차세대 고속철도차량 RAMS 계획서 작성 기준 연구

A study on the criterion of RAMS plan for next generation high speed rolling stock

박준서* 김종운** 김재훈*** 이영엽****

Park, Jun-Seo Kim, Jong-Woon Kim, Jae-hoon Lee, Young-Yeop

ABSTRACT

As RAMS becomes an international trend in the railroad industry, it is also generalized in the domestic railroad industry. This research is performed to present a criterion of the RAMS plan for the next generation high speed rolling stock. The criterion is developed based on IEC62278(EN50126), the international standard for railroad RAMS and CLC/TR 50126-2, 3, the guide to the application of IEC 62278. It is necessary for the export of the rolling stock. The criterion describes the RAMS targets and the contents to be included in the RAMS plan to meet the RAMS targets. Through developing the RAMS plan, we can identify RAMS activities and documents to be done in the total life cycle which includes design, manufacture and operation. It will help to accomplish synthetically the system targets of the next generation high speed rolling stock.

1. 서 론

EU 통합에 따른 유럽 국가의 철도망 연결로 대두된 철도의 안전성, 신뢰성 등 확보를 위해 축적된 RAMS기술을 무기로 유럽 철도산업체는 철도 RAMS 기술의 IEC 62278 등 국제규격화와 국제 턴키 입찰시 발주규격에 전수명주기에 걸친 RAMS 목표를 명시하고, 명시된 RAMS 목표를 체계적인 활동을 통해 입증하도록 요구하고 있다. 이러한 RAMS 기술은 시스템 엔지니어링 체계에 입각하여 장기적인 개발 및 R&D 경험에서 나오는 복합기술 분야로 개념설계부터 설계, 제작, 시운전, 운영 등 전단계에 걸친 기술적인 노력과 단계별로 기술 데이터를 축적함으로서, 궁극적으로 개발/운영조건에 적합한 최적의 관리체계를 구축하여 추진되어야 하며, 이는 단기간에 확보하기가 어려운 분야의 기술이다.

본 연구는 차세대 고속철도차량의 RAMS 활동을 위한 계획서를 작성하기 위한 기준을 제시하기 위해 수행하였다. 제시된 기준은 국제철도 RAMS 규격인 IEC 62278(EN50126)과 가이드라인으로 제시된 CLC/TR 50126-2,3을 참고로 하여 작성하였다. 이의 이유는 개발되는 차세대 고속철도는 향후 수출도 고려하여 개발되어야 하기 때문이다. 제시된 주요내용은 사업의 개념설계단계에서 제시된 시스템 요구사항을 반영한 RAMS 목표를 설정하고, 설정된 RAMS 목표를 달성하기 위해 RAMS 계획서에 기술해야 할 내용을 명기하였다. 이러한 RAMS 계획서 작성은 향후 설계, 제작, 시운전, 운영 등 전수명주기에 걸친 RAMS 활동 내역과 작성해야 할 문서를 사전에 파악함으로서, 차세대 고속철도차량의 시스템 목표를 체계적으로 달성하는데 도움이 될 것이다.

* 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 정회원
E-mail : jspark@krri.re.kr
TEL : (031)460-5087 FAX : (031)460-5279
,* 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 정회원
**** 한국철도공사, 철도연구개발센터

2. 요구조건에 기반한 주요 RAMS 활동 정의

철도시스템 개발을 위해서는 개발자는 개발해야 할 시스템의 개념 정의에서부터 설계, 제작, 시운전, 운영에 이르기까지 단계별로 도출되어야 할 내용을 정확히 파악하고, 초기에 세워진 목표인 시스템 요구사항을 어떻게 달성할 것인가에 대한 면밀한 계획을 수립해야 한다. 또한 단계별로 생산되는 세부자료에 대한 점검을 통해 향후 운영시에 나타날 문제점을 사전에 해결을 해야 할 것이다. 이와 관련하여 철도 RAMS관련 국제규격인 IEC 62278에서는 시스템 수명주기에 근거하여 개념설계부터 폐기까지 수행해야 할 관리절차를 14단계로 구분하여 정의하고 있다. 그러나 각 단계별로 고려해야 할 내용을 개념적으로 정의를 하고 있어 규격에서 열거한 요구사항을 실제 철도차량 개발에 적용하기에는 다소 어려운 점이 있다.

