

영구자석 매입형 유도성 기동 동기전동기의 조립후 착자에 대한 연구

이철규* 권병일* 우경일** 한문규***
*한양대학교 **수원대학교 *** (주)효성

Study in Magnetizing the NdFeB Magnet which is inserted in a Squirrel Cage Rotor

C.G.Lee*, B.I.Kwon*, K.I.Woo**, M.K.Han***

*Hanyang University, **The University of Suwon, ***Hyosung Co.Ltd

Abstract - In this paper, we study in magnetizing the NdFeB magnet which is inserted in a squirrel cage rotor. The inserted NdFeB magnet need much more magnetizing flux than that of ferrite magnet. Also the eddy current flowing in rotor bar disturbs the magnetizer in magnetizing the NdFeB magnet. The existing magnetizing yoke is designed by increasing the coil turn. But we recognize that only by increasing the coil turn it is impossible to make NdFeB magnet magnetized fully. Hence, in this paper we propose the method of increasing magnetizing flux by reducing the rotor bar area.

$$\frac{d\phi(t)}{dt} + (R+R_c)\frac{dQ(t)}{dt} + L_0\frac{d^2Q(t)}{dt^2} + \frac{Q(t)}{C} - \frac{Q_0}{C} = 0 \quad (2)$$

- 여기서, ϕ : 착자요오크 권선에 쇄교하는 자속
- R, L_0 : 착자기 외부회로의 저항 및 누설 인덕턴스
- R_c : 착자요오크의 권선의 저항
- $Q(t)$: 커패시터에서 방전되는 전하량
- Q_0 : 커패시터의 초기 충전전하량

Galerkin법을 이용하여 식(1)을 유한요소 정식화하고 키르히호프의 전압방정식 (2)를 결합하여 유한요소 해석을 한다.

1. 서 론

동기전동기는 자체적으로 기동토크를 발생하지 못하므로 회전자에 제동권선(damping winding)을 감아 기동하는 유도기동형 또는 인버터와 같은 외부 구동시스템에 의해 기동하는 형이 있다. 그러나 이러한 방법은 구동시스템이 복잡해진다는 단점이 있어 회전자에 알루미늄바와 영구자석을 삽입한 영구자석 매입형 유도성 기동 동기전동기가 최근 많이 연구 개발되어지고 있으며, 조립공정의 단순화와 전동기 성능 향상을 위하여 회전자 내에 삽입되는 영구자석을 회전자에 조립후 착자시키는 방안이 필요하게 되었다[1].

영구자석을 회전자에 조립후 착자할 때 회전자바에 발생하는 와전류는 착자를 방해한다. 그리하여 착자요오크의 권선수를 증가함으로써 기자력을 높이고 와전류의 영향을 감소시키는 방안으로 착자 시스템이 설계된 바가 있다[2]. 하지만 실험결과 충분한 착자가 이루어지지 않음을 확인할 수 있었다.

따라서, 본 논문에서는 권선수의 증가 외에 회전자바 형상의 감소를 통해 와전류의 영향을 다시 줄임으로서 자계의 발생을 증가하는 방안을 연구하였다.

2. 유한요소해석

본 논문에서 해석하고자 하는 착자요오크 형상과 회전자의 형상은 그림1와 같다. 착자과정의 해석은 유한요소법을 사용하였으며 유한요소해석에 사용된 지배 방정식과 회로 방정식은 식(1), (2)와 같다[2-3].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J_0 + \sigma \frac{\partial A}{\partial t} \quad (1)$$

- 여기서, A: 자기벡터 포텐셜(A)의 z축성분값
- J_0 : 권선의 전류밀도
- σ : 회전자바의 도전율

3. 해석결과

회전자바의 형상을 감소함으로써 착자요오크에 의해 발생하는 자속을 증가시키는 방안을 살펴보기 전에, 첫 번째 실제 착자요오크와 동일한 조건으로 시뮬레이션하여 착자해석 프로그램의 오차를 검증한다. 두 번째 권선수를 증가하여 최대 발생시킬 수 있는 자속을 검증하기로 한다.

3.1 기존 착자요오크에 대한 시뮬레이션 결과 및 실험결과

기존의 착자요오크와 회전자 형상은 그림1과 같고 착자시스템의 제원은 표1과 같다. 그리고, 착자시키고자 하는 NdFeB계 영구자석의 B-H곡선은 그림2와 같다.

