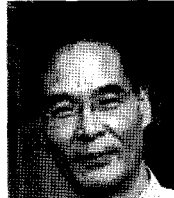


철도종합안전기술개발사업의 추진과 안전관리체계(SMS) 구축 방안



김 상 암 |
한국철도기술연구원
철도종합안전기술개발사업단
선임연구원



조 연 옥 |
한국철도기술연구원
철도종합안전기술개발사업단 사업단장
수석연구원

1. 서론

철도의 안전확보 및 관리는 인간요소, 열차, 선로시설, 운영·제어, 유지보수 등 시스템 전반에 대한 위험분석 및 안전성 평가를 기본으로 하고 있으며, 대상 위험도를 사전에 제거하거나 적정수준으로 관리할 수 있는 시스템 차원의 안전성 평가 및 안전확보 기술이 필요하다¹⁾

현재 우리나라의 경우 사고발생 원인의 추적이나 안전성 평가를 기술적 기반이 미흡한 상태로서 철도안전법의 효율적인 시행기반을 마련하기 위해서는 안전규제시스템의 정의 및 절차 개발, 안전규정체계의 정비, 세부안전기준의 제정 및 안전성 평가기술 개발 및 시험평가기반의 구축, 중대사고 방지기술의 개발 및 안전정보관리체계의 구축 등이 이루어져야 할 뿐만 아니라, 개발된 기술들이 연계되어 종합적인 안전체계 내로 편입되어야 할 필요가 있다. 이는 Top-down 방식의 시스템 엔지니어링 기법에 의한 철도 시스템 안전요건 및 사업관리가 필요하며, 철도종합안전기술개발의 본래의 필요성과 기획의도에 기인한다고 할 수 있다.

국토해양부는 철도안전 관리체계와 기술기반을 선진국 수준으로 제고하여 급증하는 기술적·사회적 안전 위협요소에 적극 대응하고, 철도시스템에 대한 종합적극 대책과 철도안전법의 효율적·기술적 시행기반을 마련하기 위해 2004년 10월부터 철도종합안전기술개발사업을 진행하고 있다.²⁾

본 기고문에서는 철도종합안전기술개발의 개요, 주요 성과 및 목표로 하고 있는 위험도 기반의 철도 종합안전관리시스템에 대해 개괄적으로 소개하고자 한다. 사업의 기획의도, 세부과제의 구성 및 과제별 연구추진내용 및 사업 목표 달성을 위한 시스템 엔지니어링 프로세스의 적용에 관하여 간략하게 소개하고, 위험도 기반의 안전관리체계(SMS) 개요 및 추진방향, 차량/시설 등의 안전기준 개발 및 제도화 현황, 중대사고 안전성 평가 및 사고방지기술개발 등 주요성과에 대해서도 설명하고자 한다.

2. 철도종합안전기술개발 개요

대규모의 복잡한 시스템에서 안전체계 개발의 필수적 요소는 운영에 관련된 모든 시설, 장비, 운영실무, 인간요소가 시스템의 임무를 수행함에 있어서 오류가 사전에 예방되거나 피하지 못할 오류가 발생하더라도 피해 없이 즉각 관리 가능한 체제를 확립하는 일이다. 이를 위해 철도 시스템의 구성요소와 도출된 안전요건들이 서로 추적성을 유지하면서 형상관리 되는 것이 매우 중요하다. 이로 인하여 안전체계 내의 관련주체들의 역할과 기능을 설계하고 분담하여 실행할 때 철도시스템의 안전도 향상효과는 배가될 수 있을 것이다.³⁾⁴⁾

3. 철도종합안전기술개발사업 추진 개요

3.1 추진배경 및 필요성

2003년 대구지하철화재사고로 인하여 승객 191명이 사망하고, 146명의 부상자가 발생하였다. 이 사고로 인한 직접피해액은 595억원, 간접피해액은 7,053억원으로 추정되었다. 철도사고 통계를 거슬러 올라가보면 1981년 경산 열차충돌사고(54명 사망, 243명 부상), 1993년 구포 열차전복사고(78명 사망, 163명 부상)가 발생하는 등 대형철도사고가 10년 주기로 발생하여 인명·재산피해·복구비용이 막대하고, 영업손실, 대내외적 국가 이미지 추락 등 간접 피해도 심각한 수준임을 알 수 있다.

