

자기 균형 기능이 있는 외발 전동 손수레 개발

이명섭^{1,2}, 성영휘^{1*}

¹금오공과대학교 전자공학부, ²(주)현대기전

Development of a Self Balancing Electric Wheelbarrow

Myung-Sub Lee^{1,2}, Young-Whee Sung^{1*}

¹School of Electronics, Kumoh National Institute of Technology

²Hyundae Mechanic & Electric Co., LTD

요약 본 논문에서는 새로운 형태의 전동 외발 손수레를 제안하였다. 제안된 전동 외발 손수레는 작업 동작을 감지하여 작업자의 의도에 따라 안전하고 균형을 잃지 않도록 하면서 자동으로 외발 손수레를 이동시킬 수 있도록 해 준다. 작업자가 손수레의 손잡이를 잡고 위 아래로 기울이면 외발 손수레에 장착된 방위각 센서를 이용하여 전후 방향의 각도인 피치각을 감지하고 이를 전후진 이동 의도로 간주하여 각도의 크기에 비례하는 속력으로 손수레의 바퀴를 가감속 제어하여 전후진시킨다. 또한 기존 손수레와 달리 적재함에도 추가의 자유도를 부가하여 회전할 수 있도록 하였고, 작업 중 손수레가 좌우 방향으로 기울어질 때 기울어진 톨각을 감지하고 이를 기반으로 하여 적재함이 항상 지면과 수평을 유지할 수 있도록 위치 제어하여 작업자가 손수레의 균형을 잃지 않고 안전하고 쉽게 손수레를 운전할 수 있도록 해 준다. 농업 현장이나 산업 현장에서 실제로 사용할 수 있도록 DC 모터와 인휠모터, 모터 드라이버, 2축 방위각 센서와 저가의 마이크로 컨트롤러를 사용하여 경제적이고 효율적인 제어 시스템을 구성하고 기구부 설계 제작도 수행하였다. 또한 피치각의 변화만 있는 경우, 톨각의 변화만 있는 경우, 그리고 피치각과 톨각이 동시에 변화하는 경우에 대한 실험을 통해 개발된 전동 외발 손수레의 안정성과 유용성을 검증하였다.

• **주제어** : 외발 전동 손수레, 자기 균형, 2축 제어, ARS 센서

Abstract In this paper, a new type of electric wheelbarrow is proposed and developed. The developed electric wheelbarrow is equipped with an attitude reference system(ARS) sensor, which consists of 3-axis acceleration sensor and 2-axis Gyro sensor so that it can estimate pitch angle and roll angle. When an operator tilts the wheelbarrow up and down, the pitch angle is detected. The sign of the pitch angle is interpreted as the operator's intention for moving the wheelbarrow forward or backward and the controller drives the wheel of the wheelbarrow with the velocity according to the magnitude of the detected pitch angle. A cargo box of the wheelbarrow is designed to rotate and is controlled to maintain level always, so an operator can handle the electric wheelbarrow easily and safely. The wheelbarrow consists of an in-wheel motor, a DC motor, motor drives, an ARS sensor considering economical use in industrial field. Three experiments are performed to verify the feasibility and stability of the electric wheelbarrow.

• **Key Words** : Electric wheelbarrow, Self balancing, 2-axis control, ARS sensor

Received 15 January 2020, Revised 28 February 2020, Accepted 24 March 2020

* **Corresponding Author** Young Whee Sung, School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, 1 Ynagho-dong, Gumi, Gyeongbuk, 730-701, Korea. E-mail: ywsung@kumoh.ac.kr

I. 서론

외발 손수레는 과도하게 무거운 짐을 신는 것은 불가능하지만 바퀴가 하나뿐이기 때문에 지면에 닿는 면적이 좁아서 바닥이 불균형적이거나 좁은 지역에서도 사용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 농업 현장, 건설 현장 등 다양한 분야에서 광범위하게 사용되고 있다.

외발 손수레의 가장 큰 단점은 안정성이 떨어진다는 점이다. 즉, 바퀴가 하나뿐이므로 사용자가 균형을 잡는 것이 어렵다. 특히 발과 같이 바닥이 고르지 못한 지형 또는 경사가 있는 지형에서 작업을 하는 경우나, 평탄한 지형에서도 여성이나 노인 작업자가 외발 손수레에 많은 짐을 실은 상태에서 수레의 균형을 잡고 이동하는 것은 매우 어려운 작업이다.

