

7호선 제동장치 RCM을 활용한 유지보수 개선에 관한 연구

A study on the advanced of Braking-System of the Line 7 EMU by applying Reliability Centered Maintenance

경규욱[†], 구정서*, 김재훈**Kyuwook Kyung[†], Jeongseo Koo*, Jaehoon Kim**

Abstract Braking-system on railroad cars is needed to stop safely to the desired point with slowdown the speed properly by an operation, and the system should be guaranteed to stop at the consistent distance for avoidance the vehicel's collision in an emergency situation. Accordingly, this study tried to analyze the causes of repetition of the major device's outage on Braking-system, and strived to interpret the braking system which is one of important device for trains by using a system RCM(Reliability Centered Maintenance). In addition, this study tried not only to suggest its application method according to the procedure of FMEA/FMECA by using a system SMRT-UFFICE(Seoul Metropolitan Rapid Transit-Ubiquitous office) but also to seek ways to optimize its braking system for minimizing train-disorder occurred during the operation.

Keywords : Braking-system, RCM(Reliability Centered Maintenance)

초 록 철도차량 제동장치는 열차의 운행에 따라 높은 속도에서 열차를 감속시켜 원하는 지점에 안전하게 정차시키고, 비상시에도 일정거리 이내에 차량을 정차시켜 추돌을 방지할 수 있어야 한다. 이에 본 연구에서는 제동장치 내 주요장치의 반복적인 고장원인을 분석하는 동시에 열차운행 안전에 가장 밀접한 제동장치 분석을 위해 신뢰성기반 유지보수(RCM) 시스템을 적용하여 해석하고자 하였다. 또한, 서울도시철도공사 전동차 관리시스템을 활용하여 FMEA/FMECA 절차에 따른 적용 방안 제시와, 본선 운행 중 고장 발생 시 열차 장애를 최소화하기 위한 제동시스템 장치의 최적화 방안을 제시하였다.

주요어 : 제동 시스템, 신뢰성기반 유지보수

1. 서 론

도시철도차량에서 제동장치(Brake system)는 열차의 고속운행에 따라 높은 속도에서 열차를 감속시켜 원하는 지점에 안전하게 정차시키고 비상시에도 일정거리 이내에 차량을 정차시켜 추돌을 방지할 수 있어야 한다. 따라서 도시철도차량의 제동장치는 속도의 자승에 비례하여 증가되는 운동에너지를 열로 분산시키거나 회생제동으로 소모해야 하기 때문에 기술적으로 가장 어려운 장치의 하나이다. 이러한 도시철도차량에서 가장 중요한 제동장치는 기

† 교신저자: 서울과학기술대학원 철도차량시스템공학과(torpedo0516@naver.com)

* 종신회원, 서울과학기술대학교, 교수

** 정회원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

존의 유지보수가 운행시간 또는 운행거리를 정해놓고 그 기준에 도달하면 해당검사를 시행하는 획일적인 유지보수에서 신뢰성을 바탕으로 한 합리적인 유지보수 체계로 변화해 가고 있는 단계이다. 철도차량에 있어서도 관리하여야 할 장치가 복잡해지고 다양화 되면서 부품 및 장치의 수량도 많이 증가하였으며, 새로운 유지보수 기법이 개발되고 유지보수 조직 또한 체계적으로 발전해가고 있다.

본 연구에서는 열차운행에 안전과 가장 밀접한 제동장치에 대해 서울도시철도공사 7호선 2차분 제동시스템을 신뢰성기반 유지보수(RCM) 기법을 기반으로 하여 제동시스템을 3개의 서브시스템으로 나누어 기능분석을 하였고, FMEA/FMECA 프로세서를 적용하여 시스템의 치명도를 분석하여 핵심부품을 선정하고 고장분석 및 신뢰성 분석을 통하여 제동시스템 장치의 고장 최소화를 위한 개선방안을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 7호선 제동장치

2.1.1 7호선 제동장치 구조분석

7호선 2차분 제동장치의 구조분석을 위해 제동장치 시스템의 경계 범위를 작성하였다. 제동장치 시스템의 경계범위를 7호선 2차분 제동장치로 정의하였고, 제동시스템의 기능에 따라 제동장치를 제어하는 제어부분, 공기를 공급하는 공급부분, 실제로 작동하는 작동부분으로 나누었다.

