

## 2상 구동 압축기용 횡자속 선형 전동기 설계에 관한 연구

정동훈 · 우병철 · 강도현 · 장정환 · 김중무 · 홍도관  
한국전기연구원 메카트로닉스 연구그룹

### A Study on the Design of Two Phase Driving Transverse Flux Linear Motor for Compressor

D.H. Jeong · B.C. Woo · D.H. Kang · J.H. Chang · J.M. Kim · D.K. Hong,  
Mechatronics Research Group of Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - 횡자속의 기본원리는 릴럭턴스 전동기와 같다. 발생한 힘밀도는 공극과 극간격에 반비례하고 기자력의 자성에 비례한다. 이러한 횡자속 선형전동기를 적용할 경우 추력의 변화로 인해서 진동과 힘의 불평형이 발생하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 이러한 추력 불평형과 진동특성을 향상시킬 수 있는 방법이 다상형으로 구동하는 방법이 있으며 힘을 균일하게 할 수 있고 전동기의 체적을 줄이고 진동특성을 저감시킬 수 있다는 것이라고 판단된다.

#### 1. 서 론

회전형 전동기를 이용한 시스템을 구현하고자 할 경우 원운동에서 직선 운동으로 변환하기 위해 스크류, 체인, 기어박스 등의 기계적인 변환장치가 필요로 하게 된다. 이 때 마찰에 의한 에너지의 손실로 효율이 낮아 질 수밖에 없다. 선형 전동기를 이용할 경우 이 같은 기계적인 변환 장치를 거치지 않고 동력을 전달함으로써 마찰에너지를 줄이고 효율을 높일 수 있다[1]. 본 논문에서는 압축기에 적용 가능한 횡자속 선형전동기 (Transverse Flux Linear Motor : TFLM)를 제작하는데 있어서 제작화 된 전체 형상과 코일의 권수를 결정하고 구성요소로서 Stator, Core의 폭과 너비, 극간격, 코어의 높이 공극 등을 특성해석에 의해 최적의 형상으로 설계하여 시작품을 제작하여 특성 시험을 실시하였다.

#### 2. 본 론

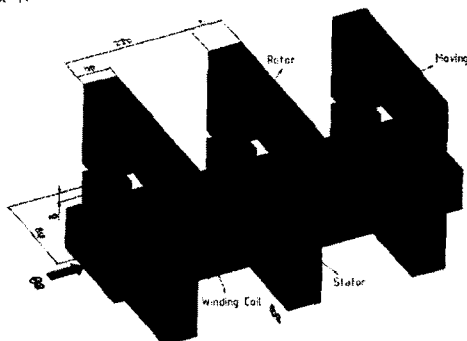
##### 2.1 횡자속 전동기 기본모델

횡자속 전동기의 원리는 기본적으로 릴럭턴스 전동기와 같다. 권선 전류에 의한 기자력이  $\theta_a$  [AT]일 때, 자속  $\phi$ 가 발생하여 자기저항이 최소화되는 방향인 고정자와 이동자의 치가 일치할 때까지 힘을 발생시키게 된다. 이때, 자속  $\phi$ 의 진행방향과 전동기의 이동방향  $x$ 는 전류의 방향과 전동기의 진행방향이 같은 횡방향이 된다. 이와 같이 횡자속 전동기의 장점은 자기회로와 전기회로가 분리되어 있기 때문에 단위 체적당 높은 출력과 높은 효율이 가능하다는 점이다.

그림 1은 기본형 횡자속 전동기 모델에 대해 전류( $\theta_a$ )와 발생 추력( $F_r$ )의 관계를 이동자의 위치에 따라 나타내고 있다.  $0 \sim \tau_p$  구간에서는 한쪽 방향으로 힘을 발생시키고  $\tau_p \sim 2\tau_p$  구간에서는 다른 방향으로 힘을 발생시키므로 일정한 방향의 힘을 얻기 위해서  $\tau_p \sim 2\tau_p$  구간에서는 전류를 흘리지 않는다.

$$F_{rd} = \frac{\mu_0}{32\delta\tau_p} \theta_a^2 \quad (1)$$

여기서,  $\mu_0$ 는 공기의 투자율,  $\theta_a$ 는 기자력,  $\delta$ 는 공극,  $\tau_p$ 는 극간격이다. 이상의 식(1)은 횡자속전동기 힘발생 밀도로 전동기 설계 시 기본식으로 이용하고 있다.



