

흡인력 저감과 추력밀도 향상을 위한 Double Type 횡자속 전동기에 대한 연구

論 文
54B-3-2

A Study of Double Type Transverse Flux Linear Motor for Improvement of Attraction Force and Power Density

李 旨 榮[†] · 洪 正 杓^{*} · 張 正 煥^{**} · 姜 道 鉉^{***} · 金 榮 重[§]

(Ji-Young Lee, Jung-Pyo Hong, Jung-Hwan Chang, Do-Hyun Kang, and Young-Jung Kim)

Abstract - This paper deals with a Double-type Transverse Flux Linear Motor which can be applied to high power system. This type can reduce overall system volume because it has a double flux path, and less number of phases and turns comparing with prototype for one phase. This machine 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 is introduced first, and the principle of movement is explained. After performing the characteristic analysis by 3-dimensional equivalent magnetic circuit network, the results are discussed.

Key Words : Attraction Force, Power Density, Transverse Flux Linear Motor, 3D EMCN

1. 서 론

영구자석형 횡자속 전동기 (Permanent Magnet type Transverse Flux Linear Motor ; PM TFLM)는 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 응용 분야를 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 야기시킬 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 고풍력 추진 시스템에 적용할 수 있는 모델로서 Double type 횡자속 전동기에 대해 검토해보고자 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, 흡

인력을 저감시키기 위한 극 형상이 고려되었다.

본문에서는 Double type 횡자속 전동기의 기본적인 형상에 대해서 자세히 설명하고, 그 동작 원리에 대해서 검토한 뒤, 3차원 등가 자기 회로망법 (EMCNM, Equivalent Magnetic Circuit Network Method)[5-8]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 전동기가 시스템에 부착되었을 때의 조립도와 횡자속 전동기 한 상의 세부 형상을 나타낸 것이다. 코일이 외부에 노출되어 있으므로, 전자기적으로는 누설이 많고, 기계적으로는 견고하지 못한 단점이 있다. 뿐만 아니라 출력을 높이고자 할 때는 상수를 증가시켜야 하며, 이에 따라 흡인력이 증가하여 가이드 또는 바퀴(Wheel)의 구조 설계에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, 이러한 단점을 개선시키기 위한 모델로서 본 논문에서 제시하는 Double type 횡자속 전동기에 대한 개념도를 그림 2와 그림 3에 제시하고, Prototype과 비교하였다. 그림 2는 두 전동기의 3차원 형상을 비교한 것이고, 그림 3은 두 상의 Prototype을 한 상의 Double type으로 변화시키는 과정에서 부피 및 수직력 변화를 도식화 한 것이다. Prototype을 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 Cout부분이 생략됨으로서 시스템 공간을 보다 효과적으로 이용할 수 있게 되었을 뿐만 아니라 누설도 줄어들게 되었다.

[†] 교신저자 正 會 員 : 昌原大學校 電氣共學科 博士課程
E-mail : jyecad@korea.com

^{*} 正 會 員 : 昌原大學校 電氣共學科 副教授 · 工博

^{**} 正 會 員 : 韓國電氣研究員 · 工博

^{***} 正 會 員 : 韓國電氣研究員 · 工博

[§] 正 會 員 : 韓國產業技術大學校 副教授 · 工博

接受日字 : 2004年 10月 2日

最終完了 : 2005年 1月 17日

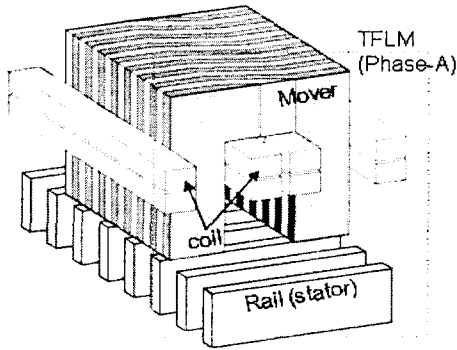
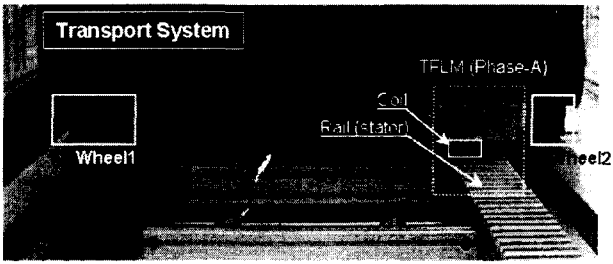


