

차세대전동차 추진시스템 개발 및 시험

이장무*, 이한민*, 김길동*, 노애숙**
 한국철도기술연구원*, 현대로템**

Development and Testing of Next Generation Electric Vehicle Propulsion System

Jang-Mu Lee*, Han-Min Lee*, Gil-Dong Kim*, Ae-Suk Kno*
 Korean Railroad Research Institute*, Hyundai-Rotem**

Abstract - The propulsion system of next generation electric vehicle is different from the structure and control methods compared with conventional induction motor vehicles by applying an interior permanent magnetic synchronous motor. Permanent magnet motor should be controlled by each individual motor, propulsion device have 1C1M structure by a single inverter to control a single motor.

1. 서 론

국가연구개발사업으로 진행하고 있는 차세대전동차를 개발 중에 있다. 개발중인 차세대전동차의 주요 특징은 직접구동형 영구자석 견인전동기를 사용하며, 차량의 가속도는 열차의 표정속도 상승을 위하여 기존전동차보다 10% 상승된 3.3[km/h/s] 이상을 목표로 하고 있다.

차세대 전동차의 추진제어장치는 견인전동기가 매입형 영구자석형 동기전동기를 적용하면서 구조나 제어방법이 기존의 유도전동기 적용 차량과 다른 구조를 가지게 된다.

그리고 운행 노선이 AC/DC 전원 겸용으로 AC 구간에서는 인버터가 컨버터에 의해 변환된 DC 전원을 입력받게 되고 DC 구간에서는 직접 가선전압을 입력받게 되는 구조가 된다.

일반 유도전동기를 적용한 차량에서의 인버터는 1C4M 구조로 한 대의 인버터가 4개의 모터를 일괄제어하는 것이 일반적이지만, 영구자석형 동기전동기는 각 모터에 대해 개별 제어를 해야함으로 한 대의 인버터가 1개의 전동기를 제어하는 1C1M 구조를 가지게 된다.

차세대전동차의 취부 공간을 고려하여 차세대전동차용으로 개발되는 추진제어장치는 컨버터 1대에 인버터 2대가 연결되고 1대의 인버터에 1대의 모터가 연결되는 구조로 설계된다.

2. 본 론

2.1 차세대전동차용 추진제어장치 하드웨어 사양

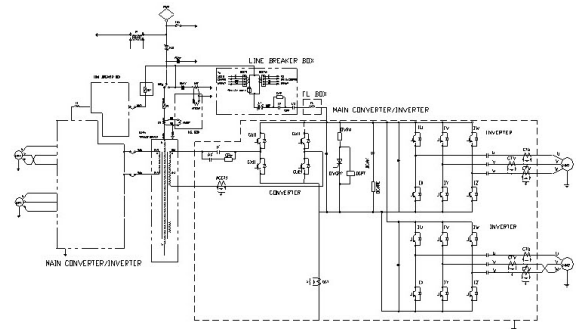
차세대 전동차에 적용되는 추진제어장치는 AC와 DC전원 겸용으로 M, Mc 각 차량에 장착되는 영구자석직접구동전동기 4대를 개별 제어하며, 추진제어장치 1대는 컨버터 1대와 인버터 2대로 구성되어 2대의 직접구동전동기를 제어한다.

그림1의 주회로도도와 같이 추진제어장치는 Mc, M차에 각각 2대씩 취부되며 추진제어장치 1대의 사양은 표 1과 같다.

<표 1> 추진제어장치 사양

구분	성능	비고	
가선 공칭 전압	교류 25kV, 직류 1,500V		
컨버터 부	입력 전압	AC 1,040V	AC 구간 에서만 동작
	연속 출력	675kW 이상	
인버터 부	입력 전압	DC 1,800V(AC 구간) DC 1,500V(DC 구간)	
	연속 출력	275kW×2회로	
제어방식	컨버터	4상한 전압형 PWM 제어	
	인버터	전압형 PWM제어 VVVF제어	
냉각방식	공기자냉식		

차세대 전동차 추진제어장치는 AC 와 DC 구간을 모두 운행하므로 AC용 회로 구성과 DC용 회로 구성을 모두 가지고 있고, 전동기 개별 제어를 하기 때문에 전동기 수와 같은 인버터를 가진다. L/B 와 FL은 별도의 박스로 제작되어 추진제어장치 외부에 설치된다.



