

☒ 연구논문

파라미터설계법의 다특성 성능척도 산출방법*

김상익

건국대학교 응용통계학과

A Performance Measure for Parameter Design with Several Quality Characteristics

Sang-Ik Kim

Dept. of Applied Statistics Konkuk University

Abstract

In parameter design introduced by Taguchi, we analyze a performance measure, so called SN ratio. The SN ratio is a function of the expected loss due to the variation of quality characteristic. In this paper, an easy way for developing performance measures is presented, which can be used to control several quality characteristics simultaneously in parameter design. To develop such multivariate performance measures, the transformation method of the expected loss and combining techniques are employed. And the analysis of real empirical data for an application of the proposed method is also presented.

I. 서론

본 연구에서는 다구찌(G. Taguchi)에 의해 제시된 파라미터 설계법(parameter design)에서 품질특성치가 여러 개인 다특성인 경우, 분석대상이 되는 성능척도(performance measure)인 SN비(signal-to-noise ratio)를 산출하는 방법을 제안하고자 한다.

* 이 논문은 1998년도 건국대학교 지원에 의한 논문임.

품질특성치가 다특성인 경우 다구찌는 각각의 품질특성치에 대하여 단변량 성능척도를 계산하여, 분산분석의 방법에 따라 분석하여 제어인자(control factor)들의 최적수준을 찾는 방법을 사용하였다. 이러한 경우 개개의 품질특성치에 대하여 찾아진 제어인자들의 최적수준조합이 동일한 경우에는 문제가 없으나, 상이한 경우 다구찌는 제어인자들의 각 수준에서 경제적 비용이나 기술적 난이도, 그리고 품질특성치들의 상대적 중요도를 고려하여 최적수준조합을 결정하는 방법을 제안하고 있다 (Taguchi (1987)).

그러나 이러한 다구찌의 방법에서는 객관성이 결여되며, 특히 파라미터 설계법의 기본 목적인 기대손실함수의 최소화라는 최적화 과정이 명확하지 않게 된다. 따라서 개개의 품질특성치들에 대하여 별도로 성능척도를 구하여 분석하는 방법과 달리, 개개의 품질특성치들의 성능척도를 하나의 척도로 통합하여 산출된 성능척도에 대하여 최적수준조합을 찾는 방법이 보다 합리적인 방법이 될 수 있다.

다변량 품질특성치인 경우, 성능척도를 구하는 방법에 대해서는 Tong(1991), 김상익(1994), 김옥일과 강창욱(1994)등에 의해 몇 가지 산출방법이 제시되었다. 그러나 이러한 일련의 방법은 다변량 품질특성치들의 손실함수를 알고 있거나 혹은 손실함수의 추정이 가능한 특수한 경우를 대상으로 하고 있다. 특히 김옥일과 강창욱의 연구는 품질변수의 수가 2개인 경우에 집중되어 있다.

품질특성치가 단변량인 경우에도 기대손실을 최소화하는 최적화 과정에서 적합하게 사용될 수 있는 성능척도의 존재여부와 산출방법에 대해서 지금까지 많은 논란과 함께 연구가 진행되고 있다(Leon, *et al.* (1987), Box(1988)). 특히 품질특성치가 다변량인 경우, 여러 품질특성치들의 기대손실을 동시에 고려하는 성능척도의 문제에 대해서는 이론적인 면에서 뿐 만 아니라 실제 산출방법에 있어서도 어려운 문제로 남아 있다.

따라서 본 연구에서는 다특성 성능척도를 산출하는 방법에 있어서, 이론적 고찰보다는 산업현장에서 엔지니어들에 의해 손쉽게 사용할 수 있는 방안을 모색하는 것에 중점을 두고자 하며, 다변량 품질특성치들의 손실함수를 이용하지 않고, 개개의 품질특성치들의 성능척도를 결합하여 하나의 성능척도로 산출하는 일반적인 방법을 제시하고자 한다.

