



## 궤도형 전기 차량의 플랫폼 설계

### Platform Design of Caterpillar Typed Electrical Vehicle

이용준\* · 장영학\* · 유영재\*†

Yong-Jun Lee, Young-Hak Chang and Young-Jae Ryoo†

\*목포대학교 제어로봇공학과

\*Dept. of Control Engineering and Robotics, Mokpo National University

#### 요약

본 논문에서는 전기구동방식 궤도차량로봇의 플랫폼을 제안한다. 궤도형 이동로봇은 사람의 접근이 어려운 험지나 장비를 운반하는 등의 목적으로 군사목적, 탐사목적, 재해재난, 농업분야 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 주행 안정각, 측면 전복각 등의 설계조건을 반영하여 전기구동 궤도차량로봇을 설계하였다. 궤도차량로봇을 제작하고 구동시스템 제어를 제작하였다. 제작한 궤도차량로봇을 15° 경사의 실내와 40° 경사의 실외 주행 실험을 실시하였다. 실험을 통하여 개발한 전기구동방식 궤도차량로봇의 주행이 가능함을 확인하였다.

키워드 : 궤도, 전기차량, 등관각, 전복각, 원격제어

#### Abstract

In this paper, a platform design of caterpillar typed electrical vehicle is proposed. Nowadays, there have been many researches on mobile robots in the various ways. Many different fields such as military, exploration, agricultural assistance and disaster relief have applied the mobile robot. Design condition of stable angle, upset angle is reflect to caterpillar typed electrical vehicle. To experiment, developed a caterpillar typed electrical vehicle and design a driving controller. Developed caterpillar typed electrical vehicle is tested about operating and driving. Test environment is consisted of driving on flatland and climbing 15 degree and outdoor 40 degree slope. It is confirmed that developed tracked electric vehicular robot can driving and climbing.

Key Words : Caterpillar, Electrical Vehicle, Stable angle, Upset Angle, Remote control

Received: Apr. 28, 2016

Revised : Jul. 8, 2016

Accepted: Aug. 8, 2016

† Corresponding authors

yjryoo@mokpo.ac.kr

## 1. 서론

오늘날 이동로봇은 다양한 분야에서 다양한 형태로 연구가 진행되고 있다. 군사목적, 탐사목적, 농업 지원용, 재해·재난용 등 많은 분야에서 이동로봇이 적용되고 있다. 이동로봇은 주로 사람이 해야 할 일을 도와주거나 대체하는 목적으로 활용되고 있으며 주로 장비를 운반하고 사람의 접근이 어려운 험지를 이동하는데 쓰인다.[1-8]

군사목적의 로봇은 적지나 위험 지역의 탐사 및 정찰, 지뢰 탐지 및 제거, 군수 물자 수송 등의 목적으로 세계 각국에서 무인이동로봇 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 군 수송 차량에 테러로 인한 인명피해가 발생하고 작전을 수행하기 위해 이동 중에 발생하는 피해를 방지하기 위해 무인차량으로 군수 물자를 수송하거나 지뢰 탐지 로봇으로 지뢰 제거 및 이동 중 안정 유무를 판단을 하여 안전한 임무수행이 가능한 무인이동로봇이 전장에서 사용되고 있다.[1-5]

재해·재난용 이동로봇은 사람이 접근하기 힘든 지역으로부터 인명 구조를 목적으로 재해지역의 장애물, 예측 불가능한 험로 및 실내의 계단 등의 환경을 극복하고 이동하게 된다. 예측을 벗어난 지형을 주행하게 될 때 전복의 위험과 인명 구조 실패의 위험을 낮추기 위한 연구가 진행되고 있다.

