



THEME 04

철도의 신뢰성 관리 활동

김종윤 | 한국철도기술연구원, 선임연구원 | e-mail : jong@krri.re.kr

구병춘 | 한국철도기술연구원, 책임연구원 | e-mail : bcgoo@krri.re.kr

철도 이해관계자인 승객, 정부, 운영사 그리고 제작사가 철도서비스에 요구하는 핵심적인 품질인자인 안전성, 정시성, 서비스 공급비용 등은 철도시스템의 신뢰성과 밀접한 관계가 있으므로 이들을 만족시키기 위해서는 체계적인 신뢰성 관리활동이 필요하다.

철도의 신뢰성

2004년 경부고속철도 KTX의 개통과 2010년 한국이 독자적으로 개발한 KTX-산천의 개통은 가히 교통혁명이라 할 수 있다. 이제 전국은 반나절 생활권이 되었다. 최고속도 시속 300km로 운행하는 철도의 신뢰성 확보는 우수한 철도서비스를 공급하기 위한 하나의 필요조건이다. 우선 철도의 신뢰성을 이야기하기 전에 철도 이해관계자가 철도서비스에 요구하는 바를 먼저 살펴볼 필요가 있다. 최근 들어 철도서비스 공급형태가 복잡해짐에 따라 철도 이해관계자(예: 민자철도투자자, 보험회사 등)의 종류가 증가하였지만 기본적으로 이용자(승객 등), 정부, 철도운영자(유지보수 포함), 제작사

로 크게 구분할 수 있다. 철도 이해관계자별 주요 역할 및 기대는 표 1과 같이 요약할 수 있다. 즉 이용자는 공간적 이동을 통해 새로운 가치를 창출하고자 하고, 정부(국가)는 철도서비스 이용자의 요구를 충족시킴으로써 교통서비스 경쟁력을 강화시켜 국가의 가치를 높이 고자 한다. 운영사는 정부의 이러한 기대를 충족시키기 위해 우수한 철도서비스를 공급하기를 요구 받으며 또한 철도서비스의 공급을 통해 이윤을 창출하기를 바란다. 마지막으로 제작사는 우수한 철도서비스 공급을 위해 필요한 철도시스템을 공급하기를 요구 받으며, 철도 시스템의 공급을 통해 이윤을 창출하고자 한다. 이러한 철도 이해관계자들의 역할 및 기대가 달성되기 위해서는 결과적으로 우수한 철도서비스가 공급되어야 한다.

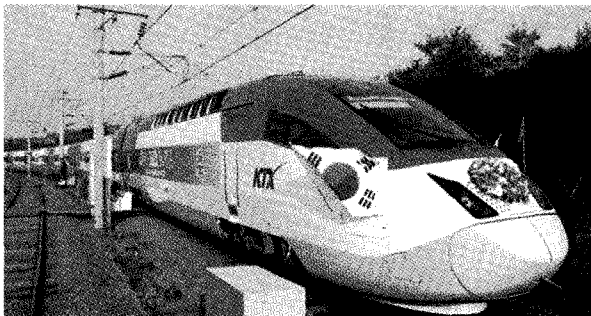


그림 1 KTX-산천

표 1 철도 이해관계자 및 서비스 품질인자

철도 이해관계자	역할 및 기대	철도서비스 품질 인자
이용자 (승객)	- 공간이동을 통한 가치창출	- 안전성 - 정시성 - 서비스 공급 비용
정부	- 국가가치 향상 - 교통서비스경쟁력 강화	신뢰성 (RAMS)
운영사	- 우수한 철도서비스 공급 - 이윤	
제작사	- 우수한 철도시스템 공급 - 이윤	

철도서비스의 우수성은 안전성, 정시성, 서비스 공급비용(요금구조, 운영자비용 등), 승차감, 접근성, 시적, 환경영향 등 여러 철도서비스 품질 인자들에 의해 결정된다. 또한 우수한 철도서비스는 우수한 철도시스템의 공급과 효율적 운영을 통해 달성된다.

