

해석기법을 이용한 영구자석 모터의 전자기력에 의한 진동 및 소음 평가에 관한 연구

A Study on the Noise and Vibration Assessment Considering Electro-Magnetic Force Using the Analysis Techniques for the Permanent Magnet Motor

이정환† · 송백기* · 박진국** · 박경원** · 전남일**

Junghwan Lee, Baikkee Song, Jinkuk Park, Kyungwon Park and Namil Jeon

1. 서 론

영구자석 전동기는 회전자에 영구자석을 부착 혹은 삽입하는 구조를 가지며, 네오디움(Neodymium)과 같이 잔류자속 밀도가 높은 희토류(rare earth) 계열의 영구자석을 사용하면 타 전동기와 비교했을 때 높은 토크밀도를 낼 수 있다는 장점이 있다. 이러한 영구자석 전동기의 연구동향을 살펴보면 손실 저감을 통한 효율 향상, 토크리플 및 코깅 토크 저감과 같이 전동기의 전자계적인 성능 향상에 집중되어왔으며, 전동기에서 발생하는 진동 및 소음에 대한 연구는 아직 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 SPM(surface permanent magnet) 타입의 BLAC(brushless alternating current) 동기전동기에 대한 전자기장 해석을 통해 전자기력을 산출하고, 산출된 전자기력에 기인한 진동 및 소음해석을 수행하고자 하며, 이를 통해 해석 기술의 적용가능성을 확인하고자 한다.

2. 관련 이론

강자성체(ferromagnetic material)의 자화 특성은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M} \quad (1)$$

여기서, \vec{B} 는 자속밀도(flux density), \vec{H} 는 전계장도(field strength), μ_0 는 진공상태의 투자율(permeability)이며, \vec{M} 은 자화(magnetization)를

나타낸다.

따라서, 식(1)을 이용하여 자기장에 대한 지배방정식을 표현하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{\nabla} \times \frac{1}{\mu_0} \vec{B} = \vec{I} + \frac{1}{\mu_0} \vec{\nabla} \times \vec{M} = \vec{I} + \vec{I}_{eq} \quad (2)$$

여기서, \vec{I} 는 전도전류(conduction current), \vec{I}_{eq} 은 등가자화전류(equivalent magnetizing current)를 의미한다.

한편, Fig. 1에 나타낸 형상에 대한 Lorenz하중은 식(3)과 같다.

$$\vec{F} = \int_V (\vec{\nabla} \times \vec{M} / \mu_0) \times \vec{B}^0 dV + \int_S (-\vec{n} \times \vec{M} / \mu_0) \times \vec{B}^0 ds \quad (3)$$

여기서, V 와 S 는 부피와 면적을 의미하며, \vec{B}^0 는 자속밀도의 외부 장(external field), \vec{n} 는 표면의 수직방향 벡터(normal vector)를 나타낸다.

따라서, 식(2)와 (3)을 이용하여 강자성체에 작용하는 하중을 수직(normal)방향과 접선(tangential)방향으로 분리하여 유도하면 식(4) 및 (5)와 같이 얻을 수 있다⁽¹⁾.

$$f_t = H_{t2} B_{n2} \quad (4)$$

$$f_n = 0.5(H_{n2} B_{n2} - H_{t2} B_{t2}) \quad (5)$$

여기서 f_t 는 접선방향 및 f_n 은 수직방향 하중을 각각 나타낸다.

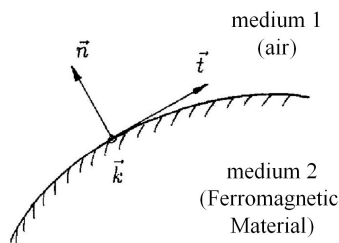


Fig. 1 Boundary between two materials

† 교신저자; (주)만도 Reliability & Validation R&D 센터

E-mail : junghwan.lee@halla.com

Tel : +82-31-680-5047, Fax : +82-31-680-5481

* (주)만도 Advanced R&D 센터

** (주)만도 Reliability & Validation R&D 센터

Table 1 Motor configurations

Contents	Values	Etc.
Shaft power(watt)	600	
Input current	95	Max.
Input voltage	12	DC link
Pole/Slot number	6/9	
Shaft torque(Nm)	6.06	
Base speed(RPM)	2,700	@no load

