

오버행 구조를 갖는 단상 유도동기 전동기의 특성해석

신광철*, 권병일*, 류세현**, 김병택***
 * 한양대학교, ** 전자부품연구원, ***군산대학교

A study on characteristic analysis using overhang structure in Line Start Permanent Magnet Motor

Kwang-Chul Shin*, Byung-Il Kwon*, Se-Hyun Rhy**, Byung-Teak Kim***
 * Hanyang University, ** Korea Electronics Technology Institute, *** KunSan University

Abstract - The characteristic of line start permanent magnet (LSPM) motor with overhang structure is analyzed using 3dimensional finite element method (3D FEM). We propose the appropriate overhang length by considering the magnetic flux distribution according to changing overhang length and manufacturing process. 3D FEM analysis is inevitable because the increase of the total flux cannot be appropriately considered in 2D FEM. In equal model specification total flux is recalculated at 3D FEM, because of considering lamination length. This paper compares the characteristic of Back-emf with and without overhang by permanent magnet that has identical volume.

1. 서론

최근에 에너지 절감에 관한 관심이 고조되면서 고 에너지 효율을 갖는 영구자석(PM)형 전동기에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히, 종래의 단상 유도전동기에 영구자석을 삽입함으로써, 고 효율화를 이룰 수 있는 단상 유도동기전동기(LSPM)는 가전기기를 포함한 산업용기기 전반에 높은 활용성이 기대되고 있다[1-2]. 일반적으로 단상 유도전동기는 제조가 간단하고 내구성이 뛰어난 반면 효율이 낮은 단점을 가지고 있지만, LSPM은 기본적으로 단상 유도전동기의 회전자에 영구자석을 매입하여 구성되는 전동기로, 기동 시에 유도기의 원리로서 기동하며, 동기화 후에는 동기기와 같이 동작하여 단상 유도전동기와 비교하여 상대적으로 매우 높은 효율 특성을 갖는다[3].

일반적으로 대부분의 종래 LSPM은 제조 단가문제를 고려하여 고정자와 회전자를 세트화 하여 프레스 공정으로 제작하는 이유로 고정자와 회전자의 적층길이가 동일한 치수로 제작이 되어지는 경우가 보편화 되어 있지만, 본 논문에서는 LSPM의 특성개선에 관한 연구의 일환으로, 종래 고정자의 적층길이가 회전자의 적층길이가 동일한 모델과는 달리 회전자의 적층길이가 더긴, 오버행을 갖는 구조의 단상 LSPM에 대한 특성을 고찰한다. 오버행을 갖지 않는 기본모델을 기준하여 동일한 영구자석의 체적을 갖는 조건으로, 회전자의 축 방향 길이가 고정자 축 방향 길이보다 더 큰, 오버행을 갖는 임의의 모델을 선정하여 역기전력의 크기를 비교함으로써 오버행에 따른 효율 상승의 가능성을 확인하였다. 해석기법으로는 오버행이 없는 모델을 대상으로 2차원 유한요소 해석을 통하여 얻어낸 자속량과 역기전력을 기준하여, 오버행을 갖는 모델들의 3차원 유한요소 해석을 이용한 공극 자속량을 계산하여 역기전력의 크기를 산출한다. 이로부터, 동일한 영구자석의 체적을 유지하며, 오버행을 갖는 단상 LSPM이 오버행을 갖지 않는 모델에 비하여 효율상승의 가능성이 있음을 확인 한다.

2. 특성 해석

2.1 해석 모델

본 논문의 연구대상 모델인 단상 LSPM 전동기의 형상 및 설계사양은 각각 그림 1과 표 1에 나타내었다.

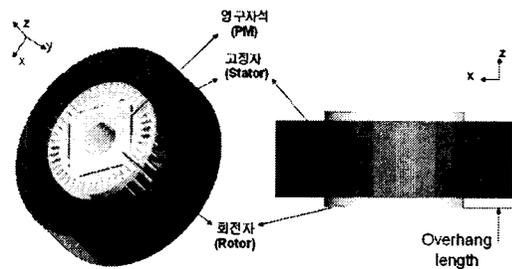


그림 1 오버행을 갖는 단상 LSPM 전동기의 형상

표 1 단상 LSPM 전동기의 체원

구 분	체 원
정격출력	400 [W]
주 권선	752 [turns]
보조권선	920 [turns]
정격속도	1800 [rpm]
공 극	0.5 [mm]
적층길이	50 [mm]
영구자석	NdFeB 30
극 수	4 [poles]

표 2는 오버행이 없는 기본모델의 영구자석과 동일한 체적을 가지며, 오버행을 갖는 모델의 적층 폭 및 자석 두께 등에 관한 사양을 보인다. 오버행을 갖는 모델 선정은 기본모델을 기준하여 고정자의 적층길이는 50 [mm], 영구자석의 길이는 32 [mm], 부피는 1600 [mm³]로 고정시킨 후, 회전자의 적층길이에 따른 영구자석의 높이를 변화 시켜 오버행의 길이를 선정하였다.