<그림 1> 횡자속 전동기의 기본형상

발생 힘밀도  $F_{rd}$ 는 공극과 극간격에 반비례하고 기자력의 자성에 비례함을 알 수 있다. 고효율 전동기를 설계 시 공극은 기계적인 구조 때문에 한정되어 있고 기자력은 자기회로의 포화와 권선의 온도상승 때문에 제한을

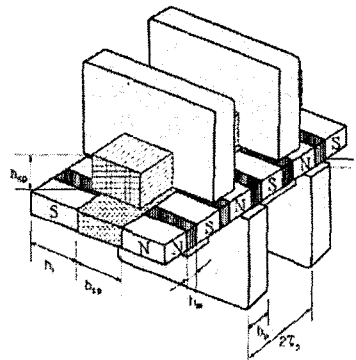
받고 있다. 따라서 주어진 이동자의 크기에서 극간격을 적게 설계하면 발생 힘 밀도를 증가시킬 수 있는 가능성을 가지고 있다.

##### 2.2 영구자석 횡자속 전동기 모델

횡자속 선형 전동기는 자속의 이동방향이 이동자의 이동방향에 대해 횡방향이며 전류가 이동자와 같은 방향으로 흐르는 것이 특징이다. 그림1과 같이 영구자석에서 발생하는 자계가 공극에서의 자계를 집중시키므로 높은 공극 자속 밀도를 얻을 수 있다. 그림1과 같이 일정한 방향으로 추진력을 얻기 위해 이동자에 설치된 영구자석의 자극을 교대로 설치하고, 권선이 감겨 있는 철심  $\tau_p$ 만큼 엇갈리게 설계 하였다. 이때 단위 면적당 발생가능 힘 밀도  $F_{rd}$ 는 식(1)과 같다[2][3][4]

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

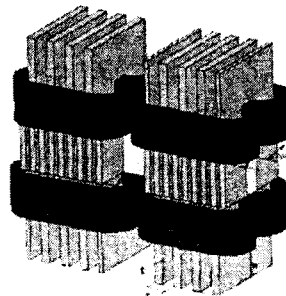
여기서,  $k$ 는 설계상수,  $B_0$ 는 무부하 공극자속밀도,  $\theta_a$ 는 기자력 그리고  $\tau_p$ 는 극간격이다.



<그림 2> 영구자석여자 횡자속 선형 전동기 기본 형상

##### 2.3 2상구동 횡자속 선형 전동기

횡자속 선형 전동기의 출력 밀도를 증가시키기 위해 영구자석을 삽입한 영구자석 여자 횡자속 선형 전동기의 형상은 다양하다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 고정자가 상·하로 위치하고 있으며 그 사이에 이동자가 삽입되어 있는 형상을 대상으로 하였다.[5]



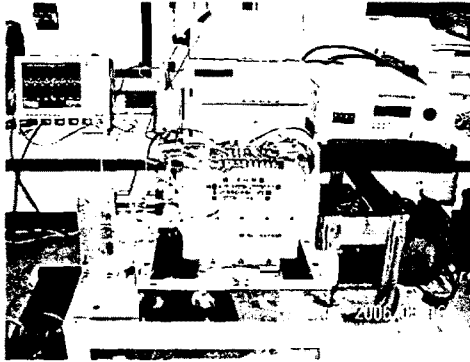
<그림 3> 2상구동 횡자속 선형전동기 모델

〈표 1〉 모델의 기본 설계 사양 및 각 부분 치수

기호	치수	기호	치수
정격 기자력	2000 [AT]	정격 전류	8.42[A]
전류 밀도	3.48[A/mm]	stroke	36[mm]
턴 수	168 turns	권선 치수	1.1×2.2
정격 추력 (1상)	60.25 [N]	motor volume	2000[cm <sup>3</sup> ]
고정자 전체 길이 (한상만 고려)	48 [mm] (위쪽) 41 [mm] (아래쪽) (코일제외)	이동부 길이(1상) (한상만 고려)	51.5 [mm]
$2\tau_p$	12 [mm]	$w_{pc}$	21 [mm]
$\delta$	0.5 [mm]	$w_{pc}$	10 [mm]
$t_r$	2.5 [mm]	$t_l$	5 [mm]
$h_l$	40 [mm]	$h_c$	19 [mm]

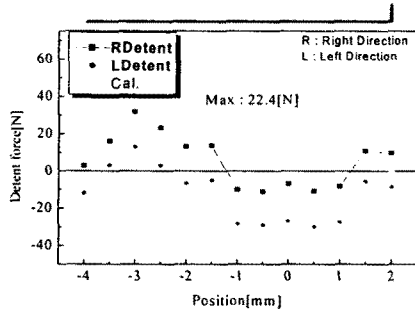
본 연구에서 설계된 2.1[KW]급 영구자석 여자 횡자속 선형 전동기의 사양은 표 1과 같다.

