

석사학위논문

착용형 점자 제시 장치의  
점자 제시 방안 비교 평가

이 민 정 (李 旼 庭)

기계산업공학부 산업경영공학과 (인간공학 전공)

포항공과대학교 대학원

2006

착용형 점자 제시 장치의  
점자 제시 방안 비교 평가

**Evaluation of information presentation  
methods for a wearable Braille display**

**Evaluation of information presentation  
methods for a wearable Braille display**

by  
**Minjeong Lee**

**Department of Industrial & Management Engineering,  
(Human Factors and Ergonomics Program)  
Pohang University of Science & Technology**

**A thesis submitted to the faculty of Pohang University of Science  
& Technology in partial fulfillment of the requirements for the  
degree of Master of Science in the Industrial & Management  
Engineering (Human Factors and Ergonomics Program)**

**Pohang, Korea  
December 21, 2005  
Approved by**

---

**Heecheon You, Major Advisor**



**MIE** 이민정, Minjeong Lee, Evaluation of information presentation methods  
**20042463** for a wearable Braille display, 착용형 점자 제시 장치의 점자 제시  
방안 비교 평가, Department of Industrial & Management Engineering,  
2006, 67p, Advisor: Heecheon You, Text in Korean.

## **Abstract**

A wearable Braille display is needed for blind people in order to increase information accessibility. In this study, three Braille display methods- stationary method (statically & continuously display), simultaneous method (display with vertical vibration) and sequential method (sequentially display one by one) -which are passively touched in a wearable Braille display were suggested. The suggested methods were compared with an active touch method through the psychophysical experiments using a Braille display actuated by Radio-controlled (RC) servomotors.

A Braille recognition experiment was conducted to find high recognition levels for the simultaneous method and the sequential method. Response time (sec) or perception time (sec), and correct response percentage (%) were measured for the selection of the optimal levels. Through the experiment, 7Hz-frequency in the simultaneous method and 500 ms-time interval in the sequential method showed high performances in the Braille recognition.

The results of the psychophysical experiment showed that active methods and sequential methods were appropriate information display methods for a wearable Braille display. Eight normal people and eight blind people participated in the experiment for an evaluation of the Braille display methods. Each passive touch method was evaluated compared with active touch method. Response & perception time (sec), correct response

percentage (%), and subjective ratings were measured for an evaluation of each method. As a result, both the active method and the sequential method had short perception time, high correct response percentage (>70 %), and high subjective ratings compared with the stationary method or the sequential method.



# 목차

<b>1. 서론</b> .....	<b>1</b>
1.1 연구 배경 및 필요성 .....	1
1.2 연구 목표 및 접근 방법.....	3
<b>2. 문헌 조사</b> .....	<b>5</b>
2.1 촉감 인지 특성 .....	5
2.2 시각 장애인을 위한 촉감 정보 제시 장치 개발 및 연구 동향.....	10
<b>3. 점자 제시 장치 제작</b> .....	<b>13</b>
3.1 점자 제시 장치 설계 .....	14
3.2 점자 제시 장치 구성 .....	17
<b>4. 점자 제시 방안 비교 실험</b> .....	<b>20</b>
4.1 점자 제시 방안 .....	20
4.2 실험 방법 .....	21
4.2.1 피실험자.....	24
4.2.2 실험 장비.....	25
4.2.3 수행 작업.....	27
4.2.4 Measurement .....	28
<b>5. 결과</b> .....	<b>32</b>
5.1 Simultaneous 방안의 frequency 변화에 따른 인식성.....	32
5.2 Sequential 방안의 time interval 변화에 따른 점자 인식성.....	36

5.3 점자 제시 방안 별 점자 인식성.....	42
<b>6. 토의.....</b>	<b>54</b>
6.1 Simultaneous 방안의 frequency에 따른 점자 인식성 .....	54
6.2 Sequential 방안의 time interval에 따른 점자 인식성 .....	55
6.3 시각 장애인과 정상인의 점자 인식성.....	57
6.4 점자 제시 방안별 점자 인식성.....	58
<b>7. 결론.....</b>	<b>60</b>
<b>References .....</b>	<b>62</b>
<b>부록.....</b>	<b>66</b>
A. 점자 제시 방안 비교 실험 주관적 평가 양식.....	66

## 표 목차

표 2-1. 피부 감각 수용기의 특성 .....	6
표 4-1. 피실험자 특징 .....	24
표 5-1. Frequency 별 response time 에 대한 분산분석 결과 .....	33
표 5-2. Frequency 별 correct response percentage 에 대한 분산분석 결과 .....	35
표 5-3. Time interval 별 response time 에 대한 분산분석 결과 .....	37
표 5-4. Time interval 별 perception time 에 대한 분산분석 결과 .....	41
표 5-5. Time interval 별 correct response percentage 에 대한 분산분석 결과 .....	42
표 5-6. Response time 에 대한 분산분석 결과 .....	45
표 5-7. Perception time 에 대한 분산분석 결과 .....	48
표 5-8. Correct response percentage 에 대한 분산분석 결과 .....	50
표 5-9. 주관적 평가에 대한 Kruskal-Wallis test 결과 .....	53

## 그림 목차

그림 1-1. 착용형 점자 제시장치의 개념도 .....	2
그림 2-1. 피부 감각 수용기의 위치와 구조 .....	6
그림 2-2. SA 섬유와 RA 섬유의 활성화 양상 .....	7
그림 2-3. 성별에 따른 진동 자극 인지 특성 .....	8
그림 2-4. 연령에 따른 진동 자극 인지 특성 .....	9
그림 2-5. Optacon 의 구조 .....	10
그림 2-5. 착용형 촉감 정보 제시 장치 예 .....	12
그림 3-1. 점자 제시 장치 제작 .....	13
그림 3-2. Tactile shape display .....	15
그림 3-3. RC servomotor 를 이용한 핀 구동 .....	15
그림 3-4. 핀의 직경 및 중심간 거리 .....	16
그림 3-5. 좌, 우 개폐식 점자 제시 장치 .....	17
그림 3-6. 점자 제시 장치의 hardware 구성 .....	18
그림 3-7. 점자 제시 장치 제어용 software.....	19
그림 4-1. 점자 제시 방안 .....	21
그림 4-2. Sequential 방안의 점자 제시 순서 .....	21
그림 4-3. 실험 진행 .....	22
그림 4-4. 키보드 사용 키 .....	26
그림 4-5. 시각 장애인의 실험 수행 장면 .....	27

그림 4-6. 점자 인식 실험에 사용된 점자 .....	28
그림 4-7. Response time 과 perception time 의 정의 .....	30
그림 4-8. 주관적 평가 항목 .....	31
그림 5-1. Frequency 별 response time .....	34
그림 5-2. Frequency 별 correct response percentage .....	35
그림 5-3. Time interval 별 response time.....	38
그림 5-4. Time interval 별 perception time .....	40
그림 5-5. Time interval 별 correct response percentage.....	42
그림 5-6. 점자 제시 방안 별 response time .....	44
그림 5-7. 점자 제시 방안 별 perception time .....	47
그림 5-8. 점자 제시 방안 별 correct response percentage .....	50
그림 5-9. 점자 제시 방안 별 주관적 평가 .....	52

# 1. 서론

## 1.1 연구 배경 및 필요성

시각 장애인의 정보 접근성 향상을 위해 환경에 제약을 받지 않고 실시간으로 점자 정보를 제시 받을 수 있는 착용형 점자 제시 장치의 개발이 필요하다. 점자는 촉감을 이용한 대표적인 정보 습득 수단으로 하나로 시각장애인들 사이에 널리 사용되고 있다. 보건복지부에서는 시각장애인을 위해 각종 건물이나 대중 교통 및 편의 시설 등에 점자를 표기하도록 법으로 규정하고 있다. 그러나 시설물에 부착된 점자는 시각 장애인이 길을 찾거나 갑작스러운 환경 변화 및 위험요인에 즉각 대처하고자 하는 경우에 활용이 어렵다. 또한 현금인출서비스기기(ATM)나 자판기 및 발권기 등의 각종 서비스 기기가 터치스크린화 되면서 촉감에 의지하여 정보를 획득하는 시각장애인의 정보 획득이 어려워지고 있는 실정이다(한겨레 신문, 2005). 그러므로 장소나 환경변화에 구애 받지 않고 실시간으로 점자 정보를 제시 받을 수 있는 착용형 점자 제시장치의 개발이 필요하다. 착용형 점자 제시 장치는 시각장애인을 위한 Global Positioning Systems (GPS)으로 활용될 수 있고, 각종 서비스기기에 대한 접근성을 높일 수 있다.

착용형 점자 제시 장치는 사용 용도에 따라 손목에 착용하는 방식이나 손가락에 착용하는 방식으로 개발이 가능하고 각 방식에 따라 점자를 인식하는 방법도 달라진다(그림 1-1 참조). 손목 착용형으로 제작될 경우 그림 1-1. (a)와 같이 한 손의 손목에 점자 제시 장치를 착용하고 반대편의 손가락을

이용하여 점자를 인식하는 방식으로 제작이 가능하다. 그림 1-1. (b)와 같이 손가락 착용형으로 제작될 경우 사용자가 손을 움직이지 않아도 제시되는 점자를 인식할 수 있게 된다. 손목 착용형(그림 1-1. (a) 참조)의 경우 기존의 점자를 인식하던 방식이 그대로 적용이 되기 때문에 점자 인식이 용이하다는 장점이 있다. 그러나 갑작스러운 환경 변화나 위험 요인 발생 시 자극을 실시간으로 감지하기는 어려운 단점이 있고 동작에 제약을 주기도 한다. 손가락 착용형(그림 1-1. (b))의 경우 사용자가 의도하지 않아도 실시간으로 점자 정보를 제시 받을 수 있기 때문에 갑작스러운 환경 변화나 위험으로부터 빠른 대응을 할 수 있고 동작에 제약을 주지 않는다는 장점이 있다. 그러나 손가락 착용형의 경우 기존에 점자를 인식하던 방식과 달리 손 끝에 제시되는 점자를 수동적으로 인식해야 하므로 능동적으로 점자를 인식하는 경우와 유사한 인식성을 나타낼 수 있을지에 대해서는 알려지지 않았다.

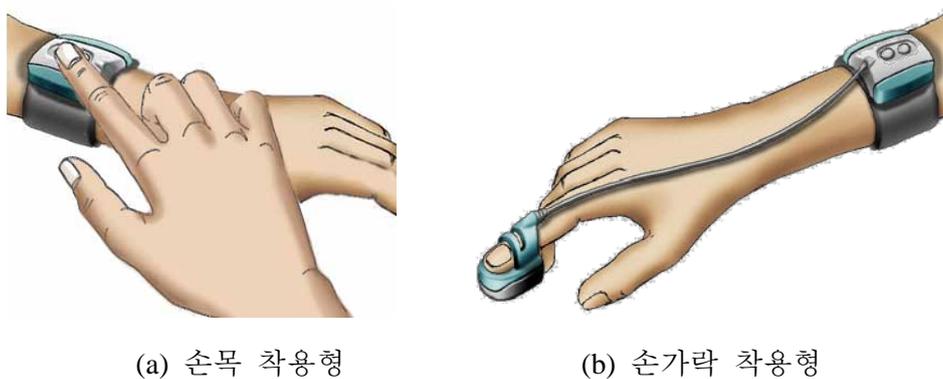


그림 1-1. 착용형 점자 제시장치의 개념도

착용형 점자 제시 장치에서 활용될 수 있는 점자 제시 방안이 제안되어야 하고 점자 제시 장치를 이용한 심물리학적(psychophysical) 실험을 통해 제안된 방안들의 점자 인식성 비교가 필요하다. 손가락 착용형 점자 제시 장치의 경우 수동적 터치(passive touch) 방식을 갖는 점자 제시 방안들이 제안되어야 하고, 제안된 방안 중 점자 인식성이 높은 방안을 찾기 위해 실험을 통한 비교 연구가 필요하다. 이를 위해 다양한 수동적 터치 방식을 지원하는 점자 제시 장치(Braille display)가 제작되어야 하고, 점자 제시 장치를 이용하여 능동적 터치(active touch) 방식으로 점자를 인식하는 경우와의 인식률 비교가 수행되어야 한다.

## 1.2 연구 목표 및 접근 방법

본 연구는 착용형 점자 제시 장치에서 활용될 인식성이 높은 점자 제시 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 다음 두 가지 세부 목표를 포함한다.

첫째, 착용형 점자 제시 장치의 점자 제시 방안을 제안하고 각 방안의 점자 인식 특성을 파악한다. 착용형 점자 제시 장치에 적용될 수 있는 수동적 터치 방식의 점자 제시 방안으로 stationary 방안(점자가 동시에 제시되어 정적인 상태를 유지하는 방식), simultaneous 방안(점자가 동시에 상하 진동하는 방식), sequential 방안(점자가 순차적으로 제공되는 방식)을 제안한다. Simultaneous 방안과 sequential 방안의 경우 각각 진동 frequency 와 점자가 제시되는 time interval 변화에 따른 점자 인식성의 차이를 분석한다.

둘째, 점자 제시 장치를 이용한 심물리학적 실험(psychophysical experiment)을 통해 점자 제시 방안들을 비교 평가하고 착용형 점자 제시 장치에 적합한 방안을 제안한다. 시각 장애인 및 정상인을 대상으로 점자 인식 실험을 수행하여 제안된 방안들의 점자 인식성을 비교 평가한다. 최종적으로 착용형 점자 제시 장치에 적용될 효과적인 점자 제시 방안을 제안한다.

## 2. 문헌 조사

### 2.1 촉감 인지 특성

Johnson (2001), Gescheider (2003) 등은 평활 피부(glabrous skin, 털이 없는 피부)의 해부학적 구조 및 신경생리학적 구조를 연구하면서 촉감과 관련 있는 4 가지 기계적 수용기를 연구하였다. 그림 2-1은 피부 감각 수용기의 위치와 구조를 도시한 것이다. 피부 자극을 인지하는 수용기로 Merkel receptor 와 Messner corpuscle 이 피부 외피에 존재하고, Ruffini cylinder 와 Pacinian corpuscle 이 피부 진피에 위치한다(Goldstein, 2002). 각 자극 수용기는 심물리학적으로 다른 느낌을 감지하는 것으로 알려져 있다(Bolanowsk, Goldstein (2002)에서 인용). Merkel receptor 는 피부 압력을 주로 감지하고 0.3 ~ 3 Hz 의 frequency 에 민감하고, Meissner corpuscle 은 피부의 떨림(flutter)을 감지하고 3 ~ 40 Hz 의 진동에 민감하다고 알려져 있다(표 2-1 참조). Ruffini cylinder 는 피부의 늘어짐(stretching)을 감지하고 25 ~ 400 Hz 의 frequency 영역에 민감한 것으로 알려져 있다. 마지막으로 Pacinian corpuscle 은 손가락을 문지르면서 거칠기를 감지할 때 느끼는 40 ~ 500 Hz 범위에서 가장 민감한 것으로 알려져있다(손승우 외, 2005).

