

제어장치 PCB의 고장원인 분석을 통한 사전예방 조치에 관한 연구

A Study on the Cause of the Failure Analysis Precautionary
Measures through the Control Device PCB백선문*, 이원영*[†], 김길동**Sun Mun Back,* Won Young Lee*[†], Gil Don Kim**

Abstract Railway car control device at the heart of the art technology is a device which plays an important role in the safety. Analyzing the data fields of 20 years were selected for the failure probability of the inverter control device of high PCB of the control device. As a result of an analysis of the cause of failure is possible PCB lifetime prediction of the part and is out exactly to the point where the function is lowered. This study aims to present a reference to the maintenance of the control system of trusted.

Keywords : Reliability, Maintenance, Control Device. Lifetime, Reference

초 록 첨단 기술의 핵심을 이루는 철도차량제어장치는 안전에 중요한 역할을 하는 장치이다. 20년간의 필드데이터를 분석하여 제어장치 중 고장 발생 확률이 높은 인버터 제어장치인 PCB를 선정하였다. PCB의 고장 원인을 분석하면 부품의 수명 예측이 가능하며, 기능이 저하되는 시점까지 정확하게 나오게 된다. 본 연구는 신뢰할 수 있는 제어장치의 유지보수에 기준을 제시하는 것을 목표로 하였다.

주요어 : 신뢰성, 유지보수, 제어장치, 수명, 기준

1. 서 론

철도차량 유지보수의 목표는 고객의 안전성을 최우선으로 하고 최적의 유지보수를 통하여 차량의 안전 및 가용성을 향상시키는데 있다. 이에 차량의 안전에 절대적으로 중요한 제어장치에 대한 체계적인 시리얼 관리 부족으로 부품의 특성에 따른 수명주기 예측 및 신뢰성 기반의 고장분석이 이루어지지 않아 유지보수에 어려운 부분이 있었다. 제어장치 중 고장발생빈도가 높은 인버터제어장치를 선정한 것은 위험도기반 진단과 신뢰도 중심의 정비관리를 위한 것으로 기준정보의 체계적인 관리를 어떻게 해야 하는지 고찰하였다. 또한 고장 분석을 통해 개별 부품들의 특성 변화를 정기적으로 검사하면서 사용기간의 경과에 따른 부품들의 변화를 지속적으로 기록 분석해 보았다. 그 결과로 정해진 기준에 도달 시 교환하는 유지보수 효율적인 개선방안을 제시하였다.

[†] 교신저자: 서울과학기술대학교, 교수 (wonylee@seoultech.ac.kr)

* 정회원, 서울과학기술대학교, 철도안전학과

** 정회원, 한국철도기술연구원, 단장

2. 본 론

2.1 LCUM(Local Control Unit Motor) 인버터 제어장치의 기능

LCUM(DTCC 911A) 컴퓨터에 의해 제어되는 MIM(VVVF 인버터)은 역행 시 전차선 전압 DC1500V를 3상 교류로 변환시켜 견인전동기(3상 교류 유도전동기)에 공급하고, 제동 시에는 견인전동기에서 발전되는 3상 교류를 직류로 정류하여 전원 측(전차선)으로 회생시킨다.

Fig 1은 제어장치LCUM의 외부감시 기능으로 견인전동기 토오크 제어, DC Link 전압 감시, 견인전동기 과전류 감시(입력신호인 U, V, W상)를 하며 내부 기능으로는 +24VDC 전원감시로 입력 전압이 15.6V 이하로 떨어질 때 동작 중지된다. PCB내 중요 부품으로는 제어 컴퓨터 보드에는 2개의 마이크로 프로세서(MC68302, MC68332)가 1개의 신호 프로세서(DSP56001)을 조정한다. 제어 프로세스 MC68332는 인버터 및 속도측정 보드를 제어한다. 신호 프로세서(DSP56001)는 6개의 아날로그 입력(가선 전압, 가선전류, DC링크전압, 3상 전류) 및 인버터 제어를 위한 신호 프로세스를 제어한다. 펄스 프로세서(HD63140)는 펄스 측정 또는 발생을 위한 16개의 일반 디지털 입/출력 포트, 10채널 다중 송신 기능을 갖는 10 bit ADC 1K BYTE 내부 RWM 및 감시 타이머를 포함한다. 아날로그 입력은 12개가 있다. 그 중 5개는 온도 센서 입력이고 7개는 가선 전압 및 전류 센서 입력이다.