현재 국내의 철도사고율을 선진국과 비교하여 보면, 연평균 10억인·km당 사고사망자 수는 선진국의 4.4배 수준(최근 4년간 연평균 한국 9.7명 대비 선진국인 영국, 일본, 프랑스, 독일 전체 평균의 2.2명)이며, 100만 km당 열차사고 발생율은 일본의 2배 수준이다(최근 4개년 연평균 한국 0.04건 대비 일본 0.02건)⁵⁾

또한 고속철도의 개통, 철도산업 구조개혁 등 철도교통 환경의 변화에 따른 기술적·사회적·문화적 안전위험요소가 날로 증가하는 반면에 안전의식, 문화, 기술은 아직 선진국 수준에 이르지 못하고 있다.

반면 미국은 1980년 이후 20년간 지속적인 안전연구 및 시설투자(800억달러, 96조원)를 실시하여 1981년 대비 사고 발생율을 65% 저감하였고, 현재도 연방철도국(FRA) 주도 하에 5개년 철도연구개발 및 시범구축 전략사업을 2001년부터 10개 기술분야에 연간 2,800만달러(350억원) 투자하고 있다. 영국의 경우 철도안전표준위원회(Rail Safety & Standard Board)를 중심으로 2001년부터 5년 단위 Rolling Plan의 철도안전연구 프로그램을 시행, 7개 분야 24개 연구주제에 7500만 파운드(1500억원)를 투자하고 있다.

위와 같은 국내의 안전현황과 선진국과의 기술격차를 고려할 때 사업추진의 필요성은 아래와 같이 정리될 수 있다.

- 철도산업구조개혁 및 고속철도 운행 등 환경변화에 따른 국가차원의 안전체계 수립과 강력한 안전규제의 집행 필요

- 철도전반에 대한 위험분석과 안전성 평가 및 위험도 관리를 위한 시스템 차원의 안전확보 기술개발 필요
- 철도 안전의식 개선과 안전문화 정착을 위한 전략적 안전목표 및 중장기 안전프로그램의 확보가 시급
- 향후 해외시장 진출을 위한 선진국 수준의 안전기술 확보 및 국제 품질인증을 위한 국가간 기술교류기반 구축
- 철도시스템에 대한 종합 안전대책과 철도안전법의 효율적·기술적 시행기반 마련

3.2 사업추진 개요

- 사업기간: 2004년~2011년(7년간)
- 총사업비: 948억원(국고 883억, 민간 65억)
- 연차별 투자계획

(단위 : 백만원)

구분	합계	'04년	'05년	'06년	'07년	'08년	'09년	'10년
계	948	(13)	100	169	279	180	156	51
국고	883	(13)	100	164	262	157	136	51
민간	65	-	-	5	17	23	20	

※ '04년도 사업비는 국가교통핵심기술개발사업에 포함

3.3 주요사업내용

- 연구사업총괄 분야
 - 철도안전 시스템 엔지니어링 및 사업총괄
- 철도안전관리체계 구축분야
 - 철도차량 안전기준 및 체계 구축
 - 철도시설 안전기준 및 체계 구축
 - 철도 소프트웨어 안전기준 및 체계 구축
 - 위험물수송 안전기준 및 체계 구축
 - 안전업무종사자 인적오류관리 및 업무적성 평가기준 개발
 - 안전업무종사자 교육훈련체계 구축
- 철도사고 위험도 분석 및 평가체계 구축
 - 철도사고 분석 및 비상대응절차 개발
 - 철도사고 안전성 평가 및 분석 프로그램 개발
- 중대사고 예방 및 피해저감기술개발 분야
 - 철도화재 안전성능 평가 및 사고방지 기술 개발

