

견인전동기 고정자 코일의 열적 열화특성

Properties of Thermal Performance on Stator Coil of Traction Motor by Accelerated Test

박현준*
Park, Hyun-June

이장무**
Lee, Chang-Moo

이한민***
Lee, Han-Min

장동욱***
Jang, Dong-Uk

ABSTRACT

The 200 class insulation system which adopted to traction motor have excellent dielectric strength but weaken to thermal stress therefore deterioration phenomena analysis according to thermal stress is necessary. Accelerated thermal aging tests have been used to determine thermal reliability of stator coils used as traction motor in electric multiple unit. The conventional aging test is carried on according to IEC 60034-18-31 and IEEE Std. 275-1992. Variation in insulation resistance, P.I, capacitance, dielectric loss($\tan \delta$) and partial discharge are measured during the aging cycle. Sample coils for traction motor were tested by accelerated aging test which composed of heat, vibration and moisture. Reliability and expected life were evaluated on the insulation system for traction motor.

1. 서론

전동차의 핵심 전장품인 견인전동기는 철도차량의 고유한 특성으로 인해 전기·기계적 측면 뿐만 아니라 열적 측면에 있어서도 일반적인 산업용 전동기에 비해 매우 가혹한 운전조건을 지니고 있는 것으로 평가되고 있다. 경년열화에 따른 절연부의 절연파괴는 전기철도차량용 견인전동기의 고장원인 중 가장 높은 비율을 점유하고 있다. 그러나, 국내의 경우 철도차량 고유의 특성에 대한 이해의 부족으로 인해 견인전동기의 내열수명 평가에 대한 연구가 매우 미비한 실정이다.

본 연구에서는 정격출력 200[kW]급 전동차용 견인전동기 C종(200 class) 절연구성의 고정자 코일을 실제 생산조건과 동일하게 제작하였다. 그리고 견인전동기 권선의 절연상태에 영향을 주는 열적 열화특성 실험을 진행하였다. 따라서 전동차용 견인전동기 수명평가를 위한 가속열화에 대한 체계적인 기준자료를 구축함으로써 안정성 확보와 신뢰성 증가를 도모하였다.

2. 시험방법 및 견인전동기 스트레스 분석

2.1 시편

현재 철도차량용 견인전동기의 절연시스템은 사용재료의 절감과 고온·고전압하의 절연에 대응하기 위해 폴리이미드(Kapton) 소선 절연과 실리콘 수지를 주체로 한 C종, 즉 200 class 절연의 적용을 통하여 내열을 강화한 절연재료의 사용이 이루어지고 있다.

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
*** 한국철도기술연구원 주임연구원, 비회원

본 연구에 사용된 가속열화용 고정자 형코일 샘플(그림 1)의 제작은 실제 견인전동기 제작시의 요소를 모두 반영하고 있으며, 표 1과 같은 폴리이미드(Kapton) 및 실리콘 수지를 주재료로 한 C종(200℃) 절연구성과 진공함침(VPI) 처리를 통하여 높은 내열성 및 안정한 절연성을 갖도록 구성하였다.

진공함침 처리공정은 진공 챔버에 제작된 코일을 0.01~5 mbar, 80℃에서 건조를 실시하고, 0.5~5 mbar, 60℃에서 수지를 함침시킨 후, 1~5 bar로 가압하여 수지가 함침되는 것을 가속시키고, 수지를 빼낸 후 코일을 curing 오븐에 넣어 200℃에서 16시간 동안 curing을 실시하였다.

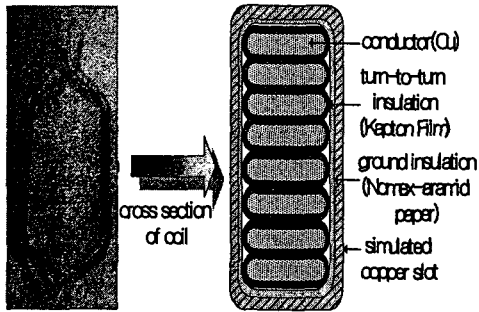


그림 1. 제작된 고정자 코일 및 단면

품 명		사양 및 규격
200class 절연자재	소선절연물	Kapton코팅처리
	대지절연물	Kapton Film Nomex-aramid paper
	주절연물	Silicone resin
	슬롯웬지	Epoxy-glass tape 적층판
	모의철심용 동판	두께: 1.5 mm
절연처 릿형 코일 샘플 제작	턴절연 시험용 인출선 처리	소선별 인출선 절연보강 처리
	모의철심을 가진 샘플코일 제작	동판슬롯구조의 모의철심 및 코일 샘플제작
VPI 함 침처리	Silicone Resin 진공함침	함침 60℃-3hr 건조 200℃-16hr

