JESK J Ergon Soc Korea 2018; 37(4): 445-457
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2018.37.4.445
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Optimization of Tactile Material Properties to Improve Affection Satisfaction of Vehicle Interior Materials

Jaekyu Park[1], Sungjoon Park[2]

[1]LG electronics, Home Appliance & Air Solution Company, Appliance Advanced Technology 4 Team, Changwon, 51533
[2]Namseoul University, Department of Industrial Management Engineering, Cheonan, 31020

자동차 내장 재질의 감성 만족도 향상을 위한 촉각적 물성치의 최적화

박재규[1], 박성준[2]

[1]LG전자 H&A 사업본부 어플라이언스 선행기술4팀
[2]남서울대학교 산업경영공학과

Corresponding Author
Sungjoon Park
Namseoul University, Department of Industrial Management Engineering, Cheonan, 31020
Mobile : +82-10-9055-9410
Email : sjpark@nsu.ac.kr

Received : February 07, 2018
Revised : August 06, 2018
Accepted : August 21, 2018

Copyright@2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (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.

Objective: The purpose of this study is to investigate the effects of the roughness, friction coefficient, and hardness, which are typical properties related to tactile affection affecting the interior affective satisfaction for Thermoplastic Olefin (TPO) materials. This study also aims to derive optimal design values to maximize tactile affective satisfaction.

Background: There are a variety of design variables related to tactile affection of vehicle interior materials. Previous studies about sensibility engineering for vehicle interior material mainly interested to visual sense, and some studies for tactile sense had limitations performed in actual vehicle conditions where human sensibility could be affected by several noise factors. Therefore, it is necessary to make material's samples considering various levels of design variables related to the material properties, and to determine the optimal design combinations to improve tactile affection.

Method: A total of 72 subjects, 59 males and 13 females, participated in this experiment. A total of 18 TPO materials were fabricated to evaluate the affective satisfaction, according to the physical property levels of the interior materials. Affective satisfaction with a sense of touch was used as a dependent variable, and roughness, hardness and coefficient of friction were considered as three independent variables. For 18 samples provided by combinations of three independent variables, the affective satisfaction was measured repeatedly according to the within-subject design. ANOVA and regression analysis were carried out to derive optimal design values for vehicle interior materials.

Results: The optimal regression model was derived from the best subset regression analysis, which included hardness and roughness variables. In addition, the optimal design values were predicted through the iso-response contour plots obtained by the response surface model. The optimum tactile affection condition can be provided from the middle level of hardness and the low level of roughness.

Conclusion: By suggesting the optimal material property level of TPO material, it is possible to provide improved affective satisfaction that can be felt in high quality interior materials.

Application: This study can be used to improve tactile affection for vehicle interior design, and be helpful to cost reduction through replacing artificial leathers by improved TPO materials.

Keywords: Automotive interior material, Affective satisfaction, Tactile material properties, Response surface analysis

1. Introduction

자동차의 발전과 함께 운송 수단으로서의 기능적 성능이 고객이 만족하는 수준에 접근함에 따라 다양한 구매 요구들이 증가하게 되었다. 이와 같은 소비자 요구는 자동차의 내장 및 외장의 다양한 설계 요소들에 대한 감성적 요구로 표현되기 시작하였다(Jung et al., 1997; You et al., 2004). 특히 시각적인 감성에 의존하는 외장에 대한 설계보다 시각 뿐만 아니라 다양한 감성에 많은 영향을 미치는 내장에 대한 감성 연구가 활발히 진행되고 있다. 내장에 대한 감성 연구의 대부분은 시각적인 설계 요소들을 대상으로 평가되어 왔다. Lee et al. (2012)의 연구는 내장의 색상이 감성에 영향을 미치는 요인에 대한 연구를 수행하였다. 특히 크래쉬 패드와 도어 트림의 색상과 연관된 대표 감성을 세련된, 고급스러운, 클래식한, 밝은, 자연스러운의 5가지 감성 어휘로 대표된다고 하였다. Park et al. (2014)은 상용차의 내장 디자인의 설계 요소를 색상, 엠보, 광택도로 선정하고 이들 설계 요소의 조합을 3D 모델링하여 감성 평가로 상용차 내장 디자인의 최적 수준을 찾고자 하였다. Jung et al. (2010)은 내장 패키지 요소 중 하나인 게이지 클러스터의 설계에 영향을 미치는 조명 색상, 게이지 수에 따른 감성 평가를 통해 최적 대안을 제시하고자 하였다. 이러한 시각적인 감성의 연구와 더불어 청각 및 촉각에 대한 연구도 다양하게 이루어져 왔다. Moon et al. (2012)은 글로브박스의 작동감과 작동음이 주는 감성 인자를 찾고자 하였으며 이들 항목을 주관적, 객관적 항목으로 구분하여 평가하였다. Kuwano et al. (2006)와 Parizet et al. (2008)은 문 닫힘 소리(Door closing sound)와 감성 형용사들과의 연관성을 알아보고 각각 MDS 분석 및 상관분석을 수행하였다. 이와 유사하게 국내에서도 Kim et al. (2015)은 문 열림 소리(Door opening sound)과 관련된 7가지의 감성 형용사와 5가지의 소리 관련 매개 변수를 도출하여 만족도와의 회귀분석을 수행하였다.

