

압축기용 영구자석 여자 횡자속 선형 전동기 설계에 관한 연구

박건우 · 강도현 · 장정환 · 우병철 · 홍도관
한국전기연구원 메카트로닉스 연구그룹

A Study on the Design of PM Exited Transverse Flux Linear Motor for Compressor

G.W. Park · D.H. Kang · J.H. Chang · B.C. Woo · D.K. Hong

Mechatronics Research Group of Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문은 냉각기 등에 적용 가능한 소형 압축기용 영구자석 여자 횡자속 선형 전동기 개발에 관한 내용이다. 3차원 등가 자기 회로방법을 이용하여 전동기의 특성을 해석하고 상용화 되어 사용되고 있는 선형 압축기의 특성과 서로 비교하여 그 성능을 평가 하였다.

1. 서 론

회전형 전동기를 이용해서 선형구동 시스템을 구현하고자 할 경우 원운동에서 직선 운동으로 변환하기 위한 스크류, 체인, 기어 박스 등의 기계적인 변환장치가 필요하다. 이 때 기계적 마찰에 의해 마모 및 손실이 발생할 뿐 아니라 백래쉬 등에 의해 정밀제어가 힘들다는 문제점을 가지고 있다[1][2]. 선형 전동기를 이용할 경우 이 같은 기계적인 변환장치를 거치지 않고 동력을 전달함으로써 마찰 에너지를 줄이고 효율을 높일 수 있다. 그러므로 최근에는 구조를 단순화하고 설치 면적을 최소화하여 유지 보수가 용이한 선형 구동 시스템을 구현하기 위해 선형 전동기 개발이 활발히 이루어지고 있다.

본 논문에서는 압축기에 적용 가능한 횡자속 선형 전동기(Transverse Flux Linear Motor : TFLM)의 형상을 설계하고 고정된 극간격에서 영구자석 두께와 고정자 두께에 따른 추력밀도 등을 분석하여 설계 변수를 결정하고 다시 제한된 체적에서의 전체 형상을 결정하였다. 결정된 자석과 철심의 두께에 따른 전체 형상의 추력 및 추력밀도 등의 그 특성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 영구자석여자 횡자속 선형 전동기

횡자속 선형 전동기는 자속의 이동방향이 이동자의 이동방향에 대해 횡방향이며 전류가 이동자와 같은 방향으로 흐르는 것이 특징이다[3]. 그림 1과 같이 영구자석에서 발생하는 자계는 공극에서 자속을 집중시킴으로써 높은 공극 자속밀도를 얻을 수 있다[6]. 그림 1과 같이 일정한 방향으로 추진력을 얻기 위해 이동자에 설치된 영구자석의 자극을 교대로 설치하고, 권선이 감겨 있는 철심은 τ_p 만큼 엇갈리게 설계하였다. 이때 단위 면적당 발생가능 힘밀도 F_{rd} 는 식 (1)과 같다[4][5].

$$F_{rd} = kB_0 \frac{\theta_0}{2\tau_p} \quad [kN/m^2] \quad (1)$$

여기서, k 는 설계상수, B_0 는 무부하 공극자속밀도, θ_0 는 기저력, 그리고 τ_p 는 극간격이다.

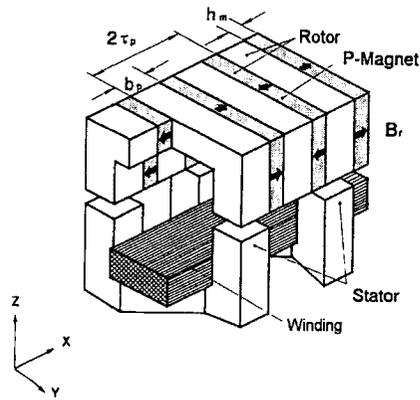


그림 1 영구자석여자 횡자속 선형 전동기 기본 형상

2.2 압축기용 횡자속 선형 전동기

횡자속 선형 전동기의 출력 밀도를 증가시키기 위해 영구자석을 삽입한 영구자석여자 횡자속 선형 전동기의 형상은 다양하지만 본 연구에서는 그림 2와 같이 고정자가 상·하로 위치하고 있으며 그 사이에 이동자가 삽입되어 있는 형상을 대상으로 하였다.

