

영구자석의 착자를 고려한 WPM(Written-Pole Motor)의 정특성 해석

임승빈, 류세현, 정인성, 김대경
전자부품연구원

Static Characteristic Analysis of Written-Pole Motor
considering Magnetization of Permanent Magnet

Seung-Bin Lim, Se Hyun Rhy, In-Soung Jung, Dae-Kyong Kim
Korea Electronics Technology Institute

Abstract - 단상 유도형 동기전동기(Line-Start Permanent Magnet Motor: LSPM)는 기존의 단상유도기에 비해 높은 효율을 갖고 있어 가정에서의 주요 동력원으로 사용되고 있다. 그러나 기동 시 영구자석에 의한 Braking torque의 발생으로 인해 높은 기동토크를 필요로 하는 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 이러한 LSPM의 장점과 기동 시의 문제점 극복에 유리한 Written-Pole Motor (WPM)에 대해 소개하였다. 또한 WPM의 보다 정확한 해석을 위해 WPM의 특징인 운전 시 진행되는 영구자석 착자의 유한요소해석을 통해 영구자석의 잔류자속밀도를 계산하였으며 이를 바탕으로 WPM의 동기속도에서의 정특성 해석을 수행하였다.

생시켜 오히려 기동특성을 크게 악화시키며 높은 기동전류에 의해 LSPM의 실제 적용을 어렵게 하는 원인이 되고 있다 [1].

따라서 본 논문에서는 LSPM의 장점에 기동 시 영구자석에 의한 braking torque를 갖지 않는 Written-Pole Motor(WPM)에 대해 설명을 하였으며 유한요소법(Finite Element Method : FEM)을 이용하여 WPM의 가장 큰 특징인 운전 시 착자(Magnetization) 즉 임의의 속도에서 고정자에 위치한 착자 폴(Exciter Pole)에 의해 회전자 외측에 위치한 링 형(ring type) 자성체가 착자 현상을 해석하였다. 착자 해석을 통해 얻어진 링 형 자성체의 착자 후 WPM의 정특성 해석을 수행하였으며 실험결과와 비교 하였다.

1. 서 론

최근 고유가 행진의 지속과 에너지 자원 한계에 대한 위기감이 고조됨으로써 어느 때와는 다르게 에너지 절약에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 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 주거환경 개선 제품들의 수요가 급격히 늘어나므로 주동력전달 장치인 전동기에 대한 고효율화가 중요하다 볼 수 있다.

일반가정에서 사용되는 제품들은 단상전원의 이용과 대부분이 팬 부하라는 공통적인 특징을 갖고 있다. 이러한 가전분야의 동력원으로 유니버설 모터를 대부분 사용하였으나 브러쉬 구조로 인해 사용수명의 한계와 제품 사용 시 접촉저항의 증가로 인한 많은 에너지 손실이 발생하는 단점을 갖고 있다. 이로 인해 현재에는 구조가 간단하여 신뢰성이 높고 제작이 용이할 뿐만 아니라 저가격등의 장점을 갖고 있으며 브러쉬 구조가 없어 내환경성에서 우수한 특성을 갖는 단상유도전동기가 가전분야 외에 공작기계를 포함한 산업용기기분야의 폭넓은 시장을 가지고 있다. 그러나 단상유도전동기 또한 기존의 브러쉬형 전동기에 비해 에너지 손실이 적지만 주권선과 보조권선의 불평형 자계에 의한 진동 현상과 회전자 동손에 의한 효율 저하 등이 존재하므로 선진국 중심으로 진행되고 있는 에너지 절약에 대한 각종 규제 등에 대해서는 문제점을 안고 있다.

따라서 단상유도전동기의 단점을 보완한 새로운 구조의 고효율 전동기로서 단상 유도형 동기에 대한 관심이 증대되어 왔다. 단상 유도형 동기모터(Line-Start Permanent Magnet Motor: LSPM)는 직입기동이 가능하다는 점에서 별도의 전원공급장치가 필요 없으며, 기존 단상유도기의 고정자를 그대로 이용할 수 있으며, 단상유도기보다 정상상태에서 영구자석 동기전동기의 특성을 가지므로 슬립에 의한 유도현상이 없이 손실을 줄여 효율을 올릴 수 있다는 점에서 장점을 가지고 있지만, 기동 시 회전자의 영구자석에 의한 braking torque를 받

2. 본 론

2.1 Written-Pole Motor (WPM)

WPM은 기존 유도전동기의 자기동 특성과 영구자석 전동기의 높은 효율을 갖는 LSPM의 단점인 기동 시 요구되는 높은 기동 토크와 그로 인한 높은 기동 전류에 의한 권선의 절연 문제와 전기자 반작용에 의한 영구자석의 감자영향을 해결하기 위해 개발되었다.

