

# 철도중합안전시스템 구현을 위한 소고



\*구정서



\*\*권태수

## 1. 서론

21세기의 사회적 환경변화는 크게 개도국의 인구증가, 선진국 인구감소, 인구의 노령화(2025년 전세계 인구의 20%가 65세 이상)와 연관된 인구통계의 변화와 경제발전으로 인한 세계화, 도시화(현재 전세계 인구의 45%가 도시지역에 생활하고 있으나, 2025년에는 60%로 증가) 등의 문제가 나타날 것으로 예측되며, 이로 인해 유동인구 및 물동량의 증가로 수송시스템에 대한 수요가 급격하게 증가할 것으로 예상된다. 특히

철도는 안전성, 정시성, 환경친화성, 대량수송성, 경제성 등에 장점을 바탕으로 국가교통의 핵심수단으로 확대되고 있다. 그러나, 미래사회는 각종 재해, 테러 등 다양한 위협원의 증가에 노출되면서, 안전에 대한 사회적 요구도 또한 증대될 것이다.

최근 빈번하게 발생하는 철도사고는 인명 및 재산피해, 영업손실, 막대한 복구비용 등의 경제적 손실을 야기하고 있고, 국민적 불신감, 대내외적 국가 이미지 추락 등 간접 피해도 심각한 수준으로 만들고 있으므로 어느 때 보다 철도안전에 대한 총체적인 점검과 대책

■주■

1) \*한국철도기술연구원 책임연구원

\*\*한국철도기술연구원 선임연구원

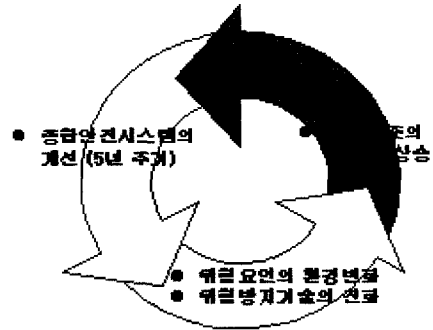
이 필요한 때이다. 이러한 상황에서 철도교통에 대한 안전대책들이 속속 발표되고 있으나 장기적인 안목으로 체계화된 대책이 아쉬운 실정이다. 따라서, 본고에서는 선진국의 사례와 안전관리활동의 원리를 분석하여 안전활동의 필요충분조건을 도출하여 철도안전을 체계화·종합화할 수 있는 철도종합안전시스템에 대한 개념을 정립하고 소개한다. 또한, 조만간 실행될 철도안전 R&D 사업인 철도종합안전기술개발사업의 개념을 철도종합안전시스템 구축과 관련하여 소개하고자 한다. 이러한 안전시스템의 도입을 통하여 충분한 시간을 갖고 안전확보방안을 수립하고 효율적인 투자를 전제로 한 안전활동들이 준비되었으면 하는 바램이다. 끊임없이 변화하는 미래환경에도 적응하여 활용될 수 있는 범 국가적 철도종합안전시스템이 하루 빨리 수립되어 대규모 철도사고를 미연에 방지하고 철도사고율을 획기적으로 저감하여 미래의 가장 중요한 교통 수단으로 도약에 일조하기를 바란다.

## 2. 안전활동의 특징

일반적으로 안전관리활동의 경우, 그 행위가 강제성, 검증성, 동시성, 통합성, 상시성의 5가지 특성을 갖 추어야 한다. 이러한, 5가지 특성은 어느 한가지라도 부족하면 안전이라는 총체적인 목표가 성립되기 어려 우므로 동시에 5가지의 필요조건이 만족되는 안전활동이 이루어지도록 하여야 한다. 각 특성을 표1과 같

이 간략히 설명해 보았다.

특히, 미래는 사회적·기술적 환경변화를 계속하게 되므로 미래사회발전의 진보에 발 맞추어 안전수준의 목표치를 상승시킬 수 있도록 Rolling Plan으로 진행하 여야 완전한 상시성을 확보하여야 할 수 있다.



