

Z축 운전구조를 갖는 선형 영구자석형 동기 전동기 운전제어에 관한 연구

崔 哲[†], 李進夏[′], 朴漢雄[″], 金喆禹[‴]

A Study on the Control System of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor Applied to the Z-axis Operation Structure

Cheol Choi, Chin-Ha Lee, Han-Woong Park, and Chuel-U Kim

요 약

선형 영구자석형 동기 전동기는 기구학적인 변환 장치를 사용하는 기존의 방식과 비교하여 소음, 진동의 저감 및 가속도, 속도에 있어서 우수한 동특성을 가지고 있기 때문에 자동화 분야, 공작기계 및 반도체 장비를 중심으로 널리 사용되고 있다. 그러나 수직축(Z-axis)에 선형 영구자석형 동기 전동기가 적용될 경우에 제어를 위한 초기각 설정 및 상승, 하강 운전 특성을 향상시키기 위한 방법이 필요하다.

본 논문에서는 수직축 구조를 갖는 선형 영구자석형 동기 전동기의 초기각 설정 알고리즘 및 상승, 하강 운전 특성을 향상시키기 위해 실제 속도와 운전 방향을 변수로 하는 가변 이득 조절 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘들을 증명하기 위해서 4점의 절대위치 프로파일(profile)을 통해서 기존의 이득 시스템과 가변 이득 조절 시스템을 비교하여 제안된 알고리즘의 효용성을 검증하였다.

ABSTRACT

PMLSM(Permanent Magnet Linear Synchronous Motor) has widely applied to industrial automations, machine tools and semiconductor equipments due to the merit on the reduction of noise, vibration and the superior dynamic characteristics in comparison to the conventional method, which uses mechanical transfer equipments. Especially, in the case of applying to Z-axis operation structure, control system needs the method of an initial angle setting and the improvement of up/down operation characteristics.

This paper proposes an initial angle setting algorithm and a variable gain schedule using real speed and moving direction to improve up/down operation characteristics. The effectiveness of proposed algorithms is demonstrated by comparing to a conventional gain system via 4-point absolute positions profile with each velocity, acceleration and deceleration.

Key Words : Initial angle, Lower limit point, Variable gain schedule, Z-axis operation structure

1. 서 론

최근 산업체에서는 반도체 장비, 자동화 분야 및 공작기계를 중심으로 선형 영구자석형 동기 전동기(PMLSM)의 수요가 점차 증가하는 추세이다. 이는 기

존의 기구학적인 변환 장치를 사용하지 않는 선형 영구자석형 동기 전동기의 직접 구동 방식은 기구학적인 변환 방식의 단점 극복을 가능케 할 뿐만 아니라 가속도, 속도에 있어서 우수한 동특성을 가지고 있기 때문이다. 선형 영구자석형 동기 전동기의 응용 분야는 수

평축 시스템뿐만 아니라 다축 시스템 등에 다양하게 사용되고 있다. 특히 수직축 시스템에 선형 영구자석형 동기 전동기가 사용될 경우 초기 전원 공급에 따른 운전 시작위치는 선형 영구 자석형 동기 전동기의 운전 스트로크(stroke)를 기준으로 하한에 위치하고, 가동자 및 취부 된 부하의 관성이 클수록 상승 운전과 하강운전의 물리적 특성 차이는 커지게 된다. 이러한 상승 운전과 하강 운전의 물리적 특성 차이는 상이한 동특성을 나타내게 된다.

본 논문에서는 이와 같은 구조를 고려한 초기 기동시 상승운전 방향의 초기각을 설정할 수 있는 알고리즘을 도입하였고, 상승 운전과 하강 운전의 물리적 특성 차이를 운전 속도에 따라 가변 처리 하기 위한 실제 속도와 운전 방향을 입력 변수로한 가변 이득 구조를 갖는 알고리즘을 적용하였으며 상승과 하강의 반전 점 및 전 속도영역에서의 연속성 운전 특성을 갖춘 알고리즘을 도입하였다.

2. 본 론

2.1 PMLSM의 수학적 모델링^{[1][2]}

정현파형 선형 영구자석형 동기 전동기의 경우 회전형 동기 전동기와 기본적인 제어 이론 및 모델링은 동일하며, 그림 1과 같이 d-q 동기 좌표계에서 등가화 할 수 있다. 또한 전압 방정식은 동기 각속도에 관한 식 (1)과 식 (2)로 나타낼 수 있다. 식 (3)과 식 (4)는 각각 동기 좌표계 d-q축에 유기되는 자속을 나타내고 있다.