근래에는 외발 손수레에 배터리와 모터를 장착하여 모터의 구동력으로 바퀴를 회전시키는 외발 전동 손수레가 개발되어 판매되고 있어 작업자의 힘을 덜어주고 있다. 하지만 이러한 전동 손수레의 경우에도 작업자가 두 손으로 외발 손수레의 손잡이 부분을 잡고 이동하면서 동시에 별도로 부착되어 있는 쓰로틀 레버 등을 사용하여 속도 조절을 해야 하므로 사용이 불편하고 힘이 많이 드는 단점이 있다. 또한 고속 주행 시 작업자의 조작 미숙으로 작업자가 부상을 입을 위험이 있다.

본 논문에서는 전문적인 문제점들을 해결하기 위하여 새로운 형태의 외발 전동 손수레를 제안한다. 제안된 전동 손수레는 작업자의 작업 동작을 감지하여 작업자의 의도에 따라 안전하고 균형을 잃지 않도록 하면서 자동으로 외발 손수레를 운전할 수 있도록 해 준다. 즉, 작업자가 손수레를 전후 방향(피치)으로 기울이면 이를 작업자의 작업 의도로 파악하여 작업자가 힘을 주지 않아도 손수레의 바퀴를 전후 방향으로 가감속 제어하여 전후진 시킨다. 또한 적재함에도 추가의 자유도를 부가하여 손수레가 좌우 방향(롤)으로 기울어질 때 손수레가 균형을 잃지 않도록 적재함이 항상 지면과 수평을 유지할 수 있도록 제어하여 작업자가 손수레의 균형을 잃지 않고 안전하고 쉽게 손수레를 운전할 수 있도록 해 준다.

자기 균형 기능이 있는 외발 전동 손수레의 개발은 보고된 바가 없으나 외발 이동체에서 이동체의 진행 방향의 기울기를 감지하여 이동체의 동작을 제어하는 연구는 세그웨이형 2륜 로봇을 비롯하여 다수 존재한

다[1, 2]. 송영근 등은 사람이 탑승할 수 있는 전동 외발 스쿠터를 개발하였는데 탑승자가 스쿠터를 기울이면 자이로 센서와 가속도 센서를 사용하여 스쿠터의 경사각과 각속도를 추정하고 이를 바탕으로 스쿠터가 수직자세를 유지하도록 바퀴를 PID 속도 제어 하였다 [3]. 유사한 연구로 이형민 등은 탑승자의 기울임에 따라 균형을 잡으며 속도를 조절할 수 있는 자동 외바퀴 스케이드 보드를 개발하였다[4]. 이 연구에서도 자이로와 가속도 센서를 사용하여 스케이드 보드의 기울기를 감지하고 기울기 정보를 이용하여 바퀴의 속도제어를 수행하였다. 한편 탑승자가 없이 독자적으로 이동할 수 있는 외바퀴 이동 로봇에 대한 연구도 활발히 진행되어 왔다[5-10]. 이승준 등은 로봇 팔에 팬을 달아 바람을 통해 균형을 잡는 방식의 외바퀴 로봇을 제안하였다. 이 연구에서는 로봇의 피치(Pitch) 방향 자세 제어 및 주행을 하기 위해 DC 모터를 사용하고 롤(Roll) 방향 자세제어를 하기 위해 덕트 팬과 전자 변속기를 사용하는 방식을 제안하였다[5, 6]. 한편 이동체의 요(Yaw) 방향 회전을 달성하기 위한 연구들도 있었는데, 외바퀴 로봇의 몸체 상단에 회전할 수 있는 디스크를 장착하여 이를 이용하여 요 방향의 회전을 수행할 수 있도록 제어하는 방법이 제안되었고[7], 두 개의 바퀴를 가진 전동 스쿠터에서 운전자의 양 발의 체중 분포를 측정하여 그 차이를 조향 제어 명령에 반영하는 방식이 제안되기도 하였다[8].

II. 외발 전동 손수레

2.1 외발 전동 손수레의 기구부

본 논문에서 개발한 외발 전동 손수레는 하나의 바퀴와 몸체, 그리고 적재함으로 구성되어 있다. 외발 손수레는 농업 현장이나 건설 현장 등과 같이 정돈되지 않은 환경에서 사용하기 때문에 손수레의 바퀴부 등에 이물질이 들어가서 고장을 일으킬 가능성이 많다. 따라서 기구적인 간결성을 유지하는 것이 중요하다. 따라서 기구적으로 복잡한 동력 전달 방식을 사용하지 않고 바퀴 형태의 인휠모터(In-wheel motor)를 사용하였다. 손수레의 몸체 상단에는 롤 방향으로 회전이 가능한 적재함을 설치하고 감속기, 커플링을 통하여 전기 모터와 연결하여 모터 제어를 함으로써 균형을 잡을 수 있도록 설계하였다. 적재함은 롤 방향으로

$\pm 18^\circ$ 사이에서 회전할 수 있도록 설계하였다. 그림 1은 본 논문에서 사용하는 롤, 피치 방향에 대한 정의로서 손수레의 진행 방향인 전후 방향으로의 기울어짐을 피치, 손수레의 좌우 방향으로의 기울어짐을 롤로 정의한다. 그림 2는 설계된 적재함울, 그림 3은 실 제작된 적재함을 나타낸다.