(그림 1) 철도안전시스템의 Rolling Plan 개념

## 3. 철도안전기술의 정의

철도안전관리활동의 근간을 이루는 안전기술의 정의를 살펴보고 그 범위를 파악하여 종합안전시스템의 필요조건을 도출하도록 한다.

### 3.1 정의

철도운용시에 존재하는 위험원(Hazards)의 존재를 밝혀내고, 그 위험원에 의해서 발생할 수 있는 위험도 (Risk)를 고려하여, 그 위험도를 보편적으로 받아 들이

(표 1) 안전활동의 특징

특 징	내 용
강제성	· 안전활동은 이윤추구나 편의성과 상충되는 면이 있으므로 선택적이기 보다 강제적 임 · 강제적 활동을 지원하기 위해서는 제도적 기반을 필요로 하며 안전성능의 주기적 평가의 규제가 필요함
검증성	· 안전도는 객관적인 정량화의 검증을 통하여 투명하게 나타나야 함 · 객관적인 평가를 위해서 제도적 기반, 체계적 관리, 기술, 설비가 필요
동시성	· 안전시스템은 모든 구성요소가 동시적으로 작용하지 못하면 안전이라는 최종결과를 달성할 수 없음 통합성 · 안전시스템의 구성요소들은 서로 유기적으로 통합될 때 기능을 발휘 · 안전시스템은 잘 짜여진 정보망을 통하여 통합성이 더욱 강화됨
상시성	· 안전활동은 특정한 시간영역에서만 존재해서는 의미가 없고, 상시적으로 수행하여야 함 · 안전활동의 상시성이 성립되지 않으면 특정시간영역에서만 안전활동투자는 무의미함

수 있는 수준 (ALRAP: as low as reasonably practicable)까지 낮추는 안전관리활동과 관련된 기술을 의미한다.

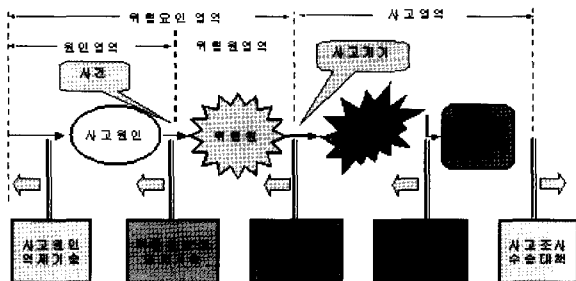
### 3.2 범위

철도안전기술의 범위를 아래와 같이 정리할 수 있다.

- 사고예방과 사고 시 대응방안을 정한 안전관리체계 구축에 관한 연구
- 강제적으로 안전규정을 이행하도록 하는 안전기준의 기술적 지원연구
- 객관적이고 주기적인 안전평가를 위한 안전도평가인프라 구축 및 운영 연구
- 위험요인영역에서 사고를 사전감지·관리하여 사고를 방지하는 사고발생방지기술(Active Safety)
- 사고영역에서 비상시 사고가 발생하더라도 피해확대를 최소화시키는 사고확대억제기술(Passive Safety)
- 철도안전시스템을 유기적으로 통합하는 통합정보기술

## 4. 철도안전활동의 하드웨어적 필요요소

### 4.1 철도안전사고 추론맵 분석



(그림 2) 사고추론 맵

철도안전사고의 추론맵 분석을 통하여 철도안전관리활동을 종합시스템화하는데 필요한 구성요소를 도출한다.

그림 2에서 사고를 중심으로 시간의 흐름에 따라 필요한 안전관리활동을 표시하였다. 먼저 사고는 사고발생을 시간적 기점으로 하여 사고 전을 위험요인영역, 사고 후를 사고영역으로 분류할 수 있다. 다시 위험요인영역은 원인영역과 위험원영역의 시간적 영역으로 나눌 수 있다. 사고의 진행순서는 그림에서와 같이 사고원인발생으로부터 위험원발생, 사고발생, 피해발생의 순으로 진행된다. 보다 명확한 이해를 돕기 위해 표 2에서 용어를 설명하였다.

