

촉각적 사용자 인터페이스 디자인에 관한 기초 연구†

— 소형 원형 버튼의 크기 판별을 중심으로 —

양승무¹ · 정병용²

¹한국예술종합학교 디자인과 / ²한성대학교 산업시스템공학부

Basic Research for the Tactual User Interface Design

Seung-Mu Yang¹ · Byung-Yong Jeong²

This study was conducted to test the significance of differences in the tactual difference thresholds and perception time for tactual direction type and finger type and radius size based on small circular button. The results show that difference threshold of vertical tactual perception is significantly greater than horizontal perception, but there are no significant differences in difference thresholds among finger types and radius sizes. Also, there are no significant differences in tactual perception time among tactual direction types, finger types, and radius types. These findings are applicable for tactual user interface design.

1. 서론

피부에 있는 수용기들을 자극함으로써 발생하는 촉각은 수동적 촉각(passive touch)과 능동적 촉각(active touch)으로 구분된다. 수동적 촉각은 자극이 사람의 피부에 가해지는 상황에서 느껴지는 지각을 의미하고, 능동적 촉각이란 사람이 어떤 물체를 만져서 느끼는 지각을 의미한다(이관용, 1998; Goldstein, 1989).

지금까지 촉각 자극에 대한 연구는 주로 정적 자극과 진동에 의한 자극들에 대하여 신체 부위별 민감도를 분석하여 왔으며, 신체 부위 중에서 입술과 손가락 끝이 가장 민감한 부분으로 조사되었다(이성일, 1998; Gibson, 1962).

일반적으로 리모콘이나 자동차의 오디오와 같이 제품을 손으로 조작할 때 사용자에게 촉각 단서를 제공하는 경우에 보다 편리하고 신속하게 조작을 행할 수 있다. 촉각에 의한 정보는 주로 모양, 크기, 표면 감촉 등에 의해 암호화되어 이용된다. 따라서, 신체부위별 촉각에 관한 민감도 특성을 제품 설계에 반영하는 것이 제품의 사용 편의성을 높이는 데 중요하다(한국예술종합학교 조형연구소, 1999).

본 연구에서는 전자 제품용 리모콘 등에서 가장 자주 이용되는 원형 버튼을 대상으로 검지와 가운데 손가락의 가로 및 세로 방향의 촉각 변화 감지역(JND: just noticeable difference)에

관한 기초 자료를 얻고자 한다. 검지와 가운데 손가락을 선택한 이유는 버튼을 누르는 형태의 동작 등에서 가장 자주 사용되기 때문이다. 또한 본 연구에서는 촉각을 위주로 리모콘 등을 조작할 때 정보 습득의 단서로 작용하는 요소인 버튼의 크기, 높이, 간격 중에서 가장 영향이 큰 요소인 원형 버튼의 크기를 실험 대상으로 하였다. 즉, 본 연구에서는 버튼의 크기에 관한 촉각의 변화 감지 능력에 관한 특성을 파악하여 촉각을 이용한 인간공학적 제품 설계에 응용할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 실험 변수

본 실험에서는 손가락 종류와 자극 방향, 원형 버튼의 지름 크기에 따른 변화 감지역과 변화 감지에 소요된 시간을 분석하고자 한다.

손가락은 검지와 중지의 손가락 첫마디를 대상으로 하였으며, 자극 방향은 가로와 세로방향을 이용하였다. 가로 방향과 세로 방향에 대한 능동적 촉각 판별은 손가락 첫마디로 각각 좌우 방향과 아래위 방향으로만 손가락을 버튼에 접촉하여 크

† 이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.(과제번호: 1998-001-100209)

기의 대소여부를 판별하도록 하였다. 기준자극으로 제시된 원형버튼의 지름은 6.4 mm에서 0.4 mm 간격으로 10 mm까지 10 가지로 구성하였다.

2.2 피실험자

본 연구에 참가한 피실험자는 손 부위에 외상이 없고 피부 감각에 문제가 없는 남녀 대학생으로 남자 7명, 여자 7명 중 14 명으로 이루어졌다. 피실험자들의 평균 연령은 22.5 세였으며, 실험에 따른 보상이 주어졌다.

