한국기계가공학회지, 제20권, 제12호, pp. 92～99(2021.12) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 12, pp. 92~99(2021.12) ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2021.20.12.092

효용 종속인 설계 속성의 강건설계

김경모*,#

*금오공과대학교 산업공학부

Robust Design Methodology for Utility Dependent Design Attributes

Kyung-Mo Kim*,#

*School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technoloy

(Received 23 September 2021; received in revised form 18 October 2021; accepted 19 October 2021)

ABSTRACT

The ever-growing demand for enhanced competitiveness of engineered systems require designing in quality strategies that can efficiently incorporate multiple design attributes into a system. In a robust design, there must be consideration for any uncontrollable factors that should not be disregarded in the design process. Studies on multi-attribute design challenges usually assume mutual utility independence amongst the design attributes. However, mutual utility independence does not exist in every design situation. In this study, a new robust design methodology that has two utility-dependent attributes are presented. The proposed method was then compared with a traditional robust design that utilizes a wave soldering process design. The results of this case study indicate that the proposed method yields a better solution than the traditional method.

Keywords: Robust Design(강건설계), Utility Dependent(효용 종속), Mutual Utility Independence(상호 효용 독립), Multiattribute Utility Function(다속성 효용 함수), Operating Window(기능창)

1. 서 론

공학적 설계에서는 제품과 공정에 대한 세부적 사항을 결정한다. 대부분의 설계에서는 서로 상충하는 다수의 설계 속성(design attributes)이 있다. 그간 다수의 속성이 존재하는 설계 문제에 대해 다양한 설계 최적화 방법이 제안되었는데, 이들은 다음과 같은 3가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째, 설계변수의 개수가 3개 이하인 경우는 설계 속성에 대한 반응 등고선을 이용한다[1]. 이 방법은 최적해에 대한 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 둘째, 설계 속성 중 가장 중요한 속성을 최적화 문제의 목적 함수로 사용하고 나머지 속성들은 설계 제약으로 모형화한 후 최적화 방법을 통하여 최적해를 구한다. 이 방법은 목적 함수로 선택된 설계 속성에 따라 서로 다른 최적해를 구해준다[2]. 셋째, 다수의 설계 속성을 한 개의 평가지표로 통합한 후 단일 속성 설계 문제로 변환하여 최적해를 구한다. 이때 평가지표로 거리함수[3], 손실함수[4], 호감도 함수[5], 효용 함수[6,7] 등이 사용된다.

거리함수는 설계 속성에 대한 제약조건이 있는

Corresponding Author : kmkim@kumoh.ac.kr
Tel: +82-54-478-7653, Fax: +82-54-478-7679

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

경우에는 사용할 수 없고[8], 손실함수는 관련된 비용 요소를 정확히 구하기 힘든 경우가 많다. 호감도 함수(desirability function)는 속성 간의 상관관계를 고려할 수 없으며 속성 간의 다양한 절충방식을 반영할 수 없다. 그러나 효용 함수(utility function)는 설계 속성의 상대적 중요성과 속성 간의 절충전략을 가장 체계적으로 반영할 수 있다고 평가된다.

효용 함수를 사용하는 방법은 대부분 설계 속성 간에 상호 효용 독립(mutually utility independence)을 만족한다는 전제하에서 적용되었다. 상호 효용 독립이 만족하는 경우에는 효용 함수를 간단한 절차로 구할 수 있다. 그러나 공학적 설계에서 설계 속성 간에 상호 효용 독립이 만족하지 않는 경우도 존재한다. 예를 들어, 박판 성형공정에서 주름(wrinkle)의 크기와 절단(fracture)의 길이는 중요한 설계 속성인데, 대체로 절단은 주름에 대해 효용 독립이나 주름은 절단에 대해 효용 독립이 아니라고 판단된다. 따라서 상호 효용 독립이 만족하지 않는 경우 적용할 수 있는 새로운 설계 방법이 필요하다. 본 연구에서는 상호 효용 독립이 만족하지 않는 2가지 설계 속성이 존재하는 경우(즉 효용 종속)에 적용할 수 있는 새로운 강건설계 방법을 제안하고자 한다. 또한 사례 적용을 통하여 제안된 방법이 전통적 설계 방법보다 더 좋은 최적조건을 준다는 것을 보이고자 한다.

