

적외선 센서와 압력센서를 이용한 시각장애이용 보행보조신발

Walking Assistive Shoes for Visually Impaired Person Using Infrared Sensor and Pressure Sensor

양창민*, 정지용, 김정자
C. M. Yang, J. Y. Jung, J. J. Kim

요 약

시각장애인의 보행보조도구인 흰 지팡이는 보행에 필요한 정보인 장애물의 유무를 직접 접촉해야만 인식할 수 있으며 지면의 낮은 장애물을 탐지하기 어렵다는 단점이 있다. 최근 이러한 문제들을 해결하기 위해 새로운 보행보조도구들이 개발되고 있지만 개발된 도구들의 외형과 높은 가격으로 인해 많이 사용되지 못하고 있다. 이에 본 논문에서는 적외선 센서와 압력 센서, 진동 모터를 사용하여 두 가지 유형의 보행보조신발을 제작하였다. 두 가지 유형의 보행보조신발은 장착된 적외선 센서의 개수에 따라 단일 센서 (SS)와 이중 센서 유형 (DS)으로 분류하였다. 유효성 평가를 위해 장애물이 배치된 공간에서 보행 보조 신발과 흰 지팡이를 가지고 보행할 때 나타나는 보행 소요 시간과 충돌 횟수를 비교하였다. 실험 결과, 개발된 보행보조신발 사용 시 지팡이에 비해 소요시간이 증가하였으나 충돌 횟수는 감소하였다. 또한, 보행보조신발 사용 시 흰 지팡이에 비해 이동시간과 충돌횟수가 더욱 크게 감소하였다. 따라서 개발된 보행보조신발이 시각장애인의 안전한 보행 환경을 제공하고 새로운 형태의 보행보조도구에 적응하는 시간을 감소시키는데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

ABSTRACT

The white cane, walking assistive device of visually impaired person, has disadvantages for acquiring the information by contacting obstacles directly and detecting low obstacle on the ground. Recently, new devices have been developing to solve these problems, but these were not widely used due to high price and appearance. Therefore, in this study, we developed two types of walking assistive shoes which were manufactured with infrared sensors, pressure sensors and vibrating motors. Two types of shoes were classified with single sensor (SS) and double sensor (DS) type according to the number of infrared sensor. To evaluate the effectiveness, we compared required time and number of collisions during walking with walking assistive shoes and white cane on obstacle area. As the results, required time was increased than white cane while number of collisions was decreased when walking with developed walking assistive shoes. In addition, required time and number of collisions was more reduced when using walking assistive device than white cane. Therefore, we suggests that developed walking assistive shoes can a great help to provide safe walking condition and reducing time to adapt new types of walking assistive shoes.

Keyword : Infrared Sensor, Pressure Sensor, Vibration Motor, Visually Impaired Person, Walking Assistive Device

접 수 일 : 2017.03.13

심사완료일 : 2017.04.27

게재확정일 : 2017.05.10

* 양창민 : 전북대학교 헬스케어공학과 석사과정

didckdals10@gmail.com (주저자)

정지용 : 전북대학교 바이오메디컬공학부 연구교수

cholbun@hanmail.net (공동저자)

김정자 : 전북대학교 바이오메디컬공학부 교수

jungjakim@jbnu.ac.kr (교신저자)

* 이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부) 및 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2016R1A2B4015623, No. NRF-2016R1A6A3A11934555)

1. 서론

우리나라의 전체 장애인 중 10%는 시각장애인이며 약 25만 명에 이르며 점점 증가하는 추세이다 [1]. 일반적으로 시각장애인은 보행에 어려움을 겪고 있으며, 보행을 위한 보조도구를 사용한다. 현재 시각장애인이 가장 많이 사용하는 보행 보조도구는 흰 지팡이로, ‘흰 지팡이의 날’이 제정되어 있을 만큼 시각장애인을 상징하는 보행 보조도구이다. 다른 보행 보조도구에 비해 가격이 매우 저렴하고 보행로의 장애물들과 직접적인 접촉을 통해 정보를 제공하므로 장애물과의 거리나 장애물의 크기 등의 정보를 매우 직관적으로 얻을 수 있다는 장점이 있으나, 측정범위가 아래쪽에 한정되어있고, 지면의 매우 낮은 장애물은 감지하기 어렵고, 장애물을 직접 접촉해야만 감지할 수 있으므로 충돌에 관련되어 부상의 위험에 노출될 수 있다. 또한 보행 중 흰 지팡이를 사용하기 위해서는 한 손을 지속적으로 사용하여야하기 때문에 양손이 자유롭지 못한 단점도 있다[2-3]. 시각장애인의 보행을 보조하는 다른 방법으로는 안내견을 사용하는 방법이 있다. 시각장애인의 안내견은 전문적으로 훈련된 안내견을 통해 위험한 지역을 피하여 안정된 보행을 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 안내견을 훈련하는데 있어 매우 많은 비용과 긴 시간이 소요되기 때문에 훈련되어지는 안내견의 수는 많지 않다. 선진국에서도 안내견을 사용하는 시각장애인은 전체 시각장애인의 2%가 넘지 않는다고 한다. 또한 안내견 등 동물의 출입이 제한되는 공간에서는 함께 출입할 수 없다는 문제점을 가지고 있다[4-5].

오늘날 IT기술의 눈부신 발전으로 위의 문제들을 해결할 수 있는 첨단 보행 보조도구들이 많이 개발되어지고 있다[2-9]. 개발된 장비들은 RTA(Robotic Travel Aids) 형태와 ETA(Electronic Travel Aids) 형태로 나눌 수 있다. RTA 형태는 혼자 이동할 수 있으며, 주로 시각장애인의 전방에 위치하여 안전한 보행을 위해 스스로 장애물을 감지하여 길 안내를 하는 시각장애이용 보행보조 로봇이다. 로봇은 지면을 따라 바닥에 붙어 이동하기 때문에 사용자가 로봇의 무게를 부담하지 않아도 된다. 따라서 부품 추가에 대한 부담이 없고 고성능의 컴퓨터를 탑재할 수도 있다. 그러나 ETA 형태보다 이동성이 떨어진다는 단점이 있다. ETA 형태는 RTA 형태와 달리 스스로 이동하여 진행경로를 파악하고 안내하는 것이 아닌 사용자가 직접 사용하여 장애물을 파악해야 하는 특징이 있다. 일반적인 ETA 형태로는 흰

지팡이에 거리감지 센서를 장착한 형태를 생각할 수 있다. ETA 형태는 적외선이나 초음파, 레이저 등을 이용한 거리감지 센서 등이 사용자의 보행 중 주변 환경을 스캔하여 장애물과의 거리만을 측정하기 때문에 장애물의 정확한 크기 측정을 위해서는 다각도에서의 추가 측정이 필요하다[10].

