

인덱서 시스템에 대한 횡축형 선형 전동기의 적용에 관한 연구

金志元*, 安鍾普**, 姜道鉉**, 張正煥***, 金長睦†, 方德濟****, 全秦用****

A Study on Application of Transverse Flux Linear Motor to Indexer System

J.W. Kim, J.B. Ahn, D.H. Kang, J.H. Jang, J.M. Kim, D.J. Bang, and J.Y. Jeon

요 약

기존의 선형 이송 시스템은 구동원으로 서보 모터를 사용하고 있다. 서보 모터의 회전 운동을 직선 운동으로 변환하기 위해서는 기계적인 동력전달 장치가 필요하며, 이는 위치 오차의 발생이나 주기적인 시스템의 유지보수의 필요성 등의 문제점을 야기한다. 본 논문에서는 단위 체적당 추력비가 기존의 모터에 비해 우수한 횡축형 선형전동기를 이용하여 LCD 공정에 사용되는 인덱서(indexer) 시스템의 선형 추진부에 적용하는 연구를 수행하였다. 실험결과 횡축형 선형전동기는 가속능력, 최대속도 및 위치결정 정밀도 등에서 인덱서 시스템에 적용하기에 적합한 것을 검증하였다.

ABSTRACT

The servo motor is used for the driving power source of the conventional linear conveyor system. The mechanical power transfer system is needed for converting the circular to the linear operation. But this system causes some problems of position error, the necessity of the periodical maintenance. In this paper the study on application of transverse flux linear motor(TFLM) is carried out for the indexer system of LCD processing because TFLM has much thrust per a volume than the conventional motor. TFLM is suitable system for the indexer system because of capacity of acceleration, maximum speed and precision of the position, etc.

Key Words : Indexer, Transverse Flux Linear Motor(TFLM), Linear Conveyor System

1. 서 론

현대 산업이 고도화됨에 따라 공장 자동화, 반도체,

공작 기계 등의 분야에서 생산 설비의 고성능화가 요구되고 있으며, 이송 장비 부분에서도 고정도, 고속화, 고효율화가 요구되고 있는 추세이다. 기존의 선형 이송 장비들은 구동원으로 서보 전동기(Servo Motor)를 사용하고 있으며, 서보 전동기에서 발생한 회전을 직선 운동으로 얻기 위해서는 감속기, 타이밍 벨트, 체인, 볼 스크류, 크랭크등의 기계적 동력 전달 장치가 필요하다. 이와 같이 회전형 전동기를 사용한 기존의 선형 이송 장비는 구조가 복잡하고 마찰에 의한 소음,

†교신저자 : 정회원, 부산대 전기공학과 조교수

E-mail : jmok@pusan.ac.kr

*정회원, 한국전기연구원 메카트로닉스그룹 선임연구원

**정회원, 한국전기연구원 메카트로닉스그룹 책임연구원

***정회원, 한국전기연구원 메카트로닉스그룹 그룹장

****정회원, (주)신성이엔지 기술연구소 선임연구원

접수일자 : 2004. 8. 10 1차 심사 : 2004. 9. 7

심사완료 : 2004. 9. 15

분진, 에너지 손실 및 백래쉬(Backlash)에 의한 위치 오차의 발생 요인이 많으며, 주기적인 유지 보수를 필요로 하는 등의 단점을 가지고 있다. 반면에 구동원으로 선형 전동기를 적용하면 회전운동을 직선운동으로 바꿔주는 동력 전달 장치가 생략되어 고속 및 고가속의 직선 운동이 가능하여 생산성을 높일 수 있으며 소음, 진동, 분진, 그리고 에너지 손실의 발생이 현저하게 감소된다. 그리고 동력 전달 장치에서 나타나는 변형이나 백래쉬가 없어지기 때문에 고속 운전 시에도 고정도의 제어효과를 얻을 수 있다. 또한 이송 물체를 선형전동기로 직접 구동시키기 때문에 동력 전달 장치의 유지 보수가 필요 없어 수명이 반영구적이다. 본 논문에서는 단위 체적당 추력비가 기존의 다른 전동기에 비해 우수한 횡자속형 선형전동기를 인덱서 시스템에 적용하는 연구에 관하여 서술하였다.

