

불규칙한 수직 벽면 등반로봇용 흡착 유닛의 설계

Design of an attachment device for robotic systems climbing the rugged vertical surfaces

*서근찬¹, 장도영¹, 이경훈¹, 김황¹, 이규희¹, 남우철¹, #김종원¹
 *Kunchan Seo¹, Doyoung Chang¹, Kyunghoon Lee¹, Hwang Kim¹, Kyouhee Lee¹, Uochul Nam¹,
 #Jongwon Kim(jongkim@snu.ac.kr)¹
¹ 서울대학교 기계항공 공학부

Key words : climbing robot, attachment device

1. 서론

고층 건물의 외벽 청소, 대형 선박의 도장 및 용접뿐만 아니라 각종 산업용 탱크의 안전 검사 등과 같은 극한 환경에서의 작업은 작업자의 안전을 위협하고 많은 비용을 수반하게 된다. 하지만 다양한 재질과 형상을 가진 수직 벽면을 등반하며 이러한 작업을 할 수 있는 등반 로봇은 개발되지 않은 상태이다.

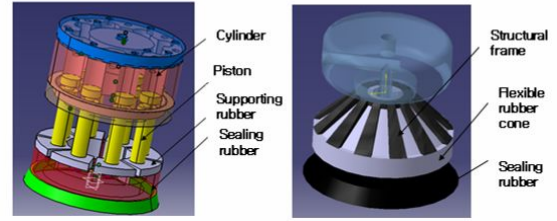
고층 건물 등의 외벽은 철판, 벽돌, 대리석, 유리 등과 같은 다양한 재질로 이루어져 있으며 그 표면 형상은 매우 불규칙하고 다양한 크기의 홈(Groove)등을 포함 하고 있다. 하지만 현재까지 개발된 벽면 등반 로봇들은 유리창이나 철판과 같은 매끈한 수직 벽면을 등반할 수 있는 것이 대부분이며, 콘크리트 벽과 같은 다양한 형상을 갖는 벽면에 대해서는 부착력의 크기 및 견실성, 극복할 수 있는 표면 형상, 에너지 효율 등의 측면에서 매우 제한된 성능을 보여주고 있고, 이러한 점들이 등반 로봇이 실용화 되는데 가장 큰 걸림돌이 되고 있다.^{1,2,3} 따라서 이러한 문제를 해결할 수 있는 흡착 유닛이 개발된다면, 이를 이용한 로봇을 제작하여 고층 건물의 청소 및 도장뿐만 아니라, 선박의 도장, 대형 탱크의 검사 작업등 다양한 분야에 활용이 가능할 것이다.

본 논문에서는 고층 건물의 외벽이나 대형 선박 표면과 같은 수직 벽면을 등반할 수 있는 로봇에 적용이 가능한 흡착 유닛을 소개한다. 공학설계 방법론⁴을 이용하여 3개의 설계대안을 체계적으로 도출하였으며 이를 바탕으로 3종의 흡착 유닛 기능 시작품을 제작 하였다. 개발된 흡착 유닛은 직경 50mm, 높이 50mm의 크기를 가지며 진공을 이용하여 최대 10kgf의 부착력을 얻을 수 있었다. 제작된 시작품을 이용하여 다양한 형상을 가진 수직 벽면 테스트 피스에서 측정된 부착력을 바탕으로 개발된 흡착 유닛의 적용 가능성에 대해 기술하였다.

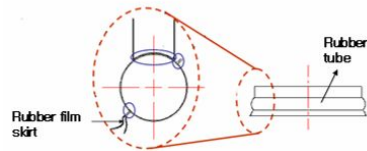
2. 흡착 유닛 기능 시작품의 구조 및 동작원리

흡착 유닛의 구조는 Fig. 1에서 보는 바와 같고 제작된 시작품은 Fig. 2와 같다. 3개의 설계 대안 모두 흡착 유닛을 예압을 가해 벽면에 눌러주면 흡착 유닛과 흡착 유닛이 접하는 부착 벽면 사이에 외기를 차단한 후 진공 펌프 등으로 흡착 유닛 내부에 진공을 공급하여 부착력을 발생시키는 원리를 이용한다. 따라서 벽면의 굴곡 형상에 따라 실링부를 유연하게 변형시켜 외기를 차단하는 것이 가장 핵심적인 기능이다. 이를 달성하기 위하여 3종의 흡착 유닛은 공통적으로 벽에 접하여 미시적인 벽면 형상에 따라 변형되어 외기의 누설을 차단하는 실링부(고주파 변형부)와 이 실링부를 거시적인 벽면 형상에 따라 변형시켜주는 저주파 변형부로 구성되어 있다.

