

랜덤화 순서와 기하학적 특성을 고려한
분산분석과 실험계획의 응용방안
- Application of ANOVA and DOE by Using
Randomized Orders and Geometrical
Properties -

최 성 운*

Abstract

The research presents an application of Balanced ANOVA (BANOVA) by utilizing randomized orders for various Split-Plot Designs (SPDs) which include two cell designs, split-plot with one-way HTC (Hard to Control) factor, split-plot with two-way HTC factor, split-split-plot design and nested design. In addition, four MINITAB examples of 2-level split-plot designs based on the number of blocks and the type of whole-plots are presented for practitioners to obtain comprehensive understanding. Furthermore, the geometrical interrelated properties among three typical Designs of Experiments (DOE), such as Factorial Design (FD), Response Surface Design (RSD), and Mixture Design (MD) are discussed in this paper.

Keywords: BANOVA, SPDs, Randomized Order, Geometrical Properties, DOE, FD, RSD, MD

1. 서 론

신제품 개발시 다양한 기능의 부서인원이 팀(CFT : Crossed Functional Team)을 구성하여 고객의 요구사항을 종합적으로 검토하는 것을 설계검토(DR : Design Review)라 하고, 개발자가 설계 목표치에 대해 설계실적치를 비교평가하여 DOE(Design of Experiment)를 이용하여 최적의 제품기술 및 생산기술 조건을 설정하는 것을 설계 검증(DV : Design Verification)이라 한다.

* 가천대학교 산업공학과 교수

또한 고객의 최종 사용조건이 제어불가능할 경우 잡음인자(Noise Factor)에 대한 Signal을 최대화 하는 RD(Robust Design)를 이용하여 설계의 유효성을 확인하는 것을 설계 타당성 검토(DV : Design Validation)라 한다.

이렇듯 DOE는 품질의 원류관리에서 필수불가결한 기법으로 Six Sigma 품질혁신 DMAIC(Define, Measure, Analyze, Improve, Control) 프로젝트 실행시 MINITAB 통계 패키지에 의해 가장 많이 사용되는 방법 중의 하나이다. DOE가 요인 수준의 직교성(Orthogonality)을 이용하여 최소의 독립된 관측횟수로 실험을 설계하는 것을 목표로 하는 목적적인 표현의 용어이다. 반면에 ANOVA(Analysis of Variance)는 가법형 모형(Additive Model)에 의해 분해된 인자수준간 분산(Variance)과 인자수준내 오차(Error) 분산의 F비(Ratio)에 의해 유의성을 분석, 평가하는 것을 목표로 하는 수단적인 표현의 용어이다.[2]

MINITAB16의 분산분석(ANOVA)[4,5,6] 메뉴에서는 일원, 이원, 평균, 균형, 완전내포, 균형 다변량, 일반 다변량에 대한 분산분석과 일반선형모형(GLM : Generalized Linear Model)을 등분산 가정, 구간그림, 주효과도, 교호작용도와 같이 제공하고 있다. 실험계획[1,3,7](DOE) 메뉴에서는 요인설계, 반응표면설계, 혼합물설계, Taguchi 설계 등과 이에 대한 분석을 제공하고 있다. 이와 같이 MINITAB의 분산분석과 실험계획에 관련된 메뉴에는 각각 수단(분석)과 목적(설계)에 관련된 특징이 없이 설계와 분석을 혼용하여 사용하고 있어 실무자가 이를 이해하는데 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 MINITAB의 분산분석과 실험계획의 주요 특징을 서술하고 인자의 유형과 제약모형에 따른 다양한 분산분석 모형의 적용방안을 제안한다. 실험계획에서는 요인설계, 반응표면설계, 혼합물설계, Taguchi 설계의 특징과 MINITAB16에서 새롭게 제공된 2수준 분할구 설계(Split Plot Design)의 적용방안을 수치예와 함께 분산분석의 사용법과 비교하여 적용방안을 제시한다. 본 연구의 기여도는 품질 실무자를 위해 MINITAB의 분산분석과 실험계획의 주요 특징과 적용방안을 제시하고, 특히 2수준 분할구 실험에 대한 다양한 모형과 분석방법을 제안하는 데 있다.

2. MINITAB에서 분산분석 응용

2.1 인자의 종류와 제약, 비제약 혼합모형

인자(Factor, 요인)의 종류로는 재현성의 유무에 따라 고정모수인자(Fixed Factor)와 랜덤변량인자(Random Factor)로 나누는데 생산현장에서 설비개이지로 제어(Control)가 가능해서 기술적으로 재현성이 가능한 설비조건은 고정모수인자로, 분괴혼합물등과 같이 연속체인 시료에서 샘플링하는 경우 실험일, Increment수는 랜덤변량인자로 선정해서 품질실험설계를 실시한다.

고정모수인자와 랜덤변량인자의 혼합모형(Mixed Model)인 경우 혼합항 고정모수 효과에 대응하는 첨자에 대해 Zero로 취하는 제약형 모형(Restricted Model)이 있는데

비제약 모형의 경우 합성검정 또는 근사 F검정을 EMS(Expected Mean Square)를 이용해서 구한다.

품질실험설계는 모든 인자수준에 대해 완전랜덤화설계(CRD : Completely Randomized Design)를 원칙으로 하는 교차인자(Crossed Factor)를 이용하지만 파괴검사(Destructive Inspection), 샘플링하는 랜덤변량인자로만 구성된 실험, 인자수준이 비용과 시간면에서 랜덤화하기 어려운(HTC : Hard to Control) 분할구 실험(SPD : Split-Plot Design)인 경우 지분인자(Nested Factor)를 사용한다.