시각 및 청각 감성에 대한 연구와 더불어, 촉각적 감성에 대한 소비자의 요구가 증가하면서 이에 대한 설계 변수를 찾고자 하는 노력이 이루어져 오고 있다(Lee et al., 2013). Bahn et al. (2006, 2009)은 크래쉬 패드의 고급감과 관련된 설계 변수와 감성 어휘를 추출하고자 하였으며 이를 토대로 고급감을 최대화시키기 위한 설계 수준을 도출하였다. Park and Jeong (2013)은 차량 내의 특정한 패키지 요소가 아닌 전체 내장에 대해 대표 감성을 추출하고자 하였다. 하지만 자동차 분야의 촉각적 감성은 다른 감성들에 비해 상대적으로 실험 환경의 제약 및 내장 부품의 다양성의 결여 등의 문제로 인해 연구가 부족한 실정이다. 실험 환경의 경우 시각적인 감성은 사진 및 3D 모델링을 통해 측정을 하여 왔다(Park et al., 2014; Yang et al., 2015). 이에 반해 촉각적 감성은 내장 부품 자체를 직접 만져봐야 하게 때문에 실차 환경에서 측정을 해야 되는 경우가 대부분이었다. 실차 환경에서 실험을 진행할 경우 차량 브랜드를 최대한 가리고 평가를 하지만 브랜드 효과에 의한 반응 편향(response bias)이 일어날 뿐만 아니라, 차량 내 청결성 유지의 어려움, 외부 환경이나 기후조건 등에 의한 동등한 실험 조건 구축의 어려움 등의 문제들이 발생한다. 따라서 촉감적 감성 연구에 있어서는 실차 환경보다는 실험 혹은 평가에 사용될 시료의 직접 제작을 통한 연구가 필요하다.

자동차 내장의 감성에 대한 연구들에 있어서 평가되는 감성은 다양하게 접근되어 오고 있다. Jung et al. (1997)의 연구에서는 내장 설계에 요구되는 감성 어휘들을 다양하게 알아보고 그 중 대표 감성을 통해 내장을 평가하고자 하였다. 또한 대부분의 자동차 내장의 감성 연구들에서 중요한 감성으로 고급감으로만 초점이 맞추어져 왔다(Bahn et al., 2006; Park et al., 2013; Kim and Park, 2014). 이러한 고급감은 대부분의 모든 제품에서 나타나는 감성이기는 하지만 고급감 이외의 다양한 감성을 평가하기에 한계가 있다. 특히 Park et al. (2017)의 연구에서 내장재의 촉감과 관련된 감성은 고급감 외에 표면조도감, 안락감, 마찰감, 요철감, 경연감과 같은 감성들과 그 관련성이 높아 이러한 감성들을 포괄하는 감성의 만족도 여부에 의한 평가가 필요하다. 이에 내장의 감성 만족도에 대한 연구는 내장 부품 재질에 대한 감성 만족도를 모형화하기 위해 시도되어 왔다. 특히 You et al. (2004)의 연구에서는 내장 부품 별로 재질 설계 변수를 수량화 모델로 감성 만족도를 높이기 위한 설계 변수를 찾고자 하였다. 하지만 도출된 변수의 대부분이 시각적인 변수가 중요도가 높아 촉각적 변수들에 대한 최적 설계치를 찾기에는 어려움이 있었다. 따라서 내장재의 촉감 만족도를 높이기 위한 물성치 변수의 최적값을 도출하는 연구가 필요하다. 특히, 다양한 내장 부품의 촉각적 감성을 평가하기 위해서는 고려될 설계 변수들이 다양하며, 변수의

수준들을 다양하게 조절하기가 어렵다. 따라서 물성치 변수의 수준에 따른 샘플 제작을 통해 최적 설계치에 대한 고려가 필요하다. 또한 소형 차량의 경우 원가 등의 이유로 인하여 인조가죽이나 천연가죽 등의 사용을 통한 재질감 향상이 어려우므로 TPO (Thermoplastic Olefin) 재질을 이용하여 자동차 내장재를 제작하게 된다. 이에 TPO 재질에 대한 촉감 만족도를 높일 수 있는 물리적 특성치들의 최적 설계를 통하여 내장재에 대한 감성 만족도를 향상시킬 수 있는 연구가 요구된다. 따라서 본 연구는 내장 재질의 감성 만족도에 영향을 미치는 물성치들 중 촉각과 관련된 물성치인 거칠기, 마찰계수, 경도의 조합에 의한 영향 정도를 알아보고 회귀분석을 통해 최적 설계치를 도출하고자 한다.

2. Method

2.1 Subjects

본 실험에 참여한 피실험자는 20~30대의 남자 59명, 여자 13명으로 총 72명을 대상으로 하였으며 평균 나이는 21세부터 34세까지로 평균 24.5세 이었다. 보유 차량에 대한 경험이 내장 재질에 대한 감성 만족도에 영향이 있을 것으로 판단하여 피실험자 중 19명은 대형 승용차급의 차량을 주로 사용하는 피실험자로 구성하였다. 피실험자들은 모두 촉각과 관련된 질환의 병력이 없어 감성 평가에 적합한 것으로 나타났다.

