

승객서비스 장치의 신뢰성 향상방안 연구

Study on Improvement of Reliability for Passenger Service Equipment

노범택*, 정광우†

Bumtaek Roh*, Kwangwoo Chung†

Abstract The Passenger Service Equipments(PSEs) provide various train operation data such as a flag station. When PSEs are service failures or errors, the passengers who use the train feel really inconvenience. In this paper, I chose the PSEs which were important to passengers to apply Reliability Centered Maintenance(RCM), deviate from the existing perspective which operators took to perform RCM.

The FMEA/FMECA was performed for the reliability analysis of PSE. The highly critical device among PSEs is defined with the Passenger Information Control System(PICS) for controlling of automatic announcement and signaling board. Through Weibull distribution of the PICS, the failure analysis was performed. Based on the analysed results, I proposed the solution to minimize service failure of PICS.

Keywords : RCM, Passenger Service Equipments

초 록 승객서비스 장치는 역정보 등 다양한 열차운행 정보를 제공 하기 위해 설치된 승객접점장치로 고장이나 오류 시 열차운행에 영향은 적지만 승객들은 큰 불편을 느끼게 된다. 이에 본 논문에서는 신뢰성기반 유지보수(RCM)를 운영자입장에서 적용했던 기존 시각에서 벗어나, 승객입장에서 중요장치인 승객서비스 장치를 분석대상으로 선정하였다. 서울도시철도공사의 데이터를 기초로 승객서비스 장치에 대한 고장분석 및 FMEA/FMECA 수행, 심각-발생도 매트릭스 및 위험우선순위평가 결과 통합 설정기가 선정되었으며, 와이블분포를 통해 고장패턴, 고장률 등 고장해석을 하였고, 이를 바탕으로 승객서비스 장치 고장최소화를 위한 방안을 제시하였다.

주요어 : 신뢰성기반 유지보수, 승객서비스 장치

1. 서 론

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

승객서비스장치는 승객이 많은 정보를 직접 전달 받을 수 있는 접점장치로 고장발생시 열차운행에 영향을 미치는 치명도는 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.

† 교신저자 : 한국교통대학교 철도운전시스템공학과(ckw1201@ut.ac.kr)

* 서울도시철도공사 방화차량사업소

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 대해 서울시철도공사 운영호선인 5~8호선을 중심으로 RCM기법을 적용하여 핵심부품을 선정하고 고장분석 및 신뢰성분석을 통하여 최적의 유지보수 주기를 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 승객서비스 장치

2.1.1 승객서비스 장치의 구성

서울도시철도공사 5~8 호선에 설치되어 있는 승객서비스장치는 Fig. 1 과 같이 열차의 방송, 객실 안내 표시기, 행선 표시기, 열차번호 표시기 등을 제어하며, 통합설정기, 운영서버 및 객실서버, LCD 표시장치, 객실 전원 공급기, L2/L3 스위치 등으로 구성되어 있다.

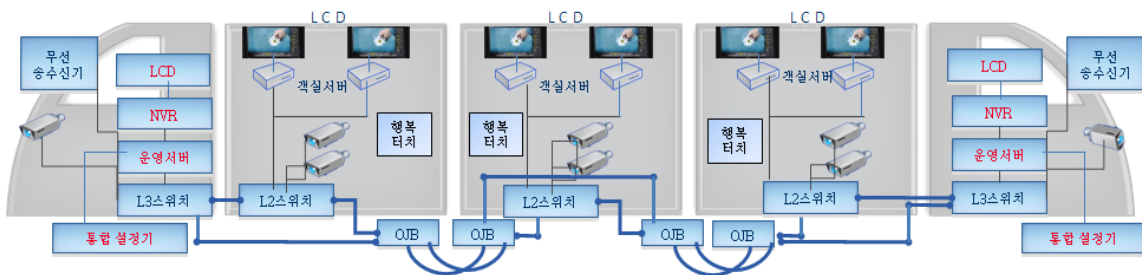


Fig. 1 Composition of Passenger Service Equipment

2.1.2 승객서비스장치 고장 분석

본 논문에서는 승객서비스 장치의 고장분석을 위해 서울시철도공사 전동차 관리시스템 유피스에서 작업 실적을 추출하여 Table 1 과 같이 분석하였다

Table 1 Maintenance present 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

2.2. 신뢰도 분석

2.2.1 FMEA/FMECA 분석

FMEA 는 제품개발 초기단계부터 발생 할 수 있는 모든 잠재적 고장모드들을 선별하고, 고장모드의 영향과 원인을 분석하여 이를 줄이거나 없애기 위한 고장분석기법이며, FMECA 는 예방정비 관련활동을 보다 합리적으로 처리하기 위한 논리적 절차로 RPN 을 결정할 수 있다.

