

고장 분석을 통한 승객서비스 장치의 신뢰성 향상방안 연구

A Study for Reliability Improvement of Passenger Service Equipment using Failure Analysis

노범택 · 정광우*

Bumtaek Roh · Kwangwoo Chung

Abstract The Passenger Service Equipment(PSE) provide various train operation data such as flag station data. When PSE incur service failures or errors, passengers who use the train feel great inconvenience. In this paper, I have chosen PSE that were important to passengers and have applied Reliability Centered Maintenance(RCM), deviating from the existing perspective that operators have taken to perform RCM. FMEA/FMECA was performed for reliability analysis of the PSE. The highly critical device among the PSE is defined as the Passenger Information Control System(PICS), which is used to control the automatic announcement and signaling board. Through Weibull distribution of the PICS, failure analysis was performed. Based on the analyzed results, I have proposed a solution that will minimize service failure of PICS.

Keywords : Passenger Service Equipments, RCM, FMEA/FMECA, Passenger Information Control System

초 록 승객서비스 장치는 역정보 등 다양한 열차운행 정보를 제공하기 위해 설치된 승객 접점장치로 고장이나 오류 시 열차운행에 영향은 적지만 승객들은 큰 불편을 느끼게 된다. 이에 본 논문에서는 신뢰성기반 유지보수(RCM)를 운영자 입장에서 적용했던 기존 시각에서 벗어나, 승객 입장에서 중요장치인 승객서비스 장치를 분석대상으로 선정하였다. 서울시철도공사의 데이터를 기초로 승객서비스 장치에 대한 고장분석 및 FMEA/FMECA수행, 심각-발생도 매트릭스 및 위험우선순위평가 결과를 기반으로 통합 설정기를 분석대상으로 선정하였으며, 와이블분포를 통해 고장패턴, 고장률 등 고장해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 승객서비스 장치의 고장 최소화 방안을 제시하였다.

주요어 : 승객서비스 장치, 신뢰성기반 유지보수, FMEA/FMECA, 통합설정기

1. 서 론

최근 시민의 삶의 질이 높아지면서 도시철도 서비스 환경에 대한 시민의 기대 또한 높아지고 있고, 고객센터 만족도 조사를 통해 쾌적하고 편리한 도시철도 서비스가 더욱 강조되면서 단순한 승객수송이 아닌 정보전달과 커뮤니케이션의 일부분을 담당하고 있다.

승객서비스장치는 승객에게 많은 정보를 직접 전달할 수 있는 접점장치로 고장발생시 열차운행에 미치는 영향은 작지만 승객이 열차이용에 큰 불편을 끼치는 장치중의 하나이다. 한 예로 객실에 설치된 표시기 장치나 역 안내 자동방송장치의 경우 단순고장에도 역정보를 확인 할 수 없게 되어 실질적인 불편을 느끼게 되므로 이용자의 입장에서 체감하는 고장률은 훨씬 크다고 할 수 있다. 이러한 승객서비스 장치의 신뢰성 향상은 철도 운영에 있어 ‘안전하고 신속한 이동’을 위한 활동과 더불어 중요한 부분 중의 하나로 자리매김하고 있으며, 실제로 철도를 이용하는 승객들이 자주 제기하는 민원 중의 하나가 바로 승객서비스 장치에 관한 것이다.

지금까지 신뢰성기반 유지보수(Reliability Centered Maintenance: RCM) 기법이 적용되거나 검토 중인 장치들은 제동장치, 추진장치, 출입문 장치 등과 같이 대부분 전동차 운행과 관련된 장치가 주류를 이루고 있었다. 이는 전동차 운행의 본래 목적인 안전하고 신속하게 승객을 목적지까지 운송하는데 가장 잘 부합한다고 할 수 있다. 그러나 승객이 체감하는 운행 서비스의 신뢰도 향상 측면을 고려하지 못하고 있다. 본 연구에서는 승객입장에서 가장 많이 접할 수 있는 접점장치인 승객서비스장치에

*Corresponding author. Tel.: +82-70-8855-1645, E-mail: ckw1201@ut.ac.kr

© 2016 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2016.19.5.609>

대해 서울도시철도공사 운영호선인 5~8호선을 중심으로 RCM기법을 적용하여 핵심부품을 선정하고 고장분석 및 신뢰성분석을 통하여 최적의 유지보수 주기를 제안하고, 승객서비스 장치의 신뢰성을 향상시키기 위한 대안을 제시하고자 한다.

