

## 수냉각방식을 적용한 430km/h급 추진제어장치 설계

### Design of Water-cooling Propulsion System for Maximum Speed of 430km/h

우상균\*<sup>†</sup>, 김태윤\*, 노애숙\*, 정은성\*, 한정수\*

SangKyun Woo\*<sup>†</sup>, TaeYun Kim\*, AeSook Kno\*, EunSung Chung\*, JeongSoo Han\*

**Abstract** Propulsion system applied for high speed train requires the high rated power, size reduction and weight reduction due to increase of train tractive effort and maximum operation speed.

In this paper, propulsion system with high capacity and water-cooling method is suggested to meet the requirements of distributed power type train development of which maximum speed of 430km/h. Water-cooling method is adopted for propulsion system design to realize the minimization of cooling device size and optimization of cooling efficiency. Propulsion system is also designed with reduced size and weight to enable installation on car body underframe. Proposed propulsion system operates the four 410kW traction motors. Performance is verified according to test with relevant standards and actual mainline test operation.

**Keywords** : Propulsion System, Distributed Power Type Train, Water-Cooling, High Speed Train

**초 록** 고속철도 차량에 적용되는 추진제어장치는 열차 견인성능 및 최고 운영속도 증가에 따른 정격 용량의 상승과 장치의 크기 및 중량 감소가 고려된 설계가 요구된다.

본 논문에서는 동력분산식 고속차량의 개발 요구사항에 적합한 대용량 수냉각방식을 적용한 430km/h급 고속차량용 추진제어장치 시스템을 제안한다. 추진제어장치는 열용량 증대에 따른 냉각기 크기 증가를 최소화 하고, 냉각 효율을 최적화 하기 위해 수냉각방식을 적용하였으며, 동력분산식 차량 하부에 조립될 수 있도록 소형 및 경량으로 설계되었다. 제안된 추진제어장치는 4대의 410kW 유도전동기를 구동하며 철도차량용 추진제어장치에 적용되는 관련 규격의 각종 시험 및 본선 시운전을 통해 그 성능을 검증하였다.

**주요어** : 추진제어장치, 동력분산식 열차, 수냉각, 고속철도

## 1. 서론

국내의 운행 중인 고속열차의 편성 구성은 동력분산식과 동력집중식이 있다. 그 중 동력분산식 차량은 높은 점착성능으로 가감속성이 우수하고, 축하중이 가벼워지며, 한 개의 동력 차량이 고장나도 나머지 동력차량으로 동력집중식 대비 더 높은 속도로 운행할 수 있는 장점을 가진다. 현재 국내에서는 열차 편성 전후의 동력차에 추진제어장치가 장착된 동력집중식 고속 차량만이 영업 운전 중에 있다.

본 논문에서는 최고 운행속도 430km/h 동력분산식 고속차량 개발요구 사항에 부합하는 추진제어장치 설계를 제안하고자 한다. 차량 최고 운행속도 430km/h에 따른 요구 견인성능의

† 교신저자: 현대로템(주) 전장품개발팀(skwoo@hyundai-rottem.co.kr)

\* 현대로템(주) 전장품개발팀

만족 및 차량 하부 기기 설치 제약성을 극복하고자 국내 최초 수냉각방식을 적용하여 냉각기의 사이즈 최소화 및 냉각 효율의 최적화 설계를 통해 소형 경량화된 추진제어장치를 설계하였다. 완성된 추진제어장치는 4대의 410kW 유도전동기를 이용하여 적용되는 관련규격의 각종 시험 및 본선 시운전을 통해 신뢰성을 확인하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 추진제어장치(Main Propulsion System) 설계

#### 2.1.1 추진제어장치의 구성

추진제어장치는 주변압기 2차측으로부터 단상 교류전원 AC 1,400V를 수전하여 이를 3상 교류전원 0V ~ 2180V로 최종 전력 변환하여 견인전동기를 구동시킨다.

설계된 추진제어장치의 전체 시스템 주회로 구성 및 사양은 각각 Fig 1, Table 1과 같다. 입력 전압의 차단 투입 기능을 하는 컨택터(K, AK), 단상 교류 전원을 직류 2,800V로 변환하는 2병렬 PWM Converter 부, DC Link부, 과전압 보호 회로부(OVCRf, OVRe), 방전 저항(DCHRe), VVVF 제어를 담당하는 PWM Inverter 부로 구성되어 있으며 그 외 전체 추진시스템을 제어하는 제어기와 계전기 유닛, 시스템 냉각을 위한 열교환기, 펌프 등이 있다.

