

상시계측을 통한 전장품의 고장진단에 관한 연구

한영재*, 김기환*, 박춘수*, 한성호*, 이우동*, 김종영*, 정은성**

*한국철도기술연구원, **로템

A Study on Fault diagnosis of Electric Equipment using Ordinary Measurement

Young-Jae Han*, Ki-Hwan Kim*, Chang-Su Park*, Seong-Ho Han*, Woo-Dong Lee*,
Jong-Young Kim*, Eun-Seong Jung**

*Korea Railroad Research Institute, **ROTEM

Abstract - 고속철도는 수많은 하이테크 기술의 결정체이며, 이 중에서도 주변압기, 주전력변환장치 및 주전동기는 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 완성차시험이나 본선시운전 시험시에 발생할 수 있는 고장원인을 찾아내고 해결하는데 많은 도움을 주고 있다. 본 논문에서는 상시계측시스템을 통해 주변압기, 주전력변환장치, 전동기 등에 대한 고장진단을 실시한 내용에 대하여 연구하였다.

1. 서 론

최근들어 남북철도나 대륙횡단열차 등에 대한 사업성 조사가 시작되면서 고속철도차량에 대한 관심이 고조되고 있다. 항공기와 선박 등 타교통수단과 비교하여 철도차량은 정시성, 안정성, 경제성 및 환경친화성의 장점을 가지고 있기 때문에 앞으로도 철도차량에 대한 의존도가 더욱 높아지고 고속화에 대한 관심도 많아질 것으로 예상된다.

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 그들이 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 주변압기, 주전력변환장치 및 전동기를 고장진단한 내용에 대해 서술하고 있다.

2. 본 론

2.1 주요 장치의 신호 입력

한국형 고속전철은 7량 1편성이며, 6개의 Motor Block에 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 1과 그림 2는 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, 토크실속치 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 3은 R사에서 제작한 MB의 성능을 확인하기 위해 설치한 커넥터를 보여준다. 각 MB으로부터 차속속도, 가선전압, 인버터 출력전류, 토크지령치, 토크실속치 등과 같은 15개의 신호를 입력받는다. 따라서 3대의 MB로부터 총 45개의 제어신호를 계측시스템에 보내준다.

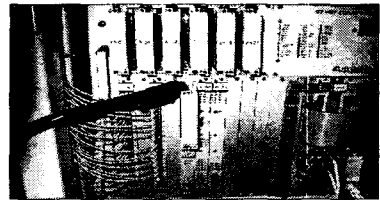


그림 1. MB1 제어기 커넥터 연결

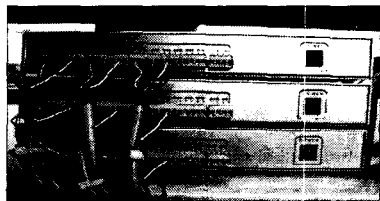


그림 2. 전압 레벨 변환기



그림 3. MB4 제어기 커넥터 연결

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 온도를 사용하였다. 두 번째는 전인전동기 온도를 입력받을 때처럼, 제작시에 미리 심어둔 온도센서로부터 온도를 입력받아 컨디셔너를 거친 후에 계측장비로 입력되는 경우이다.

2.2 전장품의 주요 사양

한국형 고속전철에 사용되는 변압기, 전력변환장치 및 전동기의 주요제원은 표1~표4와 같다.

표 1. 변압기의 주요 사양

구분	동력차용	동력객차용
상수 및 주파수	단상 60Hz	
용량(kVA)	일차	8,900
	견인	1,250 × 6
	보조	350 × 4
전압(kV)	일차	25
	견인	1.4 × 6
	보조	0.380 × 4

표 2. 컨버터부 주요 사양

항목	내용	
전기적 사양	용량	1,300kVA × 2
	정격전압	1,400VAC
출력 사양	정격전류	930A
	출력전압	2,800VDC
시스템 구성	출력전류	884A
	구성	컨버터 2대 병렬운전
시스템 구성	반도체소자	IGCT
	냉각 방식	Heat Pipe식 Heat Sink
	제어 방식	PWM(일정전압/역률제어)
	스위칭 주파수	540Hz

표 3. 인버터부 주요 사양

항목	내용	
전기적 사양	용량	연속정격 : 2,730kVA
	정격전압	2,800VDC
출력 사양	정격전류	884A
	출력전압	AC 0~2,183V(선간전압)
	출력전류	7,474A
	최대주파수	143Hz
시스템 구성	구성	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 4. 전동기의 주요 사양