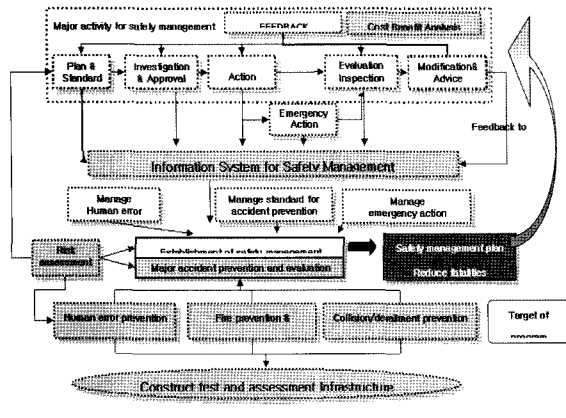


그림 1. 철도종합안전기술개발사업 구성체계

- 철도차량 충돌 안전성능 평가 및 피해저감 기술개발
- 열차제어시스템 안전성능 평가 및 사고방지 기술개발
- 철도차량 탈선 안전성능 평가 및 사고방지 기술개발
- 철도전널목 지능화를 통한 사고예방 및 피해저감 기술개발

세 번째 연구분야인 중대사고 예방 피해저감기술개발은 두 번째 연구분야인 안전관리체계 구축을 위한 기초기술을 연구개발하는 것이라고 할 수 있다. 즉 개발되는 기술은 충돌, 탈선, 화재 등 중대사고를 유발하는 철도시스템 내의 위험요소와 연관된 기능 및 물리적 구성요소의 안전성능을 평가하기 위한 기술로서 결과적으로 철도안전법과 하위 안전규정들을 기술적으로 지원하기 위함이다. 철도종합안전기술개발사업 내의 각 과제간 유기적인 연계성은 매우 중요하며, <그림 1>에 이를 도식화하여 표현하고 있다.

4. SE 기반의 연구추진체계 적용

4.1 사업의 비전과 목표

철도종합안전기술개발사업은 기획 초부터 명확한 목적과 목표를 설정하고 달성하기 위한 기능적 구성요소와 요

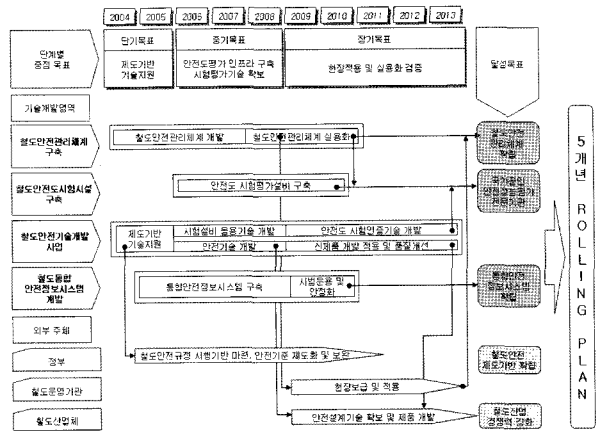


그림 2. 철도종합안전기술개발사업 추진체계

구사항을 식별하는 SE 프로세스를 준용하였다. 연구개발 아키텍처를 구성하여 과제를 도출하고 각 과제별로 연구개발목표와 요구사항을 할당한 Top-down 방식으로 기획하였으며, 연구 수행 역시 SE 프로세스를 준용하여 총괄 관리되고 있다. 사업의 비전과 목표는 다음과 같다.

