

# 모터 토크 추정을 통한 보행보조기의 의지파악 알고리즘

공정식

인덕대학

## Walking Will Recognition Algorithm for Walking Aids Based on Torque Estimation

Jung-Shik Kong

Induk University

(Received December 30, 2009. Accepted March 8, 2010)

### Abstract

This paper deals with the recognition algorithm of walking will based on torque estimation. Recently, concern about walking assistant aids is increasing according to the increase in population of elder and handicapped person. However, most of walking aids don't have any actuators for its movement. So, general walking aids have weakness for its movement to upward/download direction of slope. To overcome the weakness of the general walking aids, many researches for active type walking aids are being progressed. Unfortunately it is difficult to control aids during its movement, because it is not easy to recognize user's walking will. Many kinds of methods are proposed to recognize of user's walking will. In this paper, we propose walking will recognition algorithm by using torque estimation from wheels. First, we measure wheel velocity and voltage at the walking aids. From these data, external forces are extracted. And then walking will that is included by walking velocity and direction is estimated. Here, all the processes are verified by simulation and experiment in the real world.

**Key words :** Words: Walking Aid, Torque Estimation, Walking Will Force, Torque Observer

### 1. 서론

사회의 선진화 및 의학의 발전으로 인해 인간 수명이 증가되면서 고령 인구가 급속도로 증가됨에 따라 고령자 및 장애인을 위한 다양한 기술에 대한 사회적 요구가 증가되고 있다. 이에 따라 고령자 및 거동이 불편한 사람들의 외부 활동을 돕기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 이러한 사회적 추세에 발맞춰 고령자 및 장애인을 위한 능동형 보행보조기에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 보행 보조기는 형태에 따라 크게 휠 타입의 보행보조기와 다리 장착형 보행 보조기로 나눌 수 있다. 휠 타입 보행보조기는 일본 히타치에서 개발된 Power Assisted Walking Support System[1], 아일랜드에서 개발된 PAM-AID[2], 미국 Carnegie Mellon 대학에서 개발한 Robotic Walker[3] 등이 있으며, 다리 장착형 보행 보조기는 혼다사에서 개발된 Walking Assist Device[4] 등이 있다.

이 중 휠 타입 보행보조기는 다리 장착형 보행보조기에 비해 개발 및 생산이 용이하고 적은 수의 구동부가 요구되므로 이에 대한 다양한 연구가 진행되었다. 휠 타입의 능동형 보행보조기의 대표적인 연구로는 고령자들이 보행 보조기의 차량제어를 원활하게 수행할 수 있도록 고안된 센서를 개발하는 기술[3,5,6], 차량을 안정적으로 제어할 수 있는 차량 이동 기술[7-9], 그리고 고령자나 장애인들이 가지고 있는 순발력의 어려움 등을 해결하기 위한 장애물 회피 기술[10] 등이 있다. 하지만 휠 타입의 능동형 보행보조기의 경우 기구적인 안정성 및 안정된 이동 메커니즘은 확보되어 있는 반면에 사용자가 보행보조기에 지지하려는 힘과 사용자가 이동하려는 의지인 보행 의지력의 분리가 용이하지 않는 등의 사용자 보행 의지 파악의 어려움이 있다.

이에 사용자의 의지를 정확하게 파악하기 위한 연구들이 진행되었다. 이들 중 대부분은 보행의지 파악을 위해 힘 센서[11,12]나 토크센서[13] 등을 이용하여 사용자가 현재 얼마만큼 이동하고자 하는지를 알고자 하였다. 그러나 이러한 센서 대부분은 지정된 위치를 잡거나 기대어 움직여야 인식이 가능하다. 만약 지정된 손잡

Corresponding Author : 공정식  
서울특별시 노원구 월계2동 인덕대학 1공학관 316호 기계설계과  
Tel : +82-2-950-7526 / Fax : +82-2-950-7539  
E-mail : jskong@induk.ac.kr

이 외의 곳을 잡고 이동하고자 할 경우 사용자의 정확한 의지 파악에 대한 어려움 등의 문제가 발생한다.

본 논문에서는 보행보조기 사용자의 보행 의지를 파악함에 있어 바퀴에 걸리는 외력 추정을 통해 사용자의 보행 의지력을 추정할 수 있도록 하였다. 이를 위해 구동 모터에 인가되는 입력 전압 대비 현재 바퀴의 회전 속도를 통해 바퀴에 인가되는 외력을 추정하였다. 이 정보를 기초로 사용자가 전진하려는 의지와 회전하려는 보행 의지력을 파악함으로써 바퀴 제어를 위해 구성된 인코더 이외에 임의의 다른 장치 없이도 사용자의 보행 의지를 파악할 수 있도록 하였으며 시뮬레이션 및 실험을 통해 제안된 알고리즘을 검증하였다.

