

# 틸팅열차의 신뢰성 관리계획 구축에 관한 연구

## The Study for Reliability Management Plan of Tilting Train

박광복\*  
Park, Kwang-Bok

한성호\*\*  
Han, Song-Ho

---

### ABSTRACT

This report was studied about the reliability management of tilting train operated at main line of the domestic. And we provided of the reliability management plan for to ensure required reliability through control and management of a train, a main system, a subsystem and a components of tilting train under developing. This report will be described organization, management, activities, etc for reliability management of tilting train.

---

### 1. 서론

우리나라의 간선철도 경부선, 호남선, 전라선, 중앙선, 장항선, 춘천선 등은 일부구간에서 열차 수송용량이 한계에 도달해 있다. 특히 태백선, 중앙선, 장항선 등에는 표정속도가 80Km/h 전후로서 열차 운행속도가 낮은 편으로 속도향상이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구는 연구개발단계에서 틸팅열차의 신뢰성 관리계획서 수립에 관한 것으로서 설계, 제작 및 시험단계에서 열차의 각 기술개발 객체간의 신뢰성 할당, 조정 및 관리를 통해 요구되는 신뢰성을 확보하기 위한 신뢰성 활동이다. 본 논문에서는 틸팅열차의 신뢰성 관리계획서에 언급된 기술개발조직, 신뢰성 활동 조직, 신뢰성 활동의 시스템적 접근, 신뢰성 관리항목, 활동보고서 작성 등에 관해 수립된 주요내용을 소개하고자 한다.

---

\* (주)동립컨설팅트 전무, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

## 2. 본론

### 2.1 신뢰성 관리 조직 및 활동

#### 2.1.1 설계와 시스템 통합을 위한 기술개발 조직

틸팅열차의 신뢰성과 안전성을 관리하기 위한 설계와 시스템 통합을 위한 기술개발 조직은 기존선에서 운행될 틸팅열차의 기술개발을 위하여 주관연구기관인 한국철도기술연구원, 협동연구기관인 (주)한국화이바, (주)우진산전, (주)유진기공, (주)현대 Dymos 등 5개의 연구기관으로 구성되며, 이들 연구기관들은 시스템 엔지니어링, 설계, 제작/조립 및 시험/시운전에 대한 기술개발 연구를 수행한다.

5개 연구기관 사이에 협력이 필요한 시스템 통합, 인터페이스 협의, 개발범위 조정, 사업의 관리 등은 주관연구기관인 한국철도기술연구원에서 통합 및 총괄한다. 따라서 각 연구기관의 신뢰성 관리는 각 연구기관에서 본 신뢰성 관리 계획서를 기준으로 하여 독립적으로 계획서를 준비하고, 관련절차를 수립하여 기술개발을 수행하여야 한다.

#### 2.1.2 신뢰성 활동 조직

그림 1의 신뢰성 활동 조직은 틸팅열차 시스템 기술개발분야의 열차와 하부시스템의 신뢰성과 안전성을 관리하기 위한 것이다. 신뢰성 활동 조직은 기존선 속도향상 실용기술개발, 시스템 통합 및 총괄 기술개발 및 차량 시스템 기술개발이 상호 간에 인터페이스를 수행하는 3개의 계층으로 구성한다. 또한 신뢰성 활동 조직은 각 기술개발 연구기관 사이에 책임을 명확히 하는 구조와 담당 관리자로 구성한다.

- 각 기술개발 연구기관 사이에 책임의 명확한 정의
- 기술 관리자와 신뢰성 책임자(또는 리더) 사이에 긴밀한 협력관계
- 기술 관리자와 신뢰성 책임자(또는 리더) 역할 및 책임 구분

#### 2.1.3 기존선 속도향상 실용기술개발 계층

기존선 속도향상 실용기술개발 연구기관은 틸팅열차를 개발하기 위한 차량 시스템 기술개발, 선로구축물 시스템 기술개발 및 전기/신호 시스템 기술개발분야에 대한 신뢰성 관리를 수행하고, 철도청(KNR)에 틸팅열차를 인도하기 전까지 업무를 담당한다.

또한 기존선 속도향상 실용기술개발 연구기관은 틸팅열차를 개발하기 위해 각 기술개발 연구기관 사이에 개발제품의 시스템 요구사항 할당, 인터페이스의 협의, 각 기술개발 연구기관 사이에 기술개발 결과 통합과 인증을 담당한다.

