

# 고속철도 시스템의 성능검증 및 안전인증체계 구축방안 Development of the Performance Criteria and Safety Certification System for KHST

김상암\*                      왕종배\*\*                      조연옥\*\*\*                      홍용기\*\*\*\*  
Kim Sang-Ahm              Wang, Jong-Bae              Cho, Yun-Ok              Hong Yong-Ki

---

## ABSTRACT

In this paper the authors introduce the performance verification for Korea high-speed rail system developed at G7 project, how to draw basic provision requirements in the process of construction of national safety criteria certification system, and definition of basic requirements to make safety criteria at each subsystem and technology field in the future.

---

## 1. 서 론

고속철도는 안전성, 쾌적성, 정시성을 자랑으로 하는 공공교통 수단으로서 고속철도 운행선진국은 인간요소, 열차, 선로시설, 운영·제어, 유지보수 등 다양한 기술요소가 복합된 시스템 기술능력을 바탕으로 그동안의 다양한 시행착오를 거쳐 확립된 안전경험에 의해 고속철도의 운행안전을 확보하고 있다.

일반적으로 철도시스템의 안전평가 및 성능검증은 새로이 시스템을 설치하거나 시설, 장비의 중요부분을 변경하는 경우 그 특성과 운전상황을 고려하여 가장 적합한 안전기준 및 성능평가 평가기법을 적용하여 종합적인 시스템 안전성 여부를 분석, 평가할 수 있어야 한다. 이때 안전기준이란 설계, 제작, 운영 단계별 안전요건의 적합성 확인에 필요한 안전기준과 절차를 말하며 성능시험기준은 제작/시운전 단계의 성능시험평가에 필요한 절차와 판정기준을 의미하는 것으로, 대부분의 선진철도 운영국은 이를 국가 규정으로 작성하여 의무사항으로 부과하고 있다.

특히 새로이 개발된 시스템 도입이나 영업운행 이전에 시스템 성능확인 및 안전검증을 위한 국가 규정차원으로서의 고속철도시스템 안전기준 및 성능시험기준의 개발과 안전인증 체계구축 연구가 절실히 요구되고 있다.

이제 우리나라도 경부고속철도의 개통과 한국형 고속열차의 국산화 개발 노력을 국가 전략적으로 기울인 결과로 철도고속운행시대를 맞이하면서 고속철도 운행에 따른 안전보장과 사고예방을 위한 고속철도시스템 차원의 위험분석에 근거한 안전검증과 성능확인이 절대적으로 필요하다.

---

\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원 수석연구원, 정회원

\*\*\*\* 한국철도기술연구원 수석연구원, 정회원

본 논문에서는 G7 고속전철기술개발사업에서 개발된 한국형 고속철도시스템의 성능검증과 안전 인증을 위한 국가기준체계를 구축하는 과정에서 기본적인 규정요건을 도출한 방법론과 차후 서브시스템별 또는 기술분야별로 세부적인 기술안전기준을 작성해 나가야 하는 기본항목의 정의 결과에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 철도 시험인증체계 및 절차 분석

### 2.1 경부고속철도(KTX)의 시험인증체계

경부고속철도시스템의 시험인증에 관한 체계와 절차서는 한국고속철도공단과 GEC-ALSTOM사 간의 계약 중 “시험체계 및 시험항목”부분에 정의되어 있다. 이 계약서에서 요구하는 차량 및 인터페이스 분야의 품질보증체계는 ISO-9001 표준을 따르고 있다.

- ① 차량부분 : 설계인증시험, 공장승인시험, 조정 및 검증시험
- ② 가선부분 : 설계인증시험, 공장승인시험, 조정 및 검증시험
- ③ 열차제어부분 : 시험선시험, 1단계시험(서울-대전), 2단계시험(서울-부산)
- ④ 통합시험부분 : 시험선시험, 1단계시험(서울-대전), 2단계시험(서울-부산)

즉, 각 부분별 서브시스템의 품질보증은 단계별로 이루어지고 있으며, 시험의 종류, 적용범위 및 세부내용은 표 1에 정리된 바와 같다.

