

단상 유도동기 전동기(LSPM)의 과도 특성에 관한 연구

정대성*, 이주*, 이철직**
*한양대학교 전기공학과

A study on the transient characteristics
in Single-phase Line-start Permanent Magnet

*Dae-Sung Jung, *Ju Lee, **Cheol-Jick Ree

*Energy Conversion Lab., Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ., **Dept. of Electrical Engineering, Daelim College.

Abstract - This paper is written by research for the transient characteristics of the Single-phase Line-start permanent Magnet. The Single-phase Line-start permanent Magnet is most likely to substitute for Single-phase Induction Motor which is used about many appliance currently, because that has good points. For example, It has a Line-start of ability and a High-efficiency. And it need not power convergence device. The rotor of The Single-phase Line-start permanent Magnet has cage-bar with permanent magnet. This motor is started by cage-bar. When it entered synchronous condition, the rotor is rotated by the permanent magnet. But the design of the permanent magnet is very important, because the breaking torque of the permanent magnet interrupt to start a rotor. Finally, if Flux Barrier is not concerned, we do not get result of our object. Therefore this thesis is concerned about Flux Barrier.

1. 서 론

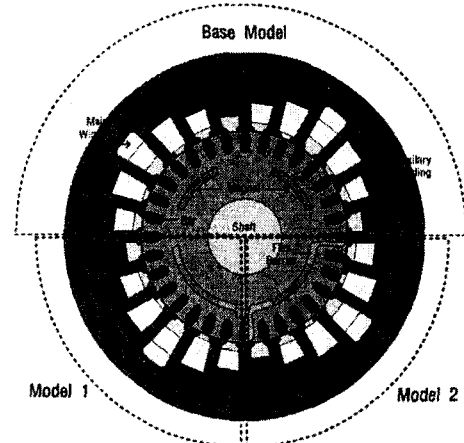
최근 고유가 행진의 지속과 에너지 자원 한계에 대한 위기감이 고조됨으로써 여는 때와는 다르게 에너지 절약에 대한 관심이 지속적으로 증가되고 있다. 또한 산업 및 사회가 고도화 될수록 생활의 편의성과 효율성뿐만 아니라 건강에 대한 관심이 높아지면서 쾌적한 주거환경에 대한 논의가 많아지고 있다. 이러한 경향으로 인해 일반적인 가정생활에서의 주거 환경 개선 제품들의 수요가 급격히 늘어나므로 주동력전달 장치인 전동기에 대한 고효율화가 중요시되고 있다. 특히 가전분야 전동기의 효율이 제품의 선택에 중요한 요소로 작용함에 따라 제품을 생산하는 업체에서는 전동기 효율을 높이기 위해 코어의 적층두께를 줄이거나 철손이 적은 재질을 사용하는 등 많은 노력을 기울이고 있다. 현재 가전 분야에서 구동원으로 대부분 사용되고 있는 단상 유도 전동기는 그 구조가 간단하고 제작이 용이할 뿐만 아니라 저가격들의 장점을 갖고 있어 가전분야의 동력으로 주로 이용되고 있다. 그러나 주권선과 보조권선의 불평형 자계에 의한 진동 현상과 회전자의 동손에 의한 효율 저하 등의 문제점을 안고 있어 새로운 구조의 고효율 전동기가 강력히 요구되고 있다. 이에 고효율 전동기로서 단상 유도형 동기 전동기에 대한 관심이 증대 되고 있다. 단상 유도형 동기 전동기는 직입기동이 가능하다는 점에서 별도의 전원 공급 장치가 필요 없으며, 기존 단상 유도기의 고정자를 그대로 이용할 수 있고, 정상상태에서 영구자석 동기 전동기의 특성을 가지므로 슬립에 의한 유도 현상 없이 손실을 줄여 효율 향상을 도모할 수 있다. [1][2]

