JESK J Ergon Soc Korea 2020; 39(6): 561-572
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2020.39.6.561
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Multi-sensing Vibration Interface: Its Effects on UX for Wearable Device

Sangyoon Jeong[1], Youngjae Im[2], Sungjoon Park[3], Eui S. Jung[1]

[1]Korea University, Department of Industrial Management Engineering, Seoul, 02841
[2]Dong-Eui University, Division of Design Engineering, Busan, 47340
[3]Namseoul University, Department of Industrial Management Engineering, Cheonan, 31020

다중센싱 진동 인터페이스: 웨어러블 기기의 UX에 미치는 영향을 중심으로

정상윤[1], 임영재[2], 박성준[3], 정의승[1]

[1]고려대학교 산업경영공학과
[2]동의대학교 디자인공학부
[3]남서울대학교 산업경영공학과

Corresponding Author
Youngjae Im
Dong-Eui University, Division of Design Engineering, Busan, 47340
Email : ergoim@deu.ac.kr

Received : October 15, 2020
Revised : October 18, 2020
Accepted : October 19, 2020

Copyright@2020 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: Based on the two points threshold of vibration stimulation, this paper determines the vibration stimulation type and design variables of the Multi-sensing Vibration Interface. and performs the verification of whether it is compatible with the actual cognitive direction when directional information is provided to the wrist using Multi-sensing wearable device designed on the basis of these results.

Background: Most of the dangerous situations around us are accompanied by noise. However, pedestrians who are unable to use their hearing, such as hearing-impaired and distracted pedestrians, are unable to recognize latent danger with being exposed to major accidents. Therefore, there is a need for an intuitive and effective way to provide the direction of hazardous situations accompanied by noise to those who cannot use hearing.

Method: This paper consists of two experiments. In the first experiment, through the two-point threshold experiment of the vibration stimulation, the efficient arrangement of vibration stimulation of the multi-sensing wearable device and the type of providing the vibration stimulation were derived. In the second experiment, when direction information was provided to the user's wrist through the Multi-sensing Vibration Interface, it was investigated whether there is a difference in direction recognition according to the user's posture and the vibration providing method. The experimental apparatus produced a bracelet-type wearable experimental device using Arduino UNO and 3D printer output, and conducted the experiment. As the dependent variables, the error rate as a quantitative index and the preference (7-point scale) as a qualitative index were collected.

Results: In the first experiment, the displacement and time interval between vibration stimuli functioned as main factors that influence two points threshold. The results of the second experiment showed a significant difference between the error rate and preference, depending on the user's Posture and type of vibration stimulation, but there were no differences in gender, age or group of subjects.

Conclusion: It has been confirmed that users can recognize the direction information

of risk factors provided through the multi-sensing wearable interface in compatibility with the actual direction.

Application: The results of this study are expected to be the basis for determining the design variables of the multi-sensing vibration interface and developing wearable devices that direct the direction.

Keywords: Wearable device, Multi-sensing, Vibrotactile feedback, Two points threshold, Direction recognition

1. Introduction

우리는 일상생활 속 다양한 소리와 상호작용하며 살아간다. 폭발, 자동차 경적, 사이렌, 마찰음, 외침과 같이 매우 긴박한 상황이 발생하면 통상적으로 소음이 발생하고 그렇지 않은 위험 상황이라 하더라도 사이렌, 경보 설비, 라디오, 안내방송 및 고함과 같은 경고음을 이용하여 주변에 알리게 된다(Son and Yi, 2018). 이러한 소리 형태의 위험 발생 시 비장애인은 소리가 난 방향을 돌아보며 해당 소음의 정체를 파악하고 위험으로부터 대처가 가능하다. 하지만 청각장애인의 경우 일상생활 속 크고 작은 경고음을 비롯하여 자동차 경적, 외침 등 본인을 타깃으로 하는 소리마저 듣지 못하기 때문에 일상생활에서 이에 반응하지 못해 위험상황에 무방비하게 노출될 가능성이 크다. 이러한 현상은 청각장애인 뿐만 아니라 스마트폰과 노이즈 캔슬링 이어폰, 미디어 콘텐츠의 급속화된 공급으로 사회적 장애가 되어버린 주의분산 보행자의 경우에도 동일하게 적용된다(Kang et al., 2016).

최근 스마트폰과 웨어러블 기기 등과 같은 모바일 기기에 햅틱 피드백을 이용하여 직관적이고 사실적인 정보 전달을 위한 장치와 사용자 상호작용에 관련된 연구들이 활발히 진행되고 있다(Hoggan et al., 2008). 또한, 촉각을 통한 상호작용은 정보와 에너지를 양 방향으로 주고받기 때문에 복잡하고 민감한 작업들을 감각적으로 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Ryu, 2007). 이러한 이유에서 앞서 제기한 청각장애인과 주의분산 보행자들이 처할 수 있는 위험을 대비하기 위해 햅틱 기술 기반의 많은 연구들과 제품들이 고안되어 왔으나, 일반적으로 오직 하나의 진동 모듈만이 포함된 모바일 기기이거나 시각 피드백을 메인 정보로 제공하는 방식으로 진행되어 왔다.

