

전동 보행보조기의 편의성 향상을 위한 제어기 설계

Design of the Control Algorithm for Improvement of the Convenience the Active-type Walking Aid

이동광*, 공정식, 고민수, 강성재, 이석민, 이용혁

D. K. Lee, J. S. Kong, M. S. Goh, S. M. Lee, S. J. Kang and E. H. Lee

요 약

본 논문은 전동 보행보조기의 편의성 향상을 위한 최적의 제어 이득을 찾고 제어 알고리즘을 설계하였다. 최근 노인의 인구가 의료 기술의 발달로 급속히 증가되고 있으며, 다양한 이동형 보행보조기구는 삶의 질을 개선하기 위해 개발되고 있다. 이러한 이동형 제품 중 수동형 보행보조기는 노인의 보행의 힘을 도와주는 전동모터를 가지고 있지 않아 노인들이 충분한 근력이 없기 때문에 경사로 및 문턱 등 고르지 않는 지형에서 이동하는데 제안사항이 있다. 이러한 상황을 극복하기 위해 전동타입의 보행보조기를 개발하였다. 전동형 보행보조기는 수동형과 다르게 사용자가 조작을 해야 모터가 구동되는 구조이다. 이러한 구조는 사용자가 조작을 잘못 하였을 경우 상당한 불편함을 사용자에게 준다. 이러한 전동형 보행보조기를 수동형 보행보조기와 비교하여 조작의 편의성을 판단하고 기준을 만들어 사용자의 편의성에 대하여 제어 값을 변경 하면서 사용자 편의성을 개선하였다. 본 논문에서는 보행의지를 인식하고 편의성의 성능을 측정 할 수 있는 방법인 햅틱 센서를 소개하며 편의를 개선하는 제어 알고리즘을 제안한다. 또한 편의성의 평가는 COV(Center of Vehicle)와 사용자의 COP(Center of Position)과의 차이의 변화를 통해 상대적인 편의성을 평가하였다. 전동 타입 보행보조기와 새로운 측정방법을 도입하여 모든 과정을 실험을 통하여 확인 하였다.

ABSTRACT

This paper aims to find the optimal control gain for enhancing the convenience of electric walking frames and design a control algorithm. With the recent advances in medical technology, there has been a rapid increase in the aging population and a variety of mobile walking frames have been developed for improvement of the quality of life. However, the manual walking frames of such mobile aids don't have any electric motor which helps facilitate elderly users' walking and thus are not efficient enough for the old people of weak strength to use especially when moving on uneven surfaces such as slopes or thresholds. The types of electric walking frames have been developed to overcome such inefficiency. Electric walking frames require users' control operations for motor driving unlike manual frames. Therefore, when they are not properly handled, it causes considerable inconvenience to their users. The present study compared the electric walking frames with manual ones in terms of operational

접 수 일 : 2011.11.14

심사완료일 : 2011.12.22

게재확정일 : 2011.12.26

* 이동광 : 한국산업기술대학교 전자공학과

ldk@kpu.ac.kr (주저자)

공정식 : 인덕대학 기계설계공학과 교수

jskong@mail.induk.ac.kr (공동저자)

고민수 : 한국산업기술대학교 전자공학과

ahglee@kpu.ac.kr (공동저자)

강성재 : 재활공학연구소 책임연구원

kangsj@korec.re.kr (공동저자)

이석민 : 재활공학연구소 연구위원

slee@Kmedi.or.kr (공동저자)

이용혁 : 한국산업기술대학교 전자공학과 교수

ehlee@kpu.ac.kr (공동저자)

※ 본 논문은 일부 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 NIPA-2011-C6150-1102-0001)

※ 본 논문은 일부 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [10035201, 노약자/장애인을 위한 근력보조 시스템 개발]

convenience and attempted to improve the user convenience of walking frames varying the control value for user convenience based on certain standards. This paper presented a haptic sensor designed to recognize the will to walk and measure the degree of convenience and proposed a control algorithm for improvement of convenience. For user convenience, this paper evaluated the relative convenience of walking frames in view of changing differences between the center of vehicle (COV) and the center of position (COP). With the employment of an electric walking frame and a new measuring method, all the processes were experimentally tested and validated.

Keyword : Walking Aid, Convenience Estimation, Smart Handle bar, Walking Will Force

1. 서론

최근 고령자 인구가 BT산업의 발전으로 급격하게 증가하고 있다. 이에 고령자 인구는 2010년에 10.9%에서 2018년에 14.3%인 고령사회로, 2026년에는 20.8%로 초고령 사회로 진입될 전망이다. 이에 따라 실버산업 및 고령자를 위한 다양한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이 중 보행보조기는 하지 근력이 약한 고령자들이 사회 활동을 도울 수 있는 기기이고 사용자 만족도가 높은 편이다. Samuelsson 과 Wressle[1] 연구를 살펴보면 보행보조기 사용자들에 대한 만족도 조사에서 재활 치료 이후 보행보조기를 사용하는 것이 매우 유용하고 효과가 있는 것으로 보고되고 있으며 이에 보행보조기에 대한 사회적 요구가 지속되고 있다.

특히 고령자의 근력을 고려한 전동 보행보조기에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며, 대표적인 예는 일본 히다치에서 개발된 Power Assisted Walking Support System[2], 아일랜드에서 개발된 PAM-AID[3], 미국 Carnegie Mellon 대학의 Robotic Walker[4], MIT에서 개발한 PAMM[5] 등이 있다.

