대체감각활용 - 촉각 인식 및 응용

시각 및 청각 등을 대신하여 다른 감각으로 그에 준하는 정보를 인식하는
대체감각 (sensory substitution)에 관한 연구가 최근 활발히 이루어 지고 있다.
본문에서는 촉각을 통한 시각정보인식에 관한
연구동향 및 관련기술을 소개하고자 한다.

■ 윤명종, 유기호*
(전북대학교 대학원, *전북대학교 기계항공시스템 공학부)

1. 서 론

시각 혹은 청각 장애인과 같이 감각의 한 부분을 활용 할 수 없는 경우, 시각 및 청각 등을 대신하여 다른 감각으로 그에 준하는 정보를 인식하는 대체감각 (sensory substitution)에 관한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다[1]. 일반적으로 시각 장애인의 경우 인체의 시각 시스템의 관점에서 볼 때 망막과 같은 시스템의 말단부분만을 잃었을 뿐 나머지 부분은 유지되고 있다고 볼 수 있다. 따라서 시각 이미지 정보를 손실된 망막 이후의 인체 시각 시스템에 연결만 시켜 줄 수 있다면 시각 장애인은 사물을 인지 및 더 나아가 다시 볼 수 있게 된다. 청각 장애인의 경우도 유사하다. 하지만 이러한 연구는 아직 초기 단계라 할 수 있으며, 신경 계통이나 뇌에 직접 손실된 감각 정보를 전달하기 위해서는 향후에도 많은 도전적인 연구 축적이 필요하다. 한편으로 다른 감각을 자극하여 가공된 정보를 제공하는 대체감각에 관한 연구가 다양한 형태로 진행되고 있다.

대체감각 적용 방법은 시각 장애인의 예로 우리가 쉽게 알 수 있다. 그 들은 책이나 표지판 등을 눈으로 볼 수가 없지만 점자 (Braille letter)를 이용하여 글자나 숫자를 읽을 수는 있다. 또한 보행 시 장애물이나 도로의 상태를 볼 수 없지만 흰 지팡이 (white cane)를 이용하면 원하는 목적지까지 옥내외보행이 가능하다. 이처럼 시각을 대신하여 촉각을 활용하는 것은 촉각을 통해서 시각 정보를 전달하는 방법에 해당된다.

대체감각 활용은 크게 청각을 통해서 시각 정보를 인식하는 방법 (Auditory-vision sensory substitution: seeing via the ears)[2] 및 촉각을 통해서 시각 정보를 인식하는 방법 (Tactile-vision sensory substitution: seeing via skin receptors)[3][4], 그리고 촉각을 통한 청각 정보 인식 방법 (Tactile-auditory sensory substitution: hearing via skin receptors)[5] 등으로 구분된다. 대체감각을 활용하여 손실된 감각의 정보를 전달하는 여러 가지 연구 및 기술들은 HMI (Human-Machine Interface) 및 HCI (Human Computer Interaction)기술과 더불어 발전 되고 있다. 본문에서는 대체감각 활용 중에서 촉각을 통한 시각 정보 인식에 관한 연구의 배경 및 그 기초 기술을 소개하고자 한다.

2. 인간의 촉각

촉각에 관한 연구를 위해서는 사람이 느끼는 촉각자극의 생리물리특성에 대해서 이해해야 한다. 인간의 피부에는 4종의 촉각 수용기가 존재한다. 진피의 지문 봉우리 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 2 부류로 나누어지는데, 약간 지연되는 순응형 (SA 형: Slowly Adapting unit)과 빠른 순응형 (FA형: Fast Adapting unit)이 있다. 2 부류는 수용면의 크기에 따라, 다시 Ⅰ형, Ⅱ형으로 나누어진다. Ⅰ형에 속하는 SA-I, FA-I는 수용면이 좁고, 그 경계가 비교적 선명한 것에 비해서, Ⅱ형에 속하는 SA-II, FA-II는 수용면이 넓고, 그 경계가 선명하지 않다. SA-I, SA-II, FA-I, FA-II의 각 단위는 4종류의 수용기 머켈 신경, 루피니 신경, 메이스너 소체, 파치니 소체로 크게 분류된다[6]-[11]. 촉각 수용기의 분포 및 밀도는 몸통이나 사지근 중심부보다 얼굴과 사지 말단부위가 더 조밀하며 촉각은 특히 손가락 끝과 입술에서 가장 예민하게 느낀다[6]. 일반적으로 인간의 촉각은 절대량 검출에는 둔한 반면 변화량 검출에는 매우 민감한 것으로 알려져 있다[6]. 두 점 인식 분해능 (two-point limen)의 경우 각각 손가락에서는 1-2.5mm, 손바닥은 11mm, 허벅지는 67mm이다[7].

