

# 보행형 로봇과 이동 메커니즘

한 창 수 · 한양대학교 기계공학과, 교수

\_e-mail : cshan@hanyang.ac.kr

이 글에서는 일반적인 로봇 시스템의 이동 메커니즘을 형태 및 기능별로 분류하고, 그 중 대표적 형태인 보행형 이동 로봇(Legged Walking Robot)의 장점 및 최신 연구동향을 중점적으로 소개하고자 한다.

## 머리말

모바일 로봇은 운용되는 환경에 맞는 이동 메커니즘을 필요로 한다. 정형화되지 않은 환경을 원하는 성능을 발휘하면서 주파하기란 기술적으로 어려움이 많은 것이 사실이다. 생태계에서도 서식하는 환경이나 특성에 맞게 진화된 다양한 형태의 이동수단을 가진 생물들이 혼재하는 것처럼 로봇 역시 특정 환경과 운용 목적에 맞는 메커니즘의 구조를 선택하는 것은 이동형 로봇을 설계하는 데 중요한 요소라 할 수 있다.

지금까지 보행(walk), 점프(jump), 주행(run), slide(슬라이드), 스케이트(skate), 헤엄(swim), 비행(fly), 구름(roll) 등 다양한 로봇 이동 메커니즘이 연

표 1 모바일 로봇의 대표적인 이동 메커니즘

구분	형태	생태계 모방 대상	개발 사례	운동 저항	동작 메커니즘
구름(나관형)	치동형	/		마찰력	축을 중심으로 한 회전 
	무한궤도형			마찰력	트랙의 지면 마찰력 
생체모방형	거북이형			마찰력	이동 방향으로의 진동 
	뱀형			마찰력	이동 방향 수직으로의 진동 
	비행형			운동에너지 손실	다축 진자의 진동 운동 
	다리형			중력	다각형이 구름 운동 

구 및 제안되어 왔으며 최근에는 2족, 4족, 다족로봇 등 기존의 전통적인 보행 로봇에 관한 연구 이외에도 건물 붕괴 현장의 잔해

속이나 동굴 등과 같은 비정형화된 필드 지형에서의 험지 극복이 가능한 로봇 또는 빌딩의 벽이나 천장 등을 이동할 수 있는 특수

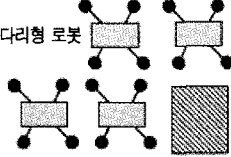
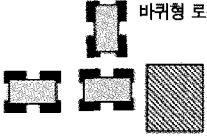




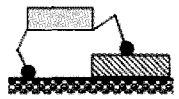
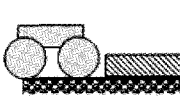
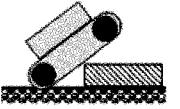
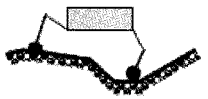
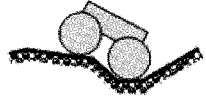


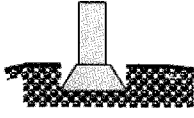
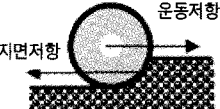



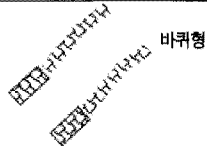
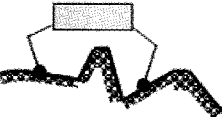
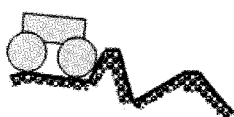
한 형태의 이동 로봇에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

이러한 이동형 메커니즘들의 대부분은 자연계 생물의 구조를 모방한 형태를 띠고 있다. 하지만

이러한 메커니즘 중에서 한 가지 예외가 존재하는데, 바퀴 형태의 구동방식을 지닌 메커니즘이 그것이다. 표 1은 대표적인 이동형 로봇 메커니즘을 분류 및 정리한

것이다. 생체 시스템은 다양하고 변화무쌍한 환경 하에서도 효과적으로 이동을 할 수 있다. 그러므로 메커니즘을 설계할 때 이러한 생체 메커니즘을 모방하는 것

표 2 보행형 로봇의 구조적 장점

<p>운동성능 (장애물 회피/자세구현)</p>	<p>다리형 로봇  바퀴형 로봇                   장애물                   자세(높이)구현  자세(위치)구현  자세(방향)구현 </p>
<p>장애물 극복 능력</p>	<p>  </p>
<p>능동형 서스펜션 구조</p>	<p> </p>
<p>불연속성 장애물 극복 능력</p>	<p> </p>
<p>미끄럼, 지면저항 정도</p>	<p>                   운동저항                   지면저항 </p>
<p>환경파괴 접촉(훼손) 정도</p>	<p> 보행형  바퀴형</p>
<p>이동능력(평균적인 이동능력)</p>	<p> </p>

