

수정된 시크 모드를 이용한 반송용 리니어 DC 모터의 위치제어에 관한 연구

임달호*, 윤상백*, 이우균*

*한양대학교 전기공학과

A study on the Position Control of Linear DC Motor for Carrier by using the modified Seek Mode Control

Dal-Ho Im*, Sang-Baeck Yoon*, Woo-Gyun Lee*

*Hanyang Univ, Electrical Eng.

Abstract:

This paper describes the precise position control of the linear DC motor for carrier. We analyze the switching line of seek mode control and propose the modified switching line according to the mass and distance. Experimental results demonstrate that good performance is achieved by the proposed controller.

1. 서론

선형 직류모터(Linear DC Motor: LDM)는 회전운동을 직선운동으로 바꾸기 위한 변환장치가 필요없이 직접 직선운동을 할 수 있으며, 직류기의 특성인 추력대 전류 및 추력대 속도의 직선성이 있어 정밀위치제어에 적합한 시스템이다[1]. 최근의 직류모터의 위치에 있어서 효율적인 제어법 중에 시크모드 위치제어가 제안되고 있다[2]. 시크모드를 이용한 제어는 기존의 일반적인 선형 피드백제어법과는 달리 고속응답 특성을 얻는 방법으로서 단 한번에 입력을 전환하여 슬라이딩모드 구간을 최소화하는 스위칭라인(switching line)으로서 위치제어를 하는 기법이다.

기존의 선형 피드백제어법으로 제어를 하기 위해서는 역기전력상수, 추력상수 등 전달함수의 구성요소의 정확한 값을 알아야 제어를 행할 수 있으나 시크모드 위치제어법은 고속응답특성 외에도 제어특성면에 있어서 이러한 값을 정확히 알 수 없어도 몇 번의 반복실험을 통한 스위칭라인을 구함으로써 위치제어를 할 수 있는 장점이 있다.

시크모드의 스위칭라인의 기울기는 전기자 권선저항, 가동자 및 부하질량, 이동거리, 인가전압, 역기전력상수, 추력상수에 의하여 결정된다. 이들 구성요소중에서도 반송용에 적합하도록 시크모드 제어를 사용하기 위해서는 질량과 이동거리에 변동이 빈번하게 되어 시크

모드의 스위칭라인의 기울기가 달라지게 되므로 단일 스위칭라인에 의한 제어방법으로는 많은 문제점이 발생하게 되어 이에 따른 수정이 불가피하다 [3][4].

본 논문에서는 LDM을 시크모드 위치제어를 하기 위하여 스위칭라인을 분석하였고 반송용에 적합하도록 질량 및 거리에 따른 수정된 시크모드를 이용하여 위치제어를 하는 방법을 제시하였으며 실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다. 표1은 본 연구실에서 보유하고 있는 MM형(Moving Magnet type) LDM의 제원이다.

표 1. MM형 LDM의 제원
Table 1. The dimensions of the LDM

전기자저항	3	[Ω]
역기전압상수	5.12	[V·s/m]
가동자질량	0.74	[kg]
추력상수	5.8	[N/A]

2. LDM 시스템 방정식과 제어시스템의 구성

전기-기계 결합계로서의 LDM의 동특성은 다음과 같은 회로 방정식과 운동 방정식으로 표현된다.

$$e(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + K_E v(t) \quad (1)$$

$$f(t) = K_F i(t) = M \frac{dv(t)}{dt} + Dv(t) \quad (2)$$

여기서, R : 전기자 저항 e : 입력 전압 L : 전기자 권선 인덕턴스 i : 전류 f : 추력 M : 가동자 및 부하 질량 v : 속도 K_F : 추력 상수 D : 점성 마찰 계수 K_E : 역기전압 상수이다.

본 논문에서는 무철심형을 채용하였으므로 전기자 권선 인덕턴스는 매우 작아 전기적 시정수와 점성마찰계수를 무시하면 식(1),(2)로 부터 그림 1.에 나타난 바와 같이 2차계로 간략화 할 수 있다.

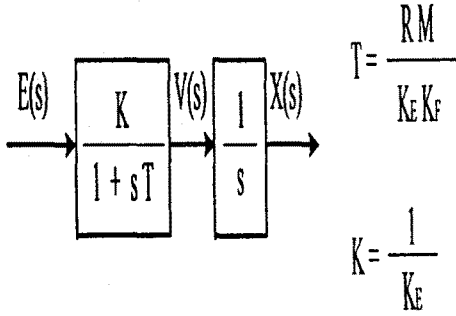


그림1. 간략화된 LDM의 블록도.
Fig.1. The simplified block diagram of the LDM

여기서 T 는 LDM의 기계적 시정수이다.

그림1의 블록도에서 상태변수 x_1 을 LDM의 실제 위치와 위치명령치와의 위치편차로 하고, 상태변수 x_2 를 LDM의 속도로 하여 다음과 같은 상태방정식을 구성한다.

