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

The first task for the development of a train system is to define the system and to determine its requirements. Reliability target is one of the requirements defined in the system requirements. In railway applications it is advised to follow the procedures given in IEC 62278 to fulfill reliability requirements. The reliability requirements 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 the reliability management and assessment plan carried out for the on-going "Next generation high-speed train development project".

1. 서 론

우리나라에서는 철도기술연구원을 중심으로 독자적인 고속철도시스템 개발을 위한 연구개발을 추진하여 최고속도 350km/h의 한국형고속열차(한빛350)를 개발 완료하였고 2007년 7월부터는 최고속도 400km/h의 분산형 추진시스템을 적용한 차세대고속열차인 한빛400의 개발을 시작하였다. 한빛350은 지난 1996년 개발에 착수, 2002년 시운전을 시작하여 시제열차의 성능확인 및 최고속도 주행시험을 수행하였으며, 2007년 10월까지 20만 km 이상의 시운전 시험을 통해 차량시스템의 안정화를 추진하였다. 시운전시험 기간 동안 FRACAS(Failure Recording and Corrective Action System)를 이용하여 차량의 각 장치의 고장정보를 취득하고 고장의 내용을 분석하여 신뢰성을 개선하는 등 신뢰성 향상을 위한 각종 활동을 수행하고 있다. 한빛400은 프로젝트의 시작과 함께 개념설계 및 주요 규격(specification)에 대한 검토를 수행하고 있으며 이 과정에서 프로젝트의 전 고정에서 수행해야 하는 신뢰성 활동에 대한 계획을 수립하고 있다.

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 요건에서 신뢰성 요건과 목표를 산출하는 것이다. 시스템 요건은 수요자의 요구로부터 도출되는데 제품의 특성에 따라 소비자의 요구가 시스템 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 프로젝트

* 한국철도기술연구원, 고속철도시스템연구팀
E-mail : schoi@krri.re.kr
TEL : (031)460-5209

의 특성에 맞게 결정되어야 한다[2]. 본 연구에서는 한국형고속열차(한빛350) 개발 프로젝트의 경험을 바탕으로 시작 단계에 있는 분산형 고속철도시스템인 한빛400 개발 과제에서의 신뢰성 프로그램과 신뢰성 관련 업무의 내용과 절차에 대해서 다룬다.

2. 신뢰성 관련 국제 규격과 각국의 적용 사례

제품의 신뢰성에 대한 연구는 1950년대 미국에서 제 2차 대전시에 빈번히 발생했던 진공관의 고장에 대한 연구로부터 시작되었으며, 그 후로도 군수품을 대상으로 연구가 확대되었다. NASA에서는 1960년대부터 우주개발 프로젝트에 신뢰성 공학의 개념을 적용하면서 프로젝트 전 과정에서의 조직적인 신뢰성 활동이 신뢰성프로그램으로 체계화 되었다. 1970년대에는 미 국방성을 중심으로 신뢰성에 관한 MIL 규격을 제정하여 항공기, 전자 기기, 플랜트 등의 분야에서 시작하여 산업 전반에서 활용하게 되었다.