철도시스템의 신뢰성이 중요한 이유는 철도서비스의 핵심적인 품질인자인 안전성, 정시성, 서비스 공급비용이 철도시스템의 신뢰성에 크게 영향을 받기 때문이다. 철도시스템의 경우 포괄적인 의미에서는 '신뢰성'보다 'RAMS'라는 용어가 널리 사용되고 있다. RAMS란 신뢰성(Reliability), 가용성(Availability), 유지보수성(Maintainability), 안전성(Safety)의 두음자어이다. 철도에서는 신뢰성을 RAMS의 다른 요소와 구분하여 별개로 다루기 어렵기 때문에 지금부터 포괄적인 의미의 신뢰성은 RAMS란 용어를 사용하고 신뢰성은 RAMS의 한 요소로 고장빈도와 관련된 성능요소로 국한된 의미로 사용한다. 위에서 언급한 바와 같이 안전성, 정시성, 서비스공급비용 측면에서 우수한 철도서비스가 공급되기 위해서는 공급되는 철도시스템의 RAMS 성능이 높아야 하며 그 상관관계는 표 2와 같다. 여기서는 철도시스템의 한 예로서 철도차량의 관점에서 설명한다. 먼저 철도서비스의 안전성은 철도차량의 안전

성을 포함한다. 따라서 철도서비스 품질인자인 안전성과 철도시스템 RAMS 요소로서의 안전성과의 상관관계는 명확하다. 두 번째 철도서비스 품질 인자인 정시성은 일반적으로 "정시에 도착한 열차 횟수/일정표에 예정된 서비스 횟수"로 정의된다. 정시성에 대한 상세한 정의 및 측정 방법은 UIC Code 450-2에 나와 있다. 정시에 도착한다는 기준은 운영환경에 따라 다르지만 UIC Code 450-2에서는 예정된 도착시각보다 5분 이상 초과하지 않고 도착한 경우를 추천하고 있다. 철도의 정시성을 달성하기 위해서는 철도서비스가 시작되는 시점에 철도차량이 가용되어야 하며 서비스가 투입된 후 하나의 서비스가 종료될 때까지 서비스 고장이 없어야 한다. 서비스 시작시점에 차량의 가용 여부는 서비스 일정, 보유차량 대수 및 차량 가용도의 영향을 받는다. 또한 서비스 시작 후 서비스 고장 발생 여부는 차량의 서비스 가용도 및 서비스 시간의 영향을 받는다. 따라서 철도서비스 정시성에 RAMS 요소 중 가용성과 서비스 신뢰도가 영향을 주게 된다. 마지막으로 철도서비스 공급비용은 차량의 편성당 수명주기비용(차량공급비용, 운영 및 유지보수 비용) 및 차량의 가용성 등의 영향을 받는다. 차량의 가용성이 떨어지게 되면 정해진 서비스 일정을 운행하기 위해서는 더 많은 차량을 구입해야 하기 때문에 이에 따라 서비스 공급비용이 증가하게 된다.

따라서 철도서비스 품질인자와 관련된 1차적 RAMS 요소들은 안전성, 서비스신뢰성, 가용성, 수명주기비용으로 정리할 수 있다. 이러한 1차적 RAMS 요소에 영향을 주는 2차적 요소들로는 신뢰성, 유지보수성, 운영 및 유지보수가 있다. 따라서 RAMS 요소들은 표 2와 같이 정리된다. 즉 철도 RAMS 활동의 1차적 목적은 요구되는 안전성, 서비스 신뢰성, 가용성, 수명주기비용이며, 1차적 목적을 달성하

표 2 철도서비스 품질인자와 철도차량 RAMS 요소와의 상관관계

철도서비스 품질인자	철도서비스 품질인자와 RAMS 요소와의 관계	관련된 RAMS 요소
- 안전성	차량의 고장 중 안전에 영향을 주는 고장의 심각도가 허용 가능한 수준이어야 함	- 안전성
- 정시성		- 가용성 - 서비스신뢰도
- 서비스 공급비용	서비스공급비용 = f(편성당 수명주기비용, 가용도, 등)	- 수명주기비용 - 가용성

