

고무차륜 AGT 차량시스템의 신뢰성관리체계 개발

- Reliability Management of the Rubber-Tired AGT Vehicle System -

한 석 윤 *

Han Seok Youn

김 종 결 **

Kim Jong Gurl

홍 순 기 **

Hong Soon Ki

하 천 수 *

Ha Chen Soo

Abstract

Korea Railroad Research Institute(KRRI) has developed the rubber-tired AGT system from 1999 to 2004. The rubber-tired AGT vehicle is now on test for its performance and function in the Gyeong-San test line.

In this paper, we provide the reliability management plan to assure required the RAMS(reliability, availability, maintainability & safety) of the AGT vehicle system.

Keyword : Rubber-Tired Automated Guideway Transit(AGT) Vehicle System, RAMS(reliability, availability, maintainability & safety), reliability management plan

1. 서 론

한국철도기술연구원(이하 KRRI)은 1999년부터 경량전철시스템 기술개발에 착수하여 2004년 8월에 경북 경산시에 국내 최초로 고무차륜 AGT(automated guideway transit) 시스템 시험선을 건설하였다. 본 시험선은 차량, 전력, 신호통신, 선로구축물 등의 시스템들이 유기적으로 결합된 것으로서 종합성능시험을 수행하여 개발기술의

* 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단

** 성균관대학교 시스템경영공학부

신뢰성과 안전성을 확보하는데 그 목적이 있다. 또한 고무차륜 AGT 차량시스템은 기존 철도차량시스템과는 달리 무인운전(driverless)과 자동운전 운행이 가능함으로 이에 따른 신뢰성과 안전성의 확보가 매우 중요하다[6,7].

동AGT 차량시스템의 신뢰성을 평가하기 위해서 1단계로 도시철도법의 성능시험기준[1]과 표준사양[2] 및 개발목표 사양에 부합되는 종합성능시험과 5,000km이상의 주행시험[1]을 수행하고, 2단계에서는 총 누적주행거리 10만km를 목표로 AGT 차량시스템의 신뢰성 평가를 계획하고 있다.

따라서 본 연구에서는 차량시스템에 적용할 수 있는 신뢰성 평가체계를 개발하여 시험선에서의 종합시험평가 및 안전인증 실증시험에 적용하고, 시험초기에 발생할 수 있는 잠재적 고장원인을 파악하여 대책을 수립함으로써 차량시스템의 신뢰성을 향상하고, 향후 유사 시스템 개발시 그리고 영업운행시 개발 시스템을 활용하고자 한다.

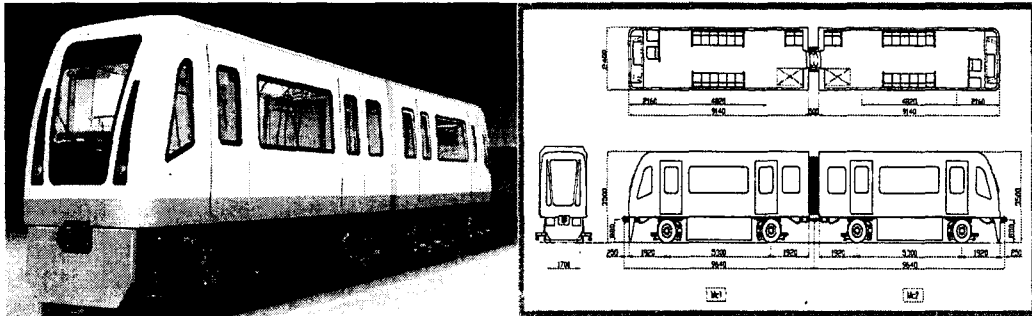
2. 고무차륜 AGT 시스템 개요

고무차륜 AGT 시스템은 경량전철의 일종으로 일반적으로는 고가궤도를 전용노선으로 사용하며, 기존 철도와는 달리 고무타이어를 주행륜으로 사용하고 별도의 안내장치 및 분기장치를 가지며, 소형·경량화된 차량이 무인운전으로 운행되는 경량전철 시스템이다. 고무타이어를 사용하므로 저소음·저진동의 환경친화적인 주행특성을 가지며 급구배·급곡선에 대한 대응성이 우수하여 도심지 또는 신도시 개발지역에 적합하다.

KRRI는 경량전철의 국내보급 활성화와 국내 기반기술 확보를 위해 국내 수요조사를 실시하여 고무차륜 AGT 시스템을 우선적으로 개발하기로 하였다[3]. 이에 따라 고무차륜 AGT 시스템의 분야별 기술개발과 종합시험평가 연구를 수행하고 있다. 즉, 1999년에는 시스템 개념설계, 2000년에는 고무차륜 AGT 하부시스템(차량, 전력, 신호, 선로구축물)별 기본설계, 2001년에는 하부시스템별 상세설계, 2002년에는 하부시스템별 시제품 제작을 완료하였다. 또한 2003년에는 하부시스템별 완성품 시험 및 보완, 시험선 부지선정을 완료하였고, 2004년에는 경북 경산시에 고무차륜 AGT 시험선을 건설하여 개발시스템에 대한 종합시험평가, 국제 안전인증 취득을 수행 중에 있다. 기술개발사업의 최종연도인 2005년에는 시스템 신뢰도 및 내구도 평가를 수행할 계획이다[4].

