

◆ 특집 ◆ 멀티 스케일 다중 전개형 협업 로봇의 설계 및 생산 기술 개발

험한 지형 주행 운반 로봇 플랫폼의 개념 설계 및 분석

Conceptual Design and Analysis of the Rough Terrain Mobile Robot

최동규¹, 정승민¹, 김종원^{1,✉}

Dongkyu Choi¹, Seungmin Jung¹, and Jongwon Kim^{1,✉}

¹ 서울대학교 기계항공공학부 (School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National Univ.)

✉ Corresponding author: jongkim@snu.ac.kr, Tel: +82-2-880-7144

Manuscript received: 2012.11.6 / Accepted: 2012.11.15

This paper presents conceptual design and analysis of the rough terrain mobile robot. The requirement list of the robot is derived to make it possible to deliver small robots and communication equipment to certain place. In addition, detailed analysis of the existing mobile mechanisms is performed. Based on the requirement list and analysis, the proposed rough terrain mobile robot is systematically designed and through extensive simulations, its capability of moving on various rough terrains is successfully verified.

Key Words: Rough Terrain (험한 지형), Mobile Robot (이동 로봇), The Requirement List (요구사항목록), Conceptual Design (개념설계)

1. 서론

로봇에 대한 연구가 활발히 진행이 되면서 로봇은 사람의 일을 대신하여 수행하는 역할을 하게 되었다. 특히 사람이 들어갈 수 없는 지형이나 접근하기에 위험한 지형에 사람 대신에 접근하여 필요한 작업을 수행하는 로봇은 가장 큰 관심을 받고 있으며 무너진 건물에서의 사람 찾기, 사고가 일어난 지역에서의 방사능 세기 측정 등등 이동 로봇은 다양한 방면에서 사람을 대신하여 역할을 수행할 수 있다. 이동 로봇에 있어서 로봇의 이동 능력의 향상은 작업 능력과 직접적으로 연관되는 중요한 요소라 할 수 있기 때문에 더 높은 벽이나 더 많은 장애물을 넘어가기 등 이동성을 높이기 위한 연구가 진행되고 있다.^{1,2}

본 연구에서는 무너진 건물에서 이동 로봇이 이동을 하며 실종자를 찾는 작업을 수행하는 로봇

의 개발을 수행하고 있으며, 많은 기능을 가지고 있는 하나의 로봇이 아니라 큰 장애물을 극복하며 작은 로봇을 운반하여주는 큰 로봇과 다양한 장애물을 극복 가능한 작은 로봇이 팀을 이루어 작업을 하는 방안을 제시한다. 이에 본 논문에서는 시스템의 하나인 큰 로봇의 필요한 요구사항과 이에 맞는 이동 로봇 메커니즘을 제안하고 최종 설계 메커니즘을 선정한다. 또한 무너진 건물에서 이동할 때 접할 수 있는 다양한 장애물을 선정하고 최종 설계 대안이 장애물을 넘을 수 있는지에 대한 여부를 판단한다.

본 논문은 2 장에서 큰 이동로봇의 요구사항 목록을 제시하고 기존 이동 로봇이 가지고 있는 장점과 단점을 비교 분석 한다. 3 장에서는 이동로봇의 최종 설계 대안을 선정하여 장애물에서의 극복 능력을 분석한다. 마지막으로 4 장에서는 최종 결론을 제시한다.

2. 이동 로봇 플랫폼 설계

2.1 요구사항 목록

무너진 건물에 소형 로봇을 운반하는 로봇 플랫폼 개발에 앞서 로봇에 필요한 요구사항 목록을 작성하였다. 요구사항 목록을 통하여 로봇에 실제 필요한 기능을 정리해 볼 수 있으며 필요한 작업에 맞는 로봇을 제작 할 수 있다. 실제 재난 현장에서 인명을 구출하는 소방관의 면담을 통하여 필요한 로봇의 기능을 추출하고, 실제 구조현장을 모사한 대원들이 훈련하는 훈련장을 방문하여 현장에 대한 이해를 통하여 로봇의 필요한 요구사항 목록을 정리하였다. 정리된 요구사항 목록은 Table 1 과 같다.³