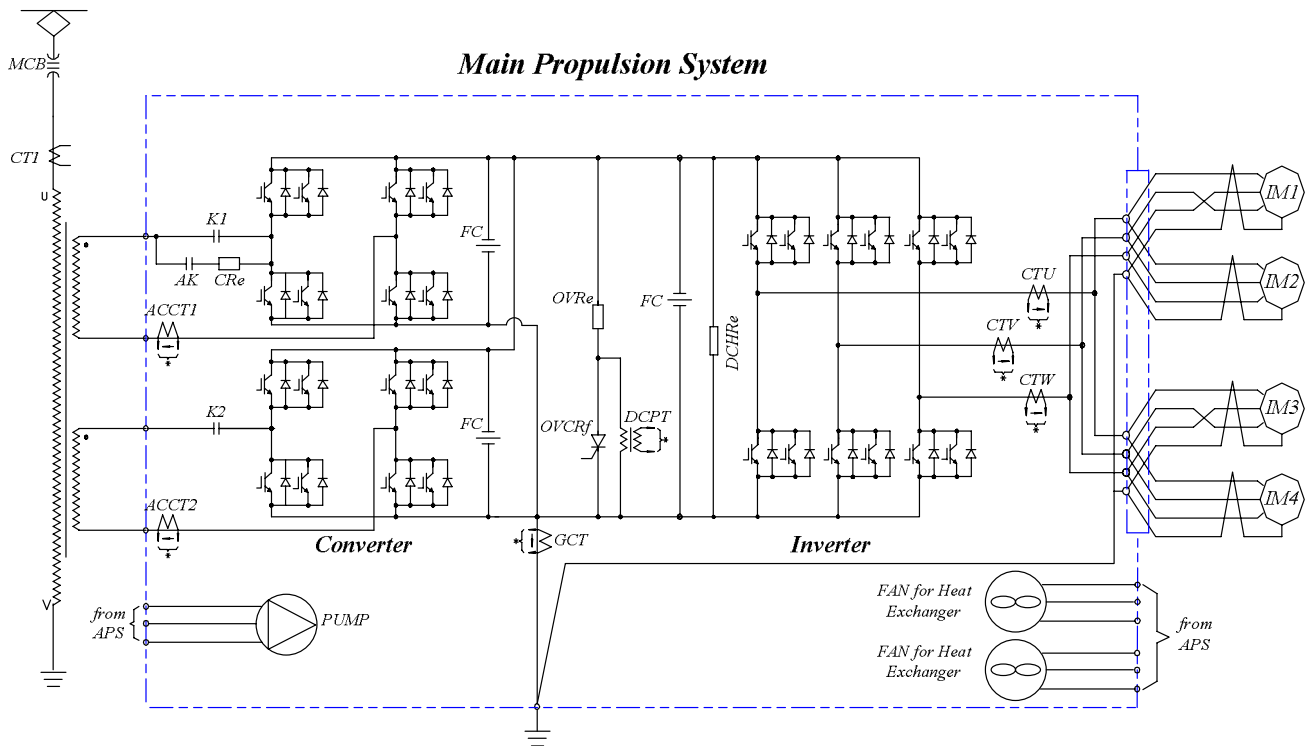


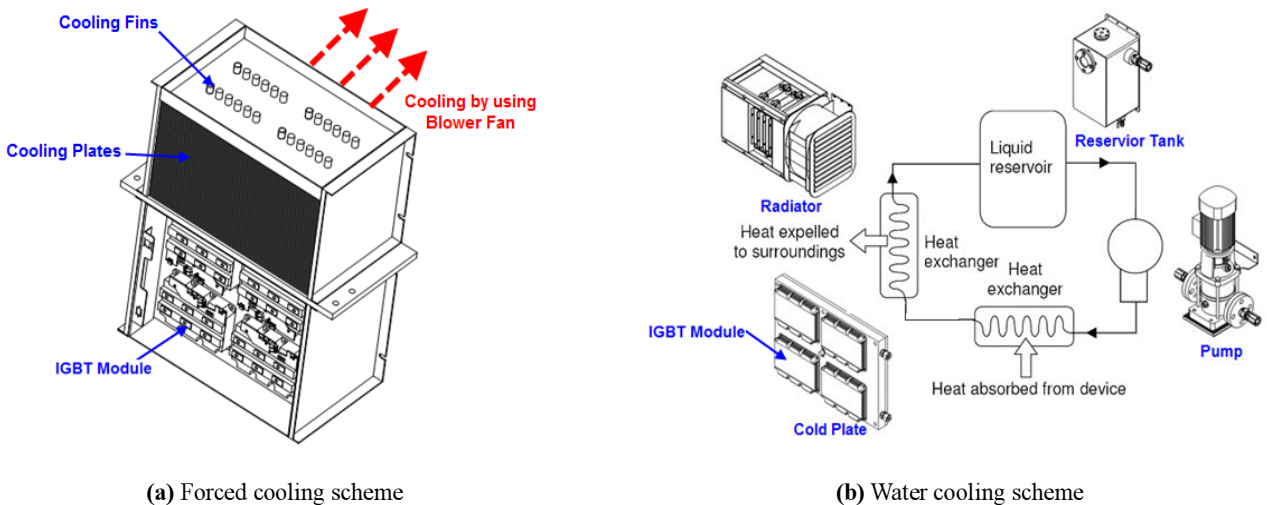
Fig. 1 Main circuit diagram for propulsion system