2. 효용 함수

다수의 상충하는 설계 속성(design attributes)이 존재하는 공학적 설계에서는 설계 과정에서 설계 속성 간의 절충이 필요하다. 다수의 속성이 존재하는 경우 효용 함수를 다수 속성 효용 함수(multiattribute utility function)라고 한다. 효용 함수는 von Neumann과 Morgenstern[9]에 의해 경제적 문제를 설명하고 해결안을 찾기 위해서 도입되었으나, 최근에는 공학적 설계에도 다양하게 사용되고 있다[6].

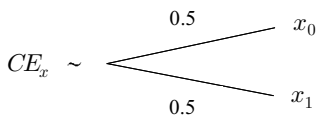


Fig. 1 Certainty equivalent of lottery

일반적으로 효용은 0과 1 사이의 수치로 표현되며, 효용 1은 대안에 대한 설계자의 최상의 선호도를 의미하며 효용 0은 대안에 대한 최하의 선호도를 의미한다. 확실 등가(certainty equivalent)는 설계자의 위험이나 불확실성에 대한 성향을 나타낸다. Fig. 1은 0.5의 확률로 속성치 x_0와 x_1가 발생하는 복권의 확실 등가가 CE_x임을 나타낸다. 확실 등가는 불확실한 결과가 있는 Fig. 1과 같은 복권(lottery)과 같은 가치라고 평가되는 확실하게 발생하는 사건의 결과를 의미한다. 즉"설계 대안 A"~"설계 대안 B"는 설계자가 대안 A와 대안 B의 가치가 같다고 판단하여, "설계 대안 A"와 "설계 대안 B"에 대한 선호가 무차별(indifferent)하다고 생각한다는 것을 의미한다.

공학적 응용에서 설계 속성 x에 대한 효용 함수 $u(x)$는 주로 식(1)과 같이 가정한다.

$$u(x)=\left(\frac{x_0-x}{x_0-x_1}\right)^{r_x} \tag{1}$$

복권에 대한 확실 등가가 CE_x 일 때, 설계자는 확실 등가의 효용과 복권의 기대효용이 동등하다고 판단한다. 즉 $u(CE_x)=0.5u(x_1)+0.5u(x_0)$ 이 만족하고, 이로부터 r_x를 구하면 식(2)와 같이 된다. 따라서 효용 함수는 복권에 대한 설계자의 확실 등가 CE_x를 질문을 통해 알아내면 결정할 수 있다.

$$r_x=\log 2/[\log((x_0-x_1)/(x_0-CE_x))] \tag{2}$$

설계자 선호도가 2개의 속성에 영향을 받는다고 할 때, 효용 함수 $u(y,z)$는 속성 Y의 수준이 y이고 속성 Z의 수준이 z인 경우 설계자의 효용을 나타낸다. 일반적으로 효용 함수의 결정 과정은 다음과 같다. 만약 속성 Y에 대한 설계자 선호도가 속성 Z의 수준에 무관하면, 속성 Y는 속성 Z에 대하여 효용 독립(utility independent)이라고 한다. 속성 Y가 속성 Z에 대해 효용 독립이고 속성 Z가 속성 Y에 대해 효용 독립이면, Y와 Z는 상호 효용 독립이라고 한다. 속성 Y와 속성 Z가 상호 효용 독립이면 효용 함수는 식(3)과 같으며 역도 성립한다.

$$u(y,z)=k_Y u_Y(y)+k_Z u_Z(z)+k_{YZ}u_Y(y)u_Z(z) \quad (3)$$

여기서 k_Y, k_Z, k_{YZ} 는 정규화 상수이고, $u_Y(y)$와 $u_Z(z)$는 y와 z에 대한 효용 함수이다. 만약 속성 Z는 속성 Y에 대해 효용 독립이고 속성 Y는 속성 Z에 대해 효용 종속(utility dependent)이면, 효용 함수 $u(y,z)$는 식(4)와 같다[10].