3. 촉각 인식 연구 동향

3.1 초기의 연구

촉각을 통해서 시각 정보를 전달하는 연구는 1960년대 말부터 시작되었다. Bliss[3] 등은 그림 1과 같은 OPTACON (OPtical-to-TActile image CON-version system)이라는 장치를 개발하였다. 이 장치는 phototransistor들을 이용하여 글자를 시각 장애인에게 인식시키는 일종의 복사기 원리를 이용하였다. Phototransistor의 배열로부터 얻어진 글자 모양은 압전재료를 사용한 촉각 자극기 (tactile stimulator)를 통하여 시각 장애인에게 글자를 인식시켜 준다. 이것은 점자를 시각 장애인이 읽는 방법이 아닌 일반인이 글자를 읽는 방법과 매우 유사한 방법으로서, 일반인의 경우 글자를 눈을 통한 시각적 이미지로 글자를 인식하지만, 이 장치를 이용할 경우 시각 장애인은 촉각을 통한 촉각적 이미지로 글자를 인식할 수 있다. OPTACON은 영문자의 형상을 얻을 수 있는 최소 배열 크기인 144(24×6)개의 phototransistor를 사용하였으며, single silicon chip (3mm×1.5mm)에 144개의 phototransistor를 제작하였다. Phototransistor의 구동은 charge-storage mode로 구동되며, 5msec의 storage와 image update 시간을 갖는다. 24×6 phototransistor signal을 multiplexer를 이용하여 6개의 wire로 촉각 자극기에 연결하였으며, automatic threshold-control circuit 사용하여 제어하였다. 촉각 자극기는 인가된 전압차에 의해서 구동되는 압전 구동기를 사용하였으며, 구동기의

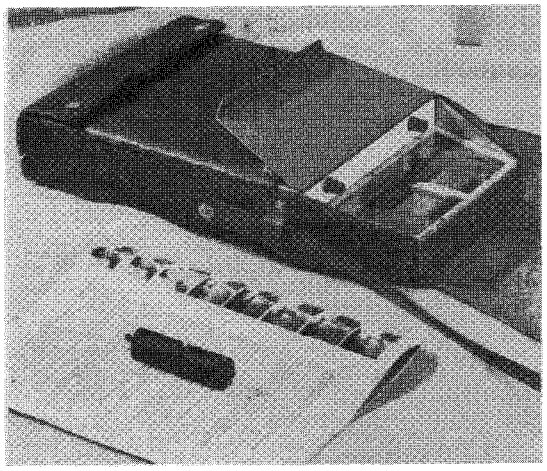

그림 1. OPTACON

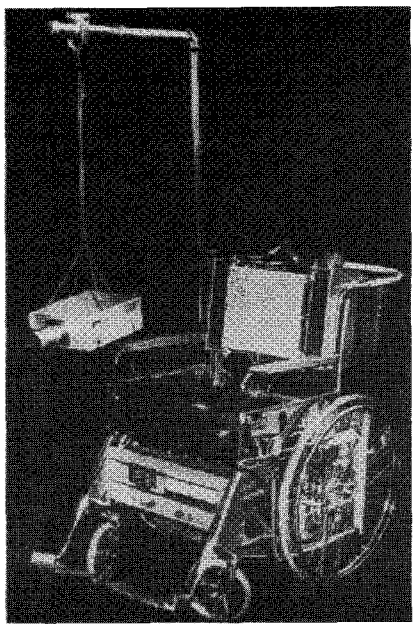

그림 2. Tactile television

개수는 phototransistor의 개수와 같은 144 (24×6)개 이다. 구동기의 간격은 1.27mm (row) 및 2.54mm (column)이며, 구동 주파수는 230Hz로 4 단계의 진폭으로 구동할 수 있다. OPTACON을 이용한 문자인식률은 분당 20단어 (word) 정도 이며, 약 7개월간의 훈련을 하면 분당 51 단어까지 인식할 수 있다고 한다.

비슷한 시기에 Bach-y-Rita[4] 등은 그림 2와 같은 시각장애인을 위한 특별한 장치를 개발하였다. 이 장치는 television camera를 의자의 상부에 장착시키고, 장착된 television camera로부터 흑백영상을 받아 20×20포인트로 영상처리 하였다. 이 영상정보

는 의자의 등 부분에 장착된 400개의 solenoid를 이용하여 시각 장애인의 등을 통하여 전달하였다. 촉각 자극기의 solenoid 간격은 12mm이였으며, 그 끝부분에 Teflon을 부착하여 촉각 자극을 발생시켰다. 이 연구에서 시각장애인과 일반인 각각 6명씩 피험자 실험을 수행하였으며, 실험 내용은 선의 방향 (line orientation)등의 인지율이었다. 실험 결과 일반인은 선의 방향을 100% 인지할 수 있으며, 시각 장애인은 개발된 장치를 통해서 99.6% 인지할 수 있는 것으로 나타났다.