하지만 하나의 진동 모듈만으로는 정보량의 증가를 위해 파형의 시간적인 변화를 이용하는 방법 외에 다른 방법을 적용하기 어려울 뿐만 아니라(Seo and Choi, 2011) 사람은 진동의 시간적 변화에 대한 인지능력이 뛰어나지 못하기 때문에(Verrillo and Gescheider, 1992) 다양한 정보 전달에 한계가 있다. 또한, 이러한 방식은 사용자가 자극을 정보로 전환하는 방법을 학습하도록 요구하기 때문에 훈련을 필요로 하며 직관적이지 못해 위험 상황에 적합하지 않다. 또한, 시각 피드백을 이용하여 위험상황 정보를 제공하는 방식의 문제점으로는 시각 감각은 자원 할당의 경쟁에서 큰 할당을 차지하기 때문에 또 다른 주의분산을 일으키게 되는 문제가 있다는 것이다(Wickens, 2008). 두 가지 방식 모두 무엇보다 방향 정보를 직관적으로 알 수 없어 위험 상황에 보다 신속하게 대응하기 어렵다는 한계가 존재한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 일상에서 발생하는 위험 소리의 방향을 인식하여 외부 소음과 단절된 청각장애인과 주의분산 보행자에게 위험상황의 발생 방향 정보를 직관적으로 제공하기 위한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 인체의 촉각 자극을 분별 가능한 능력의 정도를 판단하기 위한 수치인 이점 변별력(Two points Threshold) 실험을 통해 진동 자극의 경우에서 가장 적합한 진동 자극 간의 간격과 개수를 결정하고 이를 통해 결정된 설계 재원으로 제작된 손목 착용형 다중 자극 웨어러블 디바이스(Multi-sensing wearable device)를 통해 손목에 제공된 방향 정보가 실제 인지 상의 방향과 양립 되는지에 대한 검증을 실시하고자 한다.

2. First Test: Two-point threshold of Vibration Modality

먼저 Multi-sensing wearable device의 효율성 있는 진동 자극 배치를 알아내기 위하여 진동 자극 Two points Threshold 실험을 진행하였다. Two points Threshold 실험은 인체가 촉각 자극을 분별할 수 있는 거리를 수치로 판단할 수 있는 실험이다(Lederman and Klatzky, 2009). 본 실험의 목적은 인식이 뚜렷하며 직관적으로 인식되는 진동 자극 이점 변별역치 값을 도출하는데 있다.

2.1 Method

2.1.1 Participants

본 진동 자극 Two points threshold 실험에 참여한 피실험자는 체성 감각에 문제가 없는 총 20명을 대상으로 하였다. 연령 구분으로는 실험 참여자는 '20~30대'를 저 연령(평균=26.6, 표준편차=3.60), '40~50대'를 고 연령(평균=51.9, 표준편차=4.65)으로 분류했다. 실험 참여자는 저 연령이 10명, 고 연령이 10명이었고, 성별로는 '남자'가 10명, '여자'가 10명으로 구성되었다. 실험 참여자들은 실험 전 체성 감각의 이상이 있는 피실험자를 스크린 하기 위한 검증 과정을 거쳤다.

2.1.2 Apparatus

본 실험에 사용된 진동 자극 제공을 위한 진동모터는 작고 가벼우며 비교적 빠른 응답 성능을 가지고 있어 모바일 기기에서 주로 사용되는 Jinlong Machinery & Electronic 사의 보이스 코일 타입 Linear Resonant Actuators (LRA, G0832012)를 사용하였다. 두 개의 LRA를 3D 프린터 출력물을 이용하여 만든 팔찌 형태의 웨어러블 디바이스 모형의 안쪽 면에 부착하여 10mm 간격으로 거리를 조절할 수 있도록 설계하였다. 두 진동 모듈은 Arduino UNO로 제작한 진동 제어 회로에 연결하였고, 이 회로는 PC에 연결하여 C++ 언어를 기반으로 구축된 'Arduino 1.8.13' 프로그램을 이용해 진동을 제어하였다(Figure 1).

