

**견인전동기의 고장예측 및 신뢰성 평가를 위한 복합가속열화 상태진단
- 고전압 인가에 따른 유전손실 및 부분방전 특성 연구**

왕중배*, 백중현, 변윤섭, 박현준
한국철도기술연구원 차량연구본부

**Condition Diagnosis by the Complex Accelerating Degradation for Fault Prediction & Estimation of Reliability on the Traction Motor
- Dielectric loss and PD Properties according to High Voltage**

Jong-Bae Wang*, Jong-Hyen Baek, Yoon-Sub Byun, Hyun-Jun Park
Korea Railroad Research Institute

Abstract - In this paper, the complex accelerating degradation of traction motor driven with VVVF controlled inverter were performed on the form coil samples with the 200 Class insulation system. in order to evaluate the reliability and the long-term life. After aging, the dielectric and PD properties were investigated on the 10 cycles aging sample in the range of 20~160(°C) and AC 250~2250[V] to diagnosis the condition of end-life and find the dominative factors of degradation.

단위로 노이즈 차폐용 오븐에서 정현파 60Hz 250V~2250V까지 250V 단위로 전압을 상승하면서 Tettex사 Capacitance & dielectric loss 측정장치(Type 2809)를 사용하여 측정하였으며, 유전특성 측정이후 Robinson사 PD detector(Model 803.1) 및 분석 시스템(CDA-3)을 사용하여 부분방전 특성을 측정하였다.

1. 서 론

최근 IGBT와 같은 대전력 고속 스위칭에 의한 인버터의 성능개선과 VVVF 제어에 의한 유도전동기의 효율적인 운전이 가능하게 되면서, 국내 도시철도차량에 사용되는 견인전동기 역시 VVVF 제어 PWM 인버터로 구동되는 200kW급 3상 농형 유도전동기를 표준사양으로 선정하여 열악한 운전환경(진동, 고온, 먼지, 철분, 기름 등)과 최소한의 정비상태에서 20년을 상회하는 운전 수명을 보장하도록 규정하고 있다.

그러므로 전동기의 안전과 수명보증을 위해 인버터 구동을 고려한 절연설계 검증이 반드시 실시되어야 하며, 이를 위해 전동기 고정자 형권 샘플을 대상으로 한 가속 열화시험 및 수명평가시험이 시급히 개발, 확립되어야 한다.

절연시험은 일반적으로 품질보증기간이나 전반적인 예방정비 프로그램에 따라 수행되며, 특히 전동차용 견인전동기의 장기사용에 따른 절연열화, 노후, 성능저하 등을 판정하기 위한 정밀진단 기법의 검토와 결과분석을 통해 문제점의 도출과 이에 대한 적절한 개수, 보수 및 교체와 관련되는 상태기준을 제시함으로써 운행 중 견인전동기 돌발사고의 사전예방과 안전운행 확보에 기여하고자 하며, 또한 각종 진단자료는 향후 전동기 이력관리 의 기준자료로서 활용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 가속열화 및 절연진단 시험

샘플 구성은 참고문헌(1)의 절연구성과 같은 폴리이미드(Kapton) 및 실리콘 수지를 주체로 한 200 Class 절연구성의 실제 설계요소를 모두 포함한 고정자 형코일 샘플을 제작하여 표 1의 조건으로 그림 1과 같은 절차의 가속열화시험을 10주기 동안 진행하였다.