II. 다변량손실함수와 성능척도

품질특성치들이 g 개이고, $\underline{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_g)$ 는 g 개의 품질특성치들로 이루어진 품질벡터를 나타낸다고 하자. 각각의 Y_i 는 연속형 변수이고 목표값(target value)들의 벡터는 $\underline{\tau} = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_g)$ 라고 하자.

\underline{Y} 의 값이 $\underline{\tau}$ 와 일치할 때 손실은 0이 되며, 일치하지 않은 경우 손실 값은 양의 손실함수 $L(\underline{y})$ 에 의해 결정된다고 하자.

손실함수 $L(\mathbf{y})$ 를 $\mathbf{Y}=\boldsymbol{\tau}$ 에서 Talyor 급수전개를 하여 3차이상의 항은 무시하고 2차 항까지 고려하면 다음과 같은 이차함수형태로 근사가 가능하게 된다.

$$\begin{aligned} L(\mathbf{y}) &= (\mathbf{y} - \boldsymbol{\tau})' B (\mathbf{y} - \boldsymbol{\tau}) \\ &= \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^g b_{ij} (y_i - \tau_i) (y_j - \tau_j) \end{aligned} \tag{2.1}$$

여기서 B 는 $(g \times g)$ 의 Hessian 행렬이며 $B = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 L(\mathbf{y})}{\partial \mathbf{y}' \partial \mathbf{y}} \right]_{\mathbf{y}=\boldsymbol{\tau}} = (b_{ij})$ 이라 할 때, b_{ij} 값들은 알려져 있거나, 혹은 추정이 가능하다고 하자.

그리고 (2.1)식의 손실함수에 대한 기대손실(expected loss)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} EL &= E[L(\mathbf{y})] \\ &= tr(B\Sigma) + (\boldsymbol{\mu} - \boldsymbol{\tau})' (\boldsymbol{\mu} - \boldsymbol{\tau}) \end{aligned} \tag{2.2}$$

여기서 Σ 는 $(g \times g)$ 행렬로서 \mathbf{Y} 의 분산공분산행렬을 나타내며 $\boldsymbol{\mu}$ 는 \mathbf{Y} 의 기대값 $E[\mathbf{Y}]$ 이며 $tr(A)$ 는 행렬 A 의 트레이스(trace)를 의미한다.

(2.2)식에서 보는바와 같이 기대손실은 품질특성치들의 분산공분산행렬과 편의(bias)의 함수 형태로 구성된다. 따라서 기대손실을 최소화하기 위해서는 (2.2)식의 첫 번째 항인 분산공분산행렬 부분과 두 번째 항인 편의 부분을 동시에 최소화 시켜야 한다. 다특성 파라미터설계법에서 목적은 기대손실이 최소화가 이루어지는 제어 인자들의 수준조합을 찾는 것이라고 할 수 있다.

김상익(1994)은 $\boldsymbol{\mu}$ 와 Σ 의 함수적 연관관계를 먼저 파악하여 $\boldsymbol{\mu}$ 와 Σ 가 함수적으로 독립인 경우 식(2.2)의 $tr(B\Sigma)$ 항을 먼저 최소화시키는 제어인자들의 수준조합을 찾은 후, Σ 에 영향을 미치지 않는 나머지 제어인자들의 수준을 조정하여 $\boldsymbol{\mu}$ 를 $\boldsymbol{\tau}$ 에 근접시킴으로 하여 편의부분을 최소화시키는 다구찌의 2단계 방법을 사용할 것을 제안하였다. 또한 김상익은 $(g \times g)$ 행렬 Σ 와 $(g \times 1)$ 벡터 $\boldsymbol{\mu}$ 의 함수적 독립관계를 판단하는 방법으로 직교변환(orthogonal transformation)방법을 제시하였다.

