

유사 청감 재현 보조 매체로의 열감 활용 가능성 연구

Feasibility Study on the Use of the Thermal Sense as an Complementary Media for
Pseudo-Aural Sense Display

오현석* · 곽현구* · 김성목* · 정주노* · 김희국*† · 최인묵** · 박연규**

Hyun Suk Oh* · Hyun Koo Kwak* · Sung Mok Kim* · Joono Cheong* · Wheekuk Kim*† ·
In Mook Choi** · Yeon Kyu Park**

*고려대학교 과학기술대학 제어계측공학과

*Department of Control & Instrumentation Engineering, Korea University

**한국표준과학연구원

**Korea Research Institute of Standard and Science

Abstract

Recently, various researches have been attempted to effectively display pseudo-aural senses to the hearing-impaired or the deaf, using vibro-tactile stimulus as well as visual sense. Particularly, it is reported that as complementary senses to support the visual sense, tactile senses displayed by either speakers or vibration motors improve the reality sense significantly but do not nearly improve the emotional sense. Thus, in this study, the thermal sense is selected as another complementary sense to support the pseudo-aural sense display and it is investigated whether the thermal sense could generate a pseudo-aural sense or not. For this purpose, a thermal display module which could effectively display the desired thermal sense is implemented. Then, experiments have been conducted to subjects, which provide them with various types of stimuli combined with the aural, the vibrotactile, and the thermal stimuli along with the visual information. It can be confirmed, through statistical analysis on the data collected from experiments, that subjects could feel a pseudo-thermal sense closer to the real thermal sense which the normal subject feel from both the visual and the aural information, particularly either i) with the thermal stimulus along with the visual information or ii) with both the thermal and the vibrotactile stimuli along with the visual information than only with the visual information. Conclusively, it can be confirmed that the thermal stimulus applied to the skin of the subjects could play a role of effectively displaying pseudo-aural sense related to the thermal sense, as an complementary media for the pseudo-aural display.

Keywords : thermal sense, thermal display module, pseudo aural sense, peltier element.

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 휴먼인지환경사업본부-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012K001328)

† 교신저자 : 김희국 (고려대학교 과학기술대학 제어계측공학과)

E-mail : wheekuk@korea.ac.kr

TEL : 044-860-1443

FAX : 044-860-1587

요 약

최근 들어 청각 장애인들에게 정상인들이 소리로부터 느끼는 청감과 유사한 느낌을 전달하기 위한 방안으로써 시각은 물론 진동감과 같은 촉감을 활용하는 연구가 시도되고 있다. 특히 시각 정보의 보조 감각으로써 스피커나 진동 모터를 이용한 촉감이 제공되는 경우 생동감은 상당히 개선되는 측면이 있으나 정서감 측면에서는 그 효과가 거의 없는 것으로 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 유사 청감을 재현할 수 있는 또 하나의 보조 감각으로서 열감을 설정하고 열감이 유사 청감 재현 효과를 가질 수 있는가에 관하여 조사하였다. 이를 위해 열감을 효과적으로 재현할 수 있는 열감 재현 모듈을 구현하였다. 그리고 실험 대상자들에게 시각 정보와 더불어 청각 정보, 진동 촉감, 그리고 열감을 혼합한 다양한 형태의 자극을 제공한 실험을 수행하였다. 실험에서 얻어진 데이터 통계 분석을 통하여 i) 영상과 함께 열감 자극을 제공하거나 또는 ii) 영상과 함께 열감 자극과 진동 자극을 동시에 제공하는 경우가 영상만을 제공하는 경우보다 실험 대상자들이 영상과 소리로부터 느끼는 실제 열감에 더 가까운 유사 열감을 느낄 수 있다는 사실을 확인하였다. 결론적으로 실험 대상자의 피부에 제공되는 열감이 유사 청감 재현 보조 매체로서의 활용 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

주제어 : 열감, 열감 재현 모듈, 유사 청감, 열감 소자

1. 서론

일반적으로 사람의 피부는 기계적 자극, 전기적 자극, 열적 자극을 감지할 수 있으며 특히, 압력(누르거나 당기는 경우), 진동, 열(열의 흐름), 전압과 전류에 민감하게 반응한다. 따라서 현재까지 햅틱 분야에서 개발된 촉감 재현(tactile display) 형태는 근육 운동감, 압력, 열감, 미끄러짐 감(sense of slip or shear), 전극자 등을 통한 전기 자극, 또는 피부에 대한 진동(vibro-tactile) 자극 등에 치중되어 무게, 형상, 경도 등과 같은 물체의 역감 재현이나 물체의 표면 무늬, 질감, 열감 등과 같은 물체의 성질 재현에 중점을 두고 있다(Chouyardas, et al., 2008; Hayward & Maclean, 2007; Yang & Kwon, 2008). 그리고 위와 같은 피부 접촉을 통한 촉감 재현의 일부 기술은 원격 조정 시스템, 원격 의료, 게임, 교육 및 훈련 분야에서 상용화되어 상당한 규모의 부가가치 창출을 하고 있는 것이 현실이다.

한편, 청각 장애인들에게 소리에 대한 정보를 제공하는 방안으로써 시각 정보나 촉각 아이콘(진동수, 진폭, 진동 신호의 envelop, 그리고 리듬 등을 활용)과 같이 진동 패턴을 활용하는 방안이 제시되었으나(Kheddar & Mercire, 2004; Ternes & MacLean, 2008) 이러한 방식은 단순한 정보 전달을 위한 방안으로는 유용하지만 청감을 전달하기 위한 목적으로는 적합하지 않다.

특히, 진동을 통하여 청감을 재현하고자 하는 경우

청각의 넓은 가청 주파수 대역폭(20Hz~20KHz)과 섬세한 가청 민감도(Wever fraction : 0.3%), 그리고 촉각의 상대적으로 좁은 가청 주파수 대역폭(800Hz이하)과 둔감한 민감도(부위에 따라 다르지만 대략 13%-60%내외)를 비교할 때 정상인들이 인지하는 청감에 비하여 매우 미약한 정도의 유사 청감만을 재현할 수 있다는 것을 예측할 수 있다. 여기서 유사 청감이란 정상인들에게 청각정보를 배제하고 이를 대체하기 위한 인위적인 촉감이 주어졌을 때 대상자가 느끼는 느낌 중에서 정상인의 정상적인 청감과 유사한 느낌을 포괄적으로 의미한다.

청각 장애인들에게 소리 정보 이상의 청감 즉, 소리 및 음악에 연관된 느낌을 제공하기 위한 노력으로 다수의 진동 촉감 모터만을 활용하거나 스피커를 직접 신체의 특정한 부분에 부착하여 진동 신호를 제공하는 방안이 제시되었다(Gunther, et al., 2002; Karam, et al., 2008; Nanayakkara, et al., 2009; Reed & Delhome, 2003). 이 밖에, 디지털 음원을 원래 악기에서 느끼는 촉감과 유사한 형태로 재현하거나(Bimbaum, et al., 2007; Marshall, et al., 2006) 촉감을 통해 음악 정보를 전달할 수 있는 촉감 리듬 장치(tactual composer)를 구현하는 연구가 제시된 바 있다.

