

유한요소해석을 이용한 영구자석매입형 유도성기동 동기전동기의 조립후 착자시스템 설계

*이철규, *권병일, **김병택, ***우경일, *양병렬,
*한양대학교 대학원, **(주)삼성전기, ***한양대 공학기술연구소.

Design of the Magnetizing System which is used for Magnetizing the NdFeB Magnet in a Squirrel Cage Rotor

*C.G.Lee^o, *B.I.Kwon, **B.T.Kim, ***K.I.Woo, *B.Y.Yang, ****M.K.Han

*Graduate School of Hanyang University, **Samsung Electro-Mechanics Co.Ltd,****Hysung Co.Ltd

Abstract - This paper is about designing the magnetizing system which is used for magnetizing the NdFeB magnet in a squirrel cage rotor. It propose the shape of the magnetizing yoke, the number of coil turn and the capacitor discharging circuit parameter. In case of magnetizing the NdFeB magnet assembled with a squirrel cage rotor, the eddy current which is produced during magnetizing becomes a disturbance in magnetizing NdFeB magnet. Hence in this paper, we try to design optimized magnetizing system with eddy current considered by FEM(Finite Element Method).

1. 서 론

동기전동기는 자체적으로 기동토크를 발생하지 못하므로 회전자에 제동권선(damping winding)을 감아 기동하는 유도기동형 또는 인버터와 같은 외부구동시스템에 의해 기동하는 형이 있다. 그러나 구동시스템이 복잡해진다는 단점이 있어 회전자에 알루미늄바와 영구자석을 삽입한 영구자석 매입형 유도성기동 동기전동기가 연구개발되어지고 있다[1]-[3].

본 논문에서는 영구자석 매입형 유도성기동 동기전동기의 영구자석의 감자방지와 회전자 조립공정의 단순화등 여러 가지 잇점을 위해 영구자석을 회전자에 조립한후 착자시키는 착자시스템을 유한요소법을 이용하여 설계하고자 한다. 본 논문에서 영구자석은 회토티계 자석인 NdFeB가 쓰여졌으며 보자력이 높아 착자시 큰 기자력을 필요로 하는 자석이다. 또한 회전자에는 농형 유도전동기와 동일한 회전자바가 있어 착자속을 방해하는 와전류가 발생하게 된다. 그래서 영구자석에 큰 기자력 발생과 회전자바의 와전류를 고려한 착자시스템 설계, 즉 착자요오크의 형상, 권선의 권수, 커패시터 방전회로 정수등을 설계하였다.

2. 유한요소해석

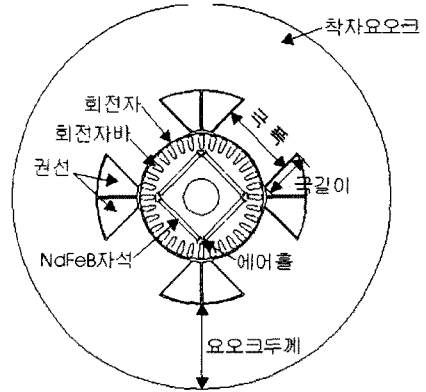
착자시스템을 설계하기 위하여 착자요오크부의 유한요소 해석을 위한 지배방정식과 커패시터 방전 펄스 착자기회로에 대한 키르히호프 전압방정식을 결합하여 착자과정을 해석하였다.

그림1(a)는 착자요오크와 회전자형상으로 유한요소해석영역(finite element region)에 해당하며, 그림1(b)는 착자시스템을 등가회로로 표현한 것이다.

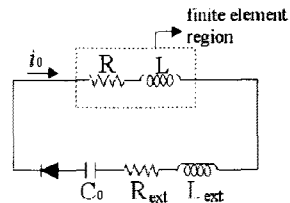
유한요소 해석모델의 지배방정식은 자기벡터포텐셜을 계변수로 하여 표현하면 식(1)과 같다.