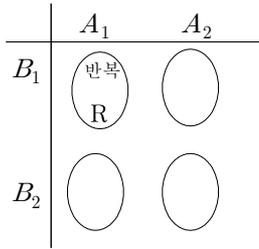
2.2 분산분석모형의 적용

MINITAB16의 분산분석에서는 일원, 이원, 완전내포, 균형다변량, 일반다변량 등의 분산분석과 균형분산분석(BANOVA : Balanced ANOVA), 일반선형모형(GLM : Generalized Linear Model), 평균분석, 등분산검정, 구간그림, 주효과도, 교호작용도 등의 기능을 제공하고 있다.

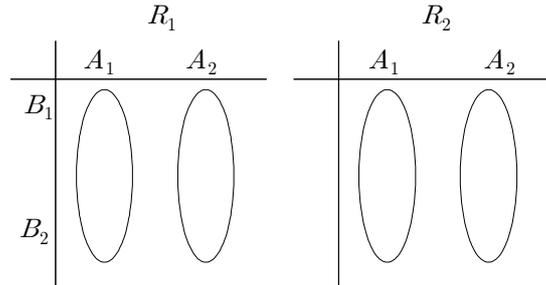
분산분석기능에서는 Worksheet에 인자수준을 반응 데이터(Response, Characteristics, Experimental Value)와 함께 입력해야 하는 번거로움이 있어 직교설계(Orthogonal Design)인 경우 3절의 실험계획기능을 활용한다. BANOVA인 경우 Default는 비제약모형으로 되어 있기 때문에 제약모형인 경우는 모형의 제한된 형식사용을 확인해 주어야 하며 F검정의 이해를 위해 기대평균제공(EMS) 및 성분표시의 결과기능을 활용한다. 실험분석의 가시관리를 위해 개별값그림, 상자그림, 구간그림, 주효과도, 교호작용도 등 그래프 기능과 2차항의 가정(등분산성, 정규성, 독립성, 불편성) 검토를 위하여 등분산검정, 정규성검정과 함께 4개의 잔차그림을 활용한다. BANOVA에서 유의적이지 않은 인자를 2차항에 Pooling할 경우는 모형에 그 항을 제외하면 되고 랜덤변량인자인 경우는 변량인자로 선택하면 된다. GLM은 회귀분석과 분산분석을 동시에 실시하고 회귀식에 익숙한 실무자에게 모형과 분석에 대한 이해가 용이하기 때문에 많이 활용된다.

<그림1>에서 (a)이방분할법은 BANOVA의 모형 A, B, R, A*B, A*R, B*R, 변량인자 R, (b)1차단위 1원배치 단일분할법은 BANOVA의 모형 R, A, A*R, B, A*B, 변량인자 R, (c) 1차단위 2원배치 단일분할법에서는 R이 없는 경우, BANOVA의 모형 A, B, A*B, C, A*C, B*C ; R이 있는 경우 BANOVA의 모형 R, A, B, A*B, A*R, B*R, A*B*R, C, A*C, B*C, A*B*C, 변량인자 R, (d) 2단분할법은 BANOVA의 모형 R, A, A*R, B, A*B, B, A*B, B*R, A*B*R, C, A*C, B*C, A*B*C, 변량인자 R, (e) 지분실험법인 다단계 분할법은 BANOVA의 모형 A, B(A), C(AB)의 결과를 <표 1>과 같이 재분류해야 한다. 이런 번거로움을 피하기 위해 MINITAB16에서는 3.3절과 같은 2수준 분할구 설계 및 분석방법이 제공되고 있다.

