

고속철도 시스템 안전기준(안) 작성에 관한 연구

A Study on Safety Rules and Regulations for High-Speed Rail System

왕종배* 박찬우* 박주남*

Jong-Bae Wang, Chan-Woo Park, Joo-Nam Park

ABSTRACT

In this study, safety requirement & criteria for high-speed rail system were developed for safety verification as a national rules and regulations. Safety criteria were presented through analysis of high-speed rail development specification, survey of related regulations for safety requirements, and review of operation compatibility with domestic rail system. Finally, safety rule consist of system safety requirements and safety criteria for technical parts.

1. 서 론

고속철도는 안전성, 쾌적성, 정시성을 자랑으로 하는 공공교통 수단으로서, 인간요소, 열차, 선로시설, 운영·제어, 유지보수 등 여러 요소가 복합된 시스템이다. 고속철도 운행선진국은 다양한 경험과 시행착오를 거쳐 확립된 안전체계와 기술기준을 바탕으로 운행안전을 확보하고 있다. 우리도 경부고속철도(KTX)의 개통과 350km/h 한국형고속철도(G7)의 개발로 명실상부한 고속철도 운영국가로서 운행안전 보장과 사고예방을 위한 국가적인 안전인증체계 구축이 시급히 요구된다.

철도시스템의 안전인증 및 성능평가는 새로이 시스템을 설치하거나 시설, 장비의 중요부분을 변경하는 경우 그 특성과 운전상황을 고려하여 가장 적합한 안전검증 및 성능시험을 실시하여 시스템의 안전성을 입증하는 것이며, 대부분의 선진철도 운영국은 이를 국가 규정으로 작성하여 의무사항으로 부과하고 있다.

본 논문에서는 국내 고속철도 시스템의 안전인증에 필요한 안전기준을 국가 규정차원에서 마련하기 위하여 고속철도기술개발사업-고속철도 성능기준 및 안전체계 기술개발 과제에서 수행된 “고속철도 시스템 안전기준(안)”을 소개하고자 한다. “고속철도 시스템 안전기준(안)”은 시스템 안전요건과 선로구축물, 기술 분야별 안전기준(선로구축물, 신호/통신, 전철전력, 차량)으로 구성되어 있다.

* 한국철도기술연구원, 철도시스템안전연구본부

2. 고속철도시스템 개발요건 분석

우리나라도 경부고속철도(KTX)의 도입과 한국형 고속철도시스템(G7)의 국산화 개발에 따라 고속철도의 안전보장과 사고예방을 위하여 시스템 차원의 위험분석에 근거한 고속철도 시스템의 안전검증과 고속철도 차량의 성능확인이 필요하다.

고속철도 시스템 안전기준은 그림 1에 제시한 한국형 고속철도 시스템(G7) 개발의 기본사양과 철도안전법의 요구사항을 필수요건으로 반영하여 “시스템 안전요건”과 “차량, 전기신호 및 선로 구축물에 대한 안전기준”의 기본체계를 구성하였다. 그리고 세부 기술기준은 KTX 도입기술 및 시험평가, 외국의 각종 고속철도 관련 안전성능 규정 및 기술기준의 분석을 통해 국내 고속철도 운영환경에 적합한 시스템 안전인증을 위해 포함되어야 할 기술내용을 보충하는 것으로 하였다.

