

교호작용을 고려한 이산설계 공간에서의 Steering System 설계 Design of Steering System Considering Interaction Effects in Discrete Design Space

권우성† 박광서* 김영호** 김인동***
Woosung Kwon, Kwangseo Park, Youngho Kim and Indong Kim

Key Words : Interaction(교호작용), Orthogonal Array(직교배열표), Factor(인자), Level(수준), Analysis of variance (분산분석), Analysis of means (평균분석), Additivity(가법성)

ABSTRACT

The design of experiment(DOE) with orthogonal arrays is adopted when the engineering design is needed in a discrete design space. In this research, a design process with orthogonal array is performed to obtain the optimum design which satisfy the frequency target of the steering system. The optimum design is determined from the analysis of means(ANOM) and sensitivity information about design variables is evaluated by the analysis of variance(ANOVA). Interactions between design variables are investigated to achieve additivity which should be valid in using orthogonal array. It is shown that when strong interactions exist, the DOE process with orthogonal array considering interaction is introduced to find out optimum design.

1. 서론

설계 공간은 크게 연속설계 공간과 이산설계 공간으로 나누어지며, 구조물 설계에서는 규격화된 단면치수의 경우와 같이 실제로 불연속으로 존재하는 이산설계 변수인 경우가 많다.¹⁾ 기존의 이산 설계법은 구조설계시 많은 함수 계산이 요구되지만 일부실시법 중의 하나인 직교배열표를 사용하는 경우, 이러한 함수 계산에 대한 노력을 상당히 줄일 수 있다. 동시에 설계변수에 해당하는 인자(Factor)들의 적정한 수준(Level)과 각 인자들의 중요도를 파악하면 효율적으로 설계에 접근할 수 있다.

직교배열표에 의한 실험계획법에서는 특성치에 대한 설계변수들의 상호작용을 교호작용이라 하고, 이러한 상호작용의 영향이 설계 목적에 반항적인 경향을 가진다면 서로 다른 설계인자 효과의 방향을 변화시킨다.²⁾ 설계변수들 간에 교호작용의 기여도가 큰 경우에는 이를 고려한 직교배열표를 이용하여, 설계인자들의 최적 수준과 기여도 파악시 교호작용을 반영해 주어야 한다.

본 연구에서는 이산설계 공간으로 정의된 조향

계 설계시, 특정한 고유진동수를 확보하기 위해 직교배열표를 이용한 최적설계 방법을 적용하였다 그리고 이러한 직교배열표를 이용한 행렬실험으로부터 나온 최적해들이 타당성을 갖는지 파악하기 위해 가법성(Additivity) 검토를 하여 설계 변수들 간에 교호작용 존재 여부를 파악하였다.²⁻³⁾ 교호작용을 선정하기 위한 기준으로는 설계 변수들의 수준내에서의 구간 민감도의 의미를 가지는 제곱합(Sum of squares)을 이용하였다. 교호작용이 존재하는 것이 확인된 경우 이를 고려한 직교배열표를 작성하여 행렬실험을 수행함으로써, 설계변수들 간의 상호작용을 추정하고 이 효과가 반영된 최적 수준을 구하였다.

2. 직교배열표를 이용한 행렬실험

2.1 직교배열표의 소개

공학적 의사결정에 수반되는 인자들에 대한 신뢰성 있는 정보를 얻기 위한 과정에서 실험계획법이 많이 도입되고 있다. 실험계획법의 종류는 여러 가지가 있으며 가장 정확한 방법은 모든 경우를 고려하는 전조합 실시법(Full factorial experiment)이다. 그러나 이것은 실제 문제에 적용시 설계변수 증가에 따른 실험횟수의 급격한 증가로 인해 바람직하지 못하다.⁴⁾ 실험계획법 중에서도 불필요한 교호작용이나 고차의 교호작용은 구하지 않고 각 인자의 조합 중에서 일부만 선택하여 실험을 실시하는 방법을 일부실시법이라고

