분기용 선형전동기에 관한 연구

(A study of the Short Cut Linear Motor)

김원곤* · 황계호 · 윤종보 · 문인호

(Won-Gon Kim* · Gye-Ho Hwang · Jong-Bo Yun · In-Ho Moon)

Abstract

본 논문은 직선 및 곡선 주행레일을 따라 물류이송을 필요로 하는 물류 이송시스템의 이송효율을 높이고 이송거리를 단축시키기 위한 목적으로 사용되는 분기구간에 구동원으로 적용이 가능한 선형전동기에 관한 연구를 진행하였다. 직선 및 곡선 주행 레일이 함께 존재하는 분기구간을 구동하기 위하여 선형전동기는 직선 및 곡선주행에 필요한 추진력을 모두 발생시켜야 함으로 기존의 선형전동기들은 적용이 용이하지 않다. 본 논문에서는 직곡선 레일이 공존하는 분기구간에 적용이 가능한 선형전동기를 제안하였다. 또한, 제안한 선형전동기 구동을 위한 선형전동기 위치검출 및 제어 알고리즘을 제시하였고 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

선형전동기는 자동화산업 응용분야에서 정밀성, 구조의 단순성, 고속성, 비접촉성 등의 장점으로 인하여 서보전동기와 더불어 자동화 시스템의 핵심 구동 장치로 사용된다. 과거에는 직선 스테이지 응용분야에 국한되어 사용되어 왔던 선형전동기는 최근에 반도체 및 LCD 산업의 고속성장과 더불어 물류 이송효율과 시스템 신뢰성을 높이기 위한 연구결과로 이제는 곡선 스테이지 분야에도 적용이 가능하게 되었다. 이는 물류를 한 지점에서 다른 지점으로 이송시키고자 하는 경우, 곡선구간 이송경로를 포함하여 다수의 이송장치 없이도 하나의 이송장치로 물류이송이 가능함을 의미한다[1].

이송시스템은 직선 및 곡선 스테이지 구동뿐만 아니라, 필요에 따라 직선과 곡선 스테이지 동시대응이 요구되는 분기시스템을 통해 물류이송 효율을 극대화할 수 있다. 즉, 다수의 이송대차가 단일 직선 및 곡선 이송트랙을 사용함으로써 물류이송 도중 트래픽 발생 시 분기구간을 이용한 회피 등이 가능함으로써 이송시스템의 전체 운용을 더욱 유연하게 대처할 수 있다.

본 논문에서는 물류이송의 효율을 높이기 위한 방법으로 분기구간에서 직선 및 곡선구간 동시 추력 발생이 가능한 분기용 선형전동기에 대한 연구를 진행하고자 한다. 또한, 선형전동기 제어에 중요한 위치검출 및 제어알고리즘을 제안하고, 실 제작한 실험장치를 통하여 실험결과를 제시함으로 그 타당성을 검증하기로 한다.

2. 분기용 선형전동기 및 제어

2.1. 분기 이송시스템

물류 이송시스템에서 이송대차가 다수인 경우 트래픽이 발생될 수 있기 때문에 전체 시스템 운용 측면에서 이송트랙이 분기구간을 포함하는 이송시스템은 분기구간을 포함하지 않는 이송시스템과 비교하여 물류이송 효율 측면에서 유리하다.

그림 1은 분기트랙과 직선 및 곡선 이송트랙을 포함하는 이송시스템을 보여주고 있다. 이송시스템은 크게 이송대차와 이송트랙, 그리고 분기트랙으로 구성된다. 물류이송에 사용되는 주경로는 이송트랙이며, 다수의 이송대차의 위치에 따라서 이송대차는 효율적으로 분기트랙을 사용한다. 즉 이동방향으로 전면부에 위치한 이송대차에 의해 이송트랙을 지나가지 못하는 경우, 분기트랙을 사용함으로 이송트랙으로 빠져나갈 수 있다.

