

시각장애인을 위한 보행안내로봇 개발

유기호*(전북대 기계항공시스템공학부), 윤명종(전북대 대학원 메카트로닉스공학과),
권대규(전북대 생체정보공학부), 김남균(전북대 생체정보공학부), 강정호(다진시스템)

Development of Walking Guide Robot for the Blind

K. H. Yu(Mech. Eng. Div., CBNU), M. J. Yoon(Mechatronics Eng. Dept., CBNU), T. K. Kwon(Bio. Eng. Div., CBNU), N. G. Kim(Bio. Eng. Div., CBNU), J. H. Kang(Dajin Co. Ltd.)

ABSTRACT

In this paper, the prototype of a walking guide robot with tactile display is introduced, and the psychophysical experiment of the tactile recognition for a tactile display is carried out and analyzed. The objective of this research is the development of a walking guide robot for the blind to walk safely. A walking guide robot consists of a guide vehicle and a tactile display device. A guide vehicle, located in the front of the walking blind, detects the obstacle using ultrasonic sensors and offers the information of position and walking direction acquired from GPS module to the walking blind by voice. 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 psychophysical experiments for the threshold of perception and recognition ability of tactile stimulation are carried out by the estimation of the subject group. As a result the appropriate tactile stimulus intensity and frequency to recognize tactile stimulation effectively are discussed and derived.

Key Words : Walking guide robot(보행안내로봇), The blind(시각장애인), Tactile display(촉각제시), Tactile stimulator(촉각자극기), Psychophysical experiment(정신물리 실험)

1. 서론

노령화 사회 및 교통사고 등 후천적 요인으로 시각 장애인의 수가 매년 증가하는 추세이고 장애인의 사회 참여 욕구가 증가하는 요즘, 시각장애인의 육외보행을 위한 시각보조수단으로서 안내견이나 흰색지팡이(White cane)를 대체하는 공학적인 시스템인 ETA(Electronic Travel Aid) 및 안내견 로봇 등이 국내외에서 개발되고 있다. 그러나 Mowat sensor, NavBelt, SonicVisioN 등 대부분의 ETA 시스템의 경우 장애물 정보를 청각으로 시각장애인에게 전달하여 청각 의존도가 높은 시각장애인에게 심각한 문제점(Masking 효과)이 발생된다.¹ 이에 촉각 자극기의 사용은 장애물 정보를 촉각을 통해 전달함으로써 청각을 충분히 활용할 수 있는 장점을 갖는다.

기존의 촉각제시장치 중 현재 진동자극방식(Vibrotactile stimulation)의 연구가 가장 활발하게 이

루어지고 있으나 촉각제시기구로서 보급되고 있는 것은 거의 없다.² 진동자극방식의 촉각제시장치는 작고 가벼우며, 휴대용 장치로 개발하기에 적합한 것으로 판단되어 본 연구에서는 진동자극방식의 촉각제시장치에 주목하고자 한다.^{3,4}

본 연구의 목적은 보행중인 시각장애인을 위한 장애물 및 위치 정보를 제공하는 보행안내로봇 개발이며 개념도를 Fig. 1에 나타내었다. 시각장애인을 위한 보행안내로봇은 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 맵을 형성하고 안전한 경로 및 위험한 상황을 시각장애인이 인지할 수 있도록 촉각제시장치로 전달하는 역할을 한다. 또한, GPS 등을 이용하여 시각장애인의 현재 위치 및 주변 건물의 정보를 획득하여 청각으로 전달하는 기능과 장애물 자

동 회피와 같은 자율 주행 및 조작 버튼에 의한 수동 주행이 가능하도록 할 예정이다. 촉각제시장치는 Guide vehicle과 연결된 지팡이의 손잡이 부분에 위치하며 장애물 정보를 촉각으로 전달하는 역할을 한다.

