

다극 착자용 요크 설계 제작

°김 철 호 오 철 수
경북대학교 전기공학과

Design and Manufacturing of Magnetizing Fixture for Multipolar Magnet

Chul-Ho Kim Chul-Soo Oh
Dept. of Electrical Eng. Kyungpook Nat. Univ.

Abstract - This paper deals with multipolar magnetizing process which can exert a considerable influence on the final performance of permanent magnet machine. In combination with impulse discharge magnetizer, the analysis and design of magnetizing fixture using finite element method is required to obtain the accurate characteristics of permanent magnet for small-size step motor. Simulated result of flux density shows good agreement with measured one.

1. 서 론

전기기계의 소형화, 고효율화에 따라 계자손실이 없고, 회전자로써 이용될 때 관성이 적은 등 여러 장점을 가지는 영구자석의 수요는 급속한 증가추세에 있다. 주어지는 착자기 에너지 공급량과 영구자석의 재질특성을 최대로 이용하기 위해서는 착자요크(Magnetizing Fixture)의 정확한 설계가 선행되어야 한다. 유한요소 해석을 통한 요크의 저항과 인덕턴스 값의 산정, 그리고 적절한 형상의 설계는 착자기 자체 특성 뿐만 아니라 영구자석 전동기의 설계와 특성해석을 위해 고려해야 할 중요한 자료이다.^[1-2]

본 연구에서는 영구자석 스텝모터용 회전자로 이용될 수 있는 경방향 12극 영구자석 착자요크를 설계 제작하였고, 영구자석의 착자특성을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 임펄스 착자 시스템

임펄스 착자 시스템은 그림 1과 같고 스위치 d의 상태에 따라 착자공정과 탈자공정으로 나눌 수 있다. 커패시터 뱅크에 저장된 에너지 $1/2CV^2$ 은 영구자석을 포화시키기에 충분해야 하고, 자기회로에서의 요크의 인덕턴스 에너지 $1/2i^2L$ 와 저항

$1/2i^2R$ 에서의 열손실을 고려해야 한다. 특히 요크에서 저항은 발생하는 열에 의해 상당히 변하는 요소이고 이는 시정수 변화를 야기하므로 냉각 및 착자빈도수의 제한이 필요하다.

일반적으로 영구자석을 충분히 자화시키기 위해 서는 외부에서 보자력의 3~5배 정도의 자장이 인가되어야 한다.^[3] 영구자석이 자화곡선상에서 포화점에 이르는데 필요한 에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.^[7]

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot H_s^2 \cdot v \quad (1)$$

여기서, H_s 는 포화상태 자장의 세기

v 는 영구자석의 체적

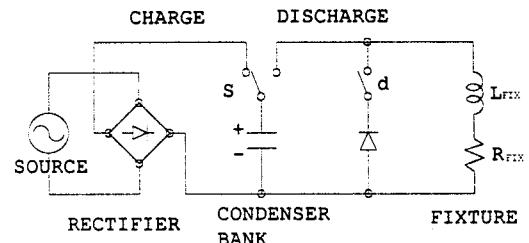


그림 1. 착자시스템의 등가회로

스위치가 방전모드로 되었을 때 흐르는 최대전류는 아래와 같다.

$$I_{\max} = V_0 \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \exp\left(-\frac{\arctan \omega \tau}{\omega \tau}\right) \quad (2)$$

$$\omega \tau = \sqrt{(4L/R^2C) - 1} \quad (3)$$

여기서, V_0 커패시터 충전전압, τ 시정수 영구자석으로의 에너지 전달 측면에서 중요한 요소는 전달효율이라 볼 수 있고 이는 커패시턴스에너지와 인덕턴스에너지의 비이고 아래와 같다.

$$\eta = \exp\left(-\frac{2 \cdot \arctan \omega \tau}{\omega \tau}\right) \quad (4)$$

(3)식의 값에 따라 전달효율을 구할 수 있다.

2.2 요크의 설계

요크의 설계 파라미터 선정을 위해서는 임펄스 착자기 사양과의 적절한 변수 조합이 필요하고 계산해야 할 핵심사항은 다음과 같다.