최근에는 다수의 진동 스피커를 이용한 유사 청감 재현 방식으로써 소리 신호에 대한 청감 인지 기능과 촉감 인지 기능인 가청 주파수, 가청 주파수, 민감도, 등청감, 그리고 등진동 세기감 등을 고려한 주파수 변조 방식이 제시되었으며 이러한 방식을 활용한 유사

청감 재현 시스템이 개발되었다(곽현구 외 2011a; 김성목 외, 2011b). 그리고 개발된 유사 청감 재현 시스템과 영상을 함께 활용하여 정상인을 대상으로 실험을 수행한 결과 영상과 함께 진동 촉감이 제공되는 경우 리듬이 강한 환경에 대한 청감은 생동감의 측면에서는 효과가 있는 것으로 나타났으나 그 밖의 리듬으로부터 느껴지는 청감 이외의 다른 섬세한 청감은 그 효과가 거의 없는 것으로 보고되었다.

이상과 같이 유사 청감 재현 시스템의 유사 청감 재현 기능을 증진시키기 위해서는 스피커의 진동 신호에 대한 주파수 변조 방식의 개선은 물론 다른 촉각 자극을 활용하는 방안이 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 열감을 다른 보조 매체로 선정하고 열감이 어떠한 유사 청감 재현 효과를 가질 수 있는가에 관한 기초 연구로서 첫째, “정상인들이 소리로부터 느끼는 열감이 있는가”를 확인하고 둘째, “열감이 촉각을 통하여 제공되었을 때 정상인이 소리로부터 느끼는 열감과 유사한 냉온감을 느낄 수 있는가”를 확인하는 것을 연구 목표로 하였다.

2. 방법

2.1. 열감 재현 모듈 개발 과정

2.1.1. 하나의 열감 소자로 구성된 열감 재현 모듈

본 연구에서는 그림 1(a)와 같이 하나의 펠티어 소자와 온도 센서를 인터페이스하여 열감 재현 모듈을 구성하였다. 열감 재현 모듈에 사용된 대부분의 소자는 범용 상용 제품을 사용하였으며 제조사 및 스펙은 다음과 같이 요약된다. 펠티어 소자는 국내 주문자 위탁 판매 제품으로 크기는 가로×세로×높이가 각각 15×30×3.1mm이며 출력이 18.7와트인 FALS1-06304T150가 사용되었다. 그리고 펠티어 소자의 온도 제어를 위해 영국 LABFACILITY사에서 제조된 DM508(PT-100) 온도 센서가 펠티어 소자 위에 부착되었으며 온도 센서 주변을 얇은 고무막으로 덮어 피부와의 접촉을 통한 온도 변화를 피하고 펠티어 소자 자체 표면 온도만을 측정할 수 있도록 하였다. 펠티어 소자의 열을 식히기 위한 열 흡수체(heat sink)는 50×50×20mm 크기의 구리 방열판 위에 가로×세로×높이가 각 40×40×10mm인 크기의 냉각팬이 부착된 용

량이 5.55 CFM인 에버콜사에서 제조한 모델(CPM3-410CA)이 사용되었다. 또한 펠티어 드라이버로서는 국내 로보블럭사에서 제조한 RB-DHMD1 (dual H-bridge motor driver)와 미국 TI사 제품인 Lm324 연산 증폭기, 그리고 지역(local) 프로세서로서는 미국 ATMEL사의 제품인 Atmega128이 사용되었으며 PC와는 RS232 또는 국내 펄테크 사의 Bluetooth(FB155BC)를 통하여 통신이 되도록 구성되었다. 펠티어 소자의 온도 제어를 위해 그림 1(b)와 같은 PD 제어 방식이 사용되었으며 제어 루프의 표본화 시간은 6.4msec이며 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 이하의 정상오차를 얻을 수 있었다. 전체 열감 모듈의 전력 공급을 위해 국내 파인선트로닉스에서 제조한 12V, 25Amps.의 용량을 가지는 전력원(VSF100-09)이 사용되었다.

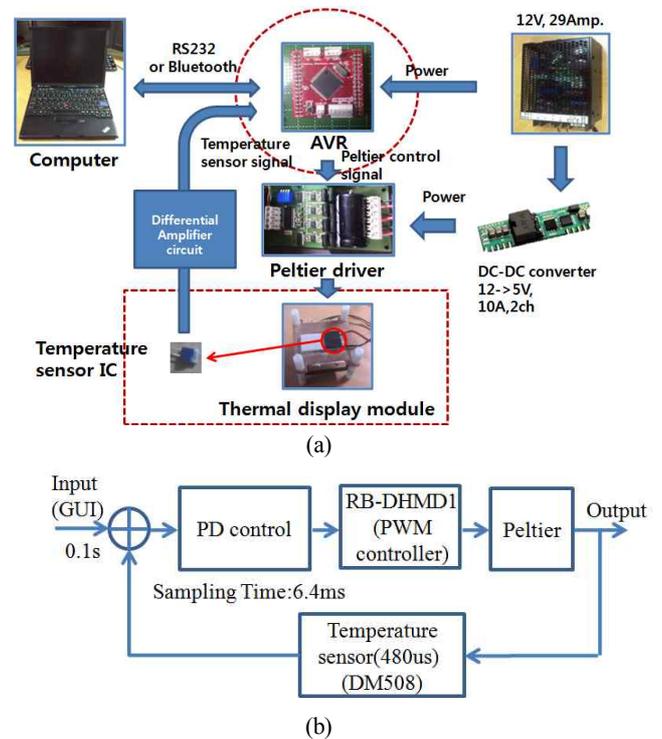


Figure 1. (a) Interface Diagram of Thermal Display Module and (b) Control Block Diagram

그림 1과 같이 하나의 펠티어 소자만으로 구성된 열감 재현 모듈은 열 흡수체의 용량 및 성능에 따라 온도 상승 및 하강 시 다른 동특성을 나타낸다. 따라서 구현된 열감 재현 모듈이 유사 청감 재현 시스템에서 요구되는 열감 재현 특성에 적합한지의 여부를 점검하기 위하여 다음 세 가지의 실험을 수행하였다: i) 상승 및 하강 온도 입력에 대한 동특성 실험, ii) 계단 온도 입력에 대한 추종 실험, iii) sine 입력 추종 특

성 실험.

i) 상승 및 하강 온도 입력에 대한 동특성 실험 : 구현된 열감 재현 모듈이 사람이 통증 없이 열감을 느낄 수 있는 범위(15°C~48°C)내에서 임의의 계단 입력에 대해 얼마나 빨리 추종할 수 있는가에 대한 실험으로서 그림 2(a)와 그림 2(b)는 위 범위 내의 기 설정된 온도에서 다양한 크기의 온도 상승 및 하강 시 주어진 온도에 도달하는 데까지의 소요 시간에 관한 실험 결과를 요약한 시간 등고선도이다.