2. 승객서비스 장치

2.1 승객서비스 장치의 구성

승객서비스 장치는 객실표시장치와 같은 시각정보 제공 장치와 방송장치와 같은 청각정보 제공 장치로 나눌 수 있으며, 표시기장치는 승객에게 열차 안내 및 각종 공지 사항 전달 등을 시각적으로 서비스하기 위해 객실 내부에 LCD 모니터를 설치하여 도착역, 다음 정차역, 출입문 방향, 공지사항 등을 표시하고, 방송장치는 승객의 안전한 승하차와 공지사항을 전달하는 기능과 열차 무선 장치를 경유하여 사령실에서 직접 객실내 비상 및 전달 방송, 객실내 비상 발생 시 승객과 승무원 또는 승객과 종합사령실과의 통화 기능을 갖고 있다.

서울도시철도공사 5~8호선에 설치되어 있는 승객서비스장치는 Fig. 1과 같이 열차의 방송, 객실 안내 표시기, 행선 표시기, 열차번호 표시기 등을 제어하며, 역간 거리 데이터를 이용하여 적절한 시점에 방송을 출력하고 수동방송과 자동방송을 할 수 있는 통합설정기, 통합설정기에서 송신한 역/열차 정보를 수신하여 각 객실 서버(차상행선안내게시기)에 전송하는 운영서버, 운영서버로부터 해당 역에 대한 정보를 표출하는 객실서버 및 LCD표시장치, 객실 전원 공급기, L2/L3 스위치 등으로 구성되어 있다.

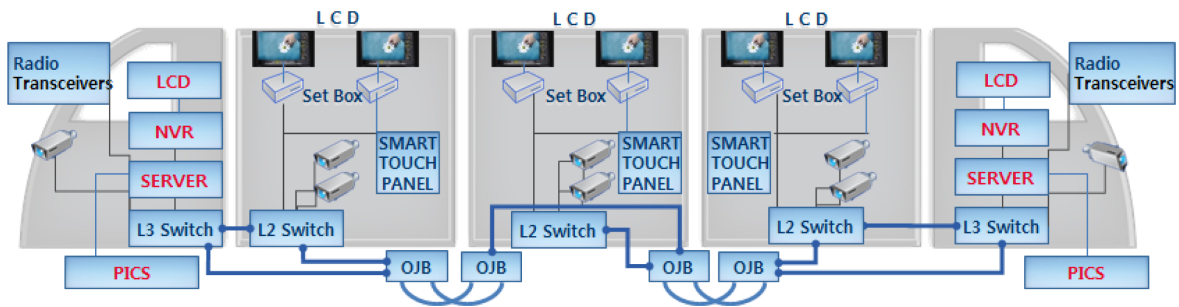


Fig. 1. Composition of passenger service equipment.

2.2 승객서비스장치 고장 분석

본 논문에서는 승객서비스 장치의 고장분석을 위해 서울도시철도공사 전동차 관리시스템 유피스에서 2013년부터 2014년 2년 동안의 작업 실적을 바탕으로 Table 1과 같은 분석결과를 얻었다.

지난 2년간 승객 서비스 장치의 고장발생 현황을 보면, 객실 안내표시기 전체 미현시, 오펜시 고장이 1,651건, 장동방송불량 852건, 객실안내표시기 개별 미현시 9,566건, 이음발행 149건, 제어실패 164건, 화면불량 132건의 고장이 발생하였으며, 고장조치를 위한 유지보수 작업 실적은 통합설정기 2,511건, 객실서버 7,510건, 표시기 장치 2,253건, 운영서버 170건 등 총 12,514건

Table 1. Current maintenance condition of passenger service equipment.

Device	Total	Reconnect	Reset	P/G Loading	Replacement	Good	Cleaning
PICS	2,511	99	425	48	1,072	856	11
Set-top	7,510	562	4,225	518	1,861	330	14
LCD	2,253	328	1,356	40	159	367	3
Server	170	10	40	6	101	11	2
L2	20	8	5	1	4	1	1
OJB	42	24	0	0	16	0	2
L3	8	4	0	0	0	1	3
Total	12,514	1,035	6,051	613	3,213	1,566	36

이 발생되었으며, 조치방법은 장치 재접속 및 재설정(리셋포함) 7,085건, 교환 3,213건, 점검양호 1,566건, 프로그램 재입력 613건 등의 순으로 시행하였다.