3.2 정신물리학적 연구

OPTACON의 개발로 1970-90년대는 촉각의 정신물리학적 실험이 활발이 이루어졌다. 대부분의 연구는 OPTACON을 활용하여 피험자 실험을 수행함으로써 촉각 인식의 정신물리학적 특성을 알아보고자 하였다.

Cholewiak[12]은 인지 강도 (sensation magnitude)와 자극 요소의 수와의 관계를 연구하였으며, 그 결과 자극 요소의 수가 증가하면 인지 강도도 증가하는 것으로 실험결과가 얻어졌다. Craig[13]는 진동자극 (vibrotactile)의 발생 방법에 따른 촉각의 정신물리학적 특성에 대하여 실험을 하였다. 진동자극의 발생 방법은 크게 두 가지 static mode와 scanned mode로서, static mode는 패턴 (pattern)을 이루는 자극 요소들을 동시에 켜고 끄는 방법이며 scanned mode는 자극 요소의 배열을 움직이며 패턴을 표현하는 방법이다. 여기서 패턴은 영문자를 나타내었다. 실험 결과 영문자를 인식함에 있어서 static mode가 scanned mode보다 유리하며, static mode의 경우 자극 지속시간 (duration time)의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

시각이나 청각에서 발생하는 metacontrast effect가 촉각에서도 나타나는지에 대한 실험은 Weisenberger [14] 등이 수행하였다. 시각에서의 metacontrast effect는 순간적으로 번쩍이는 시각자극 (target)의 인지력은 보통 target 다음에 바로 표현되는 masker 자극에 의해 현저히 저하되는 것으로 즉, 패턴을 인식함에 있어서 방해되는 정도를 나타낸다. 이러한 현상이 촉각에서도 나타나남을 Weisenberger 등은 실험을 통해서 확인하였다. Target 자극과 masker자극은 자극의 발생 시간에 따라 forward masking (masker 자극이 target 자극 보다 먼저 발생 됨)과 backward masking (masker 자극이 target 자극 보다 나중에 발생 됨)으로 나뉘어지며, 자극 발생 시간 간격이 75msec의 backward masking에서 target의 인식률이 가장 낮게 나타나며, metacontrast effect가 가장 강하게 나타남을 보고하였다.

Cholewiak[15]은 인간의 신체 부위에 따른 진동자극패턴의 recognition (자극 패턴들의 형상을 정확히 인식하는 것)과 discrimination (서로 다른 자극 패턴들을 구별하는 것)에 대한 실험을 수행하였다. 그 결과 신체 부위에 따른 진동자극패턴의 recognition능력은 손끝, 손바닥, 허벅지 순이며, discrimination 능력은 허벅지, 손끝, 손바닥 순임을 보였다. Horner[16]는 진동자극패턴을 인식함에 있어서 자극 위치에 따른 영향을 실험하였다. 그 결과 OPTACON에서 문자를 아랫부분에 표현하는 것보다는 윗부분에 표현하는 것이 유리함을 보였다. 이는 인간의 촉각 수용기의 분포가 손가락의 아랫부분보다 윗부분이 높기 때문이다.

지금까지 OPTACON을 이용하여 얻은 촉각의 정신물리학적 특성 중 대표적인 몇 가지를 소개하였으나, 실험결과들은 OPTACON에 의존된 것으로서 촉각의 정신물리학적 특성을 충분히 이해하기에는 부족한 점이 있다. 그 이유는 OPTACON의 경우 구동 주파수가 230Hz로 고정되어 있어 구동 주파수에 따른 촉각의 정신물리학적 특성에 대한 고찰이 거의 없으며, 또한 구동 진폭이 단순히 4단계로만 이루어져 구동 진폭에 따른 촉각의 정신물리학적 특성을 이해하기에는 미흡하다.

3.3 응용 연구

Bach-y-Rita[17] 등은 TDS (Tongue Display Unit)라는 전기자극을 이용해서 혀에 자극을 주는 장치를 미국 특허에 등록하였으며, 그 개념도를 그림 3에 나타내었다. TDS는 12×12 전극 배열로 이루어져 있으며, spacing은 2.34mm이고 자극 신호로 pulse wave form을 사용한다. 자극되는 전기 신호는 5-15V 및 0.4-2.0mA로 기존의 전기자극을 이용한 촉각제시장치보다 낮은 전