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (3)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{x_2}{T} + \frac{K}{T} u \quad (4)$$

표 2. 초기거리편차에 따른 상태조건
Table 2. The state conditions according to the initial position

초기거리편차 상태조건	$x_{10} > 0$	$x_{10} < 0$
초기조건	$x_1 = x_{10} \quad x_2 = 0$	$x_1 = -x_{10} \quad x_2 = 0$
최종조건	$x_1 = 0 \quad x_2 = 0$	$x_1 = 0 \quad x_2 = 0$

상태방정식 식(3),(4)에 절환입력과 표2의 상태조건을 대입하여 $x_{10} > 0$ 인 경우의 해는 다음과 같다. 가속시는 식(5)와 같고 감속시는 식(6)과 같다.

$$x_1 = x_{10} + KE_0 T \ln\left(1 + \frac{x_2}{KE_0}\right) - Tx_2 \quad (5)$$

$$x_1 = -KE_0 T \ln\left(1 - \frac{x_2}{KE_0}\right) - Tx_2 \quad (6)$$

$x_{10} > 0$ 인 경우도 같은 방법으로 하여 부하가 없는 경우의 상태궤적을 위상면에 도식하면 그림2와 같다.

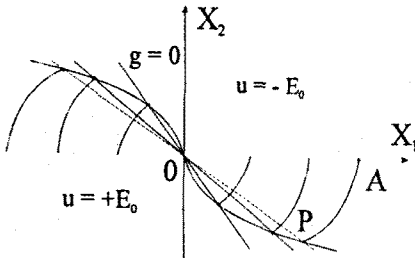


그림2. 위상면상의 상태궤적(무부하)
Fig.2. The trajectories in the phase plane in the case of no load

여기서 그림2의 직선 g 를 선형절환직선(Switching line)으로 하여 입력전압을 절환하면 미리 설정한 선

형절환직선상에서 조작량을 간단히 절환할 수 있다. 선형절환직선의 기울기는 식(5),(6)의 교점의 좌표로부터 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$C = T \left[1 - \frac{\ln\left\{1 + \left(1 - \exp\left(-\frac{|x_{10}|}{KE_0 T}\right)\right)^{\frac{1}{2}}\right\}}{\left(1 - \exp\left(-\frac{|x_{10}|}{KE_0 T}\right)\right)^{\frac{1}{2}}}\right] \quad (7)$$

식(7)에서 알 수 있는 바와 같이 선형절환직선의 기울기는 질량, 초기거리편차, 전기자 저항, 역기전력상수, 추력상수, 입력전압으로 구성된다.

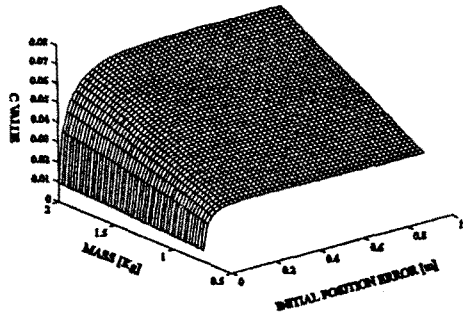


그림 3. 초기거리편차와 질량에 따른 선형절환직선의 기울기

Fig.3. The gradient of the switching line according to the initial position error and mass

그림3은 초기거리편차 및 질량에 따른 선형절환직선의 기울기를 나타내고 있다. 위치편차가 크고, 질량이 들수록 스위칭라인의 기울기가 증가하고 있으며, 또한 거리, 질량이 변화함에 따라 직선의 기울기가 달라지므로 반송용 LDM의 정밀위치제어를 위해서는 각각의 경우에 따라 스위칭라인의 수정이 요구된다.

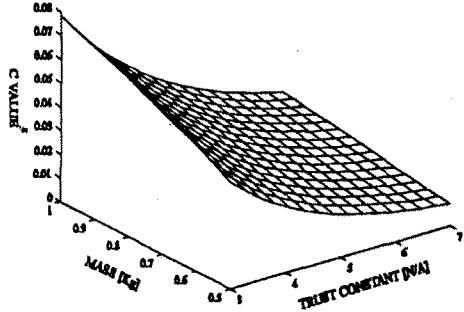


그림 4. 질량과 추력상수에 따른 선형절환직선의 기울기

Fig.4. The gradient of the switching line according to the mass and thrust constant

그림4에서 알 수 있듯이 제작된 LDM인 경우 추력상수 등의 파라미터가 정해지므로 원하는 응답시간을 얻기 위해서 부하의 임계질량의 예측이 가능하다[5]. 실제의 운전에 있어서 시스템의 모델링 오차에 의해서 슬라이딩모드가 발생되어 정정시간이 길어지고 채터링을 발생하므로 스위칭라인의 기울기를 반복수정하여야 한다.

