

## 시제열차 개발에서의 신뢰성 관리 체계

### Reliability Management Process for the Development of a Prototype Train

최성훈\*

박춘수\*

이태형\*

Choi, Sunghoon

Park, Choon-Soo

Lee, Tae-Hyung

#### ABSTRACT

IEC 62278 presents a process to implement a consistent approach to the management of reliability for railway applications. A reliability program has to be established at the outset of a project in order to manage reliability activities effectively through the life cycle. The first step of the reliability program is to evaluate reliability requirements and targets based on the system specifications. The system specifications are derived from the customer's needs. The way in which the system requirements reflect the customer's needs is strongly dependent on the characteristics of the product. In general the customer of commercial trains presents the system requirements from their needs. However, the relation between the customer and supplier is equivocal for a project to development a prototype train, and the reliability program should be different from that of an usual commercial project. This paper deals with a process to manage reliability activities for the development of a prototype train based on the experiences obtained from the development of the Korea High-Speed Train: Hanvit-350.

#### 1. 서 론

우리나라에서는 철도기술연구원을 중심으로 독자적인 고속철도시스템 개발을 위한 연구개발을 추진하여 현재 최고속도 350km/h의 한국형고속열차(한빛350)를 개발 시운전 시험을 수행하고 있으며 2007년 7월부터는 최고속도 400km/h의 분산형 추진시스템을 적용한 차세대고속열차인 한빛400의 개발을 시작하였다. 한빛350은 지난 1996년 개발에 착수하여 2002년 시운전시험을 시작하였으며, 시제 열차의 성능확인 및 최고속도 주행시험을 거쳤다. 현재는 차량시스템의 안정화와 신뢰성 확보를 위한 주행시험을 실시하고 있으며, 2007년 10월 기준으로 20만 km 이상을 주행하였다. 주행시험 기간 동안 차량시스템의 고장정보를 취득하고 고장의 내용을 분석하였으며, 시제열차를 구성하는 하위시스템 별로 고장데이터를 전산시스템에 입력하고 이를 분석하여 신뢰성 성장 및 평가를 실시하고 있으며, 이를 통하여 신뢰성 향상을 위한 각종 활동을 수행하고 있다. 한빛400은 프로젝트의 시작과 함께 개념설계 및 주요 규격(specification)에 대한 검토를 수행하고 있으며 이 과정에서 체계적인 신뢰성 활동에 대한 계획이 필요하다.

IEC 62278 [1]에서는 철도 시스템에 대하여 수명주기 동안 수행되어야 하는 신뢰성 관리 업무를 제시하고 있으며, 프로젝트의 시작 시점에서 신뢰성 프로그램을 제시하여 신뢰성 활동을 효과적으로 관리하도록 하고 있다. 신뢰성 프로그램의 첫 단계는 시스템 요구에서 신뢰성 요구과 목표를 산출하는 것이다. 시스템 요구은 수요자의 요구로부터 도출되는데 제품의 특성에 따라 소비자의 요구가 시스템

\* 한국철도기술연구원, 고속철도시스템연구팀

E-mail : schoi@ktrri.re.kr

TEL : (031)460-5209

요건에 반영되는 방법이 다르게 된다. 일반적인 상업열차 프로젝트에서는 수요자가 자신의 요구사항을 토대로 시스템의 요건을 제시하게 되는 반면에 국가연구개발 프로젝트로 제작되는 시제열차의 경우에는 사용자와 제작자와의 관계가 상용프로젝트와 같이 명확하지 않으므로 신뢰성 프로그램도 프로젝트의 특성에 맞게 결정되어야 한다. 본 연구에서는 한국형고속열차(한빛350) 개발 프로젝트의 경험을 바탕으로 시제열차 개발 프로젝트에 적용하는 신뢰성 프로그램과 신뢰성 관련 업무의 내용과 절차에 대해서 다룬다.

## 2. 신뢰성 활동 일반

### 2.1 신뢰성 프로그램

시스템 공급자는 신뢰성 요구사항을 효과적으로 만족 시기기 위한 신뢰성 프로그램을 계획하고 프로젝트 수행 기간 동안 필요한 업무를 수행하여야 한다. 일반적으로 철도시스템, 특히 철도차량시스템의 경우에는 수요자의 요구에 부응하기 위하여 차량 공급자(제작사)가 앞에서 신뢰성 관련 활동을 계획하여 앞에서 보여준 바와 같이 전 수명주기 동안 신뢰성 관련 업무를 효율적으로 수행하여 신뢰성 규격을 만족할 수 있도록 하고 있다. IEC 62278에서는 이러한 일반적인 상업 프로젝트에 대하여 RAMS 프로그램의 예를 제시하고 있다. 여기에서 제시하는 신뢰성 프로그램의 절차는 다음과 같다.