일반적으로 선형 영구자석 동기 전동기의 전압 방정식은 실제 가동자의 속도에 관한 식으로 표현되며, 또한 약계자제어 수행을 제외하면 자속 분 전류가 필요 없으므로 d축 전류를 0으로 제어한다($i_{ds}^e=0$).

따라서 식 (1)과 식 (3)은 식 (5)와 식 (7)로 표현되며, 추력은 전기적인 입출력 관계를 나타내는 식 (8)과 식 (7)에 의해서 식 (9)로 표현되고, 가

동자의 운동 방정식은 식 (10)으로 표현할 수 있다.

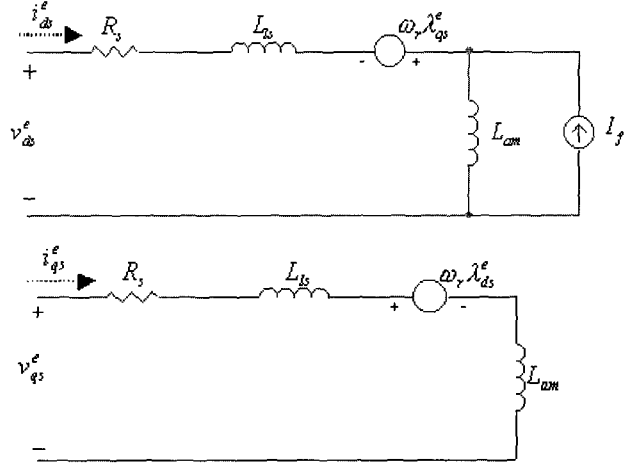


그림 1 동기 각속도로 표현된 동기좌표계상에서의 PMLSM 등가회로

Fig. 1 Equivalent circuit of PMLSM in the synchronous reference frame

$$v_{ds}^e = R_s i_{ds}^e + p\lambda_{ds}^e - \omega_r \lambda_{qs}^e \tag{1}$$

$$v_{qs}^e = R_s i_{qs}^e + p\lambda_{qs}^e + \omega_r \lambda_{ds}^e \tag{2}$$

$$\lambda_{ds}^e = L_s i_{ds}^e + \lambda_{PM} \tag{3}$$

$$\lambda_{qs}^e = L_s i_{qs}^e \tag{4}$$

여기서, ω_r 은 동기 각속도, R_s 는 1차측 저항, $L_s (= L_{ls} + L_{fm})$ 는 1차측 인덕턴스, $\lambda_{PM} (= L_{fm} \times I_f)$ 은 영구자석분 쇄교자속, I_f 는 영구자석의 등가 전류원이다.

$$v_{ds}^e = -\frac{\pi}{\tau} u \lambda_{qs}^e \tag{5}$$

$$v_{qs}^e = r_s i_{qs}^e + L_s p i_{qs}^e + \frac{\pi}{\tau} u \lambda_{PM} \tag{6}$$

$$\lambda_{ds}^e = \lambda_{PM} \tag{7}$$

$$P = Fu = \omega_{rm} T = \frac{3}{2} \omega_r \lambda_{ds}^e i_{qs}^e \tag{8}$$

$$F = \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} \lambda_{PM} \times i_{qs}^e \tag{9}$$

† 교신저자 : 정희원, OTIS-LG 서보 R&D팀 부장
E-mail : chleeh@otis.co.kr

* 학생회원, 부산대 전기공학과 석사과정

** 정회원, 해군사관학교 전기공학과 부교수

***정회원, 부산대 전자전기통신공학부 교수

접수일자 : 2003. 10. 22 1차 심사 : 2003. 11. 6

2차 심사 : 2003. 12. 12 심사완료일 : 2003. 12. 29

$$F = M \frac{d}{dt} u + Bu + D \quad (10)$$

여기서 $u[\text{mm/s}] (= \tau \omega_r / \pi)$ 는 가동자의 속도, $\tau[\text{mm}]$ 는 극간격(pole pitch), $\omega_r = \omega_{rm}[\text{rad/s}]$, M 은 가동자부의 총질량, B 는 마찰계수, D 는 외란을 나타낸다.

2.2 제안된 Z축 구조를 갖는 PMLSM 제어 시스템 [3]-[5],[7],[8]

그림 2에는 가변 이득 조절을 갖는 PI 제어 시스템의 블록도를 나타내었다.

