

도시형 자기부상열차 적용을 위한 추진제어장치의 개발

Development of propulsion system for the Urban Transit Maglev System

이은규* , 송영신** , 최재호***

Lee, Eun-Kyu Song, Young-Sin Choi, Jae-Ho

ABSTRACT

In this paper, traction system for urban transit maglev system is proposed. Using vector control strategy to control magnitude and frequency of output voltage transiently is general. But in case of traction system for railway vehicle, it is impossible that adapt vector control because there is one-pulse mode in a high speed region. So this paper proposes the control strategy using vector control in a low speed region and slip frequency control in a high speed region. And also proposes overmodulation method that makes to change in one-pulse mode softly. The performance of traction system will be verified by simulation results using ACSL.

1. 서론

광역화된 대도시의 중요한 교통수단으로서 오랫동안 지하철이 이용되고 있다. 그러나, 중전철로 불리는 지하철의 운영을 위해서는 막대한 건설비가 소요되어, 결국 그 운영 당사자의 적자를 누적시키는 결과를 초래했다. 따라서, 지방자치제의 체제하에서 대도시의 교통량을 해결하며, 동시에 건설비를 줄이려는 목적으로, 최근에는 경량전철에 대한 관심이 높아지고 있으며, 경량전철의 한 방식으로 안락한 승차감과 차량 운행시 낮은 소음 등을 이유로 자기부상열차는 하나의 대안으로 주목받고 있다.

전동차에 사용되는 견인전동기는 높은 견인력과 속도특성이 요구되며 이 특성에 적합하도록 제어하기 위해서 견인전동기 특성에 따라 다양한 제어시스템이 연구, 적용되어져 왔다. 이와 같은, 견인전동기로서의 유도전동기를 제어하는 방식으로 쉽게, 그리고, 보편적으로 사용되어져 왔던 슬립주파수 제어방식은 전동기의 순시전류와 순시 토크를 제어할 수 없기 때문에, 특히, 고속의 철도차량에서 궤과 레일 사이에 슬립으로 인해 속도가 발산되는 현상을 억제하지 못했다. [4]

이러한 단점을 극복하기 위하여 사용된 벡터제어 기법은 직류전동기의 경우와 같은 방법으로 자속분과 토크분의 전류를 독립적으로 제어하는 것을 가능하게 하여 순시적인 토크응답을 제공하

* (주)우진산전, 기술연구소, 책임연구원, 공학석사, 043-820-4270, eklee@wjis.co.kr

** (주)우진산전, 기술연구소, 주임연구원, 공학석사, 043-838-8902, yssong@wjis.co.kr

*** 충북대학교, 전기전자공학부, 교수, 043-261-2425, choi@power.chungbuk.ac.kr

므로 견인전동기의 순시토크제어에 아주 적합한 제어기법이라고 할 수 있다. [5]

그러나, DC link 단의 전압을 최대한으로 이용하기 위한 1펄스 모드에서는 출력전압의 크기는 DC 링크 전압에 의하여 결정되므로, 전압의 크기와 위상을 순시적으로 제어하는 벡터제어는 더 이상 사용할 수 없게 된다. [6]

따라서, 본 연구에서는 저속에서 벡터 제어를 사용하고, 고속에서 슬립주파수 제어를 사용하는 제어 기법을 소개한다. 또한, 1펄스 모드로 부드럽게 진입하도록 하기 위한 과변조 기법을 제시한다. 제안된 제어기법은 ACSL을 이용한 시뮬레이션으로 그 효용성을 확인하였다.

