

도시철도 RAMS 통합시스템 개발을 위한 요구사항 적용방안에 관한 연구

A Study on the application of requirement for development of RAMS integrated system

전조원*[†], 강봉완*, 신동운*, 신국호*, 정운찬**JoWon Jeon*[†], BongWan Kang*, DongWoon Shin*, KookHo Shin*, WoonChan Chung**

Abstract Although the domestic urban railway operators are required to implement maintenance and replacement cycles by using RAMS results in accordance with the railway safety management system technical standards, there is no objective and standardized RAMS management system to date. The efficient response and the establishment of the scientific safety management system are insufficient. Therefore, the development and construction of RAMS integrated system for urban railways is a challenge.

In order to develop RAMS integrated system, it is necessary to design the software (S/W) for railway safety management system technical standards, railway safety management system approval and inspection execution guidelines, international standards, Characteristics and so on, so that the ultimate goal is to realize a high degree of integration, scalability and high integration. Therefore, this study identifies and categorizes various RAMS requirements and applies them to the development of an integrated system to suggest an efficient RAMS integration system

Keywords : Requirement, Identify, Categorization, Software- design

초 록 국내 도시철도 운영기관은 철도안전관리체계 기술기준에 따라 RAMS 결과를 활용하여 유지보수 및 교체주기 변경 등을 시행하도록 되어 있으나, 현재까지 객관적이고 표준화된 RAMS 관리체계가 없어 철도안전법 등 관련법령에 대한 효율적 대응 및 과학적 안전관리체계 마련이 미흡한 상태이므로, 도시철도 RAMS 통합시스템 개발 및 구축은 당면과제이다.

RAMS 통합시스템 개발을 위한 소프트웨어(S/W) 설계는 철도안전관리체계 기술기준, 철도 안전관리체계 승인 및 검사 시행지침, 국제 규격, 각 운영기관 및 분야별 (기술, 차량 등) 특성 등 다양한 요구사항을 최대한 수렴 및 반영하여 연계성, 확장성, 범용성, 편리성이 높은 통합시스템을 구현하는 것이 궁극적인 목표이다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 RAMS 요구사항을 식별 및 분류하고, 이를 통합시스템 개발에 적용하여 효율적인 RAMS 통합시스템 구축 방안을 제시하고자 한다.

주요어 : 요구사항, 식별, 분류, 소프트웨어설계

† 교신저자: 서울특별시도시철도공사 기술연구소 신뢰성연구팀(twinklentine48@gmail.com)

* 서울특별시도시철도공사 기술연구소

** (주) 카이엠

1. 서론

최근 도시철도 운영기관은 각종 안전사고(장애포함)를 사전에 방지하고자 노후화된 설비 교체(또는 개량), 안전활동 강화 및 안전의식 고취 등 많은 투자와 노력으로 안전관리체계가 개선되었으나, 보다 객관적이고 표준화된 과학적인 안전관리체계를 구축하기 위해서는 RAMS를 활용한 안전관리가 필요하다.

RAMS를 활용한 안전관리는 최근 관련법, 시행규칙 등에서 요구하고 있으며, 특히 철도안전법 제7조 5항(국토교통부장관은 철도운영 및 철도시설의 안전관리에 필요한 기술기준을 정하여 고시하여야 한다)에 따라 2014년 5월 최초로 제정 및 고시된 「철도안전관리체계 기술기준」에서는 RAMS 활용한 유지보수를 요구하고 있다.

따라서, 국내 도시철도 운영기관이 관련법령 등을 준수하고 운영 및 유지보수 단계에서 RAMS 활동을 수행하기 위해서는 이를 지원하는 시스템 구축이 반드시 필요하지만, 현재 운영기관은 표준화된 시스템이 없으며 일부 자체 운영 또는 전무한 상황으로 RAMS 통합시스템 개발 및 구축이 반드시 필요한 상황이다.

