

# 유한요소법을 이용한 이동로봇용 영구자석바퀴의 최적화

\*한승철<sup>1</sup>, 이화조<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 상주대학교 자동차공학과, <sup>2</sup> 영남대학교 기계공학부

## Optimization of Mobile Robot use Permanent Magnet Wheel using Finite Element Method

\*S. C. Han<sup>1</sup>, H. C. Yi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Automotive. Eng., Sangju National Univ., <sup>2</sup> Div. of Mech. Eng. Yeongnam Univ.

Key words : Finite Element Method(유한요소법), Permanent Magnet Wheel(영구자석바퀴), Magnetic Flux Density(자속밀도)

### 1. 서론

대형선박 건조 및 대형용기 등 철 구조물 검사 및 작업용 이동로봇들이 여러 연구를 통하여 소개되었으나 아직까지 충분한 기능을 발휘하고 있지는 않다. 특히 대형선박 건조시 용접 및 페인팅 등 산업 재해발생이 많은 산업현장에서는 작업용 이동로봇이 절실히 요구되고 있으나 수직벽면이라는 작업환경에서는 많은 부분이 제한적일 수밖에 없다.

국내외 기존의 연구들은 수직벽면인 철 구조물에서 작업이 가능한 영구자석 로봇들을 개발하였다. 원자로압력용기검사로봇<sup>1</sup>과 대형 파이프 내부검사로봇<sup>2</sup> 등과 같이 벽면에 부착하여 이동하는 로봇으로 착탈이 자유롭지 않은 로봇이 대부분이다.

본 논문은 이동로봇용 영구자석바퀴의 간단한 착탈을 이용하여 작업효율을 증대하고 다양한 작업환경변화에 대응할 수 있도록 하며 FEM 이용한 이동로봇용 영구자석바퀴의 최적화를 통하여 부착면의 두께와 영구자석바퀴의 크기에 따라 최적의 영구자석바퀴를 설계하고자 한다.

### 2. 영구자석바퀴의 착탈장치

이동로봇용 영구자석바퀴는 전자석과 달리 영구자석을 사용하므로 큰 자속밀도를 얻을 수 있으며 구조가 간단하다. 영구자석은 초강력 자석인 Nd-Fe-B자석을 사용하였다. Nd-Fe-B자석의 자속밀도는 1.25(T)이며 보자력은 10.8(kOe)이다.

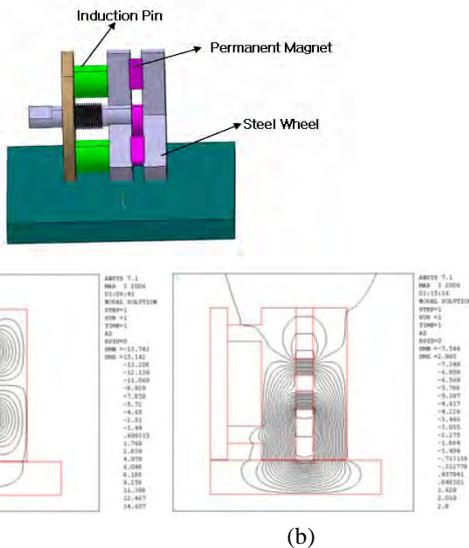


Fig. 1 Magnetic force induction of Permanent magnet wheel

Fig.1의 (a),(b)와같이 영구자석바퀴에 유도핀을 장착하여 자속흐름의 결과를 Fig. 1(a)을 통해 부착면으로 흐르지 않고 유도핀을 따라 바퀴내부에서의 흐름을 볼 수 있다. (b)는 유도핀을 결합하지 않은 상태이며 자속의 흐름이 부착면에

집중되는 것을 볼 수 있다.

수직벽면에서의 작업에 효율성을 높이기 위해 착탈이 용이해야 한다. 착탈이 용이한 영구자석바퀴는<sup>3</sup> Fig.1과 같이 영구자석과 유도 핀을 사용 자력선의 흐름을 유도하여 부착면에 자속밀도의 변화를 줄이므로 착탈이 용이하게 한다. 하지만 영구자석의 크기 및 위치, 바퀴의 크기, 부착면의 두께변화 따라 부착력은 큰 차이가 있다.