형식	3상 동형 유도전동기	
사양	총 대수	12대
	프레임구조	프레임레스
	추진장치	IGCT 제어
제원	상수/극수	3상/4극
	출력	1,100 kW
	전압	2,183 V
주파수	143 Hz	

그림 3은 전인전동기 온도와 관련된 여러 정보를 입력받는 계측시스템의 외형도로서 동력객차에 설치되어 있다. 이 상시 시스템을 통해 전인전동기의 온도를 실시간으로 입력받을 수 있다.

2.3 시험결과

철도차량에서 발생하는 슬립과 슬라이드는 차량의 안전과 직결되는 요소이기 때문에, 이를 방지해 주기 위해 많은 연구가 수행되어왔다. 그러나, 각 차축에 대한 속도시험을 개별적으로 시험해 왔기 때문에, 전체 차량에서 동일한 차축속도를 받고 있는지를 확인하는데는 어려움이 많았다.

위와 같은 단점을 보완하기 위해 한국형 고속전철 상시계측시스템에서 전체 차축속도를 동시에 측정하였다. 그림 4는 시운전 초기에 발생한 슬립과 슬라이드 현상을 보여주고 있다. 그림 4. (a)에서는 기준속도와 동력차축속도를 비교한 것으로, 슬립이 발생하는 현상을 계측시스템을 통해 감지하였다. 역행중일 때, 기준속도에 비해 동력 차축속도가 급격하게 상승했다가 다시 줄어드는 현상을 볼 수 있다. 그림 4. (b)에서는 제동시 슬라이드 제어가 정확하게 이루어지지 않아서 기준속도와 차륜이 발생한 차축의 속도가 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

그림 5. (a)와 (b)는 TCU 프로그램을 수정하고 제어신호선에 대한 노이즈 방지 등을 실시한 후에 슬립과 슬라이드 시험한 결과이다. 여기서 나타난 결과를 보면, 슬립과 슬라이드를 방지하기 위한 제어가 잘 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

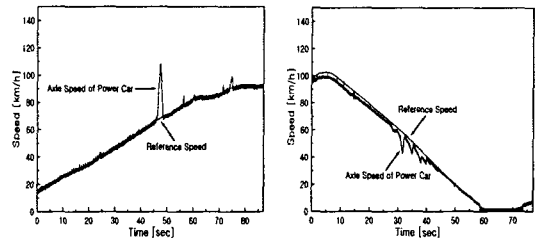


그림 4. 슬립과 슬라이드 발생

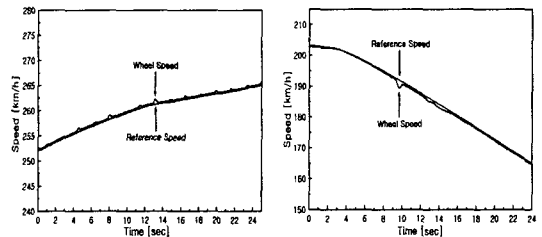


그림 5. 프로그램 수정후의 슬립과 슬라이드

추진장치 제어기로부터 나오는 컨버터 1군 전류, 컨버터 2군 전류, 속도, 토크리얼치 및 토크실측치 신호 등을 각 MB로부터 계측시스템으로 입력받고 있다. 이 중에서 토크리얼치와 토크실측치를 비교하여 MB의 고장을 진단한 결과를 알 수 있다.

그림 6은 시운전 초기에 발생한 고장을 진단한 것으로, 고장발생원인을 찾아낸 후 정상적으로 제어가 될 수 있도록 프로그램을 수정 보완하였다. 그림 6. (a)에서는 바와 같이 토크리얼치가 토크실측치보다도 더 앞서가고, 토크실측치는 추종하지 못해 MB가 차단되는 현상을 볼 수 있다.

