

# 벽면 이동 로봇의 메커니즘

최 혁 렬 · 성균관대학교 기계공학부, 교수  
구 익 모 · 성균관대학교 기계공학부, 박사과정  
이 창 민 · 성균관대학교 기계공학부, 석사과정  
송 영 국 · 성균관대학교 기계공학부, 석사과정

\_e-mail : hrchoi@me.skku.ac.kr  
\_e-mail : kooigmo@me.skku.ac.kr  
\_e-mail : cmbof@me.skku.ac.kr  
\_e-mail : peteryksong@me.skku.ac.kr

대형 구조물들을 검사 및 유지보수 하는 과정에서 작업자는 위험한 환경에 노출되기 십상이다. 따라서 이와 같은 위험한 작업환경에서 사람을 대신할 로봇이 개발되었는데, 이것이 벽면 이동 로봇이다. 이 글에서는 이러한 종류의 로봇에서 사용되는 여러 메커니즘과 그것을 이용한 로봇들에 대해 알아보고, 각각의 장단점을 분석해 보도록 한다.



벽면 이동 로봇은 사람을 대신하여 위험한 대형 구조물의 검사 및 유지보수 업무를 수행하기 위해 탄생되었다. 그리고 이러한 로봇에는 여러 메커니즘이 사용되고 있으며, 각기 나름대로의 장단점을 지니고 있다.

**수** 십 미터에 이르는 고층 건물들, 수백 미터에 달하는 거대한 다리, 축구장 몇 개와 맞먹는 크기 선박과 수십 톤이 넘는 비행기들 등은 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 대형 구조물들이다. 이러한 대형 구조물에 대한 유지와 보수는 필수적이거나, 그 방법에 있어 위험성은 매우 크다. 사람이 직접 수십 미터의 높이에 매달리기도 해야 하고, 심지어는 사람이 들어갈 수 없는 영역도 있다. 이러한 위험을 대신

하기 위하여 존재하는 로봇이 벽면 이동 로봇이다.

벽면을 이동하는 로봇들에게 필수적으로 필요한 메커니즘은 두 가지이다. 우선 필요로 하는 것은 벽과 로봇을 붙이는 메커니즘이다. 여러 가지 메커니즘이 있지만, 대표적인 메커니즘을 꼽자면, 벽에 붙는 방식에는 자석과 자성체간의 인력을 이용하는 방법, 진공의 힘을 이용하는 방법, 그리고 그 외에도 반데르발스 힘을 이용하는 방법 등 여러 가지

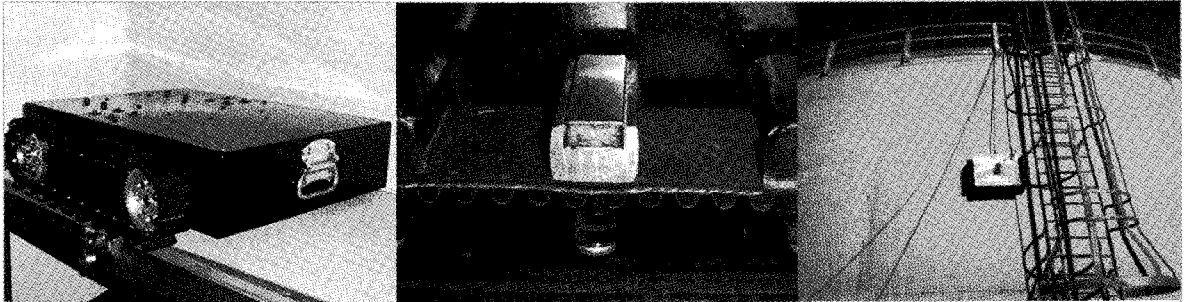
가 있다.

또 하나 로봇에 필요한 메커니즘은 로봇을 벽에 붙인 상태에서 자유로이 움직이는 메커니즘이다. 흔히 이용되는 바퀴에서부터, 무한궤도형태, 다족보행형태, 그리고 여러 로봇으로 구성하여 유기적으로 움직이는 독특한 형태의 이동방법도 존재한다.

이들의 메커니즘이 로봇에 어떻게 적용되어, 어떠한 장단점을 가지는가에 대하여, 지금부터 하나씩 살펴보도록 한다.

## 자석을 이용한 모바일 형태의 로봇

대형 선박이나, 산업용 구조물의 경우 금속으로 제작된 경우가



(a) 무한궤도를 사용한 로봇

(b) 궤도에 삽입된 자석의 모습

(c) 저유탱크를 등반하는 모습

그림 1 Jason Gu 교수의 연구팀에서 개발한 로봇

많다. 이러한 경우 자석을 이용하면, 로봇이 쉽게 벽면에 붙어 이동할 수 있다.