다음 절차로 도시철도공사 전동차 관리시스템 유지보수 BOM 체계를 분석하여 7호선 2차분 제동 시스템의 정확한 기능을 파악하고, 전동차 고장 발생 시 명확한 원인 분석을 위하여 제동 시스템의 BOM(Bill Of Material)을 구성하였다. 제동장치는 제동작용장치(BOU), 보안 제동제어유닛(SBU), 밸브로서 3개의 서브시스템으로 총 4단계로 나누어 구성하였다.

7호선 2차분 제동 시스템 BOM은 Table 1과 같다.

Table 1 BOM of braking system

LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	LEVEL 4
제동장치			
	제동작용장치(BOU)		
		ECU	
			CPU카드
			인터페이스카드
			전원카드
		전공변환중계밸브(EPR2A)	
			중계밸브
			상용제동전자밸브(SBV)

2.1.2 7호선 제동장치 기능분석

7호선 2차분 제동시스템의 각 장치가 어떠한 기능을 수행하는지 파악하기 위해 LEVEL2, LEVEL3에서 서브시스템의 기능을 분석하였다. 7호선 2차분 제동장치 서브시스템 기능 분석은 아래 Table 2, Table 3와 같다.

Table 2 Function analysis of braking system sub system LEVEL 2

연번	구분	기능분석
1	제동작용장치(BOU)	상용, 비상제동 체결이나 완해 시 제동통으로 공기를 충기, 배기 제어
2	보안제동제어유닛(SBU)	독립적인 제동시스템으로 상용, 비상제동 시스템이 작동이 불가능할 때 사용
3	밸브	압력 공기를 공기회로에 공급 및 배기하는 기능

Table 3 Function analysis of braking system sub system LEVEL 3

서브 시스템	구분	기능분석
BOU	ECU(Electronic Control Unit)	제동작용장치(BOU) 안에 장착되고 마이크로프로세서에 의한 디지털 계산 시스템을 적용하였다. 제동전자제어유닛(ECU)은 종합제어관리장치(TCMS)로 부터 아날로그 상용제동지령을 받고, 4개의 공기스프링 압력을 감지하고 자신의 차량 제동패턴을 생성한다. 전동차(M차)의 ECU로부터 부수차(T차)의 ECU로부터 부수차(T차)의 응하중 신호를 받는다. ECU는 M-T유닛의 제동패턴을 생성하고 회생제동력요구신호(회생제동패턴신호)를 견인전자제어장치(PE)에 전송한다. ECU는 PE로부터 회생제동력 달성신호(회생제동피드백신호)를 받아 클로스 블렌딩을 실행한다. 각 차량에 있는 이 ECU는 작용압력(AC압력)에 의해 상용제동전자밸브 전류를 제어한다.
.	.	.

2.2 7호선 제동장치 신뢰도 분석

2.2.1 7호선 제동장치 고장 데이터

7호선 2차분 46개 편성을 2011년부터 2015년까지 5년간의 본선지연고장(운용변경, 5분 이상 지연)을 기준으로 아래 Fig. 1과 같다.

