

KTX-산천 고속열차 추진제어장치 개발

조성준*, 정만규*, 이광주*, 박건태*, 김두식*

*현대중공업(주)

A Study On Propulsion Control System for Korean Train Express(KTX-Sancheon)

Sung-Joon Cho*, Man-Kyu Jeong*, Kwang-Ju Lee*, Geon-Tae Park*, Du-Sik Kim*

*Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

본 논문에서는 고속전철용 추진제어장치의 개발 및 본선 주행시험에 관한 내용을 소개하였다. 고속열차용 추진제어장치는 입력 전류의 고조파를 감소하기 위하여 단상 PWM 컨버터 2대가 병렬로 구성되고 인버터는 3상 인버터 1대로 구성된다. 추진제어장치의 전력회로를 간단히 구성하기 위하여 최대용량(4500V/4200A)의 IGBT 전력소자를 적용하였다. 3상 인버터는 가속시 스위칭 기어현상을 저감하기 위하여 저주파 동기 PWM 기법을 적용하였다. 추진제어장치의 성능을 평가하기 위하여 실제 차량이 운행될 본선에서 속도 300km/h까지 가속시험, 비상제동 시험, 구배기동 시험 등을 실시하였다. 시험을 통하여 제작된 추진제어장치가 성능사양을 만족함을 확인하였다.

1. 서론

최근 물류수송은 국가의 산업경쟁력을 좌우하는 중요한 요소로 자리 잡아가고 있다. 또한 교역량의 양적인 증대와 더불어 빠르고 정시성을 가진 고속열차에 의한 물류이동 수요가 점차 증대되고 있다. 세계의 환경규제협약과 이산화탄소 배출 저감 노력으로 인해 대기오염이 없는 전기추진장치가 대중교통수단으로 필수적인 시기가 도래하였으며, 세계의 고속철도는 지속적인 기술개발과 고속철도망의 확장을 통해 성장을 거듭할 것으로 예상된다. 국내에서는 남북철도 연결 사업을 비롯하여 유라시아 대륙 철도망 구축이 논의되고 있으며, 중국이 10,000km 고속철도 건설 계획을 발표하는 등 국내의 환경 변화가 나타나고 있다.

본 연구에서는 국내 순수기술로 고속전철용 추진제어장치를 개발하여 KTX-산천 열차에 적용하고자 IGBT소자를 적용하여 컨버터 및 인버터 전력회로를 간단히 구성하였다. 개발된 추진제어장치의 성능을 실제 차량에 탑재하여 본선 시운전을 통하여 입증하고자 한다.

2. KTX-산천 추진제어장치

KTX-산천 고속열차의 1편성은 동력차 2량과 객차 8량(2P+8T)으로 구성되며 그림 1과 같이 동력차의 동력 대차에만 견인전동기가 설치되는 동력 집중식 구성을 하고 있다. 한 대의 동력차에는 2대의 추진제어장치가 설치되어 있으므로, 한 편성은 총 4대의 추진제어장치와 8대의 견인전동기로 구성된다.

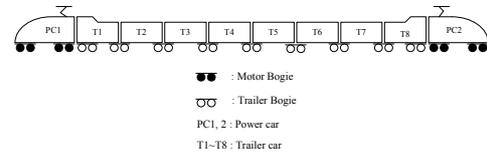


그림 1. KTX-산천 고속열차 구성

추진제어장치의 전력회로는 단상 2레벨 컨버터 2대가 하나의 DC-link를 공유하여 병렬로 운전되며, 3상 2레벨 인버터 1대가 견인 전동기 2대 구동한다. 그림 2는 추진제어장치의 전력회로 블록 다이어그램이다. 컨버터는 주변압기로부터 AC 1,400V를 공급받아 DC 2,800V로 변환하여 인버터에 공급한다. 인버터는 DC 2,800V를 AC로 변환하여 견인전동기를 구동하게 된다. 병렬로 연결된 2대의 컨버터는 가선 입력 전류의 고조파 저감을 위하여 컨버터 입력 전류가 교번되도록 스위칭 제어를 수행한다.^[1] 인버터부는 출력 전압의 크기와 주파수를 변화하여 견인전동기가 요구되는 견인력 및 회생제동력을 출력하도록 제어한다.^[2] 컨버터와 인버터에 동시에 적용되는 IGBT Plug-In type의 스택을 개발하여 유지보수의 편의성을 도모하였다. 그림 3은 가선전압 25kV를 입력으로 받아 1,400V로 강압하는 주변압기와 추진제어장치이다.^[3]

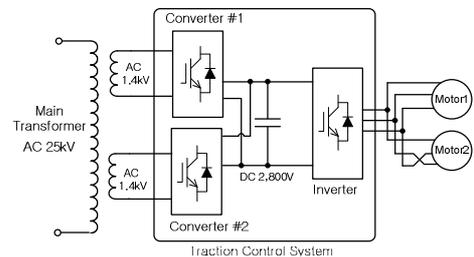


그림 2. 추진제어장치 전력회로 블록도



그림 3. 주변압기와 추진제어장치

3. 본선 시운전

개발된 고속열차용 추진제어장치의 가, 감속 성능을 확인하고 실제 선로 조건에서의 안정적인 동작을 확인하기 위하여 경부고속선, 호남선 및 전라선 기존선 구간에서 본선 시운전을 실시하였다. 본선 시운전 중에 수행하는 주요 동적 시험 항목은 표 1과 같다.

