

# 촉각제시에 의한 시각장애인 보행안내에 관한 연구

## A Study of Walking Guide for the Blind by Tactile Display

윤명종, 유기호\*, 강정호  
(Myoung-Jong Yoon, Kee-Ho Yu, and Jeong-Ho Kang)

**Abstract :** In this paper, firstly, we propose a generating method of the 3-D obstacle map using ultrasonic sensors. Secondly, we try to find the necessary stimulation conditions of compact tactile display device for effective transfer of obstacle information. The final goal of this research is the development of a walking guide system for the blind to walk safely. The walking guide system consists of a guide vehicle for the obstacle detection and a tactile display device for the transfer of the obstacle information. The guide vehicle, located in front of the walking blind, detects the obstacle using ultrasonic sensors. The processed information makes an obstacle map and transmits safe path and emergency situation to the blind by the tactile display. The tactile display device, located in the handle which is connected with the guide vehicle by cane, offers the processed obstacle information such as position, size, moving, shape of obstacle and safe path, etc. The concept of a walking guide system with tactile display is introduced, and experiments of 3-D obstacle detection and tactile perception are carried out and analyzed.

**Keywords :** walking guide system, the blind, tactile display, 3-D obstacle detection, tactile perception

### 1. 서론

선천적 혹은 후천적으로 시각이나 청각 등의 감각을 잃었을 때 시각 및 청각 등을 대신하여 다른 감각을 활용하여 정보를 제공하는 대체감각(sensory substitution)에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]. 그 예로, 시각장애인의 옥외보행을 위한 시각보조수단으로서 안내견이나 흰색지팡이(white cane)를 대체하는 공학적인 시스템인 ETA(Electronic Travel Aid) 및 안내견 로봇 등이 개발되고 있다[2]. 그러나 NavBelt, SonicVision 등 대부분의 ETA 시스템의 경우 장애물 정보를 청각으로 시각장애인에게 전달함으로써 청각 의존도가 높은 시각장애인에게 masking 효과와 같은 심각한 문제점을 발생시킬 뿐만 아니라[2] 청각을 이용한 장애물 정보 전달은 정보의 내용이나 전달 방법에 있어서 제한적일 수 밖에 없다. 이에 본 연구에서는, 장애물 또는 장애물 분포에 관한 시각적인 정보를 촉각을 자극하여 제시하는 방법을 제안하고 장애물의 3차원 위치 정보 검출 및 진동자극을 이용한 특정 패턴의 촉각제시에 관하여 구체적으로 검토하였다[3,4].

본 연구의 최종 목표는 보행중인 시각장애인을 위한 장애물 및 위치 정보를 제공하는 보행안내시스템 개발이며 개념도를 그림 1에 나타내었다. 시각장애인을 위한 보행안내시스템은 크게 두 가지 부분 즉, guide vehicle과 촉각제시장치로 구성된다. Guide vehicle은 보행중인 시각장애인 앞에 위치하여, 다수의 초음파 센서를 사용하여 주변의 장애물 정보를 수집 및 처리하여 장애물 지도를 형성하고 안전한 경로 및 위험한 상황을 시각장애인이 인지할 수 있도록 촉각제시장

치로 전달하는 역할을 한다. 또한, GPS 등을 이용하여 시각장애인의 현재 위치 및 주변 건물의 정보를 획득하여 청각으로 전달하는 기능과 장애물 자동 회피와 같은 자율 주행 및 조작 버튼에 의한 수동 주행이 가능하도록 한다. 촉각제시장치는 guide vehicle과 연결된 지팡이의 손잡이 부분에 위치하며 장애물 정보를 촉각으로 전달하는 역할을 한다.

본 논문의 목적은 연구의 최종 목표인 시각장애인을 위한 보행안내시스템 개발 중 요소기술개발 단계로서, 보행중인 시각장애인에게 가장 필요한 정보인 장애물 분포 정보를 획득하는 기술과, 획득된 장애물 분포 정보를 대체감각인 촉각으로 전달하기 위해서 필요한 촉각제시장치의 설계 조건을 찾는 것이다. 따라서 본 논문에서는, guide vehicle에서 주변의 장애물 정보를 수집 및 처리하는 기능을 구현하는 방법으로서 다수의 초음파 센서를 이용하여 장애물을 3차원으로 검출하는 기초 실험을 수행하여 그 적용 가능성을 제안하고자 한다. 또한 얻어진 3차원 장애물 위치 정보를 이용하여 장애물 지도와 촉각제시장치의 맵핑 방법을 제안하고자 한다. 한편 보행안내시스템에 장착할 수 있는 휴대형 촉각제시장치 개발에 앞서 효율적인 촉각제시를 위한 설계조건을 찾고자 촉각인식 피험자 실험을 수행하고, 그 결과를 분석하고자 한다.

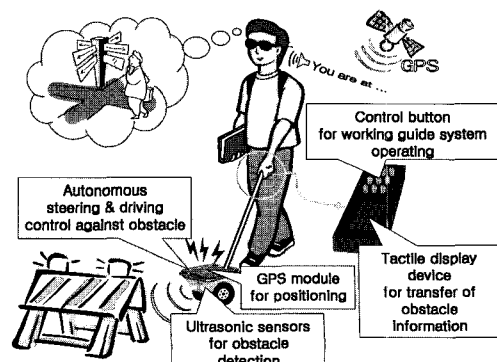


그림 1. 시각장애인을 위한 보행안내시스템 개념도.  
Fig. 1. Concept of walking guide system for the blind.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 5. 15., 채택확정 : 2007. 6. 25.

