

선형압축기용 2상 횡자속 선형 전동기의 벡터 제어

김종무*, 홍도관*, 우병철*
한국전기연구원*

Vector Control of Two Phase Permanent Magnet Transverse Flux Linear Machine for Linear Compressor

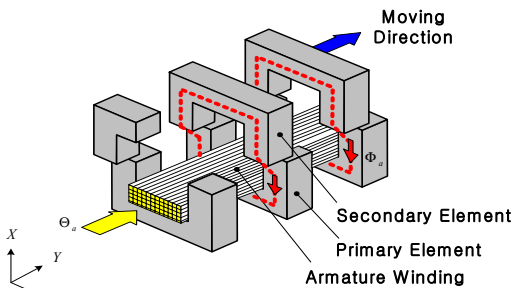
Jong-Moo Kim*, Do-Kwan Hong*, Byung-Chul Woo*
Korea Electrotechnology Research Institute*

Abstract - 2kW급 선형 압축기용 액츄에이터로 직선 왕복 운동을 동작하게 하기 위하여 2상 영구자석형 횡자속 선형 전동기(Permanent Magnet Transverse Flux Linear Machine; PM-TFLM)와 스프링을 조합하여 선형 공진 시스템을 구성하였다. 선형전동기의 이동자를 공진점 부근에서 왕복 운동을 하기 위해서 빠른 왕복 운전과 적절한 운전 알고리즘이 필요하게 된다. 먼저 2상으로 이루어진 PM-TFLM의 순시 토오크 제어를 위하여 벡터 제어 알고리즘을 설계하여 구현하고 피스톤, 스프링 및 부하에 따라 운전제어를 수행 하는 방법에 대하여 연구를 하였다. 종래의 3상 교류 전동기의 순시 토오크 제어에 적용하는 벡터제어 알고리즘을 2상 PM-TFLM에 적용하여 그 타당성을 보이고 빠른 왕복운전을 안정적으로 수행함을 실험을 통하여 입증 하였다.

1. 서 론

종래의 압축기는 회전 운동을 직선운동으로 변환하는 구조로 효율 저하 및 소음 증가 등의 문제로 이를 개선하기 위하여 선형 액츄에이터 및 공진 시스템을 적용한 고효율 선형 압축기 시스템에 대한 개발 본격화 되었으며 이미 상품화하여 출시되었다. 수 백w급의 압축기인 경우는 단상으로 구성이 가능하지만 수 kW급에서는 2상 이상의 다상으로 시스템을 구현하여야 한다. 따라서 선형 액츄에이터를 구동하기 위한 전력변환장치를 필요로 하게 된다.

전동기는 자속의 흐름 방향에 따라 종축형 또는 횡축형으로 나눌 수 있으며 자속의 이동 방향과 전동기의 이동 방향이 같은 경우에는 종축형 기기라 하고 자속의 이동 방향이 전동기의 이동 방향과 횡방향인 경우에는 횡축형 기기라 한다. 그림 1은 횡축형의 기본 형태를 나타낸 것으로 자속 Θ_a 의 진행 방향과 전동기의 이동 방향은 수직, 즉 횡방향(전류의 방향과 전동기의 진행방향이 같음)이 된다. 횡축형 전동기의 장점은 자기회로와 전기회로가 분리되어 있기 때문에 단위 체적당 높은 출력과 높은 효율을 얻을 수 있다.



<그림 1> 횡자속선형 전동기의 구조

수 kW급 선형 압축기용 액츄에이터로 직선 왕복 운동을 동작하게 하기 위하여 2상 영구자석형 횡자속 선형 전동기(Permanent Magnet Transverse Flux Linear Machine; PM-TFLM)와 스프링을 조합하여 선형 공진 시스템을 구성하였다. 선형전동기의 이동자를 공진점 부근에서 왕복 운동을 하기 위해서 빠른 왕복 운전과 적절한 운전 알고리즘이 필요하게 된다. 먼저 2상으로 이루어진 PM-TFLM의 순시 토오크 제어를 위하여 벡터 제어 알고리즘을 설계하여 구현하고 피스톤, 스프링 및 부하에 따라 운전제어를 수행 하는 방법에 대하여 연구를 하였다. 종래의 3상 교류 전동기의 순시 토오크 제어에 적용하는 벡터제어 알고리즘을 2상 PM-TFLM에 적용하여 그 타당성을 보이고 빠른 왕복운전을 원활하게 수행함을 실험을 통하여 입증 하였다.

