미래철도기술개발사업

도시철도차량 운전실 표준화 기술개발기획 최종보고서

2013 . 7.

주관연구기관 / 한국철도공사
공동연구기관 / 한국철도기술연구원
서울메트로

국 토 해 양 부
국토교통과학기술진흥원

Land Infrastructure and Transpot R&D Report

도시철도차량 운전실 표준화 기술개발기획 보고서

국토교통과학기술진흥원
국 토 해 양 부

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

제 출 문

국토해양부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 **"도시철도차량 운전실 표준화 기획"**과제의 최종보고서로 제출합니다.

2013. 7.

주관연구기관명 : 한국철도공사
주관연구책임자 : 염병수 차장
연 구 원 : 인태명 처장
연 구 원 : 정형일 대리
연 구 원 : 한재진 대리
연 구 원 : 노정희 대리
광역철도본부 : 정찬일 부장
안 전 실 : 조민영 부장

공동연구기관명 : 한국철도기술연구원
연구책임자 : 박찬우 선임연구원
철도연 : 왕종배 책임연구원
철도연 : 곽상록 선임연구원

공동연구기관명 : 서울메트로
연구책임자 : 전진형 과장
서울메트로 : 김우교 대리
서울메트로 : 김정수 사원
서울메트로 : 안복태 과장

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td colspan="2"></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.12.26.~
2013.6.25.</td><td>단 계 구 분</td><td>(시 단 계)/
(총 단 계)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="5">건설교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="5">도시철도차량 운전실 표준화 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">염 병 수</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 14명
내부: 7명
외부: 7명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td colspan="2">50,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 14명
내부: 7명
외부: 7명</td><td>총연구비</td><td colspan="2">50,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도공사 연구원</td><td colspan="2">참여기업명</td><td colspan="2">한국철도기술연구원
서울메트로</td></tr>
<tr><td colspan="5">요약</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
</table>

o 도시철도는 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 기관사들의 취급부주의 사고가 빈번히 발생 되므로 철도수송안전성 확보를 위하여 도시철도차량의 운전실 표준화에 관한 연구를 추진

o 운전실에 대한 국내외 기술동향 및 제도·환경 분석을 통하여 연구 목표 및 범위를 정의하고, 운전실관련 기기의 정의와 사용요구조건 분석을 수행하여 최종목표 및 범위를 명확화하며, 연구목표 달성을 위하여 분야별 연구내용 설정 및 년차별 성과목표 제시 및 추진방안 수립

o 또한 기존 운전실 관련 기술·인프라 등의 활용 및 연계 방안을 검토하고, 기술성 및 경제성 분석을 통한 인력투입 및 개발기간, 최적의 소요예산 등을 산출하고, 명확한 과제 추진계획 및 추진전략 수립

o 현재 운영 중인 도시철도차량을 종류별로 분류하여 각 차량의 운전실별로 기기장치의 용어를 정리하고, 운전실의 환경적 요인에 의한 기관사의 인적오류에 대해 분석하여 운전실 기기 및 장치의 표준화 방안 개선에 적용

o 차량고장, 운행장애, 인사사고 등의 사고로 인한 철도기관사의 직무스트레스(외상 후 스트레스 장애)를 분석하여 스트레스를 감소시키고 조직문화 및 작업능률을 향상시킬 수 있도록 운전실 표준화 방안 수립

o 기관사의 정신적·신체적인 스트레스 및 인적오류를 유발 할 수 있는 잘못된 기기배치와 장치의 디자인에 대해 분석하고 관련 법령 및 규정을 검토하여 최적의 레이아웃 도출 및 표준화 방안 제시

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	도시철도차량, 운전실 표준화, 인간공학, 인적오류, 직무 분석
	영 어	urban railway vehicle, standardization of driver's cabin, human engineering, human error, job analysis

요 약 문

Ⅰ. 제 목 : 도시철도차량 운전실 표준화 기획

Ⅱ. 기술의 정의 및 필요성

1) 기술의 정의

○ 철도시스템에서의 인간공학 적용은 다른 교통수단 (항공기, 도로 등)에 비해 그 기간이나 적용범위가 상당히 제한받아 왔으며, 최근에는 다양한 기관들의 펀드를 지원받아 인간공학을 적용한 철도시스템에 관한 연구들이 발표되고 있지만 (예, 스웨덴, 독일, 네덜란드, 일본, 영국 등) 아직까지는 다른 교통수단에 비해 많은 양의 성과물은 발표하지 못하고 있는 실정임

○ 현재 차량 제작 시 설계기준과 관련하여 기관사들에게 설문을 받고, 운전분야 근무경력자 (기관사, 운전팀장)와 차량설계 담당자들이 참석하여 현 차량의 기기배치와 모양수정 및 추가되는 보안장치 등을 고려하여 제작하고, 신조차량에 대한 외형 및 내부의 디자인 변경에 따라 기기와 장치를 제작하고 있는 실정임

○ 최근, 취급부주의사고(휴먼에러)에 대한 연구가 진행되면서 철도시스템에서의 인간공학의 역할 중요성을 인정받고 있고 특히, 외국에서는 신호와 새로운 운행시스템의 적용에 있어서 인간특성을 반영한 장치들이 소개되고 있으며, 이러한 시스템의 장점 즉, 중앙센터와 계기판의 집중화, 무수히 많은 기기들의 소량화, 각종 기기와 장치의 기능들을 통합을 통해 중앙센터에서의 기능을 간단하면서도 안전적 부분을 강화하고 있음

○ 현재 운행되는 철도차량 운전실의 lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 현대화된 디스플레이의 장착 등에 의해 차량마다 다르고, 내부기기장치의 크기, 색깔, 모양, 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 발생하고 있음

○ 특히 EMU(Electric Multiple Units) 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급

○ 운전자 부주의의 원인은 운행 중인 철도차량 운전실의 인간-기계 인터페이스의 상이함에 따른 휴먼에러(Human Error)와 고속・소음・터널・협소한 공간 등 열악한 근무환경에 따른 운전자 스트레스와 부하(workload)가 주원인으로 분석되고 있음

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합 철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 본 연구에서 개발하려는 기술은 현재 기관사 면허제도 중 2종 전기차량은 1개의 차량으로 면허를 취득 후 에서 기존에 설치된 각종 기기 및 장치를 표준화(크기, 모양, 색깔, 위치, 취급방법)하고, 운전실 환경(소음・진동, 조명, 환기 등)을 개선하여 운전자로 하여금 피로를 줄일 수 있도록 인간공학적인 설계 및 검증 기준을 제공하고, 취급부주의 사고와 앗차사고(차량고장, 정차역 통과, 기기취급에 대한 지연조작, 조기조작, 오취급, 조작생략)의 분석을 통하여 운전실의 개선 및 표준화 개발하는데 필요한 여러 가지 기술에 대한 기획연구임

○ 기존에 개발되어 운행 중인 도시철도차량의 운전실 분석 및 개선요구 사항을 도출하여 기관사 휴먼에러 및 운전실 제작비용 최소화를 위한 기술개발을 하도록 연구개발 하는 것으로 ① EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발, ② EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT(Information & Communication Technology) 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 연구로 구성되어 있음

① EMU(Electric Multiple Units) 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발 연구

○ 다양한 운전실에 설치된 각종 기기/장치들의 모양, 크기, 색깔, 위치, 취급방법에 대하여 EMU철도차량 운전실의 설계 및 검증 기준을 제시하며, 설계 기준과 사용자들에 요구에 적합한 기기/장치를 표준화하여 어떠한 차량을 운전하여도 취급 시 오류를 최소화하도록 하고, 기기/장치를 표준화 및 기기/장치의 모듈화를 통한 운전실의 설계, 생산, 운영 및 유비보수를 포함하는 전생애(LCC, Life Cycle Cost) 비용을 최소화하는 연구임

○ 본 과제에서는 ① EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출, ② EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발, ③ EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발, ④ EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발을 수행하고 자함

○ 기존의 연구들은 "기기/장치에 대하여 문제만을 제기하고 개선해야한다"라는데 초점을 두었다면 이번 연구는 그러한 문제를 전문가를 통해 방향성을 잡고 사용자들의 의견, 시뮬레이터의 이례상황 및 실차 실험을 통해 검토하고, 인간공학 및 감성공학을 포함하는 운전실 검증 및 평가 기술 개발을 통해 최적의 운전실 기기 및 장치를 제시하고, 각종 기기 및 장치를 사용자 측면에서 연구함

○ 또한 운전 중 비상이나 상시 사용하지 않는 기기들은 운전자 데스크에 설치하지 않음으로 필요한 기기/장치만을 표준화하여 운전자의 피로 및 인적오류를 예방하는 관련된 내용을 포함함

○ 또한 본 기획연구에서 분석한 설문을 바탕으로 필요한 기기들을 나열하고, 최적의 기본 모델을 기존의 차량에 적합한지를 운전자 데스크 사양에 대한 선행연구를 포함함

○ 운전자의 업무수행과 직무스트레스에 영향을 주는 일반적인 운전실 환경(소음/진동, 환기, 냉/난방)과 시각에 피로를 줄 수 있는 각종 DMI Display의 위치 및 기기배치에 대한 최적의 레이아웃을 디자인하여 운전자로 하여금 건강 및 인적오류를 예방하고, 또한 외부의 환경을 내부에 접목함으로서 운전자가 시각, 청각집중에 대한 영역을 최소화 할 수 있도록 설계하여 운전자로 하여금 안전과 건강, 안락함과 편의성을 제공하고, EMU차량의 운전실에 대한 기기/장치의 호환성을 고려하여 제작할 수 있도록 설계 및 검증 기준을 제시하여, 기기/장치가 어떠한 차량에도 호환될 수 있도록 설계/제작되도록 하고, 그 기준은 국외에서도 호환될 수 있는 방향으로 연구되어야 함.

○ 연구결과물인 EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준은 EMU 철도차량 운전실의 형식인증을 위한 기술기준 및 국가기준 사용으로 활용되도록 연구가 진행되어야 함

- 형식인증을 위한 기술기준을 선진국 수준으로 향상시킬 수 있도록 세부내용의 기술적 고도화 및 기준 작성
- 작성된 기준에 대하여 유관기관 의견수렴 및 자문, 시험을 통함 검증을 통하여 국가 기술기준 최종(안) 작성
- 국가기술기준의 최종(안)이 작성되는 순서대로 주관부처인 국토부를 보조하여, 국가시험규격의 최종 고시를 적극 지원해야 함

○ EMU 철도차량 운전실의 형식인증을 위한 시험규격, 표준사양 및 국가시험규격 사용으로 활용되도록 연구가 진행되어야 함

- 본 사업 진행과정 상에서 초기부터 국토부 및 관련기관과의 적극적 의견수렴을 시험규격 정비 대상 선정
- 선정된 대상에 대하여 유관기관 의견수렴 및 자문, 시험을 통함 검증을 통하여 국가시험규격 최종(안) 작성
- 국가시험규격의 최종(안)이 작성되는 순서대로 주관부처인 국토부를 보조하여, 국가시험규격의 최종 고시를 적극 지원

② EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축

○ 위에서 연구한 모든 기술을 재조합이 가능한 시뮬레이터를 제작하여 기관사들의 직무교육 시에 적용함으로서 최적의 운전실 설계를 적용하고, 기존에 개발되지 않은 홀로그램 운전선도를 통한 최적의 운전기술을 습득하도록 하여 에너지 절감 및 운전자 자신이 운전하는 구간의 구배, 곡선 등 운전조건과 신호기의 위치 등 구간의 외부환경을 파악하여 안전운행 및 에너지 절감운전을 할 수 있는 시뮬레이터의 필요성이 제기되었다. 본 기획연구에서는 휴먼에러와 에너지를 절감할 수 있는 재조합 시뮬레이터 개발 방안을 제시하고자 함

○ 본 과제에서는 ① 표준에 따른 운전실 기기/장치 개발, ② ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터를 개발하고, 최종적으로 ③ 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축하여 개발 기술의 적합성을 평가하고 함

2) 기술개발의 필요성

○ 복선화, 전철화, 자동화 등 지속적 철도시설개량과 최첨단 차량 도입, 유지보수 장비현대화, 철도종사자 사고방지, 교육훈련 강화와 대국민 안전홍보, 안전시설물 확충, 철도안전 관리강화 등에 따라 철도사고는 감소하고 있으나 휴먼에러와 연관된 운행장애 및 관리장애는 증가추세에 있음

○ EMU 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급

○ 운전자 부주의의 원인은 운행 중인 철도차량 운전실의 인간-기계 인터페이스의 상이함에 따른 휴먼에러(Human Error)와 고속・소음・터널・협소한 공간 등 열악한 근무환경에 따른 운전자 스트레스와 부하(workload)가 주원인으로 분석

○ 특히 철도사고는 원전, 비행기 등과 같이 운전자 휴먼에러가 대형재해(catastrophic disaster)로 이어질 가능성이 높은 분야 중 하나로 관련 연구는 철도 고속화와 첨단화에 대응한 안전확보, 향후 수출 등 관련 산업의 성장동력화에 있어 중요한 요소로 대두

○ 점차 증가하는 국민의 안전 및 삶의 질 욕구 증가와 국가 인프라인 철도시설 신뢰 및 믿음의 향상시키기 위한 휴먼에러 감소는 운전자의 직무만족도 향상과 함께 대국민 안전의 중요한 요소로 인식

○ 현재 차량 제작 시 설계기준과 관련하여 기관사들에게 설문을 받고, 운전분야 근무경력자(기관사, 운전팀장)와 차량설계 담당자들이 기기배치와 모양수정 및 추가되는 보안장치 등을

고려하여 제작하고, 신조차량에 대한 외형 및 내부의 디자인 변경에 따라 기기와 장치를 제작하고 있음(정량화된 설계제작 미흡)

○ 휴먼에러 사고분석과 기관사들의 면접을 통한 앗차사고를 분석하여 현재 설치된 기기의 기능 보완 및 기관사의 휴먼에러 발생에 영향을 주는 요인들을 분석하여 기기 표준화에 대한 연구가 필요

○ 기관사의 승무 중 신체적, 정신적 상태는 휴먼에러에 밀접한 영향을 줄 수 있음

○ 예를 들어, 좌석의 높이나 각도가 맞지 않는 경우, 소음이 기준을 초과한 경우, 가시성 현저히 떨어지는 경우는 기관사의 신체적인 상태와 정신적인 상태에 악(惡) 영향을 줄 수 있음

○ 승무 중 신체적, 정신적 상태에 영향을 주는 인자들은 주로 운전실의 환경(소음, 진동, 공기의 질 등), 운전실의 배치(접근성, 가시성, 의자 등), 워크스테이션 디자인(디스플레이, 장비 등)의 요소들임

○ 기관사의 휴먼에러 예방을 위해서는 현재의 자격제도, 교육훈련과 더불어 운전실의 환경, 배치, 워크스테이션 디자인과 같은 작업환경의 평가 및 개선 필요함

○ 현재 국내의 철도차량 운전실 개발 시 운전실에 관련된 인간공학적 기준 및 제작 검증기준은 부족한 상태임

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합 철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 타 산업인 원자력 발전소 주제어실의 경우, 휴먼에러에 영향을 주는 요소들을 평가하여 디자인에 반영을 규제사항으로 제시함

Ⅲ. 국내·외 동향 및 환경분석

○ 철도시스템은 인간요소, 선로시설, 열차, 운영·제어, 유지보수 등 다양한 구성 요소가 서로 유기적으로 연계되어 운영되는 복잡도가 대단히 높은 시스템임

○ 하드웨어 부분은 최신 기술의 발전과 품질관리 등의 인증 기준이 강화되고 있어서 신뢰도 수준이 많이 개선되어 가고 있으나, 철도 시스템을 운영하는 주체인 인간의 직무수행도에 대한 신뢰도 수준은 하드웨어 설계에서 인적요인에 대한 고려가 미흡함

○ 따라서, 상대적으로 불확실도가 높은 인간이 수행하는 직무의 내용과 질에 따라 철도시스템 전체의 수행(안전)도가 결정됨

○ 국토해양부의 2차 철도종합안전계획(2011~2015)에서는 종사자 인적요인의 체계적 관리를 주요 추진 사항으로 두고 있으며, 국내외 철도산업의 인적오류 관련 고시 및 기술수준은 다음과 같음

- 신체적 요인

· 국내 및 해외철도의 경우 신체적 요인과 관련하여 소분류 항목인 연령요인, 신체요인, 감각요인, 운동능력에 대한 기준을 가지고 있음

· 국내철도는 '철도안전법'과 시행규칙을 제정하여 철도 차량운전면허응시자 및 철도종사자 신체검사에 관한 지침이 고시되어 신체검사가 수행되고 있음

· 검사항목으로는 일반결함, 비·구강·인후계통, 치아계통, 피부질환, 흉부질환, 순환기계통, 소화기계통, 생식 또는 비뇨기계통, 내분비 계통, 혈액 또는 조혈계통, 신경계통, 사지, 귀, 눈, 정신계통으로 구성됨

· 영국 철도의 경우 신체적 요인과 관련된 기준으로 의료적 평가 방법 및 적합성 요건, 질병 이후의 평가에 관한 규정이 있음

· 일반적인 의료적 조건으로는 운전업무종사자가 되고자 하는 자의 갑작스런 의식의 상실, 경계 또는 집중력 결함, 갑작스런 무능력, 균형 및 근육운동의 조화의 결함, 이동성의 제한 등의 결함 기준이 있음

· 캐나다의 신체적 관련 규정으로 의료적 평가의 주기, 의료적 적합성 평가, 의료적 요건으로 인한 제한 사항에 대한 기준이 있음

· 의료적 조건으로 운전업무종사자의 신체적 적합성 평가 시, 갑작스런 신체적 결함, 인식기능의 결함, 의식의 결함, 근골격계 기능의 결함, 철도안전에 위협을 줄 것 같은 결함을 고려함

- 정신적 요인

· 정신적 요인의 소분류항목 중 국내외 철도와 비교 시 차이가 발생하는 부분은 수면관련 부분임

· 일반적으로 수면 부족은 작업수행도의 편차를 나타내며, 작업우선순위에 대한 무시, 집중도의 저하를 가져오고 수면 부족시간이 길수록 작업에 악영향이 빨리 나타나고 작업이 길수록 그 영향이 커짐

· 현재 국내 철도의 신체검사 항목에서는 수면관련 항목이 존재하지 않아 법적 기준은 제시되지 않고 있음

· 캐나다 및 호주에서는 의료적 기준으로 수면질환에 대한 적합성 평가를 수행하고 있음

- 심리적 요인

· 국내 철도는 심리적 요인의 소분류 항목인 피로/스트레스 항목과 관련해서는 철도차량운전규칙 제6조 3항에서 과로 등으로 인하여 당해 업무를 적절히 수행하기 어렵다고 판단되는 경우에는 그 업무를 수행하도록 하여서는 아니 된다는 관련 조항만 언급하고 있을 뿐 피로와 관련된 구체적인 조항은 없음

· 호주의 안전법 규정에서는 철도운영자는 운전업무종사자의 피로 관리 요건과 일치하여 프로그램을 준비 및 이행을 요구하는 조항이 있음

· 캐나다 철도안전법은 Section 20(1)을 근거로 WORK/REST RULES FOR RAILWAY OPERATING EMPLOYEES 에서 피로관련 최소 요건과 피로관리계획을 설명함

· 영국의 피로관련 가이드라인에서는 관리자가 운전업무종사자의 피로에서 발생하는 위험을 관리하기 위하여 효과적인 배치를 수립하는 9단계 절차를 가지고 있음

- 장비특성 요인

· 장비특성요인과 관련된 규정으로 국내 철도는 철도안전법 제26조(철도차량의 안전기준)에 철도차량은 대통령령이 정하는 구조 및 장치가 건설교통부령이 정하는 안전기준에 적합하지 않으면 운행하지 못하고 안전기준에 맞도록 철도차량을 점검·보수하는 등 유지 관리하도록 하는 규정이 있음.

· 이 규정에 근거하여 철도차량안전기준에 관한 규칙(국토해양부령 제280호) 제42조(운전실)와 제43조(운전실에 갖추어야 할 장치)에는 운전실에서 요구되는 기준이나 장치에 대한 규정을 제시하고 있음

· 그러나 현재 이들 조항에는 인간공학측면이 고려되어 명문화된 조항이 기술되지 않고 있는 실정이고 이런 부분이 해외 철도와 큰 차이를 보임

· 호주, 영국, 미국의 경우 운전실에서 사용하는 장치나 작업장의 설계 시에 인적요인을 고려하는 지침을 제시하고 있음

- 업무의 신체적 특성 요인

· 신체적 특성요인과 관련하여 국내철도에서 업무시간 및 휴식시간과 관련된 규정으로는 철도차량운전규칙 제6조 3항의 과로관련 조항이 있을 뿐이며, 의사교환 형태의 적합성 관련된 법적 조항은 없는 상황임

· 업무시간 및 휴식은 심리적 요인의 피로, 스트레스 부분과도 밀접한 연관관계가 있음

· 호주의 지침서에서는 철도운영자는 철도 운전업무종사자의 근무시간, 근무패턴을 확인해야 하고, 근무 및 휴식기간에 대한 시간을 관리하기 위한 범위를 설정하도록 하고 있음

· 의사교환 형태의 적합성과 관련하여, 영국의 의사교환 관련 규정은 직원들 간의 안전하고 효율적으로 의사전달이 이루어지도록 의사교환 적합성모델의 개발을 요구하고 있음

- 업무의 정신적 특성 요인

· 업무의 정신적 특성요인과 관련해서 국내 철도는 적성검사 시 반응형 검사에서 주의력 검사항목이 존재하고 있음

· 기억요구 항목에 대해서는 기억 관련 검사가 규정에는 없지만 적성검사의 문답형 검사와 반응형 검사가 전반적으로 기억능력을 요구하고 있음

· 영국의 규정은 철도 종사자의 선발 시 반복적이고 지루한 단순 직무를 수행할 때 경계심 및 집중력 유지, 비상시에만 사용되는 정보를 포함하여 안전관련 정보의 유지 및 회상, 시간의 압박 하에서 절차, 규정, 지침의 준수, 비상상황 또는 스트레스 상황에서의 반응 등을 확인하고 있음

- 물리적 환경 요인

· 국내 철도에서는 물리적 환경요인과 관련하여 운전실의 소음에 대해서는 철도차량 안전기준에 관한 규칙 제42조(운전실)에서 운전실은 열차운행 및 기계실의 소음이 최소화되는 구조로 설계되어야 하며 열차운행 시 운전실의 실내소음은 등가소음(Equivalent Sound) 기준으로 측정한 경우 85데시벨을 초과할 수 없음을 규정하고 있음

· 조명, 온도, 습도에 대해서도 운전업무종사자를 위한 적절한 조명설비 및 냉·난방장치가 설치 규정. 공간배치의 적합성에 대해서는 운전하는 경우 사용되는 모든 장치는 운전업무종사자의 시야 범위 안에 있어야 하며, 운전업무종사자가 혼동하거나 어려움 없이 제어할 수 있도록 배치를 요구하고 있음.

· 영국의 규정 및 가이드라인에서는 공간 배치의 적합성과 관련해서 정착물, 부속품, 내부시설, 비품, 장치류, 제어기, 지시기, 계측기 등을 포함하는 기관실의 내부 치수는 운전업무종사자의 신체적 치수 범위에 적합해야 하며 인간공학 배치의 관점에서 운전업무종사자에게 안전하고 효율적인 직무환경을 제공해야 한다고 언급하고 있음

- 화학적 환경 요인

· 운전실의 화학적 요인은 작업장의 환기와 연관이 되어 있음. 국내 철도의 경우 환기와 밀접한 기준으로 철도차량 안전기준에 관한 규칙 제 42조(운전실)에서 운전실의 양 측면에는 개폐가 가능한 창문이 설치되어야 한다고 규정만 있을 뿐, 그 이외의 기준은 언급되고 있지 않음

· 영국에서는 규정에서는 운전업무종사자가 포함된 열차승무원이 거주하는 지역의 환기에 대한 기준이 제시되고 있으며 미국의 가이드라인에서도 환기에 관한 기준을 제시하고 있음

○ 분석 결과, 국내 철도는 기관사 특성요인에 해당하는 부분에 대해서 소분류 차원에서 일부 부족한 항목이 파악되고 있지만, 전체적으로 보았을 때 제도적 기준이 잘되어 있는 것으로 분석

○ 법적 조항 측면으로는 신체검사, 적성검사, 자격관련 부분과 연결되어 있어 일부 부족한 항목에 대해서는 기존 제도를 근거로 하여 보완이 가능함

○ 그러나 운전업무특성요인 및 작업장환경요인은 해외 철도분야와 비교 시 차이가 많음

○ 운전실 장비나 운전실 주변 환경뿐만 아니라 직무분석분야 등 다양한 분야에 대하여 인적요인이 고려되는 법적인 근거가 존재하지 않는 상황임

○ 일반적으로 인간은 불완전한 특성을 가지고 있는 존재이기 때문에 언제, 어느 상황에서 인적오류로 인한 사고를 발생 시킬 가능성은 항상 내포되어 있으므로 작업자에게 잘 맞도록 설계된 작업상황은 그렇지 못한 경우보다 오류의 발생확률이 분명히 낮아짐

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합 철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 타 산업인 원자력 발전소 주제어실의 경우, 휴먼에러에 영향을 주는 요소들을 평가하여 디자인에 반영을 규제사항으로 제시함

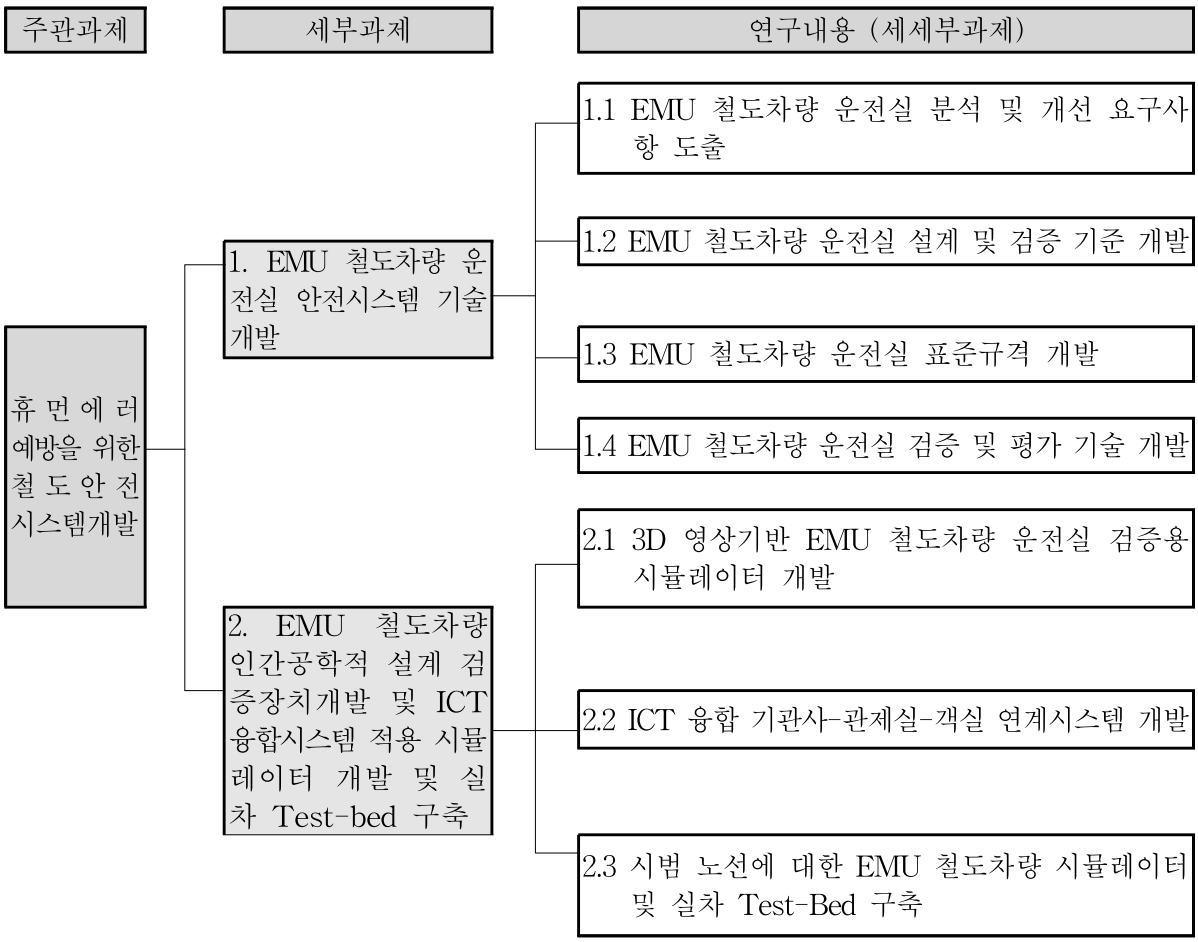
○ EMU 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급

○ 따라서 운전업무특성 요인 및 작업장 환경요인이 인적오류를 발생할 수 있는 중요한 요인임을 인식하여 인간공학적 결함을 설계단계에서 사전에 밝혀내고 이를 제거할 수 있는 제도, 교육훈련, 설비의 개발이 필요하며, EMU 철도차량 운전실의 표준화 및 최적의 운전실 설계로 인한 기관사 휴먼에러 및 운전실 제작비용 감소 필요

○ EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축이 요구됨

Ⅳ. 연구개발과제 구성 및 추진전략

○ 선행 연구개발 사례분석을 통해 본 과제는 ① EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발 세부 과제와 ② EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축이 세부과제로 구성



<연구과제 구성>

○ “EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발” 과제에서는 ① EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출, ② EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발, ③ EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발, ④ EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발을 수행하고자함

○ “EMU 철도차량 운전실 검증용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발” 과제에서는 ① 표준에 따른 운전실 기기 개발, ② ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터를 개발하고, 최종적으로 ③ 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축하여 개발 기술의 적합성을 평가하고 함

○ 본 과제에서는 먼저 철도 운영기관의 기존 EMU 철도차량 운전실의 문제점을 다음과 같이 세부적으로 분석하여 개선요구 사항을 도출하여 현장의 의견을 파악하고자 함

- EMU 철도차량 기관사 휴면에러 형식 및 원인 분석
- EMU 철도차량 기관사 직무 분석
- EMU 철도차량 기관사 신체 자료, 신체질환 및 정신질환 분석

- EMU 철도차량 기관사 운전실 요구사항 도출(설문, 인터뷰 포함)

○ 다음으로 기존 EMU 철도차량 운전실의 기기 장치 표준화에 앞서, 기존 EMU 철도차량 운전실의 기존 EMU 철도차량 운전실 HW·SW의 기능(FBS, Functional Breakdown Structure) 및 구조(PBS, Physical Breakdown Structure) 분석하고 모듈화 하여 EMU 철도차량 운전실 HW/SW의 표준 기능(FBS) 및 표준 구조(PBS) 개발하고자 함 (용어 표준화 포함)

○ 다음으로 철도안전법 개정에 따른 철도차량 형식승인 등에 활용 가능한 국제적인 수준의 EMU 철도차량 운전실 설계 기술기준 및 가이드라인을 제시하고, 이의 검증을 위한 EMU 철도차량 운전실 설계 검증 절차 및 기준 개발(운전실 DMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근)을 개발하고 제도화를 추진한다.

○ EMU 철도차량 운전실 설계 기술기준 및 가이드라인에 따른 운전실 기기/장치의 표준규격을 제시하고, 제도화를 추진한다.

○ 앞의 연구내용을 기술적으로 지원하기 위해 다음과 같은 검증평가 기술개발을 수행한다.

- 기관사 휴먼에러 분석 기술 개발 및 적립
- 철도차량 운전실 감성평가 기술 개발 및 적립
- 기관사 생체신호를 활용한 운전실 평가기술 개발 및 적립
- 가상모형화(VR), Mockup, 시뮬레이터 실험, 실차 실험 등을 활용한 운전실 적합도 평가 기술 개발 및 적립
- EMU 철도차량 운전실 구성품 평가기술 개발(운전실 MMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근) 및 적립
- 철도차량 운전실 평가 기술 시범적용 및 검증

○ 개발된 기술을 실험하고 검증하기 위해서는 시뮬레이터 및 실자 테스트가 반드시 요구되며, 이를 위해 본 과제에서는 EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed를 구축하고자 하며, 개발시스템의 지속적 활용을 위해 기관사가 최적의 운전기술을 습득하도록 교육하여 안전운행 및 에너지 절감 운행을 할 수 있고 사고발생시 실시간 영상(운전실-관제실-객실)을 통하여 2차적인 병발사고를 최소화할 수 있는 다음 사양의 3D 홀로그램 영상기반 ICT융합 도시철도 운전 시뮬레이터 기술을 개발하고 하며, 다음과 같은 사양을 가져야 함

- 기관사 운전 오류 최소화 및 비상상황 즉각 대응을 위한 각종 DMI 디스플레이의 위치 및 기기를 임의로 화면에 배치 가능한 기술
- 철도차량 기관사를 대상으로 기존 철로 및 신규 철로를 3D 영상으로 디스플레이하여 실제 상황과 동일한 환경 (예외상황, 돌발 상황, 비상상황 등을 임의 발생)에서 교육할 수 있는

시뮬레이터

- 기관사가 즉각 대응할 수 있게 차량 앞 유리 하단에 주요 운행정보 및 비상상황을 표시할 수 있는 홀로그램 기반 HUD(Head Up Display) 기술 (철도차량 내부 정보를 디스플레이 가능한 정보로 변환하는 기술과 변환된 정보를 유리에 투영하는 홀로그램 기술) 및 음성 알림 기술
- 시뮬레이터를 통한 기관사 교육 결과분석 및 평가 기술
- 위치검지 기술 및 영상통화 기술을 블랙박스 영상과 연계하여 실시간으로 비상상황에 대응할 수 있는 ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템
- 비상상황에 따른 영상 및 음성 안내 시스템
- EMU 철도차량 운전실 표준규격에 따른 운전실 HW/SW 구성품 제작 및 시뮬레이터 개발 (디스플레이 포함)
- 시범 노선 3D 실사 영상 획득 및 DB 구축 기술 개발 (규정 속도, 구배, 곡선 정보 포함)
- 시범 노선에 시뮬레이터를 탑재한 Test-bed 구축
- 실차 적용을 통한 EMU 철도차량 운전실 표준규격 유효성 확인
- 시험 운영을 통한 결과 분석 및 문제점 보완

Ⅴ. 사전타당성 검토

○ 운전실에 설치된 기기/설비가 대부분 인간공학적 설계개념 및 기본원칙에 부합되지 않아, 잠재적 인적오류 유발 가능성이 상존함

○ 운전실에 설치된 기기/설비가 기관사의 운전직무를 적절하게 지원하거나 안전운행을 저해하는 요인이 되지 않아야 함

○ 설계초기부터 인간공학적 개념 및 절차를 도입하여 제작할 수 있는 체계를 구축해야 하며 이는 국제 경쟁력 차원에서 국가 표준으로 개발되어야 함

○ 운전실 기기/설비 위치 및 배치, 조작 및 제어관련, 운전제한 및 주의운전 지원 등은 설계 제작 초기단계에서부터 고려되어야 함

○ 운전실 기기/설비(이하 인간-시스템연계설비)는 전 차종에서 전반적으로 인간공학적 기본 원칙에 부합하지 않게 설치·운영되고 있어, 잠재적 인적오류 유발 가능성이 높은 것으로 판단됨

○ 본 기획연구에서 설문조사 결과 분석한 결과 최근 1년 동안에 사고로 이어 지지는 않았지만 차량고장으로 인해 당황한 경우가 57. 9%(409명)이 있다고 분석되었고, 사고분석에서도 차량고장으로 당황하여 2차적인 사고로 이어지는 경우가 발생되고 있는 것으로 분석되었다.

○ 또한 가장 많이 발생되고 있는 정차역 통과 또는 정지위치 어김 사고와 관련하여 급제동을 취급한 경우를 질문한 결과 51.2% 경험을 한 것으로 분석됨

○ 유럽 운전실 제어대(EUDD, European Driver's Desk) 프로젝트, 2001-2003) 사례를 보았을 때 EMU 철도차량 운전실의 표준화로 휴먼에러로 인한 사고(accident)의 10% 감소가 예상되며, 예기치 못한 특이한 상황에 대한 대응 및 휴먼에러에 의한 아차사고(near miss)가 90% 이상 감소가 가능할 것으로 판단됨

○ 운전실에 설치된 인간-시스템연계 설비의 인간공학적 설계기준을 우선적으로 수립·개발하여, 향후 "기관사 중심설계(Human-Centered Design)" 개념에 부합하는 운전환경을 구축할 수 있을 것으로 판단됨

○ 기존 EMU 철도차량 운전실 제어대 대비 표준화에 이점은 다음과 같음

- 최신 인간공학 기술을 적용한 개선된 MMI
- 이전에 하드웨어 기능이었던 것을 단말기(소프트웨어 기능)로 이전하여 제어대 상 하드웨어 요소 수 감소
- 향상된 기능적 모듈화
- 중요 조작의 표준화

○ 본 과제와 유사한 유럽 운전실 제어대(EUDD, European Driver's Desk) 프로젝트, 2001-2003) 사례에서 제시된 운전실 표준화 및 모듈화에 의한 경제적 타당성은 다음과 같음

- 공급 업계 측 이익
  · 제조비용 25% 절감 (소프트하드웨어 > 50%, 전기적 하드웨어 ~25%, 기계적 제어대 구성요소 ~25%)
  · 출시시간 10% 단축
- 철도 운영사 측 이익
  · 내용연수 동안 제어대 유지보수 비용 30% 절감
  · 전체 수명 주기 비용 25% 절감
  · 기관사 훈련비용 30% 절감
  · 전기기계 장치를 완전 전자 장치로 교체함에 의한 신뢰성 25% 개선
- 사고 저감에 의한 기관사 측 및 사회에 대한 기대 이익
  · 철도차량 운전실의 작업환경 개선 통한 기관사의 직무수행도 제고와 업무만족도 향상으로 인한 생산성 제고

· 기관사의 심리 및 신체적 안정을 통한 의료비용 절감

· 기관사 인적오류를 저감에 따른 철도운영사 및 국가의 사고비용 절감

· 해외 수출차량의 운전실의 인체공학적 디자인에 따른 수출 차량의 경쟁력 강화

· 철도차량의 쾌적함 및 안전성 향상으로 인한 철도이용 만족도 증가에 따른 경제적 편익 증가

○ 국내 철도는 철도안전법 제26조(철도차량의 안전기준)에 철도차량은 대통령령이 정하는 구조 및 장치가 건설교통부령이 정하는 안전기준에 적합하지 않으면 운행하지 못하고 안전기준에 맞도록 철도차량을 점검·보수하는 등 유지 관리하도록 하는 규정이 있음.

○ 이 규정에 근거하여 철도차량안전기준에 관한 규칙(국토해양부령 제280호) 제42조(운전실)와 제43조(운전실에 갖추어야 할 장치)에는 운전실에서 요구되는 기준이나 장치에 대한 규정을 제시하고 있음

○ 그러나 현재 이들 조항에는 인간공학측면이 고려되어 명문화된 조항이 기술되지 않고 있는 실정이고 이런 부분이 해외 철도와 큰 차이를 보임

○ 현재 국내 철도 운영사에서는 차량 제작 시 설계기준과 관련하여 기관사들에게 설문을 받고, 운전분야 근무경력자(기관사, 운전팀장)와 차량설계 담당자들이 기기배치와 모양수정 및 추가되는 보안장치 등을 고려하여 제작하고, 신조차량에 대한 외형 및 내부의 디자인 변경에 따라 기기와 장치를 제작하고 있음(정량화된 설계제작 미흡)

○ 호주, 영국, 미국의 경우 운전실에서 사용하는 장치나 작업장의 설계 시에 인적요인을 고려하는 지침을 제시하고 있음

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합 철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 타 산업인 원자력 발전소 주제어실의 경우, 휴먼에러에 영향을 주는 요소들을 평가하여 디자인에 반영을 규제사항으로 제시함

○ 국내·외 개발 차량 및 철도용품에 대한 객관적인 성능검증을 위하여 철도 안전법 개정을 2012년부터 추진하고 있으며, 차량의 경우에는 형식승인, 제작자 승인 및 완성검사, 철도용품의 경우에는 형식승인 제작자 승인의 형태로 개정되고 있음

○ 철도안전법 개정의 후속조치로 철도차량의 형식승인 및 완성 검사에 대한 국제수준의 시험방법 및 절차의 마련이 요구되므로, 문제점을 해외와 비교·검토하고, 시험방법의 제/개정 방향 및 고도화가 시급한 실정임

○ 차량의 형식승인 제도는 철도차량에는 처음으로 적용되는 방식으로써 이에 대한 준비 작업이 시급한 실정이며, 차량 운전실 관련 설계기준 마련이 시급함

Ⅵ. 연구개발결과의 활용계획

○ 기획과제를 통하여 제안 될 모 사업은 EMU 철도차량 운전실 표준화 및 ICT 융합 시뮬레이터 개발을 통화여 EMU 철도차량 운전실의 국가적으로 제도화된 기준 및 표준사양을 정립하고자 하며, 최종적으로 전실 표준화 및 최적의 인간공학적 운전실 설계로 인한 기관사 휴먼에러 및 운전실 제작비용 최소화하고자 함

○ EMU 철도차량 운전실의 형식인증을 위한 기술기준 및 국가기준 고시

- 형식인증을 위한 기술기준을 선진국 수준으로 향상시킬 수 있도록 세부내용의 기술적 고도화 및 기준 작성
- 작성된 기준에 대하여 유관기관 의견수렴 및 자문, 시험을 통함 검증을 통하여 국가 기술기준 최종(안) 작성.
- 국가기술기준의 최종(안)이 작성되는 순서대로 주관부처인 국토부를 보조하여, 국가시험규격의 최종 고시를 적극 지원해야 함

○ EMU 철도차량 운전실의 형식인증을 위한 시험규격, 표준사양 및 국가시험규격 고시

- 본사업 진행과정 상에서 초기부터 국토부 및 관련기관과의 적극적 의견수렴을 시험규격 정비 대상 선정
- 선정된 대상에 대하여 유관기관 의견수렴 및 자문, 시험을 통함 검증을 통하여 국가시험규격 최종(안) 작성
- 국가시험규격의 최종(안)이 작성되는 순서대로 주관부처인 국토부를 보조하여, 국가시험규격의 최종 고시를 적극 지원

○ 최종 고시된 국가시험규격은 개정예정인 철도안전법 과 연계하여 국내 개발 및 해외 도입 철도차량의 성능인증에 직접적으로 적용될 계획인 바, 연구 성과의 활용가능성은 매우 높음

○ ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터는 EMU 철도차량 운전실의 형식인증, 철도운영사의 신규 철도차량 도입사양 결정, 기관사 교육훈련에 지속적으로 활용 가능함

목 차

제출문 ····· i

요약문 ····· iii

1장. 기술의 정의 및 필요성 ····· 1
1절. 기술의 정의 ····· 1
2절. 기술의 필요성 ····· 7

2장. 국내·외 동향 및 환경 분석 ····· 11
1절. 국내·외 동향 및 환경 분석 ····· 11
1. 철도 시스템의 휴먼 에러 측면의 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 11
2. 국내·외 철도안전현황 및 개선 방향 ····· 15
3. 정책 및 시장 동향 분석 ····· 84
2절. 기술동향 및 수준분석 ····· 92
1. 타 산업 분야의 인간공학 및 인적오류 연구 동향 검토 ····· 92
2. 차량 운전석의 디자인 동향 ····· 95
3. 영국 철도의 인적오류 연구 동향 검토 ····· 95
4. 미국 철도의 인적오류 연구 동향 검토 ····· 100
5. 호주 전동차 Tangara의 철도차량 운전실 평가 및 재설계 사례(2000) ····· 102
6. 일본 철도차량 운전실관련 기술동향 검토 ····· 104
7. EU 철도차량 운전실 표준화 프로젝트 검토 ····· 106
8. 국내 철도의 인적오류 연구 동향 검토 ····· 148
9. 직무분석 및 직무부하분석 기법 ····· 158
10. 인간오류 분석 방법론 ····· 165
11. 기관사 신체조건 분석 ····· 169
12. 국내 철도차량 운전실 관련 법·기준 현황 ····· 179
13. 국외 철도차량 운전실 관련 기준·요건 분석 ····· 201
14. 철도차량 운전실 검증 관련 시뮬레이터 개발 현황 ····· 208
15. 시뮬레이터를 이용한 기관사 피로도 측정을 위한 H/W와 S/W 구성 ····· 241
16. 철도차량 운전실 기준·요건과 실차를 이용한 철도차량 운전실 검증 사례 분석 (EUDDplus 적합성(confirmity) 검사 사례) ····· 243

17. 특허·논문 동향분석 ····· 253

3절. SWOT 분석 ····· 257

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 261
1절. 비전 및 목표 ····· 261
2절. 기술개발에 따른 미래상 ····· 263
3절. 연구개발과제 구성 ····· 268
4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략 ····· 269
5절. 연구성과의 활용방안 ····· 273
6절. 연구수행체계 제안 ····· 274

4장. 사전 타당성 검토 ····· 275
1절. 정책적 타당성 ····· 275
2절. 기술적 타당성 ····· 279
3절. 경제적 타당성 ····· 280
4절. 기술개발 필요성 ····· 281
5절. 정부지원 타당성 ····· 283
6절. 전문가 의견 수렴 ····· 284

5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정 ····· 287
1절. 연구일정에 따른 인력투입 계획 ····· 287
2절. 소요예산 산정 ····· 289

6장. 과제 제안요구서 ····· 291
1절. 과제 제안요구서(RFP) ····· 291
2절. 평가기준 설정 ····· 298

참고문헌 ····· 299

부록 ····· 310

<표 목 차>

<표 1> 철도기관사 취급부주의 사고 중 휴먼에러 관련 사고건수 및 유형조사 ····· 7
<표 2> 철도종류별 사망자수 변화 교통수단별 사고감소율 ····· 16
<표 3> 국외에서 발생한 대형철도사고(10인 이상 사망자 발생사고) ····· 17
<표 4> 국내에서 발생한 대형철도사고 사례 ····· 17
<표 5> 국내외 철도시설 및 사고 발생건수 현황(2008년도 발생기준) ····· 18
<표 6> 국내외 철도사고 발생율 현황(2008년도 발생기준) ····· 19
<표 7> 철도사고 및 장애 발생 원인분석('09년) ····· 20
<표 8> 종합위험도 분석 결과('03~'08년) ····· 21
<표 9> 국내 철도사고 위험요인별 개선 방향 검토 ····· 22
<표 10> 5년간(08~12년) 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사 ····· 23
<표 11> 2008년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사 ····· 24
<표 12> 2009년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사 ····· 25
<표 13> 2010년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사 ····· 25
<표 14> 2011년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사 ····· 26
<표 15> 2012년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사 ····· 27
<표 16> 소속별 운전실의 종류 ····· 29
<표 17> 앗차사고에 대한 도시철도 기관사 707명의 통계분석 결과 ····· 30
<표 18> 노선별로 분석한 결과(차량과 운행노선에 따라 운전취급법이 다름) ····· 30
<표 19> 직무스트레스 분석(N=707) ····· 71
<표 20> 근무환경(지상, 지하)에 따른 직무스트레스를 분석 ····· 72
<표 21> 승무체계(1인승무, 2인승무)에 따른 직무스트레스를 분석 ····· 72
<표 22> 사업소(그룹별) 따른 직무스트레스를 분석 ····· 73
<표 23> 연령 따른 직무스트레스를 분석(N=707) ····· 74
<표 24> 결혼 여부에 따른 직무스트레스(N=707) ····· 75
<표 25> 종교 여부에 따른 직무스트레스(N=707) ····· 76
<표 26> 기관사 경력에 따른 직무스트레스(N=707) ····· 77

<표 27> 사상사고 경험 여부에 따른 직무스트레스(N=707) ····· 79
<표 28> 차량고장사고 여부에 따른 직무스트레스(N=707) ····· 80
<표 29> 운전취급사고 여부에 따른 직무스트레스(N=707) ····· 81
<표 30> 원자력분야의 인적요소 관리 세부 항목 ····· 94
<표 31> 최적조명 방법 ····· 105
<표 32> UIC 612 시리즈 일반사항 ····· 125
<표 33> EUDDplus 참여기관 ····· 131
<표 34> 인적오류 모드 분류체계 ····· 154
<표 35> 분석에서 사용한 인적오류 타입 분류체계 ····· 155
<표 36> 링크도를 위한 링크결합표 ····· 161
<표 37> NASA-TLX 평가 항목 ····· 164
<표 38> 국내의 인체측정 조사 ····· 170
<표 39> 국내의 제5차 인체측정 결과와 UIC 651과의 비교 ····· 171
<표 40> 에러 데이터 사례 ····· 172
<표 41> 철도차량 운전면허 최초 신체검사 (조사대상) ····· 173
<표 42> 국내 남성 기관사의 연도별 신체특성(신장, Stature) ····· 173
<표 43> 국내 남성 신장 (제5차 인체측정 조사 결과) ····· 174
<표 44> 국내 여성 기관사의 신장 (Stature) ····· 174
<표 45> 국내 여성 신장 (제5차 인체측정 조사 결과) ····· 175
<표 46> 신장(Stature)에 대하여 이러한 분석 결과를 UIC 651과 비교 ····· 175
<표 47> 남성 기관사 인체모형화를 위한 인체특성 (제5차 인체측정자료, 30-34세) ····· 176
<표 48> 여성 기관사 인체모형화를 위한 인체특성 (제5차 인체측정자료, 20-24세) ····· 177
<표 49> 남성 기관사 인체모형화를 위한 인체특성 (제5차 인체측정자료, 20-59세) ····· 178
<표 50> 여성 기관사 인체모형화를 위한 인체특성 (제5차 인체측정자료, 20-59세) ····· 178
<표 51> 철도차량 운전실 기준 및 요건 관련 국외 관련규정 ····· 201
<표 52> 철도차량 운전실의 기준·요건 범위 설정을 위한 참고문헌 각각의 Keyword 추출 ····· 203
<표 53> 철도차량 운전실 인간공학 기준·요건 범위 설정 ····· 204
<표 54> Keyword별 계층 설정 Mapping ····· 206
<표 55> 국내 시뮬레이터 하드웨어 비교 ····· 227
<표 56> 국내 시뮬레이터 소프트웨어 비교 ····· 230

<표 57> 국내외 주요 시뮬레이터 비교 ····· 234
<표 58> 시뮬레이터의 종류 ····· 235
<표 59> 시뮬레이터 종류별 장·단점 ····· 235
<표 60> 시뮬레이터를 활용한 인적오류 저감 훈련의 필수 요구사항 ····· 238
<표 61> EUDDplus 적합성(confirmity) 검사 방법 및 결과 ····· 245
<표 62> 특허 성과 분석을 위한 분류 및 키워드 ····· 253
<표 63> 특허 성과 분석을 위한 검색식 및 결과 ····· 253
<표 64> 각국별 철도차량 운전실 설계기준 및 표준화 분야 등록특허 연도별 현황 ···· 254
<표 65> 논문 성과 분석을 위한 분류 및 키워드 ····· 255
<표 66> 논문 성과 분석을 위한 검색식 및 결과 ····· 256
<표 67> SWOT 분석 ····· 259
<표 68> 연구과제 구성 ····· 268
<표 69> 전체사업 인력투입 계획 ····· 287
<표 70> 전체 사업 소요예산 ····· 289

<그림 목차>

<그림 1> 다양한 운전실의 형태 ····· 3
<그림 2> 운전실내 다양한 형태의 기기/장치 ····· 4
<그림 3> 철도종류별 사고발생건수 추이 ····· 15
<그림 4> 철도종류별 사망자수 추이 ····· 15
<그림 5> 연도별 철도사고 위험도 추이 ····· 22
<그림 6> 연령에 따른 직무스트레스 ····· 74
<그림 7> 결혼 여부에 따른 직무스트레스 ····· 75
<그림 8> 종교 여부에 따른 직무스트레스 ····· 76
<그림 9> 기관사 총 경력에 따른 직무스트레스 1 ····· 78
<그림 10> 기관사 총 경력에 따른 직무스트레스 2 ····· 78
<그림 11> 사상사고 경험 여부에 따른 직무스트레스 ····· 79
<그림 12> 차량고장사고 여부에 따른 직무스트레스 ····· 80
<그림 13> 운전취급사고 여부에 따른 직무스트레스 ····· 81
<그림 14> 원자력분야의 인적요소 관리체계 ····· 93
<그림 15> 원자력분야의 인간-기계 연계체제(MMI) 관리 형태 ····· 94
<그림 16> 각국의 고속철도 운전실 데스크 ····· 95
<그림 17> 영국 GSM-R의 구성 장치 ····· 97
<그림 18> 철도차량 운전실 인체공학적 평가방법 ····· 97
<그림 19> GSM-R 설치장소에 대한 인간공학적 평가 절차 ····· 98
<그림 20> GSM-R 설치장소에 대한 CAD 모형 절차 ····· 98
<그림 21> SAMMIE CAD를 이용한 철도차량 운전실 평가 ····· 99
<그림 22> SAMMIE CAD를 이용한 영국 기관사의 표준인체 치수모형 ····· 99
<그림 23> 기관차 Mock-up 모형 ····· 101
<그림 24> Rating 방식에 의한 철도차량 운전실 평가 사례 ····· 102
<그림 25> 호주 전동차 Tangara의 프로젝트 진행과정 ····· 102
<그림 26> 호주 전동차 Tangara의 Console ····· 103
<그림 27> 호주 전동차 Tangara Console의 95% 유럽표준 남성에 대한 문제점 ····· 103
<그림 28> 호주 전동차 Tangara Console의 5% 유럽표준 남성에 대한 문제점 ····· 103

<그림 29> 수시 간시기기의 배치(좌) 및 입체작업 ····· 104
<그림 30> 표시장치배치의 적정위치 ····· 104
<그림 31> 인간 · 기계계 설명도 ····· 105
<그림 32> E5계 신형차량 운전실(좌)과 JR동일본 AC용 전동차 운전실(우) ····· 106
<그림 33> EUDD 프로젝트 참여기관 ····· 108
<그림 34> EUDD 프로젝트 연구 단계 ····· 109
<그림 35> EUDD 프로젝트 구조 ····· 109
<그림 36> EUDD 프로젝트의 다학제적 및 국제적 접근법 ····· 110
<그림 37> EUDD 프로젝트의 합의형성 과정에서 교차방법론적 접근법 ····· 110
<그림 38> EUDD 프로젝트의 제어대 ····· 111
<그림 39> EUDD 산업 설계 실물모형의 기능적 배치 ····· 112
<그림 40> VR 실험실의 EUDD 시뮬레이터 ····· 114
<그림 41> EUDD 프로젝트 기대 이익 및 효과 ····· 115
<그림 42> 열차 아키텍처의 주요 영역에 따른 MODTRAIN 하위 프로젝트의 구조 ····· 117
<그림 43> MODLINK - 모듈식 인간-기계 및 열차 대 열차 인터페이스 ····· 118
<그림 44> 에어버스에서 유럽 레일버스로"의 전략적 비전- 항공 사례 ····· 119
<그림 45> EUDD 배치 및 배열 원칙에 따른 EUCAB 실물모형의 제어대 ····· 120
<그림 46> MODLINK 연구 분야 ····· 120
<그림 47> EUDD 외부 머리모양 ····· 121
<그림 48> EUCAB 산업설계 실물모형 ····· 123
<그림 49> UIC 612 시리즈 계층구조 ····· 126
<그림 50> EUDDplus 제어대의 제어장치 ····· 132
<그림 51> EUDDplus 프로젝트의 수직적, 수평적 활동의 배치 ····· 132
<그림 52> EUDDplus 기준 시험에 사용된 Škoda 109E 기관차 시작품 ····· 137
<그림 53> EUDD 원칙에 따른 Škoda 109E 기관차 시작품의 운전실 제어대의 설계 ····· 137
<그림 54> 제어대에 통합된 디스플레이들 ····· 140
<그림 55> Alstom의 여러 종류의 급전시스템을 갖춘 기관차 PRIMA II ····· 141
<그림 56> PCW 테스트링 T1의 이동식 신호기 ····· 143
<그림 57> 급전 시스템 변경 중 기관사 안구움직임의 분석 ····· 144
<그림 58> 전체 시운전 중 기관사 안구 움직임의 분석 ····· 145

<그림 59>「안전업무종사자 인적오류 관리 및 업무적성 평가기준 개발」 연구체계 ····· 150
<그림 60>「안전업무종사자 교육훈련체계 구축」 연구체계 ····· 151
<그림 61> 승차감 평가용 계측 시스템 ····· 152
<그림 62> KTX 승차감 평가결과 ····· 152
<그림 63> 차세대 고속철도 안채표준치수와 좌석 실측결과 비교의 예 ····· 152
<그림 64> James Reason의 오류타입 분류체계 ····· 155
<그림 65> 사건 유형별 발생 비율 ····· 156
<그림 66> 작업 유형별 발생 비율 ····· 156
<그림 67> 작업자 유형별 발생비율 ····· 156
<그림 68> 오류모드별 발생 비율 ····· 157
<그림 69> 오류모드별 발생 비율 ····· 157
<그림 70> OHP(overhead projector)작동에 관한 HTA ····· 160
<그림 71> 링크도(link diagram) ····· 161
<그림 72> 운용순서도에서 사용되는 기호 ····· 162
<그림 73> 공항 이착륙 시 운반시스템의 운용순서도 ····· 162
<그림 74> 시간선(timeline) 분석의 예 ····· 163
<그림 75> 남성과 여성의 주요 신체치수의 UIC 651과의 비교 ····· 171
<그림 76> 운전자 모델 ····· 179
<그림 77> 운전자의 치수 ····· 190
<그림 78> 운전자의 주요 인체치수 ····· 191
<그림 79> 운전실 운전대 및 의자 배치 공간 치수 ····· 191
<그림 80> 손으로 조작 가능한 최적 운동 범위 ····· 192
<그림 81> 운전자 가시거리 기준 ····· 192
<그림 82> 운전자 눈 위치 기준 값 ····· 193
<그림 83> 인천공항철도 전동차 모의운전연습기 ····· 211
<그림 84> 기관사 운전직무 시뮬레이터(로템, 2011)의 장비전경 ····· 214
<그림 85> 기관사 운전직무 시뮬레이터의 소프트웨어 구성 ····· 217
<그림 86> 건설기술연구원 자동차 모의주행 시뮬레이터의 장비전경 ····· 218
<그림 87> SNCB 기관사 훈련용 시뮬레이터 1 ····· 219
<그림 88> SNCB 기관사 훈련용 시뮬레이터 교관석 ····· 219

<그림 89> 기관사 훈련용 시뮬레이터 2 ····· 220
<그림 90> SNCF 연구용 시뮬레이터 ····· 221
<그림 91> Eurostar 시뮬레이터 ····· 222
<그림 92> Personal Training room / Grop training room(VR Centre) ····· 223
<그림 93> Training Centre 시뮬레이터 ····· 223
<그림 94> VR Cemter ····· 223
<그림 95> Training Centre 시뮬레이터 내부 모습 ····· 223
<그림 96> 일본 RTRI 시뮬레이터 ····· 225
<그림 97> 스웨덴 봄바르디어 시뮬레이터 ····· 226
<그림 98> 실험평가 Sensor구성요소 설정 ····· 242
<그림 99> 데이터 수집 H/W 구성요소 분류 ····· 242
<그림 100> 신호의 흐름 ····· 243
<그림 101> EUDDplus의 TSI 기준·요건의 적합성(confirmity) 검증 관련 범주 리스트 ····· 244
<그림 102> 철도차량 운전실 설계기준 및 표준화 분야 등록특허 주제 ····· 255
<그림 103> 철도차량 운전실 설계기준 및 표준화 분야 연구 주제 ····· 257
<그림 104> ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 ····· 267

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의

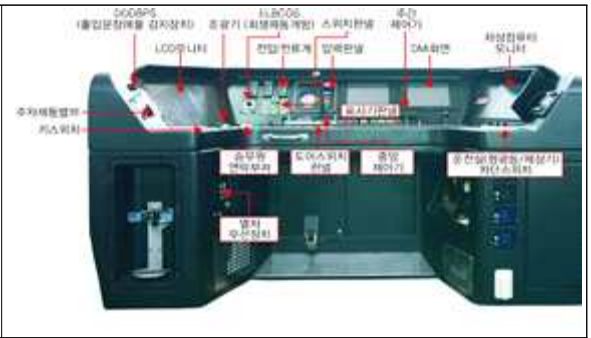
○ 철도시스템에서의 인간공학 적용은 다른 교통수단 (항공기, 도로 등)에 비해 그 기간이나 적용범위가 상당히 제한받아 왔으며, 최근에는 다양한 기관들의 펀드를 지원받아 인간공학을 적용한 철도시스템에 관한 연구들이 발표되고 있지만 (예, 스웨덴, 독일, 네덜란드, 일본, 영국 등) 아직까지는 다른 교통수단에 비해 많은 양의 성과물은 발표하지 못하고 있는 실정임

○ 현재 차량 제작 시 설계기준과 관련하여 기관사들에게 설문을 받고, 운전분야 근무경력자 (기관사, 운전팀장)와 차량설계 담당자들이 참석하여 현 차량의 기기배치와 모양수정 및 추가되는 보안장치 등을 고려하여 제작하고, 신조차량에 대한 외형 및 내부의 디자인 변경에 따라 기기와 장치를 제작하고 있는 실정임

○ 최근, 취급부주의사고(휴먼에러)에 대한 연구가 진행되면서 철도시스템에서의 인간공학의 역할 중요성을 인정받고 있고 특히, 외국에서는 신호와 새로운 운행시스템의 적용에 있어서 인간특성을 반영한 장치들이 소개되고 있으며, 이러한 시스템의 장점 즉, 중앙센터와 계기판의 집중화, 무수히 많은 기기들의 소량화, 각종 기기와 장치의 기능들을 통합을 통해 중앙센터에서의 기능을 간단하면서도 안전적 부분을 강화하고 있음

○ 현재 운행되는 철도차량 운전실의 lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 현대화된 디스플레이의 장착 등에 의해 차량마다 다르고, 내부기기장치의 크기, 색깔, 모양, 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 발생하고 있음

	
경의선(VVVF신형 1핸들)	중앙선(VVVF신형 1핸들)

	
저항차(구형)	저항차(신형)
	
VVVF(구형)	VVVF(신형)
	
경춘선	ITX-청춘
	
저항제어(개조차)1989년	현대(VVVF) 1998년

	
GEC Chopper (1991년)	MELCO Chopper (1990년)
	
로템VVVF (2005년)	로템VVVF (2007년)
	
GEC Chopper (1991년)	로템 신형VVVF (2009년)
	
현대VVVF (1993년)	대우VVVF (1993년)

<그림 1> 다양한 운전실의 형태

				
ACMCS	Pan US	MCBCS	EPan DS	EGCS
				
15km/h SW	각종NFB	ASOS S/W	SBRS	ADS
				
EBS S/W	주간제어기	주간제어기	무선장치	출입문SW

<그림 2> 운전실내 다양한 형태의 기기/장치

○ 특히 EMU(Electric Multiple Units) 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급

○ 운전자 부주의의 원인은 운행 중인 철도차량 운전실의 인간-기계 인터페이스의 상이함에 따른 휴먼에러(Human Error)와 고속・소음・터널・협소한 공간 등 열악한 근무환경에 따른 운전자 스트레스와 부하(workload)가 주원인으로 분석되고 있음

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합 철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 본 연구에서 개발하려는 기술은 현재 기관사 면허제도 중 2종 전기차량은 1개의 차량으로 면허를 취득 후 에서 기존에 설치된 각종 기기 및 장치를 표준화(크기, 모양, 색깔, 위치, 취급방법)하고, 운전실 환경(소음・진동, 조명, 환기 등)을 개선하여 운전자로 하여금 피로를 줄일 수 있도록 인간공학적인 설계 및 검증 기준을 제공하고, 취급부주의 사고와 앗차사고(차량고장, 정차역 통과, 기기취급에 대한 지연조작, 조기조작, 오취급, 조작생략)의 분석을 통하여 운전실의 개선 및 표준화 개발하는데 필요한 여러 가지 기술에 대한 기획연구임

○ 기존에 개발되어 운행 중인 도시철도차량의 운전실 분석 및 개선요구 사항을 도출하여 기관사 휴먼에러 및 운전실 제작비용 최소화를 위한 기술개발을 하도록 연구개발 하는 것으로 ① EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발, ② EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT(Information & Communication Technology) 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 연구로 구성되어 있음

1. EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발 연구

○ 다양한 운전실에 설치된 각종 기기/장치들의 모양, 크기, 색깔, 위치, 취급방법에 대하여 EMU철도차량 운전실의 설계 및 검증 기준을 제시하며, 설계 기준과 사용자들에 요구에 적합한 기기/장치를 표준화하여 어떠한 차량을 운전하여도 취급 시 오류를 최소화하도록 하고, 기기/장치를 표준화 및 기기/장치의 모듈화를 통한 운전실의 설계, 생산, 운영 및 유비보수를 포함하는 전생애(LCC, Life Cycle Cost) 비용을 최소화하는 연구임

○ 본 과제에서는 ① EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출, ② EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발, ③ EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발, ④ EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발을 수행하고 자함

○ 기존의 연구들은 "기기/장치에 대하여 문제만을 제기하고 개선해야한다"라는데 초점을 두었다면 이번 연구는 그러한 문제를 전문가를 통해 방향성을 잡고 사용자들의 의견, 시뮬레이터의 이례상황 및 실차 실험을 통해 검토하고, 인간공학 및 감성공학을 포함하는 운전실 검증 및 평가 기술 개발을 통해 최적의 운전실 기기 및 장치를 제시하고, 각종 기기 및 장치를 사용자 측면에서 연구함

○ 또한 운전 중 비상이나 상시 사용하지 않는 기기들은 운전자 데스크에 설치하지 않음으로 필요한 기기/장치만을 표준화하여 운전자의 피로 및 인적오류를 예방하는 관련된 내용을 포함함

○ 또한 본 기획연구에서 분석한 설문을 바탕으로 필요한 기기들을 나열하고, 최적의 기본 모델을 기존의 차량에 적합한지를 운전자 데스크 사양에 대한 선행연구를 포함함

○ 운전자의 업무수행과 직무스트레스에 영향을 주는 일반적인 운전실 환경(소음/진동, 환기, 냉/난방)과 시각에 피로를 줄 수 있는 각종 DMI Display의 위치 및 기기배치에 대한 최적의 레이아웃을 디자인하여 운전자로 하여금 건강 및 인적오류를 예방하고, 또한 외부의 환경을 내부에 접목함으로서 운전자가 시각, 청각집중에 대한 영역을 최소화 할 수 있도록 설계하여 운전자로 하여금 안전과 건강, 안락함과 편의성을 제공하고, EMU차량의 운전실에 대한 기기/장치의 호환성을 고려하여 제작할 수 있도록 설계 및 검증 기준을 제시하여, 기기/장치가 어떠한 차량에도 호환될 수 있도록 설계/제작되도록 하고, 그 기준은 국외에서도 호환될 수 있는 방향으로 연구되어야 함.

○ 연구결과물인 EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준은 EMU 철도차량 운전실의 형식인증을 위한 기술기준 및 국가기준 사용으로 활용되도록 연구가 진행되어야 함

- 형식인증을 위한 기술기준을 선진국 수준으로 향상시킬 수 있도록 세부내용의 기술적 고도화 및 기준 작성
- 작성된 기준에 대하여 유관기관 의견수렴 및 자문, 시험을 통함 검증을 통하여 국가 기술기준 최종(안) 작성
- 국가기술기준의 최종(안)이 작성되는 순서대로 주관부처인 국토부를 보조하여, 국가시험규격의 최종 고시를 적극 지원해야 함

○ EMU 철도차량 운전실의 형식인증을 위한 시험규격, 표준사양 및 국가시험규격 사용으로 활용되도록 연구가 진행되어야 함

- 본사업 진행과정 상에서 초기부터 국토부 및 관련기관과의 적극적 의견수렴을 시험규격 정비 대상 선정
- 선정된 대상에 대하여 유관기관 의견수렴 및 자문, 시험을 통함 검증을 통하여 국가시험규격 최종(안) 작성
- 국가시험규격의 최종(안)이 작성되는 순서대로 주관부처인 국토부를 보조하여, 국가시험규격의 최종 고시를 적극 지원

2. EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축

○ 위에서 연구한 모든 기술을 재조합이 가능한 시뮬레이터를 제작하여 기관사들의 직무교육시에 적용함으로서 최적의 운전실 설계를 적용하고, 기존에 개발되지 않은 홀로그램 운전선

도를 통한 최적의 운전기술을 습득하도록 하여 에너지 절감 및 운전자 자신이 운전하는 구간의 구배, 곡선 등 운전조건과 신호기의 위치 등 구간의 외부환경을 파악하여 안전운행 및 에너지 절감운전을 할 수 있는 시뮬레이터의 필요성이 제기되었다. 본 기획연구에서는 휴먼에러와 에너지를 절감할 수 있는 재조합 시뮬레이터 개발 방안을 제시하고자 함

○ 본 과제에서는 ① 표준에 따른 운전실 기기 개발, ② ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터를 개발하고, 최종적으로 ③시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축하여 개발 기술의 적합성을 평가하고 함

2절. 기술의 필요성

○ 현재 운행되는 철도차량 운전실의 lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 현대화된 디스플레이의 장착 등에 의해 차량마다 다르고, 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 발생하고 있음

○ 예를 들면, 제2차 세계대전 당시 각국의 항공기 사고 중에서 착륙기어의 위치가 항공기에 따라 다양했기 때문에 기어조작상의 혼돈으로 22개월간 500여건의 사고가 발생함

<표 1> 철도기관사 취급부주의 사고 중 휴먼에러 관련 사고건수 및 유형조사

년 도	발생건수	비고(유형별 건수)
2008	12	정지위치 어김 : 4건, 정차역 통과 : 3건, 출무지연 : 1건 운전취급 소홀 : 2건, 신호확인 소홀 : 2건
2009	3	정차역통과 : 1건, 운전취급소홀 : 1건, 신호확인 소홀 : 1건
2010	7	정지위치 어김 : 4건, 운전취급소홀 : 1건, 신호확인 소홀 : 2건
2011	15	정지위치 어김 : 3건, 정차역 통과 : 2건, 운전취급소홀 : 8건 신호확인 소홀 : 2건
2012	18	정지위치 어김 : 9건, 정차역 통과 : 3건, 운전취급소홀 : 5건 신호확인 소홀 : 1건

○ 현재 도시철도차량 기관사는 승무사업상 1개 사업을 출근하여 승무할 열차번호에 따라 운전실이 서로 다른 차량을 2번에서 3번 정도 변경운행(기기취급오류발생 가능)함에 따라 취급부주의 사고를 예방하기 위해서는 아래 나열된 부분에 대하여 차량별로 검토한 후 신속히 개선해야 될 사항들은 조사하여 운전실 표준화를 추진해야 함

- 차량별 보안제동장치 위치가 상이
- 차량별 각종 지시계 모양과 크기가 상이
- 차량별 기기장치 위치 및 크기가 상이
- 차량별 제어장치 모양 및 작동조건이 상이
- 회생제동차단스위치와 창닦이스위치의 모양과 크기가 동일
- 1인 승무 차량의 출입문 개폐장치 스위치(DOS)가 한쪽으로 모아져 있음
- 주요차단기(NFB)의 설치위치가 기관사의 무릎아래 또는 가려져 설치되어 있음

○ 운전실의 환경적 요건(소음, 진동, 조명, 공기의 질, 냉/난방, 온·습도, 속도에 따른 운전실 기압차 등)에 따라 정신적, 육체적으로 피로 및 운전에 대한 집중도가 현저히 낮아짐으로 이러한 문제는 기관사의 인적오류에 밀접한 영향을 줄 수 있음으로 아래 나열된 것에 대하여 기술적인 검토와 환경개선이 선행 되어야 함

○ 예를 들어 현재 산업안전보건법령과 관련하여 작업환경을 측정한 결과치의 일부를 보면 전동차에 승무할 때 레일과 대차와 마찰음, 냉방차 가동음, 압축공기 배출음, 레일 이음새 충돌음, 경고용 경적소리, 통신무전기 소리, 출입문 개폐 소리 등에 노출되나 전체 전동차에서 8시간-TWA가 80dB(A)이하로 나타났음

○ 또한 터널 내부를 통과할 때 전동차 내의 기압이 저압환경으로 변화한다.

