

철도차량 전력용 커패시터의 주요인자 변화에 따른 특성 분석

Analysis of Variation Characteristics Considering Major Factors of Electrolytic Capacitor for Electric Railway Vehicles

김민섭*, 장진영**, 김재문*†

Min-Seop Kim*, Chin-Young Chang*, Jae-Moon Kim†

초 록 최근 철도차량 운영기관은 유지보수 측면에서 철도차량이 운행 거리 또는 기간에 도달하면 확일적으로 정비를 시행하는 예방정비 방법을 탈피하여 철도차량 부품의 상태 진단을 통해 정비를 수행하는 상태 기반 유지보수(CBM) 방법으로 개선하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 철도차량 주요장치 중 추진제어용 전력변환장치(C/I), 보조전원장치(SIV)은 매우 중요하며, 열화가 상대적으로 높은 전력용 커패시터는 예방정비에 따른 열화상태를 진단하기가 용이하지 않다.

본 논문에서는 철도차량 부품 중 운영기관에서 사용되고 있는 전력용 커패시터에 대해 주요 제조업체가 제시하고 있는 커패시터 수명에 영향을 미치는 주요인자 변화에 따른 특성을 분석하였다.

주요어 : 전력용 커패시터, 주요인자, 상태 기반 유지보수(Condition Based Maintenance)

1. 서 론

철도에서는 열차가 운행하는 중 고장이 발생하지 않도록 지속적인 유지보수를 수행하고 있으며, 기존에는 고장이 발생한 후 조치를 취하는 사후정비(Breakdown maintenance) 형태로 시행되다가 점차 고장이 발생하기 전 선제적으로 예방정비(Preventive maintenance)를 시행하는 형태로 유지보수 기술이 발전되고 있다. 철도 운영기관에서는 운행 중인 차량이 일정 운행 거리 또는 운행 일수에 도달하면 확일적으로 정비를 수행하는 사전정비 방식을 채택하고 있다. 현재 철도 운영기관에서 확일적인 예방정비는 철도차량 부품의 80~90%가 잔여수명이 남은 상태로 교체되어 교체 비용 증가 및 반대로 수명이 다한 교체가 필요한 부품의 미교체로 인한 열차 사고가 발생하는 것으로 나타나고 있다.

이러한 이유로, 철도 운영기관에서는 철도차량의 유지보수 비용 절감, 안전성과 신뢰성의 향상 등의 이유로 상태 기반 유지보수(CBM)로 정비 방식을 개선하고 있다.

본 논문에서는 상태 기반 유지보수(CBM) 기술을 철도차량 전력용 커패시터에 적용하기 위해 커패시터 수명에 영향을 끼치는 주요인자에 대한 특성 변화를 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 전력용 커패시터의 특성

철도차량에서 전력용 커패시터는 크게 추진제어용 주전력변환장치(C/I), 보조전원장치(SIV)에 뱅크형태로 사용되며, 전력품질을 향상시키고 고조파를 저감하기 위한 필터용으로 사용된다. Fig. 1은 전력용 커패시터의 내부 등가 회로를 보여준다. 커패시터 내부는 기생저항, 기생 인덕턴스, 정전용량을 직렬 연결한 R-L-C 수동소자 형태로 구성된다.

Fig. 2는 전력용 커패시터의 임피던스 특성

† 교신저자: 한국교통대학교 교통대학원
교통시스템공학과 교수(goldmoon@ut.ac.kr)

* 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과

그래프로 커패시터가 적용된 장치의 주변온도에 대해 동작주파수 변화에 따라 기생저항값이 크게 변화되는 것을 확인할 수 있다. 주변온도가 증가할수록 동작주파수에 커짐에 따라 기생저항값이 지수함수적으로 감소한다.

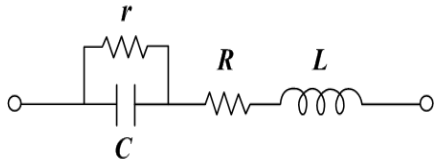


Fig. 1 Equivalent Circuit in the Condenser

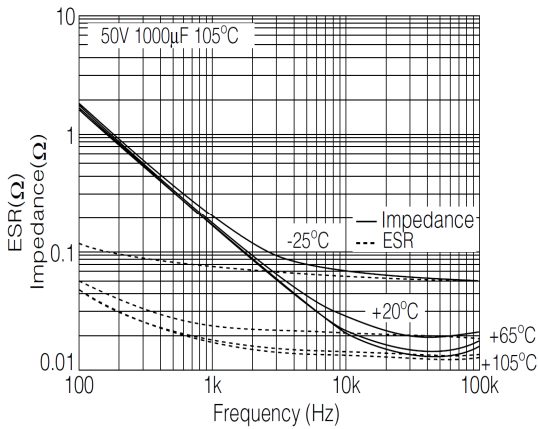


Fig. 2 Characteristics of Condenser Impedance with Frequency/Temperature Variation

2.2 전력용 커패시터 주요인자 분석

2.2.1 A社 커패시터

전력용 커패시터를 제조하는 국내업체 A社는 전력용 커패시터 기대 수명을 분석하는 방법으로 식 (1)을 제시하고 있다. 식 (1)은 커패시터 수명이 실제 인가되는 전압, 주변온도와 상관관계를 갖고 있음을 보여준다. [1]

$$L_s = L_r \times \left(\frac{V_s}{V_r}\right)^{-n} \times e^{\frac{t_r - t_s}{\alpha}} \dots\dots\dots (1)$$

