

고무차륜 AGT시스템 신뢰성 프로그램 개발

이한민*, 하천수, 여민우
한국철도기술연구원

Development of Reliable Program of the Rubber Tired AGT System

H.M. Lee*, C.S. Ha, M.W. Yeo
Korea Railroad Research Institute

Abstract - Korea Railroad Research Institute(KRRI) has developed the rubber-tired AGT system from 1999 to 2005. The rubber-tired AGT system is now on test for its performance and function at the test line in Gyeong-San. This paper is concerned with the recent development of the AGT system and its reliability evaluation technology which are now being applied in test line. Also, we made the reliable program to assure required the RAMS(reliability, availability, maintainability & safety) of the AGT system.

1. 서 론

한국철도기술연구원은 1999년부터 경량전철시스템 기술개발에着手하여 2004년 8월에 경북 경산시에 국내 최초로 고무차륜 AGT 시스템 시험선을 건설하여 2005년 현재까지 시험운행을 통한 신뢰성평가를 실시하고 있다. 본 시험선 건설은 차량시스템, 전력공급시스템, 신호통신시스템, 선로구축물 등의 하위 시스템들이 유기적으로 결합된 것으로서 분야별로 정밀한 종합성능시험을 수행하여 개발기술의 신뢰성과 안전성을 확보하는데 그 목적이 있다. 또한 고무차륜 AGT 시스템은 기존 철도차량시스템과는 달리 무인운전(driverless)과 자동운전 운행이 가능하도록 개발되어 이에 따른 신뢰성과 안전성의 확보가 매우 중요하다.

철도차량의 피로수명 평가와 같은 정량적 분석과는 달리, 본 연구에서는 신뢰성 관리 프로그램을 개발하고 이를 고무차륜 AGT 시스템에 실제로 적용한다. 시험 중 신뢰성 관련 자료를 본 프로그램에 저장하고 분석함으로서 경량전철 시스템의 신뢰성 여부 또는 신뢰성 수준을 결정할 수 있는 방향으로 수행하고자 한다.

2. 경량전철 시험선

고무차륜 AGT 경량전철 시험선은 개발된 차량시스템, 전력공급시스템, 신호통신시스템, 선로구축물 기술이 종합적·유기적으로 결합된 것으로서 분야별로 충분한 종합성능시험을 수행하여 개발기술의 신뢰성과 안전성을 확보하는데 그 목적이 있다.



그림 1. 고무차륜 AGT 시험선 전경

시험선은 경북 경산시 남천면 홍산리에 위치하며, 약 2.3km로서 정거장 4개소(검수시설 포함 1개소, 시험용 임시정거장 3개소), 교량 2개소(본선 30m, 측선 160m), 대피선 1개소(120m)이다. 그림 1과 2는 시험선 전경 및 운행 사진이다.

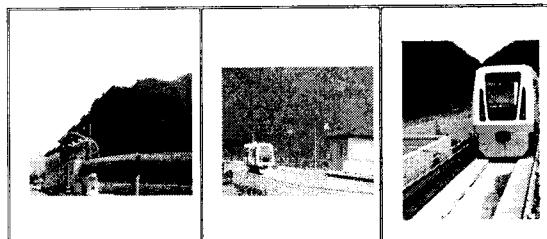


그림 2. 고무차륜 AGT 시스템 시험선 운행

3. 경량전철의 신뢰성 향상 방안

경량전철시스템의 신뢰성 목표에 대한 보증을 위해서 신뢰성 성장이 필요하다.

제품 신뢰성 성장의 기본개념은 설계, 분석이나 시험을 통해 제품의 결함을 발견하는 것과 유사하다.

신뢰성 성장 설계분석의 프로그램에서, 제품설계는 어떤 구성품들과 잠재적인 결함구성들과의 상호작용이 가능한 유통, 환경스트레스와 구성품들의 잠재적인 조건들이 결정 가능한지에 대한 분석을 한다. 설계분석의 결과는 제품 신뢰성 목표나 요구사항들과 비교 될 수 있고, 이것은 신뢰성 개선에 이바지한다. 여기서 설계스트레스와 구성품의 결합분석은 각각의 고장모델에 관해 잠재적 고장, 개선과 신뢰성 성장을 위한 수단이 된다.