요구사항 목록의 중요한 내용을 살펴보면 첫째, 로봇의 크기는 600 mm (폭) x 800 mm (길이) x 600 mm (높이) 를 넘지 말아야 한다. 무너진 건물에서의 이동로봇의 경우 무너진 건물 자재에 의하여 이동이 제한되며 사람이 들어가지 못하는 장소에도 접근이 가능하여야 하기 때문에 크기를 무한정으로 크게 만들 수 없다. 이에 좁은 복도에서 이동이 가능하며, 회전 시 회전 반경이 크지 않고 무게 중심이 높지 않은 로봇을 설계하여야 한다. 둘째로 빗면, 단, 구멍, 계단에 대한 이동능력이 좋아야 한다. 특히나 무너진 건물에서의 이동의 경우 계단에 대한 극복 능력은 층과 층을 이동하는데 필수적이다. 셋째 무너진 건물에서의 주행에 있어서 본체의 흔들림이 심하면 안 된다. 큰 이동 로봇의 경우 내부에 소형 로봇과 통신 장비를 탑재하는 운반용 이동하기 때문에 험한 지형 이동 시에 본체가 흔들려서 소형 로봇이나 장비가 떨어지거나 손상이 일어나면 안 된다. 이러한 이유로 필요한 작업을 수행하기 위해서는 본체의 진동이 심하지 않고 안전하게 운반을 하는 능력이 필요하다.

2.2 기존 로봇 조사 및 비교

이 장에서는 기존에 연구되고 있는 다양한 이동 로봇의 조사 및 비교를 통하여 큰 이동 로봇의 설계 대안을 제시한다. 이동로봇은 크게 바퀴형 이동로봇, 트랙형 이동 로봇, 그리고 다리형 이동 로봇으로 나누어 볼 수 있다.

가장 대표적인 바퀴형 이동 로봇으로는 라커보기⁴⁷ 를 들 수 있다. 라커보기는 그림 1 의 (a)에서 보이는 것처럼 6 개의 바퀴와 2 개의 수동 조인트로 이루어진 링크 구조를 가지는 이동 로봇이다. 땅의 모양에 맞게 수동 조인트가 작동하여 6 개의 바퀴

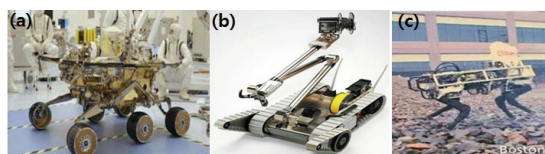


Fig. 1 (a) A wheel mechanism (b) a track mechanism (c) a leg mechanism

가 항상 땅에 접지 할 수 있기 때문에 큰 추력을 내어 험한 지형 이동이 가능하고 본체의 진동이 적게 이동이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 바퀴 구조로 이루어진 이동 로봇은 바퀴보다 큰 구멍이나 옆면이 없는 단의 경우 통과가 불가능하며 계단에서도 취약한 이동 능력을 보이는 단점이 있다.

트랙 구조의 경우 바퀴를 트랙으로 연결하여 긴 바퀴와 같은 형상을 가지게 되면서 기존의 바퀴 메커니즘이 극복하지 못하던 구멍이나 단, 그리고 계단의 이동에 뛰어난 이동능력을 보인다. 특히 I-robot 사의 packbot⁹ 의 경우 (그림 1 의 (b)) 트랙 바퀴 앞에 상하로 이동이 가능한 트랙 팔을 추가함으로써 험한 지형에서의 높은 이동 능력을 보여 주었다. 위 아래로 움직이는 트랙 팔은 이동 로봇 앞에 놓여진 장애물을 해쳐 나가는데 유리할 뿐 아니라 계단이다 턱, 구멍을 극복하는데 있어서 트랙을 손쉽게 모서리에 걸치게 해 줌으로써 이동 능력의 향상을 가져왔다. 그러나 트랙 구조의 경우 긴 트랙을 이용하여 장애물 극복에는 쉽지만 긴 트랙이 본체와 직접 연결이 되어서 트랙에서 오는 진동이 본체에 바로 전달이 된다. 굴곡이 심한 지형에서의 주행의 경우 지형의 굴곡이 본체에 그대로 전달되어서 심한 본체의 흔들림을 보이게 된다.