본 연구에서는 통합시스템 개발에 반영할 다양한 요구사항을 식별 및 분류하고, 이를 RAMS 통합시스템에 구현할 최적의 방안을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 요구사항 식별

도시철도 RAMS 통합시스템의 소프트웨어(S/W) 설계에 반영할 RAMS 요구사항을 관련법령(철도안전관리체계 기술기준 등), 국제규격(IEC 62278 등), 국내 도시철도 운영기관 요구사항으로 식별하면 다음과 같다.

2.1.1 철도안전관리체계 기술기준 등 관련법령의 요구사항

철도안전관리체계 기술기준, 철도안전관리체계 승인 및 검사 시행지침, 철도안전관리체계 검사 매뉴얼에서 60개의 RAMS 요구사항을 식별하였고, 중요내용은 표[Table 1] 과 같다.

2.1.2 국제규격의 요구사항

국제규격(IEC 62278, EN 50126)에서 45개의 RAMS 요구사항을 식별하였고, 중요내용은 표 [Table 1] 와 같다.

Table 1. RAMS Requirements of international standard and statute

| 관련법령의 요구사항 | 국제규격의 요구사항 |
|--------------------------------------|-------------------|
| - 위험요인 식별 및 분석, 관리기준 및 활용방안 제시, 평가기록 | - 수명주기비용(LCC) 산출 |
| - 안전대책 수립, 모니터링 및 위험관리 검증방안 | - 유지보수자원의 지원계획 수립 |
| - 신뢰성기반유지보수(RCM) 방안 제시 | |
| - 운영기관의 RAMS 분석결과 및 자료 관리 등 활용 | |

| | |
|---|--|
| 방안 제시 - 고장빈도 분석을 통한 (일반)부품의 재고관리 변경기준 제시 - (주요)부품의 재고관리, 점검 및 교체 주기 변경기준 제시 - 신뢰성기반유지보수(RCM) 방안 제시 - 국제 규격에 부합한 검증 시스템 개발 - 시스템 계층구조별 분류체계관리 - RAMS 지표 설정 및 주기적 모니터링 - 신뢰성기반유지보수(RCM)의 지원 - RAMS 목표 관리 및 평가 기준 제시 | - FRACAS 작성 - RAMS 수집 및 분석 - 운행, 점검 및 교체주기 변경을 위한 RAMS 예측 - LCC 포함한 유지보수비용 산출 |
|---|--|

2.1.3 도시철도 운영기관의 요구사항

국내 도시철도 운영기관의 RAMS 현황과 요구사항을 수렴코자 수도권역 운영기관(서울메트로, 인천교통공사), 지방권역 운영기관(대전도시철도, 대구도시철도, 광주도시철도), 건설부터 RAMS를 적용한 운영기관(신분당선, 공항철도, 용인경량전철) 으로 구분하여 직접 방문조사를 시행하였고, 공통점으로 철도안전관리시스템 구축 부재, RAMS 분석 및 평가 기준 상이, 예비품(수리품 포함) 관리기준 상이, RAMS 결과를 활용한 유지보수활동 미흡 등을 확인하였으며, 운영기관 26개의 RAMS 요구사항을 식별하였고, 중요내용은 표[Table 2] 와 같다.

Table 2. RAMS Requirements of railway operator

| 내 용 | 요 구 사 항 |
|--------------|--|
| 고장기준 및 유형 | 고장기준 및 유형에 대한 사항을 운영기관별로 조사분석을 통한 표준화된 기준정립 및 사용자의 편의성을 고려한 시스템 개발 |
| RAMS 지표 | 운영기관별 상이한 지표의 표준화 및 관리방안 제시 |
| RAMS 분석/평가 | RBD, FMECA, PHA 등 분석 및 평가도구를 반영한 개발 |
| DATA 수집 | 고장기록, 부품이력기록 등 DATA 수집의 효율적인 방안 제시 |
| 기존 시스템과의 연계성 | 현재 사용중인 시스템과 연계되고, 향후 확장성을 고려한 개발 |
| RAMS 활동지원 | 분석결과 및 활용을 위한 표준화된 보고서 생성 및 양식 제공 |

2.2 요구사항 분류

앞에서 식별된 131개의 RAMS 요구사항을 기능관점에서 5개 대분류, 13개 중분류, 56개 소분류로 분류하였고, 내용은 표[Table 3] 와 같다.