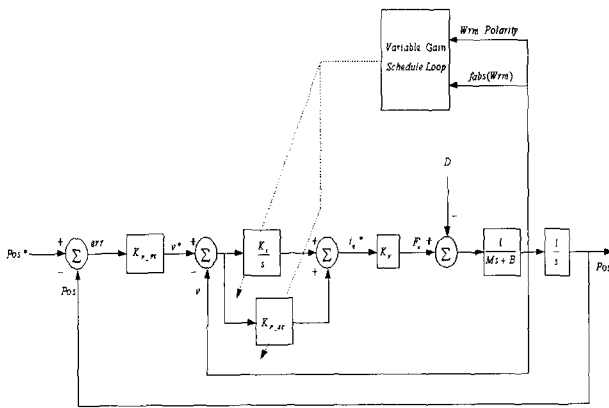


그림 2 가변 이득 조절을 갖는 PI 제어 시스템
Fig. 2 PI control system with variable gain schedule

그림 2에서는 선형 영구자석형 동기 전동기 제어를 위한 초기각 설정 블록도는 생략하였고, 초기각 설정을 위한 개루프 제어 이후의 폐루프 제어 부분만을 나타내고 있다. 그림 2에서 Pos는 위치 데이터, K_{p_pc} 는 위치 제어기의 비례 이득, K_i 는 속도 제어기의 적분 이득, K_{p_sc} 는 속도 제어기의 비례 이득, K_r 는 추력상수를 나타낸다. 가변 이득 조절루프에 $W_{rm_Polarity}$ 와 W_{rm} 의 절대치인 $f_{abs}(W_{rm})$ 이 입력되어 가변 이득이 설정되고 있음을 알 수 있다.

2.2.1 Z축 구조에서의 초기각 설정 제어 [6],[9]

가동 코일형 선형 영구자석형 동기 전동기의 초기각 설정을 위해 코일에 동기 좌표계상의 d축으로 일정량의 전류를 인가하면 2π 영역 내에서 인가한 전류와 반대되는 극성을 갖는 위치로 가동자가 이동하게 되고, 이동된 위치로부터 토오

크 제어 전류의 손실이 없는 운전 제어가 가능하게 된다. 초기각 설정을 위한 전류를 q축으로 할 수도 있지만, q축 전류는 토크와 직접적으로 관련있는 부분이므로 안정성 확보를 위해서 d축 전류를 이용하였다.

Z축 구동형인 경우 초기각 제어 전원이 공급되기 전의 가동자 초기 위치는 운전 스트로크를 기준으로 보면 이동 구간의 하한 위치에 놓인다. 따라서 초기각 설정은 운전 스트로크 기준으로 하한위치에서 상한위치의 방향으로 구동되어야 한다.

실험에서는 그림 3의 초기각 설정 흐름도에 나와있는 것과 같이 일정전류 인가 후에 위치 변위량을 측정하여 2π 보다 작으면 이동된 위치를 초기각으로 인식하고, 측정된 변위량이 2π 보다 크면 처음 인가한 전류와 극성이 반대인 전류를 인가하여 앞서 수행한 작업을 반복하게 된다. 이러한 과정을 통해서 하한 위치에서 상한 위치로 초기각을 설정하기 위한 인가 전류의 극성이 결정되게 된다.

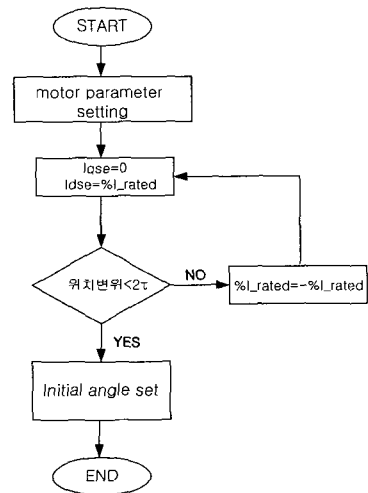


그림 3 초기각 설정 흐름도
Fig. 3 Flow chart to set up the initial angle

그림 4는 실험에서 사용한 선형 영구자석형 동기 전동기에 $\pm d$ 축 전류 인가시 가동 Coil형 고정자의 이동 위치를 나타내고 있으며, +d축 전류 인가의 경우 상승 방향의 초기각 위치는 하한점(Lower Limit Point)을 기준으로 볼 때, 2π 를 벗어난 위치에 있다. 따라서 가동자의 이동은 그림에 나타나 있지 않은 가상의 하한 초기각 지점으로

로 향하게 된다. 이 경우 초기각을 설정하지 못한 Uncotrolled 상태가 되고 가동자의 이동량은 2π 보다 크게된다. 반면에, -d축 전류 인가시에는 하한점(Lower Limit Point)을 기준으로 상승 방향으로 2π 범위내에서 초기각을 설정하게 된다.

