JESK J Ergon Soc Korea 2022; 41(6): 531-545
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2022.41.6.531
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Design of Haptic Feedback Pattern and Layout for Bracelet-type Wearable Devices

Minyoung Cho, Eui Seung Jung

Korea University, Department of Industrial & Management Engineering, Seoul, 02841

팔찌 형태 웨어러블 디바이스의 진동 패턴 및 레이아웃 설계

조민영, 정의승

고려대학교 산업경영공학과

Corresponding Author
Eui Seung Jung
Korea University, Department of Industrial & Management Engineering, Seoul, 02841
Email : ejung@korea.ac.kr

Received : October 27, 2022
Revised : November 13, 2022
Accepted : November 29, 2022

Copyright@2022 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: This study proposes a vibration pattern that provides optimal directional information, 'front, back, left, and right' through a double-line vibration (haptic) feedback interface for attention-dispersed pedestrians.

Background: There have been few devices that provide directional information to people with visual and hearing impairments while walking, while traffic accidents are on the rise due to the increase in the use of smartphones. Additional information such as touch is getting more desired because visual and auditory information to be provided is often limited due to crowdy and noisy surroundings. A wearable device worn in the part of the body, for example, the wrist, can easily provide such intuitive directional information through vibration or haptic feedback in various patterns.

Method: The research consists of two experiments. In the first experiment, we attempted to derive the optimal longitudinal distance between vibrators and inter-vibration time between vibrations by placing one additional circular line to the vibration (tactile) feedback interface of the proposed study. In the second experiment, three vibration patterns are defined in light of vibration continuity, area covered, and direction. We then tried to find out if there is any difference in the performance of understanding the directional information between defined vibration patterns and between single-line and double-line vibration interfaces.

Results: As a result of two experiments, the longitudinal distance between vibrators should be at least 40mm and the inter-vibration time should be at least 0.05s. There was no significant difference in the performance of understanding directional information for each of the three vibration patterns. It was, however, confirmed that the performance of the double-line vibration interface was better than that of the single-line vibration interface.

Conclusion: Compared to single-line bracelet-type wearable devices that have been tested in existing studies for vibration interface design, this study investigated a double-line vibration device that added another circular line of vibration interface along the longitudinal axis, first to confirm its adequacy and second to find out an ergonomically optimal design of longitudinal distance between lines and inter-vibration time. In addition, the performance of a double-line vibration interface was confirmed to be better than that of a single-line one through various vibration patterns. Accordingly, a follow-up study is proposed to derive a combination of vibration

patterns that provide optimal direction information in various user postures.

Application: Vibration (haptic) feedback based on the vibration layout and inter-vibration time derived in this study can help the manufacturer design a proper bracelet-type wearable device providing directional information. It can also serve as a navigation interface for providing the direction of walking and the direction information of potentially hazardous objects approaching to the user.

Keywords: Wearable device, Vibration (haptic) feedback interface, Pattern of vibration

1. Introduction

세계 많은 도시에서 보행 친화성에 대한 관심이 증대되고 있다. 산업화를 거치면서 자동차 중심의 도시 개발에서 탈피하여, 보행자의 편리하고 안전한 이동에 대한 관심이 높아지고 있다(Kim and Jun, 2022). 하지만 여전히 교통사고로 매년 약 120만 명이 사망하고, 약 5,000만 명 이상이 상해를 입는다는 연구 결과가 보고되었다(Noh and Yeo, 2021). 우리나라의 경우 교통사고분석 시스템(Traffic Accident Analysis System, TAAS)에 따르면 최근 5년 동안(2017~2021년) 도로 교통사고 수는 평균 20만건을 상회하고 인구 10만 명당 교통사고 사망자 수는 6.7명이며 OECD 평균 수치인 5.2명보다 높은 수치임을 확인할 수 있다. 따라서 보행 안전에 대해 보다 효과적인 조치가 필요한 시점이다(Noh and Yeo, 2021). 보행 시 비 장애인은 소리 및 물체를 인지하여 위험에 신속한 대처가 가능하지만 시각이나 청각에 장애가 있는 경우 위험 상황에 무방비 상태로 노출될 확률이 높다. 이에 시청각 장애인들을 위한 보조기구 및 기술 보급이 연구되고 있지만 여전히 기술적, 환경적인 원인으로 한계점이 존재한다. 시청각 장애인을 위한 보조기구 및 기술 보급 현황을 살펴보면, 청각 장애인 보조기구는 자막수신장치, 보청기, 전화증폭기 등 일상생활의 편의를 제공하기 위한 제품들이 주를 이루고 있으나, 청각 장애인의 시야 밖에서 발생할 수 있는 상황을 감지하고 이를 알려주는 보조기기의 개발은 미미한 현실이다(Kim, 2008). 시각 장애인의 경우 최근 들어 고령화 및 안질환과 같은 사고 등으로 후천적 시각 장애인 수가 증가하고 있으며 이에 시각장애인들을 위한 복지 및 편의 시설물들(신호등에서의 음향신호기, 인도의 점자블록)은 점차 증가하고 있으나 해당 시설물들은 보행 중 청각 정보 제공에 방해가 되는 상황에 놓여질 경우 정확한 정보를 제공받을 수 없으며 최근에는 미관상의 이유로 점자블록도 점차 없애려는 움직임도 있다(Kim et al., 2017). 또한 전통적으로 시각장애인의 보행은 안내견의 도움을 받는 것이 일반적으로 알려져 있지만 해당 방법 또한 사전 교육, 사육 환경, 비용 등 여러 가지 문제로 보편화되지 못하고 있는 실정이다(Sim et al., 2019).

이러한 문제를 해결하기 위해서 Makino et al. (1997)는 시각 장애인들에게 음성으로 안내하여 길을 찾아갈 수 있는 시스템을 개발하였고, Helal et al. (2001)은 사용자의 위치 정보를 통해 안내하는 시스템을 개발하였다. 하지만 해당 시스템들도 마찬가지로 소음이 존재하는 환경에서는 정보 전달에 방해를 제공하는 한계점이 존재한다. 시각장애인의 경우 보행 시 방향 정보를 제공받는 것이 중요하며 이를 보조하기 위해 IT 기술을 접목한 다양한 방법으로 보행지원 기술 및 장치가 개발되고 있으며, 사물인터넷(IoT) 기반의 BLE (Bluetooth Low Energy) 비컨을 이용하여 시각장애인의 보행을 지원하는 표준화 움직임도 관련 기업을 중심으로 진행되고 있다(Kim et al., 2017). 하지만 음향신호기는 통신 반경 거리에 있는 경우 모두 작동하며 일반인에게는 소음 때문에 민원을 제기하는 문제점이 존재한다. 비장애인의 경우 최근 스마트폰 보급으로 인해 보행 중 스마트 기기를 사용하는 보행자 수가 급증하고 있으며, 연구 결과, 보행 중 스마트 기기의 사용은 보행자의 주의를 분산시키고 교통안전에 부정적인 결과를 초래하는 것을 확인하였다. 또한 스마트폰을 사용할 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 시각 및 청각 자극에 대한 신체반응속도가 느리다는 연구가 존재한다(Han, 2017).