그림 1 운송 시스템 내의 Prototype 횡자속 전동기(상)와 전동기의 세부형상(하)

Fig. 1 Transverse flux linear motor in transport system (upper) and the detail configuration (lower)

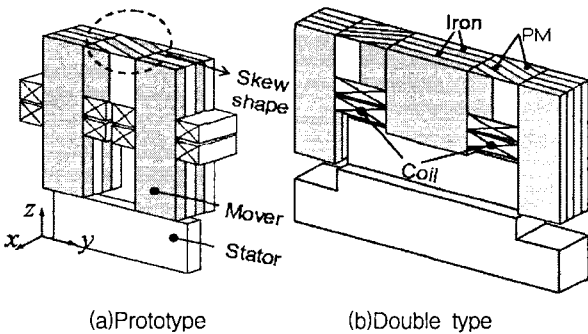


그림 2. Prototype과 Double type의 형상비교
Fig. 2 The comparison of configurations

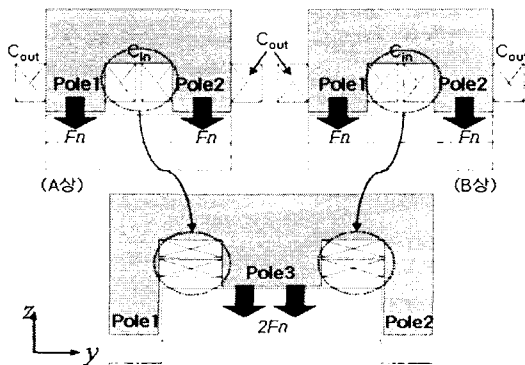


그림 3 Prototype과 Double type의 수직력 비교
Fig. 3 The comparison of normal forces

Prototype의 두 개의 상을 결합하여 Double type의 하나의 상을 만들었으므로, 동일한 출력에 대해 비교하기 위하여, 네 상 Prototype에 대해 Double type은 두 상에 대해서만 고려하였다. 표 1에 보이는 바와 같이 상 수를 제외한 각각의 전동기에 대한 주요 사양은 동일하며, 그림 4에 각 자성 재료의 B-H 특성 곡선을 나타내었다.

2.2 Double type의 추력 발생 원리

그림 5에서는 횡자속 전동기의 정특성 비교 평가 시 고려하는 고정자의 권선 기자력 영구자석 기자력 파형을 나타낸 것이다. 그림 5(a)의 상단은 이동자의 이동거리 또는 그때의 시간에 따른 기자력 변화를 나타낸 것이고, 하단은 각각의 시점에서 y방향으로의 기자력 분포를 나타낸 것이다. 그림 5(b)에서는 Prototype과 Double type의 권선 기자력 분포를 비교하였다. 그림 5(c)는 추력 밀도를 증가시키기 위한 횡자속 전동기의 기본적인 영구자석 배치에 대한 개념도를 보여주고 있다. 이를 기본으로, 추력을 발생시키기 위해 상대적으로 어긋나게 배치되는 이동자 극을 서로 연결하기 위하여 그림 1 또는 2에서 보이는 바와 같이 이동자가 스큐(skew) 형상을 가지게 된다.

표 1. Prototype과 Double type의 주요 사양 비교

Table 1. The specifications of prototype and double type

		Prototype	Double type
상 수		4상	2상
이동자	상당 정격 기자력	5000 AT	
	영구자석	$B_r = 1.2T$ $\mu_r = 1.05$ 자화 방향 길이=10mm	
	상당 영구자석 수	15개	
	상당 극수	16개	
	극 너비	10 mm	
고정자	재 질	S20C	
	극 수	16 쌍	
	극 너비	14 mm	
	재 질	SM490A	