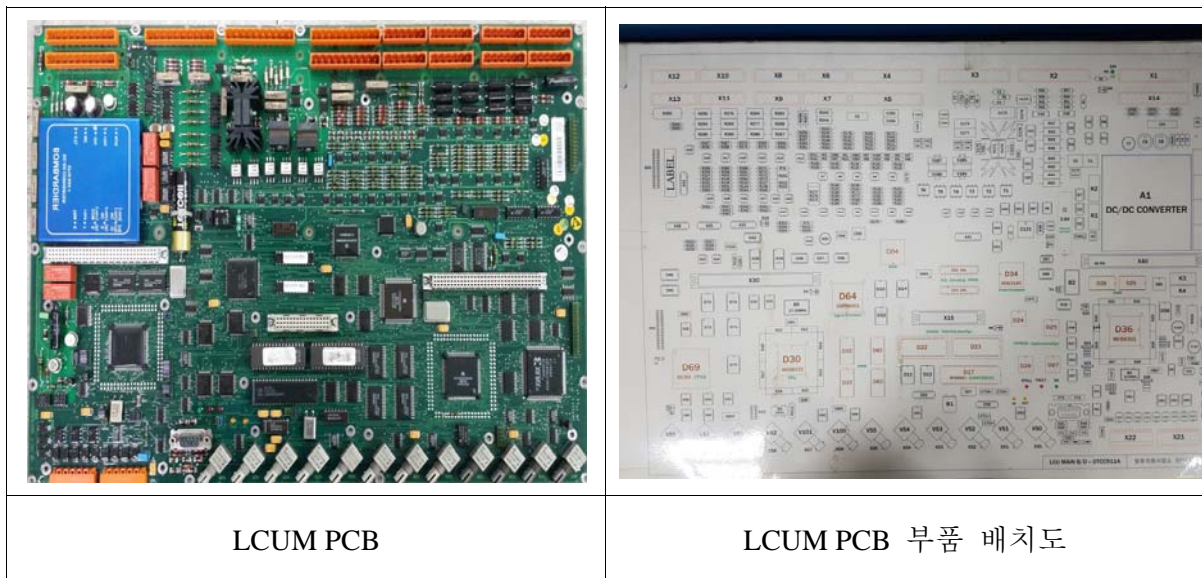


Fig.1 Lcum photos and layout components

2.2 제어장치 LCUM의 고장 수선 분석

2.2.1 제어장치 LCUM의 고장수선분석 현황

Table 1은 LCUM 시리얼번호를 기준으로 고장수선이력이 기록된 17년간의(1999 ~ 2015) 자료를 분석하였다. 고장발생빈도에서 알 수 있듯이 통신/제어불능이 총 861건 대비 719건으로 84%의 고장률과 입력신호인(상 고장, 전압센서, 가선과전류, 과전류, 전류센서) 고장은 142건으로 16%의 분포를 이루고 있다. 원인소멸 고장은 총 572건으로 실제 고장 대비 66%의 발생을 나타내었다. 총 861건고장 발생 중 LCUM에서 최초 고장이 발생한 건수는 308건이며 553건은 중복 고장으로 제어장치 신뢰성이 부족하다는 것을 알 수 있다.

Table 1 Inverter control PCB LCUM failure analysis repair status (1999 ~ 2015)

구 분	계	부품불량		원인소멸(572)
	861	DC/DC컨버터	부품	
통신고장	589	118	97	374
제어불능	130	16	7	107
상고장(phase)	34	2	10	22
전압센서	10	2	2	6
가선과전류	24	4	6	14
과전류	28	3	0	25
전류센서	46	7	15	24

2.2.2 제어장치 LCUM의 고장 수선 분석

제어장치 LCUM은 고장 발생 시 수리 가능한 장치로서 수명이 다해서 폐기하기 전까지는 사용 가능한 PCB이며 부품이 고장 시에는 재사용이 불가능한 것으로 구분하였다. PCB의 신뢰성을 분석하기 위해 모수분포 분석으로 초기고장(DFR), 우발고장(CFR), 마모고장(IFR)의 형상모수(Shape Parameter)에 따라 세 가지 고장률을 모두 표현할 수 있는 와이불(Weibull) 분포로 평균수명(MKBF)을 산출하였다.