유럽에서는 MIL 규격을 바탕으로 한 신뢰성 방법론이 적용되다가 이를 개념적으로 발전시킨 RAMS에 대한 규격이 만들어지기 시작되었다. 철도분야에서는 특히 영국을 중심으로 RAMS에 대한 요구가 시작되었다. 영국은 유럽 각국에 앞서 상하 분리 방식에 의한 철도의 민영화가 추진되었고, 이후로 철도사고의 증가 경향이 두드러지게 되었다. 따라서 1980년대 후반에는 철도를 대상으로 한 신뢰성에 관한 규정(RAMS)이 BS규격으로 받아들여지게 되었다. 또한 이를 기본으로 하여 EN 규격에 철도 RAMS의 규격화가 검토되었으며, 1994년경에는 그 초안인 prEN 50126[3]이 작성되었다. 유럽에서의 RAMS 규격화에 대한 요구는 1993년 EU가 발족되면서 더욱 증가하게 되었다. EU 발족과 함께 EU 지역 내에서의 철도 연계운영(interoperability)에 대한 종합적인 검토와 함께 각국의 철도의 민영화 정책의 추진이 확대되면서 철도시스템 도입에서 RAMS에 대한 요구가 더욱 체계화 되었다. 특히 철도 운영의 민영화를 계기로 철도 차량의 발주 사양서에 신뢰성에 관련한 요구 사항을 기재하게 되었는데, 일부 차량제작업체가 요구된 RAMS 요구사항을 만족시키지 못해 경제적으로 큰 손실을 입어 결국에는 합병되는 사건까지 있었다. 1997년 UNIFE(유럽 철도 관련 공업회)는 RAMS 혹은 이와 관련된 LCC가 계약 사양에 규정되는 경향과 그 적용에 따른 리스크에 대하여 제작업체의 대처 방안에 대한 지침을 정리하여 발표하였다. 이 후 1999년에는 철도분야의 RAMS 유럽 규격인 EN 50126이 제정되었으며, 2002년에는 국제전기표준회의(IEC)에서 이를 국제 규격(IEC 62278)으로 제정하였다. 이와 같이 유럽에서는 철도차량 및 시설물의 운행과 유지보수 그리고 차량의 제작의 주체가 독립적인 경우가 늘어나고 있기 때문에 철도에 대한 효율성과 안전성을 확보하기 위해서는 전체 시스템에 대한 평가와 감시기 필요하였고 이러한 필요성에 대하여 EU의 모든 국가에서 공감하였기에 RAMS 규격의 적용이 일반화된 것이다.

일본을 제외한 아시아의 다른 국가들에서 철도분야의 RAMS 도입은 전적으로 유럽에 의존한 경우가 대부분이다. 싱가포르, 홍콩, 태국, 말레이시아 등의 동남아시아 국가에서는 1980년대부터 경제 발전과 함께 사회 인프라 정비의 일환으로 새로운 철도시스템을 도입하게 되었는데, 이 중 많은 프로젝트에 유럽의 컨설턴트가 참여하여 계획 단계부터 유럽과 미국의 규격을 바탕으로 전체 시스템에 대한 사양서가 작성되어 왔다. 이 과정에서 기존의 철도규격 뿐만 아니라 검토 단계의 규격안이 시범적으로 적용되었다. 그 예로 EN 50126에 전면적으로 적용된 홍콩의 KCRC 프로젝트와 대만의 고속철도 프로젝트를 들 수 있다. 이들 프로젝트가 RAMS가 본격적으로 적용된 첫 번째 케이스이고 EU의 컨설턴트들은 이 프로젝트의 수행을 통해 많은 유익한 데이터를 얻을 수 있었다.

일본은 철도 운영이나 철도차량 제작에 있어 유럽에 견줄 수 있는 역사를 지녀왔으며 안전성이나 효율성 면에서는 최고수준을 유지하고 있다. 하지만 운영 및 정비, 그리고 시설물과 차량에 대한 관리 등에 대한 접근이 유럽과 다르기 때문에 유럽을 위주로 발전해 온 RAMS 규격을 적용해오지 않았고 실제로 IEC에 의한 RAMS 국제 규격 재정에 반대하기도 하였다[4]. 비록 RAMS와 같이 체계적인 규격은 없지만 일본의 철도 업체들은 RAMS와 유사한 활동이 실시되고 있으며, RAMS를 적용할 수 있는 기초 기술은 확보하고 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 철도 차량의 유럽 진출을 위해서는 RAMS 규격 준수가 필수적으로 요구되기 때문에 차량 제작 업체를 중심으로 RAMS 적용이 시도되었고 최근에는 운영자

를 포함한 철도산업 전체에서 RAMS에 대한 대응을 모색하고 있다.

우리나라의 경우에는 경부고속철도 사업을 통해서 RAMS에 대한 개념이 처음 도입되었고, 이 후 여러 지방자치 단체에서 도입하고 있는 경전철 시스템과 공항철도 등에서 RAMS에 기반을 둔 평가가 시스템 사양에 명시되고 있으며 현재 진행 중인 KTX-II 사업에서도 RAMS에 대한 요구 사항이 규정되어 있다. 하지만 일본과는 달리 그동안 철도 산업 전반에서의 RAMS와 관련한 활동이 부족했기 때문에 현재 진행 중인 사업에서의 RAMS의 적용은 프로젝트 전 과정에서의 체계적인 활동 보다는 신뢰성 목표의 입증 등 일부분에서의 적용에 그치고 있는 실정이다.

