

선형 유도전동기의 병렬 운전 특성 실험

Parallel Operation Characteristics of Two Linear Induction Motors

박승찬*
Park, Seung-Chan

김경민**
Kim, Kyung-Min

ABSTRACT

In general, the parallel-connected linear induction motors(LIM) are fed by one VVVF inverter in the magnetically levitated vehicle(MAGLEV) or linear motor subway drives. The air gap length of the parallel-connected linear induction motors operating at a grade or curved sections can be different each other. The air gap difference of the two motors attached to the same module causes unequal phase currents, asymmetric thrust and attraction force generation. In this paper, parallel-connected linear induction motors are operated by one IGBT inverter under the different air gap condition so that the phase current characteristics are examined experimentally.

1. 서론

선형 유도전동기(LIM)를 이용하여 자기부상열차 또는 리니어모터 전철을 추진하는 경우, 일반적으로 1대의 인버터로 2대 또는 4대의 선형유도전동기를 병렬 운전하게 된다. 차량이 구배지나 곡선궤도를 주행할 때 병렬 운전중인 선형 유도전동기의 공극이 변화하게 되면, 각 전동기의 임피던스가 변동하게 되어 선형유도전동기에 공급되는 전류가 불평형 상태로 된다. 따라서, 동일한 속도로 운전되고 있는 모듈에 장착된 병렬 연결된 전동기의 추진력이 서로 다르게 발생하여 차량의 동력학적 특성에 악영향을 미치게 될 수 있다. 본 논문에서는 병렬 운전 특성 실험이 가능한 선형 유도 전동기 반송시스템에 관하여 설명하고, 이 시스템에서 2대의 선형 유도전동기의 공극이 서로 다른 경우에 각 상전류의 불평형 특성을 고찰함으로써 자기부상열차 또는 리니어모터 전철 운전시에 발생할 수 있는 문제점을 도출한다.

2. 실험 장치 구성

그림 1은 본 연구실에서 설계 제작한 직각 분기로나가 있는 선형유도전동기 반송시스템이다 [1]-[2]. 10대의 선형유도전동기 1차측이 지상에 고정되어 있으며, 종방향 및 횡방향의 추력 발생을 위하여 4대의 농형 2차측이 서로 직교하는 형태로 캐리어의 하단부에 장착되어 있다. 이 시스템은 병렬운전중인 선형유도전동기의 공극을 임의로 변동시킬 수 있으므로 공극변화에 따른 병렬 운전 특성을 쉽게 고찰 할 수 있다. 그림 2는 실제 시스템의 사진이다. 2차측이 1차측과 overlap되면 2대씩 병렬 운전하게 되고, 직각 분기로나에서 캐리어가 정지하면 바퀴가 직각으로 자동 전환된후 횡방향으로 캐리어가 운동하게 된다.

* 책임저자 : 동양대학교 철도운전제어학과 교수, 정희원

** 동양대학교 대학원 박사과정

즉, 캐리어는 정지점1-LIM1-LIM2-LIM3-정지점2-바퀴의 90도 방향 전환-LIM4-LIM5-정지점 4-LIM5-LIM4-정지점2-바퀴의 90도 방향 전환-LIM3-LIM2-LIM1-정지점1의 순서로 반송 운동을 하게된다. 캐리어 바퀴는 360도 회전 운동이 가능하도록 설계하였으며 직각방향으로 바퀴를 전환하기 위하여 단상 AC geared motor를 이용하였다. 캐리어의 위치 검출을 위하여 5개의 광 센서와 2개의 linear scale을 이용하였으며, 정현파 PWM 인버터가 캐리어의 위치에 따라서 각 전동기의 출력전압을 제어한다. 전동기의 on-off 스위치는 TRIAC을 이용하여 설계 제작하였다.

