

논문 19-12-10

# 제어 신호를 이용한 고속철도 전장품의 특성 및 고장 분석

## Characteristics and Fault Analysis of Electric Devices for High-Speed Railway using Control Signal

한영재<sup>1,a</sup>  
(Young-Jae Han<sup>1,a</sup>)

### Abstract

The most important thing to secure safety and reliability of railway vehicles is to verify performance characteristics of equipments, and related companies or research institutes had many efforts to verify performances and functions of equipments synthetically and efficiently. KHST(Korean High Speed Train) has been developed by KRRI (Korea Railroad Research Institute). An electric railway system is composed of high-tech subsystems, among which main electric equipment such as transformers and converter are critical components determining the performance of rolling stock. We developed a measurement system for on-line test and evaluation of performances of KHST. The measurement system is composed of software part and hardware part. Perfect interface between multi-users is possible. A new method to measure temperature was applied to the measurement system. By using the system, fault diagnosis and performance evaluation of electric equipment in Korean High Speed Train was conducted during test running.

**Key Words** : Electric device, Railway, On-line test, Measurement system, Fault analysis

### 1. 서론

프랑스, 독일, 일본 등을 비롯한 철도 선진국의 부품업체들은 여러 차종에 취부되는 전장품들을 개발하고 다년간에 걸쳐 운영해왔기 때문에 부품 설계, 제작기술이 국내보다도 높은 수준에 있다. 따라서 그들이 개발한 철도차량 전장품에 대한 성능을 파악하기 위해 우수한 성능을 가진 계측, 분석 및 평가시스템을 보유하고 있다[1,2].

이러한 계측장비들은 주요 전기장치에 대한 계측 및 분석을 통한 시험을 평가하고 완성차 시험이나 본선시운전 시험시에 발생할 수 있는 고장원인을 찾아내고 해결하는데 많은 도움을 주고 있다[3,4].

핵심전장품인 추진시스템에 사용된 제어기술은 초기에는 초퍼방식을 이용한 직류전동기 구동방식에서 전류형 인버터를 사용한 동기전동기 제어방식으로 바뀌었다. 최근 들어 전압형 인버터에 의한 유도전동기 구동방식으로 변화하고 있다[5-8].

또한 승객들이 느끼는 승차감을 향상시키기 위해 슬립과 슬라이드를 방지하기 위한 재점착제어에 대한 연구도 활발히 수행되어왔다[9-11].

한편, 한국형 고속철도차량은 7량 1편성으로 구성되어 있으며, 현재 오송기지에서 본선시운전 시험중에 있다. 이 차량에 취부된 여러 장치들의 성능을 파악하기 위해서 다양한 신호를 측정하기 위한 측정시스템이 구축되어있다.

본 논문에서는 차량신호 및 제어신호를 이용하여 고속열차에 설치되어있는 전장품들에 대한 성능 특성과 고장을 분석하여 연구하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 추진시스템

1. 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단  
(경기도 의왕시 월암동)

a. Corresponding Author : yjhan@krii.re.kr

접수일자 : 2006. 9. 18

1차 심사 : 2006. 10. 26

심사완료 : 2006. 11. 15

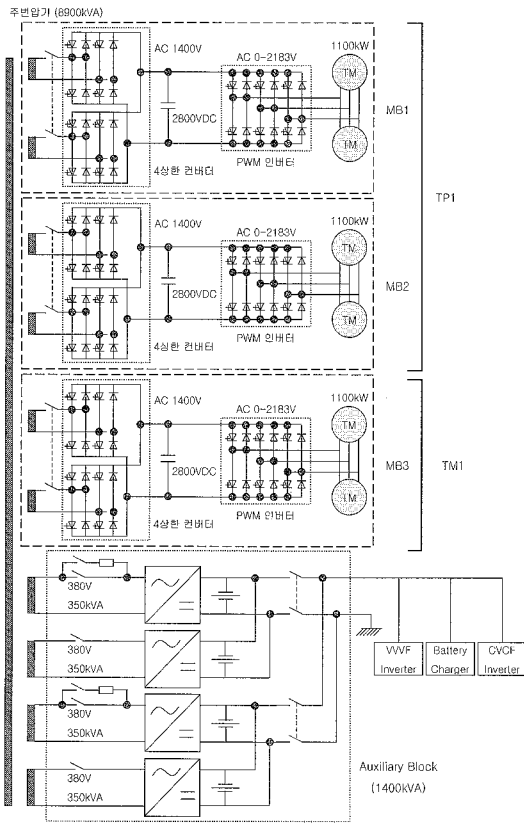


그림 1. 주회로 시스템.  
Fig. 1. Main circuit system.

