

한국형 고속열차 고장정보체계 구축 및 활용

이태형*, 서승일*, 박춘수*, 유한성*, 김기환*(한국철도기술연구원)

Establishment and Application of Failure Reporting and Corrective Action System for Korean High Speed Train

Tae-Hyung Lee*, Sung-Il Seo*, Choon-Soo Park*, Han-Sung Yoo*, Ki-Hwan Kim*

요약

시스템 엔지니어링은 시스템의 일생 주기동안 수행되며 고장정보체계(Failure Reporting and Corrective Action System)는 제작단계부터 수행되는 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 과업 중의 하나이다. 고장정보체계는 설계와 제작단계에서 생성된 고장원인을 제거하고 수정작업을 구현하기 위한 방법을 제공한다. 본 논문에서는 한국형 고속열차를 대상으로 고장정보 분석 및 관리, 신뢰도 평가를 위해 구축한 고장정보체계와 그 활용 사례를 제시한다.

1. 서론

시스템 엔지니어링은 정해진 기간 내에 올바른 제품을 인도하고 폐기하기까지의 생애 주기 동안 시스템이 완성되어 가는 각 단계에서 RAMS를 포함한 시스템의 모든 측면을 계획, 관리, 조정 및 감시 구조를 제시한다. 이 RAMS의 한 과업으로서 고장정보체계는 제작단계부터 시작하여 시스템의 고장원인을 찾아내어 분석하고 수정작업을 구현할 수 있는 방법을 제공한다[1].

국내의 경우 KTX(Korea Train eXpress) 운행 개시 이전에 신뢰성 및 가용성을 보장하기 위해 신뢰성 기반 유지보수 시스템(Reliability Centered Maintenance System)을 개발하여 가동 중에 있다[2]. 또한 도시철도 차량의 고장정보 수집과 분석을 위해 고장정보체계가 구성되어 운영 중에 있다[3].

본 논문에서는 KTX와 도시철도차량의 고장정보체계 및 해외사례에 대한 분석 결과를 바탕으로 개발한 한국형 고속열차의 고장정보체계에 대해서 소개한다. 한국형 고속열차의 고장정보체계는 RAM 분석을 위해 필수적인 기능을 중심으로 시스템을 구축하였고 고장정보 분석 및 관리, 신뢰성 평가 등 필수 기능 구현을 위한 최소한의 입력으로 시스템의 활용이 가능하도록 구축하였다. 또한 대형 서버(Server) 위주의 시스템보다는 범용적이고, 비용이 저렴한 PC(Personal computer) 위주의 데이터베이스(Database) 시스템을 지향하도록 하였다. 도시철도차량 고장정보체계가 필수 기능 위주의 간편한 시스템임을 고려하여 시스템 개발에 참고하였고, 도시철도차량 고장정보체계에서 미비한 유지보수

정보의 입력 및 검색 기능을 보장하였다.

2. 본론

2.1 고장정보체계의 개요

고장정보체계의 목적은 성능이 우수하고, 유지보수가 편리한 성공적인 제품을 최적의 비용으로 보증하는 것에 있다. 고장정보체계는 제품의 개발 및 적용 단계에서 설계 및 유지보수 성능을 바로잡고, 개선하기 위한 표준적인 수단(Measures)이라고 할 수 있다.

따라서, 신규로 개발된 고속철도시스템의 경우 RAMS 프로그램에 따라 운영되는 고장정보체계는 신뢰성과 유지보수성을 입증하여 실용화하기 위한 필수적인 과정이라고 할 수 있다[1].

고장정보체계의 주요 기능을 도식적으로 표현하면 그림 1과 같다. 고장정보체계를 통해 시운전 또는 영업운행 결과 발생한 고장 정보와 유지보수 정보를 입력하여, 신뢰도, 가용도 등의 신뢰성 정보를 얻고, 유지보수를 위한 기초 자료로 활용할 수 있으며, 고장 발생 시의 대책을 수립할 수 있는 기본 정보를 얻을 수 있다.