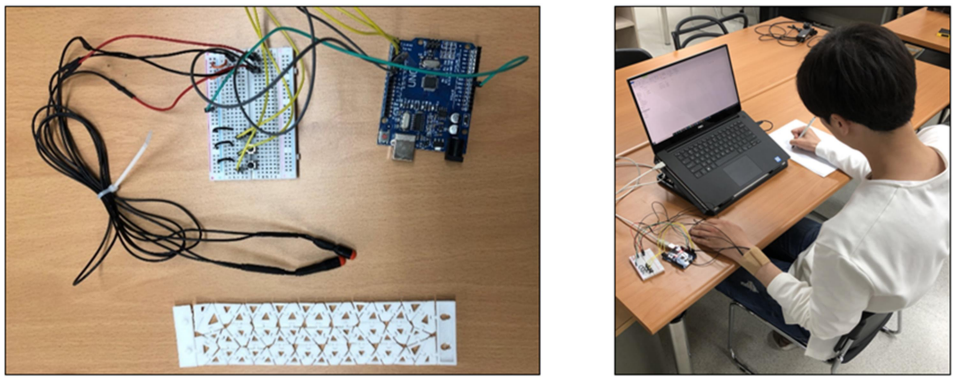


Figure 1. Experimental apparatus

2.1.3 Experimental design

본 실험에서는 진동 자극의 이점 식별에 영향을 주는 요인을 파악하기 위하여, 독립변수에 해당하는 진동 모듈 간의 간격(15mm, 25mm, 35mm, 45mm)과 진동 모듈 간 자극 시차(0s, 0.05s, 0.1s) 수준의 조합을 통해 진동 자극을 제공하였다. 종속변수로는 에러율(Error rate), 선호도(Preference)를 측정하였다. 에러율은 제공된 진동 자극이 두 개의 자극임을 인식할 수 있는지에 대하여 평가하고 피실험자가 정보를 틀리게 인지하는 경우를 정보인지 에러로 정의하여 비율(Error rate, %)로 산출하였다. 선호도는 제공받은 자극이 두 자극이었음을 인식함에 있어 얼마나 직관적이고 명확했는지에 대하여 리커트 7점 척도로 평가하였다.

2.1.4 Procedure

본 실험은 준비단계, 평가단계 순으로 진행되었다. 준비단계에서는 실험 참가자들에게 연구 목적과 절차에 대하여 충분히 설명을 한 후 피실험자들의 체성 감각 이상 유무와 평가를 위한 평가 수준에 문제가 없는지 파악하기 위해 압점 자극 Two points threshold 사전 검사(Pretest)를 실시하였다. 이후 평가단계에서 피실험자들은 제시 받은 진동 자극이 몇 개였는지에 대한 답변을 요청 받았고, 답변한

개수를 인식함에 있어 얼마나 직관적으로 인식이 되었는지에 대하여 7점 리커트 척도로 평가하였다. 실험 순서는 외생 변수의 통제를 위하여 각 피실험자마다 독립변수 수준 조합(자극 간 간격(4) × 자극 간 시차(3))에 따른 12가지의 조합으로 4회 반복하여 총 48회의 자극 제시 순서를 상쇄 균형화(Counterbalancing)하여 수행하였다. 또한, 반복 수행에 따른 피로도 제거를 위해 12회마다 휴식시간을 10분씩 부여하였다.

2.2 Result

2.2.1 Error rate

에러율에 대한 분산분석(ANOVA) 결과, Table 1과 같이 유의수준 0.05에서 거리, 시차, 거리*시차 교호작용 모두 통계적으로 유의미한 차이가 있었음을 알 수 있다. 성별, 연령 간 차이는 독립변수의 전체 수준에서 유의미한 차이를 보이지 않았다.

Table 1. ANOVA results for error rate

Source	Type III SS	Df	MS	*F*	*p*-value
Distance gap	3.113	3	1.038	14.365	0.000**
Time interval	12.775	2	6.388	57.308	0.000**
Distance gap * Time interval	4.925	6	0.821	9.809	0.000**
Age	0.704	1	0.704	2.726	0.118
Sex	0.204	1	0.204	0.790	0.387

**$p < 0.01$

즉, 진동 자극 간 거리가 멀어질수록, 자극 간 시차가 길어질수록 제시된 자극이 두 개의 자극이었음을 더 쉽게 인식할 수 있었다. 에러율에 있어 성별과 연령은 통계적으로 유의미하지 않았으나 데이터 확인 결과 자극 간 짧은 거리(25mm 이하)에서 연령 간 차이가 두드러지는 것으로 확인되어 평균 간 차이분석을 위한 사후분석 결과 통계적으로 유의미한 차이를 나타냈다(p-value = 0.042). 즉, 나이가 많은 사람일수록 이점 식별 역치 값이 더 작아 짧은 거리에서는 인식률이 현저히 떨어짐을 알 수 있다(Figure 2).

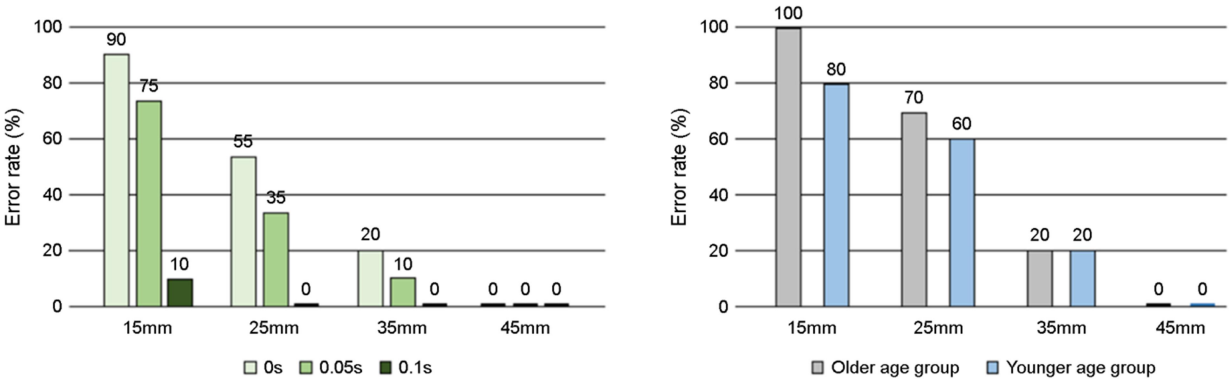


Figure 2. Error rate by displacement and time interval between vibration stimuli (left) / Error rate by displacement between vibration stimuli and age (right)

2.2.2 Preference

선호도에 대한 분산분석(ANOVA) 결과, Table 2와 같이 유의수준 0.05에서 거리, 시차, 거리*시차 교호작용 모두 통계적으로 유의미한 차이가 있었음을 알 수 있었으며, 성별, 연령에 대한 유의미한 차이는 존재하지 않았다.