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

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

강정호 : 호야로봇(kangjho@yahoo.co.kr)

※ 본 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-521-D00164).

**II. 촉각을 통한 장애물 정보 전달 방법**

보행중인 시각장애인에게 필요한 정보는 장애물의 위치, 크기, 움직임 등과 같은 도로상의 장애물 정보 및 요철, 보도 블록과 같은 도로의 상태 등이 있다. 이중 보행중인 시각장애인에게 가장 필요한 정보는 장애물 분포 정보라 할 수 있다. 본 논문에서는 장애물 분포 정보를 시각의 대체감각인 촉각으로 전달하는 것에 주목하고자 한다.

기존의 ETA 중 촉각 즉, 진동 자극으로 장애물 정보를 전달하는 장치로서는 Mowat sensor가 있다[2]. 하지만 이러한 장치의 경우 장애물과의 거리에 따라 단순한 진동만을 발생시키며, 사용자는 장애물을 검출하기 위해서 직접 검색을 해야 한다. 이러한 방식은 도심과 같이 다양하고 복잡한 환경에 적용하기에 곤란하며, 사용자에게 많은 장애물 검색 시간과 정신적인 수고가 요구되는 문제점이 발생된다[2]. 따라서 다수의 초음파 센서를 이용하여 장애물의 분포를 검출하여 시각장애인에게 능동적으로 안전 경로를 제시하고, 더불어 장애물의 위치, 크기, 형상 및 움직임과 같은 정보를 전달하기 위해서는 배열형의 촉각제시장치가 필요하다.

본 연구에서 제안하는 촉각을 통한 장애물 정보 전달 방법 개념도를 그림 2에 나타내었고, 그 절차는 다음과 같이 가정하였다. 첫째, 장애물 분포 정보 획득은 기존의 모바일 로봇에서 사용하고 있는 기술들을 적용한다. 예로서, 보행중인 시각장애인에게 필요한 매달린 형태의 장애물 정보를 획득하기 위해서 다수의 초음파 센서를 이용한 3차원 장애물 위치 정보 획득 방법을 적용할 수 있다[5]. 둘째, 장애물 분포 정보를 표현하기 위해서 일반적으로 모바일 로봇 기술에서 쓰이는 격자지도 방법을 적용한다[6]. 셋째, 격자지도 방법을 통해서 얻은 장애물 분포 지도와 촉각제시장치의 촉각자극요소와의 맵핑을 통하여 촉각을 통한 장애물 정보 전달을 구현한다.

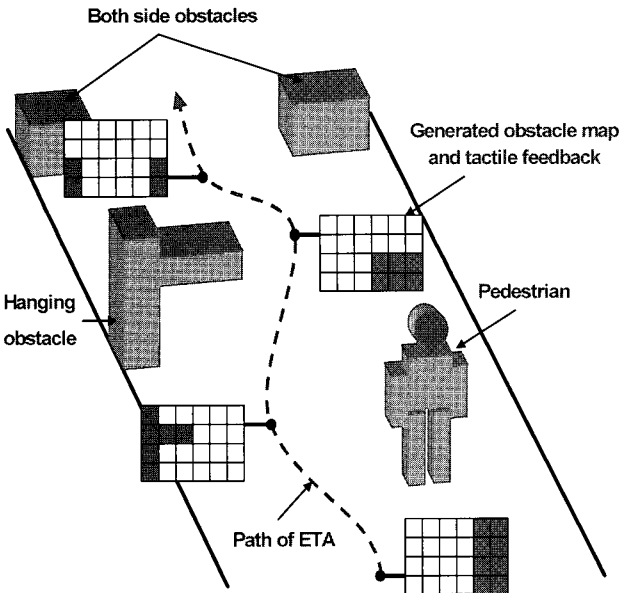


그림 2. 촉각을 통한 장애물 정보 전달.  
Fig. 2. Concept of tactile feedback for transfer of obstacle information.

**III. 장애물 3차원 위치 정보 획득**

기존의 모바일 로봇의 경우 평면 2차원 장애물 분포 정보만 요구되었으나 보행중인 시각장애인의 경우 안전성이 더 요구되므로 정확하고 보다 많은 장애물에 대한 정보가 필요하다. 예로 탁자나 간판 등 매달린 형태의 장애물 정보 또한 보행중인 시각장애인에게 꼭 필요한 정보이다. 그러므로 본 연구에서는 장애물의 3차원 위치 정보 획득이 중요하다고 판단되어 거리 센서를 이용하여 이를 구현하고자 하였다. 이를 위해서 먼저 다수의 초음파 센서를 이용하여 장애물의 3차원 위치 정보를 획득하는 기초 실험을 수행하였다.

