

전기동차 보조전원장치(SIV) 충전장치(BCCM) 신뢰성 분석

Analysis of the Reliability of the Battery Charger Converter Module(BCCM) for Electric Multiple Unit(EMU)

김보성*, 권호준**, 김재문†

Bo-Sung Kim*, Ho-Jun Kwon**, Jae-Moon Kim†

초 록 본 논문은 전기동차에 사용되고 있는 보조전원장치(SIV) 내 배터리 충전장치(BCCM)의 신뢰성을 분석한 연구로 이를 바탕으로 효율적인 유지보수 방안을 제시하고자 한다. BCCM의 고장 데이터를 2015년 1월부터 2024년 8월까지 분석한 결과, 고장 건수는 시간이 지남에 따라 증가하는 추세를 보였으며, 특히 동절기(11~1월)와 하절기(7~8월)에 고장 빈도가 높게 나타나는 계절적 특성을 확인하였다. 고장 원인은 주로 IDU 보드 내 전해 콘덴서의 성능 저하로 인한 것으로 부품 수명 분석 결과, 약 7년 사용 시점의 신뢰도는 92[%]로 분석되었으며, 평균 고장시간(MTTF)은 22.7년으로 산출되었다. 본 연구 결과로 장기 사용부품에 대한 선제적 교체 및 순환 보수품 확보의 중요성을 확인하였으며, 추후 고장 예방활동 및 효과적인 유지보수에 기여할 것으로 판단된다.

주요어 : 전기동차, 보조전원장치, 충전장치, IDU

1. 서 론

보조전원장치(SIV)는 전기동차 운행 중 공기 압축기 및 냉난방장치 전원을 공급해 주는 핵심 부품이다. 최근 배터리 충전장치(BCCM)의 잦은 고장 발생으로 인해, 효율적인 부품 교체 주기 설정을 위한 신뢰성 분석의 필요성이 제기되었다. 본 연구는 이러한 배경 하에, BCCM IDU 보드의 고장 데이터를 분석하여 신뢰성 지표를 산출하고, 고장 원인을 규명하여 최적의 유지보수 방안을 도출하는 것을 목적으로 한다.

2. 본 론

2.1 연구현황 및 데이터 분석

2.1.1 고장 사례분석

충전장치(BCCM) IDU (IGBT Gate Driver Unit)보드는 광신호를 수신하여 IGBT 소자를 구동하고, 과전류 및 단락 전류로부터 소자를 보호하는 역할을 담당한다. 최근 고장 사례로는 23년 12월 배터리 전압강하로 열차 운행이 중지된 사례가 있었으며, 이 고장의 원인은 BCCM IDU 보드 내 콘덴서의 성능 저하로 인한 고장으로 밝혀졌다. 전해 콘덴서는 10.2년 사용품으로 정격 용량 대비 감퇴율이 30[%]를 초과하였으며, 저온(-7[°C])환경에서 전압 리플 침투치 값이 급증하여 오동작이 발생되었음을 확인하였다.

2.1.2 고장 데이터 분석

Fig.1은 BCCM 고장 발생 현황 그래프로 15년 1월부터 24년 8월까지 운행 중 발생한 152건의 고장 데이터를 분석하였다.

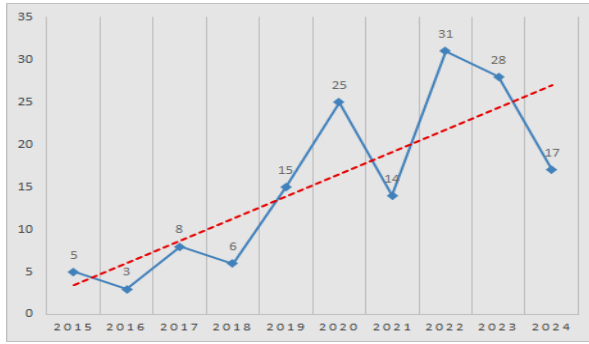
BCCM의 연 평균 고장 발생은 약 16건으로 고장 건수가 증가 추세를 보이며, 특히, 최근 5년간 고장 현황은 7~8월 28[%], 11~1월 20[%]로 집중적으로 발생하였다. 이는 전해 콘덴서가 외부 온도에 민감한 특성을 보이기 때문으로 판단된다.

