Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering
https://doi.org/10.11627/jksie.2022.45.4.099

Vol. 45, No. 4 : 99-108, December 2022
ISSN : 2005-0461 / EISSN : 2287-7975

A Study on the Customer-Oriented Design Using Desirability Function and Taguchi Method

Jae Hun Jo · Ji Ho Lee · Jong Pil Park · Yoon Eui Nahm†

Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University

호감도 함수와 다구찌 법을 이용한 고객지향설계에 관한 연구

조재훈 · 이지호 · 박종필 · 남윤의†

국립 한밭대학교 기계공학과

Today, as technology advances and market competition for products intensifies, the product design to improve customer satisfaction by accurately identifying customer needs is emerging as a very important issue for company. Accordingly, the customer-oriented or customer-centered design that maximizes customer satisfaction by grasping and analyzing customer requirements is in the spotlight as an important design theory. In this study, the customer-oriented design is defined as finding the optimal value of design variable with the maximum overall customer satisfaction while minimizing the difference in individual customer satisfaction responded to various customers from multiple product quality characteristics from the perspective of robust design. Therefore, this study presents a new method for modeling the customer preference structure as the different sets of desirability functions for multiple quality characteristics and proposes a new customer-oriented design approach by applying the desirability functions to Taguchi's robust design process to deal with multi-characteristic design problem. Finally, the proposed method is illustrated with the Kansei engineering design problem of wine glass.

Keywords : Customer-Oriented Design, Customer Needs, Customer Satisfaction, Desirability Function, Taguchi Method

1. 서 론

시장 경쟁이 치열해짐에 따라 기업은 제품 고유의 성능뿐만 아니라 가격, 디자인 등 다양한 요소를 고려하여 제품을 개발해야 한다. 특히, 시장에서의 제품에 대한 평가는 고객의 목소리(Voice of Customer), 즉 고객의 요구사항을 얼마나 잘 반영하고 있는지에 따라 달라진다. 특정 성능이나 디자인이 우수하다고 하더라도 고객의 니즈에 부합되지 않거나 기대에 미치지 못하면 시장에서 경쟁력을 잃게 된다. 이에 따라 설계 과정에서 고객의 요구사항을 적극적으로 제품에 반영하기 위한 고객지향설계(Customer-Oriented Design) 또는 고객중심설계(Customer-Centered Design)의 중요성이 더욱 더 강조되고 있다[1, 3, 11, 32].

고객지향설계에서 중요시되는 부분 중 하나가 고객이 제품을 통해 느끼는 감성적인 속성들을 설계에 반영하는 것이다. 이와 관련된 연구는 주로 감성공학(Kansei Engineering) 분야에서 활발하게 진행되어 왔다. 감성공학은 인간의 특성과 감성을 정량적으로 측정하여 설계에 반영함으로써 인간의 감성을 충족시키는 설계를 진행하는 것이다[20, 21, 29]. 또한, 고객지향설계를 위해서는 고객의 요구사항을 파악하여 설계에 반영하기 위해 추상적이고 정성적인 고객요구사항을 구체적이고 정량적인 기술특성으로 전개하는 품질기능전개(Quality Function Deployment, QFD)가 많이 활용되고 있다[2]. QFD는 품질의 집(House Of

Received 23 November 2022; Finally Revised 7 December 2022; Accepted 8 December 2022
† Corresponding Author : nahm@hanbat.ac.kr

Quality, HOQ)[9]을 사용하여 고객요구사항을 설계를 위한 기술특성으로 변환할 때 고객요구사항의 우선순위나 경쟁사와의 비교를 통한 IR(Improvement Ratio)값 등을 설계에 반영할 수 있다[2, 8, 9, 26]. 한편, 카노 모델(Kano Model)은 고객요구사항이 충족되더라도 제품의 품질속성(Quality Attribute)/품질요소(Quality Element)에 따라 고객의 만족도가 달라질 수 있다는 것을 제시한다[16, 19, 30]. 이러한 품질속성은 매력적(Attractive) 속성, 당연적(Must-be) 속성, 일원적(One-dimensional) 속성, 무관심(Indifferent) 속성 등으로 분류되고, 각 품질속성에 따라 고객요구사항을 충족시켜도 고객만족도가 달라질 수 있어 카노 설문지(Kano Questionnaire)를 이용한 카노 분석(Kano Analysis)을 통해 품질속성의 특징을 파악하여 설계에 반영함으로써 고객 만족도를 향상시킬 필요가 있다[16, 19, 30].

따라서 고객의 요구사항을 반영하여 고객의 감성을 만족시키는 설계를 도출하기 위해서 앞에서 소개한 기법들을 서로 통합하거나 융합하여 고객지향설계를 지원하기 위한 많은 연구가 제시되고 있다. 그 대표적인 것이 QFD를 기반으로 감성공학(Kansei Engineering)과 카노 모델(Kano Model)을 융합한 연구들이다[7, 13, 18, 28]. 하지만 대부분의 연구들이 설계자가 제시하는 설계안을 평가하기 위한 방법들과 관련된 것으로 실제로 고객만족도가 높은 설계안을 생성하거나 도출할 수 있는 정량적이고 구체적인 방법을 제시하지는 못한다. 또한, 설계안 평가 시에도 다수의 고객들 사이의 만족도의 차이 또는 편차를 반영하지 못한다.

한편, 다구찌 법(Taguchi Method)은 직교배열표(Orthogonal Array, OA)를 사용하여 복수의 설계안을 생성할 수 있고, S/N비(Signal to Noise Ratio, S/N Ratio)라는 성능척도를 통해 제품이나 공정의 성능 특성이 잡음에 강건하도록 설계변수의 최적조건을 결정하는 방법을 제공한다[10, 12, 24, 25, 27, 31, 34]. 하지만 다구찌 법은 성능특성치가 하나인 경우를 주로 다루기 때문에, 복수의 고객요구사항과 같은 품질속성을 취급해야 하는 고객지향설계 문제에 바로 적용하기에는 한계가 있다. 따라서, 다속성 의사결정 문제(Multiple Attributes Decision Making, MADM)를 다루기 위한 Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution(TOPSIS)[15], Grey Relational Analysis(GRA)[14] 등을 다구찌 법과 카노 모델과 통합함으로써 고객지향설계에 적용하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다[5, 6, 17, 33].