2.3 신뢰도 분석

2.3.1 FMEA/FMECA 분석

FMEA(Failure Mode Effects Analysis)는 제품개발 초기단계부터 발생 할 수 있는 모든 잠재적 고장모드들을 선별하고, 고장모드의 영향과 원인을 분석하여 이를 줄이거나 없애기 위한 고장분석기법이다. 특히 철도분야의 FMEA는 철도시스템에 대한 신뢰성 개념을 도입하면서부터 각 시스템의 안전 목표를 만족하기 위해 발생 가능한 위험요인과 고장을 제거하기 위한 분석기법으로 활용되어 왔다[1]. FMECA(Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)는 예방정비 관련활동을 보다 합리적으로 처리하기 위한 논리적 절차로써 유지보수업무가 필요한 시스템에 대하여 정비 프로그램을 최적화하기 위한 접근법으로 장치, 기능, 고장형태, 고장영향, 고장원인 등의 기본정보를 식별하고 분석하는 활동을 통해 시스템에 치명적인 영향을 주는 고장유형별 위험우선순위(Risk Priority Number: RPN)를 결정할 수 있다[2-4].

본 연구에서는 승객서비스장치(Level 1)를 통합설정기, 운영서버 등 8개의 서브시스템(Level 2)과 서브시스템을 구성하는 하위 23부품(Level 3)으로 분류하였으며, 고장모드는 Opened, Shorted, 과전압, 과전류 등 25개의 모드와 각각의 고장모드에 대한 고장원인을 소자불량, 과전압 및 과전류로 인한 손실 등 총 18개로 구분하여 FMEA 분석을 수행하였다. Table 2는 승객서비스 장치의 서브시스템인 통합설정기의 FMEA 분석을 수행한 예시를 나타내었다.

Table 2. FMEA of passenger service equipment.

Sub	Component	Function	Mode	Cause	Local effect	End effect
PICS	Embedded board	OS & Program control, MP3 & File save	Opened	Components Soldering defects	APP program loading failure	Inconvenience (Announcement / Display)
			Shorted	Components Soldering defects		
			Electrical failure	Loss due to overvoltage or overcurrent		
			Degraded	Malfunction due to lowvoltage		
.....

2.3.2 고장등급 분석

승객서비스 장치는 고장발생 시 열차운행에 큰 지장은 없지만, 이용 승객의 입장에서 볼 때 열차 이용에 가장 직접적으로 영향을 미치는 장치임을 감안하여 열차고장으로 인한 운용변경 등과 같은 고장과 상관없이 승객서비스 장치와 관련된 작업 실적을 기준으로 분석하였다. 승객서비스 장치의 특성상 열차운행에 심각한 영향을 미치지 않으므로 기존의 안전기준의 심각도를 승객서비스장치의 FMECA에 적용하는 것은 다소 무리가 있다고 판단되어 고장발생빈도와 심각도(승객불편정도)를 열차에 탑승하는 승객이 불편함을 느낄 수 있는 정도를 기준으로 하여 Table 3, Table 4, Table 5와 같이 재설정하였다.

2.3.3 RPN 평가

RPN은 모든 잠재적 불량에 대한 상대적인 척도로서 관리나 시정조치를 적용할 우선순위를 부여할 판단기준으로 발생빈도, 중요성, 고장감지의 난해성을 기준으로 평가한다.

Table 3 Probability classification.

Lev.	Grade	Remark
O1	6	>1500
O2	5	351-1500
O3	4	101-350
O4	3	51-100
O5	2	11-50
O6	1	10≥

Table 4 Severity classification

Lev.	Grade	Failure
S1	6	64 Devices
S2	3	8 Devices
S3	2	2 Devices
S4	1	1 Device

Table 5 Detection classification

Grade	Detection
6	Absolute Uncertainty
5	Remote
4	Low
3	Moderate
2	High
1	Almost certain

Table 6. Probability – severity matrix.

