

## 로버스트설계에서 최적화방안에 대한 비교 연구<sup>1</sup>

권용만<sup>2</sup> · 문인숙<sup>3</sup>

### 요약

로버스트설계는 품질공학에서 품질특성치의 수행변동(performance variation)을 줄이는데 있다. 다구찌가 제안한 파라미터설계는 아주 많은 장점을 가지고 있으나 몇 가지 단점이 있다. 그 중에서 파라미터설계에 있어서 교차배열은 제어인자와 잡음인자의 모든 교호작용효과를 고려한 실험배치이기 때문에 많은 실험횟수를 필요로 하는 단점이 있다. 그래서 대안방법으로 Welch등(1990)이 제안한 통합배열이 고려된다. 본 논문에서는 로버스트설계를 위한 다구찌의 파라미터설계(혹은 교차배열방법론)와 통합배열방법론을 시뮬레이션을 통하여 비교 연구하고자 한다.

주제어: 로버스트설계, 교차배열방법론, 통합배열방법론

### 1. 서론

다구찌(1987)는 제품의 설계단계에서부터 품질관리의 전 분야에 걸쳐서 품질을 개선하는데 있어서 큰 기여를 하였다. 이전의 실험계획법에서는 단지 품질특성치의 평균을 개선하는데 초점을 두고 최적조건을 찾는 경향이 있었으나 다구찌 품질공학에서는 품질특성의 평균뿐만 아니라 변동(분산 혹은 표준편차)을 가능한 줄이는 것을 목적으로 한다는 점에서 차이가 있다. 다구찌 파라미터설계에서 직교배열표를 이용한 교차배열(product array)은 제어인자와 잡음인자의 모든 교호작용을 고려한 실험배치를 하여 자료분석을 하였다. 교차배열에서 잡음인자는 품질특성치의 품질변동을 유발시키는 역할을 함으로써 변동에 둔감하면서 동시에 품질특성치의 평균을 목표치에 접근하는 제어인자의 최적조건을 찾을 수 있는 로버스트설계를 가능하게 한다.

파라미터설계에서 교차배열은 제어인자와 잡음인자의 모든 교호작용을 고려함으로써 실험수가 지나치게 많을 뿐 아니라 축차실험을 고려하지 않는 등 많은 단점을 가지고 있다. 따라서 실험수를 줄일 수 있을 뿐 아니라 기존의 잘 정립된 실험계획법 이론을 이용한 대

<sup>1</sup>본 논문은 1997년도 조선대학교 학술 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

<sup>2</sup>광주광역시 동구 서석동 조선대학교 자연과학대학 전산통계학과 조교수

<sup>3</sup>광주광역시 동구 서석동 조선대학교 자연과학대학 전산통계학과 박사과정

체방안이 연구되고 있다. 그 중에서 통합배열방법론이 Welch, Yu, Kang와 Sacks(1990)에 의해 처음으로 제안되었다. 그 이후로 Vining와 Myers(1990), Myers, Khuri와 Vining(1992) 그리고 Box와 Jones(1992)등에 의하여 연구되었다. 통합배열이란 잡음인자를 제어인자와 같이 하나의 실험배열에 배치하는 실험방법이다.

본 논문에서는 로버스트설계를 위한 최적화방법에서 교차배열을 이용한 교차배열방법론(혹은 다구찌의 파라미터설계)과 통합배열을 이용한 통합배열방법론을 시뮬레이션을 통하여 비교 연구하고자 한다.

## 2. 통합배열방법론에서 수행측도

Box와 Jones(1992)는 목표치에 가까운 평균을 갖는 것과 잡음인자로 인하여 생기는 변동을 줄이는 두 가지 목적들 사이의 가중치 합을 최소화하는 제어인자의 조건을 찾는 방법을 제시하였다. 그들이 제안한 통합배열에서 변동에 로버스트한 제어인자의 최적조건을 찾는 방안을 설명하고자 한다. 우선 품질특성치( $y$ )를 제어인자( $\mathbf{x}$ )와 잡음인자( $\mathbf{z}$ )들의 일차모형으로 표현할 수 있다고 가정하자.  $n$ 개의 제어변수  $x_1, x_2, \dots, x_n$ 과  $m$ 개의 잡음변수  $z_1, z_2, \dots, z_m$ 이 있다면  $y$ 는 다음과 같이 다시 표현될 수 있다.

