

경사로에서의 안정성 확보를 위한 Mobile Walker의 직진성 향상 기법에 관한 연구

A Study on The Straightness Improvement Method for Ensure Safety of Mobile Walker in Slope

이원영, 이동광, 이용혁*

W. Y. Lee, D. K. Lee, E. H. Lee

요 약

본 논문은 경사로에 위치하는 Mobile Walker의 안전성 확보를 위한 직진성 향상알고리즘을 제안한다. Mobile Walker는 경사면주행 시 로봇의 무게와 경사도에 의한 외력으로 인해 경로 이탈을 하게 된다. 이를 보정하기 위해 본 논문에서는 노면의 기울기에 따른 외력을 추정하고, 이를 모터출력에 가감하는 제어기를 사용하였다. 또한 사용자가 입력하는 목표 회전각속도와 로봇의 회전각속도와의 비교를 통해 각 구동축에 가중치를 인가하는 알고리즘을 사용하였다. 제안한 보정 제어기를 적용한 결과, 경사면 이동 시 이탈거리는 무보정 실험의 경우 발산하지만 경사로 보정 알고리즘을 적용하였을 경우에는 이탈거리가 최대 10cm 이내로 안정적인 주행을 하는 것을 확인할 수 있었으며, 이탈거리 변화율 또한 1m 이후 안정화되어 더 이상의 변화가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

This paper suggests linearity enhancement algorithm to Ensure safety of Mobile Walker on Slope. Mobile Walker happens to get off track due to external forces from Walker's weight and the degree of the slope while slope driving. In order to compensate this, this research used the controller that estimates the external forces according to the slope of road surface and adjusts it to the motor output. Also, through comparisons between targeted rotational angular velocity which the user inputs and its velocity of the robot, algorithm was applied which applies a weight to each shaft. As a result of applying the proposed correction controller, it diverges in case of non-compensation experiments that deviates when moving, but it case of applying the ramp calibration algorithm, the deviation distance at max was within 10cm that it keeps safe driving, and change rate of deviation distance was also stabilized after 1m where no more changes occurred.

Keyword : Mobile-Walker, Slope, Straightness, Motion Compensator

1. 서론

최근 삶의 질 향상에 따라 고령자의 기대수명이 높아지고 있으며, 이에 따라 고령자의 일상생활을 지원하는 기술 과 이것을 지원하기 위한 기기에 대한 관심이 높아지고 있다[1]. 고령자는 신체 노령화

접 수 일 : 2014.08.01

심사완료일 : 2014.08.25

게재확정일 : 2014.08.26

이원영: 한국산업기술대학교 전자공학과 박사과정

lbborie@kpu.ac.kr (주저자)

이동광: 한국산업기술대학교 전자공학과 박사

ldk@kpu.ac.kr (공동저자)

* 이용혁: 한국산업기술대학교 전자공학과 교수

ehlee@kpu.ac.kr (교신저자)

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료연구개발사업의 일부

지원에 의하여 이루어진 것임. (과제고유번호 : A121837)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA2014-H0401-14-1003)

로 인해 65세 이후부터 급격하게 근력이 감소되며, 이 중 하지 근력의 저하는 보행 행위를 저해하게 된다[2]. 이것을 지원하기 위한 기기로는 전동 휠체어, 전동 스쿠터와 보행보조차등이 있으며, 특히 보행보조기는 사용자가 탑승하여 이동하는 전동 휠체어나 전동 스쿠터와 달리 사용자가 보행하면서 재활 운동을 할 수 있는 기기이기 때문에 많은 관심을 받고 있다.

현재 보행보조차는 사용자의 힘을 동력원으로 하는 수동형 기기가 대부분이나, 최근 구동력 보조를 위해 모터를 부착하여 사용자의 최소 조작으로 보행을 할 수 있는 전동형 보행보조차가 연구되고 있다. 뿐만 아니라 전동형 보행보조차에 컴퓨터나 마이크로컨트롤러를 장착하여 보행 상황에 능동적으로 대처할 수 있는 Mobile Walker에 대한 연구가 이루어지고 있다[3,4] 이들 연구는 대부분 사용자의 보행의지 검출 및 이에 따른 조향 및 제어기법에 관한 것으로 주로 평지에서의 이동을 다루고 있다 [5-7].

그러나 최근 고령자의 실외 활동 영역이 증가됨에 따라 경사면 주행, 둔턱 주행 등과 같은 다양한 노면에 대처 할 수 있는 연구가 이루어지고 있다 [8,9]. 특히 경사로 주행의 경우, 노면의 경사에 의해 Mobile Walker의 흘러내림 현상이 발생하여 사용자의 안전을 보장할 수 없을 뿐만 아니라 안전사고를 초래할 수 있다. 이러한 안전사고를 예방하기 위해 이동방향 노면을 감시하여 사용자 진입을 차단하는 방법, Yaw Moment 분석을 통한 보정 방법 등의 연구가 이루어졌다.