$$u(y,z)=u(y,z_0)[1-u(y_0,z)] + u(y,z_1)u(y_0,z) \quad (4)$$

여기서 y_1(또는 z_1)는 Y(또는 Z)의 최선의 속성치 y_0(또는 z_0)는 Y(또는 Z)의 최악의 속성치이고, $u(y_0,z_0)=0$ 와 $u(y_0,z_1)=1$ 이다. 따라서 앞에서 살펴본 것과 같은 복권 질문을 통해서 CE_{yz_0}, CE_{yz_1}, CE_{y_0z}를 결정하면, 조건부 효용 함수(conditional utility function)인 $u(y,z_0)$, $u(y,z_1)$, $u(y_0,z)$는 식(5)-식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$u(y,z_0)=\left[(y_0-y)/(y_0-y_1)\right]^{r_{yz_0}} \quad (5)$$

$$u(y,z_1)=\left[(y_0-y)/(y_0-y_1)\right]^{r_{yz_1}} \quad (6)$$

$$u(y_0,z)=\left[(z_0-z)/(z_0-z_1)\right]^{r_{y_0z}} \quad (7)$$

여기서

$$r_{yz_0}=\log 2/\left[\log((y_0-y_1)/(y_0-CE_{yz_0}))\right] \quad (8)$$

$$r_{yz_1}=\log 2/\left[\log((y_0-y_1)/(y_0-CE_{yz_1}))\right] \quad (9)$$

$$r_{y_0z}=\log 2/\left[\log((z_0-z_1)/(z_0-CE_{y_0z}))\right] \quad (10)$$

3. 강건설계(robust design)

강건설계는 일본의 품질공학자 Taguchi에 의해서 제안된 설계 방법으로서, 설계자가 통제할 수 없는 설계 속성의 변동 요인(이하 잡음)이 있음에도 불구하고 설계 속성의 설계 목표치를 안정적으로 달성하게 해주는 설계 방법이다. 따라서 강건설계는 잡음(noises)이 존재하는 제품이나 공정의 설계에서 매우 유용한 설계 방법이다[11]. 강건설계는 전통적 실험계획법과는 달리 실험에 잡음의 영향을 적극적으로 반영하고, SN비(signal-to-noise ratio)를 설계 대안의 강건성(robustness) 평가에 사용한다. SN비는 시스템의 개발 및 설계 단계에서 제조나 사용 단계의 잡음 영향력을 평가하는 척도이다. Taguchi는 설계변수를 내측 배열(inner array)에 배치하고, 잡음을 외측 배열(outer array)에 배치한 직교배열 실험을 수행한다. 주어진 설계변수 조건에 대해서 다수의 잡음 조건에서 설계 속성을 관측하고, 이로부터 SN비를 평가한다. Taguchi는 SN비에 대한 평균 분석법(mean analysis)을 통하여 설계변수의 최적 강건설계 조건을 결정하고, 재현성 확인 실험을 통해서 설계변수의 SN비에 대한 효과의 재현성을 확인한다.