Table 2에서 제어장치 LCUM의 전체고장 861건의 수리하면서 계산한 평균고장간격(MKBF)이 527,156km이다. 308건은 중복고장을 제외한 최초의 고장으로 평균고장간격(MTTF)이 848,469km로 계산되었다. Fig 2은 총 861건 LCUM의 중복고장 분석으로 DFR의 초기고장 유형을 나타냈고 총 309건 고장은 IFR의 마모 고장 유형을 나타냈다. 이렇게 동일 PCB에서 다른 결과를 보여주는 것은 중복고장 553건에 대한 초기고장 시 점검결과가 점검양호, 원인소멸로 정확한 대처를 못 했다는 결론을 얻게 되었다.

Table 2 Parameter distribution analysis result of Inverter control PCB

부 품	상관 계수	형상 모수	척도 모수	평균 고장	백분위수 B10	고장 건수
PCB	0.987	0.777	455,554	527,156	25,204	861
PCB	0.978	2.576	955.508	848,469	398,969	308

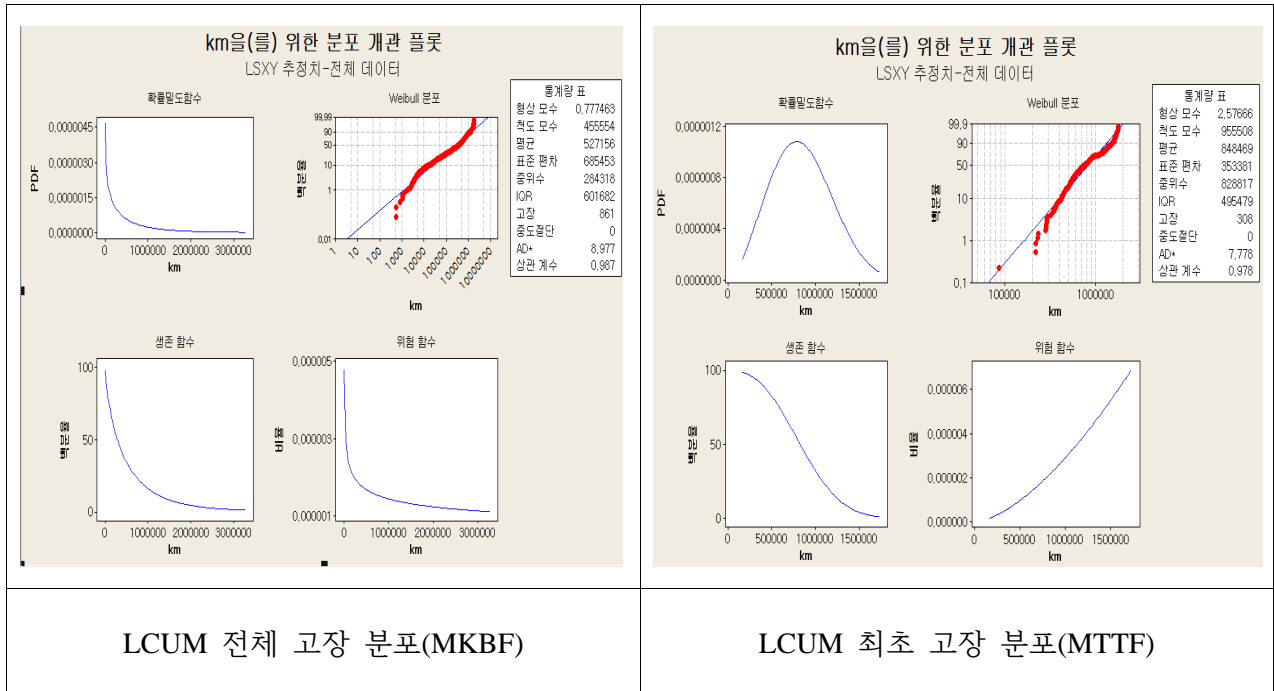


Fig.2 Parameter distribution overview of inverter control PCB

2.2.3 제어장치 LCUM의 부품수명예측

고장 분석을 통해 개별 부품들의 특성 변화를 정기적으로 검사하면서 사용기간의 경과에 따른 부품들의 변화를 지속적으로 기록 분석한 수명예측 결과를 Table 3에 정리하였다.