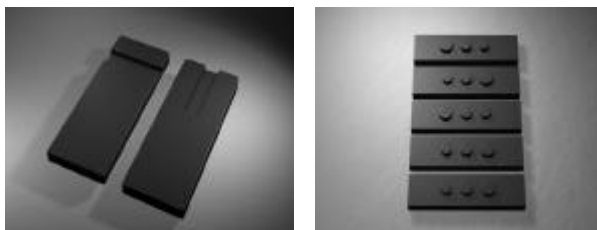
2.3 실험 장비

본 연구에서는 원형버튼의 크기에 관한 분석을 위하여, <그림 1>과 같이 크기에 관한 실험을 위한 버튼 바와 실험의 일관성을 확보하기 위한 가로 및 세로 실험용 본체를 플라스틱으로 제작하여 이용하였다.

크기 변화 감지역을 구하는 실험에 사용된 버튼 바는 세 개의 원형버튼으로 구성되어 있으며 가운데 위치한 버튼이 기준 자극이 되고 양옆에 위치한 버튼이 비교자극 역할을 한다. 기준자극에 해당하는 원형 버튼은 지름 6.4 mm부터 0.4 mm 간격으로 지름 10 mm 까지 10가지로 구성하였다. 각 기준 자극에 대해서는 비교자극을 0.1 mm에서 0.1 mm 간격으로 1.0 mm 까지 10개씩 만들어 총 10가지 기준자극과 10가지 비교 간격에 따라 총 100개의 버튼 바를 제작하였다. 버튼 바의 제작은 미세한 크기 차이의 조절 문제를 정확히 해결하기 위하여, CAD 전용 컴퓨터 프로그램에서 3차원 모델링되었고 그 결과를 IGES 파일로 변환하여 외부 모델 전문 제작업체에서 NC 가공기법을 이용하여 정교하게 제작하였다. 버튼 바의 원형 버튼에 관한 기준 크기는 Woodson(1981)이 원형 버튼으로 추천하는 최소 크기인 지름 6.4 mm를 기준으로 하였으며, 원형 버튼 사이의 간격은 외곽선을 기준으로 4.8 mm, 원형 버튼의 높이는 4.8 mm로 일정하게 하였다.

2.4 변화감지역 측정

실험용 버튼 바는 가운데에 기준 자극이 위치하고 왼쪽과



(a) 실험용 본체

(b) 실험용 버튼 바

그림 1. 실험 장비의 구성.

오른쪽(또는 아래, 위) 버튼의 크기는 기준자극보다 일정하게 크거나 작게 위치되어 있으며(<그림 1(b)>, 실험에서는 크고, 작은 것을 시간에 제약을 두지 않고 판단하는 것을 자극의 반응으로 본다. 피실험자의 반응방법은 정해진 실험조건에서 실험용 버튼 바를 손가락 첫마디로 집적 접촉하여 버튼의 대소여부를 판단할 때까지의 반응 시간을 측정한다. 자극 판별시간은 손가락을 버튼 바에 접촉하는 순간부터 벨 때까지를 0.01 초 단위로 측정하였다.

변화 감지역을 측정하는 방법으로는 주로 고전적 정신물리학적 방법들을 사용하는데 향상자극법(method of constant stimuli), 극한법(method of limits), 조정법(method of self adjustment) 등이 있다(한국예술종합학교 조형연구소, 1999; Goldstein, 1989). 본 연구에서는 이러한 세 가지 변화감지역 측정방법 중에서 극한법을 이용하여 실험을 수행하고자 한다. 극한법은 기준자극에 대해 비교 자극들의 값이 점차적으로 증가하는 상승계열(ascending series)이나 점차 감소하는 하강계열(descending series)로서 제시되며 실험이 시행된다. 상승계열일 경우 기준 자극과 거의 구분이 되지 않는 미세한 차이를 가진 비교자극(0.1 mm 차이)부터 피실험자에게 제시되며, 차츰 증가(0.1 mm 간격)되는 차이를 가진 비교자극이 피실험자가 그 차이를 느낄 때까지 순차적으로 제시된다. 즉, 특정 실험조건에서 버튼의 크기를 처음으로 정확하게 판별하는 차이 구간을 기준자극에 대한 변화감지역으로 정의한다. 하강계열일 경우는 이와 반대로 피실험자가 차이를 느끼지 못할 때까지 자극의 값을 단계적으로 감소시키면서 수행된다.