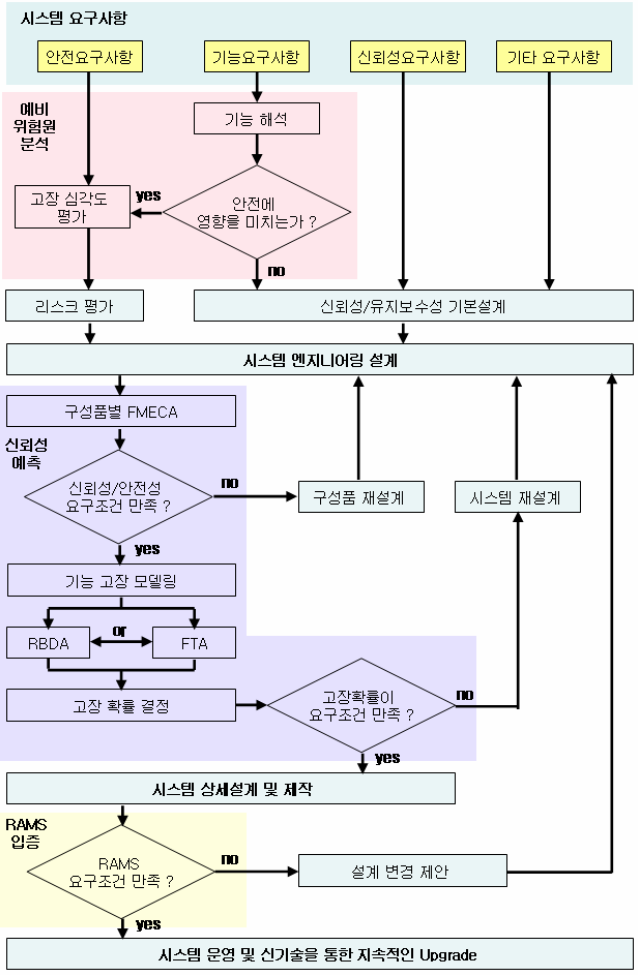

그림 1. 단계별 안전성/신뢰성 프로그램

그림 1은 국제 규격에서 제시한 단계에 따라 철도 시스템 개발시 가장 중요하며, 집중적으로 고려해야 할 사항인 안전성과 신뢰성에 관련된 프로그램 내용에 대해 정리한 것이다. 프로그램의 시발점은 고객(운영자)의 요구사항을 어떻게 반영하여 설계할 것인가가 중요하며, 주로 기능해석에 초점을 두어 안전에 영향을 미치는 고장에 대해 심각도 평가와 리스크 평가를 통해 설계에 반영시키게 된다. 이와 함께 신뢰성 요구사항과 기타 유지보수성, 비용 관점에서의 요구사항이 반영된 설계가 이루어지게 된다. 시스템 엔지니어링 기본설계가 끝나면 각 구성품별로 신뢰성 예측 절차에 따라 할당된 목표치에 대한 신뢰성 평가가 이루어지게 된다. 특히 기능고장과 관련해서는 신뢰성 블록다이어그램(Reliability Block Diagram Analysis)이나 결함나무분석(Fault Tree Analysis)을 통해 고장확률을 결정하여 초기에 제시된 요구사항에 대한 만족여부를 판정하게 되며, 문제가 발견될 경우에는 시스템에 대한 재설계가 이루어지게 된다. 이러한 절차는 시스템 상세설계 및 제작 단계에서 구성품별로 계속적인 반복이 이루어지게 된다. 마지막으로 제작된 시스템에 대한 입증을 시운전 단계에서 수행하여 목표로 한 요구사항에 대한 만족여부를 판단하게 되며, 추후 시스템 운영 단계에서 신기술을 통한 부분적인 시스템 upgrade가 이루어지게 된다.

RAMS 국제 규격에서는 그림 1에서 제시한 RAMS 프로그램에 대해 개발 초기단계에서부터 요구사항을 달성하기 위한 계획을 수립하여 시행할 것을 요구하고 있다. 또한 최근의 해외 발주사양에는 RAMS 성능달성뿐만 아니라 시스템 운영시의 비용절감을 위한 생애주기비용(Life Cycle Cost) 분석자료를 제출하도록 요구하고 있어 시스템 개발자는 개발 비용뿐만 아니라 운영 및 유지보수 단계에서의 비용절감에 대해서도 대책을 수립해야 한다.