그림 1은 WPM의 일반적인 구조를 나타내고 있다. 그림 1에서와 같이 고정자는 일반적인 단상유도동기와 같이 주권선과 보조권선이 구조적으로 90도의 위상차를 갖도록 구성되어 있으며 단상전원과 연결되어 있다. 그러나 일반적인 단상 유도전동기와는 달리 고정자 측에 착자를 할 수 있는 착자 폴 (Exciter Pole)을 갖고 있으며 착자 폴의 전원은 입력전원과 병렬로 연결되어 있다. 회전자의 경우 단상 유도전동기와 같이 농형바가 있으며 회전자 표면에 링형 타입의 영구자석이 부착되어 있으며 일반 영구자석과 달리 일정 기자력 이상에서 착, 탈자가 용의한 특성의 영구자석 재질로 되어 있다.

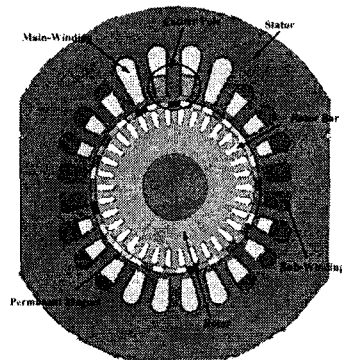


그림 1. WPM의 구조

2.2 운전 시 WPM의 착자

WPM은 기동 시 단상유도전동기와 같은 유도토크에 의해 자기동운전이 가능하며 기동 후 가속구간을 지나 동기 속도 근처에서 착자 풀에 전원을 인가하면 고정자 권선과 동일한 주파수의 교류 전류가 흐리게 되고 이로 인해 영구자석에 교변자계가 인가되므로써 영구자석이 완전 착자가 되어 동기 토크를 발생시키고 동기속도로 회전을 하게 된다. 이와 같이 WPM은 링형 영구자석의 착자 정도에 따라 전동기의 특성이 결정되므로 WPM의 정확한 특성해석을 위해서는 영구자석의 착자패턴 및 착자정도를 고려한 해석을 수행하여야 한다.

착자 풀에서 발생하는 기자력의 크기는 교변자계 이므로 시간에 따라 크기와 극성이 변화하고 회전자 또한 회전을 하고 있기 때문에 각 위치에서의 착자 정도 및 패턴이 다르다. 위치에 따라 정도가 다른 착자 해석을 하기위해 그림 2와 같이 영구자석을 일정간격으로 분할 하였으며 그림 3은 착자 개시 후 회전자 위치에 따른 자계의 변화를 보여주고 있다.

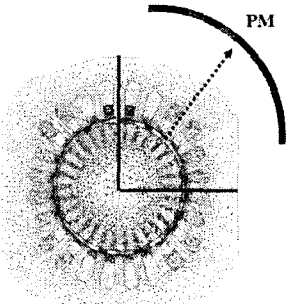
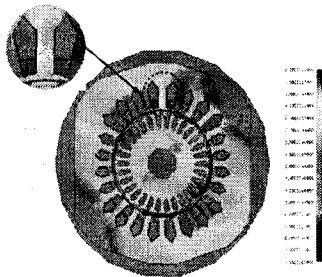
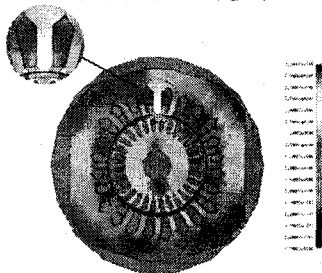


그림 2. 착자해석을 위한 영구자석 분할



(a) 착자 시 20° 회전 시



(b) 착자 시 80° 회전 시

그림 3. 착자 시 회전자 위치 변화에 따른 자계 변화

운전하고 있는 WPM의 영구자석의 착자해석 시 착자에 영향을 미치는 자계는 대부분이 착자 풀에서 발생하는 자계이지만 그 이외에도 식 1에서와 같이 고정자 권선과 회전자 농형비에 흐르는 와전류에 의해 발생하는

자계들의 상호 작용에 의해서 결정된다.

$$B = \mu H_{total} \quad (1)$$

$$H_{total} = H_{exciter} + H_{stator} + H_{eddy}$$

여기서 H_{total} 은 합성 착자 자계, $H_{exciter}$ 은 착자 풀 발생 자계, H_{stator} , H_{eddy} 은 고정자 권선 즉 주권선과 보조 권선에 의한 발생 자계와 와전류에 의해 발생하는 자계이다.