## II. 이론적 배경

### A. 보행 보조기에서의 사용자 보행의지력

고령자 및 장애인의 보행 보조수단으로써 보행보조기를 사용하는 사용자는 거동이 불편하기 때문에 차량에 기대게 되며, 이는 지지력으로써 차량에 힘이 작용한다. 또한 보행보조기 사용자는 차량에 기대어 본인이 원하는 위치로 이동하고자 하는데, 이때 지지점에서 사용자의 보행 의지력이 차량에 반영된다. 그림 1은 차량에 적용되는 보행의지력, 지지력 및 보행 의지력에 의해 발생하는 외력에 의한 모멘트를 나타낸다.

그림 1에서 보행보조기 사용 시 발생하는 지지력( $F_s$ )은 차량 각 바퀴 축에 수직으로 작용하기 때문에 평지 이동 시 지지력에 의한 차량 바퀴에 걸리는 모멘트는 존재하지 않는다. 이에 비해 보행의지력( $F_w$ )은 사용자의 보행 의지에 따라 힘의 변화가 발생하며, 이로 인해 바퀴와 지면이 만나는 지점에서 마찰력( $F_f$ )이 발생하면

서 현재 구동되고 있는 바퀴에 힘이 가해지면 바퀴 중심축으로부터 바퀴면까지의 거리에 의해 바퀴 중심축에 모멘트( $M_f$ )가 발생하게 된다. 식(1)은 사용자의 보행의지력에 대한 바퀴에 걸리는 모멘트의 크기를 나타낸다.

$$\begin{aligned} M_f &= F_f \times r \times N = F_w \times r \times N \\ F_w &= M_f / (r \times N) \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)에서  $r$ 은 차량 바퀴의 반지름이며,  $N$ 은 차량 바퀴에서의 감속비를 나타내며, 이때 바퀴와 바닥 사이에 걸리는 마찰계수는 충분히 크다고 가정한다. 식(1)으로부터 보행의지력으로 인한 차량에 걸리는 외력을 추출할 수 있다. 식(1)을 이용하면 현재 보행 보조기 각 바퀴에 걸리는 외력을 정확하게 파악할 경우 사용자의 보행의지력을 정확하게 파악할 수 있어 최적화된 보행 보조기 제어가 가능하다.

### B. 차량 제어 알고리즘

사용자의 보행 의지력이 차량 바퀴를 통해 인식될 경우 제어기는 사용자의 보행의지력을 판단하고 현재 차량의 속도 및 회전 반경과 비교하여 사용자의 보행 의지에 맞춘 차량 제어가 이루어져야 한다. 그림 2는 보행 보조기 전체 제어 알고리즘을 나타낸다.

그림 2에서 사용자 의지와 현재 차량의 전진 속도 및 회전 반경을 기반으로 차량의 각 바퀴에 걸리는 각속도를 계산하기 위해 Ackman 구동 방식을 이용하였다. 본 논문에서 제시된 보행보조기의 경우 뒤축에 2개의 구동바퀴와 앞부분에 캐스터와 보조바퀴로 이루어진 구조로써 뒷바퀴의 차동 구동을 통해 차량의 전진 및 회전 구동이 가능하도록 하였다. Ackman 구동 방식을 이용한 주

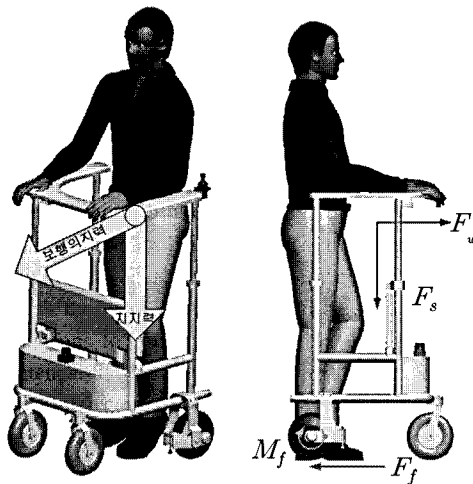


그림 1. 보행보조기에 적용된 힘과 모멘트  
Fig. 1. Force and Moment applied at the walking assistant aid

