

전동차용 견인전동기의 가속열화에 의한 전기적 특성 연구

박현준*, 김길동, 장동욱, 최종선**, 김정수**
한국철도기술연구원, 홍익대학교**

A Study on the Electrical Characteristics by Accelerating Degradation for Traction Motor in Urban Transit EMU

H.J. Park* , G. D. Kim , D. U. Jang , J. S. Choi**, J.S.Kim**
Korea Railroad Research Institute , Hongik Univ. **

Abstract - Insulation system(200 class) for stator coil is designed for traction motor with VVVF inverter. Sample coils for stator of the traction motor were tested by accelerative thermal degradation which composed of heat, vibration, moisture, and overvoltage apply. Reliability and expected life were evaluated on the insulation system for 200 class traction motor.

After aging of 10 cycles, $\tan \delta$ increased with voltage. This result is due to increase of internal defects and change of insulation structure.

1. 서 론

철도수요의 증가는 전동차의 고속화, 고성능화의 추구하고 함께 안전성이 매우 중요하게 되었다. 전동차용 견인전동기는 핵심 전장품 중의 하나로서, 고속화·대용량화로 인한 전압의 상승, 빈번한 기동과 정지로 반복되는 가혹한 열적, 기계적, 전기적, 환경적인 영향을 복합적으로 받고 있다. 특히 견인전동기 사고 중 절연파괴가 많은 비율을 점유하고 있는데 이는 절연열화와 관련된 사고발생기구가 지배적이다.

근래에는 진단기술을 이용하여 기기의 상태를 정량적으로 파악함으로써 최적의 보전을 실시하고자 하는 예방보전형으로 전환되는 추세이며, 열화 및 이상상태를 진단하여 차량 운행중의 돌발고장을 예방하는 고장감시 기술에 대한 연구가 최근에 주목받으면서 철도운행의 안전성 확보와 차량보전의 효율화를 도모하고 있다.

본 연구의 대상은 국내 도시철도차량에서 국산화·표준화된 VVVF 제어 PWM 인버터로 구동되는 200KW 급 3상 농형 유도전동기를 주요대상으로 하였다. 열악한 운전환경에서 사용되는 견인전동기가 20년 이상의 운전수명보장을 하도록 요구되고 있다. 이에 따라 철도차량용 견인전동기의 수명평가를 하기 위한 기반연구로서, 본 연구의 결과를 가속열화에 대한 기준자료로서 활용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 견인전동기 고정자 절연구성

현재 철도차량용 견인전동기의 절연시스템은 사용재료의 절감과 고온 고압하의 절연에 대응하기 위해 폴리이미드(Kapton) 소선절연과 실리콘 수지를 주체로 한 200 class 절연의 적용이 확대되는 추세이다.

일반적인 전압변경에 따른 차이점은 전동기 권선의 대지간 절연 여유이다. 이 절연여유는 적용 재질 및 제조 방식에 따라 틀리지만 대개의 경우 10배 이상으로 설계한다. 따라서 써어지 전압과 코로나에 의한 영향을 고려하여 비록 전동기의 정격전압이 1100V 라도 3300V급으로 설계되고 있다. 일반산업용과 같이 견인전동기의 절연도 소선절연, 주절연 그리고 Slot 절연으로 구성된다.

표 1. 견인전동기용 고정자 형코일의 C종(200℃) 절연구성

품 명	사양 및 규격	
200 class 절연자재	소선절연물	Kapton코팅처리
	대지절연물	Kapton Film Nomex-aramid paper
	주절연물	Silicone resin
	슬롯웬지	Epoxy-glass tape 적층판
	모의철심용 동판	두께: 1.5 mm
절연처리 및형코일 샘플제작	턴절연 시험용 인출선 처리	소선별 인출선 절연보강 처리
	모의철심을 가진 샘플코일 제작	동판슬롯구조의 모의철심 및 형코일 샘플제작
VPI 합침처리	Silicone Resin 진공합침	합침 60℃-3hr 건조 200℃-16hr

