

# 횡자속 선형전동기를 이용한 스토커 주행축 적용에 관한 연구

전진용\*, 문인호\*, 김규식\*\*  
 \*신성이엔지 기술연구소\*, 서울시립대학교\*\*

## A Study on Travel Axis of Stocker Using TFLM

Jin-Yong Jeon\*, In-Ho Moon\*, Gyu-Sik Kim\*\*  
 \*Shinsung ENG Institute of Technology\*, The University of Seoul\*\*

### ABSTRACT

LCD 원판이 세대별로 대형, 중량화됨에 따라 제조 공정라인의 자동 반송장비도 대형화 되어 가고 있는 추세다. 기존 스토커는 주행축에 회전형 모터와 기계적 동력변환 장치를 사용하고 있어, 복잡한 구조와 기계적 마찰에 의한 잦은 유지, 보수가 필요하게 되고 파티클 발생을 최소화 시켜야 하는 문제점을 안고 있다. 따라서 이런 문제점들을 해결하기 위해, 본 논문에서는 횡자속 선형전동기를 적용하고 제안된 제어 알고리즘 및 제어기, 전력변환장치를 제작해서 대형, 고효율, 장거리화 되고 있는 스토커의 주행축에 실험, 검증하였다.

### 1. 서론

세계적으로 LCD 디스플레이 수요가 급팽창함에 따라, 한국, 대만, 일본으로 대표되는 디스플레이 생산국들은 경쟁적으로 원판 글래스를 대형화하며, 크기와 품질면에서 세계 최고의 제품을 출시하고 있다. 원판 글래스의 품질은 제조 장비의 우수한 성능 못지않게 공정라인의 청정도에 의해 크게 좌우된다.

세대가 커짐에 따라, 이들 공정장비와 자동화 장비도 대형, 장거리화 되고 있는 추세다. 카세트를 임시적으로 저장하는 스토커의 경우 주행축의 동력전달로 회전형 모터에 감속기와 랙-피니언을 사용하는데, 반복적인 주행운동의 결과 랙과 피니언의 마모로 인한 파티클 발생으로 주기적인 유지보수가 필요하게 되며, 원판 글래스의 품질에 치명적인 악영향을 끼쳐 심각한 생산 수율 저하를 발생시킨다.

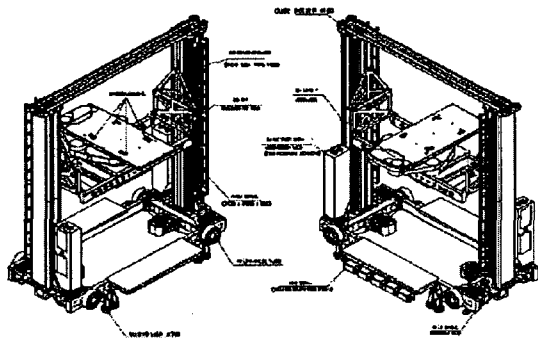


그림 1 7세대 스토커 크레인

본 논문은 그림 1에서 제시한 7세대 스토커의 크레인 주행축에 단위 면적당 높은 추력을 내는 영구자석형 횡자속 선형전동기를 적용해 회전형 모터의 기계적 변환장치에서 발생하는 문제점들을 개선하고, 대형, 장거리화 되어 가고 있는 스토커의 차세대 이송시스템으로서의 가능성을 검증하였다.

### 2. 횡자속 선형전동기 기본 구조와 제어 시스템

#### 2.1 횡자속 선형전동기 기본 구조

횡자속 선형전동기는 전류의 방향과 전동기의 이동 방향이 일치하며 자속의 진행방향과 전동기의 이동 방향은 수직으로, 자기회로와 전기회로가 분리되어 있기 때문에 단위 체적당 높은 출력을 얻을 수 있다<sup>[1]-[3]</sup>.

이동자에 설치된 영구자석의 자극을 교대로 배치하여 자속이 일정한 방향으로 발생하도록 하고, 일정한 방향으로 추진력을 얻기 위해 권선이 있는 철심은 양측 극면에서  $\tau_p$ 만큼 엇갈리게 설계된다. 물론 권선을 이동자에 설치하여도 가능하다.

