

수직력을 고려한 선형유도 전동기의 일정 슬립 주파수 제어

서현욱, 최성호, 임재원*, 최규하**
VCTech

Constant Slip Frequency Control of Linear induction Motor Considering Vertical Force

Hyunuk.Seo, Seongho Choi, Jaewon Lim, Gyu ha Choe
VCTech, Korea Institute of Machinery & Material*, Konkuk Universit**

ABSTRACT

본 논문은 자기부상열차 시스템의 부상 신뢰도 향상을 위한 선형 유도전동기의 순시 제어기법을 제안한다. 선형 유도전동기는 자기부상열차의 추진을 담당하며, 운전 속도와 입력 주파수에 따른 슬립 특성이 존재한다. 이 슬립 특성은 전동기에서 발생하는 수직력과 밀접한 관련을 보이며, 이는 부상 시스템에 외란으로 작용된다. 따라서 본 논문에서는 선형 유도전동기의 특성을 FEM 해석을 통해 정확히 분석하고, 이를 반영한 최적 슬립 주파수 간접백터제어 기법을 통해 부상 신뢰도 향상을 위한 새로운 순시 제어기법을 제안 하였다.

1. 서 론

현재 한국에서는 도시형(최고속도 110km/h), 준고속(최고속도 200km/h), 초고속(최고속도 550km/h) 자기부상 열차 시스템의 연구가 활발히 진행되고 있다. 도시형 자기부상열차는 2006년 실용화 사업을 시작하여 최근 개통을 완료하고 성능 향상을 위한 연구가 진행 중에 있다. 여기에 준고속 자기부상열차는 광역 도시를 연결하는 열차 시스템으로서 도시형 자기부상열차의 시스템과 연계된 시스템으로 제안 되어 연구를 진행 중에 있다.^[1]

도시형 자기부상열차와 준고속 자기부상열차는 부상 방식으로 상전도 흡인식을 사용하며 추진력은 선형 유도전동기를 통해 얻는 방식이다. 선형 유도전동기는 회전형 유도전동기를 중심축을 포함한 평면을 잘라 직선상으로 전개한 구조 형태로 되어 있다. 특징으로는 기계적인 변환장치 없이 직접 직선구동이 가능하고 자기부상 시에는 비접촉 및 저소음 운전이 가능할 뿐만 아니라 크랭크, 기어 등의 기계적인 변환장치를 필요로 하지 않기 때문에 시스템의 전체적인 효율이 높은 장점이 있다.^[2]

선형 유도전동기는 1차측 권선에 흐르는 전류에 의해 시변 자계가 만들어 지며, 2차측 리액션 플레이트에 유기되는 전압은 이동자계에 대한 이동자의 상대적 운동속도에 따라 다르게 된다. 이를 정의하는 용어가 슬립이다 선형 유도전동기의 운전 특성은 이 슬립에 따라 결정되기 때문에 슬립에 따른 특성을 정확히 해석하여 이를 추진 제어에 반영한다면 높은 구동 특성을 이끌어 낼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 선형 유도전동기의 슬립에 따른 특성을 FEM을 통해 정확히 분석하고 이 결과를 추진제어에 반영한 새로운 순시제어 알고리즘을 제안 하였다.

표 1 선형 유도전동기의 상세 사양
Table 1 Specification of linear induction motor

Parameter	Value
Poles number	12 (poles)
Sslots number	77 (slots)
Air gap	12 (mm)
Stack length	200 (mm)
Turn/Slot/Layer	3 (turn)
Base Velocity	25 (m/s)

2. 선형 유도 전동기의 정격 특성

현재 연구 중인 준고속 자기부상열차의 편성은 6량 1편성을 고정편성으로 구성한다. 열차는 크게 차체와 대차로 나뉘고 차체의 길이는 1량 기준으로 20,000mm이다. 대차 수량은 1량 당 6대이고 1대차 당 2대의 선형 유도전동기가 장착 된다. 선형유도 전동기의 구성은 표 1에 나타내었다.

선형유도전동기의 부상신뢰도를 향상시키기 위해서는 선형 유도전동기의 부상력에 대한 정확한 분석이 필요하다. 선형 유도전동기의 FEM 분석을 으로 정격 전압 조건에서 그림 2 에 속도와 슬립에 대한 수직력을 분석 하였다. 분석 결과에 자기 부상열차의 추진을 위한 추력, 자기부상 시스템의 부상능력을 기반으로 하여 운전운전 역역인 슬립 제한 라인을 선정하였다.

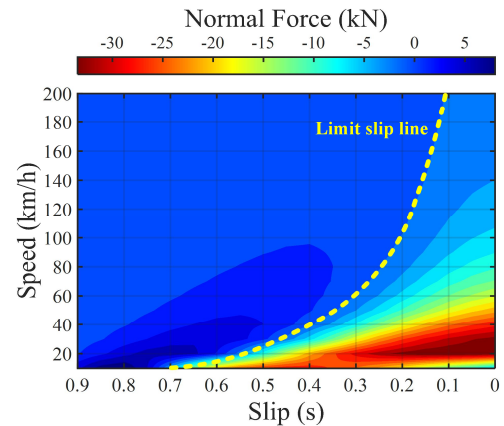


그림 1 속도와 슬립에 따른 수직력 분석
Fig. 1 Normal force analysis results according to the speed and slip.

