

가동자 영구자석 배열에 따른 리니어 동기 모터의 특성해석 및 비교

장석명, 이성호, 윤인기, 장건우, 이종호*
 충남대학교 전기공학과*, 충북과학대학*

Characteristic Analysis and Comparison between HA-PMLSM and CA-PMLSM

S.M. Jang, S.H. Lee, I.K. Yoon, J.H. Lee*
 Chungnam Nat'l Univ. Chungbuk Univ. of Science & Technology*

Abstract - This paper deals with a comparison between the secondary Halbach array and conventional array of permanent magnets(PMs) in linear synchronous motor(LSM). The finite element method(FEM) is employed for characteristic analysis of the machine. Two types of PMLSM are analyzed and compared, with reference to the following parameters as variables: magnetic field, detent force, static thrust and thrust/secondary weight ratio.

1. 서 론

영구자석 선형 동기전동기는 공장자동화, 왕복 서보시스템, 운송 시스템 등에 적용되어져 왔다. 이러한 적용에서, 가동자석형 PMLSM의 가동자로, Halbach 배열을 사용하면, 일반배열에 대해 힘 밀도가 향상되고, 자성체 요크가 필요 없으며, 정현적인 자속분포 및 더 큰 자계를 얻을 수 있다는 이점을 갖는다[3]. 이러한 점에 착안하여, 본 논문에서는 가동자 영구자석 배열이 다른 두 가지 모델에 대한 PMLSM의 특성이 해석 및 비교된다. 비교·해석하고자 하는 모델은 일반배열을 갖는 PMLSM(이하: CA-PMLSM)과 Halbach 배열을 갖는 PMLSM(이하: HA-PMLSM)으로, 특성해석을 위해 FEM을 사용하였다. 치, 슬롯의 1차측 형상을 갖는 PMLSM은 영구자석과 1차측 치 사이에 자기적 상호작용에 의한 디텐트력이 발생하므로, CA-PMLSM과 HA-PMLSM의 가동자 영구자석 사이지는 디텐트력 저감 및 요구추력을 모두 만족하는 범위에서 결정하였다. 또한 CA-PMLSM과 HA-PMLSM 모두 1차측은 Open-slot 으로 권선분포 및 제반적인 사양은 동일하다. 두 모델에 대한 특성은 자속밀도 분포, 디텐트력, 정추력, 2차측 중량에 대한 추력비 등에 관한 해석결과를 토대로 상호 비교된다. 이로써 본 논문은 일반배열 PMLSM과 Halbach 배열 PMLSM의 상호 특성에 대한 정성적 비교 및 검토 결과를 제시하고자 한다.

2. 영구자석 배열에 따른 PMLSM

2.1 해석 및 비교 모델

그림 1은 일반배열과 Halbach 배열을 각각 가동자로 하는 PMLSM의 기하학적 구조를 도시한 것이다. 두 모델에 대하여 가동자 영구자석은 2극으로 구성하였는데, 그림 1에서와 같이 일반배열은 자화방향이 서로 반대인 영구자석이 2개 필요하나, Halbach 배열은 5개의 영구자석이 필요하다. 두 모델 모두 1차측은 Open-slot 으로 권선분포 및 제반적인 사양은 동일하다.

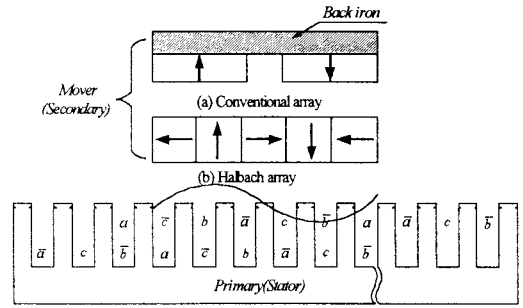


그림. 1 일반배열과 Halbach 배열을 갖는 PMLSM

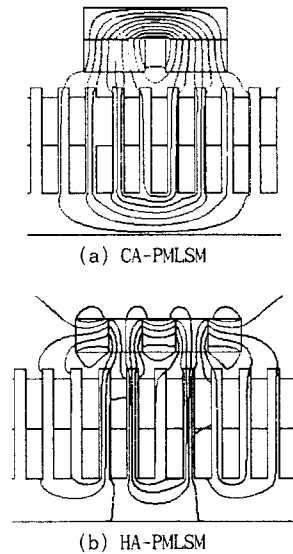


그림. 2 가동자 영구자석 배열에 따른 자속분포

2.2 자속 및 자속밀도 분포

그림 2와 그림 3은 1차측을 여자하지 않은, 가동자 영구자석에 의한 CA-PMLSM과 HA-PMLSM의 자속 및 자속밀도 분포를 각각 나타낸다. 그림 1에서 HA-PMLSM은 양 끝단과 가운데 영구자석이 1차측에 대하여 수평방향으로 자화 되므로, 그림 3에서와 같이 CA-PMLSM이 2극을 구성하는데 비해, 1/4극이 더 분포한다. 이 경우 CA-PMLSM과 HA-PMLSM의 영구자석의 높이는 10[mm]로 동일하다. 또한 HA-PMLSM은 그림 2의 (b)에서와 같이 영구자석 배열에 따른 자기차폐를 형성하므로 자기회로 구성을 위한

코어가 필요 없는데 반해, 그림. 2의 (a)에서와 같이 CA-PMLSM은 자기회로 구성을 위해 가동자 상단에 코어를 필요로 한다. 또한 CA-PMLSM에서 가동자 상단 코어는 자성체 포화를 고려하여 1.4(t)를 초과하지 않도록 산정된, 10 [mm]의 높이를 갖는다.

