

도시철도 시설물 전자부품(PCB) 자체 수선을 통한 비용절감 사례 Urban rail facilities electronic components (PCB) cost reduction practices through self- repair

이철원*[†], 구분일*, 장창국*, 이희선*

Cheol-Won Lee*[†], Bon-Il. Gu*, Chang-Guk Jang*, Hui-Seon. Lee*

Abstract Urban rail system has a variety of engineering and system such as machinery, electronics, electric power and so on, in which those of them are linked to each other as one in order to provide a safe and convenient transportation. A stable and safety operation is number one priority to provide a good quality service and to meet passengers' needs. A shortage of duration of all the system belong to rail system due to 24 hours operating requires high cost of maintenance and operation, of which situation can affect stability. It is one of the best option to organize an independent department repairing and conducting on PCB, which is electronically damaged, malfunctioning and so on. This study has been struggling to verify cost-down effect on operation by specializing in PCB only within a company authorized department and to introduce how to build facilities and groups for self-repairing PCB.

Keywords : Self-repairing, Cost-down

도시철도 분야는 기계, 전자, 전기 등 다분야의 복잡하고 다양한 시스템과 설비들이 상호 연계되어 안전하고 편리한 교통 수단이다. 승객들의 다양한 요구들을 충족시키고, 쾌적한 서비스를 제공하기 위해서는 그 시스템의 안정적인 운영이 중요한 요소이다. 도시철도 시설물은 24시간 운용되고 있어 노후화 진행률이 빠른 편이기에 장비 및 부품 교체 시기 단축되고 신품 구입을 인한 유지 보수비용이 빠르게 증가하여 안정적인 시스템 운용에 지장을 줄 수 있다. 이에 따라 도시철도 시스템의 안정적 운용과 유지보수 등에 소요되는 비용을 절감하기 위해서 자체 전자보드 수리부서를 조직하고 운영하여 자체적으로 전자부품의 고장 진단과 수선 실시가 최선의 방법으로 보고 있으며 본문에서는 전자부품 자체 수선을 위한 조직 및 인프라 구축, 비용 절감 효과를 증명하고자 한다.

주요어 : 고장진단, 비용절감

1. 서론

도시철도 분야는 다양한 시스템과 설비의 상호 작용에 의해 운영이 되고 있으며, 그 시스템이나 설비를 구성하는 전자부품(PCB)의 성능과 신뢰도는 운영에 있어 안전과 직결된 중요한 요소가 된다. 하지만 도시철도의 다양한 운영 환경들 즉 주위 온도, 환기 상태, 습도, 진동, 충격과 같은 변수로 인해 최소 사용되어야 하는 내구성 기준을 만족하지 못하고

[†] 교신저자: 대전광역시 도시철도공사(2human@naver.com)

* 대전광역시 도시철도공사

고장이 발생된다. 이러한 내구성 약화와 장비의 노후화에 따른 고장 발생 시 도시철도 안전운행에 영향을 미치게 되며, 유지보수 비용증가를 초래하여 경영 여건을 악화시킬 수 있다. 본 논문에서는 시스템의 안정적인 운영과 유지보수 비용 절감을 위한 대전도시철도 공사에서 운영 중인 전자부품(PCB) 수리센터 현황과 수선 기법 및 사례, 비용절감 효과에 대해 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전자보드(PCB) 운영현황

대전도시철도는 차량, 전기, 통신, 신호, 설비 등 다양한 분야의 국내외 장비들로 구성되어 있으며, 약 15,000 개의 전자보드가 사용된다. 철도 장비의 기술 고도화로 인하여 디지털 방식의 전자보드 부품은 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 하지만 고가의 부품을 모두 예비품으로 구매 확보가 불가하며, 고장 발생 시 수선에 높은 비용과 시간이 소요되어 운영에 어려움이 발생하였다. 따라서 자체적으로 고장 원인 분석 및 개선 대책을 위한 연구가 필요하게 되었고, 고가의 외주 수선 비용 절감을 위해 전자보드 자체 수선을 실시하게 되었다.