설계대안 1의 경우 링 형상의 탄성이 매우 작은 실리콘 패드가 실링부의 역할을 한다. 이 실링부를 거시적으로 벽면 형상에 따라 변형시켜 주기 위해 실리콘 패드의 상부에 상하 운동이 가능한 피스톤들이 Fig. 1(a)와 같이 부착되어 있고, 피스톤이 삽입되어 있는 실린더에는 유압유가 채



(a) Design alternative 1 (b) Design alternative 2



(c) Tube structure of the design alternative 3

Fig. 1 Structures of the three design alternatives

워져 있으며 유압유는 유로를 통해 피스톤이 삽입된 모든 실린더 사이를 자유롭게 흐를 수 있는 구조로 되어 있다. 따라서 흡착 유닛을 벽에 눌러줄 때, 벽에 접하는 실리콘 패드의 일부가 거시적인 벽면의 돌기에 의해 눌리게 되면 그 부위의 피스톤이 벽면의 반대 방향으로 밀려 올라가게 되고 이때 서로 연결된 유로에 의해 벽면의 움푹 파인 부분에 위치한 피스톤이 실링부를 벽면방향 밀어내어 거시적으로 변형시켜 주게 된다.

설계대안 2의 경우 실링부 구조는 설계대안 1과 동일하다. 하지만, 설계대안 2의 저주파 변형부는 탄성이 매우 작은 콘 형상의 실리콘 패드의 옆면으로 탄성이 매우 큰 우레탄 재질의 뼈대가 삽입되어 있는 구조로서 마치 개구리의 발바닥이나 우산살이 삽입되어 있는 우산과 같은 구조를 갖고 있다. 뼈대 구조를 이용하면, 링 형상 실링부의 거시적인 변형이 벽면 형상에 따라 용이하게 일어날 뿐만 아니라, 뼈대구조를 통해 실링부로 실링에 필요한 예하중이 전달되게 된다.

설계대안 3의 경우는 실링부를 제외한 모든 구조가 설계대안 2와 동일하다. 다만 설계대안 3의 경우 실링부가 얇은 고무 필름으로 제작된 도넛 모양의 튜브형상을 하고



Fig. 2 Prototypes of the three design alternatives

있고 이 튜브가 벽면에 접해 실링을 하게 되는 구조를 가지고 있다. 고무 필름이 매우 유연한 재질일 뿐 아니라 튜브 내에서 유체가 자유롭게 이동하며 튜브 형상이 변형되기 때문에 벽면 형상에 따라 유연하게 실링부가 변형될 수 있는 구조를 가지고 있다. 튜브의 바깥쪽으로는 얇은 고무 필름 스키투가 Fig. 1 (c)와 같이 돌출되어 있어 부가적인 실링의 기능을 담당하게 된다.

3. 흡착 유닛 기능 시작품의 부착력 실험

제작된 기능시작품의 부착력 실험을 위해 Fig. 3 과 같이 다양한 벽면 형상을 가지는 260mm*390mm 크기의 부착벽면 테스트 피스가 제작되었다. 부착 벽면 테스트 피스는 매끈한 표면은 물론 3 종류의 길이 스케일의 높이 편차를 가지는 굴곡(높이 편차 20mm @ 폭 50mm, 높이 편차 3mm @ 폭 10mm, 높이 편차 0.1mm @ 폭 1mm)을 가지는 표면을 각각 포함하고 있으며 이들이 서로 조합된 표면을 포함하고 있다. 테스트 피스의 가장 고주파의 표면(높이편차 0.1mm @ 폭 1mm) 굴곡은 콘크리트나 대리석 수준의 표면 거칠기를 대표하는 표면이며 높이편차 20mm의 굴곡을 가진 저주파 표면은 랜덤한 표면을 가진 암벽 등의 표면에서 관찰되는 수준의 높이 편차 이다.

흡착 유닛의 부착력 시험은 Fig. 3 의 테스트 피스의 각 굴곡 표면과 실제 콘크리트 벽면에서 스프링 저울을 이용하여 측정 되었으며 진공 에너지는 KNF 사의 N838 진공펌프(40W, 무게 2.2kgf)를 이용하여 공급되었다. 실링 효과를 판단하기 위하여 SMC 사의 압력 센서(PSE511-M5)와 NI 데이터 수집보드(PCI-6221)를 이용하여 흡착 유닛 내부의 진공 압력을 측정 하였다.

측정된 부착력은 Table 1 및 Table 2 와 같으며 부착시의 흡착 유닛 내부 진공 압력은 부착에 성공하였을 경우에는 모두 -800mbar~830mbar 수준이었다. 사용된 진공 펌프의 성능 곡선(압력-유량 곡선)을 참조할 때 흡착 유닛과 벽면 사이의 공기 누설이 매우 작은 수준(분당 1 리터 수준)임을 알 수 있었다.