10주기의 가속열화를 모두 마친 후 상태진단을 위해 230°C-175일, 250°C-50일, 270°C-15일 열화샘플에 대한 절연진단을 위해 유전특성의 온도 및 전압의존성과 부분방전 개시전압 및 소멸전압을 조사하였다. 유전특성시험은 온도범위 20°C~160°C에 이르기까지 20°C

표 1. 200 Class 코일절연의 가속열화 조건

열화 온도	1주기열화기간	총열화기간 (10주기)
270°C	1.5일	15일
250°C	5일	50일
230°C	17.5일	175일

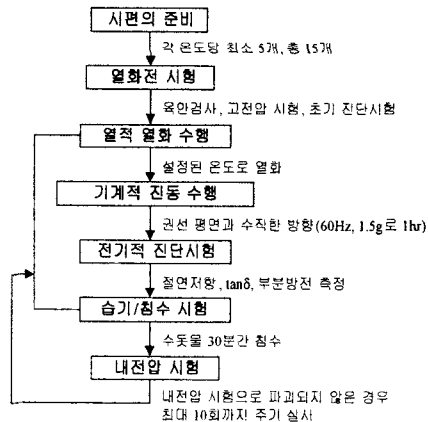


그림 1. 복합가속열화 진행절차

2.2 절연진단 특성분석

(1) 유전특성의 온도 및 전압 의존성

그림 2와 3은 230°C-175일, 250°C-50일 복합가속 열화된 샘플에 대한 정전용량과 유전손실의 온도의존성을 나타낸 것이다.

그림 2에서 알 수 있듯이 온도상승에 따른 정전용량과 유전손실의 변화는 40°C 부근에 손실피크를 나타내고 있으며 이후 100°C 범위까지 온도상승에 따라 감소하다가 110°C 부근에 다시 손실피크가 약하게 나타난 후 160°C 이후부터는 다시 손실이 증가하는 경향임을 알 수 있다. 즉 20°C~160°C의 온도범위에서 40°C, 110°C 및 200°C이후에 나타나는 3개의 손실피크가 존재하고 있음을 알 수 있다.

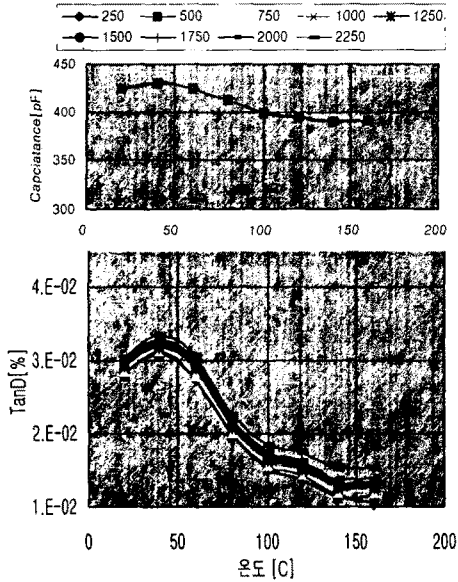


그림 2. 230°C-175일 복합가속열화된 샘플에 대한 정전용량과 유전손실의 온도의존성

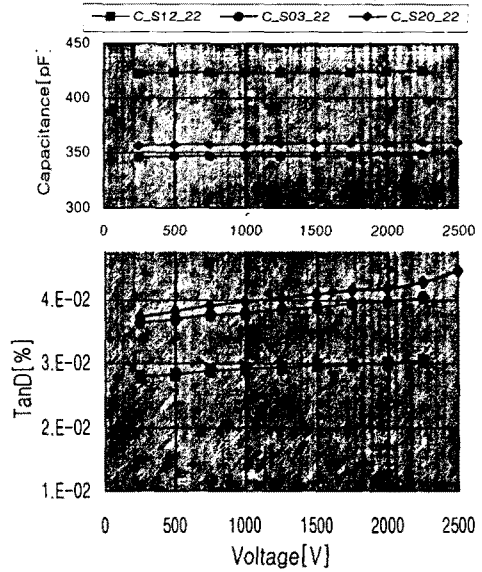


그림 4. 230°C-175, 250°C-50일 및 270°C-15일 복합가속열화 샘플의 전압의존성(20°C 측정)