단상 유도형 동기 전동기 경우 영구자석을 회전자 내부에 삽입하므로 자기저항 차에 의한 릴럭턴스 토오크가 발생하고 과도 상태시의 인덕턴스의 변화에 의한 릴럭턴스 토오크 변화가 기동특성에 큰 영향을 줌으로 파라미터의 변화를 정량적으로 정밀하게 산정하여 기동 특성을 만족하는 구조를 형성해야 한다. 또한, 기동에서 정상상태 도달 할 때까지 과도상태에서는 유도기의 특성으로 기동특성을 만족해야하나 과도 상태 시 영구자석에 의한 breaking 토오크가 존재하므로 기동 부하가 큰 기동 전동기의 경우 기동이 이루어 지지 않는 경우가 생기므로 영구자석 설계는 매우 중요하다. 또한 영구자석의 설계와 함께 영구자석에 의해 발생하는 자속의 경로를 설정하기 위한 Flux Barrier를 고려하지 않는다면 누설자속의 영향으로 목적했던 결과를 얻을 수 없게 된다.

본 논문에서는 단상 유도 동기 전동기의 Flux Barrier를 고려하지 않은 Base Model과 Flux Barrier를 고려한 Model 1, Model 2를 선정하여 Flux Barrier가 과도상태와 출력에 어떠한 영향을 미치는지를 유한요소 해석법을 이용하여 비교, 분석하였다.

〈표 1〉 해석 모델의 기본 사양

구분	크기	구분	크기
고정자 외경[mm]	82.95	정격 속도[rpm]	1800
회전자 외경[mm]	47.5	극수[P]	4
주권선[T]	340	입력 전압[V]	220
보조권선[T]	381	주파수[Hz]	60
영구자석 크기[mm ²]	74.4	적층길이[mm]	45

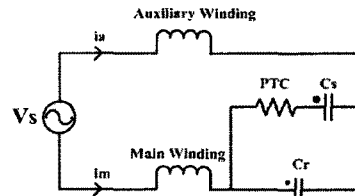


〈그림 2〉 단상 유도형 동기 해석 모델

2. 본 론

2.1 해석 모델

그림 1은 본 논문에서 특성해석을 하고자 하는 단상 유도형 동기 전동기의 세가지 모델이며, 24개의 슬롯을 갖는 단상유도기의 고정자를 그대로 사용하였다. 회전자에는 32개의 농형바와 영구자석을 동시에 가진 구조이며 4극 전동기이므로 4개의 자석을 배열하였다. 회전자에 삽입되는 영구 자석은 기동과 동기화 진입을 결정하는 중요한 설계 변수이며 전동기 특성 및 효율에도 영향을 주기 때문에 영구자석의 형태와 배치는 전동기의 기동 토크와 기동 시 속도 특성에 크게 영향을 미친다. 단상 유도 동기 전동기에 사용되는 영구자석은 기동 시 고정자 전류에 의해 감자의 우려가 있으므로 선형적인 감자 특성을 가지며, 높은 보자력과 잔류 자속 밀도를 갖는 NdFeB를 사용하였다.



〈그림 2〉 권선도

그림 2는 단상 유도형 동기 전동기의 전기자 권선도를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 권선은 주권선과 보조권선으로 나뉘어 있으며 서로 다른 저항의 권선을 사용한다. 보통 보조권선은 주권선보다 가는 권선을 사용하여 저항을 크게 해주며, 커패시터와 직렬로 연결한다. Cs는 기동 커패시터이며 Cr은 구동 커패시터 이다. 원활한 기동과 구동특성을 위해서는 가능한 큰 용량의 콘덴서가 필요하다. 반면, 작은 용량의 콘덴서는 기동토크도 작지만, 동기속도에서 상대적으로 작은 역토크를 발생시킨다. 따라서 기동특성 향상을 위하여 큰 용량의 콘덴서와 정상상태 성능개선을 위하여 작은 용량의 콘덴서가 필요하다.[3] 여기서 구동커패시터 4[μF]와 기동커패시터 100[μF]를 이용하였다. 특성 해석에 이용된 모델의 사양은 표 1에 나타나 있다.