일반적으로 고객지향설계 문제에서는 제품의 다양한 품질속성에 대해 고객의 종합적인 평가를 바탕으로 최적의 설계 대안이 결정되게 된다. 상기 연구들은 고객요구사항의 중요도를 결정할 때, Analytical Hierarchy Process (AHP) 기법을 사용하거나[33], 카노 분석을 통해 고객요구사항을 몇 가지 유형으로 분류한 뒤 각 유형에 서로 다른 가중치를 부여함으로써 고객요구사항의 중요도를 결정한다[17]. 하지만 이때 고객 또는 설계자의 주관적 판단에 따라 고객요구사항의 중요도가 크게 달라질 수 있다는 문제가 발생한다.

따라서 저자의 이전 연구에서는 벤치마킹 분석(Benchmarking Analysis)과 카노 분석(Kano Analysis)을 기반으로 한 새로운 호감도 함수를 이용하여 고객요구사항의 중요도를 결정하기 위한 객관적인 방법을 제안하였다[22, 23]. 본 연구에서는 이러한 호감도 함수와 다구찌 법을 통합함으로써 복수의 품질속성에 대해 고객만족도가 최대가 되는 설계안을 도출할 수 있는 새로운 고객지향설계 기법을 제안한다. 본 연구에서는 설계 대상에 대해 고객들이 중요하다고 생각하는 감성 어휘(Kansei Word)를 품질속성으로 선정하고, 다구찌의 직교배열표를 사용하여 생성된 설계안에 대해 호감도 함수를 사용하여 각각의 품질속성에 대한 고객만족도를 산출한 후, 본 연구에서 제시하는 수정된 S/N비를 사용하여 고객만족도에 대한 S/N비를 계산함으로써, 선정한 복수의 품질속성에 대해 고객들 사이의 고객만족도의 차이가 작으면서 동시에 전체 고객만족도가 최대가 되는 강건한 설계안을 도출한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제2장에서는 벤치마킹 분석과 카노 분석을 기반으로 한 호감도 함수 작성 프로세스와 이러한 호감도 함수를 이용하여 고객만족도가 최대가 되는 설계안을 도출하는 강건설계 최적화 프로세스로 구성된 고객지향설계 기법을 제안한다. 제3장에서는 본 논문에서 제안되는 설계 기법을 와인잔 형상에 대한 감성공학 설계문제에 적용함으로써 고객지향설계 기법으로서의 유효성을 검증하고 마지막으로 제4장에서 결론을 제시한다.

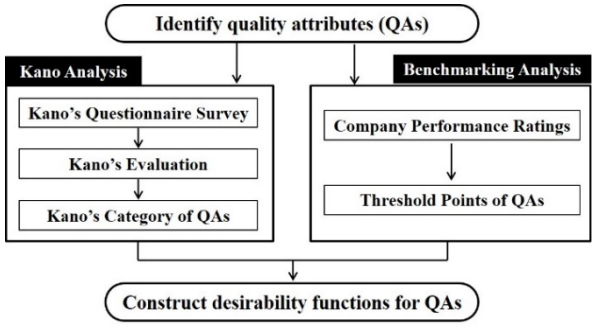
2. 호감도 함수와 다구찌 법을 이용한 고객지향설계

본 연구에서 제안되는 고객지향설계 기법은 크게 두 가지 프로세스로 나눌 수 있다. 즉, <Figure 1>과 같이 복수의 품질속성들에 대해 고객의 선호도 구조를 모델링하여 고객만족도를 평가하기 위한 호감도 함수(Desirability Function) 작성 프로세스와 <Figure 2>와 같이 설정된 호감도 함수를 토대로 고객들 사이의 만족도 차이가 작으면서 동시에 전체 만족도가 높은 설계안을 도출하기 위한 강건설계(Robust Design) 최적화 프로세스로 구성된다.

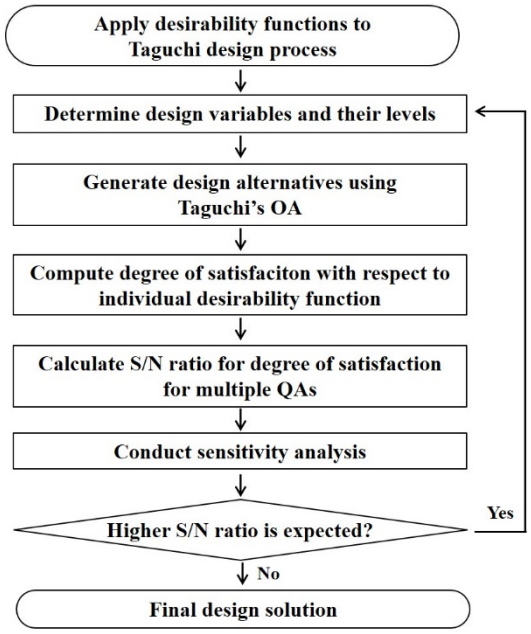
2.1 호감도 함수 작성 프로세스

<Figure 1>에 나타낸 바와 같이 본 연구에서는 카노 분석

에 따라 고객요구사항을 4가지 유형으로 분류하고 유형별로 서로 다른 호감도 함수를 설정한다. 호감도 함수를 정의하는 방법은 먼저 벤치마킹 분석을 통해 호감도 함수의 임계점(Threshold Points)을 설정한다. 특정 고객요구사항에 대해서 경쟁사 제품 중 가장 낮은 평가 점수를 불만족 임계점(Rejection Point)으로 설정하고 이 점수보다 낮은 점수를 받으면 고객만족도를 0으로 평가한다. 또한 경쟁사 제품 중 가장 높은 평가 점수를 만족 임계점(Aspiration Point)으로 설정하고 이 점수보다 높은 점수를 받으면 고객만족도를 1로 평가한다. 이러한 두 개의 임계점 사이에는 카노 분석에 따라 분류된 유형에 따라 서로 다른 함수관계가 설정된다.



<Figure 1> Desirability Function Construction Process for Proposed Approach[22].



<Figure 2> Robust Design Optimization Process for Proposed Approach

2.1.1 벤치마킹 분석을 통한 임계점 설정

<Table 1>은 리커트 척도(Likert Scale)를 이용하여 m개의 품질속성 QA_m에 대해서 n개의 경쟁사 제품 CP_n에 대해 l명의 고객 CT_l이 평가한 데이터 $y_{ij}^k (i=1, ..., m,\ j=1, ..., n,\ k=1, ..., l)$를 나타낸다. 이와 같은 벤치마킹 데이터를 가지고 <Figure 3>에 나타내는 호감도 함수를 작성하기 위해 먼저 임계점을 설정한다.

