

단상 LSPM의 기동 및 동기화 능력 향상을 위한 영구자석 설계

홍숙현* , 권병일* , 김병택**
 *한양대학교 **삼성 전기

The Design of Permanent Magnet for Improved Capability of Starting and Synchronizing of Single Phase Line Start Permanent Magnet Motor

S. H. Hong*, B. I. Kwon*, B. T. kim**

*Hanyang university, **Samsung electro-mechanics co. Ltd

Abstract - The single phase line start permanent magnet motor has high efficiency and power factor when it operates synchronous speed. The rotor structure is composed of permanent magnet and cage bars. The motor is accelerated by rotor bars and synchronized by magnet and rotor saliency, but starting torque is disturbed by magnet braking torque so, to obtain good starting performance and synchronizing capability, the design of proper permanent magnet is required. This paper is represented performance of starting and synchronizing by changing permanent magnet thickness

0.5hp 단상 유도전동기에 자석을 삽입하는 형상으로 자석의 두께변화에 따른 동기화 및 기동 특성을 포함한 과도특성 해석을 수행하였다. 자석의 배치는 4극 전동기이므로 4개의 자석을 방사형 자속 방향으로 배열하였으며, 이 경우 방사형 자석 배열은 회전자에서의 누설 때문에 자속 밀도가 다소 낮으나 극 형성이 쉬운 장점이 있다. 또한 단상 LSPM 전동기의 회전자에 삽입된 영구자석은 동기속도로 가속 될 때에 전기자 권선의 자속에 의해 큰 감자의 영향을 받을 수 있으므로, 선형적인 감자 특성을 지니고, 높은 보자력을 가진 희토류계 자석을 사용하는 것을 가정하였다.

1. 서 론

최근 에너지 절약에 대한 관심이 높아짐에 따라 전기기기의 효율은 중요한 문제가 되고 있다. 영구자석을 이용한 전동기의 경우, 높은 효율 및 역률을 얻을 수 있다는 점에서 지속적인 연구개발 대상이었으며, 최근 높은 에너지 밀도를 갖는 새로운 영구자석의 개발과 함께 자석의 가격 하락도 영구 자석 전동기의 개발을 더욱 활성화시키고 있다. 이와 더불어 가전기기 구동용으로 널리 사용되는 단상유도기의 낮은 효율을 높일 수 있는 대체 전동기로 최근 단상 LSPM(Line Start Permanent Magnet)에 대한 관심이 높아지고 있다.

단상 LSPM은 회전자에 영구자석과 농형 도체바를 동시에 가진 전동기로서, 동기 전동기와 유도전동기의 장점을 결합한 단상전동기이다. 즉, 기동시는 특별한 부가적 장치 없이 유도전동기의 동작특성으로 구동되며, 동기속도 진입이후는 동기기로 동작하므로 기존의 단상 유도기에 비하여 높은 효율을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

반면, 단상 LSPM은 회전자 형상에 따라 전동기의 특성은 크게 달라지게 되어 설계에 어려움이 있다. 특히 회전자 내부 영구자석은 기동과 동기화진입을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 즉, 영구 자석은 기동시에는 방해토크를 생성함으로써 기동을 방해하는 경향을 나타내며 [1], 반대로 영구 자석이 너무 작으면 동기 속도 진입을 할 수 없게 된다. 따라서 기동과 동기화를 만족시키는 적절한 자석의 설계가 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 기동특성과 동기화 특성을 고려한 자석 설계에 대해서 고찰하였다.