[1-4]

농업분야에서의 이동로봇은 최근 대규모 시설하우스 등을 중심으로 자동화가 이루어지고 있고 수확한 작물 등을 실내의 지정된 위치로 운반하는데 이동로봇이 사용되고 있다. 또한 과수농가에서 경사가 있는 지면에서의 운반작업과 수확작업, 그리고 사람이 직접 수행하기 어려운 방제 작업을

이 논문은 2015년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업(NRF-2015 H1C1A1035841)의 지원을 받아 수행된 연구임

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이동로봇이 대신 진행하는 등의 연구가 활발하게 진행되고 있다. [1-4,6]

이처럼 다양한 분야에서 연구되고 있는 이동로봇은 장비나 물자 및 사람을 운송할 수 있는 이동구조를 갖는다. 이러한 이동구조는 여러 형태가 있을 수 있고 지상을 주행하는 이동구조는 바퀴형 구조와 다리형 구조가 있으며 그 구조와 모양에 따라 다양하게 구분 될 수 있다. 목적에 따라, 험난한 지형을 이동하기에 적합한 이동구조에 관한 연구로, 이동로봇 개발과 더불어 주행 방법과 구조에 관한 연구도 진행되고 있다. [1-4]

군사목적 이동로봇은 무한궤도형태의 이동 구조를 갖는 경우가 많다. 이는 도시 이외에 야지에서서도 원활한 주행이 가능하고 장애물 극복이 유리하기 때문이다. 탐사목적 이동로봇, 농업 지원용 이동로봇, 재해·재난용 이동로봇 등은 일반적인 평지보다는 비포장 및 경사로 등 접근이 어려운 험지 지형에서 활용되는 경우가 더 많다. 따라서 이동로봇의 이동구조는 무한궤도 구조를 갖는 것이 다른 두 가지 구조보다 유리할 수 있다. [1-4]

본 연구에서는 궤도형 이동구조를 이용하여 이동로봇 플랫폼을 개발하고자 한다. 에너지 소비 측면에서의 단점이 있기는 하지만, 여러 이동로봇의 이동구조 중 평지 및 야지, 험지에서도 주행이 가능한 장점이 있는 궤도형 이동구조를 이용하였다. 이동로봇의 구동 메커니즘을 설계하기 다음과 같은 조건을 고려하였다. 첫째, 이동로봇이 구동하게 될 실제 지역에서는 일부 예측하지 못하는 지형 조건에 의해 이동로봇 몸체가 전복되는 상황이 발생할 수도 있으므로 전복 발생 가능성을 줄일 수 있도록 설계한다. 시스템의 안정성을 위하여 무게중심은 낮추어 주행 안정각과 전복각을 확보한다. 둘째, 계단이나 높은 장애물 극복을 위해서는 Attack angle 을 생성할 수 있도록 설계한다.

2장에서는 이동로봇의 이동구조에 관한 내용으로 그 형태와 각 이동구조가 갖는 장단점을 설명하였다. 3장에서는 설계 조건을 만족하기 위한 이동로봇의 설계에 관한 내용을 설명하였다. 4 장에서는 전기구동 궤도차량로봇의 설계에 관한 내용을 설명하고, 5 장에서 설계한 궤도차량로봇의 제어기에 관한 내용을 설명하였다. 6 장에서는 궤도차량로봇의 제작에 관한 내용을 설명하고 마지막으로 7장에서는 내용을 요약하여 향후 연구 내용을 제시하였다.

## 2. 이동로봇의 이동방식

이동로봇은 사용목적과 사용환경에 따라 다른 형태의 이동 구조를 갖게 된다.

건물 내부 감시 및 정찰, 공장 내부의 무인 이동 시스템, 화재 지역에서의 구조 인원 확인, 원자력 발전소에서의 방사능 및 위험물

취급, 경찰업무 보조 등과 같은 민간분야와 지뢰탐지 및 제거, 테러 진압, 적지정찰 등과 같은 군사용 분야 등 다양하게 되었다.

다양한 사용 목적으로 사용되는 이동로봇의 이동 구조는 크게 바퀴 구조(Wheel type), 보행 구조(Leg Type), 무한궤도 구조(Track Type) 세 가지로 구분 할 수 있다.

### 2.1 바퀴형 구조

바퀴형 구조는 속도가 빠르고 소음이 적으며 포장도로와 같이 잘 정리된 지형에서 안정적인 주행성능을 자랑한다. 그러나 험로 주행 시 미끄러짐에 의한 견인력 감소가 발생하며 다른 구조에 비해 상대적으로 구동력이 약하여 실외 환경 작업에 많은 제약을 갖는다.

