다극 착자용 요크의 재질에 따른 특성해석

° 김철호*, 서영택**, 오철수*
*경북대학교 전기공학과, **구미전문대 전기과

Material Characteristics of Multipolar Magnetizing Fixtures

° Chul-Ho Kim*, Young-Taek Seo**, Chul-Soo Oh*
*Dept. of Electrical Eng. Kyungpook Nat. Univ., **Kumi College

Abstract - This paper deals with the problem of the magnetizing yoke fixture. The experimental test has been performed using the yoke fixture made of bakelite as well as ferromagnetic.

The magnetizing current is the most essential criterial factor for delivering the impulse energy to the magnetized material, i.e. ferrite core.

The yoke of nonferromagnetic has shown its better performance in experimental results as well as in the finite element analysis.

1. 서 론

현대 산업사회가 첨단 자동화로 꾸준히 발전됨에 따라 전기기계의 소형화, 고효율화는 필연적이라 할 수 있다. 이러한 요구조건을 충족시키기 위한 소형 전동기로, 계자손실과 관성의 최소화를 만족시킬 수 있는 영구자석 회전자 전동기가 최적이며, 이로 인해 영구자석의 수요는 급속한 증가추세에 있다[1].

따라서, 특성이 뛰어난 영구자석의 개발과 더불어 중요한 부분이 영구자석의 착자이다. 주어지는 착자기 에너지 공급량과 영구자석의 재질특성을 최대로 이용하기 위해서는 착자요크(Magnetizing Fixture)의 정확한 설계와 해석이 선행되어야 한다. 요크재질에 따라 착자특성이 달라지고 요크 코일의 절연처리 문제에 직면하게 된다[2][3][4].

이 논문에서는 영구자석 스텝모터용 회전자로 이용되는 경방향(radial direction) 12극 영구자석[5][6]의 착자요크를 설계함에 있어 요크의 재질에 따른 특성과 문제점을 파악하기 위해 대표적인 자성재질인 철심과 비자성 재질인 공심(베이크라이트)에 대해 착자요크를 제작하여 전류특성을 시뮬레이션과 실험을 통해 비교하였고, 요크내부의 영구자석에 가해지는 임펄스 전류에 의한 자장의 세기를 측정하는 일은 불가능하므로 위 결과를 토대로 유한요소 해석하였다.

또한, 임펄스 전류측정시 발생하는 문제들, 즉 계측회로의 전자유도와 온도변화 등을 해결하기 위해 여러 가지 측정방법을 고려하였다. 착자요크에 가해지는 전류의 세기에 따라 착자정도가 결정되는데, 매번 전류를 측정하는데는 한계가 있으므로, 쉽게 측정할 수 있고 조정할 수 있는 커패시터 충전전압의 세기에 따라 영구자석의 가장 중요한 특성인 표면 자속밀도를 비교하였다.

2. 본 론

2.1 착자 시스템

영구자석 착자를 위한 실험장치는 그림 1과 같고, 그 회로도는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

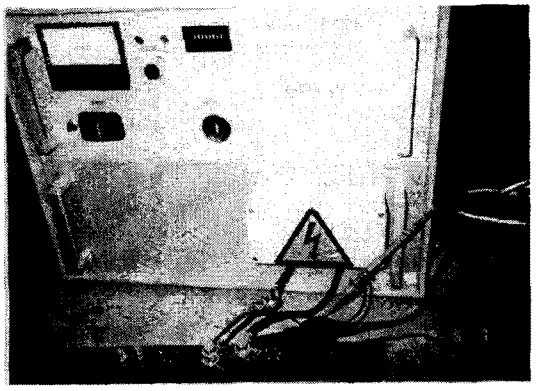

그림 1 실험장치 사진

실험장치는 충전전압을 가변시킬 수 있고, 최대 2kV까지 공급할 수 있다. 커패시터의 정전용량은 0.36mF으로 720W의 에너지를 착자요크에 가할 수 있다. 착자시 에너지 손실을 줄이기 위해 착자요크를 전원공급장치에서 최소거리로 하였다.

착자형태가 경방향이라는 점에서 권선이 차지할 수 있는 면적과 위치에 제한이 있다. 공심요크에서는 저항을 줄이고 착자시 코일의 확실한 고정을 위해 단선을 사용하여 용접하였고, 철심요크에서는 용접이 불가능하므로 연선을 사용하였다.