보행보조기에 대한 연구는 먼저 사용자의 보행 의지를 정확하게 파악하기 위한 센서 모듈 개발 및 사용자의 보행 의지력 측정을 위한 연구가 S. Dobowsky[5], Glenn Wasson[6] 등에 의해 진행되었다. 이와 더불어 고령자의 기억력 및 운동성 감퇴 등을 고려하여 전동 보행보조기에 이동형 로봇 차량 제어 기술을 접목시킨 Map Building 및 Localization[4], 장애물 회피[3, 7, 8]등의 연구가 진행되었다. 또한 장애물 회피 및 고령자의 차량 제어 시 안정적으로 차량을 구동할 수 있도록 구현된 차량 제어 알고리즘에 대한 차량 제어를 수행할 수 있는 제어 알고리즘에 대한 연구[9-12]가 수행되었다. 그리고 이러한 차량 제어와 관련하여 사용자의

보행 안정성과 더불어 차량 조작성능을 향상시키기 위한 다양한 연구[13]가 활발하게 진행되고 있다.

차량 제어 및 이동성에 대한 연구에 있어 기존의 연구는 차량의 이동과 관련하여 궤적을 추종하는 성능, 장애물 회피 성능 등의 차량 조작성에 국한하여 차량 성능을 평가하였다. 이렇게 차량의 제어 성능을 조작성에 한정하여 평가할 경우 전동 보행보조기 사용자는 차량의 급격한 움직임이나 급격한 가감속등으로 인해 불편감을 초래할 수 있다. 특히 보행보조기 사용자는 대부분 고령자임을 감안할 경우 차량의 이동 시 편의성에 대한 고려가 더욱 필요하다 할 수 있겠다.

이에 본 논문에서는 보행보조기를 사용하는 사용자의 보행의지력을 파악할 수 있도록 스마트 핸들바를 설계하고, 사용자의 보행의지력에 상응하여 차량의 이동성 및 사용자 편의성이 향상될 수 있도록 차량 제어를 구현하였다. 또한 사용자가 보행보조기 사용 시 차량의 편의성을 평가할 수 있는 방안을 마련하고 이러한 평가 방법에 맞춰 사용자의 전동 보행보조기 사용 시 최적의 편의성을 가질 수 있는 제어기 이득값을 취득하였다. 본 논문의 2장에서는 본 논문에 적용된 전동 보행보조기 및 보행의지력 파악을 위한 스마트 핸들바에 대해 설명하며, 3장에서는 차량의 안정성 및 차량 제어를 고려한 제어 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 실제 실험을 통해 제안된 제어 알고리즘의 성능 검증 및 최적의 제어 이득값을 도출하며 이를 토대로 5장에서는 결론 및 알고리즘의 향후 개선 방향에 대해 논의하도록 한다.

2. 본론

2.1 전동보행보조기

하지 근력 저하 및 이동성의 불편함을 느끼게 되는 고령자의 이동성을 확보할 수 있도록 전동 보행

보조기를 그림 1과 같이 구현하였다. 그림 1에서의 전동 보행보조기는 고령자가 이동 시 지지 및 이동 성능을 확보할 수 있도록 팔꿈치로 차량에 체중을 지지 할 수 있도록 하였다. 또한 일반적인 수동 보행보조기와 달리 사용자의 보행 의지에 맞춰 모터가 제어되고 차량이 사용자의 보행 의지에 맞춰 이동 될 수 있도록 차량 지지대 전면에 사용자 의지 감지가 가능하도록 고안된 스마트 핸들바가 내장된 손잡이를 삽입하였다. 그리고 경량형의 차량을 개발 할 수 있도록 구동기로 인휠 모터를 적용하였다.

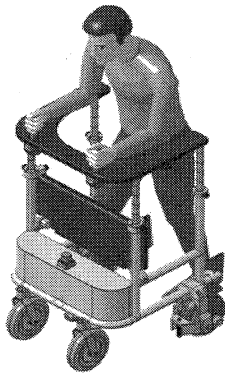


그림 1. 전동 보행보조기 시스템

그림 1에서 상부 지지면을 통해 보행 의지력을 지지력과 분리 한 후, 보행 의지력을 측정할 수 있도록 스마트 핸들바[13]를 상부 손잡이에 장착하였다. 스마트 핸들바를 장착 함으로써 사용자는 수동 보행보조기와 같이 본인이 전동 휠체어처럼 조이스틱이나 기타 다른 조작장치 없이 수동휠체어와 같은 느낌으로 차량을 제어할 있도록 하였다. 즉, 기존의 조작장치와는 달리 사용자가 수동 보행보조기를 사용하는 방식과 같이 스마트 핸들바를 잡고 임의의 조작 없이 이동할 경우 사용자의 보행 의지력을 해석하였다. 이에 따라 차량의 각 축 모터를 사용자의 의지에 따라 제어하게 함으로써 사용자가 조작한다는 의식 없이 차량이 제어될 수 있도록 조작장치를 구성하였다. 그림 2는 스마트 핸들바의 3D 모델 및 실제 하드웨어를 나타낸다. 그림 2에서 보행보조기에서 스마트 핸들바는 크게 두 개의 센서로 이루어져 있다. 하나는 사용자가 보행보조기를 사용하는지 여부를 파악하고 스마트 핸들바를 잡지 않았을 경우에 차량의 움직임을 제한할 수 있도록 정전용량 센서를 부착하였다. 또한 다른 하나는 사용자의 보행 의지에 사용자의 전, 후진 및 회전 여부 및 정도를 파악할 수 있도록 FSR(Force Sensing Resistor)를 적용하였다.

