Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 6 pp.739-747, December 2011 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2011.30.6.739

Evaluation of Information Presentation Methods for a Wearable Braille Display

Kihyo Jung[1], Minjeong Lee[2], Joonho Chang[3], Heecheon You[4]

[1]School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan, 680-749
[2]Mobile Handset R&D Center, LG Electronics, Seoul, 153-803
[3]Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University, University Park, PA, 16802, USA
[4]Division of Mechanical and Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, 790-784

ABSTRACT

Objective: The present study evaluated information presentation methods applicable to a wearable Braille display in terms of performance and satisfaction measures. **Background:** A Braille display wearable at a finger can improve accessibility of information for the blind by presenting information in real time. **Method:** A Braille display with six pins operated by DC servomotors was developed to simulate four information presentation methods(active, stationary, simultaneous, and sequential methods). An evaluation experiment was conducted with 16 participants(8 normal and 8 blind participants) by using three objective measures(reaction time, RT, unit: sec; recognition time, CT, unit: sec; correct response percentage, CP) and two subjective measures(overall satisfaction, OS; perception easiness, PE) with a 7-point scale. **Results:** The average RTs and CTs of the active and stationary methods were significantly shorter than those of the simultaneous and sequential methods for the blind participants. Also, the average CPs, OSs, and PEs of the active and sequential methods were significantly higher than those of the stationary and simultaneous methods. **Conclusion:** The active and sequential methods were preferred to the other methods for the blind. **Application:** The performance characteristics identified in the present study for the four braille display methods can be utilized to develop an effective wearable Braille display system.

Keywords: Wearable Braille display, Information presentation method, Performance evaluation

1. Introduction

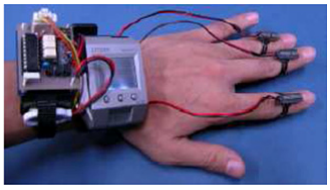
착용형 점자 장치는 주변환경에 제약 없이 점자 정보를 시각장애인에게 제공할 수 있는 장점이 있다. 점자는 촉각을 이용한 정보 제공 수단의 하나로 시각장애인들 사이에 보편적으로 사용되고 있으며(Sadato et al., 2004) 공공 건물, 대중 교통 및 편의 시설 등에 표기되도록 규정되어 있다(Minister of Health and Welfare, 1999). 그러나, 특정 위치에 고정된 점자는 시각장애인이 길을 찾는데 활용하거나 갑자기 출현한 위험 요인에 대한 정보를 획득하는데 이용되기 어렵다. 또한, 현금인출기나 자판기와 같은 각종 서비스 기기에 touch screen이 적용되면서 촉각에 의지하여 정보를 획득하는 시각장애인들은 가중된 어려움을 겪고 있다(Lee, 2005).

시각장애인의 정보 접근성을 향상시키기 위해 다양한 착용형 점자 제시 장치들이 개발되고 있다. Moy et al.(2000)은 Figure 1.a에 나타낸 것과 같이 검지손가락에 공기압력을

Corresponding Author: Heecheon You. Division of Mechanical and Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, 440-746.
Phone: 054-279-2210, E-mail: hcyou@postech.ac.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

가하여 촉감 정보를 제시하는 장치를 개발하였다. Amemiya et al.(2004)은 Figure 1.b와 같이 반지처럼 착용하여 세 개의 손가락(검지~약지)에 점자 정보를 제시하는 착용형 장치를 고안하였다. 마지막으로, Kim and Ryu(2005)는 Figure 1.c와 같이 공기압력을 이용하여 손바닥에 점자 정보를 제시하는 장치를 제작하였다. 기존 착용형 장치의 점자 제시 방법은 Table 1에 나타낸 것과 같이 네 가지 방식(active, stationary, simultaneous, sequential)으로 구분될 수 있다. 먼저, active 방식은 일반 점자를 읽는 것과 같이 돌출된 점자 위에 손가락을 능동적으로 움직여 점자를 인식하는 방법이다(Choi et al., 2006). Stationary 방식은 고정된 사용자의 신체 부위(예: 손가락, 손바닥)에 점자를 동시에 돌출시킨 후 그대로 유지하는 방법이다(Moy et al., 2000). Simultaneous 방식은 고정된 사용자의 신체 부위에 점자를 동시에 반복적으로 진동시키는 방법이다(Ameniya et al., 2004). 마지막으로, sequential 방식은 사용자의 신체에 점자를 하나씩 순차적으로 제공하는 방법이다(Kim and Ryu, 2005).