철도 시스템은 가전제품이나 자동차, 항공기 등과는 달리 제품의 사용 범위가 일정 지역에 한정되는 시스템이기 때문에 상호 연계 운영이 필요 없는 상황이라면 타 지역의 철도 시스템 간의 규격 통일은 큰 의미가 없다고 할 수 있다. IEC 62278 규격의 도입도 우리의 시스템이 유럽 등 외국에 진출할 경우에는 필수적으로 고려되어야 하지만 국내에서는 이 규격에서 요구하는 절차 등을 국내 실정에 맞게 검토하여 적용할 필요가 있다. 특히 이 규격이 유럽에서 처음 도입될 때 철도 산업을 구성하는 각 주체의 역할 변화가 중요한 역할을 한 것을 고려해 보면 이를 도입하는데 있어서 국내의 상황을 검토해보는 것은 매우 의미 있는 일이다. 특히 KTX-II 도입과 같은 상업 프로젝트와 한빛350 또는 한빛400과 같은 개발 프로젝트에서는 운영자 및 차량 제작자의 요구 사항 등이 서로 다르기 때문에 시스템의 개념 설정 단계부터 RAMS를 포함한 업무의 목적 및 절차가 다를 수 있다. 따라서 본 논문에서 다루고 있는 한빛 400 개발 사업에서도 이를 고려하여 IEC 62278에서 제시하는 신뢰성 관련 활동 중 개발 열차에 필요한 신뢰성 활동을 선택하고 절차를 결정하는 업무가 필요하다.

3. 개발열차의 신뢰성 관리

3.1 요구조건의 설정

어떤 제품이던지 수요자(소비자)와 공급자(생산자)의 이해관계에 따라서 그 제품과 관련된 요건(requirements)이 결정된다. 즉, 제품에 대한 사용자의 기대나 필요 정도에 따라 제품의 규격이 결정되며 공급자는 이러한 요건을 만족시키는 제품을 생산하게 된다. 하지만 소비자의 요구(needs)가 어떠한 방식으로 생산자에게 전달되어 제품 설계 및 생산에 반영되느냐는 제품의 특성에 따라 크게 달라진다. 참고문헌 5에서는 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. 일반적으로 소비자의 요구사항은 구체적이지 않기 때문에 생산자가 소비자의 요구를 조사하여 구체적인 요건으로 만들게 된다. 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 요건을 제시한다. 이렇게 결정된 시스템 요건을 바탕으로 하위 시스템에 대한 기능·성능 요건이나 RAMS 요건 등은 필요에 따라서 사용자와 생산자의 계약 등에 의해서 결정된다.

제품의 신뢰성에 대한 요건도 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. 그림 1에서는 이상에서 설명한 상용제품과 군수품에 대한 요건 결정 절차를 간략하게 보여주고 있다.

철도차량의 경우는 일반 상업제품과는 달리 수요자와 생선자의 관계가 군수품의 경우와 유사하다. 철도차량의 운영자가 차량이 투입될 노선, 승객의 수, 운행 시간 등의 운영 조건을 검토하여 시스템의 요

건을 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. 철도차량은 다른 제품과는 달리 대량 생산을 하지 않고 주문에 따른 제작을 수행하기 때문에 제작자가 전적으로 신뢰성 목표를 설정하고 관리하지 않는다. 대신 사용자와의 계약을 통해 목표를 설정하며 신뢰성 입증도 시운전과 초기 영업 운행 과정을 통해 이루어진다. 하지만 연구개발 사업으로 개발되는 시제열차의 경우에는 상업열차와는 달리 수요자의 요구 사항과 요건을 명확하게 규정하기가 힘들다. 즉, 철도차량의 규격(specification)을 결정하는데 가장 중요한 요소인 운영 요건이 상업운행 열차와 다르기 때문에 신뢰성 등의 목표를 정하는 절차 또한 상업운행 열차 개발 프로젝트와는 다르게 된다. 차세대 고속철도기술개발사업에서는 운영기관이 연구개발에 참가하여 사용자 요구를 제시하며 이를 바탕으로 차량의 요건을 제기하게 되는데, 여기서 제시된 운영 요구조건은 실제 시운전에서의 운영 조건과는 다르기 때문에 이를 고려하여 신뢰성 목표를 결정하고 평가해야 한다. 또한 시제열차로 개발되는 제품의 수가 한정되기 때문에 시운전만으로는 시스템 및 하위시스템의 신뢰성을 입증하기 위한 충분한 운영을 하기는 어렵다. 따라서 향후 시제열차가 상업운행 할 시나리오를 예측하여 신뢰성 목표를 설정하며, 시제열차의 개발과제에서는 향후 상업열차 개발에서 활용할 수 있는 각 장치별 고장 데이터를 취득하는 것을 목표로 하며 특히 TAAF 활동을 통해 신뢰성 목표를 달성하기 위한 신뢰성 성장 시험에 주력해야 한다. 특히 신기술이 적용된 장치가 많이 포함된 개발 프로젝트의 경우에는 각 장치별로도 신뢰성 관리 프로그램을 통하여 신뢰도를 예측하고 목표를 설정하며 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다.