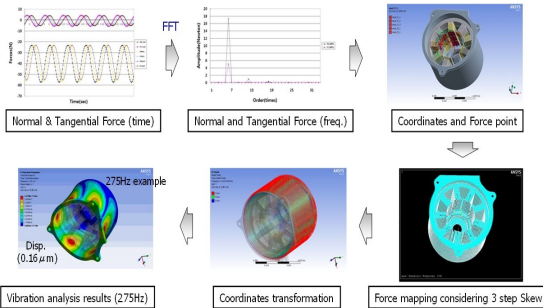


Fig. 2 Vibration analysis considering electro-magnetic force for the permanent magnet motor

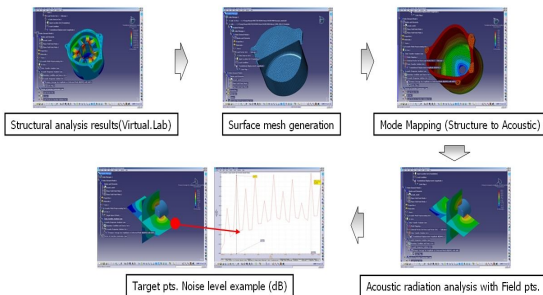


Fig. 3 Acoustic radiation analysis considering electro-magnetic force for the permanent magnet motor

3. 해석 결과 및 검토

본 연구에서는 Table 1에 나타난 것처럼, 6극9슬롯을 갖는 SPM 타입의 영구자석 모터에 대하여 전자기장, 진동 및 소음 해석을 순차적으로 적용하였으며, 이를 위한 해석프로세스는 Fig. 2 및 3에 나타내었다. 즉, 치에 작용하는 수직 및 접선방향 하중 도출을 위하여 전자기장 해석 전용소프트웨어인 MAXWELL을 사용하였으며, 도출된 전자기력을 이용한 진동해석을 위하여 ANSYS Workbench를 사용하였다. 또한, 얻어진 진동결과를 이용한 소음해석을 위하여 LMS사의 Virtual. Lab을 적용하였으며,

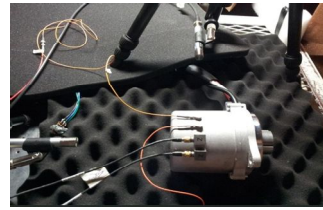


Fig. 4 Experimental setup

Table 2 Target points vibration and field point noise

Freq. (Hz)	Vibration (mm)		Noise (dBA)	
	Exp.	Analysis	Exp.	Analysis
275	0.04	0.0887	1.1	2.65
458.3	0.001	9.46E-7	1.8	-110.9
550	0.01	0.0074	5.1	-2.2
825	0.027	0.031	17.8	5.36
916.7	0.00006	4.43E-7	2.1	-88.4
1,100	0.0006	0.0004	3	-5
1,375	0.00026	0.00058	6.9	4.9

이러한 일련의 해석과정에 대한 결과는 Table 2에 나타내었다. 즉, 진동해석 결과의 경우 작동속도와 극수 조합에서 유추되는 전자기력의 주요 주파수에서 해석 및 시험 값이 유사한 결과를 얻었으며, 소음해석 결과의 경우 1차 주파수인 275Hz이외의 경우 해석과 시험에서 상당한 차이를 보인다. 이러한 결과의 주된 원인은 시험결과와 비교하여 전자기력 이외에 소음에 기여하는 인자로서 기계적인 원인 및 공기역학적인 원인이 포함된 것이지만, 해석결과와 비교하여 전자기력만을 고려했기 때문으로 사료된다. 참고로 시험결과 측정을 위한 가속도 센서 및 소음 측정기의 위치는 Fig. 4에 나타내었다.

4. 결 론

해석기술을 이용하여 영구자석이 적용된 모터의 전자기력 기인 진동 및 소음해석을 수행하였으며, 진동해석결과는 상당히 유사한 결과를 얻었다. 하지만 소음해석결과는 시험결과와 차이를 보였으며, 이를 보완하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) G. Henneberger, Ph. Sattler, D. Shen, 1992, Nature of the equivalent magnetizing current for the force calculation, IEEE Trans. On Magnets, Vol. 28, No. 2, pp.1068~1071.