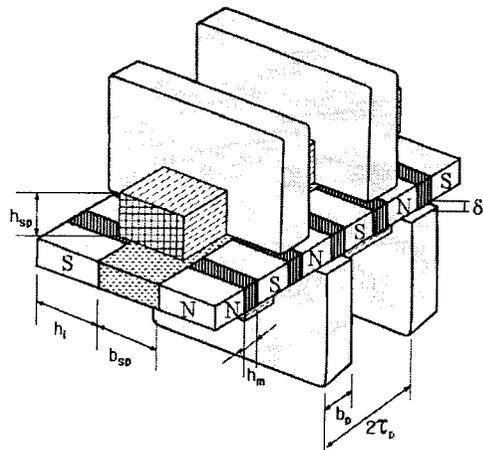


그림 2 영구자석여자 횡자속 선형 전동기

2.2.1 압축기용 횡자속 선형 전동기의 모델링

본 연구에서는 압축기용으로 사용하기 위해 횡자속 선형 전동기를 이용한 왕복형 액추에이터를 설계하였다. 그림 3에 설계한 모델의 각 부분의 형상과 명칭을 나타내었으며, 위쪽에 고정부 코어는 2개를 사용하고 아래쪽

에는 고정부 코어를 3개를 사용하여 설계하였다. 그리고 아래쪽 코어의 좌우 끝 코어폭은 고정자폭(b_p)의 1/2로 하여 상부와 하부의 평형을 유지하였다. 표 1에 각 부분에 사용된 재질을 나타내었다.

표 1 재질 특성

Material	Characteristic	Note
Core	S23	-
P M	$B_r = 1.23 [T]$, $\mu_r = 1.1$	NdFe35
Coil	Copper	48×4 turns

표 1에 나타난 것과 같이 이동자와 고정자 코어 재료는 일반 구조용 탄소강인 S23을 사용하였으며, 영구자석은 표준 사용온도 120℃인 Nd계를 사용하였고 코일은 1.1mm×2.2mm인 각 권선을 기준으로 하였다.

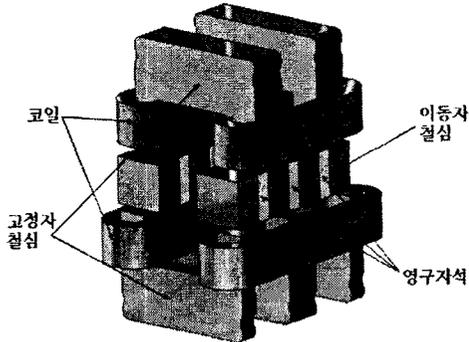


그림 3 압축기용 횡자속 선형 전동기 모델링

2.2.2 해석에 의한 h_m/τ_p 와 b_p/τ_p 의 결정

그림 3과 같이 3차원 해석모델을 모델링하고, 압축기용 영구자석 여자 횡자속 선형 전동기의 단위면적당 발생 힘 F_{zd} 가 최대인 영구자석 두께와 극간격의 비(h_m/τ_p), 그리고 고정자 폭과 극간격의 비(b_p/τ_p)를 결정하였다. 이때 극간격은 $\tau_p = 20[\text{mm}]$ 로 선정하였으며 기자력(Θ_a)은 2000[AT]을 적용하였다. h_m 과 b_p 를 설계 변수로 하여 h_m/τ_p 를 0.2-0.5, b_p/τ_p 를 0.5-1.0까지 변화시키며 해석을 수행하였다.