2. 전력변환기의 구성 및 제어원리

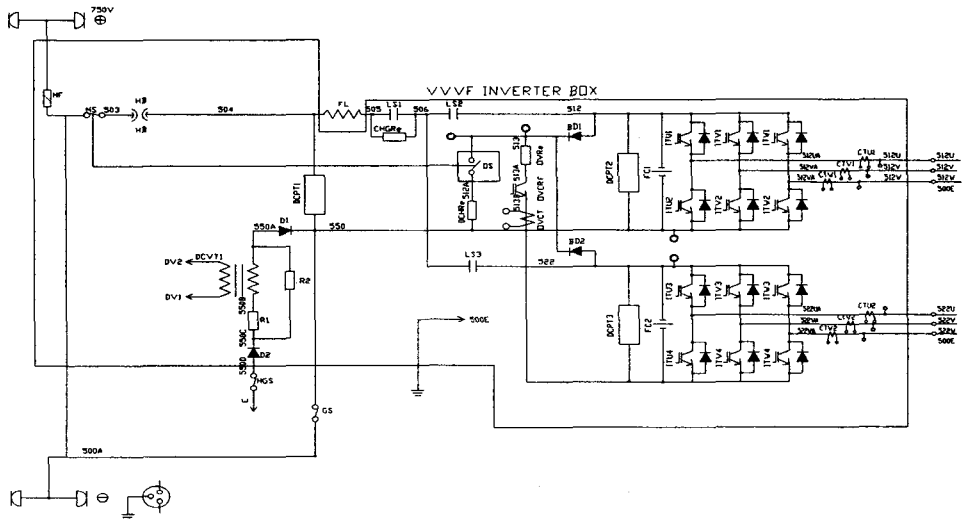


그림 1. 자기부상열차 구동시스템의 주 회로도

그림 1은 자기부상열차의 추진 시스템의 구성을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 입력측은 직류 평활용 리액터와 각종 보호동작을 위한 고속차단기 HSCB(High Speed Circuit Breaker)와 전자 접촉기 등을 거쳐 DC 750[V]의 가선전압이 각 인버터의 DC link단에 공급된다. 또한 제어기는 2군의 SLIM을 각각 개별적으로 제어하는 IC1M(1Car 1Motor)의 형식으로 구성되어 있다.

자기 부상 열차는 궤도에서 부상하여 주행하므로 바퀴식 열차에서 사용하는 회전형 전동기는 사용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 기계적인 접촉부분이 없이 직접 추진력이 발생하는 추진용 편측식 선형유도전동기(Single Sided Linear Induction Motor)를 적용하였다. 선형유도전동기는 회전형 전동기를 잘라 펼쳐놓은 것과 같으며 힘을 발생하는 원리는 같다. [1]

철도차량은 그 정격속도의 3배에 달하는 고속의 영역에까지 광범위한 영역에서 운전되는 특징이 있다. 따라서, 정토크 영역뿐만 아니라, 정출력 및 특성영역에서의 제어가 고려되어야 한다.

그림 2는 철도 차량의 속도-토크 특성과 그에 따른 전류, 전압의 곡선을 보여주고 있다. 정토크 영역, 즉 정격속도 이하의 영역에서는 슬립주파수와 토크를 일정하게 유지하며 전압과 주파수의

비를 일정하게 제어하는 V/F제어를 행한다.

정출력 영역에서는 전동기의 단자전압이 최대로 된 후에 주파수를 증가시켜 속도를 올리고 이에 따라 자속 전류는 감소하게 된다. 슬립주파수의 제한범위를 넘어서서 일정하게 되면 특성영역이 시작된다. 이 영역에서 토크는 속도의 자승에 반비례하여 감소한다.

