

1. Rocker-bogie wheel의 동력 전달 장치 설계

조달한 모터의 크기와 우리가 목표로 하는 로봇의 전체 크기를 고려할 때 In-wheel motor 사용은 어려움이 있다. 따라서 험지 주행 시 충격으로부터 모터 구동축을 보호할 수 있는 별도의 장치가 필요할 수 있다.

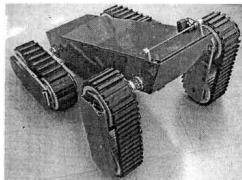

가장 먼저 고려 가능한 옵션은 Wheel을 모터에 직결하되, Wheel-모터 어셈블리에 서스펜션을 장치하는 방법이다. 모터가 Rocker-Bogie Link에 직접 고정되어 있다면 Wheel에서 전달되는 충격을 모터 구동축이 받아내야 하지만, 모터가 서스펜션에 고정되어 있다면 이를 통해 충격을 완화할 수 있다.

고려해볼 수 있는 또 다른 옵션은 Wheel 지지축과 모터 구동축을 별개로 분리시키고 동력전달 메커니즘으로 두 회전축을 연결시키는 방법이다. 힘의 방향을 바꾸는 기어를 사용하거나, 벨트와 Tensioner를 사용하면 모터의 출력을 Wheel로 전달하면서 Wheel에 가해지는 충격은 모터로 넘어오지 않게 설계할 수 있을 것이다. 그러나 구조가 복잡해지고 동력전달 과정에서 출력 효율이 희생될 것이므로, 높은 내구성과 Torque가 요구되는 험지 주행 로봇의 추진 모터에 적용하기에는 부적합한 해결책이라 판단된다. 대신 이 방법은 비슷하게 큰 하중을 버티면서 제어를 실현해야 하는 본체부 Swing 스태빌라이저에 적용할 수 있을 것이다.

마지막으로 로봇을 구동할 환경을 제한하여 Wheel에 가해질 최대 충격을 억제하는 방법이 있다. Rocker-Bogie의 가변적인 Link 메커니즘은 그 자체도 노면 굴곡에 따라 가동하며 충격을 흡수할 수 있으므로, 노면의 험준한 정도나 로봇의 주행 속도 등을 낮추어 잡는 것으로도 상당한 대처가 가능할 것으로 예상된다.

2. 야외 주행에서 Caterpillar와 rocker-bogie mechanism의 차이점

무한궤도 추진방식은 대형차량에 사용되는 보기를 방식도 존재하나 복잡한 구조 때문에 소형 로봇에서 사용하기 어려우므로 직접 비교에 포함하지 않기로 한다. 이하는 Mobile Robot의 야외 주행 추진체계로써 무한궤도 Arm 방식과 Rocker-Bogie 방식을 비교한 표이다.

방식	 무한궤도 Arm	 Rocker-Bogie
----	-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

서스펜션	없음	장착 가능
크기	대형화 어려움	대형화 가능
중량	크기 대비 무거움	크기 대비 가벼움
본체 기울어짐	큼	작음
평지 속도	느림	빠름
험지 속도	느림	느림
장애물 높이	선두 Wheel의 가동 최대높이 미만	
Gap 극복	가능	불가능
계단 극복	가능	불가능
선회 방식	Differential steering	Differential, 조향륜 채택 가능
무게중심	가변적, 낮음	높음
요구 출력	설계별로 천차만별이나, 무한궤도식이 높은 편	

이로부터, 전반적으로 강도 높은 험지를 극복하는 능력은 무한궤도 방식이, 저강도 험지에 적응하며 빠르게 주행하는 능력은 Rocker-Bogie 방식이 더 유리하다는 점을 확인할 수 있다. Rocker-Bogie의 공학적 특성은 Link 기구 설계에 달려 있고 그 외 측면에선 기본적으로 차륜형 추진 방식과 동일하다.

3. Scenario 검토

앞서 검토한 비교표로부터 Rocker-Bogie 로봇의 특성을 살펴본 바, 험지 주행 시 본체의 기울어짐이 작고 평지 주행 시 고속을 내기 적합하다는 것이 Rocker-Bogie의 특징적 장점이라고 볼 수 있다. 단, 무게중심이 높고 극복 가능한 장애물이 제한적이라는 것은 한계이다. 특히 무게중심이 높은 문제는 로봇의 작동 환경을 구성함에 있어서 큰 제한요소로 작용한다.

예를 들어 모든 방향으로 경사가 존재하는 둔덕 등의 입체적 험지를 주행할 경우, 로봇의 전후 방향으로는 Rocker-Bogie의 가동으로 쉽게 적응 가능하지만 좌우 방향으로는 그렇지 못하다. 때문에 좌우 기울기가 심한 환경에서는 접지력을 유지하지 못하고 전도할 위험이 있다. 또한 본체의 기울어짐이 적다는 이점도 좌우 방향으로는 작용하지 못하여 별도의 해결책이 필요하다.

이러한 점을 염두에 두어 도심형 음료 배달 로봇과 Caddie-Bot 시나리오를 검토해보았다.

도심형 음료 배달 로봇

도심 환경에서 음료를 배달하는 로봇으로, 핵심 목적은 건물과 건물 사이의 실외 도로를 적절히 주행하여 이동하면서 적재물을 최대한 안정적으로 운반하는 것이다. 이러한 운행 환경에서 상정할 수 있는 지형 요소는 경사도, 노면, 연석, 장애물 등이 있다.