인덱서는 LCD 공정상에서 이송장비중 하나로서 대기용 LCD 유리판을 수납 및 공급하는 장치이다. 인덱서는 MGV(Manual Guided Vehicle)나 AGV(Auto Guided Vehicle)를 통하여 수동이나 자동으로 LCD 유리판을 각 공정에 공급하거나 각 공정으로부터 처리가 완료된 LCD 유리판을 수납하게 된다. 인덱서는 크게 지정된 선반(shelf)으로 이동하기 위한 X축 구동부와 LCD 유리판을 적재하거나 반출하기 위한 암 로봇(arm robot)으로 구성된다.

본 논문에서는 800N급 영구자석 여자 횡자속 선형 전동기를 이용하여 축소형 인덱서 시스템을 구성하였고, 암 로봇 부하를 고려하여 선형전동기의 이동자에 부하를 인가하여 가속능력, 최대속도 및 위치결정 정밀도 등을 평가하였다. 실험결과 횡축형 선형전동기를 이용한 인덱서 시스템은 필요한 가속성능, 최대속도 및 위치 정밀도를 만족할 수 있는지 확인 검토하여 향후 개발될 인덱서에는 선형전동기를 채용가능하기를 확인한다. 따라서 인덱서 시스템의 신뢰성, 제어 정밀도향상등을 기대하여 우리나라에서 세계적으로 대표적 경쟁을 갖고 있는 수출생산 품목인 LCD 공정에서 우수한 품질의 생산성 향상을 기대할 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 영구자석 여자 횡자속 선형 전동기

전동기는 자속 방향에 따라 종축형과 횡축형(또는 횡자속형)으로 나눌 수 있는데 자속의 이동 방향과 전동기의 이동 방향이 같은 경우 종축형 기기라 하고, 자속 방향이 전동기의 이동 방향과 횡방향인 경우 횡자속형 기기라 한다. 횡자속형 선형전동기는 전류의 방향과 이동자의 방향이 일치하며 자속의 진행 방향과 전동기의 이동 방향과는 수직 즉, 횡방향이 된다. 횡자속형 전동기는 자기회로와 전기회로가 분리되어 있기 때문에 단위 체적당 높은 출력과 높은 효율을 얻을 수 있다는 장점을 갖는다. 횡축형 전동기의 다른 형태로 회전자에 영구자석을 삽입하여 출력밀도를 증가시킨 영구자석 여자 횡축형 전동기가 있다. 구조적으로 그림 1과 같이 영구자석에서 발생하는 자계가 공극에서의 자계를 집중시키므로 높은 공극 자속 밀도를 얻을 수 있다. 그림 1의 형상에서 회전자의 영구자석은 자속을 일정한 방향으로 발생시키도록 교대로 설치되며, 일정한 방향으로 추진력을 얻기 위해 권선이 있는 고정자 철심은 양측 극면에서 τ_p 만큼 엇갈리게 설계되었다. 물론 권선을 회전자에 설치하여도 무방하다.

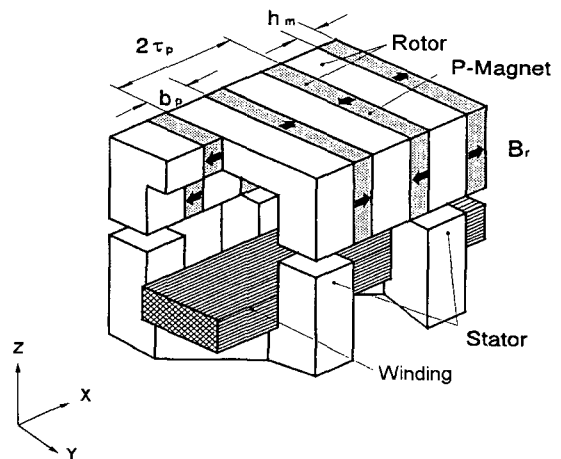


그림 1 영구자석 여자 횡축형 전동기 형상
Fig. 1 Structure of transverse type linear motor of permanent magnet excitation

회전자 위치에 따른 기자력-발생추력은 그림 2와 같다. 일정한 방향으로 힘을 발생시키기 위해 $0 \leq x \leq \tau_p$ 구간에서는 고정자의 자속이 영구자석의 자속방향과 같은 방향이 되도록 전류를 인가하고, $\tau_p \leq x \leq 2\tau_p$ 구간에서는 반대방향의 전류를 흘려야 된다.