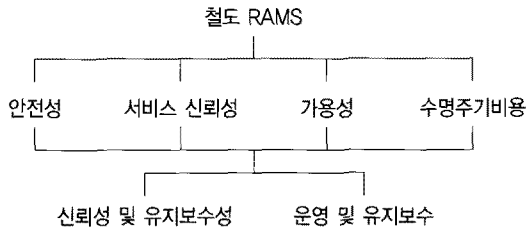


그림 2 철도 RAMS 요소들의 상호관계

기 위해 신뢰성, 유지보수성 및 운영·유지보수를 관리한다. 따라서 철도 RAMS 엔지니어링은 높은 안전성, 서비스 신뢰성과 가용성을 가지면서도 낮은 수명주기비용을 가진 시스템이 개발되고 운영될 수 있도록 시스템의 설계 및 운영·유지보수를 지원하고 관리하는 시스템엔지니어링의 한 분야로 정의할 수 있다. 표 2에서 서비스 신뢰성은 서비스 고장의 빈도와 관련된 요소이고 신뢰성 또는 로지스틱 신뢰성은 로지스틱 고장 빈도와 관련된 요소이다. 철도차량의 경우 고장의 정의는 일반적으로 표 3과 같은 기준에 의해 정의된다.

철도 RAMS 활동

앞 절에서 언급한 바와 같이 철도시스템의 RAMS 성능은 철도서비스의 품질과 직결된다. 따라서 높은 철도시스템의 RAMS 성능을 통해 철도서비스의 품질을 높이기 위해서는 아래와 같은 사항이 충족되어야 한다.

- 가. 높은 RAMS 성능에 대한 사회적/국가적 요구 [국가/사회] : 철도 RAMS 성능은 국민 삶의 질과 국가의 경쟁력에 영향
- 나. 높은 RAMS 성능을 가진 시스템의 획득 [운영사/제작사]
 - 1) 적합한 RAMS 요구조건 제시 [운영사]
 - 2) 제시된 RAMS 요구조건에 맞는 제품의 개발/생산 [제작사]

표 3 철도차량 고장의 범주 및 정의

고장의 범주	정 의
	아래의 상황을 야기하는 고장
	- 정의된 일정 시간 이상의 서비스 지연
서비스 고장	- 서비스 도중의 열차의 교체
	- 서비스 도중 특정한 기능이 상실되거나 해당 기능의 성능이 규정된 최소 허용 수준이하로 떨어짐
로지스틱 고장	유지보수 업무가 요구되는 고장

표 4 수명주기별 RAMS 활동 요약

수명주기단계	RAMS 활동
1. 개념	• RAMS 사전분석
2. 시스템 정의 및 적용조건	- 리스크 분석, 운용유지보수 조건 정의
3. 위험도 분석	• RAMS 요구사항 수립
4. 시스템 요구사항	- 정량적 RAMS 요구사항 - 정성적 RAMS 요구사항
5. 시스템 요구사항 배분	• RAMS 활동 및 분석
6. 설계 및 구현	- 신뢰성/안전성 향상 활동 및 분석 - 유지보수성 향상 활동 및 분석
7. 제작	- 가용성 향상 분석 활동 - 유지보수/수명주기비용 분석
8. 설치	• RAMS 검증
9. 시스템 입증	- 정량적 RAMS 요구사항 검증
10. 시스템 승인	- 정성적 RAMS 요구사항 검증
11. 운영 및 유지보수	• RAMS 성능 모니터링
12. 성능 모니터링	• 운영 및 유지보수 정책 수립 및 이행
13. 수정 및 개조	- 유지보수 체계/주기, 예비품/인력
14. 해체 및 폐기	

- 3) 공급된 제품의 제시된 RAMS 요구조건과의 일치성 검증(운영사/제작사)
 - 다. 획득된 시스템의 RAMS 성능의 유지 [운영사]
 - 1) 운영단계에서의 RAMS 성능의 모니터링
 - 2) RAMS 기반의 운영 및 유지보수 기술 확보
- 철도수명주기별 RAMS 활동은 표 4와 같이 정리할 수 있다. 상세한 RAMS 활동은 IEC62278 및 CLC TR

50126-3에 기술되어 있다.