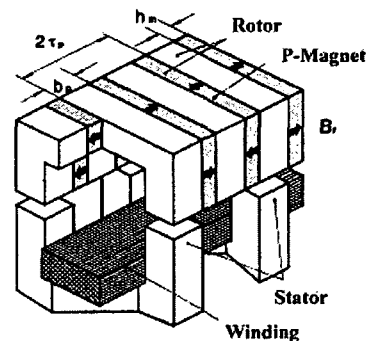


그림 2 횡자속 선형전동기의 기본 구조

#### 2.2 제어 시스템

횡자속 선형전동기의 제어기는 최종 목적지에 해당하는 위치지령을 프로그램화 되어 있는 속도 프로파일에 따라 가속, 등속, 감속 시간을 구하고, 구해진 시간을 기준으로 위치 지령을 수행하게 된다. 이 때 이동자가 일정한 속도와 방향으로 움직이기 위해서는 2상 이상의 이동자가 일정하게  $\tau_p$ /상수 의 간격으로 배치되어야 하고, 한 방향으로의 힘을 연속적으로 발생시켜야 한다<sup>[4]</sup>. 따라서 전류의 역자는 이동자의 변위에 따라 0

~  $t_p$ 에서는 (+)전류를,  $t_p \sim 2t_p$ 에서는 (-)전류를 인가하여야 한다.

제한된 횡축형 전동기는 위치제어기 출력의 속도지령과 현재의 속도를 비교하여 속도 PI제어기를 통하여 전류지령 또는 토크지령을 출력한다. 이를 다시 각상의 전류제어기에 입력하여 전류를 제어하게 된다. 이때 이동자의 위치와 출력전류 및 이동속도에 따라 스위칭을 달리하여 최대출력을 얻는다.

4상에 인가되는 전류 지령은 속도 제어기의 출력값을 계인으로 하고 위상차가  $t_p$ /상수 만큼 존재하는 sin파의 형태를 띄게 된다. 각 상의 전류지령과 전류센서를 통해서 피드백된 현재 전류값과의 차이가 전류제어기를 거쳐 전력변환장치를 구동하는 최종 출력 파형이 된다. 전동기를 구동하는 전체 제어 블록도는 그림 3과 같다.

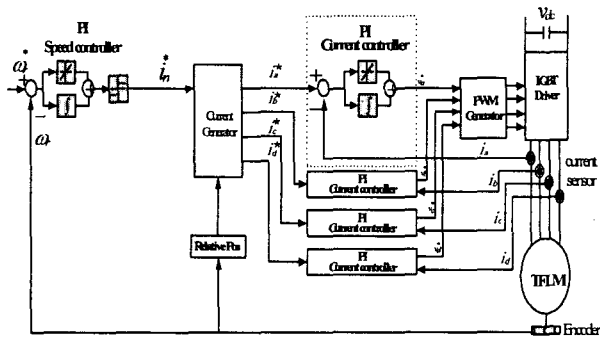


그림 3 횡축형 선형전동기의 제어 블록도

이동자의 속도를 가변하기 위해서는 공급전원의 크기와 주파수를 가변시켜야 한다. 특히 횡축형 전동기와 같은 경우는 이동자의 위치에 따라 각상의 스위칭을 결정하고 출력전류와 이동속도에 따라 최대 출력을 낼 수 있는 Advance각을 결정하여 스위칭하여야 한다. 그림 3의 블록도에서 전력스위칭 소자와 센서를 제외한 모든 블록은 소프트웨어로 연산한다. Advance각은 전동기의 지령전류와 이동속도에 따라 각도 계산을 하며, 이때 최적의 값은 시뮬레이션과 실험을 통하여 최대토크가 나오는 각으로 결정한다. 그림 4는 제어기의 전체 구성도를 나타낸다.

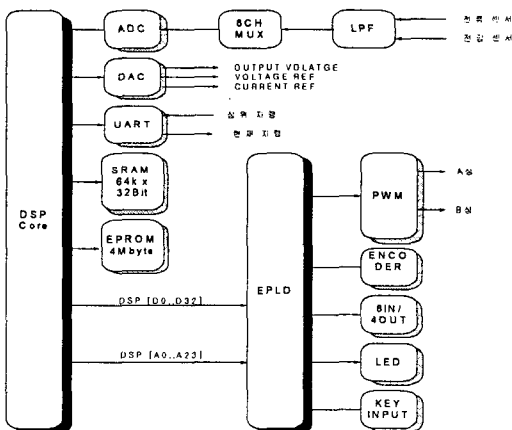


그림 4 제어기 구성도

### 2.3 전력변환장치 설계

인버터는 전동기 구동 스위칭 회로에 직류 전원을 공

급하기 위하여 입력 교류 전원을 직류로 변환하는 역할을 한다. 인버터의 구성은 그림 5와 같다. 그림에서 D1~D3, T1~T3는 3상의 교류 전원을 직류 전원으로 변환하는 3상 전파 정류 회로이며 특히, 정류부의 상단 즉, T1~T3를 사이리스터로 구성하여 주전원을 ON/OFF 함으로써 정류소자와 DC링크단 사이에 직류차단기를 제거하여 회로 구성을 간단히 하였다. 본 시스템에서는 인버터 동작 시 사이리스터의 위상각을 제어하지 않고 항상 위상각 0에서 도통시킨다.