Table 2. ANOVA results for preference

Source	Type III SS	Df	MS	*F*	*p*-value
Distance gap	469.833	3	156.611	370.312	0.000**
Time interval	316.575	2	158.288	173.863	0.000**
Distance gap * Time interval	143.592	6	23.932	74.112	0.000**
Age	0.267	1	0.267	0.184	0.674
Sex	2.400	1	1.067	0.737	0.403

**$p < 0.01$

즉, 두 진동 자극 간 거리가 멀어질수록, 자극 간 시차가 길어질수록 제시된 자극이 두 개의 자극이었음을 더 직관적으로 쉽게 인식할 수 있었음을 의미한다. 시차가 가장 긴 0.1s에서 모든 거리에서 두 자극을 쉽게 인식할 수 있었으며, 35mm 이상의 거리에서는 시차가 없더라도(0s) 인식이 쉽고 용이했음을 알 수 있다(Figure 3).

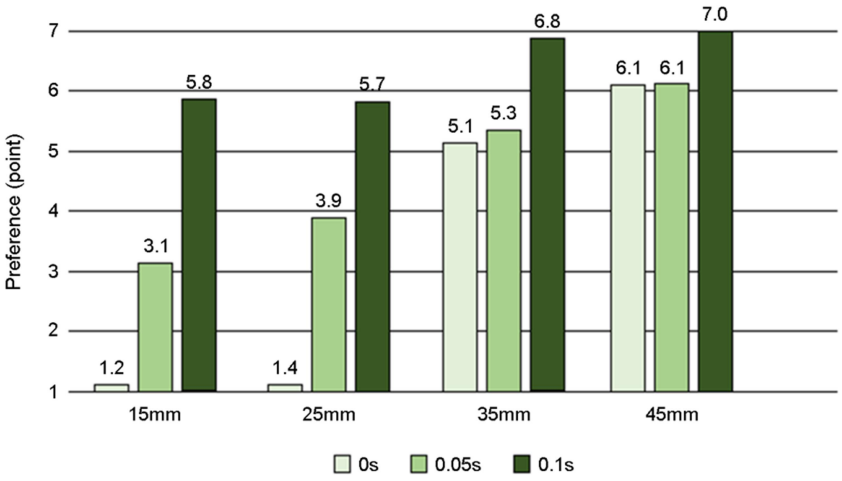


Figure 3. Reference score by displacement and time interval between vibration stimuli

실험에 참여한 피실험자와의 사후 인터뷰 결과 두 자극이 동시에 주어졌을 때, 두 자극이 역치 값보다 가까워 하나의 자극으로만 인식되었다면 A와 B 중 마치 하나만 진동한 것처럼 인식되고, 두 자극을 모두 인식했다면 진동이 울린 부위는 두 자극이 이어지는 전체 영역인 C 영역으로 마치 면(面)처럼 인식 되었음을 알 수 있다. 이러한 현상은 촉각적 착각 현상인 Phantom sensation이라 불리는 현상인데 피부의 인접한 두 지점에 동시에 자극했을 때 두 자극을 구분하여 느끼지 않고 중간 지점에서 하나로 느끼는 현상을 말한다(Alles, 1970). 본 연구에서는 전자의 경우를 점(點) 자극, 후자는 면(面) 자극이라 명칭 구분 지었다. 이는 4개의 진동 자극만으로도 두 개의 진동 자극을 동시에 진동시켜 8방위를 모두 제시할 수 있음을 의미한다. 또, 진동 자극 간의 거리를 좁히고 시차를 주게 되

면 두 개의 자극이 동시에 인식되기는 하지만 자극 간 순서 서열이 발생하기 때문에 면 자극으로 인식되지 않았다. 따라서 방향을 지시하는 인터페이스에서 시차를 줌으로써 두 자극을 인식시키는 것은 적절하지 않다고 판단되며 자극 간 거리를 멀게 배치하는 방식이 더 적절할 것으로 보인다.

분석 결과에 따르면 35mm 이상의 거리부터 20% 이하의 낮은 에러율을 보이며 연령 간 유의미한 차이도 없어진다. 또, 시차가 존재하지 않더라도 쉽게 동시 자극으로 인식되어 높은 선호도를 보이기 때문에 동시 자극을 통해 4방위뿐만 아니라 세분화된 8방위를 모두 지시할 수 있다.