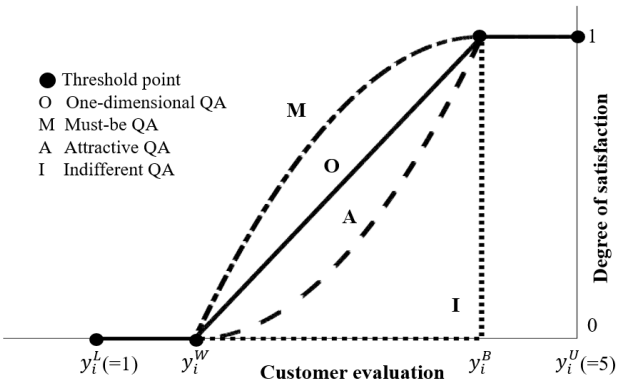
만약 평가를 위해 5점 척도가 사용된다면, y_{ij}^k는 1부터 5까지의 값으로 측정된다. 따라서, <Figure 3>에 나타낸 바와 같이 특정 품질속성 QA_i에 대해 평가한 고객들의 측정값의 하한(y_i^L)과 상한(y_i^U)은 각각 1과 5가 된다. 다음으로 식 (1), 식 (2)와 같이 임계점 y_i^B와 y_i^W는 만족 임계점(Aspiration Point)과 불만족 임계점(Rejection Point)을 나타낸다. 만족 임계점은 다음과 같이 특정 품질속성에 대해 경쟁사 제품 중에 고객들로부터 받은 평가의 평균값(y_{ij})이 가장 높은 것으로 설정하고, 불만족 임계점은 경쟁사 제품 중에 가장 낮은 평균값으로 설정한다.

$$y_i^B = \max_{j=1, ..., n} y_{ij} \quad (1)$$

$$y_i^W = \min_{j=1, ..., n} y_{ij} \quad (2)$$

<Table 1> Competitive Benchmarking Analysis Data of Quality Attributes[22]

	QA_1			⋯	QA_m		
	CT_1	⋯	CT_l		CT_1	⋯	CT_l
CP_1	y_{11}^1	⋯	y_{11}^l	⋯	y_{m1}^1	⋯	y_{m1}^l
⋮	⋮	⋱	⋮	⋯	⋮	⋱	⋮
CP_3	y_{13}^1	⋯	y_{13}^l	⋯	y_{m3}^1	⋯	y_{m3}^l
⋮	⋮	⋱	⋮	⋯	⋮	⋱	⋮
CP_n	y_{1n}^1	⋯	y_{1n}^l	⋯	y_{mn}^1	⋯	y_{mn}^l



<Figure 3> Establishment of Desirability Functions for QAs using the Combined Benchmarking and Kano Analysis(Modified from [22])

2.1.2 카노 분석을 통한 임계점 사이의 함수 설정

다음으로, 카노 설문을 이용한 카노 분석을 통해 품질속성을 4가지 유형(A: Attractive, O: One-dimensional, M: Must-be, I : Indifferent)으로 분류하고, 품질속성별로 설정된 임계점 y_i^W와 y_i^B사이에 서로 다른 함수관계를 설정한다. 이것은 카노 모델에서 제시된 바와 같이 품질특성에 따라 고객 만족에 미치는 영향이 다르기 때문에, 매력적(A), 일원적(O), 당연적(M), 무관심(I) 품질속성의 순서대로 가중치를 부여하기 위한 것이다. 따라서, 어떤 설계안에 대한 고객(CT_k)의 평가(y_i^k)에 대해서 품질속성 QA_i가 어떠한 유형으로 분류되는지에 따라 고객만족도($DF(y_i^k)$)가 다르게 계산된다. 저자의 이전 연구[22]에서는 낮은 만족도를 나타내는 고객요구사항에 대해 높은 우선순위를 부여하기 위해서 I, M, O, A 순으로 고객 만족도가 낮게 산출되도록 함수관계를 설정하였으나, 본 연구에서는 높은 만족도를 나타내는 설계안이 더 높은 평가를 받도록 해야 하므로 <Figure 3>과 같이 이전 연구와는 반대의 함수관계가 설정되도록 수정하였다.

예를 들어, 무관심(I) 품질속성은 물리적인 요구사항의 충족 및 불충족이 고객의 만족과 불만족에 영향을 주지 않는 품질요소로 정의되므로, y_i^B보다 낮은 고객 평가에 대해 동일한 고객만족도 '0'으로 산출된다. 반면에, y_i^W와 y_i^B 사이에 있는 동일한 고객 평가에 대해서는 M, O, A의 순으로 고객만족도가 높아진다. 이것은 일원적(O) 품질속성과 당연적(M) 품질속성에 비해 매력적(A) 품질속성(물리적인 요구사항을 충족시켜주면 고객의 만족도가 크게 증가하는 품질요소)의 고객만족도가 높게 산출되도록 하여 S/N비를 계산할 때 매력적(A) 품질요소가 더 높은 S/N비를 나타내게 하기 위함이다.

품질속성의 유형에 따라 호감도 함수는 다음과 같이 정의된다.

매력적(Attractive) 품질속성의 호감도 함수 :

$$DF(y_i^k)=\begin{cases}0,\ if y_i^L \le y_i^k \le y_i^W \\ 1-\left\{\dfrac{(y_i^k-y_i^B)^2}{(y_i^B-y_i^W)^2}\right\}, & if y_i^w < y_i^k < y_i^B \\ 1,\ if\ y_i^B \le y_i^k \le y_i^U\end{cases} \quad (3)$$

일원적(One-dimensional) 품질속성의 호감도 함수 :

$$DF(y_i^k)=\begin{cases}0,\ if\ y_i^L \le y_i^k \le y_i^W \\ \dfrac{(y_i^k-y_i^W)}{(y_i^B-y_i^W)} & ,\ if\ y_i^w < y_i^k < y_i^B \\ 1,\ if\ y_i^B \le y_i^k \le y_i^U\end{cases} \quad (4)$$

