

영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기의 회전자 바의 크기와 위치에 따른 기동 특성 비교

*권순호 **양병렬 *권병일 *이철규
*한양대학교 **삼성전자

Comparison of the Single-phase Line-start Permament Magnet Motor's Transient Characteristics by Size and Position of Rotor Bar

*S. H. Kwon **B. Y. Yang *B. I. Kwon *C. G. Lee
*Hanyang University **Samsung Electronics

Abstract - The single-phase line start permanent magnet motor(LSPM) have a rotor cage bar for induction starting and permanent magnets, providing synchronous torque. So, LSPM is vary complex and difficult to analysis transient characteristics and rotor design.

In this paper, F.E.M analysis about single-phase line start permanent magnet motor and compare of the single-phase line start permanent magnet synchronous motor's transient characteristics by size and position of rotor bar.

구자석은 공극 자속 밀도가 0.5Tesla가 되고 전동기의 온도 상승에 의한 감자특성을 고려해 감자특성이 우수한 NdFeB를 사용하였다.

1. 서 론

영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기는 단상 유도 전동기에 비하여 고효율, 고역율의 특성을 갖는다. 하지만 영구자석 매입형 단상 유도 전동기는 기동 커패시터, 운전 커패시터 그리고 영구자석이 필요하므로 그 설계와 해석의 어려움으로 인해 다른 전동기에 비해 주목받지 못했다.[1]

최근 높은 에너지밀도를 갖는 영구자석 재료의 개발로 영구자석 동기 전동기에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 현재 에너지 절약 차원에서 전동기의 고효율화가 요구되고 있기 때문에 이를 만족할 수 있는 영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기의 설계 및 해석 기술의 확보가 요구되어지고 있다.[2]

영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기는 회전자에 영구자석과 회전자 바를 포함하므로 과도 상태에서 전자기 유도 현상에 의한 유도전동기의 특성과 영구자석에 의한 브레이킹 토크 특성이 중첩되므로 과도상태에서 기동 특성 해석이 매우 중요하다.[3] 또한 영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기는 기동시 영구자석에 의한 브레이킹 토크가 발생되므로 단상 유도 전동기에 비해 기동 특성이 나쁘다.[4] 기동시 회전자 바는 유도 기전력에 의하여 기동 토크가 발생하는 부분이고 영구자석의 자속에 영향을 미치는 부분도 회전자 바이다. 그러므로 회전자 바의 크기와 위치를 고려한 회전자의 설계는 영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기의 기동 특성을 개선 할 수 있는 한 방법이다.

본 논문에서는 영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기의 기동 토크와 기동시 속도 특성 향상을 위해 회전자 바의 크기와 배치에 따른 기동 특성을 유한요소 해석법을 이용하여 비교, 분석한다.

2. 해석 모델

2.1 기본 모델 및 제안 모델

그림 1은 특성해석에 쓰인 영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기의 기본 모델이다.

특성해석에 쓰인 전동기의 고정자 슬롯 개수는 24개이고 회전자 바의 개수는 32개이며 크기가 모두 같다. 영

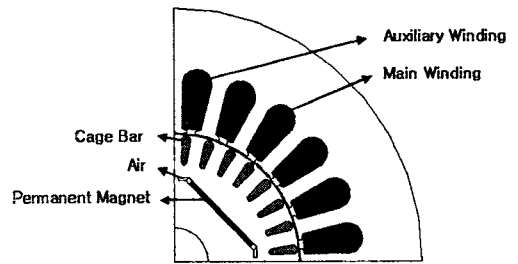
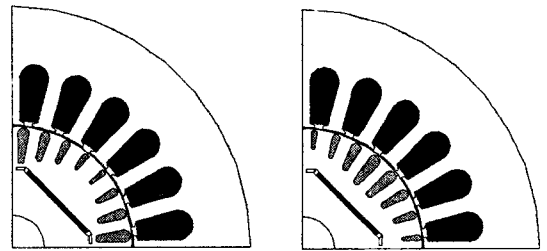