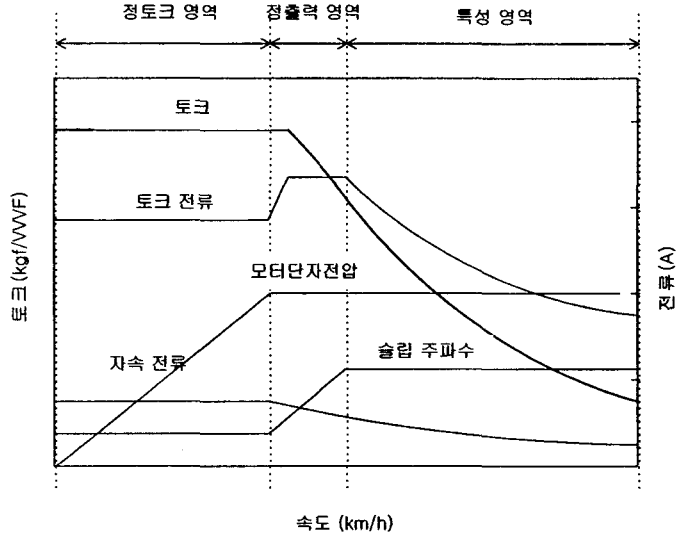
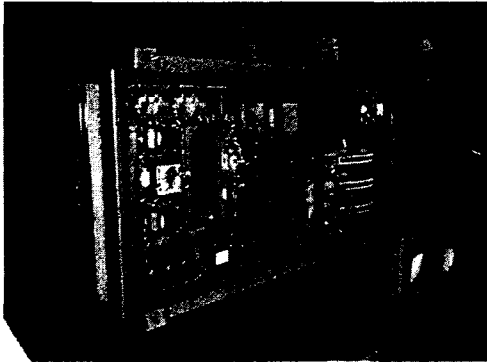
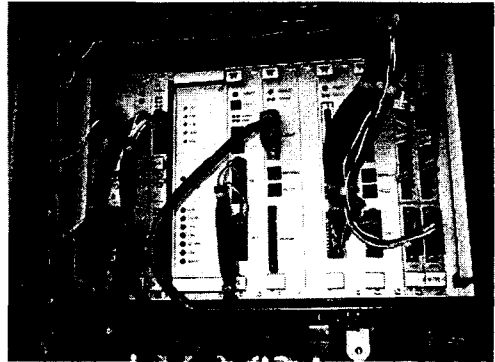


그림 2. 속도-토크 특성

그림 3은 현재 제작된 자기부상열차용 VVVF인버터의 외형을 보여준다. 왼쪽 부분에 인버터 스택이 위치하고, 오른쪽은 각종 고압 접촉기와 제어기로 구성되어 있다.



(a) 전체 외형



(b) 제어기

그림 3. 인버터의 외형

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 200[kW]의 유도 전동기의 파라미터를 모델링하여 적용하였다. 그림 4와 그림 5는 자속분 전류와 토크분 전류의 지령치와 그 값들을 보여준다. 토크전류의 경우 지령치에 잘 추종하고 있으나, 자속전류의 경우는 슬립주파수제어로 전이된 부분에서 레벨이 다소 떨어진 것을 볼 수 있다. 이것은 자속의 연속성을 유지하지 못하기 때문인데 전압대 주파수 비율의 보정이 이루어진다면 해결될 수 있다. 과변조 모드와 1펄스 모드부분에서는 펄스수의 감소로 전류의 리플이 커진 것을 볼 수 있다.