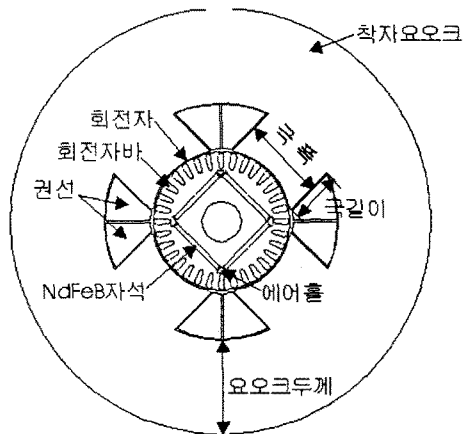


그림1. 착자요오크와 회전자 형상

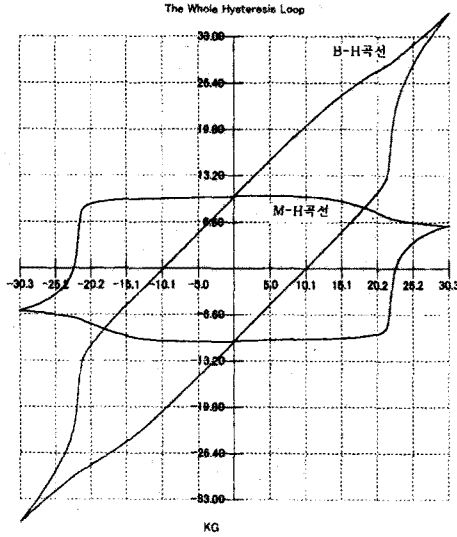


그림2. 착자실험에 쓰인 NdFeB계 영구자석의 B-H 및 M-H곡선 측정치

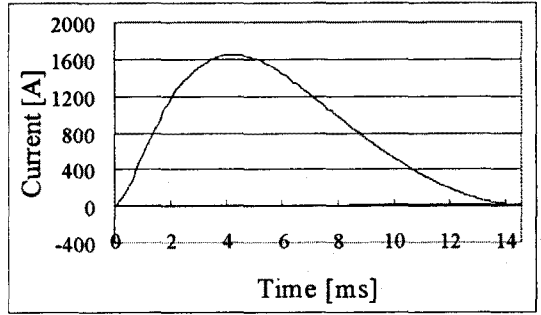
표1. 기존 착자요오크 및 회전자의 제원

구분	착자시스템	구분	회전자
착자기	전압:3500[V] 커패시터용량: 3000[μF]	크기	지름
			116.8[mm]
착자요오크	권선수:50[turn] 극폭:71.5 극길이:21.5 요오크두께:73	회전자바	x:2.6[mm]
			y:9.7[mm]
		영구자석	z:1.65[mm]
			폭:3.7[mm]
			길이:52[mm]

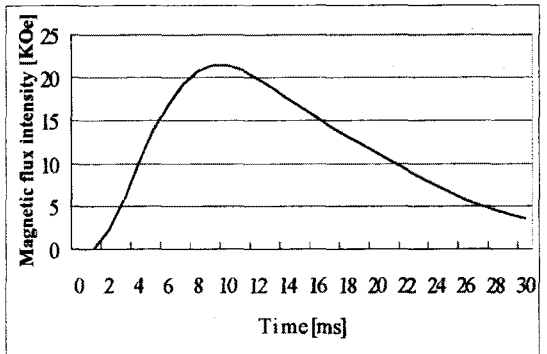
착자해석 프로그램을 통해 기존의 착자요오크를 사용하여 회전자에 삽입된 영구자석을 착자시킬 때의 전류 및 자속 특성은 그림 3과 같고 실험시의 전류특성과 착자후 회전자 표면에서의 자속 밀도 분포는 그림4와 같다. 실험결과 전류의 파형은 그림4(a)와 같이 되며 그 최대값은 1700(A)가 된다. 회전자 표면에서 측정된 최대 자속 밀도값은 2,309(gauss)이다. 그림3과 그림4의 시뮬레이션결과와 실험결과로부터 전류특성이 비슷하며 자속 특성도 시뮬레이션 결과와 실험결과가 일치한다고 판단할 수 있다. 자속 특성도 일치한다고 판단할 수 있는 이유는 다음과 같다.