그림 4는 유한요소법을 이용하여 영구자석 착자를 고려한 WPM의 특성 해석을 위한 해석 순서도를 보여주고 있다. 우선 앞서 설명한 바와 같이 자계들의 상호작용을 고려한 WPM의 착자 해석을 위해 영구자석 영역을 45 등분으로 분할한다. 영구자석의 비투자율은 공기의 비투자율과 거의 비슷하기 때문에 유한요소해석 시 영구자석 영역을 공기영역 대체하여 유한요소해석을 시행하였다. 유한요소해석을 통해 착자 시 각 영구자석 분할 영역에서의 평균 자계를 계산하였고 계산된 평균자계와 영구자석 재질의 자성재료 곡선과의 관계를 따져 각 분할 영역에서 영구자석의 잔류자속밀도를 계산하였으며 얻어진 잔류자속밀도를 분할 영역에 재입력하여 WPM의 동기 기 영역에서의 특성 해석을 수행하였다.

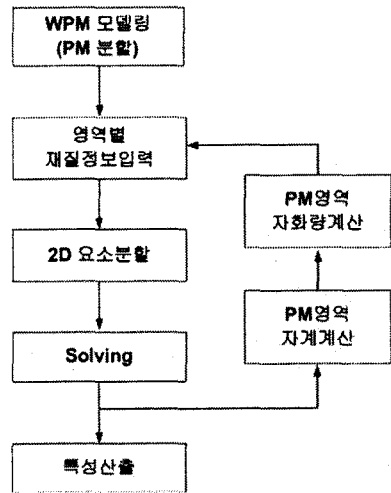


그림 4. 영구자석의 착자를 고려한 WPM 특성해석 흐름도

각 분할영역에서 계산된 평균자계를 통한 착자량의 계산 과정은 다음과 같다. 영구자석 재질의 초기 자기이력 곡선과 비투자율을 이용하여 각 영구자석 영역에서의 잔류자속밀도를 구하였으며 그때의 비율은 완전 착자 시의 보자력 대 불완전 착자 시의 보자력의 비율이며 식 (2)은 착자 비율을 구하는 식을 나타내고 있다. 그림 5는 착자 시 인가된 자계와 영구자석의 잔류자속밀도의 관계를 나타내고 있다.

$$k_n = \frac{H_n}{H_{max}} \quad (1)$$

여기서 k_n 은 착자 비율이고 H_n 은 불완전 착자일 때의 보자력이며 H_{max} 는 완전 착자일 때의 보자력을 나타낸다.

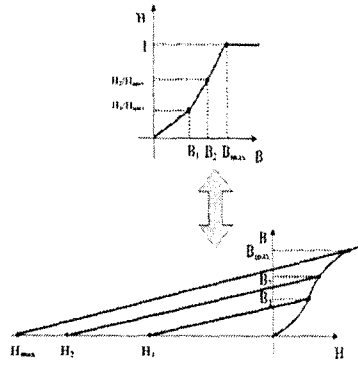
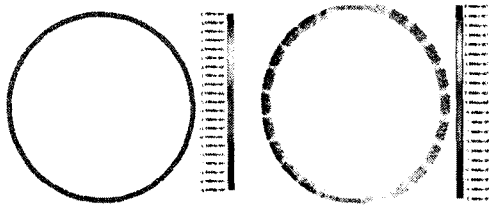


그림 5. 착자 시 자계와 잔류자속밀도의 관계

2.3 WPM의 정특성 해석 및 실험 결과

그림 6은 착자 전후의 영구자석에서의 자속밀도 분포를 나타내고 있다. 또한 그림 7은 착자 후 영구자석 표면에서 측정된 영구자석의 자속밀도 분포로 2극 착자 형태를 띠고 있으며 최대 자속밀도 값이 약 0.4(T)인 것을 확인할 수 있다.