(1) 시스템 기본사양	1.차량일반	1) 운행속도 : 최고운행속도 350km/h, 설계속도 385km/h 2) 차량중량, 3) 차량크기 : 20랄/11랄기준 (철도차량한계 준수) 4) 차량수명 : 최소 20년 고속운전(연간 600,000Km 주행조건)					
	2.환경조건	1) 기후조건 : 외기온도, 습도, 최대강우, 최대강설, 풍속					
	3.RMS	1) 신뢰성 : MKBSF 시험평가, 중요장치 redundancy 구성					
	4.소음 진동 승차감	2)고장시 운행 : 정상운행, 출발 및 감속 및 차량 견인 조건 3) 안전성 : 인명 안전/비상탈출, 기기운영 및 환경영향 고려					
(2) 차량 시스템	5.차체와 설비	1) 차체재질, 2) 차량간 통로, 3) 기타(냉난방설비, 접근성)					
	6.대차	1) 대차형식(관절형/일반형), 2) 구조강도, 3) 설계안정성(탈선계수/윤중)					
	7.추진 및 동력장치	1) 출력, 2) 견인전동기, 3) 팬터그래프, 4) 보조동력, 5) 기타					
	8.제동	1) 제동거리(상용제동/비상제동), 2) 제동성능(평균감속도)					
(3)전기 신호 시스템	1.전차선 시스템	1) 일반사항(전압감하변동, 이선율), 2) 최소안전율(마모) 3) 지지물 설비, 4) 전차선 편위 및 구배					
	2.열차제어 시스템	3.자동열차제어장치(ATC) 4.연동장치(TXL) 5.집중제어장치(CTC)					
(4)선로구축 물시스템	1.설계 최고속도	2.곡선반경 및 캔트	3.구배 및 종곡선	4.궤도	5.터널	6.설계 표준하중	7.허용 선로결합

그림 1. 한국형 고속철도시스템(G7) 개발 기본사양

3. 철도 안전성능 요구사항 분석

시스템 안전성능 요구는 시스템 내에 존재하는 위험조건(Hazard)을 확인하고, 위험조건을 제거하거나 또는 인정할 수 있는 수준까지 위험을 감소시키기 위한 활동을 수행하는 시스템 엔지니어링의 핵심 요소로서, 일반적인 안전성능 요구사항은 다음 표 1과 같다.

표 1. 위험분석에 기반한 철도 시스템 안전성능 요건 분석

구 분	안전성능 요건
철도 기반 시설	1. 선로의 보호 : 불필요한 출입 및 불법침입으로부터 철도를 보호해야 한다.
	2. 사람에 대한 안전간격 확보 : 열차가 운행되는 동안에 철도기반시설의 운영 및 유지관리 업무를 수행하는 사람이 직무를 안전하게 수행할 수 있도록 적절한 안전간격을 확보해야 한다.
	3. 열차 안전간격확보 : 열차의 안전운행을 보장하기 위하여 인접한 궤도상의 열차사이, 열차와 구조물 및 고정 장치사이에는 적절한 안전간격을 확보해야 한다.