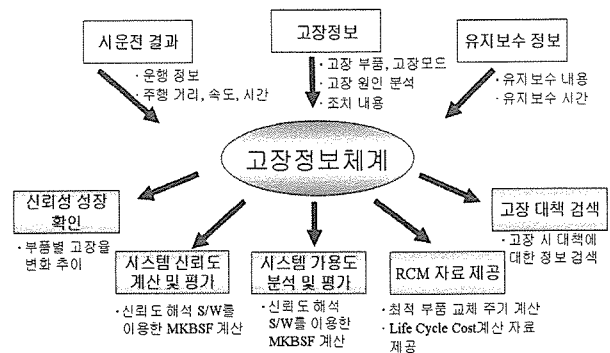


그림 1. 고장정보체계의 구성 및 기능

*한국철도기술연구원(고속철도기술개발사업단)

2.2 고장정보체계 구축 사례

한국형 고속열차의 고장정보체계의 기본틀을 구축하기 위해 국내에 적용된 고장정보체계의 구축 사례를 살펴본다.

가. 고속철도차량 KTX의 고장정보체계[2]

철도청은 KTX 운행 개시 이전에 고속철도차량의 신뢰성 및 가용성을 보장하기 위해 신뢰성기반 유지보수 시스템(Reliability Centered Maintenance System)을 개발하여 시험 가동하였다.

신뢰성기반 유지보수시스템은 고장정보관리시스템을 포함하고 있으므로 그 시스템의 특성 및 내용을 분석하는 것은 한국형 고속열차의 고장정보체계 구축을 위한 중요한 참고 자료가 된다.

신뢰성기반 유지보수시스템의 전체 구성도는 그림 2와 같은데, 전체 시스템 중에서 고장분석관리와 RAM 분석관리가 고장정보체계에 해당한다.

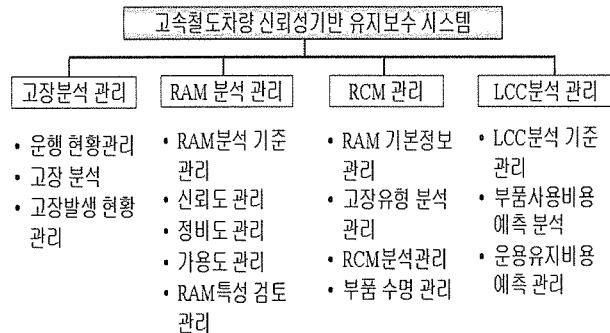


그림 2. KTX 신뢰성기반유지보수시스템의 구성

(1) 고장분석 관리

고장 분석 관리에서는 편성별 운행실적 정보를 집계 관리하고, 검수 현장에서 발생하는 고장정보 및 검수실적 정보를 수집하여 고장의 특성을 고장 등급, 서비스 고장 여부, 고장 발생 분류, 고장 유형 분류, 고장 발생 원인 등의 항목으로 분석하고, 고장 발생 추세를 분석하여 신뢰도 분석을 위한 기초 자료를 생성한다.

(2) RAM 분석관리

RAM 분석 관리에서는 고장정보 분석 및 KTX 운행 실적 정보, 검수 정보 실적 정보 등을 바탕으로 하여 KTX 및 그 구성품의 신뢰성 자료, 정비도 자료, 가용도 자료 등을 산출 및 관리하고, 산출된 자료를 바탕으로 하여 KTX의 운영 상태, 정기검수상태, 수리 상태 등, 차량상태 추이 분석을 실시한다.

(3) 하드웨어 구성 및 운영 체계

신뢰성기반 유지보수시스템은 서버를 중심으로 네트워크 기반 시스템으로 구축되어 있다. 서버에 탑재된 Oracle 데이터베이스 시스템을 기반으로 RCM시스템이 개발되었으며, Windows계열의 PC를 사용하는 사용자

는 LAN을 이용하여 서버에 접속할 수 있다. 원거리 차량기지의 사용자는 통신망 및 라우터를 통해 서버와 접속 가능하며 타 검수정보시스템과 통합정보시스템과 같은 다른 시스템과의 인터페이스가 가능하다.

