

보조치 및 Offset 적용에 따른 양측식 PMLSM의 추력 특성 연구

김선종*, 정상용**, 김용재*
조선대*, 성균관대**

The study of characteristics to thrust of double sided PMLSM apply to auxiliary teeth and offset

Sun-Jong Kim*, Sang-Yong Jung**, Yong-Jae Kim*
Chosun University*, Sungkyunkwan University**

Abstract - 본 논문에서는 양측식 영구자석 선형 동기 전동기 (Permanent Magnet Linear Synchronous Motor: 이하 PMLSM)의 전기자 분산배치를 위해 전기자에 보조치 및 Offset에 의해 나타나는 단부 코깅력을 해석하였다. 또한 가장 낮은 단부 코깅력을 가지는 Offset 위치에 대하여 역기전력을 분석하였으며 이에 따른 추력 특성에 대한 고찰을 수행하였다.

1. 서 론

PMLSM은 회전형 동기 전동기를 평면 위로 절개하여 펼쳐놓은 형태로 고정자와 가동자가 서로 상대적으로 배치되어 전기자측에 주 전력이 공급되며, 자극을 발생시키는 축이 계자가 된다. 본 논문에서 사용된 양측식 PMLSM이란 전기자를 한쪽만 가지는 편측식 PMLSM의 계자 양측에 대칭으로 전기자를 배치한 형태로 나타난다. 이는 고하중 반송에 유리하고, 고속 및 고추력 운전이 가능하며 정밀 제어가 가능하여 전기철도, FA 및 반도체 공정 이송장치 등 다양한 분야에 응용되고 있다[1]. 하지만 양측식 PMLSM을 장거리 반송 시스템에 적용할 경우 반송 경로의 전장에 전기자를 설치할 때 제작 시간 및 재료비용이 크게 상승한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 전기자를 분산배치 하는 구조가 제시되고 있으며 이때 전기자는 가동자를 가속 또는 감속시키는 제어구간에만 설치하는 방식을 이용한다. 그러나 전기자 분산배치 시 필연적으로 나타나는 단부에 의한 디텐트력과 영구자석과 전기자치 사이에 작용하는 코깅력에 의해 기기의 소음, 진동을 유발하며 성능이 저하된다. 따라서 본 논문에서는 전기자에 보조치와 Offset을 적용하여 디텐트력을 저감하고, 이에 따른 역기전력과 추력의 특성을 분석 하였다.

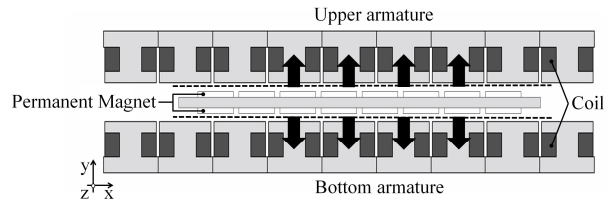
2. 본 론

2.1 양측식 PMLSM의 기본 모델 해석

본 논문에서 사용한 양측식 PMLSM의 기본모델 사양을 표 1에 나타내었다. 가동자의 총 길이는 264[mm]이며 자료강판 기준으로 양측에 Nd-Fe-B타입의 영구자석을 8극씩 배치하였으며 극 간격은 30[mm]이다. 전기자는 360[mm]이고 치의 너비는 16[mm], 높이는 20[mm], 슬롯 간격은 40[mm]로 9슬롯을 가동자의 양측 상·하부 전기자에 배치하였다. 해석은 2D FEM 수치해석을 이용하였으며 추력 해석을 위해 16.67[Hz]의 주파수를 갖는 3상 전원을 사용하였다. 그림 1에는 양측식 PMLSM의 기본모델 형상을 나타내었다.