2.5 실험 절차

실험보조자가 난수표에 의해 정해진 대로 버튼크기와 방향, 손가락을 지정하여 제시하면 피실험자는 눈을 감은 상태에서 지정한 손가락으로 능동적 접촉에 의해 크기의 대소여부를 판단하게 된다. 피실험자는 손가락(2가지), 접촉방향(2가지), 기준자극인 원의 크기(10가지)의 40가지의 실험조건에 대하여 각각 상승 계열과 하강 계열별로 총 80회의 변화 감지역 실험을 2회씩 반복하여 랜덤한 순서에 의해 행하였다. 1개의 실험용 버튼 바에 관한 자극 반응 실험이 끝나면 10초의 휴식시간이 주어지고, 상승 또는 하강계열 실험이 끝나면 20초의 휴식시간이 주어졌다. 상승계열과 하강계열별로 기준 자극과 비교 자극을 비교하는 실험을 행하여 판별 시간과 자극 변화 감지역들을 구하고, 상승계열과 하강계열에서 얻은 값들의 평균으로 기준자극에 대한 변화감지역과 자극 판별 시간을 구하였다.

3. 연구 결과

피실험자 개인별로 손가락, 자극 방향, 원형 버튼의 지름 크기에 따른 실험 조건별 변화 감지역과 변화 감지에 소요된 판별

표 1. 각 기준자극별 변화 감지역과 판별시간의 평균 및 표준편차

기준 자극 (지름)	변화감지역(mm)				판별시간(초)			
	검지		중지		검지		중지	
	가로	세로	가로	세로	가로	세로	가로	세로
6.4	0.221 (0.158)	0.293 (0.164)	0.236 (0.145)	0.293 (0.127)	6.65 (5.71)	6.38 (4.12)	6.49 (5.06)	6.55 (5.13)
6.8	0.193 (0.114)	0.257 (0.128)	0.200 (0.141)	0.271 (0.099)	5.84 (3.82)	6.45 (5.63)	6.66 (4.35)	5.96 (4.79)
7.2	0.243 (0.122)	0.207 (0.100)	0.200 (0.118)	0.271 (0.144)	6.19 (4.76)	5.56 (3.05)	6.50 (4.70)	6.09 (4.85)
7.6	0.250 (0.123)	0.236 (0.093)	0.300 (0.124)	0.293 (0.121)	6.086 (3.55)	5.76 (3.65)	5.91 (3.82)	7.05 (4.76)
8.0	0.207 (0.100)	0.214 (0.117)	0.243 (0.145)	0.207 (0.144)	7.13 (4.43)	5.26 (3.28)	6.19 (3.79)	6.59 (4.72)
8.4	0.200 (0.096)	0.250 (0.086)	0.200 (0.111)	0.250 (0.123)	6.00 (3.45)	6.48 (4.96)	6.11 (3.26)	6.12 (4.82)
8.8	0.235 (0.093)	0.250 (0.116)	0.236 (0.134)	0.236 (0.108)	6.47 (4.02)	6.18 (2.27)	6.71 (4.00)	5.61 (2.25)
9.2	0.293 (0.139)	0.286 (0.135)	0.279 (0.148)	0.214 (0.161)	5.64 (3.08)	5.41 (2.62)	6.21 (3.76)	6.56 (3.98)
9.6	0.214 (0.095)	0.229 (0.127)	0.186 (0.117)	0.264 (0.128)	5.18 (2.40)	6.38 (3.84)	5.75 (3.39)	5.69 (3.03)
10.0	0.193 (0.139)	0.264 (0.169)	0.264 (0.165)	0.243 (0.122)	5.60 (1.82)	4.47 (2.26)	5.81 (2.62)	5.63 (2.99)

시간을 구한 뒤, 피실험자 14명의 지름별 변화 감지역의 평균과 표준시간을 구하여 <표 1>에 나타냈다.