2.2 Experimental design

내장재의 물성치인 거칠기, 마찰계수, 경도를 독립 변수로 선정하였다. 내장 재질의 거칠기는 재질 표면의 제일 높은 산과 제일 깊은 골을 접하는 두 평행선 간의 거리를 말하는 것으로서 Rmax 단위를 기준으로 하였다. 거칠기 측정을 위해 Dino-lite사의 Digital Microscope를 사용하였다. 마찰계수는 동적마찰계수를 사용하여 수준을 측정하였으며, 측정을 위해 WITHLAB사의 WL2100 만능재료시험기(Universal Testing Machine)를 사용하였다. 경도는 재질에 힘을 가해 재질에 변형이 일어나는 정도를 측정하였다. 경도 측정을 위해 Zwick사의 hardness tester UTM를 사용하였다.

각 내장재의 촉감에 대하여 만족하는 정도인 감성 만족도를 종속 변수로 선정하였다. 감성 만족도 최적화를 위하여 3 수준으로 물성치를 반영하였다. 이에 따라 3 수준의 독립 변수에 대하여 직교 배열표를 이용하여 실험 조합을 구성하였으며, 9개의 물성치 조합에 대하여 표면 재질의 방식이 다른 두 가지씩의 시료를 제작하여 총 18개(L(18))의 시료에 대하여 감성 만족도를 측정하였다. 다음의 Table 1은 본 실험에서 사용된 직교 배열표를 보여주고 있다. Block은 사용하고 있는 두 가지 재질을 의미하는 것으로, 본 연구에서는 재질 차이를 보고자 하는 것이 아니므로 비교에서 제외하였다.

Table 1. Orthogonal array used in this experiments

Test No.	Block	Friction coefficients	Level of hardness	Level of roughness
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	2
5	1	2	2	3
6	1	2	3	1
7	1	3	1	3
8	1	3	2	1
9	1	3	3	2

Table 1. Orthogonal array used in this experiments (Continued)

Test No.	Block	Friction coefficients	Level of Hardness	Level of Roughness
10	2	1	1	1
11	2	1	2	2
12	2	1	3	3
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2

'Within-subject design'에 따라 피실험자별로 반복적으로 감성 만족도를 측정하였으며, 감성 만족도의 크기는 100점 만점으로 하되 Free modulus method로 자신의 척도를 이용하여 숫자로 응답하도록 하였다. 본 연구에서는 Magnitude estimation 기법 중 특정한 기준을 제시하지 않고 피실험자들이 감성적 만족도를 상대적으로 평가하도록 하는 Free modulus method 방법을 사용하였다. 이는 자극에 대한 반응 편향을 방지하기 위한 것이었다(Han et al., 1998). 하지만 이는 피실험자들이 주어진 자극에 대해 자신의 기준으로 평가를 할 수 있어야 한다(Lee et al., 2002). 이를 위해 참여한 피실험자들은 직선의 길이에 대해 수치로 평가하는 Numeric estimation을 수행하였으며 모두 수행 능력 평가가 만족하는 것으로 나타났다. 전혀 만족하지 않음(0점)부터 매우 만족함(100점)까지 응답하도록 하였으며, Max-min transformation을 사용하여 표준화하였다(Hwang and Yoon, 1981). 시료의 제시 순서는 랜덤화하여 제시하였다.

$$\text{Standardized affective satisfaction} = \frac{(raw\ data - minimum\ data)}{(maximum\ data - minmum\ data)} * 100 \qquad (1)$$

, where minimum data is each subject's minimum affective satisfaction rating

maximum data is each subject's maximum affective satisfaction rating

2.3 Manufacture of experimental interior materials

내장 재질의 감성 만족도를 최대화하는 물성치의 수준을 알아보기 위해 TPO 재질의 내장재를 제작하였다. TPO 재질은 현재 국내외에서 생산되는 차량들에서 사용되는 내장재의 한 종류로서, 천연가죽이나 인조가죽에 비해 가격이 저렴하고 내구성이 높으며 가공 처리가 좋아 많이 사용되고 있다.

현재 생산중인 내장재의 물성치의 범위와 기존의 촉감 관련 연구 결과(Jung, 2014)를 참고하여 각각의 내장재 물성치 변수(거칠기, 마찰계수, 경도)에 대하여 낮은 수준(이하 Low)-중간 수준(이하 Middle)-높은 수준(이하 High)으로 재질값을 변화시켜가며 실험용 내장재를 제작하였다. 제작된 내장재의 물성치 변수들의 측정치값이 포함된 범위는 각각 거칠기 0.03~0.05, 마찰계수 0.32~0.61, 경도 65~80 사이였으며, 실험에 사용된 물성치값은 각 범위 사이의 특정값이었다. 제작된 실험용 샘플 재질들은 아래의 Figure 1과 같았다. 이러한 변수들은 내장재 생산 업체에서 재질과 관련된 물성치 변수로 관리하고 있는 변수들이다.

2.4 Experimental procedure

실험에 앞서 신체 상태에 대한 설문을 수행하였으며, 손과 관련된 질환을 경험한 사람이 없어 모든 피실험자가 실험에 참여하였다. 피

Figure 1. Example of eighteen kinds of TPO sample materials

실험자들은 각 내장재를 손으로 만져본 후 재질의 감성 만족도를 평가하도록 하였다. 피실험자에게 18개의 내장재를 라틴스퀘어 방식에 의한 Counter-balancing 순서로 제시하여 실험 순서로 인한 전이 효과를 최소화하도록 하였다(Williams, 1949). 반복적으로 내장재를 만질 경우 손의 촉감이 무뎌지기 때문에 하나의 내장재를 만진 이후에 충분한 휴식시간을 제공하였다. 또한 땀이나 이물질을 제거되도록 물티슈를 제공하였으며 충분히 말리고 나서 실험에 참여하도록 하였다.