Table 2 FMEA of Passenger Service Equipment

Device	Sub	Function	Mode	Cause	Local Effect	End Effect
PICS	Embedded Board	OS & Program control, MP3 & File save	Opened	OPEN	APP program loading failure	Inconvenience (Announcement / Display)
			Shorted	SHORT		
			Electrical Failure	Overvoltage		
			Degraded	Lowvoltage		
.....

고장발생빈도와 심각도를 열차를 이용하는 승객이 불편을 느낄 수 있는 정도를 기준으로 하여 Table 3, Table 4, Table 5 와 같이 재설정하였다.

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

2.2.2 RPN(Risk Priority Number : 위험우선순위) 평가

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

Table 8 Risk priority number assessment

Device	Trouble	Failure Cause	O	S	D	RPN	Result
PICS	No signal(Whole)	Opened, Shorted, Loss, higher harmonic, SSD poor contact	5	6	3	90	A
	Wrong signal(Whole)		5	6	3	90	A
	Announcement failure	Opened, Shorted, higher harmonic	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

2.2.3 통합설정기 고장해석

고장해석은 RPN 값이 높고 발생도-심각도 매트릭스에서 A 등급인 표시기미현시, 오현시 및 자동방송불량과 관련된 통합설정기의 작업실적을 대상으로 시행하였고, 적합한 수명분포를 알아보기 위해 와이블, 정규, 지수, 로그-정규 분포 등 4 가지 비교하여, Anderson-Darling 값이 가장 적은 와이블 분포가 선정되었다. 고장해석은 미니탭이라는 통계 패키지를 활용하였고, 데이터 수집기간(2013.1.1~2014.12.31)을 기준으로 정시중단시험을 하였다.

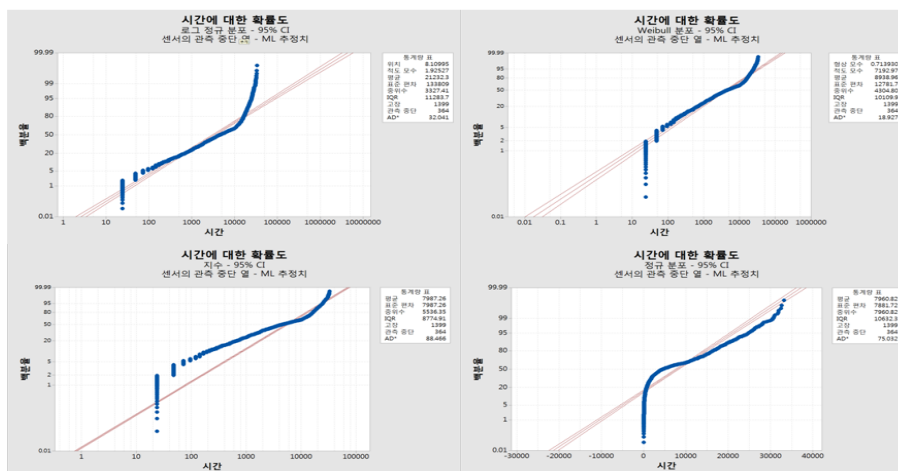


Fig. 2 Probability Plots for distributions

Table 9 Parameter 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

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

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{7.193+3}\right)^{0.714}}, \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{7.193+3}\right)^{0.714}}, \quad f(t) = \frac{0.714}{7.193E+3} \left(\frac{t}{7.193E+3}\right)^{-0.286} e^{-\left(\frac{t}{7.193+3}\right)^{0.714}} \quad (2)$$

통합설정기의 형상모수 값(m)이 1 보다 작아 DFR 즉, 초기고장형태를 나타내고 있으며, 고장률 함수 $\lambda(t)$ 와 $MTTF$ 는 식(3)과 같다.