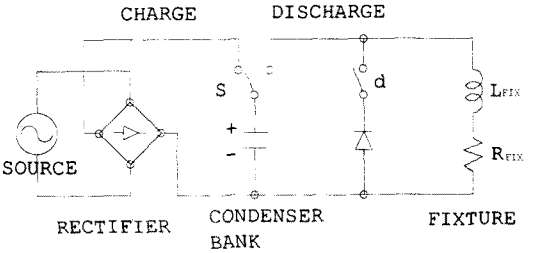

그림 2. 착자시스템 회로도

그림 2의 회로도에서 교류전원을 전파정류하여 커패시터에 충전하고 이를 요크에 방전함으로써 착자가 이루어지는데, 스위치 d의 상태에 따라 탈자(Demagnetization)와 착자 모드로 구분할 수 있다. 즉, 공진조건에서 d가 열려 있으면, 요크에 가해지는 전류가 양방향으로 되어 0에 수렴하므로 탈자모드가 되고, 닫혀있으면 환류다이오드를 통해 한쪽방향으로 계속 흐르므로 착자모드가 된다.

2.2 자화전류

임펄스 착자시 요크의 비선형 자화특성에 따른 인덕턴스변화와 온도변화에 따른 저항변화를 무시하면 전류펄스는 다음과 같이 나타낼 수 있다.[3][6]

$$i = K_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + K_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad (1)$$

여기서, $$\frac{1}{\tau_1} = \frac{R}{2L} + [(\frac{R}{2L})^2 - \frac{1}{LC}]^{1/2} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\tau_2} = \frac{R}{2L} - [(\frac{R}{2L})^2 - \frac{1}{LC}]^{1/2}$$

$$K_2 = -K_1 = \frac{V}{2L[(\frac{R}{2L})^2 - \frac{1}{LC}]^{1/2}} \quad (3)$$

공심요크와 철심요크의 저항과 인덕턴스값은 다음과 같다.

공심	철심
0.06 Ω	0.08 Ω
0.3 uH	0.5 uH
0.36mF	0.36mF

페라이트 영구자석의 비투자율 μ_r 은 거의 1이므로 자기회로의 공극이 크고 따라서 인덕턴스 값이 비교적 작다. 그리고 자화전류도 영구자석을 삽입한 상태나 제거한 상태나 차이가 없다.
그림 3과 그림 4는 위 값을 이용하여 시뮬레이션한 전류파형을 나타낸다.