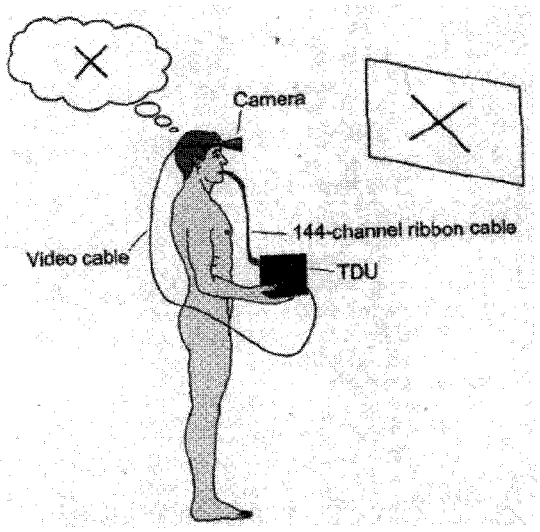

그림 3. TDU 개념도

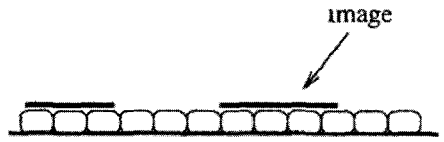

Fig. 2. Microcapsule paper after image is affixed to the surface by photocopying or ink drawing.

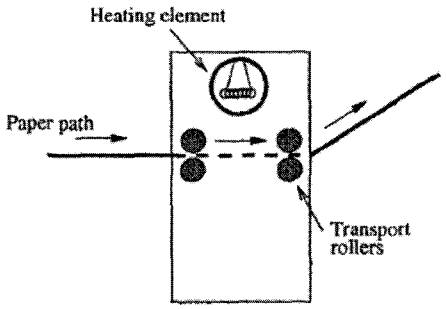

Fig. 3. Simplified view of the tactile image enhancer, showing internal workings of the device forexpanding previously exposed capsule paper.

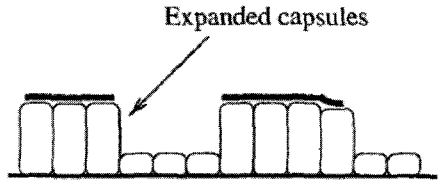

Fig. 4. Microcapsule paper after exposure in image enhancer, showing expanded capsules.

그림 4. TACTICS 개념도

압과 전류를 사용한다고 한다. 또한 손가락 끝에서의 촉각자극 인식률 보다 혀에서의 촉각자극인식률이 높다고 주장하였다.

Way[18][19] 등은 TACTICS (TACTile Image Creation System)라는 장치를 개발하였다. 이 장치는 직경 100㎛의 마이크로 캡슐(microcapsule)이 부착된 종이를 이용하여 사진 등의 이미지를 윤곽선 처리 후 마이크로 캡슐을 열에 의해 부풀려 시각 장애인 등이 촉각으로 이미지를 인지할 수 있도록 하는 장치이며, 그 개념도를 그림 4에 나타내었다.

기타 촉각을 통한 시각 정보 전달에 관한 연구로서 요즘 많이 사용하고 있는 차량용 네비게이션 (navigation)의 음성정보를 촉각으로 전달하는 연구가 Van Erp[20] 등에 의해서 이루어 졌다. 이 연구에서 운전연습용 가상환경하에서 navigation 정보를 운전자에게 전달함에 있어서 시각 및 청각에 의한 정보 전달 방법과 촉각에 의한 정보 전달 방법에 관한 피험자 실험을 수행하였다. 촉각에 의한 정보 전달 방법에서 운전석 아래에 진동자 (MiniVib, Special Instrumetn사) 4개를 적당한 간격으로 부착시키고 안내방향을 진동자의 진동을 통하여 운전자에게 전달하였다. 그 결과 촉각에 의한 정보 전달 방법에 비해 시각 및 청각에 의한 정보 전달 방법은 운전자의 집중력을 크게 저하시키는 것으로 나타났다.

현재 촉각을 통한 시각 정보 전달에 관한 연구는 주로 시각 장애인을 위한 장치로 연구개발되고 있으나, navigation 정보를 촉각으로 전달하는 등의 일반인을 위한 장치에 관해서도 연구되고 있다.

