

전문가 의견을 고려한 다특성치 파라미터 설계에 관한 연구

조용욱 · 박명규
명지대학교 산업공학과

The Parameter Design of Multiple Characteristics with Engineer's Opinions

Yong-Wook Cho · Myeong-Kyu Park
Dept. of Industrial Engineering, Myong-Ji University

Abstract

The purpose of parameter design is to determine optimal settings of design parameters of a product or a process such that the performance characteristics of a product exhibit small variabilities around their target values. Taguchi made significant contributions in this area. However, his analysis of the problem focused on only one performance characteristic or response, although in product and process design, multiple characteristics are more common. The critical problem in dealing with multiple characteristics is how to compromise the conflict among the selected levels of the design parameters for each individual characteristic.

In this paper, Methodology using SN ratio optimized by univariate technique is proposed and a parameter design procedure to achieve the optimal balance among several different response variables is developed. Existing case studies are solved by the proposed method and the results are compared with ones by the sum of SN ratios, the expected weighted loss, the desirability function, and EXTOPSIS model.

1. 서론

최근 수년간 제조공정이나 제품의 품질 및 생산성을 개선하기 위해 통계적 아이디어와 기법의 역할에 대한 관심이 고조되어 왔다. 전통적 품질관리 기법 중에서 가장 많이 사용되고 있는 통계적 공정관리(statistical process control) 기법은 생산라인에서의 품질관리 활동을 의미하는 온 라인(on-line) 품질관리 기법이다. 그러나 이 기법은 제조공정에서 발생할 수 있는 불량품을 미연에 방지하는데는 효과적이거나, 제조공정 그 자체에 나타나는 품질의 변동만을 관심의 대상으로 하기 때문에 수동적인 성격을 띠고 있어서 제품 전체의 품질을 개선하는 데는 한계가 있다. 이와 같은 전통적인 품질관리의 단점을 극복하기 위하여 설계과정에서 품질개선에 기여할 수 있는 기법으로서, 제품성능의 변동이나 부작용을 최소화시켜서 사회에 끼치는 총손실을 최소화시키기 위해 수행되는 설계나 개발부서의 품질관리 활동을 오프라인(off-line) 품질관리라 부른다[2, 9, 10]. 품질관리의 발전추세로 볼 때 오프라인 품질관리가 최근에 더욱 강조되고 있다. 오프라인 품질관리 기법은 노력과 비용을 적게 들이면서 최적설계 조건을 근사적으로 비교적 쉽게 결정할 수 있는 방법으로서, 제품의 성능(특성치) 변동을 줄이기 위해 잡음 그 자체를 통제하기보다는 성능변동이 잡음에 강건하도록 설계변수 값을 결정하는 방법이다. 이 방법을 파라미터 설계(parameter design)라 한다[2, 4]. 품질설계의 중요성이 인식되어 80년대초 다구찌가 실험계획법과 2차손실함수를 근거로 다구찌 파라미터 설계방법을 제안하였으며, 최근까지 생산현장에 이 기법이 많이 활용되고 있다. 그러나 다구찌의 파라미터 설계방법에 대하여 많은 통계학자들이 그 이론적 근거와 효율성에 대해 의문점을 제기하여 왔으며 이에 대응한 새로운 방법이 제기되고 있다. 또한 다구찌는 단일 특성치에 대한 변수설계 방법에 관하여 많이 언급하고 있으나 품질특성이 다수인 다특성치 경우에 대해서는 단일 특성치와 같은 구체적인 방법의 제시가 없고 단지 단일 특성치에 적용되는 방법들을 확장시켜 적용할 수 있다고 언급하고 있다[5, 12]. 제품설계에 관한 연구는 품질 특성치가 단일인 경우에 관한 이론이 대부분이며 다특성치에 관한 연구는 많지 않은 실정이다. 이는 다특성치의 경우 다구찌 방법의 적용이 어렵고, 특히 다특성치에서 개별특성치의 최적설계가 서로 상이한 상충현상이 발생하기 때문이다[2, 3, 4, 5, 6]. 특성치나 설계변수의 수가 증가하면 증가할수록 이러한 현상이 발생할 가능성은 더욱 커진다. 다특성치에 관한 몇몇의 연구로서 Pirrung(1986)은 각 특성치의 전 변동에 대한 기여율을 기준으로 파라미터 설계를 하였으며, 서순근, 최종덕은 SN비의 호감도 함수를 이용한 방법을 제시하였다[6, 12]. 또한 동승훈은 기대 가중손실을 최소화하는 방법을 제시하였으며, 배영주는 TOPSIS 개념을 확장한 EXTOPSIS 모형을 이용한 파라미터 설계방법을 제시하였다. 본 연구에서는 단일 특성치에 대한 연구를 토대로 하여 특성치가 다수인 경우로 확장하여 다특성치의 설계 방법에 대해 다구찌의 기본개념을 적용하여 상충현상이 발생하면 이것을 절충할 수 있는 하나의 방법론을 제시하고자 한다. 또한 이 측도를 기준으로 상충된 다수의 특성치에 대한 최적수준을 결정하기 위한 방법을 개발

하며, 실제 사례를 통해 기존의 다특성치의 파라미터 설계 방법들과 비교분석하고자 한다.