마지막으로 다리 형태의 이동 구조의 경우 사람이 지형을 걷는 것과 같이 다양한 지형을 안정하게 걸을 수 있다는 장점이 있다. 특히나 동물의 모습을 모사하여 4 족으로 만들어진 로봇의 경우 언제나 3 발이 땅에 닿게 제어를 하면 안전한 지형 이동을 이루어 낼 수 있다. Boston dynamic¹⁰ 사의 big dog 이나 small dog 은 이러한 제어를 이루어 낸 대표적인 로봇으로 험한 지형 이동 로봇으로 각광 받고 있다. 그러나 사람과 같은 다리 구조를 통하여 지형을 극복하기 위해서는 지형 인식, 다리를 안정되게 놓기 위한 위치 선정, 정해진 위치로의 다리 제어 등등 수많은 제어의 문제가 발생한다. 이에 알지 못하는 지형에서의 탐사로서는 다리 형 구조는 어려움이 있다.

Table 1 Requirement list of the rough terrain robot

| Requirements list of the rough terrain mobile robot | |
|---|--|
| Classification | Content |
| Geometry | <p>The robot has to be composed of the moving part and the storage part</p> <p>The moving part Size limit: width x length x height < 600 mm x 800 mm x 400 mm</p> <p>The storage part Size limit: width x length x height < 600 mm x 600 mm x 200 mm</p> |
| Force | <p>Weight: less than 40 kg (with the small robots) (for ease of handling by two people)</p> <p>Payload : 10 kg (the small robots and communicate equipment)</p> |
| Environment | <p>Collapsed building with stairs inside</p> |
| Ability | <p>Maneuverability on urban environment</p> <p>Storage and carry the small robots</p> <p>Deployment the small robots on a certain area</p> <p>Communicate with the small robot and the operator</p> |
| Movement | <p>Moving speed : 60 m/min (human walking speed)</p> <p>Motion : Forward, backward, and turning</p> <p>Overcomes the incline that has maximum 30 degree slope angle</p> <p>Overcomes the step that had maximum 300 mm height</p> <p>Overcomes the hole that has maximum 200 mm diameter</p> <p>Overcomes the stair that has minimum 260 mm length and maximum 180 mm height</p> <p>Overcomes the rough terrain without large vibration</p> |
| Deployment | <p>Deployment the small robots which are carried on the rough terrain mobile robot</p> <p>Throw the small robot more than 2 m</p> |
| Energy | <p>Operate by a battery for 1 hour without charging</p> |
| Durability | <p>Fire resistance material</p> |
| Electronics | <p>Vision system : camera mounted on the robot</p> <p>Communicate system : communicate equipment mounted on the robot</p> <p>Lighting system : flash on 0.5 m in front area</p> |
| User interface | <p>Operator can move the robot by remote controller</p> <p>Operator can monitor the sight of the robot in real time</p> |

세 가지의 큰 이동 구조를 분석하여 보면 바퀴형 구조는 굴곡이 험한 지형에서 안정적인 이동을 보이는 반면 다양한 지형을 극복하지 못하고, 반면에 트랙 구조는 다양한 지형에서 이동 능력은 좋지만 험한 지형 주행 시 본체의 안정성이 떨어진다. 다리 형 구조는 안정성과 이동 능력 면에서 모두 좋은 능력을 보여주지만 제어와 동작 구현이 어렵다는 단점이 있다.

