

OHS 시스템에 적용한 횡자속형 선형전동기 제어에 관한 연구

김원곤 · 황계호 · 윤중보 · 이근선
(주)신성이엔지 기술연구소

A study of Control of the Transverse Flux Linear Motor for OHS System

†Wongon Kim · Gyeho Whang · Jongbo Yun · Geunsun Lee
†R&D Division, Shinsung ENG Co. Ltd, Korea

Abstract - 본 논문에서는 직선 및 곡선구간에서 구동력을 필요로 하는 LCD 패널 생산라인의 이송장비인 OHS 시스템에 적용이 가능한 횡자속 선형전동기의 제어에 관하여 기술한다. OHS 시스템은 클린룸 내에서 이송대차가 천장에 레일과 함께 설치되어 장거리의 직선 및 곡선 이송경로를 가지는 LCD 패널 물류 이송장치이다. 기존 선형전동기들은 그 구조상 곡선구간 구동원으로 적용하기 어렵고, 장거리 이송용으로 사용하기에 상당한 가격적인 부담이 발생된다. 따라서 본 논문에서는 상대적으로 다른 선형전동기와 비교하여 가격적인 부담이 적고, 곡선구간에서 구동력을 발휘할 수 있는 횡자속 선형전동기를 OHS 시스템에 적용하고, 선형전동기의 곡선구간에서의 출력특성을 분석하며, 이동자의 위치검출 방법 및 제어 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 실제 제작된 OHS 실험장치를 통하여 제어특성을 검증한다.

1. 서 론

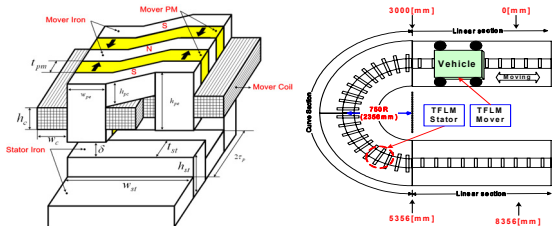
최근 들어 반도체 제조용 클린룸(clean room) 내에서의 LCD 원판(glass) 또는 웨이퍼(wafer)를 이송하는 물류 자동화 시스템에서 선형전동기(linear motor, 이하 LM이라 칭함)를 적용하여 생산라인의 초정정 조건을 만족시키고, 생산수율을 향상시키려는 노력이 꾸준히 진행되고 있는 추세이다. 공정간 물류 이송장비인 OHS(Over Head Shuttle)는, 이송경로가 직선 및 곡선구간으로 구성되어 glass를 적재한 카세트(cassette)를 원하는 공정내 연결 물류장비로 자동 반송시켜 주는 기능을 담당하는데, 이송길이 짧게는 수십 미터에서 길게는 수백 미터까지 이르는 인라인(in-line) 자동화 장비이다.

본 논문에서는 다른 LM과 비교하여 출력비가 높다고 알려진 영구자석형 횡자속 선형전동기(PM-type transverse flux linear motor, 이하 TFLM이라 칭함)를 클린룸 내의 공정간 물류 이송장비인 OHS의 구동원으로 적용하기 위한 제어기법에 대한 연구를 진행하고자 한다[1]. TFLM을 제어하기 위해 곡선구간 전동기의 출력특성을 분석하고, 제어에 필요한 이동자 위치검출 방법과 제어기법에 관하여 기술하며, 실험을 통해 제안한 방법의 유용성을 검증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 OHS 시스템 적용 횡자속 선형전동기

그림 1은 OHS용 TFLM의 형상과 설치외관을 도시하고 있다. TFLM은 곡선구간에서 고정자와 이동자 사이가 전기적, 기구적으로 완전히 분리됨으로써 곡선구간 구동용으로 적합하다[2]. TFLM 이동자는 그림에서 도시된 vehicle(이송대차)의 하부에 설치되고, 곡선구간에서의 고정자가 설치되는 회전반경은 750[mm]로 곡선구간에서 실제 이동자의 이동거리는 2356[mm]이다.