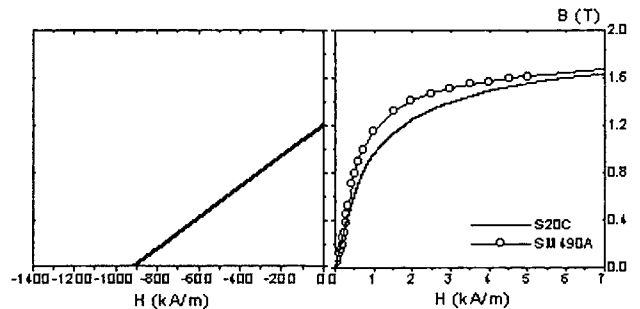


그림 4 자성재료의 B-H 특성곡선 (좌)영구자석, (우)이동자와 고정자 철심재료

Fig. 4 B-H Curve of magnetic materials (upper)Permanent magnet, (lower)Magnetic material of rotor and stator

제작된 Prototype의 경우, 이동자의 극과 극 사이에 스쿠가 들어가 있고, Rail에 해당하는 고정자 극이 직선부로 되어있으므로, Double type 또한 그와 같은 형태로 제작할 것이나, 추력 발생 원리를 설명하는 그림 6에서는 이해를 돕기 위하여 이동자는 모두 직선부로 나타내고, 상대적으로 고정자에 스쿠가 있는 간략화된 모델로 나타내었다. 그림 6(a)는 무부하시 이동자 이동에 따른 디텐트력을 나타낸 것이고, 그림 6(b)는 그림 4와 같은 권선 기자력이 인가되었을 때 발생하는 추력을 나타낸 것이다.

그림 6(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 무부하에서 디텐트력이 발생하는 원리를 나타내고 있으며, 우변은 권선 기자력이 인가되는 경우, 즉 부하시 일정 방향 추력이 발생하는 것을 보여주고 있다. 이동자의 7개의 가로층은 15개의 영구자석과 16개의 철심으로 이루어진 실제 이동자의 일부분에 해당하는 4개의 영구자석과 3개의 철심을 나타낸 것으로, 무부하시에는 그림 6의 좌변에 도식되어 있는 것과 같이 영구자석에 의한 자극이 모두 고정자에 영향을 미치므로 그림 6(a)와 같은 디텐트력이 발생하게 된다. 그러나 일정 기자력이 인가되는 부하 운전 시에는, 그림 6의 우변에 도식되어 있는 것과 같이 영구자석에 의한 자극이 권선 기자력에 의해 상쇄되는 부분이 나타나므로, 그림 6(b)와 같은 일정 방향의 추력이 발생하게 된다.

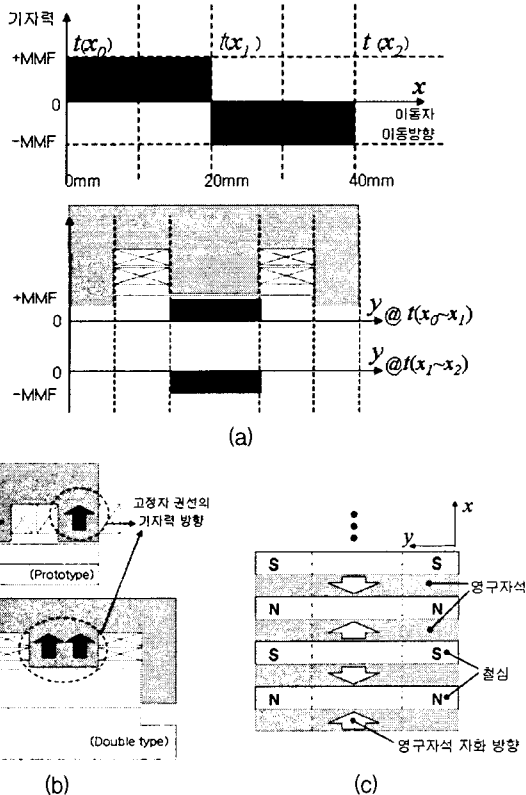


그림 5. 정추력 해석시 기자력 분포 (a)권선 기자력 파형, (b)권선 기자력 방향, (c)영구자석 기자력 방향
 Fig. 5. MMF distribution(a) and direction(b) of coil, and MMF direction of PM(c)