기능창 확대법은 Xerox 사의 기술자인 Clausing에 의해 제안된 설계 방법이다[12]. 제품이나 공정의 설계에서 2가지 상충하는 설계 속성에 대해 결정적인 영향을 주는 인자가 있다고 할 때, 해당 속성과 관련하여 양품을 주는 인자 범위를 기능창(operating window)이라고 한다. 또한 제품이나 공정의 설계 속성을 최적화하기 위해 기능창의 크기를 최대화하는 설계 방법을 기능창 확대법이라고 한다. Clausing은 Fig. 2의 복사기의 종이 공급 장치에 대해서, Fig. 3과 같이 기능창을 정의하였다. 기능창 인자인 종이 공급 장치의 stacking force(F)가 작으면 misfeeds가 발생하고 크면 multifeeds가 발생한다. 또한 기능창은 잡음 수준에 따라서 Fig. 4와 같이 변화한다. 여기서 l_i은 잡음 N_i 에서 기능창의 하한값, u_i는 잡음 N_i에서 기능창의 상한값을 의미하고, N_i는 i째 잡음 수준을 의미한다. 기능창 확대법에서는 기능창이 잡음에 의해서 크기가 변화함을 고려하여야 한다. Clausing은 기능창 확대법으로 종이 공급 장치의 최적 강건설계 조건을 결정하였다. 그 후 기능창 확대법은 wave soldering 공정[11], PCB 제조 공정[13], 이미지 및 패턴 개발 기술(image and pattern developing technology)[14], 박판 성형 공정[15] 등 다양한 유형의 기술 및 공정 개발에 활용되었다. 그러므로 기능창 확대

법은 2가지 상충하는 설계 속성을 동시에 최적화시키는 설계 상황에서 매우 유용하다.

본 연구에서는 설계 속성1은 설계 속성2의 수준 값에 영향을 받으나, 설계 속성2는 설계 속성1의 수준 값에 영향을 받지 않는 설계 상황에서 사용할 수 있는 강건설계 방법을 다음과 같이 제안한다.

단계1 : 직교배열 실험으로부터 설계 속성에 대한 데이터를 관측한다.

단계2 : 설계 속성에 대한 설계자의 확실 등가를 복권 질문을 통해서 구한다.

단계3 : 확실 등가로부터 설계 속성에 대한 효용 함수를 결정하고, 설계 속성 데이터를 효용 값으로 변환한다.

단계4 : 효용 값으로부터 계산된 SN_{prop}에 대해 평균 분석법을 적용하여, 최적 조건을 구하고 최적 조건에서의 효용 값을 추정한다.

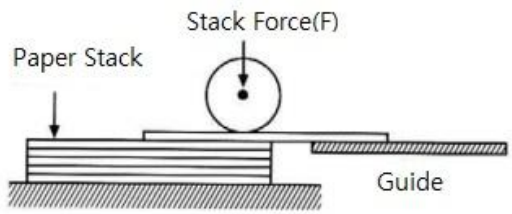


Fig. 2 Mechanism of a paper feeder

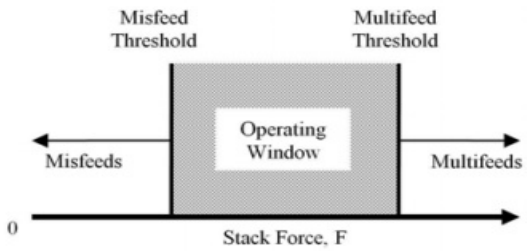


Fig. 3 Definition of operating window

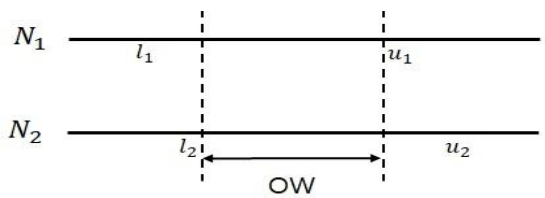


Fig. 4 Reduction of operating window due to noises

4. Wave soldering 공정의 강건설계

본 연구에서 제안된 강건설계 방법의 유용성을 평가하기 위해서, wave soldering 공정변수의 최적화에 적용하였다. Wave soldering 공정은 순환하는 용융 납의 표면을 PCBA(printed circuit board assembly)에 접촉하여 납땜 작업을 한다. Wave soldering 공정에서는 소자의 lead와 PCBA의 pad 사이에 tin-lead bond를 만들기 위해 열에너지가 필요하다. 공정에서 공급되는 열은 circuit board의 상부 기판 온도로 측정되며, 상부 기판 온도가 낮으면 불충분한 열에 의해 void 불량이 발생하고 상부 기판 온도가 높으면 과도한 열에 의해 bridge 불량이 발생한다. Peace는 상부 기판 온도를 기능창 인자로 선택하고, 다양한 잡음 조건에서 void 불량과 bridge 불량을 최소화하였다[11]. Void 불량이 시작되는 상부 기판 온도를 Y로 정의하고 bridge 불량이 시작되는 상부 기판 온도를 Z로 정의한 후 이로부터 기능창을 정의하고, 기능창 확대법으로 wave soldering 공정의 최적 조건을 결정하였다.

