

## 영구자석형 전동기의 조립 후 착자 방법에 대한 연구

이철규\*, 권병일\*

\*한양대학교 대학원

### Study on the Post-Assembly Magnetization Method of Permanent Magnet Motor

C.K.Lee\*, B.I.Kwon\*

\*Graduate School of Hanyang Univ.

**Abstract** - In this paper, we study about the stator winding magnetization method and the magnetizing fixture magnetization method in post-assembly magnetization. Most of small electrical machine use the stator winding magnetization method but it is impossible to magnetize the permanent magnet by the stator winding magnetization method when the capacity of machine increases and the coercive force of magnet increases. And the eddy current disturbs the magnetization seriously in case of LSPM(Line Start Permanent magnet Motor) that have conductor bar in rotor. Hence, the magnetization fixture is required. So, in this paper we study about the post-assembly magnetization method that can use the stator winding magnetization method or must use the magnetization fixture magnetization method.

### 1. 서 론

영구자석형 전동기에서 제조비용의 절감과 공정의 단순화를 위해 영구자석을 조립 후 착자한다[1]. 이때 영구자석의 조립 후 착자는 전동기 자체의 고정자 권선에 임펄스 전류를 인가하여 회전자에 위치하는 영구자석을 착자하는 권선착자 방법과 별도의 착자요오크를 제작하여 착자하는 착자요오크 방법이 있다.

보통 권선착자 방법을 주로 사용하나 전동기 용량이 커지고 사용하는 영구자석의 보자력이 큰 경우 권선착자의 방법으로 착자하는 것은 권선의 절연파괴, 변형 등의 문제가 발생하므로 불가능하다[2]. 그러므로, 코일의 절연파괴, 변형 등이 발생하지 않고 자속이 효율적으로 발생하는 별도의 착자요오크 제작이 필요하다.

특히, LSPM(Line Start Permanent magnet Motor)의 경우는 회전자에 도체비가 존재하며 착자시 도체바에 발생하는 와전류가 착자를 더욱 방해한다. 따라서, 이를 극복하기 위해 권선의 권수를 크게 설계해야 하며 권선의 온도상승 방지를 위하여 냉각장치가 필요하다[3]. 또한, 착자요오크 권선의 온도상승을 방지하기 위하여 냉각장치가 필요하다.

따라서, 영구자석형 전동기의 제조에 있어서 조립 후 착자에 대한 방법 및 착자요오크의 설계방법을 달리 해야 하므로 이에 대한 검증이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 영구자석형 전동기 및 영구자석의 종류에 따라 권선착자방법을 적용할 수 있는 경우와 착자요오크 착자방법을 적용해야 하는 경우에 대하여 연구한다. 착자해석은 시간차분 유한요소법을 사용하여 자계의 세기와 권선의 온도상승을 정확히 고려한다.

### 2. 착자 해석

본 논문에서 착자방법을 연구하기 위한 착자과정 해석은 콘텐서 방전형 멀스 착자기의 회로방정식과 결합된 2차원 시간차분 유한요소법을 사용하였다.

유한요소해석에 사용된 지배방정식과 콘텐서방전형 임

펄스 착자기의 회로방정식은 식(1)과 (2)와 같다[4].

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

여기서,  $A$ : 자기벡터 포텐셜(A)의 z축성분값

$J_0$ : 권선의 전류밀도

$J_m$ : 자석에 의한 등가전류밀도

$\sigma$ : 회전자바의 도전율

$$\frac{d\Phi(t)}{dt} + (R + R_o) \frac{dQ(t)}{dt} + L_o \frac{d^2 Q(t)}{dt^2} + \frac{Q(t)}{C} - \frac{Q_0}{C} = 0 \quad (2)$$

여기서,  $\Phi$  : 착자요오크 권선에 쇄교하는 자속

$R, L_o$  : 착자기 외부회로의 저항 및 누설  
인덕턴스

$R_c$  : 착자요오크의 권선의 저항

$Q(t)$  : 커패시터에서 방전되는 전하량

$Q_0$  : 캐퍼시터의 초기 충전전하량

Galerkin법을 이용하여 식(1)을 유한요소 정식화하고 착자기의 회로방정식 (2)를 결합하여 유한요소해석을 한다.

