

한국형 틸팅열차 신뢰성 시험평가를 위한 SE구축사례

한성호^{1)*}, 최성규¹⁾

한국철도기술연구원¹⁾

Case study of systems engineering to evaluate the reliability test for Korean tilting train

Seong Ho Han¹⁾, Sung Kyu Choi¹⁾

*1)Advanced Material tilting train Research Division of KRRI,
360-1, Woram-dong, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea*

Abstract : Korean Tilting trains have been tested on conventional lines since the beginning of 2007 for evaluating its reliability. We achieved some major performance tests which are the maximum operation speed ,180km/h test and the maximum curves increasing speed, over 30 percentage comparing with non-tilting operation train. In order to analysis reliability data of tilting train, we have used the special system engineering frame with interfacing between component suppliers effectively. And also we have developed the data aquisition system which consists of monitor, sensors and depot computer etc. As a results of calculation, until now we realized that the reliability are getting more increasing than starting point of running field test.

Key Words : **Systems Engineering**(시스템공학), **Tilting train**(틸팅열차), **evaluating reliability**(신뢰성 평가), **TMS**(열차종합제어장치), **MTBSF**(서비스고장 평균시간)

1. 서 론

본 논문은 국내 기존선의 영업운행속도를 140km/h에서 180km/h로 고속화를 위해 개발된 한국형틸팅열차의 신뢰성 및 안정화 확보를 위한 시험평가단계에서의 시스템엔지니어링 적용사례를 다루었다. 틸팅열차기술은 일반열차와는 달리 곡선부 주행시 편연적으로 증가되는 원심력가속도를 차체를 곡선의 안쪽으로 기울여 감소시켜주는 기술이다. 따라서 일반열차보다는 속도를 20-30%까지 향상시키면서도 원심가속도는 중력가속도의 횡방향 성분으로 감쇄시킬 수 있어, 기존선 고속화를 위해 매우 효

과적인 기법으로 활용된다. 틸팅열차기술은 선진철도국가에서는 이미 상용화에 성공하여 영업운행을 진행되고 있지만 아직 국내에서는 틸팅열차기술의 개발단계로서 설계제작기술 뿐만아니라 성능입증과 신뢰성 및 안전성 검증이 요구되는 사항이다. Fig. 1의 한국형틸팅열차는 2006년까지 시제열차(6량 1편성)의 개발이 완료되어 2007년 2월부터 국내 주요간선 영업선로에서의 성능시험 및 신뢰성 평가시험을 실시하고 있다. 일반적

*교신저자 : shhan@krri.re.kr

인 시스템엔지니어링 체계구축은 요구사항정의 분석, 설계, 제작, 시험으로 진행되며, 본 연구는 시험단계에서 특히 신뢰성시험평가를 위한 시스템엔지니어링 적용사례에 대해서 다루고자 한다. 신뢰성 시험평가를 위해 필수적인 요소로서 신뢰성 데이터의 수집이 매우 중요하며, 시험운영에 따른 각종 고장정보를 수집하고, 원인을 분석하여 틸팅열차가 가지고 있는 고유기능의 확인뿐만 아니라 신뢰성 및 내구성 또한 얼마만큼 유지할 수 있는지 여부를 분석하였다.

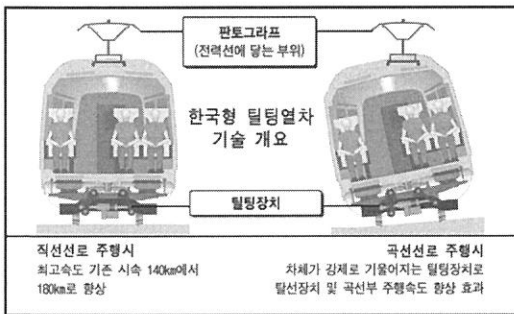
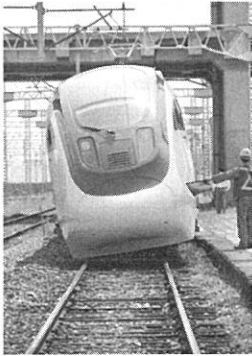


Fig. 1 Concept diagram of the applied tilting technology of Korean Tilting Train

본 연구에서는 신뢰성 시험평가 기술의 시스템엔지니어링 체계를 구축하고 차량의 안전성을 향상시켜 기존선로에서의 상용화 운영에 적합한 신뢰성을 갖춘 틸팅열차시스템 기술을 개발하고자 한다. 이를 위해 신뢰성관리 체계를 구축하고, 열차와 하부 시스템의 신뢰성을 평가하며, 주요 장치별 신뢰성 목표치 평가 및 고장이력관리를 통한 신뢰성 데이터 수집 및

분석과 틸팅열차의 MTBSF(Mean time between Service Failure) 등을 계산하였다.