Table 3. Category of RAMS Requirements

| 대분류 | 중분류 | 소분류 |
|---------|--------------|---|
| 분류관리 | 체계관리 | 시스템분류관리, 계층구조관리, 부품정보관리, 주요부품관리, Block Diagram 관리 |
| | 코드관리 | 코드관리 |
| | 기술기준 항목관리 | 안전관리/ 운행관리 / 유지관리 관련자료 관리 |
| RAMS 수집 | 시스템 연계 | 철도안전관리시스템(SMS)연계, 열차운행체계연계, 자산관리체계연계, 자동차장치연계, 인터페이스모듈연계 |
| | 템플릿 연계 | 설계자료 / SMS / 열차운행체계 / 유지관리체계 / 자산관리체계 템플릿 제공 |
| | 연계자료관리 | 설계RAMS 정보관리 / SMS / 열차운행체계 / 유지관리체계 / 자산관리체계 / 자동화장치 연계자료관리 / 고장 데이터 검증 |
| RAMS 분석 | RAMS 분석 | 신뢰도 / 가용도 / 정비도/ 위험도 / 정시율 / 자동화수준(GOA) 분석 |
| | RAMS 모니터링 | 신뢰도/ 가용도 / 정비도 / 위험도 모니터링 |
| RAMS 평가 | RAMS 목표 및 검증 | RAMS 목표설정 / 검증 / 평가기록 / 평가 변경관리 |
| RAMS 활용 | 유지관리정책변경 | 점검항목변경 / FMEA 수행 / RCM 결정논리 제공 / 수리폐기분석 / 유지보수지침정의 / 점검, 교체주기변경/ 경제수명분석 |
| | 유지보수자원변경 | 유지보수자원(인력, 시설, 장비, 예비품) 변경 |
| | 위험변경분석 | 안전대책수립/ FMECA 수행 / 증편운행분석 |
| | 비용분석 | 유지보수비 산출 / 대체품 변경분석 / 유지관리정책 변경분석 / 유지보수자원 변경분석 |

2.3 개발요구사항과 RAMS 항목간 연관성 분석

RAMS 통합시스템 소프트웨어(S/W) 설계 및 향후 범용성을 확보하고자 철도안전관리체계 기술기준, 국제규격, 도시철도 운영기관 및 전문가 그룹의 의견수렴, 연구자문 활동 등을 통해 사용자의 요구사항 조사 및 정의를 하였고, 소프트웨어 개발에 대한 131개 요구사항을 R / A / M / S 항목별 분류 및 점유율을 분석한 결과 유지보수도(Maintainability)와 안전도

(Safety) 지표가 약 77% 점유로 연관성이 매우 높으며[Fig. 1], 기능관점(대분류)에서는 RAMS 활용, 분류관리, RAMS 분석이 연관성이 높았다[Fig. 2].

또한, 기능관점과 RAMS 항목간은 S(안전도)-분류관리 / S(안전도)-RAMS 활용 / S(안전도)-RAMS 분석이 연관성이 높은 것으로 분석되었고, 그 결과는[Fig. 3]과 같다.

이 결과는 RAMS 통합시스템의 개발방향에 대한 중점사항 및 기준을 제시한다고 할 수 있다.