D4, D5는 초기 전원 입력 시 R1을 통해 C1을 충전하기 위한 회로이다. C1이 방전된 상태에서 T1, T2, T3를 도통(ON)하면 순간 단락 상태가 되어 소자를 파손시키므로 일정 전압까지는 D4→D5→R1→C1→D1→D2→D3의 루프를 통해 C1을 충전한 후 T1, T2, T3를 도통(ON)시켜 주전원을 공급한다.

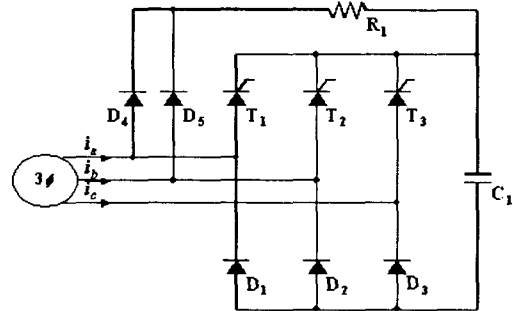


그림 5 3상 전파정류 인버터의 구성도

횡축형 전동기의 구동을 위한 전력변환 장치는 그림 6과 같은 4개의 풀 브릿지 인버터로 구성된다. 전동기의 입력전압은 3상 AC220[V]를 전파 정류하여 DC300[V]를 얻고 이를 다시 인버터에 인가하여 펄스폭 변조법(Pulse Width Modulation, PWM)으로 각 상의 전류를 조절하게 된다.

그림 6에서 풀 브릿지 인버터가 4회로 구성되어 있는데 이는 횡축형 전동기의 각 상의 전류를 일정하게 제어하고 큰 토크를 발생시키기 위해서이며 각각 4개의 IGBT와 Diode로 구성되어 있다. 가장 우측의 IGBT모듈은 횡축형 전동기의 전기적 제동 시 발생하는 회생전압을 저항을 통해 소모 시킬 경우 사용하는 제동 저항용 스위치이다. 그림 3, 4와 5, 6의 회로 설계를 이용하여 시제작한 제어기와 전력변환장치의 사진은 그림 7, 8과 같다.

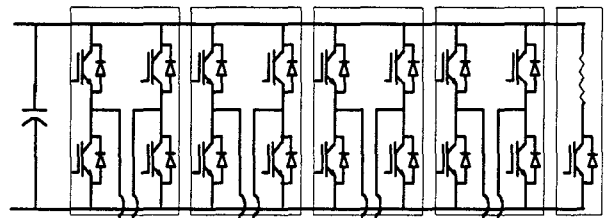


그림 6 횡축형 선형전동기 인버터 전력변환부 회로도

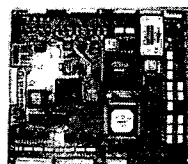


그림 7 제어기



그림 8 전력변환기

### 3. 실험 결과

운전특성을 측정하기 위해 무게가 10톤인 7세대 LCD스토커의 주행축에 제작된 제어기와 전력변환장치를 설치하고 프로그램에서 정해진 사다리꼴 모양의 구동 프로파일을 속도 0.5[m/sec] ~ 1.5[m/sec]까지 변화 시키며 전체 주행거리 20[m] 내에서 주어진 속도를 정상적으로 추종하는지 실험을 행하였다.

그림 9, 10, 11에서 C3은 주행거리 20[m]에 대해 정방향 운전 후 10초의 시간 지연 후, 다시 역방향으로 20[m]주행하는 위치지령이고, C1은 위치지령을 소프트웨어상에서 사다리꼴 프로파일로 변환된 속도지령이다. C2, C4는 계산된 속도지령에 대해 실제 움직인 속도와 4상중 A상의 전류를 측정한 결과 파형이다.