현재까지 개발된 ETA 형태와 RTA 형태의 시각장애이용 보행 보조도구들은 고성능화로 인해 부피가 커지거나 기존의 시각장애인이 사용하던 보행보조도구를 개량하여 제작되었다. 따라서 가격이 높고, 건강한 성인의 관점에서는 보행보조도구의 사용자가 시각장애인이라는 선입견을 가질 수 있기 때문에 사용자는 타인의 시선에 대한 두려움이 발생하기 쉽다.[3,8,10]. 실제 연구 결과 또한 시각장애인은 보행보조도구의 외형으로 인한 타인의 시선에 대한 열등감과 고가격으로 인해 새로 개발되어지고 있는 보행보조 도구를 사용하는 것에 부담을 가지고 있다고 발표하였다[9,11]. 따라서 시각장애인의 보행보조 도구 제작에 있어서 생산 가격을 줄일 수 있도록 저렴한 부품을 사용하는 것과, 보조기구 사용 시에도 사용자가 장애임을 인식할 수 없도록 내장형 부품을 사용하는 것, 적은 수의 부품을 사용하는 것을 고려하는 것은 매우 중요하다[7].

이에 본 논문에서는 흰 지팡이를 대신하여 사용자 주변의 지면 장애물을 감지할 수 있는 ETA 형태의 시각장애이용 보행보조신발을 개발하였다. ETA 형태는 RTA 형태에 비해 사용자의 외형 변화를 적게 발생시킬 수 있고 저가로 제작할 수 있기 때문에 시각장애인의 접근성이 더 높을 것이라고 판단하고 선택하였다. 개발된 시각장애이용 보행보조도구는 시각장애인이 사용에 있어 어려움을 겪지 않고 타인의 시선에 대한 열등감을 느끼지 않을 수 있도록 일반적으로 착용하는 신발에 적용하였다. 시각장애인의 보행보조신발에 대한 연구는 현재까지 진행되지 않았기 때문에 본 논문에서는 보행에 영향을 주지 않으면서도 주변의 지면 장애물을 감지하여 시각장애인의 보행보조기기로써의 기능을 할 수 있는 보행보조신발과 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에선 흰 지팡이와 같이 사용자 전방의 지면 탐지 기능을 할 수 있으며 경제성을 높이기 위해 감피에 한 개의 적외선 센서를 전방을 향하도록 장착한 신발(Single sensor, SS)과, SS에 비해 필요한 모듈이 더 많고 전원의 소모가 더 크지만 보행의 안정성을 보완하고 장애물의 인식률을 높일 수 있도록 신발 감피에 두 개의 적외선 센서를 전방과 측방을 향하도록 장착한 신발(Double sensor, DS)을 제작하였다. 제작된 보행보조 신발은 주변의 지

면 장애물을 감지한 후 거리에 따른 진동을 발생하여 사용자에게 장애물과 사용자의 거리를 알릴 수 있도록 설계되었다. 제작된 신발의 유용성을 평가하기 위해 지면의 장애물 통과 실험을 통해 소요시간과 충돌횟수를 측정하여 흰 지팡이와 보행보조 효과를 비교 평가하였다.

2. 본론

2.1 하드웨어

본 논문에서 제작된 시각장애인용 보행보조 도구는 적외선 거리감지 센서, 압력 센서, 진동 모터, DAQ 보드를 사용하여 제작되었으며 모델명과 제조사는 표 1과 같다. 적외선 거리감지 센서는 감지거리가 20 ~ 150cm이며 감지거리에 따라 아날로그 전압을 선형적인 특성과 가깝게 출력하는 특징이 있다. 크기는 44.5 mm 18.9 mm 21.6 mm, 무게는 약 5 g 으로 작고 가볍다. 압력 센서는 감지범위가 0 ~ 25 lb이며 선형적인 출력 특성을 가지고 있다. 굽기가 0.127 mm 로 매우 얇고, 길이는 197 mm, 폭은 14 mm 이며, 압력은 센서 끝부분의 지름이 9.53 mm 인 원형에서 측정한다. 진동모터는 정격회전수가 약 9000 rpm 이며 회전저항은 약 38 Ω 이다. 두께는 3.4 mm 이고 지름 10 mm 의 원 모양이다. 센서와 컴퓨터간의 모든 데이터는 DAQ보드를 통해 컴퓨터로 송수신하였으며, 송수신된 데이터는 LabVIEW 2010(National Instrument Corp, USA)을 사용하여 제작된 프로그램으로 처리하였다. 사용된 모든 센서의 전원은 DAQ보드를 통해 컴퓨터의 USB단자에서 공급되었고, DAQ 보드는 그림 1과 같이 클립을 장착하여 허리의 뒷부분에 부착한 후 사용하였다.