<표 2>는 변화감지역에 관한 손가락, 자극 방향, 지름의 영향을 파악하기 위한 분산분석표를, <표 3>은 자극 판별 시간에 관한 분산분석표를 나타낸다.

표 2. 변화 감지역에 관한 분산분석표

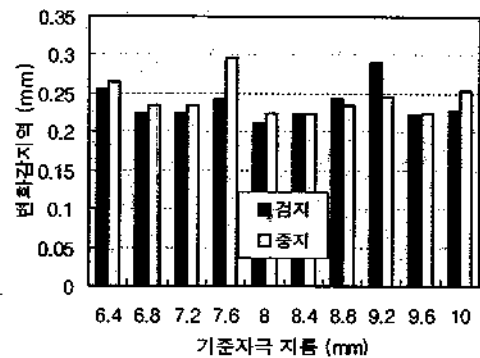
요 인	SS	df	MS	F	p
피실험자	2.5901	13	0.1992	17.16	0.001
손가락(F)	0.0079	1	0.0079	0.68	0.411
자극 방향(D)	0.0665	1	0.0665	5.72	0.017
지름(R)	0.1829	9	0.0203	1.75	0.075
F * D	0.0745	9	0.0083	0.71	0.698
F * R	0.0005	1	0.0005	0.04	0.845
D * R	0.1573	9	0.0175	1.51	0.143
F * D * R	0.1040	9	0.0116	1.00	0.443
Error	5.8863	507	0.0116		
Total	9.0698	559			

표 3. 자극 판별 시간에 관한 분산분석표

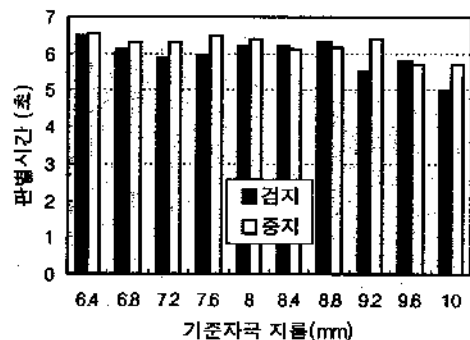
요 인	SS	df	MS	F	p
피실험자	5661.95	13	435.53	88.46	0.001
손가락(F)	9.0	1	9.00	1.83	0.177
자극 방향(D)	3.06	1	3.06	0.62	0.431
지름(R)	52.11	9	5.79	1.18	0.308
F * D	16.19	9	1.80	0.37	0.951
F * R	1.34	1	1.34	0.27	0.602
D * R	28.96	9	3.22	0.65	0.751
F * D * R	43.64	9	4.85	0.98	0.451
Error	2496.17	507	4.92		
Total	8312.42	559			

3.1 검지와 중지의 비교

검지 손가락의 변화감지역 평균은 0.2368 mm, 중지의 변화감지역 평균은 0.2443 mm로 검지 손가락의 변화감지역 평균이 더 작게 나타났으나, 분산분석에서(<표 2>) 검지 손가락과 가운데 손가락이 변화감지역에 미치는 효과는 유의하지 않은 것으로 나타났다($F = 0.68, p = 0.411$). <그림 2(a)>는 검지와 중지의 변화감지역을 원형 버튼 바의 기준 자극인 지름에 따라 나타낸 것인데, 검지와 중지의 변화감지역은 기준 자극인 원의 지름과 교호 작용이 존재하지 않는 것으로 나타났다($F =$



(a) 변화 감지역



(b) 자극 판별 시간

그림 2. 검지와 중지의 자극 판별 비교.

0.04, $p = 0.845$). 또한, 손가락과 자극 방향에 관한 교호 작용도 존재하지 않는 것으로 나타났다($F = 0.71, p = 0.698$).

