

▣ 연구논문

다요소를 고려한 다특성치 파라미터 설계 방법  
 -The Parameter Design of Multiple Characteristics with  
 Multiple Attributes-

조용욱 \*  
 Cho Yong-Wook  
 박명규 \*\*  
 Park Meong-Kyu

Abstract

Taguchi's robust design methodology has focus only a single characteristic or response, but the quality of most products is seldom defined by a characteristics, and is rather the composite of a family of characteristics which are often interrelated and nearly always measured in a variety of units. The multiple characteristics problem is how to compromise the conflicts 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 compromise among several different response variables is developed. Also, We propose a decision model to incorporates the values assigned by a group of experts on different factors in weighting decision. Using this model, SN ratio of taguchi method for each of subjective factors as well as values of weights are used in this comprehensive method for weighting decision.

1. 서론

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.[3,4,5,6,7,8] 특성치나 설계변수의 수가 증가하면 증가할수록 이러한 현상이 발생할 가능성은 더욱 커진다. 다특성치에 관한 몇몇의 연구로서 Pirrung은 각 특성치의 전 변동에 대한 기여율을 기준으로 파라미터 설계를 하였으며[11], Harrington은 소비자의 선호도를 반영한 호감도 함수를 제시하였다.[10] 서순근, 최종덕은 좀더 개량된 방법인 SN비의 호감도 함수를 이용한 방법을 제시하였다.[5] 또한 동승훈은 기대 가중손실을 최소화하는 방법을 제시하였으며,[3] 배영주는 TOPSIS개념을 확장한 EXTOPSIS 모형을 이용한 파라미터 설계방법을 제시하였다.[4] 이강인은 손실함수를 이용한 다망목특성치의 의사결정문제를 제시하였고,[6] 김옥일, 강창욱은 품질변수가 2개인 경우에 대하여 품질변수들의 특성에 따라 기대손실을 평가하는 방법을 연구하였고,[2] Vininig은 쌍대반응 방법과 반응표면 분석법을 접목시켜 평균과 분산을 동시에 최적화하고자하였다.[12] 또한 조용욱, 박명규는 다특성치의 설계 방법에 대해 다구찌의 기본개념을 적용하여 상충현상이 발생하면 이것을 절충할 수 있는 방법론을 제시하였다.[7,8] 대부분의 기존

\* 명지대학교 산업기술연구소 전임연구원(명지대학교 산업공학과 박사과정 수료)

\*\* 명지대학교 산업공학과

연구들은 다특성치를 고려했지만 각 특성치들 간의 중요도가 다를 수 있음에도 불구하고 각 특성치들 간의 가중치를 부여하는 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다특성치의 설계 방법에 대해 다구찌의 기본개념을 적용하여 상충현상이 발생하면 이것을 절충할 수 있는 계량적 측도를 제시한 조용욱, 박명규의 방법에 본 연구에서 제시한 각 특성치에 가중치를 부여하는 방법을 추가하여 더 발전된 다특성치 파라미터 설계방법을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 각 특성치에 가중치를 부여시 특성치마다 중요도가 다를수 있기 때문에, 각 특성치에 가중치를 부여하는데 있어서 객관적인 요소와 주관적인 요소로 선별한 후, 객관적인 요소에 기대가중손실 개념과 엔트로피를 이용하여 객관적 요소값을 계산하고 주관적인 요소에는 주관적인 요소의 값과 요소의 가중치를 전문가의 그룹에 의해 값을 할당하여 통합하는 가중합 모델을 제시하고자 한다. 이를 기준으로 상충된 다수의 특성치에 대한 최적수준을 결정하기 위한 방법을 개발하며 기존사례를 이용하여 분석하고자 한다. 다특성치의 파라미터 설계방법은 참고 문헌 [5,6,7,8]과 동일하기 때문에 지면 관계상 생략하였다.