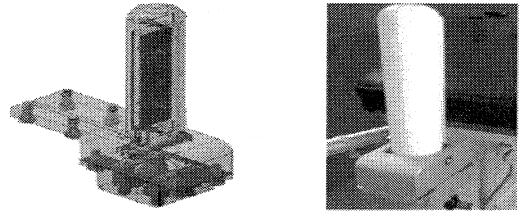


그림 2. 스마트 핸들바의 3D 모델 및 실제 하드웨어

FSR 센서의 경우 앞뒤로 두 개의 센서가 부착되어 있으며 기구부적으로 적은 힘에 대해서 지렛대 효과가 날 수 있도록 받침 축을 설계하였다. 이에 사용자가 전진하려고 할 때 스마트 핸들바는 전방으로 힘을 받게 되며 이에 따라 뒤쪽 센서가 눌리게 된다. 이와 반대로 후진하려는 의지를 표현할 때는 앞쪽 센서가 눌리게 된다. 이를 통해 보행보조기는 사용자의 보행의지력 방향을 측정할 수 있고 힘 센서의 눌린 정도를 파악하여 사용자의 전진 속도를 예측할 수 있게 된다. 또한 사용자가 회전하고자 할 경우 스마트 핸들바의 왼쪽 방향과 오른쪽 방향이 서로 반대가 되면서 사용자의 회전의지 정도를 측정할 수 있다. 이러한 스마트 핸들바에 적용되는 의지력에 대해 차량에 적용해야 할 전진 속도 및 회전 각도의 크기를 식(1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$v_c = P_{LFSR} + P_{RFSR}$$

$$\theta = \begin{cases} 0 & P_{LFSR} \geq 0, P_{RFSR} \geq 0 \\ 180 & P_{LFSR} < 0, P_{RFSR} < 0 \\ \tan^{-1}\left(\frac{P_{LFSR}}{P_{MAX}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{P_{RFSR}}{P_{MAX}}\right) & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

식(1)에서 P_{LFSR} , P_{RFSR} , P_{MAX} 는 각각 현재 핸들바에 적용된 힘 센서의 크기와 핸들바에 걸리는 힘의 최대값을 나타낸다. 핸들바에 걸리는 센서의 크기에 대해 전진 방향으로 힘이 작용될 때의 센서의 힘의 크기를 양수로 후진 방향으로 적용되는 센서의 힘의 크기를 음수로 하였을 때, 핸들바에 걸리는 힘의 크기로부터 차량이 이동속도 v_c 를 유추할 수 있다. 전방을 향한 방향을 '0'이라 하였을 때, 위 식을 통해 사용자가 전진하고자 할 경우 차량의 회전 방향은 '0'이 되며, 후진하고자 할 경우 회전방향은 '180'이 된다. 또한 사용자가 회전하고자 할 경우 차량의 회전방향 θ 는 왼쪽 핸들바와 오른쪽 핸들바에 적용되는 힘의 크기 및 방향에 따라 회전 각도가 변화하게 되며 이를 통해 사용자의 이동하고자 하는 속도 및 회전 방향을 유추할 수 있다.

2.2 보행보조기 사용성 평가

보행보조기 사용성 평가는 크게 차량의 안정성 판별[15] 및 주행 시 차량의 조작성능 평가가 대표적이다. 하지만 수동 형태의 보행보조기와는 달리 전동 보행보조기의 경우 차량의 조작이 사용자 의지에 따라 정확하게 움직이게 하는데 한계를 가지고 있다. 이는 사용자 보행 의지력에 대해 모터의 반응을 실시간으로 처리하는 있어서의 한계에서 비롯된다. 이에 이러한 점을 극복하고자 기 제시된 이동 궤적에 대해 얼마나 잘 추종하는지 여부로 전동 보행보조기의 성능을 평가하기도 하였다[13]. 하지만 대부분의 고령자는 기존의 일반 성인과는 달리 운동신경 감퇴, 근력저하등으로 인해 차량 조작이 용이하지 않아 차량 조작성으로 차량 성능을 평가하는데 한계가 있다. 이에 차량의 안정성 평가는 차량과 사용자가 만들어낸 BOS(Base of Support)와 사용자 중심점인 COP(Center of Position)의 상관관계를 통해 평가하였다. 그림 3은 BOS와 COP을 통한 차량의 안정성 평가에 의하였을 때, 보행 중 차량의 안정성 평가 결과이다.