(a) Pneumatic tactile display (Moy et al., 2000)

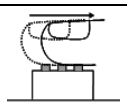
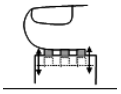
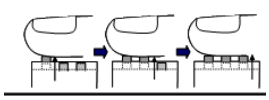


(b) Wearable finger-Braille interface (Ameniya et al., 2004)

(c) Wearable pneumatic tactile interface (Kim and Ryu, 2005)

Figure 1. Wearable tactile systems

Table 1. Braille presentation methods for wearable Braille display

Classification			Illustration
Active			
Passive	Stationary		
	Repetition	Simultaneous	
		Sequential	

현재까지 다양한 점자 제시 방안들이 개발되고 있으나, 이들의 성능을 종합적으로 비교 평가한 연구는 미흡한 실정이다. Choi et al.(2004)은 simultaneous 방법에 대한 시각장애인의 점자 인식 정확도를 40~60% 정도로 보고하였다. 또한, Choi et al.(2006)은 active 방법을 적용한 점자 책에 대한 시각장애인의 인식 정확도를 평균 94%로 발표하였다. 한편, Moy et al.(2000)은 stationary 방법에 대한 정상인의 인식 정확도를 평균 83%로 파악하였다. 이와 같이, 기존 점자 제시 방안들의 성능이 일부 평가되어 왔으나, 기존 평가 결과는 실험 조건(예: 실험참여자 특성, 점자가 제시된 신체 부위, 사용된 점자의 개수)이 상이하여 점자 제시 방법의 우수성을 비교할 수 없는 한계점이 있다. 따라서 착용형 점자 제시 장치에 가장 적합한 점자 제시 방법을 결정하기 위해서는 기존 점자 제시 방법을 동일한 조건에서 종합적으로 비교 평가하는 연구가 필요하다.

본 연구는 착용형 점자 제시 장치를 위한 다양한 점자 제시 방안의 점자 인식 성능을 비교 평가하고자 한다. 이를 위해, 전술된 네 가지 방법으로 검지손가락에 점자를 제시할 수 있는 장치를 개발하였다(2장 참조). 그리고, 검지손가락의 점자 인식 성능에 대한 예비 실험을 통해 점자 제시 특성(점자 제시 반복 빈도, 점자 제시 시간 간격)을 설정하였다(3장 참조). 마지막으로, 네 가지 점자 제시 방법의 성능 특성을 시각장애인과 정상인에 대한 실험을 통해 평가하였다(4장 참조).

2. Braille Display System Development

본 연구의 점자 제시 장치는 Figure 2에 나타낸 것과 같이 DC servomotor를 이용한 핀 배열 방식을 적용해 static mode와 dynamic mode로 점자를 제시할 수 있도록 고안되었다. 개발된 점자 제시 장치는 6개의 점으로 이루어진 점자를 표현하기 위해, Figure 2와 같이 6개의 핀으로 구성되어 있고 RC servomotor를 이용하여 제시하고자 하는 점자의 핀을 돌출시키도록 개발되었다. 점자가 제시되는 방식은 핀이 돌출된 상태에서 지속적으로 유지가 되는 static mode (active 방법과 stationary 방법)와 상하 진동 및 순차적으로 점자가 제시되는 dynamic mode(simultaneous 방법과

sequential 방법)를 모두 지원하도록 개발되었다.

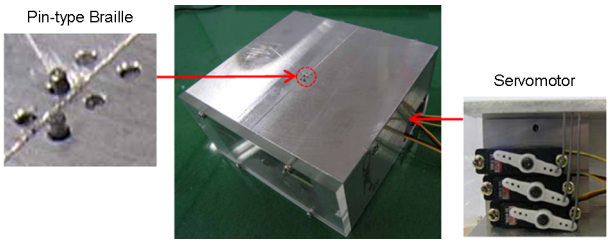


Figure 2. DC servomotor Braille display system

개발된 점자 제시 장치의 점자 크기 및 간격은 인간의 촉각 특성과 일반 점자의 특성을 고려하여 설정되었다. 먼저, 점자의 지름은 손가락 표피에 분포하고 있는 S1 수용기의 최소 인지 자극 크기(0.5mm; Johnson, 2001)와 일반 점자의 지름(1mm)을 고려하여 보수적인 1mm로 결정되었다. 점자간 거리는 검지손가락에 가해진 두 개의 압력 차이를 식별할 수 있는 최소 거리(1~2mm; Moy et al., 2004), 일반 점자의 중심간 거리(2.3~2.5mm), 그리고 기존 연구의 추천 값(2.5~3mm; Lai and Chen, 2006; Lass, 1974)을 고려하여 보수적인 3mm로 설정되었다. 마지막으로, 점자의 돌출 높이는 핀으로 제시되는 촉감 자극을 인식할 수 있는 1mm로 설정되었다(Son et al., 2005).

다양한 형태의 점자 제시 방법을 지원하고 인식된 점자 정보를 저장할 수 있는 점자 장치 제어 software가 개발되었다. 개발된 software는 Microsoft Foundation Class(MFC) language와 Visual C++ 7.0 compiler를 이용하여 구현되었다. 그리고, simultaneous 방법과 sequential 방법에 사용되는 점자 제시 빈도와 점자 제시 시간 간격은 Figure 3에 나타낸 것과 같이 사용자가 원하는 수준으로 입력할 수 있