(표2) 용어 설명

분 류	설 명	사 례
사고원인 (Cause)	사고를 유발하게 하는 원인	신호미확인, 차상신호고장, 출입문고장, 기관사 피로
위험원 (Hazard)	사고원인으로부터 사건의 발생을 통하여 사고로 이어질 수 있는 조건이 됨. 위험의잠재적 원천	화물열차의 위험물질유출, 열차정지의 실패, 차량제어 실패, 이동중인 열차로 날아온 물체
사고 (Accident)	위험원으로부터 사고의 계기가 발생하여 사고로 진전됨	충돌, 화재, 탈선

그림2에서와 같이 사고원인, 위험원, 사고, 피해발생의 시간적 사건진행별로 안전관리활동을 하기 위해 필요한 활동은 사고원인억제활동, 위험원발생억제활동, 사고발생억제활동, 사고확대억제활동(사고피해저감활동), 사고수습조사활동 등임을 알 수 있다.

### 4.2 안전활동의 필요조건 도출

각 시간흐름에 따른 활동을 분석하고 완전한 활동을 위해 수반되어야만 하는 조건을 도출하기 위해 표3과 같이 분석하였다.

〈표3〉 필요조건 도출

활동 분류	내 용	방안 사례	필요조건
사고원인억제	사고원인을 제어하기 위한 활동	교육훈련, 유지보수, 안전체계구축	제도적 기반 정보 기반
위험원 발생억제	위험원을 제어하기 위한 활동	자동검지, 위험차단, 유지보수	기반기술
사고발생 억제			
사고확대억제 (Passive Safety)	사고가 발생했을 시 피해를 최소화하는 활동	충돌흡수장치, 내화성재료, 비상소화장치	기반기술 안전도시험평가설비
사고수습대응	사고를 수습하기 위한 대응절차와 사고후 조사보고활동	긴급출동체계, 구난복구체계, 사고DB 등	제도적 기반 정보 기반



안전시스템이 갖추어야 할 구성요소

제도적 장치(System)	안전도시험평가설비(Infra)	기반기술(Technology)	정보공유(Information)
----------------	------------------	------------------	-------------------

표에서 보인 바와 같이 각 시간별 영역에서 안전활동을 종합적으로 관리하는 안전시스템이라면 갖추어야 할 구성요소는 체계(System), 설비(Infra), 기술(Technology), 정보(Information)라는 것을 도출할 수 있다.

## 5. 철도종합안전시스템 개념정립

### 5.1 정의

4대요소(System, Infra, Technology, Information)으로 구성되어 각 영역에서 강제적/검증적/동시적/통합적/상시적으로 철도안전활동을 수행할 수 있는 종합시스템을 말한다.

### 5.2 기능분류

안전시스템의 기능과 구성요소와의 관계를 표4와 같이 요약정리할 수 있다.

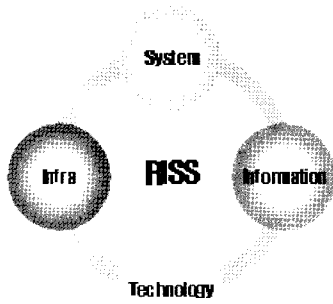
〈표4〉 종합안전시스템의 기능적 분류

기능분류	내용	사례	구성요소
안전정책수립 (Safety Plan)	안전관리절차 등을 수립하여 제도적으로 안전을 관리하도록 함	· 안전규정 · 안전성능기준 · 안전관리프로그램	· 체계 · 정보
사고억제활동 (Active Safety)	사고원인(Cause) 및 위험원(Hazard)를 제어하여 사고발생자체를 방지	· 자동검지 · 유지보수 · 위험차단	· 기술 · 정보
피해저감대책 (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

### 5.3 철도종합안전기술개발사업의 개념

철도종합안전시스템(Railway Integrated Safety System : RISS)은 그림3과 같이 4대요소로 구성된다.