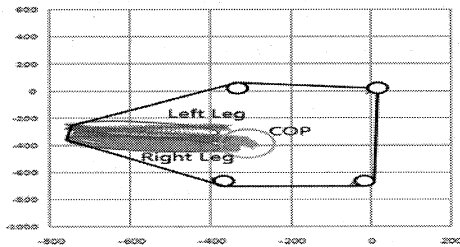


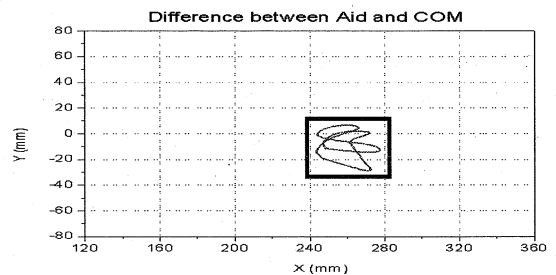
그림 3. BOS와 COP에 의한 차량 안정성 평가

그림 3에서 X, Y 축은 각각 차량의 왼쪽 상측 바퀴를 기준으로 하였을 때, 각 바퀴 및 사용자 다리, COP의 상대적인 좌표를 의미한다. 그림 3에서 지면과 접촉하는 점은 차량 4바퀴와 사용자의 지지각이 지면과 닿아 있는 점이고 이들 지점이 만든 영역을 BOS로 하였을 때, 정적 해석에 있어 보행보조기 사용자의 COP이 BOS를 넘지 않을 경우 사용자의 무게 중심이 차량 각 바퀴와 사람의 지지각이 만들어진 영역 내에 존재하므로 사용자 무게 중심의 영역 이탈로 인한 바퀴의 일부가 지면에서 떨어진다던지 사용자가 차량과 분리되면서 전도되는 등의 문제가 발생하지 않으면서 이동하게 되므로 차량의 안전성을 확보하게 된다.

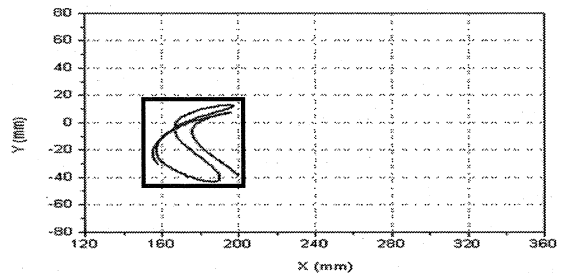
차량의 편의성은 COV(Center of Vehicle)와 사용자의 COP과의 차이의 변화를 통해 상대적인 편의성을 평가하였다, 그림 4는 COV와 COP을 통한 차

량의 편의성 평가에 대한 평가 결과이다.

그림 4에서는 사용자가 수동 및 전동 보행기를 가지고 구동했을 경우 COV를 기준으로 하였을 때 COP의 변화에 대한 상대적인 거리 좌표이다. 사용자 편의성 평가에서는 사용자의 보행 궤적에 따른 모션의 가속도에 대해 차량이 이에 잘 반응하여 움직일 경우 COV와 COP차에 대한 변화가 크게 발생하지 않게 된다. 이에 따라 차량이 사용자의 의지에 따라 부드럽게 이동할 경우 COV를 기준으로 COP가 만드는 영역의 크기는 점차 작아진다. 이를 그림 4를 통해 검증하면, 그림 4의 (a)와 같이 수동 보행보조기를 사용하였을 경우 차량이 사용자의 움직임과 잘 동기되어 COV와 COP과의 차이에 의해 만들어지는 영역의 크기가 크지 않음을 볼 수 있다. 하지만 그림 4의 (b)와 같이 전동 보행보조기의 경우 차량과 사용자가 동기화 되지 못해 COV와 COP과의 차이가 크게 변하게 되며 이에 따라 COV와 COP이 그리는 영역의 넓이는 점차 넓어지게 된다. 따라서 COV와 COP의 차이에 의해 발생하는 영역이 작을수록 차량은 잘 동기화되어 움직인다고 할 수 있겠다.



(a) 수동 보행보조기



(b) 전동 보행보조기

그림 4. COV와 COP에 의한 차량 편의성 평가

2.3 차량 제어 알고리즘

스마트 핸들바를 통해 들어온 센서 데이터 입력 값을 기초로 사용자의 의지 파악에 따른 적절한 차량 구동을 위해 그림 5와 같이 차량 제어 알고리즘

을 구축하였다.

그림 5에서 차량 제어기는 보행의지력 파악 센서, 보행 의지 파악 모듈, 차량 제어 모듈로 나뉘어져 있다. 먼저 보행의지력 파악 센서인 스마트 핸들바를 통해 들어온 데이터를 기초로 사용자의 전진 보행 의지력과 회전 보행 의지력을 식(1)을 통해 파악하였다. 식(1)을 통해 추정된 보행 의지력은 사용자마다의 특성 및 사용자의 근력에 따라 특성이 바뀌므로 사용자의 상황에 맞춰 정확한 보행 의지력 변환을 위해 퍼지 알고리즘을 기 구축되어 있는 사용자 정보를 기초로 현재 들어오는 정보를 통해 최적의 전진 및 회전 보행의지력을 결정하였다[15].