따라서 $\boldsymbol{\mu}$ 와 Σ 의 함수적 독립관계를 유지하고 있는 경우 김상익은 (2.2)식의 첫 번째 항을 데시벨 단위로 변환한 다음과 같은 $tr(B\Sigma)$ 의 단조감소함수형태인 (2.3)식의 SN비를 성능척도로 사용할 것을 제안하였다.

$$(SN비) = -10 \log (tr(B\Sigma)) \tag{2.3}$$

따라서 2단계 방법의 첫번째 단계에서 $tr(B\Sigma)$ 가 최소화되는 수준조합은 (2.3)식이

최대화가 되는 수준조합과 일치하게 된다. 그리고 μ 와 Σ 가 함수적으로 독립관계에 있지 않다고 판단되는 경우 김상익은 (2.3)식을 두 개의 항으로 구분하지 않고 다음과 같은(2.3)식의 단조감소함수 형태를 성능척도로 사용할 것을 제안하였다.

$$(SN^2) = -10 \log [tr(B\Sigma) + (\underline{\mu} - \underline{\tau})'(\underline{\mu} - \underline{\tau})] \quad (2.4)$$

김육일과 강창욱(1994)은 품질변수가 2개인 경우에 대하여, 품질변수들의 특성에 따라 (2.2)식으로 표현되는 기대손실을 평가하는 방법을 연구하고 있다. 김육일과 강창욱은 품질특성치들이 망소특성, 망대특성, 망목특성의 여러 가지 조합형태에 따라 기대손실을 평가하는 방법을 제시하여, 평가된 기대손실값의 단조감소함수 형태를 성능척도로 사용할 것을 제시하고 있다.

(2.1)식에서 사용한 이차손실함수 형태는 통계학에서 많이 사용되고 있는 손실함수 형태이다. 그러나 (2.1)식에서 행렬 B 를 알 수 있다는 것은 현실적으로 타당성이 적으며, 추정이 불가능 할 수도 있다. 행렬 B 의 추정이 불가능한 경우 김상익(1994)은 앞에서와는 다르게 성능척도를 산출하는 방법을 또한 제시하고 있기도 하다. 그러나 제시된 방법은 각각의 품질변수들이 제품의 품질에 미치는 중요도가 모두 동일하다는 전제를 기본으로 하고 있으며, 또한 품질변수들의 측정단위가 변함에 따라 성능척도 값도 다르게 산출되는 문제점을 갖고 있다.

본 연구에서는 앞에서 언급된 연구에서의 문제점을 극복하는 방법으로 (2.4)식의 기대손실을 직접이용하지 않고, 개개의 품질특성치들의 성능척도를 구하여 하나의 성능척도로 결합하는 방법을 사용하고자 한다. 그러므로 본 연구에서 제시하고자 하는 다특성 성능척도를 최적화 하는 것이 (2.2)식의 기대손실을 최소화하는 것과 일치하는 문제에 대한 이론적 고찰이 어렵게 된다. 그러나 본 연구에서 제시하고자 하는 방법은 (2.1)식의 다변량 손실함수 형태가 알려져 있지 않고, 개개의 품질특성치들의 중요도가 또한 다른 경우 사용될 수 있으며, 나아가 품질변수들의 측정단위의 변화에도 무관한 성능척도의 산출방법이 된다.

그리고 본 연구에서 제시하고자 하는 다특성 성능척도는 다특성 파라미터 설계법에서 단독적으로 사용될 수도 있으나, 기존의 다른 방법과 병행 사용하여 합리적인 결론을 유도하는데 사용될 수 있을 것이다.

III. 단변량 성능척도 결합방법

단변량 품질특성치 Y 에 대한 손실함수와 기대손실은 (2.1)식과 (2.2)식에서 $g=1$ 인 경우에 해당되며, 망소특성인 경우 $\tau=0$ 이 되므로 기대손실은 다음과 같다.

$$EL = bE(Y^2) \quad (3.1)$$

따라서 망소특성인 경우, 자료 y_1, y_2, \dots, y_n 으로부터 (3.1)식에서 비례상수인 b 를 제외한 적률추정량을 구하면 다음과 같다.

$$EL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (3.2)$$

또한 망대특성인 경우와, 망목특성인 목표값이 τ 인 경우 비례상수항을 제외한 기대손실의 추정량은 각각 다음과 같이 구해진다.

$$EL = (1/n) \sum_{i=1}^n (1/y_i^2) \quad (3.3)$$

$$EL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tau)^2 \quad (3.4)$$

다구찌는 단변량인 경우 품질변수의 특성에 따라 (3.2)식 (3.3)식에 따라 기대손실값을 계산하여, 계산된 기대손실값의 단조감소함수형태인 $-10 \log [EL]$ 에 따라 변환하여, 변환된 값을 성능척도로 사용하였다.