나. 도시철도차량의 고장정보체계[3]

도시철도차량의 고장정보의 수집과 분석을 위해 구축된 고장정보체계의 구성은 그림 3과 같다. 도시철도차량을 위한 고장정보체계는 시스템의 분류를 위한 모듈과 고장정보의 수집과 분석을 위한 모듈, 신뢰도 해석 모듈, 신뢰도 데이터베이스 모듈로 구성되어 있다.

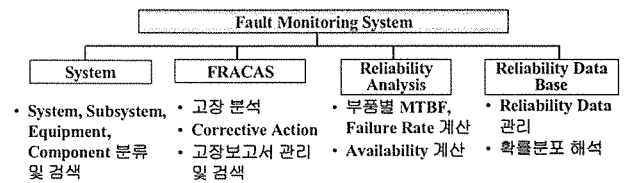


그림 3. 도시철도차량 고장정보체계의 구성

(1) 시스템분류 모듈

시스템 분류 모듈에서는 차량시스템을 서브시스템과 Equipment 및 부품 단위까지 분류하고, 분류된 체계에 따라 고장 정보가 입력 및 출력된다.

(2) 고장정보모듈

고장정보모듈에서는 운전 중에 발생한 고장에 대해 작성된 고장보고서를 기초로 정보를 입력하고, 조치 사항도 함께 입력하게 된다. 입력된 고장정보에 대해서는 원인 분석을 실시하고, 원인 분석 결과도 함께 입력할 수 있게 한다. 입력된 고장정보에 대해서는 검색이 가능하고 분석할 수 있도록 관리체계가 구축되어 있다.

(3) 신뢰도해석 모듈

신뢰도해석 모듈은 각 시스템의 부품 단위까지 입력된 고장정보를 바탕으로 분석을 실시하여 고장율과 MTBF(Mean Time Between Failure) 등의 신뢰도 정보와 유지보수 정보가 포함된 가용도 정보를 계산하고 결과를 제시해 준다.

(4) 신뢰도데이터베이스 모듈

신뢰도데이터베이스 모듈에서는 각 시스템별로 데이터를 관리하고 신뢰도 자료에 대해 확률 분포식을 이용하여 분석을 수행한다.

(5) 하드웨어 구성 및 운영 체계

FMS(Fault Monitoring System)은 Visual Basic언어로 구현되어 있으며, SQL(Structured Query Language) 서버를 이용하여 인터넷으로 접속이 가능하며, 인터넷의 도움으로 거리나 장소에 구애됨 없이 시스템을 활용할 수 있는 장점이 있다.

2.3 한국형 고속열차 고장정보체계

한국형 고속열차 고장정보체계는 MicroSoft사의 Access 및 VBA(Visual Basic Application) 기반으로 작성되었고, 그림 4와 같이 시스템 분류, 고장정보처리, 유지보수업무, RAM분석 관리, 운행정보 관리로 구성되어 있다. 각 부분은 테이블(Table), 쿼리(Query), 폼(Form), 모듈(Module)로 구성되며 데이터 흐름은 그림 5와 같다.

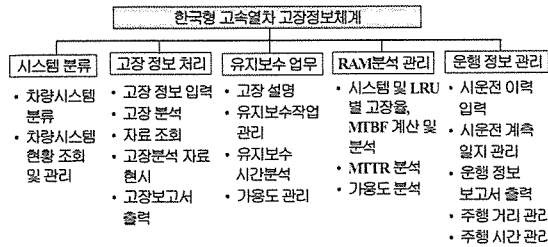


그림 4. 한국형 고속열차 고장정보체계의 구성

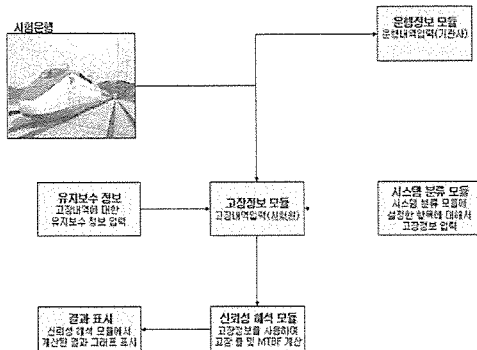


그림 5. 한국형 고속열차 고장정보체계의 데이터 흐름

가. 주요 기능

한국형 고속열차 고장정보체계의 초기 화면은 그림 6과 같다. 각 모듈의 주요 기능을 설명하면 다음과 같다.

