

다중센서 기능을 갖는 벽면 이동 로봇

은영민*, 김민성, 권혁성, 송용주, 김상훈**
 국립한양대학교 정보제어공학과
 e-mail: kimsh@hknu.ac.kr**

Wall Climbing Robot with Multiple Sensors

Young-Min Eun*, Min-Sung Kim, Hyeok-Sung Kwon,
 Yong-Joo Song, Sang-Hoon Kim**

Dept. of Information & Control, 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. 또한 환경 감지를 위한 센서와 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 흡착방식이 하드웨어의 대형화 및 환경의존성을 개선하기 위해 유리하다는 이유로[5][6][7] 선택하였으며, 이동방식에서는 이동성을 고려하여 상용 모터를 활용한 바퀴이동방식을 선택함으로써[6][7] 결과적으로 제어능력을 중요시하고, 이동성, 소형화 및 지능화를 목표로 하는 구현방식을 제안하였다.

일반적으로 건물의 검사를 위해서는 다양한 재질의 벽면에 부착이 가능하며, 검사장비 탑재를 위해 충분한 부착력을 생성할 수 있는 진공흡착방식이 적절하며, 높은 건물에서의 빠른 이동이 가능하기 위해선 바퀴형 이동방식이 유리하다. 또한 로봇 스스로가 주변 환경을 인지하고, 검사하며, 검사작업을 계획하기 위해 센서, 무선카메라, 무선통신시스템을 탑재하였다.

2. 로봇의 구성

로봇의 전체 시스템은 그림 1과 같이 로봇 본체, 원격지의 주 컴퓨터, 원격제어기로 구분 된다.

로봇의 본체는 로봇의 부착을 위한 BLDC모터, 로봇의 구동을 위한 Geared DC모터와 주변 환경에 대한 정보를

인지하기 위한 적외선 센서, PIR 센서, 가스·불꽃센서, 조도센서, 3축 가속도센서, Chamber 압력의 조절을 위한 차압센서, 실시간 영상획득을 위한 무선 카메라와 호스트 PC 및 원격제어기와 통신을 위한 무선 통신시스템이 있으며, 모든 시스템의 제어를 위해 AT91SAM7S256를 사용한다.

원격제어를 위한 Host PC에는 시각정보를 관리자와 통신을 통해 교환하여 주변 환경을 감지하며 제어가능하다. Zigbee 통신을 통해 1대 n인 방식을 사용하여 Host PC와 로봇과의 통신과 Remote Controller와의 통신이 동시에 가능하다.

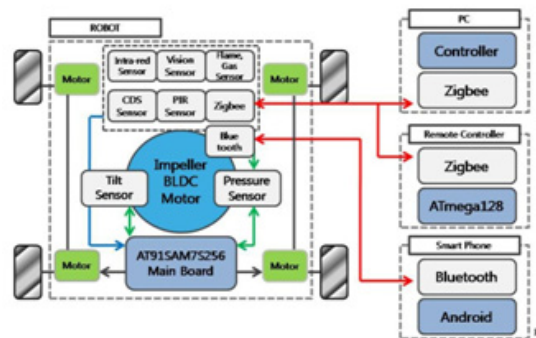


그림 1. 시스템 구성도

3. 로봇의 동작 분석

3.1 공기흡착을 위한 로봇의 메커니즘

그림 2는 로봇의 부착을 위한 진공흡착시스템으로써 Motor

Cover, Impeller, Award Re-Foam, Botton Re-Foam, Chamber로 구성된다.