Level		Insignificant	Minor	Major	Fatal
		S4	S3	S2	S1
Very freq.	O1	C	B	B	A
Frequent	O2	C	B	B	A
Probable	O3	C	C	B	B
Occasional	O4	D	C	C	B
Remote	O5	D	C	C	B
Improbable	O6	D	D	D	C

Table 7. Measures in accordance with the matrix.

Level	Matrix Define
A	Unacceptable
B	Undesirable
C	Acceptable with review authority
D	Acceptable with review

$$RPN = \text{발생빈도}(O) \times \text{심각도}(S) \times \text{검출도}(D) \tag{1}$$

표시기와 방송장치를 제어하는 통합설정기의 객실표시기미현시(전량), 객실표시기 오현시(전량) 및 자동방송 불량량의 고장영향이 RPN 90으로 최우선순위를 나타냈으며, Opened, Shorted, 손실, 지전압 동작불량, 고조파, SSD 접촉불량이 주요 원인으로 분석되었다.

Table 8. Risk priority number assessment.

Device	Trouble	Failure Cause	O	S	D	RPN	Result
PICS	No signal(Whole)	Opened, shorted, loss, higherharmonic, SSD poor contact	5	6	3	90	A
	Wrong signal(Whole)		5	6	3	90	A
	Announcement failure	Opened, shorted, higherharmonic	5	6	3	90	A
Server	No signal(Whole)	Opened, shorted, over voltage, over current, poor contact, malfunction	4	6	3	72	B
	Wrong signal(Whole)		3	6	3	54	B
Set-top	No signal(Partial)	Opened, shorted, poor contact, malfunction, control failure	6	2	3	36	B
	Wrong signal(Partial)		5	2	3	30	B
LCD Module	No signal(Partial)	Bad weld, maintenance fault, defective part	6	1	3	18	C
	Wrong signal(Partial)		4	1	3	12	D
	LCD panel error	Defective part, maintenance fault	4	1	2	8	D

3. 통합설정기 신뢰성 향상

3.1 통합설정기 고장해석

고장해석은 RPN값이 높고 발생도-심각도 매트릭스에서 A등급인 표시기미현시, 오현시 및 자동방송불량과 관련된 통합설정기의 작업실적을 대상으로 시행하였다. 분석데이터는 2013년과 2014년 전동차 관리시스템 유피스의 자료를 기초로 하였으며, 작업실적 중 순간적인 오동작에 의해 고장이 복귀된 점검양호 건수를 제외하고 조치가 이루어진 데이터 1449건으로 해석하였고, 이 기간동안의 200편성의 총 주행거리는 39,449,381km였다.

통합설정기의 고장 해석을 위한 적합한 수명분포를 알아보기 위해 와이블, 정규, 지수, 로그-정규 분포 등 4가지 비교하여, Anderson-Darling값이 가장 적은 와이블 분포가 선정되었다. 고장해석은 미니탭이라는 통계 패키지를 활용하였고[5], 데이터 수집기간(2013.1.1~2014.12.31)을 기준으로 정시중단시험을 하였다.

Table 9의 모수를 와이블 함수식에 각각 대입하여 누적고장확률함수 F(t), 신뢰도함수 R(t), 고장확률밀도함수 f(t)를 구하면 아래 식(2), 식(3), 식(4)와 같다[6].

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{7.193E+3}\right)^{0.714}} \tag{2}$$