† GM Daewoo Auto & Technology
E-mail : woosung.kwon@gmdat.com
Tel : (032) 520-2545, Fax : (032) 520-4623

* GM Daewoo Auto & Technology

** GM Daewoo Auto & Technology

*** GM Daewoo Auto & Technology

한다. 일부실시법 중에서 몇 가지 인자들을 동시에 연구하기 위하여 여러 가지 형태의 행렬실험이 사용되는데 이는 연구하고자 하는 제품 또는 공정의 다양한 인자들의 값을 변화시켜 가면서 행하는 일련의 실험들로 구성된다.

한 행렬실험이 실행되고 난 후, 모든 실험 데이터들을 분석하여 여러 인자들의 효과를 결정하게 되는데, 직교배열이라는 특수한 행렬을 사용하여 행렬실험을 수행하면 인자들의 효과를 효율적으로 결정할 수 있다. 설계 인자간에 직교성(Orthogonality)을 갖도록 실험계획하여 데이터를 구하면 같은 실험횟수라도 검출력이 더 좋은 검증을 할 수 있고, 정도가 더 좋은 추정을 할 수 있는 것으로 밝혀져 있다.²⁾

데이터 분석 방법으로는 분산분석과 평균분석이 많이 사용된다. 분산분석은 특성치의 산포를 제곱합으로 나타내고 이 제곱합을 실험과 관련된 요인으로 분해하여, 오차에 비해 특히 큰 영향을 주는 요인을 파악할 수 있다. 평균분석은 전체 평균으로부터 그 인자수준에 의한 결과의 편차로 정의되는 인자수준의 효과를 추정하는 것이며, 최적 인자수준의 선정에 반영된다.

행렬실험을 행하는 주요 목적은 제품 또는 공정의 설계를 최적화하는 것이다. 어떤 인자의 최적 수준이란 실험영역 내에서 구하고자 하는 특성치를 최대, 최소 또는 특정값으로 산출하는 수준이며 인자수준에 따른 특성치의 변동이 가법모델(Additive model)을 따른다면, 주효과와 추정치를 사용하여 최적 수준을 결정할 수 있다. 가법 모델은 여러 인자들의 총 효과는 개별 인자효과의 합과 같다는 것을 나타낸다.

이러한 직교배열표를 통한 실험계획법이 가지는 제약조건으로는 직교배열표 사용시 설계범위가 한정된다는 점이다. 아울러 희생되는 교호작용이 존재하고 있는가의 여부 혹은 무시할 수 있을 정도로 적은가의 기술적 검토가 필요하다.

2.2 교호 작용

실험계획법에서 2 인자 사이의 특정한 인자수준의 조합에서 발행하는 효과를 교호작용이라 부른다. 예를 들면, 인자 A의 효과가 인자 B의 수준에 따라 변화하는 경우에 A, B 인자간에 교호작용 A × B가 존재한다고 볼 수 있다. 시스템의 응답 특성치 η 가 인자 A, B의 수준에 따라 변화하므로 η 를 A_i, B_j 의 함수로 볼 때 $\eta = f(A_i, B_j)$ 으로 표

현할 수 있는데, 만약 모든 i, j 에 대하여 어떤 함수 h, g 가 존재하여

$$\eta = f(A_i, B_j) = h(A_i) + g(B_j) \quad (1)$$

과 같이 표현되면 A, B 간에 교호작용은 존재하지 않는다. 이것은 직교배열표를 이용한 실험계획법의 성립 조건, 즉 응답과 인자 수준과의 관계를 근사적으로 나타내기 위해서 필요한 가법모델의 성립을 의미한다.

교호작용의 개념은 Figure 1로부터 쉽게 이해할 수 있다. (a)는 교호작용이 없는 경우이며 (b)는 교호작용이 있는 경우이다.

