

시각장애자의 보행을 유도하기 위한 초음파형 전자보행유도기의 개발에 관한 연구

김 동 욱*

A Study on the Development of a Ultrasonic Electronic Travel Aid for the Blind

Kim Dong-Wook*

요 약 시각장애인의 보행을 유도하기 위한 전자보행기로, 소리가이드, 모와트센서, 바이오닉 지팡이 등이 개발되었으나, 가격이 비싸거나, 훈련이 어렵다는 이유 등으로 국내에서는 거의 보급되어 있지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 청각에 의한 장애물을 인식 개념을 고려하여 주변의 장애물의 파악에 특별한 훈련이 필요치 않으며, 저렴한 가격의 전자보행기의 개발을 위한 기본 연구로 시각장애인의 장애물인지특성의 검토 및 장애물 인지특성을 고려한 초음파형 전자보행유도기의 프로토타입을 통한 보행시험을 실시하였다.

Abstract Electronic Travel Aids (ETA) developed for the blind such as sonicguide, mowat sensor and bionic C-5 laser cane have many problems like technical deficiency and high cost. Moreover, these systems have need for more training to perceive obstacle around. Therefore, In this study, we studied the blind's obstacle perception characteristics by human auditory sense, and development of ultrasonic ETA which have more simple usage, low cost and immediate usability than present ETAs.

Key Words : the blind, obstacle perception characteristics, ETA (Electronic Travel Aids), human auditory sense

1. 서 론

우리나라의 시각 장애자의 총수는 2001년 9월말 현재 보건복지부의 조사에 따르면 약 11만 여명 정도로 보고되어 있으며, 이중 1/3정도가 1, 2급의 중증 시각장애자로 시각장애자는 전반적으로 증가 추세에 있다[1]. 이들 시각장애자들에게, 적당한 특수교육, 재활교육을 행함으로써, 정상인에 가까운 일반적인 일상생활을 수행할 수 있을 것으로 기대 된다. 시각장애자의 특수교육·재활교육에 있어서, 일상생활 중 특히 보행능력의 습득은 가장 중요한 과제의 하나이다. '보행'이라는 행동은 '정위(orientation) = 환경인지'와 '신체이동(mobility) = 보행운동'의 두 요소가 조화될 수 있어야 보행이 가능하게 된다[2].

특히, 시각 경험이 전혀 없는 선천적인 시각 장애자들이나 중도실명자들 중에서도 시각 경험이 적은 사람들은 시각 경험이 비교적 풍부한 중도 실명자나 약시자

와 비교할 때 혼자서 외출한다는 것이 극히 어렵다. 주된 이유는 시각상의 문제로 보행에 필요한 정보를 수집하기 어렵기 때문에, 자신의 주변 공간을 시각 이외의 modality(예를 들면 청각이나 자기 수용 감각) 만으로 상상하고 있기 때문에 시각 경험이 풍부한 중도 실명자에 비해 공간인지가 부족하다. 따라서, 시각기능이 저하된 시각장애자가 보행하기 위해서는 시각 이외의 감각을 효과적으로 활용하며, 필요한 경우에는 보조구를 사용하여 장애물지각능력을 증강시킬 필요가 있다.

보조구를 사용하는 보행방법으로는, 흰지팡이 보행법, 안내견 보행법, 전자기술을 활용한 전자보행기 등이 있다.

흰지팡이 보행법은 흰지팡이를 사용하여 보행하는 방법으로 Hoover법이라고도 부르고 있으며, 시각장애자의 보행훈련의 기본으로 자리잡고 있으나, 흰지팡이가 도달하는 범위내의 상황만을 알 수 있고, 이보다 멀리 떨어져 있는 곳의 상황은 알 수 없다[3].

안내견 보행법은 과학적으로 훈련된 안내견의 유도를 받아 보행하는 방법으로, 우리나라에서도 안내견의 보급이 늘어나고 있으나, 안내견의 육성·훈련은 사회복지

*순천향대학교 정보기술공학과
Tel: 041-530-1340

지법의 대상 외로 되어 있어 자금의 대부분을 기부·모금에 의존하고 있어, 안내견의 대여 대상으로 되는 1급 시각장애자의 1%에도 미치지 못하는 보급률을 보이고 있다.

