

영구자석 재질에 따른 동기전동기의 진동에 관한 연구

조완진**, 손도*, 김영균*, 유세현*, 홍정표*
한양대학교

Synchronous motor vibration study on permanent magnet matter

Wan Jin Cho, Suntao, Kim Young-Kyun, Rhyu Se-Hyun Jung-Pyo Hong
Hanyang University

Abstract - this paper studies the influence of permanent magnet on the vibration of synchronous motor two PM motors with NdFeB and Ferrite magnets which have same Back-EMF and output power have been desined. First, the dynamic simulation is performed with these two motors' parameters. The current waveforms can be evaluated. And then based on the equivalent magnetization current principle, the magnetic force density and force including the tangential and radial direction components can be calculated. According to the relationship between the vibration and radial force, the vibration of these two motors can be predicted. This result will give meaningful advice to the motor design.

1. 서 론

영구자석 동기전동기는 가전기나와 쓰임이 있는 기기 장치등과 같은 산업의 다양한 분야에서 사용되어 지고 있으며 NdFeB 영구자석의 발전 덕분에 예전보다 쉽게 고효율을 도달할 수가 있게 되었다. Ferrite 자석에 비교해 NdFeB 영구자석은 높은 자속밀도와 보자력을 나타내고 있다. 하지만 이런 탁월한 특성은 한정된 제품에서만 쓰일 수밖에 없는 단점이 있으며 이것은 가격상승에 주요 원인이 되고 있다.

반면에 진동과 소음은 모터 설계시 좀더 주의를 기울이게 되었다. 두 상반된 모델은 전체적으로 소음과 진동이 다르다 비록 다이나믹 퍼포먼스가 동일하지만 본 논문에서는 영구자석이 진동에 미치는 영향을 논의하고자 한다. Ferrite 와 NdFeB 두 모델은 동일한 출력과 역기전력을 적용하여 분석할 것이다. 첫째 다이나믹 시뮬레이션을 수행 된다. PWM 과 정현파의 전류파형을 계산하고 유한요소해석을 이용하여 각 요소에서 자체분포와 자속밀도를 계산될 수 있다. 등가자화전류법을 이용하면 tangential방향과 normal방향의 힘이 구해진다.

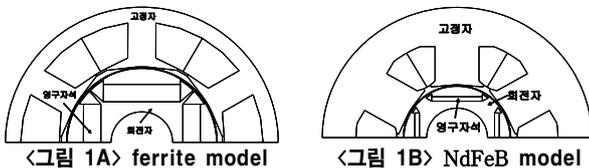
최종적으로 구해진 힘은 modal analysis program으로 적용 되어지면서 두 모터 모델의 deformation이 예상되어지고 비교할 수 있다.

본 논문에 결과로 모터 설계에 유용한 도움을 줄 것이다.

2. 본 론

2.1 해석 모델

본 논문에 사용된 모델은 4극6슬롯 동기전동기를 고려하였다.



〈표 1〉 해석 모델 재원

영구자석 재질	ferrite	NdFeB
rotor 길이	58.5	58.5
stator 길이	32	23
L_d	32.57[mH]	16.72[mH]
L_q	72.54[mH]	26.21[mH]
공극길이	0.7 mm	
적층길이	45 mm	
토크	0.441	
출력	184.5	

2.2 다이나믹 시뮬레이션

park's transformation에 따라서 영구자석 동기 모터 전압방정식을 얻을 수 있었고 식(1),(2)과 Matlab/simulink을 이용한 다이나믹 시뮬레이션을 수행하여 그림2 (a), (b)에서와 같은 전류파형을 얻을 수 있었다. 그림에서 보면 ferrite 자석 모델은 시정수 크기로 인해 전류 파형은 NdFeB 자석모델 보다 부드러운 파형을 보여주고 있다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R_a + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \Psi_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

v_d, v_q : 전기자 전압의 d, q축 성분

ω : 전기각속도,

R_a : 전기자 권선저항

p : 미분연산자

L_d, L_q : 전기자 전압의 d축, q축 인덕턴스

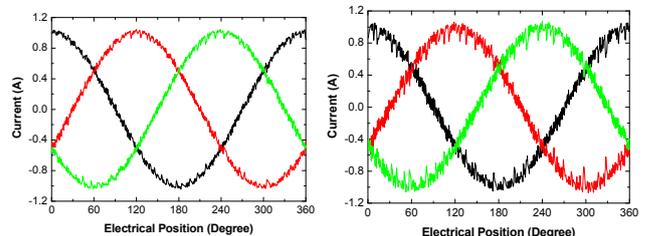
i_d, i_q : 전기자 전류의 d, q축 성분

$$T = P_n \{ \Psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \} \quad (2)$$