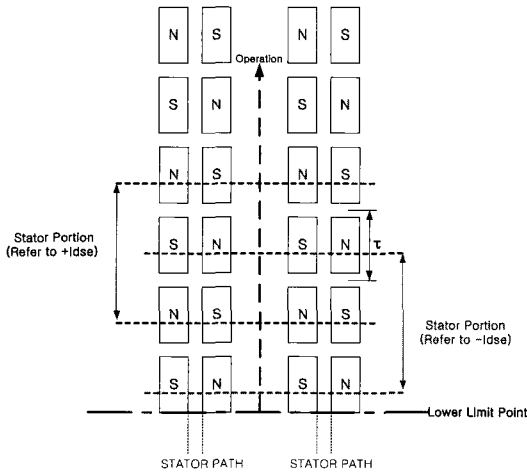


그림 4 Idse 전류 인가시 고정자상의 이동위치
Fig. 4 Stator's portion to the injected Idse current

그림 5는 초기각 설정 시 가동자의 변위량에서 초기각 설정을 위한 임의의 d축 전류를 인가하는 상태에서 가동자의 변위량을 나타내고 있다. 그림 5에 나타나 있는 것과 같이 가동자의 변위량은 $1.5[V] \times 42[mm] / 2000 = 31.5[\mu m]$ 으로 매우 작은 변위량이었으며 변위량이 양의 값이므로 하한 위치에서 상한 위치로 초기각을 설정하고 있음을 알 수 있다. 파형의 끝지점은 초기각이 설정된 위치이며, 이 시점에서 위치 데이터를 "0"으로 리셋을 하여, 초기 기동이 가능하게 된다.

2.2.2 가변 이득 제어 시스템

실험에 적용한 전체적인 가변 이득 제어 시스템은 그림 6의 이득 조절을 위한 흐름도와 같다. 그림 6에서 입력 변수는 속도의 절대값(fabs(Wrm))과 운전방향(run direction)이고 각 입력에 대한 좌, 우측 흐름도 수행 후의 두 개의출력 값이 결합하여 최종적인 이득값이 설정된다. 첫 번째 입력변수인 속도의 절대값은 이득값을 선형적으로 가변 시키기 위한 비율 값으로 사출력 값이 결합하여 최종적인 이득값이 설정된다. 첫 번째

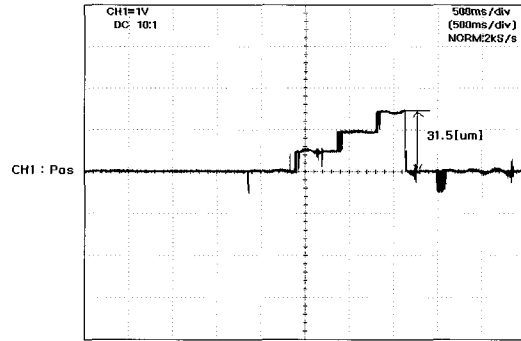


그림 5 초기각 설정 시 가동자의 변위량
Fig. 5 Mover's displacement in setting the initial angle

입력변수인 속도의 절대값은 이득값을 선형적으로 가변 시키기 위한 비율 값으로 사용된다. 가변이 되어지는 구간은 파라미터 상에서 저속, 고속으로 각각 설정하도록 하였고 저속 측의 이득 값 및 고속 측의 이득 값 또한 파라미터에서 설정되어 진다. 파라미터상에서 설정된 속도 범위 내에서는 선형적으로 이득 값이 프로파일 되어서 저속이하에서는 저속 측의 이득값으로 고속이상 구간에서는 고속 측의 이득값이 설정된다. Z축 구조를 갖는 선형 영구자석형 동기 전동기의 경우 상승 운전과 하강 운전의 방향에 따라 상이한 이득 설정 구조를 적용하였다. 여기서 두 번째 입력 변수인 운전 방향은 상승 운전과 하강 운전의 물리적 특성 차이를 완화시키기 위한 판별 변수로 사용하였다. 상승과 하강 운전을 비교해 볼 때, 상승 운전의 경우 높은 비례 이득이 필요하고 하강 운전의 경우 높은 적분 이득이 필요하게 된다.

그림 6의 흐름도에서 $Wrm > 0$ 인 경우는 상승 운전일 경우를 나타낸다. 그리고 calculate % loop1은 상승 시 이득에 대한 percentage를 설정하는 루프이고, 반대로 calculate % loop2는 하강 시 이득에 대한 percentage를 설정하는 루프이다. 가변 이득 설정 방법은 모든 속도 영역에서 이득 값이 설정된 변수에 의한 선형적인 변화를 갖도록 하며 시스템의 안정성을 확보하였다.

그림 7의 속도에 따른 PI Gain 값에서는 속도에 따른 이득 값의 변화를 보이고 있으며 속도 변화에 따른 이득 값의 연속성이 확보되고 있음을 알 수 있다.