2.2 전자보드 자체 수선을 위한 인프라 구축

2.2.1 전자보드수리센터

전자보드의 효율적 수선을 위해 전자보드 수리센터를 2 개소 운영하고 있으며, 수선대상은 기술분야 내·외자 설비의 전자보드로 자산에 등록된 전 분야 고가의 전자보드 및 시설물 운용에 필수적인 중요 전자보드를 대상으로 실시하고 있다. Fig. 1 은 고장 난 전자보드가 입고되어 고장 진단을 거쳐 수선 완료되는 과정을 나타낸다.

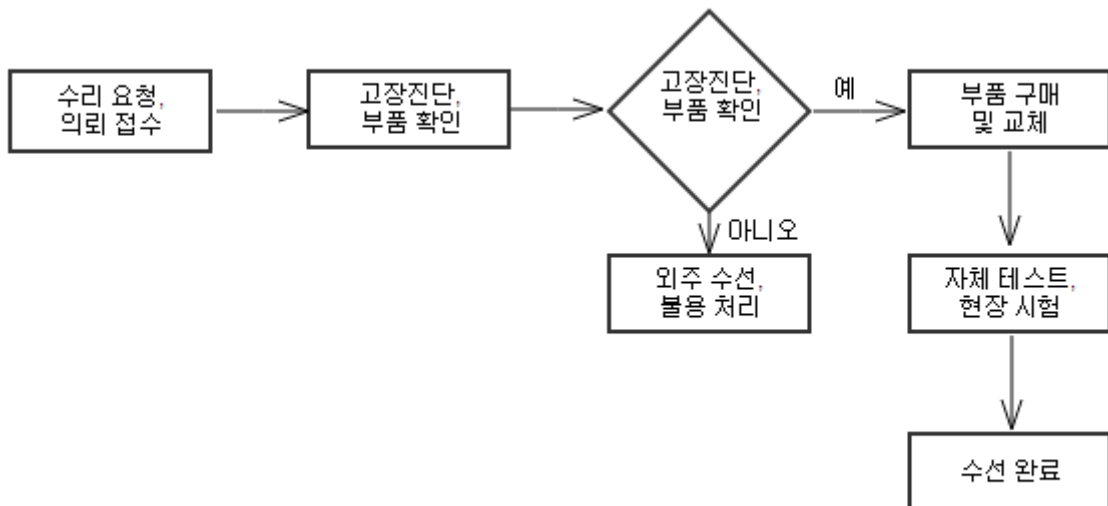


Fig.1 Electronic board repair procedure

2.2.2 고장유무 판단 및 수선을 위한 보유 장비

전자보드의 신속한 고장 진단 및 수선을 위해서는 전자보드의 특성 및 동작을 확인할 수 있는 분석 장비가 필요하다. 전자보드 수선 시 사용되는 공구 및 장비는 소자 탈 부착을 위한 솔더링 장비, 전자현미경, 멀티테스터기, 오실로스코프, LCR Meter, 톱라이트, 전자보드 성능시험기, PCB 논리 분석기(QT-200) 등이 사용된다. 소자 특성에 맞는 장비를 효율적으로 사용함으로써 수선 입고 시 대기 및 처리 시간을 단축함으로써 자체 수선의 효율성을 높였다

2.2.2.1 PCB 논리 분석기(QT-200)

PCB 논리 분석기(QT-200)은 전자보드의 불량 부품을 진단하는 장비로 진단 가능한 소자들은 TTL, CMOS 등 다양한 디지털 IC 와 아날로그 소자인 OP AMP, 트랜지스터 외 다양한 소자를 테스트 할 수 있으며 전압-전류(V-I) 곡선을 이용한 개별소자(R, L, C) 특성 시험을 통해 불량 유무를 확인할 수 있다. 또한 점검하고자 하는 IC 소자에 대한 데이터베이스가 내부에 저장되어 있어 소자와 비교할 수 있고, 기존 소자의 데이터를 저장할 수 있어 소자에 대한 데이터가 없어도 불량 유무를 비교 확인할 수 있다.