2.3 설계 대안 선정

앞의 2 절에서 정의된 험한 지형 주행 운반 로봇의 요구사항 목록과 기존 주행 메커니즘의 장단점 비교 분석을 통하여 무너진 건물에서 소형 로봇을 운반하는 운반 로봇의 설계대안을 선정한다. 기존의 이동 로봇과 본 연구에서 요구하는 운반 이동 로봇이 가지는 가장 큰 차이는 요구사항 목록에서 나와 있듯이 본체의 안정적인 주行的 필요성이다. 기존의 험한 지형 이동 로봇의 경우 얼마나 더 높은 턱을 넘을 수 있는지, 얼마나 더 가파른 계단을 넘을 수 있는지, 장애물을 극복하는 동안 필요한 최소의 마찰계수가 얼마인지에 대하여 연구가 진행이 되었다. 이러한 요소들은 전부 주행 극복 능력과 관련된 요소로 같은 스케일 대비 얼마나 더 장애물을 잘 극복하는지를 보여준다. 그러나 무너진 건물 탐사에 필요한 험한 지형 주행 운반 로봇의 경우 험한 지형의 주행뿐 아니라 안에 탑재하고 있는 소형 로봇과 통신 장비를 안전하게 운반해야 하는 목표가 있다. 따라서 장애물 극복 능력은 물론 굴곡이 험한 지형에서도 안정적으로 본체의 흔들림이 적게 주행하는 것이 중요하다 할 수 있다.

이러한 요구사항을 바탕으로 기존의 주행 구조의 장단점을 살펴보면 바퀴 주행 구조의 경우 링크지의 서스펜션 구조를 통하여 안정적인 주행이 가능한 반면 트랙 주행 구조의 경우 장애물 극복 능력이 뛰어나다. 이에 본체의 주행 안정성이 뛰어나며 장애물 극복 능력이 뛰어난 이동 메커니즘을 개발하기 위해서는 이 두 가지 기존 주행 메커니즘의 장점만을 살린 설계대안이 필요함을 알 수 있다. 이러한 이유로 현재 본체의 안정적인 주행을 가능하게 하는 링크지 메커니즘인 라커보기 메커니즘을 로봇의 주요 링크지 메커니즘으로 선정하였다. 라커보기 메커니즘을 기준으로 트랙의 장점인 긴 바퀴의 특징을 살릴 수 있는 설계대안에 대하여 논의 하였으며 선정된 설계대안들은 그림 2 와 같다.

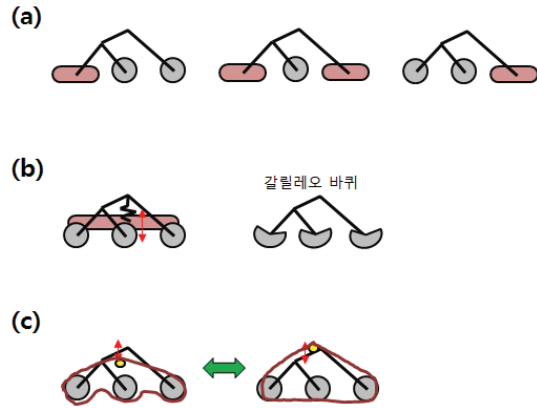


Fig. 2 Conceptual designs of the wheel track mechanisms

그림 2 에 나타난 설계 대안은 라커보기 구조에 트랙의 장점을 살릴 수 있도록 고려된 모델들이다. 모두 기본적으로 라커보기 구조를 가지고 있으며 다양한 방법을 통하여 트랙의 장점을 추가하였다. 첫 번째 방법은 그림 2 의 (a)에서 나타나는 것처럼 라커보기에 있는 바퀴를 트랙으로 대체하는 방법이다. 바퀴 대신에 트랙을 사용함으로써 트랙이 가지는 긴 바퀴의 장점을 살릴 수 있다. 그러나 트랙의 경우 로봇의 회전 시 회전반경이 좋지 않으며 에너지 효율이 좋지 않고 무겁다는 단점이 있다. 그래서 6 개의 바퀴 전부가 아니라 최대의 이동능력 증가를 얻기 위하여 맨 앞의 바퀴를 트랙으로 교체하는 방안이 선택되었다.

