

# 벽면이동 로봇의 진공흡착방식 개선에 관한 연구

신동호\*, 박재민\*, 김현섭\*, 김상훈\*  
 국립한경대학교 전기전자제어공학과  
 e-mail: kimsh@hknu.ac.kr\*

## A Study on Improved Vacuum Adsorption Method for Wall Climbing Robot

Dong-Ho Shin\*, Jae-Min Park\*, Hyeon-Sub Kim\*, Sang-Hoon Kim\*  
 Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering, HanKyong Nation University

### 요 약

본 논문은 벽면 이동 로봇의 진공흡착을 위한 Mechanism의 개선에 관한 연구로서, 시뮬레이션을 통해 로봇의 무게에 따른 중력을 견딜 수 있도록 흡착의 효율을 높이고, Mechanism의 여러 조건들을 고려하여 실험을 통해 가장 적절히 부합하는 조건을 판단하며 벽의 수직방향으로의 미는 힘과 챔버 내의 저압영역등과의 상관관계를 고려하여 흡착 능력을 개선하기 위한 방법을 판단하기 위해 실험을 진행하였다.

### 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. 대형 구조물들은 인류의 생활 어느 곳에서도 쉽게 볼 수 있다. 고층 아파트가 없는 도시가 없으며, 작은 다리 하나 없는 강은 찾아보기 힘들뿐더러, 컨테이너 선박과 대형 여객기가 없이는 지금의 활발한 산업활동이 존재할 수 없다. 이러한 대형 구조물들이 인류의 삶에 미치는 지대한 영향으로 인하여, 이러한 것들의 안전과 그 성능에 대한 검사 및 유지보수가 필요성에 의해 지속적으로 수행되어 왔다. 과거에도 수많은 대형참사, 특히 교량붕괴와 건축물의 붕괴 등으로 인한 인명 및 재산피해는 이러한 검사 및 유지보수 작업의 필요성을 잘 설명해 주고 있다.

그러나 그 규모의 문제로 인하여, 과거 지금까지 행하여져 온 많은 검사작업들이 매우 위험한 환경에서 수행되어져 왔으며, 작업의 효율성 역시 높지 못하다.

교량 및 교각을 검사하기 위하여, 임시 구조물을 설치하는가 하면, 건물의 상층부에서부터 매달려 내려오면서 작업하는 위험한 방식도 행해지고 있다. 이러한 과정은 검사작업자 이외의 부가적인 인력과 비용을 필요로 하며, 소요시간 또한 실제 검사에 필요한 시간에 비해 수십 배에 이른다.

이러한 검사 및 보수 작업의 위험성과 그 효율의 비합리를 해소하기 위해 로봇을 이용한 검사작업이 제안되었다. 로봇을 이용한 작업자가 작업환경 속에서 처하게 될 위험을 로봇이 대신함으로써 작업자의 안전을 보장할 수 있으며 부

가적인 시설물의 설치를 필요로 하지 않게 됨에 따라, 작업의 비용 및 시간을 현저히 줄일 수 있다[1][2][4][5].

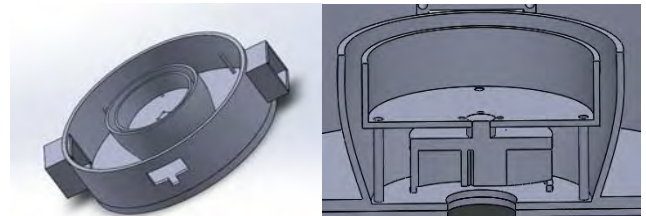
이러한 로봇은 벽에 부착할 수 있는 능력이 중요하기 때문에 진공흡착을 이용한 Impeller의 효율을 높이기 위해 Mechanism을 구현 하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 진공흡착 방식의 로봇 Mechanism

(그림1)과 같이 설계된 접착 장치는 챔버로 둘러싸인 저압 영역을 생성하는 진공 로터 패키지에 의해 생성된 공기 역학 인력을 기반으로 한다.