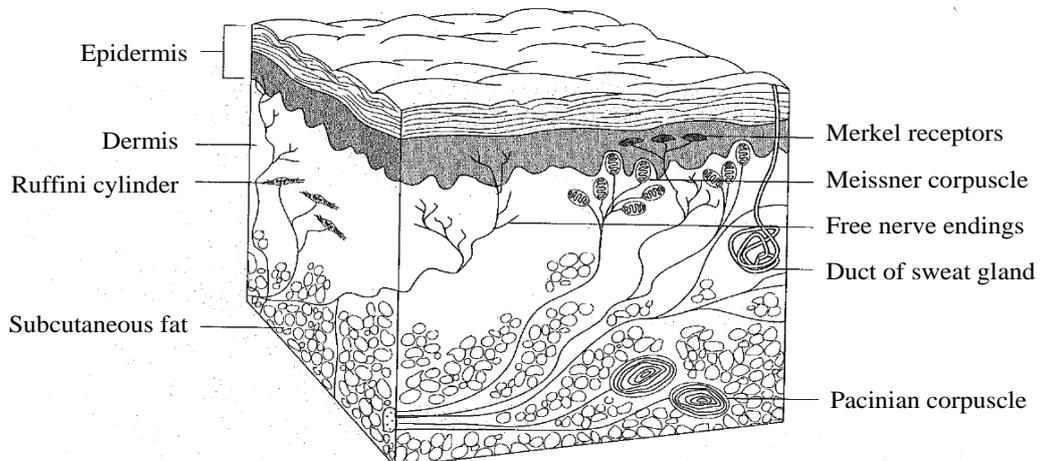


그림 2-1. 피부 감각 수용기의 위치와 구조 (Goldstein, 2002)

표 2-1. 피부 감각 수용기의 특성 (Goldstein, 2002)

Receptors	Frequency range	Receptive field size	Perception	Sensory adaptation
Merkel receptor	0.3 ~ 3 Hz	Small	Pressure	SA1
Meissner corpuscle	3 ~ 40 Hz	Small	Flutter	RA1
Ruffini cylinder	15 ~ 400 Hz	Large	Stretching	SA2
Pacinian corpuscle	10 ~ 500 Hz	Large	Vibration	RA2

피부 감각 수용기와 관련된 섬유는 자극에 대한 순응(adaptation) 특성에 따라 자극에 느리게 순응하는(Slowly Adapting, SA) 섬유와 자극에 빠르게 순응하는(Rapidly Adapting, RA) 섬유로 분류된다(Goldstein, 2002). SA 섬유와

관련된 수용기로는 Merkel receptor (SA1)와 Ruffini cylinder (SA2)가 있고, RA 섬유와 관련된 수용기로는 Meissner corpuscle (RA1)과 Pacinian corpuscle (RA2)이 있다(표 2-1 참조). 그림 2-2는 SA 섬유와 RA 섬유가 피부 자극에 의해 활성화 되는 양상을 나타내고 있다. SA 섬유는 자극이 제시되는 동안 지속적으로 활성화되는 반면, RA 섬유는 자극이 시작된 시점과 종료된 시점에서만 활성화가 일어나는 것을 확인할 수 있다.

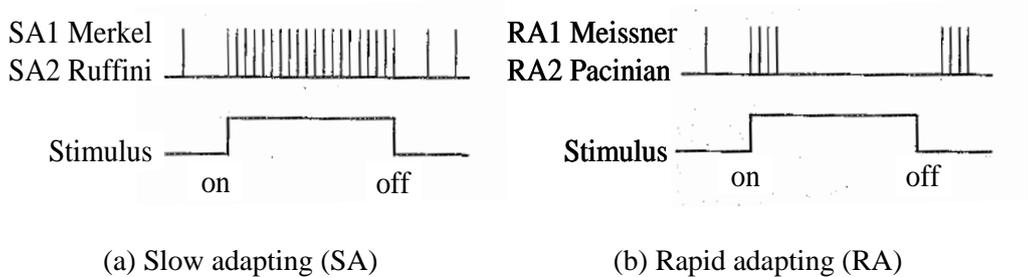


그림 2-2. SA 섬유와 RA 섬유의 활성화 양상 (Goldstein, 2002)

촉감 정보 제시 장치를 설계하기 위해서는 장치를 이용하게 될 사용자의 성별, 연령, 사용 신체부위, 시각 장애 여부에 따른 촉감 인지 특성을 파악하여 설계에 반영해야 한다. Verrillo (1979)는 성별과 연령에 따른 진동 자극에 대한 인지 특성을 연구하였다. 그림 2-3은 남성과 여성의 다양한 진동 frequency 에서의 진동을 감지하는 역치(threshold)를 나타낸 그래프로 남성과 여성의 자극 인지 특성이 유사함을 알 수 있다. 그림 2-4는 연령에 따른 진동 감지 역치를 나타낸 것으로 20 Hz 근방의 low frequency 를 제외한다면 나머지 frequency 범위에서 연령이 높아질수록 자극에 대한 민감도가 떨어지는

것으로 나타났다. Stevens (1992)는 연령에 따른 손가락의 두 점 식별(2-point discrimination) 능력을 비교하여 연령대가 높아질수록 식별 능력이 떨어지는 것을 확인하였다. Vega-Bermudez (2001)는 손가락 별 촉감 자극 식별 능력을 비교하여 검지, 중지, 약지 순으로 식별 능력이 떨어지고, 왼손과 오른손의 차이는 나타나지 않는다고 보고하였다. Van Boven (2000)은 검지와 중지 손가락에 대해 격자 방향(grating orientation) 식별 실험을 수행하여 시각 장애인과 정상인 간의 자극 식별 능력을 비교하였다. 연구 결과 시각 장애인의 자극 식별 능력이 정상인에 비해 우수한 것으로 나타났다.

\* ●, 남성; ○, 여성

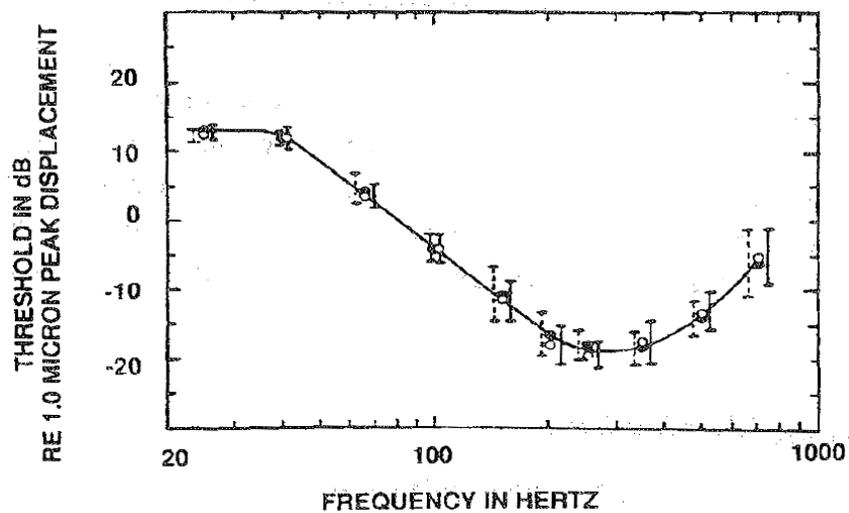


그림 2-3. 성별에 따른 진동 자극 인지 특성 (Verrillo, Verrillo and Gesheider (1992)에서 인용)

\* △, 10 세; ▲, 20 세; ×, 35 세; ○, 50 세; ●, 65 세

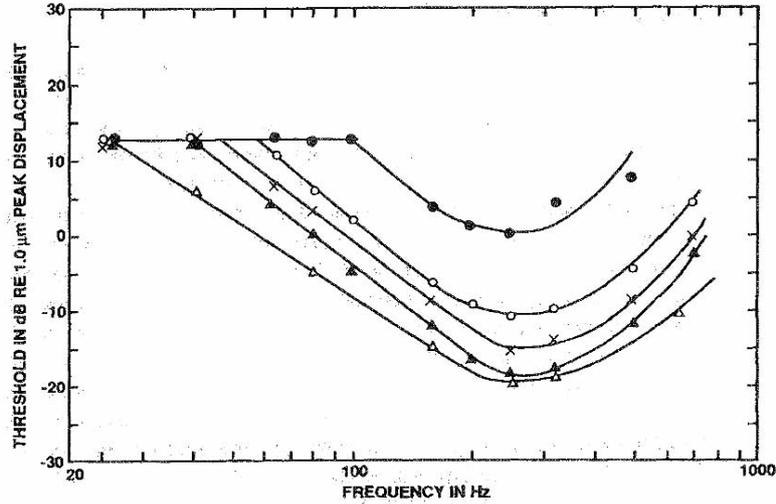


그림 2-4. 연령에 따른 진동 자극 인지 특성 (Verrillo, Verrillo and Gesheider (2002)에서 인용)

촉감을 인식하는 형태는 능동적 터치(active touch)와 수동적 터치(passive touch)에 분류할 수 있다. 물체의 형상을 인식하는 경우에는 능동적 터치 방식이 수동적 터치 방식에 비해 우수하다고 알려져 있다(Gibson, Bolanowski (1999)에서 인용). 그러나 일부 연구에서는 수동적 터치 방식이 특정 task에서는 더 우수한 인식 능력을 보이는 것으로 보고하고 있다(Richardson et al., 1981; Helminen et al., 1994, Bolanowski에서 인용). 손승우 외(2005)의 질감에 대한 촉감 인지 특성 연구에서는 질감 인식의 경우에는 능동적 터치와 수동적 터치가 유사한 인식성을 보이고 있음을 실험을 통해 제시하고 착용형 질감 제시 장치의 개발 가능성을 시사하였다.

## 2.2 시각 장애인을 위한 촉감 정보 제시 장치 개발 및 연구 동향

시각 장애인을 위해 Optacon 이나 PC 용 점자 제시 장치와 같은 능동적 터치 방식의 촉감 정보 제시 장치의 개발은 이루어져 왔으나, 수동적 터치 방식으로 개발된 사례는 미흡한 실정이다. 시각 장애인을 위해 상용화되었던 Optacon (Optical-to-Tactile CONverion)은 그림 2-5와 같이 소형 카메라를 부착하여 카메라를 통해 인식된 형상을 6×24의 핀 배열에서 진동을 이용하여 형상을 제시하도록 구현되어 있다(Linivill and Bliss, Tan and Pentland (1997)에서 인용). Sriskanthan and Subramanian (1990)은 PC 에 연결하여 모니터상의 정보를 40개의 cell 로 구성된 점자로 제시해주는 점자 제시 단말기(Braille display terminal)를 개발한 바 있다. Choi et al. (2004)의 연구에서는 dielectric elastomer 소재를 이용하여 진동을 통해 점자가 제시되는 점자 제시 장치를 개발하였고 PC 와 연결하여 사용하도록 구현되어 있다. 이러한 장비들은 모두 능동적 터치 방식으로만 인식할 수 있도록 구현되어 있고, 수동형 터치 방식으로 구현된 촉감 정보 제시 장치의 개발은 미흡한 실정이다.



그림 2-5. Optacon 의 구조 (Linivill and Bliss, Tan and Pentland (1997)에서 인용)

착용형 촉감 정보 제시 장치의 개발이 일부 진행되고 있으나, 직관적으로 점자를 인식하도록 개발된 착용형 점자 제시 장치에 관한 연구는 진행되지 않고 있다. Moy et al. (2000)은 공기압(pneumatic)을 이용하여 촉감을 구현하는 촉감 제시 장치를 개발하였다. 그림 2-5. (a)와 같이 실리콘 고무를 이용하여 손가락에 착용할 수 있도록 개발하여 착용형 촉감 제시 장치의 개발 가능성을 보여주었다. Kim and Ryu (2005)는 공기압을 이용하여 손바닥 전체에 촉감 정보를 제시하는 휴대형 촉감 정보 제시 장치를 구현하였다. 그림 2-5. (b)에서와 같이 문자나 숫자 정보를 손의 전면에 순차적으로 제공하도록 구현하였다. Amemiya et al. (2004)은 양손에 3 개의 반지형 vibrator 를 부착하여 각 손가락의 진동을 통해 간접적으로 점자를 나타내는 착용형 점자 제시 장치(그림 2-5. (c) 참조)를 개발하였다. 이러한 연구 결과를 통해, 손가락이나 손목에서 직관적으로 점자를 인식할 수 있는 착용형 점자 제시 장치의 개발 가능성을 기대해 볼 수 있다. 그러나 직관적으로 점자를 인식할 수 있는 착용형 점자 제시 장치에 관한 연구는 진행되지 않고 있다.



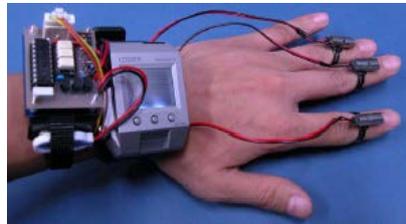
(a) Pneumatic tactile display

(Moy et al., 2000)



(b) Wearable pneumatic tactile interface

(Kim and Ryu, 2005)

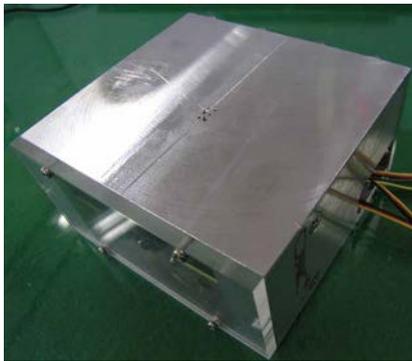


(c) Wearable finger-Braille interface (Amemiya et al., 2004)

그림 2-5. 착용형 촉감 정보 제시 장치 예

### 3. 점자 제시 장치 제작

본 연구에서는 RC servomotor 를 이용하여 핀 배열 방식의 점자 제시 장치(Braille display)를 고안하였고 static mode 와 dynamic mode 로 점자가 제시될 수 있도록 구현하였다. 개발된 점자 제시 장치는 실제 6 점으로 이루어진 점자를 표현하기 위해 그림 3-1과 같이 6 개의 핀으로 구성되어 있고, RC servomotor 를 이용하여 제시하고자 하는 점자의 핀을 올리는 방식으로 개발되었다. 점자가 제시되는 방식은 핀이 올려진 상태에서 지속적으로 유지가 되는 static mode 와 상하 진동 및 순차적으로 점자가 제시되는 dynamic mode 를 모두 지원하도록 개발되었다. 개발된 점자 제시 장치는 장비 구성이 단순하고 경량(941g)으로 제작되어 이동이 용이하다.



(a) RC servomotor 를 이용한 점자 제시 장치



(b) 점자 배열 부분

그림 3-1. 점자 제시 장치 제작

### 3.1 점자 제시 장치 설계

본 연구에서 개발한 점자 제시 장치는 6 개의 RC servomotor 에 steel wire 를 연결시켜 핀의 상하 운동을 가능하게 하였다. 개발된 점자 제시장치는 Wagner et al. (2002)의 RC servomotor 를 이용한 tactile shape display 설계 방식을 응용하여 설계되었다(그림 3-2 참조). 점자 제시 장치의 핀 구동에 사용된 RC servomotor 는 60° 회전 시에 0.12 초(1° 회전 시에 약 0.002 초)가 소요되는 빠른 응답 속도를 가지고 있고, 손으로 누르는 힘에 충분히 버틸 수 있는 2.6 kg-cm 의 torque 를 제공한다. 그림 3-3과 같이 steel wire 의 끝 부분을 ‘L’자 형태로 구부려서 RC servomotor 의 plastic arm 의 구멍에 체결시켰다. 이를 통해 그림 3-3. (a)와 같이 RC servomotor 의 회전 운동이 핀의 수직 운동으로 변형되어 핀을 구동시키게 된다. 개발된 점자 제시 장치에서 사용될 RC servomotor 의 회전 각은 4° ~ 5°로 매우 작은 회전각을 갖기 때문에 핀의 움직임은 수직 운동에 근사하게 된다. 그림 3-3. (b)와 같이 3 개의 RC servomotor 를 좌우 간격이 약 2 mm 정도 떨어지도록 계단형으로 배열하였고, 마주보는 반대편에도 동일한 형태로 RC servomotor 를 배열하였다.

