

자력선 유도를 이용한 벽면이동로봇용 영구자석바퀴의 탈착에 관한 연구

한승철*, 이화조**

A Study on a Detachment of a Permanent Magnet Wheel for a Wall-Climbing Mobile Robot using Magnetic Inducement

Seung Chul Han*, Hwa Cho Yi**

ABSTRACT

Robot are necessary to automate the work on a vertical plane of work piece to produce a large structure like a ship, so that a permanent magnet wheel has been attempted to be used for a mobile robot. Its adhesive power was enhanced by restricting the occurrence direction of magnetic flow. Furthermore a method which weakened the adhesive force was developed for easy detachment of the wheel by changing magnetic flow with metal pin. To measure the characteristics of the adhesive and detaching forces, a load cell and a gaussmeter were used. The result showed that the adhesive power was reduced to 1/3 of normal state by using 4 inducing pins.

Key Words : Permanent magnet (영구자석), Gauss meter (자력측정기), Magnetic field (자력선), Attachable (부착), Detachable (탈착), Wall-Climbing mobile robot (벽면이동로봇).

1. 서론

조선소 및 대형 저장탱크, 건설현장 등과 같은 대형 철 구조물에서는 상당부분의 작업이 수직이나 경사면에서 이루어지는데 이런 환경에서의 작업은 대부분 인력에 의존하는 현실이다. 이러한 경우 작업자의 사고위험, 부가장비의 필요성 증가, 작업비용증가 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 수직벽면에 부착하여 이동하며 작업할 수 있는 로봇이 개발을 들 수 있다. 현재 벽면이동 로봇의 대표적인 형태는 진공 펌프를 이용 로봇에 장착된 흡착 판을 벽면에 부착하여 로봇을 고착하는 방법이 대부분이다. 1991년에 Luk^(1,2) 등은 4

에서는 각 발과 몸통에 흡착 판을 장착하고 공압 실린더를 이용 순차제어방식으로 이동한다. 1996년에 Bair⁽³⁾는 흡입 컵의 설계와 로드 셀을 이용한 흡입 컵의 수평면과 수직면의 부착력을 측정하는 방법을 제시하여 흡착 판 장착로봇의 흡착효율과 전체장비의 하중 문제를 개선하였다. 국내에서는 1999년에 성균관대 최혁열 교수는 로봇의 메커니즘을 가진 로봇의 발 부분에 흡착패드를 달아 병진운동을⁽⁴⁾ 이용한 보행로봇을 개발하였다. 이러한 방법들은 다양한 재질의 벽면에 적용이 가능하고 장비무게에 비해서 강한 부착력과 부착력 제어를 쉽게 얻을 수 있다는 장점이 있는 반면에 흡착 판이 고착된 상태에서 이동하기 힘들다는 것과 부착을 위해 부가장비와 그에 따른 제어가 요구된다는 단점이 있다.

2001년 7월 4일 접수

* 영남대학교 대학원

** 영남대학교 기계공학부

자력을 이용하는 방법으로 Hirose⁽⁵⁾는 1992년 "Disk Rover"라는 로봇을 개발하였다. 이 로봇은 자력 판을 기울인체 벽면에 부착하고 그 판을 회전시켜 추진력을 얻어내는 방법을 이용한다. 부착벽면의 두께, 자석원판의 형상을 변화시킨 다양한 모델을 제시하였다. 1995년에는 무한궤도방식에 영구자석 척을 설치한 검사로봇을 이용하여 매장되지 않은 저장 탱크의 내부를 이동하면서 검사하는 이동로봇⁽⁶⁾과 1996년 자석을 이용한 바퀴를 제작하여 냉각탑에 부착한 후 추진기를 이용 원자로 내부의 냉각수로의 균열 검사로봇이 개발되었다.⁽⁷⁾ 이 밖에 국내에는 1998년 벽면 이동로봇의 형태를 갖춘 하수관용 로봇⁽⁸⁾과 저장탱크 및 화학설비와 같은 대형 산업설비의 용법부위를 검사하기 위한 궤도형 이동로봇이⁽⁹⁾ 다양하게 개발되었다. 이들은 철제벽면에만 적용이 제한되는 단점이 있지만 비교적 간단한 장치로 부착이 가능하고 부가장비를 적게 요구하기 때문에 무게가 적게 나가는 장점이 있다. 지금까지 개발된 자석을 이용하는 로봇의 부착장치는 바퀴 형태가 아닌 디스크형과 궤도형태가 대부분이다. 이러한 형태의 부착장치들은 강한 부착력은 가지고 있으나 상대적으로 무게가 많이 나가고 구조물로부터 착탈에 어려운 문제점을 가지고 있다.

