

진동자극배열에 의한 형상 인식의 정신물리학적 실험

Psychophysical Experiment for Shape Recognition
by Vibratory Tactile Stimulated Array

윤명종, 유기호*, 김남균

(Myoung-Jong Yoon, Kee-Ho Yu, and Nam-Gyun Kim)

Abstract : For the psychophysical experiment of tactile perception of shapes, experimental system consists of vibrator, tactile stimulation array, measurement and control system is designed and prepared. The psychophysical experiment for the tactile perception of shape is carried out by the estimation of the subject group. Through the experiment the threshold of tactile perception to multi-stimuli with some line shape is obtained. Also the appropriate tactile stimulus intensity and frequency of the tactile stimulation array to recognize arbitrary shapes effectively are derived and discussed.

Keywords : shape recognition, tactile display, tactile stimulation array, the blind

I. 서론

극한 환경에서의 원격 작업, 원격 수술 등을 지원하기 위한 기술로서 역각 제시(force display) 및 촉각 제시(tactile display)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]. 한편, 촉각 제시의 경우는 시각장애인의 대체 감각 활용을 위한 수단으로서도 연구되어 왔으며[2,3] 이를 시각 장애인의 보행안내 장치에 적용하기 위한 기초 연구도 수행되고 있다[4,5].

노령화 사회 및 교통사고 등 후천적 요인으로 시각장애인의 수가 매년 증가하는 추세이고[6] 장애인의 사회 참여 욕구가 증가하는 요즘, 시각장애인의 옥외보행을 위한 시각보조수단으로서 안내견이나 흰지팡이(white cane)를 대체하는 공학적인 시스템인 ETA(Electronic Travel Aid) 및 안내견 로봇 등이 국내외에서 개발되고 있다[7]. 그러나 대부분의 ETA 시스템의 경우 장애물 정보를 청각으로 시각장애인에게 전달하여 청각 의존도가 높은 시각장애인에게 심각한 문제점(Masking 효과)이 발생된다[7]. 이에 촉각 자극기의 사용은 장애물 정보를 촉각을 통해 전달함으로써 청각을 충분히 활용할 수 있는 장점을 갖는다.

기존의 촉각제시장치는 공압자극방식(pneumatic stimulation) [8,9], 진동자극방식(vibrotactile stimulation) [10-14], 전기자극방식(electrotactile stimulator) [15] 등으로 구분되어 진다[1,16,17]. 이 제시장치 중 진동자극방식은 현재 가장 연구가 활발하게 이루어지고 있는 방식이나, 현재 실용수준의 촉각제시기구로서 보급되고 있는 것은 없는 실정이다[1]. 인간의 촉각은 절대량 감지에는 취약한 반면 변화량에는 매우 민감하게 반응하고[18], 또한 진동자극방식의 촉각자극기는 작고 가벼우며, 휴대용 장치로 개발하기에 적합한 것으로 판단되어 본 연구에서는 진동자극방식의 촉각자극기에 주목하고자 한다[4,5].

진동자극방식의 촉각자극기로 장애물의 위치, 크기, 형상

및 움직임과 같은 정보를 전달하기 위해서는 배열형(array-type)의 촉각자극기가 필요하다. 또한 효과적인 촉각자극기를 만들기 위해서는 진동의 변위, 주파수, 촉각자극요소(tactile element)의 밀도 및 자극기의 개수와 같은 주요 파라미터(parameter)를 반드시 고려해야만 한다.

본 연구의 목적은 보행중인 시각장애인을 위한 장애물 정보를 제공하는 휴대형 촉각자극기 개발이며, 기초연구로서 촉각자극의 생리물리특성을 문헌을 통하여 조사하고 그에 따라서 자체 제작한 실험장치를 이용하여 진동자극에 따른 형상인식실험을 수행하였다. 실험을 통해서 복수의 자극에 따른 촉각의 threshold를 얻었으며 임의의 형상을 인식하기 위해 적합한 진동 주파수 및 강도를 유추하고 고찰하고자 한다.

본 논문의 2장에서는 촉각자극의 생리물리특성을 소개하며, 3장에서는 진동자극에 따른 촉각의 형상인식실험을 수행하기 위해 자체 제작한 실험장치를 소개한다. 4장과 5장에서는 임의의 형상을 갖는 복수자극에 따른 촉각의 threshold 및 형상 인식 실험에 대해서 각각 서술하고 실험결과를 고찰한다.