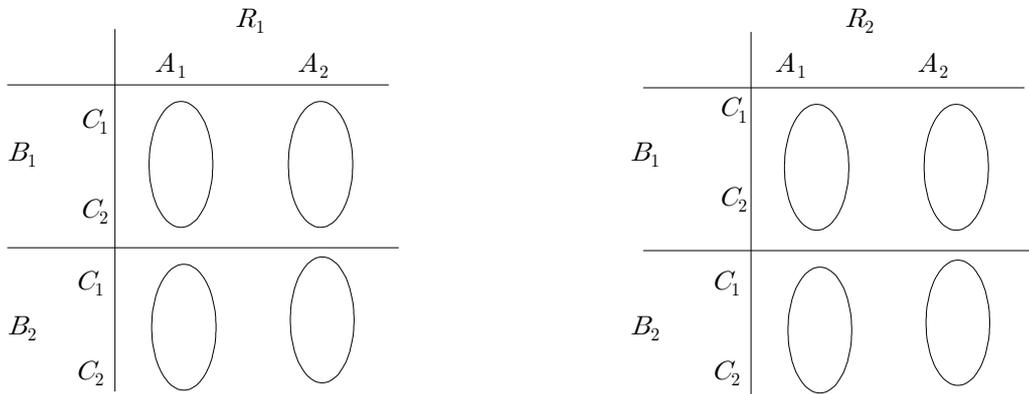
(a) 이방분할법



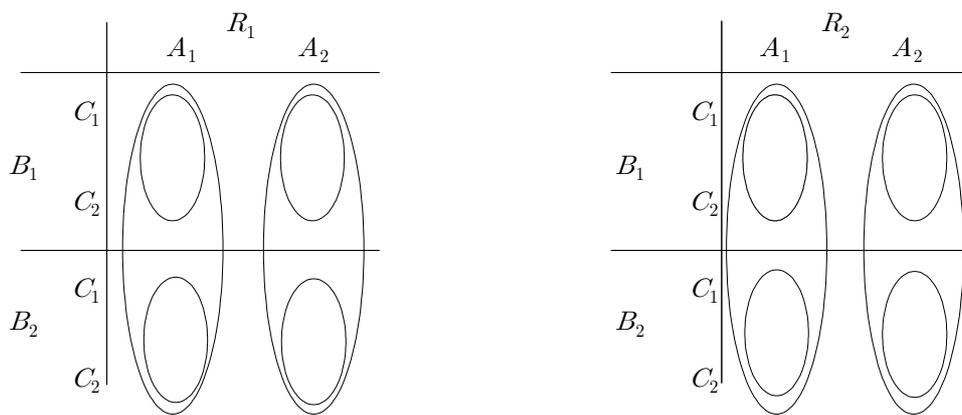
(b) 1차단위 1원배치 단일분할법



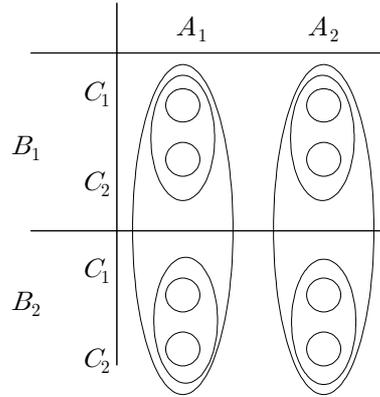
(c) 1차단위 2원배치 단일분할법



(d) 2단분할법



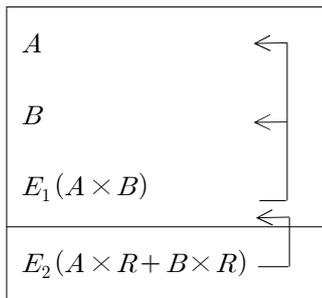
(e) 지분실험법:다단계 분할법



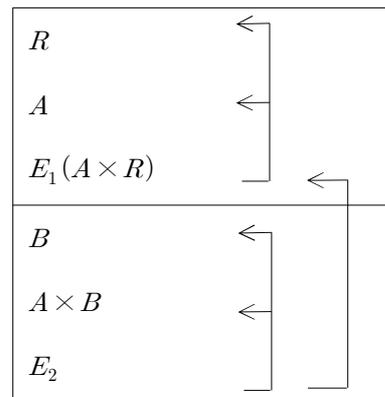
<그림1> 분산분석모형의 랜덤화 순서

<표1> 분산분석모형의 F비

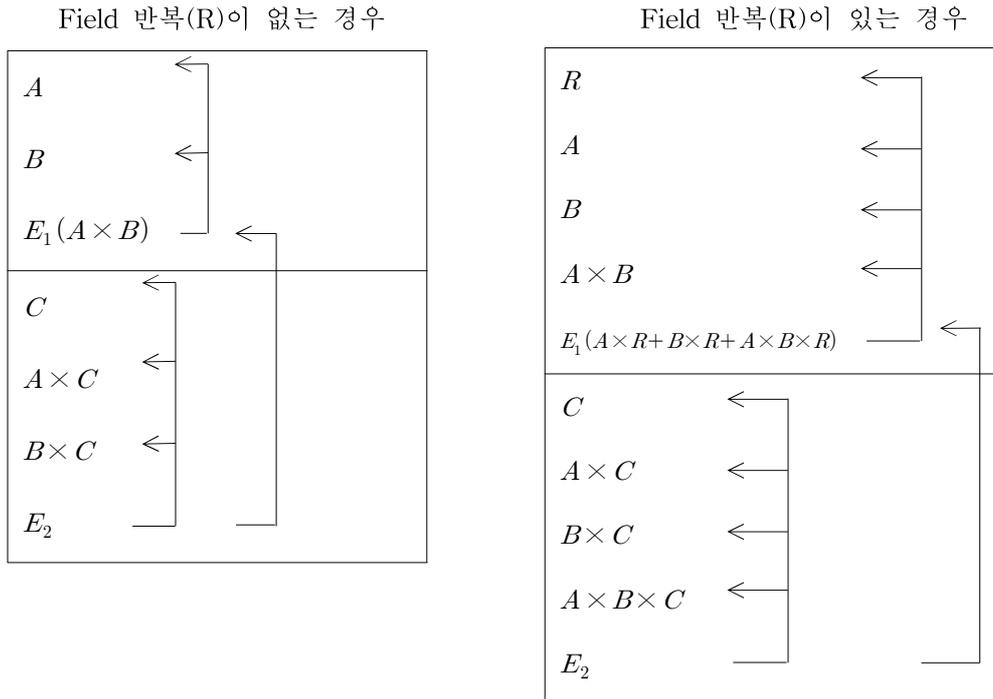
(a) 이방분할법



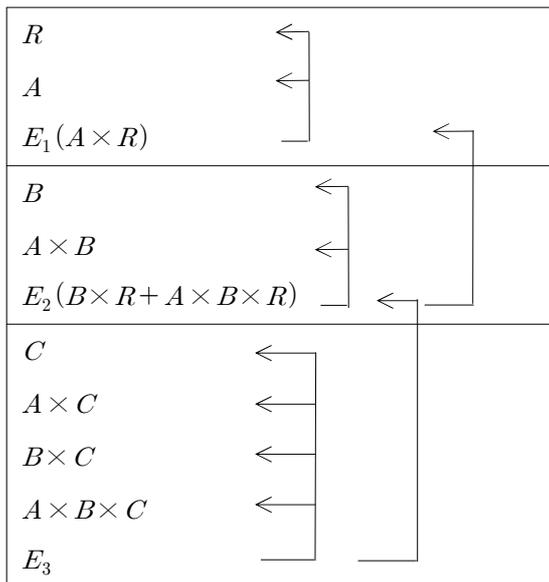
(b) 1차단위 1원배치 단일분할법



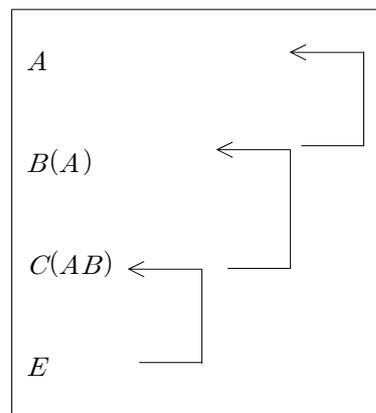
(c) 1차단위 2원배치 단일분할법



(d) 2단 분할법



(e) 지분실험법 : 다단계분할법



3. MINITAB에서 실험설계 응용

3.1 요인 설계와 Taguchi 설계

MINITAB16에서 제공되는 실험계획은 직교설계(Orthogonal Design)를 기본 원리로 1차, 2차 주효과(Main Effect), 2차 이상의 교호작용(Interaction Effect)의 반응값에 대한 영향을 각각 직선형(Linear), 곡률(Curvature), 뒤틀림(Twist)으로 분석, 평가하는 기능이다. <그림2>의 (a.1), (a.3), (b.1), (b.2)는 $y = f(\text{Linear, Twist})$, (a.2)를 포함한 나머지 모두는 $y = f(\text{Linear, Curvature, Twist})$ 의 모형이기 때문에 Curvature를 갖는 경우 최적 조건을 찾기 위하여 등교선, 표면도, 반응최적화도구를 사용해야 한다.

요인설계(FD : Factorial Design)는 분석을 향(선택된 항과 차수)의 효과를 정규확률도, 파레토도의 그래프를 이용하여 포화계획(Saturated Design)에 의해 유의적인 항만 선택해서 실시한다. 2차 Curvature, 2차이상의 Twist모형에 대한 적합성 결여(Lack of Fitness)여부(H_0 : 적합하다, H_1 : 적합하지 않다)를 파악하기 위해 잔차오차($y_{ij} - \hat{y}_{ij}$)를 적합성 결여 ($\overline{y_i} - \hat{y}_{ij}$)와 순수오차 ($y_{ij} - \overline{y_i}$)로 나누어 ANOVA를 실시한다. <그림2>의 (a.1) 2^2 CFD(Complete FD)에서 Standard Run은 Yates에 의해 (1), a, b, ab, 순서로 (a.3) 2^3 CFD의 Standard Run은 (1), a, b, c, ab, ac, bc, abc의 선착순(FIFO : First In First Out)법칙에 따른다. (b.1) 2^{2-1} FFD(Fractional FD)에서 정의대비(Defining Contract) $I=AB$ 이며 $L=-1$ 인 Block a, b만을 부분실시하고, (b.2) 2^{3-1} FFD에서 $I=ABC$ 이며 $L=-1$ 인 Block, a, b, c, abc를 부분실시한다. 