Yasuhisa가 연구한 RT-Walker[10]는 전방에 장착한 레이저 레인지 파인더(Laser Range Finder)를 이용하여 노면을 검사하고, 경사면 및 둔턱 장애물 상황에서 서보 브레이크 (Servo- Brake)를 통해 장애물 회피를 유도하여 보행자의 안전성을 보장하는 방법을 사용하였다. 그러나 이는 Manual Walker에 브레이크를 장착한 형태로 내리막 경사로에서의 안전성은 확보되지만 오르막 경사로에서 사용자 편리성은 보장되지 않는다. Toshinobu의 전동 휠체어 [11]는 Yaw Moment 보상을 사용하는 방법을 연구하였다. 이는 사용자의 입력 각속도를 입력 받아 휠체어의 Yaw 축 각속도와 비교를 통해 보정하고, Roll 각도에 따른 보정 값을 적용하는 방법으로 별도의 속도측정센서 없이 출력을 보정할 수 있고 미끄러짐 등의 노면 특성에 강인하다는 다는 장점이 있지만, 틀어짐에 대한 보정 제어만 수행하기에 경사로의 수직 경사에 의해 발생하는 밀림에 대한 대처방법이 부족하다. 이러한 문제점을 개선한 Lee 의

Intelligent Walker의 경우 Yaw-Axis 보정 제어를 실시하고, 모터의 속도 보정을 위해 속도 PID 제어를 실시하였다[12]. 그러나 경사에 따른 외력 보정 시점이 속도 Feed-Back 제어기의 앞단에 있어 초기 응답속도가 늦은 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 경사면 이동시 발생하는 문제점인 경로 틀어짐 현상과 밀림 증상에 대한 보정을 수행할 수 있는 보정 제어 시스템을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 경사로에서의 틀어짐에 대한 보정 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 사용자가 입력한 회전각속도와 Mobile Walker의 회전각속도의 차이를 이용한 Feed-Back 제어를 수행하는 회전각속도 보정 제어기를 통해 경사면에서의 틀어짐 보정위반 양 구동축의 출력값을 산출한다. 이후 노면의 경사에 따른 전동기의 예상부하 보정 출력치를 산출하고, 이를 회전각속도 보정 제어기의 출력과 합하여 전동기 제어를 수행하며, 전동기의 제어에 있어 응답속도의 향상 및 정상상태 오차의 감소를 위해 Feed-Back, Feed-Forward 제어를 실시한다.

본 논문 구성은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 Mobile Walker의 경사면 주행에 있어서 회전각 틀어짐 및 밀림의 원인에 대한 분석을 수행한다. 3장에서는 경사 및 다양한 원인으로부터 직진성을 보장할 수 있는 알고리즘을 설명하며, 4장에서는 실험 환경과 실험 결과를 나타낸다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 경사면에서 작용하는 외력 해석

일반 평지에 위치하는 Mobile Walker의 경우 무게(m)와 중력가속도(g)에 의해 중력방향으로 힘이 작용하게 된다. 이때 지면으로 작용하는 힘(\vec{F}_G)은 식 1으로 표현이 가능하다.

$$\vec{F}_G = m \times g \quad (1)$$

이때 Mobile Walker에 작용하는 힘은 이동가능방향과 수직함으로 Mobile Walker의 이동 및 회전에 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만 경사면에 위치할 경우 \vec{F}_G 는 수직 방향 힘 F_{GV} 과 수평 방향 힘 F_{GH} 으로 나누어 작용하게 되어 Mobile Walker의 이동에 영향을 미치게 된다. 다음 그림 1은 경사면에서 Mobile Walker에 가해지는 힘을 표현한다.

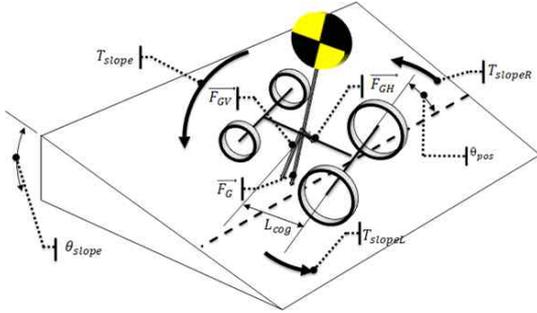


그림 1. 경사면의 Mobile Walker 외력 모델

위 그림 1은 경사면에 위치하는 Mobile Walker의 모습 및 작용하는 외력을 나타낸다. 다음 표 1은 그림 1의 각 기호를 나타낸다.

표 1. 그림 1의 각 기호

θ_{slope}	노면의 경사각
θ_{pos}	Mobile Walker의 틀어짐 각
L_{cog}	구동중심에서 무게중심(Center of Gravity)까지의 거리
\vec{F}_G	중력에 의해 발생하는 힘
\vec{F}_{GV}	경사로에서 노면에 수직으로 작용하는 힘
\vec{F}_{GH}	경사로에서 노면에 수평으로 작용하는 힘
τ_{slope}	노면의 경사에 의해 발생하는 회전토크
τ_{slopeL}	τ_{slope} 에 의한 좌측 모터 토크
τ_{slopeR}	τ_{slope} 에 의한 우측 모터 토크

Walker의 이동에 영향을 미치는 \vec{F}_{GH} 는 식 2를 통해 산출된다.

$$\vec{F}_{GH} = \vec{F}_G \times \sin\theta_{slope} \quad (2)$$

수평으로 작용하는 힘인 \vec{F}_{GH} 는 다시 로봇의 이동축과 동일한 축으로 작용하는 \vec{F}_{GHV} 과 Walker를 회전하게 하는 \vec{F}_{GHH} 로 분리되어 작용하며, 이는 식 3과 같이 산출된다.

$$\vec{F}_{GHH} = \vec{F}_{GH} \times \sin\theta_{pos}, \quad \vec{F}_{GHV} = \vec{F}_{GH} \times \cos\theta_{pos} \quad (3)$$

로봇에 작용하는 회전력 \vec{F}_{GHH} 과 직진방향 힘 \vec{F}_{GHV} 을 통한 외력을 분석하기 위해 경사면을 기준으로 하는 평면도는 다음 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

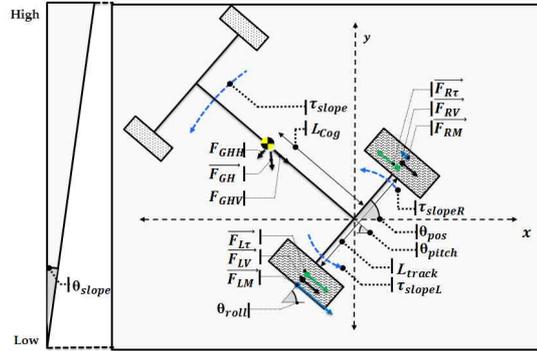


그림 2. 경사면의 Mobile Walker의 외력 모델의 평면도

그림 2는 경사면상의 Mobile Walker에 작용하는 외력을 나타낸다. 다음 표 2는 그림 2의 각 기호를 나타낸다.