두 번째 방법은 그림 2 의 (b) 에서와 같이 트랙과 바퀴 구조를 동시에 사용하는 방법이다. 평소에는 바퀴를 이용하여 이동하지만 트랙의 이동능력이 필요할 경우 추가적인 액츄에이터를 사용하여 트랙으로 주행하게 되는 방법이다. 트랙을 가지고 다니다가 필요할 경우 바닥으로 내려서 트랙을 사용하는 방법과 바퀴가 트랙의 형태로 변형되어 주행하는 갈릴레오 바퀴⁸ 를 이용하는 방법 등이 있다.

세 번째 방법으로는 트랙과 바퀴를 동시에 사용하고 있다가 주행 모드를 변환하는 방법이 있다. 그림 2 의 (c)를 보면 라커보기 구조가 바퀴를 고무 대신에 트랙의 일부를 사용하게 된다. 그리고 트랙이 필요한 장애물이 나타나면 본체에서 트랙을 당겨서 장력을 증가 시켜 트랙의 모습으로 변형시키게 된다.

Table 2 Evaluation of the three design candidate

| Characteristics | Weight | Design candidate1 | | Design candidate2 | | Design candidate3 | |
|----------------------|--------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|
| Maneuverability | 2.0 | 5 | 10.0 | 4 | 8.0 | 4 | 8.0 |
| Stability | 2.0 | 4 | 8.0 | 5 | 10.0 | 3 | 6.0 |
| Manufacture | 1.0 | 5 | 5.0 | 3 | 3.0 | 3 | 3.0 |
| Complex of structure | 1.5 | 5 | 7.5 | 3 | 4.5 | 3 | 4.5 |
| Controllability | 0.5 | 3 | 1.5 | 5 | 2.5 | 4 | 2.0 |
| Sum | | | 33.0 | | 28.0 | | 23.5 |

위와 같은 3 개의 설계 대안에 대하여 요구사항 목록에 맞춰서 가중치를 비교해 보았으며 그 결과는 표 2 에 나타나 있다. 험한 지형을 주행하는 운반 로봇 제작에 있어서 험한 지형에서의 이동 능력, 지형 이동시의 안정성, 제작 용이성, 그리고 제어의 편리성에 대하여 각각의 비중을 적용하여 평가 하였다. 평가 결과 바퀴 대신 트랙을 사용하는 첫 번째 방법이 다른 방법들에 비하여 높은 결과를 보임을 확인 할 수 있다. 이에 다음 장에서는 앞 바퀴 대신에 트랙을 사용하는 최종 설계 대안의 이동능력과 주행 안정성을 분석하여 본다.

3. 최종 설계 대안

3.1 CAD modeling

그림 3 은 최종 설계대안을 3-D 모델링 한 모습을 나타낸다. 모델링은 Soildworks (version 2010, Dassault Systems, Concord, MA, USA)를 이용하여 설계 되었다. 최종 설계 대안은 라커보기 링키지 구조에 4 개의 바퀴와 함께 앞부분에 트랙이 장착한 모습을 가지고 있다. 트랙은 추가적인 모터에 의하여 위 아래로 움직일 수 있는 특징을 가지고 있다. 굴곡이 험한 지형에서의 경우 트랙을 위로 올려서 라커보기 구조를 이용하여 주행한다. 라커보기 구조의 모습을 그대로 유지할 수 있기 때문에 굴곡 있는 지형에서도 본체가 흔들리지 않고 안정적으로 주행이 가능하다. 또한 기존의 바퀴 구조가 극복하지 못하는 옆면이 없는 단이나 구멍의 경우에도 앞에 장착된 트랙을 이용하여 극복이 가능하다. 트랙은 추가적인 모터를 통하여 지면과의 각도를 조절하여 극복이 가능하도록 조종할 수 있다.