실험결과 회전자 표면에서의 자속 밀도는 자석이 충분히 착자 된 경우 보다 낮게 나왔다. 회전자 내부의 자석이 충분히 착자 되었을 경우, 표면 최대 자속밀도가 약 3,000(gauss)가량 측정된다. 자석이 충분히 착자 되지 못한 이유는 그림3(b)의 시뮬레이션 결과와 같이 최대 평균 자계의 세기가 21.4(KOe)밖에 되지 않기 때문이다. 이 자계의 세기에서는 충분히 착자가 될 정도로 많은 자구들이 인가된 자계의 방향으로 정렬될 수 없다. 즉 그림2의 히스테리시스 곡선 상에서 자계의 세기가 자석이 충분히 착자 되는 값까지 이르지 못한다. 그러므로, 자속특성도 시뮬레이션 결과와 실험결과가 일치한다고 판단할 수 있다.

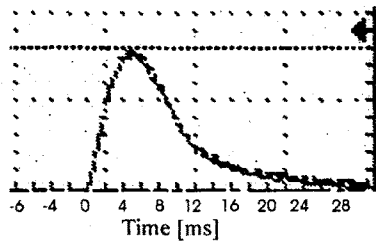
따라서, 위 결과로부터 착자 해석프로그램이 정확하다고 판단할 수 있다.



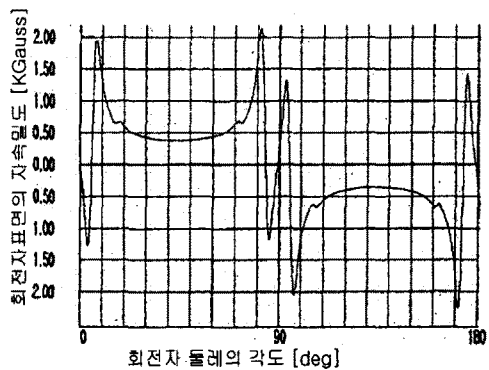
(a) 전류특성



(b) 자속특성 (영구자석부에 발생하는 평균 자계의 세기) 그림3. 기존 착자요오크의 시뮬레이션결과



(a) 전류특성



b) 착자후 회전자 표면의 자속밀도 크기 그림4. 기존 착자요오크의 실험결과

3.2 권선수의 증가를 통한 착자해석 결과

착자요크의 권선수를 증가시키에 따른 영구자석부에 발생하는 최대평균 자계의 세기는 표2와 그림5와 같다. 표2와 그림5에서 나타난 최대평균 자계의 세기는 영구자석부 각 요소들의 자계의 세기를 평균한 값으로써 착자시 최대가 될 때의 값이다. 본 논문에서 착자하고자 하는 NdFeB계 영구자석은 최대평균 자계의 세기 30[KOe] 이상을 필요로 한다. 영구자석부 요소들에 대한 자계의 세기 평균값이므로 모든 요소에서 30[KOe] (그림2에서 충분한 착자에 필요한 자계의 세기)가 되는 것은 아니다. 하지만, 전동기 동작에 필요한 자속은 발생시킬 수 있는 조건이다. 권선수를 증가시켜 최대평균 자계의 세기를 증가시킬 수 있는 한계는 표2와 그림5에서 보는 바와 같이 25.4[KOe]이기 때문에, 충분한 착자를 위한 최대평균 자계의 세기 30[KOe]에 못 미침을 알 수 있다.

표2. 권선수 증가에 따른 영구자석부의 최대평균 자계의 세기

권선수	최대평균 자계의 세기 [KOe]	권선수	최대평균 자계의 세기 [KOe]
40	18.0	120	25.0
50	21.4	140	25.4
60	23.4	160	24.9
80	24.3	180	24.7
100	24.8		