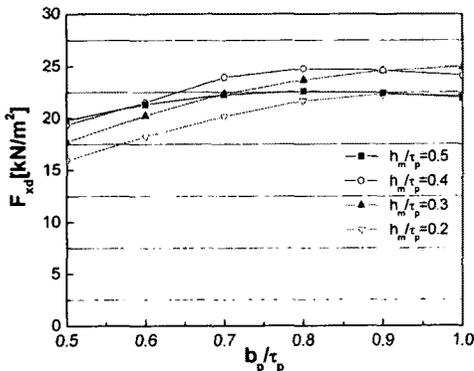


그림 4 h_m 과 b_p 의 변화에 따른 추력밀도(F_{zd})의 변화

해석결과는 그림 4와 같으며, $h_m=8[\text{mm}]$, $b_p=16[\text{mm}]$ 일 때 추력밀도 F_{zd} 가 26.14[kN/m²]로 최대치를 보여 최적 설계 사양은 $h_m/\tau_p=0.4$, $b_p/\tau_p=0.8$ 임을 파악할 수 있었다.

2.2.2 횡자속형 선형 전동기의 해석 특성

결정된 설계 변수 값을 토대로 3차원 해석모델을 모델링하고 이동자를 극간격(τ_p)만큼 이동시키며 추력을 계산하였다. 기본 해석사양을 표 2와 같으며 h_m/τ_p 는 0.35로 하고 b_p/τ_p 는 0.85로 하였다.

표 2 기본 해석 사양

구분	사양	비고
공극(σ)	0.5 mm	-
극간격(τ_p)	20 mm	-
영구자석 두께(h_m)	7 mm	$h_m/\tau_p=0.35$
Pole 폭(b_p)	17 mm	$b_p/\tau_p=0.85$
극 길이(h_s)	23 mm	-
권선창 높이(h_{sp})	17.6 mm	-
권선창 폭(b_{sp})	6.6 mm	-

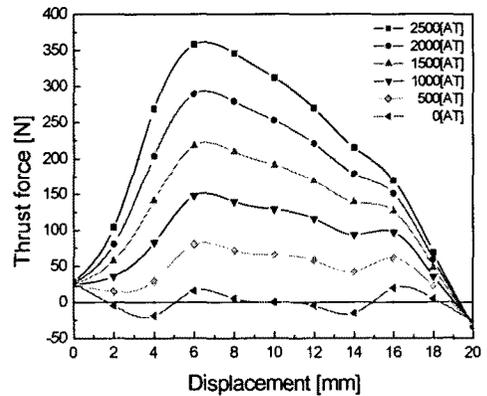


그림 5 추력 해석 결과

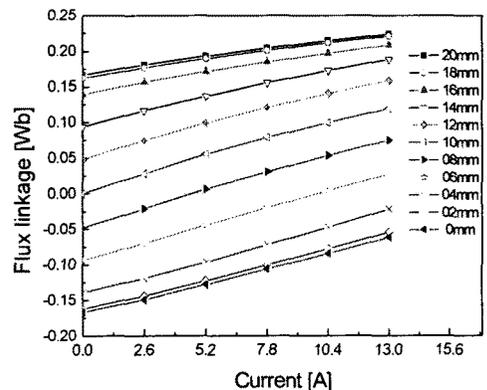


그림 6 인가 전류에 따른 쇄교 자속 특성

그림 5는 0[AT]에서 2500[AT]까지 정격 기자력 2000 [AT]을 기준으로 25%씩 증가시키며 3차원으로 해석한 추력 특성을 나타내고 있으며, 정격기자력 2000[AT]에서는 평균 추력은 173.92[N]이었다. 그림 6은 인가 기자력 0-2500[AT]의 범위를 전류로 환산하여 인가 전류에 따른 이동자의 위치별 쇄교 자속 특성을 나타내고 있다.

2.2.3 추력밀도의 비교

설계전동기를 평가하기 위해 상용화 되어 사용되고 있는 선형 압축기를 모델링하여 해석하였다[7][8]. 그림 7에 모델의 형상과 명칭을 나타내었다. 구조는 원통으로 되어 있으며 내측 철심과 외측 철심 사이에 영구자석을 삽입하여 영구자석이 왕복 선형 운동하도록 설계되어 있다. 영구자석과 내측 철심과의 공극의 길이는 1[mm]이고, 영구자석과 외측 철심과의 공극의 길이는 0.5[mm]이다. 선형 압축기의 재질은 횡자속 선형 전동기에 적용한 동일한 재료를 사용하였으며, 코일은 직경 0.8[mm]에 526turns으로 하였다. 정격 기자력도 본 설계전동기와 동일하게 2000[AT]을 기준으로 하여 해석하였다.