## 2. 다특성치의 파라미터 설계절차

다특성치의 파라미터 설계절차 또한 동일하기 때문에 다특성치의 파라미터 설계절차를 간단히 언급하기로 한다.[5,6,7,8]

- (단계 1) 특성치별 파라미터 설계
- (단계 2) 인자의 분류
- (단계 3) 최적화 단계
- (단계 4) 절충 단계
- (단계 5) 조정단계
- (단계 6) 최적수준 결정단계

## 3. 상충인자 수준의 절충방법

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] ~ [단계 4]에 걸쳐 제시하고자 한다.[7,8] 또한 각 특성치에 가중치를 부여하는 방법을 [단계 2]의 (순서 1) ~ (순서 4)를 통해 자세히 설명하기로 한다.

### 3.1 제안된 방법의 순서

m개의 대안(상충인자)의 수준조합)과 이와 관련된 l개의 특성치에서 상충인자와 유의한 인자의 수준조합 실험영역에서 SN비 추정치 행렬 V를 다음과 같이 정의한다.

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

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 정규화(normalization)

각 특성치별 상충인자의 수준조합에서 SN비의 추정치를 정규화하는 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 행렬 R은 다음과 같다.[7,8]

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

만일 특성치의 SN비의 값이 음수인 경우에는 식(2)와 같다.

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

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

[단계 2] 정규화된 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 최종선택 결정이 달라질 수 있다. 그러므로 가중치를 부여시 매우 신중한 결정이 요구된다. 이에 따라 전문가들의 의견을 이용하여 가중치를 부여하기로 한다. 각각의 특성치에 상대적인 중요도를 알기 위해 가중치를 부여하기 위해서는 크게 두가지 요소(attribute)가 고려된다. 첫째, 객관적인 요소는 수치적으로 정의가 가능한 것으로 예를 들면 제품의 가격, 사양 등이다. 둘째, 주관적인 요소는 특성상 정성적이다. 예를 들면 소비자 서비스품질, 신뢰도등이다. 각 특성치에 가중치를 부여하는 것은 한사람의 결정보다는 전문가들의 그룹에 의해 부여된다. 이에 따라 각 특성치에 가중치를 부여하는데 있어서 주관적인 요소의 값과 요소의 가중치를 전문가의 그룹에 의해 값을 할당하여 통합하는 가중합 모델을 제시하였다. 특성치에 가중치를 부여하는데 있어서 객관적인 요소와 주관적인 요소가 이용되고 각 요소에 대한 가중치를 평가하고 각 특성치의 상대적 중요도를 계산한다. 각 특성치의 객관적인 요소는 숫자로 표현되는 값을 할당하고 측정한다. 각 특성치의 주관적인 요소는 특성상 정성적이므로 평가치를 나타내기 위해 1부터 9까지의 구간척을 이용하여 전문가들에 의해 가중치를 부여하도록 한다. 이때 1은 매우 중요하지 않음을 나타내고 9는 매우 중요함을 의미한다. 이때 각기 다른 전문가에 의해 부여된 주관적 요소값은 다를 수도 있다. 본 연구에서는 여러 전문가가 각각의 주관적 요소에 부여된 값을 다구찌 기법에서 이용하는 SN비로 계산하고 그 값들을 정규화한다. 주관적 요소와 객관적 요소를 위한 가중치 또한 전문가에 의해 1부터 9까지의 구간척을 이용하여 할당된다. 이때 각각의 요소에 부여된 값을 SN비로 계산하고 그 값들을 정규화 한다. 각 특성치의 상대적 중요도를 결정하는데 객관적 요소를 설정하는 것은 매우 어렵다. 이에 따라 본 연구에서는 어떤 특성치를 선택할 때 발생하는 기대가중손실과 특성치에서 평가치의 정보의 양을 나타내는 엔트로피를 객관적 요소로 선정하여, 인자의 수준이 상충될 때 각 특성치에서의 상충인자의 수준을 선택하여 객관적 요소값을 계산하였다.

각 특성치의 상대적 중요도를 계산하는 순서는 다음과 같다.

(순서 1) 각 특성치에 대한 객관적 요소 선정과 평가치를 결정하고 주관적 요소 선정과 그에 대한 전문가의 가중치를 부여한다.

(순서 2) 각 특성치의 객관적 요소 및 주관적 요소를 위해 할당된 값을 정규화한다.