로봇에 삽입된 자석은 로봇과 벽면과의 인력을 형성하게 되고, 이 인력을 바탕으로 로봇은 벽면에 붙어 있게 된다. Jason Gu 교수팀에서 개발한 로봇의 경우는 무한궤도 형태의 바퀴를 사용하고 있지만, Hirose 교수팀의 Anchor Climber에서는 일반적인 바퀴가 사용되고, 로봇의 중앙에 자석이 위치하고 있다. 그리고 Siegart 교수팀의 로봇에서는 겹겹이 쌓여진 바퀴 사이에 자석이 끼워져 있는 독특한 형태를 가진다.

그러나 한눈에도 알아볼 수 있듯이, 이와 같은 로봇은 자성체가 아닌 구조물에서는 사용할 수 없는 구조라는 것이다. 따라서 이러한 로봇의 형태가 사용되는 곳은 가스배관이나 저장탱크, 선박, 그리고 기타 철제 구조물과 같은 곳에서만 사용이 가능하다.

그럼에도 이와 같은 형태의 로봇이 계속 연구되고 있는 이유는

구조적 간편함에서 오는 경제성과 효율에 있다.

우선 이러한 로봇은 벽면에 대한 부착력을 얻기 위해 별도의 액추에이터가 필요하지 않으며, 이러한 액추에이터의 부재로 인하여 시스템의 진동 또한 비교적 적어 시스템의 유지 및 제어도 간편하다. 또한 영구자석을 사용할 경우 별도의 전력을 필요로 하지 않아, 외부전원의 공급이 없이 운영한다 하여도 비교적 장시간으로 로봇을 작동시킬 수 있다.

전체 시스템을 구성하기 위한 비용 역시 저렴하며, 대부분의 산업구조물들이 철제로 이루어진 것을 감안할 때, 비록 제한적이라 할 지라도 넓은 분야에서 사용할 수 있다는 이점을 가진다. 따라서 경제성 또한 충분하다 할 수 있다.

### 진공 흡착방식을 사용하는 모바일 로봇 형태

이 로봇은 미 국방부의 지원하에, 뉴욕시립대의 Jizhong Xiao 교수팀에서 개발한 이 로봇은 진

공흡착방식을 기본으로 하는 로봇이다. 기본 원리는 단순하다. 벽면과 로봇 그리고 차단막(skirt seal)을 이용하여 외부와 차단된 공간(chamber)을 생성하고, 진공 모터를 회전시켜 내부의 공기를 빨아내게 된다. 이때, 대기압과 챔버 사이의 압력차에 의해 생성되는 힘으로 로봇이 벽면에 붙어서 이동할 수 있다.

이 로봇은 이동 수단으로 바퀴를 사용한다. 따라서 이러한 타입을 다른 용어로 모바일 로봇(mobile robot)이라고도 한다. 여러 프로토타입에 따라 조금씩 차이는 있으나, 일반 원형 바퀴, 또는 무한궤도와 같은 것을 사용하고 있으며, 가장 최근에 개발된 로봇은 2kg의 부하(payload)를 가지고 분당 10m/min의 속도로 이동할 수 있다고 발표된 바 있다.

진공흡착 방식을 이용하는 모바일 타입의 로봇은 City Climber뿐만이 아니다. 하얼빈 대학교에서 개발된 로봇, 상해 교통대학교에서 개발한 로봇, 이탈리아 개발된 Alicia 시리즈, 그리