표 2 오버행에 따른 단상 LSPM의 제원

구 분	Model I	Model II	Model III
회전자 적층폭 [mm]	50	55.6	62.5
영구자석 두께 [mm]	1	0.9	0.8
오버행 ratio [%]	0	11	25

2.2 유한요소 해석

연구대상 모델을 유한요소 해석하기 위한 자기 벡터 포텐셜 \vec{A} 를 계변수로 하는 지배방정식은 맥스웰 방정식으로부터 식 (1)과 같이 유도된다[4].

$$\frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial z^2} \right) = -\vec{J}_m + \sigma \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial x} + \nabla \Phi \right) \quad (1)$$

여기서,

- μ : 투자율
- \vec{A} : 자기 벡터 포텐셜
- \vec{J}_m : 영구자석의 전류밀도
- σ : 도전율
- Φ : 자속

를 나타낸다.

다음은 2차원 유한요소 해석을 통하여 얻어낸 Model I에 대한 역기전력(back-EMF) 특성을 나타낸다. 그림에서 보이듯이 평균치 155.87 [V]를 나타내고 있으며, 총 자속량은 10.96×10^{-4} [Wb]값을 얻었다.

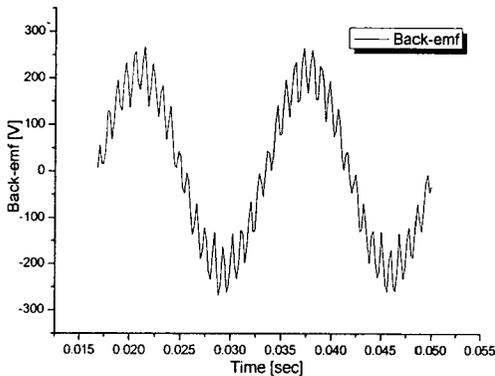


그림 2 역기전력 특성곡선(1,800rpm, Model I)

그림 3과 4는 3차원 유한요소 해석을 통하여 얻어낸 Model I과 Model III의 x-z 평면상의 자속벡터도를 나타낸다. 오버행이 있는 Model III를 오버행을 갖지 않는 Model I에 비교하여 볼 때, 회전자 축방향의 오버행 영역을 통하여 고정자로 들어가는 자속의 경로를 확인할 수 있다.

그림 5와 그림 6은 모델 I과 모델 III의 고정자 축방향 표면에서의 자속밀도 분포도를 나타낸다. 실제로 오버행이 25 [%] 적용된 모델 III에서 자속밀도 값이 더 높게 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 오버행 영역의 자속이 고정자부로 집중되어 나타난 결과로 판단된다.

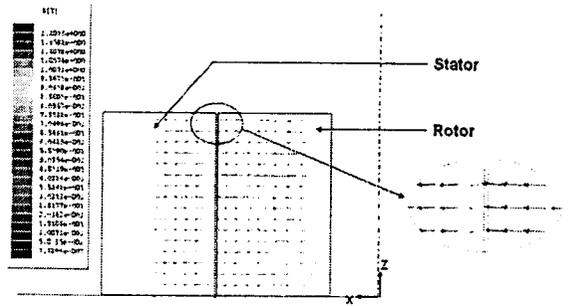


그림 3 자속벡터도 (MODEL I)

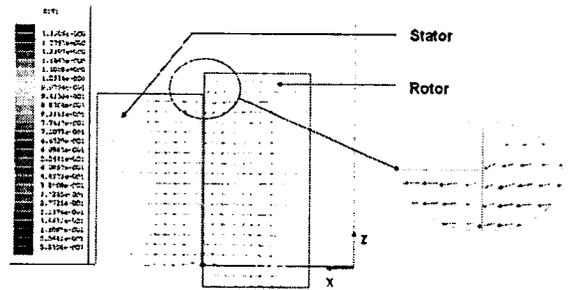


그림 4 자속벡터도 (MODEL III)

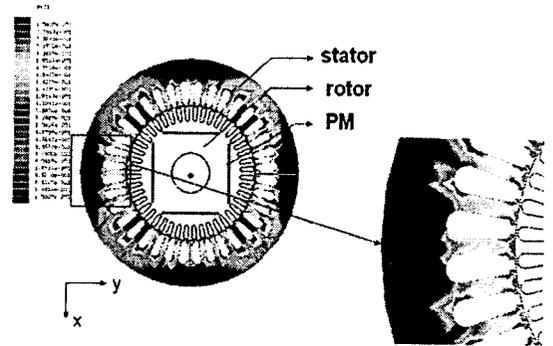


그림 5 고정자 표면 자속밀도 분포도 (Model I)

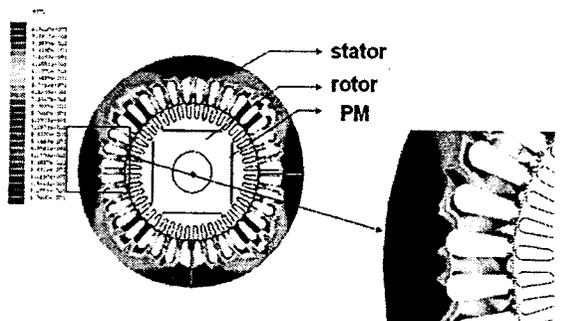


그림 6 고정자 표면 자속밀도 분포도 (Model III)

다음의 그림 7-9는 각각의 모델에 대한 공극 자속밀도를 모터 축 방향 위치 및 한 극 피치 각도에 따라 나뉜 3차원 해석결과 분포도이다. 그림에서 보이듯이 오버행이 커질수록 공극자속밀도 값이 점진적으로 크게 분포함을 알 수 있다.