II. 인간의 촉각 수용기 종류 및 분류

촉각 자극 방법 및 장치에 관한 연구를 위해서는 사람이 느끼는 촉각자극의 생리물리특성에 대해서 이해해야 한다. 인간의 피부에는 4종의 촉각 수용기가 존재한다. 즉 진피의 지문 봉우리(fingerprint papillary ridge) 사이에 위치하는 메이스너 소체(Meissner corpuscle), 진피의 지문 봉우리 끝에 위치하는 머켈 신경(Merkel ending), 피하 지방에 위치하는 파치니 소체(Pacinian corpuscle), 피부 속 깊이 파묻혀 있는 루피니 신경(Ruffini ending)이 있다. 촉각 수용기는 자극에 대해서 응답의 순응 방식으로부터 크게 2분류로 나누어진다. 약간 지연되는 순응형(SA형: Slowly Adapting unit), 빠른 순응형(FA형: Fast Adapting unit)이다. 앞에 서술했던 2개의 형태의 수용기는 수용면의 크기에 따라, 다시 I형, II형으로 나누어진다. I형에 속하는 SA-I, FA-I는 수용면이 좁고, 그 경계가 비교적 선명한 것에 대해서, II형에 속하는 SA-II, FA-II는 수용면이 넓고, 그 경계가 불선명하다. SA-I, SA-II, FA-I, FA-II의 각 단위는 4종류의 기계수용기 머켈 신경, 루피니 신경, 메이스너 소체,

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 5. 12., 채택확정 : 2005. 10. 6.

윤명종 : 전북대학교 대학원 메카트로닉스공학부(mjyoon@chonbuk.ac.kr)

유기호 : 전북대학교 기계항공시스템공학부(yu@chonbuk.ac.kr)

김남균 : 전북대학교 생체정보공학부(ngkim@chonbuk.ac.kr)

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원(02-PJ3-PG6-EV10-0001)에 의하여 이루어진 것임.

파치니 소체로 크게 분류된다[1,18,20]. 촉각 수용기의 분포 및 밀도는 몸통이나 사지근 중심부보다 얼굴과 사지 말단부위가 더 조밀하며 촉각은 특히 손가락 끝과 입술에서 가장 예민하게 느낀다[1,18].

III. 형상인식실험을 위한 실험 장치

진동자극에 따른 촉각의 형상인식실험을 수행하기 위해 자체 제작한 실험장치를 그림 1에 나타내었다. 손가락 끝에 정형파적인 진동을 발생시키기 위해 소형 가진기(SS11, TIRAvib)를 이용하였으며, 레이저 변위 센서(LK010, KEYENCE)를 사용하여 자극된 진동의 변위 및 주파수를 측정하였다. 사용된 가진기의 가진력(정현파)은 75N이고 최대변위는 10mm이며 최대 가진 주파수는 7kHz이다. 레이저 변위 센서는 CCD레이저식 변위 센서로서 삼각 측정 방식이며, 분해능은 0.1μm이고 측정 범위는 ± 1mm이며 선형성은 ± 0.25%이다. 자극된 진동의 변위 및 주파수의 측정은 가진기와 촉각자극배열 사이에 알루미늄 빔을 장착하여 빔의 움직임을 측정함으로써 진동 자극의 발생에 있어서 간섭을 최대한 피하며 자극의 변위 및 주파수 측정에 용이하도록 하였다. 그림 2는 base frame, contact surface, 촉각자극배열로 구성된 촉각자극 장치를 나타내고 있다.

촉각자극배열은 자유로운 핀(steel pin) 배열을 통하여 원하는 임의의 형상을 구성할 수가 있으며, 손가락 끝과 촉각자극배열과의 밀착된 접촉상태를 얻기 위해서 촉각자극배열의 접촉면이 손가락 끝의 형상과 유사한 모양(bowl shape)으로 설계하였고 그림 3에 나타내었다. 사용 가능한 핀 배열은

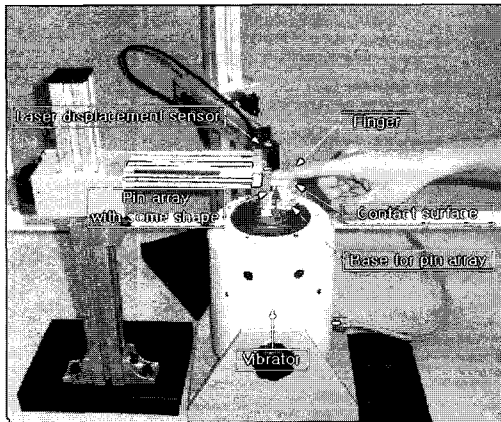


그림 1. 형상인식실험을 위한 실험 장치.
Fig. 1. Experimental apparatus for shape perception test.