#### 2.1.4 시스템 통합 및 총괄기술개발 계층

시스템 통합 및 총괄 기술개발 연구기관은 차량 시스템 기술개발에 대한 신뢰성 관리 수행에 대한 책임지며, 기존선 속도향상 실용기술개발 연구기관에서 수행하는 차량 시스템 기술개발, 선로구축물 시스템 기술개발 및 전기/신호 시스템 기술개발분야의 통합 인터페이스 이전까지 업무를 담당한다.

본 계층에서는 차량 시스템 기술개발 부분에 신뢰성, 안전성 및 유지보수에 대한 사양과 할당을 수행하고, 업무범위를 조정하고 인증과 통합을 담당한다.

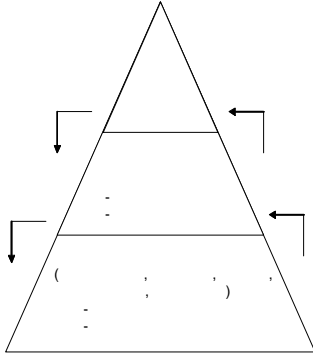


그림 1 신뢰성 활동 조직

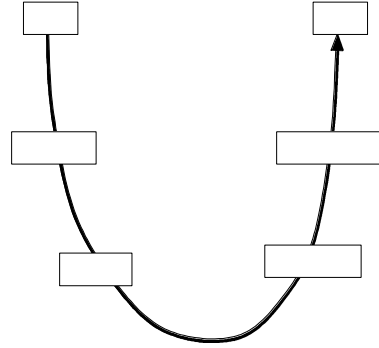


그림 2 V - 프로젝트 라이프 사이클

차량 시스템 통합 및 총괄 기술개발 연구기관의 기술 관리자는 신뢰성 관리 수행에 대한 업무를 담당한다.

시스템 통합 및 총괄 기술개발 연구기관의 신뢰성 관리 책임자는 기술 관리자에게 주요 업무를 사항을 보고해야 한다. 또한 차량 기술사양서에서 요구하는 신뢰성 관련 사양에 대한 관리를 수행하는 업무를 담당한다. 신뢰성 관리 책임자의 주요 업무는 다음과 같다.

- 각 차량 시스템 기술개발 연구기관에 신뢰성 요구사항을 기술 및 할당, 업무의 절차 및 개발제품의 요구사항 정의
- 각 차량 시스템 기술개발 연구기관의 신뢰성 업무 수행에 대한 일정관리 및 업무조정
- 개발제품 및 공급품의 인증과 통합관리
- 위험 시스템 관리, 수정/변경 절차 정의 및 수행
- 기술 관리자에게 업무보고
- 기존선 속도향상 실용기술개발 계층과 인터페이스 협력, 개발품 및 구매품의 인증과 통합관리

### 2.1.5 차량 시스템 기술개발 연구기관 계층

각 차량 시스템 기술개발 연구기관은 시스템 통합 및 총괄 기술개발 연구기관의 관리 하에 앞에서 정의한 바와 같이 사양에 대하여 정의된 절차를 거쳐 변경할 수 있고, 주요 기능의 신뢰성 수행에 대한 책임이 있다. 또한 각 하부 시스템에 신뢰성 요구사항의 기술 및 할당을 하고, 업무를 조정하고, 통합해야한다.

차량 시스템 기술개발 연구기관의 공장기술관리자는 신뢰성 관리 수행에 대한 책임이 있다. 차량 시스템 기술개발 연구기관의 공장 신뢰성 리더는 공장기술관리자에게 주요업무사항을 보고해야 한다. 또한 시스템 통합 및 총괄 기술개발로 공급되는 제품과 신뢰성 관리의 수행에 대한 책임이 있다. 신뢰성 리더의 주요 업무는 다음과 같다.

- 하부 시스템에 신뢰성 요구사항의 정의 및 할당
- 하부 시스템 부품 사양서에 대한 통합과 인증
- 개발제품에 해석, 사양 작성 및 시험서류에 대한 통합 및 인증
- 신뢰성 해석의 일정 수립 및 조정
- 위험 시스템 관리 및 수정/변경 절차의 정의 및 수행

- 차량 시스템 기술개발 연구기관의 공장기술관리자에게 보고

## 2.2 신뢰성 라이프 사이클(Life Cycle)

### 2.2.1 시스템 신뢰성 라이프 사이클(System Life Cycle)

시스템 라이프 사이클은 일반적으로 여러 단계로 구분된다. 즉 계약, 기본설계, 상세설계, 제작 및 조립, 시험 및 시운전 및 운영단계로 구성된다. 그림 2의 V - 프로젝트 라이프 사이클은 크게 2개의 단계로 나누어 설명된다.