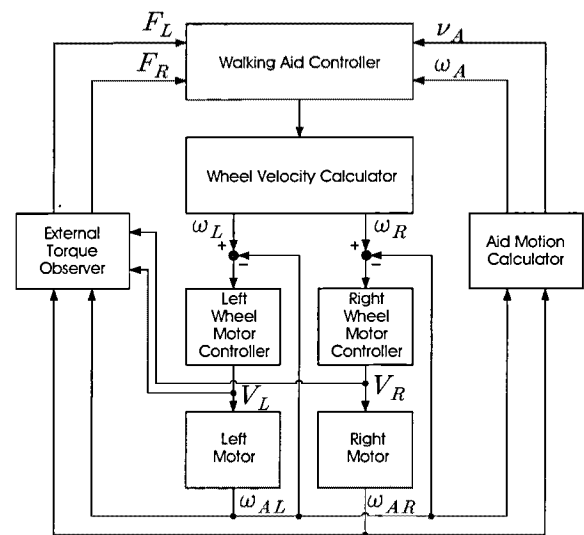


그림 2. 보행보조기 제어기  
Fig. 2. Controller of the walking aid

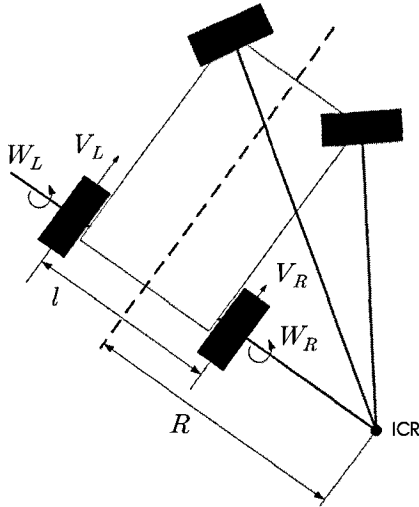


그림 3. Ackman 구동 모델  
Fig. 3. Ackman driving model

행은 순간 회전 중심(ICR: Instantaneous Center of Rotation)을 중심으로 하는 회전운동으로 4개의 바퀴가 회전 중심을 기준으로 동심원에 접하고 동일한 각속도를 가지게 됨으로써 차량의 움직임이 미끄러짐 없이 이동 가능한 기법이다[14]. 그림 3은 차량의 Ackman을 이용하였을 때의 회전중심을 나타내며 식 (2)-(4)는 이때의 차량 바퀴의 속도를 나타낸다.

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

$$w_R = \frac{2v_c + 1w_c}{2r} \tag{3}$$

$$w_L = \frac{2v_c - 1w_c}{2r} \tag{4}$$

식(2)-(4)에서 1은 차량의 폭, r은 차량의 바퀴의 반지름, R은 차량의 중심에서 회전 중심(ICR)까지의 거리를 나타낸다. 또한  $w_c$ 는 차량의 중심에서 ICR을 기준으로 하였을 때의 각속도를 나타내며  $w_L, w_R$ 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.

**C. 토크 추정 관측기**

차량이 이동하는 과정에서 사용자의 보행 의지가 차량에 작용할 때 차량의 바퀴에는 외력이 작용한다. 이러한 외력에 의한 토크를 차량의 바퀴 회전 상태를 통해 유추하기 위한 모터 모델을 그림 4와 같이 나타내었다.

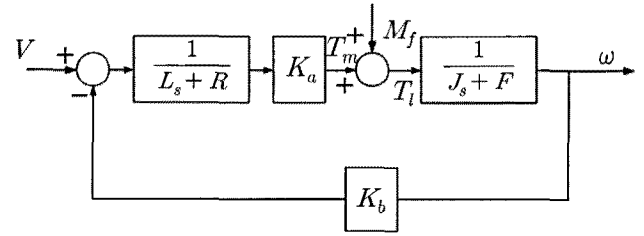


그림 4. 모터의 수학적 모델  
Fig. 4. Mathematical model of the motor

그림 4에서  $L, R, J, F, K_a, K_b$ 는 각각 모터의 인덕턴스, 저항, 모터축의 회전질량, 모터축의 마찰, 토크상수, 역기전력 상수를 나타낸다. 그림 5에서 기본적으로 모터에 걸리는 외력이 없을 경우에는 모터는 수식(5)와 같이 전압에 대한 모터의 회전으로 표현 가능하다.

$$\Omega(s) = \frac{K_a}{LJs^2 + (RJ + LF)s + RF + K_a K_b} V(s) \tag{5}$$

식(5)에서는 외력이 없을 경우에 모터에 인가되는 전압 대비 모터의 속도를 나타낸다. 하지만 외력이 존재할 경우 인가된 전압에 대한 모터의 속도는 외력에 의해 차이가 발생하게 된다. 이에 현재 인가되고 있는 입력전압 대비 실제 구동되고 있는 모터의 속도를 비교하여 모터에 걸리는 외력을 측정할 수 있다. 식 (6)은 외력에 의해 모터에 걸리는 토크의 크기를 나타낸다.

$$M_f(s) = \left( Js + f + \frac{K_a K_b}{Ls + R} \right) \Omega(s) - \frac{K_a}{Ls + R} V(s) \tag{6}$$

따라서 식(1)과 식(6)을 적용할 경우 각 바퀴에 걸리는 사용자 보행의지력은 식(7)와 같이 표현할 수 있다.

$$F_w(s) = \frac{\left( Js + f + \frac{K_a K_b}{Ls + R} \right) w(s) - \frac{K_a}{Ls + R} V(s)}{N \times r} \tag{7}$$