2. PM-TFLM의 모델링

한 상의 횡자속 선형 전동기의 전압 방정식은 다음과 같다.

$$v = R i + \frac{\partial \lambda}{\partial t} + \omega \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \tag{1}$$

단, $\omega = \frac{d\theta}{dt}$, $\lambda = Li + \lambda_{Em}$, $L = L_{Sr} + M$,

2상의 PM-TFLM을 전기각으로 90° 위상차를 두고 배치를 하여 추력을 발생하면

$$v_{\alpha} = R i_{\alpha} + \frac{\partial \lambda_{\alpha}}{\partial t} + \omega \frac{\partial \lambda_{\alpha}}{\partial t} \sin \theta \tag{2}$$

$$v_{\beta} = R i_{\beta} + \frac{\partial \lambda_{\beta}}{\partial t} + \omega \frac{\partial \lambda_{\beta}}{\partial t} \cos \theta \tag{3}$$

식(2), (3)을 동기좌표계로 변환하면

$$v_d = R i_d + \frac{\partial \lambda_d}{\partial t} - \omega \lambda_q \tag{4}$$

$$v_q = R i_q + \frac{\partial \lambda_q}{\partial t} + \omega \lambda_d \tag{5}$$

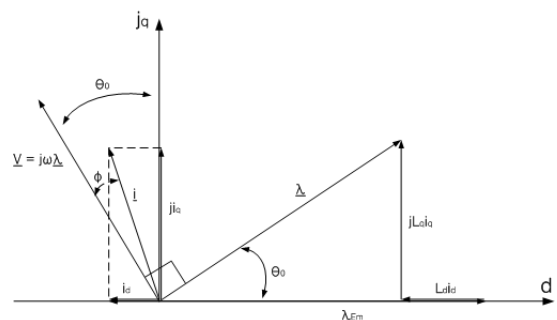
$$\lambda_d = L_d i_d + \lambda_{Em}, L_d = L_{Sr} + M_d \tag{6}$$

$$\lambda_q = L_q i_q, L_q = L_{Sr} + M_q \tag{7}$$

이때 추력은 다음과 같다.

$$T = p(\lambda_d i_d - \lambda_q i_q) \tag{8}$$

PM-TFLM의 페이저 다이어그램을 그림 2에 나타낸다.



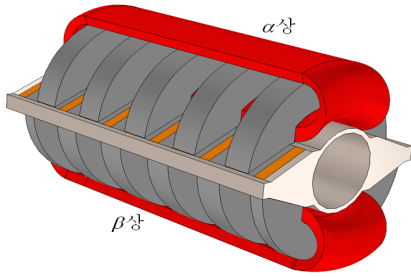
<그림 2> PM-TFLM의 페이저 다이어그램

3. 선형압축기용 PM-TFLM의 구성 및 실험

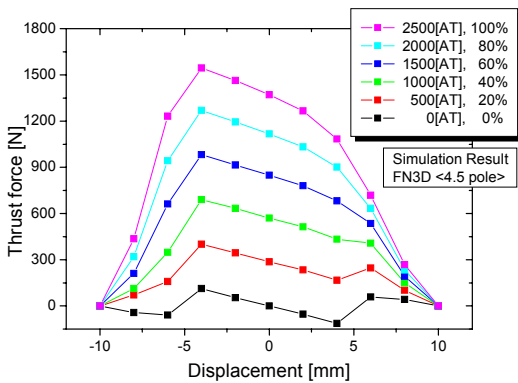
그림 3은 PM-TFLM의 모델을 나타낸다. 중심에는 이동자가 직선운동을 하고 이동자의 양측에는 스프링으로 연결되어 있다. 중심에서 상측은 α 상이고 하측은 β 상에 해당되며 두 상은 전기각으로 90° 위상차를 두고 배치되어 있다. 그림 4는 PM-TFLM 모델의 추력 특성 곡선이다.

그림 5는 선형압축기의 동특성을 시뮬레이션하기 위하여 Matlab/Simulink 이용하여 구성한 시뮬레이터를 나타낸다. 동특성 시뮬

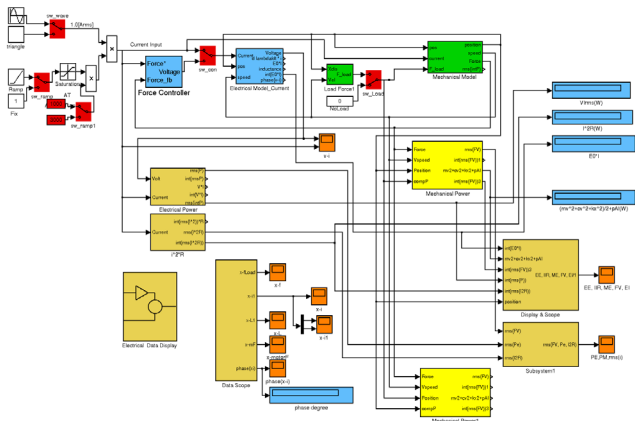
레이터는 해석적으로 구한 추력과 자속을 Lookup 테이블로 구성하여 PM-TFLM의 동특성을 정확히 모델링하였고 스피어링으로 이루어진 공진 시스템을 모델링하고 피스톤의 동작특성을 구현하여 실제 상황과 유사하게 구성하여 해석의 정확도를 높였다. 동특성 결과 일부를 그림 6에 나타낸다.



