Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 32, No. 4 pp.371-380, August 2013 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2013.32.4.371

A Study on Semantic Association between Transmitted Information and Design Parameters of Vibrotactile Signals

Sangho Kim, Hyunsoo Lee

School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology (KIT), Gumi, 730-701

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to investigate the effects of design parameters of vibrotactile signals on semantic association with transmitted information conveying different meanings. **Background:** As information communication relying on human visual channel becomes excessive, the utility of vibrotactile signals is being interested as a substitute measure of delivering information. Properly designed hapticons may relieve burden of visual communication by rendering distinct and meaningfully compatible haptic sensations. **Method:** A typical Kansei engineering approach was adopted in this study. Ten most distinctive hapticons were selected among those having different frequencies and amplitudes. Associations between the hapticons and twenty four pairs of adjectives used to describe the state of automobile in control were gathered from thirty subjects using semantic differential scales. **Results:** The selected pairs of adjectives were summarized by factor analysis into two semantic dimensions named 'Awareness' and 'Directionality'. The experimental hapticons matched with the semantic dimensions were presented as a haptic emotion map. **Conclusion:** The results from this study support that frequencies and amplitudes of haptic signals play important roles in arousing different human perceptions regarding the two haptic emotional dimensions. **Application:** Properly designed hapticons with respect to the contents of transmitted information will increase human operator's situation awareness as well as system performance. The result from this study can be used to develop standardized hapticons for active haptic communication.

Keywords: Vibrotactile signals, Design parameters, Kansei engineering approach, Semantic association, Haptic emotion map

1. Introduction

정보통신 및 IT 기술의 발달로 도래한 현대 정보화 사회에서 인간은 각종 정보기기 및 매체를 통해 일상생활 속에서 막대한 양의 정보를 접하며 생활하고 있다. 사람들이 접하는 대부분의 정보들은 사용자들의 편의를 위한 목적에 알맞게 인공적으로 제작된 정보 인터페이스를 통해 전달되며, 현재까지 사용되고 있는 가장 주된 인터페이스의 형태는 시각 및 청각 디스플레이들이다. 그 중에도 특히 시각 디스플레이에 대한 의존도는 절대적이어서, 인간에게 필요한 정보를 제공해주는 정보기기의 모든 출력기능 또는 장치를 지칭하는 용어인 디스플레이가 시각 디스플레이를 한정하는 의미처럼 받아들여지는 것이 일반적일 정도이다.

그러나 인간은 오감을 통해 외부의 상황변화를 인식하고 필요한 대응을 할 수 있는 대단히 섬세하고 유연한 감각-대응체계와 능력을 지니고 있다. 컴퓨터와 같은 현대적 정보기기가 개발되기 이전에는 오히려 사람들이 다양한 정보채널의 고른 활용을 통해 주어진 직무를 수행하는 것이 일반적이었다(Son et al., 2005). 역설적으로 시각 인터페이스 위

Corresponding Author: Hyunsoo Lee. School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology (KIT), Gumi, 730-701.
Mobile: +82-10-8874-3305, E-mail: hsl@kumoh.ac.kr
Copyright@2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). 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. http://www.esk.or.kr

주의 IT 기술의 발달은 인간의 이러한 능력을 충분히 활용하지 못하게 할 뿐 아니라, 어떤 의미에서는 시각 이외 감각의 활용능력을 퇴보시키는 결과를 낳았다. 이처럼 갈수록 늘어나는 정보기기와 그 활용과정에서 과중한 시각의존도를 개선하기 위해 시각정보와 연동하는 보조적 수단 또는 독립적인 정보 전달수단으로 시각 이외의 감각을 활용할 필요성과 당위성이 부각되고 있다(Park et al., 2010).

이상과 같은 맥락에서 멀티모달(Multimodal) 인터랙션의 중요성이 대두되면서 햅틱기술을 이용한 정보전달이나 의사소통을 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있으나(Kyung et al., 2006, 2010; Son et al., 2005; Chan et al., 2008; Enriquez and MacLean, 2003; Hayward et al., 2004), 분야별 연구결과들이 실제적으로 활용되기까지는 보다 통합적이고 체계적인 연구가 필요하다. 최근까지 진행되어온 햅틱 관련 연구들의 분야별 특성, 한계 및 향후 연구 방향에 대해 정리한 Song et al.(2012)의 연구에서도 이러한 점을 지적하고 있다. 특히 햅틱 랜더링을 통해 구현된 신호가 유발하는 감성을 파악하고, 이런 감성변화와 관련된 물리적 설계요소들을 파악하기 위한 정신물리학적 연구가 필요하다고 주장한 점은 시사하는 바가 크다.

이와 관련하여 국내의 연구진에 의해서 손가락 끝을 통해 전달되는 촉각감각을 나타내기 위한 감성어휘를 수집하고, 수집된 어휘와 진동설계 요소 간의 관계에 대한 연구가 진행된 바 있으나(Chun & Han, 2013; Chun et al., 2013), 해당 연구는 햅틱신호에 의해 표현될 수 있는 촉감의 세분화에 초점을 맞추었다. 햅틱 인터페이스의 활용분야와 유용성을 보다 폭넓게 확보하기 위해서는 햅틱신호를 이용한 의사소통 과정에서 전달정보의 단순한 느낌이 아닌 내재된 의미를 인지적으로 파악할 수 있는 수준까지 발전될 필요가 있다.

본 연구의 목표는 폭증하는 현대 사회의 정보처리 요구량에 비해 크게 부족한 인간의 정보처리능력 한계를 극복하기 위한 방안으로 최근 정보기기의 새로운 인터페이스 형태로 주목받고 있는 햅틱장치의 활용성을 극대화하기 위한 정보신호의 설계기준과 그 응용방안을 제시하고자 하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 햅틱장치를 통해 전달되는 정보신호의 한 가지 형태인 햅티콘이 지닌 인지적 특성을 파악하고, 햅티콘의 설계요소 변화가 유발하는 감성정보의 차별적 의미를 관련실험을 통해 규명해보고자 한다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구에는 남자 17명, 여자 13명으로 구성된 총 30명이 피실험자로 참여하였으며 이들의 평균연령은 22.3세였다. 피실험자들은 모두 시, 청각 및 촉각 감각인지에 이상이 없는 대학생들로서, 본 연구에서 실시한 햅틱신호 인지와 관련하여 과거의 실험참가 경험이 없는 대학생들이었다.