$$y(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{j=1}^m \gamma_j z_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \delta_{ji} x_i z_j + \epsilon, \quad \epsilon \sim N(0, \sigma^2).$$

위 식을 행렬로 나타내면

$$y(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = \beta_0 + \mathbf{x}'\underline{\beta} + \mathbf{z}'\underline{\gamma} + \mathbf{z}'D\mathbf{x} \quad \text{단, } \underline{\beta} : n \times 1, \quad \underline{\gamma} : m \times 1, \quad D : m \times n$$

이 되고 최소제곱추정(least square estimate)법에 의하여

$$\hat{y}(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = b_0 + \mathbf{x}'\underline{b} + \mathbf{z}'\underline{r} + \mathbf{z}'\hat{D}\mathbf{x}$$

이 된다. 잡음인자는 실험할 때는 제어할 수 있으나 실제로는 제어할 수 없는 확률변수이다. 잡음인자에 관한 지식이 없는 경우 흥미영역에서 일양분포 한다고 가정하자. 어떤  $\mathbf{x}$ 에서 품질특성치의 평균모형은 다음과 같다.

$$\hat{m}(\mathbf{x}) = \int_{R_z} \hat{y}(\mathbf{x}, \mathbf{z})p(\mathbf{z})d\mathbf{z}.$$

여기서,  $p(\mathbf{z})$ 는  $\mathbf{z}$ 의 확률밀도함수이고  $\mathbf{z}$ 는 잡음인자의 흥미영역  $R_z$ 에서 일양분포를 한다. 따라서 평균모형은 다음과 같다.

$$\hat{m}(\mathbf{x}) = b_0 + \mathbf{x}'\underline{b}.$$

품질특성치의 평균이 목표치  $\tau$ 에 근접하는 정도는 다음과 같다.

$$\widehat{M}(\underline{x}) = \int_{R_z} [\tau - \widehat{m}(\underline{x})]^2 p(\underline{z}) d\underline{z} = [\tau - (b_0 + \underline{x}b)]^2. \quad (1)$$

또한 품질특성치의 변동을 측정하기 위한 품질변동 식은 다음과 같다.

$$\widehat{V}(\underline{x}) = \int_{R_z} (\widehat{y} - \widehat{m}(\underline{x}))^2 p(\underline{z}) d\underline{z} = \frac{1}{3}(\widehat{\gamma} + \widehat{D}\underline{x})'(\widehat{\gamma} + \widehat{D}\underline{x}). \quad (2)$$

제품의 기대손실을 최소화하는 방법은 품질특성치의 평균을 목표치  $\tau$ 에 가까이 가져가면서 동시에 잡음인자로 인한 품질변동을 줄이면 될 것이다. 따라서 통합배열방법론에서 수행측도(performance measure)는  $\widehat{M}(\underline{x})$ 와  $\widehat{V}(\underline{x})$ 의 가중선형 조합으로 다음과 같다.

$$\min \widehat{R}(\underline{x}) = \lambda \widehat{V}(\underline{x}) + (1 - \lambda) \widehat{M}(\underline{x}), \quad 0 \leq \lambda \leq 1. \quad (3)$$

### 3. 예제

로버스트설계를 위한 두 가지 최적화 방법론을 시뮬레이션을 통하여 모든 품질특성치에 대하여 100번 씩 비교 연구하였으나 3장에서는 이해를 돕기 위하여 망목특성치인 경우 한 번의 시뮬레이션 결과만을 예를 들어 설명하기로 한다.

#### 3.1 교차배열방법론

두 개의 수준을 가진 세 개의 제어인자  $A, B$  그리고  $C$ 와 한 개의 잡음인자  $N$ 를  $L_{16}(2^{15})$  직교배열에 실험 배치하고, 자료는 정규분포  $N(\mu, \sigma^2)$ 를 따른다고 가정하고 평균  $\mu = 40$ 과 분산  $\sigma^2 = 40$ 인 경우 신뢰구간 95%에서 두 개의 난수를 발생시킨 가상의 자료이며  $SN$ 비는  $SN_i = 10 \log[(\widehat{y}_i)^2 / V_i]$ 을 적용하였다. 여기서  $\widehat{y}_i$ 는 각각  $N_0$ 와  $N_1$ 의 값을 평균한 것이고  $V_i$ 는 분산이다.

