

Monthly User Guide from JMP Korea

제 25호 (2019년 8월)

DOE in JMP(4) : Augment Design(순차적 실험)

* 본 Guide 의 내용과 관련한 문의는 ikju.Shin@jmp.com 으로 연락 바랍니다



Augment Design

순차적 실험, 단계적 실험 등으로 번역되는 Augment Design은 기존 실험 결과에 새로운 실험 Run을 추가하는 실험임. 기존의 실험 결과를 (분석에) 활용하고자 하거나, (다양한 사유로) 한 번의 실험으로 최적화가 곤란한 경우에 많이 활용되는 실험 방법임

<JMP에서 제공되는 Augment Design의 종류, DOE / Augment Design>

- 1) 기존 실험의 반복(Replicate)
- 2) 중심점(Center Point) 추가
- 3) Foldover 디자인
- 4) 축점(Axial Point) 추가
- 5) Space Filling(특정 디자인 영역에 실험 추가)
- 6) 추가적인 분석을 가능하게끔 실험 추가
(예 : 교호작용 분석 가능하게끔 실험 추가)

Augmentation Choices

Replicate Add Centerpoints Fold Over Add Axial Space Filling Augment

1. 기존 실험의 반복

Sample Data : Help / Sample Data Library / Design Experiment / Reactor 8 Runs.jmp

	Pattern	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	+++++	15	2	100	140	3	61
2	-+++-	10	2	120	140	6	67
3	+-+--	15	1	120	140	3	56
4	-+-+-	10	2	100	180	3	94
5	--+-+	10	1	120	180	3	66
6	----+	10	1	100	140	6	56
7	+++++	15	2	120	180	6	82
8	+-+-+	15	1	100	180	6	45

1. DOE / Augment Design에 들어가서 아래와 같이 반응치 Y와 X인자를 선택한 다음 OK를 클릭하면

Cast Selected Columns into Roles

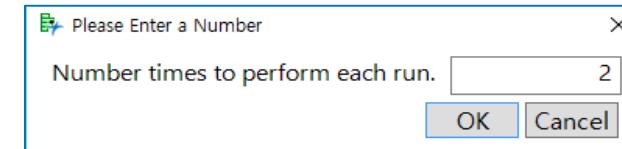
Y, Response	Percent Reacted optional numeric
X, Factor	Feed Rate Catalyst Stir Rate Temperature Concentration

2. 아래와 같이 여섯 가지의 Augmentation Choice를 확인할 수 있다

Augmentation Choices

Replicate Add Centerpoints Fold Over Add Axial Space Filling Augment

3. Replicate를 클릭하면 아래와 같이 반복 실험 회수를 입력해야 한다. 아래처럼 2를 입력하면 전체 실험수가 기존의 8회에 새롭게 8회가 추가되어 총 16회의 실험 Run이 생성된다.



	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	15	2	100	140	3	61
2	10	2	120	140	6	67
3	15	1	120	140	3	56
4	10	2	100	180	3	94
5	10	1	120	180	3	66
6	10	1	100	140	6	56
7	15	2	120	180	6	82
8	15	1	100	180	6	45
9	15	2	100	140	3	•
10	10	2	120	140	6	•
11	15	1	120	140	3	•
12	10	2	100	180	3	•
13	10	1	120	180	3	•
14	10	1	100	140	6	•
15	15	2	120	180	6	•
16	15	1	100	180	6	•

2. 중심점 추가(Add Center Points)

Sample Data : Help / Sample Data Library / Design Experiment / Reactor 8 Runs.jmp

	Pattern	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	++++-	15	2	100	140	3	61
2	-+++-	10	2	120	140	6	67
3	+-+--	15	1	120	140	3	56
4	-+-+-	10	2	100	180	3	94
5	--+-+	10	1	120	180	3	66
6	----+	10	1	100	140	6	56
7	+++++	15	2	120	180	6	82
8	+-+-+	15	1	100	180	6	45

1. 아래에서 Add Center points 를 클릭하면

Augmentation Choices

2. 중심점에서의 추가 실험 회수를 설정하는 화면이다

Please Enter a Number

Number of centerpoint(s)?