높은 철도 RAMS 성능을 위한 필수적인 요건은 명확하고 적합한 RAMS 요구사항이 설정되고 이에 대한 정확한 검증이 이루어지는 것이다. 이 두 가지가 이루어지지 않는다면 RAMS 활동이 실제적인 RAMS 성능 향상을 견인하기를 기대하기 어렵다. 국내의 현 상황에서 높은 RAMS 성능을 철도시스템이 개발 또는 도입되기 위해서는 정확한 RAMS 목표의 설정과 이에 대한 검증을 강화해야 할 필요가 있다. 정확한 RAMS 목표의 설정을 위해서는 시스템적 접근법, 수리적 방법, 시뮬레이션에 의한 목표값 설정에 대한 연구가 필요하다. 특히 국내 현황에서 가장 급히 개선되어야 할 부분은 프로젝트의 계약 이전에 명확한 RAMS 요구사항 검증 방법이 제시되는 것이다. 사용자의 RAMS 목표가 사용자 요구사항으로 변화되기 위해서는 신뢰성 검증 시험에 대한 설계가 필수적이다. 즉 신뢰성 검증 시험의 오류를 평가하여 시험대상 샘플의 수와 시험기간, 수락조건을 설정하고 이를 개발 또는 구매사양서에 명확히 제시하는 것이 필요하다. 표 4의 단계 1, 2, 3, 4에서의 주된 RAMS 활동은 이러한 RAMS 목표 및 요구사항을 설정하는 것이다. 철도시스템은 각 장치들이 상호작용하여 영향을 주기 때문에 RAMS 목표를 설정할 때 그 운영 및 환경조건을 설정하는 것이 선행되어야 하며, RAMS 목표는 설정된 운영 및 환경조건과 함께 제시되어야 한다. RAMS 목표 및 요구사항이 설정되고 제시되면 제작사는 제시된 RAMS 요구사항을 만족하기 위한 RAMS 활동을 수행하여야 한다. 표 4의 단계 5, 6, 7의 RAMS 활동들은 단계 8, 9, 10의 RAMS 요구사항의 검증 및 입증 시험을 통과하기 위한 활동이다. 그 예로 신뢰도 예측의 가장 큰 목적은 정량적 신뢰도 요구사항이 제시되었을 때에 현재의 개발 중인 시스템이 신뢰도 검증시험을 통과할 수 있을 지를 평가해보기 위함이다. 단계 5, 6, 7의 주요 RAMS 활동은 다음과 같다.

- 주기적 RAM 프로그램의 검토

- 고장 보고, 분석 및 시정조치 시스템(FRACAS)
- 고장검토위원회
- 고장정의 및 판단기준
- RAMS 모델링
- RAMS 할당
- RAMS 예측
- 고장모드, 영향 및 치명도 분석(FMECA)
- 주요품목관리
- 소프트웨어 신뢰도 분석
- 신뢰성 성장 시험
- 유지보수 및 수명주기비용 분석
- 검증 시험

단계 5, 6, 7의 주요 RAMS 활동은 제작사에 의해 주로 수행된다. 이때 제작사는 RAMS 활동을 통해 시스템의 RAMS 성능을 올리는 것뿐만 아니라 시스템 및 부품의 RAMS 성능 및 특성을 정확히 아는 것이 매우 중요하다. 특히 운영사로부터 유지보수 및 수명주기비용 요구조건이 주어진 경우에는 부품의 RAMS 특성을 정확히 파악하여 요구되는 RAMS 성능을 만족하면서 경제적인 유지보수가 가능한 유지보수 업무를 제공할 필요가 있다. 단계 11 ~ 14인 운영 및 유지보수 단계에서는 획득한 철도시스템의 RAMS 성능을 모니터링하여 유지하는 업무가 주로 수행된다. 철도시스템은 운영기간이 길고 지속적인 고장 및 예방정비가 수행되는 특성을 가지고 있다. 따라서 시간이 경과됨에 따라 그리고 유지보수 업무에 의해 시스템 및 부품의 신뢰성이 변화될 가능성이 있다. 따라서 시스템 및 부품의 신뢰성의 변화를 모니터링하여 현 운영환경에 적합한 유지보수 정책을 수립하여 실행하는 것이 필요하다.