표 1. 견인전동기용 고정자 형코일의 C종 절연구성

2.2. 실험방법

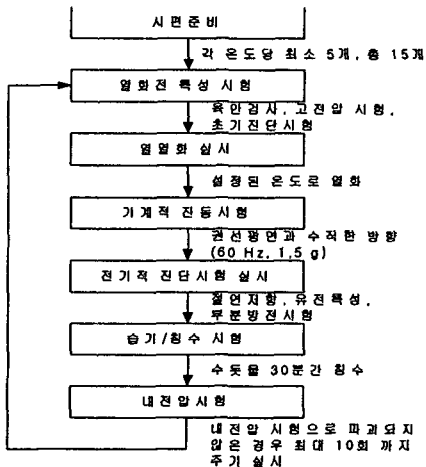


그림 2. C종 절연시스템의 가속 열열화 시험절차

열화 온도	1주기 열화기간	총 열화기간 (10주기)
270℃	1.5일	15일
250℃	5일	50일
230℃	17.5일	175일

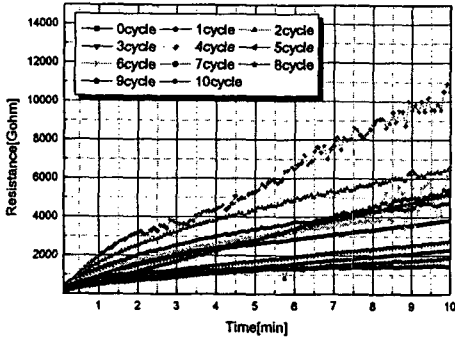
표 2. 200 Class 절연 가속 열열화 온도와 기간

열열화를 시키기 위해서 오븐 내에 고정자 형코일을 넣고 표 2에 나타낸 바와 같은 온도와 주기로 열열화를 시켰다. 또한 사용한 오븐은 차폐를 실시하여 절연저항 및 유전특성 측정시에 외부 노이즈의 영향을 배제할 수 있도록 하였다. IEC 60034-18-31에 따른 10℃수명반감칙에 근거하여 온도 및

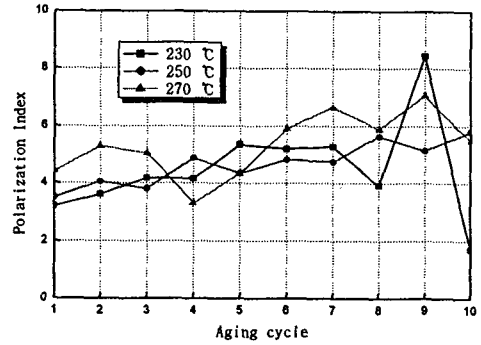
시간을 설정하였으며, 표 2와 같다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 절연저항 및 성극지수 특성

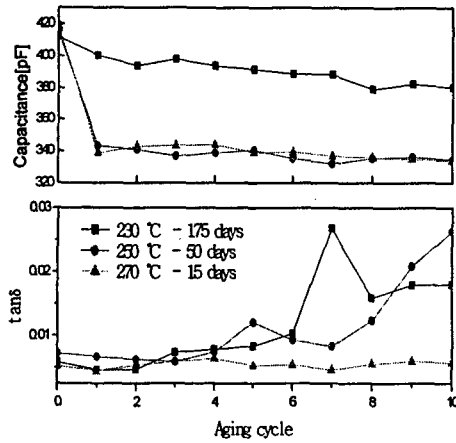


(a) 열화주기별 절연저항 특성(230 °C)



(b) 성극지수 특성

그림 3. 가속열화 주기에 따른 절연저항 및 성극지수 특성



그림* 4. 가속 열열화 주기별 정전용량 및 유전손실 특성

3.2 부분방전특성

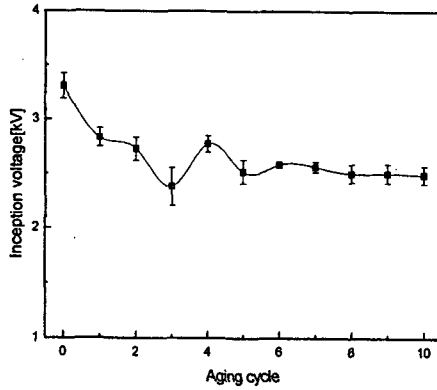


그림 5. 부분방전 개시전압(230 ℃ 가속열화)

3.3 가속열화 내열수명 추정방법

가속열화를 실시하여 열열화에 따른 견인전동기용 고정자 코일의 예상 내열수명을 그림 6에 나타내었다.