〈표 1〉 양측식 PMLSM의 제원

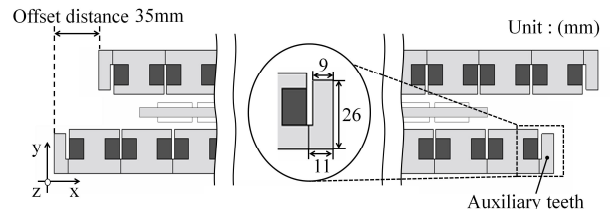
	Items	Value
Mover	Number of poles	16 [Poles]
	Height of PM	3 [mm]
	Length of PM	26 [mm]
	Pole pitch	30 [mm]
	Back iron height	6 [mm]
	Back iron length	264 [mm]
Armature	Number of slots	18 [slots]
	Turns per phase	75 [turns]
	Slot pitch	40 [mm]
	Slot width	24 [mm]
	Width of teeth	16 [mm]
	Height of teeth	20 [mm]
	Armature length	360 [mm]
Mechanical air-gap		5 [mm]



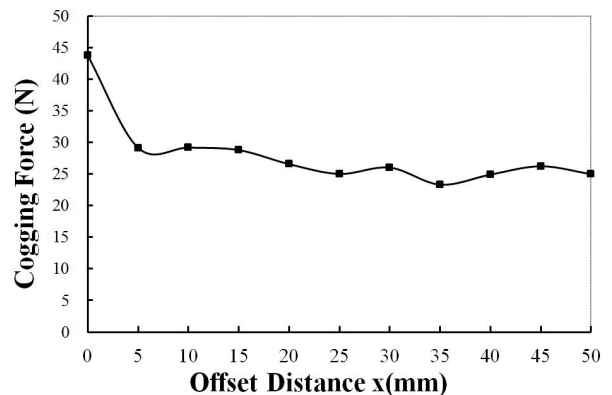
〈그림 1〉 양측식 PMLSM의 기본모델

2.2 양측식 PMLSM의 전기자 단부구조에 따른 코깅력 해석

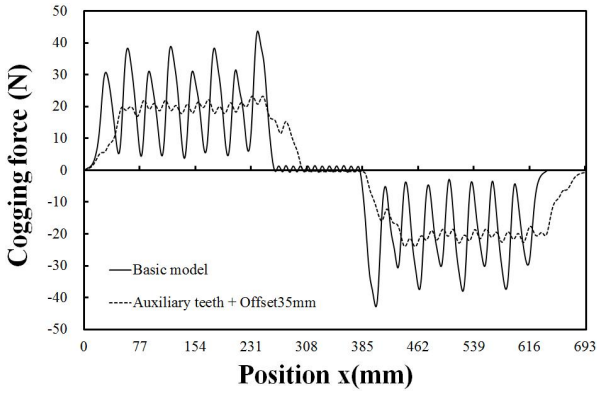
그림 2에는 양측식 PMLSM의 전기자에 보조치를 설치하고 상·하부에 위치한 전기자 중 한쪽의 전기자만 엇갈리게 간격을 두는 Offset을 적용하여 나타내었다. 보조치는 본 연구실에서 상세 설계된 치수를 적용하였다[2]. 그림 3에는 가동자 길이에 따른 완전 대향구간을 고려하여 상부의 전기자 Offset 간격을 0[mm]-50[mm]까지 5[mm]간격으로 최대 단부 코깅력을 비교 하였으며 그 결과 Offset 35[mm]일때 가장 저감되는 것을 보였다. 이때 보조치와 Offset 35[mm]를 적용한 모델의 최대 단부 코깅력은 23.317[N]이며 양측식 PMLSM 기본모델의 최대 단부 코깅력은 43.725[N]으로 보조치와 Offset 35[mm]를 적용한 모델이 기본모델에 비해 46.67[%] 저감됨을 확인하였다. 이러한 단부코깅력의 비교를 그림 4에 나타내었다.