특히 망목특성인 경우 다구찌는 (3.4)식을 이용하기보다는 $10 \log [E(Y)^2 / \text{Var}(Y)]$ 을 성능척도로 사용할 것을 제안하였다. 그러나 Leon, *et. al*(1987)의 연구에 의하면 $E(Y)$ 와 $\sqrt{\text{Var}(Y)}$ 가 선형함수 관계에 있는 경우에만 그 타당성이 입증되므로 본 연구에서는 (3.4)식의 기대손실 값을 직접 사용하고자 한다.(그러나 이와는 달리 다구찌의 제안에 따라 $E(Y)^2 / \text{Var}(Y)$ 을 사용할 수도 있을 것이다.)

품질특성치가 다변량인 경우, 파라미터 설계법에서 제어인자들의 각 실험점에서 얻은 자료를 가지고 각각의 품질특성치의 특성에 따라 (3.2)식, (3.3)식 혹은 (3.4)식에 따라 기대손실을 산출한 후, 하나의 성능척도로 결합하는 과정에서 고려하여야 할 점은 다음과 같다.

먼저 기대손실값은 품질특성치들의 측정단위에 의존하게 되며, 측정단위가 상이한 경우 여러 개의 상이한 단위에 따른 기대손실 값을 통일된 하나의 단위로 결합하는 방법이 필요하다. 또한 개개의 품질변수들이 제품의 최종품질에 기여하는 상대적 중요도를 고려하여야 한다는 점이다.

이러한 문제점을 해결하는 방법으로 본 연구에서는 먼저 기대손실 값을 다음과 같은 절반정규분포(half-normal distribution) 밀도함수 형태를 이용하여 단위가 없는 품질척도인 d 로 변환하는 방법을 제안하고자 한다.

$$d = \exp(-(cx)^2), \quad \text{단, } x > 0 \quad (3.5)$$

여기서 x 는 기대손실 값을 나타내며 c 는 상수이다.

(3.5)식에서 d 는 0과 1사이의 값을 가지게 되며 d 가 0에 가까울수록 불량인 품질을, 그리고 1에 가까울수록 좋은 품질을 의미하게 된다. 따라서 기대손실 값 x 가 0에 가까우면 d 의 값은 1에 근접하게 되고 x 값이 커질수록 d 의 값은 0으로 수렴하게 된다. 그리고 c 값이 크게 되면 d 값이 급격히 감소하게 된다. 따라서 c 값에 따라 변환관계가 다르게 되므로 c 값을 결정하는데서 각 품질특성치들의 중요도가 반영될 수 있을 것이다.

통계적 품질관리 분야에서 변환기법은 일찍이 Harrington(1966), Derringer와 Suich(1980)등에 의해 시도되었으며, Harrington은 콤펜트츠 성장곡선(Compertz growth curve)을 사용하여 d 의 값과 품질의 정도간에 <표 1>과 같은 평가방법을 사용할 것을 제안하고 있다.

<표 1> d 의 값에 따른 품질평가

d 값	0.0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0
품질평가	매우불량	불량	보통	양호	매우양호

따라서 특정 기대손실 값과 그에 따른 d 의 값이 결정되면 (3.5)식에서 상수 c 의 값이 결정될 수도 있다. 상수항 c 값을 결정하는 하나의 방법으로 제어인자들의 각 실험점에서 계산된 기대손실 값들의 평균값 \bar{x} 에서 품질평가는 보통으로 간주하여, (3.5)식에서 $d=0.5$ 로 하면 다음과 같이 결정될 수 있다.

$$0.5 = \exp(-(c\bar{x})^2) \quad (3.6)$$

$$c = 0.8326/\bar{x}$$

기대손실 값의 모든 영역에서 같은 함수형태로 감소하는 (3.5)식의 형태와는 달리, 기대손실 값의 변화구간에 따라 품질평가도 확연히 구별되어지는 경우라면 (3.5)식을 일반화하여 다음과 같은 함수형태를 이용할 수도 있다.