### 2.2 고속철도시스템 시험평가 관련규격의 검토

시험평가를 수행하기 위해서는 의도하는 성능이 만족됨을 검증할 수 있는 적절한 기준을 선택하는 것이 매우 중요한 과정중의 하나이다. 따라서 철도시스템의 성능 검증을 위한 시험평가와 관련된 각종 규격들을 조사하고 분류하는 것은 시험을 하고자 하는 주체의 시간적인 노력과 혼동의 우려를 줄일 수 있는 매우 유용한 작업이라 할 수 있다.

철도 관련 규격의 종류는 국제규격, 국가규격, 특정산업분야 통용규격 등 다양하게 있으나, 고속전철 기술개발 사업의 시험평가를 위하여 조사된 중요하고 빈번하게 사용되는 규격의 종류에는 다음과 같은 것들이 조사되어 있다.

KS(한국산업규격) JIS(일본산업규격) ISO(국제규격) UIC(국제철도규격)  
 IEC(국제전기규격) NF(프랑스규격) EN(유럽규격) BS(영국규격)  
 DIN(독일규격) ANSI(미국산업규격) IEEE(전기전자규격)  
 ASTM(재료 및 시험에 관한 미국규격) 등

표 1. 시험의 종류와 구분

시험 구분	적 용	세부 내용
품질시험 (Design Qualification)	단품, 단위조립품, 서브시스템, 단차(동력차, 객차, 동력객차) 및 편성의 설계입증을 위한 정적시험 및 동적시험	-실제시험 : 형식시험 -모의시험 : 기능 환경상의 설계에 명시된 제한조건으로 시행 -사전인증 : PDE 목록 제출
승인시험 (Acceptance)	제작 및 조립 공정의 관련 시방에 따른 동작성의 적합 여부를 확인하는 정적시험 또는 동적시험	-공장승인시험 : 전수시험 -현장승인시험 : 발주자의 승인 전 최종 시행시험
조정/변경검증 (Adjustment & Validation)	단품, 단위조립품, 서브시스템, 단차(동력차, 객차, 동력객차) 및 편성에 수정 사항 발생의 경우, 시험 후의 검증과정	
시운전시험		-핵심 시스템과 서브시스템간의 호환성(인터페이스)인증(최종승인단계)
S/W 제어시험		-S/W 품질보장 및 검증/인증 계획

표 2. 기술분류에 따른 철도 시험평가 관련 규격

기술분류	개수	기술분류	개수
차량(일반)	112	환경	18
차체	8	냉난방	7
대차	12	전동기	3
제동	15	C/I	15
전기(일반)	75	선로	68
집전	16	기타	18
신호/제어	60	총계	427

고속전철 시스템의 시험평가에 관련된 규격 중에서 빈번하게 사용되는 427개의 각종 규격들을 분야별로 13가지(차량일반, 차체, 대차, 제동, 전기(일반), 집전, 신호/제어, 환경, 냉난방, 전동기, C/I, 선로, 기타 등)로 분류하여 관리하고 있으며, 각 분야에 해당하는 규격의 수는 다음 표 2와 같다.

성능시험의 단계는 단품시험(구성품시험), 단위조립품시험, 단차시험(완성차시험), 편성시험 및 시운전시험으로 구분된다. 본 연구에서는 우선 고속철도시스템의 시운전 시험관련 규격을 G7 고속전철기술개발사업의 연차보고서를 참고하여 종합적으로 검토를 하였고, 여기서는 고속전철의 개발에 따른 성능평가 시험에 가장 적합하다고 판단되는 IEC 1133, UIC 610, JIS E 6004 규격에 대한 개요를 소개한다

① IEC 1133 및 UIC 610

- 차량 제작완료 후 완성차 시험 및 상업운전 투입전 시험을 통한 차량의 성능 확인
- 형식시험으로 입증된 설계표준사양을 전수시험시 모든 차량의 적용여부 확인
- 시험 분류 : (ㄱ) 사전 조정시험 (ㄴ) 승인시험(acceptance tests) : 형식시험/전수시험
- 시험종류 : 안전운행 시험 및 승차감 시험의 6종, 견인력 및 제동력 시험의 6종