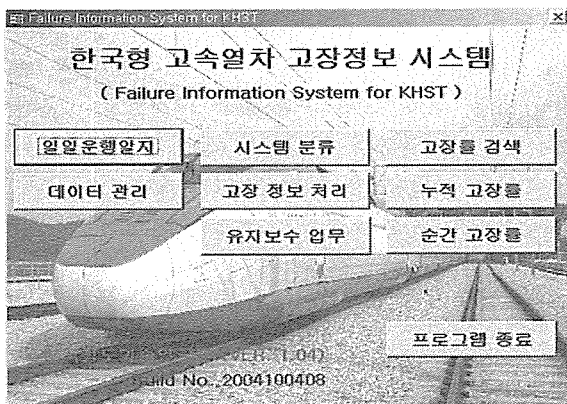


그림 6. 한국형 고속열차 고장정보체계의 초기 화면

(1) 시스템분류

한국형 고속열차의 시스템은 System, Subsystem,

LRU(Line Replaceable Unit)의 3단계로 분류되며, 그림 7의 시스템분류 화면에서 System, Subsystem 및 LRU의 입력과 추가, 삭제, 편집이 가능하고, Subsystem과 LRU의 단품 관리가 가능하다.

(2) 고장정보처리

한국형 고속열차 시운전시험 후에 발생하는 고장에 대한 고장보고서를 기초로 하여 고장정보를 입력하고 검색하는 기능을 수행한다. 그림 8의 고장분석관리 정보는 시스템분류 모듈에서 정의한 항목별로 입력할 수 있으며, 입력한 내용은 사용자의 요구에 따라 수정 및 삭제가 가능하다.

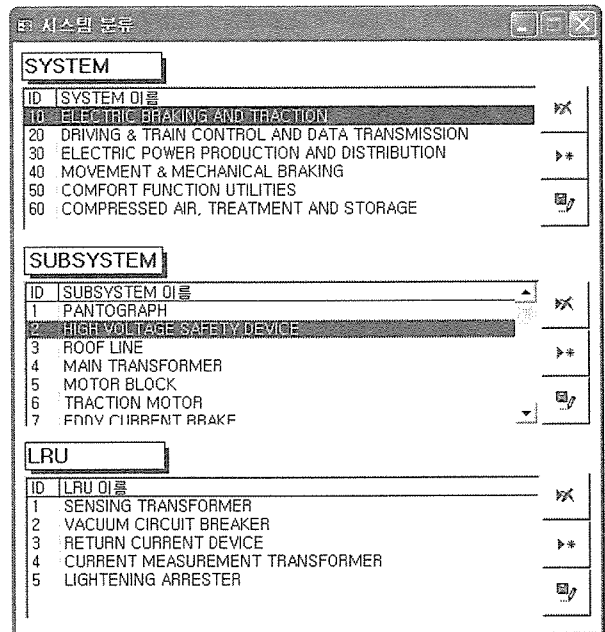


그림 7. 시스템분류 화면

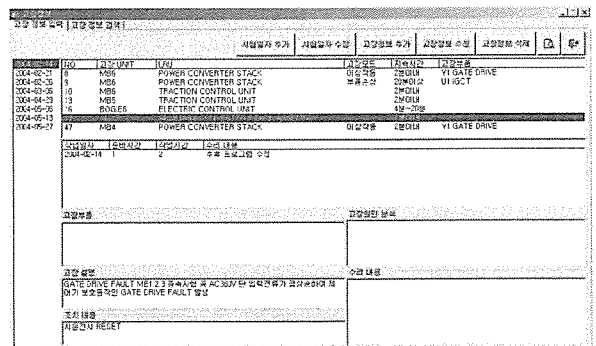


그림 8. 고장정보처리 화면

(3) RAM분석관리

RAM분석관리(고장을검색, 순간고장률, 누적고장률)는 고장정보를 시스템분류의 구성항목에 따라 그림 9와 같이 고장률 및 MTBF(Mean Time Between Failure) 계산을 수행한다. 계산 결과는 그래프로 화면에 출력할 수 있다.

