

추력밀도 향상을 위한 Double type 횡자속 전동기에 대한 연구

이지영, 홍정표, 장정환*, 강도현*
 창원대학교 전기공학과, *한국전기 연구원

A Study of Double type Transverse Flux Linear Motor
 for Improvement of Power Density

Ji-Young Lee, Jung-Pyo Hong, Jung-Hwan Chang*, Do-Hyun Kang*
 Changwon National University, *KERI

Abstract - This paper deals with a Double type Transverse Flux Linear Motor(TFLM) which can be applied to high power system. This type can reduce overall system volume because of the configuration which has double flux path of prototype per phase, and less number of phase and turns. This TFLM is based on permanent magnet excitation, and the pole shape is designed to reduce attraction force between stator and mover poles. In the paper, the basic configuration of double type and the principle of movement are introduced. After performing the characteristic analysis by 3-dimensional equivalent magnetic circuit network, the results are discussed.

1. 서 론

영구자석형 횡자속 전동기는 영구자석에 의해 발생하는 추력뿐만 아니라 릴럭턴스 차에 의한 릴럭턴스력을 모두 이용할 수 있기 때문에 이동자 부피당 발생 추력이 높다. 따라서 실험용 지진을 발생시키는 가진기, 반송 시스템의 추진기 및 승강기 등으로 이미 적용되고 있으며, 대용량의 산업용 추진기로서 지속적인 연구가 진행되고 있다. 특히 횡자속 전동기는 종자속 전동기와는 다른 권선법으로 인하여, 회전형에 비해 선형 추진 시스템에서 그 응용분야를 넓히고 있다[1-4].

횡자속 전동기를 추진 시스템에 적용시킬 수 있는 가장 주요한 이유는 추력밀도가 높다는 것으로서, 이를 위하여 자기 차폐 또는 영구자석을 이용할 수 있으며, 형상최적화를 통하여 추력을 보다 향상시킬 수 있다. 그러나 높은 추력을 얻기 위한 설계 결과는 이동자와 고정자 사이의 높은 흡인력을 발생시킴으로서 기구적인 문제점을 야기 시킬 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 고효율 추진 시스템에 적용할 수 있는 모델로서 Double type 횡자속 전동기에 대해 검토해 보고자 한다. 이는 한 상당 Prototype의 2배(double)의 자로를 가지면서 상 수 및 권선수를 저감시킴으로서, 전체 시스템의 부피를 감소시킬 수 있는 모델로서, 높은 추력밀도를 얻기 위하여 영구자석여자 방식을 기본 모델로 하였으며, 흡인력을 저감시키기 위한 극 형상이 고려되었다.

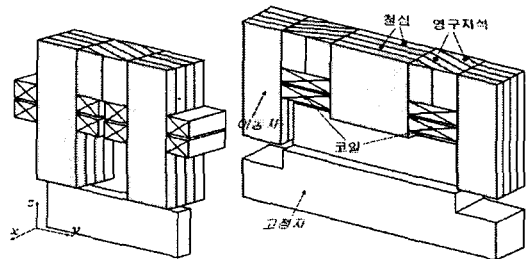
본문에서는 Double type 횡자속 전동기의 기본적인 형상에 대해서 자세히 설명하고, 그 동작 원리에 대해서 검토 한 뒤, 3차원 등가 자기 회로망법 (EMCNM, Equivalent Magnetic Circuit Network Method)[5],[6]을 이용한 특성 해석 결과 분석을 통해서 Double type 횡자속 전동기의 장, 단점을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 Double type 횡자속 전동기

그림 1은 이송 시스템의 추진기로 개발된 영구 자석형 횡자속 전동기의 Prototype과 본 논문에서 제안하는 Double type에 대한 3차원 형상을 비교한 것이다. 그림 2에서 보듯이, Prototype의 2개의 상을 하나로 결합하여 Double type으로 바꾸는 과정에서, A상의 Pole1과 B상의 Pole2 길이가 길어짐으로서 양단에서 발생하던 흡인력이 서로 상쇄되는 형상으로 바뀌었고, 가운데 극에 의해서만 흡인력이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 흡인력을 절반으로 줄여주는 역할을 한다. 또한, 각 상 코일의 이동자 극 바깥에 위치한 C_{out} 부분이 생략됨으로서 시스템 공간을 보다 효과적으로 이용할 수 있게 되었다.

2 개의 상을 결합하여 하나의 상을 만든 Double type 횡자속 전동기의 특성을 4상 Prototype과 비교하고, 평가하기 위하여 2상에 대해서 고려하도록 한다. 표 1은 각각의 전동기에 대한 주요 사양을 나타낸 것으로, 동일 입력 조건을 위하여 턴 수와 정격전류가 변화된 것 외에, 모든 해석 조건은 동일하다.



