

한국형 고속전철 추진성능 검증을 위한 추진시스템 통합시험

류홍제*, 김종수*, 김용주*, 노애숙**, 정은성**, 최종목**

*한국전기연구원, **(주) 로템

Traction System Combined Test of KHST for Propulsion System Performance Verification

H.J. Ryoo*, J.S. Kim*, Y.J. Kim*, A.S. Knoh**, E.S. Jung**, and J.M. Choi**

*Industry Application Lab, KERI, **Electric Equipment Development Team, ROTEM

ABSTRACT

This paper introduces the combined test results of the traction system for KHST(Korean High Speed Train: hereafter refer to KHST). The main purpose of this combined test is to verify the performance of the traction system that is designed to operate up to maximum 350km/h speed. Combined test system consists of a traction transformer, two AC-DC PWM converters, a PWM Inverter, two traction motors and flywheel system. Flywheel system represents equivalent model of the train inertia. Also traction control system and MASCON Interfaces are included.

Various kinds of experiments are performed to prove total traction system performance and detail waveforms are described

1. 서론

고속전철 시스템은 대규모 운송 수단으로서 에너지 이용면에서 많은 장점을 지니며, 공해를 유발하지 않는 차세대 교통수단으로 최근 선진국을 중심으로 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 국내에서도 국가 주도하에 우리 국산 기술에 의한 한국형 고속전철을 개발하고자 하는 노력이 산학연의 협조하에 1996년부터 시작되어 6년간의 연구 개발을 마치고 본격적인 상용화를 위한 테스트가 진행중에 있다.^[1]

개발된 고속전철의 추진시스템의 성능 확보를 위해서는 각 전장품 단품의 철저한 단품시험 외에도 추진시스템 전체의 인터페이스 성능확인이 요구되나 이를 실차에서 실시하는 것은 안전과 비용면에서 많은 어려움이 있다.

본 논문에서는 한국형 고속전철 추진시스템의 추진시스템 통합시험에 대하여 소개하며 추진시스

템 통합시험의 목적은 다음과 같다.

- 추진시스템의 종합적인 추진성능검증 및 보완
- 추진시스템 신뢰성 향상 및 보완
- 추진시스템 전장품간의 인터페이스 성능 검증 및 보완

실제 탑재되는 주변압기와 주전력변환장치 견인전동기 및 관련 인터페이스부와 제어회로로 구성되는 추진시스템과 열차의 특성을 모의하기 위한 관성부하 설비에 의한 통합시험을 통해 추진시스템 전체의 통합성능을 확인하고 제어 알고리즘을 개선하여 시속 350km/h 급의 한국형 고속전철 추진시스템 전반에 대한 추진성능을 확보하였다.

현재 한국형 고속전철은 실차시험을 통해 상용화 운전을 위한 시운전을 수행하고 있다.

2. 추진시스템 통합시험 장치 구성

2.1 한국형고속전철 기본 사양

제작된 7량 편성의 한국형 고속전철의 기본모델사양을 살펴보면 다음과 같다.^[2]

- 열차중량: 약 331 톤
- 최대축중: 17 톤
- 견인전동기: 1100kW×16대
- 최대속도: 5% 오름구배에서 350km/h
- 주행저항: 약 60kN(시속350km/h)
- 이용점착계수: 최대 0.25(시속 0km),
최소 0.07(시속 350km)
- 제동장치: 회생제동, 저항제동, 비접촉제동,
디스크 및 답면제동

시제차량의 추진성능은 그림 1에 나타내었다.