표 2. 그림 2의 각 기호

θ_{roll}	Mobile Walker 기준 Roll각도
θ_{pitch}	Mobile Walker 기준 Pitch각도
L_{track}	구동축간 거리
F_{GHH}	\vec{F}_{GH} 의 횡방향 힘
F_{GHV}	\vec{F}_{GH} 의 종방향 힘
\vec{F}_{Lr}	τ_{slopeL} 에 의한 좌측 모터의 접선력
\vec{F}_{Rr}	τ_{slopeR} 에 의한 우측 모터의 접선력
\vec{F}_{LV}	\vec{F}_{GHV} 에 의한 좌측 모터의 외력
\vec{F}_{RV}	\vec{F}_{GHV} 에 의한 우측 모터의 외력
\vec{F}_{LM}	좌측구동축에 가해지는 접선력의 합력
\vec{F}_{RM}	우측구동축에 가해지는 접선력의 합력

\vec{F}_{GHV} 는 Mobile Walker를 아래 방향(Low side)으로 미는 힘이며, 이 외력으로 인해 Mobile Walker는 경사의 아래로 밀리게 된다. 이때 양 구동축에 인가되는 외력은 아래 식 4와 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{F}_{LV} = \vec{F}_{RV} = \vec{F}_{GHV}/2 \quad (4)$$

\vec{F}_{GHH} 는 Mobile Walker를 회전시키는 힘으로 구동중심점을 기준으로 하는 토크를 발생 시킨다. 이는 \vec{F}_{GHH} 과 구동 중심과 무게중심과의 거리 L_{cog} 에 비례하며 이는 식 5와 같다.

$$\tau_{slope} = L_{cog} \times F_{GHH} \quad (5)$$

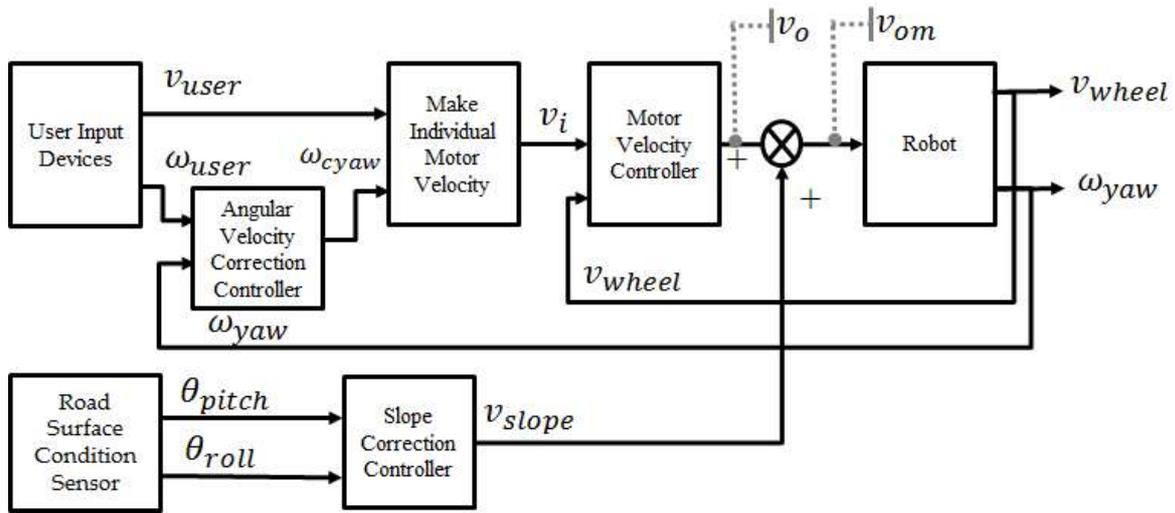


그림 3. 직진성 향상 제어기 블록다이어그램

식 5를 통해 산출된 Mobile Walker의 틀어짐 토크는 구동 중심점을 기준으로 하는 양 구동축 토크의 합과 같다.

$$\tau_{slope} = \tau_{slopeL} + \tau_{slopeR} \quad (6)$$

각 구동축에서 구동중심점을 기준으로 하는 회전 토크(τ_{slopeL} , τ_{slopeR})에 의해 작용하는 회전방향 접선력은 아래 식 7을 통해 산출이 가능하다.

$$\vec{F}_{Lr} = \frac{\tau_{slopeL}}{L_{track}/2}, \quad \vec{F}_{Rr} = \frac{\tau_{slopeR}}{L_{track}/2} \quad (7)$$

위 식 6과 식 7을 종합하였을 때 각 구동기의 구동가능방향으로 작용하는 힘은 아래 식 8과 같다.

$$\vec{F}_{LM} = \vec{F}_{Lr} + \vec{F}_{LV}, \quad \vec{F}_{RM} = \vec{F}_{Rr} + \vec{F}_{RV} \quad (8)$$

경사로 상에서 Mobile Walker의 회전 및 밀림 증상을 억제하기 위해서는 식 8에서 도출된 \vec{F}_{LM} , \vec{F}_{RM} 과 같은 접선력이 필요하게 된다.