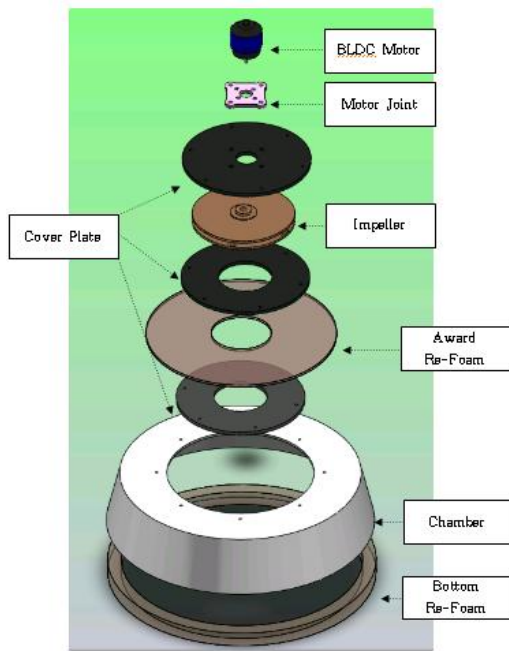


그림 2. 진공흡착시스템

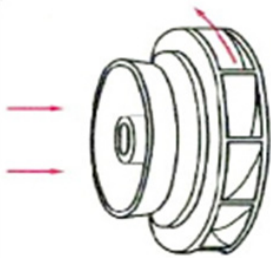


그림 3. Impeller

그림 3의 Impeller의 원리는 다음과 같이 요약된다. 즉 공기, 물, 기름 등의 유체는 원동기에 의해서 고속으로 회전하는 날개차의 깃 사이를 흘러 지나갈 때에 깃으로부터 에너지가 주어진다. 날개차에는 원심형과 축류형으로 나누는데, 원심형 날개차는 유체가 주로 회전축에 수직으로, 즉 원의 중심에서 바깥둘레의 방향으로 흐르고, 축류형 날개차는 주로 회전축의 방향으로 흐른다. 그림 3의 원심력식 임펠러는 비교적 적은 양의 유체에 높은 압력을 상승시키는데 적당하다. 원심력식 임펠러를 사용함으로써 적은 공기의 양으로 높은 압력을 상승시키므로 Chamber 내부의 기압은 저기압이 되고, Chamber 외부의 기압은 고기압으로 변함으로써 외부에서 Chamber를 밀어주는 힘이 작용하게 된다

이때 Re-Foam은 진공흡착시스템을 구성하는 기구부로서 완충작용과 공기의 수축·이완 역할을 한다. Re-Foam은

상부 Re-Foam, 하부 Re-Foam 으로 구분한다. 상부 Re-Foam의 작용으로 Chamber내부의 부피가 감소하므로 압력이 증가한다. 압력의 증가로 Chamber의 내부의 기압과 외부의 기압의 차가 커지므로 흡착력이 증가한다. 또한 강한 흡착력으로 인해 플라스틱으로 제작된 Chamber에 가해지는 부하가 가중되어 찌그러짐 현상, 뒤튐림현상이 발생하게 되는데, 상부 Re-Foam이 Chamber에 가중되는 부하를 흡수, 분산 시켜 안정된 동작이 가능하다. 하부 Re-Foam은 상부 Re-Foam의 기능을 포함하며, 유연한 재질로 제작되어 로봇이 다양한 종류의 벽면에 흡착 시 벽면과 로봇의 틈을 감소시켜 Chamber 내부의 압력의 균형이 깨지는 것을 방지한다. 하부 Re-Foam의 사용으로 오돌토돌하거나 평평하지 못한 벽 등 로봇의 작업 범위를 증가시켜 다양한 곳에 안정된 작업이 가능하도록 한다.

Chamber는 플라스틱 재질의 격벽형태로 임펠러의 회전을 통해 생성된 진공을 안정적으로 유지하는 기능을 한다. Chamber의 내부는 진공현상으로 인해 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 Wireless Camera 의 구성과 기능

그림 4는 초소형 초경량의 무선 카메라로써 카메라에 촬영된 영상 전송을 할 수 있는 기기이다. 무선기기 형식등록을 득하여 공중 무선 망에 사용할 수 있도록 제작된 기기로, 카메라와 송신기가 일체형으로 되어 있어 따로 카메라에 송신기를 설치할 필요가 없어 무게에 대한 제약을 최소화 할 수 있다. 서보모터 2개를 사용하여 상, 하, 좌, 우 구동이 가능케 하여, 어떠한 상황에서 어떠한 위치든 실시간으로 영상을 획득함으로써 로봇의 목적을 충족할 수 있다.

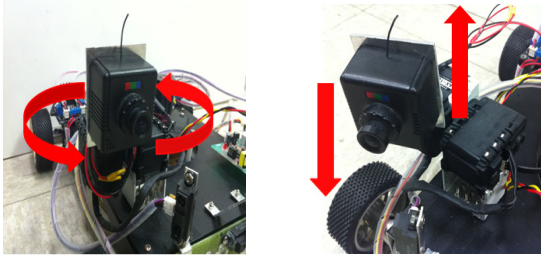


그림 4. 무선 카메라

표.1 벽로봇에 사용된 센서들

센서	사용모델
불꽃	UVTRON(R2868)
조도	Cds Cell (GL5537)
가스	GSAP61 (Smoke Sensor)
PIR	AMN24111
3축가속도	V2 (AM-3AXIS)
적외선	GP2Y0D21YK
차압	SDP610

3.3 로봇 이동을 위한 물리적 해석

그림 5과 같이 벽면 이동 로봇이 수직상태 즉, 일반 벽면에서의 흡착과 이동에 관한 물리적 해석을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