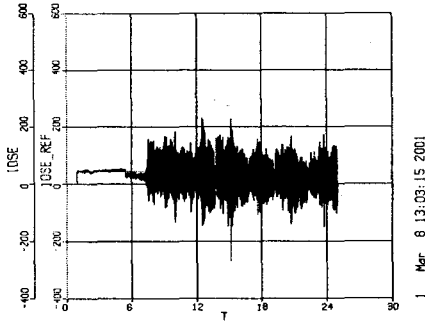


그림 4. 자속전류 지령치와 자속전류

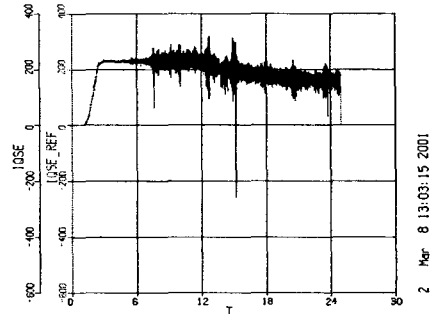


그림 5. 토크전류 지령치와 토크전류

그림 6은 견인 전동기의 발생 토택과 그 지령치를 보여준다. 그림에서와 같이 토택의 지령치에 따라서 전 영역에서 잘 추종함을 알 수 있다. 그림 7은 견인전동기의 속도(Hz)를 보여준다. 이 시뮬레이션에서는 1초 후에 Notch On 하였으며 25초에서 Notch Off해서 타행 모드로 변환하였다. Notch On 후에는 토택 패턴은 갑작스런 변화를 없애기 위해 2초정도 Jerk제어하여 기울기를 갖고 상승하도록 만들었다. 그림에서 알 수 있듯이 견인전동기의 속도가 원활하게 증가함을 볼 수 있다.

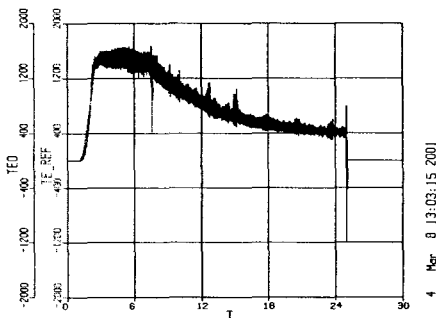


그림 6. 토택 지령치와 발생 토택

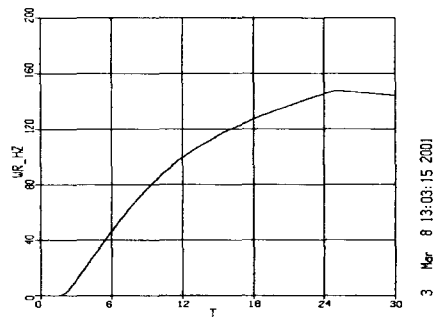


그림 7. 전동기 속도(Hz)

그림 8은 자속 추정기의 결과를 보여주기 위한 것이다. 전동기의 발생자속(Lamdre0)에 대하여 추종자속(Lamdre)이 잘 추종하고 있음을 보여준다.

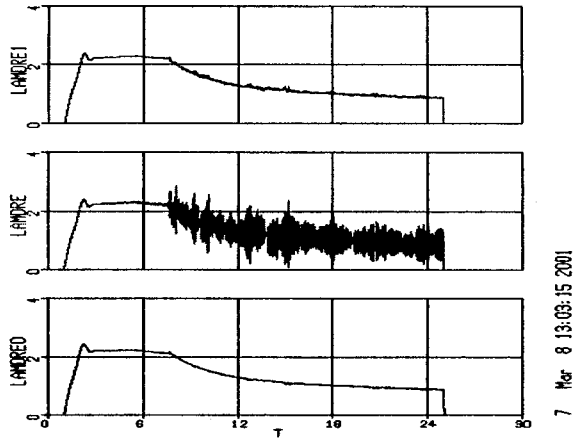
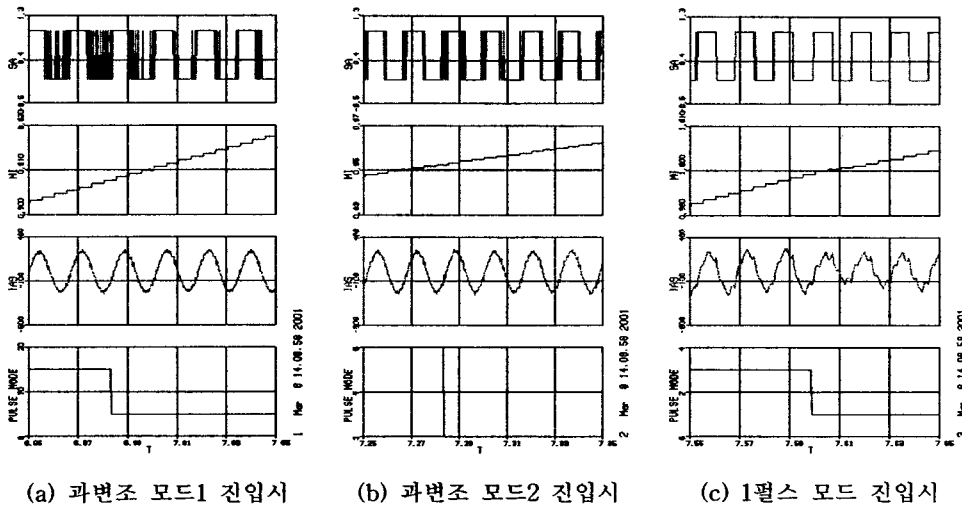