○ 저압에 대한 내성에는 개인차가 많아 기장이든지 승객이든지 간에 전동차열차가 터널을 통과하는 동안 고막을 중심으로 공기의 중압감이 평형을 유지하는데 어려움을 겪는 사람들이 있다. 특히 감기나 목에 염증이 있는 경우 이관이 적절하게 열리지 않는다면 곤란을 겪게 된다. 이러한 결과로 피로감과 졸음을 동반하여 자칫하면 기장의 건강문제 뿐만 아니라 운행의 안전문제도 고려되어야 한다. 따라서 터널 내부에 급격한 가속으로 야기되는 기압의 감소에 따른 기술적, 관리적 등의 아래와 같은 대책이 필요할 것으로 판단됨

○ 국내 철도는 철도안전법 제26조(철도차량의 안전기준)에 철도차량은 대통령령이 정하는 구조 및 장치가 건설교통부령이 정하는 안전기준에 적합하지 않으면 운행하지 못하고 안전기준에 맞도록 철도차량을 점검·보수하는 등 유지 관리하도록 하는 규정이 있음.

○ 이 규정에 근거하여 철도차량안전기준에 관한 규칙(국토해양부령 제280호) 제42조(운전실)와 제43조(운전실에 갖추어야 할 장치)에는 운전실에서 요구되는 기준이나 장치에 대한 규정을 제시하고 있음

○ 그러나 현재 이들 조항에는 인간공학측면이 고려되어 명문화된 조항이 기술되지 않고 있는 실정이고 이런 부분이 해외 철도와 큰 차이를 보임

○ 호주, 영국, 미국의 경우 운전실에서 사용하는 장치나 작업장의 설계 시에 인적요인을 고려하는 지침을 제시하고 있음

○ 국내 철도에서는 물리적 환경요인과 관련하여 운전실의 소음에 대해서는 철도차량 안전기준에 관한 규칙 제42조(운전실)에서 운전실은 열차운행 및 기계실의 소음이 최소화되는 구조로 설계되어야 하며 열차운행 시 운전실의 실내소음은 등가소음(Equivalent Sound) 기준으로 측정한 경우 85데시벨을 초과할 수 없음을 규정하고 있음

○ 조명, 온도, 습도에 대해서도 운전업무종사자를 위한 적절한 조명설비 및 냉·난방장치가 설치 규정. 공간배치의 적합성에 대해서는 운전하는 경우 사용되는 모든 장치는 운전업무종사자의 시야 범위 안에 있어야 하며, 운전업무종사자가 혼동하거나 어려움 없이 제어할 수 있도록 배치를 요구하고 있음

○ 영국의 규정 및 가이드라인에서는 공간 배치의 적합성과 관련해서 정착물, 부속품, 내부시설, 비품, 장치류, 제어기, 지시기, 계측기 등을 포함하는 기관실의 내부 치수는 운전업무종사자의 신체적 치수 범위에 적합해야 하며 인간공학 배치의 관점에서 운전업무종사자에게 안전하고 효율적인 직무환경을 제공해야 한다고 언급하고 있음

○ 운전실의 화학적 요인은 작업장의 환기와 연관이 되어 있음. 국내 철도의 경우 환기와 밀접한 기준으로 철도차량 안전기준에 관한 규칙 제 42조(운전실)에서 운전실의 양 측면에는 개폐가 가능한 창문이 설치되어야 한다고 규정만 있을 뿐, 그 이외의 기준은 언급되고 있지 않음

○ 영국에서는 규정에서는 운전업무종사자가 포함된 열차승무원이 거주하는 지역의 환기에 대한 기준이 제시되고 있으며 미국의 가이드라인에서도 환기에 관한 기준을 제시하고 있음

○ 국내 철도는 기관사 특성요인에 해당하는 부분에 대해서 소분류 차원에서 일부 부족한 항목이 파악되고 있지만, 전체적으로 보았을 때 제도적 기준이 잘되어 있는 것으로 분석

○ 법적 조항 측면으로는 신체검사, 적성검사, 자격관련 부분과 연결되어 있어 일부 부족한 항목에 대해서는 기존 제도를 근거로 하여 보완이 가능함

○ 그러나 운전업무특성요인 및 작업장환경요인은 해외 철도분야와 비교 시 차이가 많음

○ 운전실 장비나 운전실 주변 환경뿐만 아니라 직무분석분야 등 다양한 분야에 대하여 인적요인이 고려되는 법적인 근거가 존재하지 않는 상황임

○ 일반적으로 인간은 불완전한 특성을 가지고 있는 존재이기 때문에 언제, 어느 상황에서 인적오류로 인한 사고를 발생 시킬 가능성은 항상 내포되어 있으므로 작업자에게 잘 맞도록 설계된 작업상황은 그렇지 못한 경우보다 오류의 발생확률이 분명히 낮아짐

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합 철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 타 산업인 원자력 발전소 주제어실의 경우, 휴먼에러에 영향을 주는 요소들을 평가하여 디자인에 반영을 규제사항으로 제시함

○ EMU 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급

○ 따라서 운전업무특성 요인 및 작업장 환경요인이 인적오류를 발생할 수 있는 중요한 요인임을 인식하여 인간공학적 결함을 설계단계에서 사전에 밝혀내고 이를 제거할 수 있는 제도, 교육훈련, 설비의 개발이 필요하며, EMU 철도차량 운전실의 표준화 및 최적의 운전실 설계로 인한 기관사 휴먼에러 및 운전실 제작비용 감소 필요

○ 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육을 위한 ICT(Information & Communication Technology) 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축이 요구됨

2장. 국내.외 동향 및 환경 분석

1절. 국내・외 동향 및 환경 분석

1. 철도 시스템의 휴먼 에러 측면의 국내외 동향 및 환경 분석

○ 철도시스템은 인간요소, 선로시설, 열차, 운영・제어, 유지보수 등 다양한 구성 요소가 서로 유기적으로 연계되어 운영되는 복잡도가 대단히 높은 시스템임

○ 하드웨어 부분은 최신 기술의 발전과 품질관리 등의 인증 기준이 강화되고 있어서 신뢰도 수준이 많이 개선되어 가고 있으나, 철도 시스템을 운영하는 주체인 인간의 직무수행도에 대한 신뢰도 수준은 하드웨어 설계에서 인적요인에 대한 고려가 미흡함

○ 따라서 상대적으로 불확실도가 높은 인간이 수행하는 직무의 내용과 질에 따라 철도시스템 전체의 수행(안전)도가 결정됨

○ 국내외 철도산업의 인적오류 관련 고시 및 기술수준은 다음과 같음

가. 신체적 요인

○ 국내 및 해외철도의 경우 신체적 요인과 관련하여 소분류 항목인 연령요인, 신체요인, 감각요인, 운동능력에 대한 기준을 가지고 있음

○ 국내철도는 '철도안전법'과 시행규칙을 제정하여 철도 차량운전면허응시자 및 철도종사자 신체검사에 관한 지침이 고시되어 신체검사가 수행되고 있음

○ 검사항목으로는 일반결함, 비・구강・인후계통, 치아계통, 피부질환, 흉부질환, 순환기계통, 소화기계통, 생식 또는 비뇨기계통, 내분비 계통, 혈액 또는 조혈계통, 신경계통, 사지, 귀, 눈, 정신계통으로 구성됨

○ 영국 철도의 경우 신체적 요인과 관련된 기준으로 의료적 평가 방법 및 적합성 요건, 질병 이후의 평가에 관한 규정이 있음

○ 일반적인 의료적 조건으로는 운전업무종사자가 되고자 하는 자의 갑작스런 의식의 상실, 경계 또는 집중력 결함, 갑작스런 무능력, 균형 및 근육운동의 조화의 결함, 이동성의 제한 등의 결함 기준이 있음

○ 캐나다의 신체적 관련 규정으로 의료적 평가의 주기, 의료적 적합성 평가, 의료적 요건으로

인한 제한 사항에 대한 기준이 있음

○ 의료적 조건으로 운전업무종사자의 신체적 적합성 평가 시, 갑작스런 신체적 결함, 인식기능의 결함, 의식의 결함, 근골격계 기능의 결함, 철도안전에 위협을 줄 것 같은 결함을 고려함

나. 정신적 요인

○ 정신적 요인의 소분류항목 중 국내외 철도와 비교 시 차이가 발생하는 부분은 수면관련 부분임

○ 일반적으로 수면 부족은 작업수행도의 편차를 나타내며, 작업우선순위에 대한 무시, 집중도의 저하를 가져오고 수면 부족시간이 길수록 작업에 악영향이 빨리 나타나고 작업이 길수록 그 영향이 커짐

○ 현재 국내 철도의 신체검사 항목에서는 수면관련 항목이 존재하지 않아 법적 기준은 제시되지 않고 있음

○ 캐나다 및 호주에서는 의료적 기준으로 수면질환에 대한 적합성 평가를 수행하고 있음

다. 심리적 요인

○ 국내 철도는 심리적 요인의 소분류 항목인 피로/스트레스 항목과 관련해서는 철도차량운전규칙 제6조 3항에서 과로 등으로 인하여 당해 업무를 적절히 수행하기 어렵다고 판단되는 경우에는 그 업무를 수행하도록 하여서는 아니 된다는 관련 조항만 언급하고 있을 뿐 피로와 관련된 구체적인 조항은 없음

○ 호주의 안전법 규정에서는 철도운영자는 운전업무종사자의 피로 관리 요건과 일치하여 프로그램을 준비 및 이행을 요구하는 조항이 있음

○ 캐나다 철도안전법은 Section 20(1)을 근거로 WORK/REST RULES FOR RAILWAY OPERATING EMPLOYEES 에서 피로관련 최소 요건과 피로관리계획을 설명함

○ 영국의 피로관련 가이드라인에서는 관리자가 운전업무종사자의 피로에서 발생하는 위험을 관리하기 위하여 효과적인 배치를 수립하는 9단계 절차를 가지고 있음

라. 장비특성 요인

○ 장비특성요인과 관련된 규정으로 국내 철도는 철도안전법 제26조(철도차량의 안전기준)에 철도차량은 대통령령이 정하는 구조 및 장치가 건설교통부령이 정하는 안전기준에 적합하지 않으면 운행하지 못하고 안전기준에 맞도록 철도차량을 점검·보수하는 등 유지 관리하도록 하는 규정이 있음.

○ 이 규정에 근거하여 철도차량안전기준에 관한 규칙(국토해양부령 제280호) 제42조(운전실)와 제43조(운전실에 갖추어야 할 장치)에는 운전실에서 요구되는 기준이나 장치에 대한 규정을 제시하고 있음

○ 그러나 현재 이들 조항에는 인간공학측면이 고려되어 명문화된 조항이 기술되지 않고 있는 실정이고 이런 부분이 해외 철도와 큰 차이를 보임

○ 호주, 영국, 미국의 경우 운전실에서 사용하는 장치나 작업장의 설계 시에 인적요인을 고려하는 지침을 제시하고 있음

○ 업무의 신체적 특성 요인

○ 신체적 특성요인과 관련하여 국내철도에서 업무시간 및 휴식시간과 관련된 규정으로는 철도차량 운전규칙 제6조 3항의 과로관련 조항이 있을 뿐이며, 의사교환 형태의 적합성 관련된 법적 조항은 없는 상황임.

○ 업무시간 및 휴식은 심리적 요인의 피로, 스트레스 부분과도 밀접한 연관관계가 있음

○ 호주의 지침서에서는 철도운영자는 철도 운전업무종사자의 근무시간, 근무패턴을 확인해야 하고, 근무 및 휴식기간에 대한 시간을 관리하기 위한 범위를 설정하도록 하고 있음

○ 의사교환 형태의 적합성과 관련하여, 영국의 의사교환 관련 규정은 직원들 간의 안전하고 효율적으로 의사전달이 이루어지도록 의사교환 적합성모델의 개발을 요구하고 있음

○ 업무의 정신적 특성 요인

○ 업무의 정신적 특성요인과 관련해서 국내 철도는 적성검사 시 반응형 검사에서 주의력 검사항목이 존재하고 있음

○ 기억요구 항목에 대해서는 기억 관련 검사가 규정에는 없지만 적성검사의 문답형 검사와 반응형 검사가 전반적으로 기억능력을 요구하고 있음

○ 영국의 규정은 철도 종사자의 선발 시 반복적이고 지루한 단순 직무를 수행할 때 경계심 및 집중력 유지, 비상시에만 사용되는 정보를 포함하여 안전관련 정보의 유지 및 회상, 시간의 압박하에서 절차, 규정, 지침의 준수, 비상상황 또는 스트레스 상황에서의 반응 등을 확인하고 있음

마. 물리적 환경 요인

○ 국내 철도에서는 물리적 환경요인과 관련하여 운전실의 소음에 대해서는 철도차량 안전기준에 관한 규칙 제42조(운전실)에서 운전실은 열차운행 및 기계실의 소음이 최소화되는 구조로 설계되어야 하며 열차운행 시 운전실의 실내소음은 등가소음(Equivalent Sound) 기준으로 측정한 경우 85데시벨을 초과할 수 없음을 규정하고 있음

○ 조명, 온도, 습도에 대해서도 운전업무종사자를 위한 적절한 조명설비 및 냉·난방장치가 설치 규정. 공간배치의 적합성에 대해서는 운전하는 경우 사용되는 모든 장치는 운전업무종사자의 시야 범위 안에 있어야 하며, 운전업무종사자가 혼동하거나 어려움 없이 제어할 수 있도록 배치를 요구하고 있음.

○ 영국의 규정 및 가이드라인에서는 공간 배치의 적합성과 관련해서 정착물, 부속품, 내부시설, 비품, 장치류, 제어기, 지시기, 계측기 등을 포함하는 기관실의 내부 치수는 운전업무종사자의 신체적 치수 범위에 적합해야 하며 인간공학 배치의 관점에서 운전업무종사자에게 안전하고 효율적인 직무환경을 제공해야 한다고 언급하고 있음

바. 화학적 환경 요인

○ 운전실의 화학적 요인은 작업장의 환기와 연관이 되어 있음. 국내 철도의 경우 환기와 밀접한 기준으로 철도차량 안전기준에 관한 규칙 제 42조(운전실)에서 운전실의 양 측면에는 개폐가 가능한 창문이 설치되어야 한다고 규정만 있을 뿐, 그 이외의 기준은 언급되고 있지 않음

○ 영국에서는 규정에서는 운전업무종사자가 포함된 열차승무원이 거주하는 지역의 환기에 대한 기준이 제시되고 있으며 미국의 가이드라인에서도 환기에 관한 기준을 제시하고 있음

○ 분석 결과, 국내 철도는 기관사 특성요인에 해당하는 부분에 대해서 소분류 차원에서 일부 부족한 항목이 파악되고 있지만, 전체적으로 보았을 때 제도적 기준이 잘되어 있는 것으로 분석

○ 법적 조항 측면으로는 신체검사, 적성검사, 자격관련 부분과 연결되어 있어 일부 부족한 항목에 대해서는 기존 제도를 근거로 하여 보완이 가능함

○ 그러나 운전업무특성요인 및 작업장환경요인은 해외 철도분야와 비교 시 차이가 많음

○ 운전실 장비나 운전실 주변 환경뿐만 아니라 직무분석분야 등 다양한 분야에 대하여 인적요인이 고려되는 법적인 근거가 존재하지 않는 상황임

○ 일반적으로 인간은 불완전한 특성을 가지고 있는 존재이기 때문에 언제, 어느 상황에서 인적오류로 인한 사고를 발생 시킬 가능성은 항상 내포되어 있으므로 작업자에게 잘 맞도록 설계된 작업상황은 그렇지 못한 경우보다 오류의 발생확률이 분명히 낮아짐

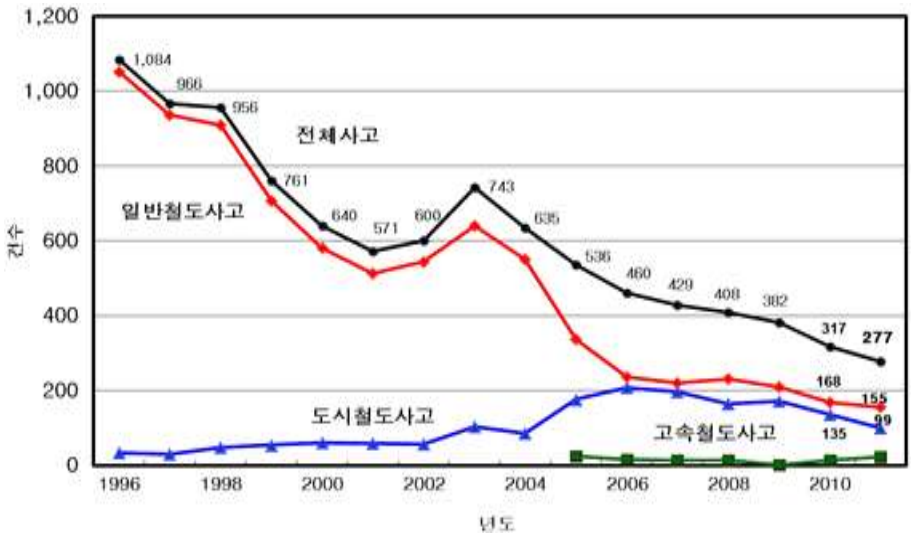
○ 따라서 운전업무특성 요인 및 작업장 환경요인이 인적오류를 발생할 수 있는 중요한 요인임을 인식하여 인간공학적 결함을 설계단계에서 사전에 밝혀내고 이를 제거할 수 있는 제도, 교육훈련, 설비의 개발이 필요함

2. 국내·외 철도안전현황 및 개선 방향

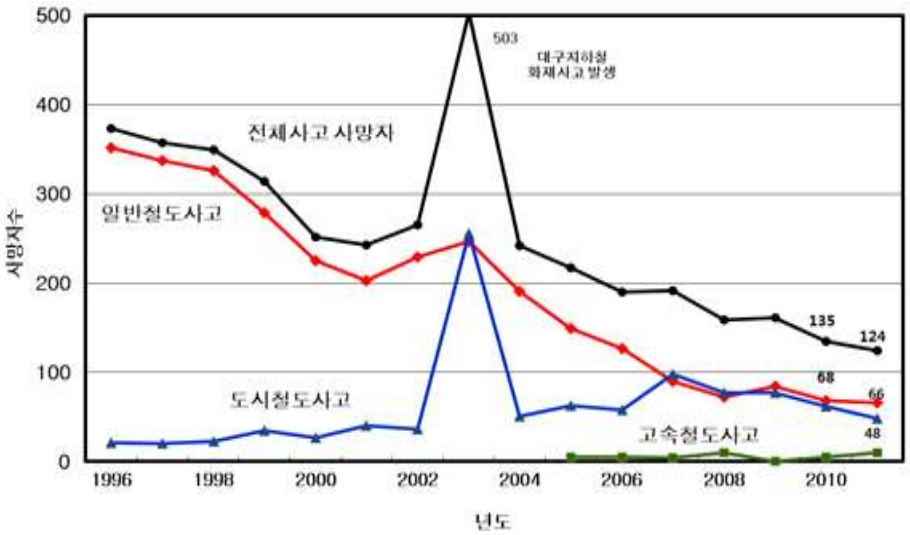
가. 국내 철도안전 현황

○ 철도안전법(2004년) 시행 이후, 지속적으로 철도 사고발생 및 사고피해 감소

- 2009년부터 선진국 수준의 안전성을 달성하고 있으며, 지속적인 감소추세임



<그림 3> 철도종류별 사고발생건수 추이



<그림 4> 철도종류별 사망자수 추이

○ 국내 철도는 도로·해양 등 타 교통수단에 비해 높은 안전성을 유지하고 있으며, 사고발생률 역시 크게 감소하고 있음

- 수송분담률 대비 사망자는 도로교통의 1/12 수준('08년 발생사고 기준)

· 수송분담률 : 도로(75.43%), 철도(24.33%), 항공(0.13%), 해운(0.11%)

· 사고사망자 : 도로(5,870명), 철도(159명), 항공(2명), 해운(113명)

· 안전성비교 : 도로 12배, 항공 2배, 해운 163배 안전성이 높음

- 최근 5년간 지속적인 이용객수 및 열차운행거리 증가에도 철도사고 발생률은 45%감소, 사고건수는 40%, 사망자수는 35% 감소

· 여객수 29.5억명('04년) → 38.7억명('09년)으로 31%증가

· 열차운행거리는 1.73억km('04년) → 1.89억km('09년)으로 9% 증가

<표 2> 철도종류별 사망자수 변화 교통수단별 사고감소율

구 분		2004년	2009년	증감
철 도 (도시철도 포함)	사 망	249	161	▽35%
	발 생	635	382	▽40%
자동차	사 망	6,563	5,838	▽11%
	발 생	220,755	231,990	5%
선 박	사 망	205*	107	▽48%
	발 생	804	723	▽10%
계	사 망	7,017	6,106	▽13%
	발 생	222,357	233,095	5%

주) 2004년 선박 사망자 일시적 증가(6년 평균 147명)

○ 주기적인 대형철도사고 발생으로 열차의 충돌·탈선·화재와 같은 중대사고 발생에 대한 국민의 우려는 감소하지 않고 있음

<표 3> 국외에서 발생한 대형철도사고(10인 이상 사망자 발생사고)

발생	내용	사망자
'10. 4월 이태리	산사태로 인한 열차탈선사고	10명
'10. 3월 러시아	지하철 역사 테러	40명 이상
'09. 6월 미국	기관사 오류로 워싱턴주 통근열차 간 충돌	10명
'09. 6월 이태리	석유화합물 수송 화물열차 탈선	32명
'08. 9월 미국	통근열차의 신호 무시로 화물열차와 충돌	25명
'06. 9월 독일	시험선로의 자기부상열차와 작업열차 충돌	23명
'05. 4월 일본	과속운행열차의 탈선 및 건물과 충돌	109명
'04. 3월 스페인	마드리드에서 4개 열차에서 폭탄 폭발	191명

<표 4> 국내에서 발생한 대형철도사고 사례

발생	내용	피해
'03.2.18 대구 지하철 중앙로역	객실내 방화로 인해 인근에 정차한 열차와 역사로 화재가 확산된 사고	사망 192명 부상 151명
'93.3.28 경부선 구포역 부근	선로 하부에서 전력설비 공사중(타공사) 철도 노반함몰로 운행중인 열차 탈선	사망 78명 부상 200명
'81.5.14 경부선 경산역	신호를 무시하고 역으로 진입한 열차가 후진중이던 열차와 충돌	사망 57명 부상 243명
'77.11.11 호남선 익산역	화물 운송원이 켜놓은 촛불이 위험물에 옮겨 붙어 역사에 대기 중인 열차 폭발	사망 59명 부상 1,300명

○ 2010년도에 국내에서 운행되고 있는 KTX 고속철도차량이 5분 이상 운행 지연된 것 중 차량이 원인이 된 것이 총 162건으로 보고되고 있음.(출처: 철도차량 스마트 유지보수 기술과제 기획보고서, 2012)

- 차량 원인을 부품별로 분석해 보면, 견인제동 52건, 신호/안전장치 38건, 차체 24건, 대차 22건 순으로 보고되고 있으며, 견인제동이 원인이 된 운행지연 중 모터블럭이 25건으로 가장 많은 원인이 되고 있고, 신호/안전장치에서는 신호장치, 차체에서는 승강문, 그리고 대차에서는 객차대차가 가장 높은 순위를 차지하고 있음.

- 주요장치별 세부원인을 분석해 보면, 신호 장치는 ATS, 모터블럭은 견인전류, 객차대차는 HBD(Hot Box Detector : 지상 윤축베어링 온도 측정 장치), 승강문은 기타(즉, 다양한 원인이 있음)로 나타났음

나. 국내외 철도안전성 비교

○ 2005년 이후 열차충돌·탈선·화재 등 중대사고율은 선진국 수준도달, 반면 종사자의 직무사고율과 건널목 사고율은 개선필요

- 중대사고 예방에 초점을 둔 안전대책의 시행으로 열차의 충돌·탈선·화재사고는 선진국 수준 도달
- 최근 5년간 충돌·탈선사고는 연평균 5.8건 발생(소규모 사고를 제외하는 국제기준 적용 시 연간 3건 이내 발생)
  · 유럽철도국(ERA) 기준(백만km당 운전사고) : 국내 0.2건, 선진국 0.3건
  · 국제철도연맹(UIC) 기준(여객10억인km당 사망자수) : 국내 0.33명, 선진국 0.3명
- 종사자 직무사고율은 선진국에 비해 5배, 건널목사고율은 선진국에 비해 2배 이상 높은 실정으로 개선필요
  · 건널목 사고율 : 선진국 10건/1억km, 철도공사 20건/1억km
  · 직무사고율 : 선진국 2건/1억km, 국내 12건/1억km

<표 5> 국내외 철도시설 및 사고 발생건수 현황(2008년도 발생기준)

국가	열차 백만km	여객 백만인km	선로 연장km	건널목수	자살	충돌	탈선	건널목	여객 사망	종사자
영국	548	50,405	31,240	6,680	203	7	14	24	0	5
프랑스	541	87,000	29,473	14,640	289	97	97	115	10	6
독일	1,044	82,500	51,851	18,051	714	13	13	76	1	41
이태리	367	49,471	25,720	7,643	137	2	10	16	4	9
스웨덴	138	10,838	16,075	11,352	71	4	14	6	0	1
오스트리아	158	10,600	8,197	6,713	93	3	7	36	2	14
헝가리	109	8,288	10,577	5,910	111	1	1	44	10	2
네덜란드	139	16,500	6,700	2,700	164	2	1	21	1	1
철도공사	121	29,706	3,145	1,455	64	2	2	24	0	12
대한민국	187	57,707	3,915	1,456	114	2	3	24	0	22

<표 6> 국내외 철도사고 발생률 현황(2008년도 발생기준)

국가	자살 사고/ 1억km	충돌 사고/ 1억km	탈선 사고/ 1억km	건널목 사고 / 1억km	화재 사고/ 1억km	직무 사고/ 1억km	1,2종 건널목 비율(%)	여객 사망률/ 10억인km
영국	37	1.3	2.6	4.4	0	1	25	0
프랑스	53	17.9	17.9	21.3	4.4	1	73	0.115
독일	68	1.2	1.2	7.3	0.6	4	59	0.012
이태리	37	0.5	2.7	4.4	0.5	2	84	0.081
스웨덴	51	2.9	10.1	4.3	2.2	1	31	0
오스트리아	59	1.9	4.4	22.7	0	9	29	0.189
헝가리	102	0.9	0.9	40.4	0	2	59	1.207
네덜란드	118	1.4	0.7	15.1	0	1	76	0.061
철도공사	53	1.7	1.7	19.9	0	10	92	-
대한민국	61	1.1	1.6	12.8	0	12	92	-

주) 사고율이 낮은 선진국 5개국(영국, 프랑스, 독일, 이태리, 스웨덴) 및 국내와 열차km가 유사한 국가(오스트리아, 헝가리, 네덜란드) 비교. 국제기준에 따라 국내 사고통계 중 일부 수정, 산출기준이 상이 자료는 “-”로 표기 (*출처) 국외자료(유럽철도국), 국내자료(국토해양부)

다. 철도종류별 사고율 및 사고 발생원인

○ 철도 종류별로 일반철도, 도시철도, 고속철도 순으로 사고율이 높음

- 고속철도는 운행거리 및 이용객수의 증가에도 낮은 사고율과 사망자수를 유지하고 있으며, 사망자는 대부분 선로불법침입으로 발생
- 개통이후 기관사 취급오류로 인한 열차충돌사고만 1건('07년) 발생
- 일반철도의 사고율과 사망자수 모두 크게 감소하고 있으며, 선로침입·자살·승하차중의 사상사고 위주로 발생
- 년간 3~6건의 열차사고발생(사망자 미발생)
- 사망자 발생위치 : 선로(46%), 승강장(44%), 작업장 및 기타(10%)
- 열차사고는 화물열차 탈선, 기관사 인적요인에 의한 충돌사고가 빈발
- 도시철도 사고율은 감소되고 있으나 열차운행거리 및 이용자수 증가에 따라 사망자수는 지속적으로 증가. 승강장에서 자살, 추락, 선로통행 등으로 사망자 발생(승강장 스크린도어 설치 확대로 향후 사망자 감소 예상)
- 열차운행거리 12%증가 : 87.0백만km('04년)→ 97.2백만km('09년)

○ 철도사고 발생 원인으로는 종사자의 과실, 차량·시설 고장, 외부요인 등으로 발생

<표 7> 철도사고 및 장애 발생 원인분석('09년)

발생 원인	합계	건수(%)	철도공사 시설공단	도시철도 운영기관
계	706	(100)	479	227
외부요인	265	(37.5)	143	122
인적요인	222	(31.5)	149	73
차량요인	178	(25.2)	156	22
시설요인	41	(5.8)	31	10

- 열차사고는 종사자의 과실・차량고장(재질불량, 제작결함)요인으로 발생, 건널목 사고는 97%가 외부요인으로 발생
- 대형사고로 연결될 수 있는 열차사고(충돌・탈선・화재)사고 지속 발생(최근 5년간 탈선 23건, 충돌 5건, 화재 1건)
- 열차사고는 인적피해 없이 물적 피해만 유발
- 최근 5년간 열차사고 발생원인 : 인적요인 12건(42%), 차량요인 9건(31%), 시설요인 5건(17%), 외부요인 3건(10%)
- 사상사고 사망자는 승강장(추락 및 자살) 및 선로변(무단횡단 및 자살)에서 주로 발생. 도시철도의 경우 승강장 자살추정사고 위주로 발생

라. 국내 철도사고 위험도

○ 최근 6년간('03~'08) 철도공사에서 발생한 총 2,634건의 철도사고에 대한 통계자료를 바탕으로 사고종류와 원인별로 정리하여 위험사건과 위험요인으로 분류(도시철도에 대한 위험도는 대부분 자살, 승강장 투신, 안전사고로 분석되어 제외하였음)

- 2003년도부터 2008년도까지 연평균 종합위험도는 6('03~'08)년간 철도사고 종류별 위험사건의 발생빈도와 위험사건이 초래하는 결과심각도(등가사망자)를 곱하여 각각의 위험사건이 초래하는 인명피해 손실의 연간 평균값을 산출하였으며, 단위로는 (명)으로 표시함
- 위험사건의 발생빈도는 2003년부터 2008년까지 2,634건의 철도사고통계자료를 분석하여 연도별 발생건수로 산출하였으며, 단위로는 (건)으로 표시함
- 위험사건의 심각도는 철도사고발생 1건당 나타나는 인명피해 정도를 말하며, 단위로는 (명)으로 표시함

<표 8> 종합위험도 분석 결과('03~'08년)

대 상		공 중	여 객	직 원	합 계
건 수(건)		171.67	186.86	80.5	439.03
심각도(명)		0.66313	0.26795	0.18559	0.40738
인명 사상	사망(명)	110.5	44.33	9	163.83
	중상(명)	32.5	50.83	58.5	141.83
	경상(명)	18.17	129.67	17.67	165.51
위험도		113.84	50.07	14.94	178.85

○ 2003~2008년 연평균 종합위험도 분석

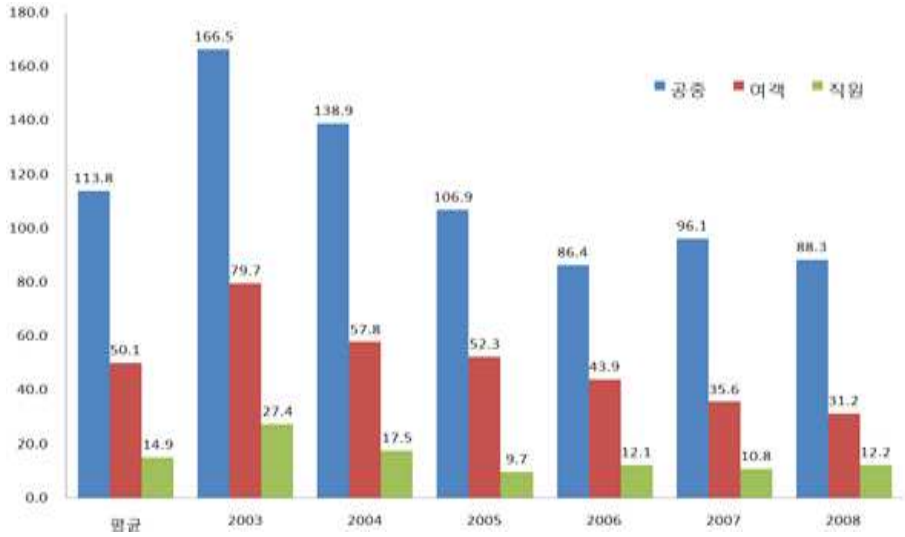
- 최근 6('03~'08)년간 평균 종합위험도를 분석·평가한 결과 전체 위험도 178.8명중에 공중이 113.8명(63.7%), 여객이 50.1명(28.0%), 직원이 14.9명(8.3%)으로 종합위험도는 공중이 가장 높은 것으로 나타남

- 인명사상을 간략하게 분석해보면, 6년 평균 사망자 163.8명중에 공중 110.5명(67.5%), 여객 44.3명(27.0%), 직원 9명(5.5%)으로 나타나 사망자는 공중이 가장 많은 것으로 나타났으며,

- 중상자는 평균 141.8명중에 공중 32.5명(22.9%), 여객 50.8명(35.8%), 직원 58.5명(41.3%)으로 직원이 가장 많이 발생한 것으로 나타났으며, 경상자는 평균 165.5명중에 공중 18.1명(10.9%), 여객 129.7명(78.4%), 직원 17.7명(10.7%)으로 대부분 여객에서 많이 발생하는 것으로 분석되었음

- 연도별 종합위험도 변화추세를 살펴보면, 공중의 위험도는 '03년 166.5명에서 '08년에는 88.3명으로 현저하게 감소되었으며, 여객의 위험도 역시 '03년 79.7명에서 '08년에는 31.2명으로 매년 약 10.1%의 감소폭을 보이고 있는 것으로 분석되며, 직원의 경우도 '03년 27.4명에서 '08년 12.2명으로 매년 약 9.2%의 감소추세를 보이고 있는 것으로 나타남

- 아울러 사고 1건당 인명피해를 측정할 수 있는 심각도는 6년 평균 공중이 약 0.67명, 여객, 약 0.27명, 직원, 약 0.19명으로 공중이 가장 높은 심각도를 가지는 것으로 분석되었음



<그림 5> 연도별 철도사고 위험도 추이

마. 국내 철도사고 위험요인별 개선 방향 검토

<표 9> 국내 철도사고 위험요인별 개선 방향 검토

사고원인별		위험요인 및 특징	개선방향
사고 유형	열차 사고	·시설·차량의 재질 불량 장애 ·장애처리과정에서 종사자의 대응 미숙 및 미대응 ·종사자의 경보시스템에 대한 불감증	·시설·차량의 유지보수 체계화 ·종사자의 교육훈련 내실화 ·안전설비의 효용성 검증 ·인적요인을 고려한 안전설계
	건널목 사고	·도로운전자의 신호위반, 차단기 돌파가 전체 사고의 97% ·지속적으로 감소추세이나 선진국에 비해 높은 사고율	·대국민 홍보 및 정보제공 확대 ·도로교통 안전대책과 연계 ·사고다발 건널목 입체화 추진
	교통사상사고	·승강장에서 여객의 선로추락 ·선로 무단횡단 중 열차접촉 ·승하차 중의 출입문에 끼임 등 사고	·대국민 홍보 및 불법행위 처벌강화 ·불법행위 신고절차 간소화
	안전 사고	·역사 내 계단, 승강기 등의 안전사고	·교통약자 안전대책 수립 ·안전한 보행환경 구축 ·신속한 구호 체계 구축
인적 요인	기관사	·인지오류(신호오인), 신호예측, 과속, 의사소통 오류, 신호 미확인, 고장 시 조치 미흡, 전방주시 소홀	·승무적합성 검사의 내실화 ·기관사 자격제도 운영 ·시뮬레이터 활용 비상대응 교육
	관제사	·현장확인 소홀, 의사소통 오류	·관제사 자격제도 개선
	역무원	·현장확인 소홀, 의사소통 오류, 안전조치 미흡	·역무원 교육제도 개선 ·비상대응 교육 강화
	유지보수 작업자	·유지보수 작업 후 미확인 ·기관사와 의사소통 오류	·책임검수제 시행 ·종사자 전문성 향상 ·전문인력 확보

사고원인별		위험요인 및 특징	개선방향
차량 요인	차량 고장	·재질 및 유지보수 불량 ·경보장치 작동 ·제동장치 고장, 차륜파손	·예비부품 확보, 안전핵심 부품의 신뢰성 확보, 검수시설 현대화 ·유지보수 체계화
	안전설비 작동	·여객의 불법행위	·불법행위 처벌강화 ·불법행위 신고절차 간소화
시설 요인	설비 고장	·전차선 단전, 신호기 고장 ·분기기 고장	·유지보수 체계화
	선로 지장	·선로상 장애물	·감시설비 확대 ·사고 취약구간 지정 관리
외부 요인	기상 요인	·혹한·낙뢰·강설·혹서	·재해 대비 차량·시설 개량
	불법 행위	·시설물 파괴, 방화, 투석, 선로 무단횡단, 자살, 고가교를 통한 도로차량 선로추락, 철도교각 하부 충돌	·불법행위 처벌 강화 ·감시설비 확대 ·선로변 울타리 설치 확대 ·대국민 홍보

바. 전동차 취급부주의 사고조사 및 원인조사 분석

(1) 사고원인조사

○ 전동차 취급부주의사고 발생 55건 중 대부분이 기기취급소홀로 인한 사고로 분석 됨(정치위치 어김 사고는 정차역 착각으로 제동취급시기를 놓침으로 발생 됨, 정차역 통과 역시 시간표를 확인하지 않고 운전을 함, 신호확인 소홀은 지적확인을 결함으로 발생되고 있으며, 기기취급 소홀은 적기에 기기를 취급하지 못하거나, 기기를 오취급하여 발생하거나, 취급 후 복귀를 생략함으로 발생하는 것으로 나타났다.

<표 10> 5년간(08~12년) 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사

년 도	발생건수	비고(유형별 건수)
2008	12	정지위치 어김 : 4건, 정차역 통과 : 2건, 출무지연 : 1건 기기취급 소홀 : 3건, 신호확인 소홀 : 2건
2009	3	정차역통과 : 1건, 기기취급소홀 : 1건, 신호확인 소홀 : 1건
2010	7	정지위치 어김 : 2건, 기기취급소홀 : 2건, 신호확인 소홀 : 3건
2011	15	정지위치 어김 : 4건, 정차역 통과 : 2건, 기기취급소홀 : 4건 신호확인 소홀 : 5건
2012	18	정지위치 어김 : 9건, 정차역 통과 : 2건, 기기취급소홀 : 5건 신호확인 소홀 : 1건
합계	55	정지위치어김 :19, 정차역통과 : 7, 출무지연 : 1 기기취급소홀 : 15, 신호확인소홀 : 12

<표 11> 2008년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사

연번	년도	개황 및 원인	유형
1	2008	K64전동열차가 경인선 구일역 정지위치를 약174m지나서 정차, 차장이 비상변을 취급하여 정차한 후 구일역 고상 홈 정지위치까지 퇴행하여 여객승하차후 약10분 지연운행	정지위치어김
2	2008	지하청량리역을 떠나 천안역으로 가는 제 K751 전동열차가 정차역인 화서역 접근 중 다음역인 수원역 운전취급 관련 무선통보 내용을 확인하는 과정에서 정차역 확인을 소홀히 하여 정차역인 화서역을 통과	정차역통과
3	2008	K314전동열차가 경인 상1선 구일역에 정차 시 정지위치를 지나 정차, 퇴행 후 여객 취급하는 관계로10분 지연운행	정지위치어김
4	2008	구로역을 떠나 동두천역으로 가는 K810전동열차가 구로역에서 출고지연으로 21분 늦게 출발하여 3개열차를 지장	출무지연
5	2008	K78전동열차가 지하청량리 - 회기역사이 운행 중 전부운전실에서 역행불능 표시등 점등되어 후부운전실에서추진운전 *상구배(34/1000)정차후인출시 제동 및 가감간취급부주의로 견인하지 못함	기기취급소홀
6	2008	동두천에서 인천으로 가는 K1603급행전동열차가 정차역인 동두천중앙역을 정차하지 않고 통과	정차역통과
7	2008	인천역을 떠나 구로역으로 가는 K166전동열차가 정차역인 구일역을 정차하지 않고 통과 중 정차역 통과를 인지한 차장이 차장변 취급하여 정지위치를 약 293m지나서 정차, 퇴행 후 여객취급 등 조치관계로 10분 지연 운행	정지위치어김
8	2008	서울매트로 1호선 종로3가역 출발 시 출입문표시 등 소등을 확인하지 못해 역행불능, 응급조치미흡으로 여객후속열차에 계승 후 지하서울역까지 추진으로 운행 후 이문기지로 회송 *출입문사이에 이물질 개입으로 인한 출입문표시 등 일시적 점등불능상태	기기취급소홀
9	2008	소요산역에서 인천역으로 가는 K191전동열차가 경원선 소요산역 출발 중 역행불능현상 발생, 여객은 후속제2070통근열차로 계승 후 동두천역에서 K199전동열차로 계승조치 *전동열차운전취급방법불량: 운전실 교환 후 교직절환스위치(ADS)를 직류(DC)상태에서 역행 시도하였고, 이후교류(AC)로 전환 후에는 출입문이 열린 상태에서 역행시도	기기취급소홀
10	2008	제S245전동열차(의정부→인천)가 구로역3번선(경부선착발선)으로 잘못 진입, P27호 부근 입환 표지지점까지 퇴행한 후 4번선(경인선착발선)으로 다시 진입하여 여객취급 후4분 지연출발 *역신호취급자장내 신호 잘못 취급 및 기관사 진로표시기현 시 상태확인 소홀	신호확인소홀

연번	년도	개황 및 원인	유형
11	2008	서울역을 떠나 천안역으로 가는 K1525급행전동열차가 경부선 성환역 진입 중 정지위치로부터 약 200m지나 출발신호기 앞에 정차, 퇴행하여 여객취급 등 조치관계로 8분 정차 후 출발 *기관사가 정차역을 통과역으로 착각하여 통과하던 중 뒤늦게 비상정차	정지위치어김
12	2008	동묘앞역에 정차하여 여객승하차 후 출발신호가 정지신호를 현시하고 있음에도 확인을 소홀히 하여 발차하여 군자차량기지 입고선으로 잘못진입, 동묘앞역으로 퇴행한 뒤 정상진로로 취급하여 운행하는 관계로 6분간 지연되었으며, 후속 1개 열차 5분 지장 *출발신호기현시상태확인소홀(기관사), 출발반응표지상태확인소홀(차장)	신호확인소홀

<표 12> 2009년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사

연번	년	개황 및 원인	유형
1	2009	제K28전동열차(인천→동두천)가경부선 남영 - 지하서울역사이에서 전차선전원공급이 중단되는 절연구간에 정차, 남영역으로 퇴행한 후 다시 출발하는 과정에서 약 11분간 지연운행 *전동열차운전보안장치(ATS) 동작 시 복귀취급소홀(기관사) *전기동차 운행 시 ATS경보령이 울릴 경우 저항제어차는 제동변 핸들을 67°위치로 이동하도록 되어 있으나 정해진 위치까지 이동하지 않음	기기취급소홀
2	2009	서울메트로 4호선 당고개역에서 제K4557전동열차가 하인상선의 입환 신호기가 현시되지 않은 상태에서 하선승강장으로 내려오는 과정에서 491B호 선로전환기를 할출한 사고임 *신호주시 의무미준수로 선로전환기 할출	신호확인소홀
3	2009	인천역을 떠나 구로역으로 가는 K166전동열차를 승무한 기관사가 본열차를 직통열차로 착각하여 개봉역을 통과역으로 판단, 다음역인 구일역에 정차한 장애임.	정차역통과

<표 13> 2010년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사

연번	년	개황 및 원인	유형
1	2010	제K1062급행전동열차가 경부 상3선 대방역 진입 중 정지위치를 약327m지나서 정차, 안전조치 후 퇴행하여 승객을 취급하는 관계로 4분 늦게 출발(16:22)하였음.	정지위치어김
2	2010	경부선 구로차량사업소에서 도착 청소를 마친 편성(10량)을 B9번 선으로 유치하기 위해 입환을 하던 중, B10번 선으로 잘못 진입하여 유치되어 있던 편성(10량)과 충돌한 사고	신호확인소홀

연번	년	개황 및 원인	유형
3	2010	K5149전동열차가 중앙선 양정역구내 #4번선에서 승객취급 후 출발신호기 정지 현시상태에서 출발, 제53호 선로전환기를 할출, 키볼트 쇄정 등 조치관계로 3개 열차 지장함.	신호확인소홀
4	2010	제K7004전동열차(광명⇒영등포) 경부고속선 광명역구내 8번선에서 출발 중 출입문이 닫히지 않아, 7번선 도착한 제K7005전동열차 편성으로 승객을 환승(약40명), 광명역을 21분 늦게 출발한 장애임 *출입문잘못취급(기관사)	기기취급소홀
5	2010	제K169전동열차가 경원선 동두천역 장내신호기(정지신호 현시)를 지나 정차, 이후 승인 없이 임의 퇴행 중 선로작업을 위해 이동 중이던 시설직원과 접촉함. *신호 확인 소홀 및 임의퇴행(기관사)	신호확인소홀
6	2010	제K1352급행전동열차(동인천08:35→용산09:16)가 경인 상1선 부천역에서 정지위치를 약 115m 지나서 정차, -안전조치 후 퇴행하여 승객을 취급하는 관계로 4분 늦게 출발(09:06) 하였음. *기관사의정차역착각 - 부천역 진입 시 통과역인 역곡역으로 순간 착각함	정지위치어김
7	2010	제K6180전동열차 분당선 선릉역 상선승강장에 정지위치를 지나 정차, 출입문을 개방하였으나 스크린도어가 열리지 않아 승객이 하차하지 못한 상황을 기관사가 인지하지 못하고 출입문을 닫고 인상선으로 운행하여 승객이 하차하지 못함 *정지위치어김->여객취급확인소홀	기기취급소홀

<표 14> 2011년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사

연번	년	개황 및 원인	유형
1	2011	제K138전동열차가 신설동역 도착 후, 스크린도어를 약 10㎝정도 진과하여 퇴행, *기기 취급부 적정(기관사)주간제어기 투입상태에서 역전기 취급으로 전환불능	기기취급소홀
2	2011	경춘선 제K8335급행전동열차가 통과역인 사릉역을 잘못 정차한 후 출발 *통과역을 정차역으로 잘못 인지함 ※기관사 1인 승무	통과역 정차
3	2011	제K659전동열차 출고기관사가 구로기지선 A3번 유치된 차량편성을 출고하여야 하나 B12번선(K812) 편성열차를 출고하면서 111, 115호 선로전환기를 할출,	신호확인소홀
4	2011	구로차량기지내 준비기관사가 차량 입환 중 운행차량 및 신호 오인으로 선로전환기 할출 *입환차량 유치선로 확인소홀로 선로전환기 할출(준비기관사)	신호확인소홀

연번	년	개황 및 원인	유형
5	2011	서울메트로 1호선 제기동역구내에서 출입문 등이 점등되지 않아 전동열차 승무원이 운전실 밖으로 나가서 차량상태를 확인하던 중 출입문 등이 점등되자 기관사가 전동열차 승무원의 승차여부를 확인하지 않고 출발함 *전동열차승무원의 출발전호를 확인하지 않고 출발	전호확인소홀
6	2011	제K1101전동열차가 경부선 용산역 #2번선에서 출발신호기가 정지신호를 현시하고 있는 상태에서 임의 출발, 열차퇴행 후 4분 지연 출발하였으며 지장열차 없음. *출발신호정지신호 현시상태에서 임의출발(취급부주의)	신호확인소홀
7	2011	제K3221전동열차가 일산선 삼송역 정차 시, 정지위치로부터 약 4량 지나 정차,	정지위치어김
8	2011	제K5047전동열차가 중앙선 신원역 도착 후, 출입문을 취급하지 않고 출발하여 여객이 승·하차하지 못함	기기취급소홀
9	2011	제K6003전동열차 분당선 미금역 도착 후 스크린 도어를 취급하지 않아 승객(약10명)이 내리지 못함. *스크린도어 출입문 취급 안 함(기관사, GS네오텍안전원)	기기취급소홀
10	2011	제K42전동열차가 경인선 구일~구로역사이 폐색신호기 3호 주정지신호로 ATS차단(승인181호) 승인을 받고 운행 중 절연구간 내에 정차(08:42),	기기취급소홀
11	2011	제K714전동열차가 경부선 송탄역 상2선 승강장 정지위치를 약 100m 지나 정차	정지위치어김
12	2011	제K663전동열차장항선 아산역 진입 시 하부본선 진입하여야 하나 하본선으로 진입, 승객을 출입문 수동 취급하여 하차시킨 후 발차(07:27), 지장열차 없음	신호확인소홀
13	2011	제K622전동열차가 정차역인 경부선 지제역을 정차하지 않고 통과,	정차역통과
14	2011	제K1006전동열차가 경부선 신길역에서 정지위치를 약 6량 지나 정차	정지위치어김
15	2011	제K8028전동열차가경춘선상천역을정차하지않고통과	정차역통과

<표 15> 2012년도 전동열차 기관사 취급부주의 사고건수 및 유형조사

연번	년	개황 및 원인	유형
1	2012	제K701전동열차가 경부선 오산대역에서 정지위치를 약 312m 지나서 정차	정지위치어김
2	2012	제K1003급행전동열차(부천05:34→동인천05:52)가 종착역인 동인천역 정지위치를 약 20m 지나 정차(05:52), 정지위치 재조정 후 승객하차	정지위치어김

연번	년	개황 및 원인	유형
3	2012	제K7055셔틀전동열차가 경부선 신도림역 착발 시 승강출입문 열림 불량(출입문반감취급)	기기취급소홀
4	2012	제K14전동열차가 지하서울역에서 차량고장으로 정차한 제K602전동열차(천안05:16⇒지하청량리07:33)를 구원 운전 중 종로5가역 정차 후 약 50m 진행 중 탈선 *전·후 전동차총괄제어가 되지 않아 전부차만 제동이 체결되어 부상 탈선	기기취급소홀
5	2012	제K5001전동열차가 중앙선 구리역 #4번선에 정차하여야하나 승강장이 없는 #3번선으로 진입	신호확인소홀
6	2012	제K1906급행전동열차가 경부선 군포역 정차 중 승강장을 6.5량 지나 정차	정지위치어김
7	2012	제K4557전동열차가 안산선 정왕역 정차 중 정지위치 2량 지나 정차(승강장을 1량 벗어남)	정지위치어김
8	2012	제K7전동열차가 경인선 도화역(정차역)을 통과하여 비상정차(절연구간)	정차역통과
9	2012	제K1425전동열차가 경부선 구로역 장내신호기 정지신호를 진입 후 정차	신호확인소홀
10	2012	제K707전동열차가 경부선 운행 중 정차역인 세마역을 지나서 정차(승강장 끝에서 후부차량 약 1량 지남, 5분간정차),	정차위치어김
11	2012	제K167전동열차(구로16:24→인천17:10)가 경인선 개봉역 정지위치를 약 5량 지나 정차	정지위치어김
12	2012	경의선 디지털미디어시티역에서 시발하는 제K2375전동열차가 정시보다 2분 일찍 출발	시각표확인소홀
13	2012	제K448전동열차가 서울메트로 지하서울역 정차 중 정지위치를 약 3량(60m) 지나서 정차,	정지위치어김
14	2012	제K498전동열차가 경원선 회기역 정차 시 정지위치를 지나서(9량) 정차,	정지위치어김
15	2012	제K434전동열차가 경부선 신도림역 정차 시 정지위치로부터 약 4량 지나서 정차,	정지위치어김
16	2012	제K153전동열차(의정부14:14→인천16:13)가 신이문역 정차 시 좌측전체출입문이 열리지 않아 기관사 쪽에서 취급하여 5분 늦게 출발(14:47)하여 운행 중, -회기~지하청량리간 교·직 절환구간 통과 시 절환스위치(ADS)를 미취급 *출입문보안장치불량으로 차장측에서 출입문 열림 취급되지 않음 *교·직 절연구간 통과 시 절환스위치 취급하지 않음(취급부주의)	기기취급소홀
17	2012	제K5127전동열차가 출발역인 경부선 용산역에서 2분 일찍 출발(용산~한남역까지 4개역 2분 일찍 출발)	시각표확인소홀
18	2012	제K519전동열차가 경부선 화서역(정차역) 통과	정차역통과

(2) 소속별 운전실의 종류

○ 1사업을 출근하여 운전실이 다른 전동차를 2-3번 운전을 함으로서 취급부주의사고를 유발할 수 있다.

<표 16> 소속별 운전실의 종류

운전실 형식			운행선구	담당소속
저항제어차	운전실 중앙		경인, 경원, 경부	구로, 병점, 성북
	운전실 측면		〃	〃
VVVF	구형	-	안산/과천, 경인, 경춘	병점, 청량리, 분당
	신형	원핸들	경의, 수인, 경춘	일산, 안산, 청량리, 분당
		투핸들	경부, 중앙	안산, 청량리, 분당

(3) 취급부주의 사고를 유발할 수 있는 앗차사고를 설문조사

○ 5년간 발생한 취급부주의 사고를 분석하여 기관사들에 대한 앗차사고를 6가지 문항으로 작성하여 도시철도차량을 운전하는 기관사 800명에게 설문지를 배포하여 이중 707매를 분석하였다.

○ 분석한 결과 최근 1년 동안에 사고로 이어 지지는 않았지만 차량고장으로 인해 당황한 경우가 57. 9%(409명)이 있다고 분석되었다. 사고분석에서도 차량 고장으로 당황하여 2차적인 사고로 이어지는 경우가 발생되고 있는 것으로 분석되었다. 또한 가장 많이 발생되고 있는 정차역 통과 또는 정지위치 어김 사고와 관련하여 급제동을 취급한 경우를 질문한 결과 51.2%(362명)이 경험을 한 것으로 분석 되었다.

○ 위의 사례를 바탕으로 1사업(기관사가 한번 출근하여 퇴근까지)을 출근하여 운행하는 동안 취급하는 기기조작에 대한 설문으로 적기에 취급하지 못하는 경우로 기기취급을 지연조작한 경우는 24.5%(173명)가 경험을 하였다고 분석 되었다. 기기취급을 지연 하는 경우는 기관사가 순간적으로 당황하는 것으로 안전운행에 많은 지장을 초래할 수 있다. 또한 기기취급을 조기 조작하는 경우는 19.8%(140명)가 있다 라고 분석되었다. 기관사가 일찍 기기를 조작하는 경우는 연속되어 지는 기기취급이 있는 경우와 하나는 지연 조작하여 당황한 경우가 있는 경우로 초조함에 일찍 조기조작을 하는 경우라고 볼 수 있다.

○ 기기 취급을 오조작하는 경우는 15.7%(111명)가 경험이 있다고 분석 되었다. 기기취급을 오조작 하는 경우는 착오에 의해서 나타나는 현상으로 기기의 배치 또는 기량미숙에 연관성이 있다고 볼 수 있다. 또한 기기를 취급하지 않는 경우도 11%(78명)이 기기취급을 하지 않는 경우도 있다(2중 3중 보안으로 사고로 이어지지는 않지만, 회생제동 차단스위치)

<표 17> 앗차사고에 대한 도시철도 기관사 707명의 통계분석 결과

사업소별	유 · 무	빈도	퍼센트
최근 1년 동안 운행 중 차량 고장에 대하여 당황한 경우	없다	298	42.1
	있다	409	57.9
	합계	707	100.0
최근 1년 동안 정차역과 관련하여 통과할 뻔하거나 급제동을 취급한 경우	없다	345	48.8
	있다	362	51.2
	합계	707	100.0
1사업을 출근하여 운전 중 기기 취급을 지연(늦게) 조작한 경우	없다	534	75.5
	있다	173	24.5
	합계	707	100.0
1사업을 출근하여 운전 중 기기 취급을 조기(일찍) 조작한 경우	없다	567	80.2
	있다	140	19.8
	합계	707	100.0
1사업을 출근하여 운전 중 기기 취급을 잘못(오조작) 조작한 경우	없다	596	84.3
	있다	111	15.7
	합계	707	100.0
1사업을 출근하여 운전 중 기기 취급을 제때 조작하지 않은(미취급) 경우	없다	629	89.0
	있다	78	11.0
	합계	707	100.0

<표 18> 노선별로 분석한 결과(차량과 운행노선에 따라 운전취급법이 다름)

1. 최근 1년 동안 운행 중 차량 고장에 대하여 당황한 경우 (N=707)

사업소별		빈도	퍼센트
A 그룹	없다	62	45.3
	있다	75	54.7
	합계	137	100.0
B 그룹	없다	65	46.8
	있다	74	53.2
	합계	139	100.0
C 그룹	없다	87	62.6
	있다	52	37.4
	합계	139	100.0
D 그룹	없다	49	28.2
	있다	125	71.8
	합계	174	100.0
E 그룹	없다	35	29.7
	있다	83	70.3
	합계	118	100.0
합 계	없다	298	42.1
	있다	409	57.9
	합계	707	100.0

2. 최근 1년 동안 정차역과 관련하여 통과할 뻔하거나 급제동을 취급한 경우(N=707)

사업소별		빈도	퍼센트
A 그룹	없다	74	54.0
	있다	63	46.0
	합계	137	100.0
B 그룹	없다	67	48.2
	있다	72	51.8
	합계	139	100.0
C 그룹	없다	74	53.2
	있다	65	46.8
	합계	139	100.0
D 그룹	없다	81	46.6
	있다	93	53.4
	합계	174	100.0
E 그룹	없다	49	41.5
	있다	69	58.5
	합계	118	100.0
합 계	없다	345	48.8
	있다	362	51.2
	합계	707	100.0

3. 1사업을 출근하여 운전 중 기기 취급을 지연(늦게) 조작한 경우(N=707)

사업소별		빈도	퍼센트
A 그룹	없다	111	81.0
	있다	26	19.0
	합계	137	100.0
B 그룹	없다	113	81.3
	있다	26	18.7
	합계	139	100.0
C 그룹	없다	112	80.6
	있다	27	19.4
	합계	139	100.0
D 그룹	없다	114	65.5
	있다	60	34.5
	합계	174	100.0
E 그룹	없다	84	71.2
	있다	34	28.8
	합계	118	100.0
합 계	없다	534	75.5
	있다	173	24.5
	합계	707	100.0

4. 1사업을 출근하여 운전 중 기기 취급을 조기(일찍) 조작한 경우(N=707)

사업소별		빈도	퍼센트
A 그룹	없다	105	76.6
	있다	32	23.4
	합계	137	100.0
B 그룹	없다	123	88.5
	있다	16	11.5
	합계	139	100.0
C 그룹	없다	124	89.2
	있다	15	10.8
	합계	139	100.0
D 그룹	없다	129	74.1
	있다	45	25.9
	합계	174	100.0
E 그룹	없다	86	72.9
	있다	32	27.1
	합계	118	100.0
합 계	없다	567	80.2
	있다	140	19.8
	합계	707	100.0

5. 1사업을 출근하여 운전 중 기기 취급을 잘못(오조작) 조작한 경우(N=707)

사업소별		빈도	퍼센트
A 그룹	없다	117	85.4
	있다	20	14.6
	합계	137	100.0
B 그룹	없다	120	86.3
	있다	19	13.7
	합계	139	100.0
C 그룹	없다	122	87.8
	있다	17	12.2
	합계	139	100.0
D 그룹	없다	142	81.6
	있다	32	18.4
	합계	174	100.0
E 그룹	없다	95	80.5
	있다	23	19.5
	합계	118	100.0
합 계	없다	596	84.3
	있다	111	15.7
	합계	707	100.0

6. 1사업을 출근하여 운전 중 기기 취급을 제때 조작하지 않은(미취급) 경우(N=707)

사업소별		빈도	퍼센트
A 그룹	없다	126	92.0
	있다	11	8.0
	합계	137	100.0
B 그룹	없다	126	90.6
	있다	13	9.4
	합계	139	100.0
C 그룹	없다	128	92.1
	있다	11	7.9
	합계	139	100.0
D 그룹	없다	143	82.2
	있다	31	17.8
	합계	174	100.0
E 그룹	없다	106	89.8
	있다	12	10.2
	합계	118	100.0
합 계	없다	629	89.0
	있다	78	11.0
	합계	707	100.0

사. 국내 도시철도차량 기기명칭 및 기기배치와 기능 조사

(1) 운전실 형식별 기기위치

○ 신형 저항제어차(운전실 중앙)



NO	기기 명칭	위치	기 기 설 명	기 능
1	주간제어기	좌	역전제어부, 역행제어부, DSD	운전실 선택계전기 제어, 전진, 후진
2	제동변	우	캠식	완해, 1~7단, 상용, 비상, 핸들취거
3	panUS (판타 상승스위치)	우	push button s/w	팬터그래프 상승
4	panDN (판타 하강스위치)	우	push button s/w	팬터그래프 하강
5	MCBCS (주차단기 투입스위치)	우	push button s/w	주회로차단기(MCB) 투입
6	MCBOS (주차단기 차단스위치)	좌	push button s/w	주회로차단기(MCB) 차단
7	ACMCS (보조공기압축기)	좌	누름 버튼스위치 ON-OFF	보조공기압축기 동작으로 공기압력 형성
8	UOOS (유니트개방)	좌	push button s/w	고장 차량 개방
9	ASOS (특수운전)	좌측 상단 원거리	push button s/w	ATS의 R0신호구간에서 의식적 진입 운전 시 45키로 속도제한
10	15km/h 스위치	〃	push button s/w	ATS의 R0신호구간에서 의식적 진입 운전 시 15키로 속도제한
11	EPanDS (비상판토하강)	중앙	누름 버튼스위치 ON-OFF	비상시 팬터그래프 하강
12	EBN (발전제동회로차단기)	좌, 원거리	NFB 판넬 스위치	전자직통제동

NO	기기 명칭	위치	기 기 설 명	기 능
13	HCRN (전부차제어회로차단기)	〃	〃	운전실 선택
14	MCN (주간제어기 회로차단기)	〃	〃	주간제어기
15	DIRS (출입문비연동스위치)	〃	〃	출입문 비연동
16	차장변	좌, 우 원거리	손잡이 끈을 아래로 당기도록	비상시 열차승무원이 사용하여 열차정지 시키는 장치
17	출입문보안장치	좌, 원거리	전원투입, 회로차단기 ON	차량속도 5Km/h이상에서는 출입문이 동작하지 못하도록 하는 장치
18	열차방호장치	우, 원거리	〃	비상시 다른 열차를 정차시키기 위해 사용
19	역통과방지장치모니터	우	모니터로 현시	역 접근 시 음성으로 정차역 경고로 통과 사고 예방

○ 구형 저항제어차(운전실 측면)



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	주간제어기	좌	역전제어부, 역행제어부, DSD	운전실 선택계전기 제어, 전진, 후진
2	제동변	우	캠식	완해, 1~7단, 상용, 비상, 핸들취거
3	panUS (판타 상승스위치)	중앙상, 원거리	push button s/w	팬터그래프 상승

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
4	panDN (판타 하강스위치)	중앙상, 원거리	push button s/w	팬터그래프 하강
5	MCBCS (주차단기 투입스위치)	좌, 원거리	push button s/w	주회로차단기(MCB) 투입
6	MCBOS (주차단기 차단스위치)	〃	push button s/w	주회로차단기(MCB) 차단
7	ACMCS (보조공기압축기)	중앙상, 원거리	누름 버튼 스위치 ON-OFF	보조공기압축기 동작으로 공기압력 형성
8	UOOS (유니트개방)	중앙상, 원거리	push button s/w	고장 차량 개방
9	ASOS (특수운전)	중앙상, 원거리	push button s/w	ATS의 R0신호구간에서 의식적 진입 운전 시 45키로 속도제한
10	15km/h 스위치	우, 원거리	push button s/w	ATS의 R0신호구간에서 의식적 진입 운전 시 15키로 속도제한
11	EPanDS (비상판토하강)	우	누름 버튼 스위치 ON-OFF	비상시 팬터그래프 하강
12	EBN (발전제동회로차단기)	우, 원거리	NFB 판넬 스위치	전자직통제동
13	HCRN (전부차제어회로차단기)	우, 원거리	〃	운전실 선택
14	MCN (주간제어기 회로차단기)	우, 원거리	〃	주간제어기
15	DIRS (출입문비연동스위치)	우, 원거리	〃	출입문 비연동
16	차장변	좌, 우 원거리	손잡이 끈을 아래로 당기도록	비상시 열차승무원이 사용하여 열차정지 시키는 장치
17	출입문보안장치	우, 원거리	전원투입, 회로차단기 ON	차량속도 5Km/h 이상에서는 출입문이 동작하지 못하도록 하는 장치
18	열차방호장치	〃	〃	비상시 다른 열차를 정차시키기 위해 사용
19	역통과방지장치모니터	〃	모니터로 현시	역 접근 시 음성으로 정차역경고로 통과 사고 예방

○ VVVF 구형



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	주간제어기	좌측 근거리	주간제어기 노치 위치는 4개 위치가 있으며 노치투입은 전 노치 투입	열차를 출발하여 주행하기 위해 취급하는 장치
2	제동제어기	우측 근거리	제동제어기 위치는 10개가 있으며 그것은 완해위치 7단 상용제동위치, 비상 및 핸들취거 위치가 있다.	운전 중의 속도제어 및 정지할 때에는 상용제동을 사용하는 것을 원칙으로 하며 상용제동 고장 시, 운전석을 떠날 때 및 긴급히 열차를 정지할 필요가 있을 때에는 비상제동을 사용한다.
3	panUS (판타 상승스위치)	좌측 근거리	누름 버턴스위치 ON-OFF 조작(손을 떼면 자동 복귀 된다.)	회로의 팬터그래프 전자변이 여자되어 공기를 팬터그래프의 실린더에 공급한다. 팬터그래프를 상승시킨다.
4	panDS (판타 하강스위치)	좌측 근거리	누름 버턴스위치 ON-OFF 조작(손을 떼면 자동 복귀 된다.)	하강코일(PanR)이 여자되어 팬터그래프 실린더로 가는 공기의 공급이 중지되어 하강스프링의 힘으로 팬터그래프는 하강한다.
5	MCBCS (주차단기 투입스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치로 한번 누르고 손을 떼면 자동 복귀된다. (이 스위치는 자동복귀 되더라도 자기 유지 접점 MCBHR에 의하여 초기상태를 계속 유지한다.)	주차단기 제어계전기(MCBHR)가 여자되어 주차단기(MCB)를 투입시킨다. MCB는 한번 투입되면 차단 스위치(MCBOS)를 누르기 전에는 석방되지 않는다.
6	MCBOS (주차단기 차단스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	스위치를 누르면 MCBHR의 개방코일이 여자되며 MCB-T 코일을 여자하여 주차단기가 차단된다.
7	ACMCS (보조공기압축기)	좌측 원거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	스위치를 누르면 보조압축기가 동작하여 팬터 상승 및 주차단기가 투입 조건을 만족하도록 충기 한다.
8	VCOS (고장차량개방스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치로 한번 누르고 손을 떼면 자동 복귀된다.	역행 스위치가 OFF에 있을 때 CIFR 계전기 접점에 의해 고장차량 또는 고장 유니트를 차단하게 된다.

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
9	EPanDS (비상판토하강)	중앙 근거리	정지형 누름버튼 스위치 ON-OFF 조작 (해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	주차단기를 차단하고 동시에 팬터그래프를 내리게 된다. 주차단기의 제어전원 회로를 직접 끊는 접점과 판토 하강 인통선을 여자하는 접점을 갖고 있으며 판토 하강 코일을 여자하도록 한다.
10	BVN1.2 (제동제어 스위치)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	제동제어 회로 차단기
11	HCRN (전부차제어회로차단기)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	제어회로 차단기
12	MCN (주간제어기 회로차단기)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	주간제어기 회로 차단기
13	DIRS (출입문비연동스위치)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	출입문 연동회로가 고장이 있을 경우 스위치를 ON 위치로 하여 출입문 인터록을 해제하여 열차를 움직일 수 있게 한다. (출입문 자체 고장으로 인한 닫힘 신호가 인터록 되어 있을 경우에도 적용)
14	CPRS (강제완해스위치)	좌측 원거리	정지형 누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	불완해 제동 신호 검지 시 스위치를 누르면 제동을 강제로 완해 시킨다.
15	EBS (차장변)	좌·우측 출입문측 원거리	핸들을 잡아당기면서 ON - OFF 조작 (해제할 때에 핸들을 밀어 넣는다.)	상용제동이 작용하지 않을 때 및 긴급히 열차를 정지할 필요가 있을 때 비상제동을 사용한다.
16	ELBCOS (회생제동개방스위치)	중앙 근거리	절환스위치이며 좌우 이동으로 정상 - 개방 조작할 수 있다.	절연구간 진입 전 조작하여 회생제동을 차단시킨다. (운전자 조작에 의한 수동차단 조작이다.)
17	EBCOS (비상제동개방스위치)	중앙 상단 원거리	핸들을 잡아당기면서 ON - OFF 조작 (해제할 때에 핸들을 밀어 넣는다.)	제동 루프선 (31 및 32)이 절단되거나 MRPS가 이상시 스위치를 누르면 비상제동을 완해할 수 있다.
18	ScBS (보안제동스위치)	중앙상단 원거리	정지형 누름버튼 스위치 ON-OFF 조작(해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	상용 및 비상제동의 효과가 없을 때 보안제동을 취급한다.
19	OV(주차제동스위치)	좌측 원거리	좌우 절환스위치 조작	주차제동체결 및 완해 시 취급
20	열차방호장치	후부 우측상단 원거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작	방호장치 동작 시 운행 중 모든 열차 정차
21	역통과방지장치	좌측 근거리	역진입시 거리산정으로 “정차역입니다” 음성안내 출력	역 근접 시 “정차역입니다.” 음성 출력되며 제동취급 하면 멘트 정지됨

○ VVVF 신형 원핸들



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	주간제어기 (P/B핸들)	중앙 근거리	Master S/W가 전진 또는 후진위치에 있을 때 P/B핸들 S/W는 뒤로 당기면 역행(P),가운데는 중립(N),앞으로 밀면 제동(B) 조작	역행은 전노치 투입으로 하며 제동취급(상용,비상)은 속도를 줄이는 경우 'N'위치 또는 제동위치로 P/B핸들을 이동
2	panUS (판타 상승스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	회로의 팬터그래프 전자변(PanV)이 여자되어 공기를 팬터그래프의 실린더에 공급하여 팬터그래프는 상승한다.
3	panDN (판타 하강스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	하강코일(PanR)이 여자되어 팬터그래프 실린더로 가는 공기의 공급이 중지되어 하강스프링의 힘으로 팬터그래프는 하강한다.
4	MCBCS (주차단기 투입스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치로 한번 누르고 손을 떼면 자동 복귀된다.	주차단기 제어계전기 (MCBHR)가 여자되어 주차단기 (MCB)를 투입시킨다. MCB는 한번 투입되면 차단 스위치
5	MCBOS (주차단기 차단스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	스위치를 누르면 MCBHR의 개방코일이 여자되며 MCB-T 코일을 여자하여 주차단기가 차단된다.
6	ACMCS (보조공기압축기)	좌측상단 원거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	스위치를 누르면 보조압축기가 동작하여 판토 상승 및 주차단기가 투입 조건을 만족하도록 충기 한다.
7	VCOS (고장차량개방스위치)	중앙좌측 근거리	누름버튼 스위치로 한번 누르고 손을 떼면 자동 복귀된다.	역행 스위치가 OFF에 있을 때 CIFR 계전기 접점에 의해 고장차량 또는 고장 유니트를 차단하게 된다.
8	EPanDS (비상판토하강)	중앙우측 근거리	정지형 누름버튼 스위치 ON-OFF 조작 (해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	주차단기를 차단하고 동시에 팬터그래프를 내리게 된다. 주차단기의 제어전원 회로를 직접 끊는 접점과 판토 하강 인통선을 여자하는 접점을 갖고 있으며 판토 하강 코일을 여자하도록 한다.