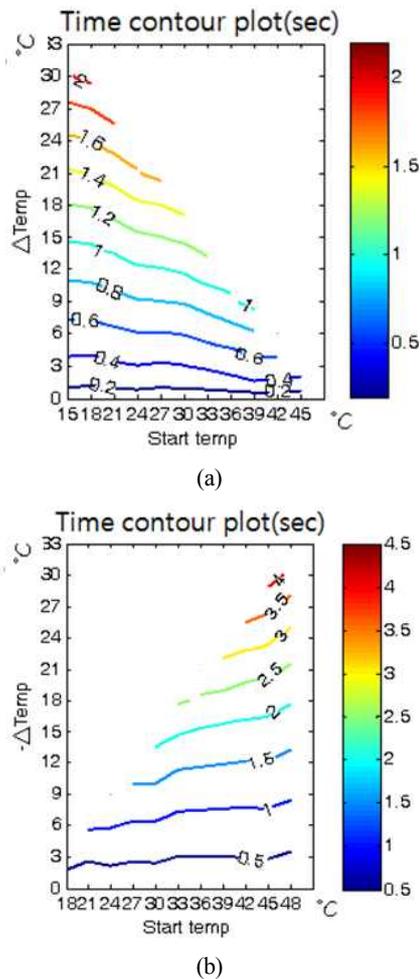


Figure 2. Time Contour Plots of One Peltier Module : (a) When Temperature Rises, (b) When Temperature Falls.

이들 실험에서는 먼저 펠티어 소자의 온도를 초기에 15°C인 상태로 유지하여 열 흡수체가 충분히 예열 되도록 하였다. 그리고 각 실험의 초기 설정 온도의 정상 상태에 도달하도록 한 후 원하는 목표 설정 온도를 주었을 때 주어진 온도에 도달하여 정상 상태를 유지할 때까지의 시간을 소요 시간으로 설정하였다. 이들 그림으로부터 온도 상승 시보다 온도 하강 시

더 많은 시간이 소요된다는 사실을 확인할 수 있다. 한 예로서 그림 2(a)에서 27°C 에서 12°C를 상승하는 경우 대략 1초가 소요되지만 그림 2(b)에서 알 수 있는 바와 같이 27°C 에서 6°C를 하강하고자 하는 경우에도 대략 1초가 소요된다는 것을 확인할 수 있다.

한편, 그림 2(a)에서 각 시간 등고선 사이의 간격은 거의 균일하므로 상승 시의 소요 시간은 온도 변화의 크기에 일정하게 비례하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 그림 2(b)에서와 같이 각 시간 등고선 사이의 간격은 낮은 온도로 내려갈수록 넓어지므로 온도 하강 시의 소요 시간이 낮은 온도로 내려갈수록 커지는 사실을 확인할 수 있다.

ii) 계단 온도 입력에 대한 추종 실험 : 그림 3은 하나의 펠티어 소자만으로 구성된 열감 재현 모듈의 사람이 통증 없이 열감을 느낄 수 있는 범위(15°C~48°C) 양극단에서의 계단 입력에 대한 동특성 실험 결과이다. 구간의 양극단 간에서 목표 값의 ±0.3°C의 범위에 도달할 때 까지 상승 시는 2.3초 하강 시에는 4.7초가 소요되는 것으로 나타났다.

iii) Sine 신호 입력 추종 특성 실험 : 그림 4는 진동수는 0.5Hz를 유지하면서 진폭의 범위가 15°C~48°C까지 점차적으로 변하는 sine 입력신호가 주어졌을 때 하나의 펠티어 소자만으로 구성된 열감 재현 모듈의 추종 실험 결과이다. 그림으로부터 하나의 펠티어 소자로 구성된 열감 재현 모듈의 경우 0.5Hz sine 입력 신호의 진폭이 작은 경우 비교적 입력 신호를 효과적으로 추종하지만 sine 입력 신호의 진폭이 커지게 되면 입력 신호를 추종하지 못하는 것이 확인된다. 본 논문에 포함하지는 않았지만 하나의 펠티어 소자만으로 구성된 열감 재현 모듈의 경우 그림 4와 동일한한 sine 입력이 주어졌을 경우 0.1Hz의 sine 입력 신호까지 추종할 수 있는 것으로 나타났다.

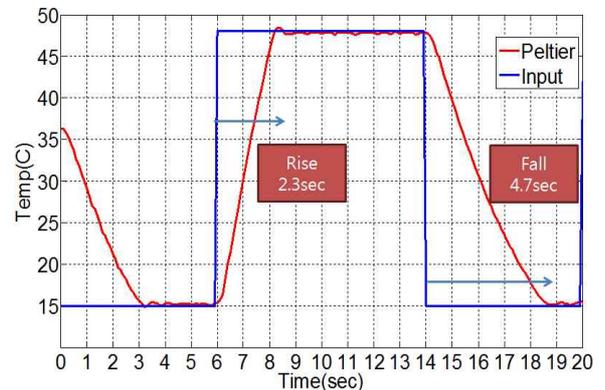


Figure 3. Step Response of One-peltier Module

2.1.2. 다수의 열감 소자로 구성된 열감 재현 모듈

하나의 열감 소자로 구성된 열감 재현 모듈의 느린 상승 및 하강 온도 속도를 보완하기 위한 방안으로 네 개의 열감 단위 모듈을 각각 다르게 설정된 온도 영역만을 담당하도록 하여 보다 짧은 시간 내에 대상자의 피부에 원하는 온도를 제공할 수 있도록 그림 5와 같이 네 개의 펠티어 소자로 구성되는 유사 청각 재현 모듈을 구현하였다. 네 개의 펠티어 모듈 각각은 선형 모터 위에 부착되며 네 개의 선형 모터 각각은 하나의 펠티어 모듈을 상하로 이동하여 대상자의 피부와 접촉할 수 있도록 하는 구조를 가진다.

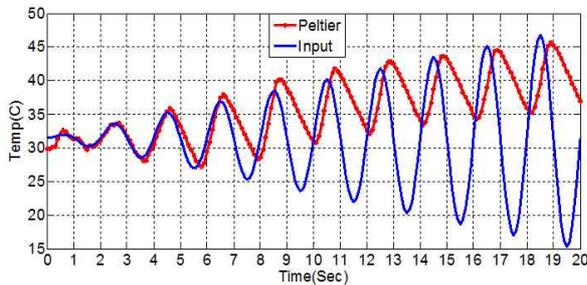


Figure 4. Sinusoidal Input Response of One-peltier Module

이러한 네 개의 펠티어 모듈로 구성되는 열감 재현 모듈의 구동 알고리즘은 다음과 같이 요약된다. 그림 6은 펠티어 모듈의 온도 하강 시 동특성을 나타내는 결과인 그림 2b) 위에 열감 재현 모듈에 활용된 네 개의 펠티어 구동 모듈이 지정된 구간 내에서 서로 유사한 응답 속도를 나타내도록 각 펠티어 구동 모듈의 작동 온도 범위를 구분한 그림이다($T_{max} \sim T_{12}$, $T_{12} \sim T_{23}$, $T_{23} \sim T_{34}$, $T_{34} \sim T_{min}$, 여기서 $T_{max} = 48^{\circ}\text{C}$, $T_{12} = 33^{\circ}\text{C}$, $T_{23} = 25^{\circ}\text{C}$, $T_{34} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_{min} = 15^{\circ}\text{C}$). 그리고 이러한 구간 내에서 각 펠티어 모듈은 아래와 같은 알고리즘에 따라 구동하도록 제어하였다:

