

영구자석 여자 횡축형 선형 전동기 구동 시스템을 이용한 위치제어의 동특성 해석

채대직\* · 김종무\*\* · 강도현\*\* · 임태윤\*\* · 안호균\* · 박승규\*  
 창원대학교\* · 한국전기연구원\*\*

Dynamic Analysis of Position Control using  
 Transverse Flux Linear Motor Drive System

Chea Dae Jik\* · Kim Jong Moo\*\* · Kang Do Hyun\*\* · Lim Tae Yun\*\* · Ahn Ho Gyun\* · Park Seung Kyu\*  
 창원대학교\* · KERI\*\*

**Abstract** - Highly precise position control is essentially required in stead/transient state in liner motor. The overall performance of position control system is depend on the accuracy of the position information and the performance of the speed controller in low speed range. In this paper, When Load is changed that the simulation results confirm the validity of the proposed estimation and control scheme, and Dynamic characteristics of the designed Transverse Flux Linear Motor are simulated and estimated using Matlab/simlunk.

1. 서 론

최근 여러 산업 분야에서 전기기계를 이용한 직선운동 구동 시스템의 필요성이 증가되고 있다. 특히 영구자석 여자 횡축형 선형 전동기는 일반 선형 전동기 보다 3 배 이상 높은 출력비(전동기 추력/전동기 중량 = N/kg)를 갖는다.<sup>1)</sup> 이렇게 높은 추력비를 내는 영구자석 여자 횡축형 선형 전동기는 직선운동이 요구되는 시스템에 적용할 경우 여러 가지 장점을 갖고 있기 때문에 메카트로닉스 분야를 비롯하여 교통차량용 기기, 산업용 기기, 사무 자동화 기기와 같이 고속, 고정밀을 요하는 분야에 적용될 수 있다. 그리고 제어 시스템 구현 시 고속, 고정밀 제어가 가능하기 때문에 수직, 수평의 장거리 운송시스템 등에도 적합한 것으로 연구, 보고되고 있다.<sup>2)</sup>

영구자석 여자 횡축형 선형 전동기가 직선 운동하는 자동화 서보 시스템의 용도로 쓰일 때 위치 제어가 필수적이다. 정밀한 위치 제어를 위해서는 실제 값에 근사한 정확한 위치 정보와 저속 영역에서도 좋은 성능을 갖는 위치 제어가 필요하다.<sup>3)</sup>

따라서 본 논문에서는 영구자석 여자 횡축형 전동기의 특성을 바탕으로 위치제어의 동특성을 해석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

이를 바탕으로 영구자석 여자 횡축형 선형 전동기를 위치 제어 기술을 개발·제시하고자 한다.

2. 횡축형 전동기 이론

2.1 횡축형 전동기 기본 모델

횡축형 전동기의 원리는 기본적으로 릴럭턴스 전동기와 같다. 그림 1은 횡축형 전동기의 1상에 대한 기본 구조를 나타내고 있다. 권선 전류에 의한 기자력이  $\theta_a$  [AT]일 때, 자속  $\phi_a$ 가 발생하여 자기저항이 최소화되는 방향으로 고정자와 이동자의 치가 일치할 때까지 힘을 발생시키게 된다.<sup>4)</sup>

이와 같이 횡축형 전동기의 구조적 장점은 자기회로와 전기회로가 분리되어 있기 때문에 단위 체적 당 높은 추력과 높은 효율이 가능하다. 그 결과, 전동기의 체적은

줄임으로 운송수단의 적용에 적합하다.

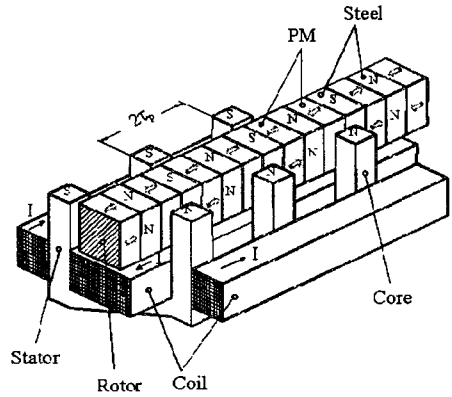


그림 1 영구자석 여자 횡축형 선형 전동기 기본 모델

그림 2는 횡축형 기본모델의 이동자 위치에 따른 기자력( $\theta_a$ )와 발생 추력( $F_x$ )의 관계를 이동자의 위치에 따라 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 이동자가 일정한 방향으로 움직이기 위해서는 일정한 방향의 힘이 연속적으로 발생되어야 하므로  $0 \leq x \leq \tau_p$  구간에서는 고정자의 자속이 영구자석의 자속 방향과 같은 방향이 되도록 전류를 인가하고,  $\tau_p \leq x \leq 2\tau_p$  구간에서는 반대 방향의 전류를 인가하여야 한다.

