

모서리이동을 위한 지능적 벽면 이동 로봇

이지수 김상훈

국립한경대학교 전기전자제어공학과

e-mail: kimsh@hknu.ac.kr

Intelligent Wall Climbing Robot for Edge Movement

Jisoo Lee, Sanghoon Kim

Dept. of Electrical, Electronic, and Control Engineering,
Hankyong National University

요 약

본 논문은 진공을 이용한 흡착방식과 바퀴형 이동방식을 이용하고 환경 탐지용 센서를 부착한 벽면 이동형 로봇의 구현에 관한 연구로서, 대형 구조물의 안전 검사 및 위험한 시설물의 보수 작업등을 보조하기 위한 목적이 있다. 로봇의 무게에 따른 중력을 견딜 수 있도록 강력한 진공흡착방식을 고안하여 다양한 벽면재질에도 견딜 수 있도록 설계하였으며, 바퀴형 이동방식을 택하여 높은 이동성과 제어 능력을 고려하였다. 벽면의 모서리를 이동하기 위해 이중 벽로봇 구조와 모서리 극복 이동 메카니즘을 제안하였으며 또한 환경 감지를 위한 카메라를 부착하여 시각정보 등 유용한 정보를 관리자와 통신을 통해 교환할 수 있도록 하여 지능능력과 활용성을 갖추었다.

1. 서론

문명과 산업이 발달함에 따라 자연스럽게 생긴 대형 구조물들이 우리 주변에서 차지하는 역할이 매우 중대해졌으며, 이와 더불어 그것들의 유지 및 보수 작업의 필요성 또한 중대해졌다. 하지만 위험한 환경과 부가적 인력, 비용 등이 비효율적이다. 이러한 검사 및 보수 작업의 위험성과 그 효율의 비합리성을 해소하기 위해서 벽면을 이용한 지능로봇에 대한 다양한 연구가 진행되었다[1][2][3][4].

본 논문에서는 기존의 연구들에서 제안한 방식 중, 부착방식으로는 벽면 흡착방식을 하드웨어의 대형화 및 환경의존성을 개선하기 위해 유리하다는 이유로[5][6][7] 선택하였으며, 이동방식에서는 이동성을 고려하여 상용 모터를 활용한 바퀴이동식[6][7]을 선택함으로써 제어능력을 중요시하고, 이동성, 소형화 및 지능화를 목표로 하는 구현방식을 제안하였다.

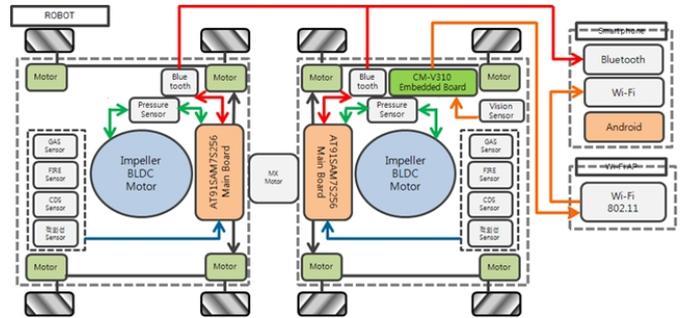
최근 연구[8]에서 구현한 로봇과 같이, 충분한 부착력을 생성 할 수 있는 진공흡착방식과 높은 건물에서의 빠른 이동이 가능하기 위해선 바퀴형 이동방식을 채택하였으며 또한 벽면 이동시 한 개가 로봇으로는 불가능했던 모서리에서의 이동을 위해 본 연구에서는 같은 기능을 갖는 두 개의 벽로봇을 병렬로 연결하고 그 사이를 강력한 서보 모터로 연결하고 모서리 이동시 이동 메카니즘을 제안하여 벽면에서의 지형을 극복하는 실험 결과를 제시하였다.

2. 로봇의 구성

로봇의 전체 시스템은 그림 1과 같이 2대의 로봇 본체, 로봇 제어를 위한 스마트폰, 영상처리를 위한 임베디드 보드로

구분 된다.

두 로봇간의 연결엔 MX 모터가 담당하며 로봇의 세부적인 구성 내용은 [8]에서와 같다.