2^{3-1} FFD는 Resolution III 계획(1+2)으로 교호작용이 주효과와 교락(Confounding)되므로 주효과만을 검출할 수 있다.

Resolution III 계획, 즉 주효과만을 검출하고자 할 경우는 MINITAB16에서 제공하는 PPD(Plackett-Burman Design)를 사용하는데 $PBD_n(n-1)$ 에서 첨자 n은 실험횟수(행)로 4의 배수인 12, 20, 24, 28, 36이고, (n-1)은 배치 가능한 인자(열)이다.

Resolution IV(1+3, 2+2)는 주효과와 선택된 2차 교호작용을, Resolution V(1+4, 2+3)는 주효과와 모든 2차 교호작용을 구하고자 할 때 사용하며 검출되지 않는 원인은 별명(Alias)효과로 검출되는 요인과 교락(Confounding)된다. 일반완전요인설계(CFD)는 2~10수준이 가능하다.

Taguchi 설계(TD : Taguchi's Design)는 사용조건, 생산기술조건 중 제어가 힘든 부분은 Noise Factor로 선정하여 Coefficient of Variation의 역수 개념인 SNR(Signal-to Noise)로 실험을 설계하는 것으로 2~5수준 설계와 혼합수준설계가 가능하다. TD는 라틴방격법을 GLM으로 분석하기 전에 L25 5**3으로 생성하면 2.2절의 BANOVA와 같이 모든 인자수준의 입력을 하지 않아도 된다.

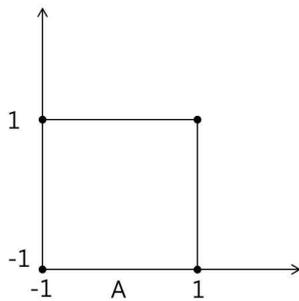
3.2 반응표면 설계와 혼합물 설계

반응표면설계(RSD : Response Surface Design)는 $y = \beta_0 + \beta_1A + \beta_2B + \beta_{11}A^2 + \beta_{22}B^2 + \beta_{12}AB$ 와 같이 Straight Line, Twist, Curvature의 항을 분석하기 위해 <그림2>와 같이 2^2 또는 2^3 CFD의 꼭지점에 중심점과 축점을 첨가하여 2수준의 실험을 3~6수준으로 확장한 것이다. 이 경우 직교성, 회전성, Block화의 방법으로 실험의 중복을 피하고 독립된 실험의 아이디어를 강구한다. CCD는 CFD에 원(Circle) 또는 구(Sphere)를 외접(Circumscribe)시켰을 경우의 만나는 점이고 FCD(Face Centered Design)는 축점을 면으로 끌어들인 내접(Inscribe) 계획이고 BBD(Box-Behnken Design)는 꼭지점의 실험이 시간과 비용의 관점에서 극단적인 실험을 비효율적일 경우 FCD에서 생략하는 실험설계방법이다.