검지 손가락의 자극 판별시간에 관한 평균은 5.96초, 중지의 자극 판별시간 평균은 6.21초로 검지 손가락의 자극 판별에 소요되는 시간이 더 작게 나타났으나, 분산분석에서(<표 3>)는 검지 손가락과 가운데 손가락이 자극 판별 시간에 미치는 효과는 유의하지 않은 것으로 나타났다($F = 1.83, p = 0.177$). <그림 2(b)>는 검지와 중지의 자극 판별 시간을 원형 버튼 바의 기준 자극인 지름에 따라 나타낸 것인데, 검지와 중지의 자극 판별 시간은 기준 자극인 원의 지름과 교호 작용이 존재하지 않는 것으로 나타났다($F = 0.37, p = 0.951$). 또한, 손가락과 자극 방향에 관한 교호 작용도 존재하지 않는 것으로 나타났다($F = 0.27, p = 0.602$).

3.2 가로방향과 세로방향에 관한 비교

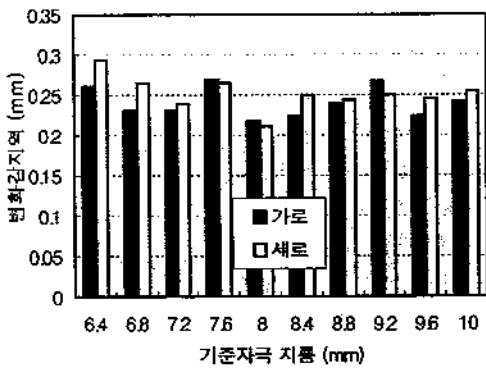
가로방향에 관한 변화감지역의 평균은 0.2297 mm로 세로방향의 변화감지역 평균인 0.2514 mm보다 작게 나타났으며, 분산분석에서(<표 2>)도 가로방향과 세로방향의 변화감지역에 유의한 차이가 존재하는 것으로 나타났다($F = 5.72, p = 0.017$). <그림 3(a)>는 가로방향과 세로방향에 대한 변화감지역을 원형 버튼 바의 기준 자극인 지름에 따라 나타낸 것이다. 가로방향과 세로방향에 대한 변화감지역은 특별한 경향을 찾을 수 없으며, 자극방향과 기준 자극인 자극의 지름과는 교호 작용이 존재하지 않는 것으로 나타났다($F = 1.51, p = 0.143$).

그러나, 세로방향에 관한 자극 판별 시간의 평균은 6.01초로 가로방향의 자극 판별 시간 평균인 6.16초보다 작게 나타났으나, 분산분석에서(<표 3>)는 가로방향과 세로방향의 자극 판별 시간에 유의한 차이가 존재하지 않는 것으로 나타났다($F = 0.62, p = 0.431$). <그림 3(b)>는 가로방향과 세로방향에 대한 자극 판별 시간을 원형 버튼 바의 기준 자극인 지름에 따라 나타낸 것이다. 지름별 가로방향과 세로방향에 대한 자극 판별 시간은 특별한 경향을 찾을 수 없으며, 자극방향과 기준 자극인 자극의 지름과는 교호 작용이 존재하지 않는 것으로 나타났다($F = 0.65, p = 0.751$).

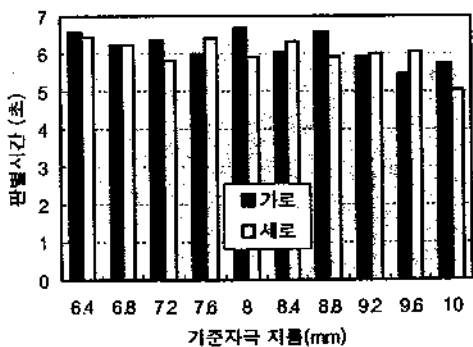
3.3 변화감지역에 관한 교호작용

<그림 4(a)>는 가로방향과 세로방향에 대한 손가락별 변화감지역을 원형 버튼 바의 기준 자극인 지름에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 보면 손가락과 자극방향에 대한 변화감지역은 특별한 경향을 찾을 수 없으며, 분산분석에서도 자극방향과 손가락, 기준 자극인 지름의 크기에 따른 교호작용은 존재하지 않는 것으로 나타났다($F = 1.00, p = 0.443$).