3. 직진성 향상 제어기

Mobile Walker는 사용자의 속도 및 회전 각속도를 입력에 따라 이동을 하게 된다. 이때 Mobile Walker는 기구의 특성 및 외부 환경적 요인에 따라 목표 회전 각속도에 수렴하지 못하거나 초과 달성하는 오차를 발생하게 된다.

노면의 둔턱과 같이 순간적 외력이 발생하게 되는 평지에서는 발생한 오차를 사용자의 힘에 의해 보정할 수 있다. 그러나 경사로와 같이 복합, 지속적으로 외력이 발생할 경우 사용자의 힘으로 보정이 어렵게 되며, 이로 인한 경로 이탈 및 밀림 증상을 보이는 등 안전문제가 발생하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안하는 보정 알고리즘으로는 Mobile Walker의 회전각속도 오차를 보정하는 제어기(Angular Velocity Correction Controller)를 사용하고, 이후 속도보정 제어기(Motor Velocity Controller)를 통해 제어 성능을 향상 시킨 뒤, 노면의 경사에 의한 외력기반 보정출력을 수행하는 제어기(Slope Correction Controller)를 그림 3과 같이 설계하였다.

3.1 회전각속도보정 제어기

노면에서 이동하는 Mobile Walker는 노면의 상태에 따라 미끄러짐이 발생한다. 이의 발생빈도는 특히 경사로 및 비평탄 지형에서 높게 나타나며, 이는 경로 틀어짐을 발생시켜 사용자의 안전성을 위해하는 요소로 작용한다. 이를 보정하기 위해 회전각속도보정 제어기를 설계하였다.

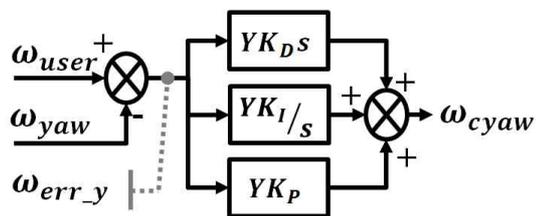


그림 4. 회전각속도 보정제어기 블록다이어그램

회전각속도보정 제어기는 회전각속도 오차율을 이용한 제어를 수행하며, 그림 4와 같은 형태를 보인다. 본 논문에서 사용한 회전각속도보정 제어기는 목표회전각속도(ω_{user})와 실제 Walker의 회전각속도(ω_{yaw})의 오차(ω_{err-y})를 산출하고 이를 통해 보정하는 형태로 식 9와 같다.

$$\begin{aligned} \omega_{err-y} &= \omega_{user} - \omega_{yaw} \\ \omega_{cyaw} &= YK_p(\omega_{err-y} + YK_i \int_0^t \omega_{err-y} dt + YK_d \frac{d\omega_{err-y}}{dt}) \end{aligned} \quad (9)$$

이때 YK_p , YK_i , YK_d 는 각각 회전각속도 보정 제어기의 비례상수, 적분상수, 미분상수이다.

3.2 속도보정 제어기

Mobile Walker의 속도를 보정하기 위한 방법으로 전동기의 무부하 상태에서의 출력을 기준으로 하는 Feed-Forward 제어기와 입력속도와 출력속도와의 비교를 통한 보정방식의 Feed-Back제어기를 설계하였다. 이는 다음 그림 5 와 같다.

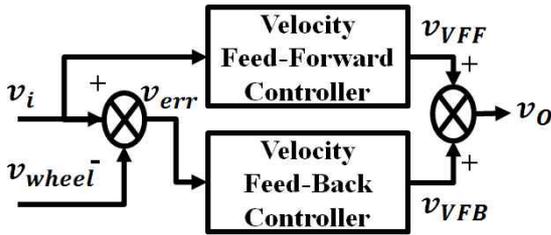


그림 5. 속도보정제어기 블록다이어그램

본 논문에서 사용한 속도 Feed-Back 제어기 (Velocity Feed-Back Controller)는 일반적으로 로봇 및 시스템 제어목적으로 널리 이용되는 PID제어기를 사용하였다. 이는 목표회전속도(v_i)와 실제 전동기의 회전속도(v_{wheel})의 차를 통해 오차(v_{err})를 산출하고 이를 통해 보정하는 형태를 가진다. 이의 전달함수는 다음 식 10과 같다.

$$\begin{aligned} v_{err} &= v_i - v_{wheel} \\ v_{VFB} &= MK_p(v_{err} + MK_i \int_0^t v_{err} dt + MK_d \frac{dv_{err}}{dt}) \end{aligned} \quad (10)$$

이때 MK_p , MK_i , MK_d 는 각각 제어기의 비례상수, 적분상수, 미분상수 이다. 식 - 로부터 출력되는 Feed-Back 제어기의 경우 오차가 발생되어야 출력

을 보정하기에 응답시간이 느린 문제가 있다. 이를 보정하기 위해 본 논문에서는 속도 Feed-Forward 제어기의 출력을 합하는 형태의 제어기를 사용하였다. 이의 최종출력은 식 11 과 같다.