이에 시각, 청각 장애인과 주의분산 보행자에게 이동을 보조해주고 물체가 다가오는 정확한 위치 정보('앞', '뒤', '좌', '우')를 제공하기 위해서는 시각과 청각 정보 외에 다른 감각 정보인 진동(햅틱) 정보를 제공할 필요성을 확인하였다. 본 연구에서는 사용자에게 진동 피드백을 제공하며 손목에 착용 가능한 웨어러블 디바이스 형태로 제작하였다. 손목은 신체 부위 중에서 사용자가 물리적으로 시각적으로 접근할 수 있고 전자 기기를 편리하게 착용할 수 있는 신체 부위이다(Oakley et al., 2006). 또한 웨어러블 디바이스는 촉각만으로도 신속하게 정보를 제공할 수 있고 사용자의 자세와 보행에 영향을 최소화 할 수 있다는 장점으로 빠르게 기술 성장이 진행되고 있으며 스마트 워치, 헤드웨어 디스플레이 스마트 피트니스 기기 등이 해당된다. 이러한 웨어러블 기기 형태로 진동 피드백을 제공하는 연구는 활발하게 진행 중이지만 손등과 손가락 영역과 같은 좁은 물리적 범위와 손목의 다양한 자세에서의 방향 정보 제공에는 한계점이 존재하였다(Paneels et al., 2013).

본 연구는 기존 연구에서 제공했던 진동 영역, 진동의 수 그리고 진동 시차 및 패턴을 다양화하여 실험을 진행하였다. 이에 진동 웨어러블 디바이스로 사용자가 물리적인 부담 없이 일상생활 속에서 편하게 착용할 수 있으며 시청각 장애인과 주의분산 보행자에게 신속한 정보를 제공하여 보행 중 안전사고를 예방하며 보행에 보조 역할을 제공하는 것을 목적으로 한다.

본 연구는 2단계 실험으로 진행된다. 먼저 Figure 1에서 보듯이 기존 연구의 진동(햅틱) 피드백 인터페이스에 1행을 추가적으로 배치하여 진동 간 세로 간격과 진동 시차를 도출하는 1차 실험을 진행한다. 이후 진동의 연속성, 면적 범위, 방향 등을 고려하여 3가지로 진동 패턴을 정의하고 각 진동 패턴 별 '앞', '뒤', '좌', '우' 방향 정보에 대하여 기존의 1줄 형태의 진동 인터페이스와 2줄 형태의 진동 인터페이스의 수행도(Performance) 차이를 확인하기 위해 2차 실험을 진행한다.

Figure 1. Haptic feedback interface in bracelet-type wearable devices

2. First Experiment

1줄을 추가하여 2줄 형태의 진동 인터페이스에서 진동 간격 및 시차를 확인하기 위해 1차 실험을 진행하였다. 1차 실험의 목적은 기존의 진동 간 가로 간격 연구 결과에 근거한 수치를 반영하되(Jeong et al., 2020), 동일한 실험 방식으로 진동 줄 간 최적의 세로 간격과 진동 시차를 도출하는데 있다.

2.1 Method

2.1.1 Participant

실험 대상은 남성(15명)과 여성(15명) 30명으로 모집하였고 이들의 연령대는 20~30대 15명, 40~50대 15명으로 구성하여 실험을 진행하였다. 남성 참가자들의 평균 손목 둘레는 165.65mm, 여성 참가자들의 평균 손목 둘레는 146.7mm였고 모두 오른손잡이였으며 연구 참여에 대한 동의를 얻은 후 진행하였다.

2.1.2 Apparatus

실험 도구는 C++ 언어를 기반으로 구축된 'Arduino 1.8.13' 프로그램을 이용하여 진동을 제어하였고 진동 모터 코인(3V, 12000RPM

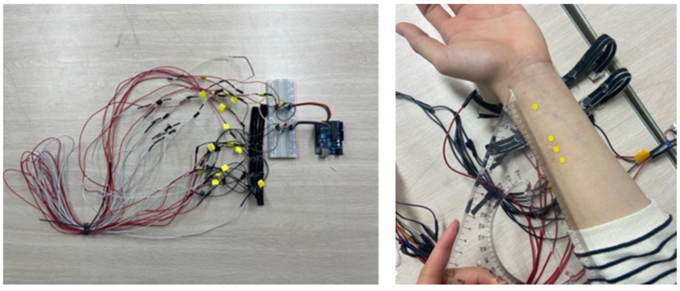

Figure 2. Tactile feedback interface consisting of 8 haptic vibrators

DC, 10mm) 8개로 연결하여 제작하였다. Figure 2에서 보는 바와 같이 2개의 줄로 구성하기 위해 손목 밴드와 같이 탈부착이 가능한 보호대 형태로 2개의 줄을 독립적으로 나누어 제작하였다.

2.1.3 Experimental design

실험 변수는 진동 간격(30mm, 40mm, 50mm, 60mm) 4수준과 진동 시차(0s, 0.05s, 0.1s) 3수준에 대하여 평가를 진행하였다. 진동 센서가 한번 진동할 때 시간은 1s이며 진동 간격은 진동 자극 간 세로 간격(longitudinal distance between vibrators 혹은 positional distance)으로 정의되며, 진동 시차는 진동 간 시간 간격(Inter-vibration time 혹은 vibration time interval)을 의미한다. 실험 지표는 객관적 지표인 정답률(Correct rate)과 주관적 지표인 선호도(Preference)를 통해 사용성을 평가하였다. 선호도는 피실험자가 진동 자극기를 진동으로 파악하고 인식하는 과정에서 직관성과 편리성을 중심으로 7-point Likert scale로 평가하였다. 정답률은 피실험자가 진동 자극기를 진동으로 파악하는 과정에서 해당 위치를 정확하게 맞추는 경우를 정답으로 정의하여 비율로 산출하였다.

2.1.4 Procedure

해당 실험 및 도구는 일반인 대상이 아닌 시각 장애인 혹은 청각 장애인을 대상으로 방향 정보를 제공하는 것 이기에 해당 실험 도구를 사용하기 전에는 도구에 대한 교육이 필요하다. 실험 대상자가 실험 기기와 친숙함을 느낄 수 있도록 충분한 교육을 진행한 후 실험을 진행하였다.

실험은 총 진동 간격(30mm, 40mm, 50mm, 60mm)와 진동 시차(0s, 0.05s, 0.1s) 12세트에 대하여 3번씩 1명당 36번 test를 진행하였다. 실험 6세트 후에는 충분한 휴식을 취했으며 실험 진행 순서는 랜덤화(Randomization)를 적용하여 진행하였다.