$$\text{When } T_{i0} \leq T_d \leq T_{(i-1)i}, T_i \leq \text{MIN}(T_d, T_{(i-1)i}),$$

$$\text{When } T_{i(i+1)} \leq T_d \leq T_{i0}, T_i \leq \text{MAX}(T_d, T_{i(i+1)}),$$

$$\text{Otherwise, } T_i = T_{i0},$$

여기서 T_d 는 명령 입력 온도이고, $T_{10} = 40.5^{\circ}\text{C}$, $T_{20} = 29^{\circ}\text{C}$, $T_{30} = 22.5^{\circ}\text{C}$, $T_{40} = 17.5^{\circ}\text{C}$ 로서 네 구간 각각의 중간 값을 나타낸다. 각 펠티어 모듈은 항상 기 설정된 해당 구간의 중간 값에 해당하는 온도를 유지하고 있으며 명령 입력 온도가 지정된 작동 온도 범위 내에 속하게 되는 경우에만 작동을 하는 방식이다.

그림 7은 네 개의 펠티어 모듈을 사용하는 열감 재

현 모듈에 대해 사람이 통증 없이 열감을 느낄 수 있는 범위($15^{\circ}\text{C} \sim 48^{\circ}\text{C}$)의 양극단에서의 상승 및 하강 계단 입력에 대한 동특성 실험 결과이다. 그림으로부터 $15^{\circ}\text{C} \sim 48^{\circ}\text{C}$ 범위 내 임의 크기의 온도 상승 또는 온도 하강 시 1초 내외에 주어진 목표 온도에 도달되는 것을 확인할 수 있다.

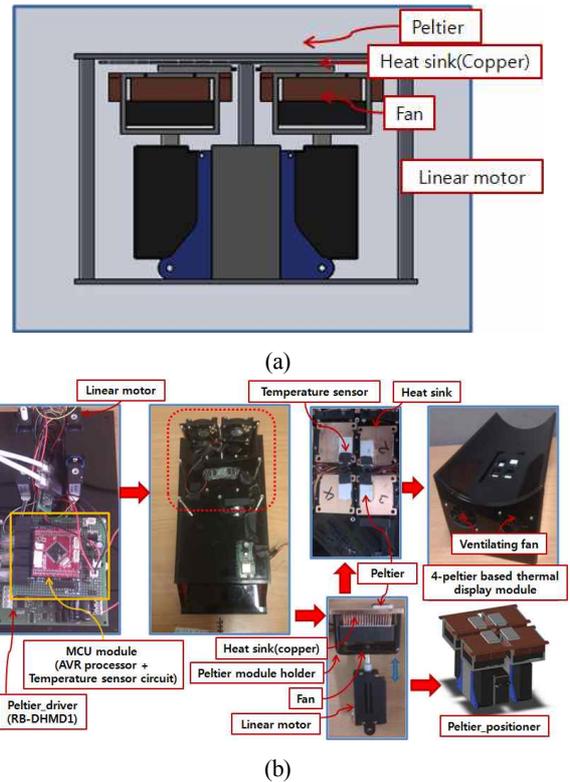


Figure 5. Four-peltier Based Thermal Display Module: (a) Side View of Peltier Positioning Module, (b) Hardware Structure

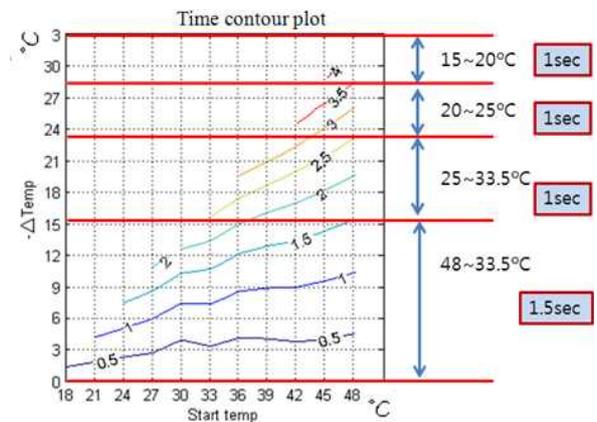


Figure 6. Designated Temperature Domain for Each Peltier Module

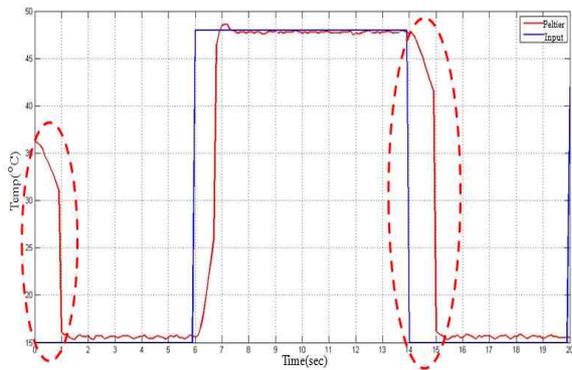


Figure 7. Step Input Response of the Four-peltier Based Thermal Display Module

한편, 그림 8은 하나의 펠티어에 적용했던 동일한 0.5Hz의 sine 입력신호에 대한 네 개의 펠티어 소자로 구성된 열감 재현 모듈의 추종 특성이다. 하나의 펠티어 소자로 구성된 열감 재현 모듈과는 달리 네 개의 펠티어 소자로 구성된 열감 재현 모듈의 경우는 sine 입력 신호 추종 시 진폭의 크기가 커지게 되는 경우 어느 정도의 오차는 존재하지만 주어진 입력 신호를 효과적으로 추종함을 확인할 수 있다.