본 연구의 목적은 무게가 가볍고 수직철제벽면에서의 효과적인 이동과 착탈이 가능한 이동로봇용 영구자석바퀴를 개발하는 것이다. 바퀴를 특별한 형태로 설계하여 자력이 방사형이 아닌 일정한 방향으로 자력이 집중하도록 하여 작은 용량의 자석으로도 강한 부착력을 얻을 수 있는 방법과 유도 편으로 자력을 유도하여 착탈이 용이하게 할 수 있는 방법을 제시한다.

2. 자장에 의한 힘의 이용

자석의 자극의 세기는 그 부분에 다른 자석을 놓았을 때 양 자극 사이에 작용하는 흡입력 또는 반발력의 대소로 표시한다. 즉 2개의 자극의 세기를 각각 M_1, M_2 라하고 자극 사이의 거리를 r 이라 하면 자극 사이에 작용하는 힘(F)은 다음의 관계식으로 표시된다.

$$F = \frac{M_1 M_2}{r^2} \quad (1)$$

이식에서 알 수 있는 것과 같이 자석의 부착력

(F)은 거리(r)의 제곱에 비례하고 자극의 세기(M_1, M_2)에 정비례한다. 또한 자석의 한 끝이 고투자율의 재료와 접할 경우 인력(F)은 다음과 같이 표현된다.

$$F = \frac{AB^2}{8\pi} \quad (2)$$

여기서 A 는 접촉면의 면적(cm^2)이고 B 는 자석의 유도자기($gauss$)이다. 이식은 모든 Pole들이 두 표면에 놓여 있다고 가정한다.

식 (2)에서 알 수 있듯이 자석의 부착력은 거의 자석의 유도자기에 의해 결정된다. 자력선의 성질을 이용하는 간단한 예로는 마그네틱 척을 들 수 있다 (Fig.1). 자석의 극성이 양면의 연결기둥에 수직 방향(a)일 경우 자력선이 부착 면으로 흐르지 않고 따라서 부착력도 발생하지 않는다. 하지만 수평방향(b)일 경우 자력선은 부착 면으로 흘러 강한 부착력이 형성된다.

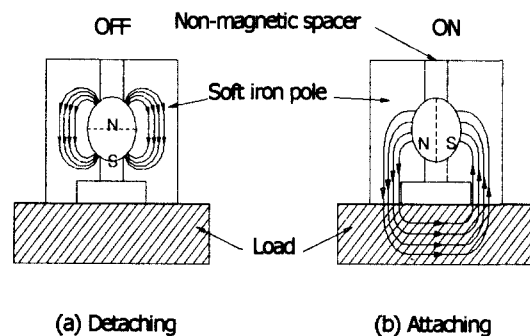


Fig. 1 Example of magnetic force line

마그네틱 척의 자석 양쪽의 연결로된 판은 자력 유도에 이용될 뿐 아니라 자석의 자력을 부착력에 사용할 때 자력강화의 방안으로도 역할을 하고 있다.