3. Second Test: Direction Recognition

1차 실험에서 진동 자극 이점 변별력(Two points sensitivity) 실험을 기반으로 도출된 Multi-sensing wearable device의 진동 자극 간의 간격(35mm ≤)과 진동 자극 방식(점(點) 자극, 면(面) 자극)을 결정하였다. 2차 실험에서는 사용자의 손목이 향하는 방향에 실제 2차원 방향 정보에 대한 진동 자극을 제공하였을 때 사용자(보행자)가 취하고 있는 자세와 진동 자극 방식에 따른 방향 인지 실험을 진행하였다.

3.1 Method

3.1.1 Participants

본 Direction Recognition 평가에 참여한 피실험자는 1차 실험과 동일한 체성 감각에 문제가 없는 총 20명을 대상으로 하였다. 본 실험에서 타 감각 기관(청각)의 사용으로 인한 주의분산이 촉각과 방향인지에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 피실험자 그룹을 둘로 나누어 귀마개와 헤드셋으로 청각 기능을 상실시켜 청각장애인을 가정한 실험 군과 이어폰을 통해 음악을 듣도록 통제한 주의분산 보행자를 가정한 실험 군으로 각기 구성하여 실험을 진행하였다.

3.1.2 Apparatus

실험 장비는 1차 실험에서 사용한 웨어러블 디바이스 모형을 기반으로 8개의 진동 모듈을 손목 중심을 기준으로 8등분 하여 서로 대칭되도록 배치하여 제작하였다. 이때, 동시 자극에 해당하는 면 자극을 고려하여 4방위(N W S E)에 해당되는 진동 모듈들은 서로 간의

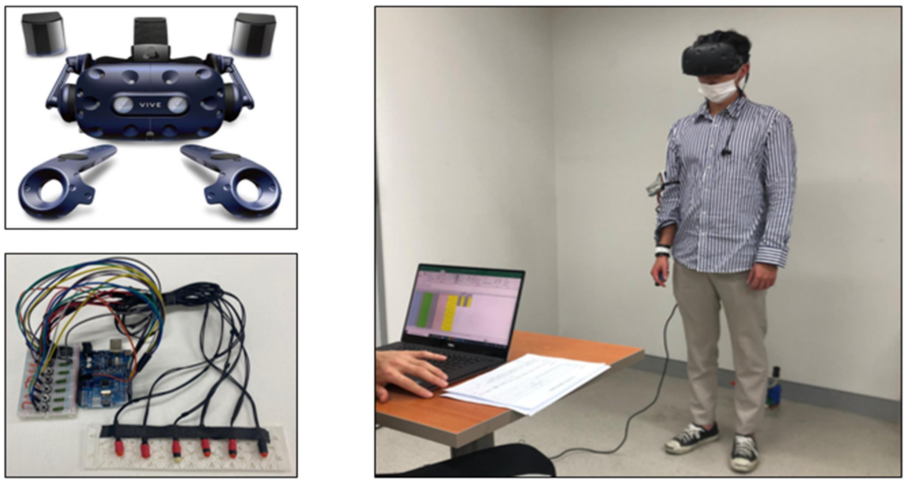


Figure 4. Experimental apparatus

간격이 35mm 이상 이격 되도록 배치하였다. 8개의 진동 모듈은 각각 혹은 동시에 제어될 수 있도록 구현되었으며 방법은 1차 실험에서 서술한 것과 같다. 추가적으로 피실험자들이 실험 진행 시 실제 거리에서의 공간감 및 방향 감각 형성에 도움을 주기 위해 HTC 사의 Vive HMD VR Device를 사용하여 공간 감각 형성이 용이한 환경을 제공한 후 실험을 진행하였다(Figure 4).

3.1.3 Experimental design

웨어러블 디바이스로부터 제공된 진동 형태의 방향 정보 인식에 영향을 미치는 주요 실험 변수로 보행자가 취하고 있는 자세를 선정하였다. Table 3와 같이 보행자들은 보행 시 다양한 자세를 취하게 되며 각 자세에 따라 제공되는 진동 모듈의 위치 또한 가변적이어야 한다. 따라서 일상에서 나타나는 보행자 자세 중 손목의 방향이 크게 달라지는 대표적인 자세 세 가지를 선정하였다.

Table 3. Pedestrian representative posture

Posture		Wrist direction	Discription
Posture 1 (Normal)			Normal walking posture. The posture in which the direction corresponding to the radial side of the wrist faces forward with the arm comfortably lowered
Posture 2 (Power walking)			A posture when a pedestrian walk while talking on the phone or holding an umbrella. The posture in which the direction corresponding to the Ulnar side of the wrist is facing forward with the arm raised.
Posture 3 (Hugging)			A posture taken when a pedestrian walk holding a child or looking at a smartphone. The posture in which the palm of the hand is facing the body and the Carpal (Dorsal) of the wrist is facing forward.

1차 실험의 결과로부터 두 개의 자극이 일정 거리 이상 이격 되어 있어 하나로 인식되지 않고 두 자극으로 인식이 될 시에 해당 자극은 각기 다른 점 자극이 아닌 면 자극으로 인식됨을 밝혔다. 따라서 방향을 지시하는 방식에 있어 진동 모듈 하나만을 진동시켜 점 자극을 제공하는 것과 두 진동 모듈을 동시에 진동시켜 면 자극을 제공하는 것 중 어떠한 방식이 방향 인식에 더 적합한지 알아보기 위해 진동 제공 방식 두 가지(점(點) 자극, 면(面) 자극)를 또 다른 변수로 선정하였다.