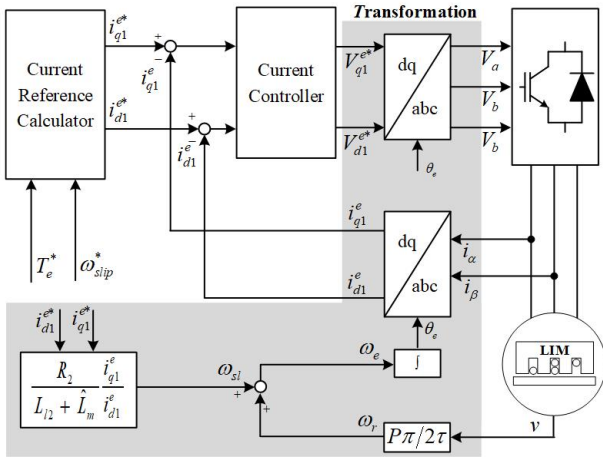


그림 2 슬립주파수 제어가 가능한 추진 알고리즘
Fig. 2 Propulsion algorithm capable of slip frequency control

3. 일정 슬립제어 알고리즘

일반 회전형 유도전동기에서 사용되는 간접벡터 제어는 수식적으로 매우 간결하게 정리가 가능하다. 하지만 선형 유도전동기의 간접벡터 제어는 수직력을 제어하기 위하여 슬립주파수를 변경 하여야 되기 때문에 추력과 슬립주파수를 가지고 d축과 q축의 전류 지령을 생성하게 된다. 수식(1)과 수식(2)에 나타내었다.

$$i_{d1}^e = \sqrt{\frac{T_e}{\frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{\hat{L}_m^2}{R_2} \omega_{slip}}} \quad (1)$$

$$i_{q1}^e = \frac{L_2}{R_2} \omega_{slip} i_{d1}^e \quad (1)$$

생성된 전류 지령은 일반적인 회전자 기준 간접벡터 제어를 통하여 선형유도전동기를 제어한다. 그 구성은 그림 2에 나타낸다.

3. 실험 검증

그림 3은 자기부상 열차용 선형유도 전동기 시험기를 나타낸다. 전력을 공급하는 인버터, 선형유도전동기, 부하모터로 구성되어 있다. 선형유도전동기는 1차 측 로드셀과 연결되어 수직력을 측정할 수 있으며 2차 측은 지속적인 실험이 가능하도록 구 형태로 구성하였다.

그림 4는 선형유도전동기에 일반적인 간접벡터를 사용하였을 때와 제안된 알고리즘을 사용하였을 때의 수직력을 분석한 것이다. 같은 부하조건 및 속도 조건을 사용하였다. 슬립은 FEM 기반의 슬립라인을 만들기 위해 슬립주파수를 12.5Hz로 제어 하였다. 그 결과 간접벡터와 다르게 가속 감속 시 모두 같은 슬립 패턴이 나타난다. 수직력 분석 결과 전 영역에서 낮은 수직력이 발생하였다.

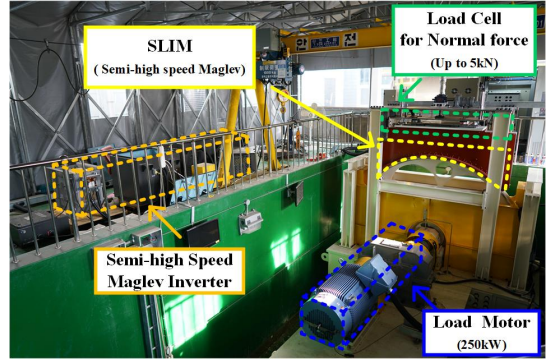


그림 3 선형 유도전동기 시험기
Fig. 3 Test bench of linear induction motor

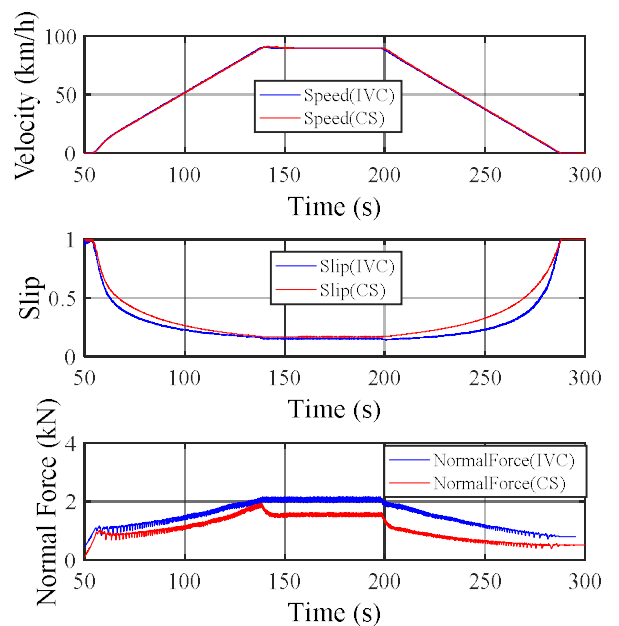


그림 4 간접벡터 제어(IVC) 및 일정슬립주파수 제어 시험결과
Fig. 4 Test result of indirect vector control and constant slip frequency control

4. 결론

본 논문에서는 선형 유도전동기의 특성을 FEM 해석을 통해 슬립과 수직력의 관계를 정확히 분석하고, 이를 반영한 최적 슬립 주파수 간접벡터제어 기법을 통해 부상 신뢰도 향상을 위한 슬립제어가 가능한 순시 제어기법을 제안 하였다. 제안된 알고리즘을 사용하여 실제와 같은 용량으로 구성된 시험 장치에서 검증 되었으며 정격속도 까지 일정부하 운전조건 전 영역에서 낮은 수직력이 발생하였다.

참고 문헌

[1] Kim, Min, et al. "Design and control of levitation and guidance systems for a semi high speed maglev train." J. Elect. Eng. Technol. pp. 117-125. 2017, Dec.