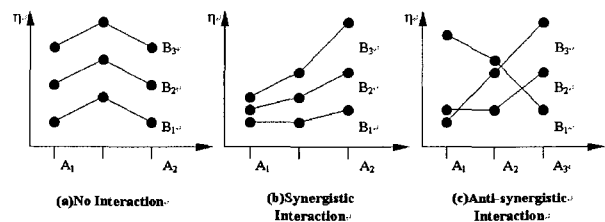


Figure 1. Example of interactions.

구조물 설계시 특성치에 대하여 설계변수 사이에 존재하는 교호작용은 대체로 (b)와 같은 동향적 교호작용으로 분류할 수 있지만 제어 인자와 수준을 적절히 선택하지 못했거나, 목적함수를 잘못 선정했을 때 (c)와 같은 반향적 교호작용이 발생할 가능성이 있다. 반향적 교호작용은 어떤 설계인자의 수준이 변경될 때 성능에 대한 다른 설계인자 효과의 방향을 변화시키기 때문에 이를 고려하지 않은 직교배열표로부터 구한 최적조합은 최적해로서의 타당성을 상실하게 된다.

실제 문제에서 완벽하게 교호작용이 존재하지 않은 모델을 구성하는 것은 불가능하며 오히려 이러한 설계변수나 인자들간 작용의 성향이나 크기를 측정할 수 있다면, 직교배열표를 사용하여 반향적 교호작용에서 얻은 정보를 최적 응답을 나타내는 인자수준을 결정하는데 사용할 수 있다.

직교배열표상에서 인자들과 교호작용을 배치할 때 인자와 교호작용의 효과를 서로 분리할 수 없게 배치하는 경우를 교락(Confounding)이라 하며, 특정한 두 인자 사이의 교호작용을 추정하기 위해서는 교락된 인자의 열을 사용하지 말아야 한다. 다구찌가 개발한 선점도법과 교호작용표를 이

용하면 교호작용을 고려한 직교배열표를 계획할 수 있다.⁵⁾

교호작용을 추정하기 위해서는 2 원표를 작성한다. 2 원표를 쓰는 이유는 교호작용을 분리하여 구할 수 있고, 동시에 인자의 효과에 대한 검출이 용이하기 때문이다. 또한 강한 반향적 교호작용이 있는 경우 2 원표로부터 최적 수준을 결정할 수 있다.^{2, 6)}

3. 직교배열표를 이용한 조향계 설계

3.1 문제 설정

차량의 조향계에 요구되는 NVH 특성을 만족시키기 위해, 이에 상응하는 동강성 확보가 요구된다. 조향계 진동을 최소화하기 위해서 설계 단계에서 목표 주파수(f_t)를 설정하게 된다. 초기 설계 인자에 대한 Normal Mode 해석 결과는 목표 주파수를 만족하지 못했기 때문에 Case Study 가 요구되었다. 이 과정에서 여러 설계인자들의 효과를 파악하고, 최적 수준을 결정하기 위해 직교배열표를 이용한 행렬실험을 수행하였다.

Figure 2 에 행렬실험 대상 Model 을 나타내었다.

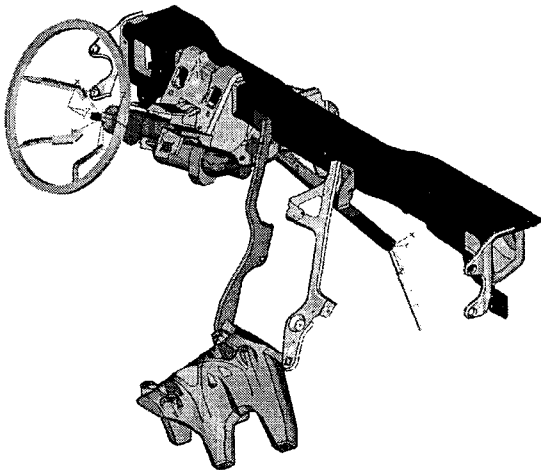


Figure 2. Steering system model

(1) 목적함수 설정

본 설계 문제는 목표 주파수를 만족하는 설계 변수들을 결정하는 망목특성(Nominal the best type characteristic) 문제로 볼 수 있다. 더 높은 고유진동수를 얻는다는 것은 동특성 관점에서는 유리한 것이지만, Over-design 된 결과를 얻는