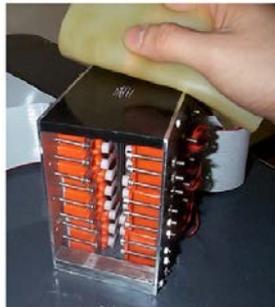
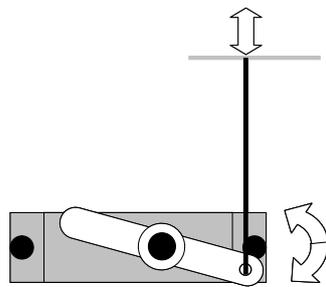


그림 3-2. Tactile shape display (Wagner et al., 2002)

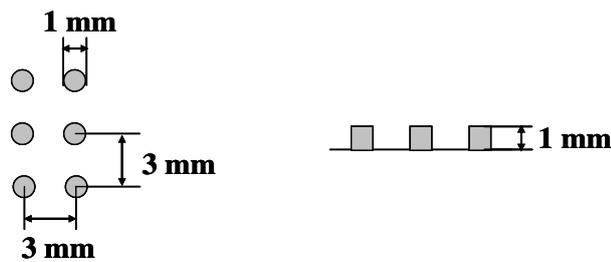


(a) RC servomotor 를 이용한 핀 구동 (b) RC servomotor 및 핀 배열

그림 3-3. RC servomotor 를 이용한 핀 구동

점자 제시를 위해 사용된 핀은 steel wire 를 사용하였고, 핀의 직경과 중심간 거리는 1 mm, 3 mm 로 설정하고, 핀 구동 시 약 1 mm 높이로 올라오도록 하여 피부 표면이 자극을 충분히 인지할 수 있도록 하였다(그림 3-4 참조). 좁은 영역의 자극을 인지를 주로 담당하는 SA1 수용기의 최소 인지 자극의 크기는 0.5 mm 로 알려져 있고(Johnson, 2001), 일반적인 점자의 지름이 약 1 mm 정도임을 반영하여 직경 1 mm 의 핀을 점자 제시를 위해 사용하였다. 또한 검지 손가락이 두 점을 식별할 수 있는 최소 거리가 1 ~ 2

mm 이고(Moy et al.; Kaczmarek; Schmidt and Tews, Jungmann (2002)에서 인용), 실제 점자의 중심간 거리가 2.3 ~ 2.5 mm 임을 반영하여 본 연구에서는 두 점을 명확하게 식별하도록 두 핀의 중심간 거리를 3 mm 로 설정하였다. 핀 구동 시에 자극을 충분히 인지할 수 있도록 1 mm 가량 올라오도록 설정하였다(손승우 외, 2005). 손으로 누르는 힘에 쉽게 변형이 일어나지 않도록 steel 소재의 핀을 사용하였다. 핀과 손가락 접촉 시에 사용자에게 고통을 야기하지 않도록 핀의 끝부분을 둥글게 다듬었다.



(a) 핀 직경 및 중심간 거리 (b) 핀 구동 높이

그림 3-4. 핀의 직경 및 중심간 거리

개발된 점자 제시 장치는 Aluminum 소재를 이용하여 견고하게 제작되었고, 내부 설계 및 유지 보수가 용이하도록 좌우 개폐식으로 설계되었다(그림 3-5 참조). 점자 제시 장치의 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 11 × 11.5 × 6 cm 로 설계 되었고, 외장은 Aluminum 재질을 사용하였고 전면에 acrylic 판을 부착하여 내부가 보이도록 개발하였다. 점자 제시 장치의 제작 및 추후 유지 보수를 위해 후면에 경첩을 부착하여 좌우 개폐가 가능하도록

하였고, 사용시에는 전면의 acrylic 판을 부착하여 고정시킬 수 있도록 설계하였다.

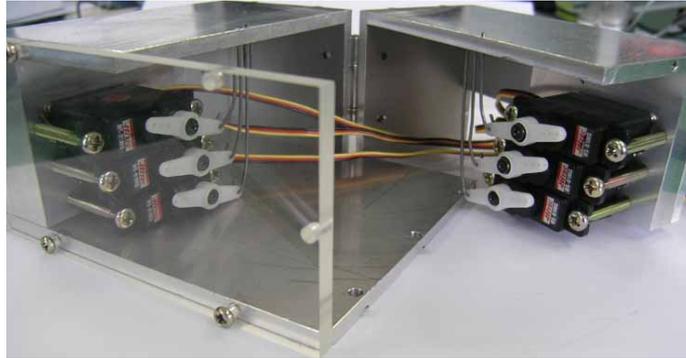


그림 3-5. 좌, 우 개폐식 점자 제시 장치

### 3.2 점자 제시 장치 구성

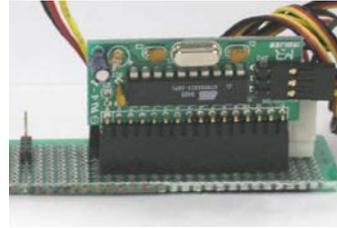
본 연구에서 개발한 점자 제시 장치는 점자가 핀 배열 방식으로 구동되는 hardware 부분과 점자 제시 장치를 제어하는 software 부분으로 구성된다.

점자 제시 장치의 hardware 부분은 RC servomotor 로 구동되는 핀 배열 부분과, control board, USB 통신 module, DC adaptor 로 구성된다(그림 3-6 참조). RC servomotor (그림 3-6. (a) 참조)는 핀 구동을 위해 사용되고 개별 크기는 가로, 세로, 폭 이 각각  $40.5 \times 29.6 \times 12.0$  mm 이고 무게는 19 g 이다. Control board(그림 3-6. (b) 참조)는 마이크로 컨트롤러(MCU)를 이용하여 PC 에서 serial 신호를 전송 받아 RC servomotor 를 제어하도록 구현하였다. USB 통신 module(그림 3-6. (c) 참조)은 USB 직렬 신호를 serial 신호로 변환시켜 PC 와

컨트롤러 사이의 통신을 가능하게 한다. RC servomotor 구동을 위한 전력 공급을 위해 5V DC adaptor (그림 3-6. (d) 참조)가 사용되었다.



(a) RC servomotor



(b) control board



(c) USB 통신 module



(d) 5V DC adaptor

그림 3-6. 점자 제시 장치의 hardware 구성

점자 제시 장치의 제어를 위한 software 는 다양한 mode 의 점자 제시 방식을 지원하고 제시할 점자의 입력과 인식된 점자의 저장 기능을 제공한다. 본 software 는 MFC (Microsoft Foundation Class) language 를 사용하고 compiler 로 Visual C++ 7.0을 이용하여 구현되었다. 그림 3-7과 같이 실험 단계를 설정하는 phase 선택 항목과 USB connection 설정 부분, 제시할 점자 번호를 입력하는 부분, 점자 제시 방안을 선택하는 부분으로 구성되어 있다. 점자 제시 방안을 선택하는 부분에서 frequency 나 time interval 값은 사용자가 원하는 수준으로

설정할 수 있도록 구현하였다. 마지막으로, 피실험자 정보를 입력하는 부분과, 점자 제시 장치의 점자 높이를 초기화 시키는 부분, 피실험자가 인지한 점자번호를 입력하고 저장하는 부분이 추가적으로 구현되었다. 매 trial 마다 사용된 점자 제시 방안, 제시된 점자 번호, 인식된 점자 번호, 점자 인식에 소요된 시간, 올바른 인식 여부, 적용된 frequency 및 time interval 수준이 data 파일 형태로 저장된다.

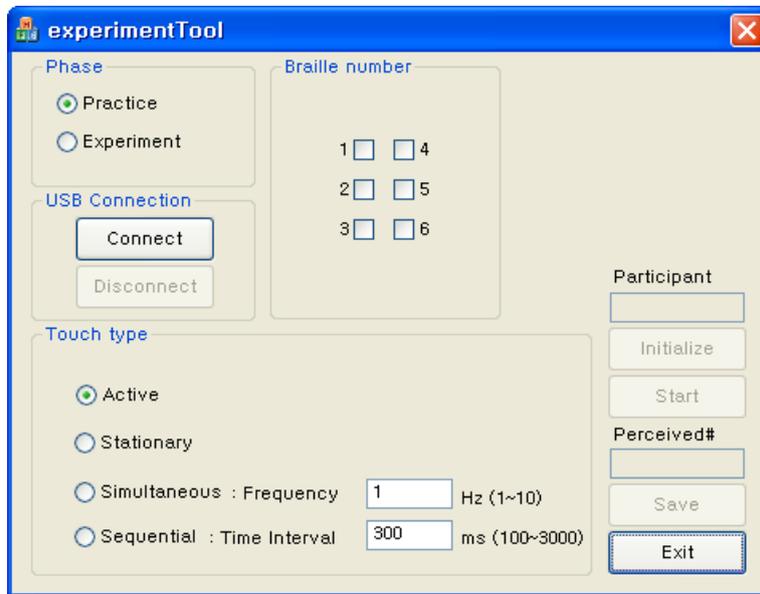


그림 3-7. 점자 제시 장치 제어용 software

## 4. 점자 제시 방안 비교 실험

### 4.1 점자 제시 방안

착용형 점자 제시 장치에서 활용될 수 있는 점자 제시 방안으로 능동적 터치 방식의 active 방안과 수동적 터치 방식의 stationary 방안, simultaneous 방안, sequential 방안이 제안되었다(그림 4-1 참조). Active 방안은 기존의 점자를 읽는 방식인 능동적 터치를 의미하며 손가락을 사용자의 의지대로 움직여 점자 정보를 인식하는 방식이다. 수동적 터치 방안 중 stationary 방안은 사용자의 손가락이 고정된 상태에서 손가락 끝에 점자가 동시에 제공되고 제시된 상태가 정적으로 유지되는 방식이다. Simultaneous 방안은 수동적 터치 방식 중 하나로 사용자의 손가락이 고정된 상태에서 점자가 동시에 반복적으로 제공되는 방식이다. 마지막으로 sequential 방안은 사용자의 손가락이 고정된 상태에서 개별 점자가 일련의 순서를 갖고 하나씩 제공되는 방식이다. Sequential 방안에서는 동일한 점자가 일정 주기로 반복 제시된다. Sequential 방안의 점자 제시 방법은 실제 점자의 배열 순서와 같이 일정 시간 간격(time interval)을 갖고 그림 4-2와 같은 순서로 제공된다.

본 연구는 착용형 점자 제시 장치에 적합한 점자 제시 방안을 파악하기 위해 제안된 4 가지 방식의 점자 제시 방안에 대해 점자 인식 실험이 수행되었다. 점자 제시 방안 별 점자의 인식성은 점자를 인식하는 데 소요된 시간, 올바르게 점자를 인식한 비율, 주관적 평가 결과를 종합적으로 반영하여 평가된다. 실험을 통해 점자 인식성이 높은 제시 방안을 착용형 점자 제시



simultaneous 방안과 sequential 방안의 실험 수준을 설정하기 위해 frequency 변화 및 time interval 변화에 따른 점자 인식성 비교 실험이 수행되었다. 두 번째로, 실험을 통해 파악된 simultaneous 방안과 sequential 방안의 점자 인식성이 높은 실험 수준을 적용하여 점자 제시 방안 비교 실험이 수행되었다.

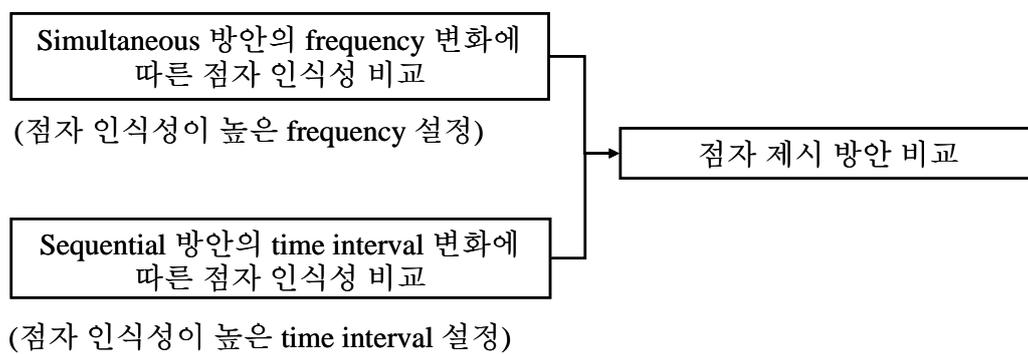


그림 4-3. 실험 진행

Simultaneous 방안과 sequential 방안에서 각각 frequency 변화와 time interval 변화에 따른 점자 인식성 비교 실험이 정상인을 대상으로 수행되었다. 본 실험은 점자 제시 방안의 비교 실험에서 적용될 simultaneous 방안의 상하 진동 frequency 수준과 sequential 방안의 time interval 수준을 결정하기 위해 수행되었다. Simultaneous 방안의 frequency 변화에 따른 점자 인식성을 알아보기 위해 1 Hz ~ 8 Hz 의 low frequency 범위에서 1 Hz 간격으로 점자 인식 실험이 수행되었다. 실험에 사용된 frequency 범위는 Kyung et al. (2005)의 연구에서 사용된 1 ~ 560 Hz 의 진동 범위 중 두 점 식별 비율이 85 % 이상으로 가장 높았던 1 ~ 3 Hz 범위를 반영하여 설정되었다. Sequential 방안의

time interval 수준 결정을 위해 200 ~ 1000 ms 의 time interval 범위에서 100 ms 간격으로 점자 인식 실험이 수행되었다. 각 방안의 frequency 와 time interval 수준 및 점자패턴은 임의의 순서로 제시하여 실험 순서에 따른 학습 효과를 최소화 하였다.

점자 제시 방안간의 점자 인식성 비교를 위해 시각 장애인과 정상인이 실험에 참여하였다. Simultaneous 방안과 sequential 방안의 실험 수준은 사전 실험을 통해 파악된 점자 인식성이 높은 수준들이 적용되어 각각 7 Hz frequency 와 500 ms time interval 을 갖도록 설정되었다. 점자 제시 방안 비교 실험에서는 시각 장애인과 정상인이 실험에 참여하였고, 각 점자 제시 방안과 점자패턴은 임의의 순서로 제시하여 실험 순서에 따른 학습 효과를 최소화 하였다.

두 실험 모두 연습 실험 단계와 본 실험 단계로 나누어 진행 되었으며 본 실험 중 10 분 마다 5 분씩 정기적으로 휴식을 취하도록 하였다. 본 실험 시작 전에 충분히 점자 제시 장치 및 실험 방법에 익숙해 지도록 약 10 분 간의 연습 실험을 수행하였다. 연습 실험을 마치고 5 분간 휴식을 취한 후 본 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 점자를 인식하는 때 trial 마다 약 30 초 간의 휴식을 갖고 다음 점자를 인식하도록 하여 피부의 촉감이 무더지는 것을 방지하였다. 본 실험이 진행되는 10 분 마다 5 분씩의 휴식을 통해 피실험자의 피로를 최소화 하였다.