모든 객관적 요소 및 주관적 요소를  $k$ 라 표시하고  $k=1, \dots, s, s+1, \dots, s+t$ 이다. 이때  $1, \dots, s$ 까지는 객관적 요소를 의미하고  $s+1, \dots, s+t$ 는 주관적 요소를 의미한다. 각 특성치( $j = 1, \dots, l$ )의 객관적 요소의 정규화는 다음과 같이 표현한다. 만일 요소가 이익 요소일 경우, 즉 요소값이 클수록 좋은 경우에는  $NOV$ (Normalized Objective Attribute Value)는

$$NOV_{kj} = OV_{kj} / (OV_{k1} + OV_{k2} + \dots + OV_{kl}) \quad (3)$$

이고, 요소가 비용 요소일 경우, 즉 요소값이 작을수록 좋은 경우는 아래와 같다.

$$NOV_{kj} = (1/OV_{kj}) / [(1/OV_{k1}) + (1/OV_{k2}) + \dots + (1/OV_{kl})] \quad (4)$$

다음으로 주관적 요소를 정규화 하는 방법을 살펴보기로 한다. 여러 전문가가 각각의 주관적 요소에 부여된 값을 다구찌 기법에서 이용하는 SN비로 계산하고 그 값들을 정규화 한다. 주관적 요소와 객관적 요소를 위한 가중치 또한 전문가에 의해 할당된다. 이때 각각의 요소에 부여된 값을 SN비로 계산하고 그 값들을 정규화 한다. 망소 특성의 경우에 SN비가 크다는 것은 특성치들의 평균과 분산이 모두 작아지는 것을 의미하고 망대 특성의 경우에 SN비가 크다는 것은 특성치들의 평균은 크고 분산은 작아지는 것을 의미한다. 주관적인 요소는 1부터 9까지의 구간 척을 이용하여 전문가들에 의해 가중치를 부여하므로 전문가들이 부여한 값들을 망대 특성치로 간주하였다. 본 논문에서는 임의의 요소에 전문가들이 부여한 값들의 평균이 크고 그 값들이 차이가 적은 즉, 거의 일치한 평가를 내리는 요소에 더 많은 가중치를 부여토록 하였다. 망대 특성치에 대한 SN비 공식은 다음과 같다.

$$SN = -10 \log \left[ \frac{1}{u} \sum_{i=1}^u \frac{1}{b_{kip}^2} \right] \quad (p = 1, \dots, u) \quad (5)$$

이때  $b_{kip}$ 는 각 특성치의 임의의 요소  $k$ 에 대한  $p$ 명의 전문가들이 부여한 값을 의미한다.

임의의 주관적 요소에 전문가들의 부여한 값들을 식(5)에 의해 계산하고 그 값들을 정규화한다.  $NSSNV_{kj}$ (Normalized subjective Attribute SN ratio Value)는 다음과 같다.

$$NSSNV_{kj} = SSNV_{kj} / (SSNV_{k1} + SSNV_{k2} + \dots + SSNV_{kl}) \quad (6)$$

(순서 3) 모든 객관적, 주관적 요소에 대한 전문가의 상대적 중요도를 계산

모든 전문가가 1부터 9까지의 구간척을 이용하여 전체 객관적, 주관적 요소에 가중치를 할당한 후, 각각의 요소에 대해 SN비를 구하고 그 값들을 정규화 한다. 모든 객관적, 주관적 요소  $K$ 에 대한 정규화된 가중치  $NW_k$ 는 식(7)과 같다.

$$NW_k = SN_{kp} / (SN_{1p} + \dots + SN_{sp} + SN_{s+1p} + SN_{s+tp}) \quad (7)$$

$k=1, \dots, s, s+1, \dots, s+t$

이때  $SN_{kp}$ 는 전체 객관적, 주관적 요소  $k$ 에 대해  $p$ 명의 전문가들이 부여한 값들의 SN비 값을 의미하고,  $k=1, \dots, s, s+1, \dots, s+t$ 이다.

(순서 4) 각 특성치에 대한 상대적 중요도를 계산.