- 1) 요크의 인덕턴스와 저항
- 2) 자화전류의 최대치와 전류지속시간
- 그리고 요크의 온도상승
- 3) 영구자석에 최종적으로 가해지는 자장의 세기

2.2.1 자화코일의 R과 L

요크의 저항은 아래식으로 구할 수 있다.^[4-6]

$$R_{Fix} = \frac{\rho_{Cu}(Np l_{ax} + N\pi(d_b + \frac{w_d}{2}))}{S} \quad (5)$$

여기서 ρ_{Cu} 자화코일의 저항률 N 극당 턴수

p 극수

l_{ax} 축방향길이

d_b 내경

w_d 경방향도체깊이

S 개별도체의 단면적

요크의 유효인덕턴스는 다음과 같다.

$$L = p(L, mn + \sum_1^i \sum_{j=1}^{mn} (1 - \delta_{ij}) M_{ij} U_{ij}) \quad (6)$$

여기서 L , 각도체의 자기인덕턴스

m 원주방향 도체수 n 경방향도체수

M_{ij} 상호인덕턴스

2.2.2 유한요소해석

유한요소해석의 기본식은 다음과 같다.

$$\text{rot}(\frac{1}{\mu})(\text{rot}A - M) = J_0 - \sigma(\frac{\partial A}{\partial t}) \quad (7)$$

여기서, M 자화의세기, J_0 전류밀도

μ 투자율, σ 도전율

삼각요소 분할은 30082개로 하였고 이를 그림 2에 나타내었다. 해석결과로서 자속의 흐름을 그림 3에 나타내었고 극수의 증가로 인해 자화코일 부근에서 포화가 심하고 착자대상 영구자석은 페라이트로 비투자율이 공기와 비슷하므로 자속의 침투깊이가 깊지못하다. 시뮬레이션한 영구자석 표면의 자속밀도를 그림 4에, BH Curve Tracer로 측정한 특성곡선을 그림 5에 나타내었다.

2.3 요크의 제작 및 실험

해석한 결과로 토대로 그림 3과 같은 형상으로 요크를 제작하였다. 철심은 S50전기강판으로 기계가 공으로 인한 절단부의 Bur나 휨을 방지하기 위해 레이저 절단한 뒤 적층하였다. 착자시킬 영구자석의 치수는 $\phi 12.2 \times \phi 7.4 \times 12.4$ 이다. 임펄스 착자기의 에너지는 700 Ws이고 커패시턴스는 0.36 mF이다. 자화코일을 권선한 후 RLC Meter로 측정한 RL값은 각각 0.028Ω , $30 \mu H$ (인가신호 100Hz 100mV)로

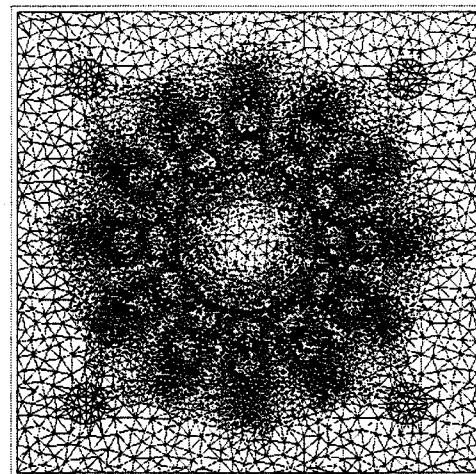


그림 2. 요크와 영구자석의 요소분할

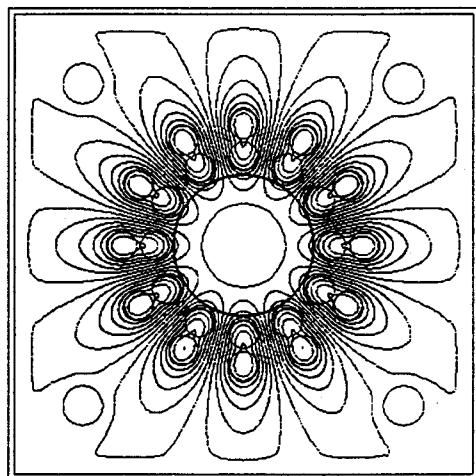


그림 3. 요크내부의 자속흐름

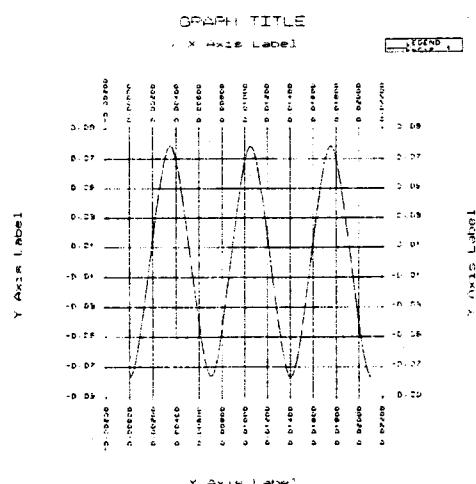


그림 4. 영구자석 표면에서 자속밀도 (시뮬레이션)