착자시 권선의 대전류로 인한 온도상승식은 식 (3)으로 표현된다[5].

$$\Delta t = \frac{\int_t^{t+\Delta t} I^2 R dt}{A_C \times l_C \times \rho_{CU} \times C_h} \quad (3)$$

여기서,  $A_C$  : 도체의 단면적 [ $m^2$ ]

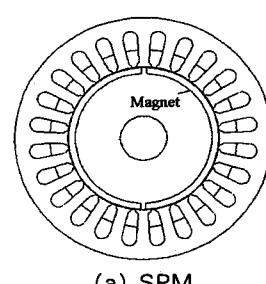
$l_C$  : 권선의 총길이 [ $m$ ]

$C_h$  : 구리의 비열 [ $385 J/kg/\ ^\circ C$ ]

$\rho_{CU}$  : 구리의 비중 [ $8900 kg/m^3$ ]

### 3. 조립 후 착자 방법의 선정

#### 3.1 권선착자



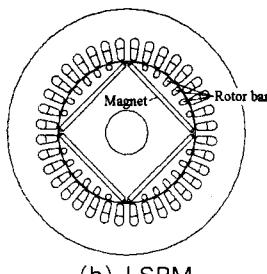


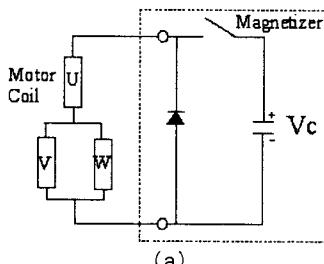
그림 1 SPM 전동기와 LSPM 전동기 형상

표 1 전동기 및 영구자석의 제원

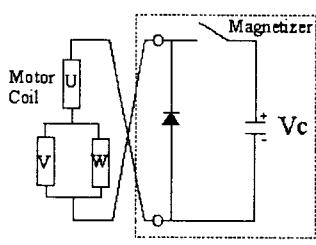
구분	내용	크기
S P	전동기	고정자 외경 100 [mm]
M	영구자석	종류 페라이트
	보자력 ( $bH_c$ )	175.159 [KA/m]
	필요착자자계	4[KOe]이상
L S	전동기	고정자 외경 190.5 [mm]
P M	영구자석	종류 NdFeB
	보자력 ( $bH_c$ )	772~859[KA/m]
	필요착자자계	30[KOe]이상

그림 1과 표 1은 권선착자 하려는 두가지 종류의 전동기에 대하여 전동기 및 영구자석의 제원을 나타낸 것이다. 첫 번째 모델은 BLDC전동기에 사용되는 SPM(Surface mounted Permanent magnet Motor)을 나타내며, 두 번째 모델은 LSPM을 나타낸다.

권선착자에서 고정자 권선에 단자전압을 인가하는 방법은 그림 2와 같다. 고정자 슬롯의 수와 극수의 비가 정수가 아니고 분수일 때에는 그림 2 (b)와 같이 단자전압을 반대로 결선한 후 회전자의 위치를 전기각 180도 만큼 회전시켜서 한 번 더 착자를 해야한다. 이렇게 해야하는 이유는 슬롯수 와 극수가 분수가 될 시에는 자속의 분포가 대칭적으로 발생되지 않기 때문이다(2).



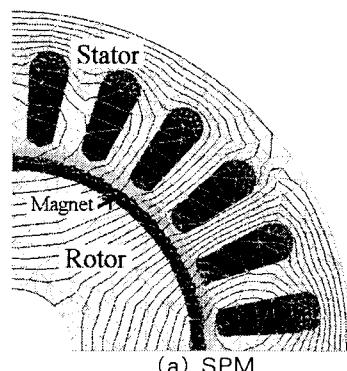
(a)



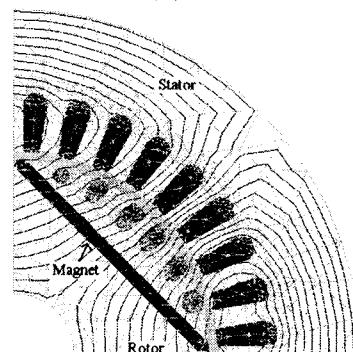
(b)