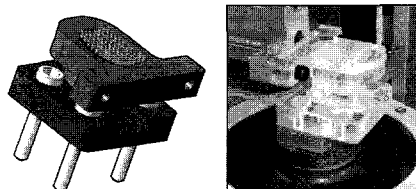


그림 2. 촉각자극 장치.
Fig. 2. Integrated device for stimulation array.

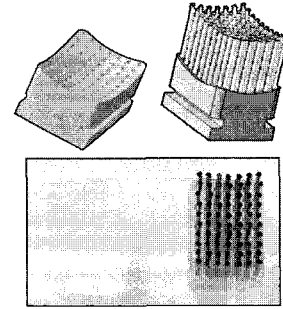


그림 3. 촉각자극배열 예.
Fig. 3. Sample pin array for stimulation.

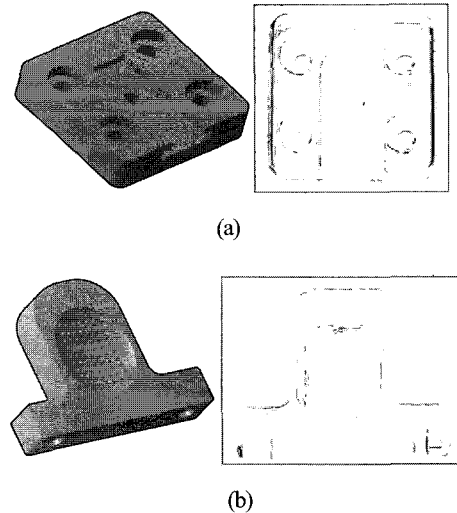


그림 4. (a) 지지대 (b) 접촉 표면.
Fig. 4. (a) Base frame (b) contact surface.

7×10이며 촉각자극요소의 간격은 2mm이고 핀의 지름은 1mm이며 길이는 15mm이다. 또한 촉각자극배열을 통해서 자극할 수 있는 면적은 엄지손가락과 비슷한 15mm× 20mm이다. 촉각자극배열의 가진기 탈부착이 용이하도록 하기위해서 base frame을 설계하였고 그림 4(a)에 나타내었다. 접촉된 손가락의 지지 및 밀착된 접촉상태를 유지하기 위해 contact surface를 설계하였고 그림 4(b)에 나타내었다. Contact surface의 구멍(hole)의 직경은 1.4mm로써 핀과의 간격은 0.2mm를 유지하게 하여 서로간의 간섭배제 및 edge 감을 나타내도록 설계 및 제작하였다.

IV. 촉각 인식 Threshold 실험

1. 실험 목적

임의의 형상을 포함한 복수 진동 자극에 따른 촉각인지 특성을 알아보기 위해서 피험자실험을 수행하였다. 다양한 자극 주파수 대역에서 자극 강도에 대한 threshold는 몇몇 문헌에서 이미 연구되었으나[3,20,21] 그 결과들은 하나의 촉각자극요소만을 사용하여 얻은 것으로서 임의의 형상을 표현할 목적으로 개발하는 배열 형태의 촉각 자극기에는 적용하기 어렵다. 따라서 이 실험을 통해 임의의 형상을 갖는 복수 진동 자극의 threshold를 얻고 인간의 손가락에서 임의의 형상

을 인식할 수 있는 진동 자극의 적정 주파수 대역과 강도(진폭)를 유추하고 고찰하고자 한다.

2. 실험 방법

그림 5는 촉각인식의 threshold 실험을 위한 장치 구성도를 나타내고 있다. 소형 가진기(S511, TIRA vib)를 이용하여 손가락 끝에 정현파적인 진동을 발생시키고, 자극된 진동의 변위 및 주파수를 레이저 변위 센서(LK010, KEYENCE)를 사용하여 측정하였으며 가진기의 구동 신호 및 레이저 변위 센서의 신호를 PC에 장착된 DSP 시스템(dSPACE 1102)을 통하여 제어하고 신호처리 하였다.

이 실험은 건강한 성인 남녀를 피험자 집단으로 구성하여 수행하였으며, 실험 목적에 대한 사전지식 습득 및 학습 효과를 최대한 배제하였다. 피험자 집단은 여자 2명(23, 25세), 남자 8명(25-32세)으로 구성하였다. 피험자에게 자극 형상을 인식 했는지 판단하게 한 후 대답하도록 하였으며 한 번 답한 것에 대해서는 반복할 수 없게 하였다. 자극된 형상과 피험자가 대답한 형상이 일치하는 최소 자극 강도(진폭)를 각각의 자극 주파수별로 측정 및 기록하였고, 피험자가 자극 형상을 인식할 수 있는 최소 자극 강도를 threshold로 정의하였다.