첫 번째 단계는 위에서 아래로 내려오는 시스템의 정의이다. 이 단계는 계약과 설계과정으로 계약, 시스템 기본설계, 부품의 상세설계를 수행하며, 상세설계가 완료되면, 시스템 통합 및 총괄 기술개발 연구기관으로 설계도면을 제출하여 승인을 받아 완료하게 된다.

두 번째 단계는 아래에서 위로 올라가는 시스템의 정의이다. 이 단계는 제작, 시험, 운영과정으로 시스템 및 부품의 제작 및 조립, 부품/시스템의 시험 및 시운전, 시스템 운영 공정으로 구성된다.

### 2.2.2 신뢰성 관리 활동

프로젝트 개발의 각 단계는 다음과 같이 상세한 신뢰성 관리 활동을 해야 한다.

- **계약** : 계약 시에 신뢰성 목표치를 정의 한다.
- **기본설계** : 프로젝트의 이 단계에서는 각 시스템의 엔지니어링과 기본설계를 수행하고 인증하는 목적이 있다. 신뢰성 관리 활동은 각 기술개발 연구기관에서 신뢰성 요구사항의 정의와 할당을 정의 하는데 목적이 있다. 이 정의는 신뢰성 활동을 수행하면서 구체화 된다. 시스템의 위험은 체계적으로 관리되어야 하고, 수정/변경 활동 절차는 정의 되어야 한다.
- **상세설계** : 프로젝트의 이 단계는 각 기술개발 연구기관에서 시스템 상세(완성)설계에 대한 정의를 하고 인증하는데 목적이 있다. 신뢰성 관리 활동은 시스템 통합 및 총괄 기술개발 연구기관에 의한 통합과 인증, 각 기술개발 연구기관의 기술관리자와 신뢰성관리자에 의해서 신뢰성 관리 활동에 의한 설계추진, 신뢰성 분석 및 관리를 수행해야 한다.
- **시험 및 시운전** : 프로젝트의 이 단계는 준비된 시험계획서에 따라 개발제품과 하부시스템을 시험하고, 시운전을 수행하는데 목적이 있다. 이 단계에서 안전/위험 항목 리스트를 정의하여야 한다.
- **운영** : 프로젝트의 이 단계는 시스템을 운영하는데 목적이 있다. 신뢰성 활동은 틸팅열차의 시운전을 통해 시스템을 안정화를 거친 후 신뢰성 활동 의한 틸팅열차의 운영이 이뤄진다.

## 2.3 신뢰성 활동의 시스템적 접근

### 2.3.1 신뢰성 활동의 시스템적 접근

신뢰성 활동은 시스템적으로 접근되어야 하고, 시스템 통합 및 총괄 기술개발 연구기관의 관리 하에 있어야 하며, 업무의 수행 방법은 다음과 같다.

- 각 기술개발 연구기관의 연구책임자는 프로젝트의 각 단계 초기에 개발제품을 명확히 기술하고, 수행 내용을 관리하여야 한다.
- 각 기술개발 연구기관의 연구책임자는 기술된 개발제품에 대하여 실연(Demonstration)을 해야 하고, 신뢰성 분석방법과 방안을 정의해야 한다.
- 상세 분석에 대한 적용 수준을 정의하고, 적용되는 기준을 명시해야 한다.
- 각 기술개발 연구기관의 연구책임자는 개발제품과 관련사항으로서 제작/조립 및 시험 평가시 시스템 통합 및 총괄 기술개발 연구기관의 입회 하에 수행되어야 한다.

이와 같은 시스템적 접근은 문제해결에 집중되어야 하고, 위험(Risk)에 따라 부하를 할당한다.

### 2.3.2 개발제품의 기술

프로젝트의 각 단계는 기술개발 연구기관의 연구책임자에 의해서 실연(Demonstration)하는 개발제품에 대하여 사양을 정의하고 할당해야 한다.