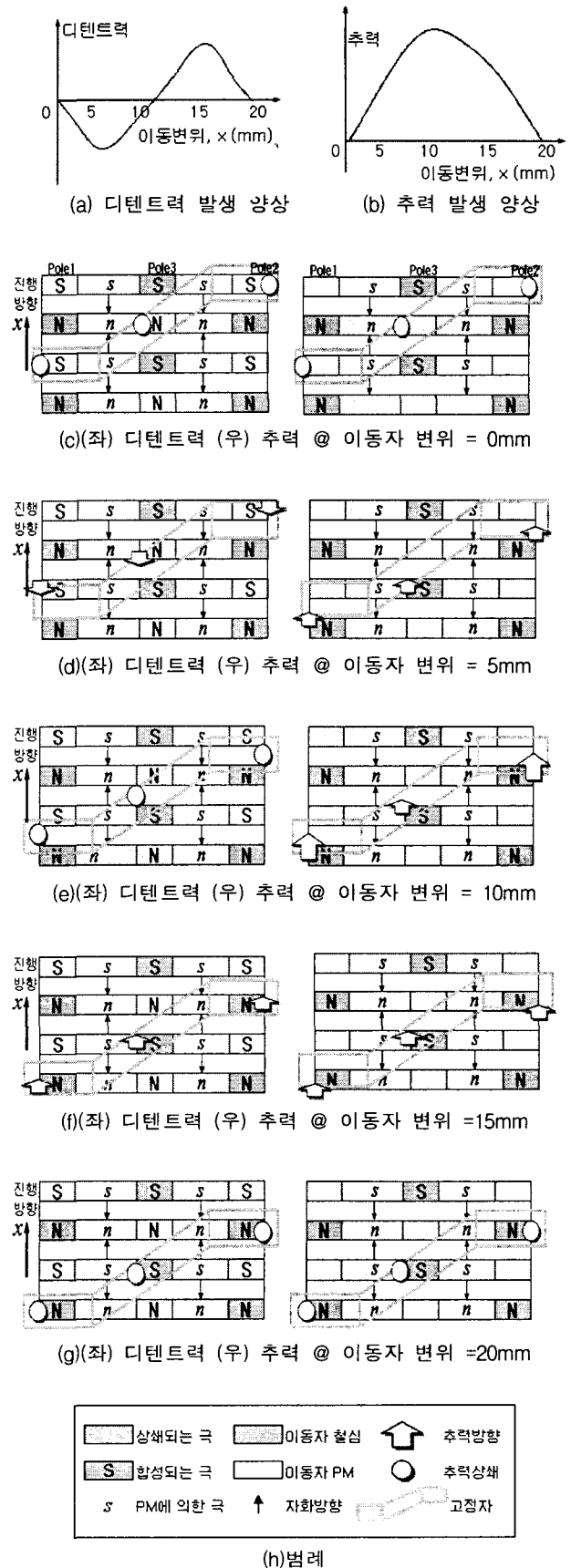


그림 6. Double type 횡자속 전동기의 추력발생 원리
 그림 6. The principle of thrust development in double type

2.3 등가 자기 회로망법

횡자속 선형전동기의 구조적인 특성으로 인해 3차원 해석은 필수적이다. 복잡한 3차원 전자계 해석을 위해 퍼미언스법으로 대표되는 가정자로법과 유한요소법으로 대표되는 수치계산법 등을 이용할 수 있으나, 이 중 본 논문에서는 퍼미언스법인 EMCNM을 이용하도록 한다. 상용프로그램에서 일반적으로 사용하고 있는 유한요소법에 비해 EMCNM은 선처리작업(Pre-process)이 간단하고 요소 재분할 과정이 없으므로, 계산 시간 및 해의 정밀도 측면에서 유용한 방법으로 알려져 있다 [7][8].