#### 4.2.1 피실험자

Simultaneous 방안과 sequential 방안에서의 frequency 및 time interval 변화에 따른 점자 인식성을 파악하기 위해 6 명의 정상시력을 지닌 피실험자가 점자 인식 실험에 참여하였다. 각 점자 제시 방안 별로 2 명의 남성과 1 명의 여성이 실험에 참여하였고, 모두 손 부위에 질환을 가지고 있지 않았고 점자 사용 경력이 없었다. Simultaneous 방안의 점자 인식 실험에 참여한 피실험자의 평균 연령은 26.3 세(표준편차: 1.2 세)였고, sequential 방안의 점자 인식 실험에 참여한 피실험자의 평균 연령은 25.6 세(표준편차: 2.1 세)였다 (표 4-1 참조). 실험에 참여한 피실험자 모두 오른손으로 점자를 인식하였다.

표 4-1. 피실험자 특징

실험 단계	피실험자 그룹	성별	평균연령(표준편차)
Simultaneous 방안의 frequency 변화에 따른 점자 인식성 비교	정상인	남자 (2명), 여자 (1명)	26.3 세 (1.2 세)
Sequential 방안의 time interval 변화에 따른 점자 인식성 비교	정상인	남자 (2명), 여자 (1명)	25.6 세 (2.1 세)
점자 제시 방안 비교 실험	정상인	남자 (4명), 여자 (4명)	25.0 세 (2.4 세)
	시각 장애인	남자 (3명), 여자 (5명)	50.0 세 (7.9 세)

점자 제시 방안을 비교하는 점자 인식 실험에는 정상인 8 명과

시각장애인 8 명이 실험에 참여하였다. 실험에 참여한 정상인은 남자 4 명 여자 4 명으로 평균 연령이 25.0 세(표준편차: 2.4 세)였고, 시각장애인은 남자 3명, 여자 5명으로 평균 연령이 50.0 세(표준편차 7.9 세)인 피실험자가 참여하였다. 실험에 참여한 시각 장애인은 모두 후천적으로 시각 장애를 얻은 사람으로, 이들 중 1 명은 저시력에 속하고 나머지 7 명은 맹시에 해당하였다. 실험에 참여한 시각 장애인의 평균 시각 장애 기간은 12.9 년(표준편차: 17.0 년)이고, 평균 점자 사용 경력은 5.4 년(표준편차: 10.5 년)으로 최소 2개월에서 최대 30년으로 파악되었다. 실험 시에는 점자를 읽을 때 주로 사용하는 손의 검지손가락으로 실험하도록 지시하였고, 시각 장애인중 1 명은 오른손을 사용하였고 나머지는 왼손을 사용하였다. 반면 정상인의 경우는 모두 오른손을 사용하였다.

#### 4.2.2 실험 장비

점자 인식 실험을 위한 실험 장비로, 본 연구에서 개발한 점자 제시 장치와 tablet PC, USB 키보드, 귀마개가 사용되었다. 실험에 사용된 tablet PC 는 Pentium 1.10 GHz CPU 를 탑재하고 있으며, 점자 제시 장치 및 점자 인식 실험용 소프트웨어 구동을 위해 사용되었다. 피실험자의 마우스 클릭으로 인한 점자 예측 가능성을 배제하기 위해 table PC 에서 제공하는 touch screen 용 pen 을 이용하여 제시하고자 하는 점자를 입력하였다.

피실험자가 점자를 인식하는 데 소요한 시간을 측정하고 정상인의 경우 직접 인식한 점자 패턴을 입력할 수 있도록 USB 키보드를 tablet PC 에

연결하여 피실험자의 key 입력을 받았다. 피실험자는 한 손으로는 점자를 인식하고 반대편 손으로 key 입력을 수행하였다. Key 입력에는 키보드의 오른쪽 부분에 위치한 number key 부분이 사용되었고 점자를 인식한 시점을 결정을 위해 enter key 가 사용되었다. 정상인의 경우 2, 3, 5, 6, 8, 9 번의 key 를 이용하여 자신이 인식한 점자 패턴 입력하도록 하였다(그림 4-4 참조). 인식한 점자 패턴의 키보드 입력은 점자의 배열과 동일하게 입력 받도록 고안하였다. 예를 들어 8 번, 5 번, 2 번 순서로 key 를 입력하게 될 경우 점자의 1 점, 2 점, 3 점으로 인식하도록 소프트웨어를 고안하였다.

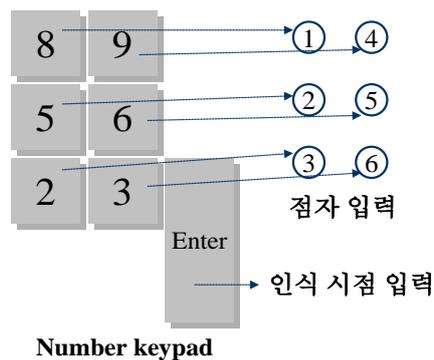


그림 4-4. 키보드 사용 키

점자 제시 장치에서 발생하는 마찰음 및 외부 소음 차단을 위해 귀마개를 착용하도록 하였다. 소음 차단에 사용된 귀마개는 Bilsom 747 제품으로 헤드셋 형태로 착용하도록 제작 되어 있다. 주로 low frequency(< 85 dB)의 소음을 차음시키는 데 효과적이며 외부 소음에 대해 평균 27 dB 정도의 차음 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

### 4.2.3 수행 작업

피실험자는 점자 제시 장치를 통해 제시되는 점자를 검지 손가락 끝으로 인식하고, 점자를 인식하였다고 판단되는 시점에서, 반대편 손으로 enter key 를 입력하도록 지시하였다. 피실험자는 한 손의 검지 손가락은 점자 제시 장치 위에 올려 놓고 나머지 한 손은 키보드의 enter key 위에 위치하도록 지시하였다(그림 4-5 참고). 점자를 인식하는 데 소요된 시간을 측정하기 위해 피실험자는 제시된 점자를 올바르게 인식하였다고 판단되는 시점에서 키보드의 enter key 를 가능한 빨리 입력하도록 지시하였다. 그 후에, 정상인의 경우는 자신이 인지한 점자의 패턴을 키보드를 number key 를 이용하여 점자를 인지하는 손의 반대쪽 손으로 직접 입력하게 하였고, 시각 장애인의 경우 인식한 점자의 번호를 말하게 하였다. 능동적 터치 방안을 제외한 나머지 수동적 터치 방안으로 점자가 제시된 경우는 실험 도중 피실험자가 손가락 위치를 움직이지 못하도록 제한하였다.



그림 4-5. 시각 장애인의 실험 수행 장면

실험에 사용된 점자는 그림 4-6과 같이 1 점자로 이루어진 점자부터 6 점자로 이루어진 점자가 임의로 제시되었고 각 점자 제시 방안 별로 총 18 개의 점자가 제시되었다. 점자를 구성하는 점의 개수 별로 3 가지의 다른 형태의 점자를 선정하여 제시하였고, 6 점자의 경우 동일한 형태를 3 번 반복하여 제시 하였다. 각 점자 제시 방안 별로 18 개의 점자 패턴이 임의의 순서로 제시되었다.

1				2			
	ㄱ (3)	ㅋ(2)-받침	ㅅ(6)		ㄴ (2,4)	ㅈ(3,6)	ㅊ(5,6)
3				4			
	ㅓ(1,2,6)	ㅕ(1,3,6)	ㅗ(1,3,5)		ㅋ (1,3,4,5)	과(1,2,3,6)	ㄴ(2,4,5,6)
5				6			
	연(2,3,4,5,6)	영(1,2,4,5,6)	울(1,2,3,4,6)		웅(1,2,3,4,5,6)		

그림 4-6. 점자 인식 실험에 사용된 점자

#### 4.2.4 Measurement

점자 제시 방안 별 점자 인식성을 평가 하기 위해 response time (sec)과 perception time (sec), correct response percentage (%)와 같은 객관적 평가 척도와

정보 인식 용이성, 전반적 만족도와 같은 주관적 평가 척도가 사용되었다.

점자 인식에 소요된 시간은 response time (sec)과 perception time (sec)으로 나누어 측정되었다. 기존 연구에서 촉감 제시 장치를 이용하여 제시된 정보를 인지하는 데 소요된 시간을 response time 으로 정의한 바 있다(Shimize, 1986). 본 연구에서는 정보 인식에 소요된 시간을 response time 과 perception time 으로 측정하였다. 그림 4-7은 본 연구에서 정의된 response time 과 perception time 의 개념을 sequential 방안을 예로 들어 도시한 것이다. Response time 은 정보가 제시된 시점부터 피실험자가 정보를 인식하였다고 판단한 시점까지의 시간으로 정의된다. 즉, 첫 번째 점자가 제시된 시점부터 피실험자가 enter key 를 입력한 시점까지 측정된 시간을 의미한다. Perception time 은 초기 정보 제시가 완료된 시점에서부터 정보 인식 종료 시점까지 시간으로 정의된다. Perception time 은 response time 에서 초기 정보를 제시하는 데 소요된 시간을 제외한 나머지 시간을 의미한다. Active, stationary, simultaneous 방안의 경우 response time 과 perception time 이 동일한 반면 sequential 방안의 perception time 의 경우 초기 점자 정보가 제시되는 데 소요된 시간만큼 response time 과의 차이가 발생한다.

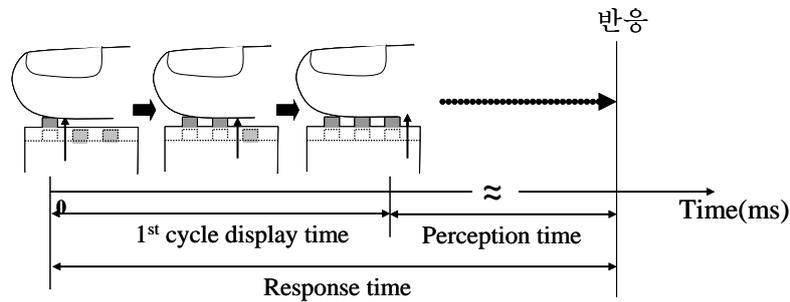
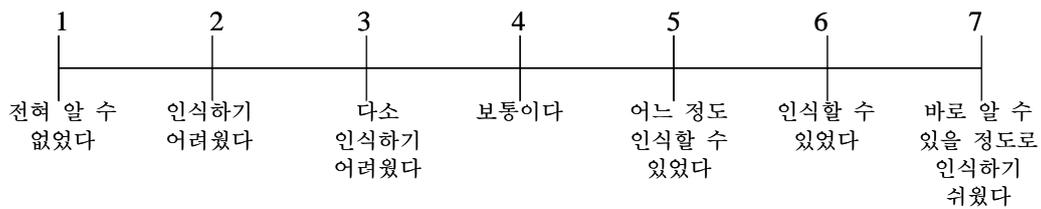


그림 4-7. Response time 과 perception time 의 정의

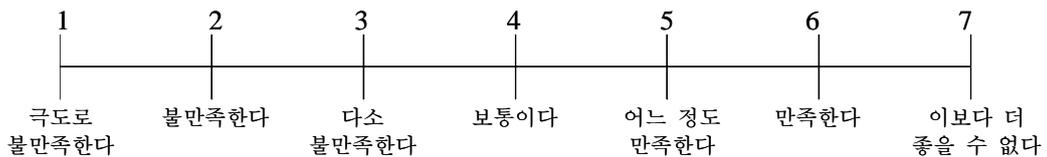
점자 제시 방안 별 정보 인식의 정확도는 제시된 점자를 올바르게 인식한 비율인 correct response percentage (%)를 이용하여 객관적으로 평가되었다. Correct response percentage 는 촉감 인지 실험 및 촉감 제시 장치(tactile display)의 성능평가에서 일반적으로 사용되는 척도이다(Craig and Kisner, 1998; Moy et al., 2000; Shimizu, 1986). 본 연구에서는 제시된 점자의 개수 대비 올바르게 인식한 점자의 비율을 백분율로 나타내어 correct response percentage 로 정의하였다. 이는 제시된 정보를 인식한 정확도를 의미한다.

제안된 점자 제시 방안들의 주관적인 평가를 위해 정보 인식 용이성 및 전반적 만족도에 대한 평가가 7-point Likert scale 로 이루어졌다(그림 4-8 참조). Ramstein (1996)은 점자 제시 장치 설계 시에 실제 사용자가 점자 인식이 용이하고 사용이 편리하도록 설계해야 한다는 인간공학적 설계의 중요성을 언급하였다. 본 연구에서는 점자 제시 방안에 대한 인간공학적 평가 항목으로 정보 인식 용이성과 전반적 만족도를 선정하여 피실험자가 주관적으로 평가할 수 있게 하였다. 정보 인식 용이성은 제시된 정보를 식별하거나 인식하기

쉬운 정도를 평가하는 항목으로 피실험자가 주관적으로 평가하는 항목이다. 1 점은 정보를 전혀 식별할 수 없었음을 의미하고 4 점은 보통 수준으로 정보를 인식할 수 있음을 의미한다, 7 점은 정보 식별이 아주 용이하였음을 의미한다. 전반적 만족도는 각 점자 제시 방안에 대해 선호하거나 만족한 정도를 주관적으로 평가하는 항목이다. 전반적 만족도 평가에서 1 점은 극도로 불만족함을, 4 점은 보통, 7 점은 가장 만족함을 의미한다. 주관적인 평가는 점자 제시 방안 비교 실험에서 수행되었다.



(a) 정보 인식 용이성



(b) 전반적 만족도

그림 4-8. 주관적 평가 항목

## 5. 결과

### 5.1 Simultaneous 방안의 frequency 변화에 따른 인식성

1 ~ 8 Hz 사이의 범위에서 frequency 변화에 따라 점자 인식에 소요된 response time 을 분석한 결과, 2 ~ 8 Hz 범위에서 1 Hz 에 비해 response time 이 유의하게 짧은 것으로 분석되었다. 표 5-1은 frequency 에 따른 response time 에 대해 분산분석을 수행한 결과이고, 그림 5-1 은 각 frequency 별로 평균 response time 을 도시한 것이다. 제시된 모든 점자의 response time 대하여 분산분석을 수행한 결과, 신뢰수준  $\alpha = 0.05$  에서 frequency 간의 차이가 유의하였다 ( $F(7,14) = 4.40, p = 0.009$ ; 표 5-1 (a) 참조). Frequency 간의 Student-Newman-Keuls (SNK) 테스트를 수행한 결과, 1 Hz 의 frequency 에서 나머지 frequency 에 비해 response time 유의하게 길게 소요되는 것으로 나타났다(그림 5-1 (a) 참조). 제시된 점자들 중 올바르게 인식한 점자의 response time 에 대해 분산분석을 수행한 결과, frequency 간의 차이가 유의하였다 ( $F(7,14) = 3.45, p = 0.023$ ; 표 5-1 (b) 참조). Frequency 간의 SNK 테스트를 수행한 결과, 1 ~ 2 Hz, 4 ~ 5 Hz, 7Hz 의 frequency 가 동일한 집단으로 분류되었고, 2 ~ 8 Hz 의 frequency 가 동일한 그룹으로 분류되었다(그림 5-1 (b) 참조). 제시된 모든 점자에 대한 평균 response time (평균 4.59초)에 비해, 올바르게 인식한 점자의 response time (평균 3.65초)이 0.8배 가량 짧았다.