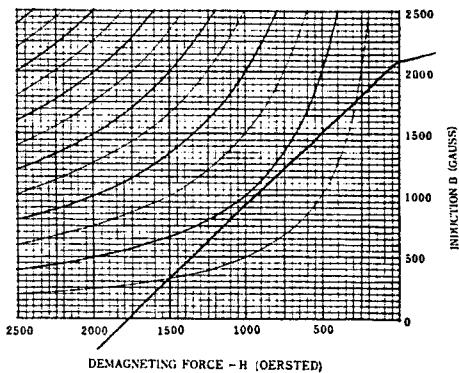


그림 5. 페라이트 영구자석 BH곡선

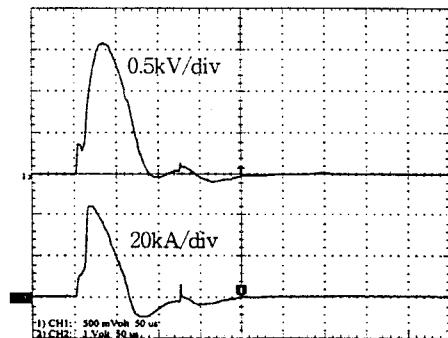


그림 6. 임펄스 인가시 전압 전류파형

1.6kV 임펄스 인가시 측정한 전압 전류파형을 그림 6에 나타냈다.

이때 착자된 영구자석 표면을 홀센서 디바이스로 원주길이에 대해 측정한 자속밀도 그래프를 그림 7에 나타내었는데, 이는 그림 4의 시뮬레이션한 그래프와 잘 일치함을 알 수 있다.

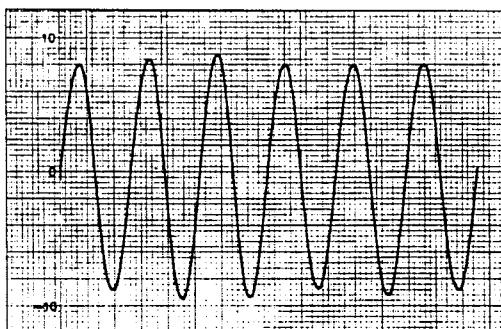


그림. 7 측정한 영구자석 표면자속밀도

3. 결 론

착자용 요크를 설계제작하여 영구자석을 자화시킨 결과, 영구자석의 표면 자속밀도가 시뮬레이션한 것과 일치하는 결과를 얻었으며, 보다 안정성 있는 요크를 제작하기 위해서는 임펄스 착자기의 자화모드에서 공진하는 부분을 제거해야 할 것이다. 또한 연속 착자과정중 온도변화에 대해서 충분히 연구되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] H. Anton, K. Bogdan, and H. Bozidar, "Impact of Magnetization of Permanent Magnets on Cogging Torque of a Brushless Motor", ICEM'94 Vol.2, pp.574~576, September 1994
- [2] Y. Okada, H. Inoue, H. Fusayasu, and H. Nishida, "Analysis for Permanent Magnet Motor Taking Account of Magnetizing Process", IEEE Trans. on Mag. Vol.33, No.2, pp.2113~2116, March 1997
- [3] Peter Campbell, "Permanent Magnet Materials and their Application", Cambridge University Press, 1994
- [4] G.W. Jewell, D. Howe, and C.D. Riley, "The Design of Radial-Field Multipole Impulse Magnetizing Fixtures for Isotropic NdFeB Magnets", IEEE Trans. on Mag. Vol.33, No.1, pp.708~722, January 1997
- [5] G.W. Jewell and D. Howe, "Computer-Aided Design of Magnetizing Fixtures for the Post-Assembly Magnetization of Rare-Earth Permanent Magnet Brushless DC Motor", IEEE Trans. on Mag. Vol.28, No.5, pp.3036~3038, September 1992
- [6] J. Kelly Lee, "The Analysis of a Magnetizing Fixture for a Multipole Nd-Fb-B Magnet", IEEE Trans. on Mag. Vol.24, No.5, pp.2166~2171, September 1988
- [7] "Magnetizing, Demagnetizing, and Calibration of Permanent Magnet Systems", Magnet-Physik, 1988