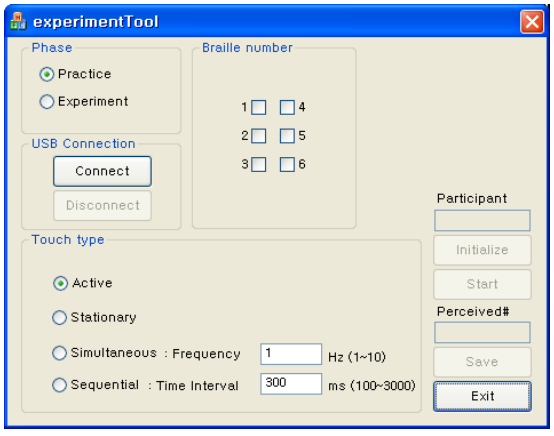


Figure 3. Software interface for the developed Braille display

도록 구현되었다. 또한, 매 시행 마다 사용된 점자 제시 방안, 제시된 점자 번호, 인식된 점자 번호, 점자 인식에 소요된 시간, 올바른 인식 여부와 같은 다양한 정보들이 파일에 저장되도록 개발되었다.

3. Preliminary Experiment

3.1 Experimental method

3.1.1 Participants

Simultaneous 방법의 점자 제시 빈도와 sequential 방법의 점자 제시 간격을 결정하기 위한 예비 실험에 정상인 3명(남자 2명, 여자 1명)이 각각 참여하였다. 예비 실험에는 검지손가락에 통증 및 질환이 없고 시력이 정상인 대학원생들이 참여하였다. 점자 제시 빈도 실험에 참여한 실험자들은 평균 26.3세(표준편차: 1.2세)이며 점자 제시 시간 간격 실험에 참여한 실험자들은 평균 25.6세(표준편차: 2.1세)였다.

3.1.2 Experimental design

예비 실험(pilot test)은 본 실험 전에 simultaneous 방법과 sequential 방법의 점자 제시 실험 조건을 설정할 수 있도록 설계되었다. 먼저, simultaneous 방법은 점자 제시 빈도를 요인으로 하는 one factor within subject design으로 설계되었다. 실험 조건은 기존 연구(Kyung et al., 2005)에서 민감하게 촉감을 인식할 수 있는 것으로 보고한 1~3Hz를 포함한 8조건(1~8Hz; 1Hz 간격)으로 결정되었다. Sequential 방법은 점자 제시 시간 간격을 요인으로 하는 one factor within subject design으로 설계되었다. 실험 대상 시간 간격은 9개 조건(200~1,000ms; 100ms 간격)으로 설정되었다.

점자 인식 실험에는 Figure 4에 나타낸 것과 같이 1점자에서 6점자로 이루어진 다양한 점자가 사용되었다. 실험 시 점자는 점자 개수 별로 3개씩을 선정해 만든 18개의 상이한 점자 패턴(단, 6점자의 경우 동일한 형태를 3번 사용) 중에서 무작위로 제시되도록 하였다.

실험 시 점자 제시 장치에서 발생하는 마찰음 및 외부 소음을 차단하기 위해 귀마개를 착용하였다. 소음 차단에 사용된 귀마개(Bilsom 747, 내일기업)는 헤드셋 형태로 낮은 음압(< 85dB)의 소음을 차음시키는 데 효과적이다. 본 연구에 사용된 귀마개는 외부 소음을 평균 27dB 정도 차폐시키는 효과가 있다.

점자 제시 방안별 점자 인식 성능을 평가하기 위해 세 가지 객관적 평가 척도(반응 시간, 인식 시간, 그리고 인식 정확도)가 사용되었다. 반응 시간(reaction time, RT)은 점자

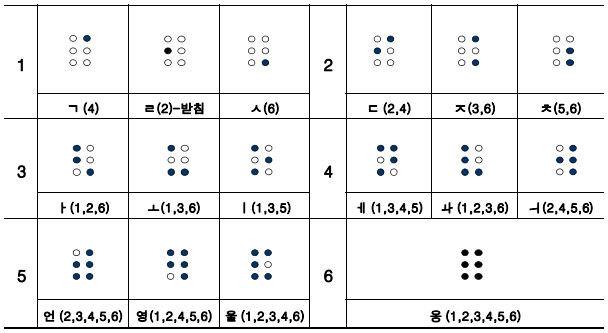


Figure 4. Braille letters used in the evaluation experiment (Numbers in parenthesis represent the identification codes of 6 pins)

정보가 제시되기 시작한 시점부터 실험참여자가 정보를 인식하였다고 판단한 시점까지의 시간(초)으로 정의되며, 인식 시간(recognition time, CT)은 점자 정보 제시가 완료된 시점부터 정보 인식을 종료한 시점까지 시간(초)으로 계산된다. 인식 정확도(correct response percentage, CP)는 제시된 점자의 개수 대비 올바르게 인식한 점자의 비율(%)로 정의되었다. 실험 결과는 유의수준 5%에서 분산 분석을 통해 분석되었으며, 사후 분석에는 SNK test가 사용되었다.