4. 촉각제시장치

촉각을 통한 시각 정보 전달 장치에서 중요한 부분을 차지하는 것은 촉각제시장치 (tactile display device)이다. 촉각제시장치는 햅틱 (haptic) 기술과 더불어 발전되어 왔다. 촉각제시장치는 구동기의 종류에 따라 공압[21], SMA[22], 솔레노이드[23], 압전[3], 전기[24] 방식 등이 있으며[7][25][26], 그림 5에 나타내었다. 공압자극은 공압을 사용하여 압축 공기로 피부에 압력을 가하는 방법이다. SMA방식은 빔의 끝 단에 핀을 부착하고 이를 SMA로 연결하여 SMA를 구동함으로써 핀의 움직임으로 촉각을 자극하는 방법이다. 공압과 SMA 방식의 구동기는 구동 주파수 대역이 10Hz이하이며, 공압 방식은 주변장치를 포함할 경우 크기가 커지는 단점을 가지고 있다. 솔레노이드 방식은 핀과 모터 등을 이용하여 자극 하는 방법으로 구동 주파수 대역이 50Hz 이하이고, 구동을 위해서 많은 전력이 요구되는 단점을 가지고 있다. 압전 방식은 현재 가장 많이 쓰고 있는 방법 중의 하나이며, 압전 물질을 이용하여 핀을 구동시켜 자극을 주는 방법으로 구조가 매우 간단하고 구동주파수의 경우 250Hz이상이지만 높은 변위를 얻고자 할 경우 높은 전압이 요구되는 단점이 있다. 전기방식은 전류를 이용하여 직접 피부에 흘려 보내 자극하는 방법으로 비록 구동 주파수 대역이 250Hz이상이며 작은 크기로 제작이 가능한 장점을 가지고 있으나 침습의 위험성이 있는 단점을 가지고 있다. 기타 방식으로는 ICPF (Ionic Conduction Polymer gel Film) [11]등이 있으며, 이 장치는 옷감의 감촉과 같은 촉감을 저주파와 고주파 진동의 조합으로 표현 할 수 있으나, 구동기가 물 속이나 젖은 상태에서만 구동되는 단점을 가지고 있다. 여기에서는 촉각 제시 장치의 일반적인 종류 및 각 특성에 대해서 간단히 기술하였으나, 촉각인터페이스 장치 및 시각 장애인을 위한 촉각제시장치의 좀 더 자세한 연구들은 Benali-Khoudja[25] 등과 Vidal-Verdu[26] 등의 논문들을 참고할 수 있다. 이 논문들에는 현재까지 개발되고 연구된 촉각제시장치들에 대해서, 장치의 사양 및 사용된 구동기 등을 자세히 언

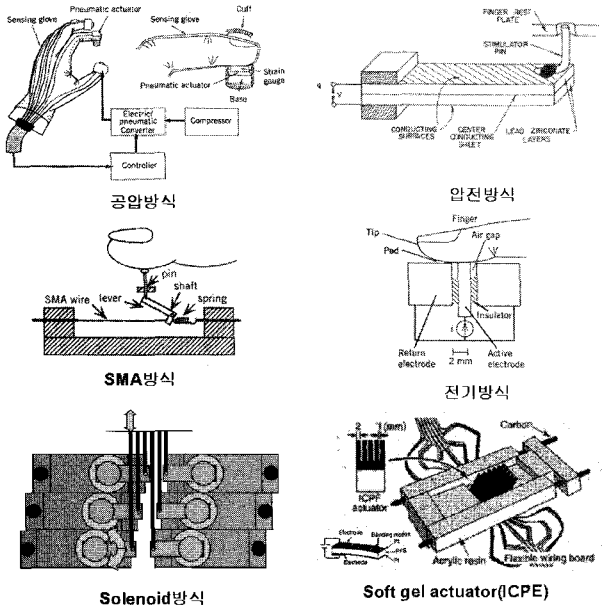

그림 5. 촉각 제시 장치 분류

그림 6. 시각장애인 보행안내 장치

급하고 있어 많은 참고가 될 것이다.

5. 시각장애인 보행안내

5.1 연구 개발 동향

시각장애인이 이동하기 위해서는 시각을 제외한 다른 감각을 이용해야 하는데 그런 감각의 정보를 이용하기 위한 보조 장치를 사용하지만 그 종류는 많지 않다. 일반적으로 시각 장애인용 보행 보조 장치로는 흰 지팡이를 들 수 있는데 여타의 장치에 비해 비교적 저렴하지만 지팡이로 감지할 수 있는 범위가 짧고 직접 접촉해야만 장애물의 유무를 판별할 수 있으며 위험물 회피가 어렵고 또한 100시간 이상의 훈련 시간이 필요하다는 단점이 있다[27]. 이러한 단점을 보완하고자 공학적인 장치의 필요성이 대두되었다. 시각장애인의 보행안내장치 (ETA, Electronics Travel Aid)로서 1970년대에 개발되어 사용되고 있는 모와트 센서 (Mowat sensor)[28], 소닉가이드 (Sonicguide)[28], 레이저 지팡이 (C-5 laser cane) [28]등이 있으며 그림 6에 나타내었다. 시각장애인용 보행안내 장치는 ETA라 불리며 지난 40여 년 동안 레이더 및 초음파 기술의 발전과 더불어 개발되어 왔다. 작동원리는 레이더 시스템과 유사하며 최근 장치들은 약 5m정도의 장애물 검출 범위를 가지며 지속적으로 주위의 장애물을 검색한다. 현재까지 개발된 시각장애인용 보행안내 장치의 경우 그 종류가 많지 않아 특별히 분류되고 있지는 않지만 편의상 분류한다면 형태에 따라서 Hand-held형, 장착형 그리고 최근에 개발되고 있는 맹도견 로봇형으로 나눌 수 있다.