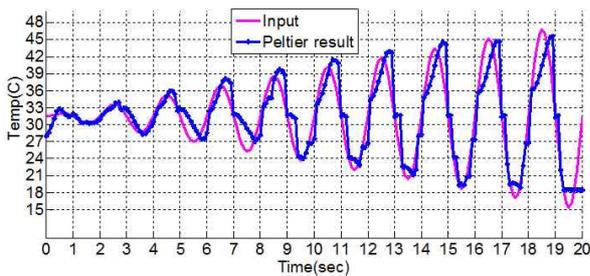


Figure 8. Sinusoidal Input Response of the Four-peltier Based Thermal Display Module

2.2. 개발된 열감 재현 모듈의 유사청감 재현 가능성 실험

2.2.1. 실험 대상 영상 및 실험 대상자 선정

본 실험은 두 가지 단계로 진행되었다. 첫 번째 단계의 실험에서는 열감의 유사 청감 재현 효과를 확인하기 위하여 무음 영상에 소리가 추가되었을 때 정상인이 무음 영상만으로 느끼지 못하였던 열감을 어느 정도까지 느낄 수 있는지 그리고 정상인이 무음 영상만으로 느꼈던 열감과 다른 열감을 느끼는 경우가 있는지를 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 이러한

실험을 위하여 표 1에 제시된 바와 같이 물, 불, 바람, 소리 등 열감을 느끼는데 도움이 되는 요소들을 보유하고 있는 30 개의 영상을 전문가 패널 (심리학 교수 1인, 심리학자 1인, 간호학 교수 1인)의 자문을 받아

Table 1 Selected Images with Various Sounds

Image ID	Description	Remark (Sound)
1	Submarine firing sonar	Sound
2	Waterfall dropping down water	Water
3	Wave at the graveled seashore	Water
4	Outdoor spring spouting vapor	Water
5	Street trees in the strong wind	Wind
6	Trees in the constant rain	Water /Wind
7	Swimming diver in the water	Water
8	Spinning water mill	Water
9	Sea wave at the seashore rock	Water
10	Palm trees being shaken by the strong wind	Wind
11	Cherry tree swinging in the wind and rain	Wind
12	Rafting boat on the fast flowing water	Water
13	Flame from the flamethrower	Fire
14	Rooting crowd in the stadium	Fevered air
15	Windy and rainy field	Water /Wind
16	Fish swimming in the creek	Water
17	Violent snowstorm	Wind
18	Windy barley field	Wind
19	Swimming mandarin duck in the creek	Water
20	Burning oval briquettes	Water
21	Group of deers crossing the river	Water
22	Lava spewing out	Fire
23	Weed waving in the sea wind	Wind
24	Person walking along a windy snow-covered mountain path	Wind
25	Bear sitting on the windy snow-covered land	Wind
26	Wedging a heated a sickle into the rod	Fire
27	Burning fireplace in the blacksmith's shop	Fire
28	Birds sitting on the snow-covered land, facing a strong wind	Wind
29	Birds flying through snow stormy sky	Wind
30	Birds in the windy desert	Wind

선정하였다. 그리고 실험 대상자로는 21세에서 25세 사이의 남자 대학생들 중 실험에 참여하는데 동의한 30 명을 선정하였다.

두 번째 단계의 실험에서는 동일한 전문가 패널의 자문을 받아 첫 번째 단계의 실험을 통해 높은 유의성을 보인 4 개의 영상을 선택하여 이들 영상에 대해 i) 영상과 소리가 함께 제공되는 경우(IS형 자극: image and sound stimulus), ii) 영상만을 제공하는 경우(I형 자극: image stimulus), iii) 영상과 열감이 함께 제공되는 경우(IT형 자극 : image and thermal stimulus), iv) 영상과 진동신호가 동시에 제공되는 경우(IV형 자극: image and vibration stimulus), 그리고 v) 영상, 진동 신호, 열감이 동시에 제공되는 경우(IVT형 자극: image, vibration and thermal stimulus) 열감을 느끼는 정도가 달라지는 가에 대한 실험을 수행하였다. 이 실험을 위해 21세에서 25세에 속하는 남자 대학생 40 명이 추가로 선정되었다.

2.2.2. 실험 측정 도구 및 자료 수집 절차

첫 번째 단계의 실험에서는 선정된 30 개의 영상이 각각 10초 간격으로 그림 9와 같은 형태로 자체 개발된 GUI(Graphic User Interface) 프로그램을 통하여 제공되었으며 실험 대상자는 자신이 지각하는 열감의 정도를 그림 10과 같은 측정 도구(전문가 패널의 자문을 받아 개발)에 표시하도록 하였다. 열감을 전혀 지각하지 못하는 경우가 0에 해당하며 이를 기준으로 하여 뜨거운 느낌(적색)과 차가운 느낌(청색)의 정도를 -5(매우 뜨겁게 느낌)에서 +5(매우 차게 느낌) 사이로 응답하도록 하였다.

두 번째 단계의 실험에서 다양한 형태의 유형별 자극은 열감 모듈과 곽현구 외(2011a)에 의해 개발된 진동 스피커를 활용한 유사 청감 재현 모듈, 그리고 그림 9와 유사한 GUI 프로그램을 통하여 제공되었으며 자극 유형별로 지각하는 열감에 대한 측정은 첫 번째 단계의 실험과 동일한 측정 도구(그림 10)를 사용하였다. 진공 스피커를 활용한 유사 청감 재현 모듈은 진동 자극이 실험 대상자의 하박부에 밀착된 진동 스피커를 통하여 제공되는 구조를 가지고 있으며 진동 신호는 제공하고자 하는 소리 신호의 스펙트럼 변조를 통하여 진동 스피커에 전달되도록 구성되었다. 그리고 열감은 실험 대상자의 하박부에 밀착되는 구조로 개발된 그림 5의 열감 재현 모듈을 통하여 제공되었다.

두 번째 단계의 실험 조건 중 소리가 제공되지 않는 네 가지 실험들 (I형, IT형, IV형, 그리고 IVT형 자극)의 경우 방음 헤드폰을 착용하도록 하여 소리에 대한 정보를 최대한 제거하기 위한 조치를 취하였다. 또한 열감이 제공되어야 하는 IT와 IVT형 자극의 경우는 4 개의 펠티어 모듈로 구성되는 그림 5의 열감 재현 모듈에서 2 개의 펠티어 모듈만을 사용하였으며, 차가운 영상인 경우에는 20 °C로 유지되는 펠티어 모듈을, 그리고 뜨겁거나 따뜻한 영상의 경우에는 40 °C의 온도로 유지되는 펠티어 모듈을 각각 대상자의 피부에 접촉되도록 하였다. 그리고 영상이 나오지 않는 경우나 영상이 바뀌는 동안은 두 개의 펠티어를 대상자의 피부로부터 떨어지도록 아래쪽으로 이동하여 열감이 전달되지 않도록 하였다.



Figure 9. GUI Screen for Thermal Sense Experiments

2.2.3. 자료 분석 방법

첫 번째 단계 실험을 통해 수집된 30개 영상에 관한 데이터에서 영상을 제공한 경우와 영상과 소리를 동시에 제공한 경우 사이의 차이를 검증하기 위하여 짝짓기 t-검증을 사용하였다. 두 번째 단계 실험의 자극 유형들 사이의 열감 차이에 대한 유의성을 검증하기 위해서 반복측정 분산분석을 시행하였으며 짝짓기 t-검정으로 사후 검정(Post-hoc Comparisons)을 시행함으로써 어떤 자극 유형 사이에 차이가 일어났는지를 검증하였다. 사후 검정의 경우는 Bonferroni 조정법을 적용하여 유의수준 p<.05 대신 p<.01을 적용하여 유의성을 검증하였다.



