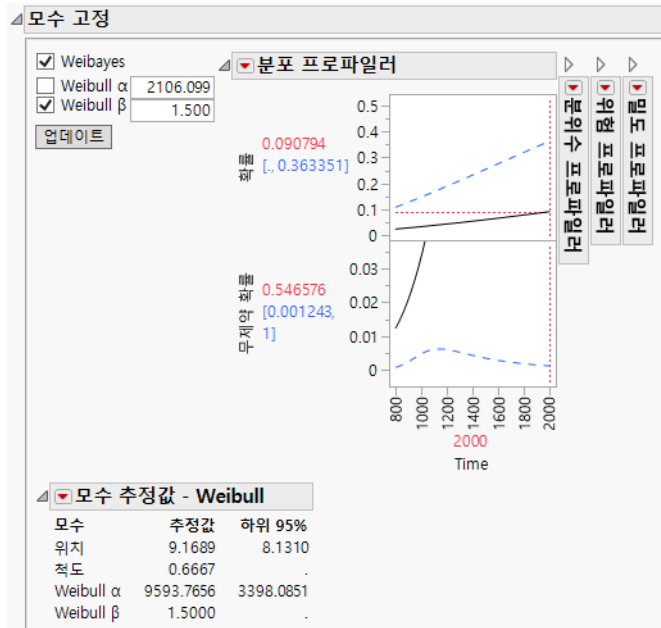
고장이 한 개 있는 데이터에 대한 Weibayes 예

동일한 데이터가 있지만 이번에는 800 시간에서 한 번의 고장이 발생했다고 가정해 보겠습니다. 다시 2,000 시간에서의 고장 확률을 예측하려고 합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Weibayes One Failure.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포**를 선택합니다.
3. Time 을 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. **Censor** 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
5. **Freq** 를 선택하고 **빈도**를 클릭합니다.
6. **가능도**를 신뢰 구간 방법으로 선택합니다.
7. **확인**을 클릭합니다.
"수명 분포" 보고서가 나타납니다.
8. "분포 비교" 그림에서 **Weibull** 분포를 선택합니다.
9. "모수 추정값 - Weibull" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모수 고정**을 선택합니다.
10. "모수 고정" 보고서에서 **Weibayes** 및 **Weibull 베타**를 선택합니다.

11. 알려진 Weibull β 값으로 "1.5" 를 입력합니다 .
12. **업데이트**를 클릭합니다 .
13. " 분포 프로파일러 " 에서 Time 에 "2000" 을 입력합니다 .
14. Y 축 상단을 커서로 가리킵니다 . 커서가 손 모양으로 바뀝니다 . 맨 위의 숫자가 0.5 가 될 때 까지 축을 아래로 드래그합니다 .

그림 3.19 단일 고장에 대한 수명 분포 보고서



"분포 프로파일러"에서 실선은 MLE를 나타냅니다. 파선은 Weibayes 보수적 한계를 나타냅니다. 2,000시간에서 보수적 확률이 36.3351%임을 알 수 있습니다. 즉, 고장 확률에 대한 한쪽 꼬리 보수적 95% 신뢰 한계가 36.3351%입니다.

혼합 분포 적합의 예

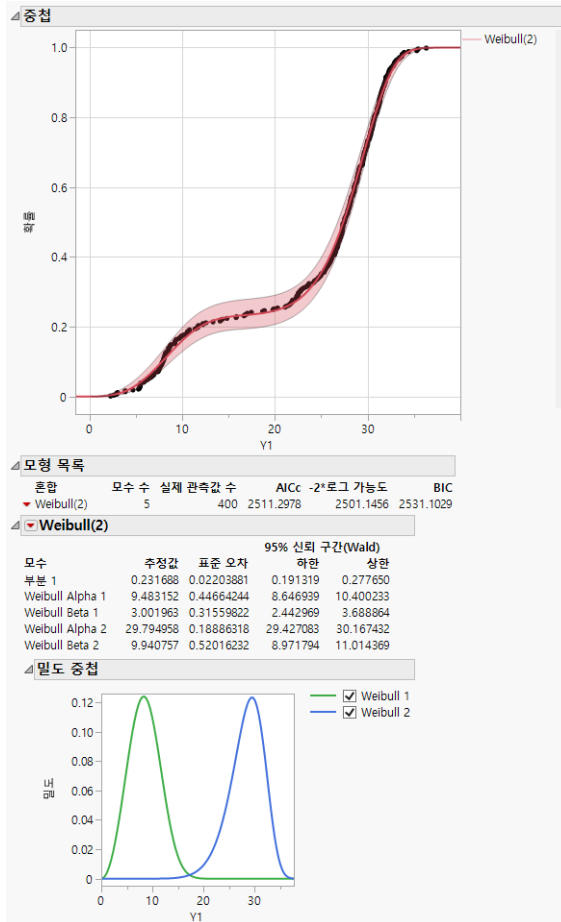
이 예에서는 수명 분포 플랫폼을 사용하여 두 개의 혼합 분포를 적합시킨 후 두 번째 혼합에 대한 군집 중 하나에 속하는 관측값을 식별합니다.

두 개의 혼합 분포 적합

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더를 선택하고 Reliability/Mixture Demo.jmp** 를 엽니다 .
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포**를 선택합니다 .
3. **Y1** 을 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다 .

4. **확인**을 클릭합니다.
5. "수명 분포"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **혼합 적합**을 선택합니다.
6. **Weibull** 옆의 **수량** 상자에 "2"를 입력합니다.
7. "시작 값 방법" 패널에서 **분리 가능 군집**을 선택합니다.
8. **시작**을 클릭합니다.

그림 3.20 Weibull(2)에 대한 혼합 적합

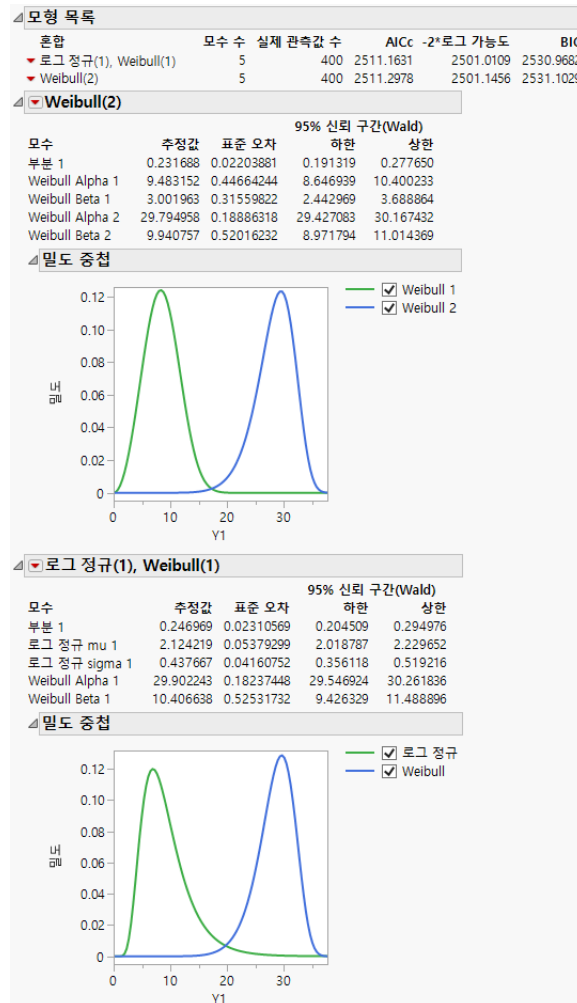


JMP에서 두 개의 Weibull 성분으로 구성된 혼합 모형을 적합시킵니다. "부분 1"은 0.231688로 추정되며, 이는 관측값의 약 23%가 Weibull 분포 (알파 = 9.483153, 베타 = 3.001963)를 따른다는 것을 나타냅니다. 나머지 77%는 두 번째 Weibull 분포를 따른다고 추정됩니다.

이 모형을 다른 모형과 비교하기 위해 "성분" 선택 및 성분 "수량"을 변경할 수 있습니다.

9. **로그 정규** 옆에 "1"을 입력하고 **Weibull** 옆에 "1"을 입력합니다.
10. **시작**을 클릭합니다.

그림 3.21 로그 정규 (1), Weibull(1) 에 대한 혼합 적합



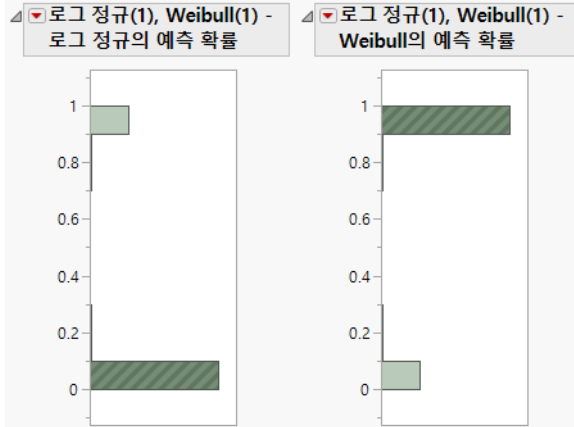
"중첩" 그림이 업데이트되어 두 혼합 모형이 모두 표시됩니다. 그림과 "모형 목록"의 통계량은 "로그 정규 (1), Weibull(1)" 혼합이 "Weibull(2)" 혼합과 매우 유사한 적합을 제공하는 것으로 나타납니다.

군집에 속하는 관측값 식별

- "로그 정규 (1), Weibull(1)" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **예측 저장**을 선택합니다.
다음 두 열이 데이터 테이블에 추가됩니다.
 - 로그 정규 (1), Weibull(1) - 로그 정규의 예측 확률
 - 로그 정규 (1), Weibull(1) - Weibull의 예측 확률
- 분석 > 분포**를 선택합니다.

3. "열 선택" 목록에서 두 개의 새 열을 선택하고 **Y, 열**을 클릭합니다.
4. **히스토그램만**을 선택합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.
6. 로그 정규 (1), Weibull(1) - Weibull 의 예측 확률 히스토그램에서 1 에 가까운 값에 해당하는 막대를 클릭합니다.

그림 3.22 혼합 확률에 대한 히스토그램



데이터 테이블에서 해당하는 297 개 행이 선택됩니다. 이는 Weibull 분포 (알파 = 29.90, 베타 = 10.41) 를 따르는 것으로 보이는 관측값입니다.

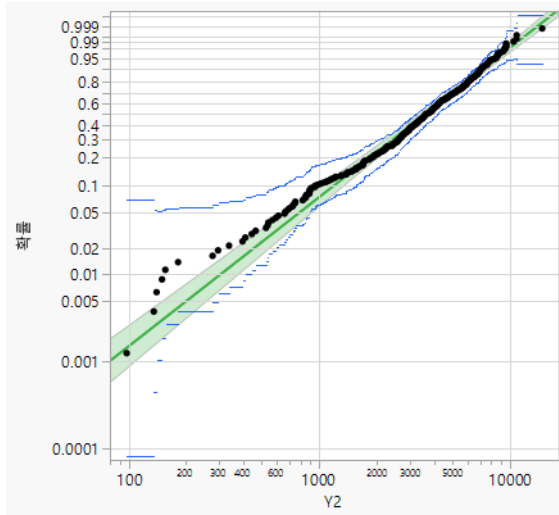
경쟁 위험 혼합 적합의 예

이 예에서는 수명 분포 플랫폼을 사용하여 단일 Weibull 분포의 적합을 두 개의 Weibull 적합이 있는 경쟁 위험 혼합 분포와 비교합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Mixture Demo.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포**를 선택합니다.
3. Y2 를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. **확인**을 클릭합니다.
5. "분포 비교" 보고서에서 **Weibull** 분포 및 해당 **척도** 라디오 버튼을 선택합니다.

단일 Weibull 분포 적합에 대한 확률도가 나타납니다. Y2 범위의 아래쪽 부분에서는 적합이 별로 좋지 않습니다.

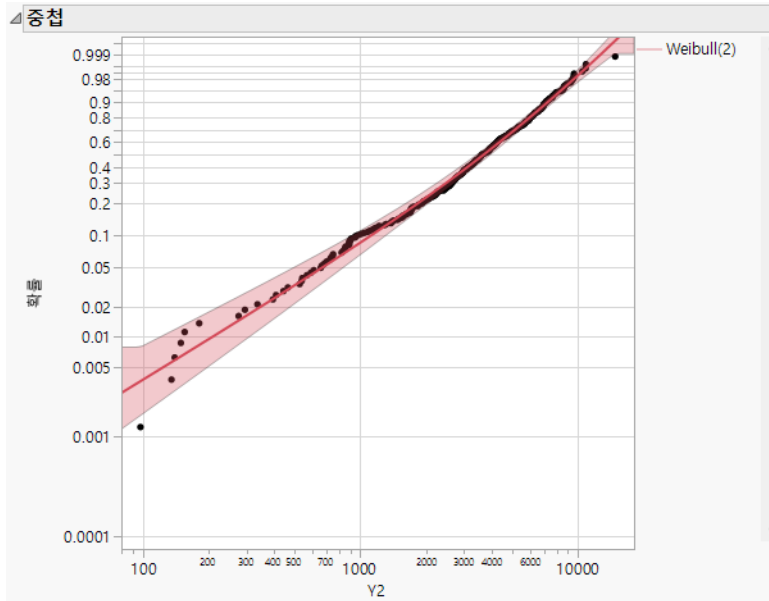
그림 3.23 Weibull 분포 적합



6. "수명 분포"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **경쟁 위험 혼합 모형 적합**을 선택합니다.
7. "경쟁 위험 혼합" 보고서가 나올 때까지 아래로 스크롤합니다. **Weibull** 옆의 **수량** 상자에 "2"를 입력합니다.
8. **시작**을 클릭합니다.
9. "분포 비교" 보고서가 나올 때까지 위로 스크롤합니다. 확률도에서 세로 축을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집 > 축 설정 복사**를 선택합니다.
10. "경쟁 위험 혼합" 보고서가 나올 때까지 아래로 스크롤합니다. "중첩" 그림에서 세로 축을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집 > 축 설정 붙여넣기**를 선택합니다.
11. 가로 축에도 동일하게 수행합니다. 확률도에서 가로 축을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집 > 축 설정 복사**를 선택합니다.
12. "중첩" 그림에서 가로 축을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집 > 축 설정 붙여넣기**를 선택합니다.

Weibull(2) 분포 적합에 대한 확률도가 나타납니다. 두 Weibull 분포를 혼합하면 Y2 범위의 아래쪽 부분에서 분포를 더 잘 포착할 수 있습니다.

그림 3.24 Weibull(2) 경쟁 위험 혼합 분포 적합



수명 분포 플랫폼에 대한 통계 상세 정보

이 섹션에는 다음 항목에 대한 통계 상세 정보가 포함되어 있습니다.

- "분포에 대한 통계 상세 정보"
- "경쟁 원인에 대한 통계 상세 정보"
- "중앙값 순위 회귀에 대한 통계 상세 정보"

분포에 대한 통계 상세 정보

이 섹션에는 수명 분포 플랫폼의 분포 적합에 대한 상세 정보가 포함되어 있습니다. 뒤에 나오는 비모수 및 모수 상세 정보 둘 다에 대한 이론, 적용 및 설명은 Meeker & Escobar(1998, ch. 2-5)에서 확인하십시오.

추정 및 신뢰 구간

다른 설명이 없는 한, 모든 분포의 모수는 MLE(최대 가능도 추정값)를 사용하여 추정됩니다. 임계 분포만 예외입니다. 최소 관측값이 정확 고장인 경우 이 관측값은 작은 구간으로 구간 중도절단되었다고 간주됩니다. 모수 추정값은 약간 수정된 이 데이터 집합에서 추정된 MLE입니다. 이 수정이 없으면 비유계 가능도가 될 수 있으므로 MLE가 없을 수 있습니다. 이 방법은 최소 정확 고장이 중도절단된다는 점만 제외하면 Meeker & Escobar(1998, p. 275)에 설명된 방법과 비슷합니다. 이는 가능도 함수의 유계성을 보장하는 최소 데이터 변화입니다.

수명 분포 플랫폼에서는 분포 모수에 대한 신뢰 구간을 계산하는 두 가지 방법을 제공합니다. 이러한 방법은 "Wald" 또는 "가능도" 라벨로 표시되며 수명 분포 플랫폼 시작 창에서 선택할 수 있습니다. Wald 신뢰 구간이 기본 설정으로 사용됩니다. cdf(누적 분포 함수)에 대한 신뢰 구간 계산은 표준화 변수에 대한 Wald 신뢰 구간으로 시작됩니다. 그런 다음 구간이 cdf 척도로 변환됩니다(Nelson 1982, pp. 332–333 및 pp. 346–347). 다른 그래프와 프로파일러에 제공되는 신뢰 구간은 변환된 Wald 구간입니다(Meeker & Escobar 1998, ch. 7). 2모수 분포의 모수에 대한 결합 신뢰 구간은 로그 가능도 등고선 그림에 표시됩니다. 이러한 구간은 모수에 대한 근사 가능도비를 기반으로 합니다(Meeker & Escobar 1998, ch. 8).

비모수 적합

비모수 적합은 분포의 기본 곡선을 나타냅니다. 중도절단이 없는 데이터(고장만 해당)와 관측 값이 고장 및 오른쪽 중도절단으로 구성된 데이터의 경우 JMP에서 Kaplan-Meier 추정값이 사용됩니다. 혼합, 구간 또는 왼쪽 중도절단의 경우 Turnbull 추정값이 사용됩니다. 데이터 집합에 오른쪽 중도절단 데이터만 포함된 경우에는 "비모수 추정값" 보고서에 비모수 추정값을 계산할 수 없다는 내용이 표시됩니다.

수명 분포 플랫폼에서는 계단 함수의 중간점 추정값을 사용하여 확률도를 생성합니다. 중간점 추정값은 현재 Kaplan-Meier 추정값과 이전 Kaplan-Meier 추정값의 중간 또는 평균입니다.

모수 분포

모수 분포는 비모수 분포보다 더 간결한 분포 적합을 제공합니다. 고장 시간 추정값 분포도 더 평활합니다. 또한 모수 모형은 분포의 하위 또는 상위 꼬리에 대한 외삽(시간)에 유용합니다.

참고: 수명 분포 플랫폼의 많은 분포는 위치 및 척도로 파라미터화됩니다. 로그 정규 적합의 경우 중앙값도 제공됩니다. 임계 분포에는 임계 모수도 포함됩니다. 위치는 μ , 척도는 σ , 임계는 γ 에 해당합니다.

로그 정규

로그 정규 분포는 데이터 범위가 10의 여러 거듭제곱일 경우 고장 시간을 나타내는 데 흔히 사용됩니다. 보통 이 분포는 독립적이며 같은 분포를 따르는 다수의 작은 양수 확률 변수의 곱으로 간주됩니다. 데이터 값의 로그가 정규 분포를 따르는 것처럼 보일 때 적절합니다. 로그 정규 분포로 적절하게 모델링된 데이터의 예로는 병원 비용 데이터, 금속 피로 균열 성장 및 소독제에 노출된 박테리아의 생존 시간이 있습니다. 일반적으로 pdf 곡선은 강한 오른쪽 왜도가 특징입니다. 로그 정규 pdf 및 cdf는 다음과 같습니다.

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma} \phi_{\text{nor}} \left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma} \right], \quad x > 0$$

$$F(x; \mu, \sigma) = \Phi_{\text{nor}} \left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma} \right]$$

여기서 ,

$$\phi_{\text{nor}}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$

및

$$\Phi_{\text{nor}}(z) = \int_{-\infty}^z \phi_{\text{nor}}(w) dw$$

각각 표준화된 정규 또는 $\text{nor}(\mu = 0, \sigma = 1)$ 분포에 대한 pdf와 cdf입니다.

Weibull

Weibull 분포를 사용하면 위험률이 증가하거나 감소하는 고장 시간 데이터를 모델링할 수 있습니다. 형상 모수 β 의 값을 기반으로 다양한 유형의 데이터를 모델링할 때 엄청난 유연성을 제공하므로 신뢰성 분석에 자주 사용됩니다. 이 분포는 전자 부품, 롤러 베어링, 콘덴서 및 세라믹의 고장을 설명하는 데 사용되고 있습니다. 척도 모수 α 와 형상 모수 β 를 변경하여 Weibull 분포의 다양한 모양을 나타낼 수 있습니다. 일반적으로 Weibull pdf와 cdf는 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 형상 모수입니다. Weibull 분포는 $\beta = 1$ 일 때 지수 분포로 축소되므로 융통성이 있습니다. 문헌과 JMP에서 자주 사용되는 대체 파라미터화는 σ 를 척도 모수로 사용하고 μ 를 위치 모수로 사용하는 것입니다. 이러한 모수는 다음 정의를 사용하여 α 및 β 파라미터화로 쉽게 변환됩니다.

$$\alpha = \exp(\mu)$$

및

$$\beta = \frac{1}{\sigma}$$

Weibull 분포의 pdf 및 cdf는 로그 변환된 SEV(최소 극단값) 분포로도 표현됩니다. 이 경우 $\mu = \log(\alpha)$ 및 $\sigma = 1/\beta$ 인 위치 척도 파라미터화를 사용합니다.

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma} \phi_{\text{sev}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right], \quad x > 0, \sigma > 0$$

$$F(x; \mu, \sigma) = \Phi_{\text{sev}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right]$$

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 pdf와 cdf입니다.

로그로지스틱

로그로지스틱 분포의 pdf 는 로그 정규 분포와 모양이 비슷하지만 꼬리가 더 두껍습니다 . 암 사망률 및 금융 자산과 같은 비단조 위험 함수를 나타내는 데이터를 모델링하는 데 주로 사용됩니다 . 로그로지스틱 pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x;\mu,\sigma) = \frac{1}{x\sigma} \phi_{\text{logis}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right]$$

$$F(x;\mu,\sigma) = \Phi_{\text{logis}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right]$$

여기서 ,

$$\phi_{\text{logis}}(z) = \frac{\exp(z)}{[1 + \exp(z)]^2}$$

및

$$\Phi_{\text{logis}}(z) = \frac{\exp(z)}{[1 + \exp(z)]} = \frac{1}{1 + \exp(-z)}$$

각각 표준화된 로지스틱 또는 logis($\mu = 0, \sigma = 1$) 분포에 대한 pdf와 cdf입니다.

Frechet

Frechet 분포는 로그 - 최대 극단값 분포라고 하며 , Weibull 분포의 역수로 파라미터화될 때 최대 값의 Frechet 분포라고도 합니다 . 이 분포는 일반적으로 재무 데이터에 사용됩니다 . pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x;\mu,\sigma) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right)\right] \exp\left(-\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right) \frac{1}{x\sigma}$$

$$F(x;\mu,\sigma) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right)\right]$$

또한 다음과 같이 더 일반적으로 파라미터화됩니다 .

$$f(x;\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma} \phi_{\text{lev}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right]$$

$$F(x;\mu, \sigma) = \Phi_{\text{lev}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right]$$

여기서 ,

$$\phi_{\text{lev}}(z) = \exp[-z - \exp(-z)]$$

및

$$\Phi_{\text{lev}}(z) = \exp[-\exp(-z)]$$

각각 표준화된 최대 극단값 LEV($\mu = 0, \sigma = 1$) 분포에 대한 pdf와 cdf입니다.

정규

정규 분포는 상대적으로 단순하고 중심 극한 정리를 쉽게 적용할 수 있기 때문에 대부분의 통계학 분야에서 가장 널리 사용되는 분포입니다 . 그러나 신뢰성 분석에는 거의 사용되지 않습니다 . 이 분포는 $\mu > 0$ 이고 변동 계수 (σ/μ) 가 작은 데이터에 가장 유용합니다 . 위험 함수는 상한 없이 증가하므로 마모 고장을 나타내는 데이터에 특히 유용합니다 . 예를 들면 백열 전구 , 토스터 발열체 , 와이어의 기계적 강도 등이 있습니다 . pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x;\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma} \phi_{\text{nor}}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right), \quad -\infty < x < \infty$$

$$F(x;\mu, \sigma) = \Phi_{\text{nor}}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

여기서 ,

$$\phi_{\text{nor}}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$

및

$$\Phi_{\text{nor}}(z) = \int_{-\infty}^z \phi_{\text{nor}}(w) dw$$

각각 표준화된 정규 또는 nor($\mu = 0, \sigma = 1$) 분포에 대한 pdf와 cdf입니다.

SEV(최소 극단값)

이 비대칭 (왼쪽으로 편중) 분포는 두 가지 경우에 유용합니다 . 첫 번째 경우는 데이터가 분포의 하위 꼬리 부분에 적은 수의 약한 유닛을 나타낼 때입니다 (데이터가 많은 관측값 중 가장 작

은 수를 나타냄). 두 번째 경우는 σ 가 μ 에 비해 작을 때입니다 . SEV 분포를 사용할 경우 0 보다 작을 확률이 적기 때문입니다 . 최소 극단값 분포는 유닛이 오래될수록 위험률이 커지는 데이터를 설명하는 데 유용합니다 . 예를 들면 노인 사망률과 가뭄 동안의 강수량이 있습니다 . 이 분포를 Gumbel 분포라고도 합니다 . pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x;\mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma}\phi_{\text{sev}}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \quad -\infty < \mu < \infty, \quad \sigma > 0$$

$$F(x;\mu,\sigma) = \Phi_{\text{sev}}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

여기서 ,

$$\phi_{\text{sev}}(z) = \exp[z - \exp(z)]$$

및

$$\Phi_{\text{sev}}(z) = 1 - \exp[-\exp(z)]$$

각각 표준화된 최소 극단값 SEV($\mu = 0, \sigma = 1$) 분포에 대한 pdf 와 cdf 입니다 .

로지스틱

로지스틱 분포는 정규 분포와 모양이 비슷하지만 꼬리가 더 깁니다 . 로지스틱 분포는 음수 고장 시간이 문제가 되지 않을 때 수명 데이터를 모델링하는 데 주로 사용됩니다 . 이항 또는 순서형 반응에 대한 로지스틱 회귀 모형은 로지스틱 분포를 잠재 분포로 가정합니다 . pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x;\mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma}\phi_{\text{logis}}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \quad -\infty < \mu < \infty \text{ and } \sigma > 0$$

$$F(x;\mu,\sigma) = \Phi_{\text{logis}}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

여기서 ,

$$\phi_{\text{logis}}(z) = \frac{\exp(z)}{[1 + \exp(z)]^2}$$

및

$$\Phi_{\text{logis}}(z) = \frac{\exp(z)}{[1 + \exp(z)]} = \frac{1}{1 + \exp(-z)}$$

각각 표준화된 로지스틱 또는 logis($\mu = 0, \sigma = 1$) 분포에 대한 pdf 와 cdf 입니다 .

LEV(최대 극단값)

오른쪽으로 편중된 이 분포는 σ 가 $\mu > 0$ 에 비해 작을 때 고장 시간을 모델링하는 데 사용할 수 있습니다. 이 분포는 일반적으로 신뢰성 분석에 사용되지 않지만 재난적 홍수 수위 또는 강풍 속도와 같은 극한 자연 현상을 추정하는 데 유용합니다. pdf와 cdf는 다음과 같습니다.

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma} \phi_{\text{lev}}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right), \quad -\infty < \mu < \infty \text{ 및 } \sigma > 0$$

$$F(x; \mu, \sigma) = \Phi_{\text{lev}}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

여기서,

$$\phi_{\text{lev}}(z) = \exp[-z - \exp(-z)]$$

및

$$\Phi_{\text{lev}}(z) = \exp[-\exp(-z)]$$

각각 표준화된 최대 극단값 $\text{LEV}(\mu = 0, \sigma = 1)$ 분포에 대한 pdf와 cdf입니다.

지수

1 모수 지수 분포와 2 모수 지수 분포 둘 다 신뢰성 분석에 사용됩니다. 2 모수 지수 분포의 pdf와 cdf는 다음과 같습니다.

$$f(x; \theta, \gamma) = \frac{1}{\theta} \exp\left(-\frac{x - \gamma}{\theta}\right), \quad \theta > 0$$

$$F(x; \theta, \gamma) = 1 - \exp\left(-\frac{x - \gamma}{\theta}\right)$$

여기서, θ 는 척도 모수이고 γ 는 임계 및 위치 모수입니다. 신뢰성 분석에서는 $\gamma = 0$ 인 1모수 지수 분포를 주로 사용합니다. 지수 분포는 기대 수명을 훨씬 초과한 마모를 나타내는 부품의 고장 시간을 설명하는 데 유용합니다. 이 분포는 고장 비율이 일정합니다. 즉, 시간 증분이 작은 경우 유닛의 고장은 유닛 수명과 관계가 없습니다. 피로, 부식 또는 단기 마모에 노출될 수 있는 기계 부품의 수명을 설명하는 데 지수 분포를 사용하면 안 됩니다. 그러나 이 분포는 특정 유형의 견고한 전자 부품을 모델링하는 데 적절합니다. 이 분포는 절연유 및 전기 비전도유체의 수명을 설명하는 데 사용되고 있습니다(Nelson 1990, p. 53).

로그 일반화 감마

로그 일반화 감마 분포에는 SEV, LEV 및 정규 분포가 포함됩니다. pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다.

$$f(x; \mu, \sigma, \lambda) = \begin{cases} \frac{|\lambda|}{\sigma} \phi_{\lg}[\lambda \omega + \log(\lambda^{-2}); \lambda^{-2}] & \text{단, } \lambda \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \phi_{\text{nor}}(\omega) & \text{단, } \lambda = 0 \end{cases}$$

$$F(x; \mu, \sigma, \lambda) = \begin{cases} \Phi_{\lg}[\lambda \omega + \log(\lambda^{-2}); \lambda^{-2}] & \text{단, } \lambda > 0 \\ \Phi_{\text{nor}}(\omega) & \text{단, } \lambda = 0 \\ 1 - \Phi_{\lg}[\lambda \omega + \log(\lambda^{-2}); \lambda^{-2}] & \text{단, } \lambda < 0 \end{cases}$$

여기서 , $-\infty < x < \infty$, $\omega = [x - \mu]/\sigma$,

$$-\infty < \mu < \infty, \quad -12 < \lambda < 12, \quad \text{and } \sigma > 0.$$

다음 사항에 유의하십시오 .

$$\phi_{\lg}(z; \kappa) = \frac{1}{\Gamma(\kappa)} \exp[\kappa z - \exp(z)]$$

$$\Phi_{\lg}(z; \kappa) = \Gamma_1[\exp(z); \kappa]$$

각각 로그-감마 변수에 대한 pdf 와 cdf 이며 $\kappa > 0$ 은 형상 모수입니다. 위의 표준화된 분포는 형상 모수 κ 에 따라 달라집니다.

참고 : JMP 에서 일반화 감마 분포의 형상 모수 λ 는 수치 안정성을 제공하기 위해 [-12,12] 사이로 제한됩니다.

확장된 일반화 감마

확장된 일반화 감마 분포는 일반화 감마 , Weibull, 로그 정규 , Frechet, 감마 및 지수와 같은 다른 많은 분포를 특수 사례로 포함할 수 있습니다 . 중도절단이 거의 또는 전혀 없는 경우에 특히 유용합니다 . 이 분포는 암 환자의 예후를 모델링하는 데 사용되고 있습니다 . pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x; \mu, \sigma, \lambda) = \begin{cases} \frac{|\lambda|}{x\sigma} \phi_{\lg}[\lambda \omega + \log(\lambda^{-2}); \lambda^{-2}] & \text{단, } \lambda \neq 0 \\ \frac{1}{x\sigma} \phi_{\text{nor}}(\omega) & \text{단, } \lambda = 0 \end{cases}$$

$$F(x; \mu, \sigma, \lambda) = \begin{cases} \Phi_{\text{lg}}[\lambda\omega + \log(\lambda^{-2}); \lambda^{-2}] & \text{단, } \lambda > 0 \\ \Phi_{\text{nor}}(\omega) & \text{단, } \lambda = 0 \\ 1 - \Phi_{\text{lg}}[\lambda\omega + \log(\lambda^{-2}); \lambda^{-2}] & \text{단, } \lambda < 0 \end{cases}$$

여기서, $x > 0$, $\omega = [\log(x) - \mu]/\sigma$,

$$-\infty < \mu < \infty, \quad -12 < \lambda < 12, \quad \text{and } \sigma > 0.$$

다음 사항에 유의하십시오.

$$\phi_{\text{lg}}(z; \kappa) = \frac{1}{\Gamma(\kappa)} \exp[\kappa z - \exp(z)]$$

$$\Phi_{\text{lg}}(z; \kappa) = \Gamma_1[\exp(z); \kappa]$$

각각 표준화된 로그-감마 변수에 대한 pdf와 cdf이며 $\kappa > 0$ 은 형상 모수입니다.

위의 표준화된 분포는 형상 모수 κ 에 따라 달라집니다. Meeker & Escobar(1998, ch. 5)에서는 확장된 일반화 감마 분포에 대한 자세한 설명을 제공합니다.

참고 : JMP에서 일반화 감마 분포의 형상 모수 λ 는 수치 안정성을 제공하기 위해 [-12,12] 사이로 제한됩니다.

임계 모수가 있는 분포

임계 분포는 임계 모수가 있는 로그-위치-척도 분포입니다. 위의 분포 중 일부는 γ 로 표시되는 임계 모수를 추가하여 일반화됩니다. 이 임계 모수를 추가하면 왼쪽 끝점이 0에서 멀어집니다. 모든 유닛이 최소 임계 시간까지는 생존하기 때문에 임계 모수를 이동, 최소 또는 보증 모수라고도 합니다. 임계 모수를 추가하면 시간 축의 분포가 이동하지만 분포의 모양과 퍼짐에는 영향을 주지 않습니다. 임계 분포는 보통 또는 심하게 이동된 분포를 적합시키는 데 유용합니다. 로그-위치-척도 임계 분포의 pdf와 cdf에 대한 일반적 형식은 다음과 같습니다.

$$f(x; \mu, \sigma, \gamma) = \frac{1}{\sigma(x - \gamma)} \phi\left[\frac{\log(x - \gamma) - \mu}{\sigma}\right], \quad x > \gamma$$

$$F(x; \mu, \sigma, \gamma) = \Phi\left[\frac{\log(x - \gamma) - \mu}{\sigma}\right]$$

여기서, ϕ 와 Φ 는 각각 특정 분포에 대한 pdf와 cdf입니다. Weibull, 로그 정규, Frechet 및 로그 로지스틱 분포에 대한 특정 임계 분포의 예가 아래에 표시되어 있으며, 각각 SEV, 정규, LEV 및 logis pdf와 cdf가 적절하게 대체됩니다.

참고 : 가장 작은 관측값이 고장 (중도절단되지 않음) 인 경우 JMP에서는 해당 점 주위에 작은 구간을 생성하고 관측값을 구간 중도절단된 것으로 처리합니다 . 이렇게 고장 주변에 패딩을 추가하면 로그 가능도 함수의 경계가 설정되고 추정이 향상됩니다 . 가장 작은 관측값이 중도절단된 경우에는 관측값에 별도의 패딩이 추가되지 않습니다 .

TH Weibull

3 모수 Weibull 분포의 pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x;\mu,\sigma,\gamma) = \frac{1}{(x-\gamma)\sigma} \phi_{\text{sev}}\left[\frac{\log(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right], \quad x > \gamma, \sigma > 0$$

$$F(x;\mu,\sigma,\gamma) = \Phi_{\text{sev}}\left(\frac{\log(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad x > \gamma$$

여기서 , $\mu = \log(\alpha)$, $\sigma = 1/\beta$ 이고

$$\phi_{\text{sev}}(z) = \exp[z - \exp(z)]$$

및

$$\Phi_{\text{sev}}(z) = 1 - \exp[-\exp(z)]$$

각각 표준화된 최소 극단값 SEV($\mu = 0$, $\sigma = 1$) 분포에 대한 pdf 와 cdf 입니다.

TH 로그 정규

3 모수 로그 정규 분포의 pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x;\mu, \sigma, \gamma) = \frac{1}{\sigma(x-\gamma)} \phi_{\text{nor}}\left[\frac{\log(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right], \quad x > \gamma$$

$$F(x;\mu,\sigma,\gamma) = \Phi_{\text{nor}}\left[\frac{\log(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right]$$

여기서 ,

$$\phi_{\text{nor}}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$

및

$$\Phi_{\text{nor}}(z) = \int_{-\infty}^z \phi_{\text{nor}}(w) dw$$

각각 표준화된 정규 또는 N($\mu = 0$, $\sigma = 1$) 분포에 대한 pdf 와 cdf 입니다.

TH Frechet

3 모수 Frechet 분포의 pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x; \mu, \sigma, \gamma) = \frac{1}{\sigma(x-\gamma)} \phi_{\text{lev}} \left[\frac{\log(x-\gamma) - \mu}{\sigma} \right], \quad x > \gamma$$

$$F(x; \mu, \sigma, \gamma) = \Phi_{\text{lev}} \left[\frac{\log(x-\gamma) - \mu}{\sigma} \right]$$

여기서 ,

$$\phi_{\text{lev}}(z) = \exp[-z - \exp(-z)]$$

및

$$\Phi_{\text{lev}}(z) = \exp[-\exp(-z)]$$

각각 표준화된 최대 극단값 LEV($\mu = 0, \sigma = 1$) 분포에 대한 pdf 와 cdf 입니다.

TH 로로지스틱

3 모수 로로지스틱 분포의 pdf 와 cdf 는 다음과 같습니다 .

$$f(x; \mu, \sigma, \gamma) = \frac{1}{\sigma(x-\gamma)} \phi_{\text{logis}} \left[\frac{\log(x-\gamma) - \mu}{\sigma} \right], \quad x > \gamma$$

$$F(x; \mu, \sigma, \gamma) = \Phi_{\text{logis}} \left[\frac{\log(x-\gamma) - \mu}{\sigma} \right]$$

여기서 ,

$$\phi_{\text{logis}}(z) = \frac{\exp(z)}{[1 + \exp(z)]^2}$$

및

$$\Phi_{\text{logis}}(z) = \frac{\exp(z)}{[1 + \exp(z)]} = \frac{1}{1 + \exp(-z)}$$

각각 표준화된 로지스틱 또는 logis($\mu = 0, \sigma = 1$) 분포에 대한 pdf 와 cdf 입니다.

결함 부모집단 분포

신뢰성 실험에서 고장 원인이 되는 특정 결함이 모집단의 일부에만 있을 때가 있습니다 . 모든 유닛이 고장에 취약하지는 않으므로 정규 고장 분포를 사용하는 것은 적절하지 않고 잘못된 결과

를 초래할 수 있습니다. 부모집단에서만 발생하는 고장을 모델링하려면 DS 분포 옵션을 사용합니다. 다음과 같은 DS 분포를 사용할 수 있습니다.

- DS 로그 정규
- DS Weibull
- DS 로그로지스틱
- DS Frechet

결합 부모집단 분포에 대한 pdf 와 cdf 는 다음과 같이 정의됩니다.

$$f(t) = \left[p \frac{1}{t\sigma} \right] \phi \left[\frac{(\log(t) - \mu)}{\sigma} \right]$$

$$F(t) = p \Phi \left[\left(\frac{(\log(t) - \mu)}{\sigma} \right) \right]$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

p - 결합 부모집단 비율

t - 수명 사건에 대한 측정 시간

μ, σ - 해당 결합 부모집단의 pdf 와 cdf 로 일반적인 최대 가능도 추정을 계산하여 추정됨

$\phi(z), \Phi(z)$ - 각각 표준 분포에 대한 밀도 및 누적 분포 함수. 예를 들어 Weibull 분포의 경우 다음과 같습니다.

$$\phi(z) = \exp(z - \exp(z)), \Phi(z) = 1 - \exp(-\exp(z))$$

결합 부모집단 모형에 대한 자세한 내용은 Tobias & Trindad(2012, p. 321)에서 확인하십시오.

Meeker & Escobar(1998, ch. 11)에서는 결합 부모집단 모형을 limited failure population(제한된 고장 모집단) 모형이라고도 합니다.

영과잉 분포

영과잉 분포는 특정 비율 (p) 의 데이터가 $t=0$ 에서 고장 나는 경우 사용됩니다. 데이터에 포함된 0 이 표준 모형에서 예상한 것보다 많으면 0 의 수가 부풀려집니다. 사건 발생 시간 데이터에 수명 분포 플랫폼의 최소값으로 0 이 포함된 경우 네 개의 영과잉 분포를 사용할 수 있습니다. 여기에는 다음 분포가 포함됩니다.

- ZI 로그 정규 (영과잉 로그 정규)
- ZI Weibull(영과잉 Weibull)
- ZI 로그로지스틱 (영과잉 로그로지스틱)
- ZI Frechet(영과잉 Frechet)

영과잉 분포에 대한 pdf 와 cdf 는 다음과 같이 정의됩니다 .

$$f(t) = \left[(1-p) \frac{1}{t\sigma} \right] \phi \left[\frac{(\log(t) - \mu)}{\sigma} \right]$$

$$F(t) = p + (1-p) \Phi \left[\frac{(\log(t) - \mu)}{\sigma} \right]$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다 .

p - 0 데이터 값의 비율

t - 수명 사건에 대한 측정 시간

μ, σ - 원래 데이터에서 0 값을 제거한 후 일반적인 최대 가능도 추정을 계산하여 추정됨

$\phi(z), \Phi(z)$ - 각각 표준 분포에 대한 밀도 및 누적 분포 함수. 예를 들어 Weibull 분포의 경우 다음과 같습니다 .

$$\phi(z) = \exp(z - \exp(z)), \Phi(z) = 1 - \exp(-\exp(z))$$

영과잉 분포에 대한 자세한 내용은 Lawless(2003, p. 34)에서 확인하십시오. 위에 표시된 형식을 얻으려면 $p = 1 - p, S_1(t) = 1 - \Phi(t)$ 로 대체합니다.

신뢰성 분포에 대한 자세한 내용은 Tobias & Trindade(1995, p. 232)에서 확인하십시오. 이 참조 자료에서는 혼합 분포에 대한 일반적인 형식을 제공합니다. Tobias & Trindade의 파라미터화를 사용할 경우, $\alpha = p, F_d(t) = 1$ 및 $F_N(t) = \Phi(t)$ 로 대체하여 위의 형식을 얻을 수 있습니다.

베이지안 추정을 위한 사전 분포

다음은 위치 및 척도 사전 분포에 사용할 수 있는 분포입니다 .

- Location(위치 , μ) 및 Scale(척도 , 시그마) 초모수가 있는 정규 / 로그 정규 분포 . 정의는 "로그 정규" 및 "정규"에서 확인하십시오 .
- 균등 분포의 받침을 정의하는 Low(하위) 및 End(끝) 초모수가 있는 균등 분포
- Shape(형상) 및 Scale(척도) 초모수가 있는 감마 분포 . k/θ 파라미터화 및 확률 밀도 함수가 사용됩니다 .
- Location(위치) 초모수가 있는 점질량 분포 . 이는 퇴화된 사전 분포로 , 사전 분포를 할당하는 모수에 사용 가능한 값이 하나뿐입니다 . 가능한 값은 이 Location 초모수에 입력된 값과 같습니다 .

다음은 분위수 및 모수 사전 분포에 사용할 수 있는 분포입니다 .

- 99% 확률 범위로 분포의 0.005 및 0.995 백분위수를 사용하여 사전 분포를 지정하는 정규 / 로그 정규 분포 . JMP 는 μ 와 시그마를 취소합니다 .
- 균등 분포의 받침을 정의하는 Lower Limit(하한) 및 Upper Limit(상한) 초모수가 있는 균등 분포
- Lower Limit(하한 , a) 및 Upper Limit(상한 , b) 가 있는 로그 - 균등 분포 . 이 분포는 $\text{Log}(a)$ 와 $\text{Log}(b)$ 사이의 로그 척도에서 균등합니다 .

- Location(위치) 초모수가 있는 점질량 분포 . 이는 퇴화된 사전 분포로 , 사전 분포를 할당하는 모수에 사용 가능한 값이 하나뿐입니다 . 가능한 값은 이 Location 초모수에 입력된 값과 같습니다 .

다음은 고장 확률 사전 분포에 사용할 수 있는 분포입니다 .

- 확률 밀도 함수를 특징으로 하는 베타 분포
 - 추정값과 오차 비율 (평균과 분산) 을 사용하여 베타 사전 분포를 지정합니다 . 평균은 " 추정값 " 에 입력한 값과 같고 분산은 (오차 비율 /100 * 추정값)^2 와 같습니다 .
 - 분포의 0.005 및 0.995 백분위수를 사용하여 베타 사전 분포를 지정합니다 . JMP 는 초모수를 취소합니다 .

경쟁 원인에 대한 통계 상세 정보

경쟁 원인 모형의 경우 집계 분포에 대한 닫힌 형식은 다음과 같이 정의됩니다 .

$$F(x) = 1 - \prod_{i=1}^k [1 - F_i(x)]$$

여기서, $F_i(x)$, $i = 1, \dots, k$ 는 원인에 해당하는 개별 고장 분포입니다. 관련된 모든 추정값이 MLE 이므로 신뢰 한계를 쉽게 구할 수 있습니다.

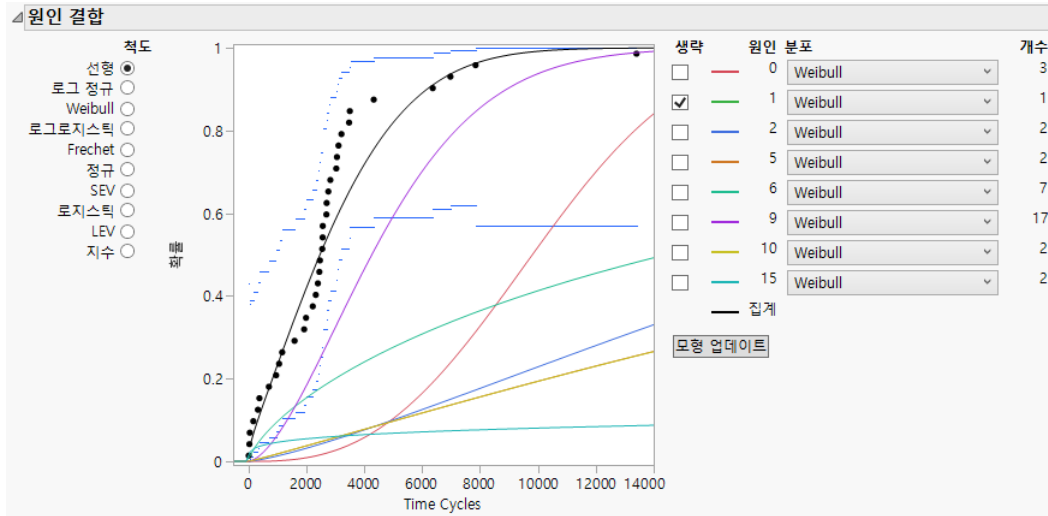
고정 모수 모형을 원인에 대한 분포로 지정

원인에 대해 고정 모수 모형을 지정한 경우 해당 원인의 "개별 원인" 보고서에서 모수를 고정해야 합니다. "수명 분포 - 고장 원인: <이름>" 보고서의 원하는 "모수 추정값" 보고서에서 모수를 고정합니다. "모형 업데이트"를 클릭하면 고정 모수가 집계 분포에 포함됩니다.

이 예에서는 고정 모수 모형을 집계 분포에 포함하는 방법을 보여 줍니다 .

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Appliance.jmp 를 엽니다 .
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포**를 선택합니다 .
3. Time Cycles 를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다 .
4. Cause Code 를 선택하고 **고장 원인**을 클릭합니다 .
5. **가능도**를 신뢰 구간 방법으로 선택합니다 .
6. **고장 모드에서 고정 모수 모형을 사용하도록 허용**을 선택합니다 .
7. **확인**을 클릭합니다 .

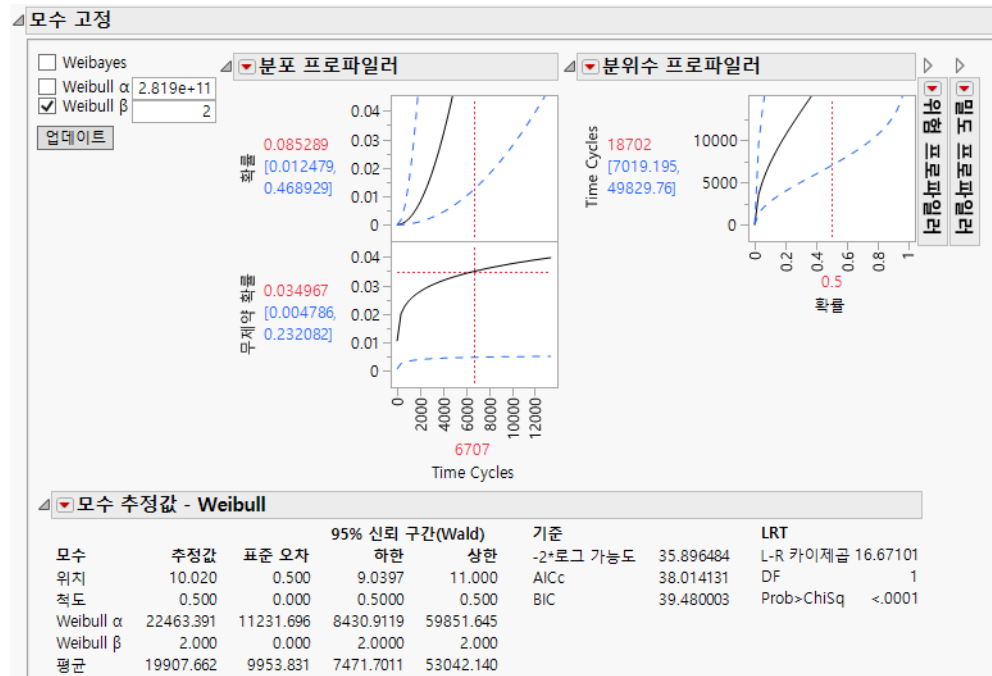
그림 3.25 원인 1 이 생략된 고정 모수 모형



데이터가 충분하지 않아 원인 = 1 이 기본적으로 생략되었습니다. 그러나 이 원인을 생략하고 싶지 않습니다.

8. 원인 1 에 대한 " 개별 원인 " 보고서를 엽니다. 이 보고서 이름은 " 수명 분포 - 고장 원인 : 1 고장 개수 : 1 " 입니다.
9. " 모수 추정값 - Weibull " 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모수 고정**을 선택합니다.
10. **Weibull 베타**를 선택하고 "2" 를 입력합니다.
11. **업데이트**를 클릭합니다.

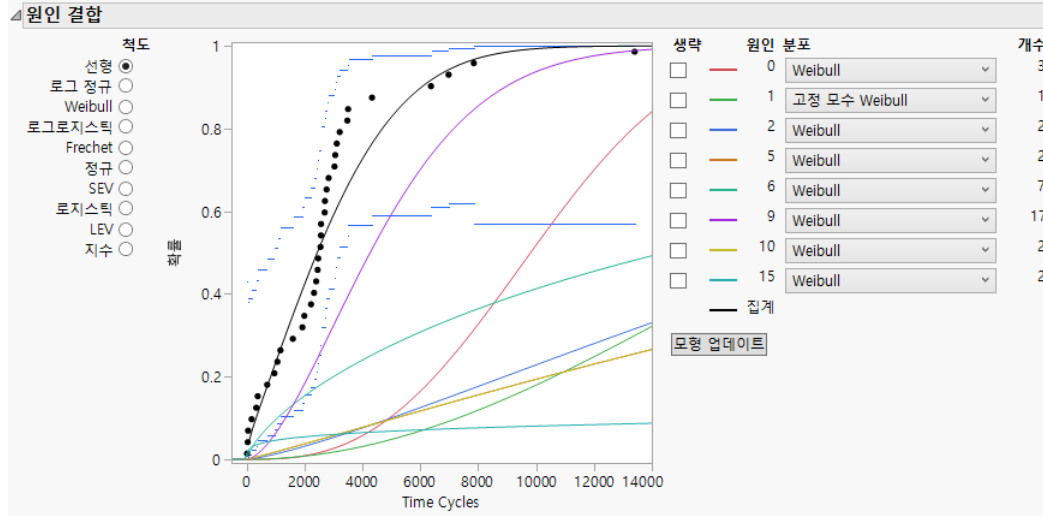
그림 3.26 Weibull 베타가 지정된 고정 모수 모형



"모수 추정값 - Weibull" 보고서에서 β 를 2 라고 가정하면 알파 모수는 22463.391 로 추정됩니다. 이제 원인=1 에 대한 고장 분포에 이 값을 사용할 수 있습니다.

12. 보고서 창 맨 위의 "원인 결함" 이 나올 때까지 위로 스크롤합니다.
13. 원인 1 에 대한 **생략** 을 선택 취소합니다.
14. 원인 1 에 대한 분포에서 **고정 모수 Weibull** 을 선택합니다.
15. **모형 업데이트** 를 클릭합니다.

그림 3.27 원인 1 을 보여 주는 업데이트된 모형



이제 집계 모형은 전체 경쟁 원인 모형에서 원인 1에 대한 고정 모수 Weibull 결과를 사용합니다.

원인에 대한 베이지안 모형 지정

원인에 대한 베이지안 모형을 지정하는 단계는 "[고정 모수 모형을 원인에 대한 분포로 지정](#)"에 설명된 단계와 비슷합니다. 개별 원인에 대한 수명 분포 보고서의 "통계량"에 있는 해당 "모수 추정값" 개요의 "베이지안 추정" 보고서에서 모형을 정의합니다. 자세한 내용은 "[베이지안 추정 -<분포 이름>](#)"에서 확인하십시오.

베이지안 모형을 집계 모형에 포함하려면 다른 원인에 대한 비베이지안 분포가 시뮬레이션 기반 프레임워크에 적합해야 합니다. 예를 들어 모형에 두 개의 고장 원인이 있다고 가정해 보겠습니다. 하나는 Weibull 분포를 사용하여 모델링되고, 다른 하나는 두 번째 Weibull의 모수를 추정하기 위해 베이지안 방법을 사용하여 모델링됩니다. 첫 번째 Weibull 분포에서 벡터 θ_1 로 표시되는 모수는 최대 가능도를 사용하여 추정됩니다. 두 번째 Weibull의 모수 θ_2 는 베이지안 방법을 사용하여 추정됩니다.

$F(x, \theta_1, \theta_2)$ 로 표시되는 집계 혼합 분포의 분위수와 중앙값은 다음과 같이 구합니다.

- 첫 번째 Weibull에 대해 모수 붓스트랩이 수행되어 최대 가능도 추정값 $\hat{\theta}_1$ 의 점근 분포에서 랜덤 표본을 생성합니다. $\hat{\theta}_1$ 의 점근 분포에서 표집된 값을 θ_1^* 로 나타냅니다.
- θ_2 의 사후 분포에서 표본이 추출되고 θ_2^* 로 나타냅니다.
- θ_1^* 및 θ_2^* 값의 각 집합에 대해 $F^*(x, \theta_1, \theta_2)$ 로 표시되는 $F(x, \theta_1, \theta_2)$ 의 추정값을 구합니다.
- $F^*(x, \theta_1, \theta_2)$ 값을 사용하여 집계 분포의 분위수 및 중앙값에 대한 추정값을 구합니다. 이러한 값은 분포 프로파일러에서 주어진 x 값에 대해 표시됩니다.

원인에 대한 Weibayes 모형 지정

원인에 대한 Weibayes 모형을 지정하는 단계는 "고정 모수 모형을 원인에 대한 분포로 지정"에 설명된 단계와 비슷합니다. 원인에 대한 수명 분포 보고서의 "통계량"에서 "모수 추정값 - Weibull" 개요에 있는 "모수 고정" 옵션을 선택합니다. "모수 고정" 보고서에서 "Weibayes" 옵션을 선택합니다. Weibayes 모형은 베이지안 모형으로 처리되고 알파 모수의 사후 분포에서 붓스트랩 표본이 추출됩니다. 자세한 내용은 Liu & Wang(2013)에서 확인하십시오.

평균 잔존 수명 계산기

"평균 잔존 수명 계산기"의 빨간색 삼각형 메뉴에 있는 "구성" 옵션을 사용하여 평균 잔존 수명 계산에 사용되는 시뮬레이션된 고장 시간 수의 값을 설정합니다. 이 값을 m 으로 표시합니다.

시간 t 에서의 평균 잔존 수명 추정값을 구하기 위해 시간 t 까지의 생존을 조건으로 하는 집계 분포에서 m 개의 표본이 추출됩니다. 이에 대해 평균이 계산됩니다.

평균 잔존 수명에 대한 신뢰 한계를 계산하려면 "구성" 창에서 상자를 선택해야 합니다. 그런 다음 붓스트랩 표본 수를 설정할 수 있습니다. 이 값을 n 으로 표시합니다.

신뢰 구간을 계산하기 위해 MLE의 점근 분포에서 또는 베이지안 추론을 사용하여 파생된 사후 분포에서 모수 추정값의 n 개 표본이 추출됩니다. 모수 값의 각 표본에 대해 집계 분포가 구성되며, 여기서 평균 잔존 수명 계산을 위한 m 개의 표본이 추출됩니다. n 개의 평균 잔존 수명 값 표본을 사용하여 신뢰 구간이 생성됩니다.

혼합 적합의 예측 계산식 저장

이 섹션에서는 혼합 적합 보고서의 "예측 저장" 옵션으로 저장된 열의 값을 계산하는 데 사용되는 계산식을 제공합니다.

다음 표기를 고려하십시오 .

\hat{p}_i - 혼합 비율 w_i 의 추정값

\hat{F}_i - F_i 의 추정된 확률 분포 함수

\hat{f}_i - F_i 의 추정된 확률 밀도 함수

- 관측값 y 가 중도절단되지 않은 경우 저장된 값은 다음 식으로 계산됩니다 .

$$\frac{\hat{p}_i \hat{f}_i(y)}{\sum_{i=1} \hat{p}_i \hat{f}_i(y)}$$

- 관측값이 중도절단된 경우 저장된 값은 중도절단되지 않은 관측값에 대한 계산식의 추정 밀도 값을 다음으로 대체하여 계산됩니다 .

$\hat{F}_i(y)$ 오른쪽 중도절단의 경우

$1 - \hat{F}_i(y)$ 왼쪽 중도절단의 경우

$\hat{F}_i(y_{high}) - \hat{F}_i(y_{low})$ 구간 중도절단의 경우

중앙값 순위 회귀에 대한 통계 상세 정보

중도절단된 행과 가중치 열이 없는 경우 수명 분포 플랫폼에서 Weibull 모수 추정값에 대한 MRR(중앙값 순위 회귀)을 사용할 수 있습니다. 수명 분포 보고서에 MRR 추정값이 표시되려면 다음 조건이 충족되어야 합니다.

- 수명 분포 플랫폼의 "중도절단된 관측값이 없는 경우 중앙값 순위 회귀에 기반한 Weibull 모수 추정값 보고" 환경 설정이 선택되었습니다.
- 분석에 중도절단된 관측값이 없습니다. 즉, 모든 관측값이 고장 시간을 나타냅니다.
- 가중치 열이 지정되지 않았습니다.

위의 조건이 모두 충족되면 "모수 추정값 - Weibull" 보고서가 수정되어 일반적인 MLE(최대 가능도 추정값)는 물론 MRR 추정값도 표시됩니다. 모수 추정값 테이블의 열 머리글 앞에 MLE 또는 MRR이 접두사로 붙어 각 추정값 열을 생성하는 데 사용된 추정 방법을 나타냅니다. MRR 추정값에는 신뢰 구간을 사용할 수 없습니다.

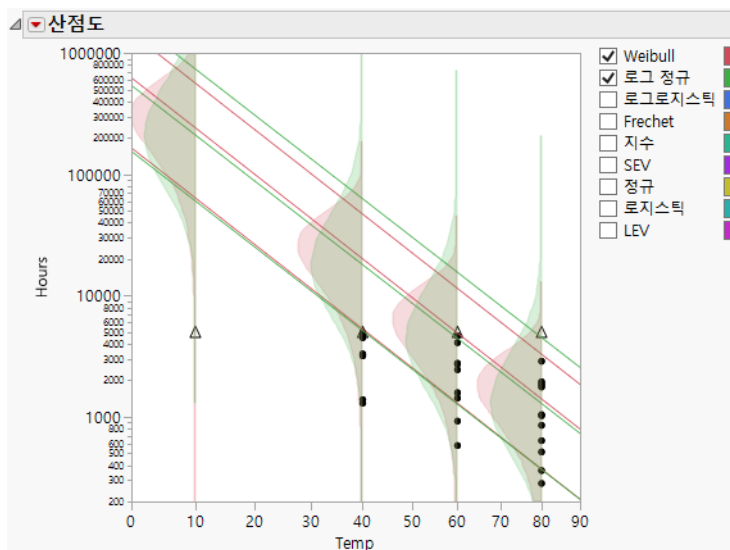
주의: MRR 추정값은 사용하지 않는 것이 좋습니다. 중앙값 순위 회귀에서는 최대 가능도 대신 최소 제곱 추정을 사용하여 추정값을 생성합니다. 중도절단된 데이터에 최소 제곱 추정을 적용하기 위해 일반적으로 허용되는 방법은 없습니다. 또한 Genschel & Meeker(2010)에서는 MLE 방법이 더 정확하다는 것을 보여 줍니다. 실제 추정값을 알고 있다는 사실에 기반한 시뮬레이션 결과를 제공하지만 실제로는 MRR 추정값의 정확성을 알 수 없습니다. MRR은 대략적으로만 정의된 임시 추정 절차이므로 소프트웨어 패키지마다 동일한 데이터에 대해 서로 다른 MRR 추정값이 생성됩니다.

수명 분포 적합

단일 요인 모형을 사건 발생 시간 데이터에 적합

수명 분포 적합 플랫폼을 사용하면 요인이 하나만 있을 때 수명 사건을 분석할 수 있습니다. 다양한 변환을 사용하여 사건과 요인 간의 관계를 모델링하거나, 데이터의 사용자 변환을 생성하도록 선택할 수 있습니다. 또한 동일한 요인 수준에서 서로 다른 분포를 비교하고 여러 요인 수준에서 동일한 분포를 비교할 수도 있습니다.

그림 4.1 다양한 분포 및 요인 수준을 보여 주는 산점도



목차

수명 분포 적합 플랫폼 개요	99
수명 분포 적합 플랫폼의 예	99
수명 분포 적합 플랫폼 시작	102
수명 분포 적합 보고서	104
데이터 요약	104
산점도	105
비모수 중첩	107
비교	108
결과	112
사용자 정의 관계	122
수명 분포 적합 플랫폼 옵션	124
수명 분포 적합 플랫폼의 추가 예	125

수명 분포 적합 플랫폼 개요

수명 분포 적합 플랫폼에서는 가속 수명 시험 분석에 필요한 도구를 제공합니다. 가속 시험은 상대적으로 단기간에 제품 또는 구성 요소에 대한 고장 시간 정보를 제공하기 위해 업계에서 일상적으로 사용됩니다. 공통 가속 요인에는 온도, 전압, 압력 및 사용률이 포함됩니다. 결과는 가속 요인의 더 낮은 정상 작동 수준에서 고장 시간 추정값을 얻기 위해 외삽됩니다. 이러한 결과는 신뢰성 평가, 고장 모드 감지 및 수정, 제조업체 비교, 구성 요소 인증 등에 사용됩니다.

수명 분포 적합 플랫폼에는 사건과 관심 요인 사이의 물리적 및 화학적 관계를 모델링하기 위해 일반적으로 사용되는 많은 변환이 포함되어 있습니다. 예를 들면 아레니우스(섭씨, 화씨, 켈빈) 관계 시간-가속 요인 및 전압-가속 메커니즘을 사용한 변환이 포함됩니다. 선형, 로그, 로짓, 역수, 제곱근, Box-Cox, 위치, 위치 및 척도, 사용자 정의 가속 모형도 이 플랫폼에 포함되어 있습니다.

DOE > 가속 수명 시험 설계 플랫폼을 사용하여 가속 수명 시험 실험을 설계할 수 있습니다. 자세한 내용은 실험 설계 가이드에서 확인하십시오.

신뢰도 수명 검정 및 신뢰도 데모 계산기를 사용하여 신뢰도 연구에 적절한 표본 크기를 선택할 수 있습니다. 이러한 계산기는 DOE > 표본 크기 탐색기에 있습니다. 자세한 내용은 실험 설계 가이드에서 확인하십시오.

Meeker & Escobar(1998, p. 495)에는 가속 수명 데이터 분석을 위한 다음과 같은 전략이 제공됩니다.

1. 데이터를 그래픽으로 검토합니다. 데이터를 시각화하는 한 가지 유용한 방법은 고장 시간 변수 대 가속 요인의 산점도를 검토하는 것입니다.
2. 가속 요인의 여러 수준에서 분포를 데이터에 개별적으로 적합시킵니다. 가정된 다른 분포에 대해 이를 반복합니다.
3. 고장 시간 변수와 가속 요인 사이의 타당성 있는 관계를 사용하여 전체 모형을 적합시킵니다.
4. 3 단계의 모형을 2 단계의 개별 분석과 비교하여 전체 모형에 대한 적합 결여를 평가합니다.
5. 잔차 및 다양한 진단 분석을 수행하여 모형 가정을 확인합니다.
6. 데이터의 타당성을 평가하여 추론합니다.

수명 분포 적합 플랫폼의 예

이 예에서는 가속 온도에서 작동하는 장치의 고장 시간 데이터를 분석합니다. 섭씨 10도의 정상 작동 온도에 대한 고장 시간 관측값은 기록되지 않고, 다른 모든 관측값은 섭씨 40도, 60도 및 80도의 가속 온도 수준에서 고장 시간 또는 중도절단된 값으로 표시됩니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Devalt.jmp를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포 적합**을 선택합니다.
3. **Hours**를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.

4. Temp 를 선택하고 X 를 클릭합니다 .
5. Censor 를 선택하고 중도절단을 클릭합니다 .
6. 중도절단 코드 값 1 을 그대로 둡니다 .
7. Weight 를 선택하고 빈도를 클릭합니다 .
8. 아레니우스 섭씨 관계와 내포 모형 검정 옵션을 선택된 상태로 유지합니다 .
9. " 분포 " 에서 Weibull 을 선택합니다 .
10. Wald 를 신뢰 구간 방법으로 유지합니다 .

그림 4.2 수명 분포 적합 시작 창

단일 회귀 계수로 파라미터화된 수명 분포를 모델링합니다.

열 선택

6개 열

Hours
Status
Weight
Temp
Censor
x

중도절단 코드: 1

관계

아레니우스 섭씨

☒ 내포 모형 검정

사용 조건

분포

Weibull

신뢰 구간 방법 선택

Wald

선택한 열 역할 지정

Y, 사건 발생 시간

선택적 숫자

X

중도절단

빈도

기준

선택적

작업

확인

취소

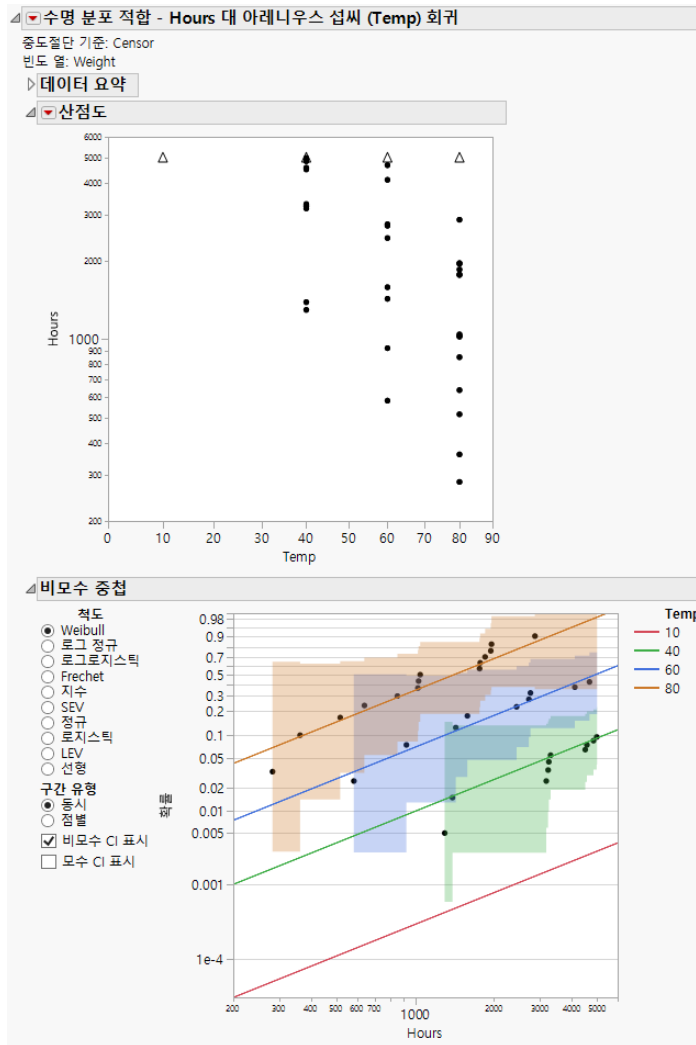
제거

재호출

도움말

11. 확인을 클릭합니다 .

그림 4.3 수명 분포 적합 보고서 창



보고서 창에는 상세 통계량과 예측 프로파일러를 포함한 요약 데이터, 진단 그림, 비교 데이터 및 결과가 표시됩니다. 선택한 각 분포에 대한 개별 결과 섹션이 표시됩니다. 지정된 각 분포에 대한 분포, 분위수, 위험, 밀도 및 가속 요인 프로파일러가 포함됩니다.

수명 분포 적합 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포 적합을 선택하여 수명 분포 적합 플랫폼을 시작합니다.

그림 4.4 수명 분포 적합 시작 창

단일 회귀 계수로 파라미터화된 수명 분포를 모델링합니다.

The screenshot shows the 'Survival Distribution Fit Start' window. It is divided into several sections:

- 열 선택 (Column Selection):** A list of variables including '6개 열' (6 columns), 'Hours', 'Status', 'Weight', 'Temp', 'Censor', and 'X'. The 'X' variable is highlighted.
- 중도절단 코드 (Censoring Code):** A dropdown menu with '아래니우스 섭씨' (Arithmetic Celsius) selected.
- 관계 (Relationship):** A section with a checkbox for '내포 모형 검정' (Inclusion model test) and a '사용 조건' (Usage condition) field.
- 분포 (Distribution):** A dropdown menu with '로그 정규' (Log-normal) selected.
- 신뢰 구간 방법 선택 (Confidence Interval Method Selection):** A dropdown menu with 'Wald' selected.
- 선택한 열 역할 지정 (Designated role for selected column):** A table with columns for 'Y, 사건 발생 시간' (Y, Event time), 'X', '중도절단' (Censoring), '빈도' (Frequency), and '기준' (Reference). The roles are assigned as follows:

Y, 사건 발생 시간	X	중도절단	빈도	기준
필수 숫자	필수	선택적	선택적 숫자	선택적
- 작업 (Operation):** Buttons for '확인' (OK), '취소' (Cancel), '제거' (Remove), '재호출' (Recall), and '도움말' (Help).

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**에서 확인하십시오.

수명 분포 적합 시작 창에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

Y, 사건 발생 시간 사건 발생 시간 (예: 고장 시간) 또는 중도절단 시간을 식별합니다. 구간 중도절단을 사용하는 경우 두 개의 Y 변수를 지정합니다. 여기서 한 Y 변수는 각 유닛에 대한 한 값을 제공하고 다른 Y 변수는 상한을 제공합니다. 중도절단에 대한 자세한 내용은 "[사건 그림](#)"에서 확인하십시오.

X 가속 요인을 식별합니다.

중도절단 중도절단된 관측값을 식별합니다. "열 선택" 목록 아래의 "중도절단 코드" 메뉴에서 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별하는 값을 선택합니다. 중도절단 열은 하나의 Y가 입력된 경우에만 사용됩니다.

빈도 유닛이 여러 개인 경우 빈도 또는 관측값 수를 식별합니다. 0 또는 양의 정수 값은 여러 항목이 기록된 경우 각 행의 관측값 빈도 또는 개수를 나타냅니다.

기준 변수의 각 수준에 대한 개별 분석으로 구성된 보고서를 생성하는 열을 식별합니다.

중도절단 코드 오른쪽 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값을 식별합니다. 중도절단 열이 선택되면 JMP 는 자동으로 중도절단 코드를 감지하여 상자에 표시하려고 시도합니다. 이를 변경하려면 빨간색 삼각형을 클릭하고 값 목록에서 선택합니다. 상자에 다른 값을 입력할 수도 있습니다. 중도절단 열에 "값 라벨" 열 특성이 포함된 경우 값 라벨이 값 목록에 나타납니다. 결측값은 분석에서 제외됩니다.

관계 사건과 가속 요인 간의 관계를 식별합니다. 표 4.1에서는 각 관계에 대한 모형을 정의합니다.

표 4.1 관계 옵션에 대한 모형

관계	모형
아레니우스 섭씨	$\mu = b_0 + b_1 * 11604.5181215503/(X + 273.15)$
아레니우스 화씨	$\mu = b_0 + b_1 * 11604.5181215503/((X + 459.67)/1.8)$
아레니우스 켈빈	$\mu = b_0 + b_1 * 11604.5181215503/X$
전압	$\mu = b_0 + b_1 * \log(X)$
선형	$\mu = b_0 + b_1 * X$
로그	$\mu = b_0 + b_1 * \log(X)$
로짓	$\mu = b_0 + b_1 * \log(X/(1 - X))$
역수	$\mu = b_0 + b_1/X$
제곱근	$\mu = b_0 + b_1 * \sqrt{X}$
Box-Cox	$\mu = b_0 + b_1 * \text{BoxCox}(X)$
위치	μ 가 X의 모든 수준에 대해 다름을 의미
위치 및 척도	μ 와 σ 둘 다 X의 모든 수준에 대해 다름을 의미(X를 기준 변수로 사용하여 적합된 수명 분포와 같음)
사용자 정의	사용자가 정의한 μ 와 σ

Box-Cox 를 선택하면 "사용 조건" 옵션 아래에 텍스트 편집 상자가 나타납니다. 이 상자를 사용하여 람다 값을 지정합니다. 지정된 λ 에 대한 BoxCox(X) 변환은 다음과 같이 정의됩니다.

$$x_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{x_i^\lambda - 1}{\lambda} & \text{단, } \lambda \neq 0 \\ \ln(x_i) & \text{단, } \lambda = 0 \end{cases}$$

모형에 사용자 정의 관계를 사용하려면 "사용자 정의 관계"의 내용을 참조하십시오.

내포 모형 검정 보고서 창에 비모수 중첩 그림, 내포 모형 검정 및 다중 확률도를 추가합니다.

사용 조건 가속 요인의 설명 변수 X에 대한 값을 입력할 수 있습니다. 플랫폼을 시작한 후 "수명 분포 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "시간 가속 사용 조건 설정" 옵션을 사용하여 사용 조건 값을 설정할 수도 있습니다.

분포 한 번에 하나의 분포 (Weibull, 로그 정규, 로그로지스틱, Frechet, SEV, 정규, 로지스틱, LEV 또는 지수 분포)를 지정합니다. "로그 정규"가 기본 설정입니다.

신뢰 구간 방법 선택 모수에 대한 신뢰 구간을 계산하는 방법을 표시합니다. 기본값은 "Wald"이지만 "가능도"를 선택할 수도 있습니다. Wald는 근사 방법이며 더 빠르게 실행됩니다. 가능도 방법은 더 정확한 모수를 제공하지만 계산하는 데 시간이 오래 걸립니다.

참고: "신뢰 구간 방법" 환경 설정을 사용하면 가능도 방법을 기본 신뢰 구간 방법으로 선택할 수 있습니다. **환경 설정 > 플랫폼 > 수명 분포 적합**에서 이 환경 설정을 변경할 수 있습니다.

수명 분포 적합 보고서

초기 "수명 분포 적합" 보고서에는 다음 섹션이 포함되어 있습니다.

- "데이터 요약"
- "산점도"
- "비모수 중첩"
- "비교"
- "결과"
- "사용자 정의 관계"

"비교" 보고서에는 분포, 분위수, 위험, 밀도 및 가속 요인 프로파일러에 대한 탭이 포함되어 있습니다. "비교 기준"에서 기준 값을 보고 비교할 수도 있습니다.

"결과" 보고서에는 모수 추정값, 공분산 행렬, 내포 모형 검정 및 진단에 대한 탭이 포함되어 있습니다. 이러한 결과를 검토하고 선택된 각 분포에 대해 비교할 수 있습니다. 사용자 추정을 수행하고 분포 모수에 대한 베이지안 추정값을 구할 수도 있습니다.

데이터 요약

"수명 분포 적합" 보고서의 "데이터 요약" 섹션에는 총 관측값 수, 중도절단되지 않은 값 수 및 중도절단된 값(오른쪽, 왼쪽 및 구간) 수가 포함됩니다.

산점도

수명 사건 대 설명 변수의 산점도는 "수명 분포 적합" 보고서 상단에 나타납니다. [표 4.2](#)에서는 각 고장 유형이 산점도에 어떻게 표현되는지 보여 줍니다. 그래프의 표식 크기를 늘리려면 그래프를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **표식 크기**를 선택한 후 나열된 표식 크기 중 하나를 선택합니다.

그림 4.5 Hours 대 Temp 의 산점도

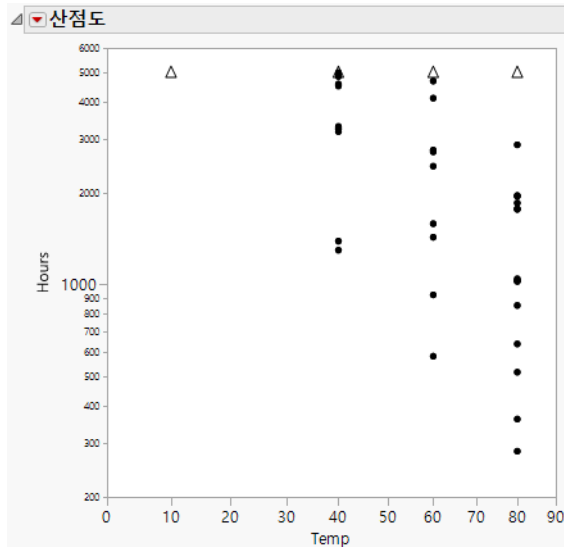


표 4.2 고장 및 중도절단된 관측값에 대한 산점도 표현

사건	산점도 표현
고장	점
오른쪽 중도절단	상향 삼각형
왼쪽 중도절단	하향 삼각형
구간 중도절단	상향 삼각형 위의 하향 삼각형이 실선으로 연결됨

산점도 옵션

" 산점도 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

밀도 곡선 추가 가속 요인 범위 내의 값을 입력하여 한 번에 하나씩 원하는 밀도 곡선을 지정합니다. 그런 다음 곡선을 추가한 후 나타나는 적절한 체크박스를 선택하여 다른 분포를 선택할 수 있습니다.

밀도 곡선 제거 이전에 지정한 밀도 곡선 값 목록을 표시합니다. 해당 체크박스를 선택하여 곡선을 제거합니다.

밀도 곡선 표시 산점도에 밀도 곡선을 표시하거나 숨깁니다.

연속형 X 변수와 연속형 관계를 지정하면 X 변수의 수준, 사용 조건 값 및 "밀도 곡선 추가" 옵션으로 지정한 값에 밀도 곡선이 표시됩니다.

비연속형 관계 유형을 지정하면 지정된 설명 변수의 모든 수준에 대해 밀도 곡선이 표시됩니다. "위치" 또는 "위치 및 척도" 관계를 지정하거나, 시작 창에서 "내포 모형 검정" 옵션을 선택하거나, 명목형 X 변수를 지정하는 경우 비연속형 관계가 발생합니다.

분위수 선 추가 원하는 분위수 선을 한 번에 세 개씩 지정합니다. **분위수 선 추가**를 계속 선택하여 분위수를 더 추가할 수 있습니다. 기본 분위수 값은 0.1, 0.5, 0.9 입니다. 결측값과 같은 잘못된 분위수 값은 무시됩니다. 원하는 경우 분위수 값을 하나만 입력하고 나머지 항목은 비워 둘 수 있습니다.

분위수 선 CI 대역 표시 분위수 선 주위에 신뢰 구간을 표시하거나 숨깁니다.

분위수 선 CI 대역의 수준 설정 분위수 선 주위의 신뢰 구간에 대한 신뢰 수준을 지정합니다.

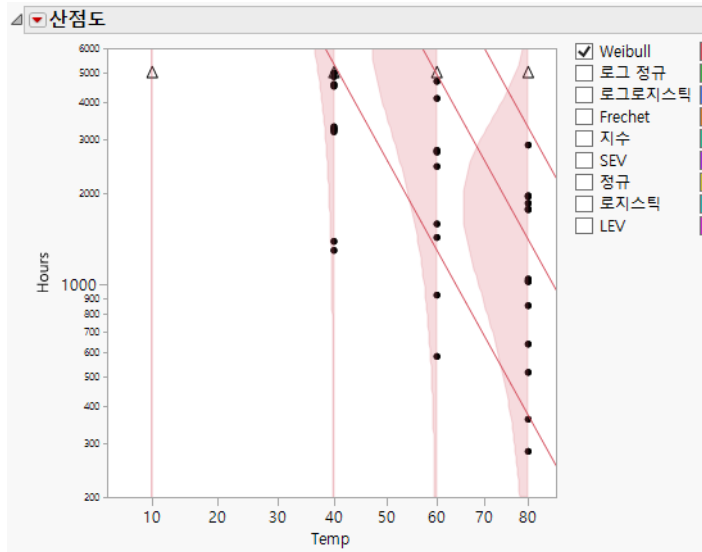
분위수 선 제거 이전에 지정한 분위수 값 목록을 표시합니다. 해당 체크박스를 선택하여 선을 제거합니다.

축 전치 가로 축과 세로 축을 바꿉니다.

변환 척도 사용 산점도의 기본 보기에는 변환 척도가 포함되어 있습니다. 가로 축에 대한 선형 척도와 비선형 척도 간에 전환하려면 이 옵션을 선택합니다.

그림 4.5에서는 초기 산점도를 보여 줍니다. **그림 4.6**에서는 **밀도 곡선 표시** 및 **분위수 선 추가** 옵션을 선택하여 Weibull 분포의 다양한 Temp 수준에 대한 곡선과 선을 표시하는 결과 산점도를 보여 줍니다. 다른 분포에 대한 Temp의 모든 수준에서 밀도 곡선을 볼 수도 있습니다. 이러한 분포를 한 번에 하나씩 선택하거나, 원하는 분포 이름 왼쪽의 상자를 선택하여 동시에 볼 수 있습니다.

그림 4.6 밀도 곡선 및 분위수 선 옵션을 사용한 산점도



비모수 중첩

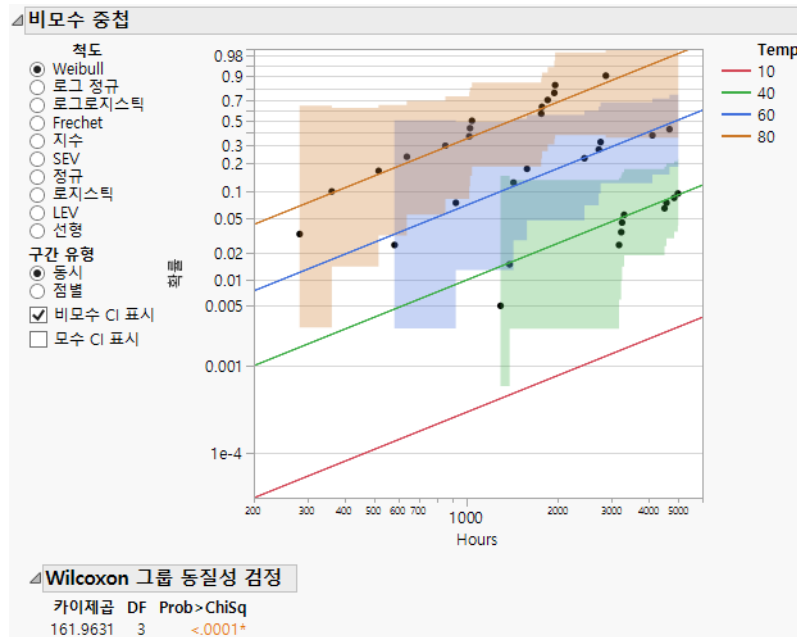
수명 분포 적합 플랫폼의 "비모수 중첩" 그림은 산점도 다음에 나타납니다. 이 그림을 검토하여 그룹 간 차이를 쉽게 감지할 수 있습니다. 이러한 차이를 보기 위해 다른 척도를 선택할 수 있습니다. 비모수 적합 확률도에서 구간 유형을 **동시**와 **점별** 간에 변경할 수 있습니다(**비모수 CI 표시**를 선택한 경우 표시되는 결과). 모수 신뢰 구간을 표시할지 아니면 비모수 신뢰 구간을 표시할지도 선택할 수 있습니다.

점별 추정값은 그림에 95% 점별 신뢰 대역을 표시하는 반면, 동시 신뢰 구간은 그림에 모든 그룹에 대한 동시 신뢰 대역을 표시합니다. Meeker & Escobar(1998, ch. 3)에서는 수명 분석에서 점별 신뢰 구간과 동시 신뢰 구간 및 동시 신뢰 구간의 동기에 대해 설명합니다.

Wilcoxon 그룹 동질성 검정

이 예에서 [그림 4.7](#)에 표시된 **Wilcoxon 그룹 동질성 검정**은 그룹 간에 차이가 있음을 나타냅니다. 높은 카이제곱 값과 낮은 p 값은 "비모수 중첩" 그림의 Temp 그룹 간에 나타나는 차이와 일치합니다.

그림 4.7 비모수 중첩 그림과 Wilcoxon 검정



비교

"수명 분포 적합" 보고서의 "비교" 섹션에는 "비모수 중첩" 섹션에서 선택한 분포의 프로파일러가 표시되며 다음 탭이 포함됩니다.

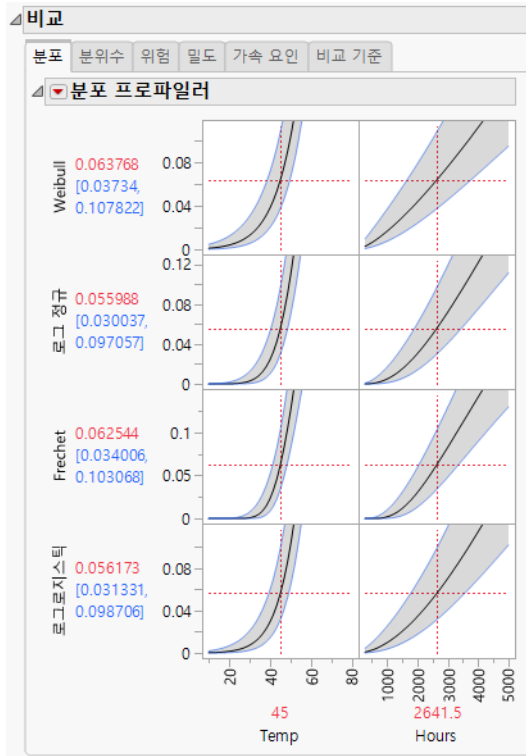
- 분포
- 분위수
- 위험
- 밀도
- 가속 요인
- 비교 기준

특정 프로파일러를 표시하려면 "비모수 중첩" 섹션에서 적절한 분포 옵션을 선택합니다.

프로파일러

처음 5개 탭에는 선택한 분포에 대한 프로파일러가 표시됩니다. 처음 4개 프로파일러에 표시된 곡선은 사건 발생 시간 변수와 설명 변수 둘 다에 해당합니다. "가속 요인" 프로파일러 탭은 가속 요인(설명 변수)에만 해당합니다. 그림 4.8에서는 Weibull, 로그 정규, Frechet 및 로그로지스틱 분포에 대한 분포 프로파일러를 보여 줍니다.

그림 4.8 분포 프로파일러

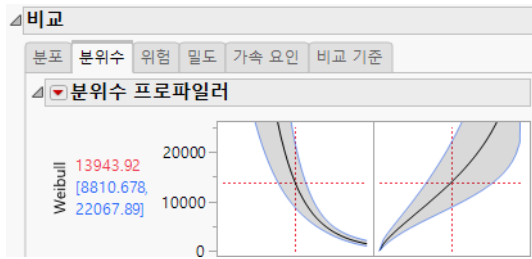


비슷한 결과가 **분위수**, **위험** 및 **밀도** 탭에 나타납니다. 분포, 분위수, 위험, 밀도 및 가속 요인 프로파일러는 다른 플랫폼의 예측 프로파일러와 비슷하게 동작합니다. 예를 들어 **Temp**와 **Hours**의 세로선을 드래그하여 각 분포 값이 온도와 시간에 따라 어떻게 변하는지 확인할 수 있습니다. 예측 프로파일러에 대한 자세한 설명은 **Profilers**에서 확인하십시오.

분위수

외삽을 위해 분위수 프로파일러를 사용할 수 있습니다. 데이터가 Weibull 분포로 표현된다고 가정해 보겠습니다. **그림 4.10**의 Weibull 가속 요인 프로파일러를 보면 섭씨 10도의 사용 조건 온도에 대한 섭씨 45도에서의 가속 요인은 17.42132임을 확인할 수 있습니다. **분위수** 탭을 선택하여 Weibull 분포에 대한 분위수 프로파일러를 확인합니다. 확률도에서 세로선을 선택하고 확률이 0.5가 되도록 드래그합니다. 확률이 0.5로 설정된 **그림 4.9**에서는 섭씨 45도에서 고장 확률 0.5에 대한 분위수가 13943.92 시간임을 알 수 있습니다. 따라서 섭씨 10도에서 유닛의 50%가 $13943.92 * 17.42132 = 242921$ 시간까지 고장 난다고 예상할 수 있습니다.

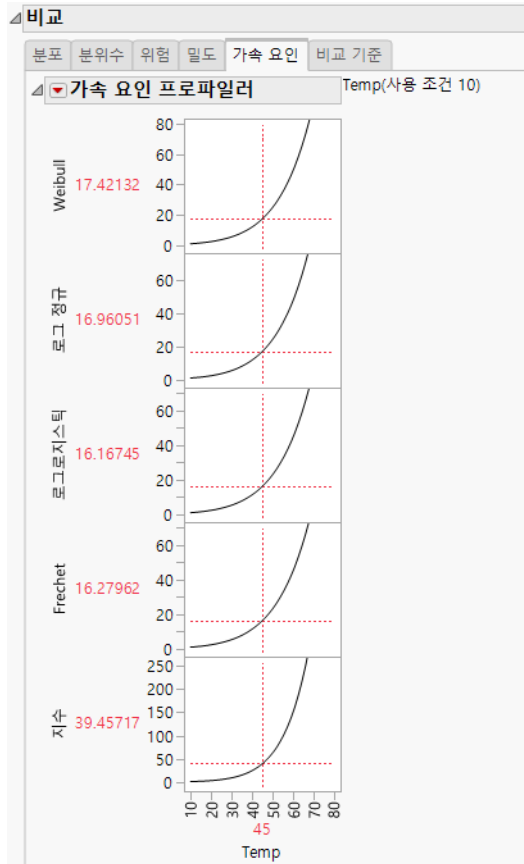
그림 4.9 Weibull 분위수 프로파일러



가속 요인

가속 요인 탭을 선택하면 지정된 각 분포에 대한 사건 발생 시간 변수의 가속 요인 프로파일러가 표시됩니다. **그림 4.10**을 생성하려면 "수명 분포 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **모든 분포 적합**을 선택합니다. "수명 분포 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **시간 가속 사용 조건 설정**을 선택하고 원하는 값을 입력하여 설명 변수의 사용 조건 값을 수정합니다. 설명 변수와 사용 조건 값이 프로파일러 제목 옆에 나타납니다.

그림 4.10 가속 요인 프로파일러



가속 요인 프로파일러를 사용하면 사용 조건 값 및 모수 분포 가정과 비교할 때 가속 시험 조건에 대한 고장 시간을 추정할 수 있습니다. 시간-가속 그림의 해석은 일반적으로 사용 조건의 p 번째 분위수와 가속 시험 조건의 p 번째 분위수의 비율입니다. 이 관계는 분포가 로그 정규, Weibull, 로그로지스틱 또는 Frechet 이고 척도 모수가 모든 수준에 대해 일정한 경우에만 적용됩니다. 분포의 파라미터화에 대한 자세한 내용은 "[분포에 대한 통계 상세 정보](#)"에서 확인하십시오.

참고: 설명 변수가 이산형인 경우, 설명 변수가 이산형으로 처리되는 경우, 사용자 정의 계산식에 단일 척도 요인이 사용되지 않는 경우 또는 분포가 정규, SEV, 로지스틱 또는 LEV 인 경우에는 가속 요인 프로파일러가 나타나지 않습니다.

비교 기준

비교 기준 탭에는 관심 분포에 대한 $-2 \times$ 로그 가능도, AICc 및 BIC 기준이 표시됩니다. [그림 4.11](#)에서는 Weibull, 로그 정규, 로그로지스틱 및 Frechet 분포에 대한 이러한 값을 보여 줍니다. 데이터에 더 나은 적합을 제공하는 분포가 "비교" 보고서 상단에 AICc 별로 정렬되어 표시됩니다.

그림 4.11 비교 기준 보고서 탭

비교				
분포	분위수	위험	밀도	가속 요인
비교 기준				
분포	-2*로그 가능도	AICc	BIC	
로그 정규	643.40556	649.55462	658.72339	
로그로지스틱	644.17962	650.32868	659.49745	
Weibull	647.23742	653.38649	662.55526	
Frechet	647.56676	653.71583	662.88460	

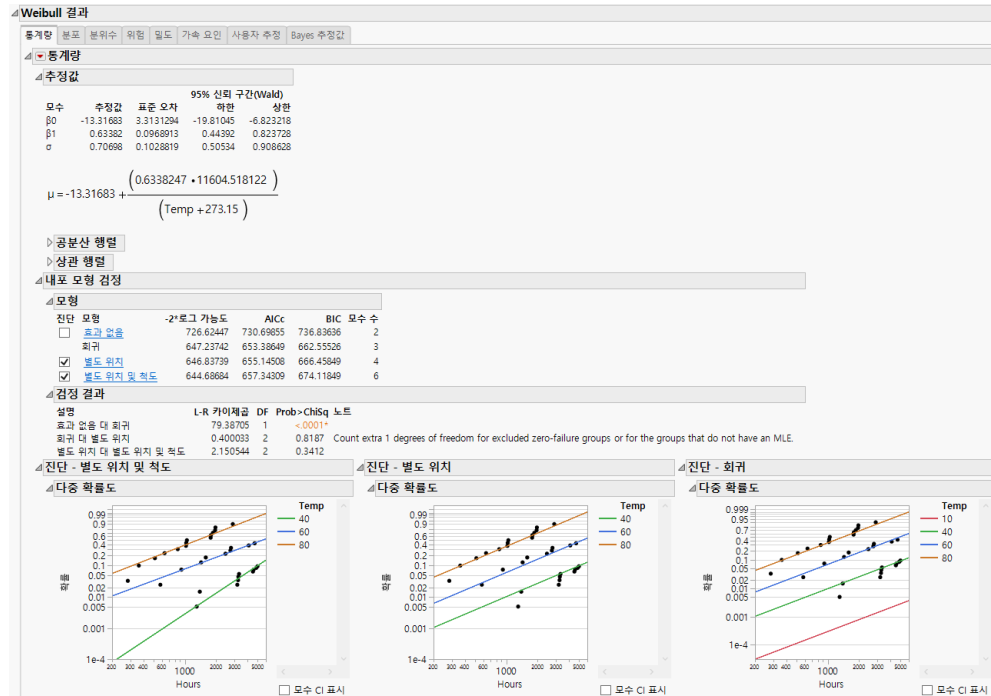
이 보고서에서는 로그 정규 및 로그로지스틱 분포에 대해 가장 낮은 기준 값이 표시되므로 이러한 분포가 데이터에 가장 잘 적합된다는 것을 나타냅니다. 기준에 대한 자세한 내용은 [선형 모형 적합](#)에서 확인하십시오.

결과

"수명 분포 적합" 보고서의 "결과" 섹션에서는 "비교" 보고서에 표시된 것보다 더 상세한 통계량 및 예측 프로파일러를 보여 줍니다. 선택한 각 분포에 대해 개별 결과 섹션이 표시됩니다. [그림 4.12](#)에서는 내포 모형 검정 및 진단 그림을 포함하여 Weibull 결과 보고서의 일부를 보여 줍니다.

지정된 각 분포에 대한 통계 결과, 진단 그림 및 분포, 분위수, 위험, 밀도 및 가속 요인 프로파일러가 포함됩니다. "사용자 추정" 탭에서는 Wald 구간 방법과 프로파일 구간 방법을 모두 사용하여 특정 고장 확률 및 분위수를 추정할 수 있습니다. 플랫폼 시작 창에서 Box-Cox 관계를 선택하면 "민감도" 탭이 나타납니다. 이 탭에서는 상대 가능도와 B10 수명이 Box-Cox 람다의 함수로 어떻게 변하는지 보여 줍니다.

그림 4.12 Weibull 분포 내포 모형 검정



통계량

각 모수 분포에 대해 모수 추정값, 공분산 행렬, Wald 기반 신뢰 구간, 요약 통계량 및 진단 그림을 보여 주는 "통계량" 섹션이 있습니다. 각 모수 분포에 대한 "통계량"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 이러한 옵션 중 일부 또는 모두를 선택하여 확률, 분위수 및 위험 추정값을 저장할 수 있습니다. 추정값과 해당하는 신뢰 하한 및 상한이 데이터 테이블에 열로 저장됩니다.