당연적(Must-be) 품질속성의 호감도 함수 :

$$DF(y_i^k)=\begin{cases}0,\ if\ y_i^L \le y_i^k \le y_i^W \\ \dfrac{(y_i^k-y_i^W)^2}{(y_i^B-y_i^W)^2} & ,\ if\ y_i^w < y_i^k < y_i^B \\ 1,\ if\ y_i^B \le y_i^k \le y_i^U\end{cases} \quad (5)$$

무관심(Indifferent) 품질속성의 호감도 함수 :

$$DF(y_i^k)=\begin{cases}0,\ if\ y_i^L \le y_i^k < y_i^B \\ 1,\ if\ y_i^B \le y_i^k \le y_i^U\end{cases} \quad (6)$$

2.2 강건설계 최적화 프로세스

다음으로 개개의 품질속성별로 설정된 선호도 함수에 대해 전체 고객만족도가 최대가 되면서 고객만족도 사이의 편차가 작은 강건한 설계안을 도출하기 위해서 <Figure 2>와 같이 다구찌 법의 강건설계 최적화 프로세스를 수행한다. 일반적인 강건설계 프로세스와의 차이점은 새로운 선호도 함수를 적용함으로써 다특성 설계문제를 취급할 수 있다는 점과 품질특성치 자체에 대해 S/N비를 계산하는 것이 아니라 호감도 함수에 대해 품질특성치가 나타내는 정규화된 만족도 값을 토대로 S/N비를 계산한다는 것이다. 또한, 본 연구에서는 설계안 평가를 위해 식 (8)과 같은 수정된 S/N비 계산식을 사용한다.

다구찌 법에서는 보통 품질특성을 3가지로 나누어서 S/N비를 계산한다. 특정 값을 목표로 하는 품질특성은 망목(Nominal-The-Best), 특정 값을 목표로 하지 않고 값이 커질수록 좋은 품질특성은 망대(Larger-The-Better), 망대와 반대로 값이 작을수록 좋은 품질특성은 망소(Smaller-The-Better)로 구분한다. 고객지향설계에서 취급하는 품질속성들은 고객만족도가 클수록 좋기 때문에 망대특성에 해당한다. 다구찌 법에서 일반적으로 사용되는 망대특성의 S/N비 계산식은 다음과 같다.

$$S/N=-10log\frac{1}{n}\left|\left(\frac{1}{y_1}\right)^2+\left(\frac{1}{y_2}\right)^2++\cdots+\left(\frac{1}{y_n}\right)^2\right| \quad (7)$$

본 연구에서는 호감도 함수에 대한 출력 ($DF(y_i^k)$)가 $0 \le DF(y_i^k) \le 1$의 값을 갖는데, 고객만족도가 0인 경우 ($DF(y_i^k)=0$)에는 $1/DF(y_i^k)=\infty$가 되므로 식 (7)을 사용해서는 S/N비를 계산할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 식 (7)을 다음과 같이 수정하여 고객만족도에 대한 S/N비를 계산한다.

$$S/N=-10log\frac{1}{n}\left|\left(\frac{1}{e^{DF_1}}\right)^2+\left(\frac{1}{e^{DF_2}}\right)^2+\cdots+\left(\frac{1}{e^{DF_n}}\right)^2\right| \quad (8)$$

식 (8)은 S/N비를 계산할 때 분모에 지수 함수를 사용하여 $DF(y_i^k)$ 값이 0일 때 S/N비가 무한대가 되는 문제를 해결한다.

3. 사례 연구

본 연구에서 제안되는 설계 기법의 유효성을 검증하고 기존 연구와의 비교분석을 위해 참고문헌[4]에서 적용된 와인잔 설계 사례를 검토하였다. 와인잔 형상에 요구되는 고객들의 감성 어휘로서 Modern, Quality, Ease of Drinking, Ease of Handle, Durable의 5개를 선정하였다. 피실험자는 와인을 마셔본 경험이 있는 사람들을 대상으로 20~50대 남녀 97명(남성 43명, 여성 54명)을 선정하였다.

3.1 호감도 함수 작성 프로세스

먼저, 선정한 5개의 감성 어휘에 대한 호감도 함수를 정의하기 위해, 카노 설문지를 이용하여 피실험자를 대상으로 실시한 설문 결과를 <Table 2>에 나타낸다. 분석 결과, Modern(QA_1), Quality(QA_2), Ease of Handle(QA_4)은 매력적인(Attractive) 품질속성으로 분류되었고, Ease of Drinking (QA_3)은 일원적(One-dimensional) 품질속성, Durable(QA_5)은 무관심(Indifferent) 품질속성으로 분류되었다.

<Table 2> Results of Kano Analysis

Quality Attribute	A	M	O	I	R	Q
Modern(QA_1)	**63**	2	9	19	3	1
Quality(QA_2)	**55**	2	30	9	1	0
Ease of drinking(QA_3)	27	13	**47**	8	0	2
Ease of handle(QA_4)	**43**	7	30	16	0	1
Durable(QA_5)	20	9	28	**35**	3	2

다음으로 벤치마킹 분석을 위해 <Figure 4>와 같은 4개의 경쟁사 제품을 선정하였다. CP_1은 참고문헌[4]에서 가장 높은 만족도를 나타낸 와인잔이고, CP_2는 ISO 3591에 규정된 와인잔이며, CP_3와 CP_4는 시중에서 판매중인 와인잔이다. 5점 척도를 사용해서 97명의 피실험자에게 각 품질속성마다 경쟁사 제품의 품질속성에 대한 충족 정도를 평가하도록 하여 구한 평균값이 <Table 3>과 같다. 모든 품질속성들에 대해서 CP_2가 가장 높게 충족하고 있는 것으로 나타나고, CP_3가 가장 낮게 충족하고 있는 것으로 나타났다. 따라서, CP_2와 CP_3의 값을 각각 호감도 함수의 만족 임계점와 불만족 임계점으로 설정한다. 이와 같이 카노 분석과 벤치마킹 분석을 토대로 <Figure 5>에 나타낸 바와 같이 5가지 품질속성에 대한 호감도 함수를 정의하였다.