가. 퍼미언스 계산

해석 대상인 횡자속 선형전동기를 3차원 EMCNM으로 해석하기 위하여 해석 모델을 직육면체로 요소분할하고, 각 요소의 중심 절점에 의해 그림 7과 같이 자기회로망을 구성하였다. 각 요소 절점의 x 방향의 퍼미언스는 각 요소의 투자율과 길이 및 면적에 의해 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$P^x_{i,j,k} = P^x_{i,j,k} // P^x_{i+1,j,k} = \frac{\mu_0^2 \mu_r \mu_r \mu_r S^x_{i,j,k}}{\mu_0 \mu_r \mu_r x_{i,j,k} + \mu_0 \mu_r \mu_r x_{i+1,j,k}} \quad (1)$$

여기서, $S^x_{i,j,k}$ 는 요소의 x 방향 면적이며, μ_r, μ_r 는 각 요소의 비투자율이다. y 및 z 방향에 대해서도 같은 방법으로 퍼미언스를 계산할 수 있다.

나. 회로망 구성요소

기본적인 등가자기회로망의 자속흐름도를 임의의 절점 (i, j, k) 에서 나타내면 그림 7과 같고, 이에 대하여 x 방향으로의 자속은 두 절점 (i, j, k) 와 $(i+1, j, k)$ 사이의 자위를 각각 $U_{i,j,k}, U_{i+1,j,k}$ 이라하면, 식(2)와 같이 표현할 수 있다. y 방향과 z 방향으로의 자속도 같은 방법으로 계산할 수 있다.

$$\Phi^x_{i,j,k} = P^x_{i,j,k} (U_{i,j,k} - U_{i+1,j,k} + E^x_{i,j,k}) \quad (2)$$

여기서 $U_{i,j,k}$ 는 절점 (i, j, k) 의 자위값에 해당하는 미지값, $P^x_{i,j,k}$ 는 x 방향으로의 두 절점사이의 퍼미언스, $E^x_{i,j,k}$ 는 Source내부에 해당하는 영구자석과 전기자권선의 기자력이 분포하고 있는 슬롯부의 기자력이다.

해석영역의 임의의 한 절점에서 자속량의 유출입량이 불변이라는 자속의 연속조건을 이용하여 그림 7의 (i, j, k) 에서 수식 (3)과 같은 계수 행렬을 얻게 된다.

$$\sum_{n=1}^6 \Phi_n = \Phi^x_{i-1,j,k} + \Phi^x_{i+1,j,k} + \Phi^y_{i,j-1,k} + \Phi^y_{i,j+1,k} + \Phi^z_{i,j,k-1} + \Phi^z_{i,j,k+1} = 0 \quad (3)$$

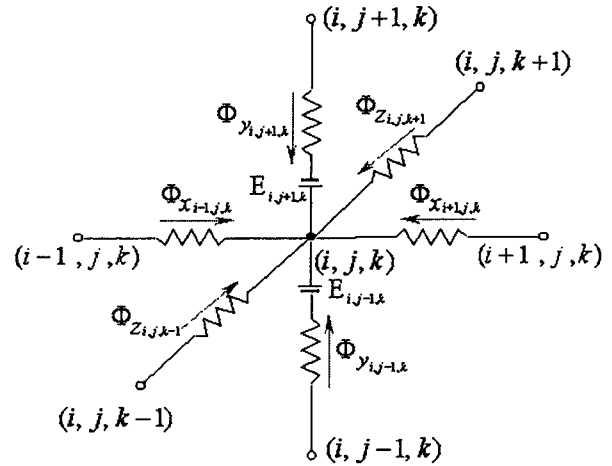


그림 7. 한 절점에서 EMCNM의 구성 및 자속의 흐름도
Fig. 7 Magnetic circuit network in one element and flux flow

모든 절점에 대해 절점 방정식을 구성하면 절점의 수만큼의 대수방정식을 얻을 수 있고, 이 대수방정식은 식 (4)와 같은 행렬방정식의 형태로 표현할 수 있다. 여기서, $[P]$ 는 퍼미언스 계수행렬, $\{U\}$ 는 절점자위 행렬이며 미지 변수, $\{F\}$ 는 구동벡터(전기자 권선 및 영구자석의 기자력 \times 퍼미언스)를 나타낸다.

$$[P]_{n \times n} \{U\}_{n \times 1} = \{F\}_{n \times 1} \quad (4)$$

다. 요소별 기자력 분포

EMCNM의 인가기자력은 영구자석에 의한 기자력과 전기자권선에 의한 기자력으로 나눌 수 있다. 본 해석방법에서는 영구자석에 의한 기자력 E 를 위치에 따라 결정되는 자화분포 M 에 의하여 식(5)와 같이 표현하였다.

$$E_{(i,j,k)} = \frac{M(x,y,z)}{\mu_0 \mu_r} l_{(i,j,k)} \quad (5)$$

여기서 $M(x,y,z)$ 는 위치에 따른 영구자속의 자화분포를 나타내는 함수이고, $l_{(i,j,k)}$ 는 영구자석의 두께방향으로 요소 길이이다.