따라서 이러한 시스템공학 기반의 신뢰성 평가기술은 틸팅열차 뿐만 아니라 통해 새로운 안정성 및 신뢰성 평가 방법으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 2와 같이 한국형복합소계 틸팅열차(한빛200)의 상용화에 대비한 신뢰성 평가 및 관리절차는 먼저, 틸팅열차 개발단계 프로젝트에서 기 수행된 신뢰성 자료의 검토 및 분석을 우선적으로 실시하였다.

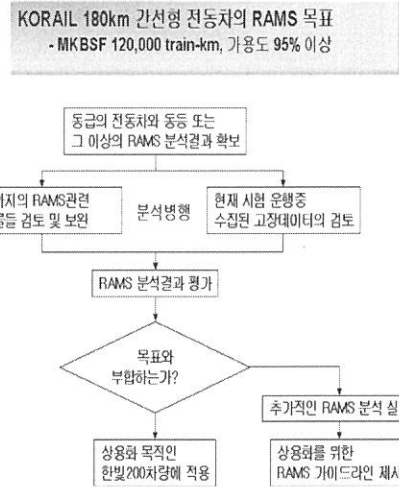


Fig. 2 Flowchart diagram of the applied reliability evaluation of Korean Tilting Train

다음단계로 FRACAS(Failure Reporting, analysis, and corrective action system)에 대한 검토 및 보완을 실시하고 시험운영 중 기록된 고장 데이터 검토 및 분석으로 신뢰성 평가를 실시하였다. 또한 설계 과정에서 수행해야 할 RAMS (Reliability, Availability, Maintenance, Safety) 활동 및 산출물을 상용 프로젝트 수준으로 작성하였으며, 상용 프로젝트 수준의 RAMS 분석 및 평가와 RAMS 성능 개선 활동 수행에 의한 개선안을 도출하였다. 최종적으로 양산을 위한 RAMS요구조건에 대한 기준서 제시할 계획이다.

2. 본 론

2.1 틸팅열차 시스템 신뢰성 평가 SE체계

현재 시험운용중인 틸팅차량의 신뢰성검증 체계 구축 방안은 다음 Fig. 3과 같다. 즉 설계단계의 신뢰도 및 정비도 관련 예측 값에 대해 시험운용단계의 자료를 이용하여 설계의 타당성을 입증하는 것이다.

1. 설계단계

(1) 유사장비 또는 경험자료 비교

현재 시험운용중인 틸팅차량은 시스템 레벨의 유사장비 또는 경험자료는 전무하다고 판단할 수 있다. 비록 외국의 유사장비가 있을 수 있으나, 자료는 얻는다는 것은 어려운 일이다. 그러나 시스템을 구성하는 서브시스템의 LRU(Line Replaceable Unit) 또는 그 것을 구성하는 부품 단위에서는 유사정보를 얻을 수 있다. 대표적인 것이 미국 RAC(신뢰성분석센터)의 EPRD/NPRD 데이터베이스 이다.

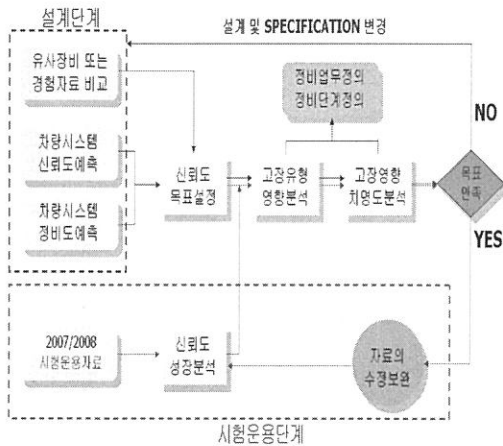


Fig. 3 Block diagram of the RAMS process and the analytical method

(2) 차량 시스템의 신뢰도예측

Fig. 4와 같이 구성된 기계류 부품 또는 LRU(Line Replaceable Unit) 단위는 유사한 운용환경조건을 가진 EPRD/NPRD 자료를 통해 고

장률을 예측할 수 있다. 한편 전기전자 부품의 경우 다양한 모델링 방법이 있으며, 일반화되어 있어 기계류보다는 쉽게 고장률을 예측할 수 있다.