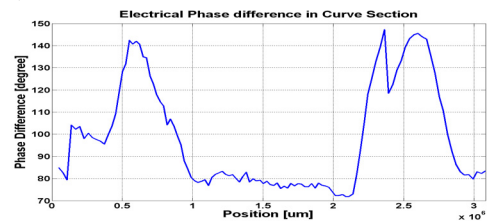


〈그림 1〉 OHS용 TFLM 형상(좌) 및 설치도(우)

2.2 선형전동기 위치검출

그림 2는 vehicle 주행휠에 설치된 인코더를 이용하여 취득한

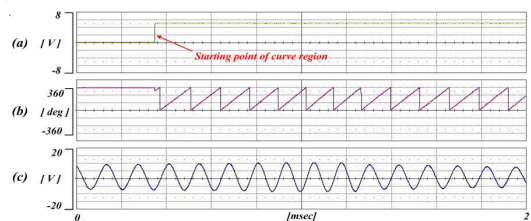
곡선구간에서의 TFLM 위치데이터 값을 이용하여 A상과 B상 이동자간 위상차 변화를 수치적으로 나타낸 결과이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 TFLM 이동자가 곡선구간을 진입하는 경우와 곡선구간을 빠져나가는 경우에 위상변화가 크게 발생됨을 알 수 있다. 곡선구간 진입 구간에서 계산된 최대 위상차는 전기각으로 142.37도이고, 종료 구간에서는 145.51도이다. 이 구간은 이동자 A상이 곡선구간에 위치하고 B상이 직선구간에 위치하는 경우이다. 또한 곡선구간으로 A상과 B상 이동자가 완전히 진입한 경우는 위상차가 약 75도에서 80도 사이값으로 직선구간에서의 위상차 90도에 거의 근접함을 확인 할 수 있다. 이는 일단 이동자가 곡선구간으로 완전히 진입하게 되면 TFLM의 출력 특성이 곡선 진입 또는 진출구간에 비해 개선됨을 의미한다. 이상의 결과로부터 이동자가 곡선구간을 진입 또는 진출할 경우에 상대적으로 출력특성이 많이 변화되기 때문에, 이 부분에서 이동자의 정확한 위치검출과 제어가 이루어지지 못하면 곡선구간 구동은 불가능하게 된다.



〈그림 2〉 곡선구간 OHS용 TFLM 이동자 위상변화 특성 실험결과

그림 3은 곡선구간에서 각종 위치센서를 이용하여 TFLM A상의 이동자 위치를 계산한 후, 신뢰성 검증을 위해 실제 A상 이동자의 역기전력 값과 직접 비교하여 나타낸 실험결과이다. 실험결과를 통하여 알 수 있듯이 곡선 진입구간에서 시작하여 계산된 이동자의 실제위치 값은 역기전력 위상과 비교하여 정확히 일치되기 때문에 위치검출은 정확하게 수행됨을 알 수 있다.

직선구간에서의 TFLM 이동자 위치는 장거리 이송경로에 대한 위치누적에러를 감안하여 인코더와 근접센서를 이용하여 검출한다[2].



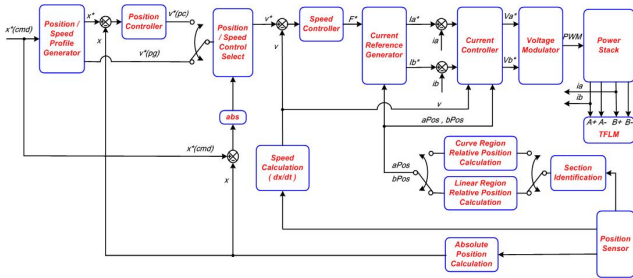
(a) 곡선진입 flag (b) A상 이동자 위치 (c) A상 역기전력

〈그림 3〉 곡선구간 이동자 위치검출 특성 실험결과

2.3 제안한 제어 알고리즘

그림 4는 본 논문에서 제안하는 TFLM 적용 OHS vehicle의 위치제어 블록도를 도시하고 있다. 구동 프로파일 발생기에서 생성된 위치 프로파일은 위치제어기로 인가되어지고, 위치제어기의 출력은 속도지령 값을 출력한다. 속도지령 값과 구동 프로파일 발생기에서 생성된 속도지령 값은 속도제어기의 속도 지령치로 모두 사용이 되는데, 위치지령 값과 현재 절대위치 값의 차이값에 따라서 속도제어 모드와 위치제어 모드를 결정한다. 따라서 위치지령 값에 대하여 실제 이동자의 위치가 목표위치에 거의 도달한 경우에만 절대위치 에러를 제거하기 위한 목적으로 위치