Fig. 1 Failure data of braking system

연번	구분	고장일자	차량번호	발생장소	고장유형	고장현상	고장부품	고장원인	조치내용	특기사항	고장내용
1	운행중	2015-10-06	7818		제동장치 불량	제동불량	ECU	통신불량(경신소문)	통신안정	* 7818호 F/N 306 회생제동 요구신호 이상(부속출력고장소문 점검완료) - ECU 접속상태 및 부품상태 점검완료, 스제동시작 완료, 역행시작 완료, 후진잠치 시작 완료, 회생태 완료.	회생제동 요구신호
2	운행중	2015-03-17	7818		제동장치 불량	회생제동 불량	ECU	회생불량	회생	9/18일 신형의 제동틀변해 고장으로 차량교환건 추가점검	제동불량
3	운행중	2015-03-16	7818	신용	제동장치 불량	상용제동 불량	ECU	통신소문	인계	ECU 리셋, 복귀 되어 있고, ECU LED확인완료, 88V 전압측정완료, 핀핀라인점검완료, 7818호 1,2,3,4축 차륜출력(70+140*3)확인, 정밀점검예정	상용제동 불량
4	운행중	2015-11-01	7219	북부차량사업소	제동장치 불량	제동불량	ECU	유압과	회생	7219호 회생제동 요구신호 이상 -> 7219호 ECU 교환 후 완료 (취거:995307, 취부:99501)	회생제동 요구신호
5	운행중	2015-02-24	7719	북부차량사업소	제동장치 불량	통신불량	ECU	통신불량	회생	* ECU 제어측 LED 계속 불 점(경상시 불소문), ECU 교환 후 시운전 확인 완료.	통신 불량
9	운행중	2011-02-21	7119		제동장치 불량	상용제동 불량	ECU	하드웨어 불량	회생	* 통신고장(고장조치) - 7119호 ECU 고장조치 후 7023호로 취부	상용제동 불량
10	운행중	2015-11-19	7220		제동장치 불량	통신불량	ECU	통신불량		회생제동 요구신호 이상(구내 일함시): ECU 예비출력고장후 TOM8모니터 제동상태 확인시 BEU(회생제동요구신호) 및 BEA(회생제동발생신호) 확인 완료, TOM8 제동 및 BO입력시작상태 확인, 역행	회생제동 요구신호

2.2.2 7호선 제동장치 FMEA

FMEA는 잠재적 고장 모드를 선별하고 고장모드의 영향과 원인을 분석하여 고장을 미연에 방지하기 위한 고장분석기법으로 아래 Table 4와 같다.

Table 4 FMEA of braking system equipment

Sub System	Device	Function	Failure Mode	Cause of Failure	Local Effect	End Effect
BOU	ECU	상용제동제어 및 안티스키드제어, 제동불완해 감지	회생제동 고장	부품불량	회생제동 불량	정상영업불가 (운용변경)
			ECU(통신) 고장	부품불량	제동 불량	
			제동불완해	부품불량	역행 불가	
			상용제동 불량	부품불량	제동 불량	
			조기서행	부품불량	정위치 불량	
			초과정차	부품불량	정위치 불량	
.

2.2.3 심각도 및 발생빈도

심각도는 고장으로 인한 열차의 운행에 미치는 정도를 Table 5와 같이 정의하였고, 발생빈도는 5년간의 본선지연고장을 기준으로 아래 Table 6과 같이 정의하였다.

Table 5 Severity classification

등급	구분	분류	정의
S1	구원운전	7	차력 운행이 불가능한 경우
S2	운용변경	4	본선(영업) 운행이 불가능한 경우
S3	중고장	3	고장 조치 후 운행이 가능한 경우
S4	경고장	2	고장 발생 후 자동 복귀
S5	미미한	1	경미한 문제

Table 6 Probability classification

등급	구분	분류	발생빈도
01	빈번한	5	8건 이상
02	가능성 있는	4	6~7건
03	때때로	3	4~5건
04	희박한	2	2~3건
05	가능성 없는	1	1건 이하

2.2.4 검출도

검출도는 결함 발견 방법에 따라 아래 Table 7과 같이 정의하였다.

Table 7 Detection classification

등급	검출도(결함 발견 방법)	점수	비고
D1	검출 불가능	6	
D2	분해 및 정밀검사를 통해 결함 발견 가능	5	완전분해
D3	시험 및 측정 장비를 통해 결함 발견 가능	4	압력계, 테스터기 등
D4	기기를 동작시키거나 기능을 점검하여 발견 가능	3	ON/OFF 등
D5	육안으로 확인하여 결함을 발견 가능	2	누기 등
D6	모니터로 현시	1	고장 알림

2.2.5 매트릭스

매트릭스는 아래 Table 8, Table 9와 같이 정의하였다.