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

여기서, A: 자기벡터 포텐셜(A)의 z축성분값
J₀: 권선의 전류밀도
σ: 회전자바의 도전율



(a) 착자요오크의 2차원 모델



R_{ext}, L_{ext}: 착자요오크 외부의 저항 및 인덕턴스

(b) 착자시스템 등가회로

그림1. 해석모델 및 등가회로

한편, 착자시스템 등가회로에 대한 키르히호프 전압방정식은 식(2)와 같다.

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

여기서, φ : 착자요오크 권선에 쇄교하는 자속
R, L₀ : 착자기 외부회로의 저항 및 누설 인덕턴스
R_c : 착자요오크의 권선의 저항
Q(t) : 커패시터에서 방전되는 전하량
Q₀ : 캐패시터의 초기 충전전하량

Galerkin법을 이용하여 식(1)을 유한요소 정식화하고, 전압방정식 식(2)를 결합하면 식(3)과 같은 유한요소해석영역 절점 포텐셜, 전하량을 미지값으로 하는 시스템 행렬 방정식을 얻게된다.

$$\begin{aligned}
 & \begin{vmatrix} K+C/\Delta t & S \\ D/\Delta t & Z \end{vmatrix} \begin{vmatrix} A \\ Q \end{vmatrix}_{t, \Delta t} \\
 &= \begin{vmatrix} C/\Delta t & S \\ D/\Delta t & Y \end{vmatrix} \begin{vmatrix} A \\ Q \end{vmatrix}_{t, \Delta t} + \begin{vmatrix} 0 \\ V \end{vmatrix}_{t, \Delta t} - L \begin{vmatrix} 0 \\ Q \end{vmatrix}_{t, \Delta t} \quad (3)
 \end{aligned}$$

3. 해석결과

착자요오크 형상설계에 있어서 자석의 자속방향과 위치, 크기등을 고려하여 그림1(a)와 같은 형상으로 설계할 수 있었다.

그림1(a)의 착자요오크형상에서 극의 폭은 착자가 영구자석의 단부부분에서도 가운데 부분과 가능한 동일한 방향이 되도록 착자시킴기위해 영구자석 길이보다 약간 크게 설계하였다.

3.1 착자시스템의 개략설계(I)

우선 위 그림1(a)의 착자요오크의 각부분의 크기와 착자기 전압 및 커패시터용량이 표1과 같은 경우 착자 해석을 하였다.

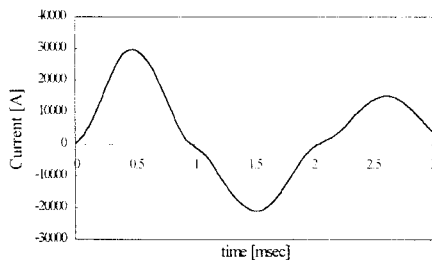
표1. 착자요오크 및 착자기 용량(개략설계)

	구분	크기
착자요오크	극 폭	85[mm]
	극길이	41.5[mm]
	요오크두께	60[mm]
착자기	권선권수	5[회]
	전압	3000[V]
	커패시터용량	2500[μF]

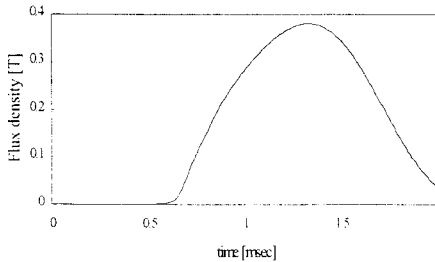
착자의 유한요소해석 조건은 다음과 같다.

- i) 착자요오크부의 와전류 특성: 적층형이므로 무시
- ii) 자석(NdFeB)부분은 공기로 가정

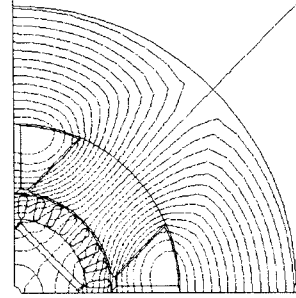
해석결과 시간에 따른 전류와 영구자석 중심부의 자속밀도는 그림2와 같다.