3.2 Results

3.2.1 Braille presentation frequency for simultaneous method

반응 시간은 Figure 5에 나타낸 것과 같이 2Hz 이상의 빈도 조건에서 유의하게 짧은 것으로 분석되었으며 6Hz와 7Hz에서 상대적으로 더욱 짧은 것으로 파악되었다. 점자 제시 빈도가 2Hz 이상일 때의 반응 시간은 평균 4.4초로 1Hz의 5.7초보다 유의하게 짧은 것으로 파악되었다($F(7,14) = 4.45$, $p = 0.01$). 또한, 반응 시간은 반복 빈도가 6Hz와

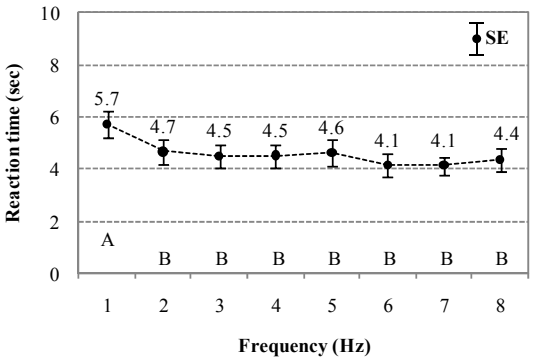


Figure 5. Reaction time for different frequencies (Different letters indicate a significant difference at $\alpha = 0.05$)

7Hz일 때(평균 4.1초) 다른 빈도 대안들보다 짧은 것으로 나타났다. 한편, 점자 제시 빈도에 따른 인식 정확도는 통계적으로 유의하지는 않은 것으로 분석되었다($F(7, 14) = 0.87$, $p = 0.552$).

3.2.2 Braille presentation time interval in the sequential method

반응 시간은 Figure 6.a에 나타낸 것과 같이 점자 제시 간격이 200~600ms일 때 평균 4.5초로 다른 시간 간격 대안들의 6.5초보다 유의하게 짧게 나타났다($F(8,15) = 5.64$, $p = 0.002$). 한편, 인식시간은 Figure 6.b와 같이 400~600ms일 때가 평균 3.4초로써 다른 대안들의 평균 4.2초보다 짧은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다($F(8,15) = 2.06$, $p = 0.11$). 마지막으로, 인식 정확도는 Figure 6.c와 같이 점자 제시 간격이 200ms와 400ms일 때 평균 71%로 낮으나, 다른 시간 간격 대안에서는 평균 89%로 유의하게 높은 것으로 분석되었다($F(8, 16) = 3.71$, $p = 0.012$).

4. Braille Presentation Method Evaluation

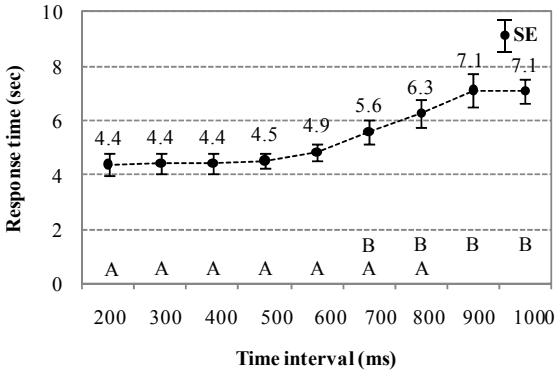
4.1 Experimental method

4.1.1 Participants

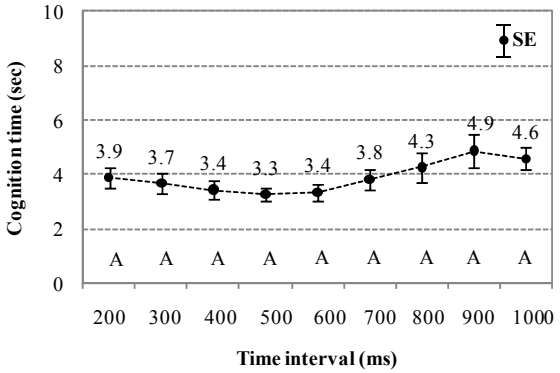
본 연구의 점자 제시 방안 평가에는 정상인 8명과 시각장애인 8명이 참여하였다. 정상인 그룹은 남자 4명, 여자 4명으로 평균 연령이 25.0세(표준편차: 2.4세)였고, 시각장애인 그룹은 남자 3명, 여자 5명으로 평균 연령이 50.0세(표준편차 7.9세)였다. 실험에 참여한 시각장애인은 모두 후천적으로 시각장애를 얻은 사람이며, 이들 중 1명은 저시력에 속하고 나머지 7명은 맹시에 해당하였다. 실험에 참여한 시각장애인의 시각 장애 기간은 평균 12.9년(표준편차: 17.0년)이고, 점자 사용 경력은 평균 5.4년(표준편차: 10.5년)인 것으로 파악되었다.