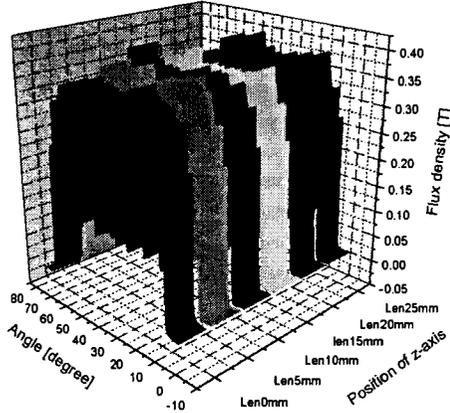


그림 7 공극 자속밀도 분포도 (Model I)

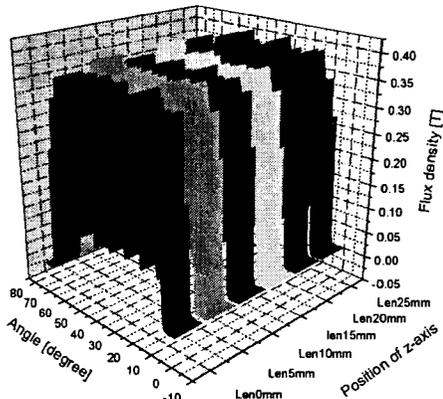


그림 8 공극 자속밀도 분포도 (Model II)

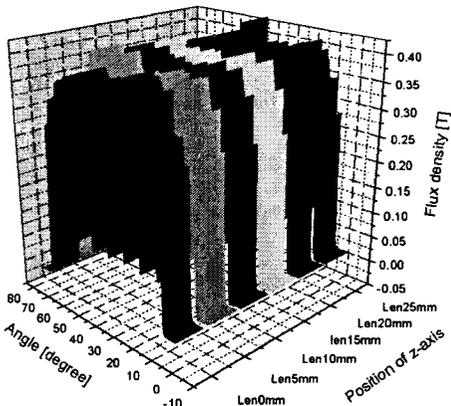


그림 9 공극 자속밀도 분포도 (Model III)

표 3은 오버행이 없는 모델을 3차원 해석하여 얻어낸 공극 자속량을 기준으로 2차원에서 해석한 역기전력 값을 보정하였으며, 이를 바탕으로 오버행이 있는 각각의 모델에 대한 역기전력을 산출한 비교표이다. 표에서 보이듯이 오버행을 25 [%] 갖는 모델이 오버행을 갖지 않는 모델에 비하여 역기전력의 크기가 약 10.5 [%] 증가함을 확인 할 수 있다.

표 3 공극 자속량 및 역기전력 특성

구 분	Back-emf [V]	Flux [10^{-4} *Wb]
MODEL 1	138.24	9.72
MODEL 2	145.50	10.23
MODEL 3	152.75	10.73

3. 결 론

본 논문에서는 유한요소 해석을 이용한 단상 LSPM의 오버행 유무에 관한 공극 자속밀도 특성 및 역기전력의 특성변화를 검토하였다. 오버행을 갖지 않는 모델을 대상으로 3차원 유한요소 해석을 이용하여 도출한 공극 총 자속량을 기준으로 2차원 유한요소 해석으로 도출한 역기전력 특성을 보정한 후, 오버행을 갖는 모델의 공극 총 자속량 해석을 통한 역기전력을 산출하였다.

해석결과, 오버행을 갖지 않는 모델에 비하여 동일한 영구자석의 체적을 가지며 25 [%]의 오버행을 갖는 모델의 역기전력 값이 10.5 [%] 더 큼을 확인 할 수 있었다. 이로부터, 단상 LSPM 전동기에 있어 영구자석의 체적을 동일하게 유지하며 오버행을 주었을 경우 오버행을 갖지 않는 모델에 비하여 효율 상승을 기대할 수 있음을 확인 하였다.

[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] G. H Kang, J. P Hong,, "Analysis of single-phase line start-permanent synchronous motor", Trans KIEE, Vol. 50. No. 12, 2001 Dec.
- [3] Andrew M. Knight and Catherine I. McClay, "The Design of High Efficiency Line-Start Motors", IEEE Industry Applications Conference Thirty-fourth IAS Annual Meeting, Conference Record, Vol 4, 1999
- [4] 전자장수치해석기법 조사전문위원회, "전자장수치해석 기법 현황", 대한전기학회, 1992.7