내포 모형 검정

플랫폼 시작 창에서 옵션을 선택한 경우 "내포 모형 검정"이 포함됩니다. "내포 모형 검정"에는 다음 모형에 대한 통계량 및 진단 그림이 포함됩니다.

별도 위치 및 척도 설명 변수의 모든 수준에 대해 위치 및 척도 모수가 다르다고 가정합니다. 이 옵션은 설명 변수의 수준별로 분포를 적합시키는 것과 같습니다. "별도 위치 및 척도" 모형에는 여러 위치 모수와 여러 척도 모수가 있습니다 (그림 4.13).

별도 위치 위치 모수는 다르지만 척도 모수는 설명 변수의 모든 수준에 대해 동일하다고 가정합니다. "별도 위치" 모형에는 여러 위치 모수와 단일 척도 모수가 있습니다 (그림 4.14).

회귀 초기 "수명 분포 적합" 보고서 창에 표시된 기본 모형입니다 (그림 4.15).

효과 없음 설명 변수가 반응에 영향을 주지 않는다고 가정합니다. 이 옵션은 선택한 분포에 모든 데이터 값을 적합시키는 것과 같습니다. "효과 없음" 모형에는 위치 모수와 척도 모수가 각각 하나씩 있습니다 (그림 4.16).

별도 위치 및 척도, 별도 위치, 회귀 분석 결과는 기본적으로 표시됩니다. 회귀 모수 추정값과 위치 모수 계산식은 기본적으로 "추정값" 섹션 아래에 표시됩니다. "내포 모형 검정" 제목 아래에서 "효과 없음" 왼쪽의 체크박스를 선택하여 "효과 없음" 모형에 대한 진단 그림을 표시할 수 있습니다.

각 모형에 대한 결과를 다른 모형과 독립적으로 표시하려면 밑줄이 그어진 관심 모형("내포 모형 검정" 아래에 나열됨)을 클릭한 후 다른 모형에 대한 체크박스의 선택을 해제합니다.

시작 창에서 "내포 모형 검정" 옵션을 선택하지 않은 경우에는 별도 위치 및 척도 모형과 별도 위치 모형이 평가되지 않습니다. 이 경우 선택한 각 분포에 대한 회귀 모형의 추정값이 제공되고 "Cox-Snell 잔차 P-P 그림"만 진단 그림으로 표시됩니다.

참고: 별도 위치 및 척도 모형과 별도 위치 모형이 Weibull 분포에 적합한 경우 [그림 4.13](#) 및 [그림 4.14](#)에서와 같이 Weibull 분포의 두 파라미터화가 모두 "추정값" 테이블에 표시됩니다. Weibull 파라미터화에 대한 자세한 내용은 "[Weibull](#)"에서 확인하십시오.

진단

[그림 4.12](#)에 표시된 "다중 확률도"는 가속 변수의 여러 수준에 대한 분포 가정을 검증하는 데 사용됩니다. 각 수준의 선이 해당 수준의 데이터 점을 통과하지 않으면 분포 가정이 유지되지 않을 수 있습니다. 진단 그림을 나란히 비교하면 여러 모형의 타당성을 시각적으로 비교할 수 있습니다. 다중 확률도에 대한 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, sec. 19.2.2)에서 확인하십시오. 각 다중 확률도의 범례 아래에는 그림의 각 선에 대해 음영 처리된 모수 신뢰 구간을 표시하거나 숨길 수 있는 옵션이 있습니다.

"Cox-Snell 잔차 P-P 그림"은 데이터에 대한 분포 가정을 검증하는 데 사용됩니다. 데이터 점이 대각선에서 멀리 벗어나면 분포 가정에 위배될 수 있습니다. "Cox-Snell 잔차 P-P 그림"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 잔차 데이터를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 **잔차 저장** 옵션이 있습니다. Cox-Snell 잔차에 대한 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, sec. 17.6.1)에서 확인하십시오.

"잔차 대 적합 값 그림"과 "잔차 대 X 그림"은 가속 변수의 여러 수준에 대한 분포 가정을 검증하는 데 사용됩니다. 이러한 그림은 표준화 잔차를 세로 축에 표시하고 적합한 값 또는 X 변수의 값을 가로 축에 표시합니다. "잔차 대 적합 값 그림" 및 "잔차 대 X 그림"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 잔차 데이터를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 **잔차 저장** 옵션이 있습니다.

그림 4.13 Weibull 분포를 사용하는 별도 위치 및 척도 모형

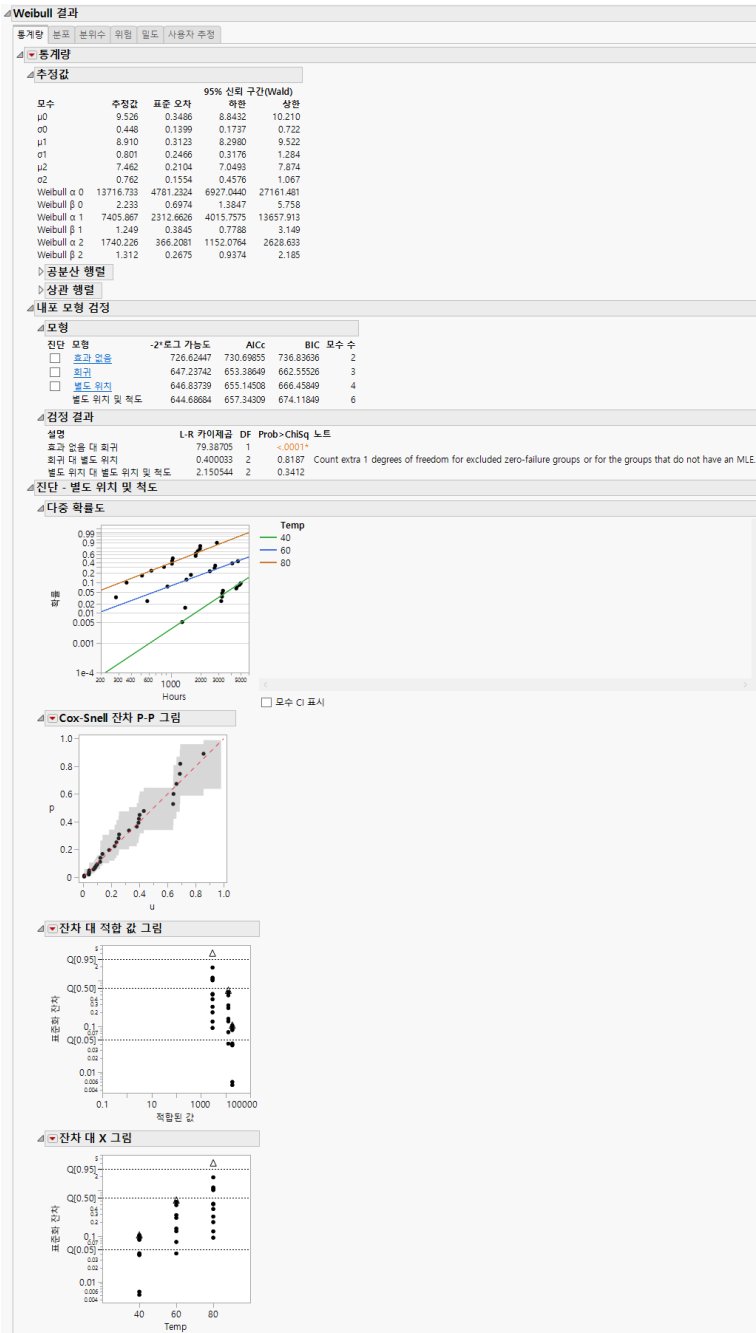


그림 4.14 Weibull 분포를 사용하는 별도 위치 모형

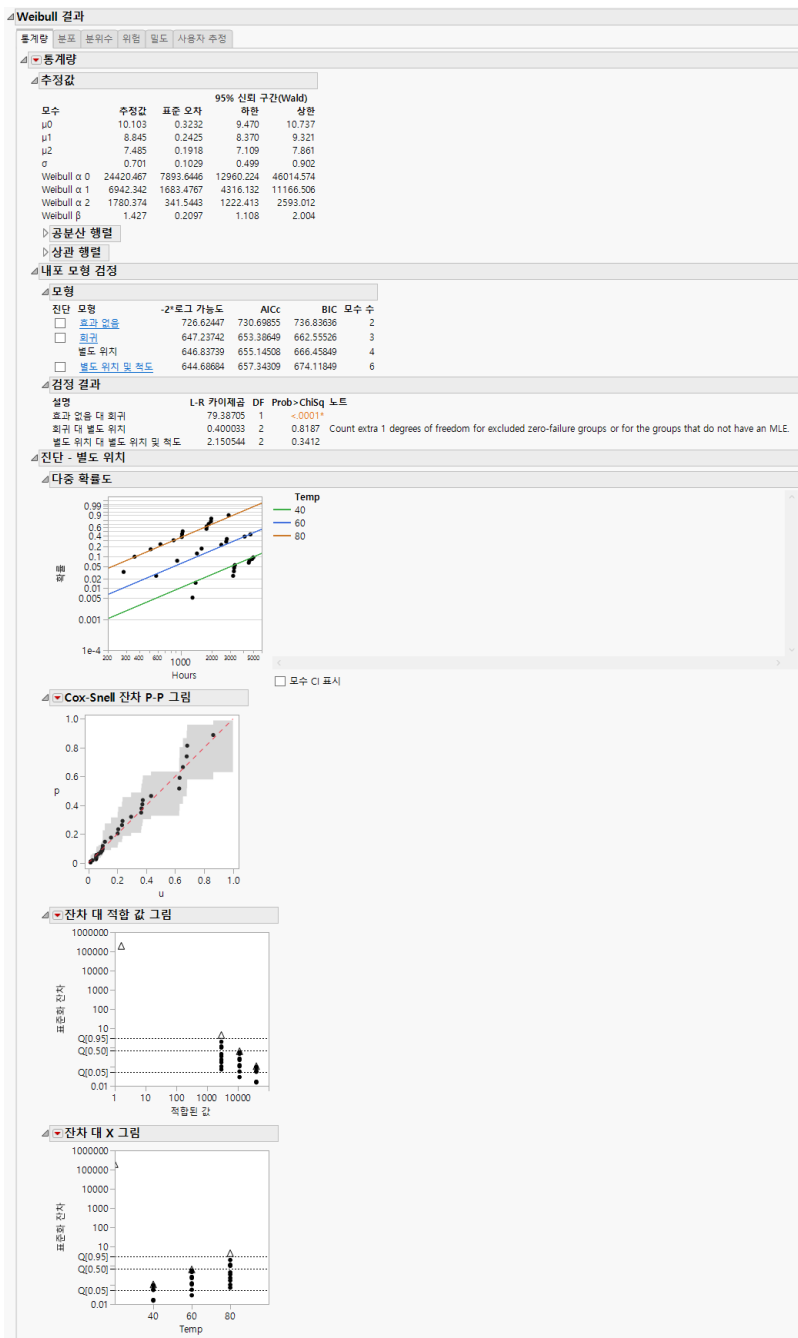


그림 4.15 Weibull 분포를 사용하는 회귀 모형

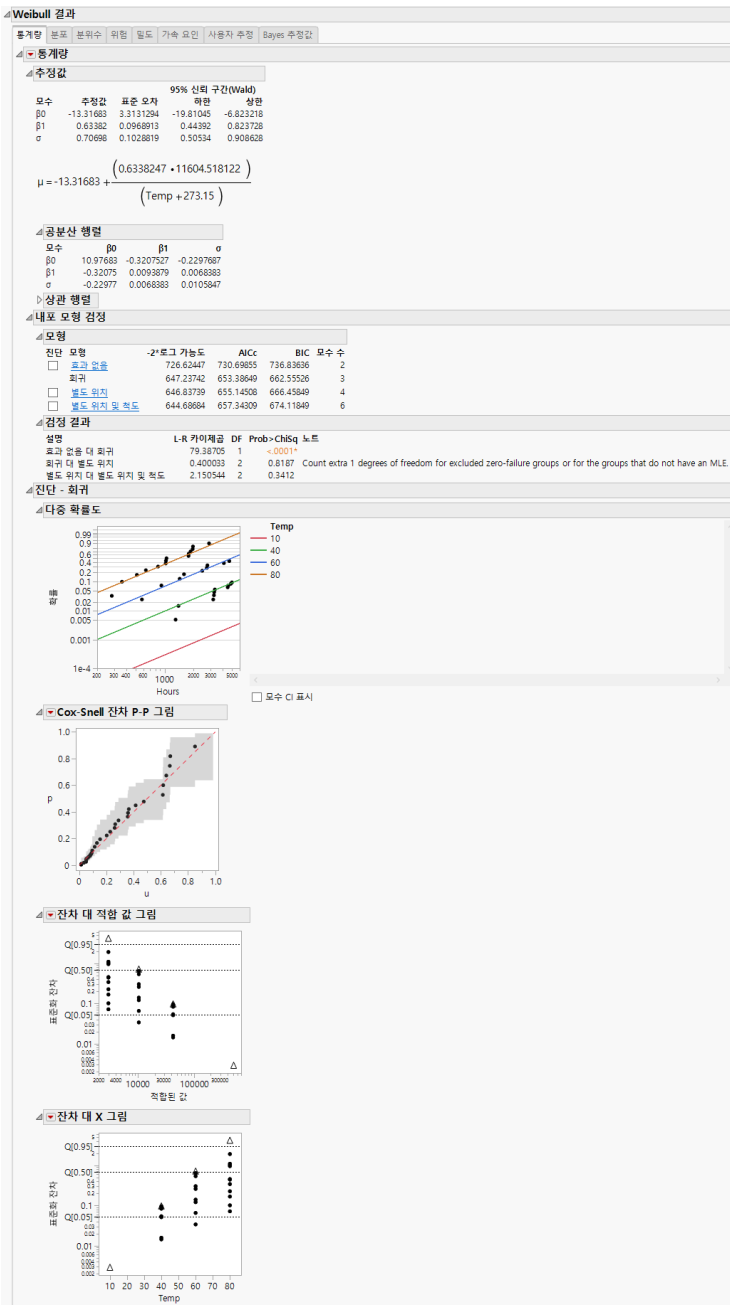
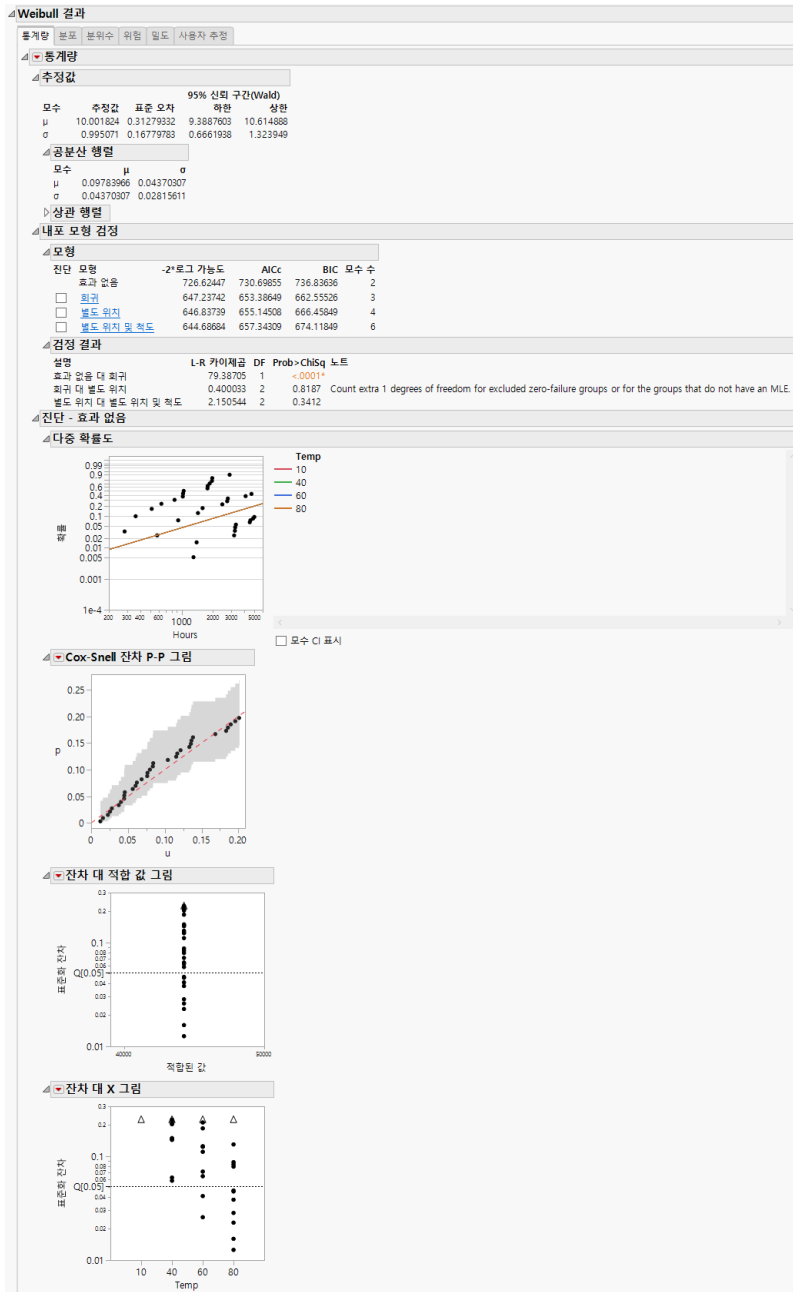


그림 4.16 Weibull 분포를 사용하는 효과 없음 모형

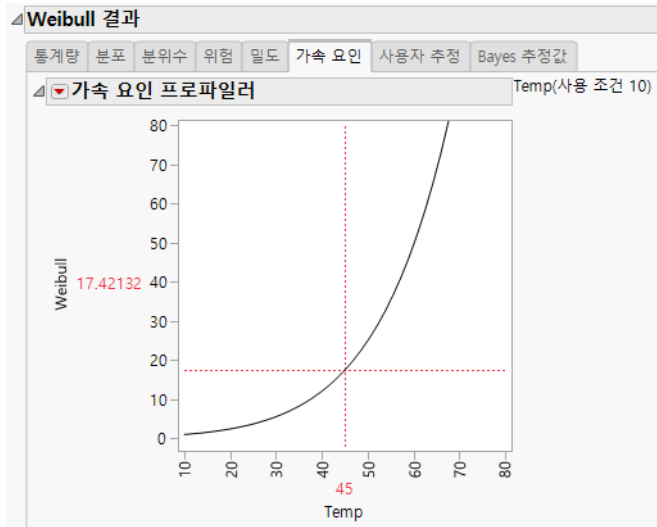


프로파일러 및 표면 그림

"수명 분포 적합" 보고서 창에는 통계 요약과 진단 그림 외에도 지정된 각 분포에 대한 프로파일러 및 표면 그림이 포함됩니다. Weibull 시간 가속 요인 및 설명 변수 프로파일러를 보려면 "Weibull 결과" 아래의 **분포** 탭을 클릭합니다. 표면 그림을 보려면 Weibull 제목 왼쪽(프로파일러 아래)의 표시 아이콘을 클릭합니다. 프로파일러 및 표면 그림은 다른 플랫폼과 유사하게 동작합니다. 자세한 내용은 **Profilers**에서 확인하십시오.

보고서 창에는 **가속 요인** 라벨이 지정된 탭도 포함되어 있습니다. **가속 요인** 탭을 클릭하면 가속 요인 프로파일러가 표시됩니다. 이 프로파일러는 보고서 창의 "비교" 섹션에서 **가속 요인** 탭 아래에 표시된 Weibull 그림을 확대한 것입니다. **그림 4.17**에서는 Weibull 분포 적합에 대한 가속 요인 프로파일러를 보여 줍니다. 설명 변수의 사용 조건 수준은 "수명 분포 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **시간 가속 사용 조건 설정** 옵션을 선택하여 수정할 수 있습니다.

그림 4.17 Weibull 가속 요인 프로파일러



사용자 추정

각 모수 분포에 대해 "분위수 추정"과 "확률 추정"이라는 두 보고서가 포함된 "사용자 추정" 섹션이 있습니다. 양의 지지도가 있는 분포의 경우 "사용자 추정" 섹션에 "MRLF(평균 잔존 수명) 추정" 보고서도 포함됩니다.

분위수 추정

"분위수 추정" 보고서에는 특정 고장 확률 값에 대한 분위수를 예측할 수 있는 계산기가 포함되어 있습니다. "분위수 추정" 계산기에 확률 값("확률")을 입력하고 X 변수의 수준을 선택합니다. **Enter** 키를 누르면 분위수 추정값과 해당 신뢰 구간이 표시됩니다. 분위수 추정값을 여러 개 계산하려면 더하기 기호를 클릭하고 다른 확률 값, 다른 X 값 또는 둘 다 입력한 후 **Enter** 키를 누릅니

다. 빼기 기호를 클릭하면 마지막 항목이 제거됩니다. 두 열 중 하나에 두 개 이상의 값을 입력하면 테이블에 확률 값과 X 값의 모든 조합이 포함됩니다.

Wald 기반 신뢰 구간과 가능도 기반 신뢰 구간이 둘 다 표시됩니다. 이러한 구간에 대한 신뢰 수준은 "수명 분포 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **신뢰 수준 변경** 옵션으로 결정됩니다.

확률 추정

"확률 추정" 보고서에는 특정 시간 값에 대한 고장 및 생존 확률을 예측할 수 있는 계산기가 포함되어 있습니다. "확률 추정" 계산기에 시간 값을 입력하고 X 변수의 수준을 선택합니다. **Enter** 키를 누르면 고장 확률 추정값과 해당 신뢰 구간이 표시됩니다. 고장 확률 추정값을 여러 개 계산하려면 더하기 기호를 클릭하고 다른 시간 값, 다른 X 값 또는 둘 다 입력한 후 **Enter** 키를 누릅니다. 빼기 기호를 클릭하면 마지막 항목이 제거됩니다. 두 열 중 하나에 두 개 이상의 값을 입력하면 테이블에 시간 값과 X 값의 모든 조합이 포함됩니다.

Wald 기반 신뢰 구간과 가능도 기반 신뢰 구간이 둘 다 표시됩니다. 이러한 구간에 대한 신뢰 수준은 "수명 분포 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **신뢰 수준 변경** 옵션으로 결정됩니다.

MRLF(평균 잔존 수명) 추정

"MRLF(평균 잔존 수명) 추정" 보고서에는 특정 시간 값에 대한 평균 잔존 수명을 예측할 수 있는 계산기가 포함되어 있습니다. "MRLF(평균 잔존 수명) 추정" 계산기에 "생존 시간" 값과 X 변수를 입력합니다. **Enter** 키를 누르면 평균 잔존 수명 추정값과 해당 Wald 기반 신뢰 구간이 표시됩니다. 이러한 구간에 대한 신뢰 수준은 "수명 분포 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **신뢰 수준 변경** 옵션으로 결정됩니다. 평균 잔존 수명 추정값을 여러 개 계산하려면 더하기 기호를 클릭하고 다른 생존 시간 값, 다른 X 값 또는 둘 다 입력한 후 **Enter** 키를 누릅니다. 빼기 기호를 클릭하면 마지막 항목이 제거됩니다. 두 열 중 하나에 두 개 이상의 값을 입력하면 테이블에 생존 시간 값과 X 값의 모든 조합이 포함됩니다.

참고: 생존 시간이 0 이면 계산된 MRLF(평균 잔존 수명) 값은 MTTF(평균 고장 시간) 값과 같습니다.

베이지안 추정값

지수 분포를 제외한 각 모수 분포에는 베이지안 모수 추정값을 구할 수 있는 "베이지안 추정값" 섹션이 있습니다. 수명 분포 적합 시작 창에서 "관계"가 "사용자 정의", "효과 없음", "위치" 또는 "위치 및 척도"로 지정된 경우 "베이지안 추정값" 섹션을 사용할 수 없습니다.

수명 분포 적합 플랫폼의 베이지안 추정은 기각 표집 또는 MCMC(Markov 체인 몬테카를로) 알고리즘을 사용하여 수행됩니다. 더 구체적으로 말하면, 이 플랫폼에서는 기본 기각 표집기를 시도합니다. 기각 표집기에서 유효한 결과를 생성하면 이러한 결과가 보고됩니다. 기각 표집기에서 유효한 결과를 생성할 수 없는 경우 플랫폼에서 확률 보행 Metropolis-Hastings 알고리즘을 사용하고 "베이지안 추정" 보고서 상단에 노트를 추가합니다. 자세한 내용은 Robert & Casella(2004)에서 확인하십시오.

초기 보고서는 모수의 사전 분포를 지정하고 시뮬레이션을 제어할 수 있는 제어판입니다. 모수의 사후 추정값을 구하려면 사전 분포와 시뮬레이션 옵션을 지정한 후 "모형 적합"을 클릭합니다.

모수의 사전 분포를 지정하려면 분포의 분위수와 기울기 β_1 및 척도 σ 모수에 대한 정보를 지정해야 합니다. Weibull 분포의 경우 σ 대신 Weibull β 를 지정합니다. 분위수는 분위수의 확률과 지정된 분위수에서 X 변수의 값이라는 두 가지 값으로 정의됩니다. 기본 확률 값은 0.10이지만 관심 분위수에 해당하는 값을 지정할 수 있습니다. 사전 분포의 범위 정보를 지정합니다. 정규 및 로그 정규 사전 분포의 경우 범위는 99% 하한 및 상한으로 지정됩니다. 균등 및 로그-균등 사전 분포의 경우 범위는 하한 및 상한으로 지정됩니다. 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998)에서 확인하십시오. 제공되는 초기값은 보고서의 "통계량" 섹션에 있는 최대 가능성도 추정값과 일치하는 추정값입니다.

사전 분포 규격 테이블 아래에 다음 시뮬레이션 옵션이 나타납니다.

몬테카를로 반복 수 번인 절차가 완료된 후 사후 분포에서 추출할 표본 크기를 설정합니다.

난수 시드값 시뮬레이션의 초기 상태를 설정합니다. 기본적으로 시계 시간입니다. 값은 1 보다 큰 양의 정수여야 합니다. 1 을 지정하면 현재 시계 시간이 사용됩니다.

베이지안 추정값 - 결과 <N> 보고서

사전 분포와 시뮬레이션 옵션을 지정한 후 **모형 적합** 버튼을 클릭하여 시뮬레이션을 수행합니다. 각 시뮬레이션에 대해 " 베이지안 추정값 - 결과 <N>" 보고서가 제공됩니다. 이 보고서에는 다음 머리글이 포함되어 있습니다.

사전 확률 시뮬레이션을 실행하기 위해 " 베이지안 추정값 " 보고서에 입력한 규격을 표시합니다. " 사전 확률 " 보고서에는 난수 시드값도 포함됩니다.

사후 추정값 β_0 , β_1 , σ 및 분위수의 사후 분포를 설명하는 다섯 가지 주변 통계량을 표시합니다. 주변 통계량은 몬테카를로 표본에서 계산된 중앙값, 0.025 분위수 (하한), 0.975 분위수 (상한), 평균 및 표준편차입니다. Weibull 분포가 지정된 경우 이 테이블에는 σ 대신 Weibull β 의 사후 추정값이 포함됩니다.

일반 모수의 사후 추정값을 기반으로 다른 파생 변수에 대한 통계량을 계산하려면 **몬테카를로 표본 내보내기** 링크를 클릭합니다.

사후 분포 산점도 몬테카를로 시뮬레이션 값에 대한 두 개의 산점도를 표시합니다. 왼쪽 산점도에는 "사전 확률" 보고서에 지정한 사후 모수의 값이 표시됩니다. 오른쪽 산점도에는 "사후 추정값" 보고서에 지정한 사후 모수의 값이 표시됩니다.

프로파일러 사후 분포의 표본을 기반으로 두 개의 프로파일러를 표시합니다. X 및 시간 변수의 지정된 값에서 프로파일러에 표시된 값은 다음 단계를 사용하여 계산됩니다.

- 사후 분포에서 표집된 모수 값의 각 집합에 대해 X 및 시간 변수의 지정된 값에서 누적 분포 함수와 분위수 함수의 값이 계산됩니다.
- 누적 분포 함수와 분위수 함수의 예측값은 계산된 값의 중앙값입니다.
- 신뢰 상한 및 하한은 계산된 값의 0.025 및 0.975 분위수입니다. 이러한 한계에 대한 신뢰 수준은 "수명 분포 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "신뢰 수준 변경" 옵션으로 결정됩니다.

분포 프로파일러 모수 누적 분포 함수를 X 변수와 시간의 함수로 표시합니다.

분위수 프로파일러 모수 분위수 함수를 X 변수와 지정된 확률의 함수로 표시합니다.

베이지안 추정값 - 결과 <N> 옵션

" 베이지안 추정값 - 결과 <N>" 의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

제거 " 수명 분포 적합 " 보고서에서 현재 " 베이지안 추정값 " 보고서를 제거합니다.

몬테카를로 표본 내보내기 몬테카를로 시뮬레이션 결과를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 이 테이블을 사용하여 사후 추정값의 통계량을 계산할 수 있습니다.

산점도 수명 사건 대 설명 변수의 그림을 표시하거나 숨깁니다. 그림의 밀도 곡선은 몬테카를로 시뮬레이션 결과에서 정의된 분포를 기반으로 합니다. 산점도 및 산점도 옵션에 대한 자세한 내용은 " [산점도](#) " 에서 확인하십시오.

다중 확률도 (시작 창에서 " 내포 모형 검정 " 옵션을 선택하고 모형에 대해 회귀 관계를 지정한 경우에만 사용 가능) 가속 변수의 여러 수준에 대한 분포 가정을 검증하는 데 사용할 수 있는 그림을 표시하거나 숨깁니다. 그림에 표시된 분포는 몬테카를로 시뮬레이션 결과에 의해 정의됩니다. 각 수준의 선이 해당 수준의 데이터 점을 통과하지 않으면 분포 가정이 유지되지 않을 수 있습니다. 다중 확률도에 대한 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, sec. 19.2.2) 에서 확인하십시오. 다중 확률도의 범례 아래에는 그림의 각 선에 대해 음영 처리된 모수 신뢰 구간을 표시하거나 숨길 수 있는 옵션이 있습니다.

사용자 정의 관계

수명 분포 적합 시작 창에서 사용자 변환을 지정하여 수명 사건과 가속 요인 간의 관계를 모델링할 수 있습니다. 위치(μ) 및 척도(σ) 모수의 입력 필드에 심표로 구분된 값을 입력합니다. 예를 들어 Temp 라는 열이 포함된 데이터 테이블의 경우 μ 에는 "1, log(:Temp), log(:Temp)^2" 를 입력하고, σ 에는 "1, log(:Temp)" 를 입력할 수 있습니다. 여기서 1 은 절편이 모형에 포함됨을 나타냅니다. 시그마 모수가 항상 양수가 되게 하려면 **지수 연결 사용** 체크박스를 선택합니다.

그림 4.18 수명 분포 적합 시작 창의 사용자 정의 관계 지정

단일 회귀 계수로 파라미터화된 수명 분포를 모델링합니다.

열 선택

6개 열

- Hours
- Status
- Weight
- Temp
- Censor
- X

중도절단 코드: 1

관계

사용자 정의

☐ 내포 모형 검정

사용 조건 10

$\mu = [1, \log(\text{Temp}), \log(\text{Temp})^2]$

$\sigma = [1, \log(\text{Temp})]$

☒ 지수 연결 사용

분포

Weibull

신뢰 구간 방법 선택

Wald

선택한 열 역할 지정

Y, 사건 발생 시간

X

중도절단

빈도

기준

Hours

Temp

Censor

Weight

선택적 숫자

작업

확인

취소

제거

재호출

도움말

확인을 선택하면 위치 및 척도 변환이 생성되어 "추정값" 보고서 섹션 하단에 포함됩니다.

그림 4.19 사용자 정의 관계에 대한 Weibull 추정값 및 계산식

추정값				
모수	추정값	표준 오차	95% 신뢰 구간(Wald)	
			하한	상한
β_0	-0.603333	9.9924940	-20.18826	18.98160
β_1	8.047095	4.8377341	-1.43469	17.52888
β_2	-1.412340	0.5989816	-2.58632	-0.23836
λ_0	-2.317331	2.0821317	-6.39823	1.76357
λ_1	0.474054	0.5015868	-0.50904	1.45715

$$\mu = \left(-0.6033328 + 8.047095 \cdot \log(\text{Temp}) \right) - 1.41234 \cdot \log(\text{Temp})^2$$

$$\sigma = \text{Exp} \left(-2.317331 + 0.4740541 \cdot \log(\text{Temp}) \right)$$

사용자 변환을 사용하는 방법에 대한 예는 "수명 분포 적합 플랫폼의 추가 예"에서 확인하십시오. 분석은 아레니우스 섭씨 관계를 지정한 "수명 분포 적합 플랫폼의 예"와 비슷하게 진행됩니다.

수명 분포 적합 플랫폼 옵션

"수명 분포 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

로그 정규 적합 데이터에 로그 정규 분포를 적합시킵니다.

Weibull 적합 데이터에 Weibull 분포를 적합시킵니다.

로그로지스틱 적합 데이터에 로그로지스틱 분포를 적합시킵니다.

Frechet 적합 데이터에 Frechet 분포를 적합시킵니다.

지수 적합 데이터에 지수 분포를 적합시킵니다.

SEV 적합 데이터에 SEV(최소 극단값) 분포를 적합시킵니다.

정규 적합 데이터에 정규 분포를 적합시킵니다.

로지스틱 적합 데이터에 로지스틱 분포를 적합시킵니다.

LEV 적합 데이터에 LEV(최대 극단값) 분포를 적합시킵니다.

모든 분포 적합 데이터에 모든 분포를 적합시킵니다.

시간 가속 사용 조건 설정 팝업 창에 가속 요인 설명 변수에 대한 사용 조건 값을 입력할 수 있습니다.

신뢰 수준 변경 팝업 창에 그림 및 통계량에 대해 원하는 신뢰 수준을 입력할 수 있습니다. 기본 신뢰 수준은 0.95 입니다.

탭 형식 보고서 보고서의 구성을 지정합니다. 다음 하위 옵션 중 하나 또는 둘 다를 선택하거나 아무것도 선택하지 않을 수 있습니다.

탭 형식 전체 보고서 전체 보고서를 보고서의 그림, 비교 및 결과 섹션에 대한 탭 패널로 구성합니다. 이 옵션은 기본적으로 선택되지 않습니다.

탭 형식 개별 보고서 개별 보고서를 탭 패널로 구성합니다. 이 옵션은 기본적으로 선택되어 있습니다.

표면 그림 표시 보고서의 개별 분포 결과 섹션에서 분포의 표면 그림을 표시하거나 숨깁니다. 표면 그림은 개별 분포의 "분포", "분위수", "위험" 및 "밀도" 섹션에 표시되며 기본적으로 설정되어 있습니다.

점 표시 "비모수 중첩" 그림 및 "다중 확률도"에서 데이터 점을 표시하거나 숨깁니다. 기본적으로 점은 그림에 표시됩니다. 이 옵션을 선택 해제하면 계단 함수가 대신 표시됩니다.

산점도 수명 사건 대 설명 변수의 산점도를 표시합니다.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**의 에서 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.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

수명 분포 적합 플랫폼의 추가 예

이 예에서는 사용자 변환을 사용하여 Weibull 위치 모수와 Weibull 척도 모수에 대해 각각 $\text{Log}(\text{Temp})$ 를 사용한 2 차 모형 및 로그 선형 모형을 생성하는 방법을 보여 줍니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Devalt.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포 적합**을 선택합니다.
3. Hours 를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. Temp 를 선택하고 **X**를 클릭합니다.
5. Censor 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
6. Weight 를 선택하고 **빈도**를 클릭합니다.
7. "관계" 목록에서 **사용자 정의**를 선택합니다.
8. μ 입력 필드에 "1, log(:Temp), log(:Temp)^2" 를 입력합니다.
1 은 절편이 모형에 포함됨을 나타냅니다.
9. σ 입력 필드에 "1, log(:Temp)" 를 입력합니다.
10. **지수 연결 사용** 체크박스를 선택합니다.
11. **내포 모형 검정** 체크박스를 선택 취소합니다.
12. "사용 조건" 입력 필드에 "10" 을 입력합니다.
13. "분포" 에서 **Weibull** 을 선택합니다.

[그림 4.20](#)에서는 **사용자 정의** 옵션을 사용하여 완료된 시작 창을 보여 줍니다.

참고 : 비상수 척도 모형의 경우 "내포 모형 검정" 체크박스가 선택되지 않습니다. 내포 모형 검정 결과는 이 옵션에 대해 지원되지 않습니다.

-
14. **확인**을 클릭합니다.

그림 4.20 수명 분포 적합 시작 창의 사용자 정의 관계 지정

단일 회귀 계수로 파라미터화된 수명 분포를 모델링합니다.

열 선택

6개 열

- Hours
- Status
- Weight
- Temp
- Censor
- x

중도절단 코드: 1

관계

사용자 정의

☐ 내포 모형 검정

사용 조건 10

$\mu = [1, \log(\text{Temp}), \log(\text{Temp})^2]$

$\sigma = [1, \log(\text{Temp})]$

☒ 지수 연결 사용

분포

Weibull

신뢰 구간 방법 선택

Wald

선택한 열 역할 지정

Y, 사건 발생 시간	Hours
X	Temp
중도절단	Censor
변도	Weight
기준	선택적

작업

확인

취소

제거

재호출

도움말

그림 4.21 에서는 이후에 생성되어 "추정값" 보고서 섹션 하단에 포함된 위치 및 척도 변환을 보여 줍니다.

분석은 아레니우스 섭씨 관계를 지정한 "수명 분포 적합 플랫폼의 예"와 비슷하게 진행됩니다.

그림 4.21 사용자 정의 관계에 대한 Weibull 추정값 및 계산식

추정값

모수	추정값	표준 오차	95% 신뢰 구간(Wald)	
			하한	상한
β_0	-0.603333	9.9924940	-20.18826	18.98160
β_1	8.047095	4.8377341	-1.43469	17.52888
β_2	-1.412340	0.5989816	-2.58632	-0.23836
λ_0	-2.317331	2.0821317	-6.39823	1.76357
λ_1	0.474054	0.5015868	-0.50904	1.45715

$$\mu = \left(-0.6033328 + 8.047095 \cdot \log(\text{Temp}) \right) - 1.41234 \cdot \log(\text{Temp})^2$$

$$\sigma = \text{Exp} \left(-2.317331 + 0.4740541 \cdot \log(\text{Temp}) \right)$$

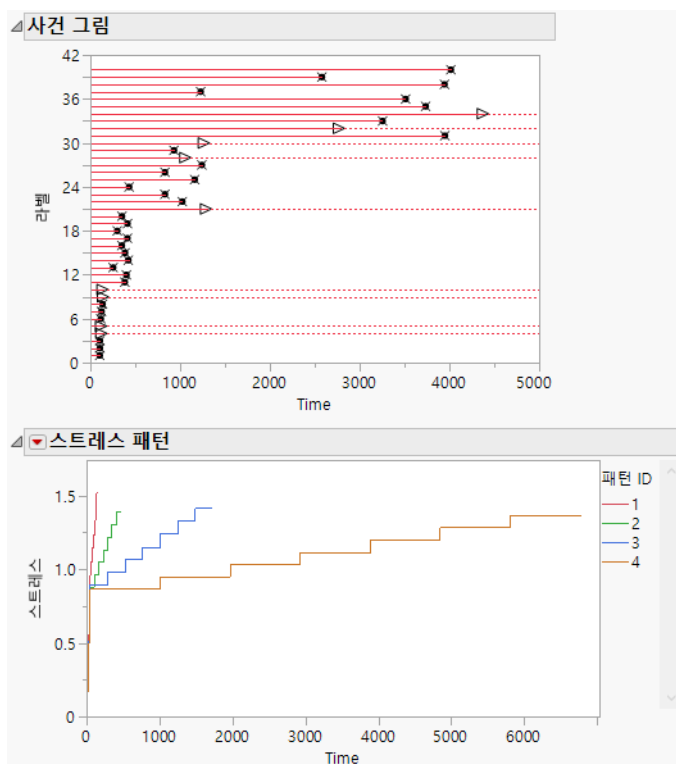
5 장

누적 손상

시간 경과에 따른 변동 스트레스로 제품 퇴화 모델링

계단 스트레스 모형을 포함하는 누적 손상 모형을 사용하면 시간이 지남에 따라 스트레스 수준이 변경될 수 있는 가속 수명 시험을 분석할 수 있습니다. 스트레스는 부하, 온도 또는 압력과 같은 다양한 힘에 의해 가해질 수 있습니다. 일반적인 누적 손상 실험은 여러 개의 시험 유닛으로 구성됩니다. 각 유닛에는 초기 스트레스 수준이 있으며, 스트레스 수준은 실험 전반에서 변경할 수 있습니다. 반응은 고장 시간 또는 사건 발생 시간입니다. 이 플랫폼에서는 고장 사건을 그림에 표시하고 여러 분포를 데이터에 적합시킬 수 있습니다.

그림 5.1 누적 손상 보고서의 예



목차

누적 손상 플랫폼 개요.....	129
누적 손상 플랫폼의 예.....	129
누적 손상 플랫폼 시작.....	132
사건 발생 시간.....	134
스트레스 패턴.....	135
누적 손상 보고서.....	137
사건 그림.....	138
스트레스 패턴 보고서.....	138
모형 목록.....	138
모형 결과.....	138
누적 손상 플랫폼 옵션.....	139
스트레스 패턴 옵션.....	139
누적 손상 플랫폼의 추가 예.....	141

누적 손상 플랫폼 개요

누적 손상 실험(변동 스트레스 실험이라고도 함)은 시간이 지남에 따라 스트레스 수준이 변할 수 있는 가속 수명 시험입니다. 스트레스는 부하, 온도 또는 압력과 같은 다양한 힘에 의해 가해질 수 있습니다. 일반적인 누적 손상 실험은 여러 개의 시험 유닛으로 구성됩니다. 각 유닛에는 초기 스트레스 수준이 있으며, 스트레스 수준은 실험 전반에서 변경할 수 있습니다.

가장 일반적인 누적 손상 실험은 계단 스트레스 실험입니다. 계단 스트레스 실험에는 다양한 수준의 스트레스가 가해진 여러 유닛이 사용됩니다. 온도, 압력 또는 전압과 같은 요인을 사용하여 스트레스를 가할 수 있습니다. 각 유닛에는 초기 스트레스 수준이 있습니다. 스트레스 수준은 지정된 시점에서 다양한 패턴의 스트레스 수준을 기반으로 조정됩니다. 스트레스 수준이 변경되는 동안에도 스트레스 수준은 일정하게 유지됩니다.

누적 손상 플랫폼에는 다음과 같은 세 가지 다른 변동 스트레스 패턴 모형도 포함되어 있습니다.

- 램프 스트레스 실험에서 스트레스 수준은 초기값으로 시작하여 지정된 기울기에서 시간이 지남에 따라 선형으로 증가합니다.
- 사인 곡선 스트레스 실험에서 스트레스 수준은 사인파로 정의된 주기적 방식으로 변동합니다.
- 조각별 램프 스트레스 실험에서 스트레스 수준은 계단 스트레스 사례와 유사하게 지정된 시점에서 정의됩니다. 그러나 시점 사이에 스트레스 수준이 일정하게 유지될 필요는 없습니다. 오히려 시점 사이에 시작 스트레스 수준에서 종료 스트레스 수준까지 선형으로 변합니다. 시작 스트레스 수준과 종료 스트레스 수준 쌍이 같으면 구간이 계단 스트레스 구간과 동일합니다.

변동 스트레스 및 계단 스트레스 모형에 대한 자세한 내용은 Nelson(2004, ch. 10)에서 확인하십시오.

누적 손상 플랫폼의 예

변동 스트레스 조건에서 40 개의 시험 유닛에 대해 계단 스트레스 실험이 수행됩니다. 목표는 스트레스 수준이 0.75 일 때 10,000 시간 단위에서의 고장 확률을 추정하는 것입니다. 누적 손상 플랫폼에는 두 개의 입력 데이터 테이블이 필요합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/CD Step Stress.jmp 및 Reliability/CD Step Stress Pattern.jmp 를 엽니다.

CD Step Stress 테이블에는 다음 열이 포함되어 있습니다.

- Time 열은 고장 시간을 제공합니다.
- Pattern ID 열은 스트레스 패턴 (1-4) 을 식별합니다.
- Censor 열은 고장 시간이 정확한지 아니면 중도절단되었는지를 나타냅니다.

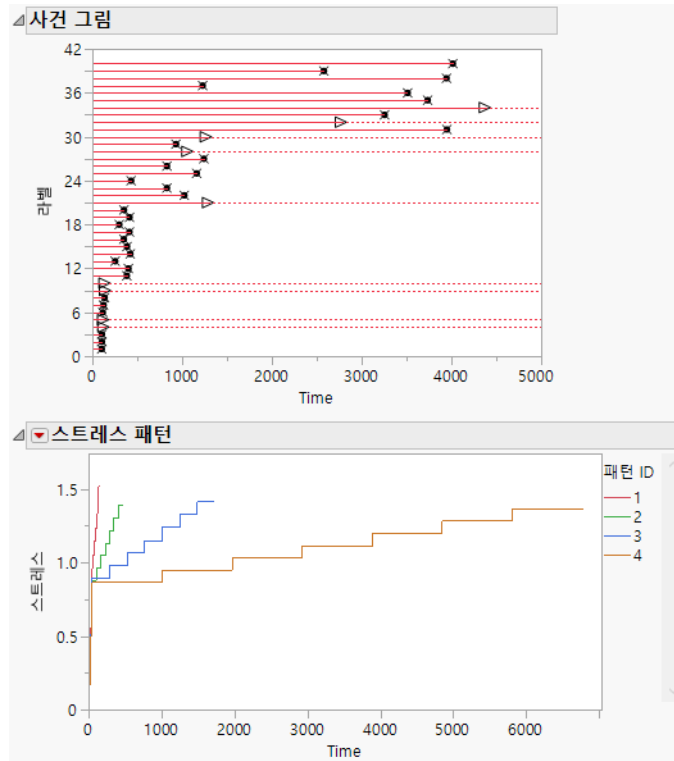
테이블의 각 행은 하나의 시험 유닛에 해당합니다.

CD Step Stress Pattern 테이블에는 다음 열이 포함되어 있습니다.

- Pattern ID 열은 스트레스 패턴 (1-4) 을 식별합니다.

- **Duration** 열은 스트레스 요인의 특정 수준이 지속된 시간 단위 수를 나타냅니다.
 - **Stress** 열은 스트레스 요인의 수준을 나타냅니다. 특정 단계의 스트레스 수준은 **Voltage** 대 **Thickness** 비율입니다. 이 두 열은 숨겨져 있습니다. **Thickness** 는 각 스트레스 패턴에 대해 일정하게 유지됩니다. 그러나 **Voltage** 는 각 패턴 내에서 다른 수준으로 설정되고 증가합니다. 이러한 수준은 **Pattern ID** 열의 각 값 내에서 변경됩니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 누적 손상**을 선택합니다.
 시작 창에는 고장 시간 데이터 ("사건 발생 시간")와 스트레스 패턴 ("스트레스 패턴")에 대한 두 개의 섹션이 있습니다.
 3. "사건 발생 시간" 패널에서 **테이블 선택**을 클릭합니다.
 고장 시간 데이터에 대한 데이터 테이블을 지정하는 "사건 발생 시간 데이터 테이블" 창이 나타납니다.
 4. **CD Step Stress**를 선택하고 **확인**을 클릭합니다.
 이제 이 테이블의 열이 "사건 발생 시간" 패널의 **열 선택** 목록에 채워집니다.
 5. **Time**을 선택하고 **사건 발생 시간**을 클릭합니다.
 6. **Censor**를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
 7. **패턴 ID**에 대해 **Pattern ID**를 선택합니다.
 8. "스트레스 패턴" 패널에서 **테이블 선택**을 클릭합니다.
 9. **CD Step Stress Pattern**을 선택하고 **확인**을 클릭합니다.
 이제 이 테이블의 열이 "스트레스 패턴" 패널의 **열 선택** 목록에 채워집니다.
 10. **Duration**을 선택하고 **스트레스 기간**을 클릭합니다.
 11. **Stress**를 선택하고 **스트레스**를 클릭합니다.
 12. **Pattern ID**를 선택하고 **패턴 ID**를 클릭합니다.
 13. **확인**을 클릭합니다.

그림 5.2 사건 그림 및 스트레스 패턴 그림



초기 보고서에는 "사건 그림" 과 정의된 스트레스 패턴의 그림이 포함됩니다. 네 가지 스트레스 패턴은 모두 처음 40 시간 단위에 걸쳐 스트레스 수준이 빠르게 증가하고 이후에는 상당히 다른 속도로 증가합니다.

14. "누적 손상" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **전체 적합**을 선택합니다.

그림 5.3 모형 목록 보고서

모형 목록				
분포	-2*로그 가능도	모수 수	AICc	BIC
지수	398.48312	2	402.80745	405.86088
Weibull	398.4822	3	405.14887	409.54884
로그로지스틱	400.93264	3	407.59931	411.99928
로그 정규	402.3488	3	409.01547	413.41544
Frechet	410.92577	3	417.59243	421.99241

"모형 목록" 보고서에 따르면 지수 분포가 최량 적합 분포입니다.

15. "결과" 보고서에서 "지수" 보고서가 나올 때까지 스크롤합니다.

16. "분포 프로파일러" 보고서에서 **Stress** 의 현재 값을 "0.75" 로 설정합니다.

17. Time 의 현재 값을 "10000" 으로 설정합니다.

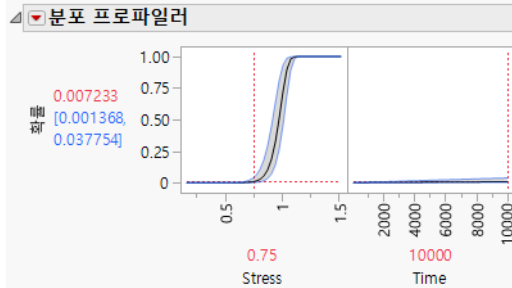
그림 5.4 지정된 설정에서 지수 분포에 대한 분포 프로파일러

그림 5.4에서는 시간 단위가 10000 일 때 일정한 스트레스 0.75 에서 시험 유닛의 예측 고장 확률이 0.007233 이고, 95% 신뢰 구간이 0.001368 ~ 0.037754 임을 보여 줍니다.

누적 손상 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 누적 손상을 선택하여 누적 손상 플랫폼을 시작합니다. 시작 창에서 두 개의 데이터 테이블을 지정해야 합니다. 첫 번째 데이터 테이블은 각 시험 유닛에 대한 사건 발생 시간 데이터입니다. 두 번째 데이터 테이블은 각 유닛에 사용되는 스트레스 패턴을 정의합니다.

그림 5.5 누적 손상 시작 창

계단 스트레스
램프 스트레스
사인 곡선 스트레스
조각별 램프 스트레스

사건 발생 시간

테이블 선택

열 선택

▼ 0개 열

선택한 열 역할 지정

사건 발생 시간

필수 숫자

선택적 숫자

증도절단

선택적

빈도

선택적 숫자

패턴 ID

필수

작업

확인

취소

제거

재호출

도움말

증도절단 코드: ▼

관계

역역 ▼

분포

Weibull ▼

스트레스 패턴

테이블 선택

열 선택

▼ 0개 열

선택한 열 역할 지정

스트레스 기간

필수 숫자

스트레스

필수 숫자

패턴 ID

필수

패턴 계속

☒ 종료

☐ 확장

☐ 반복

시작 창에는 각 계단 스트레스 데이터 형식에 대한 별도의 탭이 포함되어 있습니다. 다양한 스트레스 패턴에 대한 자세한 내용은 "[스트레스 패턴](#)"에서 확인하십시오.

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용에서 확인하십시오.

각 계단 스트레스 형식 탭에는 모형의 변수를 지정하기 위한 두 개의 패널이 있습니다.

- "사건 발생 시간" 패널은 모든 계단 스트레스 형식에 공통입니다. 이 패널은 수명 분포 적합 플랫폼 시작 창과 비슷합니다.
- "스트레스 패턴" 패널은 스트레스 유형을 설명하는 데 사용됩니다. 결과적으로 형식은 선택한 계단 스트레스 탭에 따라 달라집니다.

사건 발생 시간

누적 손상 시작 창의 "사건 발생 시간" 패널에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

사건 발생 시간 사건 발생 시간 (예: 고장 시간) 또는 중도절단 시간을 식별합니다. 구간 중도절단의 경우 데이터 테이블에 두 개의 열이 포함되어야 합니다. 이러한 열은 각 유닛에 대한 고장 시간의 하한 및 상한을 제공합니다. 두 중도절단 열을 사건 발생 시간으로 입력합니다. 중도절단에 대한 자세한 내용은 "[사건 그림](#)"에서 확인하십시오.

중도절단 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별합니다. "열 선택" 목록 아래의 "중도절단 코드" 메뉴에서 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별하는 값을 선택합니다. 중도절단 열은 하나의 Y가 입력된 경우에만 사용됩니다.

빈도 유닛이 여러 개인 경우 빈도 또는 관측값 수를 식별합니다. 0 또는 양의 정수 값은 지정된 행 설정을 사용한 관측값의 빈도 또는 개수를 나타냅니다.

패턴 ID 스트레스 패턴 데이터 테이블에서 지정된 행에 사용된 스트레스 패턴을 지정하는 값을 포함합니다.

중도절단 코드 오른쪽 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값을 식별합니다. 중도절단 열이 선택되면 JMP는 자동으로 중도절단 코드를 감지하여 상자에 표시하려고 시도합니다. 이를 변경하려면 빨간색 삼각형을 클릭하고 값 목록에서 선택합니다. 상자에 다른 값을 입력할 수도 있습니다. 중도절단 열에 "값 라벨" 열 특성이 포함된 경우 값 라벨이 값 목록에 나타납니다. 결측값은 분석에서 제외됩니다.

관계 사건과 스트레스 요인 간의 관계를 식별합니다. [표 5.1](#)에서는 각 관계에 대한 모형을 정의합니다.

표 5.1 관계 옵션에 대한 모형

관계	모형
아레니우스 섭씨	$\mu = b_0 + b_1 * 11604.5181215503 / (X + 273.15)$
아레니우스 화씨	$\mu = b_0 + b_1 * 11604.5181215503 / ((X + 459.67) / 1.8)$
아레니우스 켈빈	$\mu = b_0 + b_1 * 11604.5181215503 / X$
역 멱(기본값)	$\mu = b_0 + b_1 * \log(X)$

표 5.1 관계 옵션에 대한 모형 (계속)

관계	모형
선형	$\mu = b_0 + b_1 * X$
로그	$\mu = b_0 + b_1 * \log(X)$
로짓	$\mu = b_0 + b_1 * \log(X/(1 - X))$
역수	$\mu = b_0 + b_1/X$
제곱근	$\mu = b_0 + b_1 * \text{sqrt}(X)$
Box-Cox	$\mu = b_0 + b_1 * \text{BoxCox}(X)$
사용자 정의	사용자 정의 (" 계단 스트레스 " 패널에서만 사용 가능)

BoxCox(X) 변환은 다음과 같이 정의됩니다 .

$$x_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{x_i^\lambda - 1}{\lambda} & \text{단, } \lambda \neq 0 \\ \ln(x_i) & \text{단, } \lambda = 0 \end{cases}$$

사용자 정의를 선택하면 수명 사건과 스트레스 요인 간의 관계를 모델링할 수 있도록 사용자 변환을 정의해야 하는 추가 컨트롤이 나타납니다 .

모형에 사용자 정의 관계를 사용하려면 "**사용자 정의 관계**"의 내용을 참조하십시오 .

분포 초기 고장 시간 분포를 지정합니다 . Weibull, 로그 정규, 로그로지스틱, Frechet 또는 지수 중에서 선택합니다 . "Weibull"이 기본 설정입니다 . 분포에 대한 자세한 내용은 "**분포에 대한 통계 상세 정보**"에서 확인하십시오 .

스트레스 패턴

누적 손상 시작 창의 두 번째 패널을 사용하여 실험에 사용되는 스트레스 패턴을 지정합니다 .

계단 스트레스 패턴

계단 스트레스 패턴에는 임의의 시점에서 변경되는 스트레스 수준이 있습니다 . 각 스트레스 단계의 기간 및 관련 스트레스 수준을 오름차순 시간 순서로 지정해야 합니다 .

" 계단 스트레스 " 탭의 " 스트레스 패턴 " 패널에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다 .

스트레스 기간 각 스트레스 단계의 시간 단위 길이를 포함하는 열입니다 .

스트레스 스트레스 설정 수준을 포함하는 열입니다 .

패턴 ID 스트레스 패턴에 대한 고유 식별자를 포함하는 열입니다. 이 열은 스트레스 패턴 데이터 테이블의 스트레스 패턴을 사건 발생 시간 데이터 테이블의 관측값과 매칭시키는 데 사용됩니다.

패턴 계속 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간 이후에 발생하는 고장을 처리하는 방법을 지정합니다. 이 패턴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

종료 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간 이후의 시간에 고장이 발생하면 오류가 생성되고 모형이 적합되지 않습니다.

확장 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간 이후의 시간에 고장이 발생하면 최종 기간의 수준과 동일한 스트레스 수준을 가정합니다.

반복 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간 이후의 시간에 고장이 발생하면 스트레스 패턴이 반복되는 것과 동일한 스트레스 수준을 가정합니다. 예를 들어 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간이 지나고 10 시간 단위 이후에 고장이 발생하면 해당 고장 시간의 스트레스 수준은 정의된 스트레스 패턴이 시작된 후 10 시간 단위의 스트레스 수준으로 설정됩니다.

참고 : 계단 스트레스 패턴의 기본 "패턴 계속" 설정은 "종료" 입니다.

램프 스트레스 패턴

램프 스트레스 패턴은 스트레스를 시간의 선형 함수로 정의합니다. 각 패턴은 절편 (시간 0에서의 스트레스 수준) 과 기울기 (1 시간 단위당 스트레스 수준의 증가) 로 정의됩니다. 각 패턴은 스트레스 패턴 데이터 테이블의 단일 행에 기술됩니다.

절편 각 패턴에 대한 절편을 포함하는 열입니다.

기울기 각 패턴에 대한 기울기를 포함하는 열입니다.

패턴 ID 스트레스 패턴에 대한 고유 식별자를 포함하는 열입니다. 이 열은 스트레스 패턴 데이터 테이블의 스트레스 패턴을 사건 발생 시간 데이터 테이블의 관측값과 매칭시키는 데 사용됩니다.

사인 곡선 스트레스 패턴

사인 곡선 스트레스 패턴은 스트레스를 주기 함수로 정의합니다. 패턴은 수준, 진폭, 주기 및 위상으로 정의됩니다. 각 패턴은 스트레스 패턴 데이터 테이블의 단일 행에 기술됩니다. 패턴은 다음과 같이 정의됩니다.

$$S(t) = \text{수준} + \text{진폭} * \sin(\text{위상} + (2 * \pi * t) / \text{주기})$$

수준 각 패턴에 대한 수준을 포함하는 열입니다.

진폭 각 패턴에 대한 진폭을 포함하는 열입니다.

주기 각 패턴에 대한 주기를 포함하는 열입니다.

위상 각 패턴에 대한 위상을 포함하는 열입니다.

패턴 ID 스트레스 패턴에 대한 고유 식별자를 포함하는 열입니다. 이 열은 스트레스 패턴 데이터 테이블의 스트레스 패턴을 사건 발생 시간 데이터 테이블의 관측값과 매칭시키는 데 사용됩니다.

조각별 램프 스트레스 패턴

조각별 램프 스트레스 패턴은 스트레스를 시간의 조각별 선형 함수로 정의합니다. 시간 경과에 따른 스트레스 수준의 선분이 겹치지 않거나 연속적일 수 있습니다. 또한 선분은 평평할 수 있으므로 계단 스트레스와 램프 스트레스가 결합될 수 있습니다. 선분은 세그먼트의 기간과 스트레스 설정의 시작 및 끝 수준에 의해 스트레스 패턴 데이터 테이블에 정의됩니다.

스트레스 기간 각 스트레스 단계의 시간 단위 길이를 포함하는 열입니다.

스트레스 램프 단계의 시작과 끝에서의 스트레스 수준을 포함하는 두 열입니다.

패턴 ID 스트레스 패턴에 대한 고유 식별자를 포함하는 열입니다. 이 열은 스트레스 패턴 데이터 테이블의 스트레스 패턴을 사건 발생 시간 데이터 테이블의 관측값과 매칭시키는 데 사용됩니다.

패턴 계속 "패턴 계속" 패널을 사용하면 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간 이후에 발생하는 스트레스 수준을 지정할 수 있습니다. 이 패널에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

종료 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간 이후의 시간에 고장이 발생하면 오류가 생성되고 모형이 적합되지 않습니다.

확장 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간 이후의 시간에 고장이 발생하면 최종 기간의 수준과 동일한 스트레스 수준을 가정합니다.

반복 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간 이후의 시간에 고장이 발생하면 스트레스 패턴이 반복되는 것과 동일한 스트레스 수준을 가정합니다. 예를 들어 정의된 스트레스 패턴에서 최종 기간이 지나고 10 시간 단위 이후에 고장이 발생하면 해당 고장 시간의 스트레스 수준은 정의된 스트레스 패턴이 시작된 후 10 시간 단위의 스트레스 수준으로 설정됩니다.

참고: 조각별 램프 스트레스 패턴의 기본 "패턴 계속" 설정은 "종료"입니다.

누적 손상 보고서

기본적으로 "누적 손상" 보고서에는 다음 보고서가 포함됩니다.

- 고장 또는 중도절단을 보여 주는 사건 그림
- 시간 경과에 따른 스트레스 수준의 그림을 보여 주는 스트레스 패턴 보고서
- 각 적합 분포에 대한 통계량이 포함된 모형 목록
- 각 적합 분포에 대한 개별 보고서를 제공하는 모형 결과 보고서

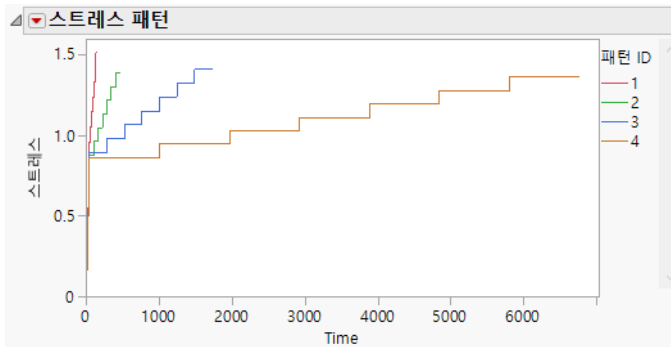
사건 그림

누적 손상 플랫폼의 "사건 그림"에는 고장 또는 중도절단까지의 시간이 표시됩니다. 자세한 내용은 "사건 그림"에서 확인하십시오.

스트레스 패턴 보고서

누적 손상 플랫폼의 "스트레스 패턴" 보고서에는 각 스트레스 패턴 ID에 대해 시간 경과에 따른 스트레스 수준 그림이 표시됩니다. 이 보고서의 "시물레이션" 옵션을 사용하면 새 데이터를 시물레이션할 수 있습니다. 그림 5.6에서는 스트레스 패턴 보고서 그림의 예를 보여 줍니다. 자세한 내용은 "스트레스 패턴 옵션"에서 확인하십시오.

그림 5.6 스트레스 패턴 보고서



모형 목록

누적 손상 플랫폼의 "모형 목록" 보고서에서는 각 적합 분포에 대한 $-2 \times$ 로그 가능도, 모수 수, AICc 및 BIC 통계량을 제공합니다. 이러한 각 통계량(모수 수 제외)의 값이 작을수록 더 나은 적합을 나타냅니다. 이러한 통계량에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합에서 확인하십시오.

모형 결과

누적 손상 플랫폼의 "결과" 보고서에는 각 적합 분포에 대한 개별 보고서가 포함됩니다. 각 보고서에는 다음 항목이 포함되어 있습니다.

모수 추정값 추정값, 표준 오차 및 Wald 기반 95% 신뢰 구간을 표시합니다.

"모수 추정값" 테이블 아래에 적합 방정식이 나타납니다. 이 방정식은 적합 모수 추정값 및 시작 창에 지정된 관계를 고려합니다.

분포 프로파일러 누적 고장 확률을 시간의 함수로 표시합니다.

분위수 프로파일러 고장 시간을 누적 확률의 함수로 표시합니다.

위험 프로파일러 위험률을 시간의 함수로 표시합니다.

밀도 프로파일러 분포에 대한 밀도 함수를 표시합니다.

표준화 잔차의 확률도 모형에 대한 표준화 잔차 그림을 확률 척도 축에 표시합니다.

"표준화 잔차의 확률도"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 표준화 잔차를 고장 시간 데이터 테이블의 새 열 세 개에 저장하는 "잔차 저장" 옵션이 있습니다. 세 열은 "왼쪽 잔차", "오른쪽 잔차" 및 "잔차 가중치"입니다.

Cox-Snell 잔차 P-P 그림 데이터에 대한 분포 가정을 검증하는 데 사용되는 잔차 그림을 표시합니다.

"Cox-Snell 잔차 P-P 그림"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 Cox-Snell 잔차를 고장 시간 데이터 테이블의 새 열 세 개에 저장하는 "잔차 저장" 옵션이 있습니다. 세 열은 "왼쪽 잔차", "오른쪽 잔차" 및 "잔차 가중치"입니다. Cox-Snell 잔차에 대한 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, sec. 17.6.1)에서 확인하십시오.

누적 손상 플랫폼 옵션

"누적 손상"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

전체 적합 시작 창에서 선택되지 않은 분포를 적합시킵니다. 사용 가능한 분포는 "**분포**" 아래에 나열됩니다.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**의 에서 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 지원 하는 플랫폼에서 "자동 재계산" 옵션은 해당하는 보고서 창에서 데이터 테이블에 대한 변경 사항을 즉시 반영합니다.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

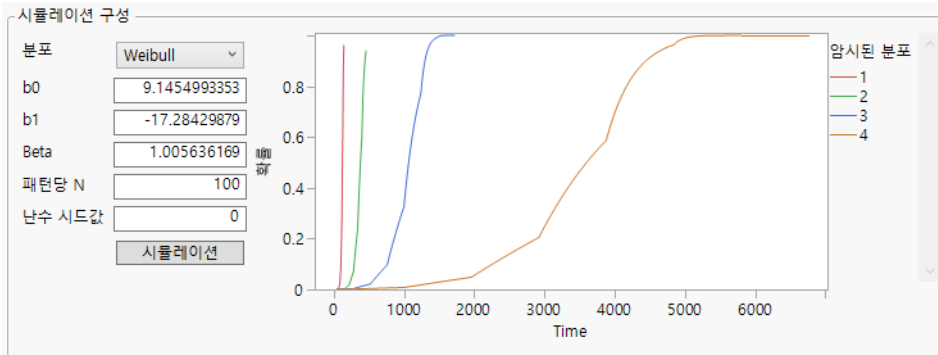
스트레스 패턴 옵션

누적 손상 플랫폼에서 "스트레스 패턴"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 "시뮬레이션" 옵션이 포함되어 있습니다. 이 옵션은 "시뮬레이션 구성" 패널을 표시하거나 숨깁니다.

시뮬레이션 제어판

그림 5.7에서는 "시뮬레이션 구성" 패널을 보여 줍니다. "분포"의 초기값과 모수 설정은 "누적 손상" 시작 창에 지정된 분포의 모수 추정값에 의해 결정됩니다. 그래프는 스트레스 패턴 데이터 테이블에 정의된 스트레스 패턴에 대해 시간 경과에 따른 추정된 고장 분포 함수를 보여 줍니다.

그림 5.7 시뮬레이션 구성 패널



"시뮬레이션 구성" 패널을 사용하면 분포 및 스트레스 패턴을 기반으로 새 고장 시간 데이터를 시뮬레이션할 수 있습니다. 플랫폼을 시작할 때 사용한 스트레스 패턴 데이터 테이블에 정의된 스트레스 패턴도 시뮬레이션에 사용됩니다. 이 패널에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

분포 시뮬레이션에 사용할 분포입니다. 사용 가능한 분포는 "누적 손상" 시작 창의 분포와 동일합니다. 분포에 대한 자세한 내용은 "분포에 대한 통계 상세 정보"에서 확인하십시오.

b0 분포의 위치 모수에 대한 절편입니다.

b1 분포의 위치 모수에 대한 기울기입니다.

람다 (Box-Cox 관계에만 사용 가능) Box-Cox 관계에 대한 람다 값입니다.

b2, s0, s1 등 (사용자 정의 관계에만 사용 가능) "누적 손상" 시작 창의 "사용자 정의" 관계에 정의된 기타 모수입니다.

베타 (Weibull 분포에만 사용 가능) Weibull 분포의 베타 모수입니다.

시그마 (로그 정규, 로그로지스틱 및 Frechet 분포에만 사용 가능) 분포의 시그마 모수입니다.

패턴당 점 수 각 스트레스 패턴에 대한 시뮬레이션에서 생성된 점의 수입니다.

난수 시드값 (선택 사항) 시뮬레이션 결과를 재현할 수 있도록 보장하는 0이 아닌 난수 시드값입니다.

종료 ("누적 손상" 시작 창의 "패턴 계속"을 "종료"로 지정한 경우에는 사용 불가능) 생존 시험 유닛이 중도절단되는 기준 시간입니다.

시뮬레이션

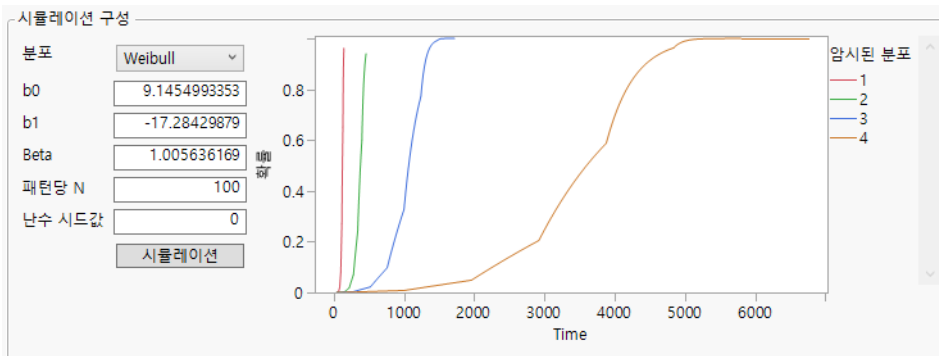
"시뮬레이션 구성" 패널의 그림은 시간 경과에 따른 각 스트레스 패턴의 암시된 분포를 보여 줍니다. 시뮬레이션 결과가 포함된 새 JMP 데이터 테이블을 생성하려면 "시뮬레이션" 버튼을 클릭합니다.

누적 손상 플랫폼의 추가 예

이 예에서는 "누적 손상" 보고서의 "시뮬레이션 구성" 패널을 사용하여 새 계단 스트레스 데이터를 생성합니다. 여기에서는 "누적 손상 플랫폼의 예"의 예와 동일한 데이터를 사용합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/CD Step Stress.jmp 및 Reliability/CD Step Stress Pattern.jmp 를 엽니다.
2. CD Step Stress 데이터 테이블에서 **Cumulative Damage** 스크립트를 실행합니다.
3. "스트레스 패턴"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시뮬레이션**을 선택합니다.

그림 5.8 시뮬레이션 구성 패널



"스트레스 패턴" 보고서에 "시뮬레이션 구성" 패널이 나타납니다. "분포"는 "Weibull"로 선택되어 있습니다. b_0 및 b_1 의 적합된 값은 시뮬레이션의 초기값으로 사용됩니다.

4. **분포**에서 "지수"를 선택합니다.
5. **b_0** 에 "10"을 입력합니다.
6. **b_1** 에 "-18"을 입력합니다.
7. (선택 사항) **난수 시드값**에 "14678"을 입력합니다.
8. **시뮬레이션**을 클릭합니다.

그림 5.9 시뮬레이션 결과 (일부)

	Time 왼쪽	Time 오른쪽	Pattern ID
1	140.67948106	140.67948106	1
2	139.34770497	139.34770497	1
3	136.95430716	136.95430716	1
4	136.30050091	136.30050091	1
5	145	•	1
6	118.5123739	118.5123739	1
7	119.03562567	119.03562567	1
8	145	•	1
9	127.19420127	127.19420127	1
10	118.48391055	118.48391055	1
11	103.54004804	103.54004804	1
12	145	•	1
13	121.04292162	121.04292162	1
14	136.15486483	136.15486483	1
15	143.65666248	143.65666248	1
16	123.04501594	123.04501594	1
17	145	•	1
18	124.26692664	124.26692664	1
19	120.96407573	120.96407573	1

그림 5.9에는 시뮬레이션된 데이터 테이블의 일부가 나열되어 있습니다 . Pattern ID 가 1 인 스트레스 패턴은 최대 145 시간 단위까지만 정의됩니다 . 시작 창의 " 패턴 계속 " 설정이 " 종료 " 로 설정되었으므로 시뮬레이션할 때 스트레스 패턴 1 에 대해 145 에서 시뮬레이션된 값 이 중단됩니다 .

6 장

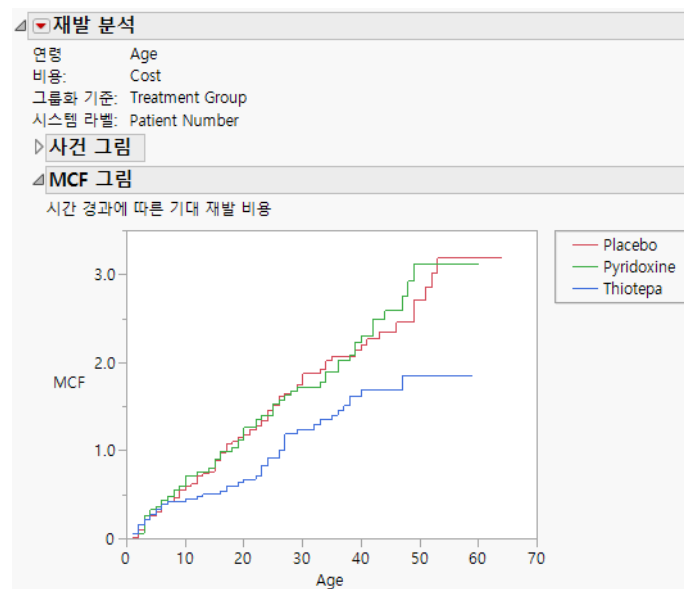
재발 분석

시간 경과에 따른 재발 사건의 빈도 또는 비용 모델링

재발 분석 플랫폼을 사용하여 각 유닛, 품목 또는 사람에 대해 사건이 여러 번 반복될 수 있는 사건 시간을 분석할 수 있습니다. 분석 목표는 유닛당 총 비용을 시간의 함수로 표시하는 MCF(평균 누적 함수)를 얻는 것입니다. 비용은 수리 횟수 또는 실제 수리 비용이 될 수 있습니다.

- 산업 현장에서 이러한 사건은 장치가 고장 나서 수리한 후 다시 사용하기 시작할 때 발생할 수 있습니다. 장치는 완전히 사용 중단될 때까지 추적됩니다.
- 의료 현장에서는 방광암 치료를 받는 환자의 중앙 재발과 같이 장기적 질환의 지속적인 치료 데이터를 분석하기 위해 재발 분석을 사용할 수 있습니다.

그림 6.1 재발 분석 예



목차

재발 분석 플랫폼의 예.....	145
재발 분석 플랫폼 시작.....	148
데이터 형식.....	149
재발 분석 플랫폼 옵션.....	149
모형 적합.....	150
재발 분석 플랫폼의 추가 예.....	154
비용 열을 사용한 재발 분석의 예.....	154
시작 및 종료 타임스탬프를 사용한 재발 분석의 예.....	157

재발 분석 플랫폼의 예

재발 사건 데이터의 일반적인 유닛은 엔진 또는 기기의 부품일 수 있습니다. 이 예에서는 기관차 엔진의 밸브 시트 교체 기록을 분석하려고 합니다. 엔진은 연령과 비용이 다른 여러 개의 수리에 해당하는 여러 행을 가질 수 있습니다. 마지막으로 관측된 기관차 연령은 비용 값이 0인 행으로 표시됩니다. 이 예에 대한 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, p. 395) 및 Nelson(2003)에서 확인하십시오.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Engine Valve Seat.jump 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 재발 분석**을 선택합니다.
3. Age 를 선택하고 **Y, 연령, 사건 타임스탬프**를 클릭합니다.
Age 는 사용 시작부터 엔진 밸브 시트 교체까지의 기간 (일) 입니다.
4. EngineID 를 선택하고 **라벨, 시스템 ID** 를 클릭합니다.
EngineID 열은 특정 기관차 유닛을 식별합니다.
5. Cost 를 선택하고 **비용**을 클릭합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.

그림 6.2 밸브 시트 교체에 대한 사건 그림

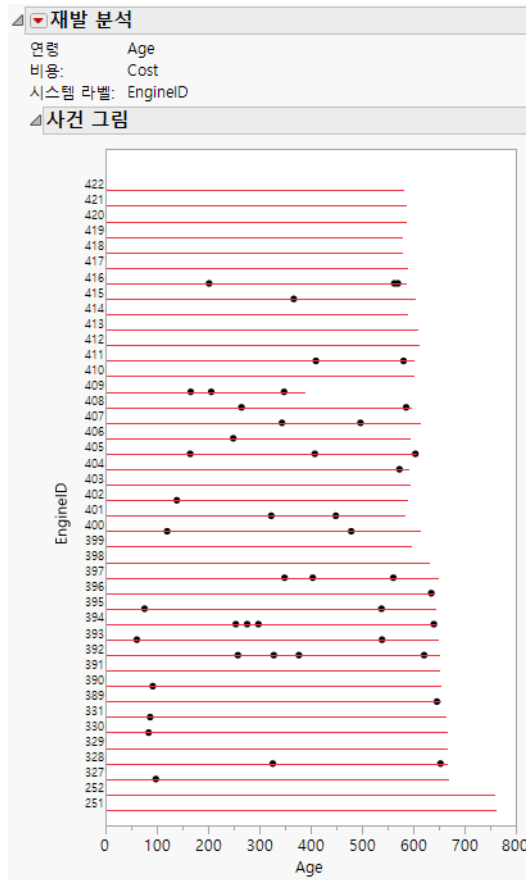


그림 6.2의 사건 그림에는 각 유닛에 대한 타임라인이 표시됩니다. 각 수리 시점에 표식이 있으며 각 선은 해당 유닛의 마지막 관측 연령까지 연장됩니다. 예를 들어 409 유닛은 389일에 마지막 관측되었으며 세 번의 밸브 교체가 있었습니다.

그림 6.3 재발 분석의 MCF 그림 및 테이블 (일부)

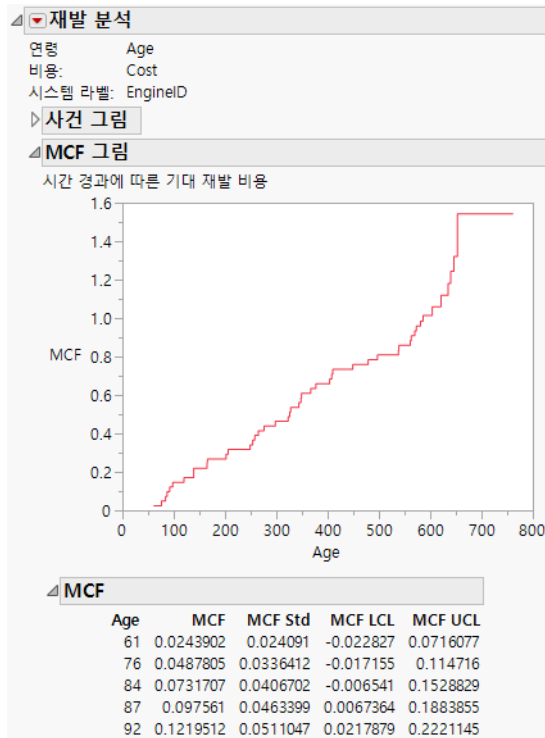


그림 6.3의 MCF 그림에는 표본 평균 누적 함수가 표시됩니다. 이는 각 연령에 대해 평균 누적 비용 또는 유닛당 사건 수의 비모수 추정값입니다. 유닛이 오래되고 총 비용이 증가함에 따라 이 함수가 올라갑니다. MCF 그림을 보면 약 580일이 한 수리 사건의 평균 연령임을 알 수 있습니다.

재발 분석 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 재발 분석을 선택하여 재발 분석 플랫폼을 시작합니다.

그림 6.4 재발 분석 시작 창

재발 사건 기록을 분석합니다.

열 선택

☒ 3개 열

EngineID

Age

Cost

☐ 첫 번째 사건이 시작 타임스탬프

연령 척도: 척도 없음

기본 종료 타임스탬프:

선택한 열 역할 지정

선택한 열	역할
Y, 연령, 사건 타임스탬프	Age
라벨, 시스템 ID	EngineID
비용	Cost
그룹화	선택적
원인	선택적
시작 시 타임스탬프	선택적 숫자
종료 시 타임스탬프	선택적 숫자
기준	선택적

작업

확인

취소

제거

재호출

도움말

• Y 열이 연령이 아닌 사건 타임스탬프인 경우 JMP가 연령을 계산할 수 있도록 정보를 지정해야 합니다.

• JMP에서는 시작 시 타임스탬프 열의 값을 빼서 연령을 계산합니다. 사건 레코드에 시작 시간이 있는 경우 "첫 번째 사건이 시작 타임스탬프" 옵션을 선택하십시오.

• 타임스탬프는 일반적으로 초로 코드화되며 모델링은 일반적으로 다른 시간 단위로 수행되므로 연령 척도 옵션을 지정하십시오.

• 재발에는 종료 시간(서비스 종료 또는 연구 종료)도 필요합니다. 종료 시간은 일반적으로 비용이 0인 데이터 레코드입니다. 모든 유닛에 대해 종료 시간이 제공된 경우 종료 시 타임스탬프 열을 지정하십시오. 모든 유닛에 대해 종료 시간이 제공되지 않았으며 타임스탬프를 사용하는 경우에는 기본 종료 타임스탬프를 지정하십시오.

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용에서 확인하십시오.

Y, 연령, 사건 타임스탬프 사건 발생 시점의 유닛 연령 또는 사건 타임스탬프를 지정합니다. Y 열이 사건 타임스탬프인 경우 JMP 에서 연령을 계산할 수 있도록 시작 및 종료 타임스탬프를 지정해야 합니다.

라벨, 시스템 ID 각 사건 및 중도절단 연령에 대한 유닛을 식별합니다.

비용 다음 값 중 하나를 포함해야 하는 열을 식별합니다.

- 1- 사건이 발생했음을 나타냅니다 (유닛이 고장 났거나 수리, 교체 또는 조정됨). 표시자 (1)가 지정된 경우 MCF는 유닛당 사건의 평균 누적 개수를 연령 함수로 나타낸 것입니다.
- 사건 비용 (수리, 교체 또는 조정 비용). 비용이 지정된 경우 MCF는 유닛당 평균 누적 비용을 연령 함수로 나타낸 것이며 "사건 그림"의 표시자는 비용 값에 따라 크기가 조정됩니다.
- 0- 유닛이 서비스 중단되었거나 더 이상 조사되지 않음을 나타냅니다. 모든 유닛 (각 시스템 ID)에는 이 열에 대해 0이 포함되고 **Y, 연령, 사건 타임스탬프** 열에 최종 관측 연령

이 포함된 하나의 행이 있어야 합니다. 테이블에 각 유닛의 마지막 관측 연령 ("비용" 열 셀이 0 인 경우) 이 정확히 하나가 아니면 오류 메시지가 나타납니다.

참고 : 재발 분석의 비용 표시자는 수명 분포 또는 생존 분석에 나오는 중도절단 표시자의 반대입니다. 비용 변수의 경우 값이 1 이면 사건 (예: 수리) 을 나타내고 값이 0 이면 유닛이 더 이상 사용되지 않음을 나타냅니다. 중도절단 변수의 경우 값이 1 이면 중도절단된 값을 나타내고 값이 0 이면 사건 또는 유닛의 고장 (중도절단되지 않은 값) 을 나타냅니다.

그룹화 이 열로 식별되는 여러 그룹에 대해 별도의 MCF 추정값을 생성합니다.

원인 여러 고장 모드를 지정합니다.

시작 시 타임스탬프 원본 타임스탬프가 있는 열을 지정합니다. 시작 시간이 사건 레코드인 경우에는 대신 **첫 번째 사건이 시작 타임스탬프** 옵션을 선택합니다. JMP에서는 이 열의 값을 빼서 연령을 계산합니다.

종료 시 타임스탬프 서비스 종료 타임스탬프가 있는 열을 지정합니다. 모든 유닛에 대해 종료 시간이 제공되는 경우 여기서 해당 열을 지정합니다. 모든 유닛에 대해 종료 시간이 제공되지 않은 경우에는 대신 **기본 종료 타임스탬프** 옵션을 선택합니다. 그러나 비용이 0 인 레코드가 있으면 JMP에서 해당 레코드를 종료 타임스탬프로 사용하므로 이 역할을 지정할 필요가 없습니다.

연령 척도 모델링을 위한 시간 단위를 지정합니다. 예를 들어 타임스탬프가 초 (second) 단위로 코드화된 경우 시간 (hour) 으로 변경할 수 있습니다.

데이터 형식

재발 사건 데이터에는 유닛 노후화에 따른 누적 빈도 또는 수리 비용이 포함됩니다. 재발 분석용 데이터에는 관측된 각 사건에 대한 하나의 행과 유닛의 마지막 관측 연령이 포함된 종료 행이 있습니다. 여러 개의 유닛 또는 시스템이 포함될 수 있습니다. 또한 이러한 유닛 또는 시스템에는 여러 번의 재발이 포함될 수 있습니다.

재발 분석 플랫폼 옵션

"재발 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

MCF 그림 MCF(평균 누적 함수) 그림을 표시하거나 숨깁니다.

MCF 신뢰 한계 MCF(평균 누적 함수)의 근사 95% 신뢰 한계에 해당하는 선을 표시하거나 숨깁니다.

사건 그림 "사건 그림"을 표시하거나 숨깁니다. 시작 창에서 "비용" 열을 지정한 경우 사건 그림의 표시자는 비용 열의 값에 따라 크기가 조정됩니다.

일정 사건 그림 (사건이 연령 대신 타임스탬프로 지정된 경우에만 사용 가능) 가로 축에 일정 날짜가 있는 사건을 보여 주는 "일정 사건 그림"을 표시하거나 숨깁니다. 이 그림은 "사건 그림" 옆에 있으며 각 그림에서 유닛이 세로로 정렬되어 있습니다.

연령별 도착 간격 그림 연속 사건 사이의 시간을 세로 축에 표시하고 사건 시간을 가로 축에 표시하는 "연령별 도착 간격" 그림을 표시하거나 숨깁니다. 이 그림을 사용하여 데이터에서 사건 사이 시간에 변화가 있는지 여부를 확인할 수 있습니다. 재발 분석의 경우 도착 간격 시간은 독립적이어야 하며 시간 경과에 따라 같은 분포를 따라야 합니다. 도착 간격 그림에 대한 자세한 내용은 Tobias & Trindade(2012, p. 420)에서 확인하십시오.

MCF 차이 그림 (그룹화 변수를 지정한 경우에만 사용 가능) 해당 차이에 대한 95% 신뢰 구간이 포함된 MCF 차이 그림을 표시하거나 숨깁니다. MCF는 신뢰 구간 선이 0 선과 교차하지 않는 경우 유의하게 다릅니다. 이 옵션은 그룹화 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

각 그룹별 MCF 그림 (그룹화 변수를 지정한 경우에만 사용 가능) 그룹화 변수의 각 수준에 대한 MCF(평균 누적 함수) 그림이 포함된 보고서를 표시하거나 숨깁니다.

라벨, 시스템 ID 변수가 **그룹화** 변수로도 지정된 경우 이 옵션을 사용하여 MCF 그림을 얻을 수 있습니다.

모형 적합 재발 강도 및 누적 함수에 대한 모형을 적합시킬 수 있습니다. 자세한 내용은 "**모형 적합**"에서 확인하십시오.

모형 적합

재발 분석 플랫폼의 "모형 적합" 옵션은 재발 강도 및 누적 함수에 대한 모형을 적합시키는 데 사용됩니다. 강도 및 누적 함수를 설명하는 데 사용할 수 있는 네 가지 모형이 있습니다. 상수 모수를 사용하거나 효과의 함수인 모수를 사용하여 모형을 적합시킬 수 있습니다.

그림 6.5에 표시된 "재발 모형 규격" 창을 생성하려면 "재발 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "모형 적합"을 선택합니다.

그림 6.5 재발 모형 규격

다음과 같은 강도 및 누적 함수를 사용하는 네 가지 모형 중 하나를 선택할 수 있습니다.

역 비등질적 Poisson 과정

$$I(t) = \left(\frac{\beta}{\theta}\right) \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1}$$

$$C(t) = \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}$$

비례 강도 Poisson 과정

$$I(t) = \delta t^{\delta-1} e^{\gamma}$$

$$C(t) = t^{\delta} e^{\gamma}$$

로그 선형 비등질적 Poisson 과정

$$I(t) = e^{\gamma + \delta t}$$

$$C(t) = \frac{I(t) - I(0)}{\delta} = \frac{e^{\gamma + \delta t} - e^{\gamma}}{\delta}$$

동질적 Poisson 과정

$I(t) = e^{\gamma}$

$C(t) = te^{\gamma}$

여기서 t 는 제품의 연령입니다 .

표 6.1에서는 각 모형 모수를 척도 모수 또는 형상 모수로 정의합니다.

표 6.1 척도 및 형상 모수

모형	척도 모수	형상 모수
떡 NHPP	θ	β
비례 강도 PP	γ	δ
로그 선형 NHPP	γ	δ
동질적 PP	γ	없음

다음 사항에 유의하십시오 .

- " 재발 모형 규격 " 창 (그림 6.5) 에서 " 척도 효과 " 또는 " 형태 효과 " 를 포함하면 표 6.1 의 척도 및 형상 모수가 효과의 함수로 모델링됩니다 . 상수 척도 및 형상 모수로 모형을 적합시키려면 " 척도 효과 " 또는 " 형태 효과 " 를 포함하지 마십시오 .
- 동질적 Poisson 과정은 다른 모형과 비교할 때 특수한 경우입니다 . 떡 NHPP 및 비례 강도 Poisson 과정은 단항 모형에 대해서는 동일하지만 복잡한 모형의 경우 비례 강도 모형이 더 안정적으로 적합되는 것 같습니다 .

모형 실행을 클릭하면 모형이 적합되고 모형 보고서가 표시됩니다.

적합 제거 모형 보고서를 제거합니다.

모형에서 시뮬레이션

"적합 재발 모형"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "모형에서 시뮬레이션" 옵션을 선택하면 "모형에서 시뮬레이션" 창이 나타납니다. 이 창에는 다음과 같은 시뮬레이션 규격이 포함되어 있습니다.

최대 사건 수 시스템 ID 의 각 수준에서 시뮬레이션할 최대 사건 수를 지정합니다.

최대 연령 시뮬레이션된 사건의 최대 시간을 지정합니다.

유닛 수 시스템 ID 의 각 수준에서 유닛 수를 지정합니다.

참고 : 모형에 절편 및 상수 항 이외의 항이 포함된 경우 시뮬레이션된 데이터 테이블에는 회귀 항의 모든 수준 조합에 대해 이 유닛 수가 포함됩니다. 회귀 항이 연속형이면 5 개 수준으로 구분됩니다.

"확인"을 클릭하면 결과가 포함된 새 데이터 테이블이 나타납니다. 이 테이블에는 시뮬레이션된 관측값을 재발 분석 플랫폼에서 분석할 수 있는 스크립트가 포함되어 있습니다.

재발 분석 플랫폼의 추가 예

이 섹션에는 재발 분석 플랫폼을 사용하는 예가 포함되어 있습니다.

- "비용 열을 사용한 재발 분석의 예"
- "시작 및 종료 타임스탬프를 사용한 재발 분석의 예"

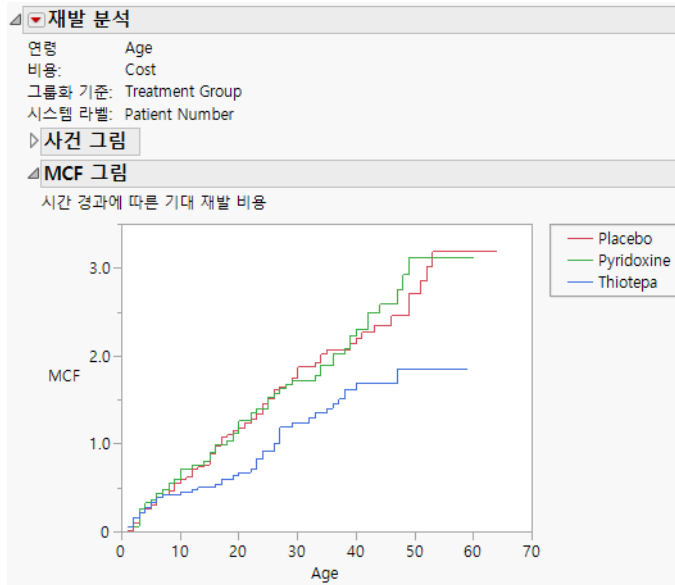
비용 열을 사용한 재발 분석의 예

이 예에서는 Veterans Administration Co-operative Urological Research Group 의 암성 방광 중앙 재발에 대한 데이터를 분석합니다. 분석을 통해 병의 진행 경과 및 세 가지 치료법 간에 차이가 있는지 여부를 탐색합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Bladder Cancer.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 재발 분석**을 선택합니다.
3. Age 를 선택하고 **Y, 연령, 사건 타임스탬프**를 클릭합니다.
4. Patient Number 를 선택하고 **라벨, 시스템 ID**를 클릭합니다.
5. Cost 를 선택하고 **비용**을 클릭합니다.
6. Treatment Group 을 선택하고 **그룹화**를 클릭합니다.
7. **확인**을 클릭합니다.
8. "사건 그림" 옆의 회색 표시 아이콘을 클릭합니다.

그림 6.7에서는 세 가지 치료에 대한 MCF 그림을 보여 줍니다.

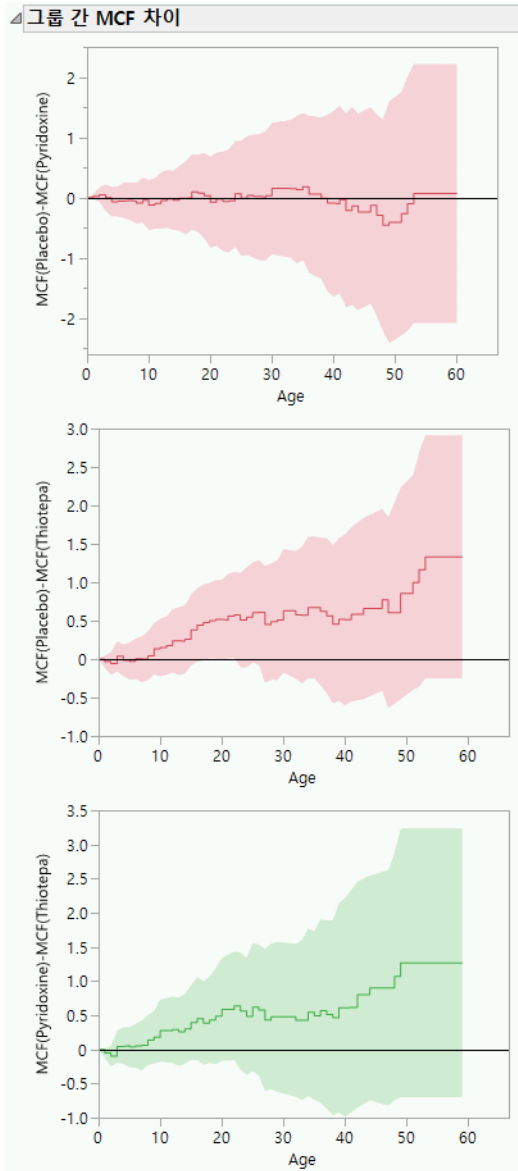
그림 6.7 Bladder Cancer MCF 그림



기본적으로 세 개의 MCF 곡선이 모두 직선입니다. 따라서 시간 경과에 따라 기울기 (재발률)가 일정하며, 이는 병이 진행되는 동안 환자가 호전되거나 악화되지 않는 것 같다는 의미입니다.

9. 치료법 간에 차이가 있는지 여부를 검토하기 위해 "재발 분석"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **MCF 차이 그림**을 선택합니다.

그림 6.8 MCF 차이



치료법 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는지 여부를 확인하려면 차이 그림의 신뢰 한계를 검토합니다. 한계에 0이 포함되지 않으면 치료법에 확실한 차이가 있습니다. [그림 6.8](#)의 그래프에서는 치료법 간에 유의한 차이가 없음을 보여 줍니다.

시작 및 종료 타임스탬프를 사용한 재발 분석의 예

이 예에서는 장기간 사용된 두 선박의 엔진 수리 시간에 대한 데이터를 분석합니다. 수리 진행 상황을 검토하고, 앞으로 얼마나 자주 수리해야 하는지 파악하려고 합니다. 이러한 관측값은 엔진의 사용 중단 시기를 결정하는 데 도움이 될 수 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 **Reliability/Diesel Ship Engines.jmp** 를 엽니다 .
2. 57 행과 129 행이 제외 상태로 설정되어 있는지 확인합니다 .