- 철도안전을 제도적·체계적으로 관리하여 선진국 수준(현 국내수준의 1/10)으로 사고피해를 저감
- 철도안전을 종합평가·관리할 수 있는 시험평가 인프라를 구축하여 철도교통에 대한 대국민신뢰도 및 국가신뢰도를 향상
- 고속철도운영, 철도구조개혁 등 철도교통확대에 대응하며, 철도구조개혁으로 안전에 대한 국민적 기대에 적극 대응
- 범 국가적 철도종합안전시스템을 통한 세계수준의 철도안전을 확보하여 21세기 세계철도선진국에 진입

4.2 철도종합안전시스템 개념정립

앞 절에서 설명한 바와 같이 철도종합안전시스템의 개념과 기능에 대하여 정의하였다. <표 1>에 시스템의 기능에 대한 최상위 분류체계를 정리하였다.

- 정의: 4대 구성요소 (System, Infra, Technology, Information)로 구성되어 각 영역에서 강제적/검증적/동시적/통합적/상시적으로 철도안전활동을 수행할 수 있는 종합시스템

표 1. 철도중합안전시스템의 기능적 분류

기능분류	내용	사례	구성요소
안전정책수립 (Safety Plan)	안전관리절차 등을 수립하여 제도적으로 안전을 관리하도록 함	안전규정 안전성능기준 안전관리프로그램	체계 정보
사고억제기술 (Active Safety)	사고원인(Cause) 및 위험원(Hazard)을 제어하여 사고발생자체를 방지	자동검지 유지보수 위험차단	기술 정보
피해저감기술 (Passive Safety)	사고가 발생하였을 때 피해를 최소화하여 사고를 억제	충돌안전장치 화재진압장치 승객보호장치	기술 시설 정보
사고수습대책 (Accident Response)	사고발생후 절차에 따라 사고보고·긴급출동·복구 등을 행하는 활동	사고조사 복구활동 보고활동	체계 정보

- 기능: 안전활동의 필요기반을 선진국 수준으로 확보하여 안전의 질적·양적 수준을 획기적으로 강화

4.3 SE 요구사항 관리체계 수립 및 운영

시스템 엔지니어링 프로세스(System Engineering Process(그림 3)는 SE 통합팀<그림 3>에 의해 하향식(top-down)방법으로 적용하는 포괄적, 반복적 및 순환적인 문제를 해결 프로세스로서 대규모의 복잡한 시스템의 개발·획득에 사용되어지고 있다.

철도중합안전기술개발사업에서는 사업목적인 철도중합안전시스템을 구축하기 위하여 SE 프로세스를 준용하되 시스템의 기능, 성능, 검증을 위한 주요 척도로 사업목표인 철도사고 리스크 감소를 달성하기 위한 시스템안전 테크놀로지를 적용하고 있다. 이를 위해 위험분석(PHA) 결과에 따른 안전요구사항을 검토하여 구성요소별로 안전요구사항을 강제 할당하고, 과제별 검토 및 통합을 거쳐 System Requirement, System Segment Requirement, WBS 및 연구성과물 검증계획 관리체계(그림 4)(그림 5)로 운용되고 있다.6)