그림 5와 같은 분포를 갖는 전기자권선에 의한 기자력은 위치함수에 의해 표현된 전류밀도를 이용하여 계산한다. 전기자권선의 전류밀도는 식(6)과 같이 나타낼 수 있고, 이 때 전기자권선에 의한 기자력은 식(7)과 같다.

$$J(x) = \frac{dI}{dx} \quad (6)$$

$$E(x) = \int_0^x J(x) dx \quad (7)$$

2.4 추력 특성 비교

3차원 EMCNM을 이용하여 Prototype과 Double type 각각에 대하여 정자계 해석을 수행하였다. 그림 8은 각 해석 모델의 요소분할도로서, 공기영역을 포함하여 각각 37만 6천개와 46만 5천개의 요소를 가진다. 이는 일반적인 3차원 유한요소 해석 시 사용되는 요소 수 이상으로, 동일한 요소 수를 가지는 유한요소 해석방법에 비해 해석 시간이 절반 이상으로 짧게 소요된다.

그림 9는 해석과 실험에 의한 추력을 비교하는 것으로서, 범례의 100%는 정격 기자력 5000AT을 나타내고 있다. 전기자 권선의 기자력이 0%일 때의 디텐트력과 기자력이 50%와 100%인 경우의 정추력 특성 해석치가 실험치와 잘 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 해석의 신뢰도는 다른 모델에서도 확인할 수 있다 [9], [10]. 따라서, 본 논문에서는 EMCNM에 의한 해석결과로서 두 모델의 특성을 비교 분석하도록 한다.

그림 4와 같은 구형과 기자력의 크기에 따른 추력과 흡인력을 산정하여 그림 10과 12에서 비교하였다. 그림 10과 그림 11은 정격 기자력이 5000AT에서 이동자의 이동에 따른 추력 특성을 보여주고 있다. 그림 10에서 보듯이 Prototype은 네 상의 합성 추력을 전체 발생 추력으로 보았고, Double type은 그림 11에서와 같이 두 상에 대한 합성 추력을 전체 발생 추력으로 보았다. 4상을 사용하는 Prototype에 비해 2상을 사용하는 Double type에서 리플이 약 25% 증가한 것을 볼 수 있으며, 평균 추력은 Prototype보다 약 5% 감소하였다.

그림 12는 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 네 배, Double type의 경우에는 이에 대해 두 배이므로, 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.

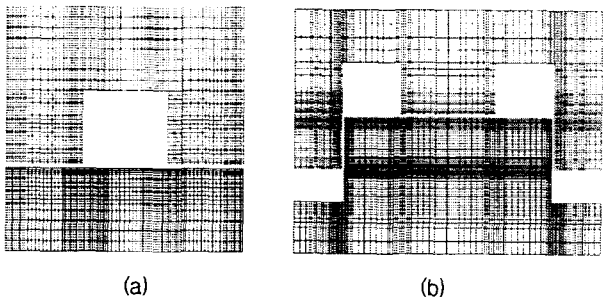


그림 8. EMCNM에 의한 해석을 위한 각 모델의 요소분할도 (a) Prototype(37만6천개 요소) (b) Double type(46만5천개 요소)
Fig. 8. Divided analysis model for using EMCNM. The number of element (a) 376,000 (b) 465,000