그림 1 기본 모델
Fig. 1 Prototype model



(a) 제안 모델 1 (b) 제안 모델 2
(a) Proposed model 1 (b) Proposed model 2

그림 2 제안 모델
Fig. 2 Proposed model

그림 2의 제안 모델 1은 영구 자석의 효율적인 사용을 위해 회전자 바의 크기와 위치를 조정한 것이다. 영구자석에 의한 공극의 자속밀도가 정형적 분포를 갖도록 회전자 바의 크기를 정형적으로 조정하였다. 회전자 바의 전체 면적은 기본 모델과 같으며, 면적이 작은 회전자 바는 기본 모델의 회전자 바의 0.8배이고 면적이 큰 바는 1.2배이다. 회전자 바의 형태는 같고 면적이 변함에 따라 회전자 바 사이의 간격이 바뀌게 된다. 영구자석의 중심 부분에 면적이 작은 회전자 바를 위치시킨 것은 영구자석의 자로를 확보하기 위함이다. 면적이 큰 회전자 바는 영구자석의 측면에 배치하여 자속의 누설을 막는 역할을 한다.

그림 2의 제안 모델 2는 영구자석의 브레이킹 토크를 억제하도록 회전자 바의 크기와 위치를 조정한 것이다. 제안 모델 1과 같이 면적이 작은 회전자 바는 기본 모델의 0.8배이고 면적이 큰 회전자 바는 기본 모델의 1.2배이다. 영구자석의 중심 부분에 브레이킹 토크를 억제하도록 면적이 큰 바를 배치하였고 기동 토크를 위한 면적

이 작은 바를 영구자석의 양단에 배치하였다.

그림 3은 영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기의 고정자측 결선을 나타낸 것이다. 고정자 권선이 주권선과 보조권선으로 이루어져 있고 기동 커패시터(Cs)로 기동하게 된다. 일정 속도에 이르면 PTC에 의해 기동 커패시터는 단락되고 운전 커패시터(Cr)로 운전하게 된다.

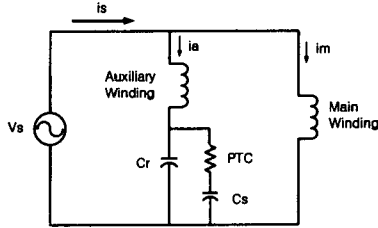


그림 3 권선 연결도
Fig.3 Winding Connection

해석에 사용된 영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기의 사양은 표 1에 나타내었다.

표 1 해석 모델 사양
Table 1 Specifications of analysis model

정격 출력	100 [W]
정격 속도	1500 [rpm]
극 수	4 극
입력 전압	220 [V]
주파수	50 [Hz]
회전자 외경	43.8 [mm]
적층 길이	45 [mm]

3. 특성 해석

3.1 기본 모델의 특성 해석

그림 4는 기본 모델의 자속 분포이며 영구자석 매입형 단상 유도동기전동기의 한 극의 전체 자속분포를 나타내기 위해 1/2모델로 나타내었다. 시간이 0.4초인 순간의 자속 분포이며 회전자의 영구자석이 고정자의 회전 자계를 따라 회전하는 형태이므로 그림 4의 영역 A부분에 자속선이 밀집된다.

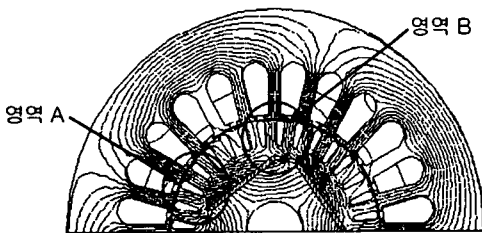


그림 4 기본 모델의 자속 분포
Fig. 4 Flux line of prototype

그림 5는 초기 모델의 토크 특성이다. 기동 토크는 회전자 바의 전자기 유도에 의한 유도 토크와 영구자석에 의한 브레이킹 토크 그리고 릴럭턴스 토크가 중첩되어 나타나게 된다. 기동시 0.3초 동안의 평균 토크는 0.31Nm이다.