2. 단상 LSPM의 기본 형상 및 특성 해석 방법

2.1 기본 형상

본 논문에서는 그림 1 및 표 1과 같이 4극의 220V,

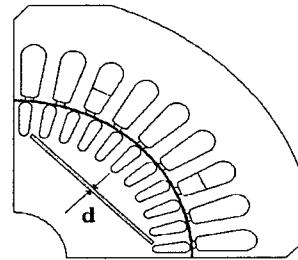


그림 1 해석 모델
 Fig 1 analysis model

표 1 해석 모델 사양
 Table 1 Specifications of analysis model

출력	0.5 hp
극 수	4 pole
입력전압	220[V]
회전자 외경	94.2[mm]
주권선 턴수	47/47/32 [turn]
보조권선 턴수	38/23[turn]
기동 방식	콘덴서 구동 및 기동

2.2 과도 특성 해석 방법

단상 LSPM의 주권선과 보조권선 및 콘덴서 전압을 나타내는 방정식은 식(1) ~ 식(3)과 같다.[2,3]

$$v_s = v_m \tag{1}$$

$$v_s = v_a + v_c \tag{2}$$

$$v_c = \frac{1}{C} \int i_a \tag{3}$$

위의 전압방정식을 d-q변환하여 특성을 계산하였으며, 이 때, 고정자와 회전자와 쇄교자속과 전동기 토크를 나타내면 식(4)~식(12)과 같으며, 이와 같은 연립 미분방정식을 matlab/simulink를 이용하여 계산하였다.

$$\psi_a = \omega_b \int \left[v_a - \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_a + \frac{r_s}{x_{ls}} (\psi_{mq} - \psi_a) \right] dt \quad (4)$$

$$\psi_d = \omega_b \int \left[v_d - \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_d + \frac{r_s}{x_{ls}} (\psi_{md} - \psi_d) \right] dt \quad (5)$$

$$\psi_{qr} = \frac{\omega_b r_{qr}}{x_{lrq}} \int (\psi_{mq} - \psi_{qr}) dt \quad (6)$$

$$\psi_{dr} = \frac{\omega_b r_{dr}}{x_{lrd}} \int (\psi_{md} - \psi_{dr}) dt \quad (7)$$

$$\psi_{mq} = x_{MQ} \left(\frac{\psi_a}{x_{ls}} + \frac{\psi_{qr}}{x_{lqr}} \right) \quad (8)$$

$$\psi_{md} = x_{MD} \left(\frac{\psi_d}{x_{ls}} + \frac{\psi_{dr}}{x_{ldr}} + i_m \right) \quad (9)$$

$$\frac{1}{x_{MQ}} = \frac{1}{x_{mq}} + \frac{1}{x_{lqr}} + \frac{1}{x_{ls}} \quad (10)$$

$$\frac{1}{x_{MD}} = \frac{1}{x_{md}} + \frac{1}{x_{ldr}} + \frac{1}{x_{ls}} \quad (11)$$

$$T_{em} = (\psi_d i_q - \psi_q i_d) p.u \quad (12)$$

- ψ_d, ψ_q : d, q축의 쇄교 자속,
- v_d, v_q : d, q축 전압,
- ψ_{md}, ψ_{mq} : d, q축 차차 쇄교 자속,
- x_{ls} : 고정자 누설 리액턴스,
- ω_r, ω_b : 회전자 각속도, ω_b : 동기속도,

여기서, 나머지 변수들은 [4]를 참조한다.

2.3 자석 두께에 따른 파라미터 계산

식(4)~식(11)의 x_{md}, x_{mq} 와 역기전력 E_0 는 유한 요소 해석으로부터 추출하였다. 그림 2는 x_{md} 와 x_{mq} 추출하기 위해 고정자 권선에 전류를 흘렸을 때의 자속 선도이며 그림 3은 이로부터 계산된 x_{d} 를 자석의 두께(d)에 따라 나타낸 것이다. 그리고, 그림 4는 역기전력을 계산하기 위하여 자석에 의해 발생하는 자속선도를 나타낸 그림이며, 이로부터 계산된 역기전력을 자석의 두께에 따라 그림 5에 제시하였다.

