안전한 고객수송서비스를 위한 KTX-II RAMS 적용기준
(KTX-Ⅱ RAMS Application Standard for Safety of Passenger Transportation Service)

차재환† 정인수* 조광우**
Cha, Jae-hwan Chung, In-soo Jo, Kwang-Woo

ABSTRACT

Currently, it has been a fashion to include RAMS of rolling stock in the order for purchasing the rolling stock. However, it's only to suggest a qualitative value or an ideal target without giving or demonstrating actual RAMS target, with only demonstrating passive RAMS by the data provided by the manufacturer.
In the case of KTX project of 100 cars of KTX-Ⅱ contracted in June 2006, their target has been suggested from the previous RAMS application standard and it aimed to achieve the reliability level of equivalent high speed rolling stock. Afterward, as actual KTX-Ⅱ RAMS Plan and RAMS Demonstration Plan has been prepared and approved, it has been the first problem to secure the reliability and safety in order to introduce the new high speed rolling stock(KTX-Ⅱ) successfully and we actually tried to apply overseas RAMS standard, KTX samples, electric railcar MTRC and rolling stock samples.

This Report was dealt world trends of Railway RAMS standard, KTX-II RAMS Specifications, the present condition of KTX-II RAMS performance and development a way of KTX-II RAMS, We hope the "KTX-Ⅱ RAMS Application Standard for Safety of Passenger Transportation Service" is served as an opportunity for the basic research for establishing and demonstrating RAMS target of components or parts composing the rolling stock system.

1. 서 론

요즘 철도차량의 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety)기준 적용은 유행처럼 철도차량 발주사양에 포함되어 구매되고 있으나 실질적인 RAMS 목표를 제시 및 입증하지는 못하고 있으며 정성적 목표 또는 이상적인 목표치를 제시하여 제작사 제출 자료에 의한 소극적인 RAMS 입증에 그치고 있다.

2006년6월 계약한 KTX-II 100량 도입사업의 RAMS 적용기준을 살펴보면, 기존 KTX RAMS 적용기준을 대부분 준용해서 고속차량 발주사양의 목표를 제시하였으며, 이는 동종 고속차량의 RAMS 성능 수준을 달성하는 것이 목표였다. 그러나 실제 KTX-II RAMS 계획과 RAMS 입증 계획을 작성 및 승인을 진행하면서 성공적인 신규고속차량(KTX-II) 도입을 위해서는 신뢰성 및 안전성 확보가 최우선 과제가 되면서, 실제 해외 RAMS 표준 및 KTX 적용사례, 전동차 MTRC 및 해외 철도차량의 적용사례를 활용코자 노력하였다. 하지만 국내 환경 즉, 국내 구성품 부품 제작사의 RAMS 적용사례가 거의 전무한 상태다.

물론 KTX-II 차량제작사(현대로템(주))는 철도 RAMS 적용경험이 있으나, 300Km/h 개발차량의 실질적인 RAMS 적용에는 부품 공급업체의 경험부족으로 많은 어려움이 발생되고 있다. 그러나 RAMS적용 연구에 대하여 한번 살펴보면, 차량 시스템 차원의 RAMS 적용 방향, 방법론 연구는 활발하게 진행되고 있으나 차량을 구성하는 구성품, 부품에 대한 RAMS적용 방법론은 데이터 북을 활용하는 수준이며 연구는 거의 전무한 상태다.

본 연구에서는 철도RAMS 국제동향, KTX-II RAMS사양, RAMS 업무추진내역, 향후 KTX-II RAMS 발전방향을 다루었으며, 이번 "안전한 고객수송서비스를 위한 KTX-II RAMS 적용기준" 보고서를 통하여 고속차량시스템을 구성하는 국내환경의 구성품, 부품의 RAMS 목표기준 수립 및 입증에 대한 기반연구 필요성의 계기가 되었으면 한다.

† 책임저자 : 한국철도공사, 차량기술단, 차장
E-mail : cha4377@korail.com
TEL : (042)609-4991 FAX : (042)609-4920
* 한국철도공사, 연구원, 원장
E-mail : chungis@hanmail.net
TEL : (042)609-3703 FAX : (042)609-4915
** 한국철도공사, 차량기술단, 팀장
E-mail : jo3681@paran.com
TEL : (042)609-3908 FAX : (042)609-4920

2. 철도 RAMS 적용 필요성

2.1 RAMS 도입배경

KTX-II에 RAMS를 도입하게 된 배경은 국내에서 설계·제작하는 최초의 고속철도차량이 설계단계부터 위험요소를 최소화하여 수명기간 동안 차량의 신뢰성 목표치를 만족시키고, 안전하며, 고장 시 유지보수가 용이하고 모든 가능한 고장에 대한 신속한 고장검지-식별-분석-대책을 마련토록 준비하여 차량의 최대 가용성을 보장하기 위해서이다.

2.2 RAMS 국제표준 규격, 사양

2.2.1 RAMS 국제표준 동향

철도 RAMS 국제동향을 살펴보면 EN, ISO, IEC, MIL 등 해외 철도규격은 90년대 구성품, 부품중심의 규격에서 탈피하여 최근에는 유럽중심으로 시스템차원의 규격제정이 활발하게 진행되고 있다. 국제표준 규격들은 시스템차원의 규격이 정의되면 구성품, 부품 차원의 규격은 부품업체에서 책임지고 시스템차원의 규격을 만족토록 유도되고 있다. 철도RAMS 표준화는 EU 통합에 의한 철도망의 통합 및 철도산업의 다국적 화에 따라 철도 기술력이 뛰어난 유럽 철도산업이 세계시장를 움직이고 있다.

