

한국형 고속전철 전동기 온도 특성

한영재\*, 김기환\*, 이태형\*, 구훈모\*, 김정철\*\*  
 \*한국철도기술연구원, \*\*로템

Temperature Characteristics for Traction Motor of Korean High Speed Train

Young-Jae Han\*, Ki-Hwan Kim\*, Tae-Hyoung Lee\*, Hun-Mo Koo\*, Jeong-Cheol Kim\*\*  
 \*Korea Railroad Research Institute, \*\*ROTEM

**Abstract** - There are various elements that have influence on safety and reliability of high-speed railway vehicles. Among them, mechanical characteristics of traction motors are very important. Therefore, we verified that temperature characteristics have influence on damage and durability of these parts.

We designed a measurement system for temperature test, and could measure the temperature of each device by the system. As the result of temperature test, we could confirm that the traction motors on Korean High-Speed Train satisfy the criteria. From this test, we get information of the traction motor about the temperature characteristic during running speed and running time.

제원은 다음의 표 1과 같다.

표 1. 견인전동기의 사양 및 제원

Items	Specifications
Form	3-Phase Squirrel-Cage Asynchronous Motor
Frame Structure	Frameless
Traction Device	1GCT Control
Phase/Polarity	3-Phase/4-Polarity
Output	1,100kW
Voltage	2,183V
Frequency	143Hz

1. 서 론

전력소자의 발달은 고전압, 고출력의 농형 유도전동기의 가변속 구동을 가능하게 하였다. 한국형 고속전철도 유도전동기를 채용하였는데, 유도전동기를 사용했을 경우에는 기존 직류기보다 많은 장점을 지니게 된다. 유지 보수측면에서 유리하고, 경유자 구조의 단점인 회전속도에 제한이 없기 때문에, 고속운전에 의한 소형·경량화가 가능하다. 또한 주전력변환장치에서 주회로의 무접점화가 가능하고 회생제동 및 접착성능을 향상시킬 수 있어서 철도차량용 견인전동기로 채용되고 있는 일반적인 추세이다.

한편, 견인전동기는 운행하는 동안 전동기의 온도가 계속 상승하게 되며, 이러한 온도 상승의 변화는 견인전동기의 수명과 특성에 많은 영향을 미친다. 견인전동기의 온도가 설계시 정해놓은 일정한 기준 온도를 초과하는 경우에는 견인전동기의 과열방지를 위해 모터블럭을 차단함으로써 정상적인 열차운행을 어렵게 만들기도 한다. 따라서 여러 조건 중에서도 견인전동기의 온도 변화를 정확하게 측정 및 감시하여 고속전철의 사고를 미연에 방지하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 논문은 한국형 고속전철을 구동시키는 견인전동기의 성능과 특성을 세밀하게 파악하고 견인전동기의 상태를 실시간으로 감시하기 위해 차량에 상시 계측 시스템을 설치하였다. 또한 이를 위해 견인전동기의 고정자에 온도 센서를 취부하여 계측시스템을 통해 실시간으로 변화하는 온도를 측정 및 저장하였고 그 변화를 모니터링하였다. 이를 통해 한국형 고속전철용 전동기에 대한 계절, 주행속도 및 주행시간에 따른 변화를 살펴보고 이를 통하여 한국형 고속전철 견인전동기의 열적 특성에 대해 확인할 수 있었다.

2. 본 론

2.1 견인전동기의 사양 및 제원

한국형 고속전철의 핵심장치인 유도전동기의 사양 및

한국형 고속전철의 견인전동기는 그림 1과 같은 냉각 구조를 가지고 있으며, 이 냉각공기가 고정자, 공극, 회전자 통풍홀을 경유하는 구조로 된 강제냉각방식이다. 냉각성능 향상을 위해서, 첫번째로 유도기의 프레임은 직류기와 달리 자속이 흐르는 경로가 아니어서 자속경로를 위한 프레임 두께가 요구되지 않으므로 프레임레스 구조를 채택하여 외부와의 냉각되는 면적을 확대한 구조로 제작하였다.