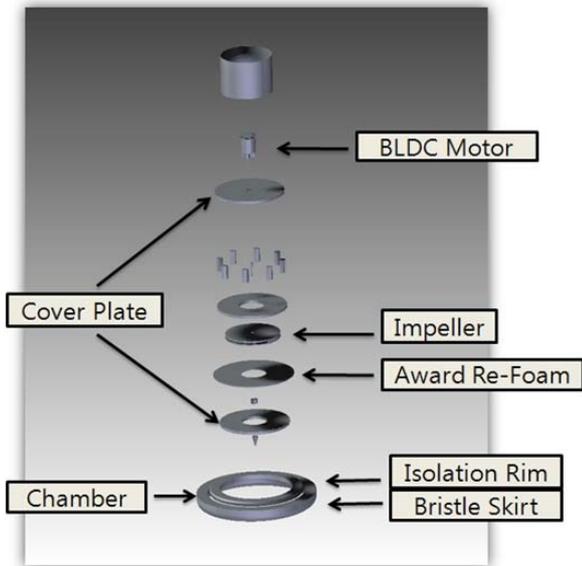
(그림 1) 개선된 이중로봇의 시스템 구성도(CVRIse v.2)

3. 로봇의 동작 분석

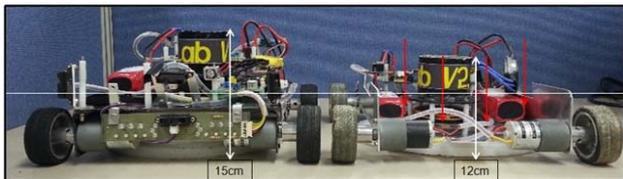
3.1 공기흡착을 위한 로봇의 메커니즘

그림2는 로봇의 부착을 위한 진공흡착시스템으로써 Suction Motor, Cover Plate, Impeller, Award Re-Foam, Isolation Rim, Bristle skirt로 구성된다. 전체적으로 2개의 로봇이 갖는 무게를 최소화하고 지면으로부터의 높이를 최소화하여 흡착력을 극대화하기 위한 목적으로 모든 부품과 기구부의 무게 및 기구 높이를 감소시켰으며, 특히 임펠러 및 체임버의 높이를 최소화하면서 압력 제어를 위한 전체 용량은 그대로 유지하는 노력을 하였다. 그림 2 및 그림 3에서 이전 로봇과 신규 로봇간의 외관의 변화를 비교하여 보

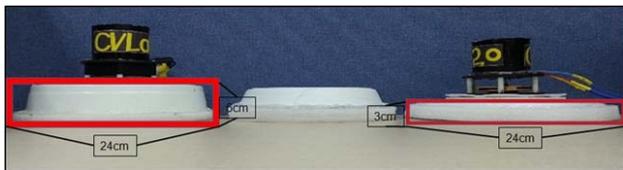
여준다.



(그림 2) 경량화된 진공흡착시스템



(a)



(b)

(그림 3) 무게 경량화와 흡착력 향상을 위한 개선 사항 비교 (a) 전체높이 최소화(15cm->12cm) (b) chamber 높이 최소화(6cm->3cm)

그림 2에서 설계된 원심력식 임펠러는 비교적 적은 양의 유체에 높은 압력을 상승시키는데 적당하다. 원심력식 임펠러를 사용함으로써 적은 공기의 양으로 높은 압력을 상승시키므로 체임버 내부의 기압은 저기압이 되고, 체임버 외부의 기압은 고기압으로 변함으로써 외부에서 체임버를 밀어주는 것과 같은 효과의 힘이 작용하게 된다. 이때 Re-Foam은 진공흡착시스템을 구성하는 기구부로서 완충작용과 공기의 수축·이완 역할을 한다.

Award Re-Foam의 작용으로 체임버 내부의 부피가 감소하므로 압력이 증가한다. 압력의 증가로 체임버의 내부의 기압과 외부의 기압의 차가 커지므로 흡착력이 증가한다. 또한 강한 흡착력으로 인해 Bristle skirt에 가해지는 부하가 가중되어

찌그러짐 현상, 뒤튐림현상이 발생하게 되는데, Award Re-Foam이 체임버에 가중되는 부하를 흡수, 분산 시켜 안정된 동작이 가능하다. Bristle skirt는 유동적인 재질로 제작되어 로봇이 다양한 종류의 벽면에 흡착 시 벽면과 로봇의 틈을 감소시켜 체임버 내부의 압력의 균형이 깨지는 것을 방지한다. Bristle skirt의 사용으로 오돌토돌하거나 평평하지 못한 벽 등 로봇의 작업 범위를 증가시켜 다양한 곳에 안정된 작업이 가능하도록 한다. 이와 같이 임펠러의 회전을 통해 생성된 체임버 내부의 진공은 저기압으로 변하며, 임펠러의 회전에 의해서 외부는 고기압으로 변한다. 이런 기압의 변화로 인해서 벽면과 수직방향으로 흡착력이 발생하게 되어 로봇이 벽면에 흡착하게 된다.