도표1. 철도 RAMS 국제표준 현황

국제규격	규격번호	규격제목	비고
IEC[1]	**IEC 62278**	**철도시스템 적용 ; 신뢰성,가용성,유지보수성,안전성 (RAMS)의 사양과 증명**	2004년
	IEC 62279	철도시스템 적용 ; 철도신호보안장치 제어와 방어 시스템을 위한 소프트웨어의 통신,신호,프로세싱 시스템	
	IEC 62280-1	철도시스템 적용 ; Part.1 안전-신호보안장치관련; 폐 전송(Transmission)시스템을 위한 통신, 신호,프로세싱 시스템	
	IEC 62280-2	철도시스템 적용 ; Part.2 안전-신호보안장치관련; 개방 전송(Transmission)시스템을 위한 통신, 신호, 프로세싱 시스템	
	IEC 61508	전기/전자/프로그램 전자 안전관련 시스템의 기능적 안전성; Part1~7	
EN[2]	**EN 50126**	**철도시스템 적용 ; 신뢰성,가용성,유지보수성,안전성 (RAMS)의 사양과 증명**	1999년
	EN 50128	철도시스템 적용 ; 철도신호보안 제어와 방어 시스템을 위한 소프트웨어의 통신,신호,프로세싱 시스	
	EN 50129	철도시스템 적용 ; 안전-신호보안장치관련; 폐 전송(Transmission)시스템을 위한 통신, 신호 ,프로세싱 시스템	
	EN 50155	철도시스템 적용 ; 철도차량에 사용된 전자장비	
	EN 50159-1	철도시스템 적용 ; Part.1 안전-신호보안장치관련; 폐 전송(Transmission)시스템을 위한 통신, 신호,프로세싱 시스템	
	EN 50159-2	철도시스템 적용 ; Part.2 안전-신호보안장치관련; 개방 전송(Transmission)시스템을 위한 통신, 신호, 프로세싱 시스템	
U.S.A DoD[3]	**MIL-STD-882D**	**시스템안전성 프로그램 요구사항**	2000년
	MIL-STD-1629A	FMECA 수행절차관련 규격	
	MIL-STD-471A	유지보수성 입증관련 규격	
	MIL-HDBK-217F	전자장비 신뢰성 예측	
	MIL-HDBK-2155	고장보고 및 고장복구 관련규격	
	MIL-HDBK-338B	전자 신뢰성 설계 관련	
	MIL-HDBK-470A	유지보수성 제품, 시스템의 설계 및 개발 관련규격	

1) IEC : International Electro-technical Commission(국제 전기/전자 위원회)

2.2.2 국제표준 IEC62278의 RAMS 주요사양

RAMS의 기본규격으로 철도시스템의 개념설계부터 제작, 시운전, 유지보수, 폐기에 이르기까지 수명주기를 14단계로 분류하고, 각 단계별로 RAMS 관리를 위한 절차와 검증방법을 규정하고 있다. 여기서 제시한 요구사항의 개념을 정리하면 다음과 같다.

① 안전성, 신뢰성을 저해하는 요인의 추출과 리스크의 허용수준 등 안전성, 신뢰성의 목표설정
② 목표를 달성하기 위한 논리, 사전평가, 검증, 문서기록 실행
③ 제3기관에 의한 인증체계 시행 등

그러나 요구사항의 목표를 실현하기 위한 기법이나 목표 수준 등은 제시되어 있지 않아 현재로서는 각 기관별로 독자적인 계획을 수립하여 수행하여야 하며, 제3기관의 인증과 같은 경우도 국제적인 철도기술 수준을 감안할 때 유럽중심의 몇몇 기관만이 수행할 수 있는 정도이다.

2.3 철도 RAMS에 영향 요소 및 관리

2.3.1 서비스 중의 안전성과 가용성 목표 달성

철도RAMS의 목표는 기본적으로 안전성과 가용성의 확보라 할 수 있다. 안전성과 가용성은 모든 신뢰성 및 유지보수성을 요구조건을 만족시키고 장기간 진행되는 유지보수 및 운영행위와 시스템 환경을 통제 및 관리해야 획득될 수 있다.

신뢰할 수 있는 철도시스템을 실현하기 위해서는 RAMS에 영향을 미칠 수 있는 요인을 규명하고, 그 영향을 평가하여, 이러한 원인을 시스템수명주기 동안 적절한 제어의 적용을 통하여 시스템 성능을 최적화하기 위하여 통제 및 관리해야 하는데, 철도RAMS에 영향을 주는 요소는 다음과 그림1과 같이 시스템내부의 유지보수성, 기술적 특성, 내 외부 고장원인이 되는 시스템적 조건과 환경적조건, 인간적 요소, 절차, 임무도표, 세부계획 오류에 따라 고장원인이 되는 운영조건, 유지보수와 관련된 인간적 요소, 보수절차, 세부계획 오류에 따라 고장원인이 되는 유지보수 조건 등 세 가지로 구분 할 수 있다.

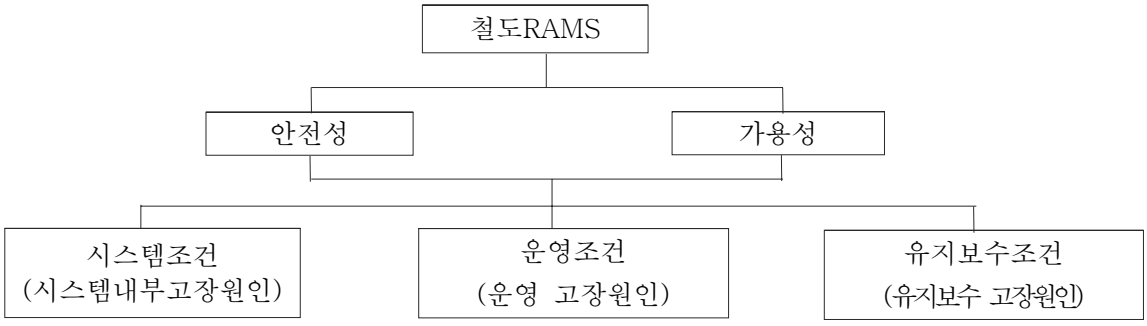

그림 1. 철도 RAMS에 영향을 주는 3가지 조건(IEC 62278)

2.4 철도시스템 RAMS 관리절차(IEC62278)

시스템수명주기의 예비RAMS 해석, 상세설계 및 제작, 시험 및 인도, 데이터수집 및 RAMS 운용까지 시스템의 전체수명주기를 14단계로 구분하여 정의하고 각 수명주기 단계별 주요업무를 정리하고 있으며, 프로젝트 단계별 RAMS 기본프로그램 사례를 제시하고 참여기관별 RAMS 책임성을 정의하고 있다.