본 논문에서는 제작된 Guide vehicle 및 촉각자극기의 시작품을 소개하고 또한, 피험자 집단을 이용한 촉각인식실험을 수행하여 그 결과를 분석하고자 한다.

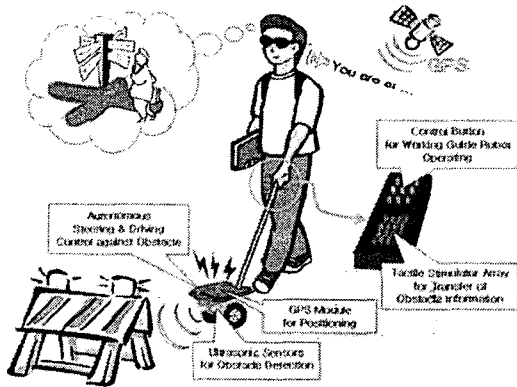


Fig. 1 Schematic diagram of walking guide robot for the blind

2. 보행안내로봇 설계 및 제작

2.1 Guide vehicle

제작된 Guide vehicle 시작품 및 블럭도를 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 송수신부가 일체형인 5개의 초음파센서(ST-203, Sontortech Co.)를 Guide vehicle 전면부에 장착을 하여 전방 150? 및 m 범위 내의 장애물을 검출하도록 센서부를 구성하였다. 장애물의 거리 측정을 위해서는 비행시간 측정기법(TOF, Time Of Flight)을 사용하였으며 ITD(Inter-aural Time Difference) 기법을 사용하여 각도를 측정하였다. 구동부는 2개의 DC 모터 및 드라이버로 구성하였으며 MCU(Micro-Controller Unit, ATMEGA 128)를 사용하여 장애물 맵 형성 및 모터 구동을 제어하였다. 전원 공급부는 DC3.8V 1000Ah 4개를 사용하여 구성하였으며, GPS 모듈은 위치 정보 검출을 목적으로 GPS(로알텍 GPC), 전자지도(i-NAV1641), PDA(HP IPAQ H4150)로 구성하였다.

2.2 촉각자극기

촉각 자극 방법 및 장치에 관한 연구를 위해서는 사람이 느끼는 촉각자극의 생리물리특성에 대해서 이해해야 한다. 피부감각은 4종의 촉각 수용기(Merkel, Ruffini, Meissner, Pacinian)가 존재하며, 촉각

수용기의 분포 및 밀도는 몸통이나 사지근 중심부보다 얼굴과 사지 말단부위가 더 조밀하며 촉각은 특히 손가락 끝과 입술에서 가장 예민하게 느낀다.^{2,5}

본 연구에서는 이러한 촉각 수용기에 촉각 자극을 주기 위해서 적층형 PZT 액추에이터(AE0203D08, TOKIN-NEC Co.)를 사용하여 소형 촉각자극기를 제작하였으며 Fig. 4에 제작된 촉각자극기의 시작품 및 개념도를 나타내었다. 적층형 PZT 액추에이터의 크기는 2mm? mm? 0mm(가로세로로 높이)이며 이것을 사용하여 작고 가벼우며 간단한 구조를 갖는 촉각 자극기(30mm? 0mm? 0mm)를 제작할 수 있었다.

촉각자극기의 시작품은 2?의 촉각자극요소(tactor)를 가지고 있으며 RP(rapid prototyping) 기법을 이용하여 제작하였다. 접촉부분(contact interface)에서 표면의 타원 모양의 홈은 손가락과 촉각자극요소들의 안정적인 접촉을 위해서 설계되었다. 자극 부위 사이의 간격은 3mm로 일정하며 접촉부분의 홈(hole)과 PZT 액추에이터 사이에는 0.5mm의 간격을 두었으며 이는 edge의 존재가 진동 자극에 대해서 좀 더 민감하게 느끼게 할 수 있기 때문이다. 기반구조(base structure) 위의 적층형 PZT 액추에이터를 일정한 간격으로 고정시켰으며 제작된 촉각자극기의 유효 자극 면적은 63mm²이다.

