

시스템 엔지니어링 프로세스를 적용한

철도종합안전관리시스템의 구축



김상암 >>
한국철도기술연구원
안전기술연구팀 선임연구원



조연욱 >>
한국철도기술연구원
안전기술연구팀 수석연구원

1. 서론

철도의 안전확보 및 관리는 인간요소, 열차, 선로 시설, 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 필요하다[1].

현재 우리나라의 경우 사고발생 원인의 추적이나 안전성 평가를 기술적 기반이 미흡한 상태에서 철도 안전법의 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, 본 과제의 필요성에 기인한다고 할 수 있다.

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

건설교통부는 철도안전 관리체계와 기술기반을 선진국 수준으로 제고하여 급증하는 기술적·사회적 안전 위협요소에 적극 대응하고, 철도시스템에 대한 종합 안전대책과 철도안전법의 효율적·기술적 시행기반을 마련하기 위해 2004년 10월부터 철도종합안전 기술개발사업을 진행하고 있다[2].

본 논문에서는 사업의 기획의도, 세부과제의 구성

및 과제별 연구추진내용 및 사업목표 달성을 위한 시스템 엔지니어링 프로세스의 적용에 관하여 간략하게 소개하고자 한다. 한국철도기술연구원은 연구사업의 기획에 주도적으로 참여하였고, 현재 총괄주관연구기관으로서 사업총괄과제 및 안전기준의 개발, 중대사고 안전성 평가 및 사고방지기술개발 등 여러 분야의 연구과제에 참여하고 있다.

2. 철도종합안전기술개발사업 추진 개요

2.1 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 4년간 연평균 한국 0.04건 대비 일본 0.02건).

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

반면 미국은 1980년 이후 20년간 지속적인 안전 연구 및 시설투자(800억달러, 96조원)를 실시하여 1981년 대비 사고 발생율을 65% 저감하였고, 현재도

연방철도국(FRA) 주도하에 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 안전 기술 확보 및 국제 품질인증을 위한 국가간 기술 교류기반 구축
- 철도시스템에 대한 종합 안전대책과 철도안전법의 효율적·기술적 시행기반 마련

2.2 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

2.3 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
 - 철도차량 충돌 안전성능 평가 및 피해저감 기

술개발

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

세 번째 연구분야인 중대사고 예방 피해저감기술 개발은 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 1에 이를 도식화하여 표현하고 있다.