은 어찌 보면 당연한 것이라고 할 수 있다. 하지만 몇 가지 원인으로 인하여 이러한 생체 모방메커니즘은 기술적인 어려움을 내제하고 있다. 첫째, 미시적 스케일의 구조적 정교함이다. 노래기(Millipede)와 같이 매우 작고 가는 몸체에 수많은 섬모와 같은 다리가 부착되어 있는 형태는 현재의 인간의 기술로는 구현하는 것이 불가능하다. 둘째, 포유류와 같은 큰 사이즈의 생물들이 지니고 있는 생물학적 에너지 저장 시스템과 근골격계 구조, 곤충들이 낼 수 있는 자중-체적 대비 에너지 출력 효율 및 놀라운 반응 속도와 같은 요소들 역시 인간이 모방할 수 없는 부분들이라 할 수 있다. 이러한 한계점들로 인하여, 모바일 로봇은 주로 인간이 발명한 바퀴형 메커니즘이나 이를 응용한 트랙형(tracked) 메커니즘 및 제한된 수의 다리 및 관절 구조를 채용한 보행형 메커니즘 형태를 띠고 있다. 다음 절부터는 이러한 메커니즘들 중에서도 보행형 이동 메커니즘에 대해서 좀 더 자세히 알아보려고 한다.

## 보행형 이동 메커니즘

### 구조적 특징 및 장점

다리 구조를 이용한 보행형 메커니즘은 필연적으로 바퀴형 메커니즘에 비해 많은 동작 자유도와 기구적 복잡성을 가지고 있기 때문에 액추에이터 수의 증가 및

독립 전원의 한계와 제어의 복잡성 가중이라는 문제점을 수반하게 된다. 바퀴형 메커니즘은 보행형 메커니즘 구조에 비해 시스템의 구조가 간단하고, 균일한 평지에서 훨씬 우수한 출력효율을 지니고 있다. 참고로 열차 구조의 이동 메커니즘은 단단하고 평편한 강철 표면을 달리도록 설계된 구조로서 바퀴형 이동 메커니즘 중에서도 이상적인 구조에 속하므로 고속에서도 매우 높은 출력효율을 가지고 있음을 밝혀둔다. 하지만, 이동하는 환경이 부드러워(soft)지기 시작하면 바퀴 구동형 메커니즘은 구름 마찰력으로 인해 비효율적 요소들이 발생하기 시작한다. 반면에, 보행형 메커니즘은 지형에 발끝으로만 접촉하기 때문에 마찰이나 에너지 손실의 문제가 훨씬 적다고 할 수 있다. 표 2에 보행형 로봇의 장점들이 나열되어 있다.

### 개발 시 고려 사항

보행형 이동 메커니즘은 로봇

암의 매니퓰레이션(manipulation)과 반대의 개념을 가지고 있다. 매니퓰레이션 메커니즘은 일반적으로 환경에 기저부가 고정된 상태로 자신의 동작 영역 내에서 말단부를 이용하여 대상 물체에 힘을 가하거나 핸들링하여 이동시키는 기능을 수행한다. 이동 메커니즘은 반대로 자신이 자유로이 환경과 분리되어 있는 상태에서, 고정되어 있는 환경에 대하여 힘을 전달함으로써 자기 자신을 이동시키는 기능을 수행한다. 양쪽 경우 모두 이론적인 기초는 상호 작용력을 일으키는 액추에이터 및 설계자가 원하는 최적의 기구학적, 동역학적 퍼포먼스를 구현하기 위한 메커니즘을 설계하는 것에 기반을 둔다. 그러므로 이동메커니즘과 매니퓰레이션 메커니즘은 안정성, 환경과의 상호작용 특성 등을 고려해야 한다는 점에서 표 3과 같은 공통적인 개발 이슈를 가지고 있기도 하다.

표 3 로봇 메커니즘(이동형 메커니즘 포함) 설계 시 주요 고려 사항

구분	주요 이슈
안정성	접촉점의 개수와 기학적 특성
	중력 중심점(COG; Center Of Gravity)
	정적/동적 안정성
	동작하는 환경의 특성
접촉 특성	접촉점 혹은 접촉면의 폭과 형상
	접촉각도
	마찰 특성
환경의 종류	환경의 구조
	매개체의 종류(물, 공기, 연하거나 딱딱한 땅)

## 보행형 이동 메커니즘의 주요 개발 사례

### 개발 사례(I): 외다리로봇

외다리로봇(1-legged robot)은 엄밀하게는 '보행형' 이동 메커니즘이라고는 볼 수 없지만, 다리 혹은 관절형 구조를 채용한 이동형 로봇의 종류를 다리의 숫자로 분류한다는 측면에서 '외다리' 로봇으로 이해할 수 있겠다. 그림 1의 좌측은 MIT LegLab에서 개발된 Raibert hopper로서 (몸체를 기준으로 하여) 다리의 각도를 연속적으로 조절하여 몸

체의 자세 및 속도를 보정한다. 유압 액추에이터를 채용하고 있지만, 장시간의 운용을 위해서는 대용량의 외부 유압펌프를 필요로 한다는 단점을 가지고 있다.