3.2 강건설계 최적화 프로세스

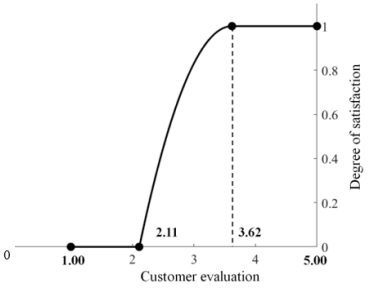
와인잔의 형상은 크게 입구 테두리(Rim), 몸체(Bowl), 손잡이(Stem) 및 받침(Foot)으로 구성되고, 이 중 받침 부분은 고객의 감성적 품질 평가에는 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다[4]. 따라서, <Figure 6>과 같이 고객의 감성적 품질 평가에 영향을 미치는 테두리의 폭(A), 몸체의 폭(B)과 높이(C), 손잡이의 높이(D)를 설계 변수로 선정하였고, <Table 4>와 같이 각 설계변수에 대해 경쟁사 제품 등을 토대로 3수준의 값을 설정하였다. 이렇게 설정된 설계변수의 수준들을 조합하여 와인잔의 설계안을 생성하기 위해서 본 연구에서는 <Table 5>와 같이 $L_{18}(2^1\times3^7)$ 직교배열표를 사용하였다. 18개의 와인잔을 CAD 프로그램을 사용하여 모델링한 형상을 <Figure 7>에 나타낸다.

이와 같이 생성된 18개의 설계안들에 대해 피 실험자들에게 5점 척도를 사용하여 품질속성별로 충족 정도를 평가하도록 하였다. 이와 같이 모든 피실험자가 평가한 결과를 <Figure 5>의 호감도 함수에 적용하여 만족도를 구하고, 이 만족도에 대해 본 연구에서 제시하는 식 (8)을 사용하여 S/N비를 구하면 <Table 6>과 같다. <Table 6>에 나타낸 바와 같이, 8번 설계안이 S/N비가 가장 크기 때문에 18개의 설계안 중에는 모든 품질속성에 대해 가장 고객만족도가 높은 설계라는 것을 알 수 있다.

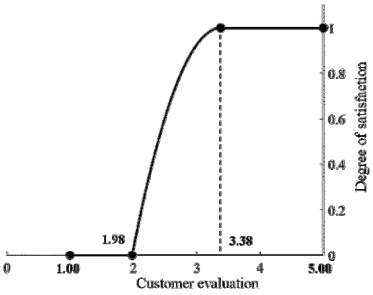
<Figure 4> Competitor's Products for Benchmarking Analysis

<Table 3> Competitive Benchmarking Analysis Data

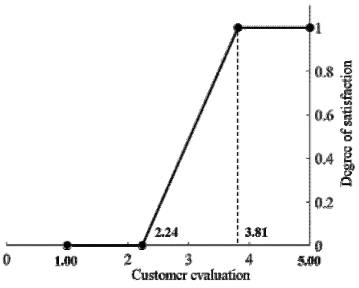
CP/QA	QA_1	QA_2	QA_3	QA_4	QA_5
CP_1	3.31	3.10	3.42	3.21	3.35
CP_2	**3.62**	**3.38**	**3.81**	**3.73**	**3.52**
CP_3	**2.11**	**1.98**	**2.24**	**1.98**	**2.00**
CP_4	3.29	3.10	3.14	3.14	2.89



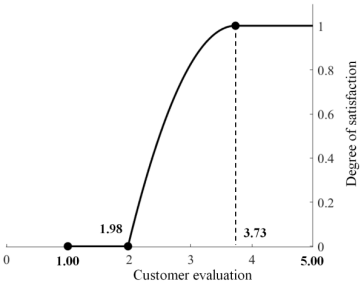
Modern (QA_1, A)



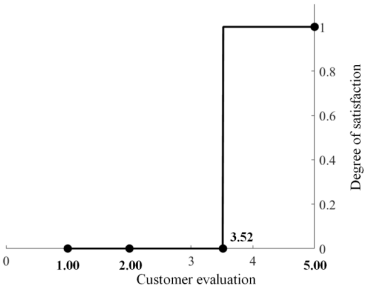
Quality (QA_2, A)



Ease of Drinking (QA_3, O)

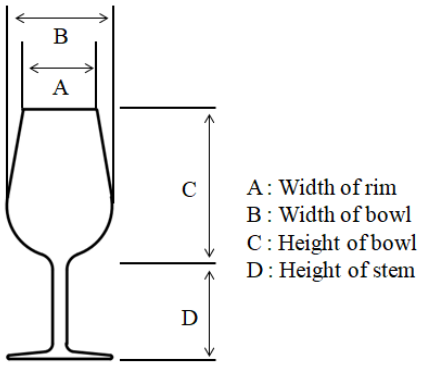


Ease of Handle (QA_4, A)



Durable (QA_5, I)

<Figure 5> Desirability Functions of QAs



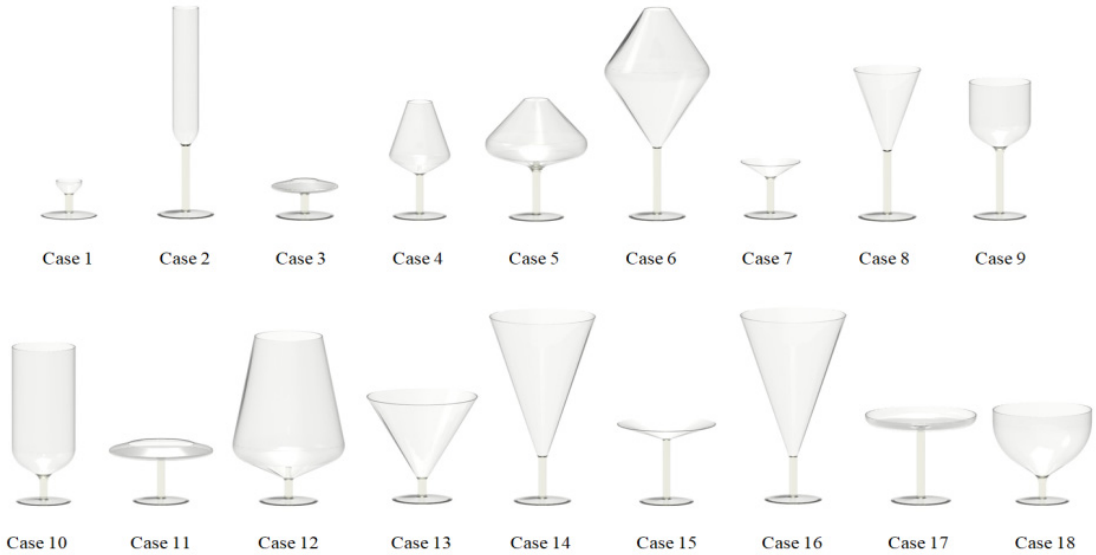
<Figure 6> Shape Design Parameters for Wine Glass Design