2.1 고무차륜 AGT 차량시스템

< 그림 1 >에는 2량 1편성으로 개발된 고무차륜 AGT 차량시스템의 사진과 도면이, < 표 1 >에는 차량시스템의 운전환경 및 조건이 제시되어 있다.



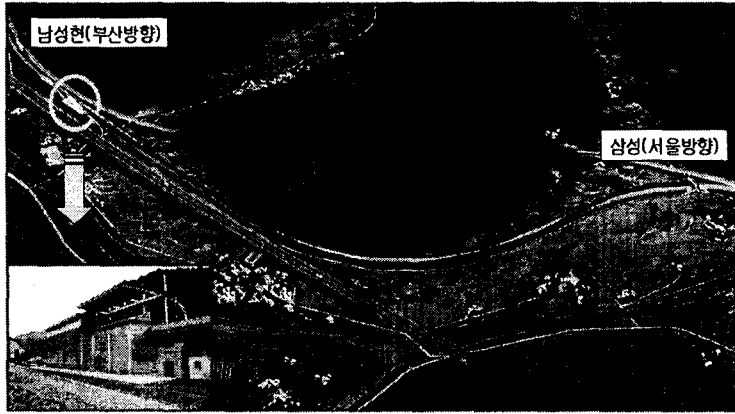
< 그림 1 > 시험선에서 운행될 차량시스템(2량 1편성)

< 표 1 > 고무차륜 AGT 차량의 운전환경 및 조건

| 구분 | 내용 |
|--------------------|---------------------------|
| 편성열차의 1일 목표 평균주행거리 | 약 400km 이상 |
| 최고 운행속도 | 60km/h 이상(무인운전) |
| 외기 온도 | -25℃ ~ 40℃ |
| 외기 습도 | 5% ~ 100% |
| 최대 강우량 | 120mm/hr(414mm/day) |
| 최대 강설량 | 12.5cm/hr(296cm/day) |
| 풍 속 | 50m/s |
| 열차구성 | 수송수요에 따라 2량, 4량, 6량 편성 가능 |
| 왕복 운행시간 | km 당 3초의 예비시간 |
| 정차시간 | 정차역당 최소 20초 |

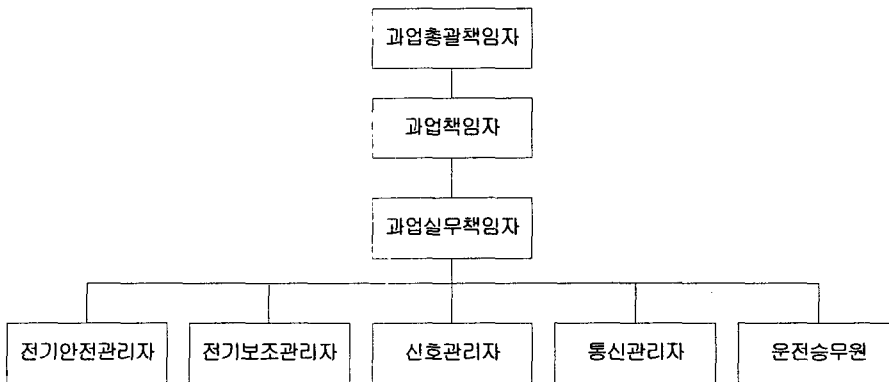
2.2 시험선 개요

고무차륜 AGT 시스템의 성능시험 및 안전인증 실증시험을 위한 시험선(test line)은 경북 경산시에 소재한 경부선 폐선구간 삼성역~남성역 부근에 약 2.4km가 건설되었으며, 정거장은 4개소(검수시설 포함 1개소, 시험용 임시정거장 3개소), 교량은 2개소(본선 30m, 측선 160m), 대피선은 1개소(120m)이다. <그림 2>는 시험선 노선도를 나타내고 있다[3,4]. 현재는 성능시험을 하고 있으며 본선(편도 1.87km, 왕복 3.74km)을 1회 왕복 시험운행할 경우 약 10분(중간역 정차 및 시·종점부에서의 방향전환 포함)이 소요된다.



< 그림 2 > 시험선 노선도

시험선은 < 그림 3 >과 같은 조직으로 운영하며, 시험자와 유지보수 담당자는 안전 운영을 위하여 안전운영 규정을 준수해야 한다. 종합시험평가 기간 동안 작업자 및 시스템 자체의 안전성 확보를 위해 필요한 운영조직 및 담당자의 역할, 무인운전 및 수동운전에 따른 사고 발생시 운영방안, 사고 및 자연재해 발생시 연락, 조사, 보고, 복구 체계, 예상되는 위험항목에 따른 대처요령에 관해 필요한 사항은 KRRI 규정(“경량전철 시스템 시험선 운영사업 안전운영 규정”)을 따르도록 한다.