$W_j$ 를 특성치  $j$ 에 대한 상대적 중요도라고 하면  $W_j$ 는 객관적 요소와 주관적 요소의 가중평균이 된다.

$$W_j = \sum_{k=1}^{m+1} NW_k \times N_{kj} \quad (8)$$

$N_{kj}$ 는 요소 k에서의 특성치 j에 대한 정규화된 값이다. 이때  $\sum_{j=1}^m W_j = 1$ 이 된다.

[단계 3] 상대적 근접도 계산(relative closeness)

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

$$RC_i = \sum_{j=1}^m W_j \frac{Max_i(r_{ij}) - r_{ij}}{Min_i(r_{ij})} \quad i = 1, \dots, m \quad (9)$$

[단계 4] 최적수준의 결정

$$E_i^* = Max_i(RC_i) - RC_i \quad i = 1, \dots, m \quad (10)$$

$E_i^*$ 값이 큰 대안이 이상해에 가장 근접해 있음을 의미하므로  $E_i^*$ 가 가장 큰 상충인자 수준조합을 최적수준으로 결정한다.

#### 4. 기존 사례에의 적용

기존의 사례를 선정하여 본 논문에서 제시한 다특성치 파라미터 설계방법을 이용하여 분석하고자 한다.

##### 4.1 자동차 액정계기판의 직접소자 성능개선 사례[4,5,7,11]

이 사례는 Pirrung의 직접소자의 성능개선 사례로서 액정계기판의 특성치를 다음과 같이 두 개로 선택할 수 있다. 고려되는 설계인자와 수준을 [표 1]에 나타내었다.

- ① 결합부위의 전기적 저항(망소 특성치)      허용규격치는 3000(ohms)
- ② 직접소자의 결합력(망대 특성치)      허용규격치는 300(pounds)

[표 1] 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 2]과 같다.

[표 2] 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 3]와 같다.

(단계 2) 인자의 분류

[표 3]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 참고문헌[4,5,7,8]과 같이 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.

[표 3] 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 4) 절충단계

인자 A와 D는 3군에 속하는 상충인자이므로 이 인자들의 각 수준과 유의한 인자조합에 대하여 두 특성치 SN비를 추정하면 [표 4]와 같다.

아래의 [표 4]에서  $SM_1$ ,  $SM_2$ 열의 각 추정치들은 특성치(1), (2)에서 상충인자와 유의한 인자의 수준조합조건에서의 추정치로서 다음과 같이 구한다.

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

나머지 추정치들도 위와 같은 방법으로 구한다.

[표 4] 상충인자 조합에서의 각 특성치별 SN비 추정치

실험 번호	A	D	SN <sub>1</sub>	SN <sub>2</sub>
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<sub>1</sub>, SN<sub>2</sub> 추정치가 상충인자 조합과 유의한 인자조합에서의 특성치별 행렬 V가 된다. 이 행렬 V를 가지고 제안된 방법의 [단계 1]의 상충인자 SN비 행렬의 표준화를 통해 행렬 R를 얻는 결과는 아래와 같다.[7,8]

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

다음은 [단계 2]로 각 특성치의 상대적 중요도를 계산하는 순서를 따르기로 한다. (순서 1) 각 특성치에 대한 객관적인 요소를 본 논문에서는 동승훈이 제시한 기대가중손실과 특성치에서 평가치의 정보의 양을 나타내는 엔트로피를 객관적인 요소로 선정하였다. 주관적 요소로 신뢰성, 안전성으로 가정하였다. 우선 객관적인 요소로 기대가중손실을 고려하기로 한다. 특성치(1)의 최적수준은 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub> 이므로 특성치(1)을 선택할때의 기대가중손실을 계산해보면 7.5858이다. 또한 특성치(2)의 최적수준은 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>D<sub>1</sub>이므로 특성치(2)를 선택할때의 기대가중손실을 계산해보면 337.2873이다.[7] 두 번째 객관적 요소로 엔트로피를 고려하기로 한다. 상충인자들의 i번째 조합에서 특성치 j에 대한 평가치 P<sub>ij</sub>는 제품의 최적수준결정에 대한 정보를 어느정도 포함하고 있기 때문에 특성치 j에서 평가치의 정보의 양은 엔트로피(entropy)로 측정할 수 있다. 따라서 m개의 상충인자들의 수준조합과 1개의 특성치를 갖는 상충인자의 SN비 행렬을 표준화한 행렬 R이 주어져 있을 때 i 번째 조합의 특성치 j에 대한 평가치 P<sub>ij</sub>는 식(11)로 정의 된다.[1]