Peace는 15개의 공정변수($A \sim O$)와 5개의 잡음 조건으로 실험하였다. 직교배열 L_{16}을 내측 배열로 사용하여 제어인자(공정변수)를 Table 1과 같이 배치하였다. 잡음 조건을 5수준($N_1 \sim N_5$)으로 설정하고, Table 2와 같이 기판 온도 Y와 Z를 관측하였다. Taguchi는 기능창에 대한 SN비를 식(11)과 같이 제시하였다. 여기서 n은 잡음의 수준수, l_i은 잡음 조건 N_i에서 기능창의 하한값, u_i은 잡음 조건 N_i에서 기능창의 상한값을 의미한다. Minitab[16]으로 SN_{OW} 에 대해 평균 분석법을 적용하여 최적 공정 조건 $A_2B_1C_2D_2E_1F_2G_2H_1I_2J_1K_2L_2M_2N_2O_2$ 을 구하였으며 최적 조건에서의 효용 값 $\hat{u}_{opt}(OW) = 0.8671$ 을 추정하였다.

$$SN_{OW} = -10\log(\sum_{i=1}^{n} l_i^2/n) - 10\log(\sum_{i=1}^{n} (1/u_i^2)/n) \quad (11)$$

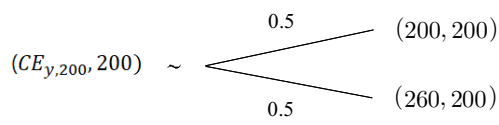
Wave Soldering 공정의 설계에 본 연구에서 제안된 방법을 적용하면 다음과 같다. 단계1은 다음과

같다. Table 1의 내측 배열에 제어인자를 배치하고 데이터를 관측한다. 여기서 Y에 대한 선호도는 Z의 수준 값에 영향을 받지 않고 Z에 대한 선호도는 Y의 수준 값에 영향을 받는다고 가정한다. 즉 void 불량에 대한 설계자 선호도는 bridge 불량률에 영향을 받고, bridge 불량에 대한 설계자 선호도는 void 불량률에 영향을 받지 않는다고 가정한다. 직교배열 실험에서 관측된 설계 속성 데이터는 Table 2와 같다.

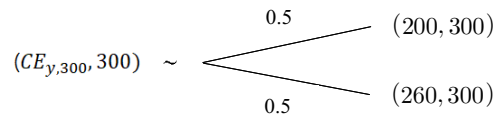
단계2는 다음과 같다. 만약 Fig. 5에 대해 설계자가 $CE_{y,200}=230$, $CE_{y,300}=245$, $CE_{260,z}=270$ 이라고 응답하였다면 $r_{y,200}$, $r_{y,300}$, $r_{260,z}$는 식(12)-(14)과 같이 된다.

Table 1 Inner array and design variables assignment

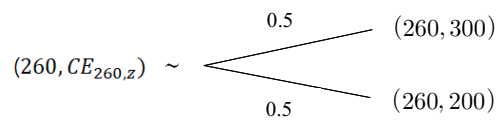
No	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1