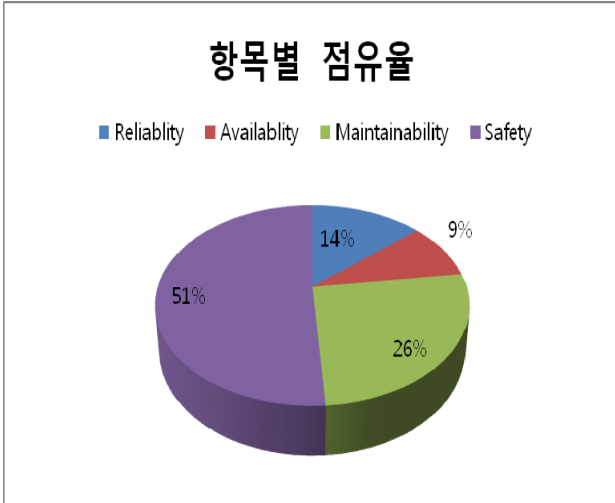


Fig.1 Relevance by item

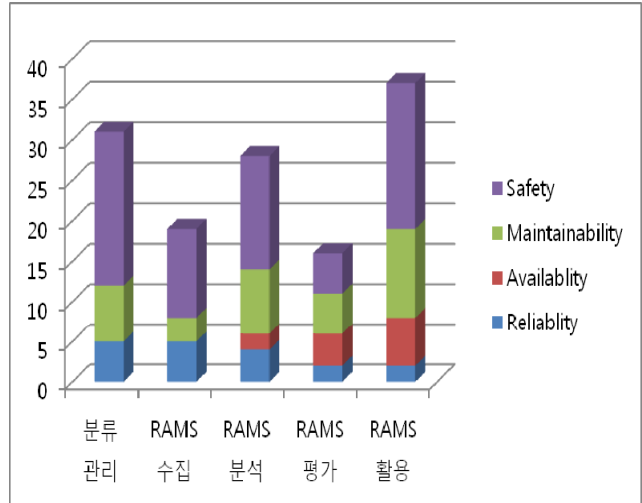


Fig.2 Relevance by function

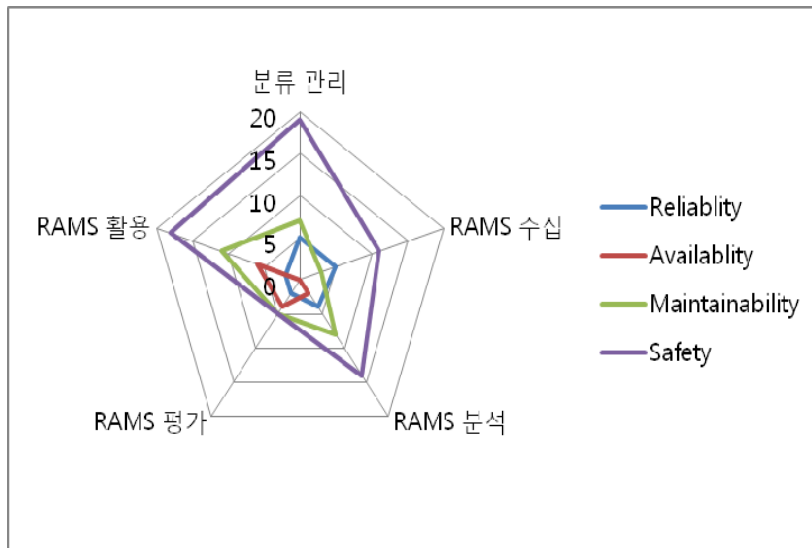


Fig.3 Analysis of association between function view and RAMS item

일반적으로 시스템에 대한 신뢰도 정의는 보수적인 관점(즉 유지보수가 수행되지 않는 조건의 시스템의 경우)에서의 신뢰도로써, 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} = e^{1/MTBF}$$

또한, 유지보수(Maintenance)가 규칙적인 시간간격(T_{R_m})으로 유지보수가 수행되는 시스템에 대하여 다음과 같이 가정하여 신뢰도와 유지보수도의 상관관계를 해석하였다.