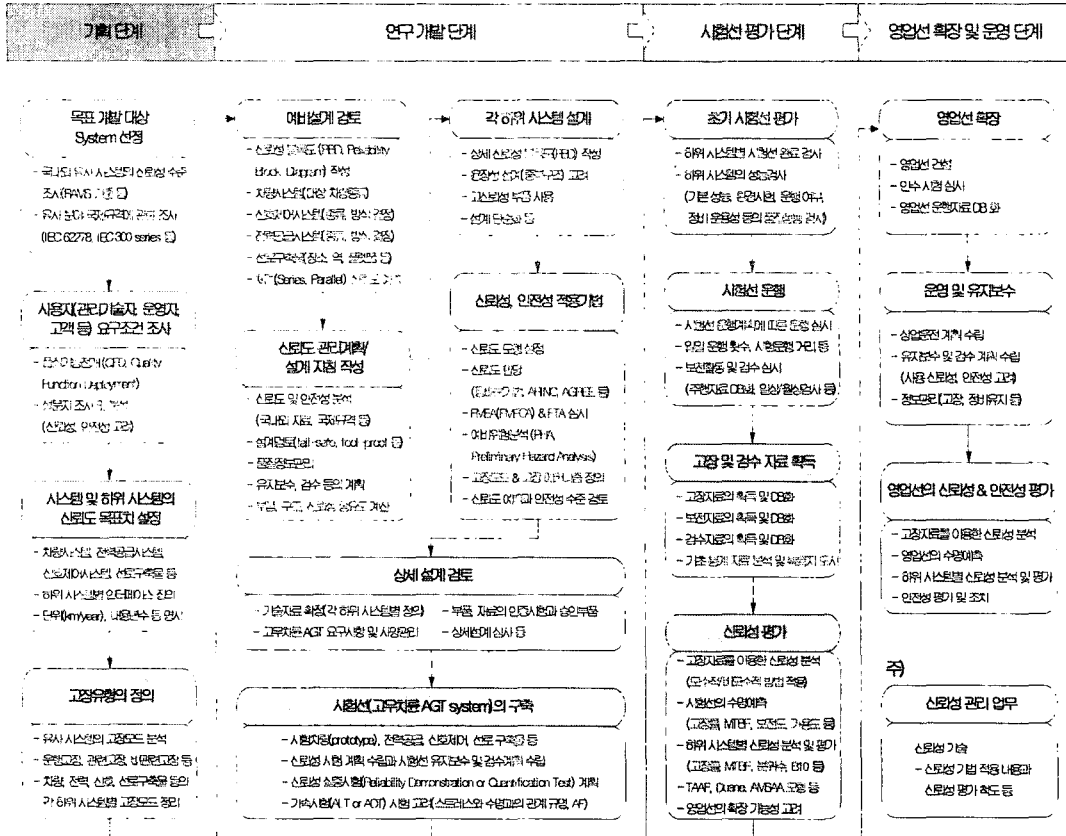


< 그림 3 > 운영 담당자 체계

2.3 차량시스템의 신뢰성 관리 흐름도

고무차륜 AGT 시스템 신뢰성 관리는 기획단계, 연구개발 단계, 시험평가 단계, 그리고 영업선에서의 운영단계에 이르기까지 전주기적으로 관리되어야 한다.

본 논문에서는 시험선에서의 시험평가단계에 적용할 내용을 주로 설명한다.



주는 그림 전체에 사용되는 블록을 설명한 것으로 각 단계에서 사용된 블록들의 위쪽부분은 "신뢰성 관리업무"를 아래부분은 "신뢰성 기술"을 설명한 것임

< 그림 4 > 고무차륜 AGT 시스템의 신뢰성 관리 흐름도

3. 고무차륜 AGT 시스템의 RAMS 관리체계

< 표 2 >는 고무차륜 AGT 차량시스템의 RAMS(reliability, availability, maintain-ability & safety) 관리 및 신뢰성 평가를 위한 체크리스트(check list)이다. 동 체크리스트는 대분류 5개 항목과 소분류 17개 항목 그리고 기타 항목으로 구성되어, 시험선에 운행될 차량시스템에 적용된다.

< 표 2 > 고무차륜 AGT 차량의 신뢰성 평가를 위한 체크리스트

| 신뢰성 평가를 위한 차량시스템의 체크리스트 | | 담당자 | |
|------------------------------------|---|--|----|
| | | 점검 | 비고 |
| 대분류 | 상세분류 | | |
| I. 차량시험 담당자, 업무 등은 적절하게 규정되어 있는가? | ① 담당자의 책임과 권한의 정의 | | |
| | ② 시험선에서의 차량운행 업무절차 | | |
| | ③ 계측기의 정보 획득 및 문서화 등 | | |
| II. 고장 정의(시험선 및 영업선)는 상세하게 정의되었는가? | ① 차량구성 하위 시스템별 기능 및 고장 정의 | | |
| | ② 시험선 및 영업선 차량의 운행고장 정의 | | |
| | ③ 연관시스템 고장(전력공급, 신호제어, 선로구축물, 기타 등 인터페이스 관련 고장)의 정의 | | |
| III. 차량 시스템의 몇 단계 하위 수준까지 관리할 것인가? | ① RAMS 관리할 수준 정의 | | |
| | ② BOM(bill of material) 구축 | | |
| | ③ DB 관리체계가 구축 | | |
| IV. 운행 및 유지보수 정보의 관리체계가 구성되어 있는가? | ① 측정단위 : 주행거리(km), 왕복횟수(회), 주행시간(분 또는 시간) | | |
| | ② 일일운행계획, 주간운행계획, 월간운행계획 등 - 운행시간, - 비운행시간(수리 및 비운행시간) | | |
| | ③ 차량 검수계획(인원, 수준별 소요시간, 비용 등) | | |
| | ④ 고장발생시 보고체계 및 유지보수계획(인원, 자재공급, 비용 등) | | |
| | ⑤ 문서화 작업은 완료되었는가? (운행일지, 시험보고서, 검수일지 등) | | |
| V. 차량 운행의 가정사항들과 기본 규칙들을 정의하였는가? | ① 운행환경(기후, 환경조건 등) | | |
| | ② 기본운행의 하중, 속도, 가속조건 여부 등 | | |
| | ③ 운행자료의 통계자료분석 범위(고장률, 가용도, 분석주기(일, 주, 월 등)) | | |
| 기타 | 문서화 및 전산 DB관리 | 신뢰성분석을 위한 문서화 체계 및 전산처리 DB 관리 체계 구축 범위 | |
| | 신뢰성 분석 프로그램 개발 | 신뢰성평가 보고서 작성을 위한 입·출력 자료의 정의 및 분석 프로그램의 범위 | |