3. 차세대 고속철도 RAMS 관련 시스템 요구사항

RAMS 계획서 작성을 위해서는 사용자인 고객과 철도시스템 운영자의 요구사항, 사회 분위기를 반영한 정책적인 법규 등을 고려하여 향후 개발될 시스템 목표을 제시한 시스템 요구사항에 대해 파악할 필요가 있다. 표 1은 차세대 고속철도의 개념설계 단계에서 제시한 시스템 요구사항에서 RAMS와 관련된 요구사항을 정리한 것이다. 여기서 제시된 RAMS 요구사항은 시스템 요구사항에 제시된 다른 운영 및 환경조건이나 차량의 기능조건 등과 시스템적으로 연결되어 있으므로 종합적인 시스템 엔지니어링 활동을 통해 상호 인터페이스를 고려한 활동이 체계적으로 이루어져야 한다.

표 1. 차세대 고속철도차량의 RAMS 요구사항 정리

분류	구분	요구사항
신뢰성	FMECA	하위시스템에 대해 고장형태, 영향 및 치명도 분석(FMECA)을 통해 신뢰도 예측 분석 실시
	FBD 및 RBD	하위시스템에 대해 기능 블록 다이어그램(FBD) 및 신뢰성 블록 다이어그램(RBD)을 작성하여 신뢰성 예측 분석 실시
	MKBSF	운영편성의 평균서비스 고장거리(MKBSF)는 125,000 Train-km 이상
	신뢰성 기준	시제편성의 신뢰성은 향후 제시되는 기준을 만족
유지보수성	유지보수 시설	코레일에서 운용중인 고속차량의 유지보수 시설을 최대한 이용
	유지보수 시간	운영편성의 평균고장정비시간(MTTR)은 열차단위 평균 2.7시간 이내, 모든 보수정비활동의 90%에 대해 최대 6.2시간 이내로 보수정비가 이루어질 수 있도록 설계 및 제작
안전	화재	모든 부품의 설계와 제작은 여객과 승무원의 안전이 고려되어야 하며, 위험 상황에서 탑승자가 안전하게 탈출할 수 있도록 설계
	전자파 장애	차량에 탑재되는 전기, 전자 및 통신장치는 상호간 간섭이 없어야하며, 차량 외부에서 유도 및 복사 형태로 차량 내부에 유입되는 전자파에 의해 기기의 운용이나 안전에 영향을 받지 않아야 함
	차체 및 실내설비 재료	불연성 재료를 사용
	안전장치	차량에는 적정수량의 소화설비, 화염 및 연기장치, 경보장치를 설치
	사고전류 보호	주변압기 또는 주전환 변환장치 등의 사고전류에 의하여 변전소의 부하보호 장치를 동작시키지 않도록 보호동작 기능을 구비
	과전압 보호	번개 또는 스위칭시에 생기는 과전압으로부터 주변압기, 주전력 변환장치 등을 보호하는 기능을 구비
생애주기비용	LCC	하위시스템 설계자는 신개발 부품과 구성품에 대해 생애주기비용(LCC) 분석을 수행

또한 향후 시운전시 신뢰성 측면에서의 RAMS 성능분석 및 입증과 개발자와 운영자간의 의견 충돌을 방지하기 위해 사전에 운영자의 경험을 반영한 주요 고장에 대한 정의가 필요하다. IEC 62278에서는 고장의 범주를 ① 차량의 운행을 방해하거나 명시된 시간 이상의 서비스가 지연되는 중대고장 ② 명시된 성능을 달성하기 위해 시스템을 수정해야 하는 주요고장 ③ 차량 성능과 관계없는 경미한 고장의 3종류로 고장의 범주를 정의하고 있다. 표 2는 차세대 고속철도 시스템과 관련하여 주요 서비스 고장에 대한 정의를 보인다.

표 2. 주요 서비스 고장 정의

고장범주	고장 정의
서비스 고장	1. 운영편성의 차량고장으로 인해 차량운행계획 대비 최종차량이 종착역에 5분이상 지연
	2. 정비 불량으로 인한 것을 제외한 조건에서 차량 고장으로 인해 계획된 영업운행 철회
	3. 영업운행 중 고장발생으로 인해 운행선로에서 편성을 교체
	4. 이중화 시스템간 절환불량(절환시간 지연 등)으로 인해 영업운전 지연

4. RAMS 계획서 작성기준

그림 1의 시스템 수명주기에 근거한 RAMS 주요 활동 내역을 살펴보면, RAMS 활동은 전체적인 RAMS 계획과 구성품별 RAMS 활동의 2가지로 구분하여 추진하는 것을 알 수 있다. 따라서 그림 1과 표 1의 RAMS 요구사항을 참고로 하여 차세대 고속철도차량의 구성품에 대한 RAMS 규격서 작성기준을 그림 2와 같이 제시하였다. 제시된 작성기준은 국제규격인 IEC 62278에 제시된 RAMS 규격을 국내 개발 환경에 맞추어 일부 변형하여 작성하였다.