2.3 디텐트력

치, 슬롯의 1차측 형상을 갖는 PMLSM은 영구자석과 1차측 치 사이에 자기적 상호작용에 의한 디텐트력이 발생한다. 그런데 이러한 디텐트력은 추력 리플을 야기시켜 운전시, 진동의 원인이 되며, 제어성능을 악화시키므로, 디텐트력 저감에 대한 고려가 수반되어야만 한다. CA-PMLSM의 경우는 디텐트력 저감법에 관한 여러 연구결과가 발표된 바 있다[1][4]. 그림. 2의 (a)는 1차측을 Open 슬롯으로 하고, 디텐트력은 가동자 영구자석의 자극폭을 1차측 자극폭/슬롯간격 비에 대해 $n+0.25$ 배 하여 저감시킬 수 있으므로, 영구자석의 길이는 19.125 [mm]로 한 자속분포 해석결과이다[1]. HA-PMLSM의 경우는 CA-PMLSM과는 달리 영구자석의 길이와 폭이 다를 경우, 공극에서의 자속밀도 분포가 크게 달라지므로, 그림. 4에서와 같이 영구자석의 길이와 폭을 동일하게 가변함에 따른 디텐트력의 변화 특성과 그림. 5와 그림. 6의 정추력 및 수직력 특성을 동시에 고려하여, 영구자석의 길이와 폭을 결정하여야 한다.

그림. 4는 HA-PMLSM의 영구자석 길이와 폭을 8 [mm]에서 14 [mm]까지 1 [mm] 간격으로 가변함에 따른 디텐트력 특성으로, 영구자석 사이지가 증가함에 따라 디텐트력이 계속 증가함을 알 수 있다.

그림. 2의 (b)에서 영구자석의 높이와 길이는 그림. 4, 그림. 5와 그림. 6에서 제시된 결과를 토대로, CA-PMLSM과의 특성 비교를 위해 10 [mm]로 선택하였다.

2.4 정추력

그림. 5는 HA-PMLSM의 영구자석 길이와 폭을 8 [mm]에서 14 [mm]까지 1 [mm] 간격으로 가변함에 따른 정추력 특성이다. 영구자석의 사이지가 증가함에 따라 추력이 계속 증가하나, 영구자석의 사이지가 14 [mm]에서는 추력이 영구자석 사이지 13 [mm]에 대해 오히려 감소됨을 알 수 있다. 이는 1차측 발생 자계의 극간격보다 가동자 영구자석 발생 자계의 극간격이 더 커짐에 따른 영향으로 사료된다.

그림. 7과 그림. 8은 CA-PMLSM과 HA-PMLSM의 부하각에 따른 정추력 특성이다. CA-PMLSM 보다 HA-PMLSM에서 디텐트력에 의한 추력의 왜형이 작음을 볼 수 있다. 최대추력 또한 HA-PMLSM이 CA-PMLSM 보다 2.5 [N] 정도 큼을 알 수 있다. 이는 그림. 3에서와 같이 영구자석의 높이가 동일한 조건에서 Halbach 배열이 일반배열에 비해 공극자속밀도가 크기 때문이다.