| 일련 번호 | 고장유닛 | 고장모드 | 지속시간 | 고장부품 | 고장설명 |
|------------|------|------|------|------|----------|
| 2004-02-21 | 300 | 4 | 600 | 10 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 5 | 600 | 13 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 7 | 600 | 14 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 8 | 600 | 13 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 7 | 1160 | 28 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 4 | 1810 | 20 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 6 | 1810 | 26 | 1.00E+00 |

그림 9. RAM분석관리 화면

(4) 유지보수 업무

고장정보처리에서 입력한 고장정보에 대해 차량기지
에서 실시한 유지보수 작업 내용을 입력한다. 고장정보
처리에서 입력한 데이터와 그림 10의 유지보수 업무에
서 입력하는 데이터는 일대일 대응 관계를 가지게 되
고, MTTR(Mean Time To Repair)과 같은 유지보수
정보가 LRU단위로 계산 된다.

| 일련 번호 | 고장유닛 | 고장모드 | 지속시간 | 고장부품 | 고장설명 |
|------------|------|------|------|------|----------|
| 2004-02-21 | 300 | 4 | 600 | 10 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 5 | 600 | 13 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 7 | 600 | 14 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 8 | 600 | 13 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 7 | 1160 | 28 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 4 | 1810 | 20 | 1.00E+00 |
| 2004-02-21 | 300 | 6 | 1810 | 26 | 1.00E+00 |

그림 10. 유지보수 업무 화면

(5) 운행정보관리

운행정보관리(일일운행일지, 데이터관리)는 그림 11과
같이 운행일지에 기입된 내용을 데이터베이스에 입력하
고 화면으로 표시하며 검색하는 기능을 수행한다.

주행 일지

기본정보 | 주행정보 | 시정량 | 특기사항

2002-11-05
2002-11-07
2002-11-12
2002-11-16
2002-11-21
2002-12-06
2002-12-10
2002-12-24
2003-01-03
2003-01-09
2003-01-11
2003-01-16
2003-01-18
2003-01-25
2003-01-28
2003-02-08
2003-02-11
2003-02-14
2003-02-22
2003-02-27
2003-04-11
2003-04-18
2003-04-18
2003-04-24
2003-05-10

주행 일지: 2003-02-27

출발번호: TP1

종료번호: TP2

기 관 사 1: 장영태

기 관 사 2: 최상수

기 관 사 3: 김민

기 관 사 4: 한국철도기술연구원

작성자: 장영태

시정량: 김석원

특기사항

데이터 추가 | 데이터 수정 | 데이터 삭제

그림 11. 운행정보관리 화면

각 모듈에서 수행한 결과를 그림 12과 같이 프린터로

출력할 수 있다. 출력되는 내용은 고장 유닛(Unit),
LRU, 고장모드, 지속시간, 고장부품, 고장설명, 조치내
용이다.

연연 고장 보고서

일자: 2004년 2월 14일

| NO | 고장 유닛 | LRU | 고장모드 | 지속시간 | 고장부품 | 고장설명 | 조치내용 |
|----|-------|----------------------------|---------|------|------------|------------------|----------|
| 1 | 300 | POWER CONVERTER STACK | 이동성 | 1810 | 10, 13, 14 | GATE DRIVE FAULT | 시정량 1810 |
| 2 | 300 | POWER CONVERTER STACK | 부동성 | 600 | 10, 13, 14 | 정확도를 위하여 사후진 점검 | 시정량 600 |
| 3 | 300 | TRIP, TRUCK, INVERTER UNIT | 고장 | 600 | 20 | 1.00E+00 | 시정량 600 |
| 4 | 300 | TRIP, TRUCK, INVERTER UNIT | 고장 | 600 | 26 | 1.00E+00 | 시정량 600 |
| 5 | 300 | ELECTRIC CONTROL UNIT | 1.0E+00 | 20 | 26 | 1.00E+00 | 1.00E+00 |
| 6 | 300 | INVERTER UNIT | 고장 | 600 | 20 | 1.00E+00 | 시정량 600 |
| 7 | 300 | POWER CONVERTER STACK | 이동성 | 1810 | 10, 13, 14 | GATE DRIVE FAULT | 시정량 1810 |