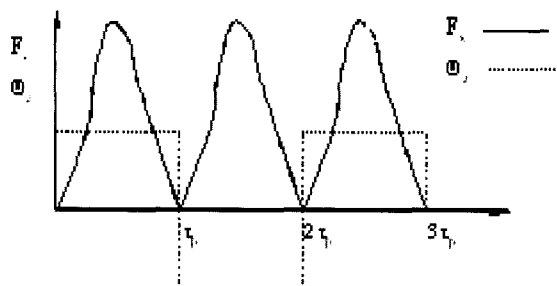


그림 2 횡축형 전동기의 회전자 위치에 따른 기자력 (θa)-발생 추력(Fx)

Fig. 2 MMF (θa)-producing thrust(Fx) according to TFLM mover

그림 2에서와 같은 기자력과 추력의 관계는 그림 3과 같은 영구자석 여자 횡축형 전동기 간이 해석 모델을 이용하여 유도할 수 있다^[2].

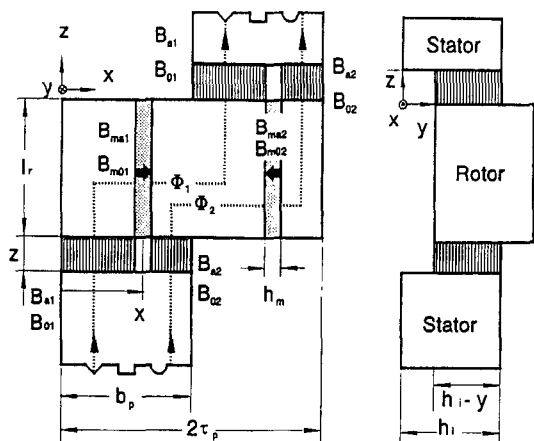


그림 3 영구자석 여자 횡축형 전동기의 간이 해석 모델
Fig. 3 A simple analytic model of the PM excited transverse flux motor

식 (1)에서 그림 3의 간이 해석 모델로부터 얻은 추력식을 나타내었다.

$$F_x = \frac{-4zB_a B_0}{\mu_0} (h_1 - y) \quad (1)$$

식 (1)에서 B_a 는 전류에 의한 공극자속 밀도를 나타내고, B_0 는 무부하 공극자속 밀도를 나타낸다. 참고적으로 그림 3의 간이 모델을 이용하여 구한 수직력 및 안내력은 각각 식 (2)와 식 (3)으로 표시할 수 있다.

$$F_z = \frac{h_1 - y}{\mu_0} \left[(B_a + B_0)^2 \left(x - \frac{h_m}{2}\right) + (B_a - B_0)^2 \left(b_p - x - \frac{h_m}{2}\right) \right] \quad (2)$$

$$F_y = \frac{z}{\mu_0} \left[(B_a + B_0)^2 \left(x - \frac{h_m}{2}\right) + (B_a - B_0)^2 \left(b_p - x - \frac{h_m}{2}\right) \right] \quad (3)$$

2.2 실험장치 구성

2.2.1 제어기 및 드라이버 구성

본 논문에서는 TI사의 TMS320C32-60 DSP를 이용하여 인덱서 시스템 구동을 위한 제어기를 구성하였다.

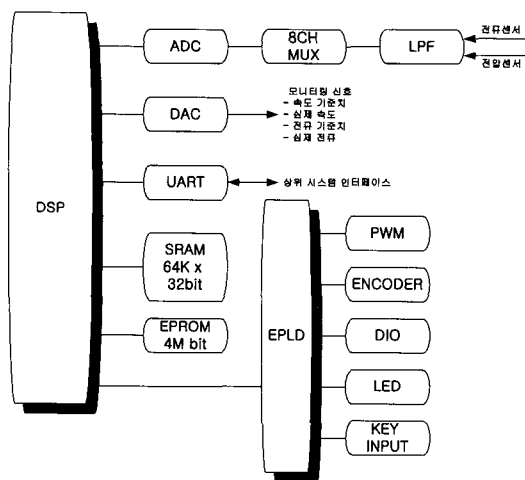


그림 4 인덱서 제어기의 블록 다이어그램
Fig. 4 Control block diagram of indexer

A/D를 이용한 아날로그 입력은 8채널을 받을 수 있도록 구성하였으며, 내부 변수 값 확인을 위한 D/A 컨버터 출력은 4채널을 구성하였다. EPLD에 PWM 파형 발생을 위한 TTL 회로와 엔코더의 펄스를 이용하여 전동기 속도를 위한 속도 측정 회로 및 위치 측정 회로를 구현하였다. 그리고 제어시스템의 이상 유무를 알기 위한 LED를 설치하였다. 그리고 시험중 중요한 제어 명령 값 혹은 필요한 상수값 변경을 쉽게 하기 위하여 외부회로에 keypad를 설치하였다. 그림 4는 위에서 설명된 인덱서 시스템 구성을 위한 전체 제어기의 제어 블록 다이어그램을 나타내었다.

