

추진장치 제어신호를 이용한 고장진단

한영재\*, 김석원\*, 김영국\*, 한성호\*, 김종영\*, 노애숙\*\*  
\*한국철도기술연구원, \*\*로템

Fault Diagnosis Using the Control Signal of Propulsion Equipment

Young-Jae Han\*, Seog-Won Kim\*, Young-Guk Kim\*, Seong-Ho Han\*, Jong-Young Kim\*, Ae-Suk Rho\*\*  
\*Korea Railroad Research Institute, \*\*ROTEM

**Abstract** - 고속철도는 수많은 하이테크 기술의 결정체이며, 이 중에서도 추진장치는 차량의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 이러한 전장품들에 대한 다양한 성능을 평가하고 진단하기 위해 상시계측시스템을 구축하여 활용하고 있다.  
이러한 계측장비들은 여러 전장품에 대한 계측 및 분석을 통한 시험평가와 동시에 완성차 시험이나 본선시운전 시험시에 발생할 수 있는 고장원인을 찾아내고 해결하는데 많은 도움을 주고 있다. 본 논문에서는 상시계측시스템을 통해 추진장치에 대한 고장진단을 실시한 내용에 대하여 기술하였다.

고 회생제동시에 에너지를 입력측으로 환원할 수 있으며 입력전류를 정현파 형태로 할 수 있으며 병렬운전에 의해 입력측 고조파 성분을 대폭 줄일 수 있다.  
한국형 고속전철에 사용되는 인버터와 컨버터의 주요 제원은 표1~표2와 같다.

1. 서 론

고속철도차량의 국내기술확보를 위해 최고운행속도 350km/h의 한국형 고속전철시스템을 개발하여 단품시험, 완성차시험, 공장시험 등을 통해 기본적인 성능을 확인한 후 현재는 본선시운전 시험이 진행중이다.  
차량의 고속화와 관련해서는 안정성, 신뢰성, 유지보수비 및 에너지 저감 등이 요구됨에 따라 이러한 요구조건을 충족시킬 수 있는 전장품을 개발하기 위해 선진국 업체들이 힘쓰고 있다.  
프랑스, 독일, 일본 등을 비롯한 철도 선진국의 부품 업체들은 여러 차종에 취부되는 전장품들을 개발하고 다년간에 걸쳐 운영해왔기 때문에 부품설계, 제작기술이 국내보다도 높은 수준에 있다. 따라서 그들은 개발한 철도차량 전장품에 대한 성능을 파악하기 위해 우수한 성능을 가진 계측, 분석 및 평가시스템을 보유하고 있다.  
그리고 계측장비들도 계측 및 분석을 통한 시험평가와 동시에 완성차시험이나 본선시운전 시험시에 발생할 수 있는 고장원인을 찾아내고 해결하여 차량 시스템의 신뢰성, 안정성, 유지보수성을 높이고 있다.  
본 논문에서는 계측시스템을 이용하여 추진장치를 고장진단한 내용에 대해 서술하고 있다.

2. 본 론

2.1 추진시스템

추진시스템은 컨버터 2대를 병렬운전하고 인버터 1대 로 견인전동기 2대를 구동하는 구조를 한 MB(이하 Motor Block)이며, 동력차의 경우는 3개의 MB로 구성된다. MB는 IGCT, Diode 각 2개씩으로 구성된 브릿지 1arm 하나의 Stack으로 조합하여 컨버터용 4개 Stack, 인버터용 3개 Stack과 별도의 Chopper Stack 1개 등으로 구성되며 직류단 콘덴서, 각부의 전압, 전류검지기 및 제어부가 포함된다.  
컨버터 시스템은 직류 링크전압을 2,800V DC로 제어하고 컨버터 1대 용량은 약 1,238kVA로 하며 입력단 전압은 1,400V AC이다. 이런 형태의 컨버터를 사용함으로써 입력 역률이 1에 근접하도록 제어가 가능하

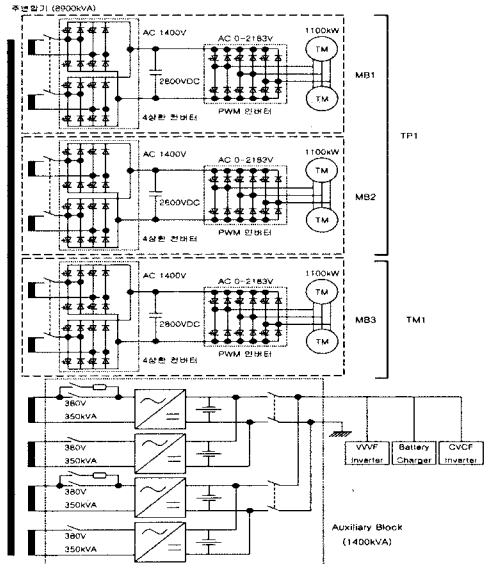


그림 1. 주회로 시스템

표 1. 인버터부 주요 사양

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

표 2. 컨버터부 주요 사양

항 목		내 용	
전기적 사양	용 량	1,300kVA × 2	
	입력측	정격전압	1,400VAC
		정격전류	930A
	출력측	출력전압	2,800VDC
출력전류		884A	
시스템 구성	구 성	컨버터 2대 병렬운전	
	반도체소자	IGCT	
	냉각 방식	Heat Pipe식 Heat Sink	
	제어 방식	PWM(일정전압/역률제어)	
	스위칭 주파수	540Hz	