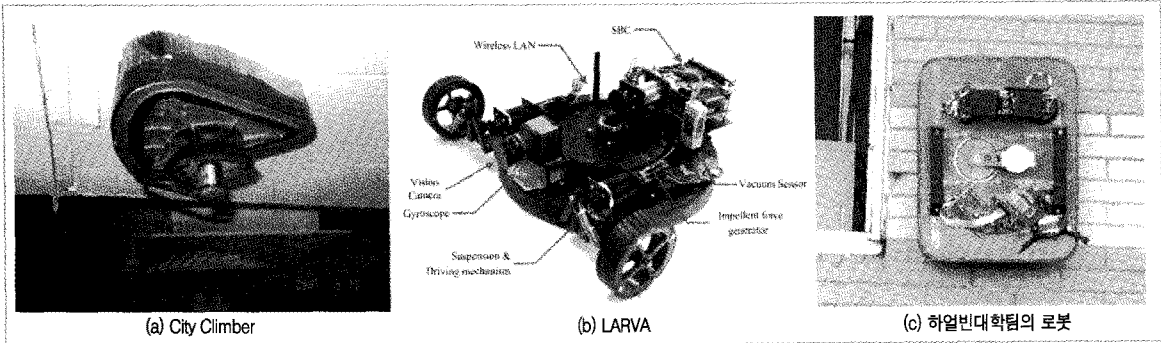


그림 2 City Climber

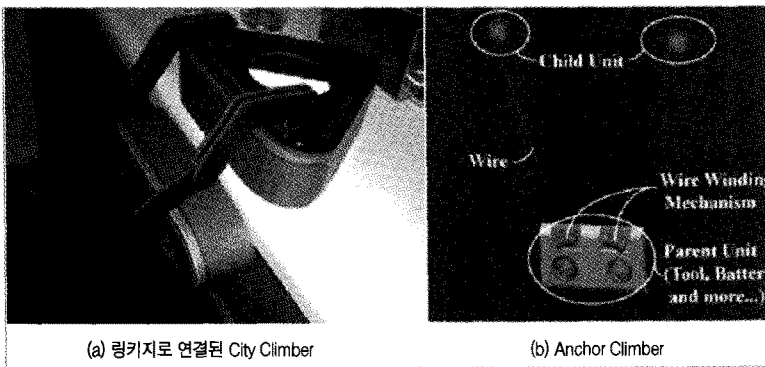


그림 3 여러 로봇들로 구성된 로봇

고 필자의 연구실에 개발된 LARVA 등 많은 로봇들이 있다.

이렇게 많은 연구소에서 개발하고 있는 이유로는 다음과 같은 몇 가지 장점 때문이다. 우선 바퀴를 사용하기 때문에 가지는 높은 이동 속도이다. 앞서 말했던 10m/min의 속도는 벽면이동 로봇들 중에서 가장 빠른 수준에 속한다.

둘째로 로봇 자신의 무게에 비교하여 더 많은 적재량을 가지고 있다는 것이다. 16마리의 말을 사용하여 진공의 위력을 실험한 마그네부르크 실험에서 볼 수 있듯이, 대기압과 진공에 의해 만들어 낼 수 있는 힘은 매우 크다. 이에 반해 진공을 만들어내는 부분

과 로봇의 이동을 담당하는 부분의 구조는 비교적 단순하다. 따라서 로봇의 중량은 작지만, 이보다 더 무거운 장비들을 탑재할 수 있다. 위의 City Climber는 자기 중량이 약 1kg이지만, 2kg을 더 적재하여 최대 3~4kg의 부하를 견딜 수 있는 장점을 지닌다. LARVA의 경우 역시 2.5kg의 중량을 가지지만, 7kg의 부하도 견딜 수 있다.

이에 반해 벽면과 천장을 넘나들거나, 깊은 홈이 패어있는 곳이나, 벽의 표면에 많은 요철이 존재할 경우에는 제약이 따른다. 또한 벽의 경사변화가 급격한 경우, 벽면에서 천정으로 이동할 경우

에도 마찬가지로 제약이 따르게 된다. 로봇 내부에 진공 상태를 유지하기 어렵다는 것이 그 이유이다. 그리고 이러한 장단점은 진공흡착방식을 사용하는 모든 로봇에 해당되는 사항이다.

### 여러 로봇으로 이루어진 그룹형태

벽면을 오르기 위해, 여러 가지 로봇을 함께 사용하는 경우도 있다. 같은 형태의 로봇을 2개 이상으로 구성하는 형태가 있는가 하면, 모선과 자선의 개념과 같은 형태도 있다. 앞서 설명하였던 'City Climber'의 경우가 전자에 해당한다면, Hirose 교수팀 'Anchor Climber'의 로봇은 후자에 해당하는 방식이다.

이러한 형태의 구성은 주로 모 바일 로봇 형태에서 자주 보이게 되는데, 이는 하나의 로봇으로는 극복하기 어려운 요철이나, 벽면에서 천정으로 이동하는 경우와 같은 문제를 해결하기 위함이다.