(a) 착자 전 자속밀도분포 (b) 착자 후 자속밀도분포
그림 6. 착자 전후 시 영구자석의 자속밀도분포

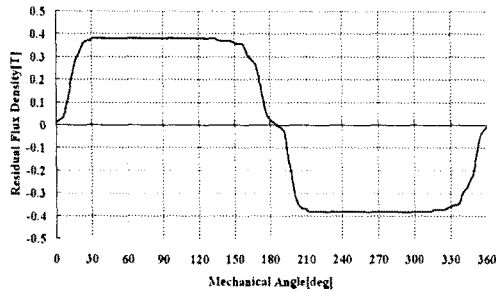


그림 7 착자 후 영구자석의 잔류자속밀도 분포

착자 해석을 통해 얻어진 영구자석의 잔류자속밀도 입력 후 WPM의 동기 회전 속도인 3600[rpm] 회전 시 주 권선과 보조권에 유기되는 역기전력을 그림 8에서 나타내고 있으며 주권선은 최대값 기준으로 209[V], 보조권선은 196[V]의 기전력이 발생하였으며 그림 9의 실험결과와 비교를 통해 해석의 타당성을 확인할 수 있다.

그림 10은 WPM의 착자 후 동기 속도 회전 시 발생하는 토크 파형을 나타내고 있으며 발생 토크의 평균값은 0.4[Nm]이며 단상전동기의 특성상 토크 맥동이 큰 것을 확인할 수 있다.

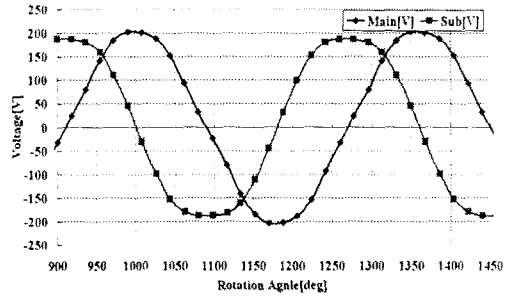


그림 8 동기속도(3600rpm)시 역기전력의 해석파형

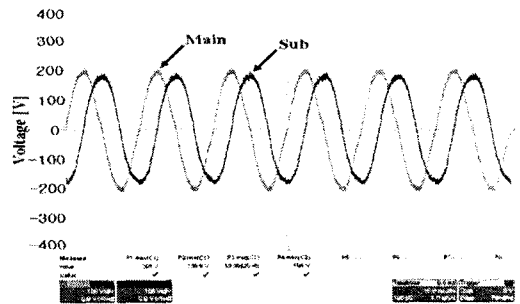


그림 9 동기속도(3600rpm)시 역기전력의 실험파형

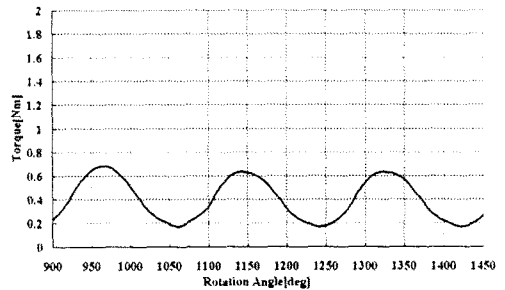


그림 10 동기속도(3600rpm)시 발생 토크

3. 결 론

본 논문에서는 가정에서 주로 사용되고 있는 동력원인 LSPM의 장점을 갖고 있으며 기동 시 braking torque 발생이 없는 WPM의 기본 특징 및 구조에 대해 설명하였다. 또한 WPM의 보다 정확한 특성해석을 위해 WPM의 가장 큰 특징인 운전 시 진행되는 착자에 대한 유한 요소해석을 통해 영구자석의 잔류자속밀도를 구하였으며 이를 바탕으로 WPM의 정상 상태에서 특성인 역기전력과 발생토크를 확인하였으며 실험결과와 비교하여 해석의 정확성을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Byung-Taek Kim, Dae-Kyong Kim, Se-Hyun Rhu and Byung Ti Kwon, 'A Study on the Ferromagnetic Layer of a Sing-phase Written-Pole Motor in Consideration of Demagnetizing Field Intensity, Proceeding of International Conference on Electrical Mahines and Systems 2007.