(1) 디지털 IC 고장 판별

디지털 IC 의 불량 소자 판별은 소자가 전자보드에 부착된 상태에서 테스트하는 방법과 소자를 보드에서 분리하여 테스트하는 방법이 있다. 소자가 보드에 부착된 상태에서 테스트 할 시 주변 소자에 의한 영향이 발생할 수 있어 소자를 탈착하여 개별적으로 테스트하는 것이 좀 더 신뢰성을 높일 수 있다. 소자 특성에 대한 정보가 내부 Library 에 저장되어 있어 테스트 하고자 하는 소자를 찾을 수 있고, Library 에 없는 소자에 대해서는 소자 특성을 읽어와 Library 에 저장하여 테스트 할 수 있다. Fig. 2 는 Library 에 저장되어있는 74HC00 의 데이터와 IC 의 입출력 비교 파형이다. 파형의 입력값은 청색, 출력의 예상값은 노란색 그리고 출력의 실제값은 하늘색으로 입력과 출력에서 예상값과 다를 경우 적색으로 표시되어 입출력 값을 확인 할 수 있다.

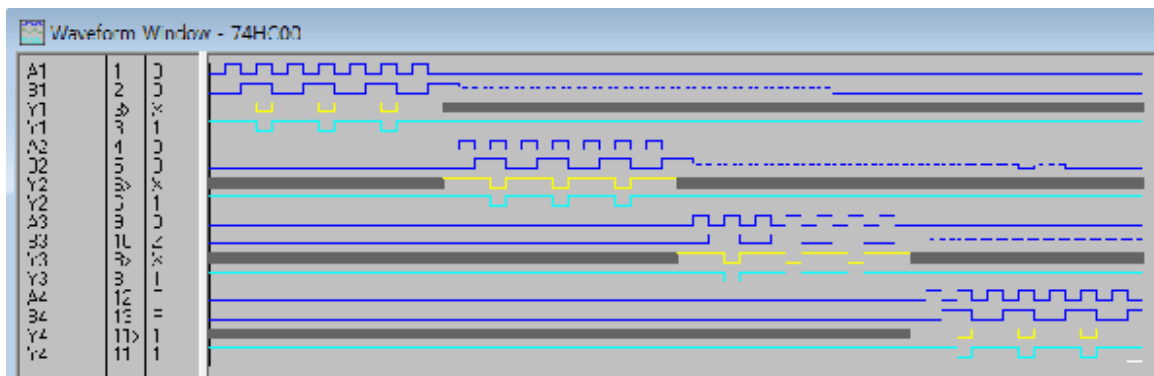


Fig.2 74HC00 IC testing waveforms

(2) 아날로그 소자 고장 판별

전압-전류(V-I) 곡선을 이용한 아날로그 소자 고장 판별은 저항, 커패시터, 코일, 다이오드와 같은 기본적인 4개의 파형 특성을 이용하여 불량 소자를 찾을 수 있다. 주로 측정되는 소자는 저항, 다이오드, 트랜지스터, 커패시터로 전압-전류(V-I) 측정 파형 특성을 이용하여 양품 없이도 부품의 불량 유무를 측정할 수 있다. 핀과 핀 사이의 연결이나 단락 상태 등을 파악하기 위해 Probe를 이용하여 측정하고 측정된 파형을 통해 불량을 확인할 수 있다.