추진시스템은 컨버터 2대를 병렬운전하고 인버터 1대로 견인전동기 2대를 구동하는 구조를 한 MB(이하 Motor Block)이며, 동력차의 경우는 3개의 MB로 구성된다. MB는 IGCT(Integrated Gate Commutated Thyristor), Diode 각 2개씩으로 구성된 브릿지 1arm을 하나의 Stack으로 조립하여 컨버터용 4개 Stack, 인버터용 3개 Stack과 별도의 Chopper Stack 1개 등으로 구성되며 직류단 콘덴서, 각부의 전압, 전류검지기 및 제어부가 포함된다[12].

컨버터 시스템은 직류 링크전압을 2,800 V DC로 제어하고 컨버터 1대 용량은 약 1,238 kVA로 하며 입력단 전압은 1,400 V AC이다. 이런 형태의 컨버터를 사용함으로써 입력 역률이 1에 근접하도록 제어가 가능하다. 또한 회생제동시에 에너지를 입력측으로 환원할 수 있으며 입력전류를 정현파 형태로 할 수 있으며 병렬운전에 의해 입력측 고조파 성분을 대폭 줄일 수 있다.

표 1. 컨버터부 주요 사양.

Table 1. Main specification of converter.

항 목		내 용	
전 기 적 사 양	용 량	1,300 kVA × 2	
	입력측	정격전압	1,400 V AC
		정격전류	930 A
	출력측	출력전압	2,800 V DC
출력전류		884 A	
시 스 템 구 성	구 성	컨버터 2대 병렬운전	
	반도체소자	IGCT	
	냉각 방식	Heat Pipe식 Heat Sink	
	제어 방식	PWM(일정전압/역률제어)	
	스위칭 주파수	540 Hz	

표 2. 인버터부 주요 사양.

Table 2. Main specification of inverter.

항 목		내 용	
전 기 적 사 양	용 량	연속정격 : 2,730 kVA	
	입력측	정격전압	2,800 V DC
		정격전류	884 A
	출력측	출력전압	AC 0~2,183 V (선간전압)
		출력전류	7,474 A
최대주파수		143 Hz	
시 스 템 구 성	구 성	1C2M	
	반도체 소자	IGCT(4,500 V/4,000 A)	
	냉각 방식	Heat Pipe식 Heat Sink	
	제어 방식	VVVF제어, 회생제어	
	스위칭 주파수	540 Hz	
입력 필터(FC)	16,000 uF		

2.2 전장품의 주요 사양

한국형 고속전철에 사용되는 전력변환장치의 주요제원은 표 1~표 2와 같다.

2.3 주요 장치의 신호입력

제작된 고속철도차량은 6대의 MB와 12대의 유도전동기가 탑재되어있다. 3대 MB는 현대중공업에서, 3대 MB는 로템에서 제작되었는데, 1대 MB이 2대의 전동기를 제어해주는, 표 2에서와 같이 1C2M방식을 채용하였다.

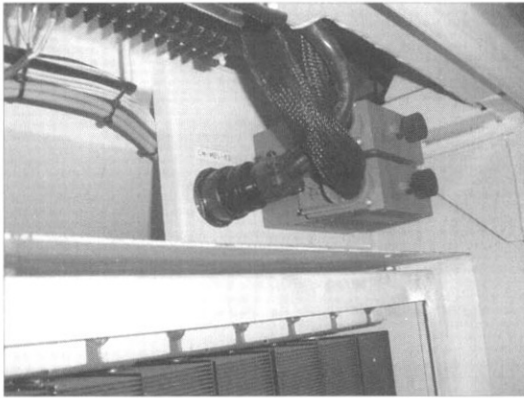


그림 2. MB4 제어기 커넥터 연결.  
Fig. 2. Connector connection of MB4 controller.

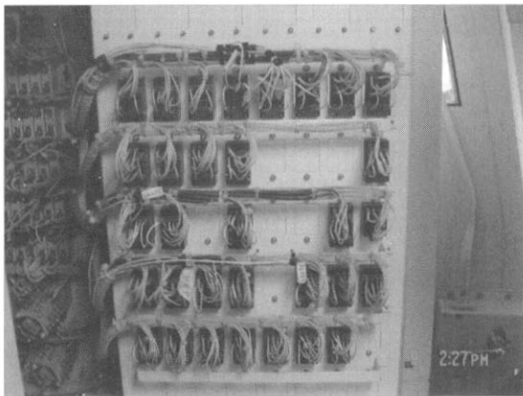


그림 3. Cab cubicle내의 차량 신호.  
Fig. 3. Vehicle signal of cab cubicle.