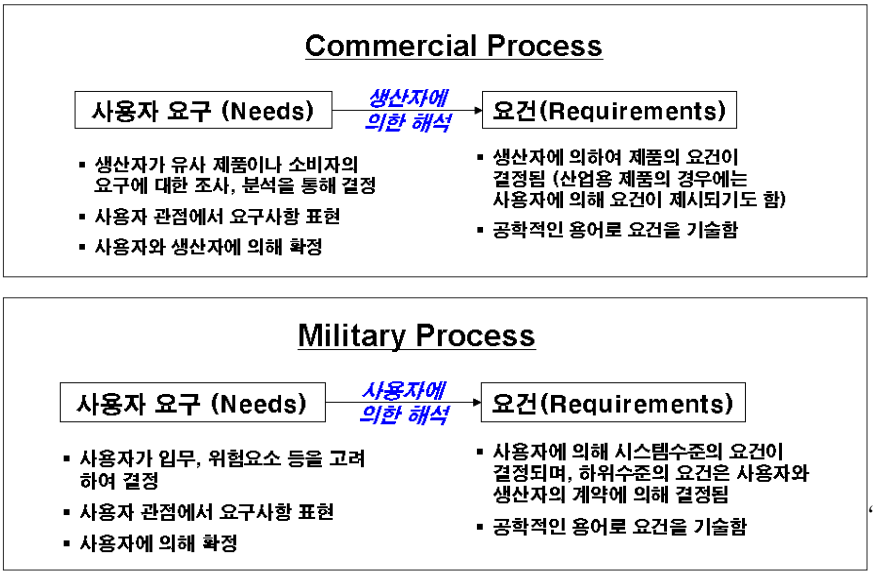

그림 1. 제품 요건의 결정 과정

3.2 신뢰성 프로그램

시스템 공급자는 신뢰성 요구사항을 효과적으로 만족 시기키 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.

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 2에서는 시제열차의 개발 과정에서 필요한 신뢰성 프로그램의 절차를 보여주고 있다. 한빛400과 같은 시제열차 개발의 목적은 각종 신기술을 개발하여 차량시스템에 적용, 구현하고 실용화를 실현시키는데 있다. 시제열차 개발 과정도 IEC 62278에서 정의하는 수명 주기에 따라 신뢰성 활동을 정의하고 수행해야 하지만 이 프로젝트의 궁극적인 목적이 실용화 시스템을 개발하여 운영하는 것이라고 한다면, 시제열차 프로젝트에서의 신뢰성 활동은 그림 2에서 보여주는 바와 같이 실용화 시스템이 개발되어 운영되고 폐기되기까지의 수명주기에서 상세설계를 위한 준비 단계라고 생각할 수 있다. IEC 62278에 따른 신뢰성 활동을 수행하더라도 각 단계에서 프로젝트의 성격에 맞는 목표의 설정 및 방법의 선택이 필요할 석이다.