종속변수로는 에러율과 선호도를 측정하였다. 에러율은 피실험자가 지시한 방향이 실제 방향 정보와 다르게 인지한 경우를 비율(Error rate, %)로 산출하였다. 선호도는 제공받은 방향 정보가 실제 방향을 인지하는 데 있어 얼마나 직관적으로 양립되었는지에 대하여 리커트 7점 척도로 평가하였다.

3.1.4 Procedure

실험 절차는 실험 참가자들에게 실험 목적과 주요 과업에 대하여 충분히 설명 후 진행되었다. 실험 참가자는 앞서 언급한 8방위(N,

NW, W, SW, S, SE, E, NE)를 지칭하는 진동 자극을 보행자가 취하는 자세(3)와 진동 방식(2)의 조합으로 제공받은 후 본인이 생각되는 방향을 응시하고 손으로 지칭하는 과업 수행을 하나의 Trial로 하고, 이를 4회 반복하여 한 명 당 24회의 trial로 상쇄 균형화(Counter balancing)하여 진행되었다. 진동 자극은 각 피실험자의 주사용 손의 손목에 제공되었으며 본 실험이 진행되기 전 피실험자들에게 주어질 진동 자극에 익숙해지게 하기 위하여 각 진동 자극을 무작위로 2회 가량 느낄 수 있도록 하였고 반복 수행에 따른 피로도 제거를 위해 12회마다 휴식시간을 10분씩 부여하였다.

실제 상황을 가정하고 방향 인지에 대한 Reference point를 제공하고자 본 실험에서는 VR 기기를 이용하여 방향 감각을 느낄 수 있는 환경을 제공하였다. 피실험자들은 Figure 5와 같은 공간 환경을 제공받았으며 Figure 5의 정 중앙에 위치한 지평선 끝 도로 중앙이 북쪽(North) 방향으로 제시되었다.



Figure 5. Bearing mark (left) / Experimental environment (right)

3.2 Result

3.2.1 Error rate

에러율에 대한 분산분석(ANOVA) 결과, Table 4와 같이 유의수준 0.05에서 진동 제공 방식, 자세 변수 모두 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 요인 간 교호작용은 방식과 자세 사이의 교호작용이 유의하였다. 성별, 연령, 그룹 간의 유의한 차이는 존재하지 않았다.

Table 4. ANOVA results for error rate

Source	Type III SS	Df	MS	*F*	*p*-value
Vibration type	0.221	1	0.221	422.73	0.000**
Posture	0.747	2	0.373	577.185	0.000**
Vibration type * Posture	0.141	2	0.071	162.391	0.000**
Age	0.001	1	0.001	2.5	0.189
Sex	0.001	1	0.001	1.306	0.317
Group	0.000	1	0.000	0.594	0.484

**$p < 0.01$

Figure 6에서 보는 바와 같이 자세 1과 자세 2의 에러율 차이는 근소한 차이를 보였으나 자세 3의 경우 다른 자세보다 높은 에러율을

보였다. 또, 점 자극으로 진동 자극을 제공할 때 보다 면 자극으로 진동 자극을 제공하였을 때 자세 1, 자세 2의 경우 더 낮은 에러율을 보였으나 자세 3에서는 자극의 방식에 상관없이 비교적 높은 에러율을 보였다.

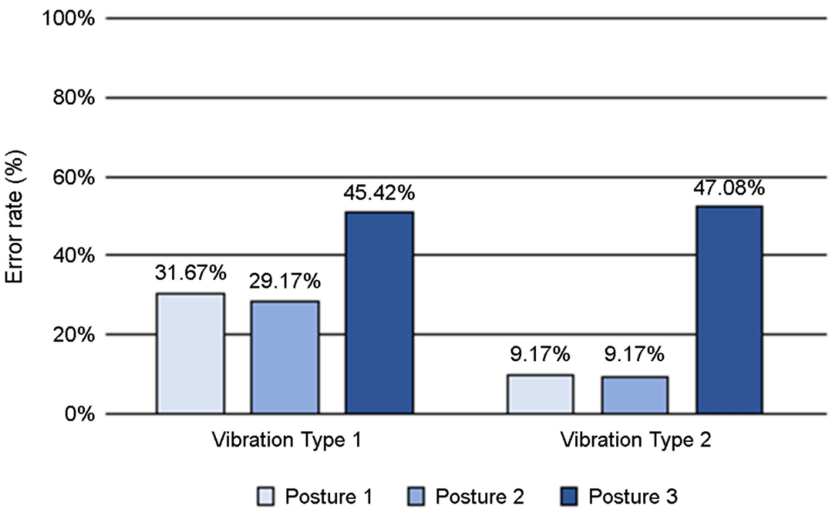


Figure 6. Error rate by vibration type and posture

3.2.2 Preference

선호도에 대한 분산분석(ANOVA) 결과, Table 5와 같이 유의수준 0.05에서 진동 방식, 자세 변수 모두 측정한 종합선호 점수에 대해 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 요인 간 교호 작용은 진동 방식과 자세 사이의 교호작용이 유의하였다. 성별, 연령, 그룹 간의 유의한 차이는 존재하지 않았다.

