



다각 보행로봇의 기술개발 현황 및 그 응용

吳 尚 錄* · 林 俊 弘**

*한국과학기술원 전기 및 전자공학과 Post Doc.

**항공대학교 전자공학과 조교수

I. 머릿말

잘 정돈된 작업환경에서 일하는 산업용 로봇과는 달리 해저작업, 원자력발전소, 위험한 토목공사 현장등 작업환경이 불균형하고 험난한 곳에서 사람 대신 작업을 가능케하는 로봇을 위해서는 사람과 같이 두 다리 또는 여러개의 다리를 부착한 보행 가능한 로봇의 개발이 필수적이다. 또한 현존하는 이동 메카니즘(바퀴나 트랙(track)을 이용하는 것들)으로는 갈 수 없는 험난한 지형을 가고자 할 때나 장애물을 넘어갈 때 또 층계를 올라 갈 때 등에도 다각 보행로봇이 필요하게 된다. 실제로 지구의 땅덩어리 중 불과 약 50%의 지형만이 바퀴나 트랙을 이용하여 갈 수 있고 훨씬 많은 부분은 동물이나 사람과 같이 다리를 이용하여야만 갈 수 있다. 또한 다리를 이용하면 지면이 물렁물렁하거나 딱딱하거나 혹은 미끄러운 곳도 갈 수 있는 등 이동체의 이동성(mobility)을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

다각 보행로봇 개발의 또 하나의 중요한 동기

는 동물이나 사람이 어떻게 다리를 이용하여 이동을 하는 지를 보다 잘 이해하고자 하는데 있다. 생물학자들은 이미 동물의 동작을 조작, 관찰하고 측정하므로써 많은 양의 정보를 습득하고 있다. 이제 공학적인 측면에서 보행기계를 개발하므로써 모든 다리달린 이동 시스템이 풀어야만 하고 또한 그 해답으로써 가능한 메카니즘을 연구하는 데 새로운 통찰력을 줄 수 있고 아울러 보행에 대한 정확한 이론을 만들어 내는 기회를 가질 수 있다는 것이다.

보행 메카니즘에 대한 연구는 크게 두 분류로 나눌 수 있는 데 보다 좋은 이동성을 갖는 보행 메카니즘을 개발하고자 하는 공학적인 측면에서의 연구가 그 하나이고 ^{1),2)} 다른 한 부류는 다리 달린 동물의 동작을 관찰하여 보행 자체를 이해하고자 하는 생물학적인 측면에서의 연구이다. ^{3),4)}

본 원고에서는 이 둘중 주로 첫번째에 해당하는 연구에 초점을 맞추어 이미 개발되었거나 현재 개발중에 있는 다각 보행로봇들을 조사 기술하고 궁극적인 목표인 응용가능성에 대해 기술하기로 한다.

II. 다각 보행로봇의 기술개발 현황

보통은 6 다리가 일반적인데 이는 6 다리는 두개의 3 다리로 나눌 수 있고 따라서 안정되면서도 상대

궁극적인 다각 보행로봇의 개발 목표는 사람과 같이 눈을 갖고 주변 상황을 인지하면서 자기가 갈 길을 정하여 안정된 동작을 취하면서 걷는 것이라고 할 수 있다. 그러나 그 기술의 어려움으로 인하여 현재 연구되고 있는 다각 보행로봇의 기술은 기계적인 메카니즘의 설계 및 제작, 보행 방법의 연구, 발 걸음새 및 각 다리의 관절제어 등으로 크게 나눌 수 있는데 기술수준은 아직 초기 상태라고 볼 수 있다. 이미 개발되었거나 개발 중에 있는 다각 보행로봇을 표 1에 보였고 이들 각각의 외양을 그림 1~그림 8에 보였다. 이들의 일반적인 제원 및 기술개발 현황을 요약하면 다음과 같다.

2.1 다리의 수와 배열

다리의 수가 많으면 상대적으로 무거운 하중에 강한 반면 움직이는 동작은 천천히 움직이며 반대로 두 다리나 네 다리를 갖는 시스템은 보다 빠르고 기민한 동작을 취할 수 있는 장점을 갖고 있다.