2. 다특성치의 파라미터 설계방법

다특성치의 파라미터 설계방법은 단일특성치와 동일하게 각 특성치별 변수설계를 다구찌 방법에 의해 행하고 얻어진 각 특성치들 간의 최적수준을 비교하여 제어인자를 <표 1>과 같이 분류한다.[6] <표 1>에서 제 1군은 각 특성치의 SN비와 망목특성치의 평균이 모두 유의하지 않으므로 경제성이나 편리성에 따라 정해지고, 제 2군은 각 특성치의 SN비가 모두 유의하지만 비상충인자이므로 각 특성치의 최적수준으로 결정할 수 있다. 제 3군은 각 특성치의 SN비가 모두 유의하고 상충인자이므로 절충단계에서 제시된 방법의 절차를 이용하여 최적수준을 정한다. 제 4군은 각 망소, 망대 특성치의 SN비가 유의하고 망목특성치의 평균에 유의하며 비상충인자이므로 최적화단계에서 수준을 결정하지만 망목특성치의 조정단계에서 다른 인자(6군, 7군)로서 조정이 되지 않을 경우에 이를 포함시켜 다시 검토한다. 제 5군은 각 망소, 망대 특성치의 SN비가 모두 유의하고 망목특성치의 평균도 유의하며 상충현상이 있으므로 절충단계에서 절충해야 한다.

< 표 1 > 파라미터 설계인자의 분류

군	특성치	통계적 유의성	상충현상	인자의 유형	결정단계	
1	NTB STB(LTB)	SN비, 평균 유의하지않음 SN비 유의하지않음	- -	비상충인자	적절한 수준선택	
2	NTB STB(LTB)	SN비 SN비	유의 유의	비상충 비상충	비상충인자	최적화단계
3	NTB STB(LTB)	SN비 SN비	유의 유의	상충 상충	상충인자	절충단계
4	NTB STB(LTB)	평균만 SN비	유의 유의	비상충 비상충	비상충인자	최적화단계
5	NTB STB(LTB)	평균만 SN비	유의 유의	상충 상충	상충인자	절충단계
6	NTB STB(LTB)	평균만 SN비	유의 유의하지않음	비상충 -	잠재적 상충인자	조정단계
7	NTB STB(LTB)	평균만 SN비	유의 유의하지않음	상충 -	잠재적 상충인자	조정단계

제 6군은 각 특성치의 SN는 유의하지 않고 망목특성치의 평균에만 유의하며 비상충인자이므로 조정단계에서 감도분석을 통하여 특성치를 목표치에 조정할수 있다. 제 7군은 각 특성치의 SN비는 유의하지 않고 망목특성치의 평균에 유의하며 다수의 망목 특성치에 대하여 상충현상이 발생하기 때문에 잠재적 상충인자로 조정단계에서 6군과 4군의 조정인자로서 목표치의 조정이 되지않는 경우에 조정인자로 이용한다. 따라서 SN비에 의한 파라미터 설계방법은 망소나 망대특성치일 경우 가능한 한 SN비가 최대가 되도록 선택하고 망목 특성치일 때는 2단계 최적화 과정을 통해 조정후 기대손실을 최소화하는 인자조건을 최적조건으로 결정한다. 그러므로 조정인자가 되는 6군과 7군은 최적화나 절충단계에서 수준을 결정하지 않고 조정단계에서 수준을 결정하는 것이 합리적이다. 그리고 절충단계에서 상충현상을 일으키는 인자중에서 망목특성치의 평균에만 유의한 조정인자를 별도로 구분하지 않으며 상충현상이 생기지 않는 인자를 최적수준으로 고정한 상태에서 상충인자를 절충한다. 본 연구에서는 상충인자를 절충할 수 있는 측도로서 제안된 방법의 체계적 절충절차를 이용하고자 한다.

3. 다특성치의 파라미터 설계절차

다특성치의 파라미터 설계절차는 다음과 같다.[5, 6]

(단계 1) 특성치별 파라미터 설계

다구찌의 단일 특성치의 파라미터설계 절차에 따라 각 특성치별 파라미터설계를 하여 특성치별 최적수준을 선택한다. 단, 망목특성치의 경우 다구찌의 2단계 최적화 과정에 의해 구한다.

(단계 2) 인자의 분류

(단계 1)에서 얻어진 특성치의 최적수준의 설계변수들이 서로 어떤 관계에 있는가를 <표 1>과 같이 분류한다. 만일 각 특성치별 최적수준이 모두 일치하면 최적수준으로 결정한다. 만일 교호작용이 있으면 주효과보다 우선적으로 고려한다.

(단계 3) 최적화 단계

각 특성치의 SN비나 망목특성치의 평균에 유의한 인자중 비상충한 것의 최적수준을 결정한다.(2군, 4군)

(단계 4) 절충 단계

각 특성치의 SN비에 유의한 인자중 상충하는 것이 있으면 4장에서 제시한 식(10)의 E_s^* 를 최대로 하는 설계변수를 최적수준으로 결정한다.(3군, 5군)

(단계 5) 조정단계

- (1) 항목 특성치별로 독립적인 하나 이상의 조정인자가 있는 경우(6군), 각 특성치에 대하여 가장 큰 감도를 가지는 조정인자를 택하여 평균에 조정할 수 있다.
- (2) 특성치별로 다른 특성치와 중복되는 조정인자가 있는 경우(6군)

$$y_j(a, c) = m_j, \quad j=1, 2, \dots, l$$

단 a : 조정인자

c : 조정인자를 제외한 설계변수

$y_j(a, c)$: j 번째 특성치의 목표치

를 검토하여 잠재적 상충현상이 발생하는지 파악한 후에 목표치에 조정한다.