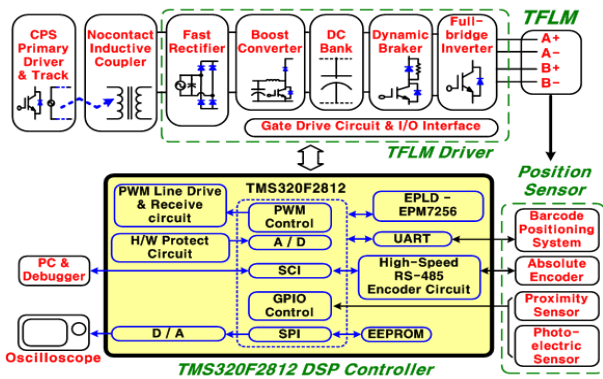
제어 모드를 수행하고, 그 이외의 경우에는 속도제어 모드로 TFLM을 구동한다. 속도제어기 출력은 TFLM이 발생시켜야 할 추력 지령치가 되고, 이 값은 이동자의 위치에 따라 인가해줄 A상과 B상의 전류량으로 환산되어 전류지령 발생기에서 전류지령을 생성한다. 각 상의 전류제어기 출력은 스위칭 주기 10KHz의 PWM 제어방식을 통하여 각상에 인가되는 전류량을 제어한다.



〈그림 4〉 제한한 OHS TFLM 제어 알고리즘의 전체 블록도

2.4 실험

그림 5는 OHS 구동용 TFLM의 실험 장치에 대한 블록도를 나타내며, 그림 6은 이에 대한 실제 실험장치 외관을 보여주고 있다. 그림 5에서 보듯이 TFLM 구동을 위한 주 전원과 제어용 전원은 클린룸 환경을 고려하여 비접촉 전원장치(Contactless Power Supply, CPS)를 사용한다. 1차측 CPS 시스템에서 트랙으로 공급하는 전류에 의하여 2차측의 비접촉 커플러에는 고주파 전압이 유기된다. 고주파 전압은 2차측 CPS 시스템의 단상 정류기를 통해 정류되고, 승압 컨버터를 제어함으로 직류단 전원은 vehicle의 전체 구동 구간에 걸쳐 300[Vdc]로 유지된다. 직류단 전원의 과전압 보호 및 TFLM 회생제동 등에 의한 직류 전원의 전압상승을 방지하기 위해 TFLM 드라이버에는 dynamic braker를 내장한다. 또한 TFLM에 전력을 공급하기 위한 인버터는 각 상에 대해 풀브리지 토폴로지로 구성하였으며, 파워 스위칭 소자는 MITSUBISHI사의 100[A]급 IPM을 사용하여 구성하였다. 이 소자는 과열 및 단락회로, 저전압 등에 대한 자체 보호회로, dynamic braker가 모듈에 내장됨으로써 전체 회로구성이 간편하며, 전체 TFLM 드라이버의 사이즈를 콤팩트화 할 수 있는 장점을 가진다. 위치제어를 위하여 사용된 위치센서는 비접촉성, 신뢰성 등을 고려하여 광학식 바코드 리더기, 절대형 로터리 인코더, 근접센서, 포토센서 등을 사용하여 구성하였다.



〈그림 5〉 제어시스템의 블록도



〈그림 6〉 OHS 실험장치 외관 (좌 - Vehicle, 우 - Track)

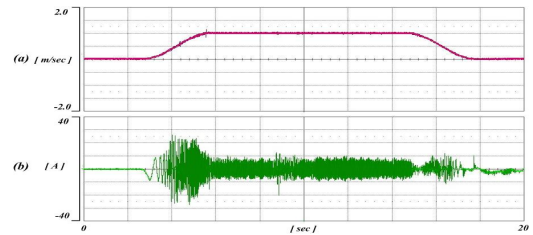
표 1은 OHS 시스템의 사양을 보인다. OHS vehicle의 최대 주행속도는 1.5[m/sec]이고, TFLM 발생추력은 4세대 LCD 라인의 카세트 이송을 고려한 200[N]이다. 또한 시스템의 위치제어 정밀도는 ±1[mm]이다.