(a) 전류



(b) 영구자석 중심부의 자속밀도



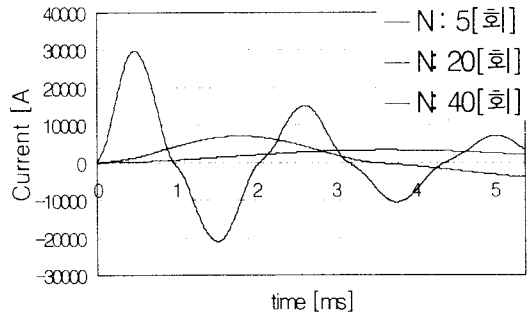
(c) 영구자석 중심부 최대 자속밀도시 자속분포

그림2. 해석결과(개략설계)

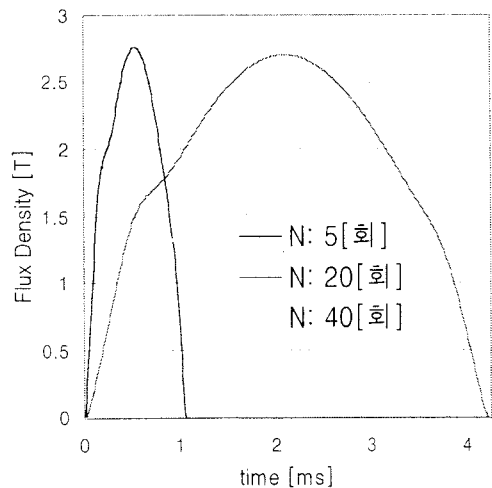
해석결과를 보면 NdFeB자석의 착자를 위해 자석부분의 필요한 자속밀도가 3[T]인데 비해 아주 적은 자속밀도 값이 나옴을 알 수 있다.

3.2 착자시스템의 개략설계(II)

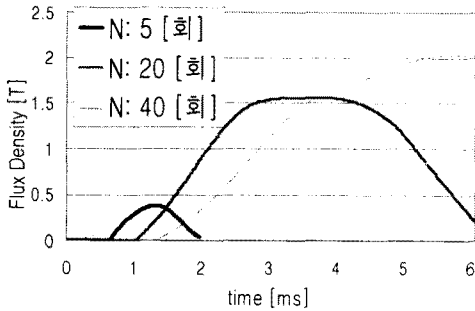
앞절에서 얻은 해석으로는 NdFeB자석의 착자가 불가능함을 알았다. 이번에는 회전자바가 없는 경우와 있는 경우 즉, 회전자바에 의한 와전류 영향이 없는 경우와 있는 경우의 권선의 권수에 따른 특성을 살펴보겠다.



(a) 전류특성



(b) 회전자바가 없는 경우의 자석 단부분의 자속밀도 특성



(c)회전자바가 있는 경우의 자속밀도 특성

그림3. 회전자바의 유무에 따른 자속밀도 특성

위 결과로부터 회전자 바가 없는 경우 와전류에 의한 자속발생 방해요소가 없어지므로 자석부분의 자속밀도가 회전자바가 있는 경우보다 더 크게 나옴을 알 수 있다. 그리고 회전자바가 있는 경우는 권선권수가 클 때 전류가 완만하게 증가하여 와전류 영향이 감소하므로 더 큰 자속밀도가 발생함을 알 수 있다. 그러므로 이후 세부설계에서는 권수를 증가시키고 착자기의 전압과 커패시터 용량을 증가시키며 착자요오크의 형상도 자기 포화가 가능한 되지 않는 형상으로 설계하도록 한다.