Table 3 Parameter distribution analysis result of Inverter control PCB Electronic part

부 품	상관 계수	형상 모수	척도 모수	평균 고장	백분위수 B10	고장 건수
DC/DC 컨버터	0.987	2.45	1,188,646	1,054,121	473,847	157
다이오드 (LL4148)	0.987	15.47	1,572,378	1,519,865	1,359,581	19
OP-AMP	0.935	17.42	1,525,113	1,479,298	1,340,269	13

2.3 제어장치 LCUM의 주요부품의 유지보수의 개선점 제시

제어장치 LCUM의 유지보수 기준 값과 부품특성에 따른 성능에 대한 신뢰성 있는 유지보수를 위해서 필요한 프로그램인 DCU-Term으로 과학적인 점검방법을 제시하고자 한다. DCU-Term은 감시 명령어와 아날로그, 논리적 신호의 상태를 점검하는 소프트웨어 프로그램이다.

제어장치 LCUM의 시리얼 번호 측정값이 운행거리와 시간에 대해 부품들의 성능이 저하되는 시점에 측정값이 기준 값과 다른 경우에는 성능저하로 예방차원에서 교환하는 정비가 필요하다. Fig.3은 제어장치LCUM의 중요한 기능을 하는 DC/DC컨버터, OP-AMP에 대한 불량과

원인소멸 고장의 점검한 수치의 사례를 보여준 예이며, Table 4는 부품 별 사전예방의 점검방법을 보여준 것이다.