- (3) (2)에서 조정이 안되면 4군을 포함시켜 검토하여 조정한다.
- (4) (3)에서 조정이 안되면 7군을 포함시켜 검토하여 조정한다.
- (5) (4)까지 조정이 안되면 5군까지 포함시켜 상충현상을 고려하여 조정한다.

(단계 6) 최적수준 결정단계

SN비와 평균에 유의하지 않고 비상충한 것은 비용이나 편리성을 고려하여 수준을 선택하고 (단계 1)~(단계 5)의 절차를 통하여 결정된 수준조합을 검토하여 설계인자의 최적수준조합을 결정한다.

4. 전문가 의견을 고려한 상충인자 절충방법

일반적으로 하나의 제품에는 다수의 특성치가 있는데 이러한 다특성치의 최적수준 결정문제는 고려중인 여러 가지 대안들, 즉 가능해 들의 집합으로부터 최적조건을 선택해야한다[1]. 다특성치에서 개별특성치의 최적설계가 서로 상이한 상충현상을 발생시킬 수 있으므로 이와 같은 상충관계를 갖는 다수의 특성치에서 복잡하고 어려운 최적수준 결정을 다구찌의 기본개념을 유지하면서 효율적으로 절충할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다. 이상해(ideal solution)로부터 각 특성치별 상충인자의 수준조합과의 거리가 가까울수록, 반이상해(non-ideal solution)로부터 멀수록 좋은 대안이라는 개념을 이용하여 [단계 1]~[단계4]에 걸쳐 제시하고자 한다.

4.1 제안된 방법의 순서

m 개의 대안(상충인자)의 수준조합과 이와 관련된 l 개의 특성치에서 상충인자와 유 의한 인자의 수준조합 실험영역에서 SN비 추정치 행렬 V 를 다음과 같이 정의한다.

$$V = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_j & \dots & X_l \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1l} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2l} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & \dots & \dots & x_{il} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{ml} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

단 $A_i =$ 상충인자들의 i 번째 조합, $x_{ij} = A_i$ 에서 j 번째 특성치의 SN비 추정치

다구찌의 개념에 의해 각 특성치의 SN비가 클수록 선호도가 증가하고 SN비가 작을수록 선호도가 감소한다.

[단계 1] 상충인자 SN비 행렬의 기준 x_{ij} 화(normalization)

각 특성치별 상충인자의 수준조합에서 SN비의 추정치를 기준화 하는 과정으로, 선형변환 방법을 이용하여 각 특성치에서의 결과치를 해당열에서의 최대치로 나누면 된다. SN비의 값이 클수록 높은 선호도를 갖는 열에서 해당열의 최대치를 $x_j^* = \text{Max}_i(x_{ij})$ 라 할 때 변환된 SN비 추정치 행렬 R의 원소 r_{ij} 는 식(1)에 의해 얻어지며, 만일 특성치의 SN비의 값들이 양수인 경우에 행렬 R은 다음과 같다[1].

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*} \tag{1}$$

만일 임의의 특성치의 SN비의 값들이 모두 음수인 경우에는 식(2)와 같다.

$$r_{ij} = \frac{x_j^*}{x_{ij}} \quad \text{여기서 } 0 \leq r_{ij} \leq 1 \text{이다.} \tag{2}$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1l} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2l} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{ml} \end{bmatrix}$$

[단계 2] 표준화 된 상충인자의 SN비 행렬에 가중치(weight) 부여

이 단계에서는 의사결정자가 각 특성치에 대해 부여한 가중치가 상충인자 SN비 행렬에 포함된다. 다특성치 문제에서 각 특성치에 가중치를 부여하는 것은 매우 어렵고도 신중한 일이다. 가중치를 다르게 부여함에 따라 최종선택결정이 달라질 수 있다. 그러므로 가중치를 부여시 매우 신중한 결정이 요구된다. 이에 따라 전문가들의 의견을 이용하여 가중치를 부여하기로 한다. 평가치를 나타내기 위해 1부터 10까지의 구간척을 이용하여 전문가들에 의해 가중치를 부여토록 한다. 이때 1은 중요하지 않음을 나타내고 10은 매우 중요함을 의미한다. P명의 전문가가 느끼는 l개의 특성치의 상대적 중요도(RI)는 다음과 같이 표현한다.

$$R^p = (I_1^p, I_2^p, \dots, I_l^p) \quad p = 1, \dots, P \quad (3)$$

각 특성치에 대한 P명의 상대적 중요도의 평균은 식(4)와 같다.

$$RI = (I_1, I_2, \dots, I_l) \quad (4)$$

$$I_j = \sum_{p=1}^P I_j^p / P \quad j = 1, \dots, l \quad (5)$$

다른 특성치들과의 중요도를 비교하기 위해 중요도 벡터 RI를 표준화한다.

$$w = (w_1, \dots, w_l) \quad \sum_{j=1}^l w_j = 1 \quad (6)$$

$$\text{이때 } w_j = I_j / \sum_{j=1}^l I_j$$

[단계 3] 상대적 근접도 계산(relative closeness)