Table 5. ANOVA results for preference

Source	Type III SS	Df	MS	*F*	*p*-value
Vibration type	3.469	1	3.469	61.922	0.000**
Posture	38.862	2	19.431	479.646	0.000**
Vibration type * Posture	4.752	2	2.376	43.388	0.000**
Age	0.019	1	0.019	4.14	0.674
Sex	0.067	1	0.067	1.187	0.403
Group	0.017	1	0.017	0.672	0.458

**$p < 0.01$

Figure 7에서 보는 바와 같이 같은 진동 자극 방식 내에서 자세 1과 자세 2의 선호도 차이는 없었으나 자세 3의 경우 다른 자세보다 선호도 점수가 낮았다. 또, 자세 1과 자세 2의 경우 진동 자극이 점 자극으로 제공되었을 때 보다 면 자극으로 제공되었을 때 종합 선호도 점수가 높았으나 자세 3의 경우 진동 자극 방식에 상관없이 낮은 선호 점수를 보였다.

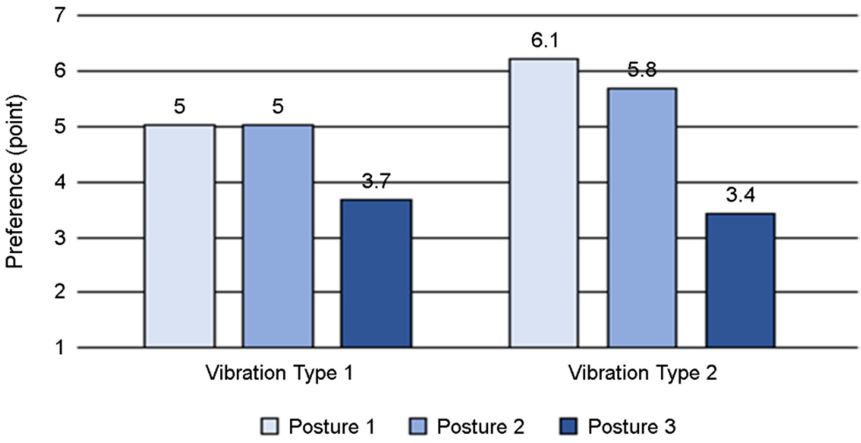


Figure 7. Preference score by vibration type & posture

3.3 Discussion

본 실험의 목적은 1차 실험에서 도출된 결과를 기반으로 결정된 웨어러블 디바이스의 진동 방식과 설계 제원을 토대로 방향 정보를 진동 자극의 형태로 손목에 제공하였을 때 해당 정보를 실제 방향과 양립시킬 수 있는지에 대한 것이다. 이때 사용자가 취하는 자세에 따라 손목의 위치와 방향도 달라지기 때문에 일상에서 흔히 취해지는 보행자 자세 중 손목의 방향이 크게 달라지는 대표적인 자세를 선정하여 자세 별로 유의한 차이가 있는지 정량적 지표인 에러율과 정성적 지표인 종합 선호도 분석을 통해 알아보았다. 실험 결과 사용자에게 제공되는 진동 방식(점 자극, 면 자극)과 보행 자세에 따른 유의미한 차이가 발생했다. 이러한 결과를 통해 위험 방향을 지시하는 손목 착용형 Multi-sensing wearable device의 직관적이고 사용자 선호적인 방향 정보 제시 방식과 한계점을 도출해 냈다.

보행자가 취하고 있는 자세에 있어서 자세 3은 자세 1, 2에 비해 높은 에러율과 낮은 선호를 보인 것으로 나타났다. 1번과 2번 자세의 경우 손목의 Radius와 Ulnar 측이 전방 혹은 후방(N, S)을 향하고 있고 손등(Carpal)은 측면을 향한 형태이기 때문에 2차원 정보에 잘 부합이 되었지만, 자세 3의 경우 손목의 방향이 틀어지면서 Radius와 Ulnar 측이 3차원 방향인 위와 아래를 향하기 때문에 2차원 방향 정보와 양립이 되지 않은 것으로 보인다. 따라서, 자세 3과 같이 손목이 틀어진 자세에서 보다 효과적으로 방향 정보를 제공할 수 있는 추후 연구가 필요할 것으로 보인다.

진동 자극 방식에 있어서 점 자극으로 방향 정보를 제공하였을 때 기존 4방위(N, W, S, E)의 경우 평균 10% 미만의 낮은 에러율을 보였으나 8방위를 지시하기 위하여 더 세분화되어 추가된 4방위(NW, SW, SE, NE)의 경우 평균 59.17%의 높은 에러율과 평균 2.9의 낮은 선호도 점수를 보였다. 대표적인 예로 대부분의 피실험자들은 점 자극으로 북서(NW) 방향을 제공하였을 때 제시 받은 자극이 북(N), 북서(NW), 서(W) 방향 중 어떤 방향인지 구별해내지 못했다. 이는 자극을 구별하기 위한 역치 보다 작은 거리를 두고 진동 모듈이 배치되어 있어 각기 다른 위치의 자극을 구별해내지 못했기 때문으로 보인다. 반면 면 자극을 통해 해당 방향(NW, SW, SE, NE)을 제시하였을 때는 평균 9.17%의 낮은 에러율과 평균 5.5의 높은 선호도 점수로 기존 4방위를 점 자극으로 제시하였을 때의 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 기존 4방위의 방향 정보를 제시할 때에는 점 자극 혹은 면 자극 모두 수용이 가능하지만 8방위를 지시하기 위하여 더 세분화되어 추가된 4방위(NW, SW, SE, NE)의 방향 정보를 제시할 때에는 점 자극이 아닌 면 자극을 통해 제시하는 것이 적합할 것으로 보인다.