일반적인 자석은 극성을 중심으로 분산된 자력 분포 이루고 있다(Fig. 2). 하지만 분포되어있는 자력 양면에 연결 판을 설치하여 자력의 흐름을 한 방향으로만 유도하면 일반 자석에 비해 강한 자력을 얻을 수 있다.

본 연구에서도 자석바퀴에 이러한 자력집중이 일어날 수 있는 판을 부착하며, 이 판은 자력선의 유도에 활용되게 된다.

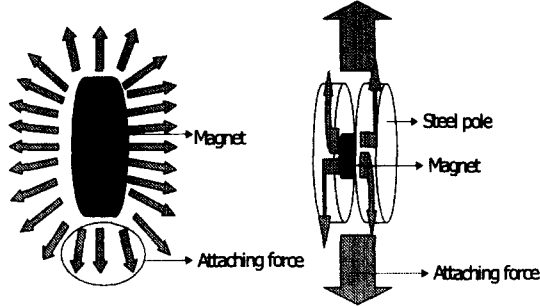


Fig. 2 Enforcement of Magnetic Attaching Force

3. 자력선유도를 이용한 착탈방법 및 설계

3.1 바퀴에서의 자력선 유도방안

부착시의 자력선의 흐름은 마그네틱 척에서 부착시(Fig. 1-b)와 별로 다를 것이 없다. 그러나 바퀴의 경우 네모가 아닌 회전형으로 구성되어야하므로 구성자체에 문제가 있고 중심부에 바퀴의 축이 있어야하므로 더욱이 그러한 구조는 불가능하다.

만약에 Fig. 2와 같은 구조에서 자석과 부착면 사이의 중간위치에 자장이 흐를 수 있는 금속물질을 끼워 넣어 자석의 양쪽에 있는 판을 연결시키게 되면 상당부분의 자력선은 끼워 넣은 금속물질을 통하여 흐르게되고 부착 면에서의 부착력은 급격히 저하할 것이다. 이러한 방법은 자력강화를 위하여 장착한 자석의 양쪽 금속판에 구멍을 뚫고 핀을 끼워 넣음으로서 구현이 가능하고 회전형의 바퀴에서도 적용이 가능할 것이다.

3.2 자력선 유도 핀

영구자석 바퀴의 착탈 방법은 영구자석을 장착한 바퀴에 자력유도 핀을 장착하지 않을 경우 Fig.3-b와 같이 자력선은 양방향의 면을 따라 부착면에 강한 자력을 형성한다. 반면 자력유도 핀을 장착할 경우 Fig.3-a와 같이 자력선을 유도 핀으로 유도하여 부착 면으로 흐르는 자력을 감소시켜 영구자석 바퀴의 이탈을 쉽게 한다.

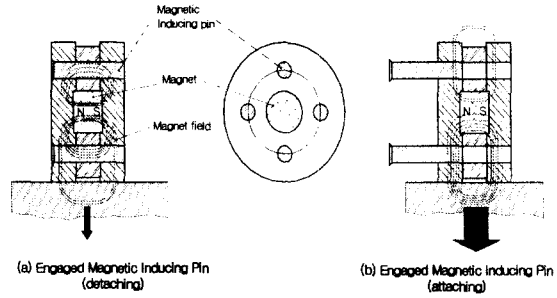


Fig. 3 Operation of detaching and attaching wheel by inducing magnetic force.

3.3 바퀴의 설계

Table 1은 영구자석바퀴의 크기 및 두께, 자석의 크기, 유도 핀의 크기 및 개수를 나타내었다.