4.1.2 Experimental design

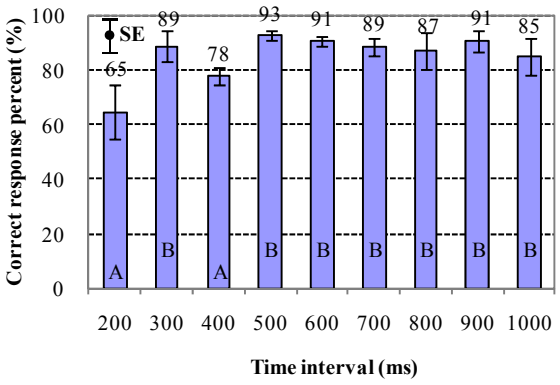
실험은 점자 제시 방법(active, stationary, simultaneous, and sequential)을 요인으로 하는 one factor within subject design으로 설계되었다. 먼저, active 방법은 점자가 제시되면 검지손가락을 움직여 점자를 인식하는 방법이고, stationary 방법은 고정된 검지손가락 끝에 점자가 돌출되는 방법이다. Simultaneous 방법은 검지손가락 끝에 점자가 상하로 초당 7회(3.2.1장 참조) 반복적으로 제시되는 방법이며, sequential 방법은 점자가 500ms(3.2.2장 참조)마다 하나



(a) Reaction time



(b) Recognition time



(c) Correct response percentage

Figure 6. Braille information processing performance by Braille presentation time interval in the sequential method (Different letters indicate a significant difference at α = 0.05)

씩 검지손가락 끝에 돌출되는 방법이다. 점자 제시 방안들의 성능은 본 연구의 예비 실험(3.1.2장 참조)과 동일한 방법과 절차를 적용하여 평가되었다.

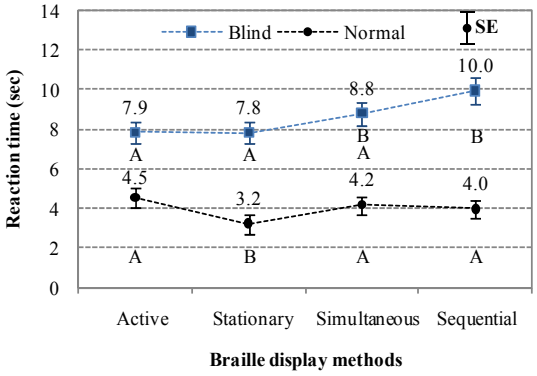
점자 인식 평가에는 예비 실험에 사용된 세 가지 객관적 척도와 더불어 7-point Likert scale을 적용한 두 가지 주관적 척도(정보 인식 용이성, 전반적 만족도)가 추가로 고려되었다. 먼저, 정보 인식 용이성은 제시된 정보를 식별하거나 인식하기 쉬운 정도를 평가하는 항목으로, 1점은 정보를 전혀 식별할 수 없음, 4 점은 보통 수준으로 정보를 인식할 수 있음, 7점은 정보 식별이 아주 용이함을 나타낸다. 전반적 만족도는 각 점자 제시 방안에 대해 만족한 정도를 평가하는 항목으로, 1점은 매우 불만족함, 4점은 보통, 7점은 매우 만족함을 나타낸다. 실험 결과는 유의수준 5%에서 분산 분석을 통해 분석되었으며, 사후 분석에는 SNK test가 사용되었다.

4.2 Results

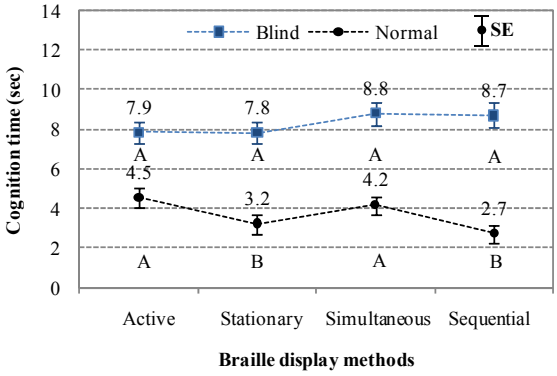
시각장애인의 반응 시간은 Figure 7.a에 나타낸 것과 같이 active 방법과 stationary 방법이 다른 방법들보다 짧은 것으로 나타났으나, 정상인은 stationary 방법이 유의하게 짧은 것으로 분석되었다. 시각장애인의 active 방법과 stationary 방법에 대한 반응 시간은 평균 7.9초와 7.8초로 simultaneous 방법과 sequential 방법의 평균 8.8초와 10.0초보다 짧은 것으로 나타났다($F(3, 21) = 3.54$, $p = 0.032$). 반면, 정상인은 stationary 방법의 반응 시간이 평균 3.2초로 나타나 다른 방안들(active = 4.6초, simultaneous = 4.2초, sequential = 4.0초)보다 유의하게 짧은 것으로 파악되었다 ($F(3, 21) = 5.22$, $p = 0.008$).

시각장애인의 인식시간은 Figure 7.b와 같이 모든 방법이 유사한 것으로 나타났으나, 정상인은 sequential 방법과 stationary 방법이 다른 방법들보다 유의하게 짧은 것으로 분석되었다. 시각장애인의 active 방법과 stationary 방법에 대한 인식 시간은 평균 7.9초와 7.8초로 simultaneous 방법과 sequential 방법의 8.8초와 8.7초보다 짧은 것으로 파악되었으나, 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다($F(3, 21) = 0.70$, $p = 0.560$). 반면, 정상인의 sequential 방법과 stationary 방법에 대한 인식 시간은 평균 2.7초와 3.2초로 simultaneous 방법과 active 방법의 4.2초와 4.6초보다 유의하게 짧은 것으로 나타났다($F(3, 21) = 11.9$, $p < 0.001$).