특성치의 SN비값은 클수록 높은 선호도를 갖기 때문에 이상해(ideal solution)는 가장 선호도가 높은 각 특성치별 최대값을 의미하고 반이상해(non-ideal solution)는 가장 선호도가 낮은 각 특성치별 최소값을 의미한다. 이상해(ideal solution)로부터 각 특성치별 상충인자의 수준조합과의 거리가 가까울수록, 반이상해(non-ideal solution)로부터 멀수록 좋은 대안이라는 개념하에 상충인자들의 임의의 i번째 조합에서의 상대적 근접도(RC_i)를 다음과 같이 표현한다.

$$RC_i = \sum_{j=1}^l w_j \frac{\text{Max}_i(r_{ij}) - r_{ij}}{\text{Min}_i(r_{ij})} \quad i = 1, \dots, m \quad (7)$$

이때 각 특성치의 $(Max_i(r_{ij}) - r_{ij}) / Min_i(r_{ij})$ 는 상대적 우월성만을 보여주는 서열형 측도로서 각 특성치에 가중치를 곱해서 더해주는 비율형 측도로 상대적 근접도(RC_i)를 식 (7)과 같이 표현하였다.

[단계 4] 최적수준의 결정

$$E_i^* = Max_j(RC_j) - RC_i \quad i = 1, \dots, m \quad (8)$$

E_i^* 값 또한 간단한 비율형태의 레이팅으로, E_i^* 값이 큰 대안이 이상해에 가장 근접해 있음을 의미하므로 E_i^* 가 가장 큰 상충인자 수준조합을 최적수준으로 결정한다.

5. 기존 사례에의 적용 및 비교

제시된 다특성치의 파라미터설계방법의 타당성을 보이기 위하여 '기존의 사례를 선정하여 각 특성치의 가중치를 동일하게 부여하여 이전의 방법과 비교하고, 또한 가중치를 달리했을 경우에 제안된 방법을 이용하여 분석하고자 한다.

5.1.1 자동차 액정계기판의 직접소자 성능개선 사례(가중치를 동일하게 부여한 경우)

이 사례는 Pirrung(1986)의 직접소자의 성능개선 사례로서 액정계기판의 특성치를 다음과 같이 두 개로 선택할 수 있다. 고려되는 설계인자와 수준을 <표 2>에 나타내었다.

① 결합부위의 전기적 저항(망소 특성치)

허용규격치는 3000(ohms)

② 직접소자의 결합력(망대 특성치)

허용규격치는 300(pounds)

< 표 2 > 설계인자와 수준

인 자	수 준
A	4 수준(D1, H-20-E, 88-1, H-20E-175)
B	2 수준(90min @ 90℃, 60min @ 120℃)
C	2 수준(Cu, Hi)
D	2 수준(Yes, No)
E	2 수준(Tin, Silver)

직교배열 $L_8(2^7)$ 에 할당하여 실험한 결과는 <표 3>과 같다.

< 표 3 > 실험의 결과

실험번호	A	B	C	D	E	SN비(1)	SN비(2)
	1	2	3	4	5		
1	1	1	1	1	1	-23.42	56.35
2	1	2	2	2	2	-53.44	54.67
3	2	1	1	2	2	-15.02	55.40
4	2	2	2	1	1	-56.34	59.09
5	3	1	2	1	2	-73.51	58.98
6	3	2	1	2	1	-20.00	57.99
7	4	1	2	2	1	-58.99	54.67
8	4	2	1	1	2	-15.76	59.30

(단계 1) 특성치별 파라미터 설계

각 분석 대상별로 SN비 분산분석을 행하여 유의수준 5%에서 유의한 인자를 찾아서 SN비가 최대가 되는 설계인자의 최적수준을 결정한 결과가 <표 4>와 같다.

< 표 4 > 특성치별 최적수준

인자	특성치(1)		특성치(2)	
	SN비	최적수준	SN비	최적수준
A1	-38.43		55.51	
A2	-35.68	○	57.25	
A3	-46.76		58.49	○
A4	-37.38		56.99	
B1	-42.74		56.35	
B2	-36.39	○	57.76	○
C1	-18.55	○		
C2	-60.57		-	-
D1	-42.26		58.43	○
D2	-36.86	○	55.68	
E	-	-	-	-

(단계 2) 인자의 분류

<표 4>에서 보면 특성치(1)의 최적수준은 $A_2B_2C_1D_1$ 이고 특성치(2)의 최적수준은 $A_1B_2D_1$ 이다. 단, 특성치(2)의 인자 A는 유의수준이 0.05보다 크지만 거의 0.05에 가까운 값이므로 유의한 인자에 포함시켰다. 설계변수들을 분류하면 다음과 같다.

인자 A : 3군, 인자 B : 2군, 인자 C : 2군, 인자 D : 3군, 인자 E : 1군

(단계 3) 최적화 단계

인자 B, C는 2군에 속하므로 최적수준을 인자 B는 2수준, 인자 C는 1수준으로 결정한다.

(단계 4) 절충단계

인자 A와 D는 3군에 속하는 상충인자이므로 이 인자들의 각 수준과 유의한 인자조합에 대하여 두 특성치 SN비를 추정하면 <표 5>와 같다.

아래의 <표 5>에서 SN_1 , SN_2 열의 각 추정치들은 특성치(1), (2)에서 상충인자와 유의한 인자의 수준조합조건에서의 추정치로서 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned}\widehat{x}_{11} &= \overline{A_1} + \overline{B_2} + \overline{C_1} + \overline{D_1} - 3\overline{T} \\ &= (-38.43) + (-36.39) + (-18.55) + (-42.26) - 3(-39.56) \\ &= -16.95\end{aligned}$$

나머지 추정치들도 위와 같은 방법으로 구한다.