본 논문에서는 2상 횡축형 선형전동기를 구동하기 위하여 전파 브릿지 형태의 2상 드라이버를 사용하였

다. 전파 브릿지 형태의 드라이버는 각 상을 독립적으로 제어할 수 있으며, DC 버스측의 전압을 거의 100% 사용할 수 있기 때문에 본 논문에서는 이러한 형태의 드라이버를 사용하였고, 그림 5에 2상 드라이버의 구조도를 나타내었다.

2.2.2 축소형 인덱서 시스템 구성

본 논문에서는 그림 6과 같은 축소형 인덱서 시스템을 제작하였다. 횡축형 선형전동기는 2상으로 구성되어 있으며, 인덱서의 추진축 위에 설치될 암 로봇의 부하를 고려하기 위하여 부하중량을 설치하여 이동자의 무게가 400[kg]이 되도록 하였다.

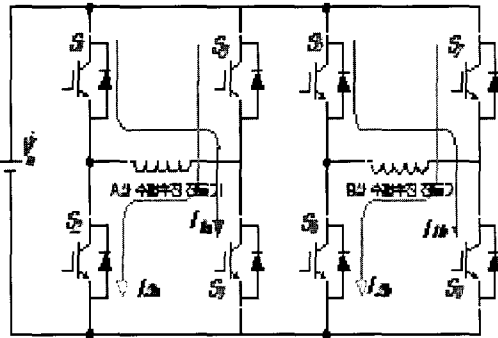


그림 5 2상 드라이버의 구조도
Fig. 5 Topology of 2 phase drive

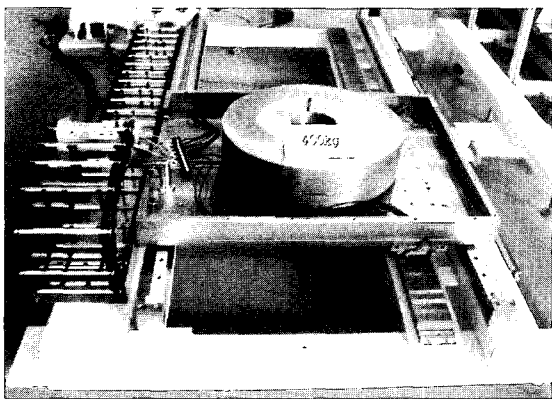


그림 6 제작된 축소형 인덱서 시스템
Fig. 6 Experimental setup of indexer system

2.3 실험결과

위치명령이 주어지면 내부적으로 그림 7과 같은 속도 프로파일을 생성하여 가감속하도록 하였다. 이러한 속도 프로파일은 적절한 가속도 사양을 만족하도록 설계 되어야 한다.

속도 제어기 및 전류 제어기는 anti-windup 기능이 포함된 PI 제어기를 사용하였다. 그림 8에 anti-windup PI 제어기의 블록도를 나타내었다. 그림 8에서 일반적으로 K_a 값은 $\frac{1}{K_p}$ 로 설정하는데 경우에 따라서 $\frac{1}{3} K_p \leq K_a \leq \frac{3}{K_p}$ 정도에서 가변될 수 있다.

PI 제어기를 프로그램으로 구현하기 위하여 Bilinear Transformation을 이용하였다.