2.2 Apparatus

본 연구에서 진동을 발생시키기 위해 사용된 장치는 TactileLabs사에서 제작한 햅츄에이터(Haptuator)인 Mark II이다. 이 장치는 상하방향으로 1축 진동을 발생시키는 9×9×32mm 크기의 막대형태로 무게는 9.5g이며, 구현 가능한 진동주파수 범위는 10~1,000Hz, 최대인가 전압은 3V이다. 제작사에서는 진동파형의 적정 변화범위를 50~500Hz로 제안하고 있는데, 보다 자세한 제품사양과 구동특성은 홈페이지를 통해 확인할 수 있다(TactileLabs, 2012). 실험을 진행하기 위해 햅츄에이터를 삽입할 수 있는 손잡이를 별도로 제작하였다. 손잡이는 Figure 1과 같이 성인이 한 손으로 감싸쥐기에 적당한 크기이며, 진동의 흡수를 최소화하기 위해 단단한 플라스틱 재질을 사용하였다. 손잡이 내부는 충분한 공간과 유격이 유지되도록 하였으며, 상단부에 햅츄에이터를 2/3선까지 삽입할 수 있는 구조를 지니고 있다.

DC 전류의 인가를 통해 작동하는 햅츄에이터에 원하는 신호파형을 전달하기 위해 National Instrument사의 D/A converter인 NI 9264를 사용하였다. 이 모델의 해상도는 16bit이며, 신호전달 속도는 초당 최대 25,000번, 전압 변화범위는 ±10V이다. 그 밖에 햅츄에이터에 전달되는 전기신호의 임피던스를 높이기 위해 별도의 증폭장치를 사용하였고, 진동의 변화는 Labview 프로그램을 사용하여 구현하였다. 또한, 진동을 전달하는 과정에서 발생하는 소음들이 실험에 미치는 영향을 차단하기 위하여 피실험자들은 실험이 진행되는 동안 백색소음이 발생하는 이어폰을 착용하도록 하였다.

Figure 1. Structure of haptic handle and haptuator

2.3 Design and identification of discriminable hapticons

본 연구에서 진동의 특성을 변화시키기 위해 사용한 햅티콘 설계요인은 진폭(Amplitude)과 주파수(Frequency)였다. 진폭과 주파수의 변화단계를 결정함에 있어 각 요인의 자극 변화 단계가 인간의 절대평가 한계인 5~9를 초과하지 않도록 하였다. 이는 비교대상이 되는 기준자극과 전달하고자 하는 자극을 동시에 제공할 수 없는 진동정보의 특성 상 진동신호의 감지와 구분은 절대평가로 이루어질 수 밖에 없기 때문이다.

진폭은 본 실험에 사용된 햅츄에이터 Mark II의 최대인가 전압인 3V를 기준으로 0.5V 간격의 변화폭을 설정하였다. 이 때 다양한 주파수 범위에서 진동이 감지될 수 있는 절대역치 이상의 진폭이 유지되도록 하기 위해 0.5V를 제외하고 1~3V 사이에서 5단계의 진폭(1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 V)을 실험수준으로 결정하였다.

주파수는 햅츄에이터 Mark II의 적정 변화범위인 50~500Hz 내에서, 진동의 주파수 변화에 따른 인간의 JND 특성을 고려하여(Lee et al., 2004; Pongrac, 2007), 변화폭이 지수적으로 증가하도록 설정하였다. 제품특성 상 햅츄에이터의 가속도가 최대가 되는 125Hz를 포함하며, 인간이 가장 민감하다고 알려진 진동주파수인 250Hz(Choi, 2008) 부근이 다른 주파수대에 비해 더 많이 포함될 수 있도록 하였다. 결과적으로 주파수 범위는 50, 75, 125, 200, 300, 500Hz의 총 6단계가 실험수준으로 결정되었다.

이상과 같이 결정된 5수준의 진폭과 6수준의 주파수를 조합하여 생성할 수 있는 햅티콘의 종류는 총 30개이다(3.1절의 Table 3 참조). 하지만 절대평가 기준 하에서 수행되어야 하는 진동신호의 감지 및 인지 작업의 특성을 고려할 때 신호의 개수를 인간의 변별력 한계 이내로 더 축소할 필요가 있다고 판단하였다. 이에 따라 30개의 햅티콘을 대상으로 타 신호와 감각적, 인지적으로 확실히 구분되는 소수의 햅티콘을 선별하기 위한 실험을 실시하였다. 피실험자들에게 각 햅티콘을 일정시간 제시한 후 가장 변별력이 낮다고 응답한 1V/50Hz와 쌍대 비교할 때 개별신호가 지닌 변별력 정도를 1~5점까지의 등간척도를 이용해 평가하도록 하였다. 각 피실험자들이 응답한 변별력 점수를 햅티콘 별로 합산한 후 그 크기와 전압/주파수 조합의 다양성을 고려하여 10개의 실험용 햅티콘을 최종적으로 선별하였다.

2.4 Semantic differential scaling of the hapticons

서로 다른 진폭과 주파수를 지닌 햅티콘이 인지적 차원에서 의미차를 유발할 수 있는지 여부를 확인하기 위하여 감성공학 분야에서 활용되는 대표적 연구방법론의 하나인 의미미분법을 활용하였다. 본 연구에서는 향후 햅티콘을 포함하는 멀티모달한 인터페이스의 이용이 활성화될 가능성이 높은 차세대 지능형 자동차 인터페이스를 그 적용분야로 가정하였다. 이런 가정 하에 자동차 운전자가 직무를 수행하는 과정에서 조작의 결과나 자동차의 상태와 관련하여 운전자에게 전달되어야 할 정보의 내용으로 적합한 형용사 어휘들을 추출하였다. 형용사 어휘의 추출과정에서는 Kim과 Kim (2011)이 청각정보 전달방식인 이어콘의 의미연관성 연구과정에 활용했던 40개 공정상태 관련 형용사들 중 자동차 인터페이스에서도 활용도가 높을 것으로 판단되는 어휘들을 골라내는 방법을 사용하였다. 이상과 같은 과정을 통해 최종적으로 24개의 형용사 쌍을 선정하였으며, 이들 감성어휘를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Pairs of adjectives used in this study