<그림 4(b)>는 가로방향과 세로방향에 대한 손가락별 자극 판별 시간을 원형 버튼 바의 기준 자극인 지름에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 보면 손가락과 자극방향에 대한 자극 판별 시간은 특별한 경향을 찾을 수 없으며, 분산분석에서도 자극 방향과 손가락, 기준 자극인 지름의 크기에 따른 교호작용은 존재하지 않는 것으로 나타났다($F = 0.98, p = 0.451$).

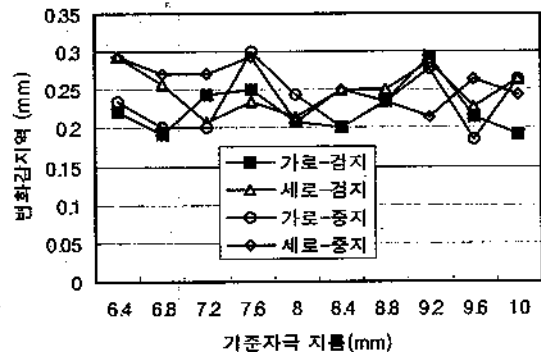


(a) 변화감지역

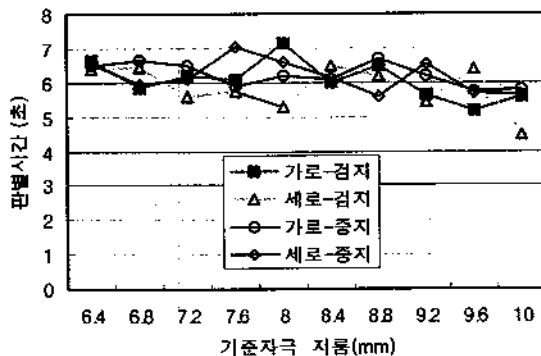


(b) 자극 판별 시간

그림 3. 가로방향과 세로방향에 관한 비교.



(a) 변화감지역



(b) 판별시간

그림 4. 자극 크기와 손가락, 자극방향별 변화감지역의 평균.

3.4 변화감지역과 판별 시간에 관한 신뢰구간

가로방향에 관한 변화감지역의 평균은 0.2296 mm (표준편차 0.1279 mm)로 95% 신뢰구간은 (0.019 mm, 0.440 mm)이며, 세로방향에 대한 변화감지역의 평균은 0.2514 mm(표준편차 0.1261 mm)로 95% 신뢰구간은 (0.044 mm, 0.459 mm)로 나타나, 촉각만을 이용하여 소형 원형 버튼의 크기에 대한 자극 판별을 위해서는 적어도 변화감지역의 상한값인 가로방향의 0.440 mm, 세로방향의 0.459 mm 이상의 크기 차이가 존재하여야 하는 것으로 나타났다.

한편, 자극 판별에 소요되는 시간의 평균은 6.08초(표준편차 3.86초)로 95% 신뢰구간 상한값은 12.43초로 자세한 크기의 판별을 위해서는 적어도 13초 이상의 판별 시간을 확보하여야 함을 암시한다. 이들 자극 변화감지역과 판별 시간에 대한 수치는 본 실험이 젊은 사람들을 기준으로 얻은 결과임을 감안하여 고려되어야 할 것이다.