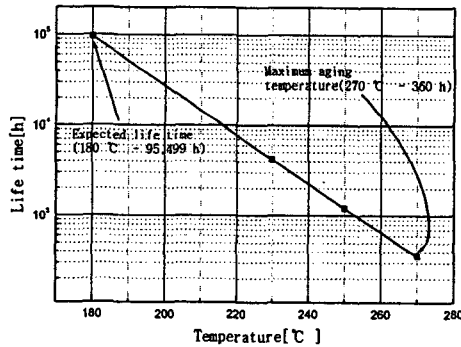


그림 6. 가속시험에 따른 내열수명추정 결과

4. 결론

가변전압 가변주파수 제어 인버터로 구동되는 정격출력 200 kW급 전동차용 견인전동기의 내열 신뢰성을 평가하고자 C종(200 class) 절연구성의 실리콘 레진이 함침된 고정자 코일을 실제 생산조건과 동일하게 시편을 제작하여 가속열화시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

C종(200 class) 절연구성에 대한 열열화 특성을 고려하여, 열충격 스트레스, 기계적 진동인가 및 침수시험 등을 조합한 주기적인 가속열화 시험법을 실시하여 25년을 상회하는 내열수명을 확인하기 위하여 10주기에 걸쳐 시험하여 가속열화의 진행에 따른 전기적 특성변화를 검토하였다. 가속열화에 따른 상태진단시험으로서 절연저항, 유전손실 및 부분방전 등을 측정된 결과, 성극지수의 측정평가의 경우 큰 변화가 나타나지 않아 절연이 크게 약화되지 않은 것을 확인하였다. 유전특성과 정전용량의 경우 주기에 따라서 유전손실은 증가하는 경향을 보이고 정전용량은 감소하는 경향을 보이고 있으나 변화가 크지 않게 나타났다. 유전손실의 경우 초기에 후경화의 원인으로 인해 감소를 하다가 열화에 따라서 증가하는 역전현상이 있었으나, 열화 전과 후에 변화량이 작게 나타나 견인전동기 고정자 코일

의 전기적 물성은 가속열화에 따라 전반적으로 안정적인 특성을 보였으며, 10주기에 이르는 가속 열화시험에도 불구하고 비교적 우수한 전기적 특성을 유지함을 확인할 수 있었다.

국제규정에 따라 가속열화 실험결과에 대한 통계적인 분석을 수행하였으며, 그 결과를 통해 견인전동기 고정자 코일은 요구수명에 비해 매우 긴 약 31.8년의 내열수명을 지니고 있음을 확인하였다.

본 연구는 실험실모델로써 철도차량분야에 적용하기 위한 연구로써 견인전동기 고정자 코일의 가속 열화의 체계적인 근거를 마련하기 위한 측면에서 의미가 있으며 향후 본 연구의 결과와 완제품을 가지고 비교해 보는 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

참고 문헌

1. Austien H. Bonnett, "Available Insulation Systems for PWM Inverter-Fed Motors", IEEE Ind. App. Mag. Vol. 4 No. 1, p. 14, 1998.
2. C. Petrarca, L. Egiziano, V. Tucci, and M. Vitelli, "Investigation on Performance of Insulation Materials for Inverter-fed Traction Motors", Proceedings of the 1998 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena - Volume 2, p.564, 1998
3. 日本規格協會, "電氣·電子部品の 壽命診斷", p.77-142. 1991.
4. R. Goffeaux, M. Krecke, B. Comte, M. Cottet and B. Fruth, "Dielectric test methods for rotating machine stator insulation inspection", CEIDP 1998, p.528, 1998.
5. V. Warren and G. Stone, "Recent developments in diagnostic testing of stator windings", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.14, No.5, pp.16-21, 1998.
6. インバータサージ絶縁調査専門委員会, "ンバータサージの絶縁システムへの影響", 日本電気学会 技術報告, 第739号, 1998.
7. Hiroshi HATA, Takashi MAEDA and Naoto TAGAWA, "Improvement fo Insulation Tests for Traction Motors", QR of RTRI, Vol. 38, No. 1, p. 31, 1997
8. IEC 60034-18-31, "Test procedures for form-wound winding - Thermal evaluation and classification of insulation systems used in machines"
9. IEEE Std. 522-1992, "Guide for testing turn-to-turn insulation on form-wound stator coils for AC rotating machines"
10. IEEE Std. 43-2000 "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery"
11. 박현준, "추진제어장치연구개발(전동차 AC견인전동기 표준설계)", 건설교통부 도시철도차량 표준화·국산화 연구개발보고서, 한국철도기술연구원, 1999. 12.
12. 박현준, "철도시스템 성능향상 핵심기술개발-전기분야", 철도시스템 선진화 기술연구사업 연구개발보고서, 한국철도기술연구원, 2002
13. 박현준, "전동차 AC 견인전동기의 가속열화에 관한 연구", 대한전기학회 2001 하계학술대회 논문집, pp1257-1259, 2001
14. 박현준, "차량진단 자동화시스템 분야", 한국철도기술연구원 철도시스템 기반기술연구 보고서, pp. 97-115, 2001