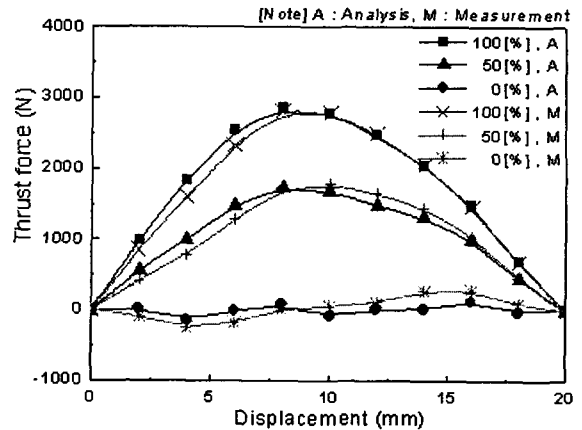


그림 9. Prototype의 기자력 변화에 따른 추력 해석치와 실험치 비교
Fig. 9 The comparison of computed and measured thrust of prototype according to MMF variation

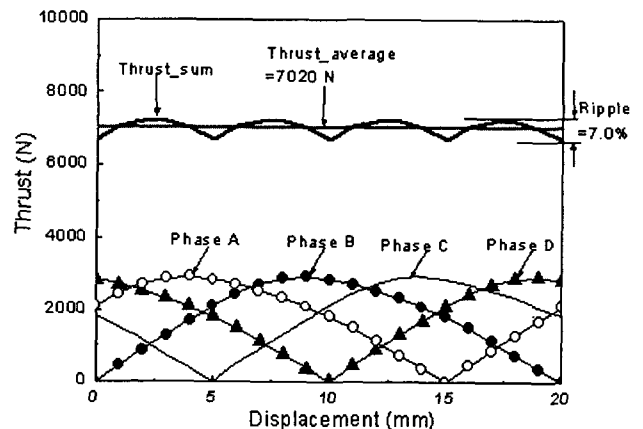


그림 10. Prototype의 추력 리플 @5000AT 입력
Fig. 10 Thrust ripple of prototype at 5000AT

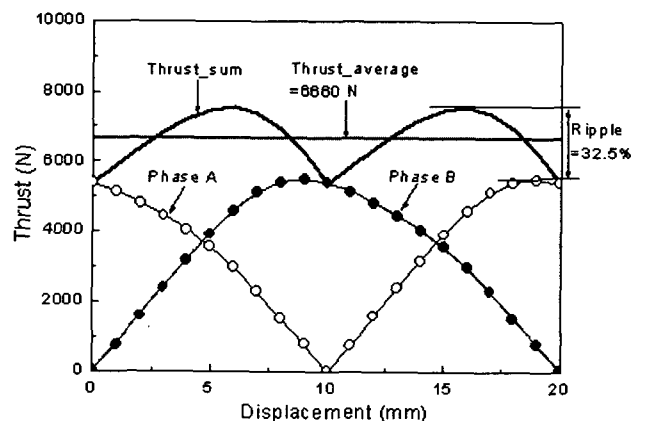


그림 11. Double type의 추력 리플 @5000AT 입력
Fig. 11 Thrust ripple of double type at 5000AT

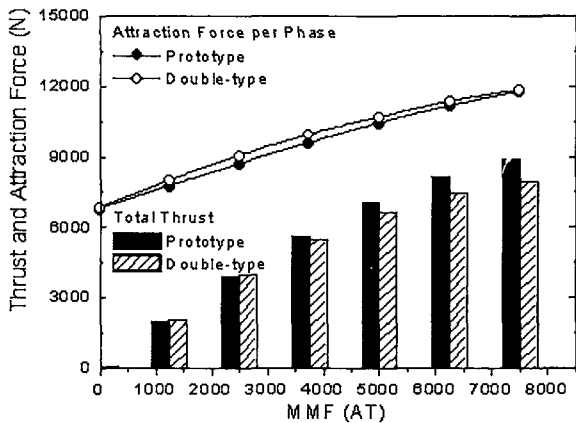


그림 12. 기자력 변화에 따른 평균 추력과 상당 최대 흡인력
 Fig. 12 Average thrust and maximum attraction force according to MMF variation

표 2. Prototype과 Double type 특성 비교 @5000AT
 Table 2. The comparison of characteristics of prototype and double at 5000AT

	Prototype	Double type	비교
평균 추력	7020N	6660N	5%감소
추력 리플	7%	32.5%	25.5%증가
흡인력	10391×4	10620×2	49%감소
시스템 체적	-	1개 코일 부피 이상 감소	

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 1개 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 본 연구 결과를 통해서 알 수 있다.

