

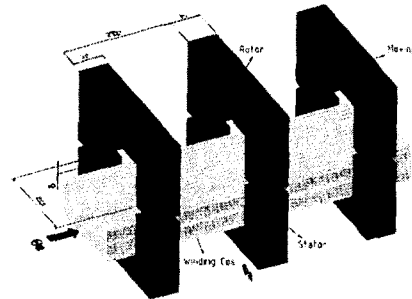
## 2kW급 에어컨용 횡자속 선형전동기의 설계 및 제작 특성분석

홍도관, 우병철, 강도현, 장정환, 김종무, 정동훈, 박성제\*  
 한국전기연구원 메카트로닉스 연구그룹, 한국기계연구원 에너지기계연구센터\*

### Characteristic Analysis of Design and Development on 2kW Transverse Flux Linear Motor for Air Conditioner Compressor

D.K. Hong, B.C. Woo, D.H. kang, J.W. Jang, J.M. Kim, D.H. Jung, and S.J. Park\*  
 Korea Electrotechnology Research Institute, Korea Institute of Machinery & Materials\*

**Abstract** -선형전동기(linear motor)는 일반 회전형 모터에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 특유의 장점이 있으므로 직선 구동력이 필요한 시스템에서 회전형에 비해 절대적으로 우수하다. 선형전동기의 성능인 주력은 스테이터, 코어, 영구자석 등의 구성요소의 형상과 치수, 코어와 영구자석의 극간격, 공극, 코일의 권수에 따라서 결정된다. 본 논문에서 제안한 2kW급 단상 구동형 횡자속 선형전동기는 압축기 제작에 필요한 직경 50mm, 구동 스트로크 18mm로 설계하였다. 또한 pole pitch가 20mm로 설계하였으며 요구되는 평균추력은 940N이다. 제작된 압축기의 특징은 고정자와 이동자가 맞닿는 flux path를 넓히기 위해서 최대한 경사진 각도의 형상으로 제작하였으며 경사의 각도가 커지면 커질수록 압축기로 구동하는 이동자와 고정된 부위사이에서 발생하는 흡인력이 상쇄되는 구조이기 때문에 진동의 원인으로 가장 크게 작용한다는 디텐트력이 작다는 것이 특징이며, 진동특성 등에 유리한 것으로 판단된다.



〈그림 1〉 횡자속 전동기의 기본형상

#### 1. 서 론

선형전동기는 회전하는 일반적인 모터에서 원형을 직선으로 편 상태로 직선으로 이동자와 고정자를 나열하면 선형전동기의 형상이 된다. 선형전동기는 일반 회전형 전동기에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 특유의 장점이 있으므로 직선 구동력이 필요한 시스템에서 회전형에 비해 절대적으로 우수하다. 직선형의 구동시스템에서 회전형 전동기에 의해서 직선 구동력을 얻으려고 하는 경우에는 스크류, 체인, 기어 시스템 등의 기계적인 변환장치가 반드시 필요하게 되는데 이때 마찰에 의한 에너지의 손실과 소음이 필연적으로 발생하므로 매우 불리하다. 선형전동기를 응용하는 경우는 직선형의 구동력을 직접 얻으므로 기계적인 변환장치가 전혀 필요치 않기 때문에 구조가 복잡하지 않고 에너지 손실이나 소음이 발생하지 않고 정상적인 운전 속도에도 제한을 받지 않는 등의 특유의 장점이 있다.[1] 또한 극간격의 크기를 작게 설계할 수 있기 때문에 높은 출력밀도를 얻을 수 있으며, 기존의 축축형 전동기에 존재하는 오버행이 없는 링 형태의 권선으로 동의 양을 줄일 수 있어 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 전동기의 체적을 줄일 수 있는 구조를 가지고 있다.[2][3]

본 논문에서 제안한 2kW급 단상 구동형 횡자속 선형전동기는 압축기 제작에 필요한 직경 50mm, 구동 스트로크 18mm로 설계하였다. 또한 pole pitch가 20mm로 설계하였으며 요구되는 평균추력은 940N이다. 제작된 압축기의 특징은 고정자와 이동자가 맞닿는 flux path를 넓히기 위해서 최대한 경사진 각도의 형상으로 제작하였으며 경사의 각도가 커지면 커질수록 압축기로 구동하는 이동자와 고정된 부위사이에서 발생하는 흡인력이 상쇄되는 구조이기 때문에 진동의 원인으로 가장 크게 작용한다는 디텐트력을 작게 설계하고 시작품을 제작하여 특성 시험을 실시하였다.