표 1 고속열차 동적 시험 항목

순번	시험 항목
1	가속도 및 감속도 시험
2	주전력변환장치 감소모드에서의 구배기동 및 가속성능 시험
3	최고속도 주행시험
4	견인시의 SLIP 방지 제어 시험
5	중련운전 시험
6	지정속도 시험
7	전차과 간섭 시험
8	제동 성능 시험
9	제동 블랜딩 동작 시험

가속도 시험은 추진제어장치의 가속 성능을 확인하기 위한 시험으로 KTX-산천 고속열차의 가속도 사양은 전체동력 조건에서 속도 60km/h까지 0.45m/s² 이며 추진제어장치 1대 고장시에는 0.335m/s² 이다. 가속도 시험 결과는 그림 4와 같다. 가속도 시험은 평탄 선로 조건에서 수행하였으며 역행 100% 지령으로 가속 시험을 실시한 파형이다. 그림 5는 최고속도 주행시험 파형으로 KTX-산천 고속열차의 설계 최고 속도인 330km/h까지 가속하면서 추진제어장치의 제어 성능을 확인한 파형이다. 그림 5에서 알 수 있듯이 300km/h 이상 고속영역에서도 컨버터 입력 전류의 순시제어와 인버터 출력 전류의 비트리스 제어가 우수하게 이루어지는 것을 알 수 있다. 그림 6은 신호장치에 의한 과속 감지시 수행하는 비상제동 시험 파형이다. 고속열차는 승객의 안전을 위하여 신호 장치는 차량의 과속을 감지하는 경우 주회로 차단기인 MCB를 차단하고 추진제어장치에 비상저항제동 명령을 인가한다. 추진제어장치는 MCB 차단으로 인하여 회생이 불가능한 경우, 제동 저항기로 회생전력을 소모하여 열차가 안전하게 정차할 수 있도록 한다. 추진제어장치의 저항제동 성능이 300km/h 이상의 고속영역에서 차량이 정차할 때까지 원활하게 이루어지는 것을 알 수 있다.^[4]

4. 결론

KTX-산천에 적용된 고속열차용 추진제어장치는 대용량 IGBT를 사용하여 간단한 전력회로를 개발하였다. 관성 부하 시험 및 본선 시운전을 통하여 추진제어장치의 가, 감속 성능을 확인하였다. 고속 주행시 발생하는 입력 전압, 선로조건 등에 의한 외란에 강한 제어를 구현하여 전속도 영역에서 개발된 추진제어장치가 안정적으로 동작하는 것을 확인하였다.

개발된 고속열차용 추진제어장치는 KTX-산천의 영업 운행 일정에 따라 2010년 3월부터 경부선 및 호남선에 투입되어 운

행중이다.

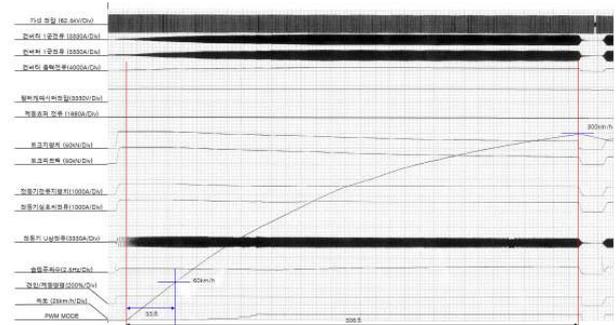


그림 4. 가속도 시험

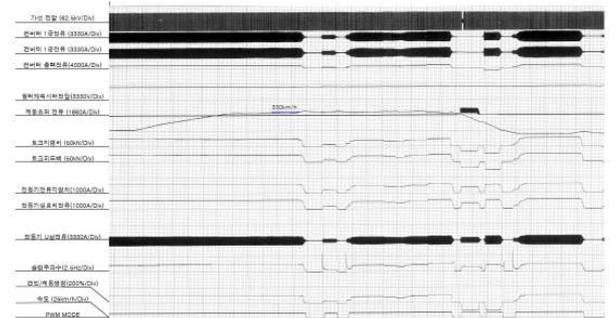


그림 5. 최고속도 주행시험 (330km/h)

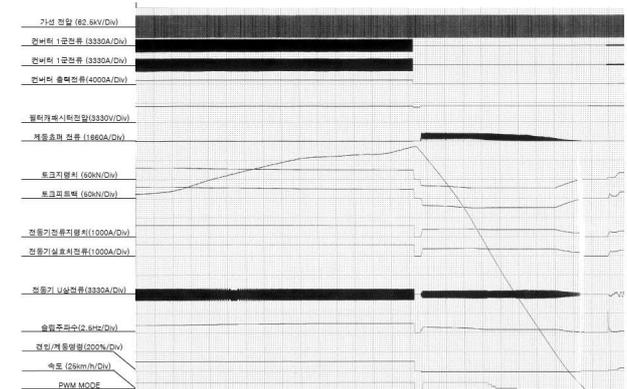


그림 6. ATC 비상제동시험 (318km/h)

참고 문헌

- [1] 이동춘, 최종우, 이현동, 설승기, “열차용 단상 GTO PWM 컨버터의 병렬운전”. 전기학회지, 제44권, 제6호, pp756 ~ 761, 1995.
- [2] J. Holtz, “Adaptive Optimal Pulse-Width Modulation for the Line-Side Converter of Electric Locomotives”, IEEE Trans. power electronics., vol.7, no.1, pp. 205 ~ 211, January. 1992.
- [3] 정만규, 조성준, “고속열차용 추진제어장치의 관성부하 시험에 관한 연구”. 2009년 전력전자하계학술대회 논문집, pp369 ~ 371, 2009.
- [4] McGrath, B.P. and D.G. Holmes. "A General Analytical Method for Calculating Inverter DC-Link Current Harmonics." IEEE Trans. on Industry Applications, vol.45, no.5, pp.1241 ~ 1248. 2009.