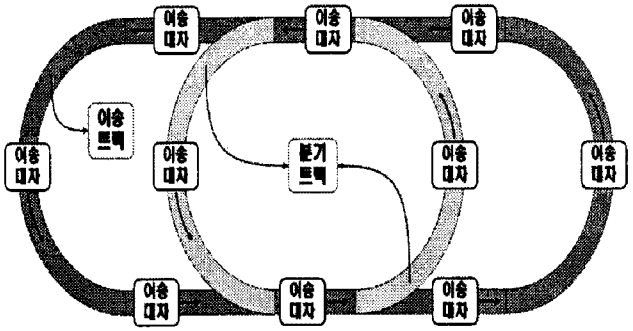


그림 1. 분기구간을 포함하는 이송시스템

Fig. 1. Transfer system included the short cut track

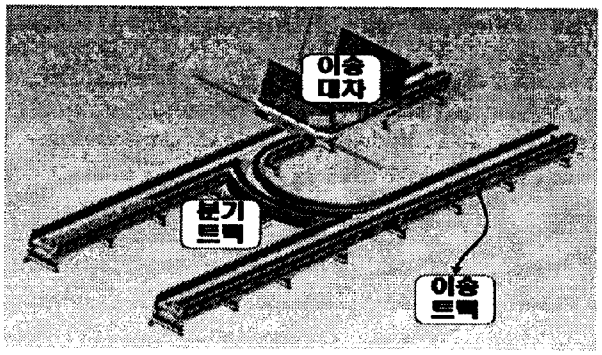


그림 2 분기 이송시스템 예
Fig. 2. Example of the short cut transfer system

그림 2는 분기트랙이 있는 분기 이송시스템의 예를 보여주고 있다. 이송대차는 분기트랙에서 직선 주행경로를 선택할 수도 있고, 곡선 주행경로를 선택할 수도 있다. 따라서 이송대차 구동원으로 적용할 선형전동기는 분기트랙에서 직선 추력은 물론, 곡선 추력도 함께 발생시켜야 한다.

2.2. 분기용 선형전동기

선형전동기를 직선 및 곡선 주행경로를 포함하는 장거리 이송시스템에 적용하기 위해서는 그 형상이 구동 전 구간에 대하여 간섭이 발생되지 않고 추력이 발생되어야 하며, 설치가 용이하여야 한다[2].

그림 3은 본 연구에서 제안하는 분기용 선형전동기의 형상을 보여주고 있다. 선형전동기는 자속방향이 전동기의 이동방향과 횡수직 방향인 횡자속 선형전동기 타입으로 종자속 선형전동기에 비해 자기회로와 전기회로가 분리되어 있기 때문에 단위 체적당 높은 출력과 높은 효율을 가진다는 장점이 있다[3-4].

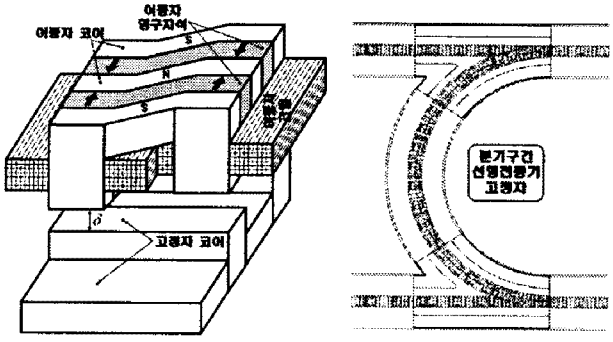


그림 3 분기용 선형전동기 형상(좌:분기용 선형전동기 기본형상, 우:분기구간 고정자 형상
Fig. 3. Configuration of the short cut linear motor(left : basic configuration of the short cut linear motor, right : stator configuration of the short cut track)

분기용 선형전동기에 필요한 이동자와 고정자간 공극[δ]은 2~3[mm]로, 이동자에 이송트랙 주행시 필요한 주행용 휠(wheel)을 설치함으로 기구적으로 공극을 유지한다. 또한, 분기구간에서의 고정자는 이동자의 직선주행과 곡선주행 모두를 고려하여 그림 3과 같이 배치하였다.

2.3. 분기용 선형전동기 제어

장거리 이송시스템에 적용한 선형전동기 제어의 핵심은 선형전동기의 위치검출이다. 특히 이송경로가 직선 및 곡선 경로로 혼용된 시스템에서는 더욱 위치검출이 어렵다.

그림 4는 본 논문에서 제안한 분기용 선형전동기의 위치검출 방법을 보여주고 있다. 분기구간에 전동기의 이동자가 진입하여 직선주행 또는 곡선주행을 하게 될 때 발생되는 전동기의 역기전력은 전동기의 위치정보를 포함하고 있다. 이러한 역기전력 정보를 DSP 제어기의 A/D 컨버터에서 읽어 들인 후, 역기전력과 이동자의 위치관계를 이용하여 위치센서 시스템으로부터 위치 데이터를 저장한다. 저장된 위치 데이터는 제어기 내부에서 프로그램 하여 실제 구동 시 필요한 이동자의 위치 데이터로 계산되며, 계산된 위치데이터는 D/A 컨버터를 통해 계측장비로 확인이 가능하다.