그림 2 권선착자 시 단자전압 인가방법

그림 3은 권선착자시 SPM 전동기 및 LSPM 전동기에 나타나는 착자 자속 분포를 나타낸 것이다. 그럼 4는 권선착자시 영구자석에 발생하는 착자 자계의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다. 여기서 최대값이 필요착자 자계의 세기 보다 높게 나와야 완전착자가 된다. 그럼 4로부터 SPM은 필요 착자자계의 세기 4[KOe]보다 높으나 LSPM은 필요 착자자계의 세기 30[KOe]에 훨씬 미치지 못함을 알 수 있다. 여기서 착자기 전압과 커패시터 용량은 각각 1300[V]와 1500[ $\mu$ F]를 인가하였다. 전압과 커패시터 용량을 동일하게 인가하였으나 LSPM에서 착자 자계의 세기가 적게 발생하는 이유는 첫째, 회전자 바의 외전류가 착자를 방해하고 둘째, 전동기의 용량이 증가하여 전기 저항, 인덕턴스, 자기 저항 등이 증가하기 때문이다(3). 또한, 사용하는 자석이 페라이트와 같이 필요 착자자계의 세기가 낮은 영구자석을 사용한다면 LSPM의 경우도 완전착자가 가능할 것이다. 그러나, 페라이트의 경우 잔류자속 밀도가 낮기 때문에 NdFeB 자석 대신 사용한다면 전동기의 특성에 영향을 미친다.

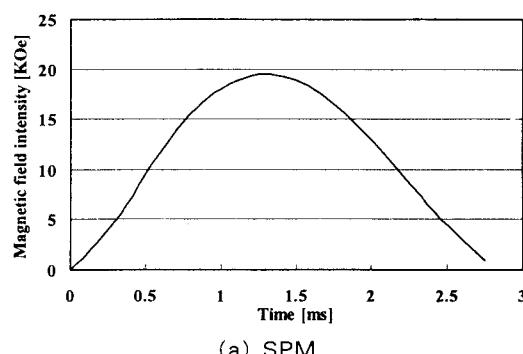


(a) SPM



(b) LSPM

그림 3 권선착자시의 자속분포



(a) SPM

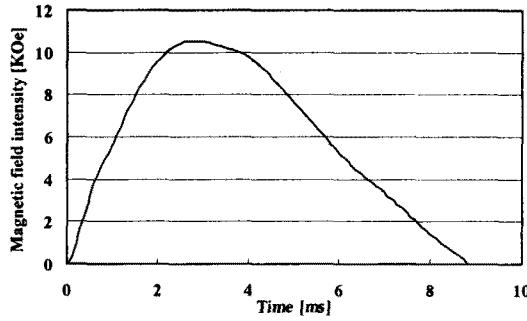


그림 4 권선착자시의 자계 세기  
(b) LSPM

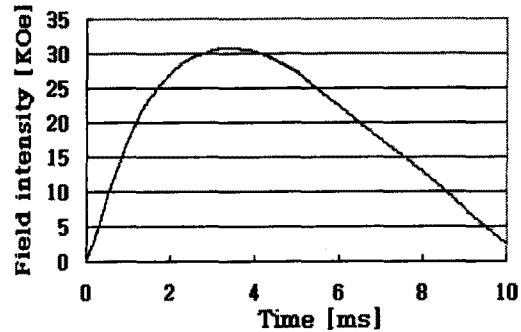


그림 6 착자요오크 착자시 자계의 세기

### 3.2 착자요오크 착자

3.1절에서 권선착자가 불가능했던 LSPM 전동기에 대하여 착자요오크를 제작하여 착자할 때의 착자 특성에 대하여 연구하였다. 표 2와 그림 5는 설계된 착자요오크의 제원을 나타내며 그림 6은 설계된 착자요오크로 LSPM을 조립 후 착자 할 때의 착자자계의 세기를 나타낸다. 그림에서 살펴보듯이 착자요오크를 제작하여 착자를 할 경우에는 권선착자를 통해 착자 할 때보다 훨씬 높은 착자자계의 세기를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 착자 요오크는 절연특성이 좋은 권선을 사용할 수 있고 냉각장치를 설치하여 온도상승도 방지할 수 있어 착자기 전압과 전류를 훨씬 크게 할 수 있기 때문이다. 또한, 착자요오크의 형상의 경우 한 극이 치 하나로 구성되므로 자속이 분산되지 않고 집중되어 영구자석에 전달되는 잇점도 있다.