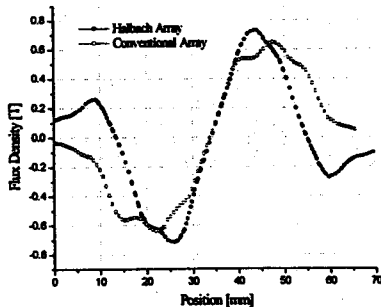


그림. 3 공극에서의 자속밀도 분포

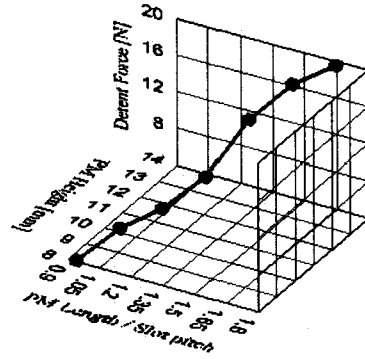


그림. 4 HA-PMLSM의 영구자석 길이, 폭에 따른 디텐트력 특성

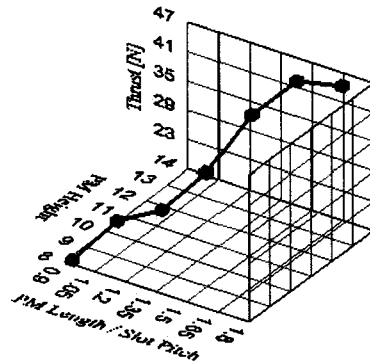


그림. 5 HA-PMLSM의 영구자석 길이, 폭에 따른 정추력 특성

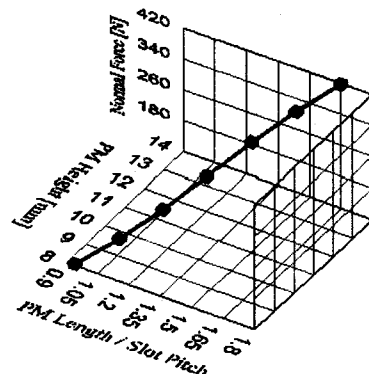


그림. 6 HA-PMLSM의 영구자석 길이, 폭에 따른 수직력 특성

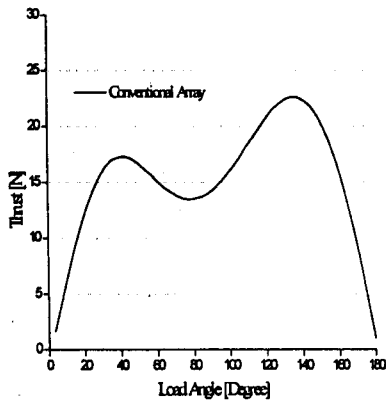


그림. 7 CA-PMLSM의 부하각에 따른 정추력 특성

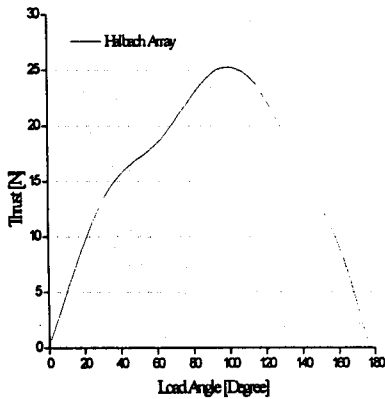


그림. 8 HA-PMLSM의 부하각에 따른 정추력 특성

2.5 가동자 중량에 대한 추력비

그림. 9는 HA-PMLSM과 CA-PMLSM의 가동자 중량에 대한 추력비를 비교하여 나타낸 것이다. HA-PMLSM은 영구자석 배열에 따른 자기차폐를 형성하므로 자기회로 구성을 위한 코어가 필요 없는데 반해, CA-PMLSM은 자기회로 구성을 위해 가동자 상단에 코어를 필요로 한다. 또한 그림. 7과 그림. 8에서와 같이 최대 추력은 HA-PMLSM이 CA-PMLSM보다 크게 작용하므로, 가동자 중량 당 추력의 비는 그림. 9에서와 같이 HA-PMLSM이 CA-PMLSM에 비해 거의 2배정도 크다.

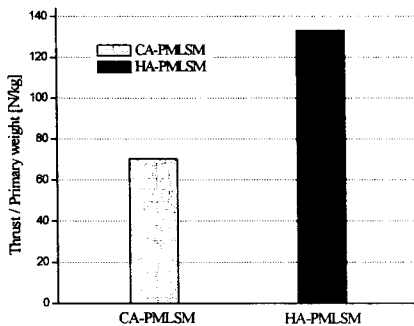


그림. 9 추력/가동자 중량 비

3. 결 론

동일한 1차축을 갖는 HA-PMLSM과 CA-PMLSM 두 모델에 대한 특성을 자속밀도 분포, 디텐트력, 정추력, 2차축 중량에 대한 추력비 등에 관한 해석결과를 토대로 상호 비교 및 검토하였다.

가동자 영구자석의 높이를 동일하게 하였을 경우, Halbach 배열이 일반배열보다 자속밀도가 $\sqrt{2}$ 배 정도 큼을 확인하였다. 또한 디텐트력을 고려하여 영구자석의 길이와 폭을 결정한 후, 해석된 부하각에 따른 정추력은 HA-PMLSM이 CA-PMLSM보다 추력의 왜형이 작게 나타났다.

이로써 본 논문은 일반배열 PMLSM과 Halbach 배열 PMLSM의 상호 특성에 대한 정성적 비교 및 검토 결과를 제시하고자 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] I. S. Jung, S. B. Yoon, J. H. Shim and D. S. Hyun, "Analysis of forces in short primary type and a short secondary type permanent magnet linear synchronous motor," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 14, no. 4, pp. 1256-1270, 1999
- [2] T. Mizuno and H. Yamada, "Magnetic circuit analysis of a linear synchronous motor with permanent magnets", IEEE Trans. on Magnetics, vol. 28, pp.3027-3029, 1992
- [3] K. Halbach, "Design of permanent multipole magnetics with oriented rare earth cobalt material", Nuclear Instruments and Methods, vol.169, no. 1, pp.1-10, 1980
- [4] R. J. Cruise and C. F. Landy, "Reduction of detent forces in linear synchronous motors," The Second International Symposium on Linear Drives for Industry Applications, Tokyo, April 1998
- [5] 장석명, 윤인기, 이성호, 이증호, "영구자석형 선형 동기 전동기의 디텐트력 저감방식에 관한 특성해석 및 상호비교" 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집