Table 1 Permanent-magnet size wheel

Type of Magnet Wheel	Magnet Wheel(1)	Magnet Wheel(2)	Magnet Wheel(3)
Size of Magnet (mm)	Ø10 (4EA)	Ø20 (1EA)	Ø20 (3EA)
Size of Wheel (mm)	D40×10 (2EA)	D40×10 (2EA)	D50×10 (2EA)
Thickness of Magnet	5mm	10mm	10mm
Thickness of Wheel	25mm	30mm	30mm
Ø(mm) & count of axis	ø 9, 4EA	ø 9, 4EA	ø 11, 3EA

Fig. 4는 자력선 유도를 이용한 영구자석 바퀴의 설계도 및 제작된 영구자석 바퀴이다. 영구자석은 3가지 종류의 영구자석 바퀴를 선택하였으며 바퀴의 재질은 연철을 사용하였으며 자석의 개수에 따른 자장의 분포, 자석의 크기에 따른 자장의 분포를 확인하기 위해 자석간의 간극을 일정하게 하고 자석의 배치는 유도 핀의 장착위치에 비례하여 설계하였다.

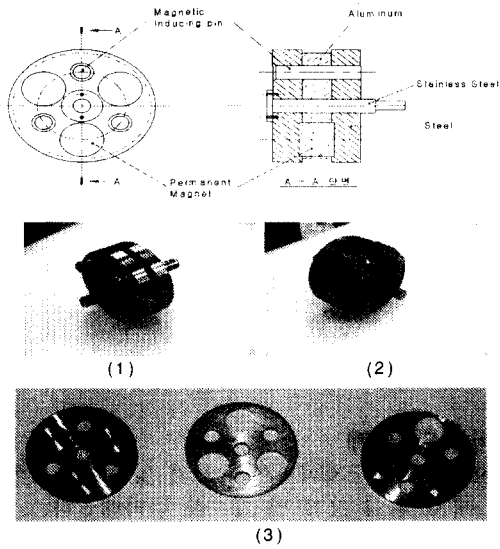


Fig. 4 Details of magnet wheel for inducing magnetic force line.

4. 개발된 장치의 자력 측정실험

영구자석바퀴의 자력측정장치의 구성은 Fig.5, Fig.6과 같이 데이터 전송 및 모터제어용 컴퓨터와 DR-DAS12 보드(다림 시스템), 바퀴의 부착력측정 로드 셀(50kgf), 부착력 측정값을 파형으로 분석하는 오실로스코프(RS232Port), 자력측정용 가우스미터, 등으로 구성되며 실험은 2가지로 분류하여 실험을 실시하였다.

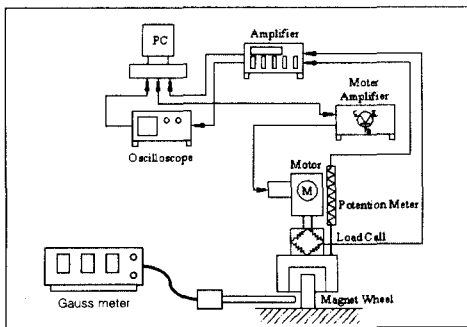


Fig. 5 Experimental set-up for measuring of attaching force.

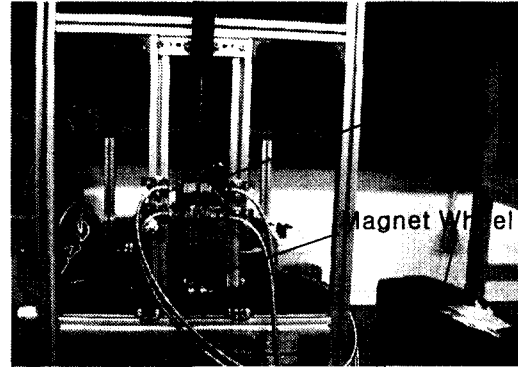


Fig. 6 Setting of experimental equipment.

4.1 가우스메타를 이용한 자력변화 측정

Table 1과 같이 제작된 영구자석 바퀴의 자력 변화량을 가우스메타를 이용하여 측정하여 보았다. 같은 조건에서의 실험결과 Fig. 7과 같이 자석의 수와 배열위치, 유도 핀의 설치 수에 따라 자력변화에 큰 차이를 보였다. 영구자석바퀴(20*10*3)의 경우 1000G에서 100G로 자력이 크게 감소되어 측정되었다.