3개의 초음파 센서를 이용한 장애물의 3차원 위치 정보 획득에 관한 원리를 그림 3에 나타내었으며, 사용된 방법은 3개의 초음파센서가 한 평면(XY평면)에 있고, 장애물의 위치(x,y,z)에서 한 평면상(XY평면)에 위치한 3개의 점(초음파 센서)까지의 거리(d1, d2, d3)를 알고 있으면 장애물의 공간상의 위치(x,y,z)를 얻을 수 있는 원리를 이용하였다[5]. 원리로부터 얻어진 수식은 (1)과 같으며, (1)에서 상수는 고정된 센서의 좌표에서 얻은 상수이다. 수식을 계산하여 장애물의 3차원 위치 정보를 도출하였다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{d_1^2 - d_3^2}{24} + 6 \\ y &= \frac{d_1^2 - d_2^2}{24} + 6 \\ z &= \sqrt{d_1^2 - x^2 - y^2}, \quad d_1^2 - x^2 - y^2 \geq 0 \end{aligned} \tag{1}$$

장애물의 3차원 위치정보 획득 기초 실험은 3개의 송수신부 일체형인 DAS 사 UM2 초음파 센서를 이용하여 장애물 위치의 거리 측정 실험, 장애물 위치의 좌우각도 측정 실험, 장애물 위치의 상하각도 측정 실험을 수행하였으며, 실험 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 가로축은 실제 거리 및 각도를 나타내고 있으며, 왼쪽 수직축은 초음파 센서를 이용하여 측정된 결과이고, 오른쪽 수직축은 실제 거리 및 각도와 초음파 센서로부터 얻어진 결과와의 오차를 나타내고 있다. 3개의 초음파 센서의 센서간 부착 거리는 12cm이고, 직경 약 22cm의 구형 장애물(축구공)을 사용하였다. 높이 조절이 가능한 지지대에 장애물을 고정시키고, 3개의 초음파 센서가 이루는 평면의 원점을 기준으로부터 일정 거리 및 상하좌우의 정해진 위치에 장애물을 이동시킨 후, 정지된 장애물의 3차원 위치를 측정하였다. 이때, 바닥면의 간섭을 배제

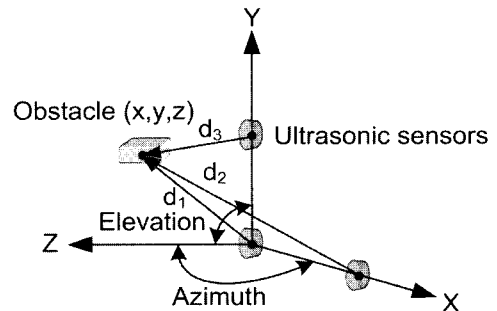
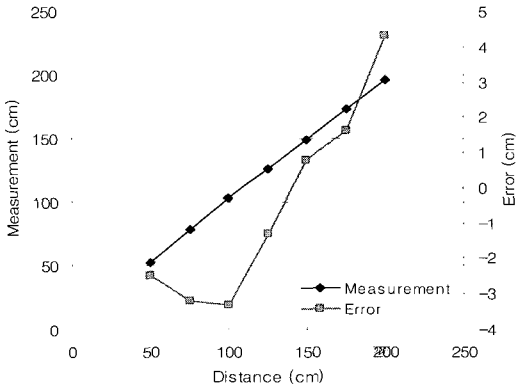
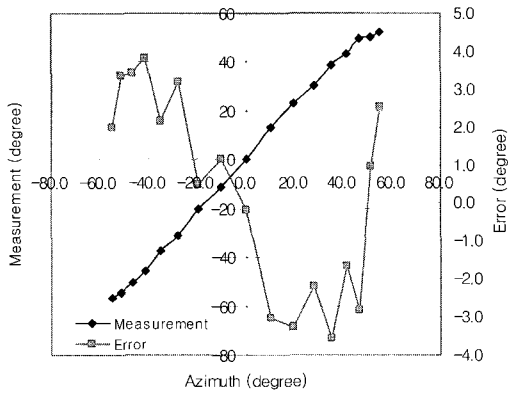


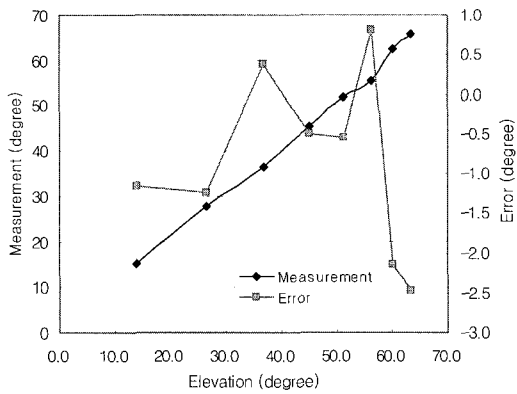
그림 3. 3차원 장애물 위치 정보 획득 원리.  
Fig. 3. Principle of 3-D obstacle detection.



(a) 거리변화에 따른 측정값 및 오차(방위: 0°, 고도: 0°).



(b) 방위변화에 따른 측정값 및 오차(거리: 2m, 고도: 0°).



(c) 고도변화에 따른 측정값 및 오차(거리: 2m, 방위: 0°).

그림 4. 장애물의 3차원 위치 측정 실험 결과.  
Fig. 4. Experimental result of 3-D obstacle detection.

시키기 위해서 초음파 센서의 방사 영역을 바닥면과 수평을 이루도록 조정하였다. 초음파센서의 제어 및 장애물의 위치 정보 계산은 MCU(Micro-Controller Unit, ATMEGA 128)를 이용하였으며, 초음파 센서의 장애물과의 거리 계산은 TOF(Time Of Flight)와 ITD(Inter-aural Time Difference) 방법을 사용하였다.