(a) Certainty equivalent for $r_{y,200}$



(b) Certainty equivalent for $r_{y,300}$



(c) Certainty equivalence for $r_{260,z}$

Fig. 5 Lottery questions to determine r

Table 2 Data from wave soldering process

No	y					z				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
1	247	245	242	245	240	253	260	265	265	250
2	235	232	230	232	230	231	235	238	238	240
3	229	223	220	225	220	273	280	290	280	275
4	234	230	235	233	228	222	230	235	230	228
5	242	235	234	235	230	228	235	234	235	230
6	242	230	238	234	237	252	260	258	264	257
7	237	234	235	230	232	248	255	245	260	252
8	238	235	236	235	230	234	240	246	235	240
9	241	240	235	240	235	270	275	285	270	275
10	230	225	222	215	215	215	225	222	215	225
11	224	220	215	212	212	261	268	265	262	272
12	231	230	228	228	226	225	230	238	228	236
13	239	235	235	230	235	235	235	235	240	245
14	239	235	238	235	230	235	235	238	245	250
15	223	220	215	218	218	245	255	265	238	258
16	222	220	215	224	218	255	260	265	244	268

$$r_{y,200}=\frac{\log 2}{\log\left(\frac{260-200}{260-230}\right)}=3.4 \quad (12)$$

$$r_{y,300}=\frac{\log 2}{\log\left(\frac{260-200}{260-245}\right)}=0.4 \quad (13)$$

$$r_{260,z}=\frac{\log 2}{\log\left(\frac{200-300}{200-270}\right)}=0.5529 \quad (14)$$

단계3은 다음과 같다. 단계2의 결과로부터 속성 Y와 속성 Z에 대한 효용 함수 $u(y,z)$는 식(15)와 같이 결정되며, Table 2의 Y와 Z의 관측치로부터 효용 함수 $u(y,z)$의 값을 계산하였다.

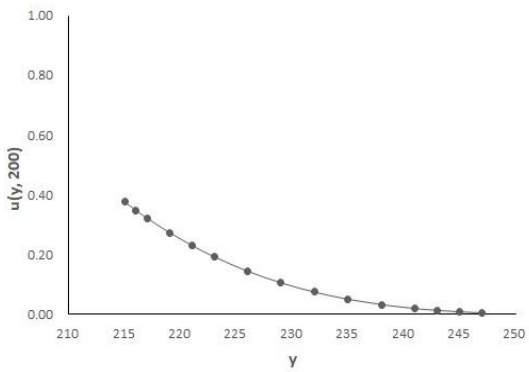
$$u(y,z)=u(y,200)[1-u(260,z)] + u(y,300)u(260,z) \quad (15)$$

여기서 $u(y,200)=((260-y)/(260-200))^{3.4}$

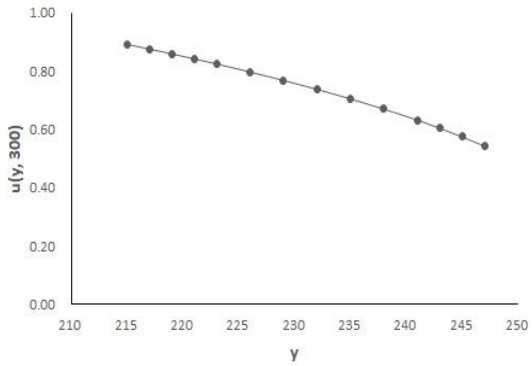
$u(y,300)=((260-y)/(260-200))^{0.4}$

$u(260,z)=((200-z)/(200-300))^{0.5529}$

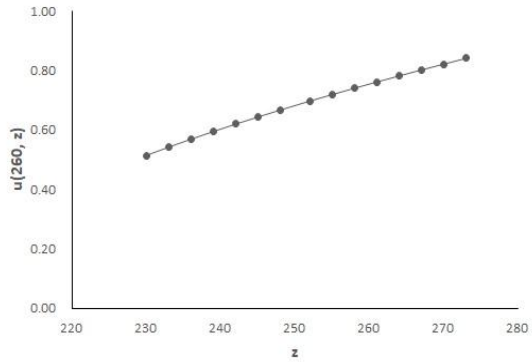
효용 함수 $u(y,200)$, $u(y,300)$, $u(260,z)$의 그래프는 Fig. 6과 같으며, r의 값으로부터 설계자의 위험 성향은 $u(y,200)$는 위험 기피성(risk averse), $u(y,300)$와 $u(260,z)$는 위험 지향성(risk prone)임을 알 수 있다. 위험 성향의 의미는 Keeney 와 Raiffa에 자세히 설명되어 있다[10].