$$d = \begin{cases} a_1 \exp(-(c_1 x)^2) & ; 0 \leq x < x_1 \\ a_2 \exp(-(c_2 x)^2) & ; x_1 \leq x < x_2 \\ \vdots & \vdots \\ a_t \exp(-(c_t x)^2) & ; x_{t-1} \leq x < \infty \end{cases} \quad (3.7)$$

여기서 d 는 연속함수이며, $a_i, c_i, i=1, 2, \dots, t$ 는 상수이다 (단 $a_1=1$).

(3.7)식에서 기대손실 값 x 의 구간의 끝점을 포함한 몇 개의 x 값에 대한 d 값이 주어지면 a_i 와 c_i 의 값이 결정될 수 있다. 예를 들어 기대손실 x 값이 두 개의 영역 $0 \leq x < x_1$, $x_1 \leq x$ 에 따라 품질평가가 확연히 달라지며 $x = x_1$ 인 경우 d 의 값은 d_1 , 그리고 $x = x_2$ (단, $x_2 > x_1$) 인 경우 d_2 라고 하자. 그러면 (3.7)식과 d 의 연속성에 의해 $d_1 = \exp(-(c_1 x_1)^2)$, $d_1 = a_2 \exp(-(c_2 x_1)^2)$, $d_2 = a_2 \exp(-(c_2 x_2)^2)$ 의 관계가 성립하게 된다. 따라서 이러한 3개의 방정식으로부터 미지수 a_2, c_1, c_2 (단, $a_1 = 1$)의 값이 결정될 수 있다.

그리고 g 개의 품질특성치들에 대한 $d_i, i = 1, 2, \dots, g$ 값들을 하나의 성능최도로 결합하는 방법으로는, 다음과 같이 d_i 값들의 산술평균, 혹은 기하평균을 다특성 성능최도인 SN비로 제안하고자 한다.

$$(SN \text{ 비}) = \sum_{i=1}^g d_i / g = \bar{D}_A \tag{3.8}$$

$$(SN \text{ 비}) = \left(\prod_{i=1}^g d_i \right)^{1/g} = \bar{D}_G \tag{3.9}$$

(3.9)식에서 하나의 d_i 값이라도 0에 가까운 값이면 다른 d_i 값에 관계없이 성능최도 값은 0에 가까운 값이 된다. 따라서 여러 개의 품질특성치 중, 하나의 품질특성치의 기대손실 값이 불량이면 제품의 종합적인 품질이 불량하다고 판단하여야 하는 경우는 (3.9)식이 사용될 수 있다. 혹은 제품의 품질은 g 개의 품질특성치들의 품질에 미치는 영향을 산술평균한 개념이 타당한 경우라면 (3.8)식의 성능최도가 사용될 수 있다.

또한 (3.8), (3.9)식의 성능최도는 0과 1사이의 값을 갖게 된다. 이러한 값의 범위제한을 제거하는 방법으로, 기대손실을 평가한 값을 데시벨 단위로 변환하는 다구찌의 방법과 같이 (3.8), (3.9)식을 데시벨 단위를 변환한 다음과 같은 SN비를 사용할 수도 있다.

$$(SN \text{ 비}) = 10 \log \left(\bar{D}_A / (1 - \bar{D}_A) \right) \tag{3.10}$$

$$(SN \text{ 비}) = 10 \log \left(\bar{D}_G / (1 - \bar{D}_G) \right) \tag{3.11}$$

IV. 실증사례분석

본 연구에서 실증사례로 분석하고자 하는 실험은 미국의 Baylock Manufacturing Cooperation 회사에서 실시한 감열수지 조립공정에서 다특성 파라미터 설계법을 응용한 사례로서 품질공학 사례집(1991)에서 인용한 것이다.

본 실험에서 목적으로 하는 것은 커넥터와 튜브를 조립하는 공정에서, 조립에 필요한 힘인 조립력은 작아야 하며, 조립후 조립품의 강도인 인발력은 강하게 하고자 하는 것이다. 따라서 품질특성치는 두 개로서 조립력과 인발력이며, 각각 망소특성과 망대특성이 된다.