두번째로 전동기 냉각공기의 방향은 대부분 inlet에서 outlet으로 배출되는 단방향 구조로 되어 outlet은 inlet에 비해 온도가 높아져 온도상승에 대한 제약을 받게 된다. 따라서 제작된 견인전동기는 반부하측으로부터 냉각공기가 유입되어 고정자 축방향 통풍홀, 공극, 회전자 통풍홀을 경유하여 부하측으로 공기가 배출되는 구조이다. 여기서, 고정자 및 회전자 축방향은 inlet에 유입된 냉각 공기 일부가 outlet부의 고정자 코일 및 회전자 bar로 유출시켜 온도상승 감소를 도모하였다.

세번째로 유입되는 냉각공기의 원활한 흐름을 위해 반부하측 브라켓과 클램프간에 압력손실 또는 와류발생을 최소화하는 구조로 설계하였다.

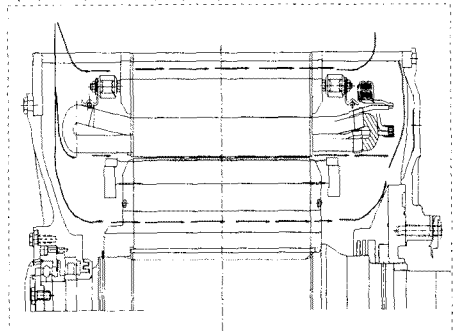


그림 1. 견인전동기의 냉각 구조

### 2.2 측정시스템의 구성

전동기에서 온도가 가장 높게 나타나는 지점은 전체 슬롯방향으로 흡입단에서 2/3지점이 통상적이다. 왜냐하면 코어의 양쪽 끝단부는 냉각공기의 유입과 배출이 자유로워 전동기 중심보다는 온도가 낮고, 냉각공기가 흡입단에서 출구단으로 가면서 코어에서의 열에너지가 흡수하기 때문이다. 전동기 온도가 가장 높은 위치는 2/3 지점의 슬롯내부이지만, 슬롯내부에 센서를 부착시켜 제작하는데 어렵기 때문에 계측을 위한 온도센서는 냉각공기의 슬롯에서 출구단 바로 앞에 설치되었다.

이곳은 온도가 가장 높은 곳에서 10~14cm 정도 떨어져 있으며, 공장내 시험에서 측정된 실제 온도와 가장 높은 지점의 온도 차이는 20~30℃ 정도로 측정되었다. 따라서 현재 측정된 온도가 100℃라면 온도가 가장 높게 나타나는 곳은 130℃ 정도이다.

전동기 온도 측정을 위해 견인전동기 제작시에 미리 온도센서를 심어두고, 이것으로부터 온도를 입력받아 컨디셔너를 거친 후에 계측장비로 입력되도록 하였다. 그림 2는 견인전동기의 온도를 측정하기 위한 구성도를 나타낸다. 그림 3은 견인전동기에서 오는 신호의 노이즈 차폐를 위해 사용된 3B Module을 보여준다.

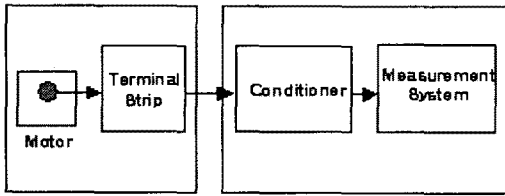


그림 2. 견인전동기의 온도측정 구성도

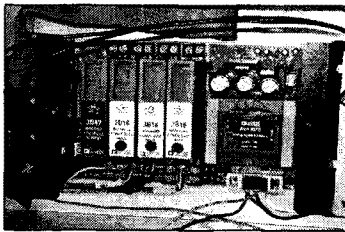


그림 3. 3B Module의 외형

### 2.3 시험결과

견인전동기는 180℃의 기준 온도를 갖고 있으며, 이 기준치를 넘어갈 경우에는 치명적인 고장을 일으킬 수가 있다. 이것을 방지하기 위해서 컨버터와 인버터의 게이트 드라이브 신호 출력을 차단하고 접촉기를 차단하여 모터블록의 가동을 중단시키고 있다.