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, m \tag{11}$$

$$j = 1, 2, \dots, 1$$

특성치 j에서 평가치에 대한 엔트로피 EP<sub>j</sub>는 식 (12)과 같다.

$$EP_j = -g \sum_{i=1}^m P_{ij} \log P_{ij} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, 1 \tag{12}$$

여기서 g=1/log m이며 이때 0 ≤ EP<sub>j</sub> ≤ 1이다. 특성치 j에서의 평가에 의해 제공되는 정보의 다양성의 정도(degree of diversification) d<sub>j</sub>는 식(13)와 같다.

$$d_j = 1 - EP_j, \quad j = 1, 2, \dots, 1 \tag{13}$$

j번째 특성치에 대한 엔트로피 방법에 의한 가중치  $w_j$ 는 식 (14)로 구한다

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^1 d_j}, \quad j = 1, 2, \dots, 1 \tag{14}$$

위에서 설명한 엔트로피 방법에 의해 행렬 R에서  $P_{ij}$ 의 평가치를 구하면 다음과 같다.

$$P = \begin{bmatrix} 0.1021 & 0.1246 \\ 0.1499 & 0.1187 \\ 0.1219 & 0.1284 \\ 0.1967 & 0.1224 \\ 0.0685 & 0.1311 \\ 0.0871 & 0.1251 \\ 0.1089 & 0.1278 \\ 0.1649 & 0.1217 \end{bmatrix}$$

각 특성치별 평가치에 대한 엔트로피를 식(12)에 의해 구하면 다음과 같다.

$$EP_1 = -(1.1073) \sum_{i=1}^8 P_{ij} \log P_{ij} = 0.9756$$

$$EP_2 = 0.9995$$

각 특성치에서 평가에 의해 제공되는 정보의 다양성 정도를 이용하여 식(13)에 의해 엔트로피 방법에 의한 각 특성치별 가중치를 구하면 다음과 같다.

$$w_1 = 0.9800$$

$$w_2 = 0.0200$$

각 특성치에 대한 객관적 요소와 평가치를 아래의 [표 5]으로 나타내었다.

[표 5] 각 특성치의 객관적 평가치 결과

요소	특성치 (1)	특성치 (2)
기대가중손실	7.5858	337.2873
엔트로피방법	0.9800	0.0200

각 특성치에 대한 주관적 요소와 5명의 전문가의 가중치를 [표 6]과 같이 가정하였다.

[표 6] 각 특성치의 주관적 평가치 결과

요소	특성치 (1)	특성치 (2)
신뢰성		
전문가 1	9	4
전문가 2	4	8
전문가 3	6	8
전문가 4	4	7
전문가 5	3	9
안전성		
전문가 1	5	8
전문가 2	6	7
전문가 3	5	7
전문가 4	4	8
전문가 5	7	3



(순서 2) 우선 각 특성치의 객관적 요소를 위해 식(3)과 식(4)를 이용하여 할당된 값을 정규화 하면 표[7]과 같다.

[표 7] 객관적 데이터의 정규화

요소	특성치 (1)	특성치 (2)
기대가중손실	0.9780	0.0220
엔트로피방법	0.9800	0.0200

다음으로 주관적 요소를 식(5)와 (6)을 이용하여 정규화하면 [표 8]과 같다.

[표 8] 주관적 데이터의 정규화

요소	특성치 (1)	특성치 (2)
신뢰성	0.4406	0.5594
안전성	0.4969	0.5031

(순서 3) 모든 객관적, 주관적 요소에 대한 전문가의 상대적 중요도를 계산하는 단계로서 아래의 [표 9]과 같이 5명의 전문가로부터 상대적 중요도를 얻었다고 가정하자.

[표 9] 모든 객관적, 주관적 요소에 대한 전문가의 상대적 중요도

	기대가중손실	엔트로피 방법	신뢰성	안전성
전문가 1	7	6	5	7
전문가 2	8	4	7	9
전문가 3	2	3	7	8
전문가 4	7	6	4	8
전문가 5	8	6	7	9

각각의 요소에 식 (7)를 이용하여 가중치를 정규화하면 [표 10]과 같다.