(3) 차량 시스템의 정비도예측

철도차량의 경우 정비도를 예측하는 표준화된 방법은 없다. 따라서 서브시스템 또는 LRU 단위를 제작하는 업체에서 제공하는 정보를 기초로 예측할 수 있다. 그러나 이러한 정보도 없는 경우엔, 정비업무를 표준화된 Task로 정의한 MIL-HDBK-470,472 계열의 방법을 적용하여 예측할 수 있다.

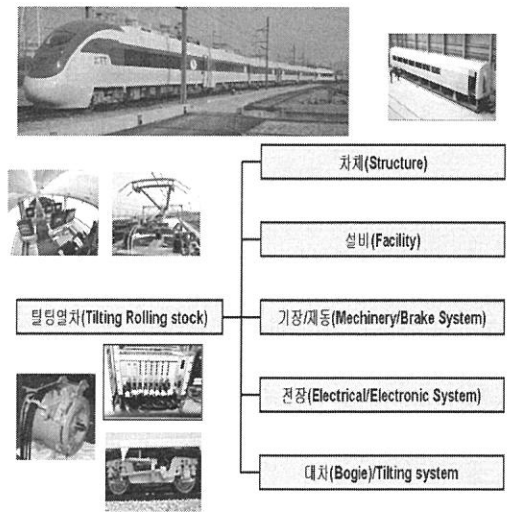


Fig. 4 BOM diagram with LRU level of each sub system

(4) 신뢰도 목표 설정

신뢰도 목표값 설정은 절대적인 값이 아니다. 현재의 기술로 구현 가능한 최적의 값을 의미하며, 이것은 설계 사양의 개정과 보완 그리고 반복적인 시험운용자료의 분석을 통해 신뢰도의 할당 및 배분 절차를 통해 재조정되는 값이다.

(5) 고장유형 및 영향분석

고장유형에 대한 분석 목적은 적절한 정비

업무의 식별과 배분을 위해 필요하며, 개별 고장유형이 가지는 특징과 발생가능성에 대한 정량적 작업이다.

(6) 고장영향의 치명도 분석

고장의 결과는 시스템 또는 시스템을 구성하는 서브시스템 및 LRU에 직접적인 영향을 미치는 국부적인 것부터 시작하여 파생적인 것까지를 고려해야 한다. 즉 하나의 고장유형이 발생할 경우 그 것이 연속적으로 유발하는 파급효과에 대해 안정성 및 비용 측면의 효과까지 폭 넓게 고려해야 한다.

(7) 정비업무 및 단계의 정의

고장유형에 대한 분석의 주 목적은 고장에 따른 정비업무의 식별이다. 하나의 고장 유형을 식별하였다면 어디서 어떻게 고장을 수리하고 복원할 것인지를 체계화하는 것이다.

2.2 신뢰성 시험평가 SE 체계구축

현재의 킬팅차량은 단순한 형태의 FRACAS (고장보고 및 교정조치)개념을 이용하여 시험운용단의 정보를 수집하여 자료를 축적하고 있다. 이 자료의 주목적은 설계단계를 재검토하여 설계사양의 문제점에 검토 그리고 설계 목표치에 대한 달성 여부를 판단하기 위함이다.

신뢰도성장분석은 시스템을 구성하는 서브시스템 및 LRU 단위의 신뢰도에 대해 시험운용단계의 자료를 통해 설계단계에서 목표로 했던 값을 달성하는지 여부를 분석하는 방법이다.

현재의 FRACAS 자료 수집체계의 수정보완 관련 내용이다. 즉 자료를 수집함에 있어 어느 정도의 수준까지를 수집해야 하며 또 자료수집 과정에서 누락된 정보를 찾아내는 것과 어떤 정보를 새롭게 수집해야 하는지 등을 판단하는 과정이 필요하다.