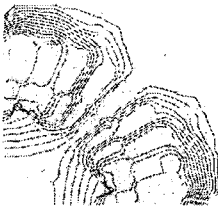


그림 2
고정자 전류에 의한 자속선

Fig 2 Flux line by winding current

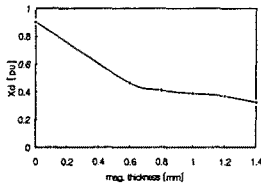


그림 3 d-축 리액턴스
Fig 3 D-axis reactance



그림 4 자석의 자속선
Fig 4 Flux line by magnet

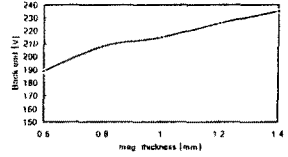


그림 5 역기전력
Fig 5 Back emf

3. 특성 해석 결과

특성해석은 220V의 전압과 정격 부하를 인가하였을 때 단상 유도전동기와 자석의 두께변화에 따른 단상 LSPM의 기동 및 정상상태 특성을 비교하였다.

3.1 토크 특성 비교

그림 6은 단상 유도기와 단상 LSPM(d=1.0mm)의 토크 특성을 나타낸 것으로 단상 LSPM의 경우 기동시에 단상 유도기에 비해 토크 맥동이 매우 큰 것을 알 수 있다. 이는 자석에 의한 비동기 토크 특성이며, 자석의 두께가 클수록 커지고 기동특성을 저하시키게 된다.

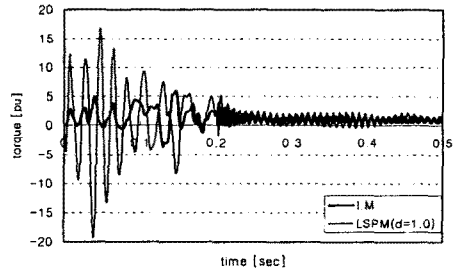


그림 6 유도전동기와 LSPM 전동기토크 특성 비교
Fig 6. A comparison of torque I. M & LSPM

3.2 속도 특성 비교

그림 7은 단상 유도기의 속도특성을 나타내며 정상상태 도달시 속도를 그림 8에 나타내었다. 그림으로부터 약 0.97(pu)의 속도로 회전을 할 수 있다.

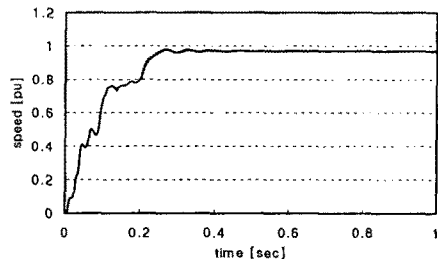


그림 7. 유도 전동기 속도 특성
Fig 7. Speed characteristics of I.M

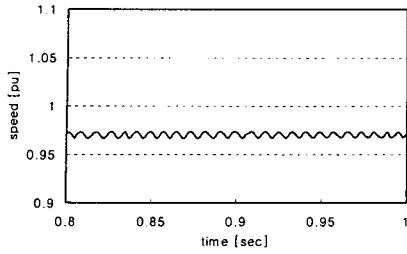


그림 8 유도전동기 정상 상태 특성
Fig 8 Steady state characteristics of I.M

자석의 두께는 0.6mm에서 1.4mm까지 변화시켰을 때의 속도 특성을 계산하였다. 그림 8과 그림 9로부터 자석두께 0.6mm와 0.8mm에서는 동기 속도 근처까지 가속은 되나, 동기화에 도달하지 못하고 불안정한 속도특성을 나타낸다. 따라서 동기화에 영향을 미치는 자석 토크와 릴럭턴스 토크가 충분히 크지 않음을 알 수 있다. 그러나, 그림 10과 그림 11로부터 자석의 두께 1.0mm, 1.2mm, 1.4mm에서는 동기 속도진입이 가능한 것을 알 수 있다. 따라서 정격부하 인가시, 동기화 가능한 자석의 두께는 최소 1mm 이상이라고 할 수 있다. 그리고, 그림의 기동시 속도특성으로부터 자석의 두께가 커질수록 자석의 자속과 회전자계에 의해서 발생하는 맥동 토크는 커져 동기속도까지의 도달 시간이 증가하게 된다. 이는 온도상승에 의한 자석의 성능악화에 영향을 미칠 수 있으므로, 부하조건과 부합하는 자석의 설계가 필요함을 알 수 있다.