후에 설명할 다족 보행형 로봇에 비하여, 이러한 로봇의 구성은

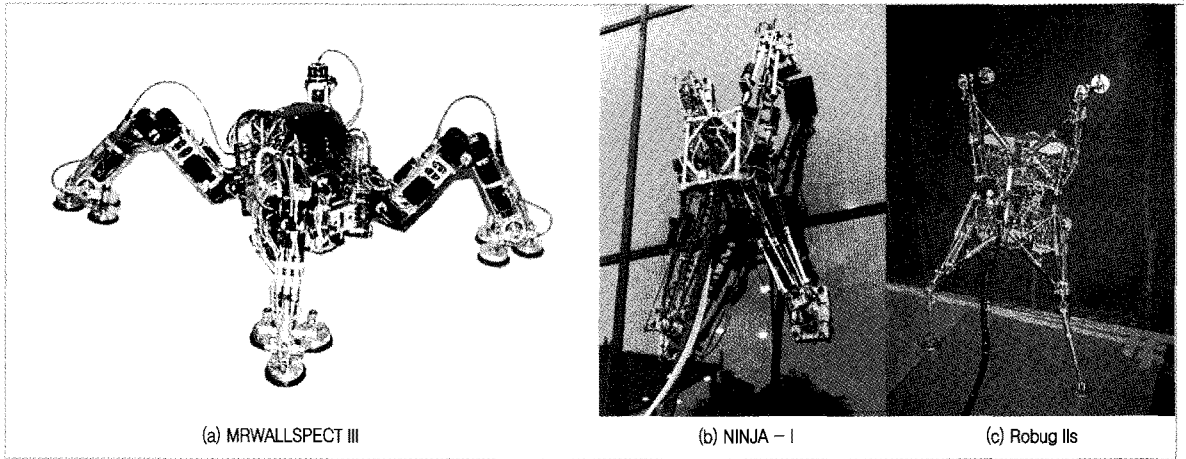


그림 4 진공흡착판을 이용한 다족 보행형 로봇

구조의 단순함 때문에 로봇의 무게 증가를 억제할 수 있으며, 각각의 모듈이 가지고 있는 강한 흡착력을 고스란히 살릴 수 있다는 장점을 지닌다.

그러나 현재까지 연구된 결과에서 볼 수 있듯, 극복할 수 있는 장애물의 크기와 종류가 다소 제한적이다. Alicia의 경우 1~10cm 높이의 장애물을 극복할 수 있다고 설명하고 있을 뿐, 그 외의 다른 장애물이나, 벽면과 다른 벽면을 이동하는 내용에 대해서는 많은 연구들이 현재 진행 중에 머물고 있다.

### 진공 흡착판을 이용한 다족 보행형 로봇

앞선 로봇이 바퀴를 이용하여 벽면 위에서 이동하였다면, 지금 소개하는 로봇들은 2개 이상의 다리를 이용하여 벽면 위를 이동하는 로봇들이다. 각각의 다리 끝 부분에는 진공 흡착패드(가장착

되어 있어, 로봇과 벽면간의 부착력을 생성한다. 이러한 로봇들에는 필자의 연구팀이 개발한 MRWALLSPECT III를 비롯하여 Hirose 교수팀의 NINJA 시리즈, 포츠머스대 학 연구팀의 Robug 시리즈 등이 있다.

이러한 로봇들은 몇 가지 문제점을 공통적으로 안고 있다. 우선 기구학적 구조와 다리를 움직이기 위한 액추에이터 등의 이유로 인하여, 로봇의 크기 및 무게가 다른 로봇들에 비하여 매우 크다. Robug 시리즈의 경우 로봇의 크기가 1.5m에 달하고, 무게는 40kg에 달한다. 이와 유사한 형태의 로봇인 Hirose 교수팀의 NINJA 시리즈 역시 1.8m 크기에 45kg의 무게를 가진다.

또 다른 문제점은 이동 속도이다. 여러 실린더나 모터를 적절하게 움직여야 하기 때문에 매우 까다로운 일이 아닐 수 없다. 이 때문에 Robug 시리즈는

1m/min, NINJA의-II의 경우 7.5m/min의 속도를 가지는 것으로 전해진다. 그러나 이는 모바일 타입의 로봇들이 10m/min 이상의 속도를 가지는 것에 비해 매우 느린 속도일 수밖에 없다.

이와 같은 단점에도 이러한 다족형태의 로봇이 꾸준히 연구되고 있는 이유는, 다양한 환경에 대한 적응성이 높기 때문이다. 보행 형태로 이동하기 때문에 벽에서 천정으로의 이동과 같은 벽면의 변화에도 유연하게 대처할 수 있다. 또한 벽면에 존재하는 장애물, 예를 들어 돌출된 보나, 파이프와 같은 것들을 쉽게 넘어 갈 수 있다.

또한 단 여러 개의 흡착 패드가 존재하게 되므로, 고장이나 벽면의 문제 등 여러 가지 이유로 하나의 패드가 그 기능을 상실한다 하여도 로봇이 벽에서 완전히 떨어지는 경우는 없다. 따라서 보다 안전하게 벽면을 오를 수 있다.