SS 신발과 DS 신발의 외형은 그림 2의 (a), (b)

표 1. 모듈 사양

Table 1. Module specification

Classification	Manufacturer	Model name
Infrared distance sensor	SHARP, Japan	GP2Y0A02YK0F
Coin shape vibrating motor	SEED, China	30073R
Pressure sensor	TEKSCAN, USA	A201-25
DAQ board	National Instruments., USA	NI USB 6008

착하였다. DS 신발은 측면을 감지하는 적외선 센서를 추가하였기 때문에 측면의 장애물 감지 후 장애물과의 거리에 대한 정보를 사용자에게 전달하기 위한 진동모터를 한 개 더 추가하였다. 추가된 진동

와 같다. 적외선 센서는 전부 신발의 갑피에 장착되었으며, SS 신발은 사용자의 전방에 위치한 장애물을, DS 신발은 사용자의 전방과 측방에 위치한 장



그림 1. 클립이 부착된 DAQ 보드와 허리에 장착된 모습

Figure. 1. DAQ board attached clip and appearance of that attached waist

애물을 감지할 수 있도록 적외선 센서의 방향을 설정하였다. 또한 신발의 갑피에 장착된 적외선 센서는 보행 중 흔들릴 수 있기 때문에 지면과의 수평을 유지할 수 있도록 경첩을 사용하여 방향과 위치를 고정시켰다. SS 신발의 진동모터와 압력센서, 지그는 그림 2의 (c) 와 같이 신발의 인솔에 장착하였다. 압력 센서는 사용자의 뒤꿈치 압력을 통해 보행 주기를 감지할 수 있도록 인솔의 후측부에 부착하였다. 추가로 압력센서가 후측부와 지면의 접촉/비접촉을 더욱 정확하게 감지할 수 있도록 지그를 압력 센서의 감지부에 겹쳐지게 장착하여 후측부의 압력을 압력 센서의 감지부로 모을 수 있도록 하였다. 추가된 지그로 인한 발의 이물감이 발생할 수 있기 때문에 지그를 최대한 얇게 제작하고 인솔 내부로 삽입하여 이물감을 최소화 할 수 있도록 구성하였다. 진동모터는 사용자가 장애물과의 거리에 따른 진동을 잘 느낄 수 있도록 인솔의 전측부에 부

모터는 그림 2의 (d)와 같이 사용자가 장애물의 방향을 직관적으로 알 수 있도록 외측 복사뼈에 부착하였다. 후측부가 지면에 닿아있는 상황을 감지하기 위해 신발 내부 후측부의 압력을 감지할 수 있는

압력센서를 장착 후족부가 지면과 닿아 후족부에 압력이 발생할 때 발생한 압력이 압력센서로 정확하게 입력될 수 있도록 보조용 원판을 설계 후 추가로 압력 센서의 압력 감지부에 부착하였다. 보조용 원판은 그림 3의 (a), (b)와 같이 두 개가 한 쌍으로 구성되었다.

2.2 소프트웨어 구성

제작된 보행보조신발의 1단계, 2단계의 감지거리는 여러 번의 예비실험 후 평균적인 보폭으로 걸었을 때 장애물 감지에 가장 적합하다고 판단된 값인 60, 30 cm로 결정하였고, 압력 센서의 역치 값은 사용자가 정지하여 서 있을 때 입력되던 압력의 반으로 결정 하였다. SS 신발의 순서도는 그림 4 (a) 와 같다. 신발의 갑피에 정면을 향하도록 장착된 적외선 센서가 60 cm 이내의 장애물을 감지하면, 압력 센서에 입력된 압력이 역치 이상인지 확인한다. 장애물이 감지되고 압력센서가 역치 이상의 압력을 입력받고 있을 때 장애물과의 거리를 확인하여 30 cm 이내라면 강한 진동을, 30 cm 이상이라면 약한 진동을 발생시킨다. 진동모터가 일정 압력 이상에서만 작동하도록 제작한 이유는 그림 5 와 같은 보행 주기에서 발 끝 떼기(Toe-Off)가 발생하는 순간에 적외선 센서가 지면을 감지하면 장애물이 가깝게 있다고 인식하여 진동을 발생시키는 오작동을 제외 하기 위하여 장착하였다.

DS 신발의 순서도는 그림 4 (b) 와 같다. 그림 4 (b)의 순서도 중 전방을 감지하는 센서의 순서도는 그림 4 (a)와 같고 측방을 감지하는 적외선 센서와 외측 복사뼈에 부착된 진동모터가 추가되었다. 측방을 감지하는 적외선센서는 보행 주기에 영향을 받지 않으므로 모든 보행 주기에서 작동된다. 전방을 향한 적외선 센서는 인솔 전족부의 진동모터로, 측방을 향한 적외선 센서는 외측 복사뼈의 진동모터로, 각각의 진동모터와 연결되어 작동시킨다.

2.3 실험 방법

실험은 SS 신발과 DS 신발, 흰 지팡이(White cane, WC)를 사용하여 폭 3m, 길이 15m의 복도를 걷는 것으로 실시되었다. 15 m 길이의 복도를 절반인 7.5 m 씩으로 나누고, 각 구간은 작은 상자 구간(Small box area, SBA)과 큰 상자 구간(Big box area, BBA)으로 구성하였다. 작은 상자 구간은 가로, 세로, 높이가 각각 $17 \pm 3 \text{ cm} \times 15 \pm 3 \text{ cm} \times$

$20 \pm 5 \text{ cm}$ 규격의 상자들을 그림 6 과 같이 3, 4, 3, 4, 3개로 이루어진 5열로 배치하였다. 큰 상자 구간은 같이 큰 상자를 이용하여 벽을 구성하였고 우측, 중앙, 좌측, 중앙, 우측의 순서로 통과할 수 있도록 구성하였다. 큰 상자 구간에서 통과할 수 있는 통로의 폭은 80 cm 이내로 설정하였다. 큰 상자 구간과 작은 상자 구간 모두 열의 간격은 1.4 m로 하였다.