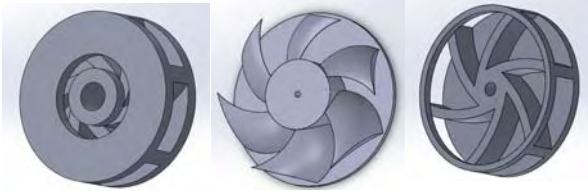
임펠러의 고속 회전은 공기가 중심으로부터 멀리 떨어져 있는 로터의 바깥 둘레를 향해 가속된다. 그러면 공기가 장치를 향해 회전축을 따라 당겨져서 장치 앞쪽에 저압 영역 또는 부분적으로 밀폐 된 경우 부분 진공 영역이 생성된다[1].



(그림1) rotor package

진공 로터 패키지를 이용하면 결과적으로 공기 배출이 장치 뒤쪽으로 향하게 되어 실제로 장치를 앞으로 밀어 넣어 흡착력을 높일 수 있다[1]. 또한 임펠러의 형태에 따

라 공기의 흡입과 배출이 달라진다. 그래서 여러 형태의 임펠러를 통해 시뮬레이션을 실시한 결과 (그림2)의 첫 번째 임펠러는 공기의 흡입구가 작아 챔버 내의 저압영역을 균일하게 생성하지 못하였고 두 번째 임펠러는 공기의 배출이 회전축을 따라 당기지 못하였다. 따라서 이 논문에서는 세 번째 임펠러를 채택하였다.

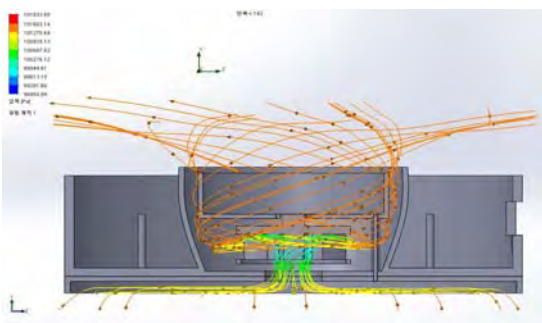


(그림2) Impeller

챔버와 로봇이 부착될 벽과의 거리가 짧을수록 진공상태가 유지가 잘 되며 부착능력이 향상된다. 따라서 벽과 로봇의 챔버의 거리를 실험을 통해 적정한 거리를 찾아야 한다.

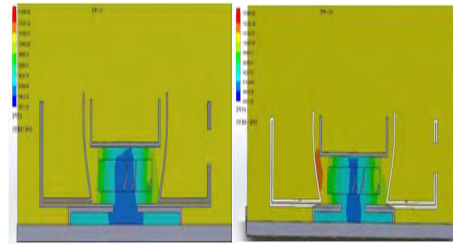
### 3. 실험 및 고찰

본 연구를 통해 계획된 진공흡착 방식의 구조물의 성능을 검증하기 위해 Solidworks Flow Simulation을 이용해 벽과의 1cm간격을 두고 임펠러를 20000rpm으로 돌리면 (그림3)과 같이 공기가 바닥에서부터 Air hole를 통해 들어오고 Rotor Package에서 돌면서 벽과 수직방향으로 빠져나가는 것을 볼 수 있다. (그림3)에서 보이는 것과 같이 공기 흐름의 색상이 압력을 의미 하고 챔버 안의 압력영역이 크게 생성 되어 있는 것을 볼 수 있다. 이 압력영역이 저압 일수록 크고 균일하게 분포 되어 있을수록 흡착력을 향상 시켜주어 안정적으로 흡착하여 벽에 붙어 있을 수 있다.