그림 4에서 장애물 위치의 거리 측정 실험은 25cm~2m 범위에서 25cm 간격으로 수행 하였으며, 그 결과 ±5cm 이하의 오차 범위를 가졌고 전체적으로 실제 거리보다 다소 짧게 측정되는 경향을 보였다. 장애물 위치의 좌우각도 측정 실험은 -54.8° (좌측 수평거리 2m)~ +54.8° (우측 수평거리 2m) 범

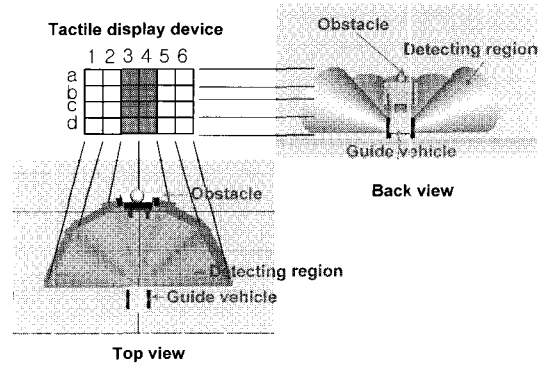


그림 5. 장애물 분포와 촉각제시장치와의 맵핑.  
Fig. 5. Mapping obstacle distribution and tactile display device.

위에서 수행하였으며, 오차 범위는 4° 이하였고 실제 각도보다 좀 더 중심쪽에 위치한 것으로 측정되는 경향을 보였다. 상하각도 측정 실험은 14.0° (수직거리 25cm) ~ 63.4° (수직거리 2m) 범위에서 수행하였으며, 3° 이하의 오차 범위를 가졌고 전체적으로 실제 높이보다 다소 낮은 높이로 측정되는 경향을 보였다. 장애물 위치의 좌우각도 및 상하각도 측정 실험은 장애물을 센서가 부착된 평면으로부터 1m의 거리를 유지하며 좌우 또는 상하로 25cm 간격으로 움직이며 측정 및 계산하였다. 실험 결과 최소 감지 장애물의 크기는 직경 약 20cm 정도이며, 오차 범위를 고려해 볼 때 장애물의 3차원 위치정보 획득 방법으로서 시각장애인용 보행안내시스템에 적용할 수 있으리라 판단된다.

실험 결과처럼 다 수의 초음파 센서로부터 얻어진 3차원 장애물 위치 정보를 이용하여 장애물 지도를 형성한 후 촉각제시장치를 이용하여 보행중인 시각장애인에게 전달하기 위해서는 둘 사이에 적절한 맵핑이 필요하다. 그림 5는 본 연구에서 제안하는 장애물 분포와 촉각제시장치와의 맵핑 방법을 나타내고 있다. 예로서 장애물 분포 정보를 시각처럼 보행중인 시각장애인에게 스크린 형식으로 표현할 수 있다. 즉, 장애물의 3차원 위치 정보를 가로방향과 상하방향으로 적절한 간격으로 나누어 이에 해당하는 촉각자극기의 촉각 자극요소를 자극함으로써 이를 구현할 수 있다. 만약 촉각 자극요소의 수를 그림 5와 같이 4×6으로 가정한다면 다음과 같은 간격으로 맵핑을 하는 예를 보일 수 있다.

- d: 고도 0(ground)~0.5m
- c: 고도 0.5~1m
- b: 고도 1~1.5m
- a: 고도 1.5~2m
- 1: 방위 45~90° (좌측)
- 2~3: 방위 0~45° (좌측)
- 4~5: 방위 0~45° (우측)
- 6: 방위 45~90° (우측)

장애물과의 거리 맵핑 방법은 촉각자극요소의 진동 변위 및 주파수를 변화시켜 표현할 수 있다. 예를 들면 장애물이 근접할수록 진동의 변위를 증가시키거나 진동의 주파수를 증가시킴으로써 장애물과의 거리를 표현 할 수 있다. 최적의 맵핑 방법을 정하기 위해서는 추후 구체적인 검토가 필요하다.

#### IV. 촉각인식실험

시각장애인에게 장애물의 위치, 크기, 형상 및 움직임과 같은 정보를 전달함으로써 능동적으로 안전 경로를 제시하기 위해서는 배열형의 촉각제시장치가 필요하다. 기존에 개발된

배열형의 촉각제시장치로서 OPTACON이 있지만 구동 주파수(230Hz)가 고정되어 있다[7].

촉각제시장치를 ETA에 장착하기 위해서는 크기가 작은 휴대형이어야 한다. 하지만 작은 크기의 촉각제시장치는 큰 변위를 내기 어렵다. 또한 촉각제시장치로 장애물과의 거리나 충돌 위험 정도를 강조하기 위해서는 가변의 진동 주파수 및 변위를 발생시킬 수 있어야 한다. 따라서 작은 크기의 배열형 촉각제시장치를 설계하기 위해서는 최소 자극 조건을 찾아야 하며, 효과적인 촉각제시장치를 설계하기 위해서는 촉각인식에 있어서 진동의 주파수, 변위와 같은 주요 파라미터에 의한 영향이 반드시 고려되어야 한다.