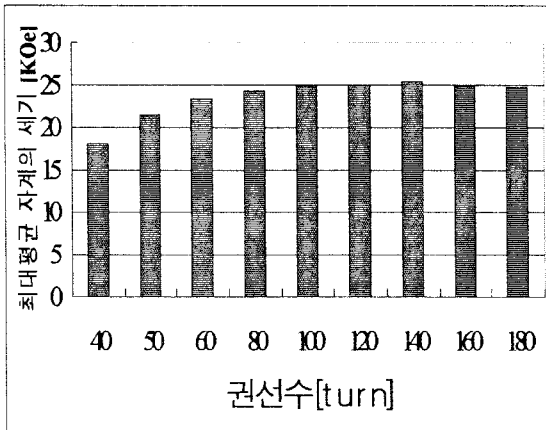
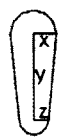


그림5. 권선수 증가에 따른 영구자석부의 최대평균 자계의 세기

3.3 회전자의 형상 감소에 따른 착자해석 결과

착자시 회전자바의 와전류로 인한 영향에 의해 영구자석에 나타나는 자계의 세기는 상당히 감소된다. 그래서, 회전자바에 흐르는 와전류를 감소시켜 와전류로 인한 자속의 감소를 막을 수 있다면 영구자석에 나타나는 자계의 세기를 많이 향상시킬 수 있다. 회전자바의 크기를 감소시키면 저항이 증가하므로 와전류를 감소시킬 수 있다. 표3과 그림6은 회전자바의 형상에 따른 착자해석 결과이다. 착자요크의 조건은 권선수가 140일 경우이다. 표3과 그림6에서 보는 바와 같이 모델 D에서 최대평균 자계의 세기가 30[KOe] 이상인 결과를 보인다.

표3. 회전자바 형상에 따른 영구자석부의 최대평균 자계의 세기

모델	회전자형상(단위: mm)	영구자석부 최대평균 자계의 세기(단위: KOe)	비고
A	x:2.6,y:9.7,z:1.65	25.4	회전자형상: 
B	x:2.6,y:6.7,z:2	26.0	
C	x:2.6,y:3.7,z:2.3	27.8	
D	x:2.6,y:0,z:2.6	30.0	

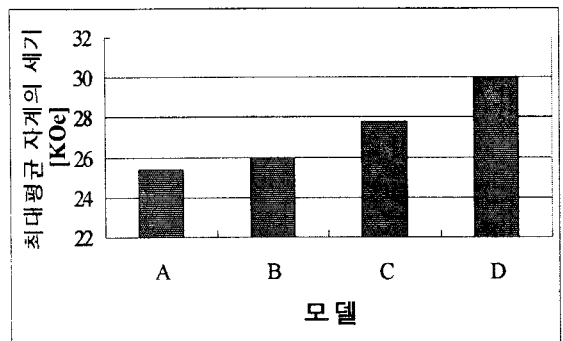


그림6. 회전자바 형상에 따른 영구자석부의 최대평균 자계의 세기

4. 결 론

본 논문에서는 영구자석 매입형 유도성 기동 동기전동기의 회전자 내부에 삽입된 NdFeB계 영구자석의 조립 후 착자에 대한 연구를 하였다. 회전자내부에 삽입된 영구자석을 착자시키는 것은 회전자바의 와전류로 인하여 상당히 착자가 어려운 조건이다.

본 논문에서는 첫째로 기존의 착자요크를 사용한 착자실험을 통하여 전류와 회전자 표면자속밀도를 고찰함으로써 착자해석 프로그램의 정확성을 검증하였다. 두 번째로, 권선수 증가에 따른 착자해석을 통하여 권선수의 증가만으로는 요구되어지는 착자 자계의 세기를 얻지 못함을 알았다. 마지막으로 회전자바의 형상을 감소시킴으로써 회전자바의 저항을 증가시킴으로써 회전자바에 흐르는 와전류를 감소시킬 수 있어 요구되어지는 착자 자계의 세기를 얻을 수 있었다.

본 논문은 산업지원부에서 지원하는 에너지기술개발사업인 '3.7kW급 유도성 기동 영구자석 매입형 동기전동기 개발'(과제번호:2000-E-EL-01-E-51)과제의 일부로 수행되었습니다. 이에 관계자 제위께 감사드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] E.S.Hamdy, *Design of small electrical machines*, Jhon Wiley & Sons, 1994
- [2] 이철규, 권병일 "유한요소해석을 이용한 영구자석매입형 유도성기동 동기전동기의 조립후 착자시스템 설계", 2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집, pp404-406, 2001
- [3] 임달호, "유한요소법", pp165-172, 동명사, 1995