< 표 5 > 상충인자 조합에서의 각 특성치별 SN비 추정치

실험 번호	A	D	SN_1	SN_2
1	1	1	-16.95	57.58
2	1	2	-11.55	54.83
3	2	1	-14.20	59.32
4	2	2	-8.80	56.57
5	3	1	-25.28	60.56
6	3	2	-19.88	57.81
7	4	1	-15.90	59.06
8	4	2	-10.50	56.31

본 연구에서 제안한 방법의 절차를 이용하여 절충하고자 할 때 SN_1 , SN_2 추정치가 상충인자조합과 유의한 인자조합에서의 특성치별 행렬 V 가 된다. 이 행렬 V 를 가지고 제안된 방법의 [단계 1]의 상충인자 SN비 행렬의 표준화를 통해 행렬 R 를 얻는 결과는 다음과 같다.

$$R = \begin{bmatrix} 0.5192 & 0.9508 \\ 0.7620 & 0.9054 \\ 0.6197 & 0.9795 \\ 1 & 0.9341 \\ 0.3481 & 1 \\ 0.4427 & 0.9546 \\ 0.5535 & 0.9752 \\ 0.8381 & 0.9298 \end{bmatrix}$$

기존방법과의 비교를 위해 표준화 된 행렬 R 에 가중치를 각각 0.5를 부여하여 계산하기로 한다. 식(7)에 의해 상충인자들의 1번째 조합에서의 상대적 근접도를 계산하면 다음과 같다.

$$\{0.5 \times (\frac{1-0.5192}{0.3481}) + 0.5 \times (\frac{1-0.9508}{0.9058})\} = 0.7178$$

각 A_i 에 대한 RC_i 와 E_i^* 를 구한 결과는 <표 6>과 같다.

< 표 6 > 상충인자 수준조합별 상대적 근접도

번호	RC_i	E_i^*
1	0.7178	0.2186
2	0.3941	0.5423
3	0.5576	0.3788
4	0.0364	0.9*
5	0.9364	0
6	0.8256	0.1108
7	0.655	0.2814
8	0.2713	0.6651

<표 6>의 결과를 보면 4번째 상충인자의 수준조합인 A_2D_2 가 $E_i^* = 0.9$ 로 가장 크므로 상충인자의 최적수준조합은 A_2D_2 가 된다.

(단계 5) 조정단계

본 사례에서는 망목특성치가 없으므로 조정할 필요가 없다.

(단계 6) 최적수준 결정단계

인자 E는 1군에 속하므로 경제성, 편리성등을 고려하여 정해 주면 된다. 따라서 본 연구에서 제안한 방법을 통한 다특성치의 파라미터 설계를 위한 사례분석 결과 설계인자의 최적수준은 $A_2B_2C_1D_2$ 이다. 각 특성치의 전변동에 대한 기여율을 기준으로한 Pirrung(1986)의 결과와 SN비의 호감도 함수를 이용한 서순근, 최종덕(1994)의 경우 설계인자의 최적수준은 $A_2B_2C_1D_1$ 이지만 다구찌의 SN비의 합을 이용한 방법, 동승훈(1990)의 기대가중손실을 이용한 결과 및 배영주, 김광수의 EXTOPSIS 모형을 이용한 결과와 본 연구의 결과에 의한 설계인자의 최적수준은 $A_2B_2C_1D_2$ 임을 알 수 있다 [5]. 본 연구의 결과와 호감도함수, 기대가중손실, SN비의 합에 의한 결과 및 EXTOPSIS 모형을 이용한 결과를 비교하여 보면 <표 7>과 같다.

< 표 7 > 절충결과의 비교

번호	D_j	sum of SN ratios	expected weighted loss	EXTOPSIS	E_i^*
1	0.6222	43.63	49.5450	0.5052	0.2186
2	0.4368	43.28	14.2889	0.8117	0.5423
3	0.6222	45.12	26.3027	0.6733	0.3788
4	0.6222	43.63	49.5450	0.5052	0.2186
5	0.7308	35.28	337.2873	0.0888	0
6	0.6057	37.93	97.2747	0.3297	0.1108
7	0.7584	43.16	38.9045	0.5707	0.2814
8	0.5810	45.81	11.2202	0.8769	0.6651

* : optimum value

5.1.2 자동차 액정계기판의 직접소자 성능개선 사례(가중치를 다르게 부여한 경우)

자동차 액정계기판의 직접소자 성능개선 사례의 파라미터 설계절차 (단계 1)~(단계 3)은 동일하며, 또한 (단계 4)의 절충단계에서의 [단계 1]의 상층인자 SN비 행렬의 표준화를 통해 행렬 R를 얻는 결과도 동일하다. [단계 2]의 표준화 된 상층인자의 SN비 행렬에 가중치를 다르게 부여하기 위해, 각 특성치에 대한 중요도를 6명의 전문가의 의견을 이용하여 아래와 같이 얻었다고 가정하자.

$$R^1 = (2, 8), R^2 = (3, 9), R^3 = (2, 9), R^4 = (4, 8)$$

$$R^5 = (4, 9) R^6 = (3, 8)$$

각 특성치의 SN비에 대한 6명의 가중합의 평균은 식(5)를 이용하여 계산하면 아래와 같다.

$$RI = (3, 8.5)$$

다른 특성치들의 중요도를 비교하기 위해 중요도 벡터 RI를 식(6)을 이용하여 표준화 하면 다음과 같다.

$$w = (0.26, 0.74)$$

식(7)에 의해 상충인자들의 1번째 조합에서의 상대적 근접도를 계산하면 다음과 같다.

$$(0.26 \times (\frac{1-0.5192}{0.3481}) + 0.74 \times (\frac{1-0.9508}{0.9058})) = 0.3993$$

각 A_i 에 대한 RC_i 와 E_i^* 를 구한 결과는 <표 8>과 같다.