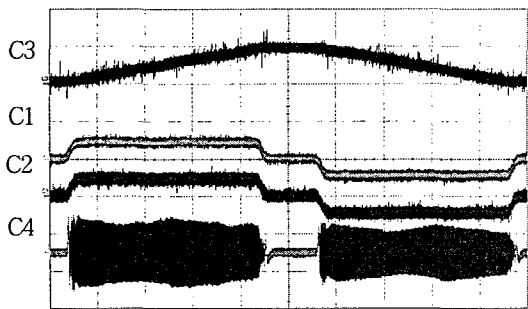


그림 9 속도 0.5[m/s], 시간[10sec/DIV]

C3: 위치명령[20m/DIV], C1: 속도명령[1m/sec/DIV]  
C2: 실제속도[1m/sec/DIV], C4: A상 전류입력[100A/DIV]

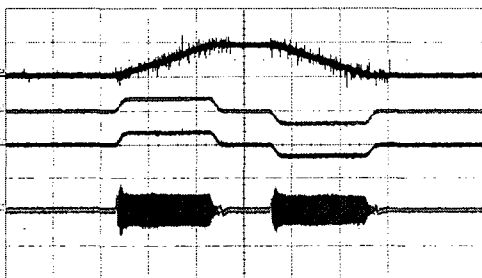


그림 10 속도 1.0[m/s], 시간[10sec/DIV]

C3: 위치명령[20m/DIV], C1: 속도명령[2.5m/sec/DIV]  
C2: 실제속도[3m/sec/DIV], C4: A상 전류입력[200A/DIV]

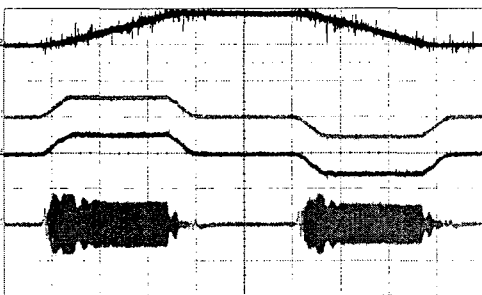


그림 11 속도 1.5[m/s], 시간[5sec/DIV]

C3: 위치명령[20m/DIV], C1: 속도명령[2.5m/sec/DIV]  
C2: 실제속도[3m/sec/DIV], C4: A상 전류입력[200A/DIV]

실험한 결과, 위치지령에 따른 속도 프로파일을 구성하여 왕복운동을 시켰을 때, 속도 1.5[m/s]까지 정상적으로 속도 지령을 추종함을 알 수 있다. 이 때 등속운동 시 각 속도별로 상전류를 측정하면, 0.5[m/s]일 때 80[A], 1.0[m/s]일 때 90[A], 1.5[m/s]일 때 100[A]로 비례적으로 증가하는데, 이것은 속도가 커짐에 따라 기계적 구동부의 마찰에 의한 마찰손과 철손, 동손등의 모터 자체 손실이 커짐을 알 수 있고, 횡자속 선형전동기를 이용해 부하의 속도를 증가시키려면 등속구간에서도 전류의 증가가 필요함을 보여주는 것이다.

### 4. 결론

본 논문에서는 단위면적당 추력이 높은 영구자석형 횡자속 선형전동기를 구동부의 무게가 10톤에 해당하는 LCD자동 반송 장비인 스토커의 주행축에 적용하여 속도 실험을 행하였다.

상전류의 최대치를 120[A]로 설정하고 속도를 0.5[m/sec] ~ 1.5[m/sec]까지 변화시키며 구동 시, 주어진 위치지령에 대해 프로그램화된 속도지령을 정상적으로 수행함을 알 수 있었다.

7세대 스토커의 주행축은 설계, 제작 시 공간 활용도와 유지보수의 편리성을 위해 4개의 회전형 모터와 감속기로 구성되며 구동용 휠이 직접 물려있는 샤프트를 회전운동 시키게 되어 있는데, 이런 구조적인 복잡성을 직접 구동으로 간단화시켜 유지보수를 줄이고 마찰에 의한 분진발생을 최소화 시킬 수 있는 횡자속 선형전동기는 대형, 고효율, 장거리화 되어 가고 있는 스토커, OHS, OHT, 리프트, 컨베어 등의 LCD자동 반송장비에 적용 가능하리라 판단되며, 지속적인 연구가 진행될 계획이다.

이 논문은 에너지관리공단의 에너지.자원기술개발 사업의 지원에 의하여 연구되었음.

### 참고 문헌

- [1] W.M Arshad, T.Backstrom, C. Sadarangani, "Analytical design and analysis procedure for a transverse flux machine", IEMDC 2001, pp. 115-121. 2001.
- [2] Henneberger G., Bo가 M., "Development of a new transverse flux motor", IEEE Collogquium on New Topologies for PM Machines, pp 1-6, 1997.
- [3] Do Hyun Kang, "Transversalfussmaschinen mit permanenter Erregung als Linear antriebe im schienengebundenen Verkehr", Braunschweig University, 1996.
- [4] S.A Nasar, I. Boldea, "LINEAR ELECTRIC MOTORS: Theory, Design and Practical Applicatoin". PRENTICE-HALL,INC, 1987.