5. 위험도 기반의 철도 중합안전관리시스템(SMS) 개발 및 적용

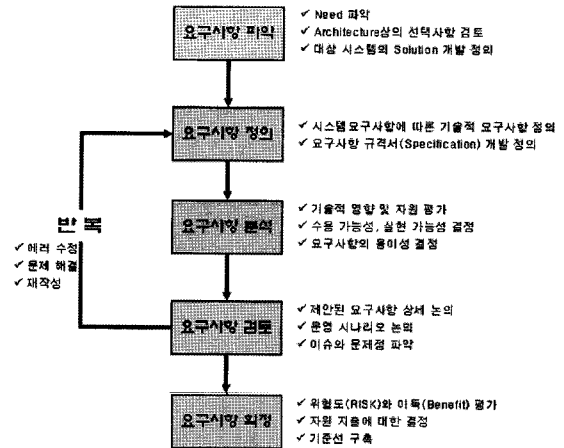


그림 3. 요구사항 엔지니어링 프로세스

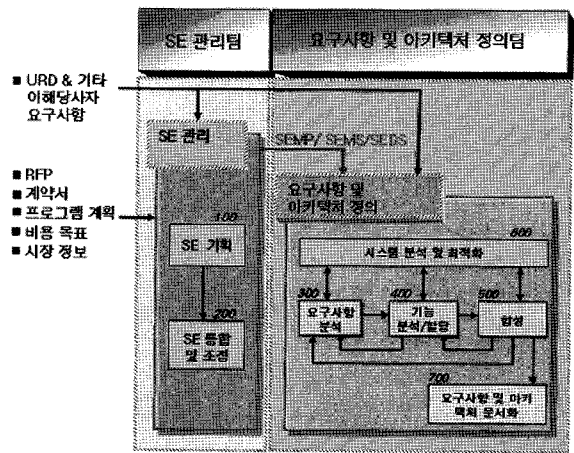


그림 4. SE 요구사항 관리체계

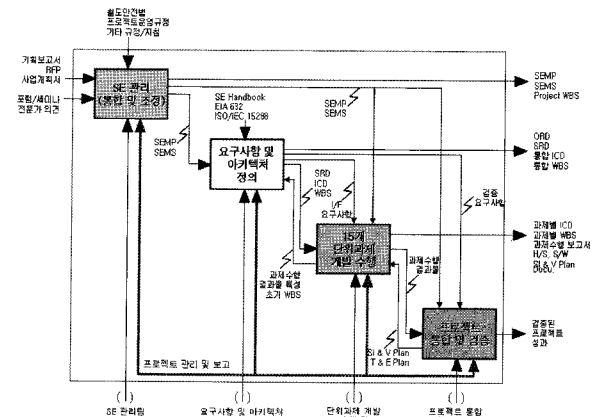


그림 5. 사업종결 SE 활동의 흐름도

5.1 안전관리시스템(Safety Management System) 구축 및 실행에 관한 해외 사례

유럽연합(EU)은 95년 이후 지속적인 연구를 통해 개별 국가 내 철도안전 및 상호운영(Interoperability)의 안전을 보장하기 위한 법적인 장치와 효과적인 안전관리시스템을 마련하여 왔다.

- 유럽연합의 철도안전에 대한 지침 Directive 2004/49/EC
- 철도회사의 면허에 대한 지침 95/18/EC
- 철도시설 용량의 할당, 철도시설의 이용 및 안전인증에 대한 비용의 부과에 대한 수정지침 2001/14/EC 등 Directive 2004/49/EC(이하 RSD)에서 공통안전목표(CST), 공통안전지표(CSI), 공통안전방법(CSM)과 SMS 요구사항을 명확하게 밝히고 있다.⁷⁾

RSD 제9조(안전관리시스템)에서는

- 1) 시설관리자 및 철도회사는 안전관리시스템 확립
 - 철도시스템이 최소한 CST를 만족
 - 국가안전법규에 적합
 - TSI의 안전요건에 적합
 - CSM의 관련 부분 채택
- 2) SMS는 부록 III의 요소와 요건을 만족
 - 시설관리자 또는 철도회사의 활동에 관련된 모든 위험도의 제어를 보장(공급자 포함)
- 3) 시설관리자의 SMS 요건
 - 철도망에서 상이한 철도회사가 운영하는 영향을 고려
 - 철도회사가 TSI, 국가 안전법규 및 안전인증 요건에 따라 운전하도록 규정
 - 시설관리자와 철도회사가 비상대응에서 협력하도록 규정
- 4) 6월 30일 이전에 시설관리자 및 철도회사는 안전당국에 연차 안전보고서를 제출
 - 안전목표의 달성방법 및 안전계획의 실적에 대한 정보
 - 국가안전지표 및 부록 I에 의한 CSI의 개발
 - 내부 안전감사결과

- 안전당국에 관련될 수 있는 철도운전 및 시설관리의 결함에 대한 발견

5.2 SMS 시행 기대효과

일반적으로 SMS가 구축되어 실행되면 국가와 철도운영기관에서는 아래와 같은 기대효과가 예상된다.