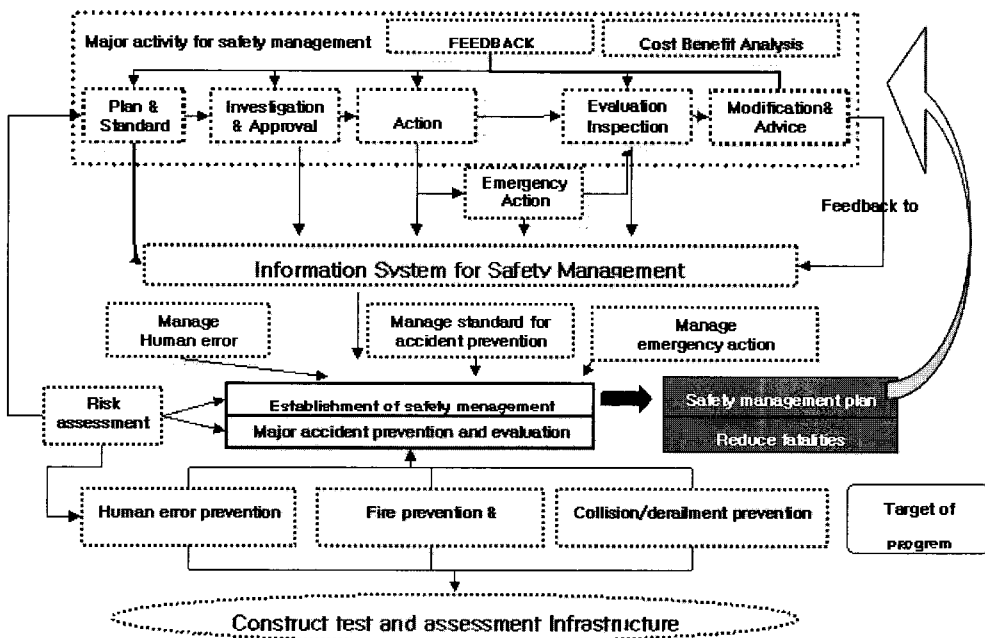


그림 1. 철도종합안전기술개발사업 구성체계

3. SE 기반의 연구추진체계 적용

의 철도안전을 확보하여 21세기 세계철도선진국에 진입

3.1 사업의 비전과 목표

철도종합안전기술개발사업은 기획 초부터 명확한 목적과 목표를 설정하고 달성하기 위한 기능적 구성요소와 요구사항을 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·체제적으로 관리하여 선진국 수준(현 국내수준의 1/10)으로 사고피해를 저감
- 철도안전을 종합평가·관리할 수 있는 시험평가 인프라를 구축하여 철도교통에 대한 대국민 신뢰도 및 국가신뢰도를 향상
- 고속철도운영, 철도구조개혁 등 철도교통확대에 대응하며, 철도구조개혁으로 안전에 대한 국민적 기대에 적극 대응
- 범 국가적 철도종합안전시스템을 통한 세계수준

3.2 철도종합안전시스템 개념정립

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

표 1. 철도종합안전시스템의 기능적 분류

기능분류	내용	사례	구성요소
안전정책 (Safety Plan)	수립안전관리절차 등을 수립하여 제도적으로 안전을 관리하도록 함	안전규정 안전성능기준 안전관리프로그램	체계 정보
사고역제기술 (Active Safety)	사고원인(Cause) 및 위험원(Hazard)를 제어하여 사고발생 자체를 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

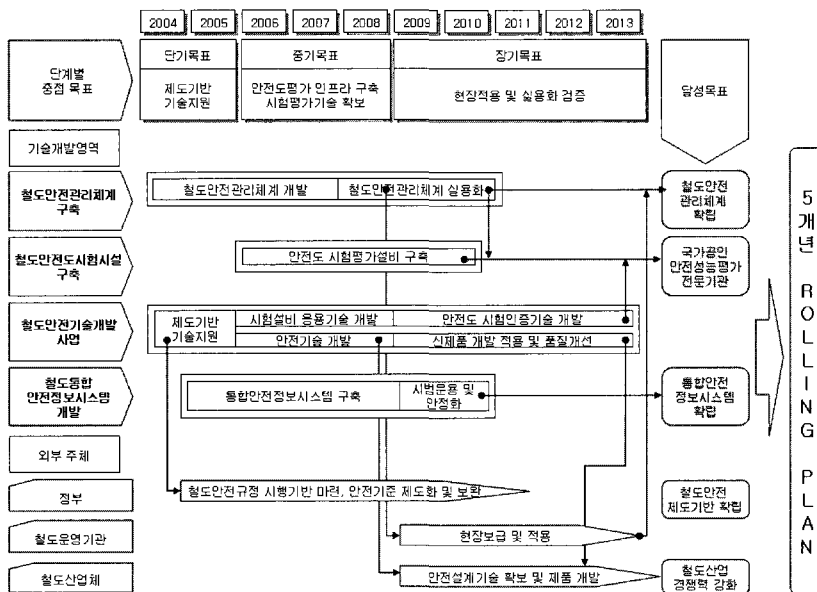


그림 2. 철도종합안전기술개발사업 추진체계

- 정의 : 4대 구성요소(System, Infra, Technology, Information)로 구성되어 각 영역에서 강제적/검증적/동시적/통합적/상시적으로 철도 안전활동을 수행할 수 있는 종합시스템
- 기능 : 안전활동의 필요기반을 선진국 수준으로 확보하여 안전의 질적·양적 수준을 획기적으로 강화

3.3 SE 요구사항 관리체계 수립 및 운영

시스템 엔지니어링 프로세스(System Engineering Process(그림 3)는 SE 통합팀(그림 4)에 의해 하향식(top-down)방법으로 적용하는 포괄적, 반복적 및 순환적인 문제를 해결 프로세스로서 대규모의 복잡한 시스템의 개발·획득에 사용되어지고 있다.

