

섹션을 이용한 영구자석선형동기전동기의 장거리 이송제어

박병우*, 안민혁*, 김지원*, 문석환*, 박성준**, 이기창*

한국전기연구원 전기추진연구본부 전동력연구센터*, 전남대학교**

Long-distance transfer control of PMLSM using section control

B.W. Park*, M.H. An*, J.W. Kim*, S.H. Moon*, S.J. Park**, K.C. Lee*

Korea Electrotechnology Research Institute*, Chonnam National UNIV**

ABSTRACT

본 논문에서는 장거리/정밀 이송장치의 추진시스템 동작을 위한 새로운 구조의 영구자석선형동기전동기 및 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 선형전동기의 이동자는 영구자석을 사용하였으며, 고정자는 각각 독립된 구조를 갖는 집중권선 방식의 코일로 구성되어 있다. 다수의 독립적인 코일 구동을 위하여 아날로그 전류증폭기를 사용하여 전류제어기를 제작하였다. 또한 성능과약을 위해 영구자석선형동기전동기의 축소형 프로토타입을 제작하였고 실험결과를 통해 제안된 영구자석선형동기전동기의 장거리/정밀 이송장치로서의 적합성을 증명하였다.

1. 서론

최근의 LCD, PDP, OLED 등의 평판디스플레이(FPD) 제조 공정에서는 대량 생산 방식을 통한 원가 절감 및 신뢰성있는 고중량, 장거리, 정밀 이송 장치의 요구가 증가하고 있다.

기존의 선형 전동기는 저 출력, 발열 및 장거리 반송 시에 구조적으로 고비용의 문제점을 가지고 있어서 무거운 하중의 재공품을 장거리로 반송하는 장비에는 적용하기에 많은 제약이 따랐다.^[1]

이에 본 논문에서는 다수의 트레이를 독립적으로 정밀 서보 제어하면서 장거리 이송 시스템에 적합한 독립된 구조의 고정자 코일로 구성된 영구자석선형동기전동기를 제안한다. 또한 아날로그 전류증폭기를 이용한 전류제어기의 출력을 릴레이를 통해 섹션제어 함으로써 각각의 선형전동기를 독립제어 가능하도록 구성하였다. 제안하는 선형동기전동기의 이점은 트레이의 공정 속도에 따라 각 구간별로 선형전동기의 이송속도를 제어할 수 있는 장점이 있다. 또한 독립된 구조의 고정자 코일 방식을 이용함으로써, 장거리 이송시 고정자에 해당하는 코일만 별도로 추가하여 적용이 가능한 구조로 제조공정상 생산의 극대화를 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

이에 대한 시스템 검증을 위해 실제 축소형 프로토타입을 제작하여 위치 및 속도제어 실험을 통해 장거리/정밀 이송장치로서의 적용 가능성 및 타당성을 검증하였다.

2. 본론

2.1 제안하는 영구자석선형동기전동기의 구조

그림 1은 본 논문에서 제안하는 독립된 구조의 고정자 코

일을 갖는 영구자석선형동기전동기의 구조를 나타내고 있다. 그림을 보면 제안하는 선형전동기의 구조는 4극 3코일로 구성되어 있으며, 3개의 고정자 코일이 갖는 영역을 하나의 섹션으로 정의 한다.

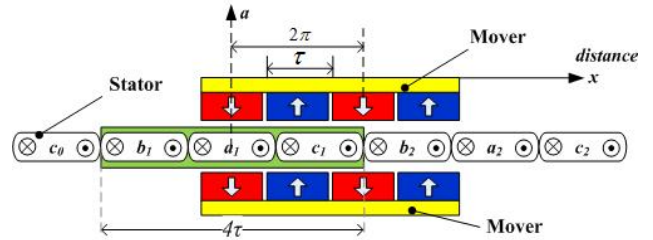


그림 1 코일절환 영구자석선형동기전동기의 구조(4극 3코일)
Fig. 1 Structure of the CSPMLSM (4-pole 3-coil)

4극기의 형태를 가지므로, 이동자가 기계적으로 1회전할(2π) 때 전기적으로 2회전(4π)하며, 이 때 이동자는 4τ 의 거리만큼 움직임을 알 수 있다. 이 기계적 1회전에 집중권선 형태의 장방향 코일이 3개 배치되는 형태이므로, 1개의 고정자 코일은 $\frac{4}{3}\tau$ 의 피치를 가진다.

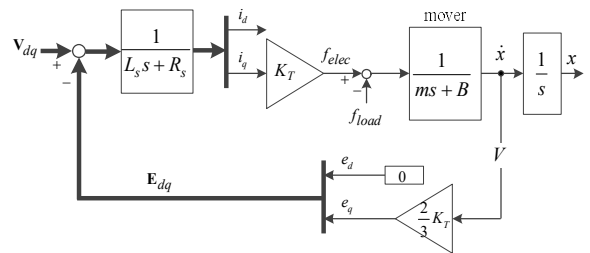


그림 2 코일절환 영구자석선형전동기의 모델링
Fig. 2 Modeling of the CSPMLSM

제안하는 코일절환 영구자석선형동기전동기는 아래의 몇 가지를 가정하면 표면부착 영구자석동기전동기(SPMSM)의 수식 모델을 그대로 적용할 수 있다.

- (1) 고정자 코일의 전류의 함은 항상 3상평형을 유지 한다.
- (2) 공극의 릴럭턴스는 없거나, 일정하고, 공극의 자속밀도는 위치에 따라 정현파로 변한다.
- (3) 발생하는 역기전력은 정현파이다.
- (4) 와전류 및 히스테리시스 효과는 발생하지 않는다.
- (5) 공극자속의 포화는 없다.

(6) 인덕턴스, 저항 및 역기전력은 3상 대칭적이다.

