

보극을 이용한 영구자석 선형 동기전동기의 디텐트력 저감을 위한 연구

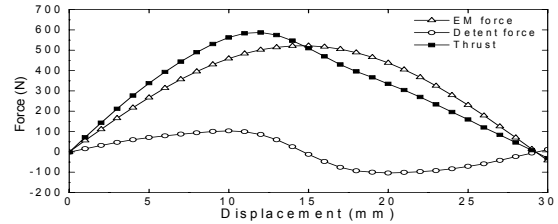
김도선, Yu-wu Zhu, 김미정, 이병준, 조운현**
 동아대학교

Design of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor for Detent Force Minimization by Using Auxiliary Poles

Do-Sun KIM, Yu-wu ZHU, Mi-Jung KIM, Byung-Jun LEE, Yun-Hyun CHO*
 Dong-A University*

Abstract - 본 논문에서는 보극을 이용한 영구자석형 선형동기전동기(PMLSM)의 디텐트력 저감에 관한 새로운 기술을 제안하고자 한다. 디텐트력은 입력전류 없이 영구자석과 철심 코어의 상호 작용으로 발생되며 2개의 성분 즉 슬롯효과와 단부효과로 나눌 수 있다. 슬롯효과와 단부효과를 줄이기 위하여 보극의 위치와 반폐슬롯 길이 변화에 따른 디텐트력 특성을 2차원 유한요소법(FEM)을 이용하여 해석한다. 그리하여 수치해석과 실험결과를 이용하여 보극 설치가 디텐트력을 줄이기 위한 효과적인 방법임을 입증하고자 한다.

는데 주안을 둔다.



<그림 2> Static force waveforms according to mover position.

<표 1> SPECIFICATIONS OF PMLSM

Item	Magnitude
Number of phases	3
Rated thrust	600 N
Number of winding per slot	80 turns
Pole pairs	4
Slot/pole/phase	3/8
Pole pitch	29.25 mm
Slot pitch	26 mm
Slot width	15 mm
Length of permanent magnet	95 mm
Width of permanent magnet	21 mm
Height of permanent magnet	4 mm
Air-gap length	3 mm

1. 서 론

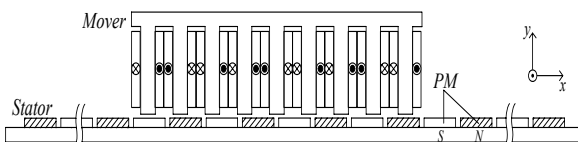
영구자석 선형 동기전동기(PMLSM)는 직접 직선 추력을 발생하므로 제어 성능이 우수하며 고속, 고효율이 가능하다는 장점이 있어 공작기계의 2축 테이블이나 반도체 제조장비와 같은 직선 왕복 운동을 필요로 하는 시스템의 구동원으로 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 PMLSM의 가장 큰 단점인 디텐트력으로 인하여 이동자 위치에 따라 주기적인 추력리플이 존재하게 되며 추력리플은 기계의 진동, 소음, 속도리플 등 PMLSM 동작 성능을 저하시킨다[1].

입력전류 없이 영구자석(PM)과 철심 코어의 상호작용으로 발생하는 디텐트력은 두 개의 성분으로 나눌 수 있다[2]. 첫 번째로 영구자석과 철심 코어 슬롯에 따른 슬롯효과가 있다. 디텐트력에서 슬롯 효과는 회전형 영구자석 전동기의 코깅 토크와 유사하다. 따라서 슬롯효과(코깅 토크)를 줄이기 위한 전동기 설계 기술은 이전부터 많이 개발이 되었으며 본 논문은 그중 분수 슬롯 권선법으로 설계된 PMLSM에 대하여 고려했다. 두 번째로 이동자 철심 코어의 유한 길이에 따른 단부효과로써 영구자석과 코어 가장자리의 상호작용에 영향을 받는다. 디텐트력에서 단부효과는 회전형 영구자석 전동기에서는 존재하지 않는 선형 전동기의 고유 특성이다. 참고문헌[1][2]는 단부 치 길이와 형태 변형, 철심 코어 길이에 따른 최적화 방법을 제시하고 있다. 이러한 방법들은 단부효과를 저감하는데 적절한 방법으로 사료된다. 이번 논문에서 단부효과를 줄이는 새로운 방법인 보극을 설치하여 [1][2]문제를 야기시키지 않음을 증명하도록 한다.