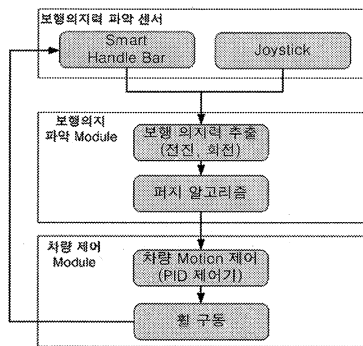


그림 5. 차량 제어 알고리즘 블록다이어그램

보행 의지파악 모듈로부터 추정된 최적의 보행 의지력에 대해 차량이 사용자의 의지에 정확하게 반응할 수 있도록 차량 모션 제어기를 개발하였다. 차량 모션 제어기는 크게 두 부분으로 나뉘는데, 첫 번째는 보행 의지력에 대해 차동 구동 알고리즘을 적용시켜 사용자의 의지에 따라 각 바퀴의 속도를 계산하는 것이다. 본 논문에서는 보행 의지력에 따라 각 바퀴의 속도를 추정할 수 있도록 Ackman 구동방식을 적용하였다. Ackman 구동은 기본적인 주행방향은 순간 회전 중심 (ICR: Instantaneous Center of Rotation)을 중심으로 하는 회전운동으로 계산되며 4개의 바퀴가 회전 중심을 기준으로 동심원에 접하고 동일한 각속도를 가지도록 구동축 각 바퀴에 걸리는 회전속도를 계산함으로써 차량의 움직임이 미끄러짐 없이 이동 가능한 기법이다[16]. 그림 6은 차량의 Ackman 구동을 이용하였을 때의 회전중심을 나타내며 식 (2) 및 (3)은 이때의 차량 바퀴의 속도를 나타낸다.

$$R = \frac{v_c}{w_c} \tag{2}$$

$$w_R = \frac{2v_c + lw_c}{2r}, w_L = \frac{2v_c - lw_c}{2r} \tag{3}$$

식(2),(3) 에서 l 은 차량의 폭, r 은 차량의 바퀴의 반지름, R 은 차량의 중심에서 회전 중심(ICR)까지의 거리를 나타낸다. 또한 w_c 는 차량의 중심에서 ICR을 기준으로 하였을 때의 각속도를 나타내며 w_L, w_c 은 각각 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 각속도를 나타낸다. 위의 식으로부터 현재 차량의 속도로 추정된 외력 및 현재 차량의 움직임을 토대로 차량의 바퀴의 각속도를 추정할 수 있다.

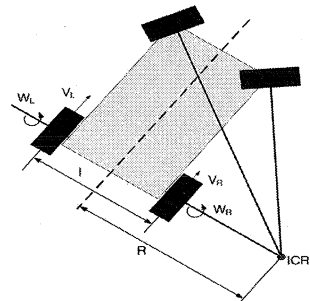


그림 6. Ackman 구동 모델

차량 모션 제어기의 두 번째는 각 모터에 최적의 입력값을 전달하기 위한 제어 알고리즘이다. 본 알고리즘이 적용되지 않을 경우, 차량은 사용자의 보행 의지를 기준으로 즉각적인 반응이 일어나게 된다. 하지만 차량의 반응성이 민감할 경우 보행 시 사람의 보행 가감속 주기와 차량의 가감속 주기가 일치되지 못하는 경우가 발생하게 된다. 이럴 경우 차량의 움직임이 사용자의 움직임과 정확한 싱크가 이뤄지지 않아 차량에 심한 진동이 발생하게 된다. 이를 회피하고자 차량을 적분 제어로 수행할 경우 사용자의 반응에 둔감하게 되어 사용자는 차량을 사용하는데 불편함을 겪게 된다. 이를 극복할 수 있도록 본 논문에서는 식(4)와 같이 PI 제어기를 내부에 적용하여 사용자와 차량의 움직임이 동기화 되어 움직일 수 있도록 하였다.

$$\begin{aligned} \hat{w}_R &= K_P w_R(t) + K_I \int_0^t w_R(\tau) d\tau \\ \hat{w}_L &= K_P w_L(t) + K_I \int_0^t w_L(\tau) d\tau \end{aligned} \tag{4}$$

식(4)에서 K_P, K_I 는 각각 각 바퀴에 적용되는 PI 제어기 이득값이며, 식(3)에서 계산된 w_L 과 w_c 에 대해 사용자의 특성에 맞춰 최적화된 차량 각 휠의 속도 \hat{w}_L 과 \hat{w}_c 을 추정하였다. 본 논문에서는 PI제어

기의 이득값을 차량의 편의성 평가에 맞춰 최적의 이득 값을 추정하였다.

3. 실험 및 결과

차량 모션 제어에 있어 제어 이득값에 따른 사용자의 편의성을 제안된 방식으로 평가하기 위해 3차원 보행 분석기를 적용하였다. 본 논문에서 적용된 보행 분석 시스템은 12대의 적외선 카메라, 10mm 반사마커, CCD 카메라 2대, 데이터 처리장치, PC 등으로 구성되어 있는 3차원 동작 분석기를 이용하였다. 그림 7은 3차원 동작 분석기 시스템 구조이다.

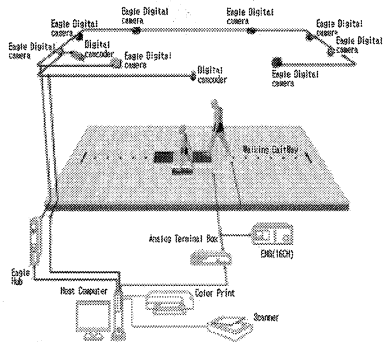


그림 7. 3차원 보행 분석기

또한 본 논문에 적용된 보행보조기는 그림 8과 같다. 본 논문에서 적용된 보행보조기는 좌우 750mm, 폭 600mm, 최대 높이 1100mm, 최저 높이 750mm로써 사용자는 상황에 따라 휠체어로 사용 가능하도록 설계하였다.