수명주기는 동의된 시간 단위 내에 정당한 가격으로 정당한 제품을 제공할 수 있도록, 시스템이 각 단계를 통해서 진행함에 따라서 RAMS를 포함한 시스템의 모든 측면을 계획하고 관리하고 제어하고 감시하는 구조를 제공한다. 수명주기 개념은 이 규격의 성공적인 구현을 위한 토대를 이룬다.

수명주기 동안에 변경관리나 형상관리 활동은 모든 프로젝트 단계에 적용되며, 검증(Verification)과 확인(Validation) 활동은 대부분의 수명주기 활동에 적용된다.

---

2) EN : European Committee for Electro-technical Standardization(유럽 전기/전자 표준 위원회)
3) U.S.A DoD : U.S.A Department of Defense(미국 국방성)

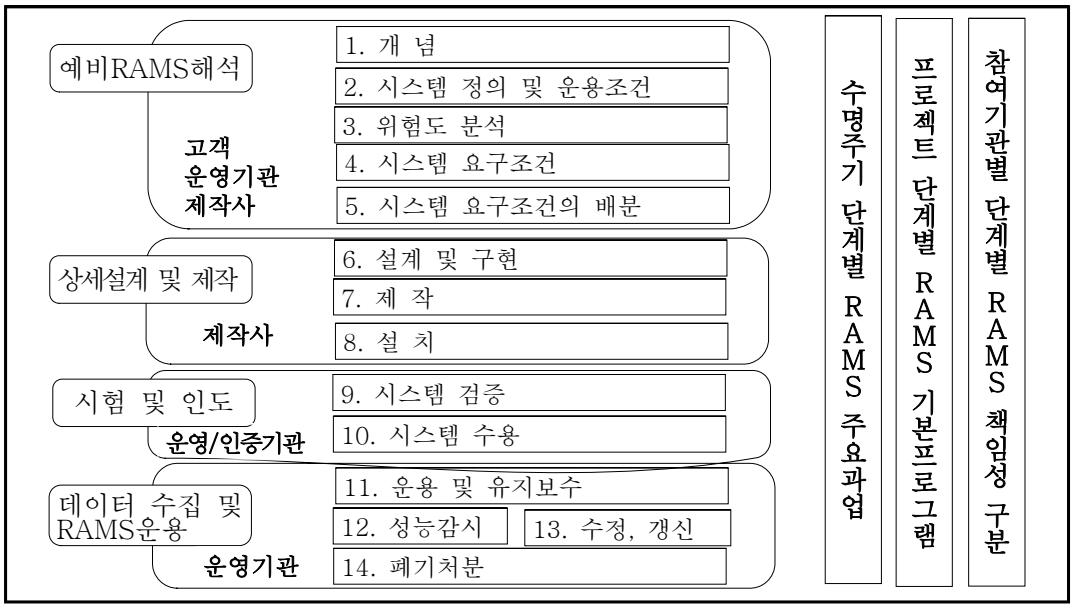

그림 2. 철도시스템 RAMS 관리절차(IEC62278)

2.5 위험도 허용원리(IEC62278)

ALARP[4] 원리는 영국에서 부터 사용되어 우리나라에서도 일반안전 위험도평가 및 철도 Safety 위험도평가 방법에 많이 활용되고 있다

다음 그림3에서 상위영역과 하위영역의 사이가 ALARP의 영역이다. 위험도가 ALARP 영역에 있다는 것을 입증하는 것으로 충분히 안전하지 않으며, ALARP 위험도는 합리적으로 실행 가능한 한 낮게 관리되어야 한다. ALARP을 입증할 수 있는 방법은 여러 가지가 있다. ALARP의 허용범위는 현재 최선의 이용 가능한 규격과 활동이 적용되었음을 보여주는 것으로 충분할 것이다. 새로운 운용 또는 규격이나 활동이 의심스러울 경우에는 비용-이익 분석과 수명 가치의 개념 도입이 될 수 있다.

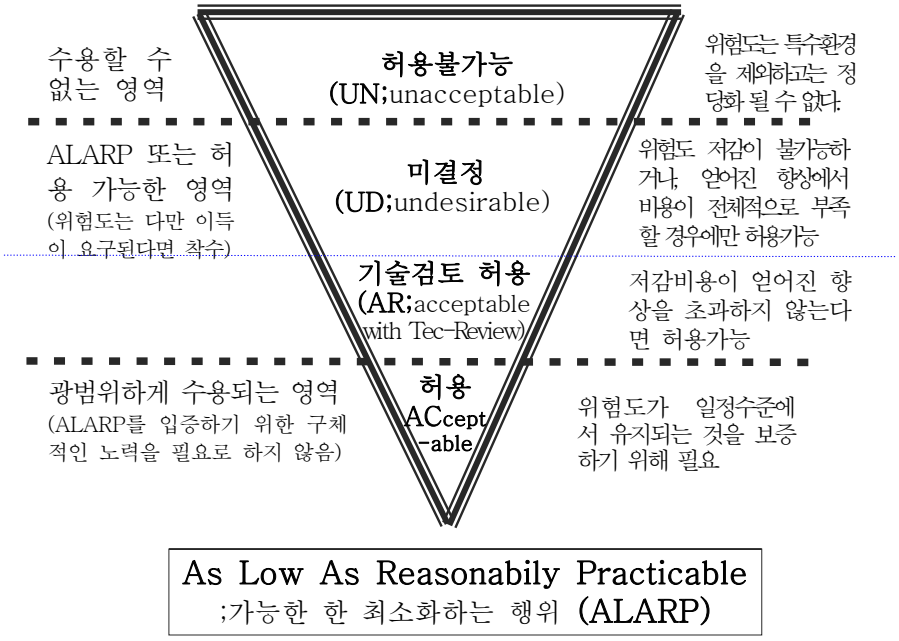

그림 3. 위험도 허용원리(IEC62278)