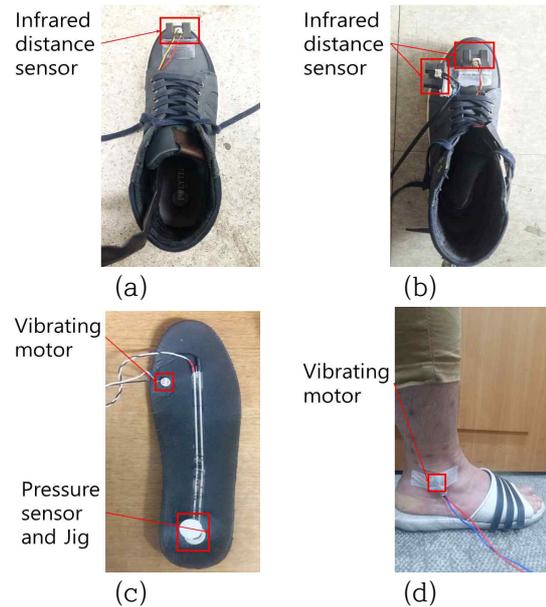


그림 2. 제작된 보행 보조 신발의 외형 (a) SS의 외형 (b) DS의 외형 (c) 인솔 (d) 외측 복사뼈에 부착된 진동 모터

Fig. 2. Appearance of the manufactured walking assistive device (a) Appearance of SS (b) Appearance of DS (c) Insole (d) Attached vibrating motor on lateral malleolus

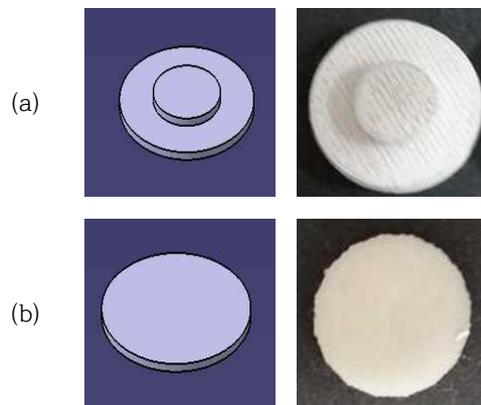


그림 3. 설계된 지그 (a) 상단 (b) 하단
Fig. 3. Designed jig (a) Top (b) Bottom

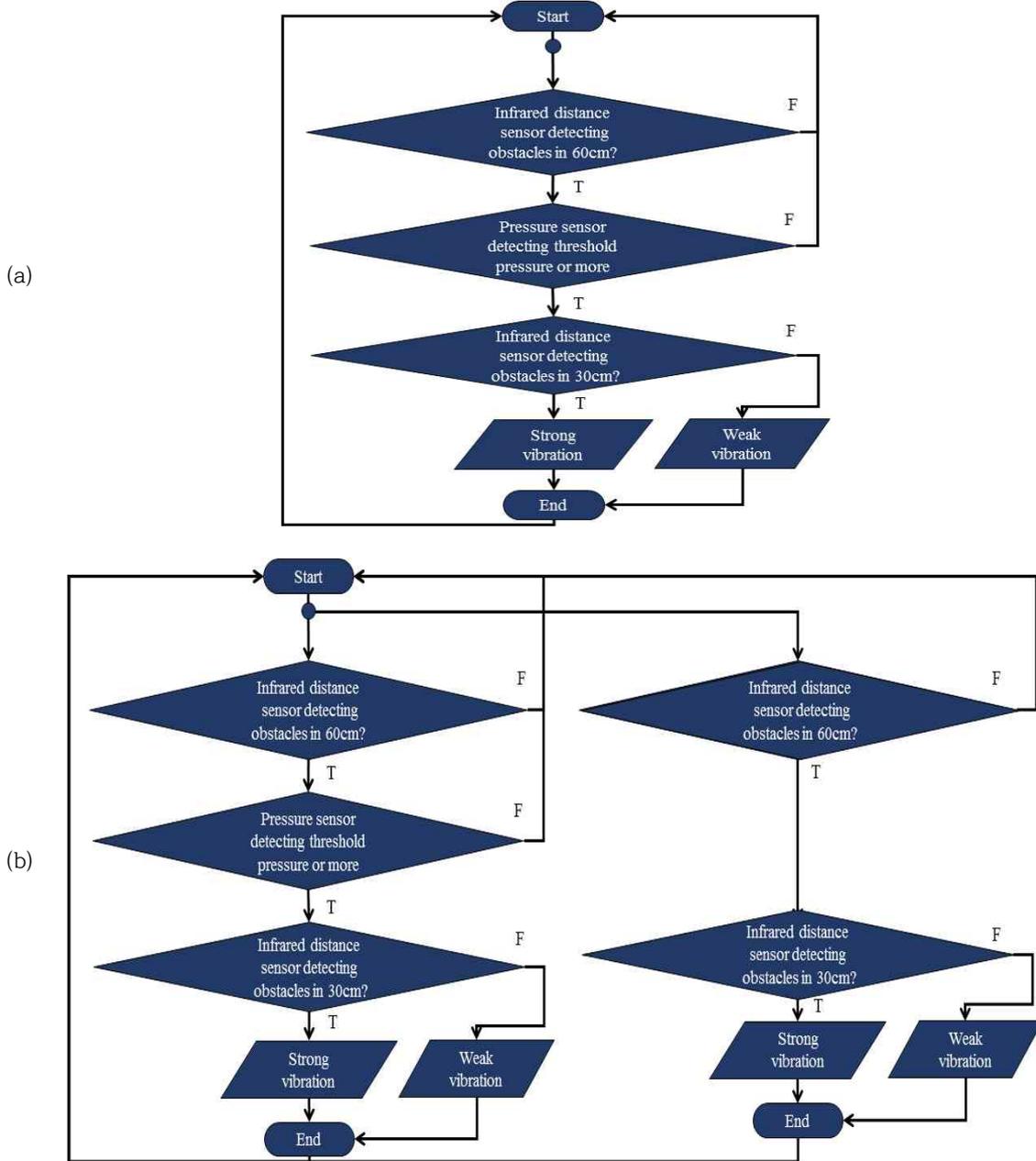


그림 4. 신발의 순서도 (a) SS의 순서도 (b) DS의 순서도
 Fig. 4. Flow chart of shoes (a) Flow chart of SS (b) Flow chart of DS