표 2 착자기 및 착자요오크 제원

구분	내용	크기
착자기	충전전압	2600 [V]
	정전용량	2400 [ $\mu$ F]
착자요오크	극 폭	60 [mm]
	극 길이	13 [mm]
	권선의 턴수	30 [Turn]
착자요오크	요오크 폭	45 [mm]
	요오크 내경	109.5 [mm]
	요오크 외경	240 [mm]
	첨적률(Fill Factor)	50%

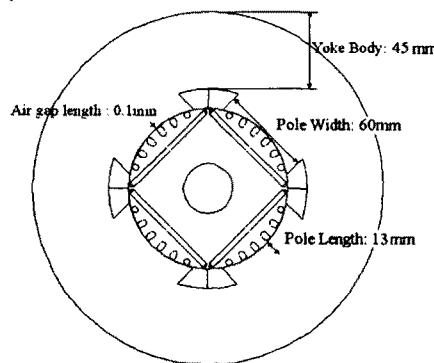


그림 5 착자요오크의 설계

### 4. 결론

본 논문에서는 영구자석형 전동기의 조립 후 착자에 서 권선착자가 가능한 경우와 권선착자로는 자속이 충분히 발생하지 않아 착자요오크 방법을 사용해야 하는 경우에 대하여 연구하였다.

권선착자 가능 모델은 소형의 SPM형 전동기에 대하여 연구하였고 착자요오크 착자 모델은 회전자 도체바를 갖고 있는 중형의 LSPM형 전동기에 대하여 연구하였다. 전동기 용량이 작고 회전자에 도체바와 같은 착자방해 요소가 없다면 권선착자에 의해 큰 착자자속을 얻을 수 있었다. 그러므로, 보자력이 크지 않은 영구자석이면 전동기 자체 고정자를 이용하여 권선착자가 가능함을 알 수 있었다.

하지만 전동기의 용량이 증가하고 보자력이 큰 영구자석을 사용하는 경우는 착자요오크 착자가 필요함을 알 수 있었다. 그 원인은 권선착자의 경우 권선의 절연, 변형 때문에 착자 전압과 커페시터 용량을 충분히 높일 수 없지만 착자요오크를 사용할 경우는 높은 전압과 커페시터 용량을 사용할 수 있고 더 효율적으로 착자 자속이 발생되기 때문이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 오시덕외, “3.7kW급 유도성 기동 영구자석 매입형 동기 전동기 기술개발에 관한 연구 최종보고서”, 산업자원부, 2002.10
- [2] 안준호, 조관열, “가전제품용 BLDC 전동기의 설계기술”, 전력전자학회지, 제7권, 제4호, 2002.8.
- [3] 이철규, 권병일, 우경일, 한문규, “영구자석 매입형 유도성 기동 전동기의 조립 후 착자에 대한 연구”, 대한 전기학회 전기기기 및 에너지 변환 시스템학회 추계 학술대회 논문집, pp. 27-29, 2001. 10. 26
- [4] 윤태호, 권병일, 박승찬, 우경일, “프라이자흐 모델과 유한요소법을 이용한 C. P. M.의 착자 특성 해석”, 대한 전기학회 논문지, Vol. 49, No. 11, pp. 729-736, 2000. 11
- [5] 백수현, 김필수, “SPICE를 이용한 커페시터 방전 임펄스 착자 회로의 특성해석”, 대한 전기학회 논문지, 제43권, 2호, pp. 206-213, 1994.10호, pp. 652-658, 2000.10