한편, 촉각 자극 방법 및 장치에 관한 연구를 위해서는 사람이 느끼는 촉각자극의 생리물리특성에 대해서 이해해야 한다. 인간의 피부에는 머켈 신경, 루피니 신경, 메이스너 소체, 파치니 소체의 4종의 촉각 수용기가 존재하며, 촉각 수용기의 분포 및 밀도는 몸통이나 사지근 중심부보다 얼굴과 사지 말단부위가 더 조밀하며, 촉각은 특히 손가락 끝과 입술에서 가장 예민하게 느낀다[8]. 머켈 신경의 기능은 형상, 윤곽 그리고 질감 등의 검출이고, 그 반응 대역은 2-32Hz로서 장애물 분포를 촉각으로 전달하기 위해서는 이 수용기를 자극해야한다[8,9]. 일반적으로 인간의 촉각은 절대량 검출에는 둔한 반면 변화량 검출에는 매우 민감한 것으로 알려져 있어 [8], 효과적인 촉각 자극을 하기 위해서는 진동 자극 방식이 유리하다고 할 수 있다. 두 점 인식 분해능(two-point limen)의 경우 각각 손가락에서는 1-2.5mm, 손바닥은 11mm, 등은 20mm, 허벅지는 67mm이다[8,9]. 한편, 기존의 촉각 인식에 관한 연구에서는 진동자극에 의한 두 점 인식 분해능에 있어서 고주파 대역의 자극보다는 저주파 대역의 자극에서 인식이 높게 나타나는 실험 결과가 보고되었다[10]. 따라서 본 논문에서는 진동 자극 주파수 50Hz 이하를 주목하고자 하며, 실험 장치와 실험 조건은 이상에서 언급한 촉각의 생리물리 특성을 고려하여 결정하였다.

### 1. 실험목적

촉각 인식에 있어서 다양한 파라미터에 의한 영향은 기존 연구에서 이루어져 있으나, 기존 연구의 경우 주로 OPTACON을 이용하여 실험하였다[11-14]. OPTACON의 경우 구동 주파수가 고정되어 있어, 촉각인식에 있어서 진동 주파수에 의한 영향이 충분히 연구되어지지 않았다. 또한 변위에 따른 영향도 명확히 조사되어지지 않았다. 따라서 본 논문에서는 촉각인식에 있어서 주요 파라미터 즉, 자극 조건에 따른 영향을 조사하고자 한다. 촉각 인식 실험을 통해서 작은 크기의 배열형 촉각제시장치를 위한 최소 자극 변위를 찾고자 하며, 이를 효율적인 촉각제시장치의 설계에 적용하고자 한다.

### 2. 실험방법

이 실험은 건강한 성인 남녀를 피험자 집단으로 구성하여 수행하였다. 피험자 집단은 이전에 촉각인식실험에 참여한 경험이 없으며, 여자 1명(22세), 남자 4명(24-30세)으로 구성하였다.

진동자극에 따른 촉각의 패턴인식실험을 수행하기 위한 실험 장치 구성을 그림 6에 나타내었다. 손가락 끝에 정현파

적인 진동을 발생시키기 위해 TIRAvib사 S511 소형 가진기를 이용하였으며, KEYENCE사 LK010 레이저 변위 센서를 이용하여 자극된 진동의 변위 및 주파수를 측정하였다[4]. 자극패턴은 자유로운 핀(cylindrical steel pin) 배열을 통하여 원하는 임의의 패턴을 구성할 수가 있으며, 손가락 끝과 자극패턴과의 밀착된 접촉상태를 얻기 위해서 자극패턴의 접촉면을 손가락 끝의 형상과 유사한 모양(bowl shape)으로 설계하였다. 핀의 지름은 0.5mm이며 길이는 10mm 그리고 단면적은 0.20mm<sup>2</sup>이다. 접촉된 손가락의 지지 및 밀착된 접촉상태를 유지하기 위해 contact surface를 설계하였고 contact surface의 구멍(hole)의 직경은 0.7mm로서 핀과의 간격은 0.1mm를 유지하게 하여 서로간의 간섭배제 및 edge 감을 나타내도록 설계 및 제작하였다.

실험에 사용된 자극패턴은 장애물 분포를 의미하며, 3×3의 배열로 이루어졌고, 그림 7에 나타내었다. 하나의 자극패턴은 3개의 블록 배열로 구성되며, 하나의 블록은 다시 여러개의 촉각자극요소(pin)로 이루어져 있다. 핀 간격은 2.0mm이고, 사용 가능한 핀 배열은 9×6로서 전체유효자극면적은 231.25mm<sup>2</sup>(18.5mm×12.5mm)이며, 블록 하나에 의한 자극면적은 11.22mm<sup>2</sup>(4.5mm×2.5mm)이다. 블록 하나를 구성하는 핀의 개수는 3×2이다.