4) ALARP : 가능한 한 최소화하는 행위(As Low As Reasonably Practicable)

2.6 기본 철도RAMS 프로그램 예(IEC62278)

기본 RAM 프로그램/안전 계획을 위한 개략적인 과정의 예와 기본 RAMS프로그램(RAM프로그램/안전 계획)의 업무수행 예를 나타낸다. RAMS 프로그램을 지도 및 관리하기 위한 적당한 방법과 도구는 IEC62278 부속서 B.5.1~B.5.6 툴(Tool) 리스트를 참고 한다.

도표 2. 기본 철도RAMS 프로그램 예(IEC62278)

프로젝트 단계	RAMS 업무	비 고
사전 수집	RAMS 목표 수립	
가능성 연구	- RAMS 요구사항 평가 - RAMS의 과거 데이터 및 경험 평가 - 특정 적용과 관련된 안전영향 규명 - 필요한 경우 RAMS에 대한 고객 상당	
감독자 초빙	- 최악의 경우 가정한 예비 RAMS해석 시행 - 시스템 RAMS 요구사항 할당(하부시스템/장치, 다른 관련 시스템 등) - 시스템 위험상태 및 안전 위험도 해석 시행 - RAM과 관련된 위험도해석 시행 - 향후 RAMS 데이터 평가를 위한 준비 - RAMS에 관한 조목별 설명	특수설명서 제정
계약 협상	- 예비 RAMS 해석 및 RAMS 할당에 대한 검토/개정	계약
발주: 시스템 요구사항 정의	-프로젝트에 정해진 RAMS관리 수립 - 전반적인 시스템 RAMS 요구사항 명기 - RAMS 프로그램 수립(표준 RAMS프로그램으로 충분한지 검토) - 부계약자와 공급자에게 RAMS 요구사항 할당 - 전반적인 RAMS 수용기준 정의	개념설계
발주 : 설계 및 구현	- 신뢰성 해석(FMEA) - 적용가능한 범위내 안전성 해석(FMEA) - 유지보수/수리 해석; 유지보수/수리 정책에 대한 정의 - RAMS검토 - 수명주기 비용 추정 - RAMS 입증 및 증거 수집 - 설계/제조 FMEA - 적용가능한 범위내 신뢰성 및 유지보수성 시험	상세설계
조 달	- 부계약자/공급자에게 RAMS 사양제공	
제조 / 시험	- RAMS와 관련된 품질보증 및 공정보증	
시운전 / 수용	- RAM 입증 - 특정 Safety Case 적용준비 - RAMS 데이터 평가 - 초기운전, 데이터 검색 및 평가기간 동안 RAM시험	시운전/인수
운영 / 유지보수	- 운전 및 유지보수(유지보수/수리 방침) - 운영 및 유지보수 요원 훈련 - RAMS 데이터 평가 - 수명주기 비용 평가 - 성능검토	운영

2.7 수명주기 RAMS과정 내의 수행책임(IEC62278)

전현적인 철도 프로젝트에서 일반적인 기준으로 다음 같은 사항들이 적용된다.

- 요구사항이 고객이나 통제기관에 의해 일반적으로 수립된다.
- 승인 및 수용은 고객이나 통제기관에 의해 유사하게 수행된다.
- 해결책, 결과 증명은 일반적으로 계약자에 의해 기술되고 수행된다.
- 검증은 일반적으로 고객, 운영자, 계약자 등 합동으로 수행된다.

다음 매트릭스는 전형적인 RAMS 수명주기에 대한 책임성 예를 보여준다.

도표 3. 수명주기 RAMS 수행책임(IEC62278)

수명주기단계	고객/운영자	승인기관	주계약자	하부계약자	공급자
1. 개념 설정	○				
2. 시스템정의와 적용조건	○				
3. 위험도 분석	○		○		
4. 시스템 요구사항	○	(○)			
5. 시스템 요구사항의 배분	(○)		○		
6. 설계와 구현			○	(○)	
7. 제 조			○	○	○
8. 설 치			○	(○)	
9. 시스템 검증 (안전성 인수, 시운전 포함)	○	○	○	(○)	
10. 시스템 인수	○	○			
11. 운영과 유지보수	○		(○)	(○)	
12. 성능 감시	○		(○)	(○)	
13. 수정과 개조	○		○	○	
14. 해체와 폐기	○		(○)		

※ (○)는 특정한 책임성 또는 부분적인 참여(예, 하부 계약자)를 의미한다.

3. KTX-II RAMS 적용현황

3.1 KTX-II RAMS 사양

3.1.1 KTX-II 신뢰성(Reliability)

신규고속차량 KTX-II의 신뢰성 목표치(MKBSF)는 국내환경에서 운행 중인 동종의 고속차량 KTX 신뢰성 목표치 121,000 Train-Km(서비스지연고장 기준 10분)보다 엄격히 관리하여 2006년 6월 KTX 신뢰성 달성수준에 준하는 125,000 Train-Km(서비스지연고장 기준 5분)로 정량적 목표치를 설정 하였으며, 주요 서브시스템 MKBSF는 공사의 시스템 요구사양에 따라 공급자가 서브시스템을 Top-Down 방식으로 신뢰성 목표치를 할당하여 제안하고 공사가 승인하였다. 신뢰성 할당에 대한 책임은 시스템 단위 125,000 Train-Km는 공급자가 책임지고 보증하지만 서브시스템에 대한 할당은 계약적 제약사항은 없다.