실험에 사용된 라인 형상의 촉각자극배열은 임의의 형상 중 기본이 되는 삼각형, 사각형, 원으로 구성하였으며 그림 6에 나타내었다.

3. 하나의 촉각자극요소에 의한 인식 threshold

촉각자극요소 하나만을 사용하여 5-500Hz의 넓은 주파수 범위에서 다양한 진폭(강도)으로 자극하여 얻어진 결과를 그림 7에 나타내었다.

결과는 10명의 피험자들의 평균값으로 자극을 인지할 수 있는 최소 자극 강도로서 threshold를 의미하고 에러바(error bar)는 표준오차를 나타낸다. 저주파 대역에서는 주파수가 증가할수록 threshold는 감소하며 고주파 대역에서는 U자 형태를 나타내기 시작함을 알 수 있는데 이러한 일반적인 특성은 Bolanowski[20]의 결과와 유사하다. 일반적으로 인간의 촉각은 같은 강도로 자극할 때 저주파 대역보다는 고주파 대역의 자극에 대해서 더 민감하게 반응한다. 하지만 이러한 민감성은 400Hz이상의 고주파대역에서는 오히려 감소하는 특성을 나타낸다. threshold는 250Hz 대역에서 약 1 μ m로 가장 작은 값을 가짐을 알 수 있다.

4. 라인 형상의 복수 자극 인식 threshold

촉각자극요소 하나만을 사용하여 얻어진 결과는 배열 형태의 촉각자극기에는 적용하기 곤란함으로 1-50Hz의 자극주파수 대역에서 복수의 촉각 자극에 따른 threshold, 즉, 인간의 촉각이 임의의 형상을 인식할 수 있는 최소의 자극

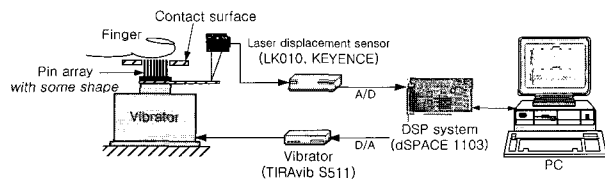
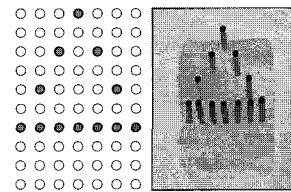


그림 5. 실험장치 구성도.

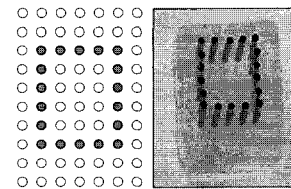
Fig. 5. Configuration of experimental set-up.

강도(진폭)를 얻기 위한 피험자 실험을 수행하였으며 그 결과를 그림 8에 나타내었다. 인간의 촉각 수용기 중 형상을 인식하는 기능을 하는 것은 위에서 언급한 머켈 신경(Merkel ending)이며 그 반응 주파수 대역은 2-32Hz이다[1,16]. 따라서 이 실험에서 사용된 1-50Hz 자극 주파수 대역은 타당하다 할 수 있다.

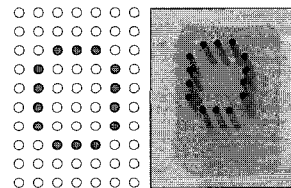
그림 8의 결과는 10명의 피험자 평균이며 에러바는 표준 오차를 나타낸다. 결과를 비교해 보면 형상에 따른 threshold 특성의 차이는 미미하며, 전체적으로 주파수가 증가할수록 threshold는 감소하는 일반적인 경향을 보인다. 다만, 기존의 연구 결과들[3,20,21]과 비교해 볼 때, 즉 촉각자극요소 하나만을 사용하여 얻은 결과(수 μ m) 보다 큰 threshold(수십 μ m)가 얻어졌다. 이는 촉각이 어떤 형상을 인식하기 위해서는 자극의 유무만을 판단할 수 있는 강도보다 더 높은 강도의 자극이 필요함을 의미한다. 하지만 촉각자극요소의 개수 및 밀도와



(a) Line shape of triangle



(b) Line shape of square



(c) Line shape of circle

그림 6. 라인 형상의 촉각자극배열.

Fig. 6. Pin array for line shape stimulation.