2.2 Result

2.2.1 Correct rate

Table 1의 정답률 결과에 의하면 진동 시차, 진동 간격에 대하여 유의한 차이가 존재함을 확인할 수 있다. 진동 시차 × 진동 간격의 상호작용에는 유의한 차이가 존재하지 않았다. 성별과 연령의 경우 집단 별 유의한 차이가 존재하지 않았고 추가적으로 진동 간격과 시차 조합(Test time)으로 Repeated ANOVA 분석을 진행하였다. Table 2의 정답률 결과에 의하면 성별 간 유의한 차이는 존재하지 않았고 시차 조합과 상호작용에도 유의한 차이가 존재하지 않았다. Table 3의 정답률 결과에 의하면 연령 간 유의한 차이는 존재하지 않았고 시차 조합과 상호작용에도 유의한 차이가 존재하지 않았다(p<0.05).

Table 1. ANOVA results of correct rate

Source		Type III SS	DF	MS	F	p-value
Inter-vibration time		5.017	2	2.508	11.647	0.000**
Positional distance		33.53	3	11.177	51.898	0.000**
Inter-vibration time × Positional distance		1.42	6	0.2237	1.099	0.361
Error		230	1,068	0.215		
Tuckey HSD	Time	0s<0.05s, 0.1s				
	Distance	30mm<40mm, 50mm, 60mm				

**p<0.01

Table 2. Repeated ANOVA results of correct rate

Source	Type III SS	DF	MS	*F*	*p*-value
Sex	0.1	1	0.1	0.653	0.426
Test time	28.589	11	2.599	14.199	0.000**
Sex × Test time	0.367	11	0.033	0.182	0.998

**$p<0.01$

Table 3. Repeated ANOVA results of correct rate

Source	Type III SS	DF	MS	*F*	*p*-value
Age	0.011	1	0.11	0.067	0.798
Test time	23.422	11	2.129	10.689	0.000**
Age × Test time	0.389	11	0.035	0.177	0.999

**$p<0.01$

Figure 3의 사후분석 결과를 보면 진동 간격은 30mm와 40mm에서는 유의한 차이가 존재하였다. 하지만 40mm, 50mm, 60mm에서는 정답률이 증가하는 추세이지만 유의한 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 또한 진동 간격과 진동 시차의 상호작용이 존재하지 않음을 확인할 수 있다($p<0.05$). 진동 시차는 0s에서 0.05s 간에 유의수준 0.05에서 유의한 차이가 존재하였지만 0.05s와 0.1s에서는 유의한 차이가 없는 것을 확인할 수 있다($p<0.05$).

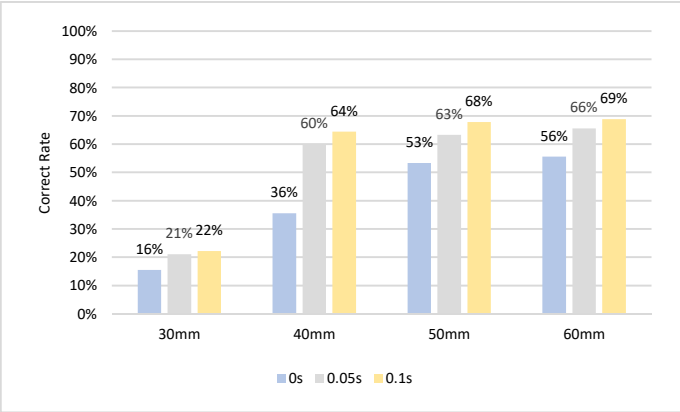

Figure 3. Correct rate by inter-vibration time and positional distance

Figure 4에서 연령간 정답률을 살펴보면 진동 시차 및 세로 간격에 대한 정답률에서는 유의한 차이가 존재하지 않음을 확인할 수 있다($p<0.05$). 하지만 40~50대는 20~30대 보다 진동 시차 및 진동 간격에 대한 정답률이 낮은 경향을 보이며 특히 진동 시차가 0s의 경우와 진동 간격이 30mm에서는 정답률이 20~30대보다 낮은 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

한편, Figure 5에서 보는 바와 같이 성별 정답률을 살펴보면 진동 시차 및 진동 간격에 대한 정답률에서 유의한 차이가 없는 것을 확인할 수 있다($p<0.05$).

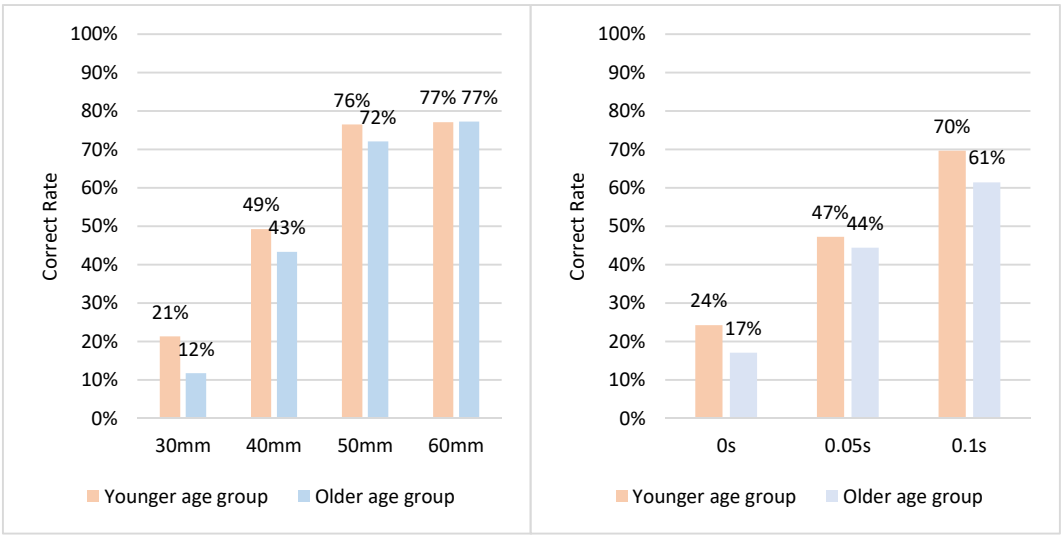

Figure 4. Correct rate by age group and positional distance (left) and correct rate by age group and inter-vibration time (right)