### 2.2 보행형 구조

보행형 구조는 지형에 대한 적응력이 다른 이동 기구에 비해서 좋기 때문에 불규칙한 지반 위에서는 우수한 주행능력을 가지고 있는 반면, 구조가 복잡하여 제어하기에 어렵고 이동속도가 다른 이동 구도에 비해 떨어진다.

### 2.3 무한궤도형 구조

무한궤도형 구조는 에너지 소모는 다른 구조에 비해 크지만, 험지에서의 이동이 원활하고 제어가 다른 구조에 비해 비교적 간단하며 구조의 크기에 반해 회전 반경이 작다는 장점을 지닌다. 이런 무한궤도 차량의 정점으로 험로 주행 및 계단 등반을 목적으로 하는 자율 주행 로봇의 이동 구조로는 무한궤도 구조가 가장 적합하다.

무한궤도형 구조는 구현 시 제어가 용이하고 설계 단계에서 이미 험로 주행까지 고려하므로 실내외를 막론하고 탁월한 주행 성능을 보장한다는 장점이 있지만, 소음이 심하고 마찰 등으로 인하여 에너지 효율이 낮다는 단점이 있다. 그러나 주행성이 우선시 되는 상황에서 신속하게 장애 환경을 헤쳐나가야 하는 경우 이러한 단점들은 어느 정도 배제할 수 있다.

## 3. 전기구동 궤도차량로봇 설계조건

일반적으로 무한궤도형태의 이동로봇의 성능을 나타낼 때 고려되는 지수 중 몇 가지를 설계 조건으로 반영하였다. 궤도차량로봇의 안정적인 주행을 위하여 안정각, 측면 전복각을 확보하기 위한 설계를 진행하였다.

### 3.1 주행안정각

주행 안정각은 차량이 경사면을 주행할 때 전복하지 않을

경사면의 최대각을 의미한다.

안정각은 다음의 수식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= h \tan \alpha \\ X = a \text{ 일 때 } \alpha_{\max} & \\ \alpha_{\max} &= \tan^{-1} \frac{a}{h} \end{aligned} \quad (1)$$

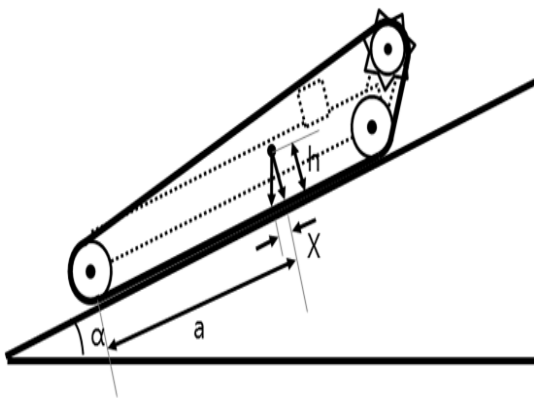


그림 1. 경사면에서의 안정각  
Fig. 1. Stable angle at climbing direction

그림 1.에서 X는 무게중심까지의 거리와 무게중심으로부터 내린 수선이 지면과 만나는 경심까지의 거리, h는 무게중심의 높이, a는 무게중심까지의 거리,  $\alpha$ 는 경사각을 의미한다.

이동로봇 크기에 따라 무게중심이 이동하며 그 이동한 무게중심의 위치에 따라 주행 안정각이 변한다.

위의 수식을 이용하여 설계한 궤도차량로봇 플랫폼의 주행 안정각을 계산하였다. 표 1은 크기에 따른 무게중심의 위치와 주행 안정각의 값을 나타내고 있다.

표 1. 무게중심의 위치와 등판각  
Table 1. Stable angle and center of mass

Length	Height	a	h	$\alpha$
800	300	503.4	127.3	75.8
1500	300	943.9	127.3	82.3
1250	300	786.6	127.3	80.8
800	500	503.4	212.1	71.3
1500	500	943.9	212.1	77.3

### 3.2 측면 전복각

측면 전복각은 그림 2와 같이 경사면에서 수평방향으로 놓여져 있는 차량이 정지해 있을 수 있는 경사면의 최대각을 의미한다. 이는 차량이 경사면에서 수평방향으로 세워져 있을 경우의 안정성과 연관된다.