단상 유도형 동기 전동기의 등가회로 해석 특성식은 고정자 축의 d-q축의 전압 방정식과 d축과 q축의 쇄교자속, 회전자 축의 전압 방정식과 d축과 q축의 쇄교자속에 대한 d-q축의 등가 회로를 구성하고 이를 전동기의 운전방정식과 결합함으로써 유도 할 수 있다.[4] 등가 회로 해석 특성 식에서 과도 상태의 각각의 토오크 식은 식 1과 같이 나타난다.

$$T_e = T_i + T_r + T_m \quad (1)$$

여기서 T_i 는 농형바에 의한 유도 토크를 나타내는 식(2)과 같고, T_r 는 d축과 q축의 인덕턴스 차에 의한 릴럭턴스 토크로 식(3)과 같다. 또한 T_m 은 영구자석에 의한 토크로 식(4)과 같이 표현된다.

$$T_i = P(L_{md}I_qI_{2d} - L_{mq}I_dI_{2q}) \quad (2)$$

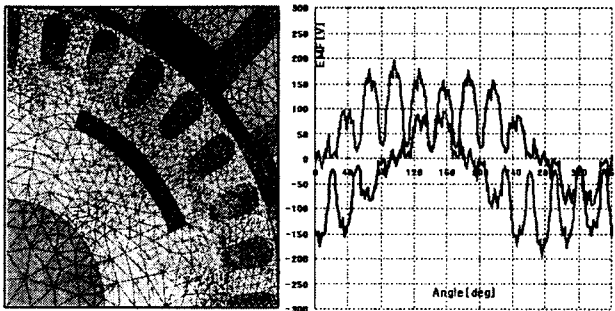
$$T_r = P(L_d - L_q)I_dI_q \quad (3)$$

$$T_m = PL_{md}I_{pm}I_q \quad (4)$$

2.2 모델에 따른 해석결과

2.2.1 Base Model의 특성 해석

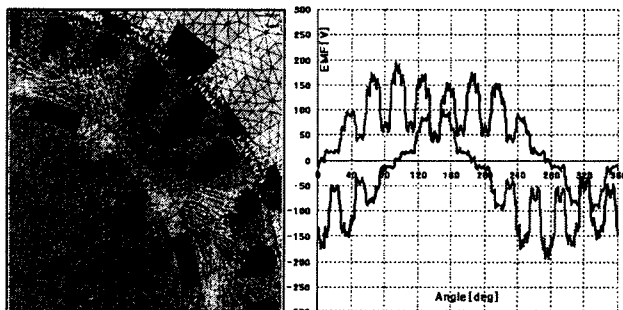
그림 3(a)은 자석을 호형으로 삽입한 Base Model에서 영구자석의 자속분포도이다. 영구자석 설계는 단상 유도형 동기 전동기의 효율과 동기화 진입에 중요한 설계 변수이다. 영구자석의 자속 값을 크게 하면 효율은 높아질 수 있으나 동기화되지 못 할 수도 있고, 반대로 영구자석의 자속 값을 낮추게 되면 동기화될 수 있으나 효율이 떨어 질수도 있다. 그러므로 최적의 영구자석 설계는 반드시 필요하다. 하지만 최적의 영구자석을 설계했다라도 그림에서 보는 것과 같이 Flux Barrier없이 영구자석을 삽입하게 되면 많은 양의 자속이 공극을 통하여 흐르지 않고 영구자석의 양 끝단에서 많은 양이 누설되어 특성이 나빠 질 수 있다. 그림 3(b)은 역기전력 파형이며 최대 값은 194[V]이다.



(a) 자속분포도 (b) 역기전력파형
 <그림 3> Base Model의 자속 분포도와 역기전력

2.2.1 Model 1의 특성 해석

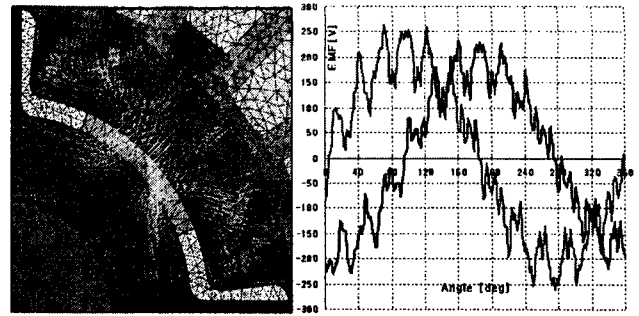
그림 4(a)의 Model 1은 영구자석의 양 끝단에서 발생하는 누설자속을 방지하기 위해 호 모양의 Flux Barrier를 영구자석에 옆에 배치한 모델이다. 그림에서 보는 것과 같이 영구자석의 끝단 누설은 방지 하였으나, 여전히 자속이 공극을 통해 빠져 나가지 못하고 이웃한 극으로 누설 되는 것을 볼 수 있다. 그림 4(b)에서 역기전력의 최대값은 195[V]이다.