<표 2> 실험에서 사용된 제어인자와 잡음인자

제어인자				잡음인자		
A	B	C	D	E	F	G
물림량	커넥터 두께	삽입 치수	접착제의 양	조립후 사용시간	조립후 사용 온도	조립후 사용습도

두 개의 품질특성치에 영향을 미치는 인자 중, 제어인자는 <표 2>와 같이 4개를 선택하여 각 인자마다 3개의 수준을, 잡음인자에 대해서는 각각 2수준을 취하였다, 그리고 제어인자에 대한 실험계획인 내측배열은 실험점의 수가 9개인 $L_9(3^4)$ 의 직교배열을 이용하였으며, 잡음인자에 대한 실험계획은 $L_8(2^7)$ 의 직교배열을 사용하였다.

따라서 $L_9(3^4)$ 의 각 실험점마다 $L_8(2^7)$ 의 실험계획을 결합시켜, 제어인자들의 각 실험점에서 두 개의 품질특성치에 대하여 각각 8개의 자료를 생성하였으며 구체적인 내측배열의 실험점과 자료는 <표 3>, <표 4>와 같다.

<표 3>의 SN비를 분산분석법에 따라 분석한 결과 조립력의 SN비에 대해서는 A와 C 그리고 D가 유의적인 영향을 미치고 있다고 판단하여, SN비가 최대가 되는 수준 조합인 $A_1 C_1 D_1$ 을 최적수준조합으로 하고 있다.

또한 <표 4>의 SN비를 분석한 결과 A와 C가 유의적 영향을 미치고 있다고 판단하며, 인발력에 대해서는 최적수준조합을 $A_2 C_3$ 로 결정하고 있다. 이와 같이 두 개의 품질특성치인 조립력과 인발력에 대한 제어인자 A와 C의 최적수준이 상이하게 나타나고 있다.

Baylock 회사에서는 연구팀의 경험과 판단을 바탕으로 인자 A에 대해서는 두 번째 수준인 A_2 로, 그리고 인자 C에 대해서는 C_2 를 최적수준으로 결정하였다. 또한 영향을 미치고 있는 않는 인자 B와 D에 대해서는 각 수준에서의 비용을 고려하여 B_1, D_1 을 최적수준으로 판단하여, 최적수준조합을 $A_2 B_1 C_2 D_1$ 으로 결정하였다.

<표 3> 내측배열의 배치 및 조립력에 대한 자료와 SN비

인자 실험점	내측배열 ($L_9(3^4)$)				조립력 측정값(단위:파운드)								SN비*
	A	B	C	D	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	1	1	1	7.5	7.2	7.6	7.4	7.2	7.3	6.5	7.7	-17.28
2	1	2	2	2	8.0	8.1	8.4	7.6	7.8	8.7	8.2	8.2	-18.20
3	1	3	3	3	8.5	9.0	8.9	8.8	8.9	8.6	8.7	8.7	-18.85
4	2	1	2	3	8.1	8.1	8.2	8.6	7.5	8.5	8.5	8.3	-18.31
5	2	2	3	1	8.7	9.7	8.9	9.0	9.2	8.8	9.1	9.4	-19.06
6	2	3	1	2	7.9	7.5	7.8	7.6	7.6	7.6	8.0	7.6	-17.75
7	3	1	3	2	9.3	9.3	9.5	9.3	9.6	9.6	9.6	9.5	-19.52
8	3	2	1	3	7.5	8.4	7.9	7.9	8.3	8.2	8.1	8.2	-18.65
9	3	3	2	1	8.5	8.4	8.2	8.6	8.5	9.0	8.7	8.3	-19.62

* SN비는 망소특성에 따라 $-10 \log\left(\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i^2\right)$ 으로 계산하였으며, 실험점 5와 실험점 8에서 원문의 SN비 값이 정확하지 않으나 원문의 값을 수록하였다.