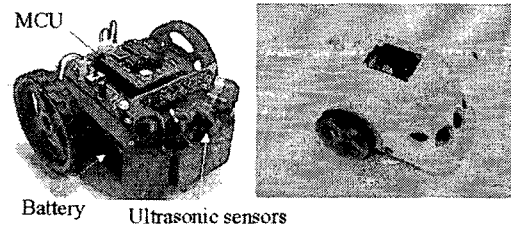


Fig. 2 Prototype of guide vehicle

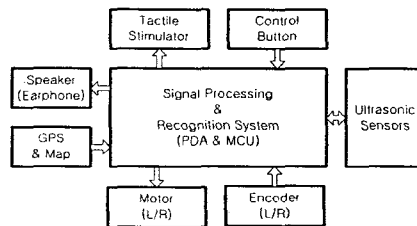


Fig. 3 Block diagram of guide vehicle

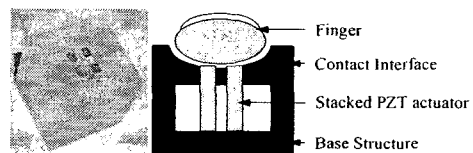


Fig. 4 Prototype of tactile stimulator and Schematic diagram

3. 촉각인식특성 실험 및 고찰

진동자극방식에 따른 촉각인식특성을 평가하기 위해서 피험자 실험을 수행하였다. 피험자 실험은 건강한 성인 남녀로 이루어진 10명(여자 2명, 남자 8명)의 피험자에게 사전 지식이나 학습에 의한 효과를 최대한 배제하였으며, 다양한 가진 주파수대역에서 여러 진폭을 갖는 자극신호로 피험자를 자극하여 촉각자극강도의 스톱시홀드(threshold) 및 복수촉각자극에 따른 인식 실험, 형상인식 실험을 수행하였다.

3.1 촉각자극의 스톱시홀드

첫 번째 실험으로 주파수대역별로 감지할 수 있는 최소 자극강도를 찾는 실험을 수행하였다.⁴ 이 실험은 촉각자극기의 임의의 촉각자극요소 하나만을 사용하였으며 5-500Hz의 넓은 주파수 범위에서 다양한 강도(진폭)로 가진 하였고 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 결과는 5명의 피험자들의 평균값을 나타내고 에러바(error-bar)는 표준오차를 나타낸다.

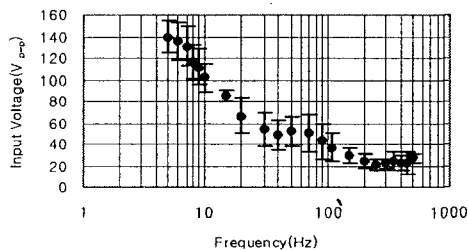


Fig. 5 Threshold of input voltage for stimulus intensity to actuating frequency

Fig. 5에서 저주파 대역에서는 주파수가 증가할수록 스톱시홀드는 감소하며 고주파 대역에서는 U자 형태를 나타내기 시작하는데 일반적으로 인간의 촉각은 같은 강도로 자극할 때 저주파 대역보다는 고주파 대역의 자극에 대해서 더 민감하게 반응한다.⁵ 하지만 이러한 민감성은 400Hz 이상의 고주파대역에서는 오히려 감소하는 특성을 나타낸다.