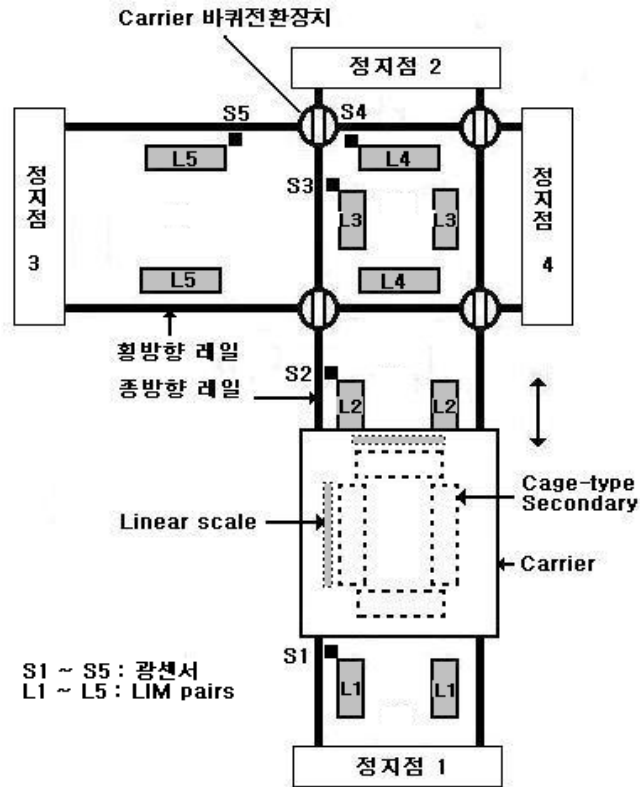


그림 1. 병렬 운전 특성 실험을 위한 선형유도전동기 반송시스템의 개략도(평면도).

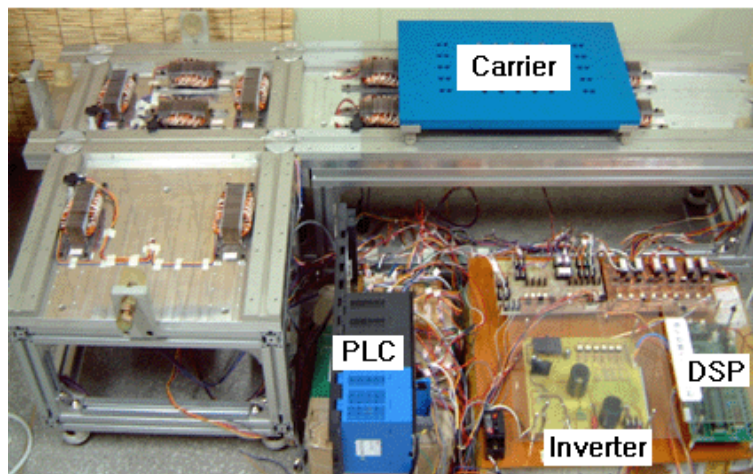


그림 2. 직각분기호가 있는 선형유도전동기 반송시스템의 실제 사진

그림 3은 농형 2차측과 위치 및 속도 검출에 필요한 linear scale이 캐리어의 하단부에 장착되어 있는 모습을 보여주고 있다. 캐리어가 종방향 및 횡방향 운동이 가능하도록 2차측이 각각 2대씩 직각방향으로 배치되어 있다. 캐리어의 모퉁이에 설치된 바퀴는 직각 운동이 가능하도록 설계하였다.

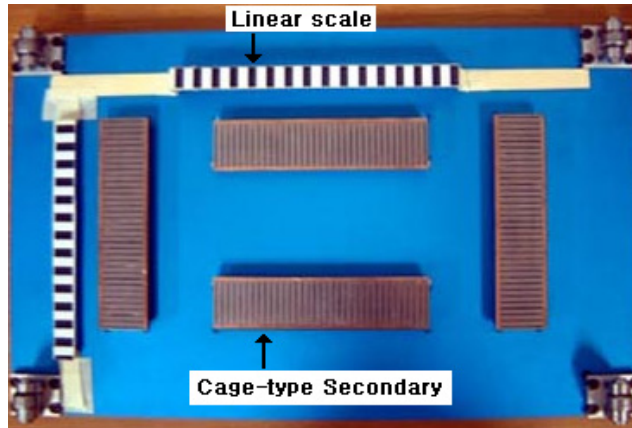


그림 3. 농형 2차측 및 캐리어 사진

IGBT power module과 DSP240을 이용하여 5kHz 스위칭 주파수를 갖는 정현파 PWM 인버터를 제작하였고, PLC의 D/A값을 DSP에서 읽어들이어 전동기의 정,역운전 및 주파수 제어가 가능하도록 하였다. 인버터의 출력전압으로부터 LIM에 인가되는 전압을 on-off 제어하기 위한 스위치 (Solid State Relay : SSR)을 TRIAC을 이용하여 직접 제작하여 사용하였다. 그림 4에 TRIAC을 이용한 스위치 회로도를 나타내었다.