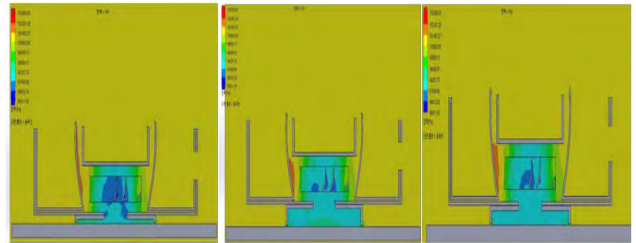
(그림3) Air Flow Simulation

벽에 안정적으로 흡착을 하기 위해선 Mechanism의 여러 조건들을 고려하여 실험을 하였다. 첫 번째로 챔버의 면적을 고려하여 실험한 결과 (그림4)에 보이듯이 챔버의 반지름이 60mm 보다 80mm가 저압영역(96~97kPa) 이 넓고 균일하게 분포 되어 있다.



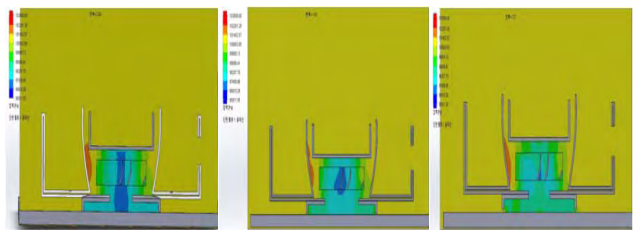
(a) 반지름: 80mm (b) 반지름: 60mm  
(그림4) 반지름에 따른 실험 결과

두 번째로 챔버의 높이에 따라 저압영역이 어떻게 변하는지 실험을 통해 보았다. (그림5)에서와 같이 챔버의 높이가 10mm 이상이 되면 챔버 내의 압력이 높아지는 것을 볼 수 있다. 챔버 안이 저압이 되어야 흡착이 가능하기 때문에 흡착에 탁월한 Mechanism을 설계하기 위한 높이는 10mm 이하라고 판단 하였다.



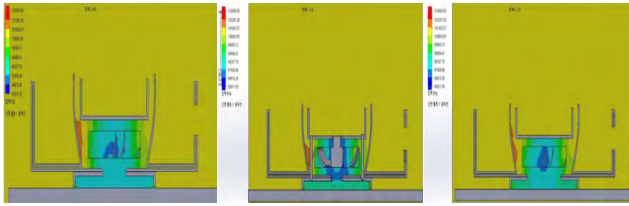
(a) 높이: 5mm (b) 높이: 10mm (c) 높이: 15mm  
(그림5) 높이에 따른 실험 결과

세 번째로 챔버와 지면과의 거리에 따라 저압영역이 어떻게 변하는지 실험을 통해 보았다. (그림6)에서와 같이 챔버와 지면과의 거리가 1mm이상이 되면 챔버 내의 압력이 올라가 흡착의 효율이 떨어지는 것을 보았다. 로봇이 흡착을 하기 위해선 지면과의 거리가 1mm 이하로 설계를 해야 한다.



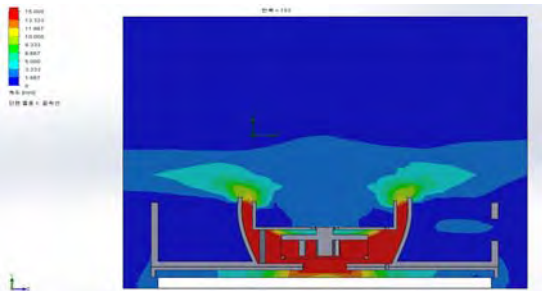
(a) 거리: 0mm (b) 거리: 1mm (c) 거리: 2mm  
(그림6) 지면과의 거리에 따른 실험 결과

네 번째로 에어홀의 크기에 따른 저압영역 분포를 실험을 통해 보았다. (그림7)에서 에어홀의 반지름이 20mm 일 때 보다 10mm일 때 챔버 내의 압력이 높아졌고 30mm에서는 10mm일 때 보다 압력은 낮지만 저압의 분포가 작아졌다. 이 실험을 통해 에어홀의 반지름이 20mm 일 때가 적당하고 판단하였다.