신뢰성 성장 시험 프로그램에서 실험실이나 현장 시험은 결합의 노출을 자극하고 시스템, 모듈, 하부 시스템이나 부품의 신뢰성 성장에 사용된다. 이는 시험과 동시에 과거 고장들의 기본적인 원인을 발견하기 위해 분석되고, 그것의 적합성 여부가 변경된 것들은 설계나 절차들에 도입되고, 결과적으로 점진적인 신뢰성 성장을 가져온다.

신뢰성 성장 프로그램은 한번에 개선되지는 않으며, 품목이나 구성품은 지속되어 변경된 표본을 위해서만 공급되어 각각의 설계는 이전에 하나의 완성된 설계보다는 신뢰성이 있게 된다.

신뢰성 성장은 궁극적으로는 고장률을 감소시킴으로서 이루어 질 수 있다.

경량전철이 취소, 변경이나 일정시간 이상 동안에 지연 혹은 승객 수송을 하기에 부적합하거나 철도의 안전 운영에 위험의 결과를 초래할 수 있는 주요한 고장들 없이 여행 반복을 가능하게 하기 위한 목적으로서 신뢰성 성

장의 과정이 수행되어야 할 것이다.

경량전철 시스템의 변경의 과정을 거쳐 신뢰성을 강화하기 위한 모니터링 프로그램과 자료 분석은 여러 고장의 문제들을 확인하기 위해 필요할 것이다.

신뢰성 성장은 적절한 통제를 조건으로 하지 않은 계획에서는 달성하기가 어렵다. 이런 이유로, 적절한 변화의 통제와 요소의 배치 조정 과정이 이행되어야 한다.

4. 시험선 신뢰성 분석 D/B 체계 구축 및 운영방안

경량전철의 신뢰성 DB는 다음의 분석을 위해 필요한 기초 자료를 입력, 수정 및 조회할 수 있도록 항목을 설정하였다.

1) 신뢰성 분석

- 부품/모듈/하위시스템/시스템별 고장률 입력, 수정, 조회 및 계산
- FMEA분석을 위한 고장모드, 고장원인, 고장영향 고장결과 분류 입력, 수정 및 조회
- 신뢰성 성장시험을 위한 기초자료

2)유지보수 정책수립

- 신뢰성 기반 보전정책에 필요한 운행기록, 보전방법, 수리시간, 운용 시간 입력, 수정 및 조회

경량전철의 신뢰성 및 안전성 분석 시스템의 구성요소(소프트웨어 모듈)는 다음과 같이 구성한다.

- 경량전철 시스템 자료 입력모듈
- 고장자료입력 모듈
- 신뢰성분석 모듈

4.1 경량전철 시스템 자료 입력모듈

경량전철의 시스템자료는 신뢰성 분석 및 안전성 분석을 위한 기본 자료로서 시스템의 구조, 구성요소 및 연

표 1. 경량전철 시스템 자료 입력모듈의 구성메뉴 및 내용

구성요소	요소별 소분류	내 용	
경량전철 시스템 자료 입력모듈 (입력/조회/수정)	시스템 형상정보	- 시스템 구조	- Tree 구조
		- 시스템의 연관관계 (직렬, 병렬 등)	- RBD
		- 시스템/하위시스템 구성요소 및 부품정보 (고장률, MTBF 등)	- 각 부품들의 분류 및 부품번호 - 고장률 및 총 고장률 (단위 : 백만 시간) - MTBF (단위 : 년) - 제조사 - 부품 단위, 모듈단위 또는 시스템 단위
	고장정보	- 유지보수정보 (유지보수의 종류와 보전기간)	- 사후보전 (CM) - 예방보전 (PM) • 시간계획보전 • 상태감시보전
		- 고장모드	- 시스템/하위시스템별 고장모드 - 고장모드 분류 및 코드
		- 고장원인	- 시스템/하위시스템별 고장원인 - 고장원인 분류 및 코드
	고장결과	- 고장결과	- 시스템/하위시스템별 고장결과 - 고장결과 분류 및 코드

관관계 등을 입력한다. 아래 표 1은 이러한 자료 입력 모듈을 구성하는 메뉴 및 내용을 요약한 것이다.

시스템 형상 정보의 목적은 예측 또는 추정된 시스템 고장률을 보전하고 고장률의 변경 시 (신뢰성 개선으로 인함) 고장률의 이력을 보전하며 현재의 각 구성품의 고장률을 기반으로 경량전철시스템의 고장률을 예측하기 위함이다. 현장 고장자료가 입력되어 일정기간 후 고장률의 재 산출의 근거가 되며 (Bayesian 방법으로 변환할 경우) 예측한 고장률과 현장에서의 운영 중 고장자료에 의한 고장률의 차이를 비교하기 위함이다. 또한 일정기간을 거쳐 오면서 같은 부품의 고장이 개선되었는지를 판단하는 척도가 된다.