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
9	BVN1.2 (제동제어 스위치)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	제동제어 회로 차단기
10	HCRN (전부차제어회로차단기)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	제어회로 차단기
11	MCN (주간제어기 회로차단기)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	주간제어기 회로 차단기
12	DIRS (출입문비연동스위치)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	출입문 연동회로가 고장이 있을 경우 스위치를 ON 위치로 하여 출입문 인터록을 해제하여 열차를 움직일 수 있게 한다. (출입문 자체 고장으로 인한 닫힘 신호가 인터록 되어 있을 경우에도 적용)
13	CPRS (강제완해스위치)	좌측상단 원거리	정지형 누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	불완해 제동 신호 검지 시 스위치를 누르면 제동을 강제로 완해 시킨다.
14	EBS (차장변)	좌·우측 출입문측 원거리	핸들을 잡아당기면서 ON - OFF 조작 (해제할 때에 핸들을 밀어 넣는다.)	제동 유니트, 비상제동을 체결하기 위해 사용할 수 있는 래칭 비정상 정지 누름버튼 스위치
15	ELBCOS (회생제동개방스위치)	중앙좌측 근거리	절환스위치이며 좌우 이동으로 정상 - 개방 조작할 수 있다.	절연구간 진입 전 조작하여 회생제동을 차단시킨다. (운전자 조작에 의한 수동차단 조작이다.)
16	EBCOS (비상제동개방스위치)	우측상단 원거리	핸들을 잡아당기면서 ON - OFF 조작 (해제할 때에 핸들을 밀어 넣는다.)	제동 루프선 (31 및 32)이 절단되거나 MRPS가 이상시 스위치를 누르면 비상제동을 완해할 수 있다.
17	ScBS (보안제동스위치)	좌측상부 원거리	정지형 누름버튼 스위치 ON-OFF 조작(해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	상용 및 비상제동의 효과가 없을 때 보안제동을 취급한다.
18	OV (주차제동스위치)	좌측상단 근거리	좌우 절환스위치 조작	주차제동체결 및 완해 시 취급
19	열차방호장치	후방우측상부(객실출입문위)원거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작	방호장치 동작 시 운행 중 모든 열차 정차
20	역통과방지장치 모니터	중앙우측 근거리	역진입시 거리산정으로 “정차역입니다” 음성안내 출력	역 근접 시 “정차역입니다.” 음성 출력되며 제동취급 하면 멘트 정지됨

○ VVVF 신형 투핸들



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	주간제어기	좌측 근거리	주간제어기 노치 위치는 4개 위치가 있으며 노치투입은 전 노치 투입으로 한다.	열차를 출발하여 주행하기 위해 취급하는 장치이다.
2	제동제어기	우측 근거리	제동제어기 위치는 10개가 있으며 그것은 완해위치 7단 상용제동위치, 비상 및 핸들취거 위치가 있다.	운전 중의 속도제어 및 정지할 때에는 상용제동을 사용하는 것을 원칙으로 하며 상용제동 고장 시, 운전석을 떠날 때 및 긴급히 열차를 정지할 필요가 있을 때에는 비상제동을 사용한다.
3	panUS (판타 상승스위치)	좌측 근거리	누름 버턴스위치 ON-OFF 조작(손을 떼면 자동 복귀 된다.)	회로의 팬터그래프 전자변이 여자되어 공기를 팬터그래프의 실린더에 공급한다.
4	panDN (판타 하강스위치)	좌측 근거리	누름 버턴스위치 ON-OFF 조작(손을 떼면 자동 복귀 된다.)	하강코일 (PanR)이 여자되어 팬터그래프 실린더로 가는 공기의 공급이 중지되어 하강스프링의 힘으로 팬터그래프는 하강한다.
5	MCBCS (주차단기 투입스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치로 한번 누르고 손을 떼면 자동 복귀된다. (이 스위치는 자동복귀 되더라도 자기 유지 접점 MCBHR에 의하여 초기상태를 계속 유지한다.)	주차단기 제어계전기 (MCBHR)가 여자되어 주차단기 (MCB)를 투입시킨다. MCB는 한번 투입되면 차단 스위치 (MCBOS)를 누르기 전에는 석방되지 않는다.
6	MCBOS (주차단기 차단스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	스위치를 누르면 MCBHR의 개방코일이 여자되며 MCB-T 코일을 여자하여 주차단기가 차단된다.
7	ACMCS (보조공기압축기)	좌측 원거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	스위치를 누르면 보조압축기가 동작하여 판토 상승 및 주차단기가 투입 조건을 만족하도록 충기 한다.
8	VCOS (고장차량개방스위치)	좌측 근거리	누름버튼 스위치로 한번 누르고 손을 떼면 자동 복귀된다.	역행 스위치가 OFF에 있을 때 CIFR 계전기 접점에 의해 고장차량 또는 고장 유니트를 차단하게 된다.
9	EPanDS (비상판토하강)	중앙 근거리	정지형 누름버튼 스위치 ON-OFF 조작 (해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	주차단기를 차단하고 동시에 팬터그래프를 내리게 된다. 주차단기의 제어전원 회로를 직접 끊는 접점과 판토 하강 인통선을 여자하는 접점을 갖고 있으며 판토 하강 코일을 여자하도록 한다.

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
10	BVN1.2 (제동제어 스위치)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	제동제어 회로 차단기
11	HCRN (전부차제어회로차단기)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	제어회로 차단기
12	MCN (주간제어기 회로차단기)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	주간제어기 회로 차단기
13	DIRS (출입문비연동스위치)	좌측하단 원거리	텀블러스위치 2P로 구성되어 ON - OFF 조작	출입문 연동회로가 고장이 있을 경우 스위치를 ON 위치로 하여 출입문 인터록을 해제하여 열차를 움직일 수 있게 한다. (출입문 자체 고장으로 인한 닫힘 신호가 인터록 되어 있을 경우에도 적용)
14	CPRS (강제완해스위치)	좌측 원거리	정지형 누름버튼 스위치 ON - OFF 조작 (해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	불완해 제동 신호 검지 시 스위치를 누르면 제동을 강제로 완해 시킨다.
15	EBS (차장변)	좌·우측 출입문측 원거리	핸들을 잡아당기면서 ON - OFF 조작 (해제할 때에 핸들을 밀어 넣는다.)	제동 유니트, 비상제동을 체결하기 위해 사용할 수 있는 래칭 비정상 정지 누름버튼 스위치
16	ELBCOS (회생제동개방스위치)	중앙 근거리	절환스위치이며 좌우 이 동으로 정상 - 개방 조작할 수 있다.	절연구간 진입 전 조작하여 회생제동을 차단시킨다..(운전자 조작에 의한 수동차단 조작이다.)
17	EBCOS (비상제동개방스위치)	중앙상단 원거리	핸들을 잡아당기면서 ON - OFF 조작 (해제할 때에 핸들을 밀어 넣는다.)	제동 루프선(31 및 32)이 절단되거나 MRPS가 이상시 스위치를 누르면 비상제동을 완해할 수 있다.
18	보안제동스위치	중앙상단 원거리	정지형 누름버튼 스위치 ON-OFF 조작(해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	상용 및 비상제동의 효과가 없을 때 보안제동을 취급한다.
19	주차제동	좌측 원거리	좌우 절환스위치 조작	주차제동 체결 및 완해 시 취급
20	열차방호장치	후부 우측상단 원거리	누름버튼 스위치 ON - OFF 조작	방호장치 동작 시 운행 중 모든 열차 정차(단, 분당선은 경보 발생은 되나 시스템은 동작하지 않음)
21	역통과방지장치	좌측 근거리	역진입시 거리산정으로 “정차역입니다” 음성안내 출력	역 접근 시 “정차역입니다.” 음성 출력되며 제동취급 하면 멘트 정지됨

○ ITX-청춘



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	MS(주간제어기)	우측	주간제어기는 Master S/W부, Powering부, 제동부, Key S/W부 DSD S/W부로 구분되어 동작하게 되어 있다.	주간제어기에서의 주선택 스위치로 운전실 선택 계전기를 제어하며 전진 및 후진을 선택할 수 있으며 견인이나 제동 시 사용
2	제동변	우측	제동부의위치는 8개	1-7단상용제동 및, 비상제동 시 사용
3	panUS (판타 상승스위치)	좌측	누름버튼 스위치 ON-OFF 조작(손을 떼면 자동 복귀된다.)	회로의 판토그라프 전자변(PanV)이 여자되어 공기를 판토그라프의 실린더에 공급하여 판토그라프는 상승한다.
4	panDS (판타 하강스위치)	좌측	누름버튼스위치 ON-OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	주차단기를 차단하고 동시에 판토그라프를 내리게 된다. 주차단기의 제어전원 회로를 직접 끊는 접점과 판토 하강 인통선을 여자하는 접점을 갖고 있으며 1d-7을 개방하며 109a선이 인가되어 판토 하강 코일을 여자하도록 한다.
5	MCBCS (주차단기 투입스위치)	좌측	누름버튼 스위치로 한번 누르고 손을 떼면 자동 복귀된다. (이 스위치는 자동복귀 되더라도 자기유지 접점 MCBHR에 의하여 초기상태를 계속 유지한다.)	주차단기 제어계전기(MCBHR)가 여자되어 주차단기(MCB)를 투입시킨다. MCB는 한번 투입되면 차단 스위치(MCBOS)를 누르기 전에는 개방되지 않는다.
6	MCBOS (주차단기 차단스위치)	좌측	누름버튼 스위치 ON-OFF 조작 (손을 떼면 자동 복귀된다.)	스위치를 누르면 MCBHR의 개방코일이 여자되어 7번선의 전원이 끊어져 MCB-T 코일을 여자하여 주차단기가 차단된다
7	ACMCS (보조공기압축기)	좌측근거리	누름버튼 스위치 ON-OFF 조작(손을 떼면 자동 복귀된다.)	스위치를 누르면 보조압축기가 동작하여 판토 상승 및 주차단기가 투입 조건을 만족하게 한다.

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
8	BCOS (고장차량개방스위치)	좌측	누름버튼 스위치로 한번 누르고 손을 떼면 자동 복귀된다.	역행 스위치가 OFF에 있을 때 CIFR 계전기 접점에 의해 BCOR 여자되어 고장차량 또는 고장 유니트를 차단하게 된다.
9	EPanDS (비상판토하강)	좌측	정지형 누름버튼 스위치 ON-OFF 조작 (해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	주차단기를 차단하고 동시에 판토 그라프를 내리게 된다. 주차단기의 제어전원 회로를 직접 끊는 접점(1d-7을 개방하여 주차단기 차단)과 판토 하강 인통선을 여자하는 접점(109a선이 인가되어 판토 하강 코일을 여자)을 가지고 있다.
10	DMI (MMI)	중앙	MMI는 승무원에게 현재 열차의 운행속도 및 부가정보를 현시하여 운행을 지속할 수 있도록 한다.	열차의 모드에 따라 열차의 실제속도, 제한속도, 제동해제속도 등과 같은 속도관련 정보와 제동정보표시, 현재의 모드정보, 레벨정보, 인지정보 등과 같은 운전정보를 현시한다.
11	DIRS (출입문비연동스위치)	우측하단	NFB S/W로 구성되어 ON-OFF 조작	출입문 연동회로가 고장이 있을 경우 스위치를 ON위치로 하여 출입문 인터록을 해제하여 열차를 움직일 수 있게 한다.(출입문 자체 고장으로 인한 닫힘 신호가 인터록 되어 있을 경우에도 적용)
12	CPRS (강제완해스위치)	좌측근거리	정지형 누름버튼 스위치 ON-OFF 조작 (해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	불완해 제동 신호 검지 시 스위치를 누르면 제동을 강제로 완해 시킨다.
13	EBS (차장변)	좌,우측 원거리	핸들을 잡아당기면서 ON-OFF 조작 (해제할 때에 핸들 측면의 복귀 장치를 당긴다)	제동 유니트, 비상제동을 체결하기 위해 사용할 수 있는 스위치
14	ELBCOS (회생제동개방스위치)	좌측	절환스위치이며 좌우 이동으로 정상-개방 조작할 수 있다.	절연구간 진입 전 조작하여 회생제동을 차단시킨다. (운전자 조작에 의한 수동차단 조작이다.)
15	EBCOS (비상제동개방스위치)	근거리	핸들을 밀면서 ON-OFF 조작 (해제할 때에 핸들을 당긴다.)	제동 루프선(31 및 32)이 절단되거나 MRPS가 이상시 스위치를 누르면 비상제동을 완해할 수 있다.
16	보안제동스위치	근거리	정지형 누름버튼 스위치 ON조작 (해제하기 전에 복귀되지 않는다.)	상용 및 비상제동 체결이 불가능할 때 사용한다.
17	ATPCOS (ATP개방스위치)	우측하단	절환스위치이며 좌우 절환으로 ON-OFF 조작할 수 있다.	ATP 유니트를 분리시키거나 제어회로를 차단시켜 열차로 하여금 ATP가 차단된 채 움직이게 한다.

○ 저항제어 전동차(개조)



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	주차단기 투입 (MCBCS)	운전실 전면 좌측	푸시버튼 스위치 -한번 누르고 손을 떼면 자동 복귀된다.	-PAN상승 후 MCB투입 시 -팬터그래프의 상승을 확인한 후 MCB의 투입을 행하게 되나 그 전에 운전대의 교직절환 스위치(ADS)가 정규의 위치에 있나 확인하여야 한다. 예를 들어 교류구간을 운전한다 하면 ADS를「교」위치로 한 후 스위치(MCBCS)를 누른다.
2	주차단기 차단 (MCBOS)	운전실 전면 좌측	푸시버튼 스위치	-단전 후 급전 시 취급 -MCB 사고 차단 시 취급 -MCBOS→CS취급하여 MCB 투입
3	고가속운전 (HACS)	운전실 전면 좌측	푸시버튼 스위치	-10량 편성에서 MM′ 1유닛 개방으로 34‰의 구배를 기동할 때에는 운전대에 설치되어 있는 고가속스위치(HACS)를 눌러 한류치를 높여서 기동한다.
4	비상판토하강 (EPanDS)	운전실 전면 좌측	푸시버튼 스위치 -1번 누르면 동작 -오른쪽으로 돌리면서 누르면 복귀	-전차선 이상 발견 시
5	주간제어기	운전실 좌측	handle -주핸들 각 노치 0위치 : 전제어 Off 1위치 : 전, 후진 1단 2위치 : 전, 후진 2단 3위치 : 전, 후진 3단 4위치 : 전, 후진 4단	-전기동차의 전진, 후진에 진행방향의 제어, 역행제어, 차단기의 재투입 등의 제어를 행한다.
6	RESET 핸들	운전실 좌측	Reset handle	-주간제어기 리셋(Reset)스위치에 의하여 HSCB재투입(고장관련 표시등, 멸)
7	전조등	운전실 우측	-전조등 점멸 -전조등 감광	-전조등 진동에 잘 견디고 촛점이 바르고 일정하게 되어 있는 실드빔으로 된 백열등을 사용하며, 1개의 필라멘트로 된 165/55W의 전조등

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
8	제동핸들 BV	운전실 우측	handle -7step	-발전제동과 병용되는 공기제동은 SELD전자직통 병용형 공기제동으로써 발전제동은 공기제동과 같이 제동 핸들에 의하여 제어된다.
9	방송장치	운전실 전면 좌측	방송기기	-열차의 도착안내, 홍보방송 등을 메모리IC에 녹음하였다가 열차가 출발 시 거리값을 연산하여 미리 프로그램한 방송시점과 일치하면 자동적으로 방송을 하는 장치이다.
10	축전지 전압계	운전실 전면 좌측	아나로그 지침형 -DC 전압을 현시한다.	-TC차 운전대에는 직류 전압계(3,000V)를 설치하여 703선의 전압을 읽을 수 있도록 되어 있다.
11	전차선 전압계	운전실 전면 좌측	-동력운전 또는 회생제동시 계기에 현시	-흑색 : 동력운전 - 적색 : 회생제동
12	압력계	운전실 전면 우측	-아나로그 지침형	-압력계의 지침 및 직통제동 표시등에 점멸 제동변 핸들을 완해 위치에 두었을 때 각 압력은 다음과 같다. 1) MR관 압력 : 8-9kg/㎠ 2) BP 압력 : 5 〃 3) SAP 압력 : 0 〃 4) BC 압력 : 0 〃
13	ADS절환 스위치	운전실 전면 우측	-절연구간직전에서 교직절환 SW를 "교" 또는 "직"위치로 할 것.	-절환 완료되면 "MCB OFF" 소등 "MCB ON"점등 전원 지시등 "교" 또는 "직"으로 변화

○ VVVF (현대)



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	특수운전 (ASOS)	운전실 전면 좌측	푸시버튼 스위치	- 정거장 구내에서 출발신호기 또는 자동폐색신호기를 지나 정치위치 수정 위하여 되돌이 운전 경우 - 신호기의정지신호를 지나 입환전호에 의하여 운전할 경우 - 수신호에 의하여 운전할 경우 - ATS지상장치 고장 시 - 확인운전 취급
2	유니트개방 (VCOS)	운전실 전면 좌측	푸시버튼 스위치	- Fault 소등 목적 - MCB가 다시 차단되는 경우 - HB가 재 차단되는 경우 - 회생제동 시 고장이 다시 발생할 경우
3	보조공기압 축기 (ACMCS)	운전실 전면 좌측	푸시버튼 스위치	-차량 기동 시 취급
4	연장급전 (ESPS)	운전실 전면 좌측	푸시버튼 스위치	-SIV 중고장 시
5	주간제어기	운전실 좌측	handle 주핸들 각 노치	-전기동차의 전진, 후진에 진행방향의 제어, 역행제어, 차단기의 재투입 등의 제어를 행한다.
6	비상판토하강 (EPanDS)	운전실 우측	푸시버튼 스위치	-전차선 이상 발견 시
7	주차단기 차단 (MCBOS)	운전실 우측	푸시버튼 스위치	- 단전 후 급전 시 취급 - MCB 사고 차단 시 취급 - MCBOS→CS취급하여 MCB 투입
8	주차단기 투입 (MCBCS)	운전실 우측	푸시버튼 스위치	-PAN상승 후 MCB투입 시
9	재시동 (RESET)	운전실 우측	푸시버튼 스위치	-고속도 차단기 재투입을 행한다.
10	재동변 (BV)	운전실 우측	handle -7step	-발전제동과 병용되는 공기제동은 SELD 전자직통 병용형 공기제동으로써 발전제동은 공기제동과 같이 제동 핸들에 의하여 제어된다.

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
11	살수장치	운전실 우측	누름버튼 스위치	-전면창에 노즐이 설치되어 전면창 와이퍼 작동 시 운전사가 운전대 위에 설치된 작동 밸브를 조작함으로써 전면창의 먼지나 기타 물질제거 및 와이퍼의 원활한 작동이 가능
12	설정기	운전실 전면 좌측	모니터 - EL 도트 매트릭스 모듈 형식	-승객의 서비스 향상을 위하여 설치된 객실안내표시기, 노선표시기, 정·측면행선표시기 및 열차번호표시기를 자동으로 제어하기 위한 시스템으로서 설정된 운행번호 및 행선지를 인식하여 정·측면 행선표시기, 노선표시기 및 열차번호표시기를 설정하고 열차의 운행 패턴을 인식하여 객실안내표시기로 표시 데이터를 송출한다.
13	방송장치	운전실 전면 좌측	방송기기	-열차의 도착안내, 홍보방송 등을 메모리 IC에 녹음하였다가 열차 출발 시 거리값을 연산하여 미리 프로그램한 방송시점과 일치하면 자동적으로 방송을 하는 장치이다.
14	전차선 전압계	운전실 전면 좌측	동력운전 또는 회생제동시 계기에 현시	- 흑색 : 동력운전 - 적색 : 회생제동
15	축전지 전압계	운전실 전면 좌측	아나로그 지침형 -DC 전압을 현시한다.	-TC차 운전대에는 직류 전압계(3,000V)를 설치하여 703선의 전압을 읽을 수 있도록 되어 있다.
16	압력계	운전실 전면 좌측	아나로그 지침형	-압력계의 지침 및 직통제동 표시등에 점멸 제동변 핸들을 완해 위치에 두었을 때 각 압력은 다음과 같다. 1) MR관 압력 : 8-9㎏/㎠ 2) BP 압력 : 5 〃 3) SAP 압력 : 0 〃 4) BC 압력 : 0 〃
17	ADS 절환스위치	운전실 전면 우측	-절연구간직전에서 교직절환 SW를 "교" 또는 "직"위치로 할 것.	-절환 완료되면 "MCB OFF" 소등 "MCB ON"점등 전원 지시등 "교" 또는 "직"으로 변화
18	TGIS 모니터	운전실 전면 우측	열차종합정보장치	-TGIS 장치는 직렬전송방법을 통해 모니터 성능의 향상을 위해 컨버터/인버터 SIV, 제동장치의 모니터링 정보 수집 -고해상도의 그래픽 표시와 터치스크린(Touch Screen) 입력시스템을 채용한 고성능 운전대 화면장치를 갖고 있음. -IC 메모리 카드(Memory Card)에 의해 지상기기에서의 고장데이터 출력이 용이하다.

○ GEC Chopper(우측형, 구형)



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	수용제동기	운전실 좌측 하단	핸들형식 - 손잡이를 우측으로 돌려 취급	-Tc차의 운전실에 있는 핸들을 취급하므로서 전위측의 대차 제2축에 제동을 체결하는 구조로 되었다.
2	보조공기압축기 (ACMCS)	운전실 우측	누름 스위치 - 보조공기압축기 기동	-팬터그래프의 상승 등에 필요한 압력공기를 만들기 위하여 보조공기압축기용 전동기 (ACM)을 운전하여 공기조 및 각 배관부에 소정의 압력까지 공기를 충기한다.
3	고장차개방 (DVCOS)	운전실 우측	누름 스위치	
4	판토하강 (PANDS)	운전실 우측	누름 스위치 -1회 누름으로 작동	-전차량 Pan하강
5	판토상승 (PANUS)	운전실 우측	누름 스위치 -1회 누름으로 작동	-전차량 Pan상승
6	제기동 (RESET)	운전실 우측	푸시버튼 스위치	-고속도 차단기 재투입을 행한다.
7	비상판토하강 (EPANDS)	운전실 우측	누름 스위치 - 1번 누르면 동작 - 오른쪽으로 돌리면서 누르면 복귀	-비상 시 PAN하강 취급
8	전기식 창닦기	운전실 좌측	로터리 스위치 - OFF -1단, 2단, 3단,	-우천 시 와이퍼 작동스위치를 작동시켜 전면창의 시야를 확보 할 수 있다.
9	방송장치	운전실 좌측	방송기기	-일반승객에 대한 차선안내 역명의 통지 급통고 등을 할 것을 목적으로 하고, 마이크로 폰 및 테이프 재생기로서 한다. 또 승무원 간의 통화도 겸하고 있다.

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
10	보안제동 (PBS)	운전실 전면	Shut Down 스위치	-취급 시 ScBR이 여자하여 전차량에 보안제동이 체결
11	축전지 전압계	운전실 전면우측	아나로그 지침형 -DC 전압을 현시한다.	-TC차 운전대에는 직류 전압계(3,000V)를 설치하여 703선의 전압을 읽을 수 있도록 되어 있다.

○ MELCO Chopper (현대)



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	냉난방 (CHCgS)	운전실 좌측 상단	로터리 스위치	-전동차를 냉방시킬 때는 "전냉방"이나 "반냉방"에 냉난방 절환스위치를 세팅한다.
2	NFB	운전실 좌측 하단	부하접촉장치 제어회로의 단락 보호용 NFB	-출입문 고장등 DIRS(비연동 스위치) -보안제동 회로차단기(PBN) -제동밸브 회로차단기(BVN) -발전제동스위치(DBS) -주간제어기 회로차단기(MCN) -전두차 제어계전기 회로차단기(HCRN) -환풍기 제어 회로차단기(VFCN) -출입문 반감스위치(DHS)
3	재시동 (RESET)	운전실 좌측	handle	-주간제어기 리셋(Reset)스위치에 의하여 HSCB재투입(고장관련 표시등, 멸)
4	입환절환 (SOCgS)	운전실 중앙	로터리 스위치 -운전대의 입환스위치(SOCgS)를 평상위치(N.O)로부터 입환위치(S.O)로 절환(切換)한다.	-구내 등의 ATS 미비치 구간의 최고운전속도를 25 ㎞/h로 속도제한하기 위한 스위치

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
5	비상판토하강 (EPanDN)	운전실 전면 우측	누름버튼 스위치	-운전대의 비상 판토 하강스위치(E Pan DS)를 취급함으로서 팬터그래프를 내리도록 되어있다. E Pan DS는 Pan V회로를 끊는 접점과 판토하강 연결선을 여자하는 접점을 가지고 있고 1b-110사이를 개방하면 동시에 109a선에서 109선을 여자하고 판토 하강코일을 여자하도록 되어 있다.
6	수용제동기	운전실 우측 하단	핸들 운전대	-운전대의 핸들을 취급함으로서 전위측(前位側)의 대차 제2축에 브레이크를 거는 구조로 되어있다.
7	방송장치	운전실 좌측	방송기기	-일반승객에 대한 차선안내 역명의 통지 급통고 등을 할것을 목적으로 하고, 마이크로폰 및 테이프 재생기로서 한다. 또 승무원간의 통화도 겸하고 있다.
8	ATS표시반	운전실 좌측 상단	ATS 개방운전 누름버튼 스위치 및 표시등	-ATS개방"표시등 점등 -현시속도를 넘어서 Y 또는 YY구간에 진입한 때
9	보조공기압축기 (ACMCS)	운전실 중앙 상단	누름버튼 스위치	-F2A안전변(Safety valve)은 보조공기압축기로 부터 공급되어 팬터그래프까지 가는 관내의 공기압력이 소정치 이상으로 상승하는 것을 방지하기 위한장치
10	유니트 개방 (UCOS)	운전실 중앙 상단	누름버튼 스위치	-리셋 취급후 다시 고장표시등이 점등된 경우 운전실 전면 상부 누름버튼 스위치 상자내의 UCOS를 조작하여 고장 유니트를 개방
11	판토상승 (PANUS)	운전실 중앙 상단	누름버튼 스위치	-팬터그래프 상승스위치
12	판토하강 (PANDS)	운전실 중앙 상단	누름버튼 스위치	-Pan DS를 누르면 Mc차{102-(BatKN1)-102a-(Pan DS)-109} M차{109-(Pan R)-(PanR D코일)-100d1에 의하여 PanR의 하강용 코일이 여자되어 PanV회로의 100a-100b사이를 개방하므로 팬터그래프 실린더로의 공기 공급이 정지되고 스프링 압력으로 팬터그래프는 하강한다.

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
13	보안제동SW (PBS)	운전실 중앙 상단	Shut Down 스위치	-보안제동 스위치(PBS)를 조작하면 보안제동 지령전선 PB가 여자되고 각차의 CK5M작용장치의 VM14-1H보안전자변을 여자시켜 Y절환변의 막판 상실(上室)의 압력공기를 대기로 배출시킨다. Y절환변의 공급변이 열리고 L압력조정변으로 조압(調壓)된 보안제동 실린더 압력공기가 브레이크 실린더에 공급된다.

○ VVVF (로템)



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	전조등 모드	운전실 전면 좌측	로타리 스위치 - OFF/상향/하향 표시	-전조등 상향과 하향을
2	우측 열림	운전실 전면 좌측	누름 스위치	-전동차 우측문 열림 시
3	좌측 열림	운전실 전면 좌측	누름 스위치	- 전동차 좌측문 열림 시
4	재개폐	운전실 전면 좌측	누름 스위치	-전동차의 문열림 재개폐 시
5	담힘	운전실 전면 좌측	누름 스위치	-전동차 문 담힘 시
6	비상판토하강 (EPanDS)	운전실 전면 좌측	누름 스위치	- 비상 시 PAN하강 취급
7	비상제동 (EBS3)	운전실 전면 좌측	누름 스위치	- 후부에서 열차 비상 정차 시 취급
8	판토상승	운전실 전면 좌측	누름 스위치	- 취급 시 ACM 구동 및 Pan 상승
9	판토하강	운전실 전면 좌측	누름 스위치	- Pan하강 시 취급
10	입환절환스위치 (SOCGS)	운전실 우측 상단	로터리 스위치 - 정상과 개방으로 선택	

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
11	ATS 개방 스위치 (ATACOS)	운전실 우측 상단	로터리 스위치	- ATS 고장 시 취급하여 ATS 개방 취급한다.
12	ATS/ATO 선택	운전실 우측 상단	로터리 스위치 - ATS/ATO선택	- ATS 또는 ATO를 선택한다.
13	출입문 바이패스 (DBS)	운전실 우측 상단	로터리 스위치	-비연동 운전용 스위치
14	강제 완해 (CPRS)	운전실 우측 상단	누름 스위치	-제동불완해 검지 시 CPRS,를 취급하면 ECU에서 CPRMV를 동작시켜 불완해 공기를 원격으로 배기시킨다.
15	비상제동 (EBCOS)	운전실 우측 상단	누름 스위치	-MRPS, EB선 단선 등으로 비상제동 체결 시 EBCOS를 취급하여 응급 운전
16	주차제동 체결 (PBS ON)	운전실 우측 상단	누름스위치	-취급 시 주차제동 공기가 배기되고, SPRING힘으로 주차제동이 걸린다.
17	주차제동 완해 (PBS OFF)	운전실 우측 상단	누름스위치	-취급 시 주차제동 완해용 공기가 공급되어, SPRING 이 압착되고 주차제동이 풀린다.
18	저속도 개방	운전실 좌측 하단	로터리 스위치 -정상/개방	-출입문 고장 시 전동차 기동 때
19	정차제동개방 (HBCOS)	운전실 좌측 하단	로터리 스위치 -정상/개방	-취급 시 정차제동 개방
20	보안제동 스위치	운전실 측면 벽	누름 스위치	-취급 시 ScBR이 여자하여 전차량에 보안제동이 체결
21	주간제어기 키 (MC Key)	운전실 우측	나비모양의 스위치 - ON/OFF	전후진제어기, 주핸들 조작가능
22	주핸들	운전실 우측		-비상 : 주핸들에 의한 비상, -B1-B7 : 제동위치 -N : 중립위치, -P1-P4 : 동력운전위치
23	전/후진제어기 (F,N,R)	운전실 우측		-F : 전진위치(4선 가압) -N : 중립(주핸들 조작되지 않 음) -R : 후진위치(5선 가압)
24	ATO 출발버튼 스위치	운전실 우측	푸시 버튼스위치(2개)	자동운전 시 사용 -출발 시 누름

○ VVVF(280R)



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	판토상승 (PanUS)	운전실 전면 우측 상부기기	푸시 버튼스위치	-전차량 Pan상승
2	강제완해 (CPRS)	운전실 전면 우측 상부기기	정지형 누름 버튼스위치	-제동불완해 차량 완해
3	비상제동개방 (EBCOS)	운전실 전면 우측 상부기기	정지형 누름 버튼스위치	-비상제동 풀기 불능시 취급
4	주차제동체결 (PBS-ON)	운전실 전면 우측 상부기기	푸시 버튼스위치	-주차제동 걸기 (주박지 등취급)
5	주차제동완해 (PBS-OFF)	운전실 전면 우측 상부기기	푸시 버튼스위치	-주차제동풀기 (전동차 기동시 반드시 취급)
6	판토하강 (PanDS)	운전실 전면 우측 상부기기	푸시 버튼스위치	-전차량 Pan하강
7	비상제동 (EBS)	운전실 전면 우측 하부기기	정지형 누름 버튼스위치	-신속히 비상제동 체결 시
8	비상판토하강 (EPanDS)	운전실 전면 우측	정지형 누름 버튼스위치	-비상 트립 버튼을 누르면 HSCB, LB1, LB2가 개방되고, 모든 팬터그래프는 하강한다.
9	전조등	운전실 전면 우측	로타리 스위치	-전조등 스위치를 ON / OFF 및 밝기 (상향 / 하향)의 선택이 가능하다.
10	좌측 열림 스위치	운전실 전면 우측	푸시 버튼스위치	-승무원 우측문 열림 기능
11	재 개폐스위치	운전실 전면 우측	푸시 버튼스위치	-출입문 재 개폐 시 사용
12	정차제동 개방스위치(HBCOS)	운전실 좌측 하부기기	로타리 스위치	-정차제동 풀림 불능 시 개방취급
13	냉난방 제어 스위치	운전실 좌측 하부기기	로타리 스위치	-객실 운전실 냉/난방, 환기, 송풍 조절

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
14	HORN	운전실 좌측	누름 버튼스위치	-전자 기적
15	출입문선택	운전실 우측 상부기기	로타리 스위치	-출입문 ON-OFF
16	ATP/ATO 완전자동	운전실 우측 상부기기	로타리 스위치 - ON / OFF	-완전자동 선택 스위치
17	ATP/ATO 회차	운전실 우측 상부기기	푸시 버튼스위치	-전동차 운행중 차량기지로 회송 시 선택
18	ATP/ATO 기지운전	운전실 우측 상부기기	푸시 버튼스위치	-기지 구내운전 시 선택 -15km 운행 시
19	주간제어기 키 (MC Key)	운전실 우측 상부기기	나비모양의 스위치 - ON/OFF	-ON 19선 가압 전후진제어기, 주핸들 조작가능 -OFF 기동정지 주핸들 및 전후진제어기 N위치에서 취거
20	주핸들	운전실 우측	원핸들 방식	-비상: 주핸들에 의한 비상, -B1-B7 : 제동위치 -N : 중립위치, -P1-P4 : 동력운전위치
21	전/후진제어기 (F,N,R)	운전실 우측	- 3단 방식	-F : 전진위치(4선 가압) -N : 중립(주핸들 조작되지 않음) -R : 후진위치(5선 가압)
22	ATO 출발버튼 스위치	운전실 우측	푸시 버튼스위치(2개)	자동운전 시 사용

○ VVVF(380R)



NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
1	HORN	운전실 중앙	누름 버튼스위치	-전자 기적

NO	항목	위치	기 기 설 명	기 능
2	전조등	운전실 중앙	로타리 스위치 -각 TC차의 정면에 2개의 전조등 밝기 조정	-전조등 스위치를 ON / OFF 및 밝기 (상향 / 하향)의 선택이 가능하다
3	비상판토하강 (EPanDS)	운전실 우측	정지형 누름 버튼스위치	-비상 트립 버튼을 누르면 HSCB, LB1, LB2가 개방되고, 모든 팬터그래프는 하강한다.
4	비상제동개방 (EBCOS)	운전실 우측	정지형 누름 버튼스위치	-비상제동 풀기 불능 시 취급
5	강제완해 (CPRS)	운전실 우측	정지형 누름 버튼스위치	-제동불완해 차량 완해
6	비상제동 (EBS)	운전실 우측	정지형 누름 버튼스위치	-신속히 비상제동 체결 시
7	객실냉난방제어	운전실 우측	로타리 스위치	-객실 냉난방 제어
8	객실송풍기	운전실 우측	로타리 스위치	-객실 송풍기 제어
9	조광기	운전실 우측	로타리 스위치	-운전실 방공등 조도조정
10	운전실난방기	운전실 우측	로타리 스위치	-1/3 : 450W, -2/3 : 550W, -전난방 : 1000W
11	주차제동체결 (PBS-ON)	운전실 전면 좌측 상부기기	푸시 버튼스위치	-주차제동 걸기 (주박지 등 취급)
12	주차제동완해 (PBS-OFF)	운전실 전면 좌측 상부기기	푸시 버튼스위치	-주차제동풀기 (전동차 기동시 반드시 취급)
13	판토상승 (PanUS)	운전실 전면 좌측 상부기기	푸시 버튼스위치	-전차량 Pan하강
14	판토하강 (PanDS)	운전실 전면 좌측 상부기기	푸시 버튼스위치	-전차량 Pan상승
15	보안제동스위치 (SBS)	운전실 전면 좌측	정지형 누름 버튼스위치	
16	정차제동개방스위치(HBCOS)	운전실 좌측	로타리 스위치	-정차제동 풀림불능 시 개방취급
17	주간제어기	운전실 우측		-ON 19선 가압 전후진제어기, 주핸들 조작가능 -OFF 기동정지 주핸들 및 전후진제어기 N위치에서 취거
18	주핸들	운전실 우측	원 핸들 방식	-비상: 주핸들에 의한 비상 -B1-B7 : 제동위치 -N : 중립위치, -P1-P4 : 동력운전위치
19	전/후진제어기 (F,N,R)	운전실 우측		-F : 전진위치(4선가압) -N : 중립(주핸들 조작되지 않음) -R : 후진위치(5선가압)
20	열차종합제어장치 (TCMS)	운전실 우측		-TCMS 정보를 Display 터치 스크린입력

(2) 운전실의 기기/장치에 대한 설문조사

○ 운전실 기기/장치에 대한 설문에 대하여 5점 척도(매우 나쁘다 1점, 나쁘다 2점, 보통 3점, 좋다 4점, 매우 좋다 5점)로 조사를 하였다. 점수가 낮을수록 기기취급에 대하여 불편한 것으로 전체적으로 보통이하로 분석되고, 경력이 많을수록 불편하다고 분석되었다.

(가) 사업소별 운전실 기기 관련

○ 장시간 기기를 취급해도 편안하다(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.26	.834	<0.001
B 그룹	139	2.64	.933	
C 그룹	139	2.35	.770	
D 그룹	174	2.02	.764	
E 그룹	118	2.33	.785	
합계	707	2.31	.842	

○ 2.기기 취급이 쉽게 설계되어 있다(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.36	.882	<0.001
B 그룹	139	2.75	.894	
C 그룹	139	2.26	.854	
D 그룹	174	2.33	.793	
E 그룹	118	2.44	.832	
합계	707	2.42	.864	

○ 취급할 기기를 쉽게 발견할 수 있다.(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.47	.875	<0.001
B 그룹	139	2.69	.841	
C 그룹	139	2.17	.795	
D 그룹	174	2.40	.839	
E 그룹	118	2.54	.781	
합계	707	2.45	.844	

(나) 현 사업소내 경력별 운전실 기기 관련(N=707)

질문사항		경력	N	평균	표준편차	p-value
운전실내 환경정도	장시간 기기 취급해도 편안하다	1년 이하	88	2.47	.896	.056
		2년 이상	619	2.28	.832	
	기기취급 쉽게 설계되어 있다	1년 이하	88	2.65	.872	.009
		2년 이상	619	2.39	.859	
	취급할 기기 쉽게 발견할 수 있다	1년 이하	88	2.66	.786	.009
		2년 이상	619	2.42	.848	

○ 그룹별 운전제어장치 관련(N=707)

	구분	그룹별	N	평균	표준편차	p-value
운전 제어 장치	모양	A 그룹	137	2.92	.748	.003
		B 그룹	139	3.10	.663	
		C 그룹	139	3.01	.771	
		D 그룹	174	2.81	.683	
		E 그룹	118	3.04	.697	
		합계	707	2.97	.718	
	크기	A 그룹	137	2.88	.787	<0.001
		B 그룹	139	3.20	.704	
		C 그룹	139	3.01	.771	
		D 그룹	174	2.84	.725	
		E 그룹	118	3.05	.677	
		합계	707	2.99	.744	
	색깔	A 그룹	137	2.94	.774	<0.001
		B 그룹	139	3.20	.650	
		C 그룹	139	2.91	.794	
		D 그룹	174	2.89	.717	
		E 그룹	118	3.08	.656	
		합계	707	3.00	.730	
	위치	A 그룹	137	2.95	.807	<0.001
		B 그룹	139	2.96	.872	
		C 그룹	139	2.77	.935	
		D 그룹	174	2.79	.835	
		E 그룹	118	2.89	.760	
		합계	707	2.87	.847	
	취급 방법	A 그룹	137	2.96	.761	<0.001
		B 그룹	139	3.09	.741	
		C 그룹	139	2.88	.872	
		D 그룹	174	2.82	.803	
		E 그룹	118	2.89	.714	
		합계	707	2.93	.787	

○ 기관사 경력별 운전제어장치 관련(N=707)

	구분	경력별	N	평균	표준편차	p-value
운전 제어 장치	모양	1년 이하	88	3.18	.736	.003
		2년 이상	619	2.94	.711	
	크기	1년 이하	88	3.16	.756	.023
		2년 이상	619	2.97	.740	
	색깔	1년 이하	88	3.17	.715	.017
		2년 이상	619	2.97	.729	
	위치	1년 이하	88	3.14	.790	.001
		2년 이상	619	2.83	.849	
	취급 방법	1년 이하	88	3.09	.753	.034
		2년 이상	619	2.90	.789	

○ 사업소별 비상장치 관련(N=707)

	구분	그룹별	N	평균	표준편차	p-value
비상 장치	모양	A 그룹	137	3.07	.682	<0.001
		B 그룹	139	3.24	.632	
		C 그룹	139	3.02	.696	
		D 그룹	174	2.98	.717	
		E 그룹	118	2.98	.613	
		합계	707	3.06	.678	
	크기	A 그룹	137	3.07	.666	<0.001
		B 그룹	139	3.31	.635	
		C 그룹	139	3.09	.711	
		D 그룹	174	3.01	.733	
		E 그룹	118	3.10	.646	
		합계	707	3.11	.689	
	색깔	A 그룹	137	3.09	.742	<0.001
		B 그룹	139	3.37	.639	
		C 그룹	139	3.06	.778	
		D 그룹	174	3.02	.713	
		E 그룹	118	3.14	.653	
		합계	707	3.13	.717	
	위치	A 그룹	137	2.85	.827	<0.001
		B 그룹	139	3.05	.854	
		C 그룹	139	2.67	.846	
		D 그룹	174	2.61	.838	
		E 그룹	118	2.65	.799	
		합계	707	2.76	.848	
	취 급 방법	A 그룹	137	3.04	.780	<0.001
		B 그룹	139	3.35	.678	
		C 그룹	139	3.09	.731	
		D 그룹	174	2.86	.795	
		E 그룹	118	2.93	.759	
		합계	707	3.05	.769	

○ 기관사 경력별 비상장치 관련(N=707)

	구분	경력별	N	평균	표준편차	p-value
비상장치	모양	1년 이하	88	3.19	.641	.046
		2년 이상	619	3.04	.682	
	크기	1년 이하	88	3.25	.682	.042
		2년 이상	619	3.09	.688	
	색깔	1년 이하	88	3.27	.638	.044
		2년 이상	619	3.11	.726	
	위치	1년 이하	88	2.95	.772	.015
		2년 이상	619	2.74	.856	
	취급방법	1년 이하	88	3.23	.690	.018
		2년 이상	619	3.02	.777	

○ 사업소별 각종계기판 관련(N=707)

	구분	그룹별	N	평균	표준편차	p-value
각종계기판	모양	A 그룹	137	3.09	.658	<0.001
		B 그룹	139	3.33	.685	
		C 그룹	139	3.22	.720	
		D 그룹	174	2.95	.687	
		E 그룹	118	3.11	.638	
		합계	707	3.13	.691	
	크기	A 그룹	137	3.07	.720	<0.001
		B 그룹	139	3.34	.643	
		C 그룹	139	3.26	.783	
		D 그룹	174	3.01	.701	
		E 그룹	118	3.18	.636	
		합계	707	3.16	.710	
	색깔	A 그룹	137	3.08	.697	<0.001
		B 그룹	139	3.32	.681	
		C 그룹	139	3.14	.734	
		D 그룹	174	2.91	.699	
		E 그룹	118	3.10	.659	
		합계	707	3.10	.707	
	위치	A 그룹	137	3.09	.732	.001
		B 그룹	139	3.31	.700	
		C 그룹	139	3.07	.865	
		D 그룹	174	2.95	.770	
		E 그룹	118	3.06	.670	
		합계	707	3.09	.761	
	취급방법	A 그룹	137	3.15	.648	<0.001
		B 그룹	139	3.37	.694	
		C 그룹	139	3.09	.775	
		D 그룹	174	2.91	.712	
		E 그룹	118	3.07	.650	
		합계	707	3.11	.715	

○ 기관사 경력별 각종계기판 관련(N=707)

	구분	경력별	N	평균	표준편차	p-value
각종 계기 판	모양	1년 이하	88	3.28	.642	.027
		2년 이상	619	3.11	.695	
	크기	1년 이하	88	3.28	.677	.083
		2년 이상	619	3.14	.713	
	색깔	1년 이하	88	3.19	.676	.182
		2년 이상	619	3.09	.711	
	위치	1년 이하	88	3.26	.634	.023
		2년 이상	619	3.06	.775	
	취급 방법	1년 이하	88	3.26	.634	.032
		2년 이상	619	3.09	.723	

○ 사업소별 각종차단기 관련(N=707)

	구분	그룹별	N	평균	표준편차	p-value
각종 차단 기	모양	A 그룹	137	3.09	.658	<0.001
		B 그룹	139	3.33	.685	
		C 그룹	139	3.22	.720	
		D 그룹	174	2.95	.687	
		E 그룹	118	3.11	.638	
		합계	707	3.13	.691	
	크기	A 그룹	137	3.07	.720	<0.001
		B 그룹	139	3.34	.643	
		C 그룹	139	3.26	.783	
		D 그룹	174	3.01	.701	
		E 그룹	118	3.18	.636	
		합계	707	3.16	.710	
	색깔	A 그룹	137	3.08	.697	<0.001
		B 그룹	139	3.32	.681	
		C 그룹	139	3.14	.734	
		D 그룹	174	2.91	.699	
		E 그룹	118	3.10	.659	
		합계	707	3.10	.707	
	위치	A 그룹	137	3.09	.732	.001
		B 그룹	139	3.31	.700	
		C 그룹	139	3.07	.865	
		D 그룹	174	2.95	.770	
		E 그룹	118	3.06	.670	
		합계	707	3.09	.761	
	취급 방법	A 그룹	137	3.15	.648	<0.001
		B 그룹	139	3.37	.694	
		C 그룹	139	3.09	.775	
		D 그룹	174	2.91	.712	
		E 그룹	118	3.07	.650	
		합계	707	3.11	.715	

○ 기관사 경력별 각종차단기 관련(N=707)

	구분	경력별	N	평균	표준편차	p-value
각종 차단기	모양	1년 이하	88	3.18	.687	.008
		2년 이상	619	2.97	.709	
	크기	1년 이하	88	3.25	.648	.000
		2년 이상	619	2.94	.735	
	색깔	1년 이하	88	2.97	.809	.544
		2년 이상	619	2.91	.762	
	위치	1년 이하	88	2.92	.820	.250
		2년 이상	619	2.82	.795	
	취급 방법	1년 이하	88	3.23	.620	.002
		2년 이상	619	2.96	.767	

○ 사업소별 각종스위치 관련(N=707)

	구분	그룹별	N	평균	표준편차	p-value
각종 스위치	모양	A 그룹	137	2.58	.864	<0.001
		B 그룹	139	3.12	.775	
		C 그룹	139	2.58	.825	
		D 그룹	174	2.48	.898	
		E 그룹	118	2.84	.847	
		합계	707	2.70	.876	
	크기	A 그룹	137	2.69	.820	<0.001
		B 그룹	139	3.19	.776	
		C 그룹	139	2.71	.829	
		D 그룹	174	2.53	.871	
		E 그룹	118	2.91	.827	
		합계	707	2.79	.857	
	색깔	A 그룹	137	2.74	.814	<0.001
		B 그룹	139	3.16	.735	
		C 그룹	139	2.78	.877	
		D 그룹	174	2.67	.841	
		E 그룹	118	2.98	.784	
		합계	707	2.85	.831	
	위치	A 그룹	137	2.80	.749	<0.001
		B 그룹	139	3.04	.842	
		C 그룹	139	2.50	.846	
		D 그룹	174	2.40	.905	
		E 그룹	118	2.77	.831	
		합계	707	2.68	.871	
	취 급 방법	A 그룹	137	2.68	.822	<0.001
		B 그룹	139	2.99	.905	
		C 그룹	139	2.60	.831	
		D 그룹	174	2.40	.924	
		E 그룹	118	2.79	.904	
		합계	707	2.67	.901	

○ 기관사 경력별 각종스위치 관련(N=707)

	구분	경력별	N	평균	표준편차	p-value
각종 스위치	모양	1년 이하	88	3.06	.748	.000
		2년 이상	619	2.65	.882	
	크기	1년 이하	88	3.11	.749	.000
		2년 이상	619	2.74	.862	
	색깔	1년 이하	88	3.10	.743	.003
		2년 이상	619	2.82	.838	
	위치	1년 이하	88	2.93	.855	.004
		2년 이상	619	2.65	.868	
	취급 방법	1년 이하	88	2.98	.857	.001
		2년 이상	619	2.63	.899	

○ 사업소별 기기 사용용어 관련(N=707)

	구분	그룹별	N	평균	표준편차	p-value
기기 사용 용어	이해 하기	A 그룹	137	2.86	.778	.001
		B 그룹	139	2.96	.842	
		C 그룹	139	2.60	.767	
		D 그룹	174	2.66	.808	
		E 그룹	118	2.75	.750	
		합계	707	2.76	.800	
	기억 하기	A 그룹	137	2.77	.738	.001
		B 그룹	139	2.93	.840	
		C 그룹	139	2.56	.781	
		D 그룹	174	2.62	.850	
		E 그룹	118	2.75	.764	
		합계	707	2.72	.808	
	발음 하기	A 그룹	137	2.84	.720	.001
		B 그룹	139	2.95	.810	
		C 그룹	139	2.58	.770	
		D 그룹	174	2.67	.799	
		E 그룹	118	2.75	.750	
		합계	707	2.76	.781	
	타차량의 용어 매칭	A 그룹	137	2.55	.747	.001
		B 그룹	139	2.72	.808	
		C 그룹	139	2.22	.771	
		D 그룹	174	2.39	.817	
		E 그룹	118	2.76	.792	
		합계	707	2.51	.811	

○ 기관사 경력별 기기 사용용어 관련(N=707)

	구분	경력별	N	평균	표준편차	p-value
기기 사용 용어	이해 하기	1년 이하	88	2.95	.741	.011
		2년 이상	619	2.74	.805	
	기억 하기	1년 이하	88	2.89	.780	.039
		2년 이상	619	2.70	.809	
	발음 하기	1년 이하	88	2.98	.694	.002
		2년 이상	619	2.72	.788	
	용어 매칭	1년 이하	88	2.77	.707	.000
		2년 이상	619	2.48	.819	

아. 기관사 직무환경 분석

(1) 운전실 소음정도

○ 전동차 운전실의 소음은 크게 5가지로 구분되어 분석하였다. 대부분의 알림부져 외에는 기관사에 경고성 부져로 소리의 크기가 상당히 운전에 불편을 줄 정도로 크다고 분석 되었다. 즉 기관사들의 경고성 부져와 함께 시각적 효과와 행동(지적확인)을 함께 할 수 있도록 하는 넛찌[1]방식을 고려하는 것도 제언한다.

○ 운전실 환경(소음・진동, 냉・난방, 조명, 과 관련하여 경력, 사업소(그룹별)로 조사 및 설문을 분석하였다. 설문에 대하여 5점 척도(매우나쁘다 1점, 나쁘다 2점, 보통 3점, 좋다 4점, 매우 좋다 5점)로 조사를 하였다. 점수가 낮을수록 기기취급에 대하여 불편한 것으로 전체적으로 보통이하로 분석되고, 경력이 많을수록 불편하다고 분석되었다.

1) 넛지효과 (Nudge Effect)
행동경제학자인 캐스 R. 선스타인(Cass R. Sunstein)과 리처드 탈러(Richard H. Thaler)가 공저한 넛지에 의하면 팔을 잡아 끄는 것처럼 강제와 지시에 의한 억압보다 팔꿈치로 툭 치는 것과 같은 부드러운 개입으로 특정한 행동을 유도하는 것이 더 효과적이라고 주장한다.
기관사들의 지적확인을 계속해서 시행하라고 하지만 때에 따라서 말보다는 중요기기를 확인하는 것은 넛지방식을 통해서 경고음이나 점멸등 또는 경고등이 들어오면 기관사가 그 기기를 살짝 터치하여 확인하도록 하는 방식이다.
예) 출입문 점등, 출입문 전면개폐확인, 출입문 반감스위치 동작 등

○ 사업소별 운전실 기기 소음정도

- ATS(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.71	.824	
B 그룹	139	3.01	.889	
C 그룹	139	2.37	.724	
D 그룹	174	2.70	.868	
E 그룹	118	2.78	.807	
합계	707	2.71	.850	<0.001

- 비상부저(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.42	.960	
B 그룹	139	2.53	1.038	
C 그룹	139	1.91	.939	
D 그룹	174	2.21	1.038	
E 그룹	118	2.21	.968	
합계	707	2.25	1.012	<0.001

- DSD(운전자 경계장치)(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.78	.913	
B 그룹	139	2.78	.993	
C 그룹	139	2.86	.844	
D 그룹	174	2.57	.902	
E 그룹	118	2.78	.849	
합계	707	2.74	.907	.050

- 정차역 안내방송(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	3.11	.744	
B 그룹	139	3.19	.708	
C 그룹	139	3.31	.721	
D 그룹	174	2.88	.820	
E 그룹	118	2.74	.891	
합계	707	3.05	.802	<0.001

- 이외의 외부소음(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.32	.848	
B 그룹	139	2.70	.848	
C 그룹	139	2.26	.765	
D 그룹	174	2.25	.820	
E 그룹	118	2.37	.771	
합계	707	2.37	.827	<0.001

○ 현 사업소내 경력별 운전실 기기 소음정도(N=707)

질문사항		경력	N	평균	표준편차	*p*-value
운전실의 소음정도	ATS관련	1년 이하	88	2.85	.810	.083
		2년 이상	619	2.69	.854	
	비상부저	1년 이하	88	2.42	1.111	.098
		2년 이상	619	2.23	.996	
	DSD	1년 이하	88	3.02	.844	.001
		2년 이상	619	2.70	.909	
	정차역 안내방송	1년 이하	88	3.10	.885	.477
		2년 이상	619	3.04	.790	
	이외 외부소음	1년 이하	88	2.63	.716	.001
		2년 이상	619	2.34	.836	

(2) 운전실 조명

○ 사업소별 운전실 실내●외 조명 정도

- .지시기기 조명(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p-value
A 그룹	137	2.83	.800	
B 그룹	139	3.29	.694	
C 그룹	139	2.65	.729	
D 그룹	174	2.73	.834	
E 그룹	118	2.93	.688	
합계	707	2.88	.787	<0.001

- 실내조명(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.83	.791	<0.001
B 그룹	139	3.44	.682	
C 그룹	139	2.99	.838	
D 그룹	174	2.94	.784	
E 그룹	118	3.18	.700	
합계	707	3.07	.791	

- 전조등(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.80	.865	<0.001
B 그룹	139	3.12	.925	
C 그룹	139	3.04	.779	
D 그룹	174	2.24	.924	
E 그룹	118	2.82	.873	
합계	707	2.78	.935	

- 영상화면 조명(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.91	.732	<0.001
B 그룹	139	3.14	.990	
C 그룹	139	3.02	.794	
D 그룹	174	2.64	.861	
E 그룹	118	2.25	.905	
합계	707	2.80	.910	

○ 현 사업소내 경력별 운전실 실내●외 조명정도(N=707)

질문사항		경력	N	평균	표준편차	*p*-value
운전실내● 외 조명정도	지시기기 조명	1년 이하	88	3.09	.721	.007
		2년 이상	619	2.85	.792	
	실내조명	1년 이하	88	3.28	.726	.006
		2년 이상	619	3.04	.796	
	전조등	1년 이하	88	2.94	.951	.074
		2년 이상	619	2.75	.931	
	영상화면 조명	1년 이하	88	2.86	.912	.488
		2년 이상	619	2.79	.910	

(3) 운전실 환경

○ 사업소별 운전실 실내 환경 정도

- 겨울철 난방(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.29	.971	<0.001
B 그룹	139	3.23	.965	
C 그룹	139	2.57	.963	
D 그룹	174	1.88	.895	
E 그룹	118	3.15	.873	
합계	707	2.57	1.069	

- 여름철 냉방(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.72	.953	<0.001
B 그룹	139	3.31	.833	
C 그룹	139	2.48	.966	
D 그룹	174	1.98	.909	
E 그룹	118	2.95	.923	
합계	707	2.65	1.026	

- 운전실환경(쾌적하고 깨끗함 관련)(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
A 그룹	137	2.30	.926	<0.001
B 그룹	139	2.93	.922	
C 그룹	139	2.17	.916	
D 그룹	174	2.03	.793	
E 그룹	118	2.67	.848	
합계	707	2.39	.939	

- 운전실 의자(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
동작, 상계, 안산	137	1.92	.908	<0.001
수서, 지축, 일산	139	2.68	.971	
신정, 대림, 동대문	139	2.01	.747	
구로, 성북, 병점, 신답	174	1.76	.719	
청량리, 분당	118	2.35	.909	
합계	707	2.12	.910	

- 운전실 진동(N=707)

소속	N	평균	표준편차	p value
동작, 상계, 안산	137	2.12	.814	<0.001
수서, 지축, 일산	139	2.78	.891	
신정, 대림, 동대문	139	2.27	.738	
구로, 성북, 병점, 신답	174	2.09	.807	
청량리, 분당	118	2.53	.874	
합계	707	2.34	.864	

○ 현 사업소내 경력별 운전실내 환경정도(N=707)

질문사항		경력	N	평균	표준편차	p-value
운전실내 환경정도	겨울철 난방	1년 이하	88	3.11	.952	.000
		2년 이상	619	2.50	1.063	
	여름철냉방	1년 이하	88	2.91	1.013	.010
		2년 이상	619	2.61	1.024	
	쾌적하고 깨끗함	1년 이하	88	2.53	.970	.133
		2년 이상	619	2.37	.934	
	의자	1년 이하	88	2.25	.962	.153
		2년 이상	619	2.10	.902	
	진동	1년 이하	88	2.45	.870	.187
		2년 이상	619	2.32	.862	

(4) 전동차 운전실 작업환경의 예상되는 유해요인 및 대책

○ 소음 및 진동

- 소음 및 진동

· 기차 철로 마찰음, 엔진 가동음(냉방용발전차 및 동력차), 압축공기 배출음, 철로 연결부위 충돌음, 경고용 경적소리, 통신무전기 소리, 경고비상벨 소리, 출입문 개폐음, 반대편 열차 통과음 등이다. 현재 소음은 법적 측정 대상인자로 측정을 실시하고 있음.

· 운전실 소음발생은 구조 설비 진동에 의한 것이 대부분이기 때문에 전신 및 국소 진동에

대한 측정 및 평가가 필요함.

- 분진

· 전동차 내의 기압이 760 mmHg 이하 이므로 터널 및 철로변 비산분진 중 미세먼지가 운전실에 유입되어 축적될 가능성이 있으므로 PM10에 대한 측정 추가가 필요함. 주기적인 진공청소 및 물걸레 청소가 필요함.

- 고열(여름)

· 태양열에 의한 고온 (에어콘 설치되어 있음)

- 저온(겨울)

· 외기 온도 및 바람에 의한 저온 (히터 설치되어 있음)

- 습도

· 에어콘 가동이나 히터 가동에 의하여 습도가 낮은 경우 눈 건조증이 유발 될 수 있으므로 적정 습도를 유지하는 지 평가가 필요, 필요시 운전실내에 습도계 부착이 필요함.

- 휘도(눈부심)

· 태양의 조도는 10만 럭스에 해당하므로 일1 시간에 따른 휘도의 측정이 필요함.

- 조도

· 태양이 비칠 때와 터널을 지날 때 운전석 주위와 계기판의 조도 조사가 필요하며 가급적 150 럭스 이상이 유지되어야 하며 계기판 및 운전석 주변이 태양 빛에 의하여 반사가 심하게 되는지 평가되어야 함. 필요시 루버 설치도 고려할 필요가 있음.

- 이산화탄소

· 환기설비 상태의 척도가 되는 이산화탄소 농도를 일일 평균 및 시간별로 측정하여 농도 변화 원인을 파악하여 향후 환기설비의 기초자료로 활용해야 함

○ 향후 대책

- 전동차 운전실 작업환경의 예상되는 유해요인 중 분진을 제외하고는 주관적 오염일 수도 있기 때문에 위에서 열거한 유해요인을 대상으로 불쾌감 등을 운전자들을 대상으로 설문조사하는 것이 바람직하며, 이를 바탕으로 법적 측정대상이 아니더라도 평가를 실시하여 확인하는 것이 필요함.

- 운전실 환경에 대한 전체적인 가이드라인이 필요(가이드라인은 철도차량안전기준에 명시)

자. 기관사 직무환경조사

(1) 직무관련 설문분석

(가) 전체적인 직무스트레스 분석

○ 전체 직무스트레스 평균은 50.24점으로 국내 근로자 평균과 거의 같은 수준으로 분석 되었다. 직무스트레스 점수에서 국내 평균보다 높은 것은 물리적 환경과 관계 갈등과 조직체계로 인한 스트레스였음. 특히 물리적 환경으로 인한 직무스트레스를 크게 받고 있는 것으로 보여 이에 대한 대책이 요구된다고 할 수 있음

○ 전동차를 운전하는 기관사 707명을 대상으로 분석한 결과는 아래와 같이 나타났다.

<표 19> 직무스트레스 분석(N=707)

구분	N	최소값	최대값	평균	표준편차	국내평균
물리환경	707	11.11	100.00	64.23	16.43698	49.31
직무요구	707	8.33	100.00	48.99	12.62882	50.77
직무자율	707	13.33	86.67	51.33	10.80583	52.85
관계갈등	707	.00	100.00	41.54	14.47740	40.42
직무불안정	707	16.67	100.00	53.92	12.07788	53.23
조직체계	707	9.52	100.00	56.44	16.43789	53.52
보상부적절	707	11.11	100.00	46.05	13.25206	67.99
직장문화	707	.00	100.00	39.44	15.28914	40.95
총 합	707	16.84	95.00	50.24	8.81319	51.15

(나) 근무환경 관련 직무스트레스 분석 (N=707)

근무환경(지상, 지하)에 따른 분석 결과 직무불안정에서는 지하보다는 지상에서 높게 나왔으며, 보상 부적절에서는 지상보다는 지하가 높게 분석되었다.

<표 20> 근무환경(지상, 지하)에 따른 직무스트레스를 분석

지상지하근무		물리 환경	직무 요구	직무 자율	관계 갈등	직무 불안정	조직 체계	보상 부적절	직장 문화	총합
지상	평균	65.4521	49.0047	50.9042	41.3293	55.1732	55.0222	43.9046	38.6640	49.9318
	N	247	247	247	247	247	247	247	247	247
	표준 편차	17.26637	13.09262	10.49116	14.19310	11.20013	15.74965	12.68083	14.48190	8.30130
지하	평균	63.5749	48.9855	51.5507	41.6486	53.2488	57.2050	47.1981	39.8551	50.4083
	N	460	460	460	460	460	460	460	460	460
	표준 편차	15.95455	12.38712	10.97569	14.64189	12.48387	16.76298	13.42168	15.70511	9.08061
합계	평균	64.2307	48.9922	51.3248	41.5370	53.9211	56.4424	46.0475	39.4389	50.2418
	N	707	707	707	707	707	707	707	707	707
	표준 편차	16.43698	12.62882	10.80583	14.47740	12.07788	16.43789	13.25206	15.28914	8.81319

(다) 승무체계에 관련 직무스트레스 분석 (N=707)

○ 승무체계(1인승무, 2인승무)에 따른 분석 결과 물리적 환경, 관계갈등, 조직체계, 보상부적절에서는 2인승무가 상대적으로 1인승무보다 높게 나타났으며, 직무불안전에서만 1인승무가 2인승무보다 높게 분석되었다.

<표 21> 승무체계(1인승무, 2인승무)에 따른 직무스트레스를 분석

승무체계		물리 환경	직무 요구	직무 자율	관계 갈등	직무 불안정	조직 체계	보상 부적절	직장 문화	총합
1인 승무	평균	62.2959	49.7038	50.2686	39.7314	55.5819	53.2837	43.6019	40.7188	49.3983
	N	211	211	211	211	211	211	211	211	211
	표준 편차	14.43326	12.34672	10.55505	13.50608	12.10499	14.67503	11.57210	14.44830	7.57104
2인 승무	평균	65.0538	48.6895	51.7742	42.3051	53.2146	57.7861	47.0878	38.8945	50.6007
	N	496	496	496	496	496	496	496	496	496
	표준 편차	17.16646	12.74718	10.89021	14.81786	12.00899	16.98929	13.78516	15.61546	9.27529
합계	평균	64.2307	48.9922	51.3248	41.5370	53.9211	56.4424	46.0475	39.4389	50.2418
	N	707	707	707	707	707	707	707	707	707
	표준 편차	16.43698	12.62882	10.80583	14.47740	12.07788	16.43789	13.25206	15.28914	8.81319

(라) 사업소(그룹별)관련 직무스트레스 분석 (N=707)

○ 사업소(그룹별)별로 분석한 결과 E그룹에서 대체적으로 직무스트레스가 낮은 것으로 분석되었으며, 물리적 환경에서는 D그룹이, 조직체계에서는 C그룹이, 보상부적절에서는 A그룹이 상대적으로 높게 분석 되었다.

<표 22> 사업소(그룹별) 따른 직무스트레스를 분석

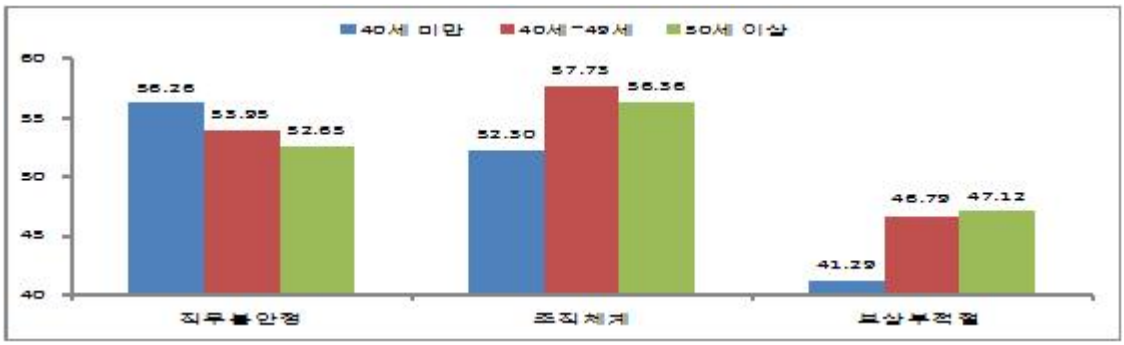
group2		물리 환경	직무 요구	직무 자율	관계 갈등	직무 불안정	조직 체계	보상 부적절	직장 문화	총합
A 그룹	평균	64.7202	49.8175	50.9976	43.0049	52.7981	58.1161	48.4185	40.6934	51.0708
	N	137	137	137	137	137	137	137	137	137
	표준 편차	17.09142	14.58218	11.84296	14.86024	14.02101	18.37157	14.27485	17.56366	9.79952
B 그룹	평균	62.2702	49.4305	52.7578	40.9472	53.3573	57.1429	47.3621	41.3669	50.5794
	N	139	139	139	139	139	139	139	139	139
	표준 편차	16.41619	11.39656	10.16711	12.58953	12.77093	15.60505	12.71322	14.89895	8.52135
C 그룹	평균	64.3485	47.9017	52.0863	42.6859	52.6779	59.0613	47.9616	38.1894	50.6141
	N	139	139	139	139	139	139	139	139	139
	표준 편차	14.68186	10.45433	10.48174	16.19068	9.70011	16.65157	13.46194	14.46508	8.95010
D 그룹	평균	67.6884	48.7548	51.0345	41.1398	54.8212	55.7745	44.6360	38.2663	50.2644
	N	174	174	174	174	174	174	174	174	174
	표준 편차	17.89079	13.47163	10.45294	14.61759	11.30183	15.74621	13.09922	14.13914	8.63716
E 그룹	평균	60.7345	49.1525	49.5480	39.7599	56.0264	51.5738	41.5725	38.9124	48.4100
	N	118	118	118	118	118	118	118	118	118
	표준 편차	14.50402	12.73590	11.04179	13.71303	12.25318	14.85509	11.33984	15.41046	7.88286
합계	평균	64.2307	48.9922	51.3248	41.5370	53.9211	56.4424	46.0475	39.4389	50.2418
	N	707	707	707	707	707	707	707	707	707
	표준 편차	16.43698	12.62882	10.80583	14.47740	12.07788	16.43789	13.25206	15.28914	8.81319

(마) 연령에 따른 직무스트레스 분석

○ 연령에 따른 직무스트레스를 비교한 결과 직무불안정, 조직체계, 보상부적절 영역에서 연령에 따른 직무스트레스의 차이를 보였다. 사후 분석을 한 결과 직무불안정은 40세 미만이 50세 이상에 비해 평균점수가 유의하게 높았고, 조직체계는 40-49세가 40세 미만에 비해 평균점수가 유의하게 높았다. 그리고 보상부적절에서는 40세 미만이 40-49세와 50세 이상보다 평균점수가 유의하게 낮은 결과를 보였다. 이 외의 영역에서는 통계적인 차이를 보이지 않았다.

<표 23> 연령 따른 직무스트레스를 분석(N=707)

항목	구분	N	Mean±S.D.	F	p
물리적특성	40세 미만	111	66.47±16.14	1.668	.189
	40세~49세	374	64.26±16.69		
	50세 이상	220	62.98±16.08		
직무요구	40세 미만	111	47.6±13.5	.790	.454
	40세~49세	374	49.3±11.82		
	50세 이상	220	49.09±13.51		
직무자율	40세 미만	111	51.05±11.21	.209	.811
	40세~49세	374	51.16±10.75		
	50세 이상	220	51.7±10.72		
관계갈등	40세 미만	111	39.56±15.26	1.312	.270
	40세~49세	374	41.71±14.05		
	50세 이상	220	42.23±14.81		
직무불안정	40세 미만	111	56.26±12.74	3.309	.037
	40세~49세	374	53.95±10.87		
	50세 이상	220	52.65±13.5		
조직체계	40세 미만	111	52.3±15.26	4.719	.009
	40세~49세	374	57.73±16.39		
	50세 이상	220	56.36±16.86		
보상부적절	40세 미만	111	41.29±12.3	8.652	>0.001
	40세~49세	374	46.79±13.27		
	50세 이상	220	47.12±13.21		
직장문화	40세 미만	111	36.86±15.99	1.869	.155
	40세~49세	374	39.75±14.9		
	50세 이상	220	40.11±15.56		
직무스트레스 종합	40세 미만	111	48.92±8.7	1.525	.218
	40세~49세	374	50.58±8.32		
	50세 이상	220	50.28±9.62		



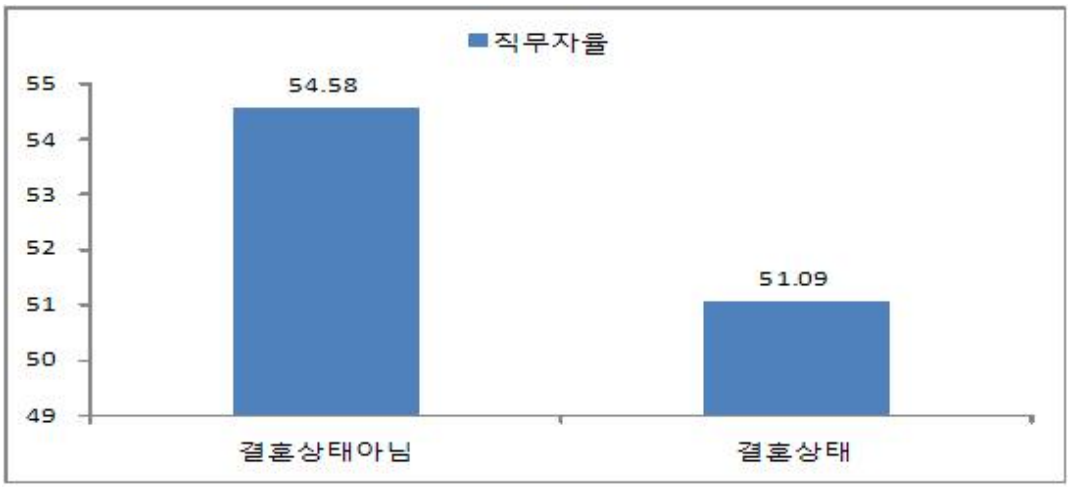
<그림 6> 연령에 따른 직무스트레스

(바) 연령에 따른 직무스트레스 분석

○ 결혼 여부에 따른 직무스트레스를 비교한 결과 직무자율영역에서만 통계적인 차이를 보였고, 결혼상태가 아닌 경우가 결혼 상태인 경우에 비해 평균점수가 높은 것으로 나타났다.

