

철도차량 유지보수를 위한 RAM 지표관리방안에 관한 연구

A Study on the RAM Indicator Management Method for Maintenance of Rolling Stock

정기호*, 김재문*†

Ki-Ho Jeong*, Jae-Moon Kim*†

1. Abstract: A Study on the RAM Indicator Management Method for Maintenance of Rolling Stock

This is study on management of indicators for RAM which constitute reliability, availability and maintainability for Operation & Maintenance of fully automated railway system. The purpose the study is to reduce failures of rolling stock to ensure passenger safety for especially unmanned urban railway system. So we started to investigate how to manage RAM index for Operation and Maintenance prospective. There is prerequisite required to develop method of RAM indicator management such as clear definition on RAM requirement which meets system performance requirement for all stakeholders and high level of technical skill to maintain the system to meet the requirement. In this paper, we developed RAM indicator management method for rolling stock which is one of most important part of system maintenance.

초 록 본 연구는 무인운전 시스템 운영 및 유지보수(O&M)을 위한 신뢰성, 가용성, 유지보수성(RAM) 지표관리 방안에 대한 연구이다. 최근 지속적으로 늘어나고 있는 무인운전 시스템과 맞물려 특히, 도시철도 이용승객의 안전에 핵심적인 영향을 미치는 도시철도 차량에 대한 도시철도 차량에 대한 안전성 확보 및 고장률을 줄이기 위한 운영 및 유지보수(O&M) 단계에서 RAM 지표관리방안에 대한 연구를 시작하였다. 운영 및 유지보수단계에서의 RAM 지표 관리를 위해서는 우선, 충분한 RAM 요구사항에 대한 인식이 필요하며 각 이해관계자들의 요구조건에 부합되는 안정된 시스템 구축을 위한 기술력 확보 그리고, 이렇게 완성된 결과물에 대하여 궁극적으로 안정적인 운영을 위한 유지보수 단계에서의 RAM 지표관리 통한 유지보수가 필수사항으로 본 철도차량 RAM 지표 관리를 위한 방안을 제시하고자 한다.

주요어 : FMEA, FMECA, FRCAS, RAM, CA, MDBSAF

1. 서 론

본 연구는 도시철도 무인운전 시스템 차량 성능 유지를 위한 운영 유지보수 단계에서의 신뢰성, 가용성, 유지보수성(RAM) 프로그램 계획, 적용 및 평가 활용 방안 등 전반적인 RAM 지표 관리 방안을 제시했다. 이를 검증하기 위하여 국내최초 무인운전 시스템이 설계, 적용되어 현재 운영 중인 용인 경전철 무인 시스템 차량 분야의 신뢰성, 가용성, 유지보수성(RAM) 관리 사례연구 및 동일 무인운전 시스템을 적용 운영하고 있는 몇몇 외국사례 연구를 통하여 철도차량 RAM 지표관리 방안에 대하여 제시하였다.

2.1 도시철도 운행장애 및 발생현황

도시철도에서 운행 장애별 발생현황을 2010년부터 2015년까지 연도별 집계는 Table.1와 같다. 총 발생건수 421건이며, 차량장애가 총 162건으로 전체의 38%를 차지해 가장 많은 부분을 차지했다.

Item	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total (Qty)
Vehicles (38%)	18	27	21	34	29	33	162
Facility & Signal/Power (26%)	7	18	20	20	24	20	109
Human Error (11%)	13	4	1	9	7	12	46
Others (25%)	12	8	15	23	26	20	104

Table 1 Urban Transit Operation failure status (2010~2015)

2. 본 론

2.1.2 무인 경전철 운행 장애 발생 현황

최근 개통한 국내 무인 경전철 시스템에서 3년 동안 전체 36건의 운행 장애가 발생하였으며, 그 중 차량 장애가 총 17건 (47.22%) 무인 경전철 시스템에서도 장애가 지속적으로 늘어나고 있어 시스템 설계단계에서의 위험성 관리 데이터를 기반으로 하여 차량의 신뢰성, 가용성을 위한 운영 및 유지보수 단계에서의 관리의 필요성을 보여주고 있다. 아래 Fig.1 용인 경전철 개통(2013년 4월 26일)일 기준으로 최근 3년간 5개 (부산4호선, 부산-김해, 부산5호선, 의정부, 용인) 무인운전 시스템 각 운영 회사별 운행 장애 발생 현황 및 장애 유형 분석 현황이다.