표 3. C 반복수정 알고리즘
Table 3. The algorithm of the repetitive modification of C

$x_{10} > 0$	$x_{10} < 0$
$C_{i+1} = C_i - mx_{cp}$	$C_{i+1} = C_i + mx_{cp}$

여기서 x_{cp} 는 위치에러이며, m 은 가속계수로 $m > 0$ 이다.

3. 실험결과

전체적인 시크제어의 제어블록도는 그림5와 같다.

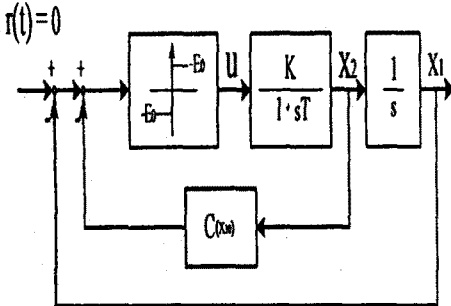


그림5. 선형결환직선을 이용한 시크제어블록도
Fig.5. The block diagram of the seek control by the linear switching lines

본 실험에서는 PC를 사용하였으며 코드는 C 언어로 작성하였다. 위치검출용 소자는 로터리인코더(Rotary encoder)를 사용하였다.

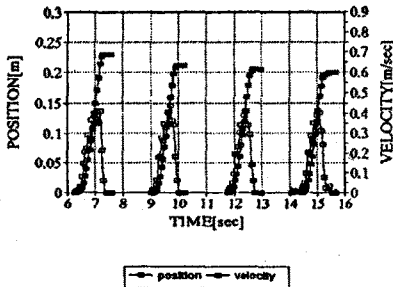


그림6. 위치와 속도(무부하, $X_{10} = 0.2m$)
Fig.6. The position and velocity ($X_{10} = 0.2m$)

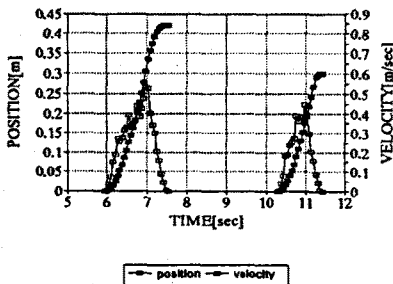


그림7. 위치와 속도(무부하, $X_{10} = 0.3m$)
Fig.7. The position and velocity ($X_{10} = 0.3m$)

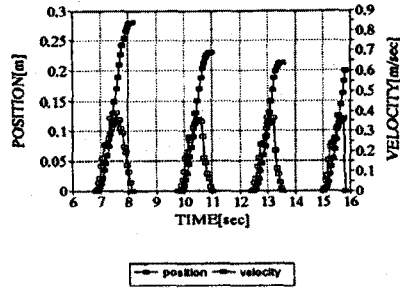


그림8. 위치와 속도(부하: 0.12kg, $X_{10} = 0.2m$)
Fig.8. The position and velocity ($X_{10} = 0.2m$)

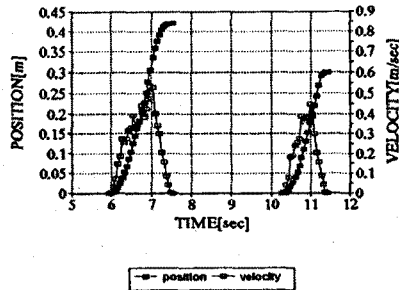


그림9. 위치와 속도(부하: 0.12kg, $X_{10} = 0.3m$)
Fig.9. The position and velocity ($X_{10} = 0.3m$)

그림6,7,8,9.은 질량과 반송거리에 따른 스위칭라인을 실험을 통하여 반복수정해 얻은 결과이다.

그림에서 알 수 있는 바와 수정된 스위칭라인을 적용함으로써 정확한 위치제어를 할 수 있었다. 위치에러는 최대 0.3[mm], 최소 0.1[mm]이었다.

3. 결론

본 논문에서는 시크제어를 이용하여 반송용 LDM을 반송거리 및 질량에 따라 정밀위치제어를 할 수 있었다. 본 알고리즘을 고속의 응답특성이 요구되는 대상에 적용한다면 매우 유용하리라 사료된다.

참고 문헌

- [1]白木 學,官美 修美,“圖解 리ニア사-보모-타시스템 設計”,總合電子出版社,1885
- [2]飯島,竹田,笹木,三浦“리아 直流모-타의 듀얼모드 고속 위치결정 제어에 관하여”,計測自動制御學會論文集 Vol.25, No.11,1202/1209,1989
- [3]임달호,윤상백,이우균,“반송용 리니어 DC 모터의 듀얼모드 위치제어에 관한 연구”,1994년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집,pp.83-85, 1994.
- [4]V.I.Utkin,“Variable structure systems with sliding modes”, IEEE Trans. Automatic Control, AC-22-2,212/222(1985)
- [5]Wen-Wei Chiang,“Optimal DC motor design for constant voltage seek motion”,IEEE Trans. Energy Conversion, Vol.5, No.1, March 1990