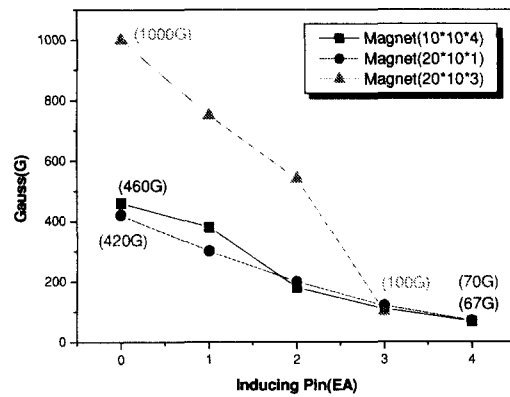


Fig. 7 Variation of attaching force versus number of inducing pins at different configuration of magnet wheel. (Measured by a Gauss Meter)

4.2 로드 셀를 이용한 부착력 측정

영구자석바퀴는 Table 1과 같이 3가지 형태로 제작하였으며 로드 셀를 설치한 실험장치에 장착하여

자석바퀴에 자력유도 핀을 설치 증가하였을 경우 부착력의 변화를 실험하였다.

4.2.1 자석 바퀴(1)의 부착력 변화

Fig. 8은 자석(D10mm× T5mm) 4개를 장착한 자석바퀴의 부착력 실험을 하였다. 자석바퀴에 자력유도 핀을 장착하지 않았을 때의 최대 부착력은 7.7kgf를 나타내며 자력 유도핀을 4개로 증가 할 경우 1.30kgf로 부착력의 변화를 나타내었다.

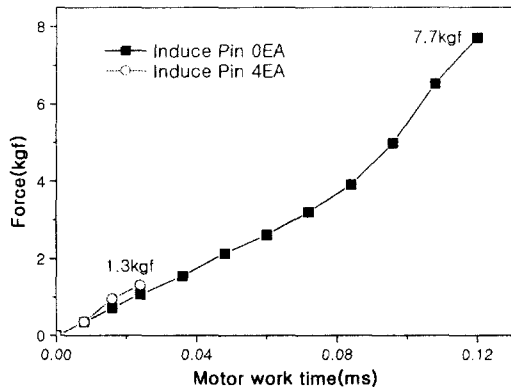


Fig. 8 Attaching Force of the magnet wheel according to motor work time. (wheel diameter :40mm, thickness of magnet :5mm, 4 magnet)

4.2.2 자석 바퀴(2)의 부착력 변화

Fig.9는 자석(D20mm× T10mm) 1개를 장착한 자

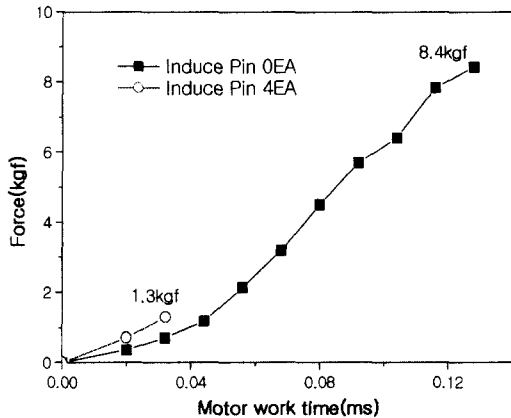


Fig. 9 Attaching Force of the magnet wheel according to motor work time. (wheel diameter: 40mm, thickness of magnet: 10mm, 1 magnet)

석바퀴의 부착력 실험을 하였다. 자석바퀴에 자력유도 핀을 장착하지 않았을 때의 최대 부착력은 8.4kgf를 나타내며 자력유도 핀을 4개로 증가할 경우 1.30kgf로 부착력의 변화를 나타내었다.