Table 8 Probability-Severity matrix

Table 9 Measures in accordance with the matrix

		S5	S4	S3	S2	S1	등급	매트릭스 정의
		미미한	경고장	중고장	운용변경	구원운전		
01	빈번한	C	B	B	A	A	A	수용 불가능한
02	가능성 있는	C	C	B	B	A	B	바람직하지 않음
03	때때로	D	C	C	B	B	C	허용 가능한
04	희박한	D	D	C	C	B	D	수용 가능한
05	가능성 없는	D	D	D	C	C		

2.2.6 RPN 평가

RPN(Risk Priority Number: 위험우선순위)은 모든 잠재적 불량에 대한 상대적인 척도로서 발생빈도, 심각도, 검출도를 곱하여 나타낸 값은 아래 Table 10과 같다.

Table 10 Risk priority number assessment

서브 시스템	부품	기능	고장영향	고장원인	발생 빈도	심각도	검출도	RPN	치명도
BOU	ECU	상용제동제어 및 안티스키드 제어, 제동불완해 감지	회생제동 고장	부품불량	2	4	1	8	C
			ECU(통신) 고장	부품불량	1	3	1	3	D
			제동불완해	부품불량	4	4	1	16	B
			상용제동 불량	부품불량	2	4	1	8	C

			조기서행	부품불량	1	4	2	8	C
			초과정차	부품불량	1	4	2	8	C
.

2.2.7 7호선 2차분 고장분석 비교

7호선 2차분 제동장치 고장분석은 2011년부터 2015년까지의 5년간의 본선지연고장과 일반정비고장에 대한 고장분석 비교이다.

Table 11 Failure analysis comparison of braking system

본선지연고장				일반정비고장		
부품	고장영향	치명도	순위	부품	고장영향	순위
상용제동전자밸브	상용제동불량	A	1	전공변환중계밸브	누기 발생	1
전공변환중계밸브	제동불완해	B	2	ECU	비상제동불량	2
전공변환중계밸브	상용제동불량	B	2	비상제동전자밸브	비상제동불량	3
.

3. 결론

본 연구에서는 7호선 2차분 제동 시스템을 신뢰성기반 유지보수(RCM)을 활용하여 제동장치의 기능을 분석하고, 제동시스템의 치명도를 분석하기 위하여 FMEA/FMECA를 사용하였다. 제동장치 고장은 2011년부터 2015년까지의 5년간의 본선지연고장과 일반정비고장을 비교 분석하여 제동장치의 치명도가 높은 부품을 선정하였고 분석결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 본선지연고장의 치명도 분석 결과는 상용제동전자밸브(SBV)의 고장으로 인한 상용제동 불량이 가장 치명도가 높은 것으로 나타났다.

둘째, 일반정비고장의 경우 차량 검사시에 발생하는 전공변환중계밸브(EPR2A)의 공기 누기에 의한 고장이 가장 치명도가 높은 것으로 나타났다.

셋째, 본선지연고장과 일반정비고장의 비교 분석에서와 같이 상용 및 비상제동 시 전공변환중계밸브(EPR2A)에 일체형으로 취부되어 있는 상용제동전자밸브(SBV)와 비상제동전자밸브(EBV)의 동작 시 발생하는 구조적 문제에 대한 대책이 필요하며, 고장을 사전에 찾아내기 위한 점검방법 및 검사주기에 대한 검토 및 대책 등이 필요하다.

참고문헌

- [1] K.H. Kang (2014) High-speed Train Engineering, Korea Rolling Stock Technical Corporation. pp.459
- [2] B.T. Roh (2015) Study on Improvement of Reliability for Passenger Service Equipment, Korea National University of Transportation.
- [3] J.H. Park (2012) Improvement of VVVF Inverter of the Line 7 EMU by Applying FMECA process, Seoul National University of Science and Technology.