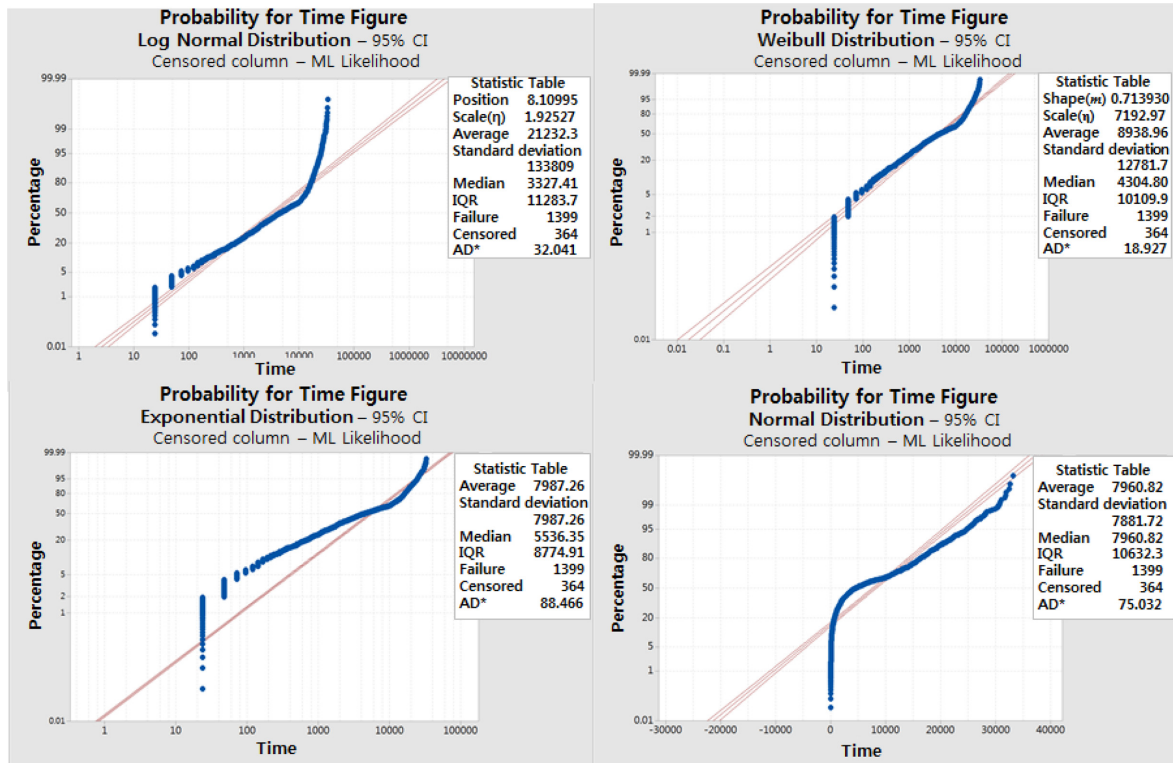


Fig. 2. Probability plots for distributions.

Table 9. Parameters of weibull distribution.

Parameter	Estimation	Standard Error	Lowest Limit	Upper Limit
Shape parameter(m)	0.71393	0.0154163	0.684345	0.744794
Scale parameter(η)	7.19297E+3	271.842	6.67943E+3	7.746E+3

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{7.193E+3}\right)^{0.714}} \quad (3)$$

$$f(t) = \frac{0.714}{7.193E+3} \left(\frac{t}{7.193E+3}\right)^{-0.286} e^{-\left(\frac{t}{7.193E+3}\right)^{0.714}} \quad (4)$$

통합설정기의 형상모수 값(m)이 1보다 작아 DFR 즉, 초기고장형태를 나타내고 있으며, 고장률 함수 $\lambda(t)$ 와 MTTF는 식(5), 식(6)과 같다.

$$\lambda(t) = \frac{\frac{0.714}{7.193E+3} \left(\frac{t}{7.193E+3}\right)^{-0.286} e^{-\left(\frac{t}{7.193E+3}\right)^{0.714}}}{e^{-\left(\frac{t}{7.193E+3}\right)^{0.714}}} \quad (5)$$

$$MTTF = \frac{\Gamma(1+1/m)}{1/\eta} = \Gamma(2.4) \times 7.193 = 8,935(hr) \quad (6)$$

Table 10은 부품의 품질에 대한 보증과 관련된 B수명으로 전체 중에서 일정비율의 장치가 고장이 발생하는 시점의 제품 설 계수명을 나타내며, 식(7)과 같다.