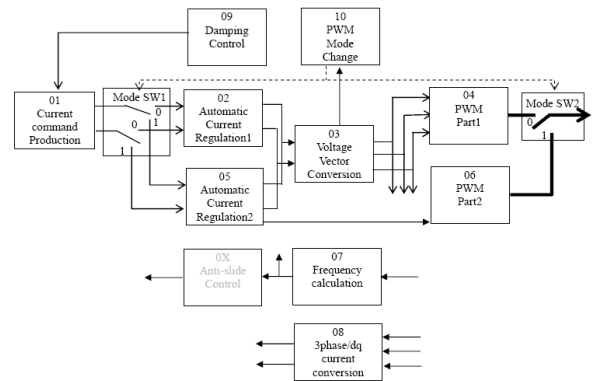
<그림 1> 차세대전동차 주 회로도

2.2 추진제어장치 소프트웨어 사양

2.2.1 PMSM 제어알고리즘

차세대 전동차의 추진장치는 PMSM을 사용한 직접구동방식(DDM)이다. PMSM은 회전자에 영구자석으로 스스로 자속을 공급받기 때문에 벡터제어에 의한 토오크 제어시 회전자속 전류를 고려할 필요가 없다는 장점이 있다. 하지만 그 이유 때문에 벡터제어를 위해서는 항상 회전자의 정확한 위치 정보를 알아야 한다. 차세대 전동차에서는 회전자의 절대 위치를 얻기 위해 PMSM에 레졸버를 설치하였다.

PMSM의 전체 알고리즘은 그림 2와 같다. PMSM의 제어 알고리즘의 구조는 유도전동기의 알고리즘과 유사하다.



<그림 2> PMSM 제어알고리즘

전동기 정격 전압까지는 벡터 제어를 적용하고 일정 전압에서는 스캘라 제어를 사용한다. 벡터제어 영역에서는 비동기 PWM 제어를 하고 스캘라 제어를 하는 시점부터 과변조 영역을 거쳐 1펄스 모드 제어를 적용한다.

2.2.2 순전기제동

기존의 전동차량은 정지 직전의 저속 영역에서 전공 병용제동을 하다가 공기 제동으로 정착하는데 반해 순 전기 제동은 공기 제동을 사용하지 않고 순수 전기 제동으로 정착을 하는 제동방법으로 완전 전기 제동이라고 부르기도 한다.

순 전기제동은 정차시의 승차감을 올리고 공기제동의 사용 빈도를 줄여 브레이크슈 및 디스크 마모에 따른 유지 보수를 줄이고 열 발생에

다른 환경 문제도 감소시킨다.

순 전기제동을 구현하기 위해서는 0Km/h 까지 정밀도가 높은 속도 신호가 필요한데 차세대 전동차는 영구자석형 동기 전동기의 직접 구동(DDM) 방식에 전동기 속도 및 회전각 검지에는 속도가 0Km/h 가 될 때까지 연속하여 검지할 수 있는 레졸바를 이용하고 있어 0Km/h까지 전기 제동을 구현할 수 있다.

2.3 추진제어장치 시작품 제작 및 시험

그림1 차세대전동차 주회로도의 추진제어장치와 같이 시작품은 1개의 컨버터 스택, 2개의 인버터 스택 및 제어기(컨버터 및 인버터)로 구성되어 제작되었다.



〈그림 3〉 추진제어장치 시작품

개발된 추진제어장치는 시제품 DDM 으로 영구자석 동기전동기 제어 프로그램의 상세 설계에 대해 검증 시험을 실시하였다. 제어 프로그램 검증 시험으로 일반 전동차의 추진제어장치에 프로그램을 적용하고, 다이나모를 부하로 사용하여 레졸바를 이용한 정확한 속도 인식과 전류제어의 동작을 확인하였다.

2.3.1 속도검지

① 레졸버 원리

레졸버는 2개의 고정자 권선과 1개의 회전자 권선으로 구성되는데, 회전자 권선에 정현파 신호로 여자 시키면 고정자 권선에 회전자의 위치에 따라 사인파 코사인 신호가 유기된다.

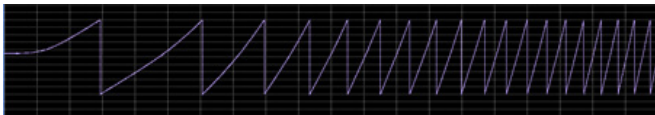
제어기에서는 회전자를 여자시키는 사인 신호를 출력하고 고정자 권선의 사인, 코사인 신호를 읽어 회전자의 위치를 계산한다.

② 레졸버 신호

그림4는 레졸버 출력 신호를 센싱하여 회전자의 위치를 계산한 파형이다. 한주기는 360도를 내고 속도가 증가할수록 주파수가 증가하는 것을 알 수 있다. 파형에서의 위치각은 전기각이다.

③ 속도 계산

레졸버에서 검지한 값은 회전자의 위치 정보이다. 이 정보를 이용하여 각속도를 계하여 벡터 제어에 사용하게 된다



〈그림 4〉 레졸버로 센싱한 회전자의 전기각

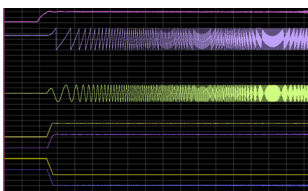
2.3.2 전류제어알고리즘 검증

(나) 전류 제어 알고리즘 검증

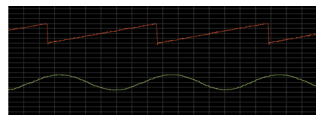
그림 2. PMSM제어알고리즘 중 전류제어루틴을 검증하는 시험을 수행하였다. 전류 지령치를 입력하고 출력 전류가 지령치를 잘 추종하는지를 확인하였으며 입력 전압은 DC 1500V이다.