현재 상용화되어 있는 전자기술을 이용한 전자보행기는 소닉 가이드(Sonicguide), 모와트 센서(Mowat sensor), 바이오닉 지팡이(Bionic C-5 laser cane) 등이 제품으로 나와 있다[4, 5]. 이들의 전자보행기는 초음파나 레이저를 이용하여 주위의 환경정보를 탐지하여 인공적인 신호음으로 제시하는 방식으로 되어 있다. 그러나 제시된 인공적인 신호음은, 시각장애자가 주위공간을 인식하는데 실마리로 되고 있는 주위로부터의 자극(예를 들면, 환경음, 장애물로부터의 반사음, 복사열 등)과는 전혀 다른 형식의 자극이기 때문에 이들 장치를 사용하기 위해서는 장치로부터 나오는 신호음으로부터 공간을 이미징할 수 있도록 하기 위해 특별한 훈련이 필요하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 시각장애인이 자신의 주위상황을 파악하고 있는 장애물지각의 개념형성 과정에 대해 살펴보고, 장애물지각의 개념형성에 도움이 될 수 있는 전자보행기의 개발을 위한 기본 연구를 실시하였다.

2. 시각장애자의 장애물지각 메카니즘 분석

2.1 장애물지각

장애물지각이라 불리는 능력의 존재는 오래 전부터 인식되어 있어, 1749년에 저술된 '시각장애인 서간'중에 시각장애인이 갖고 있는 장애물지각 능력에 대한 것이 기술되어 있다[6]. 이 이후, 장애물지각의 요인에 관해서는 여러 가설이 제창되어 왔으나 체계적이고, 정량적인 연구는 이루어지지 않았다. 1950년대에 들어서 Cotzin이 처음으로 장애물지각에 대한 체계적인 연구를 수행하여 「얼굴의 눈 또는 안면 시력(facial vision)」이라는 개념을 주장하였으나, 실험방법상에서, 실험실내의 음을 마이크로 채음(採音)하여 헤드폰으로 피험자에게 제시하는 방법을 취하였기 때문에 실험실내의 음장이 정확하게 피험자에게 재현되지 않아, 청각의 중요한 요소인 두부 음향전달특성이 전혀 고려되지 않았다. 따라서, 이 실험에 의해 도출된 결과는 음장이 정확히 재현되지 않음은 물론이고, 장애물지각에 영향이 없는 주파수 및 음의 크기만이 실마리로 되는 상황이 되어, 일반적인 장애물지각에 대한 요인을 정확히 파악하지 못한 결과가 되었다[7].

그 후, 1960년대 중반에 Wright, Welch 및 Kehler는 장애물지각의 요인으로 되는 청각자극에 관하여 장애물

로부터의 '반사음'외에 장애물에 의한 차음효과 등에 의해 만들어지는 '음의 그림자(sound shadow)'의 2가지가 중요한 요소로 될 것이라는 가능성을 지적하였다[8-10].

장애물지각의 요인의 해명이 느려지고 있는 이유는 장애물지각이 음향심리현상임에도 불구하고, 종래의 연구의 대부분이 음향학적인 식견을 충분히 고려하지 않은 상태에서 연구가 행해졌기 때문이라고 생각된다. 장애물지각의 요인을 상세히 해명하기 위해서는 종래와 같은 지각·행동심리학수법만으로는 곤란하고, 최종적으로는 음향학적인 도입의 필요성이 있다.

2.2 보행시의 장애물지각 실험

먼저, 보행중 장애물을 만났을 때의 상황을 생각한다. 이때, 시각 장애인이 장애물에 가까워져감에 따라, 다음과 같은 과정을 지나는 것이 Cotzin의 실험으로부터 알려져 있다(그림 1).

① 충분히 떨어진 거리에서 장애물에 접근해 가면 수 m 앞에서 그 장애물의 존재를 느낀다(first perception).

