

PMLSM 에서의 Skew 와 Overhang 효과에 대한 3D 유한 요소 해석

황 인 철*, 한 광 규, 이 동 엽, 김 규 탁
 창원대학교 전기공학과

3D Finite Element Analysis of Skew and Overhang Effects
 in Permanent Magnet Linear Synchronous Motor

In-Cheol Hwang*, Kwang-Kyu Han, Dong-Yeup Lee, Gyu-Tak Kim
 Dept. of Electrical Engineering, Chang-won Univ.

Abstract - This paper deals with skew and overhang effects of Permanent Magnet in PMLSM. The detent force and thrust characteristics considering skew and overhang effects of permanent magnet are analyzed by 3D FEM and the results are compared to experimental values

1. 서 론

영구자석형 선형 동기전동기(Permanent Magnet Linear Synchronous Motor : 이하 PMLSM)는 효율 및 추력 밀도가 높고 제어성능이 우수하며 고속, 고효율이 가능하다는 장점을 가진다. 그러나 영구자석과 전기자의 치-슬롯 구조에 의해 필연적으로 디텐트력(detent force)이 발생하게 된다. 이런 디텐트력은 전동기 구동시 추력의 맥동으로 작용하여 기기의 소음과 진동을 유발할 뿐만 아니라 제어성능을 저하시킨다[1]. 이러한 디텐트력을 저감 시키는 방안은 많이 발표되었다. 이러한 방법 중 영구자석 또는 철심에 스큐를 시행하여 디텐트력을 저감시키는 방법이 가장 일반적이다. 하지만, 스큐를 시행하면 발생 추력이 감소하는 단점이 있다. 따라서 이를 보상하기 위하여 영구자석의 오버행을 증가시켜 발생 추력을 증가시키게 된다. 그러나 영구자석의 오버행 증가 및 스큐 효과를 동시에 고려한 연구는 아직까지 보고되지 않았다. 또한 영구자석 스큐 시 영구자석의 스큐방향과 직각방향으로 작용하는 Lateral force가 발생하여 LM 가이드에 브레이킹력으로 작용하여 PMLSM의 제반 특성이 저하된다. 그러나 이와 같은 현상들은 2차원 FEA로는 해석이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 3차원 FEM 프로그램을 이용하여 스큐 적용과 오버행에 의한 효과가 PMLSM에 미치는 영향을 해석하였다.

2. 본 론

2.1 해석 모델

그림 1에 시작기 모델을 나타내었다. 본 모델의 경우, 스큐는 극 간격의 1/2인 14.25[mm]이고, 오버행 길이는 공극 길이의 8배인 9.6[mm]이다.

2.2 3D 유한 요소 해석

본 논문에서는 3차원 유한 요소 해석 프로그램인 맥스웰 3D를 사용하였다. 일반적으로 2차원 유한요소 해석으로는 스큐 또는 오버행에 의한 효과를 고려할 수 없으며, 영구자석의 스큐에 의해 영구자석과 직각방향으로 발생하는 Lateral force를 고려할 수가 없다. 따라서 스큐와 오버행의 효과를 고려하기 위하여 3차원 유한 요소 해석을 행하였다. 표 1에 본 연구에서 적용한 모델의 사양 및 제원을 나타내었다. 그림 2는 3차원 유한요소 해석을 위한 요소분할도이다.

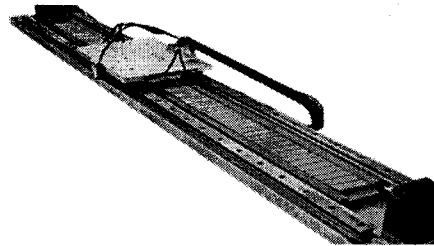


그림 1 시작기

표 1 해석 모델의 사양

고정자 사양(단위:mm)			가동자 사양(단위:mm)		
영구자석	재 질	Nd-Fe-B	치 폭	24	
	폭	26			
	길 이	73.5	슬롯 폭	14	
	높 이	10	슬롯 높이	22	
전체 길이	극 간격	28.5	요 크	두께	10
	1800			폭	109.5
				길이	342
기계적 공극			1.2		

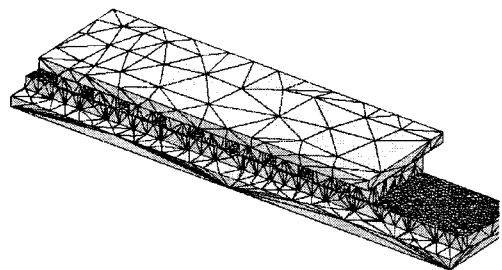


그림 2 3D 요소 분할

그림 3에 3차원 유한요소해석을 통한 자속 분포와 자속 밀도의 벡터를 동시에 나타내었다.