< 표 8 > 상충인자 수준조합별 상대적 근접도

번호	RC_i	E_i^*
1	0.3993	0.0876
2	0.2551	0.2318
3	0.3009	0.186
4	0.0539	0.433*
5	0.4869	0
6	0.4534	0.0335
7	0.3538	0.1331
8	0.1783	0.3086

<표 8>의 결과를 보면 4번째 상충인자의 수준조합인 A_2D_2 가 $E_4^* = 0.433$ 으로 가장 크므로 상충인자의 최적수준조합은 A_2D_2 가 된다. 위의 결과에서 가중치를 동일하게 부여한 경우와 가중치를 달리 했을 경우에 최적수준은 변하지 않음을 알 수 있다. 그 이유는 첫 번째 특성치의 수준조합에서의 SN비값들의 크기의 차이는 매우 크지만 두 번째 특성치의 수준조합에서의 SN비값들의 크기의 차이는 별로 크지 않음을 알 수 있다. 즉, 첫 번째 특성치의 가중치를 작게 부여하고 두 번째 특성치에 가중치를 크게 부여해도 각 SN비의 차이 크기를 가중치 부여 효과가 상쇄시키지 못한 결과로 보인다.

다. 하지만 가중치를 부여한 결과 상충인자의 수준조합에서의 RC_i값들의 차이의 크기가 점점 작아짐을 알 수 있다.

5.2.1 양면 SMT 전자조립작업에서 뿔납개선 사례(가중치를 동일하게 부여한 경우)

또한 망목 특성치가 다수가 있는 경우는 조정단계가 복잡해지지만, 이런 사례는 드물게 나타난다. 이 중에서 Peace(1993)의 뿔납개선 사례를 선택하여 제시된 방법의 적용가능성을 입증하기 위해 재분석하고자 한다. 각각의 특성치들은 다음과 같이 3가지를 선정하여 실험하였다.

- (1) 뿔납의 질량(망목 특성치)
 - 목표치 = 4.2 grams
 - 허용규격치 = ±2.0 grams
- (2) 뿔납의 높이 (망목 특성치)
 - 목표치 = 10 miles
 - 허용규격치 = ±4 miles
- (3) 접착력 (망대 특성치)
 - 허용규격치 = 8 inch-ounces

고려되는 인자는 A, B, C, D, E, F의 6개 인자를 선정하고 이때 인자 A와 B의 교호작용의 효과도 알고자 하였다. 수준을 모두 2수준으로 하여 $L_8(2^7)$ 직교배열에 할당하고 두 개의 잡음을 고려하여 두 번 반복실험을 행한 관측치의 결과는 <표 9>에 주어졌다.

< 표 9 > 양면 SMT조립 실험

exp. No.	A						solder paste mass				solder paste height				glue torque				
	×						M1		M2		M1		M2		M1		M2		
	A	B	B	C	D	E	F	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
1	1	1	1	1	1	1	1	4.15	3.42	3.95	3.80	11.00	10.62	8.85	11.00	15.90	12.95	11.60	13.55
2	1	1	1	2	2	2	2	4.13	4.46	4.13	3.33	9.23	9.56	9.23	7.73	15.33	13.66	13.50	10.70
3	1	2	2	1	1	2	2	3.15	3.12	2.97	2.02	11.28	11.58	9.13	9.78	15.02	13.29	10.74	10.39
4	1	2	2	2	2	1	1	2.99	2.29	2.63	2.64	11.15	10.80	11.15	11.15	16.55	13.60	14.70	14.20
5	2	1	2	1	2	1	2	4.22	4.52	4.87	4.07	11.97	11.92	12.27	10.77	19.35	19.70	20.80	18.00
6	2	1	2	2	1	2	1	5.74	6.73	6.53	6.38	8.90	9.55	7.05	9.20	18.48	20.11	17.46	19.41
7	2	2	1	1	2	2	1	4.72	5.70	5.35	5.35	13.19	13.84	13.49	13.49	20.95	22.58	22.38	21.88
8	2	2	1	2	1	1	2	3.27	3.57	3.12	3.12	5.72	5.67	3.87	4.52	12.92	13.27	11.92	11.57

각 특성치별 최적수준을 정리하여 <표 10>에 나타내었다. <표 10>에서 보면 특성치(1)의 최적수준은 $A_2B_1F_1$ 이고 특성치(2)의 최적수준은 $B_2D_2F_1$ 이고 특성치(3)은 최적수준이 A_2 이다. 단, <표 10>에서 괄호로 표기된 인자는 유의하지는 않지만 거의 유의수준에 가깝기 때문에 유의하다고 간주하였다. 따라서 설계변수들을 분류하면 다음과 같다.