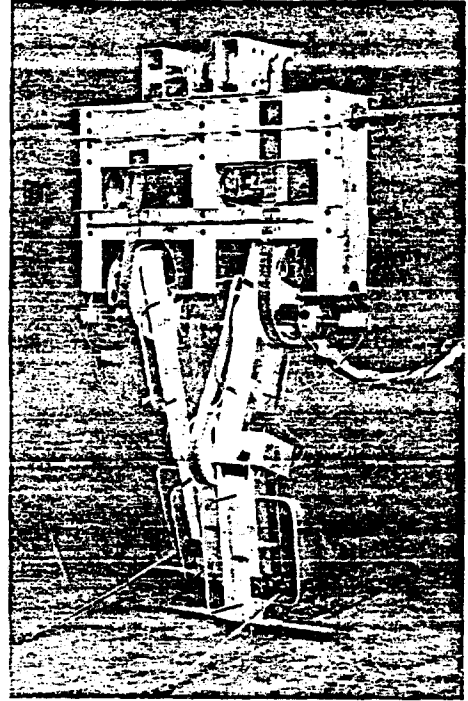


그림 1. 대판대학 2 각 로봇

표 1. 여러종류의 다각 보행로봇의 제원

	다리수	중 량	높 이	속 도	구 동 원	비 고
대 판 대 학	2	30kg	1. 1 m	0. 8 m/s	4 DC motors	
동 경 대 학	2	2. 5 kg	28. 5 cm	N / A	7 DC motors	BIPER - 4
동 경 공업대학	4	10kg	leg length = 870 mm	5 cm / s	12 DC motors	I 8086 / 8087
Sumitomo 사	4	60kg	link length = 20cm	8 cm / sec	12 DC mo tors	SCARA Type I 8086
General Electric 사	4	N / A	N / A	5 mph	12 hydraulic motors	90 hp engine
Odetics 사	6	370lb	48 inch ~72 inch	N / A	18 DC motors	Battery 2100 lbs load carrying
오 하 이 오 주 립 대 학	6	285 lb	3 ft tall 4 ft 10in long	4 in / s	18 DC motors	
오하이오주립 대학 ASV	6	3 ton	3 m	max. 3. 6 m / s	18 hydraulic motors	900cc motor cycle engine I 8086 / 8087