3. 중심점 5회 추가 실험을 반영한 Data Table의 모습은 아래와 같다.

	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	15	2	100	180	3	93
2	15	1	120	140	6	55
3	15	1	100	140	3	53
4	10	1	120	180	3	66
5	10	1	100	180	6	44
6	10	2	120	140	3	54
7	10	2	100	140	6	70
8	15	2	120	180	6	82
9	12.5	1.5	110	160	4.5	•
10	12.5	1.5	110	160	4.5	•
11	12.5	1.5	110	160	4.5	•
12	12.5	1.5	110	160	4.5	•
13	12.5	1.5	110	160	4.5	•

3. Fold Over

Sample Data : Help / Sample Data Library / Design Experiment / Reactor 8 Runs.jmp

1. Fold over Design은 기존 실험의 반대편 실험점에서 실험을 추가하는 것을 말한다.

2. 아래처럼 Feed Rate를 선택한 뒤에 OK를 클릭하면

Feed Rate
Catalyst
Stir Rate
Temperature
Concentration

3. 다른 변수의 실험점은 그대로인데, Feed Rate의 실험점만 기존 실험과 다른(반대인) 새로운 실험이 추가된다

Factor Design					
Run	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration
1	15	2	100	180	3
2	15	1	120	140	6
3	15	1	100	140	3
4	10	1	120	180	3
5	10	1	100	180	6
6	10	2	120	140	3
7	10	2	100	140	6
8	15	2	120	180	6
9	10	2	100	180	3
10	10	1	120	140	6
11	10	1	100	140	3
12	15	1	120	180	3
13	15	1	100	180	6
14	15	2	120	140	3
15	15	2	100	140	6
16	10	2	120	180	6

4. 만약 아래처럼 다섯 개 변수를 모두 선택하게 되면

Feed Rate
Catalyst
Stir Rate
Temperature
Concentration

5. 모든 변수의 실험점이 기존 실험점과 반대 방향인 새로운 실험이 추가된다.

Factor Design					
Run	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration
1	15	2	100	180	3
2	15	1	120	140	6
3	15	1	100	140	3
4	10	1	120	180	3
5	10	1	100	180	6
6	10	2	120	140	3
7	10	2	100	140	6
8	15	2	120	180	6
9	10	1	120	140	6
10	10	2	100	180	3
11	10	2	120	180	6
12	15	2	100	140	6
13	15	2	120	140	3
14	15	1	100	180	6
15	15	1	120	180	3
16	10	1	100	140	6

4. 축점 추가(Add Axial)

Sample Data : Help / Sample Data Library / Design Experiment / Reactor 8 Runs.jmp

	Pattern	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	++++-	15	2	100	140	3	61
2	-+++-	10	2	120	140	6	67
3	+-+--	15	1	120	140	3	56
4	-+-+-	10	2	100	180	3	94
5	--+-+	10	1	120	180	3	66
6	----+	10	1	100	140	6	56
7	+++++	15	2	120	180	6	82
8	+-+-+	15	1	100	180	6	45

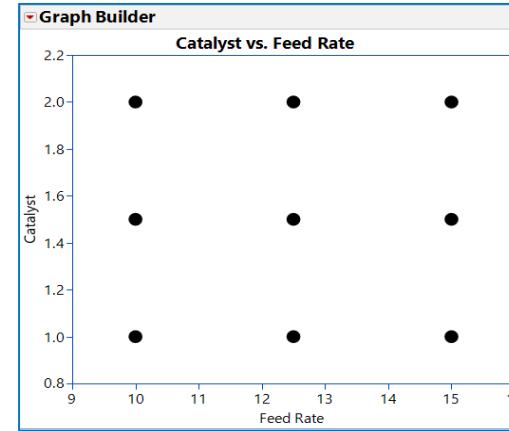
1. 축점(Axial Point)과 중심점을 함께 추가하는 기능이다.
만약 아래처럼 입력하고 난 뒤에