피험자는 자극된 패턴을 인식하여 준비된 응답지에 직접 표시하도록 하였으며, 준비된 응답지의 예는 그림 8에 나타내었다. 표시된 응답은 변경이 불가능하도록 하였으며, 피험자의 응답에 대해서 맞았는지 틀렸는지에 대한 피드백(feedback)은 제공하지 않았으며 또한 피험자에게 실험에 관한 일체의 정보를 제공하지 않아 실험에 대한 학습효과를 최대한 배제하였다. 피험자에게 주어진 유일한 정보는 '자극패턴이 3개의 블록으로 구성되어 있다'는 것이다. 실험에 사용된 자극 진동 주파수는 5Hz, 10Hz, 20Hz, 50Hz이며, 진동 변위는 50 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 200 $\mu$ m, 300 $\mu$ m, 400 $\mu$ m였다. 자극 조건은 낮은 주파수 및 변위부터 높은 주파수 및 변위 순으로 하였다. 한 명의 피험자는 하나의 진동자극패턴에 대해서 5번씩 수행하였으며 4개의 자극패턴(pattern no. 1, 2, 3, 4)의 자극 순서는 임의(random)로 하였다. 따라서 하나의 자극 조건에 대해서 피험자는 총 20번(4개의 진동자극 패턴×5번)의 실험을 수행하였다. 각각의 자극조건에서 각 패턴의 자극 지속 시간은, 패턴 인식에 있어서 자극 지속 시간의 영향을 배제하기 위해서 2초로 하였고[11], 각각의 자극조건마다 피험자에게 10분간의 휴식시간을 주었다. 또한 촉각의 metacontrast 효과 [12] 배제 및 패턴의 교체 시간을 위해서 각 패턴 자극 간의 자극 간격은 30초로 하였다. 실험에 사용된 패턴 표현 방식은 static mode display 방식[11]을, 패턴 인식 방법은 passive

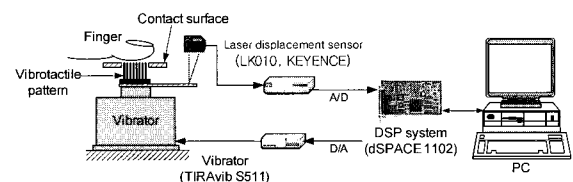


그림 6. 촉각인식을 위한 실험장치.

Fig. 6. Experimental apparatus for vibrotactile pattern perception.

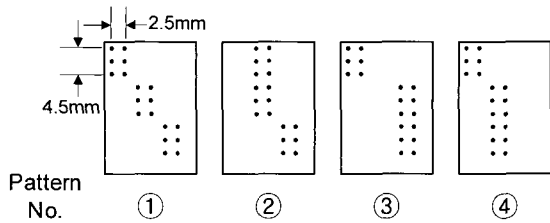


그림 7. 자극패턴.  
Fig. 7. Vibrotactile pattern.

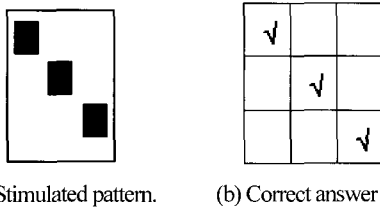


그림 8. 응답지 예.  
Fig. 8. Example of answer sheet.

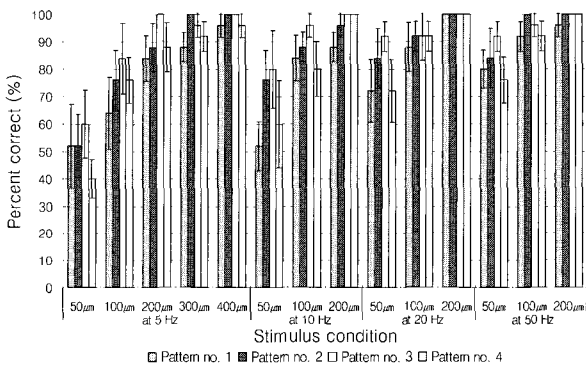


그림 9. 자극조건에 따른 실험 결과.  
Fig. 9. Experimental result by stimulus conditions.

표 1. 블록 위치에 따른 표준화된 오답률.

Table 1. Normalized percent incorrect with block position.

Position of block	50 $\mu\text{m}$			100 $\mu\text{m}$			200 $\mu\text{m}$			300 $\mu\text{m}$			400 $\mu\text{m}$			Mean
	Stimulus condition															
	at 5 Hz				at 10 Hz				at 20 Hz				at 50 Hz			
Upper row	0.23	0.18	0.46	0.1	0	0.22	0.29	0	0.42	0.2	0	0.14	0.17	1	0.20	
Middle row	0.27	0.34	0.23	0.4	0.5	0.42	0.29	0.25	0.12	0.2	0	0.27	0.33	0	0.30	
Bottom row	0.5	0.47	0.31	0.5	0.5	0.36	0.43	0.75	0.46	0.6	0	0.59	0.5	0	0.50	

touch 방식[13]을 각각 채택하였다.

3. 실험결과 및 분석

촉각인식실험의 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9는 자극 조건에 따른 피험자 집단의 평균 정답률을 나타낸다. 전체적으로 자극 주파수 및 자극 변위가 증가함에 따라 평균 정답률도 상승함을 알 수 있다. 자극 주파수 및 변위의 증가에 따라 평균 정답률이 평균 51%(표준편차: 4.1, 50 $\mu\text{m}$  at 5Hz)에서 99%(표준편차: 2, 200 $\mu\text{m}$  at 50Hz)로 증가하는 것으로 나타났다.