제작된 MB의 특성을 확인하고 고장을 진단하기 위해 MB 제어기로부터 신호를 입력받았다. 또한 전압과 전류 센서를 추가로 설치하여 다양한 데이터를 입력받도록 하였다.

그림 2는 로템 MB 특성을 확인기 위해 설치된 제어기에 커넥터를 연결한 것으로, 차속속도, 가신 전압, 인버터 출력전류, 토크지령치, 토크실측치 등과 같은 15개의 신호를 입력받는다.

또한 차량상태를 보다 정확히 파악하기 위해 차량의 Cab Cubicle 내에 설치되어 있는 릴레이로부터 VCB(Vacuum Circuit Breaker)상태, 터널진입 신호 등을 계측시스템에서 받을 수 있도록 보완하였다. 그림 3은 차량으로부터 여러 신호들을 받을 수 있도록 신호선을 연결한 것을 보여준다.

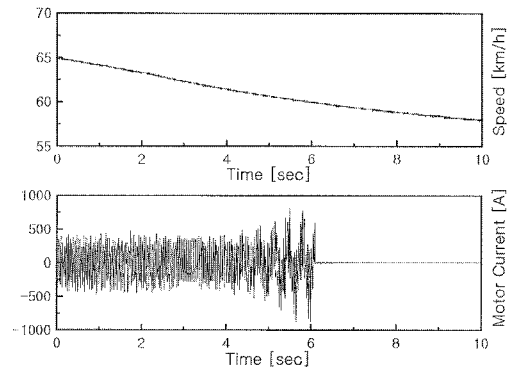


그림 4. 고장시의 전동기 출력 전류.  
Fig. 4. Motor output current in case of fault.

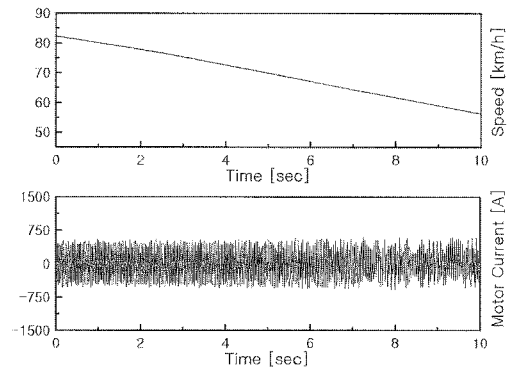


그림 5. 정상시의 전동기 출력 전류.  
Fig. 5. Motor output current in case of ordinary condition.

#### 2.4 프로그램의 구성

모듈별 계측 프로그램은 Hardware configuration, software configuration, Diagnosis 및 Test의 4개 중요한 기능으로 분리되며, 동일한 프로그램으로 Hardware/Software configuration을 수정하여 계측 모듈에서 사용할 수 있도록 하였다.

Test는 실제로 계측된 신호의 현시, 저장 및 이 신호를 이용하여 계산된 값을 저장하는 것이다. 계측의 시작/끝, 데이터의 저장은 주컴퓨터의 지령에 따라 수행되며, 계측신호는 각 모듈의 모든 신호 현시와 이상여부의 확인이 가능하며, 선택적으로 일부 신호를 그래프로 모니터링할 수 있도록 하였다.

#### 2.5 시험결과

그림 4와 그림 5는 MB 제어기로부터 받은 신호 가운데 전동기 전류를 이용하여 고장을 검지한 것

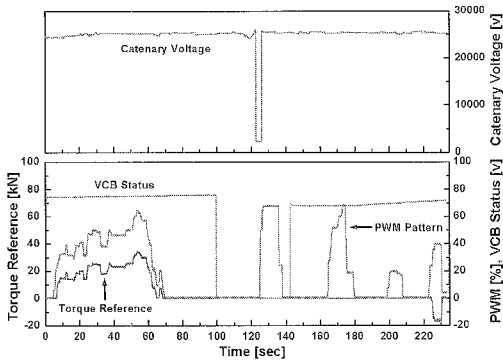


그림 6. 사구간 통과 후의 MB 차단(1).  
Fig. 6. MB cut-off(1) after dead section.

