

불가역 감자를 고려한 단상 LSPM의 영구자석 두께 선정

이태훈*, 이정중, 유세현, 김영균, 정인성
전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터

Calculation of Permanent Magnet Thickness for Single Phase LSPM Considering the Irreversible Demagnetization of Permanent Magnet

Tae-Hoon Lee*, Jeong-Jong Lee, Se-Hyun Ryuh, Young-Kyoun Kim, In-Soung Jung
Intelligent Mechatronics Research Center, Korea Electronics Technology Institute

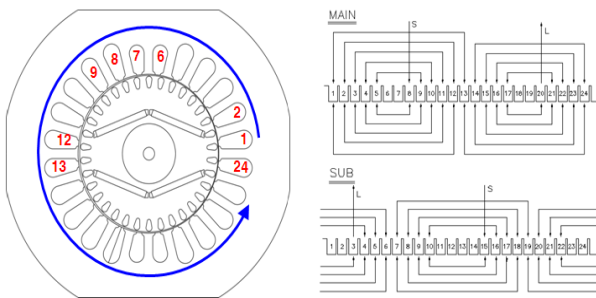
Abstract - LSPM(Line Start Permanent Motor)은 기존의 가정용으로 널리 사용되고 있는 단상유도기에 영구 자석을 삽입함으로써 별도의 회로 없이 정상상태에서 동기기로 작용하는 고효율의 전동기이다. 하지만 기동시 높은 전류로 인한 전기자 반작용과 온도 상승으로 인하여 자석의 불가역 감자가 빈번하게 일어나는 문제점을 가지고 있다. 이에 본 논문은 모터 형상에 따른 영구자석의 퍼미언스 계산을 통해 동작점을 선정함으로써 불가역 감자가 발생하지 않는 영구자석의 최적의 사이클을 선정하는데 목적을 두었다.

1. 서 론

가전 분야에 있어 구조가 간단하고 제작이 용이하며 인버터 등과 같은 별도의 변환장치 없이 기동 및 구동이 가능한 단상 유도 전동기는 BLDC나 인버터 구동 전동기에 비하여 저렴한 COST와 높은 기동 특성으로 인하여 널리 사용되고 있지만 주 권선과 보조 권선의 기자력 차로 인하여 평형 다상기와 달리 불평형의 타원 자계가 발생하게 되고 기동토크의 확보 및 기동 특성 향상을 위하여 보조권선에 저항 또는 기동형 콘덴서 등 별도로 부가장치를 구성해야하는 문제점을 가지고 있다. 또한, 불평형 자계에 의한 성능 저하 및 2차측 손실에 의해 고효율화에 어려운 특성을 가지고 있다. 이에 반해 LSPM (Line Start Permanent Motor)은 기존에 가정용으로 널리 사용되고 있는 단상 유도기에 영구자석을 삽입하여 기동시에는 유도기로 동작하여 기동 토크와 순시 토크를 발생시키고 기동 후 동기속도에 이르게 되면 동기기로 동작하여 슬립에 의한 손실을 줄일 수 있는 등 기존의 단상 유도 전동기와 비교하여 상대적으로 높은 효율 및 역율이 1에 가까워 지는 전동기이다 [1]. LSPM은 단상유도기와 동일한 고정자 권선을 가지는데 동심형으로 권선이 감겨 있으며 주 권선과 보조권선이 90도의 간격으로 위치되어 있고 회전자의 농형 바 안쪽에 영구자석이 위치한다. 회전자에 삽입되는 영구자석은 기동 시 기동토크를 방해하는 토크로 작용하기 때문에 영구자석 사이즈 및 삽입 위치 선정이 매우 중요하며 온도와, 외부 자계에 의해 감자되지 않도록 영구자석의 두께 선정이 매우 중요하다. 이러한 이유 외에도 최근 고유가와 함께 원자재 값이 상승하고 있다. 특히 전동기의 주요 재료인 구리, 철, 희토류계 영구자석은 최근 몇 년 사이에 엄청난 상승세를 보이고 있으므로 비용적인 측면에서도 영구자석의 사이즈는 중요한 요인이 된다. 따라서 본 논문에서는 영구자석 Size를 줄이기 위한 방법으로 영구자석의 두께에 따른 퍼미언스를 계산하고 온도포화를 고려하여 정상상태 운전시 불가역 감자가 발생하지 않는 영구자석 Size를 선정하였다. 선정된 영구자석 Size로 시작품제작 및 실험을 진행하여 감자유무를 판단하였다.