그림 12. 보고서의 출력

나. 한국형 고속열차의 신뢰성 성장 관리

2002년 8월 19일 한국형 고속열차가 최초로 본선시운
전을 실시한 이후, 2004년 3월까지의 천안-신탄진 구간
에서, 2004년 4월 이후로는 광명-오송 구간에서 평균
주1회의 시운전 시험을 실시하였고, 2004년 8월 이후로
는 평균 주2회 광명-서대전 구간에서 시운전 시험을 실
시하고 있다. 2004년 10월 7일 현재 106회의 시운전시
험을 수행하였으며 주파거리는 29,780km, 시험 최고속
도는 320km/h이다. 시운전 시험 종료 후에 작성되는 고
장보고서를 구축된 고장정보체계에 입력하여 고장정보
분석 및 관리, 신뢰성 평가를 수행하였다.

한국형 고속열차의 핵심 서브시스템인 모터블럭
(Motor block)은 고속열차를 추진시키는 전력변환장치
로서 초기 고장 빈도가 높아 신뢰성 관리 및 성장이 필
수적이었다. 고장정보를 분석해 보면 모터블록의 경우
외부 노이즈에 의한 통신에러, 컨버터의 과전류, 스위칭
소자인 IGCT(Integrated Gate Commutated Thyristor)
의 Gate Drive Unit 오동작에 의한 Gate Drive Fault,
기존선과 신선의 가선 변경구간에서 이상 작동 등의 원
인으로 대부분의 고장이 발생하였다. 노이즈 차폐, 소프
트웨어 조정, 소자 교체 등의 대책 마련으로 시운전이
지속되면서 모터블록의 신뢰성이 성장하고 안정화되어
가는 경향을 확인할 수 있었다. 그림 13은 모터블럭에
서 발생한 경고장을 포함한 고장율을 주행거리에 따라
표시한 것이다. 그림 13을 통해 모터블럭이 점차 안
정화되어 감을 확인할 수 있다.

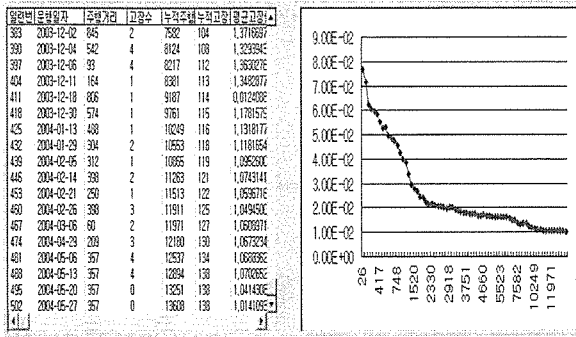


그림 13. 모터블럭의 안정화 경향

3. 결 론

한국형 고속열차의 고장 정보 분석 및 관리, 신뢰도 평가를 위해 KTX와 도시철도차량의 고장정보체계 및 해외 사례의 분석 결과를 바탕으로 고장정보체계를 구축하였다. 한국형 고속열차의 고장정보체계는 RAMS 분석을 위해 필수적인 기능을 중심으로 시스템을 구축하였다.

한국형 고속열차의 시운전시험 후 발생하는 고장보고서를 고장정보체계에 입력하여 고장정보 분석 및 관리, 신뢰성평가를 효율적으로 수행할 수 있었다. 시운전시험이 수행됨에 따라 각 장치의 신뢰성이 성장됨을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Railway Applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety(RAMS), BS EN 50126, British Standard, 1999.
- [2] 고속철도차량 신뢰성기반 유지보수시스템, 제 2차 Workshop, 2003.
- [3] Moasoft : Fault Monitoring System and Reliability Centered Maintenance, 2003 Workshop, 한국시스템엔지니어링협회, 2003.

후 기

본 연구는 건설교통부 고속철도기술개발사업으로 지원된 “고속철도시스템 신뢰성 및 운영 효율화 기술개발” 과제의 연구결과 중 일부입니다.