Hand-held형 장치는 손으로 들고 다니는 시각장애인용 보행안내 장치로서 모와트 센서와 레이저 지팡이 등이 이에 해당된다. Hand-held형의 가장 큰 장점은 가볍고 간단한 구조를 가지고 있지만 장치를 사용하기 위해서는 손을 사용하여 사용자가 직접 장치를 움직여야만 하는 단점을 가지고 있다. 기본 작동원리는 초음파 및 레이저 센서를 이용하여 장애물을 검출하고 검출된 거리에 따라 beep 음을 발생시키는 단순한 원리이다.

장착형 장치는 소닉가이드와 NavBelt[27]가 이에 해당되며, 사용자의 신체 일부분에 시각장애인용 보행안내 장치를 장착하여 사용하므로 장비를 사용하기 위해서 손을 사용할 필요가 없는 장점을 가지고 있지만 신체 일부에 계속 장착하고 있어야만 하기 때문에 사용자에게 거부감을 줄 수 있는 단점을 가지고 있다. 소닉가이드의 경우 초음파 센서를 이용하며 1개의 송신부와 2개의 수신부로 이루어져 있다. 수신부로부터 얻어진 신호는 양쪽으로 분리되어 각각의 귀에 전달되며 사용자는 interaural 진폭의 차이로 장애물의 방향을 알 수 있으며, 장애물과의 거리는 FM 변조된 beep음으로 전달한다. NavBelt의 경우는 휴대형 컴퓨터와 초음파 센서를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피 기술에 기초를 두고 있다. 초음파 센서 (상하 8개씩, 횡방향 120° 범위를 감지)를 벨트처럼 사용자의 몸에 장착하여 사방의 물체를 감지하고 그 정보를 스테레오 이어폰을 통해서 음향 신호로 제

공한다. 두 장치 모두 장비를 능숙하게 사용하기 위해서는 많은 훈련 기간을 필요로 하는 단점이 있다.

맹도견 로봇형은 Hand-held형이나 장착형과 달리 맹도견처럼 시각장애인과 어느 정도 떨어진 로봇 형태의 장치로서 이동형 로봇의 기술을 이용한 가장 진보된 형태라 할 수 있지만 아직은 초보적인 수준으로 많은 난제를 안고 있으며, 장기간의 지속적인 연구개발이 요구되고 있는 실정이다. 2000년에 일본 기계기술연구소에서 개발된 MELDOG[29]은 지면에 신호를 발생시키는 유도선을 깔고 로봇이 그 경로를 따라가면서 뒤에 오는 시각장애인을 유도하는 기능을 가진다. 그러나 로봇의 동작 범위는 한정된 도시 지형에 국한된다. 또한 이 장치는 인간이 주가 되지 않고 로봇에게 의존해야 하며 비용이 많이 드는 문제점이 있다.

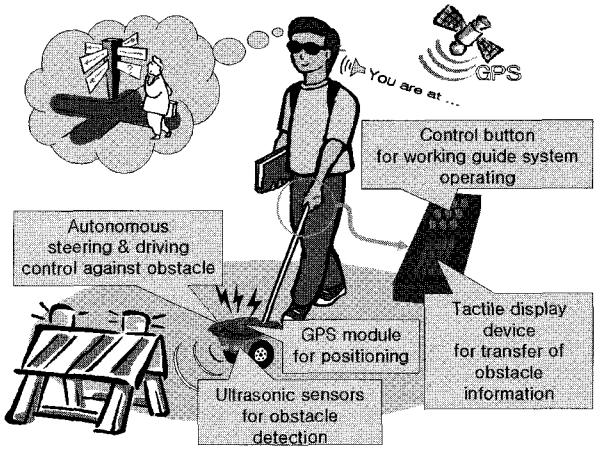

그림 7. 시각장애인 보행안내시스템 개념도

5.2 촉각제시에 의한 보행안내 시스템[30][31]

대체감각을 활용하는 응용사례로서 현재 필자들이 개발중인 시각장애인 보행안내시스템에 대해서 간단히 소개하고자 한다. 대부분의 ETA 시스템의 경우 장애물 정보를 청각으로 시각장애인에게 전달함으로써 청각 의존도가 높은 시각장애인에게 Masking 효과[27]와 같은 심각한 문제점을 발생시킬 뿐만 아니라 청각을 이용한 장애물 정보 전달은 정보의 내용이나 전달 방법에 있어서 제한적일 수 밖에 없다. 이에 현재 개발중인 시각장애인용 보행안내시스템에서는, 장애물 분포 정보를 시각의 대체감각인 촉각으로 전달하는 것에 주목하고자 한다. 연구의 최종 목표는 보행중인 시각장애인을 위한 장애물 및 위치 정보를 제공하는 보행안내시스템 개발이며 개념도를 그림 7에 나타내었다. 시각장애인을 위한 보행안내시스템은 크게 두 가지 부분 즉, Guide vehicle과 촉각제시장치로 구성된다. Guide vehicle은 보행중인 시각장애인 앞에 위치하여, 다 수의 초음파 센서를 사용하여 주변의 장애물 정보를 수집 및 처리하여 장애물 지도를 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 자동 회피와 같은 자율 주행 및 조작 버튼에 의한 수동 주행이 가능하도록 한다. 촉각제시장치는 Guide vehicle과 연결된 지팡이의 손잡이 부분에 위치하며 장애물의 형상 및 분포에 관한 정보를 촉각이미지로 전달하는 역할을 한다.