<표 4> 인발력에 대한 자료와 SN비*

실험점	인발력 측정값(단위 : 파운드)								SN비**
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	15.6	9.5	16.9	19.9	19.6	19.6	20.0	19.1	24.03
2	15.0	16.2	19.4	19.6	19.7	19.8	24.2	21.9	25.52
3	16.3	16.7	19.1	15.6	22.6	18.2	23.3	20.4	25.34
4	18.3	17.4	18.9	18.6	21.0	18.9	23.2	24.7	25.90
5	19.7	18.6	19.4	25.1	25.6	21.4	27.5	25.3	26.91
6	16.2	16.3	20.0	19.8	14.7	19.6	22.5	24.7	25.33
7	16.4	19.1	18.4	23.6	18.6	18.6	24.2	21.6	25.71
8	14.2	15.6	15.1	16.8	17.8	19.6	23.2	24.4	24.83
9	16.1	19.9	19.3	17.1	23.1	22.7	22.6	28.6	26.15

*: 실험점은 <표 3>과 동일하며 원문의 SN비값이 정확하지 않으나 원문의 값을 수록하였다.

**: SN비는 망대특성에 따라 $-10 \log\left(\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 1/y_i^2\right)$ 으로 계산하였다.

위와 같은 실험의적인 요인에 의한 주관적인 결정방법과는 달리 본 연구에서 제안하고 있는 방법에 의해 분석을 수행하면 다음과 같다.

먼저 <표 5>는 내측배열의 각 실험점에서 (3.2)식과 (3.3)식을 이용하여 계산된 기대손실값과 변환된 값인 d 를 보여주고 있다. 또한 (3.8)식과 (3.9)식에 의해 계산된 성능척도 값이 각각 \bar{D}_A , \bar{D}_C 로 하여 수록되어 있다. 이를 계산하는데 필요한 상수항

c 값은 (3.6)식에 의해 결정하였다. 따라서 조립력인 경우 기대손실의 평균값은 $\bar{x}=70.41$ 이므로 $c=0.01182$ 가 되며, 인발력의 경우에는 $\bar{x}=0.00284$ 이고 $c=293.0395$ 가 된다.

<표 5> 내측배열의 실험점에서 기대손실값과 SN비 값

실험점	조립력		인발력		\bar{D}_A	\bar{D}_G
	기대 손실	d	기대손실	d		
1	53.41	0.6711	0.00396	0.2601	0.4656	0.4178
2	66.12	0.5427	0.00280	0.5101	0.5264	0.5261
3	76.81	0.4383	0.00293	0.4785	0.4584	0.4579
4	67.76	0.5263	0.00257	0.5671	0.5467	0.5463
5	82.91	0.3825	0.00240	0.6995	0.5410	0.5173
6	59.32	0.6114	0.00293	0.4785	0.5449	0.5409
7	89.56	0.3258	0.00261	0.5571	0.4415	0.4260
8	65.08	0.5531	0.00329	0.3948	0.4739	0.4673
9	72.73	0.4773	0.00244	0.5998	0.5385	0.5350

또한 먼저 <표 5>의 성능척도 \bar{D}_A 를 분산분석법에 의해 분석하면, 제어인자 A와 C의 변동량이 전체 변동량의 각각 48.5%와 35.1%이며, B와 D의 부분은 각각 11.5%와 4.9%가 된다. 따라서 파레토 분석법의 원리에 따라 누적 변동량의 비율이 전체 변동량의 83.6%에 이르는 A와 C가 유의적인 영향을 미치는 인자로 판단할 수 있다. 그리고 최적수준은 성능척도의 평균치가 최대가 되는 A_2 와 C_2 수준이 됨을 알 수 있어 Baylock회사의 결정과 동일하게 되며, 이 회사의 결론이 합리적임을 확인할 수 있다.

그리고 성능척도에 영향을 미치지 않는 제어인자 B와 D에 대해서는 원문에서 사용한 방법과 같이 비용을 고려해서 판단하면 B_1 , D_1 으로 결정할 수 있다. 그러나 비용이 중요한 고려사항이 아닌 경우, 성능척도가 최대가 되는 수준으로 판단하면 B_3 , D_1 으로 결정이 된다. 그리고 성능척도인 \bar{D}_G 를 분석한 경우에도, \bar{D}_A 를 분석한 결과와 일치하므로 여기서 자세한 분석결과는 생략하기로 한다.