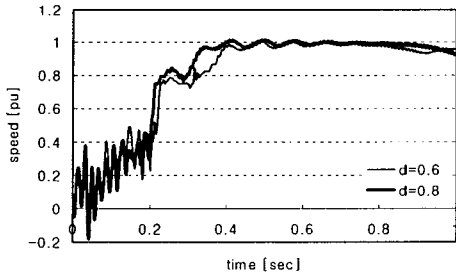


그림 9 단상 LSPM 기동특성
Fig 9 Start up characteristics of LSPM

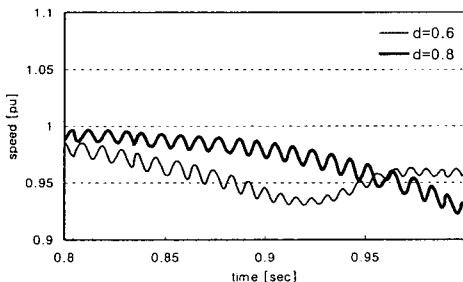


그림 10 정상 상태시 속도
Fig 10. Steady state characteristics of LSPM

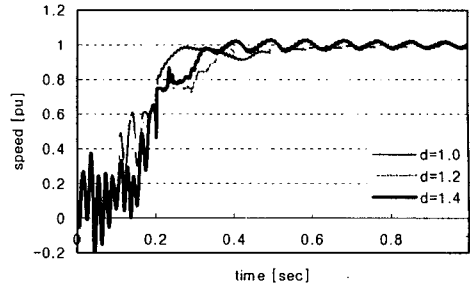


그림 11 단상 LSPM 기동 특성
Fig 11 Start up characteristics of LSPM

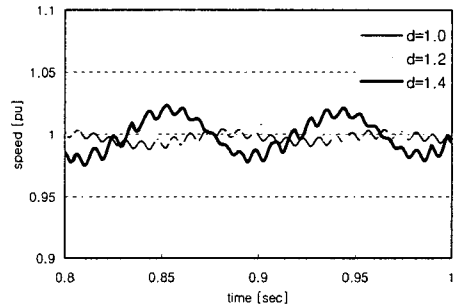


그림 12 단상 LSPM 정상 상태 특성
Fig 12 Steady state characteristics of LSPM

3. 결 론

기존의 단상 유도 전동기에 자석을 삽입하는 형태의 단상 LSPM 전동기에 대하여 자석의 두께를 변수로 기동 및 동기화에 관하여 고찰하였다. 유한요소해석을 이용하여 해석에 요구되는 파라미터를 추출하였으며, d-q변환을 통하여 동특성을 해석하였다. 해석결과로부터 동기화가 가능한 자석의 두께에 따른 동특성을 예측할 수 있었으며, 동기화가 가능한 최소의 자석두께를 결정할 수 있었다. 그러나, 커패시턴스 용량 및 회전자 바 형상 등이 기동 및 동기화에 큰 영향을 미치므로 이에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다

(참 고 문 헌)

- [1] T. J. E Miller, "Synchronization of Line Start Permanent Magnet AC Motors", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, No. 7, July 1984
- [2] 강규홍, 홍정표 "단상 직립기동 영구자석 동기 전동기의 기동특성 해석", 대한전기학회 논문지, vol 50 no 12, pp592-599, 2001
- [3] T. J. E Miller, "single phase permanent magnet Analysis, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, No. 7, July 1984
- [4] Chee-Mun ONG, "Dynamic simulation of Electric Machinery using malta/simulink".