그림 4(a), (b)는 각각 기본모델의 쇄교자속과 역기전력을 나타내었다.

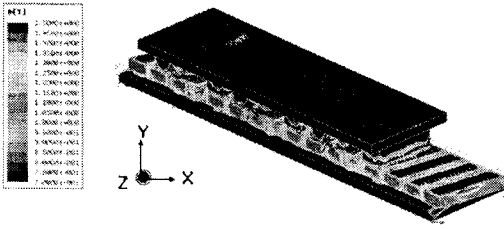
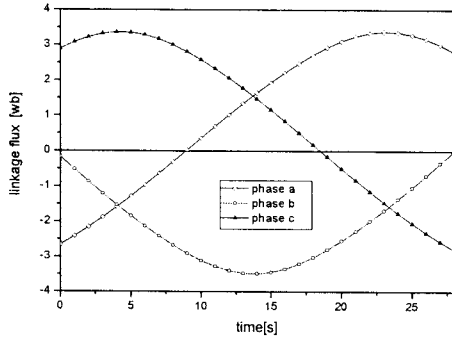
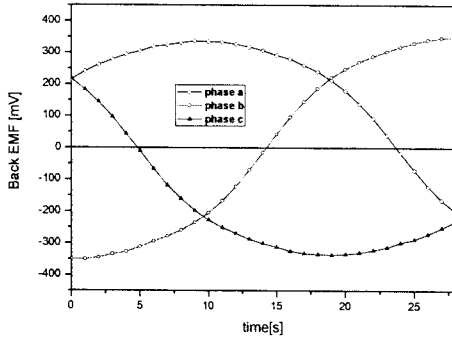


그림 3 자속 분포도



(a) 쇠교 자속



(b) 역기전력

그림 4 쇠교자속 및 역기전력 특성

2.3 오버행 변화에 따른 특성 변화

그림 5는 오버행 길이 변화에 따른 공극에서의 자속밀도 분포도이다.

영구자석 오버행 길이의 증가에 따른 발생 추력 및 디텐트력의 변화를 그림 6에 나타내었다.

철심의 z방향 길이는 73.5[mm]이다. 영구자석의 오버행 길이가 0[mm]인 경우에서 양 edge부분으로의 누설자속이 크게 나타났으나 영구자석의 길이가 기계적 공극의 8배인 9.6[mm]인 경우에는 철심 유효폭 내의 자속이 크게 증가하여 그림 6에서 보는바와 같이 발생 추력도 7.38[%] 증가하게 된다. 그러나, 영구자석의 오버행 길이가 공극의 8배인 9.6[mm]인 경우에는 공극자속의 피크치 현상 및 철심의 z방향 끝단부에서 자속의 솔림현상이 두드러지게 나타나게 됨을 알 수 있으며 이러한 자속의 솔림 현상으로 발생추력은 지속적으로 증가하게 된다. 그러나, 영구자석의 오버행 길이가 9.6[mm]이상으로 증가시키는 경우에는 유효공극내에서의 자속은 그다지 증가하지 않고 철심의 z방향 끝단부에서의 솔림현상만 두

드러지게 나타나 추력의 포화현상이 발생하게 됨을 알 수 있다.