2.5 Statistical analysis

본 연구에서 최적 감성 만족도 모델 도출을 위해 회귀분석을 수행하였다. 이 과정에서 공선성진단을 통해 이상 변수를 제거하며 반복적으로 회귀분석 수행하였다. 공선성진단을 위해 VIF가 높게 나타나는 변수들을 제외하였으며 그 기준은 10 이상이 되는 변수들을 제거하도록 하였다(Myers, 1990; Chatterjee et al., 2000). 회귀식에 선택된 모든 독립 변수에 대해 모델의 적합도를 알아보기 위해 Cp 값을 통해 최적 모델을 도출하고자 하였다. 다중 회귀에서 최적 모델을 찾는 연구들에 의하면 Mallows Cp 값이 최소화된 값을 찾는 것이 최적의 모델을 찾는 기준이라고 하였다(Myers, 1990).

3. Results

3.1 Properties affecting affective satisfaction

감성 만족도와 물성치들 간의 연관성을 알아보기 위해 분산분석을 수행하였다. 먼저 거칠기에 대한 분산분석 결과, 거칠기 수준에 대하여 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났다($F(2, 142)=17.3513$, $p<0.0001$). 다음의 Table 2는 ANOVA 분석 결과를 보여주고 있다. Dummy는 직교 배열을 위해 추가된 변수로 분석에는 사용이 되지 않았다.

Figure 2는 거칠기의 각 수준에서 평균 감성 만족도를 비교하여 보여주고 있다. Figure 2에서 보는 바와 같이 거칠기가 Low에서 가장 높은 감성 만족도를 보이는 것으로 나타났다. 거칠기 수준에 대하여 수준 간 평균 비교를 위해 JMP 통계 패키지의 사후분석을 수행하였다. 사후분석 결과, 세 가지 수준에서 모두 통계적으로 유의하게 구분이 되는 것으로 나타났다(Table 3).

Table 2. The results of ANOVA

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F ratio
Model	647	878992.6	1358.57	1.4127
Error	648	623170.4	961.68	Prob > F
C. Total	1,295	1502163.0		<.0001*

*: significant at 0.05

Source	SS	MS num	DF num	F ratio	Prob > F
Subject	44547.4	627.428	71		1.0000
Friction coefficients	2332.13	1166.07	2	0.8895	0.4131
Levels of Hardness	34567.8	17283.9	2	9.5094	<.0001*
Levels of Roughness	47719.7	23859.8	2	17.3513	<.0001*
Dummy	1457.78	728.891	2	0.9508	0.3889
Subject*friction coefficients	186151	1310.92	142		
Subject*Levels of Hardness	258093	1817.55	142		
Subject*Levels of Roughness	195265	1375.1	142		
Subject*Dummy	108860	766.617	142		

*: significant at 0.05

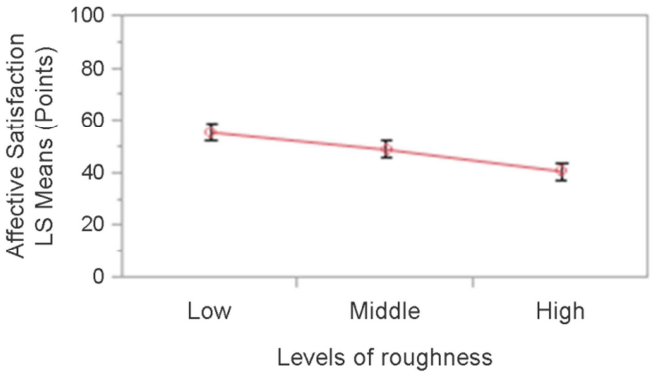


Figure 2. Means of affective satisfaction for roughness levels (Unit: point)

Table 3. Result of the post-hoc analysis for roughness levels (Unit: point)

Level	Subset	Least Sq mean
Low	A	56.011187
Middle	B	49.433811
High	C	41.179237

Levels not connected by same letter are significantly different

또한, 경도 수준에 대하여도 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났다($F(2, 142)=9.5094$, $p<0.0001$). Figure 3은 경도의 각 수준에서 평균 감성 만족도를 비교하여 보여주고 있다. Figure 3에서 보는 바와 같이 경도가 Middle에서 상대적으로 높은 감성 만족도를 보이는 것으로 나타났다. 경도 수준에 대하여 수준 간 평균 비교를 위해 JMP 통계 패키지의 사후분석을 수행하였다. 사후분석 결과, Middle과 Low는 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, High에서만 통계적으로 유의하게 구분이 되는 것으로 나타났다(Table 4). 경도가 낮을 때 보다 높을 때 감성 만족도가 더 많이 떨어진다는 것을 알 수 있었으며 감성 만족도의 변화가 2차 함수의 형태를 보인다고 할 수 있다.