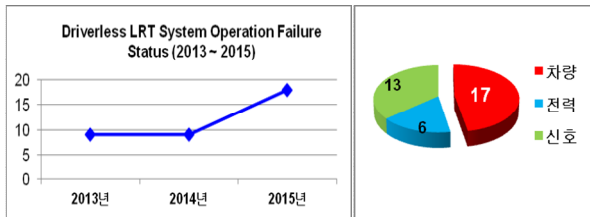


Figure 1 Driverless LRT System Operation Failure Status (2013~2015)

3.1 시스템 레벨 고장모드, 영향 및 위험도 분석

3.1.1 고장모드, 영향 및 위험도 분석방법

FMECA의 목적은 장비와 관련한 고장 영향을 평가하는 것으로, FMECA를 통해 발생 가능성, 위험도 평가, 탐지 방법 그리고 관련 고장 관리에 기초해 단일 점 고장이 가져오는 잠정적인 영향을 파악하는 게 목적이 있다. FMECA는 시스템과 관련된 주요 또는 중요한 구성 품 그리고 요소에 대해 실행되는 주요한 분석 툴(Tool)이며, FMECA를 통해 장비 고장과 관련한 영향을 평가하고 이러한 과정에서 운영에 영향을 미치는 정도를 파악하여 실제 운영 및 유지 보수 단계에서 관련 데이터들을 활용할 수 있다.

확률	1=수용 불가, 2=바람직하지 못함 3=허용 가능 4=만족			
	I 매우 높음	II 높음	III 보통	IV 매우 낮음
A- 빈번	IA-1	IIA-1	IIIA-1	IVA-3
B- 가능	IB-1	IIB-1	IIIB-2	IVB-3
C- 종종	IC-1	IIC-2	IIIC-3	IVC-4
D- 희박	ID-2	IID-3	IIID-3	IVD-4
E- 불가능	IE-3	IIE-3	IIIE-4	IVE-4

Table 2 Safety & Operation of Risk Assessment Matrix

FMECA는 고장 모드, 영향분석 (FMEA) 및 위험도 분석 (CA) 구성요소로 이루어진다.
 A.FMEA: 하드웨어 접근법, 기능적 접근법
 B.CA(위험도 분석): 시스템 위험도에 따라 분석 대상 구성품의 고장 모드를 안전/ 운행

분류하는 방법. FMECA를 통해 차량의 각 서브 시스템 별 고장 확률 및 위험도를 사전에 평가, 확인 하여 실제 운영단계에서 발생하는 있는 안전상 RISK를 관리, 평가하여 전반적인 RAM 관리의 기본 데이터로 활용한다.

레벨	구분	설명
1	IA, IIA, IIIA, IB, IIB, IC	수용 불가: 제시 허용 안 됨 - 제설계가 필요할 수도 있음
2	ID, IIC, IIIB	바람직하지 못함: 고장 모드에 의해 발생한 지연을 최소화시킬 제대로 된 고장 관리 시스템이 있다면 승인
3	IE, IIE, IID, IIID, IIIC	허용 가능: 더 이상 조치 필요치 않음
4	IIIE, IVC, IVD, IVE	만족: 더 이상 조치 필요치 않음

Table 3 Legend of Risk Assessment

3.1.2 차량 위험도 평가방안

FMECA는 위험에서 야기할 수 있는 모든 고장을 고려하기 위해 위험 추적 및 해결 과정에서 도구로 사용된다. 다음의 Table 4는 차량 고장 모드, 영향 및 위험도 분석(FMECA)을 위한 위험 평가 매트릭스에 개요가 설명된 범주를 기반으로 한 차량 분야 안전성 및 운행 영향 요약 샘플 테이블로 운영 및 유지보수 단계에서 활용하여 위험도 평가 도구로 사용할 수 있다.