**D. 보행의지파악**

휠 타입의 능동형 보행 보조기 사용자의 보행의지력은 차량의 이동 관점으로 보았을 때, 차량 전진 속도와 각속도로 분리할 수 있다. 이에 만일 현재 차량 구동 상태가 사용자의 보행 의지와 일치할 경우 사용자의 보행 의지력은 차량에 가해지지 않게 된다. 하지만 차량의 움직임과 사용자의 보행 의지가 다를 경우에는 차량의 전진 속도, 또는 차량의 회전 중심이나 차량 각 바퀴에 걸리는 회전 속도가 사용자의 보행의지와 일치하지 않게 된다. 따라서 사용자

의 보행 의지가 능동형 보행보조기의 움직임과 일치하지 않게 될 경우 사용자 보행 의지력에 따른 외력이 차량에 가해지게 되며 이는 결국 각 바퀴에 외력에 의한 모멘트로 작용하게 된다. 이에 각 바퀴에 인가된 구동 전압 대비 출력 회전 정도의 차이로부터 외력에 의한 모멘트 추정이 가능하고, 이를 통해 사용자의 보행 의지를 추정할 수 있다. 그림 5는 사용자의 보행의지에 의한 차량의 속도, 각속도 및 차량의 현재 속도, 각속도를 나타낸다.

그림5에서  $w_{AR}, w_{AL}$ 은 각각 현재 차량의 이동에 의한 각 바퀴에 걸리는 각속도를 나타내며,  $v_W, w_W, v_A, w_A$ 는 각각 사용자 의지에 의한 전진속도 및 각속도, 현재 차량의 회전 속도 및 각속도를 나타낸다. 또한  $T_R, T_L$ 은 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴에 걸리는 외력에 의한 토크를 나타낸다. 그림 5에서 만약 차량의 움직임과 사용자의 보행 의지가 일치하게 될 경우  $v_W$ 와  $v_A$  그리고  $w_W$ 와  $w_A$ 는 서로 일치하게 된다. 하지만 차량의 현재 움직임과 사용자의 의지가 일치하지 않게 될 경우 차량에 외력이 발생하게 되며 이에 따라 마찰력에 의한 외력인  $T_R$  및  $T_L$ 이 발생하게 되며 이를 통해 차량의 각 바퀴에 걸리는 외력인  $F_L$  및  $F_R$ 을 유추할 수 있다. 이 힘을 토대로 식(8)-(9)과 같이 제어 입력값을 추론할 수 있다.

$$F_R = ma_R, F_L = ma_L$$

$$a_N = \frac{a_R + a_L}{2}, w_N = \frac{a_R - a_L}{L} \quad (8)$$

$$v_a = v_{a\_init} + \int a_N dt$$

$$w_a = w_{a\_init} + \int a_N dt \quad (9)$$

식(8), (9)에서 식(7)을 이용하여 측정된 각 바퀴의 외력인  $F_R$ 과  $F_L$ 로부터 외력에 의해 각 바퀴에 걸리는 가속도( $a_R, a_L$ )를 추정할 수 있으며 이 가속도를 기반으로 사용자 의지에 의한 차량 중심

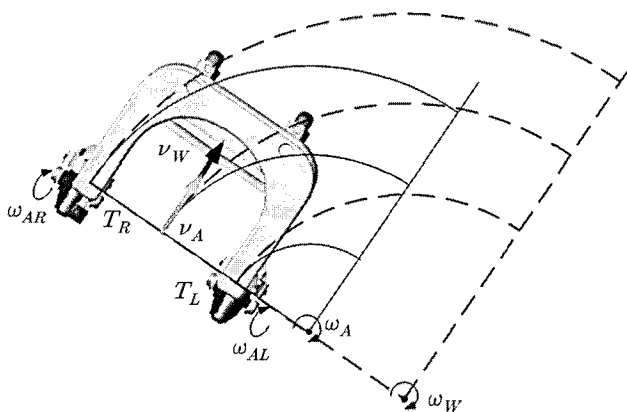


그림 5. 차량에 걸리는 속도 및 각속도  
Fig. 5. Linear and angular velocity applied at the walking assistant aid

에서의 선가속도 및 각가속도( $a_N, w_N$ )를 추정할 수 있다. 이를 통해 차량의 속도 가속도를 기반으로 현재 이동하고자 하는 차량의 선속도 및 각속도( $v_a, w_a$ )를 추정할 수 있다.

#### IV. 실험의 구성 및 시뮬레이션

본 논문에 적용된 보행 보조기는 그림 6과 같다. 본 논문에서 시뮬레이션 및 실험에 적용된 보행 보조기는 좌우 750mm, 폭 600mm, 최대 높이 1100mm 최저 높이 750mm이며 질량은 40Kg이다. 또한 보행 보조기에 적용된 모터 및 감속기 사양은 표 1과 같다.