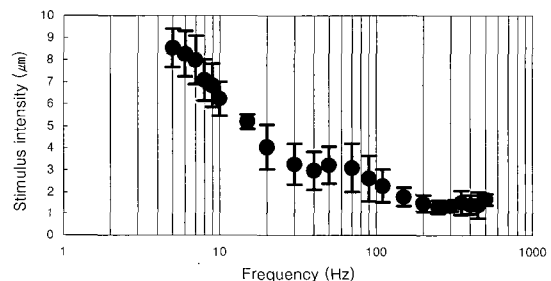


그림 7. 하나의 촉각자극요소에 의한 인식 threshold.

Fig. 7. Threshold of perception to stimulation by one tactile element.

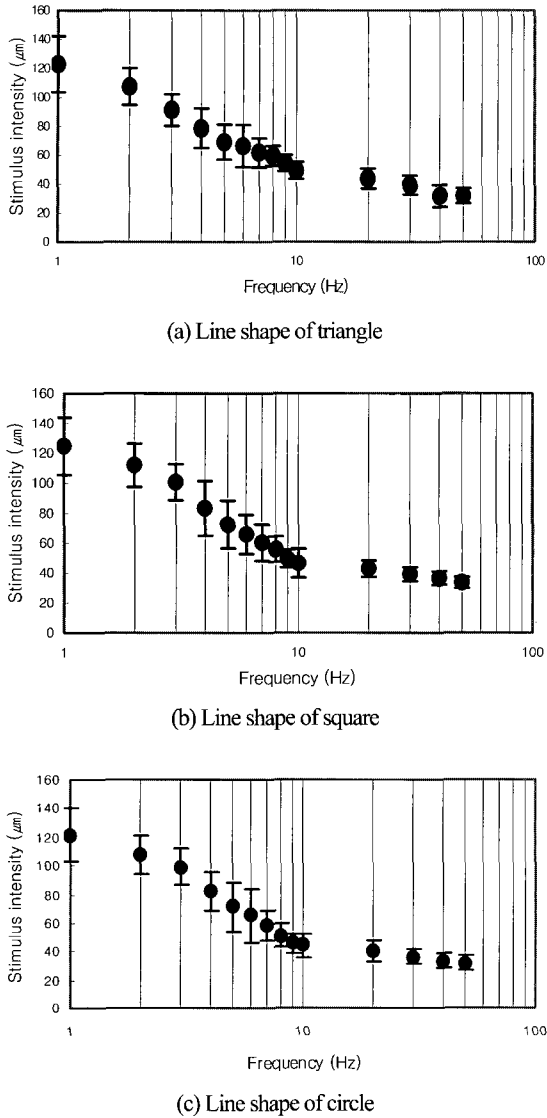


그림 8. 라인 형상의 복수 자극 인식 threshold.
 Fig. 8. Perception threshold to stimulation by multi-tactile elements with some shape.

복수 자극 인식 threshold와의 정확한 관계규명을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

그림 8에서 얻어진 결과를 바탕으로 임의의 라인 형상을 갖는 복수의 촉각자극을 인식시키기 위한 적정의 자극 주파수 및 진폭을 유추할 수 있다. 1Hz에서 threshold는 약 120μm 정도이며 자극 주파수가 증가할수록 threshold는 감소한다. 따라서, 1-50Hz의 자극 주파수 대역에서 임의의 라인 형상을 촉각으로 인식시키기 위해서는 120μm 이상의 자극 진폭(강도)이 필요함을 알 수 있다.

V. 촉각의 형상 인식 실험

1. 실험 목적 및 방법

이 실험의 첫 번째 목적은 자극의 강도 변화 및 주파수 변화에 따른 형상 인식률의 특성 고찰이고, 두 번째는 라인 형상과 안이 채워진 형상(filled shape)의 자극에 따른 형상인식률의 비교이다.

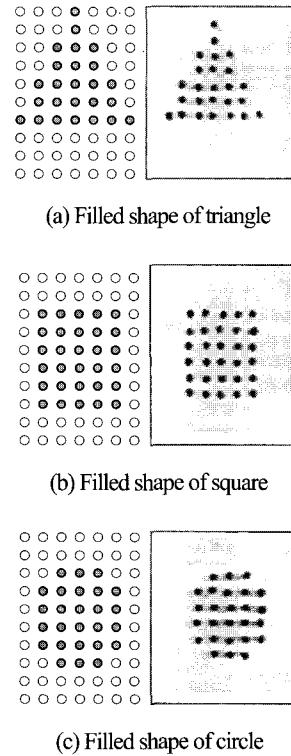


그림 9. 안이 채워진 형상의 촉각자극배열.
 Fig. 9. Pin array for filled shape stimulation.