아래 Fig. 5는 시험운용단계에서의 신뢰성 시험평가를 위한 시스템엔지니어링 기본 체계를 나타낸 것이다. RAMS 시스템엔지니어링에 있어서 철도연과 완성차 제작업체와 핵심부품 공급업체간에 유기적인 인터페이스 개념을 볼 수 있다. 주로 설계자료의 요구사항과 개선안에

대한 데이터 피이드백이 주로 활발하게 진행되며 RAM 보고서와 안전성 보고서를 구별하여 신뢰성 분석 및 안전성 분석을 병렬적으로 추진하도록 고안되었다.

매주 3회 운영되는 킬팅열차 시험운전을 통해 획득되는 고장데이터를 토대로 FRACAS 를 실시하고 신뢰성 성장분석을 통해 설계 개선안들을 종합하여 신뢰성 보고서를 작성한다. 작성된 보고서는 열차 상용화 수준에서 관리되는 신뢰성 요구조건 만족여부를 판단하여 다시 부품단위의 공급업체에게 목표치를 재할당하여 관리된다.

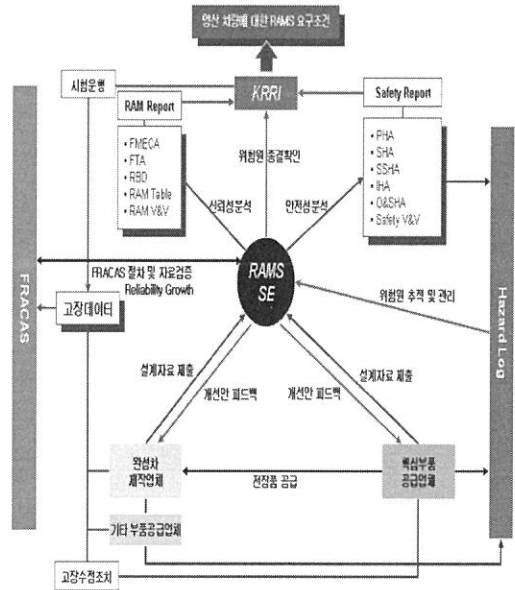


Fig. 5 Block diagram of System Engineering with the interfacing connection

고장데이터 수집 및 분석 열차종합제어장치와 시험계측차량에 설치된 고장데이터 온라인 수집장치를 이용하여 수행되었다. 열차종합제어장치(TMS)로부터 다운로드한 기록데이터를 Fig. 6과 같은 고장데이터 수집장치로부터 읽어 들인후 분석을 실시한다. 고장데이터 분석장치에 업로드된 고장데이터를 고장원인 분석을 위해 텍스트 형태와 그래프형태로 표현되어 지며 고장발생시점에 각종 기기의 동작상태 확인을 통해 분석이 가능하다. 또한 기록된 기기별 고

장리트를 부품별 신뢰성평가에 필요한 고장률 계산의 데이터로 활용된다.

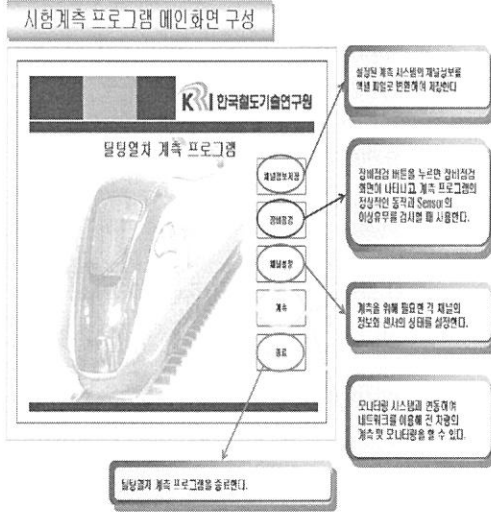


Fig. 6 Main frame of measuring program of Reliability data

2.3 틸팅열차 시스템 신뢰성 평가 결과

설계단계에서의 틸팅열차 시스템 신뢰도 예측결과는 고장률 약 408회/100만 시간으로 약 MTBF=2,450 시간으로 환산되며, 틸팅차량의 운용조건을 고려한 신뢰도 예측 결과는 다음 Table 1과 같다.