그림 4는 광명-천안간 시운전 시험 중 300km/h 속도에서 견인전동기의 온도 변화를 살펴본 것이다. 견인전동기의 초기온도는 차량이 출발하기 전의 온도로서 약 27~30℃ 정도로 비교적 정상적인 온도 수치를 보였다.

그림 4를 살펴보면 알 수 있듯이 차량이 운행중일 때는 견인전동기가 항상 기동 중이므로 온도가 계속 상승함을 알 수 있었으며, 견인전동기의 최고 온도가 각각 79~88℃로 나타났다. 따라서 전동기의 최고 온도가 기준 온도 180℃ 이내에 있다는 것을 알 수 있었고, 초기온도와 최고온도의 차이는 약 52~58℃ 정도임을 확인할 수 있었다.

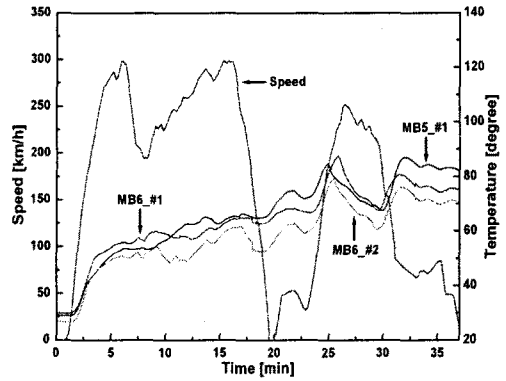


그림 4. 300km/h 속도에서의 전동기 온도

2002년 8월부터 2006년 7월까지 48개월 동안 본선시 운전 시험을 수행하면서 얻은 변압기와 전동기 온도 데이터를 월별, 속도별, 시간별로 분석하였다. 시운전 중에 같은 구간을 여러 번 왕복한 것도 포함하였으나, MB를 가동하지 않아 정상적인 데이터를 얻는 것이 어려운 경우에는 자료에서 제외하였다. 차량의 주행속도가 299 km/h 또는 301km/h를 나타내면 300km/h로 정리하였다.

표 2. 시운전 시험의 수행 내용

Item (Month)	~100 (km/h)	~150 (km/h)	~200 (km/h)	~250 (km/h)	~300 (km/h)	~350 (km/h)	Sum
1	0	1	6	5	5	0	17
2	0	0	1	3	23	0	27
3	0	1	1	2	6	1	11
4	0	1	0	3	6	0	10
5	0	0	0	2	11	7	20
6	0	0	0	1	19	2	22
7	1	0	0	2	23	8	34
8	1	1	2	1	12	0	17
9	0	1	0	0	13	0	14
10	1	4	4	0	20	2	31
11	0	2	7	1	21	1	32
12	0	2	15	1	9	0	27
Sum	3	13	36	21	168	21	262

그림 5는 견인전동기의 온도를 월별로 분류해 놓은 것으로서 외기 온도가 가장 높은 7월과 가장 낮은 1월의 온도차가 약 40℃ 정도로 나타났다. 11월~1월경에 일부 데이터가 높게 나타난 것은 급가속과 급제동 구간이 많은 기존선 구간에서 측정된 결과가 포함되었기 때문이다.

그림 6은 주행 속도에 따른 견인전동기의 온도 변화를 보여주는데, 전체적으로 주행 속도가 증가함에 따라 전동기 온도도 상승하는 것을 알 수 있다. 130~170km/h 부근에서 온도가 높게 형성된 것은 기존선 구간을 2시간 이상 운행하면서 측정된 결과가 포함되었기 때문이다.