2.2 견인전동기 고정자 형코일 제작

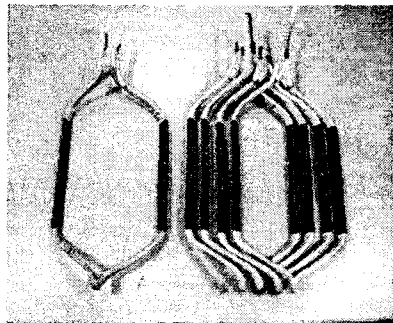


그림 1. 복합가속열화용 견인전동기 형코일 샘플

2.3 진단시험설비 구성

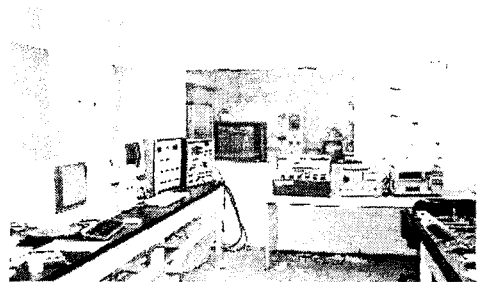


그림 2. 절연진단 시험설비 구성

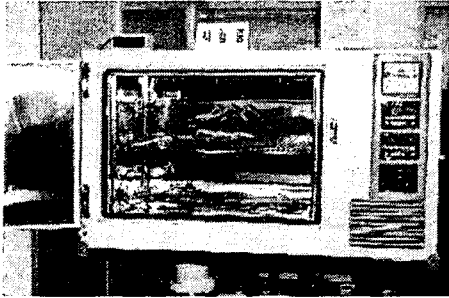


그림 3. 노이즈 차폐 측정용 오븐

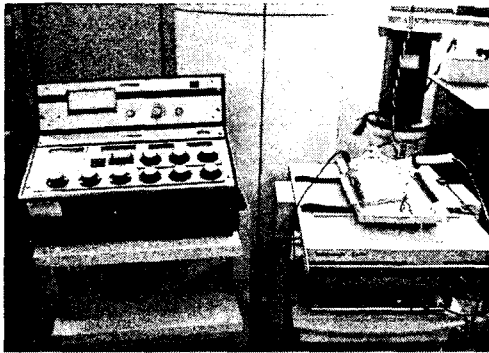


그림 4. 정전용량 및 $\tan \delta$ 측정장치

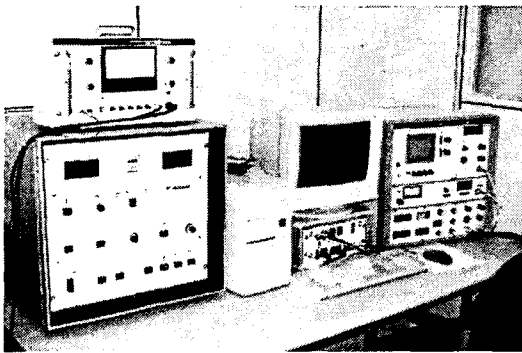


그림 5. 부분방전 측정장치

2.4. 가속열화에 의한 형코일 전기적 특성

고정자 형코일 시편의 신뢰성을 평가하기 위해서 열화 시험을 실시하였다. 시험조건은 270 °C에서 열열화를 실시하였다. 열열화를 실시하면서 주기마다 형코일 시편의 절연특성 및 유전특성을 파악하기 위해서 누설전류, 성극지수, 정전용량, 유전손실, 부분방전 등을 측정하였다.

그림 6은 열화주기에 따른 누설전류의 변화를 나타내고 있다. 첫 번째 주기에서 누설전류가 크게 나왔다가 다음부터 거의 일정하거나 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이것은 시편을 공기 중에 방치해 두어서 시편 내부로 습기가 침투를 하고, 표면에 오손물질이 쌓여서 나타난 것으로 볼 수가 있다. 이것은 정전용량 및 유전손실 시험에서도 확인 할 수 있었다. 정전용량이 초기에 큰 값을 보이고 있는데 이것도 내부 습기에 의한 물의 유전율이

공기보다 크기 때문에 나온 현상이다. 유전손실이 크게 나온 것도 수분에 의한 저항분 전류성분이 크기 때문에 유전손실이 큰 값을 보인다.