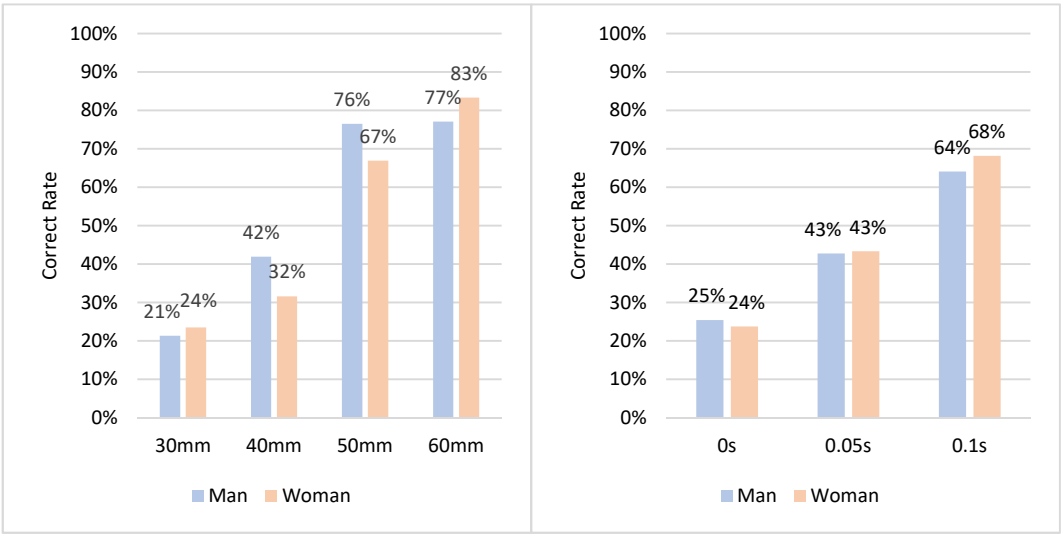

Figure 5. Correct rate by sex and positional distance (left) and correct rate by sex and inter-vibration time (right)

2.2.2 Preference

Table 4에 나타난 조작 선호도 결과에 의하면 진동 시차, 진동 간격 그리고 진동 시차 × 진동 간격에 대하여 유의한 차이가 존재함을 확인할 수 있다. 성별과 연령의 경우 집단 별 유의한 차이가 존재하지 않았고 추가적으로 진동 간격과 시차 조합(Test time)으로 Repeated ANOVA 분석을 진행하였다. Table 5의 선호도 결과에 의하면 성별 간 유의한 차이는 존재하지 않았고 시차 조합과 상호작용에도 유의한 차이가 존재하지 않았다. Table 6의 선호도 결과에 의하면 연령 간 유의한 차이는 존재하지 않았고 시차 조합과 상호작용에도 유의한 차이가 존재하지 않았다(p<0.05).

Table 4. ANOVA results of preference

Source		SS	DF	MS	*F*	*p*-value
Inter-vibration time		318.135	2	159.068	105.804	0.00**
Positional distance		935.588	3	311.863	207.435	0.00**
Inter-vibration time × positional distance		43.798	6	7.3	4.855	0.00**
Error		1605.656	1,068	1.503		
Tuckey HSD	Time	0s<0.05s, 0.1s				
	Distance	30mm<40mm, 50mm, 60mm				

**$p<0.01$

Table 5. Repeated ANOVA results of preference

Source	Type III SS	DF	MS	*F*	*p*-value
Sex	0.069	1	0.069	0.024	0.787
Test time	220.897	11	20.082	18.524	0.000**
Sex × Test time	14.297	11	1.3	1.199	0.287

**$p<0.01$

Table 6. Repeated ANOVA results of preference

Source	Type III SS	DF	MS	*F*	*p*-value
Age	0.044	1	0.44	0.016	0.901
Test time	179.989	11	16.363	16.6445	0.000**
Age × Test time	12.889	11	1.172	1.178	0.302

**$p<0.01$

사후분석을 통하여 진동 간격은 30mm와 40mm에서 유의한 차이가 존재하였음을 확인할 수 있으며, 이후 40mm, 50mm, 60mm에서는 선호도가 증가하는 추세이지만 유의한 차이가 없는 것을 확인할 수 있다($p<0.05$).

Figure 6에서 보는 바와 같이 주관적 지표인 선호도 점수에서는 진동 간격과 진동 시차에서 상호작용이 존재함을 확인할 수 있었다. 각 진동 시차 별 진동 간격에 대한 선호도 점수를 살펴본 결과 진동 시차가 0.05s와 0.1에서는 진동 간격이 30mm인 경우와 40mm, 50mm, 60mm 경우로 유의한 차이가 존재하였으며 40mm, 50mm, 60mm 간 유의한 차이는 존재하지 않았다($p<0.05$). 그러나 0s인 구간에서 간격 별 선호도 점수에서 30mm과 40mm, 50mm 간 유의한 차이가 존재하였고 60mm 간 유의한 차이가 존재함을 확인할 수 있었다($p<0.05$).

Figure 7의 연령 간 선호도 점수를 살펴보면 진동 시차 및 세로 간격에 대한 연령 간 선호도에서는 유의한 차이가 없는 것을 확인할 수 있으며($p<0.05$), 40~50대는 20~30대보다 진동 시차 및 진동 간격에 대해 선호도가 낮은 경향을 보인다. 특히 진동 간격이 30mm에서는 평균 2.44로 3점 이하인 것을 확인할 수 있다($p<0.05$).

또한 Figure 8의 성별 간 선호도 점수를 살펴보면 진동 시차 및 세로 간격에 대한 성별간 선호도에는 유의한 차이가 없는 것을 확인할 수 있다($p<0.05$).

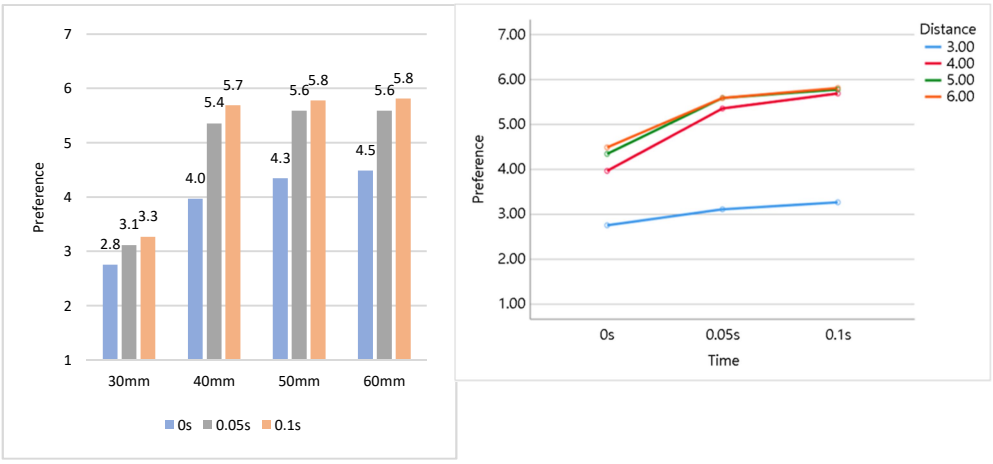

Figure 6. Preference by inter-vibration time and positional distance (left) and their Interactions (right)