3.1 철도 RAMS 관련 국제규격에서의 관리체계

철도 RAMS의 주요 국제규격을 요약하면 다음과 같다[5].

IEC 62278은 철도전체를 대상으로 하고 있는 RAMS에 관한 규격이며, 대상이 되는 시스템의 위험요인을 찾아 리스크 해석을 수행하고, 필요한 RAMS를 확보하기 위한 수명주기를 정하여 각 단계에서 실시해야 할 업무 및 내용 등을 규정하고 있다[11].

IEC 60300은 의존성 분석 기술규격으로서 시스템의 RAMS 측정의 재검토와 예측을 위해서 사용되고 있으며, IEC 62280은 소프트웨어에 관한 규격으로서 수명주기에서 안전성 확보를 위한 요구사항과 그 요구사항이 충족되어 있음을 명확하게 하는 과정을 규정하고 있다[10]. EN 50129는 아직 IEC 규격으로 등록되지는 않았으나, 신호시스템의 인가 및 도입을 위해 필요한 안전성 요건과 그 문서관리에 대해서 규정한 것이다[7]. 이상의 국제규격에서는 신뢰성과 안전성을 확보하기 위하여 수명주기의 각 개발단계에서의 업무와 내용을 요구하고 그리고 이를 문서로 정리할 것을 요구하고 있다.

따라서 신뢰성 관리 담당자는 고무차륜 AGT 차량시스템에 대한 고장의 정의와 목표 RAMS의 기준을 설정하고 이에 대한 RAMS 관리체계를 수립해야 한다.

3.2 차량시스템의 고장정의 및 RAM 요구사항 정의

고장은 대상 시스템, 즉 개발된 고무차륜 AGT 차량시스템이 고객이 요구하는 기능을 수행하지 못하는 경우를 말하며, 철도시스템의 특성상 운행고장과 관련고장(relevant failure)으로 구분된다. 여기서 운행고장(또는 서비스 고장)이란 AGT 차량시스템이 시험선에서 계획된 운행시간 보다 지연 또는 운행이 정지되는 상태를 말한다.

< 표 3 > 차량시스템의 운행(서비스) 고장 구분과 세부 정의

| 운행(서비스) 고장 구분 | 운행상의 영향 | 비 고 |
|-------------------------------|-----------|-------------------|
| 매우 중요한(significant) | 운행할 수 없는 | 운행정지 또는 30분 이상 지연 |
| 중요한(major) | 긴급상황 운행 1 | 10분~30분 이내 지연 |
| 경미한(minor) | 긴급상황 운행 2 | 2분~10분 이내 지연 |
| 무시 가능한(negligible) | 정상 운행 | 정상운행 또는 2분 이내 지연 |
| © 상업운전 경우 10분 이상 지연시 구원운전을 시행 | | |

운행고장에 관한 세부정의는 < 표 3 >과 같다[5]. 신뢰성을 평가할 때는 4가지 운행고장에 대해 발생빈도, 고장률과 신뢰도를 기록한 고장 및 유지보수 보고서를 주, 월, 분기별로 작성하도록 한다. 이때 신뢰성 관리 담당자는 발생한 고장과 관련된 주요 요인과 상세한 원인규명을 반드시 명시하고 동일한 고장유형을 예방할 수 있도록 해당 부품에 대한 중점적인 모니터링과 정밀한 유지보수의 실시와 같은 대책안을 작성한다. 이외에도 각 하위시스템에 대한 기능과 성능의 정의, 고장정의, 고장원인과 고장영향 등에 대한 항목을 정리하여 고장발생시 신속한 대처가 이루어질 수 있도록 한다. 현 시험선은 차량시스템의 고장발생 및 유지보수를 신속하게 처리할 수 있는 검수시스템을 갖추고 운영관리 중에 있다.

< 표 4 >는 개발된 AGT 차량시스템의 RAM 요구사항을 정리한 것이다. 연구자는 일·월·분기별로 정기적으로 보고되는 고장 및 유지보수 보고서를 이용하여 각 항목

의 목표값을 달성하는지를 평가하고 개선 및 대책 등을 마련하여 관리해야 한다[11].

다음 <표 4>와 같이 목표 RAM 요구사항을 만족하는 관리를 위해서는 신뢰성 전담 관리조직 구성, 고장정보체계의 구축, 그리고 신뢰성 평가 프로그램 활용과 신뢰성 성장모형 적용 등을 실시해야 한다. 본 연구에서는 이상으로 약속된 내용을 4장에서 자세하게 제시하고자 한다.