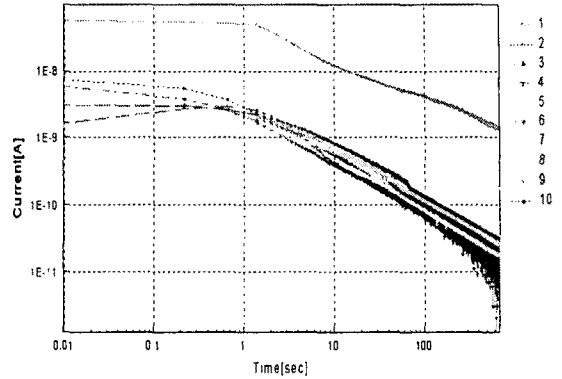


그림 6. 열화주기에 따른 누설전류 특성

실험결과를 살펴보면 성극지수와 누설전류는 외부적인 요인에 의한 영향이 크므로 열에 의한 열화정도를 정확히 파악할 수가 없었다. 그러나 어느 정도 열화주기에 따라서 성극지수가 감소를 하는 경향을 보이고 있다. 자료에 의하면 성극지수가 2이하로 떨어지면 위험한 수치인데 값이 2이하로 떨어지지 않는 것으로 보아 형코일의 절연은 열에 대해서 안정함을 알 수가 있다. 이렇게 성극지수가 샘플 시험에서 경향을 쉽게 파악할 수 없는 이유는 실제의 전동기를 가지고 실험을 할 경우 외부의 오염물질이나 습기 등에 쉽게 노출이 되어 있으므로 표면에 오손이 많이 되면 성극지수의 영향을 볼 수가 있으나, 본 시험에서는 열열화 바로 성극지수를 측정하여 습기나 오손물질이 모두 열에 의해서 증발하여 큰 영향을 보이고 있지 않는다. 그러므로 절연체 내부의 결합 및 열화정도를 파악하기 위해서는 다른 시험을 병행하여 평가를 실시해야 하므로, 유전특성 및 부분방전 시험을 통해서 열열화에 의한 절연성능을 평가하였다.

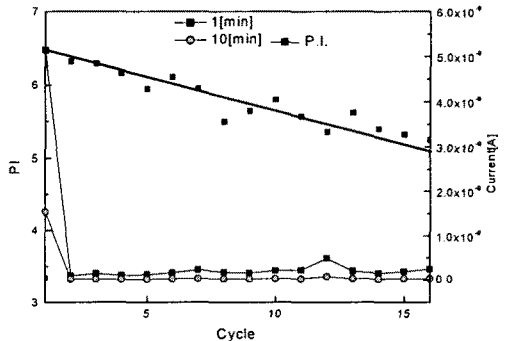


그림 7. 열화주기에 따른 성극지수 특성

정전용량과 $\tan \delta$ 값은 열화에 따라서 정전용량은 대체로 감소를 하고 $\tan \delta$ 는 거의 증가를 하는 경향을 보이고 있다. 정전용량이 감소를 하는 것은 열에 의한 내부구조 변화와 미소한 보이드에 의해서 감소를 하는 것으로 생각이 된다. $\tan \delta$ 의 증가는 내부 보이드의 증가로 인해서 증가를 하게 된다. 내부에 보이드가 증가를 하면 전압이 증가함에 따라서 보이드에서 방전이 발생하여 $\tan \delta$ 값이 증가를 하게 되는 것이다.

3. 결 론

국내 도시철도차량에서 국산화·표준화된 VVVF 제어 PWM 인버터로 구동되는 200KW급 3상 농형 유도전동기를 대상으로 하여, 열악한 운전환경에서 20년 이상의 수명을 보장하기 위한 가속열화의 기준자료로서 활용하고자 관련 국제시험규격에 의해 형코일 시제품의 성능시험을 실시하였다.

200class 절연구성과 인버터 구동시의 열화특성을 고려한 복합가속열화 시험법을 적용하여, 수명 20년을 상회하는 수명보장을 위해 10주기에 걸쳐 실시하였다.