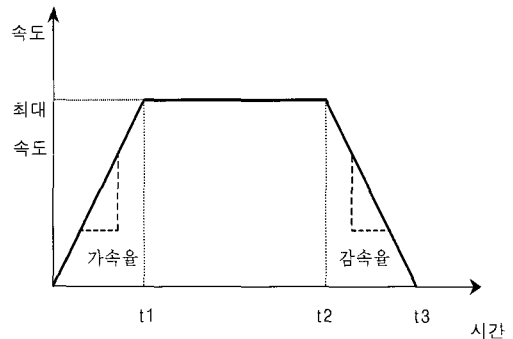


그림 7 내부적으로 발생하는 속도 프로파일
Fig. 7 Speed profile of index control

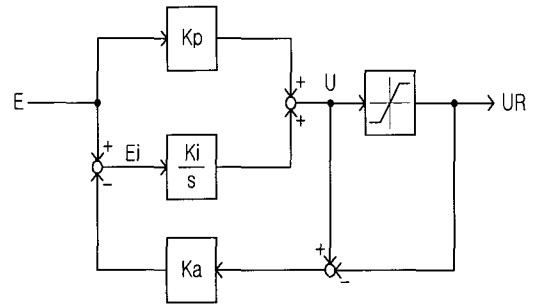


그림 8 Anti-windup PI 제어기 블록도
Fig. 8 Block diagram of anti-windup PI controller

그림 9와 10에 각각 가속도 $1.0[m/s^2]$ 과 $1.5[m/s^2]$ 인 경우에 대한 실험 파형을 나타내었다. 그림 9와 그림 10의 (a)와 (c)에서는 x축은 시간 축을 나타내고 있으며 그 단위는 $0.5[sec/div]$ 이다. 또한 Ch.1과 Ch.2의 y축에 대한 단위는 $1.0[m/s/div]$ 이고, Ch.3과 Ch.4의 y축에 대한 단위는 $50[A/div]$ 이다. 그림 9와 그림 10의 (b)와 (d)에 대해서는 y축에 대한 단위는 (a) 및 (c)와 동일하며, 시간축인 x축에 대한 단위는 $50[ms/div]$ 이다.

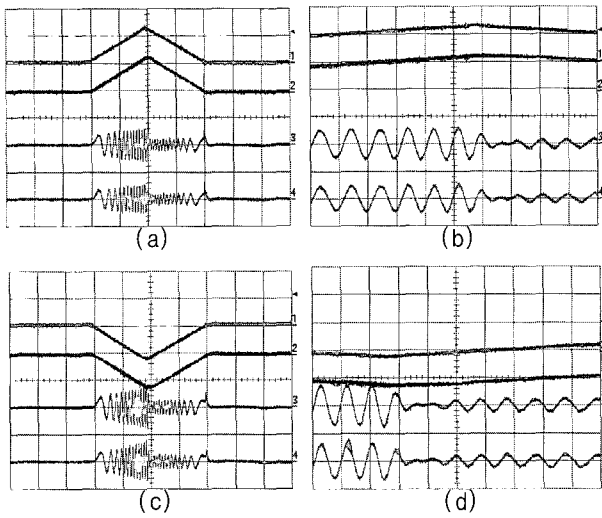


그림 9 가속도 $1.0[m/s^2]$ 인 경우 실험 파형
 Fig. 9 Experimental waveforms when acceleration $1.0[m/s^2]$

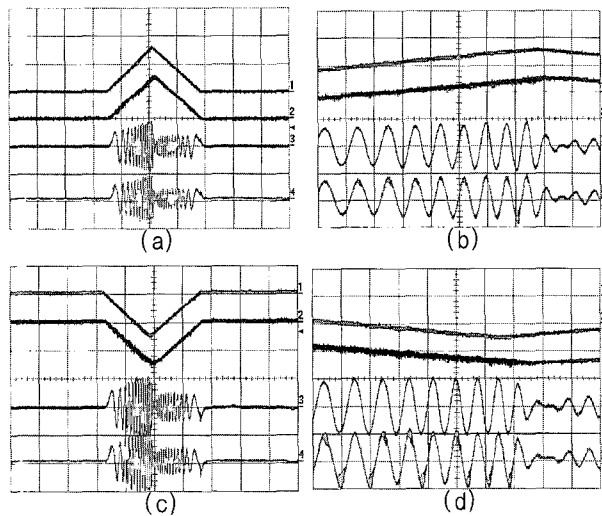


그림 10 가속도 $1.5[m/s^2]$ 인 경우 실험 파형
 Fig. 10 Experimental waveforms when acceleration $1.0[m/s^2]$

그림 9와 그림 10에서 그림(a)의 제일 위쪽에 위치한 Ch.1은 속도 기준치, 그 아래에 위치한 Ch.2는 실제속도, 위에서 아래쪽으로 3번째 위치한 파형은 Ch.3이며 A상 전류 기준치를 나타낸다. 그리고 제일 아래쪽에 있는 파형은 Ch.4이며 A상 실제전류를 나타낸다. 그림 9의 (a)는 이동자가 왼쪽에서 오른쪽으로 방향을 전환할 경우의 속도파형이며, (b)는 (a)의 방향전환 전후의 파형들에 대한 확대 실험파형들이다. 그림 10의