<표 24> 결혼 여부에 따른 직무스트레스(N=707)

항목	구분	N	Mean±S.D.	t	p
물리적특성	결혼상태아님	48	64.58±16.47	.154	.878
	결혼상태	659	64.21±16.45		
직무요구	결혼상태아님	48	48.52±14.62	-.266	.791
	결혼상태	659	49.03±12.48		
직무자율	결혼상태아님	48	54.58±10.97	2.170	.030
	결혼상태	659	51.09±10.76		
관계갈등	결혼상태아님	48	42.01±15.84	.236	.813
	결혼상태	659	41.5±14.39		
직무불안정	결혼상태아님	48	54.28±13.13	.215	.830
	결혼상태	659	53.89±12.01		
조직체계	결혼상태아님	48	54.27±16.16	-.950	.342
	결혼상태	659	56.6±16.46		
보상부적절	결혼상태아님	48	45.83±14.65	-.116	.908
	결혼상태	659	46.06±13.16		
직장문화	결혼상태아님	48	39.24±14.88	-.095	.924
	결혼상태	659	39.45±15.33		
직무스트레스 종합	결혼상태아님	48	50.42±9.1	.141	.888
	결혼상태	659	50.23±8.8		



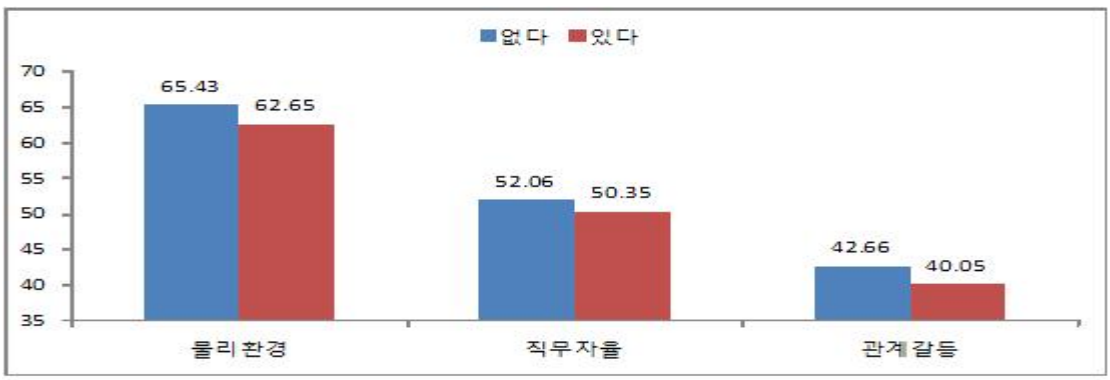
<그림 7> 결혼 여부에 따른 직무스트레스

(사) 종교에 따른 직무스트레스 분석

○ 종교에 따른 직무스트레스는 모든 영역에서 종교가 있는 경우가 없는 경우에 비해 스트레스의 평균점수가 높은 것으로 나타났으며 이 중 물리적 특성, 직무자율, 관계갈등에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

<표 25> 종교 여부에 따른 직무스트레스(N=707)

항목	구분	N	Mean±S.D.	t	p
물리적특성	없음	403	65.43±16.21	2.232	.026
	있음	304	62.65±16.62		
직무요구	없음	403	48.71±11.68	-.674	.501
	있음	304	49.37±13.79		
직무자율	없음	403	52.06±10.28	2.086	.037
	있음	304	50.35±11.41		
관계갈등	없음	403	42.66±14.27	2.381	.018
	있음	304	40.05±14.64		
직무불안정	없음	403	54.52±11.32	1.524	.128
	있음	304	53.12±12.99		
조직체계	없음	403	56.45±16.37	.006	.995
	있음	304	56.44±16.56		
보상부적절	없음	403	46.64±13.3	1.361	.174
	있음	304	45.27±13.17		
직장문화	없음	403	39.47±14.88	.072	.943
	있음	304	39.39±15.84		
직무스트레스 종합	없음	403	50.74±8.3	1.738	.083
	있음	304	49.58±9.43		



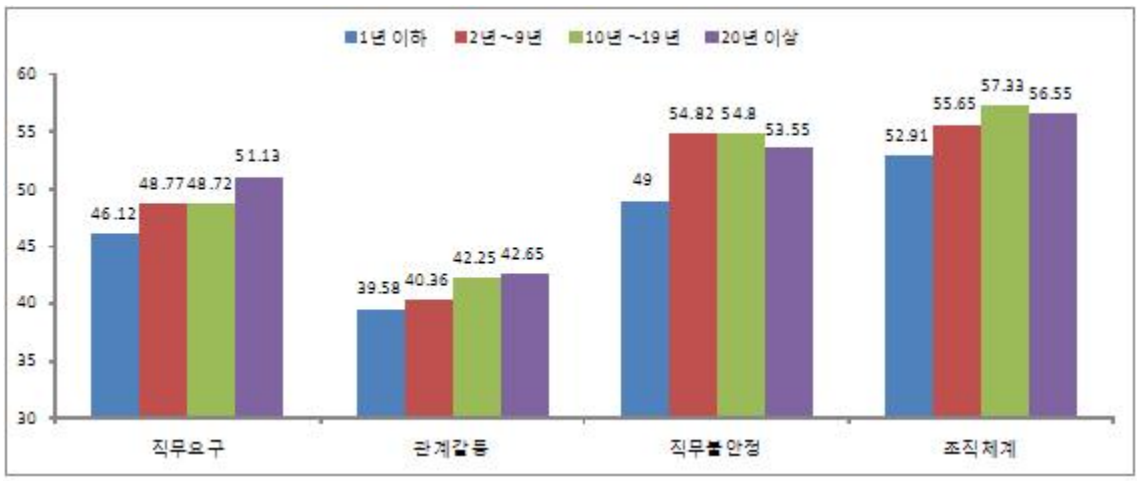
<그림 8> 종교 여부에 따른 직무스트레스

(아) 기관사 경력에 따른 직무스트레스 분석

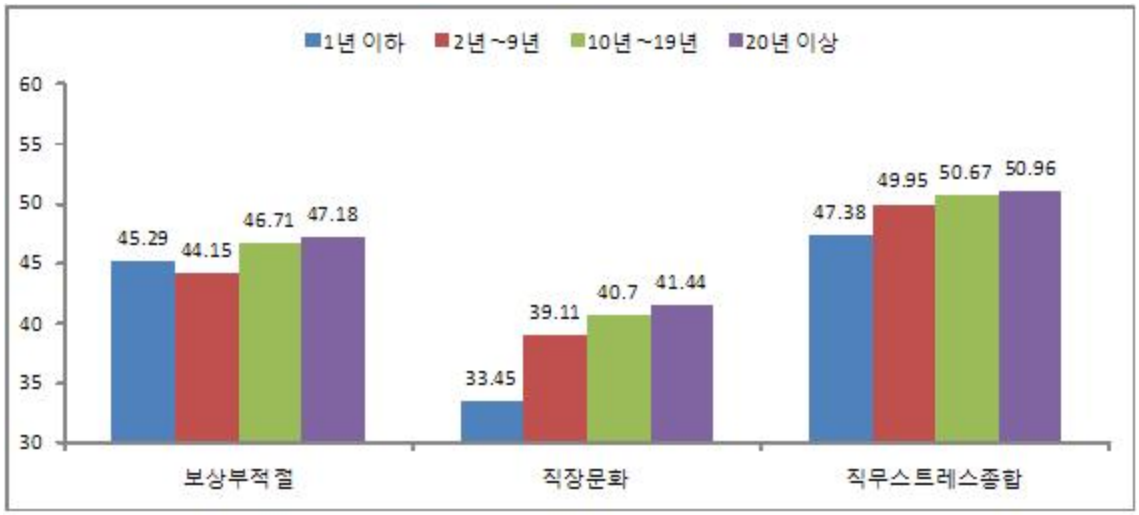
○ 기관사의 총 경력에 따른 직무스트레스에 대한 결과를 살펴보면 물리적 특성과 직무자율을 제외하고는 모두 통계적으로 유의하게 1년 이하의 경력이 나머지 평균의 차이를 보였다. 사후 분석 결과 보상부적절 영역을 제외하고는 1년 이하와 그 이상의 경력과는 평균점수에서 통계적인 차이를 보였으나 2년 이상의 경력끼리 비교에서는 차이를 보이지 않았다.

<표 26> 기관사 경력에 따른 직무스트레스(N=707)

항목	구분	N	Mean±S.D.	F	p
물리적특성	1년 이하	72	62.5±15.31	1.588	.191
	2년~9년	248	65.99±16.25		
	10년~19년	199	63.43±16.85		
	20년 이상	144	63.12±16.91		
직무요구	1년 이하	72	46.12±12.02	2.639	.049
	2년~9년	248	48.77±11.17		
	10년~19년	199	48.72±13.24		
	20년 이상	144	51.13±14.59		
직무자율	1년 이하	72	50.19±10.43	.691	.558
	2년~9년	248	50.75±11.34		
	10년~19년	199	51.39±9.95		
	20년 이상	144	52.08±11.26		
관계갈등	1년 이하	72	39.58±14.79	1.397	>0.001
	2년~9년	248	40.36±13.11		
	10년~19년	199	42.25±14.47		
	20년 이상	144	42.65±16.36		
직무불안정	1년 이하	72	49±9.15	4.928	>0.001
	2년~9년	248	54.82±12.29		
	10년~19년	199	54.8±10.88		
	20년 이상	144	53.55±13.93		
조직체계	1년 이하	72	52.91±16.23	1.400	>0.001
	2년~9년	248	55.65±15.29		
	10년~19년	199	57.33±16.17		
	20년 이상	144	56.55±18.05		
보상부적절	1년 이하	72	45.29±13.69	2.172	>0.001
	2년~9년	248	44.15±12.78		
	10년~19년	199	46.71±13.01		
	20년 이상	144	47.18±13.61		
직장문화	1년 이하	72	33.45±14.7	5.070	>0.001
	2년~9년	248	39.11±14.31		
	10년~19년	199	40.7±14.87		
	20년 이상	144	41.44±17.12		
직무스트레스 종합	1년 이하	72	47.38±7.96	3.063	>0.001
	2년~9년	248	49.95±8.24		
	10년~19년	199	50.67±8.38		
	20년 이상	144	50.96±10.47		



<그림 9> 기관사 총 경력에 따른 직무스트레스 1



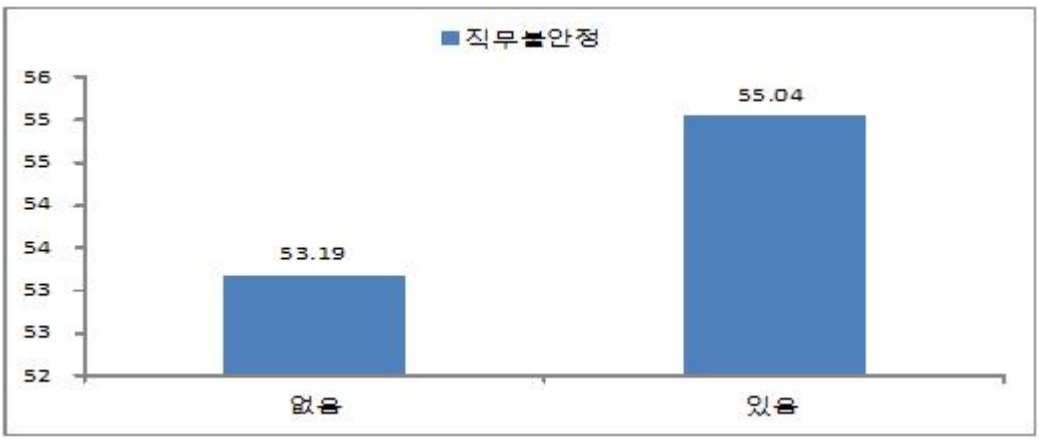
<그림 10> 기관사 총 경력에 따른 직무스트레스 2

(자) 사상사고 경험여부에 따른 직무스트레스 분석

○ 사상사고를 경험한 경우가 전반적으로 직무스트레스의 평균점수가 높았으나 직무불안정을 제외하고는 통계적인 유의성을 보이지 않았다.

<표 27> 사상사고 경험 여부에 따른 직무스트레스(N=707)

항목	구분	N	Mean±S.D.	t	p
물리적특성	없음	428	64.56±16.31	.667	.505
	있음	279	63.72±16.65		
직무요구	없음	428	48.69±12.65	-.799	.425
	있음	279	49.46±12.6		
직무자율	없음	428	50.83±10.95	-1.523	.128
	있음	279	52.09±10.55		
관계갈등	없음	428	41.18±13.99	-.812	.417
	있음	279	42.08±15.2		
직무불안정	없음	428	53.19±11.73	-1.989	.047
	있음	279	55.04±12.54		
조직체계	없음	428	56.45±15.92	.021	.983
	있음	279	56.43±17.23		
보상부적절	없음	428	46.02±12.99	-.080	.936
	있음	279	46.1±13.67		
직장문화	없음	428	38.98±14.47	-.989	.323
	있음	279	40.14±16.47		
직무스트레스 종합	없음	428	49.99±8.33	-.952	.341
	있음	279	50.63±9.51		



<그림 11> 사상사고 경험 여부에 따른 직무스트레스

(차) 차량고장사고 경험여부에 따른 직무스트레스 분석

○ 차량고장사고를 경험한 경우는 그렇지 않은 경우에 비해 전반적으로 직무스트레스의 각 영역별 평균점수가 높은 것으로 나타났다. 물리적 특성, 직무요구, 직무불안정, 조직체계, 직무스트레스 종합 영역에서는 이러한 차이가 통계적인 유의성을 보였다.

<표 28> 차량고장사고 여부에 따른 직무스트레스(N=707)

항목	구분	N	Mean±S.D.	t	p
물리적특성	없음	299	61.72±17.15	-3.450	.001
	있음	408	66.07±15.66		
직무요구	없음	299	45.99±12.55	-5.530	>0.001
	있음	408	51.19±12.24		
직무자율	없음	299	50.61±10.48	-1.500	.134
	있음	408	51.85±11.02		
관계갈등	없음	299	40.5±13.84	-1.639	.102
	있음	408	42.3±14.9		
직무불안정	없음	299	51.43±11.14	-4.765	>0.001
	있음	408	55.75±12.42		
조직체계	없음	299	54.75±16.65	-2.345	.019
	있음	408	57.68±16.19		
보상부적절	없음	299	45.17±13.44	-1.510	.131
	있음	408	46.69±13.09		
직장문화	없음	299	38.63±15.09	-1.207	.228
	있음	408	40.03±15.42		
직무스트레스 종합	없음	299	48.6±9.01	-4.292	>0.001
	있음	408	51.44±8.47		



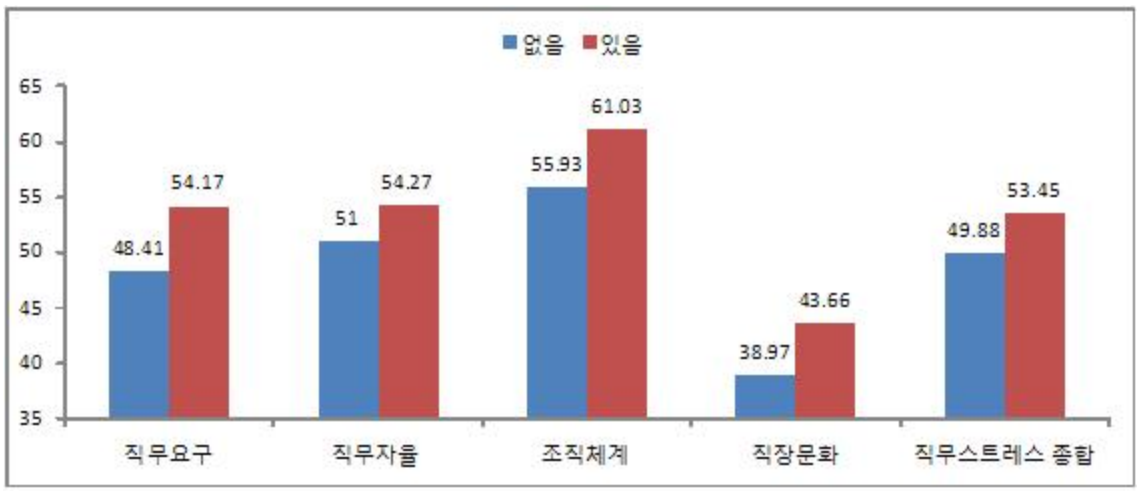
<그림 12> 차량고장사고 여부에 따른 직무스트레스

(카) 운전취급사고 경험여부에 따른 직무스트레스 분석

○ 운전 취급사고 발생에 따른 직무스트레스의 비교 결과 사고를 경험한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 직무스트레스 영역별 평균점수가 높은 것을 알 수 있었다. 그리고 직무요구, 직무자율, 조직체계, 직장문화의 영역에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 직무스트레스를 종합한 결과 역시 사고를 경험한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 평균점수가 높았다.

<표 29> 운전취급사고 여부에 따른 직무스트레스(N=707)

항목	구분	N	Mean±S.D.	t	p
물리적특성	없음	636	63.84±16.44	-1.912	.056
	있음	71	67.76±16.06		
직무요구	없음	636	48.41±12.56	-3.672	>0.001
	있음	71	54.17±12.14		
직무자율	없음	636	51±10.78	-2.432	.015
	있음	71	54.27±10.71		
관계갈등	없음	636	41.33±14.63	-1.160	.246
	있음	71	43.43±12.98		
직무불안정	없음	636	53.74±11.87	-1.203	.230
	있음	71	55.56±13.77		
조직체계	없음	636	55.93±16.48	-2.490	.013
	있음	71	61.03±15.38		
보상부적절	없음	636	45.86±13.28	-1.129	.259
	있음	71	47.73±12.93		
직장문화	없음	636	38.97±15.12	-2.463	.014
	있음	71	43.66±16.21		
직무스트레스 종합	없음	636	49.88±8.82	-3.257	.001
	있음	71	53.45±8.1		



<그림 13> 운전취급사고 여부에 따른 직무스트레스

(2) 직무스트레스 대처 방안

(가) 조직적 관리방안 - 바람직한 직장문화 형성

○ 직무요구 해소

- 근로자에게 발생하는 직무스트레스의 원인을 파악하고 이를 해소하고 관리할 수 있는 방법에 대해 관리자에게 교육한다.
- 기관 내에 상담창구를 마련하고, 직무스트레스가 높은 근로자가 개인의 비밀을 보장받으면서 상담할 수 있는 시스템을 마련한다.
- 특정인에게 업무가 가중되거나 책임이 집중되지 않도록 조정한다.
- 신규 직원이 업무에 빨리 적응할 수 있도록 멘토링 제도를 활성화하여 기술적인 지식의 전달 및 심리적, 사회적인 지원도 받을 수 있도록 한다.
- 개인의 적성에 맞는 부서에 배치하고, 배치된 부서에 적응하지 못할 경우 신속하게 부서전환 배치를 한다.
- 업무에 대한 보수교육을 주기적으로 실시하여 신기술 도입으로 업무에 대한 부담이 발생하지 않도록 한다.

○ 직무자율성 강화

- 업무에 대한 생각을 전할 수 있도록 정기적인 의견교환 기회를 마련한다.
- 업무 일정 조정 시 근로자의 의견을 반영하고, 필요시 업무 일정을 변경할 수 있도록 한다.

○ 원활한 의사소통 체계 마련

- 관리자는 부하직원들의 성격, 행동, 기타 특징을 파악하고, 평상시와 다른 사소한 변화가 발생할 경우 신속히 대처할 수 있도록 한다.
- 평소 업무 중에 부하직원에 대한 관심을 표현하고 신뢰관계를 구축함으로써 부하직원이 애로사항이 있을 경우 쉽게 상담할 수 있는 관계를 형성한다.

(나) 개인적 관리방안

○ 직무스트레스를 인지하고, 가까운 사람들에게 알리기

- 직무스트레스 정도를 측정하는 설문지나 체크 리스트를 활용하여 자신의 직무스트레스 정도를 파악하고, 다른 사람보다 직무스트레스가 높은 지 낮은 지를 비교해 보는 것이 필요하다.
- 직무스트레스가 높은 경우 직무스트레스의 원인이 무엇인지를 파악하는 것이 중요하다.
- 스트레스를 감추다가 더 큰 병으로 발전할 수도 있으므로 작은 스트레스부터 없애려는 노력을 기울이는 것이 필요하다.

○ 스트레스와 친해지기

- 긍정적으로 생각하기

· 직무스트레스는 비현실적인 기대에서 생긴다. 기대가 현실적이면 상황을 좀 더 예측할 수 있고 관리가 가능하므로 미리 계획을 세우고 스스로 준비할 수 있다. 어쩔 수 없이 발생하는 상황이라면 즐겁게 받아들이고, 자신이 해야 하는 일을 즐겁게 열심히 하는 것이 좋다.

- 자기 주장훈련

· 주장행동이란 다른 사람을 비난하거나 지시하여 불쾌하게 만들지 않으면서 동시에 분명하고 직접적인 표현으로 자신의 욕구나 생각, 감정 등을 나타내는 방법을 훈련하는 것이다. 이런 훈련을 통해 부정적인 감정으로 인한 문제 발생을 예방하고, 억제된 감정을 해소하여 부정적 사고와 자기 비하적 사고를 바로 잡을 수 있으며, 결국 갈등을 능숙하게 다룰 수 있게 된다.

- 직무스트레스에 대한 개인적인 방어기전 가짐

· 직무스트레스 발생 시 자신의 어려움을 나눌 수 있는 상사나 멘토를 만든다. 동호회 활동이나 봉사활동 등을 통해 심리적 재충전의 기회를 가진다.

○ 건전한 생활습관 유지

- 많이 웃는다.

· 마음의 여유를 잃으면 웃음은 적어지고 무표정하게 되기 쉽다. 웃음으로 인해 자율신경의 균형이 잡히고, 암세포를 공격하는 NK(Natural Killer)세포가 활성화되어 면역력을 정상화시키는 효과도 있다.

- 긴장을 푼다.

· 하루 종일 긴장이 계속되고 있다고 느껴지면 화장실에 가서 심호흡을 하거나 가벼운 체조로 짧은 휴식을 취하여 기분전환을 한다.

- 일과 관계없는 취미를 가진다.

- 일과 동떨어진 취미를 가짐으로써 기분 전환이 되어 스트레스가 해소된다. 혼자서 하는 것, 또는 사람들과 하는 것 등 다양한 취미를 가지면, 자신의 인생에 즐거움이 더해져 일상생활을 정신적으로 풍요롭게 하는 데 도움이 될 것이다.

- 자연을 즐길 기회를 많이 가진다.

· 스트레스가 많은 직장에서 벗어나 자연에 몸을 맡기는 것은 생활 리듬을 바꾸는데 도움이 된다. 또한 숲 속의 나무에서는 심신을 전환시키는 성분(피톤치드)이 발산되고 있어 스트레스 해소에 매우 효과적이다.

- 적당한 운동을 한다.

· 적당한 운동을 하면 만족감과 해방감, 심신전환 효과를 얻을 수 있어 신체적, 정신적으로 스트레스를 해소하는 데 도움이 된다. 운동은 손쉽게 할 수 있으며 편안한 환경에서 자신이 좋아하는 운동을 한다.

3. 정책 및 시장 동향 분석

가. 국내 정책 및 시장 동향 분석

○ 제7차 국가교통안전기본계획(2012~2016) 수립

- 철도안전 계획지표 수립 및 발표

계획지표		2010년	2016년	2021년
철도	주지표 : 1억km당 사망자수(자살제외)	42	37	34
	1억㎞당 열차사고 발생건수	10.9	9.7	8.4
	여객 10억인 ㎞당 사망자수	0.22	0.18	0.16
	대형철도사고 미발생(5년 누계)	Zero	Zero	Zero

· 제6차 계획기간 중 안전대책 기대효과 반영

· 10년 주기로 발생하는 대형철도참사의 예방에 초점

- 대형 철도사고 예방시설 확충

<< 추진목표 >>

5년 평균 열차사고 발생건수 5.4건('10) → 4.9건 이하로 감소
5년 평균 운행장애 발생건수 400건('10) → 350건 이하로 감소

- 역사 내 철도 사상사고 예방시설 보완

<< 추진목표 >>

철도안전사고 발생건수 92건('10) → 83건 이하로 감소
철도교통사고 발생건수 204건('10) → 183건 이하로 감소

- 철도보호지구 및 취약구간 관리강화

· 선로침입 및 선로주변 공사로 인한 운행열차의 지장은 대형철도사고로 연결되거나 장시간 운행지장을 초래

· 수색역 공사장 지반침하사고, 선로 변 외부 작업장비의 선로침입 등으로 10년간 24건의 철도사고(외부침입)가 철도보호지구에서 발생

· 철도 운행선로, 역사 등 시설물의 지속적인 개량과 안전관리로 운행 중 사고 및 역사내 안전사고 예방필요

· 철도보호지구 운영지침 보완 및 사고발생 취약구간 지정(국토부, 철도운영기관, ～'16)

· 사고 시 심각도에 따른 보호지구의 등급, 점검주기 설정

· 보호지구 내 사고예방 표지, 신고요령 홍보

· 사고발생 취약구간 지정 및 중점관리(운영기관)

· 선로 변 울타리 설치 및 감시설비 지속설치(운영기관)

- 교통약자 이용 시설물의 안전관리 강화

· 교통약자 이용 시설물의 안전관리 수행(운영기관, '12～)

· 교통약자 이용 시설물의 설치확대 및 일반인 이용 제한

· 승강기 운행속도·비상정지 위치 조절

- 재해예방을 위한 노후철도 시설물의 관리

· 노후철도 시설물의 개량 및 유지보수 지속수행(운영기관, '12～)

· 재해, 재난을 대비한 시설물의 보강 및 점검

· 선로 등 노후 시설물의 교체·개량·안전진단 수행

○ 철도사고 예방 기술개발 및 종합시험선로 구축(～'15)

- 열차의 충돌·탈선·화재 안전성 실시간 감시제어 기술개발

- 종합시험선로 구축(루프형 13.8km)으로 철도용품·기술의 개발, 성능 검증 및 수출에 활용(～'14)

- IT 기술을 활용한 철도안전관리 효율화

· IT기술을 활용한 안전관리의 효율화(운영기관, '14～)

· IT 기술을 활용한 정보지원(유지보수, 점검, 비상대응) 컨텐츠 개발

· IT 기술지원을 위한 관련 장비의 확보 및 프로그램 개발

○ 국토해양부 철도부문 예산 확대

- 국토해양부의 2011년도 예산규모가 전체적으로 감소한 가운데, 철도부문의 예산은 전년대비 7.1% 상승한 4조 4,985억 원을 기록하여 정부의 지속적인 철도분야에 대한 투자의지가 반영되었음

· 2008년 이후 경제위기의 조기극복을 위한 한시적인 도로 및 철도 부문의 SOC 예산 증가가 이루어졌으나, 경제정상화 추세에 따라 그 규모도 재조정되었음

· 그러나 철도부문의 예산은 2010년 조정 이후, 2011년도에 다시 증가하여 지속가능한 녹색성장 추진을 위한 단계적인 정부 투자 확대 계획을 반영하고 있음

· 또한 철도부문의 투자는 기존 철도의 복선화 및 전철화, 시설투자 확대 등을 통해 철도수요를 증가시키고 철도운영의 효율화를 추진하기 위한 기본방향에 적합하도록 확대되고 있음

○ 제2차 철도산업발전기본계획 수립

- 철도산업발전기본법 제5조에 근거하여 철도산업 관련 정책을 종합하고 체계화하는 기본계획이 수립되었으며 1차 기본계획(2006~2010)의 종료에 따른 2차 기본계획(2011~2015)임

- 세계 일류 철도국가로의 도약을 비전을 제시하고 있으며, 2015년까지 달성해야 할 목표를 제시하였음

· 수송분담률 제고(수송인Km) : 15.9%('08) → 24%('15)

· 철도사고 감축(백만Km당) : 0.108건('10) → 0.100건('15)

· 철도 기술력 제고(선진국 대비) : 74%('09) → 95%('15)

· 해외진출 확대(차량시장 점유율) : 2%('09) → 4%('15)

- 주요 추진계획으로는 KTX 고속철도 중심의 국가철도망 구축, 고객 지향적 서비스 제공 및 철도운영의 경쟁력 제고, 녹색철도물류 활성화 기반 마련, 세계 최고수준의 철도안전 확보, 미래성장동력 확충 및 해외철도 진출기반 강화가 있음

- 향후 5년간 철도산업에 총 48.6조원을 투자할 계획을 수립하였으며, 이를 통해 철도 인프라 확충, 고부가가치 수출전략산업으로의 육성, 친환경/에너지 고효율/안전 중심의 철도교통서비스 제공 등을 계획하고 있음

○ 제2차 철도안전종합계획

- 철도안전법 제5조 및 제6조에 의거하여 철도안전정책의 발전방향을 제시하는 국가종합계획이 2010년에 수립됨

· 철도안전을 종합하고 체계화하는 법정 기본계획으로서 재난 및 안전관리기본법 제22조에 따른 국가안전관리 기본계획, 교통안전법 제15조에 따른 국가교통안전기본계획, 철도산업발전기본법 제5조에 따른 철도산업발전기본계획과 연계되어 있음

· 철도안전종합계획의 주요내용은 추진목표 및 방향, 철도안전시설의 확충·개량 및 점검, 철도차량의 정비 및 점검, 관련 법령의 정비 등 제도개선, 교육훈련, 연구 및 기술개발에 관한 사항임

- 인구구조 변화에 따른 교통약자의 철도이용 증가, 고품질 철도서비스에 대한 요구 증대, 테

러 및 철도파업 발생에 따른 사회적 파장 확대 가능성으로 인하여 철도안전에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있음

- 제2차 계획의 추진방향으로 안전관리 효율화 및 제도개선, 철도운영기관 자율과 책임강화, 인적요인의 체계적 관리, 사고원인분석에 기초한 안전관리가 제시됨

  · 철도 시설 및 차량 등에 대한 하드웨어적인 투자성과를 고려하여 향후에는 시설 및 차량에 대한 효율적 안전관리 방안 마련에 중점을 두며 이에 대한 예산이 4,910억 원 규모로 1차 계획시보다 1,680억 원 가량 증가됨

  · 그동안 화재안전설비, 역사 내 안전설비, 승강장 스크린도어 설치 등에 예산이 주로 투입되어 향후에는 철도시스템의 종류, 운행여건에 따른 안전설비 투자가 필요함

  · 사고원인 분석 중심의 안전관리를 실시하고 철도사고 위험도 평가, 안전과 관련된 정보시스템의 운영 등을 계획

- 철도차량의 안전성 향상을 위해 IT기술을 활용한 철도안전관리 효율화, 다자간 무선통신망 구축, 노후 철도차량의 관리강화, 차량 검수시설 및 장비의 현대화 등의 추진과제를 제시하고 있음

○ 철도투자 확대를 위한 철도투자평가 편람 개정

- 국내 교통정책의 패러다임도 저탄소 녹색성장 시대에 적합한 지속가능한 친환경 교통체계 구축으로 변화해가면서 철도에 대한 관심과 투자가 확대되고 있음

  · 저탄소 녹색성장에 기여할 수 있는 철도투자에 대한 평가체계가 녹색가치를 충분히 반영하지 못하고 현재 당면하고 있는 국가차원의 에너지 문제, 도로 투자사업과의 형평성, 투자타당성 조사 시 반영하고 있는 자료의 업데이트 측면에서 개선이 필요하다는 지적이 있었음

- 이러한 문제점을 보완하기 위해 2010년 철도투자평가편람을 전면 개정하여 철도투자를 확대할 수 있는 근거를 마련하였음

  · 경제성 분석기준을 철도시설의 실제 내구연한에 맞추어 30년에서 50년으로 연장하였으며 사회적 할인율은 완공 후 30년까지는 5.5%, 30년 이후에는 4.5%를 적용하도록 변경함

  · 수요분석 및 차량운행비용 절감편익 분석에서 유가변동성을 반영하여 유류비 보정계수를 적용 및 계산토록 함

  · 유류비 산정을 2009년 자료로 업데이트하였으며, 유지보수비 및 감가상각비 등도 최근 자료를 활용하여 재산정하고 공사비의 경우에도 2006년 개정된 건설공사 표준품셈을 적용하였음

  · 운영 및 유지보수비에 포함되어 있는 영업비용(판매관리비)를 제외하여 비용 과다계상 요인을 없앴음

· 교통사고 절감편익 계산 시 도로부문은 물적피해(차량손해, 대물피해)를 제외하고 있으나 형평성 측면에서 모두 고려하여 산정토록 함

○ 행안부는 공공기관이 설치한 CCTV 관리의 효율성을 높이고 영상정보 공동 이용을 활성화하고, 범죄예방을 극대화하기 위한 취지로 통합관제 센터 구축을 지원하고 있음.

- 실제 방법용 CCTV 중 기차·지하철 안전관리용으로 활용되는 CCTV가 1만9,494대로 8%를 차지하고 있음.

○ 서울시 도시교통본부에서는 지하철 내 범죄를 예방하고, 보다 안전하고 쾌적한 지하철 이용환경을 제공을 위하여 서울 지하철 2호선과 7호선 열차에 CCTV 1천7백대 설치를 확정함.

- 혼잡도 높은 2·7호선에 시범 설치하고, 2호선 신형 열차 및 7호선 모든 열차 1량 당 2대씩, 총 1,704대 설치 확정.

- 비상인터폰 울리면 기관실·관제소에 해당 열차 내부화면 즉시 표출.

○ 철도터널 화재감시시스템 설치기준 추진

- 2012년 7월 국내 철도고속선 최장터널인 금정터널(20.3km)에서 고속철도열차가 비상정차하였으며, 8월 부산 대티역 전차선 비락으로 인한 전동차 화재사고 등의 영향으로 철도터널 및 지하구간의 실시간 화재감시시스템 필요성이 재차 부각되고 있음.

- 국토해양부는 “철도터널에 화재감지기 설치기준을 마련토록”하라는 감사원의 요청에 따라 2012년 철도터널용 화재감지기 설치기준을 마련하고 있으며, 방화셔터 등 화재감지기와 연동되는 설비에는 CCTV 등 영상감시장치를 부가설치토록 추진.

○ 위험도 평가를 반영한 성능중심 안전관리 체계 도입

- 철도차량안전기준에관한규칙에 의한 철도차량 위험도 평가 규정과 철도시설안전기준에관한 규칙의 철도터널의 안전성 평가에 관한 규정에 의하여 표준화재 시나리오에 기반한 안전성능 관리가 적용되고 있으며 안전성 평가 결과에 따라 결정되는 설비의 범위가 점차 확대되고 있음.

- 2012년 현재 철도안전법 이하 국가기준 중심의 안전관리 규정을 형식인증 체계로 전환하는 개정 작업을 진행하고 있으며 자체적으로 안전인증의 입증을 위하여 위험도 평가 체계의 안전성능 입증 방법이 더욱 확대될 것으로 예상됨.

○ 고속열차, 틸팅열차 및 기존선로 개량 등 운행속도 향상으로 대형사고 발생 시 피해증가 예상

- 고속철도망 구축에 따른 장대 터널 및 교량구간 증가

- 열차운행밀도 증가로 인해 철도사고・장애 처리 시간부족

- 고속운행중 발생사고('94년 ICE탈선 사고, '05년 일본 열차탈선사고)

· 터널·교량에서 발생한 사고(대구지하철 사고)는 대형인명피해로 연결

○ 교통수단간 경쟁을 통한 고속화 대량수송 확대전망

- 교통수단간 효율적 연계시스템 구축 및 도심접근 시간 단축을 위한 광역 철도망 확충 등으로 이용객 증가 전망

- 철도예약·할인·정기권 운영 등 다양한 고객서비스 제공에 따른 이용객 증가 전망

- KTX 좌석점유율 증가 : 63%('04)→ 72%('09)

○ 저탄소 녹색성장정책 추진 및 유가상승으로 인한 도로차량 이용자의 감소 및 철도이용객의 증가 전망

- 장거리 이동여객의 증가 및 화물수송량 증가전망

· 철도이용객수 증가 : 29.5억명('04)→ 38.7억명('09)→ 48.2억명('15)

○ 철도교통 투자확대로 운송여건이 개선됨에 따라 철도를 이용한 위험물 및 화물의 운송량 증가

- 석유 화학물·화약류 등 철도를 이용한 위험물 수송 증가

- 화물 수송 및 화물열차 운행 증가에 따른 안전관리 필요

· 익산역('77년 이리역)·용천역('04년 북한) 화물열차 폭발사고 등

· 화물수송량 확대 : 6.2%(4,450톤, '09년) → 20%('20년)

○ 저탄소·녹색교통 수단인 철도로의 화물수송 증대를 위한 시설투자 확대로 운행선에서의 공사 중 사고증가 우려

- 시설물 개량, 장대열차·2단 적재열차 운행을 위한 화물역사 개량 등 운행선 공사 증가에 따른 직무사고 증가

- 노후 화물열차 운행빈도 증가에 따른 사고위험 증가

- 최근 5년간 발생한 열차탈선 사고의 60%가 화물열차에서 발생

○ 경량전철(무인운전), 틸팅열차, 자기부상열차 도입에 따라 기존에 발생하지 않았던 새로운 형태의 사고 발생가능

○ 철도-도로간 효율적 연계시스템인 복합교통수단 도입에 따른 새로운 형태의 사고 발생가능

- 환승 전철역, 터미널 등에 상업·문화·업무 기능이 결합된 복합환승센터 확충에 따른 문제점 대두 가능

- 역세권개발, 연계환승 과정의 안전사고 예방강화 필요

○ 소규모 철도안전관리 전문 인력이 운영하는 소규모 철도운영기관에 대한 국가차원의 기술 지원 필요

- 대형사고 발생 시 자체적인 대응과 수습에 한계 예상
- 국가차원의 지원 및 기관 간에 협력이 필요한 자연재해, 테러위협, 불법행위 증가 추세

○ 철도운영 경험이 부족한 신규노선·기관의 증가로 인해 철도사고 위험성이 증가할 것으로 예상

○ 호남고속철도, 경부고속철도 2단계, 공항철도 2단계, 경량전철, 도시철도 신규노선(대구 3호선 등) 운영 예정

○ 운행선 주변 공사장설비, 도로자동차, 공중의 선로 침입으로 인한 철도사고 및 운행 장애의 지속적인 발생

- 열차지연 및 종사자의 업무부담 증가와 추가적인 안전설비 설치운영에 따른 철도운영자 부담 증가

○ 고속철도시스템 해외진출 및 기술이전에 대응한 안전요건/안전인증 요구

- 브라질, 미국 등으로의 고속철도시스템 해외수출을 위한 국가적인 노력 전개
- 시스템 안전계획/안전인증 필수요건

나. 국외 정책 및 시장 동향 분석

○ 유럽연합(EU) 출범을 계기로 철도안전에 대한 통일된 기준 설정 노력 진행 중

- 철도안전에 대한 정보공유 및 철도시장 개방 가속화
- 철도안전 전문 인력의 교류 확대와 국가별로 통합되고 등급화된 자격제도 운영
  · EU 철도안전규정 2004/49/EC에 목표설정, SMS 운영, 기관사 자격제도, 안전인증, 안전정보 공개 관련 내용명시

○ 유럽연합 역내 국가 간 철도안전과 관련된 주요지표·정보의 투명한 공개 추진

- 해당 국가 여행자에게 교통수단에 대한 선택 시 안전을 고려할 수 있는 권리 부여
- 통일된 기준에 따른 안전목표, 안전지표, 사고통계 산출
  · 공통안전목표(CST), 공통안전지표(CSI)를 2008년부터 운영 및 국가별 사고통계자료를 철도안전성능보고서에 공개 중

○ 대형철도사고 발생에 대한 우려 증가

- 철도시설 및 차량 등 설비 낙후에 따른 대형 철도사고 발생빈도 증가 및 탑승객수 증가에 따라 피해확대
- 테러, 선로침입, 자연요인으로 인한 사고 지속 증가

○ 전 세계 열차사고 중 60% 이상을 건널목 사고가 차지

- 철도운영자 과실에 의한 사고는 지속적인 감소추세
- 운영에 지장을 초래하는 외부요인 사고비율 지속 증가

○ 철도종사자의 오류로 인한 대형철도사고 빈발

- 일본, 미국, 네덜란드 등에서 최근 발생한 대형 인명피해사고의 주요 원인은 종사자의 인적 오류에 의해 발생
- 기관사 및 관제사 자격에 대한 국가 간 상호인증 노력

○ 국가 간 철도이용 확대에 따른 안전성 상호 검증 연구

- 기관사·관제사의 의사소통능력, 정보전달 프로토콜 등 에 대한 논의 및 연구수행
- 국가별·운영기관별 철도안전 자료의 공개를 통해 국민의 철도이용 시 선택권 부여 및 철도사업자간 경쟁유도

2절. 기술동향 및 수준분석

1. 타 산업 분야의 인간공학 및 인적오류 연구 동향 검토

○ 인간공학은 직업병의 방지를 위한 인체역학 및 안전공학의 일부를 이루며, 자동차산업과 항공산업에도 크게 이용되고 있음. 자동차의 의자, 패널 등의 내장설계에 이용되어 보다 안락한 실내공간을 제공하기 위한 연구가 수행되고 있으며, 항공기 내장(Cockpit) 설계와 부대시설(Airbag, Ejection seat, Helmet 등) 설계에도 중요한 역할을 담당

○ 지금까지의 상업용 비행기로서 가장 안락하게 설계되었다는 Boeing 747 등이 그 예이며, F/A-18 전투기의 HUD(Head Up Di- splay: 시야의 움직임에 맞추어 표시장치나 계기를 움직여주는 장치) 등은 신체적 자유를 주면서도 효율적으로 정보를 제공해 주는 역할을 하고 있음

○ 특히 인간공학은 산업체뿐만 아니라 미국을 중심으로 하여 군사적인 목적에 활발한 연구가 진행 중임

○ 군용 탱크, 전투기, 잠수함, 우주선 등 좁은 공간에서 엄청난 양의 정보를 처리하고 그에 따른 임무를 수행하여야 할 때, 인간의 적정 정보 처리 능력과 합리적인 작업부하(Mental and Physical Stresses)를 연구하는 것이 요구됨에 따라 미 공군, 해군 및 NASA에서 이에 관한 연구가 활발하며 최근에는 우주공간에서 장기체류임무 시에 조종사의 업무능력에 관한 연구가 진행 중임

○ 특히 미국 국방부(Department Of Defence)는 군사적 목적으로 사용하기 위한 장비 및 설비에 대해 인간공학적 디자인 기준으로 MIL-STD-1472D를 제시하였고, MIL-STD-1472D는 군사적 목적 외에도 산업체에서 광범위하게 사용되고 있음

○ 한편으로 일본 정부에서도 2000년대의 미래 사회에 필요한 국책과제 중의 하나로 인간공학 연구가 진행되고 있음

○ 인간공학의 연구결과는 실제 제품개발에도 많이 응용되고 있으며, 최근에는 감성공학이나 하이터치(High-Touch) 제품의 개발 등이 이의 성공 사례할 수 있음

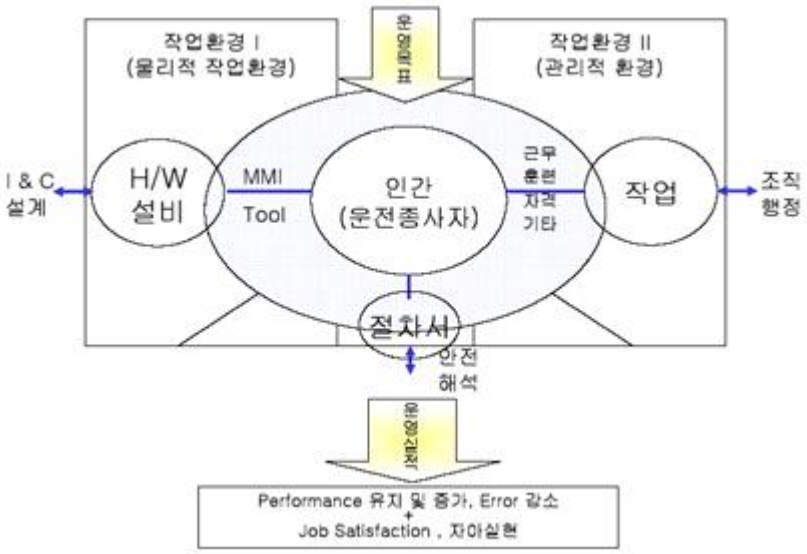
○ 이는 제품개발에 있어서 그 제품을 이용하는 사람의 행동특성이나 인간성능을 연구함으로써 사람의 잠재 욕구를 최대한 충족시켜 줄 수 있는 기능들을 선별하고 실제 제품기능이나 설계사양에 연결하여 사람의 만족도와 부가가치를 최대한 높이려는 노력임

○ 손의 피로도를 줄이고 입력속도를 높여주는 인간공학적 키보드, 시청자의 위치에 따라 움직이는 TV, 음성을 인식하는 마이크로웨이브 오븐의 개발 등이 그 예임

○ 또한 인간공학적인 신발이나 의자, 실내 공간 설계, 업무환경의 인간공학적 개선 등 인간공학을 실제 적용시킨 많은 예를 찾아볼 수 있음

○ 위와 같이 인간공학은 연구분야와 적용분야가 다양하여 관련 연구가 활발하게 이루어져야 하며, 사회가 발전할수록 그 필요성 역시 증대되고 있음

○ 인적오류에 관한 연구는 1979년 TMI 원전사고의 발생을 계기로 국내외 산업 중 한국원자력연구소를 중심으로 연구가 진행되었고, 원자력 분야의 인적요소 관리체계는 아래의 그림과 같음



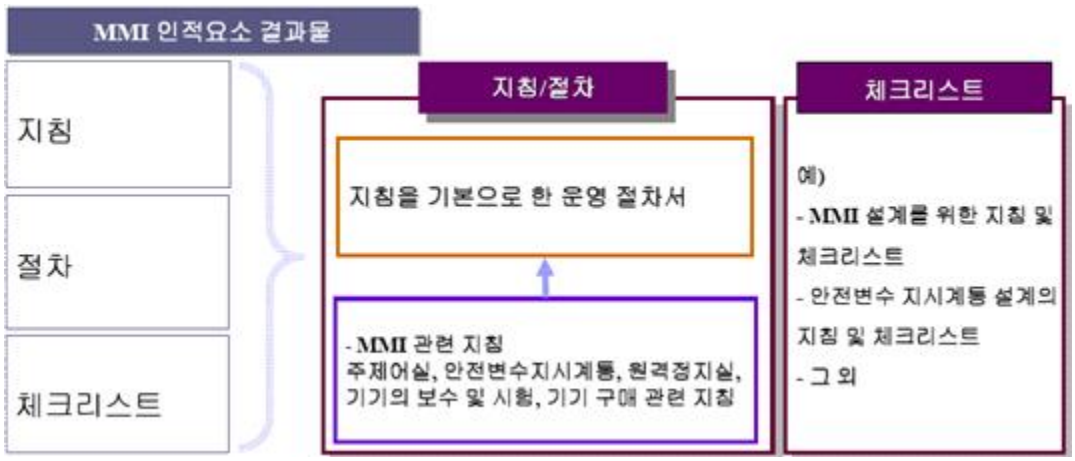
<그림 14> 원자력분야의 인적요소 관리체계

○ 원자력 분야의 인적요소 관리는 아래와 같이 인적요소 관리업무와 분야별 세부기술기준 및 사양 관리로 구분됨

<표 30> 원자력분야의 인적요소 관리 세부 항목

개발 분야	세부 분야 (PSR 요건 항목 의거)	개발 형태
인적요소 관리 업무	인적요소 종합 관리 절차 및 지침	업무절차서(지침서)
	. 의사결정 체계(절차 및 지침)	업무절차서(지침서)
	. 인적요소 현안 관리 체계	업무절차서(지침서)
세부기술기준 및 사양 (분야별)	. 인간-기계연계체제(MMI) 분야	기술기준서
	. 절차서 인적요소 분야	기술기준서
	. 근무 관리 분야	기술기준서
	. 자격 및 교육훈련 분야	기술기준서
	. 운전경험 관련 분야	기술기준서
	. 공통 인적요소 분야	기술기준서
기타	. 현안관리 및 의사결정 지원시스템	전산S/W(?)
	. 인적요소 현안 데이터베이스	현안 정보 (Database)
	. 인적요소 세부 점검표 (6분야별)	점검표(별책)(I~ VII)
	. HFMP 실무 평가 및 사례(지침)	기술주제보고서

○ 원자력분야의 인적요소 관리 세부 항목 중 본 제안서와 밀접한 관련이 있는 인간-기계 연계체제(MMI) 관리 형태는 아래의 그림과 같이 지침, 절차 및 체크리스트로 구성됨



<그림 15> 원자력분야의 인간-기계 연계체제(MMI) 관리 형태

2. 차량 운전석의 디자인 동향

○ 철도차량의 운전자 입장에서의 실내 디자인을 위해 필요한 요소들은 운전자의 안락성 보장, 조작이 용이한 기기배치, 운전자의 위험성 배제, 차량 공간 확보 및 조화, 넓은 시야확보 등이며, 이를 위한 운전자 데스크의 향상, 위치, 재질 및 색상, 조작기기 방식 및 형태, 운전실 좌석의 형상 및 색상 등이 고려되어야 함

○ 아래의 그림은 각종 고속철도 차량의 운전실 데스크를 비교한 것으로 대부분의 경우가 단순한 구조를 갖고 있음



<그림 16> 각국의 고속철도 운전실 데스크

○ 전면창과 조화를 시켜 넓은 시야를 확보하고 있고, 차량의 상태를 확인하기 위한 기기는 아날로그 방식과 디지털 방식을 혼용하고 있으며, 최신 고속철도 차량일수록 디지털 방식을 채택하고 있음

○ 조작 기기들은 운전자의 피로감이 최소화될 수 있도록 전면 중앙에 사용도가 많은 스위치를 운선 배치하고, 그 밖의 스위치들은 중요도와 활용도를 고려하여 배치하고 있음

3. 영국 철도의 인적오류 연구 동향 검토

○ 영국은 모든 철도사고 중에서 최소한 60~70% 이상이 인적오류가 주원인인 사고로 분석하고 있으며, 유사한 사고의 발생을 예방하고 피해를 최소화하기 위한 인적오류 관리 방안으로 인적오류 분야의 투자를 확대하고 있음

○ 영국에 있는 Network Rail(철도시설관리자)과 RSSB (Rail Safety and Standards Board) 두 기관은 대학연구소, 정부기관 등이 참여하는 인간공학에 관련된 대형 프로젝트를 공동연구하기로 합의하였음

○ 주요 사업은 인체특성을 반영한 가이드라인과 기초 연구들에 대한 사업을 Network Rail를 중심으로 실시하고, 구체적인 응용과 기술개발은 RSSB와 정부가 공동 출자를 해서 철도시스템에서의 인체공학 분야를 발전시키겠다는 것이 합의 요지임

○ RSSB에서 강조하는 사업은 다음과 같음

- 기관차 운전실, 사령실, 신호센터 등에 대한 인간공학 평가 및 설계 기술개발
- 철도종사자 선발, 평가, 역할 정의 및 훈련체계 개발
- 기관사의 인적신뢰도 분석 기술 분야
- 운행 중 교신시스템과 제어시스템 개발
- 기관사의 주의력 향상 프로그램 개발
- 신호, 경고에 관련된 교육
- 승무원(기관사)의 과실 관련 정보 수집
- 철도문화에서 인간시스템의 적용 방안

○ Network Rail에서의 주요 목표는 다음과 같음

- 객차에서의 승객안전을 위한 공간설계
- 건널목에서의 사고예방을 위한 안전 설계
- 철로의 신뢰성과 효율적 운영을 위한 설계
- 분산된 작업장의 교류를 통한 협업시스템
- 인간중심적 신호체계 개발
- 인체적, 공학적 안전설계를 위한 가이드라인 개발 등

가. 영국 RSSB의 GSM-R(Global System for Mobile Communications-Railway) 열차통신(voice radio)시스템의 Human Factor 관련 평가 사례(2004)

○ 2004년 영국에서는 기관사와 신호원간의 통신장비인 handset, control/display 장치, 스피커로 구성된 GSM-R 열차통신시스템이 도입이 예상됨에 따라 영국 RSSB에서는 철도차량 운전실 내 GSM-R의 설치장소에 대한 인간공학적 평가를 수행

○ 평가를 위해 자료조사를 통해 인간공학적 평가 원칙과 Guideline을 작성하고, GSM-R의 3가지 장치의 설치 위치를 평가함

a. Control/display 장치



b. Handset



c. 스피커



<그림 17> 영국 GSM-R의 구성 장치

○ 평가방법으로 인체측정모형, 사용자참여, CAD 모형에 의한 방법이 검토되었고 객관성, 평가측정 용이성 등 측면에서 철도차량 운전실 모형에 의한 방법을 사용함

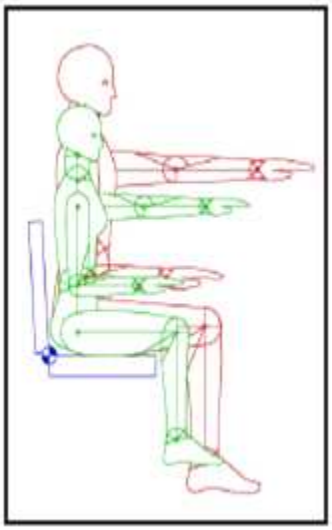
a. 인체측정모형



b. 사용자참여

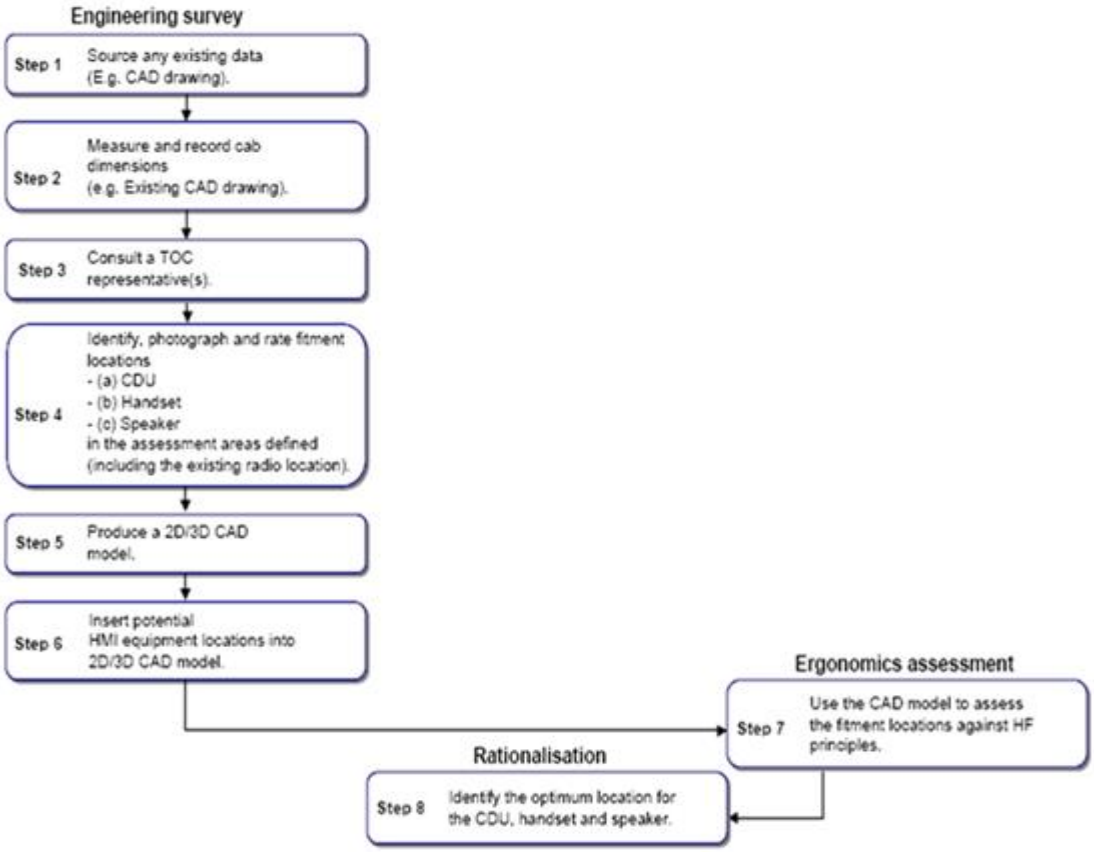


c. CAD 모형

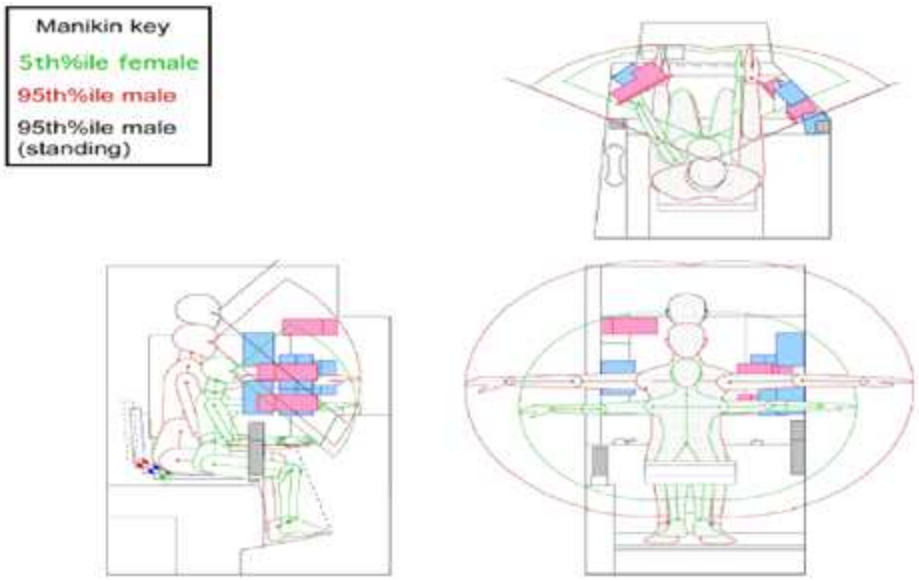


<그림 18> 철도차량 운전실 인체공학적 평가방법

GSM-R 설치장소에 대한 인간공학적 평가절차는 다음과 같음



<그림 19> GSM-R 설치장소에 대한 인간공학적 평가 절차

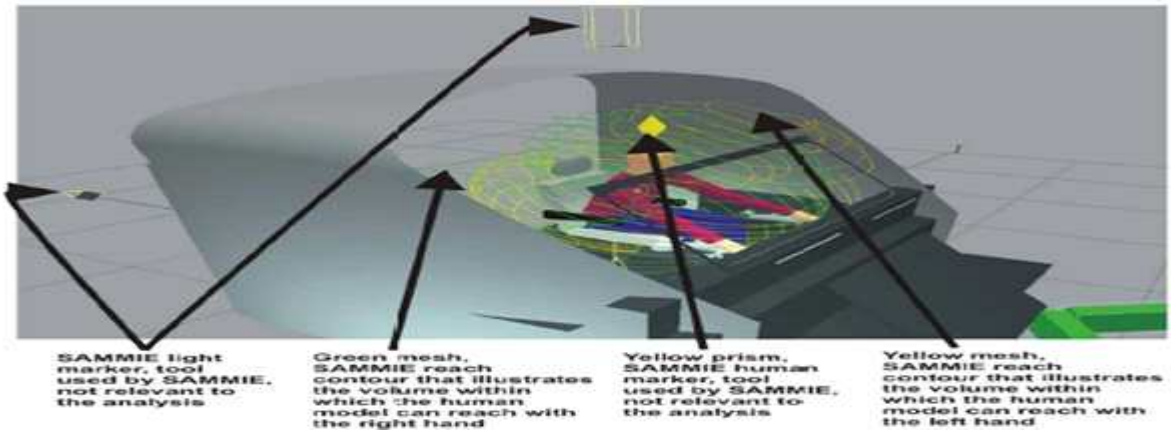


<그림 20> GSM-R 설치장소에 대한 CAD 모형 절차

나. 영국 RSSB의 고속열차 Class 43 Human Factor 관련 평가 사례(2007)

○ 영국 RSSB는 철도산업에서 「Requirements for Driving Cabs of Railway Vehicles(Railway Group Standard, GM/RT 2161)」의 적용을 용이하게 하고, CAD 프로그램을 이용한 철도차량 운전실의 설계 평가의 용이성을 평가하기 위해 시험적으로 고속열차 Class 43에 대한 평가를 수행

○ 평가에서는 인간공학 설계평가 전문 CAD 프로그램인 SAMMIE CAD가 이용됨



<그림 21> SAMMIE CAD를 이용한 철도차량 운전실 평가

○ 본 프로젝트에서는 영국 기관사의 표준인체 치수모형에 관한 연구도 진행



<그림 22> SAMMIE CAD를 이용한 영국 기관사의 표준인체 치수모형

○ 고속열차 Class 43의 운전실에서 가시성, 설비 및 의자의 인간공학적 디자인 측면에서 개선사항을 도출함

4. 미국 철도의 인적오류 연구 동향 검토

○ 미국연방철도청(FRA)은 상원세출위원회(Senate Appropriations Committee)의 요청을 받고 철도연구개발 사업에 대한 5개년의 전략계획을 수립하고 2002년에 보고서를 제출함. 이 계획은 인적요인에 대한 연구 항목을 포함하고 있으며 요약하면 다음과 같음

- 철도 건널목(Grade Crossing) 사고의 인적요인 분석 및 대책 연구
  - · 건널목에서의 자동차 운전자의 운전 특성 규명 연구
  - · 자동차 운전자의 주의 환기 방법 및 차단 수단 연구
  - · 주의 환기 방법 및 차단 수단의 실험적 적합성 규명 연구
  - · 철도 건널목 설계기준 수립
  - · PTSD(Post-Accident Traumatic Stress Disorder)를 겪고 있는 열차 운전원을 위한 대처 기준 수립
- 열차 운영 안전 연구
  - · 철도 운영 직무에서 발생되는 fatigue 연구
  - · 철도 운영 직무에서 발생되는 fatigue 감지, 관리 및 대처 수단 연구
  - · 철도 운영 직무의 인적신뢰도 분석 연구
  - · 열차 운전자의 작업부하 및 경각심(alertness) 연구
  - · 열차 운전자의 경각심을 연속적으로 실시간 감시할 수 있는 기술
  - · 열차 배차원(dispatcher)의 지적확인환호(readback/hearback) 기술을 향상을 위한 훈련 수단 개발 연구
  - · 운전지원기술 및 자동화 기술 도입에 따른 운전원의 직무수행 특성 연구
  - · 열차 배차원의 훈련요건 및 평가 기준 개발 (보수교육 포함)
  - · 최신 정보표시 기술을 이용한 정보표시 기준 개발
  - · 최신 정보표시 기술을 이용한 MMI 개발 연구
  - · 철도 운영 요원간의 상호 작용 특성 연구
  - · 급격한 작업부하 변동에 따른 직무수행 특성 연구
  - · 급격한 작업부하 변동의 영향에 대한 대처 연구
  - · 철도 운영 요원간의 (음성통신에서 디지털 통신으로) 통신 방법 변환에 따른 직무수행 특성 연구
  - · 철도요원의 인지적 직무분석 기법 연구

· 열차 운전원의 교육 훈련 요건 개발

· 시뮬레이터를 이용한 시험환경 구축 요건 개발

· 인간공학 실험 및 교육 훈련용 시뮬레이터 개발

- 보선원 등 현장 요원 안전 연구

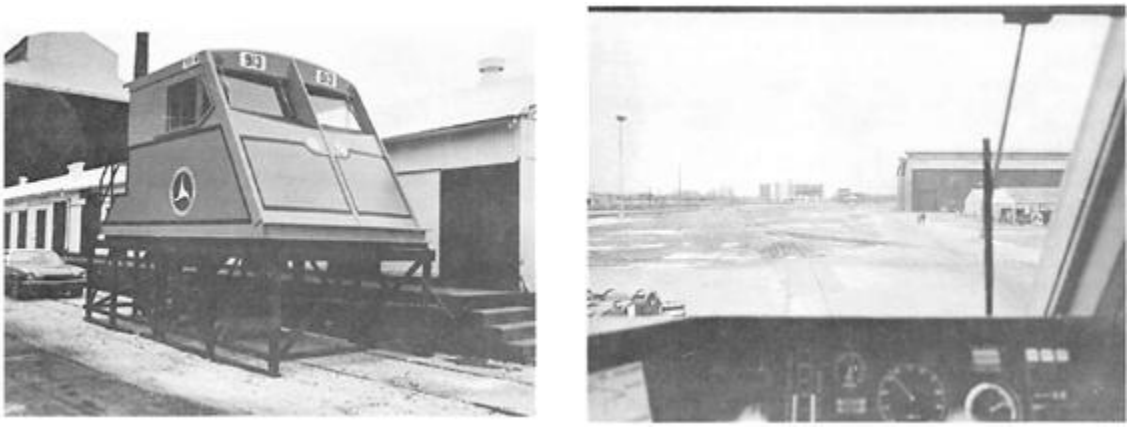
· 보선원 등 현장 요원의 직무수행 특성 분석 및 대처 방법 연구

· 보선원 등 현장 요원이 수행하는 직무로 인한 사상 사고의 원인 규명을 위한 인간공학적 현안과 Root-Cause 분석 연구

○ 미국 DOT의 Locomotive cab design development-Performance evaluation test(1976)

- 미국 DOT는 신형 화물열차의 기관차 개발 프로젝트를 진행하면서 철도차량 운전실 디자인에 대한 인간공학적 평가를 수행

- 평가는 설계된 화물열차 기관차의 mock-up 모형을 만들고, mock-up 모형 내 설비별로 12명의 전문가가 인간공학적 평가를 수행하는 방식으로 진행됨



<그림 23> 기관차 Mock-up 모형

- 해당 프로젝트에서는 인간공학평가에 규정, 지침 등이 없는 상태에서 장치별로 점수를 매기는 방식으로 전문가에 의한 아래와 같이 주관적 평가가 수행됨

FEATURE

TRAIN BRAKE

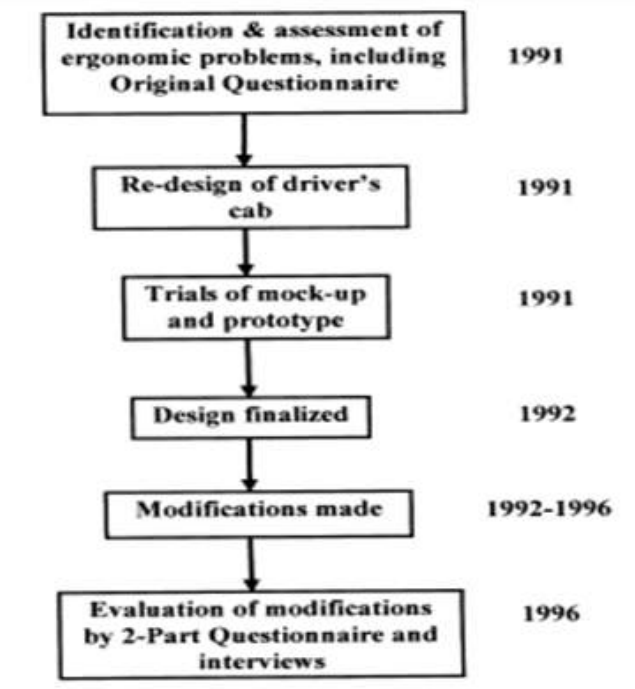
ITEM	RATING 1	2	3	4	5	6	7	MEDIAN	MODE	RANGE
TRAIN BRAKE LEVER	-	1	-	3	3	3	2	5.2*	4,5,6	2-7
RESET POSITION	-	-	-	1	2	3	6	6.5	7	4-7
RELEASE POSITION	-	-	-	3	1	3	5	6.2	7	4-7
MINIMUM REDUCTION POSITION	-	-	-	2	1	5	3	6.0	6	4-7
SERVICE RANGE POSITION	-	-	-	2	2	3	5	6.2	7	4-7
FULL SERVICE POSITION	-	-	-	2	-	4	6	6.5	7	4-7
SUPPRESSION POSITION	-	1	-	2	-	4	5	6.2	7	2-7

<그림 24> 설문 Rating 방식에 의한 철도차량 운전실 평가 사례

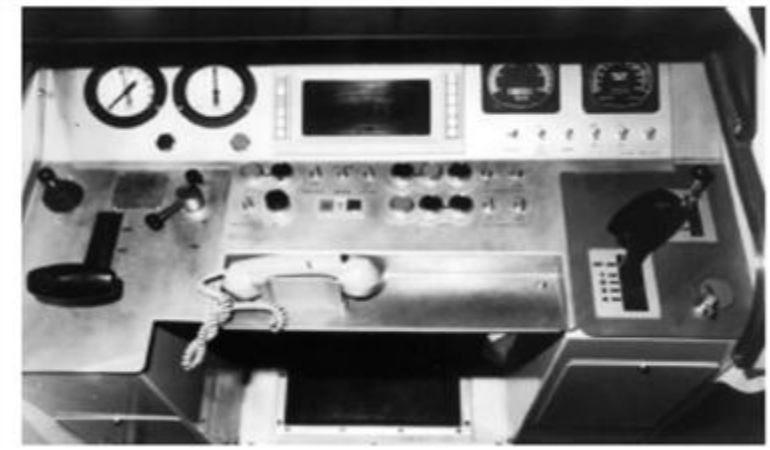
5. 호주 전동차 Tangara의 철도차량 운전실 평가 및 재설계 사례(2000)

○ 1990년 호주 시드니는 구형 전동차를 신형 전동차 Tangara로 교체하였으나, 신형 전동차 기관사의 팔의 통증을 호소함에 따라 호주 인간공학 협회가 신형 전동차의 인간공학적 문제를 규명하고 대안 마련을 위한 프로젝트를 시작

○ 이 프로젝트는 1991년부터 1996년 까지 6년간 수행되었으며 아래와 같이 기관사 작업 관찰, 설문조사, CAD를 이용한 인간공학적 분석 및 Mock-up 제작 순으로 진행됨

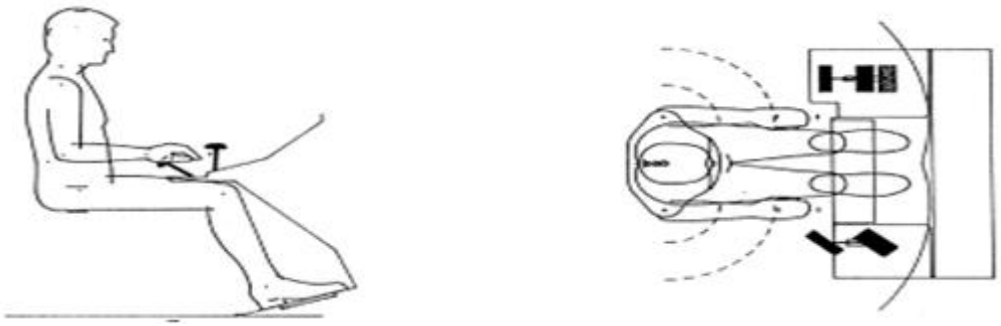


<그림 25> 호주 전동차 Tangara의 프로젝트 진행과정



<그림 26> 호주 전동차 Tangara의 Console

○ 대표적 문제로 아래와 같아 95% 유럽표준 남성에 대해 Console이 너무 작게 제작되어 다리가 Console에 걸리는 문제가 발생함. 이에 따라 기관사 의자를 뒤로 빼야 했고, 열차제어를 위해 손을 장시간 동안 뻗어야 하는 문제가 발생함



<그림 27> 호주 전동차 Tangara Console의 95% 유럽표준 남성에 대한 문제점

○ 또한 5%의 유럽표준 남성에 대해서는 다리가 foot-pedal에 도달하기가 힘들어 foot-pedal 대신 장시간 Console의 제어 판넬을 대신 이용해야 했음. 그러나 제어판넬 위의 master controller는 열차속도제어 및 Deadman 제어를 위해 장시간 45°시계방향으로 틀어야 했기 때문에 이 또한 기관사 팔의 통증을 유발



<그림 28> 호주 전동차 Tangara Console의 5% 유럽표준 남성에 대한 문제점

○ 새로 제작된 Mock-up 디자인에 대해 96%의 기관사가 만족하였고, 프로젝트 완료 5년 후인 2000년에는 새로운 디자인이 모든 신형 전동차에 적용됨

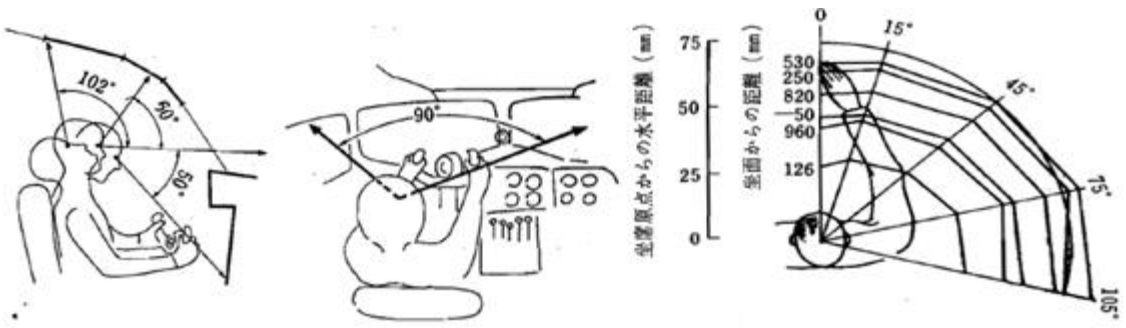
6. 일본 철도차량 운전실관련 기술동향 검토

○ 일본은 운전대의 전기기기의 디지털화에 의해 새로운 발전을 이루고 있으며 인간공학을 적용하여 운전자가 운전에 집중할 수 있도록 기술발전에 따라 운전대도 지속적으로 진화시켜 나가고 있음

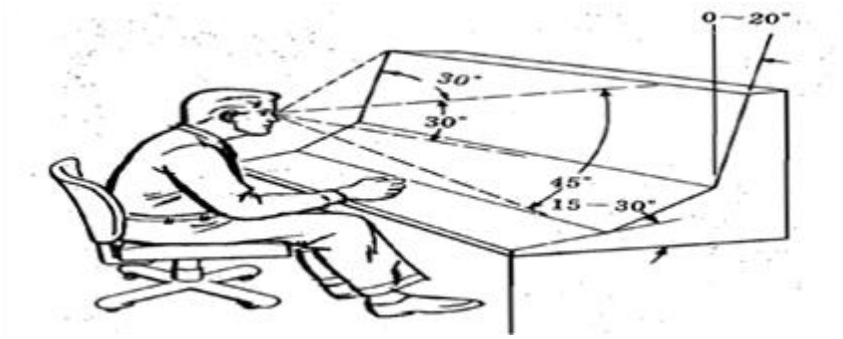
○ 인간공학을 운전대에 적용하는 방법으로써, 인간공학의 양상을 고려해 시스템적인 방법과 형상적인 방법의 두 가지로 접근

- 시스템적인 방법은 자동제어로 할지, 또는 수동제어로 할지, 수동제어로 하면 연속제어로 할지 유단제어로 할지, 또 연속제어로 하면 여유마력을 어느 위치로 산출하면 좋은지 등을 검토
- 형상적인 방법은 기기의 크기는 어느 정도가 좋은지, 속도제어 레버는 가속 시 손앞에 당길지, 반대쪽으로 밀지 어느 쪽이 제어가 편한지 또 에러가 적은가 등을 검토

○ 우선 인간의 시계, 신체의 움직임의 방향성, 움직임 양 등을 고려하여 운전대의 조작기기 및 지시기기를 배치

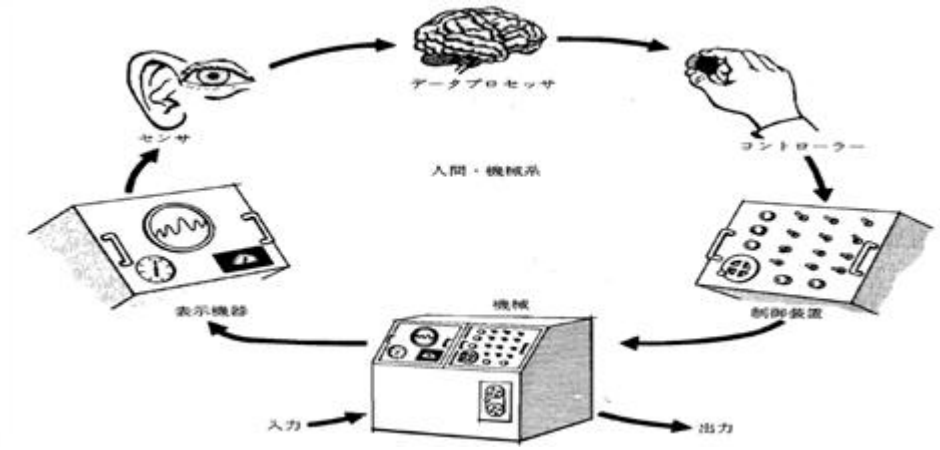


<그림 29> 수시 간시기기의 배치(좌) 및 입체작업



<그림 30> 표시장치배치의 적정위치

○ 또한 운전실 모든 기기를 분류하고 기기별로 용어의 의미를 정의하였고 조작기기의 구조에 대한 연구도 함께 진행되었으며 운전실의 충돌에 대한 안전성과 탈출기능, 화재에 대한 안전성 등도 검토



<그림 31> 인간·기계계 설명도

○ 의자, 시계장치, 연결기기 등의 작업성 검토와 더불어 조명, 색채조절, 진동 등의 환경적인 요소를 운전실 설계에 반영하는 연구도 수행되었음

<표 31> 최적조명 방법

사용조건		권장방법 및 권장치		
		조명방법	필요휘도(m-L)	휘도조정
계기판독	암순응 필요	적색광, 일광, 간접 또는 양쪽병용	0.01~0.03	전역 연속
	암순응이 있는 것이 좋다	적색광 또는 저색온백색광, 간접 또는 양쪽	0.01~0.3	전역 연속
	암순응이 불필요	백색온광	0.3~7	고정 또는 연속
판넬감시	암순응 필요	적색 주변조명 또는 적색이나 백색의 일광 또는 양쪽 병용	0.01~0.3	전역 연속
	암순응 불필요	백색온광	3~7	고정 또는 연속

○ 2011년 투입된 E5계 신형차량(320km/h)의 운전실을 살펴보면, 콘솔디스크에 있는 여러 개의 모니터를 배치한 운전실의 모습이 상당히 미래 지향적이고 데스크 중앙에 마스콘핸들, 오른쪽에 역전핸들, 왼쪽에 제동핸들을 배치



<그림 32> E5계 신형차량 운전실(좌)과 JR동일본 AC용 전동차 운전실(우)

○ 재래선 전동차의 경우 왼손에 마스콘핸들, 오른손에 제동핸들의 배치가 일반적인 반면 신간선의 경우는 좌우가 반대로 배치되어 있으며 이것은 신간선과 재래선의 사용빈도의 차이로부터 배치

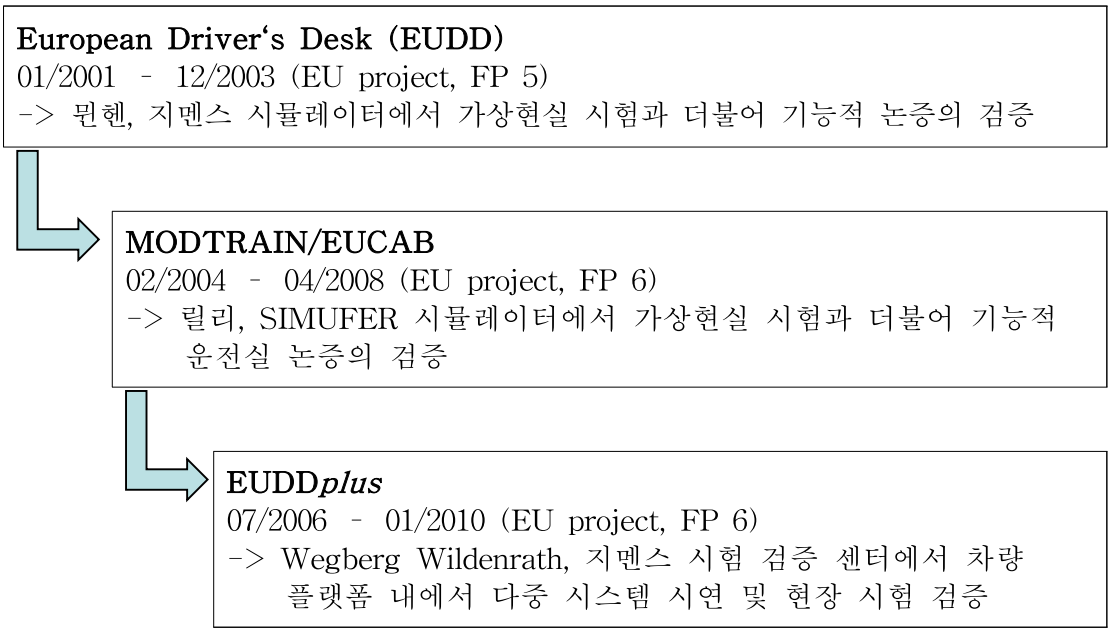
○ 운전자가 운전에 집중할 수 있도록 고려된 디자인은 0계부터 변함이 없지만 기술의 발전에 따라 운전대도 진화

○ 전기기기의 디지털화가 진행되어 0계에서는 운전대에 수많은 계기가 무수히 늘어져 있지만, 최근의 신간선 차량에서는 차량상태 등의 디지털화된 데이터를 모니터에 집중하여 표시하는 것이 가능하여 심플한 배열로 변화

7. EU 철도차량 운전실 표준화 프로젝트 검토

○ 유럽연합은 열차의 상호 운용성 및 상호 연결성을 확보하고 미래 유럽 철도 시스템의 경쟁력 강화에 필수적인 향상된 기술 솔루션의 모듈화 및 조화를 위하여 운전실 표준화 작업을 지속적으로 추진

○ 유럽위원회 (European Commission)의 자금이 지원된 EUDD(European Driver's Desk) 프로젝트는 유럽 전체에 적용 할 수 있는 기관사 운전 데스크 개발을 처음으로 시작하였으며 시뮬레이션 환경에서 많은 기관사에 의해 시험되었고, 효율적인 국가 간 운영을 위한 통합 운전실 실현을 위한 일보 전진의 노력을 지속하기 위하여 EUDDplus 프로젝트를 수행



가. 시범적 유럽 운전실 제어대(EUDD, European Driver's Desk) 프로젝트, 2001-2003)

(1) EUDD 프로젝트 개요

○ 유럽연합(EU)의 정책에 따라, "경쟁력 있고 지속 가능한 성장" 프로그램(5차 RTD 프레임 워크 프로그램) 하에서 EU가 연구비를 지원한 R&D 프로젝트인 유럽 운전실 제어대(EUDD) 프로젝트는 표준화 및 모듈화 된 제어대의 개발, 실증, 평가, 명세화에 의한 유럽 국경 간 철도 통행의 상호운용성 개선을 목표로 한다.