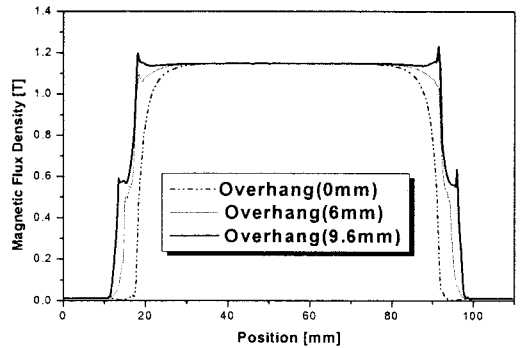


그림 5. 오버행 길이 변화에 따른 z방향으로의 자속밀도 분포 특성

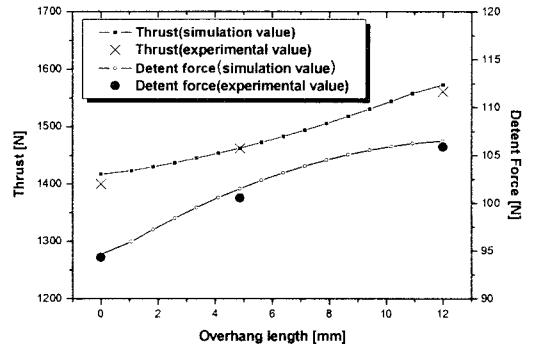


그림 6. 오버행에 따른 추력 및 디텐트력

2.4 스큐에 따른 특성 변화

일반적으로 추력 리플의 주 원인인 디텐트력을 줄이기 위하여 철심 또는 영구 자석에 스큐를 시행하는 방법을 사용한다. 따라서 스큐에 따른 PMLSM의 특성 변화를 고찰하기 위하여 3D 유한 요소 해석을 수행하였다.

그림 6은 스큐에 따른 추력과 디텐트력의 변화를 나타낸 것이다. 영구자석의 오버행 길이가 0[mm]인 경우, 영구자석에 스큐를 시행하지 않은 경우 디텐트력은 112[N]이나 영구자석을 극간격의 1/2만큼 스큐를 시행한 경우에는 55[N]으로 49.1[%]로 대폭 감소하였다. 그러나, 추력의 피크치는 1557[N]에서 1359[N]으로 약 8.7[%]만 감소하여 디텐트력의 감소에 비하여 그 감소분은 매우 적을 수 있다. 따라서, 디텐트력의 대폭적인 감소로 인하여 발생 추력의 왜형을 및 리플율은 현저히 감소하게 된다. 영구자석의 스큐에 의한 추력의 감소분은 영구자석의 오버행 길이를 증가시키면 보완할 수 있으므로 큰 문제가 되지 않는다.

그러나, 영구자석에 스큐를 시행하면 디텐트력 감소에 의한 발생 추력의 왜형을 및 리플율은 대폭 감소하나, PMLSM의 가동자의 안내 및 지지를 위한 LM 가이드에 영구자석의 스큐방향과 직각으로 작용하는 lateral force가 발생하며 LM 가이드에 브레이킹력으로 작용하여 PMLSM의 제반 특성이 저하된다. 스큐에 따른 lateral force의 변화 특성을 그림 7에 나타내었다. 영구자석을 9.5[mm] 스큐시키는 경우 lateral force는 118[N]으로 나타났으며, 영구자석을 극간격의 1/2인 14.25[mm] 스큐시키는

경우 156[N]로 매우 크게 나타남을 알 수 있으며 이러한 lateral force는 가동자와 linear-guide 사이에 마찰력으로 작용하여 효율을 감소시키게 된다.

따라서, 본 연구에서는 디텐트력을 저감시키기 위하여 영구자석을 극간격의 1/2인 14.25[mm]만큼 스큐를 시행하였으며 영구자석의 스큐에 따른 추력 감소분을 보완하기 위하여 공극길이의 8배인 9.6[mm]만큼 영구자석의 오버행 길이를 증가시켜 기본모델의 제반 특성과 비교하여 본 연구의 타당성을 증명하였다