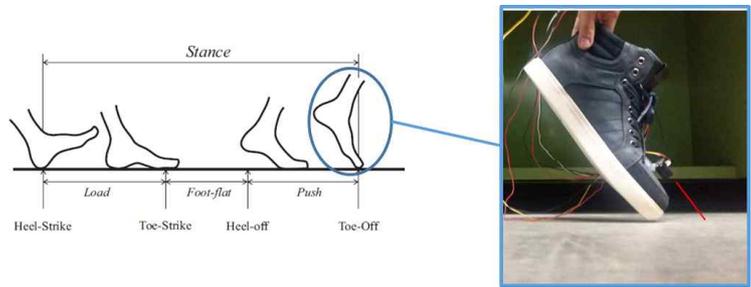


그림 5. 보행 주기
 Fig. 5. Gait cycle

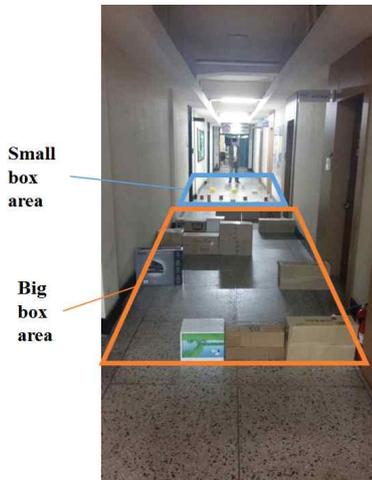


그림 6. 실험 환경
Fig. 6. Experimental environment

실험은 안전을 위해 실제 시각장애인 대신 비장애인 20대 남성 10명을 대상으로 진행하였다. 실제 시각장애인과 같이 시각을 제한하기 위해 안대를 착용하여 진행하였으며, 실험 전 모든 피험자들에게 실험에 대하여 설명하였다. 피험자의 특징은 표 2와 같다. 모든 피험자는 작은 상자 구간에서 시작하여 큰 상자 구간 방향으로 보행하였으며, 2회씩 실시하였다. 초기 실험 후 10분간의 적응기간을 거친 후 재 실험을 진행하였으며 실험 중 피험자와 장애물의 충돌 횟수 및 장애물 구간을 통과하는데 필요한 소요시간을 측정하였다.

표 2. 피험자
Table 2. Subjects

Subjects(n=10)	
Gender(male/female)	10/0
Weight(kg)	83.63 ±8.1
Height(cm)	173.42 ±7.2
Age	23.42 ±1.5

2.4 통계분석

본 논문에서는 SPSS 12.0를 사용하여 10명의 피험자로부터 측정된 각 도구별 및 각 구간별 소요시간, 충돌횟수 데이터의 각 첫 번째 실험과 두 번째 실험의 변화 유의성을 확인하기 위한 대응표본 t-검정, 각 도구간의(WC, SS, DS) 소요시간, 충돌횟수 변화 유의성 비교를 위한 One-Way Anova(Scheffe 사후분석)를 실시하였고, 유의수준은 95%로 설정하였다.

3. 결과

본 논문에서 실험한 소요 시간의 결과는 그림 7과 표 3에 기술하였다. SBA, BBA 구간에서 WC, SS, DS를 사용하여 보행하였을 때 나타난 2번의 실험결과를 합하여 평균을 낸 결과, SBA에서는 WC가 111.8로 가장 낮았고, SS가 144.23, DS가 146.3 순서로 낮은 결과를 보였고, BBA에서도 WC가 149.15, SS가 195.22, DS가 218.7의 순서로 낮은 결과를 보였다. SBA에서 SS와 DS는 가장 낮은 소요시간을 보인 WC에 비해 각각 29%, 30% 높은 결과를 보였고, BBA에서는 SS와 DS가 가장 낮은 소요시간을 보인 WC에 비해 각각 31%, 47% 높았다. 통계적 유의성을 확인하기 위해 One-Way Anova(Scheffe 사후분석)를 시행한 결과 SBA에서는 SS가 WC에 비해 유의하게 증가하고, BBA에서는 SS와 DS 모두 WC에 비해 유의하게 증가됨을 확인할 수 있었다.

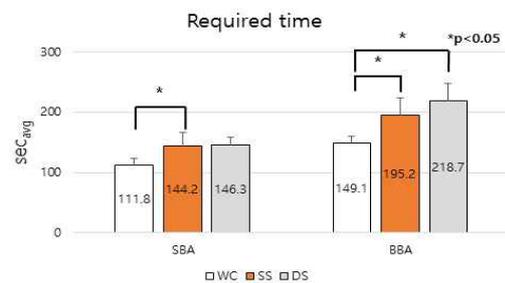


그림 7. 소요 시간

SBA: 작은 상자 구간, BBA: 큰 상자 구간, WC: 흰 지팡이, SS: Single sensor type, DS: Double sensor type

Fig. 7. Time required

SBA: Small box area, BBA: Big box area, WC: White cane, SS: Single sensor type, DS: Double sensor type

실험 중 기록된 충돌 횟수는 그림 8과 표 3에 기술하였다. SBA, BBA 구간에서 WC, SS, DS를 사용하여 보행하였을 때 나타난 2번의 실험결과를 합하여 평균을 낸 결과 SBA에서 WC가 3.3으로 가장 높았고 DS가 1.8, SS가 1.7 순서로 높은 결과를 보였고, BBA에서 또한 WC가 1.8로 가장 높았고 DS가 1.7, SS가 1.6 순서로 높은 결과를 보였다. SBA에서 WC와 DS는 가장 낮은 충돌 횟수를 보인 SS에 비해 각각 94%, 6% 높은 결과를 보였고, BBA에서 WC와 DS는 가장 낮은 충돌 횟수를 보인 SS에 비해 각각 13%, 6% 높은 결과를 보였다. 통계적

유의성을 확인하기 위해 One-Way Anova(Scheffe 사후분석)를 시행한 결과 SBA에서 WC가 SS와 DS보다 유의하게 증가함을 확인할 수 있었고, BBA에서는 통계적 유의성이 발견되지 않았다.