○ EUDD 프로젝트는 인간-기계 상호작용과 관련된 핵심 기술의 필요성을 다루었다. 그리고 이 프로젝트는 유럽철도연구자문위원회(European Rail Research Advisory Council ERRAC)가 제시한 전략적 철도 연구 아젠다(SRRA) 2020의 요구사항을 충족하는 최초의 성공적인 접근법으로 보인다.

○ 새로운 제어대는 최대한 표준화되고, 향후의 발전을 저해함 없이 전 유럽에서 수용될 수 있어야 한다. 우선, EUDD는 유럽에서 국경 간 운행을 목표로 하지만, 앞으로를 위해 국내, 지역, 지방 철도 통행에 새로운 제어대 배치를 적용하는 것이 이 프로젝트의 더 넓은 범위에 속한다. 일관성 있는 모듈화는 미래에 새 기술이 구현될 수 있게 한다. 예를 들어, 텔레매틱스(telematics: 통신(telecommunication)과 정보과학(informatics)의 합성어) 기반의 명령 및 제어 시스템이 더욱 발전할 수 있다.

○ 첨단 기술과 비교해, EUDD 프로젝트 결과를 활용하는 것이 많은 이익을 발생시켜야 한다.

○ 기관사에 대한 측면 (안전 관련)

- 최신 인간공학 지식을 적용한 기관사의 근무 조건 개선
- 오류율 감소뿐 아니라 예기치 못한 특이한 상황에 대한 대응 개선
- 철도 안전에 관한 최근 프로젝트(예, SAFETRAIN)의 결과를 고려한 기관사의 안전 개선

○ 철도 운영사에 대한 측면

- 전체 수명주기비용(LCC)의 감소
- 기관사 훈련 비용의 감소
- 전자기계 장치를 완전 전자 장치로 교체함에 의한 신뢰성 개선

○ 철도 업계에 대한 측면

- "출시 시간" 단축 뿐 아니라 "규모의 경제"를 통한 제조비용 절감
- 업그레이드를 통한 새로운 비즈니스 기회 창출

○ EUDD 프로젝트는 기술적 및 운영적 측면에서 유럽 철도의 상호운용성을 개선하여 다른 교통수단에 비해 철도의 경쟁력을 높이고자 하는 유럽위원회의 목표를 전적으로 지원한다.

○ EUDD 프로젝트의 목적은 다음과 같음

- 기존 철도에 모듈화 된 제어대 적용(처음에는 국경 간 통행을 목표로 함)
- 최신 인간공학 지식을 적용하고, 새로운 텔레매틱스와 MMI 기술을 적용하여 모듈형 제어대를 개발
- 기능적 시뮬레이터, 시뮬레이션, 검증을 통해 제어대 설계를 구현.
- EUDD 기술 규격에 따라 유럽형 표준화의 입력 문서 작성

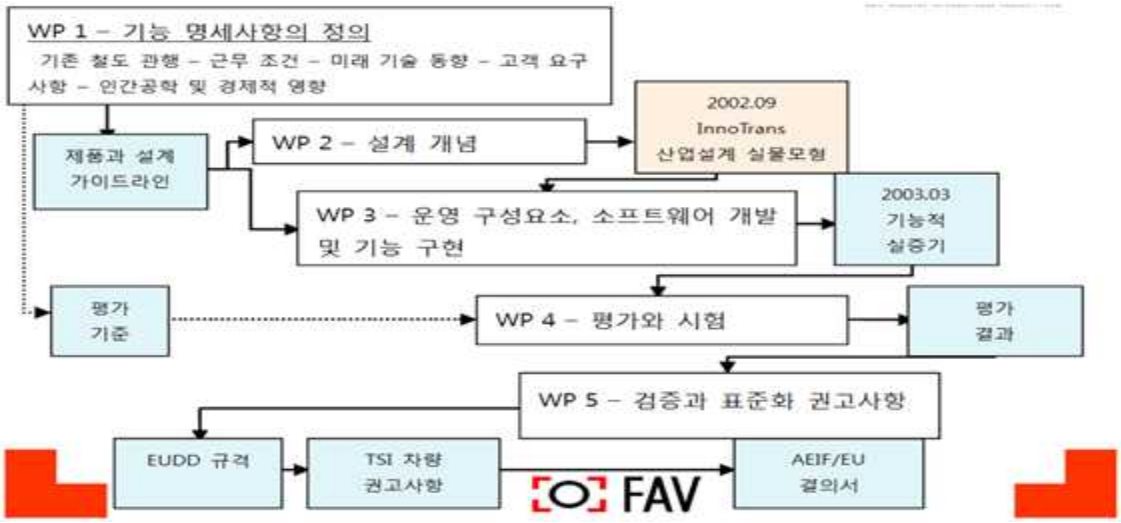
○ EUDD 프로젝트는 FAV Berlin이 주관기관이고, 여러 업체가 참여하였음



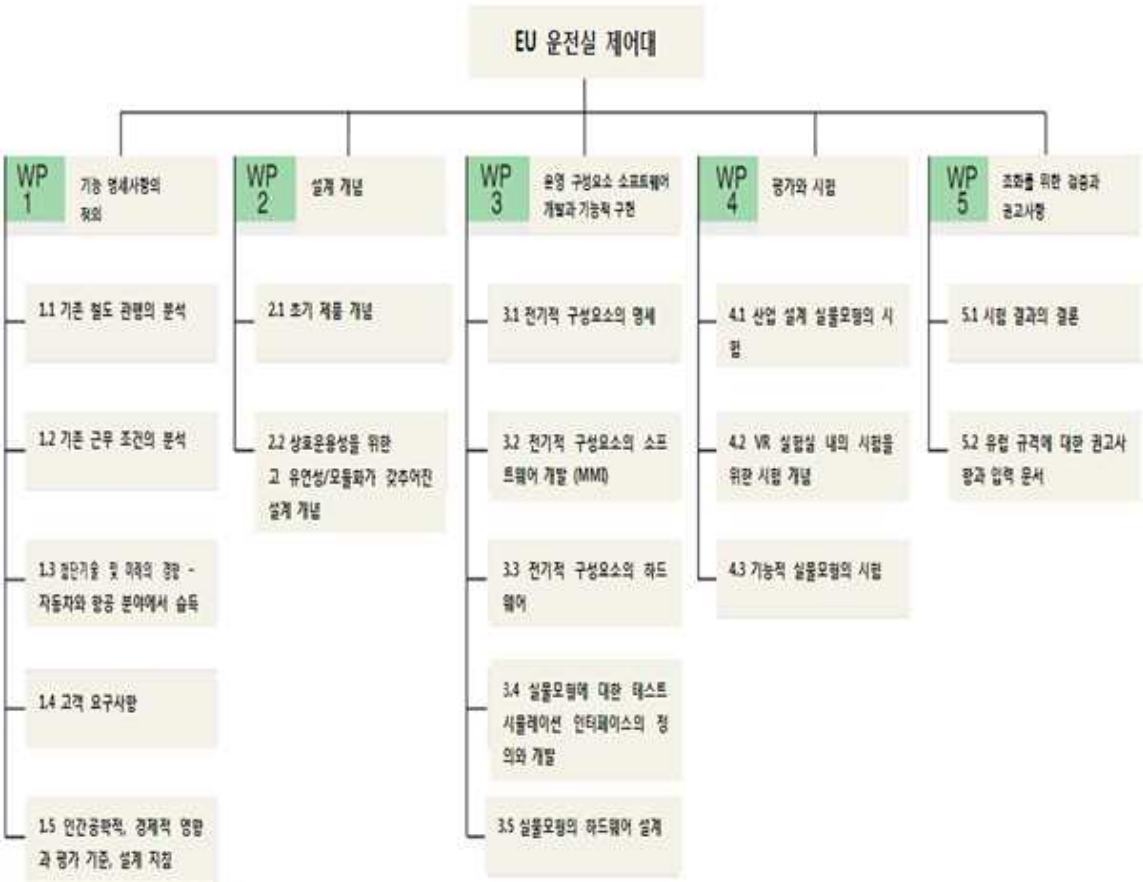
<그림 33> EUDD 프로젝트 참여기관

(2) EUDD 프로젝트 접근법

○ EUDD 프로젝트 연구 단계 및 구조



<그림 34> EUDD 프로젝트 연구 단계



<그림 35> EUDD 프로젝트 구조

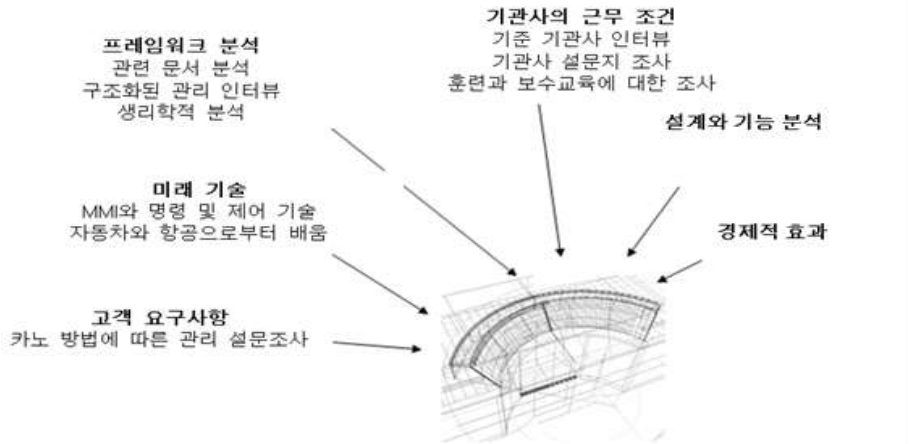
○ EUDD 프로젝트의 첫 번째 단계에서 제어대에 영향을 미치는 여러 분야에 대한 다학제적

분석이 수행되었다. 유럽의 여러 철도운영사와 국가에 대해, 각 국가의 규칙과 법률을 포함하여 기존의 철도 관행을 분석했다.

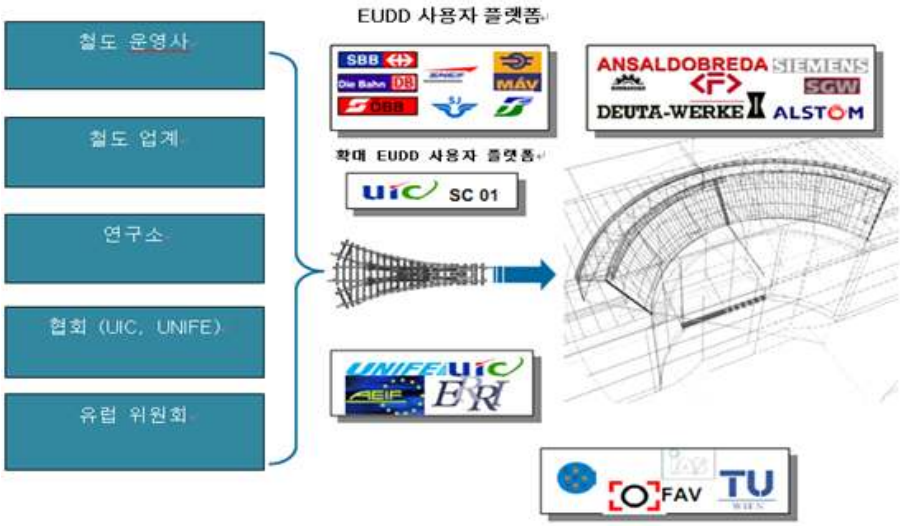
○ 400여 명의 기관사에게 상세하게 질문하고 현장 조사를 보충함으로써 현재의 근무 조건을 조사했다.

○ 또한 항공과 자동차 분야에 이미 적용되고 있는 기술을 분석하여 항공과 자동차 분야의 기술이 철도 부문으로 이전되는 것에 대한 제안을 했다.

○ "카노 방법론(Kano methodology)"을 적용한 고객(철도 관리자, 기술 전문가 및 기관사)의 요구사항 조사에서는 현재와 미래의 우선순위에 대한 중요한 힌트를 얻을 수 있었다.



<그림 36> EUDD 프로젝트의 다학제적 및 국제적 접근법



<그림 37> EUDD프로젝트의 합의형성 과정에서 교차방법론적 접근법

(3) EUDD 프로젝트 결과

○ EUDD 프로젝트 팀의 명확한 의도는 문서를 생산할 뿐 아니라 "실제적 하드웨어" 결과를 구현하는 것이기도 하다.

○ 하드웨어 구현의 첫 번째 단계에서 산업 설계 실물모형이 탄생했다. 제어대의 모듈화 된 기능적 배치를 실제로 보여 준 이 실물모형은 2002년 9월 베를린에서 열린 세계 최고의 철도 기술 박람회인 "InnoTrans"에서 일반에 공개되었다.

○ EUDD 하드웨어와 소프트웨어 사양이 구현된 본보기인 이 산업 설계 실물모형은 다음과 같은 요소가 특징이다

- 강화 플라스틱 부품을 적용한 고품질의 표면을 가진 데스크톱: (계열생산(series production)과 유사)
- 만질 수 있고 이동 가능한 모든 하드웨어 요소 (실제에 가까운 느낌)
- 키가 큰 기관사나 작은 기관사 모두에게 동일하게 인간공학적인 조건을 제공하기 위한 데스크탑과 발받침대의 전기적 높이 조절 가능성
- 실제적인 느낌을 강화하기 위한 하드웨어의 데스크 환경 (예, 편안한 공기식 기관사석, 일반적인 운전실, 수납장 아래쪽, 운전실 뒷벽의 치수를 모사한 파이핑 프레임)



<그림 38> EUDD 프로젝트의 제어대



<그림 39> EUDD 산업 설계 실물모형의 기능적 배치

○ 요약하자면, 산업 설계 실물모형은 기존의 솔루션에 비해 다음과 같은 EUDD의 주요 이점을 보여 준다.

- 최신 인간공학 기술을 적용한 개선된 인간 기계 인터페이스
- 이전에 하드웨어 기능이었던 것을 단말기(소프트웨어 기능)로 이전하여 제어대 상 하드웨어 요소 수 감소
- 향상된 기능적 모듈화
- 중요 조작의 표준화 (예, 통합 주간 제어기로 구동/제동)
- 원칙적으로 SAFETRAIN 프로젝트에서 개발된 구조적 대책을 고려하여 기관사의 안전을 향상시킴.

○ InnoTrans 박람회에서 실물모형에 대한 많은 전문가들의 매우 긍정적인 반응은 EUDD 팀이 실물모형 구현 비용을 부담하기로 하는 결정에 확신을 갖게 했다. 70여 명의 전문가가 작성한 질문지는 제어대 세부사항의 배치를 더욱 최적화하는 데 귀중한 힌트가 되었다.

○ 산업 설계 실물모형과 InnoTrans 박람회에서 받은 피드백, 그리고 사용자 플랫폼과의 추가적 규격 토의에 따라 실제 기능하는 EUDD 시뮬레이터가 시뮬레이터와 유사한 가상현실 환경에서의 성능 시험을 위해 만들어졌다.

(4) EUDD 시뮬레이터 시험

○ EUDD 시뮬레이터 시험이 2013년 4월 중순부터 5월 중순까지 실시되었다.

○ EUDD 시뮬레이터의 시험 개념은 3가지 주요 요소로 구성된다.

- 실제 기능하는 시뮬레이터
- 신호 시스템이 포함된 시험선을 보여 주는 가상현실(VR) 실험실
- 상호작용 시뮬레이터의 시뮬레이션을 위한 시험용 시뮬레이션 인터페이스 컴퓨터 - 가상현실 실험실

○ 가상현실(VR) 실험실(Siemens, 뮌헨)은 선로, 신호 시스템, 환경이 실시간 180°로 투영되는 시뮬레이터에 기관사가 앉아 있을 수 있게 한다.

○ 기관사에게 현실적인 환경을 제공하기 위해, VR 실험실은 기존 선로를 모사하기로 결정되었다. 오스트리아의 "타우언 노선(Tauern route)"이 기관사에게 요구하는 바가 많기 때문에, 그 노선이 선택되고 프로그래밍 되었다.

○ 기관사의 지체 없는 적절한 대응을 필요로 하는 여러 안전 관련 사건이 테스트 시나리오에 포함되었다. 기관사가 이러한 상황에 어떻게 대처하는지를 관찰하면 기능적 배치 - 예, 통합 주간 제어기에 의한 구동/제동 철학 - 를 검증하는 데 있어 중요한 단서를 얻을 수 있었다.

○ EUDD 개념을 광범위한 철도에 적용하는 것의 적절성을 증명하기 위해, 또한 고속선 상 고속열차를 모사하는 추가 시나리오를 프로그래밍 했다.

○ 철도 기관의 테스트 기관사들에 의해 수행된 테스트 프로그램은 사용자 플랫폼(고속열차 전문 기관사를 포함해 총 39명의 테스트 기관사)을 참여시켰다. 이것은 EUDD 프로젝트의 한 가지 본질적인 목적 - 열차 운전을 용이하게 하고 표준화시킴에 의한 상호 운용성 개선 - 때문에, EUDD 검증이 여러 국가에서의 운전 경험을 가진 기관사들의 시운전을 바탕으로 한다는 것을 의미한다. 테스트 기관사들은 시뮬레이터를 시험할 뿐 아니라 산업 설계 실물모형(InnoTrans 상태보다 더 최적화된 것)을 평가하기도 했다. 그리고 기능적 배치의 수용 면에서 사양에 따라 만들어진 추가적인 단순한 실물모형도 평가했다.

○ 아래 그림은 VR 실험실 환경에 있는 기능적 시뮬레이터이다.



<그림 40> VR 실험실의 EUDD 시뮬레이터

(5) 표준화 달성을 위한 추가 조치

○ 시험 결과에 따라, 최종 EUDD 하드웨어 & 소프트웨어 사양이 작성되었다. 그리고 이 최종 사양에 따라, 제어대 표준화 권장사항이 도출되어 AEIF "차량" 워킹그룹에 제공되었다.

○ 상호운용성을 위한 기술 규격(TSI) "차량, 기존선"에 이 권장사항을 통합하는 책임은 여전히 AEIF에 있다. 또한, 2 CEN과의 협력이 있다. 기술규격 작성을 위한 CENELEC 워킹그룹이 이미 창설되었고, EUDD 팀은 기관사들을 위한 인간공학적 조건에 관한 UIC leaflet 651의 업데이트안을 UIC에 제안하였다.

○ EUDD 프로젝트에서 얻어진 지식을 구현하고자 하는 후속 조치가 이미 두 가지 방향으로 시작되었다.

- 국제적 운행을 하는 열차에 가동 중 시험(in-service test)을 실시하기 위해 기관차에 완전하게 기능하는 EUDD 시스템을 통합하는 것
- 최신 인간공학 지식과 사고 피해 저감 기술(passive safety), 내/외부 커뮤니케이션을 적용하여, 모듈형 "유럽 운전실"(EUCAB)을 정의, 개발, 증명하기 위해 EUDD 지식을 통합하는 것. EUCAB은 유럽연합(EU) 제6차 RTD 프레임워크 프로그램의 1차 입찰에2003년 4월 중순 제출된 통합 프로젝트인 MODTRAIN의 한 하위 프로젝트이다.

(6) EUDD 프로젝트 기대 이익 및 효과



<그림 41> EUDD 프로젝트 기대 이익 및 효과

○ 공급 업계 측 이익

- 제조비용 25% 절감 (소프트하드웨어 > 50%, 전기적 하드웨어 ~25%, 기계적 제어대 구성 요소 ~25%)
- 출시시간 10% 단축

○ 철도 운영사측 이익

- 내용연수 동안 제어대 유지보수 비용 30% 절감
- 전체 수명 주기 비용 25% 절감
- 기관사 훈련비용 30% 절감
- 전기기계 장치를 완전 전자 장치로 교체함에 의한 신뢰성 25% 개선

○ 기관사 측 (사회에 대한 기대 이익) 이익

- 예기치 못한 특이한 상황에 대한 대응 10% 개선
- 오류율 10% 감소

○ 기존 제어대 대비 EUDD의 이점

- 최신 인간공학 기술을 적용한 개선된 MMI
- 이전에 하드웨어 기능이었던 것을 단말기(소프트웨어 기능)로 이전하여 제어대 상 하드웨

어 요소 수 감소

- 향상된 기능적 모듈화

- 중요 조작의 표준화 (예, 통합 주간 제어기로 구동/제동)

나. MODTRAIN/EUCAB 프로젝트(유럽 운전실 표준, 2004-2008)

○ 유럽연합(EU)이 지원하는 통합 프로젝트 MODTRAIN(통합 유럽 열차 시스템의 혁신적인 모듈식 차량 개념)은 이해당사자들인 공급업체, 철도운영기관 및 대학 간 경쟁 전 R&D(pre-competitive R&D)로 철도의 경쟁력을 높이는 것을 목표로 한다. 키워드는 모듈화, 기능 및 인터페이스 표준화, 수명주기비용(LCC) 절감, 승무원 및 승객을 위한 인간공학의 개선이다. 3,000만 유로(약 430억)의 예산(UNIFE(유럽철도산업연합) 조정)이 투입된 MODTRAIN은 분명히 차량 분야에서 유럽에서 가장 큰 프로젝트이다.

○ MODTRAIN은 4개의 기술적 하위 프로젝트로 나뉜다. 그 중 가장 연구비가 많이 투입된 MODLINK는 기관사, 승무원, 승객을 위해 모듈식의 인간공학적으로 개선된 인간-기계 인터페이스를 연구하고 있다. 이 논문은 MODLINK 내의 EUCAB 연구 분야에 초점을 맞춘다. EUCAB은 유럽 상호운용성을 위한 미래 운전실 모델이다. MODLINK/EUCAB은 FAV Berlin과 Bombardier가 공동으로 프로젝트를 이끌었다.

○ 따라서, EUCAB 연구 분야는 미래의 운전실을 규정하기 위해 SAFETRAIN(수동 안전)과 EUDD(유럽 운전실 제어대) 같은 이전의 성공적인 유럽 R&D 프로젝트의 결과를 이용한다. EUCAB의 핵심인 운전실 제어대를 기본으로 하여, EUCAB 연구 분야에는 HVAC(난방, 환기, 공조시설), 충돌 구조, 좌석, 운전실 실내 장비의 모듈식 배열이 포함된다. 표준 인터페이스와 비용 절감은 항상 고려된다.

(1) 모듈화 및 표준화에 대한 MODTRAIN 접근

○ 새 열차가 독립 해석 요건의 대상이 되고 증명되지 않은 시작품 하위어셈블리로 만들어지는 위험을 피하기 위해, 상호운용 가능한 구성요소가 유럽 산업계 차원에서 정의, 확인, 증진되어야 한다. 그래서 주요 유럽 철도 제조업체, 하위시스템 공급업체, 철도운영기관, 전문협회와 연구기관이 유럽에서 더 경쟁력 있는 미래 철도 시스템에 상당한 기여를 할 수 있는 미래 차량의 목표에 도달하기 위해 MODTRAIN 프로젝트에 참여하기로 결정했다.

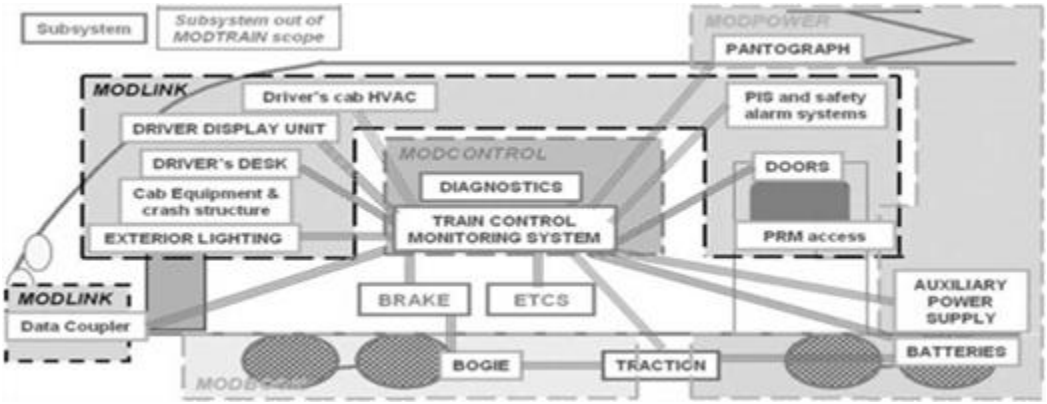
○ 통합 프로젝트 MODTRAIN(통합 유럽 열차 시스템의 혁신적인 모듈식 차량 개념)은 아마도 차량 기술을 다루는 가장 큰 국제 협력 철도 프로젝트일 것이다. MODTRAIN은 차세대 인터시티 열차와 200 km/h 이상급 범용 기관차의 기초가 되는, 표준화된 기능적, 전기적, 기계적 인터페이스와 호환 가능한 구성요소와 모듈의 정의와 증명을 목표로 한다. 모듈화

개념은 철도 공급업체와 철도운영기관 모두에 대해 제조비용 절감, 규모의 경제 향상, 새로운 차량의 생산성 제고, 차량 설계에서 수리가 필요 없는 구성요소 비율의 증가를 바탕으로 한 신뢰성 향상 같은 경제적 이점을 목표로 한다.

○ MODTRAIN은 4년의 연구 기간과 총 약 3,100만 유로(약 440억)의 예산으로 2004년 2월에 시작되었다. 이 중 유럽공동체(European Community)가 1,600만 유로(약 230억)의 연구비를 제공했다. 이 프로젝트의 컨소시엄은 네 개의 주요 유럽 철도 시스템 통합업체(Alstom, Ansaldobreda, Bombardier and Siemens)와 혁신적 하부시스템 공급업체(Knorr-Bremse, Deuta-Werke, Lucchini), 철도운영기관(Deutsche Bahn, SNCF, Trenitalia), 회원 기관을 대표하는 철도 산업과 철도운영기관의 국제 및 국내 협회(UNIFE, UIC, VDB, FIF, RIA, ANIE) 그리고 연구소(TU Berlin, TU Vienna, FAV Berlin, IAS Berlin, PTU Milan, UPC Barcelona, University of Florence, University of Newcastle)로 구성된다. 총 37개의 프로젝트 파트너와 그 외 많은 기관들이 협회를 통해 이 프로젝트에 참여했다. UNIFE가 MODTRAIN 프로젝트를 조정한다.

○ MODTRAIN 프로젝트는 하위 프로젝트 구조에 반영되는 열차 아키텍처의 네 가지 주요 영역을 다룬다.

- Ansaldobreda가 이끄는 구동장치(MODBOGIE)
- Alstom이 이끄는 열차 제어 감시 시스템(MODCONTROL)
- Siemens가 이끄는 차상 전력 계통(MODPOWER)
- FAV Berlin과 Bombardier가 이끄는 인간-기계 및 열차 대 열차 인터페이스(MODLINK)



<그림 42> 열차 아키텍처의 주요 영역에 따른 MODTRAIN 하위 프로젝트의 구조

○ MODTRAIN 기술적 하위 프로젝트의 개별 범위가 다르더라도, 개별 범위 간 다양한 인터페이스는 통합적인 지속적 상호작용을 필요로 한다. 특히 열차의 정보 및 통신 척추인 MODCONTROL의 경우, 다른 세 하위 프로젝트 모두와의 상호작용이 필수적이다.

(2) MODLINK - 모듈식 인간-기계 및 열차 대 열차 인터페이스

○ 25개 파트너가 참여한 MODLINK는 MODTRAIN 프로젝트에서 가장 큰 하위 프로젝트이다. MODLINK는 FAV Berlin과 Bombardier, Hennigsdorf(베를린 근처)가 주도했다. MODLINK는 열차 직원(기관사와 여객 열차 승무원)과 승객 간 인터페이스 및 열차 간 데이터 링크에 대해 모듈식 첨단 조화된 기술 솔루션의 명세 및 검증을 목표로 한다. 이 작업의 복잡성 때문에, MODLINK의 연구 분야를 적절하게 세분하는 일이 이미 프로젝트 준비 단계에서 실시되었다. MODLINK의 연구 분야는 다음과 같이 구성된다.

- EUCAB: 기관사의 작업장 환경인 운전실을 포함한 기관사의 인간-기계 인터페이스
- EUPAX: 승객과 열차 승무원에 대한 상호 운용 가능한 인간-기계 인터페이스. 도어 조작, 승객 정보 시스템, 안전 경보 시스템, 그리고 낮은 이동성을 가진 사람을 위해 열차 접근성 개선에 초점을 맞춤
- EUCOUPLER: 여러 철도운영기관의 열차의 상호 운용 가능한 결합을 위한 표준화된 열차 대 열차 데이터 전송 링크



<그림 43> MODLINK - 모듈식 인간-기계 및 열차 대 열차 인터페이스

○ 인간-기계 인터페이스를 다룬 이전 철도 프로젝트들의 경험은 사양의 초안을 작성하는 범위를 제한하는 것이 아니라 기술 개발의 예비적 및 최종 결과를 증명, 시험, 검증을 위한 유형적 하드웨어로 구현하는 것의 중요성을 정당화했다.

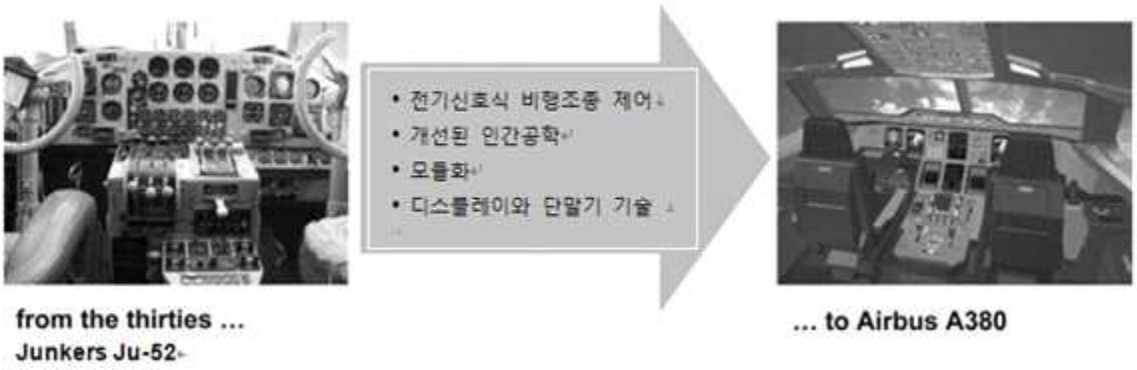
○ 시험 결과를 기술 개발로 피드백 시키는 기능 시험은 점진적 개발 루프에서 상세사항을 개선하는 데 기여하고, 최종적으로 고객(철도운영기관) 및 최종 사용자(철도운영기관의 직원과 승객)의 수용성을 보장하기 위해 절대적으로 필요하다. 이 때문에 MODLINK 작업 계획에 기능적 및 시험 가능한 1:1 비율의 실물모형이 포함되었다.

○ 2005년 말에 MODTRAIN 프로젝트는 중간 이정표에 도달했다. 동시에, MODLINK의 한 연구 분야인 EUCAB은 전체 MODTRAIN의 첫 번째 중간 하드웨어 결과인 1:1 비율 산업 설계 실물모형을 완성했다. 따라서 다음 설명에서는 연구 프로세스, 성과, 차후의 작업에 대한 전망을 나타내기 위해 EUCAB에 집중한다.

(3) EUCAB - 유럽 운전실 제어대를 기본으로 한 미래의 운전실

○ EUCAB은 모든 하위 프로젝트의 지침이기 때문에, 또한 이전 유럽 철도 프로젝트의 결과를 이용한다. EUCAB 연구 분야의 경우, 5차 RTD 프레임워크 프로그램 내에서 유럽공동체가 지원한 유럽 운전실 제어대(EUDD) 연구 프로젝트가 특별하고 중요한 입력을 제공했다. "에어버스에서 유럽 레일버스로"의 전략적 비전에 따라, EUDD 프로젝트(2001.01-2003.12)는 항공 분야에서 이미 입증된 수명주기비용 절감 및 모듈화 접근을 위한 기술 측면에서의 경험을 이용했다. EUDD 컨소시엄은 기관사를 위한 최적화된 인간공학과 제조업체 및 철도운영기관을 위한 감소된 수명주기비용에 따라 모듈형, 조화된 제어대 배치와 기능 배치를 규정, 개발, 시험했다. 다음과 같은 주요 성공 요인으로,

- 전략적 비전의 이용 가능성
- 철도 산업, 철도운영기관, 연구기관, 협회 간 "협력의 새로운 문화"의 면에서 모든 관련 당사자들을 참여시키는 합의 구축 접근법
- 다학제적 R&D 접근법
- 증명, 시험, 검증 및 보급을 위한 "유형적" 하드웨어의 구현



<그림 44> 에어버스에서 유럽 레일버스로"의 전략적 비전- 항공 사례

○ EUDD 프로젝트는 EUCAB과 다른 MODLINK 연구 분야의 연구 프로세스에 대한 적절한 설계를 계획했다. 따라서 EUDD 프로젝트를 MODTRAIN의 중요한 "결정점(crystallization point)"으로 볼 수 있다. 아래 그림은 시뮬레이터 환경에서 EUDD 기능 시연기 제어대를 보여 준다.

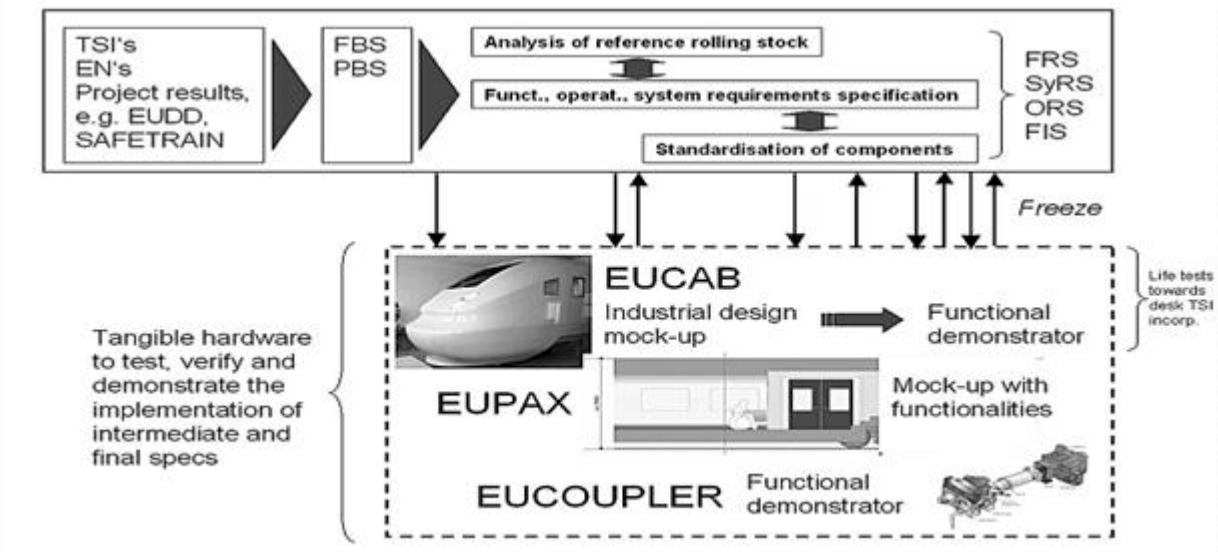


<그림 45> EUDD 배치 및 배열 원칙에 따른 EUCAB 실물모형의 제어대

○ EUDD와 EUCAB 연구 분야는 제어대뿐 아니라 전체 운전실의 사양과 개발을 다룬다. 이에는 HVAC (난방, 환기, 공조시설), 운전실 장비, 실내 디자인과 조명, 기관사 보호를 위한 충돌 구조, 전단부 쉘 등이 포함된다. 전체 목표는 그대로이다: 전체 수명 주기 체인에서의 비용 절감, 향상된 인간공학 및 기관사 보호.

(4) EUCAB 연구 프로세스

○ MODTRAIN 내의 다른 하위 프로젝트 및 연구 분야와 같이, EUCAB은 아래 그림에 나타나 있는 점진적 프로세스를 적용한다. 기존 국제 규격(EN)과 의무적 TSI에 따라, 산업 및 철도 운영기관은 일반적으로 단계적, 상호적, 그리고 통합적 접근법으로 발전한다.



<그림 46> MODLINK 연구 분야

○ FBS (기능 분해 구조)와 PBS (제품 분해 구조)가 있는 열차 아키텍처

- 기능요건 명세서 (FRS)
- 시스템 요건 사양 (SyRS)
- 운전요건사양 (ORS)
- 기능 인터페이스 규격 (FIS)
- 선택한 구성요소에 대한 규격

○ EUCAB의 경우, 사양 개발 과정이 현대 기준 차량(독일, 오스트리아, 프랑스)의 운전실에 대한 상세한 분석의 지원을 받았다. 이러한 조사는 주로 UPC 바르셀로나의 지원으로 IAS 베를린에 의해 수행되었다.

○ 앞에서 언급한 사양에 대해 철저하게 정의된 중간 이정표("중간 설계 고정")를 적용하여, 1:1 비율 하드웨어 실물모형의 두 단계가 EUCAB 연구 계획 내에 계획되어 있다.

- 인간공학의 보급과 시험을 위해 제한된 기능성을 갖춘 산업설계 실물모형
- 설계의 성능, 배치 그리고 인간공학적 조건과 최종 사용자(기관사)의 수용성을 평가하기 위해 "현실에 가까운" 시뮬레이터 시운전을 위해 필요한 모든 기능을 갖춘 기능 시연기

○ 하드웨어 실물모형의 구현과 시험은 옵션의 범위를 좁히기 위해 병행으로 실시되는 명세 프로세스(specification process)에 필수적 입력을 제공해야 한다. 옵션의 범위가 좁혀지면 최종 FRS, SyRS, ORS, FIS 작성이 가속화될 것이다. 하드웨어 실물모형의 구현 및 시험과 명세 프로세스 간의 밀접한 관련은 신규 또는 개선된 유럽 기준(EN)과 업데이트된 TSI 측면에서 MODTRAIN 결과를 가능한 한 빨리 이용하기 위한 기반을 닦아야 한다.



<그림 47> EUDD 외부 머리모양

(5) EUCAB 성과

○ 기능적, 운영적 및 시스템 관련 사양의 중간 작성물과 기준 차량 분석의 결과를 바탕으로, 1:1 비율의 EUCAB 산업 기준 실물모형이 2005년 1월에 완성되었다. 이 실물모형은 다른 산업 파트너, 철도운영기관, 관련 연구기관의 조력으로, 베를린 근처 헤니그슈도르프에 있는 Bombardier 산업설계부 작업장에서 만들어졌다. 이 실물모형은 EUCAB의 고속열차를 적용한 것이고, 다음과 같은 특징을 가진다.

- EUDD 시뮬레이터 테스트와 기준 차량 분석의 추가적 결과의 최종 평가에 따른 상세한 최적화와 함께 EUDD 배치와 배열 원칙에 따른 제어대. EUDD 결과로 이미 정당화되었듯이, 이 제어대는 기존 제어대에 비해 다음과 같은 이점을 가진다.
  · MMI가 인적 요인에 관한 최신 지식을 적용하여 개선되었다.
  · SAFETRAIN 및 이와 유사한 프로젝트의 결과를 고려해 수동 안전이 향상되었다.
  · HW 기능을 SW 기능으로 옮김으로써 HW 요소의 수가 감소되었다. => 디스플레이는 기관사에게 더 나은 접근성을 허용하고, 더 유연하다.
  · 강화된 기능적 모듈화는 사용자 친숙성을 향상시키고 기관사가 빠르게 학습하고 더 훈련될 수 있도록 한다.
  · 중요한 조작의 조화 (예, 통합 주간제어기로 주행/제동)
  · 양산에 최적화된 설계(EUDD 프로젝트에서 계산된 LCC보다 최소 15% 절감)
- 실내 조명, 벽장, 소방 장비, 운전실과 객실 간 탈출 최적화 도어를 포함하는 운전실 인테리어와 설계
- HVAC용 더미
- 전단부 쉘, 공기역학적 최적화
- TSI 시나리오 3 "건널목 상 트럭"에 따른 기관사 보호를 위한 충돌 구조

○ 2006.02.14에 베를린 독일과학기술박물관(German Museum for Technology)에서 열린 MODLINK 중간 컨퍼런스에서, EUCAB 산업설계 실물모형이 MODTRAIN 프로젝트 파트너와 관심 있는 언론인들에게 소개되었다. 지위가 높은 발표자들(예, Hartmut Mehdorn, Deutsche Bahn의 CEO)이 이미 달성된 결과를 진행시켜야 할 동기를 프로젝트 파트너들에게 제공했다. 아래 그림은 EUCAB 산업 실물모형의 "실제에 가까운" 특성에 대한 느낌을 주어야 한다.



<그림 48> EUCAB 산업설계 실물모형

다. MODTRAIN 프로젝트에 의한 운전실 국제 표준사양 UIC 612 시리즈

○ 제품을 사용하는 방법이 여전히 고객별로 다르다면, 제품의 기술적 인터페이스의 성공적 표준화를 기대할 수 없다. 따라서 운영 요건의 표준화가 표준화의 혜택을 얻는 데 있어 성공의 핵심 요소이다. MODTRAIN 프로젝트는 한 목소리를 내는 세 곳의 대형 철도운영기관(SNCF, Trenitalia, DB)과 다른 모든 회원들을 조정하는 역할을 하는 UIC의 헌신을 바탕으로 한다. UIC 612는 공개 UIC 워크숍에서 정교화 되었고, 지금까지 결코 달성된 적이 없는 수준으로 시스템 차원에서 조화된 운영 요건을 제공한다.

(1) UIC 612 시리즈 제정 과정

(가) 2004년

○ SNCF, Trenitalia, DB가 철도 분야 최대의 EU R&D 프로젝트인 MODTRAIN 프로젝트에 참여했다. 이외 다른 모든 철도회사는 UIC에 의해 대표된다.

○ 프로젝트에 대한 우리의 주요 기여: 표준화를 이끌 공통의 운영요건 제공.

○ “유럽 고속열차”에 대해 이전에 정교화 된 사양은 가치 있는 출발점이었다. 하지만 이 사양들은 기관차에 대한 적용성이 부족하고 열차&차량 제어 이슈와 기관사-기계 인터페이스를 충분히 다루지 않았다.

○ SNCF, Trenitalia, DB가 다른 많은 철도운영기관과 함께 UIC 밑에서 “운영요건사양(Operators Requirements Specification)” (ORS)의 초안을 작성하기 시작했고, 이 ORS 초안이 UIC 612가 되었다.

(나) 2005년

○ “MODTRAIN ORS”라고 불리는 UIC 612 초안 진행 보고서가 UIC PTR에 제시되었다.

○ 초안 작성은 주로 SNCF - Trenitalia - DB 전문가팀에 의해 수행되었고, UIC 엑스트라넷과 MODUSER 회의를 초안 사양을 보급하는 주요 장으로 사용했다.

○ 또한 UIC 612 초안 진행 보고서가 UIC 스터디그룹(1 & 4)에 제공되었다.

○ 다른 철도운영기관의 주요 관심사: UIC 612가 너무 상세해져 미래의 혁신을 막을 수 있을 것인가?

○ 미래의 호환 모듈의 플러그 앤 플레이가 표준 운영 기능 요건을 필요로 할 것이라는 예상.

○ 표준화에 관심 있는 모든 UIC 소속 철도운영기관의 도움으로, UIC 612를 통합하기 위해 UIC 워크숍이 시작되었다.

(다) 2006년

○ UIC 612의 통합으로 PTR의 가장 성숙한 부분이 10월 24일에 정식 승인을 받을 수 있었다.

○ “(10월 24일 PTR 운영기구의) 이 첫 번째 회의에서, 참가자들은 새 UIC Leaflet 612 “조화된 기관사-기계 인터페이스에 할당된 기능 및 시스템 요건” - 운영요건사양(ORS)을 승인했다.

○ UIC 612는 유럽 표준화 프로젝트(예, MODTRAIN, MODBRAKE, EUDD+)에 대한 UIC 회원기관의 중요한 입력이다. 40여 차례의 UIC 워크숍에서 많은 철도 전문가들이 모든 정교화 및 검토 단계에 참여했다.

(라) 2007년

○ UIC 612-2는 3월 27일에 UIC 총재가 최종화, 서명했다.

○ UIC 612-0과 612-1의 최초 개정 주기가 현재까지 이용 가능한 업계의 코멘트를 고려하여 완료되었다.

○ ÖBB 전문가의 대단히 큰 기여 덕에, 주요 디스플레이 애플리케이션의 아키텍처(ETCS, 열차 진단, 전자 시간표)가 제공되었다: UIC 612-0x (운전실에서 모든 디스플레이 기반 애플리케이션을 다루는 5개 부분).

(2) UIC 612 시리즈 일반사항

○ 조화된 기관사-기계 인터페이스와 관련되는 기능과 설계는 해당 차량의 운전상 관련되는 모든 인터페이스를 포함한다.

○ 이 사양은 EMU/DMU, 기관차 그리고 동력객차의 운전실의 조화된 기관사-기계 인터페이스와 관련되는 기능과 시스템 요건에 대해 설명한다. 이 리플릿은 해당되는 운전실을 갖추고 있는 차량의 모든 기능 요건을 명시한다.

<표 32> UIC 612 시리즈 일반사항

UIC 612 시리즈 목적	효과	확인
공통되는 차량 기능의 프로젝트별 엔지니어링을 피하기 위해 조화 요건을 정의한다.	요건을 충족하고, 기능 요건의 이탈/비준수를 확인하는 솔루션의 해석 범위를 최소화한다.	목표/실제 비교 “사양 ← → 제조자의 솔루션”
기술 변화/혁신으로 인한 기능 변경 또는 제한을 피하거나 최소화하기 위해 기능 요건을 정확하게 정의한다. 기능 변경은 입증된 비용 효과적 LCC이점(예, 고장과 훈련비용의 감소)이 있거나, 의무적 규정(즉, 구체적인 경우를 포함한 TSI)인 경우 허용 가능하다. 공급업체와 독립적인, 상호운용성의 종합적 물리적 인터페이스 사양이 향후 규격의 목표이다.	모듈 수준에서의 혁신적 설계를 가능하게 하는 일관성 있는 기능 인터페이스(표준화)의 명확한 정의: 구 부품을 신 부품으로 쉽게 교체할 수 있다.	· 다음 비용 - 예비 부품 - 유지보수 - 수리 · 규정과 지침 준수
기존 운전 절차를 더 간소화하려고 노력하는 한편, 기존 운전 절차를 유지한다.	훈련비용을 줄인다.	훈련비용
분명하고, 장애 허용(fault-tolerant)적인 기능과 높은 정도의 자동화 및 진단을 통해 운전 오류를 피한다.	신뢰성을 높인다.	· MTBF(평균 무고장 시간) · 경험과 사용자 피드백

(3) UIC 612 시리즈 계층구조

○ 15년 이상의 유럽 연구 결과는 차량의 종류에 상관없이, 모든 유럽 기관사에 대해 표준 제어대를 구성하는 것이 핵심 이슈라는 것을 보여 준다. 따라서 차량별 편차가 최소로 제한되어야 한다. 최근 프로젝트들(예, EUCAB)은 현재 일반적으로 공유되는 결론 및 설계 원칙을 제공했고, 이러한 결론과 설계 원칙을 UIC 리플릿 612 시리즈를 정교화 하는 과정에서 고려했다.

UIC 612-0	**EMU/DMU, 기관차, 동력객차의 기관사-기계 인터페이스 - 조화된 기관사-기계 인터페이스와 관련되는 기능 및 시스템 요건**	차량운전과 MMI
	제어대뿐 아니라 견인장치 안팎의 모든 MMI에 대해 각 조종 및 표시 요소의 위치와 정확한 기능 요건을 제공한다. 견인장치 운전에 대한 "으뜸 문서"이다.	
UIC 612-1	**EMU/DMU, 기관차, 동력객차의 차량 구성과 주 활성화된 기능 - 운전 구성과 기관사 절차**	
	여러 열차 구성을 명시하고 이용 가능한 기능을 표시한다. 또한 한 구성에서 다른 구성으로의 전환을 명시한다.	
UIC 612-2	**EMU/DMU, 기관차, 동력객차의 구체적인 하부시스템 요건 (견인, 제동 등) - 차량의 각 하부시스템에 할당된 요건**	
	견인장치 또는 열차의 주 기능 모듈에 대해 전용 하부시스템 요건을 명시한다.	
UIC 612-3	**운전실과 기관사 작업 영역의 설계 요건**	
	조화된 운전실, 기관사 작업 영역과 관련되는 기능 및 시스템 요건을 명시한다.	
UIC 612-01	**운전실의 디스플레이 시스템 (DDS) - 일반 요건, 설치 및 기술 규격**	디스플레이
	디스플레이에 대한 하드웨어 요건과 모든 디스플레이 애플리케이션에 유효한 소프트웨어 요건을 명시한다. (예, 색상 사용).	
UIC 612-02	**운전실의 디스플레이 시스템 (DDS) - 제어지령 디스플레이 (CCD)**	
	TSI CCS와 TS 50459 외에 ETCS 정보와 TCMS 정보를 명시한다. 명확하고 사용자 친화적인 트리 다이어그램을 기관사에게 제공한다.	
UIC 612-03	**운전실의 디스플레이 시스템 (DDS) - 기술진단 디스플레이 (TDD)**	
	CCD 외에 TCMS 정보를 명시한다 (예, 주요 기계 데이터와 고장 관리). 명확하고 사용자 친화적인 트리 다이어그램을 기관사에게 제공한다.	
UIC 612-04	**운전실의 디스플레이 시스템 (DDS) - 열차무선 디스플레이 (TRD)**	
	열차 무선 정보를 명시한다. 명확하고 사용자 친화적인 트리 다이어그램을 기관사에게 제공한다.	
UIC 612-05	**운전실의 디스플레이 시스템 (DDS) - 전자시간표 디스플레이 (ETD)**	
	ETCS 운전과 STM 운전의 경우, CCD 외에 전자시간표 정보를 명시한다. 명확하고 사용자 친화적인 트리 다이어그램을 기관사에게 제공한다.	

<그림 49> UIC 612 시리즈 계층구조

(4) UIC 612 적용의 주요 원칙

○ 시스템 수준의 혁신적 개념은 새로운 인터페이스 정의를 필요로 하고, 따라서 UIC 612의 범위 밖이다 시스템 수준의 혁신적 개념은 규격 변경 프로세스의 대상이 될 것이다.

○ 대부분의 요건이 모든 종류의 차량에 적용되어야 하고, 운전상 필요에 의해 요구되는 경우(“어떻게 해서든” 표준화가 안 되는 경우)에만, 특정 요건이 특정 차량에 적용되어야 한다.

○ 비용 요인(cost-driver)은 실제 및 비교 계산을 바탕으로 증명되어야 한다.

(5) UIC 612 전망

○ 시뮬레이션 테스트와 EUDD+ 시작품 테스트는 향후 개정 주기에 UIC 612를 검증, 개선할 수 있는 수단이다. 향후의 상업적 프로젝트는 UIC 612를 개선할 더욱 가치 있는 피드백을 제공할 것이다.

○ 운전 요건에 관한 많은 규격 작업이 현재 상업적 프로젝트에서 실시되고 있다. 빠른 시일 내에 UIC 612의 교차 승인이 가능해야 한다.

○ ETCS DMI 규격이 ERA 내에서 막 시작되고 있다. UIC 612를 제공하면 과거보다 차량 통합 요구와 경제성에 초점을 맞추는 데 많은 도움이 될 수 있다.

○ 공통 요건(UIC 612)을 참조하는 것은 전문가들이 고립적으로 일하지 않게 하고 “전통적인 관습”을 표준화로부터 보호하여 조화를 더욱 빠르게 할 것이다.

라. EUDDplus(유럽 운전실 표준 실차 테스트, 2006-2010)

○ EUDDplus 프로젝트는 상호운용성이 있고 조화롭고 모듈식인 운전실 제어대의 개발과 현장 시험(in-field test), 검증을 목표로 한다. EUDDplus 프로젝트는 성공한 FP 5 유럽 운전실 제어대(EUDD) 프로젝트와 인간공학 및 안전, 수명주기비용(LCC) 측면에서 발전한 EUDD 개념의 대규모 이용 간에 논리적 및 필연적 연관성이 있음을 보여 준다. 동시에 EUDDplus는 FP 6 통합 MODTRAIN 프로젝트의 결과를 사용한다. FP 6 통합 MODTRAIN 프로젝트에서는 EUCAB 작업 영역에 대해 미래의 조화된 운전실 시스템 요건 사양(SyRS)이 상세화 되었다.

○ 보다 구체적으로 말하자면, EUDDplus 프로젝트는 운전실 제어대 시스템의 수명주기비용을 현재 기준에 비해 약 15% 절감하는 것을 목표로 한다. 또한, EUDDplus 프로젝트는 새로운 제어대 구성의 인간공학적 장점을 과학적 분석으로 증명하고, 제어대 배치의 기술적 및 운영적 타당성을 입증해, MODTRAIN 프로젝트에서 얻어진 ORS(Operational Requirements

Specification, 운전요건사양) 612를 실질적으로 구현하는 것을 목표로 한다.

○ 현대의 멀티 시스템 기관차가 EUDDplus를 구현하기 위한 장이 되었다. 차량으로 인한 제약을 인정해야 하고, 요건을 식별하고 상세화한 한도에서 앞으로 제어대를 효율적으로 개선하기 위한 여지를 고려해야 한다.

○ EUDDplus 프로젝트의 초기 단계에서는 MODTRAIN 프로젝트 ORS 612의 초안에 따라 제어대 개념을 정밀화, 상세화 했다. 기존 차량 플랫폼으로 인한 제약을 상세 분석한 결과, 제어대 하드웨어의 기본 사양과 제어대 하드웨어가 기관차에 어떻게 기계적으로 통합되어 있는지 알게 되었다. ORS 612의 지연을 보상하기 위해, EUDDplus 프로젝트 컨소시엄은 ORS를 더 개발하고, 그 중에서도 특히 디스플레이 소프트웨어 사양을 더 개발하기 위해 직접적인 지원을 했다. 병행하여, 당국 책임자들과의 심도 있는 대화를 통해 오스트리아와 이웃 국가들에서 현장 시험 인증을 위한 준비가 실시되었다. 이러한 논의의 결과가 제어대 개념과 통합 개념에 직접 반영되었다.

○ 추가 계획은 다음과 같은 주요 단계로 구성되어 있다.

- ORS/FRS/SyRS/FIS에 일치하는 사양, 소프트웨어 개발을 포함하는 새 제어대의 개발과 차량 내 통합
- 제어대의 장점을 테스트하기 위해 빌덴라스(Wildenrath) 철도 테스트 링에서 여러 유럽 철도 운영기관 소속 기관사들이 국경을 넘는 운행을 재현함에 의해 실시되는 현장 시험
- 미래의 광범위한 이용과 인증을 위한 권고 초안

○ EUDDplus 운전실 제어대 개념을 베그베르크-빌덴라스(Wegberg- Wildenrath) 시험검증센터에서 시험할 알스톰 PRIMA II 시작품에 반영하기로 한 결정 후, 개념 정밀화와 상세화, 시스템 엔지니어링, 제작 및 제어대 통합에 관한 기술적 작업이 계속되었다.

○ 또한 이 제어대가 통합된 기관차와 동일한 기능성을 갖춘 EUDDplus us 테스트 시뮬레이터가 만들어졌다. 이 테스트 시뮬레이터는 기관사들의 테스트 대비와 빌덴라스에서의 공개 시연의 날과 EUDDplus 최종 컨퍼런스에서의 시연을 위해 사용되었다. 이 테스트 시뮬레이터를 사용해 EUDDplus 운전실 제어대 개념을 보여 주고자 하는 추가적 공개 행사가 진행되었다.

○ 이 프로젝트는 2009.11.09부터 2009.12.04까지 베그베르크-빌덴라스 시험검증센터에서 10개국(오스트리아와 벨기에, 체코, 프랑스, 독일, 헝가리, 이탈리아, 네덜란드, 슬로베니아 그리고 스위스) 17명의 기관사들로 실시된 현장 시험을 준비하는 데 많은 노력을 기울였다. 현장 시험을 준비하기 위한 중요한 정보는 2009년 8월 말, VUZ 시험 센터 Velim에서 실시한 이틀간의 기준 시험(reference test)에서 얻어졌다.

○ 현장 시험을 실시한 후, 설문지와 안구추적장치, 운전 기록 데이터를 사용해 수집한 시험 결과를 인간공학적 관점에서 과학적으로 평가했다. 또한, EUDDplus 사양이 TSI를 준수하면, 이 시험 결과가 평가 및 LCC 고려를 위한 입력 자료가 되었다.

○ 또한, EUDDplus 사양이 '기관차와 객차의 상호운용성에 대한 기존선 기술 사양' (Conventional Rail Technical Specification of Interoperability for Locomotives and Passenger Rolling Stock)의 필수 요건을 준수함이 증명되었고, EUDDplus 같은 혁신적인 철도 기술의 승인을 위한 일반 개념이 정교화 되었다. 여러 차례의 기술 회의 외에, 2009.09.30에 브뤼셀에서 개최된 EUDDplus 중간 세미나, 2009.12.08에 빌덴라스에서 있은 공개 시연의 날 그리고 2010.01.27에 파리의 UIC 본부에서 열린 EUDDplus 최종 컨퍼런스 같은 몇 가지 주요 행사가 있었다.

(1) 프로젝트의 목적과 전략적 접근

(가) 목적

○ EUDDplus 프로젝트의 목적은 인간공학적 장점과 하부시스템 성능, 잠재적 경제적 이점(LCC)의 시험과 검증을 포함해, 기관차 운전실 제어대의 기능적 배열과 배치의 전 유럽 표준화와 조화(harmonization)를 강화하는 데 있다. UIC 612를 준수하는 유럽 운전실 제어대를 구현해 멀티 시스템 기관차 플랫폼에서 시험했다 (유용성 시험). 보다 구체적으로 말하면, EUDDplus 프로젝트의 전체적 목표는 다음과 같다.

- 시스템 운전실 제어대의 수명주기비용을 현재 기준(기존 제어대를 갖춘 시험용 기관차에 의해 결정된 비용)에 비해 적어도 15% 절감하는 것. 수명주기비용을 계산할 때는 다음과 같은 제품의 생애의 모든 요소를 고려해야 한다.
- 소프트웨어 개발 및 프로그래밍을 포함한 엔지니어링 비용
  - 제조비용
  - 직원 운영비와 유지보수, 수리비를 포함한 운영비용
  - 직원 훈련 및 교육비용
  - 기술(하드웨어와 소프트웨어) 업그레이드 비용
  - 인터페이스를 비롯한 구성품 표준화로 가능한 공급업체 경쟁으로 인한 비용 영향
  - 폐기 비용

○ 현장 시험 동안 EUDD 제어대의 인간공학적 이점을 증명하는 것.

○ EUDD 개념과 MODTRAIN ORS(운전요건사양) 612 구현의 기술적 및 운영적 타당성을 증명하는 것.

- 하드웨어에서 개선된 유연성과 인간공학, 비용 절감 효과를 갖추고 있는 소프트웨어로의 기능 이전
- 견인/제동 제어장치의 새로운 배치
- 기능적 및 논리적 그룹화에 따라 나머지 하드웨어 제어장치 모듈화하기
- 미래의 호환성을 높이기 위한 구성품 인터페이스의 표준화
- 유선조종(drive-by-wire) 제어 개념의 적용
- 사용자 플랫폼을 통해 전체 프로젝트 기간 동안 ERA(유럽철도청)와 각 국가 당국을 관련시켜 전 유럽 네트워크에 EUDDplus 제어대 배치의 미래의 승인 절차를 용이하게 하는 것.

○ 열차를 제어하는 인간-기계 인터페이스(MMI)에 관한 국제적인 첨단기술이 여전히 국가와 운영기관마다 다르다. 이러한 불일치성은 유럽에서 철도 시스템의 상호운용성을 저해한다. 이러한 상황은 유럽에서 원활한 철도 교통을 방해하고 따라서 국제적인 철도 운행의 효율성을 감소시킨다. 운전실 제어대 레이아웃의 다양함은 비단 철도운영기관(TOC)에만 문제가 되는 것이 아니라 각 고객에게 전용 운전실 제어대 구성품을 개발, 공급해야 하는 공급업체들에게도 문제가 된다. 고객별로 다른 구성품을 공급해야하기 때문에, “규모의 경제”로부터 이익을 얻을 수 없다. 운전실의 조화의 결여는 결국 다른 운송 수단에 대한 철도의 경쟁력에 영향을 미친다.

○ 운전실이 안전과 관련된 인간-기계 상호작용을 결정함에도, 첨단 운전실 제어대의 레이아웃은 상호운용성이 결여된 것 외에도, 종종 열악한 인간공학적 조건을 제공한다. 각 국가별 여러 장비가 종종 너무 많이 장착되어 있는 제어대를 갖추고 있는 멀티 시스템 차량의 운전실이 특히 그러하다.

○ 이전의 EUDD와 MODTRAIN 프로젝트에서 얻어진 가망 있는 결과를 사용하고 구현함으로써, EUDDplus는 첨단 기술을 크게 개선할 수 있는 기반을 닦아야 한다. 특히 EUDDplus는 다음을 달성하고자 한다.

- 유럽에서 철도 시스템의 상호운용성의 개선
- 인간공학과 안전성의 개선
- 비용 절감(LCC)

(나) 총체적 접근

○ 이 프로젝트는 다음과 같은 핵심 요인(그리고 기타)을 효과적으로 다룰 수 있도록 구성되었다: 모듈화, 표준화, 조화 그리고 수명주기비용(LCC). 한 가지 핵심 목표는 유럽의 승인 프로세스의 속도를 높이는 것이었다. 다학제적 구성으로 조직된 프로젝트 팀이 제조업체와 철도 운영기관, 연구기관, 업계협회, 승인 당국 간 새로운 협력의 문화 개발을 위해 합의된 공

통 접근법을 바탕으로 협력했다.