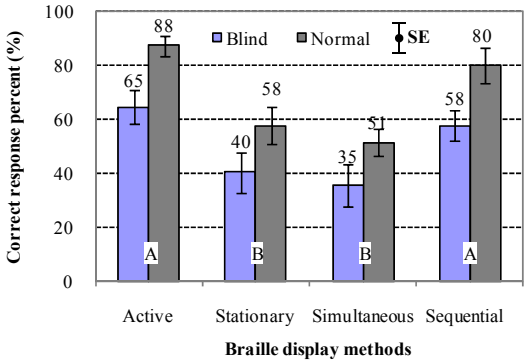
시각장애인과 정상인의 인식 정확도는 Figure 7.c와 같이 active 방법과 sequential 방법이 다른 방법들보다 유의하게 높은 것으로 파악되었다. 시각장애인의 active 방법과 sequential 방법에 대한 인식 정확도는 각각 평균 66.4%와 57.6%로서 stationary 방법과 simultaneous 방법의 40.3%와 35.4%보다 유의하게 높게 나타났다($F(3, 21) = 11.7$, $p = 0.001$). 또한, 정상인도 active 방법과 sequential 방법에 대한 인식 정확도가 평균 87.5%와 79.9%로 stationary 방법과 simultaneous 방법의 57.6%와 51.4%보다 유의하



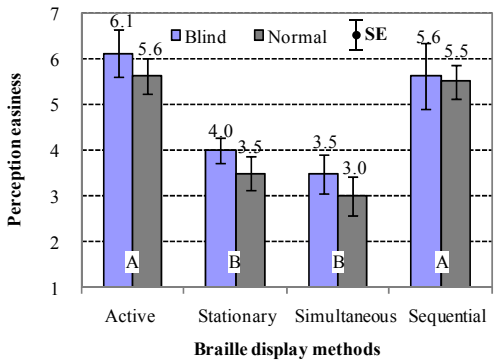
(a) Reaction time



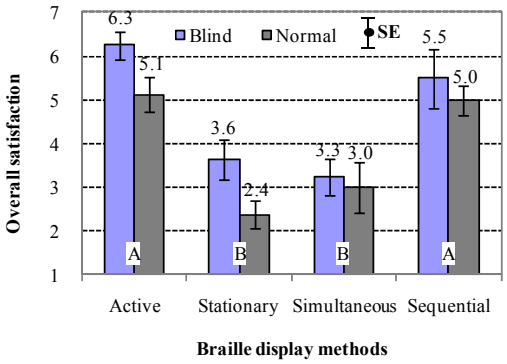
(b) Recognition time



(c) Correct response percentage



(d) Ease of perception



(e) Overall satisfaction

Figure 7. Performance of different Braille display methods(Different letters indicate a significant difference at α = 0.05)

게 높은 것으로 분석되었다($F(3, 21) = 22.6$, $p < 0.001$).

시각장애인과 정상인에 대한 정보 인식 용이성 및 전반적 만족도는 Figure 7.d와 7.e에 나타낸 것과 같이 active 방법과 sequential 방법이 다른 방법들보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 먼저, 시각장애인의 정보 인식 용이성과 전반적 만족도는 active 방법(6.1점, 6.3점)과 sequential 방법(5.6점, 5.5점)이 stationary 방법(4.0점, 3.6점)과 simultaneous 방법(3.5점, 3.3점)보다 현저하게 높은 것으로 파악되었다($H(3) = 28.4$, $p < 0.001$). 또한, 정상인의 정보 인식 용이성과 전반적 만족도는 시각장애인과 동일하게 active 방법(5.6점, 5.1점)과 sequential 방법(5.5점, 5.0점)이 stationary 방법(3.5점, 2.3점)과 simultaneous 방법(3.0점, 3.0점)보다 높은 것으로 파악되었다($H(3) = 29.1$, $p < 0.001$).

5. Discussion

본 연구는 착용형 점자 제시 장치를 위한 네 가지 점자 제시 방법(active, stationary, simultaneous, and sequential)의 성능을 체계적으로 비교 평가하였다. 이를 위해, 본 연구는 다양한 방법으로 점자 정보를 제시할 수 있는 핀 배열 방식의 점자 장치를 개발하였다. 그리고, 검지손가락의 점자 인식 특성을 평가하는 예비 실험을 통해 simultaneous 방법과 sequential 방법의 점자 제시 특성(점자 제시 반복 빈도, 점자 제시 시간 간격)을 결정하였다. 마지막으로, 객관적 및 주관적 평가 기준을 적용하여 네 가지 점자 제공 방법의 성능을 종합적으로 비교 평가하였다.

Simultaneous 방법의 점자 제시 반복 빈도는 반응 시간이 상대적으로 짧고 인식 정확도가 높은 7Hz로 설정되었다. Simultaneous 방법의 반응 시간은 6Hz와 7Hz에서 평균 4.1초로 다른 반복 빈도의 평균 4.7초보다 짧은 것으로 나타났다. 또한, 7Hz에 대한 인식 정확도는 평균 59%로 다른 반복 빈도의 평균 50.1%보다 상대적으로 높았다.