### 3. 영구자석바퀴 해석 및 최적설계

#### 3.1 FEM을 이용한 자속밀도 해석

영구자석바퀴의 FEM해석을 통하여 자력선의 흐름 및 자속밀도(B)를 확인하였다. 적용된 프로그램은 Ansys7.1을 사용하였으며 영구자석 바퀴 해석을 위해 사용한 물성치는<sup>4</sup> 재료 투자율( $\mu$ )이다.

$$\mu = \frac{B}{H}$$

H : 자장의세기

B : 자속밀도

재료의 투자율은 Table 1과 같다.

Table 1 Relative Properties

Material	Relative Permeability
Air	1
S45C Steel	2000
Nd-Fe-B Magnet	1.05
Aluminum(6061-0)	1.000000065
Stainless(304)	1.008

영구자석바퀴의 자력선 및 자속밀도의 변화를 해석하기위해 Fig. 2와 같이 FEM 2D로 모델링을 하였다. Table 2와 같이 100mm,150mm의 영구자석바퀴를 설정하였으며 영구자석의 크기는 모든 바퀴에 30mm(D)×10mm(T)로 통일시켰다. 영구자석의 크기변화로 인한 누설자속을 최소화 하였다. 바퀴의 크기 및 부착면의 두께를 변화시켜 자속의 밀도와 흐름을 비교 분석하였다.

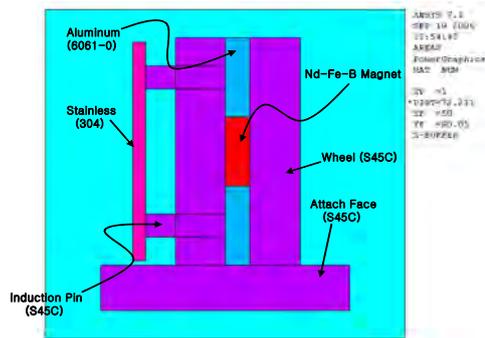


Fig. 2 ANSYS model of the Permanent magnet wheel

Table 2 Size of Permanent magnet wheel & Attach face

Wheel Size (mm)	Wheel Thickness (mm)	Wall Face (mm)
100	10	10
100	20	10/20/30
100	30	30
150	10	10
150	20	10/20/30
150	30	30

Table 2의 조건에 맞추어 100mm,150mm의 영구자석바퀴를 모델링하여 Fig. 3과같이 Data-1 및 Data-2의 자속밀도를 검출하였다. 유도핀 장착시에는 아주 적은 값에 자속밀도가 측정되었으며 유도핀을 비장착시에는 자속밀도가 부착면에 집중됨을 알 수 있었다. Fig. 4는 영구자석바퀴의 크기 및 부착면의 두께에 따라 자속밀도 분포를 확인할 수 있었다.

100mm의 자석바퀴의 경우 부착면의 두께가 10mm일 때 3.78E-3으로 가장 자속밀도가 컸으며 부착면의 두께가 클수록 자속밀도는 작아졌다. 부착면의 좌표 48.65의 위치에 자속밀도를 똑같이 측정하였으나 부착면이 10mm와 30mm의 자속밀도값은 1.63E-3(T)의 차이를 보였다. 하지만 20mm의 부착면에서는 10mm영구자석바퀴와 150mm 영구자석 바퀴가 안정적인 자속밀도를 형성하였다.