다른 장치에 비해 상대적으로 고장률이 높은 HVAC 장치와 상대적으로 낮은 고장률을 보이는 틸팅장치는 설계자료의 보완 또는 지속적인 시험운용단계에서의 데이터 수집분석을 통해 보완될 필요가 있다. 또한 2007년부터 2008까지 열차 시험운전을 또한 시험운용 자료를 이용하여 MTBF 신뢰도 성장분석을 수행하면 다음 Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있다. Fig. 7은 LRU별 서브시스템의 고장내역 중 틸팅대차시스템에 대한 내역을 분석한 것이며, Fig. 8은 이를 토대로 계산된 신뢰성 성장곡선을 나타낸 것이다.

Table 1 Results of reliability evaluation

구분	고장률/MTBF
틸팅차량전체	562 / 1,782
Traction장치	33.5 / 29,850
Brake장치	52.3 / 19,120
보조전원장치	5.3 / 188,679
Door 장치	20.8 / 48,309
HVAC 장치	295.6 / 3,371
Pneumatic & Distribution 장치	15.8 / 63,291
Train control management 장치	52.1 / 19,193
통신장치	67.5 / 14,814
신호장치	17.1 / 58,479
틸팅장치	1.5 / 666,666

Table 2 Results of increasing reliability evaluation each components

구분	고장률 예측 값
Traction장치	0.0000266
Brake장치	0.0000415
보조전원장치	0.0000043
Door 장치	0.0000165
HVAC 장치	0.0002355
Pneumatic & Distribution 장치	0.0000126
Train control management 장치	0.0000414
통신장치	0.0000536
신호장치	0.0000136
틸팅장치	0.0000016

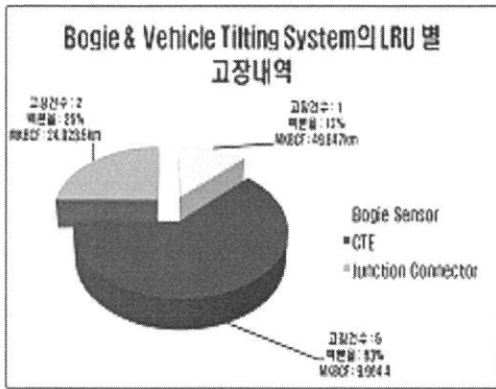


Fig. 7 Failure data analysis of Bogie and Vehicle tilting system

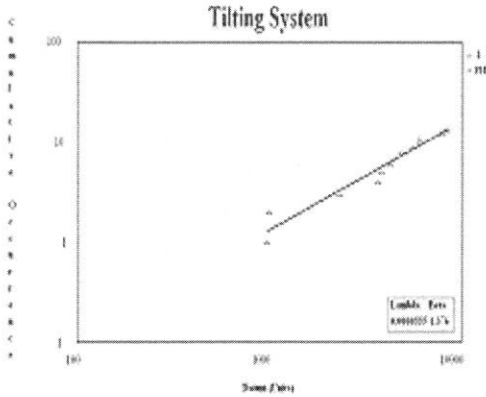


Fig. 8 Curve of increasing reliability of tilting system

참고문헌

1. Seong-ho Han, "Second step report of reliability evaluation and operation technique for Korean tilting train" 2008.7 Korea railroad research institute. pp50-77 pp.
2. Seong-ho Han, "system integration and interfacing techniques : evaluation study and implement of managing reliability for tilting train", 2004. 7, Korea railroad research institute, pp 30 - 89pp
3. MIL-STD 490A, "A Specification Practices", 1985.6
4. MIL-STD 498, "Software Development and Documentation", 1995.4
5. MIL-STD 961D, "Standard Practice for Defense Specifications", 1995.3

3. 결론

본 논문은 기존선의 고속화 추진전략으로 개발된 180km/h 한국형틸팅열차의 신뢰성 평가를 위해 차상데이터 수집장치를 이용한 고장분석장치를 개발하고 이를 이용한 신뢰도 예측에 대한 성장분석을 수행하였다. 2007년부터 2008년까지 4만 km 주행에 대한 신뢰성 평가를 수행한 것으로 향후 10만 km 시험운전을 지속적으로 수행함에 따른 시험운용데이터를 확보하여 초기평가의 다음단계에 대한 분석을 시행할 계획이다.