Thoughtless-Cautious	Empty-Full
Discomfort-Comfort	Far-Near
Impossible-Possible	Pull-Push
Decrease-Increase	Heavy-Light
Important-Trivial	Strong- Weak
Dangerous-Safe	Left-Right
Unsatisfied-Satisfied	Out-In
Abnormal-Normal	Off-On
Complex-Simple	Close-Open
Hard-Soft	Hot-Cold
Stop-Go	Bad-Good
Backward-Forward	Up-Down

2.3절에서 설명한 절차에 따라 선별된 10개의 햅티콘들과 24개 감성어휘 쌍 사이의 의미연관성 정도를 확인하기 위한 실험을 실시하였다. 피실험자들에게 10개 햅티콘을 무작위 순으로 제시한 후 역시 무작위 순으로 주어진 형용사 쌍과의 감성적 연관성 정도를 7점 척도를 이용하여 평정하도록 하였다. 제시된 햅티콘이 주어진 감성어휘 쌍 중 어떤 어휘와 더 관련이 있다고 느껴지는 지를 피실험자가 판단하도록 하였다. 해당 감성어휘 쌍에서 어떤 어휘와도 연관성이 느껴지지 않으면 중간값인 0점, 한 쪽 단어와 연관성이 더 있다고 느껴지면 그 수준에 따라 1~3점 중 한 값을 고르도록 하였다. 연관성 평가에 사용한 7점 척도의 형식을 정리하면 다음의 Table 2와 같다.

Table 2. A sample format for semantic differential scale

1	Abnormal	○ Greatly	○ Quite	○ Little	○ Nothing	○ Little	○ Quite	○ Greatly	Normal
. . . . .	. . . . .				. . .				. . .
24	Strong	○ Greatly	○ Quite	○ Little	○ Nothing	○ Little	○ Quite	○ Greatly	Weak

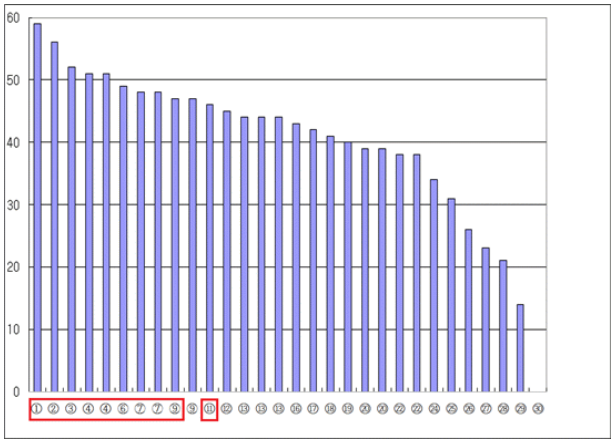

Figure 2. Pareto chart for discriminability of the hapticons

2.5 Analysis of data

의미미분법을 통해 측정한 형용사 쌍과 햅티콘 간의 연관성 구조를 파악하기 위하여 측정된 자료에 대한 요인분석(Factor Analysis)을 실시하였다. 요인분석 결과를 바탕으로 축소될 요인의 차원을 결정하고, 각 감성어휘 쌍의 요인부하 행렬 및 요인점수를 이용하여 축소된 요인들을 축으로 하는 햅티콘 감성지도(Emotion Map)를 작성하였다. 이와 같은 다변량 통계분석을 위해 통계분석 패키지인 SAS PC version 9.1.3을 활용하였다.

3. Results

3.1 Discriminability of the hapticons

2.3절을 통해 정리한 바와 같이 5수준의 진폭과 6수준의 주파수 조합에 의해 생성된 총 30개의 햅티콘들을 대상으로 변별력을 평가한 후 그 결과를 바탕으로 10개의 햅티콘을 선별하였다. 피실험자들이 응답한 변별력 점수를 햅티콘 별로 합산하여 파레토 분석을 실시한 결과를 정리하면 다음의 Figure 2와 같다. 파레토 차트를 통해 확인할 수 있는 바와 같이 개별 햅티콘들의 변별력 정도는 인접한 순위들 사이에서 유의한 차이를 발견하기 어려울 정도로 점진적으로 감소하는 양상을 보였다. 30개의 햅티콘 중 상위 33%에 해당하는 10개 햅티콘의 변별력 점수의 합이 전체 햅티콘의 변별력 총합의 42% 정도에 해당하여 일반적인 파레토 법칙을 따르지 않고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 진동신호의 특성에 대한 감각적 구분이 그리 용이한 작업이 아님을 나타내주는 결과이다.

Figure 2을 통해 확인할 수 있는 또 다른 유의점은 주파수가 75Hz일 때 1V를 제외한 전체 진폭수준에서 최상위 권의 변별력을 나타내고 있다는 점이다. 75Hz 다음으로는 125Hz가 전반적인 진폭수준에서 높은 변별력을 보였으며, 그 외의 주파수 수준에서는 진폭이 변별력에 더 큰 영향을 미치는 현상을 발견할 수 있었다. 즉, 최상위 그룹을 제외하고는 2~3V의 큰 진폭을 지닌 경우에 높은 주파수 수준들이 비교적 고르게 상대적으로 높은 변별력을 지닌 것으로 평가되었다. 이상과 같은 결과를 바탕으로 유사한 수준의 변별력을 지닌 상위권 햅티콘들 중에서 가급적 다양한 주파수가 포함될 수 있도록 10개의 햅티콘을 선정하였다. 이와 같은 기준에 따라 선정된 실험용 햅티콘들을 정리하면 아래의 Table 3과 같다.

Table 3. Selected hapticons based on their discriminability

Hz \ V	1V	1.5V	2V	2.5V	3V
50Hz	㉚	㉙	㉖	㉘	㉗
75Hz	㉒	③	②	④	①
125Hz	㉕	⑬	④	⑨	⑥
200Hz	⑳	⑳	㉒	⑪	⑫
300Hz	⑬	⑨	⑰	⑦	⑬
500Hz	⑱	⑲	㉔	⑦	⑯

전체 진폭범위에 대해 모두 낮은 변별력을 보인 50Hz를 제외하고 나머지 주파수 영역에 대해서는 적어도 한 개 이상의 햅티콘이 포함될 수 있도록 하였다. 이로 인해 1.5V/300Hz(순위 ⑨) 대신 2.5V/200Hz(순위 ⑪)이 포함되었다. 2.5V/200Hz가 포함됨으로써 2.5V 진폭에 대해서는 50Hz를 제외한 모든 주파수 수준이 실험대상이 되었다.