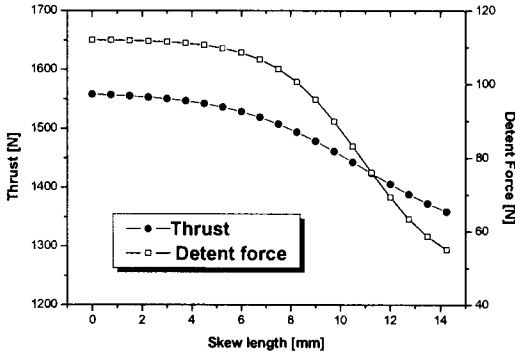


그림 6. 스큐에 따른 추력 및 디텐트력

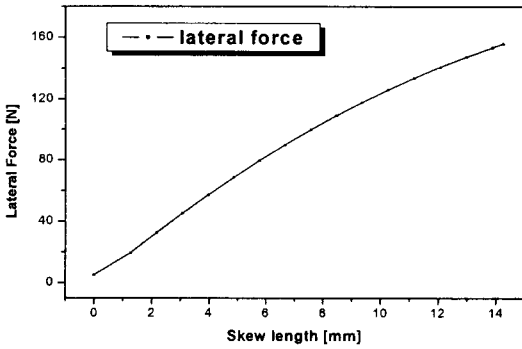
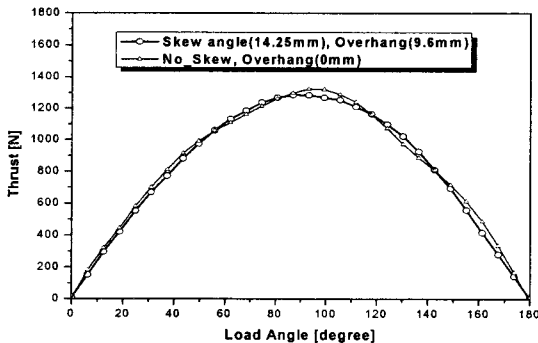
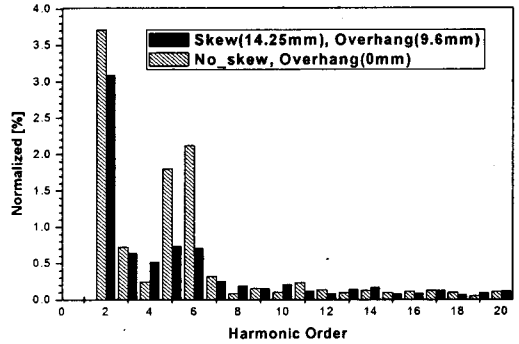


그림 7 스큐에 따른 lateral force

2.5 기본 모델과 개선 모델의 특성 비교



(a) 추력



(b) 추력 고조파 분석
그림 8 추력

그림 8은 부하각에 따른 기본 모델과 개선 모델의 추력 및 디텐트력 특성을 비교한 것이다. 기본 모델의 발생 추력의 최대치는 1323.8[N]이며, 개선 모델의 최대치는 1287[N]으로 2.78[%] 개선 모델이 작게 나타났다. 그러나 스큐 시행으로 디텐트력이 대폭 감소하여 그림 8b)에서 보는 바와 같이 발생추력의 고조파 성분이 크게 감소하였다. 따라서, 기본모델의 왜형율은 4.733[%], 개선 모델의 왜형율은 3.403[%]로 나타났으며, 개선 모델이 기본 모델에 비하여 왜형율이 감소하여 소음, 진동 등이 발생하지 않는 양호한 운전 특성을 얻을 수 있으리라 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 스큐와 오버행을 시행하였을 PMLSM에 미치는 전반적인 영향을 3차원 유한요소해석법으로 수행하였다. 해석 결과 스큐와 오버행을 시행하지 않은 모델의 추력은 1323.8[N]이며, 스큐 길이를 14.25[mm], 오버행길이를 9.6[mm] 증가시킨 모델은 1287[N]으로 개선모델이 2.78[%] 작게 나왔다. 그러나 디텐트력은 112[N]에서 55[N]으로 대폭 감소하였고 왜형률은 4.733[%]에서 3.403[%]로 감소하였다. 따라서 스큐를 시행하여 디텐트력을 대폭 감소시켜 왜형률을 줄일 수 있었고, 스큐 시행에 의하여 감소된 추력은 영구자석에 오버행을 시행하여 기본 모델과 근사한 값의 추력을 구할 수 있었다. 따라서 영구자석에 스큐를 시행함으로써, 치슬롯 구조의 PMLSM에서 필연적으로 발생하는 디텐트력을 줄여 PMLSM 운전시 발생하는 진동과 소음을 줄이고, 제어능력을 향상시킬 수 있고, 오버행을 시행함으로써, 스큐에 의해 감소된 추력을 기본 모델만큼 향상시켰다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1]Ki-Chae Lim, Joon-Keun Woo, Gyu-Hong Kang, Jung-Pyo Hong, Gyu-Tak Kim., "Detent Force Minimization Techniques in Permanent Magnet Linear Synchronous Motor", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 38, No. 2, pp. 1157-160, 2002