$$v_o = v_{VFF} + v_{VFB} \quad (11)$$

3.3 경사로 보정 제어기

경사면에 위치하는 Mobile Walker의 각 구동축에는 2장에서 산출된 \vec{F}_{LM} , \vec{F}_{RM} 의 힘이 작용하게 된다. 이를 보정하기 위해서는 가해지는 외력의 크기만큼 출력을 추가적으로 하는 방법이 있으며, 빠른 응답을 위해 모터 제어기의 출력 이후에 보정하였다. 먼저 구동축에 인가되는 부하(\vec{F}_{Lr} , \vec{F}_{Rr} , \vec{F}_{LV} , \vec{F}_{RV})는 다음 식 12,13과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{F}_{Lr} = \vec{F}_{Rr} &= (L_{cog} \times \vec{F}_{GHH}) / (L_{track}/2) \\ &= (L_{cog} \times m \times g \times \sin \theta_{roll}) / (L_{track}/2) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \vec{F}_{LV} = \vec{F}_{RV} &= F_{GHV}/2 \\ &= m \times g \times \sin \theta_{pitch}/2 \end{aligned} \quad (13)$$

예측된 부하는 제어기의 응답속도 조절을 위해 비례상수(SK_{pitch} , SK_{roll}) 연산을 통하여 보정속도 출력(v_{slopeL} , v_{slopeR})을 산출할 수 있으며, 이는 식 14, 15와 같다.

$$v_{slopeL} = SK_{pitch} \int_0^t F_{LV} dt + SK_{roll} \int_0^t F_{Lr} dt \quad (14)$$

$$v_{slopeR} = SK_{pitch} \int_0^t F_{RV} dt - SK_{roll} \int_0^t F_{Rr} dt \quad (15)$$

회전방향에 따라 구동기의 방향이 반대가 됨으로 회전토크로 인해 발생하는 접선력(\vec{F}_{Lr} , \vec{F}_{Rr})의 방향은 서로 반대가 되어 적용된다.

4. 실험 및 구현

본장에서는 제안하는 기법의 성능 실험을 위한 실험 환경 및 실험 장치를 다룬다.

4.1 Mobile Walker

본 논문에서 제안하는 직진성 향상 제어기의 성능을 실험하기 위해 그림 6과 같이 후륜 구동

형 Mobile Walker를 사용하였다.



그림 6. Mobile Walker의 외형

다음 표 3은 실험에 사용한 Mobile Walker의 사양을 나타낸다.

표 3. Mobile Walker 사양 표

항목		내용
Size(W · H · D)		630 x 900 x 700 mm
Weight		20 Kg
Motor	Type	DC Geared Motor
	Power	50W / 24V
Wheel	Diameter	250 mm

Mobile Walker는 사용자의 보행 의도 입력이 가능한 HRI 장치인 핸들바, 시스템 제어를 담당하는 주 제어장치, 로봇의 회전 및 경사도를 측정하는 IMU(Inertial Measurement Unit), 그리고 Walker 구동을 담당하는 DC Geared Motor로 이루어진다.

그림 7은 실험에 사용된 Mobile Walker의 전체 시스템 구성도를 나타낸다.

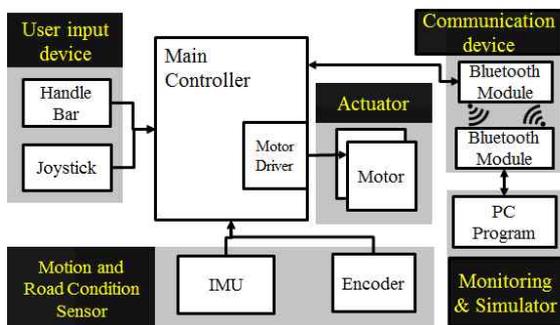


그림 7. Mobile Walker의 시스템 구성도

시스템은 사용자 입력부, 로봇 모션 및 노면 감지부, 주 제어부, 구동부, 그리고 모니터링을 위한 통신부와 Simulator로 구성된다. 사용자 입력부는 핸들바, 조이

스틱과 같은 사용자 보행 의지 입력 장치와 입력된 의지를 통해 Mobile Walker의 목표 방향 및 속도를 제어기에 전달하는 역할을 한다. 로봇 모션 및 노면 감지부는 Mobile Walker에 장착된 IMU와 엔코더로 구성되며, IMU 내부의 가속도 및 각속도 정보를 제어부로 전달하는 역할과 모터의 속도 제어를 위한 속도 장치장치로 사용된다. 제어부는 사용자 입력부를 통해 입력받은 방향 및 속도를 이용하여 좌우 구동축의 출력 속도를 제어하는 역할을 수행하며, 본 논문에서 제안하는 제어 기법들이 이에 위치한다. 주제어장치로부터 출력되어지는 구동명령은 모터 드라이버를 통해 구동기(Actuator)인 모터로 전달된다. 통신부 및 모니터링은 실험에 따른 시스템 내부 변수 및 측정 데이터의 수집을 위한 부분으로 블루투스 통신모듈과 PC로 구성된다.

4.2 제어기의 구현

본 논문에서 제안하는 알고리즘 구현을 위해 그림 8과 같이 마이크로프로세서, IMU, 무선통신모듈을 내장한 제어기를 Mobile Walker에 장착하였다.

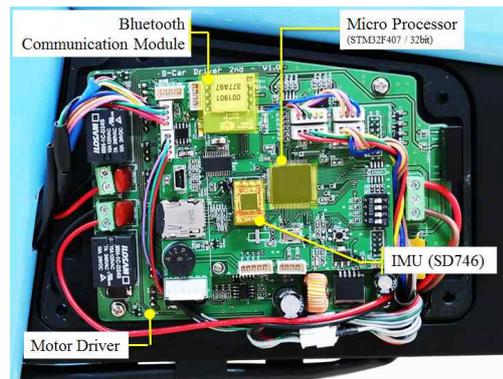


그림 8. Mobile Walker의 제어기 모습

이에 따른 시스템 사양은 다음 표 4와 같다.