2. 불가역 감자를 고려한 특성 분석

2.1 설계 모델 및 등가 회로



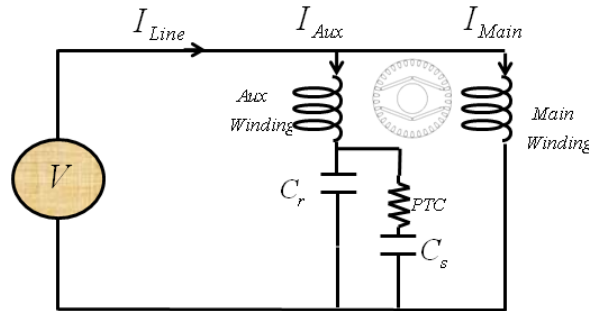
〈그림 1〉 단상 LSPM 형상과 권선도

그림 1은 단상 LSPM 설계 모델의 고정자 사이즈와 권선도를 나타내고 있다. LSPM의 고정자 권선은 주권선과 보조 권선으로 이루어져 있고 이들의 위상차가 90도가 나도록 배치되어 있으며 기동토크 확보와 역율의 개선을 위하여 보조권선에 콘덴서가 부착되어 있다. LSPM의 회전자 형상은 기동 시 단상 유도기와 같은 원리로 기동토크를 발생시키기 위하여 도체 바가 철심에 배치되어 있으며 기동 이 끝나고 동기 속도에 이르면 동기 전동기와 같이 운전하기 위해 회전자에 영구자석이 삽입되어 있다. 영구자석의 측면 부분은 철심으로 자속이 누설되는 것을 방지하기 위한 자속 장벽이 위치하게 된다[2].

〈표 1〉 설계 모델의 사양

항목	Unit	Value
전압	Vrms	220
주파수	Hz	60
극수		2
정격속도	rpm	3600
정격 출력	kW	2.8
영구자석 Br	T	1.2
고정자 외경	mm	137

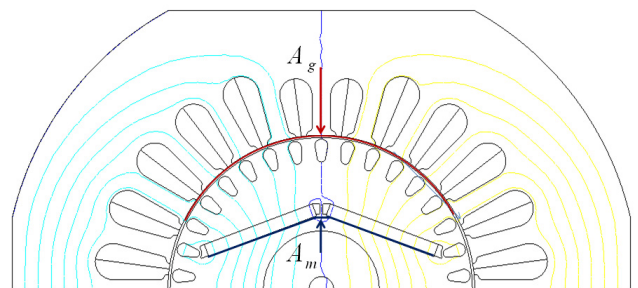
설계 대상인 단상 LSPM의 사양은 표 1과 같다. 2.8kW급의 출력을 가지며 2극기로서 3600rpm의 정격속도를 가지고 동작하며 220V, 60Hz의 상용전원을 이용한다.



〈그림 2〉 설계 모델의 등가 회로

2.2 자기회로법을 이용한 파라미터 해석

그림 3은 LSPM의 자속흐름과 자기등가 회로 구성을 위한 기준 면적을 나타내었다.



〈그림 3〉 자속 패스 및 공극 및 영구자석 단면적 선정 위치

등가 회로는 서로 대칭 되기 때문에 한 극에 대해서만 간단히 나타 내다. 영구자석의 동작점은 전동기의 형상에 의해 결정되며 식 (1)~(4)에 의하여 간략히 표현 될수 있다.[1]

$$P_c = \frac{B_m}{H_m} = -\frac{\sigma}{f} \cdot \frac{A_g}{A_m} \cdot \frac{l_m}{l_g} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{P_u + P_l}{P_u}, \quad f = \frac{P_u}{\sigma P_u - P_L} \quad (2)$$

$$P_l = \zeta \left(\frac{l}{d} \right) \left[\sqrt{1 + \left(\frac{l}{d} \right)^2} + \left(\frac{l}{d} \right) \right] \quad \zeta = \frac{1}{5}(12-p) \quad (3)$$

$$P_L = \xi \left(\frac{2l}{d} \right) \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2l}{d} \right)^2} + \left(\frac{2l}{d} \right) \right] \quad \xi = 1.3 \sim 1.4 \quad (4)$$

식에서 σ 는 누설계수 f 는 기자력 손실 계수를 나타내며 A_m 과 A_g 는 공극과 영구자석의 면적 l_g 와 l_m 은 공극과 영구 자석의 길이를 나타내며 P_l 및 P_L 은 누설 퍼미언스를 뜻한다.

<표 2> 자석 두께별 퍼미언스 계수

영구자석 두께	퍼미언스 계수
2.0mm	5.58
2.2mm	6.11
2.4mm	6.64
2.6mm	7.16
2.8mm	7.68
3.0mm	8.2
3.2mm	8.71

2.3 불가역 감자를 고려한 영구자석의 두께 산정

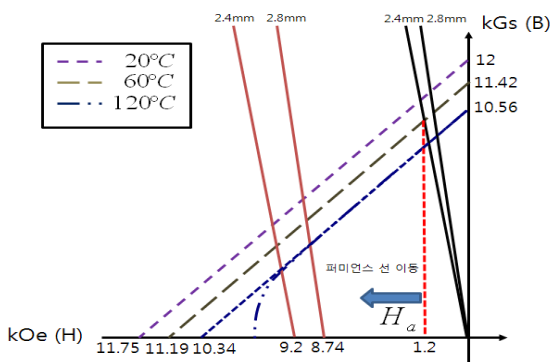
<표 3> 영구 자석 스펙

	Br (T)	bHc (KOe)	iHc (KOe)	BH Max	허용온도 (°C)
35EH	1.17~1.21	>10.2	>30.1	33~36	200

불가역 감자를 방지하기 위해서는 외부 자계에서의 감자와 영구자석의 온도 변화에 따른 B-H커브의 Knee Point의 위 쪽에 동작점이 존재 하여야 한다. 이를 위해서 모터에 삽입된 영구자석의 퍼미언스 계수를 높 이기 위하여 영구자석의 두께를 높일 필요성이 있다. 표2와 표3은 각각 LSPM에 삽입된 영구자석의 스펙과 이 재원을 이용하여 구한 영구자석 의 두께에 따른 퍼미언스 계수의 변화를 나타낸다. 또한 영구자석의 특 성은 온도에 따라 변화하게 되며 온도가 고려된 잔류자속 밀도는 식 (5) 에서 나타난다.