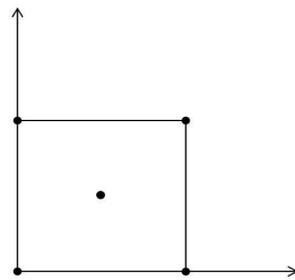
혼합물 설계(MD : Mixed Design)는 배합비를 다루는 실험설계에서 $A+B+C=1$ 의 제약조건이 있으며 우측항은 반드시 1이 되지 않아도 되나 통상 100%, 또는 1을 기준으로 상대비율을 정하는 것이 좋다. <그림2>에서 SLD(Simplex Lattice Design) (q, m)은 q개성분, m차 설계이며 m이 커질수록 수준의 수가 증가하여 고차의 항이 분석가능하다. SCD(Simplex Centroid Design)는 중심점을 첨가한 것으로 하한값을 갖는 경우의 설계예가 <그림2> (g.2)에 있다. Simplex는 n차원 공간에서 (n-1)차원 초평면(Hyperplane)으로 <그림2> (e)에서 3차원 정육면체 A, B, C에 대한 $A+B+C=1$ 의 Simplex는 2차원 정삼각형이 된다. EVD(Extreme Vertices Design)은 <그림2>의 (h) 같이 상한, 하한의 제약조건이 있는 경우 사용된다.

RSD의 모형 $y = \beta_0 + \beta_1A + \beta_2B + \beta_{11}A^2 + \beta_{22}B^2 + \beta_{12}AB$ 에서 MD의 제약조건 $A+B=1$ 이므로 $\beta_0 = \beta_0(A+B)$, $A^2 = AA = A(1-B)$, $B^2 = BB = B(1-A)$ 를 RSD에 대입하면 $y = (\beta_0 + \beta_1)A + (\beta_0 + \beta_1)B + (\beta_{12} - \beta_{11} - \beta_{22})AB$ 로 $y = \beta'_1A + \beta'_2B + \beta'_{12}AB$ 의 회귀식 모형이 된다.

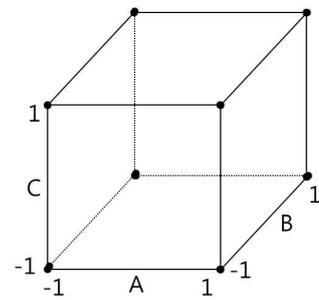
(a.1) 2^2 CFD



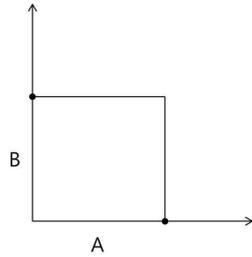
(a.2) 중심점이 있는 2^2 FFD



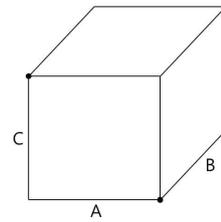
(a.1) 2^3 CFD



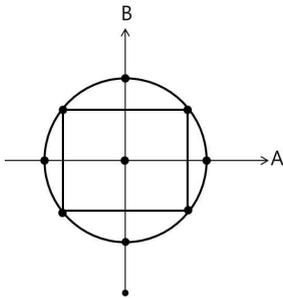
(b.1) 2^{2-1} FFD
 $I = AB$ ($L=-1$)



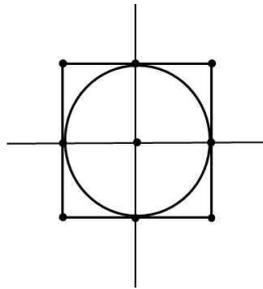
(b.2) 2^{3-1} FFD
 $I = ABC$ ($L=-1$)



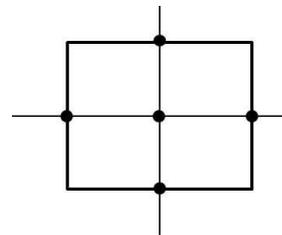
(c.1) 2^2 CCD(외접)



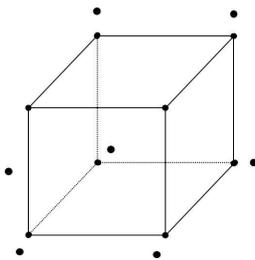
(c.2) 2^2 FCD(내접)



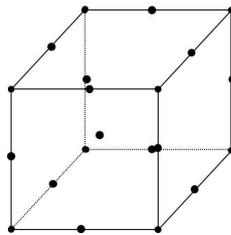
(c.3) 2^2 BBD



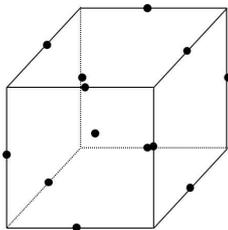
(d.1) 2^3 CCD(외접)



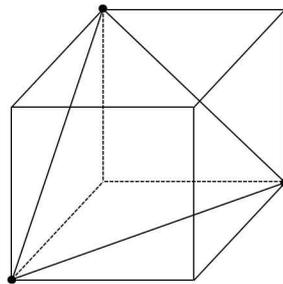
(d.2) 2^3 FCD(내접)