조만간 착수에 예정인 철도종합안전기술개발사업은 이러한 RISS를 구성하기 위한 사업내용을 포함하고 있다. 표5에서는 철도종합안전기술개발사업의 개념을 RISS와 관련하여 설명하였다.



〈그림3〉 RISS의 구성요소

〈표5〉 사업의 대과제와 구성요소와의 상관관계

안전시스템 4대 구성 요소	철도종합안전 기술개발 사업의 4대 분야	설 명
체계 (System)	안전관리체계 구축 분야	안전활동의 동시성, 통합성, 강제성을 갖추기 위해서는 제도적 기반 및 체계를 필요로 함
시설 (Infra)	안전도시험평가 시설 구축 분야	안전활동의 검증성, 상시성을 지원하기 위해서는 시험평가를 객관적으로 수행하는 대형시험시설 필요. 특히, Passive Safety 경우 실제 사고 상황을 재현할 만한 시험시설 절실
기술 (Technology)	안전기술개발 분야	체계/시설/정보가 잘 갖춰지지더라도 안전활동의 전 분야에 걸친 기반기술들의 뒷받침이 없으면 실질적인 안전도향상이 달성되지 않음
정보 (Information)	통합안전정보 시스템 분야	안전활동의 특징(동시성/통합성/상시성)을 확보하기 위한 통합된 정보망 필요

## 6. 철도종합안전시스템의 세부요소기술

안전시스템을 구성하고 있는 세부요소기술을 도출하기 위해서는 표5에서 보여진 철도종합안전기술개발 사업의 4대분야별 구성인자를 분석하여 정리하여 보이는 것이 수월한 방법이 될 수 있으므로 이러한 내용을 소개하고자 한다.

## 6.1 안전관리체계 요소기술

철도선진국의 안전관리현황의 벤치마킹과 국내실정을 고려하여 요소기술을 다시 3개의 중분류로 구분하여 표6과 같이 요약정리하였다.

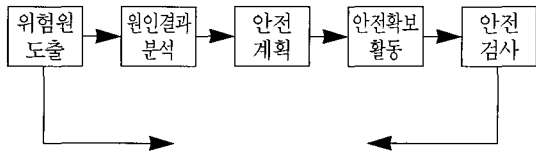
〈표6〉 안전관리체계 요소기술도출

중과제분류	내용설명	요소기술
철도사고 예방 안전기준 및 사고대응 체계 수립	영국, 미국, 캐나다, 프랑스 등의 벤치마킹을 통하여 철도사고 위험도를 정량화 하기 위한 방법과 예방안전 기준, 사고대응체계 등을 수립함에 필요한 프로그램 도출	· 철도사고 원인을 분석 · 철도사고원인에 따른 사고 시나리오 전개 · 철도사고의 심각도 평가 · 사고시 피해저감을 위한 현장/복구 수습 절차가 제시
열차운행안전 확보 및 안전 성능평가기술	국내에는 물론 철도선진국에서도 가장 큰 사고의 원인으로 인적오류를 주목하고 있으며 인적 오류를 저감하기 위한 연구가 수행되어야 하며, 또한 철도시스템의 신뢰성을 확보하기 위한 안전성평가 기술도 개발되어야 함	· 피해저감측면에서 철도종사자 위기상황 대응능력향상을 위한 교육훈련 프로그램 · 사고 예방차원에서 철도용품 품질인증과 성능시험 및 인증제도
철도안전평가 지원정보 시스템 구축	철도사고 분석과 사고 재발 방지를 위한 가장 기본적인 작업은 철도사고 DB 구축. 이들 자료를 철도안전 전문가들에게 제공	· 철도 안전정책 수립 기관 · 철도 감독 및 사고조사 기관 · 철도 안전평가 전문가 · 철도 시험평가/분석 기관 · 철도 시설관리자 · 철도 운영자 · 철도 시설 및 차량 제작사

## 6.2 사고발생방지(Active Safety) 요소기술

Active Safety의 요소기술들을 도출하기 위해서는 하나의 위험원이 도출되었을 때부터 안전성(ALRAP)을 확보하는 과정을 모사하여 필요기술들을 선정할 수 있다(그림4 참조).