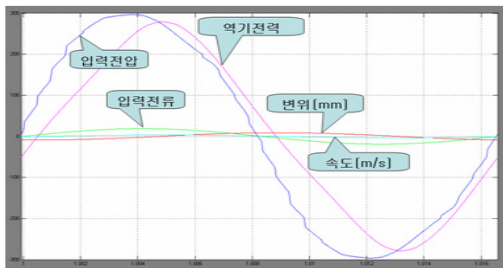
〈그림 3〉 선형압축기용 PM-TFLM의 모델



〈그림 4〉 PM-TFLM의 추력 특성 곡선

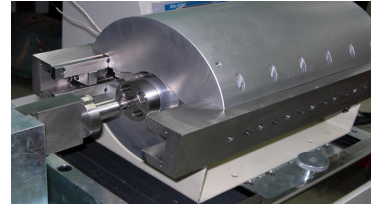


〈그림 5〉 PM-TFLM을 적용한 압축기의 동특성 시뮬레이터



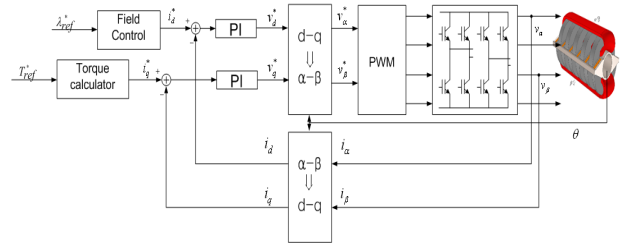
〈그림 6〉 PM-TFLM의 동특성 결과 파형

선형압축기용으로 제작한 PM-TFLM의 사진을 그림 7에 나타낸다.

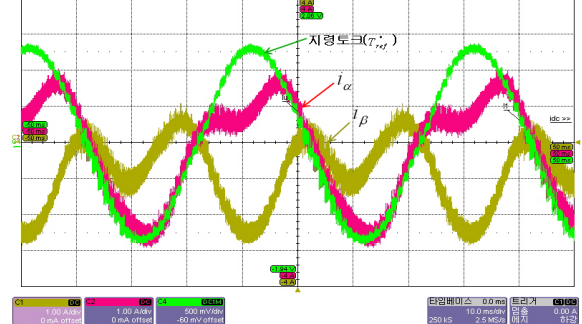


〈그림 7〉 제작된 PM-TFLM의 사진

공진시스템으로 이루어진 2상 PM-TFLM 전동기를 구동하기 위해서는 순시 토크 제어를 필요로 한다. 이를 위하여 2상을 이동자의 위치를 센싱하여 전기각을 구하고 이를 좌표변환에 이용하여 동기좌표계로 변환한다. 이를 자속 및 토크 지령과 비교하여 PI 컨트롤러를 이용하여 출력 지령 전압 계산한다. 2상 PM-TFLM 전동기의 백터제어에 의한 순시 토크 제어는 공진 시스템에서 우수한 응답특성을 보이고 안정된 동작을 보였다. 이를 TI사의 TMS320VC33 DSP와 Altera사의 EPM3512 EPLD를 이용하여 제어를 설계하여 백터 제어 알고리즘을 수행 하였다.



〈그림 8〉 선형압축기용 2상 PM-TFLM의 백터제어 블록도



〈그림 9〉 선형압축기용 2상 PM-TFLM의 백터제어 실험 파형

3. 결 론

2kW급 선형압축기 시스템을 구현하기 위하여 2상 PM-TFLM 전동기를 설계 제작하였고 해석 데이터를 이용하여 시뮬레이터를 구성하여 선형 압축기의 공진 및 압축 특성을 해석하고 시스템의 운전 조건 및 에너지를 구하였다. 또한 2상의 PM-TFLM 전동기의 순시 토크 제어를 위하여 2상 PM-TFLM용 백터 제어 알고리즘을 제안하여 공진시스템에 안정되게 동작하는 것을 실험을 통하여 확인하였다. 향후 압축기 시스템을 구축하여 실제 운전 특성을 분석하고 동특성 시뮬레이터와의 특성을 비교할 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] Ioan-Adrian Viorel, Gerhard Henneberger, "Transverse Flux Machines", MEDIAMIRA Press, 2003.
 [2] H. Weh: "Ten years of research in the field of high force density transverse flux machines", Symposium on Power Electronics, Industrial Drives, Power Quality, Traction Systems, A3 pp. 1-8, Capri, 1996.
 [3] D. H. Kang: "Transversalflyussmaschinen mit permanenter Erregung als Linearantriebe im schienengebundenen Verkehr", Dissertation, TU Braunschweig, 1996.