참고 : 제외 상태로 설정되어 있지 않으면 57 행과 129 행을 선택하고 **행 > 제외 / 제외 해제**를 선택합니다 .

3. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 재발 분석**을 선택합니다 .
4. **그림 6.9** 에 표시된 대로 시작 창을 완료합니다 .

그림 6.9 Diesel Ship Engines 시작 창

재발 사건 기록을 분석합니다.

열 선택

▼ 7개 열

- Unit
- kHours
- Cost
- System ID
- orig time
- event time
- end time

☐ 첫 번째 사건이 시작 타임스탬프

연령 척도 시간에 대한 날짜/시간 ▼

기본 종료 타임스탬프

선택한 열 역할 지정

Y, 연령, 사건 타임스탬프	event time
라벨, 시스템 ID	System ID
비용	선택적 숫자
그룹화	System ID
원인	선택적
시작 시 타임스탬프	orig time
종료 시 타임스탬프	end time
기준	선택적

•Y 열이 연령이 아닌 사건 타임스탬프인 경우 JMP가 연령을 계산할 수 있도록 정보를 지정해야 합니다.
 •JMP에서는 시작 시 타임스탬프 열의 값을 빠져 연령을 계산합니다. 사건 레코드에 시작 시간이 있는 경우 "첫 번째 사건이 시작 타임스탬프" 옵션을 선택하십시오.
 •타임스탬프는 일반적으로 초로 코드화되며 모델링은 일반적으로 다른 시간 단위로 수행되므로 연령 척도 옵션을 지정하십시오.
 •재발에는 종료 시간(서비스 종료 또는 연구 종료)도 필요합니다. 종료 시간은 일반적으로 비용이 0인 데이터 레코드입니다. 모든 유닛에 대해 종료 시간이 제공된 경우 종료 시 타임스탬프 열을 지정하십시오. 모든 유닛에 대해 종료 시간이 제공되지 않았으며 타임스탬프를 사용하는 경우에는 기본 종료 타임스탬프를 지정하십시오.

작업

확인

취소

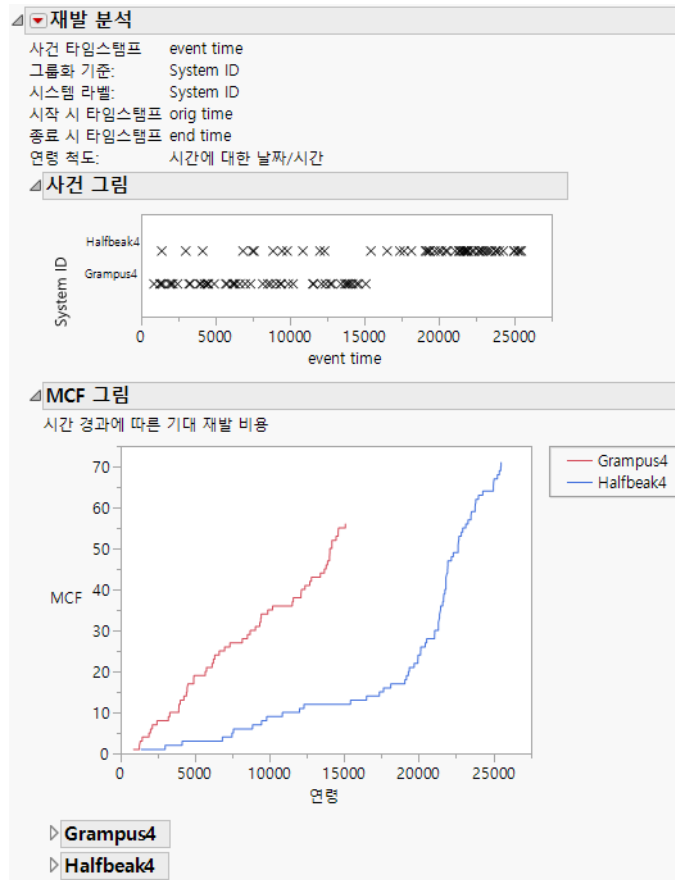
제거

재호출

도움말

5. **확인**을 클릭합니다 .

그림 6.10 Diesel Ship Engines 보고서

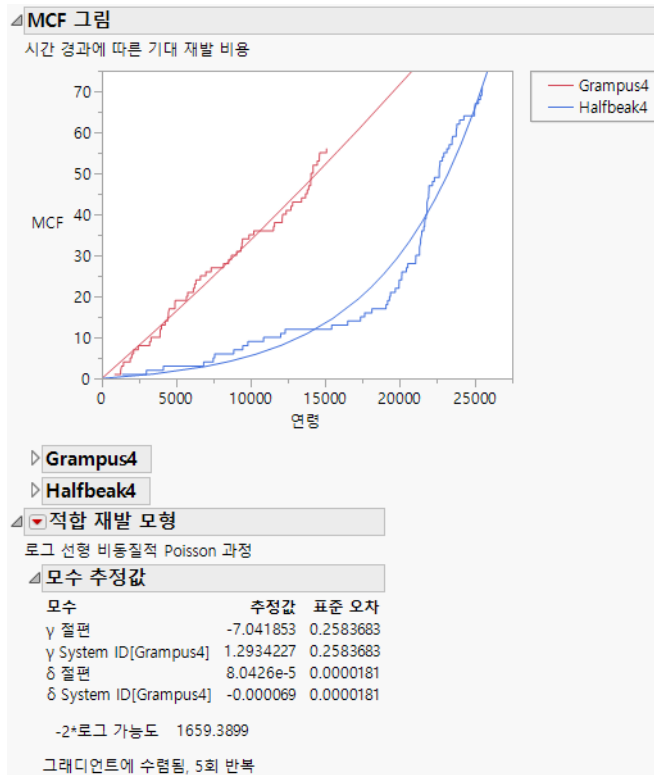


"사건 그림"을 보면 Grampus4 엔진의 수리가 비교적 일관성이 있음을 알 수 있습니다. Halfbeak4 엔진 수리는 더 산발적이고, 대략 19,000시간 정도에 수리가 갑자기 증가한 것으로 보입니다. 이러한 증가는 "MCF 그림"에서 더 분명하게 보입니다.

향후 성능을 예측하기 위해 모수 모형을 적합시켜 분석을 계속합니다.

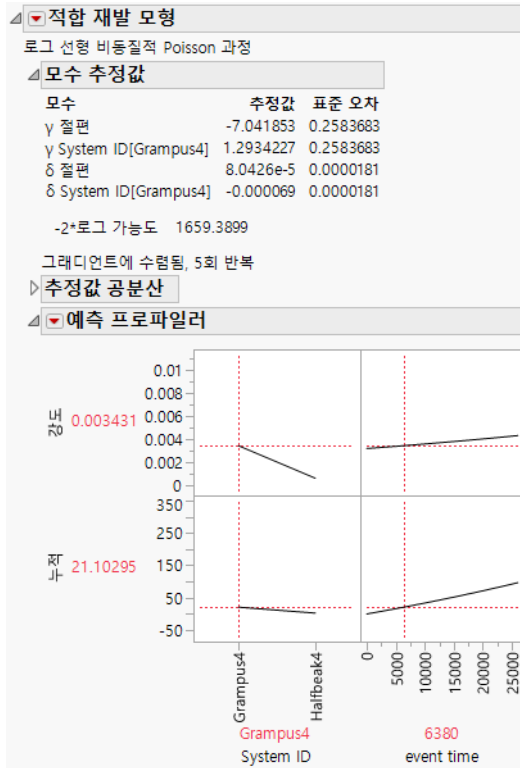
6. "재발 분석"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모형 적합**을 선택합니다.
7. "재발 모형 규격"에서 **로그 선형 비동질적 Poisson 과정**을 선택합니다.
8. System ID 열을 "척도 효과"와 "형태 효과" 둘 다로 추가합니다.
9. **모형 실행**을 클릭합니다.

그림 6.11 Diesel Ship Engines 적합 모형



10. " 적합 재발 모형 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **프로파일러**를 선택합니다 .

그림 6.12 Diesel Ship 프로파일러



Grampus4 엔진의 향후 수리 횟수를 Halfbeak4 엔진과 비교합니다. 사건 시간 값을 변경하여 향후 누적 수리 횟수에 미치는 영향을 확인합니다.

- 30,000 시간 사용 후 필요한 수리 횟수를 확인하려면 "event time" 에 "30,000" 을 입력합니다. Grampus4 엔진은 약 114 번의 수리가 필요합니다. Halfbeak4 의 값을 보려면 Grampus4 에서 점선을 클릭하여 Halfbeak4 로 드래그합니다. Halfbeak4 엔진은 약 140 번의 수리가 필요합니다.
- 80,000 시간 사용 후 필요한 수리 횟수를 확인하려면 "event time" 에 "80,000" 을 입력합니다. Halfbeak4 엔진은 약 248,169 번의 수리가 필요합니다. Halfbeak4 에서 점선을 클릭하여 Grampus4 로 드래그합니다. Grampus4 엔진은 약 418 번의 수리가 필요합니다.

앞으로 Halfbeak4 엔진을 Grampus4 엔진보다 훨씬 더 많이 수리해야 할 것이라는 결론을 내릴 수 있습니다.

7 장

열화

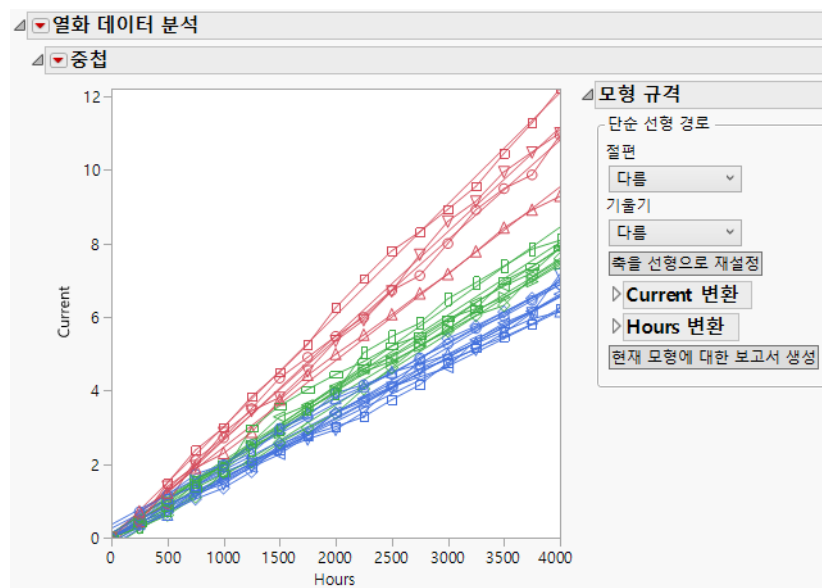
시간 경과에 따른 제품 퇴화 모델링

열화 플랫폼을 사용하여 열화 데이터를 분석하고 유사 고장 시간을 생성할 수 있습니다. 그런 다음 다른 신뢰성 플랫폼에서 이러한 유사 고장 시간을 분석하여 고장 분포를 추정할 수 있습니다.

선형 및 비선형 열화 경로를 모두 모델링할 수 있습니다. 가속 요인을 지정하여 가속 열화 데이터를 분석할 수 있습니다.

의약품 유효 기간을 설정할 때 유용한 안정성 분석을 수행할 수도 있습니다.

그림 7.1 열화 분석 예



목차

열화 플랫폼 개요 163

열화 플랫폼의 예 163

열화 플랫폼 시작 165

열화 플랫폼 보고서 166

모형 규격..... 169

 단순 선형 경로 169

 비선형 경로..... 171

역추정 예측..... 178

예측 그래프..... 180

열화 플랫폼 옵션 181

열화 모형 요약 보고서..... 183

 모형 목록..... 183

 보고서 184

사용자 파괴 열화 모형..... 185

열화 플랫폼의 안정성 분석..... 190

 열화 플랫폼의 안정성 분석에 대한 통계 상세 정보..... 193

열화 플랫폼 개요

신뢰성 분석의 주요 목표는 연구 대상 제품의 고장 시간을 모델링하는 것입니다. 많은 경우 이러한 고장은 시간 경과에 따른 제품 성능 저하(약화)가 원인입니다. 그러나 고장이 발생하지 않을 수도 있습니다. 이러한 경우 시간 경과에 따른 제품 열화를 모델링하면 고장 시간을 예측하는 데 도움이 됩니다. 데이터에 가속 요인이 포함되어 있으면 가속 열화 모형을 적합시킬 수 있습니다.

열화 플랫폼에서는 선형 또는 비선형 열화 경로를 따르는 데이터를 모델링할 수 있습니다. 경로가 비선형이면 변환을 사용하여 경로를 선형화할 수 있습니다. 경로를 선형화할 수 없는 경우 비선형 모형을 지정할 수 있습니다.

열화 플랫폼을 사용하여 안정성 분석을 수행할 수도 있습니다. 세 가지 유형의 선형 모형이 적합되며 유효 기간이 추정됩니다. 안정성 분석은 의약품 유효 기간을 설정하는 데 사용됩니다. 합동 MSE(평균 제곱 오차)를 사용하는 안정성 모형도 지원됩니다.

열화 플랫폼의 예

이 예에서는 여러 개의 갈륨 비소 레이저에서 얻은 동작 전류의 증가율 측정값을 분석합니다. 증가율이 10%에 도달하면 레이저가 고장 난 것으로 간주됩니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/GaAs Laser.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 열화**를 선택합니다.
3. Current 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. Hours 를 선택하고 **시간**을 클릭합니다.
5. Unit 을 선택하고 **라벨, 시스템 ID**를 클릭합니다.
6. **규격 상한** 텍스트 상자에 "10"을 입력합니다.
7. **확인**을 클릭합니다.

그림 7.2 초기 열화 보고서

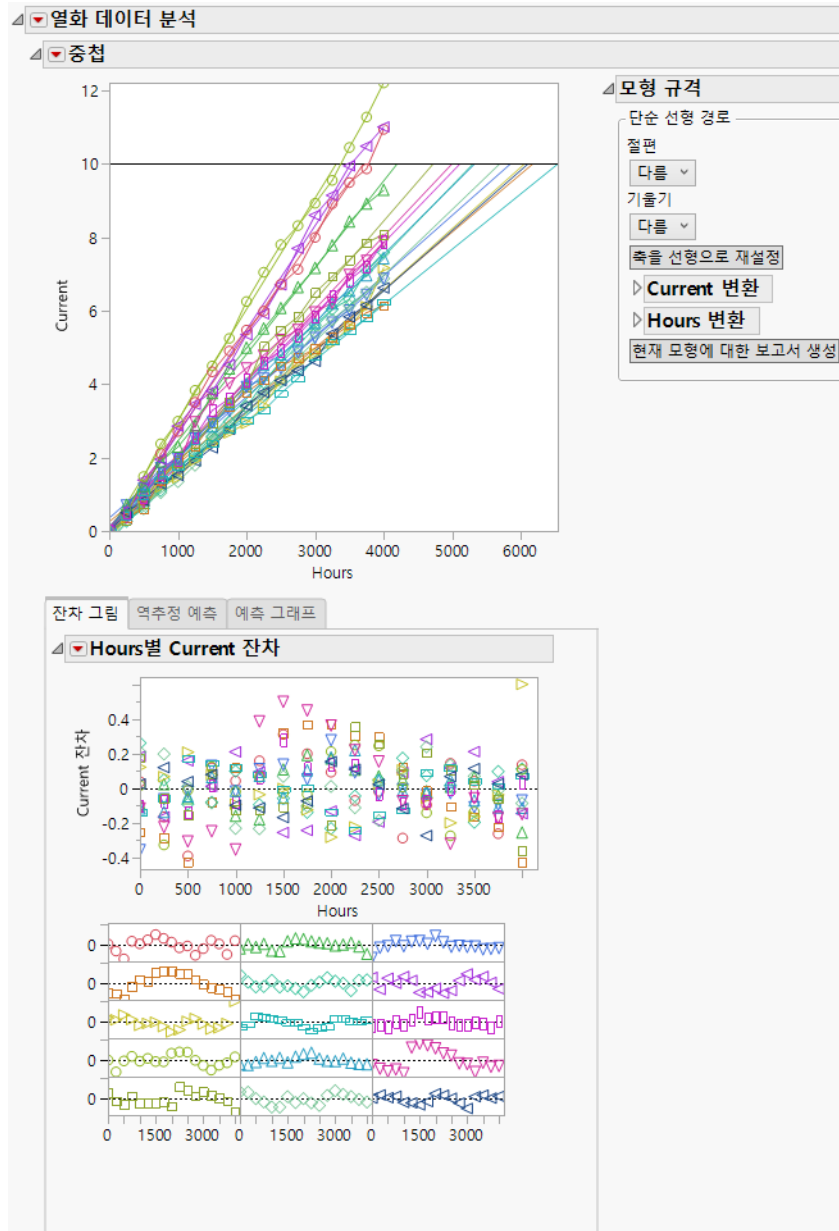


그림 7.2에서는 초기 열화 보고서를 보여 줍니다. "중첩" 그림에는 데이터의 각 유닛에 대한 Current 대 Time 측정값이 표시됩니다. Current = 10의 가로선은 10%의 규격 상한에 해당합니다. 값이 이 한계를 초과하는 유닛은 고장 난 것으로 간주됩니다. 연구 기간이 끝날 때까지 15개 유닛 중 3개가 해당 지점에 도달했습니다. "역추정 예측" 개요에서는 지정된 모형을 기반으로 각 유닛에 대한 예측 고장 Hours 값을 보여 줍니다.

기본 모형은 선형 변환을 사용하여 각 유닛에 대해 별도의 기울기 및 절편을 적합시킵니다. "모형 규격" 개요를 사용하여 다른 모형을 적합시킬 수 있습니다.

그림 7.2의 "잔차 그림" 탭에서는 지정된 모형을 기반으로 한 잔차를 보여 줍니다. 위쪽 그림에는 Hours에 대한 모든 유닛의 잔차가 하나의 그림에 중첩되어 표시됩니다. 아래쪽 그림에는 각 유닛에 대한 개별 잔차 그림이 직사각형 배열로 표시됩니다.

열화 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 열화를 선택하여 열화 플랫폼을 시작합니다.

그림 7.3 열화 시작 창

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용에서 확인하십시오.

분석 유형

시작 창은 서로 다른 분석 유형을 나타내는 세 개의 탭으로 구분됩니다.

반복 측정 열화 선형 또는 비선형 열화 분석을 수행합니다. 이 옵션은 Y, 반응 변수를 하나만 허용합니다. 중도절단은 허용하지 않습니다.

파괴 열화 측정 과정 중에 유닛이 파괴되는 경우 이 분석 유형을 선택합니다. 이 옵션은 중도절단을 허용합니다. 자세한 내용은 "[사용자 파괴 열화 모형](#)"에서 확인하십시오.

참고: 파괴 열화 플랫폼에서는 파괴 검사를 위해 사전 정의된 유연한 모형 집합을 제공합니다. 자세한 내용은 "[파괴 열화](#)"에서 확인하십시오.

안정성 시험 의약품 유효 기간을 설정하기 위한 안정성 분석을 수행합니다. 이 옵션은 Y, 반응 변수를 하나만 허용합니다. 자세한 내용은 "[열화 플랫폼의 안정성 분석](#)"에서 확인하십시오.

시작 창 옵션

시작 창에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

Y, 반응 열화 측정값을 포함하는 열을 식별합니다.

시간 시간 값을 포함하는 열을 식별합니다.

X ("반복 측정 열화" 및 "파괴 열화" 탭에서만 사용 가능) 설명 변수를 식별합니다. 이 역할을 사용하여 가속 열화 모형에서 가속 요인을 지정합니다.

라벨, 시스템 ID ("반복 측정 열화" 및 "안정성 시험" 탭에서만 사용 가능) 유닛 ID를 포함하는 열을 식별합니다.

빈도 각 행에 대한 빈도를 포함하는 열을 식별합니다.

중도절단 ("파괴 열화" 탭에서만 사용 가능) 유닛의 중도절단 여부를 지정하는 열을 식별합니다.

기준 변수의 각 수준에 대한 분석을 생성하기 위한 변수를 식별합니다.

중도절단 코드 ("파괴 열화" 탭에서만 사용 가능) 오른쪽 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값을 지정합니다. 중도절단 열이 선택되면 JMP는 자동으로 중도절단 코드를 감지하여 상자에 표시하려고 시도합니다. 이를 변경하려면 빨간색 삼각형을 클릭하고 값 목록에서 선택합니다. 상자에 다른 값을 입력할 수도 있습니다. 중도절단 열에 "값 라벨" 열 특성이 포함된 경우 값 라벨이 값 목록에 나타납니다. 결측값은 분석에서 제외됩니다.

규격 상한 규격 상한을 지정합니다. 이 옵션은 "안정성 시험" 탭을 제외하고 선택적입니다.

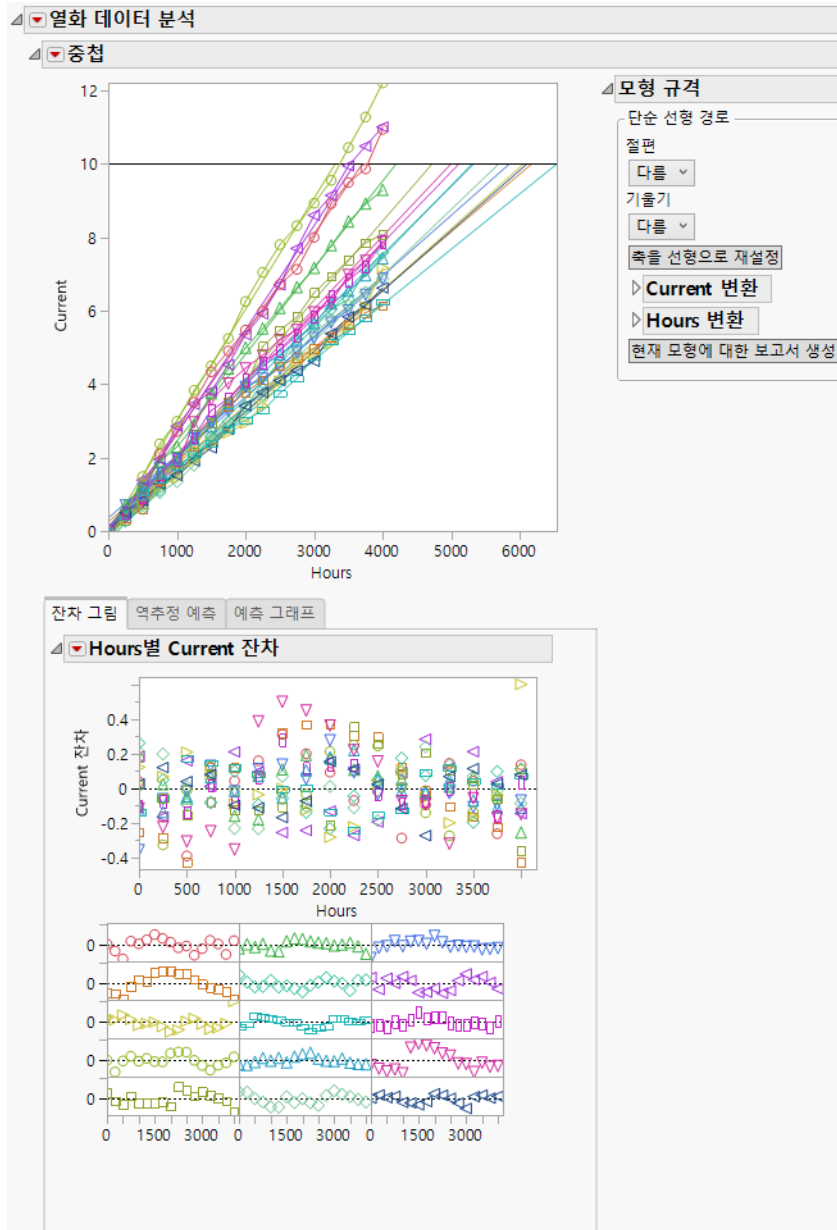
규격 하한 규격 하한을 지정합니다. 이 옵션은 "안정성 시험" 탭을 제외하고 선택적입니다.

중도절단 시간 ("반복 측정 열화" 및 "파괴 열화" 탭에서만 사용 가능) 역추정 예측을 사용할 때 유사 고장의 중도절단을 나타내는 시간 값을 지정합니다. 자세한 내용은 "[역추정 예측](#)"에서 확인하십시오.

열화 플랫폼 보고서

"열화 데이터 분석" 보고서는 시작 창에서 선택한 방법에 따라 달라집니다. 반복 측정 열화 및 파괴 열화 방법은 기본 모형을 적합시키는 보고서를 표시합니다. [그림 7.4](#)의 "모형 규격"에 표시된 것처럼 이 모형은 반응 및 시간 열의 선형 변환을 사용하여 각 유닛을 고유한 절편과 기울기로 적합시킵니다. "라벨, 시스템 ID" 변수의 각 값에 대해 별도의 절편 및 기울기가 적합되거나, X 변수만 지정된 경우 X 변수의 각 수준에 대해 별도의 절편 및 기울기가 적합됩니다. 안정성 시험 방법은 세 가지 모형을 적합시킵니다.

그림 7.4 변환 개요가 열려 있는 초기 반복 측정 열화 보고서



이 예를 재현하려면 "열화 플랫폼의 예"를 참조하십시오.

반복 측정 열화, 파괴 열화 및 안정성 시험 보고서에는 다음 항목이 포함되어 있습니다.

중첩

"Y, 반응" 변수 대 "시간" 변수의 중첩 그림입니다. 이 예에서는 **Current** 대 **Hours**의 그림입니다. "중첩" 그림 빨간색 삼각형 메뉴의 "추정값 저장" 옵션은 모든 유닛에 대해 추정된 기울기 및 절편을 포함하는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

모형 규격

모형을 지정하고 해당 모형에 대한 보고서를 생성합니다. 자세한 내용은 "**모형 규격**"에서 확인하십시오. (반복 측정 열화 및 파괴 열화 방법에만 사용 가능)

안정성 시험 개요

모형을 비교하고 유효 기간을 추정합니다. 자세한 내용은 "**열화 플랫폼의 안정성 분석**"에서 확인하십시오. (안정성 시험 방법에만 사용 가능)

보고서

세 가지 다른 모형과 최적 모형에 대한 분석 결과를 표시합니다. 자세한 내용은 "**열화 플랫폼의 안정성 분석**"에서 확인하십시오. 기본적으로 안정성 시험 방법에서 사용할 수 있습니다. 반복 측정 열화 및 파괴 열화 방법에서는 "현재 모형에 대한 보고서 생성"을 클릭하면 사용할 수 있습니다.

탭 형식 보고서

잔차 그림 모든 유닛이 중첩된 단일 잔차 그림과 직사각형 격자에 배열된 각 유닛에 대한 별도의 잔차 그림을 표시합니다. 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

잔차 저장 현재 모형의 잔차를 새 데이터 테이블에 저장합니다.

지터링 시간 방향으로 점에 랜덤 잡음을 추가합니다. 이 옵션은 많은 점이 함께 군집화된 경우 데이터를 시각화하는 데 유용합니다.

별도 그룹 그룹 사이에 공백을 추가하여 그룹을 시각적으로 구분합니다. 이 옵션은 플랫폼 시작 창에서 X 변수가 지정된 경우에만 나타납니다.

지터링 척도 지터링 및 그룹 분리의 크기를 변경합니다. 이 옵션은 "지터링"이 선택된 경우에만 나타납니다.

역추정 예측 Y 변수가 지정된 값에 도달하는 시간을 예측할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**역추정 예측**"에서 확인하십시오.

예측 그래프 지정된 시간 값에 대한 Y 변수를 예측할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**예측 그래프**"에서 확인하십시오.

모형 규격

"열화 데이터 분석" 보고서의 "모형 규격" 섹션을 사용하여 열화 데이터에 적합시킬 모형을 지정할 수 있습니다. "모형 규격" 컨트롤에는 두 가지 형식이 있습니다.

단순 선형 경로 선형 열화 경로 또는 선형으로 변환할 수 있는 비선형 경로를 모델링하는 데 사용됩니다. 자세한 내용은 "[단순 선형 경로](#)"에서 확인하십시오.

비선형 경로 비선형 열화 경로, 특히 선형으로 변환할 수 없는 경로를 모델링하는 데 사용됩니다. 자세한 내용은 "[비선형 경로](#)"에서 확인하십시오.

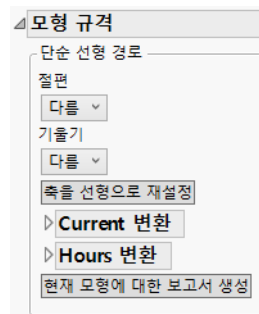
두 규격 간에 변경하려면 "열화 데이터 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "열화 경로 스타일" 하위 메뉴를 사용합니다.

단순 선형 경로

선형 열화 경로를 모델링하려면 "열화 데이터 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **열화 경로 스타일 > 단순 선형 경로**를 선택합니다.

열화 경로에 적합시킬 선형 모형의 형식을 지정하려면 단순 선형 경로 모형 규격을 사용합니다. 선형 경로 또는 선형으로 변환할 수 있는 비선형 경로를 모델링할 수 있습니다.

그림 7.5 단순 선형 경로 모형 규격



"단순 선형 경로" 모형 규격에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

절편 모형의 절편 형식을 지정합니다.

다름 ID 변수의 각 수준에 대해 다른 절편을 적합시킵니다.

그룹에서 공통 X 변수의 동일한 수준에서 ID 변수의 각 수준에 대해 동일한 절편을 적합시키고 수준 간에 서로 다른 절편을 적합시킵니다.

공통 ID 변수의 모든 수준에 대해 동일한 절편을 적합시킵니다.

0 ID 변수의 모든 수준에 대해 절편을 0으로 제한합니다.

기울기 모형의 기울기 형식을 지정합니다.

다름 ID 변수의 각 수준에 대해 다른 기울기를 적합시킵니다.

그룹에서 공통 X 변수의 동일한 수준에서 ID 변수의 각 수준에 대해 동일한 기울기를 적합시키고 수준 간에 서로 다른 기울기를 적합시킵니다.

공통 ID 변수의 모든 수준에 대해 동일한 기울기를 적합시킵니다.

축을 선형으로 재설정 중첩 그림 축을 초기 설정으로 재설정합니다.

<Y, 반응> 변환 Y 변수를 변환하여 열화 경로를 선형화할 수 있는 경우 여기에서 변환 (선형, $\ln(x)$, $\exp(x)$, x^2 , \sqrt{x}) 또는 사용자 정의) 을 선택합니다. "사용자 정의" 옵션에 대한 자세한 내용은 "[사용자 변환](#)"에서 확인하십시오.

<시간> 변환 시간 변수를 변환하여 열화 경로를 선형화할 수 있는 경우 여기에서 변환 (선형, $\ln(x)$, x^2 , \sqrt{x}) 또는 사용자 정의) 을 선택합니다. "사용자 정의" 옵션에 대한 자세한 내용은 "[사용자 변환](#)"에서 확인하십시오.

현재 모형에 대한 보고서 생성 현재 모형 설정에 대한 보고서를 생성합니다. 여기에는 "모형 요약" 보고서와 모수 추정값을 제공하는 "추정값" 보고서가 포함됩니다. 자세한 내용은 "[열화 모형 요약 보고서](#)"에서 확인하십시오.

사용자 변환

지정되지 않은 변환을 수행해야 하는 경우 "사용자 정의" 옵션을 사용합니다. 예를 들어 $\exp(-x^2)$ 을 사용하여 반응 변수를 변환하려면 [그림 7.6](#)의 "적도" 상자에 표시된 대로 변환을 입력합니다. 또한 "역 적도" 상자에 역 변환을 입력합니다.

참고 : JMP에서는 자동으로 역 변환의 해를 구하려고 시도합니다. 해를 구할 수 있는 경우 "역 적도" 상자에 자동으로 입력됩니다. 해를 구할 수 없는 경우에는 수동으로 입력해야 합니다.

그림 7.6 사용자 변환 옵션

텍스트 상자를 사용하여 변환 이름을 지정합니다. 끝나면 **사용 및 저장** 버튼을 클릭하여 변환을 적용합니다. 사용자 변환을 여러 개 생성한 경우에는 메뉴에서 변환을 선택합니다. 사용자 변환을 삭제하려면 **삭제** 버튼을 클릭합니다.

비선형 경로

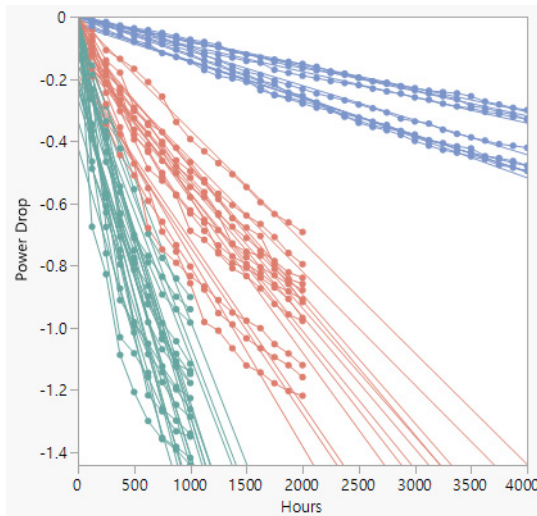
비선형 열화 경로를 모델링하려면 "열화 데이터 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **열화 경로 스타일 > 비선형 경로**를 선택합니다. 이 옵션은 변환을 사용하여 열화 경로를 선형화할 수 없거나, 사용자 비선형 모형을 데이터에 적합시키려는 경우에 유용합니다.

비선형 경로 모형 규격을 쉽게 설명하기 위해 **Device B.jmp** 데이터 테이블을 엽니다. 이 데이터는 네 가지 온도 수준에 대해 34 개 유닛에서 측정된 전력 감소 값으로 구성됩니다. 다음 단계를 수행하십시오.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 **Reliability/Device B.jmp**를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 열화**를 선택합니다.
3. **Power Drop**을 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. **Hours**를 선택하고 **시간**을 클릭합니다.
5. **Degrees C**를 선택하고 **X**를 클릭합니다.
온도 설정은 실험의 가속 요인입니다.
6. **Device**를 선택하고 **라벨, 시스템 ID**를 클릭합니다.
7. **확인**을 클릭합니다.

데이터의 초기 중첩 그림이 나타납니다.

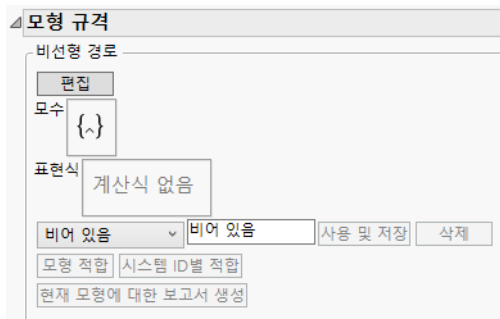
그림 7.7 Device B 중첩 그림



열화 경로는 처음 수백 시간 동안 선형으로 나타나다가 곡선을 그리기 시작합니다. 비선형 모형을 적합시키려면 "열화 데이터 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **열화 경로 스타일 > 비선형 경로**를 선택하여 비선형 경로 모형 규격 개요([그림 7.8](#))를 표시합니다.

참고 : 그림 7.8에 표시된 "편집" 버튼을 나타내려면 열화 플랫폼을 시작하기 전에 대화식 계산식 편집기 환경 설정 (파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > 열화 > 대화식 계산식 편집기 사용) 을 선택해야 합니다.

그림 7.8 초기 비선형 모형 규격 개요



모형을 생성하는 첫 번째 단계는 처음에 **비어 있음**으로 표시된 메뉴의 옵션 중 하나를 선택하는 것입니다.

- "반응 속도" 모형에 대한 자세한 내용은 "**반응 속도 모형**"에서 확인하십시오.
- "상수 비율" 모형에 대한 자세한 내용은 "**상수 비율 모형**"에서 확인하십시오.
- "예측 열" 사용에 대한 자세한 내용은 "**예측 열**"에서 확인하십시오.

반응 속도 모형

"반응 속도" 옵션은 단일 화학 반응에서 열화가 발생하고 반응 속도가 온도만의 함수일 때 사용할 수 있습니다. 그림 7.8에 표시된 메뉴에서 **반응 속도** 또는 **반응 속도 유형 1**을 선택합니다. 반응 속도 유형 1 모형은 반응 속도 모형과 비슷하지만 반응 값 부호와 관련된 기본 가정을 변경하는 오프셋 항을 포함합니다.

온도 척도를 선택하고 기준 온도를 지정하는 "설정" 창이 나타납니다. 기준 온도는 모수 값의 초기 추정값을 생성하는 데 사용됩니다. 기준 온도는 연구에 사용되는 대표 온도여야 합니다.

이 예에서는 **반응 속도**를 선택한 후 "온도 단위"에서 "섭씨"를 선택합니다. **확인**을 클릭하여 보고서로 돌아갑니다. 모형 규격의 모든 기능에 대한 자세한 내용은 "**모형 규격 상세 정보**"에서 확인하십시오.

상수 비율 모형

"상수 비율" 옵션은 시간에 대해 선형이거나, 반응 또는 시간을 변환한 후 시간에 대해 선형인 열화 경로를 모델링하는 데 사용됩니다. 반응 속도는 온도만의 함수입니다.

그림 7.8에 표시된 메뉴에서 **상수 비율**을 선택합니다. 경로, 비율 및 시간에 대한 변환을 입력하는 "상수 비율 모형 설정" 창이 나타납니다.

그림 7.9 상수 비율 변환

각 변환을 선택하면 연결된 계산식이 왼쪽 하단에 나타납니다(그림 7.9 참조).

모든 선택이 완료되면 **확인**을 클릭하여 보고서로 돌아갑니다. 모형 규격의 모든 기능에 대한 자세한 내용은 "[모형 규격 상세 정보](#)"에서 확인하십시오.

예측 열

"예측 열" 옵션을 사용하면 데이터 테이블 열에 계산식으로 저장되는 사용자 모형을 사용할 수 있습니다. 가장 쉬운 방법은 열화 플랫폼을 시작하기 전에 계산식 열을 생성하는 것입니다. 비선형 모형 라이브러리의 기본 제공 모형 중 하나를 사용하려는 경우 열화 플랫폼 내에서 계산식 열을 생성할 수도 있습니다.

사용자 모형을 생성하여 열 계산식으로 저장하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[사용자 모형 적합](#)" 또는 [예측 및 전문 모델링](#)에서 확인하십시오.

그림 7.8의 "표현식" 영역 아래에 나타나는 목록에서 **예측 열**을 선택합니다. 모형을 포함하는 열을 선택할 수 있도록 "모형 규격" 개요가 변경됩니다.

그림 7.10 열 선택

이제 다음 세 작업 중 하나를 수행합니다.

- 사용할 모형이 데이터 테이블 열에 계산식으로 이미 있는 경우 여기에서 해당 열을 선택한 후 **확인**을 클릭합니다. 비선형 경로 모형 규격으로 돌아갑니다. 해당 규격의 모든 기능에 대한 자세한 내용은 "[모형 규격 상세 정보](#)"에서 확인하십시오.
- 사용할 모형이 데이터 테이블에 아직 없는 경우 **모형 라이브러리** 버튼을 클릭하여 기본 제공 모형 중 하나를 사용할 수 있습니다. "모형 라이브러리" 버튼 사용에 대한 자세한 내용은 "[모형 라이브러리](#)" 또는 **예측 및 전문 모델링**에서 확인하십시오. 모형이 생성되면 "열화 데이터 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **다시 실행 > 분석 다시 실행**을 선택합니다. 그런 다음 [그림 7.10](#)에 표시된 열 선택으로 돌아갑니다. 모형을 포함하는 열을 선택한 후 **확인**을 클릭합니다. 비선형 경로 모형 규격으로 돌아갑니다. 해당 규격의 모든 기능에 대한 자세한 내용은 "[모형 규격 상세 정보](#)"에서 확인하십시오.
- 사용할 모형이 데이터 테이블에 없고 기본 제공 모형 중 하나를 사용하지 않으려는 경우 아직 이 모형 규격을 사용할 수 없습니다. 먼저 모형을 생성하고 열화 플랫폼을 다시 시작한 후 열 선택 ([그림 7.10](#))으로 돌아갑니다. 모형을 포함하는 열을 선택한 후 **확인**을 클릭합니다. 비선형 경로 모형 규격으로 돌아갑니다. 해당 규격의 모든 기능에 대한 자세한 내용은 "[모형 규격 상세 정보](#)"에서 확인하십시오.

모형 규격 상세 정보

모형 유형 중 하나를 선택하고 필요한 정보를 제공하면 비선형 경로 모형 규격 창으로 돌아갑니다.

참고: [그림 7.11](#)에 표시된 "편집" 버튼을 나타내려면 열화 플랫폼을 시작하기 전에 대화식 계산식 편집기 환경 설정 (**파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > 열화 > 대화식 계산식 편집기 사용**) 을 선택해야 합니다.

이제 모수 구문을 사용하는 스크립트 상자에 모형이 표시됩니다. 모수의 초기값은 데이터에서 추정됩니다. 모수를 사용하는 모형 생성에 대한 자세한 내용은 "[사용자 모형 적합](#)" 또는 **예측 및 전문 모델링**에서 확인하십시오.

원하는 경우 텍스트 상자에 이름을 입력하여 모형 이름을 지정합니다. 이 예에서는 "Device RR"이라는 이름을 사용합니다. 그런 다음 **사용 및 저장** 버튼을 클릭하여 모형을 입력하고 다른 버튼과 기능을 활성화합니다. [그림 7.11](#)에서는 "사용 및 저장" 버튼을 클릭한 후의 "모형 규격" 창을 보여 줍니다.

그림 7.11 모형 규격

모형 규격

비선형 경로

편집

모수

$$\{D_{\text{Inf}} = -1.4423, R_U = 0.0004946233, E_a = 0.6822868283\}$$

표현식

$$D_{\text{Inf}} \cdot \left(1 - \exp \left(-R_U \cdot \exp \left(E_a \cdot \left(\frac{11604.518122}{193.5 + 273.15} - \frac{11604.518122}{(\text{Degrees C} + 273.15)} \right) \right) \cdot \text{Hours} \right) \right)$$

Device RR Device RR 사용 및 저장 삭제

모형 적합 시스템 ID 별 적합

현재 모형에 대한 보고서 생성

모수	추정값	낮음	높음 고정
DInf	-1.4423	-1.8189	-1.0657 <input type="checkbox"/>
Ru	0.00049	0.00028	0.00071 <input type="checkbox"/>
Ea	0.68229	0.65228	0.7123 <input type="checkbox"/>

- **모형 적합** 버튼은 모형을 데이터에 적합시키는 데 사용됩니다.
- **시스템 ID 별 적합**은 모형을 라벨, 시스템 ID의 모든 수준에 적합시키는 데 사용됩니다.
- **삭제** 버튼은 모형 메뉴에서 모형을 삭제하는 데 사용됩니다.
- **현재 모형에 대한 보고서 생성** 버튼은 현재 모형 설정에 대한 보고서를 생성합니다. 자세한 내용은 "열화 모형 요약 보고서"에서 확인하십시오.

모수가 변할 때 모형에 미치는 영향을 시각화하기 위한 슬라이더와 함께 초기 모수 값이 하단에 표시됩니다. 적합선은 "중첩" 그림에 표시됩니다. 모수 슬라이더를 이동하여 모수의 변화가 적합선에 미치는 영향을 확인할 수 있습니다.

다음은 반응 속도 모형의 모수입니다 (Meeker & Escobar 1998 참조).

- **Dinf**(D_{∞}) - 점근 열화 수준
- **Ru**(R_U) - 사용 온도 (temp_U)에서의 반응 속도
- **Ea**(E_a) - 반응별 활성화 에너지

위의 모수는 다음과 같이 계산됩니다.

$$D(t; \text{temp}) = D_{\infty} \times \{1 - \exp[-R_U \times AF(\text{temp}) \times t]\}$$

여기서 R_U 는 사용 온도(temp_U)에서의 반응 속도이고, $R_U \times AF(\text{temp})$ 는 일반 온도(temp)에서의 반응 속도입니다. 이때 $\text{temp} > \text{temp}_U$, $AF(\text{temp}) > 1$ 입니다.

및

$$AF(temp) = \frac{R(temp)}{R(temp_U)} = \exp \left[Ea \left(\frac{11604.5181215503}{(temp_U K)} - \frac{11604.5181215503}{(temp K)} \right) \right]$$

여기서 $temp_U K$ 와 $temp K$ 는 켈빈 척도로 표현된 온도입니다.

최적 모수 값을 계산하려면 **모형 적합** 또는 **시스템 ID별 적합** 버튼을 클릭합니다.

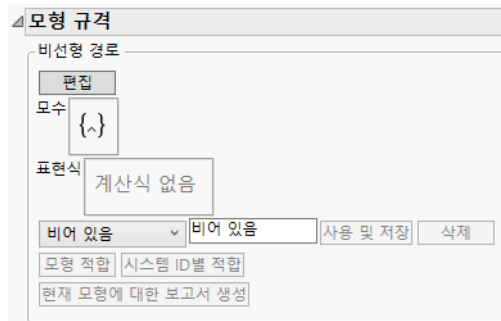
모수 값을 고정하려면 모수에 대해 **고정** 아래의 상자를 선택합니다. 고정된 모수는 모형 적합 프로세스에서 일정하게 유지됩니다.

계산식 편집기를 사용하여 모형 입력

계산식 편집기를 사용하여 모형을 입력할 수 있습니다. **편집** 버튼을 클릭하여 계산식 편집기를 열고 모수와 모형을 입력합니다. 계산식 편집기에서 모수 및 계산식을 입력하는 방법에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**에서 확인하십시오.

참고: 그림 7.12에 표시된 "편집" 버튼을 나타내려면 열화 플랫폼을 시작하기 전에 대화식 계산식 편집기 환경 설정 (파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > 열화 > 대화식 계산식 편집기 사용)을 선택해야 합니다.

그림 7.12 다른 모형 규격 보고서



사용자 모형 적합

사용자 모형을 적합시키려면 먼저 초기 모수 추정값으로 계산식 열을 생성해야 합니다. 이 방법을 사용하면 기본 제공 모형을 적합시키는 것보다 몇 단계가 더 필요하지만 비선형 모형을 적합시킬 수 있습니다. 또한 사용자 손실 함수를 제공하고 적합 프로세스에 대한 몇 가지 다른 옵션을 지정할 수도 있습니다.

1. 데이터 테이블을 엽니다.
2. 데이터 테이블에 새 열을 생성합니다.
3. 새 열에 대한 계산식 편집기를 엽니다.
4. 왼쪽 아래의 목록에서 **모수**를 선택합니다.

5. **새 모수**를 클릭합니다.
6. 모수의 이름을 입력합니다.
7. 모수의 초기값을 입력합니다.
4~6 단계를 반복하여 모형의 모든 모수를 생성합니다.
8. 데이터 테이블 열, 모수 및 계산식 편집기 함수를 사용하여 모형 계산식을 작성합니다.
9. **확인**을 클릭합니다.

그룹화 변수가 있는 모형의 모수

계산식 편집기에서 모수를 추가할 때 **범주로 확장**, **열 선택** 체크박스에 주목하십시오. 이 옵션은 한 번에 여러 모수(예: 범주형 변수의 각 수준에 대해 하나씩)를 추가하는 데 사용됩니다. 이 옵션을 선택하면 열을 선택할 수 있는 창이 나타납니다. 선택 후 "모수" 목록에 이름이 **D_열** 이름인 새 모수가 나타납니다. 여기서 **D**는 모수에 지정한 이름입니다. 이 모수를 계산식에 사용하면 그룹화 변수의 각 수준에 대한 개별 모수를 포함하는 Match 표현식이 삽입됩니다.

모형 라이브러리

모형 라이브러리를 사용하면 모수와 초기값으로 계산식 열을 생성하는 데 도움이 됩니다. "모형 규격" 아래의 **모형 라이브러리**를 클릭하여 라이브러리를 엽니다. 목록에서 모형을 선택하면 **계산식** 상자에 해당 모형의 계산식이 표시됩니다.

그래프 표시를 클릭하면 1모수 모형의 2D 이론적 곡선과 2모수 모형의 3D 표면 그림이 표시됩니다. 설명(X) 변수가 세 개 이상 있는 모형에는 그래프를 사용할 수 없습니다. 모수의 기본 시작 값을 변경하려면 슬라이더 막대를 사용합니다. 값을 클릭하고 새 값을 직접 입력할 수도 있습니다.

재설정 버튼은 모수의 시작 값을 다시 기본값으로 설정합니다.

실제 데이터 점을 그림에 중첩하려면 **점 표시**를 클릭합니다. X 및 Y 역할과 그룹 역할(선택적)에 열을 할당하라는 창이 열립니다. 그룹 역할을 사용하면 범주형 변수의 모든 수준에 모형을 적합시킬 수 있습니다. 여기서 그룹 역할을 지정하는 경우 플랫폼 시작 창의 "라벨, 시스템 ID" 역할에도 동일한 열을 지정하십시오.

대부분의 모형에서 시작 값은 상수입니다. 점을 표시하면 모수 값을 조정하여 모형이 모수의 여러 값에 따라 얼마나 잘 적합되는지 확인할 수 있습니다.

계산식 생성을 클릭하여 데이터 테이블에 새 열을 생성합니다. 이 열은 지정된 X 변수의 함수 형태인 계산식을 포함하며 그래프 창에 지정된 모수 값을 사용합니다.

참고 : **그래프 표시** 또는 **점 표시** 버튼을 클릭하기 전에 **계산식 생성**을 클릭하면 X 및 Y 역할과 그룹 역할(선택적)을 제공해야 합니다. 그런 다음 모수 시작 값을 조정할 수 있도록 그림으로 돌아옵니다. 모수의 시작 값이 만족스러우면 **계산식 생성**을 다시 클릭하여 새 열을 생성합니다.

데이터 테이블에 계산식이 생성되면 "열화 데이터 분석"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **다시 실행 > 분석 다시 실행**을 선택합니다. 그런 다음 **그림 7.10**에 표시된 열 선택으로 돌아옵니다. 모형을 포함

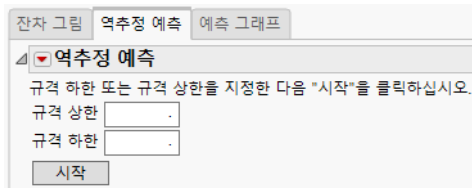
하는 열을 선택한 후 **확인**을 클릭합니다. 비선형 경로 모형 규격으로 돌아갑니다. 해당 규격의 모든 기능에 대한 자세한 내용은 "[모형 규격 상세 정보](#)"에서 확인하십시오.

참고 : NonlinLib.jsl 이라는 기본 제공 스크립트를 수정하여 비선형 모형 라이브러리에 포함된 모형을 사용자 정의할 수 있습니다. 이 스크립트는 Application Package(macOS) 또는 JMP(Windows)가 포함된 폴더의 Resources/Builtins 에 있습니다.

역추정 예측

열화 플랫폼에서 "역추정 예측" 탭을 사용하여 Y 변수가 지정된 값에 도달하는 시간을 예측합니다. 이러한 시간을 유사 고장 시간이라고도 합니다.

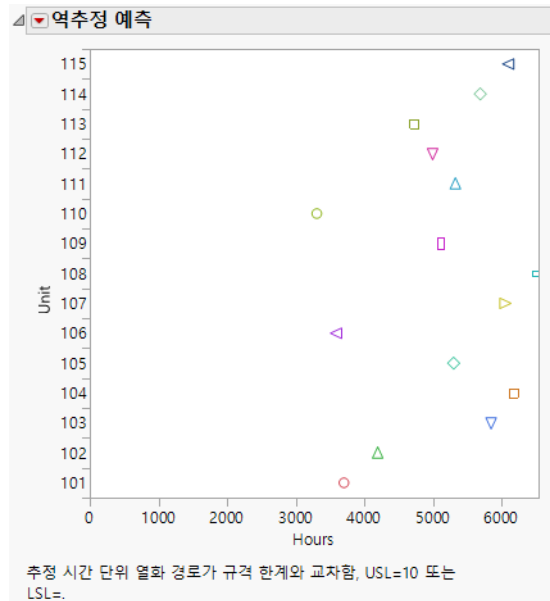
그림 7.13 역추정 예측 탭



규격 하한 또는 규격 상한을 입력합니다. 일반적으로 Y 변수가 시간이 지남에 따라 감소하면 규격 하한을 입력합니다. Y 변수가 시간이 지남에 따라 증가하면 규격 상한을 입력합니다.

GaAs Laser 예의 경우 "규격 상한"에 "10"을 입력하고 **시작**을 클릭합니다. 유닛의 동작 전류 증가율이 10%에 도달할 때까지 추정 시간을 보여 주는 그림이 생성됩니다.

그림 7.14 역추정 예측 그림



"역추정 예측"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

교차 시간 저장 유사 고장 시간을 새 데이터 테이블에 저장합니다. 이 테이블에는 유사 고장 시간에 분포를 적합시키는 데 사용할 수 있는 "수명 분포" 또는 "수명 분포 적합" 스크립트가 포함되어 있습니다. "역추정 예측 구간" 옵션 중 하나를 사용하는 경우 테이블에 구간도 포함됩니다.

규격 상한 설정 규격 상한을 설정합니다.

규격 하한 설정 규격 하한을 설정합니다.

중도절단 시간 설정 중도절단 시간을 설정합니다. 그림이 업데이트되어 중도절단 시간이 수직 점선으로 표시됩니다. 역추정 예측 구간 > 구간 없음을 선택하면 중도절단 시간에서 시작하는 가로선에 중도절단 시간을 초과하는 관측값이 표시됩니다. "신뢰 구간" 또는 "예측 구간"을 선택하면 상한이 중도절단 시간을 초과하는 관측값의 오른쪽으로 가로선이 무한정 연장됩니다. 중도절단 시간은 "교차 시간 저장" 및 "유사 고장 데이터 생성"을 사용하여 생성된 데이터 테이블에 반영됩니다.

데이터를 통한 보간 사용 유닛이 규격 한계와 교차하는 시기를 예측하기 위해 적합 모형 대신 점사이에 선형 보간을 사용하도록 지정합니다. 유닛에 규격 한계를 초과하는 관측값이 있는지 여부에 따라 동작이 달라집니다.

- 유닛에 규격 한계를 초과하는 관측값이 있는 경우 역추정 예측은 규격 한계를 둘러싸는 관측값 사이의 선형 보간입니다.
- 유닛에 규격 한계를 초과하는 관측값이 없는 경우 역추정 예측은 중도절단되고 해당 유닛의 최대 관측 시간과 동일한 값을 가집니다.

역추정 예측 구간 유사 고장 시간에 대한 신뢰 구간 또는 예측 구간이 역추정 예측 그림에 표시되도록 지정합니다. 구간을 사용하는 경우 "교차 시간 저장" 옵션을 사용하여 생성되는 데이터 테이블에 구간도 포함됩니다.

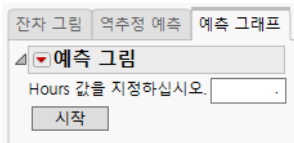
역추정 예측 유의 수준 구간에 사용되는 유의 수준을 지정합니다.

역추정 예측 측면 단측 또는 양측 구간을 지정합니다.

예측 그래프

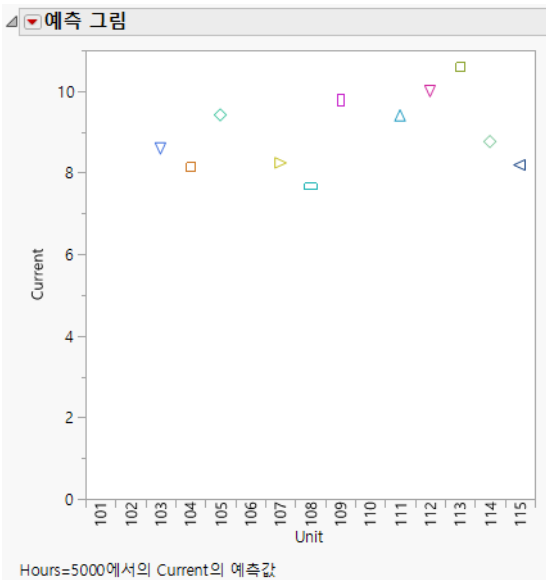
열화 플랫폼에서 "예측 그래프" 탭을 사용하여 지정된 시간 값에 대한 Y 변수를 예측합니다.

그림 7.15 예측 그림 탭



GaAs Laser 예의 경우 4000 시간 후에 데이터가 수집되지 않았습니다. 5000 시간 후 동작 전류의 증가율을 예측하려면 "5000"을 입력하고 **시작**을 클릭합니다. 모든 유닛에 대해 5000시간 후의 추정 감소율을 보여 주는 그림이 생성됩니다.

그림 7.16 예측 그림



"예측 그림"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

예측 저장 예측 Y 값을 데이터 테이블에 저장합니다."종단 예측 구간" 옵션 중 하나를 사용하는 경우 테이블에 구간도 포함됩니다.

종단 예측 구간 추정된 Y 에 대한 신뢰 구간 또는 예측 구간을 예측 그림에 표시하거나 숨깁니다. 구간을 사용하는 경우 "예측 저장" 옵션을 사용하여 생성되는 데이터 테이블에 구간도 포함됩니다.

종단 예측 시간 Y 를 예측할 시간 값을 지정합니다.

종단 예측 유의 수준 구간에 사용되는 유의 수준을 지정합니다.

열화 플랫폼 옵션

열화 플랫폼에서 "열화 데이터 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

경로 정의 주어진 시간의 Y 변수가 분포를 갖는다고 가정합니다. 해당 분포의 평균, 위치 모수 또는 중앙값을 모델링할 수 있습니다.

평균 경로 평균이 모델링할 모수임을 지정합니다.

위치 모수 경로 분포의 위치 모수가 모델링할 모수임을 지정합니다.

중앙값 경로 분포의 중앙값이 모델링할 모수임을 지정합니다.

"위치 모수 경로" 또는 "중앙값 경로" 옵션을 선택하면 반응 분포를 선택할 수 있는 메뉴가 "모형 규격"에 나타납니다.

열화 경로 스타일 적합시킬 열화 경로 스타일을 선택하는 옵션이 포함되어 있습니다.

단순 선형 경로 선형 열화 경로 및 선형 경로로 변환할 수 있는 비선형 경로를 적합시킬 수 있습니다. 자세한 내용은 "[단순 선형 경로](#)"에서 확인하십시오.

비선형 경로 비선형 열화 경로를 적합시킬 수 있습니다. 자세한 내용은 "[비선형 경로](#)"에서 확인하십시오.

그래프 옵션 보고서의 그래프 모양을 수정하는 옵션이 포함되어 있습니다.

데이터 표식 연결 "중첩" 그림에서 점을 연결하는 선을 표시하거나 숨깁니다.

적합선 표시 "중첩" 그림에 적합선을 표시하거나 숨깁니다.

규격 한계 표시 "중첩" 그림에 규격 한계를 표시하거나 숨깁니다.

잔차 그림 표시 잔차 그림을 표시하거나 숨깁니다.

역추정 예측 그림 표시 역추정 예측 그림을 표시하거나 숨깁니다.

곡선 구간 표시 "중첩" 그림의 적합선에 신뢰 구간을 표시하거나 숨깁니다.

곡선 구간 유의 수준 신뢰 구간 곡선에 사용되는 유의 수준을 변경할 수 있습니다.

중앙값 곡선 표시 "경로 정의"가 "위치 모수 경로"로 설정된 경우 그림에 중앙값 선을 표시하거나 숨깁니다.

범례 표시 "중첩" 그림에 사용된 표식에 대한 범례를 표시하거나 숨깁니다.

탭 목록 없음 탭 또는 쌓인 보고서에서 잔차 그림, 역추정 예측 및 예측 그래프를 표시하거나 숨깁니다.

예측 설정 모형 예측에 사용되는 설정을 수정하는 옵션이 포함되어 있습니다.

규격 상한 규격 상한을 지정합니다.

규격 하한 규격 하한을 지정합니다.

중도절단 시간 중도절단 시간을 지정합니다. 자세한 내용은 "**역추정 예측**"에서 확인하십시오.

기준 비선형 열화 경로에서 X 변수에 대한 정상 사용 조건을 지정합니다. 이 값을 가진 경로는 일반적으로 중첩 그림을 생성합니다.

역추정 예측 역추정 예측을 위한 구간 유형, 유의 수준 및 단측 또는 양측 구간을 지정합니다. 역추정 예측을 수행하려면 규격 하한 또는 상한도 지정해야 합니다. 자세한 내용은 "**역추정 예측**"에서 확인하십시오.

중단 예측 중단 예측을 위한 시간 값, 구간 유형 및 유의 수준을 지정합니다. 자세한 내용은 "**예측 그래프**"에서 확인하십시오.

응용 프로그램 열화 데이터의 추가 분석을 위한 옵션이 포함되어 있습니다.

유사 고장 데이터 생성 각 유닛이 규격 한계와 교차하는 예측 시간을 제공하는 데이터 테이블을 생성합니다. 이 테이블에는 유사 고장 시간에 분포를 적합시키는 데 사용할 수 있는 "수명 분포" 또는 "수명 분포 적합" 스크립트가 포함되어 있습니다.

안정성 시험 안정성 분석을 수행합니다. 자세한 내용은 "**열화 플랫폼의 안정성 분석**"에서 확인하십시오.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**의 에서 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.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

열화 모형 요약 보고서

"열화 데이터 분석" 보고서에서 "현재 모형에 대한 보고서 생성" 버튼을 클릭하면 다음 두 위치에 요약 보고서가 추가됩니다.

- "모형 목록" 보고서에 항목이 추가됩니다. 자세한 내용은 "[모형 목록](#)"에서 확인하십시오.
- "보고서" 보고서에 항목이 추가됩니다. 자세한 내용은 "[보고서](#)"에서 확인하십시오.

모형 목록

"열화 데이터 분석" 보고서의 "모형 목록" 섹션에는 모든 적합 모형에 대한 요약 통계량 및 기타 옵션이 포함되어 있습니다. [그림 7.17](#)에서는 세 가지 모형에 대한 요약이 포함된 "모형 목록"의 예를 보여 줍니다.

그림 7.17 모형 목록

모형 목록										
표시	모형 유형	보고서	모수 수	-2*로그 가능도	AICc	BIC	SSE	DF	설명	
<input type="radio"/>	1 단순 선형 경로	<input checked="" type="checkbox"/>	30	-179.299	-110.995	-13.0606	7.39094	225	절편:다름, 기울기:다름, Y:선형, X:선형	
<input type="radio"/>	2 단순 선형 경로	<input checked="" type="checkbox"/>	16	-115.57	-81.2841	-26.9096	9.489362	239	절편:공통, 기울기:다름, Y:선형, X:선형	
<input checked="" type="radio"/>	3 단순 선형 경로	<input checked="" type="checkbox"/>	2	756.146	760.1936	767.2286	289.6476	253	절편:공통, 기울기:공통, Y:선형, X:선형	

표시 중첩 그림, 잔차 그림, 역추정 예측 그림 및 예측 그래프에 표시할 모형을 선택합니다.

모형 유형 선형 또는 비선형 경로 유형을 제공합니다.

보고서 모형에 대한 보고서를 표시하려면 체크박스를 선택합니다. 보고서에 대한 자세한 내용은 "[보고서](#)"에서 확인하십시오.

모수 수 모형에 대해 추정된 모수의 수를 제공합니다.

-2* 로그 가능도 음의 로그 가능도의 두 배를 제공합니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합에서 확인하십시오.

AICc 수정 Akaike 기준을 제공합니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합에서 확인하십시오.

BIC 베이지안 정보 기준을 제공합니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합에서 확인하십시오.

SSE 모형의 오차 제곱합을 제공합니다.

DF 오차 자유도를 제공합니다.

설명 모형에 대한 설명을 제공합니다.

MSE 평균 제곱 오차입니다.

" 추정값 " 보고서에는 다음 정보가 포함되어 있습니다.

모수 모수의 이름입니다.

추정값 모수의 추정값입니다.

표준 오차 모수 추정값의 표준 오차입니다.

t 비 모수의 t 통계량이며, 추정값을 표준 오차로 나눈 값으로 계산됩니다.

Prob>|t| 모수에 대한 양측 검정의 p 값입니다.

사용자 파괴 열화 모형

제품 특성을 측정하기 위해 제품을 파괴해야 하는 경우도 있습니다. 예를 들어 파괴 강도를 측정할 때 제품이 파괴될 때까지 스트레스를 가합니다. 이러한 상황에서는 정규 열화 분석이 더 이상 적용되지 않습니다. 다음 두 가지 방법 중 하나로 이를 처리할 수 있습니다.

- 고장 시간 모형이 일반적으로 사용되는 모형인 경우 파괴 열화 플랫폼에서 처리할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[파괴 열화](#)"에서 확인하십시오.
- 시간 또는 반응 변수의 사용자 변환 및 사용자 비선형 모형을 사용하는 경우 열화 플랫폼을 사용합니다. 시작 창에서 "[파괴 열화](#)" 탭을 선택합니다.

가속 파괴 열화의 예

이 예에서는 사용자 비선형 모형을 적합시킵니다. 데이터는 접착 결합 강도에 대한 측정값으로 구성됩니다. 결합이 끊어질 때까지 제품에 스트레스를 가하고 필요한 파괴 강도를 기록합니다. 정상 사용 조건에서는 유닛이 파괴될 가능성이 낮으므로 여러 수준의 가속 요인(온도)에서 유닛을 시험했습니다. 25°C 사용 조건에서 52주(1년) 후 유닛의 강도(뉴턴)를 추정하려고 합니다.

시작 창 완료

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Adhesive Bond.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 열화**를 선택합니다.
3. **파괴 열화** 탭을 선택합니다.
4. Strength 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
5. Weeks 를 선택하고 **시간**을 클릭합니다.
6. Degrees 를 선택하고 **X**를 클릭합니다.
7. Censor 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.

그림 7.19 완료된 시작 창

8. **확인**을 클릭합니다.

모형 정의 및 적합

1. "모형 규격" 개요의 "위치 모수 경로 지정" 패널에 있는 메뉴에서 **로그 정규**를 선택합니다.
이렇게 하면 반응 (Strength) 에 대한 로그 정규 변환이 지정됩니다.
2. "열화 데이터 분석" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **열화 경로 스타일 > 비선형 경로**를 선택합니다.

그러면 보고서에 스크립트 창이 추가됩니다. 이 창에 모형 지정 스크립트를 삽입합니다.

3. 아래 JSL 계산식을 복사하여 "비선형 경로" 아래의 스크립트 창에 붙여 넣습니다.

```
Parameter(
    {b1 = 50, b2 = 50, b3 = -1},
    b1 * :Degrees + b2 * Exp( b3 * Sqrt( :Weeks ) )
)
```

이 스크립트는 b1, b2 및 b3 모수로 Strength 에 대한 모형을 정의합니다. 스크립트는 모수의 초기값을 지정합니다.

4. 보고서 아래쪽의 텍스트 상자에서 "비어 있음" 을 "사용자 모형" 으로 변경합니다.

그림 7.20 비선형 경로 스크립트

5. **사용 및 저장**을 클릭합니다 .

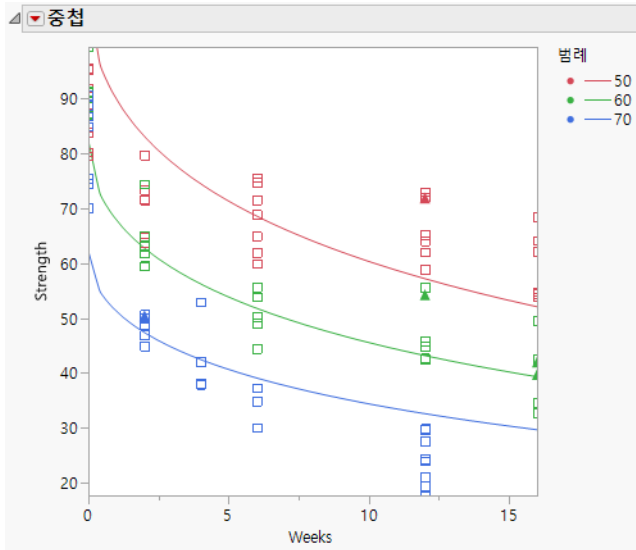
그림 7.21 업데이트된 모형 규격 개요

모수	추정값	낮음	높음	고정
b1	50	45	55	<input type="checkbox"/>
b2	50	45	55	<input type="checkbox"/>
b3	-1	-1.1	-0.9	<input type="checkbox"/>
Sigma	1	0.9	1.1	<input type="checkbox"/>

보고서가 업데이트되어 모수의 초기값을 변경하기 위한 컨트롤이 포함됩니다 . 모수의 초기 값은 스크립트 편집기의 계산식에 지정된 값으로 설정됩니다 .

6. **모형 적합**을 클릭합니다 .

그림 7.22 적합 모형 그림



"모형 규격" 개요의 "모수" 패널이 업데이트되어 적합 모형에 대한 모수 추정값이 표시됩니다. 모형 적합이 "중첩" 그림에 표시됩니다. 그림 7.22 에서와 같이 축을 드래그하여 점을 표시할 수 있습니다. 범례는 곡선을 식별합니다.

예측값 및 예측 구간 구하기

이제 기준 사용 조건 25°C 에서 52 주 후의 Strength 에 대한 예측값 및 예측 구간을 구합니다.

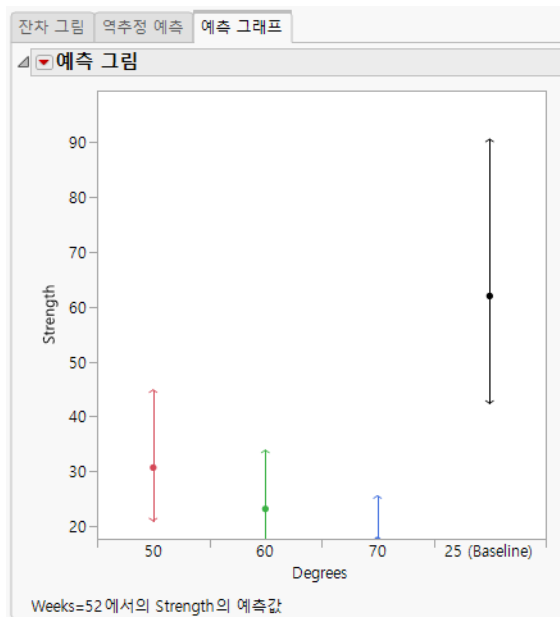
1. "열화 데이터 분석" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **예측 설정** 을 선택합니다.
2. **예측 설정** 창에서 다음을 수행합니다.
 - "기준" 에 "25" 를 입력합니다.
 - "종단 예측" 패널의 "시간" 에 "52" 를 입력합니다.
 - "종단 예측" 패널의 메뉴에서 "예측 구간" 을 선택합니다.

그림 7.23 예측 설정

규격 상한	.
규격 하한	.
중도절단 시간	.
기준	25
역추정 예측	
구간 없음 ▾	
중단 예측	
시간	52
예측 구간 ▾	
Alpha	0.05
확인	취소

3. **확인**을 클릭합니다 .
4. 보고서에서 **예측 그래프** 탭을 선택합니다 .

그림 7.24 Weeks = 52 에서의 예측 그림



- " 예측 그림 "에서 축 라벨 "25(기준)" 위에 예측값 및 95% 수준 예측 구간이 표시됩니다 .
5. " 예측 그림 "의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **예측 저장**을 선택합니다 .
- Degrees 의 세 값과 원하는 기준 (25°) 에 대한 예측값이 데이터 테이블에 저장됩니다 . 25°C 에서 1 년 후의 접착 결합 강도 예측값은 61.96 이며 , 예측 구간은 42.42 ~ 90.50 입니다 .

열화 플랫폼의 안정성 분석

안정성 분석은 의약품 유효 기간을 설정하는 데 사용됩니다. 세 가지 선형 열화 모형이 적합되고, ICH(International Conference on Harmonisation, 의약품 국제 조화 회의) 지침에 따라 유효 기간이 추정됩니다. ICH 지침은 유효 기간 설정을 위해 배치를 합동화할 수 있는지 여부를 결정하는 일반적인 프레임워크에 사용됩니다(ICH Q1E 2003). 구체적인 구현 정보는 Chow(2007, Appendix B)에서 STAB 매크로 및 FDA 지침을 참조하십시오.

"안정성 시험" 보고서에는 세 가지 열화 모형과 이에 해당하는 가장 빠른 교차 시간이 요약되어 있습니다. 최적 모형이 선택되어 "중첩" 그림에 표시됩니다. 모형은 복잡도 순서대로 나열됩니다.

첫 번째 모형은 각 배치에 서로 다른 절편 및 기울기를 적합시킵니다. 아래에 설명된 절차 단계와 모형 비교에서 이 모형은 **완전 모형**입니다. 이 모형을 사용하여 유효 기간을 추정하는 경우 배치 전체에서 MSE(평균 제곱 오차)가 합동화되지 않습니다. 각 배치에 대해 개별 평균 제곱 오차를 사용하여 예측 구간이 계산되며, 규격 한계와 맨 먼저 교차하는 구간을 사용하여 유효 기간을 추정합니다. 가장 빠른 교차 시간은 두 개의 규격 한계가 제공된 경우 95% 양측 예측 구간을 기반으로 하고, 규격 한계가 하나만 제공된 경우에는 95% 단측 예측 구간을 기반으로 합니다.

참고 : "합동화할 수 없는 모형에 합동 MSE 사용" 옵션을 선택한 경우 첫 번째 모형은 합동 MSE (평균 제곱 오차)와 함께 모형을 사용하여 가장 빠른 교차 시간을 계산합니다.

두 번째 모형은 각 배치에 서로 다른 절편을 적합시키지만 모든 배치에 대해 공통 기울기를 적합시킵니다. 세 번째 모형은 모든 배치에 대해 공통 절편 및 기울기를 적합시킵니다. 이 모형이 적절한 경우 가장 먼 유효 기간을 제공합니다.

그림 7.25 안정성 시험 보고서

4 안정성 검토

유의 수준 0.25에서 채택된 최선의 모형에 따른 절편과 공통 기울기가 있습니다. 모형에서 95%의 신뢰도로 23.47505에서 가장 빠른 교차 시간을 제안합니다. ICH 지침은 만료 시간이 23.47505임을 나타냅니다.

표시	절편	기울기	가장 빠른 교차 시간
<input type="radio"/>	다름	다름	23.11596
<input checked="" type="radio"/>	다름	공통	23.47505
<input type="radio"/>	공통	공통	29.98567

"안정성 시험" 보고서의 "모형 비교" 섹션에는 각 안정성 모형에 대한 유의성 검토가 요약되어 있습니다. "범례"는 각 소스를 설명합니다. 유효 기간 설정을 위한 최적 모형을 결정하는 절차에서는 소스 C와 B의 p 값을 고려합니다. 아래에는 절차의 단계 순서에 맞게 소스가 역순으로 나열되어 있습니다.

팁 : ICH 지침에는 0.25 유의 수준을 사용하여 적절한 모형을 결정하도록 지정되어 있습니다. 아래 단계에 따라 각 소스의 p 값을 다른 유의 수준과 비교할 수 있습니다. 이로 인해 다른 모형이 선택되는 경우 "안정성 시험" 요약 보고서의 테이블에서 "표시" 열의 라디오 버튼을 사용할 수 있습니다.

소스 E 반응 제곱합에서 소스 D 제곱합을 뺀 값을 지정합니다. 소스 E에 대한 "평균 제곱" 열의 값은 소스 E SS 값을 소스 E 자유도, 즉 완전 모형 (다른 절편, 다른 기울기)의 모수 수로 나눈 값입니다.

소스 D 오차 제곱합 및 완전 모형 (다른 절편, 다른 기울기)의 해당 MSE를 지정합니다.

소스 C 기울기 동일성 검정을 지정합니다. 이는 두 번째 모형 (다른 절편, 공통 기울기) 대 완전 모형 (다른 절편, 다른 기울기)의 검정입니다.

- p 값이 0.25 보다 작으면 배치 간에 기울기가 다른 것으로 가정됩니다. 절차가 중지되고 완전 모형 (다른 절편, 다른 기울기)을 사용하여 유효 기간을 추정합니다.
- p 값이 0.25 보다 크거나 같으면 배치 전체에서 기울기가 공통인 것으로 가정하고 소스 B를 사용하여 절편을 계산합니다.

소스 B 절편 동일성 검정을 지정합니다. 이는 세 번째 모형 (공통 절편, 공통 기울기) 대 두 번째 모형 (다른 절편, 공통 기울기)의 검정입니다.

- p 값이 0.25 보다 작으면 배치 간에 절편이 다른 것으로 가정하고 두 번째 모형 (다른 절편, 공통 기울기)을 사용하여 유효 기간을 추정합니다.
- p 값이 0.25 보다 크거나 같으면 배치 전체에서 절편이 공통인 것으로 간주하고 세 번째 모형 (공통 절편, 공통 기울기)을 사용하여 유효 기간을 추정합니다.

소스 A 세 번째 모형 (공통 절편, 공통 기울기) 대 완전 모형 (다른 절편, 다른 기울기)의 검정을 지정합니다. 이 검정은 유효 기간 설정을 위한 최적 모형을 결정하는 절차에 사용되지 않습니다.

그림 7.26 안정성 모형 비교

모형 비교					
소스	DF	SS	평균 제곱	F 통계량	Prob>F
A	6	61.48956	10.24826	10.10836	<.0001*
B	3	60.48866	20.16289	19.88764	<.0001*
C	3	1.000906	0.333635	0.329081	0.8043
D	28	28.38752	1.01384		
E	8	3602145	45026.81		

범례			
소스	절편	기울기	절편 기울기
A	다른	다른	공통 공통
B	다른	공통	공통 공통
C	다른	다른	다른 공통
D	잔차		
E	전체 모형		

"보고서" 섹션에는 "안정성 시험" 옵션으로 적합된 모형이 포함됩니다. "안정성 시험" 옵션에 의해 다음 네 개의 모형이 적합됩니다.

- 배치 전체에서 MSE(평균 제곱 오차)가 합동화되는 다른 절편, 다른 기울기 모형. "합동화할 수 없는 모형에 합동 MSE 사용" 옵션을 선택한 경우 "안정성 시험" 보고서의 첫 번째 모형입니다.
- 다른 절편, 공통 기울기 모형. "안정성 시험" 보고서의 두 번째 모형입니다.

- 공통 절편, 공통 기울기 모형." 안정성 시험 " 보고서의 세 번째 모형입니다.
- 배치 전체에서 MSE(평균 제곱 오차) 가 합동화되지 않는 다른 절편, 다른 기울기 모형." 합동화할 수 없는 모형에 합동 MSE 사용 " 옵션을 선택하지 않은 경우 " 안정성 시험 " 보고서의 첫 번째 모형입니다.

주의 : " 보고서 " 섹션에는 " 안정성 시험 " 옵션으로 적합된 네 가지 모형 외에도 " 안정성 시험 " 옵션을 실행하기 전에 열화 플랫폼에서 적합된 모형이 포함됩니다.

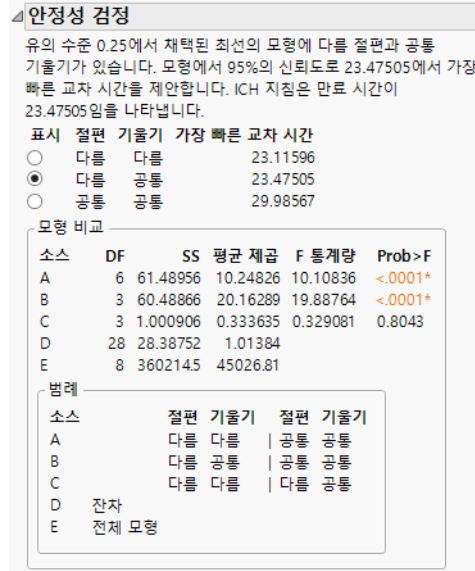
예제

Stability.jmp 샘플 데이터 테이블의 데이터를 사용하여 새 제품의 유효 기간을 설정합니다. 데이터는 네 개의 배치에서 측정한 제품 농도로 구성됩니다. 농도가 95이면 제품 사용 기한이 끝나는 것으로 간주됩니다.

안정성 분석을 수행하려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Stability.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 열화**를 선택합니다.
3. **안정성 시험** 탭을 선택합니다.
4. Concentration (mg/Kg) 을 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
5. Time 을 선택하고 **시간**을 클릭합니다.
6. Batch Number 를 선택하고 **라벨, 시스템 ID** 를 클릭합니다.
7. " 규격 하한 " 에 "95" 를 입력합니다.
8. **확인**을 클릭합니다.

그림 7.27 안정성 모형



기울기 동일성 검정에 대한 p 값은 0.8043입니다. 이 값은 유의 수준 0.25보다 크기 때문에 검정이 기각되지 않으며 배치 간에 열화 기울기가 동일하다는 결론을 내립니다.

동일한 절편 및 기울기 검정의 p 값은 <.0001입니다. 이 값은 유의 수준 0.25보다 작기 때문에 검정이 기각되며 배치 간에 절편이 다르다는 결론을 내립니다.

기울기 동일성 검정은 기각되지 않았고 절편 동일성 검정은 기각되었으므로 다른 절편 및 공통 기울기를 갖는 모형이 선택되었습니다. 이 모형은 보고서에서 선택된 모형이며 추정된 유효 기간은 23.475입니다.

열화 플랫폼의 안정성 분석에 대한 통계 상세 정보

서로 다른 절편 및 기울기를 적합시키는 합동화할 수 없는 모형의 경우 선형 열화 모형의 기울기와 절편에 대한 표준 오차는 아래와 같이 설명됩니다.

모형 절편의 경우 표준 오차는 다음 계산식과 동일합니다.

$$s\{\beta_0\} = \sqrt{\text{MSE} \frac{\sum x_i^2}{n \sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

모형 기울기의 경우 표준 오차는 다음 계산식과 동일합니다.

$$s\{\beta_1\} = \sqrt{\frac{\text{MSE}}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

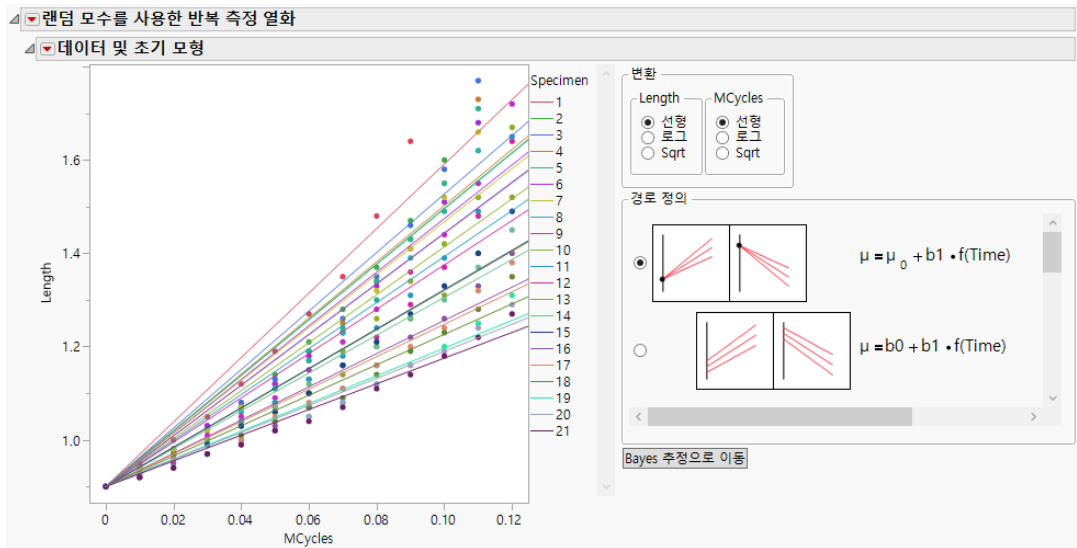
반복 측정 열화

계층적 베이지안 모델링 방법 사용

반복 측정 열화 플랫폼을 사용하면 파괴하지 않고 측정할 수 있는 관측 유닛의 시간 경과에 따른 열화를 분석할 수 있습니다. 가속 요인을 사용하거나 사용하지 않고 관측값을 분석할 수 있습니다. 이 플랫폼에서는 다양한 반응과 시간 변환, 모델링 경로 및 로버스트 베이지안 모델링 프레임워크를 제공합니다.

계층적 베이지안 방법을 사용하여 반복 측정 열화 모형을 분석하는 방법에 대한 자세한 내용은 Meeker et al. (2022, ch. 21)에서 확인하십시오.

그림 8.1 반복 측정 열화 보고서



목차

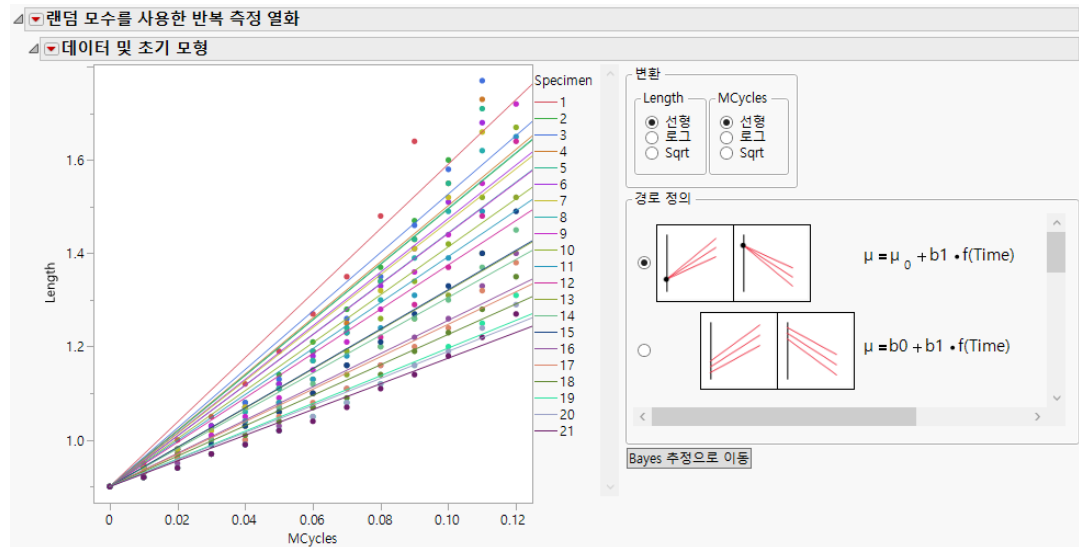
반복 측정 열화의 예.....	197
반복 측정 열화 플랫폼 시작.....	200
두 개의 Y 열 지정.....	201
반복 측정 열화 보고서.....	202
데이터 및 초기 모형 그림 옵션.....	203
반복 측정 열화 보고서 옵션.....	203
모형.....	204
반복 측정 열화 반응 보고서.....	207
반응 보고서 옵션.....	209
반복 측정 열화 베이지안 추정값 보고서.....	209
사전 확률 보고서.....	209
사후 추정값 보고서.....	210
진단 보고서.....	210
수명 분포 프로파일러 보고서.....	211
베이지안 추정값 보고서 옵션.....	211
반복 측정 열화 플랫폼의 추가 예.....	212
반복 측정 열화 플랫폼에 대한 통계 상세 정보.....	215

반복 측정 열화의 예

반복 측정 열화 플랫폼을 사용하여 합금 시험체에서 피로 관련 균열 길이의 진행을 모델링합니다. 합금 시험 사이클이 지속될수록 균열 크기가 증가합니다. 균열 크기가 1.6 인치에 도달하면 합금이 안전하지 않은 것으로 간주됩니다. 균열 크기의 50%가 1.6 인치에 도달하는 사이클 수를 추정하려고 합니다. 이 예는 Meeker et al. (2022, ch. 21)의 예를 참조하여 새로 구성되었습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Alloy A.jmp를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 반복 측정 열화**를 선택합니다.
3. Length를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. MCycles를 선택하고 **시간**을 클릭합니다.
5. Specimen을 선택하고 **라벨, 시스템 ID**를 클릭합니다.
6. **고장 정의 상한** 텍스트 상자에 "1.6"을 입력합니다.
7. **확인**을 클릭합니다.


그림 8.2 랜덤 모수를 사용한 반복 측정 열화 초기 보고서



초기 보고서에는 반응 (Length) 및 시간 변수 (MCycles)에 변환을 추가하고 모형의 경로 정의의 변경하는 옵션이 있습니다.

8. "경로 정의" 패널에서 아래로 스크롤하여 세 번째 모형을 선택합니다.

그림 8.3 선택한 경로 정의 모형



$$\frac{d\mu(f(\text{Time}))}{df(\text{Time})} = b1 \cdot (\mu(f(\text{Time}))^{\left(\frac{b2}{2}\right)})$$

선택한 모형과 일치하도록 그림의 곡선이 업데이트됩니다.

9. 베이지안 추정으로 이동을 클릭합니다.

그림 8.4 초기 반응 보고서

반응, Time을(를) 사용한 고정 - 초기 Paris-Erdogan 균열 성장

계산식 그림

$$\text{if } b2 \neq 2, \left(\mu_0 \left(1 - \frac{b2}{2} \right) + \left(1 - \frac{b2}{2} \right) \cdot b1 \cdot f(\text{Time}) \right)^{\left(\frac{2}{(2-b2)} \right)}$$

$$\text{if } b2 == 2, \mu_0 \cdot \text{Exp} \left(b1 \cdot f(\text{Time}) \right)$$

Bayes 추정에 대한 규칙

모수	모수 분포	사전 확률	사전 분포	값	값
b1	정규	$\mu[b1]$	<정규>	99% 하한 -15.0718	99% 상한 22.50946
		$\sigma[b1]$	절반 Cauchy	척도 7.294985	
b2	정규	$\mu[b2]$	<정규>	99% 하한 -9.07118	99% 상한 19.47377
		$\sigma[b2]$	절반 Cauchy	척도 5.540924	
상관		$\rho[b1, b2]$	정규	위치 0	척도 4
$\sigma[\epsilon]$		$\sigma[\epsilon]$	절반 Cauchy	척도 0.102426	
몬테카를로 반복 수	5000				
난수 시드값	32323				

모형 적합

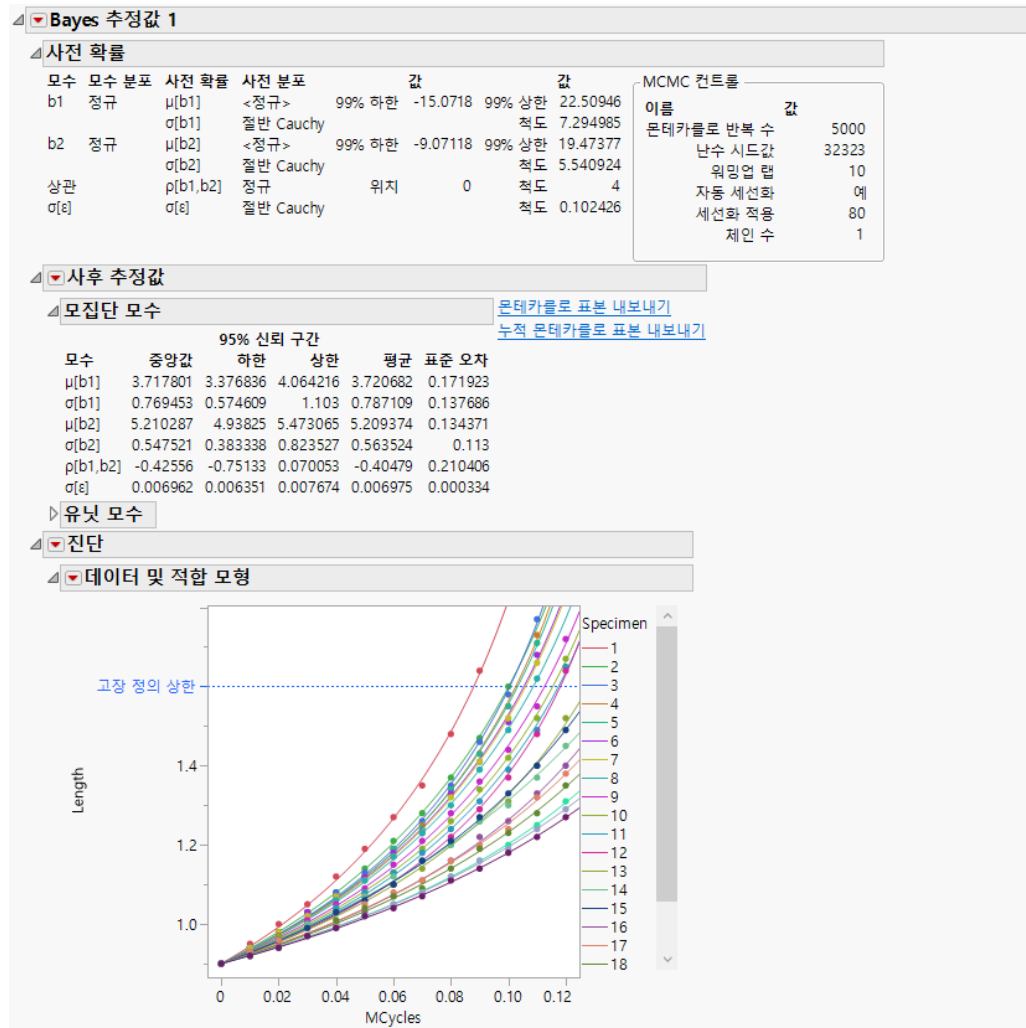
MCMC 컨트롤

이름	유형	값	설명
워킹업 렵	정수	10	자동 조정 값을 설정합니다.
자동 세션화	<input checked="" type="checkbox"/>		제안된 세션화 기간을 사용합니다.
세션화	정수	1	자동 세션화가 선택 해제된 경우 세션화 기간입니다.
제인 수	정수	1	제인 수입니다.

초기 반응 보고서에는 경로 정의 계산식 그림과 계층적 Bayes 모형의 사전 분포를 지정하는 패널이 포함되어 있습니다. 베이지안 추정 절차를 제어하는 옵션도 있습니다.

10. 모형 적합을 클릭합니다.

그림 8.5 베이시안 추정값 보고서 (일부)

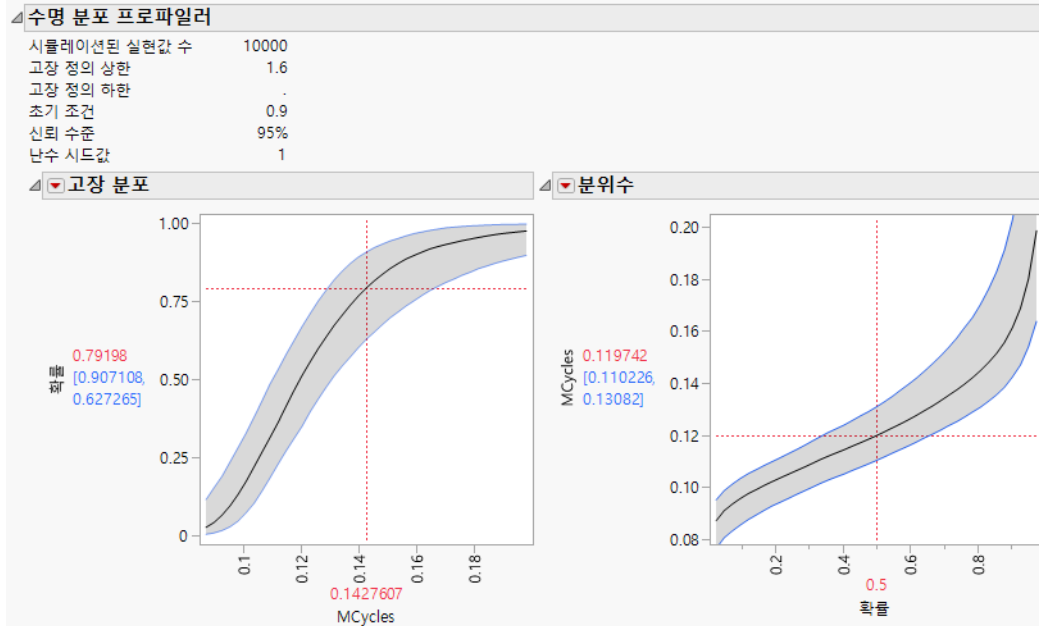


" 사후 추정값 " 보고서에는 MCMC(Markov 체인 몬테카를로) 절차의 결과가 표시됩니다 . 테이블 오른쪽의 버튼을 사용하여 모든 MCMC 표본을 데이터 테이블에 표시할 수 있습니다 . " 진단 " 보고서에는 원래 데이터 값 및 적합 모형의 곡선이 표시됩니다 .

" 수명 분포 프로파일러 " 보고서를 사용하여 균열 크기의 50% 가 1.6 인치에 도달하는 사이클 수를 추정합니다 .

11. " 분위수 " 프로파일러에서 " 확률 " 에 "0.50" 을 입력합니다 .

그림 8.6 수명 분포 프로파일러



고장 정의 상한은 1.6인치입니다. 이는 "수명 분포 프로파일러" 보고서의 "고장 분포" 및 "분위수" 프로파일러에 사용되는 고장 정의입니다. "분위수" 프로파일러를 보면 0.50 확률에서 균열 크기의 50%가 1.6인치에 도달하는 추정 사이클 수가 0.1197이고, 95% 신뢰 구간이 0.11 ~ 0.131임을 알 수 있습니다.

반복 측정 열화 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 반복 측정 열화를 선택하여 반복 측정 열화 플랫폼을 시작합니다.