1. 제작사의 사업 절차에 부합하는 적절한 수명 주기를 정의
2. 각 프로젝트 단계에서 프로젝트의 목표와 시스템 규격 요구를 만족시키기 위해 필요한 신뢰성 활동 할당
3. 제작사 내에서 각 신뢰성 업무의 책임자를 결정
4. 각 신뢰성 업무에 필요한 지침, 도구, 참고문헌 등을 결정
5. 각 절차별 신뢰성 활동 수행

### 2.2 신뢰성 시험

고속열차 차량시스템에 대한 시험은 크게 성능시험과 신뢰성시험으로 구분할 수 있다. 성능시험은 열차를 구성하는 각 장치와 차량시스템이 목표하는 기능과 성능을 만족하는지를 확인하는 시험이고, 신뢰성시험은 수명 또는 고장률을 평가하기 위한 시험으로 개발 및 제조 과정에서 신뢰성향상, 평가, 보증을 위하여 실시되는 모든 시험을 의미한다. 신뢰성시험은 다음과 같은 목적을 위해 수행한다.

- 설계 및 제조상의 문제점 확인 및 시정을 통한 설계 및 양산 검증
- 제품의 신뢰성(내구수명, 고장률)을 보증(수락시험)하고 계약 요구사항을 만족여부를 판단
- 고장 재현, 고장매커니즘 조사를 통한 고장원인 규명
- 신뢰성예측, 시험방법 개발 등의 기술적 정보를 수집

일반적으로 제품 개발은 상품기획, 개념설계, 예비설계 및 상세설계를 거쳐 프로토타입(prototype)과 시제품(pilot)을 개발하고, 설계 검증 및 양산 검증을 거쳐 양산에 이르게 된다. 이 과정에서 기능/성능시험, 환경시험, 안전시험 및 신뢰성시험을 실시하며, 시험 중에 나타난 설계 결함은 설계 변경을 통하여 수정한다. 신뢰성시험은 시험의 목적에 따라 표 1과 같이 분류한다.

표 1 신뢰성 시험의 종류와 목적

| 시험의 목적     | 시험의 종류   |
|------------|--|
| 신뢰성 개선     | 신뢰성 성장 시험 (Reliability Growth Test)<br>HALT (Highly Accelerated Life Test)               |
| 신뢰성 보증(수락) | 신뢰성 입증 시험 (Reliability Demonstration Test)<br>신뢰성 보증 시험 (Reliability Qualification Test) |
| 신뢰성 추정     | 수명시험 (Life Testing)<br>가속 수명시험 (Accelerated Life Testing)                                |
| 결합 출하 예방   | Environmental Stress Screening<br>Burn-in Test   |