○ 제조 분야는 시스템 제조업체인 Alstom, Siemens, Bombardier, Škoda와 하청회사인 Deuta-Werke, EAO Lumitas, W. Gessmann로 대표되었다. 그리고 체코 철도청(ČD), 헝가리국영철도의 차량 유지보수 부문(MÁV-GÉPÉSZET), 오스트리아연방철도(ÖBB)의 생산 부문이 이 프로젝트에 직접 통합된 철도 운영기관이었다. EUDDplus 프로젝트의 연구 부분은 IAS("Institut für Arbeits-und Sozialhygiene Stiftung"), 비엔나공과대학(Vienna University of Technology)의 "경영과학연구소 인적요인 워킹그룹(Institute of Managements science, Human factors working group)", AustriaTech ("오스트리아 연방 기술조치국(Austrian Federal Agency for Technological Measures)") 그리고 UPC(바르셀로나공과대학(Barcelona Tech University))에 의해 제공되었다. 앞에서 언급한 대로, 이 프로젝트는 TSB-FAV가 전체적으로 조정했다. 또한 국제철도연맹(UIC)과 유럽철도차량연맹(UNIFE)이 이 프로젝트 컨소시엄의 일원이었다. 국제철도연맹(UIC)과 유럽철도차량연맹(UNIFE)은 더 많은 유대관계를 형성하는 데 있어 큰 역할을 했다. 제조업체와 철도 표준화 기구, 승인 당국은 소위 사용자 플랫폼을 통해 이 프로젝트에 간접적으로 참여했다.

<표 33> EUDDplus 참여기관

계약자 번호	계약자 명	계약자 약칭	국가
1 (책임자)	TSB Innovationsagentur GmbH / Forschungs-und Anwendungsverbund Verkehrssystemtech-nik Berlin	FAV	독일
2	Siemens Aktiengesellschaft	SIE	독일
3	Bombardier Transportation GmbH	BT	독일
4	ÖBB Traktion GmbH	OEBB	오스트리아
5	MAV-GÈPÉSZET Zrt	MAV	헝가리
6	Ceske drahy a.s.	CD	체코
7	AustriaTech - Gesellschaft des Bundes für tech-nologiepolitische Maßnahmen GmbH	ATE	오스트리아
8	IAS Institut für Arbeits-und Sozialhygiene Stif-tung	IAS	독일
9	Technische Universität Wien / Vienna University of Technology	VUT	오스트리아
10	Fundació Politècnica de Catalunya - Universitat Politècnica de Catalunya	FPC-UPC	스페인
11	Union Internationale des Chemins de fer (국제철도연맹)	UIC	프랑스
12	Union of European Railway Industries (유럽철도산업연합)	UNIFE	벨기에
13	Deuta Werke GmbH	DEUTA	독일
14	SKODA TRANSPORTATION s.r.o.	ST	체코
15	ALSTOM Transport S.A.	ALS	프랑스
16	EAO Lumitas GmbH	EAO	독일
17	W. Gessmann GmbH	GES	독일



<그림 50> EUDDplus 제어대의 제어장치

○ 2006.08.09에 뮌휀 지멘스(Siemens) 구내에서 열린 프로젝트 착수회의로 여러 WP의 업무 프로그램이 논의되고 더 정확하게 명시되었다. 그리고 향후 몇 달 간의 상세한 사업 계획(Action Plan)이 수립되었다.

○ 기본적으로, 이 프로젝트는 개념 정밀화부터 이용까지의 기술 프로세스를 따르고, 사용자 참여와 인증 준비, 프로젝트 관리 같은 수평적 활동의 지원을 받는다.



<그림 51> EUDDplus 프로젝트의 수직적, 수평적 활동의 배치

○ **WP 1 프로젝트 관리**

- WP 1은 프로젝트 관리 업무에 전념했다. 프로젝트 관리는 행정적 및 기술적 조정으로 구성되었다. 다음 리스트는 주요 프로젝트 관리 활동/성과의 개요이다.

  · 주요 프로젝트 활동의 준비, 조직, 실행, 사후 처리.

  · 예, EUDDplus 착수회의(2006.08.09), 운영위원회 회의(2008.09.03), 기술 관리팀 회의(2009.01.15), EUDDplus 중간 세미나(2009.09.30), EUDDplus 공개 시연의 날(2009.12.08), EUDDplus 최종 컨퍼런스(2010.01.27).

  · WP 착수회의와 기술회의의 준비, 조직, 실행, 사후 처리.

  · 계약, 조직, 기술, 운영상의 이슈에 관한 토의를 비롯해 프로젝트의 진행상황에 대해 지속적으로 논의하기 위해 이메일, 전화, 전화회의, 회의를 통한 무수한 토의

- 다음에 의해, WP 2, 3, 4, 5, 7 지원

  · EUDDplus 접근법, 목표, 업무 계획, UIC SG 4 (2006.07)와 UIC SG 15 (2008.09, 2009.07)에 대한 현재 프로젝트 상태의 제시. 이후 사용자 플랫폼의 이해당사자들(철도 운영기관과 공급업체)의 리스트 작성에 도움이 됨.

  · 활동 리스트 추적과 기술적 경과(예, 제어대 구성 정밀화) 면에서 WP 리더들과 긴밀한 상호작용.

  · 인증 준비 지원. 예, 오스트리아 당국 책임자들과의 대화, 프로젝트의 경과 및 교차 승인(Cross Acceptance)과 프로젝트 외 승인 이슈의 의미 있는 진보에 관한 WP 3의 새 접근법에 대한 지원.

  · 2009.08.29-30에 VUZ 시험 센터 Velim에서 실시된 기준 시험과 2009.11.09 ~2009.12.04에 베그베르크-빌덴라스 시험검증센터에서 실시된 현장 시험의 준비, 실행, 평가 지원.

  · 정기 관리 및 활동 보고서와 해당 부록을 포함해, 유럽위원회(European Commission)에 제출하는 비용계산서(Cost Statement)의 작성 및 제출

  · EUDDplus의 상태에 관한 프로젝트 파트너와 EC 프로젝트 임원의 현재 정보

  · 업무기술서(Description of Work), 파트너의 직무와 예산의 재할당, 하청계약의 조정, 추가적 계약상의 이슈의 조정으로 인한 EUDDplus 계약 수정의 준비 및 종결.

  · 프로젝트 파트너인 Deuta를 UNIFE 토픽 그룹 Cab에 포함시키는 것 지원

  · 파트너에 대한 대금 지불 준비

  · 해당 부록을 포함해, EC에 제출하는 산출물과 최종보고서의 작성 및 제출

- EUDDplus 프로젝트와 IP(통합 프로젝트) MODTRAIN (하위 프로젝트 MODLINK) 간 긴

밀하고 중요한 상호작용이 EUDDplus 책임자이자 동시에 MODLINK SP 리더인 FAV를 통해 시작부터 바로 확립되었다. 이러한 양 프로젝트 간 동기화가 MODTRAIN에서 ORS 612의 지연 때문에 중요했다. 공급 업계와 연구자들의 도움으로 MODTRAIN 운영자 그룹(operator group)에 의해 기초된 ORS 612는 EUDDplus 개념 정밀화를 위한 주요 입력 자료로 확인되었다. 따라서 ORS 612의 지연은 EUDDplus의 진행에 중대한 영향을 미쳤다. ORS 612 지연을 제외하고, MODTRAIN과의 협력은 잘 이루어졌다. 마지막으로 말하기는 하지만 중요한 것으로, 이는 일부 조직/사람이 양 프로젝트에 모두 참여했기 때문이다.

- 현장 시험 단계에서, 조정(coordination) 활동은 현장 시험 준비와 실시를 용이하게 하고 안내하는 데 초점을 맞추었다. 예, 시험 시설과 화차, 신호 설비 그리고 추가적 서비스의 예약, 테스트 기관사의 모집, 그리고 책임상황과 현장 시험 중 기술적 및 운영상 안전에 대한 책임의 설명

○ **WP 2 EUDDplus 사용자 플랫폼**

- 사용자 참여는 2006년 7월, UIC SG 4에 대한 프로젝트 책임자의 프로젝트 프레젠테이션으로 시작되었다. 몇 달 후, UIC와 UNIFE(유럽철도산업연합)는 EUDDplus 사용자 플랫폼의 핵심이 되어야 하는, 이해관계 있는 철도 운영기관과 공급업체들을 식별했다.

- 프로젝트 컨소시엄 외부의 철도운영기관(TOC) (즉, SBB, SNCF)이 현장 시험 준비뿐 아니라 EUDDplus 개념 정밀화와 상세화에 관한 최종 토의에도 참여했다. 또한 현장 시험 준비 초기 단계에, 시험 참여가 가능한지 확인하기 위해 프로젝트 컨소시엄 외부의 철도운영기관에 접촉했다. 게다가, UIC SET 15의 구성원들은 프로젝트의 현재 상태에 대해 지속적으로 통보를 받고 있다.

- UNIFE는 여러 UNIFE 그룹을 통해 시스템, 하부시스템, 구성품 공급업체들과 관련되었다. 예, 기술적 전체 및 토픽 그룹(the Technical Plenary and the Topical Group) CAB. 이 그룹의 멤버들에게 프로젝트의 현재 상태를 알려 주기 위해 여러 차례의 프레젠테이션이 있었다. 여러 프로젝트 파트너가 CEN WG 37의 멤버이기 때문에, CEN WG 37 그룹 또한 프로젝트의 진행 상황에 대해 지속적으로 통보를 받았다.

- 파트너 UNIFE와 책임자 FAV가 주최한 EUDDplus 중간 세미나가 2009.09.30에 브뤼셀에서 열렸다. 책임자 FAV가 주최한 EUDDplus 공개 시연의 날 행사는 2009.12.08에 베그베르크-빌덴라스에서 열렸다. 그리고 파트너 UIC와 책임자 FAV가 주최한 EUDDplus 최종 컨퍼런스가 2010.01.27에 파리에서 열렸다.

○ **WP 3 승인 지원**

- WP 3에서 현장 시험 인증을 위한 준비 작업이 착수 직후 시작되었다. 오스트리아에서 당국 및 책임자들과의 건설적 대화의 결과, 가능한 한 일상 현장 운영을 보장하기 위해 바람직한 인증 범위가 얻어졌다. 또한, 인증 절차의 기본적 로드맵 초안이 작성되었다. 검사자와의 토의는 새 제어대 개념에 대해 고려해야 할 제약 요인을 식별하는 데 도움이 되었다.

그리고 오스트리아에서 인증 프로세스에는 숙련된 독립적 평가자의 평가가 수반되는 것으로 확인되었다.

- EUDDplus 제어대를 알스톰 PRIMA II 기관차 시작품에 통합하고, 베그베르크-빌덴라스 시험검증센터의 시험선로에서 현장 시험을 실시하기로 결정됨에 따라, 전체 승인 절차가 더 이상 필요하지 않았다. OEBB 네트워크의 정식 선로에서 베그베르크-빌덴라스 시험검증센터의 시험선로로 현장 시험 장소가 변경된 것과 교차 승인 이슈의 상당한 진보를 고려해, WP 3의 승인 이슈를 다루기 위한 새로운 접근법이 유럽철도청(ERA)의 전문가들과 함께 개발되었다.

- 따라서 WP 3 내에서 다음과 같은 작업이 실시되었다.

  · EUDDplus 사양이 상호운용성 지침(Interoperability Directive) 2008/57/EC와'기관차와 객차의 상호운용성에 대한 기존선 기술 사양'(CR TSI Loc&Pas RST)에 정해진 필수 요건을 충족한다는 증명

  · 파라미터 그리고 그 파라미터들과 여러 유럽 국가의 인증 당국과 철도 운영기관의 요건 간 연관관계를 포함하는 스프레드시트에 EUDDplus 사양 통합

○ **WP 4 EUDDplus 개념 정밀화와 상세화**

- WP 4 내 작업의 첫 번째 결과는 2006년 11월 중순, 최종 개념을 결정하기 위해 중요 측면을 분석한 것이었다. 이 문서는 제어대의 위치와 견인/제동장치의 배열, 그리고 디스플레이/소프트웨어 같은 중요 기술적 측면에 관해 평가와 권고를 제공했다. 이 문서는 기존 차량 플랫폼으로 인한 제약과 현재 인증 조건을 고려했다. 이러한 권고를 바탕으로, 구현해야 할 제어대 개념에 대한 기본적 결정이 2006년 12월에 내려졌다.

- 제어대 개념의 구현을 위해 제어대 개념을 정밀화, 상세화 하는 일이 프로젝트 개시 후 여섯 달 동안의 주요 기술적 작업이었다. MODTRAIN 상세화 프로세스에 관해, ORS 612 초안이 제어대 개념 정의에 대한 가장 최근의 EUDD 관련 상세화로 사용되었다. MODTRAIN에서 ORS 612 프로세스가 지연되었기 때문에, MODTRAIN(EUCAB)과 EUDDplus 프로젝트의 상호작용이 다른 철도 운영기관의 지원을 받아 UIC와 ÖBB(오스트리아국영철도)를 통해 증가했다. 또한 일부 ORS 기초(drafting) 관련 작업(예, 소프트웨어 상세화 관련 작업)이 EUDDplus 전문가의 직접 지원을 받았다.

- WP 4 내의 작업이 다음과 같은 작업과 함께 계속되었다: EUCAB와 이전 EUDD 결과에 따른 EUDDplus 제어대 구성의 정교화, 알스톰 PRIMA II 제어대 설계와 UIC 612 비교, 제어대의 여러 도면과 4개 디스플레이 스크린(TRD, ETD, CCD, TDD)의 사양, 그리고 속도의 설정점 값, 발전제동, 자동제동 그리고 주행 방향 선택기에 대한 하드웨어와 소프트웨어의 사양의 시험, 상세화를 위해 설계 수정하기. 이를 위해, 여러 차례의 회의와 한 번의 TMT 회의가 열렸다.

○ **WP 5 시스템 엔지니어링**

- WP 5 내에서, 개념 요건에 따른 기계적, 전기적, 공압적, 그리고 TCMS 인터페이스의 상세화, 전기 견인-제동 제어장치, 자동 브레이크, 자동 속도 제어장치 및 보조 제어대를 포함하는 제어대 하드웨어 구성품의 개발과 변경, 4개의 디스플레이/단말기의 소프트웨어의 개발과 시험이 실시되었다.

○ **WP 6 제작과 제어대 통합**

- PRIMA II 기관차에 대한 최초 기능 시험이 2009년 4월에 실시되었다. WP 6에 포함된 다른 작업으로는 다음과 같은 것들이 있다: PRIMA II 기관차 테스트 플랫폼에 대해 WP 4와 WP 5에 의해 주어진 사양에 따른 EUDDplus 시범용 제어대의 구현과 평가, 케이블 연결, 장비 장착을 포함한 제어대 제작, 운전실을 기관차에 통합하기 전 시험과 사양에 따른 시작품 제어대의 차량 통합.

- 2009.09.03에 EUDDplus 제어대가 갖추어진 운전실과 기관차를 프로젝트 컨소시엄에 제시한 후, 2009년 9월/10월에 빌덴라스 테스트 링에서 PRIMA II 기관차에 대한 광범위한 기능적 정적/동적 시험이 실시되었다.

- 병행하여, 훈련 시뮬레이터용 EUDDplus 제어대가 개발, 생산되었다. 이 EUDDplus 제어대는 테스트 기관사가 테스트를 준비할 수 있도록, 2009.11.04에 빌덴라스로 인도되었다. 이 제어대는 EUDDplus 공개 시연의 날과 EUDDplus 최종 컨퍼런스에서 사용되었고, 이후의 공개 활동에서도 사용될 것이다.

○ **WP 7 현장 시험 프로그램과 평가**

- 기술적 및 인간공학적 관점에서, 베그베르크-빌덴라스 시험검증센터의 EUDDplus 현장 시험은 운전실 제어대와 운전실의 상호작용에 관해 더 실제적일 것이다. 빌덴라스 시험 센터의 장비와 계획된 시나리오는 실제 운행에 사용되는 선로보다 대표적인 운행 상황을 더 잘 재현할 수 있게 할 것이다. 이것은 시뮬레이터 시험과 실제 운행 간 여전히 알 수 없는 연결 고리이다.

- 빌덴라스 시험 센터에서 현장 시험을 실시하기로 한 결정에 따라, 한편으로는 프로젝트의 필요성(인간공학적 관점에서의 과학적 평가와 승인 활동에 대한 입력)에 따르고 다른 한편으로는 기술, 운영, 조직상의 제약에 따라 테스트 프로그램이 정해졌다. 시험 시나리오는 기관사가 여러 가지 운전 모드(정상 운전, 감속 운전, 입환 작업)를 비롯해 모든 운전 장비를 적어도 한 번은 사용하게끔 설계되었다. 시험 시나리오는 테스트 기관사마다 시험 조건이 거의 같도록 정해졌다.

- 주어진 시험 요건에 따라 테스트될 모든 하드웨어와 소프트웨어 기준이 더 상세해졌다. (예, ETD상 전자 시간표의 표시, 여러 ETCS 수준에서의 운행에 대해 ERTMS 시뮬레이션의 차량 통합). 따라서 계획한 테스트 시나리오가 계속적으로 검토, 개선되었다.

- 또한, 시험 중 추가적 자료 수집 방법 - 안구추적장치의 도움으로 기관사의 눈동자의 움직임 측정 - 의 유용성이 논의되었다. 마지막으로, 일정한 시험 시나리오에 대해 안구추적장치를 사용하기로 결정되었다. 현장 시험 준비의 획기적 사건은 2009년 8월 말에 VUZ 시험 센터 Velim에서 실시된 기준 시험이었다. 3개국(체코, 독일, 헝가리)에서 4명의 기관사가 이 기준 시험을 실시했다.



<그림 52> EUDDplus 기준 시험에 사용된 Škoda 109E 기관차 시작품



<그림 53> EUDD 원칙에 따른 Škoda 109E 기관차 시작품의 운전실 제어대의 설계

- 2009.11.09부터 2009.12.04까지 10개국(오스트리아, 벨기에, 체코, 프랑스, 독일, 헝가리, 이탈리아, 네덜란드, 슬로베니아, 스위스) 17명의 기관사로 베그베르크-빌덴라스 시험검증센터에서 현장 시험이 실시되었다.
- 현장 시험 동안 인적 요인에 대한 과학적 분석과 평가(질문서, 시험 중 기관사의 의견과 기관사 모니터링, 안구 움직임 기록, 휘도 측정)가 실시되었다. 현장 시험과 이전 EUDD, MODTRAIN/MODLINK/EUCAB 프로젝트의 결과에 대해 EUDDplus 개념의 LCC상의 이점이 검증되고 더욱 정교화 되었다.

○ **WP 8 광범위한 이용의 결론**

- WP 8 활동은 WP 2, WP 3, WP 7와 강한 관련이 있는 것으로 볼 수 있다. 사용자 플랫폼을 기준으로, WP 8에 대한 중요한 입력은 TOC, 시스템/하부시스템/구성품 공급업체와 당국, 인증기관(Notified Body), 표준화 기관으로부터 왔다. ERA와의 접촉을 통해 WP 3(승인 지원)의 새로운 접근법에 필수적인 입력정보를 얻을 수 있었고, 이것은 다시 WP 8의 입력이 되었다.
- 세계적인 교차 승인과 표준화를 고려하여, 업데이트된 LCC 고려사항뿐 아니라 현장 시험 결과를 바탕으로 한 EUDD/EUCAB 배치의 이용과 시장 침투에 대한 현실적 시나리오가 준비되었다. 따라서, 전제조건으로 승인에 필수적인 시험 항목과 현장 시험 중 검증해야 할 LCC 고려사항이 정의되어야 한다.
- WP 3 내에서, EUDDplus 사양이 상호운용성 지침(Interoperability Directive) 2008/57/EC와 CR TSI Loc&Pas RST에 정해진 필수 요건을 충족하는지 증명되었다. EUDDplus 사양이 파라미터 그리고 그 파라미터들과 여러 유럽 국가의 인증 당국과 철도 운영기관의 요건 간 연관관계를 포함하는 스프레드시트에 통합되었다.

(2) EUDDplus 개념의 기능성

(가) 사양

○ EUDDplus 운전실 제어대는 UIC Leaflet 612-0을 기준으로 한다. UIC Leaflet 612-0는 EMU/DMU, 기관차, 동력객차의 기관사-기계 인터페이스를 정의하고, 특히 조화된 기관사-기계 인터페이스와 관련되는 기능 및 시스템 요건을 정의한다.

○ 제안된 제어대를 통합하기 위해 선택된 것은 4종류의 급전 시스템을 갖춘 기관차(화물과 승객 동시 수송 열차용)였다.

(나) 하드웨어

○ 제어대의 구성요소의 배치를 결정하는 결정적 요소는 주행 중 그 구성요소를 사용해야 하

는 필요성의 성격이었다. 제어대의 제어장치는 여성 5백분위수에서 남성 95백분위수에 속하는 신체 크기를 가진 누구라도 그 제어장치에 도달할 수 있도록 배치되었다. 또 다른 난관은 25개가 넘는 제어장치를 실수로 관계없는 요소를 작동시키지 않도록 하면서 배치해야 하는 것이었다. 그렇지만 또 다른 제약은 이러한 제어장치의 배치가 디스플레이 양쪽을 따라 놓인 푸시버튼에 접근하는 것을 방해해서는 안 되는 것이었다.

○ 일부 기능을 작동시키기 위한 요소가 기능 모듈로 그룹화 되었고, 쉽게 찾을 수 있도록 제어대에 순차적으로 배치되었다. 예: 도어 제어장치, 연속 열차 자동 제어장치, 방향 변경 및 마스터 스위치 + 팬터그래프. 이 배치는 열차의 기능적 특성에 맞게 조정되었다. 예를 들어, 왼쪽 도어를 개방하는 것은 왼쪽에 배치되고, 모든 도어를 잠그는 것은 가운데, 그리고 오른쪽 도어를 개방하는 것은 오른쪽에 배치되었다.

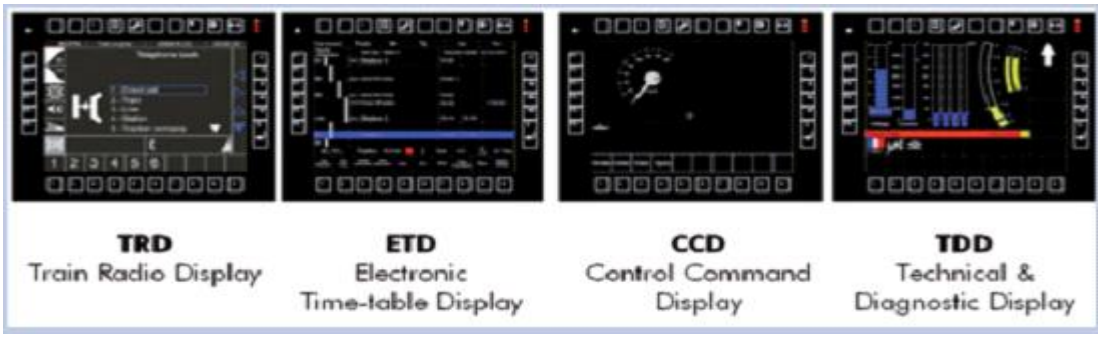
○ 제어장치의 다양한 형태는 제어장치가 실행하는 다양한 기능을 반영한다. 일부 제어장치 형태는 팬터그래프 상단의 형태를 닮은 팬터그래프 제어장치처럼 명확하다. 이는 모든 요소가 스트레스 상황에서 기관사에게 주어지는 인지적 부하를 줄이도록 하기 위함이다.

○ 한 가지 핵심적 질문은 기관사의 브레이크 밸브를 기관사의 오른쪽에 배치하는 결정의 타당성이었다. 많은 유럽 철도가 전통적으로 기관사의 브레이크 밸브를 오른쪽에 두고 역동적 주행/제동 제어장치 레버를 왼쪽에 두고 있는 반면, 다른 철도에서는 이와 정반대로 배치한다.

○ 이제 EUDDplus 제어대에서 모든 제어장치가 형태 및 위치 면에서 표준화되었다. 그리고 명령을 전송하는 방법과 입력에 대응하는 방식도 표준화되었다. 결합된 견인/제동 제어장치 레버의 경우, 견인력이 적용될지 제동력이 적용될지는 항상 레버의 위치에 달려있다. 공기 브레이크와 자동 견인 및 제동 제어장치 레버 또한 위치의 함수로 조절된다. 기관사가 결합된 견인/ 제동 제어장치 레버와 기관사의 브레이크 밸브를 동시에 조작하고자 하면, 우선순위를 가지는 것은 자동으로 더 큰 제동력을 발생시키는 것이다. 이러한 상황에서 기관차의 브레이크 컴퓨터는 휠과 레일 간 마찰 접촉의 최대 허용 점착치를 고려한다. 차량 시스템의 표준 대응에 기관사가 대처하는 방식에 대해 인간공학적 평가가 실시되었다.

(다) 소프트웨어

○ EUDDplus 제어대에는 각기 다른 기능을 가진 네 개의 디스플레이가 통합되어 있다.



<그림 54> 제어대에 통합된 디스플레이들

○ 사용자 안내, 스크린 내용의 선택, 데이터 입력이 조화되고, 각 개별 디스플레이에 대해 최적화되었다. 주요 고려사항은 다음과 같았다:

- 제공되는 정보는 기관사가 열차를 운전하는 동안 필요한 내용으로 제한되어야 한다. 기관사의 조치가 필요 없는 메시지(예, 화장실 고장)는 표시되어서는 안 된다.
- 사용자 인터페이스의 설계 및 소프트웨어가 제공하는 사용자 안내는 4개 디스플레이 모두에서 논리적 작동을 보장하기 위해 균일해야 한다.
- 제시되는 정보의 양은 최소화되어야 하고, 또한 해당 시점에 기관사가 수행하고 있는 작업에 적합해야 한다.
- 스크린의 표시는 표시된 기능을 간단하게 사용할 수 있도록 해야 한다.
- 정보는 명확하고, 난잡하지 않아야 한다.
- 정보를 이해하는 데 드는 시간이 최소화되어야 한다. 활성화된 버튼의 수와 시스템 응답 시간 또한 최소화되어야 한다.
- 기관사가 열차를 운전하는 동안 필요 없는 기능은 표시되어서는 안 된다

○ 향후, 여러 디스플레이 간 중복모드가 디스플레이의 가용성을 더 크게 할 것이다.

(3) 테스트 플랫폼인 Prima II 여러 종류의 급전 시스템을 갖춘 기관차

○ 최근에 Alstom이 개발한 Prima II 기관차는 4종류의 급전 시스템으로 작동하도록 되어 있다. EUDDplus 현장 시험에 사용된 Prima II 기관차 시제품에는 ETCS Level 1, 2가 갖추어져 있고, Prima II 기관차 시제품은 화물 열차 조성 시 최고속도 140 km/h, 여객 수송 열차 조성 시 최고속도 200km/h까지 운행 가능하도록 설계되었다. Prima II 기관차에 관한 상세 정보는 이 RTR호의 별도의 기사에서 찾을 수 있다.



<그림 55> Alstom의 여러 종류의 급전시스템을 갖춘 기관차 PRIMA II

○ Prima II 운전실의 크기를 감안할 때, EUDDplus 제어대를 운전실의 왼쪽에 통합하는 데는 어려움이 발생하지 않았다. UIC Leaflet 612-0에 따라, 운전실은제어대를 차량의 가운데 혹은 오른쪽에도 배치할 수 있도록 구성되었다.

○ 제어대에는 ETCS용 디스플레이가 포함되어 있다. 따라서 특정 전송 모듈(STM)을 사용하는 모든 열차방호시스템이 추가 디스플레이가 필요 없이 표시될 수 있다. STM을 사용하지 않는 추가적 열차방호시스템을 통합하는 것은 인간공학적 관점에서 볼 때 어려울 것이다. 그리고 이런 경우, 제어대의 중간 구역은 쉽게 확장할 수 있기 때문에 중앙에 놓인 제어대가 나을 것이다.

○ 보조 제어대에서 기관차를 운전하는 경우, 이상적으로 기관사의 한 손은 자유로워야 하고 다른 손으로 결합 견인/제동 제어장치를 조작할 수 있어야 한다. 이런 상황에서, 자동경계장치는 발로 조작한다.

(4) 현장 시험

(가) 시험 참가자

○ 유럽 10개국(오스트리아와 벨기에, 체코, 프랑스, 독일, 헝가리, 이탈리아, 네덜란드, 슬로베니아 그리고 스위스)으로부터 총 17명의 기관사들이 PCW에서 EUDDplus 현장 시험에 참여했다. 이 참가자들 중 6명은 MODTRAIN/EUCAB 프로젝트의 시뮬레이터 테스트에도 참가했다.

(나) 테스트 시나리오

○ 현실에 가까운 조건에서 EUDDplus 제어대 사용을 시험해 보기 위해, 현장 시험을 위한 6

개의 시나리오가 도출되었다. 이 6개의 시나리오는 기관사들에게 운전실 디스플레이를 사용해 다양한 운전 상황에 대처할 것을 요구했다. 실제 시운전에 착수하기 전에 각 기관사는 시뮬레이터에서 개별적 훈련을 받았다. 시뮬레이터 훈련 후에는 소위 “시나리오 0”이라고 하는 프로그램이 이어졌다. 시나리오 0은 기관사들에게 데이터 기록 없이 대형 테스트링인 T1을 여러 차례 돌면서 Prima II 기관차의 운전실에 익숙해질 수 있는 기회를 주었다. 실제 시운전은 최대 120 km/h의 속도, 여러 조명 조건(즉, 주간과 야간)에서 정상 운전 상황일 때 기관사가 운전실을 어떻게 관리하는지 평가하는 것으로 시작되었다. 시나리오 1과 2에는 다음과 같은 구체적인 운전 상황에 대한 모방이 포함되었다. 예, 위험을 나타내는 신호에 대한 접근, 절연구간(dead section) 주행, 급전 시스템 변경, 두 개의 열차방호시스템 간 전환 (포인트에서 ETCS Level 1과 0 사이에서 전환되는 경우). 또한 기관사들에게 다음과 같은 운행 준비 활동을 할 것이 요구되었다. 예, 브레이크 성능 시험, 자동경계장치 시험, ETCS 시스템 작동 확인, 그리고 열차 데이터 입력. 시나리오 3과 4는 압축기 고장과 비상 제동 같은 특별한 사건의 시뮬레이션을 위해 사용되었다. 시나리오 3과 4는 최고 허용속도가 85 km/h인 소형 테스트 링 T2에서 실행되었다.

○ 테스트 시리즈는 시나리오 5로 끝났다. 시나리오 5는 구배가 최대 40 ‰인 테스트 궤도 T5에서 입환 조작 중 보조 제어대의 질을 시험하기 위해 설계되었다. 현장 시험을 위해 실제 철도 선로가 아닌 PCW가 선택되었다는 사실이 모든 시나리오를 동일하게 제시할 수 있는 이점을 제공했다. 따라서 비교를 할 수 있는 유리한 조건이 만들어졌다.

(다) 시운전의 구성

○ 실제 운전 상황을 시뮬레이션하고, 긴 메인 브레이크 파이프가 있는 기관사 브레이크 밸브의 표준 위치를 확인하기 위해, T1 테스트링에서의 시운전에 화물 열차가 사용되었다. 이 시운전은 테스트 기관차와 최대 120 km/h로 주행할 수 있는 9대의 짐이 실리지 않은 Sgns 타입 컨테이너 화차로 구성되었다. 이 테스트 열차의 길이는 197m, 총 질량은 269톤, 그리고 제동 무게 백분율은 103이었다.

○ 또한, 6개의 LED 신호기가 대형 테스트링 주위에 설치되었다. LED 신호기의 위치는 고정되어 있지만 다른 신호를 현시하는 것(Fig. 4)이 가능했다. LED 신호기는 장내신호기 및 원방신호기로 사용되었고, 또한 영구적 속도 제한, 절연구간, 전압 변경 구간 그리고 열차방호장치의 변경을 표시하는 데 사용되었다. 이로써, 둘레길이 6 km인 테스트링 T1을 여러 바퀴 주행하는 것으로서 테스트 열차가 다양한 운전 제한조건으로 50-60 km 노선을 주행하는 것이 가능하게 되었다.



<그림 56> PCW 테스트링 T1의 이동식 신호기

(라) 시험 방법

○ 기관사들에게 제어대를 사용하고 난 후마다 평가해 줄 것을 요청했다. 이러한 평가를 위해, 인간공학 및 사용성에 초점을 맞춘 표준화된 설문지를 사용했다. 보다 구체적으로, 설문지의 질문은 인지의 용이성, 접근성, 모든 중요 제어장치 조작의 단순성, 그리고 디스플레이의 표시와 가독성(legibility), 가해성(comprehensibility)을 다루었다.

○ 운전실의 콘트라스트 조건을 발광 카메라 장치를 사용해 측정했다. 시나리오 1과 3에서는 기관사의 안구 움직임을 기록하기 위해 또한 이동식 안구추적장치도 사용했다. 안구추적장치는 기관사가 예상된 위치에서 디스플레이 장치를 찾았는지 여부와 디스플레이의 변화를 얼마나 빨리 알아차렸는지를 확인할 수 있는 데이터를 제공했다. 이러한 결과와 기관사가 설문지에 답할 때 표현하는 주관적 견해를 결합해, 운전 전략을 인식하고 가장 중요한 제어장치와 디스플레이의 배치 및 취급에 관한 단서를 도출할 수 있었다.

(5) 시험 결과

(가) 전체적 인상

○ 제어대에 대해 기관사들은 대체적으로 원하지 않는 반사를 줄이는 금속성 파란색 표면을 환영했다. 색상이 들어가 있는 햇빛 가리개도 성가신 눈부심을 억제하는 데 도움이 되는 것으로 밝혀졌다. 기관사들의 이러한 선호는 발광 측정 및 발광 측정에서 계산된 콘트라스트 값과 일치하는 것으로 나타났다. 테스트 기관사들은 또한 제안된 새 작업장이 제어대 형태, 푸시버튼과 스위치의 배열, 선택된 디스플레이 그리고 이미 언급한 바와 같이 색상 측면에서 훨씬 더 편안하다고 보고했다.

(나) 하드웨어

○ 새로운 설계의 목적 중 한 가지는 제어대에 있는 제어장치의 수를 줄이는 것이었다. 남겨진 제어장치들은 순차적 또는 기능적 모듈로 그룹화해, 더 쉽게 직관적으로 조작할 수 있게 되었다.

○ 대체적으로, 기관사들은 제어대 상 제어장치의 배열과 모양에 만족했다. 테스트 기관사들은 또한 직관적 조작의 목적이 달성되었다고 느꼈다. 기관사들의 안구 움직임을 측정함으로써 이것이 확인되었다. 테스트 시나리오 동안, 기관사들은 이미 다른 운전실에서 관찰되었던 것보다 많이 제어대를 쳐다보지 않았다. 일반적으로 긍정적인 평가에도 불구하고, 기관사들은 세부적인 점, 특히 제어장치에 대한 접근성에 대해 개선 사항을 제안했다. 기관사들은 제어장치 사용 시 다른 제어장치가 방해가 되지 않도록, 일부 모듈의 재배치를 원했다.

○ 제어장치와 관련해 자주 논의된 한 가지 주제는 최고의 푸시버튼 설계였다. 다시 말해, 푸시버튼이 제어대 표면과 같은 높이여야 하는지 아니면 약간 올라와 있어야 하는지였다. 기관사들은 적어도 제어대 중앙 부분에서는 제어대 표면과 높이가 같은 푸시버튼을 선호했다. 이유는 푸시버튼을 누를 때 피드백이 더 좋기 때문이라고 말했다. 하지만 기관사들은 제어대 가장자리에서는 올라와 있는 푸시버튼을 선호했다. 그래야 느끼기가 더 쉽고, 운전 중 보지 않고도 쉽게 조작할 수 있기 때문이었다.



<그림 57> 급전 시스템 변경 중 기관사 안구움직임의 분석



<그림 58> 전체 시운전 중 기관사 안구 움직임의 분석

(다) 디스플레이의 내용과 모니터링

○ 여러 기관사 기능이 현재 소프트웨어에 구현된 것을 감안할 때, 핵심 평가 이슈 중 하나는 현재 모니터링과 상호작용 모두에 사용되는 새로 설계된 스크린 인터페이스에 대한 테스트 기관사의 반응이었다. 기관사들은 대체적으로 4개 디스플레이에 걸쳐 정보가 분산된 것과 선택된 색상, 기본 구조에 찬성하였다. 그런데 대부분의 기관사가 거부한 한 가지 점이 있었는데, 그것은 전자시간표 시트의 표시였다. 기관사들은 전자시간표 시트의 구조가 나쁘다고 생각했다. 일부 기관사는 또한 곳곳에서 글꼴 크기가 너무 작고, 일부 정보 항목은 중복이 너무 많다는 점에서, 전자시간표 시트를 흠잡았다.

○ 시나리오에 정해진 대로 특정 운전 상황을 여러 번 반복하면서 디스플레이에 표시된 주요 내용을 분석할 수 있을 뿐 아니라 특별한 상황 중 디스플레이 이동(navigation)의 직관적 조작과 논리도 평가할 수 있었다. 또한 하드웨어 요소와의 병행 또는 순차적 상호작용으로 기록이 생성되었다. 전차선 전압 변경이 이에 관한 좋은 예이다. 이 전압 변경 절차의 순서는 다음과 같다: 메인 스위치 off - 팬터그래프 하강 - 디스플레이 상 급전 시스템 변경 하위 메뉴 선택 - 새 급전 시스템 선택. 일단 이런 식으로 새 급전 시스템을 선택하고 나면, 다시 팬터그래프를 올리고, 메인 스위치를 켜야 했다.

○ 이 절차 전체를 완료하는 데는 약 60초가 걸렸다. 그리고 이 절차가 진행되는 동안, 기관사는 또한 계속해서 전방 궤도와 CCD(제어지령 디스플레이)를 보아야 했다. Fig. 5는 급전 시스템 변경 절차 중 기관사의 눈이 정지하는 개별 영역을 보여 준다. 한편 대조적으로 Fig. 6은 전체 시운전 중 기관사의 눈길이 닿는 포인트의 분포를 보여 준다.

○ 급전 시스템 변경 중 기관사들이 TDD(기술진단 디스플레이)에 더 신경을 써야 했다는 사실에도 불구하고, 기관사들은 TDD에 급전 시스템 변경이 배치된 방식에 대해매우 긍정적인 평가를 했다. 기관사들은 특히 메뉴 구조가 급전 시스템 변경을 용이하게 했다는 것과 메뉴를 조작하는 데 실수가 없었다는 사실을 발견했다. 설문지 작성 결과를 보면, Prima II에서 이행된 절차가 다른 시스템보다 더 간단하고 실용적인 것으로 나타났다.

(라) 디스플레이에서 정보 찾기

○ 기관사의 안구 움직임을 분석한 결과는 주행 중, 기관사들이 일반적으로 CCD에 많은 주의를 기울였고, CCD 중 특히 속도 표시계와 ETCS 요소(다이어그램, 픽토그램, 텍스트 메시지) 그리고 상태 메시지에 많은 주의를 기울였음을 보여 주었다. 선로변 신호에 따라 운전하는 것과 ETCS 제어(차상 신호 있음)하에서 운전하는 것 간에 CCD에 기울인 주의의 정도에 매우 현저한 차이가 있었다. 선로변 신호에 따라 운전하는 경우, 기관사들은 총 시간의 평균 26.0%를 CCD를 보는 데 썼고, 40.5%는 전방 궤도를 보는 데, 그리고 14.1%는 전자시간표 시트를 보는 데 사용했다. ETCS 제어 하에서 운전하는 경우는, CCD를 보는 데 쓴 시간이 39.4%로 증가했고, 전방 궤도를 보는 데 쓴 시간은 36.3%로 떨어졌다. 그리고 고작 8.5%가 여전히 전자시간표를 보는 데 남겨졌다.

○ 전체적으로, 안구 추적 측정을 통해 디스플레이가 인간공학적으로 유리하게 설계되었다는 것이 확인되었다.

(6) 수명주기비용(LCC)

○ EUDDplus 제어대를 대규모로 도입하는 것이 또한 경제적으로 타당한지 평가하기 위해, EUDDplus 제어대 개념의 가능한 수명주기비용을 추정했다. 이 연구는 입력의 하나로 EUDD 프로젝트 중에 이미 만들어진 시장 침투 시나리오를 사용하고, MODTRAIN 프로젝트에서 이미 사용된 것과 똑같은 LCC 계산 도구를 적용했다. 결과는 모듈식 구조로 된 EUDDplus 제어대를 70-90대의 배치(batch)로 생산하고, 각 고객의 구체적인 요구사항을 충족시키기 위해 제어대를 맞춤식으로 하고자 엔지니어링 및 제조 공정을 크게 변경시키지 않는다는 가정 하에, 기존 제어대에 비해 LCC를 12% 절감하는 것이 가능하다는 것을 보여주었다. 만약 더 큰 배치(batch)로 제조하는 것이 가능하면, LCC 절감 가능성이 더 클 것이다. 기존 제어대와 비교해 볼 때 최대 약 30% 절감이 가능할 것으로 예상된다.

(7) TSI 요건 준수

○ 한편으로는 UIC Leaflet 612-0에 규정된 EUDDplus 사양, 또 한편으로는 테스트 기관차에 장착된 제어대를 사용해 TSI 요건 준수에 대한 종합 평가를 실시했다. 그 결과 EUDDplus 사양이 TSI 요건을 80% 충족하는 것으로 나타났다. 적합성 평가에 사용된 기준은 안전, 신

뢰성, 이용가능성, 건강, 환경 보호 그리고 기술 호환성의 “핵심 요건”으로 구성되었다. 기술 호환성은 “개조된” 상호운용성 지침(Interoperability Directive) 2008/57/EC와 기존 철도 시스템의 “기관차와 여객 차량(Locomotives and Passenger Rolling Stock)”에 대한 미래의 상호운용성 기술규격(TSI) (TSI CR LOC&PAS RST)에 상세히 정의되어 있다. 기술 호환성 요건은 앞에서 언급한 상호운용성 지침의 부록 VII의 종합 파라미터 세트와 해당 부속 기술 문서에 실려 있다.

○ 적합성 평가의 목적상, 선택된 파라미터들은 운전실을 평가하는 데 적절한 것들이었다. 브레이크 기능, 시각적 및 청각적 차량 식별, 운전실 실내 설계, 근무 환경, 인간/기계 인터페이스 배열, 제어대와 장비의 마킹 등이 이에 해당한다. TSI의 해당 문언과 맞추어 보면, 50개가 넘는 적절한 평가 기준이 평가되었다.

○ EUDDplus 사양에 대한 평가는 실제로 TSI 및 UIC Leaflet 612-0의 해당 구절을 비교하여 실시되었다. Prima II 기관차에 구현된 테스트 운전실에 대한 평가는 육안검사와 기관사 및 알스톰 기술 전문가의 진술을 토대로 이루어졌다.

○ 적합성 평가 결과, 다음과 같은 결과가 얻어졌다. 실제로 고려된 평가 기준을 근거로, EUDDplus 사양은 86%의 적합성을 얻었다. 한편, 장착된 테스트 제어대는 미래 TSI CR LOC&PAS RST의 요건을 79% 충족하는 것으로 나타났다.

(8) 결과와 전망

○ EUDDplus는 약 12년간 계속된 집중적 경쟁 전 연구 및 개발 작업의 마지막을 장식한다. EUDDplus는 조화로운 기능적 배열을 갖추고 있고, 기본적인 인간공학 원칙을 충족하는 표준화된 유럽 운전실 제어대를 향한 큰 진전을 이루었다.

○ 이로써 국제철도연맹(UIC)과 유럽철도차량연맹(UNIFE)은 2010년 6월에 UIC Leaflet 612-0과 MODTRAIN/EUCAB 및 EUDDplus 프로젝트의 결과를 바탕으로, “TSI 고속선 및 기존선에서 기관사-기계 인터페이스에 대한 기술적 권고사항(Technical Recommendation for Driver Machine Interfaces in the scope of TSI High Speed and Conventional Rail)”을 공동으로 발표할 수 있었다.

○ EUDDplus 프로젝트의 결과는 또한 유럽표준화위원회(CEN)의 실무 기구인 CEN/TC 256/WG 37의 활동에 상당한 영향을 미치고 있다. 향후 EUDDplus 프로젝트는 또한 기관사의 신체 크기를 고려해, 운전실 접근과 전방 시야(고려해야 할 필요가 있는 신호기 배치 포함)에 대한 일반적 설계 규칙을 정의하는 새로운 유럽 기준과 기본적 레이아웃과 장비 및 조작 요소에 대한 접근성에 관한 TSI 요건의 평가 절차를 만들고자 한다.

8. 국내 철도의 인적오류 연구 동향 검토

○ 국내 철도에서는 기술적·사회적 안전위협 요소에 대응하고, 철도시스템에 대한 종합적인 안전대책과 철도안전법의 효율적·기술적 시행기반을 마련하기 위해 2004년 10월부터 철도종합안전기술개발사업을 진행 중임

○ 철도종합안전기술개발사업은 철도안전시스템 엔지니어링 총괄과제와 철도안전관리체계구축, 철도중대사고 예방과 피해저감기술 개발의 세 분야로 구분하여 사업이 진행되고 있음

○ 철도종합안전기술개발사업의 주요 사업내용은 아래와 같음

- 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
- 중대사고 예방 및 피해저감기술개발 분야
  - 철도화재 안전성능 평가 및 사고방지 기술 개발
  - 철도차량 충돌 안전성능 평가 및 피해저감 기술개발
  - 열차제어시스템 안전성능 평가 및 사고방지 기술개발
  - 철도차량 탈선 안전성능 평가 및 사고방지 기술개발
  - 철도건널목 지능화를 통한 사고예방 및 피해저감 기술개발

○ 본 보고서에서는 철도종합안전기술개발사업의 연구내용 중 인적요인 연구와 관련된 「안전업무종사자 인적오류관리 및 업무적성 평가기준 개발」 과 「안전업무종사자 교육훈련체계 구축」의 연구내용을 검토하고자 함

○ 해당 연구들은 제도적 관리체계 중 자격제도 및 교육훈련에 통해 기관사의 인적오류를 줄

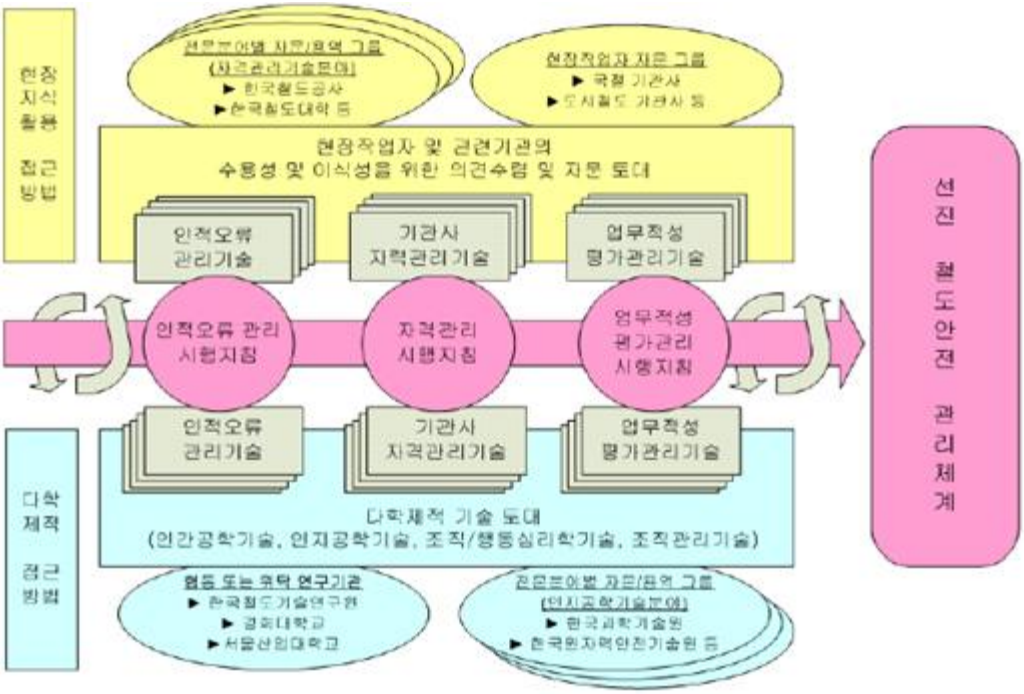
이는데 목적이 있으며, 인적요소 관리체계 중 인간-기계 연계체제(MMI) 관리 형태, 철도차량 운전실의 환경, 배치, 워크스테이션 디자인과 같은 작업환경의 평가 및 개선에 관한 연구는 진행되지 못 하였음

가. 안전업무종사자 인적오류 관리 및 업무적성 평가기준 개발

○ 연구목적은 국내 철도산업에서 인적오류를 줄이기 위한 제도적 관리체계 중 인적오류를 줄이는데 필요한 세부 시행지침을 개발하는 것임

○ 주요 연구 내용은 다음과 같음

- 일본・미국・프랑스 등 철도 선진국과의 협조를 통한 운전업무종사자의 자격요건 평가기준 및 절차분석, 국내 철도분야로의 적용가능성 검토 및 세부방안 제시
- 원자력 및 항공분야 등 타 산업분야의 운전업무종사자 자격요건의 벤치마킹 및 비교분석을 수행하고, 국내 철도분야로의 적용가능성 검토 및 세부방안 제시
- 현행 국내 철도조직의 자격요건 평가제도의 운영현황, 기준 및 절차분석을 심층적으로 행하여 문제점과 개선점 도출하여, 사례분석 결과에 따른 향후 지속적인 관리를 위한 제도적 기본요건 제시
- 작업 및 직무분석을 이용하여 운전업무종사자의 주요 직무를 평가하고, 주요 작업 평가결과 및 타 산업분야 자격요건 비교결과에 기초한 운전업무종사자 자격요건 재평가 후 현행 자격요건에 대한 보완 및 개선방안 제시
- 국철/도시철도 운전업무종사자에 대한 운전업무종사자 자격관리 항목 및 상위 기술기준 초안을 개발하고, 개발된 자격관리 기술기준 초안에 대한 관련 조직 협의를 통한 보완. 운전업무종사자 자격관리 상위 기술기준 제시
- 국철/도시철도 운전업무종사자에 대응하는 자격관리 시행지침 항목 및 초안 개발하고, 개발된 시행지침 항목 및 초안에 대한 관련 조직 협의하여, 운전업무종사자 자격관리에 대한 세부시행지침 제시



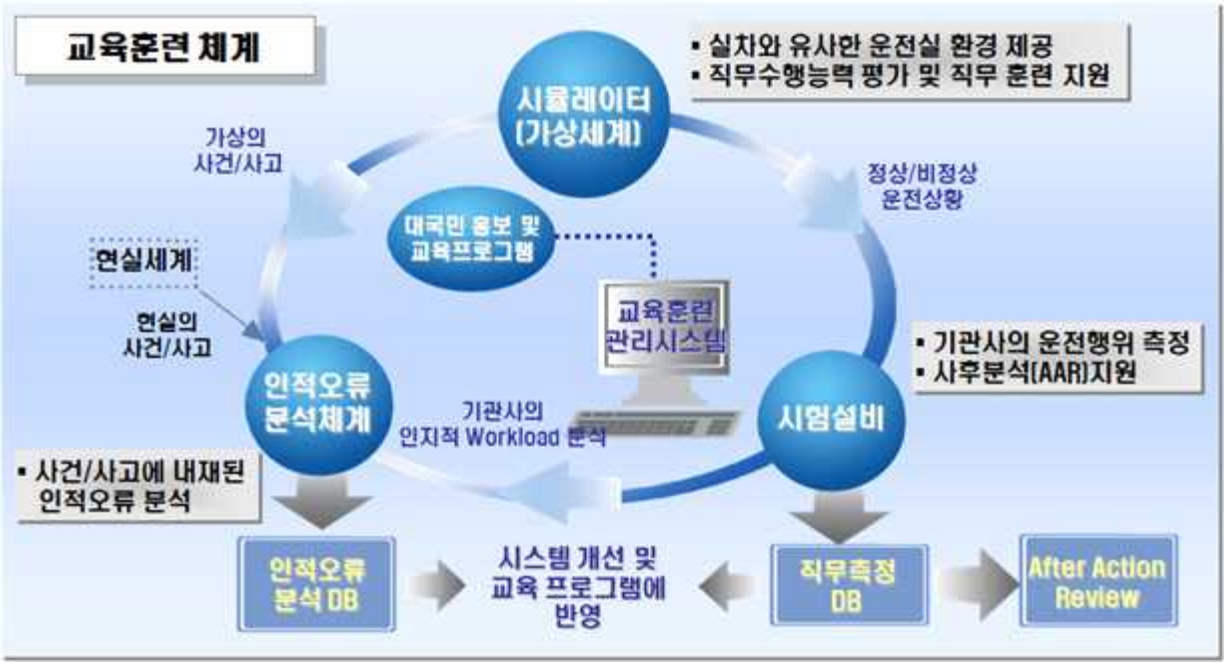
<그림 59> 「안전업무종사자 인적오류 관리 및 업무적성 평가기준 개발」 연구체계

나. 안전업무종사자 교육훈련체계 구축

○ 본 연구개발의 최종목표는 인적오류 분석체계 개발, 직무수행능력 시험설비 개발, 수행능력 평가 시뮬레이터 개발, 그리고 대국민 홍보 및 교육 프로그램을 개발하여 작업 수행자의 직무수행 능력 향상과 인적오류 저감 및 예방을 지원하는 교육훈련 체계를 구축하는 것임

○ 주요 연구 내용은 다음과 같음

- 철도 사고 및 사건에 개입된 인적오류 행위의 원인을 체계적으로 분석하고 재발 방지를 위한 효과적인 예방대책 마련을 돕는 인적오류 분석체계 개발 및 보급
- 정상/비정상 상황에서의 운전자의 행위를 관측하고 사후 분석(After Action Review)을 지원하는 시험설비의 개발
- 실차와 유사한 운전실 환경을 제공하고 직무수행능력 평가 및 직무훈련을 지원하는 시뮬레이터 개발
- 철도안전사고 방지 및 철도 안전성 홍보를 위한 대국민 철도안전 홍보 및 교육 프로그램 개발



<그림 60> 「안전업무종사자 교육훈련체계 구축」 연구체계

다. 차량 승차감 평가 연구

○ 철도차량에 있어서의 승차감은 승객이 느끼는 진동, 소음, 온도, 습도, 조명, 좌석의 질감, 천정높이, 전망, 환풍 등에 의해 복합적으로 결정됨

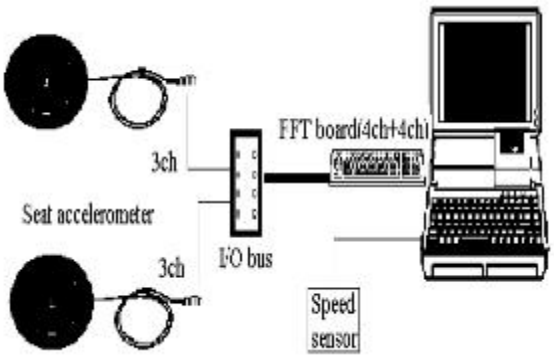
○ 따라서 차량 승차감에 대한 연구는 ① 승차감에 영향을 미치는 물리량의 측정 및 분석 부문과, ② 인간의 응답 및 거동, 인지의 측정 부문으로 분류될 수 있음

○ 전자의 경우(승차감에 영향을 미치는 물리량의 측정 및 분석 부문)에는 철도차량의 다양한 동적거동을 해석할 수 있는 수치해석 모델 또는 가상 철도 차량 시스템을 개발하고, 승차감을 평가하여 비교하는 원내외 연구가 발표되고 있음

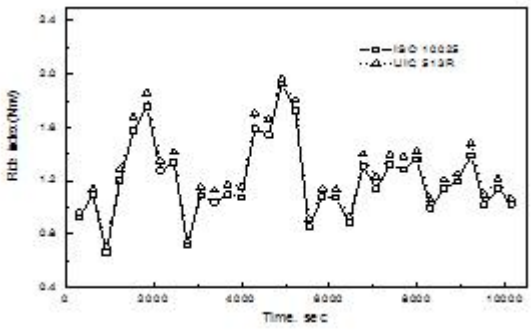
○ 철도차량의 승차감 평가는 일반적으로 차량의 진동 가속도를 측정한 후 인간의 등가 감응량으로 정량화시켜 평가하는 방법을 사용하고 있음

○ 원내에서는 KTX, HSR 350x 고속철도차량, 고무차륜 경량전철 등 평가 차량의 진동 가속도를 측정하고, 이를 이용하여 UIC 513R과 ISO 10056 규격에서 제시한 방법에 의한 승차감을 분석 및 평가하는 연구가 진행됨

○ 「인간의 응답 및 거동, 인지의 측정 부문」의 경우가 본 연구의 목적과에 관련된 부분으로 기관사 측면에서 응답 및 거동, 인지에 영향을 미치는 다양한 인자들에 대한 고려한 차량의 인간공학적 평가는 원내에서는 진행되지 못하였음



<그림 61> 승차감 평가용 계측 시스템



<그림 62> KTX 승차감 평가결과

라. 차량 실내디자인 연구

○ 원내에서는 차세대 고속철도, 차세대 전동차, 한국형 경량전철, 틸팅차량 등 신규철도차량 중심으로 차량디자인 연구가 진행되었음. 최근 원내에서도 인간공학에 대한 중요성을 인식하여 객차에서 승객과 승무원의 편의성을 인체공학적 설계측면에서 고려한 승객의 의자, 객차 조명, 화장실 등의 실내디자인을 점차 제시하고 있는 상황임



<그림 63> 차세대 고속철도 안채표준치수와 좌석 실측결과 비교의 예

○ 대부분의 연구에서 차량의 실내 디자인에 관한 연구과정은 아래의 그림과 같이 진행되었음

○ 위의 그림에서 보듯이 차량 실내 디자인 시 인간공학적 설계 기준과 평가에 대한 구체적인 연구내용이 존재하지 않으며, 특히 철도차량 운전실의 디자인에 대한 인간공학적 설계요건 및 평가방법은 원내에서 진행되고 있지 않은 상황임

마. 인간오류 유형 분류체계 및 인적오류 분류유형(철도종합안전기술개발사업)

○ 본 연구에서는 철도 사고 및 운행 장애의 인적오류 분석을 위하여 인적오류 유형은 크게 오류모드(error mode)와 오류타입(error type)을 사용하였음

○ 오류모드는 사건 발생에 주요한 인적오류의 개입 단계와 형태를 나타내며, 오류타입은 개입된 오류의 발생의 원인적 관점에서 고려된 인적오류 유형을 나타냄

○ 오류유형에 관한 분류체계는 일반적으로 그 활용목적과 대상에 따라 개발되고 개정 및 수정을 통하여 사용됨

○ 본 연구에서는 철도 사고 및 운행 장애에 개입된 인적오류의 대략적인 오류유형을 파악하기 위한 목적으로 인적오류 유형 분류체계를 도입하였음

○ 오류모드 분류체계로서는 Embrey(1992)에 의해 제시된 PHEA 분류체계를 기반으로 하여 철도 사건의 인적오류 분석에 적절한 수준으로 개정하여 사용하였음

○ 본 연구에서 사용한 분류체계는 계획, 확인, 작업, 의사소통 등 4개 단계의 오류모드를 고려하였으며, 각 단계별 오류에 대한 정의는 아래와 같음

○ 계획 오류(Planning error): 작업수행 및 조치에 대한 사전 준비 및 계획 단계에서의 오류 (예: 작업 준비 미흡, 계획미흡/부적절 등)

○ 확인 오류(Checking error) : 시스템, 신호, 정보 등의 상태 확인 및 파악단계에서의 오류

○ 작업 오류(Operation error): 작업수행 및 조치 단계에서 발생한 오류

○ 의사소통오류(Communication error): 종사원 간의 의사소통 또는 작업협의 시의 오류

○ 각 단계별 세부 오류모드의 분류 및 정의는 아래 표와 같음

<표 34> 인적오류 모드 분류체계

오류유형	기호	세부 유형	정 의
계획오류 (Planning error)	P1	Incorrect plan	계획 및 작업준비는 수행하였으나, 실제 작업 상황에 맞지 않는 계획이었음
	P2	Incomplete plan	계획 및 작업준비는 수행하였으나, 완전하지 않은 (부분적 누락/불충분) 계획이었음
	P3	Missed plan	계획 및 작업준비가 전혀 이루어지지 않음
확인오류 (Checking error)	C1	Incorrect check	확인은 하였으나, 잘못(그릇되게) 확인한 경우 (상태 비정상 → 정상으로, 신호 오인 등)
	C2	Incomplete check	확인은 하였으나, 부분적으로 누락 및 불충분한 확인
	C3	Missed check	확인이 전혀 이루어지지 않음
작업오류 (Operation error)	O1	Incorrect action	조치는 이루어졌으나, 잘못(그릇되게) 취해진 조치
	O2	Incomplete action	조치의 부분적 누락 및 불충분한 조치
	O3	Missed action	조치가 전혀 이루어지지 않음; 요구되는 조치 시간 내에 조치가 이루어지지 않은 경우
의사소통 오류 (Communication error)	T1	Incorrect communication	의사소통 내용이 부정확함
	T2	Incomplete communication	부분적인 누락 및 불충분한 의사소통
	T3	Missed communication	의사소통이 전혀 이루어지지 않음

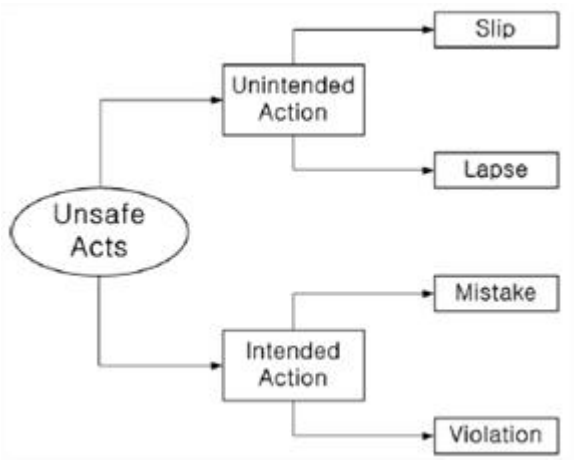
○ 오류 타입에 관한 분류체계로서는 가장 일반적으로 널리 사용되는 James Reason의 오류타입 분류체계를 사용하였음. Reason의 분류체계는 아래 그림과 같이 행위의 의도성 여부에 따라 Slip과 Lapse 그리고 Mistake와 Violation으로 구분함

○ 본 연구에서는 이를 기반으로 하여 Slip과 Lapse는 동일 분류로 처리하였고, 상황파악 및 의사결정 등 의도형성 과정 중의 오류인 Mistake와 주어진 규정의 의도적인(deliberate) 위반인 Violation은 별도로 구분하여 분석

○ 각 오류 타입에 대한 정의를 아래와 같이 정의함

<표 35> 분석에서 사용한 인적오류 타입 분류체계

오류타입 분류	기호	정의
Slip/Lapse	S	- 조치 수행 중에 발생한 오류 - 정보 확인/인식 (detection/perception) 중에 발생한 오류 - 망각 또는 기억 오류(memory failure)
Mistake	M	- 의도형성 과정(상황파악/계획/의사결정) 중에 발생한 오류
Violation	V	- 요구되는 작업 규정 또는 절차를 의도적으로(deliberately) 위반한 모든 조치



<그림 64> James Reason의 오류타입 분류체계

○ 「한국철도공사 2005년도 사고 및 장애 자료」(이하 사고 및 장애자료)를 바탕으로 사고 및 장애에 내재되어 있는 인적오류의 특성 및 유형을 분석함

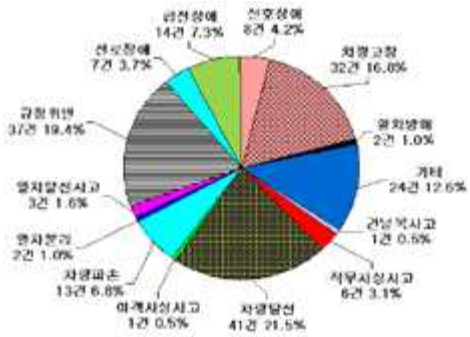
○ 2005년 한 해 동안 일어난 철도사고 및 운행 장애는 총 801건이며 이중 책임사고(종사원의 취급과오 또는 시설·차량기구 등의 정비소홀 등으로 인하여 발생한 사고와 장애)는 101건으로 2005년도 철도사고 및 운행 장애 중 12.6%를 차지함

○ 2005년도 사고 및 장애 자료는 인적오류 분석 관점에서 작성된 자료가 아니기에 그 자료를 바탕으로 인적오류에 기인하는 사건을 분석하기가 용이하지 않았음

○ 따라서 본 연구에서는 2005년도 사고 및 장애 자료 중 책임사고로 분류된 101건에 대해서만 인적오류 유형을 분석함

○ 2005년도 사고 및 장애 자료 중 책임사고 101건에 대해서 사건유형별, 작업 유형별, 작업자 유형별, 사건원인별로 특성을 분석하였고 앞서 제시한 오류모드, 오류 타입별로 인적오류 유형 분석을 수행함

○ 191건에 대해 사건유형 분류체계를 따라 정리하면, 철도사고는 11건, 운행 장애는 180건이며 운행 장애 중 상대적으로 발생빈도가 높은 사건유형은 차량탈선(41건, 21.5%), 규정위반(37건, 19.4%), 차량고장(32건, 16.8%)순 이었음



<그림 65> 사건 유형별 발생 비율

○ 191건의 사건을 작업 유형에 따라 정리하면, 발생빈도가 가장 높은 작업유형은 운전(77건, 40.3%)이었고 그 다음으로는 점검/보수(69건, 36.1%), 입환(29건, 15.2%)순으로 발생빈도가 높았음



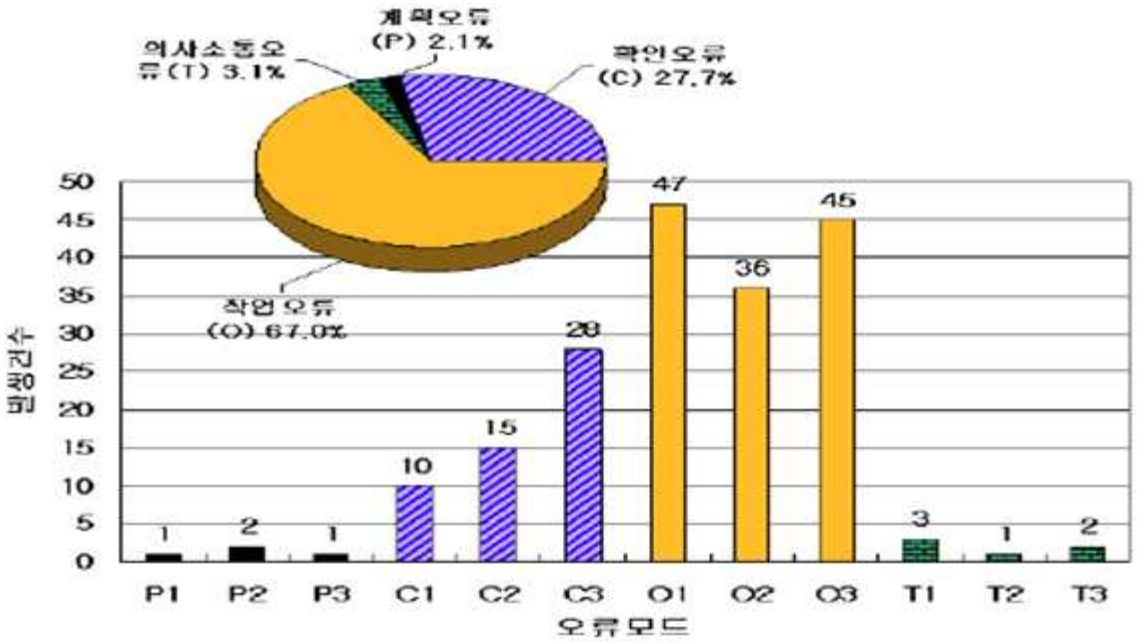
<그림 66> 작업 유형별 발생 비율

○ 191건의 사건을 인적오류를 일으킨 작업자별로 분석한 결과는 운전업무종사자(기관사)의 인적오류와 관련된 사건(28건, 27%)이 제일 많은 것으로 분석됨



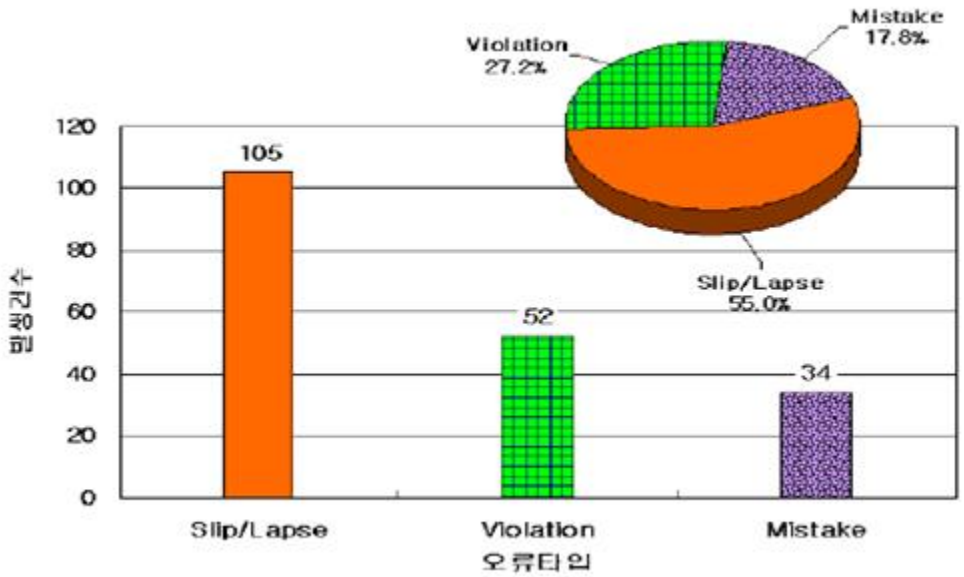
<그림 67> 작업자 유형별 발생비율

○ 2004년, 2005년 인적오류로 인해 발생된 사건 191건에 대해서 오류모드 분석 결과 O1 유형이 47건으로 전체의 24.6%, O3 유형이 45건으로 23.6%, O2 유형이 36건으로 18.8%를 차지하는 것으로 분석됨



<그림 68> 오류모드별 발생 비율

○ 191건에 대해서 오류타입 분석 결과 Slip/Lapse가 105건으로 55.0%를 차지하며 규정위반인 Violation이 52건으로 27.2%, Mistake가 34건으로 17.8%를 차지하는 것으로 분석됨



<그림 69> 오류모드별 발생 비율

9. 직무분석 및 직무부하분석 기법

○ 작업자의 직무특성을 파악하고 직무부하를 분석하기 위해서는 해당 작업자에 대한 직무분석이 이루어져야 함

○ 따라서 직무분석이 무엇이고 어떠한 방법들이 있으며 각 직무분석 방법들의 장·단점을 살펴보고 함

○ 직무분석이란 대상 작업자가 직무를 수행하는 목적과 방법, 작업 상황, 작업 내용 및 절차를 상세히 관찰하고 분석함으로써 직무 특성과 직무 부하나 취약점을 파악하는 작업임

○ 분석의 목적에 따라 수많은 방법이 개발되어 있으며 직무분석의 절차와 대표적인 방법은 다음과 같음

가. 자료수집 방법

○ 관찰법

- 직무를 수행하는 사람들을 현장에서 직접 관찰함으로써 직무활동과 내용을 파악, 직무분석을 시작할 때 직무에 대하여 가장 기초적인 지식을 제공

○ 면접법

- 다양한 직무들에 광범위하게 적용될 수 있기 때문에 가장 흔히 사용되는 직무분석 방법, 작업자들과 개인적으로, 소집단으로, 혹은 여러 번의 집단토론을 통하여 면접을 진행, 훈련된 면접자는 직무에서 수행하는 활동들이나 직무를 수행하는데 요구되는 기술들을 이해하기 위하여 작업자들에게 직접 질문하는 방법임