그림 8.7 반복 측정 열화 시작 창

시간 경과에 따른 반복 측정 열화 데이터 모델링

열 선택

3개 열

- Length
- Specimen
- MCycles

중도절단 코드: []

고장 정의 상한: []

고장 정의 하한: []

사용 조건: []

선택한 열 역할 지정

Y, 반응	필수 숫자
시간	선택적 숫자
X	선택적 숫자
라벨, 시스템 ID	필수
빈도	선택적 숫자
중도절단	선택적
기준	선택적

작업

확인

취소

제거

재호출

도움말

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용에서 확인하십시오.

반복 측정 열화 시작 창에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

Y, 반응 열화 측정값을 포함하는 열을 식별합니다. 반응 값이 구간 중도절단된 경우 두 개의 열을 입력할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**두 개의 Y 열 지정**"에서 확인하십시오.

시간 시간 값을 포함하는 열을 식별합니다.

X 설명 변수를 포함하는 열을 식별합니다. 이 역할을 사용하여 가속 열화 모형에서 가속 요인을 지정합니다.

라벨, 시스템 ID 유닛 ID 를 포함하는 열을 식별합니다.

빈도 각 행에 대한 빈도를 포함하는 열을 식별합니다.

중도절단 반응 측정값의 중도절단 여부를 지정하는 열을 식별합니다.

기준 기준 변수의 각 수준에 대한 분석을 생성하기 위한 변수를 식별합니다.

중도절단 코드 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값을 지정합니다. 중도절단 열이 선택되면 JMP 는 자동으로 중도절단 코드를 감지하여 상자에 표시하려고 시도합니다. 이를 변경하려면 빨간색 삼각형을 클릭하고 값 목록에서 선택합니다. 상자에 다른 값을 입력할 수도 있습니다. 중도절단 열에 "값 라벨" 열 특성이 포함된 경우 값 라벨이 값 목록에 나타납니다. 결측값은 분석에서 제외됩니다.

고장 정의 상한 고장을 나타내는 반응 값의 기준이 되는 상한 값을 지정합니다.

고장 정의 하한 고장을 나타내는 반응 값의 기준이 되는 하한 값을 지정합니다.

사용 조건 가속 요인의 설명 변수 X 에 대한 값을 지정합니다. 이 값은 정상적인 사용에 적절한 X 값을 나타냅니다.

두 개의 Y 열 지정

반복 측정 열화 플랫폼에서 일부 측정값이 구간 중도절단 또는 왼쪽 중도절단된 경우 두 개의 Y 열을 지정할 수 있습니다. 행이 주어진 경우 두 Y 열의 값에 따라 중도절단 유형이 결정됩니다.

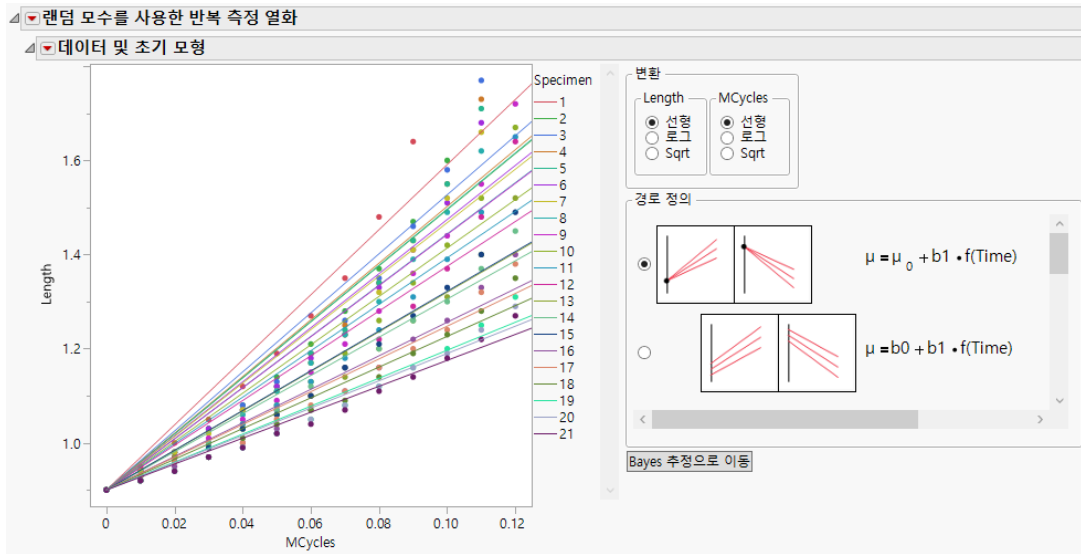
- 두 Y 값이 같고 둘 다 결측값이 없는 경우 공통 측정값은 정확 값으로 처리됩니다.
- 두 Y 값이 다르고 둘 다 결측값이 없는 경우 측정값은 구간 중도절단되고 두 값 사이에 있다고 가정됩니다.
- 첫 번째 값만 결측인 경우 측정값은 왼쪽 중도절단되고 두 번째 값보다 작다고 가정됩니다.
- 두 번째 값만 결측인 경우 측정값은 오른쪽 중도절단되고 첫 번째 값보다 크다고 가정됩니다.

참고: 반복 측정 열화 플랫폼에서 왼쪽 중도절단 측정값을 적합시키는 방법은 두 개의 Y 열을 사용하는 것입니다.

반복 측정 열화 보고서

" 랜덤 모수를 사용한 반복 측정 열화 " 보고서에서는 데이터 그림과 변환 및 경로 정의 선택에 따라 지정된 모형의 그래픽 표현을 보여 줍니다 .

그림 8.8 반복 측정 열화 그림 및 옵션



그림에 대해 다음 사항에 유의하십시오 .

- 데이터 값은 표식으로 나타냅니다 . 중도절단된 관측값은 삼각형으로 표시됩니다 .
- " 라벨 , 시스템 ID " 변수의 각 수준이 그림 오른쪽의 범례에 나열됩니다 . 기본적으로 범례에서 하나 이상의 수준을 선택하면 선택한 수준만 그림에 표시됩니다 . " 데이터 및 초기 모형 "의 빨간색 삼각형 메뉴에서 " 강조 해제하려면 숨기기 " 옵션을 선택 취소하면 숨기는 대신 흐리게 표시하도록 동작을 변경할 수 있습니다 .
- 그림에 " 라벨 , 시스템 ID " 변수의 각 수준에 대한 초기 모형 선 또는 경로가 포함됩니다 . 이러한 경로는 보고서 오른쪽에 있는 옵션 선택에 따라 업데이트됩니다 . " 데이터 및 초기 모형 "의 빨간색 삼각형 메뉴에서 " 초기 적합 곡선 표시 " 옵션을 선택 취소하여 숨길 수 있습니다 .

그래프에 표시되는 모형은 변환 및 경로 정의로 지정됩니다 . " 데이터 및 초기 모형 " 보고서에는 이러한 규격을 지정할 수 있는 옵션이 있습니다 .

변환 반응 Y 와 시간 변수에 대한 변환 함수를 선택합니다 .

참고 : 양수가 아닌 값이 포함된 열에 로그 변환을 적용하면 해당 값이 포함된 행이 모형 적합에서 생략됩니다 . 음수 값이 포함된 열에 Sqrt 변환을 적용하면 해당 값이 포함된 행이 모형 적합에서 생략됩니다 .

경로 정의 회귀 모형에 대한 선형 또는 비선형 경로를 선택합니다. 각 모형에 대한 자세한 내용은 "모형"에서 확인하십시오.

페이지안 추정으로 이동 새 경로 정의 및 변환 조합에 대해 "페이지안 추정으로 이동" 버튼을 클릭할 때마다 새 "반응" 보고서가 생성됩니다. "반응" 보고서를 사용하면 모형에 대한 사전 분포 정보를 지정한 다음, MCMC(Markov 체인 몬테카를로) 절차를 시작할 수 있습니다.

데이터 및 초기 모형 그림 옵션

반복 측정 열화 플랫폼에서 "데이터 및 초기 모형" 그림의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

강조 해제하려면 숨기기 "라벨, 시스템 ID" 변수의 값이 하나 이상 선택된 경우 선택되지 않은 모든 값을 숨기거나 흐리게 표시합니다.

표식 표시 그림에서 데이터 표식을 표시하거나 숨깁니다.

연결된 관측값 표시 각 반복 측정 집합에 대한 데이터 표식을 연결하는 선을 표시하거나 숨깁니다.

초기 적합 곡선 표시 그림에서 초기 적합 곡선을 표시하거나 숨깁니다.

반복 측정 열화 보고서 옵션

"랜덤 모수를 사용한 반복 측정 열화"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

옵션 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트에 사후 확률 저장 현재 보고서에 대한 스크립트를 저장할 때 스크립트에 사후 표본이 포함되도록 지정합니다. 저장된 스크립트를 실행하면 사후 표본이 스크립트에서 반복 측정 열화 분석으로 직접 로드됩니다.

팁 : "스크립트에 사후 확률 저장" 옵션을 지정하면 생성되는 스크립트가 더 길어지지만 나중에 분석을 재현할 수 있으며 분석을 다시 실행할 때 계산 시간이 절약됩니다.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**의 에서 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.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

모형

반복 측정 열화 플랫폼에는 베이지안 추정 절차에 사용할 수 있는 많은 기본 제공 모형이 있습니다. 사용 가능한 모형 수는 시작 창에 X 변수가 지정되었는지 여부에 따라 다릅니다.

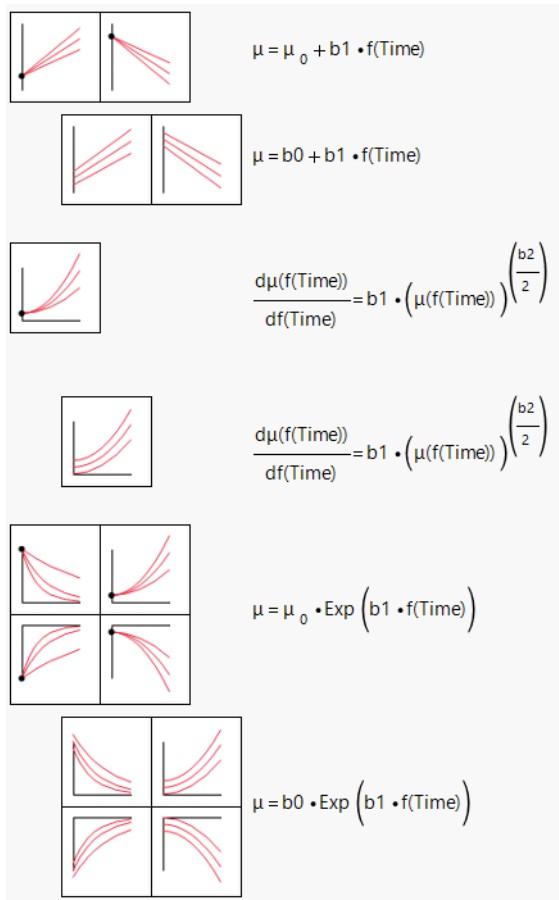
참고 : 각 방정식의 왼쪽에 표시된 썸네일 스케치는 시간 경과에 따른 경로 정의의 동작을 보여주는 일반 그림입니다. 보고서의 주 그림에 나오는 추정된 모형 그림은 "변환"에서 선택한 옵션에 따라 썸네일과 다를 수 있습니다.

반복 측정 열화 플랫폼의 모형에는 고정 모수와 랜덤 모수가 포함되어 있습니다. 두 모수 유형 모두 알려져 있지 않습니다. 그러나 고정 모수는 "라벨, 시스템 ID" 변수의 모든 값에 대해 동일합니다. 반면에 랜덤 모수는 "라벨, 시스템 ID" 변수의 값에 따라 달라집니다.

모형을 선택한 후 각 랜덤 모수의 분포를 선택하고, 위치 및 척도 모수에 대한 사전 분포와 랜덤 모수에 대한 상관계수를 할당한 다음, 고정 모수에 사전 분포를 할당합니다. 모형 규격에 대한 자세한 내용은 "[반복 측정 열화 플랫폼에 대한 통계 상세 정보](#)"에서 확인하십시오.

시작 창에서 X 변수를 지정하지 않으면 6개의 모형을 사용할 수 있습니다. 이러한 모형이 [그림 8.9](#)에 나열되어 있습니다. 모형은 쌍으로 나타나며, 각 쌍의 첫 번째 모형은 고정 절편을 갖고 두 번째 모형은 랜덤 절편을 갖습니다.

그림 8.9 X 변수가 없는 모형



시작 창에서 X 변수를 지정하면 "경로 정의" 패널에서 추가 모형을 사용할 수 있습니다. [그림 8.10](#)에서는 1차 운동 역학 모형을 보여 줍니다. [그림 8.11](#)에서는 상수 비율 모형을 보여 줍니다.

참고 : 들어쓴 모형은 바로 앞의 들어쓰지 않은 모형의 변형입니다. 변형은 초기 조건이 변하거나 랜덤하다는 것입니다.

그림 8.10 1 차 운동 역학 모형

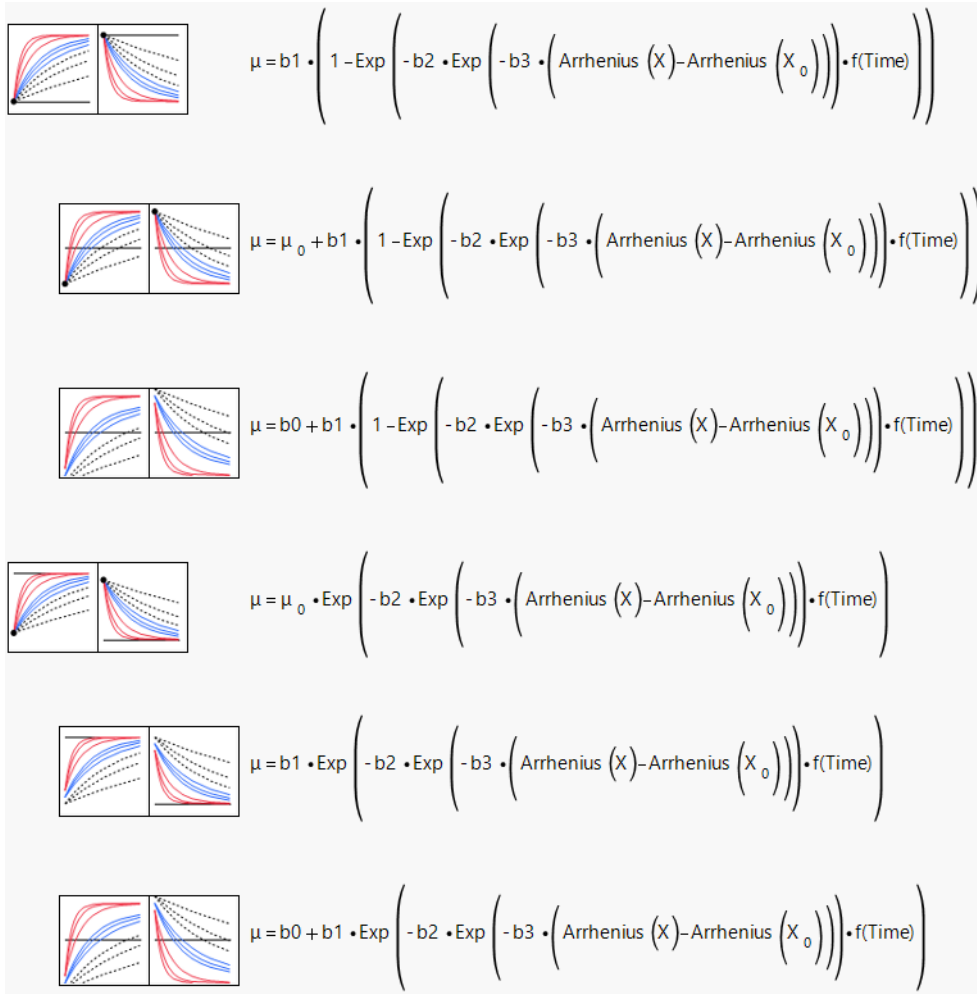
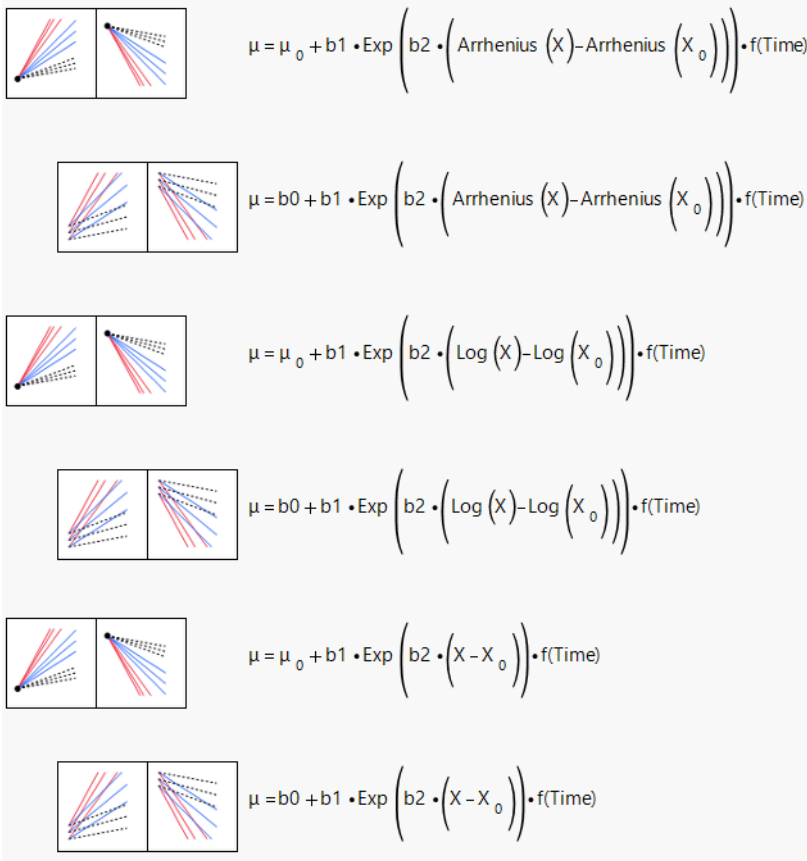


그림 8.11 상수 비율 모형



반복 측정 열화 반응 보고서

반복 측정 열화 플랫폼의 "반응" 보고서에는 "계산식 그림", "베이지안 추정에 대한 규격" 및 "MCMC 컨트롤"이라는 세 개의 섹션이 포함되어 있습니다. 새 경로 정의 및 변환 조합에 대해 "베이지안 추정"으로 이동 버튼을 클릭할 때마다 새 "반응" 보고서가 생성됩니다.

계산식 그림

"계산식 그림" 섹션에는 선택한 모형에 대한 방정식이 포함됩니다. "베이지안 추정에 대한 규격" 섹션에서 사전 분포를 지정할 때 이 방정식을 참조로 사용합니다.

베이지안 추정에 대한 규격

" 베이지안 추정에 대한 규격 " 섹션에서는 경로 정의 모형의 모수에 대한 사전 분포를 지정할 수 있습니다. 초기 모형 적합에 기반한 시작점을 제공하는 기본값이 테이블에 채워져 있습니다. 사전 분포 지정 테이블에는 다음 열이 포함되어 있습니다.

모수 경로 정의 모형의 모수를 포함하는 열입니다.

모수 분포 경로 정의 모형의 랜덤 모수에 대한 분포를 지정할 수 있는 목록 열입니다. 고정 모수에는 이 열을 사용할 수 없습니다.

사전 확률 각 모수에 대한 사전 규격을 포함하는 열입니다.

사전 분포 각 모수에 대한 사전 분포를 지정할 수 있는 목록 열입니다. 백분위수 또는 모수를 사용하여 분포를 지정할 수 있습니다. 이 목록에서 각괄호가 포함된 분포 이름은 분포의 백분위수를 사용하여 사전 분포가 정의된다는 의미입니다. 그렇지 않은 경우 사전 분포가 모수로 정의됩니다.

값 열 각 값 열에는 경로 정의 모형의 모수에 대한 사전 분포를 정의할 수 있는 입력 필드가 포함되어 있습니다. 백분위수 또는 기존 모수를 사용하여 분포를 지정할 수 있습니다.

팁 : 백분위수 또는 모수를 사용하여 사전 분포의 모수를 지정할 수 있습니다. "사전 분포" 목록에서 각괄호가 포함된 분포 이름을 선택하는 경우 분포의 백분위수를 사용하여 분포를 정의해야 합니다. "사전 분포" 목록에서 각괄호가 없는 분포 이름을 선택하는 경우 분포의 모수를 사용하여 분포를 정의해야 합니다.

사전 분포를 지정하는 테이블 아래에 다음과 같은 추가 옵션이 있습니다.

몬테카를로 반복 수 번인 절차 후 사후 분포에서 추출할 표본 크기를 지정합니다. 이 값은 2,000 보다 크거나 같아야 합니다.

난수 시드값 MCMC 결과를 재현할 수 있도록 난수 시드값을 지정합니다.

모형 적합 지정된 값을 사용하여 JMP 에서 적합된 사전 분포를 기반으로 MCMC 절차를 수행합니다. " 베이지안 추정값 - <N>" 이라는 제목의 보고서를 추가합니다. 여기서 N 은 각 " 반응 " 보고서 내의 " 베이지안 추정값 " 보고서에 연속으로 번호를 매기는 정수입니다. 자세한 내용은 " 반복 측정 열화 베이지안 추정값 보고서 " 에서 확인하십시오.

MCMC 컨트롤

"MCMC 컨트롤" 섹션에는 MCMC(Markov 체인 몬테카를로) 절차에 대한 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

위밍업 랩 MCMC 절차를 시작할 때 후보 분포를 조정하는 데 사용되는 반복 수를 지정합니다. 사후 분포가 수렴되지 않거나 높은 자기상관 징후를 보이는 경우 위밍업 랩 수를 늘려 보십시오. " 체인 수 " 옵션의 값이 1 보다 큰 경우에도 위밍업 랩 수를 늘려야 합니다.

자동 세션화 제안된 세션화 기간의 사용 여부를 지정합니다. 이 옵션을 선택하지 않으면 " 세션화 " 옵션에 의해 세션화 기간이 지정됩니다. 사후 분포에서 표본을 세션화하면 결과의 자기

상관이 줄어듭니다. 위밍업 랩 수를 늘려도 자기상관을 줄이는 데 도움이 되지 않는 경우에만 "자동 세션화" 옵션을 해제해야 합니다.

세션화 ("자동 세션화" 옵션을 선택하지 않은 경우에만 적용 가능) 세션화 값을 지정합니다. 제공된 세션화 값은 "자동 세션화" 옵션을 사용할 때 "MCMC 컨트롤" 보고서에 나타나는 "세션화 적용" 값보다 커야 합니다.

체인 수 MCMC 절차의 체인 수를 지정합니다. 기본값은 탐색적 분석에 권장되는 1 입니다. "체인 수" 옵션이 1 이면 초기 모형의 값을 사용하여 절차가 시작되고 대개 빠른 수렴으로 이어집니다. 그러나 로컬 최적 해에서 사후 값이 갇힐 수 있습니다. "체인 수" 옵션이 1 보다 크면 절차의 나머지 체인에 랜덤 값이 사용됩니다. 이렇게 하면 수렴 속도가 느려질 수 있지만 최종 결과의 수렴 가능성을 높일 수 있습니다. 랜덤 시작으로 인한 느린 수렴을 해결하려면 "위밍업 랩" 옵션의 값을 동시에 늘려야 할 수도 있습니다.

팁: 다른 "MCMC 컨트롤" 설정을 사용하여 만족스러운 결과를 얻을 수 없는 경우에만 이 값을 늘려야 합니다. "체인 수" 값을 늘려 단일 체인으로 식별할 수 없는 상황을 조사합니다.

반응 보고서 옵션

"반응"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

제거 "랜덤 모수를 사용한 반복 측정 열화" 보고서 창에서 현재 "반응" 보고서를 제거합니다.

반복 측정 열화 베이지안 추정값 보고서

반복 측정 열화 플랫폼의 "베이지안 추정값 <N>" 보고서에는 시간 정보를 제공하는 간략한 섹션과 다음 섹션이 포함되어 있습니다.

- "사전 확률 보고서"
- "사후 추정값 보고서"
- "진단 보고서"
- "수명 분포 프로파일러 보고서"
- "베이지안 추정값 보고서 옵션"

사전 확률 보고서

반복 측정 열화 플랫폼에서 "베이지안 추정값" 보고서의 "사전 확률" 섹션에는 사전 분포의 정보 및 적합 모형에 대해 지정된 MCMC 절차의 설정이 포함되어 있습니다. 이러한 설정에 대한 자세한 내용은 "베이지안 추정값에 대한 규격"에서 확인하십시오.

사후 추정값 보고서

반복 측정 열화 플랫폼에서 "베이지안 추정값" 보고서의 "사후 추정값" 섹션에는 모집단 모수 테이블과 유닛 모수 테이블이 포함되어 있습니다. 모집단 모수는 모형의 고정 모수 및 랜덤 모수를 설명하는 모수를 나타내고, 유닛 모수는 모집단 모수의 실현을 나타냅니다. 이러한 테이블은 MCMC 절차에 의해 생성된 사후 표본의 요약입니다. "모집단 모수" 테이블 오른쪽에 있는 옵션을 사용하여 사후 표본을 데이터 테이블에 저장할 수 있습니다. 데이터 내보내기 옵션에 대한 자세한 내용은 "베이지안 추정값 보고서 옵션"에서 확인하십시오.

팁: "모집단 모수" 테이블 오른쪽에 있는 내보내기 옵션으로 생성된 사후 데이터 테이블에는 사후 분포의 수렴을 진단하는 데 사용할 수 있는 테이블 스크립트가 포함됩니다. 정상성, 낮거나 중간 정도의 자기상관, 산점도에 특이한 패턴이 없음과 같은 세 가지 영역에서 수렴 진단을 평가해야 합니다. 일반적으로 랜덤 또는 타원 모양으로 몰려 있는 점을 제외한 다른 모양은 비수렴 가능성을 나타냅니다.

"사후 추정값"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 "사후 추정값" 섹션의 두 테이블에서 신뢰 구간에 사용되는 신뢰 수준을 변경하는 옵션이 포함되어 있습니다.

진단 보고서

반복 측정 열화 플랫폼에서 "베이지안 추정값" 보고서의 "진단" 섹션에는 관측값 및 적합 모형의 그림과 기타 진단 그림에 대한 옵션이 포함되어 있습니다. "데이터 및 적합 모형" 그림은 기본적으로 나타납니다. 적합 모형이 데이터를 잘 추적할 수 있는지 확인해야 합니다. "데이터 및 적합 모형"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "적합된 값 저장" 옵션을 사용하여 적합 값을 저장할 수 있습니다.

"진단"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

잔차 대 시간 적합 모형의 잔차 대 시간 변수 그림을 표시하거나 숨깁니다. "잔차 대 시간"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 잔차를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

참고: 일반적으로 독립적이며 같은 분포를 따른다는 가정을 위배해도 수명 분포 프로파일러를 생성하는 데 문제가 되지 않습니다.

Cox-Snell 잔차 데이터의 분포 가정을 검증하는 데 사용할 수 있는 Cox-Snell 잔차 P-P 그림을 표시하거나 숨깁니다. 데이터 점이 대각선에서 멀리 벗어나면 분포 가정에 위배될 수 있습니다. "Cox-Snell 잔차 P-P 그림"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 Cox-Snell 잔차를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. Cox-Snell 잔차에 대한 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, sec. 17.6.1)에서 확인하십시오.

참고: 일반적으로 분포 가정을 위배해도 수명 분포 프로파일러를 생성하는 데 문제가 되지 않습니다.

실제값 대 예측값 그림 실제 반응 값 대 예측 반응 값 그림을 표시하거나 숨깁니다.

잔차 대 예측값 그림 적합 모형의 잔차 대 예측 반응 값 그림을 표시하거나 숨깁니다.

참고 : " 진단 " 섹션에 있는 대부분의 그림의 빨간색 삼각형 메뉴에는 " 라벨 , 시스템 ID " 변수의 단일 값을 강조하는 옵션이 있습니다 . " 강조 해제하려면 숨기기 " 옵션은 " 라벨 , 시스템 ID " 변수의 선택되지 않은 모든 값을 숨깁니다 . " 강조 해제하려면 숨기기 " 옵션은 기본적으로 선택되어 있습니다 .

수명 분포 프로파일러 보고서

반복 측정 열화 플랫폼에서 " 베이지안 추정값 " 보고서의 " 수명 분포 프로파일러 " 섹션에는 MCMC 절차에 의해 생성된 사후 표본의 시뮬레이션된 실현 결과가 포함되어 있습니다 . 시뮬레이션된 실현에 사용된 설정 요약과 고장 분포 및 분위수에 대한 프로파일러가 있습니다 . 이러한 프로파일러를 사용하여 시간 경과에 따른 고장 확률 또는 특정 고장 확률이 발생하는 시간을 추론할 수 있습니다 . 프로파일러 및 해당 옵션에 대한 자세한 내용은 **Profilers**에서 확인하십시오 .

팁 : 시뮬레이션된 실현을 위한 설정을 변경하려면 " 베이지안 추정값 <N> " 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 " 수명 분포 프로파일러 변경 " 옵션을 선택합니다 .

베이지안 추정값 보고서 옵션

" 베이지안 추정값 <N> " 의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다 .

몬테카를로 표본 내보내기 데이터 테이블의 각 행이 사후 분포의 단일 표본에 해당하는 새 데이터 테이블을 생성합니다 . 이 데이터 테이블에는 몬테카를로 반복 수와 동일한 수의 행이 포함됩니다 . 또한 사후 표본을 검토하는 데 도움이 되는 스크립트도 데이터 테이블에 포함됩니다 .

누적 몬테카를로 표본 내보내기 " 라벨 , 시스템 ID " 변수의 각 값에 해당하는 행이 세로로 누적된 새 데이터 테이블을 생성합니다 . 이 데이터 테이블에는 몬테카를로 반복 수와 " 라벨 , 시스템 ID " 변수의 수준 수를 곱한 값과 동일한 수의 행이 포함됩니다 .

진단 표시 보고서의 " 진단 " 섹션을 표시하거나 숨깁니다 .

수명 분포 프로파일러 변경 사후 표본의 시뮬레이션된 실현을 위한 설정을 변경할 수 있습니다 . 이러한 시뮬레이션된 실현은 " 수명 분포 프로파일러 " 보고서에 사용됩니다 .

수명 분포 프로파일러 제거 (" 수명 분포 프로파일러 " 보고서가 표시된 경우에만 사용 가능) " 베이지안 추정값 <N> " 보고서의 " 수명 분포 프로파일러 " 섹션을 제거합니다 .

수명 분포 프로파일러 표시 (" 수명 분포 프로파일러 " 보고서가 표시되지 않은 경우에만 사용 가능) " 베이지안 추정값 <N> " 보고서에 " 수명 분포 프로파일러 " 섹션을 추가합니다 .

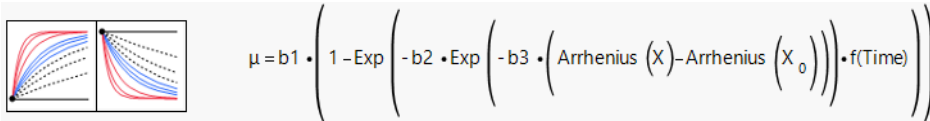
적합 제거 " 반응 " 보고서에서 현재 " 베이지안 추정값 <N> " 보고서를 제거합니다 .

반복 측정 열화 플랫폼의 추가 예

반복 측정 열화 플랫폼을 사용하여 가속 반복 측정 열화 모형을 장치 집합의 전력 감소에 적합시킵니다. 전력 저하를 가속화하기 위해 세 가지 온도 설정 중 하나에 장치가 할당되었습니다. 일반 작동 온도인 섭씨 80 도에서 15 년 (약 130,000 시간) 후에 고장 날 장치의 비율을 추정하려고 합니다. 이 예는 Meeker et al. (2022, ch. 21) 의 예를 참조하여 새로 구성되었습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Device B.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 반복 측정 열화**를 선택합니다.
3. Power Drop 을 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. Hours 를 선택하고 **시간**을 클릭합니다.
5. Degrees C 를 선택하고 **X** 를 클릭합니다.
온도 설정은 실험의 가속 요인입니다.
6. Device 를 선택하고 **라벨, 시스템 ID** 를 클릭합니다.
7. "고장 정의 하한" 입력 필드에 "-0.5" 를 입력합니다.
8. "사용 조건" 입력 필드에 "80" 을 입력합니다.
일반 작동 온도는 섭씨 80 도입니다.
9. **확인**을 클릭합니다.
10. "경로 정의" 패널에서 7 번째 모형을 선택합니다.

그림 8.12 선택한 경로 정의 모형



11. "섭씨" 를 온도 단위로 선택합니다.
12. **확인**을 클릭합니다.
13. 195 가 세 가지 시험 온도의 중간이므로 195 를 기준 온도로 유지합니다.
14. **확인**을 클릭합니다.
선택한 모형과 일치하도록 그림의 곡선이 업데이트됩니다.

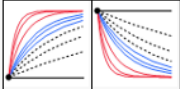
그림 8.13 초기 모형 규격

변환

Power Drop
☒ 선형
☐ 로그
☐ Sqrt

Hours
☒ 선형
☐ 로그
☐ Sqrt

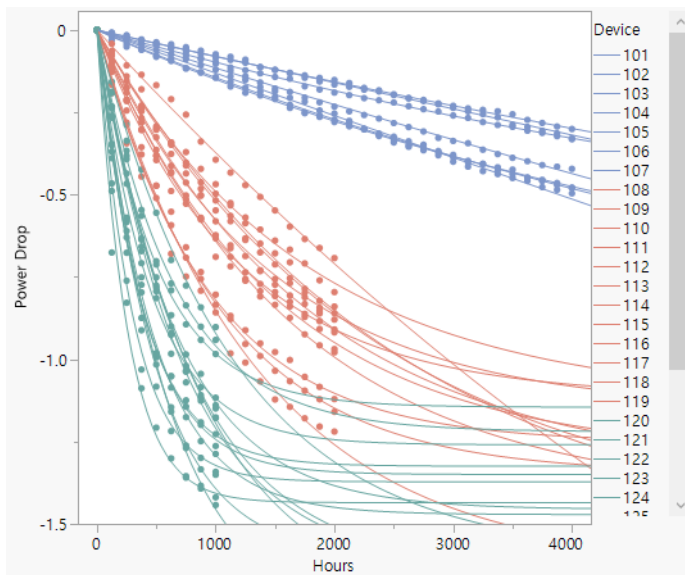
경로 정의

☒ 

$$\mu = b1 \cdot \left(1 - \text{Exp} \left(-b2 \cdot \text{Exp} \left(-b3 \cdot \left(\text{Arrhenius}(X) - \text{Arrhenius}(X_0) \right) \right) \cdot f(\text{Time}) \right) \right)$$

Bayes 추정으로 이동

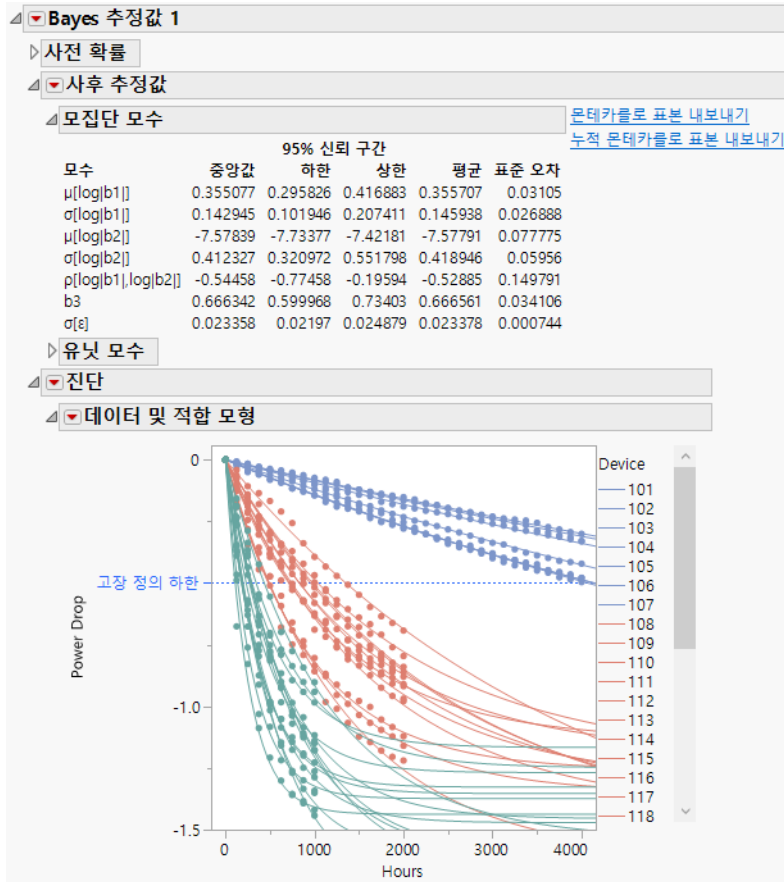
그림 8.14 초기 모형 그림



15. 베이지안 추정으로 이동을 클릭합니다.

16. 모형 적합을 클릭합니다.

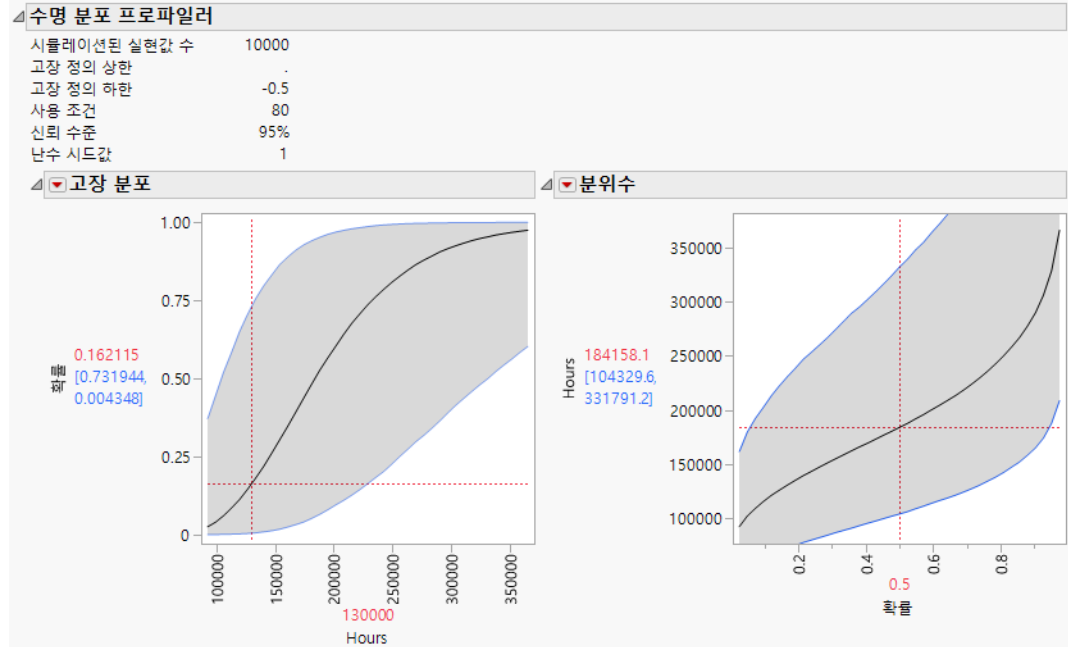
그림 8.15 사후 추정값 및 진단



"사후 추정값" 보고서에는 MCMC 절차의 결과가 표시됩니다. 테이블 오른쪽의 버튼을 사용하여 모든 MCMC 표본을 데이터 테이블에 표시할 수 있습니다. "진단" 보고서에는 원래 데이터 값 및 적합 모형의 곡선이 표시됩니다.

17. "고장 분포" 프로파일러의 "Hours"에 "130000"을 입력합니다.

그림 8.16 수명 분포 프로파일러



"고장 분포" 프로파일러를 보면 섭씨 80도의 사용 조건에서 130,000시간의 추정 고장 비율이 약 0.16이고, 95% 신뢰 구간이 0.004 ~ 0.732임을 알 수 있습니다.

반복 측정 열화 플랫폼에 대한 통계 상세 정보

반복 측정 열화 모형은 다음과 같이 표현할 수 있습니다.

$$h(Y_{it}) = \mu(\theta, g(t), X_i) + \varepsilon_{it}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

h - Y 변수에 대한 변환

g - 시간 변수에 대한 변환

μ - 모수 벡터 θ , 시간 t 및 선택적 설명 변수 X 의 함수

θ - 모수 벡터

i - 유닛 ID

t - 측정값의 타임스탬프

X - 선택적 설명 변수

오차 항 ε_{it} 는 독립적이며 $N(0, \sigma_\varepsilon)$ 와 동일한 분포를 따릅니다.

참고 : 일부 θ 모수는 고정되어 있습니다. 즉, 미지의 모수이지만 유닛마다 다르지 않습니다. θ 의 다른 모수는 유닛마다 달라지는 랜덤 모수입니다. 랜덤 모수는 정규 분포 또는 로그 정규 분포를 따를 수 있습니다.

잔차는 변환된 Y 척도로 계산됩니다($h(Y) - \mu$).

파괴 열화 시간 경과에 따른 제품 퇴화 모델링

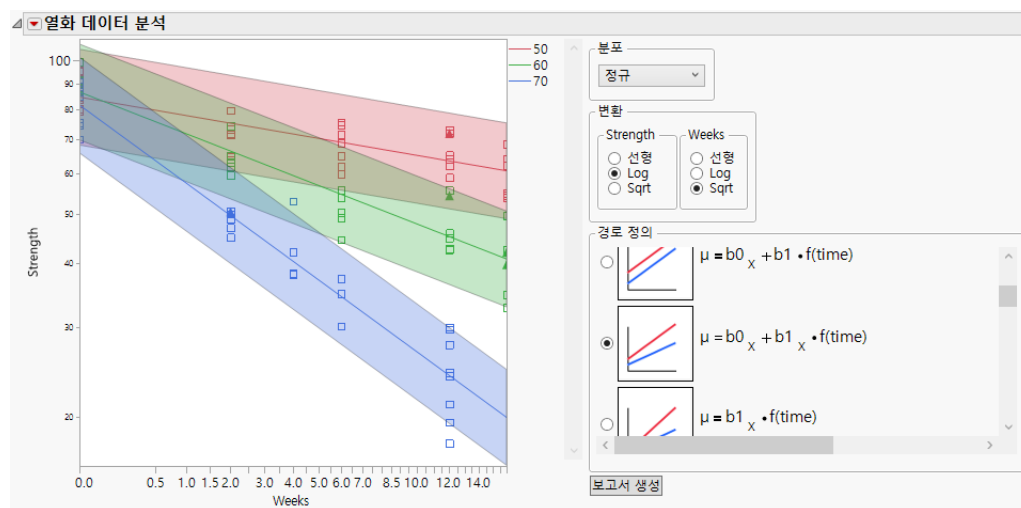
제품 특성을 측정하기 위해 제품을 파괴해야 하는 경우도 있습니다. 예를 들어 파괴 강도를 측정할 때 제품이 파괴될 때까지 스트레스를 가합니다. 파괴 시험이므로 제품 유닛당 관측값이 하나 뿐입니다. 이러한 경우 파괴 열화 플랫폼을 사용하여 제품 신뢰도를 모델링할 수 있습니다.

이 플랫폼에서는 대개 비음의 반응이 시간 경과에 따라 어떻게 변하는지를 모델링합니다. 관측값은 독립적인 것으로 가정하고 반응 값과 고장 시간을 측정합니다. 사전 정의된 크고 유연한 모형 집합이 제공됩니다. 모형에는 위치 모수가 시간의 함수인 위치-척도 및 로그-위치-척도 분포가 포함됩니다. 모형에 설명 변수 및 추가 모수를 사용할 수 있습니다. 설명 변수가 지정되면 플랫폼에서 가속 파괴 열화 모형을 적합시킵니다.

참고 : 제공된 모형 중에 나타나지 않은 모형이 필요한 경우 열화 플랫폼을 사용할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[사용자 파괴 열화 모형](#)"에서 확인하십시오.

파괴 열화 및 신뢰성에 대한 자세한 내용은 Escobar et al. (2003) 및 Meeker & Escobar(1998)에서 확인하십시오.

그림 9.1 Adhesive Bond.jmp 모형의 파괴 열화 예



목차

파괴 열화 플랫폼의 예.....	219
파괴 열화 플랫폼 시작.....	225
두 개의 Y 열 지정.....	226
파괴 열화 그림 옵션 및 모형.....	226
그림 옵션.....	228
모형.....	228
파괴 열화 보고서.....	232
모형 목록.....	232
모형 개요.....	233
파괴 열화 플랫폼 옵션.....	236
파괴 열화 플랫폼에 대한 통계 상세 정보.....	236

파괴 열화 플랫폼의 예

이 예에서는 특정 스트레스 조건이 적용된 후 강도가 임계보다 작은 유닛의 비율을 추정하려고 합니다. 데이터는 접착 결합 강도에 대한 측정값(뉴턴 단위)으로 구성됩니다. 온도는 가속 요인으로 간주됩니다. 결합이 끊어질 때까지 제품에 스트레스를 가하고 필요한 파괴 스트레스를 기록합니다. 정상 온도에서는 유닛이 파괴될 가능성이 낮으므로 광범위한 온도의 여러 수준에서 유닛을 시험했습니다. 강도가 50뉴턴보다 작으면 고장으로 간주됩니다. 섭씨 35도의 기준 온도에서 260주(5년) 후 강도가 50뉴턴 미만인 유닛의 비율을 추정하려고 합니다. 이 가속 파괴 열화 모형 예는 Escobar et al. (2003)의 예를 본보기로 합니다.

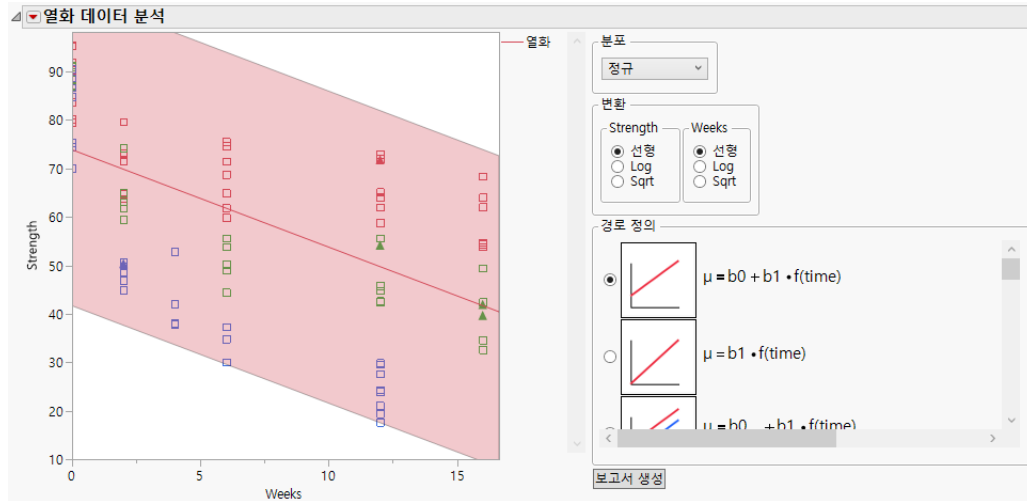
이 예는 다음과 같은 세 단계로 구성됩니다.

- " 초기 분석 수행 "
- " 모형 변경 및 보고서 생성 "
- " 예측 프로파일러 사용 "

초기 분석 수행

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Adhesive Bond.jmp 를 엽니다 .
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 파괴 열화**를 선택합니다 .
3. Strength 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다 .
4. Weeks 를 선택하고 **시간**을 클릭합니다 .
5. Degrees 를 선택하고 **X**를 클릭합니다 .
온도는 실험의 가속 요인입니다 .
6. Censor 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다 .
중도절단 코드가 "Right" 로 설정되어 있습니다 .
7. **확인**을 클릭합니다 .

그림 9.2 초기 열화 그림



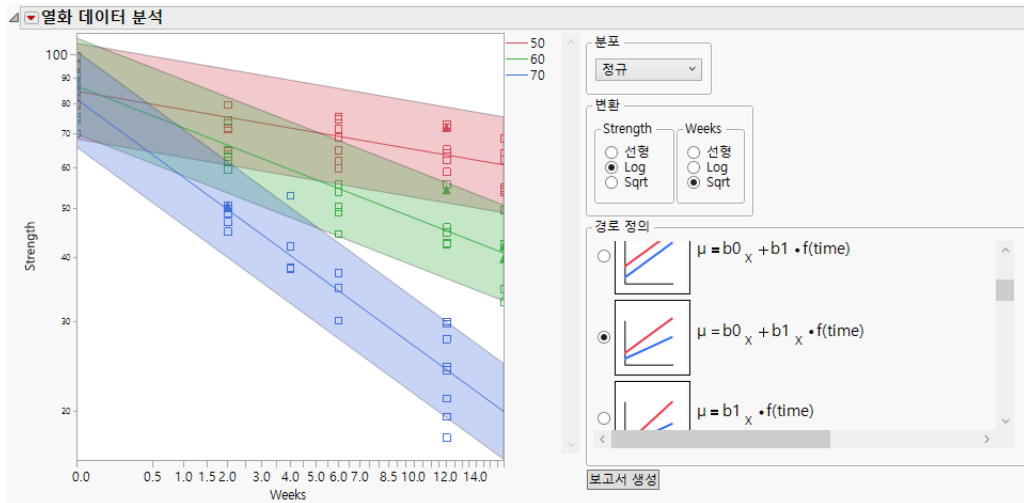
플랫폼에서는 기본 모형을 지정합니다. 기본 모형은 위치 모수가 시간의 선형 함수인 단일 정규 분포에 의해 데이터가 설명된다고 가정합니다.

모형 변경 및 보고서 생성

1. Y(Strength) "변환" 에서 **Log** 를 선택합니다.
2. 시간 (Weeks) "변환" 에서 **Sqrt** 를 선택합니다.
3. " 경로 정의 " 에서 " $\mu = b0_x + b1_x * f(\text{time})$ " 을 선택합니다.
아래 첨자 "x" 는 가속 변수를 나타내며 이 예에서는 Degrees 입니다.

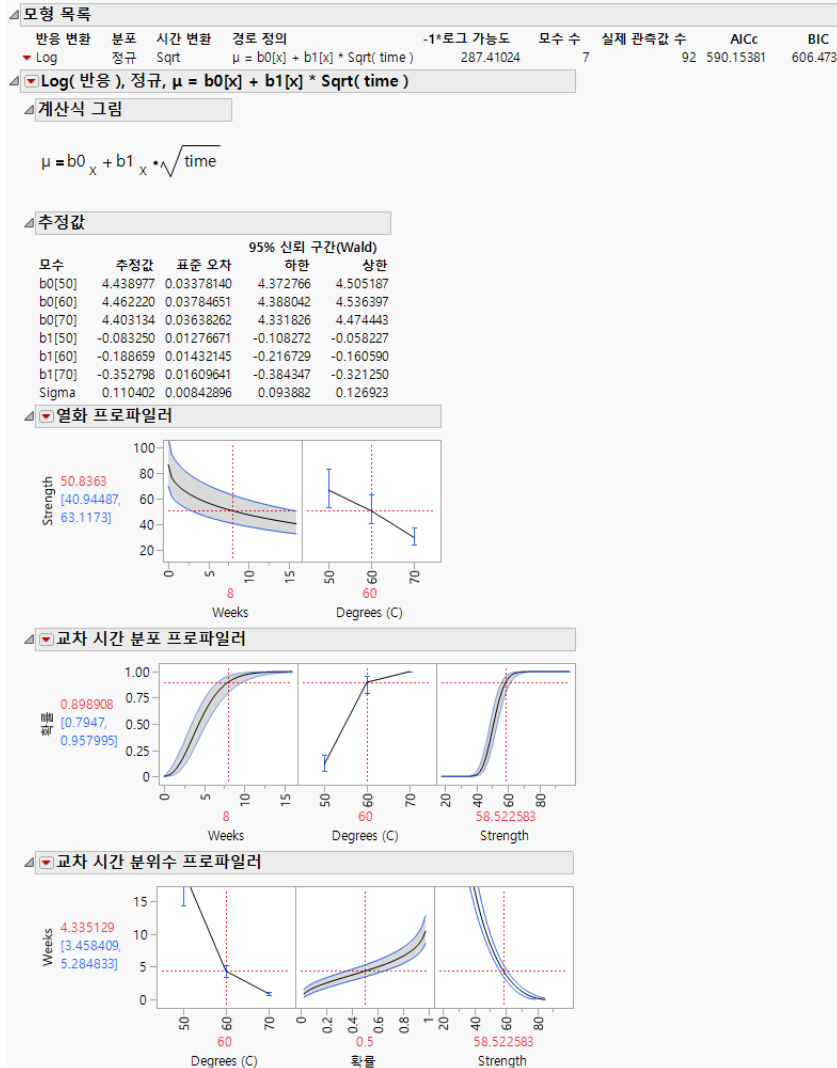
참고 : 이 모형은 모든 모수에서 선형입니다.

그림 9.3 모형을 보여 주는 그림



4. 보고서 생성을 클릭합니다.

그림 9.4 기본 모형에 대한 보고서



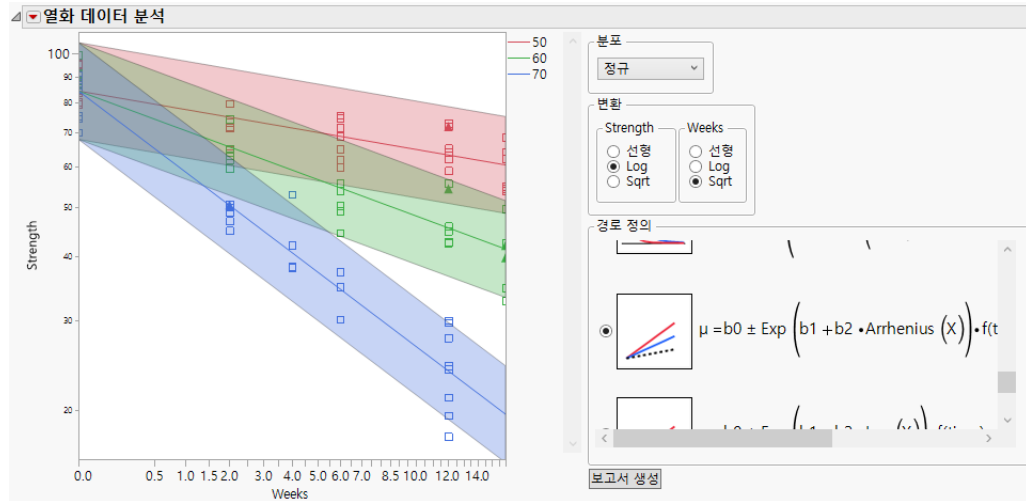
Degrees 의 세 값에서 기울기 b1 의 추정값은 온도가 높을수록 열화가 더 빠르게 발생한다는 것을 나타냅니다. 화학 공정에 의존하는 고장 메커니즘은 보통 아레니우스 온도 모형을 사용하여 잘 모델링됩니다. 따라서 섭씨 척도로 측정되는 Degrees 에 아레니우스 변환이 적용되는 모형을 적합시킵니다.

5. " 경로 정의 " 에서 " $\mu = b0 \pm \text{Exp}(b1 + b2 * \text{Arrhenius}(X)) * f(\text{time})$ " 을 선택합니다 .

참고 : 이 모형은 모수에서 선형이 아닙니다 .

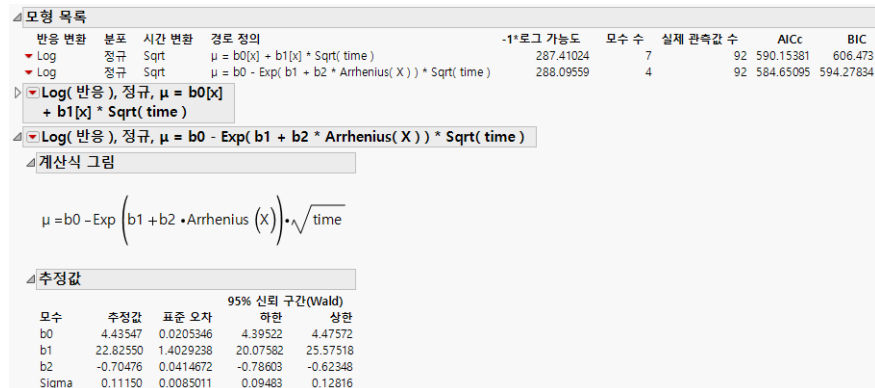
6. **섭씨**를 선택하고 **확인**을 클릭합니다 .

그림 9.5 아레니우스 변환이 적용된 모형을 보여 주는 그림



7. 보고서 생성을 클릭합니다.

그림 9.6 아레니우스 변환이 적용된 두 번째 모형을 포함하는 보고서



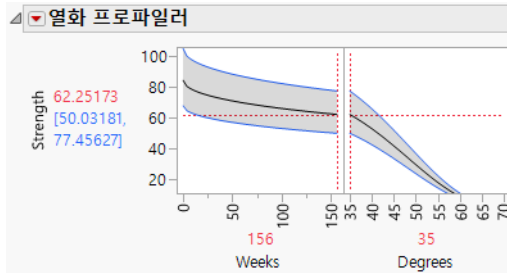
예측 프로파일러 사용

더 작은 AICc 및 BIC 값(그림 9.6)에서 알 수 있듯이 아레니우스 모형이 더 나은 적합을 나타내므로 이 모형을 사용하여 분석을 계속합니다.

강도가 50 뉴턴보다 작으면 고장으로 간주됩니다. 섭씨 35 도의 기준 온도에서 156 주 (3 년) 동안 지속되는 유닛에 관심이 있습니다. 이러한 값을 반영하도록 프로파일러에서 설정을 변경합니다. 각 그림의 가로 축 아래에 있는 빨간색 값을 클릭하고 새 값을 입력합니다.

1. 아레니우스 모형의 "열화 프로파일러"에서 **Weeks** 를 "156" 으로, **Degrees** 를 "35" 로 설정합니다.

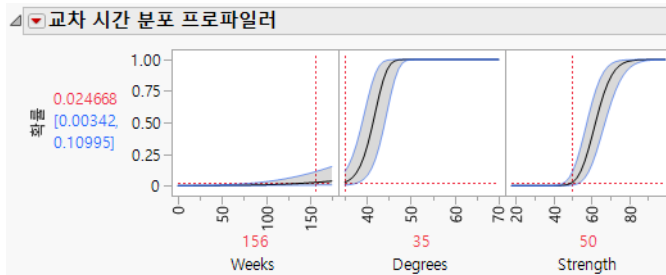
그림 9.7 열화 프로파일러



이러한 설정에서 예측 **Strength** 는 62.25173 이며, 95% 예측 구간 범위는 50.03181 ~ 77.45627 입니다. 이러한 극단 설정 이하에서는 고장이 발생할 가능성이 매우 낮습니다.

2. "교차 시간 분포 프로파일러" 에서 **Weeks** 를 "156", **Degrees** 를 "35", **Strength** 를 "50" 으로 각각 설정합니다.

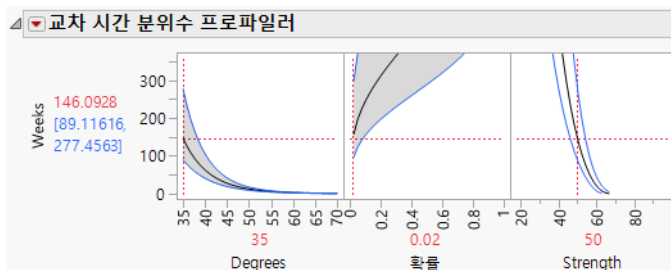
그림 9.8 교차 시간 분포 프로파일러



섭씨 35 도 온도일 때 156 주의 **Strength** 값이 50 미만일 확률은 0.024668 입니다. 95% 신뢰 구간 범위는 0.00342 ~ 0.10995 입니다. 이러한 극단 조건 이하에서 고장이 발생할 확률은 약 2% 입니다.

3. "교차 시간 분위수 프로파일러" 에서 **Degrees** 를 "35", **확률** 을 "0.02", **Strength** 를 "50" 으로 각각 설정합니다.
4. 최대값이 약 350 이 되도록 "교차 시간 분위수 프로파일러" 의 세로 축을 조정합니다.

그림 9.9 교차 시간 분위수 프로파일러



섭씨 35도의 온도에서 유닛의 2%가 고장 나는 주 수는 146.0928로 추정됩니다. 95% 신뢰 구간 범위는 89.11616 ~ 277.4563입니다.

파괴 열화 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 파괴 열화를 선택하여 파괴 열화 플랫폼을 시작합니다.

그림 9.10 파괴 열화 시작 창

시간 경과에 따른 파괴 열화 데이터를 모델링합니다.

열 선택	선택한 열 역할 지정	작업
<div>4개 열</div> <ul style="list-style-type: none"> Degrees Weeks Censor Strength 	<div>Y, 반응</div> <div>선택적 숫자</div> <div>시간</div> <div>선택적 숫자</div> <div>X</div> <div>선택적</div> <div>빈도</div> <div>선택적 숫자</div> <div>중도절단</div> <div>선택적</div> <div>기준</div> <div>선택적</div>	<div>확인</div> <div>취소</div> <div>제거</div> <div>재호출</div> <div>도움말</div>

중도절단 코드:

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**에서 확인하십시오.

파괴 열화 시작 창에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

Y, 반응 열화 측정값을 포함하는 열을 식별합니다. 반응 값이 구간 중도절단된 경우 두 개의 열을 입력할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**두 개의 Y 열 지정**"에서 확인하십시오.

시간 시간 값을 포함하는 열을 식별합니다.

X 선택적 설명 변수를 식별합니다. Y 분포가 시간 경과에 따라 변할 뿐 아니라 몇몇 다른 변수의 영향도 받는 경우 해당 추가 변수를 X로 제공할 수 있습니다. 이 역할을 사용하여 가속 파괴 열화 모형에서 가속 요인을 지정합니다.

빈도 유닛이 여러 개인 경우 빈도 또는 관측값 수를 식별합니다. 0 또는 양의 정수 값은 지정된 행 설정을 사용한 관측값의 빈도 또는 개수를 나타냅니다.

중도절단 중도절단된 반응 측정값을 식별하는 선택적 열을 나타냅니다. Y 역할에 열이 하나뿐인 경우 이 열은 지정된 행의 반응 Y가 정확 값인지 아니면 오른쪽 중도절단되었는지를 나타냅니다. 오른쪽 중도절단된 관측값은 정확 측정값을 알 수 없지만 해당 행의 Y 값보다 크다고 알려진 관측값입니다.

"중도절단 코드" 메뉴에서 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별하는 값을 선택합니다. 중도절단 열의 다른 값에 해당하는 행은 중도절단되지 않은 것으로 처리됩니다. 결국 중도절단 코드 값이 있는 행은 분석에서 제외됩니다. JMP는 중도절단 코드를 감지하여 목록에 표시하려고 시도합니다.

기준 선택적 기준 변수를 식별합니다. 이 변수의 각 수준에 대해 개별 분석이 생성됩니다.

중도절단 코드 오른쪽 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값을 식별합니다. 중도절단 열이 선택되면 JMP는 자동으로 중도절단 코드를 감지하여 상자에 표시하려고 시도합니다. 이를 변경하려면 빨간색 삼각형을 클릭하고 값 목록에서 선택합니다. 상자에 다른 값을 입력할 수도 있습니다. 중도절단 열에 "값 라벨" 열 특성이 포함된 경우 값 라벨이 값 목록에 나타납니다. 결측값은 분석에서 제외됩니다.

두 개의 Y 열 지정

파괴 열화 플랫폼에서 일부 열화 측정값이 구간 중도절단 또는 왼쪽 중도절단된 경우 두 개의 Y 열을 지정할 수 있습니다. 행이 주어진 경우 두 Y 열의 값에 따라 중도절단 유형이 결정됩니다.

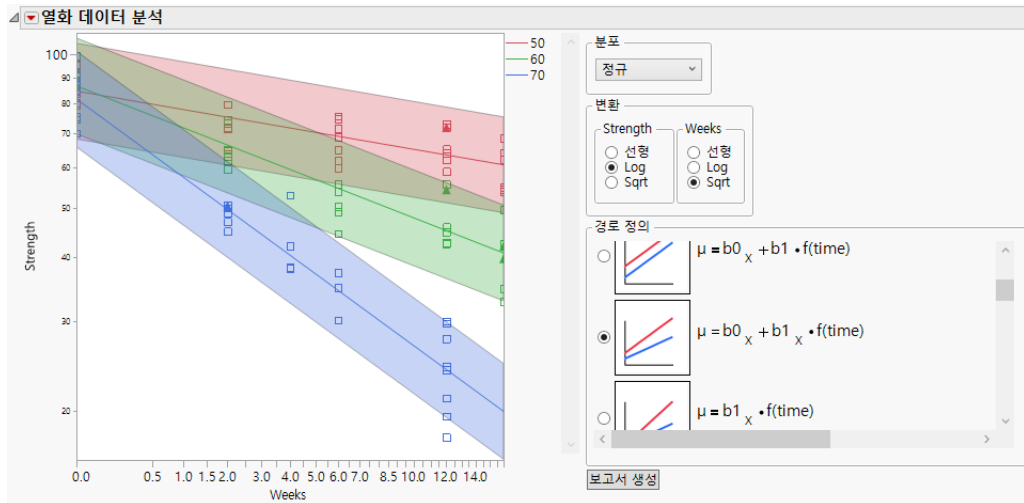
- 두 Y 값이 같고 둘 다 결측값이 없는 경우 공통 측정값은 정확 값으로 처리됩니다.
- 두 Y 값이 다르고 둘 다 결측값이 없는 경우 측정값은 구간 중도절단되고 두 값 사이에 있다고 가정됩니다.
- 첫 번째 값만 결측인 경우 측정값은 왼쪽 중도절단되고 두 번째 값보다 작다고 가정됩니다.
- 두 번째 값만 결측인 경우 측정값은 오른쪽 중도절단되고 첫 번째 값보다 크다고 가정됩니다.

참고: 파괴 열화 플랫폼에서 왼쪽 중도절단 측정값을 적합시키는 방법은 두 개의 Y 열을 사용하는 것입니다.

파괴 열화 그림 옵션 및 모형

"열화 데이터 분석" 그림에는 "분포", "변환" 및 "경로 정의"의 선택에 따라 지정된 모형의 그래픽 표현과 데이터가 표시됩니다. [그림 9.11](#)에 표시된 그림은 선택적 X 변수를 포함하는 모형을 나타냅니다.

그림 9.11 파괴 열화 그림 및 옵션



그림에 대해 다음 사항에 유의하십시오 .

- 데이터 값은 표식으로 나타냅니다 .

표 9.1 표식 설명

아이콘	설명
□	정확 측정값입니다.
▼	왼쪽 중도절단된 관측값이며, 중도절단 관측값이 삼각형 아래에 있음을 나타냅니다. 참고: 열화 플랫폼에서는 관측값이 구간 중도절단된 경우에만 왼쪽 중도절단이 발생합니다 . 자세한 내용은 " 두 개의 Y 열 지정 " 에서 확인하십시오 .
▲	오른쪽 중도절단된 관측값이며, 중도절단 관측값이 삼각형 위에 있음을 나타냅니다.
▼ ▲	구간 중도절단된 관측값이며, 중도절단 값이 지정된 구간 내에 있음을 나타냅니다.

참고 : 기본적으로 표식에 색상이 지정되지 않습니다. 모형 색상 구성과 일치하도록 표식에 색상을 지정하려면 **행 > 열 값에 따른 색상 또는 표식**을 선택합니다. **X** 열을 선택합니다. **연속 색상**을 선택 취소합니다. "색상" 메뉴에서 **JMP 기본 설정**을 선택합니다.

- **X**의 각 수준에 대해 색상 띠가 나타납니다. 모형에 **X** 변수가 포함되어 있지 않으면 단일 띠가 나타납니다. 시간 값이 주어진 경우 이 띠의 상한 및 하한은 적합 **Y** 분포의 0.025 및 0.975 백분위수입니다. 띠 색상은 그림 오른쪽 위의 범례에 표시된 대로 **X** 값에 해당합니다.

참고 : 표식 색상은 데이터 테이블에 할당된 색상 상태에 해당합니다.

- 띠 가운데의 실선 곡선은 시간 경과에 따른 **X**의 해당 값에 대한 적합 **Y** 분포의 중앙값입니다. 모형에 **X** 변수가 포함되어 있지 않으면 이 곡선은 시간 경과에 따른 **Y**의 중앙값을 그림에 표시합니다.

그림 옵션

파괴 열화 플랫폼의 "열화 데이터 분석" 보고서에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

분포 위치 - 척도 또는 로그 - 위치 - 척도 분포를 선택합니다.

참고 : 반응 열에 대해 로그 변환을 지정하는 경우 로그 - 위치 - 척도 분포 모형을 적합시키지 않는 것이 좋습니다.

변환 반응 **Y**와 시간 변수에 대한 변환 함수를 선택합니다.

참고 : 양수가 아닌 값이 포함된 열에 로그 변환을 적용하면 해당 값이 포함된 행이 모형 적합에서 생략됩니다. 음수 값이 포함된 열에 Sqrt 변환을 적용하면 해당 값이 포함된 행이 모형 적합에서 생략됩니다.

경로 정의 회귀 모형에 대한 선형 또는 비선형 경로를 선택합니다. 각 모형에 대한 자세한 내용은 "**모형**"에서 확인하십시오.

보고서 생성 지정된 모형에 대한 보고서를 생성합니다. "보고서 생성"을 처음 선택하면 "모형 목록" 개요가 생성됩니다. "보고서 생성"을 선택하여 다른 모형을 적합시키면 "모형 목록" 개요가 업데이트되고 각 모형에 대한 개요가 추가됩니다.

모형

다음 표에는 파괴 열화 플랫폼의 "경로 정의" 목록에 있는 각 모형에 대한 방정식이 제공됩니다. 각 모형에 대한 설명을 보려면 링크를 클릭하십시오.

참고 : 각 방정식의 왼쪽에 표시된 썸네일 스케치는 시간 경과에 따른 위치 모수 μ 의 동작을 보여주는 일반 그림입니다. 보고서의 주 그림에 나오는 추정된 중앙값 그림은 "분포" 및 "변환"에서 선택한 옵션에 따라 썸네일과 다를 수 있습니다.

표 9.2 모형 방정식

모형	방정식
"절편을 포함한 공통 경로"	$\mu = b_0 + b_1 * f(\text{time})$
"절편을 포함하지 않은 공통 경로"	$\mu = b_1 * f(\text{time})$
"공통 기울기"	$\mu = b_0x + b_1 * f(\text{time})$
"절편을 포함한 개별 경로"	$\mu = b_0x + b_1x * f(\text{time})$
"절편을 포함하지 않은 개별 경로"	$\mu = b_1x * f(\text{time})$
"공통 절편"	$\mu = b_0 + b_1x * f(\text{time})$
"1 차 운동 역학 유형 1"	$\mu = b_0 - b_1 * \text{Exp}[-b_2 * \text{Exp}[b_3 * [\text{Arrhenius}(X_0) - \text{Arrhenius}(X)]] * f(\text{time})]$
"1 차 운동 역학 유형 2"	$\mu = b_0 * [1 - \text{Exp}[-b_1 * \text{Exp}[b_2 * [\text{Arrhenius}(X_0) - \text{Arrhenius}(X)]] * f(\text{time})]]$
"1 차 운동 역학 유형 3"	$\mu = b_0 + b_1 * \text{Exp}[-b_2 * \text{Exp}[b_3 * [\text{Arrhenius}(X_0) - \text{Arrhenius}(X)]] * f(\text{time})]$
"1 차 운동 역학 유형 4"	$\mu = b_0 * \text{Exp}[-b_1 * \text{Exp}[b_2 * [\text{Arrhenius}(X_0) - \text{Arrhenius}(X)]] * f(\text{time})]$
"아레니우스비율"	$\mu = b_0 \pm \text{Exp}[b_1 + b_2 * \text{Arrhenius}(X)] * f(\text{time})$
"다항식 비율"	$\mu = b_0 \pm \text{Exp}[b_1 + b_2 * \text{Log}(X)] * f(\text{time})$
"지수 비율"	$\mu = b_0 \pm \text{Exp}[b_1 + b_2 * X] * f(\text{time})$

변환된 시간에서 선형인 모형

절편을 포함한 공통 경로

이 모형은 변환된 시간에 따라 위치 모수가 선형으로 변하는 단일 분포를 적합시킵니다. 이 모형은 X 변수가 있는지 여부에 관계없이 공통 절편과 공통 기울기를 적합시킵니다.

절편을 포함하지 않은 공통 경로

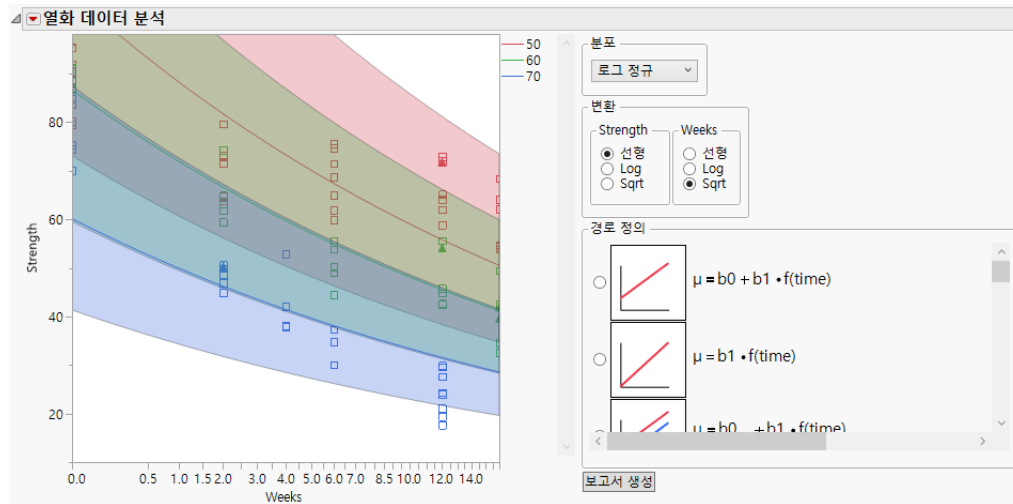
이 모형은 변환된 시간에 따라 위치 모수가 선형으로 변하지만 시간 0에서의 값이 0인 단일 분포를 적합시킵니다. "분포" 및 "변환"에서 선택한 옵션에 따라 중앙값 곡선이 직선이 아닐 수 있으

며 원점을 통과하지 않을 수도 있습니다. 이 모형은 X 변수가 있는지 여부에 관계없이 0 절편과 공통 기울기를 적합시킵니다.

공통 기울기

이 모형에서 위치 모수는 변환된 시간의 선형 함수이며, X 값에 대한 개별 절편이 있지만 기울기가 공통입니다. "분포" 및 "변환"에서 선택한 옵션에 따라 모형 적합이 곡선으로 나타날 수 있습니다. 예를 들어 "로그 정규" 분포를 선택하면 그림 9.12의 그림이 제공됩니다.

그림 9.12 로그 정규 분포를 사용하는 공통 기울기 모형



절편을 포함한 개별 경로

이 모형에서 위치 모수는 변환된 시간의 선형 함수이며, X 값에 대한 개별 절편과 개별 기울기를 갖습니다.

절편을 포함하지 않은 개별 경로

이 모형에서 위치 모수는 변환된 시간의 선형 함수이며, X 값에 대한 0 절편과 개별 기울기를 갖습니다.

공통 절편

이 모형에서 위치 모수는 변환된 시간의 선형 함수이며, X 값에 대한 공통 절편과 개별 기울기를 갖습니다.

1 차 운동 역학 모형

위치 모수가 온도의 아레니우스 변환에 기반한 비선형 함수인 네 가지 1차 운동 역학 모형이 제공됩니다. 이러한 각 위치 모형은 선택적 설명 변수 X의 각 값에 대해 개별 모형을 적합시킵니다.

이러한 모형을 처음 선택할 때 온도의 측정 척도와 기준 온도 값 X_0 를 지정해야 합니다. 지정된 기준 온도는 이러한 모형에서 b_2 의 해석에 영향을 줍니다. b_2 모수는 X_0 에서의 비율 상수입니다. X_0 값은 시간 가속 요인을 생성하는 데 사용됩니다(Meeker & Escobar 1998 참조). 이후에 다른 1차 운동 역학 모형 또는 아레니우스 비율 모형("아레니우스 비율" 참조)을 선택하면 플랫폼에서 이러한 규격을 기억하고 사용합니다.

1 차 운동 역학 유형 1

이 모형에서 b_1 과 b_2 는 양수입니다. 선형 척도에서 곡선은 시간이 무한대에 가까워질수록 b_0 에서 상위 점근선을 갖습니다.

1 차 운동 역학 유형 2

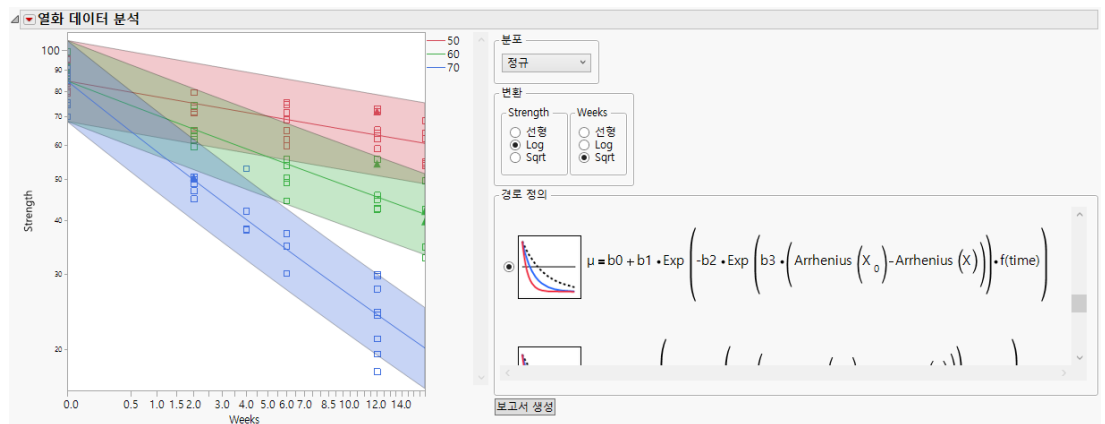
이 모형에서 위치 모수는 시간이 0일 때 0입니다. b_0 과 b_1 은 모두 양수입니다. 선형 척도에서 곡선은 시간이 무한대에 가까워질수록 b_0 에서 상위 점근선을 갖습니다. 유형 2 모형은 유형 1 모형의 수직 이동 버전으로 생각할 수 있습니다.

1 차 운동 역학 유형 3

이 모형에서 b_1 과 b_2 는 모두 양수입니다. b_1 앞의 부호가 유형 1 모형에서 b_1 앞의 부호와 반대이므로 이 모형은 유형 1 모형의 반전된 버전입니다. 선형 척도에서 시간이 무한대에 가까워질수록 b_0 에서 하위 점근선을 갖습니다.

시간 경과에 따라 음의 기울기를 나타내는 데이터가 주어진 경우 적합 모형은 그림 9.13과 비슷한 그림을 생성할 수 있습니다. 이 그림은 Adhesive Bond.jmp를 사용하여 생성되었습니다. 선택된 온도 측정 척도는 "섭씨"이고 일반 사용 조건에서 지정된 기준 온도는 35도입니다.

그림 9.13 1 차 운동 역학 모형 유형 3의 예



1 차 운동 역학 유형 4

이 모형은 유형 3 모형의 수직 이동 버전입니다. 선형 척도에서 곡선은 시간이 무한대에 가까워질수록 0에서 하위 점근선을 갖습니다.

비율 모형

위치 모수가 변환된 X 변수의 지수 함수인 세 가지 모형이 제공됩니다. 이러한 각 위치 모형은 선택적 설명 변수 X의 각 값에 대해 공통 질편 및 개별 기울기 모형을 적합시킵니다. 이러한 각 모형의 경우 선형 척도에서 위치 모수는 변환된 시간 값에서 선형입니다.

아레니우스 비율

이 모형은 아레니우스 변환에 변환된 시간을 곱한 지수 함수를 포함합니다. 이 모형을 선택하면 온도의 측정 척도를 지정하라는 메시지가 표시됩니다(이 정보를 아직 제공하지 않은 경우).

다항식 비율

이 모형은 X 로그의 선형 함수에 변환된 시간을 곱한 지수 함수를 포함합니다.

지수 비율

이 모형은 X의 선형 함수에 변환된 시간을 곱한 지수 함수를 포함합니다.

파괴 열화 보고서

파괴 열화 플랫폼 보고서에는 적합한 각 모형에 대한 섹션이 포함됩니다. 모형을 적합시키면 "모형 목록"이 해당 모형에 대한 행으로 업데이트됩니다.

참고: 모든 모형은 최대 가능도 방법을 사용하여 적합됩니다.

그림 9.14 모형 목록 및 모형 개요

모형 목록									
반응 변환	분포	시간 변환	경로 정의	-1*로그 가능도	모수 수	실제 관측값 수	AICc	BIC	
▼ Log	정규	Sqrt	$\mu = b0[x] + b1[x] * \text{Sqrt}(\text{time})$	287.41024	7	92	590.15381	606.473	
▼ Log	정규	Sqrt	$\mu = b0 - \text{Exp}(b1 + b2 * \text{Arrhenius}(X)) * \text{Sqrt}(\text{time})$	288.09559	4	92	584.65095	594.27834	
▶ Log(반응), 정규, $\mu = b0[x] + b1[x] * \text{Sqrt}(\text{time})$									
▶ Log(반응), 정규, $\mu = b0 - \text{Exp}(b1 + b2 * \text{Arrhenius}(X)) * \text{Sqrt}(\text{time})$									

모형 목록

파괴 열화 플랫폼에서 "모형 목록" 보고서의 처음 네 개 열은 그림 옵션에서 선택한 내용을 반영합니다. -1*로그 가능도, AICc 및 BIC 통계량은 모형 비교에 사용할 수 있는 정보 기반 척도입니다. 이러한 척도에 대한 설명은 선형 모형 적합에서 확인하십시오.

비교 대상 모형의 실제 관측값 수가 동일한 경우 "모형 목록"의 세 가지 정보 기반 척도는 모형 간에 서로 비슷합니다. 그렇지 않은 경우에는 모형마다 사용하는 부분집합이 다를 수 있으므로 주의해야 합니다. 분포 또는 변환 선택으로 인해 실제 관측값 수가 줄어들 수 있습니다. 로그-위

치-척도 분포를 선택하면 양수가 아닌 모든 Y 값이 제외됩니다. 또한 Log 및 Sqrt 변환은 양수가 아닌 모든 값을 제외합니다.

"모형 목록" 테이블의 각 행에는 다음 옵션이 포함된 빨간색 삼각형 메뉴가 있습니다.

다음으로 스크롤 보고서를 해당 모형 개요로 스크롤합니다.

제거 "모형 목록"에서 모형을 제거하고 보고서에서 해당 모형 개요를 제거합니다.

모형 개요

파괴 열화 플랫폼 보고서의 각 모형 섹션에는 다음 옵션이 포함된 빨간색 삼각형 메뉴가 있습니다.

제거 보고서에서 모형 개요를 제거하고 "모형 목록"에서 모형을 제거합니다.

각 모형의 개요에는 다음 보고서가 포함됩니다.

계산식 그림 위치 모수에 대한 방정식을 표시합니다.

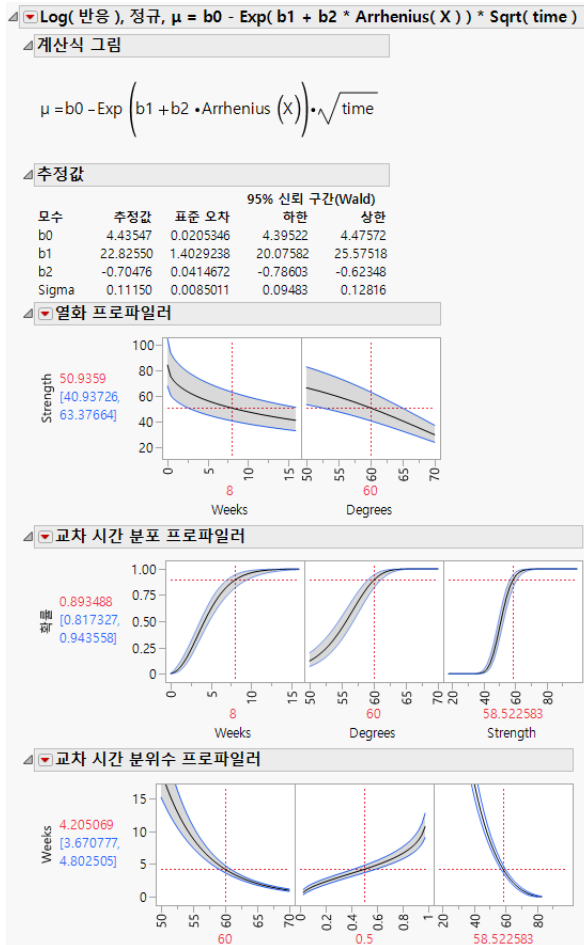
추정값 모수 추정값 및 표준 오차를 표시합니다. 이 보고서에는 모수에 대한 95% Wald 기반 신뢰 구간도 포함됩니다.

참고 : 기준 온도 (X_0)를 지정하는 경우 이 값도 "추정값" 보고서 맨 위에 표시됩니다.

분포, 분위수 및 역추정 예측 프로파일러에 대한 자세한 내용은 "[프로파일러](#)"에서 확인하십시오.

잔차 그림 잔차 그림에 대한 자세한 내용은 "[잔차 그림](#)"에서 확인하십시오.

그림 9.15 모형 개요 내의 보고서



프로파일러

세 개의 프로파일러가 모형 보고서에 나타납니다.

열화 프로파일러

"열화 프로파일러"에는 지정된 모형에 대한 열화 데이터 분석 그림의 프로파일러 보기가 표시됩니다. 반응은 열화 반응 Y입니다. 이 프로파일러에는 시간 변수에 대한 그림과 선택적 설명 변수 X(지정한 경우)에 대한 그림이 포함됩니다. 시간에 대한 그림은 적합 Y 분포의 중앙값을 실선 곡선으로 표시합니다. 파선 곡선은 적합 Y 분포의 0.025 및 0.975 백분위수를 표시합니다.

교차 시간 분포 프로파일러

교차 시간 분포 프로파일러를 사용하면 특정 시점에서 열화 측정값이 주어진 임계 아래로 떨어질 확률을 확인할 수 있습니다.

이 프로파일러는 반응 Y 의 추정된 누적 분포 함수를 시간, 선택적 X 변수 및 Y 의 함수로 보여 줍니다. 시간 그림과 Y 그림에는 Wald 신뢰 구간이 표시됩니다.

교차 시간 분위수 프로파일러

교차 시간 분위수 프로파일러를 사용하면 지정된 비율의 측정값이 주어진 임계값 아래로 떨어지는 시간을 확인할 수 있습니다.

이 프로파일러는 추정된 시간을 선택적 X 변수, Y 의 분위수 값(확률) 및 Y 의 함수로 보여 줍니다. 확률 그림과 Y 그림에는 Wald 신뢰 구간이 표시됩니다.

잔차 그림

네 개의 잔차 그림이 모형 보고서에 나타납니다. 이러한 그림을 사용하여 모형에 대한 분포 가정을 검증할 수 있습니다. 표준화 잔차에 대한 자세한 내용은 ["파괴 열화 플랫폼에 대한 통계 상세 정보"](#)에서 확인하십시오.

Cox-Snell 잔차 P-P 그림

점이 대각선에서 멀리 벗어나면 분포 가정에 위배될 수 있습니다. "Cox-Snell 잔차 P-P 그림"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 잔차 데이터를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 "잔차 저장" 옵션이 있습니다. Cox-Snell 잔차에 대한 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, sec. 17.6.1)에서 확인하십시오.

표준화 잔차의 확률도

점이 대각선에서 멀리 벗어나면 분포 가정에 위배될 수 있습니다. "표준화 잔차의 확률도"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 잔차 데이터를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 "잔차 저장" 옵션이 있습니다.

표준화 잔차 대 시간

"표준화 잔차 대 시간" 그림을 사용하여 시간 경과에 따른 변동성 차이를 검토할 수 있습니다. "표준화 잔차 대 시간"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 잔차 데이터를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 "잔차 저장" 옵션이 있습니다.

표준화 잔차 대 예측값

"표준화 잔차 대 예측값" 그림을 사용하여 예측값 범위에서 변동성 차이를 검토할 수 있습니다. "표준화 잔차 대 예측값"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 잔차 데이터를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 "잔차 저장" 옵션이 있습니다.

파괴 열화 플랫폼 옵션

파괴 열화 플랫폼에서 "열화 데이터 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

그래프 옵션 플랫폼 그래프를 수정하기 위한 옵션을 제공합니다.

음영 음영을 설정하거나 해제합니다. 기본적으로 주어진 시간 값에서 각 음영 대역의 상한 및 하한은 Y 분포의 0.025 및 0.975 분위수에 해당합니다.

음영 포함 범위 음영이 설정된 경우 음영 적용 범위를 늘리거나 줄이기 위한 비율을 입력할 수 있습니다.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**의 에서 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.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

파괴 열화 플랫폼에 대한 통계 상세 정보

파괴 열화 모형은 다음과 같이 표현할 수 있습니다.

$$g(Y) \sim F(\mu, \sigma)$$

$$\mu = h(f(\text{Time}), X)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

- $g(Y)$ - 변환된 Y 변수
- F - 선택한 확률 분포
- μ - h 로 정의되는 위치 모수
- h - 변환된 시간 변수와 설명 변수 X 를 관련짓는 함수
- σ - 분포의 척도 모수

- $f(\text{Time})$ - 변환된 시간 변수
- X - 선택적 설명 변수

표준화 잔차는 다음과 같이 구합니다.

- 위치 - 척도 분포의 경우 표준화 잔차는 $(y-\mu)/\sigma$ 입니다.
- 로그 - 위치 - 척도 분포의 경우 표준화 잔차는 $(\log(y)-\mu)/\sigma$ 입니다.

10 장

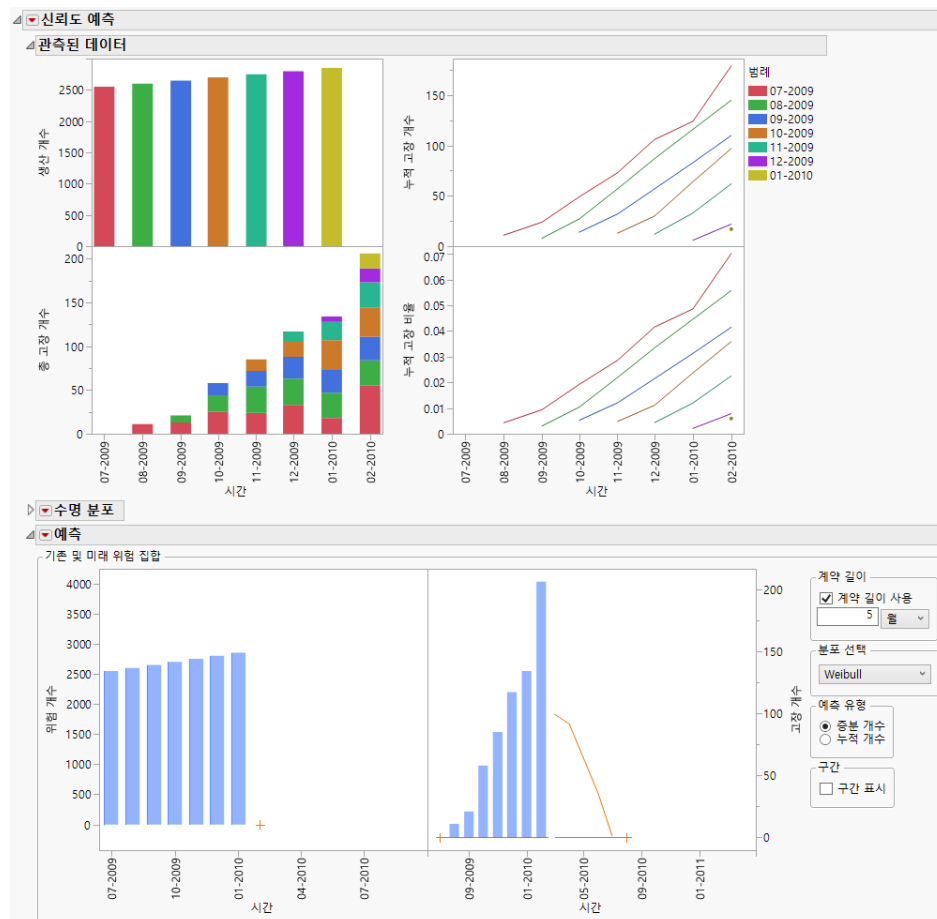
신뢰도 예측

생산 및 고장 데이터를 사용하여 제품 고장 예측

신뢰도 예측 플랫폼을 사용하면 미래 고장 횟수를 예측할 수 있습니다. 수명 분포에 대한 모수는 생산 날짜, 고장 날짜 및 생산량을 사용하여 추정됩니다.

대화식 그래프를 사용하면 미래 생산량 및 계약 기간과 같은 요인을 조정하여 미래 고장을 추정할 수 있습니다. 수리 비용을 분석에 통합하여 고장 난 모든 유닛의 총 수리 비용을 예측할 수 있습니다.

그림 10.1 신뢰도 예측의 예



목차

신뢰도 예측 플랫폼 개요..... 241

신뢰도 예측 플랫폼의 예..... 241

신뢰도 예측 플랫폼 시작..... 244

신뢰도 예측 보고서 247

 관측된 데이터 보고서 247

 수명 분포 보고서 248

 예측 보고서..... 248

신뢰도 예측 플랫폼 옵션..... 252

신뢰도 예측 플랫폼의 추가 예 253

신뢰도 예측 플랫폼 개요

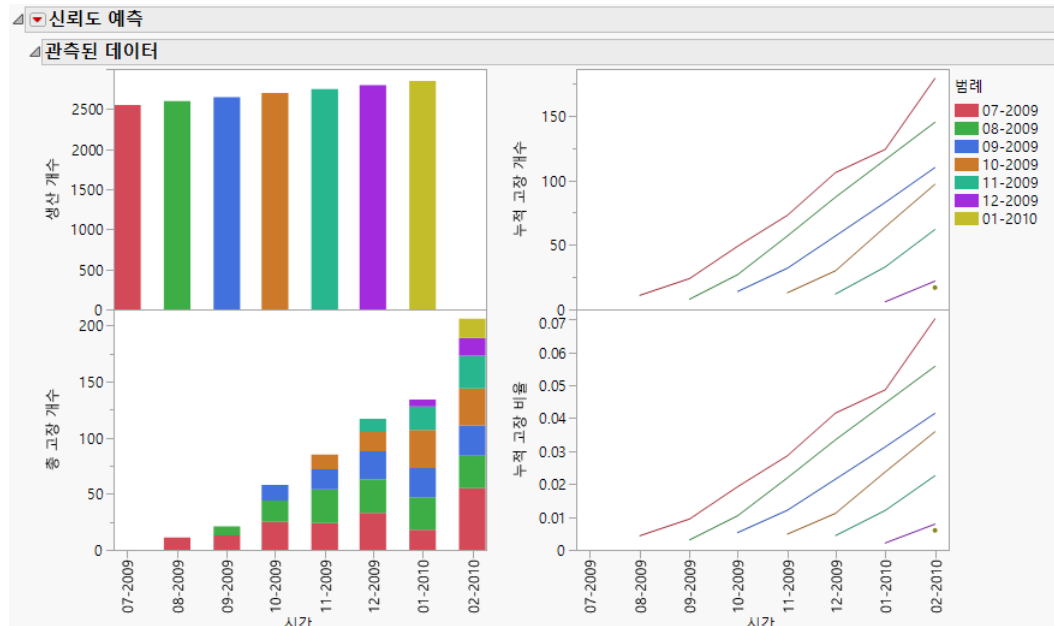
신뢰도 예측 플랫폼을 사용하면 미래 고장 횟수를 예측할 수 있습니다. 수명 분포에 대한 모수는 생산 날짜, 고장 날짜 및 생산량을 사용하여 추정됩니다. 대화식 그래프를 사용하면 미래 생산량 및 계약 기간과 같은 요인을 조정하여 미래 고장을 추정할 수 있습니다. 수리 비용을 분석에 통합하여 고장 난 모든 유닛의 총 수리 비용을 예측할 수 있습니다.

신뢰도 예측 플랫폼의 예

7 개월 간의 생산 및 반환 데이터가 있습니다. 이 정보를 사용하여 2011 년 2 월까지 수리를 위해 반환될 총 유닛 수를 예측하려고 합니다. 제품 계약 기간은 12 개월입니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Small Production.jsp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 신뢰도 예측**을 선택합니다.
3. **Nevada 형식** 탭에서 Sold Quantity 를 선택하고 **생산 개수**를 클릭합니다.
4. Sold Month 를 선택하고 **타임스탬프**를 클릭합니다.
5. 다른 열을 선택하고 **고장 개수**를 클릭합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.