이와 같은 과정에서 HIA, 원인결과분석등의 연구과정을 필요로 하게된다. 표7에서 관련용어를 설명하였다.



〈그림 4〉 위험원으로부터 안전성확보과정을 모사하여 요소기술 도출

〈표7〉 안전관리체계 요소기술도출

용 어	설 명
위험원 규명 및 분석, HIA (Hazard Identification & Analysis)	위험원을 규명하고 분석함
원인결과분석	위험원을 중심으로 원인과 결과를 양방향으로 분석

그와 같은 과정을 통하여 Active Safety의 요소기술을 도출한 예를 표8에 보였다.

〈표8〉 요소기술 도출 예

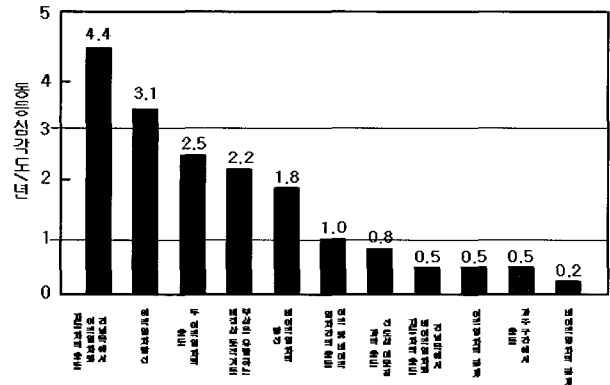
항목	내용	요소기술 예	
안전 계획	원인 차단	· 신호기중복 - 신호기 단순화 · 신호기 시야불량 - 시야확보 · 기관사 졸음 - 자동정지장치	· 신호기 신뢰성확보 · 기관사 졸음방지장치 · 충격에너지 흡수기술 · 지능화 제동기술 · 내장재 내화성기술 · 고장 모니터링기술 · 안전도평가기술 · 위험요인별 발생빈도 산정기법개발 · 위험도평가기술 · 사고코드체계기술
	사고 진전 차단	· 충격흡수장치 · 제동력의 향상 · 내화성 재료사용	
안전 확보 활동	자동정지장치설치 · 컴퓨터를 이용한 자동정지 · 이중화를 통한 fail safe · 정상적인 기능작동 · 고장시 기능 작동 · 안전성시험평가		
안전성 인증	위험원이 받아들일 수 있는 수준까지의 저감확인(ALARP) · 위험원 도출 및 분석자료 · 위험분석자료 · 안전요구사항자료 · 안전계획자료 · 안전성확보활동자료 · 시험평가자료		

### 6.3 사고피해저감(Passive Safety) 요소기술

철도안전사고는 Active Safety 활동을 통하여 사전에 모두 예방하는 것이 바람직하나, 완벽한 Active Safety는 존재하지 않는다. 사고발생율을 줄일 수는 있으나 사고는 가끔 발생하게 되어있다. 따라서, 사고가 발생하였을 시 피해를 최소화하는 대책이 반드시 필요하므로 Passive Safety의 중요성도 여기에 있다 하겠다.

대부분의 대형참사는 여러원인에 의하여 발생할 수 있지만, 결과적으로는 충돌, 탈선, 화재사고의 형태로 나타나게 된다. 따라서, 피해저감대책은 충돌, 탈선, 화재를 우선적으로 강구하는 것이 필요하다.

그림5에서는 영국의 경우를 예로 들어 어떤 사고가 심각한 영향을 주는가를 보였다. 그림5에서는 일년동안 발생한 모든 사고의 위험도를 동등 심각도로 표시하여 서로 비교하였다. 동등심각도는 10명의 심각한 부상이거나 혹은 200명 보통부상에 해당된다.