본 논문에서는 MATLAB 및 Simulink를 이용하여 제시된 보행보조기 및 구동기 사양에 맞춰 시뮬레이션을 수행하였다. 휠에 피드백 제어를 수행하지 않을 경우에 모터에 외력을 가한 경우와 외력을 가하지 않을 때의 모터 회전 속도를 그림 7과 같이 비교하였다.

그림 7은 되먹임 제어를 수행하지 않은 상태에서 모터에 20V의 전압을 가하고 0.03초 후에 10N의 힘을 모터의 회전방향의 반대 방향으로 외력을 가한 결과이다. 제어를 수행하지 않았을 경우에는 그림 7의 (b)와 같이 외력이 작용하였을 때 바퀴의 속도가 감쇠함을 알 수 있다. 모터에 되먹임 제어를 수행할 경우 외력이 작용한 경우와 외력이 작용하지 않았을 때의 모터의 회전 속도 비교는 그림 8과 같다. 그림 8에서는 되먹임 제어 입력값으로 3000 RPM을 입력 한 후, 0.03초 이후에 10N의 힘을 가한 경우와 가하지 않은 경우에 모터 회전 속도 변화를 비교하였다. 그림 7-(b)와 그림 8-(d)를 비교해 보았을 때 속도 되먹임 제어를 구축하였을 경우에는 되먹임 제어를 구축하지 않을 때와는 달리 외력이 가해진 0.03초에서 회전 속도의 변화가 크게 나지 않는다. 하지만 식(6)을 위 시뮬레이션에 적용하였을 경우 외력을 정확하게 추출할 수 있었으며 그림 9와 같이 측정되었다.

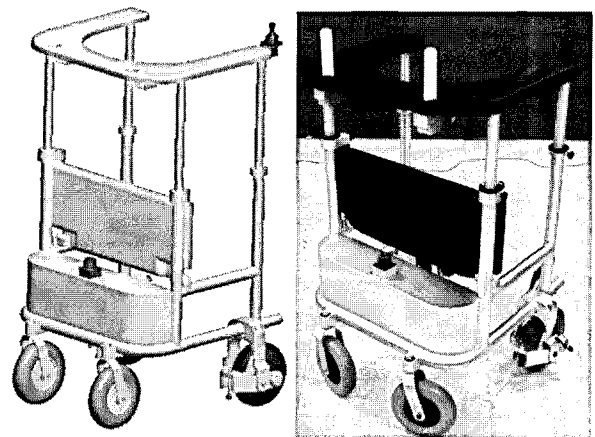
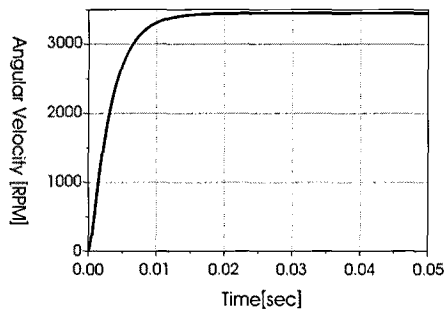


그림 6. 보행 보조기 시뮬레이션 모델  
Fig. 6. Simulation model of walking aid

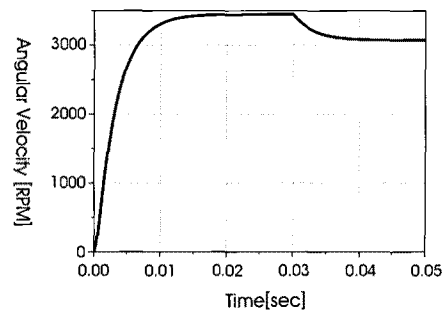
표 1. 시뮬레이션에 적용된 모터 및 감속기 사양

Table 1. Specification of motor and gear box applied at the simulation

Motor		Gear Box	
Parameter	Data	Parameter	Data
Nominal Voltage[V]	24	Ratio	50:1
Nominal Torque[Nm]	0.467	Rated output torque(Nm)	507
Resistance[Ω]	0.0809	Efficiency of gear box	0.95
Inductance[H]	$30.8 \times 10^{-6}$	Wheel	
Torque Constant(Nm/A)	0.0554	Parameter	Data
Constant of Back EMF(V · s/rad)	0.0554	Diameter[m]	0.3
Rotor Inertia	$1.29 \times 10^{-4}$		
Rotor Friction	0		
Encoder resolution(CPT)	500		