### 3. 개발열차의 신뢰성 관리

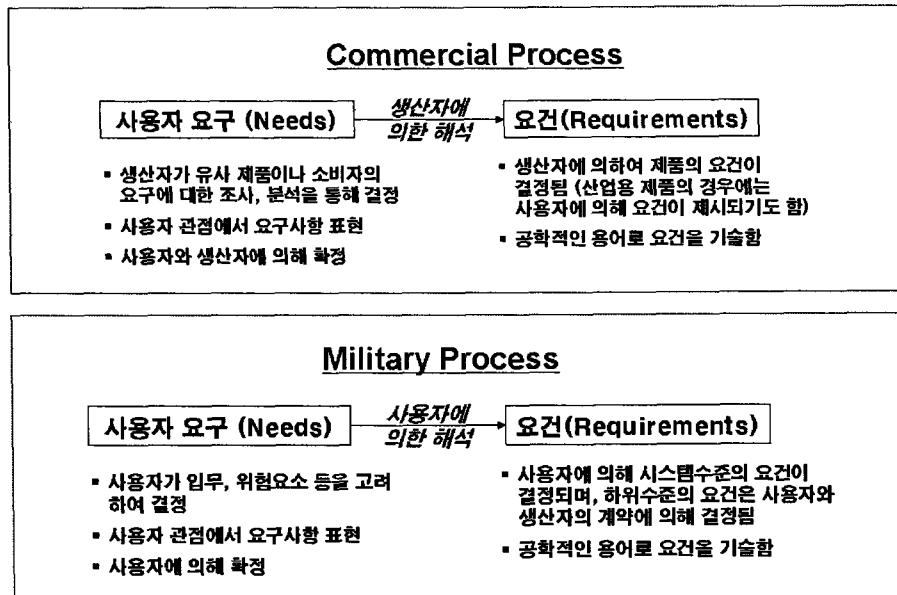
#### 3.1 시제차량의 개발

어떤 제품이던지 수요자(소비자)와 공급자(생산자)의 이해관계에 따라서 그 제품과 관련된 요구(requirements)이 결정된다. 즉, 제품에 대한 사용자의 기대나 필요 정도에 따라 제품의 규격이 결정되며 공급자는 이러한 요구를 만족시키는 제품을 생산하게 된다. 하지만 소비자의 요구(needs)가 어떠한 방식으로 생산자에게 전달되어 제품 설계 및 생산에 반영되느냐는 제품의 특성에 따라 크게 달라진다. 참고문헌 2에서는 상용품(Commercial product)과 군수품(Military product)로 나누어 제품의 요구 조건 결정 절차를 설명하고 있다.

상용제품의 경우에는 언제나 소비자의 요구를 생산자가 자신의 기준으로 해석하여 제품의 설계 및 생산에 반영하게 된다. 예를 들어 소비자가 “안락한” 자동차를 원하면 생산자는 “안락한” 자동차에 대한 소비자의 요구를 차량의 소음 기준 등의 공학적인 용어로 표현하여 설계 요구으로 결정하는 것이다. 일반적으로 소비자의 요구사항은 구체적이지 않기 때문에 생산자가 소비자의 요구를 조사하여 구체적인 요구으로 만들게 되는 것이다. 이와는 달리 군수품의 경우에는 일반적으로 사용자의 요구사항이 구체적인 운영 요구 조건(Operational Requirements Document : ORD)의 형태로 공급자에게 전달된다. 즉, 사용자가 필요한 제품의 임무형태(mission profile)를 결정하고 원하는 목적을 달성하기 위한 시스템 요구를 제시한다. 이렇게 결정된 시스템 요구를 바탕으로 하위 시스템에 대한 기능·성능 요구이나 RAMS 요구 등은 필요에 따라서 사용자와 생산자의 계약 등에 의해서 결정된다.

제품의 신뢰성에 대한 요구도 이와 마찬가지 형태로 결정된다. 일반 상용제품의 경우에는 생산자가 소비자의 신뢰도에 대한 요구를 조사하여 제품의 신뢰도 목표를 결정하게 된다. 제품의 신뢰도는 그 제품의 가격과 직접적인 관계가 있기 때문에 생산자는 여러 가지 요건들을 고려하여 신뢰도 목표를 결정한다. 하지만 군수품의 경우에는 일반적으로 사용자가 신뢰도 목표를 제시한다. 사용자가 그 제품을 사용하고자 하는 환경이나 조건 등을 먼저 정의하기 때문에 수명주기 동안의 비용 등을 고려하여 어느 정도의 신뢰도가 요구되는지를 제시하는 것이다. 다음 그림에 이상에서 설명한 상용제품과 군수품에 대한 요구 조건 결정 절차를 간략하게 보여주고 있다.

그림 1. 제품 요건의 결정 과정



철도차량의 경우는 일반 상업제품과는 달리 수요자와 생산자의 관계가 군수품의 경우와 유사하다. 철도차량의 운영자가 차량이 투입될 노선, 승객의 수, 운행 시간 등의 운영 조건을 검토하여 시스템의 요건을 정하여 발주하게 되며 신뢰성 목표도 이 규격 중의 하나가 된다. 일반적으로 사용자에 의해 시스템 수준에서의 신뢰성 요건이 제시된 후 계약 협상 단계에서 다른 요건들을 함께 고려하여 요건을 재설정하고 하위시스템의 요건을 할당하게 된다. 하지만 한빛350과같이 연구개발 사업으로 개발되는 시제열차의 경우에는 상업열차와는 달리 수요자의 요구 사항과 요건이 명확하게 규정되기가 힘들다. 즉, 철도 차량의 규격(specification)을 결정하는데 가장 중요한 요소인 운영 요건이 상업운행 열차와 다르기 때문에 신뢰성 등의 목표를 정하는 절차 또한 상업운행 열차와는 다르게 된다. 이 경우에는 시제열차를 개발하는 연구자가 사용자의 요구를 조사, 분석하여 차량의 요건 및 규격을 결정해야 한다.