2. 본 론

2.1 초기 PMLSM 모델 해석

이번 논문에서 PMLSM 모델은 단 1차형(Movig armature type)으로써 초기 PMLSM 구조는 그림1과 같다. 이동자는 코어가 적층된 구조이며 9slot/8pole 분수슬롯 피치의 집중권으로 되어있다. 8slot/9pole 분수슬롯 피치 구조를 선택한 이유는 역기전력 고조파를 줄 일 뿐만 아니라 디텐트력을 감소시킬 수 있기 때문이다[3]-[5].

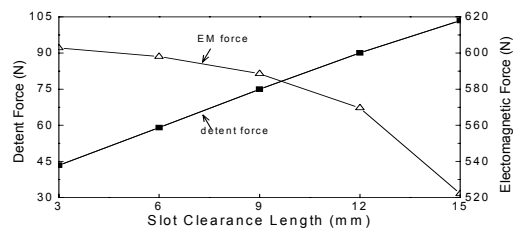


<그림 1> Preliminary PMLSM structure.

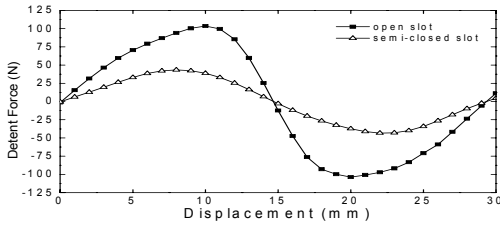
표1은 PMLSM의 제원을 명시하고 있다. 표1의 제원에 근거하여 전자기계, 디텐트력, 추력이 2차원 유한요소법으로 구해질 수 있다. 이동자와 고정자의 상대 위치에 따라 FEM으로 얻어진 static force가 그림2에 나타나있다. 초기 PMLSM의 디텐트력의 피크값은 103.5[N]으로 전자기력 522.1[N]의 19.8%으로써 이는 매우 높은 값에 해당한다. 더욱이 설계 제원에서 정한 전자기력의 정격 값에 도달하지 못함을 알 수 있다. 그래서 본 논문은 디텐트력을 줄임과 동시에 전자기력을 향상시키

2.2. 반폐슬롯

디텐트력에서 슬롯효과는 영구자석과 슬롯이 존재하는 철심 코어의 상호작용으로 발생된다. 이번 논문에서는 오직 반폐슬롯 기술을 사용하여 슬롯효과를 줄여나갈 것이다. 즉 슬롯 간 길이를 변화시켜 디텐트력과 전자기력의 특성을 조사한다. 그림3은 슬롯 간 길이에 따라 유한요소해석을 통하여 얻어진 값들을 나타내고 있다. 슬롯 사이의 길이가 감소할수록 디텐트력이 감소하며 전자기력이 증가함을 확인할 수 있다. 비록 감소된 슬롯 사이의 길이로 인하여 불필요한 누설자속이 발생되지만 반폐슬롯은 디텐트력 감소에 효과적으로 작용하고 있음을 확인할 수 있다. 논문에서 제안한 PMLSM 모델의 가장 적절한 반폐슬롯 길이는 3[mm]이다. 전자기력의 최대값은 605.4[N]으로써 처음 제시한 제원을 만족한다. 그림4는 디텐트력 파형이 극 피치동안 변위에 따라 변화함을 보여주고 있다. 이때의 디텐트력은 103.5[N]에서 43.3[N]으로 큰 차이로 감소되고 있다.