2.2 계측시스템

한국형 고속전철은 7량 1편성이며, 6개의 MB에 의해 12대의 견인전동기가 구동되고 있다. MB 1,2,3호기는 H사에서, 4,5,6호기는 R사에서 제작하였다. 제작된 MB에 대한 성능을 확인하기 위해 제어기를 설치하였으며, 보다 정확한 계측을 위해 MB 4호기에 CT와 PT를 추가로 설치하여 데이터를 취득하였다.

그림 2와 그림 3은 H사에서 제작된 MB 제어기에 각종 데이터를 얻기 위한 커넥터를 연결하고 전압을 DC 15V에서 DC 5V로 변환시켜 주기 위한 신호변환기의 외형을 보여준다. 한 대의 MB에 설치된 커넥터는 가선전압, 토크지령치, 토크실측치 등을 포함한 13개의 추진장치와 관련된 신호들을 계측시스템에 제공한다.

또한 한 대의 전압 레벨 변환기는 17개의 신호를 동시에 입력받아 처리할 수 있도록 제작되었다. 따라서 MB 1,2,3호기의 성능 확인을 위해 총 39개의 신호를 계측시스템에서 입력받는다.

그림 4는 R사에서 제작한 MB의 성능을 확인하기 위해 설치한 커넥터를 보여준다. 각 MB으로부터 차속속도, 가선전압, 인버터 출력전류, 토크지령치, 토크실측치 등과 같은 15개의 신호를 입력받는다. 따라서 3대의 MB로부터 총 45개의 제어신호를 계측시스템에 보내준다.

주변압기와 전동기 온도 측정을 위해 계측시스템에 신호를 입력받기 위한 방법은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째는, 측정위치로부터 직접 계측장비에 온도값이 입력되도록 한 경우이다. 이 때는 노이즈 방지를 위해 접촉부위에 운모를 사용하였다. 두 번째는 견인전동기 온도를 입력받을 때처럼, 제작시에 미리 심어둔 온도센서로부터 온도를 입력받아 컨디셔너를 거친 후에 계측장비로 입력되는 경우이다.

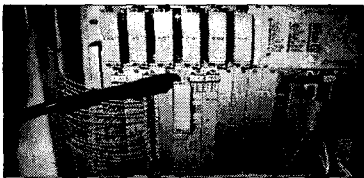


그림 2. MB1 제어기 커넥터 연결



그림 3. 전압 레벨 변환기



그림 4. MB1 제어기 컨버터 연결

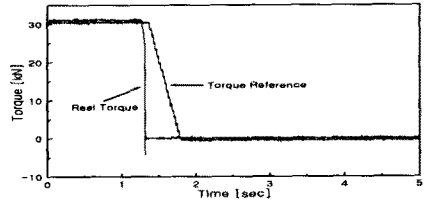
2.3 시험결과

추진장치 제어기로부터 나오는 컨버터 1군 전류, 컨버터 2군 전류, 속도, 토크지령치 및 토크실측치 신호 등을 각 MB으로부터 계측시스템으로 입력받고 있다. 이 중에서 토크지령치와 토크실측치를 비교하여 MB의 고장을 진단할 수 있다.

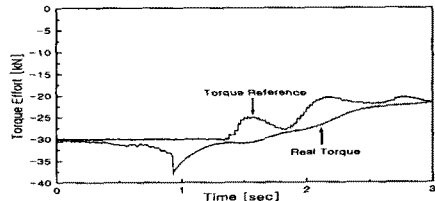
그림 5는 시운전 초기에 발생한 고장을 진단한 것으로, 고장발생원인을 찾아낸 후 정상적으로 제어가 될 수 있도록 프로그램을 수정 보완하였다. 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 토크지령치가 토크실측치보다도 더 앞서가고, 토크실측치는 추종하지 못해 MB이 차단되는 현상을 볼 수 있다.

그림 5(b)는 토크지령치와 토크실측치의 파형을 확대한 것으로, 토크지령치가 토크실측치를 따라가지 못하는 현상을 정확하게 볼 수 있다.

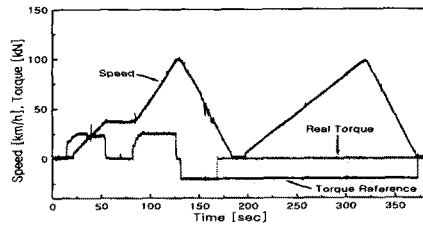
그림 5(c)는 활주가 발생하였을 때, 제어가 잘 이루어지지 않고, 그 이후에 MB이 격리되는 것을 보여준다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 고장시의 토크지령치와 토크실측치

그림 6은 고장에 의한 영향을 보완한 이후의 토크지령치와 토크실측치를 비교한 것으로 토크지령치와 토크실

측치가 거의 동일한 값을 나타내고 있다.