(a)Prototype (b)Double type
 그림 1. Prototype과 Double type 횡자속 전동기 비교

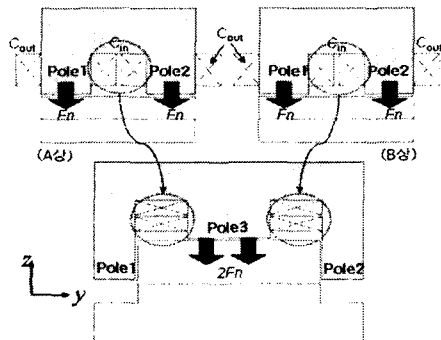


그림 2. Double type 횡자속 전동기

표 1. Prototype과 Double type의 주요 사양 비교

		Prototype	Double type
상수		4상	2상
이동자	상당 직렬 턴수	288 turns	144 turns
	정격 전류	17.36A	34.72A
	정격 기자력	5000 AT	
	영구자석	$B_r = 1.2T$ $\mu_r = 1.05$ 자화 방향 길이=10mm	
	영구자석 수	157개	
고정자	극 수	16개	
	극 너비	10 mm	
	재질	S20C	
	극 수	16 쌍	
	극 너비	14 mm	
	재질	SM490A	

2.2 Double type의 추력 발생 원리

그림 3에서는 횡자속 전동기의 특성 비교 평가 시, 고려하는 권선 기자력 파형을 나타내고 있고, 그림 4는 영구자석형 횡자속 전동기에서 추력 밀도를 증가시키기 위한 영구자석 배치에 대한 개념도를 보여주고 있다. 이를 기본으로, 추력을 발생시키기 위해 상대적으로 어긋나게 배치되는 극을 서로 연결하기 위하여 그림 1에서와 같이 이동자에 스큐(skew) 형상을 고려할 수도 있고, 그림 5에서와 같이 고정자에 스큐 형상을 고려할 수도 있다. 제작된 Prototype의 경우, 이동자의 극과 극 사이에 스큐가 들어가 있고, 고정자 슬롯이 직선부로 되어 있으므로, Double type 또한 그림 1과 같은 형태로 제작할 것이나, 그림 5에서는 이해를 돕기 위하여 이동자는 모두 직선부로 나타내고, 고정자는 스큐가 있는 간략화된 모델로 나타내었다.

그림 5는 Double type 횡자속 선형 전동기의 추력 발생 원리를 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 무부하시 이동자 이동에 따른 디텐트력을 나타낸 것이고, 그림 5(b)는 그림 3과 같은 권선 기자력이 인가되었을 때 발생하는 추력을 나타낸 것이다.

그림 5(c)에서 (g)까지는 이동자 극과 고정자 극이 서로 정렬되어 있는 경우를 0mm로 보았을 때, 추력 발생 주기 (20mm) 동안에 이동자가 이동하는 동안 고정자와 이동자 사이에서의 추력 발생 원리를 도식화 한 것이다. 좌변은 그림 5 (a)와 같은 무부하에서 디텐트력이 발생하는 원리를 나타내고 있으며, 우변은 그림 5 (b)와 같이 권선 기자력이 인가되는 경우, 즉 부하시 일정 방향 추력이 발생하는 것을 보여주고 있다. 이동자의 7개의 층은 15개의 영구자석과 16개의 철심으로 이루어진 실제 이동자의 한 부분에 해당하는 4개의 영구자석과 3개의 철심만을 나타낸 것으로, 무부하시에는 그림 5의 좌변에 도식되어 있는 것과 같이 영구자석에 의한 자력이 모두 고정자에 영향을 미치므로, (a)와 같은 디텐트력이 발생하게 된다. 그러나 그림 3과 같은 일정 기자력이 인가되는 부하 운전 시에는, 그림 5의 우변에 도식되어 있는 것과 같이 영구자석에 의한 자력이 권선 기자력에 의해 상쇄되는 부분이 나타나므로, (b)와 같은 일정 방향의 추력이 발생하게 된다.

2.3 추력 특성 비교

3차원 등가 자기 회로방법을 이용하여 Prototype과 Double type 각각에 대하여 정자계 해석을 수행하였다. 그림 3과 같은 구형과 기자력의 크기를 바꾸어서 각각 추력과 흡인력을 산정하여 그림 6, 7, 8에서 비교하였다. 추력의 경우, Prototype은 그림 6에서 보듯이 4상의 합성 추력을 나타낸 것이고, Double type은 그림 7에서와 같이 2상에 대한 합성 추력을 나타낸 것이다.