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

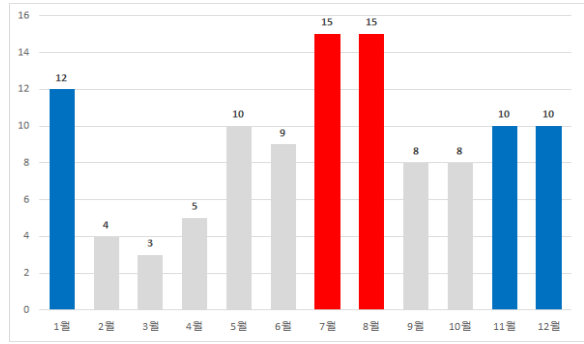
* 한국교통대학교 SMART철도시스템학과 /

한국철도공사

** 한국철도공사 인재개발원



(a) Breakdown Occurrence Status by Year



(b) Breakdown Occurrence Status by Monthly

Fig. 1 BCCM(Battery Charger Converter Module) Flult Data Analysis

2.1.3 신뢰성 지표 분석

Fig.2는 고장 데이터에 기반한 신뢰성 지표로 MKBF(Mean Kilometers Between Failures) 분석 결과, 15년 1월 ~ 24년 8월까지의 평균 MKBF는 1,764,465[km]로 나타났다. 22년 이후부터는 100만[km] 이하로 감소 추세이며, 24년에는 865,743[km]로 분석되었다. 이를 지수분포로 예측한 결과, 2027년에는 MKBF가 351,795[km]로 2024년 대비 2배 이상 낮아질 것으로 예상되었다.

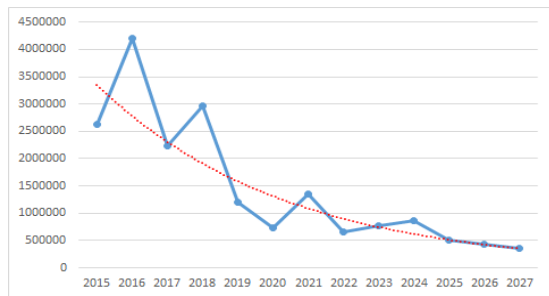


Fig. 2 Reliability Metrics Prediction

2.1.4 부품 수명 분석

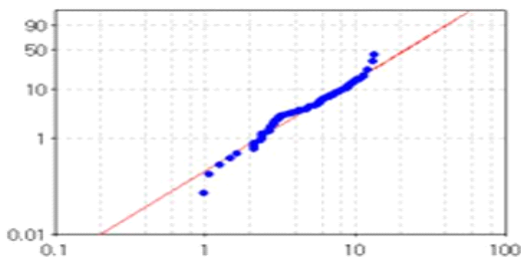


Fig. 3 Weibull Distribution Function

Fig.3은 고장 데이터를 Weibull 분포 그래프로 형상 모수(β)값은 1.8로 나타나 BCCM IDU 보드가 노후화 될수록 고장 발생

확률이 증가하는 분포 형태를 보였다.

평균고장시간(MTTF)은 22.7년으로 계산되었다. 부품 수명분석에 따르면, 신뢰도가 96[%]가 되는 시점은 4.7년이며, 6.9년 사용 시에는 신뢰도가 92[%]로 감소하는 것을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문의 신뢰성 분석 결과, BCCM IDU 보드의 고장 원인은 주로 전해 콘덴서의 성능 저하에 있으며, 이는 부품의 장기사용 및 온도 변화와 밀접한 관련이 있다. 특히 사용경과 7년 이후 시점부터 고장 빈도가 증가하는 경향이 관찰되었다. 따라서, 중정비 시 파형 측정을 통해 성능저하가 확인되거나, 10년이 경과한 부품에 대하여 선제적인 교체를 추진하고, 지속적인 모니터링을 통하여 종합적인 유지보수 계획 수립과 향후 도입차량에 대한 성능개선(설계 기준 강화)에 반영할 필요가 있다.

본 연구 결과는 한국철도공사의 전동차 유지보수 효율성을 높이고, 운행 장애를 사전에 예방하는데 중요한 기초 자료로 활용 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Park, Nam Chul (2017) Reliability Analysis of EMU Static Inverters Considering Influence of Temperature Stress Factor, Seoul National University of Science and Technology.
- [2] Yang, Byung Joon (2018) A study on the Effective Management of EMU's Auxiliary Power Inverter System(Line 2), Seoul National University of Science and Technology.