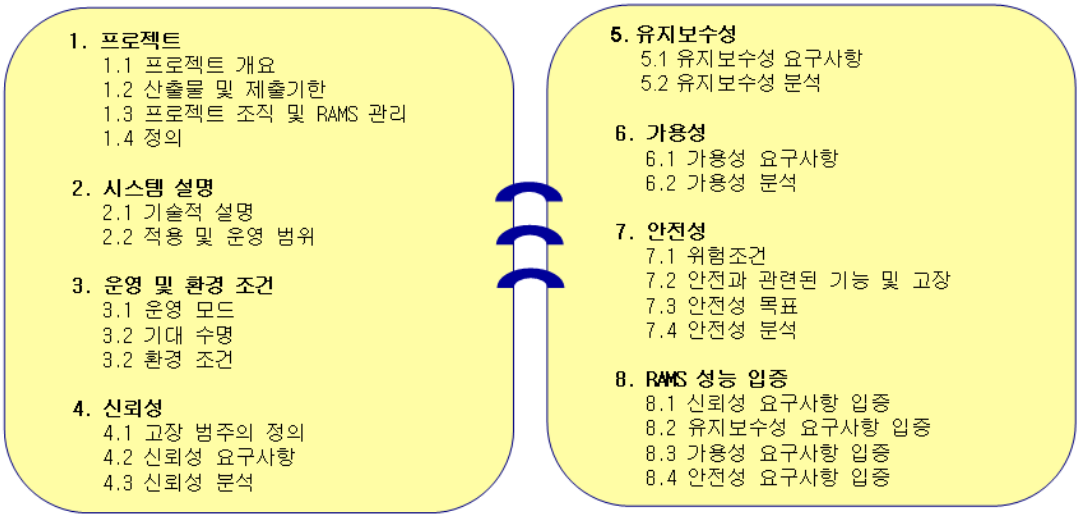

그림 2. 구성품 RAMS 규격 작성기준(안)

그림 2에서 각각의 RAMS 요구사항은 앞에서 언급한 시스템 요구사항을 달성하기 위해 구성품 단위로 목표를 할당하고, 이를 바탕으로 구성품별로 RAMS 요구사항을 작성하게 된다. 예를 들면 시스템의 신뢰성 요구사항에서 운영편성의 MKBSF가 125,000 Train-km 이상이므로 이를 달성하기 위해 각 하위시스템별로 과거의 경험치나 유사 시스템의 실적치, 기술적인 진보사항 등을 종합적으로 고려하여 목표치를 할당하게 된다. 유지보수성의 경우에는 고장 발생시 신속한 유지보수를 위해 현장에서 LRU(Line Replaceable Unit) 단위로 교체가 이루어지므로 해당 구성품이 LRU 상위 아이템이면 목표를 MTTR(Mean Time To Repair)로 부여하고, 해당 구성품이 LRU이면 목표치는 교환시간으로 부여하게 된다. 가용성의 경우에는 시스템 요구사항에서 목표치를 정하지 않았으나, 일반적으로 신뢰성과 유지보수성의 목표치가 결정되면 구성품의 고유 가용도를 알 수 있다. 안전성의 경우에는 구성품별로 발생이 예상되는 위험원 분석을 통해 위험원을 제거하거나 ALARP(As Low As Reasonably Practical)에 의해 리스크가 허용될 수 있는 수준이하로 저감시켜야 한다. 특히 안전성과 관련해서는 2006년에 고시된 철도안전법의 안전성 관련 사항을 준수해야 한다. 이와 같이 RAMS 요구사항 분석을 통한 목표치가 설정되면 각각의 구성품별로 설계단계에서 RAMS 활동을 통한 예측 및 분석을 통해 RAMS 성능을 입증할 수 있는 방안을 구성품 RAMS 규격 작성기준에 명기하도록 하였다.