**Table 1** Specification of propulsion system

Items		Description
Catenary Voltage		AC 25kV (19kV~29kV), 60Hz
Control Method		Voltage PWM Control
Control Voltage		DC 100V (70V~110V)
Converter	Rated Capacity	1,850kW
	Input Voltage / Current	AC 1,400V / 1392A
	Output Voltage / Current	DC 2,800V / 661A
Inverter	Rated Capacity	2050kVA
	Input Voltage / Current	DC 2,800V / 661A
	Output Voltage / Current	AC 0~2,180V / 542A
Cooling Method		Water Cooling (EG50%)
Efficiency		More than 0.9
Weight		Approx. 2,150kg

### 2.1.2 수냉각 시스템 설계

최고 열차 운행속도 430km/h에 따른 요구 견인성능을 만족시키기 위해 설계되어야 하는 추진제어장치의 정격 용량 및 스위칭 소자 안정 동작영역(RBSOA)을 위해 필요한 전류값을 고려하여 PWM 컨버터 및 인버터에 적용되는 전력반도체 소자는 6.5kV/750A IGBT 모듈을 선정하였으며, 상당 2개씩 병렬 연결하여 시스템을 구성하였다. 기존의 추진제어시스템 대비 사용되는 전력반도체 소자 수량이 증가됨에 따라 전체 시스템 기준 확보해야 하는 열용량 또한 증가하였으며, 이에 따른 냉각기 사이즈가 비대하게 증가하는 것을 방지하기 위해 국내최초 수냉각방식을 채택하였다.



**Fig. 2** Comparison of propulsion system cooling

Fig. 2(a)는 전력반도체 소자에서 발생하는 열을 히트파이프 타입의 냉각기를 통해 전도시킨 후 송풍팬으로 냉각하는 방법으로 동력집중식 고속철도에 적용되어 있는 방법이다. 하지만 추진제어장치 시스템에서 요구되는 냉각 용량이 증가할수록 냉각기 사이즈도 커지며, 결

국 추진제어장치 전체 사이즈 및 중량 또한 증가되는 문제가 있다. Fig. 2(b)는 제안된 수냉각방식 추진제어장치의 냉각 과정을 나타내고 있으며 기존 히트파이프 타입 대신 내부에 유로가 형성되어 있는 수냉각판 인입출구로 냉각수를 순환시켜 4개의 전력반도체 소자의 스위칭 발열을 저감시키며, 가열된 냉각수는 별도의 열교환기를 통해 냉각한다[1]. 수냉각방식 적용에 따라 열교환기, 펌프 등의 냉각 부수장치가 추가적으로 필요하지만, 전체적인 추진제어장치 사이즈 및 중량은 기존 방식대비 줄어드는 이점이 있다.

한 개의 수냉각스택은 수냉각판, 4개의 전력반도체 소자, 게이트 드라이버 등으로 구성되며 컨버터, 인버터 모두 호환되도록 모듈화 설계[2]하여 유지보수 편의성을 확보하였다. 제안된 추진제어장치 내에는 펌프 및 열교환기가 각각 2개씩 설치되며, 각 펌프 및 열교환기는 4개의 냉각스택 열용량에 대한 시스템 냉각을 담당한다.