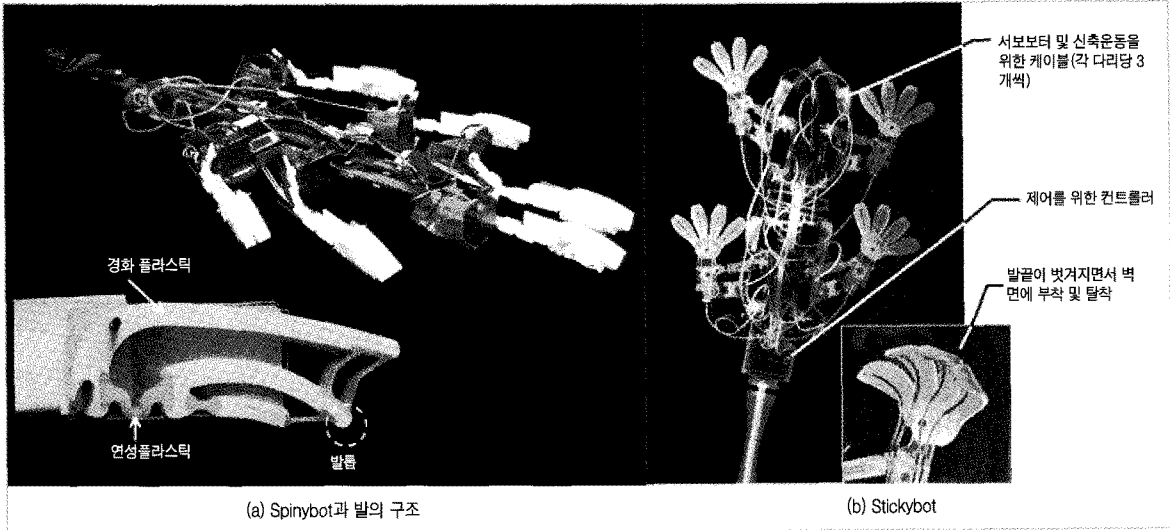


그림 5 Spinybot과 Stickybot

### 생체공학적인 방법

앞선 내용들이 고전적인 기계의 성격이 강했다면, 지금 이야기하고자 하는 로봇들은 생체공학적인 주제를 바탕으로 하는 벽면 이동 로봇이다. RiSE 컨소시엄의 일환으로 개발된 Stanford Univ의 Stickybot과 Spinybot이 그 대표적인 예이다. Stickybot은 도마뱀의 발바닥이 벽에 붙는 원리를 이용하여 개발되었다. 그리고 Spinybot은 메뚜기나 다른 곤충들의 다리에서 볼 수 있는 작은 갈고리 형상을 응용한 로봇이다.

Stickybot의 발바닥에는 작은 털이 붙어 있다. 이것은 폴리머 재질로 만들어진 일종의 가시털인데, 이것들이 촘촘히 붙어 있는 발바닥이 벽면과 접촉하면서 발생하는 반데르발스힘(van der Waals force)을 이용한다.

Stickybot과 다르게, Spinybot은 로봇의 발 끝에 달려 있는 작은 갈고리를 이용한다. 이 작은 갈고리들은 벽면의 돌기와 같은 곳에 걸리게 되어 로봇이 벽면에 걸려 있도록 한다.

그러나 이러한 로봇은 아직 장점보다는 단점이 많은 것이 현실이다. Stickybot은 매끄러운 벽면을 위한 로봇이고, Spinybot은 울퉁불퉁한 돌기가 있는 벽면만을 갈 수 있다. 벽면에 존재하는 장애물을 극복해야 하는 문제와, 이동속도가 1~2m/min밖에 되지 않는 등 해결해야 할 과제가 산적해 있다.

그럼에도 불구하고, 이러한 로봇은 벽면 이동 방식에 새로운 가능성을 제시하였다는 점에 있어서 매우 큰 의미가 있으며, 보다 더 깊은 연구개발을 거친다면, 앞으로의 가능성이 충분히 기대

가 되는 방식이다.

### 맺음말

지금까지 벽면을 이동하는 로봇들이 대표적으로 사용하는 몇 가지 방식에 대해 이야기 하였다. 이 외에도 수없이 많은 형태의 로봇들이 존재하며, 각각의 로봇들이 나름대로의 장단점을 가지고 있다. 이는 또 다른 의미로, 그 여러 로봇들이 이 분야의 독보적인 자리를 놓고 경쟁 중이라고도 할 수 있다.

서문에서 밝혔듯, 벽면 이동 로봇은 우리의 산업 및 실생활에서 매우 유용하게 이용될 수 있는 로봇이다. 우리 주변에서 아파트 벽 한가운데에 붙어있는 로봇을 볼 수 있는 때가 가까워 오고 있다.