Axial values dialog

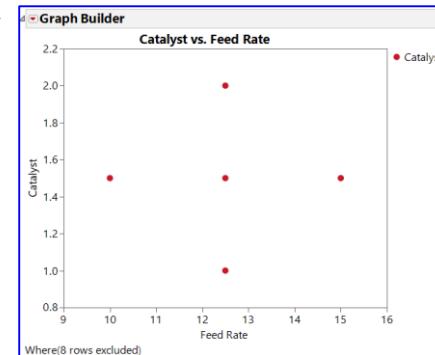
Please supply an axial value.

Please supply the number of center points desired.

2. Catalyst 및 Feed Rate에 대해서 Graph를 그려보면 추가된 축점과 중심점을 확인할 수 있다



<추가된 축점과 중심점>



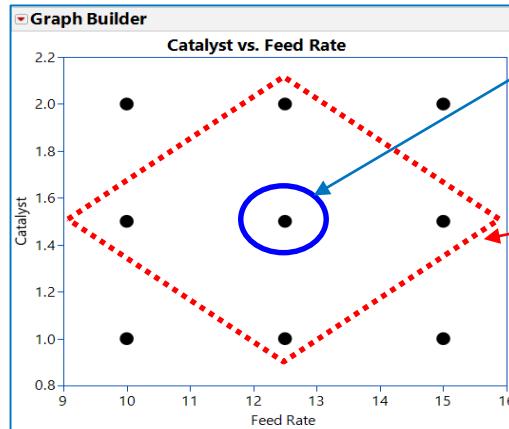
4. 축점 추가(Add Axial)

Axial values dialog

Please supply an axial value.

Please supply the number of center points desired.

1
2



추가된 중심점

추가된 축점

	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	15	2	100	140	3	61
2	10	2	120	140	6	67
3	15	1	120	140	3	56
4	10	2	100	180	3	94
5	10	1	120	180	3	66
6	10	1	100	140	6	56
7	15	2	120	180	6	82
8	15	1	100	180	6	45
9	12.5	1.5	110	160	4.5	•
10	12.5	1.5	110	160	4.5	•
11	T5	1.5	110	160	4.5	•
12	10	1.5	110	160	4.5	•
13	12.5	2	110	160	4.5	•
14	12.5	1	110	160	4.5	•
15	12.5	1.5	120	160	4.5	•
16	12.5	1.5	100	160	4.5	•
17	12.5	1.5	110	180	4.5	•
18	12.5	1.5	110	140	4.5	•
19	12.5	1.5	110	160	6	•
20	12.5	1.5	110	160	3	•

5. Space Filling

Sample Data : Help / Sample Data Library / Design Experiment /
Reactor 8 Runs.jmp

1. Space Filling은 특정한 실험 영역에 대해서만 추가 실험을 하기 위한 옵션이다. 예를 들어 1차 실험의 결과로 5개의 Factor 중 2개의 Factor (Feed Rate, Catalyst)가 보다 유의하고, 유의한 두 인자에 대한 관심의 영역(즉, Design Space)이 좁아졌다면, 해당 Design Space에 대해서만 실험을 추가할 수 있다.

예를 들어, Feed Rate는 14 ~ 15의 영역에서, Catalyst는 1.8 ~ 2의 영역에 대해서 10회 추가 실험을 하고자 한다면,

Define Factor Constraints에서 아래와 같이 입력(설정)한 다음

Define Factor Constraints

- None
- Specify Linear Constraints
- Use Disallowed Combinations Filter
- Use Disallowed Combinations Script

-Linear Constraints

Add

1	Feed Rate +	0	Catalyst +	0	Stir Rate +	0	Temperature +	0	Concentration \geq	14
0	Feed Rate +	1	Catalyst +	0	Stir Rate +	0	Temperature +	0	Concentration \geq	1.8