위와 같은 가정하에 코일절환이 성공적으로 수행되면, 코일 절환 영구자석선형전동기는 그림 2와 같이 모델링된다.

2.2 섹션제어 알고리즘

영구자석선형동기전동기가 일정한 추력(f_{elec})을 발생시키기 위해서는 자속 축 제어전류(i_d)를 0으로 제어하고, 추력 축 전류(i_q)를 일정한 크기 I_q 로 제어한다면, Clarke 변환과 회전변환으로 구성되는 Park 변환에 의해 다음과 같은 3상 평형전류가 만들어 진다.

$$\begin{aligned} i_a &= -I_q \sin(\theta) \\ i_b &= -I_q \sin\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) \\ i_c &= -I_q \sin\left(\theta - \frac{4}{3}\pi\right) \end{aligned} \quad (1)$$

일정한 추력을 발생시키는 상전류 조건인 수식 (1)에서, 각 상의 전류가 0이 되는 조건을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \theta_a &= k\pi, \quad k = \dots -1, 0, 1 \dots \\ \theta_b &= k\pi + \frac{2}{3}\pi, \quad k = \dots -1, 0, 1 \dots \\ \theta_c &= k\pi - \frac{2}{3}\pi, \quad k = \dots -1, 0, 1 \dots \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서 k는 각 섹션에 해당하는 번호로 k번째 섹션을 의미한다. 즉 개별 고정자 코일의 전류명령은 추력 전류 제어 명령(i_q)을 개별 코일의 섹션(A_k, B_k, C_k)이 시작되는 위치와 끝나는 위치에서 항상 0이 되고, 코일 섹션 내에서는 정현과 곡선을 따르도록 제어한다.

매 섹션마다 3상 코일을 독립 구동하는 3개의 전류 제어기를 가지도록 설계하였으며, 섹션제어를 위해 전류제어기 2개를 추가하여 총 5개의 전류제어기로 구성하였다. 매 섹션에 포함되는 5개의 코일은 릴레이 회로를 이용하여 섹션 전류제어기와 연결된다.

2.3 프로토타입 제작

그림 3은 실제 제작된 제작한 코일절환 영구자석선형동기전동기를 보여주고 있으며, 트레이의 양 옆에서 동일한 힘으로 추진하는 시스템으로 제작하였으며, 각각의 파라미터는 표 1과 같다.

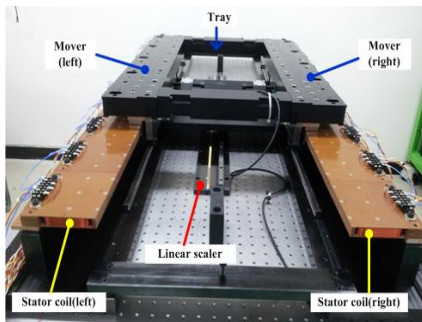


그림 3 제안된 영구자석선형동기전동기
Fig. 3 The propulsion PMLSM

표 1. 영구자석선형전동기의 파라미터값

Table 1. Parameter of the PMLSM

Description	Symbol	Value	Unit
Pitch of section	4τ	144	mm
Pitch of permanent magnet	τ	36	mm
Pitch of coil	τ_c	48	mm
Resistance of coil	R	4.857	ohm
Inductance of coil	L	20	mH

2.4 실험결과

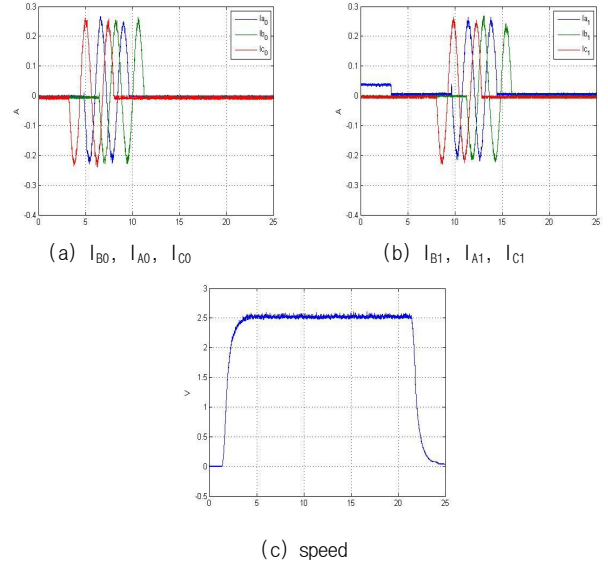


그림 4 섹션제어알고리즘 전류파형 및 속도파형

Fig. 4 The current and speed waveform of Section control

그림 4는 25mm/sec의 구동조건에서 섹션제어를 통한 실험결과 파형으로 각 섹션의 개별 코일에는 2주기 정현파 전류가 흐르도록 제어하면서 각 고정자 코일이 독립적으로 구동되는 것을 확인하였고, 이때의 속도제어 또한 잘 수행됨을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서 제안한 장거리 이송이 가능한 영구자석선형동기전동기의 검증을 위해 축소형 프로토타입을 제작하였다. 영구자석을 이동자로 사용하고, 고정자를 각각 독립적으로 구성된 3상 코일의 구조를 통해 구현함으로써, 고정자 코일만 추가하면 쉽게 장거리 이송에 적용할 수 있으며, 섹션제어를 통해 각 구간별 선형전동기를 독립제어 함으로써, FPD 제조 및 다양한 분야의 이송장치 시스템에 적용가능 할 것으로 보인다.

이 논문은 한국전기연구원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] J. Y. Jeon, G. H. Hwang, J. W. Kim, and G. S. Kim, "study on control of high power PM excited TFLM for long distance," Journal of the KIPE (in Korean), vol. 11, no. 5, pp. 471-479, Oct.2006.