그림 7에서는 운행 시간에 따른 견인전동기의 온도 변화를 보여주고 있다. 초기 시운전 시험시 주행 노선의 한계로 중간에 정차하는 시간이 많기 때문에, 시험 결과의 분석을 통해 운행 시간이 전동기 온도에 미치는 영향을 정확하게 파악하는데 많은 어려움이 있었다. 운행시간이 온도변화에 미치는 영향이 적은 것을 알 수 있다.

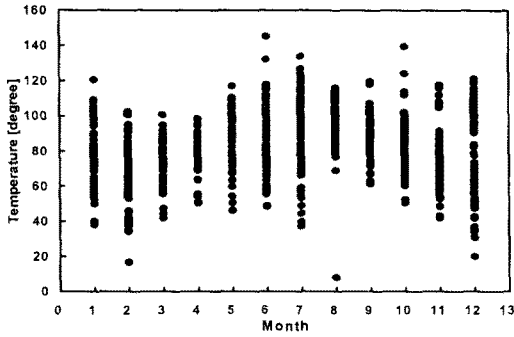


그림 5. 월별 견인전동기 온도

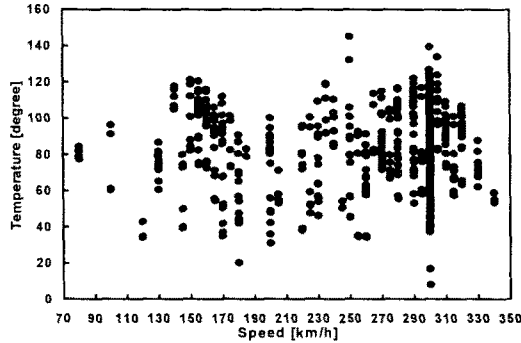


그림 6. 주행속도별 견인전동기 온도

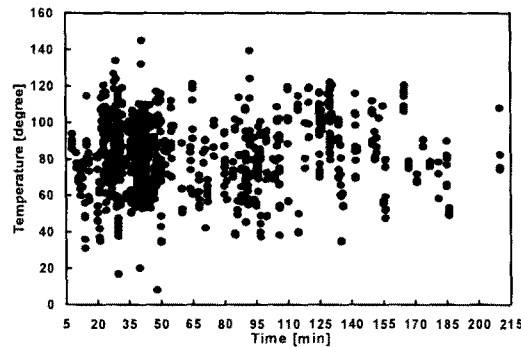


그림 7. 운행시간별 견인전동기 온도

### 3. 결 론

차량에 탑재되는 전장품중에서도 견인전동기는 차량의 안전성과 신뢰성 확보를 위해 매우 중요한 전장품이다. 본 연구에서는 4년 동안 고속선 및 기존선 구간에서의 월별, 주행속도별, 주행시간별로 견인전동기 온도 특성 변화를 살펴보았다.

이러한 시험을 위해 전동기 제작사에 온도 센서를 부착하였으며, 상시계측시스템을 통해 데이터를 입력받은 후 분석프로그램을 통해 여러 조건에 따른 전동기 온도 변화를 분석하였다.

이를 통해 견인전동기의 온도가 기준치 이내에 존재함을 확인하였다. 또한 견인전동기의 온도가 운행 시간보다는 외기 온도와 주행 속도에 영향을 많이 받는다는 것을 확인하였다.

향후에는 보다 다양한 조건하에서 견인전동기의 온도와 열화 특성을 분석할 예정이다.

### 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", WCR, 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] 한영재 외 4명, "고속철도차량용 전기장치의 온도특성에 관한 연구", 2003년도 12월 특별호, pp. 1210-1216, 전기전자재료 학회지
- [4] 김석원, 김영국, 한영재, 박찬경, 김진환, 백광선, "고속철도 시운전시행 계측시스템 개발에 관한 연구", 한국철도학회지, pp. 158-166, 2002. 9.
- [6] 한영재, 김기환, 박춘수, 최종선, 김정수, "센서를 이용한 전기장치 측정에 관한 연구", 한국센서학회지, pp. 164-169, 2003. 7.