3.3 착자시스템의 세부설계

앞절의 결과로부터 권선권수, 착자요오크의 형상, 착자기 충전전압, 커패시터용량등의 변화 및 증가가 있어야 함을 알았다. 따라서 세부설계에서는 충전전압과 커패시터 용량을 3500[V]와 3000[μF]으로 증가시켜 해석하였으며 해석 단계는 다음과 같다.

- 1단계: 기존모델에서 극길이를 변화시켜가며 해석
- 2단계: 권선의 슬롯점유율 고정 → 권수와 극길이 변화에 따른 해석

각 단계에서의 해석결과는 다음 그림들과 같다.

턴수	코일형상	슬롯점유율	극길이
100	2.4[mm]×2.2[mm]	60[%]	11.5[mm]
"	2.0[mm]×0.8[mm]	"	23.5[mm]

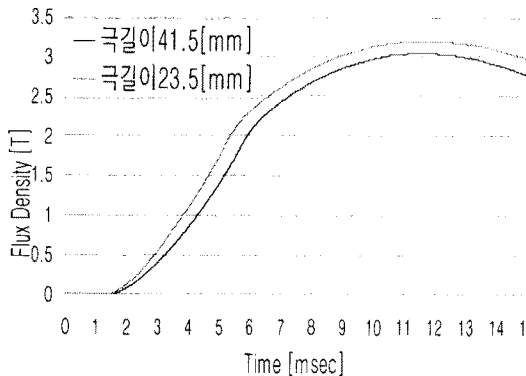


그림4. 1단계 해석결과

턴수	코일형상	슬롯점유율	leg길이
100	2.0[mm]×0.8[mm]	60[%]	23.5[mm]
80	"	"	19.5[mm]
60	"	"	16.5[mm]
50	"	"	14.5[mm]
40	"	"	13.5[mm]

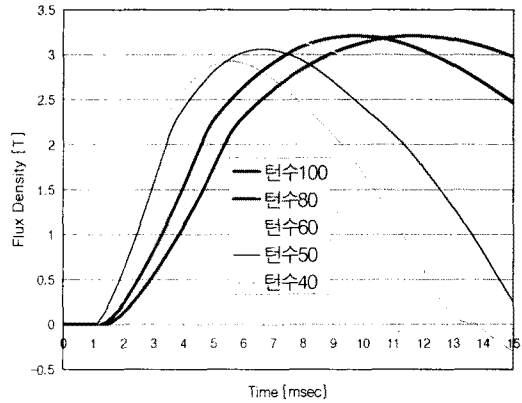


그림5. 2단계 해석결과

위 결과로부터 극길이가 작을수록 자기저항이 작아져 자속밀도가 커짐을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 영구자석 매입형 유도성기동 동기전동기에 대하여 회전자에 영구자석을 조립후 착자하는 시스템의 설계에 대하여 연구하였다. 그 결과 전동기의 기동기 기동 토크를 발생시키는 회전자바부분에 와전류가 발생하여 자석부분에 착자자속이 발생하는데 방해 역할을 함을 알았다. 와전류의 영향을 감소시키기위하여 권선권수를 늘려 자속밀도 발생을 증가시키는 방법을 연구하였으며 자석부의 자속밀도가 3[T]이상 발생하는 결과를 얻을 수 있었다. 이후 연구에서는 위 결과에서 자석부의 자속밀도가 3[T]이상 발생하는 모델중 제조의 용이성과 경제성을 감안하여 시제품을 만들어 실험 해석결과와 비교할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] E.S.Hamdy, *Design of small electrical machines*, Jhon Wiley & Sons, 1994
- [2] 한문규, "영구자석 유도전동기의 특성해석 및 시제품예의 응용", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, pp324-326, 1999
- [3] E.Richter, T.W.Neumann, "Line start permanent magnet motors with different materials", *IEEE Trans. on Magnetic*, Vol.Mag20, No5, pp1762-1764, September, 1984