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 기본연구사업으로 지원된 "차세대 철도원천기술개발사업"과제의 연구결과의 일부입니다.

차량시스템의 틸팅 알고리즘개발

Development of Tilting Algorithm of Vehicle System

송용수*
Song, Youngsoo

김남포**
Kim, Nam-Po

고태환***
Ko, Taehwan

한성호****
Hna, Seong-Ho

ABSTRACT

The application of the tilting train is one of the most efficient ways to increase curving speed of train on existing tracks or on mountain railway lines with sharp curves. It can increase the running speed and ensure the passenger comfort and safety at the same time. Therefore, the development of tilting train has been paid high attention by many countries in the world. Tilting trains have been operated successfully in many countries such as Italy, Spain, Germany, Sweden, England and so on. The tilting trains possess broad prospects in raising speeds. The distributed EMU tilting train set will be developed according to the Korea railway conditions and will be operated on the Honam line, Janghang line and Jungang line. Because there is high percentage of curves on these lines, these lines are suited to operating tilting trains to raising speed and saving passenger traveling time. In order to improve the curving performance of the tilting train, the active-control algorithm is utilized for the tilting bogie.

1. 서론

철도의 경쟁력을 제고하고 진술한 철도 수송의 장점을 극대화하는 방안의 일환으로 기존 철도 노선을 고속화하는 방법으로서 곡선부에서 고속 주행이 가능하게 하여 수송시간을 단축하고 승객의 승차감을 향상시킬 수 있는 틸팅(tilting) 차량의 적용이 제시되고 있다. 틸팅 차량은 곡선부 주행 시, 차체를 곡선부 안쪽으로 기울어지게 하여 곡선부 주행 속도의 제한 요인인 횡가속도 영향을 저감시켜 기존 차량 대비 곡선부 주행속도를 향상시키고 승객의 체감 원심가속도 성분을 저감시켜 횡방향 승차감을 향상시킬 수 있어 차량의 주행 안전성 및 승차 쾌적성은 동시에 만족시킬 수 있는 것으로 평가되고 있다.

국내의 경우에도 물류 수송의 경쟁력 확보 및 교통 수요에 대한 대응책으로 틸팅 시스템 장착 차량의 적용을 통한 기존 철도 노선에서의 전반적 속도 및 수송량 향상이 중요한 과제로 대두되고 있으며, 이를 구현하기 위한 고속화용 철도 차량의 주요 구성품인 틸팅 제어 시스템을 개발하기 위해서는 핵심 요소인 틸팅 제어 알고리즘(tilting control algorithm)에 대한 연구가 요구된다. 특히, 국내 철도 노선 특성을 고려한 독자적 틸팅 대차장치 및 틸팅 제어 시스템 개발을 위해서는 이에 대한 연구가 필수적이다. 따라서 본 연구의 최종 목표는 고속화용 틸팅 차량의 독자적 틸팅 제어 알고리즘의 개발이며, 본 논문은 틸팅 차량을 기반으로 하는 효율적인 틸팅 제어 알고리즘에 대한 기초 연구를 그 목적으로 한다.

2. 철도 차량 모델 개요

철도 차량에 대한 모델은 해석 목적에 따라 다양한 동적 모델이 적용되고 있는데, 대표적인 상용 동역학 해석 소프트웨어를 이용한 차량 모델로 VAMPIRE Vehicle Model과 ADAMS-Rail Model 등이 있으며, 주행 궤도의 불규칙성 등에 기인하는 차량의 수직방향 진동 해석을 목적으로 하는 차량 모델과 곡선부 주행 시의 동적 응답 특성을 해석하기 위한 15자유도의 고차 횡 방향 응답 모델(Lateral response model) 등이 있다.

- * 한국철도기술연구원, 선임연구원, 비회원
- ** 한국철도기술연구원, 선임연구원, 정회원
- *** 한국철도기술연구원, 선임연구원, 비회원
- **** 한국철도기술연구원, 선임연구원, 정회원