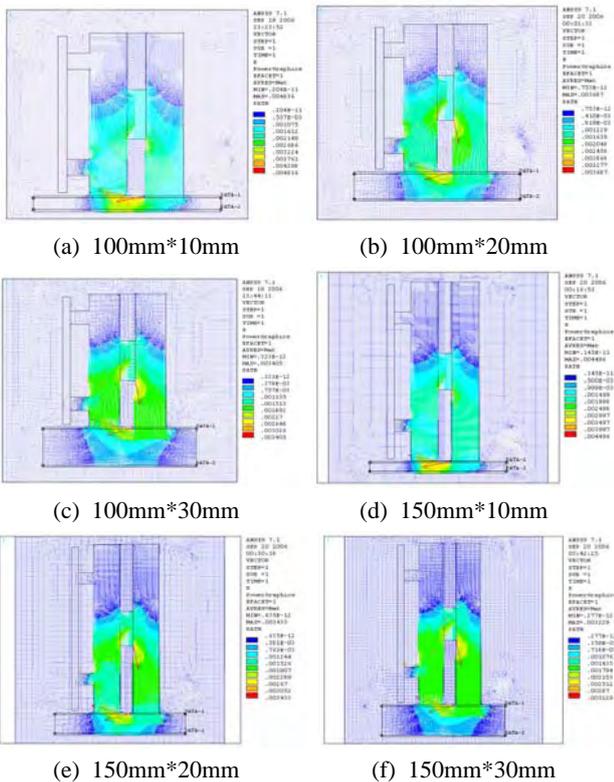


Fig. 3 Magnetic flux density analysis of wall face

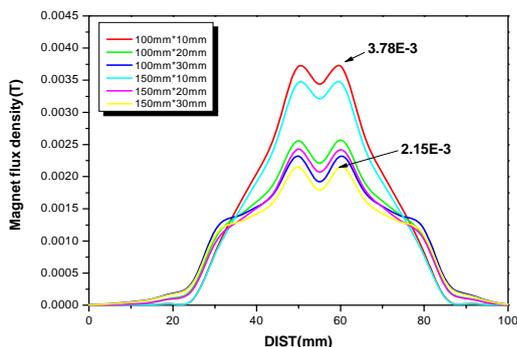


Fig. 4 Magnetic flux density measurement of wall face

3.2 FEM 해석을 이용하여 최적화된 자석바퀴 자속밀도측정 FEM해석을 통해 제작된 영구자석바퀴의 Fig.5와 같이 자속밀도를 측정하였다. 측정 장비로 가우스메타를 이용하여 Fig.6의 위치에서 각각 측정하였다.



(a)Permanent magnet wheel (b)Gauss measurement  
Fig.5 Permanent magnet wheel & Gauss meter

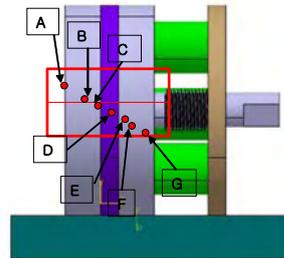


Fig.6 Magnetic flux density measurement of Magnet wheel

Fig.6의 측정결과 Table 3과 같은 값이 측정 되었다. 150mm자석바퀴보다 100mm자석바퀴의 자속밀도가 강하게 측정되었다 특히 중앙으로부터 멀수록 값은 적어지는 것은 FEM해석에서도 확인할 수 있었다. 또한 유도핀의 체결 여부에 따라 자속밀도의 값은 많은 차이를 보였다.

Table 3 Magnetic flux density value of Magnet wheel

Wheel size	A	B	C	D	E	F	G	Induction Pin
100mm	0.18	0.22	0.28	0.10	0.33	0.24	0.19	In
150mm	0.18	0.24	0.32	0.09	0.40	0.28	0.22	In
100mm	0.76	0.79	1.57	0.33	1.67	0.93	0.84	Out
150mm	0.46	0.63	0.94	0.14	1.10	0.58	0.48	Out

#### 4. 결론

FEM을 이용하여 영구자석바퀴의 자속밀도 및 자력분포를 해석하고 최적화된 자석바퀴를 제작하였으며 가우스메타를 사용하여 자속밀도를 측정하였다.

부착면의 두께와 영구자석바퀴의 크기에 따라 자속밀도가 변화됨을 해석결과를 바탕으로 알 수 있었다. 본 논문을 통하여 이동로봇용 영구자석 바퀴의 설계방향을 제시하였다.

#### 참고문헌

- 김재희, "원자로 압력용기 검사 자동화 시스템", 기계저널, 제 38권, 제1호, pp32-38,1998.
- Y.Kawaguchi, I.Yoshida, H.Kurumatani, T.Kikuta, Y.Yamada, "Internal Pipe Inspection Robot" IEE International Conference on Robotics and Automation, pp857-862, 1995.
- 한승철, "자력선 유도를 이용한 이동로봇용 영구자석바퀴의 착탈장치 개발" 영남대학교 석사학위논문, 1999,
- 김도연,박영우,임민철, "자기변형 마이크로 자동기의 설계" 한국 정밀공학회지, 제21권, 제5호, pp174-181, 2004.