그림 10.2 관측된 데이터 보고서

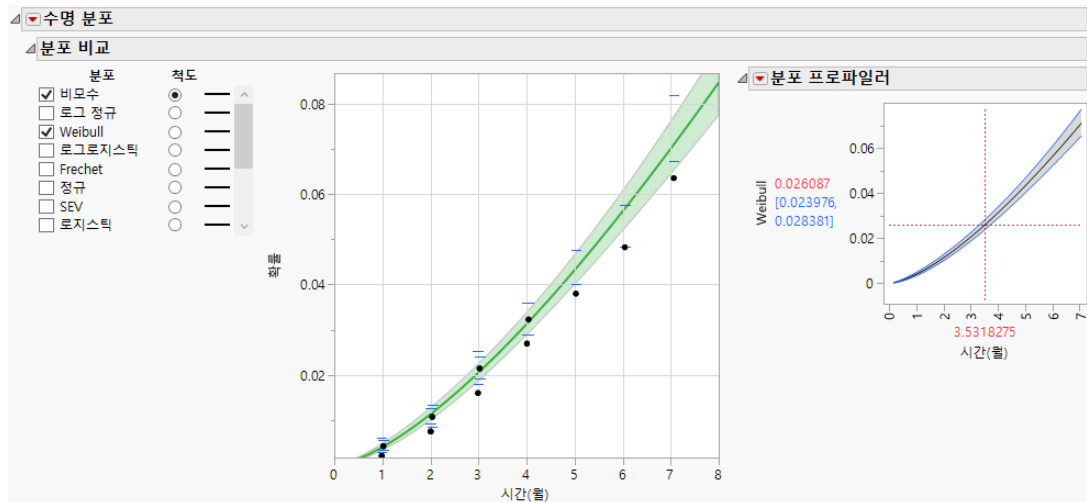


" 관측된 데이터 " 보고서의 왼쪽 아래에는 이전 고장에 대한 막대 차트가 표시됩니다. 누적 고장은 오른쪽의 선 그래프에 표시됩니다. 생산 수준은 상당히 일관됩니다. 시간 경과에 따라 생산이 누적되면 더 많은 유닛이 고장 위험에 노출되므로 누적 고장 비율이 서서히 증가합니다. 일관된 생산 수준으로 인해 월별 누적 고장 비율과 고장 개수도 비슷한 결과를 보입니다.

7. 수명 분포 표시 아이콘을 클릭합니다.

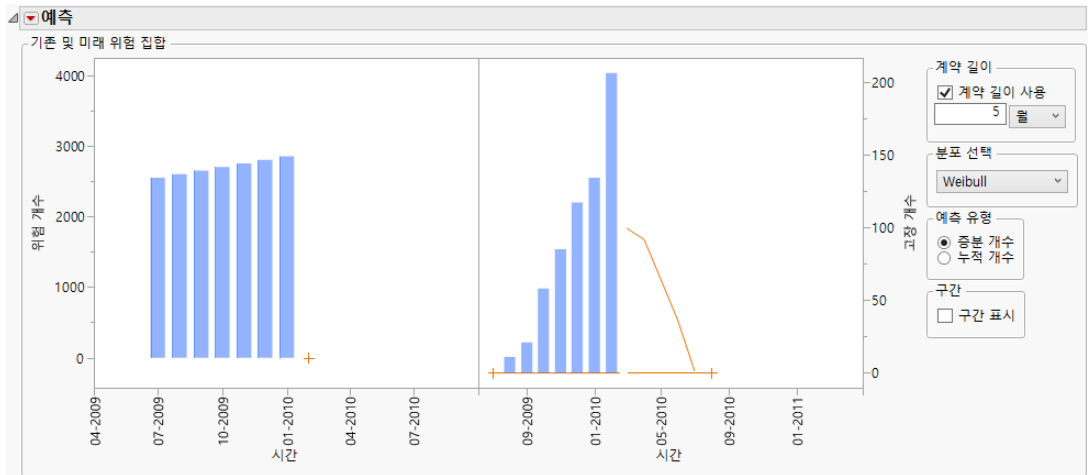
JMP에서는 수명 분포 플랫폼을 사용하여 Weibull 분포로 생산 및 고장 데이터를 적합시킵니다 (그림 10.3). 그런 다음 적합된 Weibull 분포를 사용하여 다음 5 개월 동안의 반환을 예측합니다 (그림 10.4).

그림 10.3 수명 분포 보고서



" 예측 " 보고서의 왼쪽 그래프에는 이전 생산이 표시됩니다 (그림 10.4). 오른쪽 그래프에서는 시간 경과에 따라 이전 고장 개수가 꾸준히 증가했음을 알 수 있습니다.

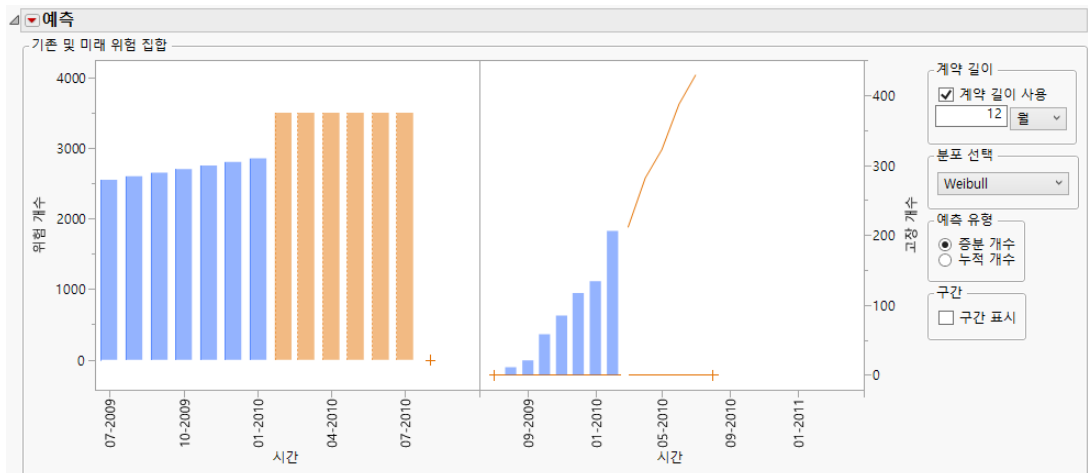
그림 10.4 예측 보고서



8. " 예측 " 보고서에서 " 계약 기간 " 에 "12" 를 입력합니다 .
9. 왼쪽 예측 그래프에서 애니메이션 핫 스폿을 2010 년 7 월로 드래그하고 약 3500 까지 위로 올립니다 .

왼쪽 그래프에 미래 생산을 나타내는 주황색 막대가 나타납니다. 오른쪽 그래프의 월별 반환 고장은 2010 년 8 월까지 서서히 증가합니다 .

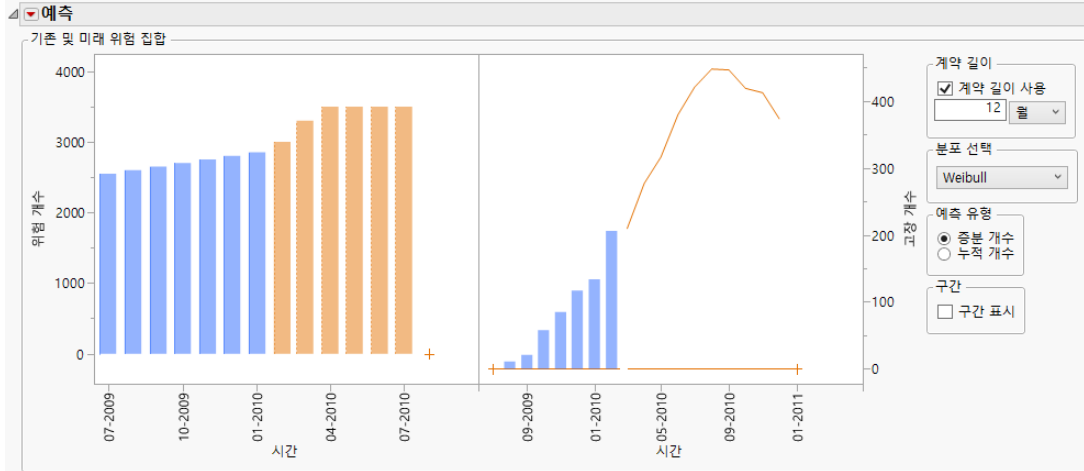
그림 10.5 생산 및 고장 추정값



10. 왼쪽 그래프에서 2010 년 2 월 핫 스폿을 약 3000 으로 드래그한 후 2010 년 3 월 핫 스폿을 약 3300 으로 드래그합니다 .
11. 오른쪽 그래프에서 오른쪽 핫 스폿을 2011 년 2 월로 드래그합니다 .

JMP에서는 반환 수가 2010 년 8 월까지 서서히 증가하다가 2011 년 2 월까지 감소할 것으로 추정합니다.

그림 10.6 미래 생산 개수 및 예측 고장 수



신뢰도 예측 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 신뢰도 예측을 선택하여 신뢰도 예측 플랫폼을 시작합니다.

그림 10.7 신뢰도 예측 시작 창

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용에서 확인하십시오.

시작 창에는 Nevada, 날짜 및 사건 발생 시간(고장 시간 데이터)이라는 각 계약 데이터 형식에 대한 탭이 있습니다. 다음 섹션에서는 이러한 형식에 대해 설명합니다.

Nevada 형식

계약 데이터는 일반적으로 Nevada 형식으로 저장됩니다. 배송 또는 생산 날짜와 지정된 기간 내의 고장 개수가 Nevada 주와 비슷한 모양입니다. [그림 10.8](#)에서는 Small Production.jmp 샘플 데이터 테이블을 보여 줍니다.

그림 10.8 Nevada 형식의 예

	Sold Quantity	Sold Month	08/2009	09/2009	10/2009	11/2009	12/2009	01/2010	02/2010
1	2550	07-2009	11	13	25	24	33	18	55
2	2600	08-2009	0	8	19	30	30	29	29
3	2650	09-2009	0	0	14	18	25	26	27
4	2700	10-2009	0	0	0	13	17	34	33
5	2750	11-2009	0	0	0	0	12	21	29
6	2800	12-2009	0	0	0	0	0	6	16
7	2850	01-2010	0	0	0	0	0	0	17

"Nevada 형식" 탭에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

구간 중도절단 고장 반환된 수량을 구간 중도절단된 것으로 간주합니다. 구간은 마지막 기록 시간과 고장 관측 시간 사이입니다. 이 옵션은 기본적으로 선택되어 있습니다.

수명 시간 단위 반환 개수에 대한 열 제목을 포함하여 모든 타임스탬프의 실제 날짜 / 시간 형식입니다. 플랫폼에서는 단계 증분을 예측하는 데 이 설정을 사용합니다.

생산 개수 생산된 유닛 수를 식별하는 열입니다.

타임스탬프 생산 날짜를 포함하는 열입니다.

고장 개수 고장 난 유닛 수를 포함하는 열입니다.

그룹 ID 관측값이 그룹화되는 기준 열입니다. 각 그룹마다 고유한 분포 적합 및 예측이 있습니다. 결합 예측도 포함됩니다.

날짜 형식

날짜 형식은 생산 날짜와 고장 날짜에 초점을 맞춥니다. 하나의 데이터 테이블에는 각 기간에 대한 생산 개수가 지정됩니다. 다른 테이블에는 고장 날짜, 고장 개수 및 해당 고장의 생산 시간이 제공됩니다.

[그림 10.9](#)에서는 Small Production part1.jmp 및 Small Production part2.jmp 샘플 데이터 테이블을 보여 줍니다.

그림 10.9 날짜 형식의 예
생산 데이터

	Sold Quantity	Sold Month
1	2550	07-2009
2	2600	08-2009
3	2650	09-2009
4	2700	10-2009
5	2750	11-2009
6	2800	12-2009
7	2850	01-2010

고장 데이터

Return Month	Return Quantity	Return Month
0005-00	11	0005-80
0005-00	13	0005-80
0005-00	25	0005-01
0005-00	45	0005-11
0005-00	33	0005-11
0005-00	18	0105-10
0005-00	22	0105-10

"날짜 형식" 탭은 "생산 데이터" 섹션과 "고장 데이터" 섹션으로 구분됩니다.

생산 데이터

테이블 선택 유닛 수와 생산 날짜가 포함된 테이블을 선택합니다.

고장 데이터

테이블 선택 고장 난 유닛 수, 생산 날짜 및 고장 날짜와 같은 고장 데이터가 포함된 테이블을 선택합니다.

왼쪽 중도절단 중도절단된 관측값을 식별하는 열입니다.

타임스탬프 생산 관측값을 고장 관측값에 연결하는 열이며, 고장 난 유닛이 나온 배치를 나타냅니다.

중도절단 코드 오른쪽 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값입니다. 중도절단 열이 선택되면 JMP는 자동으로 중도절단 코드를 감지하여 상자에 표시하려고 시도합니다. 이를 변경하려면 빨간색 삼각형을 클릭하고 값 목록에서 선택합니다. 상자에 다른 값을 입력할 수도 있습니다. 중도절단 열에 "값 라벨" 열 특성이 포함된 경우 값 라벨이 값 목록에 나타납니다. 결측값은 분석에서 제외됩니다.

다른 옵션은 "Nevada 형식" 탭의 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 "**Nevada 형식**"에서 확인하십시오.

사건 발생 시간 형식

사건 발생 시간 형식은 생산 및 고장 데이터를 표시합니다. Nevada 및 날짜 형식과 달리 사건 발생 시간 데이터는 생산 또는 고장 날짜와 같은 날짜/시간 정보를 포함하지 않습니다. 이 형식은 데이터에 임의의 중도절단 체계도 수용할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**사건 발생 시간 데이터로 위험 집합 정의**"에서 확인하십시오.

그림 10.10에서는 Small Production Time to Event.jmp 샘플 데이터 테이블을 보여 줍니다. 사건 발생 시간 데이터를 사용하는 예는 "**신뢰도 예측 플랫폼의 추가 예**"에서 확인하십시오.

그림 10.10 사건 발생 시간 형식의 예

시작 시간 종료 시간 고장
개수

	시간(월)	시간 오른쪽	빈도	타임스탬프
1	0	1.0184804928	11	07-2009
2	1.0184804928	2.0369609856	13	07-2009
3	2.0369609856	3.022587269	25	07-2009
4	3.022587269	4.0410677618	24	07-2009
5	4.0410677618	5.0266940452	33	07-2009
6	5.0266940452	6.045174538	18	07-2009
7	6.045174538	7.0636550308	55	07-2009
8	7.0636550308		2371	07-2009

"사건 발생 시간 형식" 탭에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

예측 시작 시간 예측이 시작되는 시간입니다. 가로 축에 사용할 첫 번째 값을 입력합니다. 예측을 활성화하려면 "수명 시간 단위"에 "숫자"를 선택하고 "예측 시작 시간"을 "0"으로 설정해야 합니다.

중도절단 코드 중도절단된 관측값의 코드입니다. **중도절단** 변수를 할당하는 경우에만 사용할 수 있습니다.

다른 옵션은 "Nevada 형식" 탭의 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 "[Nevada 형식](#)"에서 확인하십시오.

신뢰도 예측 보고서

"신뢰도 예측" 보고서에는 "관측된 데이터", "수명 분포" 및 "예측" 보고서가 포함됩니다. 이러한 보고서를 통해 현재 데이터를 보고, 분포를 비교하여 올바른 적합을 찾는 다음, 예측에 영향을 주는 요인을 조정할 수 있습니다. 재무 예측에 사용하기 위해 예측을 데이터 테이블에 저장할 수도 있습니다. 보고서의 예는 [그림 10.1](#)에서 확인하십시오.

"신뢰도 예측"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 관측된 데이터를 날짜별로 필터링하고 데이터를 다른 형식으로 저장하기 위한 옵션이 포함되어 있습니다. 자세한 내용은 "[신뢰도 예측 플랫폼 옵션](#)"에서 확인하십시오.

관측된 데이터 보고서

신뢰도 예측 플랫폼의 "관측된 데이터" 보고서에서는 Nevada 및 날짜 데이터를 빠르게 확인할 수 있습니다 ([그림 10.11](#)).

- 막대 차트에는 지정된 생산 기간 동안의 생산 및 고장 개수가 표시됩니다.
- 선 차트에는 생산 기간별 누적 예측이 표시됩니다.

참고: 사건 발생 시간 데이터는 생산 또는 고장 날짜와 같은 날짜 / 시간 정보를 포함하지 않으므로 플랫폼에서 이 형식에 대한 "관측된 데이터" 보고서가 생성되지 않습니다.

수명 분포 보고서

신뢰도 예측 플랫폼의 "수명 분포" 보고서를 사용하면 분포를 비교하고 프로파일러를 사용하여 올바른 적합을 찾을 수 있습니다. "예측" 보고서에서 분포를 선택하면 "수명 분포" 보고서가 업데이트됩니다. 이 보고서에 대한 자세한 내용은 "수명 분포"에서 확인하십시오. "수명 분포"장에 설명된 일부 옵션은 신뢰도 예측 플랫폼의 "수명 분포" 보고서에서 사용할 수 없습니다.

예측 보고서

신뢰도 예측 플랫폼의 "예측" 보고서에는 고장을 예측하는 데 도움이 되는 대화식 그래프가 제공됩니다. 핫 스폿을 드래그하면 예상 생산 개수를 추가하고 이로 인해 예측에 미치는 영향을 확인할 수 있습니다.

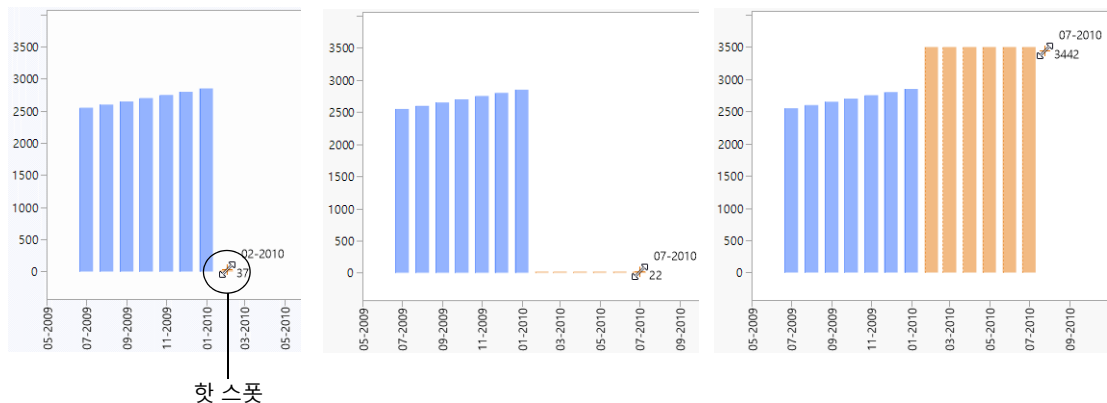
위험 집합 조정

미래 생산

왼쪽 그래프에서 파란색 막대는 이전 생산 개수를 나타냅니다. 예상 생산을 추가하려면 다음 단계를 수행하십시오.

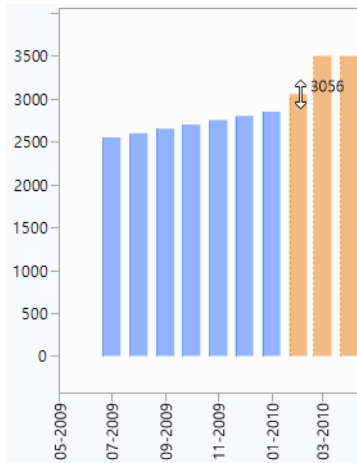
1. 핫 스폿을 오른쪽으로 드래그하여 하나 이상의 생산 기간을 추가합니다.
주황색 막대는 미래 생산을 나타냅니다.

그림 10.11 생산 기간 추가



2. 각 막대를 위쪽 또는 아래쪽으로 드래그하여 각 기간의 생산 개수를 변경합니다.

그림 10.12 생산 개수 조정



팁 : 미래 생산 개수를 조정하려면 "예측"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **위험 집합 스프레드시트 구성**을 선택합니다. 자세한 내용은 "**위험 집합 스프레드시트 구성**"에서 확인하십시오.

기존 생산

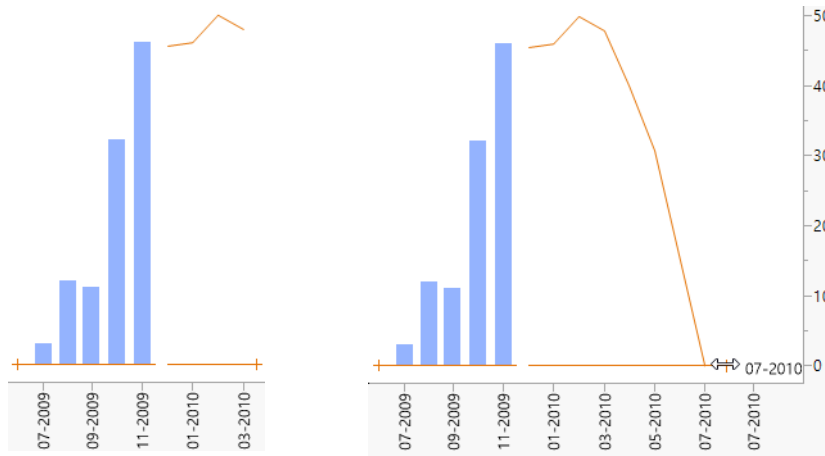
예측 결과에서 위험 집합을 제거하려면 파란색 막대를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **제외**를 선택합니다. 해당 데이터를 위험 집합으로 되돌리려면 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 **포함**을 선택합니다.

팁 : 기존 생산 개수를 조정하려면 "예측"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **위험 집합 스프레드시트 구성**을 선택합니다. 자세한 내용은 "**위험 집합 스프레드시트 구성**"에서 확인하십시오.

고장 예측

왼쪽 그래프에서 생산을 조정하면 오른쪽 그래프가 업데이트되어 미래 고장을 추정합니다(**그림 10.13**). 핫 스폿을 드래그하면 예측 주기를 변경할 수 있습니다. 그러면 주황색 선이 짧아지거나 길어져 추정된 고장 개수를 표시합니다.

그림 10.13 예측 주기 조정



사건 발생 시간 데이터로 위험 집합 정의

"사건 발생 시간 형식" 탭을 사용하여 임의의 위험 집합에 대한 예측을 얻을 수 있습니다. 시작 창의 "사건 발생 시간 형식" 탭에서 "수명 시간 단위"에 "숫자"를 선택하고 "예측 시작 시간"을 "0"으로 설정해야 합니다. "사건 발생 시간", "중도절단", "빈도" 및 "그룹 ID"에 적절한 열을 입력합니다.

왼쪽 그림에는 기존 생산을 나타내는 막대의 위치가 제공됩니다. 0 위치의 핫 스폿을 왼쪽으로 드래그하여 기존 위험 집합을 생성합니다. 1 위치의 핫 스폿을 오른쪽으로 드래그하여 미래 생산 위험 집합을 생성합니다.

"위험 집합 스프레드시트 구성" 옵션을 사용하여 기존 위험 집합과 미래 위험 집합을 지정할 수 있습니다. 사건 발생 시간 데이터의 경우 "미래 위험" 영역에서 기존 위험 집합에 대해 음수 시간 값을 입력해야 합니다. 자세한 내용은 "위험 집합 스프레드시트 구성"에서 확인하십시오.

사건 발생 시간 데이터를 사용하는 예는 "신뢰도 예측 플랫폼의 추가 예"에서 확인하십시오.

예측 그래프 옵션

데이터를 더 자세히 탐색하기 위해 계약 기간, 분포 유형 및 기타 옵션을 변경할 수 있습니다.

- 다른 계약 기간의 고장을 예측하려면 **계약 기간 사용** 옆에 숫자를 입력합니다. 필요한 경우 시간 단위를 변경합니다.
- 분포 적합을 변경하려면 **분포 선택** 목록에서 분포를 선택합니다. 그러면 분포가 미래 위험 그래프에 적합됩니다. "수명 분포" 보고서 그림에 분포 적합이 나타나고 새 프로파일러가 추가됩니다. "수명 분포" 보고서에서 분포 적합을 변경해도 "예측" 그래프의 적합이 변경되지 않습니다.
- 시간 경과에 따른 총 고장 개수에 더 관심이 있으면 **누적 개수**를 선택합니다. 그렇지 않은 경우 JMP는 고장을 점증적으로 표시하므로 추세를 더 쉽게 식별할 수 있습니다.

- 예상 고장 개수에 대한 95% 신뢰 한계를 표시하려면 **구간 표시**를 선택합니다.

예측 보고서 옵션

"예측"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

애니메이션 핫 스팟의 깜박임을 제어합니다. 기존 위험 집합에서 파란색 막대를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **애니메이션**을 선택하거나 선택 취소할 수도 있습니다.

대화식 위험 집합 구성 그래프에서 핫 스팟을 드래그할 수 있는지 여부를 결정합니다.

위험 집합 스프레드시트 구성 생산 개수와 기간을 대화식 그래프에 추가하지 않고 지정할 수 있습니다. 분석에서 생산 기간을 제외할 수도 있습니다.

- 분석에서 기존 기간을 제거하려면 "기존 위험" 영역에서 기간을 강조 표시하고 마우스 오른쪽 버튼을 클릭한 후 **제외**를 선택합니다. 기간을 예측으로 되돌리려면 **포함**을 선택합니다.
- 생산을 편집하려면 해당하는 "미래 위험" 필드를 두 번 클릭하고 새 값을 입력합니다.
- 예측에 생산 기간을 추가하려면 "미래 위험" 영역을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **추가** 옵션 중 하나를 선택합니다. **행 추가**는 한 행을 추가하고, **N 행 추가**를 사용하면 행 수를 지정할 수 있습니다.

이러한 값을 변경하면 그래프가 적절하게 업데이트됩니다.

참고: "사건 발생 시간 형식" 탭을 사용하여 플랫폼을 시작한 경우 "미래 위험" 영역에서 기존 위험 집합의 값을 입력할 때 음수 시간 값을 사용해야 합니다.

미래 위험 집합 가져오기 열려 있는 다른 데이터 테이블에서 미래 생산 데이터를 가져올 수 있습니다. 그러면 미래 위험 그래프에 새 예측이 나타납니다. 가져온 데이터에는 타임스탬프 및 수량에 대한 열이 있어야 합니다.

구간 표시 그래프에 95% 신뢰 한계를 표시하거나 숨깁니다. 이 옵션은 그래프 옆의 **구간 표시**를 선택하는 것과 동일합니다.

예측 구간 유형 ("구간 표시" 옵션을 선택한 경우에만 표시됨) 다음과 같은 구간 유형을 포함합니다.

플러그인 구간 고정 분포가 주어진 경우 예측 오차만 고려합니다.

예측 구간 추정 오차를 사용하여 분포를 추정하는 경우(예: 고정되지 않은 분포) 예측 오차를 고려합니다.

예측 구간 설정 ("예측 구간"을 "예측 구간 유형"으로 선택한 경우에만 표시됨) 다음과 같은 예측 구간 옵션을 포함합니다.

몬테카를로 표본 크기 예측 구간을 생성하는 데 사용되는 시뮬레이션의 표본 크기를 지정합니다.

난수 시드값 시뮬레이션된 예측 구간을 재현하는 데 사용할 수 있는 난수 시드값을 지정합니다. 시스템 시계를 사용하려면 결측값을 입력합니다.

근사 분포 사용 각 구간의 고장 수에 근사한 값을 산출하기 위해 Poisson 분포를 사용하여 예측 구간을 생성하도록 지정합니다. 이 옵션을 선택하지 않으면 예측 구간은 다항 분포를 사용하여 각 구간의 고장 수를 시뮬레이션합니다.

계약 기간 사용 지정된 계약 기간을 예측에서 고려할지 여부를 결정합니다. 이 옵션은 그래프 옆의 **계약 기간 사용**을 선택하는 것과 동일합니다.

고장 비용 사용 미래 위험 그래프에 고장 개수 대신 고장 비용을 표시합니다.

고장 비용 사용을 선택하면 **고장 비용 설정** 옵션이 메뉴에 나타납니다. 이 옵션을 사용하면 각 고장에 대한 비용을 설정할 수 있습니다. 시작 창에서 그룹 변수를 지정한 경우 "고장 비용 설정" 창에서 각 그룹의 고장에 대해 개별 비용을 지정할 수 있습니다.

예측 데이터 테이블 저장 시작 창에서 선택한 변수와 함께 누적 및 증분 반환 수를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그룹화된 분석의 경우 테이블 이름에 그룹 ID 와 "집계" 라는 단어가 포함됩니다. 집계 데이터 테이블에는 기존 반환도 포함됩니다.

신뢰도 예측 플랫폼 옵션

"신뢰도 예측"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

사건 발생 시간 형식으로 데이터 저장 Nevada 또는 날짜 데이터를 사건 발생 시간 형식 테이블에 저장합니다.

범례 표시 "관측된 데이터" 보고서의 범례를 표시하거나 숨깁니다. 사건 발생 시간 데이터에는 사용할 수 없습니다.

그래프 필터 표시 "관측된 데이터" 그래프에 표시할 생산 기간을 선택할 수 있도록 그래프 필터를 표시하거나 숨깁니다. 선택 취소된 기간의 막대는 흐리게 표시됩니다. 그래프를 원래 상태로 표시하려면 기간을 선택 취소합니다. 사건 발생 시간 데이터에는 사용할 수 없습니다.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**의 에서 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.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

신뢰도 예측 플랫폼의 추가 예

7 개월의 생산 기간 및 반환 데이터가 사건 발생 시간 형식으로 저장되어 있습니다. 이 정보를 사용하여 향후 6 개월 동안 수리를 위해 반환될 총 유닛 수를 예측하려고 합니다. 제품 계약 기간은 4 개월입니다.

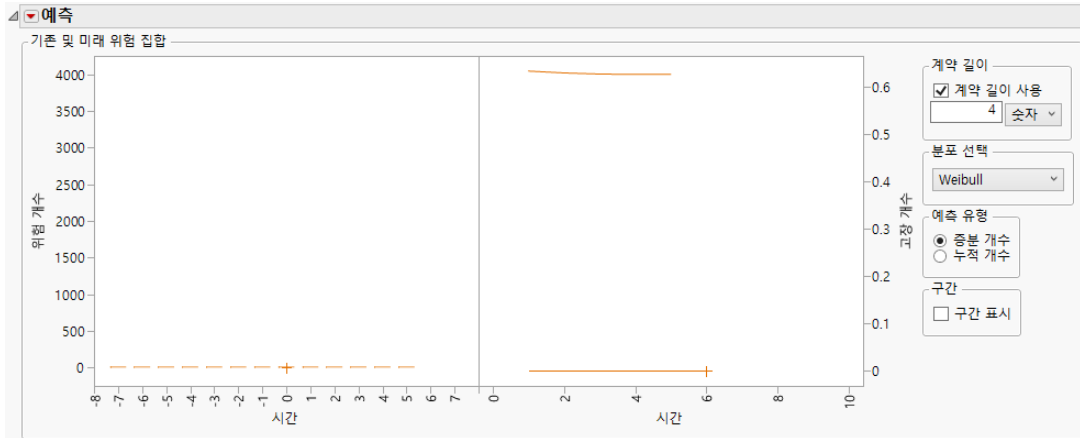
1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Small Production Time to Event.jmp를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 신뢰도 예측**을 선택합니다.
3. **사건 발생 시간 형식** 탭에서 Time (Month) 및 Time Right 를 선택합니다. **사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. Freq 를 선택하고 **빈도**를 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.
6. "예측" 보고서에서 "계약 기간"에 "4"를 입력합니다.
7. (선택 사항) **수명 분포** 표시 아이콘을 클릭합니다.

"수명 분포" 보고서에서는 생산 및 고장 데이터에 대한 Weibull 적합을 보여 줍니다. 그러면 신뢰도 예측 플랫폼에서 적합 Weibull 분포를 사용하여 반환을 예측합니다.

현재 및 미래 생산 개수 지정

8. 과거 및 미래 생산 개수를 준비하기 위해 세로 축 설정을 지정합니다. 왼쪽 "예측" 그래프의 세로 축을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **축 설정**을 선택합니다. 다음 축 설정을 지정합니다.
 1. "최소값"에 "-250"을 입력합니다.
 2. "최대값"에 "4250"을 입력합니다.
 3. "증분"에 "500"을 입력합니다.
 4. **확인**을 클릭합니다.
9. 이전 8 개월과 다음 8 개월을 포함하도록 가로 축을 설정합니다. 왼쪽 "예측" 그래프의 가로 축을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **축 설정**을 선택합니다. 다음 축 설정을 지정합니다.
 1. "최소값"에 "-8"을 입력합니다.
 2. "최대값"에 "8"을 입력합니다.
 3. **확인**을 클릭합니다.
10. 지난 7 개월 간의 생산 개수를 설정합니다. 왼쪽 "예측" 그래프에서 맨 왼쪽의 애니메이션 핫 스폿을 -7 까지 왼쪽으로 드래그합니다.
11. 향후 5 개월 간의 생산 추정값을 설정합니다. 왼쪽 "예측" 그래프에서 맨 오른쪽의 애니메이션 핫 스폿을 5 까지 오른쪽으로 드래그합니다.

그림 10.14 애니메이션 핫 스폿을 드래그한 후의 위험 집합



12. "예측"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **위험 집합 스프레드시트 구성**을 선택합니다.

13. "미래 위험" 테이블의 13개 행을 모두 볼 수 있도록 "미래 위험" 패널 하단을 아래로 드래그합니다.

참고 : 사건 발생 시간 형식 데이터를 사용하는 경우 "미래 위험" 테이블에서 기존 생산 수량을 지정할 때 음수 시간 값을 사용해야 합니다.

14. 그림 10.15에 표시된 "개수" 값을 입력합니다.

그림 10.15 미래 위험 개수 규격

미래 위험		
	시간	개수
1	-7	2550
2	-6	2600
3	-5	2650
4	-4	2700
5	-3	2750
6	-2	2800
7	-1	2850
8	0	3022
9	1	3307
10	2	3502
11	3	3502
12	4	3502
13	5	3502

15. 오른쪽 "예측" 그래프에서 애니메이션 핫 스폿을 8까지 오른쪽으로 드래그합니다.

16. "예측 유형" 패널에서 **누적 개수**를 선택합니다.

17. "구간" 패널에서 **구간 표시**를 선택합니다.

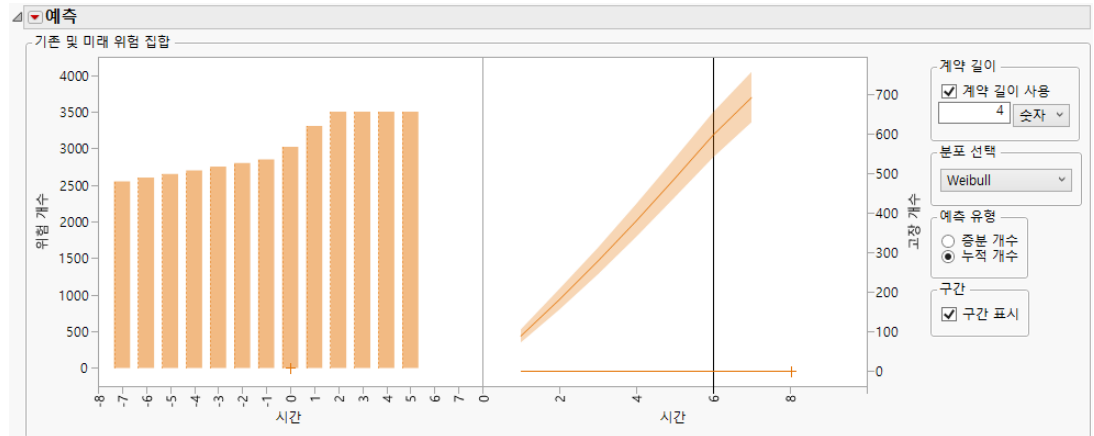
18. 오른쪽 "예측" 그래프의 가로 축을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **축 설정**을 선택합니다.
다음 단계를 사용하여 6 개월에 참조선을 추가합니다.

1. "값"에 "6"을 입력합니다.
2. **추가**를 클릭합니다.
3. **확인**을 클릭합니다.

향후 6개월 동안 수리를 위해 반환될 총 유닛 수에 대한 예측은 약 600개이며, 신뢰 구간은 약 550 ~ 650입니다.

팁 : "예측"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **예측 데이터 테이블 저장** 옵션을 사용하여 예측 및 구간에 대한 정확 값을 확인할 수 있습니다.

그림 10.16 예측 결과



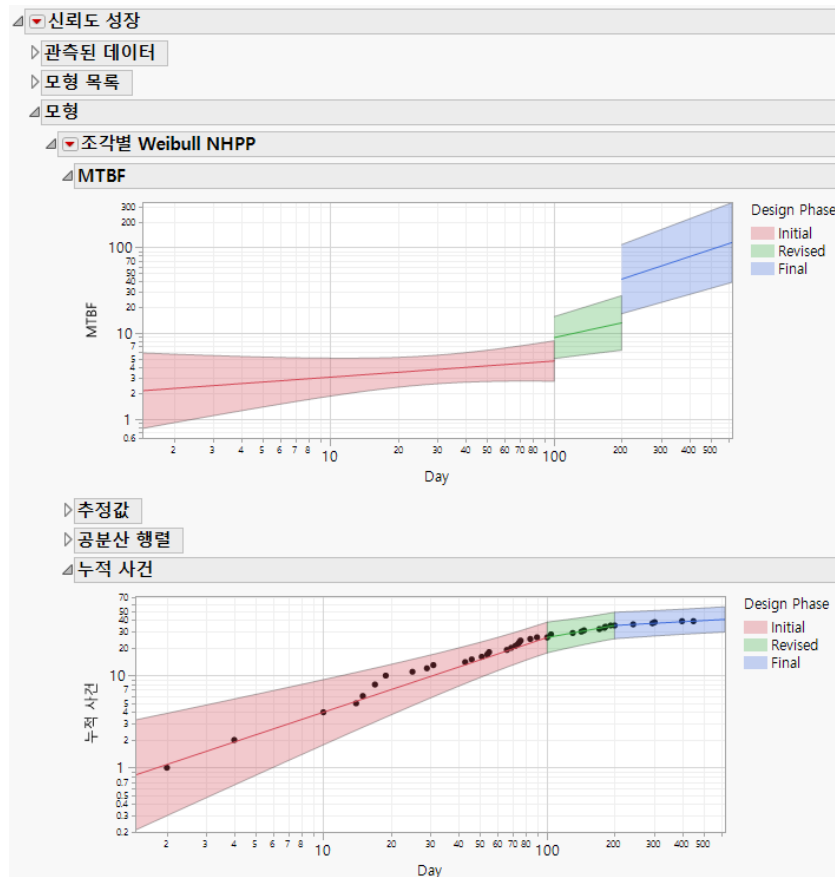
11 장

신뢰도 성장 변경 사항 구현에 따른 시스템 신뢰도 모델링

신뢰도 성장 플랫폼에서는 시간이 경과하면서 설계에 개선 사항이 반영됨에 따른 단일 수리 가능 시스템의 신뢰성 변화를 모델링합니다. 신뢰도 성장 시험 프로그램에서는 고장이 발견될 때 설계 개선 사항을 통합하여 시스템의 MTBF(평균 고장 간격)를 늘리려고 시도합니다.

신뢰도 성장 플랫폼에서는 Crow-AMSAA 모형을 적합시킵니다. 이는 Weibull 강도 함수를 사용하는 비동질적 Poisson 과정입니다. 개별 모형은 신뢰도 성장 프로그램의 다양한 단계를 수용할 수 있습니다. 이 플랫폼에서는 여러 시스템의 모형도 적합시킵니다.

그림 11.1 3 단계 신뢰도 성장 모형 그림의 예



목차

신뢰도 성장 플랫폼 개요.....	259
신뢰도 성장 플랫폼의 예.....	260
신뢰도 성장 플랫폼 시작.....	264
시작 창 역할.....	265
데이터 테이블 구조.....	266
신뢰도 성장 보고서.....	268
모형 설명 및 실행 가능성.....	268
관측된 데이터 보고서.....	268
신뢰도 성장 플랫폼 옵션.....	271
모형 보고서.....	272
Crow AMSAA.....	272
수정된 MLE를 포함하는 Crow AMSAA.....	279
고정 모수 Crow AMSAA.....	280
조각별 Weibull NHPP.....	281
다시 초기화된 Weibull NHPP.....	285
조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지.....	288
신뢰도 성장 플랫폼의 추가 예.....	289
구간 중도절단 데이터를 사용한 신뢰도 성장 모형의 예.....	289
조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지의 예.....	291
신뢰도 성장 플랫폼에 대한 통계 상세 정보.....	293
Crow-AMSAA 보고서에 대한 통계 상세 정보.....	293
조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지 보고서에 대한 통계 상세 정보.....	294

신뢰도 성장 플랫폼 개요

신뢰도 성장 플랫폼에서는 Crow-AMSAA 모형을 적합시킵니다. Crow-AMSAA 모형은 Weibull 강도를 사용하는 NHPP(비동질적 Poisson 과정)로, 먹법칙 과정이라고도 합니다. 이러한 모형을 사용하면 고장 강도가 시간에 따라 달라질 수 있습니다. 고장 강도는 두 개의 모수, 베타와 람다로 정의됩니다. Crow-AMSAA 모형에 대한 설명은 MIL-HDBK-189(1981)에서 확인하십시오.

단일 프로토타입 데이터의 경우 플랫폼은 네 가지 유형의 모형을 적합시키고 자동 변화 지점 감지를 수행합니다. 다음 보고서를 사용할 수 있습니다.

- 단순 Crow-AMSAA 모형 - 두 모수 모두 최대 가능도를 사용하여 추정됩니다.
- 수정된 MLE 를 포함하는 Crow-AMSAA - 베타에 대한 최대 가능도 추정값의 편향이 수정됩니다.
- 고정 모수 Crow-AMSAA 모형 - 사용자가 모수를 하나 또는 둘 다 고정할 수 있습니다.
- 조각별 Weibull NHPP 모형 - 이전 단계의 고장 기록을 고려하여 각 시험 단계의 모수가 추정됩니다.
- 다시 초기화된 Weibull NHPP 모형 - 각 시험 단계의 두 모수는 이전 단계의 고장 기록을 무시하는 방식으로 추정됩니다.
- 변화 지점 및 관련 조각별 Weibull NHPP 모형 자동 추정 - 서로 다른 고장 강도에 따라 두 개의 개별 시험 단계를 정의할 수 있는 신뢰도 성장 상황에 해당합니다.

다중 프로토타입 데이터의 경우 플랫폼은 다음 유형의 모형을 적합시킵니다.

- 조각별 Weibull NHPP 모형 - 다단계 연구의 각 시스템은 동일한 조각별 Weibull NHPP 모형을 따릅니다. 시스템 간의 차이는 동일한 모형에 대한 개별 실현 랜덤성 때문이라고 가정됩니다. 이 모형에는 각 단계에 대한 하나의 베타 모수와 하나의 람다 모수가 포함됩니다.
- 다양한 절편을 포함하는 조각별 Weibull NHPP - 다단계 연구의 각 시스템은 별도의 조각별 Weibull NHPP 모형을 따릅니다. 이 모형에는 각 단계에 대한 하나의 베타 모수와 각 시스템에 대한 하나의 람다 모수가 포함됩니다.
- 개별 단계 Weibull NHPP 모형 - 다단계 연구의 각 시스템은 각 단계에서 동일한 Crow-AMSAA 모형을 따릅니다. 이 모형에는 하나의 베타 모수와 각 단계에 대한 하나의 람다 모수가 포함됩니다.
- 개별 Weibull NHPP 모형 - 다단계 연구의 각 시스템은 각 단계에서 개별 Crow-AMSAA 모형을 따릅니다. 이 모형에는 연구에서 시스템과 단계의 각 조합에 대한 하나의 베타 모수와 하나의 람다 모수가 포함됩니다.
- 개별 시스템 Weibull NHPP 모형 - 연구의 각 시스템은 모수가 다른 개별 Crow-AMSAA 모형을 따릅니다.
- 동일 시스템 Weibull NHPP 모형 - 연구의 각 시스템은 단일 Crow-AMSAA 모형을 따릅니다. 시스템 간의 차이는 동일한 모형에 대한 개별 실현 랜덤성 때문이라고 가정됩니다.

대화식 프로파일러를 사용하면 시간 경과에 따른 MTBF, 고장 강도 및 누적 고장의 변화를 탐색할 수 있습니다. 시험 기간 동안 강도 변화가 의심되면 변화 지점 감지 옵션을 사용하여 변화 지점 및 해당 모형을 추정할 수 있습니다.

신뢰도 성장 플랫폼의 예

신뢰도 성장 플랫폼을 사용하여 제품의 신뢰도를 모델링하고 예측합니다. 새로운 종류의 터빈 엔진에 대한 프로토타입을 시험한다고 가정해 보겠습니다. 시험 프로그램은 1년 이상 진행되었으며 세 단계를 거쳤습니다.

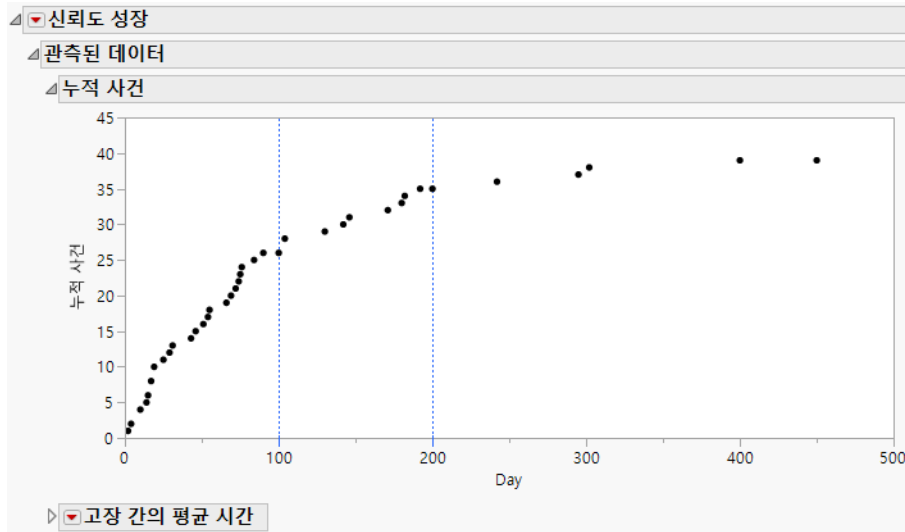
프로그램의 처음 100일 단계는 초기 시험 단계로 간주되었습니다. 고장은 공격적 설계 변경으로 해결되어 설계가 크게 수정되었습니다. 그 다음 이어진 100일 단계에서 발견한 수정된 설계의 고장은 하위 시스템 설계를 변경하여 해결되었습니다. 세 번째의 최종 시험 단계는 250일 동안 진행되었습니다. 이 최종 단계에서 고장은 국소 설계 변경으로 해결되었습니다.

각 시험 단계는 지정된 일 수에 따라 종료되므로 단계는 시간 종료됩니다. 구체적으로 말하면 주어진 단계는 다음 단계의 시작 시간에 종료됩니다. 그러나 고장 시간은 정확합니다(중도절단되지 않음).

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 **Reliability/TurbineEngineDesign1.jmp**를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 신뢰도 성장**을 선택합니다.
3. **사건 발생 시간 형식** 탭에서 **Day**를 선택하고 **사건 발생 시간**을 클릭합니다.
발생한 각 고장에 대해 시험 시작 이후의 일 수가 **Day** 열에 기록되었습니다.
4. **Fixes**를 선택하고 **사건 개수**를 클릭합니다.
특정 날짜의 고장 수 또는 이에 상응하는 필수 수정 횟수가 **Fixes** 열에 기록되었습니다.
5. **Design Phase**를 선택하고 **단계**를 클릭합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.

신뢰도 성장 보고서가 나타납니다. "누적 사건" 그림에는 일별 누적 고장 수가 표시됩니다. 파란색 수직 파선은 세 단계 사이의 두 전이를 나타냅니다.

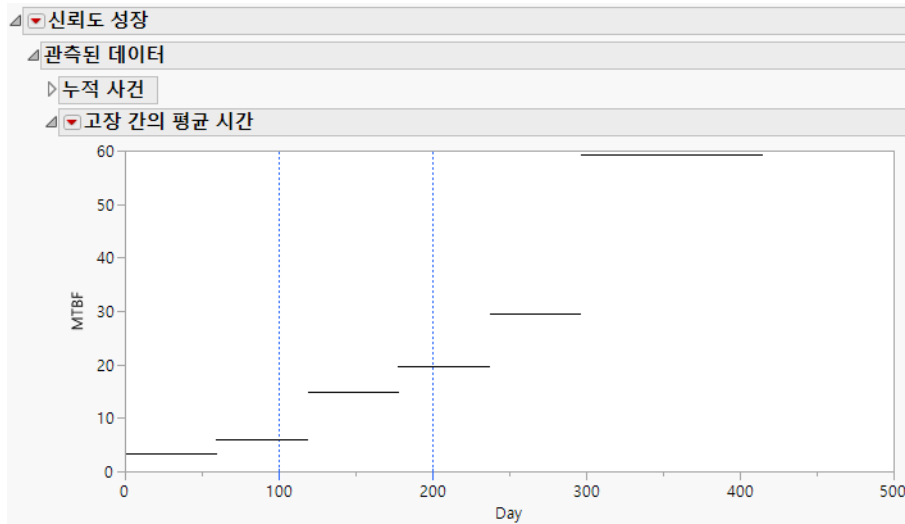
그림 11.2 관측된 데이터 보고서



7. 평균 고장 간격 표시 아이콘을 클릭합니다.

그러면 미리 정해진 크기의 구간 동안 계산된 평균 고장 간격 위치에 가로선이 있는 그림이 제공됩니다. 빨간색 삼각형 메뉴의 옵션을 사용하여 구간 크기를 지정할 수 있습니다.

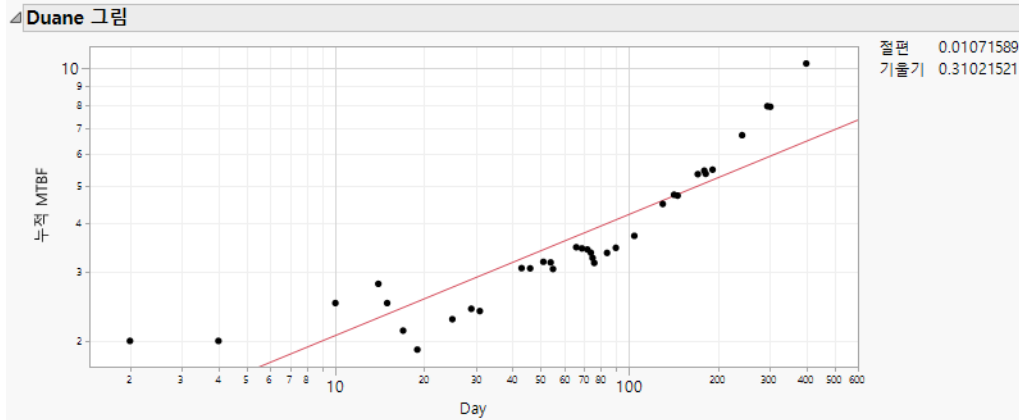
그림 11.3 평균 고장 간격 그림



8. Duane 그림 표시 아이콘을 클릭합니다.

그러면 누적 MTBF 추정값을 세로 축에 표시하고 사건 발생 시간 변수를 가로 축에 표시하는 그림이 제공됩니다. 데이터가 Crow-AMSAA 모형을 따르는 경우 로그 - 로그 척도 용지에 표시된 점은 선을 따라 분포되어야 합니다.

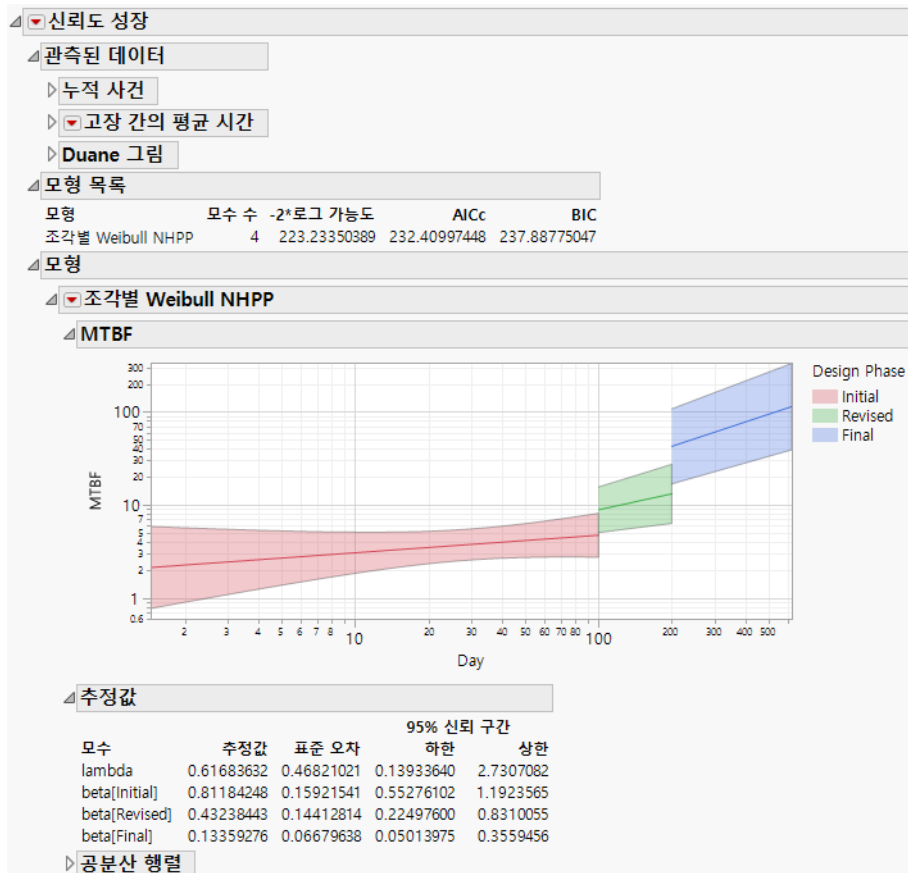
그림 11.4 Duane 그림



9. "신뢰도 성장"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모형 적합 > 조각별 Weibull NHPP**를 선택합니다.

그러면 Weibull NHPP 모형을 시험 프로그램의 세 단계에 적합시키고 이러한 단계를 단일 신뢰도 성장 프로그램의 여러 단계로 처리합니다 (그림 11.5). "조각별 Weibull NHPP"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션은 다양한 그림과 보고서를 제공합니다.

그림 11.5 조각별 Weibull NHPP 보고서



신뢰도 성장 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 신뢰도 성장을 선택하여 신뢰도 성장 플랫폼을 시작합니다.

그림 11.6 신뢰도 성장 시작 창

The image shows a software window titled '신뢰도 성장 시작 창' (Reliability Growth Start Window). It has four tabs at the top: '사건 발생 시간 형식' (Event Occurrence Time Format), '날짜 형식' (Date Format), '동시 시스템 수' (Concurrent System Count), and '병렬 시스템' (Parallel System). The '사건 발생 시간 형식' tab is active. On the left, under '열 선택' (Column Selection), there is a list of columns: '3개 열' (3 columns), 'Day', 'Fixes', and 'Design Phase'. In the center, under '선택한 열 역할 지정' (Selected Column Role Assignment), there are three rows: '사건 발생 시간' (Event Occurrence Time) assigned to 'Day' with a '선택적 숫자' (Optional Number) role, '사건 개수' (Event Count) assigned to 'Fixes', and '단계' (Stage) assigned to 'Design Phase' with a '선택적' (Optional) role. On the right, under '작업' (Action), there are buttons for '확인' (OK), '취소' (Cancel), '제거' (Remove), '재호출' (Re-call), and '도움말' (Help).

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**에서 확인하십시오.

시작 창에는 사건 발생 시간 형식, 날짜 형식, 동시 시스템 및 병렬 시스템이라는 네 가지 데이터 형식에 대한 탭이 포함되어 있습니다.

- "날짜 형식"은 절대 날짜 또는 시간을 나타내는 날짜/시간 형식으로 시간이 기록된다고 가정합니다. "날짜 형식" 탭에서 하나 이상의 시간 열에 "타임스탬프" 역할이 지정됩니다.
- 다른 세 가지 데이터 형식은 시스템이 처음 시작된 이후의 시간 단위 수(예: 일 또는 시간)로 시간이 기록된다고 가정합니다. 시험 시작 시간은 시간 0으로 가정합니다. "사건 발생 시간 형식" 탭에서 하나 이상의 시간 열에 "사건 발생 시간" 역할이 지정됩니다.

"사건 발생 시간", "타임스탬프", "사건 개수", "단계" 또는 "시스템 ID" 열에 결측 데이터가 있는 행은 분석에 포함되지 않습니다.

참고: 신뢰도 성장 플랫폼의 모든 데이터 형식은 시간 또는 시간 구간을 비감소 순서로 지정해야 합니다.

시작 창 역할

신뢰도 성장 시작 창에서 사용 가능한 역할은 지정된 데이터 형식 탭에 따라 결정됩니다. 이 섹션에서는 다양한 역할에 대해 설명합니다.

사건 발생 시간

사건 발생 시간은 시험 시작과 사건 발생(고장 또는 시험 종료) 사이에 경과된 시간 단위 수입니다. 시험 시작 시간은 시간 0으로 가정합니다. "사건 발생 시간" 역할은 "사건 발생 시간 형식", "동시 시스템" 및 "병렬 시스템" 탭에서만 사용할 수 있습니다.

두 가지 규칙이 허용됩니다 ("정확한 고장 시간 대 구간 중도절단" 참조).

- 단일 열을 입력할 수 있습니다. 이 경우 열은 사건이 발생한 정확한 경과 시간을 제공한다고 가정합니다.
- 구간 시작 및 종료 시간을 지정하는 두 개의 열을 입력할 수 있습니다. 구간의 시작 시간과 종료 시간이 다르면 "사건 개수" 열에 지정된 사건이 해당 구간 내의 미지의 시간에서 발생했다고 가정합니다. 데이터가 구간 중도절단된 것으로 해석합니다. 구간 시작 시간과 종료 시간이 동일하면 해당 사건이 특정 시점에서 발생했다고 가정하므로 시간이 정확합니다(중도절단되지 않음).

이 플랫폼에서는 시간 열을 비감소 순서로 정렬해야 합니다. 구간 시작 및 종료 시간을 지정하는 두 개의 열이 제공되는 경우 이러한 구간은 겹치지 않아야 합니다(끝점 제외). 단계 내에 완전히 포함되는 구간(사건 개수 0)은 가능도 함수에 영향을 주지 않으므로 생략할 수 있습니다.

타임스탬프

타임스탬프는 절대 시간입니다(예: 날짜). 사건 발생 시간과 마찬가지로 타임스탬프를 사용하면 단일 열 또는 두 개의 열을 사용하여 시간을 입력할 수 있습니다. "타임스탬프" 역할은 "날짜 형식" 탭에서만 사용할 수 있습니다.

타임스탬프로 입력된 시간의 경우 테이블의 첫 번째 행이 시험 시작 시간을 제공하는 것으로 간주됩니다.

- 단일 열을 입력할 때 시험 시작(사건 개수 0)에 해당하는 타임스탬프가 첫 번째 행에 나타나야 합니다.
- 시간 구간을 제공하는 두 개의 열을 입력할 때 첫 번째 열의 첫 번째 항목이 시험 시작 타임스탬프여야 합니다. 자세한 내용은 "단계"에서 확인하십시오.

기타 상세 정보는 "사건 발생 시간" 섹션의 "사건 발생 시간 형식"에 대한 설명과 비슷합니다. "정확한 고장 시간 대 구간 중도절단"의 내용도 참조하십시오.

사건 개수

사건 개수는 지정된 시간 또는 지정된 시간 구간 내에서 발생하는 사건 수이며, 대개 수정 작업으로 해결됩니다. 사건 개수로 입력된 열이 없으면 각 행의 사건 개수가 1개로 간주됩니다.

시스템 ID

시스템 ID는 다중 프로토타입 데이터에 대한 관측값의 프로토타입을 식별합니다. "시스템 ID" 역할은 "동시 시스템" 및 "병렬 시스템" 데이터 형식에서만 사용할 수 있습니다. 이 역할은 두 데이터 형식에 대해 모두 필수입니다.

단계

신뢰도 성장 프로그램에는 여러 기간 또는 단계의 활성 시험이 포함되는 경우가 종종 있습니다. 이러한 시험 단계를 선택적 "단계" 열에 지정할 수 있습니다. "사건 발생 시간 형식" 및 "날짜 형식" 데이터 형식의 경우 단계 변수는 모든 데이터 유형 또는 모델링 유형이 될 수 있습니다. "병렬 시스템" 데이터 형식의 경우 단계 변수의 데이터 유형은 숫자여야 합니다. 다단계 데이터 구조에 대한 자세한 내용은 "[시험 단계](#)"에서 확인하십시오. 예는 "[구간 중도절단 데이터를 사용한 신뢰도 성장 모형의 예](#)"에서 확인하십시오.

기준

열에 나타나는 각 값에 대해 별도의 분석을 생성합니다.

데이터 테이블 구조

신뢰도 성장 플랫폼에서 "사건 발생 시간 형식" 및 "날짜 형식"을 사용하면 단일 열 또는 두 열을 각각 사건 발생 시간 또는 타임스탬프로 입력할 수 있습니다. "동시 시스템" 및 "병렬 시스템"을 사용하면 시스템 ID 변수의 각 수준에 해당하는 하나의 열을 입력할 수 있습니다. 샘플 데이터 폴더의 Reliability 폴더에는 다중 프로토타입 데이터 테이블에 대한 예가 있습니다. 동시 시스템의 경우 Concurrent Systems.jmp를 사용하고, 병렬 시스템의 경우 Parallel Systems로 시작하는 네 개의 테이블을 사용할 수 있습니다.

이 섹션에서는 이러한 두 가지 방법을 사용하여 시험 구조를 지정하는 방법을 설명합니다.

정확한 고장 시간 대 구간 중도절단

일부 시험 상황에서는 시험 대상 시스템의 고장을 주기적으로 확인합니다. 이 경우 시간 구간 내에서 고장이 발생한 것으로 확인되지만 정확한 고장 시간은 알 수 없습니다. 고장 시간이 구간 중도절단된 것으로 해석합니다.

신뢰도 성장 플랫폼에서는 중도절단되지 않은 정확한 고장 시간 데이터와 구간 중도절단된 데이터를 모두 수용합니다. 단일 열을 사건 발생 시간 또는 타임스탬프로 입력하면 시간이 정확한 시간으로 간주됩니다(중도절단되지 않음).

두 개의 열을 입력하면 플랫폼에서 이러한 열이 시간 구간의 시작점과 끝점을 정의하는 것으로 간주됩니다. 구간의 시작 시간과 종료 시간이 다르면 해당 구간 내에서 발생하는 고장의 시간이 구간 중도절단된 것으로 간주됩니다. 끝점이 동일하면 해당 고장의 시간이 정확하고 공통 시간 값과 같다고 가정합니다. 따라서 두 개의 시간 열을 사용하여 정확한 고장 시간과 구간 중도절단된 고장 시간을 모두 나타낼 수 있습니다.

특히 정확한 고장 시간은 단일 시간 열로 지정된 시간 또는 두 개의 시간 열로 지정된 동일한 끝점의 구간 중 하나로 나타낼 수 있습니다.

신뢰도 성장 플랫폼의 모형 적합은 가능도 함수를 사용합니다. 가능도 함수는 구간 중도절단이 있는지 여부를 고려합니다. 따라서 정확한 고장 시간과 구간 중도절단을 혼합할 수 있습니다.

고장 및 시간 종료

시험 계획은 특정 고장 수에 도달하거나 특정 시간 범위가 경과하면 시험 종료를 요청할 수 있습니다. 예를 들어 고장이 50개 발생한 후 시험을 종료하는 시험 계획이 있을 수 있습니다. 6개월 후 시험을 종료하는 계획도 가능합니다.

지정된 고장 수를 기반으로 시험이 종료되면 시험이 고장 종료되었다고 합니다. 지정된 시간 구간을 기반으로 시험이 종료되면 시험이 시간 종료되었다고 합니다. 신뢰도 성장 플랫폼에 사용되는 가능도 함수는 시험 단계가 고장 종료인지 아니면 시간 종료인지를 반영합니다.

시험 단계

신뢰도 성장 시험에 여러 단계의 시험이 포함되는 경우가 많습니다. 예를 들어 개발 중인 시스템 또는 시험 프로그램은 특정 시점에서 큰 변화가 발생할 수 있습니다. 데이터 테이블은 아래 설명과 같이 각 단계의 시작 시간 및 각 단계가 고장 종료인지 아니면 시간 종료인지를 제공합니다.

단일 시험 단계

단일 시험 단계가 있는 경우 플랫폼은 데이터 테이블의 마지막 행에 있는 시간 및 사건 개수 항목을 통해 시험이 고장 종료되었는지 아니면 시간 종료되었는지를 추론합니다.

- 마지막 행에 사건 개수가 0 이 아닌 정확한 고장 시간이 포함된 경우 시험은 고장 종료되었다고 간주합니다.
- 마지막 행에 사건 개수가 0 인 정확한 고장 시간이 포함된 경우 시험은 시간 종료되었다고 간주합니다.
- 마지막 행에 범위가 0 이 아닌 구간이 포함된 경우 시험은 해당 구간의 오른쪽 끝점과 동일한 종료 시간으로 시간 종료되었다고 간주합니다.

참고 : 시험이 시간 종료되었음을 나타내려면 데이터 테이블에 시험 종료 시간을 나타내는 마지막 행을 포함해야 합니다. 단일 열을 사건 발생 시간 또는 타임스탬프로 입력하는 경우 마지막 행은 0 사건 개수를 나타내야 합니다. 두 개의 열을 사건 발생 시간 또는 타임스탬프로 입력하는 경우 마지막 구간의 오른쪽 끝점은 시험 종료 시간이어야 합니다. 이 경우 마지막 구간 동안 고장이 없으면 0 사건 개수를 입력해야 합니다.

여러 시험 단계

사건 발생 시간 형식을 사용하는 경우 첫 번째 단계를 제외한 단계의 시작 시간이 시간 열에 포함되어야 합니다. 날짜 형식을 사용하는 경우 모든 단계의 시작 시간이 시간 열에 포함되어야 합니다. 단계 시작 시간에 사건이 발생하지 않은 경우 사건 개수 열의 해당 항목은 0이어야 합니다.

두 열에 지정된 시간의 경우 끝점이 동일하고 사건 개수가 0인 구간을 사용하여 단계 시작 시간을 반영해야 할 수 있습니다.

다단계 시험 상황에서 플랫폼은 단계 변경 전의 마지막 행에 있는 항목을 통해 마지막 단계 이외의 각 단계가 고장 종료되었는지 아니면 시간 종료되었는지를 추론합니다. 단계 A가 끝나고 단계 B가 시간 t_B 에서 시작한다고 가정해 보겠습니다. 이 경우 단계 B에 해당하는 첫 번째 행에는 시간 t_B 에 대한 항목이 포함됩니다.

- 단계 A의 마지막 고장 시간이 정확하고 해당 시간이 t_B 와 다른 경우 단계 A는 시간 종료된 것으로 간주됩니다. 종료 시간은 t_B 와 같습니다.
- 단계 A의 마지막 고장 시간이 정확하고 t_B 와 같은 경우 단계 A는 고장 종료된 것으로 간주됩니다.
- 단계 A의 마지막 고장이 구간 중도절단된 경우 단계 A는 t_B 와 동일한 종료 시간으로 시간 종료된 것으로 간주됩니다.

플랫폼은 데이터 테이블의 마지막 행에 있는 항목을 통해 최종 단계가 고장 종료되었는지 아니면 시간 종료되었는지를 추론합니다.

- 마지막 행에 사건 개수가 0이 아닌 정확한 고장 시간이 포함된 경우 시험은 고장 종료되었다고 간주합니다.
- 마지막 행에 사건 개수가 0인 정확한 고장 시간 또는 범위가 0이 아닌 구간이 포함된 경우 시험은 시간 종료되었다고 간주합니다. 구간의 경우 종료 시간이 오른쪽 끝점으로 사용됩니다.

신뢰도 성장 보고서

"관측된 데이터" 보고서는 기본적으로 나타납니다. 시작 창에서 병렬 시스템 데이터 형식을 지정할 경우 "모형 설명 및 실행 가능성" 보고서도 기본적으로 나타납니다.

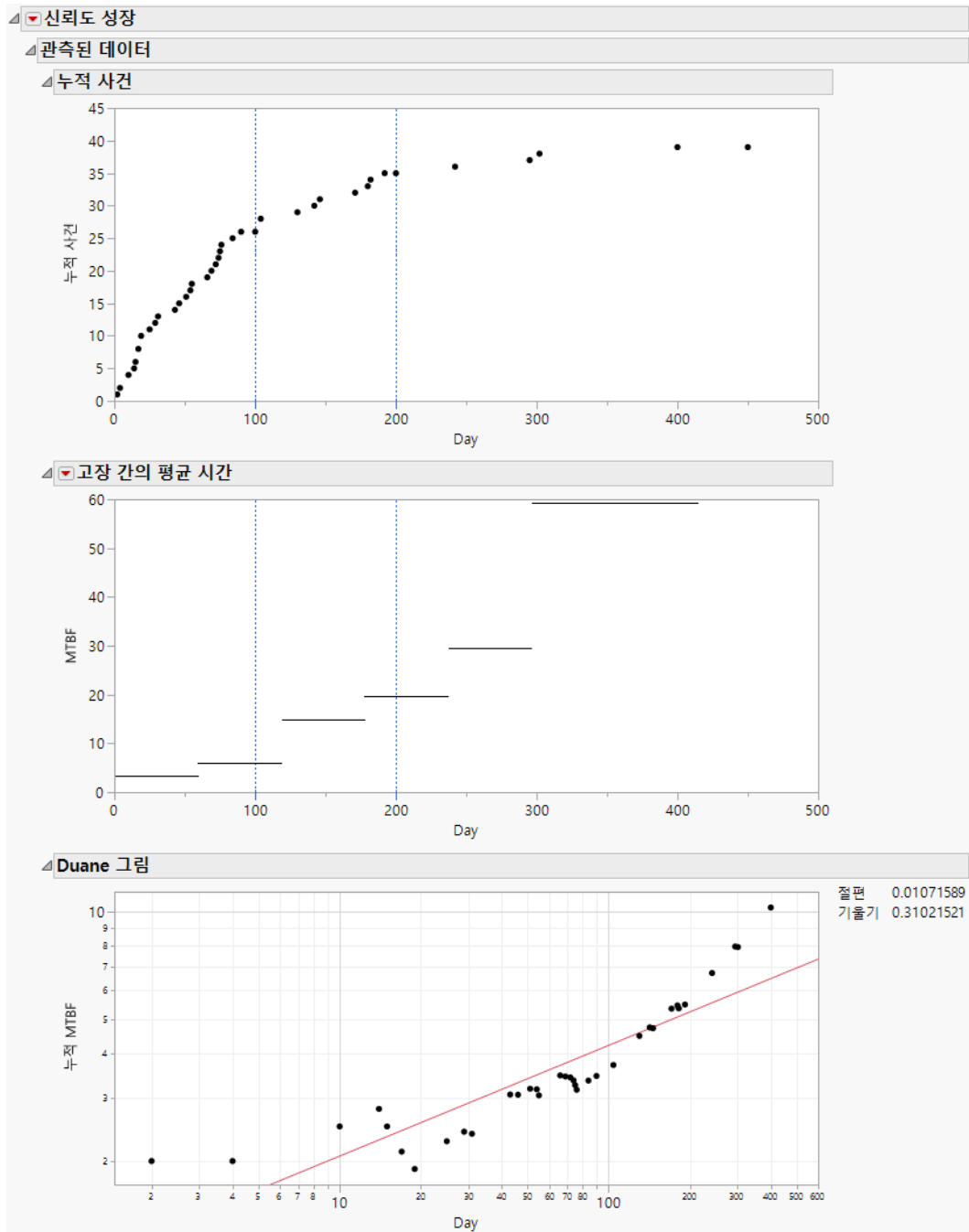
모형 설명 및 실행 가능성

신뢰도 성장 플랫폼의 "모형 설명 및 실행 가능성" 보고서에는 병렬 시스템 모형의 이름과 설명이 나열됩니다. 현재 데이터에 모형을 사용할 수 있는지 여부를 보여 주는 열도 포함되어 있습니다. 모형이 사용 불가능한 것으로 나열되면 이 테이블의 맨 오른쪽 열에 이유가 기록됩니다.

관측된 데이터 보고서

신뢰도 성장 플랫폼의 "관측된 데이터" 보고서에는 "누적 사건" 그림, "평균 고장 간격" 그림 및 "Duane 그림"이 포함됩니다. [그림 11.7](#)에는 이러한 그림이 나와 있고, "평균 고장 간격" 및 "Duane 그림" 보고서가 열려 있습니다. 이 보고서를 생성하려면 "[신뢰도 성장 플랫폼의 예](#)"에 설명된 방법을 따르십시오.

그림 11.7 관측된 데이터 보고서



누적 사건 그림

"누적 사건" 그림에서는 사건이 시간 경과에 따라 어떻게 누적되는지 보여 줍니다. "누적 사건" 그림의 각 점에 대한 세로 좌표는 해당 점의 가로 좌표로 지정된 시간까지 발생한 총 사건 수와 같습니다.

모형이 적합될 때마다 해당 모형이 "누적 사건" 그림에 표시됩니다. 구체적으로, 모형에 의해 추정된 누적 사건이 곡선으로 표시되고 95% 신뢰 구간이 실선 대역으로 표시됩니다. 그림 오른쪽의 체크박스를 사용하면 표시되는 모형을 제어할 수 있습니다.

병렬 시스템 데이터 형식의 경우 "누적 사건" 그림에는 시스템 ID 변수의 각 수준에 대한 별도의 패널이 있습니다. 또한 시스템 ID 변수의 모든 수준에 대한 누적 사건을 중첩하는 패널이 그림 하단에 포함됩니다. 시스템 ID 변수의 수준은 색상으로 지정됩니다.

평균 고장 간격 그림

"평균 고장 간격" 그림에는 길이가 같은 작은 시간 구간 동안의 평균으로 계산된 고장 평균 간격이 표시됩니다. 이러한 구간은 단계와 관련이 없습니다. 동일한 길이 구간의 기본 수는 행 수를 기반으로 합니다.

평균 고장 간격 그림 옵션

"평균 고장 간격"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 "옵션"을 선택하면 평균을 계산할 구간을 지정할 수 있는 창이 열립니다.

다음과 같은 두 가지 평균화 유형이 제공됩니다.

- 동일 구간 평균 MTBF(평균 고장 간격)를 사용하면 공통 구간 크기를 지정할 수 있습니다.
- 사용자 정의 평균 MTBF를 사용하면 시간 구간의 경계 점을 지정할 수 있습니다.
 - 테이블 셀 값을 변경하려면 해당 셀에서 두 번 클릭합니다.
 - 행을 추가 및 제거할 수 있는 메뉴를 열려면 테이블에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭합니다.

Duane 그림

"Duane 그림"에는 누적 MTBF 추정값 대 사건 발생 시간 변수가 \log_{10} 척도의 두 축에 표시됩니다. 데이터가 Crow-AMSAA 모형을 따르는 경우 로그-로그 척도 용지에 표시된 점은 선을 따라 분포되어야 합니다.

참고 : "Duane 그림"은 고장 시간이 정확하고 사건 발생 시간 형식을 사용하는 경우에만 제공됩니다. 구간 중도절단된 데이터 또는 낱짜 형식에 입력된 데이터에는 이 그림을 사용할 수 없습니다.

그림에 표시된 선은 사건 발생 시간 변수의 \log_{10} 에서 누적 MTBF의 \log_{10} 회귀에 대한 최소 제곱 회귀선입니다.

참고 : "Duane 그림 " 은 단계 변수를 반영하지 않습니다 . 사건 발생 시간 변수가 단계 변화를 정의하는 행은 그림을 생성하고 회귀선을 적합시킬 때 무시됩니다 .

절편 및 기울기

절편 및 기울기 값이 그림 오른쪽에 표시됩니다 .

- 절편 값은 기록상의 이유로 자연 로그 척도의 적합에 대한 절편으로 제공됩니다 . 구체적으로 , 사건 발생 시간의 자연 로그에 대해 누적 MTBF 의 자연 로그가 회귀 분석됩니다 . 절편 값은 $\log(1)=0$ 에서 이 회귀 방정식에 의해 예측된 값입니다 . 이때 **log** 는 자연 로그입니다 . 상용 로그로 적합에 대한 절편을 얻으려면 절편 값을 $\log(10)$ 으로 나눕니다 . 자세한 내용은 Tobias & Trindade(2012, ch. 13) 에서 확인하십시오 .
- 기울기 값은 자연 또는 로그 척도의 적합에 대한 기울기입니다 . 이는 로그의 특성에서 나온 결과입니다 .

신뢰도 성장 플랫폼 옵션

" 신뢰도 성장 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다 .

모형 적합 시작 창에서 사건 발생 시간 형식 , 날짜 형식 또는 동시 시스템 데이터 형식을 지정한 경우 이 메뉴에는 다양한 NHPP(비동질적 Poisson 과정) 모형을 적합시키는 옵션이 포함됩니다 . 이러한 옵션은 아래에 자세히 설명되어 있습니다 . 시작 창에서 선택한 항목에 따라 다음과 같은 옵션을 사용할 수 있습니다 .

- "Crow AMSAA"
- " 수정된 MLE 를 포함하는 Crow AMSAA"
- " 고정 모수 Crow AMSAA"
- " 조각별 Weibull NHPP"
- " 다시 초기화된 Weibull NHPP"
- " 조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지 "

병렬 시스템 모형 적합 시작 창에서 병렬 시스템 데이터 형식을 지정한 경우 이 메뉴에는 다중 프로토타입 데이터에 대한 다양한 모형을 적합시키는 옵션이 포함됩니다 . 이 메뉴에서 가능한 옵션은 시작 창에서 선택한 항목에 따라 달라집니다 .

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용** 의 에서 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 .

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나 , 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다 .

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

모형 목록

모형이 적합되면 "모형 목록" 보고서가 나타납니다. 이 보고서에는 모형 적합을 설명하는 다양한 통계적 측도가 제공됩니다. 다른 모형이 적합되면 "모형 목록"에 추가되어 모형 비교를 위한 편리한 요약を提供합니다. 모형은 AICc에 따라 오름차순으로 정렬됩니다. "모형 목록" 보고서에는 다음 통계량이 포함됩니다.

모수 수 모형의 모수 수입니다.

-2* 로그 가능도 가능도 함수는 추정된 모형 모수가 주어졌을 때 관측된 데이터의 확률을 나타내는 측도입니다. 일반적으로 가능도가 높을수록 더 나은 모형 적합을 나타냅니다. 따라서 -2* 로그 가능도 (음의 로그 가능도의 두 배) 값이 작을수록 더 나은 모형 적합을 나타냅니다.

AICc 수정 Akaike 정보 기준입니다.

BIC 베이지안 정보 기준입니다.

-2*로그 가능도, AICc 및 BIC에 대한 자세한 내용은 **선형 모형 적합**에서 확인하십시오.

모형 보고서

이 섹션에서는 신뢰도 성장 플랫폼에서 적합된 모형에 대해 생성되는 보고서를 설명합니다. 또한 이 섹션에는 해당 모형 보고서에서 사용할 수 있는 옵션에 대한 정보도 제공됩니다.

- "Crow AMSAA"
- "수정된 MLE 를 포함하는 Crow AMSAA"
- "고정 모수 Crow AMSAA"
- "조각별 Weibull NHPP"
- "다시 초기화된 Weibull NHPP"
- "조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지"

Crow AMSAA

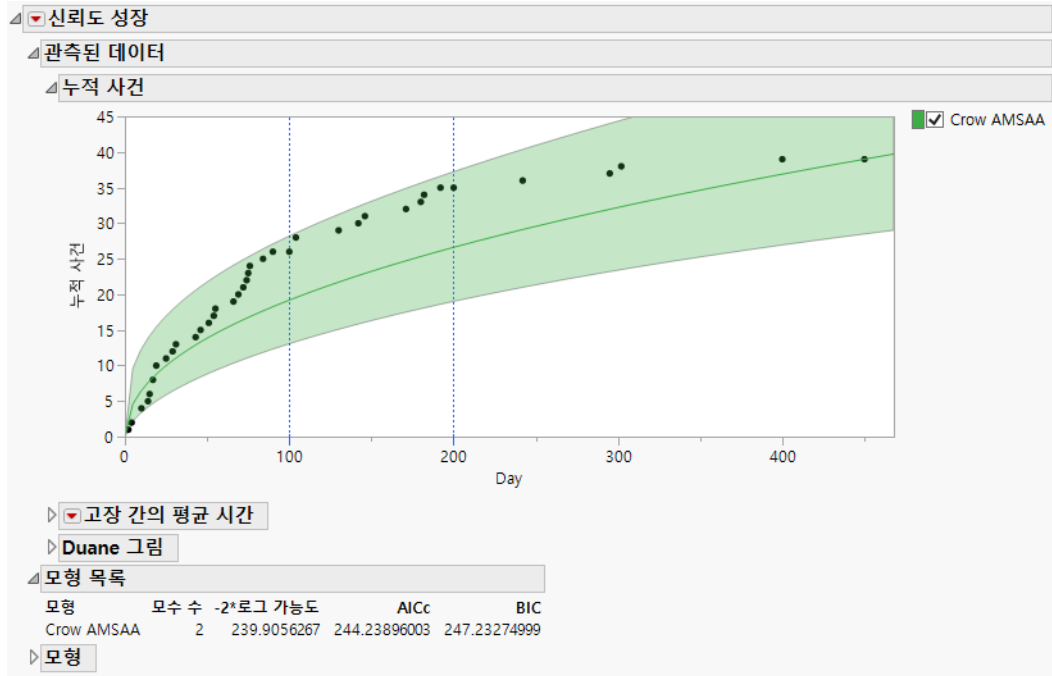
신뢰도 성장 플랫폼에서는 MIL-HDBK-189(1981)에 설명된 대로 Crow-AMSAA 모형을 적합시킬 수 있습니다. Crow-AMSAA 모형은 고장 강도가 시간 $t(\rho(t) = \lambda\beta t^{\beta-1})$ 의 함수 형태인 비동질적 Poisson 과정입니다. 여기서 λ 는 척도 모수이고 β 는 성장 모수입니다. 이 함수는 Weibull 강도라고도 하며, 과정 자체는 먹법칙 과정이라고도 합니다(Rigdon & Basu 2000, Meeker & Escobar 1998). 재발 분석 플랫폼에서는 먹 비동질적 Poisson 과정을 적합시킵니다. 먹 비동질적 Poisson

과정은 다른 파라미터화를 사용하지만 Crow-AMSAA 모형과 동일합니다. 자세한 내용은 "[모형 적합](#)"에서 확인하십시오.

강도 함수는 수리 가능 시스템에 적용되는 개념입니다. 시간 t 에서의 값은 t 주변의 작은 구간에 서 고장 확률의 한계 값을 이 구간의 길이로 나눈 값입니다. 한계는 구간 길이가 0이 될 때 사용 됩니다. 강도 함수는 주어진 시간에 시스템이 고장 날 가능성을 측정하는 것으로 간주할 수 있습 니다. $\beta < 1$ 이면 시간 경과에 따라 시스템이 개선됩니다. $\beta > 1$ 이면 시간 경과에 따라 시스템이 저 하됩니다. $\beta = 1$ 이면 고장 발생률이 일정합니다.

"Crow AMSAA" 옵션을 선택하면 "누적 사건" 그림이 업데이트되어 모형에 의해 추정된 누적 사건 곡선이 표시됩니다. 각 시점에 대해 이 곡선 주위의 음영 밴드는 해당 시점의 실제 누적 사 건 수에 대한 95% 신뢰 구간을 정의합니다. "모형 목록" 보고서도 업데이트됩니다. [그림 11.8](#)에 서는 TurbineEngineDesign1.jmp 데이터에 대한 "관측된 데이터" 보고서를 보여 줍니다.

그림 11.8 Crow AMSAA 누적 사건 그림 및 모형 목록 보고서



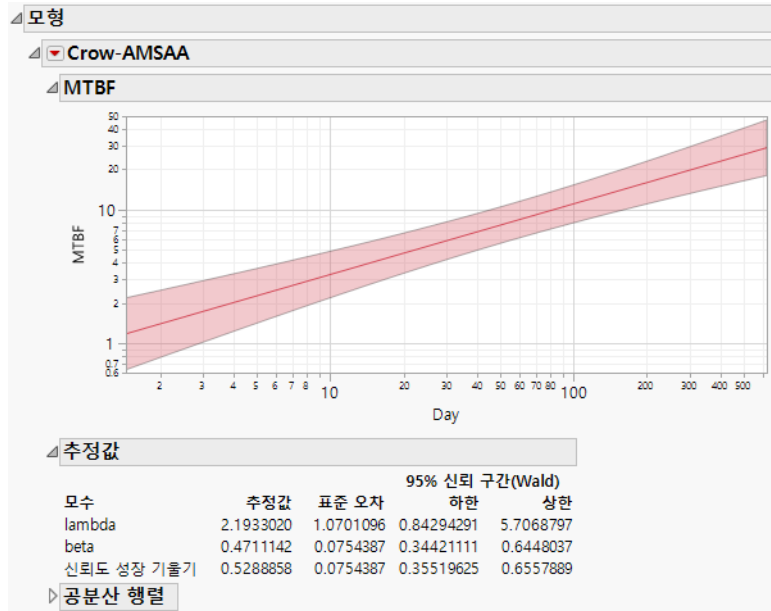
Crow-AMSAA 보고서

"모형" 보고서 내에서 "Crow-AMSAA" 보고서가 열립니다. 사건 발생 시간 형식을 사용하는 경 우 "Crow-AMSAA" 보고서에는 두 축이 모두 로그로 척도화된 MTBF 그림이 표시됩니다. 자세 한 내용은 "[MTBF 그림](#)"에서 확인하십시오.

MTBF 그림

MTBF(평균 고장 간격) 그림은 기본적으로 표시됩니다(그림 11.9). 각 시점에 대해 MTBF 그림 주위의 음영 밴드는 시간 t 의 실제 MTBF에 대한 95% 신뢰 구간을 정의합니다. 그림은 두 축이 모두 로그로 척도화되어 표시됩니다. 이 척도화를 사용하면 MTBF 그림이 선형입니다.

그림 11.9 MTBF 그림



로그 척도화가 사용될 때 MTBF 그림이 선형인 이유를 확인하려면 다음을 고려하십시오. 평균 고장 간격은 강도 함수의 역수입니다. Weibull 강도 함수의 경우 MTBF는 $1/(\lambda\beta t^{\beta-1})$ 이며, 여기서 t 는 시험 시작 이후의 시간을 나타냅니다. 따라서 MTBF의 로그는 기울기가 $1 - \beta$ 인 $\log(t)$ 의 선형 함수입니다. 추정된 MTBF는 λ 및 β 모수를 추정값으로 대체하여 정의됩니다. 따라서 추정된 MTBF의 로그는 $\log(t)$ 의 선형 함수입니다.

추정값

람다(λ), 베타(β) 및 신뢰도 성장 기울기($1 - \beta$)의 최대 가능도 추정값이 그림 아래의 "추정값" 보고서에 나타납니다(그림 11.9). λ , β 및 $1 - \beta$ 의 표준 오차와 95% 신뢰 구간이 제공됩니다. 계산에 대한 자세한 내용은 "Crow-AMSAA 모형의 모수 추정값"에서 확인하십시오.

공분산 행렬

적합 모형의 모수 추정값에 대한 추정된 공분산 행렬입니다. 이 보고서는 기본적으로 닫혀 있습니다.

Crow-AMSAA 옵션

이 섹션에서는 Crow AMSAA 모형이 적합될 때 "Crow-AMSAA"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 사용할 수 있는 옵션에 대해 설명합니다.

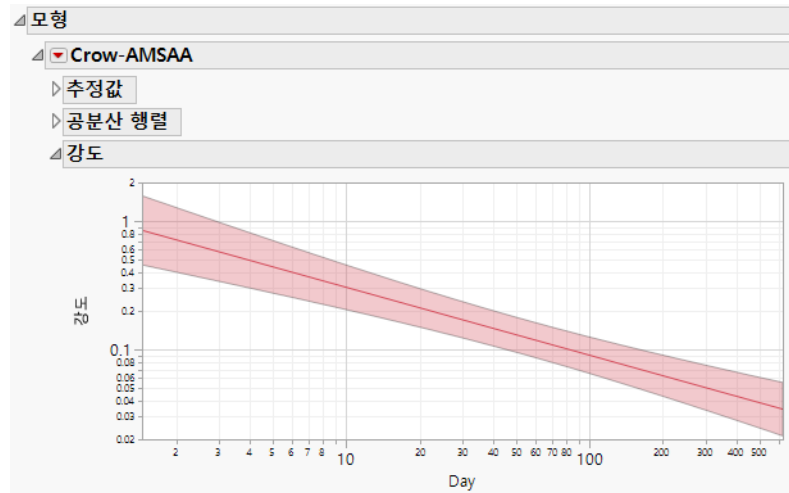
MTBF 그림 표시

이 옵션은 MTBF 그림을 표시하거나 숨깁니다. 자세한 내용은 "[MTBF 그림](#)"에서 확인하십시오.

강도 그림 표시

이 그림에는 추정된 강도 함수가 표시됩니다. Weibull 강도 함수는 $\rho(t) = \lambda\beta t^{\beta-1}$ 로 지정되므로 $\log(\text{강도})$ 는 (t) 의 선형 함수입니다. 두 축 모두 로그로 척도화됩니다.

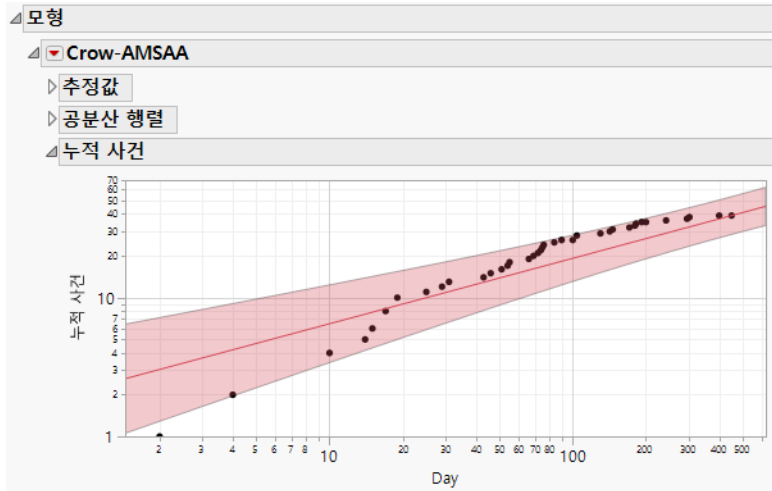
그림 11.10 강도 그림



누적 사건 그림 표시

이 그림에는 추정된 누적 사건 수가 표시됩니다. 관측된 누적 사건 수도 이 그림에 표시됩니다. 두 축 모두 로그로 척도화됩니다.

그림 11.11 누적 사건 그림



Crow-AMSAA 모형의 경우 시간 t 에서의 누적 사건 수가 λt^β 로 지정됩니다. 따라서 누적 사건 수의 로그는 $\log(t)$ 의 선형 함수입니다. 결과적으로, 추정된 누적 사건 그림은 로그로 척도화된 축에 대해 표시될 때 선형입니다.

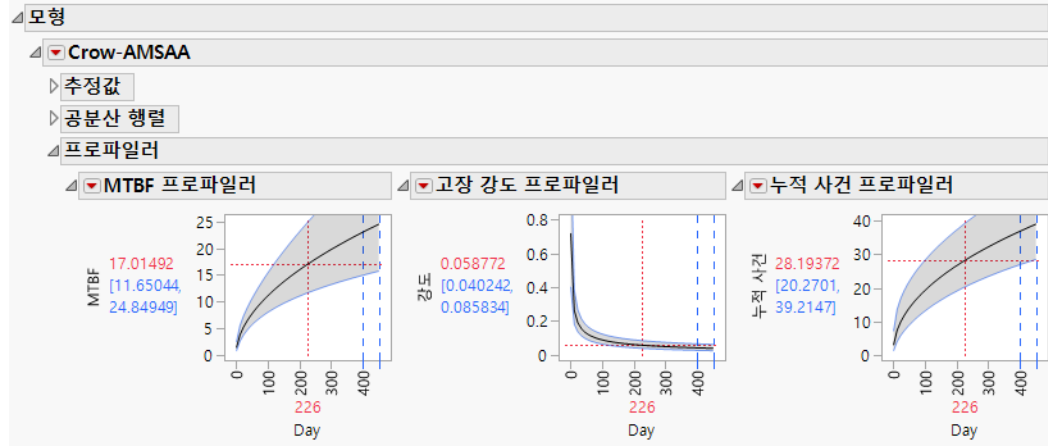
프로파일러 표시

추정된 MTBF, 고장 강도 및 누적 사건을 보여 주는 세 개의 프로파일러가 표시됩니다. 이러한 프로파일러에는 로그 척도화가 사용되지 않습니다. 프로파일러에서 빨간색 수직 파선을 드래그하면 다양한 시점에서 모형 추정값을 탐색할 수 있습니다. 선택한 시점의 값은 그림 아래에 빨간색으로 표시됩니다. 또한 Ctrl 키를 누른 채로 그림을 클릭하여 시간 축을 특정 값으로 설정할 수 있습니다. 파란색 수직 파선은 마지막으로 관측된 고장의 시점을 나타냅니다.

프로파일러에는 추정된 통계량에 대한 95% 신뢰 대역도 표시됩니다. 지정된 시간 설정에 대해 추정된 통계량(빨간색) 및 95% 신뢰 한계(파란색)가 프로파일러 왼쪽에 표시됩니다. 자세한 내용은 "[프로파일러](#)"에서 확인하십시오.

프로파일러의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 설정 > 프로파일러 연결**을 선택하여 이러한 프로파일러를 연결할 수 있습니다. 프로파일러의 사용 및 해석에 대한 자세한 내용은 **선형 모형 적합**에서 확인하십시오. **Profilers**의 내용도 참조하십시오.

그림 11.12 프로파일러



달성된 MTBF

시험이 끝나는 시점의 MTBF에 대한 신뢰 구간이 관심 대상일 때가 종종 있습니다. 중도절단되지 않은 고장 시간 데이터의 경우 이 보고서에는 달성된 MTBF의 추정값 및 95% 신뢰 구간이 제공됩니다. "알파" 값을 입력하여 $100 \times (1 - \alpha)\%$ 신뢰 구간을 지정할 수 있습니다. 그림 11.13에 보고서가 표시되어 있습니다. 중도절단된 데이터의 경우 시험 종료 시점의 추정된 MTBF만 보고됩니다.

그림 11.13 달성된 MTBF 보고서

모형				
Crow-AMSAA				
추정값				
공분산 행렬				
달성된 MTBF				
Day	MTBF	Alpha	하위	상위
450	24.49186	0.05	15.73486	40.32432

NHPP에서 발생할 수 있는 고장 시간 시퀀스는 무한히 많으며, 관측된 데이터는 이 중 하나만 나타냅니다. 시험이 n 번째 고장에서 고장 종료되었다고 가정해 보겠습니다. "달성된 MTBF" 보고서에서 계산된 신뢰 구간은 n 개의 고장 시간이 랜덤이라는 사실을 고려합니다. 시험이 시간 종료된 경우 고장 수와 고장 시간은 랜덤입니다. 이로 인해 달성된 MTBF에 대한 신뢰 구간은 마지막으로 관측된 고장 시간에서 MTBF 프로파일러가 제공한 신뢰 구간과 다릅니다. 자세한 내용은 Crow(1982) 및 Lee & Lee(1978)에서 확인하십시오.

시험이 고장 종료되면 달성된 MTBF에 대한 신뢰 구간이 정확합니다. 그러나 시험이 시간 종료되면 정확한 구간을 얻을 수 없습니다. 이 경우 한계는 구간에 포함되는 달성된 MTBF의 확률이 $1 - \alpha$ 이상이라는 점에서 보수적입니다.

적합도

"적합도" 보고서에서는 데이터가 Crow-AMSAA 모형을 따른다는 귀무가설을 검정합니다. 입력한 시간 열이 하나인지 또는 두 개인지에 따라 Cramer-von Mises("고장 시간이 중도절단되지 않은 데이터에 대한 Cramer-von Mises 검정" 참조) 또는 카이제곱 검정("구간 중도절단된 고장 시간에 대한 카이제곱 적합도 검정" 참조)이 수행됩니다.

고장 시간이 중도절단되지 않은 데이터에 대한 Cramer-von Mises 검정

시작 창에서 데이터를 단일 사건 발생 시간 또는 타임스탬프 열로 입력한 경우 적합도 검정은 Cramer-von Mises 검정입니다. Cramer-von Mises 검정의 경우 검정 통계량 값이 크면 귀무가설이 기각되고 모형이 적절하게 적합되지 않는다는 결론을 내립니다. 이 검정에서는 보고서에 제공된 비편향 베타 추정값을 사용합니다. 검정 통계량 값은 "Cramer-von Mises" 아래에 있습니다.

"p 값" 아래의 항목은 데이터가 Crow-AMSAA 모형을 따르는 경우 검정 통계량에 대한 값이 관측된 값만큼 클 가능성이 얼마나 낮은지 나타냅니다. 이 플랫폼에서는 p 값을 최대 0.25까지 계산합니다. 검정 통계량이 p 값 = 0.25에 해당하는 값보다 작으면 보고서에 p 값 ≥ 0.25 로 나타냅니다. 이 검정에 대한 자세한 내용은 Crow(1975)에서 확인하십시오.