그림 1의 우측 로봇은 좀 더 에너지 측면에서 효율성을 개선한 것으로서, 유압시스템 대신 활모양의 다리가 지면에 착지하였을 때 스프링처럼 운동에너지를 내부적으로 저장할 수 있는 구조를 가지고 있다. 카네기멜론 대학에서 개발한 이 호핑 로봇은 로봇 몸체에 작은 배터리 하나를 사용하는 것만으로 20분 이상을

기동할 수 있다.

### 개발 사례(II): 2족보행로봇

지난 10년 동안 다양한 2족보행로봇(2-legged robot)들이 성공적인 신고식을 치러왔다. 가장 최근에는 달리고, 점프하고, 계단을 내려오고 심지어 공중제비를 시연하는 수준에 다다른 로봇들이 공개되고 있기도 하다. 상용화 측면에서 일본의 소니와 혼다 사는 2족보행로봇 분야에서 가장 큰 발전을 이루었다. 두 회사는 기존에는 알려 지지조차 않은 놀라운 자중 대비 토크 성능을 가진 액추에이터 시스템을 통해서, 작고 힘센 구동 조인트를 가진 로봇들을 만들어 냈다. 이러한 신개념의 '지능형' 서비스 시스템은 강력한 출력을 낼 뿐만 아니라, 토크 감지와 달린 루프 제어를 통해 컴플라이언스 구동까지 구현하고 있기도 하다.

그 밖에 인간의 신체 구조를

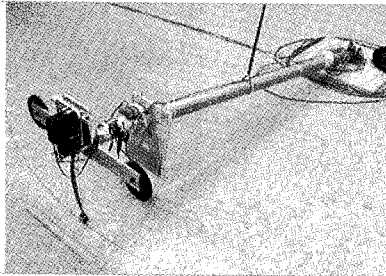
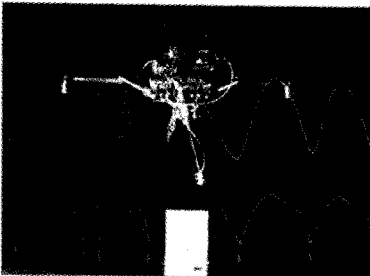
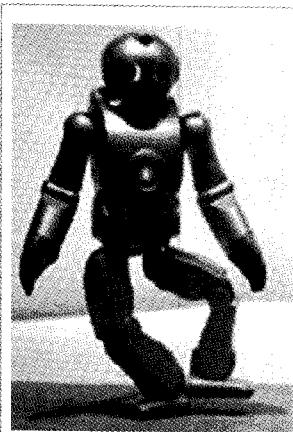
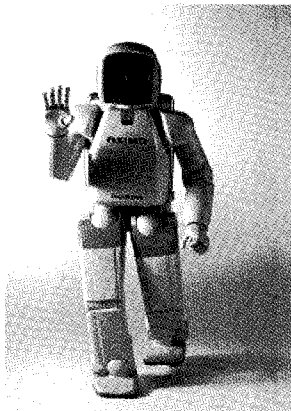


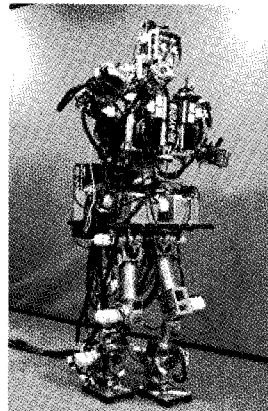
그림 1 Raibert hopper(좌) 및 2D Single bow leg hopper