<표 3.1>의  $SN$ 비 자료를 이용하여  $SN$ 비의 인자 수준별 합계를 <표 3.2>에서 구하였으며 분산분석표를 작성하면 <표 3.3>을 얻을 수 있다. <표 3.2>와 <표 3.3>로부터 유의한 인자는  $A$ 와  $B$ 이며 수준별 합이 각각  $-1$  수준에서 큰 값을 나타내므로 최적조건은  $A_{-1}$ 과  $B_{-1}$ 임을 알 수 있다.

#### 3.2 통합배열방법론

<표 3.4>는 통합배열에서 제어인자  $x_1$ (혹은  $A$ ),  $x_2$ (혹은  $B$ ) 그리고  $x_3$ (혹은  $C$ )와 잡음인자  $z$ (혹은  $N$ )를 하나의 직교배열  $L_{16}(2^{15})$ 에 실험배치 한 경우이다. 교차배열과 동일한 조건에서 비교하기 위해 통합배열에서의 잡음인자 배치에 따라 동일 수준의 자료를 교차배열로부터 가져오게 하였다.

최소제곱법에 의하여 품질특성치에 대한 추정된 회귀모형식은 다음과 같다.

$$\hat{y}(\underline{x}, z) = 38.81 + 5.56x_1 - 3.94x_2 + 4.44x_3 - 1.06z + 1.56x_1z - 3.69x_2z - 1.56x_3z. \quad (4)$$

식 (1)과 식 (2)로부터 각각 다음식을 얻는다.

$$\widehat{M}(\underline{x}) = [40 - (38.81 + 5.56x_1 - 3.94x_2 + 4.44x_3)]^2, \quad (5)$$

$$\widehat{V}(\underline{x}) = (-1.06 + 1.56x_1 - 3.69x_2 - 1.56x_3)^2. \quad (6)$$

한편, 목표치  $\tau$ 는 망목특성치일 때는  $\mu = 40$ , 망대특성치일 때는 식 (4)의 최대값이고 망소 특성치일 때는 식 (4)의 최소값을 사용하기로 한다. 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 로버스트설 계를 위한 제어인자의 최적조건을 다음 식에서 찾는다.

$$\min \widehat{R}(\underline{x}) = \lambda \widehat{V}(\underline{x}) + (1 - \lambda) \widehat{M}(\underline{x}), \quad 0 \leq \lambda \leq 1.$$

<표 3.1> 교차배열에서 실험배치와 SN비

| Run | Col |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | $N_0$ | $N_1$ | SN     |
|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|-------|--------|
|     | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |       |       |        |
| 1   | -1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 34    | 28    | 23.682 |
| 2   | -1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 41    | 27    | 18.163 |
| 3   | -1  | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 47    | 57    | 24.302 |
| 4   | -1  | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 30    | 37    | 14.528 |
| 5   | -1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | 24    | 47    | 8.729  |
| 6   | -1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 42    | 21    | 2.832  |
| 7   | -1  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 26    | 52    | 3.373  |
| 8   | -1  | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 47    | 50    | 7.691  |
| 9   | 1   | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | 52    | 57    | 9.911  |
| 10  | 1   | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 28    | 36    | -1.025 |
| 11  | 1   | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 57    | 52    | 9.515  |
| 12  | 1   | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 56    | 52    | 9.261  |
| 13  | 1   | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | 38    | 43    | 3.400  |
| 14  | 1   | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 46    | 43    | 5.245  |
| 15  | 1   | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | 41    | 48    | 5.038  |
| 16  | 1   | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 24    | 36    | -3.432 |
| 요인  | A   | B  | e  | C  | e  | e  | e  | e  | e  | e  | e  | e  | e  | e  | e  |       |       |        |

다구찌의 교차배열방법론은 최적수준만 구하기 때문에 동일한 조건에서 비교하기 위하여  $\underline{x}$  ( $x_1, x_2$  그리고  $x_3$ )의 수준 -1과 1에서만 격자탐색(Grid Search)하여 최소값  $\hat{R}(\underline{x})$ 를 구하였다. <표 3.5>로부터 유의인자  $x_1$ 과  $x_2$ 의 최적수준은  $\lambda = 0.1, \lambda = 0.5$  그리고  $\lambda = 0.9$  일 때 모두  $x_1 = -1$ (혹은  $A_{-1}$ )과  $x_2 = -1$ (혹은  $B_{-1}$ )임을 알 수 있다. 따라서, 통합배열방법론은 적은 실험수로도 교차배열방법론과 같은 최적수준을 찾을 수 있음을 알 수 있다.