그림 11.14에서는 TurbineEngineDesign1.jmp 데이터에 대한 Crow-AMSAA 모형 적합의 적합도 검정을 보여 줍니다. 계산된 검정 통계량은 0.01 보다 작은 p 값에 해당합니다. 이를 통해 Crow-AMSAA 모형은 데이터에 적절하게 적합되지 않는다는 결론을 내립니다.

그림 11.14 적합도 보고서 - Cramer-von Mises 검정

모형			
Crow-AMSAA			
추정값			
공분산 행렬			
적합도			
Cramer			
비편향 베타	von Mises	p 값	
0.459034	0.546322	< 0.01	

구간 중도절단된 고장 시간에 대한 카이제곱 적합도 검정

시작 창에서 데이터를 두 개의 사건 발생 시간 또는 타임스탬프 열로 입력한 경우 카이제곱 적합도 검정이 수행됩니다. 카이제곱 검정은 정의된 시간 구간에서 관측된 고장 수와 기대 고장 수의 비교를 기반으로 합니다. 검정 통계량의 값이 크면 귀무가설이 기각되고 모형이 적합되지 않는다는 결론을 내립니다.

신뢰도 성장 플랫폼에서 카이제곱 적합도 검정은 데이터 테이블에 지정된 시간 구간이 전체 시험 기간을 포함하는 구간 중도절단 데이터를 대상으로 합니다. 이는 구간의 시작 시간이 이전 구간의 종료 시간임을 의미합니다. 특히 고장이 발생하지 않은 구간이 데이터 테이블에 포함되어야 합니다. 일부 구간이 연속되지 않거나, 일부 구간의 시작 시간과 종료 시간이 동일한 경우 알 고리즘에서 적절하게 조정됩니다. 그러나 시험 결과는 대략적으로만 정확합니다.

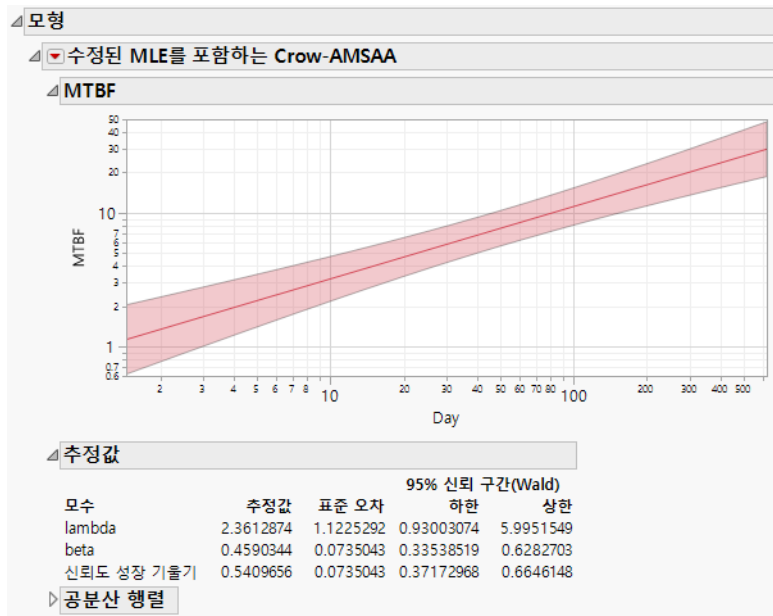
수정된 MLE 를 포함하는 Crow AMSAA

신뢰도 성장 플랫폼에서는 수정된 MLE(최대 가능도 추정값)를 사용하여 Crow-AMSAA 모형을 적합시킬 수 있습니다. Crow-AMSAA 모형에서 β 의 MLE는 편향되어 있습니다. 이 옵션은 β 의 편향이 조정된 Crow-AMSAA 모형을 적합시킵니다.

참고 : 이 옵션은 시작 창에서 데이터를 단일 사건 발생 시간 또는 타임스탬프 열로 입력한 경우에만 사용할 수 있습니다. 구간 중도절단 데이터에는 사용할 수 없습니다.

그림 11.15에서는 TurbineEngineDesign1.jmp 데이터에 대한 "수정된 MLE를 포함하는 Crow-AMSAA" 적합을 보여 줍니다.

그림 11.15 수정된 MLE 를 포함하는 Crow-AMSAA 보고서



β 의 편향 수정 추정값 계산식은 시험이 고장 종료되었는지 아니면 시간 종료되었는지에 따라 달라집니다. 자세한 내용은 "수정된 MLE를 포함하는 Crow-AMSAA의 모수 추정값"에서 확인하십시오.

"수정된 MLE를 포함하는 Crow-AMSAA" 옵션을 선택하면 "누적 사건" 그림이 업데이트되어 이 모형이 표시됩니다. "모형 목록"도 업데이트됩니다. "수정된 MLE를 포함하는 Crow-AMSAA" 보고서가 열리고, 수정된 MLE를 포함하는 Crow-AMSAA 적합에 대한 MTBF 그림, 추정값 및 공분산 행렬이 표시됩니다. 이 그림은 "MTBF 그림" 섹션에서 설명됩니다.

"MTBF 그림 표시" 외에도 "강도 그림 표시", "누적 사건 그림 표시", "프로파일러 표시", "달성된 MTBF" 및 "적합도" 옵션을 사용할 수 있습니다. 이러한 보고서는 "Crow AMSAA"에서 설명됩니다. 수정된 MLE를 사용하여 이러한 보고서를 생성하는 방법에 대한 자세한 내용은 "수정된

MLE를 포함하는 Crow-AMSAA의 모수 추정값"에서 확인하십시오. 수정된 MLE 옵션과 관련된 "적합도" 및 "달성된 MTBF" 보고서에 대한 자세한 내용은 아래에 나와 있습니다.

적합도

"수정된 MLE를 포함하는 Crow-AMSAA" 옵션은 데이터를 단일 사건 발생 시간 또는 타임스탬프 열로 입력한 경우에만 사용할 수 있으므로 적합도 검정은 Cramer-von Mises 검정입니다. 이 검정에 사용되는 β 의 추정값은 편향 수정되었으므로 검정 결과는 Crow-AMSAA 모형에 대한 적합도 검정과 동일합니다.

달성된 MTBF

달성된 MTBF는 수정된 MLE를 사용하여 추정됩니다. 그러나 달성된 MTBF에 대한 신뢰 구간은 실제 MLE를 사용하며 Crow AMSAA 모형에서 제공하는 구간과 동일합니다.

고정 모수 Crow AMSAA

신뢰도 성장 플랫폼에서는 고정 모수를 사용하여 Crow-AMSAA 모형을 적합시킬 수 있습니다. 이 옵션을 사용하면 Crow-AMSAA 적합에 대한 모수 값을 지정할 수 있습니다. "고정 모수 Crow-AMSAA" 옵션을 선택하기 전에 "Crow-AMSAA" 보고서가 생성되지 않은 경우 "Crow-AMSAA" 보고서와 "고정 모수 Crow-AMSAA" 보고서가 모두 제공됩니다.

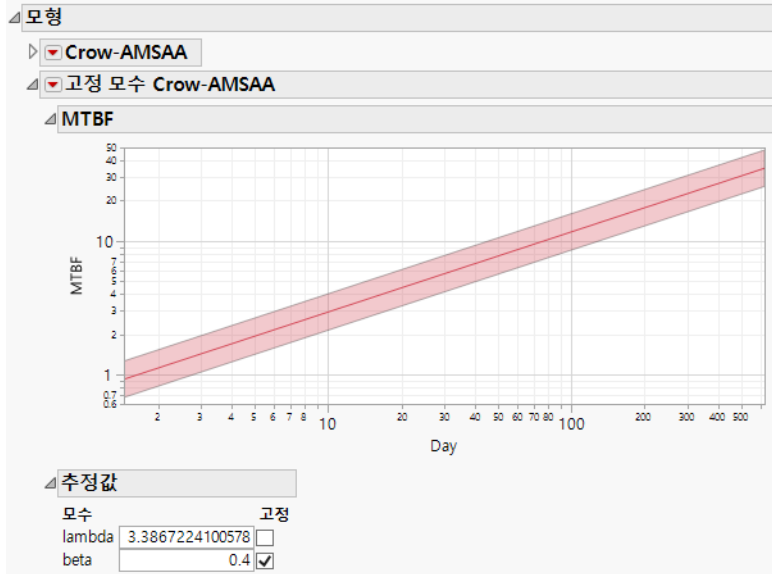
"고정 모수 Crow-AMSAA" 옵션을 선택하면 "누적 사건" 그림이 업데이트되어 이 모형이 표시됩니다. "모형 목록"도 업데이트됩니다. "고정 모수 Crow-AMSAA" 보고서가 열리고 Crow-AMSAA 적합에 대한 MTBF 그림이 표시됩니다. 이 그림은 "MTBF 그림" 섹션에서 설명됩니다.

"MTBF 그림 표시" 외에도 "강도 그림 표시", "누적 사건 그림 표시" 및 "프로파일러 표시" 옵션을 사용할 수 있습니다. 이러한 그림의 생성 및 해석은 "Crow AMSAA"에서 설명됩니다.

추정값

초기 모수 추정값은 Crow-ASMAA 적합의 MLE입니다. 원하는 모수 옆의 상자를 선택한 후 원하는 값을 입력하여 모수를 고정할 수 있습니다. 모형이 다시 추정되고 MTBF 그림이 업데이트되어 이 모형을 설명합니다. 그림 11.16에서는 베타 값이 0.4로 설정된 TurbineEngineDesign1.jmp 데이터에 대한 고정 모수 Crow-AMSAA 적합을 보여 줍니다.

그림 11.16 고정 모수 Crow-AMSAA 보고서

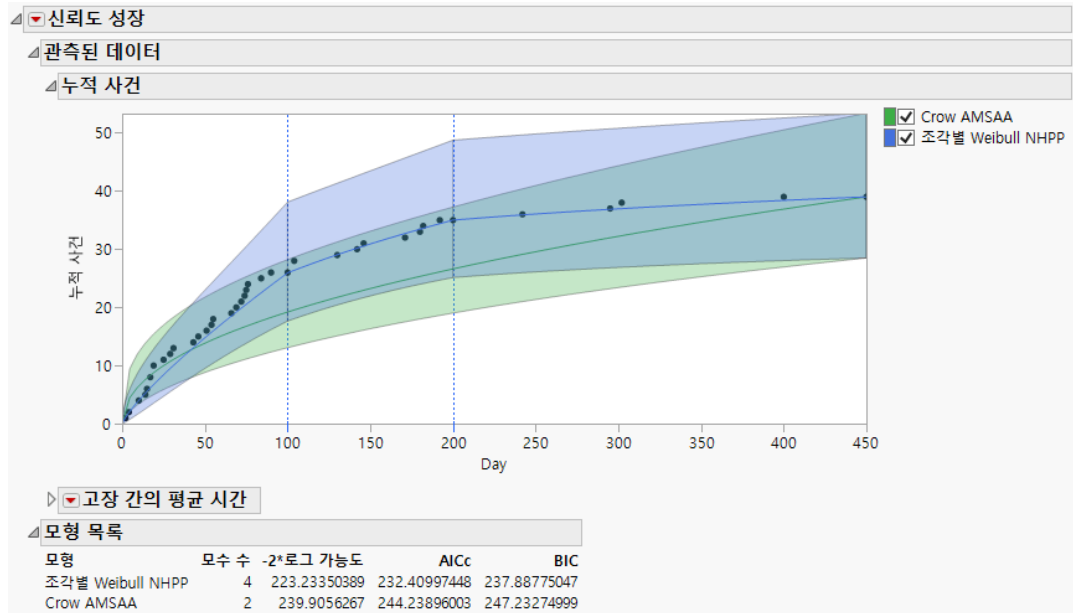


조각별 Weibull NHPP

신뢰도 성장 플랫폼 시작 창에서 두 개 이상의 값을 지정하는 단계 열을 입력한 경우 조각별 Weibull NHPP 모형을 적합시킬 수 있습니다. 단계 시작 시점의 누적 사건 수가 이전 단계 종료 시점의 누적 사건 수와 일치한다는 제약 조건 하에서 Crow-AMSAA 모형이 각 단계에 적합됩니다. 단계 전이 시간을 올바르게 표시하려면 첫 번째 단계를 제외한 모든 단계의 첫 번째 행에 해당 단계의 시작 시간이 제공되어야 합니다. 자세한 내용은 "[여러 시험 단계](#)"에서 확인하십시오.

보고서가 실행되면 "누적 사건" 그림이 업데이트되어 조각별 모형이 표시됩니다. 파란색 수직 파선은 각 단계의 전이 시간을 나타냅니다. "모형 목록"도 업데이트됩니다. [그림 11.17](#)에서는 TurbineEngineDesign1.jmp 데이터에 적합된 Crow-AMSAA 모형과 조각별 Weibull NHPP 모형을 모두 보여 줍니다. 두 모형은 "모형 목록" 보고서에서 비교됩니다.

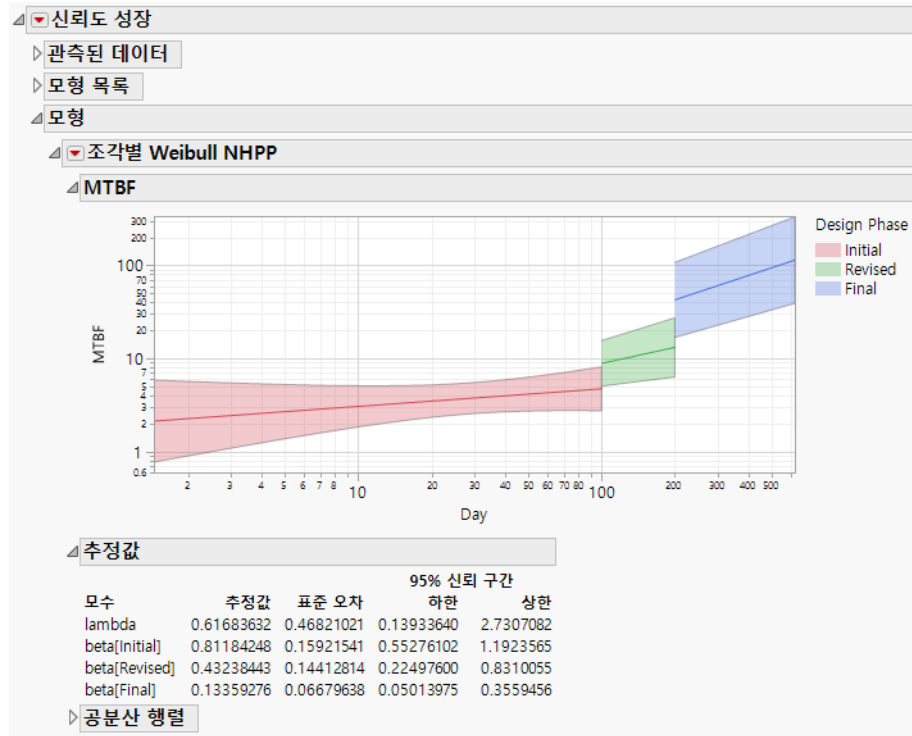
그림 11.17 누적 사건 그림 및 모형 목록 보고서



조각별 Weibull NHPP 보고서

기본적으로 "조각별 Weibull NHPP" 보고서에는 추정된 MTBF 그림이 표시됩니다. 단계는 서로 다른 색상으로 구별됩니다. "추정값" 및 "공분산 행렬" 보고서가 그림 아래에 표시됩니다.

그림 11.18 조각별 Weibull NHPP 보고서



MTBF 그림

"조각별 Weibull NHPP" 옵션을 선택하면 "MTBF" 그림과 "추정값" 보고서가 기본적으로 나타납니다(그림 11.18). 사건 발생 시간 형식을 사용한 경우 축이 로그로 척도화됩니다. 그림에 대한 자세한 내용은 "MTBF 그림"에서 확인하십시오.

추정값

"추정값" 보고서에는 모형 모수의 추정값이 제공됩니다. 첫 번째 단계에 해당하는 λ 값의 추정값만 제공됩니다. 조각별 모형에서 한 단계가 끝날 때의 누적 사건은 다음 단계가 시작될 때의 누적 사건 수와 일치해야 합니다. 이러한 제약 조건 때문에 첫 번째 단계의 λ 추정값과 β 추정값으로 나머지 λ 가 결정됩니다.

추정값, 표준 오차 및 신뢰 한계를 계산하는 데 사용되는 방법은 단순 Crow-AMSAA 모형에 사용되는 방법과 비슷합니다. 자세한 내용은 "Crow-AMSAA 모형의 모수 추정값"에서 확인하십시오. 가능도 함수는 누적 사건 수에 대한 제약 조건과 추가 모수를 반영합니다.

공분산 행렬

적합 모형의 모수 추정값에 대한 추정된 공분산 행렬입니다. 이 보고서는 기본적으로 닫혀 있습니다.

조각별 Weibull NHPP 옵션

이 섹션에서는 "조각별 Weibull NHPP"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 사용할 수 있는 옵션에 대해 설명합니다.

MTBF 그림 표시

이 옵션은 MTBF 그림을 표시하거나 숨깁니다. 자세한 내용은 "[MTBF 그림](#)"에서 확인하십시오.

강도 그림 표시

"강도" 그림에는 설계 단계에 대한 추정된 강도 함수와 신뢰경계가 표시됩니다. 일반적으로 강도 함수는 단계 전이에서 불연속적입니다. 색상 코딩으로 단계를 쉽게 구별할 수 있습니다. 사건 발생 시간 형식을 사용한 경우 축이 로그로 척도화됩니다. 자세한 내용은 "[강도 그림 표시](#)"에서 확인하십시오.

누적 사건 그림 표시

"누적 사건" 그림에는 설계 단계에 대한 추정된 누적 사건 수와 신뢰경계가 표시됩니다. 이 모형에서 한 단계가 끝날 때의 누적 사건은 다음 단계가 시작될 때의 누적 사건 수와 일치해야 합니다. 색상 코딩으로 단계를 쉽게 구별할 수 있습니다. 사건 발생 시간 형식을 사용한 경우 축이 로그로 척도화됩니다. 자세한 내용은 "[누적 사건 그림 표시](#)"에서 확인하십시오.

프로파일러 표시

추정된 MTBF, 고장 강도 및 누적 사건을 보여 주는 세 개의 프로파일러가 표시됩니다. 이러한 프로파일러에는 로그 척도화가 사용되지 않습니다. 이러한 프로파일러의 해석 및 사용에 대한 자세한 내용은 "[프로파일러 표시](#)" 섹션에서 확인하십시오.

프로파일러 그림의 기본 해상도 때문에 MTBF 또는 고장 강도 프로파일러에서 불연속성이 명확하게 표시되지 않습니다. 단계 전이 근방에서 프로파일러 트레이스는 거의 수직이지만 약간 기울어진 선을 보여 줍니다. 이 선은 불연속성을 나타냅니다([그림 11.19](#)). 이러한 단계 전이의 선은 추정에 사용하면 안 됩니다. 이러한 선이 더 수직으로 나타나도록 고해상도 표시를 사용해 보십시오.

1. Ctrl 키를 누른 채로 프로파일러 그림을 클릭합니다.
2. 창이 나타나면 "표시된 점의 수"에 더 큰 값을 입력합니다. [그림 11.20](#)에서는 "표시된 점의 수"에 "500"을 지정했습니다.

그림 11.19 프로파일러

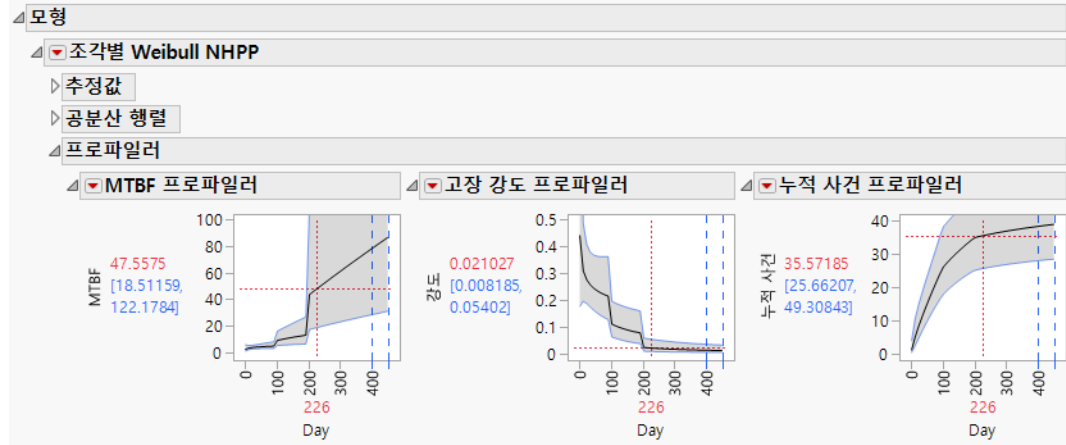


그림 11.20 요인 설정 창

요인	Day
현재 값:	226
최소 설정:	2
최대 설정:	450
그림에 그린 점의 수:	500
표시	<input checked="" type="checkbox"/>
요인 설정 잠금:	<input type="checkbox"/>
<input type="button" value="확인"/> <input type="button" value="취소"/>	

다시 초기화된 Weibull NHPP

신뢰도 성장 플랫폼에서는 각 시험 단계의 데이터에 독립적인 성장 모형을 적합시킬 수 있습니다. 이러한 방식의 모형 적합은 시험 또는 엔지니어링 측면에서 성장률에 영향을 미치는 요인이 단계 간에 크게 변경된 경우에 유용할 수 있습니다. 이런 상황에서는 시험 단계를 독립적으로 비교할 수 있습니다. 시작 창에서 세 개 이상의 단계를 지정하는 단계 열을 입력한 경우 "다시 초기화된 Weibull NHPP" 옵션을 사용할 수 있습니다.

알고리즘이 이 모형을 적합시키려면 새 단계의 첫 번째 발생을 포함하는 각 행에 시작 날짜가 포함되어야 합니다.

- 단일 열을 사건 발생 시간 또는 타임스탬프로 입력하는 경우를 가정해 보겠습니다. 그러면 사건 개수가 0 인 새 단계의 시작 시간이 해당 단계의 첫 번째 행에 나타나야 합니다. 예는 Reliability 하위 폴더의 ProductionEquipment.jmp 샘플 데이터 테이블을 참조하십시오.
- 두 개의 열을 입력한 경우 왼쪽 끝점이 해당 시작 시간인 구간이 적절한 사건 개수와 함께 첫 번째 행에 나타나야 합니다. Reliability 하위 폴더의 TurbineEngineDesign2.jmp 샘플 데이터 테이블에서 예를 제공합니다. "구간 중도절단 데이터를 사용한 신뢰도 성장 모형의 예"에 나오는 내용도 참조하십시오.

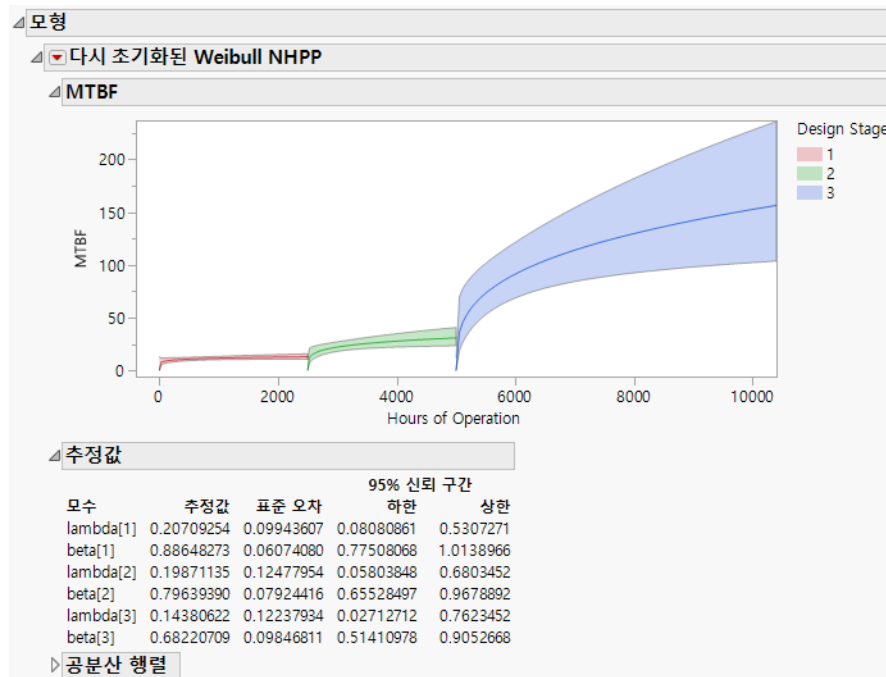
자세한 내용은 "여러 시험 단계"에서 확인하십시오.

독립 Crow-AMSAA 모형이 각 단계의 데이터에 적합됩니다. 보고서가 실행되면 "누적 사건" 그림이 업데이트되어 다시 초기화된 모형이 표시됩니다. 파란색 수직 파선은 각 단계의 전이 시점을 나타냅니다. "모형 목록"도 업데이트됩니다.

다시 초기화된 Weibull NHPP 보고서

기본적으로 "다시 초기화된 Weibull NHPP" 보고서에는 추정된 MTBF 그림이 표시됩니다. 단계는 서로 다른 색상으로 구별됩니다. "추정값" 및 "공분산 행렬" 보고서가 그림 아래에 표시됩니다. [그림 11.21](#)에서는 Reliability 하위 폴더의 ProductionEquipment.jmp 샘플 데이터 파일을 사용합니다.

그림 11.21 다시 초기화된 Weibull NHPP 보고서



MTBF 그림

"다시 초기화된 Weibull NHPP" 옵션을 선택하면 MTBF 그림이 기본적으로 열립니다. 그림에 대한 자세한 내용은 "MTBF 그림"에서 확인하십시오.

추정값

"추정값" 보고서에는 각 단계에 대한 λ 및 β 추정값이 제공됩니다. 지정된 단계의 데이터만 사용하여 λ 및 β 가 추정됩니다. 계산 시에는 단계가 시간 0에서 시작한다고 가정하고, 데이터 테이블 구조에 정의된 대로 단계가 고장 종료되었는지 아니면 시간 종료되었는지를 반영합니다. 자세

한 내용은 "[시험 단계](#)"에서 확인하십시오. 표준 오차와 95% 신뢰 한계도 표시됩니다. 이러한 값은 "[Crow-AMSAA 모형의 모수 추정값](#)"에 설명된 대로 계산됩니다.

공분산 행렬

적합 모형의 모수 추정값에 대한 추정된 공분산 행렬입니다. 이 보고서는 기본적으로 닫혀 있습니다.

다시 초기화된 Weibull NHPP 옵션

이 섹션에서는 "다시 초기화된 Weibull NHPP"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 사용할 수 있는 옵션에 대해 설명합니다.

MTBF 그림 표시

이 옵션은 MTBF 그림을 표시하거나 숨깁니다. 자세한 내용은 "[MTBF 그림](#)"에서 확인하십시오.

강도 그림 표시

"강도" 그림에는 단계에 대한 추정된 강도 함수와 신뢰 대역이 표시됩니다. 강도 함수는 단계 내의 데이터만 사용하여 계산되므로 단계 전이에서 불연속적입니다. 색상 코딩으로 단계를 쉽게 구별할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[강도 그림 표시](#)"에서 확인하십시오.

누적 사건 그림 표시

다시 초기화된 Weibull NHPP 모형의 누적 사건 그림에서는 다음과 같은 방식으로 설계 단계에 대한 추정된 누적 사건 수와 신뢰 대역을 나타냅니다. t 가 시험의 첫 번째 단계가 시작된 이후의 시간을 나타낸다고 하겠습니다. 시간 t 에서 유효한 단계의 모형은 시간 t 에서 평가됩니다. 특히, 유효한 단계의 모형은 특정 단계가 시작된 이후 시점에서 평가되지 않으며 시험의 첫 번째 단계가 시작된 이후 시점에서 평가됩니다.

단계 전이 시 누적 사건 함수는 불연속적입니다. 누적 사건 그림에서는 한 단계가 시작될 때의 추정된 누적 사건 수와 이전 단계가 끝날 때의 누적 사건 수를 일치시킵니다. 이를 통해 사용자는 관측된 누적 사건을 추정된 누적 사건 함수와 비교할 수 있습니다. 색상 코딩으로 단계를 쉽게 구별할 수 있습니다.

프로파일러 표시

추정된 MTBF, 고장 강도 및 누적 사건을 보여 주는 세 개의 프로파일러가 표시됩니다. 누적 사건 프로파일러는 "누적 사건 그림" 섹션에 설명된 대로 생성됩니다. 특히, 한 단계가 시작될 때의 누적 사건 수는 이전 단계가 끝날 때의 수와 일치합니다. 자세한 내용은 "[프로파일러 표시](#)"에서 확인하십시오.

조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지

신뢰도 성장 플랫폼의 "조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지" 옵션은 신뢰성 모형이 변화하는 시점을 찾으려고 합니다. 이는 시험 기간 동안 신뢰도 성장에 변화가 발생했다고 의심되는 경우 유용할 수 있습니다. 감지는 두 개의 잠재적 단계에 해당하는 단일 변화 지점만 찾습니다.

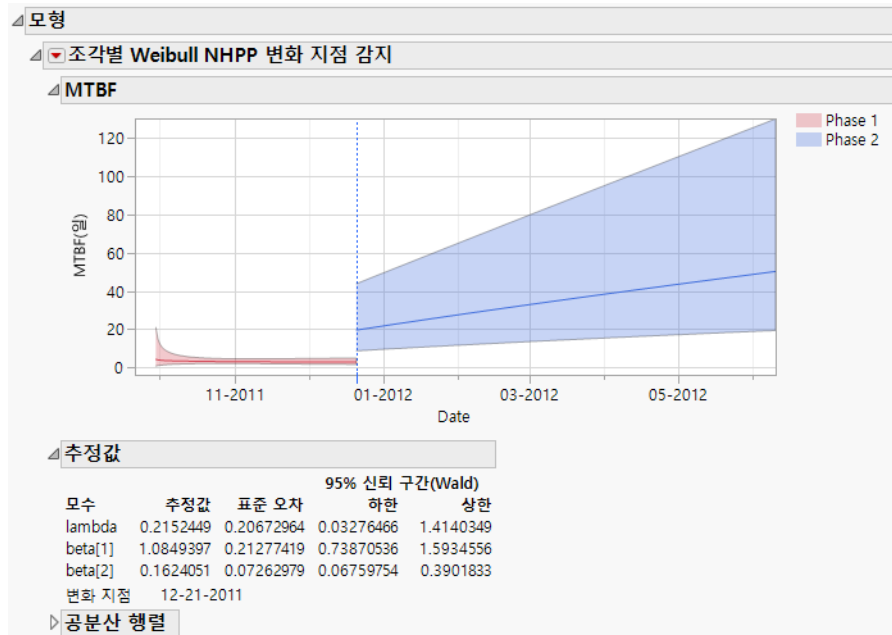
이 옵션은 시작 창에 단계를 입력하지 않았고 다음 중 하나에 해당하는 경우에만 사용할 수 있습니다.

- 시작 창에서 단일 열을 사건 발생 시간 또는 타임스탬프로 입력했습니다 (고장 시간이 정확함을 나타냄).
- 시작 창의 "동시 시스템" 패널에서 두 열을 사건 발생 시간으로 입력했습니다.

"조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지" 옵션을 선택하면 추정된 모형 그림과 신뢰 대역이 "관측된 데이터" 아래의 "누적 사건" 보고서에 추가됩니다. "모형 목록"이 업데이트되어 추정된 변화 지점을 조건으로 하는 통계량이 제공됩니다. "모형" 아래에 "조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지" 보고서가 제공됩니다.

기본 "조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지" 보고서에는 MTBF 그림, 추정값 및 공분산 행렬이 표시됩니다. [그림 11.22](#)에서는 Reliability 하위 폴더의 BrakeReliability.jmp 데이터를 사용합니다. "추정값" 보고서 하단에 표시된 "변화 지점"은 2011년 12월 21일로 추정됩니다. 표준 오차 및 신뢰 구간은 알려진 변화 지점을 고려합니다. 그림과 "추정값" 보고서는 "[조각별 Weibull NHPP](#)" 섹션에서 설명됩니다.

그림 11.22 조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지 보고서



"MTBF 그림 표시", "강도 그림 표시", "누적 사건 그림 표시" 및 "프로파일러 표시" 옵션을 사용할 수 있습니다. 이러한 옵션은 "다시 초기화된 Weibull NHPP 옵션" 섹션에서 설명됩니다.

변화 지점을 추정하는 데 사용되는 절차는 "조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지 보고서에 대한 통계 상세 정보"에서 설명됩니다.

신뢰도 성장 플랫폼의 추가 예

이 섹션에는 신뢰도 성장 플랫폼을 사용하는 예가 포함되어 있습니다.

- " 구간 중도절단 데이터를 사용한 신뢰도 성장 모형의 예 "
- " 조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지의 예 "

구간 중도절단 데이터를 사용한 신뢰도 성장 모형의 예

이 예에서는 구간 중도절단 데이터를 사용하여 조각별 NHPP Weibull 모형을 적합시킵니다. 데이터는 시험 프로그램의 세 단계에 걸친 터빈 엔진 설계의 고장입니다. 처음 두 열은 고장이 발생한 시간 구간을 제공합니다. 이러한 구간은 시험 시작 이후의 일수로 기록됩니다. 정확한 고장 시간은 알려져 있지 않으며, 이 구간 내에서 고장이 발생했다는 것만 확인되었습니다.

일반적으로 고장 보고서는 매주마다 제공됩니다. 고장이 없었고 단계 내에 완전히 포함된 구간은 데이터 테이블에 포함되지 않습니다(예: 106 ~ 112 구간은 테이블에 표시되지 않음). 이러한 구간은 가능도 함수에 기여하지 않으므로 모형 모수를 추정하는 데 필요하지 않습니다.

그러나 조각별 Weibull NHPP 또는 다시 초기화된 Weibull NHPP 모형을 적합시키려면 모든 단계의 시작 시간을 사건 발생 시간 또는 타임스탬프 열에 제공해야 합니다.

여기서는 세 단계가 0일(Initial 단계), 91일(Revised 단계) 및 200일(Final 단계)에 시작되었습니다. Initial 및 Revised 단계를 시작한 몇 주 동안 고장이 발생했습니다. 그러나 196일에서 231일 사이에는 고장이 보고되지 않았습니다. 이러한 이유로 시작일과 종료일이 200인 구간이 테이블(23행)에 포함되었으며 0개의 고장을 반영합니다. 이는 Final 단계의 시작 시간을 결정하는 데 필요합니다.

시험은 385일에 종료되었습니다. 이는 단계가 시간 종료된 구간 중도절단 고장 시간의 예입니다.

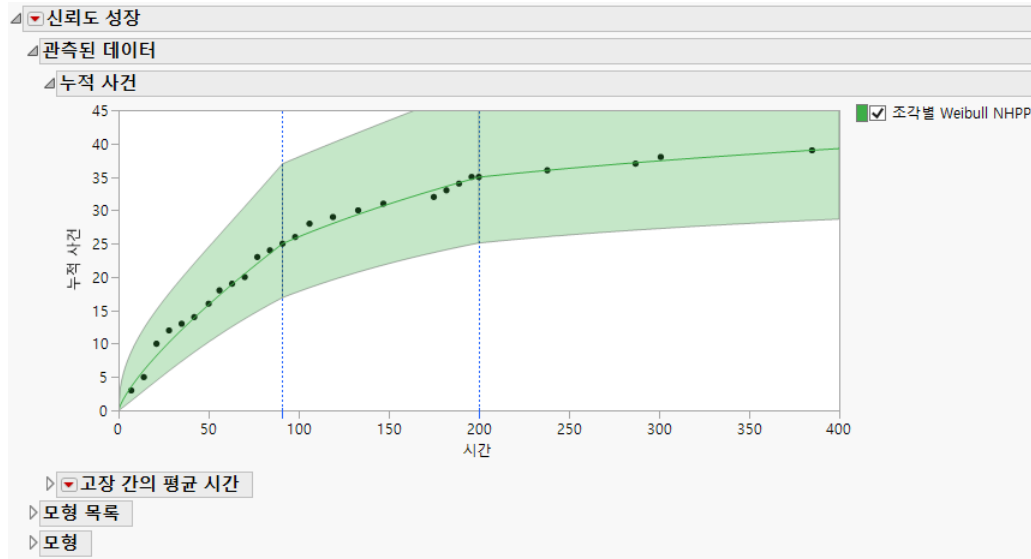
참고 : 조각별 Weibull NHPP 모형의 전이 시간을 올바르게 표시하려면 단계 시작 시간이 필요합니다. 이러한 시간은 다시 초기화된 Weibull NHPP 모형 추정에 필요합니다. 구간 중도절단 데이터의 경우 알고리즘은 단계 시작 시간을 해당 단계 지정의 첫 번째 발생을 포함하는 행에 기록된 시작 날짜로 정의합니다. 이 예에서 23 행이 테이블에 없으면 Final 단계의 시작 시간은 231로 간주됩니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/TurbineEngineDesign2.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 신뢰도 성장**을 선택합니다.

3. **사건 발생 시간 형식** 탭에서 Interval Start 및 Interval End 열을 선택하고 **사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. Fixes 를 선택하고 **사건 개수**를 클릭합니다.
5. Design Phase 를 선택하고 **단계**를 클릭합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.
7. "신뢰도 성장"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모형 적합 > 조각별 Weibull NHPP**를 선택합니다.

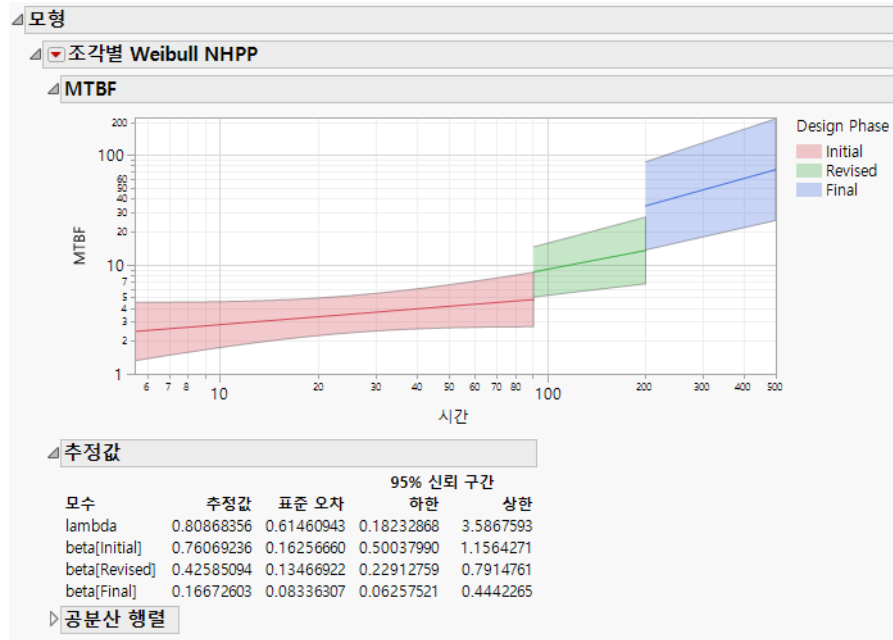
"관측된 데이터" 보고서의 "누적 사건" 그림이 [그림 11.23](#)에 나와 있습니다. 파란색 수직 파선은 단계 전이 지점을 나타냅니다. Design Phase 열에서 첫 번째 Revised 항목은 14 행에 있습니다. 따라서 Revised 단계의 시작은 14 행의 Interval Start 값, 즉 91 일로 간주됩니다. 마찬가지로 Design Phase 열에서 첫 번째 Final 항목은 23 행에 있습니다. 따라서 Final 단계의 시작은 23 행의 Interval Start 값, 즉 200 일로 간주됩니다.

그림 11.23 누적 사건 그림



"조각별 Weibull NHPP" 보고서는 "모형" 개요 노드 아래에 있습니다. 여기서, 세 단계가 진행되는 동안 MTBF(평균 고장 간격)가 증가하는 것을 확인할 수 있습니다. "추정값" 보고서를 보면 세 가지 시험 단계가 진행되는 동안 베타 추정값이 감소하는 것을 확인할 수 있습니다.

그림 11.24 MTBF 그림



조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지의 예

이 예에서는 날짜 형식의 시간 데이터를 사용하여 조각별 NHPP Weibull 모형의 변화 지점 감지를 보여 줍니다. 데이터는 제동 장치에 대한 수정 항목입니다. Date 열은 두 번째 열에 지정된 Fixes의 구현 날짜를 제공합니다. 이러한 데이터의 경우 고장 시간이 알려져 있습니다. Date 열은 오름차순이어야 합니다.

시험 시작 시간은 Date 열의 첫 번째 항목인 2011년 9월 29일이며, 이에 해당하는 Fixes 값은 0으로 설정됩니다. 이는 시험 시작 시간을 제공하기 위해 필요합니다. 이 첫 번째 행의 Fixes 값이 0이 아닌 경우 해당 날짜가 시험 시작 시간으로 간주됩니다. 그러나 Fixes 값은 분석에서 0으로 처리되었을 수 있습니다.

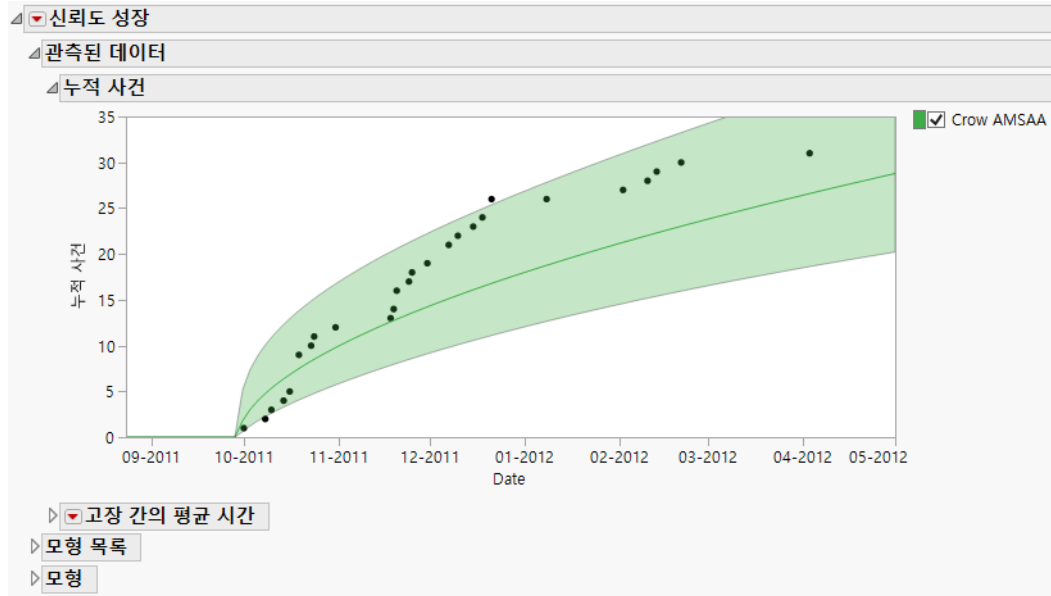
시험 종료 시간은 마지막 행에 2012년 5월 31일로 제공됩니다. 마지막 행의 Fixes 값이 0이므로 시험이 2012년 5월 31일에 종료된 것으로 간주됩니다. 이 마지막 행의 Fixes 값이 0이 아닌 경우 시험이 고장 종료된 것으로 간주되었을 수 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/BrakeReliability.jmp를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 신뢰도 성장**을 선택합니다.
3. **날짜 형식** 탭을 선택합니다.
4. Date를 선택하고 **타임스탬프**를 클릭합니다.
5. Fixes를 선택하고 **사건 개수**를 클릭합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.

7. "신뢰도 성장"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모형 적합 > Crow AMSAA**를 선택합니다.

"관측된 데이터" 보고서의 "누적 사건" 그림이 업데이트되어 모형이 표시됩니다. 모형이 데이터에 잘 적합되지 않는 것 같습니다.

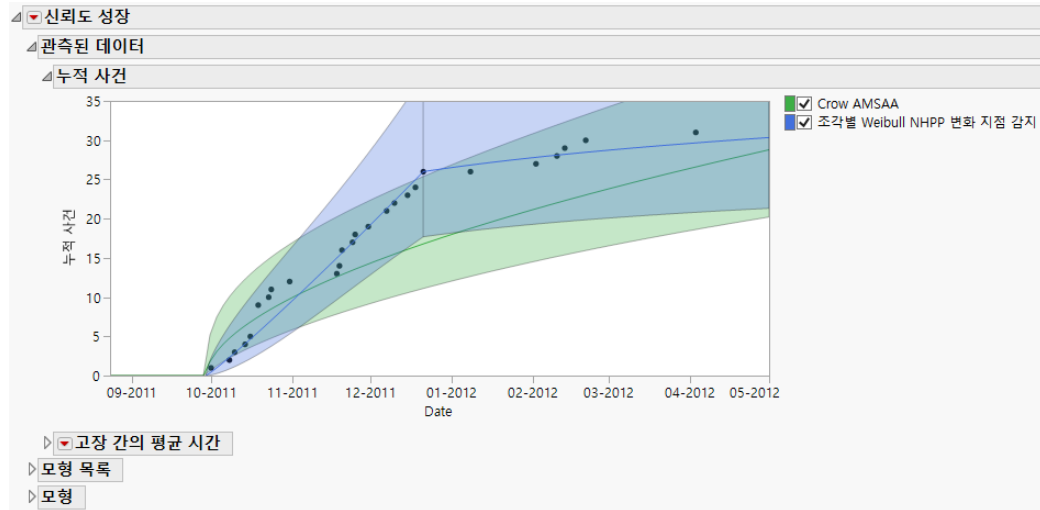
그림 11.25 Crow AMSAA 모형이 포함된 누적 사건 그림



8. "신뢰도 성장"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모형 적합 > 조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지**를 선택합니다.

"관측된 데이터" 보고서의 "누적 사건" 그림이 업데이트되어 변화 지점 감지를 사용한 조각별 모형 적합이 표시됩니다. 두 모형 모두 [그림 11.26](#)에 나와 있습니다. 데이터가 다소 희박하지만 조각별 모형이 데이터에 더 잘 적합되는 것 같습니다.

그림 11.26 두 모형이 포함된 누적 사건 그림



신뢰도 성장 플랫폼에 대한 통계 상세 정보

이 섹션에는 신뢰도 성장 플랫폼에 대한 통계 상세 정보가 포함되어 있습니다.

- ["Crow-AMSAA 보고서에 대한 통계 상세 정보"](#)
- ["조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지 보고서에 대한 통계 상세 정보"](#)

Crow-AMSAA 보고서에 대한 통계 상세 정보

이 섹션에는 "Crow-AMSAA" 보고서에 표시되는 모수 추정값 및 프로파일러에 대한 상세 정보가 포함되어 있습니다.

Crow-AMSAA 모형의 모수 추정값

"수정된 MLE 를 포함하는 Crow-AMSAA" 옵션을 제외하고 λ 및 β 의 추정값은 다음과 같이 계산되는 최대 가능도 추정값입니다. 가능도 함수는 Meeker & Escobar(1998) 의 방법론을 사용하여 도출됩니다. 이는 $\text{param}_1 = \log(\lambda)$ 및 $\text{param}_2 = \log(\beta)$ 에 따라 다시 파라미터화됩니다. 이 작업은 무제약 최적화 알고리즘, 즉 $-\infty$ 에서 $+\infty$ 까지 검색하는 알고리즘을 사용할 수 있도록 하기 위해 수행됩니다. param_1 및 param_2 에 대한 MLE 를 얻습니다.

λ 및 β 의 표준 오차는 Fisher 정보 행렬에서 얻습니다. param_1 및 param_2 에 대한 신뢰 한계는 Wald 통계량을 사용하여 MLE의 점근 분포를 기반으로 계산됩니다. 이러한 추정값과 신뢰 한계는 지수 함수를 사용하여 원래 단위로 다시 변환됩니다.

수정된 MLE 를 포함하는 Crow-AMSAA 의 모수 추정값

"수정된 MLE 를 포함하는 Crow AMSAA" 옵션의 경우 β 추정값은 편향이 수정됩니다. β 의 편향 수정 추정값 계산식은 시험이 고장 종료되었는지 아니면 시간 종료되었는지에 따라 달라집니다.

β 에 대한 MLE 를 $\hat{\beta}$ 로 나타내고 n 은 관측값 수, T 는 총 시험 시간이라고 하겠습니다.

β 의 편향 수정 추정값 (수정된 MLE) 은 $\bar{\beta}$ 입니다.

$$\bar{\beta} = \left(\frac{n-2}{n}\right)\hat{\beta} \text{ 고장 종료된 시험의 경우}$$

$$\bar{\beta} = \left(\frac{n-1}{n}\right)\hat{\beta} \text{ 시간 종료된 시험의 경우}$$

λ 에 대한 수정된 MLE ($\bar{\lambda}$ 로 표시) 는 가능도 함수로 주어진 표현식에 따라 계산되지만 조정된 베타 값을 기반으로 합니다.

$$\bar{\lambda} = n/T^{\bar{\beta}}$$

모수에 대한 공분산 행렬은 Fisher 정보 행렬을 사용하여 추정됩니다. 자세한 내용은 ["Crow-AMSAA 모형의 모수 추정값"](#) 에서 확인하십시오. 그러나 λ 및 β 의 편향 수정 추정값이 결과 계산식의 MLE 대신 사용됩니다. 그림의 모든 신뢰 대역과 보고서의 신뢰 구간은 이 절차를 기반으로 합니다.

프로파일러

Crow-AMSAA 모형의 경우 프로파일러에 제공된 MTBF, 강도 및 누적 사건에 대한 추정값은 이론적 표현식의 λ 및 β 모수를 MLE 로 대체하여 계산됩니다. "수정된 MLE 를 포함하는 Crow-AMSAA" 옵션의 경우 수정된 MLE 가 사용됩니다. 신뢰 한계는 관심 표현식의 로그에 델타 방법을 적용하여 구합니다.

누적 사건 함수를 예로 들어보겠습니다. 시험 시작 이후 시간 t 에서의 누적 사건 수는 $N(t) = \lambda t^{\beta}$ 로 지정됩니다. 따라서 $\log(N(t)) = \log(\lambda) + \beta \log(t)$ 입니다. $\log(N(t))$ 의 λ 및 β 모수는 $\log(N(t))$ 를 추정하기 위해 MLE 또는 수정된 MLE 로 대체됩니다. 델타 방법이 이 표현식에 적용되어 분산 추정값을 구합니다. 이 추정값은 95% Wald 기반 신뢰 구간을 생성하는 데 사용됩니다. 그런 다음 지수 함수를 사용하여 결과 신뢰 한계가 변환되고 시간 t 에서의 추정된 누적 사건 수에 대한 신뢰 한계를 제공합니다.

조각별 Weibull NHPP 변화 지점 감지 보고서에 대한 통계 상세 정보

신뢰도 성장 플랫폼의 변화 지점은 다음과 같이 추정됩니다.

- 연속 사건 시간을 사용하여 겹치지 않는 구간을 정의합니다.

- 이 구간 내의 각 점을 두 개의 단계가 있는 조각별 Weibull NHPP 모형을 정의하는 변화 지점으로 간주할 수 있습니다. 해당 점으로 정의된 두 단계가 각각 두 개 이상의 사건으로 구성되면 알고리즘에서 해당 모형의 모수에 대한 MLE 를 계산할 수 있습니다. 해당 모형에 대한 로그 가능도도 계산할 수 있습니다.
- 겹치지 않는 각 구간 내에서 제약된 최적화 루틴을 사용하여 로그 가능도 함수의 로컬 최적을 찾습니다.
- 이러한 로컬 최적을 비교하고 가장 큰 값에 해당하는 점을 추정된 변화 지점으로 선택합니다.

이 절차는 Guo et al. (2010)에 설명된 격자 기반 방식과 다릅니다.

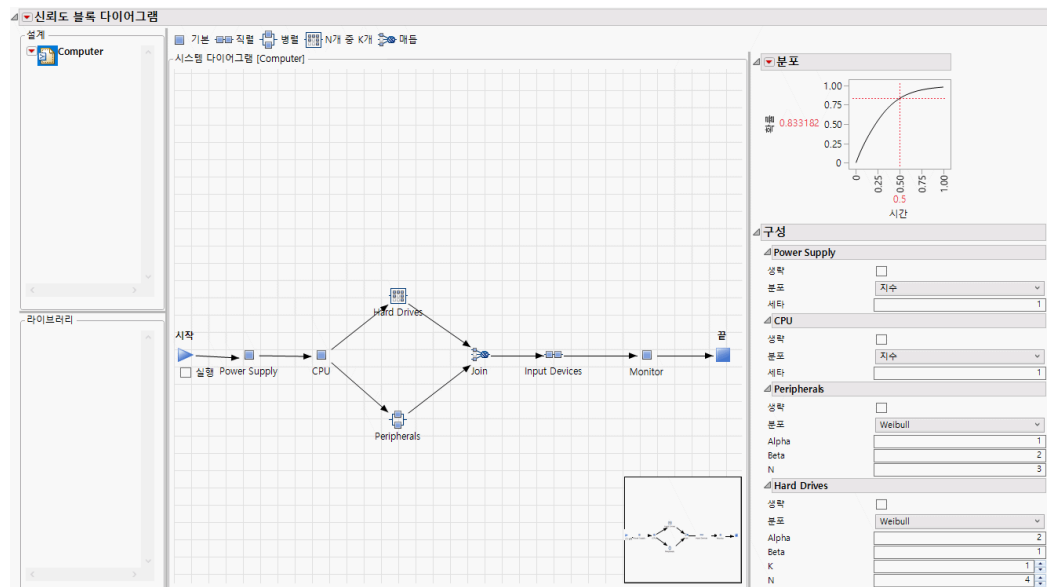
12 장

JMP PRO 신뢰도 블록 다이어그램 시스템 신뢰도 엔지니어링

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼은 JMP Pro에서만 사용할 수 있습니다.

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼에서는 시스템 부품 간의 신뢰도 관계를 보여 줍니다. 종속성 다이어그램이라고도 하는 신뢰도 블록 다이어그램에서는 부품 신뢰도가 시스템의 성공 또는 실패에 어떻게 기여하는지를 보여 줍니다. 부품에 신뢰도 분포가 할당된 경우 플랫폼에서 신뢰도 동작을 분석적으로 모델링합니다.

그림 12.1 신뢰도 블록 다이어그램의 예



목차

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼 개요	299
신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼의 예	299
신뢰도 블록 다이어그램 창.....	307
미리보기 창.....	308
신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼 옵션	309
작업 영역 옵션	312
구성 설정.....	312
분포 구성.....	313
비모수 분포 지정	314
설계 및 라이브러리 항목 옵션	316
프로파일러	317
부품 중요도 및 고장 시간	319
부품 그림.....	321
대수 신뢰도 계산식 출력.....	324
대수 표현식 데이터 테이블 생성	324
복제 및 삭제	325

JMP[®] PRO 신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼 개요

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼을 사용하면 시스템 및 관련 부품을 다이어그램으로 표시하여 부품 신뢰도가 전체 시스템의 성공에 어떤 영향을 미치는지 보여 줄 수 있습니다. 신뢰도 블록 다이어그램의 각 블록은 시스템의 부품을 나타내며 시스템의 다른 부품에 연결됩니다.

신뢰도 블록 다이어그램에는 직렬 또는 병렬로 연결된 부품이 포함될 수 있습니다. 직렬 부품에서 고장이 발생하면 전체 시스템이 고장 납니다. 병렬 연결(중복) 시스템에서 전체 시스템이 고장 나려면 모든 병렬 부품이 고장 나야 합니다. 또한 다이어그램에 N 개 중 K 개 부품이 포함될 수 있습니다. 이때 시스템이 작동하려면 n 개 중 k 개 부품이 작동해야 합니다.

신뢰도 블록 다이어그램 템플릿은 다이어그램 왼쪽에 "시작" 블록을 놓고 오른쪽에 "끝" 블록을 놓습니다. 셰이프 도구로 "시작" 블록부터 "끝" 블록까지 부품을 연결하여 분석할 시스템을 다이어그램으로 작성합니다.

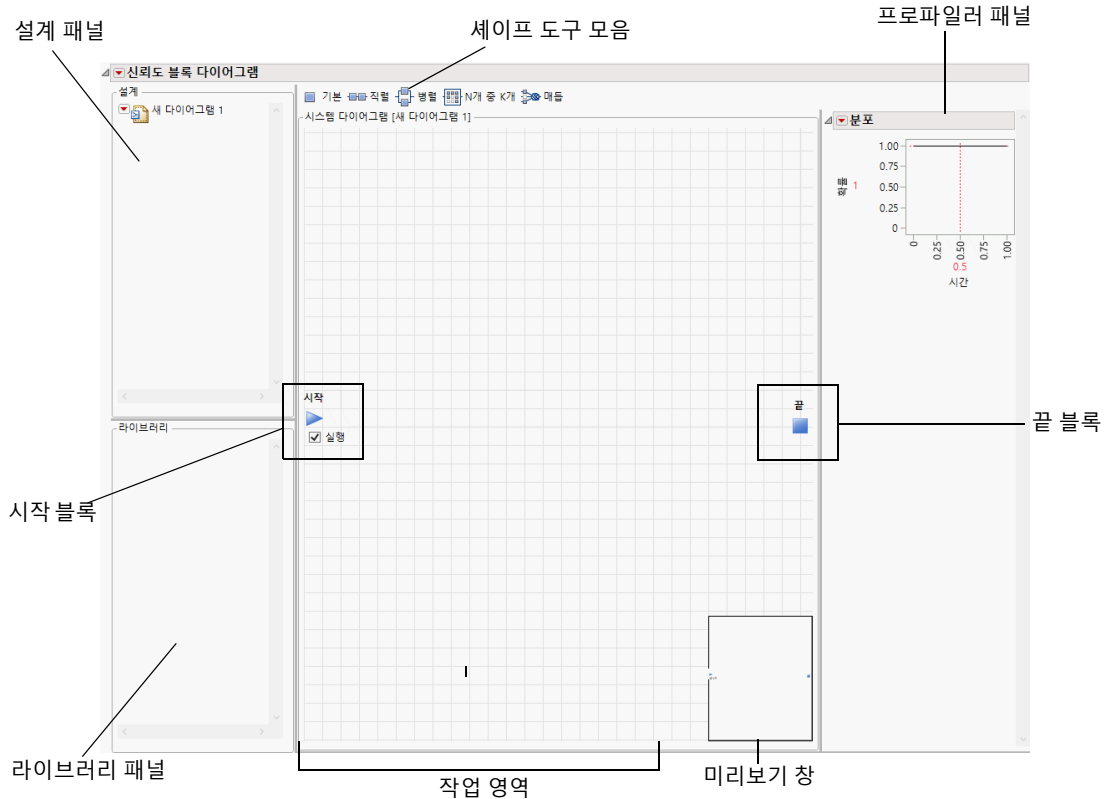
JMP[®] PRO 신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼의 예

이 예에서는 새 신뢰도 블록 다이어그램을 생성하는 방법을 알아봅니다.

1. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 신뢰도 블록 다이어그램**을 선택합니다.

비어 있는 신뢰도 블록 다이어그램 창이 나타납니다.

그림 12.2 새 신뢰도 블록 다이어그램



참고 : " 분포 " 프로파일러는 기본적으로 나타납니다 .

2. " 설계 " 패널에서 " 새 다이어그램 1 " 을 선택하고 "Computer" 로 이름을 바꿉니다 .
이제 작업 영역 이름은 " 시스템 다이어그램 [Computer]" 입니다 .
3. " 시작 " 블록에서 **실행** 을 선택 취소합니다 .

실행이 선택되어 있으면 시스템 다이어그램을 변경할 때마다 다이어그램의 신뢰도 계산이 업데이트됩니다 . 이러한 변경에는 부품 추가 또는 삭제 , 부품 구성 변경 , 연결 추가 또는 삭제 등이 포함될 수 있습니다 .

실행이 선택 취소되어 있으면 변경 후 플랫폼에서 신뢰도 계산을 업데이트하지 않습니다 .

팁 : 대규모 시스템의 다이어그램을 생성하는 경우 **실행**을 선택 취소합니다 . 다이어그램이 완료되면 **실행**을 선택합니다 .

4. " 부품 추가 " 작업을 진행합니다 .

부품 추가

도구 모음에 있는 신뢰도 블록 다이어그램 그리기 요소를 셰이프라고 합니다. 부품은 시스템의 구성 부분을 나타내는 셰이프를 말합니다.


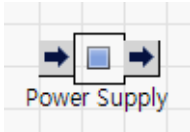
1. 셰이프 도구 모음에서 "기본" 아이콘  을 클릭하고 셰이프를 시스템 다이어그램의 "시작" 블록 오른쪽으로 드래그합니다.
2. 라벨을 선택하고 "새 기본 1" 을 "Power Supply" 로 바꾼 다음 Enter 키를 누릅니다.

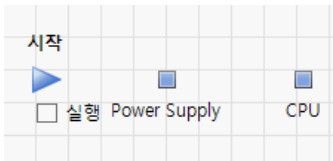
그림 12.3 기본 셰이프



라벨 또는 셰이프를 클릭하면 연결 화살표가 나타납니다. 템플릿의 다른 곳을 클릭하면 화살표가 사라집니다.

3. 두 번째 기본 셰이프를 Power Supply 셰이프 오른쪽으로 드래그합니다.
4. 라벨을 선택하고 "CPU" 를 입력합니다.

그림 12.4 시스템 다이어그램 예



참고 : 나중에 "셰이프 정렬" 섹션에서 셰이프를 정렬합니다.



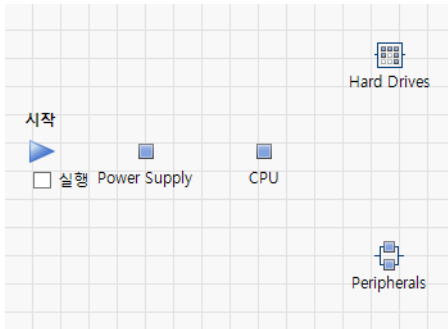
5. 병렬 셰이프  를 CPU 셰이프 오른쪽 아래로 드래그합니다.
6. 라벨을 선택하고 "Peripherals" 를 입력합니다.
7. N 개 중 K 개 셰이프  N개 중 K개를 CPU 셰이프 오른쪽 위로 드래그합니다.
8. 라벨을 선택하고 "Hard Drives" 를 입력합니다.

그림 12.5 시스템 다이어그램 (일부)





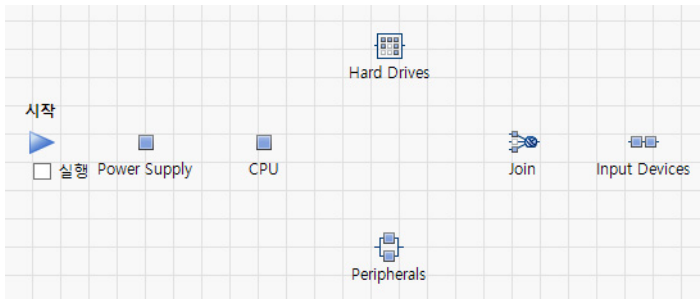
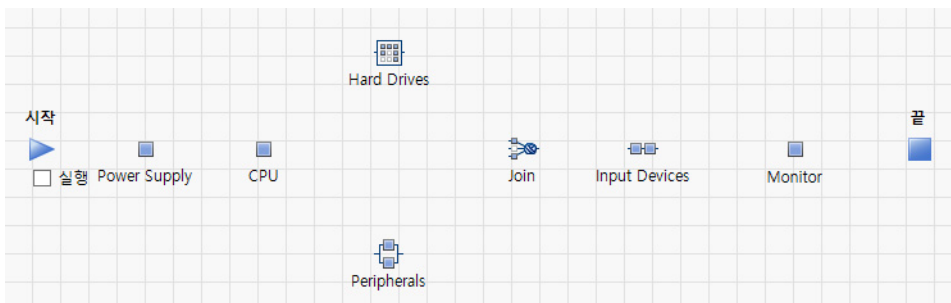
9. 매듭 셰이프  매듭 을 이전 셰이프의 오른쪽으로 드래그합니다 .
10. 라벨을 선택하고 "Join" 을 입력합니다 .
11. 직렬 셰이프  직렬 를 매듭 셰이프의 오른쪽으로 드래그합니다 .
12. 라벨을 선택하고 "Input Devices" 를 입력합니다 .

그림 12.6 시스템 다이어그램 (일부)



13. 기본 셰이프를 Input Devices 셰이프의 오른쪽으로 드래그합니다 .
14. 라벨을 선택하고 "Monitor" 를 입력합니다 .

그림 12.7 모든 셰이프가 표시된 시스템 다이어그램



15. "셰이프 정렬" 작업을 진행합니다.

셰이프 정렬

1. Hard Drives 및 Peripherals 의 셰이프를 세로로 정렬하려면 다음 부품을 선택합니다.

- Hard Drives
- Peripherals

팁 : 셰이프를 선택하려면 셰이프 주위를 커서로 드래그하거나, Shift 키를 누르고 각 셰이프를 클릭합니다.

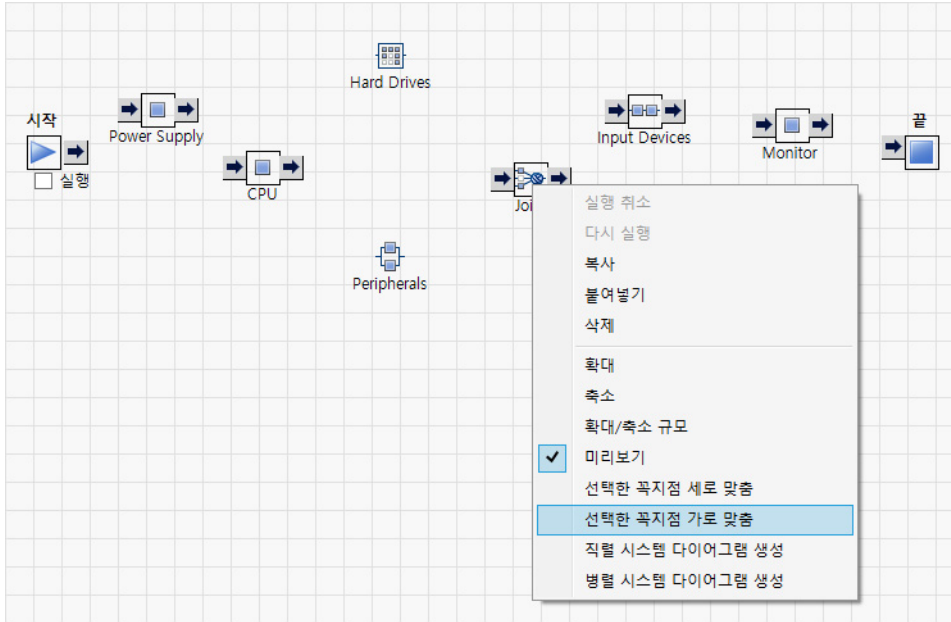
2. 셰이프를 선택한 상태에서 셰이프 중 하나를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **선택한 꼭지점 세로 맞춤**을 선택합니다.

3. 나머지 셰이프를 가로로 정렬하려면 다음 부품을 선택합니다.

- 시작
- Power Supply
- CPU
- Join
- Input Devices
- Monitor
- 끝

4. 셰이프를 선택한 상태에서 셰이프 중 하나를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **선택한 꼭지점 가로 맞춤**을 선택합니다.

그림 12.8 셰이프 가로 정렬



5. "셰이프 연결" 작업을 진행합니다.

셰이프 연결

셰이프를 연결하려면 셰이프를 선택하여 연결 화살표를 표시합니다. 셰이프 A 를 셰이프 B 에 연결한다고 가정해 보겠습니다. 셰이프 A 를 선택합니다. 셰이프 A 가 셰이프 B 앞에 있다고 나타내려면 오른쪽 화살표를 셰이프 B 로 드래그하고, 셰이프 B 가 셰이프 A 앞에 있다고 나타내려면 왼쪽 화살표를 셰이프 B 로 드래그합니다. 다이어그램에서 셰이프를 연결하려면 오른쪽 화살표를 선택하여 시퀀스의 다음 셰이프에 연결합니다.


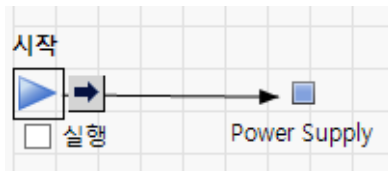
1. "시작" 블록 (파란색 화살표) 을 선택하여 연결 화살표를 표시합니다.
2. 단일 연결 화살표  를 선택하고 "Power Supply" 부품으로 드래그합니다.

그림 12.9 셰이프 연결

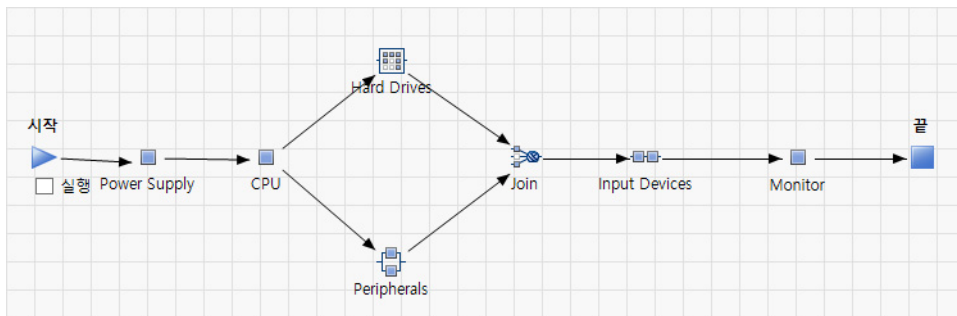


3. 다음 각 부품에 대해 첫 번째 부품을 클릭하고 오른쪽 연결 화살표를 선택한 후 화살표를 두 번째 부품으로 드래그합니다.

1. Power Supply → CPU

2. CPU → Hard Drive
3. CPU → Peripherals
4. Hard Drives → Join
5. Peripherals → Join
6. Join → Input Devices
7. Input Devices → Monitor
8. Monitor → 끝 블록

그림 12.10 완료된 시스템 다이어그램



4. "부품 구성" 작업을 진행합니다.

부품 구성

1. "구성" 패널에서 부품에 대한 구성 설정을 입력합니다. 자세한 내용은 "구성 설정"에서 확인하십시오.

표 12.1 구성 설정

부품	설정
Power Supply	<ul style="list-style-type: none"> 분포 — 지수 세타 —1
CPU	<ul style="list-style-type: none"> 분포 — 지수 세타 —1
Peripherals	<ul style="list-style-type: none"> 분포 —Weibull 알파 —1 베타 —2 N—3

표 12.1 구성 설정 (계속)

부품	설정
Hard Drives	<ul style="list-style-type: none"> • 분포 —Weibull • 알파 —2 • 베타 —1 • K—1 • N—4
Join	최소 사용 가능 종속성 —1
Input Devices	<ul style="list-style-type: none"> • 분포 —Frechet • 위치 —0 • 척도 —1 • N—2
Monitor	<ul style="list-style-type: none"> • 분포 — 지수 • 세타 —1

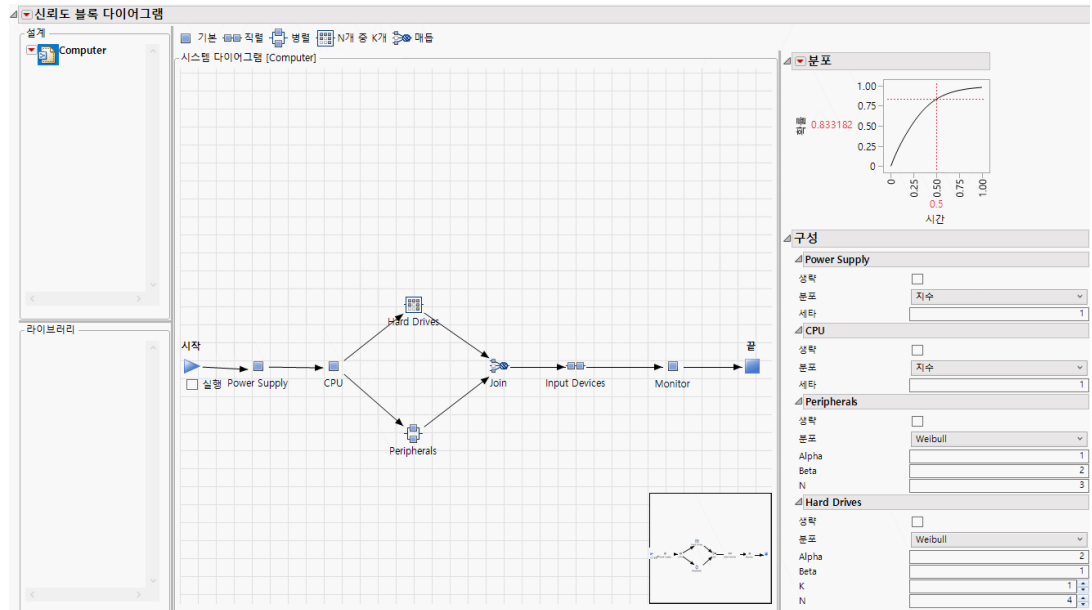
신뢰도 블록 다이어그램이 완료되었습니다 (그림 12.11).

2. **실행**을 선택합니다 .

시스템의 신뢰도 정보가 업데이트됩니다. 이는 프로파일러 창의 "분포" 그림에 반영됩니다.

3. 신뢰도 블록 다이어그램을 JSL(JMP 스크립트 언어) 파일로 저장하려면 **파일 > 저장**을 선택하고 이름을 **exampleRBDcomplete.jsl** 로 지정합니다 .

그림 12.11 신뢰도 블록 다이어그램 예



JMP PRO 신뢰도 블록 다이어그램 창

신뢰도 블록 다이어그램 창은 다음과 같은 패널로 구분됩니다.

- 설계: 신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼을 사용하여 생성된 시스템 다이어그램을 나열합니다.
- 라이브러리: 새 시스템 다이어그램을 생성할 때 다시 사용할 수 있는 하위 시스템 설계를 나열합니다.

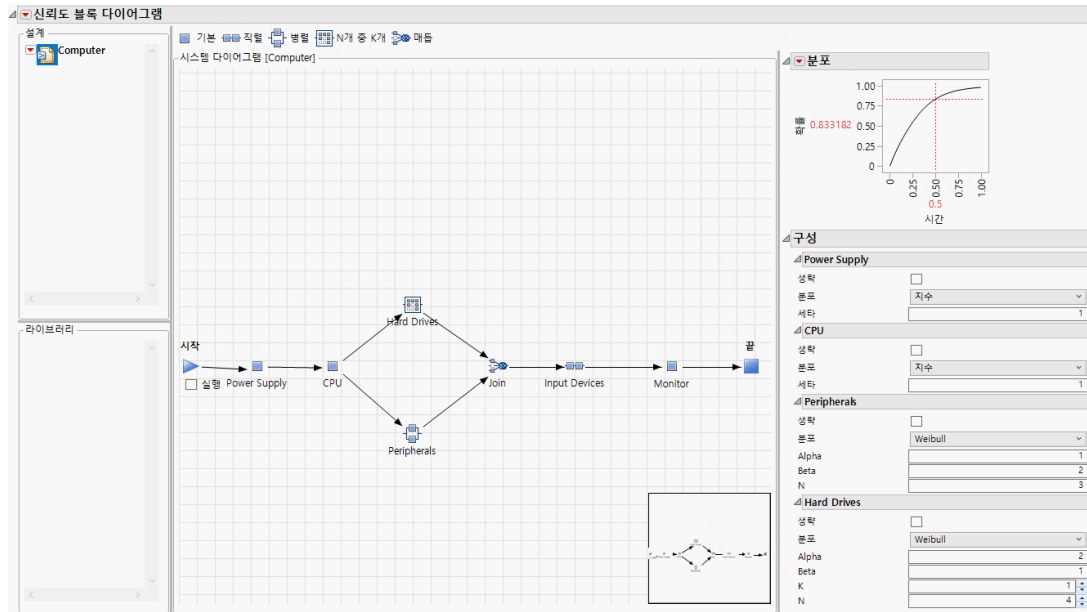
참고: "설계" 및 "라이브러리" 패널에 나타나는 각 시스템 다이어그램에는 빨간색 삼각형 메뉴가 포함되어 있습니다. 각 빨간색 삼각형 메뉴의 옵션은 "설계 및 라이브러리 항목 옵션"에서 설명합니다.

- 작업 영역: 셰이프 도구 모음, 시스템 다이어그램 및 미리보기 창을 표시합니다.

팁: 미리보기 창을 숨기려면 작업 영역에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 "미리보기"를 선택 취소합니다.

- 프로파일러 패널: 분포 프로파일러, 구성 설정, 다이어그램의 빨간색 삼각형 메뉴에서 선택한 다양한 시스템 및 부품 프로파일러와 그림을 표시합니다.

그림 12.12 신뢰도 블록 다이어그램의 예



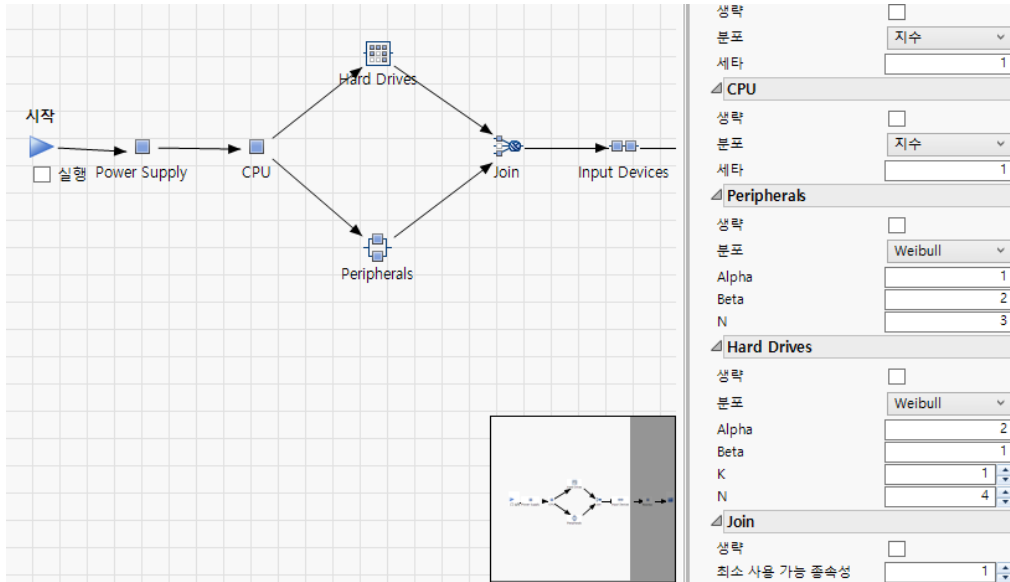
세이프 도구 모음에는 다음과 같은 그리기 도구가 포함되어 있습니다.

- 기본** 단일 블록 세이프를 시스템 다이어그램에 추가합니다.
- 직렬** 연속으로 연결된 부품 그룹을 나타내는 직렬 블록 세이프를 추가합니다. 시스템이 작동하려면 모든 부품이 작동해야 합니다.
- 병렬** 병렬 부품 그룹을 나타내는 병렬 블록 세이프를 추가합니다. 시스템이 작동하려면 하나 이상의 부품이 작동해야 합니다.
- N개 중 K개** k 와 n 을 지정하는 n 개 중 k 개 블록 세이프를 추가합니다. 시스템이 작동하려면 k 개 이상의 부품이 작동해야 합니다.
- 매듭** 분포 특성 설정이 다른 "병렬" 부품 또는 "N개 중 K개" 부품을 결합할 수 있는 매듭 세이프를 시스템 다이어그램에 추가합니다.

JMP PRO 미리보기 창

시스템 다이어그램이 너무 커서 작업 영역에 표시되지 않으면 신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼의 미리보기 창을 사용하여 작업 영역에 나타나는 시스템 다이어그램 부분의 위치를 조정할 수 있습니다. 보기 영역은 미리보기 창에 흰색 배경으로 표시됩니다. 보기 영역을 드래그하여 작업 영역 보기의 위치를 시스템 다이어그램의 다른 부분으로 조정합니다.

그림 12.13 흰색 배경에 다이어그램의 보이는 부분이 있는 미리보기 창



JMP PRO 신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼 옵션

"신뢰도 블록 다이어그램"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 신뢰도 블록 다이어그램 창에 대한 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

저장, 다른 이름으로 저장 신뢰도 블록 다이어그램을 저장하거나, 기존 신뢰도 블록 다이어그램을 새 이름으로 JSL(JMP 스크립트 언어) 스크립트에 저장할 수 있습니다. 이 스크립트 파일은 JMP에서 열 때 자동으로 실행됩니다. 자동 실행 스크립트에 대한 자세한 내용은 **Scripting Guide**에서 확인하십시오.

참고: "저장" 및 "다른 이름으로 저장" 빨간색 삼각형 옵션은 파일 > 저장 및 파일 > 다른 이름으로 저장과 동일합니다. 편의를 위해 빨간색 삼각형 메뉴에서 사용할 수 있습니다.

설계 다이어그램 표시 **설계 비교 표시**를 선택한 경우 이 옵션을 사용하여 작업 영역에서 시스템 다이어그램을 표시하거나 숨길 수 있습니다.

설계 비교 표시 선택한 시스템 다이어그램에 대한 "분포 중첩" 프로파일러 및 "잔존 수명 분포 중첩" 프로파일러를 표시합니다. 자세한 내용은 "**설계 비교 표시**"에서 확인하십시오.

부품 분포 설정 가져오기 데이터 테이블에서 시스템 다이어그램에 대한 구성 설정을 가져올 수 있습니다. 테이블에는 다이어그램 범주, 다이어그램 이름, 부품 이름, 분포 및 하나 이상의 모수에 대한 열이 포함되어야 합니다. 모수의 수는 지정된 분포에 따라 달라집니다.

참고: 가져온 테이블의 문자열은 시스템 다이어그램의 문자열과 정확히 매칭되어야 합니다.

새 설계 항목 "설계" 패널에 새 설계 다이어그램을 추가할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[새 설계 항목 추가](#)"에서 확인하십시오.

새 라이브러리 항목 "라이브러리" 패널에 새 항목을 추가할 수 있습니다. "라이브러리" 패널을 사용하면 여러 시스템 설계에 사용할 하위 시스템 다이어그램을 생성할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[새 라이브러리 항목 추가](#)"에서 확인하십시오.

참고 : 라이브러리 항목은 JSL 파일의 설계 패널에 포함된 다이어그램에서만 사용할 수 있습니다. 다른 JSL 파일의 다른 다이어그램에서는 사용할 수 없습니다.

JMP PRO 설계 비교 표시

"설계 비교 표시" 옵션은 "분포 중첩" 그림과 "잔존 수명 분포 중첩" 그림을 표시합니다. 이러한 그림은 작업 영역의 시스템 다이어그램 아래에 나타납니다. 자세한 내용은 [그림 12.14](#) 및 [그림 12.15](#)에서 확인하십시오.

- "분포 중첩" 그림에는 "설계" 패널의 각 설계에 대한 시스템 고장 확률이 표시됩니다.
- "잔존 수명 분포 중첩" 그림에는 시스템이 지정된 시간까지 생존했다는 가정하에 "설계" 패널의 각 설계에 대한 조건부 고장 확률이 표시됩니다. 그림 오른쪽의 상자에 생존 시간을 입력합니다. 또는 원점의 작은 직사각형을 선택하고 오른쪽으로 드래그하면 생존 시간이 동적으로 설정됩니다.

체크박스를 사용하여 그림에 표시되는 설계를 선택할 수 있습니다. 이렇게 하면 설계 부분집합의 고장 확률을 비교할 수 있습니다.

팁 : 작업 영역에서 시스템 다이어그램을 숨기려면 "신뢰도 블록 다이어그램"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **설계 다이어그램 표시**를 선택 취소합니다. 또는 설계 비교를 더 많이 표시하려면 수평 분할 도구 위치를 위쪽으로 조정합니다.

그림 12.14 분포 중첩 예

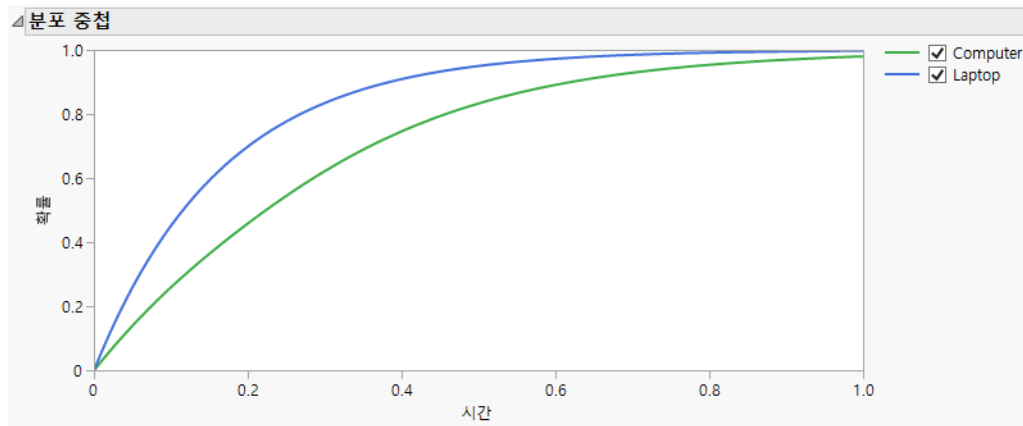
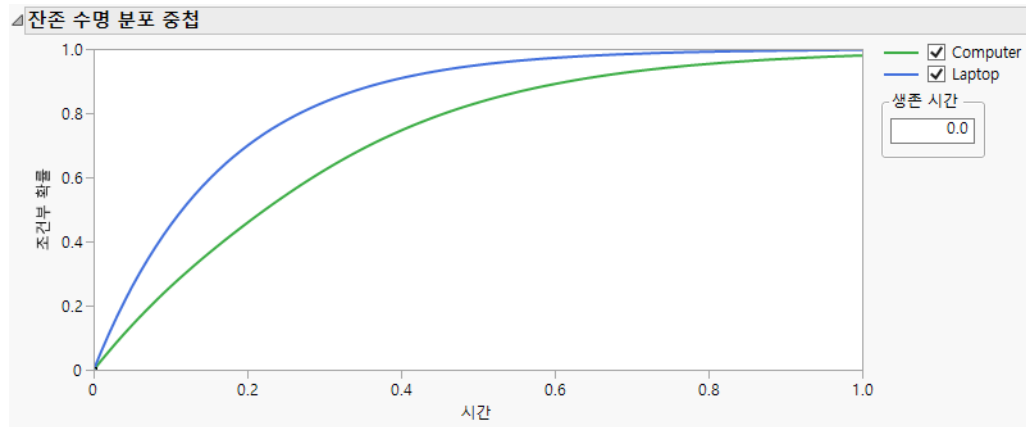


그림 12.15 잔존 수명 분포 중첩 예



JMP PRO 새 설계 항목 추가

"새 설계 항목" 옵션은 "설계" 패널 목록에 새 시스템 설계를 추가합니다.

- "신뢰도 블록 다이어그램"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **새 설계 항목**을 선택합니다.
- "새 다이어그램 X"라는 설계가 "설계" 패널 목록에 추가됩니다. 여기서 X는 다이어그램 이름을 식별하는 숫자입니다.
- 설계 이름을 지정하려면 라벨을 선택하고 이름을 입력합니다.
- 셰이프 도구 모음을 사용하여 시스템 다이어그램을 그립니다. 자세한 내용은 ["신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼의 예"](#)에서 확인하십시오.

팁: 다른 블록 다이어그램 템플릿에서 다이어그램 본문을 복사하여 붙여 넣을 수도 있습니다. "시작" 및 "끝" 셰이프는 복사되지 않습니다. 다이어그램을 붙여 넣은 후 "시작" 및 "끝" 셰이프를 다시 연결해야 합니다.

- 부품을 구성합니다.
- 파일을 저장합니다.

시스템 다이어그램 창에 설계를 표시하고 프로파일러 패널을 보려면 "설계" 패널에서 해당 아이콘을 두 번 클릭합니다.

JMP PRO 새 라이브러리 항목 추가

"새 라이브러리 항목" 옵션은 "라이브러리" 패널 목록에 새 하위 시스템을 추가합니다.

팁: "설계" 패널의 시스템 설계를 "라이브러리" 패널로 드래그하면 라이브러리에 하위 시스템으로 추가됩니다.

- "신뢰도 블록 다이어그램"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **새 라이브러리 항목**을 선택합니다.
- "새 다이어그램 X"라는 하위 시스템이 "라이브러리"패널 목록에 추가됩니다. 여기서 X는 다이어그램 이름을 식별하는 숫자입니다.
- 하위 시스템 이름을 지정하려면 라벨을 선택하고 이름을 입력합니다.
- 셰이프 도구 모음을 사용하여 하위 시스템 다이어그램을 그립니다.
- 부품을 구성합니다.
- "시작"블록에서 "끝"블록까지 이어지는 연결을 생성합니다.
- 파일을 저장합니다.

JMP PRO 작업 영역 옵션

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼의 작업 영역 패널에서는 패널 보기를 조정하기 위한 몇 가지 마우스 오른쪽 버튼 클릭 명령을 지원합니다. 다음은 사용 가능한 명령 중 일부입니다.

확대 시스템 다이어그램을 확대할 수 있습니다.

축소 시스템 다이어그램을 축소할 수 있습니다.

팁 : Windows에서는 Ctrl 키를 누르고 마우스 스크롤 휠을 사용하여 다이어그램을 확대 / 축소할 수 있습니다.

확대 / 축소 규모 소수점으로 지정되는 배율 인수를 사용하여 확대 또는 축소할 수 있는 "확대 / 축소 규모 설정"창을 엽니다. 기본적으로 확대 / 축소 규모는 1(100%)로 설정됩니다.

미리보기 작업 영역 패널에서 미리보기 창을 표시하거나 숨길 수 있습니다.

선택한 꼭지점 세로 맞춤 셰이프를 세로선에 맞춤 수 있습니다.

선택한 꼭지점 가로 맞춤 셰이프를 가로선에 맞춤 수 있습니다.

직렬 시스템 다이어그램 생성 다이어그램의 노드를 사용하여 직렬 다이어그램을 생성할 수 있습니다. 순서는 노드 생성 순서에 따라 결정됩니다. 이 옵션은 다이어그램에 화살표가 포함되지 않은 경우에만 사용할 수 있습니다.

병렬 시스템 다이어그램 생성 다이어그램의 노드를 사용하여 병렬 다이어그램을 생성할 수 있습니다. 이 옵션은 다이어그램에 화살표가 포함되지 않은 경우에만 사용할 수 있습니다.

JMP PRO 구성 설정

신뢰도 블록 다이어그램의 각 부품에 고장 분포를 할당할 수 있습니다. 사용 가능한 고장 분포가 [그림 12.2](#)에 나열되어 있습니다. 이러한 고장 분포에 대한 계산식 및 파라미터화는 ["분포에 대한 통계 상세 정보"](#)에서 확인하십시오.

JMP PRO 분포 구성

신뢰도 블록 다이어그램에 부품이 추가되면 해당 부품에 대한 개요가 "구성" 개요 아래에 나타납니다.

참고 : "생략" 옆의 상자를 선택하여 분석에서 부품을 생략할 수 있습니다.

분포를 선택하고 필요한 모수 값을 입력합니다.

표 12.2 분포 및 모수

특성 유형	필요한 입력
지수	세타
Weibull	알파, 베타
로그 정규	위치, 척도
로그로지스틱	위치, 척도
Frechet	위치, 척도
일반화 감마	μ , 시그마, 람다
DS Weibull	알파, 베타, 결함 확률
DS 로그 정규	위치, 척도, 결함 확률
DS 로그로지스틱	위치, 척도, 결함 확률
DS Frechet	위치, 척도, 결함 확률
비모수	데이터 또는 데이터 파일

선택한 설계 또는 하위 시스템의 부품에 대한 구성 설정을 보려면 다음을 수행하십시오 .

- 특정 부품에 대한 구성 설정을 보려면 해당 부품의 셰이프를 선택합니다 .
- 둘 이상의 부품에 대한 구성 설정을 보려면 화살표 도구를 사용하거나, **Ctrl** 키를 누르고 클릭하여 여러 부품의 셰이프를 선택합니다 .
- 모든 부품에 대한 구성 설정을 보려면 작업 영역의 빈 부분을 클릭하여 셰이프를 선택 취소합니다 .

다이어그램의 각 부품에 대해 "생략" 옆의 상자를 선택하여 해당 부품을 계산에서 생략하거나, 다음을 수행할 수 있습니다 .

- "분포" 목록에서 적절한 분포를 선택합니다 . "비모수"를 제외한 모든 선택 분포에 대해 모수 값을 입력합니다 . 비모수의 경우 "**비모수 분포 지정**"에서 확인하십시오 .

- 직렬 및 병렬 부품의 경우 직렬 또는 병렬 셰이프에 포함된 총 부품 수인 N 값도 입력해야 합니다.
- N 개 중 K 개 부품의 경우 시스템 작동을 위해 반드시 작동해야 하는 최소 부품 수인 K 와 셰이프의 총 부품 수인 N 값도 입력해야 합니다.
- 매듭 부품의 경우 "최소 사용 가능 종속성" 을 입력합니다. 매듭 셰이프를 사용하면 결합된 셰이프가 서로 다른 분포를 갖는 n 개 중 k 개 셰이프를 구성할 수 있습니다. 최소 종속성 수는 매듭으로 이어지는 경로 중 시스템 작동을 위해 반드시 작동해야 하는 최소 경로 수인 k 입니다.

그림 12.16 N 개 중 K 개 셰이프에 대한 Weibull 구성의 예

Hard Drives	
생략	<input type="checkbox"/>
분포	Weibull
Alpha	2
Beta	1
K	1
N	4

JMP PRO 비모수 분포 지정

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼에서 "분포" 아래의 "비모수" 옵션을 사용하면 임의 분포에 근사한 값을 산출할 수 있습니다. 데이터를 입력하거나, 큰 데이터 집합이 포함된 파일을 가져옵니다. 이 데이터는 분포에 근사한 값을 산출하는 데 사용됩니다.

"비모수"를 선택한 후 "데이터" 옆의 아이콘을 클릭합니다. 데이터를 입력하거나 데이터 파일을 가져올 수 있는 "데이터 제공" 창이 나타납니다. 데이터를 가져오거나 입력하면 해당 데이터를 사용하여 부품에 대한 비모수 분포를 계산합니다.

그림 12.17 데이터 제공 창

파일에서 데이터를 가져오려면 다음을 수행하십시오.

1. 가져올 데이터가 포함된 JMP 데이터 테이블을 엽니다.
2. "데이터 제공" 창에서 **가져오기**를 클릭합니다.
"데이터 테이블 선택" 창이 나타납니다.
3. 데이터 테이블 목록에서 데이터 테이블을 선택합니다.
4. **확인**을 클릭합니다.
5. 데이터 격자 아래의 패널에서 사건 발생 시간 데이터를 나타내는 열과 중도절단 및 빈도 데이터 (해당하는 경우)를 나타내는 열을 지정합니다.
6. "데이터 제공" 창에서 **확인**을 클릭합니다.

데이터를 수동으로 입력하려면 다음을 수행하십시오.

1. 사건 발생 시간 데이터에 대한 열과 중도절단 및 빈도 데이터 (해당하는 경우)에 대한 열을 생성합니다.
2. 열에 데이터를 입력합니다.
3. 데이터 격자 아래의 패널에서 사건 발생 시간 데이터를 나타내는 열과 중도절단 및 빈도 데이터 (해당하는 경우)를 나타내는 열을 지정합니다.
4. "데이터 제공" 창에서 **확인**을 클릭합니다.

JMP[®] PRO 설계 및 라이브러리 항목 옵션

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼에서 설계 및 라이브러리 항목에 사용할 수 있는 옵션은 다음과 같습니다.

- "구성 표시"는 "구성" 개요를 표시하거나 숨깁니다. 자세한 내용은 "구성 설정"에서 확인하십시오.
- 다양한 프로파일러를 표시하는 옵션이 있습니다. "프로파일러" 및 다음을 참조하십시오.
 - "분포 프로파일러"
 - "잔존 수명 분포 프로파일러"
 - "신뢰도 프로파일러"
 - "분위수 프로파일러"
 - "밀도 프로파일러"
 - "위험 프로파일러"
 - "누적 위험 프로파일러"
- 부품 중요도 측도 및 평균 고장 시간에 대한 그림을 표시하는 옵션이 있습니다. "부품 중요도 및 고장 시간" 및 다음을 참조하십시오.
 - "Birnbaum 부품 중요도"
 - "잔존 수명 BCI"
 - "부품 통합 중요도"
 - "평균 고장 시간"
- 시스템 다이어그램의 부품에 대한 중첩 그림을 표시하는 옵션이 있습니다. "부품 그림" 및 다음을 참조하십시오.
 - "부품 분포 함수"
 - "부품 신뢰도 함수"
 - "부품 밀도 함수"
 - "부품 위험 함수"
 - "부품 누적 위험 함수"
- "대수 신뢰도 계산식 출력"
- "대수 표현식 데이터 테이블 생성"
- "복제 및 삭제"

JMP^{PRO} 프로파일러

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼에는 시스템의 신뢰도 특성을 분석하는 데 도움이 되는 다양한 프로파일러가 제공됩니다. "설계" 및 "라이브러리" 패널에 나열된 각 시스템 다이어그램에 대한 프로파일러를 볼 수 있습니다. 이 섹션에서는 프로파일러에 대해 설명합니다. 프로파일러는 보고서의 프로파일러 패널에 나타납니다.