실험을 통해 얻어진 결과로부터 장애물 정보를 전달하기 위한 적절한 촉각자극기의 입력 신호의 주파수대역과 진폭을 유추하였다. 이를 위해서 적층형 PZT 액추에이터의 가용입력전압(operating input voltage) 및 촉각자극의 스톱시홀드를 고려해야만 했다. 그 결과 30-500Hz의 주파수대역과 60-100V_{p-p}(약 4 μ m 이상)의 진폭이 제작된 촉각자극기의 적절한 입력신호임을 유추할 수 있었다.⁴

3.2 복수촉각자극의 인식

복수촉각자극의 인식 실험에서는 첫 번째 실험에

서 얻어진 결과와 적층형 PZT 액추에이터의 성능을 바탕으로 유추한 촉각자극기의 적절한 입력 신호 및 운영 범위 내에서 제작된 촉각자극기로 복수자극 즉 임의의 자극 위치, shift 움직임, 회전 움직임을 인지하는 피험자 실험을 수행하였다.⁴

실험 결과⁴ 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 있었다. 하지만 shift 움직임처럼 간단한 동적 움직임은 주파수대역에 상관없이 자극의 강도 만에 의지함을 알 수 있었다.

3.3 형상인식

진동자극에 따른 촉각의 형상인식실험을 수행하기 위해 자체 제작한 실험장치를 Fig. 6에 나타내었다. 정현파적인 진동을 발생시키기 위해 소형 가진기(TIRAvib S511)를 이용하였으며, 레이저 변위 센서(LK010, KEYENCE)를 사용하여 진동의 변위 및 주파수를 측정하였다. 손 끝에 임의의 형상자극을 주기위해 Fig. 7과 같은 촉각자극배열을 소형 가진기 위에 부착하였다. 사용 가능한 촉각자극배열은 7 10이며 촉각자극요소의 간격은 2mm이고 핀의 지름은 1mm이다. 또한 자극할 수 있는 면적은 엄지손가락과 비슷한 15mm² 0mm이다.

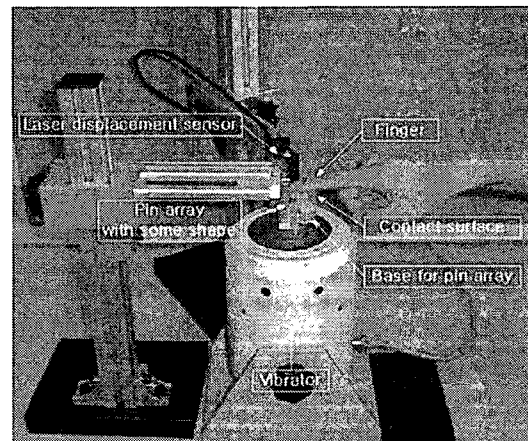


Fig. 6 Experimental apparatus for shape perception test

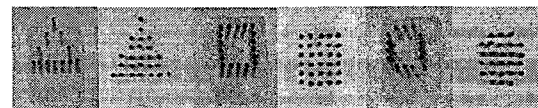


Fig. 7 Pin array for line & filled shape stimulation (triangle, square, circle)

첫 번째 실험의 결과(Fig. 5)는 배열 형태의 촉각 자극기에 적용하기는 곤란하므로 이 실험을 통해 임

의의 형상 자극에 따른 스투쉬홀드를 얻고, 손 끝에서 임의의 형상을 인식하기 위한 촉각자극기의 적정 자극 주파수 및 진폭(강도)을 유추하고 고찰하였다.

Fig. 8은 여러 형상 중 하나의 예로 삼각형 모양의 라인 형상에 대한 스투쉬홀드이다. Fig. 5의 결과와 비슷한 형태를 나타내고 있으나 다만 첫 번째 실험의 결과보다 높은 스투쉬홀드를 나타내고 있다. 이는 촉각이 어떤 형상을 인식하기 위해서는 자극의 유무만을 판단할 수 있는 강도보다 더 높은 강도의 자극이 필요함을 알 수 있다. 얻어진 결과를 바탕으로 임의의 형상을 갖는 촉각자극을 인식시키기 위한 자극 진폭을 유추할 수 있다. 1Hz에서 threshold는 약 120 μ m 정도이며 자극 주파수가 증가할수록 threshold는 감소한다. 따라서, 1-50Hz의 자극 주파수 대역에서 임의의 형상을 촉각으로 인식시키기 위해서는 120 μ m 이상의 자극 진폭(강도)이 필요함을 알 수 있다.