- **계약** : 계약시에 신뢰성 목표치를 정의 한다.
- **기본설계** : 각 기술개발 연구기관의 연구책임자는 위험항목(Critical Item)의 목록을 작성하고, 신뢰성 수행의 예비분석을 수행하여야 한다.
- **상세설계** : 각 기술개발 연구기관의 연구책임자는 기본설계 단계의 결과물에서 정의된 신뢰성 수행의 사양과 할당을 실연을 해야 한다.
- **시험 및 시운전** : 각 기술개발 연구기관과 주관기관의 연구책임자는 열차와 시스템의 시험과 시운전 중에 정의된 신뢰성 수행을 인증하기 위한 적절한 신뢰성 활동을 수행해야 한다.
- **운영** : 주관연구기관은 운영기관(철도청)에 톨딩열차를 인도 후 신뢰성 활동을 수행하여야 한다.

### 2.3.3 방법과 수단

톨딩열차에 각종 시스템 분석시 각 기술개발 연구기관의 연구책임자는 사용하는 분석방법과 수단에 대하여 프로젝트 각 단계에서 명확히 기술 하여야 한다.

이것은 차량 시스템을 설계하고, 예측하는 목적과 운영의 각 단계에서 운영 수행과 유지보수를 평가하는 목적으로 구분되어야 한다.

#### 1) 차량 시스템의 설계 및 분석

##### (가) 예비위험분석(Preliminary Hazard Analysis)

이 분석은 철도운영에 관련된 잠재위험상황을 리스트 하는 것이다. 이는 각종 상황의 위험을 평가해야 하고, 톨딩열차의 관련된 위험을 조정하도록 준비해야 한다. 이것은 신뢰성 예방 또는 완화를 측정할 수 있어야 한다. 또한 설계, 시험, 운영규정, 유지보수 및 운영에 적용할 수 있어야 한다. 시스템 안전에 관련된 항목과 세분화된 안전연구의 특정 부분을 정의해야 한다. 예비위험분석에 준비된 리스트의 수행은 최종보고서에 수록해야 한다.

##### (나) 통합시스템 위험분석(Integration System Hazard Analysis)

이 분석은 차량 시스템 기술개발 연구기관, 선로건축물 시스템 기술개발 연구기관 및

전기, 신호 시스템 기술개발 연구기관 사이에 잠재 위험 인터페이스를 리스트 하는 것이다. 이것은 각종 인터페이스의 위험을 평가해야 하고, 탈팅열차의 관련된 위험을 조정하도록 준비해야 한다. 이것은 예방 또는 완화를 측정할 수 있어야 한다. 또한 설계, 시험, 운영규정, 유지보수, 운영에 적용할 수 있어야 한다. 안전에 관련된 인터페이스와 세분화된 안전연구의 특정 부분을 정의해야 한다. 통합 시스템 위험분석에 준비된 리스트의 수행은 최종보고서에 수록해야 한다.

(다) 결함구조분석(Fault Tree Analysis)

이 방법은 상위사건(Top-event)의 발생을 분석하는데 목적이 있다. 상위사건의 발생 원인을 모든 사건에 대해 살펴보고, 하향구조(Upside Down Tree)에서 발생한 최후의 것에 대한 논리를 나타내는 것이다. 이 분석은 다음과 같은 목적으로 사용된다.

- 상위사건에 대한 발생의 가능성 평가
- 상위사건의 발생이 일어나는 초기사건과 연속적인 것의 증명
- 상위사건의 발생이 일어나는 각 사건의 기여의 수량 또는 수량적 평가

그림 3은 “출입문의 기대되지 않는 열림” 상위사건에 대한 결함구조분석(Fault Tree Analysis)의 예를 나타낸 것이다.

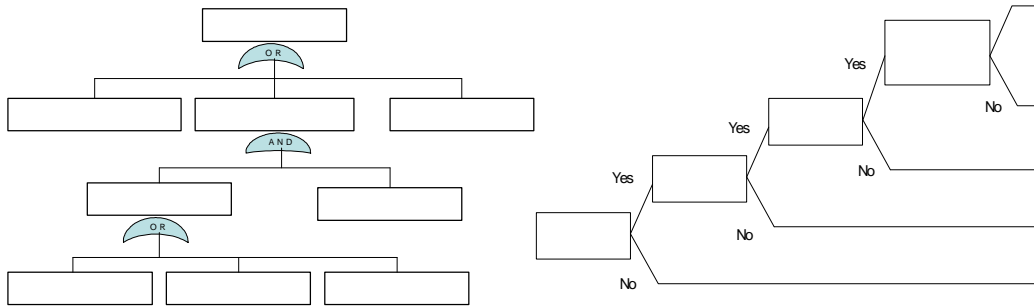


그림3 출입문의 기대되지 않는 열림의 FTA    그림4 출입문의 기대되지 않는 열림의 (ETA)