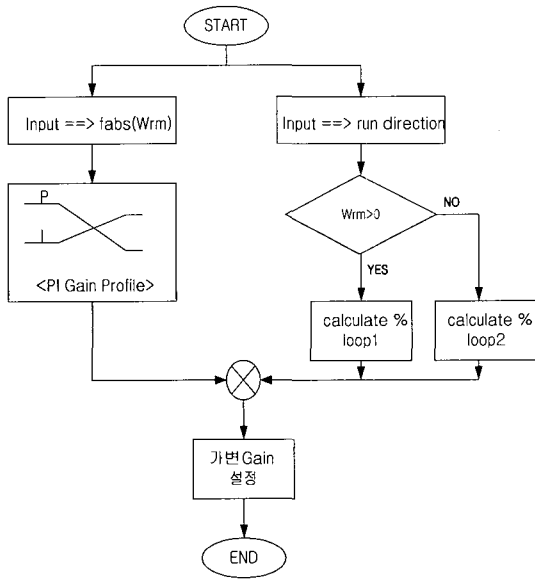
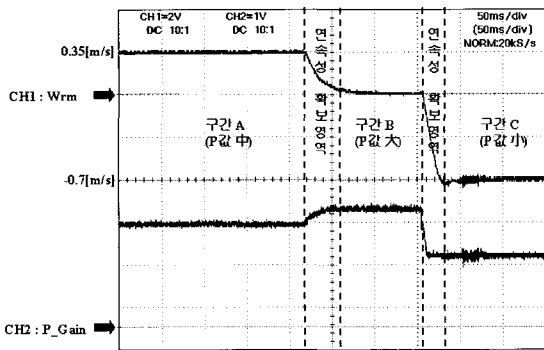
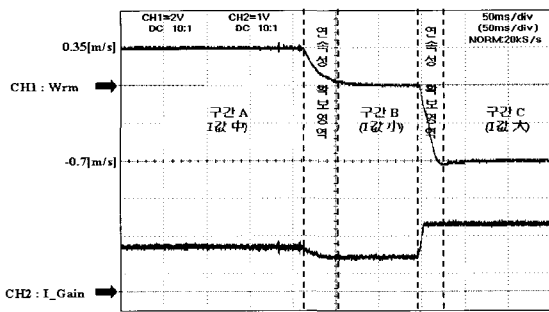


그림 6 이득 조절을 위한 흐름도
Fig. 6 Flow chart for gain schedule



(a) 속도에 따른 P Gain 값
(a) P Gain value according to the speed



(b) 속도에 따른 I Gain
(b) I Gain value according to the speed

그림 7 속도에 따른 PI Gain 값
Fig. 7 PI Gain values according to the speed

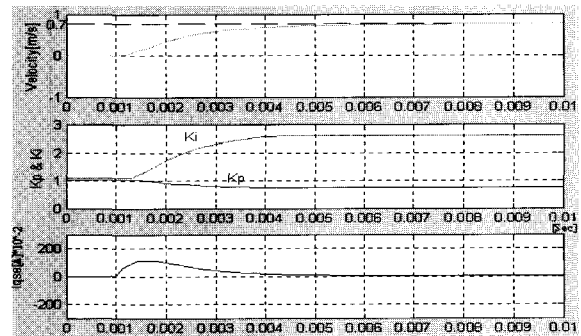
3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 시뮬레이션

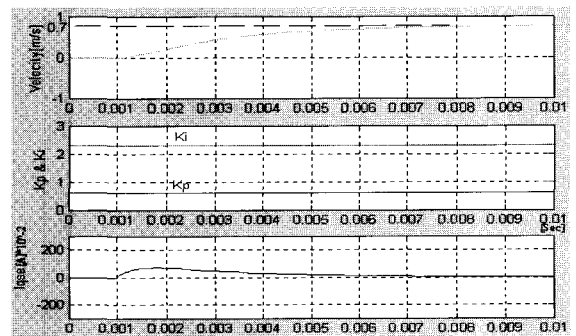
시뮬레이션은 0.7[m/s](상승시), -0.7[m/s](하강시)의 지령 속도에 대해서 가변시와 비가변시로 나누어 수행하였으며, 하강시에는 적분 이득을 높이는 15%의 Gain factor가 적용되었고, 상승시에는 비례 이득을 높이는 15%의 이득 factor가 적용 되었다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 PI Gain값(상승시)
Table 1 PI Gain value, used simulation (up-operation)