	<p>4. 위치 파악 : 철도의 안전한 운영 및 유지보수를 위하여 철도기반시설상의 특정 위치를 확인할 수 있는 적절한 방안을 마련해야 한다.</p> <p>5. 궤도 : 궤도는 열차의 안전한 유도 및 지지기반을 제공해야 한다.</p> <p>6. 궤도 상/하부 토구조물 및 구조물 : 궤도를 지지하는 토구조물과 구조물은 열차에 의해 발생되는 응력을 지탱, 전달할 수 있어야 한다.</p> <p>7. 터널/유사 구조물 : 터널 및 기타 폐쇄 공간에서 사람의 안전한 대피에 필요한 환경을 제공해야 한다.</p>
역사	<p>1. 사람의 안전 : 역사에서 사람이 자유롭고 안전하게 이동할 수 있어야 한다.</p> <p>2. 승강장 안전 : 승강장에서 사람이 안전하게 대기하고 열차 승하차를 할 수 있어야 한다.</p> <p>3. 말단 궤도 : 역에 말단 궤도가 있는 경우 안전하게 열차를 정지시키고, 과행으로 인한 피해로부터 사람과 역을 보호할 수 있는 대책을 마련해야 한다.</p> <p>4. 제어 : 선로 및 선로 인접 부근의 활동사항과 연관된 역사의 운영을 제어할 수 있는 시설을 제공해야 한다.</p> <p>5. 대피 : 역사와 역구내 제어 설비는 비상시 안전한 대피를 보장해야 한다.</p> <p>6. 화재 예방 : 역사는 화재 위험 관리 및 대피 대책에 알맞은 화재 방지 및 제어 대책을 갖추어야 한다.</p>
특별구역	<p>1. 사람의 안전 : 철도는 열차의 안전한 입환, 조성 및 유지보수를 할 수 있어야 한다.</p>
건널목	<p>1. 이용자 및 열차를 위한 안전 : 건널목은 건널목 이용자에게 위험을 알리고 이들을 보호하며 철도를 보호할 수 있게 적절한 대책을 마련해야 한다.</p>
전력 공급 시스템	<p>1. 사람의 안전 : 전력공급 시스템은 사람의 안전을 위협하지 않아야 한다.</p> <p>2. 관리 : 전력공급 시스템은 안전하게 관리하고 및 운영해야 한다.</p> <p>3. 상호작용 : 전력공급 시스템은 철도 내부 및 외부 시스템과의 상호작용에 의한 위험을 유발하지 않아야 한다.</p>
신호	<p>1. 상호작용 : 신호 시스템은 열차 노선 지정, 간격 지정 및 제어를 안전하게 수행할 수 있도록 해야 한다.</p> <p>2. 성능저하 상태 : 신호 시스템은 그 성능이 저하된 상태에서도 운행이 허가된 열차의 안전한 통행을 지속적으로 보장해 주어야 한다.</p>
운영제어 시스템	<p>1. 안전 운영 및 제어 : 철도의 안전한 운영 및 비상시 철도와 외부 조직간의 협력 관리에 필요한 충분한 설비를 제공해야 한다.</p>
열차 및 차량	<p>1. 구조적 무결성 : 정상운영 상태에서 열차의 구조적 무결성을 유지해야 하며, 사고 발생시에도 운송하고 있는 사람 및 화물을 보호할 수 있어야 한다.</p> <p>2. 내장 : 열차의 내장은 운송하는 승객 및 화물에 대해 안전한 환경을 제공해야 한다.</p> <p>3. 출입 및 대피 : 열차는 운송하는 사람 및 화물의 안전한 출입과 대피 방안을 확보해야 한다.</p> <p>4. 통신 : 열차 내부에서 송수신 및 안전메시지를 효과적으로 통신할 수 있는 방안 마련</p> <p>5. 전력공급시스템 : 전기 시스템과 전기를 공급받는 시스템 및 열차내 장치는 다른 시스템이나 사람의 안전을 위협하지 않아야 한다.</p> <p>6. 속도 제어(제동) : 열차의 속도제어 시스템은 운송하는 승객 및 화물의 안전을 위협하지 않도록 철도의 운영 조건을 만족하여야 한다.</p> <p>7. 신호와의 적합성 : 열차는 신호 시스템과의 적합성을 확보해야 한다.</p> <p>8. 주행 장치 : 주행 장치는 열차가 안전하게 궤도를 이동하는 것을 보장할 수 있어야 한다.</p> <p>9. 기반시설과의 적합성 : 열차 크기와 차량한계는 철도기반시설과의 적합성을 확보해야 한다.</p> <p>10. 전력공급 시스템과의 적합성 : 열차는 전력공급 시스템과의 적합성을 확보해야 한다.</p>

4. 고속철도시스템 안전성능 요건관리

고속철도 시스템의 안전성능 요건관리 모델의 핵심은 시스템 개발 프로세스에서 우선 각종 안전요건(사용자 오작동 예방대책, 기계 오작동에 대한 예방대책, 승객 안전대책 등)에 대한 요구사항 분석, 기능 분석 및 성능 할당, 조합, 그리고 최적화 과정을 따라야 한다는 것이다.