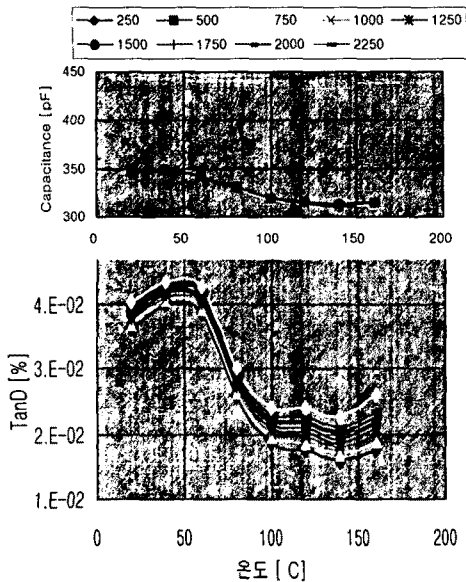


그림 3. 250°C-50일 복합가속열화된 샘플에 대한 정전용량과 유전손실의 온도의존성

(2) 절연저항 특성의 온도의존성

그림 5와 6은 230°C-175일 복합가속열화된 샘플에 대한 성극지수와 절연저항 1분치 및 10분치의 온도의존성을 나타낸 것이다.

일반적으로 1분치 절연저항의 변화는 절연물의 충전 전류 성분이 지배하고 있으므로 유전특성의 정전용량 변화 대응한 유사한 거동이 나타나고 있음을 그림 5에서 알 수 있으며, 그림 6의 성극지수의 변화는 유전손실의 온도변화와 거의 일치하는 특성을 보여주고 있다.

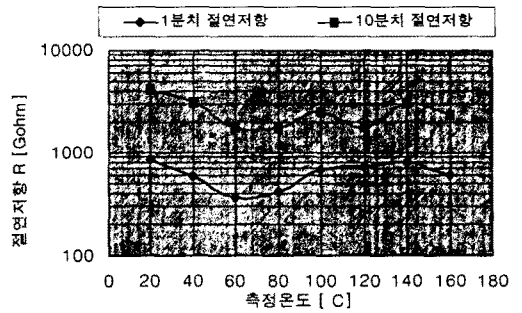


그림 5. 230°C-175일 열화샘플의 절연저항 온도의존성

그림 4는 230°C-175, 250°C-50일 및 270°C-15일의 복합가속열화된 샘플에 대해 20°C에서 측정된 정전용량과 유전손실의 전압의존성을 나타낸 것이다.

그림 4에서 알 수 있듯이 20°C에서는 전압상승에 따른 정전용량과 유전손실의 변화가 거의 없는 안정한 특성을 나타내고 있다. 250°C-75일 열화샘플의 경우가 상대적으로 다른 샘플에 비해 약간 큰 손실을 나타내고 있으며, 230°C-175일 열화샘플의 손실이 가장 적어 열화정도가 상대적으로 약하게 진전되어 있음을 알 수 있다.

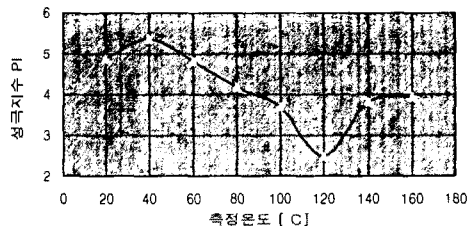


그림 6. 230°C-175일 열화샘플의 성극지수 온도의존성

(3) 부분방전 특성 분석

그림 7은 230℃-175일 열화 샘플의 부분방전 전하량과 발생 펄스수를 나타낸 것이며, 그림 8은 230℃-175, 250℃-50일 및 270℃-15일의 복합가속열화된 샘플에 대해 20℃에서 측정된 부분방전 방전량과 개시전압 특성을 비교한 것이다. 그림 8에서 알 수 있듯이 열화조건별 부분방전 개시전압은 270℃-15일 : 2.20[kV], 250℃-50일 : 1.94[kV], 230℃-175일 : 2.56[kV]로서 250℃-50일 열화조건에서 가장 심각한 열화가 진행되었음을 알 수 있다.