T : 토크

P_n : 극쌍수

위 식을 적용하여 <그림2a,b>과 같은 전류파형을 얻을 수 있었다



〈그림 2a〉 ferrite model

〈그림 2b〉 NdFeB model

2.3 이차원자기장 요한요소법

2.2절에서 얻은 전류data를 이차원자기장 요한요소법을 사용하여 각 요소의 자속밀도를 계산하였다. 식(3)은 이차원자기장 요한요소법 지배방정식이다.

$$\nabla \times v(\nabla \times A) = J + \nabla \times (v\mu_o M) \quad (3)$$

v : 자기저항율, J : 전류밀도

μ_o : 공기투자율, A : 자기벡터 포텐셜

M : 자화의 세기

2.4 등가자화전류법을 통한 유한 요소해석

등가자화전류법은 힘을 계산하는 하나의 방법으로 자체해석에서 얻은 자속분포로부터 구해지는 모든 면에서의 자화전류를 이용하여 각 요소에 작용하는 힘들을 구하는 방법이다 [4].

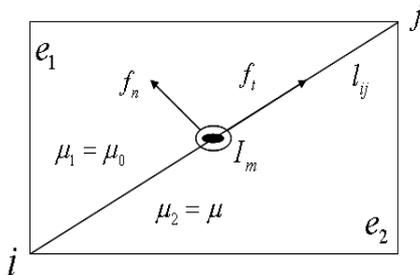
2차원 문제에서 자속분포를 1차 삼각형 요소를 사용하여 구하면 요소 내에서 자속밀도 B 와 자화의 세기 M 은 일정하게 된다. 따라서 요소들 사이의 경계면에 자화전류가 존재하게 된다. 그림3은 요소 e_1 과 요소 e_2 사이의 경계면의 전류 I_m 을 나타낸 것이고 이를 이용하여 치 하나에 미치는 힘을 산정하게 된다.

철심 내부 요소의 등가자화전류는 상쇄되고 투자율이 다른 요소 경계

에만 전류가 분포한다. 이 때 등가자화전류는 식(2.3)과 같다.

$$\vec{I}_m = \frac{1}{\mu_0} \int_S \nabla \times \vec{M} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\mu_0} (M_{1t} - M_{2t}) \ell_{ij} z z \quad (2.3)$$

여기서 M_{1t} , M_{2t} 는 각각 경계면에서의 요소 e_1 과 요소 e_2 의 자화 세기 접선성분을 나타낸다.



〈그림 3〉 Equivalent magnetizing current of two materials

2.3.1 Modal Analysis

외력을 받는 다자유도계의 운동방정식은 식(4)이며

$$[M] \{\ddot{x}\} + [K] \dot{x} = \{0\} \quad (4)$$

$[M]$, $[K]$, $\{\ddot{x}\}$, $\{\dot{x}\}$ 와 는 각각 질량, 강성행렬, 가속도 이며 진동에 의해 변하는 변위 식(5),(6),(7) 이용하여 구할 수 있다.

$$\{x(t)\} = e^{\omega t} \{\Phi\}_i \quad (5)$$

$$([K] - \omega_i^2 [M]) \{\Phi\}_i e^{\omega_i t} = \{0\} \quad (6)$$

$$|[K] - \omega_i^2 [M]| = 0 \quad (7)$$

2.4 진동해석

진동해석을 위해 공극의 radial force와 tangential force 수치를 고려하고 고장자의 슬롯 미치는 힘을 구하고 전동기의 진동을 상용 프로그램을 이용하여 산정하였다. 산정 방법은 다이나믹 시뮬레이션을 통하여 전류파형을 산정하고 산정후 local force를 구하여 디포메이션으로 진동변위를 해석하였다. 진동 해석에서는 시간에 따라 급격하게 변화하는 전자기적 가진력이 작용할 때 구조물의 동적 응답 특성해석이 필요하다. 따라서 2.3절에서 이차원자장장 요한요소법을 이용하여 얻은 local force 값을 상용프로그램인 Ansys에 대입하여 해석을 수행하였다.