Fig. 1. Definition for Roll and Pitch

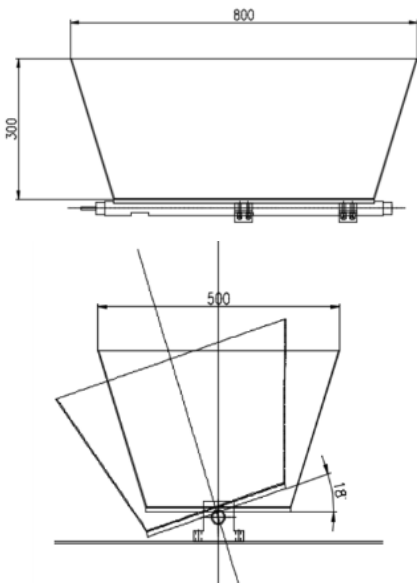


Fig. 2. Designed cargo box



Fig. 3. Manufactured cargo box

전동 외발 손수레의 전체 크기는 높이 1,050mm, 폭 500mm이고 손잡이 부분을 포함한 전체 길이는 1,520mm이다. CAD를 이용하여 설계된 전체 구조는 그림 4와 같다.

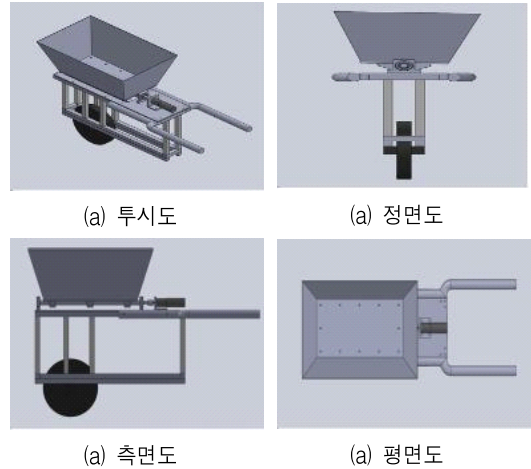


Fig. 4. Designed electric wheelbarrow

전동 손수레 자체의 무게를 줄이기 위해서 몸체는 알루미늄 프로파일을 사용하여 제작하였고, 외바퀴부는 800W 인휠 BLDC모터를 사용하였다. 적재함을 회전시키기 위해서 사용한 모터는 감속기와 엔코더 일체형으로 되어 있는 400W DC 모터이고 모터의 회전축과 적재함의 회전축이 동일하도록 모터와 적재함을 커플링을 이용하여 연결하였다. 그림 5는 실 제작된 외바퀴 부분이고 그림 6은 적재함을 회전시키기 위한 DC 모터 부분을 나타낸다.



Fig. 5. In-wheel BLDC motor

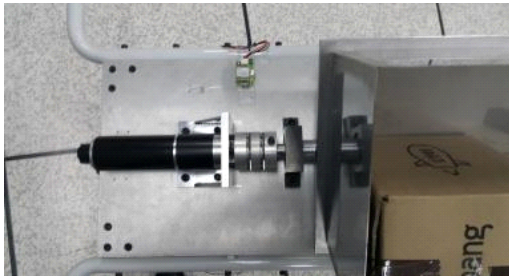


Fig. 6. DC motor connection for rotating cargo box

그림 7은 제작된 전동 외발 손수레의 전체 외형을 보이고 있다.



Fig. 7. Manufactured electric wheelbarrow

2.2 외발 전동 손수레의 제어부

외발 전동 손수레의 제어부 하드웨어는 그림 8에서와 같이 제어기, 리튬이온 배터리, 모터 드라이버, 기울기 센서로 구성되어 있다. 주제어기는 AVR의 8비트 마이크로컨트롤러인 ATmega128을 사용하였다. 전원은 5V 35AH의 리튬이온 배터리를 사용하여 모터 및 제어기에 전원을 공급하였고 제어기인 마이크로컨트롤러에 5V 전원을 공급을 위해 25V to 5V 컨버터를 추가로 사용하였다. 적재함의 위치 제어를 위한 DC 모터용 드라이버와 외발 손수레의 전후진 제어를 위한 인휠 모터를 구동하기 위한 BLDC 모터 드라이버를 사용하였다. 전동 외발 손수레의 롤각과 피치각을 측정하기 위한 센서로는 내부에 3축 가속도 센서와 2축 자이로 센서를 내장하고 있는 방위각 센서인 myARS-USB를 사용하였다.