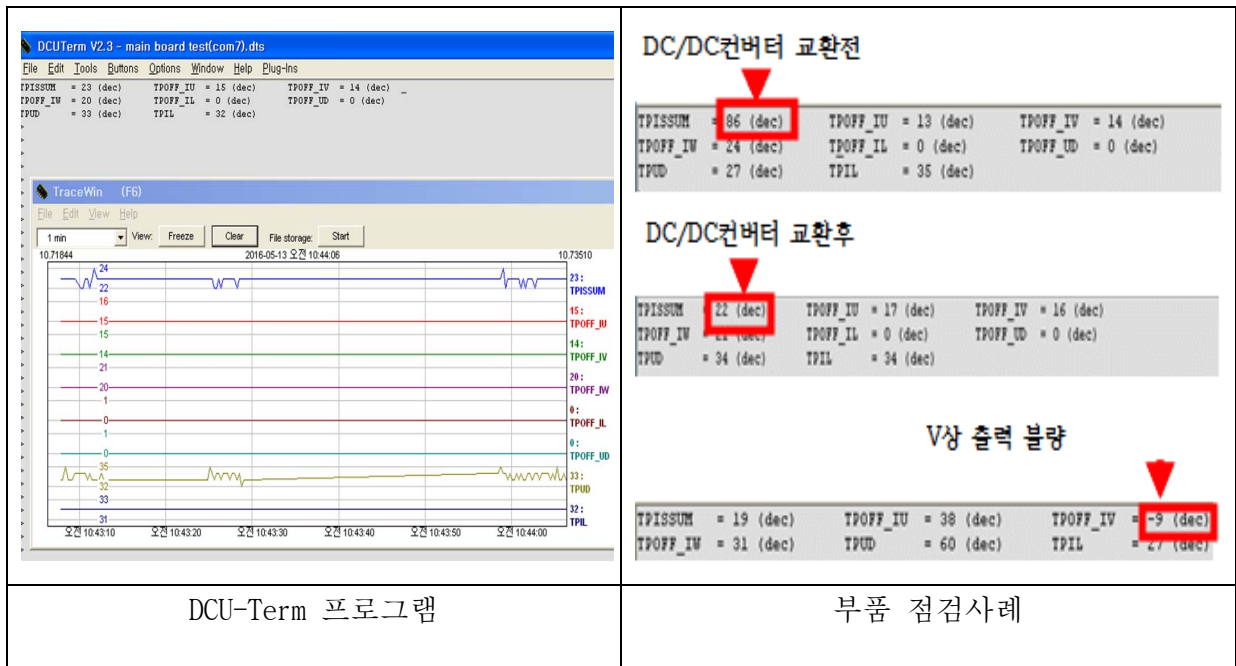


Fig.3 Part inspection case with DCU-Term program

Table 4 LCUM parts precautionary Summary

부 품	점검방법 (DCU-Term)		참 조
	하드웨어	소프트웨어	
DC/DC컨버터	5V, ±15V출력 저항 확인	CPY15VOK, CY15VNEG TPISSUM	TPISSUM은 ±15V입력의 전류치 확인으로 성능저하 확인
캐패시터(100nF)	5V, ±15V출력 저항 확인		원인소멸 고장이 많음
OP-AMP	신호출력 값 확인	TPOFF_IU, IV, IW, TPUD, TPIL	OP-AMP 출력확인으로 성능저하 확인
다이오드(LL4148)	전압확인(순방향, 역방향)	TPOFF_IU, IV, IW, TPUD, TPIL	다이오드 부품의 성능저하 확인

3. 결 론

유지보수에 대한 제어장치의 기준은 부품의 수명 예측과 성능이 저하되는 시점의 예방점검이다. 부품특성에 대한 수명예측은 동일 부품이라도 동작하는 기능에 따라 수명이 다르며 성능이 저하되는 시점도 다르다. 부품의 수명예측은 제어장치의 안전한 유지와 물품 관리를 할 수 있다. 부품의 조합으로 이루어진 제어장치의 신뢰성을 향상하기 위해서는 장치의 고유번호 관리로 정기적인 점검 시 주요 신호들의 측정값으로 성능 상태를 알 수 있는 기준

값을 제시하였고 고장에 대한 전문적인 수선과 수선이력 자료관리로 초기, 우발, 마모고장 등 원인에 대한 대처가 가능 하게 했다. 본 논문에서 분석한 제어장치LCUM의 효율적인 유지보수는 전문적인 소프트웨어 프로그램을 활용하여 고장에 대한 정확한 조치와 부품의 성능이 저하되는 시점에 적절한 예방조치를 통한 고장감소를 위한 것이다.

참고문헌

- [1] 김충수, (2015), “도시철도 차량 유지보수 효율화 방안 고찰”, 석사학위논문, 한양대학교
- [2] 문효선,(2013), “도시철도 신호장치의 신뢰도 분석 및 RCM 적용에 관한 연구”, 석사학위논문, 서울과학기술대학교
- [3] 노범택,(2015), “승객서비스 장치의 신뢰성 향상방안 연구”, 석사학위논문, 한국교통대학교 교통대학원
- [4] 신건영,(2011), “계전기 및 접촉기의 전동차 운행특성에 따른 수명분석과 신뢰도 예측”, 석사학위논문, 서울과학기술대학교
- [5] 최승보,(2014), “철도차량 전기식 출입문 시스템의 신뢰도 분석”, 석사학위논문, 서울과학기술대학교
- [6] 홍혁기,(2014), “전동차용 접지 브러쉬 시스템 유지보수 성능 신뢰도 예측에 관한 연구”, 석사학위논문, 인천대학교
- [7] 김한영,(2013), “Burn-in 및 FMECA를 통한 도시철도 시스템의 운영 신뢰성 향상에 관한 연구”, 박사학위논문, 경일대학교
- [8] 문용선,(2015), “FMECA를 이용한 전동차 고속차단기 신뢰도 분석” 석사학위논문, 서울과학기술대학교
- [9] 김용욱,(2015), “전동차의 횡뎀퍼 적정 교체주기 도출에 관한 연구” 석사학위논문, 서울과학기술대학교