그림 7과 그림 8은 MB으로부터 받은 신호 중에서 전동기 전류를 이용하여 MB에 대한 고장진단을 실시한 것을 보여준다. 본선시운전 초기에, 그림 7에서 보는 것처럼 제동모드에서 속도가 줄어 들 때, 인버터에 의한 제어가 제대로 이루어지지 않아 MB이 차단되는 현상이 종종 발생하였다.

그림 8은 이러한 문제를 해결하기 위해 인버터 프로그램 수정한 후에 전동기 전류 파형을 측정 한 결과이다. 인버터에 의한 전동기제어가 정상적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다.

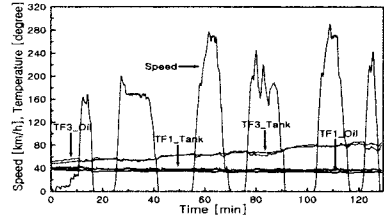


그림 9. 주변압기 과온 검지

### 3. 결 론

고속전철에 설치되는 추진장치는 차량의 성능에 큰 영향을 주는 장치로, 시운전을 실시하는 도중에 고장이 발생하였을 경우, 고장원인을 정확하게 빠른 시간내에 진단할 수 있는 것은 차량의 신뢰성과 안정성 확보를 위해 매우 중요한 일이다.

본 연구에서는 한국형 고속철도 추진장치에 대한 성능평가와 고장진단을 실시하기 위해 개발된 상시계측시스템을 이용하여 추진장치에 대한 고장진단을 실시한 연구결과를 보여준다.

시험결과에서 볼 수 있는 것처럼, 시운전시에 발생 가능한 여러 고장에 대해 본선시운전 운행시, 또는 운행 후의 계측 분석을 통해 고장진단을 정확하게 실시하여 추진장치의 안정화에 많은 도움을 얻을 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] R. Marquardt, "High Power Converter for the New German High Speed Train ICE", EPE/89, pp.583-587, 1989.
- [2] T.Miyashita, H.Yamaguchi, N.Okamoto, High Power Inverter Locomotives", The Japan Society of Mechanical Engineers, pp.238-241, November 22-26, 1993.
- [3] Wolfgang Runge et. al., "Some Aspects of the Circuit Design of High-Power GTO Converters", EPE/89, pp.155 5-1560, 1989.
- [4] J. Ito, Y. Hagiwara, N. Yoshie, "Development of The IGBT Applied Traction System For The Series 700 Shinkansen High-Speed Train", International Conference on Developments in Mass Transit System, 20-23 April 1998, Conference Publication No.543, pp.25-30, IEE 1998.
- [5] Bin Wu et al., "PWM-CSI Inverter for Induction Motor Drives", IEEE Trans on IAS, Vol.28, No.1, pp.64-71, Jan/Feb, 1992.
- [6] Takashi Tsuboi, Kiyoshi Nakamura, "Control System for Traction Drives", Hitachi Review Vol.35, No.6, pp.311-316, 1986.
- [7] Paolo Masini and Giovanni Puliatti, "Virtual Acquisition Systems for Global Analysis (VASGA) in Experimentation", WCRR, pp. 279-286, 1997.
- [8] 전력변환장치 개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(1999), 전 교부, 산자부, 과기처.

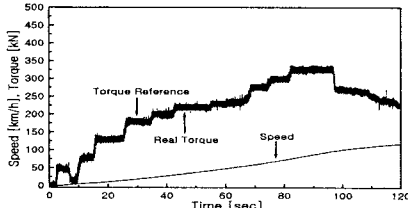


그림 6. 정상시의 토크지령치와 토크실측치

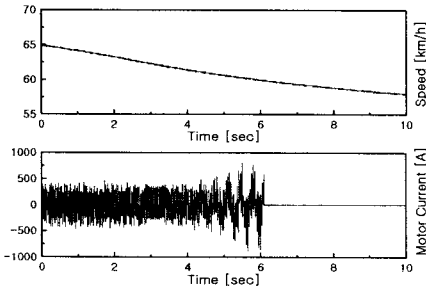


그림 7. 전동기 전류에 의한 고장진단

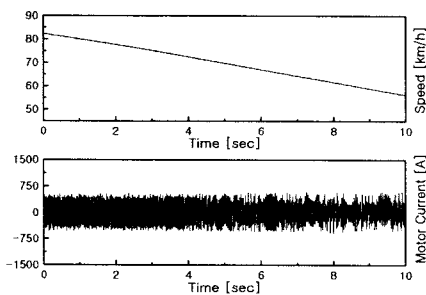


그림 8. 정상시의 전동기 전류

변압기의 내구성 수명에 큰 영향을 주는 온도특성을 파악하기 위해 변압기 오일과 외함에 온도센서를 붙이고 커넥터를 거쳐 직접 계측장비로 신호를 입력받고 있다.

실제 본선시운전 도중에 그림 9에서 볼 수 있는 것처럼, 동력객차(TM5)에 취부된 변압기(TF3)의 온도가 다른 변압기에 비해 급격하게 상승하였고, 확인해 본 결과 냉각팬이 돌지 않는 것을 확인하였다.