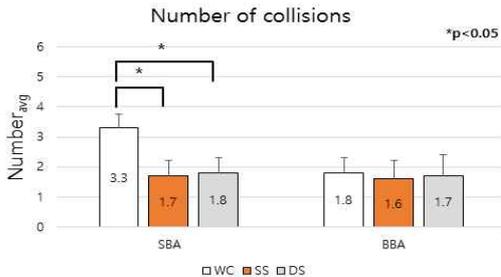


그림 8. 충돌 횟수
 SBA: 작은 상자 구간, BBA: 큰 상자 구간,
 WC: 흰 지팡이, SS: Single sensor type, DS: Double sensor type
 Fig. 8. Number of collisions
 SBA: Small box area, BBA: Big box area,
 WC: White cane, SS: Single sensor type, DS: Double sensor type

표 3에 표시된 데이터와 같이 초기 실험과 각 피험자에게 10분 동안 적응을 시킨 후 시행한 실험의 소요 시간 결과를 비교하였을 때 SBA에서의 초기 실험은 WC가 53.3초, SS는 89.6초, DS는 72.6초를 기록하였다. 10분 후 실험에서는 WC가 58.6초, SS는 54.7초, DS는 73.7초를 기록하였다. SBA에서의 소요시간은 초기 실험에 비해 10분 후 실험에서 WC와 DS는 적게(각각 9%, 2%) 증가한 반면 SS는 크게(64%) 감소하였다. BBA에서 초기 실험은 WC, SS, DS가 각각 74.0초, 102.4초, 135.3초를 기록하였으며, 10분 후 실험에서는 각각 75.2초, 92.8초, 83.4초를 기록하였다. BBA에서의 소요시간은 초기 실험에 비해 10분 후 실험에서 WC는 조금(2%) 증가하였고, SS는 10%, DS는 38%가 감소하였다. 초기 실험은 큰 상자 구간과 작은 상자 구간으로 구분된 복도에서 실행되었으며, 각 보행보조 도구를 사용하여 2번씩 실행되었다. 험과 10분 후 실험의 평균 소요시간은 작은 상자 구간에서 DS(73.15), SS(72.15), WC(55.95) 순서로 높았고, 큰 상자 구간에서도 DS(109.35), SS(97.6), WC(74.6)의 순서로 높았다. 또한 표 2와 같이 각 실험의 초기 실험과 10분 후 실험을 대응표본 T검정을 통해 유의도를 확인하였을 때, SS를 SBA에서 실험 한 데이터와 DS를 BBA에서 실험한 데이터가 첫 번째 실험에 비해 두 번째 실험에서 유의하게 감소함을 확인할 수 있었다. 초기 실험과 초기 실험 10분 후 시행한 재 실험

의 충돌 횟수 결과를 비교하였을 때 SBA에서 첫 번째 실험은 WC가 1.4회, SS가 1.5회, DS가 1.1회를 기록하였다. 두 번째 실험에서는 WC는 1.9회, SS는 0.2회, DS는 0.7회를 기록하였다. SBA에서의 충돌횟수는 첫 번째 실험에 비해 두 번째 실험에서 WC는 35%가 증가 하였고, SS는 87%, DS는 36% 감소하였다. BBA에서 첫 번째 실험은 WC, SS, DS가 각각 0.9회, 1.1회, 1.0회를 기록하였으며, 두 번째 실험에서는 각각 0.9회, 0.5회, 0.7회를 기록하였다. BBA에서의 충돌횟수는 첫 번째 실험에 비해 두 번째 실험에서 WC는 일정하였고, SS와 DS는 각각 55%, 30%가 감소하였다. 첫 번째 실험과 두 번째 실험의 평균 충돌횟수는 SBA에서 WC(1.65), DS(0.9), SS(0.85) 순서로 높았고, BBA에서도 마찬가지로 WC(0.9), DS(0.85), SS(0.8) 순서로 높은 것을 확인하였다. 또한 표 2와 같이 각 실험의 첫 번째 실험과 두 번째 실험을 대응표본 T검정을 통해 유의도를 확인하였을 때 SS를 SBA와 BBA에서 실험 한 데이터가 처음 실험에 비해 10분 후 실험에서 유의하게 감소함을 확인할 수 있었다.

4. 논의

본 논문에서는 시각장애인의 일상적인 보행을 보조할 수 있는 새로운 ETA 형태의 시각장애인용 보행 보조신발을 제작하였다. 제작된 보행 보조신발은 보행에 제약을 주지 않기 위해 최소한의 부품과 작은 부품만을 사용하였기 때문에, 추후 신발 외부에 장착된 적외선 센서를 신발 내부로 삽입하여 일반 신발과의 외형차이를 제거할 수 있다. 또한 보행 중 흰 지팡이에 비해 양 손을 자유롭게 사용할 수 있다. 제작된 보행 보조신발을 보행 보조도구로써 실용성을 평가하기 위해 시각장애인들이 일반적으로 사용하는 흰 지팡이와 비교하여 보행실험을 실시하였다. 실험 결과 흰 지팡이가 제작된 보행보조 도구들에 비해 모든 구간에서 통과에 소요된 시간이 짧고 충돌이 많은 경향을 보였다. 또한 제작된 보행보조 신발들은 첫 번째 실험결과와 두 번째 실험결과를 비교하였을 때 흰 지팡이에 비해 소요시간과 충돌 횟수 모두 더 많이 감소한 결과를 보였다. 특히 각 보행보조 신발의 첫 번째 실험과 두 번째 실험의 소요시간 데이터 간에 대응표본 T검정을 실시하였는데, SS 신발의 작은 상자 구간 소요시간과 DS 신발의 큰 상자 구간 소요시간이 유의하게 감소하였고, SS 신발의 모든 상자 구간 충돌횟수가 유의하게 감소하였다.

표 3. 소요 시간과 충돌 횟수

Table 3. Time required and number of collisions

Group name		First test	Second test (after 10 minute)	p
Time required				
White cane	Small box area	53.25 ±14.40	58.55 ±21.42	.396
	Big box area	74.00 ±18.86	75.15 ±19.11	.823
Single sensor	Small box area	94.60 ±29.89	56.80 ±13.53	.000*
	Big box area	109.80 ±30.31	95.90 ±26.16	.182
Double sensor	Small box area	72.60 ±10.30	73.70 ±20.76	.881
	Big box area	135.30 ±47.68	83.40 ±22.77	.008*
Number of collisions				
White cane	Small box area	1.4 ±0.70	1.9 ±1.03	.096
	Big box area	0.9 ±0.74	0.9 ±0.63	1.000
Single sensor	Small box area	1.5 ±0.73	0.2 ±0.67	.001*
	Big box area	1.1 ±0.87	0.5 ±0.53	.024*
Double sensor	Small box area	1.1 ±0.57	0.7 ±0.95	.309
	Big box area	1 ±0.67	0.7 ±1.06	.394