3.2 Factor analysis for semantic association

실험에 사용된 24쌍의 감성어휘들이 구성하는 의미공간을 판별하고, 유사한 의미를 지닌 감성어휘들을 그룹핑하기 위하여 실험을 통해 구해진 데이터들에 대한 요인분석(Factor Analysis)을 실시하였다. 요인분석 결과 Figure 3에 나타낸 Scree plot을 통해 확인할 수 있는 바와 같이 10개 햅티콘을 통해 파악한 24개 형용사 쌍의 어휘적 연관성은 2개의 감성차원으로 축약할 수 있는 것으로 나타났다.

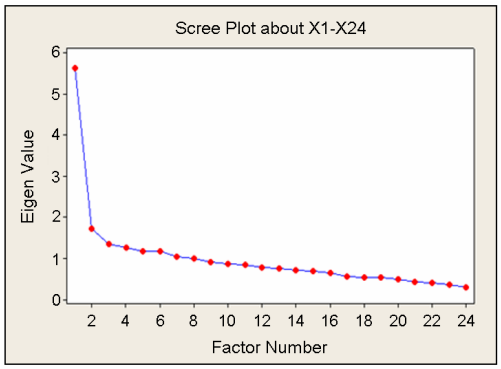

Figure 3. Scree plot of factors for pairs of adjectives

이러한 결과를 바탕으로 진동을 통해 전달할 수 있는 감성을 2차원으로 확정하고, 각 차원이 지닌 의미를 확인하기 위하여 24개 감성어휘 쌍에 대한 요인부하(Factor Loading) 행렬을 분석하였다. Table 4는 varimax rotation 방법을 이용해 추출한 24개 감성어휘 쌍의 요인부하치를 정리한 것이다.

Table 4. Factor loadings of the adjectives reduced into 2 dimensions

Used adjective			Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
					Awareness	Directionality
1	Thoughtless	Cautious	0.31353	0.21634	Thoughtless	
2	Discomfort	Comfort	0.71575	0.03000	Discomfort	
3	Far	Near	-0.32253	0.49394		Far
4	Abnormal	Normal	0.58395	0.09827	Abnormal	
5	Off	On	-0.27249	0.12230	On	
6	Close	Open	-0.00231	0.19423		Close
7	Out	In	-0.00746	0.48297		Out
8	Impossible	Possible	0.48889	0.33453	Impossible	
9	Pull	Push	0.00586	0.18361		Pull
10	Backward	Forward	-0.03140	0.31818		Backward

Table 4. Factor loadings of the adjectives reduced into 2 dimensions (Continued)

Used adjective			Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
					Awareness	Directionality
11	Empty	Full	-0.50370	0.38261	Full	
12	Up	Down	-0.08260	0.29334		Up
13	Stop	Go	0.06078	0.16748		Stop
14	Bad	Good	0.57533	0.22239	Bad	
15	Hot	Cold	0.23869	-0.28231		Cold
16	Important	Trivial	0.64046	-0.33907	Important	
17	Decrease	Increase	-0.47665	0.32366	Increase	
18	Heavy	Light	0.64525	-0.39564	Heavy	
19	Left	Right	0.04427	0.25008		Left
20	Dangerous	Safe	0.70272	-0.00676	Dangerous	
21	Unsatisfied	Satisfied	0.66976	0.20989	Unsatisfied	
22	Complex	Simple	0.63207	-0.00618	Complex	
23	Hard	Soft	0.69093	-0.39202	Hard	
24	Strong	Weak	0.63383	-0.42660	Strong	

Table 4에 밑줄로 표시한 바와 같이 측정된 요인부하치의 크기를 기준으로 각 감성어휘 쌍을 요인 1과 2에 각각 대응시킨 결과 총 24쌍 중 요인 1과 높은 연관성을 나타낸 쌍이 15개, 요인 2와 높은 연관성을 나타낸 쌍이 9개인 것으로 나타났다. 한편, 요인분석에서는 요인부하치 중 절대값 0.4 이상을 지닌 원변수들을 축소된 요인과 의미있는 연관성을 지닌 것으로 판단한다는 일반적인 기준이 적용될 수 있다(Chae, 1999). 이러한 기준에 따라 축소된 2개 요인과

Table 5. Adjectives strongly associated with reduced factors

Factor 1	Factor 2
Discomfort-Comfort	Far-Near Out-In
Abnormal-Normal	
Impossible-Possible	
Empty-Full	
Bad-Good	
Important-Trivial	
Decrease-Increase	
Heavy-Light	
Dangerous-Safe	
Unsatisfied-Satisfied	
Complex-Simple	
Hard-Soft	
Strong-Weak	

의미있는 연관성을 지닌 것으로 판단되는 감성어휘들을 다시 정리하면 Table 5와 같다.

3.3 Mapping the hapticons on emotion map

Table 5에 정리한 바와 같이 제 1요인과 연관성이 높은 감성어휘들은 '불가능한', '힘든', '복잡한', '불편한'과 같이 조작과정에서 높은 주의력을 요구하거나 '비정상적인', '나쁜', '위험한', '불만족스러운'과 같이 시스템의 불안정한 상태를 나타내는 부정적인 특성을 지니고 있다. 이에 따라 제 1요인은 위험성이나 불안정성에 대한 경고의 의미와 높은 연관성을 지닌 것으로 판단하여 그 특성을 대표하는 축명을 '경각성(Awareness)'으로 명명하였다.

한편, 제 2요인의 경우에는 '멀다'와 '밖으로'의 두 가지 감성어휘들과만 의미있는 연관성을 지닌 것으로 나타났다. 하지만 낮은 연관성을 지닌 감성어휘들까지를 고려할 경우 '위로', '뒤로', '오른쪽으로'와 같이 대칭적인 움직임에서 방향을 나타내주는 정보와 관련이 있는 것으로 판단된다. 이에 따라 제 2요인의 특성을 대표하는 축명은 '방향성(Directionality)'으로 명명하였다. 이상의 과정을 통해 도출한 2차원 요인 축에 대응되는 감성어휘들의 요인점수(Factor Score)들을 계산한 후, 의미공간 상의 대응위치를 표시하면 다음 Figure 4와 같다.

