

신선 구간에서의 전동기 고정자 온도 특성

한영재*, 김석원*, 박찬경*, 목진용*, 한성호*, 김영모*, 김정철**
*한국철도기술연구원, **로템

Temperature Characteristics of Traction Motor in New and Existed Line

Young-Jae Han*, Seog-Hwan Kim*, Chang-Kyoung Park*, Jin-Yong Mok*, Sung-Ho Han*, Young-Mo 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 전력기에 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 열치운행을 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 계속 시스템을 설치하였다. 또한 이를 위해 견인전동기의 고정자에 온도 센서를 취부하여 계속시스템을 통해 실시간으로 변화하는 온도를 측정 및 저장하였고 그 변화를 모니터링하였다.

이렇게 저장된 온도 데이터를 LabVIEW로 제작된 분석프로그램을 이용하여 견인전동기의 온도를 월별, 주행속도별, 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 회전자 기계적 성능을 강화했고 구조가 간단한 유도전동기 방식으로 설계돼 300km/h급의 경부고속전철에 도입되는 동기전동기보다 50km 빠른 350km/h로 달릴 수 있다.

한국형 고속철도 유도전동기의 사양 및 제원은 다음과 같다.

- (1) 전동기 형식 : 3상 농형 유도전동기
- (2) 상수/극수 : 3상/4극
- (3) 출력 : 1100 kW
- (4) 전압 : 2183 V
- (5) 주파수 : 143 Hz
- (6) 냉각방식 : 강제냉각방식

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.

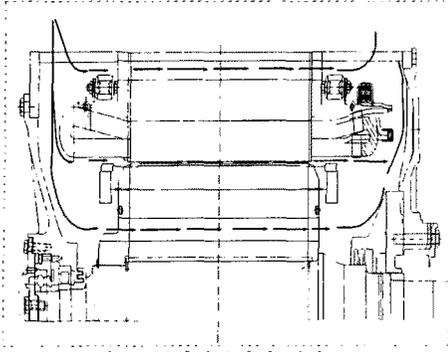


그림 1. 견인전동기의 냉각 구조

2.2 온도측정

견인전동기에서 온도가 가장 높게 나타나는 지점은 전체 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.

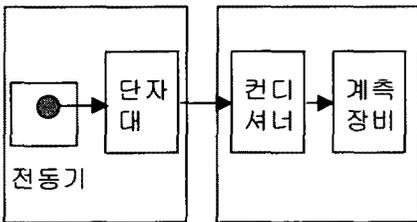


그림 2. 견인전동기의 온도측정 구성도

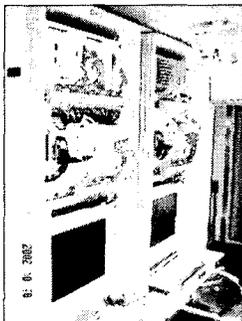


그림 3. 계측시스템의 외형

그림 3은 견인전동기 온도와 관련된 여러 정보를 입력받는 계측시스템의 외형도이다. 이 시스템을 통해 견인전동기의 온도를 입력받을 수 있다. 그림 4는 견인전동기에서 오는 신호의 노이즈 차폐를 위해 사용된 3B Module을 보여준다.



그림 4. 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 5는 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 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, 초기온도와 최고온도의 차이는 약 52~58℃ 정도임을 확인할 수 있었다.

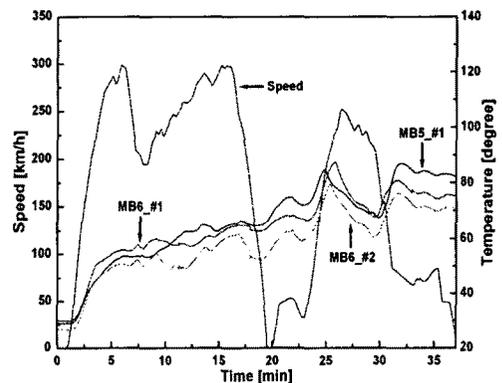


그림 5. 300km/h 속도에서의 전동기 온도

그림 6부터 그림 8까지는 고속구간에서의 견인전동기 온도변화를 위기 온도, 주행속도 및 주행시간별로 구분하여 측정된 결과이다. 참고로 300km/h 속도 시험을 할 경우에 속도가 순간적으로 301km/h 또는 302km/h를 나타냈어도 300km/h로 처리하였다.

그림 6을 살펴보면, 외기온도가 가장 높은 7월과 가장 추운 1월의 온도차가 약 40℃정도로 나타났다. 그림 7은 속도에 따른 전동기 온도변화를 보여주는데, 전체적으로 속도가 상승함에 따라 온도도 상승하는 것을 알 수 있다.

그림 8에서는 운행시간에 따른 온도변화 곡선을 보여 주고 있다. 시험주행 노선의 한계로 중간에 정차하는 시간이 많기 때문에, 시험결과 분석을 통해 운행시간이 전동기 온도에 미치는 영향을 파악하는데 어려움이 있다.

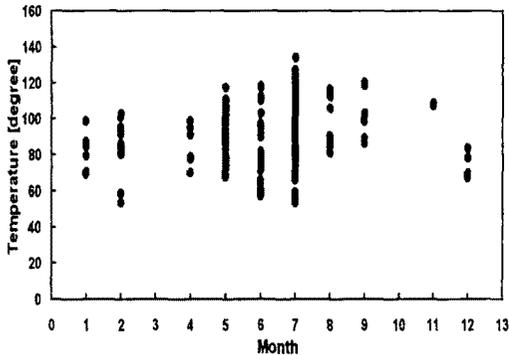


그림 6. 월별 견인전동기 온도

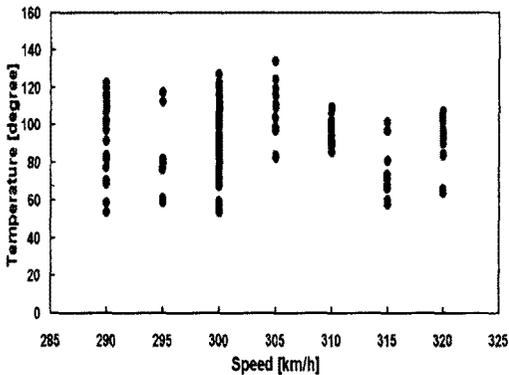


그림 7. 주행속도별 견인전동기 온도

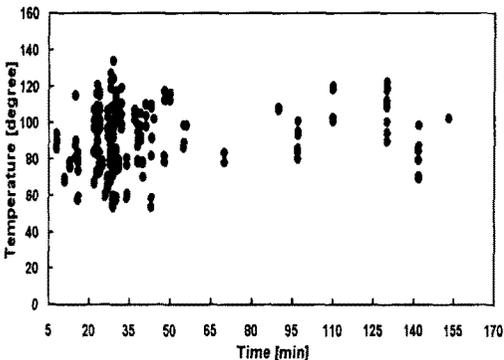


그림 8. 주행시간별 견인전동기 온도

3. 결 론

차량에 탑재되는 전장품중에서도 견인전동기는 차량의 안전성과 신뢰성 확보를 위해 매우 중요한 전장품이다. 본 연구에서는 고속구간에서의 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 고속구간에서도 견인전동기의 온도가 기준치 이내에 존재함을 알 수 있었다. 아울러 견인전동기 온도 특성은 주행속도와 주행시간보다는 외기온도에 의한 영향이 더 크다는 사실을 확인하였다.

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", WCRR, 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, 전기전자재료학회지
4. 한영재의 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.