표 4. 센서 및 제어기 사양 표

항목		내용
Processor		STM32F407 (ST社)
Control Interval		1ms
IMU	Name	SD746 (Sensor dynamocs 社)
	Interface	I2C
	Resolution	0.062° /s/LSB , 244.1μg/LSB

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 적용 및 기타 장치의 제어를 위해 마이크로프로세서를 사용하였으며, 산술연산 속도의 확보를 위해 FPU(Floating Process

Unit)가 내장된 Cortex-M4 계열을 사용하여 1ms의 제어주기를 확보하였다.

다음 그림 9는 본 시스템의 제어흐름을 나타낸다.

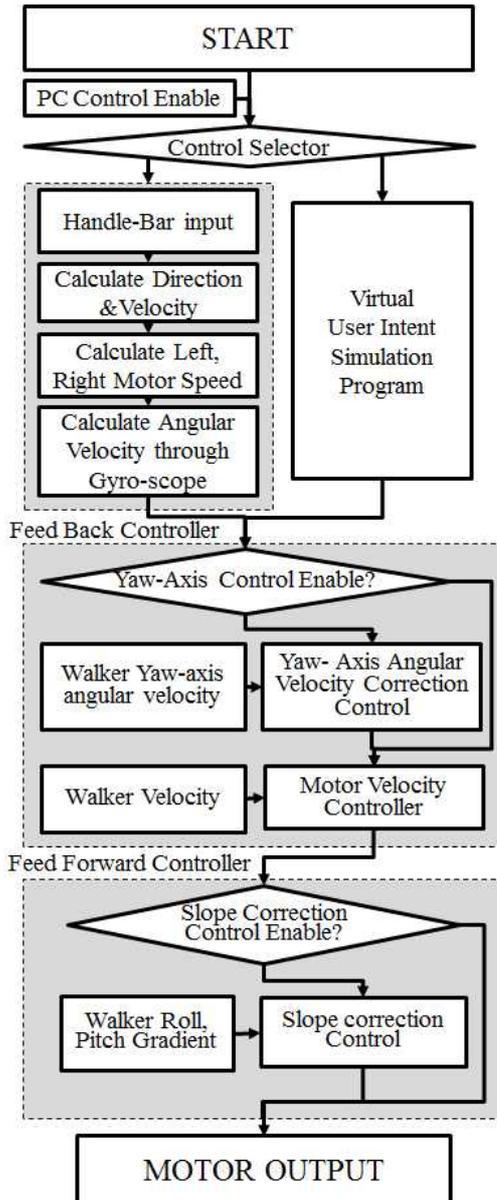


그림 9. Mobile Walker의 프로그램 흐름도

시스템시작 후 통신입력을 통해 사용자의 입력을 통한 제어를 할 것인지 아니면 가상 사용자의 시뮬레이션 프로그램을 사용할 것인지 결정한다. 사용자의 입력에 의한 이동의 경우 사용자가 핸들바에 입력을 가하면 핸들바 하단에 위치하는 압력센서는 압력 정보를 주제어기에 전달한다. 주제어기는 입력 받은 정보를 이용하여 로봇의 속도 및 방향을 산출한 뒤 좌, 우축 구동 출력값과 로봇의 목표 회전 각속도를 보정 제어기에 전달한다. 이후 사용자

설정에 따라 회전각속도 보정제어(Yaw-Axis Angular Velocity Correction Control)와 모터 제어를 실시하고, 최종 출력 이전에 경사에 따른 보정 제어를 실시한다.

실험을 위해 사용하는 시뮬레이션 프로그램 구동 방식은 주제어기에서 출력하는 목표 회전각속도와 좌우 모터 속도 정보를 PC에서 가상으로 출력하는 방식으로 이외의 과정은 동일하게 진행된다.

4.3 비평탄 지형 실험

본 논문에서 제안하는 회전각속도 보정제어기의 성능평가를 위해 일상생활 중 발생할 수 있는 지형인 과속방지턱과 같은 둔턱지형 통과 실험을 실시하였다. 실험구간은 둔턱이 존재하는 평지 구간에서 수행하며, 회전각속도 보정제어기의 사용 유무에 따른 틀어짐을 측정하고, 이를 분석하여 제어기의 성능을 평가한다. 그림 10은 평지 둔턱 실험 구간을 나타낸다.

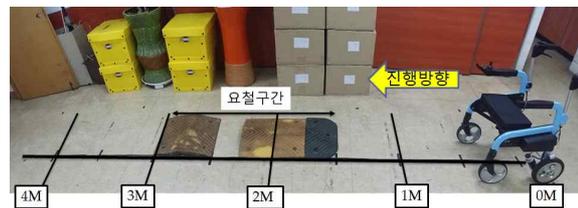


그림 10. 둔턱 구간 실험

Mobile Walker은 이동 후 1m 위치에 있는 둔턱 구간에 진입하게 되며, 이때 구간 진입에 따른 충격으로 속도 및 진행 각도가 변하게 된다. 이에 따른 이동 경로는 그림 11과 같다.