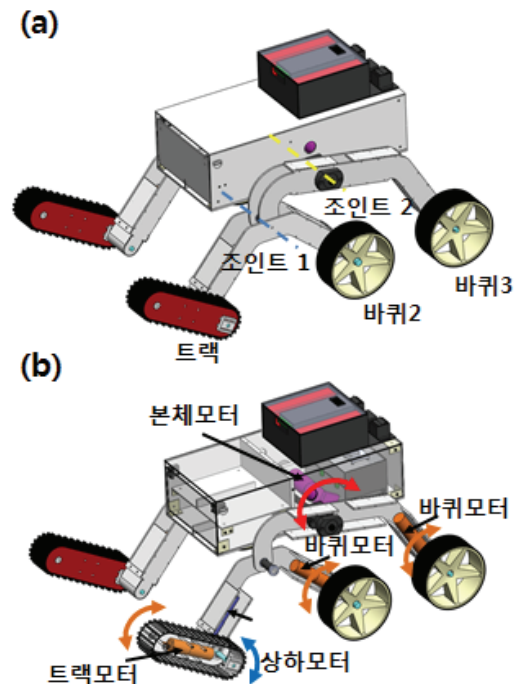


Fig. 3 Designs of the final rough terrain mobile robot

3.2 험지 극복 능력 분석

최종으로 선정된 설계 대안의 무너진 건물에서의 극복능력을 분석해 본다. 요구사항 목록에서 험지 주행 운반 로봇이 극복해야 하는 장애물은 크게 빗면, 단, 구멍, 그리고 계단으로 나누어 볼 수 있다.

3.2.1 빗면에서의 극복 능력

빗면은 험한 지형 주행 시 자주 등장하게 되는 지형으로 더 높은 각도의 빗면을 올라 갈수록 좋은 성능을 가진다고 볼 수 있다. 최종 설계 대안의

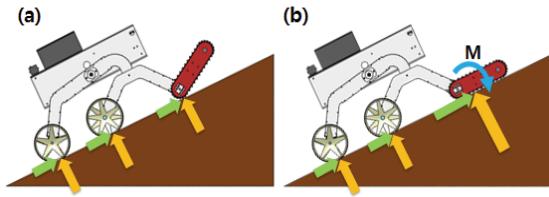


Fig. 4 The mobile robot on the incline

빗면에서의 극복 모습은 그림 4 와 같다. 그림 4 의 (a)는 기존의 바퀴 구조와 같은 형태로 빗면을 주행하는 모습을 보여주고 그림 4 의 (b)는 최종 설계 대안의 빗면 주행 모습을 보여준다. 빗면 주行的 경우 로봇의 수직항력이 크기가 동등하다면, 로봇이 가지게 되는 추력은 바퀴와 지면과의 마찰계수인 μ 에 비례하게 된다. 이는 바퀴 구조나 트랙 구조에 상관없이 같은 모습을 보인다. 따라서 같은 마찰계수를 가진다고 가정하면 기존의 라버보기 구조와 새로운 최종 설계 대안은 똑같은 빗면에서의 극복능력을 가진다. 그러나 최종 설계 대안의 경우 앞부분에 장착된 트랙을 그림에서와 같이 아래로 동작을 하게 되면 모터의 추력만큼 더 큰 수직항력을 가지게 되어 최종적으로 기존의 라커보기 구조보다 더 높은 빗면 극복능력을 가지게 된다.

3.2.2 단에서의 극복 능력

단은 무너진 건물에서 주행할 때 로봇이 가장 많이 접하게 되는 장애물이다. 따라서 단에서의 극복 능력은 험한 지형에서의 주행 능력과 가장 큰 연관성이 있다고 할 수 있다. 그림 5 는 최종 설계 대안의 단 극복 모습을 보여준다. 주행 중 단의 장애물이 나타났을 경우 앞에 장착된 트랙의 각도를 조절하여 단의 모서리에 접하게 함으로써 모서리를 타고 주행이 가능하다. ((1)~(2)) 이후 트랙을 그림 5 의 (3) 과 같이 뒤로 돌리게 되면 두 번째 바퀴와 함께 로봇의 무게 중심 또한 위로 이동하게 된다. 마지막으로 이미 극복된 트랙과 바퀴를 통하여 마지막 바퀴로 함께 단을 넘을 수 있게 된다. 기존의 바퀴 구조의 경우 바퀴의 반지름보다 높은 단에 대하여 극복이 어려우며 특히나 단이 옆면이 없어서 바퀴가 디딜 곳이 없을 경우에는 극복이 절대 불가능하였다. 그러나 최종 대안의 경우는 트랙을 이용하여 극복이 가능함을 볼 수 있다.