(라) 사건구조분석(Event Tree Analysis)

이 분석은 초기사건의 결말을 분석한 것이다. 초기사건의 발생결과에 대해 매 사건에 대하여 살펴보고, 수직구조에 의해 발생한 최후의 것에 논리를 나타낸다. 이 분석은 다음과 같은 목적으로 사용할 수 있다.

- 초기 사건에 대한 결말의 평가
- 초기사건의 발생 결과로 인한 각 사건과 연속적임의 증명
- 초기사건이 최종결말까지 미치는 각 사건의 영향 수량과 수량적 평가

그림 4는 “출입문의 기대되지 않는 열림“ 사건의 안전결말에서 본 사건의 예이다.

(마) 고장모드영향 및 위험분석(Failure Mode Effect and Critical Analysis)

이 분석은 하부시스템의 고장모드를 리스트 하는 것이다. 이것은 고장모드 위험을 평가하고, 탈팅열차에 대한 관련 위험을 조정하도록 준비하여야 한다. 이것은 예방 또는 완화를 측정할 수 있어야 한다. 또한 설계, 시험, 운영규정, 유지보수, 운영에 반영할 수 있어야 한다. 또한 안전의 관련 항목으로 분류하여야 한다.

2) 운영시 신뢰성 측정

신뢰성 분석에 의하여 설정된 목표치는 설계, 제작 및 시험 중에 할당, 관리 및 통제를 거쳐 시스템 운영시에는 신뢰성 목표치에 대한 검증을 실시한다.

시스템 운영시 신뢰성 측정 기준에 의거하여 신뢰성을 정밀하게 측정하여 열차의 신뢰성

을 평가하고, 향후 신뢰성 설계 및 목표치를 개선하여 열차 및 시스템의 신뢰성을 향상시킨다. 또한 신뢰성 측정 전에는 반드시 시스템 고장에 대한 정의가 list up 되어져야 하며, 현장에서 발생하는 고장유형은 정의된 기준에 의해 정리 및 관리되어야 하고, 새로운 고장은 정의를 통해 고장유형을 분류하여 관리되도록 한다.

### 2.3.4 상세 분석 수준의 정의 기준

모든 항목의 신뢰성 활동 중에 시스템 해석을 수행시 중요 결함이 발견되는 것을 알 수 있다.

- 신뢰성 기술은 고도의 숙련도와 많은 시간이 요구된다. 모든 항목에 이들 기술의 적용은 전문기술자의 인력투입이 중요하게 요구된다. 전문기술이 없는 기술자를 투입시는 잠재적으로 신뢰성 분석을 복잡하게 하는 원인이 된다.
- 모든 항목에 대하여 신뢰성 활동의 시스템적 접근은 많이 시간이 요구된다. 신뢰성 기술자가 줄속으로 시스템의 형상관리(Configuration Management)를 수행함으로써 그것으로 인하여 위험(Risk)이 발생되어 프로젝트의 지연 및/또는 중단해야 하는 상황이 일어난다. 이것은 올바르게 시스템을 분석하지 못한 것이 된다.
- 상세한 분석 수행은 운영환경(승무원, 운영조건...) 등 빠지기 쉬운 항목을 고려하는 것이 일반적인 과정이다.
- 모든 항목에 신뢰성 기술의 시스템적 접근은 더 나은 품질과 평가를 필요로 하는 것은 아니다.

시스템의 사양 중에 미확정 된 것이 많고, 정확한 자료에 의해 판단할 수 없기 때문이다. 신뢰성 활동에서 시스템 접근 방법의 기초 적용은 가장 위험부분에서 분석을 상세히 하여야 한다. 이 분석의 상세 수준은 위험부분의 영향에 비례하여 위험이 정의되어야 한다.

틸팅열차 기술개발에 의해서 개발되는 모든 개발제품 및 구매품의 신뢰성 관련 중요한 기준은 아래와 같이 4 등급으로 구분정의 한다. 이 기준은 장비 또는 기능의 항목에 적용되어야 한다.