<표 3.2> SN비의 인자 수준별 합계

| 수준 | 인자       |          |         |
|----|----------|----------|---------|
|    | A        | B        | C       |
| -1 | 103.2913 | 108.3370 | 70.9264 |
| 1  | 37.9132  | 32.8675  | 70.2781 |

<표 3.3> SN비의 분산분석표

| 요인 | 제공합      | 자유도 | 평균제공     | $F_0$    | $F(0.05)$ |
|----|----------|-----|----------|----------|-----------|
| A  | 267.1432 | 1   | 267.1432 | 8.9197*  | 4.7       |
| B  | 355.9778 | 1   | 355.9778 | 11.8858* |           |
| C  | 0.0263   | 1   | 0.0263   | 0.0009   |           |
| 오차 | 329.4495 | 11  | 29.9500  |          |           |
| 계  | 952.5967 | 14  |          |          |           |

<표 3.4> 통합배열에서 실험배치

| Run | Col   |       |    |       |    |    |    |    |    |        |        |    |        |    |    | y  |
|-----|-------|-------|----|-------|----|----|----|----|----|--------|--------|----|--------|----|----|----|
|     | 1     | 2     | 3  | 4     | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10     | 11     | 12 | 13     | 14 | 15 |    |
| 1   | -1    | -1    | -1 | -1    | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1     | -1     | -1 | -1     | -1 | -1 | 34 |
| 2   | -1    | -1    | -1 | -1    | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1      | 1      | 1  | 1      | 1  | 1  | 27 |
| 3   | -1    | -1    | -1 | 1     | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1     | -1     | 1  | 1      | 1  | 1  | 47 |
| 4   | -1    | -1    | -1 | 1     | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1      | 1      | -1 | -1     | -1 | -1 | 37 |
| 5   | -1    | 1     | 1  | -1    | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1      | 1      | -1 | -1     | 1  | 1  | 24 |
| 6   | -1    | 1     | 1  | -1    | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1     | -1     | 1  | 1      | -1 | -1 | 21 |
| 7   | -1    | 1     | 1  | 1     | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1      | 1      | 1  | 1      | -1 | -1 | 26 |
| 8   | -1    | 1     | 1  | 1     | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1     | -1     | -1 | -1     | 1  | 1  | 50 |
| 9   | 1     | -1    | 1  | -1    | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1     | 1      | -1 | 1      | -1 | 1  | 52 |
| 10  | 1     | -1    | 1  | -1    | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1      | -1     | 1  | -1     | 1  | -1 | 36 |
| 11  | 1     | -1    | 1  | 1     | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1     | 1      | 1  | -1     | 1  | -1 | 57 |
| 12  | 1     | -1    | 1  | 1     | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1      | -1     | -1 | 1      | -1 | 1  | 52 |
| 13  | 1     | 1     | -1 | -1    | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1      | -1     | -1 | 1      | 1  | -1 | 38 |
| 14  | 1     | 1     | -1 | -1    | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1     | 1      | 1  | -1     | -1 | 1  | 43 |
| 15  | 1     | 1     | -1 | 1     | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1      | -1     | 1  | -1     | -1 | 1  | 41 |
| 16  | 1     | 1     | -1 | 1     | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1     | 1      | -1 | 1      | 1  | -1 | 36 |
| 요인  | $x_1$ | $x_2$ | e  | $x_3$ | e  | e  | e  | e  | z  | $x_1z$ | $x_2z$ | e  | $x_3z$ | e  | e  | e  |

<표 3.5>  $\widehat{M}(\underline{x})$ ,  $\widehat{V}(\underline{x})$ ,  $\widehat{R}(\underline{x})$  ( $\lambda = 0.5, 0.1, 0.9$ 인 경우)

| $\lambda$ | $1 - \lambda$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $\widehat{M}(\underline{x})$ | $\widehat{V}(\underline{x})$ | $\widehat{R}(\underline{x})$ |
|-----------|---------------|-------|-------|-------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0.5       | 0.5           | -1    | -1    | 1     | 2.641                        | 0.083                        | 1.362                        |
| 0.1       | 0.9           | -1    | -1    | 1     | 2.641                        | 0.083                        | 2.385                        |
| 0.9       | 0.1           | -1    | -1    | 1     | 2.641                        | 0.083                        | 0.339                        |