3.2 로봇의 구동 메커니즘

3.2.1 바퀴 구동 메커니즘

로봇의 구동 바퀴는 40cm인 원의 공간에서 회전이 가능하다. 4개의 Geared DC 모터를 사용하여 간단한 구조와 제어가 쉽도록 설계했다. 고정된 4개의 모터를 사용하여 전진, 후진, 좌턴, 우턴이 가능하며, 강한 토크와 빠른 반응을 통해서 로봇이 지면, 벽면, 천장 등 다양한 재질의 작업공간에서 안정되고 정확한 움직임이 가능하다.

세로 30cm, 가로 30cm, 대각선 4cm인 로봇을 지름이 40cm인 원 위에 놓았을 때, 왼쪽 두 개의 모터는 역회전, 오른쪽 두 개의 모터는 정회전을 통해 원의 중심을 기준으로 제자리에서 회전하게 된다. 제자리 회전으로 통해서 로봇의 작업 공간에서의 제약이 줄어 원활한 구동이 가능하다.

3.2.2 임베디드 보드를 이용한 실시간 영상처리



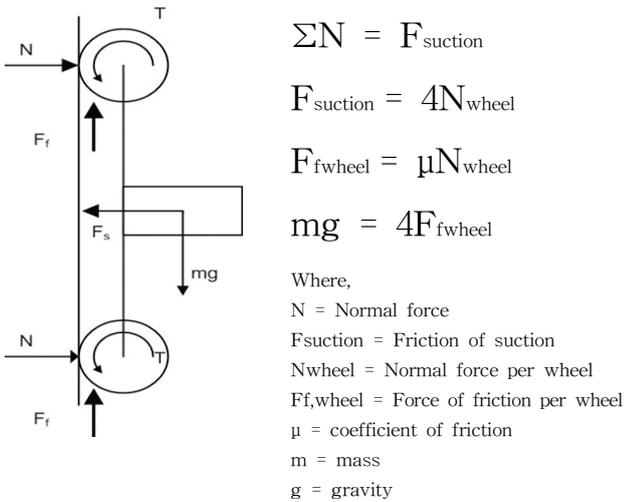
(그림 4) 임베디드 보드내의 카메라와 스마트폰의 통신을 이용한 원격영상 획득 과정

그림 4는 임베디드 보드와 보드내 장착된 카메라가 얻은 영상을 실시간으로 스마트폰에 전송을 할 수 있도록 설계한 모습을 보여준다. 스마트폰과 임베디드보드간의 통신을 양방향으로 구성하여 스마트폰으로 원격지의 로봇을 직접 조종하는 동시에 500만 화소의 카메라를 이용하여 실시간으로 영상을 획득하는 것은 물론, 건물의 균열이나 붕괴

등의 검사 작업을 위한 영상처리 프로그램을 영상이 전송된 후의 스마트 폰내에서 수행함으로써 로봇쪽의 부하를 최소화하면서도 고급의 영상처리를 실시간으로 분산하여 하는 방법을 구현하였다. 이를 통해 건물의 균열이나 문제점이 발견이 되면 스마트 단말쪽에서 경고음 송출로 인해 즉각적으로 상황을 인지하고 검사할 수 있다.

3.3 로봇 이동을 위한 물리적 해석

그림 5과 같이 벽면 이동 로봇이 수직상태 즉, 일반 벽면에서의 흡착과 이동에 관한 물리적 해석[6][7]을 다음과 같이 나타낼 수 있다.



