2007년도 대한전기학회 전기물성·응용부문회 추계학술대회 논문집 (2007. 11. 2 - 3)

# 틸팅차량 전동기 온도측정 시스템 개발

이수길*, 한영재*, 한성호*, 이준석*
*한국철도기술연구원

# The Measurement System Development for Motor Temperature of TTX

Su-Gil Lee*, Young-Jae Han*, Seong-Ho Han*, Jun-Seok Lee*
*Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - Induction Motor is important at tilting train. Tiling train induction motor should be operated to commercial servicespeed 180km/h at Korea Conventional Line upgrade railroad.
As the induction motors are without commutators, maintenance is easy and it is far lighter than the conventional motors with the same capacity. The induction motor, however, posed problems in use as its motor torque is not large enough compared with DC motors.
With the recent advances in power semiconductors, it is possible to apply the induction motors to trains by applying VVVF inverter control method to the traction motor. In this study, we realize the stable measurement AC motor temperature characteristic of TTX train.

## 1. 서 론

인구가 증가하면서 인간의 생활활동 범위가 증가되었고 이에 따라 운송 시스템에 대한 수요가 크게 증대되고 있다. 그러나 물류 이동에 필요한 여러 가지 제반시설은 이를 충족시키지 못하고 있으며, 이로 인하여 현재 국내의 물류수송효율은 최악의 상황에 직면해있다. 이로써 대용량의 수송능력을 담당하는 철도차량 운송 시스템에 대한 수요가 급증하게 되었다. 따라서 이에 대비하고자 많은 신규 노선을 계획하고, 이와 함께 신설되는 노선에 대해서는 시스템 운영 효율의 극대화를 위해 노선별로 고속전철과 지하철, 경전철, 틸팅차량, 그리고 자기부상열차 시스템 등 여러 가지 방식이 검토중에 있으며 차량에 가장적합한 추진시스템을 설계하는 것이 차량의 성능에 크게 향상실킬 수 있다.

유도전동기는 정류자가 없어 유지보수가 거의 필요 없고 같은 용량의 전동기라 해도 훨씬 작고 가벼운 장점을 가지고 있다. 그러나 유도전동기는 직류전동기에 비해 기동토크가 작아 사용에 어려움이 있었다. 최근 들어 전력반도체 소자의 발달로 인하여 견인전동기에 VVVF인버터 제어방식을 적용함으로써 유도전동기의 적용이 가능하도록 하였다. 우리나라의 전동차제어방식은 고전압, 대용량 역도통 GTO Thyristor를 사용한 VVVF인버터 제어시스템의 집중제어방식(1C4M)방식이 사용되어왔다.

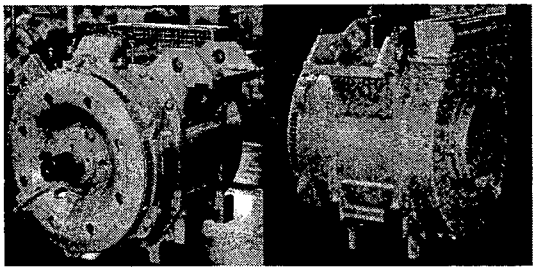
그러나 최근 급격한 반도체 기술(power electronics and micro electronics) 발달에 힘입어 고속스위칭이 가능한 IGBT 등의 MOS게이트 소자가 기존의 소자를 대체할 수 있는 새로운 소자로 주목받고 있으며, 최근 제작되거나 발주 예정인 전동차는 대부분 IGBT소자를 채용하도록 하고 있다. 추진시스템은 전기차량인 경우 VVVF 인버터와 유도전동기를 이용하여 견인력을 발생시키는데 견인전동기의 온도특성에 따라 제어상태가 변화하고 온도상태를 측정함으로서 안정적인 추진력을 확보할 수 있다. 또한 견인전동기의 온도의 특성을 활용하여 전동기의 고장등을 확인할 수 있을 것이다.

## 2. 본 론

### 2.1 견인전동기 사양

한국형 틸팅열차의 전동기 사양과 정격은 아래와 같으며, 외형은 그림 1과 같다.

(1) 형식 : 4극 3상 농형 유도전동기, 대차장가방식
(2) 냉각방식 : 자기 통풍방식
(3) 절연등급 : H종 이상(Class 200)
(4) 최대 속도 : 5627rpm(wheel 직경 φ780mm일 때 속도 200km/h에서)
(5) 최대 시험속도 : 6755rmp(신제품의 경우), 2분 연속
(6) 치차비 : 91/22(4.136)
(7) 중량 : 620kg
(8) 동력전달방식 : Cardin Gear Coupling
(9) 제어 방식 : 1C2M VVVF Inverter 방식
(10) 정격(연속)
① 출력 : 250kW
② 입력전압 : 1,350V
③ 상전류 : 130A
④ 정격속도 : 2,950rpm
⑤ 주파수 : 100Hz
⑥ 효율 : 93.5%
⑦ 역률 : 88%
⑧ 슬립 : 1.7%



<그림 1> 견인전동기 외형

### 2.2 전동기의 구조적 특징

(1) 고정자

인버터 동작 중에 고조파 전류에 의해 야기되는 표피효과로 인한 온도 상승과 교류 저항의 상승을 억제하기 위해, 고정자는 각각의 평평한 교차 절편을 가지는 수많은 병렬 코일을 갖추고 있다. 코일의 끝단은 진동에 견딜 수 있도록 단단히 고정되어 있고, 고정자 슬롯은 반밀폐 타입이며, 슬롯 틈은 냉각효과를 향상하기 위해 통풍 공간으로 이용된다. 공극은 먼지 등이 거의 들러붙지 못하는 형태로 하기 위해 일반적으로 산업용에 사용되는 유도전동기보다 넓다.