표 5-1. Frequency 별 response time 에 대한 분산분석 결과

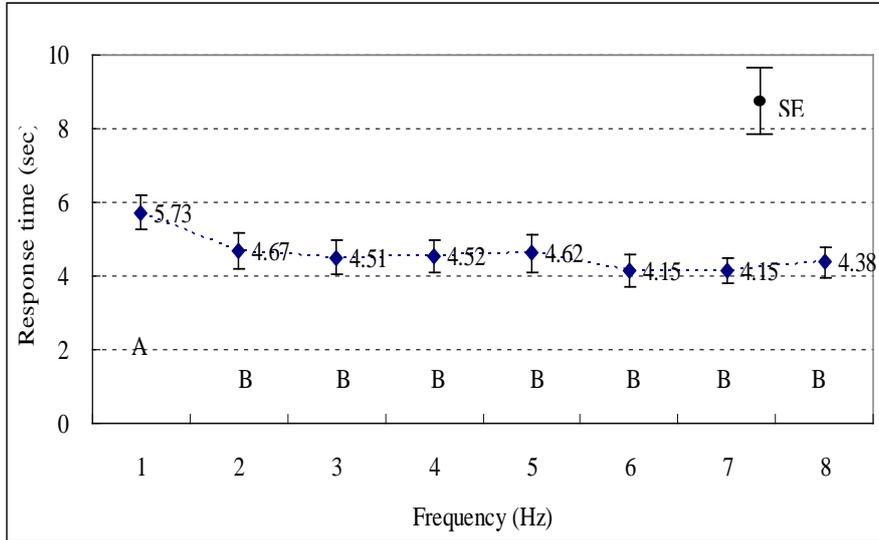
(a) 제시된 모든 점자의 response time

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자(S)	2	50.13	25.07		
Frequency(F)	7	5.32	0.76	4.40	0.009
S × F	14	2.42	0.17		
전체	23	57.87			

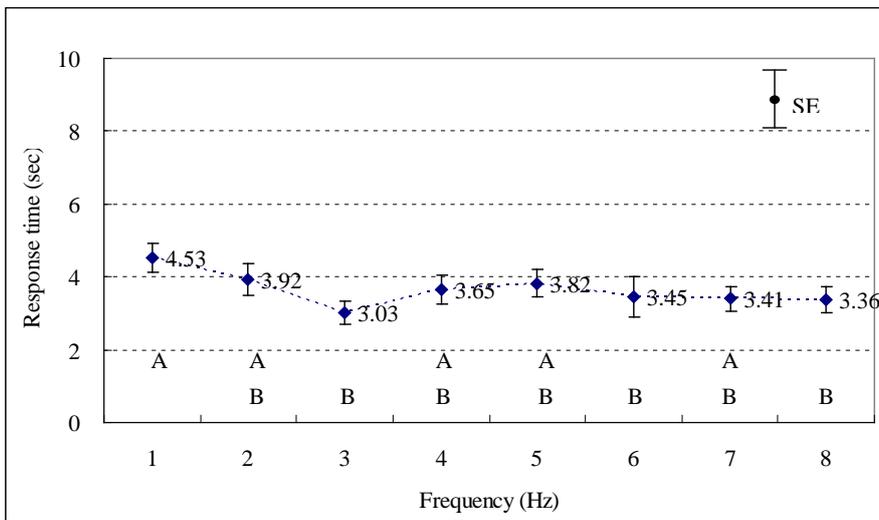
(b) 올바르게 인식한 점자의 response time

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자(S)	2	13.22	6.61		
Frequency(F)	7	4.77	0.68	3.45	0.023
S × F	14	2.77	0.20		
전체	23	20.76			

\* 서로 다른 문자 (A,B)는 서로 다른 그룹임을 의미함



(a) 제시된 모든 점자의 response time (sec)



(b) 올바르게 인식한 점자의 response time (sec)

그림 5-1. Frequency 별 response time (sec)

Frequency 변화에 따라 correct response percentage 를 분석한 결과 frequency 에 따른 유의한 차이가 나타나지 않았다(표 5-2 참조). 그림 5-2는 각 frequency 별로 평균 correct response percentage 를 나타낸 것이다. Frequency 별 correct response percentage 에 대해 분산분석을 수행한 결과 frequency 변화에 따른 유의한 차이는 존재하지 않았다( $F(7, 14) = 0.87, p = 0.552$ ). 1 ~ 8 Hz 의 범위의 frequency 에서 평균 correct response percentage 는 51.8 % 였다.

표 5-2. Frequency 별 correct response percentage 에 대한 분산분석 결과

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자(S)	2	662.96	331.48		
Frequency(F)	7	672.21	96.03	0.87	0.552
S × F	14	1544.83	110.35		
전체	23	2880.01			

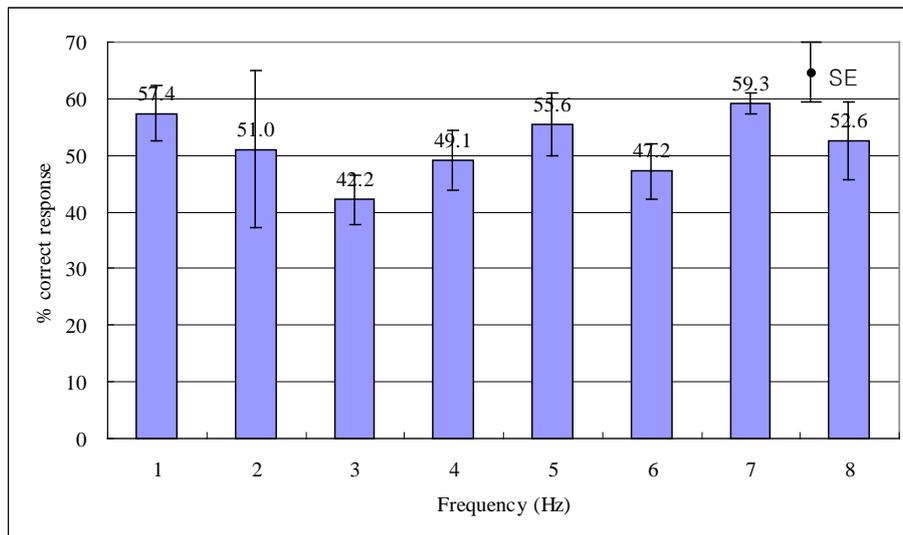


그림 5-2. Frequency 별 correct response percentage (%)

## 5.2 Sequential 방안의 time interval 변화에 따른 점자 인식성

Sequential 방안의 200 ~ 1000 ms 의 time interval 범위에서 time interval 에 따라 response time 에 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었고 400 ms 에서 점자를 올바르게 인식하는 데 소요된 response time 이 200 ms 에 비해 56 % 수준이었다. (표 5-3, 그림 5-3 참조). 제시된 모든 점자의 response time 에 대해 분산분석을 수행한 결과 time interval 에 따른 차이는 유의하지 않았다( $F(8,16) = 2.08, p = 0.101$ ; 표 5-3 (a) 참조). 올바르게 인식한 점자의 response time 에 대해 분산분석을 수행한 결과 time interval 간 차이가 유의하였다( $F(8,16) = 3.62, p = 0.014$ ; 표 5-3 (b) 참조). 제시된 모든 점자와 올바르게 인식한 점자의 response time 에 대해 SNK 테스트를 수행한 결과, 모든 time interval 이 동일한 집단으로 분류되었다. 400 ms 의 time interval 에서 점자를 올바르게 인식하는 데 소요된 평균 response time(평균 3.66 초)은 200 ms 에서의 평균 response time(평균 6.57 초)에 비해 56 % 수준으로 짧았다.

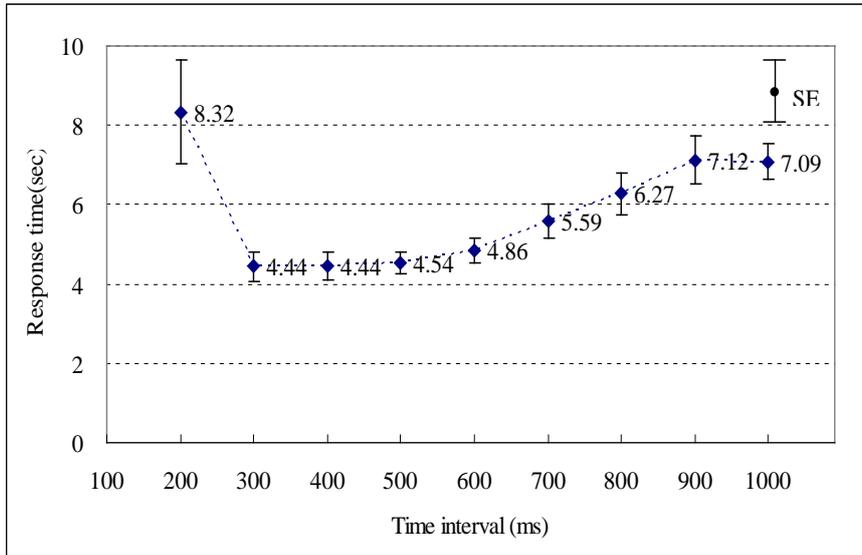
표 5-3. Time interval 별 response time 에 대한 분산분석 결과

(a) 제시된 모든 점자의 response time

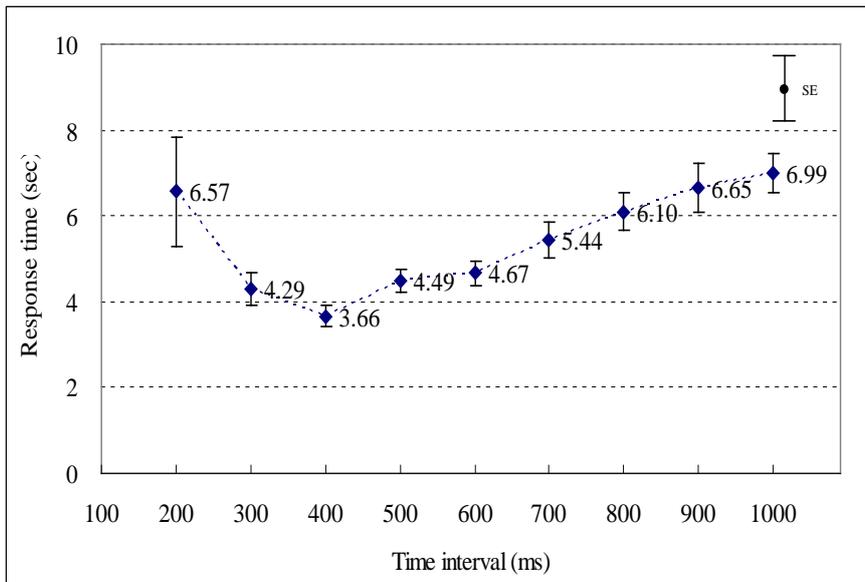
변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자(S)	2	133.98	66.99		
Tim interval(T)	8	48.53	6.07	2.08	0.101
S × T	16	46.69	2.92		
전체	26	229.19			

(b) 올바르게 인식한 점자의 response time

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자(S)	2	102.38	51.19		
Tim interval(T)	8	36.46	4.56	3.62	0.014
S × T	16	20.16	1.26		
전체	26	158.99			



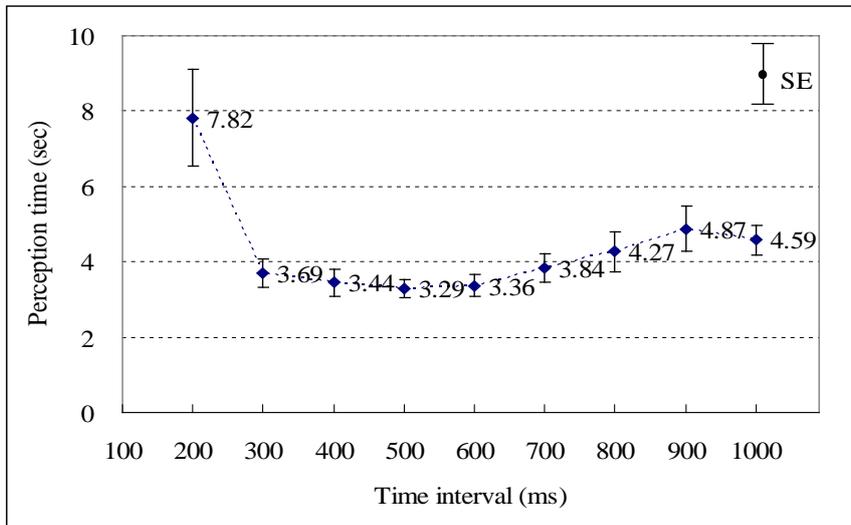
(a) 제시된 모든 점자의 response time (sec)



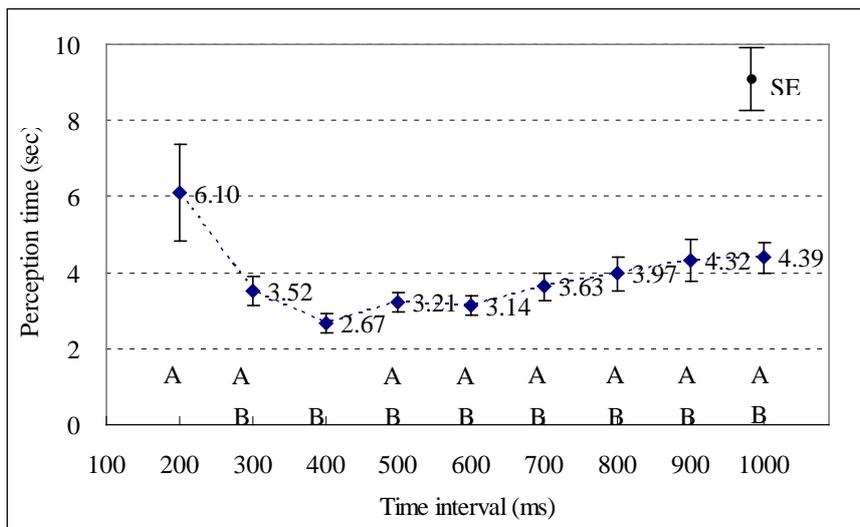
(b) 올바르게 인식한 점자의 response time (sec)

그림 5-3. Time interval 별 response time (sec)

Sequential 방안에서 초기 정보가 제시되는 데 소요된 시간을 제외한 시간인 perception time 을 분석한 결과 300 ~ 1000 ms 범위에서 점자를 올바르게 인식하는 데 소요된 시간이 유의하게 짧은 것으로 파악되었다(그림 5-4 참조). 제시된 모든 점자의 perception time 에 대해 분산분석을 수행한 결과 time interval 간에 perception time 의 차이가 유의하지 않았다( $F(8,16) = 2.06, p = 0.104$ ; 표 5-4 (a) 참조). 올바르게 인식한 점자의 perception time 에 대해 분산분석을 수행한 결과 time interval 에 따른 perception time 의 차이가 유의한 경향이 있는 것을 확인할 수 있었다( $F(8,16) = 2.57, p = 0.051$ ; 표 5-4 (b) 참조). 올바르게 인식한 점자의 perception time 에 대해 SNK 테스트를 수행한 결과 200 ~ 300 ms 와 500 ~ 1000 ms 가 동일한 집단으로 분류되고, 300 ~ 1000 ms 가 동일한 집단으로 분류되었다. 300 ~ 1000 ms 의 범위에서 점자를 올바르게 인식하는 데 소요된 평균 perception time (평균 3.61 초)은 나머지 집단의 평균 perception time (평균 4.48 초)에 비해 80 % 수준으로 짧게 소요되었다.