(그림 5) 벽면과 수직상태

수직항력(N)은 물체가 접촉하고 있는 면이 물체에 대해 수직 윗방향으로 작용하는 항력으로 이 수직항력은 흡입의 마찰(Fsuction)과 같아야 하며, 이 흡입력은 각 바퀴에 대한 수직항력 즉, 4개의 바퀴에 대한 수직항력과 동등해야 한다. 또한 각 바퀴에 대한 마찰력(Ffwheel)은 마찰계수에 바퀴에 대한 수직항력의 곱과 같아야 한다. 결론적으로, 중력(mg)에 대해 4개의 바퀴의 마찰력이 같아야 이론적으로 벽에 흡착하여 벽면을 이동 할수 있다. 그림 7과 같이 벽면 이동 로봇이 수직상태 즉, 일반 벽면에서의 흡착과 이동에 관한 물리적 해석을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

3.4 환경 탐지용 센서들의 구성

로봇의 상태나 작업 주변의 위험 환경을 인식하기 위하여 다양한 센서의 사용이 필요하다. 벽오르는 로봇은 위험한 환경이나 이동시 장애물에 보다 능동적으로 대응하고 환경 정보를 관리자에게 알리는 알고리즘을 구현하며 채용한 센서는 다음 표 1과 같다.

<표.1> 벽로봇에 사용된 센서들

센서	사용모델
불꽃	UVTRON (R2868)
조도	Cds Cell (GL5537)
가스	GSAP61 (Smoke Sensor)
적외선	GP2Y0A41SK0F
기체압력	GPS-BTA

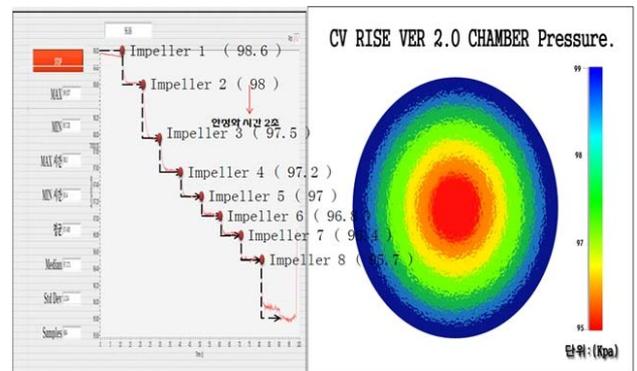
4. 실험 및 검토

4.1 로봇의 이동속도 및 흡착력

로봇의 구동에 사용된 GearedDC모터는 1:210의 기어비를 가지며 30.9 RPM으로 동작한다. 바퀴의 크기는 반지름(r)이 3cm 이다. 모서리 이동을 위하여 2개의 로봇을 구동하나 실제로는 1대의 로봇만 동작하며 나머지 한 대의 로봇을 부하로 생각하고 이동시키다가 모서리 이동 전환시 서로의 역할을 변경하는 이동 메카니즘을 사용한다. 독립적인 한 대의 이동속도와 수직벽의 흡착력은 크게 개선되었으나 부가적으로 1대의 로봇을 부하로 장착한 것으로 인해 속도와 흡착력은 이전 버전과 비교하여 비슷한 성능을 보이며 추가적인 개선 작업을 통해 이 부분의 성능 향상을 위해 지속적인 연구와 실험이 필요하다.

4.2 suction motor 회전에 따른 공기역학 실험

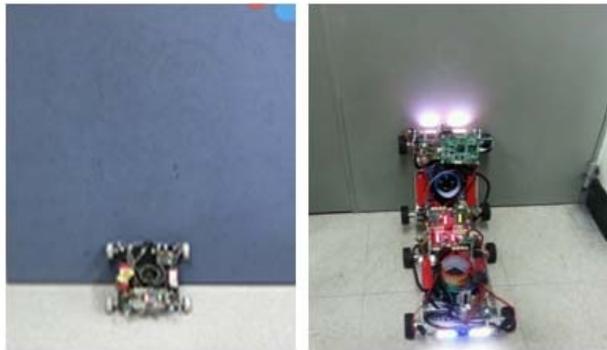
그림 6은 suction motor의 회전에 따른 공기역학의 변화를 알아보기 위한 실험결과이다. Suction motor는 PWM 제어를 통해 8단계로 나누었으며 대기압 100kpa에서 motor의 속도를 높일수록 체임버 내부는 저기압으로 변하며 4단계인 97.2kpa이 되면 로봇이 벽면에 안정된 흡착상태를 유지하게 된다. 벽면의 재질에 따라 단계를 높이며 움직일 수 있으며 8단계인 95.7kpa이 되면 90°이상의 각도 및 천장에서 흡착상태를 유지할 수 있으며 5kg의 탐재량을 운반 할 수 있는 충분한 흡착력을 갖게 된다.