② JIS E 6004

- 설계상의 제반조건 확인 목적의 성능시험 실시
- 성능시험에 관한 통일된 표준화를 통한 철도차량의 품질 및 신뢰성 향상
- 시험종류 : 일반주행성능시험의 4종, 주행저항시험의 5종

2.3 국내 철도관련 법규정 현황

철도운영기관(철도청, 지하철공사 등)은 교통안전법과 철도법을 기본근거로 하는 자체적인 철도 안전관리규정을 보유하고 있으며, 차량/시설/전기 등 각 분야별 세부적인 안전관리 및 점검에 대한 기술기준을 별도로 제정하여, 이들 규정에 의하여 자체적으로 안전점검 활동을 수행하고 있다.

- 철도법 제3조의 규정에 의거 국유철도건설규칙(도시철도건설규칙)에서 철도의 건설 및 차량기구 구조 사항 정의
- 철도법 제3조에 의거 국유철도건설규칙의 제6장 차량편에서 철도차량의 제작기준을 차량한계, 차량구조, 고정축거 등과 고압가스운송용 차량의 특수장치에 관한 기준 규정
- 도시철도의 경우 도시철도법 제22조의2(도시철도차량의 안전기준)에 의거 도시철도 차량 안전 기준에 관한 규칙에 의해 구조안전기준, 장치별 안전기준 설정

### 3. 시스템안전프로그램 및 기본위험분석에 의한 안전요건 개발

#### 3.1 철도시스템 위험평가 및 안전관리계획

선진 철도운영국가에서는 철도시스템을 “safety critical system”으로 규정하고 공학적 안전관리(engineering safety management)를 기반으로 하는 요건과 절차를 국가기준의 수준에서 정의하고 그 실행현황을 법으로 철저히 규제하고 있다. 시스템안전의 필수요건과 절차는 MIL-STD-882C에 잘 정의되어 있으며, 거의 모든 국가에서 이를 바탕으로 철도시스템에 대한 시스템안전프로그램계획(system safety program plan)의 작성과 실행을 철도의 운영자에 요구하고 있다. 이 내용을 살펴보면 위험도 평가 기반의 안전관리절차를 근간으로 하며, 각 단계별로 반드시 포함되어야 할 내용을 설명하면 다음과 같다.

시스템의 안전은 안전관리공학기법을 적용한 “위험(hazard)” 분석과 핵심분야별 정량적 “위험도(risk)”의 평가로부터 출발하며, 이때 “위험도를 관리한다”라는 개념은 위험도를 수용한다는 뜻이 아니고 평가된 위험도를 감소 또는 제거하기 위한 작업임을 명시하고 있다.

- ① 제1단계 : 안전 문제 및 관심사 파악
  - 사건/사고 조사 데이터, 안전 데이터 수집 및 분석
  - 고장 모드 및 효과 분석, 위험 및 운영 연구, 고장수목분석(FTA, ETA) 분석 기법 활용
- ② 제2단계 : 발생빈도와 심각도 평가
  - 안전 문제/관심사의 발생빈도 및 심각도를 정성적 또는 정량적으로 평가
  - 심각도 평가 : 사망 및 부상 관련 기타 손실 종류를 포함한 위험 심각도 평가
- ③ 제3단계 : 위험도 평가
  - 사전 결정된 위험도 분류법 적용 : 위험도의 수용가능, 경감 수용가능, 또는 수용불가 평가
- ④ 안전성능 판단기준 설정
  - 위험도 해결 매트릭스 적용 : 다양한 개수의 발생 가능성 및 심각도 분류 등급(행렬)