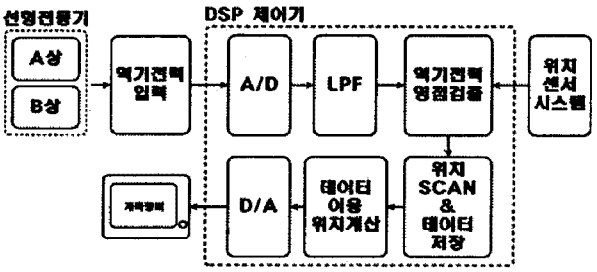


그림 4. 선형전동기 위치검출 방법의 블록도
Fig. 4. Block diagram of position detecting method of the linear motor

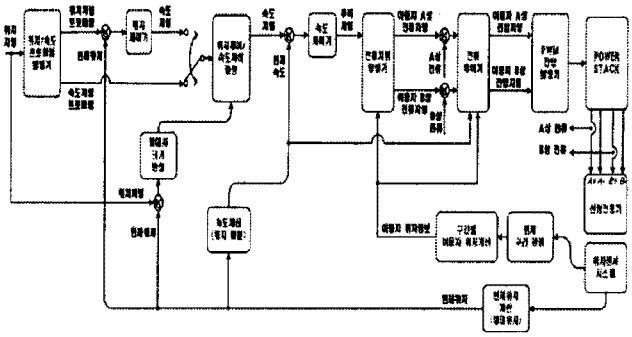


그림 5. 분기용 선형전동기 제어알고리즘
Fig. 5. Control algorithm of the short cut linear motor

그림 5는 분기용 선형전동기의 전체 제어알고리즘을 보여주고 있다. 선형전동기 제어기에 위치지령이 인가되면 현재위치와 위치지령치간 차이값을 판정하고, 거리차이에 따른 위치제어 또는 속도제어를 결정하여 제어용 구동프로파일을 발생시킨다. 속도제어기의 출력은 추력지령치로 전동기에서 발생되는 추력은 이동자의 위치와 인가 전류량에 의하여 결정된다. 위치센서 시스템을 통하여 이동자의 실시간 위치정보를 알고 있기 때문에 이동자가 분기구간에 진입하기 시작하면 구간별로 사전에 프로그램된 이동자 위치정보를 이용하여 해당 위치별로 이동자에 전류를 인가함으로 구동에 필요한 추력을 발생시킬 수 있도록 제안하고 있다.

2.4. 실험

분기용 선형전동기 특성실험을 위한 이송트랙은 그림 3의 분기트랙 컨셉을 이용하여 주행 영역별로 구간을 나누어 수행하였다.

그림 6은 실험에 사용된 이송트랙을 보여주고 있다. 분기트랙은 이송대차가 이동하는 방향에 따라 각각 1번 구간, 2번 구간, 3번 구간으로 나누고 그림 3에 도시된 분기구간 선형전동기 고정자를 해당구간에 설치하였다.

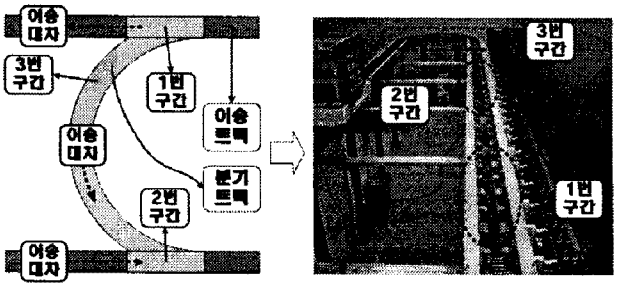


그림 6. 분기용 이송트랙 컨셉과 실험장치
Fig. 6. Transfer track concept of the short cut and experimental setup