〈표 1〉 OHS 시스템 사양

항목	사양
Motor	영구자석형 횡자속 선형전동기
주전원 입력	300Vdc (비접촉 전원 공급장치, 10[KW])
주행 속도	Max. 1.5[m/sec]
정격 추력	200[N]
제어 방식	위치 제어 (위치정밀도 : ±1[mm])
TFLM	광학식 바코드 리더기, 로터리 인코더,
위치검출센서	곡선감지 포토센서, 근접센서
Weight	200[Kg]

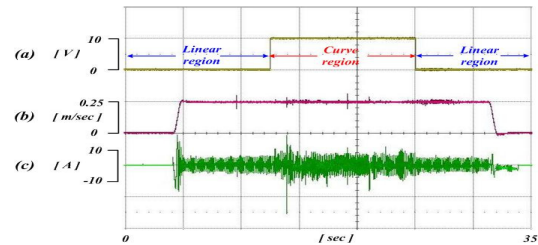
그림 7은 직선구간에서 최대속도 1[m/sec] 조건으로 정방향 12000[mm]의 위치명령을 인가한 경우의 속도응답 및 전류제어 특성을 보여주고 있다. 그림 7에서 알 수 있듯이 가속구간에서는 제어기 전류제한 설정값인 최대 25[A-peak]가 인가되며, 등속구간에서는 시스템의 손실분 전류량에 해당하는 약 8[A-peak]가 인가되고 있음을 알 수 있다. vehicle의 주행 휠 탄성 등에 의한 영향으로 구간별 이동자의 공극은 주행중에 조금씩 변화되기 때문에 전체 구동구간에 걸쳐 제어되는 전류크기 또한 변화됨을 알 수 있다. 또한 감속구간에서는 전동기 손실에 의한 영향으로 가속구간보다 전류가 줄어들게 됨을 알 수 있다.

그림 8은 직선 및 곡선 혼합구간에서 최대속도 0.25[m/sec] 조건으로 정방향 7000[mm]의 위치명령을 인가한 경우의 속도응답 및 전류제어 특성을 보여주고 있다. 이동자에 인가되는 전류량은 곡선구간이 직선구간보다 증대됨을 알 수 있는데, 이는 곡선구간에서 이동자의 변화되는 위상차로 인하여 추력이 직선구간에 비해 감소되기 때문이다.



(a) 주행속도 (b) A상 이동자 전류

〈그림 7〉 직선구간 TFLM 속도 및 전류 제어특성 실험결과



(a) 직선 및 곡선 flag (b) 주행속도 (c) A상 이동자 전류

〈그림 8〉 곡선구간 TFLM 속도 및 전류 제어특성 실험결과

3. 결론

본 논문에서는 장거리 직선 및 곡선 이송경로를 가지는 LCD 패널 물류이송 장비인 OHS 시스템의 구동원으로 사용한 횡자속 선형전동기 제어에 관한 연구를 수행하였다. 제한한 선형전동기에 대하여 제어에 필요한 이동자 위치검출 방법과 제어기법을 제시하였고, 직선구간과 곡선구간에서 만족할 만한 구동성능을 발휘함을 실험결과를 통해 검증하였다. OHS 시스템에 선형전동기를 적용함으로써 이송시스템의 고속성, 고신뢰성을 통한 LCD 패널 생산라인의 수출확장이 기대된다.

[참고 문헌]

- [1] Do. Hyun. Kang, Herbert Weh, "Design of an Integrated Propulsion, Guidance, and Levitation System by Magnetically Exited Transverse Flux Linear Motor(TFM-LM)", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 19, no. 3, pp.477-484, 2004.
- [2] 김원근 외 5명, "곡선구간에 운행 가능한 선형전동기 제어에 관한 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집(B), 1063-1064, 2006.