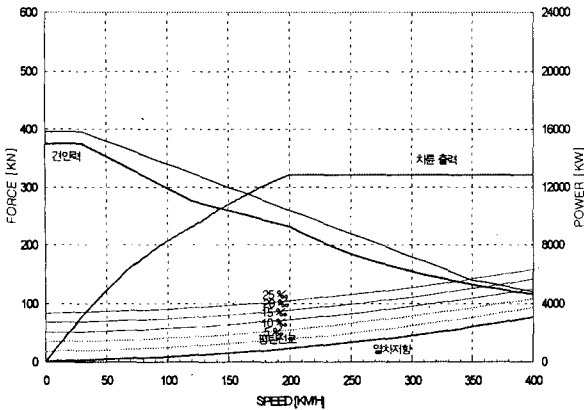


그림 1 시제차(7량) 편성 추진성능
Fig. 1 Traction performance of KHST test train

2.2 추진시스템 통합시험장치 구성

그림 2에 한국형 고속전철의 모터블럭 구성을 나타내었다. 모터블럭은 추진시스템의 한 구성 유닛으로 입력 4상한 컨버터 두 대, 인버터 한대, 견인전동기 2대로 구성되며, 시제차량은 모두 8대의 모터블럭으로 구성된다. 각 전력변환장치의 사양을 표 1에 나타내었고, 제작된 견인유도전동기의 특성곡선을 그림 2에 도시하였다.

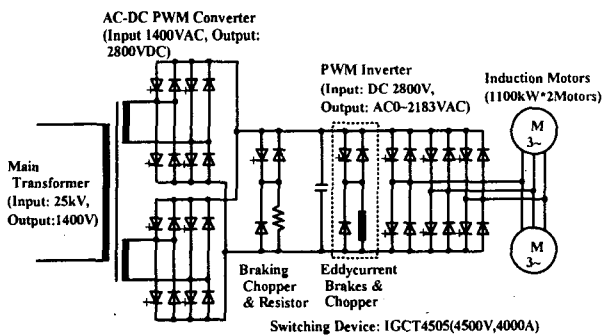


그림 2 모터블럭의 추진시스템 구성
Fig. 2 Traction system configuration of Motor Block

표 1. 추진시스템 상세사양

Table 1. Specification of the traction system

	주변압기	컨버터	인버터	견인전동기
입력	AC25KV, 356A	AC1400V, 890A×2	DC2800V, 884A	AC 0~2183V, 0~143Hz
출력	견인:1400V×6 (893A×6) 보조: 350V×4 (100A×6) %Z: 20~30(%)	DC2800V, 884A	AC 0~2183V, 747A, 0~143Hz	
정격	8900KVA	1250KW×2	3000KVA	1100KW×2

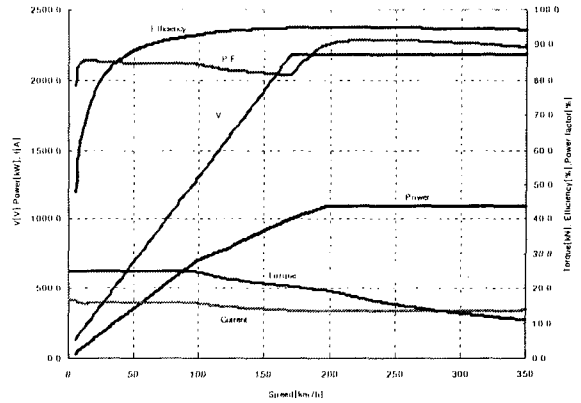


그림 3 견인전동기 특성곡선
Fig. 3 Characteristic Curves of traction motor

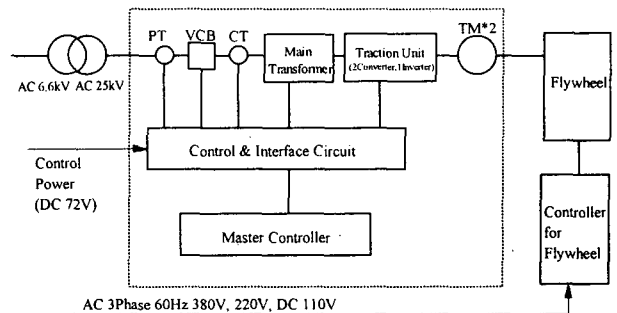


그림 4 추진시스템 통합시험 블록도
Fig. 4 Block diagram of the combined test

열차의 관성 시스템을 모의하기 위한 관성부하 설비는 60톤의 플라이휠 4대가 병렬 운전되는 구조로 고속전철시스템의 실제 관성을 모의할 수 있는 용량이다. 전체 시스템 블록도는 그림 4에 나타내었다.