○ 설문지법

- 설문지에는 직무에서 수행되는 많은 활동들이 열거되어 있으며 경우에 따라서는 수백 개의 질문들이 포함되어 있기도 함. 작업자들은 그들이 얼마나 자주 그러한 활동들을 수행하는지, 그러한 활동들이 얼마나 중요한지 등에 관하여 몇 가지 척도 상에서 평정을 수행
- 또한 직무수행에 요구되는 지식, 기술, 능력들이 얼마나 자주 사용되는지, 그러한 것들이 얼마나 중요한지 등에 관하여 척도 상에 평정하도록 함. 이렇게 얻어진 응답들은 직무의 내용과 성질을 이해하기 위하여 통계적으로 분석됨

○ 작업일지법

- 작업자들이 정해진 양식에 따라 직접 작성한 작업일지로부터 직무에 관한 정보를 수집하는 방법, 어떤 직무를 분석하고자 하는 사람은 작업자들에게 작업일지를 작성하도록 요구하거

나 아니면 기존에 작성되어 있는 작업일지를 입수하여 작업일지로부터 직무의 내용이나 성질을 추론, 작업자들의 작문을 통한 의사소통능력, 즉 문장력에 있어서 현저한 개인차 또는 의도적으로 왜곡되게 일지 작성할 수도 있기 때문에 가장 덜 사용되고 가장 바람직하지 못한 방법임

○ 결정적 사건법

- 작업자들이 직무에서 결정적으로 잘한 사건이나 결정적으로 실수를 범한 사건들을 수집한 후, 그러한 사건들에서 있었던 구체적인 행동들을 알아내고 이러한 행동들로부터 직무에서 요구되는 지식, 기술, 능력 등의 인적 요건들을 추론하는 방법임

나. 직무분석 기법

○ 직무분석 기법은 다음과 같이 분해방법, 계층적 직무분석, 링크분석, 운용순서도, 시간선 분석으로 나눌 수 있음

○ 분해방법 (decomposition methods)

- 직무분해는 분석자가 요구하는 수준까지 직무를 더 상세하게 분할을 하는 구조화된 방법임. 직무요소가 어떻게 행해져야 하는가를 설명하는 직무명세를 하고, 각 직무요소에 대한 더 많은 정보의 수집을 해야 함. 직무분해 방법은 일반적으로 각 직무단계의 정보 및 관리적 요구 조건들을 결정하기 위하여 사용

- 각 직무요소에 대한 직무분해에서는 보통 다음의 내용들을 포함해야 함

  · 직무설명(description)

  · 부직무(subtasks)

  · 행위 시작 신호(cues initiating action)

  · 사용된 제어장치(controls used)

  · 의사결정(decision)

  · 대표적인 오류(typical errors)

  · 수용가능한 수행도 기준(criterion of acceptable performance)

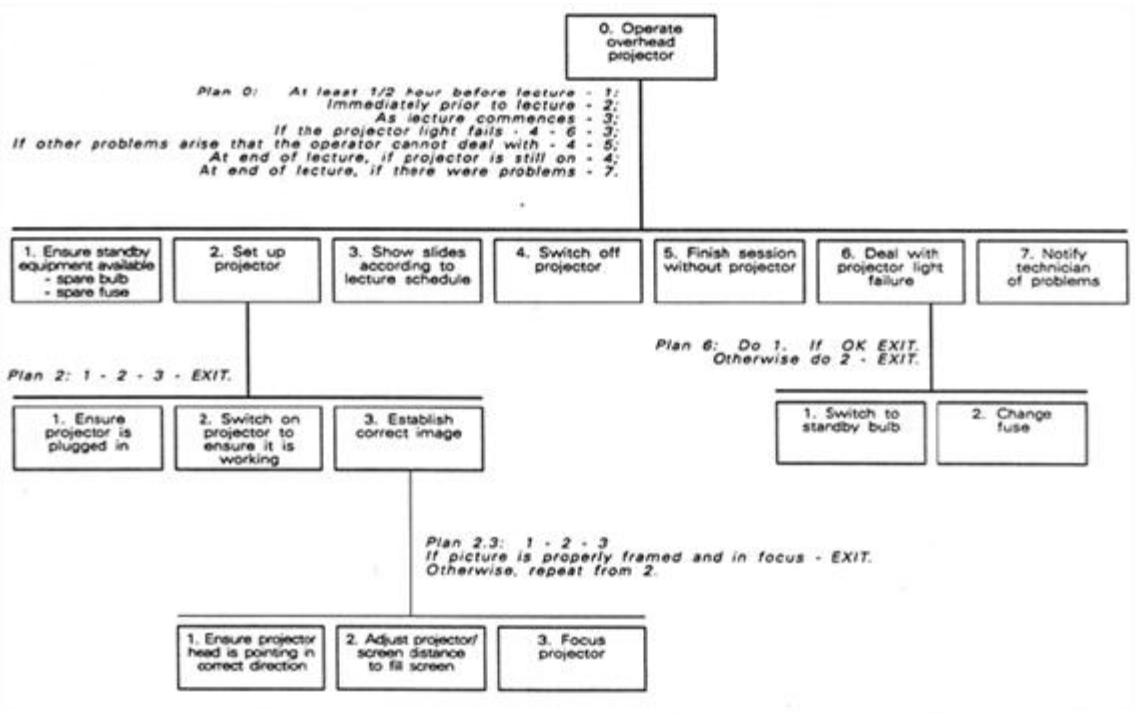
  · 정보궤환(feedback)

○ 계층적 직무분석 (hierarchical task analysis)

○ 계층적 직무분석(HTA)은 시스템의 목표를 달성하기 위하여 부(副)직무들이 어떠한 조건하에서 수행되어야 하는 것을 분석하는 직무분석의 한 방법임

○ HTA는 운용들(operations)과 이 운용들을 착수할 때 필요한 조건을 서술한 계획들(plans)의 계층을 구성함. HTA는 시스템의 목표를 충족하기 위해 직무가 어떻게 구성되는가를 설명하는 효과적인 도구를 제공함

○ 또한 다른 직무분석 방법을 사용하기 위한 기초 작업으로써 분석자에게 폭넓게 사용될 수 있음. 초기에는 인지적 측면들을 포함하는 직무들을 나타내기 위한 일반 적인 방법으로써 HTA가 개발되었으나, 이후 많은 다른 상황에 응용되었음



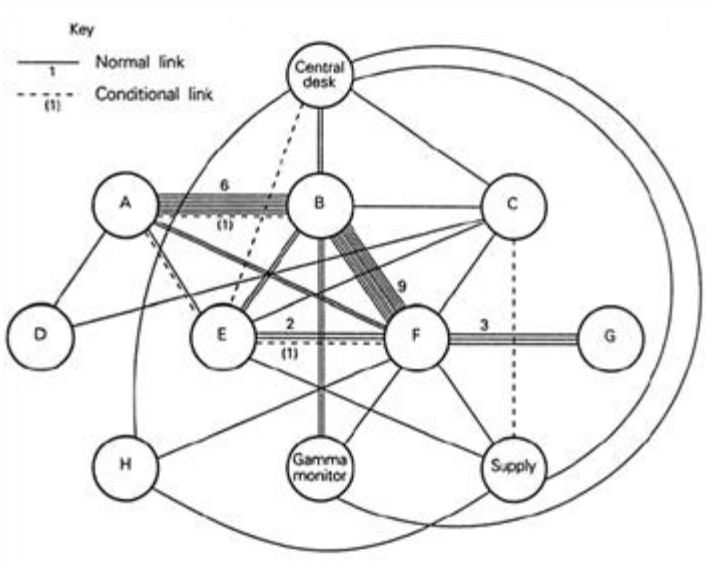
<그림 70> OHP(overhead projector)작동에 관한 HTA

○ 링크 분석 (link analysis)

- 링크분석은 시스템 사이의 관계를 규명하기 위해 사용하는 기법임. 넓은 의미로 두 부분 사이의 링크는 인간의 주의력 이동이나 시스템의 두 부분 사이의 물리적 이동을 나타냄
- 링크분석은 한 시스템 내의 모든 링크의 배열을 최적화하는 체계적 방법임. 링크분석의 핵심은 시스템 내의 링크들의 본성, 빈도, 중요성들을 나타내고 기록하기 위한 도구를 제공하는 표현 기술에 있음
- 또한 링크분석은 시스템 구성품 사이의 관계와 빈도 데이터를 사용한 통계적 분석을 할 수 있으며, 직무분석 기술의 하나로써 사용되고 적용하기가 매우 용이함

<표 36> 링크도를 위한 링크결합표

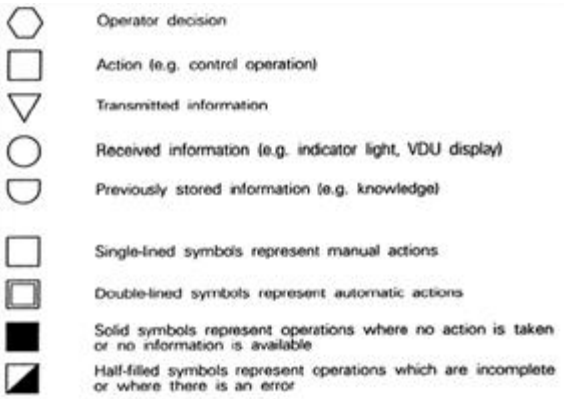
	B	C	D	E	F	G	H	Gamma Monitors	Desk	Elec. Supply
A	6(1)	-	1	1(1)	2	-	-	-	-	-
B		1	-	2	9	-	-	2	2	-
C			1	1	1	-	-	-	1	-
D				-	-	-	-	-	-	-
E					2(1)	-	-	-	(1)	1
F						3	1	1	-	1
G							-	-	-	-
H								-	1	1
Gamma radiation monitors									1	-
Central desk										1



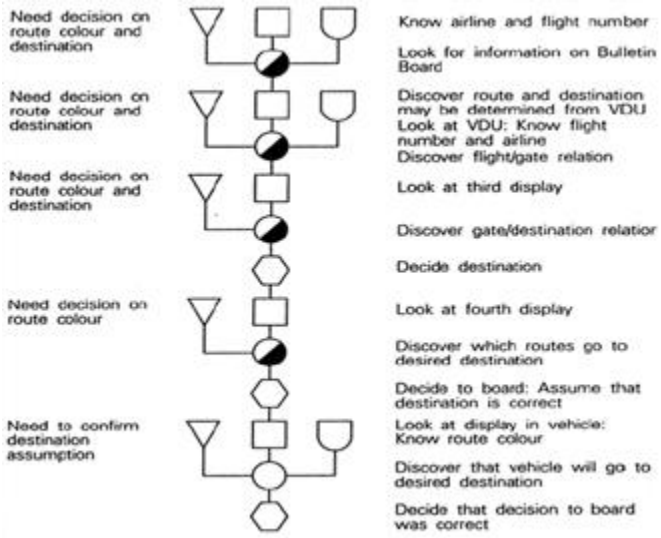
<그림 71> 링크도(link diagram)

○ 운용순서도 (operational sequence diagrams)

- 운용순서는 조정활동이나 정보수집 활동 등 직무를 완수하기 위해 행해지는 일들의 순서임
- 이러한 순서는 운용순서도라는 그래픽 형태로 표현되어 질수 있음. 가장 단순한 형태로서의 운용순서도는 여러 직무가 수행되는 순서에 따라 위에서 아래로 직무를 연결하는 흐름도임
- 가장 간단한 경우 직선형태의 흐름이 있을 수 있으나 필요에 따라 제한된 가지(branching), 루핑(looping), 다른 조건적 활동 등을 사용할 수 있음



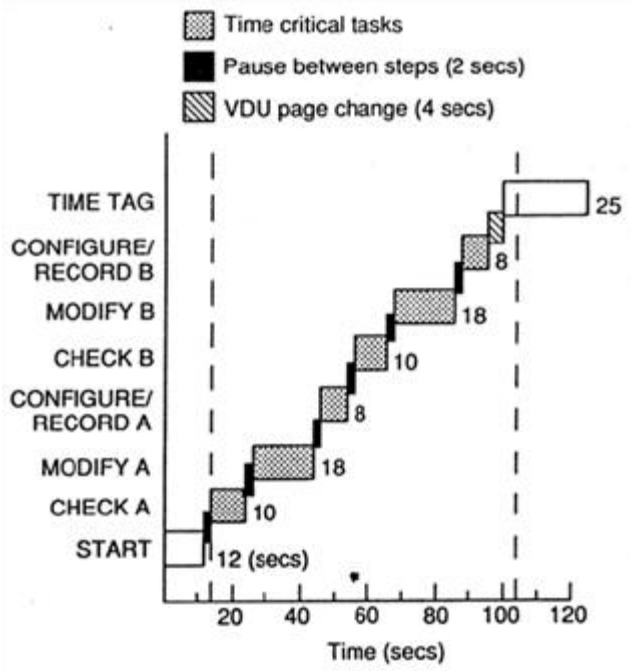
<그림 72> 운용순서도에서 사용되는 기호



<그림 73> 공항 이착륙 시 운반시스템의 운용순서도

○ 시간선 분석(timeline analysis)

- ANSI(American National Standards Institute)에서 내린 시간선 분석의 정의는 '어떤 제시된 작업에서 기능적으로나 시간적으로 요구되는 인간성능에 대한 조건을 알아내는 분석기술'임
- 기본적으로 이것은 '어떤 작업자가 직무를 완수할 수 있는가(기능적 요구)'와 '얼마나 빨리 그 일을 완수할 수 있는가(시간적 요구)'를 결정하는 것임.
- 시간선 분석은 미리 정해진 절차가 아니라 규칙들의 집합임. 이것은 분석자가 시간적, 기능적인 면에서 요구되는 것을 정할 수 있도록 그림의 형태로 규칙들을 제공



<그림 74> 시간선(timeline) 분석의 예

다. 직무부하 분석

○ 다양한 분야에서 발생된 사건들의 분석을 통해 얻어진 사실들 중 하나는, 사람이 포함된 시스템의 경우 인적수행도가 전체 시스템의 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 요인들 중 하나라는 점임

○ 예를 들어 화학공장에서 발생된 사건들의 약 27%가 인적수행도 저하로 인해 발생되었고, 해상에서 발생된 사고의 약 65% 정도가 인적수행도 저하로 인해 발생되었다고 보고되었음

○ 또한 영국에서 발생된 철도사고들 중 60~70% 정도가 인적수행도 저하와 관련이 있다고 알려져 있음. 따라서 인적수행도 저하를 방지하기 위한 많은 연구들이 수행되었고, 그 결과로서 인적수행도 저하의 상당 부분이 복잡한 직무로 인해 발생함

○ 즉, 복잡한 직무를 수행하는 동안 운전원은 상당한 양의 인지적 부하(cognitive demand)를 경험하게 되는데, 복잡한 직무로 인해 요구되는 인지적 부하가 운전원의 능력을 초과할 정도로 증가할 경우 급격한 인적수행도 저하가 발생함

○ 이러한 사실은 운전원이 수행해야 하는 직무의 부하를 체계적으로 관리하는 것이 인적수행도의 급격한 저하로 인한 사고 발생을 효과적으로 방지할 수 있는 중요한 수단임을 뒷받침해주고 있음

○ 이러한 맥락에서, 운전원이 경험하게 되는 직무의 부하를 평가할 수 있는 가장효과적인 방

법은 운전원에게 직접 질문을 하는 것이기 때문에, 설문을 통해 주관적으로 느껴지는 직무의 부하를 정량화 할 수 있는 다양한 방법들이 개발됨

○ 대표적인 방법들로 NASA-TLX(task load index), Cooper-Harper scale, SWAT (subjective workload assessment technique) 등이 알려져 있음

○ 이들 중, 현재까지 가장 안정된 주관적 직무 부하 평가방법으로서 인식되고 있는 것이 NASA-TLX 임

○ NASA-TLX는 1980년대 초반에 미국 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration; NASA)에서 개발한 주관적 직무부하 평가방법으로 아래와 표와 같은 6개의 설문항목에 대해 0에서 100점 사이의 점수를 임의로 할당한 후 이들의 평균을 통해 전체적인 직무부하를 정량화 할 수 있도록 구성되어 있음

○ NASA-TLX 방법을 통한 직무 부하 평가를 수행할 경우 기대되는 장점들 중 하나는 어떤 원인으로 인해 직무 부하가 크게 영향을 받았는지를 평가할 수 있다는 점임

○ 즉, 효과적인 직무 부하의 관리를 통해 급격한 인적수행도의 저하를 방지하려는 목적에 따라 직무 부하를 평가하기 때문에, 직무 부하 영향인자를 파악할 수 있다면 보다 효율적인 직무 부하의 관리가 가능하기 때문임

<표 37> NASA-TLX 평가 항목

평가 항목	설 명
Mental Demand (정신적 요구량)	주어진 직무를 수행하기 위해, 사고(thinking), 의사결정(deciding), 검색(searching), 계산(calculating) 및 기억(remembering)등과 같은 정신적 또는 인지적인 활동이 얼마나 많이 요구된다고 생각하십니까?
Physical Demand (육체적 요구량)	주어진 직무를 수행하기 위해, 밀기(pushing)나 잡아당기기 (pulling) 또는 돌리기(turning)와 같은 육체적인 활동이 얼마나 많이 요구된다고 생각하십니까?
Temporal Demand (시간적 요구량)	주어진 직무를 수행하기 위해서 요구되는 시간적 압력(time pressure)은 어느 정도 입니까? 예를 들어 숨 돌릴 틈도 없이 많은 조치들을 수행해야 주어진 직무를 완료할 수 있다면 높은 시간적 압력을 느끼는 경우에 해당합니다.
Effort (노력)	주어진 직무를 수행할 경우, 얼마나 많은 노력을 기울여야 한다고 생각하십니까? 예를 들어 엄청난 집중 등이 요구되면 높은 노력이 필요한 직무에 해당합니다.
Performance (직무성취도)	주어진 직무를 수행할 경우, 얼마나 성공적으로 또는 정확하게 직무를 완료할 수 있다고 생각하십니까?
Frustration (당혹감)	이 직무를 수행할 경우, 느낄 수 있는 당혹감은 어느 정도라고 생각하십니까? 예를 들어 직무를 어떻게 하라는 것인지를 파악할 수 없는 경우나 현실적이지 못하다고 판단되는 경우 등은 높은 당혹감을 느끼는 상황에 해당됩니다.

10. 인간오류 분석 방법론

가. GEMS

○ GEMS(Generic Error Modeling System)는 J. Reason에 의해서 제안되었으며, 기능기반, 규칙기반, 지식기반 행위를 모두 포함하는 종합적인 오류 발생과정을 설명하고 있음

○ J.Reason은 오류유형(error type)을 인지단계에 따라 Slip, Lapse, Mistake로 구분

○ Slip과 Lapse는 원래 의도된 계획의 적절성 여부와는 관계없이 수행단계에서의 실패, 기억력 상실 등으로 인하여 발생하는 오류를 말하며, Mistake는 의도 형성 과정에서의 실패, 즉, 목표 설정이나 목표 달성을 위한 방법 설정 단계에서의 판단 결함, 추론 실패로 인한 오류를 의미함

○ 이 두 단계 분류가 발생한 오류를 분류하는 데 모호한 점을 발견함에 따라 J. Reason은 J. Rasmussen의 SRK(Skill, Rule, Knowledge) 단계와 결합하여 오류 형태를 기능기반(Skill-based), 규칙기반(Rule-based), 지식기반(Knowledge-based) Mistakes 등 세 가지로 분류

○ 기능기반 단계에서 발견되는 오류들의 대부분은 크게 부주의(inattention)와 과주의(over-attention)로 인하여 발생

○ 부주의는 주의 감시(attentional check)가 필요한 순간에 이를 빠뜨리는 것을 말하고, 과주의는 일상 반복되는 행위(routine action)시 불필요한 순간에 주의 감시가 발생하여 오류를 낳게 되는 것을 의미함

○ J. Reason은 규칙기반 단계에서의 오류를 크게 올바른 규칙의 잘못된 적용(the misapplication of good rules)과 잘못된 규칙의 적용(the misapplication of bad rules) 두 항목으로 분류하여 설명하고 있음

○ 올바른 규칙의 잘못된 적용은 이 규칙이 일반적 상황에서는 올바른 규칙으로 적용될 수 있지만, 드물게 발생할 수 있는 예외적인 상황에서도 이 규칙을 동일하게 사용하는 경우를 말함

○ 잘못된 규칙은 특정 상황이 전혀 다루어지지 않거나 잘못 표현되는 경우, 혹은 규칙의 행위 부분이 부적절하거나 비효율적인 행위를 낳는 경우를 의미함

○ 지식기반 단계에서 발생하는 오류들은 '제한된 이성(bounded rationality)'과 '문제영역(problem space)에 대한 불완전, 부정확한 인식 모형(incomplete or inaccurance mental model)'에 기인함

나. SHERPA

○ SHERP(Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach)는 D. Embrey에 의해 개발되었으며, 인간오류의 정성적 분석과 정량적 평가를 모두 포함하고 있는 일종의 인간 신뢰도 분석 체제임

○ 오류분석, 정량화 분석, 오류 발생 가능성을 최소화하기 위한 절차서, 훈련, 설계 부분에서의 권고안 제시 등을 모두 포함하고 있음

○ SHERPA는 인간오류 예측을 돕기 위하여 직무를 정보처리 방식에 따라 분류

○ SHERPA에서 채택하고 있는 정보처리 분류는 J. Rasmussen의 정보처리 단계에 기초하여 다음과 같이 네 가지 처리 방식으로 분류하고 있음. 기능기반 처리 방식, 규칙기반 진단 처리방식, 규칙기반 행위 처리방식, 지식기반 처리방식이 그것임

○ 이 기법은 목표 달성을 위한 직무들이 명백히 정의되어 있는 상황에 적용하도록 되어 있음

○ SHERPA에서는 이러한 직무를 분석하기 위해 계층적 직무분석기법(HTA)을 이용

○ SHERPA에서 사용하는 인간오류분석 기법은 J. Rasmussen과 Pedersen이 개발한 검색 방법에 기초하고 있으며, 오류 유형을 파악하기 위한 Flowchart를 제공하고 있음

○ 또한, SHERPA에서는 외적 오류유형(External Error Mode : EEM)과 내적 오류발생 구조(Psychological Error Mode : PEM)에 대한 분류체계를 제공하고 있음

다. PHECA

○ PHECA(Potential Human Error Cause Analysis)는 Whalley에 의해 개발된 인간오류분석 방법론임

○ PHECA의 기본 원리는 인간오류의 발생 원인이 수행중인 직무유형(task type), 반응유형(response type), 오류유형(error type)에 의존하고 있음

○ PHECA는 직무유형 7가지, 반응유형 7가지, HAZOP(HAZard and Operability)에서 사용하고 있는 용어를 딴 오류유형 10가지로 각각 분류하고 있음

○ PHECA는 이들 분류 체계로부터 오류원인을 연결하는 연결체계와 오류 원인으로부터 수행영향인자(PSFs)를 밝혀내기 위한 연결체계를 각각 제시하고 있음

○ PHECA는 187개의 수행영향인자를 제시하고 있어서 오류와 그 오류와 관련된 수행영향인

자를 밝혀낼 수 있다는 점에서 독특하지만, 제시하고 있는 분석 체계에 대한 근거는 불확실하다는 평가를 받고 있음

라. CADA

○ CADA(Critical Action and Decision Approach)는 Gall에 의해 개발되었으며, Murphy Diagram을 토대로 하여 오류 예측을 위한 분석 기법으로 발전되었음

○ CADA는 절차서를 기초로 한 규칙기반 진단 직무뿐만 아니라, 시스템에 대한 지식을 요하는 지식기반 진단 직무도 분석할 수 있도록 함

○ CADA는 대부분의 분석 정보를 실제 작업을 수행하는 운전원들로부터 얻기 때문에, 적용대상은 주로 현재 운전 중인 시스템에서 수행되는 직무임

○ CADA는 각 의사결정 단계에서 발생 가능한 오류유형과 원인을 분석할 수 있도록 오류 가능성을 검사하기 위한 질문서(questionnaire)를 제공하고 있음

마. HRMS

○ HRMS(Human Reliability Management System)는 B. Kirwan에 의해 개발되었으며, 인간오류의 정성적 분석과 정량화 방법을 모두 다루고 있는 인간 신뢰도 분석 체계임

○ HRMS는 J. Rasmussen의 사다리꼴 의사결정모형과 J. Reason의 GEMS 모델을 기반으로 포괄적인 오류 분석이 가능하도록 하였음

○ 오류 분류체계로서 외적 오류유형(EEM), 내적 오류발생구조(PEM) 등의 분류체계를 가지고 있으며, 오류분석 시에는 외적 오류유형(EEM)과 내적 오류발생구조(PEM)를 밝혀내며, 수행영향인자(PSFs)는 오류발생 가능성 평가 시에 사용됨

○ 외적 오류유형(EEM)과 내적 오류발생구조(PEM)의 분류 체계는 J. Rasmussen의 사다리꼴 의사결정모형을 기반으로 하고 있으며, 인지단계별로 발생 가능한 외적 오류유형과 내적 오류발생구조를 각각 45개와 65개 정도로 분류하여 제시하고 있음

○ 먼저 예상되는 외적 오류유형을 밝혀낸 후, 그 외적 오류유형을 유발시킬 가능성이 있다고 판단되는 내적 오류발생구조를 찾아냄

바. COSFAH

○ COSFAH(Computerized Support For Analyzing Human-error)는 한국원자력연구소에서 개발된 실무적인 인간오류분석 방법 지원 시스템임

○ 인간오류를 포함한 작업행위에 대하여 인지적 수행 단계를 역추적함으로써 인지적 오류의 원인을 분석하는 방식임

○ 작업의 내용을 역추적하는 기반으로 간략화 된 인지단계 모형을 사용하고 있으며, 단계별로 오류유형(error type)과 원인(cause)을 연결하는 동적인 분류체계(dynamic classification scheme)를 가지고 있음

○ COSFAH는 현장에서 수행된 직무 중 오류가 포함된 직무의 내용을 재구성하고 실무자의 편의에 초점을 맞추어 전산화된 모형과 분류 체계를 사용하고 있는 회고적 분석 기법의 일종임

사. CREAM

○ CREAM(Cognitive Reliability and Error Analysis Method)은 이미 일어난 사건의 분석 방법으로도 사용되며, 시스템 설계 단계에서의 오류분석을 위해서도 사용될 수 있는 오류분석 모델의 제시를 목표를 개발되었음

○ CREAM에서는 인간의 인지과정이 J. Rasmussen이 제안한 사다리꼴 의사결정모형에서처럼 순차적인(sequential) 것이 아니라 순환적(recursive)이며, 인지적 제어는 직무의 유형에 따라 미리 정해진 여러 패턴 중 하나로 결정되는 것이 아니라 당시 상황(context)에 의해 결정된다고 가정함

○ 예견적 분석을 위해서 J. Rasmussen의 의사결정모형에서 제시한 8단계의 인지과정이 실제 적용에서 각 과정간의 구별이 모호한 어려움이 있다고 보고 이를 간략화 하여, observation, interpretation, planning, execution 등 4가지 인지과정으로 표현함

○ CREAM의 예견적 분석에서는 상기 4개의 인지과정을 직무 수행의 기본적인 인지적 절차로 간주하고, 직무 특성에 따라 우선적으로 중요한 인지과정이 있다고 가정함

○ 다음으로 각 인지과정에서 발생할 수 있는 기본적인 오류유형(error type)을 제시하고 있음

○ CREAM에서는 또한 인간 직무에 영향을 미치는 대표적인 요소들을 공통수행조건(CPC)이라는 이름으로 정의하였음

○ 따라서 분석자는 직무 수행에 직접적으로 관련된 인지과정에 해당하는 오류유형 중에서 인간 직무에 영향을 주는 공통수행조건을 고려하여 가장 가능성 있는 오류유형을 결정함

아. Murphy Diagram

○ Murphy Diagram은 Pew에 의해 개발되었으며, 의사결정 단계에서 나타나는 오류유형과 그와 관련된 오류원인을 표현하기 위한 표현 도구와 함께 사용됨

○ 의사결정 단계는 다음과 같이 8단계로 나누고 있음. (1) Activation/Detection of Signal, (2) Observation and Data Collection, (3) Identification of System State, (4) Interpretation of Situation, (5) Definition of Objectives, (6) Evaluation of Alternate Strategies, (7) Procedure Selection, (8) Procedure Execution

○ Murphy Diagram에서는 각 의사결정 단계에서 발생할 수 있는 오류유형과 오류의 간접 원인을 나타내는 proximal sources, 직접적인 원인이나 내적 요인을 나타내는 distal source 등을 표현함

11. 기관사 신체조건 분석

○ 철도차량 운전실 설계는 사용하는 사람의 신체에 적합하지 않으면 생산성이 떨어질 뿐만 아니라 사고의 원인이 되기 때문에 사용자의 신체특성을 반영하여야 한다.

○ 국내 철도분야에서는 철도차량운전업무종사자의 운전 공간 확보, 주요장치배치, 운전시야확보를 위해 세부기준이 철도차량 안전기준에 관한 지침에서 최근에야 제시(국토해양부고시 제2010-637호)되었다. 그러나 이에 대한 인체 기준도 국내의 인체특성을 반영한 것이 아니라 UIC (International Union of Railways)의 사항을 따르고 있고 현재 운행중인 차량에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

○ 따라서 본 연구에서는 국내 운전자의 신체치수와 UIC에서 제시되고 있는 운전실 설계기준 신체치수를 비교해보고 철도차량 운전실의 설계 시 고려되어야 할 중요한 인간공학적 요소들을 검토해 보고자 한다.

가. 국내 신체적 특성

○ 장치와 시설을 사용하는 사람의 신체치수에 맞지 않게 설계하면, 불편할 뿐만 아니라 작업수행에도 영향을 미치게 되므로 인간의 신체특징에 맞게 설계하여야 한다. 우리나라에서는 1979년부터 2004년까지 5차례 전국적인 인체치수 측정사업을 수행하였으며[3-1] 기술표준원에서는 우리나라 사람들이 쓰기에 편리한 제품개발과 생활공간 디자인에 인체표준정보제공하고 있다.

○ 인체측정치를 이용하여 제품을 개발하거나 작업공간을 설계할 때 인체변수 자료는 주요한 설계요소로서 많이 활용되고 있다. 그런데 이러한 설계요소를 제품이나 작업공간에 반영할

때 100% 수용할 수 있는 설계는 불가능한 것이 현실이다.

○ 현재는 설계대상의 90%를 만족시킬 수 있는 개념에서 5, 95 퍼센타일의 한계지점을 가이드라인으로 제시되고 이를 활용하고 있다. (NASA-STD-3000T, 1996, MIL-STD-1472D, 1989) 이는 인체변수를 정규분포로 가정했을 때 5, 95 퍼센타일에서 변화율이 가장 크기 때문에 비용 및 공간이 제한을 극대화 할 수 있는 차선의 방안으로 그 가이드라인이 활용되고 있는 것이다. (Brain Peacock et al, 1993) 남녀 공용으로 사용하는 경우에는 남성의 95분위와 여성의 5분위를 사용하는 것이 일반적이다.

○ 또한, 미국의 CFR (Code of federal regulation) 49에서도 열차 운전실에 대한 규정에서 미국 성인의 여성 5분위와 남성 95분위가 운전할 수 있는 크기로 규정하고 있다.

○ 국내의 철도운전자의 면허에 관한 규정에서는 운전면허 취득을 위한 신체검사의 규정에서의 신체검사 항목에서는 체구에 관한 기준은 없고, 한국고용정보원의 2009년 통계자료를 보면, 철도 지하철 기관사는 13,858명이고 이중 남성과 여성의 비율은 각각 98.4%와 1.6%였다. 평균 연령은 41.5세로 조사되어 남녀 모두를 차량설계에 반영하는 것이 타당함을 알 수 있다.

<표 38> 국내의 인체측정 조사

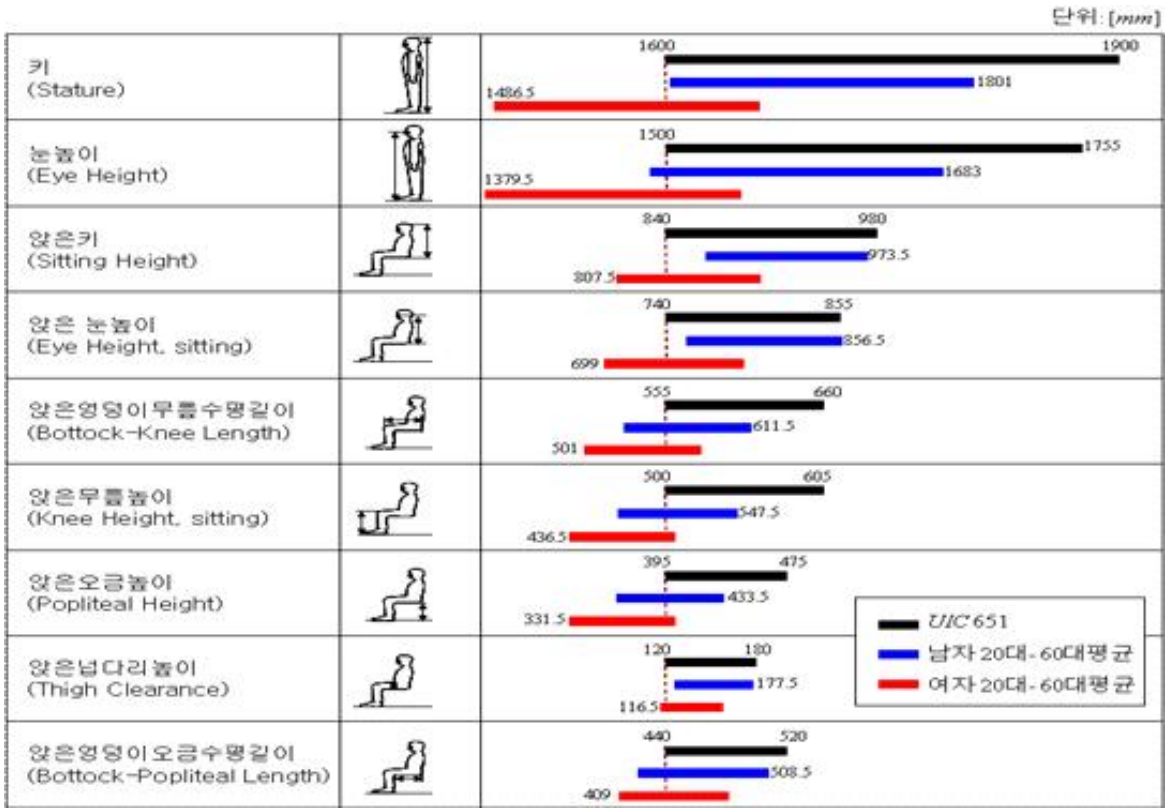
구 분	1차	2차	3차	4차	5차
실시연도	1979년	1986년	1992년	1997년	2004년
조사대상	0~45세	0~51세	6~50세	0~70세	0~90세
조사인원	16,977명	21,480명	8,886명	13,062명	15,576명
조사주체	과학기술원	한국표준 과학연구원	한국표준 과학연구원	한국표준 과학연구원	기술표준원
계측항목	117개	80개	84개	120개	직접: 119개 동특성: 35개 간접: 205개

○ 아래 표와 그림은 기술표준원의 제5차 인체측정결과와 UIC 651의 신체치수와 비교하였다. 그림에서와 같이 UIC의 기준과는 다른 국내 인체특징을 확인할 수 있다.

<표 39> 국내의 제5차 인체측정 결과와 UIC 651과의 비교

[단위: mm]

구 분	남성 (백분위수, Percentile)			여성 (백분위수, Percentile)			UIC 651	
	5th	50th	95th	5th	50th	95th	Min	Max
키	1603	1700.5	1801	1486.5	1571	1662.5	1600	1900
눈높이	1489	1586	1683	1379.5	1462.5	1549	1500	1775
앉은키	866.5	919.5	973.5	807.5	856.5	902.5	840	980
앉은눈높이	753	804.5	856.5	699	745.5	791	740	855
앉은엉덩이무릎수평길이	527.5	566.5	611.5	501	538.5	578.5	555	660
앉은무릎높이	468.5	506.5	547.5	436.5	471.5	506.5	500	605
앉은오금높이	362.5	396.5	433.5	331.5	365.5	401.5	395	475
앉은넙다리높이	126.5	151.5	177.5	116.5	136.5	158	120	180
앉은엉덩이오금수평길이	422	464.5	508.5	409	443.5	481.5	440	520



<그림 75> 남성과 여성의 주요 신체치수의 UIC 651과의 비교

- 키(Stature)의 경우 국내 남성의 5분위와 95분위는 UIC 651에서 제시한 신체치수의 범위에 포함되지만, 국내 여성 5분위의 경우 UIC의 최소 키에 비해 약 12 cm가 작았고 남성의 경우에도 키, 앉은키, 앉은 눈높이, 앉은 넙다리높이 등은 UIC의 기준에 포함되지만, 눈높이, 앉은 엉덩이 무릎 수평길이, 앉은 무릎높이, 앉은 오금높이, 앉은 엉덩이 오금 수평길이는 남성 5분위의 경우 UIC 651에서 제시한 신체치수의 범위에 속하지 않다. 여기서, 신체치수는 남성과 여성의 20세에서 60세까지를 산술 평균하였다.

나. 국내 철도운전자의 신체적 특성 및 추정

○ 국내 철도차량운전자의 신체특성을 살펴볼 필요가 있다. 그러나 지금까지 국내 기관사의 자세한 인체측정 조사는 이루어 지지 않았다. 이를 분석하기 위해 국내 기관사의 대표적인 신체특성을 분석하고 이를 제5차 인체측정 결과와 비교하여 보다 정밀한 국내 운전자의 인체모델을 추정하고자 한다.

○ 이를 위해 교통안전공단의 철도차량운전업무 종사자의 신체검사자료를 바탕으로 최근 6년간 (2006년 1월부터 2011년 8월까지)의 신체특성을 분석하였다. 신체검사는 최초검사, 정기검사, 특별검사로 구분(철도안전법시행규칙 제40조 운전업무종사자 등에 대한 신체검사의 실시 등)되는데 입수한 자료의 개인정보를 생략하여 중복하여 통계를 잡을 수 있는 문제점을 극복하고자 최초검사만을 대상으로 비교 분석하였다.

○ 국내의 신체검사에서는 신장(cm), 체중(kg), 청력의 이상 유무, 시력(나안/교정) 등을 검사하고 있었으므로 다른 참고자료(기술표준원의 인체측정조사결과, UIC 651 신체기준)과의 자료비교는 신장만을 대상으로 비교하였다.

○ 그러나 국내 신체검사의 초기자료는 측정 및 입력과정에서 다양한 형태의 에러 데이터가 발견되었으며, 발견된 에러 데이터의 원인이 불명한 경우에는 삭제하여 통계치에 영향을 주지 않도록 처리하였다. 또한 평균으로부터 ±3σ이상 벗어난 값들을 이상데이터로 처리하여 개인별의 타 신체치수와 비교하여 타당성이 없는 데이터들은 원본과 대조하거나 삭제하였다. 이러한 값들이 발생되는 경우는 대부분 측정 시 값을 100mm 정도씩 잘못 읽거나 입력의 에러에 의해 일어난 것으로 추정된다. 아래 표에는 대표적인 입력 오류의 사례를 나타내었다.

<표 40> 에러 데이터 사례

오류구분	사례	비고
단위 오류	ex) 17.5	10단위로 입력
	ex) 1637, 1714, 1728, 1730 1742	[cm]입력을 [mm]로 입력
첫 자리 누기	ex) 73.8, 78.7	100단위 입력을 누락
소수점 오류	ex) 17224	소수점 누락

○ 분석대상이 된 운전면허의 종류는 총 5종으로 고속철도차량, 디젤차량, 제1종 전기차량, 제2종 전기차량, 철도장비 운전면허로 약 9400명을 대상으로 분석하였다.

<표 41> 철도차량 운전면허 최초 신체검사 (조사대상)

[단위: 명]

면허 종류		2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	합계
고속철도차량		-	-	2	6	27	4	39
디젤차량		64	229	450	284	1462	190	2679
전기차량	제1종	31	62	94	119	1013	75	1394
	제2종	277	608	913	570	971	267	3606
철도장비		54	129	282	185	909	120	1679
총합계		426	1028	1741	1164	4382	656	9397

- 이때 여성운전자는 전체대상의 약3.5% (6년간 326명)으로 연도별 분석시 유의성이 떨어져 평균자료를 분석하였다.

○ 아래 표에는 국내 남성 기관사의 연도별 신장특성을 나타내었으나 연도에 관계없이 거의 유사한 특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 이러한 특성이 국내 일반 남성 신장과의 비교하기 위하여 제5차 인체측정조사 결과를 아래 표에 나타내었다.

<표 42> 국내 남성 기관사의 연도별 신체특성(신장, Stature)

[단위: cm]

구 분	평균	표준편차	평균나이	백분위수(Percentile)								
				1th	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th	99th
2006년	172.3	6.05	32.5	157.6	163.0	165.0	168.0	172.0	176.0	180.0	182.4	186.9
2007년	172.1	5.78	36.8	159.0	162.6	165.0	168.0	172.0	176.0	180.0	182.0	187.0
2008년	171.5	6.14	41.2	157.2	162.0	164.0	167.1	171.1	175.0	179.9	182.0	186.0
2009년	172.6	5.71	37.4	159.1	163.9	165.0	169.0	173.0	176.3	180.0	182.0	186.1
2010년	171.5	5.78	42.1	158.0	162.0	164.0	167.7	171.0	175.1	179.0	181.0	185.0
2011년	172.2	5.78	40.9	159.6	163.0	165.0	168.0	172.0	176.0	179.4	182.3	187.0
전체	171.8	5.87	40.2	158.0	162.0	164.0	168.0	172.0	176.0	179.1	182.0	186.0

<표 43> 국내 남성 신장 (제5차 인체측정 조사 결과)

[단위: mm]

나이	평균	표준편차	백분위수(Percentile)								
(Age)	(Mean)	(S.D.)	1th	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th	99th
20~24세	1738	58.3	1587	1642	1666	1700	1740	1775	1809	1838	1870
25~29세	1725	53	1610	1640	1655	1692	1725	1765	1795	1813	1846
30~34세	1713	54	1606	1630	1643	1677	1710	1748	1785	1800	1845
35~39세	1707	56.9	1570	1613	1636	1670	1707	1747	1780	1800	1835
40~49세	1686	54.9	1556	1595	1615	1649	1687	1722	1756	1775	1822
50~59세	1661	54.6	1528	1577	1595	1624	1661	1698	1734	1750	1780
60~69세	1644	52.6	1516	1547	1570	1614	1647	1677	1713	1727	1754
70세이상	1624	59.1	1488	1522	1546	1590	1620	1660	1702	1725	1762

- 제5차 인체 측정 자료는 5세 단위로 연령대별로 분류되어 있다. 최근 6년간 최초 기관사 신체검사를 받은 남성기관사의 평균연령은 40.2세였으나 제5차 신체측정자료와의 비교에서는 오히려 30~34세에 근접한 신장특성을 갖고 있었다. 이는 국내 기관사의 경우 신체기준이 법적으로 제한되어 있지는 않지만, 비교적 신체조건이 우수한 사람들이 선발되고 있음을 알 수 있다.

○ 아래 표에는 국내 여성 기관사의 평균 신장과 대표적인 국내 여성의 신장 특성을 비교할 수 있도록 정리하였다.

<표 44> 국내 여성 기관사의 신장 (Stature)

[단위: cm]

구 분	평균	표준 편차	평균 나이	백분위수(Percentile)								
				1th	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th	99th
전체	161.05	4.84	31.4	150.1	153.2	155.0	158.0	161.0	164.0	167.1	169.0	173.0

<표 45> 국내 여성 신장 (제5차 인체측정 조사 결과)

나이	평균	표준편차	백분위수(Percentile)								
(Age)	(Mean)	(S.D.)	1th	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th	99th
20~24세	1607	49.4	1512	1526	1541	1575	1602	1640	1670	1690	1726
25~29세	1593	50.9	1487	1514	1527	1557	1590	1630	1660	1676	1719
30~34세	1581	50	1472	1498	1519	1547	1578	1615	1647	1665	1696
35~39세	1572	49.9	1465	1495	1513	1541	1571	1598	1638	1662	1688
40~49세	1561	48.6	1442	1478	1497	1528	1560	1597	1623	1635	1660
50~59세	1543	50.6	1426	1461	1479	1510	1540	1573	1611	1627	1662
60~69세	1518	49.5	1409	1438	1456	1488	1516	1550	1582	1601	1639
70세이상	1491	57.5	1363	1398	1418	1458	1488	1532	1566	1583	1616

- 여성 기관사의 신장특성을 제5차 인체측정 결과와 비교 시 더욱 많은 차이를 나타내었는데, 최근 6년간 최초 기관사 신체검사를 받은 여성기관사의 평균연령은 30.4세였으나 제5차 인체측정 자료와의 비교에서는 가장 우수한 신체조건인 20~24세에 근접한 신장특성을 갖고 있다.
- 따라서 현재의 철도차량의 설계조건을 평가하기 위한 기관사 인체모델은 제5차 인체측정결과와의 비교를 통하여 남성 기관사의 경우 30~34세의 남성 인체특성을, 여성 기관사의 경우 20~24세의 여성의 인체특성을 반영하여 모델링 할 수 있다.

○ 아래 표에는 UIC 651의 신체특성을 나타내었고 현재 철도 기관사의 신장과 비교하였다. 전체적인 전체 대상으로 하여 우수한 조건이라고는 하지만, UIC에서 제시하고 있는 기준에는 만족하고 있지 않음을 알 수 있다.

<표 46> 신장(Stature)에 대하여 이러한 분석 결과를 UIC 651과 비교

[단위: mm]

구 분	백분위수, Percentile		
	5th (Min)	50th	95th (Max)
UIC 651*	1600	-	1900
남성 (제5차 인체측정 결과)	1603	1701	1801
여성 (제5차 인체측정 결과)	1487	1571	1663
남성 기관사현재**	1620	1720	1820
여성 기관사현재	1532	1610	1690

* UIC 651의 신체자료는 최소기준을 5th 백분위수로 최대기준을 95th 백분위수로 간주
** 현재는 교통안전공단의 신체검사자료 활용

다. 인체 모형

○ 현재의 철도차량의 설계조건을 평가하기 위한 기관사 인체모델을 위하여 제5차 인체측정결과와의 비교를 통하여 남성 기관사의 경우 30~34세의 남성 특성을, 여성 기관사의 경우 20~24세의 여성의 인체특성과 유사함을 확인 할 수 있었다.

○ 이때 신장의 특성이 다른 일반적인 특성과 상관성이 있다고 가정하였다. 이에 대한 상세한 분석은 추후에 자세히 다루어질 예정이다. 국내 남성과 여성 기관사의 인체 모형화를 위한 인체특성은 아래의 표와 같다.

<표 47> 남성 기관사 인체 모형화를 위한 인체특성 (제5차 인체측정자료, 30-34세)

[단위: mm]

구 분	평균	백분위수(percentile)								
		1th	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th	99th
키(Stature)	1713	1606	1630	1643	1677	1710	1748	1785	1800	1845
눈높이(Eye Height)	1597	1491	1513	1528	1562	1594	1628	1669	1685	1728
무릎높이(Knee Height)	440	389	402	410	423	441	455	469	480	502
몸무게(Weight)	71.5	50.3	55.1	58.7	64	71.2	77.8	85.3	89.4	96.5
팔길이(Arm Length)	578	520	536	544	560	579	596	613	621	638
앉은키(Sitting Height)	926	861	880	890	905	927	945	963	976	994
앉은 눈높이(Eye Height, sitting)	811	749	762	775	790	812	832	849	859	877
앉은 어깨높이(Shoulder Height, sitting)	599	533	554	566	582	598	616	636	646	656
앉은 넙다리높이(Thigh Clearance)	153	118	127	133	141	154	164	173	177	188
앉은 무릎높이(Knee Height, sitting)	511	468	473	484	494	511	525	539	550	566
앉은 오금높이(Popliteal Height)	401	351	370	377	388	401	412	428	435	454
앉은 엉덩이 무릎 수평길이 (Buttock-Knee Length)	571	516	528	537	554	570	585	606	617	637
앉은 엉덩이 오금 수평길이 (Buttock-Popliteal Length)	469	412	422	435	449	468	485	505	514	542
어깨너비(Biacromial Breadth)	399	341	360	371	386	400	414	426	434	455
손직선길이(Hand Length)	186	170	174	176	180	186	191	197	200	205

<표 48> 여성 기관사 인체 모형화를 위한 인체특성 (제5차 인체측정자료, 20-24세)

[단위: mm]

인체 측정 항목	평균	백분위수(percentile)								
		1th	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th	99th
키(Stature)	1607	1512	1526	1541	1575	1602	1640	1670	1690	1726
눈높이(Eye Height)	1495	1394	1420	1433	1466	1491	1527	1556	1577	1603
무릎높이(Knee Height)	408	362	376	382	394	407	421	433	442	463
몸무게(Weight)	53.5	40.7	44.3	45.7	48.7	52.6	56.7	62.3	67.4	75.8
팔길이(Arm Length)	536	483	498	506	519	535	555	570	577	594
앉은키(Sitting Height)	868	814	823	832	848	869	885	905	914	934
앉은 눈높이(Eye Height, sitting)	756	701	718	724	737	757	775	789	799	812
앉은 어깨높이(Shoulder Height, sitting)	562	515	524	533	546	561	577	594	601	615
앉은 넙다리높이(Thigh Clearance)	136	107	116	120	127	135	144	152	159	169
앉은 무릎높이 (Knee Height, sitting)	483	435	452	456	469	481	498	510	519	530
앉은 오금높이(Popliteal Height)	377	329	346	353	365	377	391	403	408	417
앉은 엉덩이 무릎 수평길이 (Buttock-Knee Length)	546	495	511	518	529	546	560	578	586	594
앉은 엉덩이 오금 수평길이 (Buttock-Popliteal Length)	449	403	414	423	433	449	462	477	484	498
어깨너비(Biacromial Breadth)	361	324	334	341	352	361	371	381	390	404
손직선길이(Hand Length)	175	158	162	165	170	174	180	185	188	193

- 철도차량의 설계조건을 제시하기 위한 인체모델을 위하여 제5차 인체측정결과와의 20~59세까지의 남성과 여성의 인체특성을 각각 제시하였다. 이때, 각각의 연령대별로 특성이 있지만 전체적으로 평균적인 값을 갖는 것으로 가정하였다.

○ 기타 19세 미만의 미성년과 60세 이상은 측정연령대가 10년 단위로 구분(60-69세)되어 있어 본 연구에서의 기관사의 인체 모형화에는 적합하지 않을 것으로 판단되어 반영하지 않았다. 국내 남성과 여성의 인체특성은 아래의 표와 같다.

<표 49> 남성 기관사 인체모형화를 위한 인체특성 (제5차 인체측정자료, 20-59세)

[단위: mm]

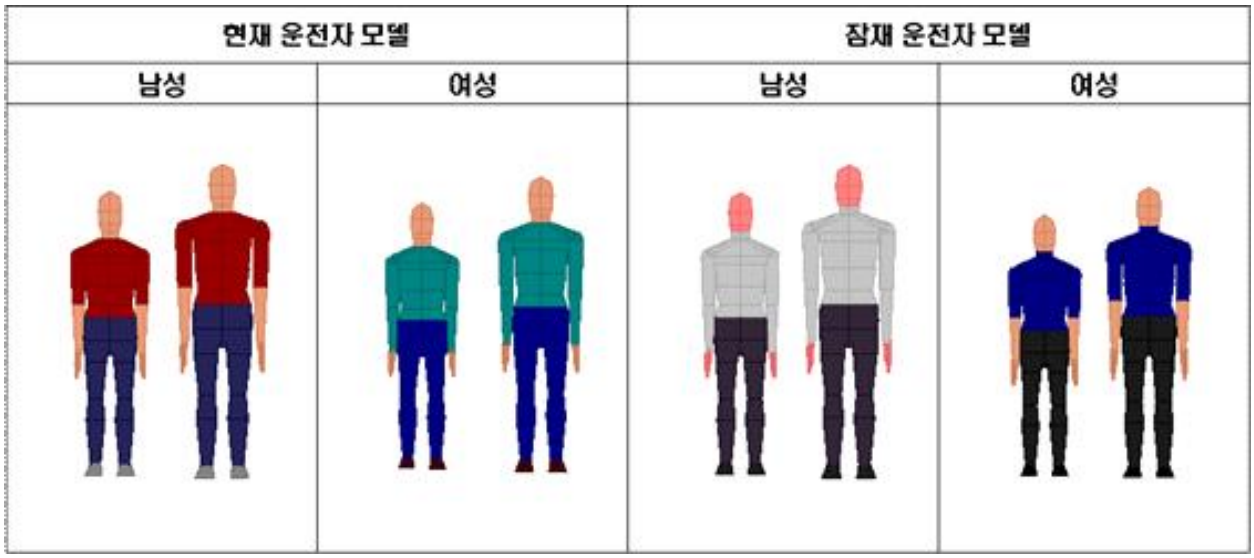
측정 항목	평균	백분위수(percentile)								
		1th	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th	99th
키(Stature)	1705	1576	1616	1635	1669	1705	1743	1777	1796	1833
앉은 무릎높이(Knee Height, sitting)	509	458	471	480	493	508	523	537	546	564
팔길이(Arm Length)	576	515	535	543	559	576	592	608	617	632
앉은키(Sitting Height)	922	846	872	884	901	922	942	960	972	992
앉은 어깨높이(Shoulder Height, sitting)	597	537	552	563	580	597	614	631	641	655
앉은 엉덩이 무릎 수평길이 (Buttock-Knee Length)	569	512	530	538	552	569	585	602	610	634
어깨너비(Biacromial Breadth)	397	346	361	370	383	398	411	424	431	447
손직선길이(Hand Length)	186	166	172	175	180	186	191	197	199	204

<표 50> 여성 기관사 인체모형화를 위한 인체특성 (제5차 인체측정자료, 20-59세)

[단위: mm]

측정 항목	평균	백분위수(percentile)								
		1th	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th	99th
키(Stature)	1576	1467	1495	1513	1543	1574	1609	1642	1659	1692
앉은 무릎높이(Knee Height, sitting)	473	425	440	447	460	473	487	499	506	520
팔길이(Arm Length)	528	478	491	498	513	528	545	559	566	580
앉은키(Sitting Height)	858	795	813	823	840	858	876	893	902	924
앉은 어깨높이(Shoulder Height, sitting)	557	505	519	527	542	557	573	587	595	613
앉은 엉덩이 무릎 수평길이 (Buttock-Knee Length)	540	489	503	511	524	540	555	571	580	596
어깨너비(Biacromial Breadth)	360	320	332	338	349	360	371	381	388	400
손직선길이(Hand Length)	175	156	162	165	170	175	180	185	188	193

○ 아래 그림에는 운전자 모델에 대하여 SAMMIE CAD를 이용한 인체모형 결과를 나타내었다.



<그림 76> 운전자 모델

12. 국내 철도차량 운전실 관련 법·기준 현황

가. 철도안전법 관련 법규

(1) 철도안전법

○ 제34조(표준화)

- ①국토해양부장관은 철도의 안전과 호환성의 확보 등을 위하여 철도차량 및 철도용품의 표준규격을 정하여 철도운영자등 또는 철도차량을 제작·조립 또는 수입하려는 자 등(이하 "차량제작자등"이라 한다)에게 권고할 수 있다. 다만, 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준이 제정되어 있는 사항에 대하여는 그 표준에 따른다.
- ②제1항에 따른 표준규격의 제정·개정 등에 필요한 사항은 국토해양부령으로 정한다.

○ 제77조(권한의 위임·위탁)

- ①국토해양부장관은 이 법에 따른 권한의 일부를 대통령령으로 정하는 바에 따라 소속 기관의 장 또는 시·도지사에게 위임할 수 있다.
- ②국토해양부장관은 이 법에 따른 업무의 일부를 대통령령으로 정하는 바에 따라 철도안전 관련 기관 또는 단체에 위탁할 수 있다.

(2) 철도안전법 시행령

○ 제63조(권한의 위탁)

- ①국토해양부장관은 법 제77조제2항에 따라 다음 각 호의 업무를 「교통안전공단법」에 따른 교통안전공단에 위탁한다.

  · 1. 종합안전 심사

  · 2. 법 제17조제1항에 따른 운전면허시험의 실시

  · 3. 법 제18조제1항에 따른 운전면허증의 발급과 법 제18조제2항에 따른 운전면허증의 재발급이나 기재사항의 변경

  · 4. 법 제19조제3항에 따른 운전면허증의 갱신 발급과 법 제19조제6항에 따른 운전면허 갱신에 관한 내용 통지

  · 5. 법 제20조제3항과 제4항에 따른 운전면허증 반납 및 보관

  · 6. 법 제20조제6항에 따른 운전면허 발급·갱신·취소 등에 관한 자료 유지·관리

  · 7. 법 제70조에 따른 철도안전에 관한 지식 보급과 법 제71조에 따른 철도안전에 관한 정보의 종합관리를 위한 정보체계 구축 및 관리

- ②국토해양부장관은 법 제77조제2항에 따라 법 제34조제1항에 따른 철도차량과 철도용품 표준규격의 제정·개정 등에 관한 업무 중 다음 각 호의 업무를 「과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」에 따른 한국철도기술연구원에 위탁한다.

  · 1. 표준규격 제정·개정·폐지에 관한 신청 접수

  · 2. 표준규격 제정·개정·폐지와 확인 대상의 검토

  · 3. 표준규격 제정·개정·폐지와 확인에 대한 처리결과 통보

  · 4. 표준규격서 작성

  · 5. 표준규격서 기록 및 보관

  · 6. 그 밖에 표준규격 보호 등에 관한 업무

- ③국토해양부장관은 법 제77조제2항에 따라 철도보호지구 관리에 관한 다음 각 호의 업무(제62조에 따라 시·도지사에게 위임된 업무는 제외한다)를 「한국철도시설공단법」에 따른 한국철도시설공단에 위탁한다.

  · 1. 법 제45조제1항에 따른 철도보호지구에서의 행위의 신고 수리와 같은 조 제2항에 따른 행위 금지·제한이나 필요한 조치명령

  · 2. 법 제46조에 따른 손실보상과 손실보상에 관한 협의

- ④국토해양부장관은 법 제77조제2항에 따라 법 제69조제4항에 따른 자격부여 등에 관한 업

무 중 제59조, 제60조와 제60조의2에 따른 업무를 국토해양부장관이 지정하여 고시하는 철도안전에 관한 전문기관이나 단체에 위탁한다. [전문개정 2012.11.30.]

(3) 철도안전법 시행규칙

○ 제56조(철도표준규격의 제정 등)

- ①국토해양부장관은 법 제34조에 따른 철도차량이나 철도용품의 표준규격(이하 "철도표준규격"이라 한다)을 제정·개정하거나 폐지하려는 경우에는 기술위원회의 심의를 거쳐야 한다.
- ②국토해양부장관은 철도표준규격을 제정·개정하거나 폐지하는 경우에 필요한 경우에는 공청회 등을 개최하여 이해관계인의 의견을 들을 수 있다.
- ③국토해양부장관은 철도표준규격을 제정한 경우에는 해당 철도표준규격의 명칭·번호 및 제정 연월일 등을 관보에 고시하여야 한다. 고시한 철도표준규격을 개정하거나 폐지한 경우에도 또한 같다.
- ④국토해양부장관은 제3항에 따라 철도표준규격을 고시한 날부터 3년마다 타당성을 확인하여 필요한 경우에는 철도표준규격을 개정하거나 폐지할 수 있다. 다만, 철도기술의 향상 등으로 인하여 철도표준규격을 개정하거나 폐지할 필요가 있다고 인정하는 때에는 3년 이내에도 철도표준규격을 개정하거나 폐지할 수 있다.
- ⑤철도표준규격의 제정·개정하거나 폐지에 관하여 이해관계가 있는 자는 별지 제32호서식의 철도표준규격 제정·개정·폐지 의견서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 「과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」에 따른 한국철도기술연구원(이하 "한국철도기술연구원"이라 한다)에 제출할 수 있다.

· 1. 철도표준규격의 제정·개정 또는 폐지안

· 2. 철도표준규격의 제정·개정 또는 폐지안에 대한 의견서

- ⑥제5항에 따른 의견서를 받은 한국철도기술연구원은 이를 검토한 후 그 검토 결과를 해당 이해관계인에게 통보하여야 한다.
- ⑦철도표준규격의 관리 등에 필요한 세부사항은 국토해양부장관이 정하여 고시한다. 국토해양부장관은 제3항에 따라 철도표준규격을 고시한 날부터 3년마다 타당성을 확인하여 필요한 경우에는 철도표준규격을 개정하거나 폐지할 수 있다. 다만, 철도기술의 향상 등으로 인하여 철도표준규격을 개정하거나 폐지할 필요가 있다고 인정하는 때에는 3년 이내에도 철도표준규격을 개정하거나 폐지할 수 있다.[전문개정 2012.12.10.]

(4) 철도차량 안전기준에 관한 규칙

○ 제9조(화재발생의 예방)

- ①객차 등의 차체 및 실내설비는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 불에 타지 아니하는 재료(이하 "불연재료"라 한다)를 사용하여야 한다.

· 1. 철·구리·알루미늄·스테인리스 등 금속이나 유리 등 무기질 재료

· 2. 국제표준화기구(International Organization for Standardization)에서 정한 시험방법 ISO 1182 또는 한국산업규격에서 정한 시험방법 KS F ISO 1182에 의하여 시험한 결과 시료(試料)의 연소에 의한 추가온도상승이 섭씨 50도 이하인 재료

· 3. 국제표준화기구에서 정한 시험방법 ISO 4589-2 또는 한국산업규격에서 정한 시험방법 KS M ISO 4589-2에 의하여 시험한 결과 산소지수(Limited Oxygen Index)가 70 이상인 재료

- ②객차 등의 차체 중 차체구조 및 외장재와 실내설비 중 내장판·의자·통로연결막·바닥재·단열재 및 전선은 제1항의 규정에 의한 불연재료 또는 국토해양부장관이 인정하는 규격에 적합한 재료가 사용되어야 한다. <개정 2008.3.14, 2008.7.10>

- ③객차 등의 실내설비(제2항의 규정에 의한 실내설비를 제외한다)의 성질상 불연재료를 사용할 수 없는 경우에는 국제표준화기구에서 정한 시험방법 ISO 4589-2 또는 한국산업규격에서 정한 시험방법 KS M ISO 4589-2에 의하여 시험한 결과 산소지수가 24 이상인 재료를 사용하거나, 한국산업규격 또는 국제적으로 인정된 시험방법에 의한 연소성 시험에 합격한 재료를 사용하여야 한다.

- ④객차 등의 실내·외에 부착하는 액자형 광고틀·광고물 보호덮개·광고물지지대 등은 제1항의 규정에 의한 불연 재료를 사용하여야 한다. 다만, 광고물의 성질상 불연 재료를 사용할 수 없는 경우에는 제3항의 규정에 의한 재료를 사용할 수 있다.

- ⑤객차 등에 설치되는 실내설비의 단위당 무게가 100그램 이하이며, 단위미터 또는 단위제곱미터 당 200그램 이하인 경우에는 제1항·제3항 및 제4항의 규정을 적용하지 아니할 수 있다.

- ⑥차체에 배선되는 전선은 전선관 또는 차단막으로 보호되어야 한다. 다만, 철도차량 간에 연결되는 전선과 전기기기 연결부분은 그러하지 아니하다. <개정 2008.7.10>

- ⑦제동 시 발생하는 불꽃으로부터 주위의 전선 및 장비가 보호되어야 한다.

- ⑧불꽃 발생 및 발열의 위험이 있는 기기는 일정한 간격으로 분리되어 설치하고, 필요한 경우 그 사이가 절연되거나 제1항의 규정에 의한 불연 재료로 된 차단막이 설치되어야 한다.

- ⑨차체의 하부틀(Under frame) 아래를 지나는 배관 및 전선은 차체바닥으로부터 기름 또는 인화성 물질이 침투하지 못하도록 설치되어야 한다.

- ⑩동력차·특수차 등의 연료탱크는 화재와 불꽃으로부터의 위험이 최소화되는 위치에 설치되고 보호되어야 한다.

○ 제11조(화재의 감지 및 경보)

- ①침대차에는 화재의 발생을 감지하고 경보하는 장치가 설치되어야 한다.
- ②침대차 외에도 위험도분석 결과 중대한 화재위험이 있다고 인정되는 철도차량에는 화재의 발생을 감지하고 경보하는 장치가 설치되어야 한다.
- ③화재의 발생을 감지하는 장치는 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다.
  - 1. 화재경보의 오류 가능성을 최소화하고 화재를 조기에 감지할 것
  - 2. 먼지·습기·진동·실내온도·공기흐름·전자기 등의 설치 환경요건을 고려하여 설치할 것
- ④화재의 발생을 경보하는 장치는 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다. <개정 2008.7.10>
  - 1. 승무원에게 위험을 알려주는 기능을 갖출 것
  - 2. 화재가 발생한 철도차량을 승무원에게 알려주는 기능을 갖출 것
  - 3. 동력차에는 차체 내부 또는 외부에 음향경보장치나 화재경보 등을 설치할 것
  - 4. 동력차에 설치되는 음향경보장치는 운전실에서 들을 수 있도록 철도차량의 운행중 발생하는 소음수준보다 5데시벨 이상의 음향수준을 갖출 것
  - 5. 둘 이상의 동력차를 편성하여 운행하는 열차에서 경보시스템이 작동되는 경우에는 운전업무종사자가 있는 동력차의 화재경보 등만 작동할 것
  - 6. 객차에 설치되는 음향경보장치는 여객에게 위험을 알릴 정도의 음향수준을 갖출 것
  - 7. 객차에 화재의 발생을 경보하는 장치를 설치하는 경우에는 청각장애인을 고려한 표시장치를 갖출 것

○ 제13조(화재발생시 진압설비)

- ①철도차량에는 국토해양부장관이 정하는 기준에 따라 소화기가 비치되어야 한다. 다만, 위험도분석 결과에 따라 필요한 경우에는 추가로 설치하여야 한다. <개정 2008.3.14.>
- ②제1항의 규정에 의한 소화기는 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다. <개정 2008.7.10>
  - 1. 일반화재·유류(油類)화재 및 전기화재 모두를 진압할 수 있을 것
  - 2. 소화기의 사용적정압력은 섭씨 20도에서 제곱센티미터 당 8킬로그램 이상 10킬로그램 이하일 것
  - 3. 방사거리는 3미터 이상일 것
  - 4. 그 밖에 「소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률」 제36조제5항에 따른 기준에 적합할 것
- ③소화기는 승무원 또는 여객이 용이하게 접근하여 사용할 수 있는 위치에 비치되어야 하

며, 소화기의 보관함은 소화기를 쉽게 사용할 수 있도록 덮개가 없는 개방형으로 설치하여야 한다. <개정 2010.9.3>

- ④소화기 인근에는 「소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률」에 의하여 고시하는 화재안전기준에 적합한 축광위치표지(이하 "축광위치표지"라 한다)로 소화기의 위치와 화재발생시 사용방법 등을 표시한 표지를 부착하여야 한다.

- ⑤위험도분석 결과 필요하다고 인정되는 철도차량에는 자동으로 화재를 진압하고 이를 운전실에서도 작동시킬 수 있는 자동 화재진압설비가 설치되어야 한다.

○ 제35조(철도차량의 충돌안전설계 등)

- ①철도차량은 충돌사고에 대비하여 다음 각 호의 기준에 적합하게 설계되어야 한다.

  · 1. 충돌사고가 발생한 경우 철도차량운전업무종사자 및 여객이 위치하는 부분의 변형 및 철도차량 간 올라타는 현상 등을 최소화하도록 할 것

  · 2. 충돌사고가 발생한 경우 철도차량의 차체구조물 등이 여객 등이 위치한 장소에 침입하는 것을 최소화하도록 할 것

  · 3. 열차에 고정(固定)으로 편성되는 철도차량(이하 "고정편성차량"이라 한다)의 경우 열차에 조성되는 동력차·객차는 충돌 시 발생하는 충돌에너지를 철도차량별로 충분히 분산 흡수하여 여객 및 승무원의 상해를 최소화하도록 할 것

  · 4. 연결기의 허용하중을 초과하는 충돌사고가 발생한 경우 여객 및 승무원의 피해를 최소화할 수 있도록 차체부위에 구조적으로 약한 부위를 설계하여 충돌에너지가 흡수되도록 할 것

- ②철도차량제작자 및 철도운영자등은 객차 등이 국토해양부장관이 정하는 표준충돌사고각본(충돌안전도 설계 및 시험평가를 위하여 과학적이고 통계적인 근거에 의해 열차의 충돌속도·피충돌체 종류 등을 정하는 표준 시나리오를 말한다. 이하 같다)에 의하여 제1항의 규정에 의한 기준을 만족하는 지의 여부를 확인하여야 한다. <개정 2008.3.14>

- ③제2항에 따른 표준충돌사고각본의 방법·조건·평가 등에 관하여 필요한 세부사항은 국토해양부장관이 정하여 고시한다. <개정 2008.3.14., 2010.9.3>

○ 제42조(운전실)

- ①운전실에는 철도차량운전업무종사자 등이 용이하게 출입할 수 있고 잠금 기능을 갖춘 출입문이 설치되어야 하며, 동력차의 기계실과 인접객차 사이에는 잠금장치가 설치된 칸막이문이 설치되어야 한다.

- ②운전실에는 열차운행 및 기계실의 소음이 최소화되는 구조로 설계되어야 하며 열차운행시 운전실의 실내소음은 등가소음(Equivalent Sound) 기준으로 측정한 경우 85데시벨을 초과할 수 없다.

- ③운전실의 양 측면에는 개폐가 가능한 창문이 설치되어야 한다.
- ④운전실의 전면창유리는 접합유리가 사용되어야 하고 그 밖의 창문유리는 안전유리가 사용되어야 하며, 열차의 최대운행속도에서 풍압 등에 의한 변형 등이 발생하지 아니하여야 하고, 운행중 부딪치는 물체 등에 의하여 손상되지 아니하도록 충분한 강도를 가져야 한다. <개정 2008.7.10, 2010.9.3>
- ⑤운전실의 전면창유리는 철도차량운전업무종사자가 운전에 적합한 시야를 확보하도록 설치되어야 하며, 먼지·비·눈 등 운전에 방해되는 물질을 제거하는 장치 및 햇빛 또는 전조등(前照燈)에 의한 운전자의 눈부심을 막기 위한 장치가 설치되어야 한다. <개정 2010.9.3>
- ⑥운전실의 전면창유리에 색깔이 들어 있는 유리를 사용하는 경우에는 유리를 투과하는 신호의 색깔이 변색되어서는 안 된다. <개정 2010.9.3>
- ⑦운전실에는 철도차량운전업무종사자를 위한 적절한 조명설비 및 냉·난방장치가 설치되어야 한다.
- ⑧운전실 내부의 장비 또는 장치는 철도차량의 급격한 가감속시 그 모서리나 돌출부에 철도차량운전업무종사자가 다치지 아니하도록 설치되어야 한다.
- ⑨운전실은 승무원이 용이하게 탈출할 수 있는 구조로 설계되어야 한다. 이 경우 위험도분석 결과 필요하다고 인정되는 경우 별도의 비상탈출구가 설치되어야 한다.
- ⑩ 제4항에 따른 운전실의 전면창유리의 강도 등에 관하여 필요한 세부기준은 국토해양부장관이 정하여 고시한다. <신설 2010.9.3.>

○ 제43조(운전실에 갖추어야 할 장치)

- ①운전실에는 다음 각 호의 장치를 갖추어야 한다.
  - 1. 전·후진제어장치
  - 2. 견인제어장치
  - 3. 제동제어장치
  - 4. 속도표시장치
  - 5. 신호보안장치
  - 6. 출입문 작동장치(고정편성차량에 한한다)
  - 7. 집전장치 제어장치(집전장치가 설치된 철도차량에 한한다)
  - 8. 열차통신장치(열차무선장치를 포함한다)
- ②운전하는 경우 사용되는 모든 장치는 철도차량운전업무종사자의 시야 범위 안에 있어야 하며, 철도차량운전업무종사자가 혼동하거나 어려움 없이 제어할 수 있도록 배치되어야 한다.

- ③운전실에 설치된 각종 장치들은 개별 장치의 식별이 용이하도록 표시가 되어야 하며, 철도차량운전업무종사자가 용이하게 조작 및 확인할 수 있도록 적절한 조명장치가 설치되어야 한다.