② 장애물의 존재를 느끼면서 더욱 부근에 가까이 가면 장애물로부터 수십 cm 앞에서는 충돌할 것 같은 느낌을 받는다(final appraisal).

실험방법은 그림 1과 같이 피험자를 장애물로부터 약 10 m 떨어진 곳에서 통상의 보행속도로 장애물을 향하여 걷도록 한다. 먼저, first perception 장소에 일단 정지시켜 장애물과 피험자 사이의 거리를 측정한다. 그 후, 장애물을 향하여 충돌하지 않도록 보통보다 천천히 걷게 하여 final appraisal의 장소에서 정지하도록 하여 장애물과 피험자사이의 거리를 측정한다. 한 사람의 피험자에 관하여 수 회 실행하였다.

실험을 수행하는 장소는 특정구조물(예를 들면, 바닥의 요철, 바닥의 환기구의 위치 등)을 단서로 하여 장소를 특정 지을 수 없도록 항상 장소를 바꾸면서 측정하도록 하였다.

실험 결과를 표 1에 각 피험자의 first perception과 final appraisal거리의 평균과 표준편차를 정리하였다.

또, 이 때의 피험자에게 장애물을 인지할 당시의 느낌을 알아본 결과

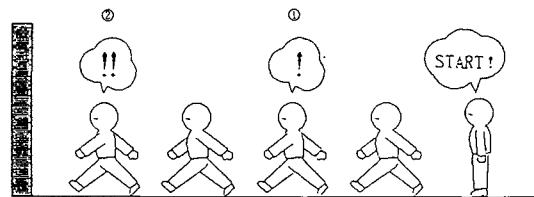


그림 1. 보행시의 장애물지각 실험.

표 1. 보행시의 장애물지각 실험의 결과(20회 시행의 평균과 표준편차)

피험자	first perception (m)		final appraisal (m)	
	평균	표준편차	평균	표준편차
피험자 A	2.79	0.84	0.39	0.19
피험자 B	1.59	0.71	0.41	0.25
피험자 C	2.62	0.96	0.23	0.15

피험자 A의 경우는

first perception: 발소리의 반사음이 들리기 시작함.

final appraisal: 장애물이 갑자기 없어진 것 같음.

라는 보고를 하였으나, 나머지 2명은 자기 자신도 왜 장애물의 존재를 지각하였는지는 확실히 알 수 없었던 것 같고, 단지 '얼굴과 몸 전체에 무언가를 느꼈다'라는 것이 처음 시행에서 얻은 느낌이었다. 그러나, 여러 번 실험을 계속하는 동안

피험자 C는

final appraisal: 전방이 조용해진다는 보고를 하였다.

3. 시각장애자의 장애물지각개념을 고려한 전자보행유도기 개발

시각장애자가 외출을 하였을 경우 시각이외의 감각 및 흰지팡이 또는 안내견의 도움을 받아 보행을 하고 있다. 그러나 이와 같은 방식만으로는 주변 환경의 파악이 어렵기 때문에, 주변 환경을 정확히 판단하여 보행을 유도하기 위한 보행유도기가 필요하게 된다.

보행유도기는 2가지로 나눌 수 있다. 하나는 진행하고자 하는 방향의 보행로에 대한 정보만을 제시하는 것을 목적으로 하는 것이며, 다른 하나는 광범위한 지역에 대한 정보를 제시하는 보행 네비게이션 시스템이다.

본 연구에서 개발하고자하는 전자보행기는 첫 번째 타입에 해당되는 것으로, 보행자의 진행방향 전방의 물체를 인식하여 이를 시각장애자에게 알려주어, 시각장애자의 공간지각능력을 향상시켜 보행에 도움을 주는 것을 목적으로 하는 장치로, 2장의 시각장애자의 장애물지각 메카니즘 분석을 통하여 알아낸 식견을 염두에 두고, 전자보행기로써 필요 충분한 단순한 기능을 갖고, 경량이며, 시각장애자가 가지고 있는 우수한 청각기능을 보존 할 수 있는 자극제시방법을 고려한 전자보행기의 개발을 시도하였다.