속 도	제안 알고리즘 Gain		기존 알고리즘 Gain	
	P	I	P	I
0.75[m/s]	1.0495	1.1106	0.6247	2.3138
0.35[m/s]	0.8996	1.6666		
0.7[m/s]	0.7496	2.5915		



(a) step 속도지령에 대한 제안 된 알고리즘 적용시 파형
(a) step speed response in case of proposed algorithm



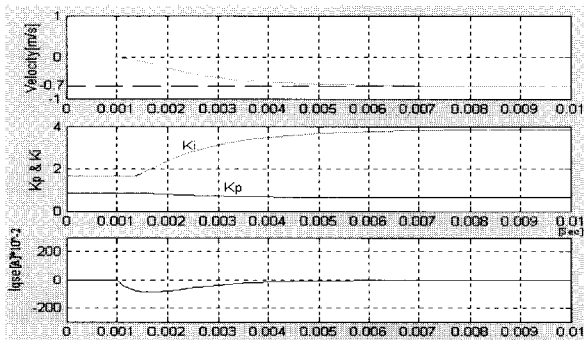
(b) step 속도지령에 대한 기존 알고리즘 적용시 파형
(b) step speed rspnse in case of conventional algorithm

그림 8 상승시 step 지령 속도에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Simulation results of step speed response on up-operation

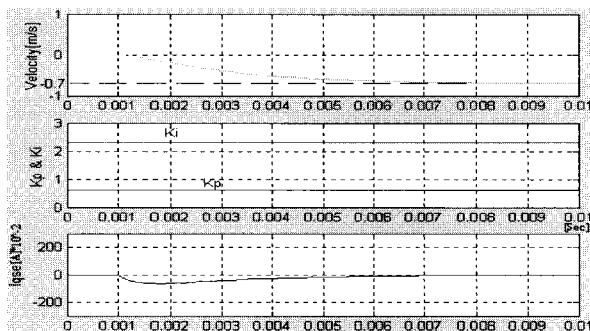
그림 8은 상승시 step 지령 속도에 대한 시뮬레이션 결과에서 (a)는 제안된 알고리즘 적용 시의 파형을 나타낸 것이고 (b)는 기존 알고리즘 적용 시의 파형을 나타낸 것이다. (b)의 경우 K_i , K_p 는 속도에 관계없이 일정한 값을 나타내고 있으나, (a)의 K_i , K_p 는 속도에 따라 변화하는 가변 이득을 나타낸다. 그리고 속도 응답이 기존 알고리즘 적용 시보다 제안된 알고리즘 적용 시에 빠르게 나타나고 있음을 알 수 있다.

표 2 시뮬레이션에 사용된 PI Gain값(하강시)
Table 2 PI Gain value, used simulation (down-operation)

속 도	제안 알고리즘 Gain		기존 알고리즘 Gain	
	P	I	P	I
0.75[m/s]	0.8921	1.6666	0.6247	2.3138
0.35[m/s]	0.7646	2.4991		
0.7[m/s]	0.6371	3.8873		



(a) step 속도지령에 대한 제안된 알고리즘 적용시 파형
(a) step speed response in case of proposed algorithm



(b) step 속도지령에 대한 기존 알고리즘 적용시 파형
(b) step speed response in case of conventional algorithm

그림 9 하강시 step 지령 속도에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 9 Simulation results of step speed response on down-operation

그림 9 하강시 step 지령 속도에 대한 시뮬레이션 결과에서 (a)는 제안된 알고리즘 적용 시의 파형을 나타낸 것이고 (b)는 기존 알고리즘 적용 시의 파형을 나타낸 것이다. 하강시의 비례 이득은 상승시보다 15% 작게 설정이 되었고, 적분 이득은 상승시보다 15% 높게 설정이 되었다. 속도 응답은 상승시 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 제안된 알고리즘 적용시기가 더 빠르게 나타난다.

3.2 실험 장치

그림 10은 Z축 구조를 갖는 선형 영구자석형 동기 전동기를 구동하기 위한 실제 실험 장치의 사진을 보여주고 있다. 실험에서는 초기각 검출용으로 일반적으로 사용되는 U,V,W 신호 출력용 Hall Sensor를 갖지 않는 구조로 2.2.1에서 상술한 초기각 제어 알고리즘을 이용하여 운전 스트로크 기준으로 하한 위치에서 상승 위치로 초기각을 설정하는 선형 영구자석형 동기 전동기 구동시스템을 구성하였다.