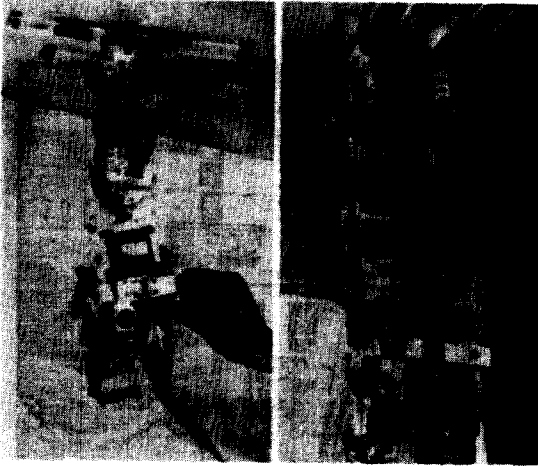


그림 2. 동경대학 2각 로봇

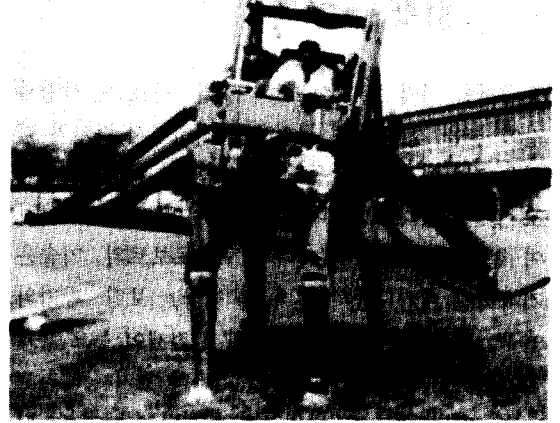


그림 5. General Electric 사의 4각 로봇

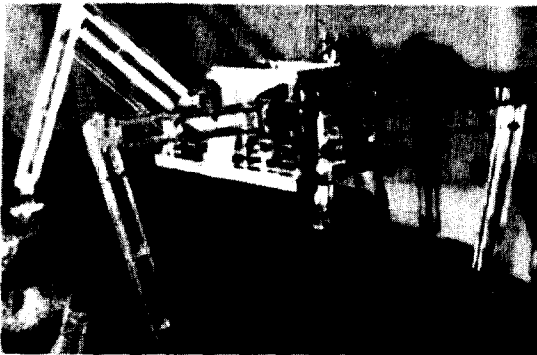


그림 3. 동경공업대학 4각 로봇

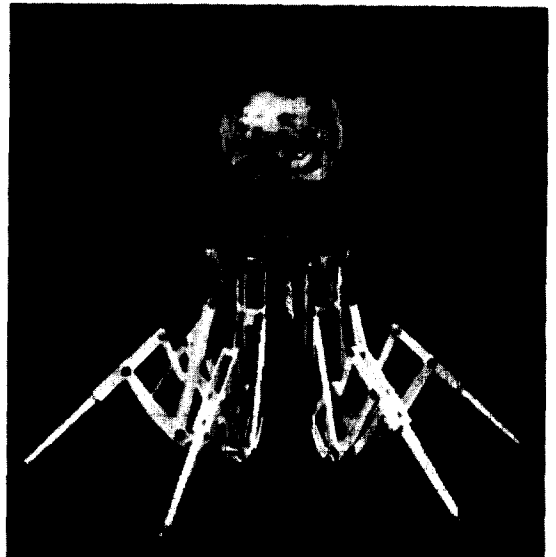


그림 6. Odetics 사의 6각 로봇

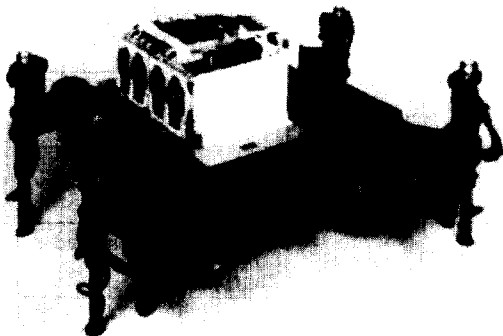


그림 5. Sumitomo 사의 4각 로봇

적으로 빠른 속도를 낼 수 있다.

다리의 배열은 크게 3가지 형태로 나눌 수 있는데 첫번째가 인간과 같은 포유류의 배열(그림 9 (a)), 둘째 파충류의 배열(그림 9 (b)), 셋째 곤충류의 배열(그림 9 (c))이 그것이다. 포유류의 배열은 빠르고 보행에 효과적이며 파충류의 배열은 느린 반면 안정되며 곤충류의 배열은 몸의 안정을 취하면서도 조그만 힘으로 몸을 전후좌우로 기민하게

움직일 수 있다.

2.2 다리의 구조

만일 기계가 사람처럼 한다리로 중심을 잘 잡으려면 발의 회전각도를 조정할 수 있는 매우 큰 발을 필요로 할 것이다. 따라서 복잡한 구조의 다리는 보통 6자유도를 가져야 한다는 것을 뜻한다. 그러나 많은 보행로봇은 항상 3다리나 그 이상의