#### 4. 시뮬레이션에 의한 비교 연구와 결론

망목특성치와 망대특성치 그리고 망소특성치들에 대하여 교차배열방법론과 통합배열방법론의 모든 과정을 Turbo-C로 프로그래밍하여 시뮬레이션을 통하여 비교 연구하였다. 교차배열방법론은 SN비에 의한 분산분석을 한 결과 유의한 인자가 없을 때는 종료하고 다시 처음으로 돌아가서 유의한 인자가 있으면 회귀분석을 실시하여  $\widehat{M}(\underline{x})$ ,  $\widehat{V}(\underline{x})$  그리고  $\widehat{R}(\underline{x})$ 를 계산한 후  $\widehat{R}(\underline{x})$ 가 최소가 되는 제어인자의 최적수준을 찾았다.

시뮬레이션 결과를 지면 관계상 망목특성치인 경우만 <표 4.1>에서 일부만 수록하였다. <표 4.1>에서 SN은 교차배열방법론에 의한 제어인자의 최적수준이고  $\lambda = 0.5$ ,  $\lambda = 0.1$  그리고  $\lambda = 0.9$ 는 통합배열방법론에서 수행측도(식 (3))의 가중치  $\lambda$ 가 각각 0.1, 0.5 그리고 0.9 일 때  $\widehat{R}(\underline{x})$ 를 최소화하는 제어인자들의 최적수준이다. 한편, <표 4.1>에서 \*표시는 유의하지 않는 인자이고 1 혹은 -1은 유의한 인자의 최적수준을 나타낸 것이다.

시뮬레이션 결과 통합배열방법론에서 로버스트설계를 위한 수행측도가  $\lambda = 0.5$ 일 때 즉, 품질평균과 목표치간의 근접하는 정도(식 (1))와 품질변동(식 (2))간의 가중치를 극단적인 값( $\lambda = 0.1$  혹은  $\lambda = 0.9$ )을 취하지 않았을 때 망목특성치인 경우는 100번중 83번이 교차배열방법론과 일치하였고, 망대특성치인 경우는 100번중 89번이 그리고 망소특성치인 경우는 100번중 86번이 일치하였다. 시뮬레이션 결과 결정계수 값이 높을 때는 두 방법에서의 최적수준 값이 거의 일치하였으나 결정계수 값이 낮을 때는 일치하지 않는 경우가 발생한다. 간혹 결정계수 값이 높은데도 틀린 경우는 SAS 통계패키지를 이용하여 회귀식에 유의한 변수를 단계별 회귀(stepwise regression)방법으로 선택하여 다시 분석한 결과 SN비에 의한 통합배열방법론의 결과와 같이 나왔다.

로버스트설계에서 통합배열을 이용한 최적화 방안은 기존의 잘 정립된 실험계획법 이론을 활용할 수 있어 다구찌 파라미터설계에서 단점으로 지적된 제반 문제점을 해결할 수 있는 대체방안이 될 수 있을 것이다. 특히 측차실험이 가능하고 실험횟수를 줄일 수 있으며 제어인자의 흥미영역 범위 내에서 최적점을 구할 수 있는 장점이 있다. 그러나 통합배열방법론은 제어인자의 최적조건을 찾는 데 있어서 반응표면방법론을 사용함으로써 최소제곱추정법에 의한 회귀모형식의 의존도가 높으며 교차배열방법론 보다 분석방법이 더 복잡하다는 단점이 있다.