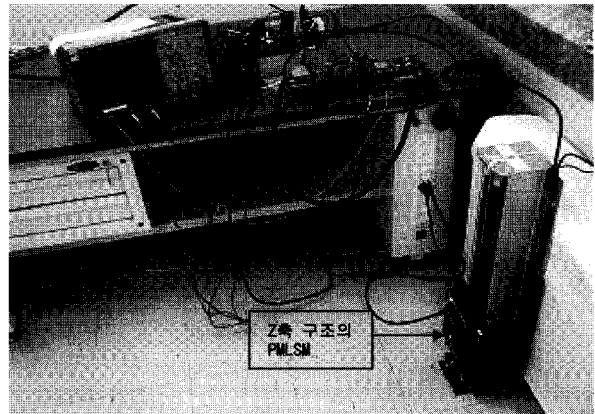
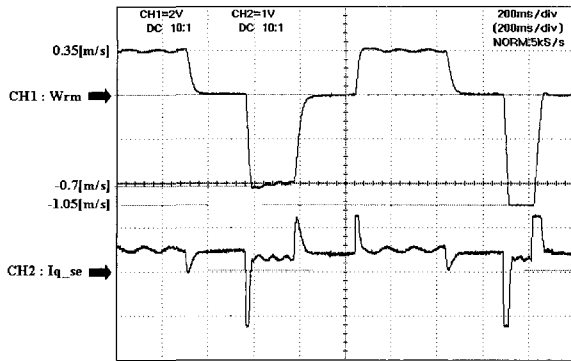


그림 10 Z축 구조를 갖는 PMLSM 실험 장치
Fig. 10 Experimental system of Z-axis PMLSM

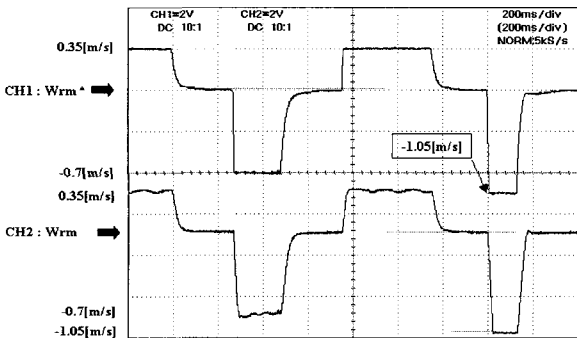
3.3 실험 결과

실험은 가동자와 같은 질량의 부하를 부착한 상태에서 수행하였으며, 그림 11은 가변 알고리즘이 적용되지 않았을 때의 속도 및 I_{qse} 지령 값 파형이고, 그림 12는 제안한 알고리즘 적용시의 속도 및 I_{qse} 지령 값 파형을 나타내고 있다. 가변 이득은 0.07[m/s] ~ 0.7[m/s] 영역에서 선형적으로 변화하도록 하였고, 상승, 하강 시 15%의 factor가 적용되었다. 그림 11 기존 알고리즘 적용시 운전 시험에서는 속도가 -1.05[m/s]일 경우를 제외하고는 속도 리플 및 토크 리플이 발생되

였으나, 그림 12 제안한 알고리즘 적용시 운전 시험에서는 실험상의 전 속도영역(-1.05[m/s], -1.0[m/s], 0.35[m/s])에서 속도 리플 및 토크 리플이 기존 알고리즘 적용 시와 비교하여 감소하였고 시뮬레이션에서 보였듯이 속도에 대한 응답 특성이 상승 및 하강 시에 개선되었다.



(a) 실제 속도와 Iqse 지령값
(a) real speed(Wrm) & Iq_se



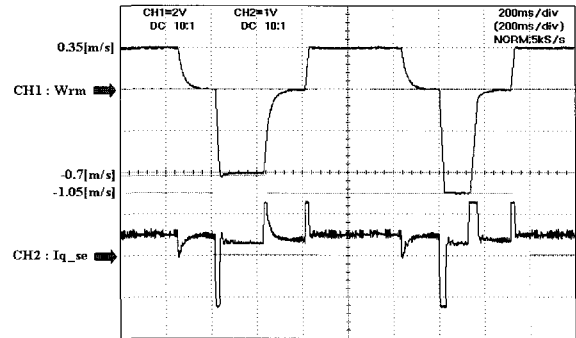
(b) 속도 지령값과 실제값
(b) command speed(Wrm*) & real speed(Wrm)