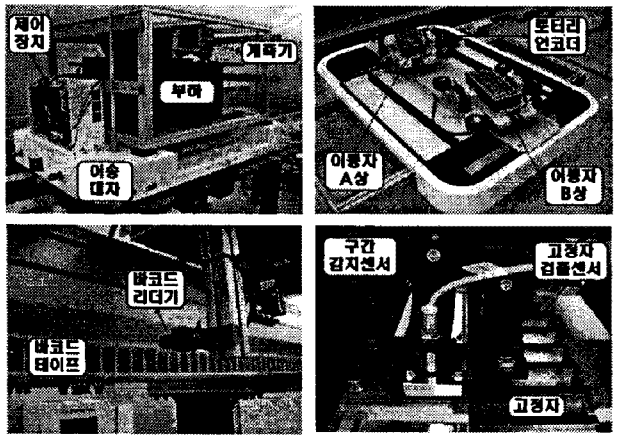
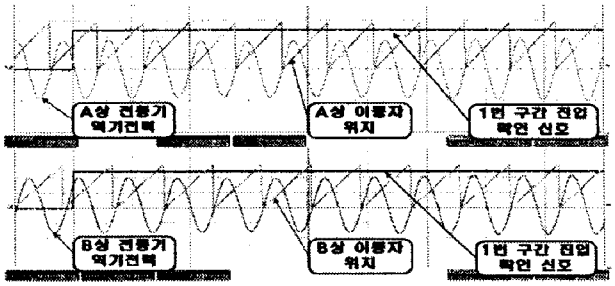
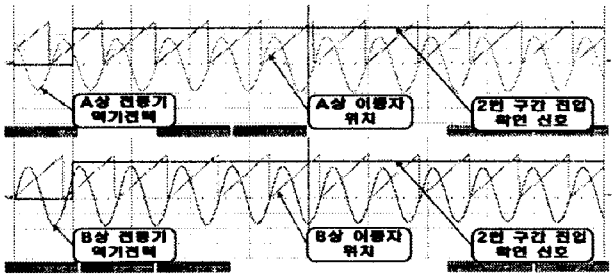


그림 7. 이송대차 실험장치
Fig. 7. Experimental setup of transfer

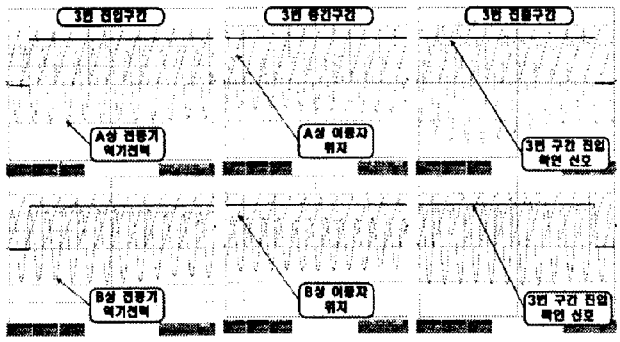
그림 7은 실험에 사용된 이송대차를 보여주고 있다. 이송대차에는 선형전동기 제어를 위한 고성능 DSP(Digital Signal Processor) 제어장치, 부하 그리고 이동자 A/B상을 이송대차 하단에 설치하였다. 또한 전동기 위치검출 시스템은 로터리 인코더, 구간감지센서, 고정자 검출센서 그리고 바코드 리더기 등으로 구성하여 안정된 위치검출이 가능하도록 구현하였다.



역기전력:5V/div, 위치:10mm/div, 시간:50ms/div
그림 8. 1번 구간 분기용 선형전동기 역기전력과 위치검출 실험파형
Fig. 8. Experimental waveform of back-emf of the short cut linear motor and position detection in the region 1



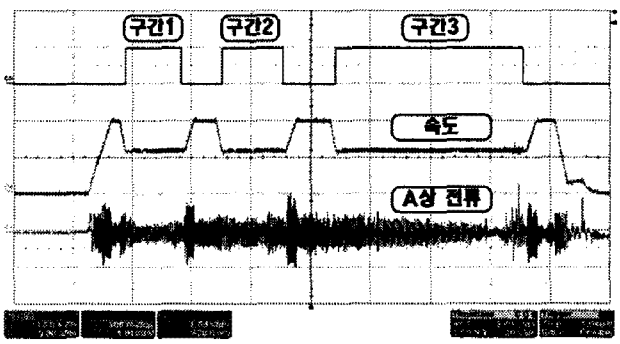
역기전력:5V/div, 위치:10mm/div, 시간:50ms/div
그림 9. 2번 구간 분기용 선형전동기 역기전력과 위치검출 실험파형
Fig. 9. Experimental waveform of back-emf of the short cut linear motor and position detection in the region 2



역기전력:5V/div, 위치:10mm/div, 시간:50ms/div
그림 10. 3번 구간 분기용 선형전동기 역기전력과 위치검출 실험파형
Fig. 10. Experimental waveform of back-emf of the short cut linear motor and position detection in the region 3