<Table 4> Shape Design Parameters and Levels for 1st Experimental Design

Shape Design Parameters	Level		
	1	2	3
(A) Width of Rim (mm)	30	75	120
(B) Width of Bowl (mm)	30	75	120
(C) Height of Bowl (mm)	20	100	180
(D) Height of Stem (mm)	25	55	85

<Table 5> Design Alternatives using Orthogonal Array $L_{18}(2^1 \times 3^7)$

NO.	Width of Rim		Width of Bowl		Height of Bowl		Height of Stem	
	Level	mm	Level	mm	Level	mm	Level	mm
1	1	30	1	30	1	20	1	25
2	1	30	1	30	3	180	3	85
3	1	30	2	75	1	20	1	25
4	1	30	2	75	2	100	2	55
5	1	30	3	120	2	100	2	55
6	1	30	3	120	3	180	3	85
7	2	75	1	30	1	20	2	55
8	2	75	1	30	2	100	3	85
9	2	75	2	75	2	100	3	85
10	2	75	2	75	3	180	1	25
11	2	75	3	120	1	20	2	55
12	2	75	3	120	3	180	1	25
13	3	120	1	30	2	100	1	25
14	3	120	1	30	3	180	2	55
15	3	120	2	75	1	20	3	85
16	3	120	2	75	3	180	2	55
17	3	120	3	120	1	20	3	85
18	3	120	3	120	2	100	1	25



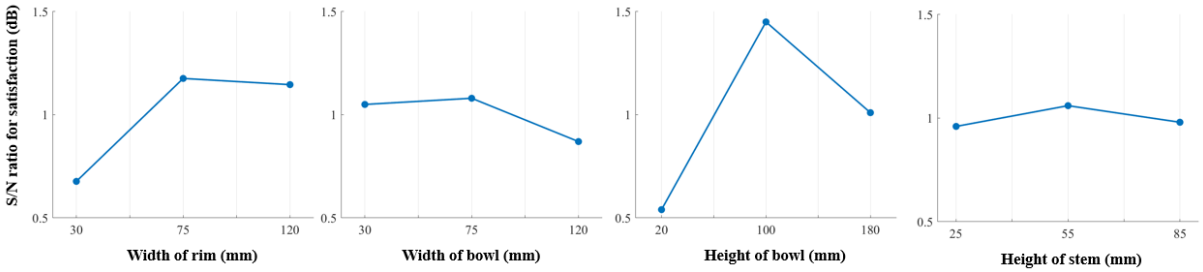
<Figure 7> Wine Glass Design for 1st Experimental Design

<Table 6> S/N ratio for Customer Satisfaction Analysis of 1st Experimental Design

No.	Modern			Quality			Ease of Drink			Ease of Handle			Durable			S/N Ratio(dB)
	CT_1	⋯	$CT_{97.}$	CT_1	⋯	$CT_{97.}$	CT_1	⋯	$CT_{97.}$	CT_1	⋯	$CT_{97.}$	CT_1	⋯	$CT_{97.}$	
1	0	⋯	0	0	⋯	0	0	⋯	0	0	⋯	0	0	⋯	0	0.40
2	0	⋯	0.83	0	⋯	0.028	0	⋯	1	0	⋯	0	0	⋯	0	0.48
3	0	⋯	0	0	⋯	0	0	⋯	0	0.022	⋯	0	0	⋯	0	0.32
4	0	⋯	1	0.93	⋯	1	0	⋯	1	0	⋯	1	0	⋯	0	1.41
5	0	⋯	1	0	⋯	1	0	⋯	0	0	⋯	0.83	0	⋯	0	0.82
6	0	⋯	1	0	⋯	0.93	0	⋯	0	0.83	⋯	0	0	⋯	0	0.62
7	0	⋯	0	0.93	⋯	0.028	1	⋯	0	0.83	⋯	0.83	0	⋯	1	0.90
8	1	⋯	1	0.93	⋯	0.93	1	⋯	1	0.83	⋯	1	0	⋯	1	1.81
9	1	⋯	1	0.028	⋯	1	0.48	⋯	1	0.83	⋯	1	1	⋯	1	1.78
10	0.83	⋯	0.83	0.028	⋯	0.028	0.48	⋯	1	0.83	⋯	0.022	0	⋯	1	0.97
11	0	⋯	0.83	0	⋯	0.028	0.48	⋯	0	0	⋯	0	0	⋯	0	0.39
12	0.83	⋯	0	0	⋯	0.028	0	⋯	0	0	⋯	0	0	⋯	0	1.20
13	0.83	⋯	0.83	0.028	⋯	0.028	0	⋯	0.48	0.022	⋯	1	0	⋯	0	1.28
14	0.83	⋯	0	0.93	⋯	0.028	0	⋯	1	0	⋯	0.83	1	⋯	0	1.44
15	0	⋯	0	0	⋯	0	0	⋯	0	0	⋯	0.83	0	⋯	1	0.63
16	0	⋯	0	0.028	⋯	0.028	1	⋯	0.48	0	⋯	0.83	0	⋯	1	1.37
17	0.83	⋯	1	0.93	⋯	0.93	0	⋯	0	0	⋯	0.83	0	⋯	0	0.57
18	1	⋯	0.83	1	⋯	0.93	1	⋯	1	1	⋯	0.83	1	⋯	1	1.60

<Table 7> Sensitivity Analysis for S/N Ratio of 1st, 2nd and 3rd Experimental Design

	Width of rim (A)			Width of bowl (B)			Height of bowl (C)			Height of stem (D)		
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 1	Level 2	Level 3	Level 1	Level 2	Level 3	Level 1	Level 2	Level 3
Exp.1	0.67	**1.18**	1.15	1.05	**1.08**	0.87	0.54	**1.45**	1.01	0.96	**1.06**	0.98
Exp.2	**2.52**	1.58	1.49	1.84	**2.14**	1.61	1.52	**2.22**	1.84	-	-	-
Exp.3	1.39	3.06	**3.52**	-	-	-	-	-	-	-	-	-