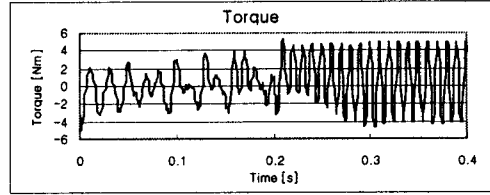


그림 5 기본 모델의 토크 특성
Fig. 5 Torque characteristics of prototype

그림 6은 기본 모델의 속도 특성이다. 정격 속도로 증가하는 동안 영구자석의 브레이킹 토크의 영향으로 토크의 리플이 크기때문에 속도의 맥동이 크다.

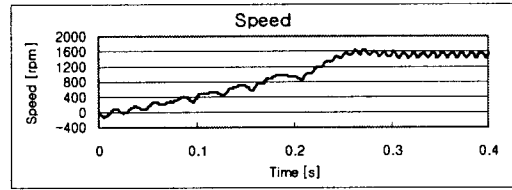


그림 6 기본 모델의 속도 특성
Fig. 6 Speed characteristics of prototype

3.2. 제안 모델 1의 특성 해석

그림 7은 제안 모델 1의 자속 분포를 나타낸 것이다. 영역 C 부분에 위치한 면적이 큰 회전자 바에 의하여 그림 4의 영역 B에 비해 누설 자속이 감소하였다.

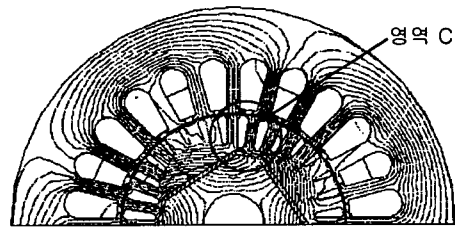


그림 7 제안 모델 1의 자속분포
Fig. 7 Flux line of proposed model 1

그림 8은 제안 모델 1의 토크 특성이다. 기동시 0.3초 동안의 평균 토크는 0.20Nm로 기본 모델 보다 감소하였다. 제안 모델 1의 릴럭턴스 토크가 작아 기동시 토크의 피크치가 크다.

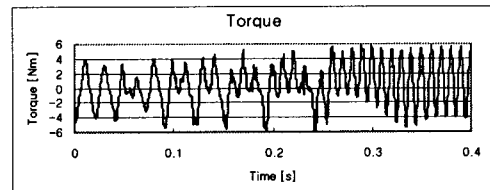


그림 8 제안 모델 1의 토크 특성
Fig. 8 Torque characteristics of proposed model 1

그림 9는 제안 모델 1의 속도 특성이다. 영구자석의 브레이킹 토크의 증가로 기동시 속도의 리플이 기본 모델에 비해 크고 기동 시간이 길어졌다.

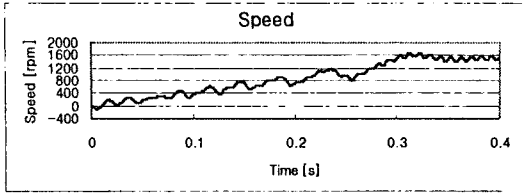


그림 9 제안 모델 1의 속도 특성
Fig 9 Speed characteristics of proposed model 1

제안 모델 1의 경우 기동시 토크의 리플이 크고 속도 특성 역시 맥동이 크다. 이것은 영구자석의 영향이 미치는 중심부분의 회전자 바를 작게 한 결과로, 기동시 영구자석의 브레이킹 토크의 증가로 인한 것이다.

3.3 제안 모델 2의 특성 해석

그림 10은 제안 모델 2의 자속분포를 나타낸 것이다. 영역E 부분에서 기본 모델의 영역 B에 비해 누설이 증했음을 알 수 있다.

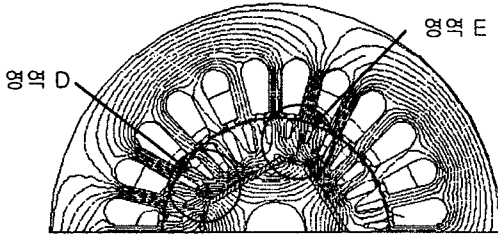


그림 10 제안 모델 2의 자속분포
Fig. 10 Flux line of proposed model 2

그림 11은 제안 모델 2의 토크 특성이다. 기동시 0.3초 동안의 평균 토크는 0.41Nm로 기본 모델 보다 크다. 제안 모델 2는 제안 모델 1에 비해 릴럭턴스 토크가 커지고 기동 토크의 피크치가 작게 나타난다.