연구에서 제안하는 촉각을 통한 장애물 인식 개념도를 그림 8에 나타내었고, 그 절차는 다음과 같이 가정하였다. 첫째, 장애물 분포 정보 획득은 기존의 모바일 로봇에서 사용하고 있는 기술들을 적용한다. 예로서, 보행중인 시각장애인에게 필요한 매달린 형태의 장애물을 포함한 장애물 정보를 획득하기 위해서 다수의 초음파 센서를 이용한 3차원 장애물 위치 정보 획득 방법을 적용할 수 있다. 둘째, 장애물 분포 정보를 표현하기 위해서 일반적으로 모바일 로봇 기술에서 쓰이는 격자지도 방법을 적용한다. 셋째, 격자지도 방법을 통해서 얻은 장애물 분포 지도와 촉각제시장치의 촉각자극요소와의 맵핑을 통하여 촉각을 통한 장애물 정보 전달을 구현한다.

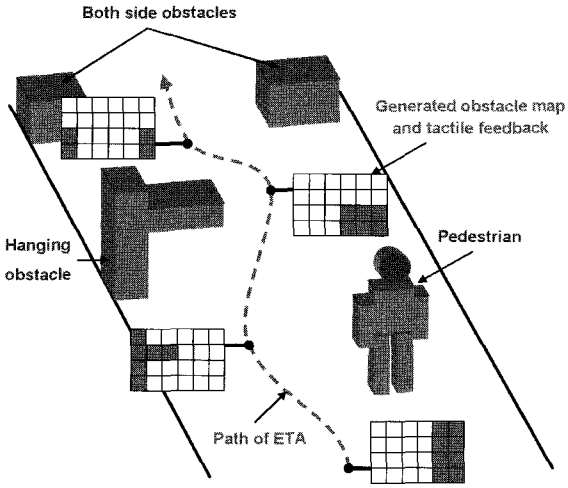

그림 8. 촉각을 통한 장애물 인식 개념도

현재 요소기술개발 단계로서 다수의 초음파 센서를 이용한 장애물 분포 정보 획득 기술과 획득된 장애물 분포 정보를 대체감각인 촉각으로 전달하기 위해 필요한 촉각제시장치의 설계 조건을 얻었으며, 향후에는 얻어진 요소기술들을 발전 및 통합하여 시각장애인 보행안내시스템을 개발할 예정이다.

6. 결 론

대체감각활용 중 촉각을 통한 시각 정보 인식을 중심으로 설명하였다. 촉각에 대한 이해를 돕고자 인간의 촉각에 대해서 수용기 및 생리물리특성에 대해서 설명하였다. 촉각을 통해서 시각 정보를 인식하는 연구동향에 대해서 기술하였으며, 촉각의 정신물리학적 특성에 관한 연구들을 소개하고 그 결과들을 언급하였다. 촉각을 통하여 시각 정보를 전달하기 위해서 필요한 촉각제시장치들에 대해서 종류 및 각각의 특성을 기술하였다. 시각장애인을 위한 안내장치에 대해서 설명하였으며, 마지막으로 필자들이 개발하고 있는 촉각제시에 의한 시각장애인 보행안내시스템에 대해서 간단히 소개를 하였다. 촉각을 통해서 시각 정보를 인식하기 위해서는 여러 분야의 기술들이 통합되어야 하며 아직 연구개발 되어야 할 과제들이 많이 남아있다. 앞으로 많은 연구가 이루어져 인간의 복지 분야에서 대체감각에 의한 정보 전달이 유용하게 활용 되기를 기대한다.

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] C. Capelle, C. Trullemans, P. Arno, and C. Veraart, "A Real-Time Experimental Prototype for Enhancement of Vision Rehabilitation Using Auditory Substitution," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, vol. 45, no. 10, pp. 1279-1293, Oct, 1998.

[3] 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.

[4] T. Bach-y-Rita, C. C. Collins, F. A. Saunders, B. White, and L. Scadden, "Visual substitution by tactile image projection," *Nature*, vol. 221, pp. 963-964, 1969.

[5] 박순용, 김필운, 이상흔, 조진호, 김명남, "청각 장애인용 음향 촉각장치 개발 및 실험," 2004년 의용생체공학회 춘계학술대회, pp. 655-657, 2004.

[6] R. A. Russel, *Robot Tactile Sensing*, New York, Prentice Hall, 1990.

[7] G. Burdea, *Force and Touch Feedback for Virtual Reality*, New York, John Wiley & Sons, 2000.