< 표 4 > RAM 요구사항(안)

| 항 목 | 내 용 |
|----------------------|--|
| 신뢰성(Reliability) | <ul style="list-style-type: none"> · 연간 목표운행거리 : 150,000km(MKBF) (1회의 중대한 지연 및 정지발생) · $MTBF = \frac{150,000km}{30km/h(\text{표정속도})} = 5,000\text{시간}$ · 고장률 : $\lambda_{sys} = \frac{1}{5,000} = 0.0002\text{원}$ |
| 가용성(Availability) | <ul style="list-style-type: none"> · 고유가용도 99.00% 이상 · 운용가용도 99.50% 이상 (월 목표운용시간 : 5,000시간/12 ≃ 417시간) (일일 목표운용시간 : 약 14시간 이상) |
| 보전성(Maintainability) | <ul style="list-style-type: none"> · 가용도에 의한 MTTR 계산 가용도 99.00% : MTTR ≃ 4.2시간 가용도 99.50% : MTTR ≃ 2.1시간 |

(주) 가용성 및 보전성은 영업노선 경우의 적용기준으로서 시험선에서는 신뢰성만 적용함.

3.3 차량시스템의 종합성능시험과 안전인증시험

개발 시스템의 품질 및 신뢰성 요구사항을 충족하고 있는지를 확인하기 위해서는 개발시스템이 요구성능을 만족하는지와 대중교통수단으로서 안전한지를 검정하기 위해 종합성능시험과 안전인증시험을 먼저 실시한다.

도시철도법에 따른 도시철도 차량 성능시험기준[1], 표준사양[2] 및 개발 목표사양 등을 고려하여 2004년에 수행되는 본 시험선에서의 종합성능시험 및 안전인증 실증시험 내용이 < 표 5 >에 요약되어 있다. 운영담당자 및 차량담당자는 일정계획을 수립하여 각 시험항목에 정확한 계측을 통한 평가를 실시해야 한다.

< 표 5 > 종합성능시험 및 안전인증 실증시험 항목

| 구 분 | 시험종류 |
|---------------------|--|
| 도시철도 차량성능 시험기준 | 역행, 가속도시험(최고속도), 제동, 감속도, 집전장치, 유도장애, 보호장치동작, 소음, 진동, 승차감 및 주행저항, 주요기기 등 |
| 표준시방 및 개발 목표시방 검증시험 | 차량시스템 성능시험, 신호시스템 성능시험, 전력시스템 성능시험, 선로구축물 성능시험, 환경시험 |
| 안전인증 실증시험 | 예상되는 위험항목에 대한 시스템 거동 |

여기서 차량시스템은 하중조건(예: 공차, 만차, 불균형)과 운전조건(예: 수동, 자동, 무인)하에서 종합성능시험을 받게 된다.

3.4 계측시스템 적용

각 시스템의 각종 성능시험 및 안전시험평가를 실시할 경우에는 철저한 계측 및 분석이 이루어져야 한다. 종합성능시험 및 안전인증 실증시험 등에 활용되는 계측시스템은 현재 구축이 완료되어 현 시험선뿐만 아니라 향후 개발되는 경량전철 시스템의 기술수준 측정이 가능하다.

계측시스템은 시스템 운영시 발생하는 각 시스템의 부조화 및 운영데이터를 수집, 분석, 집계하여 각 개발시스템 설계에 피드백 시킴으로써 시스템의 성능을 향상시킬 수 있도록 개발되어 운영 중에 있다. 이 계측시스템 담당자는 항상 정확한 운영데이터의 측정이 가능하도록 관리해야 한다.

계측시스템 시험항목은 차량성능(58채널), 추진성능(9채널), 응력(67채널), 제동성능(16채널), 선로(21채널), 차상신호(20채널) 등 경량전철을 구성하는 차량, 신호, 전력, 선로분야에 의거하여 관리하고 있다.