### 2.4 영구자석여자 횡자속 선형 전동기 설계

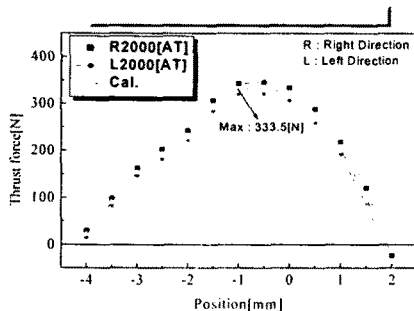


〈그림 4〉 영구자석여자 횡자속 선형 전동기 모델 및 실험장치

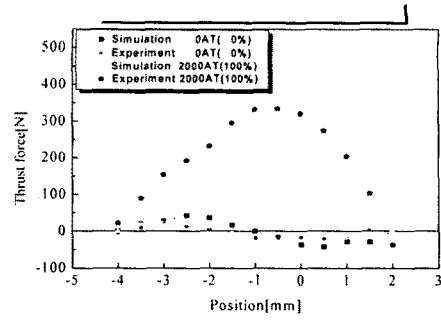
본 연구에서 실제, 제작된 2상구동 압축기용 횡자속 선형전동기는 그림3과 같으며 시작품에 대한 정특성 실험을 실시하였다. 측정 장비로 Charge Meter, Force Transducer, DC Power Supply 등을 사용하였다.



〈그림 5〉 Detent Force 측정 결과



〈그림 6〉 Thrust Force 측정 결과



〈그림 7〉 Thrust Force 와 Simulation 측정 비교

그림5는 전류를 인가하지 않았을 때, 2상구동 모델의 Detent Force를 측정 한 결과를 나타낸다. 그림6은 2000[AT]일 때, 전계와 자계에 의한 정추력 측정결과를 나타내며, 정추력의 피크가 발생하는 이동자의 위치는 초기위치에서 0.5[mm]일 때 333.5[N]이 발생함을 알 수 있었다.

그림6은 2상구동 모델의 정격의 Thrust Force와 Simulation값을 비교한 값이다. 2000AT에서 11%의 정도 시뮬레이션 결과에 비해 측정치가 차이가 났다. 선형전동기 시작품 제작시 영구자석과 철심 그리고 고정자 철심과 치의 부착과정에서 미세한 공극이 생기게 되고 해석과정에서는 이를 고려하지 않았기 때문에 시험결과와 해석결과 사이에 오차가 발생한 것으로 판단된다.

### 3. 결 론

본 연구에서 설계된 2상구동 압축기용 횡자속 선형전동기를 설계하고 제작하였다. Thrust Force값을 비교한 결과 오차가 발생하였지만 그것은 시제품 제작시 발생한 오차이다. 발생한 현밀도는 공극과 극간격에 반비례하고 기자력의 자성에 비례한다. 이러한 횡자속 선형전동기를 적용할 경우 추력의 변화로 인해서 진동과 힘의 불평형이 발생하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 이러한 추력 불평형과 진동특성을 향상시킬 수 있는 방법이 다상형으로 구동하는 방법이 있으며 힘을 균일하게 할 수 있고 전동기의 제작을 줄이고 진동특성을 저감시킬 수 있다는 것이라고 판단되어 2상구동 압축기용 횡자속 선형전동기를 제작하여 Thrust Force를 측정하였다. 또한 2상구동 컨트롤러를 제작하여 운전시 출력과 효율 그리고 손실 등에 대해서 검증할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 강도원, Herbert Weh, "철도 차량용 고효율 횡축형 전동기 설계에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제48권, 제6호, pp.301-308, 1999
- [2] 방덕채, 김호중, 강도원, "횡자속 선형 전동기 추진모듈개발", 한국반도체 및 디스플레이장비학회, pp.138-146, 2004
- [3] H. Weh, "Permanentmagneterregte Synchronmaschinen hoher kraftdichte nach dem Transversalflug konzept", etzArchiv Bd, H5, S.143-149,1988
- [4] 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.
- [5] 우병철, "횡자속 선형전동기의 추력특성에 따른 선형역추에이터의 동특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.1192-1167, 2005.