

적층형 PZT 액추에이터를 이용한 촉각자극기의 제작 및 평가

윤명중(전북대 대학원 메카트로닉스공학과), 권대규*(전북대 생체정보공학부),
김남균(전북대 생체정보공학부), 유기호(전북대 기계항공시스템공학부)

Fabrication and Evaluation of Tactile Stimulator Using Stacked PZT

M. J. Yoon(Mech. Eng. Dept., CBNU), T. K. Kwon, N. G. Kim(Bio. Eng. Dept., CBNU),
K. H. Yu(Mech. Eng. Dept., CBNU)

ABSTRACT

A tactile stimulator array using stacked PZT is fabricated and evaluated in this paper. The purpose of this research is the development of a tactile stimulator to represent the obstacle information for the visually disabled. As a first step of this research, we investigate the physiological characteristics of tactile stimuli and design a tactile stimulator based on the investigated results. Also we evaluated a fabricated tactile stimulator. The prototype of tactile stimulator which has 2×2 factor elements with 3mm spacing is fabricated using stacked PZT actuator. In order to evaluate the characteristics of this tactile stimulator, physiological experiments are carried out. In the experiment, the threshold of tactile stimulus intensity within a frequency range of 5-500Hz at various stimulus amplitudes are investigated. According to the obtained experimental result, the input signal of tactile stimulator for the effective transfer of obstacle information is determined. Also physiological experiments of multi-stimuli recognition such as shift and rotation are carried out.

Key Words : Tactile display (촉각 제시), Tactile stimulator (촉각 자극기), PZT actuator (PZT 액추에이터), Physiological characteristics (생리물리특성)

1. 서론

보건복지부에 등록된 우리나라의 시각 장애인의 수는 약 12만 명 정도이지만, 실제 시각 장애인의 수는 약 20만 명으로 추정되며, 일본은 약 40만 명, 미국은 약 2백만 명이다^[1]. 이들 중 90% 이상이 후천적 원인으로 장애인이 되었으며 노령인구의 증가에 따라 이들의 수는 매년 증가할 것으로 예상된다. 시각 장애인의 대부분은 시각보조수단으로써 흰지팡이 및 안내견을 사용하고 있으나 100시간 이상의 많은 훈련시간이 요구되고 특히 안내견의 경우 고가이며 제한적인 활용에 그치고 있어 이를 대체할 수 있는 공학적인 시스템의 개발이 필요하다^[2]. 해외의 경우 인공망막, 안내견 로봇, ETA(Electronic Travel Aid) 등이 개발되고 있으나 국내의 경우 일상생활 적용이 힘들거나 지속적인 연구개발이 미비한 실정이다.

대부분의 ETA 시스템의 경우 장애물 정보를 청

각으로만 의존하여 시각장애인에게 전달한다. 시각 장애인은 청각 의존도가 높아 장애물 정보를 청각으로만 전달할 경우 여타 다른 정보를 청각에 의존해 얻는 시각장애인에게는 커다란 문제점(Masking 효과)이 발생된다^[2]. 이에 촉각 자극기는 장애물 정보를 촉각을 통해 전달함으로써 청각을 충분히 활용할 수 있도록 하는 장점을 갖는다.

기존의 촉각제시장치는 주로 공압자극방식(pneumatic stimulation), 진동자극방식(vibrotactile stimulation), 전기자극방식(electrotactile stimulation)으로 구분되어 진다. 이 제시장치 중 진동자극방식은 현재 가장 연구가 활발하게 이루어지고 있는 방식이나^[3], 현재 촉각제시기구로써 보급되고 있는 것은 매우 적다.

본 연구의 목적은 보행중인 시각장애인을 위한 장애물 정보를 제공하는 휴대형 촉각자극기 개발이며, 기초연구로서 촉각자극의 생리물리특성을 조사

하고 그에 따라서 2×2의 촉각자극요소를 갖는 촉각 자극기(Fig. 1)를 제작하였다. 또한 제작된 촉각자극기의 평가를 위해서 피험자 실험을 수행하였다.

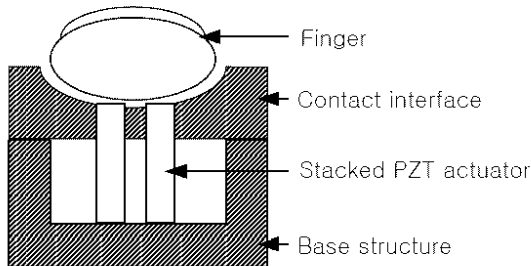


Fig. 1 Schematic diagram of tactile stimulator

2. 인간의 촉각 수용기 종류와 특징

촉각 자극 방법 및 장치에 관한 연구를 위해서는 사람이 느끼는 촉각자극의 생리물리특성에 대해서 이해해야 한다. 인간의 피부감각(cutaneous sensation)은 피부와 이것에 접해 있는 점막에 있는 감각으로 촉각, 압각, 온각, 냉각, 통각 등 5종류를 일반 감각이라고 하며 피부에 있는 촉각 수용기를 Fig. 2에 나타내고 있다. 촉각 수용기의 분포 및 밀도는 몸통이나 사지근 중심부보다 얼굴과 사지 말단부위가 더 조밀하며 촉각은 특히 손가락 끝과 입술에서 가장 예민하게 느낀다. 즉 두 점의 식별 가능한 거리가 입술과 손가락에서 가장 짧다(약 1-2mm)^[4].