그림 6과 그림 7은 정격 기자력인 5000AT에서 각각의 추력 특성을 보여주고 있다. 4상을 사용하는 Prototype에 비해 2상을 사용하는 Double type에서 리플이 약 25% 증가한 것을 볼 수 있으며, 평균 추력은 Prototype보다 약 5% 감소하였다.

그림 8은 기자력 변화에 따른 Prototype과 Double type에서의 평균 추력과 최대 흡인력의 변화를 비교한 것이다. 인가 기자력이 낮은 경우에는 2상 Double type의 평균 추력이 4상 Prototype 보다 높으나, 높은 기자력이 인가되는 경우에는 포화로 인하여, 추력이 더 이상 증가하지 못함을 보여주고 있다.

이에 비해 흡인력은 Double type이 Prototype에 비해 크게 향상되었음을 알 수 있다. 그래프에서 보여주는 흡인력은 한 상에 대한 최대 흡인력으로, Prototype의 경우에는 이에 대해 4배, Double type의 경우에는 이에 대해 2배이므로, 결론적으로 Double type의 흡인력이 Prototype에 비해 절반으로 감소하였음을 알 수 있다. 이상의 결과를 바탕으로, 정격 기자력 5000AT일 때, Prototype과 Double type에 대한 특성을 표 2에 비교 하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 고효율 추진 시스템에 적용할 수 있는 모델로서 Double type 횡자속 전동기에 대해서 검토하였다. 전체 시스템 부피를 감소시키면서 일정 추력을 발생시키기 위하여 Prototype에 비해 자기 회로는 2배로 증가시키는 대신, 권선수와 상수를 감소시켰다. 정격 기자력인 5000AT에 대한 특성을 비교한 결과 출력 리플이 25% 증가한 데 비해 흡인력은 약 50% 감소하였으며, 평균 토크가 약 5% 감소한 데 비해 2개 코일의 부피만큼 시스템 이용면적을 늘릴 수 있었다.

흡인력이 선형 전동기에 있어서 돌핀 효과와 같은 전동기 진동의 원인이 되며, 코일 하나의 부피가 전동기 이동자 한 극의 부피와 거의 동일하다는 것을 고려할 때, 전류가 이상적인 구형파로 입력되는 경우, Double type에 의해서 추력 밀도는 물론 추력특성이 향상될 수 있음을 예측할 수 있다. 또한 4상에서 2상으로 줄어들어서, 드라이버 구성에 있어서도 경제적인 것 외에 시스템 운전 면에 있어서도 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

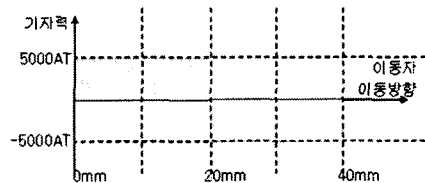


그림 3. 정추력 해석 시 고려되는 권선 기자력 파형

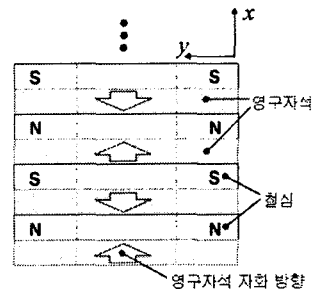
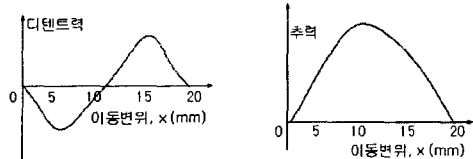
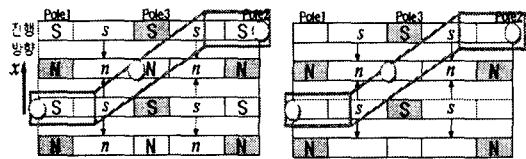