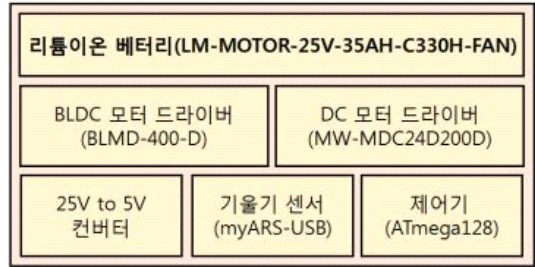


Fig. 8. Components for the controller

자이로 센서는 자세 변화를 잘 감지하는 반면 시간이 흐름에 따라 적분 동작에 의해 오차가 점점 누적되는 특성이 있고 가속도 센서는 정확도가 떨어지지만 오차가 일정 범위내로 제한되는 특성이 있다[11]. 칼만 필터 기법을 사용하면 자이로 센서의 누적 오차 문제를 가속도 센서로 보정하여 자세를 정확하게 추정할 수 있는데 myARS-USB 센서는 내부적으로 칼만필터를 이용하여 롤, 피치 각도를 구할 수 있는 센서이다.

방위각 센서인 myARS-USB는 손수레 상판, 적재함 제어 모터의 옆에 부착하여 외발 손수레의 롤각과 피치각을 감지할 수 있도록 하였고, 제작된 전체 제어기는 그림 9에서와 같이 전동 외발 손수레의 바퀴 뒤쪽 하부에 배터리와 함께 장착하였다.

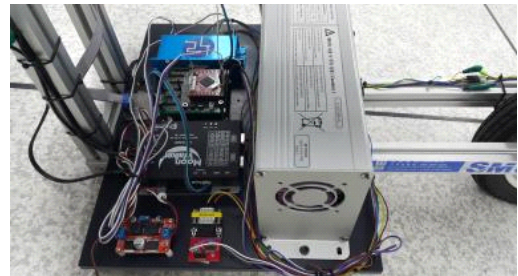


Fig. 9. Controller hardware for the wheelbarrow

그림 10은 외발 전동 손수레의 제어 블록도이다. 외발 전동 손수레를 운전하는 작업자가 손수레의 손잡이를 잡고 들어 올리거나 내리면 방위각 센서가 외발 손수레의 피치각을 감지하고 피치각의 크기에 비례하는 속도로 1축인 인휠(In-Wheel) 모터를 속도 제어하게 된다. 작업자는 외발 손수레를 밀거나 특정한 속도 조절 레버를 조작하는 등의 부수적인 동작 없이 단지 손수레를 들어 올리거나 내리면 되므로 운전이 매우 쉽고 편하게 된다.

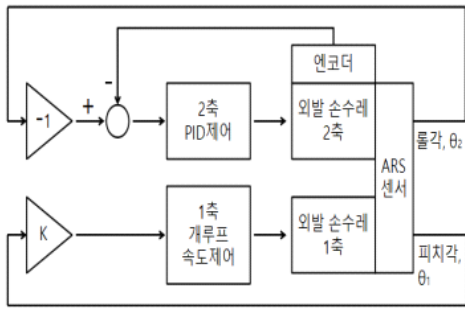


Fig. 10. Control for wheelbarrow

외발 손수레가 운전되는 동안 회전을 하는 경우 또는 외란에 의해 손수레가 좌우방향으로 기울어지게 되는 경우에는 방위각 센서가 롤각을 감지하고 적재함의 수평을 유지하기 위해 2축인 DC 모터를 PID 위치 제어하게 되는데 그림 10에 나타난 바와 같이 감지된 피치각과 같은 크기를 가지며 방향은 반대가 되도록 DC 모터를 위치 제어하여 적재함이 항상 수평 상태를 유지하도록 제어한다. 2축 모터의 실제 각도는 모터에 부착된 엔코더를 통해 감지된다.