<Figure 8> Main Effect Plot for S/N Ratio of 1st Experimental Design

<Table 8> Shape Design Parameters and Levels for 2nd and 3rd Experimental Design

	Exp. 2			Exp. 3		
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 1	Level 2	Level 3
A[mm]	60	75	90	40	50	**60**
B[mm]	60	75	90	**75**		
C[mm]	80	100	120	**100**		
D[mm]	55			**55**		

1차 실험결과를 토대로 수준평균분석법(Level Average Method)에 의해 수행된 설계 변수들의 S/N비에 대한 민감도 분석 결과를 <Table 7>과 <Figure 8>에 나타낸다. 먼저, 설계변수 D(손잡이의 높이)는 다른 설계변수들에 비해 민감도가 낮고, D의 변화가 S/N비에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서, 설계변수 D에 대해서는 1차 실험에서 가장 S/N비가 높은 값을 나타내는 수준 2의 값(55 mm)으로 결정한다. 나머지 설계변 수 A, B, C는 모두 수준 2에서 S/N비가 가장 크고, S/N비에 민감하다는 것을 알 수 있다. 즉, 설계변수 A, B, C를 변화시키면 S/N를 높일 수 있을 것으로 예상된다.

따라서, 2차 실험에서는 S/N비를 향상시킬 수 있는 다른 설계안을 생성하기 위해 설계변수 A, B, C를 가지고 실험을 계획하였다. 3개의 설계변수 모두 1차 실험에서 2수준에서 가장 큰 S/N비를 나타냈기 때문에 2차 실험에서는 1차 실험의 2수준값을 기준으로 1차 실험보다 작은 차이의 1수준값과 3수준값을 설정하였다. <Table 8>에 나타낸 바와 같이, 테두리의 폭(A)과 몸통의 폭(B)은 1차 실험에서 선정한 2수준값(75 mm)을 기준으로 15 mm씩 작은 값과 큰 값을 설정하였고, 몸통의 높이(C)는 100 mm를 기준으로 20 mm씩 작은 값과 큰 값을 설정하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 손잡이의 높이는 1차 실험에서 가장 높은 S/N비를 나타낸 55 mm로 고정하였다.

다음으로, 3차 실험에서는 다른 설계 변수들은 2차 실험까지 가장 높은 S/N비를 나타내는 값으로 고정하고 설계변수 A(테두리의 폭)만 S/N비가 가장 큰 값을 나타낸 1수준값(60 mm)을 기준으로 작은 쪽으로 값(40 mm, 50 mm)을 설정하여 실험을 진행하였다. <Table 7>의 분석결과, 3 수준값에서 가장 큰 S/N비를 나타냈는데, 이는 2차 실험에서 가장 큰 S/N비를 나타낸 1수준값과 동일하기 때문에 설계변수 B는 60 mm로 확정할 수 있다. 따라서, 3차 실험을 통해 얻어진 최종 설계해는 <Table 8>과 <Figure 9>에 나타낸 같이 A = 60 mm, B = 75 mm, C = 100 mm, D = 55 mm이다.

이와 같이, 본 연구에서 제안되는 설계 기법에서는 수정된 S/N비를 사용하여 다구찌의 파라미터 설계를 적용함으로써 잡음인자(고객만족도의 차이)의 영향에 민감하지 않은 강건 설계를 수행할 수 있다. 본 연구에서 취급하는 고객지향설계에 있어서 “S/N비가 높다”, “설계안이 강건하다”는 의미는 대다수의 고객이 제품에 높은 점수를 부여하고 그 편차가 작다는 것을 의미한다.

예를 들어, 어떤 제품 A에 대해 고객 1이 9점, 고객 2가 1점을 부여하였을 때 평균은 5점이 된다. 반면 다른 제품 B에 고객 1이 5점, 고객 2가 5점을 부여하였을 때 역시 평균은 5점이 된다. 두 제품 모두 평균은 5점이지만, 제품 A의 경우 고객 2는 아주 만족스럽지 못한 점수를 부여한 반면, 제품 B는 고객 1, 2 모두에게 평균 정도의 점수를 받았다. 이때 제품 B가 편차가 작다고 말할 수 있으며 좋은 설계가 되었다고 평가할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제안되는 설계 기법을 사용하면 모든 고객들에게 만족도가 높으면서 고객들 사이의 만족도의 차이가 작은 제품을 설계할 수 있다. 즉, 모든 고객의 만족도에 강건한 최적설계안을 도출할 수 있다.

<Figure 9> Final Design

4. 결 론

본 연구에서는 다구찌의 강건설계(Robust Design)의 관점으로부터 고객지향설계를 “제품과 관련된 복수의 품질속성에 대해서 고객들이 응답한 개개의 고객만족도 사이에서의 차이가 작으면서 동시에 전체 고객만족도가 최대가 되는 설계변수의 최적값을 찾는 과정”으로 정의한다.

이를 구현하기 위해, 본 연구에서는 벤치마킹 분석과 카노 분석을 기반으로 하여 호감도 함수를 작성하는 방법과 다구찌의 강건설계 방법을 통합함으로써 고객만족도를 최대화하면서 강건한 설계안을 생성할 수 있는 새로운 고객지향설계 기법을 제안한다.

본 설계 기법에서는 먼저 각각의 품질속성에 대한 고객의 선호도 구조(Customer Preference Structure)를 함수로서 모델링하는 호감도 함수를 이용하여 복수의 설계 대안에 대해 품질속성별로 고객만족도 점수를 산출한다. 다음으로 품질속성별 고객만족도에 대한 S/N비를 계산하여 각각의 설계 대안에 대한 만족도를 평가한다. 이와 같이, 고객만족도에 대한 S/N비가 최대가 되도록 설계안을 생성함으로써 전체 품질속성에 대해 높은 고객만족도를 나타내면서 동시에 고객만족도 차이가 작은 강건한 설계를 수행할 수 있다.

Acknowledgement

This research was supported by the research fund of Hanbat National University in 2022.

References

[1] Abras, C., Maloney-Krichmar, D., and Preece, J., User-Centered Design, *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, 2004, Vol. 37, No. 4, pp. 445-456.

[2] Akao, Y., QFD: Past, present, and future, *International Symposium on QFD*, 1997, Vol. 97, No. 2 pp. 1-12.

[3] Ali, K., Esra, I., Selcuk, C., and Cengiz, K., Customer-oriented product design using an integrated neutrosophic AHP & DEMATEL & QFD methodology, *Applied Soft Computing*, 2022, Vol. 188, p. 108445.