〈그림 2〉 보조치와 Offset을 적용한 양측식 PMLSM



〈그림 3〉 Offset 간격에 따른 양측식 PMLSM의 단부 코깅력

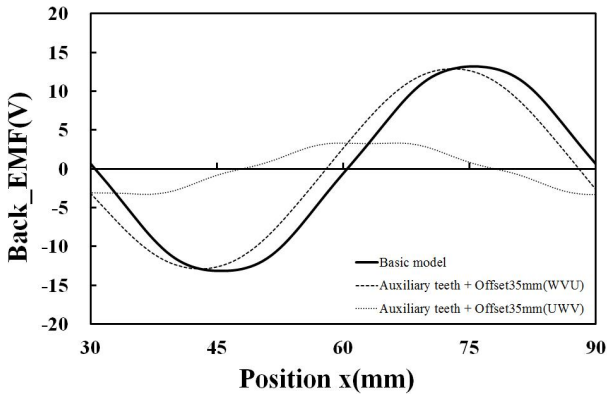


〈그림 4〉 기본모델과 보조치와 Offset 35[mm]모델의 코깅력 특성 비교

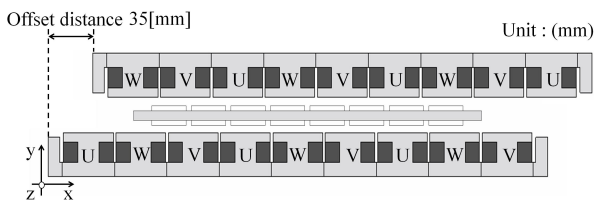
2.3 Offset에 의한 양축식 PMLSM의 역기전력 특성

양축식 PMLSM의 역기전력은 공극자속밀도, 코일의 권선 분포 또는 이동자의 속도에 따라 그 값이 변하게 된다. 본 논문에서 이동자의 속도는 유지 하였으며, 전기자 Offset 간격에 따른 코일 권선의 이동에 따라 그림 5와 같이 역기전력의 크기가 변하게 됨을 확인 하였다. 또한 권선의 이동에 따라 위상 또한 변화됨을 볼 수 있다. 단부 코깅력이 가장 저감된 Offset 35[mm] 모델의 역기전력은 전기자 상부의 권선배열이 UWV일 때 3.31[V]로 나타났다. 이는 그림 6과 같이 가동자 상·하부의 대칭상태인 전기자의 권선이 전기자 Offset의 간격 조절로 인하여 틀어지게 되어 나타난다. 따라서 Offset을 적용한 모델 하부의 전기자 권선은 유지한 채 전기자 Offset 간격조절로 인하여 틀어진 상부의 전기자 권선을 하부의 전기자와 대칭 상태가 되도록 WVU로 권선 재배열하였다. 권선을 WVU로 재배열 결과 역기전력은 12.89[V]로 기본모델 대비 2.23[%]의 감소를 보였으며 기본모델과 위상의 차이를 조금 보였다. 이러한 역기전력의 감소는 식 (1)과 같이 추력과 연관되어 있으며 이는 추력 및 출력의 감소로 이어지게 된다. F는 최대추력이며, I는 선전류, 추력상수의 단위는 kg/A이다. 따라서 전기자 Offset에 위상을 변화 시켜 역기전력을 개선하였다[3-4].

$$F_{thrust} = \frac{3}{2} K_e I_{max} \quad (1)$$



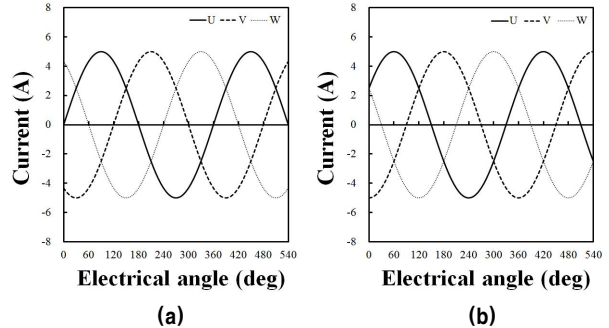
〈그림 5〉 기본모델과 보조치와 Offset을 적용한 모델의 역기전력 파형