맺음말

최근 들어 해외 철도사업의 경우 국가로부터 운영자에게 부과되는 철도서비스 RAMS 성능 요구조건이 강

화되고 있고, 또한 철도운영자는 철도시스템에 대한 RAMS 요구조건을 강화하고 있다. 국내에서도 철도노선 및 수송분담률 확대에 따라 철도서비스 품질의 향상을 위해 다각적인 노력이 시도되고 있다. 따라서 높은 철도 RAMS 기술 확보를 통해 국내 철도서비스 품질을 향상시키고 철도기술의 해외 진출 확대를 이루는 것이

필요하다. 철도 RAMS 기술을 확보하기 위해서는 부품 신뢰성 기술에서부터 시스템 신뢰성 평가, 유지보수 및 로지스틱스 분석, RAMS 측면의 시스템 아키텍처 설계에 이르기까지 다각적이고도 종합적인 연구가 필요하다고 판단된다.



기계 용어해설

2차 공기(Secondary Air)

화격자연소의 경우에 화격자 위로 고속으로 분출하여 연료와 공기의 혼합을 양호하게 하는 공기, 또는 버너 연소의 경우에 선회 또는 교차분출에 의하여 연료와 공기의 혼합을 양호하게 하면서 주로 연소에 작용하는 공기.

선택조립(Selective Assembling; 選擇組立)

서로 끼워 맞추어지는 것으로, 예를 들면, 축과 구멍의 다름질치수에는 일정 정도의 제작오차가 허용되므로 허용범위 내에서 큰 치수의 구멍에는 큰 치수의 축을, 작은 치수의 구멍에는 작은 치수의 축을 선택적으로 조립하는 방법.

2차 담금질(Secondary Quenching)

침탄부를 1차 담금질로 조직을 고르게 조정한 후, 750~800℃에서 물, 기름 속에 넣어 급랭하여 2차 담금질하는 것.

시징(Seizing)

고온 또는 저온으로 인하여 부품이 팽창 또는 수축하고, 이물질이 끼어 녹아 붙거나 구속되고 고착되어 그 이상 움직이지 않게 되는 현상.

단면도(Sectional Drawing)

공작물이나 기계 등의 내부를 나타낼 필요가 있는 경우에 전부 또는 일부를 평면으로 자른면의 모양을 그림으로 나타낸 도면. = sectional view

시저(늘어붙음; Seizure)

축과 베어링 등의 미끄럼면에서, 마찰로 인한 열에 의해서 가열된 금속의 일부가 녹아서 상대편 표면에 용착하는 것.

부분 정경기(Sectional Warper; 部分整經機)

제직의 준비공정에서 날실의 총수를 그 한끝에서 동일 피치로 작은 폭으로 나누어 부분정경 드럼에 감은 후 필요한 횡수만큼 반복하여 전 날실을 감는 정경기.

연수장치(軟水裝置; Water Softening Plant)

넓은 의미로는 수중의 용해물질을 제거하는 장치이며, 일반적으로는 수중에 용해한 칼슘염, 마그네슘염을 침전시켜 제거하는 장치.

왁스 주형법(Wax Pattern)

금형에 왁스를 녹여 넣어 모형을 만들어 주형재 속에 묻어 건조시킨 후 가열하여 모형을 녹여 내고 그 다음 완전히 연소시켜 주형을 만드는 정밀 주조법의 일종.

위빙(Weaving)

용접을 할 때 아크를 유효적절하게 써서 완전한 용접을 하기 위하여 용접봉의 끝을 용접선 양쪽으로 교대로 움직여 진행하는 용접봉의 운봉법.

역전축(逆轉軸; Weighbar Shaft)

각변위를 준 이 축에 고정된 암을 통하여 스프링 장치의 작용을 전진 또는 후진으로 변환하는 것으로, 역전장치를 구성하는 일부분.