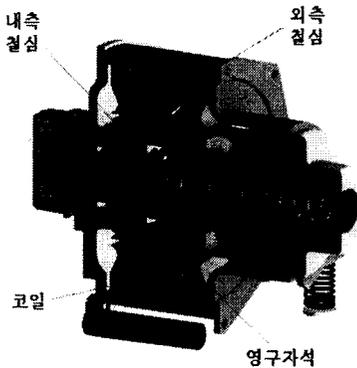


그림 7 종축형 선형 압축기의 형상

그림 8은 본 연구에서 설계된 횡자속 선형 전동기와 선형 압축기의 추력밀도를 비교한 것이다. 2000 [AT] 인가 시 횡자속 선형 전동기의 추력밀도는 25.9 [kN/m²]이고 선형 압축기의 추력밀도는 21.34[kN/m²]이었다.

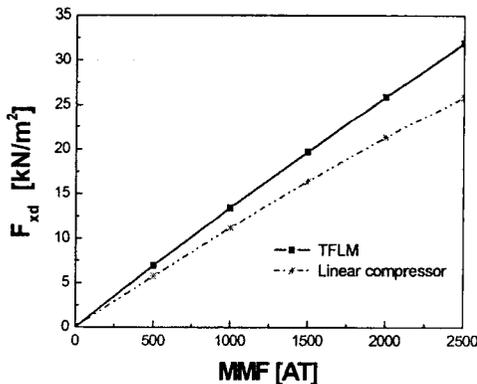


그림 8 기자력의 변화에 따른 추력밀도의 변화

3. 결 론

본 연구에서 설계된 압축기용 영구자석 여자 횡자속 선형 전동기의 추력밀도는 기자력 인가 시 선형 압축기에 비해 평균 21.1% 높게 나타났으며, 2000[AT]인가 시

횡자속 선형 전동기의 추력밀도는 25.9[kN/m²]으로 추력 밀도가 21.34[kN/m²]인 종축형 압축기에 비해 21.6% 높게 발생하였다. 앞으로 본 연구에서 제안된 압축기용 영구자석 여자 횡자속 선형 전동기를 실제 적용하기 위해 제작 및 전력 변환 장치를 구성해 운전시의 출력과 효율 등을 검증할 예정이다.

[후 기]

본 연구는 국무총리산하 산업기술연구회가 지원하는 협동연구사업인 “차세대 냉각시스템 기술개발”의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] K.J. Binns, “Permanent magnet AC generators”, Proc. IE E, Vol.126, No.7, pp.690-696, 1979.
- [2] T. Alasuvanto, “Comparison of Four Different Permanent Magnet Rotor Constructions”, Int. Conf. on Electrical Machines, pp.1034-1039, 1990.
- [3] Do Hyun Kang, “Transversalflussmaschinen mit permanenter Erregung als Linear antriebe im schienengebundenen Verkehr”, Braunschweig University, 1996.
- [4] 강도현, Herbert Weh, “철도 차량용 고효율 횡축형 전동기 설계에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지 제48권, 제6호, B권, pp.301-308, 1999.
- [5] 강도현, 방덕제, 김중무, “고출력 영구자석여자 횡자속 선형 전동기 설계에 관한 연구”, 대한전기학회 전기기기연구회 및 전기철도연구회 춘계합동학술발표회 논문집, pp.53-58, 1999.
- [6] Arshad, W.M., Backstrom, T., Sadarangani, C., “Analytical design and analysis procedure for a transverse flux machine”, Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 2001. IEEE International, pp.115-121, 2001.
- [7] Hyuk Lee, “Linear compressor for air-conditioner”, International Compressor Engineering Conference at Purdue, C047, pp.1-7, 2004.
- [8] Kyeongbae Park, “Linear compressor without position controller”, International Compressor Engineering Conference at Purdue, C119, pp.1-7, 2004.