피부감각은 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 나눈다. 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 나눈다. 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, 파치니 소체로 크게 분류된다. 이 중에서 파치니 촉각 수용기는 진동에 민감하게 반응하고 그 대역폭이 64Hz-400Hz로 넓은 범위를 가지고 있고 매우 작은 변위(μm)에서 반응

한다^[4].

본 연구에서는 이러한 촉각 수용기에 촉각 자극을 주기 위해서 적층형 PZT 액추에이터를 사용하여 소형 촉각자극기를 개발하였으며 대역폭이 가장 넓고 매우 작은 변위에 대해서도 반응하는 파치니 촉각 수용기를 자극하여 생리물리특성을 고찰하였다.

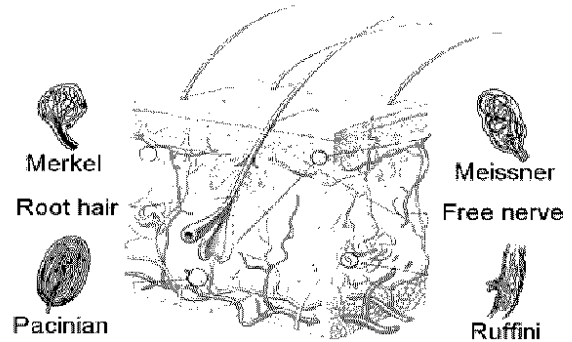


Fig. 2 The cutaneous sensory receptors

3. 촉각자극기의 설계 및 제작

3.1 액추에이터

본 연구의 촉각자극기에는 적층형 PZT 액추에이터가 사용되었으며 PZT(Lead Zirconate Titanate)는 표면에 전압을 인가하면 변형을 일으키는 압전 물질이다. Table 1에 본 연구에서 사용된 적층형 PZT 액추에이터(TOKIN-NEC사, 일본)의 성능을 나타내었다.

적층형 PZT 액추에이터의 크기는 2mm×3mm×10mm(가로×세로×높이)이며 이것을 사용하여 작고 가벼우며 간단한 구조를 갖는 촉각 자극기를 제작할 수 있었다.

Table 1 Performance of the stacked PZT actuator

| | Value | Unit |
|---------------------------------|---------|-----------------|
| Displacement(Max. voltage) | 9.1±1.5 | μm |
| Displacement(Operating voltage) | 6.1±1.5 | μm |
| Output force | 200 | N |
| Max. input voltage | 150 | V _{DC} |
| Operating input voltage | ~100 | V _{DC} |
| Operating input frequency | ~40 | kHz |
| Natural frequency | 138 | kHz |

3.2 시작품

본 연구에서 제작한 촉각자극기의 시작품은 2×2의 촉각자극요소(tactor)를 가지고 있으며 Fig. 3에 나타내었다. 촉각자극기의 구성품인 접촉부분(contact interface)과 기반구조(base structure)의 재료는 폴리프로필렌(poly-propylene)이며 RP(rapid prototyping) 기법을 이용하여 제작하였다. 접촉부분의 크기는 30mm×30mm×10mm이며 표면의 타원 모양의 홈은

손가락과 tactor들의 안정적인 접촉을 위해서 설계되었다(Fig. 1, Fig. 4(a)). 자극 부위 사이의 간격은 3mm로 일정하며 접촉부분의 홀(hold)과 PZT 액추에이터 사이에는 0.5mm의 간격을 두었으며 이는 edge의 존재가 진동 자극에 대해서 좀 더 민감하게 느끼게 할 수 있기 때문이다. 기반구조의 크기는 30mm×30mm× 10mm이고 적층형 PZT 액추에이터를 그 위의 홈에 순간접착제를 사용하여 일정한 간격으로 고정시켰다.