#### 3.2 철도시스템에 대한 기본위험분석결과 및 안전요건 도출

기본시설	1. 선로 보호 : 불필요한 침입 및 무단 출입으로부터 철도 보호 2. 안전간격 확보 : 열차가 운행중 철도기반시설 운영관리 활동의 안전 확보 3. 위치 파악 : 안전운영 및 유지보수를 위한 기반시설상의 특정위치 확인 4. 궤도 : 열차의 안전한 유도로 및 지지기반 제공 5. 열차안전간격확보 : 인접궤도 열차간, 열차-구조물-고정장치간 안전거리 6. 궤도하부 토구조물 및 구조물 : 열차발생 충격의 지탱, 전달 7. 궤도상부 토구조물 및 구조물 : 하중 지탱 및 선로 보호 8. 터널/유사 구조물 : 폐쇄 공간에 사람의 안전탈출 환경제공
역사	9. 사람의 안전 : 사람의 자유롭고 안전한 이동 보장 10. 승강장 안전 : 사람의 안전한 대기 및 열차 승하차 보장 11. 말단 궤도 : 열차정지보장, 과주행으로 인한 사람과 역사 보호 대책 12. 제어 : 선로 및 선로인접 부근의 활동과 연관된 역사 운영제어시설 제공 13. 탈출 : 역사 역사제어설비의 비상시 안전한 탈출 보장 14. 화재 예방 : 화재 위험도 및 탈출대책에 알맞은 화염방지 및 제어대책
입환구역	15. 사람의 안전 : 열차의 입환, 조차 및 유지보수시 안전 보장
전기견인 시스템	16. 사람의 안전 : 전기견인시스템의 사람의 안전 위험 방지 대책 17. 관리 : 전기견인시스템의 관리 및 운영상의 안전 확보 18. 상호작용 : 철도 내부 및 여타 시스템과의 위험한 상호작용 방지

신 호	19.상호작용 : 신호시스템의 열차 노선지정, 간격지정 및 제어상의 안전확보 20.성능저하 상태 : 성능저하 상태에서도 운행 허가된 열차의 안전 통행보장
제어 시스템	21.안전운영 및 제어 : 안전한 철도운영 및 비상시 외부 조직간의 협조관리를 위한 설비 제공
건널목	22.사용자 및 열차 안전 : 건널목 사용자에게 위험경고 및 보호, 철도보호 대책
열 차	23.구조적 무결성 : 정상운영시 열차 구조적 무결성 유지 사고발생시 사람 및 물건의 보호 24.내장 : 열차의 내장은 운송하는 승객 및 모든 물건의 안전한 환경 제공 25.출입 및 탈출 : 운송하는 사람 및 물건의 안전한 출입, 탈출 및 체결 방안 26.통신 : 열차 내부 및 송수신되는 안전 메시지의 효과적 통신 방안 마련 27.전력공급시스템 : 전기시스템, 기타 전력공급시스템 및 열차내 장치의 다른 시스템이나 사람의 안전 위협 방지 28.주행 장치 : 열차의 안전한 궤도이동 보장 29.속도 조절 : 운송하는 승객 및 물건의 안전을 위협하지 않고 철도의 운영 조건을 만족하는 속도 제어 30.신호와의 적합성 : 신호 시스템과의 적합성 확보 31.철도기반시설과의 적합성 : 열차크기와 철도기반시설과의 적합성 32.전기 견인 시스템과의 적합성 : 열차와 전기견인시스템과의 적합성

#### 4. 한국형 고속철도시스템 안전요건 및 성능시험 기본항목 도출

##### 4.1 한국형 고속철도시스템 요건 분석

한국형 고속전철 시스템 개발사업은 사업 초기부터 시스템 엔지니어링 기법을 도입하여 시스템 사양을 지속적으로 관리하고, 개발과정에서 일어나는 위험요소를 사전에 방지하려는 노력을 하여 왔다. 사업초기에 작성된 시스템 기본사양을 기반으로 하여 각종 하부사양을 CASE (Computer Aided System Engineering) 도구를 사용하여 관리하고, 각 사양간의 추적성을 부여하였으며, DVF(Dynamic Verification Facility) 기능을 활용하여 시스템 동적 거동분석을 통해 시스템을 검증하고 시스템아키텍처를 산출하였으며, 산출된 시스템설계데이터를 DB에 체계적으로 구축하여 왔다.