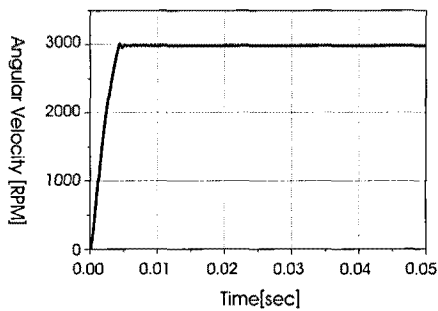


(a) 외력이 없는 경우

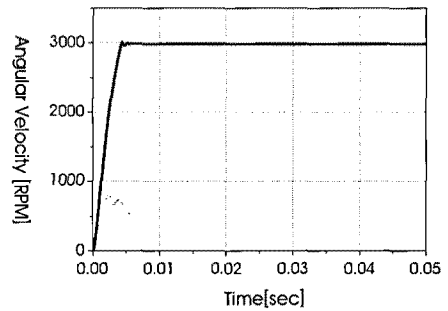


(b) 외력이 존재하는 경우

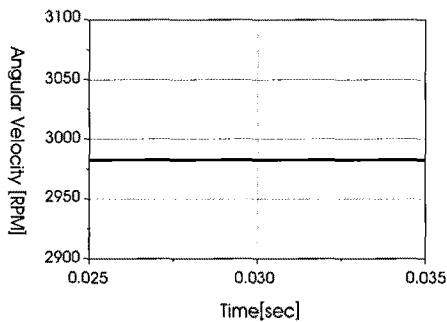
그림 7. 모터에 되먹임 제어가 없을 경우의 외력에 대한 모터 속도 비교  
Fig. 7. Comparison with motor velocity by external force not applied feedback control



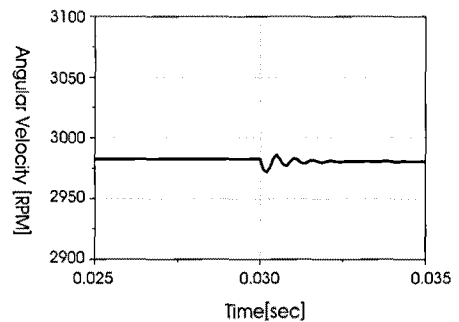
(a) 외력이 없는 경우



(b) 외력이 존재하는 경우



(c) 외력이 없는 경우(구간)



(d) 외력이 존재하는 경우(구간)

그림 8. 모터에 되먹임 제어를 수행하였을 경우의 외력에 대한 모터 속도 비교  
Fig. 8. Comparison with motor velocity by external force applied feedback control

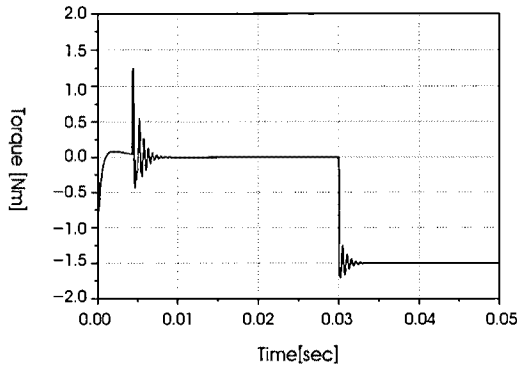


그림 9. 시뮬레이션에 의한 토크 측정 결과  
Fig. 9. Result of torque by simulation

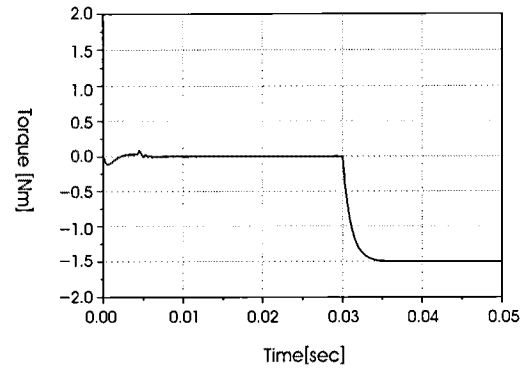


그림 10. 저역 통과 필터를 통과했을 때의 토크 측정 결과  
Fig. 10. Result of torque after low pass filter

그림 9에서 0.03초에서 모터에 외력 10N의 힘을 가하였을 때 외력에 의해 바퀴에 작용되는 토크는 1.5Nm가 되며 제어에 의해 신호 데이터 미약한 변화에도 비교적 정확한 데이터를 추출함을 알 수 있다. 그러나 모터 구동 시 모터에 발생하는 PWM등으로 인해 고주파의 노이즈가 발생하므로 이러한 노이즈 성분을 줄일 수 있도록 저역 통과 필터를 수행하였다. 그림 10은 저역 통과 필터를 통과한 데이터를 나타내며, 그림 11은 위의 모든 과정을 포함한 시뮬레이션 결과에 대한 Simulink 모델을 나타낸다.

### V. 실험 및 결과

시뮬레이션을 통해 구성된 결과를 토대로 실험을 실시하였다. 먼저 제시된 모터에 대해 외력을 가하지 않은 경우에 외력 측정 결과는 그림 12와 같다. 그림 12는 모터에 5V의 전압을 인가한 상태에서 모터의 회전 속도 측정값을 통해 추정된 외력 데이터이다. 실제 데이터는 저역 통과 필터를 통과 시켰음에도 불구하고 모터의 회전 속도를 측정하는 인코더의 해상도 등의 영향으로 인해 값의

변동이 심함을 알게 되었다. 이를 극복하기 위해 이동평균필터(Moving Average Filter)를 이용하여 데이터를 처리하였다. 그림 13는 이동평균필터를 통해 처리된 토크 결과이다. 그림 13에서 필터링 된 데이터를 기초로 바퀴가 50rpm으로 회전하고 있는 동안에 사용자가 정지하고자 하는 의지를 보일 때 토크 변화를 추정하였다. 그림 14은 보행의지력에 의해 모터에 걸린 외력의 변화를 나타낸 그래프이다.