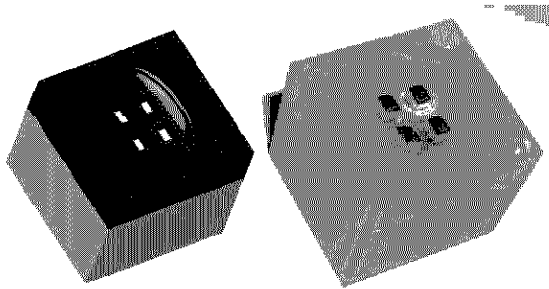


Fig. 3 Prototype of tactile stimulator

4. 촉각자극기의 평가

본 연구에서는 제작된 촉각자극기의 특성 평가를 위해서 생리물리특성 실험인 피험자 실험을 수행하였다. 피험자 실험은 건강한 성인 남녀로 이루어진 피험자에게 사전 지식이나 학습에 의한 효과를 최대한 배제하였으며, 5-500Hz의 가진 주파수대역에서 여러 진폭을 갖는 자극신호로 피험자를 자극하여 촉각자극강도의 �레쉬홀드(threshold) 및 복수 촉각자극에 따른 인지 실험을 수행하였다.

Fig. 4는 피험자실험을 위한 실험장치를 나타내고 있다. 적층형 PZT 액추에이터로 구성된 촉각자극기에 가진 전압을 인가하기 위해서 전압증폭기(LVPZT E663)를 이용하였고, PC에 장착된 dSPACE사의 DSP시스템(DSP TMS320C40)을 이용하여 감지/작동을 독립적으로 구동할 수 있도록 구성하였다.

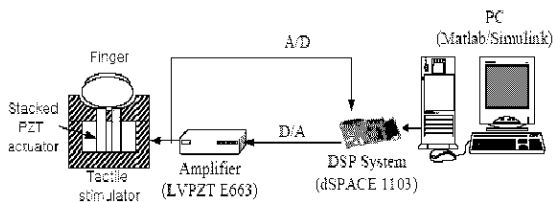


Fig. 4 Configuration of experimental set-up

4.1 촉각자극의 �레쉬홀드

첫 번째 실험으로 주파수대역별로 감지할 수 있는 최소 자극강도를 찾는 실험을 수행하였다. 피험

자들은 여자 1명(29세), 남자 4명(27-31세)으로 구성된 건강한 성인으로 구성되었다. 피험자에게 자극에 대해서 느꼈는지 판단한 후 대답하게 하였으며 한번 답한 것에 대해서는 반복할 수 없게 하였다. 이 실험은 촉각자극기의 임의의 tactor 하나만을 사용하였으며 5-500Hz의 넓은 주파수 범위에서 다양한 진폭으로 가진하였고 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 결과는 5명의 피험자들의 평균값을 나타내고 에러바는 표준오차를 나타낸다.

Fig. 5에서 저주파 대역에서는 주파수가 증가할수록 �레쉬홀드는 감소하며 고주파 대역에서는 U자 형태를 나타내는데 이러한 일반적인 특성은 Bolanowski^[4]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 20V_{p-p}(약 1 μ m)로 가장 작은 값을 가지지만 tactor의 끝단이 편과 같이 뾰족하다면 이 값은 약 0.1 μ m까지 낮아 질 수 있다^[4].

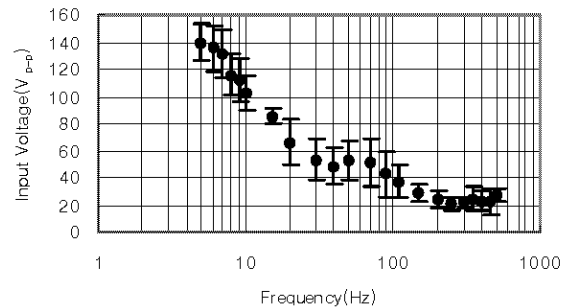


Fig. 5 Threshold of tactile stimuli

4.2 복수자극의 인식

첫 번째 실험에서 얻어진 결과(Fig. 5)와 적층형 PZT 액추에이터의 성능을 바탕으로 제작된 촉각자극기의 적절한 입력 신호 및 운영 범위를 30Hz-500Hz, 60-100V_{p-p}(약 4 μ m)로 결정하였다. 이 범위내에서 제작된 촉각자극기로 복수자극 즉 임의의 자극 위치, shift 움직임, 회전 움직임을 인지하는 피험자 실험을 수행하였으며 실험 조건은 첫 번째 실험과 동일하다. 피험자는 Fig. 6에 나타낸 촉각자극 요소의 번호로 대답을 하였으며 실험 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2(a)는 임의의 자극 위치를 인지하는 실험을 수행하였다. 임의의 위치에 자극을 주고 피험자들로 하여금 자극받은 정확한 위치를 대답하도록 하였다. 결과를 보면 자극의 강도 즉 진폭이 클수록 정답률이 높으나 자극 주파수가 커지면 자극 받는 면