3.1 전자보행유도기의 구성

본 연구에서는 장애물의 존재를 파악하기 위하여 40 kHz대 초음파센서를 사용하였다. 초음파센서 발신부

에서 내보낸 40 kHz 초음파가 장애물에 반사되어 돌아오는 시간을 마이크로프로세서를 통해 카운트하여 정지된 장애물의 有/無 및 장애물과 시각장애자 사이의 거리를 측정하고, 설정된 거리에 도달하면 진동을 통하여 장애자에게 장애물의 정보를 알려줌으로써 보행을 보조하는 장치이다.

전자보행기의 구성은 그림 2와 같이 초음파 센서부, 마이크로프로세서, 촉각자극기 부분으로 이루어져 있다. 초음파센서로는 MA40B8S/R, 마이크로프로세서(CPU)는 8051을 사용하였다.

3.1.1 송신부

실험에 사용한 초음파 센서는 공진 주파수를 40 kHz의 경우가 송신-수신에서 가장 우수한 효율을 나타내는 것으로 되어 있다. 초음파 송신 회로에는 555계열의 타이머용 IC를 2개 사용하였다. 하나는 송출시간을 제어하기 위한 발진회로에 사용하였으며, 다른 하나는 40 kHz의 초음파 주파수를 발진시키는 회로이다. 발진 파형의 듀티비는 50%로 하였으며, 2개의 인버터를 병렬로 접속하여 구동하여 출력전력에 여유를 주었다. 센서의 (+)단자와 (-)단자에 거는 전압의 위상은 180도 시프트 하였다. 또 컨덴서에 의해 직류를 컷트하고 있어 센서에는 인버터 출력의 2배의 전압이 걸리도록 하여, 센서로부터의 초음파 출력을 증강되도록 배려하였다.

3.1.2 수신부

수신용 센서에서 받은 초음파 신호는 연산증폭기를 2단 사용하여 60 dB의 전압으로 증폭 하였다. 연산 증폭기는 통상 (+)와 (-)의 2전원을 사용하고 있으나, 여기서는 장치의 소형화를 위해서 +9 V로만 동작시켰다.

수신한 초음파 신호는 반파 정류하여, 검출신호의 신호레벨에 맞는 직류전압으로 되도록 하였다. 이 직류전압은 검파회로를 통과하면, 초음파를 송출하고 장애물에 반사되어 돌아오는 시간사이가 하이레벨신호로 바뀌게 되고 이 신호는 마이크로프로세서로 입력된다.

3.1.3 마이크로프로세서

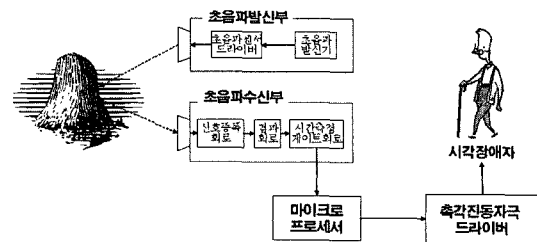


그림 2. 전자보행유도기의 구성.

마이크로프로세서부는 센서의 동기화 신호를 주고, 센서의 결과 값을 받아서 거리로 환산하는 역할을 한다. 89c51타이머는 인가된 Oscillator의 주파수에 따라 변하게 되는데 본 회로는 22.1184 MHz Oscillator를 사용하였다.

초음파 발진이 될 때부터 카운터를 시작하여 수신 대기까지 카운터를 실행해 이를 이용해서 거리를 계산한다. 즉 카운터 펄스의 개수를 측정하여 초음파의 반사 시간을 계산 하여 거리로 환산하였다.

그림 3은 마이크로프로세서를 이용해서 초음파 센서의 발진을 제어하고, 그 결과값(수신값)을 토대로 거리의 변화에 따른 진동을 주는 프로그램의 알고리즘을 나타내고 있다.