(a) 자속분포도 (b) 역기전력파형
 <그림 4> Model 1의 자속 분포도와 역기전력

2.2.1 Model 2의 특성 해석

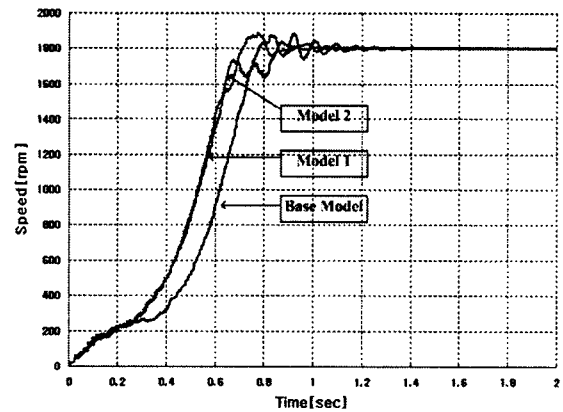
그림 5(a)의 Model 2는 다른 극으로 누설되는 것을 방지하기 위해 농형바 4개를 제거 하고 농형바가 위치한 부분까지 Flux Barrier를 만들어 준 경우이다. 이 경우, Base Model과 Model 1에 비해 누설자속을 많이 줄였고 자속이 공극을 지나 전기자 권선과 쇠교 함으로써 목적했던 자속경로를 만들 수 있었다. 이는 최적의 영구자석 설계와 더불어 Flux Barrier를 고려한 설계가 반드시 필요하다는 것을 말해 준다. 그림 5(b)에서 역기전력의 최대 값은 263[V]로 Base Model과 Model 1에 비해 큼을 알 수 있다.



(a) 자속분포도 (b) 역기전력파형
 <그림 5> Model 2의 자속 분포도와 역기전력

2.2.3 과도 특성 해석

그림 6은 단상 유도형 동기 전동기의 Flux Barrier에 따른 각 모델의 속도 특성을 나타내고 있다. 기동 시 0.1[Nm]의 부하 토크를 인가하여 기동하였고, Base Model은 1.2초, Model 1은 1초, Model 2 또한 1초에서 정상 상태에 도달하였다. 또한 그림 6에서 보는 것과 같이 Flux Barrier를 만들어 줌으로써 그렇지 않았을 때보다 기동특성이 우수함을 확인하였다.



<그림 6> 각 모델의 속도 특성

3. 결 론

영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기는 농형바에 의해 기동이 이루어지며, 회전자에 삽입되는 영구자석은 기동과 동기속도 진입을 결정하는 중요한 설계 변수이다. 또한 영구자석은 단상 유도 동기 전동의 특성 및 효율에도 영향을 주기 때문에 영구자석 설계는 매우 중요하므로 최적의 영구자석 설계가 필요하다. 하지만 최적의 영구자석을 설계했다라도 Flux Barrier를 고려하지 않으면 목적했던 결과를 얻을 수 없다. 이에 본 논문에서는 Flux Barrier에 따른 Base Model과 Model 1, Model 2를 비교, 검토함으로써 영구자석 최적 설계와 함께 Flux Barrier를 고려한 설계가 중요하다는 것을 보여주었고 각각의 모델에 대한 속도 특성을 비교하였다.

본 연구는 에너지 관리공단(Korea Energy Management Corporation)의 에너지 자원이용개발사업(The Energy Technology R&D)의 지원에 의해 수행 되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Kazumi Kurihara and Rahman, "High-Efficiency Line-Start Interior Permanent-Magnet Synchronous Motors.", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 40, NO. 3, MAY/JUNE 2004.
- [2] T.J.E Miller, "Single-phase permanent-magnet motor analysis.", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. IA-21, NO.4, pp.651-658, May 1985.
- [3] T.J.E Miller, "Synchronization of Line Start Permanent Magnet AC Motors", IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, VOL. PAS-103, NO. 7, JULY 1984
- [4] 권순효, "영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기의 기동 특성 개선을 위한 회전자 바 형상 설계", 한양대학교, 2004. 02.