<표 4.1> 시뮬레이션 결과 (망목특성치 경우)

| 번호  | SN |    |    | $\lambda = 0.5$ |    |    | $\lambda = 0.1$ |    |    | $\lambda = 0.9$ |    |    | $R^2$ |
|-----|----|----|----|-----------------|----|----|-----------------|----|----|-----------------|----|----|-------|
| 1   | *  | 1  | -1 | *               | 1  | -1 | *               | 1  | -1 | *               | 1  | -1 | 0.66  |
| 2   | 1  | *  | *  | 1               | *  | *  | 1               | *  | *  | 1               | *  | *  | 0.75  |
| 3   | *  | *  | -1 | *               | *  | -1 | *               | *  | -1 | *               | *  | -1 | 0.79  |
| 4   | *  | -1 | *  | *               | -1 | *  | *               | -1 | *  | *               | -1 | *  | 0.38  |
| 5   | *  | *  | -1 | *               | *  | -1 | *               | *  | -1 | *               | *  | -1 | 0.55  |
| 6   | 1  | 1  | *  | 1               | 1  | *  | 1               | 1  | *  | 1               | 1  | *  | 0.61  |
| 7   | -1 | *  | *  | -1              | *  | *  | -1              | *  | *  | -1              | *  | *  | 0.48  |
| 8   | *  | 1  | *  | *               | 1  | *  | *               | 1  | *  | *               | 1  | *  | 0.74  |
| 9   | *  | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | 0.28  |
| 10  | *  | -1 | *  | *               | -1 | *  | *               | -1 | *  | *               | -1 | *  | 0.29  |
| ⋮   | ⋮  |    |    | ⋮               |    |    | ⋮               |    |    | ⋮               |    |    | ⋮     |
| 91  | *  | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | 0.79  |
| 92  | *  | *  | -1 | *               | *  | -1 | *               | *  | -1 | *               | *  | -1 | 0.66  |
| 93  | *  | -1 | *  | *               | -1 | *  | *               | -1 | *  | *               | -1 | *  | 0.53  |
| 94  | *  | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | 0.51  |
| 95  | *  | 1  | *  | *               | 1  | *  | *               | 1  | *  | *               | 1  | *  | 0.39  |
| 96  | *  | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | 0.75  |
| 97  | *  | 1  | *  | *               | 1  | *  | *               | 1  | *  | *               | 1  | *  | 0.58  |
| 98  | -1 | *  | *  | -1              | *  | *  | -1              | *  | *  | -1              | *  | *  | 0.85  |
| 99  | *  | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | *               | *  | 1  | 0.49  |
| 100 | *  | 1  | *  | *               | 1  | *  | *               | 1  | *  | *               | 1  | *  | 0.91  |

### 참고문헌

1. Box, G. E. P. and Jones, S. P. (1992). Designing Products That are Robust to the Environment, *total Quality Management*, 3, 265-282.
2. Myers, R. H., Khuri, A. I. and Vining, G. (1992). Response Surface Alternatives to the Taguchi Robust Parameter Design Approach, *The American Statistician*, 46, 131-139.
3. Taguchi. G. (1987). *System of Experimental Design : Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Cost*, White Plains, NY UNIPUB / Kraus International.
4. Vining, G. G. and Myers, R. H. (1990). Combining Taguchi and Response Surface Philosophies : A Dual Response Approach, *Journal of Quality Technology*, 22, 38-45.
5. Welch, W. J., Yu, T. K., Kang, S. M. and Sacks, J. (1990). Computer Experiments for Quality Control by Parameter Design, *Journal of Quality Technology*, 22, 15-22.

# A Comparative Study on Optimization Procedures to Robust Design<sup>4</sup>

Yong Man Kwon<sup>5</sup> · In Suk Mun<sup>6</sup>

## Abstract

Robust design is an approach to reducing performance variation of quality characteristic values in quality engineering. Taguchi parameter design has a great deal of advantages but it also has some disadvantages. The various research efforts aimed at developing alternative methods. In the Taguchi parameter design, the product-array approach using orthogonal arrays is mainly used. However, it often requires an excessive number of experiments. An alternative approach, which is called the combined-array approach, was suggested by Welch et. al. (1990) and studied by others. In this paper we make a comparative study on optimization procedures to robust design in the two different experimental design(product array, combined array) approaches through the Monte Carlo simulation.

*Key Words and Phrases* : Robust design, Product array approach, Combined array approach

---

<sup>4</sup>This paper was supported by Chosun University Research Funds, 1997.

<sup>5</sup>Assistant Professor, Dept. of Computer Science and Statistics, Chosun University, Kwangju, 501-759, Korea.

<sup>6</sup>Student, Dept. of Computer Science and Statistics, Chosun University, Kwangju, 501-759, Korea.