또한 최대 방전전하량 비교에서도 마찬가지로 250℃-50일 열화조건이 최대방전량 1200[pC]에 이르는 가장 심각한 열화를 받았음을 알 수 있다.

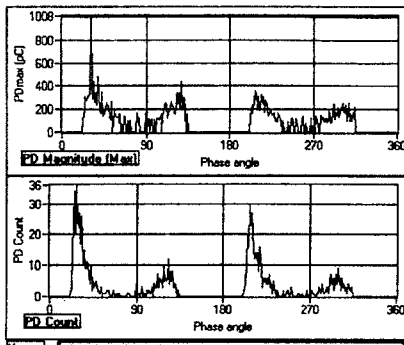


그림 7. 230℃-175일 열화샘플의 PD 전하량 Qmax과 펄스수 n

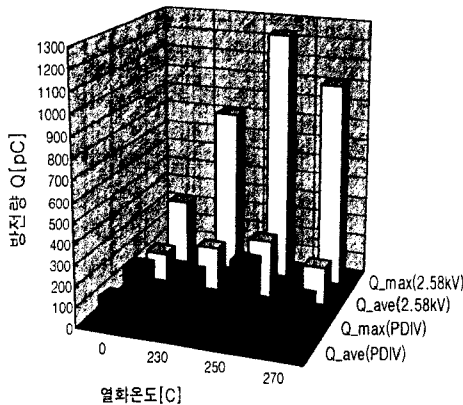


그림 8. 열화온도에 따른 부분방전특성 비교

3. 결 론

본 논문에서는 VVVF 인버터로 구동되는 정격출력 200kW급 전동차용 견인전동기의 고장예측 및 운전 신뢰성을 평가하고자 C종(200class) 절연구성의 실리콘 레진 함침된 견인전동기 고정자 형코일을 실제 생산조건과 동일하게 제작하였으며, 고속 인버터 스위칭에 따른 급준과도써지 전압스트레스, 고온가열 및 냉각에 의한 열충격 스트레스, 기계적 진동인가 및 침수시험 등을 조합한 주기적인 복합가속열화를 진행하였다. 그리고 복합 가속열화에 따른 견인전동기 형코일의 상태진단시험으로

서 유전손실 특성에 대한 인가전압 의존성 및 부분방전 및 절연저항 특성과의 연관성을 조사하여 인버터구동 전동차용 견인전동기의 고장예측 및 운전 신뢰성을 평가하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Austine H. Bonnett, "Analysis of the Impact of PWM Inverter Voltage Waveforms on AC Induction Motors", IEEE Trans., on Ind.Appl., Vol.32, No.2, pp.386-392, 1996
- [2] A. Jouanne, etc, "Filtering Techniques to Minimize the Effect of long Motors Leads on PWM Inverter-Fed AC Motor Drive System", IEEE Trans.Ind.Appl., Vol.32, No.4, pp.919-925, 1996
- [4] Satoshi Ogasawara, "가변속 AC drive의 누설전류 썬지전압, 축전압과 그 대책", 日本 電學論D, 118권 9호, pp.975-980, 평성 10년
- [5] Paul T. Finlatson, "Output Filters for PWM Drives with Induction Motors", IEEE Ind.App.Mag., Jan./Feb. 1998.
- [6] Austien H. Bonnett, "Available Insulation Systems for PWM Inverter-Fed Motors", IEEE Ind.App.Mag., Jan./Feb. 1998.
- [7] Les Manz, "Motor Insulation System Quality for IGBT drives", IEEE Ind.App.Mag., Jan./Feb. 1997.
- [8] 일본규격협회, "전기전자 부품의 수명진단", 1991
- [9] Gregory C. Stone & L.Edward Braswell, "Motor Insulation System", Motors Handbook, pp.427-456, Marcel Dekker, Inc., 1995
- [10] 한국철도기술연구원, '99 도시철도차량 표준화, 국산화연구: 추진제어장치연구개발(전동차 AC견인전동기 표준설계)