〈그림 6〉 전기자 Offset 35[mm] 권선 배열

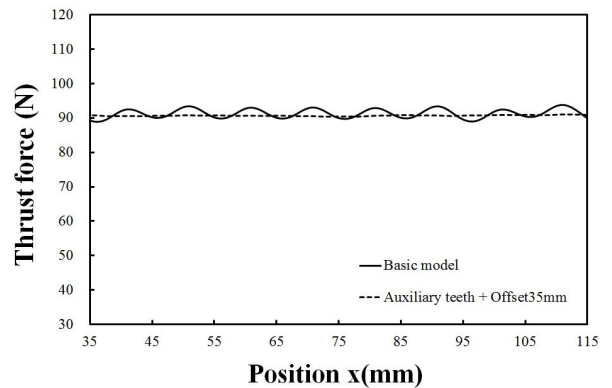
2.3.1 양축식 PMLSM의 역기전력 및 추력 개선

35[mm]인 전기자 Offset의 간격은 슬롯피치가 40[mm]이기 때문에 전기자 상·하부는 Offset을 적용 하였을 때 완전하게 대향하지 못한다. 따라서 완전하게 대향하지 못하는 5[mm]만큼의 위상을 보상하기 위해 전기자 상·하부에 두 개의 인버터를 따로 배치 하여 5[mm]만큼의 위상을 상부의 전기자에 30°보상해 주었다. 그 결과 그림 7과 같은 전류파형을 나타내었다. (a)는 전기자 하부의 전류 파형이며 (b)는 전기자 상부의 전류파형을 나타내었다.



〈그림 7〉 위상각 변화에 따른 상·하부의 전기자 전류 파형

최종 도출된 전기자 Offset 35[mm] 간격에 권선을 재배열 한 후 전기자 상부 위상을 보상해준 모델과 기본모델의 추력을 그림 8에 비교하여 나타내었다. 기본모델의 평균추력은 91.33[N]이며 역기전력 감소에 따라 추력은 0.69[%] 감소한 90.70[N]으로 나타났고, 추력리플은 기본모델 5.39[%], 제안모델 0.69[%]로 기본모델 대비 87.03[%]로 크게 저감 되었다.



〈그림 8〉 기본모델과 보조치와 Offset을 조절한 모델의 추력

3. 결 론

본 논문에서는 전기자 분산배치를 위한 양축식 PMLSM 기본모델의 전기자에 보조치를 추가하고 전기자 Offset간격을 조절하며 단부 코깅력을 도출한 후 이때 가장 낮은 단부 코깅력을 가지는 Offset 35[mm]에서 역기전력의 파형을 개선하고 추력 특성을 분석하였다. 전기자 Offset 간격조절에 따른 권선을 재배열 한 결과 2.5[%] 이내로 역기전력 감소를 최소화 하였으며 이때 추력은 위상을 보상하여 기본모델과 같은 추력 특성을 가지면서 추력리플을 87.03[%] 저감하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이동희, "수직배열형 양축식 영구자석 선형 동기전동기의 특성해석", 석사학위논문, 2013
- [2] 김용재, 조경필, 이규명, 김성진, 조급배, "보조치를 이용한 집중권 방식의 영구자석 선형 동기 전동기의 특성 해석", 대한전기학회 학술대회 논문집, Vol.2011 No. 10-2, 64-66, 2011
- [3] 이춘호, "브러시리스 DC 선형 모터에서 역기전력 측정을 통한 추력 특성 분석", 대한전기학회, Vol.1997 No.11, 10-12, 1997
- [4] 정군석, "영구자석 선형동기전동기의 추력리플 저감을 위한 설계 및 제어에 관한 연구", 박사학위논문, 2007