본 연구의 점자 제시 반복 빈도에 따른 인식 정확도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타나 기존 연구 결과와 상반되는 것으로 분석되었다. Kyung et al.(2005)은 1~560Hz 반복 빈도에 대한 두 점 자극(직경: 0.7mm, 간격: 1.6mm)의 인식 정확도 평가를 통해 1~3Hz의 정확도(약 85%)가 가장 우수한 것으로 보고하였다. 그러나, 본 연구에서 파악된 6점 자극(직경: 1mm, 간격: 3mm)에 대한 인식 성능은 반복 빈도(범위: 1~8Hz)에 따라 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며, 인식 정확도가 42~59%로 기존 연구보다 현저히 낮게 나타났다. 이러한 본 연구의 낮은 인식 정확도는 기존 연구의 두 점 자극 판별과는 달리 무작위로 제시되는 1~6점의 다양한 자극 조건을 식별해야 하기 때문인 것으로 추정된다.

Sequential 방법의 점자 제시 간격은 반응 시간, 인식 시간, 그리고 인식 정확도를 종합적으로 고려하여 500ms로 설정되었다. Sequential 방법의 반응 시간은 300~800ms 조건에서 유의하게 짧은 것으로 파악되었으며, 인식 시간은 400~600ms 조건에서 상대적으로 짧게 나타났다. 한편, 인식 정확도는 500~800ms 조건에서 87~95%로 높은 것으로 분석되었다. 본 연구는 상기 세 가지 평가 척도의 선호 범위에 모두 포함된 500ms(반응 시간: 4.5초, 인식 시간: 3.3초, 인식 정확도: 93%)와 600ms(반응 시간: 4.5초, 인식 시간: 3.4초, 인식 정확도: 91%) 중에서 상대적으로 인식 성능이 높았던 500ms를 sequential 방법의 점자 제시 간격으로 선정하였다.

Sequential 방법의 인식 성능은 점자 제시 시간 간격에 따라 masking 효과와 memory 부담의 영향을 받는 것으로 나타났다. 점자 제시 간격이 200~400ms일 때 인식 시간과 인식 정확도는 평균 3.7초와 77%로서 500~600ms일 때의 평균 3.3초와 92%보다 낮은 것으로 나타났다. 이러한 경향성은 점자 제시 간격이 과도하게 짧으면 먼저 제시된 점자를 인식하는 중에 다음 점자 자극이 제시되어 정보 인식에 혼란을 야기하기는 masking 효과가 발생하기 때문인 것으로 추정된다(Verrillo and Gescheider, 1992). 반면, 점자 제시 간격이 700ms를 초과하게 되면 인식 시간이 평균 4.4초로 지연되게 된다. 이러한 점자 제시 간격의 증가로 인한 인식 시간의 지연은 먼저 제시된 점자 정보를 최종 점자가 제시될 때까지 기억하고 있어야 하는 memory 부담 때문에 발생하는 것으로 추정된다.

시각장애인은 active 방법과 sequential 방법에 대한 인식 성능이 다른 방법들보다 우수한 것으로 파악되었다(Table 2 참조). 본 연구에 고려된 네 가지 점자 제시 방법들의 반응 시간(최대 차이 = 2.2초)과 인식 시간(최대 차이 = 0.9초)은 유사한 것으로 나타났다. 그러나, 인식 정확도와 주관적 만족도는 active 방법과 sequential 방법이 다른 방안들보다 평균 1.65배 높은 것으로 파악되었다.

Table 2. Comparison of Braille presentation methods for the blind*

Measure		Braille display method			
		Active	Stationary	Simultaneous	Sequential
Objective	Reaction time	○	○		
	Cognitive time	○	○	○	○
	Correct response percentage	○			○
Subjective	Perception easiness	○			○
	Overall satisfaction	○			○

* "○" indicates significantly preferred at $\alpha = 0.05$

시각장애인은 정상인과 상이하게 active 방법의 반응 시간이 다른 방법들보다 짧은 것으로 나타났다. 시각장애인의 active 방법에 대한 반응 시간은 평균 7.8초로 다른 방법들의 평균 9.4초보다 짧은 것으로 나타났다. 반면, 정상인의 active 방법에 대한 반응 시간은 평균 4.5초로 다른 방안들의 3.8초보다 현저히 느린 것으로 분석되었다. 이러한 시각장애인과 정상인의 상반된 점자 인식 성능은 시각장애인들이 일반 점자와 유사한 형태로 점자가 제시되는 active 방법

에 익숙하기 때문인 것으로 추정된다.