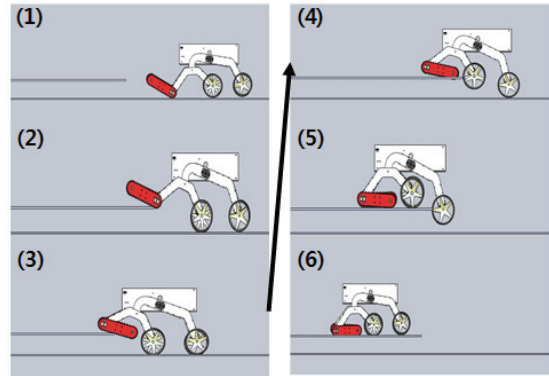


Fig. 5 The mobile robot on the step

3.2.3 구멍에서의 극복 능력

무너진 건물에서의 주행이 가능하기 위해서는 로봇이 구멍의 장애물을 극복 할 수 있어야 한다. 바퀴 구조의 로봇의 경우 자신의 지름 보다 큰 구멍은 극복이 불가능한 모습을 보인다. 최종 설계 대안의 경우 그림 6 에서와 같이 트랙을 뒤로 돌려서 장착된 두 번째 바퀴와 일직선을 만들게 되면 트랙과 바퀴가 연결되어 하나의 큰 트랙의 모습을 형성 할 수 있다. 이러한 동작을 통하여 긴 트랙을 만들게 되면 구멍을 손쉽게 극복이 가능하여 진다.

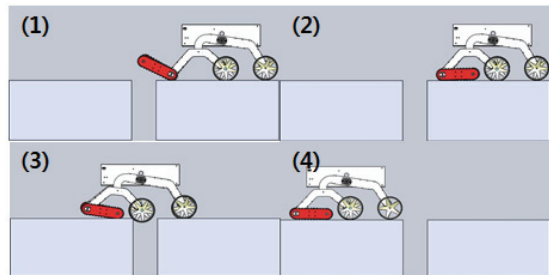


Fig. 6 The mobile robot on the hole

3.2.4 계단에서의 극복 능력

계단은 바퀴로 이루어진 주행 구조에 있어서 가장 어려운 장애물이다. 그러나 트랙 구조의 경우 긴 트랙을 사용하여 트랙이 2 개의 계단 모서리에 접하게 되면 쉽게 극복이 가능하다. 최종 설계 대안의 경우에도 그림 7 에서 보이는 것처럼 트랙을 뒤로 이동시키면 긴 트랙을 만들어서 계단 극복이 가능해 진다. 건물의 제작에 있어서 가장 많이 사용되는 계단의 치수에 맞춰서 트랙의 크기

와 바퀴 크기를 선정하면 무너진 건물에서의 계단 극복도 수월해지게 된다.

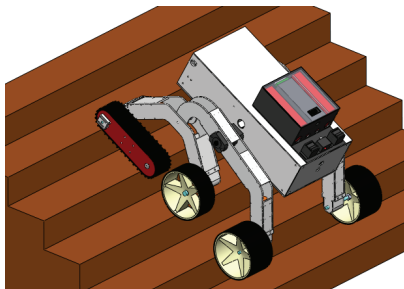


Fig. 7 The mobile robot on the stair

3.3 굴곡 있는 지형에서의 극복 능력

기존의 주행 메커니즘과는 달리 험한 지형 운반 로봇의 경우 무너진 건물에서 흔들림이 적게 주행하여 운반하는 소형 로봇을 안전하게 운반하는 것이 중요하다. 이에 동역학 해석 툴인 RecurDyn (version 7, FunctionBay)을 이용하여 장애물 극복 능력이 높은 트랙 구조와 최종 설계 대안의 굴곡이 험한 지형에서의 주행 모습을 비교해 보았다. 그림 8은 시뮬레이션을 수행하는 모습이며 위의 그림은 트랙구조의 이동 로봇, 최종 설계 대안, 테스트 할 험한 지형이고 아래 그래프는 주행시의 본체의 각도를 나타낸다. 그래프를 살펴보면 트랙 구조의 경우 최대 10도의 기울기의 변화를 보이는 반면 최종 설계 대안의 경우 최대 22의 각도 변화로 같은 지형에 대해서 45%의 기울기 변화를 보였다. 이는 굴곡이 험한 지형에서 최종 설계 대안이 트랙 구조에 비하여 안전하게 운반이 가능함을 보여 준다.