표 3. 한국형 고속전철 시스템 요건의 추적성 관리 대상

요건 종류	요건 총 개수	최하위 요건개수	요건 내용
시스템 기본	220	162	고속전철 시스템의 원요건
시제차	415	303	고속전철 시제에 대한 파생요건
신호시스템	795	455	고속전철 내,외부의 신호에 대한 파생요건
제어신호	2359	2010	고속전철내의 제어신호에 대한 상세 요건
동력차 전기	411	314	동력차내의 전기제어신호 요건
객차 전기	218	172	객차내의 전기제어신호 요건
합 계	4418	3416	-

시스템 아키텍처는 시스템의 상부구조를 정의하는 10개의 서브시스템의 구성되고 전체 4개 수준의 계층구조에 모두 82개의 구성요소로 이루어져 있다. PBS의 구성은 차량의 경우 동력차, 객차 및 동력객차, 동력차 대차, 동력객차 대차, 객차 대차 등으로 분류하고 1,000개의 구성품은 RDD-100상에서 RW Object Type을 이용하여 입력 관리하고 있다.

시스템 엔지니어링 기법의 적용은 결국 시스템 아키텍처와 PBS간의 추적성을 설정하여 시스템 요구사항의 반영여부를 검증(validation)하고, 실제 시스템이 원하는 성능을 내는가를 인증(verification)하는데 그 목적을 두고 있다.

본 연구에서는 이렇게 분석된 시스템요건과 예비위험분석 결과를 이용하여 성능시험체계와 안전인증체계가 구축되고 최종적으로 성능기준과 안전기준이 도출되도록 그림 1과 같은 기본계획을 수립하였다.

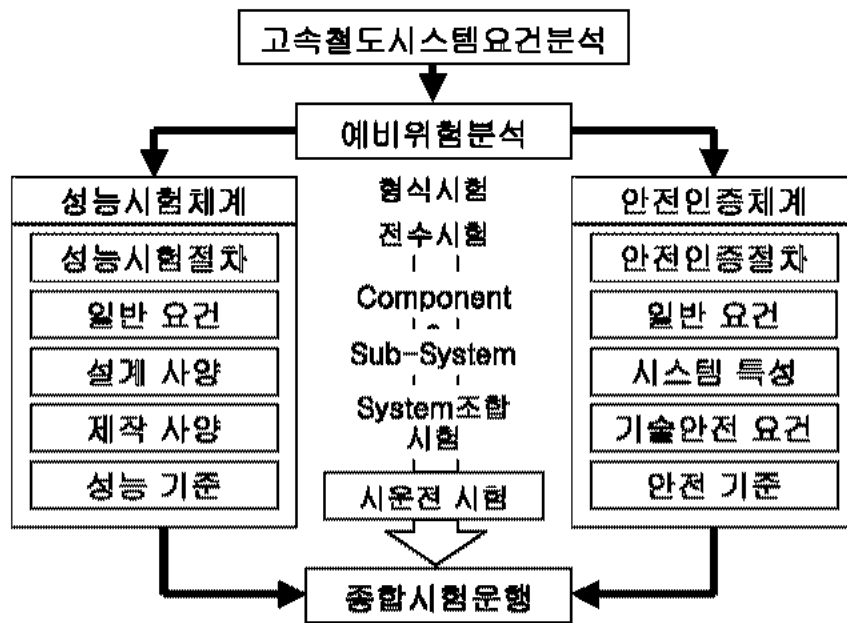


그림 1. 고속철도시스템 성능시험 및 안전기준체계 구축 기본계획

#### 4.2 고속철도시스템 안전요건 및 성능시험 기본항목 도출결과

##### ① 고속철도시스템 안전요건 도출

구분	요건(level 1 requirement)	요건별 하위요건(lower requirement) 또는 설명(description)	비고 D=description R=requirement
일반요건	목적과 범위	사고, 인적/물적 피해방지를 위한 최소안전규정	D
	적용	적용구간, 운영조건, 사전승인요구, 타규정과의 관계	R
	용어 정의	규정 내 용어의 정의	R
	준수 책임	운영상 불가조건, 규정준수	D
	처벌	민형사상 처벌조항	D
시스템 특성	일반특성	운영 특이사항, 속도	R
	운영노선 특성	부품, 장비, 지리적 제한 등	R
	안전체계 구성	시스템안전프로그램계획, 검사시험유지보수기준, 비상대응계획, 개인자격요건, 시스템검증시험	R
기술분야	레도/기반시설	레간, 복선 중심선 최소간격, 횡단 연결선 부설, 용접	R