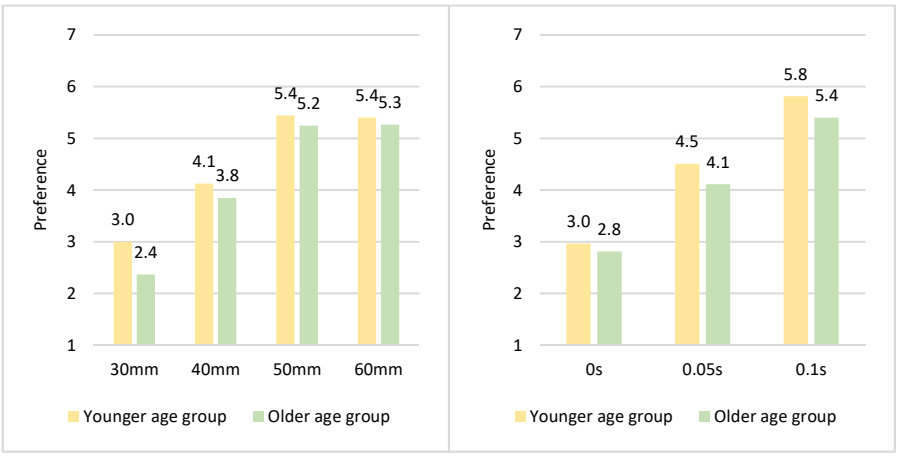

Figure 7. Preference by age group and positional distance (left) and preference by age group and inter-vibration time (right)

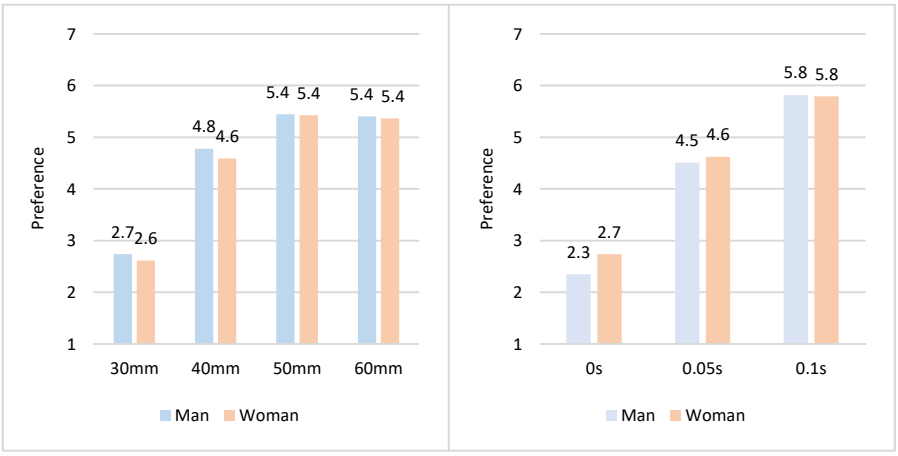

Figure 8. Preference by sex and positional distance (left) and preference by sex and inter-vibration time (right)

3. Second Experiment

진동 패턴 관련 연구에 따르면 진동이 피부에 닿는 면적과 진동의 수가 증가할 수록 진동 인식이 증가할 것이라는 주장과 진동의 동적, 정적 패턴에 관련하여 동적 패턴을 구성하여 방향 정보 외의 다른 질적 정보를 제공하는 실험을 진행하였다. 실험 결과 동적 진동이 정적 진동보다 더 높은 인식률을 띄는 결과를 확인할 수 있다. 하지만 해당 레이아웃은 진동 간격이 매우 가깝게 존재(25mm 이하)하였기 때문에 정적 진동 시 진동 위치 인식에 대한 한계점이 존재하였고, 동적 진동은 보다 더 다양한 패턴을 설계하기 위한 연구가 필요함을 강조하였다(Paneels et al., 2013). 1차 실험을 통해 2줄의 진동 인터페이스의 진동 줄 간 최적의 세로 간격 및 시차를 도출하였고 진동 패턴 별 1줄의 진동 인터페이스와 2줄의 진동 인터페이스의 수행도 차이를 확인하는 2차 실험을 진행하였다. 2차 실험을 진행하기 앞서 진동 패턴을 3가지로 나눈 후 진행하였다.

3.1 Method

2줄의 진동 인터페이스에서 제공할 수 있는 진동의 패턴은 여러 조합이 가능하다. 진동이 연속으로 이어서 울리는 여부(동적 진동과 정적 진동), 진동이 울리는 면적 범위(단면 진동, 양면 진동), 진동이 울리는 진동 방향(열 진동, 행 진동) 등의 요소를 모두 고려하여 진동 패턴 별 앞, 뒤, 좌, 우의 정보를 가장 잘 나타내는 진동을 선별하였다(Paneels et al., 2013).

3.1.1 Participant

2차 실험의 경우 시각과 청각 감각에 대한 제한을 주어 실험을 진행하였다. Figure 9와 같이 시각 및 청각에 장애가 없는 대상 10명(Group 1), 시각에 장애가 있는 환경에서의 실험 대상 10명(Group 2), 청각에 장애가 있는 환경에서의 실험 대상 10명(Group 3)으로 구성하여 실험을 진행하였다. 또한 Figure 10과 같이 케인을 주로 사용하는 시각장애인과 안내견과 동행하는 사용자들에 대한 정성 인터뷰를 진행하였다.

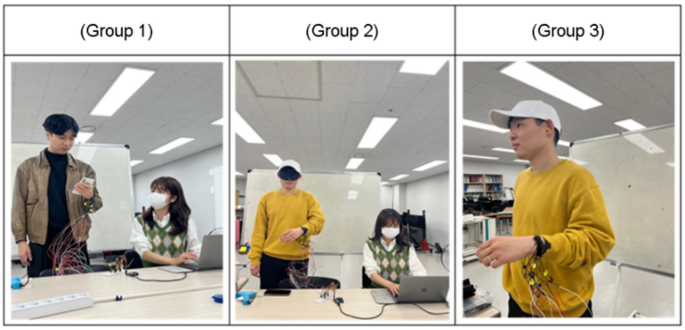

Figure 9. Experimental environment without visual and auditory impairment (Group 1), experimental environment with visually impairment (Group 2) and experimental environment with hearing impairment (Group 3)

Figure 10. Visually impaired persons using a cane (left) and with an accompanying guide dog (right)

3.1.2 Apparatus

실험 도구는 C++ 언어를 기반으로 구축된 'Arduino 1.8.13' 프로그램을 이용하여 진동을 제어하였고 진동 모터 코인(3V, 12000RPM DC, 10mm) 8개로 연결하여 제작하였다. 2개의 행으로 구성하기 위해 손목 밴드와 같이 탈부착이 가능한 손목 보호대 형태로 2개의 행을 독립적으로 나누어 제작하였다. 진동 간격 및 진동 시차는 1차 실험에서 도출된 결과인 진동 시차와 진동 간 세로 간격을 반영하여 실험을 진행하였고 진동 센서가 한 번 울리는 시간은 1s로 1차 실험과 동일하게 진행하였다.