적이 자극을 준 면적에 비해 커진다고 피험자들은 느껴 응답이 증가하여 정답률이 낮게 나타났다. Table 2(b)는 shift 움직임을 인지하는 실험을 수행하였다. 두 개의 tactor를 동시에 가진시킨 후 바로 인접한 다른 두 개의 tactor를 가진시킴으로써 피험자들로 하여금 shift 움직임을 방향을 대답하도록 하였다. 자극의 강도가 커지면 정답률은 증가하지만 주파수의 변화에 따른 정답률의 변화는 미미한 것으로 나타났다. 마지막으로 Table 2(c)는 회전 움직임을 인지하는 실험을 수행하였다. 임의의 위치에서 시작하는 시계방향과 반시계방향의 자극을 피험자들에게 주고 이에 대해서 회전하는 방향을 대답하는 실험을 수행하였다. 실험 결과 피험자들은 자극 강도 및 주파수가 증가할수록 높은 정답률을 보였다. 결론적으로 진동으로 촉각에 자극을 줄 경우 정확한 자극 위치를 인지시키고자 할 경우 낮은 주파수대역의 자극이 유리하며 동적인 움직임을 인지시키고자 할 경우 높은 주파수대역의 자극이 유리함을 알 수 있다. 하지만 shift 움직임처럼 간단한 동적 움직임을 주파수대역에 상관없이 자극의 강도만에 의지함을 알 수 있다.

Table 2 Correct answer rate by stimulating methods

| | Correct answer rate(%) | | | | | |
|---|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 50Hz 60V _{p-p} | 200Hz 60V _{p-p} | 50Hz 100V _{p-p} | 100Hz 100V _{p-p} | 150Hz 100V _{p-p} | 200Hz 100V _{p-p} |
| 1 | 72 | 88 | 96 | 92 | 88 | 84 |
| 2 | 64 | 72 | 92 | 90 | 88 | 84 |
| 3 | 72 | 72 | 92 | 92 | 86 | 84 |
| 4 | 64 | 80 | 96 | 94 | 84 | 80 |

(a) Position

| | Correct answer rate(%) | | | | | |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 50Hz 60V _{p-p} | 200Hz 60V _{p-p} | 50Hz 100V _{p-p} | 100Hz 100V _{p-p} | 150Hz 100V _{p-p} | 200Hz 100V _{p-p} |
| 1,2 → 3,4 | 72 | 76 | 88 | 90 | 90 | 92 |
| 3,4 → 1,2 | 72 | 72 | 92 | 90 | 94 | 88 |
| 1,3 → 2,4 | 72 | 76 | 92 | 88 | 88 | 96 |
| 2,4 → 1,3 | 68 | 68 | 96 | 92 | 92 | 88 |

(b) Shift motion

| | Correct answer rate(%) | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 50Hz 60V _{p-p} | 200Hz 60V _{p-p} | 50Hz 100V _{p-p} | 100Hz 100V _{p-p} | 150Hz 100V _{p-p} | 200Hz 100V _{p-p} |
| Clockwise | 52 | 88 | 76 | 82 | 94 | 96 |
| Count-clock | 56 | 92 | 80 | 84 | 94 | 96 |

(c) Rotation motion

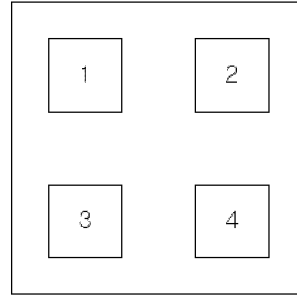


Fig. 6 Numbering of tactors

5. 결론

본 연구의 목적은 보행중인 시각장애인을 위한 장애물 정보를 제공하는 휴대형 촉각자극기 개발이며, 초기 단계로서 촉각자극의 생리물리특성을 조사하고 그에 따라서 촉각자극기를 제작하였다. 제작된 촉각자극기는 작고 가벼우며 간단한 구조를 가지고 있어서 휴대형 촉각자극기에 적합하다고 할 수 있다. 또한 제작된 촉각자극기의 평가를 위해서 촉각 자극강도 threshold 및 복수자극 인식 피험자 실험을 수행하였으며 실험을 통하여 촉각자극기의 사용 성능을 증가 시키는 요소들을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원(O2-PJ3-PG6-EV10-0001)에 의하여 이루어진 것임.

참고문헌

1. 보건복지부 장애인 정책과, “등록장애인수”.
2. Shoval, S., Ulrich, I., and Borenstein, J., "Robotics-based obstacle-avoidance systems for the blind and visually impaired - Navbelt and the GuideCane," IEEE Robotics & Magazine, pp. 9-20, 2003.
3. Burdea, G., "Force and Touch Feedback for Virtual Reality," JOHN WILEY & SONS, INC., 2000.
4. Bolanowski, S., Gescheider, G., and Checkosky, C., "Four Channels Mediate the Mechanical Aspects of Touch," Journal of Acoustical Society of America., Vol. 84, No. 5, pp. 1680-1694, 1988.