개발된 자기균형 외발 전동 손수레는 세 가지 운전 모드가 있다. 첫 번째 모드는 수동 운전 모드로 일반 손수레와 같이 전적으로 사람의 힘에 의해 동작하는 모드이다. 두 번째 모드는 전동 운전 모드로서 모터의 동력을 이용하여 사람의 조종에 따라 동작하는 모드이다. 세 번째 모드는 센서가 감지한 방위각을 사용한 자동 운전 모드이다. 그림 11은 자동 운전 모드에서 주행 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

그림 11에서 θ_1 은 외발 손수레의 전후 방향 각도인 피치각을, θ_2 는 좌우 방향 각도인 롤각을 나타낸다. θ_{1T} 와 θ_{2T} 는 외발 손수레가 너무 민감하게 동작하지 않도록 설정해 주는 역치이다. 외발 손수레의 각도의 절대치가 이 값들보다 작을 경우에는 모터를 구동하지 않는 정지상태가 된다. 이는 외발 전동 손수레가 평형 상태 근처에서 너무 잦은 제어가 일어나지 않도록 하기위해 설정한 둔감 영역이다. 외발 손수레의 1축과 2축 방위각이 모두 역치를 벗어나면 외발 손수레의 자동 제어가 시작된다. 즉, 손수레의 1축인 피치각(θ_1)과 2축인 롤각(θ_2)을 감지하여 피치각의 크기에 비례하는 속도로 손수레를 전후진 운전하고 동시에 롤각과 크기는 같고 반대 방향($-\theta_2$)을 목표치로 하는 위치제어를 하여 적재함이 항상 수평 상태를 유지하도록 함으로써

작업자가 손쉽게 외발 손수레의 균형을 잡을 수 있도록 해준다.

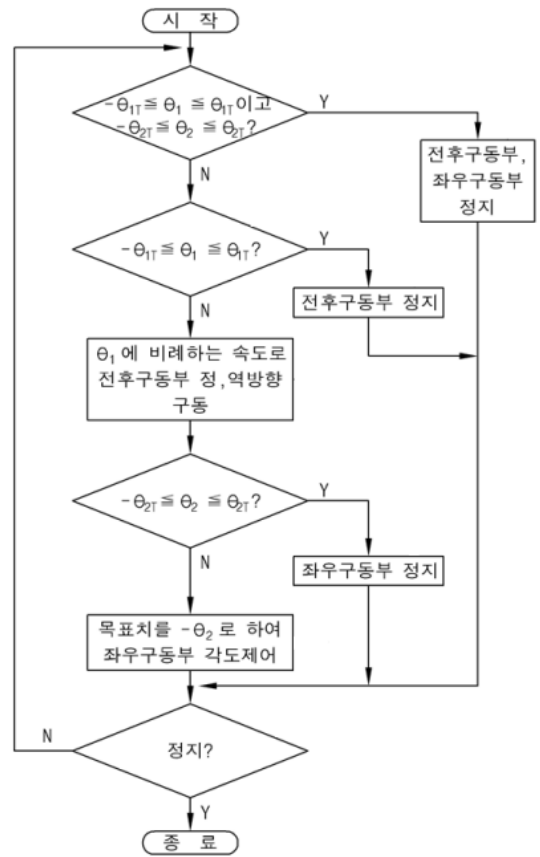


Fig. 11. Algorithm for the operation of the wheelbarrow

III. 실험

제작된 외발 손수레의 유용성을 확인하기 위하여 다음과 같이 세 가지 실험을 수행하였다. 첫 번째는 자동 운전 모드에서 외발 손수레의 전후 방향의 각인 피치각의 변화만 주었을 경우의 전후축 제어, 외발 손수레의 좌우 방향의 각인 롤각의 변화만 주었을 경우의 좌우축 제어, 운전 중 롤각과 피치각의 변화가 동시에 나타날 경우의 전후축 및 좌우축 동시 제어실험을 수행하였다.

첫 번째 실험에서는 작업자가 가능한 롤각의 변화가 없도록 외발 손수레를 좌우 방향으로 기울이지 않고 상하 방향으로만 기울인다. 방위각 센서는 피치각을 감지하고 이에 비례하는 속도로 인휠모터를 제어한

다. 약 4m의 거리를 전진했다가 후진으로 되돌아오는 실험을 수행하였고 왕복 주행 시간은 약 6초이다.

그림 12는 전체 실험 과정의 일부를 시간 순서대로 나타낸 그림이고 그림 13은 이때의 피치각도를 도시한 것이다. 그림 12 (a)는 전진 주행을 시작한 직후로 작업자가 외발 손수레의 손잡이를 작은 각도로 들어 올려 외발 손수레를 낮은 속력으로 전진시키는 상태이다. 그림 13에서 볼 수 있듯이 이때의 피치각도는 시간축 샘플이 200일 때 약 7.5° 정도이다. 시간축 샘플에서 200샘플은 약 1초에 해당한다. 그림 (b)는 손잡이를 큰 각도로 들어 올려 외발 손수레를 높은 속력으로 전진시키는 상태이다. 이때의 피치각도는 시간축 샘플이 360일 때 약 18.5° 정도이다.