그림 14에서는 모터에 6.5V를 인가한 상태에서 외력이 존재하지 않는 상태로 전진하다가 차량을 정지시키고자 사용자가 정지하고자 하는 의지를 표현하였을 때 발생하는 외력의 변화를 나타낸다. 그림 14에서는 2.7초를 기준으로 사용자가 정지하려는 의지를 차량에 전달하였을 때, 의지력에 따른 토크의 변화가 급격하게 일어나며, 이에 따라 외력이 존재하지 않을 경우에 측정된 평균 외력이 -0.010Nm에서 외력이 차량에 전달된 후 -0.185Nm가 추정됨을 알 수 있다. 이를 통해 보행보조기가 구동 중에 바퀴에서 추정되는 토크의 크기를 모터 속도를 측정하는 인코더 값의 크기로 추정 가능하며, 이를 통해 사용자의 보행 의지력 추정을 통해 사용자

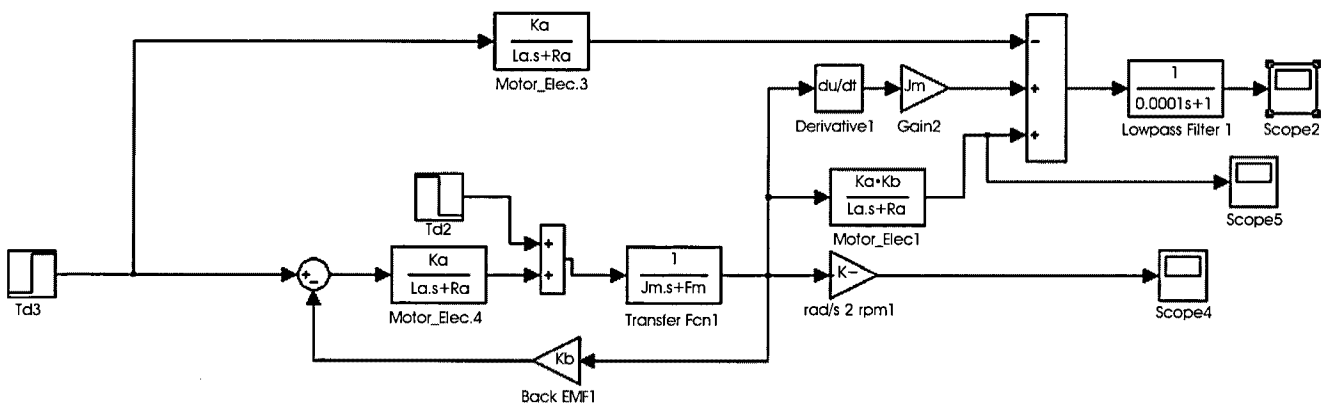


그림 11. 토크 추정 시뮬레이터 블록다이어그램  
Fig. 11. Block diagram of Simulator for estimation of torque

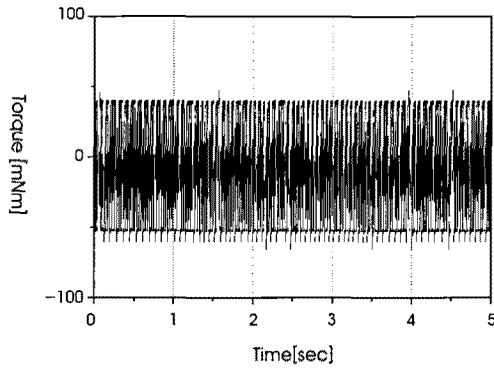


그림 12. 실제 측정된 외력에 의한 토크  
Fig. 12. External torque by experiment

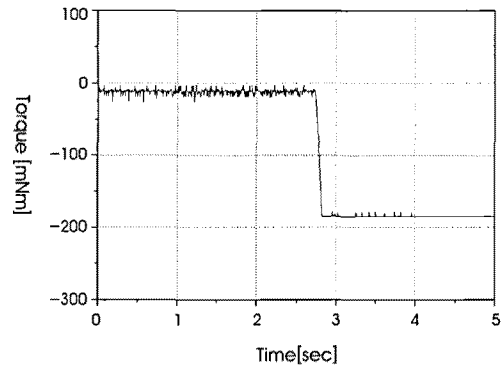


그림 14. 외력에 의한 토크 변화 추정  
Fig. 14. Estimated torque data from will force

의 의지에 따른 차량 제어가 가능해진다.