차량서브시스템	수용불가	바람직하지 못함	허용가능	만족	합계
보조전원장치	0	0	0	213	213
공기공급장치	0	0	14	65	79
브레이크보증시스템	0	0	1	610	611
배터리	0	0	0	34	34
제동	0	0	36	92	128
차상통신	0	0	0	16	16
연결기	0	0	8	50	58
통신제어유닛	0	0	0	2	2
출입문	0	0	6	283	289
냉, 난방, 환기시스템	0	0	58	27	85
주전원모터	0	0	0	11	11
차량수동제어패널	0	0	1	136	137
전원공급장치	0	0	0	55	55
대차	0	0	14	45	59
합계	0	0	124	1638	1777

Table 4 Summary of field of Vehicle safety & operation table

4.1 차량고장보고, 분석 및 시정조치 시스템

FRACAS 는 고장 데이터를 기반으로 시스템 성능을 분석하는데 사용되는 구조적 접근방식이다. FRACAS의 목표는 시스템 수행 방식 및 개선 조치의 필요성 여부를 결정하는 것이다 또한, FRACAS 프로세스는 시정조치 필요 여부를 결정하여 적절한 권고 및 후속 조치를 하며, 지속적으로 모니터링 및 관리를 통해 시행 그 결과가 어떻게 최종적으로 영향을 끼쳤는지 까지 평가 하여 전반적인 시스템

향상을 도모하는 도구로 사용된다.

하부 시스템	시스템 비가용성[%]	필수시스템 가용성[%]
전체 계약상 목표	100.00	99.00
선로변(지상)	40.00	99.60
자동 열차 제어 지상 설비	10.00	99.90
스크린도어	9.00	99.91
분기기체외 가이드웨이	2.00	99.98
가이드웨이 스위치	5.00	99.95
전원 공급 및 배전	5.00	99.95
통신	2.00	99.98
SCADA	2.00	99.98
역무자동화시스템	2.00	99.98
기타 및 예비	5.00	99.95
차량	60.00	99.40

Table 5 Allocation of System Availability

5.1 차량 운영 및 유지보수 RAM 프로그램

운영 및 유지보수 RAM 프로그램 계획은 사업시행자가 어떻게 가용성 요구사항을 각 서브시스템 설계에 반영했는지를 보여주는 것이며, 이를 통해 운영사업자가 차량 및 각 중요 하부시스템에 대한 성능, 일일 시스템 가용성 요구사항을 만족하기 위한 RAM 업무관리 활동들을 제시한다. 아래차트는 New York JFK Airport LRT 차량의 신뢰성 성장 차트로 지속적인 작업 개선작업 예방 유지보수 작업등을 통해 지속적으로 RAM 신뢰성이 성장되고 있음을 알 수 있다.

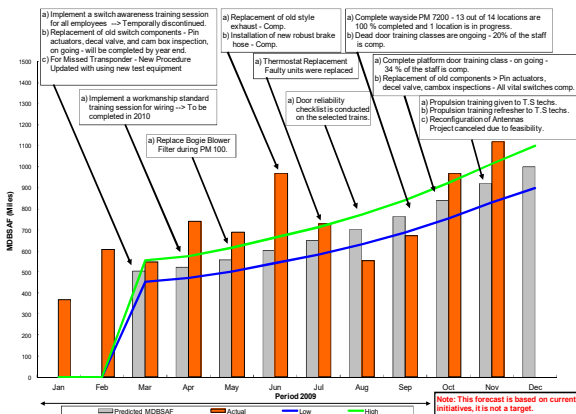


Figure 2 New York JFK Airport LRT Reliability Growth Chart

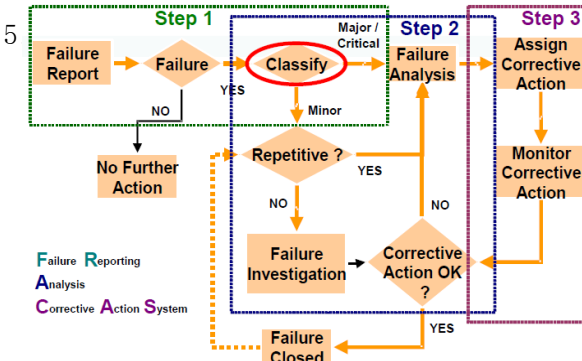


Figure 3 FRACAS Flow Chart

6.1 차량 운영 및 유지보수 RAM 적용 및 관리방안 신뢰성 지표관리 기준 수립(핵심 성과 지표(KPI) 관리 방안)