유지보수(Maintenance)가 규칙적인 시간간격(T_{R_M}) 으로 유지보수가 수행되는 시스템의 신뢰도를 $T_{R_M}(t)$ 라 하면

$$T_{R_M}(t) = R(t), \quad 0 < t < T_{R_M} \quad \text{-----} \quad (\text{식 1})$$

$$T_{R_M}(t) = R(T_{R_M})R(t - T_{R_M}), \quad T_{R_M} < t < 2T_{R_M} \quad \text{-----} \quad (\text{식 2})$$

만약, 시스템 운영시간 t 동안 규칙적인 시간간격으로 유지보수가 n 회 수행될 경우 시스템의 신뢰도 $T_{R_M}(t)$ 는

$$T_{R_M}(t) = R(T_{R_M})^n R(t - nT_{R_M}), \quad nT_{R_M} < t < (n + 1)T_{R_M} \quad \text{-----} \quad (\text{식 3})$$

으로 정의할 수 있다.

따라서, 정기적인 유지보수 활동 주기가 수명주기보다 큰 경우에는 일반적인 시스템 신뢰도(식 1) 적용하고, 정기적인 유지보수 활동 주기가 수명주기보다 작으면(식 2)를 적용하고, 연간 정기적인 유지보수 활동이 다수인 경우 (식 3)을 적용한다.

기존의 시스템 신뢰도는 단순 평균고장시간을 반영하지만, 본 연구에서는 정기적인 유지보수 활동을 반영한 신뢰도를 산출하여 유지보수와 신뢰도간의 상관관계를 고찰하였다.

또한, 일반적인 도시철도 시스템 안전성(Safety) 확보를 위한 요소들은 [Fig. 4]와 같이 정의할 수 있다.

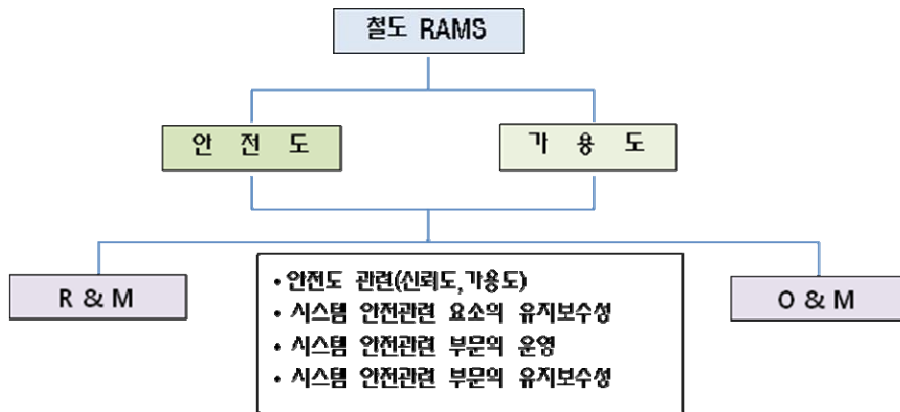


Fig.4 Railway System Safety factor

3. 결론

본 연구에서는 상기의 도출된 개념을 적용하여 유지 보수 실적 및 부품 소모 실적 등을 활용 하여 신뢰도와 유지보수도 분석 알고리즘을 개발하여 도시철도 RAMS 통합시스템 대안 모듈 메뉴에 반영하고자 한다.

향후 시범구축 및 운용과정에서 도출될 추가적인 요구 및 수정사항을 개선하고, 최적화된 도시철도 RAMS 통합시스템 개발 및 구축을 위한 연구를 지속적으로 수행하고자 한다.

후 기

본 논문은 국토교통과학기술진흥원의 철도기술연구사업인 철도안전관리체계 기술기준을 지원하는 도시철도 RAMS 통합시스템 구축 연구(과제번호 16RTRP-C113732-01)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 철도안전관리체계 기술기준(2016), 국토교통부고시(제2016-1017호)
- [2] 철도용 전기 설비의 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성(RAMS) 관련시방서 및 설명서 KS C IEC 62278(2004), 국가기술표준원
- [3] 1차년도 연구성과 증빙자료_기술협의체 및 전문가위킹활동(2016), 서울도시철도공사