Figure 10. Thermal Perception Scale

3. 결과

3.1. 1단계 실험

표 2는 첫 번째 단계 실험에서 얻어진 데이터에 대한 t-검증을 실시한 결과를 요약한 것이다. 총 30 개의 영상 중 14 개의 영상(영상 3, 영상 5, 영상 6, 영상 9, 영상 10, 영상 11, 영상 12, 영상 13, 영상 14, 영상 15, 영상 17, 영상 23, 영상 28, 영상 29)에서 영상만 제공한 경우와 영상과 소리를 동시에 제공한 경우 사이에 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다 (p-value<0.05의 영상).

3.2. 2단계 실험

첫 번째 단계 실험으로부터 유의한 차이를 보인 14 개의 영상을 모두 포함하여 다음 단계의 실험을 진행할 경우 너무 많은 감각 정보가 제공됨으로 인해 감각 과부하가 초래되어 실험 결과의 정확도가 떨어질 가능성이 있음이 인식되었다. 따라서 유의한 차이를 보인 14 개의 영상들 중 높은 차이 유의성을 보인 4 개만을 임의로 선택하여 다음 단계의 실험을 수행하였다. 선택된 영상은 바람에 관련된 영상 3개와 불에 관련된 영상 1개로 구체적으로는 거센 바람에 흔들리는 팜나무 영상(영상 10), 바람에 흔들리는 벚꽃나무 영상(영상 11), 화염방사기를 통해 화염이 발사되고 있는 영상(영상 13), 그리고 눈보라치는 하늘을 날아가고 있는 새의 영상(영상 29)이었다.

표 3은 영상 및 기타 자극 유형별 열감 측정값에 대한 기술 통계량과 차이에 대한 검정 결과이다. 우선 반복측정 분산분석을 통해 분석한 결과에 따르면 자극 유형별 열감의 차이는 4 개의 영상에서 모두 유의한 것으로 제시되었다 <영상10(F = 23.30, p<.0001), 영상11(F = 18.72, p<.0001), 영상13(F = 36.13, p<.0001), 영상29(F = 30.69, p<.0001)>. 다음으로 사후 검정을 통해 어떤 자극 유형 사이에 차이가 일어났는지를 검정하였다(표 3). 일반적으로 분산 분석의 사후 검정은 Duncan이나 LSD를 통해 이루어지나 이러한 사후

Table 2 Statistic Analysis on Effects of Thermal Sense for 30 Different Video Images (N = 30)

Image Identification Number	Differences		t(p-value)
	Mean [†]	Standard Deviation	
1	0.37	1.70	1.29(0.205)
2	0.14	1.00	0.84(0.406)
3	0.97	1.25	4.60(0.000**)
4	-.57	2.34	-1.44(0.158)
5	1.00	1.46	4.07(0.000**)
6	0.80	1.21	3.92(0.000**)
7	0.46	1.44	1.88(0.069)
8	-.086	1.01	-.50(0.619)
9	0.54	1.09	2.49(0.018**)
10	1.11	1.95	3.38(0.002**)
11	0.86	1.54	3.30(0.002**)
12	0.77	1.90	2.41(0.022**)
13	-.87	1.35	-3.90(0.000**)
14	-.69	1.78	-2.28(0.029**)
15	1.54	1.65	5.53(0.000**)
16	0.00	1.28	0.00(1.000)
17	1.17	1.82	3.80(0.001**)
18	-.11	1.73	-.39(0.698)
19	-.26	1.92	-.79(0.432)
20	-.09	2.12	-.24(0.812)
21	0.31	2.40	0.78(0.444)
22	0.34	2.97	0.68(0.499)
23	0.86	1.63	3.11(0.004**)
24	0.46	2.02	1.34(0.189)
25	-.74	2.63	-1.67(0.104)
26	-.23	1.98	-.84(0.407)
27	-.11	1.61	-.34(0.735)
28	0.46	1.17	2.31(0.027**)
29	0.80	1.21	3.92(0.000**)
30	0.11	1.81	0.37(0.711)

[†]: (Mean score of thermal perception in image-and-sound stimulation) - (Mean score of thermal perception of single image stimulation)
 **: p<0.05

검정법은 집단들 사이의 차이를 분석하는 경우에 사용하는 분석법이며 본 연구와 같이 동일 집단 내

의 차이를 검정할 때는 해당되지 않는다(분석을 위한 프로그램 자체가 마련되어 있지 않음). 따라서 짝짓기 t-검정을 통해 자극 유형들 사이의 차이를 검정하였는데 이 경우 다수의 t-검정이 반복 수행됨으로써 제 1 형 오류를 범할 확률이 높아지게 된다. 즉 거짓을 참인 것으로 채택할 확률이 높아진다는 의미이다. 이를 해결하기 위해 일반적인 사후검정에서는 엄격한 유의 수준을 적용하는 방법이 적용되는데 본 연구에서는 $p < .05$ 대신 $p < .01$ 를 적용함으로써 엄격한 유의 수준을 적용하여 결과를 해석하였다.

Table 3. Descriptive Statistics and Comparison Tests of Stimulus Types in Selected Images (N = 40)

ID [†]	Stimulus Type	Mean (SD)	RM ANOVA [‡]	Post-hoc Comparisons [¶]
			F(p)	
10	IS	0.95 (1.43)	23.30 (<.0001)	IS>I, IS<IT, IS>IV, IS<IVT, I<IT, I<IV, I<IVT, IT>IV, (IT)(IVT), IV<IVT
	I	-0.78 (1.35)		
	IT	2.10 (2.05)		
	IV	0.18 (2.06)		
	IVT	2.30 (2.17)		
11	IS	-1.65 (1.73)	18.72 (<.0001)	IS<I, IS>IT, (IS)(IV), IS>IVT, I>IT, I>IV, I>IVT, IT<IV, (IT)(IVT), IV>IVT
	I	-0.35 (1.42)		
	IT	-2.55 (1.54)		
	IV	-1.03 (1.39)		
	IVT	-2.70 (1.45)		
13	IS	0.63 (1.15)	36.13 (<.0001)	IS>I, IS<IT, IS>IV, IS<IVT, I<IT, (I)(IV), I<IVT, IT>IV, IT<IVT, IV<IVT
	I	-0.53 (1.26)		
	IT	1.95 (1.89)		
	IV	0.05 (1.40)		

	IVT	2.48 (1.89)		
29	IS	1.83 (1.45)	30.69 (<.0001)	IS>I, (IS)(IT), IS>IV, IS<IVT, I<IT, I<IV, I<IVT, IT>IV, (IT)(IVT), IV<IVT
	I	0.03 (1.41)		
	IT	2.45 (1.54)		
	IV	0.80 (1.47)		
	IVT	2.85 (1.72)		

[†]: Image ID,

[‡]: Repeated Measure ANOVA, $p < 0.05$, If sphericity was assumed, F-value of sphericity was selected. However, the assumption of sphericity was not satisfied, F-value of Greenhouse-Geisser was selected.