(그림 6) suction motor 회전에 따른 공기역학(Labview 8.5 시뮬레이션)

4.3 제어 프로그램에 의한 다양한 동작

인 동작을 위한 알고리즘을 개선하는 일이다.



a. 지면에서 65도 벽면이동 -> 지면에서 90도 벽면이동



b. 벽에서 꺾인벽면 이동, 벽에서 천장으로 이동

(그림 7) 2대의 벽로봇이 부하를 포함하고 다양한 지형 및 모서리등에서 이동하는 실험

5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 진공흡착방식과 바퀴형 이동방식을 이용한 벽면이동형 지능로봇의 구현에 관한 연구로서, 대형 구조물의 검사 및 위험한 시설물의 보수 작업등에 사람을 대신하여 활용하는 데 그 목적이 있다. 로봇의 무게에 따른 중력을 견딜 수 있도록 강력한 진공흡착방식을 고안하여 불규칙한 벽면재질에도 견딜 수 있도록 설계하였으며, 5kg의 물체를 탑재하여 이동이 가능하고, 벽면에서의 최대 부착력은 7kg이다. 구조가 단순하고 제어 능력이 뛰어난 바퀴형 이동방식을 택하여, 상승이동시 2.9m/min, 하강이동시 3m/min의 속도로 이동이 가능하다. 벽면의 모서리를 이동하기 위해 이중 벽로봇 구조와 모서리 극복 이동 메커니즘을 제안하였으며 환경 감지용 센서와 시각정보를 관리자와 통신을 통해 교환할 수 있도록 하여 지능능력과 활용성을 갖추도록 하였다. 이 프로젝트의 다음 단계는 각각의 기능을 모듈화 시켜 로봇의 무게를 줄이며, 회로를 단순하고 간략화하며 임베디드보드의 대상기능을 확대하는 것이다. 또한 흡착과 이동 메커니즘을 좀더 공기역학적으로 분석하여 개선함으로써 속도와 흡착력을 향상시키며 임베디드 보드내에 탑재되는 지능적인 환경 탐지 기능과 자율적

참고문헌

[1] Clark, J; Goldman, D; Lin, P; Lynch, G; Chen, T; Komsuoglu, H; Full, R; Koditschek, D. (2007). Design of a Bio-inspired Dynamical Vertical Climbing Robot, *Proceedings of Robotics: Science and Systems 2007*, Atlanta, Georgia, USA, June, 2007, on line proceedings,
 [2] Hirose, S. & Tsutsumitake, H. (1992). Disk rover: A wall-climbing robot using permanent magnet disks, *Proceedings of the 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2074--2079, Raleigh, NC, 1992.
 [3] Li Jun, GAO Xueshan, FAN Ningjun, LI Kejie, JIANG Zhihong and JIANG Zhijian , *CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING* , “Adsorption Performance of Sliding Wall Climbing Robot” (2010)
 [4]Tomotuki Yamaguchi, Yoshiaki Sorioka, Sunhong Park, and Shuji Hashimoto , Department of Applied Physics, Waseda University “SIEN: Telescopic-Arm Climbing-Support Robot” (2009 .2)
 [5] Manuel F.Silva and J.A.Tenreiro Machado , Instituto Superior de Engenharia do Porto Portugal , “A Survey of Technologies and Applications for Climbing Robots Locomotion and Adhesion“ (2006. 9)
 [6] Jizhong Xiao and Ali Sadegh The City College, City University of New York USA , “City-Climber: A New Generation Wall-climbing Robots“ (2008)
 [7] 강무진, 문형필, 최혁렬 , 석사논문, 성균관대학교, 메카트로닉스 협동 과정 ,“임펠러를 이용한 벽면이동로봇의 설계 및 제어에 관한 연구 (2010. 1)
 [8] 은영민,김민성,오세엽,신선웅,김상훈, 제37회 한국정보처리학회 추계학술발표대회 논문집 제19권 제1호, “다중센서 기능을 갖는 벽면 이동 로봇” (2012. 11)