프로파일러에 대한 빨간색 삼각형 메뉴 옵션

각 프로파일러에는 다음 명령이 포함된 빨간색 삼각형 메뉴가 있습니다.

요인 격자 재설정 현재 설정 및 표시를 제어하는 값을 입력할 수 있는 창을 표시합니다. 요인 격자 설정에 대한 자세한 내용은 **Profilers** 에서 확인하십시오.

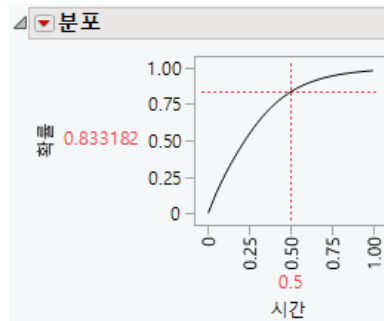
요인 설정 프로파일러 설정을 구성하고 프로파일러를 연결하려면 이 옵션을 선택합니다. 요인 설정에 대한 자세한 내용은 **Profilers** 에서 확인하십시오.

참고 : 그래프에서 원하는 부분을 보려면 프로파일러의 X 축과 Y 축을 조정합니다.

JMP^{PRO} 분포 프로파일러

분포 프로파일러에는 시스템 고장 확률이 시간 함수로 표시됩니다. 시스템의 분포 프로파일러는 기본적으로 나타납니다.

그림 12.18 분포

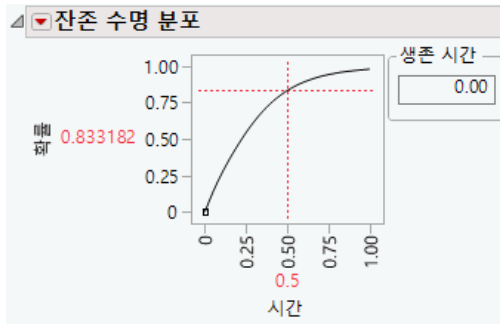


JMP^{PRO} 잔존 수명 분포 프로파일러

시스템의 잔존 수명 분포 프로파일러에는 시스템이 "생존 시간"으로 지정된 특정 시간까지 생존한다는 가정하에 시스템 고장 확률이 표시됩니다. 기본적으로 "생존 시간"은 0으로 설정되며, 이 경우 잔존 수명 분포는 분포 함수와 동일합니다.

생존 시간 값을 입력하여 시스템이 고장 없이 생존하는 시간을 나타냅니다. 값을 입력하는 대신 원점의 작은 직사각형을 선택하고 오른쪽으로 드래그하면 생존 시간이 동적으로 설정됩니다.

그림 12.19 잔존 수명 분포

**JMP PRO** 신뢰도 프로파일러

시스템의 신뢰도 프로파일러에는 시스템이 작동할 확률이 시간 함수로 표시됩니다. 신뢰도 함수는 생존 함수라고도 합니다.

JMP PRO 분위수 프로파일러

시스템의 분위수 프로파일러에는 시간이 고장 확률 함수로 표시됩니다. 분위수 함수는 분포 함수의 역함수입니다.

JMP PRO 밀도 프로파일러

시스템의 밀도 프로파일러에는 시스템의 고장 분포 함수와 관련된 확률 밀도 함수가 표시됩니다.

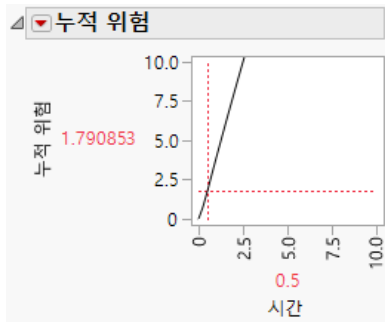
JMP PRO 위험 프로파일러

시스템의 위험 프로파일러에는 주어진 시간의 순간 고장 비율이 표시됩니다.

JMP PRO 누적 위험 프로파일러

시스템의 누적 위험 프로파일러에는 누적 위험 함수가 시간 함수로 표시됩니다.

그림 12.20 누적 위험



JMP^{PRO} 부품 중요도 및 고장 시간

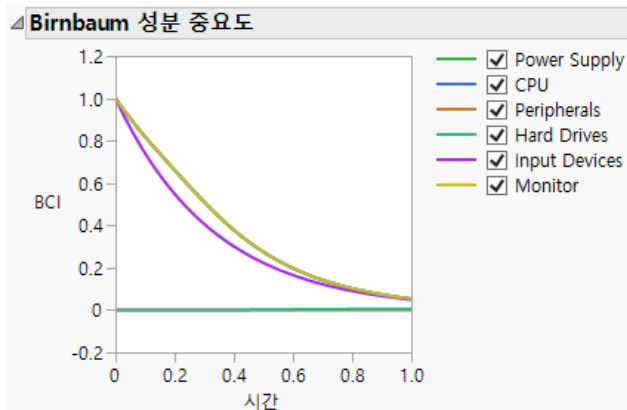
신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼에서는 "설계" 및 "라이브러리" 패널에 나열된 각 시스템 다이어그램에 대해 부품 중요도 및 평균 고장 시간을 분석하는 그림이 제공됩니다. 이 섹션에서는 부품 중요도 측도 및 평균 고장 시간에 대해 설명합니다. 이러한 그림과 통계량은 보고서의 프로파일러 패널에 나타납니다.

참고: 각 부품 중요도 그림의 범례에 있는 체크박스를 사용하면 해당 그림에서 볼 부품을 선택할 수 있습니다.

JMP^{PRO} Birnbaum 부품 중요도

BCI 표시를 선택하면 선택한 시스템 다이어그램의 각 부품에 대한 Birnbaum 부품 중요도 측도의 중첩 그림이 표시됩니다. 주어진 시간에서 부품의 BCI는 부품이 고장 나는 경우 시스템이 고장 날 확률입니다. BCI가 큰 부품은 시스템 신뢰도에 중요합니다.

그림 12.21 Birnbaum 부품 중요도

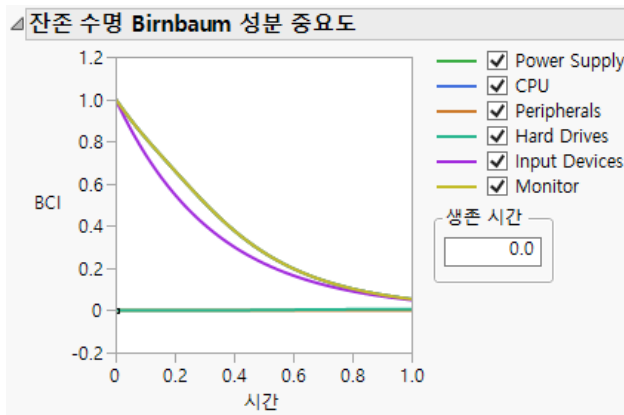


JMP[®] PRO 잔존 수명 BCI

잔존 수명 BCI 표시를 선택하면 잔존 수명에 대한 Birnbaum 부품 중요도의 중첩 그림이 표시됩니다. 잔존 수명 BCI는 시스템이 "생존 시간"으로 지정된 특정 시간까지 생존한다는 가정하에 부품이 고장 나는 경우 시스템이 고장 날 확률입니다. 기본적으로 "생존 시간"은 0으로 설정되며, 이 경우 잔존 수명 BCI는 Birnbaum 부품 중요도와 동일합니다.

생존 시간 값을 입력하여 시스템이 고장 없이 생존하는 시간을 나타냅니다. 값을 입력하는 대신 원점의 작은 직사각형을 선택하고 오른쪽으로 드래그하면 생존 시간이 동적으로 설정됩니다.

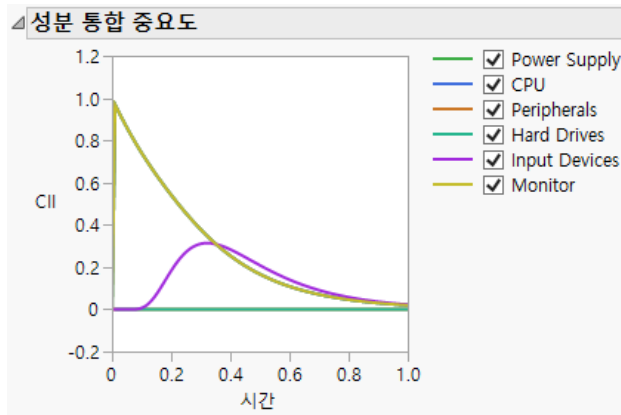
그림 12.22 잔존 수명 Birnbaum 부품 중요도



JMP[®] PRO 부품 통합 중요도

부품 통합 중요도 표시를 선택하면 신뢰도 블록 다이어그램의 부품에 대한 통합 중요도 측도의 중첩 그림이 표시됩니다. 각 부품에 대한 통합 중요도 측도는 부품의 고장 비율과 순간 고장 가능도를 고려합니다. 자세한 내용은 Si et al. (2012)에서 확인하십시오.

그림 12.23 부품 통합 중요도



JMP PRO 평균 고장 시간

MTTF 표시를 선택하면 시스템의 MTTF(평균 고장 시간)가 표시됩니다.

참고 : 평균 고장 시간을 계산하는 데 사용되는 계산식은 시스템의 각 부품에 대해 지정된 고장 분포 및 구성 설정에 따라 달라집니다.

JMP PRO 부품 그림

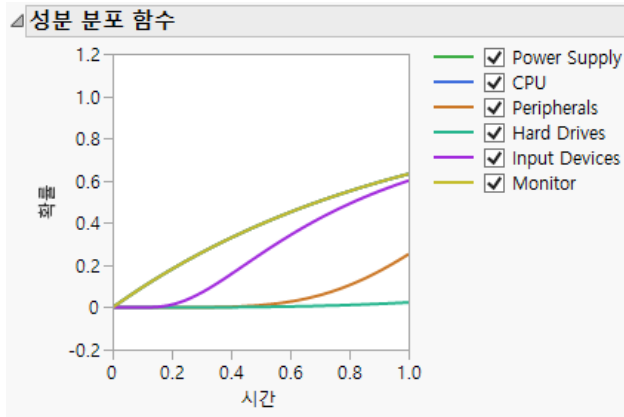
일반적으로 신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼의 시스템 다이어그램은 많은 개별 부품을 포함합니다. 이러한 각 부품의 신뢰도 함수를 중첩 그림에서 검토할 수 있습니다. "설계" 및 "라이브러리" 패널에 나열된 각 시스템 다이어그램에 대한 부품 중첩 그림을 볼 수 있습니다. 이 섹션에서는 부품 중첩 그림에 대해 설명합니다. 이러한 그림은 보고서의 프로파일러 패널에 나타납니다.

참고 : 각 부품 그림의 범례에 있는 체크박스를 사용하면 해당 그림에서 볼 부품을 선택할 수 있습니다.

JMP PRO 부품 분포 함수

부품 분포 함수 표시를 선택하면 신뢰도 블록 다이어그램의 부품에 대한 분포 함수 중첩 그림이 표시됩니다.

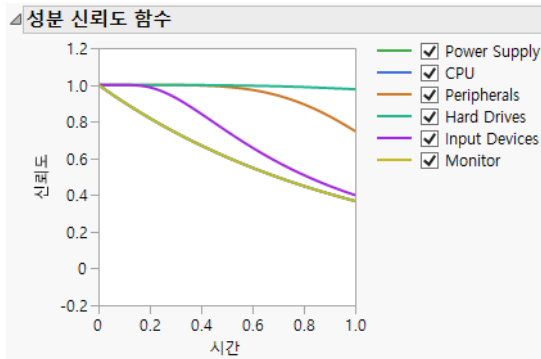
그림 12.24 부품 분포 함수



JMP^{PRO} 부품 신뢰도 함수

부품 신뢰도 함수 표시를 선택하면 신뢰도 블록 다이어그램의 부품에 대한 신뢰도 함수 중첩 그림이 표시됩니다.

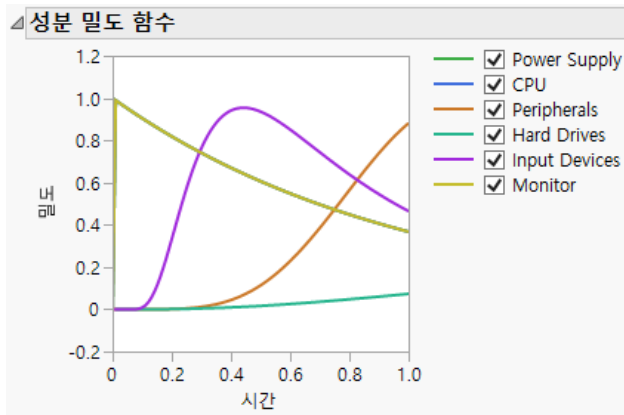
그림 12.25 부품 신뢰도 함수



JMP^{PRO} 부품 밀도 함수

부품 밀도 함수 표시를 선택하면 신뢰도 블록 다이어그램의 부품에 대한 밀도 함수 중첩 그림이 표시됩니다.

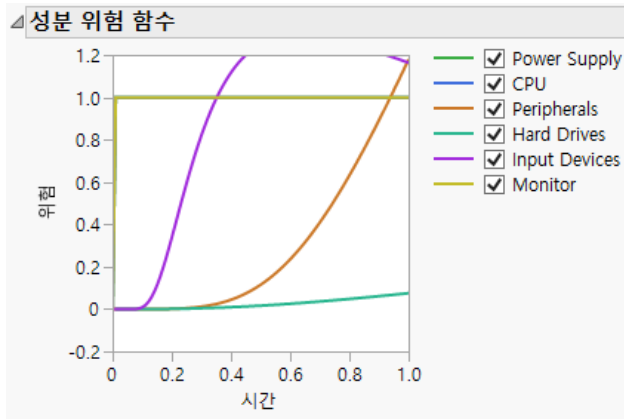
그림 12.26 부품 밀도 함수



JMP^{PRO} 부품 위험 함수

부품 위험 함수 표시를 선택하면 신뢰도 블록 다이어그램의 부품에 대한 위험 함수 중첩 그림이 표시됩니다.

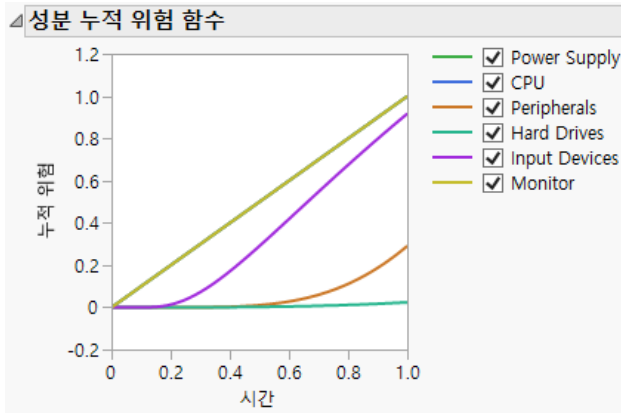
그림 12.27 부품 위험 함수



JMP^{PRO} 부품 누적 위험 함수

부품 누적 위험 함수 표시를 선택하면 신뢰도 블록 다이어그램의 부품에 대한 누적 위험 함수 중첩 그림이 표시됩니다.

그림 12.28 부품 누적 위험 함수



JMP PRO 대수 신뢰도 계산식 출력

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼의 "로그 창에 대수 신뢰도 출력" 옵션은 선택한 시스템 다이어그램의 신뢰도 계산식을 로그 창에 출력합니다.

1. (Windows에만 해당) **보기 > 로그**를 선택합니다.
또는
(macOS에만 해당) **창 > 로그**를 선택합니다.
2. 생성한 exampleRBDcomplete.jsl 파일을 엽니다.
3. "설계" 패널에서 **Computer**를 선택합니다.
4. "Computer"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **로그 창에 대수 신뢰도 출력**을 선택합니다.
"로그" 창에 선택한 블록 다이어그램의 대수 신뢰도 계산식이 표시됩니다.

그림 12.29 로그 창의 대수 신뢰도

```
/*
신뢰도 블록 다이어그램 [] 대수 신뢰도:
R["Power Supply"] * R["CPU"] * R["Peripherals"] * R["Input Devices"] * R["Monitor"]
+ R["Power Supply"] * R["CPU"] * F["Peripherals"] * R["Hard Drives"] * R[
"Input Devices"] * R["Monitor"]
*/
```

참고: 신뢰도 계산식에서는 "R"을 사용하여 부품의 신뢰도를 나타내고 "F"를 사용하여 부품의 고장 확률을 나타냅니다.

JMP PRO 대수 표현식 데이터 테이블 생성

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼의 "대수 표현식 데이터 테이블 생성" 옵션은 대수 신뢰도 표현식을 열 계산식으로 포함하는 새 데이터 테이블을 생성합니다. 이 테이블에는 시스템의 각 부품

에 대한 열이 포함됩니다. 마지막 열에는 시스템 신뢰도 대수 표현식이 이전 열을 인수로 사용하는 JSL 열 계산식으로 포함됩니다.

JMP[®] PRO 복제 및 삭제

신뢰도 블록 다이어그램 플랫폼에서 "설계" 및 "라이브러리" 패널에 나열된 각 시스템 다이어그램에는 설계 및 라이브러리 항목을 관리하는 데 도움이 되는 옵션이 있습니다. 이 섹션에서는 복제 및 삭제 작업에 대해 설명합니다.

JMP[®] PRO 설계 또는 라이브러리 항목 복제

"복제" 옵션은 선택한 시스템 설계 또는 라이브러리 하위 시스템과 동일한 새 시스템 설계 또는 라이브러리 하위 시스템을 생성합니다.

- 복사할 설계 또는 라이브러리 항목의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **복제** 옵션을 선택합니다.
새 설계 또는 라이브러리 항목이 "설계" 또는 "라이브러리" 목록에 추가됩니다.
- 파일을 저장합니다.

JMP[®] PRO 설계 또는 라이브러리 항목 삭제

"삭제" 옵션은 선택한 시스템 설계 또는 라이브러리 하위 시스템을 패널에서 제거합니다.

- 삭제할 설계 또는 라이브러리 항목의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **삭제** 옵션을 선택합니다.
지정된 설계 또는 라이브러리 항목이 "설계" 또는 "라이브러리" 목록에서 삭제됩니다.
- 파일을 저장합니다.

JMP PRO 수리 가능 시스템 시뮬레이션 복잡한 시스템의 불능 시간 추정

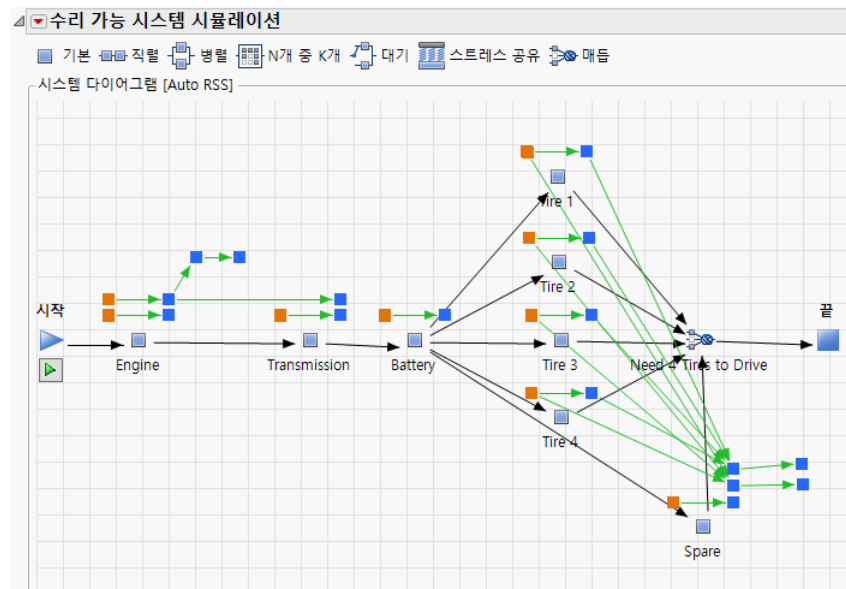
수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼은 JMP Pro 에서만 사용할 수 있습니다 .

RSS(수리 가능 시스템 시뮬레이션) 플랫폼을 사용하면 복잡한 수리 가능 시스템 내에서 신뢰성을 탐색할 수 있습니다. 수리 가능 시스템은 노후되고 유지관리가 필요한 개별 부품으로 구성됩니다. 수리 가능 시스템의 상태는 부품이 고장 난 후 수리되는 동안 변경됩니다.

수리 가능 시스템은 현대 생활의 많은 부분과 관련되어 있습니다. 냉장고와 집에서부터 발전소와 전화통신망에 이르기까지 다양한 규모를 포괄할 수 있습니다.

RSS 플랫폼을 사용하면 수리 가능 시스템을 최적화하기 위해 다양한 시스템 구성을 시뮬레이션할 수 있습니다. 예를 들어 안전한 시스템 작동을 유지하면서 비싼 구성 요소의 유효 수명을 연장하거나 생산량을 최대화할 수 있습니다.

그림 13.1 수리 가능 시스템 시뮬레이션 다이어그램의 예



목차

수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼 개요.....	329
수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼을 사용한 예.....	329
수리 가능 시스템 시뮬레이션 창.....	331
시스템 다이어그램.....	332
세이프 도구 모음.....	333
구성 패널.....	334
이벤트 추가 패널.....	336
작업 추가 패널.....	337
수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼 옵션.....	340
블록 항목에 대한 옵션.....	340
분포 옵션.....	340
비모수 또는 추정 분포 지정.....	341
이벤트 설정.....	343
작업 설정.....	343
시뮬레이션 결과 테이블.....	344
시뮬레이션 결과.....	345
수리 가능 시스템 시뮬레이션 결과 옵션.....	346

JMP[®] PRO 수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼 개요

RSS(수리 가능 시스템 시뮬레이션) 플랫폼을 사용하면 수리 가능 시스템을 시뮬레이션하고 불능 시간을 분석할 수 있습니다. 불능 시간은 계획된 유지관리 또는 의도하지 않은 고장으로 인해 시스템이 "켜기" 상태가 아닌 총 시간입니다.

수리 가능 시스템은 시스템 다이어그램으로 나타냅니다. 시스템 다이어그램의 블록 셰이프는 다른 부품에 연결되는 하나 이상의 부품을 나타냅니다. 블록에서 작업을 수행하는 부품을 작동 중이라고 합니다. 부품은 직렬 또는 병렬로 연결할 수 있습니다. 부품이 직렬로 연결된 경우 직렬 부품 중 하나라도 고장 나면 시스템이 고장 납니다. 부품이 병렬로 연결된 경우에는 모든 병렬 부품이 고장 나면 시스템이 고장 납니다.

시작 블록과 끝 블록 사이의 경로 중 하나 이상이 블록 셰이프 고장을 통과하지 않으면 부품 경로가 중단되지 않습니다. 중단되지 않은 부품 경로가 있으면 시뮬레이션하는 동안 시스템이 "켜기" 상태로 유지됩니다. 블록 셰이프 고장으로 인해 부품 경로가 중단되면 시스템이 "다운" 상태로 설정됩니다. 블록 셰이프에 고장이 발생했지만 부품 경로가 중단되지 않으면 시스템이 "켜기" 상태로 유지됩니다.

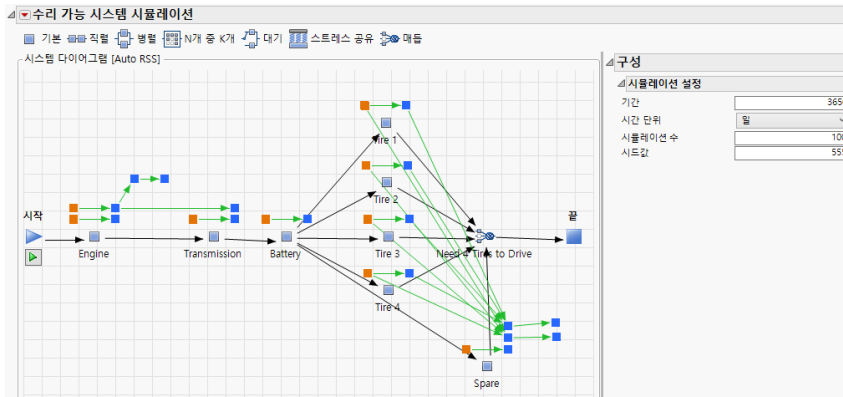
고유 이벤트와 작업을 추가하여 개별 부품의 수리 가능 특성을 나타낼 수 있습니다. 이벤트는 부품 고장, 예약된 유지관리 또는 시뮬레이션 반복 시작과 같이 시스템 내에서 발생하는 특정한 사건입니다. 이벤트는 부품의 작동 방식을 나타내는 하나 이상의 작업이 실행되도록 트리거합니다. 작업은 부품 또는 전체 시스템의 상태를 변경할 수 있습니다.

JMP[®] PRO 수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼을 사용한 예

이 예에서는 자동차 시스템 시뮬레이션을 100 회 반복 실행하고 10 년 동안 시스템의 예상 불능 시간을 분석합니다.

1. **도움말 > 샘플 인덱스**를 선택하고 **샘플 스크립트 폴더 열기**를 클릭한 후 **Car Repair Simulation.jsl**을 엽니다.

그림 13.2 Car Repair 시스템 다이어그램



자동차 시스템 다이어그램을 보여 주는 RSS 창이 나타납니다. 다이어그램에서 왼쪽의 첫 번째 블록이 "시작" 블록입니다. RSS 창 오른쪽의 "구성" 패널에는 시뮬레이션이 3650 일 동안 실행되도록 설정되어 있습니다.

2. (선택 사항) "시드값" 옆에 "555"를 입력합니다.

시뮬레이션에는 랜덤 부품 고장이 포함되므로 이 작업을 수행하면 아래 표시된 정확한 결과를 얻을 수 있습니다.

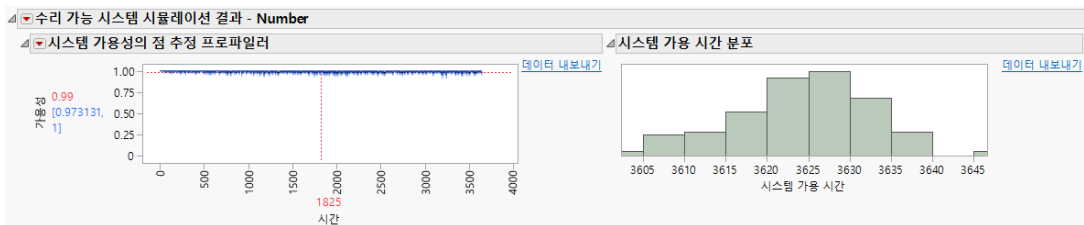
3. "시작" 블록 아래의 녹색 삼각형을 클릭하여 자동차 시스템을 시뮬레이션합니다.

시뮬레이션 결과가 포함된 데이터 테이블이 나타납니다.

4. "Launch Repairable Systems Simulation Results Explorer" 스크립트 옆의 녹색 화살표를 클릭합니다.

"수리 가능 시스템 시뮬레이션 결과" 보고서가 포함된 창이 나타납니다. 이러한 결과를 해석하는 방법에 대한 자세한 내용은 "시뮬레이션 결과 테이블"에서 확인하십시오.

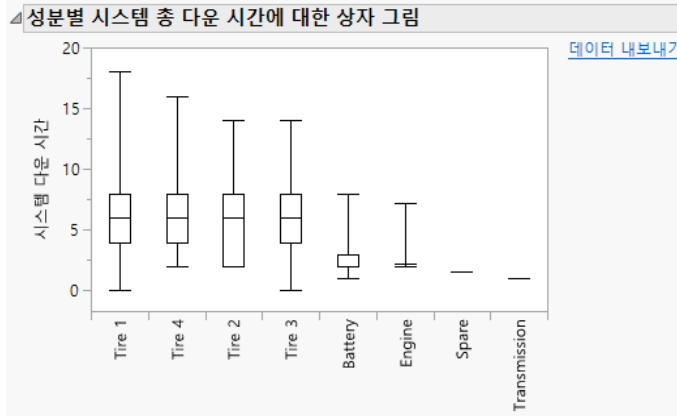
그림 13.3 RSS 보고서 (일부)



향후 10년 동안 자동차를 사용할 수 있는 기간은 3,600 일에서 3,640 일 사이일 것으로 예측합니다. "시스템 가용도의 점 추정" 그래프에 표시된 값이 1에 가까우므로 향후 10년 동안 대부분 자동차를 주행할 수 있다는 결론을 내립니다. 시스템 다운 시간의 가장 큰 원인이 되는 부품이 무엇인지 알아내려고 합니다.

5. "수리 가능 시스템 시뮬레이션 결과 - Number" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **부품별 시스템 총 다운 시간 상자 그림**을 선택합니다.

그림 13.4 부품별 시스템 총 다운 시간 상자 그림 보고서 (일부)



타이어가 자동차 시스템에 가장 많은 다운 시간을 유발한다는 결론을 내립니다. 평균 총 시스템 가용도를 높이기 위해 내구성이 높은 타이어를 사용하거나 다른 스페어 타이어를 휴대할 수도 있습니다.

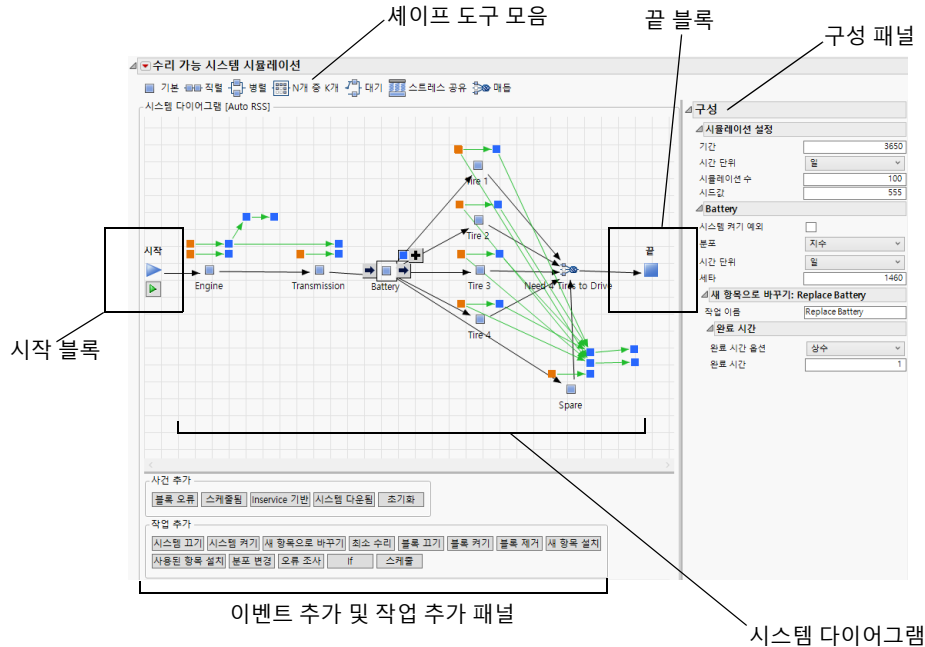
JMP PRO 수리 가능 시스템 시뮬레이션 창

분석 > 신뢰성 및 생존 > 수리 가능 시스템 시뮬레이션을 선택하여 수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼을 시작합니다.

수리 가능 시스템 시뮬레이션 창은 다음과 같은 패널로 구분됩니다.

- " 시스템 다이어그램 "
- " 셰이프 도구 모음 "
- " 구성 패널 "
- " 이벤트 추가 패널 "
- " 작업 추가 패널 "

그림 13.5 수리 가능 시스템 시뮬레이션 창



JPM PRO 시스템 다이어그램

수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼의 시스템 다이어그램은 수리 가능 시스템을 다이어그램으로 나타낼 수 있는 공간입니다. 새 시스템 다이어그램에는 "시작" 블록과 "끝" 블록이 포함되어 있습니다.

시스템 다이어그램을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하면 팝업 메뉴에서 다음 옵션을 사용할 수 있습니다.

시뮬레이션 실행 "구성" 패널의 현재 "시뮬레이션 설정"을 사용하여 시뮬레이션을 실행합니다. "시드값"에 0이 아닌 값을 지정하면 시뮬레이션 결과를 재현할 수 있습니다.

멀티스레드 시뮬레이션 실행 시스템의 멀티스레드 시뮬레이션을 실행합니다. 멀티스레드 시뮬레이션을 실행하면 시뮬레이션 결과를 재현할 수 없습니다.

다이어그램 작업 다이어그램 모양을 제어하는 옵션이 포함되어 있습니다.

삭제 (블록, 이벤트 또는 작업을 선택한 경우에만 사용 가능) 다이어그램에서 선택한 항목을 제거합니다.

블록 이름 표시 다이어그램에서 블록 아래에 나타나는 이름을 표시하거나 숨깁니다.

확대 "확대 / 축소 규모" 값을 0.9 비율로 늘립니다.

축소 "확대 / 축소 규모" 값을 0.9 비율로 줄입니다.

팁 : Windows에서는 Ctrl 키를 누르고 마우스 스크롤 휠을 사용하여 다이어그램을 확대 / 축소할 수 있습니다.

확대 / 축소 규모 사용자가 0 ~10000 범위의 확대 / 축소 배율을 설정할 수 있습니다. 원래 확대 / 축소 규모 값은 1 입니다. 다이어그램을 확대하면 확대 / 축소 규모 값이 증가합니다.

미리보기 시스템 다이어그램의 오른쪽 아래에 미리보기 창을 표시하거나 숨깁니다.

블록 간 이벤트 작업 링크 표시 블록 간 작업 링크를 나타내는 녹색 화살표를 표시하거나 숨깁니다. 이 옵션을 해제해도 선택한 이벤트와 작업에 대한 작업 링크는 계속 표시됩니다.


선택한 꼭지점 세로 맞춤 (블록을 두 개 이상 선택한 경우에만 사용 가능) 선택한 블록이 세로로 정렬되도록 블록의 가로 위치를 업데이트합니다.


선택한 꼭지점 가로 맞춤 (블록을 두 개 이상 선택한 경우에만 사용 가능) 선택한 블록이 가로로 정렬되도록 블록의 세로 위치를 업데이트합니다.


시스템 다이어그램에서 항목을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하면 추가 하위 메뉴 항목이 팝업 메뉴에 나타납니다. 표시되는 하위 메뉴 항목은 항목 유형에 따라 다릅니다. 이러한 옵션을 사용하면 블록 항목에 연결된 이벤트 및 작업을 추가, 제거 또는 변경할 수 있습니다.


JMP PRO 셰이프 도구 모음


수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼의 셰이프 도구 모음에는 시스템 다이어그램에서 부품을 나타내는 데 사용되는 블록 셰이프가 포함되어 있습니다. 블록 셰이프 아이콘을 클릭한 후 시스템 다이어그램으로 드래그하여 시스템 다이어그램에 블록 셰이프를 추가합니다. 셰이프 도구 모음에는 다음과 같은 블록 셰이프 아이콘이 있습니다.


 **기본** 단일 부품을 나타내는 단일 블록 셰이프를 추가합니다.


 **직렬** 직렬로 연결된 동일한 부품 그룹을 나타내는 직렬 블록 셰이프를 추가합니다. 블록이 작동하려면 모든 부품이 작동해야 합니다.

 **병렬** 병렬로 연결된 동일한 부품 그룹을 나타내는 병렬 블록 셰이프를 추가합니다. 블록이 작동하려면 하나 이상의 부품이 작동해야 합니다.

 **n 개 중 k 개** 병렬로 연결된 n 개의 동일한 부품 그룹을 나타내는 n 개 중 k 개 블록 셰이프를 추가합니다. 블록이 작동하려면 n 개 중 k 개 이상의 부품이 작동해야 합니다.

 **대기** 병렬로 연결된 n 개의 동일한 부품 그룹을 나타내는 대기 블록 셰이프를 추가합니다. k 개의 부품만 **활성** 상태이거나 시스템에서 작업을 수행 중입니다. 나머지 **비활성** 부품은 k 개의 활성 부품 중 하나라도 고장이 발생하면 활성화되는 대기 부품으로 작동합니다. 블록이 작동하려면 블록에서 k 개 이상의 부품이 작동하고 활성화되어 있어야 합니다.

 **스트레스 공유** 병렬로 연결된 n 개의 동일한 부품을 나타내는 스트레스 공유 블록 셰이프를 추가합니다. 부품은 한 번에 하나씩 고장 나고 나머지 부품은 더 빠른 속도로 고장 납니다. 블록이 작동하려면 블록에서 하나 이상의 부품이 작동해야 하고 나머지 부품에 대해 스트레스가 제대로 재할당되어야 합니다.

 **매듭** 매듭을 가리키는 블록 셰이프의 조합을 나타내는 매듭 블록 셰이프를 추가합니다. 매듭이 작동하려면 매듭을 가리키는 블록 셰이프 중 지정된 수 이상의 셰이프가 작동해야 합니다.

블록 셰이프에 사용할 수 있는 설정에 대한 자세한 내용은 "[구성 패널](#)"에서 확인하십시오.

JMP PRO 구성 패널

수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼의 "구성" 패널을 사용하면 다이어그램에서 선택한 부품 또는 시뮬레이션에 대한 설정을 변경할 수 있습니다.

JMP PRO 시뮬레이션 설정

"시뮬레이션 설정" 보고서에서 다음과 같은 시뮬레이션 설정을 변경할 수 있습니다.

기간 각 반복에서 시뮬레이션되는 시간입니다.

시간 단위 시뮬레이션에 사용할 시간 단위입니다.

참고: 재발 이벤트 및 비즉시형 작업은 시뮬레이션 설정에 지정된 시간 단위를 사용합니다.

시뮬레이션 수 시뮬레이션의 반복 수입니다.

시드값 (선택 사항) 시뮬레이션 결과를 재현할 수 있도록 보장하는 난수 시드값입니다. 기본적으로 시드값은 0 으로 설정되어 재현 가능한 결과를 생성하지 않습니다. 분석을 스크립트에 저장하면 사용자가 입력한 난수 시드값이 스크립트에 저장됩니다.

주의: 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 **멀티스레드 시뮬레이션 실행**을 선택하여 시뮬레이션을 실행하면 난수 시드값을 지정해도 결과를 재현할 수 없습니다.

JMP PRO 블록 설정

시스템 다이어그램에서 블록 셰이프를 선택하면 "구성" 패널에 설정이 표시됩니다.

매듭 블록을 제외한 각 블록 셰이프에는 "시스템 켜기 예외" 옵션이 있습니다. 블록에 대해 이 옵션을 선택하면 "시스템 켜기" 작업이 호출될 때 블록이 켜지지 않습니다.

매듭 블록을 제외한 각 블록 셰이프에는 블록 셰이프의 개별 부품이 무작위로 고장 나는 비율을 결정하는 고장 분포가 있습니다. 기본 블록은 하나의 부품만 나타내므로 이 블록의 고장 분포는 블록 고장 비율을 결정합니다. 사용 가능한 고장 분포 옵션에 대한 자세한 내용은 "[분포 옵션](#)"에서 확인하십시오. "분포" 옵션에서 블록의 시간 단위 및 분포별 모수를 지정할 수 있습니다.

직렬 및 병렬

직렬 블록은 부품 중 하나가 고장 나면 고장이 발생합니다. 병렬 블록은 모든 부품이 고장 나면 고장이 발생합니다. 다음 옵션을 직렬 및 병렬 블록에 사용할 수 있습니다.

N 블록에 포함되는 동일 부품의 수를 지정합니다.

N 개 중 K 개

N 개 중 K 개 블록에는 n 개의 동일한 부품이 포함됩니다. k 개 미만의 부품이 작동하면 블록이 고장 납니다. 다음 옵션을 N 개 중 K 개 블록에 사용할 수 있습니다.

K 블록이 작동하기 위해 필요한 작동 부품의 최소 수를 지정합니다.

N 블록에 포함되는 동일 부품의 수를 지정합니다.

대기

대기 블록에는 대기 부품이라는 비활성 상태의 보조 부품이 있습니다. 활성 부품은 대기 블록 내에서 작업을 수행합니다. 비활성 부품은 대기 블록 내에서 작업을 수행하지 않으며, 활성 부품이 고장 나면 한 번에 하나씩 활성화됩니다. 활성화 프로세스가 실패하는 경우가 가끔 있습니다. 대기 부품을 활성화할 때 부품 스위치가 고장 날 수 있습니다. n 개의 동일 부품 중 k 개 미만이 활성 상태이면 대기 블록이 고장 납니다. 다음 옵션을 대기 블록에 사용할 수 있습니다.

K 초기에 활성화되는 부품 수를 지정합니다. 이 값은 블록이 작동하기 위해 필요한 최소 활성 부품 수이기도 합니다.

N 블록에 포함되는 동일 부품의 총 수를 지정합니다. k 와 n 간의 차이는 대기 부품의 수와 같습니다.

스위치 유형 활성 부품이 고장 날 경우 단일 대기 부품을 활성화하는 메커니즘을 지정합니다.

단일 스위치 블록에 단일 스위치가 있습니다. 대기 부품 활성화에 실패하면 블록도 고장 납니다.

개별 스위치 각 대기 부품에 대한 스위치가 있습니다. 대기 부품 활성화에 실패하면 해당 대기 부품을 활성화할 수 없습니다. 대기 블록은 대기 부품이 활성화될 때까지 다음 대기 부품을 활성화하려고 시도합니다. 나머지 스위치가 작동하지 않고 k 개 미만의 부품이 활성 상태이면 블록이 고장 납니다.

스위치 신뢰도 활성 부품이 고장 날 경우 대기 부품 활성화가 성공할 확률을 지정합니다.

대기 유형 대기 부품의 상태 및 고장 분포를 지정합니다.

콜드 활성화될 때까지 대기 부품의 연령이 증가하지 않습니다.

웜 비활성 상태일 때 2 차 고장 분포에 따라 대기 부품의 연령이 증가합니다. 대기 부품이 활성화되면 1 차 고장 분포에 따라 연령이 증가합니다. 2 차 고장 분포를 사용하여 대기 블록에서 작업을 수행하지 않는 대기 부품에 대한 스트레스 감소를 모방할 수 있습니다.

스트레스 공유

스트레스 공유 블록은 스트레스를 부품 간에 균등하게 분배합니다. 부품이 고장 나면 작동하는 부품의 스트레스가 증가하고 그에 따라 고장률이 높아집니다.

N 블록에 포함되는 동일 부품의 총 수를 지정합니다.

스위치 신뢰도 작동하는 나머지 부품 간에 스트레스를 성공적으로 재할당할 확률을 지정합니다. 스트레스 재할당에 실패하면 블록이 고장 납니다.

스트레스 공유 유형 작동하는 부품 간에 스트레스를 공유하는 방법을 지정합니다.

기본 (기본값) 작동하는 나머지 부품 간에 스트레스가 균등하게 공유되도록 지정합니다. 이러한 유형의 스트레스 공유를 **부하 공유**라고 합니다. 개별 부품의 특성 수명은 작업 부하를 공유하는 부품 수에 비례합니다.

사용자 정의 "공유 계산식" 옵션에 나타나는 JSL 코드에 따라 부품이 스트레스를 공유하도록 지정합니다. "공유 계산식"은 부품이 고장 날 때 스트레스가 어떻게 변화하는지 정의합니다.

매듭

매듭 블록에는 고장 분포가 없습니다. 매듭 블록은 연결된 블록 세트 중 작동하는 블록의 수가 지정된 최소 수 미만일 때만 고장 납니다. 다음 옵션을 매듭 블록에 사용할 수 있습니다.

최소 사용 가능 종속성 매듭 블록이 작동하기 위해 매듭 블록을 가리켜야 하는 최소 작동 블록 수를 지정합니다.

JMP[®] PRO 이벤트 추가 패널

수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼에서 이벤트는 시뮬레이션에서 발생하는 개별 사건을 나타냅니다. 이벤트를 사용하여 작업을 트리거할 수 있습니다. 단일 이벤트가 트리거할 수 있는 작업 수에는 제한이 없습니다. "이벤트 추가" 패널에서 다음 옵션을 사용할 수 있습니다.

참고: 사용 가능한 이벤트 유형 중 일부가 없는 블록 세트도 있습니다.

블록 고장 블록 고장 시 발생합니다. 부품 경로가 중단되면 시스템이 "다운" 상태로 설정됩니다.

스케줄됨 지정된 재발 간격으로 발생합니다. "최대 발생 횟수" 옵션은 시뮬레이션에서 이 이벤트의 발생 횟수에 제한을 설정합니다. 기본적으로 "최대 발생 횟수"는 결측값으로 설정됩니다. 이 경우 이벤트는 시뮬레이션이 끝날 때까지 계속 발생합니다. 자세한 내용은 "[이벤트 설정](#)"에서 확인하십시오.

Inservice 기반 부품이 지정된 연령에 도달할 때 발생합니다. 부품 연령은 부품이 작동하고 활성화된 누적 시간입니다. 부품이 고장 나거나 해당 블록이 꺼지면 연령이 증가하지 않습니다. "최대 발생 횟수"는 시뮬레이션에서 이 이벤트가 발생할 수 있는 횟수에 제한을 설정합니다. 기본적으로 이벤트는 시뮬레이션이 끝날 때까지 계속 발생합니다. 자세한 내용은 "[이벤트 설정](#)"에서 확인하십시오.

시스템 다운됨 시스템이 "다운" 또는 "꺼짐" 상태로 설정될 때 발생합니다. 의도적으로 또는 의도치 않게 시스템 상태를 변경할 수 있습니다.

초기화 각 시뮬레이션 반복이 시작될 때 발생합니다. 시스템 실행 전에 완료해야 할 작업을 정리하려면 이 이벤트를 사용합니다.

이벤트 생성

1. 이벤트를 생성하려면 시스템 다이어그램에서 블록 셰이프를 선택하여 시스템 다이어그램 하단에 "이벤트 추가" 및 "작업 추가" 패널을 표시합니다.
2. "이벤트 추가" 패널의 옵션 중 하나를 선택하여 선택한 블록 셰이프에 대한 이벤트를 정의합니다.

그림 13.6 블록 고장 이벤트



새 이벤트를 나타내는 주황색 정사각형이 부품 위에 나타납니다. 선택한 이벤트의 오른쪽에 연결 화살표가 나타납니다.

JMP PRO 작업 추가 패널

수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼에서 작업은 연결된 이벤트 또는 연결된 작업에 의해 트리거되는 부품 및 시스템 동작을 정의합니다. 연결된 작업은 이전 작업이 완료되면 트리거됩니다. "작업 추가" 패널에서 다음 옵션을 사용할 수 있습니다.

참고: 사용 가능한 작업 유형 중 일부가 없는 블록 셰이프도 있습니다.

표 13.1 작업 옵션

작업 이름	이 작업을 사용할 수 있는 블록	시작 동작	완료 동작
시스템 끄기	모두		모든 블록이 꺼졌습니다. 시스템이 아직 "다운" 상태가 아닌 경우 "꺼짐" 상태로 설정됩니다.
시스템 켜기	모두		아직 고장 나지 않은 모든 블록이 켜집니다. 중단되지 않은 부품 경로가 있는 경우 시스템이 "켜기" 상태로 설정됩니다. "시스템 켜기 예외" 옵션이 선택된 블록은 이 작업으로 켜지지 않습니다.

표 13.1 작업 옵션 (계속)

작업 이름	이 작업을 사용할 수 있는 블록	시작 동작	완료 동작
새 항목으로 바꾸기	모두	원래 블록을 끄고, 부품 경로가 중단된 경우 시스템을 "다운" 상태로 설정합니다.	블록이 새 블록이 됩니다. 연령이 재설정되고 블록이 켜집니다. 중단되지 않은 부품 경로가 있는 경우 시스템이 "켜기" 상태로 설정됩니다.
최소 수리	기본, 직렬	"새 항목으로 바꾸기" 작업의 시작 동작과 동일합니다.	블록을 켭니다. 중단되지 않은 부품 경로가 있는 경우 시스템이 "켜기" 상태로 설정됩니다. 블록 연령은 재설정되지 않습니다.
블록 켜기	모두	블록이 "다운" 상태이거나 시스템에서 현재 제거된 경우 작업을 취소합니다.	블록 켜기 작업은 "켜기 횟수"를 1씩 증가합니다.
블록 끄기	모두		블록을 끕니다. 부품 경로가 중단되면 시스템이 "다운" 상태로 설정됩니다.
블록 제거	모두		블록이 시스템에서 제거됩니다. 부품 경로가 중단되면 시스템이 "다운" 상태로 설정됩니다.
새 항목 설치	모두	"새 항목으로 바꾸기" 작업의 시작 동작과 동일합니다.	블록을 끕니다. 블록 연령이 재설정됩니다.
사용된 항목 설치	기본	"새 항목으로 바꾸기" 작업의 시작 동작과 동일합니다.	블록을 끕니다. 블록에 대한 새 연령과 고장 분포를 지정합니다.
분포 변경	기본	블록을 끕니다. 부품 경로가 중단되면 시스템이 "다운" 상태로 설정됩니다.	블록의 고장 분포를 변경합니다. 이를 통해 시간 경과에 따른 작업 변경 또는 블록에 대한 누적 손상을 모방할 수 있습니다.
오류 조사	모두		블록이 고장 났거나 시스템에서 제거된 경우 연결된 작업을 트리거합니다.

표 13.1 작업 옵션 (계속)

작업 이름	이 작업을 사용할 수 있는 블록	시작 동작	완료 동작
If	모두		지정된 조건 스크립트가 참일 경우 연결된 작업을 트리거합니다.
스케줄	모두		연결된 작업을 지정된 간격으로 트리거합니다. 예약된 간격 수를 제한하거나, 시뮬레이션 반복이 끝날 때까지 작업이 계속 되도록 허용할 수 있습니다.

작업 생성

- 작업을 생성하려면 시스템 다이어그램에서 블록 셰이프를 선택하여 시스템 다이어그램 하단에 " 이벤트 추가 " 및 " 작업 추가 " 패널을 표시합니다.
- "작업 추가" 패널의 옵션 중 하나를 선택하여 선택한 블록 셰이프에 대한 작업을 정의합니다.
선택한 블록 셰이프 위에 파란색 작업 정사각형이 생성됩니다. 연결된 이벤트가 발생하면 작업이 트리거됩니다. 정의한 작업을 트리거하는 이벤트를 생성합니다.
- "이벤트 추가" 패널의 옵션 중 하나를 선택하여 선택한 블록 셰이프에 대한 이벤트를 정의합니다.
블록 셰이프 위에 주황색 이벤트 정사각형이 생성됩니다. 이벤트 오른쪽의 연결 화살표를 확인합니다.
- 연결 화살표를 클릭하고 2 단계에서 생성한 파란색 작업 정사각형으로 드래그합니다.
녹색 화살표가 이벤트 정사각형과 작업 정사각형을 연결합니다. 시뮬레이션 반복에서 이벤트가 발생하면 연결된 작업을 트리거합니다.
- 2 단계에서 생성한 파란색 작업 정사각형을 선택합니다.
선택한 작업의 오른쪽에 나타나는 더하기 기호 (+) 를 사용하여 이전 작업 완료 시 트리거되는 추가 작업을 연결할 수 있습니다.
- 더하기 기호 (+) 를 클릭하고 시스템 다이어그램의 빈 영역으로 드래그합니다.
사용 가능한 작업 목록이 나타납니다.
- 작업 목록의 옵션 중 하나를 선택하여 첫 번째 작업에 연결되는 작업을 생성합니다.

그림 13.7 작업 생성



녹색 화살표가 두 작업을 연결합니다. 첫 번째 작업이 완료되면 두 번째 작업이 트리거됩니다.

JMP^{PRO} 수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼 옵션

"수리 가능 시스템 시뮬레이션"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

저장, 다른 이름으로 저장 수리 가능 시스템 시뮬레이션을 JSL(JMP 스크립트 언어) 스크립트에 저장할 수 있습니다. 이 스크립트 파일은 JMP에서 열 때 자동으로 실행됩니다. 자동 실행 스크립트에 대한 자세한 내용은 **Scripting Guide**에서 확인하십시오.

참고: "저장" 및 "다른 이름으로 저장" 빨간색 삼각형 옵션은 각각 **파일 > 저장** 및 **파일 > 다른 이름으로 저장**을 선택하는 것과 같습니다. 편의를 위해 빨간색 삼각형 메뉴에서 사용할 수 있습니다.

부품 분포 설정 가져오기 데이터 테이블에서 시스템 다이어그램에 대한 구성 설정을 가져올 수 있습니다. 테이블에는 부품 이름, 분포 및 하나 이상의 모수에 대한 열이 포함되어야 합니다. 모수의 수는 지정된 분포에 따라 달라집니다.

참고: 가져온 테이블의 문자열은 시스템 다이어그램의 문자열과 정확히 매칭되어야 합니다.

JMP^{PRO} 블록 항목에 대한 옵션

수리 가능 시스템 시뮬레이션에서 선택한 설계 또는 하위 시스템의 부품에 대한 설정을 보려면 다음을 수행하십시오.

- 블록 셰이프에 대한 구성 설정을 보려면 시스템 다이어그램에서 블록 셰이프를 선택합니다.
- 둘 이상의 블록 셰이프에 대한 구성 설정을 보려면 화살표 도구를 사용하여 여러 블록 셰이프를 선택하거나, Ctrl 키를 누르고 여러 블록 셰이프를 클릭합니다.

JMP^{PRO} 분포 옵션

수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼의 각 블록 셰이프는 지정된 고장 분포에 따라 무작위로 고장 납니다. 또한 분포의 시간 단위를 지정합니다. 블록 셰이프의 시간 단위는 시뮬레이션 설정에서 지정한 시간 단위 옵션과 다를 수 있습니다. "켜기 횟수" 옵션은 개별 블록 셰이프가 "켜기" 상태로 설정된 횟수를 기반으로 합니다.

사용 가능한 고장 분포가 [표 13.2](#)에 나열되어 있습니다.

표 13.2 분포 및 추가 모수

특성 유형	필요한 입력
지수	세타
Weibull	알파, 베타

표 13.2 분포 및 추가 모수 (계속)

특성 유형	필요한 입력
로그 정규	위치, 척도
로그로지스틱	위치, 척도
Frechet	위치, 척도
일반화 감마	μ , 시그마, 람다
DS Weibull	알파, 베타, 결함 확률
DS 로그 정규	위치, 척도, 결함 확률
DS 로그로지스틱	위치, 척도, 결함 확률
DS Frechet	위치, 척도, 결함 확률
비모수	데이터 또는 데이터 파일
추정	추정 분포, 데이터 또는 데이터 파일

이러한 고장 분포에 대한 계산식 및 파라미터화는 "[분포에 대한 통계 상세 정보](#)"에서 확인하십시오.

JMP PRO 비모수 또는 추정 분포 지정

수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼에서 "분포" 옵션 아래의 "비모수" 및 "추정" 값을 사용하면 임의의 분포에 근사한 값을 산출할 수 있습니다. 데이터를 수동으로 입력하거나 데이터가 포함된 파일을 가져올 수 있습니다. 이러한 데이터는 분포에 근사한 값을 산출하는 데 사용됩니다.


"비모수" 또는 "추정"을 선택한 후 "데이터" 옆의  아이콘을 클릭합니다. 데이터를 입력하거나 데이터 파일을 가져올 수 있는 "데이터 제공" 창이 나타납니다. 데이터를 가져오거나 입력한 후 해당 데이터를 사용하여 부품에 대한 분포를 계산합니다.

그림 13.8 데이터 제공 창

파일에서 데이터를 가져오려면 다음을 수행하십시오.

1. 아이콘을 클릭하기 전에 가져올 데이터가 포함된 JMP 데이터 테이블을 엽니다.
2. "데이터" 옆의 아이콘을 클릭합니다.
3. "데이터 제공" 창에서 **가져오기**를 클릭합니다.
"데이터 테이블 선택" 창이 나타납니다.
4. 데이터 테이블 목록에서 데이터 테이블을 선택합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.
6. 데이터 격자 아래의 패널에서 사건 발생 시간 데이터를 나타내는 열을 지정합니다.

7. 중도절단 및 빈도 열을 지정합니다 (해당하는 경우).

8. "데이터 제공" 창에서 **확인**을 클릭합니다.

데이터를 수동으로 입력하려면 다음을 수행하십시오.

1. 사건 발생 시간 데이터에 대한 열을 생성합니다.
2. 중도절단 및 빈도 데이터에 대한 열을 생성합니다 (해당하는 경우).
3. 열에 데이터를 입력합니다.
4. 데이터 격자 아래의 패널에서 사건 발생 시간 데이터를 나타내는 열과 중도절단 및 빈도 데이터 (해당하는 경우)를 나타내는 열을 지정합니다. 자세한 내용은 위의 **5 단계**와 **6 단계**를 참조하십시오.
5. "데이터 제공" 창에서 **확인**을 클릭합니다.

JMP^{PRO} 이벤트 설정

수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼의 시스템 다이어그램에서 이벤트를 선택하면 "구성" 패널에 설정이 표시됩니다. "이벤트 이름" 설정을 변경하여 다른 이벤트와 구분할 수 있습니다. "스케줄됨" 및 "Inservice" 이벤트에만 다음과 같은 추가 설정이 있습니다.

스케줄됨

"스케줄됨" 이벤트에는 다음 옵션이 있습니다.

재발 간격 이벤트 발생 사이의 시간 간격을 지정합니다.

최대 발생 횟수 이 이벤트가 발생할 수 있는 최대 횟수를 지정합니다.

Inservice

"Inservice" 이벤트에는 다음 옵션이 있습니다.

Inservice 이 이벤트가 발생하기 전에 대기할 부품 실행 시간 간격을 지정합니다.

참고 : 시스템이 "켜기" 상태이고 부품이 작동 중일 때만 부품 실행 시간이 누적됩니다.

최대 발생 횟수 이 이벤트가 발생할 수 있는 최대 횟수를 지정합니다.

JMP^{PRO} 작업 설정

수리 가능 시스템 시뮬레이션 플랫폼의 시스템 다이어그램에서 작업을 선택하면 "구성" 패널에 설정이 표시됩니다. "작업 이름" 설정을 변경하여 다른 작업과 구분할 수 있습니다. 기본적으로 작업은 즉시 완료됩니다. "완료 시간 옵션" 메뉴에서 비즉시형 완료 시간 옵션을 사용할 수 있습니다.

그림 13.9 작업 설정

새 항목으로 바꾸기: Replace Engine	
작업 이름	Replace Engine
완료 시간	
완료 시간 옵션	상수
완료 시간	0

"완료 시간 옵션" 목록에 다음 옵션이 나타납니다.

즉시 (기본값) 시작 동작과 완료 동작 사이에 시간이 경과하지 않도록 지정합니다.

상수 시간 경과가 항상 설정된 완료 시간이 되도록 지정합니다.

선택 범프로 구분된 값 목록을 구성하고 이 목록에서 시간 경과가 무작위로 선택되도록 지정합니다.

균등 최소값과 최대값이 설정된 균등 분포에서 시간 경과가 무작위로 선택되도록 지정합니다.

삼각 최소값, 최빈값 및 최대값이 설정된 삼각 분포에서 시간 경과가 무작위로 선택되도록 지정합니다.

정규 평균 및 표준편차가 설정된 정규 분포에서 시간 경과가 무작위로 선택되도록 지정합니다.

JMP PRO 시뮬레이션 결과 테이블

수리 가능 시스템 시뮬레이션 다이어그램에서 "시작" 아래의 녹색 화살표를 클릭하여 시뮬레이션을 실행하면 데이터 테이블에 결과가 나타납니다. 이 테이블에서는 각 시뮬레이션 반복에서 발생한 이벤트와 후속 작업을 설명합니다.

결과 테이블에는 다음 열이 포함됩니다.

시뮬레이션 ID 이벤트 또는 작업이 속한 시뮬레이션 반복을 식별합니다.

시간 시뮬레이션에서 이벤트 또는 작업이 발생한 정확한 시간을 제공합니다.

개체 이벤트 또는 작업이 연결된 블록 셰이프의 이름을 제공하거나, 시스템 이벤트 및 작업의 경우 "시스템"을 제공합니다.

동작 발생한 이벤트 또는 작업의 이름을 제공합니다.

상태 해당하는 정확한 시간에서 개체의 상태를 제공합니다. 각 작업의 초기화 및 종료는 각각 "시작" 및 "완료"로 표시됩니다.

노트 작업에 대한 추가 설명을 제공합니다. 각 시뮬레이션 반복의 끝은 "End"로 표시됩니다.

그림 13.10 RSS 결과 테이블

	시뮬레이션 ID	시간	개체	술부	상태	노트
1	1	0	Spare	Initialization Spare in Trunk	시작	
2	1	0	Spare	Initialization Spare in Trunk	끄기	
3	1	0	Spare	Initialization Spare in Trunk	완료	
4	1	65.024584796	Tire 2	Tire 2 is unrepairable	다운	
5	1	65.024584796	시스템	시스템 끄기	다운	Unintended
6	1	65.024584796	Engine	시스템별 블록 끄기	끄기	
7	1	65.024584796	Transmission	시스템별 블록 끄기	끄기	
8	1	65.024584796	Battery	시스템별 블록 끄기	끄기	
9	1	65.024584796	Tire 1	시스템별 블록 끄기	끄기	
10	1	65.024584796	Tire 3	시스템별 블록 끄기	끄기	
11	1	65.024584796	Tire 4	시스템별 블록 끄기	끄기	
12	1	65.024584796	Tire 2	Replace Tire 2	제거됨	
13	1	65.024584796	Tire 2	Replace Tire 2	시작	

그림 13.10의 첫 번째 항목은 즉시 완료 시간이 있는 Initialization Spare in Trunk 작업의 시작입니다. 이 작업은 Spare 부품을 끈 다음, 시간이 0인 동안 완료됩니다.

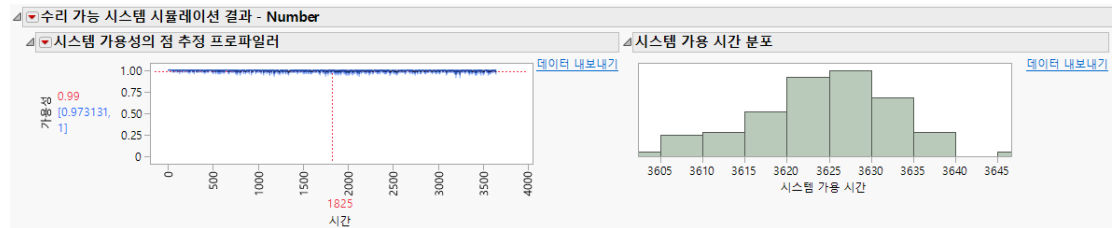
다음 이벤트는 Tire 2 is Unrepairable이며, 첫 번째 시뮬레이션 반복 후 약 65일 정도 경과했을 때 발생합니다. 5행에서는 세 개의 타이어만 작동하므로 시스템이 의도치 않게 "다운" 상태로 설정됩니다. Need 4 Tires to Drive 매듭이 작동하려면 Spare를 포함하여 네 개 이상의 타이어가 필요합니다. Tire 2 is Unrepairable 이벤트는 Replace Tire 2 작업과 Use Spare 작업을 동시에 트리거합니다. 11행에서 Drive with Spare 작업이 트리거되고 시스템이 "켜기" 상태로 설정됩니다.

Tire 2가 고장 났고 동시에 Spare로 교체되었습니다. 시스템이 "다운" 상태로 설정된 시간과 시스템이 "켜기" 상태로 돌아간 시간 사이에 시간이 경과하지 않았습니다. 후속 작업은 즉시 완료 시간이 설정되었으므로 Tire 2 is Unrepairable 이벤트로 인해 시스템 불능 시간이 발생하지 않았습니다. 결과 탐색기는 작업이 즉시 수행되지 않을 때 누적되는 시스템 불능 시간을 표시합니다.

JMP PRO 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과 데이터 테이블에서 "Launch Repairable Systems Simulation Results Explorer" 스크립트를 실행하면 시뮬레이션 결과 분석이 포함된 보고서가 나타납니다.

그림 13.11 RSS 탐색기 보고서 (일부)



기본적으로 보고서에는 두 가지 유형의 그래프가 포함됩니다. **그림 13.11**의 왼쪽에 표시된 첫 번째 그래프 유형은 점 추정값 그래프입니다. 점 추정값 그래프에는 집계된 시뮬레이션 결과가 세로 축에 표시되고 시뮬레이션 반복 시간이 가로 축에 표시됩니다. 가로 축 범위는 시뮬레이션 설정에서 지정한 기간입니다. 지정된 시간의 시스템 가용도에 대한 추정 확률은 세로 축 옆에 빨간색으로 표시됩니다. 점 추정값 아래에는 점 추정값에 대한 95% 신뢰 구간이 있습니다.

팁 : 시뮬레이션 반복에서 특정 시간의 시스템 가용도에 대한 점 추정을 보려면 가로 축 아래의 빨간색 숫자를 클릭합니다. 시뮬레이션 기간 범위 내의 시간을 지정하고 Enter 키를 누릅니다.

그림 13.11의 오른쪽에 표시된 두 번째 그래프 유형은 시뮬레이션 반복에서 얻은 시스템 가용 시간 히스토그램입니다. 히스토그램의 계급은 다음 중 하나를 나타냅니다.

- 총 시뮬레이션 시간
- 시뮬레이션 기간의 비율

팁 : 그래프에 사용되는 데이터로 데이터 테이블을 생성하려면 그래프 옆의 **데이터 내보내기** 옵션을 선택합니다.

기본적으로 보고서에는 다음 그래프가 포함됩니다.

시스템 가용도의 점 추정 프로파일러 시간 경과에 따라 시뮬레이션 반복 중에 시스템이 "켜기" 또는 "끄기" 상태일 것으로 추정되는 확률의 프로파일러 그래프를 표시합니다.

시스템 가용 시간 분포 각 시뮬레이션 반복에 대한 총 시스템 가용 시간의 히스토그램을 표시합니다.

시스템 가용도 분포 각 시뮬레이션 반복에 대한 총 시스템 가용 시간을 시뮬레이션 기간으로 나눈 히스토그램을 표시합니다. 이 분포는 시뮬레이션 기간의 비율로 표시된다는 점을 제외하면 "시스템 가용 시간 분포"와 동일합니다.

시스템 In-service 확률의 점 추정 프로파일러 시간 경과에 따라 시뮬레이션 반복 중에 시스템이 "켜기" 상태일 것으로 추정되는 확률의 프로파일러 그래프를 표시합니다.

시스템 In-service 시간 분포 각 시뮬레이션 반복에 대해 시스템이 "켜기" 상태였던 총 시간의 히스토그램을 표시합니다.

시스템 In-service 확률 분포 각 시뮬레이션 반복에 대해 시스템이 "켜기" 상태였던 총 시간을 시뮬레이션 기간으로 나눈 히스토그램을 표시합니다. 이 분포는 시뮬레이션 기간의 비율로 표시된다는 점을 제외하면 "시스템 In-service 시간 분포"와 동일합니다.

시스템 비정상 불능 점 추정 프로파일러 시간 경과에 따라 시뮬레이션 반복 중에 시스템이 "다운" 상태일 것으로 추정되는 확률의 프로파일러 그래프를 표시합니다.

시스템 비정상 불능 시간 분포 각 시뮬레이션 반복에 대해 시스템이 "다운" 상태였던 총 시간의 히스토그램을 표시합니다.

시스템 비정상 불능 백분율 분포 각 시뮬레이션 반복에 대해 시스템이 "다운" 상태였던 총 시간을 시뮬레이션 기간으로 나눈 히스토그램을 표시합니다. 이 분포는 시뮬레이션 기간의 비율로 표시된다는 점을 제외하면 "시스템 비정상 불능 시간 분포"와 동일합니다.

JMP[®] 수리 가능 시스템 시뮬레이션 결과 옵션

"수리 가능 시스템 시뮬레이션 결과"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

부품 가용도 점 추정 이 옵션은 시스템 다이어그램의 각 블록 셰이프에 대한 다음 보고서를 표시합니다.

- 가용도의 점 추정 프로파일러
- 가용 시간 분포
- 가용도 분포
- 비정상 불능 점 추정 프로파일러
- 비정상 불능 시간 분포
- 비정상 불능 분포

기간별 시스템 가용도 지정된 기간 동안 평균 시스템 가용도를 검토할 수 있는 그래프를 표시합니다. "시간별" 패널을 사용하여 기간을 시간 구간으로 정의합니다. "이벤트별" 패널을 사용하여 기간을 한 이벤트의 지정된 발생 횟수로 정의합니다. **시작**을 클릭하면 각 기간 동안의 평균 시스템 가용도를 보여 주는 막대 차트가 보고서에 표시됩니다.

부품별 시스템 총 다운 시간 상자 그림 개별 부품으로 인해 시스템이 "다운" 또는 "끄기" 상태였던 총 시간의 상자 그림을 표시합니다. 부품은 불능 시간이 가장 많은 것부터 가장 적은 것까지 기여도별로 정렬되며 파레토 차트와 비슷합니다.

부품별 시스템 총 비정상 불능 시간 상자 그림 개별 부품으로 인해 시스템이 "다운" 상태였던 총 시간의 상자 그림을 표시합니다. 부품은 불능 시간이 가장 많은 것부터 가장 적은 것까지 기여도별로 정렬되며 파레토 차트와 비슷합니다.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**의 에서 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.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

JMP PRO 결과 탐색기 점 추정 프로파일러 옵션

수리 가능 시스템 시뮬레이션 결과 탐색기 보고서 내의 각 점 추정 프로파일러에는 다음 옵션이 포함된 빨간색 삼각형 메뉴가 있습니다.

신뢰 구간 점 추정 그래프에 95% 신뢰 구간을 표시하거나 숨깁니다.

요인 격자 재설정 점 추정 그래프의 모수를 수정할 수 있는 "요인 설정" 창을 엽니다. 요인 격자 설정에 대한 자세한 내용은 **Profilers** 에서 확인하십시오.

요인 설정 요인 격자에 영향을 주는 추가 옵션을 제공합니다. 요인 설정에 대한 자세한 내용은 **Profilers** 에서 확인하십시오.

14 장

생존 분석

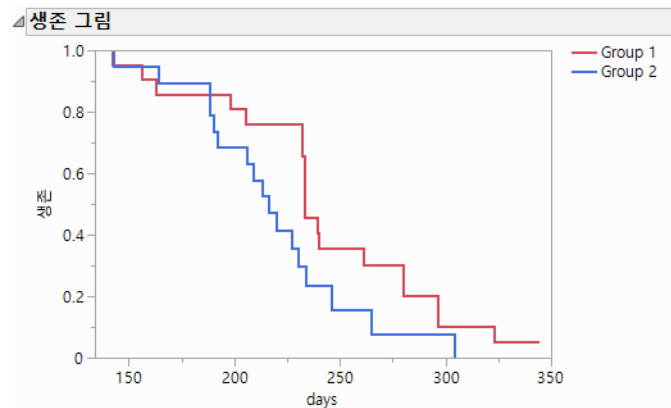
생존 시간 데이터 분석

생존 데이터는 특정 사건이 발생할 때까지의 기간을 포함하며 사건 시간 반응 데이터라고도 합니다. 사건은 대개 엔진 고장 또는 환자 사망과 같은 실패입니다. 관측값 연구가 끝나기 전에 사건이 발생하지 않으면 관측값이 **중도절단**되었다고 합니다.

생존 플랫폼에서는 사건 발생 시간 또는 고장 시간을 나타내는 단일 Y 를 적합시킵니다. 생존 플랫폼을 사용하여 고장 시간 분포를 검토할 수 있습니다.

팁: 설명 모형을 적합시키려면 모수 생존 모형 적합 플랫폼 또는 비례 위험 모형 적합 플랫폼을 사용합니다.

그림 14.1 생존 그림의 예



목차

생존 분석 플랫폼 개요.....	351
생존 분석의 예	352
생존 플랫폼 시작	354
생존 그림.....	355
생존 플랫폼 옵션	356
지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 적합.....	358
적합 분포 그림	361
여러 경쟁 원인	362
생존 플랫폼의 추가 예.....	363
생존 대신 고장 그림 표시의 예.....	363
경쟁 원인의 예	365
구간 중도절단의 예	368
생존 분석에 대한 통계 상세 정보.....	369

생존 분석 플랫폼 개요

생존 데이터는 다음과 같은 두 가지 이유로 인해 특수한 방법을 사용하여 분석해야 합니다.

1. 일반적으로 생존 시간은 지수, Weibull 및 로그 정규와 같은 특수한 비정규 분포를 따릅니다.
2. 일부 데이터가 중도절단될 수 있습니다.

생존 함수는 하나 이상의 완비 또는 오른쪽 중도절단 데이터 그룹에 대해 비모수 Kaplan-Meier 방법을 사용하여 계산됩니다. 완비 데이터에는 중도절단된 값이 없습니다. 오른쪽 중도절단은 정확한 생존 시간은 모르지만 지정된 값보다 크다는 것을 알고 있는 경우입니다. 모든 유닛이 고장 나지 않고 연구가 종료되거나, 완료되기 전에 환자가 연구에서 나가야 할 때 오른쪽 중도절단이 발생합니다. 분석에 편향을 적용하지 않으면 중도절단 관측값을 무시할 수 없습니다. 생존 모형의 요소는 다음과 같습니다.

- 유닛 (또는 환자) 에서 사건이 발생하거나 유닛이 중도절단될 때까지의 기간을 나타내는 시간. 시간은 모형 반응 (Y) 입니다.
- 사건이 발생한 관측값인지 아니면 중도절단된 관측값인지를 나타내는 중도절단 표시자. JMP 는 중도절단된 유닛의 코드가 1 이고 중도절단되지 않은 사건의 코드가 0 이라는 규칙을 사용합니다.
- 설명 변수 (회귀 모형이 사용되는 경우)
- 구간 중도절단은 데이터 점이 두 값 사이의 구간에 있는 경우입니다. 구간 중도절단이 필요한 경우 사건 시간을 제한하는 하한과 상한이 두 Y 변수에 지정됩니다.

신뢰성 및 생존 데이터에 사용되는 일반적인 용어에는 수명, 생존, 고장 시간, 사건 발생 시간 및 기간이 포함됩니다.

생존 플랫폼에서는 하나 이상의 그룹에 대한 승법 극한 (Kaplan-Meier) 생존 추정값을 계산합니다. 이를 완전 분석으로 사용할 수 있으며, 좀 더 복잡한 모형 적합을 위한 정보를 얻을 수 있는 탐색적 분석으로도 유용합니다. Kaplan-Meier 생존 플랫폼에서는 다음을 수행합니다.

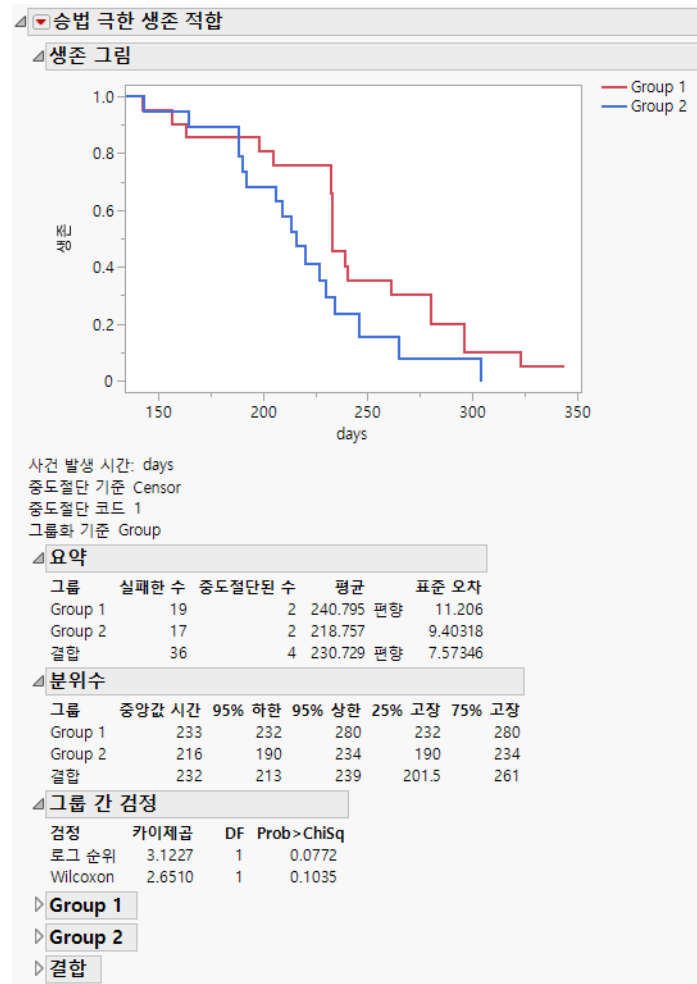
- 각 그룹에 대한 추정된 생존 함수 그림을 표시합니다. 전체 표본에 대한 그림은 선택 사항입니다.
- 각 그룹 및 결합 표본에 대한 생존 함수 추정값을 계산하고 나열합니다.
- 추가 회귀 모델링에 지수, Weibull 및 로그 정규 분포를 사용하는 것이 적절한지 그래픽으로 확인하기 위해 이러한 분포의 진단 고장 그림을 표시합니다. 모수 추정값은 요청 시 제공됩니다.
- 그룹 간 추정된 생존 함수의 동질성을 검정하기 위해 로그 순위 및 일반화 Wilcoxon 카이제곱 통계량을 계산합니다.
- 경쟁 원인을 분석하여 고장 원인 변수를 확인하고 각 원인에 해당하는 중도절단 패턴에 대한 Weibull 고장 시간 분포를 추정합니다.

생존 분석의 예

두 치료 그룹의 실험용 쥐가 발암 물질에 노출된 실험에서 생존 시간의 차이를 조사합니다. 이 예에서 사건은 죽음입니다. 한 치료 그룹의 쥐가 다른 치료 그룹의 쥐보다 수명 (일) 이 긴지 여부를 확인하는 것이 목적입니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 **Rats.jmp** 를 엽니다.
days 열의 데이터는 생존 시간입니다. 일부 관측값이 중도절단되었습니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 생존**을 선택합니다.
3. days 를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. Group 을 선택하고 **그룹화**를 클릭합니다.
5. Censor 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.

그림 14.2 Rats.jmp 데이터의 생존 그림



처리 그룹 1의 쥐가 처리 그룹 2의 쥐보다 오래 사는 것으로 보입니다.

생존 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 생존을 선택하여 생존 플랫폼을 시작합니다.

그림 14.3 생존 시작 창

사건 발생 시간 데이터에 분포를 적합시킵니다.

열 선택	선택한 열 역할 지정	작업
<input checked="" type="checkbox"/> 5개 열 <input type="checkbox"/> days <input type="checkbox"/> Censor <input type="checkbox"/> Group <input type="checkbox"/> Failure Cause <input type="checkbox"/> logvar <input type="checkbox"/> 생존 대신 오류 사용 그림 중도절단 코드 <input type="text" value="1"/>	Y, 사건 발생 시간 <input type="text" value="days"/> 선택적 숫자 그룹화 <input type="text" value="Group"/> 중도절단 <input type="text" value="Censor"/> 빈도 <input type="text" value="선택적 숫자"/> 기준 <input type="text" value="선택적"/>	<input type="button" value="확인"/> <input type="button" value="취소"/> <input type="button" value="제거"/> <input type="button" value="재호출"/> <input type="button" value="도움말"/>

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용에서 확인하십시오.

생존 시작 창에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

Y, 사건 발생 시간 사건 발생 시간 또는 중도절단 시간을 식별합니다. 구간 중도절단이 있는 경우 하한과 상한을 나타내는 두 개의 Y 변수를 지정합니다.

그룹화 데이터를 각각 적합되는 그룹으로 분류합니다.

중도절단 중도절단된 값을 식별합니다. "중도절단 코드" 상자에 중도절단을 식별하는 값을 입력합니다. 다음과 같은 경우 이 열에 세 개 이상의 구분되는 값이 포함될 수 있습니다.

- 모든 중도절단 행에 "중도절단 코드" 상자에 입력된 값이 포함되어 있습니다.
- 중도절단되지 않은 행에 "중도절단 코드" 상자의 값과 다른 값이 있습니다.

빈도 유닛이 여러 개 기록된 경우 각 행에 대한 관측값 빈도가 값인 열을 나타냅니다. 0 또는 양의 정수 값은 각 행의 관측값 빈도 또는 개수를 나타냅니다.

기준 분류 또는 그룹화 변수의 각 수준에 대해 개별 분석을 수행합니다.

생존 대신 고장 표시 생존 확률 그림 대신 고장 확률 그림을 표시합니다.

중도절단 코드 오른쪽 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값을 식별합니다. 기본값은 1입니다.

생존 그림

생존 플랫폼에는 각 그룹에 대한 추정된 생존 함수의 중첩 계단 그림이 표시됩니다. 범례는 색상과 선 유형으로 그룹을 식별합니다.

그림 14.4 생존 그림

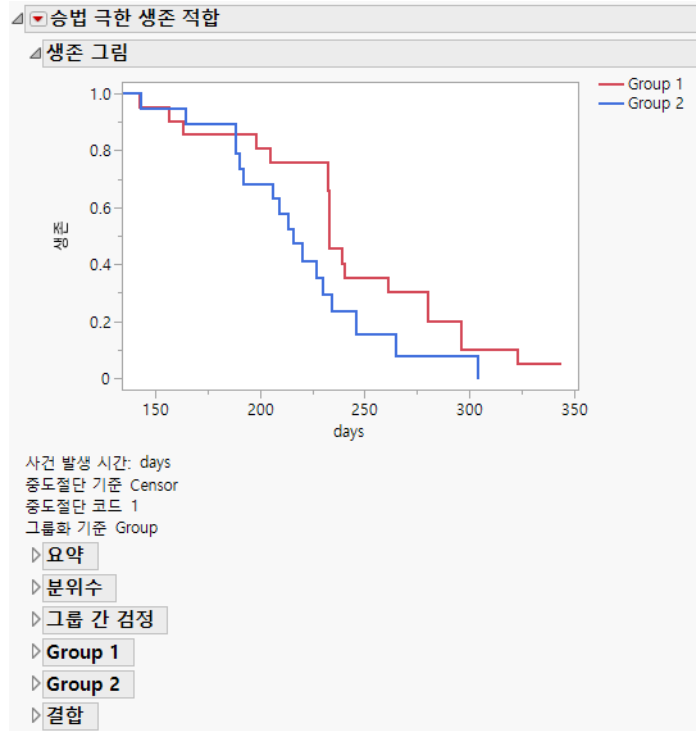


그림 아래의 보고서에는 생존 시간에 대한 요약 통계량 및 분위수가 표시됩니다. 각 관측값의 추정된 생존 시간은 그룹 내에서 계산됩니다. 생존 시간은 결합 표본에서 계산됩니다. 그룹이 두 개 이상인 경우 통계 검정에서 생존 곡선을 비교합니다.

시간 0에서 발생하는 고장이 있는 경우 "승법 극한 생존 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 분포 적합을 요청하면 "시간 0에서의 고장" 보고서가 나타납니다. 이 보고서에는 그룹화 변수의 각 수준에 대한 0 시간 고장 수 테이블이 포함됩니다. 그룹화 변수가 지정되지 않은 경우 "결합" 테이블에 하나의 행이 있습니다. 이 테이블에는 **확률** 시간>0 라벨이 지정된 열도 포함됩니다. 이 열은 각 그룹에서 고장 시간이 0이 아닌 관측값의 비율입니다.

생존 플랫폼 옵션

"승법 극한 생존 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

생존 그림 각 그룹에 대한 중첩 생존 그림을 표시합니다.

고장 그림 각 그룹에 대해 시간 경과에 따른 고장 비율을 보여 주는 중첩 고장 그림을 표시합니다 (신뢰성 문헌 참조). 고장 그림은 세로 축을 뒤집어 생존 수 대신 고장 수를 표시합니다.

참고 : "고장 그림" 옵션은 이전 버전의 JMP 에 있는 "Y 축 반전" 옵션 (스크립트에서는 계속 사용 가능) 을 대체합니다.

그림 옵션 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

참고 : 처음 7개 옵션 (점 표시, Kaplan Meier 표시, 결합 표시, 신뢰 구간 표시, 동시 CI 표시, 음영 점별 CI 표시, 음영 동시 CI 표시) 과 마지막 두 개 옵션 (적합 생존율 CI, 적합 고장률 CI) 은 초기 생존 그림 및 고장 그림과 관계가 있습니다. 나머지 5개 옵션 (중간 단계 분위수 점, 분위수 점 연결, 적합 분위수, 적합 분위수 CI 선, 적합 분위수 CI 음영) 은 분포 그림에만 적용됩니다.

점 표시 생존 그림의 각 계단에 표본 점을 표시합니다. 고장은 계단 맨 아래에 나타나고 중도절단은 계단 위의 점으로 표시됩니다.

Kaplan Meier 표시 Kaplan-Meier 곡선을 표시합니다. 이 옵션은 기본적으로 설정되어 있습니다.

결합 표시 결합된 그룹의 생존 곡선을 생존 그림에 표시합니다.

신뢰 구간 표시 그룹 및 결합된 그룹 ("결합 표시" 옵션 사용) 에 대한 생존 그림에 95% 점별 신뢰 대역을 표시합니다.

점 표시, 결합 표시 "점 표시" 및 "결합 표시" 옵션을 선택하면 전체 또는 결합 표본에 대한 생존 그림이 회색 선으로 나타납니다. 각 그룹의 그림 계단에도 점이 표시됩니다.

동시 CI 표시 그림에 모든 그룹에 대한 동시 신뢰 대역을 표시합니다. Meeker & Escobar(1998, ch. 3) 에서는 생존 분석에서 점별 신뢰 구간과 동시 신뢰 구간 및 동시 신뢰 구간의 동기에 대해 설명합니다.

중간 단계 분위수 점 수정된 Kaplan-Meier 도표화 위치를 사용하도록 도표화 위치를 변경합니다. 이는 하단 위치가 아니라 Kaplan-Meier 곡선의 중간 단계 위치를 사용하는 것과 동일합니다. 이 옵션은 권장되므로 기본적으로 설정되어 있습니다.

분위수 점 연결 그림에 선을 표시합니다. 이 옵션은 기본적으로 설정되어 있습니다.

적합 분위수 적합된 Weibull, 로그 정규 또는 지수 그림에 직선 적합을 표시합니다. 이 옵션은 기본적으로 설정되어 있습니다.

적합 분위수 CI 선 적합된 Weibull, 로그 정규 또는 지수 그림에 대한 95% 신뢰 대역을 표시합니다.

적합 분위수 CI 음영 적합에 대한 95% 신뢰 대역을 음영 영역 또는 파선으로 표시합니다.

적합 생존율 CI 생존 그림에 적합 분포의 신뢰 구간을 표시합니다.

적합 고장률 CI 고장 그림에 적합 분포의 신뢰 구간을 표시합니다.

지수 그림 각 그룹에 대한 누적 지수 고장 확률 대 시간 그림을 표시합니다. 경험적으로 거의 선형에 가까운 선은 지수 모형을 추가 분석에 사용하는 것이 적절함을 나타냅니다. 예를 들어 [그림 14.5](#)의 "지수 그림"에서 Group 1과 Group 2에 대한 선은 직선이 아니라 곡선을 이룹니다. 이는 지수 분포가 이 데이터에 적절하지 않음을 나타냅니다. 자세한 내용은 "[지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 적합](#)"에서 확인하십시오.

지수 적합 "지수 그림"의 지수 누적 분포 함수에 대한 선형 적합과 "지수 모수 추정값" 테이블을 생성합니다 ([그림 14.5](#)). 세타 모수는 평균 고장 시간에 해당합니다. 자세한 내용은 "[지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 적합](#)"에서 확인하십시오.

Weibull 그림 각 그룹에 대한 누적 Weibull 고장 확률 대 $\log(\text{시간})$ 그림을 표시합니다. 거의 평행하고 직선이 있는 Weibull 그림은 Weibull 생존 분포 모형을 추가 분석에 사용하는 것이 적절할 수 있음을 나타냅니다. 자세한 내용은 "[지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 적합](#)"에서 확인하십시오.

Weibull 적합 Weibull 그림의 Weibull 누적 분포 함수에 대한 선형 적합과 일반적인 형태의 두 가지 Weibull 추정값을 생성합니다. 이러한 추정값은 "극단값 모수 추정값" 테이블과 "Weibull 모수 추정값" 테이블에 표시됩니다([그림 14.5](#)). 알파 모수는 고장 시간 분포의 0.632 분위수입니다. 극단값 테이블에는 동일한 적합의 다른 파라미터화가 표시됩니다. 여기서 람다 = $\ln(\text{알파})$ 이고, 델타 = $1/\text{베타}$ 입니다. 자세한 내용은 "[지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 적합](#)"에서 확인하십시오.

로그 정규 확률도 각 그룹에 대한 누적 로그 정규 고장 확률 대 $\log(\text{시간})$ 그림을 표시합니다. 거의 평행하고 직선이 있는 로그 정규 확률도는 로그 정규 분포를 추가 분석에 사용하는 것이 적절함을 나타냅니다. 자세한 내용은 "[지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 적합](#)"에서 확인하십시오.

로그 정규 적합 로그 정규 확률도의 로그 정규 누적 분포 함수에 대한 선형 적합과 "로그 정규 모수 추정값" 테이블을 생성합니다 ([그림 14.5](#)). μ 와 σ 는 정규 분포를 따르는 시간 변수의 자연 로그에 대한 평균과 표준편차에 해당합니다. 자세한 내용은 "[지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 적합](#)"에서 확인하십시오.

적합 분포 그림 적합 옵션과 함께 사용되어 적합 분포에 해당하는 세 가지 그림 (생존, 밀도, 위험)을 표시합니다. 적합을 수행하지 않은 경우 그림이 나타나지 않습니다. 자세한 내용은 "[적합 분포 그림](#)"에서 확인하십시오.

여러 경쟁 원인 고장 사건을 나타내는 지정된 원인과 중도절단을 나타내는 기타 원인을 사용하여 Weibull 모형 추정을 수행합니다. 적합 분포는 "생존 그림"에 파선으로 나타납니다. 자세한 내용은 "[여러 경쟁 원인](#)"에서 확인하십시오.

생존 확률 추정 지정한 시간 값에 대한 생존 확률을 추정합니다.

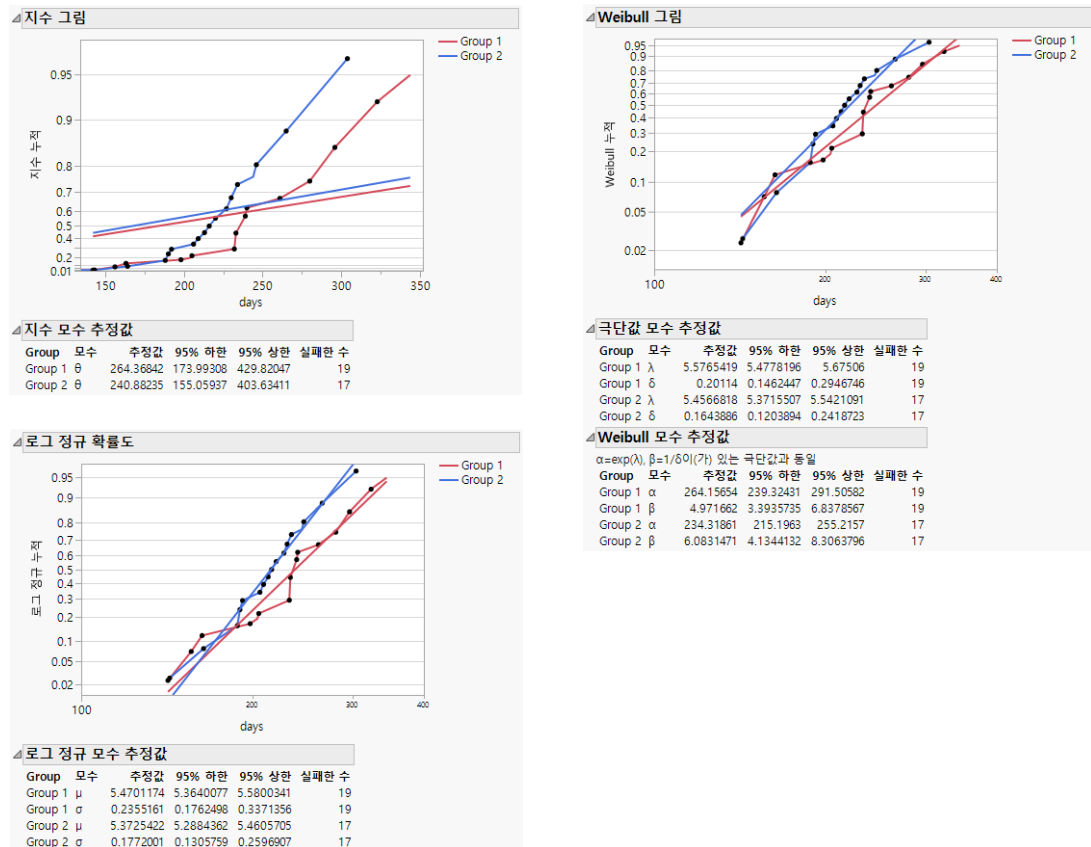
시간 분위수 추정 지정한 각 생존 확률에 대한 시간 분위수를 추정합니다.

추정값 저장 생존 / 고장 추정값, 신뢰 구간 및 기타 분포 통계량이 포함된 데이터 테이블을 생성합니다.

지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 적합

생존 플랫폼에서 지원되는 세 가지 분포에 대해 각각 그림 명령과 적합 명령이 있습니다. 그림 명령을 사용하여 사건 표식이 직선을 따르는지 여부를 확인합니다. 표식은 분포 적합이 데이터에 적절할 때 직선을 따르는 경향이 있습니다. 그런 다음 적합 명령을 사용하여 모수를 추정합니다.

그림 14.5 지수, Weibull 및 로그 정규 그림과 보고서



다음 표에서는 해당 분포에 대한 직선 적합을 생성하기 위해 그림에 표시할 항목을 보여 줍니다.

표 14.1 분포에 대한 직선 적합

분포 그림	가로 축	세로 축	해석
지수	시간	$-\log(S)$	기울기 = $1/\text{세타}$
Weibull	$\log(\text{시간})$	$\log(-\log(S))$	기울기 = 베타
로그 정규	$\log(\text{시간})$	$\text{Probit}(1-S)$	기울기 = $1/\text{시그마}$

참고 : S = 생존 분포의 승법 극한 추정값입니다.

지수

지수 분포는 사건 발생 시간 데이터를 모델링하기 위한 가장 간단한 분포입니다. 지수 분포에는 세타 모수 하나만 있습니다. 이 분포는 사건 발생 가능성에 영향을 미칠 때까지 생존한 기간에 대한 기억이 없는 상수 위험 분포입니다. 세타 모수는 기대 수명입니다.

Weibull

Weibull 분포는 사건 발생 시간 데이터를 모델링하는 데 가장 많이 사용되는 분포입니다. Weibull 분포에는 두 개 또는 세 개의 모수가 있을 수 있습니다. 생존 플랫폼에서는 2모수 Weibull 분포를 적합시킵니다. 작성자는 이 분포를 다양한 방법으로 파라미터화합니다(표 14.2). JMP에서는 Weibull 알파-베타 파라미터화와 최소 극단값 분포 기반 파라미터화라는 두 가지 파라미터화를 보고합니다.

"Weibull 모수 추정값" 보고서에 표시된 알파-베타 파라미터화는 신뢰성 문헌에서 널리 사용됩니다(Nelson 1990). 알파 모수는 유닛의 63.2%가 고장 나는 분위수로 해석됩니다. 베타 모수는 시간 경과에 따라 위험률이 어떻게 변하는지를 결정합니다. 베타 > 1이면 시간 경과에 따라 위험률이 증가하고, 베타 < 1이면 시간 경과에 따라 위험률이 감소하며, 베타 = 1이면 시간 경과에 따라 위험률이 일정합니다. 위험 함수가 상수인 Weibull 분포는 지수 분포와 동일합니다.

람다-델타 극단값 파라미터화는 "극단값 모수 추정값" 보고서에 표시됩니다. 이 파라미터화는 위치-척도 설정에 Weibull 분포를 사용하므로 때때로 통계적 의미에서 바람직합니다(Meeker & Escobar 1998, p. 86). 위치 모수는 람다이고 척도 모수는 델타입니다. 알파-베타 파라미터화와 비교하여 람다는 알파의 자연 로그와 같고 델타는 베타의 역수와 같습니다. 따라서 델타 모수는 시간 경과에 따라 위험률이 어떻게 변하는지를 결정합니다. 델타 > 1이면 시간 경과에 따라 위험률이 감소하고, 델타 < 1이면 시간 경과에 따라 위험률이 증가하며, 델타 = 1이면 시간 경과에 따라 위험률이 일정합니다. 위험 함수가 상수인 Weibull 분포는 지수 분포와 동일합니다.

표 14.2 JMP의 알파 및 베타에 관한 다양한 Weibull 모수

JMP Weibull	알파	베타
Wayne Nelson	$\alpha = \text{알파}$	$\beta = \text{베타}$
Meeker & Escobar	$\eta = \text{알파}$	$\beta = \text{베타}$
Tobias & Trindade	$c = \text{알파}$	$m = \text{베타}$
Kececioglu	$\eta = \text{알파}$	$\beta = \text{베타}$
Hosmer & Lemeshow	$\exp(X \beta) = \text{알파}$	$\lambda = \text{베타}$
Blishke & Murthy	$\beta = \text{알파}$	$\alpha = \text{베타}$
Kalbfleisch & Prentice	$\lambda = 1/\text{알파}$	$p = \text{베타}$
JMP 극단값	$\lambda = \log(\text{알파})$	$\delta = 1/\text{베타}$
Meeker & Escobar s.e.v.	$\mu = \log(\text{알파})$	$\sigma = 1/\text{베타}$

로그 정규

로그 정규 분포도 사건 발생 시간 데이터를 모델링하는 데 많이 사용됩니다. 로그 정규 분포는 값에 로그를 취할 경우 정규 분포를 따르는 분포와 동일합니다. 데이터에 정규 분포를 적합시키려면 $\exp()$ 를 사용하여 로그 정규 분포로 데이터를 모델링할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[모수 생존 모형 적합의 추가 예](#)"에서 확인하십시오.