것이므로 설계 관점에서는 바람직하지 못하다. 따라서 식(2)의 목적함수를 최대화시키는 문제로 정의할 수 있다.

$$\eta = -10 \log_{10}(\mu - f_t)^2 \quad (2)$$

이 식은 f_t 와 가장 근접한 최적해를 얻기 위한 것으로서, log 를 취한 이유는 둘 이상의 설계인자의 효과에 대한 가법성을 더 잘 나타내기 위함이며, 단조 증가 또는 단조 감소함수로 설정할 수 있기 때문이다.

(2) 설계 인자 및 수준 설정

설계 인자는 조향계에서 설계변경이 가능한 부품을 중심으로 선정하였다. 먼저 각 부재의 Panel 두께를 대상으로 1 차 Vertical Mode 에 대한 민감도 해석을 수행하여서 기여도가 높은 Panel 을 5 개 선정하였다. Figure 3 에 1 차 Vertical Mode 에 대한 부재 두께들의 민감도 결과를 나타내었다. 이 과정에서 Vertical Mode 에 대한 기여도는 높지만 두께 증가에 따른 질량증가가 큰 부재는 제외하였다.

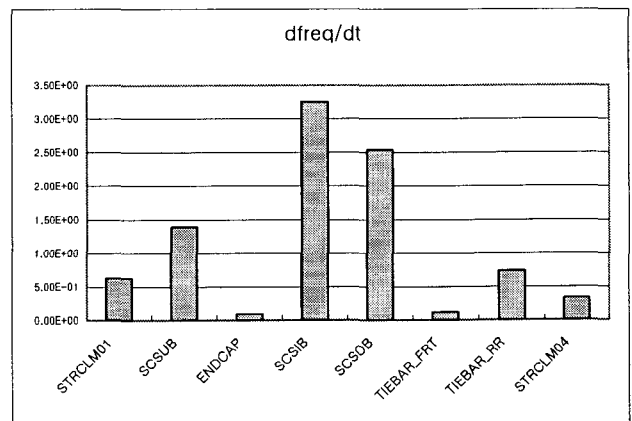
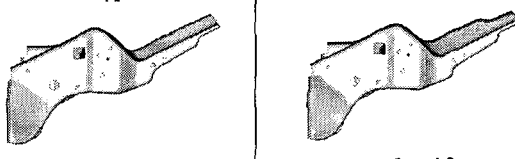
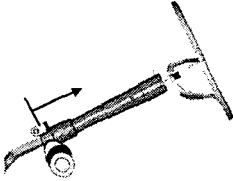
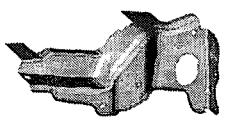

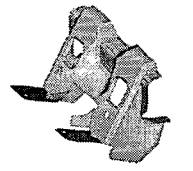


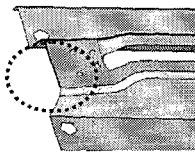


Figure 3. Sensitivity analysis of panel thickness

그리고, Panel 두께 외에 EPS Sub-part 의 위치, SCSIB 와 SCSOB 사이의 용접점 수, SCSIB 와 SCSOB 의 Geometry 를 설계변수로 추가하여 총 8 개의 변수들을 설계인자로 설정하였다. Table 1 에 설계인자들과 그에 대한 수준들을 정리하였다.

