

철도차량 추진제어장치의 스트레스 분석 및 열화 메커니즘

Stress Analysis and Degradation Mechanism of the Drive Control system for a Railway carriage

김기준*, 왕종배**, 최영찬***

(Ki-Joon Kim*, Jong-Bae Wang**, Young-Chan Choi***)

Abstract

Traction motors driven by several type inverters have been subjected to increasing demands for higher operating temperature, more demands for duty cycles, higher starting current, frequent voltage transients and finally severe environmental exposure. For applications to inverter duty, traction motors needs a special insulation system, which has characteristics of increased bond strength, lower operating temperature and higher turn-to-turn insulation. Also it needs major contributors to insulation life and reliability of motors, which more considered by temperature, voltage, frequency, rise time, pulse configuration, wire thickness and insulation materials. In this paper, to evaluate of reliability and expected life, it is analyzed the several stresses and their degradation mechanism on insulation system of AC traction motor.

Key Words : Traction Motor, Degradation, Insulation, Expected life, Reliability

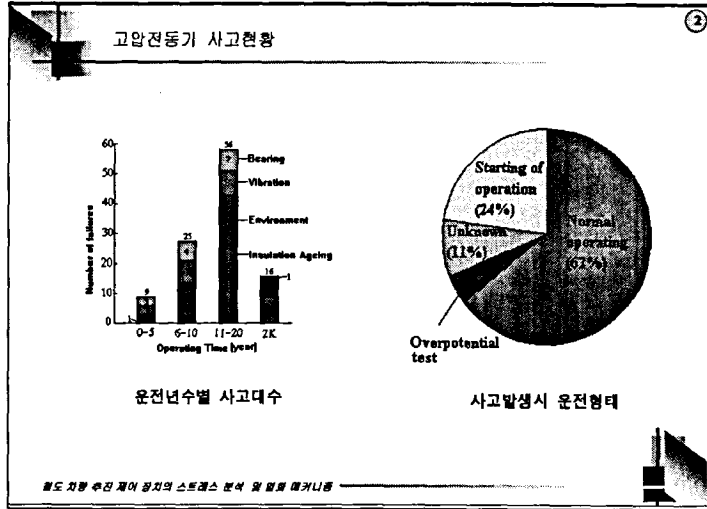
1

전동차 주요 전기장치 고장분석

장치명	고장요인	대처 현황
추진장치	<ul style="list-style-type: none"> • 권선전동기 - 전기자, 계자 접지사고 - 베어링 고착 및 파손 • 인버터 - 이상전류(이상과열) - 과도전압변동 - 게이트 파괴, 소손 	<ul style="list-style-type: none"> • 절연시험 철저시행 - 절연저항, 내전압시험 • 진단시험 도입 - 유전손실(전압, 온도) - 직류 V-I 특성 및 누설전류시험 - 베어링 진단시험
주차단기	<ul style="list-style-type: none"> • 진공파괴 • 차단불능 	<ul style="list-style-type: none"> • 내전압시험 철저시행 • 차단회로 성능점검
변압기 및 리액터류	<ul style="list-style-type: none"> • 권선접지 • 과대발열 • 권선 소손 	<ul style="list-style-type: none"> • 절연확보 중점 시험 - 절연저항, 내전압시험 • 진단시험 도입 - 유전손실(전압, 온도) - 직류 V-I 특성 및 누설전류시험

철도 차량 추진 제어 장치의 스트레스 분석 및 열화 메커니즘

* 시립인천전문대학 제어계측과 부교수
 (Fax: 032-760-8772, E-mail : kjkim@falcon.icc.ac.kr)
 ** 한국철도기술연구원 차량연구본부 선임연구원
 *** 현대중공업 기전연구소 전력기술연구실 선임연구원



직류전동기 고장분석

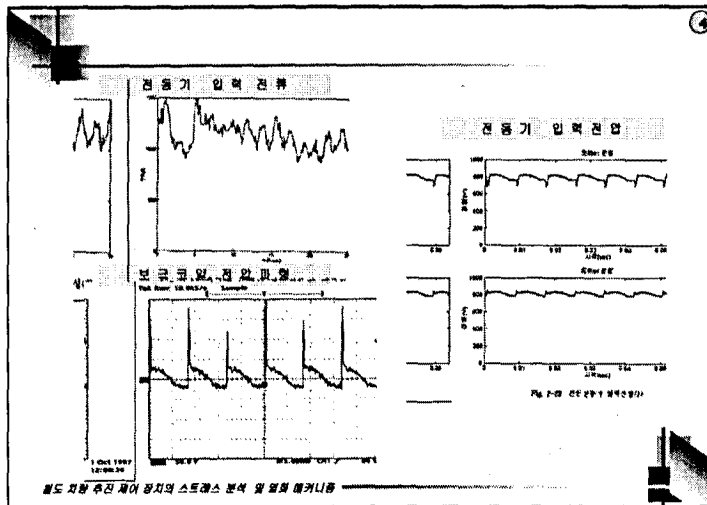
고장 발생	고장 현인	고장 분석
계자소손	<ul style="list-style-type: none"> • 과도부하 (견인항과도) • 높은 역류율 (경류역회) • 과도 비치 (Thyristor 스위칭) 	<ul style="list-style-type: none"> • 운전특성분석: 빈번한 기동/정지, 구배운전 및 급격한 부하변동 등 과부하 운전지속 • 경류회로 특성분석: 역류 및 고조파 전류성분과도, 온도상승 원인 • 구동회로 및 전동기 입력 분석: 전자접촉시 점화각 차이발생, 스위칭 과도비치 전압 발생
전기차별장	<ul style="list-style-type: none"> • 접지고장 (빗물, 분진) • 경류차 현상 (Flashover) • 경류불량 (과전압과) • 축발공전발생 (구배기동) 	<ul style="list-style-type: none"> • 역류유입, 경류불량, 현상진행 및 아크발생 • 구배기동: 대전류 발생 및 전류급변 • 이상 진동 유발, 경류역회 • 공전 약계지시: 경류불량 및 불꽃과도 • 브러쉬 부근 점화 발생