[표 10] 모든 객관적, 주관적 요소에 대한 정규화된 가중치

	가중치
기대가중손실	0.2060
엔트로피 방법	0.2230
신뢰성	0.2568
안전성	0.3142

(순서 4) 각 특성치에 대한 상대적 중요도를 계산하는 단계로 식(8)를 이용하여 각 특성치의 상대적 중요도를 계산하면 다음과 같다.

$$W_1 = 0.9780 \times 0.2060 + 0.9800 \times 0.2230 + 0.4406 \times 0.2568 + 0.4969 \times 0.3142 = 0.6893$$

$$W_2 = 0.0220 \times 0.2060 + 0.0200 \times 0.2230 + 0.5594 \times 0.2568 + 0.5031 \times 0.3142 = 0.3107$$

위와 같이 각 특성치의 상대적 중요도를 계산하였으면 상충인자의 절충방법의 [단계 3]의 상대적 근접도를 계산한다. 식(9)에 의해 상충인자들의 1번째 조합에서의 상대적 근접도를 계산하면 다음과 같다.

$$(0.6893 \times (\frac{1-0.5192}{0.3481})) + 0.3107 \times (\frac{1-0.9508}{0.9058}) = 0.9689$$

각  $A_i$ 에 대한  $RC_i$ 와  $E_i^*$ 를 구한 결과는 [표11]과 같다.

[표 11] 상충인자 수준조합별 상대적 근접도

번호	$RC_i$	$E_i^*$
1	0.9689	0.3220
2	0.5037	0.7872
3	0.7601	0.5308
4	0.0226	1.2638*
5	1.2909	0
6	1.1191	0.1718
7	0.9690	0.3219
8	0.3447	0.9462

[표 11]의 결과를 보면 4번째 상충인자의 수준조합인  $A_2D_2$ 가  $E_4^* = 1.2638$ 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. 각각의 특성치의 상대적 중요도를 동일한 경우에 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 기존의 사례를 분석한 결과 기존의 분석결과와 거의 일치함을 알수 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 얻을수 있다.[6,7] 또한 각 특성치마다 중요도가 다를수 있기 때문에, 각 특성치에 가중치를 부여하는데 있어서 객관적인 요소와 주관적인 요소로 선별한 후, 객관적인 요소에 기대가중손실 개념과 엔트로피를 이용하여 객관적 요소값을 계산하고 주관적인 요소에는 주관적인 요소의 값과 요소의 가중치를 전문가의 그룹에 의해 값을 할당하여 통합하는 가중합 모델을 제시하였다.

5. 결론

기존의 방법을 검토해 본 결과 대구씨가 주장하는 SN비의 합의 방법은 각각의 특성치의 가중치를 고려하지 않았고 또한 각 특성치의 SN비값을 정규화하지 않고 단지 더해줌으로써 최적 설계인자의 수준을 선택하지 못하는 경향이 있다. Pirrung의 각 특성치의 전 변동에 대한 기여율 기준으로 파라미터 설계방법은 어떤 특성치에 대한 기여율이 다른 특성치의 기여율보다 크다고 해도 제품 전체의 손실에 미치는 영향의 크기는 기여율이 작은 다른 특성보다 오히려 더 클 수가 있으므로 상충설계변수를 선택하는데 문제점이 발생할 수 있다.[11] Harrington의 소비자의 선호도를 반영한 호감도 함수를 이용한 방법은 품질특성간의 상관관계나 특성의 분산을 고려하지 못한 문제점을 갖고 있다.[10] 서순근, 최종덕의 SN비의 호감도 함수를 이용한 방법은 망목특성치와 망대특성치의 허용규격치가 주어지지 않았을 경우 어떻게 계산하는지 방법 제시가 없다.[5] 동승훈의 상관관계를 고려치 않은 기대 가중손실을 최소화하는 방법은 각 특성치간의 상관관계가 없다고 가정하였기 때문에 상관관계가 존재할 때 이용하지 못하는 단점이 있다.[3] 배영주, 김광수의 EXTOPSIS 모형을 이용한 파라미터 설계 방법[4]과 본 논문에서 제시한 방법을 각 특성치의 가중치를 동일하게 부여한 경우를 다수의 사례에 적용해 본 결과, 동일한 결과를 얻을수 있었다.[7,8] 이강인의 손실함수를 이용한 다망목특성을 가지는 의사결정문제의 최적 선호대안 결정방법은 대안에 대한 언급이 없으며 만일