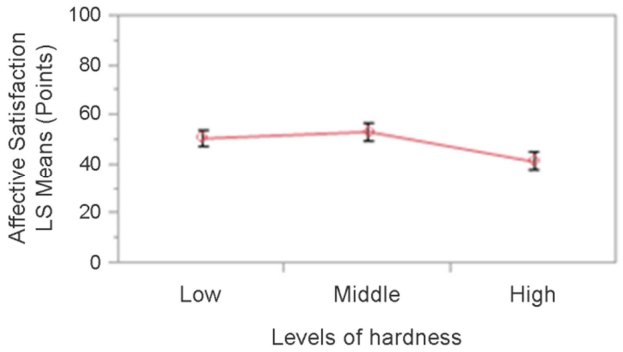


Figure 3. Means of affective satisfaction for hardness levels (Unit: point)

Table 4. Result of the post-hoc analysis for hardness levels (Unit: point)

Level	Subset	Least Sq mean
Middle	A	53.775995
Low	A	51.113714
High	B	41.734526

Levels not connected by same letter are significantly different

마찰계수는 유의수준 5%에서 유의하지 않게 나타났다($F(2, 142)=0.8895$, $p=0.4131$). Figure 4는 마찰계수의 각 수준에서 평균 감성 만족도를 비교하여 보여주고 있다. Figure 4에서 보는 바와 같이 마찰계수가 Middle에서 상대적으로 높은 감성 만족도를 보이는 것으로 나타났다. 마찰계수가 높을 때 보다 낮을 때 감성 만족도가 더 많이 떨어진다는 것을 알 수 있었으며 감성 만족도의 변화는 경도와 같

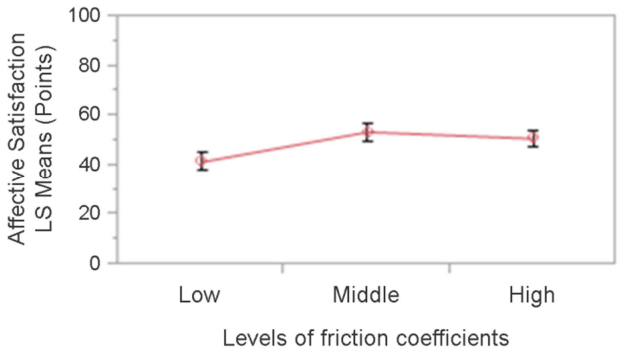


Figure 4. Means of affective satisfaction for friction coefficients (Unit: point)

은 2차 함수의 형태를 보인다고 할 수 있다. 이에 따라 마찰계수는 2차와 상호작용을 고려하고자 하였다. 또한 분산분석 결과에 의해 거칠기, 경도에 대한 Main effects는 감성 만족도에 영향을 미치는 주요한 물성치라는 것을 알 수 있었다.

3.2 Derivation of an optimal regression model for affective satisfaction

본 연구에서 독립 변수로 선정한 거칠기, 경도가 모두 통계적으로 감성 만족도와 유의한 관계가 있는 물성치 변수들로 확인이 되었으므로 이들을 대상으로 감성 만족도에 대해 다중 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석 과정에서 마찰계수와 경도의 상호작용은 공선성이 문제가 되어 제거하였다. 분산분석에 이은 사후분석을 통하여 물성치와 감성 만족도 간의 2차 함수 경향이 밝혀졌음으로, 마찰계수, 거칠기, 경도에 대해 1차항, 2차항, 상호작용 등 9개의 변수를 모두 독립 변수로 설정하였다. 모든 독립 변수는 코드화된 값으로 마찰계수는 -2.2 ~ +2.5, 거칠기는 -1 ~ +2.14, 경도는 -1.0 ~ +1.1의 범위에 해당하며, 원데이터 환산 시에는 마찰계수 = (마찰계수 코드값* 0.06) + 0.45, 거칠기 = (거칠기 코드값*0.007) + 0.038, 경도 = (경도 코드값*7) + 72를 통해 변환 가능하다. 통계 패키지 Minitab Version 16.0을 이용하여 다중 회귀식에 대한 Mallows Cp 값을 확인한 결과, 마찰계수 1차항을 제외한 모든 독립 변수를 고려한 경우가 최적의 모델식으로 도출되었다. Best Subsets Regression을 통해 어느 조합이 최적인지 알아보기 위해 Smallest Cp criterion을 기준으로 교호작용이 포함된 모델을 선정하였다. 다음의 Table 5는 Mallows Cp 값을 알아보기 위해 수행한 Best Subsets Regression의 결과를 보여주고 있다. Table 5에서 보는 바와 같이 마찰계수 1차항을 제외한 모든 변수를 고려하였을 경우 Mallows Cp=7.9으로 가장 낮고 R-sq(adj) =79.5%로 설명력이 높아 최적의 모델이라는 것을 알 수 있었다.

Table 5. Result of the best subsets regression for affective satisfaction and material's parameters

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	Mallows Cp	S	Hardness	Roughness	Friction coefficients X Friction coefficients	Hardness X Hardness	Roughness X Roughness	Friction coefficients X Roughness	Hardness X Roughness
1	40.9	40.9	1259.6	27.104		X					
1	17.7	17.5	2018.1	32.007	X						
2	56.1	56	768.2	23.386	X	X					
2	49.4	49.2	986.5	25.109		X		X			
3	73.5	73.4	202.6	18.171	X	X			X		
4	77.8	77.6	67.1	16.672	X	X	X		X		
4	73.7	73.6	198	18.116	X	X	X			X	
5	78	77.9	60.2	16.581	X	X	X	X	X		
5	78	77.9	60.7	16.587	X	X	X		X	X	
6	79.4	79.2	17	16.061	X	X	X		X	X	X
6	78.3	78.1	52.4	16.479	X	X	X	X	X	X	
7	79.8	79.5	7.9	15.94	X	X	X	X	X	X	X