<그림 3> Detent force and EM force with respect to slot clearance length.

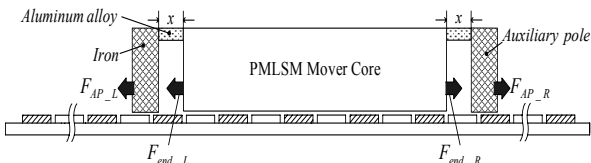


〈그림 4〉 Detent force comparison.

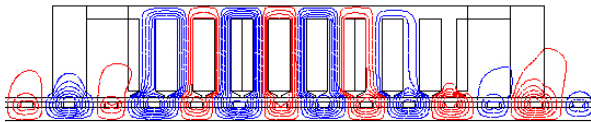
2.3 보극

단부 효과가 이동자의 유한길이 때문에 발생하기 때문에 본 연구에서 코어 보다는 이동자 구조를 변형하여 단부효과를 최소화시킬 것이다. 앞서 말한 개념에 근거하여 우리는 보극을 설치하여 단부효과를 저감하는 새로운 방법을 제안하고자 한다.

보극은 그림5에서처럼 철심 코어 양 옆면에 고정된다. 코어와 보극 사이에 연결되는 금속은 투자율이 낮은 알루미늄으로 선정한다. 보극의 기본 위치는 $x = 29.25 [mm]$ 인 지점이며 여자전류가 권선에 흐를 때 이동자 코어의 자속이 보극으로 흐르는 현상을 막는다. 그림6은 보극이 설치된 PMLSM의 자속선도 분포를 통해 보극 부분에서의 자속이 존재하지 않음을 확인할 수 있다. 여기에서 보극 설치에 따른 단부 효과 저감을 두가지 관점으로 나눌 수 있다. 하나는 보극의 위치를 고정되며 오직 보극 폭이 변화하여 디텐트력을 저감시킨다. 다른 하나는 보극의 폭을 고정되어 오직 보극의 위치에 따라 디텐트력을 감소시키는 것이다. 이번 논문에서는 후자를 선택하여 23[mm]폭으로 만들어진 보극을 설치하며 이는 슬롯 맨 끝 폭과 동일하다.

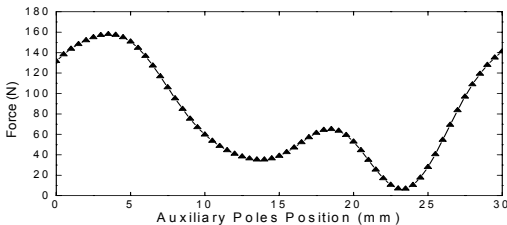


〈그림 5〉 PMLSM structure fixed with auxiliary poles.



〈그림 6〉 Flux line distribution of PMLSM with auxiliary poles for rated input current.

해석적으로 최적의 보극의 위치를 예견하기란 쉽지 않다. 앞서 언급한 방법에 근거하여 유한요소해석을 통한 디텐트력의 피크값이 그림7에 나타나있다. 피크값은 철심 코어와 보극의 가장자리 변위에 따라 상대적으로 변화한다. $x = 23 [mm]$ 일 때 디텐트력의 피크값이 가장 작으며 이때의 값은 6.88[N]으로써 초기 PMLSM의 디텐트력에 6.6%에 해당한다. 보극의 현 위치에서의 디텐트력과 보극에 의해 만들어진 힘이 그림 8에 나타나있다. 반폐슬롯과 보극이 설치된 PMLSM의 디텐트력이 확연히 줄어들음을 확인할 수 있다.