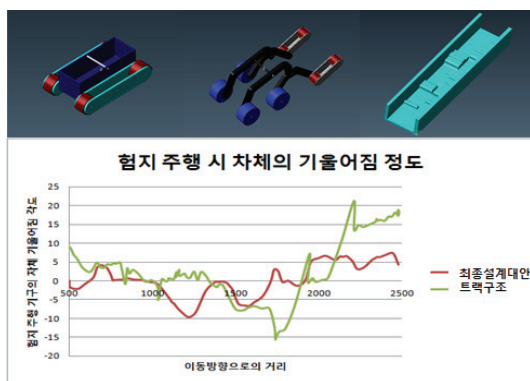


Fig. 8 The track mobile robot, the final rough terrain mobile robot, the rough terrain, and the graph of the robots body angles

4. 결론

본 논문에서는 무너진 건물에서 소형 로봇과 통신 장비를 운반하는 험한 지형 운반 주행 로봇의 개발을 보여주었다. 실제로 무너진 건물에서 인명을 구조하는 요원을 방문하여 로봇이 가져야 하는 필요 요구사항을 정리하고 기존의 험한 지형 주행 로봇들의 연구를 통하여 장단 점을 분석하였다. 이후 분석된 자료를 바탕으로 다양한 설계 대안을 작성하였으며 비교를 통하여 최종 설계 대안을 완성하였다. 마지막으로 CAD 모델링을 통하여 최종 설계대안이 험한 지형에서 가지는 극복능력을 분석하였고 굴곡이 험한 지형에서의 기울기의 변화도 분석하였다. 이러한 분석을 통하여 새롭게 정해진 최종 설계 대안은 장애물 극복 능력은 물론 주행 시 안정성까지도 타 험한 지형 주행 로봇에 비하여 우수한 성능을 보이는 것으로 분석되었다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012.0000348).

참고문헌

1. Lee, C. H., Kim, S. H., Kang, S. C., Kim, M. S., and Kwak, Y. K., "Double-Track Mobile Robot for Hazardous Environment Applications," *Advanced Robotics*, Vol. 17, No. 5, pp. 447-459, 2003.
2. Lee, C. H., Kim, Y. H., Woo, C.-K., Jang, J., Kim, M. S., and Kwak, Y. K., "Design and Analysis of Link-Type Track for Variable Configuration Tracked Vehicle," *Proc. of KSAE 2000 Autumn Conference*, pp. 727-732, 2000.
3. Jin, S., Lee, S., Kim, J., and Seo, T. W., "Starfish Capture Robotic Platform: Conceptual Design and Analysis," *J. of the KSPE*, Vol. 29, No. 9, pp. 978-985, 2012.
4. Harrington, B. D. and Voorhees, C., "The challenges of designing the rocker-bogie suspension for the Mars Exploration Rover," Pasadena, CA : Jet Propulsion Laboratory, National Aeronautics and Space Administration, 2004.

5. Miller, D. P. and Lee, T.-L., "High-speed traversal of rough terrain using a rocker-bogie mobility system," Proceedings of Robotics 2002: The 5th International Conference and Exposition on Robotics for Challenging Situations and Environments, pp. 428-434, 2002.
6. Barlas, F., "Design of a Mars Rover Suspension Mechanism," Izmir Institute of Technology, 2004.
7. Chottiner, J. E., "Simulation of a six wheeled martian rover called the rocker bogie," M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Ohio State University, 1992.
8. Ellzey, C., "Galileo Wheel," <http://www.engineeringtv.com/video/galileo-Wheel>
9. iRobot, "Packbot," <http://www.irobot.com/gi/ground>
10. Boston Dynamics, "Bigdog," <http://www.bostondynamics.com>