### 2.1.3 수냉각 시스템 냉각 시험

추진제어장치에 적용된 수냉각 시스템의 냉각 신뢰성을 검증하기 위해, 실제 장착되는 냉각 장치류를 설계된 추진제어장치 내부 기기배치와 동일하게 연결 및 구성하여 수냉각 시스템의 실제 열부하시험을 수행하였다. 냉각성능에 대한 시험 기준치( $\Delta T_{max}=55K$  미만) 대비 실제 측정된 온도 상승치는  $\Delta T_{max}=51.5K$ 로 요구 냉각성능을 만족함을 실제 시험을 통해 확인할 수 있었다.

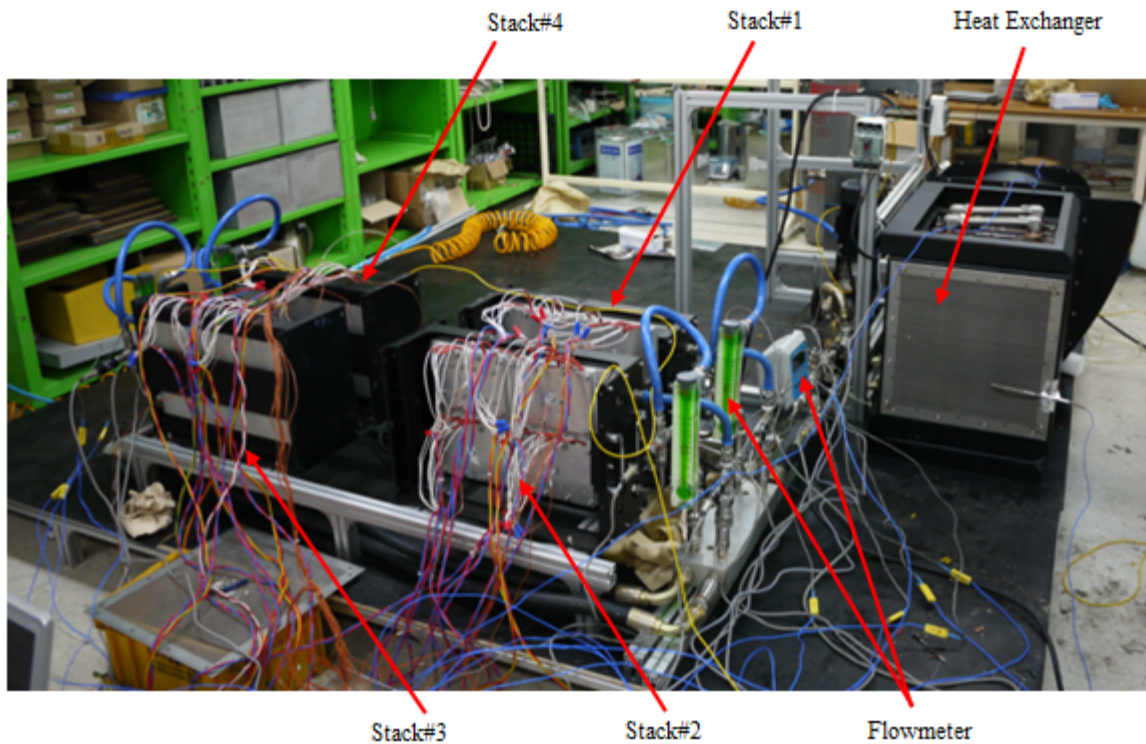


Fig. 3 Cooling Performance Test for Proposed System

## 2.2 추진제어장치(Main Propulsion System) 시험

### 2.2.1 구성품 시험, 조합시험 및 본선시험

설계 완료된 주전력변환장치는 Fig. 4와 같은 시험장치를 이용하여 구성품 형식시험 및 조합시험을 완료하였다. 본선 시험은 Fig. 5와 같이 동력차 5대와 부수차 1대의 6량 편성으로 구성된 시험 차량을 이용한다. 시험 항목 및 방법, 절차는 철도안전법 및 관련 IEC 규격에 의거 실시 및 검증하였다.

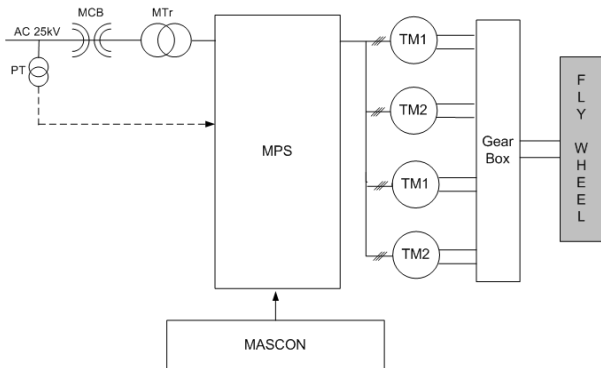


Fig. 4 Configuration of Test Facility for Combined Test



Fig. 5 Propulsion System Mounted on Prototype Train

### 2.2.3 시험 결과

2012년 5월 16일 실제 시험차량 출고 후 2013년 3월말까지 부산역 - 고모 IEC 구간에서의 본선 증속시험을 약 10개월간 수행하였다. 시운전간 타 기기와의 인터페이스 문제 해결, 제어 소프트웨어 튜닝 등을 진행하였으며, 421.4km/h 최고속도 주행시험을 성공하였다.