7개의 독립 변수에 의한 감성 만족도의 모델식은 다음의 Formula (1)과 같았다.

$$\begin{aligned} \mathbf{AAffective\ satisfaction} &= \mathbf{62.758 - 20.799 \times Hardness - 24.962 \times Roughness - 5.119} \\ &\mathbf{\times Friction\ coefficients^2 - 4.479 \times Hardness^2 + 8.103 \times Roughness^2 - 4.640} \\ &\mathbf{\times Friction\ coefficients \times Roughness - 6.731 \times Hardness \times Roughness} \end{aligned} \quad \text{Formula (1)}$$

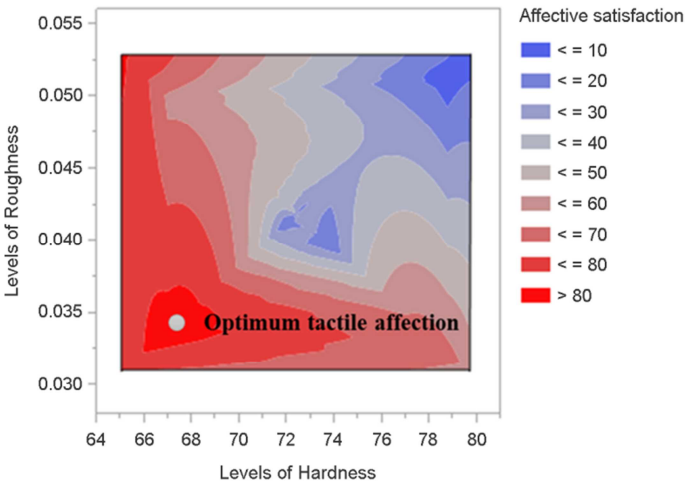
회귀계수 베타값을 표준화한 결과, 거칠기, 경도, 경도*거칠기, 경도 2차, 거칠기 2차, 마찰계수*거칠기, 마찰계수 2차 순으로 영향이 큰 것으로 나타나 거칠기가 다른 변수들에 비해 큰 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있었다. 아래의 Table 6는 비표준화계수를 표준화한 계수의 결과를 보여주고 있다.

Table 6. Standardization of unstandardized coefficients

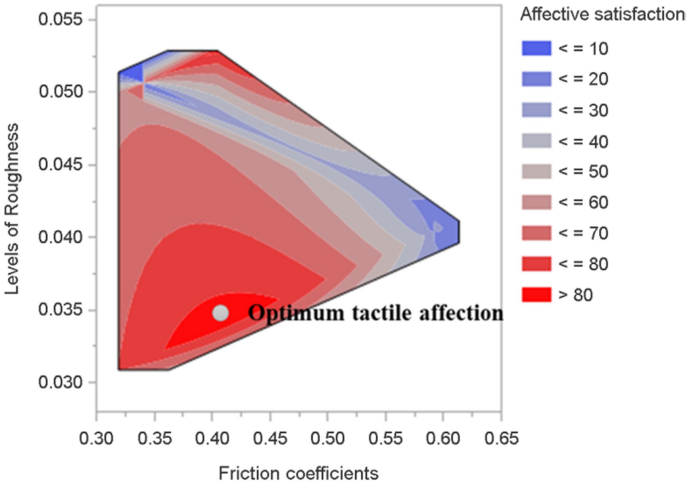
Model	Unstandardized coefficients	Std. Error (x)	Std. Error (y)	Standardized coefficients
Hardness	-20.799	0.869	15.940	-1.134
Roughness	-24.962	0.97	15.940	-1.519
Friction coefficients X Friction coefficients	-5.119	0.327	15.940	-0.105
Hardness X Hardness	-4.479	1.345	15.940	-0.378
Roughness X Roughness	8.103	0.646	15.940	0.328
Friction coefficients X Roughness	-4.64	0.627	15.940	-0.183
Hardness X Roughness	-6.731	0.988	15.940	-0.417

3.3 Derivation of optimal design values by contour plot

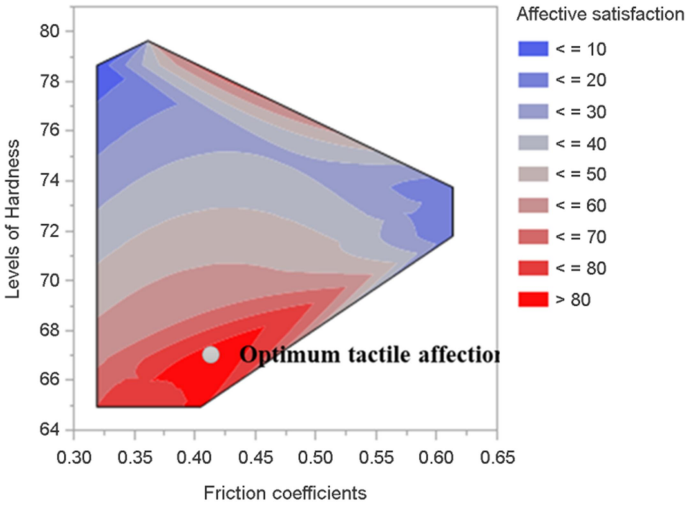
도출된 모델식에 의해 최적 설계값을 도출하기 위해 거칠기, 경도, 마찰계수에 대한 반응 표면분석을 수행하여 감성 만족도의 Isoresponse contour plots를 그려 최적값을 찾고자 하였다(Figure 5). 주어진 물성치들의 범위 내에서 감성 만족도를 Max-min transformation으로 정규화한 값을 기준으로 84.46점이 가장 높게 나타났다.