A : 2군, B : 4군, C : 6군, D : 2군, E : 6군, F : 2군

< 표 10 > 특성치별 최적수준

factor	solder paste mass			solder paste height			glue torque	
	SN ratio	opt. level	sensitivity (S_1)	SN ratio	opt. level	sensitivity (S_1)	SN ratio	opt. level
A_1	18.504		10.268	23.951		20.139	22.388	
A_2	21.512	○	13.569	22.918		19.147	24.971	○
B_1	21.415	○	13.164	20.910		19.863	23.979	-
B_2	18.600		10.673	25.959	○	19.423	23.380	
C_1	20.115	-	11.989	24.538	(○)	21.164	24.138	(○)
C_2	19.901		11.848	22.331		18.122	23.220	
D_1	19.539		11.884	17.899		18.315	22.826	
D_2	20.476	(○)	11.953	28.970	○	20.971	24.532	(○)
E_1	20.393	(○)	10.964	23.958	-	19.103	23.337	-
E_2	19.623		12.873	22.911		20.183	24.022	
F_1	21.708	○	12.640	27.008	○	20.634	24.513	-
F_2	18.308		11.197	19.862		18.652	22.846	
A_1B_1	20.151		11.855	20.414		19.659	22.345	
A_1B_2	16.853	-	8.681	27.488	-	20.620	22.430	-
A_2B_1	22.679		14.473	21.407		20.066	25.613	
A_2B_2	20.335		12.665	24.430		18.227	24.330	

인자 A와 D, F는 2군에 속하므로 최적수준으로서 인자 A와 D는 각각 2수준, 인자 F는 1수준으로 설정할 수 있다. 인자 B는 3군에 속하는 상충인자이므로 각 수준별 SN비를 추정하면 <표 11>과 같다.

< 표 11 > 상충인자 조합에서 각 특성치별 SN비 추정치

B	SN_1	SN_2	SN_3
1	24.6194	30.0189	-
2	21.8047	35.0675	-

위의 행렬 V를 가지고 제안된 방법의 [단계 1]의 상충인자 SN비 행렬의 표준화를 통해 행렬 R를 얻는 결과는 다음과 같다

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.8560 \\ 0.8857 & 1 \end{bmatrix}$$

기존방법과의 비교를 위해 표준화 된 행렬 R에 가중치를 각각 0.5를 부여하여 계산하기로 한다. 식(7)에 의해 상충인자들의 1번째 조합에서의 상대적 근접도를 계산하면 다음과 같다.

$$(0.5 \times (\frac{1-1}{0.8857})) + 0.5 \times (\frac{1-0.8560}{0.8560}) = 0.0841$$

각 A_i 에 대한 RC_i 와 E_i^* 를 구한 결과는 <표 12>와 같다.

< 표 12 > 상충인자 수준조합별 상대적 근접도

번호	RC_i	E_i^*
1	0.0841	0
2	0.0645	0.0196*

본 연구에서의 결과와 호감도함수, 기대가중손실, SN비의 합에 의한 결과 및 EXTOPSIS모형을 이용한 결과를 비교하면 <표 13>과 같다.

< 표 13 > 절충결과의 비교

번호	D_j	sum of SN ratios	expected weighted loss	EXTOPSIS	E_i^*
1	0.7587	54.6384	████████	0.4380	0
2	████████	████████	7.2508	████████	████████

<표 13>에서 보면 본 연구의 결과와 호감도 함수, SN비의 합의결과 및 EXTOPSIS 방법의 결과가 일치하고 있으나 기대 가중손실은 다르게 나타난다. 특성치(1)과 특성치(2)는 망목특성치이므로 민감도의 분산분석결과 C와 E는 6군에 속하는 조정인사이므로 유의한 비상충인자의 최적수준과 조정된 상충인자의 수준에서 평균치를 추정하여 목표치에 접근하도록 구한 설계 변수들의 최적수준은 $A_2B_2D_2F_1$ 이다.

5.2.2 양면 SMT 전자조립작업에서 땀납개선 사례(가중치를 다르게 부여한 경우)

[단계 2]의 표준화 된 상충인자의 SN비 행렬에 가중치를 다르게 부여하기 위해, 각 특성치에 대한 중요도를 6명의 전문가의 의견을 이용하여 아래와 같이 얻었다고 가정하자.

$$RI^1 = (8, 2), RI^2 = (9, 3), RI^3 = (9, 2), RI^4 = (8, 4)$$

$$RI^5 = (9, 4) RI^6 = (8, 3)$$

각 특성치의 SN비에 대한 6명의 가중합의 평균은 식(5)를 이용하여 계산하면 아래와 같다.

$$RI = (8.5, 3)$$

다른 특성치들의 중요도를 비교하기 위해 중요도 벡터 RI를 식(6)을 이용하여 표준화 하면 다음과 같다.

$$w = (0.74, 0.26)$$

식(7)에 의해 상충인자들의 1번째 조합에서의 상대적 근접도를 계산하면 다음과 같다.

$$\{0.74 \times (\frac{1-1}{0.8857}) + 0.26 \times (\frac{1-0.8560}{0.8560})\} = 0.0437$$

각 A_i 에 대한 RC_i 와 E_i^* 를 구한 결과는 <표 14>와 같다.