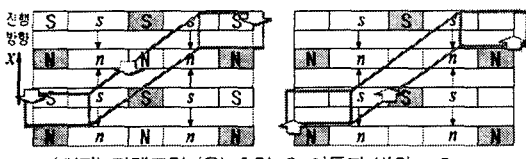
그림 4. 이동자의 자극배치에 대한 개념도



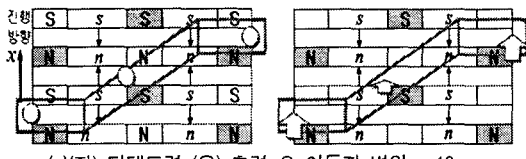
(a) 디텐트력 발생 양상 (b) 추력 발생 양상



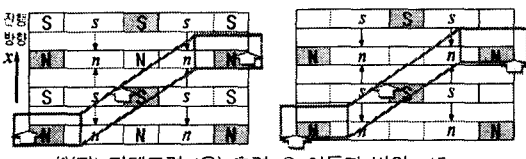
(c)(좌) 디텐트력 (우) 추력 @ 이동자 변위 = 0mm



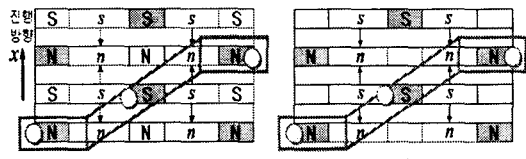
(d)(좌) 디텐트력 (우) 추력 @ 이동자 변위 = 5mm



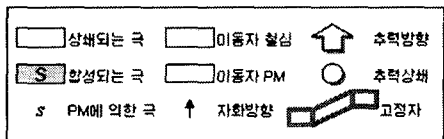
(e)(좌) 디텐트력 (우) 추력 @ 이동자 변위 = 10mm



(f)(좌) 디텐트력 (우) 추력 @ 이동자 변위 = 15mm



(g)(좌) 디텐트력 (우) 추력 @ 이동자 변위 = 20mm



(h)범례

그림 5. Double type 횡자속 전동기의 추력발생 원리

표 2. Prototype과 Double type 특성 비교 @5000AT

	Prototype	Double type	비고
평균 추력	7020N	6660N	5%감소
추력 리플	7%	32.5%	25.5%증가
흡인력	10391×4	10620×2	49%감소
시스템 체적	-	2개 코일 부피만큼 감소	

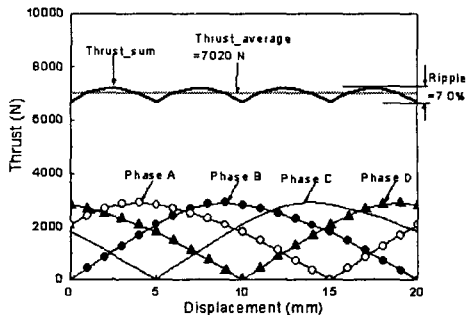


그림 6. Prototype의 추력 리플 @5000AT 입력

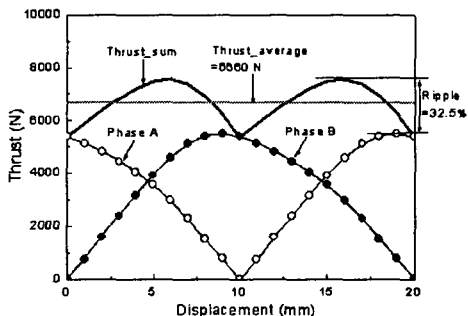


그림 7. Double type의 추력 리플 @5000AT 입력

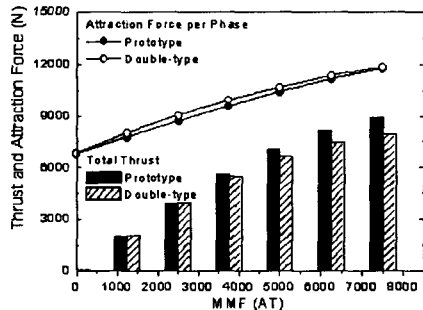


그림 8. 기자력 변화에 따른 평균 추력과 상당 최대 흡인력

[참고 문헌]

- [1] 강도현, 방덕제, 김종무, 정연호, 김문환, "Ropeless 승강기용 영구자석여자 횡자속 선형전동기 설계에 관한 연구", 전기학회 논문지 49B권, 3호, pp145-151, 2000
- [2] 강도현, 김문환, "자기부상 열차용 부상 및 안내 결합형 횡자속 선형전동기 설계에 관한 연구", 전기학회 논문지 49B권, 2호, pp102-109, 2000
- [3] Ji-Young Lee, Jung-Pyo Hong, and Do Hyun Kang, "A study of inductance computation for transverse flux linear motor considering nonlinearity of magnetic material," *Key Engineering Materials*, submitted for publication, 2004
- [4] 강도현, "횡자속 전동기의 고효율화", 전기학회지 53권, 2호, pp16-20, 2004
- [5] 허진, 홍정표, 현동석, "3차원 와전류 해석을 위한 등가자회로망법의 개발", 전기학회 논문지 51권 5호, pp228-233, 2002
- [6] Jin Hur, Sang Baek Yoon, Dong Yun Hwang, and Dong Seok Hyun, "Analysis of pmlsm using three dimensional equivalent magnetic circuit network method," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 33, No. 5, Sept. 1997