3.1.3 Experimental design

진동이 울리는 면적과 진동 범위 그리고 진동의 시차를 고려하여 진동 패턴을 Pattern A, Pattern B, Pattern C로 나누어 구성하였다. 이에 Pattern 별 수행도 차이와 한 줄 또는 두 줄 진동 인터페이스 간의 수행도 차이를 확인하는 것이 목적이다. Figure 11은 진동 패턴 별 진동이 울리는 정보를 나타내는 그림이며 그림 속의 숫자는 진동이 울리는 순서를 나타낸다. Figure 12는 진동 패턴 별 앞, 뒤, 좌, 우의 정보를 제공하는 경우 진동이 울리는 순서를 나타내는 그림이다.

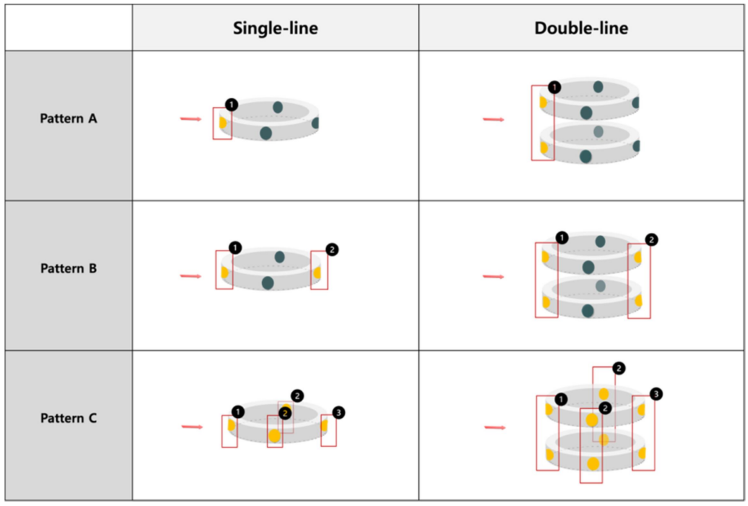

Figure 11. Vibration Patterns A, B, and C for single-line and double-line vibration interfaces

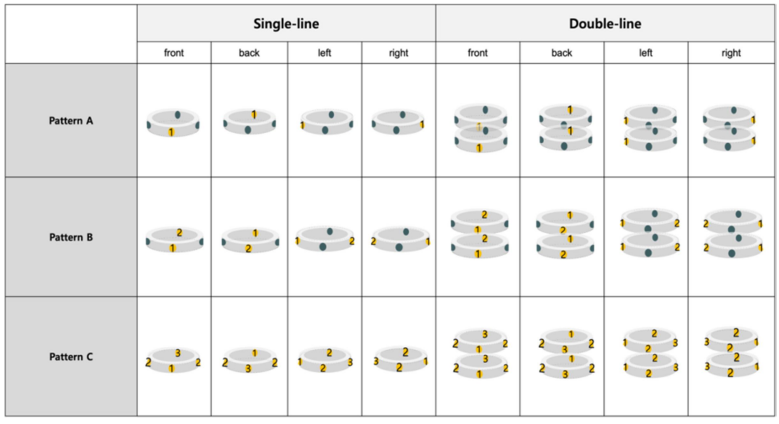

Figure 12. Vibration Patterns A, B, and C for single-line and double-line vibration interfaces including the directional information

실험 변수인 진동 패턴(Pattern A, Pattern B, Pattern C) 3수준과 진동 줄의 수(1줄, 2줄) 2수준에 대하여 평가를 진행하였다. 실험 지표는 객관적 지표인 정답률(Correct Rate)와 주관적 지표인 선호도(Preference)를 통해 사용성을 평가하였다. 선호도는 피실험자가 진동 자극기를 진동으로 파악하고 인식하는 과정에서 직관성과 편리성을 중심으로 7-point Likert scale로 평가하였다. 정답률은 피실험자가 진동 자극기를 진동으로 파악하는 과정에서 해당 위치를 정확하게 맞추는 경우를 정답으로 정의하여 비율로 산출하였다. 해당 실험 및 도구는 시각 장애인 혹은 청각장애인을 대상으로 방향 정보를 제공하는 것이기에 해당 실험 도구를 사용하기 전에는 도구에 대한 교육이 필요하다. 1차 실험과 동일하게 실험 대상자가 실험 기기와 친숙함을 느낄 수 있도록 교육을 진행한 후 실험을 진행하였다. 실험은 총 진동 패턴(Pattern A, Pattern B, Pattern C)과 진동 줄의 수(1줄, 2줄)에 대하여 4번씩 1명당 32번 test를 진행하였다. 실험 4세트 후에는 휴식을 취한 후 실험을 진행하였다. 또한 모든 참여자들은 실험 진행 시 진동 순서를 randomization을 적용하여 진행하였다.

3.2 Result

3.2.1 Correct Rate

Table 7에 나타난 진동 패턴 별 정답률 결과 Pattern A, Pattern B, Pattern C 모두 2줄의 진동 인터페이스가 1줄의 진동 인터페이스보다 정답률에서 유의한 차이로 높은 것을 확인할 수 있었다(p<0.05).

Table 7. ANOVA results of correct rate

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Vibration pattern	0.144	2	0.072	0.473	0.623
Number of lines	13.613	1	13.613	89.189	0.000**
Vibration Pattern * Number of lines	0.033	2	0.017	0.109	0.897
Group	0.394	2	0.197	1.067	0.344
Error	581.083	3,776	0.154		

**p<0.01

Figure 13에 나타난 진동 패턴 별 Pattern A, Pattern B, Pattern C의 정답률을 비교하였을 때 Pattern C가 Pattern A, Pattern B보다 수치적으로 낮은 수행도를 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p<0.05). 실험 대상 별 정답률 결과를 보면 일반인(감각에 장애가

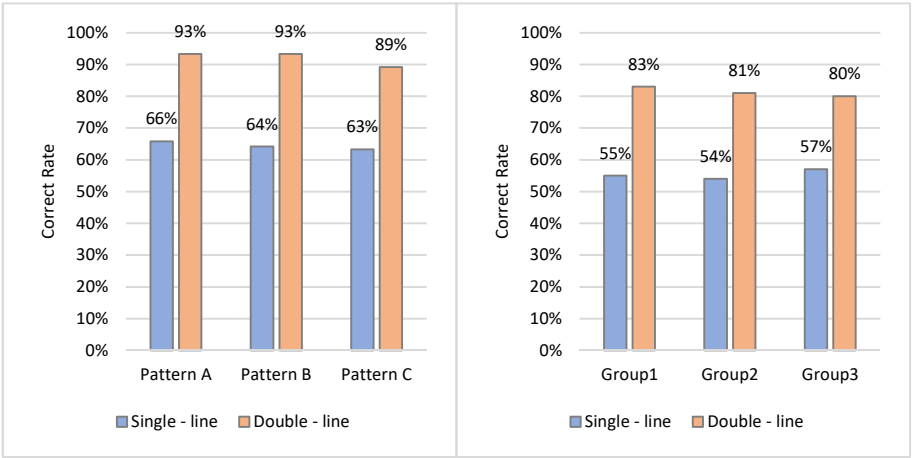

Figure 13. Correct rate by number of lines and vibration pattern (left) and correct rate by number of lines and subject group (right)

없는 경우)이 시각에 장애가 있는 피실험자와 청각에 장애가 있는 피실험자에 비해 유의한 차이가 존재하지 않았다(p<0.05).