3. 추진시스템 제어 알고리즘 소개

한국형 고속전철의 추진제어 장치는 크게 세부분으로 나뉘어진다. 상위 제어기로 추진 및 제동과 관련된 전체적인 추진 제어알고리즘, 타제어기 인터페이스 및 재점착 제어알고리즘을 수행하는 추진제어기와 입력 4상한 컨버터의 제어를 담당하는 컨버터 제어기, 견인전동기의 제어를 담당하는 인버터제어기로 구성되며, 각 제어기는 RS-485 통신에 의해 인터페이스 된다.

각 제어기의 대표적 제어 기능을 다음에 나열하였으며, 상세한 제어 알고리즘은 생략한다.^[2-6]

3.1 추진제어기

- 운행방향 & 운전모드 설정
- 속도 및 주변 상황에 따른 토크 지령치 생성
- 저크 & 재점착 제어

- 전력제한 제어
- 고장처리 및 기록
- TCN 인터페이스 및 릴레이 인터페이스에 의한 타 제어기 연계

3.2 컨버터제어기

- DC 링크 전압 제어
- 단위역률제어
- 위상지연운전에 의한 입력 고조파저감 제어
- 회생제동제어
- 추진시스템 격리 및 격리 해제

3.3 인버터제어기

- 견인전동기 벡터 제어 및 VVVF 제어
- 과변조 및 동기모드 PWM 제어
- 정밀 토크 제어

4. 추진시스템 통합시험 결과

구성된 추진시스템 통합시험 설비를 사용하여 실제 조건과 동일한 조건의 추진시스템 전반에 걸쳐 다양한 시험을 실시하였으며 그 결과를 간략히 소개하면 다음과 같다.

먼저, 그림 5와 6은 최대 견인력으로 가속시와

감속시의 각부 파형을 보여 준다. 전동기가 0km/h 속도에서부터 350km/h의 속도에 해당하는 4300rpm까지 최대의 견인력으로 가속한 후 다시 정지시까지 최대 회생제동력으로 정지하는 경우의 파형으로 각 추진시스템의 가장 가혹한 조건에서의 동작성능을 검증하였다. 마스콘 지령에 의한 토크 지령치의 생성으로부터 저크 제어 및 토크 제어 등 전장품 각부의 제어 성능이 훌륭히 동작함을 볼 수 있다.

그림 7은 전동기 과온, 주변압기 과온 또는 주변압기의 오일펌프 고장 상황과 같은 경우에 전체 추진력의 최대 70%로 전력을 제한하는 전력제한시의 추진성능파형으로 시속 100km/h, 200km/h에서 해당 고장상황을 강제로 유발하고 시속 150km/h, 250km/h의 속도에서 고장상황을 해제하는 경우를 가정한 모의시험 결과이다. 고장 발생시 전동기에서 발생하는 최대 견인 출력을 기준으로 70%의 전력으로 제한이 되어 토크를 지령하게 된다.

그림 8은 추진, 제동 및 타행을 반복하면서 가변속 운전시의 각부 파형이다.

5. 결 론

본 논문에서는 한국형 고속전철의 추진시스템 통합성능을 검증하기 위한 추진시스템 통합시험에 대하여 소개하였다.