(a), (b)는 그림 9와 동일한 조건에서의 실험파형이며, 단지 가속도만 다르다. 그림 9의 (c)는 이동자가 오른쪽에서 왼쪽으로 방향 전환할 때의 실험파형이다. 그림 9 (a)의 경우와 마찬가지로 위쪽에서부터 첫번째 파형은 기준속도, 두 번째 파형은 실제속도, 세 번째 파형은 A상 기준전류 그리고 제일 아래쪽의 파형은 A상 실제 전류 파형이다.

그림 9의 (d)는 방향 전환시 그림 9의(c) 파형에 대한 확대 실험파형들이다.

실험 결과에서 보듯이 주어진 기준치를 잘 추종하는 것을 확인하였다. 실제 인덱서 시스템은 공정의 특성상 최대 가속도와 속도는 각각 $1.0[m/s^2]$ 와 $1.0[m/s]$ 를 요구하기 때문에 요구되는 사양은 만족하는 것으로 판단할 수 있다. 그림 11은 위치 정밀도와 속도 추정 정도를 살펴보기 위한 실험파형으로 Ch.1은 위치명령, Ch.2는 실제위치, Ch.3은 속도명령 그리고 Ch.4는 실제속도를 나타낸다. 그림 11에서 보듯이 속도와 위치는 각각의 기준제어 값에 잘 추종되고 있는 것을 실험 결과 파형에서 알 수 있다.

횡축형 선형 전동기의 경우 기존의 선형 전동기에 비해 단위 체적당 추력특성이 우수하고, 앞의 실험결과에서 보듯이 제어성능도 만족할 만한 수준을 나타내기 때문에 인덱서와 같은 시스템에 적용하기에 적합할 것으로 생각된다.

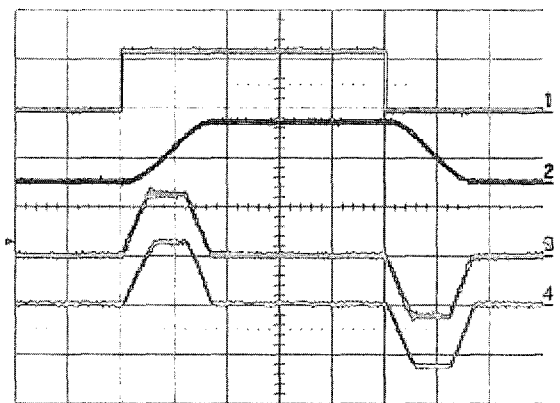


그림 11 속도 및 위치 명령 추종결과
 Fig. 11 Experimental results of speed and position about each command

그림 11에서 시간축인 x축은 $2.0[s/div]$ 의 단위로 표시되어 있으며, Ch.1과 Ch.2는 $1.0[m/div]$ 의 단위이고, Ch.3과 Ch.4는 $0.75[[m/s]/div]$ 단위로 표시되어 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 횡자속 선형전동기를 LCD 공정에 사용되는 인덱서 장비의 추진축에 적용하는 연구를 수행하였다. 횡자속 선형전동기를 이용하여 인덱서 장비의 축소 모델을 제작하고 실험을 통하여 횡자속 선형전동기를 인덱서 장비의 추진축에 적용하는 경우 가속성능, 최대속도 및 위치 정밀도 등의 사양을 충분히 만족할 수 있는 것을 확인하였다. 또한 횡자속 선형전동기는 기존의 다른 선형전동기에 비하여 단위 체적당 출력 특성이 우수하다는 장점을 갖는다. 따라서 횡자속 선형전동기를 적용한 인덱서를 실제 산업현장에 적용할 경우 별도의 동력전달 장치가 필요한 서보모터를 이용한 장비에 비해서 유지보수나 위치 정밀도 등에서 유리할 것으로 생각되며, 클린 룸(clean room) 내에서의 작업에 있어서도 장비에서 발생하는 분진 등이 현저하게 감소되어 기존의 장비에 비해 여러 가지 면에서 유리할 것으로 기대된다. 추후에는 장시간 운전 테스트와 싸이클 테스트 등을 거친 후 암 로봇을 탑재하여 실제 인덱서 동작을 구현하여 산업현장에 적용할 수 있도록 계속하여 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Weh H. "Linear Electromagnetic Drives in Traffic Systems and Industry", The First International Symposium on Linear Drive for Industry Applications, Nagasaki (Japan), 1995.