별 안전요건		장대화 레일 사용, 자갈도상과 콘크리트 침목, 고속 가동철차분기기	
	신호시스템	ATC, 상호쇄정장치, 선로변 감지기, CTC, 폐색구간 표시기, 궤도회로	R
	통신시스템	선로변 전용 광통신시스템 설치, 전용 유선시스템, 유지보수용 휴대용 무선시스템, 열차/통제실간 무선 시스템	R
	급전시스템	25kV 가공현수식 급전시스템, 변전소 원격제어 및 중앙제어센터 운용특성, 원격감시장비/변전소설비의 고압대비 백업	R
	차량시스템	관절형 대차, 동력차/대차간 커플러, 휠 슬라이드 제 어, 대차별 운행감시 기능, 충돌에너지 관리, 연기 및 화재 검출시스템, 기관차 운전실, 추진시스템, 축상발 열탐지장치, 제동시스템 안전, 구난차량 운용	R

② 기술분야별 안전기준 대상항목 정의

구분	요건(level 1 requirement)	요건별 하위요건(lower requirement) 또는 설명(description)	비고 D=description R=requirement
기술분야 별 안전기준 대상항목	궤도안전기준	일반요건, 선형, 궤도구조, 검사	R
	신호안전기준	신호일반, 선로변 및 운전실 신호, 궤도회로, 전선/케 이블, 규격기준, 보고요건, 검사/시험/유지보수, 안전 검증/감사	R
	전력안전기준	경고신호, 안전간격요건, 카테너리결선, 변전소 출입, 액츄에이터, 전력공급, 비상장치, 고가형단 보호, 안 전작업 규칙, 검사/시험/유지보수	R
	차량시스템	안전간격요건, 열차 구조강도, 창유리, 제동시스템, 대아 및 현가장치시스템, 화재안전, 출입문, 비상장 비, 운전자 조정과 동력차 배치, 차동, 전기시스템 설 계, 자동모니터링, 제어시스템 설계요건, 안전기구, 열차 검사/시험/유지보수 요건	R

③ 성능시험 기본항목 제시

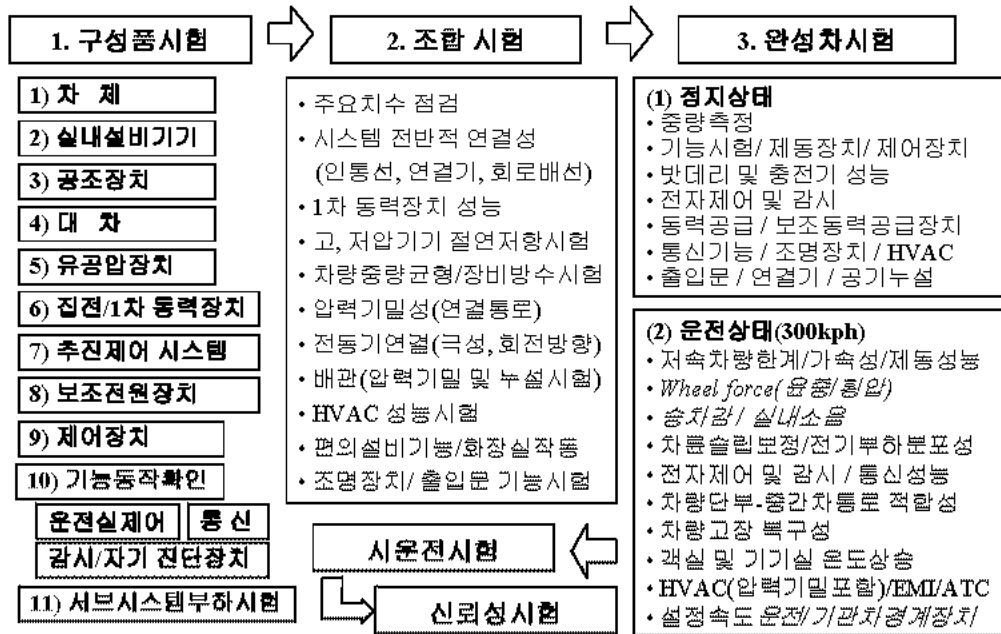
고속전철의 시험평가는 시스템의 성능에 대한 확인 과정이며 설계/제작-시험-설계변경-재시험의 반복적인 개발과정에 있어 통합된 부분이다. 복잡한 대형 시스템의 시험평가는 개발과정에 있어서의 복잡성 때문에 체계적인 시험평가 계획 및 관리를 필요로 한다.