Figure 4를 통해 확인된 감성어휘들의 의미공간 상의 위치를 바탕으로 개별 감성어휘와 관련된 전달정보를 가장 잘 전달해줄 수 있는 햅티콘의 특성을 확인하기 위해 햅틱 감성지도를 작성하였다. 햅틱 감성지도는 앞서 요인분석 과정을 통해 각 감성어휘들의 요인득점을 계산한 것과 동일한 방식으로 각 진동신호들의 요인득점을 계산하여 의미공간 상에 매핑시킨 것이다. 이러한 과정을 통해 작성된 햅티콘의 감성

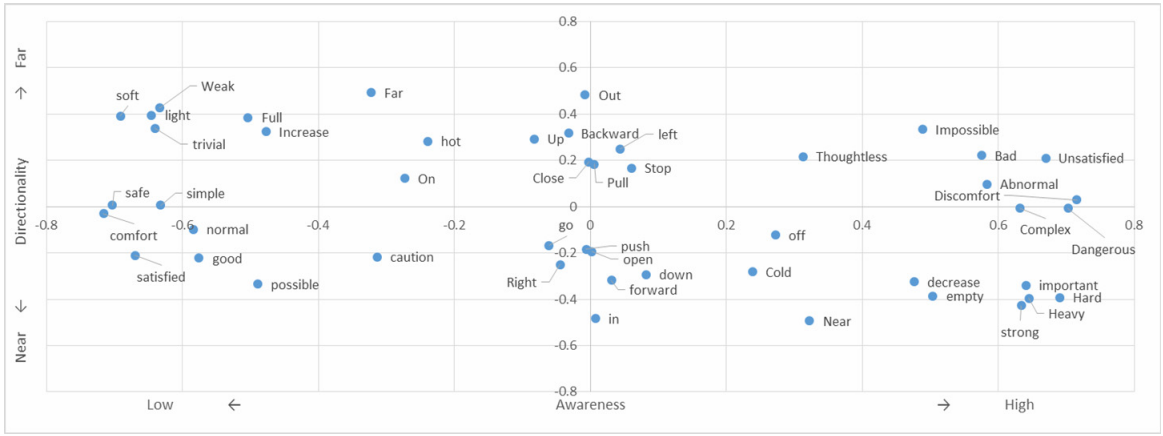

Figure 4. Semantic associations of the adjectives

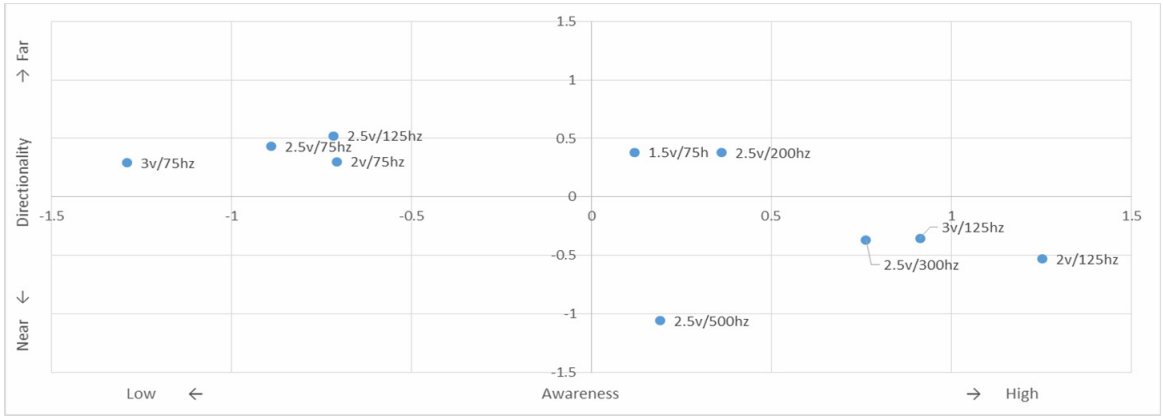

Figure 5. 2-D haptic emotion map on the axes of 'Awareness' vs. 'Directionality'

지도는 Figure 5와 같다. Figure 5를 통해 높은 경각성이 요구되는 경우에는 3V/75Hz의 진동이 가장 적합하며, 2V/125Hz의 경우에는 이와 반대로 가장 안정적이고 경각성이 낮은 상태를 나타내기에 적합함을 알 수 있다.

한편, 움직임의 방향성과 관련된 정보를 전달하려 할 경우 2.5V/500Hz의 진동이 가장 먼 쪽이나 바깥 쪽으로 이동하는 느낌을 나타내기에 적합하고, 반대로 2.5V/125Hz가 가장 가까운 쪽이나 안 쪽으로 이동하는 느낌을 나타내기에 적합함을 알 수 있다.

4. Discussion

연구결과를 통해 정리한 바와 같이 진동을 통해 정보를 전달할 경우 본 연구에서 검토한 24개 감성어휘는 '경각심'과 '방향성'이라는 두 개의 요인 축으로 압축될 수 있으며, 이들 두 요인 축이 형성하는 감성공간 상에 상이한 특성을 지닌 햅티콘들을 매핑시킴으로써 햅틱 설계인자의 변화가 유발하는 인지적 감성의 변화를 파악해볼 수 있다. 이 장에서는 Figure 5에 나타낸 햅틱 감성지도를 각 축으로 분해하여 설계인자가 감성에 미치는 영향을 보다 세부적으로 파악해 보았다. 또한, 본 연구과정에서 진동특성을 설계하기 위해 도입한 인자들이 연구의 목적에 부합하였는지와 연구결과로 도출된 햅팁 감성지도에서 설정된 요인 축들이 타당하였는지에 대해 검토해 보았다.

4.1 Design parameters and 'Awareness'

전술한 바와 같이 요인분석에 의해 도출된 제 1요인인 '경각성' 축은 위험성이나 불안정성에 대한 주의 또는 경고를 전달하기 위해 사용되는 감성어휘들과 높은 관련성을 지니고 있다. Figure 6와 Table 6는 요인분석을 통해 도출된 제 1요인인 '경각성'을 축으로 축약된 10개 햅티콘의 위치와 설계특성의 변화를 정리한 결과이다. Table 6를 통해 확인할 수 있는 바와 같이 높은 경각성을 요구하는 불안정한 상태를 나타내기에 가장 적합한 ①번 햅티콘은 75Hz의 낮은 주파수에 3V의 가장 큰 진폭을 지니고 있다. 75Hz의 주파수를 지닌 햅티콘들은 다른 주파수대에 비해 높은 경각성을 지니고 있는 공통성을 보이고 있으며, 그룹 내에서는 진폭이 커질수록 경각성의 정도가 높아지는 경향을 확인할 수 있다.