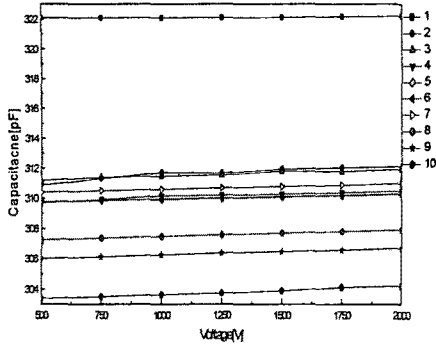
그 결과, 열화 주기에 따른 정전용량 특성과 유전손실 특성은 직선적으로 변화함을 확인하였다. 즉 정전용량은 열화에 따라서 대체로 감소하는 경향을 보이고, $\tan \delta$ 값은 증가하는 경향을 보이고 있다.

이는 내부구조 변화와 미소한 보이드 증가에 따른 영향으로 보인다.

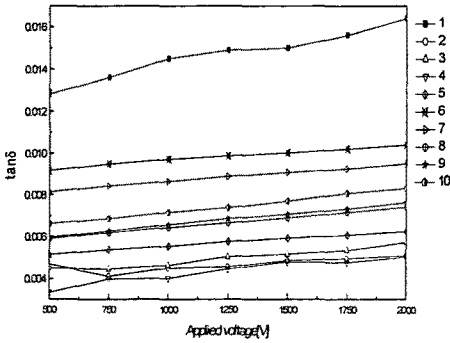
이 시험 결과는 인버터 구동 전동차용 견인전동기의 신뢰성 평가에 활용될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

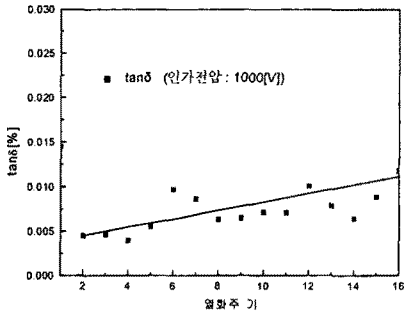
- [1] 한국철도기술연구원, "전기기관차 운용에 관한 최적화방안 연구(견인전동기 운용의 효율화 방안)", '97 철도청 연구보고서, pp.104-124, 1997, 11.
- [2] IEEE Std. 432-1992, "Guide for insulation maintenance for rotating electric machinery".
- [3] 한국철도기술연구원, "추진제어장치연구개발(전동차 AC견인전동기 표준설계)", '99 건설교통부 도시철도
- [4] 인버터써지 절연조사전문위원회, "인버터 써지의 절연시스템에 미치는 영향", 日本電氣學會 技術報告, 第 739 号, 1998, 8.
- [5] IEC Std. 34-18, Sect.31-1992, "Test procedure for form-wound winding-Thermal evaluation & classification of insulation system used in machine".
- [6] 日本規格協會, "電氣·電子部品の 壽命診斷", p.77-142, 1991.
- [7] R. Goffeaux, M. Krecke, etc., "Dielectric test methods for rotating machine stator insulation inspection", IEEE Proc. pp.528-533, 1999.
- [8] Vicki Warren & Greg Stone, "Recent developments in diagnostic testing of stator windings", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.14, No.5, pp.16-21, 1998.
- [9] 大塚誠之, 鐵道車輛, 昭和32年9月, 日刊工業新聞社, pp. 362~365 [1] IEEE Std. 432-1992, "Guide for insulation maintenance for rotating electric machinery".
- [10] Austien H. Bonnett, "Available Insulation Systems for PWM Inverter-Fed Motors", IEEE Ind. App. Mag., Jan./Feb. 1998.
- [11] A. Jouanne, etc., "Filtering Techniques to Minimize the Effect of long Motors Leads in PWM Inverter-Fed AC Motor Drive System", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol.32, No.4, pp.919-925, 1996



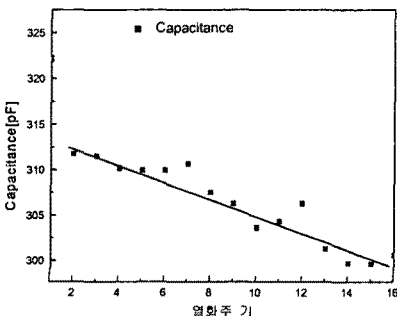
(a) 열화주기에 따른 정전용량 특성



(b) 열화주기에 따른 유전손실 특성
그림 8. 열화주기에 따른 유전특성-I



(a) $\tan \delta$



(b) 정전용량

그림 9. 열화주기에 따른 유전특성-II형