Table 1. Factors and their levels

Factor	Level		
	1	2	3
A  Level 1 Level 2			
B  EPS Sub-Part Position	0 mm	15 mm	30 mm
C  Steering Column Support Inner Bracket (SCSIB) Thickness	1.5 mm	2.3 mm	3.1 mm
D  Steering Column Support Outer Bracket (SCSOB) Thickness	1.2 mm	2.0 mm	2.8 mm
E  Steering Column Support Upper Bracket (SCSUB) Thickness	1.5 mm	2.0 mm	2.5 mm
F  Steering Column #01 (SCSCLM01) Thickness	2.0 mm	2.5 mm	3.0 mm
G	2.6 mm	3.2 mm	3.8 mm

 Steering Column #04 (SCSCLM04) Thickness			
H  Number of Spot Welds	2	3	4

각 수준에서 밀줄이 있는 값들은 기준 수준, 즉 초기 설계 값을 의미한다. Panel 두께의 경우 몇몇 설계인자들의 수준간의 비율이 2 배가 넘는데, 이렇게 수준의 간격을 넓게 잡음으로써 설계인자가 피해야 할 인자 수준을 쉽게 파악할 수 있다. 일반적으로 처음 실험계획에서 수준간격을 넓게 잡고, 후속 정밀 실험에서 수준간격을 좁혀 잡도록 하는 방법이 널리 사용되고 있다.

3.2 교호 작용을 고려하지 않은 행렬실험

(1) 직교배열 구성

문제에 맞는 직교배열표를 선택하는 첫 단계로써, 선택한 모든 설계인자에 대한 검토를 위하여 필요한 최소한의 실험수를 나타내는 총 자유도를 계산하여야 한다. Table 2 에서와 같이 본 연구에서는 총 자유도는 16 이다.

Table 2. Degrees of freedom

Factor	Degrees of freedom
Overall mean	1
2 Level Factor : 1	2 - 1 = 1
3 Level Factor : 7	7 × (3 - 1) = 14
Interactions	None
Total	16

따라서 Taguchi 가 제안한 18 개의 표준 직교배열표로부터 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 을 선택하여 행렬실험을 수행한다. 본 행렬실험에서 각 행들은 Normal Mode 해석을 의미하며 MSC/NASTRAN SOL 103 을 이용하여 해석을 수행하였다. L_{18} 직교배열표와 이를 이용한 행렬실험 결과를 Table 3 에 정리하였다. 결과값 η 은 1 차 Vertical Mode 에 대한 고유진동수 값을 목적함수 식 (2) 에 대입하여

구한 것이다.

Table 3. Experiment layout using array L₁₈

Expt. No.	Column Number and Factor Assigned								Results η
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	-10.3500
2	1	1	2	2	2	2	2	2	8.8282
3	1	1	3	3	3	3	3	3	2.8618
4	1	2	1	1	2	2	3	3	-7.7271
5	1	2	2	2	3	3	1	1	12.0935
6	1	2	3	3	1	1	2	2	18.0688
7	1	3	1	2	1	3	2	3	-4.5803
8	1	3	2	3	2	1	3	1	16.5246
9	1	3	3	1	3	2	1	2	6.8188
10	2	1	1	3	3	2	2	1	19.6426
11	2	1	2	1	1	3	3	2	0.3032
12	2	1	3	2	2	1	1	3	9.6008
13	2	2	1	2	3	1	3	2	0.1702
14	2	2	2	3	1	2	1	3	10.1448
15	2	2	3	1	2	3	2	1	16.1878
16	2	3	1	3	2	3	1	2	5.9239
17	2	3	2	1	3	1	2	3	-1.1784
18	2	3	3	2	1	2	3	1	23.6223

(2) 인자 효과의 추정(분산분석, 평균분석)

행렬실험으로부터 구한 결과값(η)들에 대한 분산분석과 평균분석을 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Analysis of Results