한편, 진동의 주파수가 높아지면 전체적으로 경각성이 낮아지는 경향을 보이지만, 경각성이 가장 낮은 것으로 나타난 ④번 햅티콘의 경우에는 주파수가 125Hz로서 75Hz와 주파수 차이가 가장 작기 때문에 주파수의 변화만으로 경각성의 변화를 설명하기에는 일관성이 부족하다. 따라서, 높은 경각성이 요구되는 상황을 전달하기 위해 진동신호를 사용할 경우 75Hz의 낮은 주파수를 이용하되 경각성의 수준을 구분하고자 할 경우, 주파수는 75Hz로 고정한 상태에서 진폭의 변화를 활용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

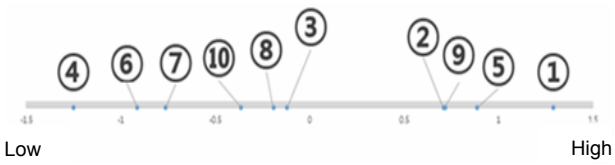

Figure 6. Linear arrangement of hapticons on the axis of 'Awareness'

Table 6. 'Awareness' with respect to the haptic design parameters

	No	Vibration
High	1	3V/75Hz
↑	5	2.5V/75Hz
	9	2.5V/125Hz
	2	2V/75Hz
Awareness	3	1.5V/75Hz
	8	2.5V/500Hz
	10	2.5V/200Hz
	7	2.5V/300Hz
↓	6	3V/125Hz
Low	4	2V/125Hz

4.2 Design parameters and 'Directionality'

요인분석에 의한 제 2요인인 '방향성' 축은 대칭되는 움직임과 관련된 방향정보의 전달과 관련된 감성어휘들과 전반적으로 관련성을 맺고 있다. 요인부하량 0.4 이상을 기준으로 판정하였을 때에는 가까워지거나 멀어지는 느낌과 바깥 쪽이나 안 쪽으로 움직이는 느낌의 두 가지 만이 의미있는 연관성을 지닌 것으로 나타났지만, 감성어휘 쌍들의 대응관계를 통해 전반적 맥락에서의 의미연관성을 파악해볼 수 있다. 예를 들어 제 2요인에 속하는 것으로 판정된 감성어휘 쌍들인 '위-아래', '왼쪽-오른쪽', '앞-뒤', '밀고-당기는'의 경우를 살펴보면 위, 뒤, 왼쪽, 당기는 쪽이 멀거나 밖으로 나가는 움직임과 더 높은 연관성을 지니고 있다. 다만, 이들 감성어휘들과 햅티콘 사이의 의미연관성이 제 1요인에 속했던 감성어휘들에 비해 느슨하기 때문에 정보 전달과정에서

의 해독가능성은 많이 떨어질 것이 예상된다.

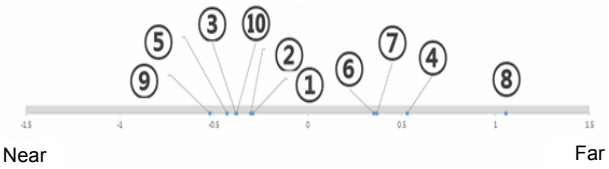

Figure 7. Linear arrangement of hapticons on the axis of 'Directionality'

Table 7. 'Directionality' with respect to the haptic design parameters

	No	Vibration
Far	8	2.5V/500Hz
↑	4	2V/125Hz
	7	2.5V/300Hz
	6	3V/125Hz
Directionality	1	3V/75Hz
	2	2V/75Hz
	10	2.5V/200Hz
	3	1.5V/75Hz
↓	5	2.5V/75Hz
Near	9	2.5V/125Hz

Figure 7과 Table 7은 '방향성'을 축으로 축약된 10개 햅티콘의 위치와 설계특성의 변화를 정리한 결과이다. Table 7을 통해 바깥 쪽이나 먼 쪽과 연관된 방향성을 나타내기에 가장 적합한 햅티콘은 2.5V의 진폭과 500Hz의 주파수를 지닌 ⑧번임을 확인할 수 있다. 한편, 제 1요인 축에서 가장 높은 경각성 수준과 매핑되었던 2, 3V/75Hz의 주파수를 지닌 햅티콘들은 방향성 정보에 대해서 중립적인 특성을 나타냈다. 또한, 진폭의 경우에도 방향성 정보와 관련하여 유의미한 연관성을 보이지는 않았다. 주파수의 경우에는 전반적으로 높은 주파수가 먼 쪽을, 낮은 주파수가 가까운 쪽을 나타내는 경향성을 보였으나 전체 진폭에 있어 일관성이 유지되지는 않았다. 다만, 진폭이 2.5V인 햅티콘들에 있어서는 주파수와 방향성 간에 의미있는 연관성을 발견할 수 있다. 즉 주파수를 500Hz에서 125Hz까지 감소시키면 방향성과 관련된 정보와의 연관성이 먼(바깥) 쪽에서 가까운(안) 쪽으로 변화한다는 것이다. 이런 변화경향에서 75Hz 주파수를 지닌 ⑤번이 예외적인 양상을 보이나 해당 주파수는 경각성 정보와 더 밀접한 연관성이 있음을 감안해야 한다. 따라서 방향성과 관련된 정보를 전달하고자 할 때에는 2.5V 수준의 높은 진폭을 유지한 상태에서 주파수의 변화를 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 이 때 경각성 정보와의 중복을 배제하기 위해 75Hz 주파수는 사용하지 않는 것이 바람직하겠다. 이를 통해 햅티콘 ⑤번과 ⑨번이 초래할 수 있는 혼동의 가능성을 없앨 수 있을 것으로 기대된다.

4.3 Validity of the design parameters

일반적으로 진동의 특성을 변화시킬 수 있는 가장 기본적 설계요소로는 진폭과 주파수를 들 수 있으며, 이외에도 지속시간(Duration of Each Pulse, DEP)과 신호간격(Interval between pulse, IBP) 등이 있다(Kim, 2013). 최근에는 진동자 등 하드웨어 기술의 발전에 힘입어 복합파형(Waveform), 진폭 변조(Amplitude Modulation), 박자(Rhythm) 등의 다양한 효과 구현이 가능해지면서 보다 다양한 형태와 특성을 지닌 진동자극을 생성할 수 있게 되었다(Chun et al., 2013).