(a) 제시된 모든 점자의 perception time (sec)



(b) 올바르게 인식한 점자의 perception time (sec)

그림 5-4. Time interval 별 perception time (sec)

표 5-4. Time interval 별 perception time 에 대한 분산분석 결과

(a) 제시된 모든 점자의 perception time

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자(S)	2	133.98	66.99		
Tim interval(T)	8	48.08	6.01	2.06	0.104
S × T	16	46.69	2.92		
전체	26	228.74			

(b) 올바르게 인식한 점자의 perception time

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자(S)	2	101.11	50.56		
Tim interval(T)	8	25.14	3.14	2.57	0.051
S × T	16	19.54	1.22		
전체	26	145.79			

Time interval 별로 correct response percentage 를 분석한 결과 200 ms 와 400 ms 를 제외한 나머지 time interval 에서 85 % 이상의 점자 인식률을 보였다(그림 5-5 참조). Time interval 별 correct response percentage 에 대해 분산분석을 수행한 결과, time interval 에 따른 차이가 유의하였다( $F(8, 16) = 3.71$ ,  $p = 0.012$ ; 표 5-5 참조). SNK 테스트를 수행한 결과, 200 ms 와 400 ms 에서의 correct response percentage (평균 71.3 %)가 나머지 time interval 에서의 correct response percentage (평균 89.2 %)에 비해 유의하게 낮은 것으로 나타났다.

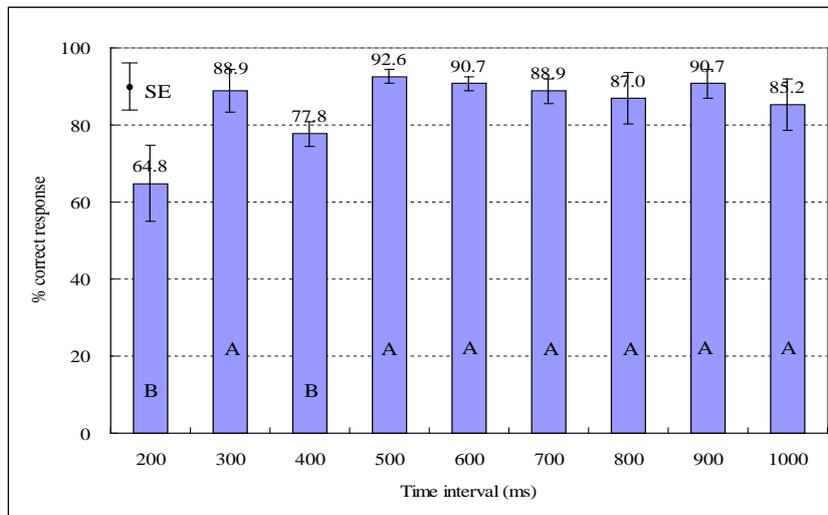


그림 5-5. Time interval 별 correct response percentage (%)

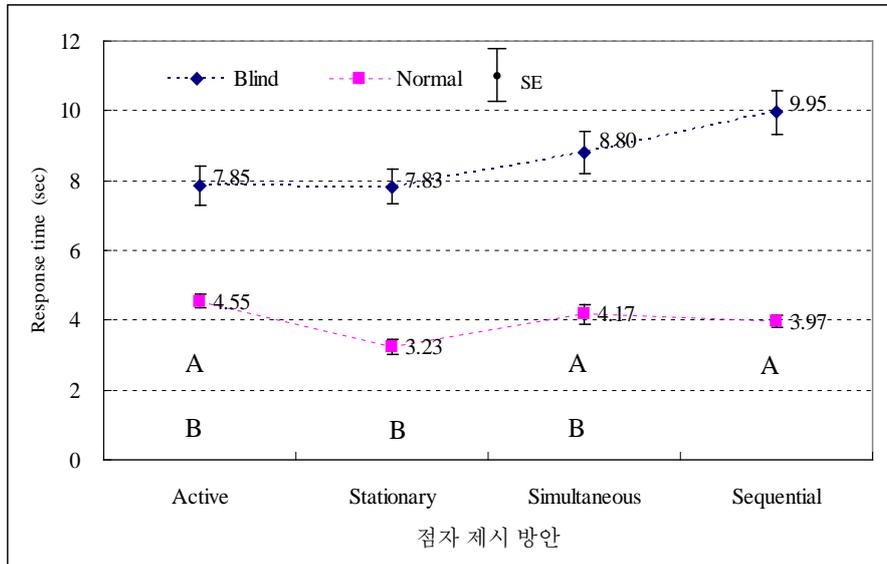
표 5-5. Time interval 별 correct response percentage 에 대한 분산분석 결과

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자(S)	2	540.51	270.25		
Tim interval(T)	8	1850.37	231.30	3.71	0.012
S × T	16	998.52	62.41		
전체	26	3389.40			

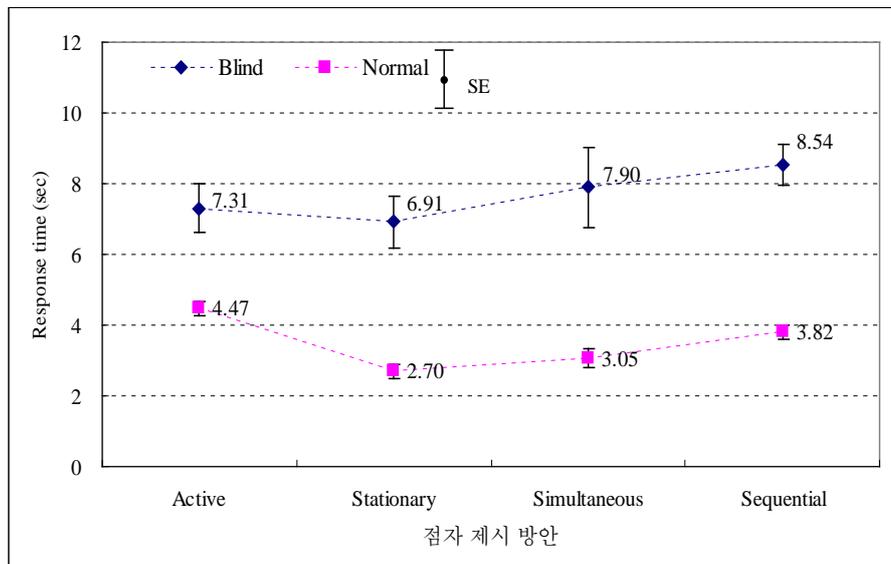
### 5.3 점자 제시 방안 별 점자 인식성

시각 장애인과 정상인을 대상으로 점자 제시 방안 비교 실험을 수행한 결과, 시각 장애인이 점자를 올바르게 인식하는 데 소요한 response time 이 정상인에 비해 평균 2.2 배 길게 소요되는 것으로 나타났다(그림 5-6 참조). 각 점자 제시 방안에 따라 제시된 모든 점자의 response time 에 대해 분산 분석을 수행한 결과, 시각 장애인의 response time (평균 8.61 초)이 정상인의 response time (평균 3.98 초)에 비해 유의하게 오래 지속되는 것으로 나타났다( $F(1, 42) =$

17.03,  $p = 0.001$ ; 표 5-6 (a) 참조). 올바르게 인식한 점자의 response time 에 대해 분산분석을 수행한 결과, 시각 장애인이 올바르게 점자를 인식하는데 소요한 response time (평균 7.67 초)이 정상인의 response time (평균 3.51 초)에 비해 유의하게 길게 소요되는 것으로 나타났다( $F(1, 42) = 18.15, p < 0.001$ ; 표 5-6 (b) 참조).



(a) 제시된 모든 점자의 response time (sec)



(b) 올바르게 인식한 점자의 response time (sec)

그림 5-6. 점자 제시 방안 별 response time (sec)

표 5-6. Response time 에 대한 분산분석 결과

(a) 제시된 모든 점자의 response time

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자 그룹(G)	1	342.72	342.72	17.03	0.001
피실험자(S)[G]	14	281.69	20.12		
점자제시방안(T)	3	17.12	5.71	3.12	0.036
T × G	3	14.48	4.83	2.64	0.062
T × S[G]	42	76.75	1.83		
전체	63	732.77			

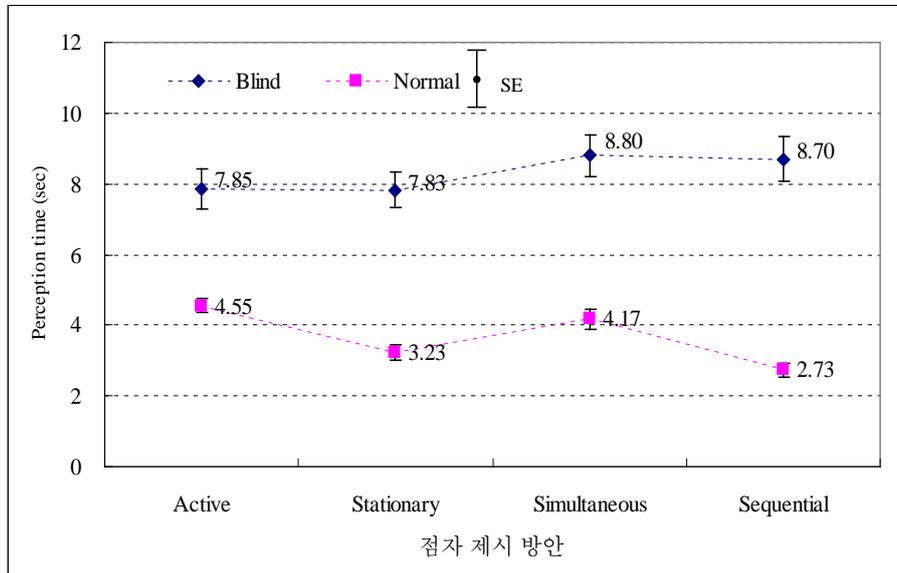
(b) 올바르게 인식한 점자의 response time

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자 그룹(G)	1	271.53	271.53	18.15	<0.001
피실험자(S)[G]	14	209.41	14.96		
점자제시방안(T)	3	30.05	10.02	3.30	0.029
T × G	3	3.68	1.23	0.40	0.751
T × S[G]	42	127.45	3.03		
전체	63	642.11			

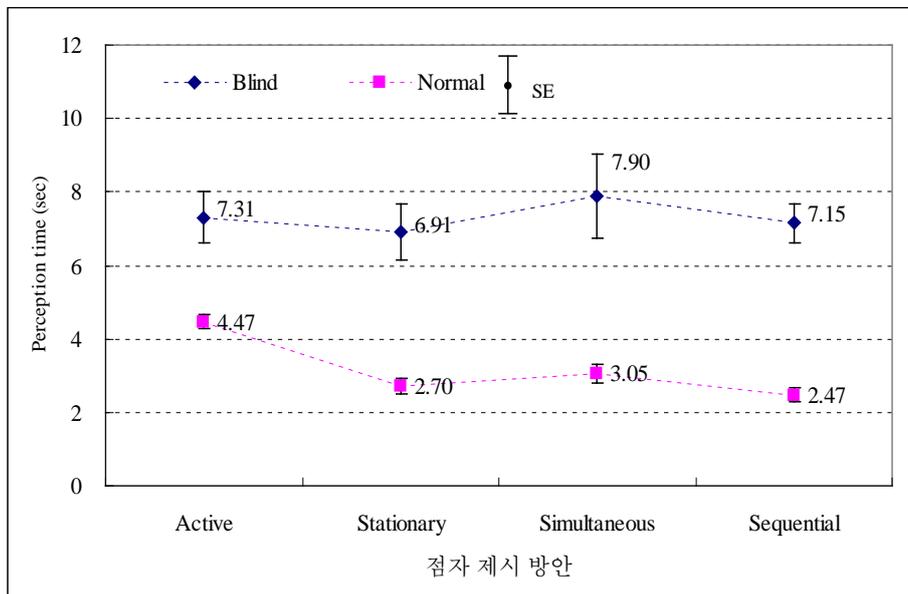
점자 제시 방안 별 response time 을 분석한 결과, 각 점자 제시 방안 간에 차이가 유의한 것으로 나타났고 stationary 방안의 경우 점자를 올바르게 인식하는 데 소요된 response time 이 sequential 방안에 비해 75 % 수준으로 짧은 것으로 나타났다(그림 5-6 참조). 점자를 제시된 모든 점자에 대해 분산분석을 수행한 경우와 올바르게 인식한 점자에 대해 분산분석을 수행한 경우 모두 점자 제시 방안 간에 response time 이 유의한 차이를 보였다( $F(3, 42) = 3.12, p = 0.036$ ;  $F(3, 42) = 3.30, p = 0.029$ ; 표 5-6 참조). 모든 점자에 대해 SNK

테스트를 수행한 결과 그림 5-6 (a)와 같이 active, simultaneous, sequential 방안이 동일한 집단으로 분류되고, active, stationary, simultaneous 방안이 동일한 집단으로 분류되었다. 올바르게 인식한 점자에 대해 SNK 테스트를 수행한 결과 모든 방안이 동일한 집단으로 분류되었으나, response time 이 가장 긴 것으로 나타난 sequential 방안(평균 6.96 초)의 경우 response time 이 가장 짧은 stationary 방안(평균 5.53 초)에 비해 평균 1.3배 가량 response time 이 길게 소요되는 것으로 나타났다. 제시된 모든 점자에 대해 분산분석을 수행한 경우와 올바르게 인식한 점자에 대해 분산분석을 수행한 경우 모두 피실험자 그룹과 점자 제시 방안간의 교호작용은 유의하지 않은 것으로 나타났다( $F(3, 42) = 2.64, p = 0.062$ ;  $F(3, 42) = 0.40, p = 0.751$ ; 표 5-6 참조).

시각장애인과 정상인의 perception time 을 비교한 결과 시각장애인이 점자를 올바르게 인식하는 데 소용한 perception time 이 정상인에 비해 평균 2.1 배 가량 길게 소요되는 것으로 나타났다(그림 5-7 참조). 각 점자 제시 방안에 따라 제시된 모든 점자의 perception time 에 대해 분산 분석을 수행한 결과, 시각 장애인의 perception time (평균 8.30 초)이 정상인의 perception time (평균 3.67 초)에 비해 2.3 배 유의하게 길게 소요되는 것으로 나타났다( $F(1, 42) = 17.02, p = 0.001$ ; 표 5-7 (a) 참조). 올바르게 인식한 점자의 perception time 에 대해 분산분석을 수행한 결과, 시각 장애인이 올바르게 점자를 인식하는데 소용한 perception time (평균 7.29 초)이 정상인의 perception time (평균 3.26 초)에 비해 2.2 배 유의하게 길게 소요되는 것으로 나타났다( $F(1, 42) = 18.41, p < 0.001$ ; 표 5-7 (b) 참조).