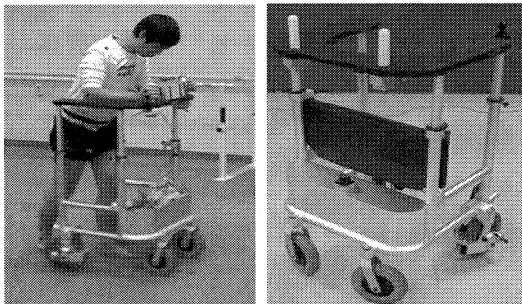
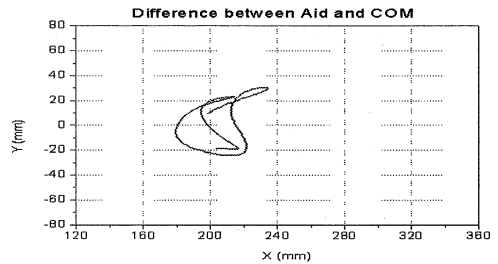


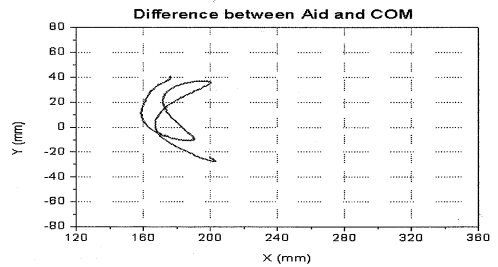
그림 8. 전동 보행보조기 실제 모델

논문에서 제시된 보행보조기 편의성 평가방법을 기반으로 차량 모션 제어기의 이득값에 따른 최적의 차량 제어기를 실험을 통해 추론하였다. 그림 9는 적분 이득값 K_P 을 '0'으로 하였을 때 적분 이득값 변화에 따른 차량의 편의성 평가 결과이다.

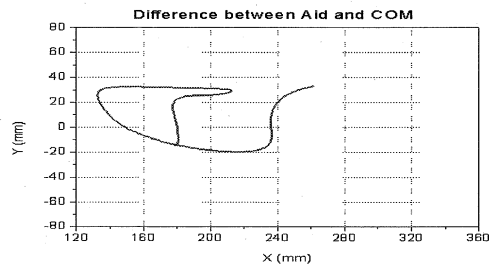
그림 9에서 비례제어만 제어기에 적용하였을 경우 비례 제어 이득값 K_i 이 0.5인 경우 COV와 COP과의 차이에 의한 영역의 넓이가 33.46cm²가 되었으며 1.0인 경우 30.21cm², 1.5인 경우 68.15cm², 2.0인 경우 29.79cm²로써 이득값이 클수록 비교적 제어 성능이 좋아짐을 볼 수 있었다. 이에 비례 제어 이득값이 2로 고정된 후 적분 제어 이득값을 증가시키면서 최적의 이득값을 추정하였다. 그림 10은 제어 이득값이 2인 경우 적분 제어 이득값을 증가시키면서 제어 성능을 평가한 결과이다.



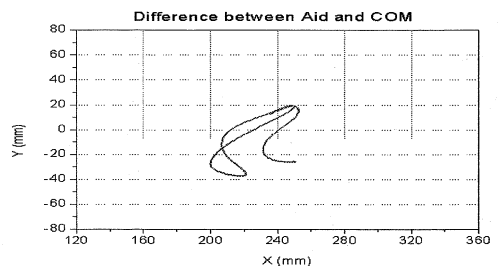
(a) $K_P = 0.5, K_i = 0$



(b) $K_P = 1.0, K_i = 0$



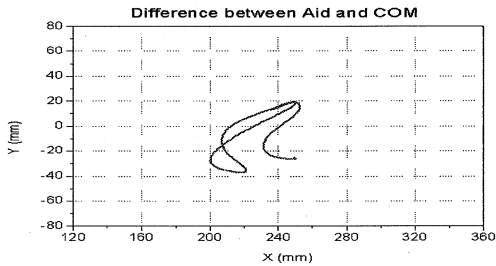
(c) $K_P = 2.5, K_i = 0$



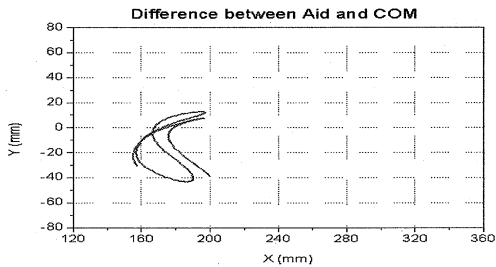
(d) $K_P = 2.0, K_i = 0$

그림 9. 비례 제어만 수행했을 때의 편의성 평가 결과

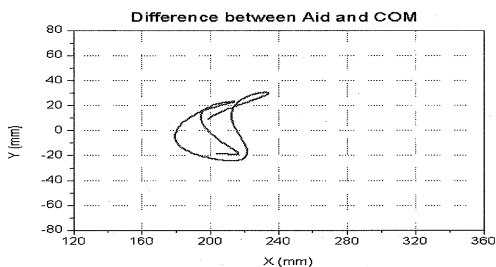
그림 10에서 비례 제어 이득 값을 2로 고정하고 적분 제어기를 0, 5, 20으로 수행했을 때, 면적은 각각 29.79cm^2 , 25.07cm^2 , 29.94cm^2 가 되었다. 이에 실험 결과에 의해 비례 제어 이득값이 2가 되고 적분 제어 이득 값을 5로 수행할 경우 실험 상 사용자의 편의성이 가장 좋을 것으로 예측되었다. 그림 11은 수동 보행보조기, K_P 가 1이고 K_I 가 0인 경우, 본 논문에서 추정된 최적 이득값을 차량에 적용한 경우 각각에 대한 차량과 사용자의 가속도 결과를 보여준다.