#### 2. 횡자속 전동기 이론

##### 2.1 횡자속 전동기 기본모델

횡자속 전동기의 원리는 기본적으로 릴럭턴스 전동기와 같다. 권선 전류에 의한 기자력이  $\theta_a[AT]$ 일 때, 자속  $\Phi_a$ 가 발생하여 자기저항이 최소화되는 방향인 고정자와 이동자의 치가 일치할 때까지 힘을 발생시키게 된다. 이때, 자속  $\Phi_a$ 의 진행방향과 전동기의 이동방향 또는 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( $F_x$ )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 발생시킴으로 일정한 방향의 힘을 얻기 위해서  $\tau_p \sim 2\tau_p$  구간에서는 전류를 흘리지 않는다.

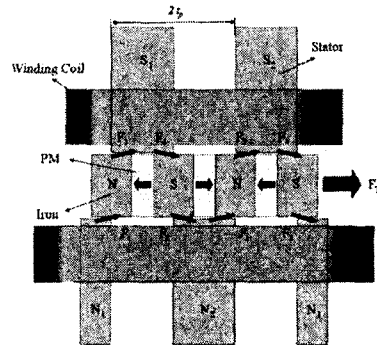
$$F_{xd} = \frac{\mu_0}{32\delta\tau_p} \theta_a^2 \quad (1)$$

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

발생 힘밀도  $F_{xd}$ 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 영구자석여자 횡자속 전동기 모델

횡자속 전동기의 다른 형태로 이동자에 영구자석을 삽입하여 출력밀도를 증가시킨 영구자석여자 횡자속 전동기가 있다. 구조적으로 그림 2와 같이 영구자석에서 발생하는 자계가 공극에서의 자계를 집중시키므로 높은 공극 자속밀도를 얻을 수 있다. 그림 2의 형상에서 이동자의 영구자석은 자속을 일정한 방향으로 발생시키도록 교대로 설치되며, 일정한 방향으로 추진력을 얻기 위해 권선이 있는 고정자 철심은 양측 극면에서  $\tau_p$ 만큼 엇갈리게 설계되었다. 물론 권선을 이동자에 설치하여도 무방하다.



〈그림 2〉 영구자석여자 횡자속 전동기 힘 발생원리

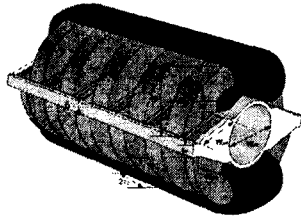
그림 4에 도시한 바와 같이 고정자 권선에  $\theta_a$  방향의 전류를 흘리면 압페어의 주회법칙에 의하여 고정자 철심의 위쪽 자극에는 N극, 아래쪽 자극에는 S극의 자속이 발생한다. 따라서, 고정자의 자극과 이동자의 자극 상호작용에 의하여 자극의 방향이 같으면 반발력, 자극의 방향이 다르면 흡인력이 발생하며, 힘  $F_1, F_2, F_3, F_4$ 가 생겨 우측 방향의 합성된 힘  $F_T$ 가 발생한다. 영구자석여자 횡자속 전동기의 발생 가능한 힘밀도  $F_{xd}$ 를 구하면 식(2)와 같다.

$$F_{xd} = B_0 \frac{\theta_a}{2\tau_p} \frac{(h_i - y)}{h_i} \quad (2)$$

영구자석여자 횡자속 전동기에서 철심의 포화와 누설을 무시하고, 무부하 공극자속밀도  $B_0$ , 기자력  $\theta_a$ , 극간격  $\tau_p$ , 안내방향 변위  $y$ 이며 영구자석여자 횡자속 전동기의 힘밀도는 식(1)의 횡자속 기본모델에서 발생하는 힘보다 약 3배로 많다.

### 3. 냉매압축기용 영구자석여자 횡자속 선형전동기 설계

본 연구에서 설계된 2kW급 영구자석여자 횡자속 선형전동기의 사양은 표 1과 같고, 그림 3은 에어컨용 횡자속 선형전동기의 모델을 나타낸다. 이동자 코어와 고정자 코어의 접촉면적을 크게 하기위해서 고정자 코어와 이동자 코어 및 영구자석의 형상을 기술여 제작하였다.



<그림 3> 2kW급 에어컨용 횡자속 선형전동기 모델

<표 1> 모델의 기본 설계 사양 및 각 부분 치수

기호	치수	기호	치수
정격 기자력	2500 [AT]	정격 전류	17.85 [A]
전류 밀도	2.97 [A/mm <sup>2</sup> ]	정격 추력 (1상)	210.42 [N]
턴 수	132 turn (66×2)	권선 치수	Φ 2.8
고정자 전체 길이	177[mm] (위쪽) 200[mm] (아래쪽)	이동부 길이	207 [mm]
$2r_p$	40 [mm]	$w_{pe}$	31.5 [mm]
$\delta$	0.5 [mm]	$w_{po}$	36 [mm]
$h_m$	10 [mm]	$t_t$	20 [mm]
$h_t$	55 [mm]	$h_c$	10 [mm]

