

신선 및 기존선 구간에서의 전동기 고정자 온도 특성

한영재\*, 김기환\*, 김영국\*, 한성호\*, 김종영\*, 김정철\*\*  
\*한국철도기술연구원, \*\*로템

Temperature Characteristics of Traction Motor in New and Existed Line

Young-Jae Han\*, Ki-Hwan Kim\*, Young-Guk Kim\*, Seong-Ho Han\*, Jong-Young Kim\*, Jeong-Cheol Kim\*\*  
\*Korea Railroad Research Institute, \*\*ROTEM

**Abstract** - 현재 국내에서의 견인전동기 개발현황은 직류전동기는 655kW, 교류전동기는 210kW정도이며, 주행속도가 200km/h이상인 고속에 적용되는 1,000 kW급 이상 유도전동기 기술은 한국형 고속전철이 국내에서는 최초이다. 최고 주행속도 300km/h급의 고속전철용 1,130kW 동기전동기에 대한 제작 및 시험기술만을 프랑스에서 이전 받아 유도전동기를 제작하였다. 고속철도 차량용 견인전동기는 한정된 공간에 취부되어야 함으로 경량화가 필수적이다. 또한 전력기기에 대한 에너지 고밀도화가 가능해야 함으로 열적 특성에 대한 분석이 체계적으로 이루어져야 한다. 본 연구를 통해 외기 온도, 주행 속도 및 운행 시간에 따른 견인전동기의 온도 특성 변화를 살펴봄으로써 고속전철용 견인전동기의 고정자 온도 특성을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

최근들어 세계적인 추세로 300km/h급의 속도를 자랑하는 고속전철이 유럽의 여러 선진국가와 일본에서 개발되어 상업운행이나 시험운행을 하고 있다. 이에 발맞추어 우리나라도 경부고속전철(KTX)이 프랑스에서 도입되어 2004년 4월부터 서울-부산간 상업운행 중에 있으며, 국내의 기술로 개발된 한국형 고속전철이 광명-천안간 시험운행 중에 있다.

이와 같이 300km/h의 속도로 주행하는 고속전철은 신속하고 안전하게 가속하거나 감속할 필요가 있다. 따라서 견인 및 제동시에 이러한 요구조건을 만족하기 위해서는 고속전철에 취부된 여러 전장품 중에서도 견인전동기의 역할이 매우 중요하다.

고속전철의 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 모터 불력을 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.

이렇게 저장된 온도 데이터를 LabVIEW로 제작된 분석프로그램을 이용하여 견인전동기의 온도를 월별, 주행 속도별, 운행시간별로 각각 분류하여 그 특성을 확인하고 분석하였다.

2. 본 론

2.1 견인전동기

한국형 고속전철에 사용되는 견인전동기는 유도전동기로서 독일 및 프랑스에 이어 세계 3번째로 개발되었으며, 1,100kW급의 대용량으로 동력집중식 고속전철에서 엔진역할을 하게 된다. 이와 같은 견인전동기는 독일의 ICE, 프랑스의 TGV 등과 같은 300km/h급의 고속전철에 사용되고 있다.

일본의 신간선 고속전철은 동력분산식으로 350kW 정도의 소용량 전동기를 쓰고 있지만, 한국형 고속전철의 견인전동기는 지하철 차량용 전동기보다 출력이 5배 크면서 무게는 2배 수준으로 소형, 경량화 되었다. 고정자 코일의 전기적 성능과 회전자와 기계적 성능을 강화했고 구조가 간단한 유도전동기 방식으로 설계돼 300km/h급의 경부고속전철에 도입되는 동기전동기보다 50km 빠르 350km/h로 달릴 수 있다.

이와 같이 한국형 고속전철의 핵심장치인 유도전동기는 많은 장점을 가지고 있으며, 그 사양 및 제원은 다음의 표 1과 같다.

표 1. 견인전동기의 사양 및 제원

	형식	3상 농형 유도전동기
사 양	총 대수	12대
	프레임구조	프레임레스
	추진장치	IGCT 제어
제 원	상수/극수	3상/4극
	출력	1,100 kW
	전압	2,183 V
	주파수	143 Hz

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 냉각공기 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 되어있다.

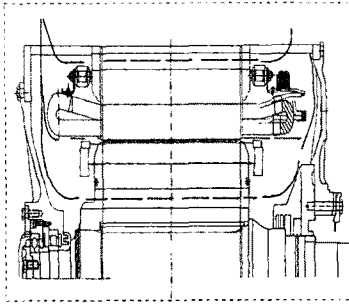


그림 1. 견인전동기의 냉각 구조

### 2.2 온도측정

견인전동기에서 온도가 가장 높게 나타나는 지점은 전채 슬롯방향으로 흡입단에서 2/3지점이 통상적이다. 왜냐하면 코어의 양쪽 끝단부는 냉각공기의 유입과 배출이 자유로워 전동기 중심보다는 온도가 낮고, 냉각공기가 흡입단에서 출구단으로 가면서 코어에서의 열에너지를 흡수하기 때문이다. 전동기 온도가 가장 높은 위치는 2/3지점의 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 보여주고 있으며, 계측시스템과 같이 동력케이블에 위치해 있다.