가속 발동조건상 과전압 견인률수 보
내구수명 저산성(과전압, 과전압 역회)
공전방지 운전과제
경류회로 특성상 역회로 특성 특성
일부 인접설비 영향

내구성 향상
방출 열
방출 열

계자 코어 내구성 향상 및 방출열전도
온도상승 및 과전압 열화 특성 개선방안
공전방지-상대전압저하, 도당
진단자료의 축적에 의한 경류회로
정밀검진 시정합의 확보

별도 차종 수전 제어 장치의 스트레스 분석 및 열화 평가내용



교류전동기 고장분석

고장 발생	고장 원인	고장 분석
고장지연	<ul style="list-style-type: none"> 단자 과전압 높은 dV/dt 빠른 상승시간 변사파 공진 고조파 유입 온도상승 	<ul style="list-style-type: none"> 전동기 단자의 과전압 분석 고속 스위칭의 큰 dV/dt, 빠른 상승시간 공선 초임부진인 집중, 부분냉각 유발 인버터-전동기 케이블 공진에 의한 변사파 과전압 추가 인버터 구동 운전특성 분석 고속 cos pulse 운전: 저차 고조파, 통상용기 저속 PWM 운전: 고차고조파 deep bar effect 고조파 포크트 발생, 진동 유발
베어링	<ul style="list-style-type: none"> 속전압 유기 부분냉각 순 열연피로 접지 전류 회귀 	<ul style="list-style-type: none"> 높은 dV/dt로 전류기 속전압 상승 과전류 유입으로 베어링 열연 피로 열연피로 열연피로, 베어링 손상 접지 전류 높은 dV/dt로 접지 도체부 회귀전류 발생

최소한의 정비성능에서 20% 상회 운전수명 보장

- 자장시스템과: 연계성을 고려한 고장예측 및 신뢰성 평가기술 확보
- 가속수명시험에 의한 수명 예측 및 신뢰성 검증
- 상위전단 유지보수, 설계 진화도 개발, 신뢰관리 및 예방관리에 의한 효율적인 고장예방

내구성 향상 방안

결함의 상세 및 원인구명

- 고속 스위칭 / 공진 / 온도변상에 대한 대책 확보
- 인버터 및 대지결연 권선의 PDV, 이차 유익
- 모터: 열에 저항하는 회로전압, 기온차, 전동기 확보
- C형 결연, 불꽃 및 열방사 열차(열전도성)
- 소형, 진동, 방진, 오일방, 열차제, 열차제

별도 지향 수전 제어 장치의 스트레스 분석 및 열분해 커리큘

온도상승 및 운전이력 추정

- PWM 운전은 전체의 약 1/3 정도이다
- $-(t1(11sec)+t6(12sec)) / Total(84sec)=0.274$
- 하루 10시간 운전 및 정격운전시 포함 온도 180℃
- 운전수명 25년을 보장하기 위한 신뢰성 시험기간
- 800Hz PWM 운전으로 20,550 시간 (856 일)
- 180℃ 열적조건으로 75,000 시간 (3,125 일)

인버터구동 전압유도전동기의 운전이력 분석

별도 지향 수전 제어 장치의 스트레스 분석 및 열분해 커리큘

교류전동기 고장분석

PWM 인버터 구동 200kW 전압전동기 단자 과전압 실험치

- 단자간 최대 전압 Vpeak=2700V, 상승시간 0.7μs
- 계산치 = (1,500V+600V) × 1.3 = 2,700V
- 단, 인버터 dc 링크전압 = 1,500V, 스위칭 spk= 600V
- 케이블 공진에 의한 변사파 비율 = 약 1.3배 확인
- 각 상의 실험결과 Ipu=1,270Vms (1,800Vpeak)
- 각 상전선 초임부 대지결연은 이 전압을 경험함
- PWM 운전시 800 Hz 빈도의 과전압 인가
- One-pulse 운전시 최대 200 Hz 빈도의 과전압 인가

200kW, 1100V (1500Vdc) 전압전동기의 PWM 인버터 구동시 단자간 과전압 파형

15 m 케이블의 경우

200kW, 1100V (1500Vdc) 전압전동기의 PWM 인버터 구동시 단자간 과전압 파형

6.6kV 전동기 (1640kW, 2극, 60코일, 각 코일 8탄) 서어지 전압 인가 권선내 전위분포 측정

별도 지향 수전 제어 장치의 스트레스 분석 및 열분해 커리큘