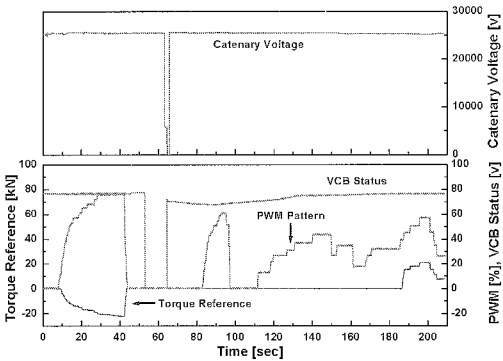


그림 7. 사구간 통과 후의 MB 차단(2).  
Fig. 7. MB cut-off(1) after dead section(2).

이다. 본선 시운전 초기에 제동모드일 경우에, 약 60 km/h 부근에서 제어가 정상적으로 이루어지지 않으며 MB가 차단되는 일이 가끔 발생하였다.

원인을 해결하기 위해 프로그램을 수정한 후에 제동시 전동기 출력 전류 파형을 측정한 것이다. 제어가 원활하게 진행되고 있음을 확인할 수 있다.

추진장치 고장진단을 보다 정확하게 파악하기 위해서, 차량신호인 VCB상태, 가선전압 등을 입력 받아 시험데이터를 분석하는데 이용하고 있다. 그림 6과 그림 7은 사구간 통과시의 여러 파형을 보여준다. 가선전압이 갑자기 떨어지는 곳은 사구간을 통과할 때이다. 가선전압보다 VCB가 먼저 개방되는 것을 볼 수 있다.

정상적인 경우라면, VCB가 투입된 후에 MB이 동작되어야 하는데, 두 그림에서 볼 수 있는 것처럼, 사구간을 통과한 직후에 VCB가 투입되고 PWM(Pulse Width Modulation)값이 변하는데도

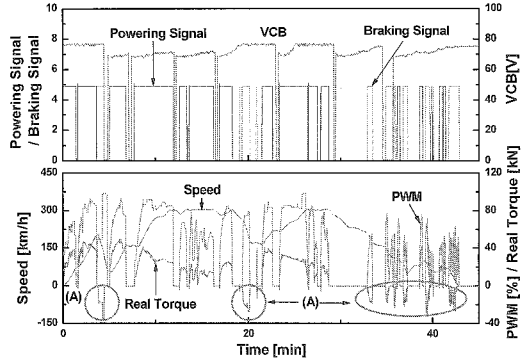


그림 8. 모터블럭 신호 파형.  
Fig. 8. Signal wave of motor block.

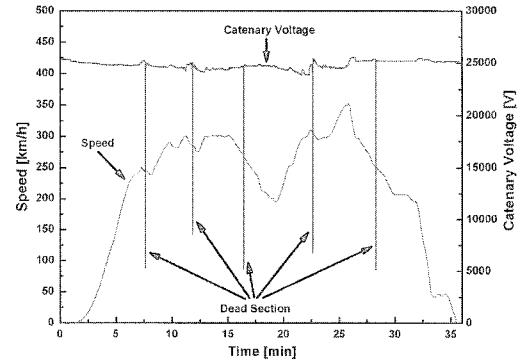


그림 9. 350 km/h 속도에서의 전차선 전압.  
Fig. 9. Voltage level converter.

Torque Reference가 변하지 않는 것을 알 수 있다. 또한 1~2분의 시간이 경과한 뒤에 MB이 살아서 정상적으로 가동되는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 사구간 진출입시의 모터블럭 기동 및 차단과 관련된 프로그램을 수정한 후에 오송에서 동대구 방향으로 차량을 운행하며 모터블럭 상태를 확인한 파형이다. PWM값이 변함에 따라 토크 실측치도 바뀌고, 전 구간에 걸쳐 모터블럭이 정상적으로 동작하고 있음을 확인할 수 있다. (A)와 같이 토크실측치가 (-)값으로 나타날 때는 모터블럭이 회생제동할 때이다.

그림 9는 350 km/h의 속도로 한국형 고속전철을 운행하면서 전차선 전압을 전 구간에 걸쳐 측정한 결과이다. 전차선 전압이 순간적으로 떨어진 이유는 사구간 (절연구간)을 통과할 때 가선으로부터 전압을 급전 받지 못하기 때문이다. 일반적으로 전차선 전압이 AC 19,000 ~ 27,500 V 사이에 있

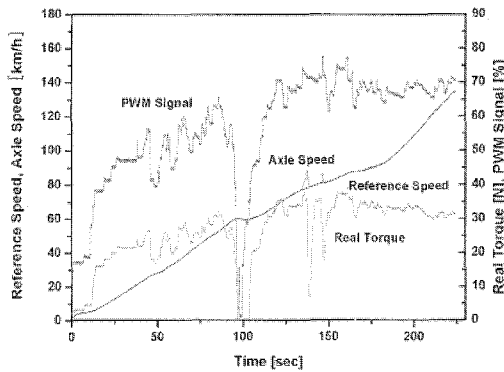


그림 10. Anti 슬립 제어.  
Fig. 10. Anti slip control.