대안이 인자라고 한다면 특성치는 다특성치를 고려했지만 인자는 하나만을 고려한 방법이라 할수 있다.[6] 김옥일, 강창욱의 다특성치 파라미터 설계 방법은 품질특성치의 수가 2개인 경우에 집중되어있다.[2] 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 각 특성치의 SN비의 유의한 인자중 상충현상이 발생시 절충하기위한 방법을 제시하였다. 또한 각 특성치의 중요도를 고려하는데 있어서, 객관적 요소와 주관적 요소를 분류한 후 여러 전문가가 각각의 주관적 요소에 부여된 값을 다구찌 기법에서 이용하는 SN비로 계산하고 그 값들을 정규화 하였고, 주관적 요소와 객관적 요소를 위한 가중치 또한 SN비로 계산하고 그 값들을 정규화하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 특성치의 중요도 결정에 있어서 다른 요소들에 대한 다수의 전문가의 의견을 통합을 시도하였고, 동시에 중요도 결정에 있어서 임의의 요소에 전문가들이 부여한 값들의 평균이 크고 그 값들이 차이가 적은 즉, 거의 일치한 평가를 내리는 특성치에 우선 순위를 두도록 하였다. 본 논문에서 제시된 사례외에 다수의 실제사례에 적용하여 지속적인 연구가 요구되며 또한 각 특성치의 중요도를 고려함에 있어, 더많은 객관적인 요소의 개발이 필요하다고 생각된다.

### 참고문헌

- [1] 김성희, 의사결정론, 영지문화사, 1988.
- [2] 김옥일, 강창욱(1994), "다 특성 파라미터 설계의 평가척도에 관한 연구," 품질경영학회지, 제22권 제1호 pp. 122-132.
- [3] 동승훈, "성능 특성이 다수인 경우의 파라미터 설계에 관한 연구", 한국과학기술원, 석사학위논문, 1990.
- [4] 배영주, 김광수, 이진규, "EXTOPSIS 모형을 이용한 다중특성치의 파라미터 설계," 품질경영학회지 제24권 제3호, pp. 111-132, 1996.
- [5] 서순근, 최종덕, "다성능특성치에 관한 안정성설계," 품질경영학회지, 제 22권 제3호, pp. 34-53, 1994.
- [6] 이강인 "다구찌의 손실함수를 이용한 다망목특성을 가지는 의사결정문제의 선호대안 결정" 대한산업공학회지 제24권 제4호, pp. 493-502, 1998.
- [7] 조용욱, 박명규, "다특성치 파라미터 설계에 관한 방법론 연구 (사례연구 중심으로)," 공업경영학회지 제22권 제50집 pp. 171-181, 1999.
- [8] 조용욱, 박명규, "전문가 의견을 고려한 다특성치 파라미터 설계에 관한 연구," 품질경영학회지 제27권 제2호 pp. 219-239, 1999.
- [9] Elsayed, E. A., and Chen, A., "Optimum Levels of Process Parameters for Products with Multiple Characteristics," *International Journal of Production Research* Vol. 31, pp.1117-1132, 1993.
- [10] Harrington, E. C. Jr., "The Desirability Fuction," *Industrial Quality Control* Vol. 21, No.10, pp.494-498, 1965.
- [11] Pirrung, " Optimization of Bond Strength and Contact." ITT SWF(West Germany), *Fourth Symposium on Taguchi Method*, American Supplier Institute, 1986.
- [12] Vining, G.G. and Myers, R.H., "Combining Taguchi and Response Surface Philosophies: A Dual Response Approach," *Journal of Quality Technology*, Vol. 22, No.1, pp. 38-45, 1990.