측면 전복각은 다음의 수식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} y &= h \times \tan \beta \\ y = \frac{T}{2} &= h \times \tan \beta_{\max} \\ \beta_{\max} &= \tan^{-1} \frac{T}{2h} \end{aligned} \quad (2)$$

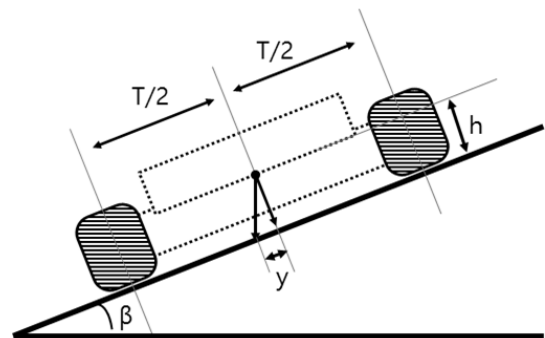


그림 2. 측면 경사면에서의 전복각  
Fig. 2. Upset angle in the horizontal direction

그림 2에서 y는 무게중심까지의 거리와 무게중심으로부터 내린 수선이 지면과 만나는 경심까지의 거리, h는 무게중심의 높이,  $\beta$ 는 경사각, T는 궤도차량로봇의 폭을 의미한다.

이동로봇 크기에 따라 무게중심이 이동하며 그 이동한 무게중심의 위치에 따라 측면 전복각이 변한다.

위의 수식을 이용하여 설계한 궤도차량로봇 플랫폼의 측면 전복각을 계산하였다. 표 2는 크기에 따른 무게중심의 위치와 측면 전복각의 값을 나타내고 있다.

표 2. 무게중심의 위치와 측면 전복각  
Table 2. Upset angle and center of mass

Width(T)	h	$\beta$
800	127.3	72.3
1000	127.3	75.7
1100	127.3	77.0
1200	212.1	78.0
1500	212.1	80.3

### 3.3 필요 구동력

필요 구동력은 평면 도로에서 차량이 구동되기 위한 최소필요 견인력이다. 트랙에서 발생하는 회전저항 마찰력에 해당하는 만큼의 힘을 가하면 된다는 것으로부터 구한다.

필요 구동력은 다음의 수식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{M}{R} &= \mu W \\ M &= (\mu W)R \end{aligned} \quad (3)$$

M은 구동력, R은 구동 스프라킷 반지름(단위:m),  $\mu$ 는 지면

마찰력, W는 궤도차량로봇 중량을 의미한다.

표 3. 스프라킷 크기에 따른 필요구동력  
Table 3. Driving power by sprocket radius

Weight	R	M
200	0.13	18.2
300	0.13	27.3
400	0.13	36.4
500	0.13	45.5

표 3은 궤도차량로봇의 무게와 스프라킷 지름에 따른 필요구동력을 나타낸다.

### 4. 전기구동 궤도차량로봇의 설계

3장에서 궤도차량로봇의 플랫폼 설계를 위한 설계조건을 확인한 후 궤도차량로봇의 플랫폼을 설계하였다. 3D 설계툴을 이용하여 궤도차량로봇의 바디프레임, 동력전달을 위한 구동부 부품을 설계하였다.

설계하는 궤도차량로봇의 플랫폼을 설계하기 위해 현재 판매중인 궤도형태를 갖는 제품들을 분석하였다. 사용 목적과 형태에 따라 전장 900mm ~ 3,000mm, 전폭 600mm ~ 1,600mm의 차이를 보이고 있다. 조사한 9개의 제품의 평균 크기는 전장 2,151mm, 전폭 1,120mm 이다. 전장은 주행을 위한 궤도 플랫폼 이외의 다른 부품이 포함된 길이로 궤도 주행을 위한 바디는 대부분 전폭과 비슷한 크기를 갖고 있다. 또한 전고는 궤도 플랫폼만을 고려할 경우 궤도의 스프라킷의 크기와 비슷하게 설계되어 있다. 설계하고자 하는 무한궤도차량로봇은 전체 길이 1,250mm, 폭 1,110mm, 높이 300mm의 크기와 총중량 200Kg의 사양을 갖도록 설계하였다.