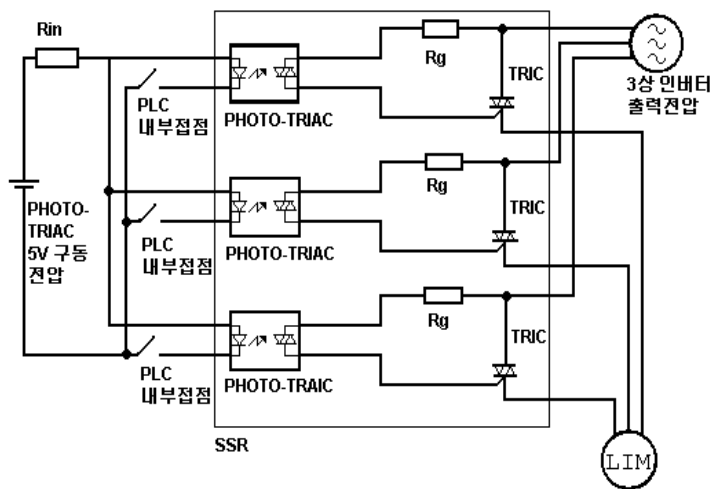


그림 4. LIM의 on-off를 위한 SSR 회로

3. 병렬 운전 특성 실험 결과

병렬 운전중인 2대의 선형유도전동기중에서 외란에 의하여 1대의 공극길이가 변경되는 것을 가정하기 위하여 그림 1의 실험장치에서 L1의 선형 유도전동기 2대에 대하여 공극을 각각 3mm, 2.2 mm로 하여 실험하였다. 즉, 1대의 공극길이가 0.8 mm 감소하는 것으로 하여 실험을 수행하였다. 그림 5는 공극길이가 3mm로 동일할 경우의 u 상 전류 파형이며, 그림 6은 1대의 공극길이

가 0.8 mm 감소하여 2.2mm로 되었을 경우의 u 상 및 w 상 전류 파형이다. 공극길이가 동일할 때에는 인버터가 병렬운전중인 선형유도전동기의 상권선에 각각 같은 상전류를 공급해주지만, 1대의 전동기 공극길이가 0.8mm 만큼 감소되었을 경우에는 인버터가 각 전동기에 불평형 전류를 공급함을 알 수 있다. u 상 및 w상 전류의 크기가 다른 이유는 선형유도전동기의 1차측 길이가 유한하여 나타나는 단부효과(end effect)로 인한 것이다[3]-[5].

본 실험장치에서는 병렬운전중인 선형유도전동기의 2차측이 동일한 캐리어(carrier)에 장착되어 있으므로(자기부상열차 또는 리니어 모터의 경우에는 1차측이 차량의 대차에 장착됨), 2대의 공극 길이 편차는 불평형 전류 및 비대칭 추력을 발생시키게 된다. 즉, 그림 7에서 보는 바와 같이 병렬운전중인 2대의 선형유도전동기에 상호 공극 변화가 발생하게 되면 동일한 운전 속도에서 서로 다른 추력을 발생하게 되어 실제의 자기부상열차 또는 리니어모터 전철의 동력학적 특성에 악영향을 미칠 수 있다.