- 신뢰성, 가용성, 유지보수성 기준 수립
- 유지보수 및 고장 유지보수 이력 관리 (정량적 데이터 관리, 활용)
- FMEA, FMECA, FRACAS 등의 지속적인 개선 및 향상 (Lessons & Learned)
- 계획대비 실행된 유지보수 작업량 평가
- MDBF / MDBSAF Analysis (각 서브 시스템 별 SAF 상세 내역 및 카탈로그) 모드작업, 개선작업, 특별점검 등 성능향상을 위한 활동에 따른 결과 모니터링 진행 및 후속평가 등.

6.2 차량 RAM 관리 절차

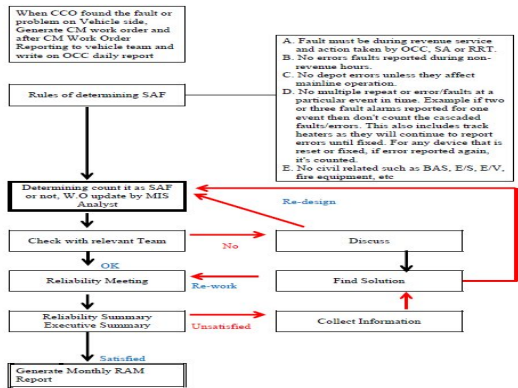


Figure 4 Process of RAM Management

3. 결론

본 연구를 통해 운영 및 유지보수 단계에서의 가장 중요한 RAM 지표관리 방안을 제시하였다. 특히, 무인경전철 시스템 차량에 대한 RAM 지표관리방안에 대하여 그 기반이 되는 시스템 레벨 고장모드 및 위험도 분석, 고장보고 분석 및 시정조치 시스템 그리고, RAM 프로그램 계획, 적용 및 활용 방안 등 운영 및 유지보수단계에서 차량 RAM 지표관리에 필요한 전반적인 내용에 대하여 설명 및 기법들을 제시하였다.

국내 최초로 도입된 용인경전철 & 해외 무인운전 시스템 차량 RAM 사례연구를 통해 실제 운영 및 유지보수 단계의 RAM 적용사례 및 관리방안 등 무인운전 시스템 차량 RAM 성능 유지 향상에 어떻게 도움이 되는지 입증하였다. 또한, 운영 및 유지보수에서의 RAM 지표결과를 보여주는 RAM 보고서 작성방법과 무인경전철 시스템 차량 신뢰성을 달성하기 위한 임무 및 절차를 명시한 RAM 관리 프로세스를 포함한 RAM 프로그램 증진 방안을 제시하였다.

참고문헌

- [1] CENELEC TR 50126-3: Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 3: Guide to the application of EN50126 for rolling stock RAMS, 2006
- [2] IEC62278, Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), 2002.
- [3] Analysis techniques for system reliability – Procedure for Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), (EN 60812:2006)
- [4] US Military Standard, Procedures for Performing a FMECA, (MIL-STD-1629A)
- [5] Reliability Modeling and Prediction, (MIL-STD-756)
- [6] System Safety Program Requirements, (MIL-STD-882C)
- [7] Standard Practice for System Safety, (MIL-STD-882D)
- [8] Military Handbook for Reliability Prediction, (MIL-HDBK-217F Notice.2)
- [9] Military Handbook for Maintainability Prediction, (MIL-HDBK-472)
- [10] Military Handbook for Electronics Reliability, (MIL-HDBK-388-1B)

† 교신저자: 한국교통대학교 교통대학원
교통정책/교통시스템공학과(goldmoon@ut.ac.kr)
* 한국교통대학교 교통대학원
교통정책/교통시스템공학과