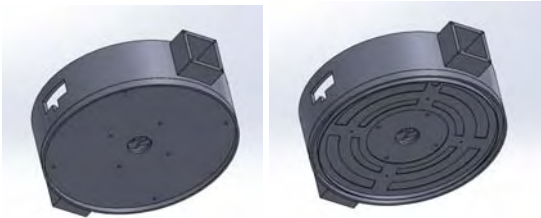
(a) 반지름: 10mm (b) 반지름: 20mm (c) 반지름: 30mm  
(그림7) 에어홀의 반지름에 따른 실험 결과

공기의 속도는 (그림8)에서 와 같이 Air Hole에서 태풍이 불 때의 바람 속도로 빠르게 흡입 후 Rotor Package에서 가장 빠른 것을 볼 수 있다.



(그림8) Air Velocity Simulation

(그림9)와 같이 챔버 부분에 단일 실링보다는 이중, 삼중 실링을 이용해 압력을 유지하고 압력 누수를 줄일 수 있다. 하지만 실링의 수가 증가함에 따라 로봇의 무게 또한 증가하게 되어 압력유지에 대한 효율이 더 이상 오르지 않으므로 개발 하드웨어에 맞는 적절한 수의 실링 선택이 필요하다[2].



(그림9) Chamber

#### 4. 결론

본 논문에서의 Mechanism으로 공기가 벽의 수직방향으로 흘러 벽으로 미는 힘이 생기고 챔버의 저압영역이 크고 균일하게 분포 되어 있기 때문에 흡착효과를 개선하는 것을 확인하였다. 또한 여러 조건들을 고려하여 실험한 결과 챔버의 반지름이 80mm가 가장 적당했고 챔버의 높이는 10mm 이하가 적당 하였다. 그리고 벽면에 흡착과 동시에 이동을 하기 위해서는 벽면과 챔버와의 거리가 1mm 이하가 되어야 한다. 에어홀의 반지름이 10mm 일 때 공기의 흡입구가 작기 때문에 챔버내의 압력이 높아졌고 30mm일 때 압력이 낮아졌지만 분포가 좁아졌기 때문에 흡착을 위

한 에어홀의 적절한 반지름은 20mm로 판단하였다.

본 연구에서는 압력센서를 이용하여 실시간으로 압력을 체크하면서 압력에 따라 필요한 임펠러의 속도를 PWM으로 적절히 조절을 해줌으로써 흡착에 관련된 제어 능력을 개선하는 것이 가능함을 확인하였다.

#### 참고문헌

- [1] City-Climber: A New Generation Wall-climbing Robots Jizhong Xiao and Ali Sadegh The City College, City University of New York USA
- [2] Design and Control of Wall Climbing Robot Using Impeller, Ig Mo Kool, Young Kouk Song, Hyungpil Moon, Sun Kyu Park, Hyouk Ryeol Choi, Sungkyunkwan University
- [3] Improvement of Adhesion Force and Locomtion of Wall Climbing Robot using Physical Analysis, Sanghoon Kim, Joowhan Park, Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering, HanKyong National University Seokjeong-dong, Ansong-city, Kyunggi-do, Korea
- [4] Sang-Hoon Kim, Dong Sang Yoo, "Intelligent Embedded robot for Warehouse Inspection", Korean Society For Computer Game, p.131-135, Vol.26, No.1, 30 March(2013)
- [5] Sang-Hoon Kim, Young-Sik Jeong, "Mobile image sensors for object detection using color segmentation", Cluster Computing (DOI 10.1007/s10586-013-0287-2), Springer, 2013.06, 14(On line publish)
- [6] Embedded System for Wall Climbing Robot Hyuk-Sung Kwon, Ji-Soo Lee, Sang-Hoon Kim Dept. of Electrical, Electronic and Control, Hankyong National University
- [7] Intelligent Robot for Wall Climbing Young-Min Eun, Min-Seong Kim, Se-Yeop Oh, Seon-Woong Shin, Sang-Hoon Kim Dept. of Electrical, Electronic and Control, Hankyong National University
- [8] City-Climber: Development of a Novel Wall-Climbing Robot William Morris, Class of 2008, Major: Mechanical Engineering Mentor: Jizhong Xiao, Department of Electrical Engineering