하지만 본 연구에서는 이와 같이 다양한 진동신호의 설계요인들을 고려하는 대신 가장 기본적인 두 가지 설계요인인 진동과 주파수만을 이용하여 햅티콘을 설계하였다. 그 이유는 본 연구의 목적이 사람들이 원하는 감성에 적합한 감각적으로 세분화된 진동신호를 설계함에 있는 것이 아니라, 햅틱 인터페이스를 통해 인지적으로 추상성(Abstraction)이 높은 정보를 전달하고자 할 때 변별력과 유의미성을 지닌 소수의 햅티콘을 도출할 가능성을 확인하기 위해서였기 때문이다. Song et al.(2012)이 언급한 바와 같이 진동신호는 비언어적 의사소통수단으로서의 한계성을 지니고 있다. 즉, 전달하고자 하는 메시지의 추상화 과정에서 전달정보의 유실(Equivocation)이나 잡음(Noise)을 온전히 제거하기 어렵기 때문에 가급적 메시지를 단순화하고 간결한 햅티콘에 매핑시킬 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서 설계요소를 단순화한 것은 가장 기본적인 진동특성으로 유발할 수 있는 인지적 의미의 변화를 파악하기 위한 연구목적을 따르기 위함이었다.

진동 설계요인 중 50~500Hz 사이에서 6수준으로 설정한 주파수의 경우 변별력 실험을 통해 선정된 10개 햅티콘에 각 수준이 모두 포함되었고, 감성지도 상에 나타난 각 수준 별 위치가 비교적 고르게 분포하였기 때문에 절대평가 기준 하에서 충분히 세분화된 것으로 판단할 수 있다. 진폭의 경우에는 변별력에 따라 선정된 햅티콘들 대부분이 2V 이상이었으며, 구동전압이 3.5V 이상인 경우에 감도의 변화가 크지 않다는 Choi(2008)의 연구결과를 고려할 때 진폭에 따른 인지적 의미변화를 파악하기에 충분한 수준이 포함된 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서 일부 감성어휘들이 지닌 의미를 햅티콘들이 충분히 표현하지 못한 것은 각 설계요인 수준의 부족에서 비롯된 것은 아니

라 할 수 있다.

4.4 Validity & utility of the haptic emotion map

본 연구에서는 24쌍으로 이루어진 정보전달용 감성어휘와 10개의 변별력 있는 햅티콘을 이용해 진행한 의미연관성 실험에서 이들의 의미연관성이 2개의 요인인 경각성과 방향성을 축으로 하는 의미공간으로 축소될 수 있음을 확인하였다. 2.4절에 언급한 바와 같이 본 연구에서 사용한 24쌍의 감성어휘는 공정의 상태정보를 전달하기에 적합한 감성어휘 40쌍을 이용했던 Kim과 Kim(2011)의 연구에서 추출한 것이다. 이 연구에서는 청각자극의 일종인 이어콘(Earcon)과 감성어휘 40쌍 간의 의미연관성 평가가 이루어졌으며, 그 결과 감성어휘들이 경각성, 난이도, 방향성의 3개 요인을 축으로 하는 3차원 감성공간으로 축약될 수 있다는 결론이 도출되었다. 추상화된 정보를 전달한다는 점(Blattner et al., 1989)에서 이어콘은 햅티콘과 유사한 특성을 지니고 있으며 사용된 감성어휘의 동질성이 유지되었다는 점에서 두 연구결과가 상당부분 일치하는 것은 개별 연구과정 및 결론의 타당성을 뒷받침하는 결과로 볼 수 있다.

하지만, 본 연구과정을 통해 생성된 햅틱 감성지도의 의미와 활용성에 대해서는 보다 심도 있는 논의가 필요하다. 우선, 경각성과 관련된 요인 축에 대한 주파수의 영향을 해석함에 유의할 점이 있다. 경각성 축에서는 전반적으로 주파수와 경각성 간에 역의 관계가 성립하는 것처럼 보인다. 즉 주파수가 낮으면 경각성이 높아지고, 주파수가 높으면 경각성이 낮아지는 현상을 발견할 수 있다. 그러나, 절대평가가 이루어져야 하기 때문에 신호의 종류를 한정해야 하는 특성을 고려할 때 햅틱 인터랙션을 통해 경각성이 낮은 정보를 전달할 가능성은 매우 낮다. 따라서, 주로 높은 경각성을 가져야 할 상황에서 정보를 전달하기 위한 목적으로 사용용도를 한정할 경우, 주파수를 변경하여 의미를 전달하는 방식은 유효하다고 볼 수 없다. 4.1절에서도 언급한 바와 같이 경각성이 필요한 정보는 75Hz의 주파수를 이용하되 그 정도의 차이를 표현하여야 할 경우 진폭을 조정하여 구분하는 것이 타당할 것이다. 현재 휴대폰을 비롯해 햅틱신호가 사용되는 다수의 시스템에서 진동신호가 on-off의 1bit 형태로 활용되고 있는데(Kim, 2013), 진동 신호의 세기(진폭)를 이용하여 경각성 정도를 보다 세분화하여 표현할 수 있다면 여러 분야에서 응용가능성이 크다고 할 수 있다.

다음으로, 방향성과 관련된 요인 축의 경우에는 다수의 방향성 관련 감성어휘와 연관성을 맺고 있으나 그 정도가 충분치 않다는 한계점을 지니고 있다. 이로 인해 경각성 요인에 비해 방향성 요인과 보다 밀접한 감성어휘가 9쌍이었음에도 불구하고 멀고 가까움, 안 쪽이나 바깥 쪽으로의 움직임과 관련된 단 2쌍의 감성어휘만이 유의한 관계를 나타냈다. 이는 주파수의 변화를 통해 방향성과 관련된 추상적 정보의 일단을 표현할 수는 있지만, 주파수만으로 충분한 수준의 방향성 스테레오타입을 형성하기는 어려움을 나타내는 결과로 해석된다. 하지만, 휴대폰의 진동자를 이용해 방향성 관련 정보와 관련된 햅티콘을 설계하고자 했던 Kim(2013)의 연구에서는 진폭과 주파수를 고정한 상태에서 진동 펄스의 길이와 펄스간 간격을 변경하는 방식으로 설계된 다양한 햅티콘들이 방향성과 관련하여 어떤 정보와도 의미연관성을 지니지 못한다는 결론이 도출된 바 있다. 따라서, 주파수의 변화를 통해 방향성 관련 정보의 일부를 전달할 수 있음을 확인한 것은 진일보한 결과라 할 수 있다.