실험에 참여한 시각장애인의 점자 인식 성능은 정상인보다 현저히 저하되어 있는 것으로 나타났다. 시각장애인의 반응 시간은 평균 8.6초로 정상인의 4.0초보다 2.2배 느린 것으로 분석되었으며, 시각장애인의 인식 시간은 평균 8.3초로 정상인의 3.7초보다 2.3배 느린 것으로 파악되었다. 또한, 시각장애인의 인식 정확도는 평균 49.5%로 정상인의 69.1% 대비 0.72배 수준인 것으로 나타났다. 이러한 시각장애인(평균 연령: 50세)과 정상인(평균 연령: 25세) 간의 점자 인식 성능 차이는 연령에 따른 tactile acuity 및 information processing 성능 차이에도 기인하는 것으로 추정된다(Stevens, 1992; Verrillo and Gesheider, 1992).

향후 연구 과제로 서로 다른 패턴의 점자가 연속적으로 제시되는 상황에 대한 점자 인식 실험이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 6점으로 이루어진 단일 점자 패턴에 대한 점자 인식 실험이 수행되었다. 그러나, 착용형 점자 제시 장치에 활용하기 위해서는 서로 다른 패턴의 점자가 연속적으로 제시될 경우의 점자 인식성을 평가하는 후속연구가 필요하다.

Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science, and Technology(2010-0012291).

References

Amemiya, T., Yamashita, J., Hirota, K. and Hirose, M., "Virtual Leading Blocks for the Deaf-blind: A Real-time Way-finder by Verbal-Nonverbal Hybrid Interface and High-density RFID Tag Space", *Proceedings of the 2004 Virtual Reality*, Chicago, IL, USA, 2004.

Choi, H. R., Lee, S. W., Jung, K. M., Koo, J. C., Lee, S. I., Choi, H. G., Jeon, J. W. and Nam, J. D., "Tactile Display as a Braille Display for the Visually Disabled", *Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Sendai, Japan, 2004.

Choi, H., Kim, B., Park, H. and Song, J., "Development of a Braille Display using Piezoelectric Linear Motors", *SCIE-ICASE International Joint Conference*, Busan, South Korea, 2006.

Johnson, K. J., The roles and functions of cutaneous mechanoreceptor. *Neurobiology*, 455-461, 2001.

Kim, Y. M. and Ryu, J. H., "Information Display by Wearable Pneumatic Tactile Interface". *Proceedings of 2005 HCI international conference*, Las Vegas, NV, USA, 2005.

Kyung, K. U., Ahn, M., Kwon, D. S. and Srinivasan, M. A., "Perceptual and Biomechanical Frequency Response of Human Skin: Implication for Design of Tactile Displays", *Proceedings of the 1st Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Pisa, Italy, 2005.

Lai, H. and Chen, Y., A study on the blind's sensory ability. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 565-570, 2006.

Lass, N. J., Speech and Hearing Science: selected readings. MSS Information Corporation. New York. 1974.

Lee, B., ATM is fear for blind. Hankyoreh Newspaper. Retrieved December 16, 2005 from http://www.hani.co.kr, 2005.

Minister of Health and Welfare, *Summary of Laws related Accommodation Improvements for Disabled, Aged, and Pregnant Population*. Rehabilitation Supporting Department in Minister of Health and Welfare, 1999.

Moy, G., Wagner, C. and Fearing, R. S., "A Compliant Tactile Display for Teletaction", *Proceedings of 2000 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Piscataway, NJ, USA, 2000.

Sadato, N., Okada, T., Kubota, K. and Yonekura, Y., Tactile discrimination activates the visual cortex of the recently blind naive to Braille: a functional magnetic resonance imaging study in humans, *Neuroscience Letters*, 359, 49-52, 2004.

Son, S., Kyung, K., Yang, G. and Kwon, D., Study of human tactile sensing characteristics using tactile display system, *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering*, 11(5), 451-456, 2005.

Stevens, J. C., Aging and spatial acuity of touch. *Journal of Gerontology*, 47(1), 35-40, 1992.

Verrillo, R. T. and Gesheider, G. A., Perception via the Sense of Touch in Tactile Aids for the Hearing Impaired. In Summers, I. R. (Ed). *Tactile Aids for the Hearing Impaired*. Willey, John & Sons, 1992.

Author listings

Kihyo Jung: kjung@ulsan.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial & Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

Position title: Assistant Professor, School of Industrial Engineering, University of Ulsan

Areas of interest: Ergonomic product design, Digital human simulation, Usability testing, Work-related musculoskeletal disorders(WMSDs) prevention

Minjeong Lee: minjeong.lee@lge.com

Highest degree: M.S., Department of Industrial & Management Engineering, Pohang University of Science and Technology
Position title: UX Designer, Mobile Handset R&D Center, LG Electronics
Areas of interest: User experience design, Ergonomic product design, Usability testing

Joonho Chang: juc237@psu.edu

Highest degree: M.S., Department of Industrial & Management Engineering, Pohang University of Science and Technology
Position title: Ph.D. Candidate, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University
Areas of interest: Ergonomic product design, Biomechanics, Workstation design, Physical affordance, Usability testing, and Work-related musculoskeletal disorders(WMSD) prevention

Heecheon You: hcyou@postech.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial and Management Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Associate Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Pohang University of Science and Technology
Areas of interest: Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders(WMSDs) prevention, Usability testing

Date Received : 2011-02-07
Date Revised : 2011-10-05
Date Accepted : 2011-10-11