〈그림5〉 열차사고에 발생하는 주요위험 (Risk Profile Bulletin Issue 3)

그림에 의하면 충돌, 탈선, 화재사고가 전체열차사고 동등심각도의 대부분을 차지함을 알 수 있다. 따라서, 사고가 발생하였을 때 충돌, 탈선, 화재사고를 우선으로 피해저감기술개발에 투자하여야 함을 알 수 있다.

특히, 강조하고 싶은 부분은 국내의 Passive Safety 관

〈표9〉 사고확대억제기술(Passive Safety) 요소기술도출

중과제분류	내용설명	기술요소 및 관련시설
지하철 및 장대터널 화재시험시설구축	지하구간이나 장대터널과 같은 터널 속에서의 화재사고시의 안전성능을 평가하기 위한 장비 및 부대 장치의 보관/설치/유지보수에 필요한 시험시설을 구축	· 지하역사 화재시험기 · 실험형 터널화재시험기
철도차량 및 시설물 화재성능시험시설구축	철도차량 및 시설물에 사용되는 설비재료의 화재안전성능을 선진국 수준으로 평가하고 각각의 재료가 차량내부에 설치될 때의 안전성능을 평가하기 위한 장비 및 부대 장치의 보관/설치/유지보수에 필요한 시험시설을 구축	· 기초재료 화재성능시험설비 · 중대형 화재성능시험설비
철도차량충돌탈선 시험시설 구축	전형적인 철도차량 중대사고인 충돌, 탈선의 안전도를 평가하기 위하여 실차 충돌 및 탈선시험 등을 수행할 수 있는 장비 및 부대장치의 보관/설치/유지보수에 필요한 시험시설을 구축	· 실차충돌 시험설비 · 충돌모의 시험설비 · 정적압괴 시험설비 · 탈선 시험설비 · SHPB충격 시험설비
화재안전기술 개발	철도 화재안전기준 마련과 화재안전도 향상을 위하여 철도시설재료의 화재 안전도평가 및 안전기술개발	· 철도재료 화재평가기술 · 화재위험 지수산출기술 · 지하구조 연기 및 열유동 해석기술 · 차량화재전파 해석기술 · 화재감지 및 자동신화기술 · 장대터널 구난역/터널 설계 기술
충돌탈선안전기술개발	대표적인 철도차량 중대사고인 충돌, 탈선 및 전복사고 예방과 피해저감기술을 개발하고 안전도를 평가하는 기술개발	· 충돌해석 및 실차충돌시험평가 기술 · 탈선안전도 측정 및 평가기술 · 승객상해평가기술 · 내장부품의 안전성 평가 · 완충차막이 안전성 평가 · 축소모형 충돌시험평가기법

련 기술확보를 위해서 가장 필요한 것은 안전도시험평가시설이다. 대형참사의 발생을 줄이기 위해서는 충돌, 탈선, 화재사고를 실제사고로 재현할 만한 인프라 구축이 필요하나, 국내의 경우는 이런 부분이 매우 미흡하므로 철도종합안전시스템의 완전한 구성을 위해서는 인프라 부분의 확보가 절대적으로 필요한 실정이다.

### 6.4 통합안전정보기술 요소기술

안전기술의 특징상 통합성을 보장하기 위해서는 각 안전영역의 관련정보들이 통합적으로 관리·제공되어야 한다. 또한, 사고 재발방지, 명확한 안전관리체계 수립, 유사사고 방지 등을 위해서는 많은 곳에 분산되어 정보를 한 곳으로 통합하여 관리·운용할 수 있어야 한다. 아울러, 관계되는 모든 사람들에게 필요한 정보가 신속히 공유될 수 있는 체계를 갖추어야 한다. 이러한 목표를 위해서 필요한 요소기술들을 표10에 요약하였다.