(d.3) 2^3 BBD

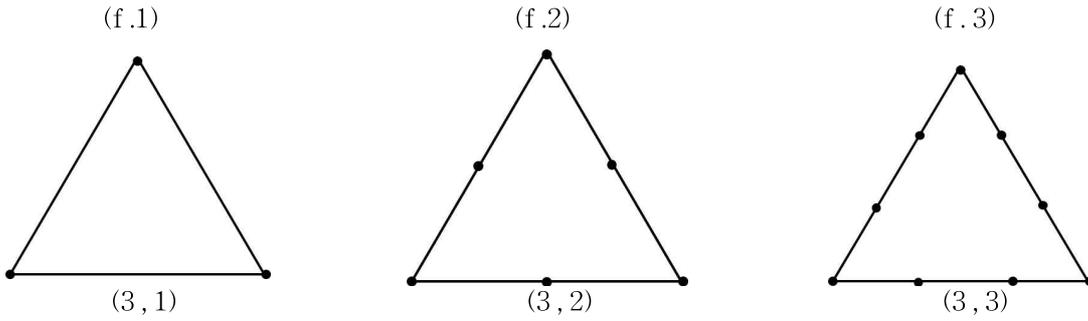


(e) 2^3 MD의 Simplex

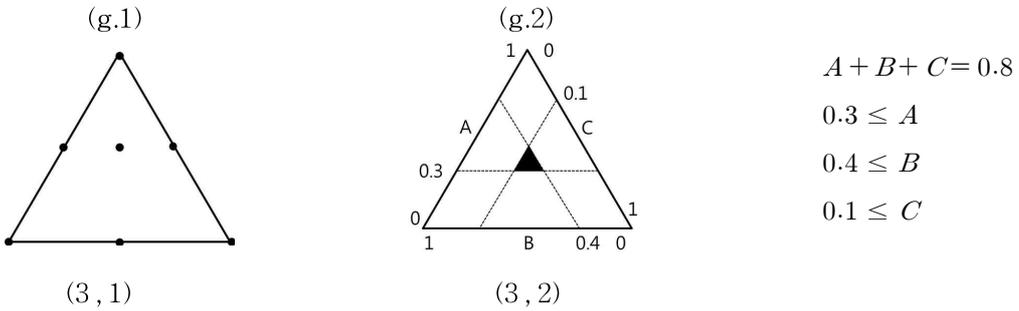


$A + B + C = 1$

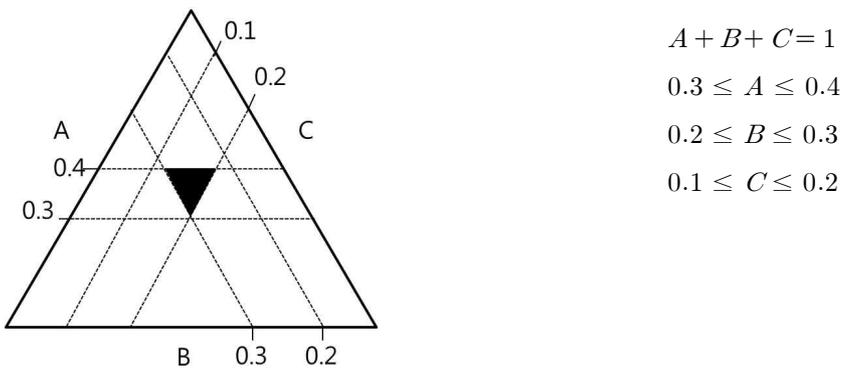
(f) SLD (q,m)



(g) SCD



(h) EVD



<그림2> 실험계획 모형

3.3 2수준 분할구 설계 및 분석

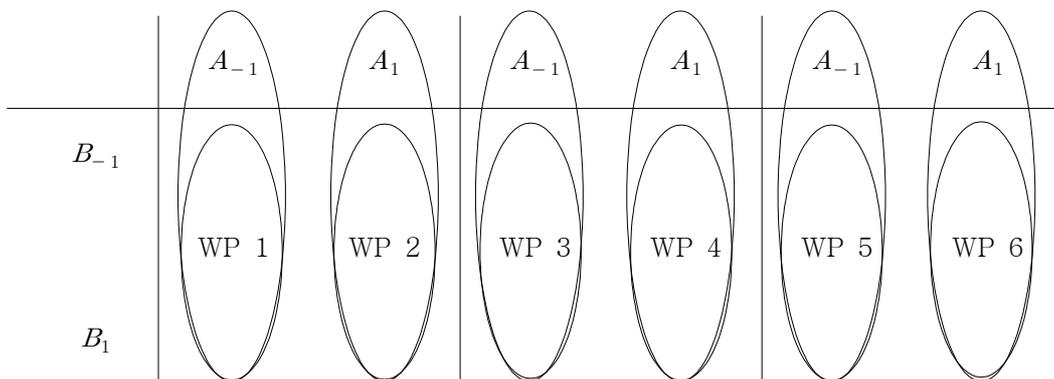
MINITAB16에서는 2.2절에서 BANOVA의 모형에 생성되는 인자를 모두 열거하고 오차항에 풀링되는 인자를 재배열하는 번거로움을 피하기 위해 2수준 분할구 설계 및 분석기능을 제공하고 있으나 3수준이상인 경우는 BANOVA의 기능을 사용해야 한다.