[2] 강도현, Herbert Weh, "철도 차량용 고회전 횡축형 전동기 설계에 관한 연구", 전기학회논문지, 48B권 6호, pp.310~308, 1999.

[3] 강도현, 김문환, "자기부상 열차용 부상 및 안내 결합형 횡자속 선형 전동기 설계에 관한 연구", 전기학회논문지, 49B권 2호, pp.102~109, 2000.

[4] 전영환, 김지원, 전진홍, 전정우, 강도현, "선형 브러시리스 DC 모터의 정밀 위치 제어에 관한 연구", 전기학회논문지, 50D권 9호, pp.417~422, 2001.

[5] J.W. Kim, J.W. Jeon, Y.J. Kim, Y.H. Chun, J.M. Kim, "An error free position detection method for repetitive operation using incremental encoder", ICEE2002, Jeju(Korea), pp.2442~2445, 2002.

[5] N. Mohan, T.M. Undeland and W.P. Robbins, "Power Electronics, Converters, Applications, and Design", John Wiley & Son, Inc., pp.143~146, 1995.

[6] 김지원, 전영환, 전진홍, 전정우, 강도현, "ASM을 이용

한 전동기의 위치검출 방법", 전력전자학회 논문집 7권 1호, pp.11~17, 2002.

[7] 윤용호, 우무선, 김덕규, 원충연, 최유영, "2Hall-ICs를 이용한 저가형 PM Brushless DC Motor 속도 제어", 전력전자학회 논문지 9권 4호, pp.311~318, 2004.

[8] 임태운, 강도현, 김종무, 김동희, "영구자석 여자 횡축형 선형전동기(TFLM)를 이용한 가진기 제어", 전력전자학회 논문지 7권 3호, 2002.

저 자 소 개



김지원(金志元)

1971년 9월 20일생. 1994년 서울시립대 제어계측공학과 졸업. 1996년 광운대 제어계측공학과 졸업(석사). 2002년~현재 부산대 전기공학과 박사과정. 1996~현재 한국전기연구원 메카트로닉스그룹 선임

연구원.



안종보(安鍾普)

1961년 8월 16일생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1995년 한국과학기술원 제어 및 자동화 설계공학과 졸업(석사). 1986년~1996년 이천전기공업(주) 중앙연구소 근무. 1996년~현재 한국전기연구원 산업전기연구단 메카트로닉스그룹 책임연구원.



강도현(姜道鉉)

1958년 9월 21일생. 1981년 한양대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 Braunschweig 대학 전기공학과 졸업(공학). 1981~1987년 현대건설 근무. 1989년 한국전기연구소

입소. 현재 한국전기연구원 메카트로닉스그룹 책임연구원.



장정환(張正煥)

1968년 5월 1일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업, 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2001년 동 대학원 정밀기계공학과 졸업(공학), 2001~2002년 BK21 기계사업단 Post-doctor, 2002~2003

University of California, Berkeley Research fellow, 2003~현재 한국전기연구원 메카트로닉스그룹 선임연구원.



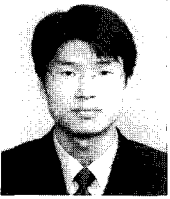
김장목(金長睦)

1961년 8월 6일생. 1988년 부산대 전기공학과 졸업. 1991년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년~2001년 한전 전력연구원 선임연구원. 2002년~현재 부산대 컴퓨터 및 정보통신연구소 연구원. 2001년~현재 부산대 전기전자통신공학부 조교수. 당 학회 편집위원.



방덕제(方德濟)

1971년 5월 17일 생. 1996년 부경대 공대 기계설계공학과 졸업. 1998년 동 대학원 냉동공학과 졸업(석사). 1998년~2000년 한국전기연구원 연구원. 메카트로닉스그룹. 현재 (주)신성이엔지 기술연구소 선임연구원.



진진용(全秦用)

1971년 9월 28일생. 1995년 서울시립대 제어계측공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전자전기컴퓨터공학과 졸업(석사). 1995년~1999년 송암시스콤 연구원. 현재 (주)신성이엔지 기술연구소 선임연구원.