(a) Contour plots of affective satisfaction on roughness and hardness



(b) Contour plots of affective satisfaction on roughness and friction coefficients



(c) Contour plots of affective satisfaction on hardness and friction coefficients

Figure 5. Isoresponse contour plots for affective satisfaction (Unit: point)

4. Discussion and Conclusions

본 연구는 자동차 내장 재질로 사용되는 TPO 재질에 대해 다양한 물성치들과 감성 만족도와의 관계를 알아보고 최적 설계치들을 도출하고자 하였다. 감성 만족도와의 관계를 알아보기 위해 마찰계수, 경도, 거칠기의 조합에 의한 실제 TPO 내장재 샘플을 제작하여 실차 실험 환경 및 변수 설정에 대한 한계를 개선하여 실험을 수행하였다. 감성 만족도에 대한 분산분석을 수행한 결과, 경도와 거칠기가 모두 통계적으로 유의하여 중요한 변수라는 것을 알 수 있었다. 이는 Park et al. (2017)의 연구에서 자동차 내장재의 촉각적 변수로 고려된 물성치들과 같은 것으로써 촉감 만족도를 위한 재질의 물성치 변수에서 중요한 변수임을 확인할 수 있었으며, 현재 내장재 생산 업체에서 관리하고 있는 변수로써 타당한 것임을 나타낸다고 할 수 있다. TPO 재질의 마찰계수, 경도, 거칠기에 대해서 다중 회귀를 통해 감성 만족도에 대한 모델식을 도출할 수 있었다. 특히 표준화된 계수로 비교한 결과, 거칠기, 경도, 마찰계수 순으로 감성 만족도에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 TPO 재질에서 거칠기가 경도나 마찰계수에 비해 더 민감하게 작용한다는 것을 의미

하는 것으로, 거칠기에 대한 설계 관리가 가장 중요하다고 할 수 있다. 재질 표면의 거칠기는 내장재의 엠보 형태 등 디자인 요소와도 관계가 깊으므로(Yun et al., 2004; You et al., 2006), 디자인 요소 결정 시 시각적 요인 외에 촉각적 요인도 함께 고려할 필요가 있음을 나타낸다고 할 수 있다.

다중 회귀분석 시에 Best subset regression을 통해 최적의 회귀식을 도출한 결과, 마찰계수, 경도, 거칠기에 대해 2차식의 관계성이 나타나 Contour plot을 통한 최적값을 예측할 수 있었으며, 이를 통해 촉감 만족도를 최대화하기 위한 설계치를 제시할 수 있었다. 하지만 거칠기는 촉감 만족도에 가장 중요한 요소임에도 불구하고, Figure 2에서 보는 바와 같이 그 수준이 낮을수록 만족도가 높아져 더 낮은 거칠기 수준에 대한 검토가 필요하다고 하겠다. 따라서 물성치의 수준 범위를 현재보다 더 확장하여 분석함으로써 촉감 만족도를 향상시킬 수 있는 최적 조합을 찾는 연구가 필요하다.

본 연구에서 반응 표본분석을 통해 설계 범위의 변화에 따른 최적 값이 어떻게 변하는지는 확인하였다. 특히 물성치의 수준 범위가 모델링에 충분한 범위가 아니라 할지라도 현재 생산되는 제품의 물성치 범위를 포함하고 있고, 새로운 제품을 생산할 때에는 내구성 등의 문제로 인해 촉감 만족도 외에 추가 고려할 사항이 발생할 수 있으므로 본 연구의 제안값이 내장재 설계의 방향성을 찾는데 유용하게 활용될 것이다.

본 연구는 TPO 재질의 내장재들에 대한 최적 설계치를 도출한 것으로써 원가에 대한 고려가 중요한 중소형 차량의 내장재를 대상으로 하였다. 이러한 재질에 대한 감성 만족도를 높인다면 상대적으로 가격이 높은 인조 가죽과의 촉감 만족도 차이를 줄일 수 있을 것이며, 이를 통하여 고급 내장재와 감성 만족도 측면에서 차이를 줄이면서 차량 생산 비용 등의 절감 효과를 볼 수 있는 설계 방향을 도출할 수 있을 것으로 기대된다. 인조가죽 등과의 비교를 통한 촉감 만족도 개선 방향을 찾으면서 TPO 등 소형 차량의 합성 재질에 대한 감성 만족도를 높이는 연구가 향후 필요하다고 판단된다.

References

Bahn, S., Yun, M.H., Lee, C. and Lee, J.H., Development of Luxuriousness Models for Automobile Crash Pad based on Subjective and Objective Material Characteristics, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25(2), 187-196, 2006.

Bahn, S., Lee, C., Nam, C.S. and Yun, M.H., Incorporating affective customer needs for luxuriousness into product design attributes, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 19(2), 105-127, 2009.

Chatterjee, S., Hadi, A.S. and Price, B., *Regression analysis by example*, Wiley, 2000.