(a) 제시된 모든 점자의 perception time (sec)



(b) 올바르게 인식한 점자의 perception time (sec)

그림 5-7. 점자 제시 방안 별 perception time (sec)

표 5-7. Perception time 에 대한 분산분석 결과

(a) 제시된 모든 점자의 perception time

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자 그룹(G)	1	342.21	342.21	17.02	0.001
피실험자(S)[G]	14	281.52	20.11		
점자제시방안(T)	3	9.17	3.06	1.67	0.188
T × G	3	14.33	4.78	2.61	0.064
T × S[G]	42	76.79	1.83		
전체	63				

(b) 올바르게 인식한 점자의 perception time

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자 그룹(G)	1	270.08	270.08	18.41	<0.001
피실험자(S)[G]	14	205.40	14.67		
점자제시방안(T)	3	21.65	7.22	2.36	0.086
T × G	3	3.42	1.14	0.37	0.773
T × S[G]	42	128.65	3.06		
전체	63	629.21			

점자 제시 방안 별 perception time 을 분석한 결과, 점자를 올바르게 인식하는 데 소요된 perception time 이 sequential 방안의 경우가 active 방안에 비해 78 % 수준으로 짧은 것으로 나타났다(그림 5-7 (b) 참조). 제시된 모든 점자와 올바르게 인식한 점자에 대해 분산분석을 수행한 경우 모두 점자 제시 방안 간에 perception time 이 유의한 차이를 보이지 않았다( $F(3, 42) = 1.67, p = 0.188$ ;  $F(3, 42) = 2.36, p = 0.086$ ; 표 5-7 참조). 올바르게 인식한 점자에 대해 SNK 테스트를 수행한 결과 모든 방안이 동일한 집단으로 분류되었으나,

sequential 방안의 perception time (평균 4.43 초)이 active 방안(평균 5.68 초)에 비해 78 % 수준으로 짧게 소요되는 것으로 파악되었다. 제시된 모든 점자를 이용하여 분산분석을 수행한 경우와 올바르게 인식한 점자를 이용하여 분산분석을 수행한 경우 모두 피실험자 그룹과 점자 제시 방안간의 교호작용은 유의하지 않은 것으로 나타났다( $F(3, 42) = 2.61, p = 0.064$ ;  $F(3, 42) = 0.37, p = 0.773$ ).

Correct response percentage 에 대한 분산분석 결과 정상인이 시각장애인에 비해 점자를 올바르게 인식한 비율이 평균 1.4 배 높았고 active touch 방안과 sequential 방안이 다른 점자 제시 방안에 비해 평균 1.6 배 높은 것으로 분석되었다(그림 5-8 참조). Correct response percentage 에 대한 분산분석 결과 시각장애인과 정상인의 간의 차이와 점자 제시 방안 별 차이가 유의하였다( $F(1, 42) = 6.65, p = 0.022$ ;  $F(3, 42) = 32.68, p < 0.001$ ; 표 5-8 참조). 시각 장애인의 평균 correct response percentage 는 49.5 % 로 정상인의 correct response percentage 인 69.1 % 보다 유의하게 낮은 것으로 분석되었다. 점자 제시 방안 간의 SNK 테스트를 수행한 결과 그림 5-8과 같이 active 방안과 sequential 방안이 동일한 집단(평균 72.4 %)으로 분류되고, stationary 방안과 simultaneous 방안이 동일한 집단(평균 46.2 %)으로 분류되었다.

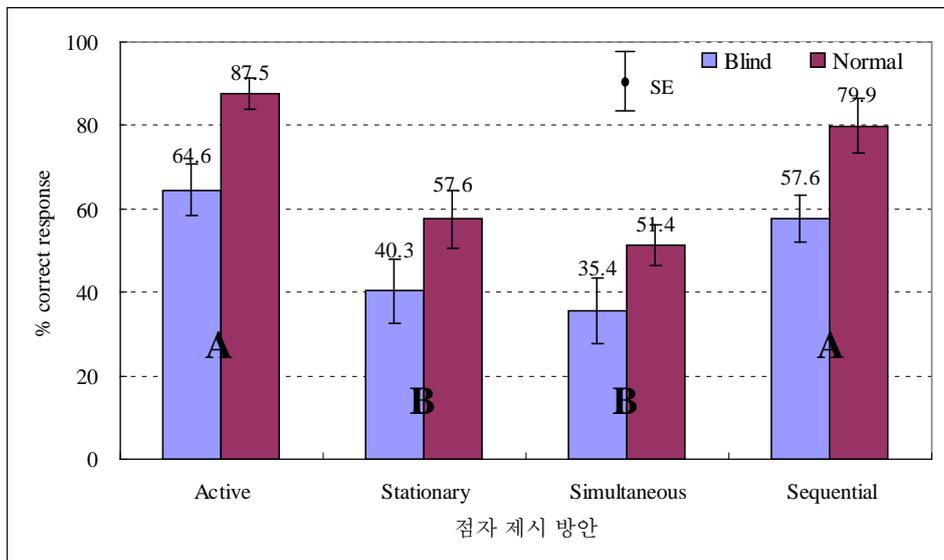


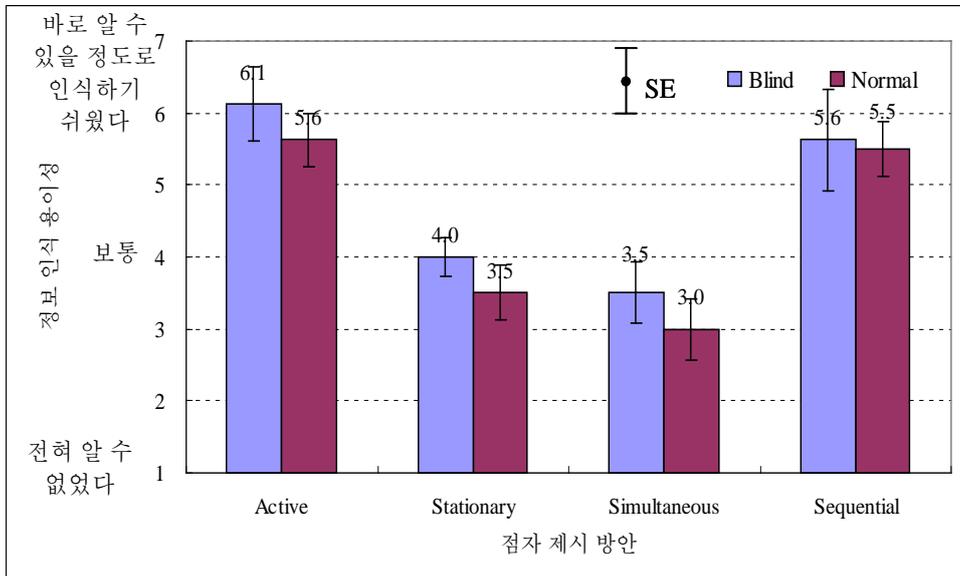
그림 5-8. 점자 제시 방안 별 correct response percentage (%)

표 5-8. Correct response percentage 에 대한 분산분석 결과

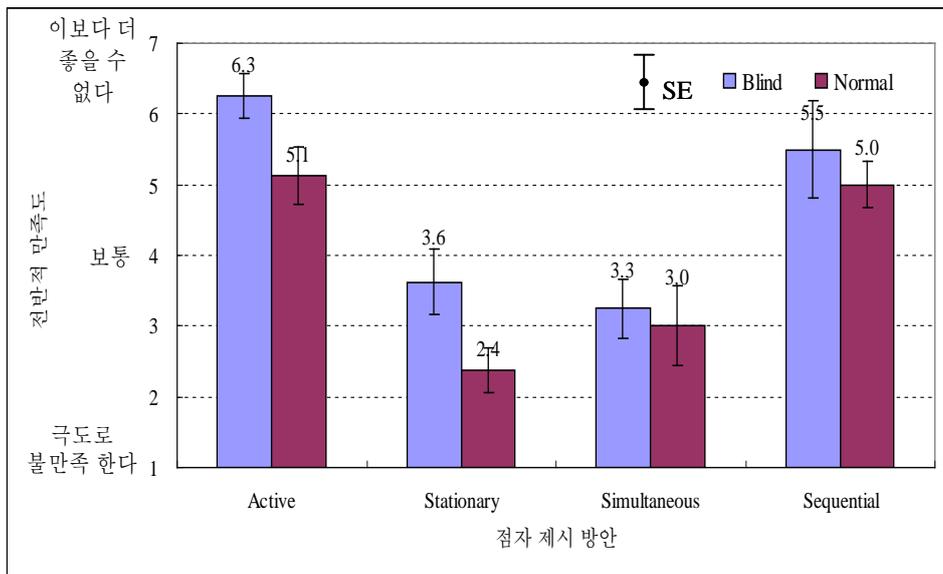
변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	F 값	p 값
피실험자 그룹(G)	1	6156.36	6156.36	6.65	0.022
피실험자(S)[G]	14	12951.73	925.12		
점자제시방안(T)	3	11664.20	3888.07	32.68	<0.001
T × G	3	144.89	48.30	0.41	0.750
T × S[G]	42	4996.56	118.97		
전체	63	35913.74			

각 점자 제시 방안 별로 주관적인 평가를 수행한 결과, 정보 인식 용이성 및 전반적 만족도 측면에서 active 방안과 sequential 방안이 다른 점자 제시 방식에 비해 높게 평가 되었다(그림 5-9 참조). Kruskal-Wallis test 결과 정보 인식 용이성과 전반적 만족도 모두 시각장애인과 정상인간의 차이가

유의하지 않았다( $H(1) = 0.85, p = 0.358, H(1) = 15.24, p = 0.087$ ; 표 5-9 참조). 점자 제시 방안 간에 Kruskal-Wallis test 를 수행한 결과 정보 인식 용이성과 전반적 만족도에서 모두 점자 제시 방안간에 유의한 차이가 나타났다( $H(3) = 28.38, p < 0.001; H(3) = 29.08, p < 0.001$ ; 표 5-9 참조). Active 방안과 sequential 방안이(평균 정보 용이성: 5.7 점; 평균 전반적 만족도: 5.5점), stationary 와 simultaneous 방안에(평균 정보 용이성: 3.5 점; 평균 전반적 만족도: 3.1점) 비해 정보 인식 용이성은 평균 1.6배 높이 평가되었고, 전반적 만족도는 1.8배 높이 평가되었다.



(a) 정보 인식 용이성



(b) 전반적 만족도

그림 5-9. 점자 제시 방안 별 주관적 평가

표 5-9. 주관적 평가에 대한 Kruskal-Wallis test 결과

(a) 정보 인식 용이성

요인	자유도	<i>H</i> 값	<i>p</i> 값
피실험자 그룹	1	0.85	0.358
점자제시방안	3	28.38	< 0.001

(b) 주관적 만족도

요인	자유도	<i>H</i> 값	<i>p</i> 값
피실험자 그룹	1	2.93	0.087
점자제시방안	3	29.08	< 0.001

## 6. 토의

### 6.1 Simultaneous 방안의 frequency 에 따른 점자 인식성

Simultaneous 방안의 1 ~ 8 Hz frequency 범위에서는 7 Hz 의 frequency 에서 response time 이 짧고 correct response percentage 가 높은 것으로 파악 되어 점자 제시 방안 비교 실험에 적용될 실험 수준으로 선정되었다. SNK 테스트 결과 점자를 올바르게 인식하는 데 소요된 response time 은 2 ~ 7 Hz frequency 에서 전반적으로 짧았고 frequency 에 따른 correct response percentage 에는 유의한 차이가 존재하지 않았다. 본 연구에서는 점자 비교 실험에 적용될 실험 수준으로, 점자를 올바르게 인식하는데 소요된 response time 이 평균 3.41 초로 짧고, correct response percentage 가 평균 59.3 %로 가장 높았던 7 Hz 를 사용하기로 하였다. 3 Hz 의 경우 점자를 올바르게 인식하는 데 소요된 response time 이 3.03 초로 가장 짧았으나 correct response percentage 가 40.3 %로 상대적으로 낮은 관계로 선정 대상에서 제외되었다.

본 실험을 통해 simultaneous 방안의 1 ~ 8 Hz frequency 범위에서의 frequency 변화에 따른 correct response percentage 에 차이가 발생하지 않는 것으로 분석되었다. 이는 Kyung et al. (2005)의 진동을 지닌 두 점 자극의 식별 능력에 관한 연구 결과와 상반된다. 그의 연구에서는 검지손가락에서의 1 ~ 560 Hz 범위의 진동 frequency 를 지닌 두 점을 올바르게 식별한 비율을 산출한 결과 1 ~ 3 Hz 의 frequency 범위에서 두 점을 올바르게 식별 비율이 85% 이상으로 가장 우수하다고 보고하였다. 그의 연구에서 사용한 점 자극의

직경은 0.7 mm, 두 점간 거리는 0.8 mm, 1.2 mm, 1.6 mm 로 두 점간의 거리가 멀어질 수록 두 점을 식별하는 능력이 우수해진다고 보고하고 있다. 본 연구의 점자 제시 장치에서 사용한 핀의 직경은 1mm, 점자의 중심 간 거리는 3 mm 로 Kyung et al. (2005)의 연구 결과를 따를 경우 1 ~ 3 Hz 범위에서 점자 식별 능력이 높을 것으로 예상되었으나, 실제 실험 결과 1 ~ 8 Hz 의 frequency 범위에서는 frequency 간에 점자 인식성의 차이가 유의하지 않았고 올바르게 인식한 비율이 55% 미만이었다.

진동 자극에 대한 frequency 효과의 상이한 실험 결과가 도출 된 이유는 기존 연구에서는 두 점 자극만을 사용한 반면, 본 연구에서는 1 점부터 6 점으로 이루어진 다양한 자극이 사용된 것이 주요한 원인으로 예상된다. 본 연구에서 사용된 자극은 자극의 단순 식별뿐만 아니라 제시된 자극의 수와 자극이 제시된 정확한 위치 식별이 동시에 복합적으로 이루어진다. 그러므로 기존 연구의 자극 식별에 비해 복합적인 정보 처리 과정을 거쳐야 하므로 자극을 올바르게 식별한 비율이 떨어진 것으로 예상된다. 이 밖에 점 자극에 사용된 재질 및 자극을 수용하는 손가락의 자세 등이 영향을 미치는 요인으로 작용하였을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 1 ~ 8 Hz 의 frequency 영역에서만 실험이 이루어졌으나 추후에 frequency 범위를 확장하여 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 6.2 Sequential 방안의 time interval 에 따른 점자 인식성

Sequential 방안에서의 response time 과 perception time, correct response

percentage 를 종합한 결과 500 ms 의 time interval 이 점자를 올바르게 인식하는데 소요된 시간이 짧고 인식률이 가장 높은 것으로 파악되었다. Sequential 방안에서 점자를 올바르게 인식하는데 소요된 response time 및 perception time 을 분석한 결과 300 ~ 800 ms 의 time interval 범위에서 인식 시간이 짧은 것으로 나타났다. Correct response percentage 를 분석한 결과 200 ms 와 400 ms 를 제외한 나머지 time interval 영역에서 85 % 이상의 높은 인식률을 보였다. 실험 결과를 종합하여, 300 ms ~ 800 ms 의 time interval 영역에서 인식률이 92.6 %로 가장 높은 500 ms 를 점자 제시 방안 비교 실험을 위한 sequential 방안의 실험 수준으로 선정하였다. 500 ms 에서 점자를 올바르게 인식하는데 소요된 response time 은 평균 4.49 초, perception time 은 평균 3.21 초였다. 400 ms 의 경우 점자를 올바르게 인식하는데 소요된 response time (평균 3.66 초) 및 perception time (평균 2.67 초) 은 가장 짧았으나 인식률이 77.8 %로 낮은 관계로 선정 대상에서 제외되었다. Sequential 방안의 실험 수준 결정을 위해 각 time interval 별 correct response percentage 의 graph fitting 을 통해 graph 의 함수를 도출하여 최적 수준을 결정하는 방법도 가능할 것으로 판단된다.