[¶]: Paired t-test, $P < 0.01$ (I: image, S: sound, V: vibration, T: thermal, IS: image and sound, IVT: image, vibration and thermal, IT: image and thermal, IV: image and vibration)

표 3에서 자극 유형별 평균값은 그림 10에 정의된 측정 도구에 따라 실험 대상자가 제공된 자극 유형에 대해 얼마나 차갑거나 뜨거운 느낌을 인지하는가를 나타낸다. 예를 들면, IS 평균값이 음수인 경우는 따뜻한 느낌의 영상으로 대상자가 인지한다는 의미이며 양수인 경우는 차가운 혹은 시원한 느낌의 영상으로 인지한다는 의미이다. 그리고 IS형 자극 조건은 정상인이 일상생활에서 실제로 경험하는 자극 조건에 가장 가깝다. 따라서 다른 자극 조건들로부터 얻어진 열감 측정값이 IS형 조건으로부터 얻어진 값에 가까울수록 해당 자극 조건이 열감 지각에 효과가 있는 것으로 판단할 수 있다. 반면에 I형 자극은 청각 장애인과 같이 소리 정보는 듣지 못하고 오직 영상 정보만을 경험하는 조건에 가깝다고 볼 수 있다.

IS형 자극과 I형 자극을 비교해 보면, 제공된 영상에 따라 정상인들이 인지하는 열감과 청각 장애인들이 인지하는 열감에 상반된 차이가 있을 수 있다는 결과를 유추할 수 있다. 즉, 영상 11에서는 IS형 자극과 I형 자극으로부터 정도의 차이는 있으나 유사한 온감을 느끼는 것으로 나타났다. 하지만 영상 29에서는 IS형 자극에서는 냉감을 느끼지만 I형 자극에서는 열감을 거의 느끼지 못하는 것으로 나타났다. 한편 영상 10과 영상 13에서는 IS형 자극에서는 냉감을 느끼지만 I형 자극에서는 온감을 느끼는 서로 상반된 냉온감을 느끼는 것으로 나타났다(표 3).

IS형과 IT형 자극을 비교한 결과에서는 4 개의 영상에서 IT형 자극이 모두 IS형 자극과 같은 형태의 그러나 더 차갑거나 더 뜨거운 열감을 지각하는 것으로 나타난 반면, IS형 자극과 IV형 자극을 비교한 결과에서는 대부분의 영상에서 IV형의 지각되는 열감이 IS형에 비해 오히려 떨어지는 것으로 제시되었다(표 3). IS형 자극과 IVT형 자극을 비교한 결과에 따르면 IVT형 자극을 제공한 경우 모든 영상에서 IT형 자극을 제공한 경우보다 대상자가 지각하는 열감이 적은 폭이지만 향상된 즉, 보다 차갑거나 보다 뜨거운 열감을 지각하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하면 I형 자극은 정상인들이 경험하는 IS형 자극을 잘 나타내지 못하거나 또는 상반된 냉온감을 나타낼 수 있다는 사실을 유추할 수 있다. 반면에 IT형과 IVT형의 자극은 적절한 형태의 열감 자극이 제공되는 경우 IS형과 유사한 냉온감을 나타낼 수 있다는 사실을 유추할 수 있다. 즉 IT형과 IVT형 자극은 IS형에 비해 따뜻한 이미지에 대해서는 따뜻한 열감을 더 강하게 느끼도록 하였으며 찬 이미지에 대해서는 차가운 냉감을 더 강하게 느끼도록 하였다. 그러나 IV형 자극은 IS형에 비해 열감 지각을 오히려 더 낮추어 일부 영상에서는 대상자에게 열감에 대한 느낌을 거의 제공하지 못하는 것으로 나타났다.

4. 논의

최근 정상인을 대상으로 수행된 실험을 통하여 시각 정보와 촉각 정보(스피커 진동감)만으로는 리듬이 강한 환경에 대한 청감은 생동감의 측면에서는 효과가 있으나 그 밖의 리듬으로부터 느껴지는 청감 이외의 다른 섬세한 청감은 그 효과가 거의 없다는 사실을 보고되었다(곽현구 외, 2011a; 김성목 외, 2011b).

이러한 연구에 이어 본 연구에서는 청각 장애인에게 보다 개선된 유사 청감을 제공할 수 있는 방안으로써 진동촉감과 더불어 열감을 보조 매체로 제공할 때 얼마나 효과적인 유사 청감을 재현할 수 있는가를 확인하는 것을 목적으로 하는 실험을 수행하였다.

이를 위해 첫째로, 열감 자극을 제공하기 위해 펠티어 소자를 활용한 열감 재현 모듈을 개발하였으며 펠티어 소자의 느린 동특성을 보완하기 위하여 다수의 펠티어 소자를 활용한 열감 재현 모듈을 제시하였고 구현 및 실험을 통하여 그 성능을 확인하였다. 개발된 열감 재현 모듈은 추후 다양한 형태의 열감 재현이

요구되는 유사 청감 재현 실험에 사용될 수 있을 것이다.

둘째로, 유사 열감 재현과 관련된 첫 번째 단계의 실험에서는 열감의 유사 청감 재현 효과를 확인하기 위하여 무음 영상에 소리가 추가되었을 때 정상인이 무음 영상만으로 느끼지 못하였던 열감을 어느 정도까지 느낄 수 있는지를 알아보기 위한 실험을 수행하였으며 열감과 연관되었다고 판단되는 30개의 선정된 영상 중 14개의 영상으로부터 정상인들이 소리 정보로부터 열감을 느낀다는 유의성을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 “정상인들이 소리로부터 느끼는 열감이 있다”는 사실을 의미한다. 하지만, 정상인들은 어떠한 상황을 나타내는 영상과 이에 관련된 소리정보가 제공되는 경우 반드시 열감에 대한 정보를 얻을 수 있는 것이 아니라는 사실을 확인할 수 있다. 따라서 유사 청감 재현 장치에 열감을 활용하는 경우 열감이 느껴지는 상황에 한해서만 열감을 제공하는 것이 필요하다는 사실을 확인할 수 있다.

셋째로, 전 단계 실험에서 소리와 열감 사이의 높은 유의성을 가지는 14개의 영상 중 높은 유의성을 나타낸 4개의 영상을 임의로 선정하고 이들 영상 각각에 대해 영상만 제공하는 I 자극, 영상과 소리를 제공하는 IS형 자극, 영상과 열감을 제공하는 IT형 자극, 영상과 함께 진동 촉감 및 열감을 동시에 제공하는 IVT형 자극에 대한 실험을 수행하였다. 여기서 영상과 소리를 제공하는 IS형 자극은 정상인들이 접하는 상황으로 다른 자극형태와의 비교기준을 나타낸다는 사실을 유의하자. 이러한 실험은 “열감이 촉감을 통하여 제공되었을 때 정상인이 소리로부터 느끼는 열감과 유사한 냉온감을 느낄 수 있는가”를 확인하기 위한 실험이며 4개의 영상에 대한 실험 분석결과는 다음과 같이 해석될 수 있다. 첫째, IT형 자극이나 IVT형 자극의 경우는 IS형 자극과 같은 그러나 더 따뜻하거나 또는 더 차가운 느낌을 제공할 수 있다. 따라서, 향후 IS형 자극과 유사한 열감을 느끼도록 하기 위해서는 IT형 자극과 IVT형 자극의 경우 적절한 형태의 열감을 제공할 필요가 있으며 이에 대한 연구가 필요하다. 둘째, 반면에 I형 자극의 경우는 오히려 IS형 자극보다는 약화된 열감을 느끼도록 하거나 상반된 열감을 느끼게 할 수 있다. 셋째, IV형 자극의 경우도 IS형 자극보다는 매우 약화된 열감을 느끼게 하였다. 따라서 IT형 자극과 IVT형 자극의 경우가 I형 자극이나 IV형 자극보다는 정상인들이 느낌을 나타내는 IS형 자극에

더 가까운 유사 열감을 느끼도록 할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다.