4.2.3 자석 바퀴(3)의 부착력 변화

Fig. 10은 자석(D20mm× T10mm) 3개를 장착한 자석바퀴의 부착력 실험을 하였다. 자석의 크기와 개수를 증가하고 유도 핀의 개수를 감소시켜 자력을 강하게 하여 측정된 결과 자석바퀴에 자력유도 핀을 장착하지 않았을 때의 최대 부착력은 28.8kgf로 크게 측정되었고 자력유도 핀을 3개로 증가 할 경우 9.6kgf의 부착력의 변화가 측정되었다.

위의 두 모델에서는 부착력이 유도 핀이 없을 때와 비교하여 각각 16.9%와 15.5%로 감소하였으나, 이 모델에서는 33.3%로 감소하여 다른 모델에 비하여 부착력 감소의 효과가 가장 적었다. 이것은 이 모델에서 자석의 크기가 바퀴의 크기에 비하여 상대적으로 커서 자석과 부착면사이의 거리가 지나치게 작아서 생긴 결과로 추측된다.

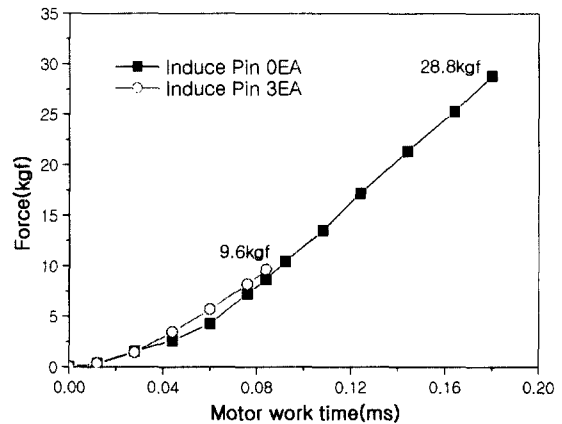


Fig. 10 Attaching Force of the magnet wheel according to motor work time. (wheel diameter: 50mm, thickness of magnet :10mm, 3 magnet)

위 실험을 통하여 개발된 영구자석바퀴는 자석의 크기나 개수 및 자력유도 핀에 따라 약간의 차이가 있으나 자력유도 핀의 증감에 따라 자력집중과 분산을 통하여 부착력을 제어할 수 있음을 알 수 있다.

4.3 벽면두께의 변화에 따른 부착력의 변화

부착 면의 두께에 따라 자력선의 흐름이 변화하므로 영구자석 바퀴의 부착력에도 변화를 보인다. 자석바퀴에 유도 핀을 장착하지 않은 상태에서 Table 1과 같이 제작된 영구자석 바퀴의 부착력을 두께가 3mm, 5mm, 10mm인 철판에 각각 설치하여 부착력을 측정하였다.

Fig. 11은 자석(D10mm× T5mm) 4개를 장착한 자석바퀴를 철판 두께와 유도 핀의 개수를 변화하여 부착력을 측정하였다. 자력을 유도하지 않았을 경우 3mm 및 5mm의 철판 두께에서는 0.1kgf 정도의 큰 차이가 없으나 10mm이 에서는 5.3kgf 정도의 부착력의 차이가 있다. 같은 방법으로 자력유도 핀을 4개로 증가할 경우 3mm 및 5mm의 철판 두께에서는 거의 같은 부착력이 발생하며 10mm인 경우는 1kgf 정도의 차이를 보이고 있다.