KTX-II 100량 신뢰성 검증은 KTX 최종 평가방법과 같이 상업운행 1년6개월 이후 편성별 6개월 동안 평가하여 125,000 Train-Km를 달성토록 하였으며 미달성시는 편성별 1개월씩 하자보증을 연장토록 하였다. 그러나 KTX-II 90량 신뢰성 검증은 우리나라 4계절 기후 변화를 감안하여 상업운행 1년 이후 편성별 1년 동안 평가하여 125,000 Train-Km를 검증토록 하였으며 미달성시는 편성별 1개월씩 하자보증을 연장토록 설계하였다.

향후, 고속차량 신뢰성 검증에서는 기존의 KTX와 KTX-II 경험을 기반으로 정량적인 신뢰성 목표치 제시와 주요 서브시스템의 신뢰성 할당 값을 운용 자료를 근거로 사용자가 제시하고 공급자가 목표달성 및 검증토록 할 것이며, 하자보증 후 신뢰성 성장곡선 예측을 통하여 미래 신뢰성을 예측토록 할 예정이다.

도표 4. KTX-II 신뢰성 적용 현황

구 분	KTX ('94년계약)	KTX-II 100량('06.6월계약)	KTX-II 90량('08.12월계약)
신뢰성(MKBSF)	121,000Train-Km	125,000Train-Km	좌 동
서비스지연	10분	5분	좌 동
검 증	상업운행 1년6개월 이후 편성별 6개월동안 평가하여 121,000 Train-Km	상업운행 1년6개월 이후 편성별 6개월동안 평가하여 125,000 Train-Km	상업운행 1년후 편성별 1년동안 평가하여 125,000 Train-Km
미달성시	하자보증 연장(1개월씩)	하자보증 연장(1개월씩)	좌 동

KTX-II 신뢰성(MKBSF) 125,000 Train-Km 달성을 위한 서브시스템 신뢰성 할당 값은 다음과 같다.

도표 5. KTX-II 주요시스템 신뢰성(MKBSF) 할당 값

서브시스템	KTX MKBSF (train-km)	KTX-II MKBSF (train-km)	고장률	비율(%)
차제 및 실내설비	15,406,100	16,830,000	5.94E-08	0.7
도어 시스템	5,437,790	5,142,500	1.94E-07	2.4
추진 시스템	461,467	673,200	1.49E-06	18.6
대차 시스템	838,430	935,000	1.07E-06	13.4
제동 시스템	5,674,175	1,402,500	7.13E-07	8.9
냉방 시스템	4,876,700	4,675,000	2.14E-07	2.7
보조전원 시스템	972,600	935,000	1.07E-06	13.4
방송 시스템		4,675,000	2.14E-07	2.7
연결기 시스템	(차체실내포함)	3,740,000	2.67E-07	3.4
신호 시스템	308,000	701,250	1.43E-06	17.9
열차제어 시스템		794,750	1.26E-06	15.8
차량 전체	121,033(train-km)	· 125,457(train-km)	7.97E-06	100%

3.1.2 <u>가용성(Availability)</u>

신규고속차량 KTX-II 가용성 목표는 95%이상 달성이다. 가용성은 차량의 신뢰성과 유지보수성의 상호관계로, 설계 단계에서 충분한 신뢰성과 유지보수성의 확보를 통하여 가용성을 극대화 하도록 하였다.

가용성이란? 어떤 주어진 시점에서 계획된 서비스를 수행할 수 있는 확률 값으로 다음과 같이 계산한다.

$$\text{가용성}(\%) = \frac{(\text{전체 차량의 계획된 총 영업운행 계획시간} - \text{차량 서비스 고장정비 시간}}{\text{전체 차량의 계획된 총 영업운행 계획 시간}}$$

주) 차량서비스고장: 차량의 계획된 서비스를 수행하지 못하는 고장

KTX-II 100량 신뢰성 검증은 상업운행 1년6개월 이후 편성별 6개월 동안 평가하여 95%달성하여야 하며 미달성시 1개월씩 하자보증이 연장된다.

KTX-II 90량 신뢰성 검증은 우리나라 4계절 기후 변화를 감안하여 상업운행 1년 이후 편성별 1년 동안 평가하여 95%를 달성하여야 하며 미달성시 1개월씩 하자보증이 연장된다.

도표 6. KTX-II 가용성 적용 현황

구 분	KTX (‘94년계약)	KTX-II 100량(‘06.6월계약)	KTX-II 90량(‘08.12월계약)
가용성	목표없음	95%	95%
검 증	〃	상업운행 1년6개월 이후 편성별 6개월 동안 평가하여 95%달성	상업운행 1년후 편성별 1년동안 평가하여 95% 달성
미달성시	〃	하자보증 연장(1개월씩)	좌 동

3.1.3 유지보수성(Maintainability)

KTX-II 유지보수성은 부품 및 구성품 그리고 차량시스템 모두가 최초로 개발되는 시스템으로 동종의 사업용 고속차량 KTX 유지보수성 기준을 목표로 제시하였다. 유지보수성 MTTR(평균수리시간)은 2.7hr이내이며, 대수정규분포(Log-normal Distribution) max 90%이외의 10%는 6.2h이며, 예방유지보수 연간 시간은 KTX 예방정비 소요시간(35,000시간) 보다 길지 않도록 관리되어야 한다.

유지보수성 검증은 공급자가 상세설계 후 90일 이내에 LRU부품에 대한 유지보수성 테이블을 제공하여 공사가 승인하며, 상업운행 6개월 이내에 주요장치(LRU) 20품목을 선택하여 유지보수성 데이터의 일치성을 KSA ISO 2859-1 부표 2-B 까다로운 검사의 1회 샘플링 방식에 의해 입증하며 미달성시는 유지보수성을 수정 후 재 입증토록 하였다.