최고운행속도 350km/h의 한국형 고속전철시스템에 대하여 본선에서 최고속도까지 주행하면서 차량시스템의 동적 특성을 파악하고 차량시스템과 전기/신호시스템 및 선로구축물 사이의 인터페이스를 점검하기 위한 시험평가가 필요하며, 시험평가는 차량, 전기신호, 선로구축물의 3개 분야와 3개 분야가 합쳐진 종합시운전 시험으로 나눌 수 있으며, 현재 진행중인 한국형 고속전철 기술개발사업은 다음과 같은 특징을 가진다.

- 7량 편성의 시제차량 대상으로 부품, 하부시스템, 차량, 편성의 단계로 개발품에 대한 시험평가, 차량 편성에 대한 공장시험, 천안-대전 사이의 시운전구간 시험운행
- 전기신호분야 개발품 중 차상 ATC만의 실제 노선 적용
- 속도향상에 대비한 선로구축물의 설계검증 및 시험자료 확보에 중점을 두고 있다.

시험평가 체계에 있어 시운전시험 계획의 수립, 시운전시험 절차서 작성, 시험 수행을 위한 시험 방법의 개발, 시험장치의 확보 및 설치, 전체적인 시험자료 수집 및 분석 체계를 확보해야 해

야 하며, 전체적인 시험평가는 시험평가종합계획을 근본으로 하며, 하부시스템의 시험평가는 차량, 선로구축물, 전기신호 분야의 시험계획에 따른다.



## 5. 결 론

고속철도시스템 안전기준 및 성능시험기준의 개발은 고속철도 운행에 따른 사전 위험요인 도출에 의한 안전위험 제거 및 경감, 철도시스템의 신뢰성 저하로 유발될 수 있는 대형사고의 예방, 나아가 주기적인 안전점검과 성능확인에 의한 철도사고 발생시 공공교통수단으로서 부담해야 하는 직·간접적인 사회적 손실 및 기회비용을 근본적으로 줄일 수 있고 국가수송체계의 경쟁력을 보장하는 대단히 중요한 기술개발 분야이다.

본 논문에서는 G7 고속전철기술개발사업에서 개발된 한국형 고속철도시스템의 성능검증과 안전인증을 위한 국가기준체계를 구축하는 과정에서 기본적인 규정요건을 도출한 방법론과 차후 서브시스템별 또는 기술분야별로 세부적인 기술안전기준을 작성해 나가야 하는 기본항목의 정의 결과에 설명하였다.

## 참고문헌

1. 경부고속철도 차량 등 핵심기자재 공급계약서 해설, 1995. 1.
2. Railway Safety, Profile of safety risk on Railtrack PLC-controlled infrastructure Issue 1, Report No. SP-RSK-3.1.3.11, January 2001.
3. 한국철도기술연구원, 고속전철 시스템 통합 및 총괄 최종보고서, 2002. 12.
4. 한국철도기술연구원, 고속전철 시스템엔지니어링 기술개발 최종보고서, 2002. 12.
5. 한국철도기술연구원, 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발 최종보고서, 2002. 12.
6. 한국철도기술연구원, 전기신호시스템 엔지니어링 기술개발 최종보고서, 2002. 12.
7. 한국철도기술연구원, 본선시운전 절차서, 2002. 12.
8. 생산기술연구원, 주식회사 로템, G7 고속전철기술개발사업 공장내 시험평가 절차서, 2002.1.
9. 한국철도기술연구원, 고속전철기술개발사업 시험평가 종합계획(안), 1999. 7.
10. 한국철도기술연구원, G7 고속전철 기술개발 사양서(안), 2002. 3.