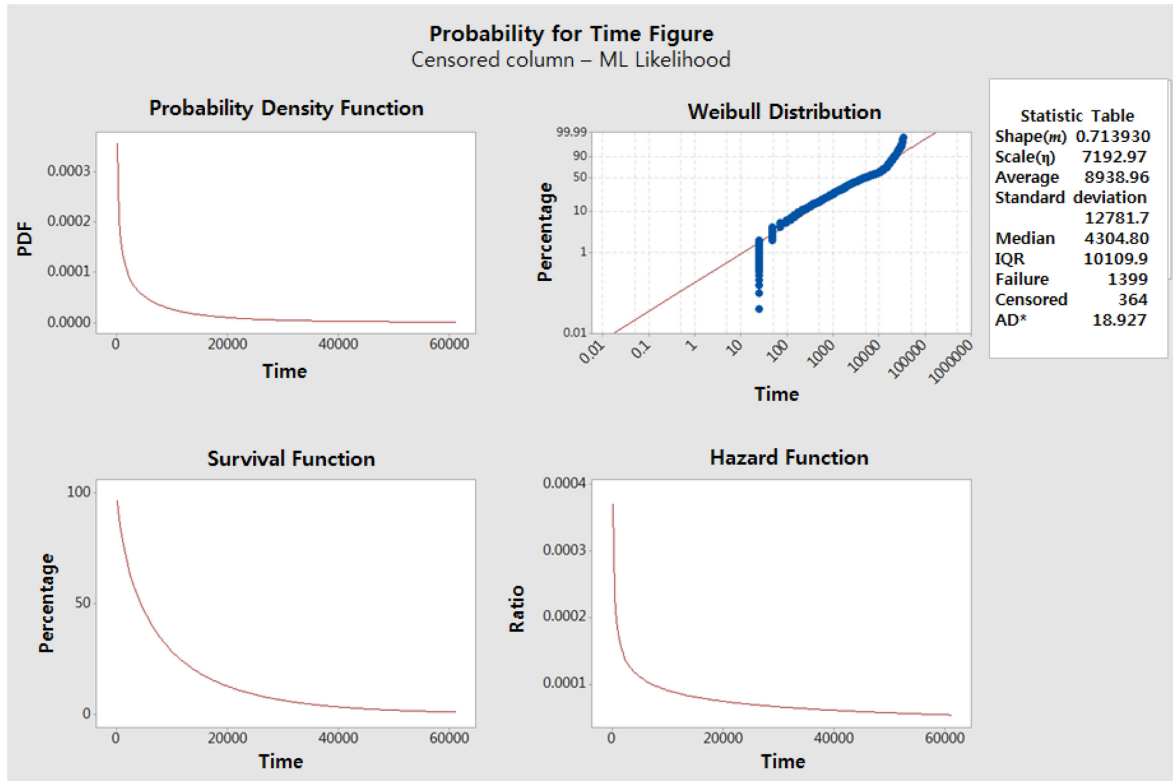


Fig. 3 Reliability functions.

$$B_p = \frac{[-\ln(1-p)]^{\frac{1}{m}}}{1/\eta} = [-\ln(1-p)]^{\frac{1}{m}} \times \eta \tag{7}$$

3.2 통합설정기 점검방법 개선

통합설정기의 고장데이터를 전산시스템으로 추출하여 와이블분포 해석으로 고장형태와 평균수명 데이터를 파악하였다. 통합설정기는 2011년 전호선 개선작업 후 운영기간이 짧고 최초 고장 후 재발생되는 고장 기간이 짧아 초기고장의 형태의 고장률이 발생하고 있다. 또한 형상모수와 척도모수를 이용해 평균수명 8,935시간을 확인할 수 있었고, 시뮬레이션을 통해 Table 10과 같이 백분위수명을 확인하였다. 통합설정기 고장 시 열차운행과 안전에 미치는 영향과 승객에게 미치는 혼란과 불편정도 등을 고려한 가중치를 산출하여 시뮬레이션을 통해 얻은 Table 10의 백분위 수명에 적용시킨다면, 보다 효율적인 점검 주기를 적용할 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 4는 서울도시철도공사의 검수주기와 산출된 백분위 수명을 비교하였으며, B₅ 수명을 기준으로 현행 7일 검사는 적절한 점검주기로 판단할 수 있다.

Table 10. Percentile.

Percentile	Time	Days	Standard error	Lowest limit	Upper limit	Remark
1(B ₁)	11.4437	1.486	1.70520	8.54541	15.3251	Mean daily driving time 7.7(hr)
5(B ₅)	112.226	14.57	11.4521	91.8825	137.074	
10(B ₁₀)	307.593	39.95	25.2784	261.832	361.351	
20(B ₂₀)	879.979	114.28	55.2930	778.014	995.307	
50(B ₅₀)	4304.80	559.06	175.602	3974.03	4663.11	