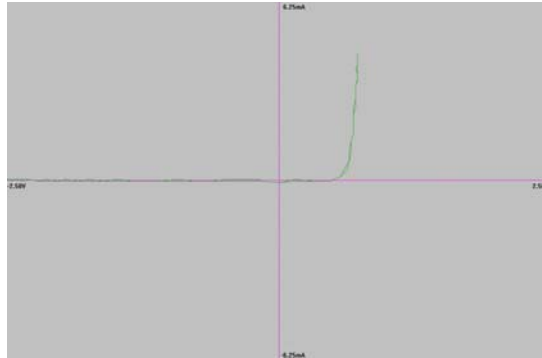


Fig.3 Diodes V-I waveform characteristics

2.2.2.2 전자보드 성능 시험기

고장 난 전자보드 수선 입고 시 고장 증상 확인 및 수리 완료 시 동작 유무를 테스트하기 위한 장비로 현장 조건을 구현하기 위해 내부연구과제를 통해 자체 개발하였다. 개발된 전자보드 성능 시험기는 전자보드의 AC/DC 전원을 공급하는 전원 공급반과 출력측 부하동작을 시험하는 부하 장치반으로 구성되어 있다. PCB 수리 시 성능 시험기를 이용 현장 조건을 구현하고 테스트할 수 있으며 수선된 전자보드의 성능확인 및 동작특성 시험을 할 수 있어 수선 효율성을 높였다.

Table 1. Electronic board performance tester Specifications

전원 공급반		
입·출력 전원	입력전원	AC : 3Φ4W 380/220V 60 Hz
	출력전원	AC : 3Φ3W 380V, 1Φ2W 220V 60 Hz DC : 5V, 12V, ±15V, 24V, 100V
부하 장치반		
부하 용량	부하(LOAD)	AC : 3Φ4W 380/220V, 6 kW (무유도성 저항부하) DC : 전자 부하 300W

2.2 수선사례

2.2.1 CCTV 카메라 수선

CCTV 카메라는 역사 승강장, 대합실, 에스컬레이터, 엘리베이터 등에 설치되어 고객의 움직임과 이상 현상 등을 실시간으로 관찰하는 안전에 중요한 장치이다. CCTV 카메라 고장발생으로 인한 수선의뢰 건수는 2013 년에 11 건에서 2014 년에는 28 건으로 증가하였으며 향후 고장 발생이 더욱 증가될 것으로 예상된다. 수선의뢰품의 수선성공률은 80%로 수선불가의 경우 영상센서 불량으로 센서 교체비용이 신품구입비용에 상당하여 수선불가처리 하였다.

Table 2. CCTV camera repair Results

	수선의뢰	수선완료	수선불가
2013 년	11 건	8 건	3 건
2014 년	26 건	23 건	5 건
합계	39 건	31 건	8 건

점검결과 CCTV 의 고장 증상은 백화현상과 화면 떨림이다. 백화현상은 카메라 렌즈와 영상 센서 사이의 유리필터에 미세먼지가 유착되어 화면이 흐리게 나타나는 현상으로 이는 부품 중 전해 커패시터의 열화발생으로 전해액이 가스로 기화하여 먼지와 유착 해 유리필터를 오염시키는 원인이 된다. 화면 떨림은 영상이 떨리고 물결무늬가 나타나는 현상으로 영상센서에 공급되는 전원 전압의 불안정 때문에 발생하는데 입력전원의 평활 콘덴서 용량저하로 인해 발생한다. 고장 진단은 영상센서 IC 의 경우 PCB 논리 분석기를 사용하여 점검한 결과 이상이 발생되지 않아 LCR Meter 로 커패시터의 용량을 측정한 결과 용량 저하가 확인되어 교체하였으며 내압 상향품으로 교체하여 예방정비 하였다. 커패시터는 전자부품 중 온도에 가장 민감하게 수명이 결정되는 부품으로 시간이 지날수록 고장발생이 증가할 것으로 예상되며 사전 교체 등 예방 정비를 통해 수명 연장을 실시하고 있다.

2.2.2 STEKOP 전자보드 수선

신호분야의 신호기와 선로전환기를 제어하는 고가 외산 장비이다. 고장 발생으로 인한 수선의뢰는 2012 년 이후로 매년 1 건씩 입고되고 전자보드 수리센터를 통해 수리 완료되었다. STEKOP 의 전자보드는 대부분 디지털 IC 로 구성되어있어 PCB 논리 분석기를 사용하여 고장 진단하였다.