Number of row	Factor	Level Means			Sum of Squares
		1	2	3	
1	A	4.7265	9.3797		97.4355
2	B	5.14778	6.15630	7.85514	32.9435
3	C	0.51321	7.78598	12.86004	462.1671
4	D	0.67570	8.28911	12.19441	411.7920
5	E	6.20145	8.22303	6.73475	13.1723
6	F	5.47266	10.22161	5.46496	90.3565
7	G	5.70529	9.49478	5.95915	53.8507
8	H	12.95347	6.68549	1.52026	393.3706

제공합의 값이 상대적으로 크게 나타나는 SCSIB, SCSOB, 용접점이 목적함수에 대해 영향력이 큰 인자들이다. B, E, F, G와 같이 제공합이 상대적으로 작은 인자에 대한 제공합은 오차항으로 설정하여 오차분산(σ_{error}^2)을 추정하는데 사용한다. 평균분석을 통해서 예측된 최적 조합은 A₂B₂C₃D₃E₂F₂G₂H₁이다. 이때 최적 조합에서의 가법 모델에 의한 예측치는 26.23이다.

(3) 가법성 검토

식(2)의 목적함수에 대해서 직교배열표의 평균 분석을 통해 구한 예측치와 최적조건에서 실험을

통해 구한 실측치를 비교하여 가산성 성립 여부를 평가한다. 최적 조합 A₂B₂C₃D₃E₂F₂G₂H₁에서 예측치는 26.23이고, 최적 조합에서 실제 해석을 통하여 얻은 실측치는 7.39이다.

오차항으로 설정된 B, E, F, G의 제공합에 대한 합을, 각 인자의 자유도의 합으로 나누어서 오차 분산(σ_{error}^2) 23.79를 구할 수 있다. 유효 반복수 $1/n_0$ 은 0.44이므로, 95% 신뢰도에서의 예측오차 범위 $2\sigma_{pred}$ 는 식(3)으로부터 6.50가 된다.

$$2\sigma_{pred} = 2\sqrt{1/n_0 \times \sigma_{error}^2} \quad (3)$$

즉 예측치와 실측치의 차이가 6.50보다 작으면 95% 신뢰도 범위에서 가산성을 만족하는 것이다. 이 문제에서는 예측치와 실측치의 차이는 18.84이므로 신뢰도 범위보다 크다. 따라서 가산성이 성립하지 않을 가능성, 즉 교호작용이 존재할 가능성을 고려해야 한다.

Table 3의 결과로부터 최대 고유진동수를 목적함수로 하는 경우에는 예측오차 범위 $2\sigma_{pred}$ 는 0.58이며, 예측치와 실측치의 차이는 0.36이므로 가법모델을 만족한다. 즉 목적함수를 어떻게 설정하는가에 따라 가법모델 성립여부가 달라진다는 연구에서 사용한 목적함수 식(2)는 결과값들에 대한 분산분석 및 평균분석을 수행할 때, 목적함수의 한 성분인 $(\mu - f_i)^2$ 항에 의한 영향을 받는다. 일반적으로 $(\mu - f_i)^2$ 과 같은 항을 포함시키는 목적함수는 강한 교호작용을 유발하는 것으로 알려져 있다.²⁾

3.3 교호 작용을 고려한 행렬실험

본 설계 문제에서는 교호작용에 대해 주어진 사전 정보가 없으므로 행렬실험을 계획하기 전에 교호작용이 존재한다고 판단되는 인자들을 선정해야 한다. 주어진 수준에서 제공합이 상대적으로 큰 인자 사이에서 교호작용이 일어날 가능성이 크다고 보고, 각 인자들 사이의 2인자 교호작용을 선정하였다.

2수준 인자에 해당하는 SCBIB와 SCSOB의 형상(Factor A)은 행렬실험 결과, 수준 2에 해당하는 형상이 동강성 특성에 유리하므로, 이 설계 인자에 대해서 수준을 고정해 줌으로써 설계인자 수를 1개 줄여주었다. 이것은 직교배열표의 크기를 줄여서 행렬실험 횟수를 감소시키기 위함이다.