5. Conclusion

본 연구에서는 점차 그 필요성이 대두되고 있는 햅틱 인터랙션의 활용도를 제고하고자 하는 목적으로, 전달하려는 정보의 내용에 부합하는 햅티콘을 설계할 가능성을 확인해 보고자 하였다. 이를 위해 주로 자동차의 조작과정에서 차량상태 및 조작결과를 전달하기 위해 사용할 수 있는 24개 쌍의 감성어휘와 변별력이 확보될 수 있는 가장 간단한 형태의 진동신호 간의 의미연관성 여부를 실험적으로 규명하였다.

연구결과를 통해 진동신호의 진폭과 주파수의 변화가 경각성 및 방향성과 관련하여 인지적으로 유의미한 감성의 변화를 유도할 수 있음을 확인하였다. 본 연구의 의의는 햅틱 신호가 지닌 특성의 차이를 감각적으로 파악하거나 어의적으로 표현하는데 그치지 않고 해당 감각에 의해 유발되는 인지적 차원의 의미변화를 파악함으로써 햅틱 인터랙션의 활용가능성을 추상화된 정보의 전달과정으로 확장했다는데 있다고 하겠다.

하지만, 본 연구에서 분석한 가장 기본적인 햅티콘 유형으로는 추상화 정도가 높은 정보들이 지닌 내재적 의미를 충분히 전달하는데 한계가 있음을 확인하였다. 특히, 방향성 정보와 관련해서는 추후 연구를 통해 좀 더 다양한 햅티콘 설계인자의 도입이 필요한 것으로 판단된다. 이를 위한 방안으로 단일 신호에 대한 복잡성을 증가시키는 대신 여러 개의 햅츄에이터를 서로 다른 위치에 부착한 후 신호의 발생 위치와 시퀀스를 조정하는 방식 등이 고려될 필요가 있다. 또한, 의미연관성을 지닌 햅티콘의 사용을 통해 얻을 수 있는 정보처리 작업의 난이도 경감, 작업수행도의 향상 정도를 평가하기 위한 연구도 함께 진행되어야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2012R1A1A4A01006316).

References

Blattner, M.M., Sumikawa, D.A. and Greenberg, R.M., Earcons and Icons: Their Structure and Common Design Principles, *Human-Computer Interaction*, 14, 11-44, 1989.

Chae, S.I., *Social Science Research Methods*, 2nd Ed., Hakhyunsa, 1999.

Chan, A., MacLean, K. and McGrenere, J., Designing haptic icons to support collaborative turn-taking, *International Journal of Human-Computer Studies*, 66, 333-355, 2008.

Choi, S., "Perceptual Characteristics of Mobile Device Vibrations", *Proceeding of 2008 Conference on the HCI Society of Korea Part 3*, 30-35, 2008.

Chun, J. and Han, S.H., "Defining characteristics of vibrotactile stimuli using tactile vocabulary", *Spring Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 2013.

Chun, J., Han, S.H. and Seo, J., "A collection of vocabulary associated with vibrotactile stimuli using a fingertip", *Spring Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 2013.

Enriquez, M.J. and MacLean K.E., "The Hapticon Editor: A Tool in Support of Hapticon Communication Research", *Proceedings of 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 356-362, 2003.

Hayward, V., Astley, O.R., Cruz-Hernandez, M., Grant, D. and Gabriel De-La-Torre, G.R., Haptic Interfaces and Devices, *Sensor Review*, 24(1), 16-29, 2004.

Kim, S.H. and Kim J.S., Guidelines for Designing Earcons to Deliver Process Information using its Semantic Association, *Journal of the Korea Safety Management & Science*, 13(1), 81-89, 2011.

Kim, S.H., A Study on Designing Haptic Icons to support Informative Communications for Navigation, *Journal of the Korea Safety Management & Science*, 15(1), 141-150, 2013.

Kyung, K.U. and Park, J.S., The State of the Art and R&D prospective on Haptics, *Electronics and Telecommunications trends*, 21(5), 94, 97-98, 2006.

Kyung, K.U. and Park, J.S., Technical standardization trend on Haptic interaction (ISO/TC159/SC4/WG9 nerves interaction standardization), *Korea Electronic Communication Research*, 97-102, 2010.

Lee, B., Park, H. and Myung, R., JND-based Mobile Phone Optimal Vibration Frequency, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 30(1), 27-35, 2004.

Pongrac, H., Vibrotactile perception: examining the coding of vibrations and the just noticeable difference under various conditions, *Multimedia Systems*, 13(4), 297-307, 2007.

Son, M.S., Sin, H.S., Park, J.S. and Han, D.W., "Trends of Haptic Interface for Wearable Computers", *Electronics and Telecommunications trends*, 20(5), 149-153, 2005.

Son, S.W., Kyung, K.U., Yang, K.H. and Kwon, D.S., Study of Human Tactile Sensing Characteristics Using Tactile Display System, *Journal of control, automation and systems engineering*, 11(5), 451-456, 2005

Song, J.B., Lim, J.H. and Yun, M.H., A Review of Haptic Perception: Focused on Sensation and Application, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 31(6), 715-723, 2012.

TactileLabs, Haptuaor Mark II, Product Specification, http://www.tactilelabs.com/wp-content/uploads/2012/07/TL002-09-A_v1.01.pdf, 2012.

Author listings

Sangho Kim: kimsh@kumoh.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, POSTECH
Position title: Professor, School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology
Areas of interest: Human Factors in Product Design, Intelligent Design and Evaluation, Occupational Safety

Hyunsoo Lee: hsl@kumoh.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial and Systems Engineering, Texas A&M University
Position title: Assistant Professor, School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology
Areas of interest: Artificial Intelligence, Brain Machine Interface, Intelligent Design and Control

Date Received : 2013-07-16

Date Revised : 2013-07-26

Date Accepted : 2013-07-26