3.2 측각을 통한 거리정보의 제시

본 연구에서는 시각장애자가 장애물을 지각하는데 있어서 청각을 활용한다고 하는 것을 2장의 '시각장애자 보행보조를 위한 장애물 지각 메카니즘' 분석을 통하여 알 수 있었다. 따라서 시각장애자가 가지고 있는 장애물 인식 기구를 가능한 한 손상시키지 않도록 하기 위해서는 장애물에 대한 정보를 알려주는 방법으로는 청각정보를 사용하는 것을 지양하여야 한다. 따라서, 청각이 아닌 촉각을 통한 진동자극을 부여하기로 하였다.

촉각을 통한 거리정보를 제시함에 있어서는 2장의 실험결과를 근거로 하여, first perception을 느끼는 2.5 m에서 그리고, final appraisal을 느끼는 40 cm에서 진동자극을 부여 하였으며, 예비적으로 first perception의 2배에 상당하는 5 m에서 자극을 부여하기로 하였으며, 그림 4와 같은 3가지 모드의 진동을 자극을 부여하였다.

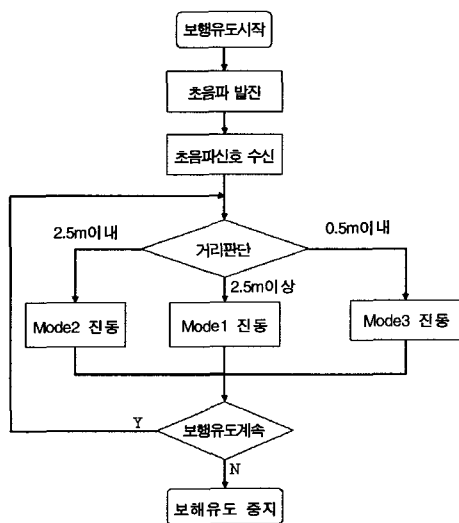


그림 3. 거리정보제시 알고리즘.

3.3 장애물 통과 실험

장애물 통과 실험은 그림5와 같이 폭 2.5 m인 복도에 서 실시하였으며 5 m의 간격으로 가로 세로 높이가 모두 30 cm인 장애물 3개를 설치하고 안대로 눈을 가린 5명의 일반인이 전자보행유도기를 사용하여 통과하도록 하였다.

장애물의 거리에 따라 상기와 같은 진동자극을 피험자에게 부여하였고, 피험자는 이 정보에 의지하여 장애물을 통과하는 실험이다. 이때, 피험자가 장애물에 걸려 거나, 벽에 부딪혔을 경우는 실패로 간주하였다.

피험자 한사람 당 10번의 실험을 하였으며 결과는 표 2와 같다. 결과를 정리하면, 1번 장애물은 86%(error = 7), 2번장애물은 82%(error = 9), 3번 장애물은 74%(error = 13)의 성공률을 나타내었으며, 전체적으로는 80%의 성공률을 나타내고 있다. 이번 실험의 피험자가 정상인에 대하여 눈을 가리고 실험한 결과이다. 시각장애자의 경우는 시각이외의 감각은 정상인보다 훨씬 민감하게 되어 있어, 보행시에도 이들 감각을 활용하여 장애물을 인식하고 있는 것을 2장의 실험을 통해서도 알 수 있었다. 따라서, 시각장애인을 대상으로 하는 실험에서는 성공률이 더 높아질 가능성이 충분하기 때문에, 시각 장애인의 보행유도기로 사용이 가능함을 시사하였다.

또한, 이번 실험과 같이 요철이 없는 지면 위의 간단

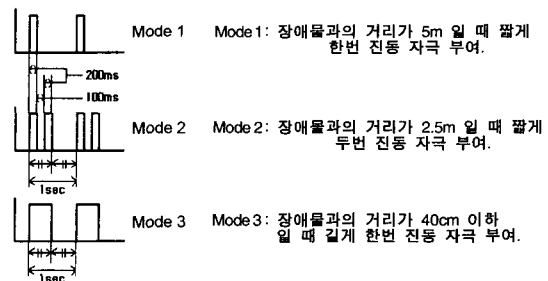


그림 4. 진동 주기.