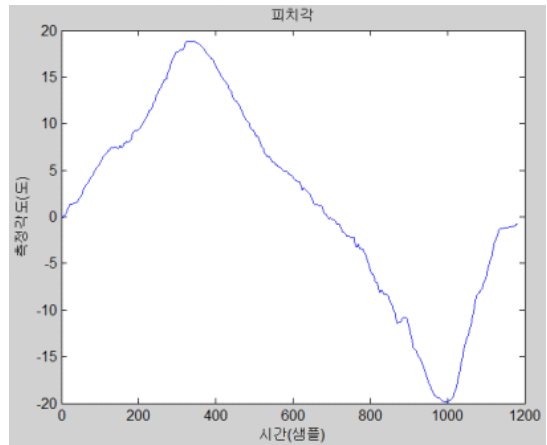


Fig. 13. Pitch angle plot for experiment 1

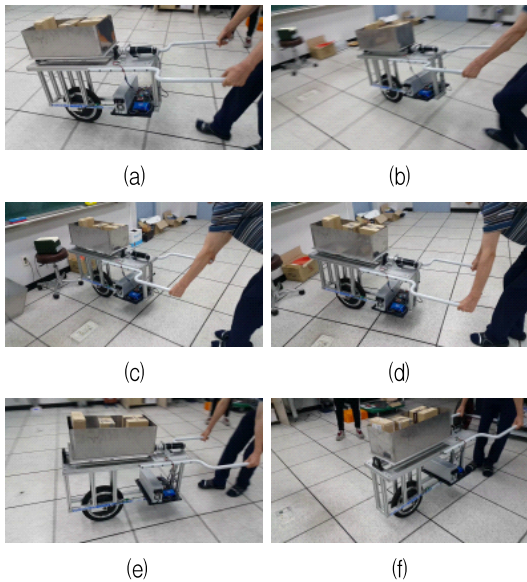


Fig. 12. Experiment for forward and backward movement

그림 12의 (c)는 외발 손수레의 손잡이를 내려 수평을 이루게 하여 전진을 멈추고 정지한 상태를 나타내며 시간 축 샘플은 약 600일 때이다. 그림 (d)와 (e)에서는 외발 손수레의 손잡이를 수평보다 아래로 내려 후진하는 과정이다. 그림 (d)는 외발 손수레의 기울기가 작아 낮은 속력으로 후진하고 그림 (f)는 외발 손수레의 기울기가 커서 높은 속력으로 후진한다. 해당하는 피치각은 그림 13에서 볼 수 있는 바와 같이 음의 값을 갖는다. 그림 (f)는 외발 손수레의 손잡이를 다시 수평으로 하여 후진을 멈추고 정지한 상태를 보이고 있다.

두 번째 실험에서는 외발 손수레를 정지시킨 상태에서 전후진 방향의 기울어짐은 없도록 하고 좌우 방향으로만 기울여서 롤각의 변화만 발생시키면서 적재함이 수평을 이루도록 위치 제어하였다. 실험 과정은 그림 14에, 해당하는 롤각의 변화는 그림 15에 나타내었다.