10명의 건강한 성인 남녀로 구성된 피험자 집단으로 실험을 수행하였으며 실험 조건은 threshold 실험과 동일하다. 라인 형상의 자극을 위해서 그림 6의 촉각자극배열을 사용하였으며 안이 채워진 형상의 자극을 위해서는 그림 9와 같은 촉각자극배열을 사용하였다. 또한 threshold 실험에서 유추된 자극 주파수 및 진폭을 사용하였다. 피험자에게 삼각형, 사각형, 원의 형상을 갖는 복수의 촉각 자극을 주고 그에 따라 인식된 형상을 대답하도록 하였으며 각각의 형상, 주파수, 진폭에 따라 다섯 번 씩 반복 실험 하였다.

2. 자극 진폭에 따른 형상 인식률

자극 주파수를 20Hz로 고정시키고 자극 진폭을 20-200μm로 변화시키며 실험을 수행하였고 그 결과를 표 1과 그림 10에 나타내었다. 표 1에서 정답률은 형상 인식률을 의미하며 세로축은 자극된 형상이고 가로축은 피험자가 인식한 형상이다. 표 1의 결과를 보면 자극 강도가 20μm에서 200μm로 증가함에 따라 라인 형상의 정답률이 평균 63%에서 100%로 증가하고, 안이 채워진 형상들의 정답률 또한 평균 68%에서 100%로 증가함을 알 수 있다. 이는 자극 강도가 증가할수록 촉각의 인식률이 증가하는 당연한 결과라 할 수 있다. 형상의 종류에 따른 인식률의 차이는 미미하며 다만 사각형 형상과 원 형상의 오답이 서로의 형상에서 다소 나타남을 알 수 있는데 이는 그림 6과 9에서 볼 수 있듯이 두 형상의 유사성에 의한 것으로 보인다.

3. 자극 주파수에 따른 형상 인식률

자극 진폭을 100μm로 고정시키고 자극 주파수를 1-50Hz로 변화시키며 실험을 수행하였고 그 결과를 그림 11에 나타내었다. 결과에서 점선은 라인 형상의 촉각자극에 따른 정답률

표 1. 20Hz에서 자극강도에 따른 정답률(%).

Table 1. Correct answer rate by variable stimulus intensity at the frequency of 20Hz(%).

Shape \ Answer	Triangle		Square		Circle	
	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape
Triangle	60	66	24	18	16	16
Square	4	10	60	66	36	24
Circle	4	10	28	18	68	72

(a) Stimulus intensity : 20 μ m

Shape \ Answer	Triangle		Square		Circle	
	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape
Triangle	80	82	12	10	8	8
Square	0	2	80	84	20	14
Circle	0	8	20	16	80	82

(b) Stimulus intensity : 50 μ m

Shape \ Answer	Triangle		Square		Circle	
	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape
Triangle	92	90	4	4	4	6
Square	0	2	92	92	8	6
Circle	0	0	10	10	90	90

(c) Stimulus intensity : 80 μ m

Shape \ Answer	Triangle		Square		Circle	
	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape
Triangle	96	94	0	4	4	2
Square	0	2	96	94	4	4
Circle	0	2	8	4	92	94

(d) Stimulus intensity : 150 μ m

Shape \ Answer	Triangle		Square		Circle	
	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape	Line shape	Filled shape
Triangle	100	100	0	0	0	0
Square	0	0	100	100	0	0
Circle	0	0	0	0	100	100

(e) Stimulus intensity : 200 μ m

이고 실선은 안이 채워진 형상 자극에 따른 정답률이다. 전체적인 인식률의 추세를 보면 그림 8과 유사한 형태를 나타낸다. 즉, 자극 주파수가 증가함에 따라 형상 인식률도 증가한다. 같은 자극 강도(100 μ m)로 자극할 경우 10Hz 이상의 자극 주파수로 자극할 때 약 90% 이상의 형상 인식률을 얻을

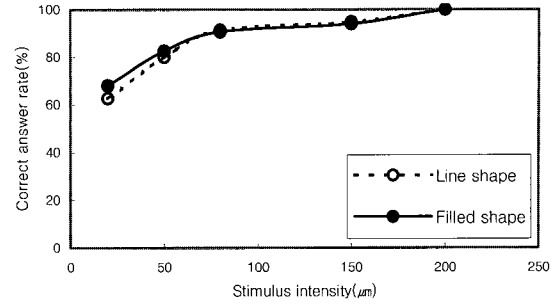


그림 10. 20Hz에서 자극 강도에 따른 평균 정답률.