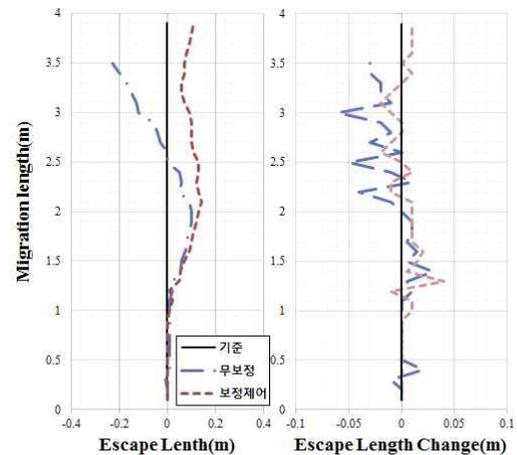


그림 11. 둔턱 구간 시험

Mobile Walker는 둔턱 구간 진입 후 크게 경로이탈을 보이며, 회전각속도 보정 제어기 사용 유무에 따라 각기 다른 특성을 보였다. 보정 제어기를 적용하지 않은 경우 이동 후 보이게 되고, 이는 지속되어 4m 이동거리 이후 0.37m 이상의 이탈경로를 보였다. 하지만 회전각속도 보정 제어기를 사용하였을 경우, 진입시점부터 원 경로를 추정하며 4m 이동 후 평균 0.093m 이내의 이탈거리를 보이는 것을 확인하였으며, 그림 11 우측의 이탈거리의 기준으로 하는 그래프를 관찰하였을 때 전체적으로 이탈거리의 변화율이 보정 제어기를 사용하였을 때 보다 작게 나타나는 것을 확인하였다.

표 5. 회전각속도 보정제어기 사용 유 / 무에 따른 실험결과 비교

항목	미사용	사용
최대 이탈거리	23 cm	14 cm
최대 이탈거리 변화	2.3 cm/cm	0.4 cm/cm

4.4 경사로 지형 실험

본 논문에서 제안한 경사로 보정 제어기의 성능을 평가하기 위한 실험을 실시하였다. 실험 구간은 일반 주거건물의 경사로 의한 최대경사인 1/12을 보장하고 실외용(B형) 전동휠체어규격의 정적 안정성 요구 경사도인 9°의 경사를 가지는 횡단 경사로 구간으로 한다. 측정 정보는 바퀴에 장착된 엔코더를 이용한 이동속도 및 선회각속도와 Mobile Walker에 장착한 카메라를 이용한 경로 정보이며, 실험 진행 후 분석을 실시하였다.

실험구간은 측면경사 9°의 횡단경사로, 경사로 보정 제어기의 사용 유무에 따른 속도/경로 변화를 분석한다.

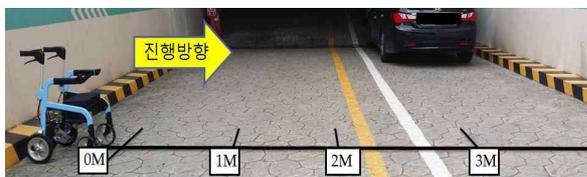


그림 11. 경사로 구간 실험

실험은 수평경사 9°의 횡단 경사노면에 실시하며, 사용자의 조작 의도에 의한 틀어짐이 발생하지 않도록 원격 제어 프로그램을 이용하여 조작하였다. 노면 주행 시 전동기 출력 경로는 실제 이동 경로는 그림 12와 같다.

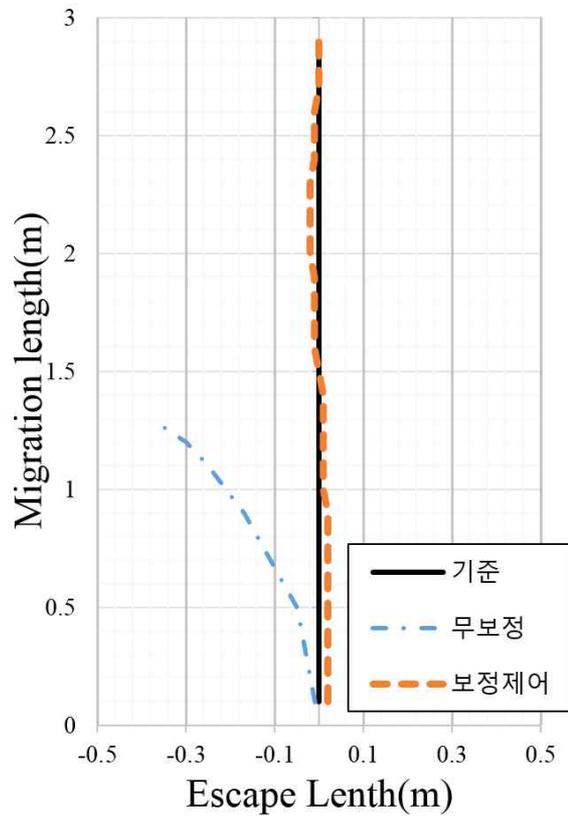


그림 12. 횡단경사로 구간 시험

횡단 경사로 지형에서 보정 제어기를 사용하지 않은 결과 그림 12와 같이 출발시점부터 틀어짐이 발생하였으며, 1.3m 이동 후 약 0.3m의 틀어짐이 발생하였으며, 이후 추가적인 실험이 불가능 하였다. 그 반면 제안하는 경사로 보정제어기 및 기타 제어기의 사용결과 0.1m 최대 이탈 거리가 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문은 Mobile Walker의 경사면 주행시 안전성 확보를 위해 직진성 향상 기법을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 로봇의 회전각속도인 Yaw 축을 기준으로 하는 회전각속도 보정제어기와, 노면의 경사에 따른 외력을 추정, 및 이를 통한 보정을 통해 각 구동축에 속도를 출력하며, 구동축에서는 Feed-Back 제어기인 PID 제어기를 사용하여 직진성을 향상시키는 제어기법이다. 제안한 알고리즘을 적용한 제어기와 적용하지 않은 제어기의 제어성을 비교하였다. 그 결과 둔턱 지형에서 제안기법의 사용유무에 따라 최대 이탈거리는 각각 23cm / 14cm로 약 60%의 최대 이탈거리 감소를 확인할 수 있었