고려된 설계인자와 교호작용에 대한 자유도를 구하면 Table 5 와 같이 27 이므로 직교배열표 $L_{27}(3^{13})$ 을 선택한다.

Table 5. Degrees of freedom

Factor	Degrees of freedom
Overall mean	1
3 Level Factor : 7	$7 \times (3 - 1) = 14$
Interactions : 3 C × D, C × E, D × E	$(3 - 1) \times (3 - 1) \times 3 = 12$
Total	27

인자와 교호작용을 배치하기 위하여 교호작용표나 Figure 3 과 같은 선점도를 이용한다.^{5, 6)} 3 수준일 때 2 인자 교호작용은 자유도가 4 이므로 2 개의 열에 배치되어야 한다.

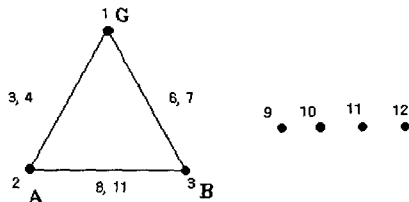


Figure 3. Standard linear graph of $L_{27}(3^{13})$

행렬실험에 대한 결과는 Table 6 에 나타나 있다. Table 7 에서와 같이 목적함수에 대한 제공합을 구한 결과, 교호작용 C × E, D × E 가 유의하다고 판단되며 이것은 Figure 4 에서 인자간 교호작용의 효과가 반항적임을 확인할 수 있다.

Table 6. Experiment layout using array L_{27}

Expt. No.	Column Number and Factor Assigned													Results (a)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	C	D	CD	CD'	E	CE	CE'	DE	F	G	DEE'	H	H	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-10.0297
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-7.8525
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-6.1922
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	-4.7116
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	3.1841
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	-2.2682
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	8.3406
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	0.5430
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	19.6343
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	-3.1564
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	0.3455
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	-0.3122
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	3.0844
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	3.3065
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	40.6303
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	8.8957
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	12.6157
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	12.4721
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	6.5543
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	5.5819
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	10.8788
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	11.1630
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	21.0710
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	7.3064
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	47.9588
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	4.9329
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	8.1321

Table 7. Analysis of Results

Number of row	Factor	Level Means			Sum of Squares
		1	2	3	
1	C	0.0720	8.6535	13.7310	857.9796
2	D	-0.4647	9.1962	13.7250	945.5760
3,4	C×D	5.4944	6.0117	10.9505	216.8638
5	E	7.5666	4.8587	10.0313	120.4895
6,7	C×E	8.6639	3.4462	10.3464	613.8999
8,11	D×E	6.3476	5.3166	10.7923	487.6651
9	F	2.7791	15.2298	4.4476	822.1808
10	G	9.3395	4.1949	8.9221	146.9653
12	H	9.8915	4.2019	8.3631	156.0735
13	B	9.9594	5.4850	7.0121	93.1182