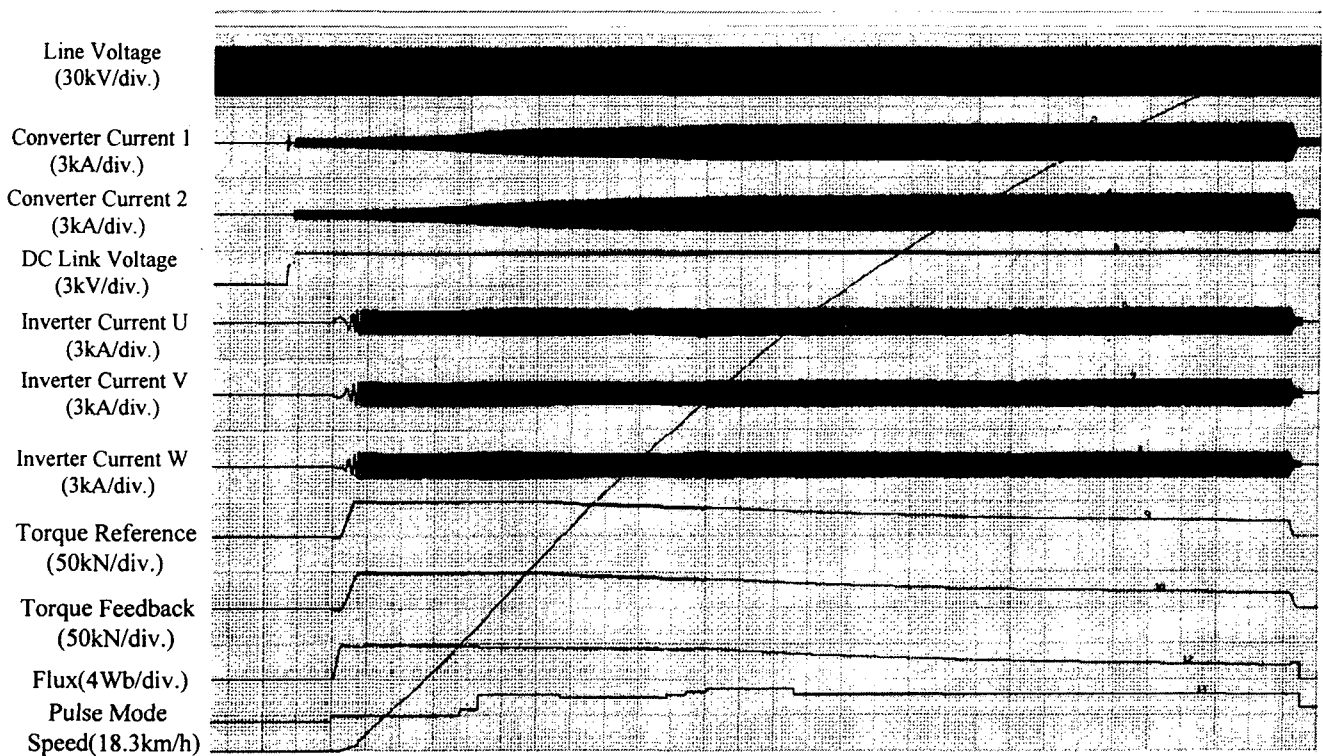


그림 5 최대 가속시 각부 파형(0 → 350km/h)