시스템의 구조는 신뢰성블록선도 (Reliability Block Diagram: RBD) 등의 물리적 구성요소를 의미한다. 경량전철은 크게 5개의 시스템으로 구성된다.

- 차량시스템
- 전력시스템
- 신호시스템
- 통신시스템
- 선로구축물

각 시스템은 다음과 같은 하위시스템 (Subsystem)으로 구성한다.

차량시스템

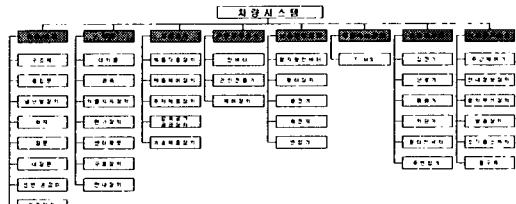


그림 3. 경량전철 시스템의 차량시스템 구조

신호시스템

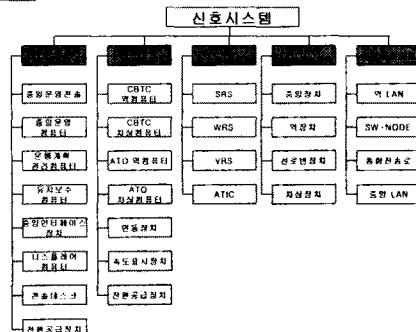


그림 4. 경량전철 시스템의 신호시스템 구조

전력시스템

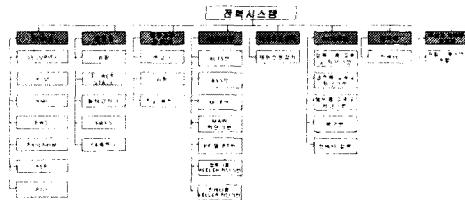


그림 5. 경량전철 시스템의 전력시스템 구조

통신시스템

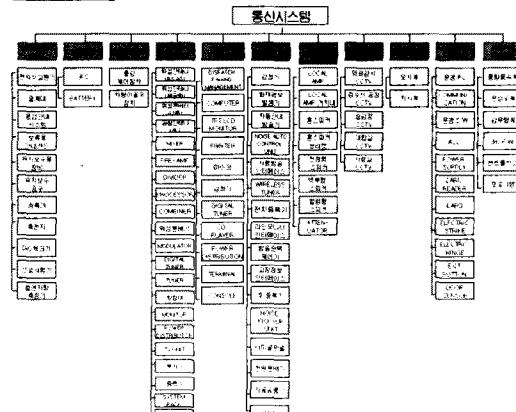


그림 6. 경량전철 시스템의 통신시스템 구조

선로구축물

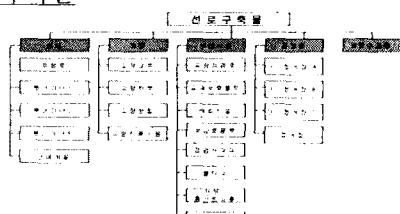


그림 7. 경량전철 시스템의 선로구축물 구조

5. 고무차륜 AGT 시스템의 신뢰성 관리

고장(failure)은 대상 시스템, 즉 개발된 고무차륜 AGT 시스템이 고객이 요구하는 기능을 수행하지 못하는 경우를 말하며, 철도시스템의 특성상 서비스고장(service failure)과 관련 고장(relevant failure)으로 구분

된다.

여기서 운행 고장 또는 서비스 고장이란 그림 8과 같이 2량 1편성으로 구성된 AGT 차량이 시험선에서 계획된 운행시간 보다 지연 혹은 운행이 정지되는 상태를 말한다.

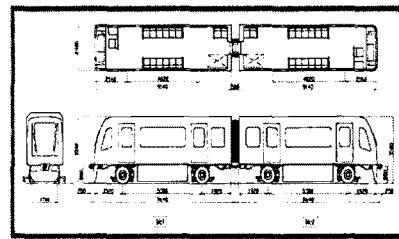


그림 8. 시험선에서 운행될 차량시스템

운행 고장에 관한 세부정의는 표 2와 같다. 신뢰성을 평가할 때는 4가지 운행 고장에 대해 발생빈도, 고장률과 신뢰도를 기록한 고장 및 유지보수 보고서를 주, 월, 분기 별로 작성하도록 한다. 이 때 발생한 고장과 관련된 주요 요인과 상세한 원인구명을 반드시 명시하고 동일한 고장유형을 예방할 수 있도록 해당 부품에 대한 중점적인 모니터링과 정밀한 유지보수의 실시 등과 같은 대책안을 작성한다.