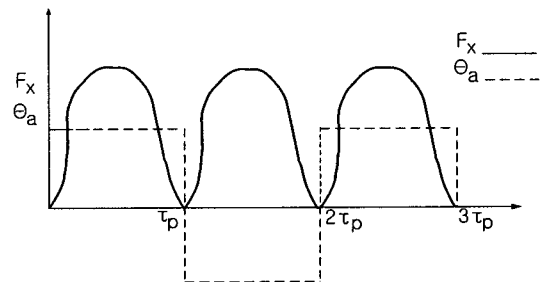


그림 2 이동자 위치에 따른 기자력( $\theta_a$ )-발생추력( $F_x$ )

그림 2와 같이 기자력  $\theta_a$ 을 인가했을 경우의 자기 에너지를  $W_\omega$ 라 하면, 발생 추력  $F_x$ , 추력밀도  $F_{x\omega}$ 는 식 (1), 식 (2)와 같다.

$$F_x = -\frac{\partial W_\omega}{\partial x} [N] \tag{1}$$

$$F_{zd} = B_0 \frac{\Theta_a}{2 \tau_p} [N/m_2] \quad (2)$$

단,  $B_0$ 는 무부하 공극 자속밀도를 나타낸다.

본 해석 모델에서 동특성 해석을 위한 기계적 요소의 모델링을 위한 기기 방정식은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_x = M \frac{dv}{dt} + Cv + k_s x \quad (3)$$

$k_s$ : 스프링상수 [N/m],  $M$ : 질량 [Kg]  
 $C$ : 점성마찰계수 [Kg·m/s],  $v$ : 속도 [m/s]

전동기의 전류의 상태 방정식은 식 (4)과 같다.

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{N \frac{\partial \Phi}{\partial i}} (V - R \cdot i - N \frac{\partial \Phi}{\partial i} v) \quad (4)$$

$I$ : 전류[A],  $V$ : 전압[V],  $R$ : 권선의 저항[Ω]  
 $\Phi$ : 쇠교자속[wb],  $N$ : 턴수

## 2.2 영구자석 여자 횡축형 선형 전동기 위치 제어 시스템 모델링

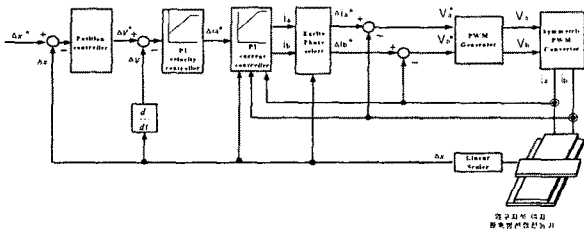


그림 3 영구자석 여자 횡축형 선형전동기 위치 제어 시스템 블록도

그림 3은 전동기의 전체 제어 시스템의 블록도를 나타낸다. 제어기의 입력  $\Delta x^*$ 는 위치 지령이 되며 이는 위치 제어를 통해 속도 지령값을 출력한다. 또한 속도 지령값은 PI 속도 제어기를 통해 추력을 발생하기 위한 전류 지령을 출력한다.

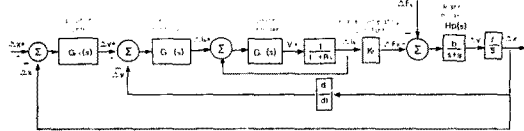


그림 4 영구자석 여자 횡축형 선형전동기 위치 제어 시스템 모델링

그림 4는 전동기의 위치 제어 시스템의 블록도를 모델링한 것으로 전동기의 동특성 해석에서는 전기적인 요소와 기계적인 요소가 결합된 특성 방정식을 이용한다.<sup>(5)</sup> 전체 시스템의 전달 함수  $G_{sc}(s)$ 는 식 (5)과 같다.

$$G_{sc}(s) = K_p \cdot (K_p + \frac{K_i}{s}) \cdot (\frac{1}{L}) \cdot (\frac{K_t}{Ms}) \quad (5)$$