(a) Graph of $u(y,200)$



(b) Graph of $u(y,300)$



(c) Graph of $u(260,z)$

Fig. 6 Graph of $u(y,z)$

단계4는 다음과 같다. 효용 함수 $u(y,z)$는 클수록 좋으므로 SN비는 식(16)과 같이 구할 수 있다.

$$SN_{prop}=-10\log[\sum_{i=1}^{n}(1/u_i^2(y,z))/n] \quad (16)$$

여기서 n은 잡음의 수준 수, $u_i(y,z)$는 i번째 잡음 조건에서의 효용 값을 의미한다. 효용 값과 이로부터 구한 SN_{prop}는 Table 3과 같다.

SN_{prop} 에 대한 반응표는 Table 4와 같다. 평균 분석으로 구한 wave soldering 공정의 최적 조건은 $A_2B_1C_1D_2E_1F_1G_2H_1I_2J_1K_2L_2M_2N_2O_1$ 이며, 최적 조건에서 효용 추정치는 $\hat{u}_{opt}(prop)=0.9093$ 이다.

Table 3 Utilities and SN_{prop} of soldering data

No	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	SN_{prop}
1	0.3835	0.4352	0.4904	0.4545	0.4469	-7.1743
2	0.3930	0.4456	0.4831	0.4628	0.4943	-6.9121
3	0.6622	0.7510	0.8164	0.7311	0.7623	-2.6224
4	0.3429	0.4355	0.4168	0.4056	0.4443	-7.8786
5	0.3141	0.4168	0.4203	0.4168	0.4355	-8.1401
6	0.4354	0.5947	0.5039	0.5719	0.5097	-5.7858
7	0.4670	0.5307	0.4713	0.5947	0.5363	-5.7846
8	0.3835	0.4448	0.4667	0.4168	0.4943	-7.2089
9	0.5219	0.5531	0.6484	0.5333	0.6084	-4.9238
10	0.3271	0.4602	0.4807	0.5565	0.6155	-6.8600
11	0.6624	0.7354	0.7821	0.8110	0.8405	-2.4050
12	0.3926	0.4355	0.5044	0.4443	0.5155	-6.9055
13	0.3802	0.4168	0.4168	0.4943	0.4713	-7.3280
14	0.3802	0.4168	0.4058	0.4713	0.5468	-7.2581
15	0.5990	0.6819	0.7821	0.6310	0.7189	-3.4317
16	0.6581	0.7031	0.7821	0.5820	0.7577	-3.2882

Table 4 Response table of SN_{prop} of soldering data

level	A	B	C	D	E
1	-6.438	-5.710	-5.737	-6.798	-5.505
2	-5.300	-6.028	-6.002	-4.941	-6.233

level	F	G	H	I	J
1	-5.698	-6.372	-5.226	-6.004	-5.083
2	-6.040	-5.366	-6.512	-5.734	-6.655

level	K	L	M	N	O
1	-5.915	-6.606	-6.295	-6.143	-5.813
2	-5.824	-5.132	-5.444	-5.596	-5.925

평균 분석법과 효용 값의 추정은 Minitab을 활용하여 수행하였다. 전통적인 강건설계 방법인 기능창 확대법으로 구한 결과와 본 연구에서 제안된 강건설계 방법의 최적 조건에서의 효용 값의 추정치를 비교하면 $4.2(\%)$의 개선이 있음을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서 제안된 강건설계 방법이 기존의 기능창 확대법보다 더 큰 효용 값을 갖는 설계 대안을 찾아주는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

효용 함수를 이용한 다속성 강건설계는 주로 설계 속성 간에 상호 효용 독립이 만족한다는 가정하에서 연구되었다. 본 연구에서는 두 개의 설계 속성이 효용 종속인 상황에서 사용할 수 있는 새로운 강건설계 방법을 제안하였다. 제안된 강건설계 방법을 wave soldering 공정의 최적 설계에 적용하여, 제안된 방법이 기능창을 전통적 강건설계 방법보다 더 큰 효용 값을 갖는 최적 조건을 결정한다는 것을 확인하였다. 따라서 설계자는 효용 함수를 결정하기에 앞서 설계 속성 간의 상호 효용 독립의 만족 여부를 반드시 확인하는 것이 필요하다. 만약 상호 효용 독립이 만족하지 않으면 본 연구에서 제안된 강건설계 방법이 더 나은 최적 조건을 결정할 수 있을 것이다.