$$B_r' = B_r + B_r \alpha (T - 20) \quad (5)$$

B_r' 은 온도(T) 잔류 자속밀도를 B_r 은 20°C에서의 잔류자속 밀도를 α 는 잔류자속 밀도의 온도 계수로서 -0.12%의 값을 산정 하였다.



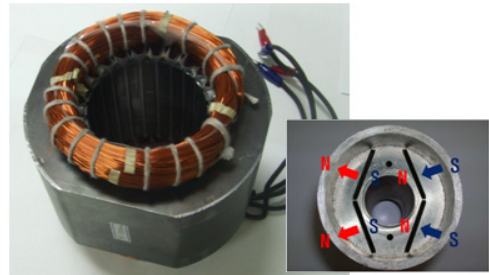
<그림 4> 온도변화와 두께에 따른 동작점

그림 4는 온도변화에 따른 영구자석의 특성과 자석 두께에 따른 퍼미 언스 계산을 통하여 동작점을 나타낸 것이다. 외부 기자력이 없는 상태 에서는 얇은 자석에서도 불가역 감자가 일어 나지 않지만 실제 LSPM 은 기동 시 많은 돌입전류가 흐르게 되며 이에 따라 높은 외부 기자력 을 발생 하게 되다. 이에 영향을 받아 현재 그림의 퍼미언스 선은 외부 기자력의 영향을 받아 H_a 만큼 수평 이동하게 되어 Knee Point 아래에 동작점이 위치하는 두께가 생기게 된다. [3]

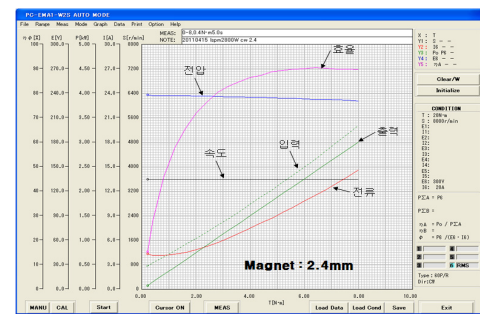
$$H_a = \left(\frac{NI}{2l_m} \right) \times \frac{4\pi}{10^3} \quad (6)$$

식(6)을 이용하여 외부 자계를 구할 수 있고 계산된 값을 통하여 감자가 되지 않는 최소의 두께인 2.4mm를 선정하여 시작품을 제작하였다.

2.4 LSPM 시작품 시험 결과



<그림 5> 단상 LSPM 시작품



<그림 6> 시작품의 역기전력과 N-T-I 곡선

시작품 제작을 통하여 영구자석의 특성이 온도와 기동시의 외부 기자 력에 의하여 불가역 감자가 일어나는지에 대한 가,부를 확인하였다. 기 동 후 특성도 양호 하였고 역기전력의 변화도 없는 것을 확인 하였다. 다만 상황은 제안된 고정자 권선에 따른 외부 기자력을 기준으로 하였 으므로 설계에 따른 재 계산이 요구된다.

3. 결 론

본 논문에서는 불가역 감자를 고려한 단상 LSPM 전동기의 영구자 석 두께 산정에 대한 내용을 다루었다. 기동시 높은 기동전류로 인하여 감자가 빈번한 LSPM에서 영구자석의 두께는 매우 중요한 요소 중 하나 이고 최근 회로류에 대한 높은 가격 증감율로 인하여 제작 cost의 문 제가 있는 만큼 LSPM에서 영구자석의 형태와 두께에 대한 연구는 계 속적으로 진행되어야 할 문제라고 생각 된다. 추후 영구자석에 영향을 미치는 요소들을 복합적으로 고려하여 단상 LSPM의 설계에 적용한다 면 보다 해석의 정밀도를 높일 수 있을 것이라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. M. Park, S. I. Kim, J. P. Hong, J. H. Lee, "Rotor design on Torque Ripple Reduction for a synchronous reluctance motor with concentrated winding using response surface methodology", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 42, No.10, pp.3 479-3481. Oct.2006.
- [2] Tae-UK Jung, Hyuk Nam "Rotor Design to Improve Starting Performance of the Line-start Synchronous Reluctance Motor", Journal of Electrical & Technology Vol 1. No.3 pp. 320-326. 2006
- [3] V. Ostovic, "Pole changing permanent magnet machines," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 38, No.6, pp.1493-1499 Dec.