4. 결론 및 검토

본 연구에서는 전자제품용 리모콘 등에서 자주 이용되는 소형 원형 버튼을 대상으로 지름이 6.4 mm부터 0.4 mm 간격으로 10 mm까지를 기준 자극으로 하여 각 기준자극별로 손가락의 능동적 촉각에 관한 변화감지역과 자극 판별에 소요되는 시간에 영향을 미치는 요인을 파악하였다. 촉각실험 결과 독립변수인 자극방향(가로, 세로), 손가락(검지, 중지), 지름의 크기(6.4 mm~10 mm) 중에서 자극방향만이 변화감지역에 유의적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 가로방향에서의 원의 크기에 대한 판별 능력이 세로방향에 대한 감지 능력보다 더 우월한 것으로 나타났다. 그러나, 자극의 판별 시간에 대한 분산분석에서는 자극방향, 손가락, 지름의 크기에 유의적인 차이가 존재하지 않는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 손가락과 자극방향에 따라 원형 버튼에 대한 자극 판별에 관한 차이점을 파악하기 위하여 피실험자에게 판별 시간에 제약을 두지 않고 손가락 첫마디로 자극을 판별하는 촉각 실험을 실시하였다. 이는 만일 자극 실험에서 크기별, 자극방향별, 손가락별 판별 시간에 차이가 존재하는 실험 결

과가 도출되는 경우에 실험 판별 시간에 관한 경향 분석을 하기 위함이었다. 그러나, 본 연구에서는 자극 판별 시간에는 독립변수별로 차이가 존재하지 않는 것으로 나타났다.

한편, 자극 판별의 변화감지역에 관한 분석 결과를 보면 가로방향이 세로방향보다 자극 판별이 민감한 것으로 나타났다. 이 결과는 손가락은 fingertip이라 불리는 손가락 끝부분이 가장 민감한 부위로 촉각 감각수용체들이 고르게 분포되어 있으므로(이성일, 1998) 손가락의 민감도는 접촉면적이 넓은 쪽 방향인 가로 방향이 아래위 굴곡으로 인한 접촉면적이 작아지는 세로방향보다 민감하다고 유추할 수 있다.

본 실험 결과를 유추하여 볼 때 소형 버튼의 크기를 판별하는 데 충분한 시간을 주더라도 자극을 정확하게 판별하는 시간에는 별 차이가 없는 반면, 가로방향은 세로방향보다 차이를 더 민감하게 판단하는 것으로 나타났다. 따라서, 비슷한 자극 판별 시간을 투자하여 가로방향에 대한 원의 크기 판별이 세로방향보다 더 자세히 이루어지는 것으로 유추할 수 있으며, 이는 촉각을 이용하여 판별을 하고자 할 경우에 가로방향으로 배열하는 것이 세로방향으로 배열하는 것보다 판별의 수월성을 높이는 방법임을 의미한다.

본 연구에서 얻은 실험 결과는 VCR 리모콘용 형태의 소형 원형 버튼에 국한하며, 자극의 판별 능력이 양호한 젊은 사람들을 대상으로 한 실험이라는 한계점을 가지고 있으며, 보다 다양한 형태 및 크기, 재질, 연령대 등에 관한 점을 다루지 못하였고, 이는 향후 연구에서 검토 보완되어야 할 것이다.

참고문헌

- 이관용 역 (1998), *정신물리학*, 박영사.
- 이성일 (1998), 진동식 촉각 자극에 대한 손의 절대 민감도 반응, *대한인간공학회지*, 17(2), 1-10.
- 한국예술종합학교 조형연구소 (1999), 사용자 인지능력 향상과 제품 사용성 확대를 위한 직관적 사용자 인터페이스 디자인 개발 및 실용화 방안 연구, *산업디자인기반기술사업보고서*.
- Gibson, J. J. (1962), Observations of active touch, *Psychological Review*, 69, 477-491.
- Goldstein, E. B. (1989), *Sensation and Perception* (3rd Ed.), Brooks/Cole Publishing Company.
- Woodson, W. E. (1981), *Human Factors Design Handbook*, McGraw-Hill Book, Company.



양승무

서울대학교 미술대학 산업디자인과 학사
영국왕립디자인대학원 Computer Related Design 석사

현재: 한국예술종합학교 디자인과 조교수

관심분야: Interface Design



정명용

고려대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
한국과학기술원 산업공학과 박사

현재: 한성대학교 산업공학과 부교수

한성대학교 안전보건경영대학원장
관심분야: 인간공학 및 안전관리