표 2. 운행 고장 구분과 세부 정의

운행 고장 구분	운행상의 영향	비고
매우 중요한 고장 (significant)	운행할 수 없는	운행정지 또는 30분 이상 지연
중요한 고장 (major)	긴급상황 운행 1	10분~30분 이내 지연
경미한 고장 (minor)	긴급상황 운행 2	2분~10분 이내 지연
무시 가능한 고장 (negligible)	정상 운행	정상운행 또는 2분 이내 지연

*상업운전 경우 10분이상 지연시 구원운전을 시행

운행고장에 대한 신뢰성 분석 및 평가시 사용되는 주요척도는 다음 식 (1), (2)와 같다.

1) 시간 기준 : MTBF 또는 MTBSF(mean time between service failures)

$$MTBSF = \frac{\text{시스템 총 운행시간}}{\text{운행고장 빈도}} \quad (1)$$

2) 주행거리 기준 : MKBF or MKBSF

(mean kilometers between service failures)

$$MKBSF = \frac{\text{시스템 총 운행거리}}{\text{운행고장 빈도}} \quad (2)$$

각 하위 시스템에 대한 기능과 성능의 정의, 고장정의, 고장원인과 고장영향 등에 대한 항목을 정리하여 고장

발생시 이에 대한 신속한 대처가 이루어질 수 있도록 해야 한다. 현 시험선에는 전용 검수고를 갖추고 있으므로 고장발생 및 유지보수를 위한 검수시스템을 갖추고 있다.

또한 시험선에서 시험운행시에는 안전관리활동으로서 Hazard Log를 작성하여 새로운 철도시스템에 존재하는 위험원의 존재를 밝혀내고, 그 위험원에 의해서 발생할 수 있는 위험도(Risk)를 고려하여, 그 위험도를 보편적으로 허용할 수 있는 수준까지 낮출 수 있는 체계적인 관리활동이 필요하다.

6. 신뢰성 평가 프로그램

앞에서 설명한 사항들을 반영한 고무차륜 AGT 시스템의 신뢰성 DB 및 분석 프로그램은 VBA를 기반으로 4가지 모듈로 나뉘어 개발하여 현재 시험선에서 획득되는 고장 및 유지보수 자료를 가지고 신뢰성 분석을 실시하고 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 대책 마련을 실시해야 한다.

표 3. 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 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

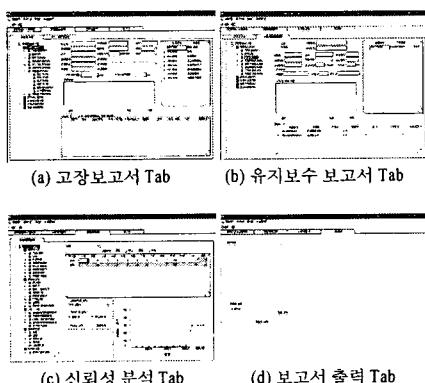


그림 9. 신뢰성 분석 DB 프로그램의 화면 예

7. 결 론

본 과제에서 구축한 신뢰성 DB시스템은 차년도 수행 할 시스템 시험 중 신뢰성 관련 자료를 저장하고 분석할 수 있는 기본적인 틀을 제공한다. 이는 고장 자료를 통하여 시스템의 신뢰성을 검증하고 신뢰성 성장시험을 통하여 신뢰성 목표 성취여부를 판단하기 위함이다.

차년도에는 개발된 DB시스템을 활용하여 신뢰성 목표 성취여부를 검증하는 중요한 단계이기 때문에 이를 위한 면밀한 계획이 필요하다. 더욱이 차년도의 업무 결과는 경량전철 시스템에 대한 신뢰성여부 또는 신뢰성 수준을 결정할 수 있는 방향으로 수행되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Han, S.Y., Ha, C.S., and Lee, H.M., "A Study on Reliability Centered Maintenance of AGT Vehicle System", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 7, No. 3, pp.271~277, 2004.
- [2] Han, S.Y., Kim, J.G., Hong, S.K., and Ha, C.S., "Reliability Management of the Rubber Tired AGT Vehicle System", *Journal of the Safety Management & Science*, Vol. 6, No. 4, pp.139~153, 2004.