- 1) 철도안전에 대한 공통적인 규제체계의 확립
 - 철도의 건설, 운영 및 유지보수 등 전 분야에 걸쳐 공공 교통서비스의 품질과 안전에 대한 국가적인 규제체계 확립
- 2) 안전수준의 향상
 - 철도산업 구조조정(상하분리, 자율규제에서 공공규제로의 전환)에서 안전이 최소한으로 유지
 - 기술 및 과학의 진보에 의한 철도안전 위협요인에 대한 효과적 대응
- 3) 철도시스템의 안전주체의 책임과 역할의 확실한 구분
 - 위험도 감소를 위한 철도시스템의 운전자(시설관리, 운영)들의 협력체계 구축
 - 국가 규제체계의 제공 및 운전자의 성능 감독에 대한 안전당국의 임무가 명확해짐.
- 4) 시스템 수준에서의 안전목표, 지표 및 관리방법론의 확립
 - 현재 차량, 시설에 대한 안전기준은 시스템 수준에서 공통 안전요건과 안전에 대한 규제, 관리 및 감독에 대해 세부사항을 제공하지 않음
 - 위험도 기반의 안전관리체계를 제도화하고 각 운영기관에서 이러한 체계의 안전관리를 실행함으로써 높은 수준의 안전 확보 가능

영국에서는 RSD가 발효된 2004년 이전부터 위험도 기반 안전관리체계를 지속적으로 실행하고 있었으며, 철도안전수준이 어느 정도 안정된 이후에도 이러한 시스템도 도입함으로써 점진적인 안전개선이 이루어질 뿐 아니라, 철도기술 발전에 따른 새로운 위협요인에 대해 용이하게 대처하고 있다. (그림 4. SMS 실행 후 리스트 변화 추이)(그림

5. 영국 철도산업 안전정보시스템 기능도

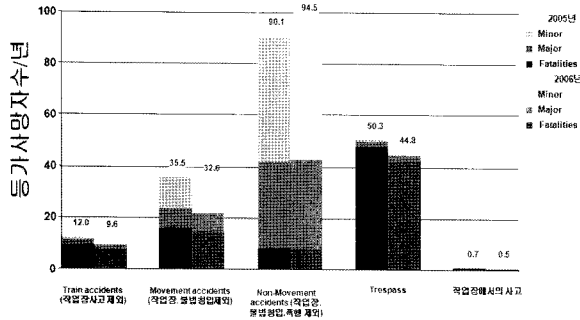


그림 6. SMS 실행 이후 안전대책 적용에 따른 위험도 (Risk) 비교

(안전대책: 열차방호장치설치와 위험도가 높은 Mark1 차량의 단계적 폐차)

- 188.6명(2005년) 182.0명(2006년)으로 6.6명 개선됨

4.3 위험도 기반 철도종합안전관리시스템 아키텍처 개발

안전당국, 철도 운영기관, 열차 및 시설 구축자, 독립평가 기관, 사고조사위원회의 역할을 식별하고 기능을 할당하여 철도의 안전환경을 둘러싼 모든 추체들이 유기적으로 안전관리와 향상에 참여하도록 그 기능을 설계하였다. 수립된 안전관리체계는 위험도 정보를 기초로 하고 있으며, 위험도 정보에 따라 안전개선투자의 우선순위 설정, 투자 비용에 대한 효과의 정량적 분석, 사고 예방 비용을 도출하도록 되어 있다.8)

위험원 도출은 위험원을 도출하고 순위를 정하는 것을 포함하며, 전체적인 리스크 평가는 원인 분석, 결과 분석, 손실 분석, 옵션 분석, 영향 분석 및 ALARP 준수의 과정을 거친다.9)