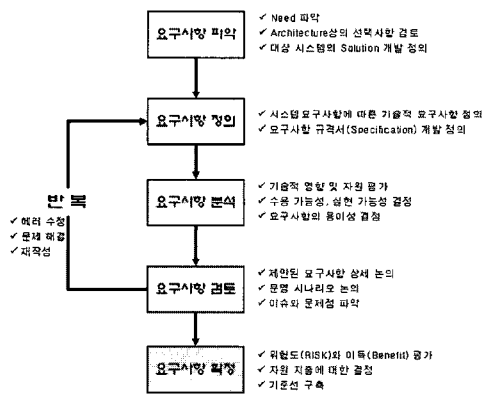


그림 3. 요구사항 엔지니어링 프로세스

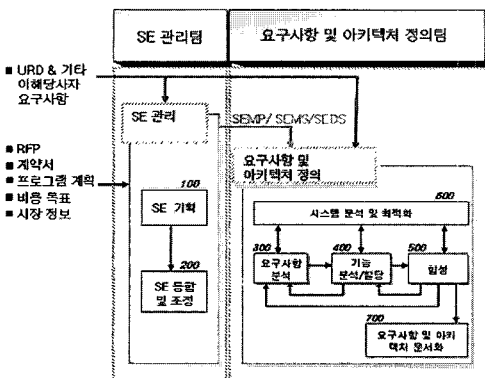


그림 4. SE 요구사항 관리체계

철도종합안전기술개발사업에서는 사업목적인 철도종합안전시스템을 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)로 운용되고 있다.

3. 결론

철도종합안전기술개발사업은 국민의 안전과 복리 증진을 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 안전위험요소에 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 도시철도차량 내장재 개발로 연간 250량 신규발주시 75억원 절감 및 국제적 안전기준에 적합한 철도용품 국산화 추진, 수입대체 효과로서 수출경쟁력 확보 및 제품원가 10% 저감효과가 있을 것으로 기대하고 있다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, “철도종합안전기술개발사업 기획보고서”, 2003

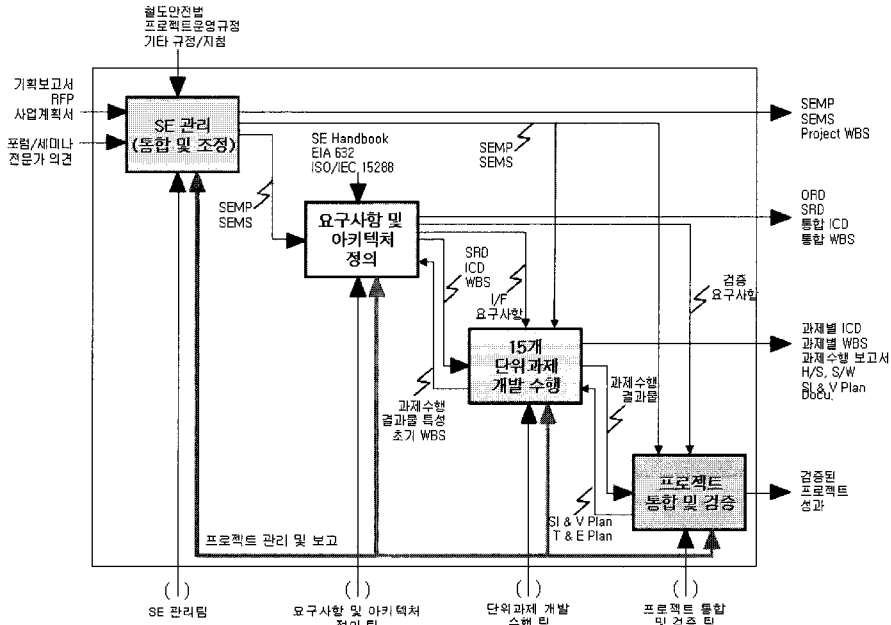


그림 5. 사업총괄 SE 활동의 흐름도

2. 건설교통부, “철도종합안전기술개발사업 기본계획(2004~2009)”, 2004.
3. 건설교통부, “교통안전기본계획(2002~2006)”, 2001.
4. 한국철도기술연구원, “철도종합안전기술개발사업 연구계획서 - 철도안전 SE 및 사업총괄”, 2004.
5. 한국철도기술연구원, “철도종합안전기술개발사업 연구보고서 - 철도안전 SE 및 사업총괄”, 2005