V. 결론

품질특성치가 다특성인 경우 기존의 단변량 다구찌분석법을 여러 번 적용하여 분석하는 경우, 개개의 품질특성치들에 대하여 최적수준들이 서로 다르게 나타날 수 있다. 이러한 경우 기존문헌에서는 실험외적인 사항을 고려하여 주관적인 판단방법에 의해 최적수준을 결정하고 있다.

본 연구에서 이러한 문제점을 해결하는 하나의 방법으로 개개의 품질변수에 대한 기대손실 값을 결합하여 하나의 성능척도를 산출하는 문제를 다루었다. 그리고 다구짜 품질공학의 기본철학으로서 산업현장에서 손쉽게 사용될 수 있는 방법을 제시하는데 있어서 본 연구에서 중점을 둔 사항은 다음과 같다.

첫째, 각 품질특성치의 기대손실은 측정단위에 의존하게 되고, 품질변수들의 상대적 중요도를 고려하여야 하며, 이를 해결하는 방안으로 본 연구에서는 기대손실값을 단위가 없는 새로운 품질척도로 변환하는 변환기법을 사용하였다.

둘째, 각 품질변수의 품질척도를 하나의 성능척도로 결합하는 방법으로 각 품질특성치들의 제품의 최종품질에 미치는 영향을 고려한 두 가지 결합방법을 제시하였다.

그러나 본 연구에서는 여러 품질특성치들 간의 품질에 영향을 미치는 상호작용효과를 고려하지 않은 문제점이 있다. 상호작용효과는 (2.3)식의 기대손실에서 분산공분산행렬 Σ 의 비대각항인 공분산항에 기인하는 요소이다. 따라서 이러한 공분산항까지 고려하면서 손실함수가 알려져 있지 않은 경우의 다특성 성능척도 산출방법에 대해서는 앞으로 연구가 더 진행되어야 할 과제이다.

또한 본 연구에서 제시한 다특성 성능척도의 최대화와 기대손실 값의 최소화의 관계에 대한 연구도 계속 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 김상익(1994), "이차손실함수를 이용한 파라미터 설계법의 다변량 SN비," 「건국대학교 학술지」, 38집, pp. 359-369.
- [2] 김옥일, 강창욱(1994), "다특성 파라미터설계의 평가척도에 관한 연구," 「품질경영학회지」, 22권, 1호, pp. 122-132.
- [3] 한국표준협회(1991), 「품질공학 사례집(미국.유럽편)」, 한국표준협회
- [4] Box, G. E. P.(1988), "Signal-to-Noise Ratios, Performance Criteria and Transformations (with discussion)," *Technometrics*, vol. 30. pp. 1-40.
- [5] Derringer, G., and Suich, R.(1980), "Simultaneous Optimization of Several Response Variables," *Journal of Quality Technology*, vol. 12, pp. 214-219.
- [6] Harrington, E. C. Jr.(1965), "The Desirability Functions," *Industrial Quality Control*, vol. 21, pp. 494-498.
- [7] Kacker, R. N., and Shoemaker, A. C.(1986), "Robust Design: A Cost-Effective Method for Improving Manufacturing Process," *T&T Technical Journal*, vol. 65, pp. 35-49.
- [8] Leon, R. V., Shoemaker, A. C., and Kacker, R. N. (1987), "Performance Measure Independent of Adjustment : An Explanation and Extension of Taguchi's Signal to Noise Ratio (with discussion)," *Technometrics*, vol. 29,

pp. 253-285.

- [9] Taguchi, G.(1986), *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organization, Tokyo.
- [10] Taguchi, G.(1987), *System of Experimental Design*, vol. I, American Supplier Institute, Dearborn, Michigan.
- [11] Tong, S. H(1991), "Parameter Design under Multiple Performance Characteristics," *M.S. Thesis, Dept. of Industrial Engineering, KAIST.*