그림 5. 장애물 통과 실험 장면.

표 2. 장애물 통과 실험결과(○: 장애물통과 ×: 장애물통과 실패)

피험자	장애물	실험 회수									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
피험자 1	1	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○
	2	○	○	○	×	○	○	○	×	○	○
	3	○	○	×	○	×	○	○	○	○	○
피험자 2	1	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○
	2	○	○	×	○	○	○	×	○	○	○
	3	○	○	○	×	○	○	○	×	○	○
피험자 3	1	○	○	×	○	○	○	×	○	○	○
	2	○	○	×	○	○	○	○	○	×	○
	3	○	○	×	○	×	○	○	×	○	○
피험자 4	1	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○
	2	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○
	3	○	×	○	○	○	×	○	×	○	○
피험자 5	1	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○
	2	○	○	×	○	○	○	○	○	×	○
	3	○	×	○	×	○	○	○	×	○	○

한 장애물에 대해서는 전자보행유도기를 통한 보행유도가 가능하다고 생각되나, 계단에서의 보행유도나, 높이가 매우 낮아서 전자보행유도기에 감지가 되지 않는 문턱과 같은 장애물이 있을 경우의 보행유도나, 정지된 물체가 아닌 이동하는 물체에 대한 감지는 어렵게 되어 있어, 이 부분의 보완이 필요하리라 생각된다.

4. 고 찰

2장의 실험에 의해, 보행시의 장애물지각에 있어서 first perception 및 final appraisal의 과정을 확인할 수 있었다. 본 실험에서 실험조건을 극단적으로 엄격하게 하지 않고, 일반적인 시각 장애자가 생활하고 있는 공간내의 음장(音場)과 같은 조건에서 실험을 행하였기 때문에 얻어진 보고는 일반적인 시각장애자가 장애물지각의 실마리로 삼고 있는 청각자극의 변화를 잘 반영하고 있다고 할 수 있다.

본 연구에서 개발을 시도한 전자보행기와 같이 시각장애자의 진행방향에 존재하는 장애물을 탐지하는 장치로 대표적인 것으로 소닉가이드와 모와트센서를 들 수 있으나, 이들 기기를 사용하기 위해서는 1주에서 3주의 훈련기간이 필요하며, 상당히 고가의 장치이다. 국내의

경우는 이와 같은 기기가 도입되어 사용된 예는 없는 것으로 보이나, 일본의 경우를 예로 들면, 300여명에게 도입되어 사용된 예가 있다. 여기서 300여명이라고 한 것은 이들 장치를 사용하기 위해서 훈련을 받은 시각장애자의 총수를 나타낸 것으로, 이들 기기를 실제로 사용하지 않고, 중간에 사용을 중지하는 경우도 많다고 한다. 특히 소닉 가이드의 경우는, 중간에 사용을 중지하는 경우가 많았다[16].

그 이유는 ① 생활지역의 보행에서는 흰지팡이로 충분하며, 소닉가이드가 가지고 있는 탐색기능이 별로 필요하지 않다. ② 소닉가이드의 안경부분이 너무 두껍고 무겁기 때문에 장시간 착용이 불가능하다. ③ 제시되는 신호음이 자연의 소리를 듣는데 방해를 주어, 장애물지각에 혼동을 주고 있다. 등 3가지를 들고 있다[11].

①의 원인은 고도로 발달된 전자기술을 이용하여 필요이상의 고성능 장치를 개발하여도 시각장애자의 일상생활 중의 필요성을 충족시키지 못한 결과를 초래하였으며, ②의 원인은 구조적인 원인으로 경량화의 필요성이 요구되었다. 특히, ③의 원인에 대해서는 청각적 경험 이 풍부한 선천적 시각장애인 들에게서 많이 나오는 불평으로, 소닉가이드가 제시하는 신호음이 자연의 소리를 듣지 못하게 할 뿐만 아니라, 장애물지각 능력, 즉 자연의 청각에 의한 환경인지의 개념을 방해하고 있다는 것이다. 2장의 실험에서도 알 수 있는 것처럼, 자연(주변)의 소리는 청각장애자의 환경인지에 있어서는 매우 중요한 실마리로, 장애물 인지를 위해 감각을 유효하게 활용하는 방법과 보행유도기가 서로 대립하는 결과를 낳게 된 것이다.