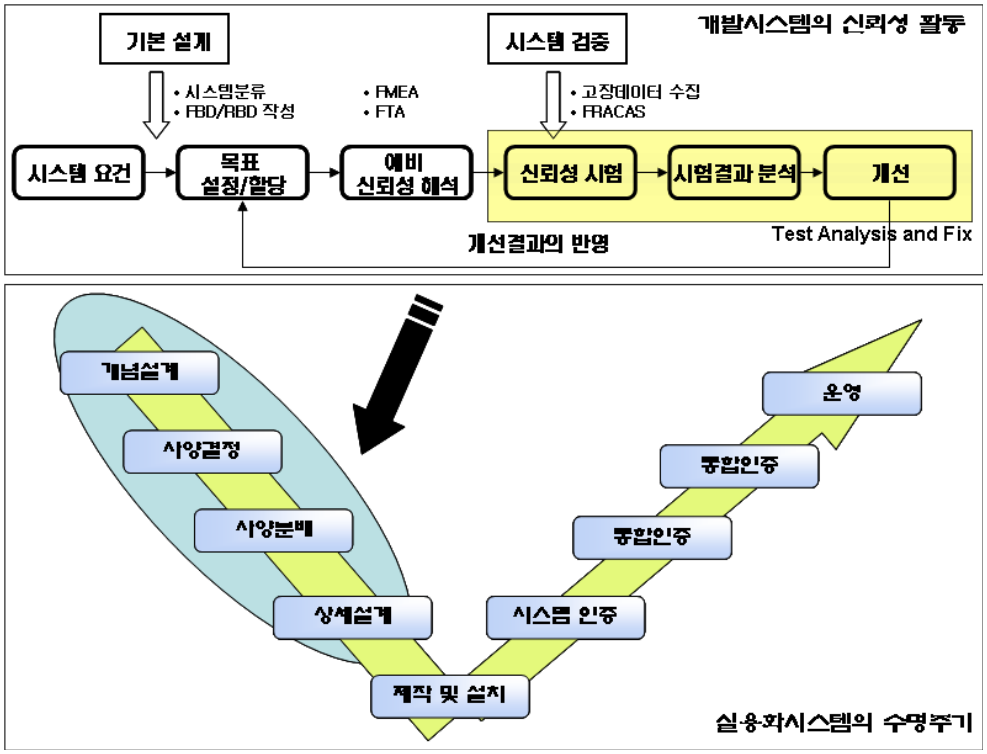

그림 2. 실용화시스템의 수명주기에서의 개발시스템의 신뢰성 활동

4. 결론

본 논문에서는 고속열차시스템의 개발과정에서 요구되는 신뢰성 관리 프로그램에 대하여 다루었다. 본 논문에서는 유럽을 중심으로 철도분야 RAMS 규격인 IEC 62278이 도입된 배경을 고려하였을 때 이 규격을 우리나라에서 적용할 때는 철도의 운영 체계 등과 관련한 특수성을 고려해야 함을 보여주었다. 본 연구에서는 또한 시스템 요건을 결정하는데 시스템의 수요자와 공급자 간의 역할에 대하여 검토하였다. 국가연구개발로 수행되는 차세대고속철도 기술개발사업에서는 시스템 및 신뢰성 관련 요구조건을 결정하는데 중요한 역할을 하게 되는 수요자와 공급자의 관계가 일반적인 상업시스템과는 다르기 때문에 신뢰성프로그램도 프로젝트의 성격에 맞추어 결정되어야 한다. 한빛400과 같은 시제열차의 경우에는 초기 개념설계 및 사양결정 단계에서 운영요구조건에 명확하게 규정되지 않기 때문에 시스템의 신뢰성 목표를 결정할 때 이러한 특성을 반영해야 한다. 그리고 이러한 시제열차 개발의 궁극적인 목적인 실용화 시스템의 성공적인 개발을 위해서 시제열차 개발 과정에서 필요한 신뢰성 활동과 목표를 설정하여 관리해야 한다.

후기

본 연구는 국토해양부에서 추진 중인 차세대고속철도기술개발사업인 “분산형 고속철도 시스템엔지니어링 기술개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. IEC62278, Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability, and safety(RAMS), International Electrotechnical Commission, 2002.

2. 최성훈, 박춘수, 이태형 (2007년), “시제열차 개발에서의 신뢰성 관리 체계,” 2008년 한국 철도 학회 춘계학술대회 논문집

3. CENELEC, prEN 50126 Railway Applications : The specification and demonstration of dependability, reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)

4. 日本鐵道車輛工業會RAMS懇話会(2006년), 實踐鐵道RAMS-鉄道ビジネスの新しい評價法, 成山堂書店

5. Reliability Toolkit: Commercial and Practices Edition, Reliability Analysis Center