[4] Chaiwat, K. and Ashuboda, C., Application of Kansei Engineering and Box-Behnken response surface methodology for shape parameter design: A case study of wine glass, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 2015, Vol. 9, No. 5, p. JAMDSM0059.

[5] Chang, H.C. and Chen, H.Y., Optimizing product form attractiveness using Taguchi method and TOPSIS algorithm: A case study involving a passenger car, *Concurrent Engineering*, 2014, Vol. 22, No. 2, pp. 135-147.

[6] Chen, C.C. and Chuang, M.C., Integrating the Kano model into a robust design approach to enhance customer satisfaction with product design, *International Journal of Production Economics*, 2008, Vol. 114, No. 2, pp. 667-681.

[7] Ginting, R., Ishak, A., Malik, A.F., and Satrio, M.R., Integration of Kansei Engineering and Quality Function Deployment (QFD) for Product Development: A Literature Review, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020.

[8] Griffin, A. and Hauser, J.R., The voice of customer, *Marketing Science*, 1993, Vol. 12, No. 1, pp. 1-27.

[9] Hauser, J.R. and Don, C., How puritan-bennett used The house of quality, *Harvard Business Review*, 1993, Vol. 34, No. 3, pp. 63-73.

[10] Ho, L.H. and Feng, S.Y., A New Methodology for Customer Satisfaction Analysis: Taguchi’s Signal-to-Noise Ratio Approach, *Journal of Service Science and Management*, 2014, Vol. 7, No. 3, pp. 235-244

[11] Huovila, P. and Seren, K.J., Customer-oriented Design Methods for Construction Projects, *Journal of Engineering Design*, 1998, Vol. 9, No. 3, pp. 225-238

[12] Hwang, U.J., Lee, W.I., and Park, K.J., A strategy for structural optimization post-process using orthogonal array from Taguchi method, *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 1992, Vol. 1, pp. 229-233.

[13] Kang X. and Qu, M., Multi Kansei Qualities Optimization Design of Products Combined with Refined Kano Model and QFD, *Computer-Aided Design and Applications*, 2021, Vol. 18, No. 5, pp. 954-969.

[14] Kuo, Y., Yang, T., and Huang, G.W., The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems, *Computers& Industrial Engineering*, 2008, Vol. 55, No. 1, pp. 80-93.

[15] Lai, Y.J., Liu, T.Y., and Hwang, C.L., TOPSIS for MODM, European, *Journal of Operational Research*, 1994, Vol. 76, No. 3, pp. 486-500.

[16] Laura, J.R. and Kozar, M., The Use of the Kano Model to Enhance Customer Satisfaction, *Organizacija*, 2017, Vol. 50, No. 4, pp. 339-351.

[17] Lin, M.C., Wang, C.C., Chen, M.S., and Chang, C.A.,

Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process, *Computers in Industry*, 2008, Vol. 59, No. 1, pp. 17-31.

[18] Matzler, K. and Hinterhuber, H.H., How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment, *Technovation*, 1998, Vol. 18, No. 1, pp. 25-38.

[19] Matzler, K., Sauerwein, E., Bailom, F., and Hinterhuber, H.H., How delight your customers, *Journal of Product and Brand Management*, 1996, Vol. 9, pp. 313-327.

[20] Nagamachi, M., *Kansei engineering, Handbook of human factors and ergonomics methods*, Boca Raton, CRC Press, 2004, pp. 794-799.

[21] Nagamachi, M., Kansei engineering: a new ergonomic consumer-oriented technology for product development, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1995, Vol. 15, No. 1, pp. 3-11.

[22] Nahm, Y.E., A novel approach to prioritize customer requirements in QFD based on customer satisfaction function for customer-oriented product design, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2013, Vol. 27, No. 12, pp. 3765-3777.

[23] Nahm, Y.E., Ishikawa, H. and Inoue, M., New rating methods to prioritize customer requirements in QFD with incomplete customer preferences, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, Vol. 65, pp. 1587-1604.

[24] Oztekin, A., Iseri, A., Zaim, S., and Nikov, A, A Taguchi-based Kansei engineering study of mobile phones at product design stage, *Production Planning & Control*, 2013, Vol. 24, No 6, pp. 465-474.

[25] Peace, G.S., *Taguchi Methods: A Hands-on Approach to Quality Engineering*, United State, Addison-Wesley, 1993.

[26] Poel, I., Methodological problems in QFD and directions for future development, *Research in Engineering Design*, 2007, Vol. 18, pp. 21-36.

[27] Rahmillah F.I. and Kartika R.N., Design of Maternity by Using Kansei and Taguchi Mehods, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, Vol. 215, No. 012043.

[28] Rampal, A., Mehra, A., Singh, R., Yadav, A., Nath, K., and Chauhan, A.S., Kano and QFD analyses for autonomous electric car: Design for enhancing customer contentment, *Materialstoday: Proceedings*, 2022, Vol. 62, No. 3, pp. 1481-1488.

[29] Schütte, S.T., Eklund, J., Axelsson, J.R., and Nagamachi, M., Concepts, methods and tools in Kansei engineering, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2004, Vol. 5, pp. 214-231.

[30] Song, H.G. and Park, Y.T., Wordings of the Kano Model's Questionnaire, *Journal of Korean Society for Quality Management*, 2012, Vol. 40, No. 4, pp. 453-466.

[31] Tsui, K.L., An overview of Taguchi method and newly developed statistical methods for robust design, *Iie Transactions*, 1992, Vol. 24, No. 5, pp. 44-57.

[32] Vredenburg, K., Mao, J.Y., Smith, P.W., and Carey, T., A survey of user-centered design practice, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, New York, United States, 2002, pp. 471-478.

[33] Yadav, H.C., Jain, R., Singh, A.R., and Mishra, P.K., Aesthetical design of a car profile: a Kano model-based hybrid approach, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 67, No. 9, pp. 2137-2155.

[34] Yum, B.J., Kim, S.J., Seo S.K., Byun, J.H., and Lee, S.H., The Taguchi robust design method: Current status and future directions, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2013, Vol. 39, No. 5, pp. 325-341.

ORCID

Jae Hun Jo | https://orcid.org/0000-0001-6411-9500
Ji Ho Lee | https://orcid.org/0000-0002-6431-985X
Jong Pil Park | https://orcid.org/0000-0001-9138-2857
Yoon Eui Nahm | https://orcid.org/0000-0002-9020-6357