- A 등급 : 신개발제품
- B 등급 : 신뢰성에 영향이 있는 수정 설계된 제품
- C 등급 : 신뢰성에 영향이 있는 기존제품
- D 등급 : 신뢰성에 영향이 없는 기존제품

## 2.4 신뢰성 관리항목 및 위험제품 관리

### 2.4.1 신뢰성 관리항목 및 위험제품에 대한 요구사항 위배관리

신뢰성 관리항목 및 위험제품(Critical Product)에 대하여 사양의 이탈/포기(deviation/waiver) 또는 변경을 요구하는 서류를 제출하기 전에, 차량 시스템 기술개발 연구기관의 연구책임자는 다음과 같은 기준에 따라 확인하고 판정하여야 한다.

- 사양의 이탈/포기 또는 변경은 안전수준을 낮추지 않아야 한다.
- 사양의 이탈/포기 또는 변경은 각 차량의 신뢰성 목표치보다 낮추지 않아야 한다.
- 사양의 이탈/포기 또는 변경은 각 차량의 전체적 올바른 유지보수 수준을 낮추지 않아야 한다.

## 2.4.2 위험제품의 관리

1) 일반 위험제품(Critical Product)을 개발, 제작 또는 구매 시는 시스템 통합 및 총괄 기술 개발 연구기관의 차량 기술 관리자 및 신뢰성 관리 책임자 임회하에 제품의 형식시험(Type Test)을 실시하여야 한다. 기존 프로젝트에서 인증된 구매제품에 대해서는 공급업체의 리스트와 3년 이내에 공인된 기관에서 실시된 시험성적서를 제출하여야 한다.

2) 공급업체 인증 서류제출 절차



- 공급업체 인증서류 : 위험제품 항목 리스트, 각 항목 시험성적서(3년 이내 공인기관 발행분만 유효), 업체공급 납품실적, 업체관련자료

## 2.5 신뢰성 관련 서류

틸팅열차의 신뢰성 관련 서류는 그림 5와 같이 각 공정단계별로 신뢰성 관리 계획서, 신뢰성 사양 및 할당, 신뢰성 최종보고서 및 신뢰성 활동보고서가 작성되며, 그 내용은 공정진척에 따라 계속적으로 정리 및 관리되어야 것이다.

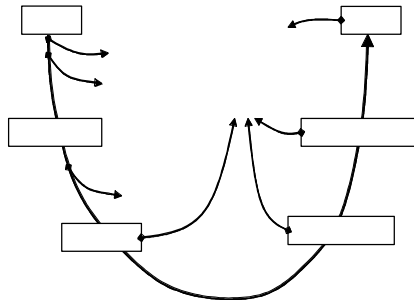


그림 5 기술개발 단계에서 신뢰성 관련 서류

## 3. 결론

본 연구에서는 철도청의 과제로 기술개발되는 틸팅열차에 대하여 설계, 제작 및 시험 단계에서 수행되어야 할 신뢰성 관리 활동에 대하여 기술하였다. 수립된 신뢰성 관리계획서에 따라 신뢰성 활동이 관리 및 통제하여 신뢰성을 갖춘 차량 기술개발을 추진해 나갈 것이다.

또한 신뢰성 및 안정성 분석을 통하여 틸팅차량의 신뢰성을 향상시키고, 개선되어야 하며, 특히 국내에서 처음으로 도입되어 틸팅시스템에 대하여 신뢰성 활동을 통해 열차, 시스템 및 부품의 신뢰성을 집중관리 하여 신뢰성이 높고, 안전한 틸팅열차 기술개발을 추진하고자 한다.

본 연구를 효시로 타 개발 또는 제작되는 차량에 대하여 신뢰성 관리기술이 도입되어 철도차량의 신뢰성이 향상되고, 안전한 운행이 되길 바란다. 또한 우리나라에서도 신뢰성 관리(Reliability Management), 신뢰성 분석/해석(Reliability Analysis) 신뢰성평가(Reliability Evaluation) 및 신뢰성 검증(Reliability Verification)의 기술발전이 이어지길 기대한다.



**참고자료:**

1. 시스템 통합 연계 기술개발 보고서, 2003, 7 철도청
2. 차량형상/실내디자인 및 차량설비 기술개발 보고서, 2003, 7 철도청
3. RAMS Management, WBS No K611-1-E-3200-RL-010, 1997. 5., Korea TGV Consortium