본래 고속철도 시스템 개발 및 안전성능 평가 과정에서 안전요건과 성능요건을 분리하여 생각할 수 없지만 국내 철도안전 관련 규정(철도안전법, 도시철도법) 체계와 요구를 반영하여 고속철도 시스템의 안전인증에 필요한 “시스템 안전요건”과 차량시스템에 대한 설계 및 제작 단계의 성능 및 기능 확인을 위한 “차량 성능시험요건”으로 구분하여 그림 2와 같이 관리하고 있다.

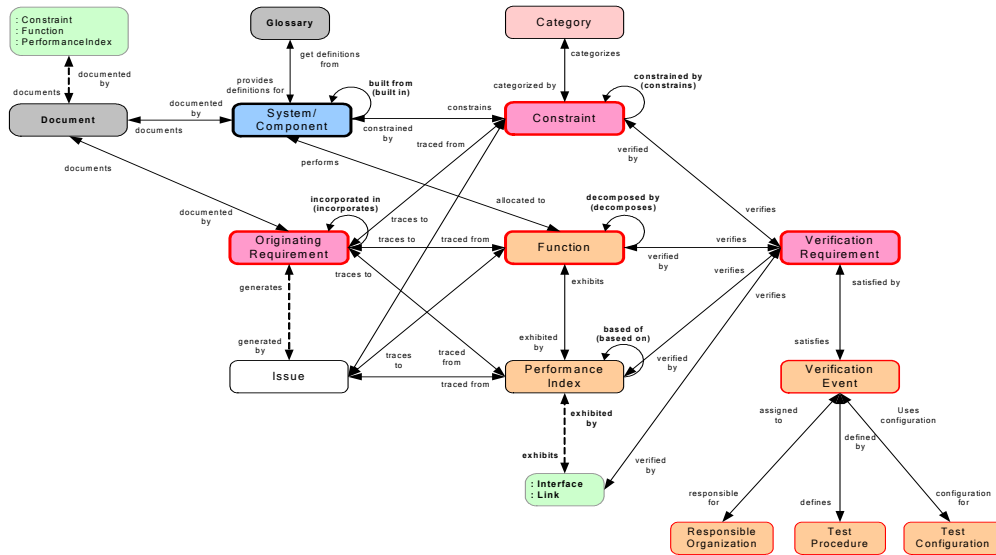


그림 2. 고속철도 시스템 안전성능 요건관리를 위한 스키마 체계

5. 국내 철도 안전성능 관련 법·규정 요건 반영

국내 철도산업도 2004년 10월 제정된 철도안전법을 중심으로 기존의 철도법, 국유철도건설규칙, 국유철도운전규칙 등에 산재되어 있는 철도 안전규정을 체계적으로 정비하고 철도안전 확보에 요구되는 필수사항을 국가적으로 계획, 승인, 심사, 관리할 수 있는 법적 근거를 마련하였다. 이에 따라 고속철도 안전기준도 아래에 제시하는 법적 요구조건 반영하여 준수하도록 해야 한다.

■ **법 제25조(철도시설의 안전기준)** ①철도시설관리자는 건설교통부령이 정하는 안전기준에 적합하게 철도시설을 설치하여야 한다. ②철도시설관리자는 건설교통부령이 정하는 바에 의하여 철도시설을 점검·보수하는 등 유지관리 하여야 한다.

■ **법 제26조(철도차량의 안전기준)** ①철도차량은 대통령령이 정하는 구조 및 장치가 건설교통부령이 정하는 안전기준에 적합하지 아니하면 이를 운행하지 못한다.

②철도운영자등은 건설교통부령이 정하는 바에 의하여 제1항의 규정에 의한 안전기준에 적합하도록 철도차량을 점검·보수하는 등 유지관리 하여야 한다.

■ **규칙(안) 제80조(종합시험운행의 실시 등)** ①철도시설관리자는 법 제38조의 규정에 의하여 철도노선을 새로 건설하거나 기존노선을 개량한 때에는 철도운영자에게 인계하기 전에 종합시험운행을 실시하여야 한다. ②종합시험운행은 다음 각 호와 같이 구분하여 실시한다.