그림 8, 그림 9, 그림 10은 그림 4에서 제안했던 선형전동기 위치검출 방법을 통한 구간별 이동자 위치검출 실험파형과 전동기 역기전력 실험파형을 보여주고 있다. 그림 8, 그림 9, 그림 10의 실험결과에서도 알 수 있듯이 구동 전 구간에 대한 이동자 위치검출 특성은 양호한 특성을 보이며, 그림 8, 그림 9의 실험결과에서도 선형전동기 이동자가 1번 구간과 2번 구간에 진입한 후 전동기의 역기전력 크기와 위상변화는 해당구간 진입 전 직선구간 특성과 비교하여 특성변화는 크게 발생되지 않음을 알 수 있었다. 이는 분기트랙 상에서 직선방향 주행 시 그 특성은 기존의 직선구간 구동특성과 유사하게 나타남을 의미한다. 또한, 그림 10의 실험결과에서 알 수 있듯이 이동자가 3번 구간을 진입하여 해당구간을 빠져나갈 때 역기전력 크기는 이동자의 위치별로 많이 변화됨을 알 수 있는데 이는 해당구간에서 그에 따른 추력변화가 발생됨을 예측할 수 있었다.

그림 11은 분기용 선형전동기의 구간별 속도 및 전류제어 특성 실험파형을 보여주고 있다. 그림 11의 실험결과에서 알 수 있듯이 해당 구간에 진입하기 전 직선구간에서 구동 속도조건은 0.5[m/sec]이고, 해당 구간에서는 0.3[m/sec] 속도조건으로 감속하여 제어하였다. 1번 구간과 2번 구간에서는 가감속 특성이 직선구간 구동특성과 유사함을 알 수 있는데, 이는 분기트랙 상 직선구간을 구동하는 경우에는 기존의 직선구간 구동특성과 유사하게 나타남을 의미한다. 또한 3번 구간에서 곡선 종료구간을 빠져나가는 지점에서 역기전력 크기 및 위상변화에 대한 영향으로 인가 전류량이 많이 변화됨을 알 수 있었는데, 그림 11의 실험결과에서도 알 수 있듯이 이는 전체 구동 성능에는 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.



속도:0.25[m/sec]/div, 전류:20A/div, 시간:5s/div

그림 11. 분기용 선형전동기 구간별 속도와 전류제어 실험파형

Fig. 11. Experimental waveform of speed and current control of the short cut linear motor in the regions

이상의 실험결과에서도 알 수 있듯이, 본 논문에서 제안한 선형전동기는 제안한 위치검출 방법 및 제어알고리즘을 적용하여 분기구간 직선 및 곡선구간 구동에 필요한 충분한 추력을 발생시킬 수 있음을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문은 직선 및 곡선 주행레일을 따라 물류이송을 필요로 하는 물류 이송시스템의 이송효율을 높이고 이송거리를 단축시키기 위한 목적으로 사용되는 분기구간의 구동원으로 적용이 가능한 선형전동기에 관한 연구를 진행하였다. 기존의 선형전동기들은 곡선주행 및 분기용으로 적용하기에 전기적인 특성 및 구조적인 특성으로 적용하기가 용이하지 않지만, 제안한 선형전동기는 적용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

제안한 선형전동기에 대하여 직선 및 곡선 주행레일이 함께 존재하는 분기구간 구동특성을 검증하기 위하여 실험장치의 구간별 역기전력 및 위치검출 특성, 속도 및 전류제어 특성 등을 실험을 통하여 확인하였으며, 실험결과를 통하여 분기용 선형전동기로 적용하기에 충분한 성능을 발휘함을 알 수 있었다.

향후에는 분기트랙과 분기에 필요한 부가적인 기구 및 전기장치를 결합한 분기시스템에 제안한 선형전동기를 적용하여 성능검증이 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

[1] 김원곤, 윤종보, 박건우, 황계호, "선형전동기를 적용한 LCD 패널 자동반송용 순환궤도차량 시스템 개발", 한국반도체및디스플레이장비학회지, 제7권3호, pp.11-16, 2008.

[2] 김원곤, 조상준, 김지원, 오형식, 김장목, "Control of Transverse Flux Linear Motor to the linear and curve section by using low-cost position sensors", IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.1322-1327, June, 2007.

[3] S.A. Nasar and I. Boldea, Linear Electric Motors: Theory, Design, and Practical Applications. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, N.J, 1987.

[4] I. Boldea and S. A. Nasar, Linear Electric Actuators and Generators. Cambridge, U.K, Cambridge Univ. Press, 1997.