또한 4상에서 2상으로 줄어듦으로서, 드라이버 구성에 있어서도 경제적인 것 외에 시스템 운전 면에 있어서도 효과를 얻을 수 있을 것이다. 만약 Double type을 Prototype과

같이 4상을 사용하고 부피와 그에 따른 권선수를 비례적으로 줄여 사용한다면, 흡인력과 시스템 체적은 물론, Prototype에 비해 단점으로 제시되었던 평균추력과 추력 리플까지 개선될 수 있음을 예측할 수 있다.

참 고 문 헌

- [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, pp.102-109, 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, vol. 277-279, pp.391-396, 2005.
- [4] 강도현, "횡자속 전동기의 고효율화", 전기학회지 53권, 2호, pp.16-20, 2004.
- [5] 허진, 홍정표, 현동석, "3차원 와전류 해석을 위한 등가 자기회로방법의 개발", 전기학회 논문지 51권 5호, pp.228-233, 2002.
- [6] Jin Hur, Sang-Baeck 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.
- [7] 염상부, 하경호, 홍정표, 김규탁, "3D EMCN을 이용한 양측식 가동 코일형 LDM의 특성해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.876-878, 2000.
- [8] 하경호, 염상부, 홍정표, 허진, 강도현, "구동전압을 고려한 3차원 등가자기회로방법에 의한 선형 직류전동기의 동특성 해석", 전기학회논문지 51B권 2호, 2, pp.61-68, 2002.
- [9] Ji-Young Lee, Jung-Pyo Hong, Do-Hyun Kang, "Thrust Calculation of Transverse Flux Linaer Motor Considering End Effect of Mover," International Conference on Electrical Machines (ICEM) 2004, Full paper in CD, September, 2004.
- [10] Ji-Young Lee, Jung-Pyo Hong, and Do-Hyun Kang, "Analysis of Permanent Magnet Type Transverse Flux Linear Motor by Coupling 2D Finite Element Method on 3D Equivalent Magnetic Circuit Network Method", 2004 IEEE Industry Applications Conference 39th IAS Annual Meeting, Full paper in CD, October, 2004.

저 자 소 개



이지영 (李 旨 榮)

1977년 5월 26일 생. 2000년 창원대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
Tel : 055-262-5966
Fax : 055-263-9956
E-mail : jyecad@korea.com



강도현 (姜 道 鉉)

1958년 9월 21일 생. 1981년 한양대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 독일 Braunschweig대 졸업 (공학박사). 1989년 ~ 현재 한국 전기연구원 책임연구원 (Mechanics연구 그룹장)
Tel : 0551-280-1480
Fax : 0551-280-1547
E-mail : dhkang@keri.re.kr



홍정표 (洪 正 杓)

1959년 4월 17일 생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년~1990년 LG정밀(주) 중앙연구소 주임연구원 1990년~1992년 삼성전기(주) 종합연구소 선임연구원. 1995년 동 대학원 전기학과 졸업(공학박사). 1996년~1996년 한양대 산업 과학연구소 선임연구원. 현재 창원대 공대 전기공학과 부교수
Tel : 055-279-7517
Fax : 055-263-9956
E-mail : jphong@changwon.ac.kr



김영중 (金 榮 重)

1955년 8월 27일 생. 1979년 한양대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(공학박사). 1986~1997 생산기술연구원(선임연구원). 1995~1996 日本 九州大學 방문교수 (Post-Doc.). 1998~현재 한국산업기술대학교 메카트로닉스공학과 부교수
Tel : 031-496-8241
Fax : 031-496-8259
E-mail : jin@kpu.ac.kr



장정환 (張 正 煥)

1968년 생. 1994년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1997년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 한양대학교 대학원 정밀기계공학과 졸업(공학박사). 2001년3월~ 2002년 1월 한양대학교 BK21 기계사업단 post-doctor. 2002년 2월~2003년 4월 U.C. Berkeley 기계공학부 Research fellow. 현재 한국 전기연구원 메카트로닉스 그룹 선임연구원
Tel : 055-280-1487
Fax : 0551-280-1547
E-mail : cjhwan@keri.re.kr