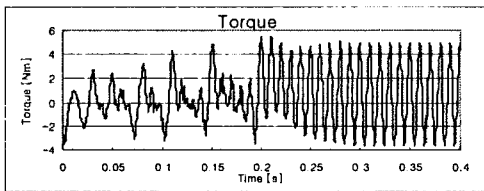


그림 11 제안 모델 2의 토크 특성
Fig. 11 Torque characteristics of proposed model 2

그림 12는 제안 모델 2의 속도 특성이다. 제안모델 2의 경우 영구자석의 브레이킹 토크가 작아 기본모델 보다 기동 시간이 단축되고 기동시 속도의 맥동도 기본 모델에 비해 작다. 그림 10의 영역 D부분에 위치한 회전자 바가 작기 때문에 집중된 자속이 흐를 수 있는 자로가 확보되고 영구자석의 중심에 위치한 면적이 큰 바에 의해 브레이킹 토크가 제한된다. 반면 그림 10의 영역 E부분에서 누설이 커진다.

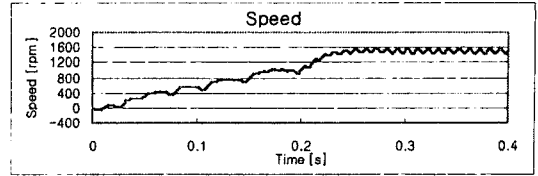


그림 12 제안 모델 2의 속도 특성
Fig. 12 Speed characteristics of proposed model 2

3.4 해석 모델의 비교

회전자 바의 크기와 배치에 따라 제안 모델 1과 제안 모델 2로 나누어 유한요소해석을 수행하여 기동 특성 해석을 수행하였다.

제안 모델 1은 기동시 브레이킹 토크의 증가로 기동시 기동 토크의 평균값이 기본 모델 보다 작았으며 기동하는 동안 속도의 맥동이 커 진동이 큰 것으로 나타났다. 반면, 제안 모델 2는 브레이킹 토크가 억제되어 기동시 평균 토크가 기본 모델 보다 크고 동기 속도에 이르는 시간이 짧아 졌으며 기동하는 동안 속도의 맥동이 기본 모델 보다 작은 특성을 나타내었다.

4. 결 론

영구자석 매입형 단상 유도 동기 전동기는 회전자 바의 크기와 배치에 따라 기동 특성이 달라지므로 기동 토크와 브레이킹 토크를 고려한 회전자 바의 설계가 필요하다.

기동 특성을 기동시 영구자석에 의한 브레이킹 토크와 기동시 속도의 관점에서 분석하고 그에 따른 회전자 바의 크기와 배치를 고려해 제안 모델 1과 제안 모델 2의 기동 특성을 기본 모델과 비교하였다. 해석 결과 제안 모델 2가 제안 모델 1보다 영구자석에 의한 브레이킹 토크가 작기 때문에 기동시 평균 토크가 크고 토크와 속도의 맥동이 작아 좋은 기동 특성을 나타내었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Timothy J. E. Miller "Single-phase Permanent Magnet Motor Analysis" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS. VOL. IA-21. NO. 4, 1985
- [2] 이선권, 강규홍, 홍정표, 김규탁, "단상 영구자석형 유도동기기의 과도상태해석", 2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문의 춘계학술대회 논문집, 2001
- [3] Byoung Yull Yang, Byung Il Kwon, Chul Kyu Lee, Kyung Il Woo and Byung Taek Kim, "Comparison of Dynamic Characteristics of the Line Start Permanent Magnet Motor and the Induction Motor", KIEE International Transactions on EMECS, Vol. 2-B. No. 3, 90-94, 2002
- [4] 홍숙현, 권병일, 김병택 "단상 LSPM의 기동 및 동기화 능력 향상을 위한 영구자석 설계" 2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2002