#### 4.1 바디프레임 설계

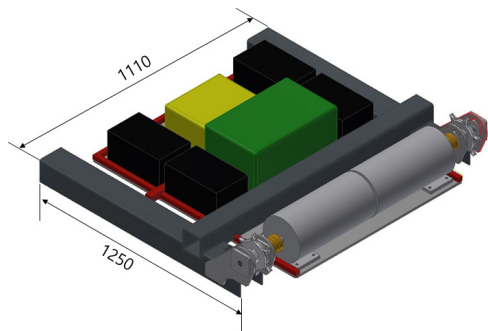


그림 3. 궤도차량로봇 바디프레임  
Fig. 3. Bodyframe of Tracked Vehicular Robot

그림 3과 같이 궤도차량로봇의 바디프레임을 설계하였다. 안정각과 전복각을 확보하기 위하여 좌우 폭을 넓히고 무게중심을 낮추기 위해 높이를 낮게 설계하였다. 궤도차량로봇을 제어하기 위한 제어기와 배터리 배치를 고려하여 설계를 진행하였다.

#### 4.2 구동부 부품 설계

설계하는 무한궤도차량은 전기구동방식으로 엔진과 트랜스액슬을 대신 BLDC모터와 기어, 동력전달을 위한 커플러로 구성되어 있다. 커플러는 모터축과 궤도 스프라킷의 축 사이에 위치하여 두 축의 뒤틀림에 의한 파손을 방지하여 시스템을 보호하기 위한 목적을 가진다.

그림 4는 설계한 구동부 부품을 나타낸다. 모터와 스프라킷을 연결하기 위한 커플러를 선정하고 스프라킷 베어링 브라켓을 설계하였다.

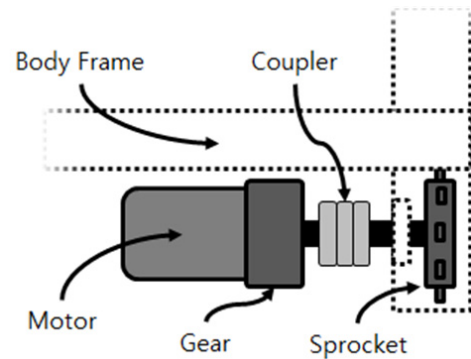


그림 4. 궤도차량로봇 구동시스템  
Fig. 4. Driving System of Tracked Vehicular Robot

좌우 궤도를 구동하기 위해 24V 1.5kW BLDC 모터를 각각 사용하였다. 모터는 1.4 Kgf 토크를 출력하고 1:10 기어를 장착하여 필요구동력 조건을 충족시켰다.

### 5. 전기구동 궤도차량로봇의 제어시스템

설계한 궤도차량로봇은 엔진동력이 아닌 모터를 이용하여 구동시스템을 이루고 있다. 따라서 모터를 제어하기 위한 제어시스템이 필요하다. 2개의 BLDC 모터를 제어하기 위하여 구동제어기를 설계하였다.

#### 5.1 궤도차량로봇의 구동시스템 제어기 설계

그림 5는 궤도차량로봇의 제어 블록도이다. Vehicle Controller에서 구동속도와 방향 신호를 입력받아 좌우 모터 드라이버에 입력할 신호를 출력한다. 제어 신호는 속도를 결정하는 PWM(Pulse Width Modulation)과 주행방향을 결정하는 Forward/Rear, Right/

Left 신호로 구성된다.