(a) $K_P = 2, K_I = 0$



(b) $K_P = 2, K_I = 5$

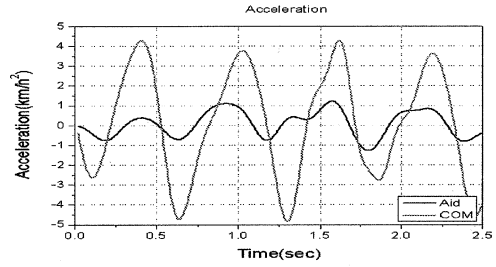


(c) $K_P = 2, K_I = 20$

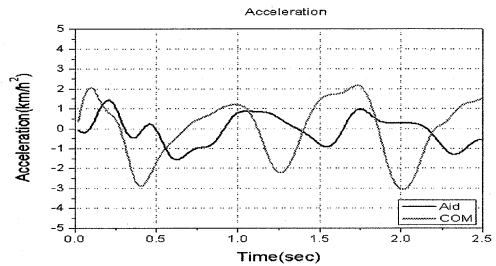
그림 10. K_I 의 변화에 따른 편의성 평가 결과

그림 11에서 수동 보행보조기의 경우 차량 및 사용자의 가속도 정보는 비교적 일정한 패턴을 가지고 움직이며 최대 4.5km/h^2 의 가속도로 사람이 움직이게 됨을 볼 수 있다. 이에 비해 그림 11의 (b)와 같이 최적의 이득 값이 아닌 경우 차량의 움직임이 사용자와 일치되지 않으므로 인해 사용자 가속도 패턴이 일정하지 않으며 최대 가속도 또한 3km/h^2 정도로 충분한 사용자의 보행 패턴을 소화하지 못

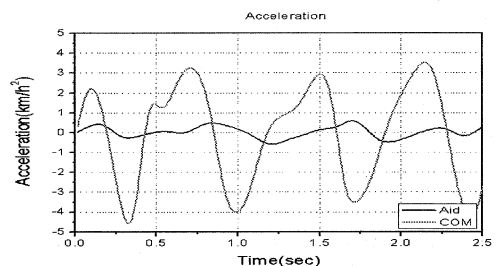
하면서 움직이게 된다. 이에 비해 최적의 이득값으로 차량을 제어할 경우 사용자의 보행 패턴이 일정하며, 가속도 또한 수동형 보행보조기를 사용한 패턴과 유사한 최대 4km/h^2 까지 이동됨을 볼 수 있다. 이를 통해 보행보조기의 최적 이득값 적용에 따른 사용자의 보행 의지 전달 및 이에 따라 차량이 사용자가 편의성을 갖고 차량을 구동함을 알 수 있다.



(a) 수동 보행보조기의 경우



(b) $K_P = 1, K_I = 0$



(c) 최적 이득 값을 적용한 경우

그림 11. 최적 이득값을 적용한 경우의 COV와 COP의 가속도 결과

4. 결론

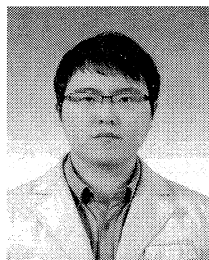
본 논문은 수동형 및 전동 보행보조기의 COP, COV를 측정하고 사용자 및 보행보조기의 위치 변위를 측정하였다. 측정된 거리 넓이를 이용하여 사용자와 보행보조기가 얼마나 이동이 편리하게 되었는지 여부에 대한 평가 기준을 마련하였다. 개발된 전동형 보행보조기 및 스마트 핸들바를 이용하여 평가 기준에 맞춰 차량의 제어 이득의 변화에 따른

편의성 평가를 하였으며, 이를 근거로 차량 모터 제어기의 최적 이득 값을 추정하였다.

향후 최적의 모션 제어 이득값을 추정하기 위한 지능형 알고리즘 개발 및 이를 통한 최적의 제어 이득값 추정 기술에 대한 연구가 필요하며, 실외에서 전동 보행보조기를 사용할 경우 발생할 수 있는 비평탄 지형으로부터 노이즈 제거 및 차량 자세 제어 알고리즘에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