이밖에, 이러한 네 가지 다른 유형의 자극 실험에 대한 결과로부터 다음과 같은 사실을 유추할 수 있었다.

첫째, 청각 장애인들은 정상인들이 소리로부터 인지하는 열감 정보를 얻지 못하는 상황이 있다. 이러한 추론은 I형 자극만이 제공되는 경우 IS형 자극과는 상반된 열감을 느끼거나 IS형 자극에 비해 약화된 열감을 느낀다는 두 번째 실험 결과로부터 예측할 수 있다.

둘째, 청각 장애인들에게 피부를 통하여 적절한 열감 정보를 제공하는 경우 정상인들과 유사한 열감 정보를 인지할 수 있다. 이러한 추론은 두 번째 실험 결과로부터 적절한 형태의 IT형 자극과 IVT형 자극이 제공되는 경우 IS형 자극과 유사한 열감을 느끼도록 하는 것이 가능함을 예측할 수 있다.

셋째, 열감과 더불어 진동 촉감을 추가하여 제공하는 경우 다소 개선된 열감 정보는 얻을 수 있지만 그 개선 폭은 그리 크지 않다. 이러한 추론은 표 3에서 확인할 수 있는 바와 같이 IT형 자극과 IVT형 자극 사이의 열감 인지 척도에 큰 차이가 존재하지 않는다는 사실과 한편으로는 적절한 형태의 IT형 자극만으로도 IS형 자극과 유사한 열감을 느끼도록 할 수 있다는 사실로부터 예측할 수 있다.

이상의 결과로부터 열감이 촉감에 기반을 둔 유사 청각 재현 시스템의 보조 매체로서의 활용 가능성이 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이와 더불어 I형 자극만을 받는 청각 장애인들에게 영상과 더불어 피부를 통하여 적절한 열감을 제공하는 형태인 IT형 자극이 제공되었을 때 청각 장애인들은 IS형 자극을 받는 상황의 정상인들이 소리로부터 인지하는 열감 정보와 관련된 유사 열감 정보를 인지할 수 있을 것이라고 유추할 수 있었다.

한편, 앞에서 이미 언급한 바와 같이 본 연구는 첫째, “정상인들이 소리로부터 느끼는 열감이 있는가”의 여부와 둘째, “열감이 촉감을 통하여 제공되었을 때 정상인이 소리로부터 느끼는 열감과 유사한 느낌을 느낄 수 있는가”를 확인하고자 하는 기초 단계의 연구로서 “어떠한 형태의 소리와 영상이 열감과 어느 정도의 관련이 있는지,” “열감 신호를 어떠한 형태로 주는 것이 효과적인지,” 또는 “피실험자의 개인적인 특성이 유사 청각 재현 효과에 어떤 영향을 미치는지” 등과 같은 세부적인 요소들에 대한 분석은 수행되지 않았다.

따라서, 후속연구로서 본 연구에서 개발된 열감 재현 모듈을 활용하여 위와 같은 주제들에 대한 실험 및 분석이 수행될 것이며 이러한 연구 결과는 이미 개발되어 있는 의자형 유사 청각 재현 시스템에 통합되어 보다 효과적인 유사 청각 재현 성능을 개선하기 위해 활용될 것이다.

REFERENCES

- Bimbaum, D. & Wanderly, M. M. (2007). A systematic approach to musical vibrotactile feedback. *Proc. of the int'l computer music conference*.
- Chouyardas, V. G., Miliou, A. N., & Hatalis, M. K. (2008). Tactile displays: overview and recent advances, *Displays*, 29(3), 185-194.
- Gunther, E., Davenport, G., & O'Modhrain, S. (2002). Cutaneous Grooves: Composing for the Sense of Touch, *Proceedings of conf. on New Instruments for Musical Expression (NIME-02)*, 37-42.
- Hayward, V. & Maclean, K. E. (2007). Do it yourself haptics: part I. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 88-104.
- Jones. L. A. & Sarter, N. B. (2008). Tactile displays: guidance for their design and applications, *Human Factors*, 50(1), 90-111.
- Karam, M., Russo, F., Branje, C., Price, E., & Fels, D. L. (2008). Towards a model human cochlea: sensory substitution for cross-modal audio-tactile displays, *Graphics Interface Conference*, 267-274.
- Kheddar, A., Drif, A., & Mercier, B. Le. (2004). A multi-level haptic rendering concept. *Proc. of EuroHaptics*, 147-154.
- Kim, S. M., Cheong, J., Kim, W. K., Park, Y. K., & Kang, D. I. (2011b). Audio tactile display system using vibro-tactile speakers (스피커 진동을 활용한 유사 청각 재현 시스템), *Proceeding of the Korean Society of Precision Engineering Spring Conference*, 971-972.
- Kwak, H. K., Kim, W. K., Cheong, J., Park, Y. K., Kang, D. I., & Koo, M. M. (2011a). Feasibility study on audio-tactile display via spectral modulation (스펙트럼 변조를 이용한 청각 정보의 촉감 재현 가능성 연구), *Journal of the Korean Society for*

Precision Engineering, 한국정밀공학회지, 28(5), 1-10.

Marshall, M. G. & Wanderley, M. M. (2006). Vibrotactile feedback in digital musical instruments, *Proc. of int'l conf. on new interfaces for musical expression(NIME06)*, 226-229.

Nanayakkara, S., Taylor, E., WSyse, L., & Ong, S. H. (2009). An enhanced musical experience for the deaf: design and evaluation of a music display and a haptic chair, *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems*, 337-346.

Reed, C. M. & Delhorne, L. A. (2003). The reception of environmental sounds through wearable tactual aids, *Journal of Ear and Hearing*, 24(6), 528-538.

Ternes, T. & MacLean, K. E. (2008). Designing large sets of haptic icons with rhythm, *Haptics: Perception, Devices and Scenarios*, 5024, 199-208.

Yang, G. H. & Kwon, D. S., (2008). KAT II: tactile display mouse for providing tactile and thermal feedback, *Advanced Robotics*, 22(8), 851-865.

원고접수: 2012.02.06

수정접수: 2012.08.22

게재확정: 2012.11.09