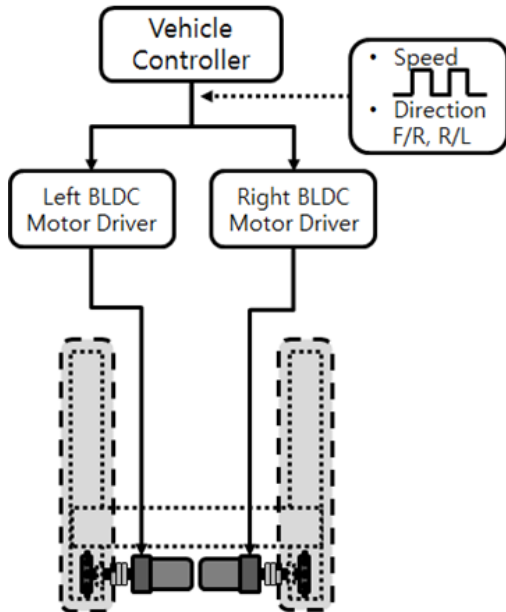


그림 5. 궤도차량로봇 제어 블록도  
Fig. 5. Block Diagram of Tracked Vehicular Robot

### 5.2 궤도차량로봇의 구동시스템 제어기

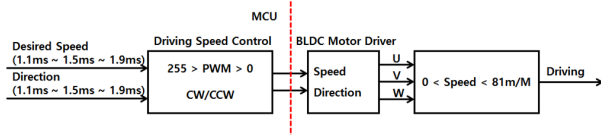


그림 6. 궤도차량로봇 구동 제어 블록도  
Fig. 6. Block Diagram of Driving Control

설계한 궤도차량로봇의 구동 제어 블록도는 그림 6과 같다. 입력장치의 레버 위치에 따라 Desired Speed와 Direction이 변화한다. Desired Speed 값은 모터 속도를 제어하기 위하여 PWM 값으로 변화되어 모터 드라이버에 전달된다. Direction 값은 모터 드라이버의 CW (ClockWise)/CCW(CounterClockWise) 신호값으로 변환되어 전달된다.

### 5.3 궤도차량로봇의 원격제어 시스템

궤도차량로봇의 원격제어를 위해 RC 리모트 컨트롤러를 이용하여 원격제어 시스템을 구성하였다. 레버를 이용하여 직관적이고 쉬운 조작이 가능하다. 궤도차량로봇의 제어기에 신호를 전달하기 위하여 RC 리모트 컨트롤러의 출력신호를 변환하기 위한 시스템을 설계하고 제작하였다. RC 리모트 컨트롤러에서 발생하는 5개의 채널 신호를 궤도차량로봇의 좌우 주행 모터의 구동방향과 구동속도로 변환하여 메인제어기에 전달할 수 있도록 개발하였다.

## 6. 실험 및 분석

개발한 전기구동 궤도차량로봇의 동작 및 주행 실험을 실시하였다. 3장에서 계산된 최대 안정등판각의 실험에 앞서 일상에서 쉽게 마주칠 수 있는 경사면에 대한 주행 실험을 먼저 실시하였다. 실험환경은 실내 15° 와 야외 40° 의 경사면 주행로로 구성하였다. 개발한 궤도차량로봇이 실내외의 평지와 경사면에서 주행이 가능함을 확인하였다.

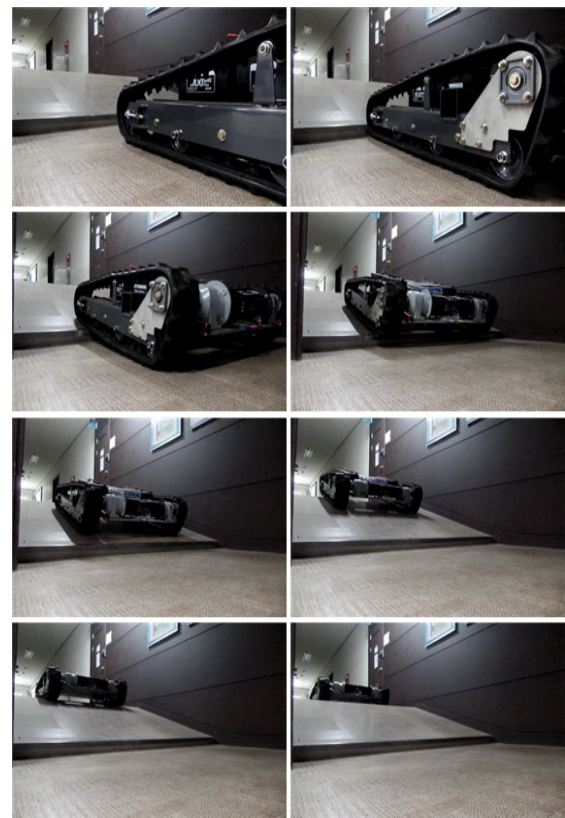


그림 7. 궤도차량로봇의 등판 실험  
Fig. 7. Climbing Test of Tracked Vehicular Robot

그림 7은 궤도차량로봇의 실내 15° 경사면 주행실험의 결과이다. 실내의 평탄한 경로를 주행하는 중 경사면을 진입하는 부분에 70mm 높이의 턱이 있다. 개발한 궤도차량로봇의 궤도의 반지름이 턱의 높이보다 크기 때문에 궤도차량로봇이 경사면에 진입하여 주행이 가능함을 확인하였다.