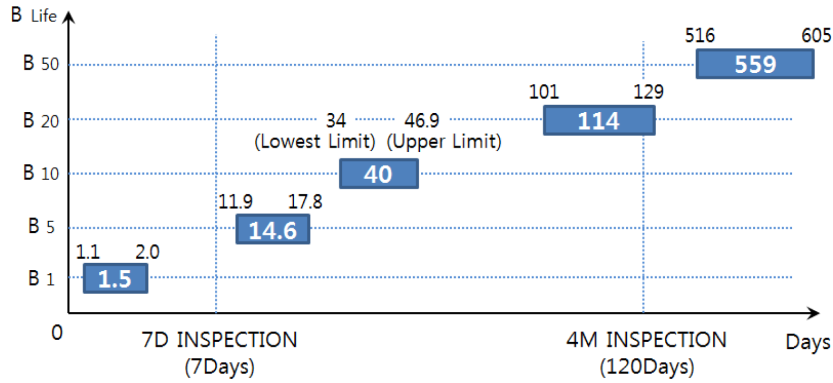


Fig. 4 Percentile compared with the life cycle inspection of SMRT.

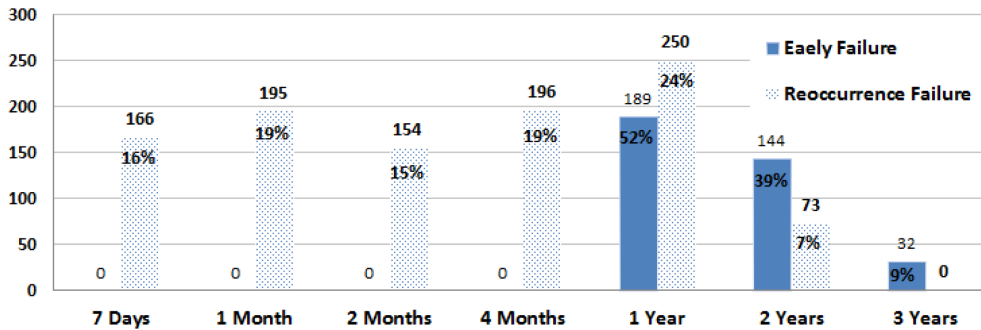


Fig. 5 Histogram of the failure times.

통합설정기의 중요도와 사용환경 등을 고려하여 점검 시 DI, DO, AIO 보드 등과 같이 단순기능을 하는 보드는 제외하고, 통합설정기의 구동프로그램이 설치되어 있어 표시기와 자동방송을 동시에 제어하는 임베디드 보드와 같은 주요보드에 대한 점검을 중점적으로 시행한다면 좀 더 효율적인 고장관리가 될 수 있을 것이다. 실제 전동차 고장 시 재설정(리셋) 또는 점검양호가 되는 경우는 대부분이 상시 구동되어 통합설정기를 제어하는 임베디드 보드와 관련된 고장이며 또한, 현업에서 고장조치를 위해 교환된 통합설정기의 고장조치내용을 확인하면 임베디드 보드의 오류로 인한 고장임을 확인할 수 있다.

Fig. 2와 Fig. 5의 히스토그램에 살펴보면 각각의 수명분포 그래프에서 초기 시간대에 고장이 집중되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 최초고장은 400개의 장치 중 365개에서 1년 이내 52%(189건), 2년 이내 39%(144건), 3년 이내 9%(32건)이 발생하였으나, 고장 조치 후 고장 재발 기간은 7일 이내 16%(166건), 1개월 이내 19%(195건), 2개월 이내 15%(154건), 4개월 이내 19%(196건), 1년 이내 24%(250건), 2년 이내 7%(73건)로 최초고장 발생 후 고장재발 주기가 짧아 초기 시간대에 고장이 집중되어 나타났다.

최초고장 조치 후 1년 이내에 고장이 재발 하는 경우는 약 93%정도로 최초 고장율 52%에 비해 상당히 높은 수치를 나타내고 있으며, 초기고장이 많은 이유로는 교환부품이 신품이 아닌 중고품일 경우로 이는 신품과 같은 품질을 보증할 수 없다고 볼 수 있고, 고장 원인 추적이 잘못되거나 적절한 조치가 되지 않을 경우 등으로 볼 수 있다.