Sequential 방안에서 time interval 이 200 ms 로 가장 짧은 경우에는 인식에 소요되는 시간이 길게 소요되는 반면, 300 ms 에서 급격하게 감소하고 그 이후의 time interval 영역에서 점차적으로 인식 시간이 길어지는 경향을 확인할 수 있었다. 점자 제시 시간 간격이 200 ms 정도로 지나치게 짧을 경우 masking 효과가 발생하여 인식 시간이 상대적으로 길게 소요된 것으로 예상된다(Verrillo and Gescheider, 1992). 즉 선행 제시된 점자 정보가 인식되는

동안에 다음 점자 정보가 제시되어 정보 인식에 혼란을 야기한 것으로 예상된다. Time interval 이 지나치게 길게 소요될 경우 점자가 제시되는 데 소요되는 시간이 길어지고, 피실험자가 정보를 기억해야 할 시간이 길어지기 때문에 인식 시간이 오래 지속된 것으로 예상된다. 200 ms 에 비해 300 ms 에서 인식 시간이 급격하게 감소하므로 200 ms 와 300 ms 사이의 time interval 범위를 세분화한 점자 인식 실험이 추가적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

### 6.3 시각 장애인과 정상인의 점자 인식성

시각 장애인과 정상인의 점자 인식 능력을 비교한 결과 시각 장애인의 점자 인식 능력이 정상인에 비해 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 시각 장애인의 tactile sensitivity 가 정상인에 비해 월등하다는 Van Boven (2000)의 연구와 상이한 결과이다. 그의 연구에 따르면 시각장애인이 검지 손가락으로 두 자극을 식별할 수 있는 거리(평균 1.04 mm)가 정상인(평균 1.46 mm)에 비해 유의하게 짧다고 보고하고 있다. Stevens (1992)의 연구에 따르면 18 ~ 33 세로 구성된 젊은 피실험자 집단에 비해 41 ~ 63 세로 구성된 중년 피실험자 집단의 손끝에서의 두 점 식별 능력이 유의하게 떨어진다고 보고하였다. 그러므로 본 연구에서 시각 장애인과 정상인과의 점자 인식 능력에 차이가 발생한 이유는 피실험자의 연령대 차이로 인한 것이 주요 원인으로 예상된다. 실제로 실험에 참여한 정상인 집단의 평균 연령은 25 세, 시각 장애인 집단의 평균 연령은 50 세로 Stevens 가 분류한 연령집단의 젊은층과 중년층에 포함되는 것을 알

수 있었다. 이밖에, 고령화로 인한 정보 처리 속도 및 자극에 대한 반응시간이 느린 것도 다소 영향을 미쳤을 것으로 예상된다.

#### 6.4 점자 제시 방안별 점자 인식성

점자 제시 방안 간의 점자 인식성을 비교한 결과 sequential 방안이 active 방안과 유사한 점자 인식성 가지고 있고 stationary, simultaneous 방안에 비해 점자 인식성이 우수한 것으로 파악되었다. 점자를 올바르게 인식하는 데 소요된 response time 의 경우, 능동적 터치 방안과 나머지 수동적 터치 방안들 간에 소요시간이 유사하였으나, 이를 perception time 으로 산출하여 각 방안들을 비교한 결과 sequential 방안이 다른 방안에 비해 인식 시간이 짧게 소요되는 경향을 확인할 수 있었다. 올바르게 인식된 점자의 perception time 의 경우, active 방안에 비해 sequential 방안의 perception time 이 평균 0.8배 유의하게 짧은 것을 확인할 수 있었다. Correct response percentage 와 주관적 평가 결과를 통해 active 방안과 sequential 방안이 유사한 인식률(평균 72.4 %)과 정보 인식 용이성(평균 5.7 점) 및 전반적 만족도(평균 5.5 점)를 갖는 것으로 파악되었다. 또한, 나머지 stationary 방안과 simultaneous 방안에 비해 유의하게 높은 인식률(평균 46.2 %)을 갖고 정보 인식 용이성(평균 3.5 점)과 전반적 만족도(평균 3.1 점) 측면에서도 높은 것으로 분석되었다. Simultaneous 방안의 경우 점자가 반복적으로 제시되나, 빠른 vibration 으로 인해 촉감 수용기에 자극이 누적되어 촉감의 sensitivity 가 떨어져 인식률이 상대적으로 낮은 것으로 예상된다.

점자 제시 방안 비교 실험을 통해 착용형 점자 제시 장치에서 적용할 수 있는 점자 제시 방안의 대안으로는 active 방안과 sequential 방안이 적합한 것으로 파악되었다. Active 방안과 sequential 방안이 나머지 방안에 비해 높은 점자 인식성을 가지고 있고 두 방안간의 성능이 유사하므로 두 방안 모두 착용형 점자 제시 장치에 적용 가능하다. 각 점자 제시 방안의 특성에 따라 active 방안의 경우 손목 착용형 점자 제시 장치에 적합하고, sequential 방안의 경우 손가락 착용형 점자 제시 장치에 적합할 것으로 예상된다. 착용형 점자 제시 장치를 어떠한 목적으로 설계하느냐에 따라 active 방안 혹은 sequential 방안을 취사선택하여 점자 제시 방안으로 활용할 수 있을 것이다.

## 7. 결론

본 연구에서는 다양한 방법으로 점자를 제시해주고 static, dynamic mode 를 지원하는 경량의 점자 제시 장치를 제작하였다. 제작된 장비는 반응 응답 속도가 빠르고 손가락 힘에 충분히 버틸 수 있는 stiffness 를 제공하는 RC servomotor 를 이용하여 핀 배열 방식으로 점자가 제공되도록 구현하였다. 제작된 점자 제시 장치는 점자가 제시되어 정적인 상태를 유지하는 static mode 와 상하 진동 및 순차적으로 제시되는 dynamic mode 를 지원한다. 또한 경량으로 제작되었고 장비 구성이 단순하여 장비의 이동이 용이하다. Aluminum 재질의 외장과 steel 소재의 핀을 사용하여 장비가 견고하고 좌우 개폐식으로 설계 되어 유지 보수가 용이하다.

본 연구는 수동적 터치 방식의 점자 제시 방법이 착용형 점자 제시 장치에 적용될 수 있는 가능성을 확인하였고 sequential 방안이 효과적인 수동적 터치 방식의 점자 제시 방안임을 확인할 수 있었다. 본 연구는 착용형 점자 제시 장치의 점자 제시 방안으로 수동적 터치 방식인 stationary, simultaneous, sequential 방안들을 고안하였다. 각 방안들은 점자 인식 실험을 통해 인식시간, 인식률, 주관적 만족도 측면에서 능동적 터치 방안과 비교 평가되었다. 실험을 통해 능동적 터치 방식과 수동적 터치 방식인 sequential 방안이 유사한 인식률을 보이는 것을 확인하였고, stationary, simultaneous 방식에 비해 높은 인식률을 보이는 것을 파악할 수 있었다. 또한 올바르게 인식하는데 소요되는 시간 측면에서는 sequential 방안이 능동적 터치 방식보다

짧은 시간이 소요되는 경향을 확인할 수 있었다. 피실험자의 주관적인 평가에서도 active 방안과 sequential 방안이 가장 선호됨을 확인하였다.

개발된 점자 제시 장치의 software 를 개선을 통해 다양한 형태의 점자가 연속적으로 제시될 수 있도록 구현하여, 서로 다른 형태의 점자가 연속적으로 제시되는 상황에서의 점자 인식 실험이 추가적으로 이루어져야 한다. 본 연구에서는 6 점으로 이루어진 단일 점자 패턴을 이용하여 점자 인식 실험이 수행되었다. 수동적 터치 방식의 점자 제시 방안에서 서로 다른 형태의 점자가 연속적으로 제시될 경우 점자 인식성에 어떠한 영향을 미치는지 파악되어야 실제 착용형 점자 제시 장치에의 활용성이 높아진다.

추후 연구로는 특성치 결정 실험에서 피실험자 수를 늘려서 실험이 진행되어야 하고, 동일한 연령대의 정상인과 시각장애인을 대상으로 점자 제시 방안 비교 실험이 수행 되어야 한다. 본 연구에서는 특성치 결정 실험을 위해 simultaneous 방안과 sequential 방안 각각 3명의 피실험자가 참여하였으나 추후에는 피실험자 수를 늘려서 실험 수준이 결정 되어야 한다. 점자 제시 방안 비교 실험에서 시각 장애인과 정상인의 연령대 차이로 인하여 시각 장애인의 촉감이 정상인에 비해 예민하다는 결과와 상반되는 실험 결과가 나타났다. 시각 장애인과 정상인의 점자 인식성 차이 비교를 위해서는 동일한 연령대의 피실험자 집단의 비교가 필요하다.

## References

- 손승우, 경기욱, 양기훈, 권동수 (2005). 질감 제시 장치를 이용한 촉감 인지 특성 연구. *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering*, 11(5), 451-456.
- 이본영 (2005). 시각 장애인들, 현금인출기 ‘공포’. 한겨레 신문. Retrieved December 16, 2005, from <http://www.hani.co.kr>.
- Amemiya, T., Yamashita, J., Hirota, K., and Hirose, M. (2004). 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, 165-287.
- Bolanowski, S. J., Verrillo, R. T., and McGlone, F. (1999). Passive, active and intra-active (self) touch. *Somatosensory & Motor Research*, 16(4), 304-311.
- 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. (2004). Tactile display as a Braille display for the visually disabled. *Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Sendai, Japan, 1985-1990.
- Craig, J. C. and Kisner, J. M. (1998). Factors affecting tactile spatial acuity. *Somatosensory & Motor Research*, 15(1), 29-45.
- Gescheider, G. A., Bolanowski, S. J., and Verrillo, R.T. (2003). Some characteristics of tactile channels. *Behavioural Brain Research*, 35-40.

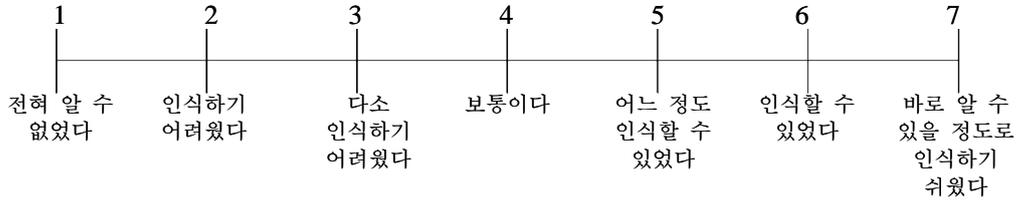
- Goldstein, E. B. (2002). *Sensation and Perception*. 6th ed. Pacific Grove, CA, USA: Wadsworth-Thomson Learning, Ch. 13, 437-440.
- Johnson, K. J. (2001). The roles and functions of cutaneous mechanoreceptor. *Neurobiology*, 455-461.
- Jungmann, M. and Schlaak, H. F.(2002). "Miniaturised electrostatic tactile display with high structural compliance. *Proceedings of the conferece Eurohaptics 2002*, Edinburgh, U. K.
- Kim, Y. M. and Ryu, J. H. (2005). Information display by wearable pneumatic tactile interface. *Proceedings of 2005 HCI international conference*, Las Vegas, NV, USA.
- Kyung, K. U., Ahn, M., Kwon, D. S., and Srinivasan, M. A. (2005). 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, 96-101.
- Moy, G., Wagner, C., and Fearing, R. S. (2000). A compliant tactile display for teletaction. *Proceedings of 2000 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Piscataway, NJ, USA.
- Moy, G., Singh, U., Tan, E., and Fearing, R. S. (2000). Human psychophysics for teletaction system design. *Haptics-e: The Electronic Journal of Haptics Research*, 1(3).

- Ramstein, C. (1996). Combining haptic and Braille technologies: design issues and pilot study. *Proceedings of the second annual ACM conference on Assistive technologies*, Vancouver, BC, Canada, 37-44.
- Shimizu, Y. (1986). Tactile display terminal for visually handicapped. *DISPLAYS*, 116-120.
- Sriskanathan, N. and Subramanian, K.R. (1990). Braille display terminal for personal computers. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 36(2), 121-128.
- Stevens, J. C. (1992). Aging and spatial acuity of touch. *Journal of gerontology*, 47(1), 35-40. Abstract obtained from PubMed.
- Tan, H. Z. and Pentland, A. (1997). Tactual displays for wearable computing. *Proceedings of the 1997 1 st International Symposium on Wearable Computers*, 84-89.
- Van Boven, R. W., Kauffman, T., and Pascual-Leone, A. (2000). Tactile spatial resolution in blind Braille readers [Abstract]. *Neurology*, 54, 2230-2236.
- Vega-Bermudez, F. and Johnson, K. O. (2001). Differences in spatial acuity between digits [Abstract]. *Neurology*, 56, 1389-1391.
- Verrillo, R. T. and Gesheider, G. A. (1992). *Perception via the Sense of Touch in Tactile Aids for the Hearing Impaired*. Summers, I. R., Ed. London, England: Whurr Publishers Ltd, 23-25.

Wagner, C.R., Lederman, S.L., and Howe, R.D. (2004). Design and performance of a tactile shape display using RC servomotors. *Haptics-e: The Electronic Journal of Haptics Research*, 3(4).

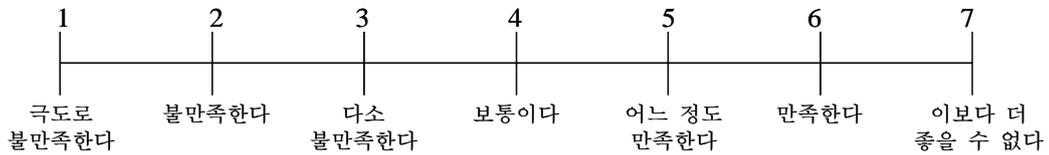


(4) Sequential 방안

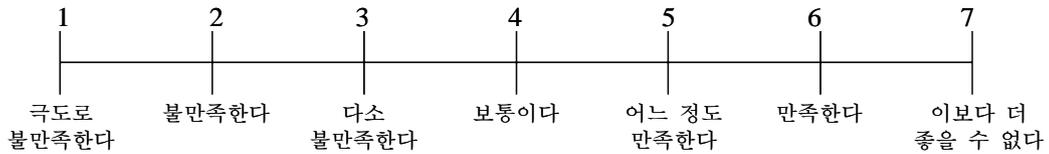


2. 전반적 만족도: 각 점자의 제시 방안에 대해 선호 및 만족하는 정도 평가

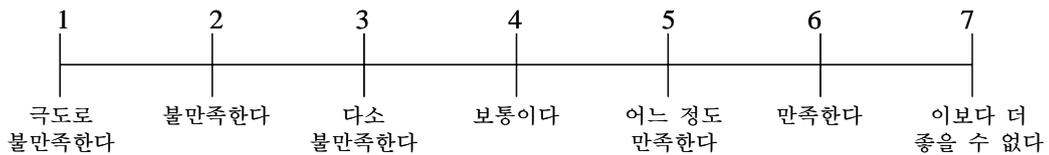
(1) Active 방안



(2) Stationary 방안



(3) Simultaneous 방안



(4) Sequential 방안