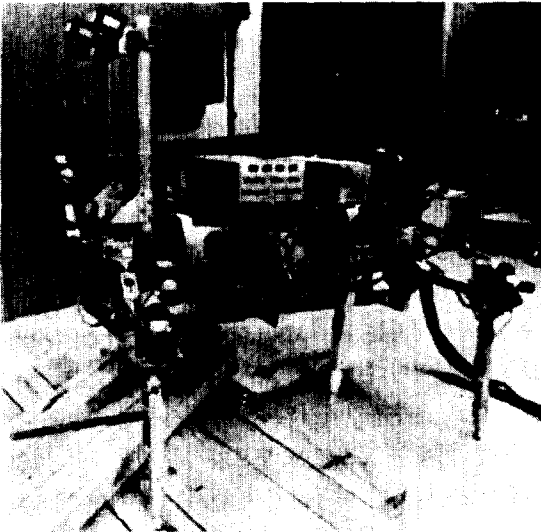


그림 7. 오하이오 주립대학의 6각 로봇

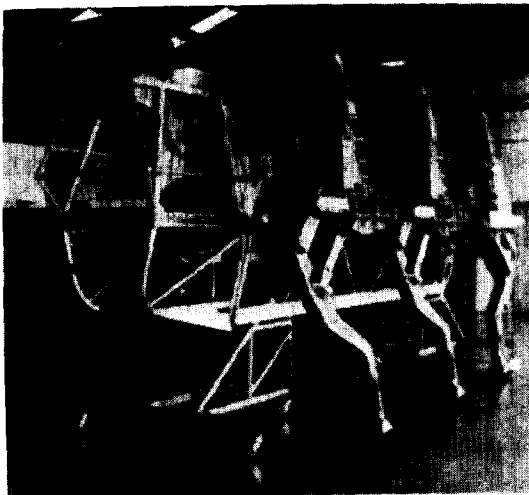


그림 8. 오하이오 주립대학의 ASV

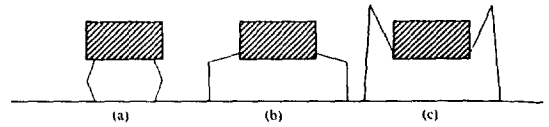


그림 9. (a) 포유류 (b) 파충류 (c) 곤충류

다리를 이용하여 안정된 동작을 취하므로 보통은 3자유도를 갖는 보다 간단한 구조의 다리나 발을 갖는다.

일반적으로 두 다리의 보행로봇은 사람의 다리와 기구적 구조가 비슷한데 발목 부분에 2개의 관절, 무릎 부분에 한개의 관절, 그리고 엉덩이 부분에 둘 또는 세개의 관절을 갖는 구조로 되어 있다. 두 개 이상 여러개의 다리를 갖는 보행로봇에 대해서는 몸체를 드는 동작과 몸체를 앞으로 추진하는 동작이 독립적으로 되도록 설계하는 것이 제어를 쉽게 할 수 있다는 점과 효과적인 에너지 사용이라는 점에서 바람직하다. 이러한 구조의 대표적인 것이 팬토그래프(pantograph) 구조이며 응용에는 그림 8의 오하이오 주립대학 ASV에서 찾아볼 수 있다.²⁾

2.3 제어

다각 보행로봇은 매니플레이터와 마찬가지로 구동원에 의해 구동되는 관절로 연결된 링크(link)들의 시리즈(series)로 볼 수 있다. 이러한 보행로봇의 제어목표는 동체의 안정된 동작을 유지할 수 있도록 하는 각 구동원의 힘의 집합을 찾는 것이다. 따라서 보행로봇에 있어서 가장 근본적인 문제는 안정도라고 할 수 있다.

다각 보행로봇에 있어서 안정도는 크게 둘로 나뉘어 지는데 무게중심이 몸을 지지하는 다리로부터 이루어지는 지지평면(supporting plane) 내에 있도록 하는 정적안정(statically stable)과 순간적으로 정적안정은 유지되지 않지만 몸 전체의 이동 사이클로 보아 안정된 동작을 취하는 동적안정(dynamically

stable)이 그것이다.⁶⁾ 네 다리 이상의 보행로봇에서는 주로 정적안정을 유지하기 위한 연구가 대부분이며 한 다리나 두 다리를 갖는 보행로봇에서는 동적안정을 유지하기 위한 제어가 주목적으로 되어 있다.

보행로봇의 초기의 것은 그림 5에서 보듯이 사람이 탑승해서 마스터 슬레이브시스템(master-slave system)을 이용하여 제어하였다. 그러나 불균형한 지면조건을 사람이 일일이 적응하기에는 상당히 비효과적이었다. 그뒤 막강한 컴퓨터의 출현으로 오늘날에는 온-보드(on-board) 컴퓨터를 탑재한 보행로봇도 출현하게 되었고 탑재하진 않았지만 외부 컴퓨터시스템에 연결되어 제어되고 있다. 안정된 동작을 목적으로 하는 제어장치는 보통 첫째 다리를 움직이는 순서를 정해주는 게이트 발생(gait generation)부분, 둘째 발을 옮기는 동작을 계획하는 발궤적계획(foot trajectory planning)부분 및 각 관절 서보제어 부분의 세부분으로 나뉘어 계층적인 구조를 갖도록 구성되어 있다.

Ⅲ. 다각 보행로봇의 응용분야

현재 다각 보행로봇의 개발연구는 초기 단계에 머물고 있으므로 실제로 응용되고 있는 예는 거의 없는 실정이다. 본 원고에서는 가까운 미래에 응용 가능한 다각 보행로봇이 개발되면 그 응용가능한 분야에 대해서 언급하기로 한다. 특히 로봇이 이동성이 있다는 것보다는 바퀴나 트랙이 아닌 다각 보행이 꼭 필요한 경우에 대하여 생각해 보기로 한다.

첫째 군사적인 이용을 들 수 있다. 전장에서의 무기 탄약 등의 운반, 산악지형에서의 보초 및 정찰대, 지뢰탐사 등 여러 예를 생각할 수 있다.