KTX-II 차량은 최소한의 휴지시간과 인력 및 자원으로 유지보수 될 수 있도록 유지보수 고려사항을 충분히 고려하여 설계 및 제작되며, 설계기간동안 차량의 유지보수성을 최적화 하기위해 동종의 사업용 고속차량 KTX 유지보수성 기준을 적용하여 주요 서브시스템에 대한 유지보수성 값을 할당하여 관리하며, 주요 서브시스템은 LRU(Line Replaceable Unit)까지 구분하여, FMECA를 분석 수행하고, 해당 아이템의 고장률과 고장정비시간(MTTR)을 포함하여, Bottom-up방식으로 차량 및 시스템의 유지보수성을 예측토록 하였다.

KTX-II 100량 유지보수성 검증은 최초편성 납품완료 후 6개월 이내에 20개 항목에 대하여 검증 완료토록 하였으며, KTX-II 90량 유지보수성 검증은 ① 최종예방검수 검종(예, FGI주기검수: 예방유지보수 검수시간의 적정성 확인, 연간 35,000시간 이내) 20항목 검수시간 검증과 ② 보수정비(LRU 고장수리) 20개 항목에 대하여 MTTR을 입증토록 하였으며 입증 시기는 최초편성 납품완료 후 6개월 이내에 검증 완료토록 하였다.

도표 7. KTX-II 유지보수성 적용 현황

구 분	KTX (‘94년계약)	KTX-II 100량(‘06.6월계약)	KTX-II 90량(‘08.12월계약)
유지보수성 (MTTR)	2.7hr이내 max 90%이외의 10%는 6.2h이내	2.7hr이내 max 90%이외의 10%는 6.2h이내	2.7hr이내 max 90%이외의 10%는 6.2h이내
검 증	주요장치(LRU) 80품목을 선택하여 입증	주요장치(LRU) 20품목을 선택하여 입증	주요장치(LRU) 20품목, FGI 예방유지보수 20항목 검수시간 검증
미달성시	시정조치(계약자비용)	시정조치(계약자비용) 및 재시험	시정조치(계약자비용) 및 재시험

유지보수성 할당의 목적은 차량을 구성하는 주요 시스템을 구분하고, 유지보수성이 우수한 차량을 설계/제작하기 위하여 주요 서브시스템별 유지보수성 값을 할당하여 관리토록 하였다.

도표 8. KTX-II 주요시스템 유지보수성(MTTR) 할당 값

구분	서브시스템	KTX MTTR(Hours)	KTX-II MTTR(Hours)	비고
1	차제 및 실내설비	2.2	2.2	
2	도어 시스템	4.0	4.0	
3	추진 시스템	5.0	4.9	
4	대차 시스템	3.4	3.4	
5	제동 시스템	2.3	2.3	
6	냉방 시스템	5.0	2.7	
7	보조전원 시스템	1.7	1.7	
8	방송 시스템		1.5	
9	연결기 시스템	차체포함	3.5	KTX-II 중련연결기 적용
10	신호 시스템	0.5	2.2	
11	열차제어 시스템		1.8	

3.1.4 안전성(Safety)

안전성은 차량에 내재하는 잠재적 위험요소 및 실제 위험요소를 식별하고, 그 위험으로 인해 발생되어 승객이나 차량운전자 또는 승무원 그리고 정비 작업자에게 노출되는 위험요소를 제거하거나 최소화하기 위한 고속차량 안전성 프로그램을 갖추어야 하며, 철도안전법령을 만족하여야 한다.

안전성관련 분석은 다음과 같다.

- 위험장치 식별, 기능분석(FA), 예비위험분석(PHA), 서브시스템분석(SSHA), 수정영향분석(MIA), 운영조건영향분석, 고장나무분석(FTA)

안전성 시험 및 검증은 HAZORD LOG관리대장에 기록되어 관리되어지며 구성은 다음과 같다.

- 구성요소 : 번호, 시스템명, 서브시스템명, 위험설명, 운행모드, 위험발생원, 위험발생결과, 초기위험도, 위험저감책, 잔존위험도, 추적시스템

KTX-II 안전성 위험도평가 기준은 KTX 위험도 평가 기준을 참고로 하여 EN50126 표준을 중심으로 위험도 평가기준을 작성하였으며, 위험발생 빈도 기준은 수치는 홍콩 MTRC자료를 참고하였다. 그러나 국내 한국철도공사 환경에 실질적으로 적합하지 못하여 2008.3월부터 6월까지 KORAIL 환경에 적합한 고속차량(KTX-II) 위험도 평가기준을 정의 하였으며, 이를 적용하여 KTX-II 50량 도입사업을 위한 예비위험분석을 시행하였다.

※ KTX-II 100량, 90량 위험도평가 기준제시[특수설명서]

위험도는 위험의 발생빈도수와 심각도의 조합을 의미하며, 식별된 위험요소는 다음 페이지의 범주에 따라 위험도가 평가될 것이다.

도표 9. 위험발생 빈도[5)]

빈 도	빈도 내역	비 고
A 빈번한	자주 발생할 것 같은. 위험은 지속적으로 발생할 것이다	≥ 100 / year
B 있음직한	수차례 발생. 자주 발생할 것으로 예측	≥ 1 - < 100 / year
C 때때로	수차례 발생할 것 같은. 위험은 몇 번 일어나게 될 수 있다.	≥ 10^{-2} - < 1 /year
D 아주 적은	시스템 수명주기 동안 가끔 발생할 것 같은. 위험발생을 합리적으로 예상가능	≥ 10^{-4} - < 10^{-2} /year
E 희박한	가능하나 발생하지 않을 것 같은. 위험이 예외적으로 발생할 수도 있다고 가정하게 될 수 있다	≥ 10^{-6} - < 10^{-4} /year
F 가능성이 없는	극히 발생하지 않을 것 같은. 위험이 발생하지 않을지도 모른다고 가정하게 될 수 있다.	< 10^{-6} /year

도표 10. 위험요소 심각도[6)]