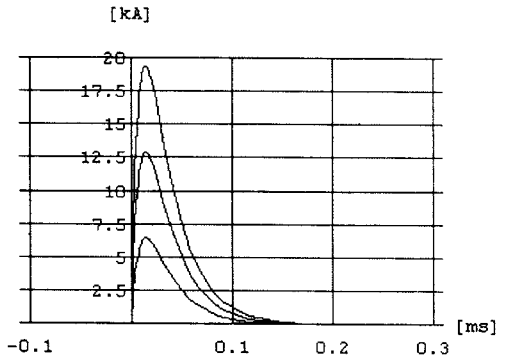

그림 3. 공심요크의 전류시뮬레이션

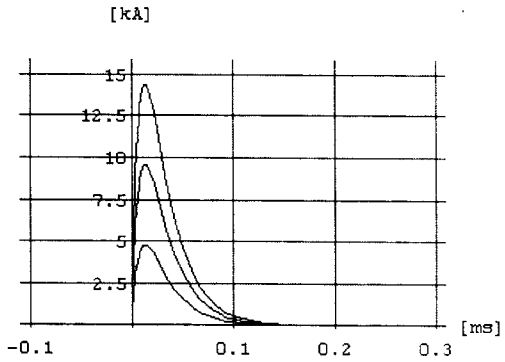

그림 4. 철심요크의 전류시뮬레이션

임펄스 전류의 측정은 로고스키 코일(Rogowski coil)을 이용하는 방식과 션트(Shunt)를 이용하는 방식이 있는데, 로고스키 코일을 이용하는 방법은 회로의 구성이 다소 복잡하므로, 이 연구에서는 션트를 이용하였다. 우선 100A 전류에 50mV 전압강하가 발생하는 상용션트를 이용하였는데, 이것은 온도변화에 따라 저항이 변하므로 정확한 측정이 어렵다. 따라서 저항 온도계수가 0인 망간과 황동등의 합금인 망가닌을 사용하였다. 그리고, 좀더 정밀한 측정을 위해 가운데가 빈 중공 션트를 이용하였다. 이는 전압검출선이 폐루프를 형성하여 전자유도를 발생시키므로, 이를 제거하기 위해 자장의 영향이 없는 원통의 내부로 검출선을 인출하기 위해서이다. 그림 5는 철심요크에서 상용션트를 이용하여 측정한 전류파형인데, 위 파형은 자화전류이고 아래 파형은 인가전압이다. 그림 7은 중공션트를 이용하여 측정한 것으로 둘을 비교해 보면 그림 5에서의 전류의 파형이 상당히 왜곡되어 있는 것을 알 수 있다.

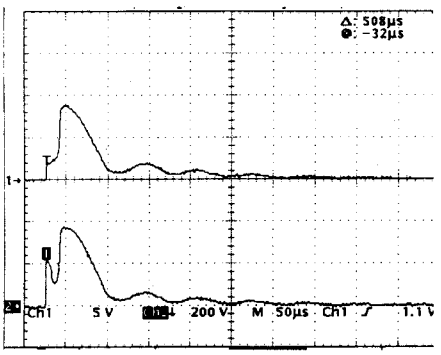

그림 5. 상용션트를 이용한 전류측정(위)

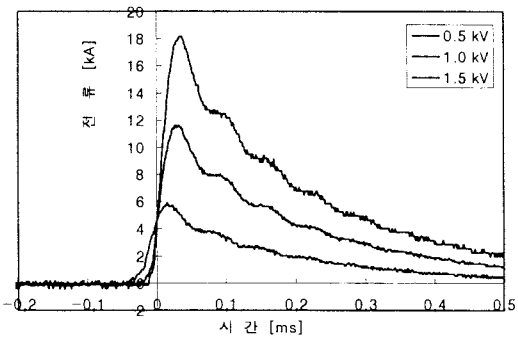

그림 6. 공심요크의 전류특성

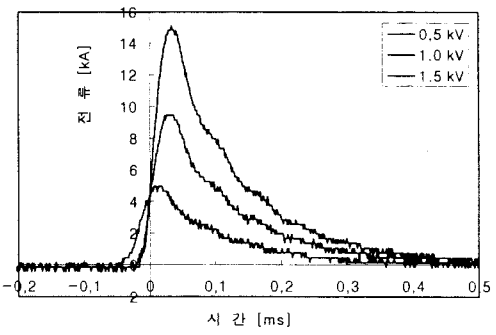

그림 7. 철심요크의 전류특성

그림 3과 4의 자화전류 시뮬레이션과 그림 6과 7의 실험파형을 비교해 보면, 전류 상승시간에 약간의 지연이 발생하는데 이는 요크의 순간적인 포화와 역기전력의 영향으로 여겨진다. 하강시간은 시뮬레이션에 비해 상당히 길어지는데, 이는 시뮬레이션에서 환류다이오드를 고려하지 않았기 때문이다. 하강부분에서 다소 맥동을 일으키는 부분이 환류다이오드를 통해 흐르는 전류의 영향이라 생각된다. 그림 6과 7에서 철심요크의 하강부분을 비교해 보면 철심이 공심보다 빠르게 떨어지는데, 이는 철심요크의 저항이 공심보다 크기 때문이다. 자화전류의 최대치 부근이 자화에 크게 영향을 미치는 부분이지만 지속되는 시간도 역시 자구(Magnetic domain)가 충분히 회전할 수 있는 시간이 되어야한다. 그러므로 요크의 저항은 작을수록 유리하다. 하지만, 식 (2)와 (3)에서 괄호내부의 값이 음이 될 경우 공진을 일으키게 되므로, 환류다이오드가 없을 경우에는 대책이 필요하다.

2.3 유한요소 시뮬레이션

측정한 자화전류 최대값으로 두가지 요크에 대해 상용 패키지인 Maxwell Simulator을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 이를 그림 8과 9에 나타내었는데, 횡축은 원주방향의 거리이고 종축은 표면상에 수직인 자장의 세기로 공심의 최대값은 727 kA/m, 철심의 최대값은 670 kA/m으로 나타났다.