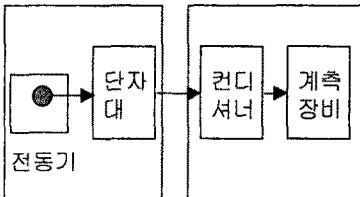


그림 2. 견인전동기의 온도측정 구성도

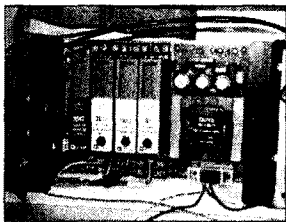


그림 3. 3B Module의 외형

### 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 접속기를 차단하여 모터블록의 가동을 중단시키고 있다.

그림 4는 광명-천안간 시운전 시험 중 300km/h 속

도에서 견인전동기의 온도 변화를 살펴본 것이다. 견인전동기의 초기온도는 차량이 출발하기 전의 온도로서 약 27~30℃ 정도로 비교적 정상적인 온도 수치를 보였다.

그림 5를 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, 초기 온도와 최고온도의 차이는 약 52~58℃ 정도임을 확인할 수 있었다.

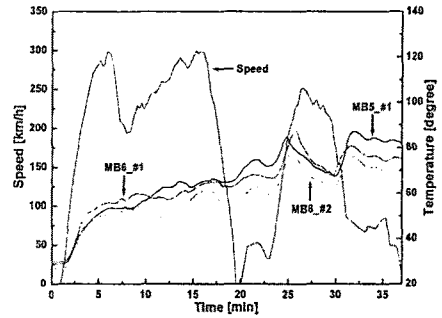


그림 4. 300km/h 속도에서의 전동기 온도

그림 5부터 그림 7까지는 외기 온도, 주행 속도 및 운행 시간이 견인전동기의 온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 2002년 8월부터 2004년 5월까지, 약 21개월 동안 현차 시험을 수행한 내용을 월별, 주행 속도별, 운행 시간별로 변압기의 온도를 정리하여 분석한 결과이다. 표 2는 월별과 주행 속도별로 약 21개월 동안 수행한 결과로, 이 자료는 시운전 시험 중에 같은 시험 구간을 여러 조건 하에 여러 번 왕복한 횟수를 모두 포함한 횟수이다. 실제 시운전 시험을 수행한 일수는 약 75회 정도이다.

표 2에서 150km/h 속도로 시운전 시험을 한 경우는 차량의 주행 속도가 순간적으로 149km/h 또는 151km/h를 나타냈어도 150km/h로 처리하여 표기하였다. 월별의 경우 3월에 수행한 시운전 시험 횟수가 전혀 없는데, 이것은 한국형 고속전철의 정기적인 차량 정비로 인해 시운전 시험 일정이 잡히지 않았기 때문이다.

또한 시운전 시험 중 대부분은 고속선에서의 결과이지만, 2003년 11월부터 2004년 1월 사이는 기존선에서의 결과로서 한국형 고속전철이 경부선과 호남선에서 150~160km/h 속도로 시운전 시험을 수행하였다.

표 2. 시운전 시험의 수행 내용

구분 (월)	시운전 시험의 수행 내용						계
	100 [km/h]	150 [km/h]	200 [km/h]	250 [km/h]	300 [km/h]	350 [km/h]	
1	0	1	5	5	1	0	12
2	0	0	1	3	10	0	14
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	2	3	0	6
5	0	0	0	2	10	6	18
6	0	0	0	0	3	0	3
7	0	0	0	1	3	0	4
8	1	1	2	1	3	0	8
9	0	1	0	0	5	0	6
10	1	4	4	1	0	0	10
11	0	4	6	2	3	0	15
12	0	2	13	1	2	0	18
계	2	14	31	18	43	6	114

그림 5는 견인전동기의 온도를 월별로 분류해 놓은

것으로서 외기 온도가 가장 높은 7월과 가장 낮은 1월의 온도차가 약 40℃ 정도로 나타났다. 그림 5에서 (a)와 (b)는 11월 1일경에 한국형 고속전철이 경부선과 호남선에서 시운전 시험한 결과로서, 외기 온도가 낮은 겨울철이라는 것을 감안할 때 다른 월에 비해서 견인전동기의 온도가 다소 높다. 이런 결과는 기존선 구간은 급가속 및 급제동 구간이 많고, 장시간 운행했기 때문에 나타난 결과로 보여진다.