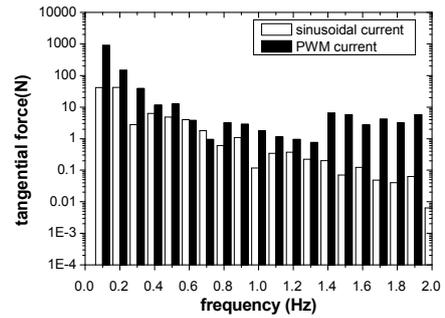
3. 결 론

고장자 슬롯에 Br 값이 radial force의 값을 상승시킴으로써 tangential force를 크게 만든다. NdFeB자석 모델은 반경이 작아서 같은 Torque는 일정하지만 tangential force가 높아 local force 해석결과 디포메이션이 발생하였다.

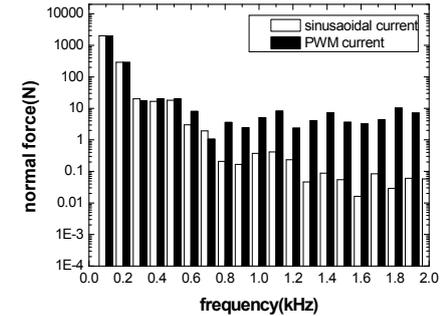
고주파에서는 정현파전류와 PWM전류 모두 진동에 별다른 영향은 없으나 High 고주파에서는 진동에 영향을 주었다.

참 고 문 헌

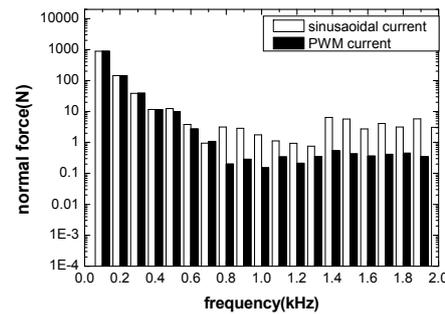
- [1] W.T.Lee,J.P. Hong etc., "Object oriented modeling of an Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Drives for Dynamic Simulation of Vehicular Propulsion," IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC '06, Sept. 2006
- [2] 김성주; 김경호; 조윤현 / 대한전기학회:학술대회논문집, 대한전기학회 2003년도 추계학술대회 논문집 전기기기 및 에너지변환시스템부문, pp.6-8, 2003년 10월
- [3] Jung-pyo Hong, "Stator Pole and Yoke Design for Vibration Reduction of Switched Reluctance Motor," "IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS" VOL. 38, NO. 2, MARCH 2002



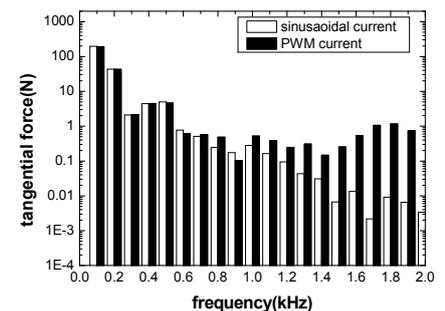
〈그림4a〉 ferrite 영구자석 전동기 normal force 비교



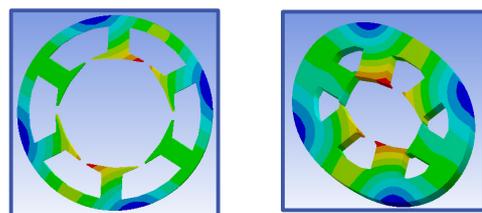
〈그림4b〉 ferrite 영구자석 전동기 tangential force비교



〈그림4c〉 NdFeB 영구자석 전동기 normal force비교



〈그림5d〉 NdFeB 영구자석 전동기 tangential force비교



〈그림6a〉ferrite total deformation 〈그림6b〉 NdFeB modal deformation