또 하나의 RAMS 활동에서 중요한 것은 시스템적으로 일관된 RAMS 목표를 달성하기 위한 활동을 위한 계획을 수립하는 것이다. 특히 철도차량과 같이 주요장치가 상호 인터페이스되어 있는 시스템에서 종합적인 관리계획이 없어서는 향후 발생될 문제점에 대해 규명하기가 어려운 경우가 발생하게 된다. 이를 위해 국제규격인 CLC/TR 50126-3에서는 RAMS 프로그램을 제시하고 있으며, 이를 토대로 차세대 고속철도차량의 RAMS 계획서 작성기준(안)을 그림 3과 같이 제시하였다.

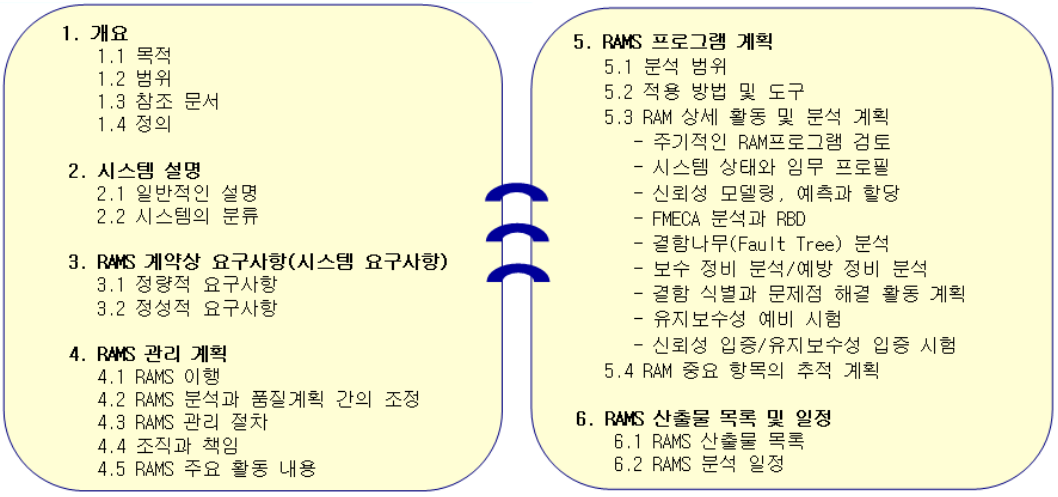

그림 3. RAMS 계획서 작성기준(안)

RAMS 계획서 작성시 중요한 것은 시스템 분류에서 구조체계를 어떻게 할 것인가 이다. 시스템의 구조체계를 정의하는 것으로 WBS(Work Breakdown Structure), PBS(Product Breakdown Structure) 등이 있으나 이들은 하드웨어 형상에 기반한 설계업무 특성에 적합하게 구성된 것으로, 고장 및 유지보수 특성이 중요한 RAMS 체계에서는 부적합한 경우가 많다. 일례로 하나의 품목이 다양한 위치 또는 환경에서 사용될 때 WBS, PBS에서는 일반적으로 하나의 코드로 부여되지만, RAMS측면에서는 사용 환경에 따라 고장특성이 다르므로 코드가 여러 개 필요할 경우가 발생한다. 따라서 철도시스템의 RAMS 활동을 위해서는 각 품목의 고장 및 유지보수 특성을 반영한 LBS(Logistic Breakdown Structure)를 적용하는 것이 바람직하다. 또한 RAMS 계획서에는 앞서 언급한 체계적인 RAMS 활동을 수행하기 위한 RAMS 관리 계획을 수립하는 것이 중요하다. 이는 RAMS 관리자의 책임하에 수명주기단계에서 발생할 시스템 인터페이스의 조정이나 RAMS 활동에 참여하는 전문가의 책임한계를 명시함으로써 원활한 엔지니어링 활동을 도모하게 된다.

RAMS 프로그램 계획은 실질적으로 시스템 요구조건 목표치의 할당을 통해 구성품 단위로 이루어지게 되므로 앞서 언급한 그림 2의 구성품 RAMS 규격 작성기준과 밀접하게 연관되어 있다. 일반적으로 구성품단위로 할당된 신뢰도 목표치에 대한 예측방법으로 ① 시험데이터를 통한 예측 ② 필드데이터를 통한 예측 ③ 라이브러리를 통한 예측 방법이 있으며, RAMS 계획서에는 구성품 LBS별로 신뢰도 예측방법을 명기하여 일관성 있는 예측근거를 명시하는 것이 향후 문제점 발생시 해결방안을 도출하는데 중요하다. 또한 신뢰성과 유지보수성 분석을 위해 중요한 데이터베이스 구축을 위해 CLC/TR 50126-3에서는 신뢰도 예측 시트, 예방유지보수(PM) 시트, 고장유지보수(CM) 시트, FMECA 시트에 대한 DB 체계를 제시하고 있다. 그림 4에 신뢰도 예측 시트의 예를 보인다.