3.2.2 Preference

Table 8에 나타난 진동 패턴 별 선호도 점수 결과 Pattern A, Pattern B, Pattern C 모두 2줄의 진동 인터페이스가 1줄의 진동 인터페이스 보다 선호도 점수에서 유의한 차이로 높은 것을 확인할 수 있었다(p<0.05). 진동 패턴 별로 Pattern A, Pattern B, Pattern C의 선호도 점수를 비교하였을 때는 Pattern C가 Pattern A, Pattern B보다 수치적으로 낮은 수행도를 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p<0.05).

Figure 14에서 보는 바와 같이 실험 대상 별 선호도 점수 결과에서는 일반인 피실험자(감각에 장애가 없는 경우)와 시각 또는 청각에 장애가 있는 피실험자 간에 유의한 차이는 존재하지 않았다(p<0.05). 단, 시각 또는 청각에 장애가 있는 대상의 2줄의 진동 인터페이스 선호도가 시청각에 장애가 없는 대상보다 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 시청각 장애인의 경우 1줄의 진동 인터페이스를 추가로 제공하여 진동 자극 감지에 정확성이 향상되었다는 의견을 나타냄으로서 확인될 수 있다.

Table 8. ANOVA results of preference

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Vibration pattern	5.858	2	2.929	2.885	0.057
Number of lines	676.672	1	676.672	666.421	0.00**
Vibration Type * Number of lines	0.036	2	0.018	0.018	0.982
Group	8.44	2	4.22	0.873	0.418
Error	3944.833	3,776	1.045		

**p<0.01

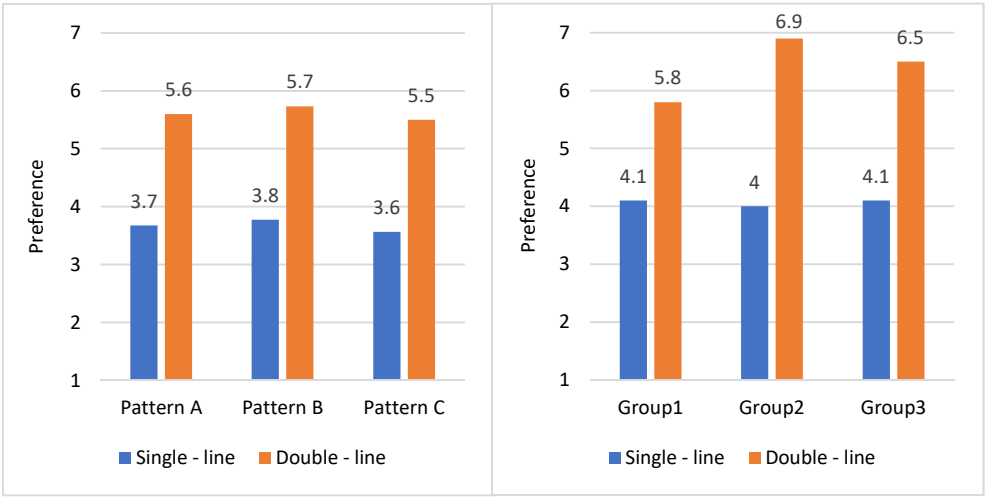

Figure 14. Preference by number of lines and vibration pattern (left) and preference by number of lines and subject group (right)

4. Discussion

1차 실험에서 객관적 지표 및 주관적 지표를 고려한 결과 진동 간 세로 간격은 40mm 이상, 진동 시차는 0.05s 이상을 확보해야 한다는 결론을 얻었으며, 20~30대와 40~50대의 정답률 및 선호도 점수 부분에서는 40~50대가 20~30대보다 낮은 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 존재하지 않았다. 성별 간에도 정답률과 선호도 부분 모두 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않았다. 이는 기존의 가로 간격에 대한 연구로서 35mm 이상 확보해야 한다는 연구(Jeong et al., 2020)에서 진동 간 세로 간격이 진동 간 가로 간격보다 넓은 간격을 제공해야 한다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 팔목의 근육과 뼈를 살펴보면 손목 안쪽에는 Palmaris longus, Flexor carp radialis와 같은 힘줄로 보이는 두꺼운 근육이 존재하고 손목 가장자리에는 요골과 척골에 의한 뼈가 위치한다 따라서 뼈와 근육이 수직 방향으로 존재하며 같은 세로 방향에 위치하는 진동의 자극의 경우 가로 방향보다 두 점의 자극 인지도가 떨어진다는 결과를 얻을 수 있었다.

1차 실험으로 도출된 진동 간 세로 간격과 시차를 반영하여 2차 실험을 진행한 결과 정답률과 선호도 부분에서 Pattern A, Pattern B, Pattern C 모두 2줄의 진동 인터페이스가 1줄의 진동 인터페이스 보다 더 높은 수행도를 나타낸 것을 확인할 수 있었다. 이는 진동을 경험하는 피부 영역의 범위 및 수가 증가하면 강도의 인식이 증가할 것이라는 기존 연구를 뒷받침 한다. 또한 진동 패턴 별 Pattern A, Pattern B, Pattern C의 수행도를 비교하였을 때 Pattern C가 Pattern A, Pattern B보다 낮은 Performance를 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 정성적 의견을 종합해 본 결과 Pattern C의 경우 진동이 울리고 남은 '잔 진동'이 존재하기에 Pattern A, Pattern B보다 자극에 대한 직관성이 떨어진다는 결과를 확인할 수 있었다(Seo, 2018).