Han, S.H., Jung, E.S., Jung, M., Kwahk, J. and Park, S., Psychophysical methods and passenger preferences of interior designs, *Applied Ergonomics*, 29(6), 499-506, 1998.

Hwang, C.L. and Yoon, K., *Multiple Attribute Decision Making: Method and Application*, Springer-Verlag, New York, 1981.

Jung, G., Park, S., Kim, S.M. and Jung, E.S., Effects of Design Factors of the Instrument Cluster Panel on Consumers' Affection Applying Robust Design, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(1), 25-31, 2010.

Jung, E.S., Chun, Y.H., Kee, D., Yun, M.H., Choe, J., Park, J., Park, S. and Kang, D., "A Study on Affective Engineering Approach for Automotive Interior Design", *Proceedings of the Fall Conference on Korean Institute of Industrial Engineers* (pp. 124-127), Pohang. KOR., 1997.

Jung, E.S., "Development of touch/visual luxury quantification technique", Final Report of the HYUNDAI NGV, 2014.

Kim, K. and Park, P., "A Proposal of the Luxuriousness Model for the Large Sedan through a Case Study", *Proceedings of the Fall Conference on Korean Institute of Industrial Engineers* (pp. 79-82), Jeju. KOR., 2014.

Kim, W., Ryu, T., Lee, Y., Park, D. and Yun, M.H., 2C2-2 Modelling of the Auditory Satisfaction Function for the Automobile Door Opening Quality, *The Japanese Journal of Ergonomics*, 51(Supplement), S478-S483, 2015.

Kuwano, S., Fastl, H., Namba, S., Nakamura, S. and Uchida, H., Quality of door sounds of passenger cars. *Acoustical Science and Technology*, 27(5), 309, 2006.

Lee, I., Chung, M. and Kee, D., Evaluation of postural load of varying leg postures using the psychophysical scaling, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 21(4), 47-65, 2002.

Lee, G., Yu, J., Park, J., Jung, E.S., Choi, J. and Lee, K., "A study on extraction of visual, tactile design parameter for improving the emotional quality about internal parts of the vehicle", *Proceedings of the Fall Conference on Korean Institute of Industrial Engineers* (pp. 493-497), Suwon. KOR., 2013.

Lee, J., Nam, S., Ha, T. and Kim, S., Assessment of Emotional Image concerning Color composition of crash pad and door trim in the Automobile Interior, *Journal of Korea Society of Color Studies*, 26(4), 133-141, 2012.

Moon, Y., Lee, D., Shin, D. and Ko, J., "Quantitative Study of the Perceived Quality for Automobile Interior Function Parts", *Proceedings of Fall Conference of the Korean Society of Automotive Engineers* (pp. 2515-2522), Goyang. KOR., 2012.

Myers, R.H., *Classical and Modern Regression with Applications*, 2nd ed., Duxbury Press, 1990.

Parizet, E., Guyader, E. and Nosulenko, V., Analysis of car door closing sound quality, *Applied Acoustics*, 69(1), 12-22, 2008.

Park, J., Park, K., Yu, J., Choe, J. and Jung, E.S., "Effects on the Tactile Affections of Touch Behaviors and Materials of Vehicle Interior", *Proceedings of the Fall Conference on Ergonomics Society of Korea* (pp. 42-46), Jeju. KOR., 2013.

Park, K., Park, J., Kim, S., Choe, J. and Jung, E.S., Affective Evaluation of Interior Design of Commercial Cars using 3D Images, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 33(6), 515-532, 2014.

Park, N.C. and Jeong, S.W., Extraction of Representative Emotions for Evaluations of Tactile Impressions in a Car Interior. *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 16(2), 157-166, 2013.

Park, S., Park, J. and Choe, J., Derivation of affective factors for automotive interior material and its association analysis on material properties, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 45(3), 521-532, 2017.

Williams, E.J., Experimental designs balanced for the estimation of residual effects of treatments, *Australian Journal of Chemistry*, 2(2), 149-168, 1949.

Yang, E., Ahn, H.J., Kim, N.H., Jung, H.S., Kim, K.R. and Hwang, W., Perceived Interior Space of Motor Vehicles based on Illusory Design Elements, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 25(5), 573-584, 2015.

You, H., Ryu, T., Oh, K., Yun, M.H. and Kim, K.J., Development of Satisfaction Models for Passenger Car Interior Materials Considering

Statistical, Technical, and Practical Aspects of Design Variables, *IE Interfaces*, 17(4), 482-489, 2004.

You, H., Ryu, T., Oh, K., Yun, M.H. and Kim, K.J., Development of customer satisfaction models for automotive interior materials, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(4), 323-330, 2006.

Yun, M.H., You, H., Geum, W. and Kong, D., "Affective evaluation of vehicle interior craftsmanship: systematic checklists for touch/feel quality of surface-covering material", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 48, No. 6, pp. 971-975). Santa Monica, CA. USA., 2004.

Author listings

Jaekyu Park: ergopark@gmail.com
Highest degree: PhD, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Position title: Professional, Appliance Advanced Technology 4 Team, Home Appliance & Air Solution Company, LG electronics
Areas of interest: Product development, Automotive ergonomics, UX design, Human-Computer Interaction

Sungjoon Park: sjpark@nsu.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, POSTECH
Position title: Professor, Department of Industrial Management Engineering, Namseoul University
Areas of interest: Product development, Automotive ergonomics, Affection design, Human-Computer Interaction