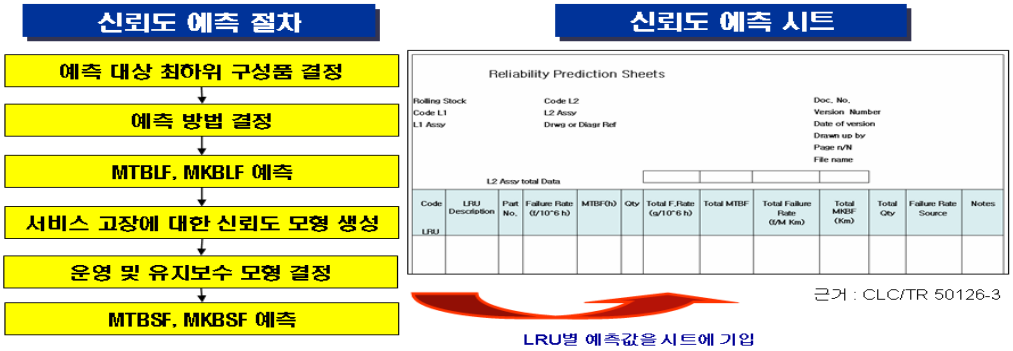

그림 4. CLC/TR 50126-3의 신뢰도 예측 시트 예

이외 에도 결함식별과 문제점 해결 활동 계획, 신뢰성/유지보수성 입증 시험계획과 RAMS 주요항목에 대한 추적 계획, RAMS 산출물 목록 및 일정 등을 명기하도록 함으로서, 그림 1에서 제시한 수명주기별 RAMS 주요 활동을 사전에 파악하여 일관성 있는 RAMS 계획을 추진하도록 하였다.

5. 결 론

차세대 고속철도차량의 성공적인 개발과 개발 시스템의 향후 수출을 위해서는 시스템 요구사항을 분석하고 요구목표를 달성하기 위한 체계적인 RAMS 활동이 중요하다. 이를 위해 국제규격을 참고로 전 수명기간에 이루어질 RAMS 활동 내용을 정의하고, RAMS 활동에 따른 차세대 고속철도의 RAMS 계획서 작성기준(안)을 제시해 보았다. 이러한 RAMS 계획서 작성은 향후 설계, 제작, 시운전, 운영 등 전수명주기에 걸친 RAMS 활동 내역과 작성해야 할 문서를 사전에 파악함으로서, 차세대 고속철도차량의 시스템 목표를 체계적으로 달성하는데 도움이 될 것이다. 그러나 RAMS 목표 달성을 위한 시스템 엔지니어링 활동을 위해서는 계획에 우선하여 이를 달성할 수 있는 시스템과 구성품 개발자의 RAMS와 관련된 개발 능력이 더욱 중요하며, 이와 관련된 내용은 선진국과의 기술제휴를 통해서도 입수하기가 어려운 기술로 국내 기술진이 스스로 개발해 나아가야 할 분야라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 차세대고속철도기술개발사업의 지원으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. EN 50126(IEC 62278), "Railway applications - the specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)", 1999
2. CENELEC TR 50126-2, "Railway applications - the specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 2 : Guide to the application of EN 50126-1 for safety", 2007
3. CENELEC TR 50126-3, "Railway applications - the specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 3 : Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAMS", 2006
4. UNIFE LCC Group, "Guidelines for Life Cycle Cost Volumn Ⅰ~Ⅳ" http://www.unife.org, 1997
5. MIL-HDBK-781A, "Reliability test methods, plans and environments for engineering development, qualification and production", Department of defense, 1996
6. 박준서(2006), “철도시스템 RAM 관리체계 구축을 위한 기반연구”, KRRI 연구 06-127, 한국철도기술연구원
7. 일본철도차량공업회 RAMS 간담회, “실천 철도 RAMS", 성산당 서점, 2006