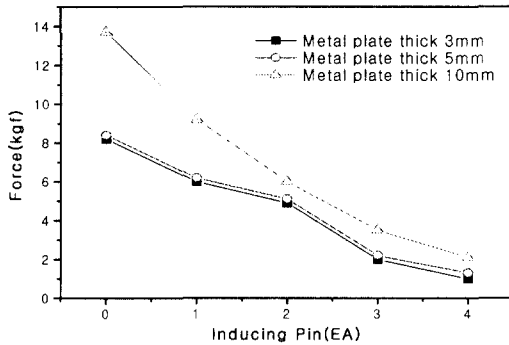


Fig. 11 Attaching Force of the Magnet Wheel at different thickness of plate. (wheel diameter: 40mm, thickness of magnet :5mm, 4 magnet)

Fig. 12는 자석(D20mm× T10mm) 1개를 장착한 자석바퀴를 철판 두께와 유도 핀의 개수를 변화하여 부착력을 측정하였다. 자력을 유도하지 않았을 경우 3mm 및 5mm의 철판 두께에서는 0.5kgf로 부착력의 차이가 없으나 10mm이 에서는 8kgf 정도의 부착력의 차이가 있었다. 자력유도 핀을 4개로 증가할 경우 3mm 및 5mm의 철판 두께에서는 거의 같은 부착력이 발생하나 10mm인 경우는 1kgf 정도의 차이를 보이고 있다. 자석(D10mm× T5mm) 4개를 장착한 자석바퀴나 자석(D20mm× T10mm) 1개를 장착한 자석바퀴의 부착력은 거의 같은 변화를 보이고 있다. 자력유도 핀을 장착하지 않았을 경우는 철판두께가 두꺼울수록 부착력이 강하게 나타나고 있으나

자력유도 핀이 증가할수록 두께에 따른 부착력의 영향은 현저하게 감소하고 있음을 볼 수 있다.

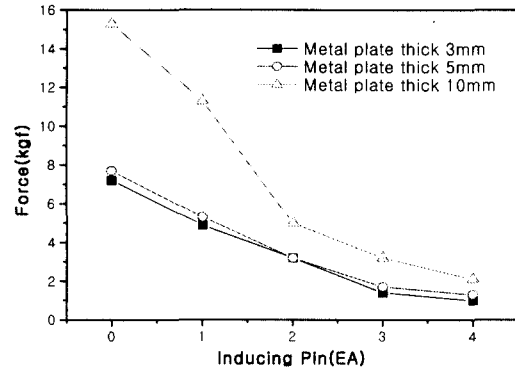


Fig. 12 Attaching Force of the Magnet Wheel at different thickness of plate. (wheel diameter: 40mm, thickness of magnet:10mm, 1 magnet)

Fig. 13은 자석(D10mm× T5mm) 4개를 장착한 자석바퀴나 자석(D20mm× T10mm) 1개를 장착한 자석바퀴와는 달리 자석(D20mm× T10mm) 3개를 장착한 자석바퀴는 바퀴의 크기와 자력 유도 핀의 크기를 다르게 제작하여 철판 두께와 유도 핀의 개수를 변화시켜 부착력을 측정하였다. 자력을 유도하지 않았을 경우 3mm와 5mm의 철판 두께에서는 2.1kgf의 부착력 차이가 있으며 5mm와 10mm에서는 4.6kgf 정도의 부착력 차이가 있다. 자력유도 핀을 4개로 증

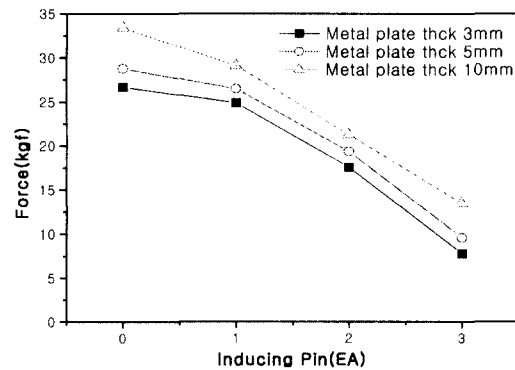


Fig. 13 Attaching Force of the Magnet Wheel at different thickness of plate. (wheel diameter: 50mm, thickness of magnet :10mm, 3 magnet)

가할 경우 3mm와 5mm의 철판 두께에서는 1.8kgf로 유도하지 않을 때와 미세한 차이를 보였으며 5mm와 10mm인 경우는 3.9kgf정도의 차이를 보이고 있다.