3.5 주행시험 계획

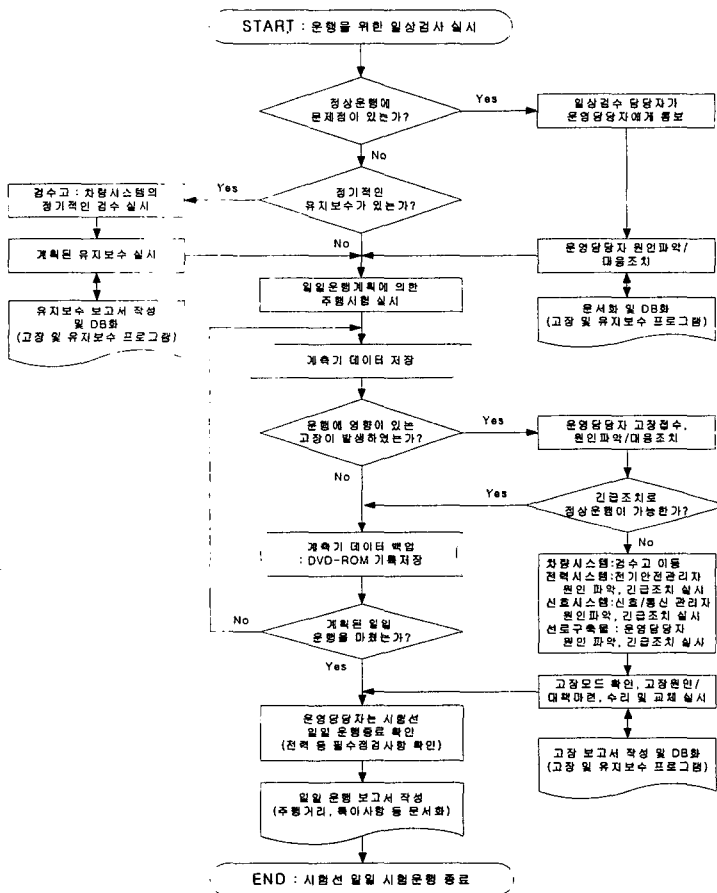
도시철도법에 명시된 개발차량의 성능입증 기준이 되는 5,000km 주행과 2005년에 정상 및 가속조건을 반영하는 누적 운행거리 10만km 주행에 대한 신뢰성 평가와 분석을 수행한다. < 표 6 >에는 계획중인 신뢰성 시험계획(안)을 정리한 표이다. 운행 일정계획상의 목표 누적운행거리를 주행할 수 있도록 시험선 운영담당자는 이에 대한 요구 사항 일정수립 및 조정을 실시해야 한다.

< 표 6 > 차량시스템의 신뢰성 시험계획(안)

| 구 분 | 차량시스템 신뢰성 시험 내용 | 비 고 |
|-------------------|---|--|
| 2004년 8월~10월 | · 차량시스템의 성능·기능 관련 종합시험평가 · 하위 시스템간 인터페이스 평가 | 이 기간동안은 운행거리를 이용한 신뢰성평가는 없음 |
| 2004년 11월, 12월 | · 시험선 종합시험(시험선 안정화 단계) · 일·주·월별 운행 및 고장, 유지보수 보고서 · 목표 누적운행거리 : 5,000km | 고장률, 수리율, 보전도, 가용도, 신뢰도 성장모형 등 초기 고장의 원인분석과 대책마련 |
| 2005년 | · 정상·가속조건하의 운행시험 · 일·주·월별 운행 및 고장, 유지보수 보고서 · 목표 누적운행거리 : 100,000km | 차량에 하중 또는 속도 등의 가속조건을 고려한 시험 실시 및 평가 |

2005년에 본격적으로 실시되는 주행시험에서 신뢰성 관리 담당자는 정기적으로 신뢰성 분석을 실시하여 목표 RAMS 요구사항을 만족하는지 확인해야하며 분석결과를 활용하여 필요한 개선사항을 정리하여 지속적인 RAMS 관리활동을 실시한다.

< 그림 5 >는 시험선에서 차량시스템 신뢰성 시험시 운행시작에서부터 당일 시험종료까지의 업무 흐름도를 나타낸다.



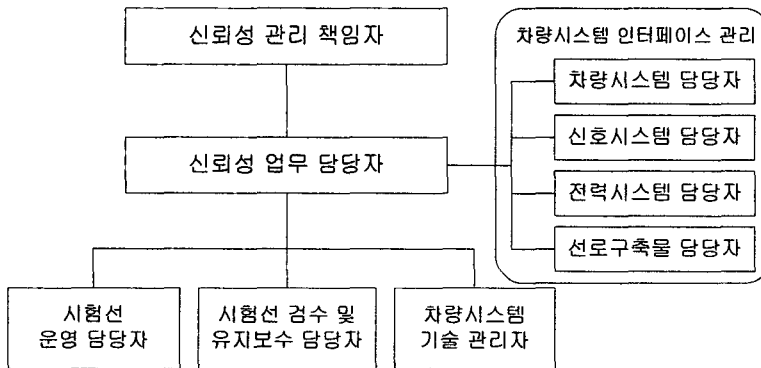
< 그림 5 > 시험선 고무차륜 AGT 차량시스템의 일일 시험운영의 흐름도

4. 고무차륜 AGT 차량시스템의 신뢰성 관리체계

4.1 신뢰성 관리 조직

< 그림 6 >은 시험선의 차량시스템 관리체계 조직을 도시한 것이다. 또한 신뢰성 관리 책임자가 수행하는 주요 신뢰성 관리 업무는 다음과 같다.

- ① 차량시스템의 신뢰성 요구사항을 할당하고, 업무의 절차 및 개발제품의 요구사항을 정의한다.
- ② 신뢰성, 안전성 및 유지보수에 대한 사양정의와 할당을 수행하고, 신뢰성 업무 수행에 대한 일정관리 및 업무조정을 실시한다.
- ③ 고장원인 파악, 신뢰성 분석 결과 및 해석 그리고 대책 마련을 수행한다.
- ④ 목표 RAMS 요구사항과 현 시스템의 RAMS 수준을 비교·분석하여, 대책을 마련한다.