으며, 이탈거리의 변화율 또한 2.3cm/cm, 0.4cm/cm 로 약 83%의 이탈거리 변화율 감소 효과를 나타내었다. 경사로 구간의 비교 결과 보정 제어기를 사용하지 않은 경우 정상적인 이동이 불가능하였지만, 제안하는 제어기의 적용 결과 최대 이탈거리가 10cm 이내인 것을 확인하였으며, 이들 실험을 통해 제안하는 제어기법을 사용할 경우 Mobile Walker의 직진성을 높일 수 있다는 결과를 확인 할 수 있었다. 본 연구에서는 사용자가 없는 상태에서 Walker의 주행을 실험 하였다. 본 연구에서는 사용자의 외력을 배제한 상태로 실험하였지만, 실제 사용자가 경사면에 있을 경우 사용자의 지지력 또한 하중으로 작용하기에 본 연구에서 제안한 제어알고리즘의 보강이 필요할 것으로 보이며, 향후 다양한 노면 경사의 형태와 보행자의 주행의지가 접목된 실험을 실시하여 본 논문에서 제시한 보정 알고리즘의 성능 평가 및 개선이 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] 전경진, “실버공학기술개발”, 한국정밀공학회, 제 21권 제 1호, pp. 11-16, 2004.

[2] 전경희, “노인생활실태 및 복지욕구조사”, 한국보건사회연구회, 보건복지포럼, pp. 50-56, 2005

[3] Hyuk Jae Choi, Sung Jae Kang, Chil Yong Kwon, Jei Cheong Ryu, Suk Min Lee, and Mu Seong Mun, “Research of Elderly Gait-assistant-robot Control System”, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 16, no. 9, pp. 823-826, 2010.

[4] 이동광, “전동형 보행보조기의 편의성 향상을 위한 제어기 설계”, 한국재활복지공학회 논문지, 제 5권 제 1호, 한국재활복지공학회, pp17-25, 2011

[5] 천정봉, “고령자의 일상생활을 지원하는 보행보조로봇 HMI 구현”, 한국재활복지공학회 정기학술대회논문집, pp. 163-166, 2011.

[6] 정순준, “보행보조로봇의 능동적인 속도제어 기법을 위한 보폭추정 방법”, 한국재활복지공학회 추계학술 심포지엄, pp. 294-296, 2012.

[7] Geunho Lee, Takanori Ohnuma, Nak Young Chong, Soon Geul Lee, “Walking Intent-Based Movement Control for JAIST Active Robotic Walker”, Systems, Man, and Cybernetics: Systems, IEEE Transactions on vol. 44, no. 5,

pp. 665-672, 2014.

[8] Gyung-Hwan Yuk, Hong-Soo Park, Hong-Gul Jun, Byung-Ju Dan, Byeong-Rim Jo, “Posture balancing control of smart mobile walker for uneven terrain”, Ubiquitous Robot and Ambient Intelligence, pp. 63-64, 2012.

[9] Jung-Shik Kong, Dong-Kwang Lee, Min-Soo Goh and Eung-Hyuk Lee, “Vibration Reduction Algorithm at the Walking-will Recognition Sensor on Uneven Terrain”, Korea Institute of Intelligent Systmes, vol. 21, no. 1, pp. 42-48, 2011.

[10] Yasuhisa Hirata, Asami Hara, Kazuhiro Kosuge, “Motion Control of Passive Intelligent Walker Using Servo Brakes”, IEEE Transactions on Robotics, vol23, No 5, pp. 981-990, 2007.

[11] Takei T, Suzuki Y, Matsumoto O, Adachi Y, Sasaki Y, Kamo M, “Development of assistive technologies for safe operation of electric wheelchairs on sloping sidewalks and grade height differences”, System Integration (SII), IEEE/SICE International Symposium, pp. 43-48, 2010.

[12] Won-Young Lee, Sueng-Hyun Lee, Mun-suck Jang, Eung-Hyuk Lee, “A Study on Methode for Improving the Straightness of the Intelligent Walker to Move on Slope”, Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2013 10th International Conference on, pp. 536-541, 2013

[13] C. E. Brubaker, “Effects of side slope on wheelchair performance”, Journal of Rehabilitation Research and Development, vol. 23 No. 2, pp. 55-57, 1986.



이 원 영

2011년 2월 한국산업기술대학교 전자공학과 학사
 2013년 2월 한국산업기술대학교 전자공학과 석사
 2014년 - 현재 한국산업기술대학교 전자공학과 박사과정

관심분야 : 재활공학, 지능형 로봇 시스템, 제어 시스템



이 동 광

2007년 2월 한국산업기술대
학교 전자공학과
학사

2009년 2월 한국산업기술대
학교 전자공학과
석사

2014년 8월 한국산업기술대
학교 전자공학과 박
사

2014년 - 현재 에이치티엔
씨 대표

관심분야 : 재활공학, 지능형 로봇 시스템,
제어 시스템, 센서 계측



이 응 혁

1985년 2월 인하대학교 전
자 공학과 학사

1987년 2월 인하대학교 전
자 공학과 석사

1992년 2월 인하대학교 전
자 공학과 박사

2010년 - 현재 한국산업기
술대학교 전자공학
과 교수

관심분야 : 재활공학, 지능형 서비스 로봇
제어, 모바일 헬스케어 시스템