철심요크에 비해 상대적으로 공심요크에서 영구자석에 가해지는 자장의 세기가 큰 것을 알 수 있고, 또한 충분히 착자가 되기 위해서는 보자력의 3~5배 정도의 자장이 인가되어야 한다는 것을 고려하면, 이 연구에서 사용한 페라이트 영구자석의 보자력이 140 kA/m, 잔류자속밀도가 0.22T이므로 충분한 것을 알 수 있다. 또한 철심에서의 포화에 의해 영구자석 부분의 자장의 세기가 공심요크에 비해 떨어짐을 알 수 있다.

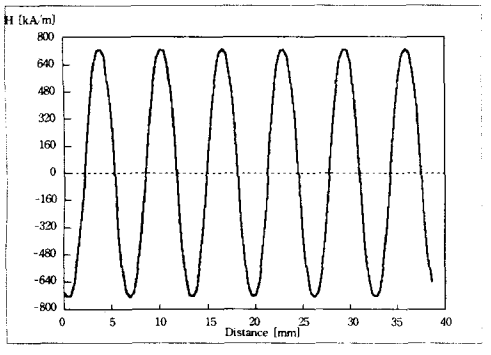

그림 8. 착자시 공심요크의 자장의 세기

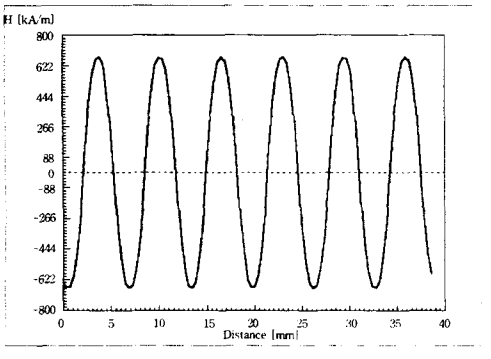

그림 9. 착자시 철심요크의 자장의 세기

2.4 인가전압에 따른 자화 특성

그림 10은 영구자석의 커패시터 전압에 따른 영구자석의 공기중 표면 자속밀도(잔류자속밀도(Br)가 0.22T)로 철심요크는 낮은 전압에서 공심요크보다 착자특성이 우수함을 알 수 있다.

이는 철심 특성상 포화되기 전까지 공심보다 유효하게 사용될 수 있으나, 충분히 착자시키기 위해서는 공심이 유리함을 알 수 있다. 또한 철심의 경우 철심과 도체간의 방전 발생이 문제가 될 수 있으므로 고전압에서는 주의를 요한다.

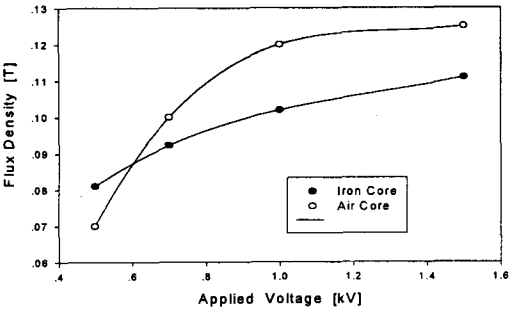

그림 10. 커패시터 인가전압에 따른 영구자석 자속밀도

3. 결 론

이 논문에서는 영구자석을 착자함에 있어 고려하여야 할 문제들을 공심요크와 철심요크에 대해 비교 검토하였다. 자화전류를 정확하게 측정하여 시뮬레이션한 값과 비교 하였고, 이를 이용하여 자장의 세기를 유한요소해석하였다. 인가전압에 따른 표면자속밀도를 측정을 통해 두가지 요크의 착자특성을 알 수 있었고, 자속이 포화함에 따라 적절한 에너지공급을 위한 임계전압을 있음을 알 수 있었다. 공심요크가 철심요크와 비교하여 보다 많은 전류를 흐릴수 있었고, 착자특성도 우수한 것으로 나타났다.

[참 고 문 헌]

[1] 김철호, 오철수, "다극착자용 요크 설계제작", 전기학회 하계학술대회 논문집, A, pp.319-321, 1997

[2] 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

[3] 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

[4] Peter Campbell, "Permanent Magnet Materials and their Application", Cambridge University Press, 1994

[5] 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

[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