*p<0.05

이는 피험자들이 제작된 보행보조 신발을 사용할 때 장애물과의 거리를 직관적으로 이해할 수 있는 흰 지팡이에 비해 익숙하지 않았으나, 추후 적응을 거치고 나면 더 적은 소요시간과 충돌횟수를 기록한 것으로 보인다. 또한 SS 신발이 작은 상자 공간에서, DS 신발이 큰 상자공간에서 적응 후 초기 실험에 비해 더 좋은 결과를 보인 이유는 다음과 같을 것이라고 판단된다. SS 신발은 장애물의 방향을 감지하여 장애물이 없는 보행로를 확보하기 위해 정지한 상태에서 후족부를 지면과 접촉시킨 후 전족부를 회전한다. 이 때, 작은 상자구간에서는 적은 회전 후에도 통과가 가능한 통로를 찾을 수 있었지만 큰 상자구간에서는 발목의 평상시 가용각도 이상으로 회전을 해야 진행 가능한 통로를 찾을 수 있는 경우가 많았기 때문에 측방까지 감지를 해주는 DS 신발이 유리했다고 보인다. 이와 같은 결과들로 인해 본 논문에서 제작된 보행보조 신발은 사용자가 적응함에 따라 흰 지팡이만큼의 보행보조 효과를 낼 수 있을 것이며, 모듈을 적게 사용하여 추후 시각적 차별을 없앨 수 있을 것이고 사용자의 만족감을 높일 수 있을 것이다.

제작된 보행보조 신발은 DS 신발이 SS 신발보다 충돌과 소요시간이 더 적을 것이라고 기대하였으나, 실험결과 DS 신발의 소요시간과 충돌횟수가 모든 구간에서 SS 신발보다 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 기대하였던 결과와 실제 실험결과가 다른 이유는 피험자의 의견을 종합하여 다음과 같은 2가지 이유라고 판단된다. 첫 번째, DS 신발은 사용자가

장애물의 방향에 대한 정보를 직관적으로 느낄 수 있도록 전방의 장애물 감지는 인술 전족부의 진동 모터에서, 측방의 장애물 감지는 외측 복사뼈의 진동모터에서 진동을 발생시켰다. 그러나 사용자가 장애물의 방향에 대한 정보를 얻을 때 DS 신발은 SS 신발에 비해 전달되는 정보의 양이 많아 적응이 어려웠다. 따라서 훈련이 더 필요하다. 두 번째, DS 신발을 사용하여 측방의 장애물에 대한 정보를 얻는 것 보다 SS 신발의 방향을 회전시켜 어느 방향에 장애물이 존재하는지에 대한 판단이 더 쉽고 빨랐다. 이와 같은 실험결과로 인해 시각장애인을 대상으로 보행 보조도구를 제작할 때 매우 간단한 형태로도 시각장애인에게 흰 지팡이와 같은 수준의 성능을 가진 보행보조 도구를 제공할 수 있으며, 장애물을 감지하여 대상과의 거리를 사용자에게 전달할 뿐 만 아니라 사용자가 장애물을 피하여 진행할 수 있는 방향을 장비 스스로 판단하여 알려주는 시스템이 필요할 것으로 판단된다. SS 신발이 DS 신발에 비하여 사용되는 부품이 더 적었고, 알고리즘이 비교적 간단하기 때문에 전력소모가 더 적고 더 저렴하게 제작이 가능하며, 추후 신발 외부의 센서들을 신발 내부에 장착하여 일반적인 신발과의 외형적 차이를 없애기 쉽기 때문에 추후 상용화에 더 유리하다고 판단된다.

기존의 연구 결과에 따르면 실제 시각장애인들은 일반인에 비해 거리유추능력이 부족하므로 본 논문에서 연구한 시각장애인용 보행보조신발의 사용을 한다면 초기에 더 많은 훈련과 특별한 훈련이 필요

할 것이다. 하지만 적응 후에는 시각장애인이 일반인에 비해 더 안전하게 사용할 수 있을 것이라고 판단된다[12]. 그러나 기존의 연구들과는 센서의 감지 방향 전환의 자율성, 센서의 위치, 센서의 감지각, 실험 환경 등이 달랐기 때문에, 이에 따른 추가 연구가 필요하다. 실험 후 피험자 중 대부분이 직관적으로 장애물에 대한 정보를 얻는 흰 지팡이에 비해 센서로 장애물을 감지하는 보행보조신발은 심리적인 안정감이 부족하다는 평가를 하였고, 이는 기존의 연구결과와 일치한다. 이와 같은 안정감 문제를 해결하기 위한 추가 연구가 필요하다고 판단된다[10,14].

본 논문의 실험은 안전을 위해 피험자들이 실제 시각장애인이 아닌 일반인에게 안대를 착용시킨 후 진행되었기 때문에 실제 시각장애인과 감각 및 보행 형태의 차이가 있는 점[15], 실험을 진행한 환경이 바닥의 높낮이가 없는 복도인 점, 모든 장애물이 직육면체인 점 등 몇 가지 한계점이 있다. 그러나 일반적 보행보조도구인 흰 지팡이와의 비교실험에서 나타난 결과와 같이 본 논문에서 개발한 보행보조신발이 추후 시각장애인의 보행보조 연구에 도움이 될 수 있을 것으로 판단한다.