시스템(제품, 공정)의 설계에서 다수의 설계 속성이 있는 경우가 많이 존재한다. 또한 설계자가 통제할 수 없는 잡음의 존재하에서 다수의 설계 속성을 최적화하는 강건설계는 시장 경쟁에서 경쟁력을 높이는 매우 중요한 수단이다. 따라서 설계자가 통제할 수 없는 변수들이 있는 박판 성형공정이나 사출 성형공정의 최적 조건 결정 과정에 본 연구에서 제안한 강건설계 방법이 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

“본 연구는 금오공과대학교 교수연구년제에 의하여 연구된 실적물”

REFERENCES

1. Lind, E. E., Goldin, J., and Hickman, J. B., "Fitting Yield and Cost Response Surfaces", Chemical Engineering Progress, Vol. 56, pp. 62-68, 1960.

2. Del, C., and Montgomery, D. C., "A Nonlinear Programming Solution to the Dual Response Problem", Journal of Quality Technology, Vol. 25, No. 3, pp. 199-204, 1993.
3. Khuri, A. I. and Conlon, M., "Simultaneous Optimization of Multiple Responses Represented by Polynomial Regression Functions", Technometrics, Vol. 23, No. 2, pp. 363-375, 1981.
4. Ames, A. E., Mattucci, N., MacDonald, S., Szonyi, G., and Hawkins, D. M., "Quality Loss Functions for Optimization Across Multiple Response Surfaces", Journal of Quality Technology, Vol. 29, No. 3, pp. 339-346, 1997.
5. Kim, K. M., and Park, J. C., “Robust Design of Injection Molding Process Considering Integrated Desirability”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 10, pp. 34-41, 2019.
6. Thurston, D. L., Carnahan, J. V., and Liu, T., "Optimization of Design Utility", ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 116, No. 3, pp. 801-808, 1994.
7. Kim, K. M., Yin, J. J., and Park, J. C., “Optimization of Sheet Metal Forming Process Based on Two-Attribute Robust Design Methodology”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 2, pp. 55-63, 2014.
8. Fichitali, J., Van De Voort, F. R. and Khuri, A. I., "Multiresponse Optimization of Acid Casein Production", Journal of Food Process Engineering, Vol. 12, pp. 247-258, 1990.
9. Morgenstern, O., and Von Neumann, J., The Theory of Games and Economic Behavior, Princeton University Press, NJ, 1947.
10. Keeney, R. L. and Raiffa, H., Decisions with Multiple Objectives : Preference and Value Tradeoffs, John Wiley & Sons Inc., NY, pp. 232-235, and pp. 243-246, 1976.
11. Peace, G. S., Taguchi Methods, Addition-Wesley, MA, pp. 1-12, pp. 418-422, 1993.
12. Clausing, D. P., "Operating Window: An Engineering Measure for Robustness", Technometrics, Vol. 46, No. 1, pp. 25-29, 2004.
13. Maruthi, B. N., and Joseph, V. R., “Improving the Yield of Printed Circuit Boards Using Design of Experiments”, Quality Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 259-265, 1999.
14. Mori, T., Taguchi Techniques for Image and Pattern Development Technology, Prentice-Hall, NJ, 1995.
15. Kim, K., Yin, J. J., and Suh, Y. S., “Application of Operating Window to Robust Process Optimization of Sheet Metal Forming”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 8, No. 4, pp. 110-121, 2009.
16. Minitab, Minitab Inc., State College, PA, 2020.