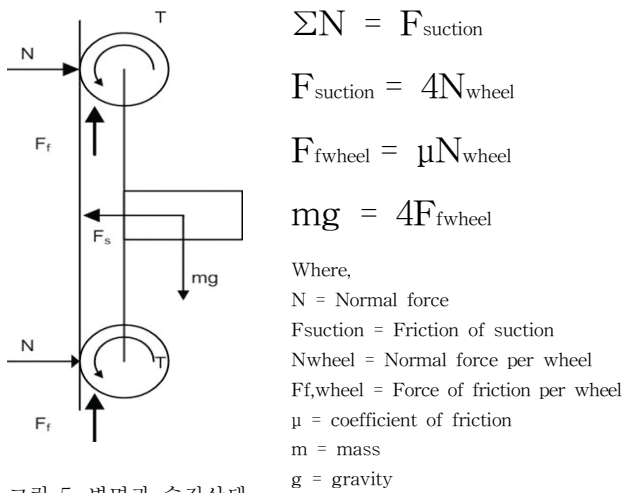


그림 5. 벽면과 수직상태

수직항력(N)은 물체가 접촉하고 있는 면이 물체에 대해 수직 윗방향으로 작용하는 항력으로 이 수직항력은 흡입의 마찰(F_{suction})과 같아야 하며, 이 흡입력은 각 바퀴에 대한 수직항력 즉, 4개의 바퀴에 대한 수직항력과 동등해야 한다. 또한 각 바퀴에 대한 마찰력(F_{fwheel})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 6과 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.

4. 실험 및 검토

4.1 로봇의 이동속도

로봇의 구동에 사용된 GearedDC모터는 1:210의 기어비를 가지며 30.9 RPM으로 동작한다. 바퀴의 크기는 반지름(r)이 3cm 이다. 로봇이 1분 동안 진행할 수 있는 최대 거리는 약 4.8m/min 이다. 표 2을 통해 지면에서의 이동, 상승이동, 하강이동, 수평이동 등 로봇의 이동형태에 따라서 로봇에 작용하는 힘이 다르며, 그 속도 또한 차이가 있음을 확인 할 수 있다.

표 2. 로봇의 이동형태에 따른 속도

moving types	Speed (m/min)
ground move	4.8m/min
upward move	2.9m/min
downward move	3.6m/min
horizontal move on the wall	3m/min

4.2 로봇의 흡착력 제어

표 3는 로봇이 지면, 벽면, 천장의 위치에서 각각 수직방향과 수평방향에서의 로봇의 부착력을 실험한 결과이다. 로봇의 무게는 2.5kg이고 추가적으로 5kg의 탑재량을 운반할 수 있는 충분한 흡착력을 발생했다. 하지만 지면, 벽면, 천장 등 로봇이 위치한 장소에 따라서 흡착력의 차이가 있음을 알 수 있다. 로봇의 위치에 따라 손실되는 힘과 전력의 소비를 줄이기 위해 적절한 제어가 필요하다.

표 3. 로봇의 위치에 따른 힘

Robot position	vertical load	horizontal load
ground	8kg	6kg
wall	7kg	7kg
ceiling	5kg	6kg

4.3 제어 프로그램에 의한 다양한 동작

참고문헌

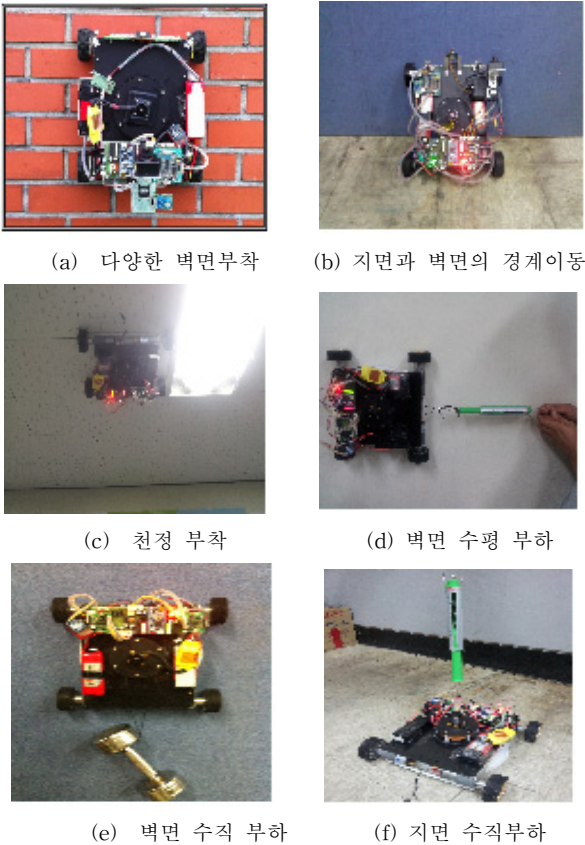


그림 6. 부하를 포함한 다양한 로봇의 부착 및 이동

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 견딜수 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. 또한 환경 감지용 센서와 시각정보를 관리자와 통신을 통해 교환할 수 있도록 하여 지능능력과 활용성을 갖추도록 하였다.

이 프로젝트의 다음 단계는 각각의 기능을 모듈화 시켜 로봇의 무게 줄이며, 회로를 단순하고 간략화하여 로봇의 안정성과 움직임을 최적화하는 단계이다. 다른 방향으로는 기관 처리 장치를 향상 시키고 자율적인 동작을 위한 소프트웨어 알고리즘과 새로운 센서를 추가함으로써 지능적 로봇으로 기능을 향상시키는 것이다.

[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 , 메카트로닉스협동과정 , “임펠러를 이용한 벽면이동로봇의 설계 및 제어에 관한 연구 (2010. 1)