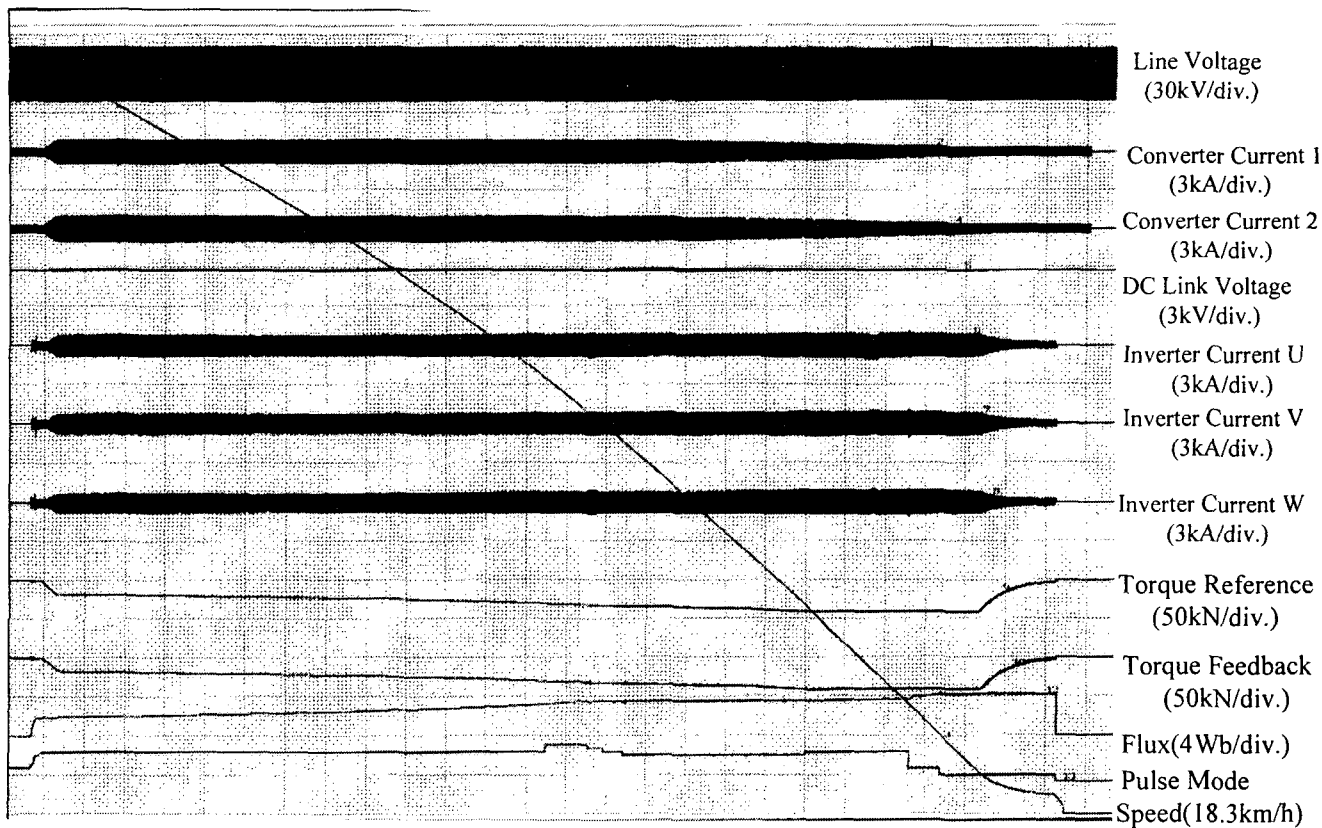


그림 6 최대 감속시 각부 파형(350km/h→0km/h)