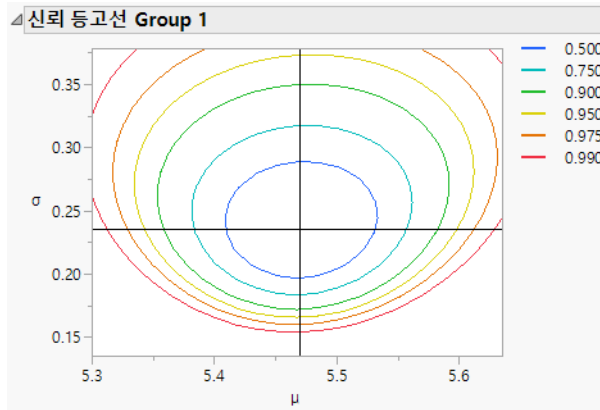
추가 옵션

지수, Weibull 및 로그 정규 적합에 대한 추가 옵션을 보려면 Shift 키를 누르고 "승법 극한 생존 적합" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭한 후 원하는 적합을 선택합니다.

이러한 옵션을 사용하여 다음 작업을 수행할 수 있습니다.

- 한계의 신뢰 수준을 설정합니다.
- 세타 (지수 적합의 경우), 시그마 (로그 정규 적합의 경우) 또는 베타 (Weibull 적합의 경우)에 대한 제약 값을 설정합니다. 자세한 내용은 "[WeiBayes 분석](#)"에서 확인하십시오.
- Weibull 및 로그 정규 적합에 대한 신뢰 등고선 그림을 생성합니다 (제약 값이 없는 경우).

그림 14.6 신뢰 등고선 그림



WeiBayes 분석

JMP에서는 이러한 분포를 적합시킬 때 세타 (지수), 베타 (Weibull) 및 시그마 (로그 정규) 모수의 값을 제한할 수 있습니다. 이 기능은 다음과 같은 WeiBayes 상황에서 필요합니다.

- 고장이 거의 또는 전혀 없는 경우
- 베타에 대한 기존 과거 값이 있는 경우
- 알파를 추정해야 하는 경우

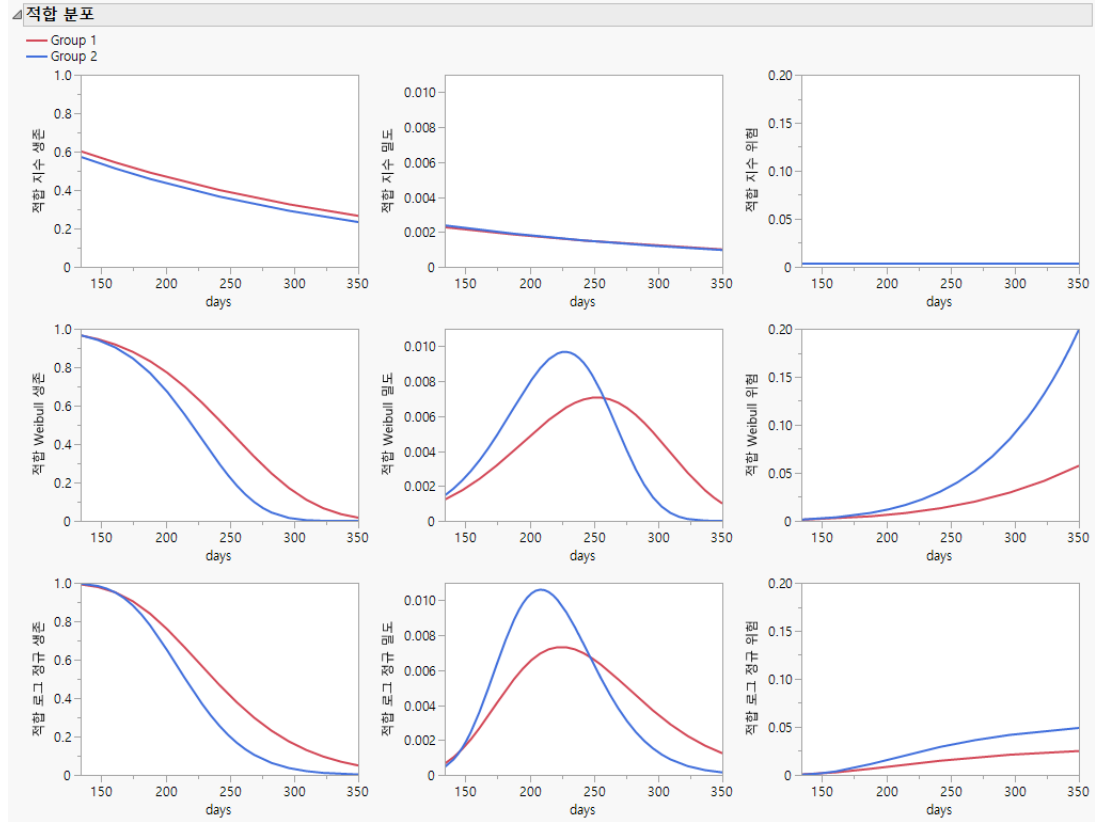
WeiBayes 상황에 대한 자세한 내용은 Abernethy(1996)에서 확인하십시오.

고장이 없는 경우 표준 기법은 끝에 고장을 추가하는 것입니다. 그러면 추정값에 실제 추정값이 아니라 알파 값의 하한 유형이 반영됩니다. 그러나 WeiBayes 기능을 사용하면 실제 추정이 가능합니다.

적합 분포 그림

생존 플랫폼에서 "적합 분포 그림" 옵션을 사용하여 지수, Weibull 및 로그 정규 분포에 대한 생존, 밀도 및 위험 그림을 확인할 수 있습니다. 그림은 동일한 축 척도를 공유하므로 분포를 쉽게 비교할 수 있습니다.

그림 14.7 세 분포에 대한 적합 분포 그림



그래픽 스크립트를 사용하여 이러한 그림을 다른 그래프로 전송할 수 있습니다. 그래프를 복사하려면 복사할 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집 > 프레임 내용 복사**를 선택합니다. 대상 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집 > 프레임 내용 붙여넣기**를 선택합니다.

여러 경쟁 원인

생존 플랫폼을 사용하여 시스템의 여러 고장 원인을 모델링할 수 있습니다. 예를 들어 제조 공정에 여러 단계가 있고 어떤 단계에서든 고장이 발생하면 전체 시스템에 고장이 발생한다고 가정해 보겠습니다. 여러 원인이 서로 독립적인 경우 각 원인에 대한 생존 분포를 추정하여 고장 시간을 모델링할 수 있습니다. 주어진 원인에 의해 발생하지 않은 모든 사건 시간을 중도절단된 관측값으로 처리하여 해당 원인에 대한 중도절단 추정을 수행합니다.

"경쟁 원인"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

원인 생략 지정된 원인 값을 제거하고 생존 추정값을 다시 계산합니다.

원인 좌표 저장 $\log(-\log(\text{생존율}))$ 이라는 새 열을 현재 테이블에 추가합니다. 이 정보는 고장 유형 코드와 같은 그룹화 변수를 사용하여 시간 변수에 대한 그림을 그리는 데 주로 사용됩니다.

Weibull 선 그림에 Weibull 선을 추가합니다.

위험 그림 위험 그림을 추가합니다.

시뮬레이션 데이터에 의해 추정된 Weibull 분포의 시간 및 원인 정보를 포함하는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

생존 플랫폼의 추가 예

이 섹션에는 생존 플랫폼을 사용하는 예가 포함되어 있습니다.

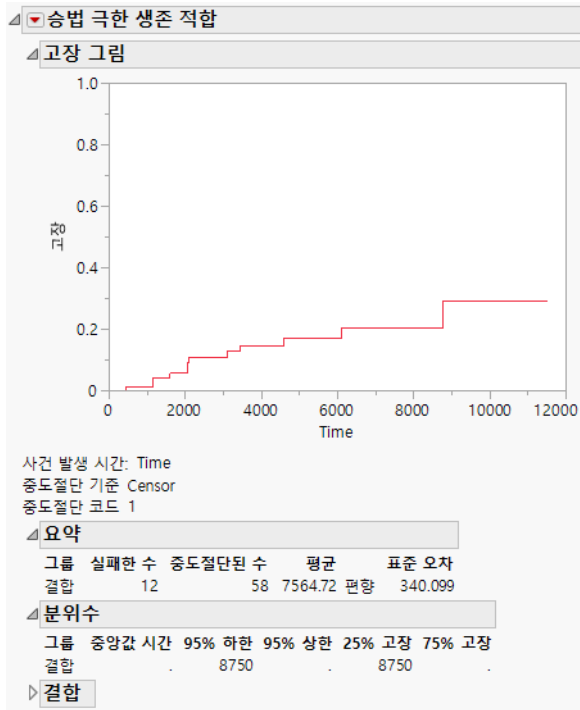
- " [생존 대신 고장 그림 표시의 예](#) "
- " [경쟁 원인의 예](#) "
- " [구간 중도절단의 예](#) "

생존 대신 고장 그림 표시의 예

이 예에서는 생존 플랫폼을 사용하여 생존 사건 대신 고장 사건을 연구합니다. Nelson(1982, p. 133) 과 Meeker & Escobar(1998, app. C1) 에 의해 디젤 발전기 팬 고장 연구가 진행되었습니다.

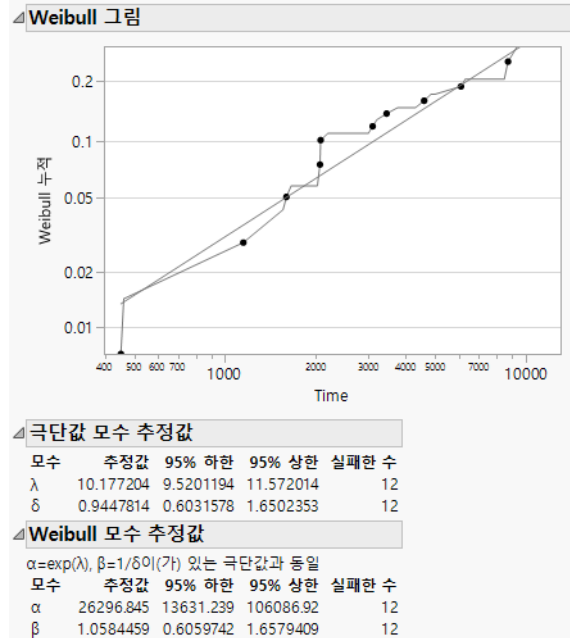
1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Fan.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 생존**을 선택합니다.
3. **Time** 을 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. **Censor** 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
5. **생존 대신 고장 표시** 체크박스를 선택합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.

그림 14.8 Fan 초기 출력



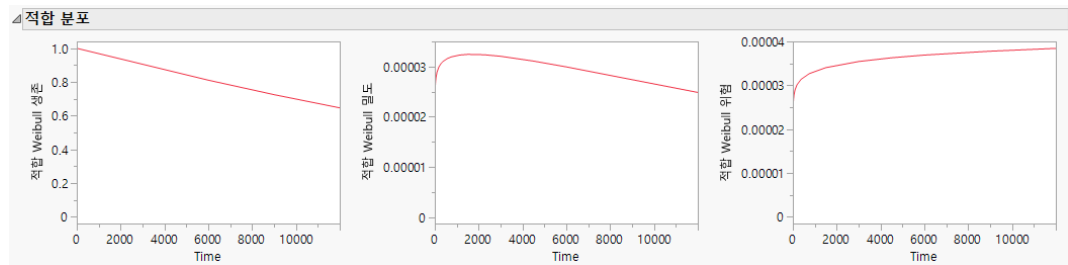
고장 확률은 시간 경과에 따라 증가합니다. 보통 다음 단계에서는 Weibull 모형과 같은 분포 적합을 탐색합니다. "승법 극한 생존 적합" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **Weibull 그림** 및 **Weibull 적합**을 선택합니다.

그림 14.9 Fan 데이터에 대한 Weibull 출력



적합이 적절하고 베타 추정값이 1에 가까우므로 이 분포는 위험률이 일정한 지수 분포처럼 보인다는 결론을 내릴 수 있습니다. "승법 극한 생존 적합" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **적합 분포 그림**을 선택합니다. 세 개의 Weibull 적합 보기가 나타납니다.

그림 14.10 적합 분포 그림



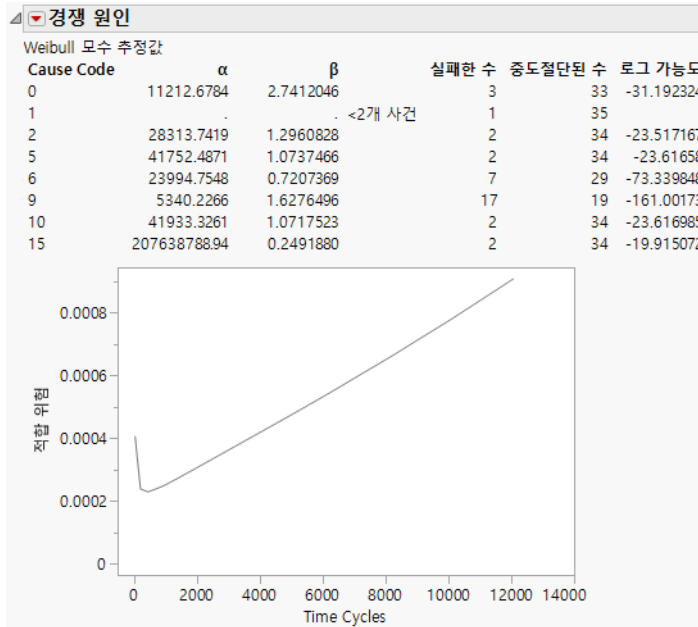
경쟁 원인의 예

이 예에서는 생존 플랫폼을 사용하여 다양한 고장 원인이 있는 소형 전기 기구의 고장 시간을 검토합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Appliance.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 생존**을 선택합니다.
3. Time Cycles 를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.

4. **확인**을 클릭합니다.
5. "승법 극한 생존 적합" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **여러 경쟁 원인**을 선택합니다.
6. Cause Code 를 클릭하고 **확인**을 클릭합니다.
7. "경쟁 원인"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **위험 그림**을 선택합니다.

그림 14.11 경쟁 원인 보고서 및 위험 그림

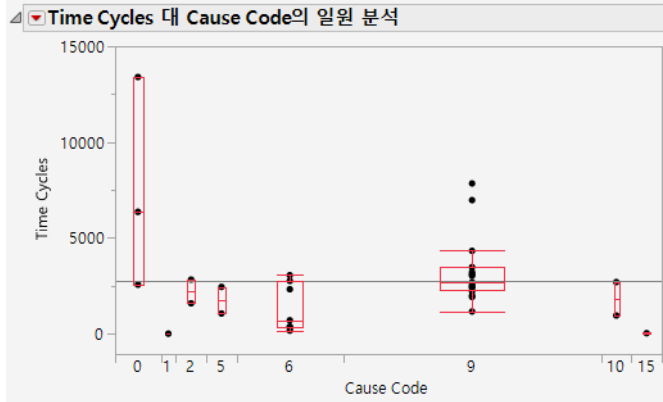


전체 시스템에 대한 생존 분포는 단순히 생존 확률의 곱입니다. "경쟁 원인" 테이블에는 각 고장 원인에 대한 알파 및 베타의 Weibull 추정값이 표시됩니다.

이 예에서는 대부분의 고장이 원인 9 때문입니다. 원인 1은 한 번만 발생했으며 좋은 Weibull 추정값을 생성할 수 없습니다. 원인 15는 아주 짧은 시간 동안 발생했으며 결과 베타 값이 작고 알파 값이 큼니다. 알파는 고장 시간의 63.2% 분위수에 대한 추정값이며, 이는 초기 고장 원인의 알파 값이 매우 크다는 의미입니다. 이러한 원인으로 인해 초기 고장이 발생하지 않으면 일반적으로 이 원인으로 인한 이후 고장도 발생하지 않습니다.

그림 14.12에서는 "분위수" 옵션이 적용된 "Time Cycles 대 Cause Code"의 X로 Y 적합 그림을 보여 줍니다. 이 그림에서는 알파와 베타가 고장 분포와 어떤 관련이 있는지 자세히 보여 줍니다.

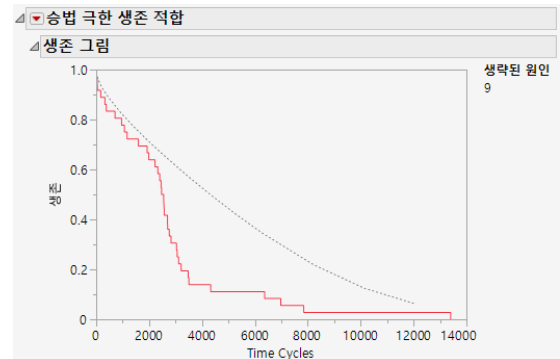
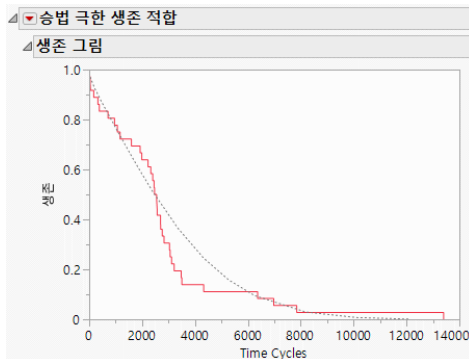
그림 14.12 Time Cycles 대 Cause Code 의 X 로 Y 적합 그림



이 예에서 원인 9에 의해 대부분의 고장이 발생했습니다. 원인 9를 수정할 경우 나머지 원인으로 인한 생존에 어떤 영향을 미칠지 검토할 수 있습니다. **원인 생략** 옵션을 선택하여 원인 값을 제거하고 생존 추정값을 다시 계산합니다.

그림 14.13에서는 모든 경쟁 원인이 포함된 생존 그림과 원인 9가 없는 생존 그림을 보여 줍니다. 원인 9가 없는 생존율(파선으로 표시됨)은 2,000 사이클까지 크게 개선되지 않음을 확인할 수 있습니다. 그런 다음 훨씬 나아지고 10,000 사이클이 지나도 개선된 상태로 유지됩니다.

그림 14.13 생략된 원인이 있는 생존 그림



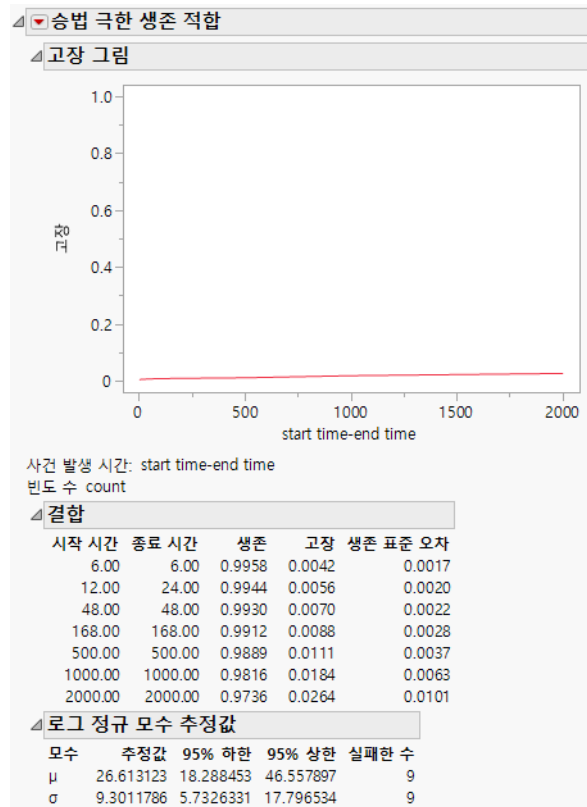
구간 중도절단의 예

이 예에서는 생존 플랫폼을 사용하여 생존 함수의 비모수 추정값을 구하는 데 사용되는 Turnbull 방법을 구현합니다. 구간 중도절단 데이터를 사용하면 일부 시간 구간에서 사건이 발생했다는 것만 알 수 있습니다.

이 예에서는 마이크로프로세서를 여러 번 시험하고 검사하여 고장 난 장치 수를 계산했습니다. 열 중 하나에 결측값이 있으면 하한 또는 상한을 모르기 때문에 사건이 각각 왼쪽 또는 오른쪽 중도절단되었음을 나타냅니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Microprocessor Data.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 생존**을 선택합니다.
3. start time 과 end time 을 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. count 를 선택하고 **빈도**를 클릭합니다.
5. **생존 대신 고장 표시** 옆의 체크박스를 선택합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.
7. "승법 극한 생존 적합" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **로그 정규 적합**을 선택합니다.

그림 14.14 구간 중도절단 출력



결과 Turnbull 추정값이 표시됩니다. Turnbull 추정값에는 생존 확률을 추정할 수 없는 시간 간격이 있을 수 있습니다. 이 예의 경우 6과 12, 24와 48, 48과 168 사이 등에서 이러한 간격이 발생합니다.

이제 분포를 선택하여 적합 추정값을 확인합니다. 이 경우에는 로그 정규 분포가 적합됩니다. 고장 그림에 이러한 데이터에 대한 고장 비율이 매우 적게 표시됩니다.

생존 분석에 대한 통계 상세 정보

구간 중도절단되지 않은 데이터의 경우 생존 플랫폼 보고서의 초기 섹션에 "요약" 및 "분위수" 데이터가 표시됩니다. "요약" 섹션에는 각 그룹 (그룹이 있는 경우) 및 전체 연구에 대한 고장 관측값 수와 중도절단 관측값 수가 표시됩니다. 평균 및 표준편차도 중도절단에 대해 조정됩니

다. 이러한 통계량에 대한 계산 상세 정보는 SAS Institute Inc. (2022) 의 "LIFETEST Procedure" 장에서 확인하십시오.

"분위수" 섹션에는 개별 그룹과 결합 그룹에 대한 고장 시간 통계량이 표시됩니다. 여기에는 95% 신뢰 상한 및 하한이 있는 중앙값 생존 시간이 포함됩니다. 중앙값 생존 시간은 개체의 절반이 고장 나는 시간(일)입니다. 사분위수 생존 시간(25%, 75%)도 포함됩니다.

그림 14.15 단변량 생존 분석의 요약 통계량

승법 극한 생존 적합					
사건 발생 시간: days					
중도절단 기준 Censor					
중도절단 코드 1					
그룹화 기준 Group					
요약					
그룹	실패한 수	중도절단된 수	평균	표준 오차	
Group 1	19	2	240.795	편향	11.206
Group 2	17	2	218.757		9.40318
결합	36	4	230.729	편향	7.57346
분위수					
그룹	중앙값 시간	95% 하한	95% 상한	25% 고장	75% 고장
Group 1	233	232	280	232	280
Group 2	216	190	234	190	234
결합	232	213	239	201.5	261

"요약" 보고서에는 평균 생존 시간과 평균의 표준 오차에 대한 추정값이 제공됩니다. 추정된 평균 생존 시간은 다음과 같이 정의됩니다.

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^D \hat{S}(t_{i-1})(t_i - t_{i-1}), \quad \hat{\sigma}(\hat{\mu}) = \sqrt{\frac{m}{m-1} \sum_{i=1}^{D-1} \frac{A_i^2}{n_i(n_i - d_i)}} \text{의 표준 오차}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$\hat{S}(t_i) = \prod_{j=1}^i \left(1 - \frac{d_j}{n_j}\right)$$

$$A_i = \sum_{j=i}^{D-1} \hat{S}(t_j)(t_{j+1} - t_j)$$

$$m = \sum_{j=1}^D d_j$$

$\hat{S}(t_i)$ - 시간 t_i 에서의 생존 분포

D - 개별 사건 시간 수

$n_i - t_i$ 직전의 생존 유닛 수

$d_i - t_i$ 에서 고장 난 유닛 수

$t_0 - 0$ 으로 정의됨

그룹이 여러 개인 경우 "그룹 간 검정" 테이블에 그룹 간 동질성에 대한 통계 검정이 제공됩니다. Kalbfleisch & Prentice(1980, ch. 1), Hosmer & Lemeshow(1999, ch. 2) 및 Klein & Moeschberger (1997, ch. 7)에서는 생존 곡선의 통계량과 비교에 대해 설명합니다.

그림 14.16 그룹 간 검정

그룹 간 검정			
검정	카이제곱	DF	Prob>ChiSq
로그 순위	3.1227	1	0.0772
Wilcoxon	2.6510	1	0.1035

검정 생존 함수가 그룹 간에 동일하다는 가설에 대한 두 가지 통계 검정의 이름을 지정합니다.

카이제곱 통계 검정에 대한 카이제곱 근사를 제공합니다.

로그 - 순위 검정은 생존 시간이 클수록 가중치를 더 부여하며, 비교되는 그룹의 위험 함수 비율이 거의 일정할 때 더 유용합니다. 위험 함수는 주어진 시간의 순간 고장 비율입니다. 사망률 또는 사망력이라고도 합니다.

Wilcoxon 검정은 초기 생존 시간에 가중치를 더 많이 부여하며, 오차가 로지스틱 분포를 따르는 경우 최적 순위 검정입니다. 자세한 내용은 Kalbfleisch & Prentice(1980)에서 확인하십시오.

DF 통계 검정에 대한 자유도를 제공합니다.

Prob>ChiSq 생존 함수가 모든 그룹에 대해 동일한 경우 카이제곱 값이 계산된 값보다 클 확률을 나열합니다.

그림 14.17에서는 하나의 그룹에 대한 승법 극한 생존 함수 추정값의 예를 보여 줍니다.

그림 14.17 생존 추정값 테이블의 예

Group 1							
days	생존	고장	생존 표준 오차	실패한 수	중도절단된 수	위험	
0.000	1.0000	0.0000	0.0000	0	0	21	
142.000	0.9524	0.0476	0.0465	1	0	21	
156.000	0.9048	0.0952	0.0641	1	0	20	
163.000	0.8571	0.1429	0.0764	1	0	19	
198.000	0.8095	0.1905	0.0857	1	0	18	
204.000	0.8095	0.1905	0.0857	0	1	17	
205.000	0.7589	0.2411	0.0941	1	0	16	
232.000	0.6577	0.3423	0.1053	2	0	15	
233.000	0.4554	0.5446	0.1114	4	0	13	
239.000	0.4048	0.5952	0.1099	1	0	9	
240.000	0.3542	0.6458	0.1072	1	0	8	
261.000	0.3036	0.6964	0.1031	1	0	7	
280.000	0.2024	0.7976	0.0902	2	0	6	
296.000	0.1012	0.8988	0.0678	2	0	4	
323.000	0.0506	0.9494	0.0493	1	0	2	
344.000	0.0506	0.9494	0.0493	0	1	1	

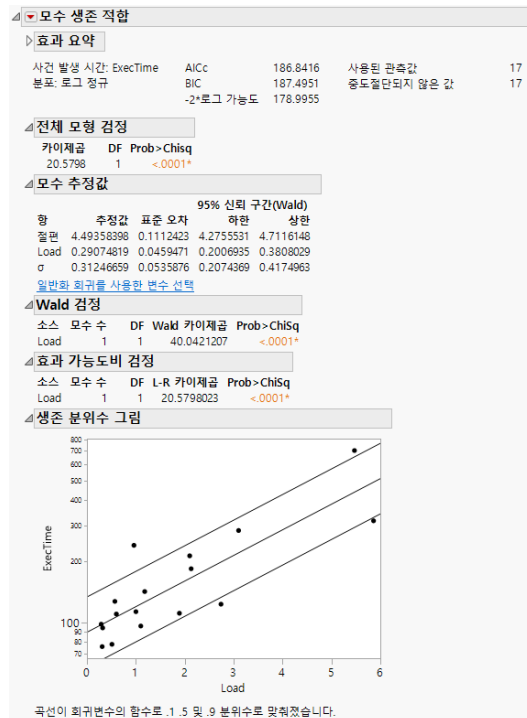
참고: 최종 기록 시간이 중도절단된 관측값인 경우 보고서에서 편향 평균 추정값을 나타냅니다. 편향 평균 추정값은 실제 평균의 하한입니다.

모수 생존 모형 적합 회귀 모형을 사용하여 생존 데이터 적합

생존 시간은 하나 이상의 변수의 함수로 표현할 수 있습니다. 이 경우 생존 분포와 중도절단을 고려하는 선형 회귀 모형을 적합시킵니다. 모수 생존 모형 적합 플랫폼에서는 위치 효과와 척도 효과를 모두 포함할 수 있는 선형 회귀 모형을 사용하여 사건 발생 시간 Y (중도절단 사용)를 적합시킵니다. Weibull, 로그 정규, 지수, Frechet, 로그로지스틱, SEV(최소 극단값), 정규, LEV(최대 극단값) 및 로지스틱 분포를 사용하여 적합이 수행됩니다.

참고: 모수 생존 모형 적합 플랫폼은 모형 적합 플랫폼을 약간 사용자 정의한 버전입니다. 비선형 플랫폼을 사용하여 모수 생존 모형을 적합시킬 수도 있습니다.

그림 15.1 모수 생존 적합의 예



목차

모수 생존 모형 적합 플랫폼 개요.....	375
모수 생존 모형 적합 플랫폼의 예.....	375
모수 생존 모형 적합 플랫폼 시작.....	377
모수 생존 적합 보고서.....	378
모수 생존 - 전체 분포 보고서.....	380
모수 경쟁 원인 보고서.....	381
모수 생존 모형 적합 옵션.....	382
비선형 모수 생존 모형.....	384
모수 생존 모형 적합의 추가 예.....	384
아레니우스 가속 고장 로그 정규 모형의 예.....	385
구간 중도절단 가속 고장 시간 모형의 예.....	388
왼쪽 중도절단 데이터 분석의 예.....	389
모수 생존 모형 적합 플랫폼에 대한 통계 상세 정보.....	391

모수 생존 모형 적합 플랫폼 개요

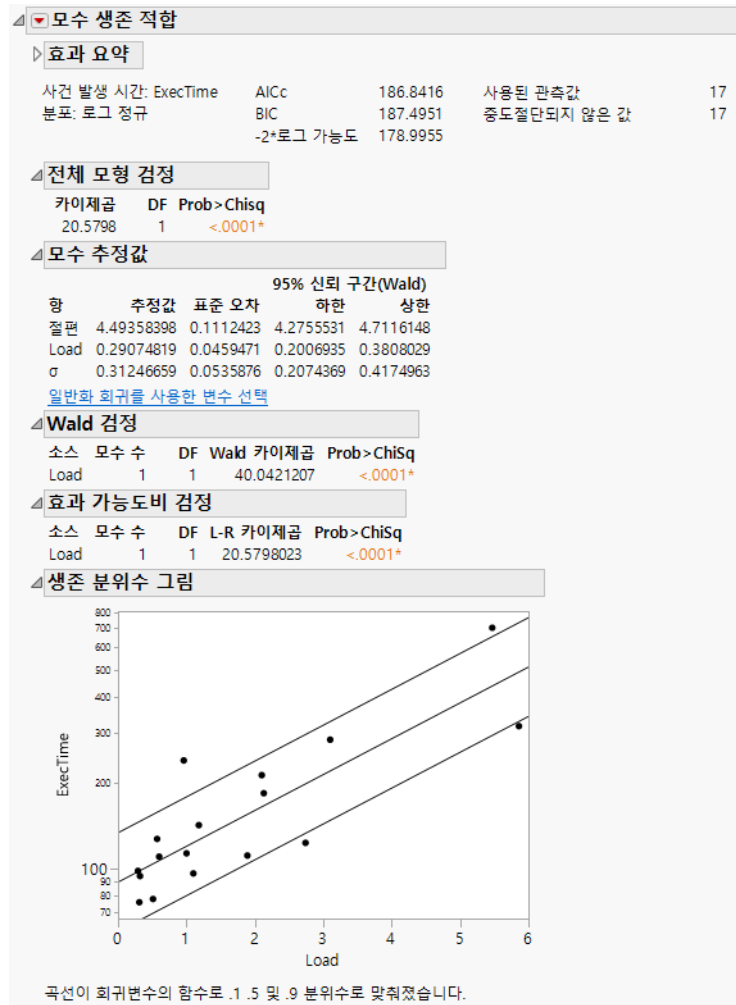
생존 시간은 하나 이상의 변수의 함수로 표현할 수 있습니다. 이 경우 생존 분포와 중도절단을 고려하면서 선형 회귀 모형을 적합시키는 회귀 플랫폼을 사용합니다. 모수 생존 모형 적합 플랫폼에서는 위치 효과와 척도 효과를 모두 포함할 수 있는 선형 회귀 모형을 사용하여 사건 발생 시간 Y (중도절단 사용)를 적합시킵니다. Weibull, 로그 정규, 지수, Frechet, 로그로지스틱, SEV, 정규, LEV 및 로지스틱 분포를 사용하여 적합이 수행됩니다.

모수 생존 모형 적합 플랫폼의 예

이 예에서는 컴퓨터 프로그램 실행 시간에 모수 회귀 모형을 적합시킵니다. 실행 시간 데이터는 데이터 테이블의 다른 변수 값에 따라 달라지는 로그 정규 분포를 따릅니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/Comptime.jmp 를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 모수 생존 모형 적합**을 선택합니다.
3. ExecTime 을 선택하고 **사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. Load 를 선택하고 **추가**를 클릭합니다.
5. 분포를 Weibull 에서 **로그 정규**로 변경합니다.
6. **실행**을 클릭합니다.

그림 15.2 컴퓨팅 시간 출력



효과가 하나만 있는 경우 세 가지 생존 확률에 대한 생존 분위수 그림이 효과의 함수로 표시됩니다. 시스템 부하 5에서 작업의 90%가 완료될 때 시간 분위수가 필요합니다. 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, p. 438)에서 확인하십시오.

7. "모수 생존 적합"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **분위수 추정**을 선택합니다.
8. **Load** 아래의 첫 번째 행에 "5"를 입력합니다.
9. **p**아래의 첫 번째 행에 "0.9"를 입력합니다.
10. **시작**을 클릭합니다.

그림 15.3 시간 분위수에 대한 추정값

분위수 추정				
Load	p	분위수	95% 신뢰 구간(Wald)	
			하한	상한
5	0.9	571.21575	401.29076	813.09482

보고서에 따르면 시스템 부하 5에서 실행 시간 571초까지 작업의 90%가 완료될 것으로 추정됩니다.

모수 생존 모형 적합 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 모수 생존 모형 적합을 선택하여 모수 생존 모형 적합 플랫폼을 시작합니다.

그림 15.4 모수 생존 모형 적합 시작 창

팁: 유의 수준을 변경하려면 "모형 규격"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **유의 수준 설정**을 선택합니다.

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용에서 확인하십시오.

모수 생존 모형 적합 시작 창에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

사건 발생 시간 사건 발생 시간 또는 중도절단 시간을 포함합니다. 구간 중도절단을 사용하는 경우 두 개의 Y 변수를 지정합니다. 여기서 한 Y 변수는 각 유닛에 대한 하한을 제공하고 다른 Y 변수는 상한을 제공합니다.

중도절단 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별하는 표시자가 포함된 열을 지정합니다. "중도절단 코드" 메뉴에서 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별하는 값을 선택합니다. 중도절단 열은 하나의 사건 발생 시간 열이 입력된 경우에만 사용됩니다.

빈도 여러 개의 유닛이 기록된 경우 각 행에 대한 관측값의 빈도 또는 개수가 포함된 열을 지정합니다.

원인 여러 고장 원인을 포함하는 열을 지정합니다. 이 열은 특히 경쟁 원인을 추정하는 데 유용합니다. 각 원인 값에 대해 개별 모수 적합이 수행됩니다. 고장 사건은 수치형 또는 범주형(라벨) 값으로 코드화될 수 있습니다.

기준 분류 또는 그룹화 변수의 각 수준에 대해 개별 분석을 수행합니다.

위치 및 척도 효과 위치 및 척도 효과를 지정합니다. "모형 효과 생성" 옵션에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합에서 확인하십시오.

분석법 적합 방법을 나타냅니다. 항상 "모수 생존"을 선택해야 합니다.

분포 데이터에 적절한 원하는 반응 분포를 선택합니다. 모든 분포를 적합시키고 적합을 비교하려면 "모든 분포" 옵션을 선택합니다. "모든 분포"를 선택하면 보고서에 분포 적합 비교가 표시됩니다. 자세한 내용은 "모수 생존 - 전체 분포 보고서"에서 확인하십시오.

참고: 기본적으로 "모든 분포" 옵션은 "분포" 메뉴의 "모든 분포" 위에 나타나는 로그 - 위치 - 척도 분포에 대한 모형을 적합시킵니다. 위치 - 척도 분포도 포함하도록 "모든 분포" 옵션의 동작을 변경하려면 **환경 설정 > 플랫폼 > 모수 생존 모형 적합 > 모든 분포에 위치 - 척도 분포 포함**을 선택합니다.

중도절단 코드 오른쪽 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값을 식별합니다. 중도절단 열이 선택되면 JMP는 자동으로 중도절단 코드를 감지하여 상자에 표시하려고 시도합니다. 이를 변경하려면 빨간색 삼각형을 클릭하고 값 목록에서 선택합니다. 상자에 다른 값을 입력할 수도 있습니다. 중도절단 열에 "값 라벨" 열 특성이 포함된 경우 값 라벨이 값 목록에 나타납니다. 결측값은 분석에서 제외됩니다.

모수 생존 적합 보고서

"모수 생존 적합" 보고서 내용은 모수 생존 모형 적합 시작 창의 규격에 따라 달라집니다.

- "모든 분포"를 선택하면 각 분포에 대한 "모수 생존 적합" 보고서가 나타납니다.
- 원인 열을 지정하면 각 원인에 대한 "모수 생존 적합" 보고서가 나타납니다. 그렇지 않으면 "모수 생존 적합" 보고서가 하나만 나타납니다.


각 "모수 생존 적합" 보고서에는 다음 항목이 포함되어 있습니다.

효과 요약 모형에서 효과를 추가하거나 제거할 수 있는 대화식 보고서를 표시합니다. 자세한 내용은 **선형 모형 적합**에서 확인하십시오.

모형 적합 상세 정보 "사건 발생 시간"에는 지정된 Y 열이 표시되고 "분포"에는 적합된 분포가 표시됩니다. AICc, BIC 및 -2* 로그 가능도는 모두 모형 적합 측도입니다. 이러한 측도를 사용하여 다른 모형 적합과 비교할 수 있습니다. "사용된 관측값" 및 "중도절단되지 않은 값"은 데이터의 요약 통계량입니다. 자세한 내용은 **선형 모형 적합**에서 확인하십시오.

전체 모형 검정 완전 모형 적합을 절편만 있는 모형 적합과 비교합니다. 절편 항만 있는 경우 적합은 수명 분포 플랫폼의 적합과 동일합니다.

모수 추정값 회귀 모수의 추정값을 표시합니다

 일반화 회귀 플랫폼을 시작하는 링크가 "모수 추정값" 테이블 아래에 나타납니다. 이 링크는 일반화 회귀 플랫폼을 사용하여 변수를 선택하는 데 사용되며 다음과 같은 경우에 나타납니다.

- 모형에 척도 효과가 없습니다.
- 시작 창에 원인 열이 지정되지 않았습니다.
- 시작 창에 지정된 분포가 정규, 로그 정규 또는 Weibull 입니다.

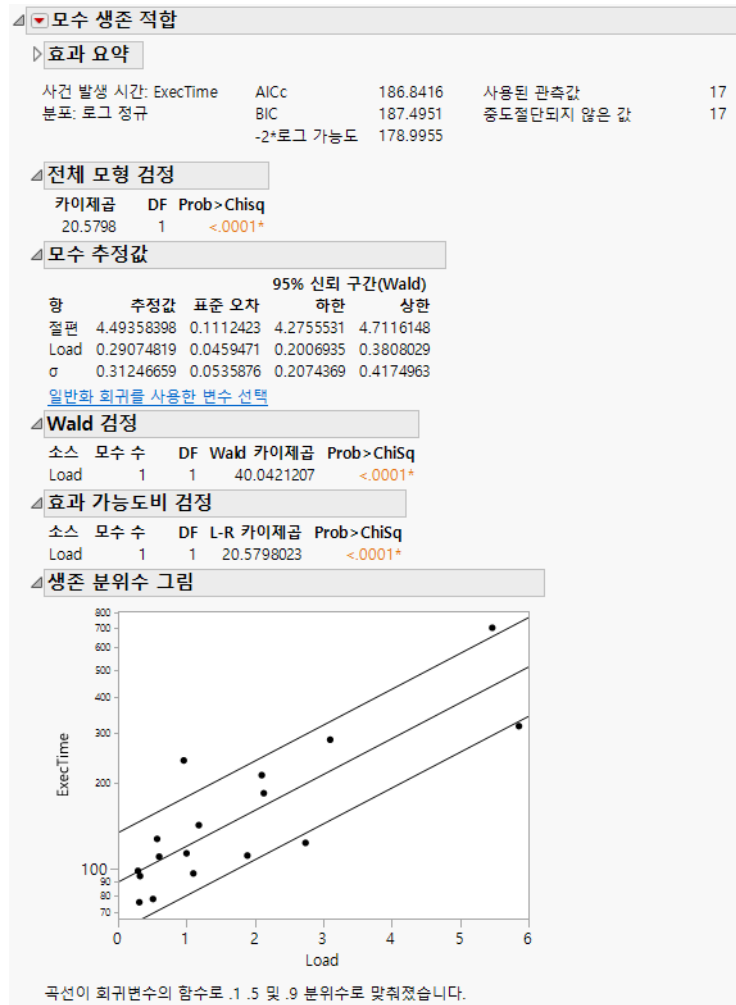
대체 파라미터화 (Weibull 분포에만 사용 가능) 분포의 α 및 β 파라미터화에 대한 모수 추정값을 표시합니다. 이 파라미터화에 대한 자세한 내용은 "[Weibull](#)"에서 확인하십시오.

Wald 검정 모형의 각 항에 대한 Wald 카이제곱 검정을 표시합니다.

효과 가능도비 검정 적합 모형의 로그 가능도를 모형에서 각 항을 개별적으로 제거하는 로그 가능도와 비교합니다.

생존 분위수 그림 0.1, 0.5 및 0.9 분위수로 그림에 찍힌 데이터 점을 표시합니다.

그림 15.5 모수 생존 적합 보고서



모수 생존 - 전체 분포 보고서

"모수 생존 - 전체 분포" 보고서는 모수 생존 모형 적합 시작 창에서 "모든 분포"를 선택한 경우에만 나타납니다. 기본적으로 이 보고서에는 "모형 비교" 보고서와 "분포 중첩" 그림이 포함됩니다. "분위수 함수 중첩" 그림은 "모수 생존 - 전체 분포" 옆의 빨간색 삼각형 메뉴에서 사용할 수 있습니다.

모형 비교 적합 분포에 대한 적합 통계량 (AICc, BIC) 을 나열하는 테이블입니다. AICc 및 BIC 값이 가장 작은 분포는 맨 오른쪽 열에 라벨이 지정됩니다. 한 분포가 AICc 및 BIC 값이 둘 다 가장 작으면 해당 분포에 "최선" 라벨이 지정됩니다. AICc가 가장 작은 분포에 해당하는

"모수 생존 적합" 보고서가 기본적으로 열려 있습니다. 이러한 통계량에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합에서 확인하십시오.

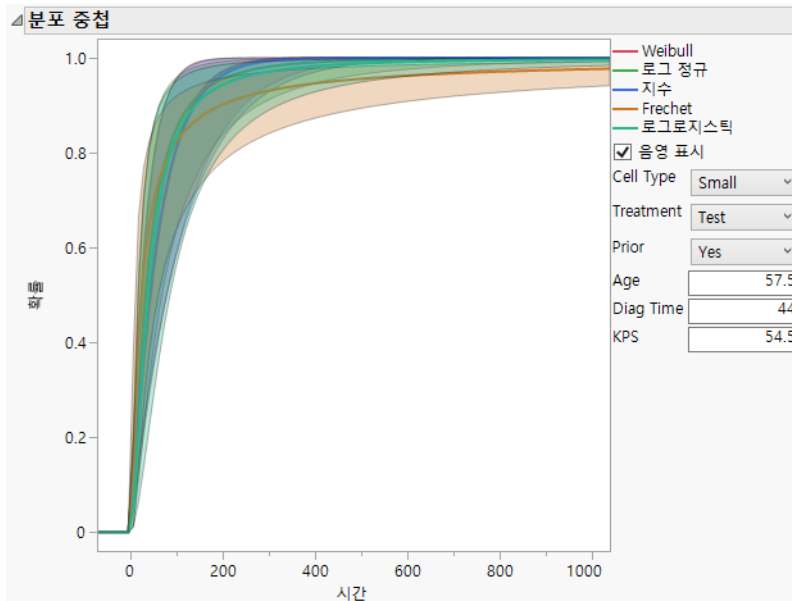
분포 중첩 지정된 효과 값에서 적합 분포에 대한 중첩된 분포 함수 그림입니다.

분위수 함수 중첩 지정된 효과 값에서 적합 분포에 대한 중첩된 분위수 함수 그림입니다.

"분포 중첩" 그림과 "분위수 함수 중첩" 그림은 둘 다 동일한 그래프에 중첩된 각 적합 분포에 대한 곡선을 표시합니다. 기본적으로 각 곡선에는 음영 처리된 Wald 기반 신뢰 구간이 있습니다. 각 그림의 오른쪽에는 범례, 신뢰 구간 음영 표시 옵션 및 효과의 다른 값을 지정할 수 있는 컨트롤이 있습니다. [그림 15.6](#)에서는 "분포 중첩" 그림의 예를 보여 줍니다.

참고: 모형 적합 시작 창의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "유의 수준 설정"을 선택하여 음영 신뢰 구간에 대한 α 수준을 변경할 수 있습니다. 기본 α 수준은 0.05 입니다.

그림 15.6 분포 중첩 그림



모수 경쟁 원인 보고서

모수 생존 모형 적합 시작 창에서 원인 열을 지정하면 "모수 경쟁 원인" 보고서가 나타납니다. 또한 시작 창에서 "모든 분포"를 지정하면 이 보고서에 "모수 경쟁 원인 - 전체 분포" 라벨이 지정됩니다. "모수 경쟁 원인" 보고서에는 다음 항목이 포함되어 있습니다.

원인별 요약 각 원인에 대한 적합 통계량 (AICc, BIC) 을 나열하는 테이블입니다. 시작 창의 "분포" 옵션에서 "모든 분포"를 선택한 경우 이 테이블에는 각 분포 적합 내의 각 원인에 대한 적합 통계량이 포함됩니다.

모형 비교 (시작 창의 "분포" 옵션에서 "모든 분포"를 선택한 경우에만 사용 가능) 적합 분포에 대한 적합 통계량 (AICc, BIC)을 나열하는 테이블을 표시합니다. AICc 및 BIC 값이 가장 작은 분포는 맨 오른쪽 열에 라벨이 지정됩니다. 한 분포가 AICc 및 BIC 값이 둘 다 가장 작으면 해당 분포에 "최선" 라벨이 지정됩니다. AICc가 가장 작은 분포에 해당하는 "모수 생존 적합" 보고서가 기본적으로 열려 있습니다.

AICc 및 BIC 통계량에 대한 자세한 내용은 **선형 모형 적합**에서 확인하십시오.

모수 생존 모형 적합 옵션

"모수 생존 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

가능도비 검정 적합 모형의 로그 가능도를 모형에서 각 항을 개별적으로 제거하는 로그 가능도와 비교하는 검정을 생성합니다.

Wald 검정 각 모수가 0인지 여부에 대한 Wald 검정의 카이제곱 검정 통계량 및 p 값을 생성합니다.

가능도 신뢰 구간 각 모수에 대해 "모수 추정값" 테이블에 표시되는 신뢰 구간 유형을 지정합니다. 이 옵션을 선택하면 프로파일 가능도 신뢰 구간이 나타납니다. 그렇지 않으면 Wald 구간이 표시됩니다. 보고서에서 "모수 추정값" 테이블 아래에 구간 유형이 표시됩니다. 이 옵션은 프로파일 가능도 신뢰 구간의 계산 시간이 길지 않을 때 기본적으로 설정됩니다.

참고 : 모형 적합 시작 창의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "유의 수준 설정"을 선택하여 신뢰 구간에 대한 α 수준을 변경할 수 있습니다. 기본 α 수준은 0.05입니다.

추정값 상관관계수 모형 효과 간의 상관 및 모형 효과와 적합 분포 모수와의 상관을 보여 주는 상관 행렬을 생성합니다.

추정값 공분산 모형 효과 간의 공분산 및 모형 효과와 적합 분포 모수와의 공분산을 보여 주는 공분산 행렬을 생성합니다.

생존 확률 추정 지정된 시간 값에 대한 고장 및 생존 확률을 추정합니다. 효과 값과 하나 이상의 시간 값을 지정합니다. 그러면 JMP에서 가능한 모든 항목 조합에 대해 95% 신뢰 한계로 생존 및 고장 확률을 계산합니다.

분위수 추정 지정된 확률에 대한 분위수를 추정합니다. 효과 값과 하나 이상의 분위수 확률을 지정합니다. 그러면 JMP에서 가능한 모든 항목 조합에 대해 시간 분위수와 95% 신뢰 한계를 계산합니다.

참고 : "생존 확률 추정" 및 "분위수 추정" 옵션의 경우 유의 수준을 기본값 0.05에서 변경할 수 있습니다.

잔차 확률도 표준화 잔차의 확률도를 표시합니다. 위치 - 척도 분포의 경우 표준화 잔차는 $(Y - \mu(X)) / \sigma(X)$ 로 정의됩니다. 로그-위치-척도 분포의 경우 표준화 잔차는 $\exp(\log(Y) - \mu(X)) / \sigma(X)$ 로 정의됩니다. 모든 분포에서 $\mu(X)$ 와 $\sigma(X)$ 는 각각 위치 효과와 척도 효과에 대한 모형 규격에 의해 정의된 공변량의 선형 함수입니다. 이러한 표준화 잔차는 Cox-Snell 잔차의 한 유

형입니다 .Cox-Snell 잔차에 대한 자세한 내용은 Meeker & Escobar(1998, sec. 17.6.1) 에서 확인하십시오 .

잔차 저장 잔차를 데이터 테이블의 새 열에 저장합니다 . 구간 중도절단 관측값의 경우 두 개의 잔차 열이 데이터 테이블에 저장됩니다 .

분포 프로파일러 고장 확률 대 개별 설명 변수 및 반응 변수의 반응 표면을 표시합니다 .

분위수 프로파일러 반응 변수 대 설명 변수 및 고장 확률의 반응 표면을 표시합니다 .

수준 조합별 분포 그림 모형 적합을 평가하기 위한 세 가지 확률도를 표시합니다 . 그림에는 X 수 준의 각 조합에 대해 서로 다른 선이 표시됩니다 .

별도 위치 동일한 척도 모수와 개별 위치 모수를 가정하는 확률도입니다 . 이는 평행성 가정을 평가하는 데 유용합니다 .

별도 위치 및 척도 서로 다른 척도 모수와 위치 모수를 가정하는 확률도입니다 . 이는 분포가 데이터에 적절한지 여부를 평가하는 데 유용합니다 . 지수 분포의 경우 이 그림이 표시되지 않습니다 .

회귀 분포 모수가 X 변수의 함수인 확률도입니다 .

확률 계산식 저장 추정된 확률 계산식을 데이터 테이블의 새 열에 저장합니다 .

분위수 계산식 저장 추정된 분위수 계산식을 데이터 테이블의 새 열에 저장합니다 . 이 옵션을 선택하면 관심 분위수에 대한 확률 값을 입력하라는 팝업 창이 표시됩니다 .

확률 계산식 게시 확률 계산식을 생성하여 계산식 저장소 플랫폼에 계산식 열 스크립트로 저장합니다 . " 계산식 저장소 " 보고서가 열려 있지 않으면 " 계산식 저장소 " 보고서가 생성됩니다 . 자세한 내용은 예측 및 전문 모델링에서 확인하십시오 .

분위수 계산식 게시 분위수 계산식을 생성하여 계산식 저장소 플랫폼에 계산식 열 스크립트로 저장합니다 . " 계산식 저장소 " 보고서가 열려 있지 않으면 " 계산식 저장소 " 보고서가 생성됩니다 . 자세한 내용은 예측 및 전문 모델링에서 확인하십시오 .

모형 대화상자 시작 창을 다시 실행합니다 .

효과 요약 모형에서 효과를 추가하거나 제거할 수 있는 대화식 " 효과 요약 " 보고서를 표시합니다 . 자세한 내용은 선행 모형 적합에서 확인하십시오 .

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 에서 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 .

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나 , 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다 .

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다 .

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

비선형 모수 생존 모형

다음과 같은 경우 모수 생존 모형에 대해 모수 생존 모형 적합 플랫폼 대신 비선형 플랫폼을 사용합니다.

- 모형이 비선형입니다.
- Weibull, 로그 정규, 지수, Frechet, 로그로지스틱, SEV, 정규, LEV 또는 로지스틱 이외의 분포가 필요합니다.
- 일반적인 오른쪽, 왼쪽 또는 구간 중도절단이 아닌 중도절단이 있습니다.

지정된 손실 함수에서 모수를 추정하는 기능이 있는 비선형 플랫폼은 최대 가능도 모형을 적합시키는 강력한 도구입니다. 비선형 플랫폼에 대한 자세한 내용은 **예측 및 전문 모델링**에서 확인하십시오.

데이터가 중도절단된 경우 비선형 모형을 적합시키려면 먼저 계산식 편집기를 사용하여 중도절단 관측값에 대해 조정된 손실 함수를 나타내는 모수 방정식을 생성해야 합니다. 그런 다음 비선형 플랫폼에서 최대 가능도를 사용하여 모수를 추정합니다.

손실 함수 템플릿

Loss Function Templates 폴더에는 지수, 극단값, 로그로지스틱, 로그 정규, 정규, 1모수 및 2모수 Weibull 손실 함수에 대한 계산식이 포함된 템플릿이 있습니다. 이러한 손실 함수를 사용하려면 시간 및 중도절단 값을 손실 함수 템플릿의 **Time** 및 **censor** 열에 복사합니다. 모형을 실행하려면 **비선형**을 선택하고 손실 열을 **손실** 변수로 할당합니다. 반응 모형과 중도절단 상태가 모두 손실 함수에 포함되고 다른 효과가 없으므로 예측 열(모형 변수)이 필요하지 않습니다.

모수 생존 모형 적합의 추가 예

이 섹션에는 모수 생존 모형 적합 플랫폼을 사용하는 예가 포함되어 있습니다.

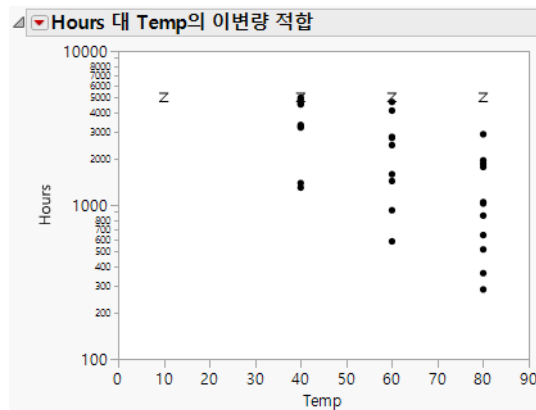
- "아레니우스 가속 고장 로그 정규 모형의 예"
- "구간 중도절단 가속 고장 시간 모형의 예"
- "왼쪽 중도절단 데이터 분석의 예"

아레니우스 가속 고장 로그 정규 모형의 예

이 예에서는 모수 생존 모형 적합 플랫폼을 사용하여 가열 스트레스가 가해진 유닛의 고장 시간에 분포를 적합시킵니다. 이 스트레스는 충분한 고장 데이터를 얻도록 유닛이 더 빨리 고장 나게 합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 **Reliability/Devalt.jmp** 를 엽니다.
먼저 이변량 플랫폼에서 시간에 대한 로그 척도를 사용하여 시간 대 온도 그림을 확인합니다.
2. **분석 > X 로 Y 적합**을 선택합니다.
3. **Hours** 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. **Temp** 를 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.

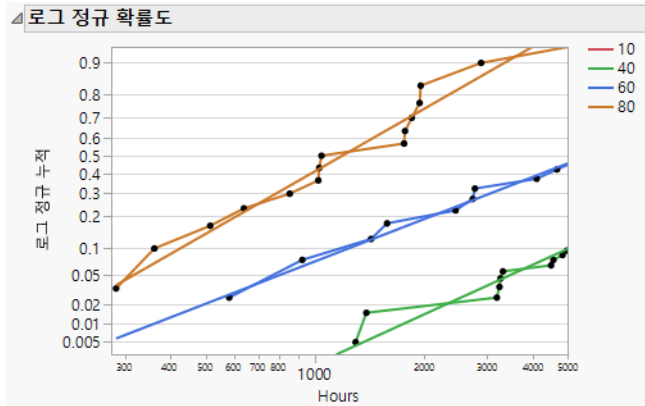
그림 15.7 Hours 대 Log Temp 의 이변량 그림



이제 생존 플랫폼을 사용하여 각 온도에 대한 데이터의 로그 정규 확률도를 생성합니다.

6. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 생존**을 선택합니다.
7. **Hours** 를 선택하고 **Y, 사건 발생 시간**을 클릭합니다.
8. **Censor** 를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
9. **Temp** 를 선택하고 **그룹화**를 클릭합니다.
10. **Weight** 를 선택하고 **빈도**를 클릭합니다.
11. **확인**을 클릭합니다.
12. "승법 극한 생존 적합" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **로그 정규 확률도** 및 **로그 정규 적합**을 선택합니다.
13. **확인**을 클릭합니다.

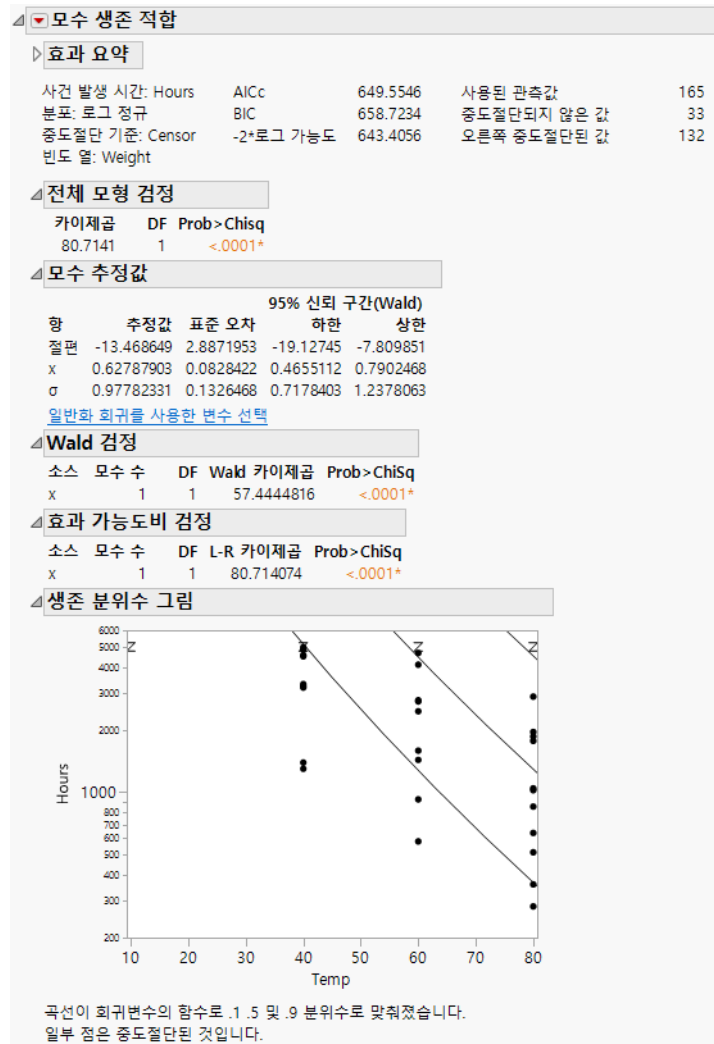
그림 15.8 로그 정규 확률도



이제 모수 생존 모형 적합 플랫폼에서 온도 효과를 사용하여 하나의 모형을 적합시킵니다.

14. 분석 > 신뢰성 및 생존 > 모수 생존 모형 적합을 선택합니다.
15. Hours 를 선택하고 사건 발생 시간을 클릭합니다.
16. x 를 선택하고 추가를 클릭합니다.
17. Censor 를 선택하고 중도절단을 클릭합니다.
18. Weight 를 선택하고 빈도를 클릭합니다.
19. 분포 유형을 로그 정규로 변경합니다.
20. 실행을 클릭합니다.

그림 15.9 Devalt 모수 출력



결과는 데이터의 회귀 적합을 보여 줍니다.

- 효과가 하나만 있고 연속형인 경우 효과의 함수로 나타낸 생존 그림이 표시됩니다 . 0.1, 0.5 및 0.9 생존 확률에 선이 있습니다.
- 이 경우와 같이 효과 열에 다른 한 열의 계산식이 있는 경우 내부 열에 대한 그림이 표시됩니다 . 이 예에서 효과는 x 열이지만 x의 함수인 Temp에 대한 그림이 표시됩니다 .

마지막으로 30000 및 10000 시간에 대해 섭씨 10 도의 온도로 외삽된 생존 확률 추정값을 구합니다 .

21. " 모수 생존 적합 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **생존 확률 추정**을 선택합니다 .

22. [그림 15.10](#)에 표시된 값을 " 생존 추정 대화상자 "에 입력합니다 .

10 도의 아레니우스 변환은 40.9853(효과 값) 입니다 .

그림 15.10 생존 확률 추정

▲ 생존 추정 대화상자

오른쪽에 항 값을 입력한 다음 "시작"을 클릭하십시오.

x	시간	Alpha
40.9853	30000	0.0500
.	10000	
.	.	
.	.	
.	.	
.	.	
.	.	
.	.	
.	.	
.	.	

시작

23. 시작을 클릭합니다 .

그림 15.11 생존 확률

▲ 생존에 대한 추정값

x	시간	고장 확률	95% 신뢰 구간(Wald)		생존 확률
			하한	상한	
40.9853	30000	0.0227191	0.0024223	0.1182138	0.9772809
40.9853	10000	0.0008917	4.3289e-5	0.0100954	0.9991083

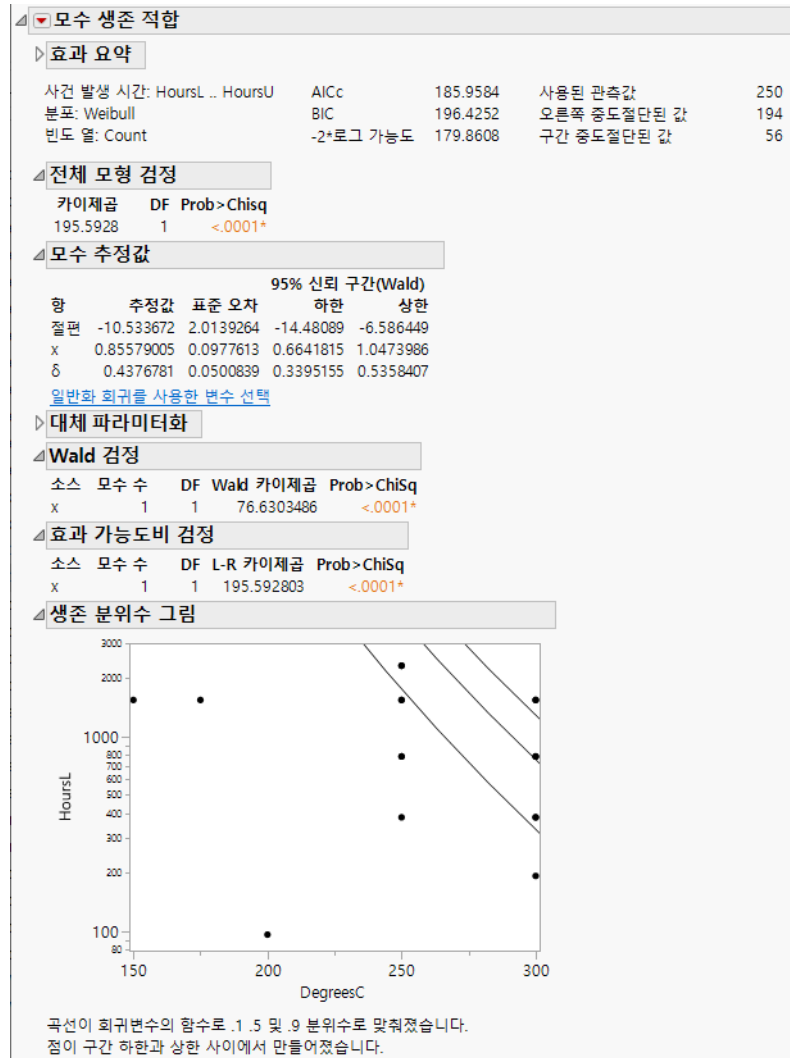
"생존 추정값" 보고서에는 추정값과 신뢰 구간이 표시됩니다.

구간 중도절단 가속 고장 시간 모형의 예

이 예의 데이터 테이블에는 검사 구간 사이에 발생한 것으로 확인된 고장이 포함되어 있습니다. 모형은 고장 시간의 상한과 하한을 포함하는 두 개의 y 변수를 사용합니다. 오른쪽 중도절단된 시간은 결측 상한으로 표시됩니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Reliability/ICdevice02.jmp 를 엽니다 .
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 모수 생존 모형 적합**을 선택합니다 .
3. HoursL 및 HoursU 를 선택하고 **사건 발생 시간**을 클릭합니다 .
4. Count 를 선택하고 **빈도**를 클릭합니다 .
5. x 를 선택하고 **추가**를 클릭합니다 .
6. **실행**을 클릭합니다 .

그림 15.12 ICDevice 출력



결과 회귀에서는 시간 대 온도 그림을 보여 줍니다.

왼쪽 중도절단 데이터 분석의 예

모수 생존 모형 적합 플랫폼에서 두 개의 반응 열을 사용하여 왼쪽 중도절단 관측값을 지정할 수 있습니다. 이 예에서는 0에서 왼쪽 중도절단을 가정하는 Tobit 모형을 적합시킵니다.

참고 : Tobit 모형은 경제학에서 반응이 양수 또는 0 이어야 하는 경우에 많이 사용됩니다. 이때 0 은 중도절단된 점을 나타냅니다. 이 모형은 0 에서 중도절단되는 정규 분포를 가정합니다. 관측값이 0 이면 왼쪽 중도절단으로 간주됩니다.

이 예에서는 왼쪽 중도절단이 발생한 관측값을 나타내는 새 열을 생성합니다. 왼쪽 중도절단 관측값의 경우 새 열에 결측값이 포함됩니다. 그렇지 않은 경우에는 관측된 **durable** 값이 포함됩니다. 그런 다음 새 열을 구간 중도절단 관측값의 왼쪽으로 사용하고 기존 **durable** 열을 구간의 오른쪽으로 사용합니다.

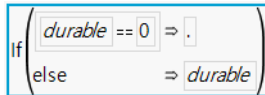
1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 **Reliability/Tobit2.jmp** 를 엽니다.

왼쪽 중도절단 열 생성 :

2. **열 > 새 열**을 선택합니다.
3. **열 이름**에 **durable0** 을 입력합니다.
4. **열 특성**을 선택하고 **계산식**을 클릭합니다.
5. **조건 > If** 를 선택하고 **durable** 을 선택합니다.
6. **비교 > a == b** 를 선택하고 "0" 을 입력한 후 **Enter** 키를 누릅니다.
7. "else 절 " 라벨이 지정된 상자를 선택하고 **durable** 을 선택합니다.

그림 15.13에서는 완료된 계산식을 보여 줍니다.

그림 15.13 durable0 에 대한 계산식 열



8. **확인**을 클릭합니다.
9. **확인**을 클릭합니다.

Tobit 모형 적합 :

10. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 모수 생존 모형 적합**을 선택합니다.
11. **durable0** 을 선택하고 **사건 발생 시간**을 클릭합니다.
12. **durable** 을 선택하고 **사건 발생 시간**을 클릭합니다.

왼쪽 중도절단 관측값을 지정하려면 두 개의 반응 열을 사용해야 합니다. 중도절단 방향은 "사건 발생 시간" 역할의 열 순서에 따라 결정됩니다.

13. **age** 와 **liquidity** 를 선택하고 **추가**를 클릭합니다.
14. **분포** 유형을 **정규**로 변경합니다.
15. **실행**을 클릭합니다.

그림 15.14 Tobit 모형 결과

모수 생존 적합

효과 요약

사건 발생 시간: durable0 .. durable	AICc	68.51859	사용된 관측값	20
분포: 정규	BIC	69.83485	중도절단되지 않은 값	7
	-2*로그 가능도	57.85192	왼쪽 중도절단된 값	13

전체 모형 검정

카이제곱	DF	Prob>ChiSq
1.1325	2	0.5677

모수 추정값

95% 신뢰 구간(Wald)				
항	추정값	표준 오차	하한	상한
절편	15.2771208	16.032721	-16.14643	46.700676
age	-0.1340075	0.2189314	-0.563105	0.2950901
liquidity	-0.0451356	0.0582685	-0.15934	0.0690686
σ	5.56935051	1.7281446	2.1822494	8.9564517

일반화 회귀를 사용한 변수 선택

Wald 검정

소스	모수 수	DF	Wald	카이제곱	Prob>ChiSq
age	1	1	0.37466429		0.5405
liquidity	1	1	0.60002606		0.4386

효과 가능도비 검정

소스	모수 수	DF	L-R	카이제곱	Prob>ChiSq
age	1	1	0.3931753		0.5306
liquidity	1	1	0.57102176		0.4499

보고서에 추정된 Tobit 모형 적합이 표시됩니다. 보고서 오른쪽 상단의 노트에 왼쪽 중도절단된 관측값이 13개 있다고 나와 있습니다. 이를 통해 왼쪽 중도절단을 올바르게 지정했는지 확인할 수 있습니다.

모수 생존 모형 적합 플랫폼에 대한 통계 상세 정보

이 섹션에는 모수 생존 모형 적합 플랫폼에서 사용되는 손실 함수에 대한 통계 상세 정보가 포함되어 있습니다. 다음은 공통 모수 모형을 적합시키기 위한 음의 로그 가능도에 대한 계산식입니다. 각 계산식에는 중도절단되지 않은 사례가 첫 번째 조건에 해당하고 오른쪽 중도절단 사례가 Else 절에 해당하는 if 조건 함수 계산기가 사용됩니다. Sample Data의 Loss Function Templates 폴더에 있는 테이블에서 이러한 계산식을 복사하여 데이터 테이블에 붙여 넣을 수 있습니다.

지수 손실 함수

여기에 표시된 지수 손실 함수에서 **sigma** 는 지수 분포의 평균을 나타내고 **Time** 은 수명을 나타냅니다.

$$- \text{IfMZ} \left(\begin{array}{ll} \text{Censor} == 0 & \Rightarrow -\text{Log}(\text{sigma}) - \frac{\text{Time}}{\text{sigma}} \\ \text{else} & \Rightarrow -\left(\frac{\text{Time}}{\text{sigma}}\right) \end{array} \right)$$

지수 분포의 특징은 순간 고장 비율이 시간 경과에 따라 일정하게 유지된다는 것입니다. 즉, 주어진 시간 동안 개체의 고장 확률은 개체의 연구 참여 기간에 관계없이 동일합니다.

Weibull 손실 함수

Weibull 밀도 함수가 수명 분포에 대해 좋은 모형을 제공하는 경우가 종종 있습니다. 초기 데이터 조사에 생존 플랫폼을 사용하여 Weibull 손실 함수가 데이터에 적절한지 여부를 확인할 수 있습니다.

$$- \text{IfMZ} \left(\begin{array}{ll} \text{Censor} == 0 & \Rightarrow \frac{\text{Model}}{\text{sigma}} - \text{Exp}\left(\frac{\text{Model}}{\text{sigma}}\right) - \text{Log}(\text{sigma}) \\ \text{else} & \Rightarrow -\text{Exp}\left(\frac{\text{Model}}{\text{sigma}}\right) \end{array} \right)$$

Loss Function Templates 폴더에 1모수, 2모수 및 극단값 함수의 예가 있습니다.

로그 정규 손실 함수

아래 표시된 계산식은 **Normal Distribution(model/sigma)** 가 표준 정규 분포 함수인 로그 정규 손실 함수입니다. 위험 함수는 $t=0$ 에서 값이 0 이고, 최대값까지 증가한 후 감소합니다. t 가 커질수록 위험 함수가 0 에 가까워집니다.

$$- \text{If} \left(\begin{array}{ll} \text{Censor} == 0 & \Rightarrow -0.5 \cdot \left(\frac{\text{Model}}{\text{sigma}}\right)^2 - 0.5 \cdot \text{Log}(2 \cdot \pi) - \text{Log}(\text{sigma}) \\ \text{else} & \Rightarrow \text{Log}\left(1 - \text{Normal Distribution}\left(\frac{\text{Model}}{\text{sigma}}\right)\right) \end{array} \right)$$

로그로지스틱 손실 함수

Y 가 로지스틱 분포를 따르면 $\text{Exp}(Y)$ 는 로그로지스틱 분포를 따릅니다 .

$$- \text{IfMZ} \left(\begin{array}{l} \text{censor} == 0 \Rightarrow \frac{\text{Model}}{\text{sigma}} - 2 \cdot \text{Log} \left(1 + \text{Exp} \left(\frac{\text{Model}}{\text{sigma}} \right) \right) - \text{Log}(\text{sigma}) \\ \text{else} \Rightarrow - \text{Log} \left(1 + \text{Exp} \left(\frac{\text{Model}}{\text{sigma}} \right) \right) \end{array} \right)$$

16 장

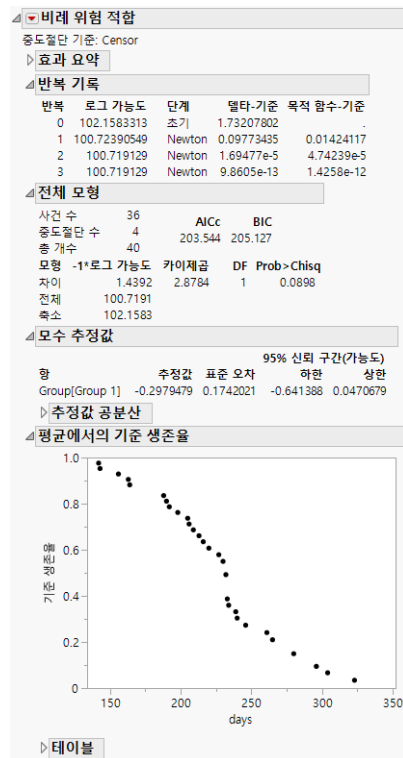
비례 위험 모형 적합 준모수 회귀 모형을 사용하여 생존 데이터 적합

비례 위험 모형 적합 플랫폼에서는 공변량(예측 변수)과 위험 함수 간의 곱셈 관계를 가정하는 Cox 비례 위험 모형을 적합시킵니다.

비례 위험 모형은 공변량이 있는 생존 데이터에 많이 사용되는 회귀 모형입니다. 이 모형은 준모수 모형입니다. 선형 모형이 추정되지만 위험 함수의 형태는 추정되지 않습니다. 시간에 따라 변하는 공변량은 지원되지 않습니다.

참고: 비례 위험 모형 적합 플랫폼은 모형 적합 플랫폼을 약간 사용자 정의한 버전입니다.

그림 16.1 비례 위험 적합의 예



목차

비례 위험 모형 적합 플랫폼 개요..... 397

비례 위험 모형 적합 플랫폼의 예..... 397

비례 위험 모형 적합 플랫폼 시작..... 400

비례 위험 모형 적합 보고서 401

비례 위험 모형 적합 플랫폼 옵션..... 401

비례 위험 모형 적합 플랫폼의 추가 예 432

비례 위험 모형 적합 플랫폼 개요

비례 위험 모형은 설명 변수가 생존 시간에 미치는 영향을 조사하기 위해 D. R. Cox(1972)가 제안한 특수 준모수 회귀 모형입니다. 모집단의 각 멤버에 대한 생존 시간은 자체의 위험 함수를 따르는 것으로 가정합니다.

비례 위험 모형은 지정되지 않은 임의의 기준 위험 함수를 포함한다는 점에서 비모수 모형입니다. 공변량에 대한 모수 형식을 가정하므로 모수 모형입니다. 기준 위험 함수는 일반적인 위험 함수를 제공하기 위해 모형의 공변량(시간에 따라 변하지 않음) 함수로 척도화됩니다. Kaplan-Meier 분석과 달리 비례 위험은 모수 추정값 및 각 공변량의 표준 오차를 계산합니다. 설명 변수와 관련된 회귀 모수(β) 및 표준 오차는 최대 가능도 방법을 사용하여 추정됩니다. 또한 조건부 위험 비율도 모수 추정값에서 계산됩니다.

비례 위험의 생존 추정값은 경험적 방법을 사용하여 생성됩니다. 자세한 내용은 Lawless(1982)에서 확인하십시오. 이러한 값은 생존 함수 $S(t)$ 의 경험적 누적 위험 함수 추정값 $H(t)$ 를 나타내며, $S_0 = \exp(-H(t))$ 로 쓸 수 있습니다. 위험 함수는 다음과 같이 정의됩니다.

$$H(t) = \sum_{j: t_j < t} \frac{d_j}{\sum_{l \in R_j} e^{x_l \beta}}$$

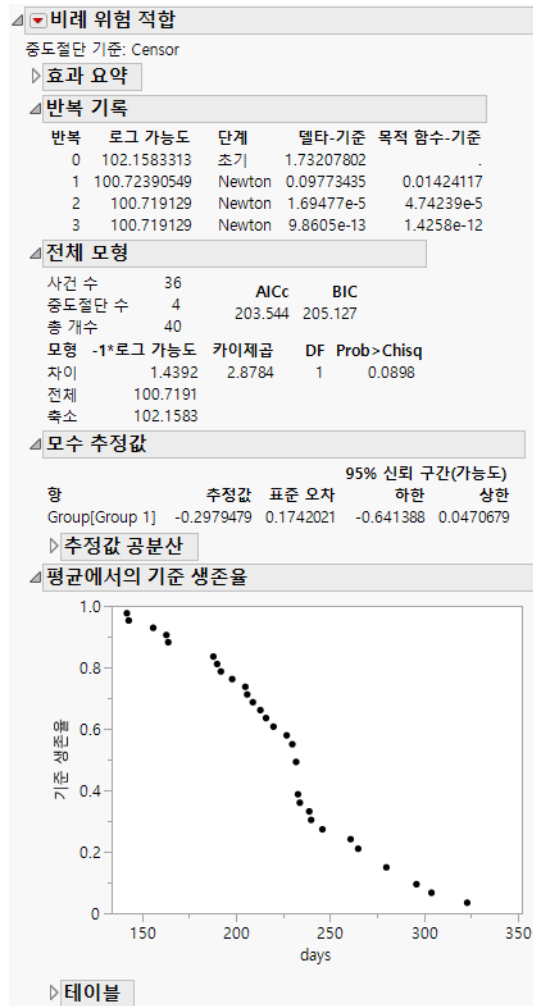
반응에 동점이 있는 경우, 즉 주어진 시간 사건에 두 개 이상의 고장이 있는 경우 Breslow 가능도가 사용됩니다.

비례 위험 모형 적합 플랫폼의 예

이 예에서는 수준이 두 개인 하나의 명목형 효과를 보여 줍니다. 효과와 수준을 여러 개 사용하는 예는 "비례 위험 모형 적합 플랫폼의 추가 예"에서 확인하십시오.

1. **도움말 > 샘플 데이터 폴더**를 선택하고 Rats.jmp를 엽니다.
2. **분석 > 신뢰성 및 생존 > 비례 위험 모형 적합**을 선택합니다.
3. **days**를 선택하고 **사건 발생 시간**을 클릭합니다.
4. **Censor**를 선택하고 **중도절단**을 클릭합니다.
5. **Group**을 선택하고 **추가**를 클릭합니다.
6. **실행**을 클릭합니다.

그림 16.2 Rats.jump 데이터에 대한 비례 위험 적합 보고서



Rats.jump 데이터에는 두 개의 그룹만 있습니다. 따라서 "모수 추정값" 보고서에서 0을 포함하지 않는 신뢰 구간은 유의 수준에서 그룹 간에 유의한 차이를 나타냅니다. 또한 "효과 가능도비 검정" 보고서에서 "전체 모형 검정" 테이블에 표시된 그룹 간의 차이가 없다는 귀무가설 검정은 Group에 대한 회귀 계수가 0이라는 귀무가설과 동일합니다.

수준이 두 개인 하나의 명목형 효과에 대한 위험 비율

효과에 대한 위험 비율을 표시하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **위험 비율** 옵션을 선택합니다. 이 예에서는 효과가 하나만 있고 해당 효과의 수준이 두 개뿐입니다. Group 2의 위험 비율이 Group 1과 비교되며 "Group에 대한 위험 비율" 보고서에 나타납니다. 자세한 내용은 [그림 16.3](#)에서 확인하십시오. 이 테이블의 위험 비율은 Group 2에 대한 모수 추정값의 지수를 계산한 후 Group 1에 대한 모수 추정값의 지수로 나누어 결정됩니다.

다음 사항에 유의하십시오 .

- Group 1 모수 추정값은 " 모수 추정값 " 테이블에 나타납니다 (그림 16.2).
- Group 2 모수 추정값은 Group 1 모수 추정값에 대해 음수 값을 취하여 계산됩니다 .
- 역수는 1/ 위험 비율 값을 표시합니다 .

팁 : 역수 값을 보려면 " 위험 비율 " 보고서에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 **열 > 역수**를 선택합니다 .

이 예에서 Group2/Group1 의 위험 비율은 다음과 같이 계산됩니다 .

$$\exp[-(-0.2979479)]/\exp(-0.2979479) = 1.8146558$$

이 위험 비율 값은 Group 2 의 사망 위험이 Group 1 의 1.81 배임을 나타냅니다.

그림 16.3 Group 에 대한 위험 비율 테이블

▲ 위험 비율						
▲ Group에 대한 위험비율						
수준1	/수준2	^ 위험 비율	Prob>Chisq	95% 신뢰 구간(Wald)		
				하한	상한	
Group 2	Group 1	1.8146558	0.0872	0.9167104	3.5921661	
Group 1	Group 2	0.5510687	0.0872	0.2783836	1.0908571	

비율 신뢰 한계 효과 Group 에 사용되는 정규 근사입니다.

여러 효과 또는 수준이 세 개 이상인 범주형 효과가 있는 경우 위험 비율을 계산하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[여러 효과 및 여러 수준에 대한 위험 비율](#)"에서 확인하십시오.

비례 위험 모형 적합 플랫폼 시작

분석 > 신뢰성 및 생존 > 비례 위험 모형 적합을 선택하여 비례 위험 모형 적합 플랫폼을 시작합니다.

그림 16.4 비례 위험 모형 적합 시작 창

팁: 유의 수준을 변경하려면 "모형 규격"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **유의 수준 설정**을 선택합니다.

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용에서 확인하십시오.

비례 위험 모형 적합 시작 창에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

사건 발생 시간 사건 발생 시간 또는 중도절단 시간을 포함합니다.

중도절단 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별하는 표시자가 포함된 열을 지정합니다. "중도절단 코드" 메뉴에서 오른쪽 중도절단된 관측값을 식별하는 값을 선택합니다.

빈도 여러 개의 유닛이 기록된 경우 각 행에 대한 관측값의 빈도 또는 개수 값이 포함된 열입니다.

기준 분류 또는 그룹화 변수의 각 수준에 대해 개별 분석을 수행합니다.

모형 효과 생성 모형에 효과를 입력합니다. "모형 효과 생성" 옵션에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합에서 확인하십시오.

분석법 적합 방법을 나타냅니다. 항상 "비례 위험"을 선택해야 합니다.

중도절단 코드 오른쪽 중도절단된 관측값을 지정하는 중도절단 열의 값을 식별합니다. 중도절단 열이 선택되면 JMP는 자동으로 중도절단 코드를 감지하여 상자에 표시하려고 시도합니다. 이를 변경하려면 빨간색 삼각형을 클릭하고 값 목록에서 선택합니다. 상자에 다른 값을

입력할 수도 있습니다. 중도절단 열에 "값 라벨" 열 특성이 포함된 경우 값 라벨이 값 목록에 나타납니다. 결측값은 분석에서 제외됩니다.

비례 위험 모형 적합 보고서

비례 위험 모형 적합 절차가 완료되면 "비례 위험 적합" 보고서가 나타납니다. 이 보고서에는 다음 섹션이 포함되어 있습니다.

반복 기록 모형 계산 중에 발생하는 반복 결과를 나열합니다.

전체 모형 공변량이 있는 모형과 없는 모형에 대한 음의 로그 가능도 함수 (-1* 로그 가능도)를 표시합니다. 두 값의 양수 차이의 두 배는 효과 간에 생존 시간 차이가 없다는 가설에 대한 카이제곱 검정을 제공합니다. DF(자유도)는 전체 모형과 축소 모형 간 모수 수의 변화와 같습니다. 자세한 내용은 **선형 모형 적합**에서 확인하십시오.

모수 추정값 공변량에 대한 모수 추정값, 표준 오차 및 해당 95% 신뢰 구간을 표시합니다. 연속형 열에 대한 신뢰 구간에 0이 포함되어 있지 않으면 효과가 유의하다는 것을 나타냅니다. 범주형 열의 수준에 대한 신뢰 구간에 0이 포함되어 있지 않으면 해당 수준과 모든 수준의 평균 간 차이가 유의하다는 것을 나타냅니다.

효과 가능도비 검정 공변량 효과에 대한 모수 추정값이 0이라는 귀무가설의 가능도비 카이제곱 검정을 표시합니다.

평균에서의 기준 생존율 데이터에서 각 사건 시간의 기준 함수 추정값을 그림에 표시합니다. "테이블" 보고서의 값이 여기에 표시됩니다.

비례 위험 모형 적합 플랫폼 옵션

"비례 위험 적합"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

가능도비 검정 적합 모형의 로그 가능도를 모형에서 각 항을 개별적으로 제거하는 로그 가능도와 비교하는 검정을 생성합니다.

Wald 검정 각 모수가 0인지 여부에 대한 Wald 검정의 카이제곱 검정 통계량 및 p 값을 생성합니다.

가능도 신뢰 구간 각 모수에 대해 "모수 추정값" 테이블에 표시되는 신뢰 구간 유형을 지정합니다. 이 옵션을 선택하면 프로파일 가능도 신뢰 구간이 나타납니다. 그렇지 않으면 Wald 구간이 표시됩니다. 보고서에서 "모수 추정값" 테이블 아래에 구간 유형이 표시됩니다. 이 옵션은 프로파일 가능도 신뢰 구간의 계산 시간이 길지 않을 때 기본적으로 설정됩니다.

참고: 모형 적합 시작 창의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "유의 수준 설정"을 선택하여 신뢰 구간에 대한 α 수준을 변경할 수 있습니다. 기본 α 수준은 0.05입니다.

위험 비율 효과에 대한 위험 비율을 표시합니다. 연속형 열의 경우 단위 위험 비율과 범위 위험 비율이 계산됩니다. 단위 위험 비율은 $\text{Exp}(\text{추정값})$ 이고, 범위 위험 비율은 $\text{Exp}[\text{추정값} * (x_{\text{Max}} - x_{\text{Min}})]$ 입니다. 단위 위험 비율은 회귀변수의 한 단위에 대한 위험 변화를 나타내고,

범위 위험 비율은 회귀변수의 전체 범위에 대한 변화를 나타냅니다. 범주형 열의 경우 각 효과에 대한 위험 비율이 별도의 보고서에 표시됩니다. k 수준 범주형 변수의 경우 $k-1$ 개의 설계 변수 또는 수준만 사용됩니다.

팁: "위험 비율" 보고서에 역수 값을 표시하려면 보고서에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 **열 > 역수**를 선택합니다.

모형 대화상자 현재 분석을 위해 완료된 시작 창을 표시합니다.

효과 요약 모형에서 효과를 추가하거나 제거할 수 있는 대화식 "효과 요약" 보고서를 표시합니다. 자세한 내용은 **선형 모형 적합** 다음 옵션에 대한 자세한 내용은 **JMP 사용**의 에서 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.

플랫폼 환경 설정 현재 플랫폼 환경 설정을 보거나, 현재 JMP 보고서의 설정과 일치하도록 플랫폼 환경 설정을 업데이트할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

스크립트 저장 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹별 스크립트 저장 기준 변수의 모든 수준에 대한 플랫폼 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 시작 창에서 기준 변수를 지정한 경우에만 사용할 수 있습니다.

다음 자료가 신뢰성 및 생존 방법에서 참조됩니다.

- Abernethy, R. B. (1996). *The New Weibull Handbook*. 2nd ed. North Palm Beach, FL: Robert B. Abernethy.
- Akaike, H. (1974). "A New Look at the Statistical Model Identification." *IEEE Transactions on Automatic Control* AC-19:716–723.
- Andrews, D. F., and Herzberg, A. M. (1985). *A Collection of Problems from Many Fields for the Student and Research Worker*. New York: Springer-Verlag.
- Burnham, K. P., and Anderson, D. R. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag.
- Chow, S.-C. (2007). *Statistical Design and Analysis of Stability Studies*. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC.
- Cox, D. R. (1972). "Regression Models and Life-Tables." *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 34:187–220.
- Crow, L. H. (1975). *Reliability Analysis for Complex, Repairable Systems*. Technical Report No. 138, December 1975, US Army Materiel Systems Analysis Activity, Aberdeen Proving Ground, MD.
- Crow, L. H. (1982). "Confidence Interval Procedures for the Weibull Process with Applications to Reliability Growth." *Technometrics* 24:67–72.
- Escobar, L. A., Meeker, W. Q., Kugler, D. L., and Kramer, L. L. (2003). "Accelerated Destructive Degradation Tests: Data, Models, and Analysis." In *Mathematical and Statistical Methods in Reliability*, edited by B. H. Lindqvist and K. A. Doksum, 319–338. London: World Scientific Publishing Company.
- Genschel, U., and Meeker, W. Q. (2010). "A Comparison of Maximum Likelihood and Median-Rank Regression for Weibull Estimation." *Quality Engineering* 22:236–255.
- Guo, H., Mettas, A., Sarakakis, G., and Niu, P. (2010). "Piecewise NHPP Models with Maximum Likelihood Estimation for Repairable Systems." In *2010 Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*. New York: IEEE Press.
- Hosmer, D. W., Jr., and Lemeshow, S. (1999). *Applied Survival Analysis: Regression Modeling of Time-to-Event Data*. New York: John Wiley & Sons.
- ICH Q1E. (2003). *Evaluation for Stability Data*. Tripartite International Conference on Harmonization Guideline Q1E, Geneva.
- Kalbfleisch, J. D., and Prentice, R. L. (1980). *The Statistical Analysis of Failure Time Data*. New York: John Wiley & Sons.

- Kalbfleisch, J. D., and Prentice, R. L. (2002). *The Statistical Analysis of Failure Time Data*. 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Kaminskiy, M. P., and Krivtsov, V. V. (2005). "A Simple Procedure for Bayesian Estimation of the Weibull Distribution." *IEEE Transactions on Reliability* 54:612–616.
- Klein, J. P., and Moeschberger, M. L. (1997). *Survival Analysis: Techniques for Censored and Truncated Data*. New York: Springer-Verlag.
- Lawless, J. F. (1982). *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*. New York: John Wiley & Sons.
- Lawless, J. F. (2003). *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Lee, L., and Lee S. K. (1978). "Some Results on Inference for the Weibull Process." *Technometrics* 20:41–45.
- Liu, P., and Wang, P. (2013). "Competing Failure Modes Modeling with Limited Wearout Failures." In *2013 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*. New York: IEEE Press.
- Meeker, W. Q., and Escobar, L. A. (1998). *Statistical Methods for Reliability Data*. New York: John Wiley & Sons.
- Meeker, W. Q., Escobar, L. A., and Pascual, F. G. (2022). *Statistical Methods for Reliability Data*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Nair, V. N. (1984). "Confidence Bands for Survival Functions with Censored Data: A Comparative Study." *Technometrics* 26:265–275.
- Nelson, W. B. (1982). *Applied Life Data Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Nelson, W. B. (1985). "Weibull Analysis of Reliability Data with Few or No Failures." *Journal of Quality Technology* 17:140–146.
- Nelson, W. B. (1990). *Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analyses*. New York: John Wiley & Sons.
- Nelson, W. B. (2003). *Recurrent Events Data Analysis for Product Repairs, Disease Recurrences, and Other Applications*. Philadelphia: Society for Industrial Mathematics.
- Nelson, W. B. (2004). *Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Prentice, R. L. (1973). "Exponential Survivals with Censoring and Explanatory Variables." *Biometrika* 60:279–288.
- Rigdon, S. E., and Basu, A. P. (2000). *Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*. New York: John Wiley & Sons.
- Robert, C. P., and Casella, G. (2004). *Monte Carlo Statistical Methods*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag.
- SAS Institute Inc. (2022). "The LIFETEST Procedure." In *SAS/STAT® User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
https://go.documentation.sas.com/api/collections/pgmsascdc/v_034/docsets/statug/content/lifetest.pdf.

- Si, S., Dui, H., Zhao, X., Zhang, S., and Sun, S. (2012). "Integrated Importance Measure of Component States Based on Loss of System Performance." *IEEE Transactions on Reliability*. 61:192–202.
- Tobias, P. A., and Trindade, D. C. (1995). *Applied Reliability*. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Tobias, P. A., and Trindade, D. C. (2012). *Applied Reliability*. 3rd ed. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC.
- US Department of Defense (1981). *Military Handbook: Reliability Growth Management* (MIL-HDBK-00189). Washington, DC: US Department of Defense.

기술 라이선스 고지 사항

- Scintilla is 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 is Copyright © 1995-2005, Jean-Loup Gailly and Mark Adler.
- Made with Natural Earth. Free vector and raster map data @ naturalearthdata.com.
- Packages is 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 is 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.

- This program, “bzip2”, the associated library “libbzip2”, and all documentation, are Copyright © 1996–2019 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:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. 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.
3. Altered source versions must be plainly marked as such, and must not be misrepresented as being the original software.

4. 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.

Julian Seward, jseward@acm.org

bzip2/libbzip2 version 1.0.8 of 13 July 2019

- 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 is 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 is 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 are 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.

- libzip is Copyright © 1999–2019 Dieter Baron and Thomas Klausner.

This file is part of libzip, a library to manipulate ZIP archives. The authors can be contacted at <libzip@nih.at>.

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. The names of the authors may not be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHORS ``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 AUTHORS 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.

- OpenNLP 1.5.3, the pre-trained model (version 1.5 of en-parser-chunking.bin), and dmlc/xgboost Version .90 are licensed under the Apache License 2.0 are Copyright © January 2004 by Apache.org.

You may reproduce and distribute copies of the Work or Derivative Works thereof in any medium, with or without modifications, and in Source or Object form, provided that You meet the following conditions:

- You must give any other recipients of the Work or Derivative Works a copy of this License; and
 - You must cause any modified files to carry prominent notices stating that You changed the files; and
 - You must retain, in the Source form of any Derivative Works that You distribute, all copyright, patent, trademark, and attribution notices from the Source form of the Work, excluding those notices that do not pertain to any part of the Derivative Works; and
 - If the Work includes a “NOTICE” text file as part of its distribution, then any Derivative Works that You distribute must include a readable copy of the attribution notices contained within such NOTICE file, excluding those notices that do not pertain to any part of the Derivative Works, in at least one of the following places: within a NOTICE text file distributed as part of the Derivative Works; within the Source form or documentation, if provided along with the Derivative Works; or, within a display generated by the Derivative Works, if and wherever such third-party notices normally appear. The contents of the NOTICE file are for informational purposes only and do not modify the License. You may add Your own attribution notices within Derivative Works that You distribute, alongside or as an addendum to the NOTICE text from the Work, provided that such additional attribution notices cannot be construed as modifying the License.
 - You may add Your own copyright statement to Your modifications and may provide additional or different license terms and conditions for use, reproduction, or distribution of Your modifications, or for any such Derivative Works as a whole, provided Your use, reproduction, and distribution of the Work otherwise complies with the conditions stated in this License.
- LLVM is Copyright © 2003–2019 by the University of Illinois at Urbana-Champaign. 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.
 - clang is Copyright © 2007–2019 by the University of Illinois at Urbana-Champaign. 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”, 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.

- lld is Copyright © 2011–2019 by the University of Illinois at Urbana-Champaign.

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”, 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.

- libcurl is Copyright © 1996–2021, Daniel Stenberg, daniel@haxx.se, and many contributors, see the THANKS file. All rights reserved.

Permission to use, copy, modify, and distribute this software for any purpose with or without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice and this permission notice appear in all copies.

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 OF THIRD PARTY RIGHTS. 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.

Except as contained in this notice, the name of a copyright holder shall not be used in advertising or otherwise to promote the sale, use or other dealings in this Software without prior written authorization of the copyright holder.

- On the Windows operating system, JMP utilizes the OpenBLAS library. OpenBLAS is licensed under the 3-clause BSD license. Full license text follows: Copyright © 2011-2015, The OpenBLAS Project

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 OpenBLAS project 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 OPENBLAS PROJECT 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.