진단 결과 외부와의 통신을 담당하는 IC(MAX485)와 각 소자에 전원을 공급하는 레귤레이터 IC(LP2986)의 불량으로 해당 IC 를 교체하여 수선완료 하였다. Fig. 4 는 PCB 논리분석기를 이용하여 IC LP2986 를 양품 소자와 비교한 파형으로 불량률이 25%로 불량으로 판단되었다.

외자재의 경우 외주 수선 의뢰 시 장기간의 수리기간 소요와 높은 비용이 소요되지만 자체 수선을 통해 신속한 수리와 비용을 절감하였다.

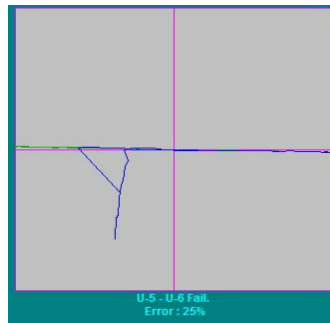


Fig.4 IC Diagnosis waveforms using a PCB logic analyzer (IC: LP2986, Good: Green, Bad: Blue)

2.2.3 TRE Power Supply 수선

전동차에 설치된 열차무선장치에 전원을 공급하는 장치이다. 고장진단 점검 시 전해 커패시터의 상부 팽창 및 용량 저하가 발생하여 교체하였다. 고장 원인을 분석한 결과 오실로스코프를 이용 전원 입력단의 파형을 측정한 결과 Fig. 5 에서와 같이 전원 투입 후 피크 전압이 기존 커패시터 내압 이상으로 전압이 지속적으로 인가되어 피로도 누적으로 인한 입력단 커패시터의 온도상승으로 인한 내부 전해질 열화로 외형 팽창 및 용량 저하가 발생하였다. 이상 커패시터의 교체 시 내압 사양품(200V 47 μ F \rightarrow 250V 470 μ F)을 사용함으로써 동일 고장 발생을 현저히 감소시킬 수 있었다.



Fig.5 Measures the Peak voltage across the capacitor

2.3 전자보드 수선을 통한 비용절감 효과

전자보드 자체수리센터를 이용 고가의 전자장비와 외국산 전자보드를 수리함으로써 예비 부품 확보로 인한 신속한 수선과 외주 수선비용을 절감하였다. Table 3 은 자체 수선 완료된

전자보드의 신품 구입 비용과 외주 수선비용, 수선유지에 필요한 각종 부품 및 장비 구입예산을 나타냈다.

비용절감 효과는 신품 구매 소용 비용 5 억 5 천만원, 외주 수선 비용 2 억 5 천만원이 절감되었으며, 수선 유지비 14% 정도의 비용으로 전자보드를 수선했다.

Table 3. Repairs results and economic effects

년도	수선완료	경제적 효과 (단위:천원)		
		신품 구매비	외주 수선비	수선 유지비
2013	220	373,092	169,067	18,933
2014	126	177,215	86,056	18,535
합계	346	550,307	255,123	37,468

3. 결론

철도관련 설비의 고장은 열차 운행 지연, 인사사고 발생 등 사고여파가 중대하므로 유지관리 및 예방정비가 필수적이다. 현재 각 분야별 정기점검과 수시점검을 통해 예방점검 활동을 하고 있으나 각종 설비 단위로 점검이 이루어지고 있을 뿐, 이를 구성하는 전자보드의 점검은 소홀한 상황이다. 이에 전자보드 고장에 대한 자체 수선을 통해 발생원인 분석 및 동일 고장이 발생하지 않도록 세부적인 계획과 연구 노력이 필요할 것이다.

참고문헌

[1] Amer Basheer Dababneh (2013), "A virtual predictive environment for monitoring reliability, life time, and maintainability of printed circuit boards", University of Iowa

[2] Frank Keane of Artesyn Technologies (2001), "Measuring the noise performance of dc/dc converters", in Components in Electronics magazine