### 3.2 고속열차 개발 프로젝트의 단계별 신뢰성 업무

신뢰성 요건도 시스템에 대한 요건 중의 하나이기 때문에 목표 설정 및 관리 체계도 프로젝트의 성격에 맞추어 결정되어야 한다. 따라서 시제열차 개발 프로젝트에서의 신뢰성 프로그램은 기본적으로 앞서 제시한 IEC 62278의 신뢰성 활동을 수행해야 하지만 수행 절차는 차량개발 목표 및 일정에 맞추어 조정할 수 있다.

그림 2와 3에서는 열차의 설계부터 운행단계 까지 필요한 신뢰성 프로그램의 절차를 상업열차 프로젝트와 시제열차 개발 프로젝트로 나누어 비교하였다. 개발 프로젝트, 특히 신기술이 적용된 장치가 많이 포함된 경우에는 각 장치별로도 신뢰성 관리 프로그램을 설정하여 신뢰도를 예측하고 목표를 설정하는 과정이 필요하다.

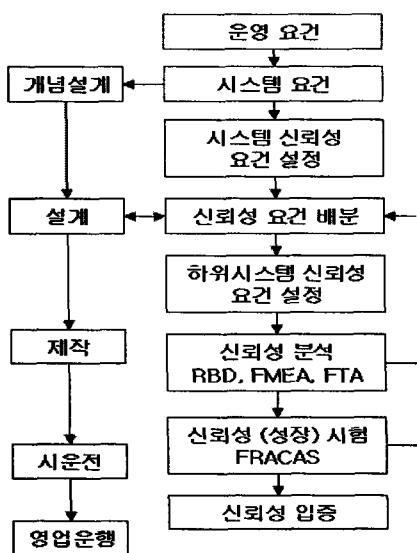


그림 2. 상업열차 프로젝트에서의 신뢰성 프로그램 절차

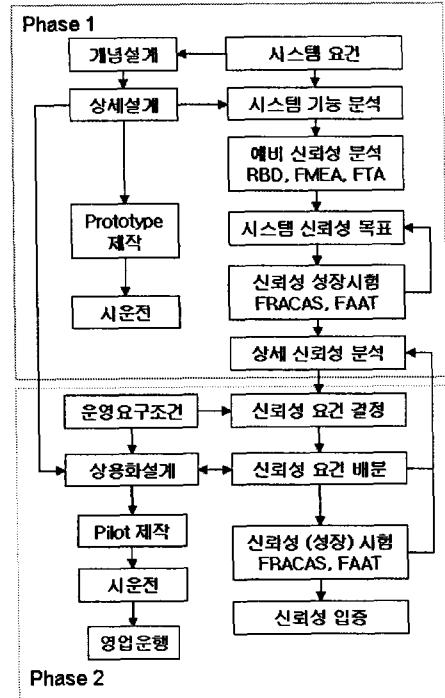


그림 3. 시제열차 개발 프로젝트의 신뢰성 프로그램 절차

#### 4. 결론

본 논문에서는 고속열차시스템의 개발과정에서 요구되는 신뢰성 관리 프로그램에 대하여 다루었다. 철도차량시스템에 대한 일반적인 신뢰성 활동의 정의 및 절차는 국제규격에 예시되어 있지만 국가연구 개발로 수행되는 고속열차개발 프로젝트에서는 시스템 및 신뢰성 관련 요구조건을 결정하는데 중요한 역할을 하게 되는 수요자와 공급자의 관계가 일반적인 상업시스템과는 다르기 때문에 신뢰성프로그램도 프로젝트의 성격에 맞추어 결정되어야 한다. 특히 한국형고속열차(한빛350)와 같은 시제열차의 경우에는 초기 개념설계 및 사양결정 단계에서 운영요구조건에 명확하게 규정되지 않기 때문에 시스템의 신뢰성 목표를 결정할 때 이러한 특성을 반영해야 한다.

#### 후기

본 연구는 건설교통부에서 추진 중인 고속철도기술개발사업인 “고속철도 시스템 신뢰성 및 운영효율화” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- IEC62278, Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability, and safety(RAMS), International Electrotechnical Commission, 2002.
- Reliability Toolkit: Commercial and Practices Edition, Reliability Analysis Center