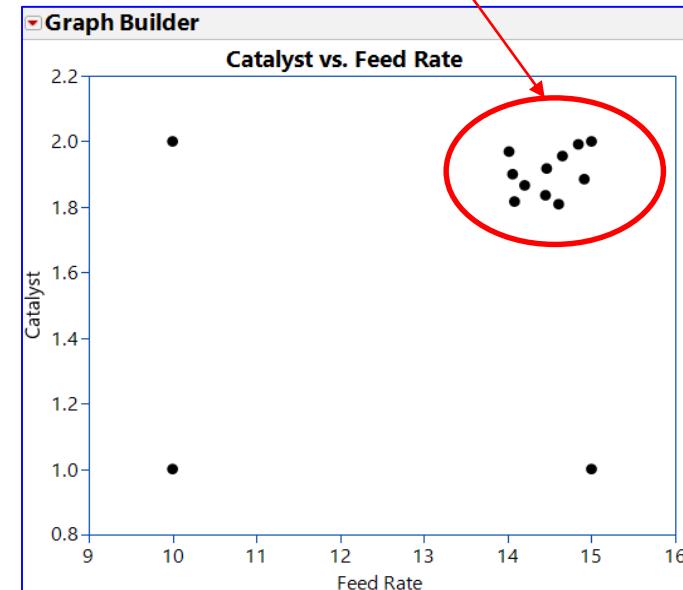
2. Space Filling 버튼을 클릭하여 추가 실험 회수를 입력하면 된다

Please Enter a Number X

Number of Additional Runs

3. 생성된 결과에 대해 그래프를 그려 보면 Space Filling 결과를 확인할 수 있다.

관심 영역에 대해서만 Design Space 설정



6. Augment

Sample Data : Help / Sample Data Library / Design Experiment / Reactor 8 Runs.jmp

1. Augment를 클릭한 후 Model을 확인해 보면 주 효과 다섯 가지 및 두 가지의 교호작용을 추정할 수 있는 모델임을 알 수 있다.

Model	
Main Effects	Interactions
Intercept	Necessary
Feed Rate	Necessary
Catalyst	Necessary
Stir Rate	Necessary
Temperature	Necessary
Concentration	Necessary
Catalyst*Stir Rate	Necessary
Catalyst*Concentration	Necessary

2. 2인자 교호 작용까지 추정하기 위해 Interaction / 2nd를 클릭하면 아래와 같이 총 16회의 실험 디자인이 만들어 진다.

Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	15	2	100	180	93
2	15	1	120	140	55
3	15	1	100	140	53
4	10	1	120	180	66
5	10	1	100	180	44
6	10	2	120	140	54
7	10	2	100	140	70
8	15	2	120	180	82
9	10	2	120	140	•
10	15	2	100	180	6
11	15	2	120	140	•
12	12.5	1	100	140	6
13	12.5	2	120	140	6
14	10	1.5	100	180	3
15	15	2	110	140	4.5
16	10	2	120	160	4.5
17	12.5	2	100	180	6
18	15	1.5	100	160	6
19	12.5	2	100	140	3
20	10	1	110	160	3
21	10	1.5	111.5	180	6

3. 만약 RSM을 선택하였다면 아래처럼 총 21회의 실험 디자인이 만들어 질 것이다.

	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	15	2	100	180	3	93
2	15	1	120	140	6	55
3	15	1	100	140	3	53
4	10	1	120	180	3	66
5	10	1	100	180	6	44
6	10	2	120	140	3	54
7	10	2	100	140	6	70
8	15	2	120	180	6	82
9	10	2	120	140	•	•
10	15	2	100	180	6	•
11	15	2	120	140	3	•
12	12.5	1	100	140	6	•
13	12.5	2	120	140	6	•
14	10	1.5	100	180	3	•
15	15	2	110	140	4.5	•
16	10	2	120	160	4.5	•
17	12.5	2	100	180	6	•
18	15	1.5	100	160	6	•
19	12.5	2	100	140	3	•
20	10	1	110	160	3	•
21	10	1.5	111.5	180	6	•