그림 8. 발생 자속, 추정 자속, 필터링된 추정자속

그림 9는 과변조 모드에서 1펄스 모드로 진입하는 경우를 보여준다. 그림9의 (a), (b), (c)는 각각 과변조 모드1, 과변조 모드2, 그리고 1펄스 모드로 진입할 때의 PWM파형이며, 그 때의 변조지수와 상전류를 나타내었다. 각 부분에서 커다란 충격없이 부드럽게 진행되는 것을 볼 수 있다.



(a) 과변조 모드1 진입시

(b) 과변조 모드2 진입시

(c) 1펄스 모드 진입시

그림 9. 펄스모드, A상 상전류, Modulation Index, A상 PWM 파형

4. 결 론

본 연구에서 자기부상열차용 추진제어장치의 제어를 위한 구동시스템을 보였다. 견인전동기는 정격주파수의 약 3배의 범위까지 적용되는 운전범위를 가지고 있는 특징을 가지고 있다. 정격속도 이상에서 한정된 직류전압으로 자속을 제어해야 하므로 과변조의 기능이 있어야 하며, 1펄스에서 의 제어도 필요하다. 즉 견인전동기의 구동시스템은 어떠한 속도범위에서도 전압과 주파수의 자유로운 조절이 필요하다. 따라서 본 연구에서 토오크와 자속의 일정제어를 위한 벡터제어[7]와 고속 영역에서의 토오크 제어를 위한 슬립 주파수제어[2]를 적용하였고, 전 운전 영역에서의 PWM 변조방법[3]을 이용하였다. 마지막으로 ACSL을 이용한 시뮬레이션으로서 그 타당함을 보였다.

참고문헌

1. 한국기계연구원, “도시형 자기부상열차 실용화에 대비한 성능시험·평가기술개발”, 건설교통부 보고서, pp. 8 - 51, 1999
2. 김상훈, 배본호, 설승기, “벡터제어를 적용한 전동차 구동 시스템 개발”, 전력전자학회 논문지 제6권 제2호, pp.125- 131,2001
3. 한대웅, 김상훈, “폴전압을 이용한 SVPWM인버터의 과변조 기법”, 전력전자학회 논문지 제6권 제1호, PP. 90-98, 2001
4. H.J.Schwartz, R.KreBe, " Implementation of an Ad- vanced Wheel Creep Control with Searching Strategy on a Light Rail Vehicle", In Proc. EPE'97, pp 3.434 - 3.438., 1997
5. D. W. Novotny and T. A. Lipo, "Vector control and Dynamics of AC Drives", New York Oxford University Press., ch. 7, 1996
6. Yooske Nakazawa, Shin-Ichi Toda, Ikuo Yasuoka nad Haruo Naito, "One-Pulse PWM Mode Vector Control for Traction Drives", Power Electronics in transportation, IEEE, pp. 135 - 141, 1996
7. P. L. Jansen and R. D. Lorenz, "A Physically insightful Approach to the Design and Accuracy Assessment of Flux Observers for Field Oriented Induction Machine Drives", Proc. IEEE-IAS Annual Meeting. October, pp. 570 - 577, 1992