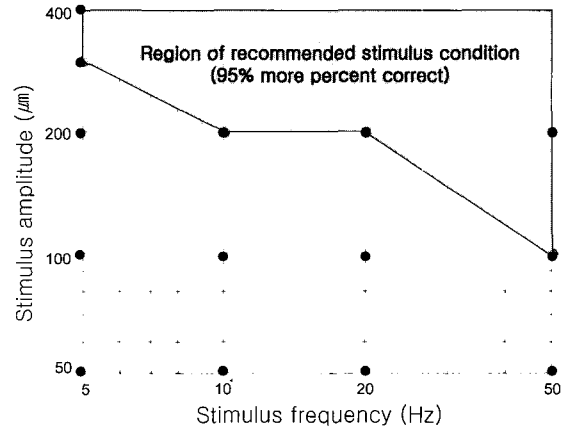


그림 10. 패턴인식을 위한 최소 자극 변위.  
Fig. 10. Minimum stimulus amplitude for pattern perception.

그림 9에서 오답률을 분석한 결과를 표 1에 나타내었다. 피험자가 패턴을 인식함에 있어서, 오답률에 영향을 주는 패턴 내의 잘못된 블록 위치 인식은 주로 마지막 행(bottom row)에서 발생함을 알 수 있었다. 이러한 결과를 발생시키는 원인은 손가락의 촉각수용기의 분포 밀도가 손가락끝부분보다 아래쪽부분이 낮기 때문이다[14].

그림 9의 결과를 바탕으로 자극 주파수 범위 내에서 효과적인 패턴인식을 위한 최소 자극 변위를 유추하여 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 점은 실험에 사용된 자극 조건을 나타내고 있다. 따라서 패턴인식에 있어서 95% 이상의 정답률을 얻기 위해서는, 그림 10에서 색이 칠해진 영역으로서, 10Hz 이상, 200 $\mu\text{m}$  이상의 자극조건이 필요함을 알 수 있다.

한편, 본 연구에서는 촉각인식실험 결과를 바탕으로 작은 크기의 배열형 촉각제시장치에 적합한 구동기(actuator)를 조사하였다. 촉각제시장치용 구동기의 후보로서는 기존에 연구되고 있는 공압[15], SMA[16], 솔레노이드[17], 압전[7], 전기[18] 방식 등이 있다[19,20]. 구동기 선정에 있어서 고려되어야 할 사항은 촉각특성과 구동기의 구동특성이다. 공압과 SMA 방식의 구동기는 구동 주파수 대역이 10Hz이하로서, 인간의 촉각이 진동 자극에 민감한 특성과 본 논문의 촉각인식실험 결과 10Hz 이상의 진동자극이 요구되는 결과를 볼 때 효과적인 촉각제시장치의 구동기로 활용함에 있어서 단점을 가지고 있음을 알 수 있다. 특히 공압 방식은 주변장치를 포함할 경우 크기가 커지므로 휴대형의 촉각제시장치에는 부적합하다. 전기 방식의 구동기는 비록 구동 주파수 대역이 250Hz 이상이며 작은 크기로 제작이 가능한 장점을 가지고 있으나 침습의 위험성이 있는 단점을 가지고 있다. 반면, 솔레노이드 및 압전 방식은 구동 주파수 대역이 각각 50Hz 이하와 250Hz 이상으로 효율적인 촉각제시장치용 구동기로서 적합하다 할 수 있다. 하지만 구동기의 전력소비 관점을 고려해 보면, 솔레노이드 방식은 구동을 위해서 많은 전력소비가 요구되며 압전 방식은 높은 변위를 얻고자 할 경우 높은 전압이 요구되는 단점들을 가지고 있다. Moy 등은 teletaction을 위해 요구되는 이상적인 촉각제시장치의 전력 밀도를 10 W/cm<sup>2</sup>라 하였다[21]. 따라서 솔레노이드 및 압전 방식의 구동기를 휴대형 촉각제시장치에 사용하고자 할 경

우 전력소비 관점에서 좀 더 많은 고려를 해야만 한다[19].

본 논문에서는 촉각인식실험을 시각장애인이 아닌 건강한 성인 남녀를 대상으로 수행하였으나, 시각장애인과 정상인의 촉각인식능력은 큰 차이를 보이지 않음이 기존 연구에서 보고되어 있다[1,7].

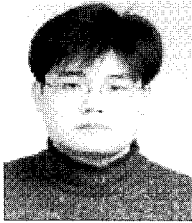
## V. 결론

본 논문에서는 시각장애인을 보행안내시스템 개발을 위한 기초 단계로서 주변의 장애물 정보를 획득하는 방법으로 3개의 초음파 센서를 이용하여 장애물의 위치 정보를 3차원으로 검출하는 기초 실험을 수행하였으며 그 적용 가능성을 확인하였다. 또한 얻어진 3차원 장애물 위치 정보를 이용하여 장애물 지도와 촉각제시장치의 맵핑 방법을 제안하였다. 보행안내시스템에 장착 및 제안된 맵핑 방법을 구현할 목적으로 휴대가 가능한 배열형의 촉각제시장치 개발을 위한 설계조건을 찾고자 촉각인식 피험자 실험을 수행하였다. 그 결과 배열형의 촉각자극을 인식하기 위한 역학적인 조건으로 자극 주파수에 따른 최소 자극 변위를 얻었으며, 이 결과는 배열형의 촉각제시장치의 설계에 유용한 기준이 될 것이다. 더불어 휴대형의 배열형 촉각제시장치에 적합한 구동기(actuator)에 대해서도 논의하였다.