1. 시설물 검증시험 : 최고속도까지 단계적으로 철도차량의 속도를 증가시키면서 철도시설의

안전상태, 철도차량 운행의 적합성 등을 확인하는 시험

2. 통합시험 : 시설물 검증시험이 완료된 시설물과 철도차량의 각종 시스템간의 종합적인 성능검증, 안전상태 점검 등으로 연계(Interface)사항을 확인하는 시험

3. 영업시운전 : 통합시험이 완료된 후 영업개시에 대비하기 위하여 열차운행계획에 의한 실제 영업상태를 가정하고 열차운행체계의 점검 및 종사자의 업무숙달 등을 점검하는 시험

■ 법 제37조(철도차량의 사용내구연한) ①철도운영자등은 건설교통부령이 정하는 사용내구연한을 초과한 철도차량을 운행할 수 없다. 다만, 건설교통부장관이 실시하는 정밀진단을 받아 안전운행에 적합하다고 인정되는 경우에는 그 사용내구연한을 연장할 수 있다.

■ 도시철도법 제22조의2(도시철도차량의 안전기준)와 도시철도법 제22조의3(도시철도차량의 성능시험) : 도시철도차량의 구조와 장치에 대한 안전기준과 성능시험기준을 규정

- 도시철도차량의 안전기준 : '도시철도 차량 안전기준에 관한 규칙'에 의해 도시철도차량의 구조안전기준, 장치별 안전기준을 규정

- 도시철도차량의 성능시험 : '도시철도 차량 성능시험기준'에 의해 구성품 시험, 완성차 시험 및 본선 시운전으로 구분하여 실시하는 것으로 규정

- 도시철도차량의 정밀진단 : '도시철도 차량 정밀진단 지침'에 의해 사용내구연한(25년) 도래 차량은 정밀진단을 받아 안전운행에 적합하다고 인정되는 경우 사용내구연한을 연장(5년 범위)할 수 있는 것으로 규정

6. 고속철도시스템 안전기준(안) 개발 : 체계 구성

“고속철도 시스템 안전기준(안)”은 표 2와 같이 “시스템 안전요건”과 “기술 분야별 안전기준(선로구축물, 신호/통신, 전철전력, 차량)으로 구성하였다.

제1편 총칙	제3편 고속철도 시스템 분야별 안전요건
<ul style="list-style-type: none"> ■제1조 (목적) ■제2조 (적용) ■제3조 (준수책임) ■제4조 (감독 및 심사) 	<ul style="list-style-type: none"> ■제14조 (선로구축물 시스템 안전요건) ■제15조 (신호제어 시스템 안전요건) ■제16조 (급전시스템 안전요건) ■제17조 (통신시스템 안전요건) ■제18조 (차량시스템 안전요건) ■제19조 (종합시험운행 안전요건) ■제20조 (사전 시설물 검증 시험) ■제24조 (시스템 통합 시험) ■제25조 (사전 영업서비스 시험) ■제26조 (준수 증명)
<p style="text-align: center;">제2편 고속철도 시스템 안전요건</p> <ul style="list-style-type: none"> ■제5조 (일반요건) ■제6조 (운영노선의 안전요건) ■제7조 (운행환경과의 적합성) ■제8조 (화재방지 안전요건) ■제9조 (소프트웨어 안전요건) ■제10조 (유지보수 및 안전진단 안전요건) ■제11조 (종합시험운행 계획) ■제12조 (시스템 안전계획 수립) ■제13조 (변경사항 승인요건) 	