위 실험 결과 부착 면의 두께가 두꺼울수록 자력의 분포가 넓어지므로 강한 부착력을 형성하는 반면 부착 면의 두께가 얇을수록 자력의 분포가 적어지므로 부착력은 저하됨을 볼 수 있다. 또한 자력유도 핀의 개수에 따른 부착력의 변화는 부착 면의 두께가 두꺼울수록 현저하게 감소됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 자석의 배치, 자석의 크기 및 개수에 따라 자력유도 핀을 이용할 경우 부착력이 급격히 감소됨을 확인하였다. 이러한 효과를 최대한으로 이용하기 위해서는 자석과 유도 핀의 위치선정이 상당히 중요하다. 자석이 바퀴의 외경부위에 위치할 경우 부착력의 감소효과는 다소 떨어지는 것을 실험으로 알 수 있었다.

개발된 영구자석바퀴를 이용한 이동로봇을 개발할 경우 기존의 수직 벽면 로봇에 사용되고 있는 공기 흡착식에 비해 구조가 간단하고 착탈이 용이하므로 철판 벽면에서의 작업의 효율성과 산업현장의 안전부분에 크게 이바지할 것으로 기대된다. 또한 개발된 영구자석바퀴를 장착한 로봇은 상대적으로 무게가 가벼워 이동속도가 기존의 장치에 비해 많이 개선 될 수 있을 것이다.

영구자석 바퀴를 이용하는 경우 작업환경이 철제벽면으로만 제한되는 단점이 있으나, 특성화된 대형 철구조물에 대한 사용목적으로 개발이 이루어진다면 산업현장에 크게 도움이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. B. L. Luk, A. A. Collie, J. Billingsley "ROBUG II : An Intelligent Wall Climbing Robot" Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation Sacramento, California-April pp. 2342-2346, 1991.
2. B. L. Luk, A. A. Collie, and T. White "Nero : A Teleoperated wall-climbing vehicle for Inspection of

- Nuclear Reactor Pressure vessel" proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation pp. 2342-2347, 1996.
3. B. Bahr, Y. Li, and M. Najafi, "Design and Suction CPU Analysis of a Wall Climbing Robot" Computer Elect. Engng Vol. 22, No. 3, pp. 193-209, 1996.
4. 최혁렬, 이정훈, "벽면 이동 로봇 개발" 韓國精密工學會 99年度 春季學術大會 論文集 pp. 3-6, 1999.
5. S.Hirose and H.Tsutsumitake, "Disk Rover : A wall-climbing Robot using Permanent Magnet Disks," Proceedings of the 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System pp. 2074-2079, July 7-10, 1992.
6. H. Schempf, B. Chemel, and N. Everett, "Neptune : Above-Ground Storage Tank Inspection Robot System" IEEE Robotics and Automation Society Magazine pp. 9-15 June 1995.
7. Jae. C. Lee, Yu. R. Choi and Jae. H. Kim, "Positioning of a Mobile Robot for Reactor Vessel Inspection" The Fourth International Conference on Control. Automation, Robotics and Vision Volume 2 of 3 pp. 878-882.
8. 오승철, 윤지섭 외 3인 "하수관용 로봇의 차륜 및 보수장치 설계 · 제작" 韓國精密工學會 '98年 秋季學術大會 論文集 pp. 673-676, 1998.
9. 장준우, 정경민, 김호철, "용접부 자동 탐상을 위한 이동로봇의 개발" 韓國精密工學會 '2000年 秋季學術大會 論文集 pp. 713-716, 2000.
10. A. NISHI, "Development of wall-climbing Robots" Computers Elect. Engng Vol. 22. No. 2 pp. 123-149, 1996.