위험도평가가 끝나면 안전당국은 국가 안전 관리 요구 사항을 철도 운영자에게 할당하고 철도 운영자는 이에 기반한 안전 관리 계획을 당국에 제출하여 승인받도록 하고 있다. 해당 년도의 안전관리를 수행한 후에는 국가 안전 수준을 평가하여 차년도 안전 관리에 반영하도록 하여 철도 안전이 연속적으로 관리되도록 하였다.7)

기존 철도안전법에도 국가, 운영기관의 안전관리책무가 제도적으로 정비되어 있으나 개발된 국가 안전관리체계(National Safety Management System)는 철도변경(신규차량, 신호체계) 및 운영과 관련된 리스크가 수용 가능한 수

Rail Industry Safety Information Flow Diagram

Here, we present an at-a-glance overview of the key safety information sources in the rail industry and how the data flows from source, via analysis, to safety reporting and safety planning

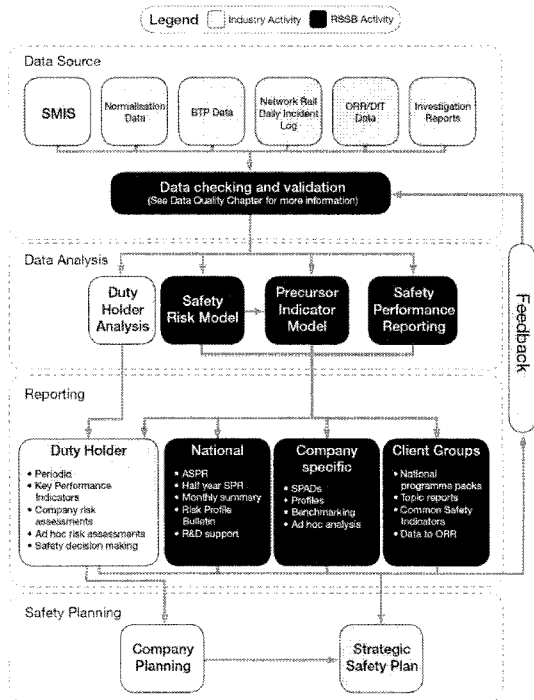


그림 7. 영국 철도 안전정보시스템

준으로 줄어든 것을 확인하기 위한 프로세스를 추가하였다. 아래 그림 8은 일련의 안전관리 활동과 관련 주체간 상호작용을 보여주는 최상위레벨의 기능흐름도이다. 반복, 변경, 수 차례에 걸친 안전평가와 재작업은 안전관리에서 자연적으로 발생하는 업무방식이나 단순화되어 표시됨에 따라 이런 작업들은 그림에서 보이지는 않는다.

안전 라이프사이클은 국가 철도 안전 수준을 분석함으로써 시작한다. 철도 안전 수준 분석에서는 파악된 위험원 로그에 기초하여 리스크 평가를 진행한다. 리스크 평가 결과로부터 얻어진 현재 철도 안전 수준으로부터 국가 철도 안전 목표를 설정한다. 국가 철도 안전 목표는 철도 운영기관이 세우는 연간 철도 안전 성능 목표에 할당하고, 당국은 제출된 운영기관의 연간 철도 안전 성능 목표를 승인하는 역할을 하게 된다. 그런 다음 안전요구사항을 준비한다. 일단 안전요구사항이 결정되면 국가 안전 계획을 세우게 된다. 국가 안전 계획은 소방방재청의 안전 점검 계획과 안전