심각도	심각도 내역	비 고
4 치명적인	다수의 사상. 그리고 / 또는 환경에 대한 중대한 손상	
3 중대한	단수의 사상 그리고 / 또는 환경에 대한 상당한 영향	주요 시스템 손실
2 제한적	경상 및 환경에 대한 상당한 위협	심각한 시스템 손상
1 경미한	경미한 부상의 가능성	경미한 시스템 손상

도표 11. 위험도 평가 매트릭스

		심 각 도			
		1 경미한	2 제한적	3 중대한	4 치명적인
발생빈도	A 빈번한	Undesirable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
	B 있음직한	Tolerable	Undesirable	Intolerable	Intolerable
	C 때때로	Tolerable	Undesirable	Undesirable	Intolerable
	D 아주 적은	Negligible	Tolerable	Undesirable	Undesirable
	E 희박한	Negligible	Negligible	Tolerable	Tolerable
	F 가능성이 없는	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible

5) 선택된 위험 사건 발생빈도는 최악의 경우의 실현 가능성과 가장 가능성이 있는 경우의 위험결과를 반영해야 한다.

6) 이 표는 특정 위험의 현실화의 결과를 표시한다. 만약 위험의 실현으로부터 두개 이상의 가능한 결과가 있다면 최악의 상황과 가장 가능성 있는 경우의 결과를 택해야 한다

KTX-II 100량 및 90량 안전성의 위험도 평가 매트릭스는 위험요소 발생빈도수(도표 9.)와 위험요소 심각도(도표 10.)의 조합이다.

도표 12. 위험허용 단계

위험허용 단계	위험 수준	ALARP기준
Intolerable	위험요소가 감소되어야 함	Unacceptable
Undesirable	위험도 감소가 실행 불가능할 때 공사와의 합의를 통해 수용가능	Undesirable
Tolerable	관리기술 검토 후 수용가능	Acceptable with Tec-Review
Negligible	위험도 감소가 필요 없이 수용 기능	Acceptable

사례) 만약 위험이 일년에 2번 발생하면 표1에 따라 빈도는 "B"이다.

위험 결과 3명의 중상과 1시간의 시스템 정지가 발생하면 표2에 따라 심각도가 “4” 이다. 그러므로 위험도 지표는 “B"와 ” 4 “의 조합으로 ” Intolerable “이 된다.

이 위험도 지표(Intolerable)는 설계변경 또는 안전장치의 추가 등을 통해 Tolerable 또는 Negligible로 저감 되어야 한다.

3.1.4 KTX-II RAMS 업무추진내역

3.1.4.1 신뢰성 업무수행

도표 13. 신뢰성 업무수행 현황

수행 업무	수행업무	수행내역	수행방법
신뢰성 계획	기본설계	- RAMS PLAN	RAMS 수행계획 승인
기능 분석	상세설계 이전	- 장치계층구조 - 기능분석	LRU단위까지 Top-down방식에 의한 기능분석
예비임계분석	상세설계 승인	- 예비위험분석	예비위험분석 이후 제작사 및 부품공급업체에서 FMECA시행하면서 이중 치명적 기능위험요소를 분석 시행(FMECA 테이블에 반영)
고장유형,결과 및 치명도 분석 (FMECA)	상세설계후 90일	- FMECA	상세설계 승인후 90일 이내 주요시스템을 Top-down방식으로 기능분석하여 LRU단위의 구성품 및 부품별 시스템을 FMECA를 시행하여 공사에 제출하면 확인 검토 후 승인
수정영향분석	상세설계 승인 후 90일	-장치계층구조 및 기능분석, FMECA, 신뢰성&유지보수성 테이블	수정사항 발생 시, 수정사항 반영 및 제출
임무개요분석	상세설계 승인 후 90일	-차량고장기록 (Register of Train Failure)	시운전후 차량고장기록 정의 후 제출
시스템신뢰성 할당	상세설계기간	- RAMS PLAN	RAMS PLAN에 주요서브시스템 단위까지 할당하여 공사 승인.(동종 KTX수준 이상)
신뢰성 예측	상세설계 승인 후 90일	-신뢰성&유지보수성 테이블, FMECA	상세설계 승인후 90일 이내 제출/승인 (차량을 구성하는 주요시스템들의 평균서비스 고장거리(MKBSF) 제출)
신뢰성 입증	영업운전 개시 후 1년6개월후 부터 6개월간	-신뢰성평가 보고서	신뢰성평가기간 동안 월 단위 제출

3.1.4.2 유지보수성 업무수행

도표 14. 유지보수성 업무수행 현황

수행 업무	수행업무	수행 내역	현 황
유지보수성 계획	기본설계	- RAMS PLAN	기본설계시 유지보수성 계획을 수립하여 RAMS PLAN 제출
유지보수성 할당	상세설계기간	-RAMS PLAN	주요서브시스템 단위까지 유지보수성 할당제출(동종 KTX수준이상)
고장유형, 결과 및 치명도 분석(FMECA)	상세설계후 90일	-FMECA	상세설계승인 후 90일 이내 유지보수성도 FMECA하여 제출/승인
수정영향분석	상세설계후 90일	-FMECA	수정사항 발생 시 수정사항 및 반영사항 제출
유지보수성 예측	상세설계후 90일	-신뢰성&유지보수성 테이블, FMECA	(진행중) : 상세설계승인 후 90일 이내 제출/승인 (차량주요시스템의 LRU단위에 대한 MTTR과 MPTTR제출)
유지보수성 입증	첫 편성 납품 후 6개월	- 입증 완료보고서	유지보수성 입증완료 후 보고서 제출