고장 조치 후 재발생 되는 주기가 최초고장 발생기간에 비해 현저하게 짧으므로 수선 후 재사용되는 부품에 대해 수선품질을 향상 및 보증 할 수 있는 방안 마련과 함께 부품의 이력관리를 통해 부품수명주기(부품 취득, 사용, 수선, 폐기) 관리를 조속히 시행하여 반복적으로 고장을 일으키는 습성부품을 파악하고 정확한 수명예측을 하기위한 지속적인 노력이 필요하다.

4. 결 론

승객서비스 장치 고장모드영향분석을 위해 고장모드를 정의하고 승객이 불편을 느낄 수 있는 정도를 기준으로 심각도를 재분류하여 위험우선순위평가 및 심각도-발생도 매트릭스를 통하여 치명도가 높은 부품을 선정하였다. 통합설정기의 와이불분포를 통해 고장패턴, 고장률 등 고장 해석한 결과 평균수명 8,939시간이 산출되었고 백분위 수명을 확인하였다.

고장 시 열차운행에 미치는 영향과 함께 승객 불편지수 등을 고려한 가중치를 산출하고, 이를 시뮬레이션을 통해 얻은 백분

위 수명에 접목시켜 신뢰성 높은 유지보수를 위한 효율적인 검수주기 개선과 부품수선품질 향상 방안 마련 및 부품의 이력관리 시스템 도입 등의 적절한 대책이 필요하다.

이번 논문을 통해 전동차 고장 발생 시 승객입장에서 가장 불편을 느낄 수 있는 장치는 무엇인가에 대한 고민을 통해 승객서비스장치의 서비스 실패 최소화를 위한 대책을 검토 및 제안 하였다.

후 기

이 논문은 국토교통부의 철도 특성화대학원 지원사업으로 지원되었습니다.

This research was supported by Railroad Specialized Graduate School of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) in Republic of Korea.

References

- [1] B.N. Park, H.J. Joo, C.H. Lee, S.S. Lim (2009) A study on FMEA for railway vehicle, *Spring Conference of the Korean Society for Railway*, Gyeongju-Si, pp.162-168.
- [2] J.H. Park (2012) Improvement of VVVF Inverter of the Line 7 EMU by Applying FMECA process, Seoul National University of Science and Technology. *Master's Degree Thesis*, Seoul National University of Science & Technology.
- [3] MIL-STD 1629A (1980) *Procedures for Performing a Failure Mode and Effects and Criticality Analysis*, Department of Defense. Washington, DC. pp.4-11
- [4] C. An, D. Lee, Y. Son, C.H. Lee, S.S. Lim (2010) A study for reliability improvement of belt type door system using FMECA, *Journal of the Korean Society for Railway*, 13(1), pp. 58-64.
- [5] S.K. Seo (2009) *MINITAB Reliability Analysis*, Eretec, Gunpo-Si, pp. 42.
- [6] S.K. Seo, H.K. Kim, H.M. Kwon, M.S. Cha, W.Y. Yun, J.H. Cha (2013) *Reliability Engineering*, Kyobo, Paju, pp. 31-45.
- [7] Y.H. Yu, N.Y. Leea (2013) A Study on Reliability Centered Rolling Stock Maintenance Methods, *Journal of the Korean Society for Railway*, 16(3), pp. 183-188.
- [8] IEC 60300-3-11 (2009) *Reliability Centered Maintenance*, International Electrotechnical Commission, pp. 7-36.
- [9] Seoul Metropolitan Rapid Transit (2015) *Rolling stocks maintenance guideline*, SMRT, Seoul.
- [10] International Electrotechnical Commission (2006) Analysis technique for system reliability : Procedures for failure mode and effect analysis(FMEA), IEC 60812.
- [11] J.S. Jang (1999) A study on performing FMEA effectively, *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 4(4), pp. 69-77.
- [12] Society of Automotive Engineers(2009) Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assemble Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery(Machinery FMEA), SAE-J1739.

(Received 4 October 2016; Revised 16 October 2016; Accepted 17 October 2016)

Bumtaek Roh: rohbt@hanmail.net

Banghwa Rolling Stocks Management Office, Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation, 346 Cheonhodaero, Seongdong-gu, Seoul, Korea. 04806, Korea

Kwangwoo Chung: ckw1201@ut.ac.kr

Department of Railroad Operation System Engineering, Korea National University of Transportation, 157 Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16106, Korea