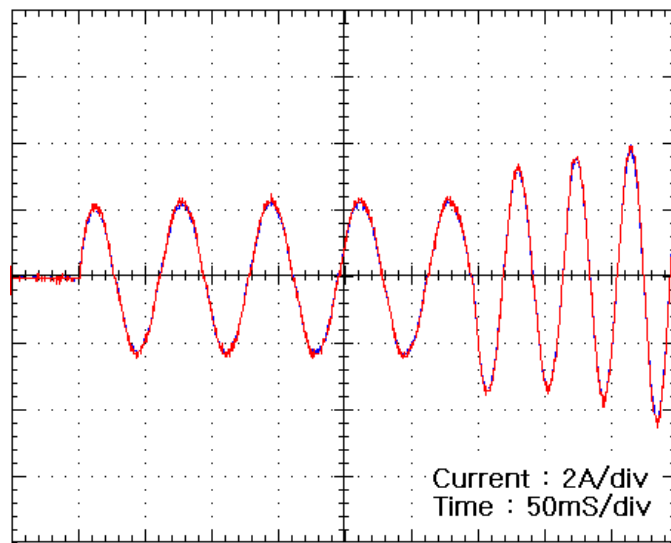


그림 5. 공극 길이가 3mm로 동일한 경우의 u상 전류 파형

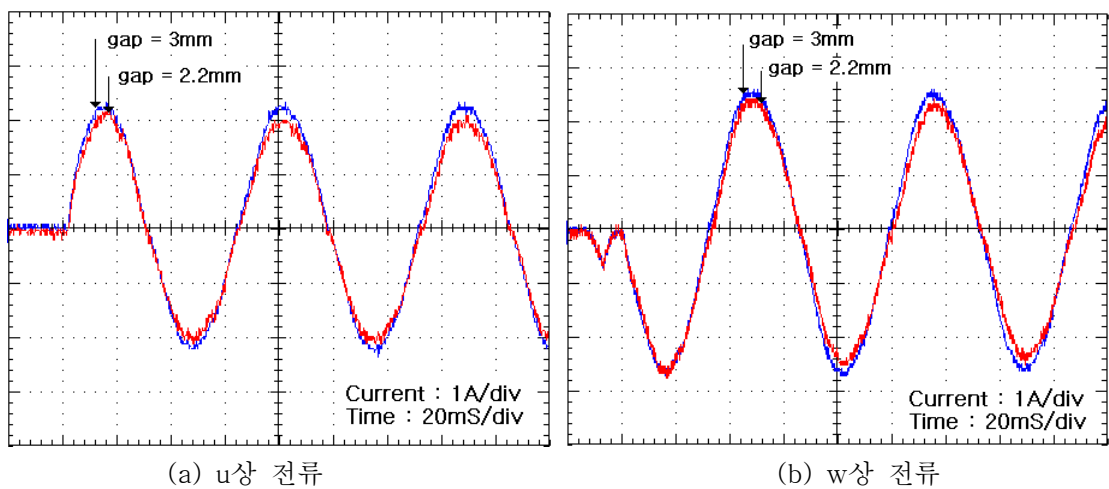


그림 6. 공극 길이가 0.8 mm 편차가 있을 경우의 u상, w상 전류 파형

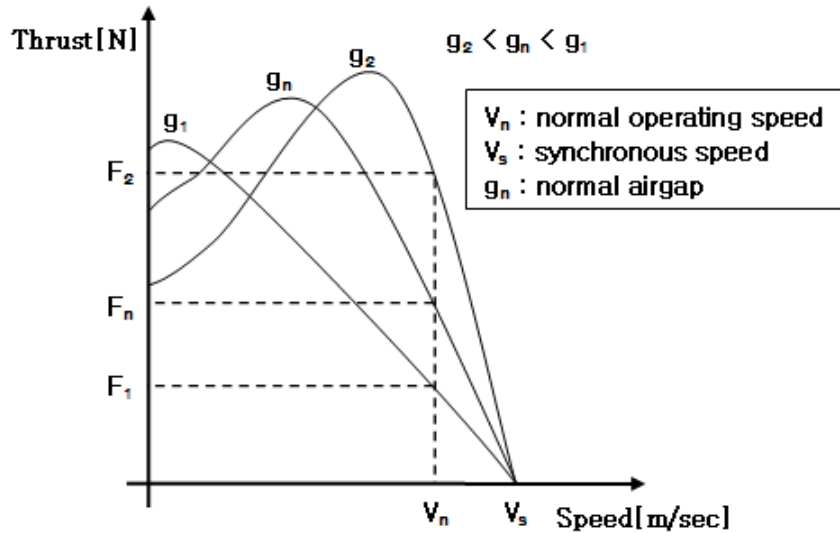


그림 7. 병렬운전시 공극길이의 변화가 추력에 미치는 영향

4. 결론

본 논문에서는 2대의 선형유도전동기를 1대의 인버터로 병렬운전하는 경우에 상호 공극 길이의 편차가 전동기의 상전류와 추력에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 병렬운전중인 선형 유도전동기의 공극 길이 편차는 인버터의 불평형 전류와 함께 비대칭 추력과 흡인력을 발생시켜서 가동자의 동력학적 특성에 영향을 줄 수 있음을 알 수 있었다.

따라서, 자기부상열차 및 리니어모터 전철등의 철도차량 추진용 선형 유도전동기가 1대의 VVVF 인버터로 병렬운전될 경우에는 병렬 연결된 각각의 선형 유도전동기의 공극변화를 고려한 속도제어가 필요하다.

참고문헌

1. 박승찬, 김병택(2002년), "유한길이의 농형 2차축을 갖는 선형유도전동기의 2차축 이동 위치에 따른 특성 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.583-585, 2002. 7.
2. 박승찬, 남윤호, 김경민(2003년), "직각분기호가 있는 선형유도전동기 반송시스템의 PLC제어 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.726-728, 2003. 7.22
3. Syed A. Nasar, I. Boldea(1987), "Linear Electric Motors: Theory, Design, and Practical Applications", Prantice-Hall.
4. 正田英介(1991), "리ニア 드라이브 기술과 그 응용", pp.102-105, ohm社.
5. Jacek G. Gieras(1994), "Linear Induction Drives", Clarendon Press