$K_p$ : 비례이득  $K_i$ : 적분이득  
 $K_t$ : 추력 상수  $M$ : 전동기 질량

## 2.3 시뮬레이션 결과

영구자석 여자 횡축형 전동기 위치 제어 시스템의 모델링 된 제어 시스템을 대상으로 동적 시뮬레이션을 수행하여 동특성 해석을 수행하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 나타내었다. 20[Kg]의 부하를 0.6[m]를 이동한 다음 정지하고 다시 제 위치로 돌아오는 지령을 준 결과 그림 5같이 전동기는 위치지령을 잘 수렴함을 볼 수 있다.

표 1 영구자석 여자 횡축형 전동기 시스템 파라미터

최대 평균 추력	700[N]
부하 질량	20[kg]
정격 기자력	20×76[AT]
입력 전압	3상 220[V <sub>rms</sub> ]
스위칭 주파수	15[KHz]

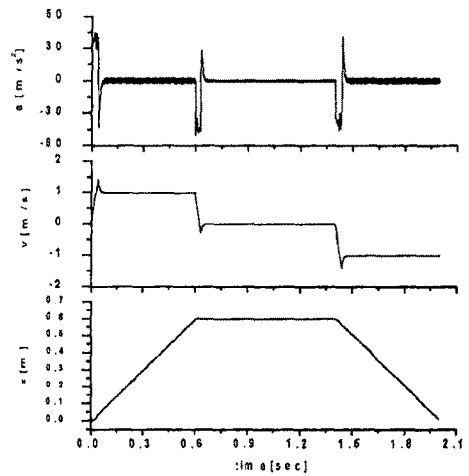


그림 5 가속도(a), 속도(v), 위치(x)

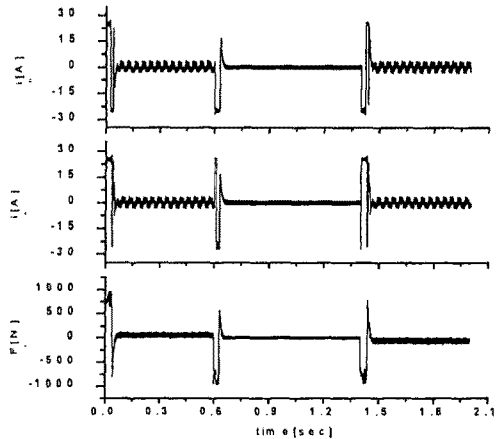


그림 6 A상 전류( $i_a$ ), B상 전류( $i_b$ ), 발생 추력( $F_x$ )

### 3. 결 론

영구자석 여자 횡축형 전동기의 동특성 해석은 위의 시뮬레이션 결과와 같다. 본 시뮬레이션으로 영구자석 횡축형 선형 전동기는 임의로 지령 위치한 대하여 잘 수렴함을 볼 수 있다. 현재 시뮬레이션을 통한 동특성 해석에서 얻은 결과를 바탕으로 실제 실험을 통한 위치제어 전달 특성을 확인하고 실시간으로 위치 지령을 주었을 때 지령 위치에 수렴 할 수 있는 강인한 제어 알고리즘을 개발함에 있다.

본 연구는 한국 과학 재단 목적기초연구  
(1999-2-30200-008-3)지원으로 수행되었음.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 강도현, 정연호 "고출력 횡축형 선형전동기의 원리와 응용", Proceeding of KIEE, Vol 43, No. 10, oct. 1999
- [2] 김상우, 이재현, 김상은, 김종무, 이석규 "무철심형 선형 동기전동기의 드라이브 설계에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.2522-2524, 2000
- [3] 장석명, 정상섭, 이성래, 양현섭, 정락교, 박찬일, "유도형 리니어모터의 인버터 운전시의 동특성 시험", 대한전기학회 하계학술대회, A권, pp284~286, 1998
- [4] C.M.Liaw, R.Y.Shue, H.C.Chen, S.C.Chen "Development of a linear brushless DC motor drive with robust position control" IEE Proc-Electr. Power Vol,148 No.2 pp111~118, 2001
- [5] W.Yang, Y.S Kim "rotor speed and position sensorless control of a switched reluctance motor using the binary observer" IEE proc-electr. power Vol,147 No.3 pp220~226 2000