4. 결론

불규칙한 수직 벽면 등반 로봇에 활용이 가능한 흡착 유닛의 기능 시작품을 제작하여 다양한 형상의 벽면에서의

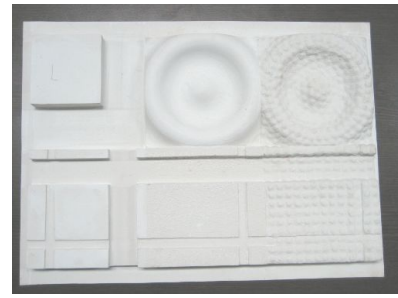


Fig. 3 Test piece of the absorption wall

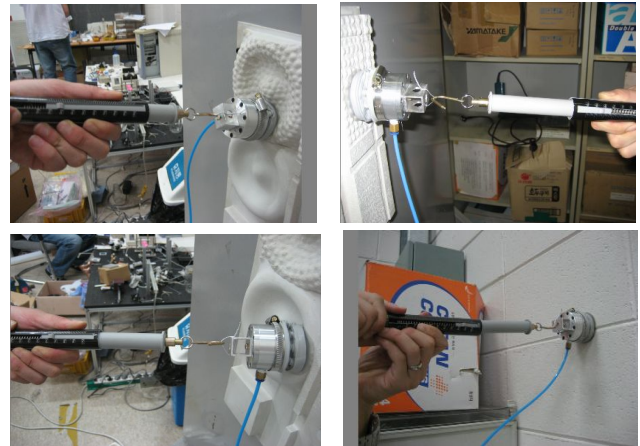


Fig. 4 Attachment test on the test piece wall surface and grooved concrete wall surface

부착력을 측정해 보았다. 다양한 크기의 굴곡을 가지는 벽면에 부착이 가능 하였으며, 최대 부착력은 10kgf 였다. 개발된 흡착 유닛의 경우 비교적 경량의 진공 펌프를 사용하여 흡착력을 발생시키는 것이 가능하고 다양한 크기의 굴곡이 있는 표면에서도 누설 유량이 작아 등반 로봇에 실린 한 개의 펌프로 여러 개의 흡착 유닛에 진공을 공급하는 것이 가능하기 때문에 실제 등반 로봇에 충분히 적용이 가능한 수준이라 할 수 있다. 현재 이를 실제 로봇에 적용하기 위하여 벽면에 대해 수평방향 부착력을 증가 시키고 더 큰 크기의 홈(Groove)이 있는 표면에서의 부착을 가능케 하는 것을 목적으로 설계 변수를 최적화 하기 위한 공학적 해석과 설계 개선에 관한 연구를 진행 중이다.

후기

이 연구는 서울시 산학연 협력사업과 2007년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

1. Jizhong Xiao, Sadeqh. A, Elliott M., Calle A., Persad A., Ho Ming Chiu, "Design of mobile Robots with Wall Climbing Capability", Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 438-443, 2005
2. Hirose S., Nagakubo A., Toyama R., "Machine that can walk and climb on floors, walls and ceilings", International Conference on Advanced Robotics, vol.1, pp.753-758, 1991.
3. Sangbae Kim, Spenko M., Trujillo S., Heyneman B., Mattoli V., Cutkosky M.R., "Whole body adhesion : hierarchical, directional and distributed control of adhesive force for a climbing robot", 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1268-1273, 2007
4. G Pahl and W. Beitz, "Engineering Design, A Systematic Approach", Springer, 1996

Table 1 Attachment force (normal to the wall surface)

Surface Profile	Design 1	Design 2	Design 3
0.1mm height difference @ 1mm length scale	9~10kgf	3.5kgf	4kgf
3mm height difference @ 10mm length scale	9~10kgf	3.5kgf	Fail to attach
20mm height difference @ 50mm length scale	6.5kgf	3.5kgf	
Combination of above 3 surface profiles	3kgf	3.5kgf	
Grooved concrete wall surface	9kgf	3.5kgf	

Table 2 Attachment force (parallel to the wall surface)

Surface Profile	Design 1	Design 2	Design 3
0.1mm height difference @ 1mm length scale	2kgf	1.5 kgf	2.5kgf
3mm height difference @ 10mm length scale	2 kgf	1.5 kgf	Fail to attach
20mm height difference @ 50mm length scale	1~1.5 kgf	1.5 kgf	
Combination of above 3 surface profiles	1~1.5 kgf	1.5 kgf	
Grooved concrete wall surface	1~1.5 kgf	1.5 kgf	