그림5는 시험 결과 파형이다. 토크성분 전류와 자속성분 전류의 지령치에 대해 실측치가 잘 추종함을 알 수 있고 전동기로 입력되는 U상 전류가 안정적으로 제어됨을 알 수 있다.

그림6은 인버터 출력 전류와 회전자의 속도를 확대한 것으로 모터 전류가 깨끗한 전형파이며 회전자와 동일한 주파수임을 알 수 있다.



〈그림 5〉 시험결과파형



〈그림 6〉 전류제어파형

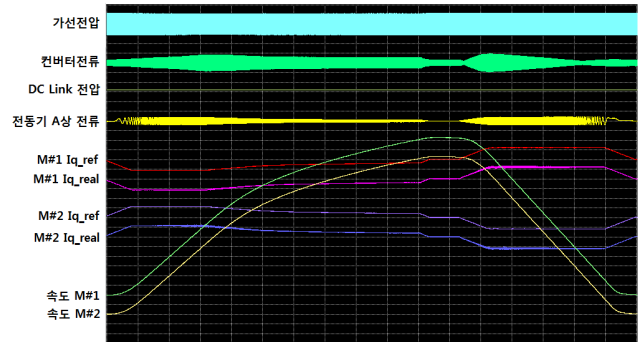
2.3.3 추진제어장치 시험

한국철도기술연구원에서 보유하고 있는 추진장치시험설비를 이용하여 차세대전동차용 추진제어장치에 대한 시험을 수행하였다. 시험에 대한 결과는 그림7과 같다. 정지상태에서 P4로 80km/h까지 가속한 후 B7으로 정지시까지 전기제동을 체결하는 조건으로 시험을 수행하였으며, 공급되는 가선전압은 27[kV]이며, DC Link 전압은 1,770[V]를 유지하고 있다. 모터 제어지령 Iq_ref에 대해 모터가 잘 추종(Iq_real)하고 있음을 그림7의 M#1 Iq_ref/Iq_real, M#2 Iq_ref/ Iq_real 그래프가 보여주고 있다.

시험시 전동기 가속도는 $(35[\text{km/h}]-5[\text{km/h}])/dt = 30[\text{km/h}]/8.95[\text{sec}] = 3.35[\text{km/h/s}]$ 로 측정되었으며 이는 차세대전동차 가속성능요구조건 3.3[km/h/s]이상 조건을 충족시킨다.

시험시의 감속도는 $(80[\text{km/h}]-5[\text{km/h}])/17.72[\text{sec}] = 4.23[\text{km/h/s}]$ 로 상용최대감속도 3.5[km/h/s]이상을 만족시킨다.

또한 그림7에서 전동기 A상전류 파형과 속도파형을 비교하여 보면 속도가 0이 될 때까지 전기제동을 수행하고 있음을 알 수 있다.



〈그림 7〉 추진제어장치 시운전 시험

3. 결 론

차세대전동차에 사용되는 영구자석 동기전동기를 개별제어하기 위하여 추진제어장치를 개발하고 시험을 수행하였다. 시험환경여건상 AC공급전압을 기준을 시험을 실시하였으며 시험결과 차세대전동차의 개발요구사항, 즉 가속도 3.3[km/h/s]이상, 상용감속도 3.5[km/h/s]이상, 정지시까지의 순전기제동 등의 요구사항을 만족함을 보였다.

위와 같이 개발된 추진제어장치는 차세대전동차 시제차량(6량1편성)에 탑재되어 도시철도법의 도시철도차량 성능시험에 관한 기준에서 정의한 바와 같이 시운전시험을 진행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Koji Yoshiada, "Development of Main Circuit System using Direct Drive Motor(DDM)", JR East Technical Review, No.1, pp46~52, 2002
- [2] 김길동, 이한민, 오세찬, "차세대 전동차 추진 시스템의 기술개발 방향", 조명·전기설비학회지, 제20권 제2호, pp. 21~25, 2006
- [3] 김길동, 오세찬, 이한민, 박성혁(2005년), "차세대 전동차 개발 방향" 한국철도학회:학술대회지, 한국철도학회 05 추계학술대회 논문집, pp. 1039-1044.
- [4] 김민석, 곽상엽, 정현교, 정상용(2007년), "교차자화작용을 고려한 배입형 영구자석 동기전동기의 통합형 d-q축 쇄교자속 추출", Trans. KIEE. Vol. 56, No. 12, DEC, 2007