Fig. 10. Average of correct answer rate by variable stimulus intensity at the frequency of 20Hz.

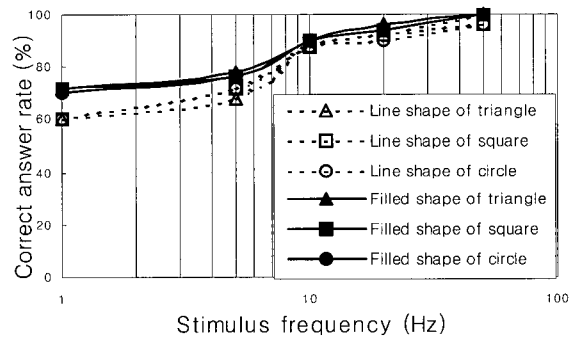


그림 11. 100 μ m에서 자극 주파수에 따른 정답률 : 라인형상과 안이 채워진 형상과의 비교.

Fig. 11. Correct answer rate by variable stimulus frequency at the intensity of 100 μ m : comparing filled shape stimulation with line one.

수 있다. 한편, 10Hz 이하의 자극 주파수 대역에서는 안이 채워진 형상 자극이 형상 인식률이 라인 형상의 자극에 비해 약 10%정도 높으나 그 이상의 주파수 대역에서는 미소한 차이를 보인다. 이러한 양상은 자극 강도에 따른 형상 인식률에서도 나타났었다.

이상의 실험결과 및 고찰로부터 인간의 촉각인식특성은 진동의 강도(진폭)와 빈도(주파수) 그리고 자극의 양(자극 요소의 수)에 의존함을 알 수 있다. 또한 이 세 개의 파라미터(parameter)는 서로 상호보완적인 관계이며, 특히 진폭과 주파수에 있어서는 하나의 파라미터만을 증가시키더라도 인식률을 높일 수 있다. 실험 결과로부터 알 수 있는 것처럼 20Hz 자극의 경우 200 μ m에서, 100 μ m 자극의 경우 50Hz에서 100% 또는 그에 가까운 인식률을 얻을 수 있었다.

VI. 결론

본 연구의 목적은 보행중인 시각장애인을 위한 장애물 정보를 제공하는 휴대형 촉각자극기의 개발이며, 초기 단계로서 촉각자극의 생리물리특성에 따른 형상 인식 실험장치를 설계 및 제작하였으며, 효과적인 형상 인식에 필요한 진동형 촉각자극배열의 적정 자극 조건을 얻기 위한 피험자 실험을 수행하였다.

실험을 통해 임의의 형상을 갖는 복수 자극에 따른 촉각의

threshold를 얻고 자극의 강도 변화 및 주파수 변화에 따른 형상 인식률의 특성을 고찰하였다. 그 결과 인간의 촉각인식 특성은 진동의 강도(진폭)와 빈도(주파수) 그리고 자극의 양(자극요소의 수)에 의존하며 서로 상호보완적인 관계에 있음을 알 수 있었으며, 임의의 형상 인식을 위한 각 파라미터의 적정 범위를 도출하였다.

추가적인 연구로서는 촉각자극요소의 개수 및 밀도(자극요소간의 간격)에 따른 인식 특성의 검토를 들 수 있으며 금후의 과제로 고려하고 있다.