$$\lambda(t) = \frac{0.714}{7.193E+3} \left(\frac{t}{7.193E+3} \right)^{-0.286} e^{-\left(\frac{t}{7.193+3} \right)^{0.714}}, \quad MTTF = \frac{\Gamma(1+1/m)}{1/\eta} = \Gamma(2.4) \times 7,193 = 8,935(hr) \quad (3)$$

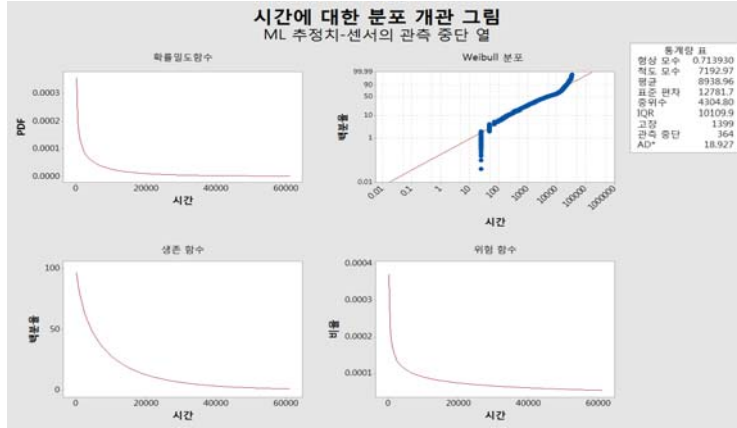


Fig. 3 Reliability functions

Table 10 은 부품의 품질에 대한 보증과 관련된 B 수명으로 전체 중에서 일정비율의 장치가 고장이 발생하는 시점의 제품 설계수명을 나타내며, 식(4)과 같다.

$$B_p = \frac{[-\ln(1-p)]^{\frac{1}{m}}}{1/\eta} = [-\ln(1-p)]^{\frac{1}{m}} \times \eta \quad (4)$$

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	

2.2.4 통합설정기 점검방법 개선

통합설정기의 필드 고장데이터를 전산시스템으로 추출하여 와이블분포 해석으로 고장형태와 평균수명 데이터를 파악하였다. 통합설정기는 개선 후 운용기간이 짧고 최초고장 후 재발생되는 고장 기간이 짧아 초기고장의 형태의 고장률이 발생하고 있었다. 또한, 형상모수와 척도모수를 이용해 평균수명 8,935 시간을 확인 할 수 있었고, 시뮬레이션을 통해 Table 10 과 같이 백분위수명을 확인하였다. 통합설정기 고장 시 열차운행과 안전에 미치는 영향과 승객에게 미치는 혼란과 불편정도 등을 고려한 가중치를 산출하여 시뮬레이션을 통해 얻은

Table 10 의 백분위 수명에 접목시킨다면, 보다 효율적인 점검 주기를 적용할 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 4 는 서울시철도공사의 검수주기와 산출된 백분위수명을 비교하였다.

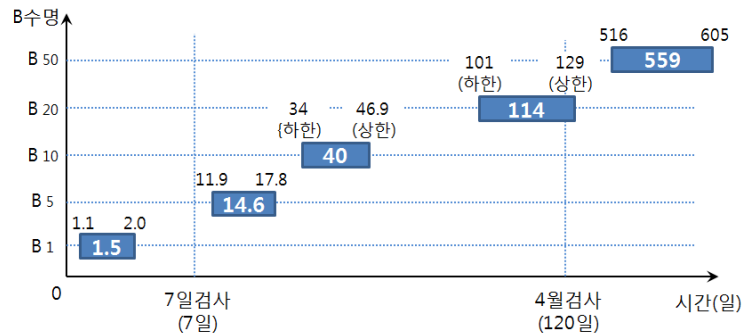


Fig. 4 Percentile compared with the life cycle inspection of SMRT

3. 결론

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 와이בל분포를 통해 고장패턴, 고장률 등 고장 해석한 결과 평균수명 8,939 시간이 산출되었고 백분위 수명을 확인하였다.

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

참고문헌

[1] J.H. Park (2012) Improvement of VVVF Inverter of the Line 7 EMU by Applying FMECA process, Seoul National University of Science and Technology.
 [2] S.K. Seo, H.K. Kim, H.M. Kwon, M.S. Cha, W.Y. Yun, J.H. Cha (2013) *Reliability Engineering*, Kyobo, Paju Gyeonggi-do, pp.31-45.

“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.