(2) 회전자

회전자는 고속에서 견딜 수 있도록 강력한 농형 타입이며, 적절한 슬립을 확보하기 위해 회전자바는 큰 일정 저항과 충분한 강도를 갖도록 구리-아연 합금으로 이루어져 있다. 종단링은 온도팽창을 최소화하기 위해 적은 저항을 갖는 순수 구리로 이루어져있다. 회전자바와 종단링은 은납으로 처리되어 있다. 각 종단링은 내구성과 신뢰성을 향상하기 위해 비자성의 지지링이 설치되어있다.

(3) 베어링

반구동측 베어링은 볼베어링이고, 구동측 베어링은 롤러 베어링으로 구성된다.

베어링 하우징이 카트리지 구조이기 때문에 베어링을 분해하지 않고 고정자에서 회전자를 분리하는 것이 가능하다. 견인전동기 베어링은 방진구조로 하기 위해 매우 복잡한 내이구조로 되어 있다. 또한 먼지의 유입을 줄이기 위해 베어링 상자에는 압력 차이에 의해 야기되는 공기 흐름을 막기 위해 부 압력 완화홀이 존재한다.

베어링 구조는 초기에 많은 양의 그리스를 채울 수 있는 구조이며, 고속에서 회전자의 회전을 견딜 수 있도록 효과적으로 그리스의 기초 오일을 이용한다. 따라서 오랜 기간 동안 베어링의 보수를 위해 분해할 필요가 없다.

베어링은 인버터의 누설전류나 귀환전류에 의해 발생되는 표유전류 부식작용으로 인한 그리스의 성능저하 와 베어링의 손상을 방지하기 위해 세라믹으로 코팅 되어 있다.

(4) 에어 필터

에어 필터는 견인전동기의 공기 정화 장치에 사용된다. 에어 필터 환기휀과 원심력을 이용하여 먼지나 공기중의 불순물을 분리할 수 있는 정화장치이다. 이 정화장치를 통과한 공기는 견인전동기 내부로 유입된다. 그리고 이 에어 필터는 유지보수가 필요 없다. 분리된 먼지와 불순물은 환기휀이

내장된 에어필터에 연결된 바이패스 덕트를 통해 견인전동기 외부로 방출된다.

(5) 속도 센서

속도센서는 바깥쪽 베어링 프레임 끝단에 고정되어 있는 두개의 펄스를 출력하는 기어 타입이다. 이 기어는 또한 베어링 홀더로서 샤프트에 볼트로 체결되어 있다.

### 2.3 프로그램 및 케이블 설치

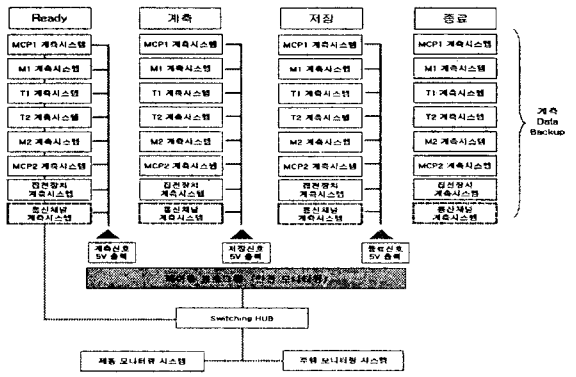
#### 2.3.1 프로그램 개요

National Instrument사의 LabVIEW를 이용하여 작성된 계측 프로그램은 각 차량마다 설치된 계측모듈을 제어하는 제어모듈에 내장되어 가속도, 온도, 전압, 전류, 하중 등의 물리량을 계측하는 프로그램으로 계측신호를 측정, 저장, Limit Check, Data Network 전송, 모니터링을 수행하며 Data를 실시간으로 저장 및 모니터링을 할 수 있다.

(1) 계측 프로그램 운영

계측 프로그램은 T Car에 설치된 계측장비의 제어모듈에 설치되어 전체적인 제어와 계측을 수행하도록 구성된다. 그림 2와 같이 Data 동기화를 위해 제어용 프로그램의(안전 모니터링 프로그램) DC 5V의 신호를 받아 Ready 상태에서 Data 계측을 수행하며 계측 중 저장, 종료 등의 모든 명령은 제어 프로그램의 DC 5V 신호에 의해 제어된다.

또한 계측된 Data는 Hard Disk에 실시간 저장되고 1G bps LAN 통신을 이용해서 모니터링 프로그램에 실시간으로 전달된다. 시험 종료 후 각 계측 시스템에 저장된 Data는 이동용 저장장치를 이용하여 Data를 Backup하고 사무실로 이동하여 시험데이터를 분석할 수 있도록 구성한다.