Fig. 6은 지난 2013년 3월 27일 야간 시운전간 측정된 421.4km/h 최고속도 주행시험 파형으로 울산에서 고모 IEC 상행 운전시 측정된 것이다.

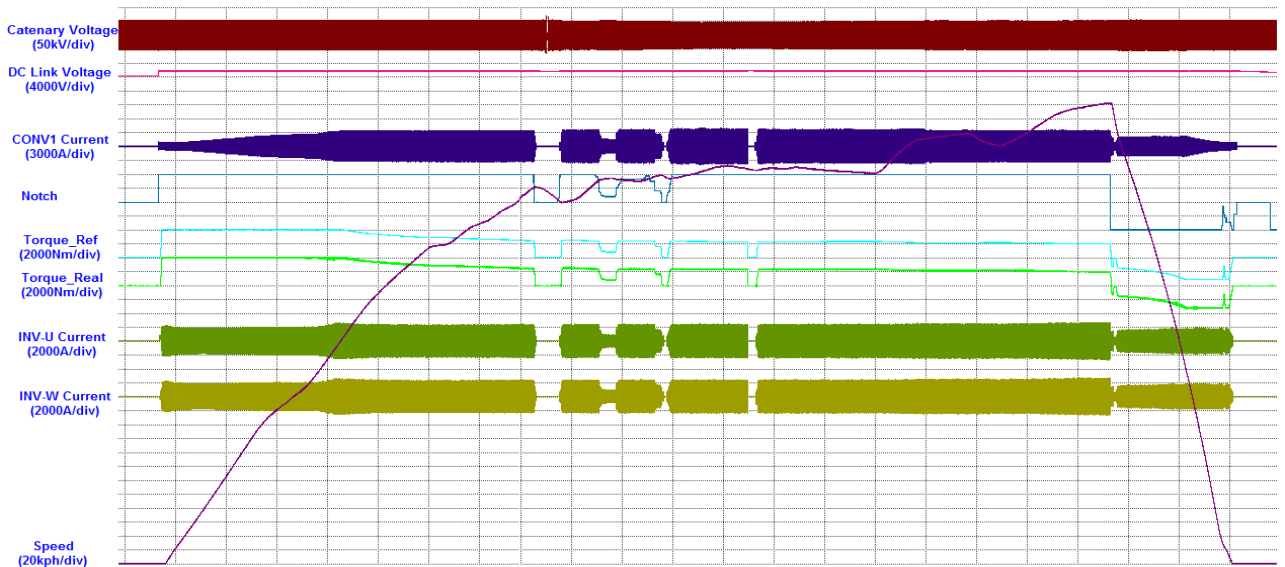


Fig. 6 Maximum Speed Test on Mainline

### 3. 결 론

본 논문에서는 동력분산형 차량에 적용가능한 수냉각방식 430km/h급 추진제어장치를 제시하였다. 국내 최초로 수냉각방식을 적용하여 추진제어장치의 하드웨어를 설계 및 제작하였으며, 철도차량에 적용되는 각종 시험 및 본선 시운전을 통해 421.4km/h 속도까지 냉각 성능 신뢰성을 만족함을 확인하였다.

현재 시험차량은 차량 성능 안정화를 위한 본선 시운전을 계속 시행 중에 있다. 내년 최고속도 430km/h 달성을 위한 추가 증속 시험을 진행할 예정이다. 향후 증속시험을 통해 최종 성능 신뢰성이 검증되면 국내 동력분산형 상업운전 차량에 적용될 수 있으며 향후 해외 고속철도 시장에도 수출될 수 있으리라 사료된다.

### 참고문헌

- [1] Yoshitaka Yasui, Ryosuke Furuta (2007) Development of high performance main electrical circuit system, *JR EAST Technical Review*, No.8, pp. 11-14.
- [2] 김태운, 이상균, 정은성, 한정수 (2012) 철도차량용 수냉식 파워 모듈, 대한민국 특허청 (등록번호:1011449400000)