< 그림 6 > 시험선의 차량시스템 관리체계 조직

4.2 차량시스템의 고장정보관리체계 구축

고장정보체계는 신뢰성평가 시험 단계에서의 고장정보, 원인분석과 대책수립 및 조치를 취하고 이를 신뢰성 향상 및 보전계획에 반영하도록 하여 차량시스템의 신뢰성을 높이고 효과적인 RAM 계획을 수립할 수 있게 한다. 그리고 시험선의 고장정보를 활용하여 영업선 운영시를 대비한 효과적인 대책마련과 이의 적용이 가능하다. 따라서 시험선 운영관리자와 신뢰성 업무 담당자는 항상 긴밀한 협조관계를 이루어 고장발생시 보고서 작성에서 신뢰성 분석 그리고 대책마련까지 모든 업무가 원활히 수행되도록 해야 한다.

4.2.1 고장정보체계 실행절차

- ① 운영담당자는 시험선의 신뢰성 시험운행을 통한 고장을 관측한다.
- ② 운영담당자는 관련 고장 및 운행지연 고장자료의 문서화 및 DB화 한다. 이때 신뢰성 업무 담당자에게 고장발생을 통보한다.
- ③ 신뢰성 업무 담당자는 고장 모드 및 고장의 원인과, 잠재적 고장원인 규명을 실시한다(관련 하위 시스템의 담당자와 고장원인을 규명한다).
- ④ 유지보수 담당자는 수리 및 교체, 유지보수 자료의 문서화 및 DB화를 담당한다.
- ⑤ 신뢰성 업무 담당자는 신뢰성 분석 및 평가 실시 후 고장의 근본원인 파악과 대책을 마련한다.

- ⑥ 신뢰성 업무 담당자는 영업선으로의 확장시에 신뢰성을 향상하기 위한 효과적인 대책을 마련해서 적용한다.

4.3 신뢰성 평가 프로그램 개발 및 적용

고무차륜 AGT 시스템의 신뢰성 분석 프로그램은 VBA(Visual Basic Application)를 기반으로 < 표 7 >과 같이 4가지 모듈로 나뉘어 개발 중에 있다. 신뢰성 업무 담당자는 정기적으로 분석 프로그램을 가지고, 발생한 고장 및 유지보수 자료를 활용하여 신뢰성 평가를 실시하여, 이를 각 하위 시스템 담당자, 시스템 엔지니어링 관리 책임자에게 보고해야 한다. 또한 신뢰성 관리 책임자는 신뢰성 분석자료, 목표대비 신뢰성 척도 비교, 이에 따른 보고서 내용을 토대로 적절한 대책마련을 실시해야 한다.

< 표 7 > 신뢰성 분석 개발 프로그램 모듈

| 모듈 구분 | 개발 내용 |
|--------------------|---|
| AGT 시스템 자료 입·출력 모듈 | 신뢰성 평가를 위한 가장 기초적이며 중요한 부분이므로 작성시 각 하위시스템의 구성품에 대한 상세한 정보를 기록하여 관리 |
| 고장 및 유지보수 자료입력 모듈 | 시험선 실제 운행 및 유지보수를 실시할 경우에 고장 및 유지보수 보고서의 내용인 고장자료, 검수를 비롯한 유지보수 자료를 입력하는 관리하는 모듈 |
| 신뢰성 분석 모듈 | 고장률, 신뢰도, MTBF, MKBF, 가동거리 및 가동시간, 수리율, MTTR, 가용도, 그래프화 등 각 분석대상에 대하여 열거된 신뢰성 척도들을 계산, 보고서 양식으로 출력할 수 있도록 프로그램을 개발되어 적절한 신뢰성 분석이 가능하도록 관리 |
| 안전성 분석 모듈 | 입력된 시스템 구성자료를 토대로 대상항목의 안전성을 정성적, 또는 정량적으로 분석할 수 있도록 관리하는 모듈 |

4.4 신뢰성 성장 모형 적용

일반적으로 새로운 철도차량의 고장률은 다른 수송 시스템과 같이 운행 초기 단계에는 높으나 운행시간 증가에 따라 서서히 낮아져 일정한 시간 또는 주행거리가 경과하면 비교적 일정하게 안정화되어 목표 고장률에 도달하게 된다. 이렇게 일정 수준의 목표 고장률, 즉 신뢰도가 확보될 때까지의 시간을 신뢰성 성장(reliability growth, 이하 RG) 기간이라 한다. 신뢰성 관리 담당자는 AGT 시스템에도 신뢰성 성장 모형을 이용하여 신뢰성 분석을 실시하여 정기적으로 이의 결과를 보고해야 한다.

4.4.1 두안(Duane) 모형

Duane 모형[8,12,14,15,16]은 TAAF(Test, Analyze and Fix[15]) 단계의 성장과정을 모니터링 하는 방법이다. 누적평균고장률과 누적시간을 양대수(log-log) 용지에 도시하면 선형이 된다. 일별과 주별 자료를 수집하여 회귀분석하면 추정된 기울기가 성장률이 된다. 이때의 모수추정은 최소제곱법(least square estimation, LSE)을 이용한다.

4.4.2 암사(AMSAA) 모형

AMSAA(Army Materials Systems Analysis Activity) 모형[13,16]은 고장률 대 시간을 모니터링하는 연속모형이며, 비동질 포아송과정 중에서 와이불과정(Weibull process)이다. 그리고 모수추정은 최우추정법(maximum likelihood estimation, MLE)을 이용한다.