V_s : 실제 인가전압, V_r : 정격전압, t_s : 실제 주변온도, t_r : 허용온도, L_s : 실제 인가전압, 실제 온도에서의 수명, L_r : 정격전압, 허용온도에서의 수명, α : 온도계수, n : 전압계수

2.2.2 B社 콘덴서

전력용 커패시터를 제조하는 국외업체 B社의 전력용 커패시터 기대 수명을 분석방법은 식 (2)와 같다. 식 (2)는 식 (1)과 다르게 인가전압 외 리플 전류를 사용하고 있음을 알 수 있다. [2-4]

$$L_n = L_o \times 2^{\frac{T_o - T_n}{10}} \times 2^{1 - \frac{\Delta t_n}{K}} \dots\dots\dots (2)$$

$$[\Delta t_n = t_o \times \left(\frac{I_n}{I_m}\right)^2]$$

T_o : 커패시터의 최대 작동 온도, T_n : 커패시터 외부 온도, I_n : 실제 리플 전류, I_m : 최대 허용 리플 전류, L_n : 외부 온도, 실제 리플 전류 하의 수명, L_o : 최대 허용 리플 전류, 최대 작동 온도 하의 수명, Δt_o : 최대 작동 온도, 허용 리플전류 하의 내부 온도 상승률, Δt_n : 실제 리플 전류, 외부 온도 하의 내부 온도 상승률, K : 온도 상승 가속계수

2.3 주요인자 변화에 따른 특성 분석

식 (1)과 식 (2)를 이용하여 전력용 커패시터의 기대 수명 그래프를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 수명 분석 그래프의 형태가 그림 2와 유사한 특성을 보였다. 주변온도가 허용되는 범위내에서 인가전압이 정격전압을 초과할수록 감소하는 변화폭에 비해 인가전압이 정격전압 범위내에서 주변온도가 허용온도를 초과할수록 급격히 수명이 감소함을 알 수 있다. 특히 인가전압과 주변온도가 정격전압과 허용온도 범위를 벗어날수록 보다 급격하게 기대수명이 감소함을 알 수 있다.

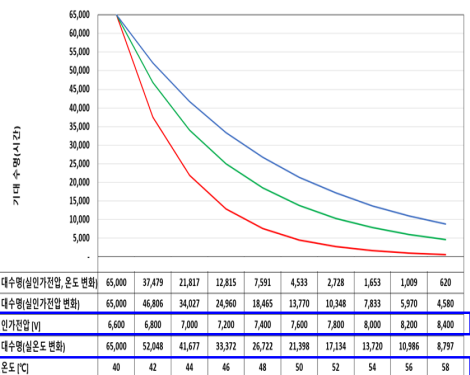


Fig. 3 Prediction Graph of Life Expectancy in Condenser (SAMHWA Manufacturer)

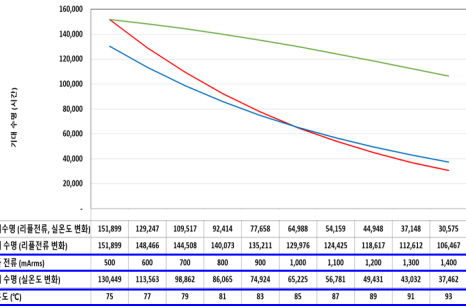


Fig. 4 Prediction Graph of Life Expectancy in Condenser (NICHICON Manufacturer)

그림 4인 경우 그림 3에 비해 기대수명이 매우 높음을 알 수 있다. 그림 3과 마찬가지로 전력용 커패시터가 적용되는 주변온도와 리플전류 변화에 따라 지수함수적으로 감소하는 특성을 보인다. 리플전류가 500[mA] ~ 1,400[mA] 변화하는 동안 기대수명은 151,899[Hour] ~ 106,467[Hour] 범위를 보인 반면, 주변온도가 75도에서 93도 사이에 변화하는 동안 130,449[Hour] ~ 37,462[Hour] 변화를 보였다. 따라서 리플전류에 비해 주변온도가 전력용 커패시터 기대수명에 주요인자가 됨을 알 수 있다. 따라서 전력용 커패시터의 기대수명에 인가전압, 리플전류, 주변온도가 상당함을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 철도차량 전력용 커패시터의 주요인자 변화에 따른 특성을 분석하였다. 전력용 커패시터의 수명 분석에 영향을 주는 주요인자가 주변온도와 인가전압, 리플전류 그리고 주파수라는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 전력용 커패시터의 열화모델을 정립하고 기대수명을 예측하려면 주요인자를 검출할 수 있는 전압, 전류, 온도센서가 필수적이다. 향후 주요인자에 대한 특성분석을 통해 철도차량 전력용 커패시터의 유지보수 방식을 상태 기반 유지보수(CBM) 기술로 개선하는데 큰 도움을 줄 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 2019년도 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 철도차량 스마트 유지보수 기술개발사업 개발' 과제의 지원을 받아 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] General Descriptions of Aluminum Electrolytic Capacitors, Nichicon Corporation Technical Notes CAT.8101E
- [2] 콘덴서의 수명, SAMWHA CAPACITOR CO., LTD.
- [3] Introduction, Basic Concepts, and Definitions : Aluminum Electrolytic Capacitors, Vishay BCcomponents, Vishay®
- [4] TECHNICAL NOTE. CAT.No.E1001L, CHEMICON