그림 11 기존 알고리즘 적용시 운전시험
Fig. 11 Results for applying to conventional algorithm

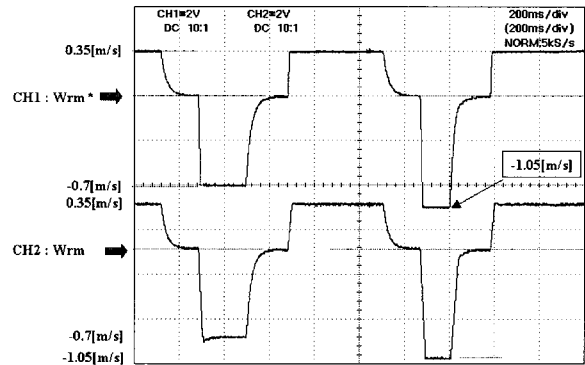
4. 결론

앞에서 보였듯이 Z축 구조를 갖는 선형 영구자석형 동기전동기의 경우 전원을 인가하기 전 가동자의 위치는 항상 운전 스트로크 기준으로 하한 위치이고 가동자 및 취부 된 부하의 관성이 클수록 물리적 특성 차이는 커지기 때문에 강성 및 작용조건을 고려한 제어가 필요하게 된다.

본 논문에서는 Z축 구조를 갖는 선형 영구자석형 동기 전동기에 있어서, 하한 위치에서 상승위



(a) 실제 속도와 Iqse 지령값
(a) real speed(Wrm) & Iq_se



(b) 속도 지령값과 실제값
(b) command speed(Wrm*) & real speed(Wrm)

그림 12 제안한 알고리즘 적용시 운전시험
Fig. 12 Results for applying to proposed algorithm

치로 초기각을 설정하기 위한 알고리즘을 제안하였고 상승 및 하강 운전시의 물리적인 특성 차이를 완화하기 위해서 속도변수를 이용한 가변 이득 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 및 실험 결과에서 나타낸 것과 같이 제안된 알고리즘 적용시에 선형 영구자석형 동기 전동기의 운전특성이 개선되었음을 알 수 있다.

이 논문은 산업 자원부 중기거점 과제지원으로 수행되었음.

참고 문헌

[1] I.Bolder AND Syed A. Nasar "Linear Electric

Actuators AND Generators”, Cambridge Univ. Press, pp. 91~134, 1997.

[2] I.Bolder And Syed A. Nasar “Linear Motion Electric Machines”, A Wiley-Interscience Publication, pp. 134~159, 1976.

[3] Jacek F. Gieras and Zbigniew J. Piech “Linear Synchronous Motors”, CRC Press, pp. 16~42, 1999.

[4] Peter Moreton “Industrial Brushless Servo motors”, Newnes Press, pp. 97~145, 2000.

[5] Ion Boldea And S. A. Nasar “Electric Drives”, CRC Press, pp. 279~308, 1998.

[6] 日本工業技術 센터 “リニアモータ設計應用の 要旨”, pp. 135~189.

[7] 서울대 박사학위 논문 “급가속용 선형 동기 전동기의 특성해석 및 최적설계”, 1999. 8.

[8] 석출기, 이동춘, “전류 제어기 동특성을 고려한 산업용 서보 구동시스템의 속도제어기 설계”, *전력전자학회 논문지*, 제7권, 제5호, pp. 465~471, 2002. 10.

[9] 최철, 원태현, 박성준, 박한웅, 김철우, “좌표 변환과 미분 기법을 이용한 PMSM의 센서리스 제어”, *전력전자학회 논문지*, 제8권, 제2호, pp. 107~115, 2003. 4.

부 록

표 1 모터 사양
Table 1 Motor specifications

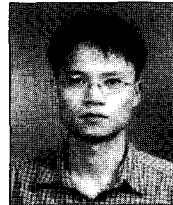
	단위	값
정격 추력(Frate)	N	73.2
정격 전류(Irate)	Arms	1.4
추력상수(Kt)	N/Arms	52.3
역기전력 상수	V/(m/sec)	34.9
Pole Pitch	mm	21
상 저항	Ω	7.6
상 인덕턴스	mH	2.9
Mover 질량	kg	3

저 자 소 개



최 철(崔哲)

1963년 11월 3일생. 1987년 중앙대 전기공학과 졸업. 1998년 부산대 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1987년~1999년 LG산전 창원공장 주차설비팀장. 1999년~현재 OTIS-LG 서보 R&D팀 부장.



이진하(李進夏)

1973년 10월 20일생. 1999년 부산대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 석사과정. 1999년~2000년 대한 전선(주). 2000년~현재 OTIS-LG 서보 R&D팀 근무.



박한웅(朴漢雄)

1959년 8월4일생. 1983년 부산대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 해군사관학교 전기공학과 부교수.



김철우(金喆禹)

1942년 12월 5일생. 1969년 부산대 전기공학과 졸업. 1974년 일본 전기통신대학 전자공학과 졸업(석사). 1982년 일본 동경공업대 전기전자공학과 객원교수. 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 부산대 전자전기통신공학부 교수. 당 학회 자문위원.