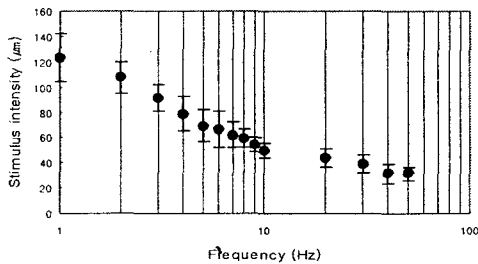


Fig. 8 Perception threshold to stimulation by multi-tactile elements with triangle line shape

라인 형상과 안이 채워진 형상의 촉각자극에 따른 촉각인식의 차이를 알아보기 위해 자극 진폭을 100 μ m로 고정시키고 자극 주파수를 1-50Hz로 변화시키며 피험자 실험을 수행하고 그 결과를 Fig 9에 나타내었다. 결과에서 점선은 라인 형상의 촉각자극에 따른 정답률이고 실선은 안이 채워진 형상 자극에 따른 정답률이다. 10Hz 이하의 주파수 대역에서는 안이 채워진 형상 자극이 형상인식률이 높으나 그 이상의 주파수 대역에서는 미소한 차이를 보인다. 이는 인간의 촉각인식특성은 진동의 강도와 빈도(주파수) 그리고 자극의 양에 의존함을 알 수 있다. 또한 이 세 개의 파라미터(parameter)는 서로 상호보완적인 관계로서 하나의 파라미터만을 증가시키더라도 높은 인식률을 얻을 수 있다.

추가적으로 일정한 주파수(20Hz)에서 자극강도(20-200 μ m)에 따른 형상인식실험 결과 90%이상의 인식률을 얻기 위해서는 스투쉬홀드의 약 2배 정도의 자극강도가 필요함을 알 수 있었다.

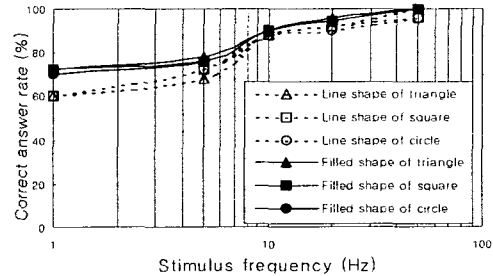


Fig. 9 Correct answer rate by variable stimulus frequency at the intensity of 100 μ m : comparing filled shape stimulation with line one

4. 결론

본 논문에서는 제작된 Guide vehicle 및 촉각제시 장치의 시작품을 소개하고 또한, 피험자 집단을 이용한 촉각인지실험을 수행하고 고찰하였다.

현재 GPS를 사용할 수 없는 환경에서의 위치 인식을 위한 자동항법모듈을 개발 중이고, Guide vehicle과 촉각제시기의 시스템 통합 및 사용자(시각 장애인) 평가 등을 수행할 계획이다.

후기

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

참고문헌

- Shoval, S., Ulrich, I., and Borenstein, J., "Robotics-Based Obstacle-Avoidance Systems for the Blind and Visually Impaired - Navbelt and the GuideCane," IEEE Robotics & Automation Magazine, pp. 9-20, 2003.
- Burdea, G., "Force and Touch Feedback for Virtual Reality," JOHN WILEY & SONS, INC., 2000.
- 윤명중, 권대규, 유기호, "PZT 액추에이터를 이용한 촉각 자극기의 모델링," 한국정밀공학회 2003년도 추계학술대회논문집, pp. 229-232, 2003.
- 윤명중, 권대규, 김남균, 유기호, "적층형 PZT 액추에이터를 이용한 촉각자극기의 제작 및 평가," 한국정밀공학회 2004년도 추계학술대회논문집, pp. 450-453, 2004.
- 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.