## VI. 결론

본 논문에서는 장애인이나 고령자들의 활동에 도움을 주는 능동형 보행보조기에 있어 기존에 외부에 장착된 센서를 활용하여 보행 의지를 측정하는 대신에 각 바퀴의 속도 제어를 위해 장착된 모터 제어용 센서를 통해 보행의지력을 추정하였다. 이때 정확한 보행 의지력을 파악하기 위해 추정된 보행 의지력에 대해 저역 통과 필터를 통과시켜 노이즈 성분이 제거하였으며, 실제 보행보조기 구동 시 발생하는 다양한 노이즈에 대해서는 이동평균 필터를 적용하여 이를 제거하였다. 또한 실제 실험을 통해 보행 의지력 파악 알고리즘의 성능을 검증하였다. 이를 통해 제안된 알고리즘이 적용된 보행보조기 사용 시 사용자는 어떠한 외부 장치 없이도 각 바퀴에서 추정된 외력을 통해 정확한 보행 의지 파악을 수행할 수 있음을 증명하였다.

향후 사용자의 보행 의지에 대해 전류 센서 등을 이용하여 직접적으로 보행의지력을 측정하는 기술 개발을 통해 사용자 보행의지

력에 대한 빠른 인식 및 이를 통한 보다 유연한 차량 제어가 가능할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 실외에서 능동형 보행 보조기를 사용하게 될 때 발생하는 경사로, 둔턱 등에 대한 차량 제어 기법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 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.
- [2] Shane MacNamara and Gerard Lacey, "A Smart Walker for the Frail Visually Impaired," *Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1354-1359, 2000.
- [3] Aaron Morris, Raghavendra Donamukkala, anuj Kapuria, Aaron Steinfeld, Judith T, Matthews, Jacqueline Dunbar-Jacob, and Sebastian Thrun, "A Robotic Walkier That Provides Guidance," *Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.25-30, 2003.
- [4] Yashshi Ikeuchi, Jun Ashihara, Yutaka Hiki, Hirochi Kudoh and Tatsuya Nada, "Walking Assist Device with Body Weight support System," *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 4073-4079, 2009.
- [5] R. Thieffry, E. Monacelli, P. Henaff, and S. Delaplace, "Configurating Sensors by User Learning for a Locomotion Aid Interface," *Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1509-1514, 2003.
- [6] In Ku Choi, Eung Hyuk Lee, Yong Gun Jang, Young Whan Ham, and Seung Hong Hong, "A Study on the Wall Following Method of the Motorized Wheelchair," *J. of Biomed. Eng. Res.*, pp. 209-215, 1994.
- [7] 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.
- [8] Oscar Chuy Jr., Yasuhisa Hirata, Zhidong Wang, and Kazuhiro Kosuge, "Motion Control Algorithms for a New Intelligent

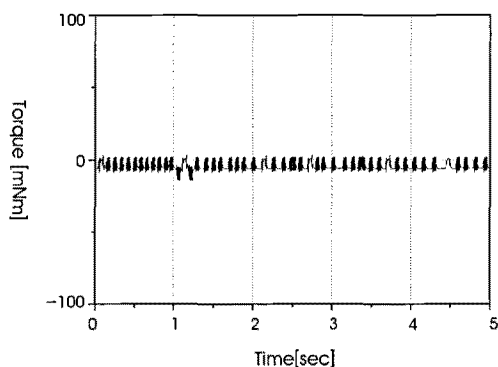


그림 13. 이동평균필터에 의해 처리된 외력에 의한 토크  
Fig. 13. External torque filtered by moving average filter

- Robotic Walker in Emulating Ambulatory Device Function,” Int. Conf. on Mechatronics and Automation, pp.1509-1514, 2005.
- [9] Masashi Tani, Ryoishi Suzuki, Shigehiko Furuya, and Nobuaki Kobayashi, “Internal Model Control for Asisting Unit of Wheeled Walking Frame,” Int. Conf. on Control Applications, pp.928-933, 2004.
- [10] Yasuhisa Hirata, Asami Hara, and Kazuhiro Kosuge, “Motion Control of Passive-type Walking Support System based on Environment Information,” Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2921-2926, 2005.
- [11] S. Egawa, Y.Nemoto, M.G.Fujie, A.Koseki, S. Hattori, and T.Ishii, “Power-assisted walking support system with imbalance compensation control for hemiplegics,” BMES/EMBS conference Serving Humanity, Advancing Techonlogy, pp. 635, 1999.
- [12] 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.
- [13] Yasuhisa Hirata, Takahiro Baba, Kazuhiro Kosuge, “Motion Control of Omni-directional type Walking Support System Walking Helper,” Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.85-90, 2003.
- [14] G. Dudek and M. Jenkin, “Computational Principles of Mobile Robot,” Cambridge university press, pp.26-27, 2000.