또한 실험 군 그룹(청각 손실 그룹, 주의분산 그룹) 간의 에러율과 선호도 모두 유의미한 차이가 나타나지 않았는데 이는 촉각 감각 채널이 아닌 타 감각 채널의 개입은 진동 자극을 통한 방향 인식에 영향을 미치지 않는다는 것을 뜻한다. 이는 촉각 채널의 반응속도가 타 감각 채널보다 빠르기 때문이다. 이러한 결과는 시각, 청각, 촉각 채널의 반응속도를 비교한 선행연구의 결과와 동일하다(Riener and Ferscha, 2008).

4. Conclusion

먼저 진동 자극 Two points Threshold 실험을 통해 Multi-sensing wearable device의 효율성 있는 진동 자극의 배치와 진동 자극 제공 방식을 도출했다. 또한 사용자가 Multi-sensing wearable device를 통해 제공된 위험인자의 방향 정보를 실제 방향과 양립하여 인식할 수 있음을 확인하였다.

진동 자극의 이점 변별력을 높이기 위해서는 자극 간 거리를 멀게 하거나 자극 간 시차를 늘리는 방식으로 가능했다. 또한, 두 자극이 동시에 인식이 되었다면 해당 자극은 두 자극이 이어지는 영역의 면 자극으로 인식됨을 밝혔다.

손목에 진동 자극을 통해 방향 정보를 제공받았을 때 기존 4방위(N, W, S, E)의 경우 진동 제공 방식(점 자극, 면 자극) 간의 차이가 없었으나 8방위를 지시하기 위하여 더 세분화되어 추가된 4방위(NW, SW, SE, NE)의 경우 점 자극이 면 자극보다 높은 에러율과 낮은 사용자 선호도를 보였다. 보행자가 취하는 자세의 경우 1, 2번 자세의 차이는 없었으나 손목이 틀어지는 자세인 3번 자세의 경우 특정 방위(N, S)를 제외한 모든 방향에서 높은 에러율과 낮은 사용자 선호도를 보였다.

본 연구는 앞서 제시한 결과를 통해서 청각장애인, 주의분산 보행자와 같이 청각을 통해 소음을 동반하는 위험에 대비할 수 없는 보행자에게 위험 방향 정보를 제공할 수 있으며 위험 상황이 아니더라도 Multi-sensing wearable device를 이용해서 촉각 감각을 통해 방향 정보를 직관적으로 제공할 수 있음을 밝혔다는 점에서 큰 의의를 갖는다.

References

Alles, D.S., Information transmission by phantom sensations, *IEEE Transactions on Man-machine Systems*, 11(1), 85-91, 1970.

Hoggan, E., Brewster, S.A. and Johnston, J., Investigating the effectiveness of tactile feedback for mobile touchscreens. *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1573-1582), 2008.

Kang, S., Lee, S. and Shim, J., A Study on Patterns and Distraction of Smart Devices Usages While Walking. *Transportation Research*, 23(2), 27-39, 2016.

Lederman, S.J. and Klatzky, R.L., Haptic perception: A tutorial. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(7), 1439-1459, 2009.

Riener, A. and Ferscha, A., Simulation Driven Experiment Control in Driver Assistance Assessment. In *2008 12th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications* (pp. 217-226). IEEE, 2008.

Ryu, J.H., Core element technology and application of tactile technology. *Journal of the KSME*, 47(2), 44-49, 2007.

Seo, J.M. and Choi, S.M., Tactile Flow: 2-D Directional Information Transfer on Mobile Device. *Korean Institute of Next Generation Computing*, 7(5), 35-44, 2011.

Son, J. and Yi, E., A Study on a Warning Pictogram System for the Hearing-impaired - Focusing on Disaster and Safety Accident Situations, *Journal of Korean Society of Design Science, Archives of Design Research*, 31(3), 151-163, 2018.

Verrillo, R.T. and Gescheider, G.A., Perception via the sense of touch. *Tactile Aids for the Hearing Impaired*, 1-36, 1992.

Wickens, C.D., Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449-455, 2008.

Author listings

Sangyoon Jeong: smty9959@korea.ac.kr
Highest degree: BS, Department of Industrial Engineering, Cheongju University
Position title: MS Candidate, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Product Development, UX Design

Youngjae Im: ergoim@deu.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial and Management Engineering, Korea University
Position title: Assistant Professor, Division of Design Engineering, Dong-Eui University
Areas of interest: Human-computer Interaction, Product Development, Usability Evaluation

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

Eui S. Jung: ejung@korea.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Product development, Automotive ergonomics, Affection design