그림 6. (b)는 토크리얼치와 토크실측치의 파형을 확대한 것으로, 토크리얼치가 토크실측치를 따라가지 못하는 현상을 정확하게 볼 수 있다. 그림 7은 고장에 의한

영향을 보완한 이후의 토크지령치와 토크실측치를 비교한 것으로 토크지령치와 토크실측치가 거의 동일한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

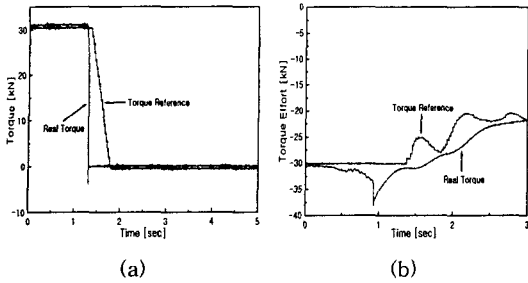


그림 6. 고장시의 토크지령치와 토크실측치

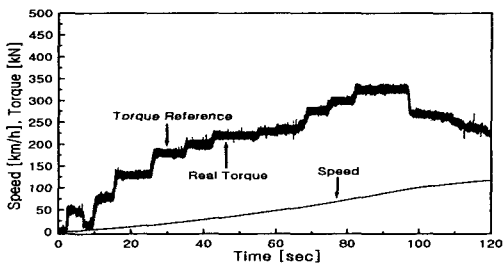


그림 7. 정상시의 토크지령치와 토크실측치

그림 8과 그림 9는 MB으로부터 받은 신호 중에서 전동기 전류를 이용하여 MB에 대한 고장진단을 실시한 것을 보여준다. 본선시운전 초기에, 그림 8에서 보는 것처럼 제동모드에서 속도가 줄어들 때, 인버터에 의한 제어가 제대로 이루어지지 않아 MB이 차단되는 현상이 종종 발생하였다.

그림 9는 이러한 문제를 해결하기 위해 인버터 프로그램 수정 후 전동기 전류 파형을 측정된 결과이다. 인버터에 의한 전동기제어가 정상적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다.

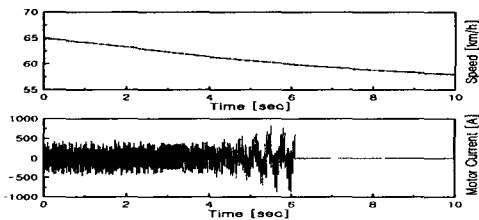


그림 8. 전동기 전류에 의한 고장진단

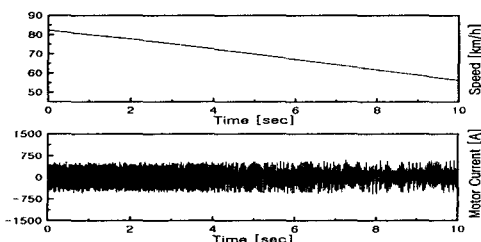


그림 9. 정상시의 전동기 전류

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 10에서 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.

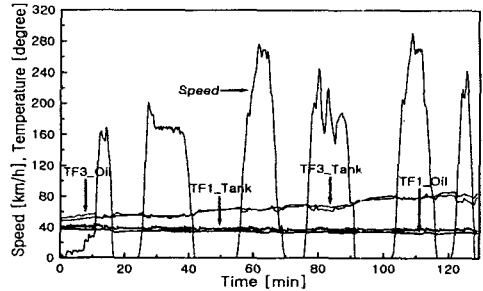


그림 10. 주변압기 과온 검지

3. 결 론

고속전철에 설치되는 전장품들은 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 G7사업의 일환으로 개발된 한국형 고속철도 전장품에 대한 성능평가와 고장진단을 실시하기 위해 개발된 상시계측시스템을 이용하여 주요 전장품에 대해 고장진단한 연구결과를 보여준다.

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

감사의 글

본 내용은 건설교통부에서 시행한 고속철도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

[참 고 문 헌]

- [1] Paolo Masini and Giovanni Puliatti, "Virtual Acquisition Systems for Global Analysis (VASGA) in Experimentation", WCCR, pp.279~286, 1997.
- [2] Y.J.Han et al., "A study on traction system characteristics of high speed train", pp. 1720~1723, ICCAS 2003
- [3] 한영재외 4명, "고속철도차량용 전기장치의 온도특성에 관한 연구", 2003년도 12월 특별호, pp. 1210~1216, 전기전자재료 학회지
- [4] 한영재외 4명, "고속철도 전기장치의 특성에 관한 연구", 2003. 4, pp. 435~437, 대한전기학회 춘계학술대회
- [5] 김석원, 김영국, 백광선, 김진환, 한영재, "고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(1)-하드웨어", 철도학회 추계학술대회, pp. 168 173, 2002.