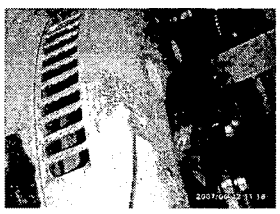

〈그림 3 계측프로그램 구성도〉

#### 2.3.2 케이블 설치

제작된 전동기의 온도측정을 위해 미리 전동기내부에 온도센서를 심었고, 차량 내 배전반까지 케이블을 설치하였다. 그림 3은 전동기 온도 측정을 위해 포설된 케이블을 보여준다.

그림 4는 Mcp1에 설치된 1번 대차의 전동기 온도 측정을 위해 전동기 프레임에 온도센서를 취부한 모습을 보여준다. C/I와 마찬가지로, Mcp1, Mcp2, M1 및 M2에 설치되어 있는 대부분 전동기의 흡입구측, 배출구측 그리고 흡입구와 배출구의 1/3되는 지점에 온도센서를 설치하였다.

〈그림 3〉 전동기 온도 측정용 케이블

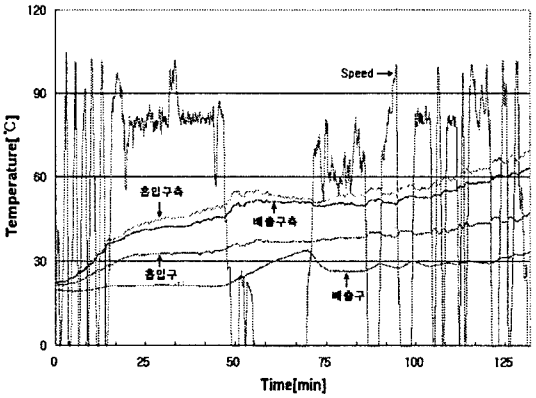


〈그림 4〉 1번 대차 전동기 흡입구 센서설치

### 2.4 시험결과

그림 5는 충북선 구간을 주행하며 전동기 온도변화를 살펴본 결과이다. 측정에 사용된 전동기는 M1에 취부 되어 있는 것으로, 상세한 측정위치는 다음과 같다. 역행시에 온도가 상승하고 정지시에 전동기 온도가 떨어지는 현상을 볼 수 있다. 또한 전동기 흡입구측의 온도가 배출구측보다 상대적으로 높게 나타나고 있다.

전동기의 온도는 180k이내에 있어야 하는데, 시험을 통해 틸팅차량 전동기의 온도가 기준값을 만족함을 알 수 있었다. 그러나 전동기 온도는 주변 온도에 큰 영향을 받으므로, 무더운 여름철에 장시간 운행하며 측정해야 보다 정확한 온도데이터를 얻을 수 있을 것으로 보여진다.




〈그림 6〉 견인전동기 온도

## 3. 결 론

견인전동기는 틸팅열차시스템에서 요구하는 유지보수 조건은 54만km를 무보수로 운전이 가능하여야 한다. 이런 조건은 일반 차량에서도 적용이 되며 전동기의 설계제약조건에 크게 작용하고 있다. 이에 본 논문에서는 전동기의 운행상태에서 견인전동기의 온도를 측정함으로서 전동기의 열적 상태를 확인하여 절연설계 및 견인특성을 확인할 수 있다. 차량의 속도에 따른 온도특성을 연구하여 향후 온도문제를 해결할 경우 견인전동기의 크기를 줄일 수 있을 것이다.

또한 장시간 운행이 이루어지는 중장거리 열차의 경우 전기적 열적 피로도가 가중되며, 이런 문제를 해결하기 위해 냉각 시스템의 최적설계 및 열차운행 패턴 등이 설계에 고려되어야 한다. 본 연구에서는 이런 향상된 설계를 위해 현재 운행중인 견인전동기의 열적변화특성을 파악하여 최적설계 기술을 확보하고자 한다.

## [감 사 의 글]


본 내용은 건설교통부에서 시행한 한국형틸팅열차 신뢰성평가 및 운용기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.


## [참 고 문 헌]


[1] 한주섭, 이수길, 한성호, "한국형 틸팅열차 열차제어진단장치의 구성품 시험에 관한 연구", 철도학회 2006년 추계학술대회논문집, 2006.

[2] 한성호, 이수길, 송용수, 한영재, 이은규, "전기식 틸팅차량의 주회로 시스템에 관한 연구", 대한전기학회 2004년도 하계학술대회 논문집, 2004.

[3] 박현준, 장동욱, 이길현, 최종선, 김정수, "과도서지를 이용한 가속열화 시험법에 따른 견인전동기 고정자 코일의 전기적 특성변화", 전기전자재료학회논문지, 16권, 9호, p. 783, 2003.

[4] Y. J Han, K. H. Kim, S. W. Kim, S. S. Kim, Y. M. kim, "A Study on Measurement System for Performance Evaluation of TTX(Tilting Train eXpress) Network", ITC-CSCC, pp. 637~638, 2007.