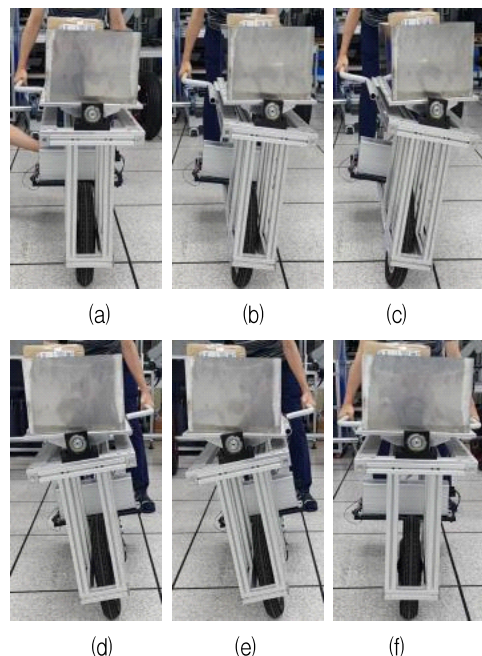


Fig. 14. Experiment for forward and backward movement with fixed roll angle

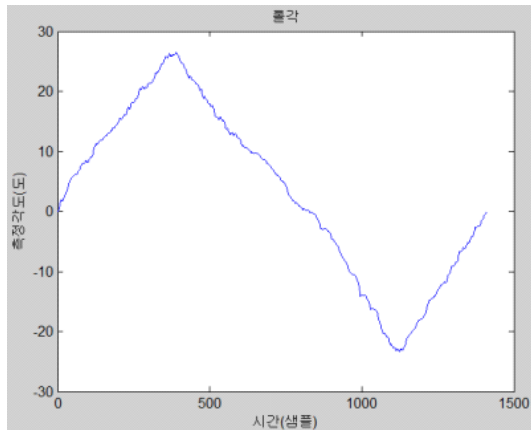


Fig. 15. Roll angle plot for experiment 2

그림 14 (a)는 제어가 시작되는 상태로 외발 손수레가 수평을 유지하고 있고 적재함도 수평을 유지하고 있는 상태이다. 그림 (b)와 (c)는 앞에서 보았을 때 손수레가 우측으로 기울어져 있는 상태로 그림 (b)는 기울기가 작은 상태, (c)는 기울기가 큰 상태를 나타낸다. 여기에 해당하는 롤각은 그림 15에서 볼 수 있듯이 양의 값을 갖는다. 그림 14에서 볼 수 있듯이 외발 손수레가 우측으로 기울어져 있을 시에 적재함은 같은 각도로 좌측으로 기울어져 항상 수평 상태를 이루게 된다. 그림 (d)와 (e)는 앞에서 보았을 때 손수레가 좌측으로 기울어져 있는 상태로 그림 (d)는 기울기가 작은 상태, (e)는 기울기가 큰 상태를 나타낸다. 여기에 해당하는 롤각은 그림 15에서 볼 수 있듯이 음의 값을 갖는다. 여기에서도 적재함은 반대 방향으로 위치 제어 되어 항상 수평을 이루는 것을 확인할 수 있다. 그림 (f)는 최종 정지 상태를 나타낸다.

세 번째 실험에서는 전후진 운전을 하면서 외발 손수레의 좌우 방향의 기울어짐도 발생하는 경우이다. 그림 16은 전후측 피치각과 좌우측 롤각이 모두 변화하도록 손수레를 이동시키는 상황에서 외발 손수레의 운전 상태를 나타낸다. 약 4m의 거리를 전진했다가 후진으로 되돌아오는 실험을 수행하였고 왕복 주행 시간은 약 12초이다.

그림 16의 (a)는 외발 손수레를 위로 들어 올려 전진 운전을 하는 상태에서 손수레가 우측으로 약간 기울어진 상태를 나타낸다. 손수레는 낮은 속력으로 전진하면서 적재함은 지면과 수평으로 제어되고 있음을 볼 수 있다. 그림 (b)와 그림 (c)는 외발 손수레의 손잡이 기울기를 점점 더 기울여서 전진 속력이 빨라지면

서 좌우 방향의 기울기도 점점 커지는 상황을 보이는데 적재함은 항상 수평의 상태로 제어되고 있음을 알 수 있다. 그림 (d), (e)는 경로의 끝점에서 외발 손수레가 정지한 이후 후진하는 상태를 나타내는데 후진 속도도 점점 커지고 외발 손수레가 좌측으로 기울어지는 각도도 점점 커지는 상태를 보이고 있다. 모든 경우에 적재함은 지면과 수평되게 제어되고 있음을 볼 수 있다. 그림 (f)는 후진을 마치고 정지하기 직전의 상태를 보이고 있다. 그림의 각 경우에 해당하는 롤각과 피치각의 변화는 그림 17과 같다.