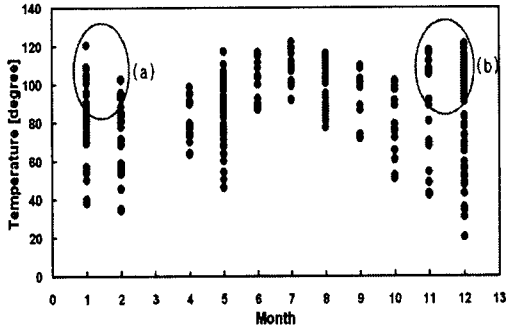


그림 5. 월별 견인전동기 온도

그림 6은 주행 속도에 따른 견인전동기의 온도 변화를 보여주는데, 전체적으로 주행 속도가 증가함에 따라 전동기 온도도 상승하는 것을 알 수 있다. 그림 6에서 (a)의 130~170km/h 부근에서 온도가 높게 형성된 것은 경부선과 호남선 구간을 약 2시간 이상 운행하면서 측정된 결과를 포함했기 때문에 나타난 결과이다.

또한 그림 6의 (b)는 차량이 짧은 시간동안 약 300 km/h의 속도로 주행하면서 측정된 견인전동기 온도로서 (a)와 마찬가지로 온도가 높게 형성되어 있다. 이러한 결과를 통해 견인전동기의 온도가 운행 시간과 주행 속도에 영향을 많이 받는다는 것을 추측할 수 있었다.

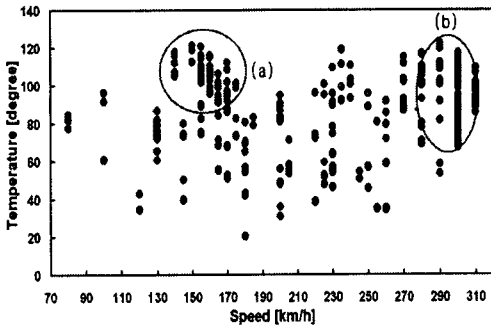


그림 6. 주행속도별 견인전동기 온도

그림 7에서는 운행 시간에 따른 견인전동기의 온도 변화를 보여주고 있다. 시운전 시험시 주행 노선의 한계로 중간에 정차하는 시간이 많기 때문에, 시험 결과의 분석을 통해 운행 시간이 전동기 온도에 미치는 영향을 정확하게 파악하는데는 많은 어려움이 있었다. 참고로, 견인전동기 온도가 가장 높게 기록한 때는 7월로 최고 속도를 290km/h로 130분 동안 운행했을 때이다.

그림 7에서 (a)는 한국형 고속전철이 고속선 구간을 약 35분 동안 300km/h 정도의 속도로 주행한 경우의 결과를 보여주고 있으며, (b)는 기존선 구간을 약 130분 동안 150km/h 정도의 속도로 주행한 경우의 결과를 나타낸다.

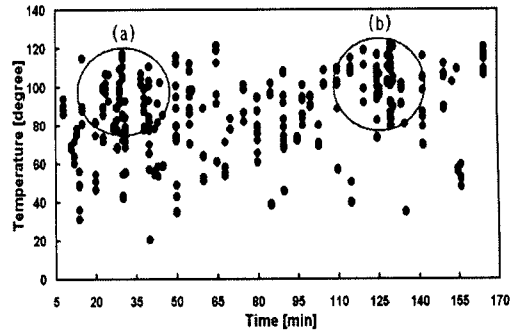


그림 7. 운행시간별 견인전동기 온도

### 3. 결 론

견인전동기는 차량에 취부되는 주요 장치로서, 본 연구에서는 계절별, 주행 속도별, 운행 시간별로 견인전동기의 온도 변화를 살펴보았다. 이를 위해 견인전동기 제작시에 미리 온도 센서를 부착하였으며, 상시 계측시스템을 통해 온도 데이터를 입력받은 후 분석프로그램을 통해 여러 조건에 따른 견인전동기의 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 조건 하에 견인전동기의 온도와 열화를 분석하여 견인전동기의 성능 및 특성을 연구할 필요가 있다.

### 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] 한영재의 4명, "고속철도차량용 전기장치의 온도특성에 관한 연구", 2003년도 12월 특별호, pp. 1210~1216, 전기전자재료 학회지
- [4] 한영재의 4명, "고속철도 전기장치의 특성에 관한 연구", 2003. 4, pp. 435~437, 대한전기학회 춘계학술대회
- [5] 견인전동기 개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2000), 건설부, 통산부, 과기처
- [6] 김석원, 김영국, 백광선, 김진환, 한영재, "고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(1) 하드웨어", 철도학회 추계학술대회, pp. 168-173, 2002.