5. 결론

본 논문에서는 사용자 주변의 장애물을 감지할 수 있는 ETA 형태의 시각장애인용 보행보조신발을 개발하였다. 기존에 개발된 시각장애인용 보행보조도구들은 시각장애인들이 타인의 시선에 의한 열등감을 가질 수 있고 가격이 비싸기 때문에 널리 사용되지 못하였다. 그러나 본 논문에서 제작한 보행보조신발은 이와 같은 단점들을 해결할 수 있도록 크기가 작고, 최소한의 모듈만을 사용하였으며 간단한 알고리즘을 사용하였기 때문에, 추후 연구에서 적외선 센서 등 신발 외부에 노출된 모듈들을 신발 내부로 이동시켜 일반 신발과의 외형 차이를 없앨 수 있고 전류 소모가 적으며 저렴하게 제작하여 경제성을 높일 수 있다. 제작된 보행보조신발은 다른 시각장애인용 보행보조도구에 비해 모든 사람들이 일반적으로 신발을 사용하기 때문에 건강한 성인의 시각적 차별을 제거할 수 있고, 이에 따른 타인의 시선에 대한 열등감을 줄일 수 있다. 또한 가장 단순한 형태로 제작하였기 때문에 사용된 모듈의 수가 적고 저렴하게 제작할 수 있기 때문에 시각장애인들이 사용하는 것에 대한 경제적 부담을 줄일 수 있다. 특히 모듈의 수가 더 적게 사용된 SS 신

발이 DS 신발과 흰 지팡이에 비해 더 좋은 장애물 탐지 결과를 나타내었는데, 이는 매우 간단한 장치 구성만으로도 가장 널리 사용되는 흰 지팡이보다 시각장애인의 보행에 더 큰 도움이 될 수 있다는 의의가 있다. 또한 제작된 보행 보조신발은 신발에 장착된 센서가 장애물의 유무를 감지하기 때문에 시각장애인이 직접 접촉하여 장애물의 유무를 판단해야 하는 흰 지팡이에 비해 보행 중 양 손을 더 자유롭게 사용할 수 있다. 향후 실제 시각장애인을 대상으로 실험하여 실생활 적용 가능성에 대한 연구와 본 논문의 실험 한계점을 해결하기 위한 연구를 수행하고자 한다.

REFERENCES

- [1] Ji-Young Jung and Mee-Ae Lee, "Current Status of Digital Braille Music and Policy Proposal", *Journal of digital convergence*, vol. 13, no. 8, pp. 51-57, 2015.
- [2] Shurug Al-Khalifa and Muna Al-Razgan, "Ebsar: Indoor guidance for the visually impaired", *Computers and Electrical Engineering*, vol. 54, pp. 26-39, 2016.
- [3] C. G. Kim, M. N. Choi and B. S. Song, "Development of a Voice Compass Device to Guide the Person who are Blind", *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 7-11, 2007.
- [4] D. H. Jeon, J. U. Jeon, H. H. Beak and M. K. Moon, "Situation-awareness White Cane Using a Mobile Device", *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 19, no. 11, pp. 167-173, 2014.
- [5] S. M. Han, "Development of Tactile Display for the Blind in Japan", *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 63-70, 2010.
- [6] Alexander Fiannaca, Ilias Apostolopoulos, and Eelke Folmer E, "Headlock: A wearable navigation aid that helps blind cane users traverse large open spaces", *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, NY, USA, pp. 19-26, October, 2014.
- [7] Jong-Hwa Lee, "A study on the determinants that affect life satisfaction of the disabled", *Journal of*

digital convergence, vol. 13, no. 1, pp. 503-514, 2015.

[8] Taehee Kim, Cheulwoo Ro and Jangwon Yoon, "Development of smart stick using motion sensing and GPS elderly users' safety", Journal of the Korea Convergence Society, vol. 7, no. 4, pp. 45-50, 2016.

[9] J. H. Lee, E. S. Lee and B. S. Shin, "A System with Efficient Managing and Monitoring for Guidance Device", KIPS Transactions on Software and Data Engineering, vol. 5, no. 4, pp. 187-194, 2016.

[10] I. P. Oh, A. R. Baek, J. A. Kwon, H. J. Park, S. O. Sohn and H. J. Choi, "A Study on Improvement of Assistive Device for Low Vision: Focused on the Use of Smart Assistive Device and Mobile Application", PROCEEDINGS OF HCI KOREA 2016, pp. 198-205, Jeongsun-gun, South Korea, 2016.

[11] Woo-Ho Kim, Bo-Jun Seo and Jae-Moon Lee, "A study on the parents' recognition of school enterise convergence by type of disability", Journal of the Korea Convergence Society, vol. 6, no. 4, pp. 89-97, 2015.

[12] Cheng-Lung Lee, Chih-Yung Chen, Peng-Cheng Sung and Shih-Yi Lu, "Assessment of a simple obstacle detection device for the visually impaired", Applied Ergonomics, vol. 45, no. 4, pp. 817-824, 2014.

[11] G. M. Rhee, J. H. Lee and D. O. Kim, "Case Study on Service Delivery from Rental, Modification and Customized the Applications of Assistive Devices for People with Disabilities", Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology, vol. 5, no. 1, pp. 125-132, 2011.

[14] C. G. Kim and J. M. Seo, "An Design and Implementation of Navigation System for Visually Impaired Persons Based on Smart Mobile Devices", The Korea Contents Association, vol. 15, no. 1, pp. 24-30, 2015.

[15] Jae-Hoon Yi, "Kinetic analysis of the lower limb in visual handicap children", The Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 12, no. 9, pp. 3952-3958, 2011.

양 창 민(Chang-Min Yang)



2017년 - 현재 전북대학교 헬스케어공학과 석사과정
 2016년 2월 전북대학교 바이오메디컬공학부 졸업(학사)

Interest: Wearable devices for visually impaired, Gait analysis, Rehabilitation

정 지 용(Ji-Yong Jung)



2016 - 현재 전북대학교 바이오메디컬공학부 연구교수
 2016년 8월 전북대학교 헬스케어공학과 (공학박사)
 2012년 2월 전북대학교 헬스케어공학과 (공학석사)

Interest: Biomedical engineering, Biomechanics, Rehabilitation engineering, Postural balance

김 정 자(Jung-Ja Kim)



2006년 9월~현재 전북대학교 바이오메디컬공학부 교수
 2016년 9월~현재 교육부 여성공학인력양성사업 전북대학교 사업 단장
 2002년 3월~2006년 8월 전남대학교 BIT 사업단 연구교수
 2002년 2월 전남대학교 전산학과 (이학박사)
 1988년 2월 전남대학교 전산학과 (이학석사)

Interest: Bioinformatics, Data mining, Biomechanics, Rehabilitation