참고문헌

- [1] G. Burdea, *Force and touch feedback for virtual reality*, John Wiley & Sons, INC., New York, 2000.
- [2] M. Shinohara, Y. Shimizu and A. Mochizuki, "Three-dimensional tactile display for the blind," *IEEE Trans. of Rehabilitation Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 249-256, Sep., 1998.
- [3] H. Minagawa, N. Ohnishi and N. Sugie, "Tactile-audio diagram for blind persons," *IEEE Trans. of Rehabilitation Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 431-437, Dec., 1996.
- [4] 윤명중, 권대규, 유기호, "PZT 액추에이터를 이용한 촉각 자극기의 모델링," 한국정밀공학회 2003년도 추계학술대회논문집, pp. 229-232, 2003.
- [5] M. J. Yoon, T. K. Kwon, K. H. Yu and N. G. Kim, "Fabrication and evaluation of tactile stimulator array using stacked PZT," *Proc. of 2004 International Conf. on Control, Automation and Systems*, pp. 171-175, 2004.
- [6] 보건복지부 장애인 정책과, "등록장애인수"
- [7] S. Shoval, I. Ulrich and J. Borenstein, "Robotics-based obstacle-avoidance systems for the blind and visually impaired," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp. 9-20, 2003.
- [8] K. Sato, E. Igarashi and M. Kimura, "Development of non-constrained arm with tactile feedback device," *Proc. of IEEE International Conf. on Advanced Robotics*, pp. 334-338, 1991.
- [9] G. Moy, C. Wagner and R. S. Fearing, "A compliant tactile display for teletaction," *Proc. of IEEE International Conf. on Advanced Robotics*, pp. 3409-3415, 2000.
- [10] T. Watanabe and S. Fukui, "A method for controlling tactile sensation of surface roughness using ultrasonic vibration," *Proc. of IEEE International Conf. on Advanced Robotics*, pp. 1134-1139, 1995.
- [11] M. Konyo, M. S. Tadokoro and T. Takamor, "Artificial tactile feel display using soft gel actuators," *Proc. of IEEE International Conf. on Advanced Robotics*, pp. 3416-3421, 2000.
- [12] Y. Ikei and M. Shiratori, "Vibratory tactile display of image-based textures," *IEEE Computer Graphics and Application*, vol. 17, no. 6, pp. 53-61, Nov., 1997.
- [13] T. Nara, M. Takasaki, T. Maeda, T. Higuchi, S. Ando and S. Tachi, "Surface acoustic wave tactile display," *IEEE Computer Graphics and Application*, vol. 21, no. 6, pp. 56-63, Nov., 2001.
- [14] 경기옥, 손승우, 양기훈, 권동수, "질감 제시 장치를 이용한 촉각 인지 특성 연구," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, vol. 11, no. 5, pp. 451-456, May, 2005.
- [15] K. Kaczmarek, M. Tyler and P. Bach-y-Rita, "Electrotactile haptic display on the fingertips: preliminary results," *Proc. of the 16th Annual international IEEE conf. on Engineering in Medicine and Biology*, pp. 940-941, 1994.
- [16] M. Shinohara, Y. Shimizu and A. Mochizuki, "Three-dimensional tactile display for the blind," *IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 249-256, Sept., 1998.
- [17] P. M. Taylor, A. Moser and A. Creed, "A sixty-four element tactile display using shape memory alloy wires," *Displays*, vol. 18, pp. 163-168, 1998.
- [18] R. A. Russel, *Robot Tactile Sensing*, Prentice Hall, New York, 1990.
- [19] D. G. Caldwell, N. Tsagarakis and C. Giesler, "An integrated tactile/shear feedback array for stimulation of finger mechanoreceptor," *Proc. of IEEE International Conf. on Advanced Robotics*, pp. 287-297, 2000.
- [20] S. J. Bolanowski, G. A. Gescheider, R. T. Verrillo and C. M. Checkosky, "Four channels mediate the mechanical aspects of touch," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 84, no. 5, pp. 1680-1694, Nov., 1988.
- [21] R. S. Johansson, U. Landström and R. Lundström, "Responses of mechanoreceptive afferent units in the glabrous skin of the human hand to sinusoidal skin displacements," *Brain Research*, vol. 244, pp. 17-25, 1982.



윤명종

1974년 12월 13일생. 2000년 전북대학교 항공우주공학과 졸업. 2002년 동 대학원 메카트로닉스공학과 석사. 2003년 3월~현재 동 대학원 박사과정 재학중. 관심 분야는 촉각센싱 및 제시, 로보틱스.



김남균

1957년 10월 6일생. 1981년 전북대학교 정밀기계공학과 졸업. 1983년 동 대학원 기계공학과 석사. 1987년 프랑스 루이파스퇴르대학 박사. 2001년 3월~2002년 2월 한국전자통신연구원 생체인식기술분야 자문위원. 2000년 3월~현재 전북대학교 복지공학연구소 연구소장. 1995년 3월~현재 전북대학교 생체정보공학부 교수. 관심분야는 의용생체공학, 감성공학.



유기호

1962년 8월 1일생. 1987년 전북대학교 정밀기계공학과 졸업. 1990년 동 대학원 기계공학과 석사. 1994년 일본 Tohoku 대학 박사. 1994년 4월~1997년 8월 동 대학 Research Associate. 1997년 9월~1998년 2월 한국과학기술원 연구원. 2004년 2월~2005년 1월 미국 MIT 방문교수. 1998년 3월~현재 전북대학교 기계항공시스템공학부 부교수. 관심분야는 촉각 센싱 및 제시, 원격로봇, 생체신호모니터링, 메카트로닉스 및 로보틱스.