3.1.4.3 안전성 업무수행

도표 15. 안전성 업무수행 현황

수행 업무	수행업무	수행 내역	현 황
안전성 계획	기본설계	- RAMS PLAN	기본설계과정에서 안전성계획 RAMS PLAN에 포함 제출
안전성관련 장치 식별 및 예비위험분석	상세설계기간	- 위험기록서(Hazard Log)	기본설계과정에서 안전성 장치 식별 및 예비위험분석 제출
서브시스템 위험분석	상세설계 승인 후 90일	- 위험기록서(Hazard Log)	서브시스템 이하에 위험요소를 식별하여 위험도 분석 시행제출
수정 영향 분석	첫 편성 납품시점	- 위험기록서(Hazard Log)	수정사항 발생 시, 수정사항 반영 및 제출
운영조건 영향 분석	첫 편성 납품시점	- 위험기록서(Hazard Log)	운영조건에 대한 영향 발생 시 수정사항 반영 및 제출
고장트리 분석 (FTA)	첫 편성 납품시점	- 고장 나무 분석(FTA)	Intolerable 또는 공사가 특별히 지정하는 항목(견인, 제동, 승강문 등)
저감대책 수립	첫 편성 납품시점	- 위험기록서(Hazard Log)	주요 위험사항 발생 시 저감 대책 수립 반영 및 제출
안전성 시험 및 검증	첫 편성 납품시점 및 하자보증완료	- 위험기록서(Hazard Log)	하자보증 완료시까지 Intolerable 이하 위험요소 위험기록서(Hazard Log)로 입증

4. 철도RAMS 발전방향

우리나라 철도RAMS의 발전은 시스템적 RAMS 목표달성을 위해 국제적 추세와 국내 부품공급 업체의 현실을 감안하여 RAMS 절차와 요구수준을 만족하여야 하며, 국내 부품공급업체의 현실을 반영하여 구성품, 부품의 RAMS 목표기준 수립 및 입증에 대한 연구가 많이 이루어져야 한다.

우리나라와 같이 국제 RAMS 표준적용을 위한 일본RAMS 발전방향을 소개하면 다음과 같으며, 철도RAMS 기반연구가 국내의 구성품, 부품 공급업체의 실질적인 RAMS 적용 기반아래 시스템의 RAMS 목표 입증이 이루어졌으면 한다.

4.1 철도차량의 바람직한 RAMS 전개방향

국제규격에서 제시하고 있는 RAMS 절차 및 요구수준을 만족시키기 위해 향후 다음 사항을 추진해야 할 것이다.

가. 주요시스템 또는 서브시스템의 안전성, 신뢰성 지표의 선정대상 및 정량적 목표수준 결정방법과 수행기법 연구가 필요하다.

예시)

- 신뢰성 : 서비스고장에 영향을 주는 서브시스템 고장률, 주요시스템 전체의 평균서비스고장간격 등
- 가용성 : 열차주행거리 당 서비스고장 발생 확률, 차량주행거리에 대응한 열차지연시간과 수리시간 등
- 유지보수성 : 고장발생시 복구시간(정비도 포함), 검사/유지보수 비용 등
- 안전성 : 사고/고장 확률의 허용수준 등(안전성 허용수준)

나. 리스크 등의 해석/평가나 사전검증을 위한 실용적이고 효율적인 기법의 개발

다. 안전성, 신뢰성, 유지보수성 관리의 실행절차의 가이드라인과 매뉴얼 정비

라. 현장 데이터의 취득방식과 공통관리를 위한 DB 구축

마. 제3기관에 의한 검증제도의 수행의 필요성 검토

철도차량의 설계 시부터 위험요소를 최소화하여 차량의 안전성을 확보하고, 신뢰성 및 유지보수성을 설계 초기부터 관리·보완하면, 차량설계의 최적화를 통해 차량의 가용성을 최대한 확보하여 궁극적으로 LCC(Life Cycle Cost)적인 측면에서 시스템 운영경비를 크게 절감하게 될 것이다.(참고문헌.4 참조)

5. 결론

국외 철도RAMS 동향은 종래의 부품단위에서 시스템단위로 RAMS 목표치를 제시토록 권장하고 있으며, 구성품 및 부품은 제작사 및 공급업체에서 부품을 책임지고 보증토록 국제표준은 발전하고 있다. 그러나 우리나라 현실은 부품공급업체에만 모든 책임을 맡겨둘 수 없는 실정이다. 우리나라는 유럽기준의 철도차량 표준규격 도입 즉, 짧은 기간 내에 RAMS 적용기준을 받아들이므로 인하여 기본적으로 갖추어야 할 구성품, 부품단위의 RAMS 기준 정립이 아주 기초단계에 있으며, 소량다품목 시장구조로 철도차량 부품회사의 영세성으로 RAMS 규격 적용 및 목표 달성이 매우 어렵게 진행되고 있다.

이번 KTX-II RAMS 기준의 엄격한 적용으로 KTX-II 구성품 및 부품의 공급 업체는 RAMS 데이터 관리의 필요성을 느꼈을 것이며, 우리나라 부품공급업체의 구성품 및 부품 단위의 RAMS 할당 및 목표 달성의 계기가 되었을 것으로 판단하고 있으며, 뿐만 아니라 RAMS 할당에 대한 근거자료 연구 및 투자에 대한 필요성의 계기 될 것으로 판단한다.

향후, KTX-II의 RAMS 목표 달성은 한국철도공사에 의해 승인된 “KTX-II RAMS 입증계획”에 의하여 상업운행 후 2년 이내에 여러 가지 방법으로 검증 및 확인 될 것이다.

참고문헌

1. 국제규격 IEC62278 (2002년), " Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) ; 철도시스템 적용 ; 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성 (RAMS)의 사양과 증명"

2. 시스템 신뢰도 공학, 김원경 저

3. KTX-II 100량, 90량 도입사업, “Rams Plan & Safety Plan”, “Ram Demo Plan”

4. 박준서, 김종운, 김재훈, 최강윤 박사(2006년), “자기부상 철도차량의 RAMS 현황” 한국철도기술연구원

5. 이환태 박사(2004년), “철도차량의 RAMS 성장에 관한 연구” 대구대학교 대학원 박사논문

6. 박준서 박사외 16명(2005년), “철도시스템 RAM 관리체계 구축을 위한 기반연구” 한국철도기술연구원