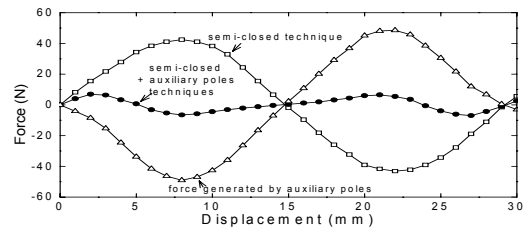


〈그림 7〉 Peak value of detent force for different position of auxiliary poles.

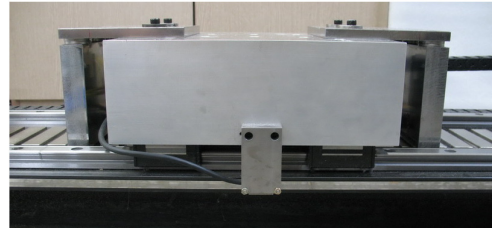
2.4 실험

앞서 제안한 방법이 유용한지 확인하기 위해 우리는 그림9와 같은 PMLSM의 시제품을 제작하였다. 그림10은 시제품에서 측정된 디텐트력과 유한요소법을 이용하여 해석된 디텐트력의 비교값을 나타내고 있다.

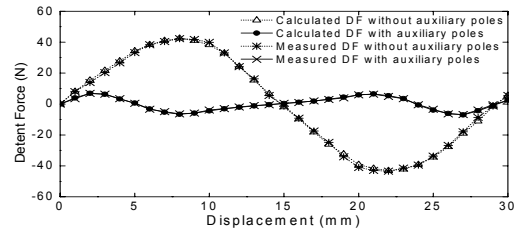
실험을 통하여 얻은 디텐트력은 6.88[N]으로 감소되었고 이 값은 전자기력의 1.13%에 해당한다. 이로써 앞서 우리가 제안한 방법의 타당함이 증명되었다.



〈그림 8〉 Calculated forces of PMLSM with auxiliary poles.



〈그림 9〉 PMLSM prototype.



〈그림 10〉 Calculated and measured detent forces.

3. 결 론

이번 논문은 PMLSM의 디텐트력을 감소시키기 위한 방법을 제시하고 있다. 처음 제시한 9slot/8pole의 PMLSM의 구조를 통하여 쇄교 자속 고조파를 제거 하였으며 반폐슬롯과 보극을 설치하여 디텐트력을 최소화하였다. 해석결과와 실험결과를 통하여 우리가 제안한 방법이 효과적임을 확인할 수 있었다. 향후 보극 폭과 형태, 오버행에 대한 연구를 수행하여 디텐트력을 저감시키고자 한다.

본 논문은 한국전력공사의 한국 에너지 자원기술 기획평가원(KETEP)에서 지원한 전력변환 시스템 신기술 연구센터(과제번호 2007-0192)의 사업으로 수행 되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] I.S. Jung, S.B. Yoon, J.H. Shim, and D.S. Hyun, "Analysis of forces in a short primary type and a short secondary type permanent magnet linear synchronous motor," IEEETrans. Energy Convers., vol. 14, pp. 1265-1270, Dec. 1999.
- [2] M. Inoue, and K. Sato, "An approach to a suitable stator length for minimizing the detent force of permanent magnet linear synchronous motors," IEEETrans. Magn., vol. 36, pp. 1890-1893, Jul. 2000.
- [3] T.M. Jahns, and W.L. Soong, "Pulsating torque minimization techniques for permanent magnet AC motor drives-a review," IEEETrans. Industrial Electron., vol. 43, pp. 321-330, Apr. 1996.
- [4] S.M. Hwang, J.B. Eom, Y.H. Jung, D.W. Lee, and B.S. Kang, "Various design techniques to reduce cogging torque by controlling energy variation in permanent magnet motors," IEEETrans. Magn., vol. 37, no. 4, pp. 2806-2809, Jul. 2001.
- [5] Z.Q. Zhu, and D. Howe, "Influence of design parameters on cogging torque in permanent magnet machines," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 15, pp. 407-412, Dec. 2000.