이상의 신뢰성 관리 담당자는 두 가지 신뢰성 성장모형을 적용하여 ① 두 모형의 성장률 비교, ② 유의한 성장의 발생여부 파악, ③ 성장 목표 성취여부 예측, ④ 추가 개발노력의 필요성 표시, ⑤ 총 신뢰성 노력과 신뢰도 향상분과의 상관분석, ⑥ 신뢰도 실증시험(reliability demonstration test, RDT) 계획에 활용한다.

5. 결 론

KRRI에서는 국내 최초로 무인운전과 자동운전 운행이 가능한 고무차륜 AGT 시스템을 개발하여 경산 시험선에서 시스템의 신뢰성 분석 및 평가를 실시하고 있다. 1단계로 도시철도법에 명시된 종합성능시험과 안전인증 실증시험을 실시하고 2단계에서는 신뢰성 및 내구성 평가를 수행할 예정이다.

본 논문에서는 개발된 차량시스템의 전반적인 신뢰성 관리체계와 신뢰성 평가계획에 관한 내용을 제시하였다.

이를 요약하면 먼저 고무차륜 AGT 차량시스템에 적용할 수 있도록 국제규격의 동향에 따른 고장과 목표 RAMS 요구사항을 정의하였다. 차량시스템의 목표 RAMS 관리 및 평가를 위한 신뢰성 시험계획과 신뢰성 분석 및 평가절차를 수립하였으며, 고장정보체계에 따른 신뢰성 분석 개발 프로그램의 활용을 약속하였다. 이러한 신뢰성 관리체계는 신뢰성 관리 책임자 및 업무 담당자, 그리고 시험선에서 운영담당자와의 유기적인 관계에 필수적이며, 적절한 고장발생시 신속한 원인파악과 대책마련의 과정을 통해서 목표 RAMS 요구사항을 만족시킬 것이다.

앞으로 개발된 프로그램과 고장 및 유지보수자료를 획득하여 신뢰성 분석과 신뢰성 성장모형의 적용, 그리고 다양하게 발생할 수 있는 고장의 원인을 조기에 파악하여 대책을 마련함으로써 개발시스템의 신뢰성을 향상시키도록 고무차륜 AGT 차량시스템 신뢰성 관리체계를 운영할 예정이다.

6. 참고 문헌

- [1] 건설교통부, “도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준(건설교통부 고시 제2000-126호)”, (2000. 5. 17.)
- [2] 건설교통부, “도시철도 차량 표준사양(건설교통부 고시 제1998-53호)”, (1998. 2. 26.)
- [3] 한국철도기술연구원, *경량전철시스템 기술개발사업 1~5차년도 연구결과보고서(종합시스템 엔지니어링)*, (1999~2003)
- [4] 한석윤, 이안호, 김연수, “무인자동운전방식의 고무차륜 AGT 경량전철시스템 기술개발”, *한국철도학회지*, Vol. 7, No. 3, (2004) : pp11~23.
- [5] 한석윤, 하천수, 이한민, “고무차륜 AGT 차량의 신뢰성 중심 유지보수(RCM)에 관한 연구”, *한국철도학회지*, Vol. 7, No. 3, (2004) : pp271~277.
- [6] 한석윤, 김종걸, 홍순기, 하천수, “고무차륜 AGT 차량시스템의 신뢰성관리체계 개발”, 2004년 안전경영과학회 추계학술대회 논문집, (2004. 11. 20.) : pp171~182.
- [7] 한석윤, 하천수, 홍순기, 김종걸, “고무차륜 AGT 시스템의 신뢰성 평가계획 연구”, 2004년 대한산업공학회 추계학술대회, (2004. 11. 13.)
- [8] A. Birolini, *Reliability Engineering : Theory and Practice*, 3rd Edition, Springer, (1999)
- [9] CENELEC, *EN 50129*, (1997)
- [10] IEC, *IEC 60300 : Dependability management*, (1991)
- [11] IEC, *IEC 62278 : Railway application - Specification and demonstration of RAMS*, (2002)
- [12] J. T. Duane, “Learning Curve Approach to Reliability Monitoring”, *IEEE Transactions on Aerospace*, (1964) : 563~566.
- [13] K. Dimitri, *Reliability Engineering Handbook*, Vol. 2, Prentice Hall, (1991)
- [14] L. H. Crow, “On Tracking Reliability Growth”, *Proceedings of the 1975 Annual Reliability and Maintainability Symposium*, (1975) : 438~443.
- [15] MIL-HDBK-189, *Reliability Growth Management*, (1981)
- [16] MIL-HDBK-338B, *Electronic Reliability Design Handbook*, (1998)

저 자 소 개

- 한 석 윤 : 성균관대학교 산업공학과 박사과정
한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단장, 수석연구원
건설교통부 도시철도차량위원회 위원
관심분야는 신뢰성 및 기술경영
- 김 중 결 : 현 성균관대학교 시스템경영공학부 교수
산업자원부 신뢰성위원, IEC/TC56 전문위원, 한국 품질보증/PL 연구회 회장.
관심분야는 품질, 신뢰성, 리스크, PL
- 홍 순 기 : 현 성균관대학교 시스템경영공학부 교수
기술경영경제학회 편집위원, 기술혁신연구교류협회 이사
관심분야는 기술경영, 기술예측, 기술경제
- 하 천 수 : 동아대학교 산업공학과 졸업(공학박사),
현 한국철도기술연구원 경량전철연구팀 선임연구원
관심분야는 신뢰성공학