둘째 위험한 환경에서의 원격조작에 사용될 수 있다.⁸⁾ 예를 들면 핵원자로에서 인간대신 다각 보행로봇이 필요한 일을 할 수 있다. 실제로 이동 로봇이 제일 많이 사용되고 있는 곳이다.

대부분은 바퀴를 이용하고 있으나 최근에 미국의 Odetics 회사에서 개발된 6 각보행로봇이 에너지국의 한 핵원자로 연구소에서 사용되고 있다고 한다.⁷⁾ 특히 사고로 인해 오염된 원자로 건물에서의 작업시 계단을 오르거나 장애물을 피해야 할 경우 바퀴대신 다리를 이용한 로봇이 필수적이라 하겠다. 그 이외에도 화재진화 및 구조작업, 지하탄광, 교량공사 등의 토목현장, 산림관리, 혹성의 탐사, 해저탐사 등 환경이 위험하고 험난하며 인간이 작업하기 어려운 곳에서 인간대신 필요한 작업을 할 수 있을 것이다.

세째로 툰드라지역 같이 부서지기 쉬운 지형에서 필요한 작업을 할 수 있다. 다리를 이용한 로봇은 지형에 아주 작고 이산적인 족적을 남기나, 바퀴를 이용한 경우에는 연속적인 흔적을 주게되어 지형의 침식을 가져올 수 있다. 따라서 부서지기 쉬운 지형에서는 바퀴보다 다리를 이용하는 것이 효과적일 것이다.

네째로 우주공간에서의 작업시 사용될 수 있다. 바퀴를 이용한 로봇은 도로가 잘 정돈되어 있어야 할 뿐 아니라 이동하기 위해서는 중력이 필요하다. 그러나 중력이 없는 우주공간에서는 바퀴를 이용할 수 없으므로 다각 보행로봇이 필수적이라 할 수 있다.

다섯째로 도로가 없는 곳에서의 교통수단으로 이용될 수 있다. 자동차가 발명되기 이전에는 소, 말 등의 운송수단이 이용되었다. 이것처럼 도로를 만들기 어려운 험난한 지형에서는 자동차보다는 속도가 느려도 기계로 된 말(다각 보행로봇)을 교통수단으로 쓸 수 있을 것이다.

Ⅳ. 맺음말

이상에서 다각 보행로봇의 개발동기 및 필요성, 개발현황 및 응용가능한 분야에 대해서 간략하게 살펴 보았다. 전반적인 기술수준에 대해서는 아직 초기 단계에 머물고 있지만 그 중에서도 기구적인

구조나 보행방법 및 발걸음새 등에 대해서는 비교적 많은 연구결과가 발표되고 있다. 반면에 다각 보행로봇의 지능을 높이기 위해 필요한 시각장치를 비롯한 여러 센서들과의 인터페이스, 외부 환경의 적응성 및 학습기능 등의 인공지능에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 그러나 지난 10년간 보행로봇의 개발속도로 미루어 보건대 향후 10년 뒤인 2000년대에는 실제 응용가능한 다각 보행로봇의 출현이 예상되며 우리나라에서도 다각 보행로봇의 개발연구가 시작되었다는 점은 무척 다행스러운 일이라 하겠다.

참 고 문 헌

1) I. E. Sutherland and M. K. Ullner, "Footprints in the Asphalt," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 3, No. 2, 1984.
 2) K. J. Waldon, V. J. Vohnout, A. Prey and R. B. McGhee,

" Configuration Design of the Adaptive Suspension Vehicle", *ibid*.
 3) T. A. McMahon, " Mechanics of Locomotion", *ibid*.
 4) K. G. Pearson and R. Franklin, "Characteristics of Leg Movements and Patterns of Coordination in Locusts Walking on Rough Terrain", *ibid*.
 5) D. J. Todd, *Fundamentals of Robot Technology, An Introduction to Industrial Robots, Teleoperators and Robot vehicles*, Kogan Page Ltd, 1986.
 6) M. H. Raibert, "Hopping in Legged Systems— Modeling and Simulation for the Two-Dimensional One-Legged Case", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-14, No. 3, May / June, 1984.
 7) M. Russell, Jr., "ODEX 1: The First Functionoid," *The Journal of Intelligent Machines, Robotics Age*, Vol. 5, No. 5, 1983.
 8) H. B. Meieran and F. E. Gelhaus, "Robotics: a technology on the March", *Nuclear Engineering International*, April, 1986.