시내 자동차도로는 대략 최대 10퍼센트의 경사도(약 6°)를 가질 수 있으며¹⁾, 지형이나 구조물 및 도시설계에 따라서 이를 초과할 수도 있다. 이는 차량 하부 면적에 비해 무게중심이 높은 Mobile Robot이 주행하기 어려운 환경이지만 Rocker-Bogie 메커니즘을 적용하면 비교적 수월하게 주행할 수 있을 것으로 볼 수 있다. 한편 도로는 사람과 차량의 통행 편의를 위해 좌우 방향의 경사도를 억제하여 설계되므로²⁾, Rocker-Bogie가 좌우 방향 기울임에 비교적 취약하다는 점이 큰 문제가 되지 않는다. 따라서 Roll을 배제하고 Pitch 방향 피드백만을 적용하는 Swing식 스테빌라이저를 채택하는 것이 경제적인 것이다.

도심에서 고려가 필요한 주요 노면 조건으로는 아스팔트 포장 도로, 보도블록, 그 외에 일부 비포장도로를 꼽을 수 있다. 대부분은 모터-Wheel 어셈블리에 서스펜션을 장착하는 것만으로도 극복 가능한 정도의 경미한 굴곡을 가지므로 Rocker-Bogie 로봇으로 주행에 문제가 없다.

연석은 인도와 차도의 경계에 위치하는 경계석으로, 대부분의 건물목에선 경사로를 도입하여 연석을 직접 극복할 필요가 없다. 그러나 경사로가 없거나 부분적으로 설치되어 있는 건물목이 여전히 일부 존재하며, 서울 구시가지 곳곳에는 인도 통행 도중에도 극복해야 하는 턱이 상당수 존재한다. 국내 법령에 따르면 도로변에 설치된 연석 높이 기준은 25cm 이하³⁾이므로, 이를 참고하여 시나리오에서 극복해야 할 장애물 최대 높이를 25cm로 설정하겠다. 이로부터 Rocker-Bogie에 적용할 최적의 Link 기구를 설계할 수 있다.

도심 환경에는 많은 장애물이 있으나, 대부분의 고정된 장애물은 라이다 등의 센서로 감지하여 회피할 수 있다. 오히려 적절한 고정 장애물의 존재는 실외에서 SLAM 알고리즘을 활용한 Path-Finding을 수행할 수 있도록 도와주는 역할을 한다. 문제가 되는 것은 가변적인 장애물, 특히 로봇과 같은 공간에서 이동하는 보행자들이다. 현재 탐구하고자 하는 제한된 실외 환경에서는 역내에 설치된 CCTV로부터 이미지 정보를 획득하여 보행자의 실시간 위치를 피드백할 수 있다.

Caddie-Bot

골프장에서 코스 내부를 이동하며 가방 등의 적재물을 운송하는 로봇으로, 핵심 목적은 사용자를 안정적으로 Following하고 적재물을 실은 채 입체적인 경사지에서 주행 능력을 담보하는 것이다. 이러한 운행 환경에서 상정할 수 있는 지형 요소는 경사도, 노면 등이 있다.

골프장은 “도시지역 외의 지역에 설치하는 체육시설”로써 경사도 30도 (약 17°) 미만의 산지에 건설할 수 있다⁴⁾. 따라서 골프장 Caddie-Bot은 최대 30도의 경사도를 극복할 수 있어야

하며, 나아가 이러한 경사도를 모든 방향에서 적응하여 주행할 수 있어야 한다. 실제 골프가 방이나 승객을 수송할 수 있을 정도의 대형 로봇은 무게중심 높이에 비해 하부 면적이 넓으므로 괜찮겠지만 작은 크기로 모식화한 로봇의 경우 무게중심을 낮추기 어려우므로 매우 불리한 조건이다. 차체 전체에 좌우 방향 기울임에 대처하는 피드백 제어를 도입하기에는 구조적 복잡성이 지나치게 높아질 것이며, 적재함 부분만 3축 스테빌라이저를 적용하면 무게중심이 너무 높아져 로봇 자체가 전도할 위험이 크다. 단, Rocker-Bogie 구조가 일반 차륜형에 비해 입체 굴곡 위에서 Traction을 보존하기 유리한 것은 사실이므로 적절한 설계를 통해 이점을 극대화시킬 경우 유용한 결과를 낼 수 있을 것이다.

골프장 코스에서 고려해야 할 노면으로는 크게 필드와 그린을 구성하는 초지와 홀간 이동로에 존재하는 흙길이 있다. 벙커와 해저드는 극복이 매우 어려우므로 진입하지 않는 것으로 한다. 초지는 흙 위에 잔디가 자라있는 환경으로 포장도로보다 미끄럽다. Slip과 전도를 방지하기 위해 로봇에 Ballast를 추가하고 노면에 적합한 타이어를 선정할 필요가 있다.

자율주행으로 목적지까지 주행하는 도심형 로봇과 달리, Caddie-Bot은 라운드를 진행하는 동안 사용자 곁을 따라다니는 기능을 수행한다. 따라서 특정 사용자를 인식하고 Following하는 기능이 필요한데, 라이다 등 거리만 측정 가능한 센서로는 이를 구현할 수 없다. 시동기에 UWB 통신기를 장착하여 로봇이 시동기를 추적하게 하는 방법, 로봇에 카메라를 탑재하여 이미지 프로세싱으로 사용자를 추적하게 하는 방법 등을 고려할 수 있다.

1) [https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/\(20211213,00922,20211213\)/제25조](https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/(20211213,00922,20211213)/제25조)
2) [https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/\(20211213,00922,20211213\)/제28조](https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/(20211213,00922,20211213)/제28조)
3) [https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/\(20211213,00922,20211213\)/제16조](https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/(20211213,00922,20211213)/제16조)
4) [https://www.law.go.kr/법령/도시계획시설의결정·구조및설치기준에관한규칙/\(20050701,00450,20050701\)/제101조](https://www.law.go.kr/법령/도시계획시설의결정·구조및설치기준에관한규칙/(20050701,00450,20050701)/제101조)