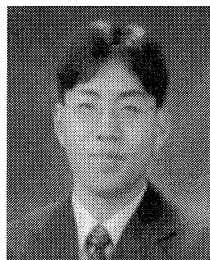
- [1] samuellson, K. and Wressle, E., "User satisfaction with mobility assistive devices: An important element and the rehabilitation process", *Disability & Rehabilitation*, pp.551-558, 2008.
- [2] Yasuhiro Nemoto, Saku Egawa, Atshshi Koseki, Shizuko Hattori, Takeshi Ishii, and Masakatsu Fujie, "Power-Assisted Walking Support System for Elderly", *Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Vol.20, No.5, pp.2693-2695, 1998.
- [3] Shane MacNamara and Gerard Lacey, "A Smart Walker for the Frail Visually Impaired", *Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.1354-1359, 2000.
- [4] Aaron Morris, Raghavendra Donamukkala, anuj Kapuria, Aaron Steinfeld, Judith T, Matthews, Jacqueline Dunbar-Jacob, and Sebastian Thrun, "A Robotic Walker That Provides Guidance", *Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.25-30, 2003.
- [5] Steven Dubowsky, Frank Genot, Sara Godding and Hisamitsh Kozono, "PAMM-A Robotic Aid to the Elderly for Mobility Assistance and Monitoring: A "Helping-Hand" for the Elderly", *Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.570-576, 2000.
- [6] Glenn Wasson, Pradip Sheth, Majd Alwan, Kevin Granata, Alexandre Ledoux, and Chujun Huang, "User Intent in a Shared Control Framework for Pedestrian Mobility Aids", *Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.2962-2967, 2003.
- [7] Yasuhisa Hirata, Asami Hara, Kazuhiro Kosuge, "Motion Control of Passive-type Walking Support System based on Environment Information", *International Conference on Robotics and Automation*, pp.2921-2926, 2005.
- [8] Y. Hirata, A. Hara, and K. Kosuge, "Passive-type intelligent walking support system 'RT walker'", in *Proc. 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell.Robots Syst.*, pp.3871 - 3876. 2004.
- [9] Angelo M. Sabatini, Vincenzo Genovese, Elena Pacchierotti, "A Mobility Aid for the Support to Walking and Object Transportation of People with Motor Impairments", *IEEE/RSJ Int Conf on Intelligent Robots and Systems*, pp.1349-1354, 2002.
- [10] Oscar Chuy Jr., Yasuhisa Hirata, Zhidong Wang, and Kazuhiro Kosuge, "Motion Control Algorithms for a New Intelligent Robotic Walker in Emulating Ambulatory Device Function", *Int. Conf. on Mechatronics and Automation*, pp.1509-1514, 2005.
- [11] Masashi Tani, Ryoishi Suzuki, Shigehiko Furuya, and Nobuaki Kobayashi, "Internal Model Control for Assisting Unit of Wheeled Walking Frame", *Int. Conf. on Control Applications*, pp.139-142, 2005.
- [12] Oscar Chuy Jr, Yasuhisa Hirata, and Kazuhiro Kosuge, "Online approach in adapting user characteristic for robotic walker control", *International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp.423-426, 1990.
- [13] Oscar Chuy Jr., Yasuhisa Hirata, and Kazuhiro Kosuge, "A New Control Approach for a Robotic Walking Support System in Adapting User Characteristics", *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics*, Vol.36, No.6, pp.725-733, 2006.
- [14] J.S. Kong, D.K. Lee, Y.S. Nam, B.H. Lee, and E.H. Lee, "Optimized Walking Will Recognizing System of the Walking Aid with the Fuzzy Algorithm", *Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol.18, No.5, 2008.
- [15] Min Su Park, Seung Hyun Cho, Seon Hee Shin, Yu Sin Kim, Seung Jin Lee, Seung Hee Son, Soo Hee Park, and Young Ae Yang, "Comparison of gate stability of walking used an outdoor rollator with walking used a abssinet as ambulatory aid", *Fall Conference of Ergonomics Society of Korea*, 2009.
- [16] G. Dudek and M. Jenkin, "Computational Principles of Mobile Robot", *Cambridge university press*, pp.26-27, 2000.



이 동 광

2007년 2월 한국산업기술대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 2009년 2월 한국산업기술대학교 지식기반기술에너지 대학원 정보통신 졸업 (석사)

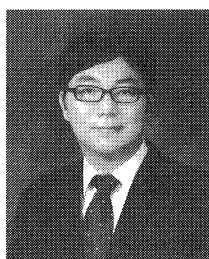
2009년 - 현재 한국산업기술대학교 지식기반기술에너지 대학원 정보통신 박사과정
 관심분야 : 지능 제어, 재활 공학, 지능형 로봇 및 센서 제어



강 성 재

2000년 2월 연세대학교 의공학과 졸업 (학사)
 2002년 2월 연세대학교 대학원 의공학과 졸업 (석사)
 2002년 - 현재 연세대학교 대학원 의공학과 박사과정

2003년 - 현재 재활공학연구소 책임연구원
 관심분야 : 재활공학 및 생체역학



공 정 식

1998년 2월 인하대학교 자동화공학과 졸업 (학사)
 2006년 2월 인하대 자동화공학과 졸업 (박사)
 2008년 - 현재 인덕대학교 기계설계과 전임강사

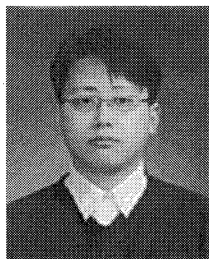
관심분야 : 지능 제어, 재활 공학, 지능형 로봇 및 제어



이 석 민

1985년 2월 서울대학교 공업화학과 졸업 (학사)
 1987년 2월 서울대학교 공업화학과 졸업 (석사)
 1992년 2월 서울대학교 공업화학과 졸업 (박사)

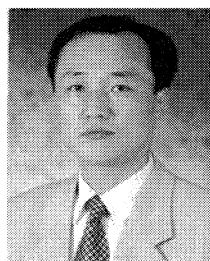
2001년 - 현재 재활공학연구소 연구위원
 관심분야 : 재활공학 및 생체재료



고 민 수

1998년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 2006년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업 (박사)

2010년 - 현재 한국산업기술대학교 전자공학과 연구 교수
 관심분야 : 지능형 서비스 로봇 제어, 컴퓨터 비전



이 응 혁

1985년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 1997년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업 (박사)

2000년 - 현재 한국산업기술대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 지능형 서비스로봇제어, 재활 보조 시스템, 의용전자 기기 및 신호처리, 임베디드 시스템