본 연구에서 개발한 전자보행유도기는 상기와 같은 단점을 사전에 방지하기 위하여, 기능을 가능한 간단히 하여, 매우 단순한 기능만을 할 수 있도록 하였으며, 장치의 저 가격화를 시도하여, 지금까지의 기기의 1/10 정도의 염가의 장치가 가능하도록 하였다. 그러나, 본 연구에서 개발할 전자보행기는, 요철이 없는 지면 위의 간단한 장애물에 대해서는 전자보행유도기를 통한 보행유도가 가능하다고 생각되나, 계단에서의 보행유도나, 높이가 매우 낮아서 전자보행유도기에 감지가 되지 않는 문턱과 같은 장애물이 있을 경우의 보행유도나, 정지된 물체가 아닌 이동하는 물체에 대한 감지는 어렵게 되어 있어, 초음파의 발사각도의 조절 및 초음파 스캔 등의 방법을 통한 개량의 여지가 많이 남아 있다.

5. 결 론

장애물지각이라는 심리적 현상을 실제로 확인하고, 이 지견을 활용한 전자보행기의 개발을 수행한 결과 다

음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 지금까지 주장 되어왔던 pitch의 변화는 장애물지각을 위한 필요조건이 아니라는 것을 알았다.

(2) 실험 결과 및 피험자의 보고에 의하면
first perception: 발소리 등의 반사음이 들리기 시작하는 시점으로 약 2.5 m 부근.

final appraisal: 직접음과 반사음이 구별이 불가능하게 되고, 장애물의 차음 효과 등에 의해 전방이 매우 고요한 느낌을 받는 지점으로 약 40 cm 부근.

(3) 개발된 전자보행기를 이용하여 보행실험을 수행한 결과 80%의 정확도로 전방의 장애물을 인식하고, 이를 회피할 수 있어, 전자보행기의 가능성을 나타내었다. 그러나, 장애물인식의 정확도 향상을 위한 더 많은 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 순천향대학교 교내연구비(과제번호: 20000028)에 의하여 수행 되었습니다.

참고문헌

- [1] <http://www.mohw.go.kr/databank>.
- [2] 文部省, “步行指導の手引”, 慶応通信, pp. 1-10, 1985.
- [3] 文部省, “步行指導の手引”, 慶応通信, pp. 120-130,

1985.

- [4] 佐佐木忠之, “超音波を利用した盲人用歩行補助器”, 日本音響学会, Vol. 43 No. 5, pp. 344-350, 1987.
- [5] J. M. Benjamin, Jr., “The new C-5 laser cane for the blind”, Carnahan Conference on the Electronic Prosthetics, pp. 77-82, 1973.
- [6] M. Supa, M. Cotzin and K. M. Dallenbach, “FACIAL VISION: The Perception of obstacle by the blind” Amer. J. Psychol., pp. 133-183, 1944.
- [7] M. Cotzin and K. M. Dallenbach, “FACIAL VISION: The role of pitch and loudness in the perception of obstacle by the blind” Amer. J. Psychol., pp. 485-515, 1950.
- [8] H. N. Wright, “Principles of auditory training for travel”, Proceedings of the Int'l Congress on Technology and Blindness Vol. II, pp. 149-157, 1963.
- [9] J. R. Welch, “A Psychoacoustic study of factors affecting human echolocation”, The Research Bulletin No. 4, American Foundation for the Blind, pp. 1-13, 1964.
- [10] I. Kohler, “Orientation by aural clues”, The Research Bulletin No. 4, American Foundation for the Blind, pp. 14-53, 1964.
- [11] 面高雅紀, “電子行動補助具の歩みと展望”, 第11回 歩行指導員第11回歩行指導員特別研究会資料, pp. 15-25, 1991.