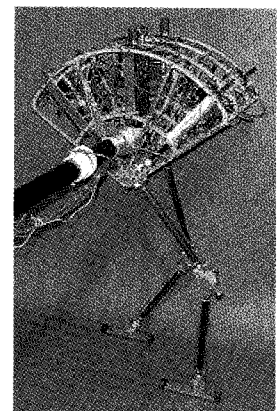
(a) CURIO



(b) ASIMO



(c) WABIAN-RIII



(d) Spring Flamingo

그림 2 대표적인 2족 보행로봇

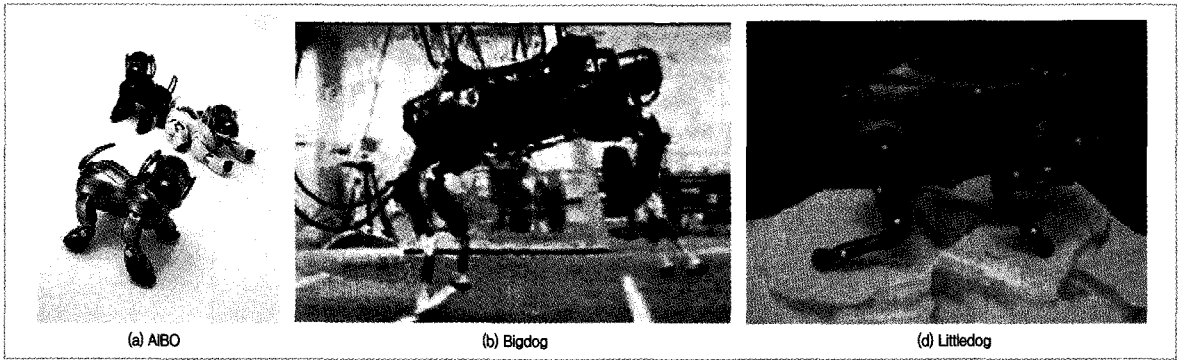


그림 3 대표적인 4족 보행로봇

반영하여 제작한 일본 와세다 대학의 WABIAN-RII 로봇이 있다. 본 시스템은 인간-로봇 상호작용을 연구하기 위한 목적으로 제안되었으며, 실제로 인간의 동작을 모방하고 심지어는 춤도 출 수 있다. MIT에서 제안한 2족 보행로봇은 다리 액추에이터에 직렬로 스프링을 연결하여 탄성력이 가미된 보행을 구현하였다. 무릎 관절을 제한하는 슬개골과 같은 구조를 채용하여 놀라울 만큼 인간의 보행 동작과 유사한 로봇 보행을 구현해냈다.

#### 개발 사례(III): 4족보행로봇

4족보행로봇(4-legged robot)의 가장 대표적인 사례는 소니에서 개발한 AIBO를 들 수 있다. 이 제품은 개발 첫해에 6만 대 이상을 판매하는 센세이션을 일으키기도 하였으며, 가정용 엔터테인먼트 로봇의 효시로 인정받고 있다. 최근 새롭게 부각되고 있는 4족보행로봇은, 미국 국방부고등연구계획국(DARPA)의 지원을 받아 Boston Dynamics

사에서 제작한 BIGDOG 시리즈를 들 수 있다. 이미 몇 해 전에 유압시스템을 이용한, 고 부하 중량물의 이송능력이나 야지 보행 능력 및 강한 측면 충격에도 균형을 잃지 않는 보행능력을 과시하였으며, 최근에는 4개의 발이 동시에 지면에서 떨어지는 Gallop 보행 및 도약을 선보여 또 한 번 전 세계를 놀라게 하였다.

### 맺음말

이 글에서는 로봇의 이동 메커니즘의 대표적인 종류와 특징을 알아보고, 다리형 메커니즘과 바퀴형 메커니즘의 비교를 통하여 최근 다양하게 개발되고 있는 다리형 메커니즘의 장점을 살펴보았다. 하지만 개발자가 대상으로 하는 환경, 지형 및 용도에 따라서 이동 메커니즘의 종류는 위에서 제시한 것들 이외에도 다양한 형태가 제안되고 있으며, 기발한 아이디어로 승부하는 참신한 메커니즘들이 전 세계적으로 많이 개발되고 있다. 또한, 이 글에서 소개되지는 않았

지만 국내에서도 다양한 기관에서 필드형 이동 메커니즘 및 관련 시스템 개발에 박차를 가하고 있으며, 몇 가지 가시적인 성과가 나오고 있다는 점을 밝혀둔다.

하지만, 국내 보행로봇의 경우 지행류의 골격구조 및 보행 형태를 취하여 개발되고는 있지만, 현재까지 개발된 몇몇 로봇을 제외하고는 심도 있는 생체모방학적 설계 및 보행패턴을 고려하고 있지 않다는 점과, 대다수의 로봇들의 움직임이 매우 느린 정적보행 형태이며 보행 안정성을 고려한 제어가 충분히 구현되지 않아, 주로 장애물이 없는 평지 보행만 가능하다는 점 등이 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 로봇의 경우 엔터테인먼트 로봇이나 교육용, 시험용 로봇으로의 사용은 가능하지만 산업현장 또는 군 작전 환경 등과 같이 다양한 지면 환경에서의 작업을 요하는 실무 활용 로봇으로 상업화 시키는 것은 불가능하다는 기술적 한계를 안고 있으며, 하루속히 극복해야 할 과제로 인식되고 있다.