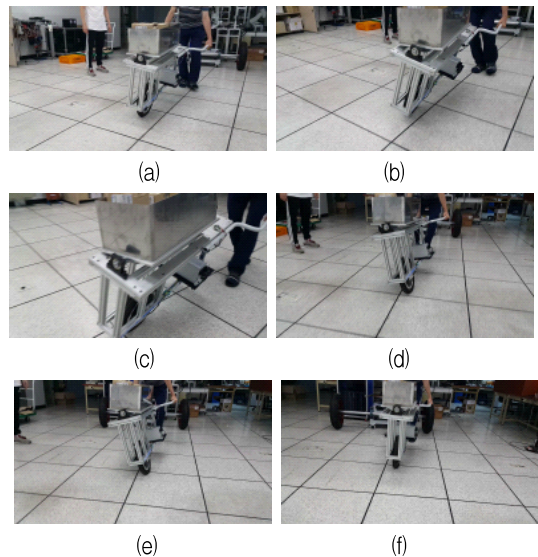


Fig. 16. Experiment for forward and backward movement with changes of roll angle

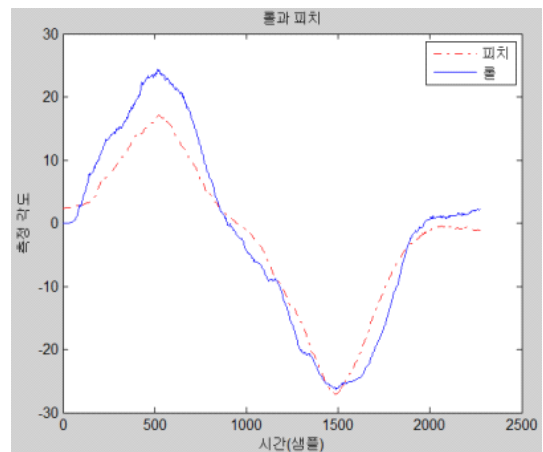


Fig. 17. Roll and pitch angles plot for experiment 3

IV. 결론

본 논문에서는 방위각 센서를 사용하여 작업자의 동작에 따른 손수레의 상태를 파악하여 균형을 잡으면서 작업자의 의도에 맞게 자동 운전되는 외발 전동 손수레의 개발을 소개하였다. DC 모터와 인휠모터, 모터 드라이버, 2축 방위각 센서와 저가의 마이크로 컨트롤러를 사용하여 경제적이고 효율적인 제어 시스템을 구성하고 기구부 설계 제작도 수행하였다.

개발된 외발 전동 손수레는 2축 제어를 한다. 즉, 외발 손수레의 전후방향 기울기인 피치각을 감지하고 이를 기반으로 작업자의 의도를 파악하여 바퀴를 구성하는 인휠 모터를 전후진 방향으로 개루프 속도 제어를 한다. 또한 외발 손수레의 좌우 방향 기울기인 롤각을 감지하고 이를 기반으로 적재함을 좌우 방향으로 위치 제어하여 지면과 수평을 이루도록 함으로써 외발 손수레의 균형을 유지한다. 다양한 실험을 통해 개발된 전동 외발 손수레가 작업자의 사용 편의성을 높이고 안정되게 운전될 수 있다는 것을 보였다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2019-104-068).

REFERENCES

- [1] "Segwey", <http://www.segway.com>
- [2] 조정우, 박귀태, "세그웨이형 2륜 이동로봇의 하드웨어 설계방법," 전자공학회 논문지, 제46권 SC편, 제5호, pp. 322-328, 2009
- [3] 송영근 외, "자세 안정화 전동 외발 스쿠터," 한국정밀공학회 2013년도 추계학술대회논문집, pp. 319-320, 2013.
- [4] 이형민, 백주훈, 진용기, 권준호, 김성현, "자동 외바퀴 스케이트보드 개발," 2010년 정보 및 제어 학술대회 논문집, pp. 356-357, 2010.
- [5] 이승준, 이종현, 신혜정, 정슬, "외바퀴 이동로봇 제어 및 설계," KACC 2009, pp. 333-336, 2009.
- [6] 이종현, 신혜정, 정슬, "딕티드 팬을 이용한 외바퀴 자전거로봇의 균형 제어," Journal of Institute of

Control, Robotics and Systems, vol. 20, no. 9, pp. 895-899, 2014.

- [7] 황종명, 배동석, 이장명, "외바퀴 로봇의 Yaw 방향 회전 제어," 로봇공학회 논문지, 제3권, 제4호, pp. 331-337, 2008.
- [8] 최용준, 류정래, 도태용, "역진자형 전동 스쿠터의 조향 시스템," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 20, no. 9, pp. 942-949, 2014.
- [9] 민형기, 김지훈, 윤주한, 정은대, 권성하, "밸런싱 로봇 제어," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 16, no. 12, pp. 1201-1207, 2010.
- [10] 윤재무, 이재경, 이장명, "모바일 역진자의 효율적 수평유지 기법," 제어자동화시스템공학 논문지, 제13권, 제7호, pp. 656-663, 2007.
- [11] 김성필, "칼만필터의 이해," 아진, 2012.

저자 소개

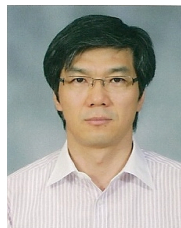
이 명 섭 (Myung-Sub Lee)



2008년 2월 : 계명대학교
기계자동차공학과(공학사)
2010년 2월 : 계명대학교
지능형자동차공학과(공학석사)
2014년 2월~현재 : 금오공과대학교
전자공학과 박사과정, 현대기전
선임연구원

관심 분야 : 지능로봇, 임베디드 시스템

성 영 휘 (Young-Whee Sung)



1991년 2월 : KAIST
전기및전자공학과(공학석사)
1996년 2월 : KAIST
전기및전자공학과(공학박사)
1998년 3월~현재 : 금오공과대학교
전자공학과 교수

관심 분야 : 지능로봇, 지능형자동차