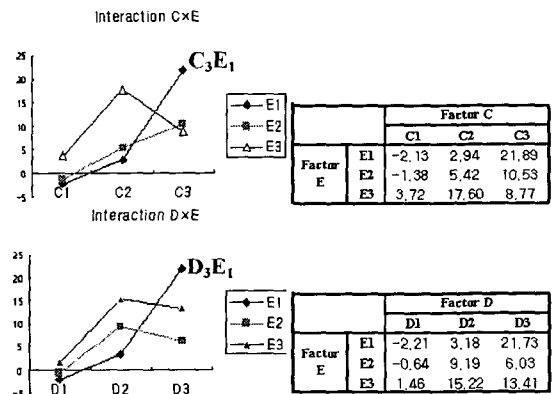


Figure 4. 2-way table to estimate interactions

2 원표로부터 최대값을 가지는 각 수준들을 구하여 최적 수준에 반영함으로써 교호작용이 고려된 최적 조합 $B_1C_3D_3E_1F_2G_1H_1$ 을 얻을 수 있으며, 이 때 실측치는 28.02 이다. 이 값은 단순히 Table 7 에서 평균분석을 통해서 구한 최적수준 $B_1C_3D_3E_3F_2G_1H_1$ 으로부터 구한 실측치 9.07 보다 더 최적화된 값을 알 수 있었다. 그리고 Table 6 의 25 행에서 $B_3C_3D_3E_1F_2G_1H_1$ 인 경우

에 대한 결과가 수준 B₁C₃D₃E₁F₂G₁H₁ 보다 더 최적화된 값이었다. 두 경우를 비교해 보면 수준이 일치하지 않는 B 인자의 제공합 값이 상대적으로 작으므로 기여도가 낮은데 반해, 주요인자에 해당하는 C, D, E 값의 수준은 일치하므로 본 행렬실험으로부터 추정된 최적 수준은 타당하다고 볼 수 있다.

지금까지 교호작용 고려 여부에 따라 행렬실험을 수행한 결과들을 Table 8 에 정리하였다. 교호작용이 적절히 고려된 경우가, 교호작용을 고려하지 않은 행렬실험보다 목표 주파수에 가까운 최적 수준을 산출하였다.

Table 8. The optimum level of matrix experiments

Factor	A	B	C	D	E	F	G	H	Result(<i>f</i>)
L ₁₈	2	2	3	3	2	2	2	1	7.39
L ₂₇	2	1	3	3	1	2	1	1	28.02

4. 결론

이산 설계공간으로 정의된 조향계 설계시, 특정한 고유진동수를 확보하기 위해 직교배열표를 이용한 최적설계를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 조향계에 대해 동특성을 만족하는 설계시 직교배열표를 도입하여 최적해를 선정할 수 있으며, 교호작용 존재 여부를 가법성 검토를 통해 판단할 수 있다.
- 2) 교호작용의 존재가 판단되면, 특성치에 대해 설계인자들의 구간 민감도의 의미를 지니는 제공합을 기준으로 교호작용 인자들을 선정할 수 있다. 그리고 이러한 교호작용들의 유해성 여부 - 반향적 교호작용을 판단하기 위해 2 원표를 작성하고, 이를 최적 수준에 반영함으로써 교호작용을 최적 수준에 반영할 수 있다.
- 3) 본 연구를 통하여 교호작용은 목적함수 설정에 의해서 발생할 수 있음을 확인하였다. 이러한 목적함수 설정이 불가피한 경우에, 교호작용을 고려한 직교배열표를 이용하여 행렬실험을 수행함으로써 최적 수준을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- (1) Park G. J., Park Y. S., and Lee S. H., "Comparisons of the Direct and Approximation Method in Structural Optimization, Proceeding of Pan-Pacific Conference for Computer Engineering, Seoul, Korea, Nov., 1993.
- (2) Madhav S. Phadke, "Quality Engineering Using Robust Design", Prentice Hall, pp.80 – 82, 1989.
- (3) K. H. Lee, K. H. Hwang, W. S. Kwon and G. J. Park "Structural Design Considering Interactions in Discrete Design Spaces" KSME, Vol. A, pp.708 – 713, 2000.
- (4) Lee K. H., Eom I. S., Park G. J. and Lee W. I. "Robust Design for Unconstrained Optimization Problems Using the Taguchi Method." AIAA Journal, Vol.34, No. 5, pp.1059-1063., 1996.
- (5) Taguchi G. and Konishi S. "Orthogonal Arrays and Linear Graphs." Dearborn, MI : ASI Press, 1978.
- (6) Peace G. S., "Taguchi Methods : A hands-on Approach", Addison Wesley, Massachusetts., 1995.