을 때 안정적이라고 판단하는데, 전 구간에 걸쳐 계측된 전압이 25,000 V 근처에서 변동하므로 기준치 이내임을 확인할 수 있었다.

차량이 비나 눈이 오는 경우에 슬립이 발생하는 경우에도 추진장치가 정상적으로 제어하는지를 확인하기 위해 슬립시험을 실시하였다. 차상에서 비눗물을 호스를 통해 뿌려가며 일부러 슬립이 발생하도록 하였다. 그림 10에서 볼 수 있는 것처럼, 기준속도에 비해 동력차축 속도가 순간적으로 증가하면 토크를 줄여주는 것을 알 수 있다. 공전 발생에 따른 제어가 정상적으로 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

7량 1편성으로 구성된 한국형 고속열차에 설치되는 주요 전장품은, 차량의 신뢰성과 안정성을 결정하는 중요한 장치이다. 이들 장치에 대한 성능 확인을 위해 차량신호 및 제어신호를 종합계측시스템에 입력받도록 하였다.

본 논문에서는 7량 1편성으로 구성된 한국형 고속열차의 핵심전장품의 특성과 고장을 분석하였다. 이를 통해 전동기 전류 파형과 사구간 통과시의 MB신호들을 측정하여 각 장치의 안정화에 큰 도움을 줄 수 있었다.

또한, 전구간에 대한 MB과 전차선 전압 계측을 통해 장시간의 운행에도 MB가 정상 동작하고, 전차선 전압도 AC 19,000 ~ 27,500 V 사이에 있어 기준치 이내임을 알 수 있으며, 슬립 발생 시험을 통해 공전 발생에 따른 Anti 슬립 제어가 원활히 이루어지는 것을 확인하였다.

### 감사의 글

본 내용은 건설교통부에서 시행한 고속철도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

### 참고 문헌

- [1] W. T. Tomson, "On-line Monitoring to detect electrical and mechanical faults in three-phase induction motor drives", Life management of plants, Conference Publication, No. 401, IEE 1994.
- [2] P. Masini and G. Puliatti, "Virtual Acquisition Systems for Global Analysis (VASGA) in Experimentation", WCRR, p. 279, 1997.
- [3] 김석원, 김영국, 한영재, 박찬경, 김진환, 백광선, "고속철도 시운전시험 계측시스템 개발에 관한 연구", 한국철도학회지, 5권, 3호, p. 158, 2002.
- [4] Y. J. Han, S. W. Kim, Y. G. Kim, C. S. Park, S. G. Lee, and J. Y. Kim, "A study on traction system characteristics of high speed train", ICCAS, p. 1720, 2003.
- [5] T. Tsuboi and K. Nakamura, "Control system for traction drives", Hitachi Review, Vol. 35, No. 6, p. 311, 1986.
- [6] S. Nishi, T. Miyashita, Y. Jimbo, and T. Ishikawa, "High power inverter controlled electric locomotive", Hitachi Review, Vol. 40, No. 4, p. 291, 1991.
- [7] S. Tamai, M. Koyama, T. Fujii, S. Mizoguchi, and T. Kawabata, "3 level GTO converter-inverter pair system for large capacity induction motor drive", Proc. EPE, p. 45, 1993.
- [8] A. M. Hava, "Simple analytical and graphical method for carrier-based PWM-VSI drives", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 14, No. 1, p. 49, 1999.
- [9] T. Watanabe and M. Ogasa, "Realization of Anti-Slip/Slide Control in Railway Motor Vehicles by Velocity Feedback Torque Control", The European Power Electronics Association, p. 156, 1993.
- [10] D. Y. Park, M. S. Kim, D. H. Hwang, J. H. Lee, and Y. J. Kim, "Hybrid Re-adhesion control method for traction system of high-speed railway", ICEMS'2001 proc., p. 111, 2001.
- [11] H. J. Ryoo, S. J. Kim, G. H. Rim, Y. J.

Kim, and M. S. Kim, "Novel anti-slip/slide control algorithm for Korean high-speed train", IECON'2003, Vol. 3, p. 2570, 2003.

[12] 한영재, "추진장치의 고장진단과 성능특성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 18권, 2호, p. 153, 2005.