향후에는 본 논문에서 얻어진 결과들을 발전, 통합하여 시각장애인을 보행안내시스템을 개발할 예정이다.

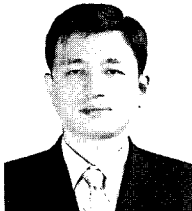
## 참고문헌

- [1] P. Bach-y-Rita and S. W. Kercel, "Sensory substitution and the human-machine interface," *TRENDS in Cognitive Sciences*, vol. 7, no. 12, pp. 541-546, Dec. 2003.
- [2] 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.
- [3] 윤명중, 유기호, "진동자극배열에 의한 형상 인식의 정신 물리학적 실험," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제 11 권, 제 11 호, pp. 943-949, 2005. 11.
- [4] M. J. Yoon and K. H. Yu, "Psychophysical experiment of vibrotactile pattern recognition at fingertip," *Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference 2006*, pp. 4601-4605, 2006.
- [5] S. Aoyagi, S. Okabe, K. Sasaki, and M. Takano, "Measurement of 3-D position and orientation of a robot using ultrasonic waves," *Proc. of IECON '91, 1991 Int. Conf. Control and Instrumentation*, pp. 2466-2471, 1991.
- [6] J. Borenstein and Y. Koren, "Histogramic in-motion mapping for mobile robot obstacle avoidance," *IEEE Tran. of Robotics and Automation*, vol. 7, no. 4, pp. 535-539, Aug. 1991.
- [7] J. C. Bliss, M. H. Katcher, and C. H. Rogers, "Optical-to-tactile image conversion for the blind," *IEEE Trans. of Man-Machine Systems*, vol. MMS-11, no. 1, pp. 58-65, Mar. 1970.
- [8] R. A. Russel, *Robot Tactile Sensing*, Prentice Hall, New York, 1990.
- [9] G. Burdea, *Force and Touch Feedback for Virtual Reality*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [10] K. U. Kyung, M. Ahn, D. S. Kwon, and M. A. Srinivasan, "Perceptual and biomechanical frequency response of human skin: implication for design of tactile displays," *Proc. of The First Joint Eurohaptics Conf. and Symp. Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 96-101, 2005.
- [11] J. C. Craig, "Modes of vibrotactile pattern generation," *J. Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 6, pp. 151-166, 1980.
- [12] J. M. Weisenberger and J. C. Craig, "A tactile metacontrast effect," *Perception & Psychophysics*, vol. 31, no. 6, pp. 530-536, 1982.
- [13] M. Shinohara, Y. Shimizu, and A. Mochizuki, "Three-dimensional tactile display for the blind," *IEEE Tran. Rehabilitation Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 249-256, Sep. 1998.
- [14] D. T. Horner, "The effect of shape and location on temporal masking of spatial vibrotactile patterns," *Perception & Psychophysics*, vol. 59, no. 8, pp. 1255-1265, 1997.
- [15] K. Sato, K. Igarashi, and M. Kimura 1991, "Development of non-constrained arm with tactile feedback device," *Proc. of IEEE Int. Conf. Robotics & Automation*, pp. 334-338, 1991.
- [16] P. M. Taylor, A. Moser, and A. Creed, "A sixty-four element tactile display using shape memory alloy wires," *Dsisplay*, vol. 18, pp. 163-168, 1998.
- [17] T. Fukuda, H. Morita, and F. Arai, "Micro resonator using electromagnetic actuator for tactile display," *Proc. of IEEE int. symp. Micromechatronics and Human Science*, pp. 143-148, 1997.
- [18] K. Kaczmarek, M. Tyler, and P. Bach-y-Rita, "Electrotactile haptic display on the fingertips: preliminary results," *Proc. of the 16th Annual Int. IEEE Conf. Engineering in Medicine and Biology*, pp. 940-941, 1994.
- [19] F. V. Verdú and M. Hafez, "Graphical tactile displays for visually-impaired people," *IEEE Tran. of Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 15, no. 1, pp. 119-130, Mar. 2007.
- [20] M. Takamiya, T. Sekitani, Y. Kato, H. Kawaguchi, T. Someya, and T. Sakurai, "An Organic FET SRAM for Braille sheet display with back gate to increase the static noise margin," *Proc. of 2006 IEEE Int. Solid-State Circuits Conference*, pp. 1060-1069, 2006.
- [21] G. Moy, C. Wagner, and R. S. Fearing, "A Compliant tactile display for teletaction," *Proc. of IEEE Int. Conf. Robotics & Automation*, pp. 3409-3415, 2000.



**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.



**강정호**

1968년 12월 19일생. 1994년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 석사. 2001년 전기공학과 박사. 2000년 3월~2003년 1월 ㈜네오멤스 대표이사. 2003년 2월~2006년 7월 ㈜다진 로봇 연구소장. 2007년 2월~현재 호야로

봇 연구개발팀장, 관심분야는 의용생체공학, 보조로봇공학, 센싱시스템.



**유기호**

1962년 8월 1일생. 1988년 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 객원교수. 1998년 3월~현재 전북대학교 기계항공시스템공학부 부교수. 관심분야는 촉각 센싱 및 제시, 원격로봇, 생체신호모니터링, 메카트로닉스 및 로보틱스.