[8] 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.

[9] S. J. Bolanowski, G. A. Gescheider, R. T. Verrillo, and C. M. Checkosky, "Four Channels Mediate the Mechanical Aspects of Touch," *J. Acoustical Society of America*, vol. 84, no. 5, pp. 1680-1694, Nov. 1988.

[10] D. G. Caldwell, N. Tsagarakis, and C. Giesler, "An Integrated Tactile/Shear Feedback Array for Stimulation of Finger Mechanoreceptor," *in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics & Automation*, Detroit, 1999, pp. 287-292.

[11] M. Konyo, M. S. Tadokoro, and T. Takamori, "Artificial Tactile Feel Display using Soft Gel Actuators," *in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics & Automation*, San Francisco, 2000, pp. 3416-3421.

[12] R. W. Cholewiak, "Spatial Factors in the Perceived Intensity of Vibrotactile Patterns," *Sensory Processes*, vol. 3, pp. 141-156, 1979.

[13] J. C. Craig, "Modes of Vibrotactile Pattern Generation," *J. Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 6, pp. 151-166, 1980.

[14] J. M. Weisenberger and J. C. Craig, "A Tactile Metacontrast Effect," *Perception & Psychophysics*, vol. 31, no. 6, pp. 530-536, 1982.

[15] R. W. Cholewiak and J. C. Craig, "Vibrotactile Pattern Recognition and Discrimination at Several Body Sites," *Perception & Psychophysics*, vol. 35, no. 6, pp. 503-514, 1984.

[16] 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.

[17] P. Bach-y-Rita and K. A. Kaczmarek, *Tongue placed Tactile Output device*, US Patent 6,430,450, 2002.

[18] T. P. Way and K. E. Barner, "Automatic Visual to Tactile Translation. I. Human Factors, Access Methods and Image Manipulation," *IEEE Tran. Rehabilitation Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 81-94, Mar. 1997.

[19] T. P. Way and K. E. Barner, "Automatic Visual to Tactile Translation. II. Evaluation of the TACTile image Creation System," *IEEE Tran. Rehabilitation Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 95-105, Mar. 1997.

[20] J.B.F Van Erp and H.A.H.C Van Veen, "Vibrotactile in-vehicle

navigation system," *Transportation Research Part F 7*, pp. 247-256, 2004.

[21] 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.

[22] P. M. Taylor, A. Moser, and A. Creed, "A sixty-four element tactile display using shape memory alloy wires," *Dsiplay*, vol. 18, pp. 163-168, 1998.

[23] C. R. Wanger, S. J. Lederman and R. D. Howe, "Design and Performance of a Tactile Shape Display using RC Servomotors," *The Elecronic Journal of Haptics Research*, vol. 3, no. 4, pp. 1-6, Aug. 2004.

[24] 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.

[25] M. Benali-Khoudja, M. Hafez, J. Alexandre and A. Kheddar, "Tactile Interfaces: a State-of-the-art Survey," *Proc. of the 35th International Symposium on Robotics*, pp. 721-726, 2004.

[26] F. Vidal-Verdú and M. Hafez, "Graphical Tactile Displays for Visually-Impaired People," *IEEE Tran. Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 15, no. 1, pp. 119-130, Mar. 2007.

[27] 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.

[28] http://www.noogenesis.com/ETA.html

[29] http:// www.mel.go.jp

[30] M. J. Yoon, K. H. Yu, T. K. Kwon, and N. G. Kim, "Study on Tactile Perception of Shape for Effective Tactile Display," *in Conf. 16th IFAC World Congress Praha*, Prague, CD-ROM, 2005.

[31] 윤명종, 유기호, 강정호, "촉각제시에 의한 시각장애인 보행안내에 관한 연구," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제 13 권, 제 8 호, pp. 783-789, Aug, 2007.

저자약력

윤 명 종

· 1974년 12월 13일생.
· 2000년 전북대학교 항공우주공학과 졸업,
· 2002년 동대학원 메카트로닉스공학과 석사.
· 2003년 3월~현재 동대학원 박사과정 재학중.
· 관심분야 : 촉각센싱 및 제시, 로보틱스.

유 기 호

· 1962년 8월 1일생.
· 1988년 전북대학교 정밀기계공학과 졸업.
· 1990년 동대학원 기계공학과 석사.
· 1994년 일본 Tohoku 대학 박사.
· 1994년 4월~1997년 8월 동대학 Research Associate.
· 1997년 9월~1998년 2월 한국과학기술원 연구원.
· 1998년 3월~현재 전북대학교 기계항공시스템공학부 전임강사, 조교수, 부교수.
· 2004년 2월~2005년 1월 미국 MIT 객원교수.
· 관심분야 : 촉각센싱 및 제시, 원격로봇, 생체신호모니터링, 메카트로닉스 및 로보틱스.