< 표 14 > 상충인자 수준조합별 상대적 근접도

번호	RC_i	E_i^*
1	0.0437	0.0517*
2	0.0954	0

<표 14>의 결과를 보면 첫 번째 상충인자의 수준조합인 B_1 이 $E_1^* = 0.0517$ 로 가장 크므로 상충인자의 최적수준조합은 B_1 이 된다. 각 특성치에 가중치를 다르게 부여할 경우 다음과 같이 최적수준이 달라질 수 있다 유의한 비상충인자의 최적수준과 조정된 상충인자의 수준에서 평균치를 추정하여 목표치에 접근하도록 구한 설계 변수들의 최적수준은 $A_2B_1D_2F_1$ 이다. 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 두개의 사례를 분

석한 결과 기존의 분석결과와 거의 일치함을 알 수 있고 각 특성치의 상충인자의 조합에서 이상해(ideal solution)로부터 각 특성치별 상충인자의 수준조합과의 거리가 가까울수록, 반이상해(non-ideal solution)로부터 멀수록 좋은 대안이라는 개념을 이용하여 상충인자들의 최적수준조합을 얻을 수 있다. 또한 상충인자의 절충시 각 특성치의 중요도를 기술과 경험이 많은 전문가의 의견을 이용하여 가중치를 부여한 결과 더 나은 절충해를 구할 수 있는 실제적인 파라미터 설계방법임을 알 수 있다.

6. 결론

기존의 방법을 검토해 본 결과 다구찌가 주장하는 SN비의 합의 방법은 각각의 특성치의 가중치를 고려하지 않았고 또한 각 특성치의 SN비값을 표준화하지 않고 단지 더해줌으로써 최적 설계인자의 수준을 선택하지 못하는 경향이 있다. 동승훈의 대가중손실을 이용하는 방법은 각 특성치들간에 상관관계가 없다고 가정하였기 때문에 각 특성치들간에 상관관계가 존재할 때 이용하지 못하는 단점이 있다. 또한 서순근, 최종덕의 호감도를 이용한 방법은 망소특성치와 망대특성치의 허용규격치가 주어지지 않았을 경우 어떻게 계산하는지 방법 제시가 없다. 배영주, 김광수의 TOPSIS를 이용한 방법과 본 논문에서 제시한 방법을 각 특성치의 가중치를 동일하게 부여한 경우를 두가지 사례외에 다수의 실험에 적용해 본 결과, 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 기타 다 특성치의 설계 방법으로 쌍대반응표면방법, 거리측도방법, 비선형계획법등이 있으나 이러한 방법들은 최적화 방법이지 다구찌가 주장하는 강건설계 방법이 아니므로 최적해에 근사하면서 잡음에 둔감한 강건 설계들인지 의심의 여지가 있다. 따라서 본 연구에서는 다구찌의 강건 설계에 대한 기본개념을 기초로 하여 각 특성치별 SN비를 추정하였고 분산분석을 통한 각 특성치별 설계인자의 최적수준 결정, 인자의 분류, 최적화 단계를 거쳐 각 특성치의 SN비의 유의한 인자중 상충현상이 발생시 절충하기 위한 방법론을 제안하였다. 본 연구에서 제시한 방법은 계산절차가 간단하고 적용하기 쉬워 현장에서 손쉽게 이용할 수 있으리라 생각되며 본 논문에서 제시된 사례외에 다수의 실제사례에 적용하여 지속적인 연구가 요구된다. 또한 각 특성치의 중요도를 고려함에 있어, 다양한 전문가의 의견을 고려한 가중치를 부여하는 방법에 대한 연구도 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- [1] 김성희(1988), 「의사결정론」, 영지문화사.
- [2] 권혜익(1995), “오프라인 품질관리의 파라미터 설계에 관한 연구,” 박사학위논문, 계명대학교.

- [3] 동승훈(1990), "성능 특성이 다수인 경우의 파라미터 설계에 관한 연구," 석사학위논문, 한국과학기술원.
- [4] 박성현(1997), 「다구찌 방법을 중심으로 한 응용실험계획법」, 영지문화사
- [5] 배영주, 김광수, 이진규(1996), "EXTOPSIS 모형을 이용한 다중특성치의 파라미터 설계," 「품질경영학회지」 제24권 제3호, pp. 111-132.
- [6] 서순근, 최중덕(1994), "다성능특성치에 관한 안정성설계," 「품질경영학회지」, 제 22권 제3호, pp. 34-53.
- [7] 조용욱, 박명규(1998), "다구찌 방법을 이용한 표면거칠기의 최적조건 결정," 「공업경영학회지」, 제21권 제46집 pp. 221-227.
- [8] Elsayed, E. A. and Chen, A.(1993), "Optimum Levels of Process Parameters for Products with Multiple Characteristics," International Journal of Production Research. Vol. 31, pp. 1117-1132.
- [9] Fowlkes, W. C. and Creveling, C. M.(1995), *Engineering Methods for Robust Product Design*, Addison-Wesley Publishing Company INC.
- [10] Kapur, K.C. and Chen, G.(1988), "Signal-to-Noise Development for Quality Engineering," Quality and Reliability Engineering International, Vol. 4, pp. 133-141.
- [11] Peace, G, S.(1993), *Taguchi Methods: A Hands-on Approach*, Addison-Wesley Publishing Company INC.
- [12] Pirrung(1986), "Optimization of Bond Strength and Contact." ITT SWF(West Germany), *Fourth Symposium on Taguchi Method*, American Supplier Institute.