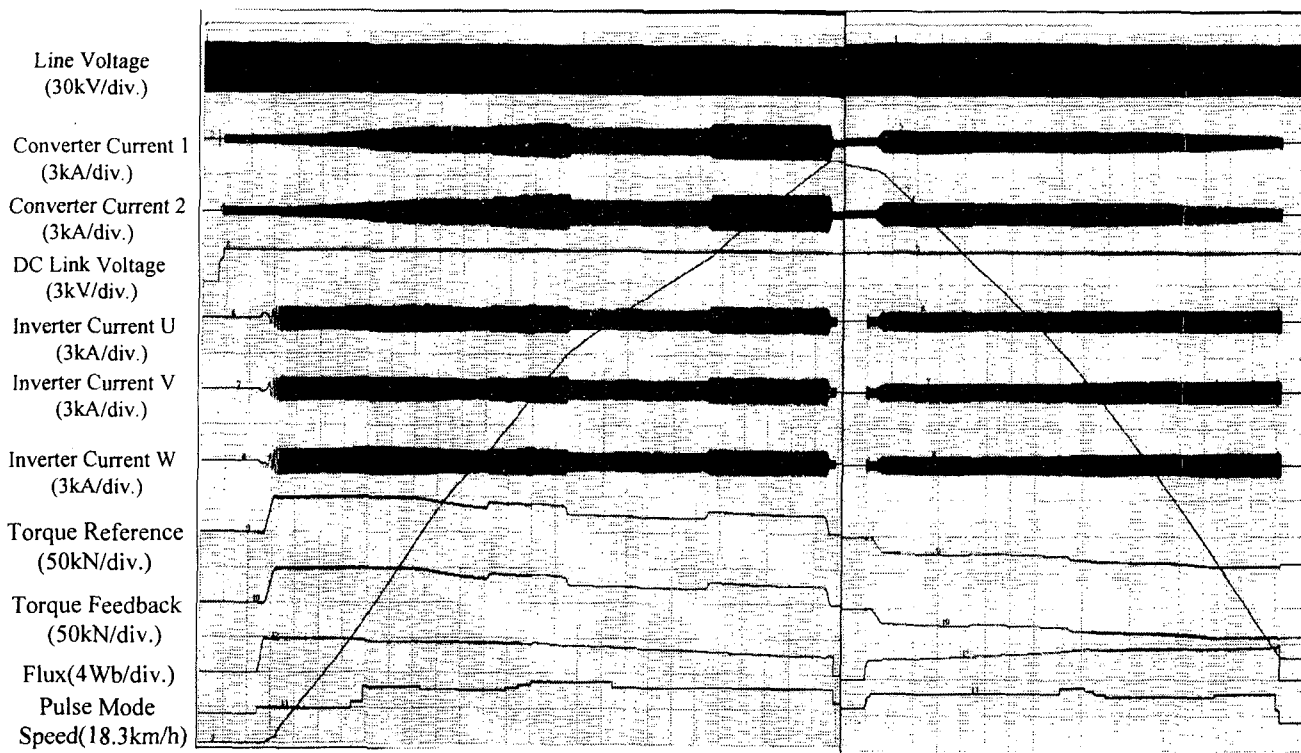


그림 7 전력제한 기능 시험시의 각 부 파형

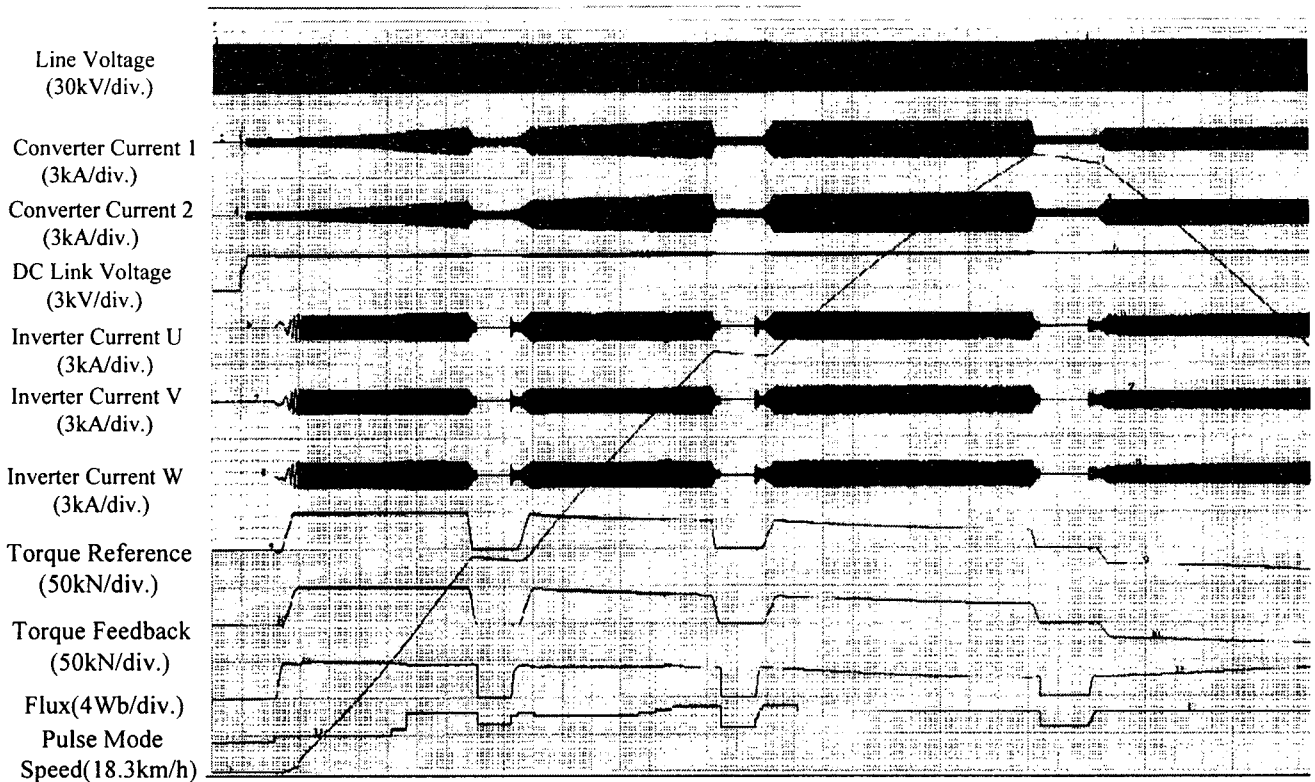


그림 8 가변속 운전시의 각 부 파형

다양한 시험을 통해 안전하게 대용량 추진시스템의 통합성능 검증이 이루어 졌으며, 통합시험을 마친 추진시스템은 현재 한국형 고속전철에 탑재되어 상용화 운전을 위한 시운전 시험이 진행중에 있다.

추진시스템 통합성능 시험을 통해 검증된 추진시스템의 시험 항목은 다음과 같다.

- 추진시스템 동작 시퀀스 로직 검증
- 추진 성능 검증
- 전력제한 기능 검증
- 가선 전압 변동시험
- 단위역률제어 성능 및 4상한 컨버터 성능검증
- DC 링크 전압제어 성능
- 견인전동기 제어 및 토크 제어 성능
- 전기제동성능 검증
- TCN 네트워크 통신에 의한 운행성능 검증
- 추진시스템 관련 제어시스템 연계성능 검증

이 논문은 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부의 지원에 의해 수행된 고속전철 기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] 고속전철 전기시스템 엔지니어링 기술개발 최종보고서, 한국전기연구원, 2002. 10.
- [2] 고속전철 추진시스템 엔지니어링 기술개발 2차년도 보고서, 한국전기연구원, 1998. 10.
- [3] J. Shen, A.D. Mansell, and J.A. Taufiq, "The Simplified Analysis and Design of a PWM Converter System for a Three-Phase Traction Drive", The Seminar on the Railway Technology Event, IME, 1994.
- [4] J.A. Taufiq and J. Shen, "Frequency Domain Modelling of Traction PWM Converters," *EPE Proc.*, pp. 63~67, 1993.
- [5] Hong-Je Ryoo et al., "Unit Power Factor Operation of Parallel Operated AC to DC PWM Converter for High Power Traction Application", *Proceedings of PESC'01*, 2001, pp. 631-636.
- [6] 류홍제 외 4인, "견인용 유도전동기의 새로운 센서리스 벡터제어", *전기학회논문지*, 제49권 제9호 B, pp. 626-635, 2000. 9.