제4편 고속철도 분야별 안전기준					
(1) 선로구축물 분야 안전기준(안)		(3) 통신시스템 안전기준(안)			
<ul style="list-style-type: none"> ■ 안전일반 ■ 작업안전 ■ 궤도선형 ■ 점검유지보수 ■ 궤도구조 ■ 선로제표 		<ul style="list-style-type: none"> ■ 통신선로 ■ 전송설비 ■ 열차무선 설비 			
		(4) 전철전력시스템 안전기준(안)			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 지지물 ■ 완철 ■ 지선 ■ 접지공사 ■ 표지류 ■ 변전소 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 배전설비 ■ 전차선로 ■ 가공전차선 ■ 귀선로 ■ 배전선로 ■ 조명설비 ■ 검사 		
		(5) 차량시스템 안전기준(안)			
<p style="text-align: center;">(2) 신호제어 시스템 안전기준(안)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ 열차자동제어장치(ATC) ■ 연동장치 ■ 열차집중제어장치(CTC) ■ 선로전환기 ■ 궤도회로 장치 ■ 역 조작반 장치(LCP) ■ 쇄 정 ■ 차축온도검지장치 ■ 터널경보장치 ■ 보수자선로횡단장치 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ 분기기허탕장치 ■ 레일온도검지장치 ■ 지장물검지장치 ■ 기상 검지장치 ■ 끌림 검지장치 ■ 무인 기계실 원격감시장치 ■ 방호 스위치 ■ 진입허용 표시등 및 신호 표지 </td> </tr> </table>		<ul style="list-style-type: none"> ■ 열차자동제어장치(ATC) ■ 연동장치 ■ 열차집중제어장치(CTC) ■ 선로전환기 ■ 궤도회로 장치 ■ 역 조작반 장치(LCP) ■ 쇄 정 ■ 차축온도검지장치 ■ 터널경보장치 ■ 보수자선로횡단장치 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 분기기허탕장치 ■ 레일온도검지장치 ■ 지장물검지장치 ■ 기상 검지장치 ■ 끌림 검지장치 ■ 무인 기계실 원격감시장치 ■ 방호 스위치 ■ 진입허용 표시등 및 신호 표지 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 일반조건 ■ 차체 및 내부설비 ■ 주행장치 ■ 제동장치 ■ 추진제어 및 전원장치 ■ 종합제어장치 	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 열차자동제어장치(ATC) ■ 연동장치 ■ 열차집중제어장치(CTC) ■ 선로전환기 ■ 궤도회로 장치 ■ 역 조작반 장치(LCP) ■ 쇄 정 ■ 차축온도검지장치 ■ 터널경보장치 ■ 보수자선로횡단장치 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 분기기허탕장치 ■ 레일온도검지장치 ■ 지장물검지장치 ■ 기상 검지장치 ■ 끌림 검지장치 ■ 무인 기계실 원격감시장치 ■ 방호 스위치 ■ 진입허용 표시등 및 신호 표지 				

향후 본 연구에서 개발된 고속철도 시스템 안전기준(안)은 규정요건 및 기술사양의 적합성 검토, 관계기관 의견수렴을 거쳐 철도안전법 하위규정 제정에 대응하고 규격화를 지원하고자 한다.

- (1) 고속철도 시스템 안전기준은 국내 고속철도 시스템의 설계, 제작, 시험평가를 통한 안전성 확인과 안전인증에 활용할 수 있도록 규격화 지원
- (2) 고속철도 차량진단기준은 고속철도차량의 효율적인 유지관리에 활용할 수 있도록 규격화 지원

감사의 글

본 논문은 건설교통부 “한국형 고속철도 시스템 성능시험 및 안전기준 체계 개발” 사업(2005년 3차년도)으로 수행된 연구내용임을 밝히며, 건설교통부 관계자 및 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 한국철도기술연구원, 고속전철 시스템 통합 및 총괄 최종보고서, 2002. 12.
- [2] 한국철도기술연구원, G7 고속전철 기술개발사양서, 2002. 3.
- [3] 생산기술연구원, 차량시스템 엔지니어링 기술개발 최종보고서, 2002. 12.
- [4] 영국 HSE, Railway Safety Principle & Guidance
- [6] Railway Safety, Profile of safety risk on Railtrack PLC-controlled infrastructure Issue 1, Report No. SP-RSK-3.1.3.11, January 2001.