<표 2>에서는 1 HTC(Hard to Control), 1 Block(Field 반복), 6 Whole Plots, <표3>에서는 1 HTC, 1 Block, 4 Whole Plots, <표4>에서는 1 HTC, 2 Blocks, 4 Whole Plots, <표5>에서는 2 HTC, 2 Blocks, 8 Whole Plots에 대한 실험설계 데이터 배열과 ANOVA의 4가지 사례를 제시하였다.

<표 2> 2수준 분할구 사례 1 [6]
(a) 실험설계 : 1 HTC, 1 Block, 6 Whole Plots

표준순서	런순서	접유형	블럭할당	주구지시자	A[HTC]	B	반응
5	1	1	1	3	-1	-1	3
6	2	1	1	3	-1	1	5
11	3	1	1	6	1	-1	4
12	4	1	1	6	1	1	3
9	5	1	1	5	-1	-1	6
10	6	1	1	5	-1	1	7
3	7	1	1	2	1	-1	8
4	8	1	1	2	1	1	9
1	9	1	1	1	-1	-1	3
2	10	1	1	1	-1	1	4
7	11	1	1	4	1	-1	5
8	12	1	1	4	1	1	6

b) 데이터 배열과 Whole Plot



(c) ANOVA

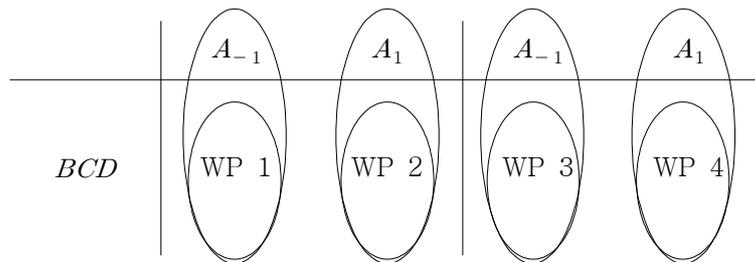
반응에 대한 분산 분석(코드화된 단위)						
출처	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A[HTC]	1	4.0833	4.0833	4.0833	0.46	0.536
WP 오류	4	35.6667	35.6667	8.9167	21.40	0.006
B	1	2.0833	2.0833	2.0833	5.00	0.089
A[HTC]*B	1	0.7500	0.7500	0.7500	1.80	0.251
SP 오류	4	1.6667	1.6667	0.4167		
총계	11	44.2500				

<표3> 2수준 분할구 사례 2 [6]

(a) 실험설계 : 1 HTC, 1 Block, 4 Whole Plots

표준순서	런순서	점유형	블럭할당	주구지시자	A[HTC]	B	반응
3	1	1	1	2	1	-1	2
4	2	1	1	2	1	1	3
2	3	1	1	1	-1	1	4
1	4	1	1	1	-1	-1	3
6	5	1	2	3	-1	1	2
5	6	1	2	3	-1	-1	3
8	7	1	2	4	1	1	4
7	8	1	2	4	1	-1	5

(b) 데이터배열과 Whole Pot



(c) ANOVA

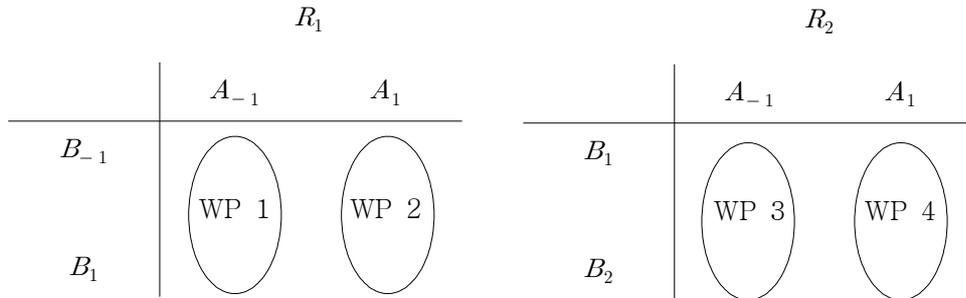
반응에 대한 분산 분석(코드화된 단위)						
출처	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A[HTC]	1	3.125	3.1250	3.1250	1.00	0.423
WP 오류	2	6.250	6.2500	3.1250	0.73	0.493
B	1	15.125	15.1250	15.1250	3.55	0.075
C	1	0.125	0.1250	0.1250	0.03	0.866
D	1	0.000	0.0000	0.0000	0.00	1.000
A[HTC]*B	1	6.125	6.1250	6.1250	1.44	0.245
A[HTC]*C	1	0.125	0.1250	0.1250	0.03	0.866
A[HTC]*D	1	2.000	2.0000	2.0000	0.47	0.501
B*C	1	6.125	6.1250	6.1250	1.44	0.245
B*D	1	2.000	2.0000	2.0000	0.47	0.501
C*D	1	0.000	0.0000	0.0000	0.00	1.000
SP 오류	19	80.875	80.8750	4.2566		
총계	31	121.875				