2차 실험 이후 참여자들의 정성적 의견을 받아 Figure 15와 같이 1줄 전체가 울리는 진동에 대한 패턴 또한 발견할 수 있었다. Figure 16의 다양한 손목 자세 중 우산을 들고 있는 자세와 같이 손등이 왼쪽을 향하고 윗 줄을 앞의 방향, 아래 줄을 뒤의 방향으로 정보를 제공할 수 있으며 이는 앞서 3가지 Pattern과 같이 진동 시차를 적용하여 여러 진동 방법을 제공할 수 있음을 확인할 수 있었으며 해당 진동 패턴에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 이후에는 다양한 보행 자세를 대표 보행 자세로 분류한 뒤 대표 보행 자세 별 '앞, 뒤, 좌, 우' 방향 정보를 최적으로 제공하는 진동 패턴을 선정하는 실험이 필요하다. 이를 바탕으로 다양한 보행 자세에서 해당 진동 패턴이 시각과 청각 장애인들과 주의분산 보행자들에게 물체가 다가오는 방향 정보를 제공하고 시각 장애인들에게는 보행에 도움을 주는 방향 정보임을 확인하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

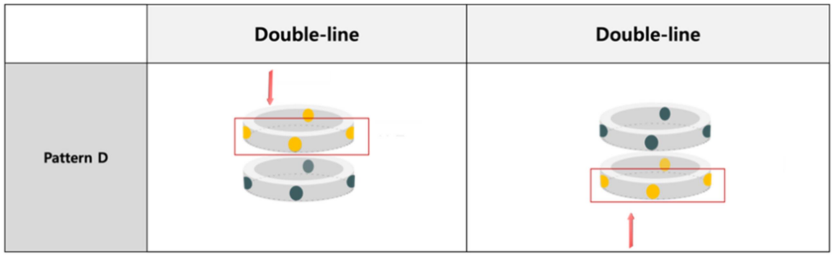

Figure 15. Vibration Pattern D

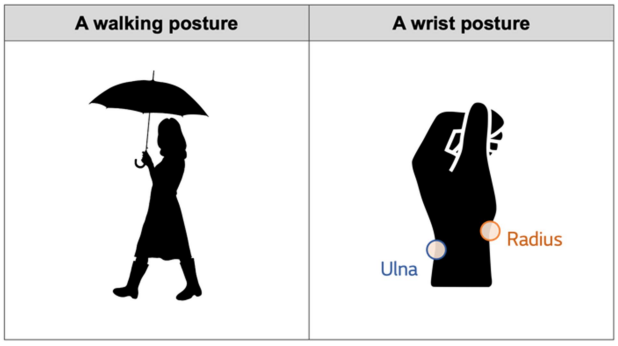

Figure 16. Walking posture and wrist posture

5. Conclusion

본 연구는 시청각 장애인과 주의분산 보행자에게 진동) 피드백을 통해 물체가 다가오는 방향과 보행 방향에 대한 정보 제공을 목적으로 2줄 형태의 팔찌 타입의 웨어러블 디바이스에서 진동 간 세로 간격과 시차에 대한 유의미한 결과를 도출하였으며, 3가지 타입의 진동 패턴과 진동 줄 수에 따른 유의미한 설계요소를 확인할 수 있었다.

본 실험의 결과를 정리하면, 1차 실험을 통해 진동 간 세로 간격은 40mm가 보장되어야 하며 그 이상 넓어져도 유의미한 차이가 존재하지 않음을 확인할 수 있었다. 진동 시차는 0.05s가 보장되어야 하며 진동 시차가 커져도 유의미한 차이가 존재하지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 성별, 연령별로 정답률과 선호도에 있어 유의미한 차이는 존재하지 않았다. 2차 실험에서는 1차 실험 결과에 근거하여 3가지 진동 패턴에 대하여 1줄 형태의 진동 인터페이스와 2줄 형태의 진동 인터페이스와의 수행도 차이를 확인하였다. Pattern D와 같은 새로운 진동 패턴을 도출하였으며 이는 기존의 연구에서는 제공할 수 없었던 진동 방향을 추가적으로 제공하는데 의의가 있다.

본 연구를 통해 도출된 진동 간 세로 간격과 시차 및 진동 패턴 별 수행도 결과는 팔찌 형태의 웨어러블 디바이스 진동 피드백 설계 시 도움이 되는 자료로 사용될 수 있으며 본 연구의 한계로서 다양한 보행자세에서의 최적의 방향 정보를 제공하는 진동 패턴의 조합을 도출해 내는 후속 작업이 필요하다.

References

Han, J., The Effects of Visual and Audiovisual Tasks on Gait While Walking and Using a Smart Phone, 2017.

Helal, A., Moore, S.E. and Ramachandran, B., Drishti: an integrated navigation system for visually impaired and disabled, in: Proceedings Fifth International Symposium on Wearable Computers. *IEEE Comput. Soc, Zurich, Switzerland*, pp. 149-156, 2001. https://doi.org/10.1109/ISWC.2001.962119

Jeong, S., Im, Y., Park, S. and Jung, E.S., Multi-sensing Vibration Interface: Its Effects on UX for Wearable Device. *JESK*, 39, 561-572, 2020. https://doi.org/10.5143/JESK.2020.39.6.561

Kim, J.W., Kim, J.S., Na, D.G. and Kim, H.S., "Bidirectional BLE enabled Audible Pedestrian Signal for Visual Impaired Pedestrian", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 21(1), 99-106, 2017.

Kim, S., A Haptic Navigation System for Visually Impaired Persons, 2008.

Kim, T. and Jun, H., Factor Affecting Spatial Clustering in Pedestrian Collisions Involving the Elderly. *Journal of Korea Planning Association*, Vol, 57(2), 6, 2022.

Makino, H., Ishii, I. and Nakashizuka, M., Development of navigation system for the blind using GPS and mobile phone combination, in: *Proceedings of 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, Amsterdam, Netherlands*, pp. 506-507, 1997. https://doi.org/10.1109/IEMBS.1996.651838

Noh, B. and Yeo, H., SafetyCube: Framework for Potential Pedestrian Risk Analysis Using Multi-dimensional OLAP, Accident Analysis and Prevention, 155(December), 106104, 2021. https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106104

Oakley, I., Kim, Y., Lee, J. and Ryu, J., Determining the Feasibility of Forearm Mounted Vibrotactile Displays, in: 2006 14th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. *IEEE, Alexandria, VA, USA*, pp. 27-34, 2006.

https://doi.org/10.1109/HAPTIC.2006.1627079

Paneels, S., Anastassova, M., Strachan, S., Van, S.P., Sivacoumarane, S. and Bolzmacher, C., What's around me? Multi-actuator haptic feedback on the wrist, in: 2013 World Haptics Conference (WHC). *IEEE, Daejeon*, pp. 407-412, 2013. https://doi.org/10.1109/WHC.2013.6548443

Seo, J., Perceptual Analysis and Rendering of Vibrotactile Flows on a Mobile Device (*Doctoral dissertation, Postech*). 2018.

Sim, J.M., Lee, H.W., Shin, J.Y., Kim, K.W. and Han, Y.O., "Walking Assistance Device for Prevention of Accidents of Visually Impaired People", *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, 14(6), 2019. DOI: https://doi.org/10.13067/JKIECS.2019.14.6.1241

Author listings

Minyoung Cho: yyoung695@korea.ac.kr
Highest degree: BS, Statistics and Department of Industrial & Management Engineering, Korea University
Position title: MS, Department of Industrial & Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Ergonomics, UI/UX design and evaluation

Eui Seung Jung: ejung@korea.ac.kr
Highest degree: Ph.D, Department of Industrial & Manufacturing Engineering, Penn State University
Position title: Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Ergonomics, UI/UX design and evaluation