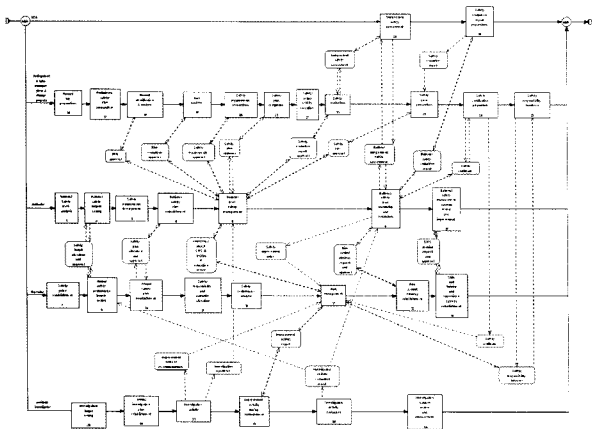


그림 8. 국가 철도 안전관리시스템 아키텍처

요구사항 데이터, 장기 수송안전계획, NSC의 비상사태 계획 등의 데이터를 기반으로 작성하게 되고, 운영기관의 연차 안전 계획과 연동하여 할당하고 승인하는 체계를 갖는다. 그런 다음 안전계획에서 정의된 안전 활동을 실천에 옮긴다. 여러 차례에 걸쳐 제3의 독립기관에 의한 안전 진단 평가를 수행해 볼 수도 있다. 일반적으로 초기단계에 행해지는 평가는 올바른 접근법을 사용했는지를 알아보기 위함이고, 말기단계에 행해지는 것은 종합안전대책기술서에 사용될 증거를 제공하기 위해 실시된다. 안전관리 활동이 종료되면 운영기관은 종합안전대책기술서를 준비한다. 종합안전대책기술서에 대한 당국의 결재를 받아야 안전승인을 득할 수 있다. 안전승인을 받은 후에는, 시스템에 대한 안전책임이 실제 인프라 관리자와 같은 사용자에게 이전되기도 한다. 안전책임은 운영기간 동안 뿐만 아니라 작동/작동중지/보관 동안에도 줄곧 지속된다. 당국은 안전 활동을 모니터링하고 평가한 이후에 개선 방향에 대한 결정을 하게 된다.

6. 결론

철도종합안전기술개발사업은 국민의 안전과 복리증진을 위한 국가의 고유한 목적을 달성하기 위해 산한역의 수많은 전문가가 힘을 모아 추진하고 있는 대형 국가 R&D 사업이다. 또한 Rolling Plan으로 진행되는 사업으로 시스템 변화와 기술발전으로 인해 새롭게 도출되는 안전위협요소에 대해 리스크를 최소화하는 규제요건 및 예방기술을 꾸준히 연구개발해나갈 예정이다.

본 사업이 종료되는 2010년 즈음에는 대형철도사고 예방(사망자 80%, 중대열차사고 50%, 운전사고 50% 감소)으로 인한 직접효과로서 인명, 재산피해 및 복구비용 절감효과가 매우 클 것으로 기대된다. 또한 간접적으로 도시철도 차량 내장재 개발로 연간 250량 신규발주시 75억원 절감 및 국제적 안전기준에 적합한 철도용품 국산화 추진, 수입 대체 효과로서 수출경쟁력 확보 및 제품원가 10% 저감효과가 있을 것으로 기대하고 있다.

◆ 참고 문헌

1. 한국철도기술연구원(2003), "철도종합안전기술개발사업 기획보고서"
2. 건설교통부(2004), "철도종합안전기술개발사업 기본계획(2004~2009)"
3. 한국철도기술연구원(2004), "철도종합안전기술개발사업 연구계획서 - 철도안전 SE 및 사업총괄"
4. 한국철도기술연구원(2005), "철도종합안전기술개발사업 연구보고서 - 철도안전 SE 및 사업총괄"
5. 건설교통부(2001), "교통안전기본계획(2002~2006)"
6. 최요철, 조연욱(2006), "철도종합안전프로젝트를 위한 시스템엔지니어링 적용 체계 연구," 한국철도학회논문집, 제9권 제4호, pp. 487-492.
7. Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004
8. 조연욱, 김상안, 박상혁, 한순우(2007), "시스템 엔지니어링 프로세스를 적용한 국가 안전관리체계 구성방안"
9. Rail Safety and Standards Board(2005), "Engineering safety management," Railtrack.