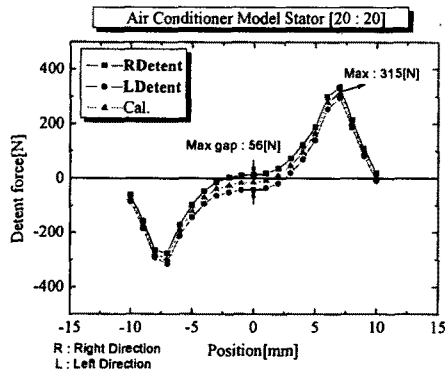
### 4. 시작품 제작 및 시험

본 연구에서 설계된 2kW급 영구자석여자 횡자속 선형전동기를 제작하였으며, 그림 4와 같이 제작된 모델을 force transducer(Kistler type 9301), DC power supply(Agilent type 6574A), chormeter(Kistler type 5015) 등의 장비를 이용하여 디텐트력과 정추력 시험을 수행하였다. 초기위치를 설정하고 구동 스트로크에 따른 힘을 측정하였으며, 리니어 가이드의 마찰손을 고려하기 위하여 측정방향에 따른 측정값을 평균하여 나타내었다.

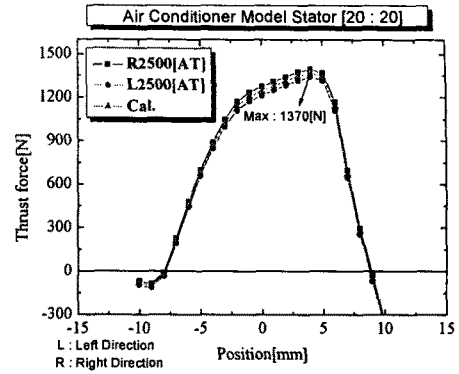


<그림 4> 추력 시험

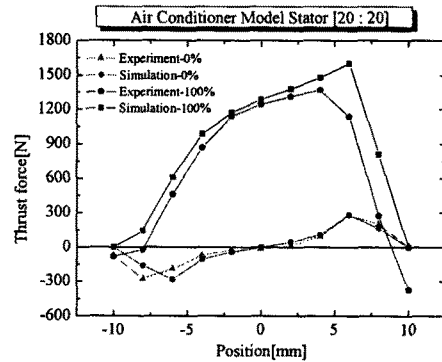
### 5. 결과 비교 및 분석



<그림 5> 디텐트력 측정결과



<그림 6> 정추력 측정결과



<그림 7> 시뮬레이션과 정추력 측정결과 비교

그림 5는 전류를 인가하지 않았을 때, 영구자석에 의한 디텐트력을 나타낸다. 그림 6은 2,500[AT]일 때, 전계와 자계에 의한 정추력 측정결과를 나타내며, 정추력의 피크가 발생하는 이동자의 위치는 초기 위치에서 한쪽으로 4 [mm] 이동했을 때 1,370[N]이 발생함을 알 수 있었다. 횡자속 선형전동기의 특성상 종자속에 비해 최대추력의 크기는 커지지만, 피크가 한쪽으로 치우침을 알 수 있으며, 최대가 발생하는 위치 부근을 스트로크로 설정하여 구동하면 좋은 특성을 기대할 수 있다. 그림 7은 그림 3의 모델의 시뮬레이션 결과와 디텐트력과 정추력 측정결과를 서로 비교하여 나타내었다. 디텐트력과 정추력의 경우 경향이 일치하지만 어느 정도 오차가 나타남을 알 수 있으며, 오차의 발생 원인은 제작과 측정상의 오차라고 생각된다.

### 5. 결 론

고정자와 이동자가 맞는 flux path를 넓히기 위해서 최대한 경사진 각도의 형상으로 2kW급 에어컨용 횡자속 선형전동기를 설계 및 시작품을 제작하여 정특성 시험을 실시하였다. 디텐트력과 정추력의 측정과 시뮬레이션을 비교해본 결과 경향이 일치함을 알 수 있었다. 추후 공진스프링을 장착하여 입력주파수에 따른 이동자의 변위특성을 파악하는 구동테스트를 통해서 2kW급 에어컨용 횡자속 선형전동기의 동특성을 검증하고자 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 강도현, Herbert Weh, "철도 차량용 고효율 횡자속 선형전동기 설계에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제48권, 제6호, pp.301-308, 1999.
- [2] H. Weh, "Permanentmagneterregte Synchronmaschinen hoher kraftdichte nach dem Transversalflug konzept", etzArchiv Bd, H5, S.143-149, 1988.
- [3] Do-Kwan Hong, Byung-Chul Woo, Jung-Hwan Chang, and Do-Hyung Knag, "Optimum Design of TFLM with constraint to Maximize Thrust Force, Minimize Detent Force for Weight Reduction Using Characteristic Function", The Twelfth Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Filed Computation(CEFC 2006), pp.469, 2006.