〈표10〉 통합안전정보 요소기술 도출

중분류	내용설명	요소기술
통합안전정보 시스템 구축	철도사고 DB 및 분석자료를 평가 · 철도안전평가 지원시스템 자료 · 철도시설/차량 안전기준 자료 · 철도용품 안전인증자료 · 차량성능인증자료 · 차량정밀진단자료 · 차량안전도 시험평가 자료 · 유지보수 정보자료 등이 도시철도, 일반철도, 고속철도, 화차의 운용분야에 산재 해 있는 안전관련 자료들을 통합하는 포탈 개념의 통합 안전정보시스템을 개발 및 구축 할 수 있도록 IT 요소 기술을 도출	· 대용량 데이터검색기술 · 대용량 정보 고속처리 기술 · 대용량 정보관리 기술 · 통합사고/고장코드체계 구축 기술 · 사고/고장분석 기술 · DB설계 기술 · DB구조 기술 · DB 튜닝 기술
시스템 시험운용 및 안정화	시스템 단위 시험 및 통합 시험을 통한 시스템 신뢰도 및 안전성을 예측·평가하여 통합안전정보시스템 운영에 만전을 기할 수 있도록 요소 기술을 도출	· 시스템 단위 시험기술 · 시스템 통합 시험기술 · 시스템 안정화 기술

## 7. 결론

최근 국내철도는 고속전철의 도입, 광역도시철도망 구성, 대륙횡단철도의 연결 추진 등 급속히 팽창하고 있다. 이에 비례하여, 철도교통에 대한 기술적·사회적·문화적 안전위험요소도 날로 증가하고 있으므로 종합적이고 체계적인 철도종합안전시스템의 도입이 절실하며, 또한 이를 위하여 한 철도안전기술개발에 대한 획기적인 투자도 필요하다. 철도안전기술을 확보하기 위해 타 분야의 첨단기술들을 종합적으로 융합하여 지능화된 자동검지·안전유지보수·비상피해저감 등이 실현되도록 연구의 초점을 맞추어야어야 한다. 따라서, 철도기술개발은 국가 원천기술확보·산업부가가치 창출에 크게 기여할 수 있으며, 이는 기계, 전기, 전자, 운영 및 토목 등 첨단기술이 복합된 종합 시스템으로 기술이전, 기술개발 및 기존기술의 고도화 등 국내의 기술·산업 전반에 대한 파급 및 수입대체 효과도 클 것으로 기대된다.

철도종합안전시스템의 구축을 통하여 철도안전을 제도적·체계적으로 관리한다면 선진국 최고수준(현 국내수준의 1/10)으로 사고피해를 저감하는 것도 불가능한 일은 아닐 것이라 판단된다. 철도종합안전시스템 구축을 통하여 철도교통에 대한 대 국민신뢰도 및 국외 신뢰도를 향상시킬 수 있으리라 기대되며, 또한, 고속철도운행, 철도구조개혁 등 철도산업환경변화에 대응하여, 안전에 대한 국민적 의구심을 해소하는 효과적인 방안이 될 것이다. 철도안전에 정부차원의 많은 대책들이 기대되는 시점에 범 국가적 철도종합안전시스템 구축을 통한 세계수준의 철도안전을 확보하여 21세기 세계철도선진국에 진입을 꿈꾸어 본다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, 「제5차(2002~2006) 교통안전기본계획」, 2001.7
2. 철도청, 「UIC 세계 철도통계연감」, 2000
3. 건설교통부, 「철도산업구조개혁 왜 필요한가?」, 2002.12
4. 건설교통안전기획단, 「건설교통 안전관리 개선을 위한 공청회 자료집」, 2003.5
5. 한국철도기술연구원, 「철도시스템 안전성 확보 기획연구」, 2001.12
6. 과학기술정책연구원, 「건설교통연구개발사업 중장기계획」, 2002.5
7. 영국철도안전국, 「Railway Safety Research Programme」, 2002.9
8. FRA, 「Safety of Highway-Railroad Grade Crossings」, 1995.7
9. FRA, 「Safety of Railroad Passenger Vehicle Dynamics」, 2002.7
10. 건설교통부, 「철도종합안전기술개발사업 기획보고서」, 2003.6