그림 8은 궤도차량로봇의 실외 40° 경사면 주행실험의 결과이다. 실험환경은 평지 10m의 경로와 바로 이어지는 10미터 길이의 경사면으로 구성되어 있다. 평지는 ±50mm 내외의 높이 차이가 존재하고 있다. 초기 구동 시 잡초와 지면의 높이차에 의한 슬립현상이 발생하였지만 평지부터 경사면 끝까지 주행이 가능함을 확인하였다.



그림 8. 궤도차량로봇의 등판 실험  
Fig. 8. Climbing Test of Tracked Vehicular Robot

## 8. 결론

본 논문에서는 전기구동 궤도차량로봇 플랫폼 개발을 제안하였다. 제안하는 플랫폼을 설계 프로그램을 이용하여 바디플랫폼과 동력전달부품 등을 설계하였다. 시뮬레이션을 통해 설계의 적합성을 확인한 후 시제품을 제작하였다. 또한 실험을 통해 제작한 전기구동 궤도차량로봇 플랫폼이 구동이 가능함을 확인하였다. 향후과제로 설계조건에 최대 주행안정각과 최대 측면전복각에 대한 실험을 진행하고 주행안정각에 변화에 따른 전기구동 궤도차량로봇의 주행성능을 측정하여 제어알고리즘을 개선하고자 한다.

## References

- [1] HanHo Kim, "Design and Performance Analysis of Variable Configuration Tracked Vehicle", Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1999.
- [2] Taeyoon Kim, "Development of a crawler model on a rescue robot for real-time", Graduate School of Pusan National University, 2015.
- [3] Jihong Kim, "Study of machine design for a transformable

shape single-tracked vehicle system", Graduate School of Jeonbuk National University, Doctorate Thesis, 2010.

- [4] Hae Kwan Jeong, "Obstacle Negotiation and Avoidance for Autonomous Navigation of Rescue Robots in Small Area", Korea Advanced Institute of Science and Technology, Doctorate Thesis, 2009.
- [5] Dong-Hyuk Jeong, Jin-Il Park, Yong-Tae Kim, "A Study on design of mobile robot for autonomous freight transportation", *Proceedings of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 1, pp. 45-46, 2013.
- [6] Baehoon Choi, Beomseong Kim, Euntai Kim, "Location Estimation and Obstacle tracking using Laser Scanner for Indoor Mobile Robots", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 329-334, 2011.
- [7] Dong Hun Kim, "Development of a Simulator for a Mobile Robot Based on iPhone", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 1, pp. 29-34, 2013.
- [8] TaeSeok Jin, "Obstacle avoidance of Mobile Robot with Virtual Impedance", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 451-456, 2009.

## 저자 소개



### 이용준(Yong-jun Lee)

2004년 : 목포대학교 제어시스템공학과 졸업.

2010년 동 대학원 석사

2010년~현재 : 동 대학원 전기공학과

제어시스템전공 박사과정

관심분야 : 지능로봇, 자율주행차량

Phone : +82-10-4149-0910

E-mail : yongjun@mokpo.ac.kr



### 장영학(Young-Hak Chang)

1981년 : 전남대학교 계측공학과 졸업

1984년 : 동 대학원 석사, 1991년 동 대학원

박사

1991년~현재 : 목포대학교 제어로봇공학과

교수

관심분야: 전기기기, 전력전자

Phone : +82-61-450-2752

E-mail : yjchang@mokpo.ac.kr



**유영재(Young J. Ryoo)**

본 논문지 제21권, 제4호 참조

2000년~현재 : 목포대학교 제어로봇공학과  
교수

2010년~2012년 : 미국 버지니아텍 교환교수

관심분야 : 지능형 로봇, 미래형 차량, 로봇형 차량

Phone : +82-61-450-2754

E-mail : yjryoo@mokpo.ac.kr