<표4> 2수준 분할구 사례 3

(a) 실험설계 : 1 HTC, 2 Blocks, 4 Whole Plots

표준순서	런순서	점유형	블럭할당	주구지시자	A[HTC]	B	C	D	반응
1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	4
8	2	1	1	1	-1	1	1	1	5
5	3	1	1	1	-1	-1	-1	1	3
3	4	1	1	1	-1	-1	1	-1	4
6	5	1	1	1	-1	1	-1	1	5
2	6	1	1	1	-1	1	-1	-1	6
7	7	1	1	1	-1	-1	1	1	7
4	8	1	1	1	-1	1	1	-1	8
22	9	1	1	3	-1	1	-1	1	9
20	10	1	1	3	-1	1	1	-1	5
24	11	1	1	3	-1	1	1	1	3
19	12	1	1	3	-1	-1	1	-1	1
17	13	1	1	3	-1	-1	-1	-1	2
21	14	1	1	3	-1	-1	-1	1	3
23	15	1	1	3	-1	-1	1	1	5
18	16	1	1	3	-1	1	-1	-1	6
13	17	1	1	2	1	-1	-1	1	7
12	18	1	1	2	1	1	1	-1	8
16	19	1	1	2	1	1	1	1	5
14	20	1	1	2	1	1	-1	1	4
11	21	1	1	2	1	-1	1	-1	6
15	22	1	1	2	1	-1	1	1	7
9	23	1	1	2	1	-1	-1	-1	5
10	24	1	1	2	1	1	-1	-1	4
31	25	1	1	4	1	-1	1	1	4
27	26	1	1	4	1	-1	1	-1	5
28	27	1	1	4	1	1	1	-1	4
29	28	1	1	4	1	-1	-1	1	1
32	29	1	1	4	1	1	1	1	5
26	30	1	1	4	1	1	-1	-1	7
30	31	1	1	4	1	1	-1	1	8
25	32	1	1	4	1	-1	-1	-1	6

(b) 데이터 배열과 Whole Plot



(c) ANOVA

반응에 대한 분산 분석(코드화된 단위)						
출처	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
블록	1	0.50000	0.50000	0.50000	0.11	0.795
A[HTC]	1	0.50000	0.50000	0.50000	0.11	0.795
WP 오류	1	4.50000	4.50000	4.50000	4.50	0.168
B	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	1.000
A[HTC]*B	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	1.000
SP 오류	2	2.00000	2.00000	1.00000		
총계	7	7.50000				

<표5> 2수준 분할구 사례 4

(a) 실험설계 : 2 HTC, 2 Blocks, 8 Whole Plots

표준순서	런순서	점유형	블링할당	주구지시자	A[HTC]	B[HTC]	C	반응
4	1	1	1	2	1	-1	1	2
3	2	1	1	2	1	-1	-1	3
1	3	1	1	1	-1	-1	-1	4
2	4	1	1	1	-1	-1	1	5
6	5	1	1	3	-1	1	1	2
5	6	1	1	3	-1	1	-1	3
7	7	1	1	4	1	1	-1	4
8	8	1	1	4	1	1	1	5
15	9	1	2	8	1	1	-1	7
16	10	1	2	8	1	1	1	8
12	11	1	2	6	1	-1	1	8
11	12	1	2	6	1	-1	-1	7
9	13	1	2	5	-1	-1	-1	6
10	14	1	2	5	-1	-1	1	5
14	15	1	2	7	-1	1	1	4
13	16	1	2	7	-1	1	-1	5

(b) 데이터 배열과 Whole Plot

		R_1		R_2	
		A_{-1}	A_1	A_{-1}	A_1
B_{-1}	C_{-1}	WP 1	WP 3	WP 5	WP 7
	C_1				
B_1	C_{-1}	WP 2	WP 4	WP 6	WP 8
	C_1				

(c) ANOVA

반응에 대한 분산 분석(코드화된 단위)							
출처	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
블럭	1	30.2500	30.2500	30.2500	10.37	0.049	
A[HTC]	1	6.2500	6.2500	6.2500	2.14	0.239	
B[HTC]	1	0.2500	0.2500	0.2500	0.09	0.789	
A[HTC]*B[HTC]	1	6.2500	6.2500	6.2500	2.14	0.239	
WP 오류	3	8.7500	8.7500	2.9167	4.86	0.061	
C	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	1.000	
A[HTC]*C	1	1.0000	1.0000	1.0000	1.67	0.253	
B[HTC]*C	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	1.000	
SP 오류	5	3.0000	3.0000	0.6000			
총계	15	55.7500					

4. 결론

본 연구에서는 MINITAB16에서 제공하는 분산분석과 실험계획의 적용방안을 실험의 랜덤화 순서 및 기하학적 인자수준의 관점에서 제시하였다. 특히 최근 장치설비나 자동화 설비에 대한 생산기술 조건이 정교화되고 대규모됨에 따라 완전랜덤화 설계(CRD)를 요구하는 품질실험설계 방법이 불가능해져 HTC를 고려하는 분할구설계(SPD)에 대한 실무자의 요구가 많아져 본 연구에서는 균형분산분석과 2수준 분할구 실험계획에 대한 분석 방안을 다양한 사례와 함께 제시하였다. 또한 기하학적 관점에서 완전요인설계(CFD)의 직교계획을 모형의 차수에 따라 반응표면설계(RSD)와 혼합물설계(MD)로 확장하는 특징을 논의하였다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 최성운, "K" 요인배치법에서 포화실험에 의한 요인효과의 검정“, 대한안전경영과학회 춘계학술대회 발표문집, (2008) : 295-299.
- [2] 최성운, “품질실험계획 모형의 특징 및 적용 방안”, 대한안전경영과학회 춘계학술대회 발표문집, (2010) : 519-524.
- [3] 최성운, “타구치 로버스트 계획에서 응용모형의 개발”, 대한안전경영과학회지, 13(1)(2011) : 203-209.
- [4] Antony J., Design of Experiments for Engineers and Scientists, Butterworth -Heinmann, 2003.
- [5] Goos P., Jones B., Optimal Design of Experiments : A Case Study Approach, John Wiley & Sons, Inc, 2011.
- [6] Poctner K.J., Kowalski S.M., "How to Analyze a Split-plot Experiment", Quality Progress, (December)(2004) : 67-74.
- [7] <http://www.minitab.com>