- ④열차운전 및 제동장치 등 안전관련 장치가 고장이 난 경우에는 시각 또는 청각신호가 철도차량운전업무종사자에게 통보되어야 하며 청각신호는 운전실의 소음에 불구하고 철도차량운전업무종사자가 충분히 들을 수 있는 음량을 가져야 한다.

○ 제44조(여객용 출입문)

- ①여객용 출입문 장치는 여객에 의한 하중과 운행중에 발생하는 하중을 견딜 수 있는 구조이어야 하며, 여객용 출입문의 강도에 관하여 필요한 세부기준은 국토해양부장관이 정하여 고시한다. <개정 2010.9.3>

- ②여객용 출입문에 고정창을 설치하는 경우에는 안전유리가 사용되어야 한다.

- ③여객용 출입문에 근접하여 설치하는 설비는 상해의 위험을 최소화하도록 설계되어야 한다.

- ④여객용 출입문의 가장자리는 사람의 손 또는 옷이 걸리지 아니하는 구조이어야 한다.

- ⑤여객용 출입문은 닫히지 아니하면 발차할 수 없는 구조이어야 한다. 다만, 승무원이 여객용 출입문의 닫힘을 확인하는 철도차량은 그러하지 아니하다.

- ⑥여객용 출입문은 비상시 여객탈출 등의 안전을 고려하여 객차 당 2개 이상이 설치되어야 하며, 출입문은 유효 폭 660밀리미터, 유효 높이 1천800밀리미터 이상의 크기를 가져야 한다.

- ⑦여객용 출입문은 정차역의 구조를 고려하여 승하차가 용이한 구조로 설계되어야 한다.

- ⑧여객용 출입문은 운전실 또는 승무원실에서 제어가 가능하여야 하며 여객용 출입문이 닫히기 직전에 속도가 완화되고 장애물이 있을 경우 다시 열리는 구조이어야 한다.

- ⑨여객용 출입문은 운전실 또는 승무원실에서 제어하는 경우 동시에 열리고 동시에 닫히는 구조이어야 한다.

- ⑩여객용 출입문에는 이중의 잠금 장치가 설치되어야 하며, 열차속도가 출발 후 일정속도에 도달하는 때에는 여객용 출입문이 자동적으로 잠기며 해제될 수 없는 구조이어야 한다. 다만, 특수한 장치가 있는 경우에 그러하지 아니하다.

- ⑪철도차량에는 출발 시 여객용 출입문을 닫기 전에 여객에게 안내할 수 있는 장치가 설치되어야 하며, 출입문의 개폐상태는 철도차량운전업무종사자에게 통보되어야 한다.

- ⑫비상시 철도차량의 내부와 외부에서 여객용 출입문을 수동으로 개방할 수 있는 장치를 갖추어야 하며, 수동개방장치의 덮개에는 수동개방장치의 위치를 쉽게 알 수 있도록 위치표지가 부착되어야 한다.

- ⑬여객용 출입문 안쪽 옆에는 비상시 문을 여는 방법을 설명한 표지 및 필요시 개방장치가 설치된 위치를 표시하는 안내표지를 부착하고 개방장치와 안내표지 사이에는 광고물이나

다른 설비를 설치하지 아니하여야 한다.

- ⑭제12항의 규정에 의한 위치표지와 제13항의 규정에 의한 안내표지는 축광위치표지로 하여야 한다.

○ 제66조(제동제어장치)

- ①운전실에는 철도차량운전업무종사자가 제동시스템을 제어할 수 있도록 제동제어장치를 갖추어야 하며, 제동제어장치가 고장이 나는 경우에 대비하여 보조제동제어장치도 갖추어야 한다.

- ②제동제어장치는 여객이나 철도차량운전업무종사자의 오조작에 의한 손상 및 작동이 방지될 수 있는 구조이어야 한다.

- ③제동제어장치의 전원은 다른 장치의 전원과 분리되어야 하며, 전력공급선의 전원이 단절되는 경우에도 제어가 가능하여야 한다.

- ④제동제어장치는 철도차량이나 궤도설비의 회로로부터 간섭 없이 작동되어야 하며, 입력신호와 출력신호는 전기적으로 분리되어야 한다.

- ⑤활주방지기능을 갖춘 철도차량의 경우에는 하나의 활주방지장치에 고장이 있을 때 다른 정상적인 활주방지기능에 지장이 초래되어서는 아니 된다.

○ 제74조(집전장치)

- ①전기차량은 최대운행속도로 주행하는 경우에도 집전에 아무런 이상이 없어야 하며, 견인 및 제동시에도 필요한 전류가 집전될 수 있어야 한다.

- ②집전장치는 철도차량운전업무종사자가 운전실에서 동시에 하강시킬 수 있어야 하며, 하강할 때 아크(Arc)발생 등으로 집전장치에 손상 및 화재발생의 우려가 없어야 한다.

- ③집전장치는 철도차량의 다른 기기와 독립된 별도의 동력 및 제어회로에 의하여 작동되어야 한다.

○ 제83조(운전자 보안장치 등)

- ①운전실에는 운전자 보안장치(운행중 철도차량운전업무종사자의 졸음·질병 및 부주의 등으로 발생할 수 있는 위험을 방지하기 위한 장치를 말한다)가 설치되어야 하며, 철도차량운전업무종사자가 적절하게 반응하지 아니하는 경우 철도차량을 비상으로 정지시킬 수 있어야 한다.

- ②동력차(동차의 경우에는 제어차에 한한다)에는 운행속도·시간·거리 등 운행중 열차의 주요정보를 연속적으로 저장하는 기록 장치를 갖추어야 한다.

○ 제85조(운행상태 확인 장치)

- ①열차의 운행상태를 철도차량운전업무종사자가 즉시 확인할 수 있도록 운전실에 버저(Buzzer)·램프(Lamp) 또는 운전지원 및 확인이 가능한 모니터(Monitor) 등이 설치되어야 한다.
- ②표시되는 신호는 철도차량운전업무종사자가 용이하게 인식하고 이해할 수 있어야 한다.
- ③열차의 운행상태를 확인하는 장치는 다음 각 호의 정보를 확인하는 기능을 갖추어야 한다.
  · 1. 제동상태정보
  · 2. 출입문작동정보(설치된 철도차량에 한한다)
  · 3. 비상경보작동정보
  · 4. 차륜활주정보
  · 5. 축상과열정보(설치된 철도차량에 한한다)
  · 6. 화재발생정보(설치된 철도차량에 한한다)
  · 7. 주행장치불안정정보(설치된 철도차량에 한한다)
- ④열차의 운행상태를 확인하는 장치는 철도차량운전업무종사자에게 각종 장치가 정상으로 작동하는지 여부를 통보하는 기능을 갖추어야 한다.

○ 제89조(경적)

- 운전실이 설치된 철도차량에는 2개의 음색기능과 작동 시 최대값이 철도차량의 전방 30미터에서 100데시벨 이상의 음향을 갖춘 경적이 설치되어야 하며, 운전실에서 철도차량운전업무종사자가 용이하게 조작할 수 있어야 한다. <개정 2008.7.10.>

○ 제91조(통신장치)

- ①열차 안에 설치되는 통신장치는 용도별로 승무원·여객·철도교통관제시설간 원활하게 송수신할 수 있는 기능을 가져야 한다.
- ②열차 내에 설치되는 통신장치에는 비상시에도 최소 60분 이상 안정적으로 전원이 공급될 수 있어야 한다.
- ③객차 등의 경우 승무원과 여객간의 통신장치는 다음 각 호의 기능을 갖추어야 한다.
  · 1. 객차 1량 당 2개 이상 설치할 것
  · 2. 쌍방향 통화가 가능할 것
  · 3. 통신장치 인근에 사용방법을 설명하는 안내표지를 축광위치표지로 부착할 것
  · 4. 승무원이 통화중인 여객의 위치를 확인할 수 있을 것
  · 5. 통신장치 주변에는 철도차량번호판 또는 순위표가 부착되어 여객이 비상사태가 발생한

철도차량을 철도차량운전업무종사자에게 신속하게 알릴 수 있을 것

- ④운전자와 철도교통관제시설 간의 모든 통신장치는 비상시에도 작동될 수 있도록 보호되어야 한다.
- ⑤통신장치는 비상시 여객이 철도차량운전업무종사자 또는 철도교통관제시설과 통신을 할 수 있는 기능을 가져야 한다.
- ⑥열차는 안전운행을 위하여 운전실과 철도교통관제시설 간에 별도의 무선통신장치가 갖추어져야 한다.

(5) 철도시설 안전기준에 관한 규칙

○ 제66조(철도통신설비의 안전 일반기준)

- ① 철도통신설비는 관제실, 정차장(停車場), 운전실, 변전소, 그 밖에 보안상 필요한 장소 상호간에 음성, 부호, 데이터 및 영상 등의 중요한 정보를 지속적으로 안전하게 송수신하여 신속히 연락할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.
- ② 철도통신설비를 구성할 때에는 다음 각 호의 조건을 포함한 여러 조건을 고려하여야 한다.
  - 1. 철도종사자 및 일반인이 도움과 지원을 요청할 수 있을 것
  - 2. 비상 대응 조치를 지원하도록 적절한 설비를 구축할 것
- ③ 철도통신설비를 변경하거나 신설하는 경우에는 철도안전에 영향을 주지 아니하도록 하여야 한다.

(6) 철도차량운전규칙

○ 제13조(열차의 운전위치)

- ①열차는 운전방향 맨 앞 차량의 운전실에서 운전하여야 한다.
- ②제1항에도 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 운전방향 맨 앞 차량의 운전실 외에서도 열차를 운전할 수 있다. <개정 2010.10.18>
  - 1. 철도종사자가 차량의 맨 앞에서 전호를 하는 경우로서 그 전호에 의하여 열차를 운전하는 경우
  - 2. 선로·전차선로 또는 차량에 고장이 있는 경우
  - 3. 공사열차·구원열차 또는 제설열차를 운전하는 경우
  - 4. 정거장과 그 정거장 외의 본선 도중에서 분기하는 측선과의 사이를 운전하는 경우
  - 5. 철도시설 또는 철도차량을 시험하기 위하여 운전하는 경우

· 6. 사전에 정한 특정한 구간을 운전하는 경우

· 6의2. 무인운전을 하는 경우

· 7. 그 밖에 부득이한 경우로서 운전방향 맨 앞 차량의 운전실에서 운전하지 아니하여도 열차의 안전한 운전에 지장이 없는 경우

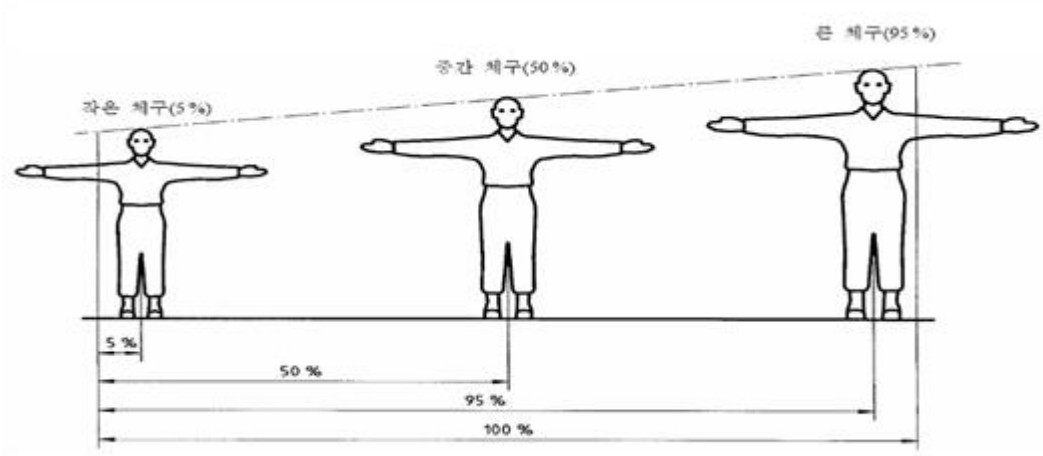
(7) 철도차량운전업무종사자와 차량장치간 연계안전 세부기준-철도차량 안전기준에 관한 지침(일부개정 2010. 9.17 국토해양부고시 제2010-637호)의 별표 14

○ 1. 적용범위

- 철도차량 안전운행에 필요한 철도차량운전업무종사자(이하 “운전자”라 한다)의 운전 공간 확보, 주요장치 배치, 운전 시야 확보와 관련된 세부기준을 규정한다. 단, 무인운전으로 운행되는 철도차량은 본 규정을 적용하지 않는다.

○ 2. 용어정의

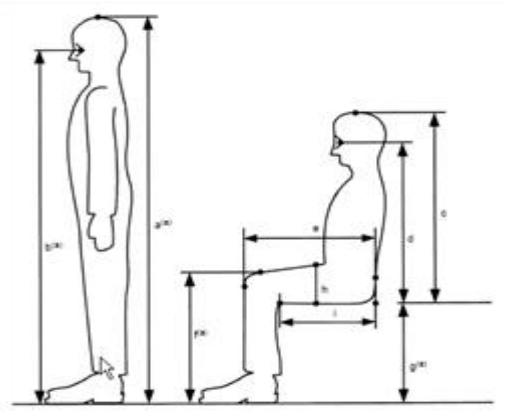
- 가. 작은 체구 운전자 : 철도차량 운전자의 5%가 이 운전자 치수보다 작은 운전자
- 나. 큰 체구 운전자 : 철도차량 운전자의 5%가 이 운전자의 치수보다 큰 운전자



<그림 77> 운전자의 치수

○ 3. 운전자의 운전 공간 확보

- 가. 운전실 주요장치 및 의자배치는 작은 체구 운전자보다 크고 큰 체구 운전자보다 작은 운전자가 앉은 자세에서 편안하게 주요장치를 안전하게 조작할 수 있도록 배치하여야 한다.
- 나. 철도차량 운전 공간 확보를 위한 설계기준으로 작은 체구 및 큰 체구 운전자의 서 있을 때와 앉아 있을 때의 주요 인체 치수는 그림 2에 따른다.



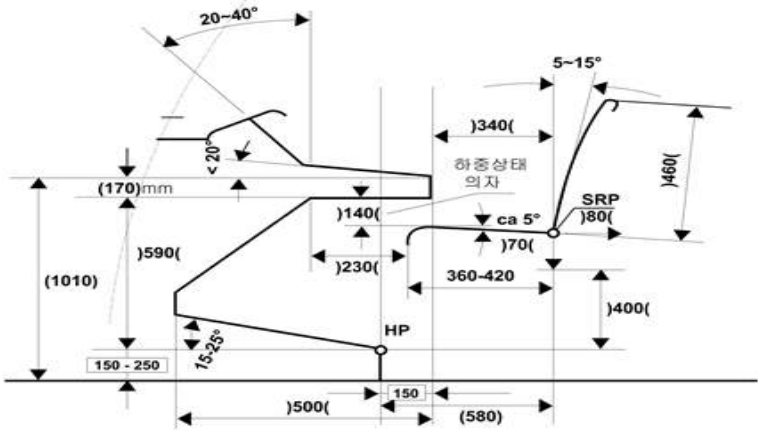
(단위 : mm)

	a	a[a]	b[a]	c	d	e	f[a]	g[a]	h	i
작은체구 운전자	1,615	1,645	1,530	870	760	530	500	395	130	420
큰 체구 운전자	1,795	1,825	1,705	970	855	610	575	460	180	510

a : 운전자 신발 치수 30mm 포함

<그림 78> 운전자의 주요 인체치수

다. 운전실 운전대 및 의자를 배치할 때에는 그림2의 운전자 주요 인체 치수에 근거한 운전자가 앉은 자세에서 편안하게 주요장치를 안전하게 조작할 수 있도록 그림 3에 따라 공간을 확보할 것을 권장한다.

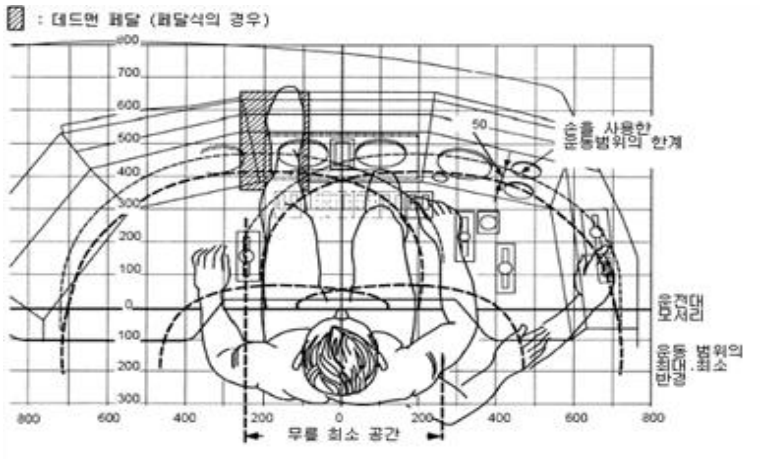


주) □ : 권장 치수,)-(: 최소 치수, (-) : 최대 치수,
SRP(Seat Reference Point) : 의자 기준점,
HP(Heel Point) : 발 뒤축기준점

<그림 79> 운전실 운전대 및 의자 배치 공간 치수

○ 4. 운전실 운전대의 주요장치 배치

- 운전자가 손으로 조작해야 하는 장치는 그림 4에 제시된 최적 운동 범위를 고려하여 운전 장치를 배치할 것을 권장한다.



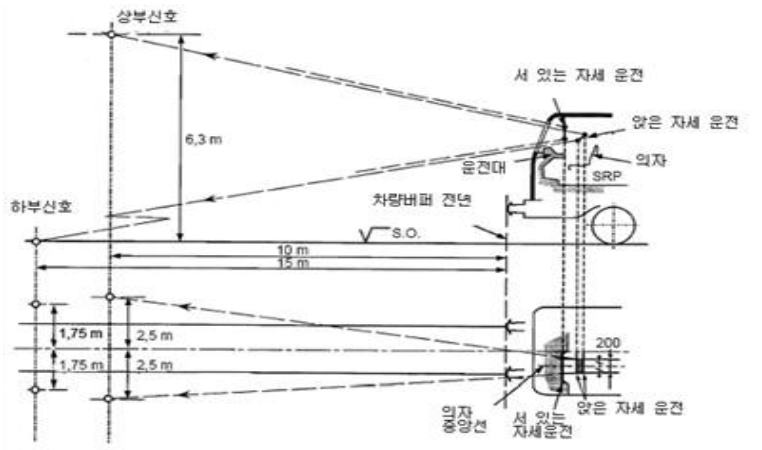
<그림 80> 손으로 조작 가능한 최적 운동 범위

○ 5. 운전자 시야 확보

- 가. 차량 운행 중 운전자의 시야를 확보하기 위하여 운전자가 서 있는 자세 또는 앉은 자세에서의 운전자 눈 위치에 근거한 외부 상·하부 신호를 확인하기 위한 가시거리 기준은 그림 5에 따른다.

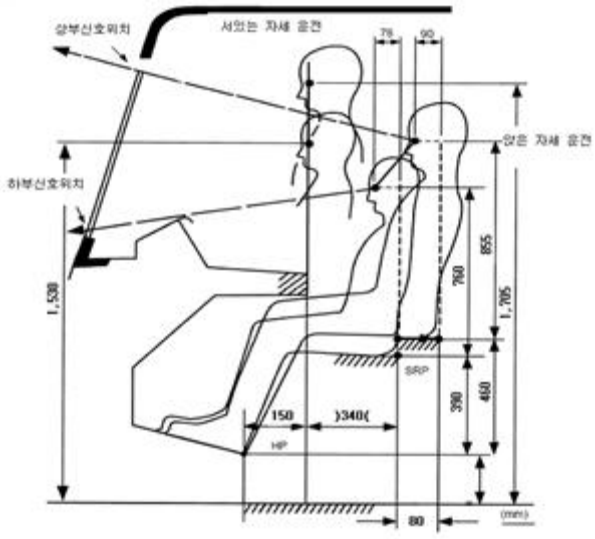
· 1) 상부신호는 차량 연결기를 기준으로 10m 전방, 궤도 중앙에서 좌우로 2.5m, 주행 면에서 6.3m 높이에 위치한 것으로 한다.

· 2) 하부신호는 차량 연결기를 기준으로 15m 전방, 궤도 중앙에서 좌우로 1.75m에 위치한 것으로 한다.



<그림 81> 운전자 가시거리 기준

- 나. 그림 5의 가시거리 기준을 확보하기 위한 운전실 내부에서 서 있는 자세 또는 앉은 자세에서의 운전자 눈 위치의 기준 값은 그림 6에 따른다.



<그림 82> 운전자 눈 위치 기준 값

나. 도시철도안전법 관련 법규

(1) 도시철도법

○ 제22조(표준규격)

- ①국토해양부장관은 도시철도의 효율적 운영과 호환성(互換性) 확보 등을 위하여 도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격을 정하고, 이를 도시철도차량 또는 도시철도시설을 제작·조립 또는 수입하려는 자(이하 "제작자등"이라 한다), 도시철도건설자 및 도시철도운영자에게 권고할 수 있다. 다만, 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준이 제정되어 있는 사항에 대하여는 그 표준에 따른다.
- ②국토해양부장관은 도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격을 정하였을 때에는 이를 고시하여야 한다. [전문개정 2009.4.1]

○ 제22조의2(안전기준)

- ①도시철도차량은 대통령령으로 정하는 구조와 장치가 국토해양부령으로 정하는 안전기준에 적합하지 아니하면 운행하지 못한다.
- ②대통령령으로 정하는 도시철도시설은 다른 법률에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 국토해양부령으로 정하는 안전기준에 맞게 설치하고 유지·관리하여야 한다. [전문개정 2009.4.1]

○ 제22조의3(성능시험)

- ①제작자등이 제작·조립 또는 수입한 도시철도차량을 판매하거나 도시철도시설을 설치하려는 경우에는 도시철도차량 및 도시철도시설의 구조와 장치의 형상 및 규격 등(이하 "차량·시설형식"이라 한다)과 성능에 관하여 국토해양부장관이 지정하는 자가 실시하는 시험(이하 "성능시험"이라 한다)을 받아야 한다. 성능시험을 받은 차량·시설형식 또는 성능을 변경(국토해양부령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우는 제외한다)한 경우에도 또한 같다.

- ②성능시험의 대상·기준·절차에 관하여 필요한 사항과 성능시험을 하는 자의 지정 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. [전문개정 2009.4.1.]

○ 제22조의4(도시철도용품의 품질인증)

- ①국토해양부장관은 도시철도에 사용되는 부품·기기 또는 장치 등(이하 "도시철도용품"이라 한다)의 성능 및 안전성 확보 등을 위하여 인증기관(이하 "품질인증기관"이라 한다)을 지정하여 도시철도용품에 대한 품질인증을 하게 할 수 있다. 다만, 「산업표준화법」 제15조에 따라 인증을 받은 도시철도용품에 대하여는 그러하지 아니하다.

- ②국토해양부장관은 도시철도건설자, 도시철도운영자와 제작자등에게 품질인증을 받은 도시철도용품을 우선 구매하도록 권장할 수 있다.

- ③제1항에 따른 품질인증의 대상·기준·유효기간·절차, 품질인증기관의 지정절차 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. [전문개정 2009.4.1]

○ 제22조의5(도시철도차량의 사용내구연한)

- ①도시철도운영자는 국토해양부령으로 정하는 사용내구연한을 초과한 도시철도차량을 운행할 수 없다. 다만, 대통령령으로 정하는 바에 따라 국토해양부장관이 지정한 자가 실시하는 정밀진단을 받아 안전운행에 적합하다고 인정되어 사용내구연한이 연장된 도시철도차량의 경우에는 그러하지 아니하다.

- ②제1항에 따른 정밀진단의 실시 및 사용내구연한의 연장에 필요한 사항은 국토해양부령으로 정한다. [전문개정 2009.4.1]

○ 제22조의6(전담기관의 지정 등)

- ①국토해양부장관은 제22조 및 제22조의2부터 제22조의5까지의 규정에 따른 표준규격, 안전기준, 성능시험기준, 품질인증기준 및 정밀진단기준의 제정·개정 및 폐지에 관련된 전문적인 기술 검토 및 개선방안 마련에 관한 업무를 체계적·효율적으로 추진하기 위하여 연구기관등 중에서 전담기관을 지정하여 운영할 수 있다.

- ②전담기관의 운영 등에 필요한 사항은 국토해양부령으로 정한다.[전문개정 2009.4.1.]

-

(2) 도시철도법 시행령

○ 제24조(표준규격의 제정 등)

- ①국토해양부장관은 법 제22조제1항에 따라 도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격을 제정·개정 또는 폐지하려면 「도시교통정비 촉진법 시행령」 제42조의2에 따른 도시철도기술실무위원회(이하 "기술위원회"라 한다)의 심의를 거쳐야 한다.

- ②도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격의 제정·개정 또는 폐지에 관하여 이해관계가 있는 자는 그 안(案)을 작성하여 국토해양부장관에게 그 제정·개정 또는 폐지를 신청할 수 있으며, 신청을 받은 국토해양부장관은 해당 신청 내용을 검토하여 그 결과를 신청인에게 통지하여야 한다.

- ③국토해양부장관은 제1항에 따른 도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격을 제정·개정 또는 폐지하는 경우 필요하다고 인정하면 공청회를 열어 이해관계가 있는 자의 의견을 들을 수 있다.

- ④국토해양부장관은 도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격을 정한 경우에는 그 표준규격의 명칭·번호 및 날짜 등을 관보 또는 주요 일간신문에 고시하여야 한다. 고시된 표준규격을 개정 또는 폐지한 경우에도 또한 같다.

- ⑤국토해양부장관은 제4항에 따라 도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격을 고시한 날부터 5년마다 타당성을 확인하여 필요하다고 인정하는 경우에는 도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격을 개정 또는 폐지할 수 있다. 다만, 도시철도차량 및 도시철도시설 기술의 향상 등으로 표준규격의 개정 또는 폐지가 필요하다고 인정하는 경우에는 5년 이내라도 도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격을 개정 또는 폐지할 수 있다. [전문개정 2009.6.30.]

(3) 도시교통정비 촉진법 시행령

○ 제42조의2(도시철도기술실무위원회)

- ①제37조제2항 각 호의 사항 중 도시철도와 관련된 기술적인 사항을 효율적으로 심의하기 위하여 「국가통합교통체계효율화법 시행령」 제106조제1항제5호에 따른 도시교통정책실무위원회에 도시철도 기술실무위원회(이하 이 조에서 "기술위원회"라 한다)를 둘 수 있다. <개정 2010.1.7>

- ②기술위원회의 구성·운영 등에 필요한 사항은 국토해양부령으로 정한다.[전문개정 2008.12.31.]

(4) 국가통합교통체계효율화법 시행령

○ 제106조(국가교통실무위원회)

- ①법 제108조에 따른 국가교통실무위원회는 다음 각 호의 실무위원회(이하 "각 실무위원회"라 한다)로 한다.

· 1. 국가교통정책조정실무위원회

· 2. 국가첨단교통실무위원회

· 3. 국가교통안전실무위원회

· 4. 광역교통정책실무위원회

· 5. 도시교통정책실무위원회

· 6. 대중교통평가실무위원회

(5) 도시철도법 시행규칙

○ 제3조(전담기관의 운영)

- ①법 제22조의6제1항에 따라 국토해양부장관의 지정을 받은 전담기관은 다음 각 호의 업무를 담당한다. <개정 2008.3.14>

· 1. 표준규격, 안전기준, 성능시험기준, 품질인증기준 및 정밀진단기준의 작성

· 2. 표준규격, 안전기준, 성능시험기준, 품질인증기준 및 정밀진단기준의 제정·개정·폐지에 관련된 기술검토 및 연구개발

· 3. 그 밖에 도시철도차량 및 도시철도시설의 개선방안 마련을 위하여 필요한 사항

- ②제1항에서 규정한 사항 외에 전담기관의 운영에 필요한 세부사항은 국토해양부장관이 정한다. <개정 2008.3.14.>

(6) 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙

○ 제10조(화재예방을 위한 기준)

- ①차량의 차체 및 실내설비는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 불에 타지 아니하는 재료(이하 "불연재료"라 한다)를 사용하여야 한다. <개정 2011.3.3>

· 1. 철·구리·알루미늄·스텐레스 또는 유리

· 2. 「산업표준화법」 제12조에 따른 한국산업표준인 케이에스 에프 아이에스오(KS F ISO) 1182에 따라 시험한 결과 시료(試料)의 연소에 의한 추가온도상승이 섭씨 50도 이하인 재료

· 3. 「산업표준화법」 제12조에 따른 한국산업표준인 케이에스 엠 아이에스오(KS M ISO) 4589-2에 따라 시험한 결과 산소지수(Limited Oxygen Index)가 70 이상인 재료

- ②차량의 차체 중 차체구조 및 외장재와 실내설비 중 내장판, 의자, 통로 연결막, 바닥재 및 단열재는 불연 재료를 사용하거나 별표 1의2의 차체구조 및 차량실내·외설비의 화재안전 시험방법 및 기준에 적합한 재료를 사용하여야 한다. <개정 2010.1.19>

- ③실내설비(제2항에 따른 실내설비를 제외한다)의 성질상 불연 재료를 사용할 수 없는 경우에는 「산업표준화법」 제12조에 따른 한국산업표준인 케이에스 엠 아이에스오(KS M ISO) 4589-2에 따라 시험한 결과 산소지수가 24 이상인 재료를 사용하거나, 국제적으로 인정된 시험방법에 의한 연소성 시험에 합격한 재료를 사용하여야 한다. <개정 2011.3.3>

- ④차체에 배선되는 전선은 제3항의 규정에 의한 재료를 사용하여야 하고, 필요한 경우 전선관 또는 차단막으로 보호되어야 한다.

- ⑤차량에 배선된 전선과 차량에 설치된 장비는 차량의 제동 시 발생하는 불꽃으로부터 보호되어야 한다.

- ⑥불꽃발생 및 발열위험이 있는 기기는 그 사이가 절연되도록 일정한 간격으로 분리되어 설치되거나 필요한 경우 불연 재료를 사용한 차단막이 설치되어야 한다.

- ⑦하부틀의 하부를 지나는 배관 및 전선은 차체바닥으로부터 기름 또는 인화성 물질이 스며들지 못하도록 설치되어야 한다.

- ⑧차량의 실내외에 광고물을 게시 또는 부착하는 경우 액자형 광고틀·광고물보호덮개·광고물 지지대 등은 불연 재료를 사용하여야 한다. 다만, 광고물의 성질상 불연 재료를 사용할 수 없는 경우에는 제3항의 규정에 의한 재료를 사용할 수 있다.[전문개정 2004.12.4.]

○ 제11조(화재대피를 위한 구조)

- ①차량의 출입문은 화재발생 등 비상시에 승객이 용이하게 대피할 수 있도록 수동으로 열 수 있는 구조이어야 한다.

- ②차량에는 축전지 전원으로 작동될 수 있는 다음 각 호의 장치를 구비하여야 한다. <개정 2010.1.19>

· 1. 승객과 운전자간의 비상연락장치(완전무인운전 도시철도차량의 경우에는 승객과 관제실 간의 비상연락장치를 말한다)

· 2. 화재상황을 알릴 수 있는 방송장치 또는 경보장치

· 3. 비상등

- ③운전실에는 다음 각 호의 장비를 각각 1개 이상 비치하여야 한다. 다만, 운전실에 장비를 비치하기 어려운 경우에는 운전실과 연결된 차량 내부에 이를 비치할 수 있다. <신설 2004.12.4>

· 1. 산소호흡기

· 2. 들것

· 3. 확성기

· 4. 손전등

· 5. 방독면

○ 제12조(소화기)

- ①차량의 운전실에는 1개 이상, 객실에는 2개 이상의 소화기를 각각 비치하여야 한다. <개정 2004.12.4>

- ②제1항에 따른 소화기는 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다. <개정 2008.3.14, 2010.1.19, 2011.3.3>

· 1. 일반화재에 대하여 능력단위 4 이상, 유류화재에 대하여 능력단위 5 이상이어야 하고, 전기화재에 대하여 적응성이 있을 것. 이 경우 능력단위와 적응성은 「소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률」 제36조제5항에 따라 소방방재청장이 고시한 기준에 따라 측정한다.

· 2. 소화기의 사용적정압력은 섭씨 20도에서 제곱센티미터 당 8킬로그램 이상 10킬로그램 이하일 것

· 3. 방사거리는 3미터 이상일 것

· 4. 제1호부터 제3호까지에서 규정한 기준 외에 「소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률」 제36조제5항에 따라 소방방재청장이 정하여 고시한 기준에 적합할 것

- ③소화기는 승객이 용이하게 발견하여 사용할 수 있는 위치에 이를 비치하여야 한다.

- ④소화기 인근에는 정전 시에도 소화기의 위치가 쉽게 식별될 수 있도록 「소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률」 제9조제1항에 따라 소방방재청장이 고시하는 화재안전기준에 적합한 축광식표지(이하 "축광식표지"라 한다)를 부착하여야 한다. <신설 2004.12.4, 2008.3.14, 2011.3.3>

- ⑤소화기의 보관함은 소화기를 쉽게 사용할 수 있도록 덮개가 없는 개방형으로 설치하여야 한다. <신설 2004.12.4>

○ 제21조(승객 및 운전자보호)

- 운전실과 객실은 정상적인 운행조건에서 안전하여야 하며, 사고 시에도 차체로부터 승객 및 운전자의 안전을 최대한 확보할 수 있어야 한다.

○ 제35조의2(환기설비)

- 객실에는 운전실에서 한꺼번에 제어할 수 있는 환기설비를 설치하여야 한다.[본조신설 2004.12.4.]

○ 제39조(운전실 및 비상탈출구)

- ①운전실 내부의 장비 또는 장치는 급격한 가감속시 모서리나 돌출부에 운전자가 다치지 아니하도록 설치하여야 한다.

- ②운전실에는 비상시를 대비하여 1개 이상의 비상탈출구가 있어야 하며, 승객이 쉽게 탈출할 수 있는 구조이어야 한다. 다만, 비상대피로가 전 노선에 설치되어 있는 구간을 운행하는 경량전철과 노면전차형식의 경량전철 운전실에는 비상탈출구를 설치하지 아니할 수 있다. <개정 2010.1.19>

- ③운전실과 객실사이에는 운전실 안쪽으로 열 수 있고 잠금장치가 설치된 칸막이문을 설치하여야 한다.

- ④운전실의 전면유리창에는 먼지·비·눈 등 운전에 방해되는 물질을 제거하는 장치를 설치하여야 한다.

- ⑤운전실의 전면유리창에는 햇빛 또는 전조등에 의한 운전자의 눈부심을 막기 위한 장치를 설치하여야 한다. 이 경우 색깔이 들어 있는 유리를 사용하는 때에는 신호의 색깔이 변색된 것처럼 보이지 아니하도록 하여야 한다.

- ⑥운전실의 유리는 안전유리를 사용하여야 한다.[제목개정 2010.1.19.]

○ 제40조(운전 데스크)

- ①운전시 사용되는 모든 장치는 운전자의 시야 범위 안에 있어야 하며, 운전자가 혼동하거나 어려움 없이 제어할 수 있도록 주요장치를 배치하여야 한다. 다만, 완전무인운전방식의 도시철도차량의 경우에는 그러하지 아니하다.

- ②운전 데스크에는 수동운전 시 운전자의 졸음·질병 및 부주의 등으로 발생할 수 있는 위험을 방지하기 위한 장치를 설치하여야 한다.

- ③운전선택스위치 및 출입문선택 스위치 등 중요한 스위치는 운전자가 쉽게 확인할 수있어야 한다.

- ④자동열차운전 관련기기 및 제동장치 등의 고장 시에는 시각 및 청각신호가운전자에게 통지되어야 하며, 고장시의 조치사항이 나타나야 한다.

- ⑤자동열차운전 관련기기 및 제동장치 등의 고장 시 발생하는 청각신호는 운전실내부 소음에도 불구하고 명확히 들을 수 있어야 한다.

- ⑥수동 조작식 조정 장치를 설치하는 경우에는 개별 조정장치의 식별이 쉽도록 표시를 하여야 하며, 적절한 조명을 설치하여야 한다.

○ 제72조(운행상태 확인장치)

- ①열차의 운행상태를 운전자가 즉시 확인할 수 있도록 운전실에 버저·램프 또는 모니터를 설치하여야 한다.
- ②모니터에 표시되는 신호는 고장의 중요도에 따라 구분되어야 하며, 이를 운전자가 쉽게 인식하고 이해할 수 있어야 한다.

(7) 도시철도건설규칙

○ 제46조(통신설비의 설치 등)

- ① 통신설비는 열차의 운행과 시설물의 운용 및 유지·관리에 지장이 없도록 설치하여야 한다.
- ② 무선통신설비는 승무원·역무원·보수원 및 관제 업무에 종사하는 사람 등 도시철도 관련 업무에 종사하는 사람 간에 양방향 통신을 할 수 있고, 도시철도 관련 업무에 종사하는 사람과 경찰서·소방서·의료기관 등 외부 재난 관련 기관과도 양방향 통신을 할 수 있도록 설치하여야 한다.
- ③ 관제실과 역무실에는 승강장, 대합실 등의 안전이 취약한 장소의 상황을 화상을 통하여 실시간으로 감시할 수 있는 설비를 설치하여야 한다.
- ④ 역무실에는 화재경보가 감지된 지역을 화상으로 나타낼 수 있는 설비를 설치하여야 한다.
- ⑤ 운전실에는 차량이 승강장에 진입하여 정차한 후 출발할 때까지의 승강장 상황을 화상을 통하여 실시간으로 감시할 수 있는 설비를 설치하여야 한다. 다만, 역사 전체에 스크린도어가 설치되어 있거나 「도시철도운전규칙」 제3조제11호에 따른 무인운전을 적용하는 경우에는 그러하지 아니하다.
- ⑥ 승강장에는 승객이 역무실과 양방향 통화를 할 수 있는 비상통신장치를 승강장의 바닥에서 1.5미터 높이로 세 군데 이상의 장소에 분산하여 설치하여야 한다.
- ⑦ 제2항에 따른 무선통신설비를 이용한 음성통화 내용은 녹음장치에 녹음하여 1개월 이상 보관하고, 제3항에 따른 화상기록은 녹화장치에 녹화하여 1주일 이상 보관하여야 한다. [전문개정 2010.10.8.]

(8) 도시철도운전규칙

○ 제54조(차내신호폐색식)

- 차내 신호 폐색식에 따르려는 경우에는 폐색구간에 있는 열차 등의 운전 상태를 그 폐색구간에 진입하려는 열차의 운전실에서 알 수 있는 장치를 갖추어야 한다.[전문개정 2010.8.9]

13. 국외 철도차량 운전실 관련 기준·요건 분석

○ 국외 철도차량 운전실 관련 기준을 분석하기 선행 분석한 국·내외 관련 자료 및 가이드를 참고하였다. 이들 국·내외 관련 자료 및 가이드의 분석을 바탕으로 철도차량 운전실의 철도차량운전실에서 인간공학 기준과 요건의 범위를 설정하는데 참고하였으며, 아래 표에 참고문헌을 나타내었다.

- 아래 표에서는 철도차량 운전실의 기준·요건 범위 설정의 출발점이 될 해외 및 국내에서 활용되는 관련 자료 및 가이드를 정리하였다. 범위 설정 시 대상시스템을 계층별로 식별 및 구분하여 대상 시스템의 복잡성을 줄여가는 것이 일반적인 접근이다.

<표 51> 철도차량 운전실 기준 및 요건 관련 국외 관련규정

No.	철도차량 운전실의 범위 설정을 위한 관련 규정	관련기관	요약 기술
1	UIC leaflet 651- layout of driver's cabs in locomotives, reailcars, multiple-unit trains and driving trailers	UIC	운전실에 대한 접근, 이동의 용이성, 가시성 조건을 적용
2	standard for cab crew seating design and performance	APTA	운전실 좌석에 대하여 조달, 디자인, 힘 그리고 시험을 위한 요건과 추천을 포함
3	Human Factors Guidelines for Locomotive Cabs	US DoT	운전실의 평가를 위한 인적 요소 가이드라인을 제공
4	Requirements for Driving Cabs of Railway Vehicles(Railway Group Standard GMRT 2161)	Railtrack	효과적인 작업환경을 위한 운전실의 외적 가시도에 대한 요건을 규정
5	GM RT2160 Ride Vibration and Noise Environment inside Railway Vehicles	[5] GM 2160	철도차량의 체감 가속도, 실내 소음, 공기역학적 압력 펄스의 최대 허용 수준을 규정
6	GM RT2176 Air Quality and Lighting Environment inside Railway Vehicles	GM 2176	철도차량 내 승무원 구역의 공기의 질과 조명 수준의 요건을 규정
7	JIS 핸드북 69편 통근동차 운전실의 설계통칙(일본)	JIS	통근전동차의 운전실 설계에 대한 공통적 조건에 대하여 규정
8	철도안전법, 철도차량 안전기준에 관한 규칙, 철도차량 안전기준에 관한 지침	관련 법령	철도차량 관련 법규, 규칙, 지침

No.	철도차량 운전실의 범위 설정을 위한 관련 규정	관련기관	요약 기술
9	concerning a technical specification for interoperability relating to the 'rolling stock' sub-system of the trans-European high-speed rail system	TSI	고속철 차량의 서브시스템과 관련된 요건을 규정
10	EN 규격(14067-4)	EN 14067-4	Aerodynamic effects
11	EN 규격(15152)	EN 15152	Windscreen
12	EN 규격(15153-1)	EN 15153-1	External lights
13	EN 규격(15153-2)	EN 15153-2	Horn
14	EN 규격(16186-1)	EN 16186-1	Driver's Cab, Visibility, layout, access
15	EN 규격(16186-3)	EN 16186-3	Driver's Cab, Design of Displays
16	EN 규격(50125-1)	EN 50125-1	Environmental conditions
17	EN 규격(60721-3-5)	EN60721-3-5	List of substances
18	항공교통관제사 인적요인	항공안전본부	항공교통관제업무에 영향을 미치는 요소 간 상호작용을 이해 분석하고 조화를 이루도록 함
19	The Human Factors Design Standard	HF-STD-001	항공기에서 인간-기기간의 인터페이스가 필요한 부분(디스플레이, 입력장치, 제어장치 등)에 대한 요건을 규정
20	Human-System Interface Design Review Guidelines	NUREG-0700	발전소 종사자와 발전소 계통•기기간 인터페이스가 인간공학 가이드라인에 일치하는지 평가하는 지침을 제공

○ 철도차량 운전실의 기준·요건 범위 설정을 위해서 대상 시스템인 철도차량 운전실의 범위를 식별하였다. 정의된 참고문헌의 시스템 범위를 정리하여 통합 할 것을 목표로, 본 항에서는 시스템 범위별로 구분하기 위해 각 참고문헌 별 시스템의 범위를 아래 표와 같이 정리하였다.

<표 52> 철도차량 운전실의 기준·요건 범위 설정을 위한 참고문헌 각각의 Keyword 추출

No.	참고문헌목록	Keyword
1	UIC	안전조치, 문, 접근 발판, 핸드레일과 문 손잡이, 바닥, 창문, 조명과 밝기, 공기 조절 설비, 소음 수준, 기타 부속물, 색상과 표면 코팅, 운전실의 전방 시야, 운전실 데스크, 조작기기와 제어 시스템, 좌석
2	APTA	좌석
3	US DoT	난방, 환기, 냉방, 소음, 화장실 설비, 진동, 접근, 가시성, 좌석, 제어장치, 전기기계 디스플레이, 경보, 대화식 설계 자동화, 전자 디스플레이, 컴퓨터 입력 장치, 음성 커뮤니케이션, 운전 경계 모니터링, 유선 제어, 능동 열차 제어, 커뮤니케이션
4	Railtrack	운전 위치, 운전실의 전방 시야, 조작기기 및 계기, 진입 및 나가기, 운전실 환경, 구조와 충돌안전성, 비상 및 안전 장비와 신호
5	GM 2160	체감 가속도, 소음 수준, 압력 펄스
6	Gm 2176	공기의 질, 조명
7	JIS	승무원 보호, 운전실의 넓이 및 거주성, 운전대, 소화기 설치
8	관련 법령	철도차량의 안전기준, 철도차량에서 운전실의 안전기준에 관한 규칙, 철도차량에서 운전실에 갖추어야 할 장치에 관한 규칙, 철도차량 충돌안전 위험도분석에 관한 지침, 철도차량 충돌안전 성능평가에 관한 지침
9	TSI	외부 소음, 접근, 앞유리와 열차의 전면, 비상구, 조명, 좌석, 제어장치, 환기, 온도, 색상, 창문, 전방시야
10	EN	수치 시뮬레이션, 이차상 분리, 색도, 충돌, 파쇄, 광도, 음압도, 시야, 배치, 디스플레이, 접근성, 조명, 습도, 온도, 제어장치
11	항공안전본부	인적요인, 조명, 온도 및 습도, 소음, 인간과 소프트웨어 시야, 전면과 배경 정보, 색상, 부호 및 문자 및 숫자, 입력장치, 항공교통관제의 자동화
12	HF-STD-001	디스플레이, 제어장치, 경보, 청각 및 음성 커뮤니케이션, 입력장치, 워크스테이션, 환기, 온도, 습도, 조명, 소음
13	NUREG-0700	디스플레이, 입력장치, 제어장치, 경보, 음성 커뮤니케이션, 워크스테이션, 온도, 습도, 조명, 환기, 배치

○ 시스템 범위 식별을 통해 추출한 keyword를 바탕으로 대분류, 중분류로 나누어 계층을 설정하였다. 대분류로는 운전실 구조 및 장치와 운전실 작업환경으로 분류하였으며, 이는 운전실에서 작업환경에 있어서 업무활동부분과 업무환경부분으로 정의함으로써 모든 영역을 고려할 수 있도록 하였다. 추가적인 논의와 분석을 통해 소분류까지 시스템 범위를 설정하였다. 이에 대한 상세 내용을 아래 표에 나타내었다.

<표 53> 철도차량 운전실 인간공학 기준·요건 범위 설정

대분류	중분류	소분류	세부사항	
1. 운전실 구조 및 장치	1.1 구조와 치수	1.1.1 운전실 구조와 치수		
		1.1.2 기관사의 인체측정 데이터		
		1.1.3 제어대의 배치와 치수		
		1.1.4 실내배치		
	1.2 시야	1.2.1 운전실의 전방시야		
		1.2.2 운전실의 측면 및 후방시야		
		1.2.3 기관사실 전면 유리창		
	1.3 좌석	1.3.1 기관사 운전석		
		1.3.2 보조석		
	1.4 제어대	1.4.1 제어기기	1.4.1.1 청각장치	
			1.4.1.2 기관사-기계 인터페이스	1.4.1.2.1 기관사의 활동 제어 기능
			1.4.1.3 대화식 설계	
			1.4.1.4 메뉴	1.4.1.4.1 기능키 메뉴
			1.4.1.5 오류 관리	1.4.1.5.1 오류 메시지
			1.4.1.6 피드백과 기관사 안내	
		1.4.2 디스플레이(표시 및 해상도)	1.4.2.1 하드웨어	
			1.4.2.2 소프트웨어	
			1.4.2.3 정보 배치	
			1.4.2.4 정보 구분법	
			1.4.2.5 텍스트 기반 정보	
			1.4.2.6 그래픽 정보	

대분류	중분류	소분류	세부사항	
			1.4.2.7 심벌 설계	
			1.4.2.8 표시	1.4.2.8.1. 제어 및 표시 장치
	1.5 부속	1.5.1 바닥		
		1.5.2 장비		
		1.5.3 기타 부속품		
2. 운전실 작업환경	2.1 진동			
	2.2 소음	2.2.1 내부소음		
	2.3 공조			
	2.4 냉·난방			
	2.5 조명	2.5.1 내부조명		
	2.6 색상과 표면 코팅	2.6.1. 유지보수 라벨 부착		
	2.7 안전	2.7.1 보건 및 안전요건		
		2.7.2 비상 및 안전 장비와 경보		
	2.8 유지관리	2.8.1 외관청소	2.8.1.1. 수리, 제거, 교체	
			2.8.1.2. 검사 및 시험	

○ 위에서 운전실 관련 규정들에서 추출한 시스템 범위 식별 keyword가 철도차량 운전실 인간공학 요건 계층 설정에 연관관계를 통하여 통합 시스템범위 설정에 적용된 바를 아래 표에 나타내었다. 이는 시스템 범위 식별을 통한 통합 시스템 범위 설정에 있어서 각각의 참고자료들을 바탕으로 추적성을 확보함에 따라 변경 및 관리에 용이함을 얻을 수 있다.

<표 54> Keyword별 계층 설정 Mapping

참고문헌목록	Keyword	계층 고유 번호
UIC	• 안전조치 • 문 • 접근 발판 • 핸드레일과 문 손잡이 • 바닥 • 창문 • 조명과 밝기 • 공기 조절 설비 • 소음 수준 • 기타 부속물 • 색상과 표면 코팅 • 운전실의 전방 시야 • 운전실 데스크 • 조작기기와 제어 시스템 • 좌석	• 2.7 • 1.5 • 1.5.1 • 1.5.3 • 1.5.1 • 1.2.3 • 2.5 • 2.3 • 2.2 • 1.5.3 • 2.6 • 1.2.1 • 1.4 • 1.4.1 • 1.3
APTA	• 좌석	• 1.3
US DoT	• 난방 • 환기 • 냉방 • 소음 • 화장실 설비 • 진동 • 접근 • 가시성 • 좌석 • 제어장치 • 전기기계 디스플레이 • 경보 • 대화식 설계 • 자동화 • 전자 디스플레이 • 컴퓨터 입력 장치 • 음성 커뮤니케이션 • 운전 경계 모니터링 • 유선 제어 • 능동 열차 제어 • 커뮤니케이션	• 2.4 • 2.3 • 2.4 • 2.2 • - • 2.1 • 1.1.4 • 1.2 • 1.3 • 1.4.1 • 1.4.2 • 2.7 • 1.4.1.3 • 1.4.2 • 1.4.2 • 1.4.2 • 1.4.2 • 2.7 • - • - • 1.4.2
Railtrack	• 운전 위치 • 운전실의 전방 시야 • 조작기기 및 계기 • 진입 및 나가기 • 운전실 환경 • 구조와 충돌안전성 • 비상 및 안전 장비와 신호	• 1.1.1 • 1.2 • 1.4.1 • 1.1.4 • 2 • 1.1 • 2.7

참고문헌목록	Keyword	계층 고유 번호
GM 2160	• 체감 가속도 • 소음 수준 • 압력 펄스	• 2.1 • 2.2 • 2.1
GM 2176	• 공기의 질 • 조명	• 2.3 • 2.5
JIS	• 승무원 보호 • 운전실의 넓이 및 거주성 • 운전대 • 소화기 설치	• 2.7 • 1.1 • 1.4 • 2.7
관련 법령	• 철도차량의 안전기준 • 철도차량에서 운전실의 안전기준에 관한 규칙 • 철도차량에서 운전실에 갖추어야 할 장치에 관한 규칙 • 철도차량 충돌안전 위험도분석에 관한 지침 • 철도차량 충돌안전 성능평가에 관한 지침	• 2.7 • 2.7 • 1 • 2.7 • 2.7
TSI	• 외부 소음 • 접근 • 앞유리와 열차의 전면 • 비상구 • 조명 • 좌석 • 제어장치 • 환기 • 온도 • 색상 • 창문 • 전방시야	• 2.2 • 1.1 • 1.2 • 2.7 • 2.5 • 1.3 • 1.4 • 2.3 • 2.4 • 2.6 • 1.2 • 1.2
EN	• 수치 시뮬레이션 • 이차상 분리 • 색도 • 충돌 • 파쇄 • 광도 • 음압도 • 시야 • 배치 • 디스플레이 • 접근성 • 조명 • 습도 • 냉난방 • 제어장치	• - • 1.2 • 2.6 • 2.1 • 2.1 • 2.6 • 2.2 • 1.2 • 1.1.4 • 1.4.2 • 1.1.4 • 2.5 • 2.3 • 2.4 • 1.4.1

참고문헌목록	Keyword	계층 고유 번호
항공안전본부	• 인적요인 • 조명 • 온도 및 습도 • 소음 • 인간과 소프트웨어 • 시야 • 전면과 배경 정보 • 색상 • 부호, 문자, 숫자 • 입력장치 • 항공교통관제의 자동화	• - • 2.5 • 2.4 • 2.2 • - • 1.2 • 1.2. • 2.6 • 1.4 • 1.4 • 1.4
HF-STD-001	• 디스플레이 • 제어장치 • 경보 • 청각 커뮤니케이션 • 음성 커뮤니케이션 • 입력장치 • 워크스테이션 • 환기 • 냉난방 • 습도 • 조명 • 소음	• 1.4.2 • 1.4.1 • 2.7 • 1.4.2 • 1.4.2 • 1.4 • 1.4 • 2.3 • 2.4 • 2.3 • 2.5 • 2.2
NUREG-0700	• 디스플레이 • 입력장치 • 제어장치 • 경보 • 음성 커뮤니케이션 • 워크스테이션 • 냉난방 • 습도 • 조명 • 환기 • 배치	• 1.4.2 • 1.4 • 1.4.1 • 2.7 • 1.4.2 • 1.4 • 2.4 • 2.3 • 2.5 • 2.3 • 1.1.4

14. 철도차량 운전실 검증 관련 시뮬레이터 개발 현황

가. 기존 시스템에 대한 분석

○ 현재 국내에 도입되어 운영 중인 시뮬레이터는 각각의 운영기관별로 분포되어 해당 운영기관에서 운영 중인 차량을 대상으로 제작, 운영 중에 있으며 부산 지하철 3호선 , 광주 1호선, 인천 국제공항 철도, 대전 1호선, KTX-II 시뮬레이터 등은 2000년 이후 국내 기술로 제작된 시뮬레이터로 이에 대한 upgrade는 국내 기술에 의해 수행될 수 있다. 따라서 이러한 시뮬레이터를 대상으로 시스템을 검토한다.

(1) 광주 1호선 전동차 모의운전연습기

○ 광주 1호선 시뮬레이터는 2003년에 도입된 시뮬레이터로 국내에서는 최초로 운전자 전방영상을 3D 영상시스템을 이용하여 좌우 120°의 FOV(Field of View)를 갖는 시스템이다. 선로 데이터는 3D 그래픽으로 제작되었다.

(가) 하드웨어 구성

○ 컴퓨터 시스템

- 시뮬레이터의 컴퓨터 시스템은 6U 크기의 수직 수납형의 VME RACK을 포함, 실시간 운영 프로그램이 탑재된 모델링 컴퓨터, 모델링 컴퓨터와 운전실 간의 신호 입출력 기능을 수행하는 Carrier 및 I/O 보드로 구성된다.

○ 영상 시스템

- 훈련 시 궤도와 승강장에 대한 영상을 기관사에게 제공하기 위한 시스템으로써 3D 그래픽 전용보드가 장착된 영상컴퓨터 및 와이드 곡면 screen이 포함된 영상암실(Video Enclosure), Simulator용 DLP 프로젝터, Mirror & Stand로 구성되어 있으며, 승강장 영상을 표현하기 위해 영상 좌, 우 채널의 승강장(역사) CCTV 모니터 이미지 상에 동영상 파일을 이용한다.

○ I/O 시스템

- 입/출력 캐비넷(I/O Cabinet)은 각종 제어용 Relay류, Power Supply (DC24V, 48V, 15V), 운전실과의 신호 연결을 위한 커넥터 패널 등으로 구성되며, I/O 입출력 장치의 기능은 운전실 CAB의 취부 장비가 필요로 하는 DC 24V, DC 48V, 15V, 100V와 AC 220V 단상을 공급하며, 호스트와 운전실 CAB 간의 신호 인터페이스 기능을 한다.

(나) 소프트웨어의 구성

○ 모의운전연습기 소프트웨어는 호스트/ 음향 및 선로정보/영상시스템/교관석 소프트웨어로 구성된다. 운영체제는 RTLinux(호스트 컴퓨터), Windows XP(음향 및 선로정보/영상시스템/교관석 컴퓨터)가 사용된다. 주 개발 언어는 'C/C++' 이며, 교관석 소프트웨어를 개발하기 위해서 'Visual Basic'를 사용하였다.

○ 소프트웨어 모듈

- 모델링 컴퓨터의 소프트웨어는 전동차 차량 시스템을 시뮬레이션하기 위한 프로그램들로 구성된다. 운영체제로는 RTLinux(Kernel 2.4.25-rtl; FSMLab)를 사용하였고 사용된 컴퓨터 언어 'C' 또는 'C++' 언어이다. 소프트웨어 모듈은 차량 시스템과 일대일로 대응되는 차량 시스템 시뮬레이션 프로그램이 있다.

○ 선로영상

- 영상시스템 소프트웨어는 선로 도면에 의해 제작된 3 차원 선로 영상 데이터베이스를 읽어서 초당 30 프레임 이상의 선로 영상 생성하는 영상 엔진, 그리고 모델링 컴퓨터의 TVI와의 통신을 위한 통신모듈로 구성된다.

○ 교관 스테이션

- 교관 시스템은 운전연습기 제어를 위한 사용자 인터페이스이다. 교관석 시스템은 시스템 초기화, 훈련 각본의 작성, 교육 훈련의 실행, 훈련 결과의 평가를 위한 수단과 시스템 자동 고장 진단과 정비 보수에 관련된 각종 정보를 제공하므로 훈련의 전 과정을 수행할 수 있다.

(2) 부산 3호선 전동차 모의운전연습기

○ 부산 3호선 시뮬레이터는 2005년에 도입된 시뮬레이터로 2축식 전기 모션장치를 구비하고 있다. 선로 데이터는 3D 그래픽으로 제작되었다.

(가) 하드웨어 (Hardware)

○ 교관석 시스템

- 교관용 제어대는 운전연습기의 작동을 원활하게 제어할 수 있도록 인체 공학적인 구조로 제작됐으며, 교관은 모든 제어 명령을 터치스크린 및 키보드 마우스를 이용하여 통제할 수 있고, 컴퓨터 사용에 익숙하지 못한 경우에도 쉽게 사용할 수 있는 구조로 구성되었으며, DVR 컴퓨터를 이용하여 기관사의 훈련 상황을 수동으로 녹화하여 평가 시 사용할 수 있다.

○ 영상시스템

- 운전연습기 운행 시 차량기지, 선로 및 승강장에 대한 영상을 기관사에게 제공하기 위한 영상 시스템은 선로영상 컴퓨터, 프로젝터 및 스크린, 좌/우측 플랫폼 영상 등으로 구성되어 있다.

(나) 소프트웨어

○ 소프트웨어 모듈

- 모델링 컴퓨터의 소프트웨어는 전동차 차량 시스템을 시뮬레이션하기 위한 프로그램들로 구성된다. 운영체제로는 RTLinux(Kernel 2.4.25-rtl; FSMLab)를 사용하였고 사용된 컴퓨터 언어 'C' 또는 'C++' 언어이다. 소프트웨어 모듈은 차량 시스템과 일대일로 대응되는 차량 시스템 시뮬레이션 프로그램이 있다.

○ 선로영상

- 기지 내 지형/지물 및 기지 외 터널 등은 실 건설/토목 자료를 바탕으로 컴퓨터 그래픽으로 형상화하여 제작하였다. 지형은 수치데이터와 촬영된 영상을 이용하여 제작되었으며, Texture는 촬영한 사진 및 여러 소스 등을 편집하여 제작하며 이것을 만들어진 모델에 Mapping하여 완성되었다.

(3) 인천공항철도 전동차 모의운전연습기

○ 인청공항철도 전동차용 시뮬레이터는 2006년에 도입된 시뮬레이터로 운전자 전방영상을 3D 영상시스템을 이용하여 좌우 120°의 FOV(Field of View)를 확보하고 있는 시스템이다. 선로데이터는 3D 그래픽으로 제작되었으며 모션 시스템은 채용하지 않았다.

(가) 하드웨어 (Hardware)

○ 교관석 시스템

- 교관석 콘솔을 포함, 운전실과 동일한 영상을 볼 수 있는 궤도영상 모니터(19”CRT 완전평면), 운전실의 기관사 상태를 관찰/녹화할 수 있는 CCTV모니터(25”비디오비전), 열차 궤도정보/종합제어사령의 상태를 관찰하는 TID 모니터(19”LCD), 교관제어모니터(19”LCD Touch Screen), 교관과 기관사간 통신을 위한 인터콤 유닛트가 설치됐다.



<그림 83> 인천공항철도 전동차 모의운전연습기

○ 컴퓨터 시스템

- 6U 크기의 수직 수납형의 VME64XRACK을 포함, 실시간 운영 프로그램이 탑재된 모델링 컴퓨터, 모델링 컴퓨터와 운전실 간의 신호 입출력 기능을 수행하는 Carrier 및 I/O 보드로

구성되어 있다.

○ 영상 시스템

- 훈련 시 궤도와 승강장에 대한 영상을 기관사에게 제공하기 위한 시스템으로써 3D 그래픽 전용보드가 장착된 영상컴퓨터 및 와이드 곡면 Screen이 포함된 영상암실(Video Enclosure), Simulator용 DLP 프로젝터, Mirror & Stand로 구성되어 있으며, 승강장 영상을 표현하기 위해 영상 좌, 우 채널의 승강장(역사) CCTV 모니터 이미지 상에 동영상 파일을 이용한다.

(나) 소프트웨어 (Software)

○ 소프트웨어 모듈별 기능

- 모델링 컴퓨터의 소프트웨어는 전동차 차량 시스템을 시뮬레이션하기 위한 프로그램들로 구성된다. 운영체제로는 RTLinux(Kernel 2.4.25-rtl; FSMLab)를 사용하였고 사용된 컴퓨터 언어 'C' 또는 'C++' 언어이다.

○ 선로영상

- 기지 내 지형/지물 및 기지 외 터널 등은 실 건설/토목 자료를 바탕으로 컴퓨터 그래픽으로 형상화하여 제작되었다. 지형은 수치데이터와 촬영된 영상을 이용하여 제작되었으며, Texture는 촬영한 사진 및 여러 소스 등을 편집 제작하여 이것을 만들어진 모델에 Mapping 하여 완성되었다.

○ 교관석 GUI

- 교관과 운영요원은 교관석 메뉴화면을 통하여 운전연습기 운영이 가능하다. 즉, 운전연습기를 제어하고, 운전연습기의 상태 및 훈련 상황을 모니터링하고 훈련의 결과를 평가하기 위한 제반 사용자 인터페이스를 제공한다.

(4) 철도인력개발원 NEL 8200 전 기능 모의운전연습기

○ 철도공사 인력개발원의 8200대 전기기관차용 시뮬레이터는 2006년 말에 도입된 시뮬레이터로 3축 전기식 모션시스템을 채용하였으며 선로 데이터는 3D 그래픽으로 제작되었다.

(가) 하드웨어 (Hardware)

○ 교관 시스템

- 교관용 제어대는 운전연습기의 작동을 원활하게 제어할 수 있도록 인체 공학적인 구조로

제작되며, 교관은 모든 제어 명령을 키보드 및 마우스를 이용하여 제어화면에 쉽게 접근하며 사용할 수 있도록 구성되어 있다. DVR 컴퓨터를 이용하여 교육생의 훈련 상황을 수동으로 녹화하여 평가 시 사용할 수 있다.

- 인터컴 유닛을 이용하여 훈련중인 교육생과 훈련에 필요한 일반통신을 할 수 있으며, 또한 교수는 사령을 대신하여 운전실의 TRCP와 연결하여 가상의 교육생↔사령의 통신 훈련 상황을 연출할 수 있다.

- 전체 시스템에 전원을 ON/ OFF 제어 할 수 있는 전원제어 판넬 및 GP, 그리고 전원을 공급하는 ACD(AC Distributor)가 장착 되어 One Station 개념의 제어를 할 수 있다. 모션시스템에 기본적인 제어 명령을 내릴 수 있는 모션제어기 또한 설치되어 있다.

○ 영상 시스템

- 훈련 시 선로와 승강장에 대한 영상을 교육생에게 제공하기 위한 시스템으로써 3D 그래픽 전용보드가 장착된 영상컴퓨터 및 와이드 곡면 Screen이 포함된 영상암실(Video Enclosure), Simulator용 DLP 프로젝터로 구성되어 있으며, 승강장 영상을 표현하기 위해 운전실 좌, 우 별도의 모니터에 승강장(역사) 동영상 파일을 이용하여 승강장을 구현한다.

○ 컴퓨터 시스템

- 주 컴퓨터, 영상 컴퓨터 및 고장처치 컴퓨터는 안정적인 성능을 구현 하는 컴퓨터 모델의 Pentium4 성능의 시스템을 채택하였다.

(나) 소프트웨어 (Software)

○ 소프트웨어 모듈별 기능

- 타겟 또는 모델링 소프트웨어라고도 하며 크게 기관차의 동적 특성, 통신 및 제반 전장 시스템의 기능들을 소프트웨어로 구현하기 위한 모듈들로 구성한다.

○ 선로영상

- 영상시스템은 3차원 가상현실 시스템으로써, 기능교육장비의 선로 데이터가 반영된 고해상도의 3D 컴퓨터 그래픽 영상으로 구현됐다. 영상 DB의 1차 작업은 토목공사 자료를 최대한 활용하여 컴퓨터 그래픽으로 재현된 역사의 모양이나 터널 공법에 따른 궤도주변의 형상이 실물과 가깝게 제작된다. 궤도의 거리에 따른 구배 및 곡률을 정확하게 묘사하여 훈련생의 선로에 대한 교육 효과를 극대화하였다.

- 영상 DB 의 2차 작업은 선로주변의 핵심적인 이미지, 승강장 역사, 각종 제표, 레일, 전차선 및 전신주, 건축물 등의 모델링에 촬영된2차원 실사 영상을 데이터베이스화하여 실사 텍스처 맵 핑을 통해 사실감을 높였다.

(5) 기관사 운전직무 시뮬레이터(로템, 2011)

(가) 개요

○ 보유 국가/기관: 로템

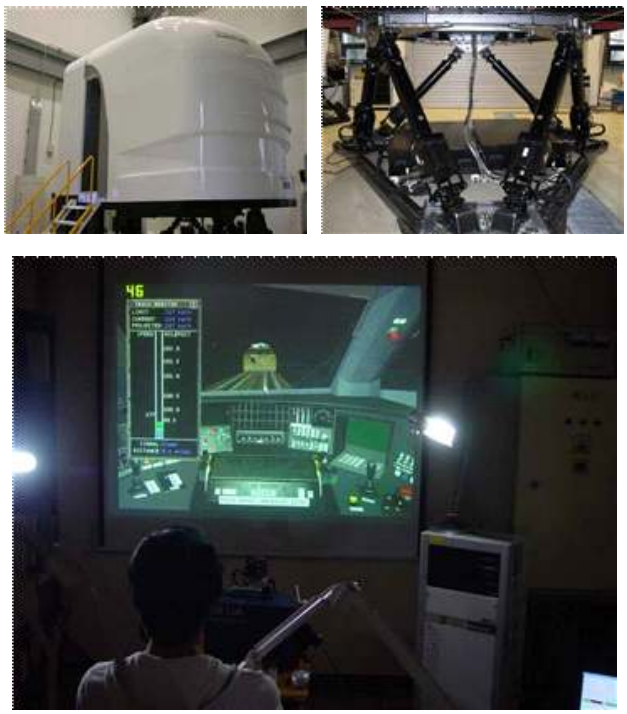
○ 구축완료년도: 2011

○ 장비본체 Dimension: 10m x 10m x 3m (추정)

○ Main Components: 시뮬레이터캐빈, 모션시스템, 영상시현시스템, 캐빈냉난방장치, 패널 및 조작기기

○ 부대설비: 승하차대, 제어데스크, 실제차량 기능모사품

○ 장비전경



<그림 84> 기관사 운전직무 시뮬레이터(로템, 2011)의 장비전경

○ 시험가능항목: 철도기관사 운전직무 훈련 및 시험, 사고대처 및 사건유발 모의훈련

○ 특징: 6자유도 모션시스템, 차량운행환경 시뮬레이션 S/W제작

(나) 하드웨어 (Hardware)

○ 시뮬레이터 캐빈

- 실제 열차와 동일한 운전실로 교육생이 실제 열차를 운전하는 것과 같은 느낌을 가지도록 한다. 모의운전석은 운동판시스템 상부에 장착되며, 모의운전실 외부로 영상시현을 위한 스크린, 프로젝터 및 음향출력을 위한 스피커 시스템 등이 장착된다. 모션 시스템은 열차의 주행에 따른 동특성 데이터를 컴퓨터 시스템으로부터 제공 받아 기관사가 운행 간 느낄 수 있는 실질적인 물리적 운동을 구현한다. 모션 제어를 위한 모션제어 컴퓨터와, 전원시스템 및 6축 모션으로 구성된다.

- 훈련 중 발생하는 외부환경에 대한 모사를 담당하며, 출발 및 도착 시 승강장의 시각 참조물 영상과, 주행 시의 선로 및 주변 환경 영상, 기상상태 등의 영상 시현을 담당하며, 영상 컴퓨터, 프로젝터, 스크린 등으로 구성되며 시뮬레이터 캐빈 내에 설치되어 운전자에게 운전자 전방 영상을 실시간 제공한다.

○ 운전캐빈 구성

- 직무수행능력평가 시뮬레이터는 모션시스템을 갖춘 동적 시뮬레이터로서 운전실과 영상 스크린을 일체형으로 제작하여 모션시스템 상부에 설치한다. 운전실의 크기는 실제 대상 차량과 유사한 크기로 제작하며 실내의 탑승자 공간을 확보하기 위해 앞뒤 방향 폭에 있어서 실제보다 약간 크며 뒤쪽 면은 운전자가 조작하여야하는 부분을 제외하고 단순화 한다. 또한, 운전실 전면유리는 무게 등을 고려하여 동일한 크기의 투명 플라스틱으로 처리한다.

○ 운전대 구성

- 운전석은 실차에 장착되는 운전석을 사용하며 운전대에 취부되는 전장품은 실부품을 사용하여 사실감을 강조한다. 기존 시스템에서는 모니터장치 혹은 MMI는 실장치와 별도로 가상으로 구현하거나 실장치의 통신 프로토콜을 찾아 실장치 하드웨어와 소프트웨어를 그대로 적용하는 방식을 사용하고 있다.

- 범용 하드웨어를 사용할 경우 시뮬레이터용으로 별도의 소프트웨어를 사용하여 제작하지만 신호 MMI와 같이 주문자 생산에 의해 제작되는 하드웨어 경우는 차량에 사용된 하드웨어를 그대로 사용하거나 유사품으로 제작하여 동일 한 효과를 낼 수 있도록 시스템을 구성한다.

- 그밖에도 압력계등과 같은 장치는 실제에 있어서는 압력값에 의하여 구동되나 시뮬레이터에서는 압력을 전압값으로 환산하여 환산된 전압값에 따라 모터를 구동하여 압력계를 구현하는 등 일부분에 있어서는 실제품을 사용할 수 없으므로 유사품 혹은 대체품으로 해당기능을 모의하도록 한다.

○ 영상시스템

- 영상시스템은 3D로 제작된 선로데이타베이스 정보를 운전자에게 현시하기 위한 프로젝터

와 이를 표시하는 스크린으로 구성된다. 모션시스템을 갖춘 운전캐빈은 모션시스템에 의한 운동성 때문에 스크린 및 프로젝터를 운전 캐빈과 일체형으로 제작하여 운전 캐빈에 탑승한 열차기관사가 전방영상을 모션의 운동과 연동하여 떨림 없이 볼 수 있도록 구성한다.

○ 인터페이스 모듈

- 인터페이스 모듈은 운전대 및 배전반의 각종 스위치, 램프류, Relay류 그리고 전장품과 호스트 컴퓨터간의 인터페이스를 담당하기 위한 장치로 운전대 및 배전반의 각종 입출력을 수집하여 호스트 컴퓨터로 전달하거나 호스트 컴퓨터로부터의 명령을 받아 운전대 및 배전반의 각종 기기를 구동하는 역할을 수행한다. 운전 캐빈과 호스트컴퓨터간의 배선을 단순화하기 위하여 인터페이스 모듈과 호스트 컴퓨터 간에는 통신인터페이스를 이용하여 연결한다.

○ 교관스테이션

- 시뮬레이터에 운용에 따른 훈련 임무 부여, 각종 상황 부여 등의 명령 처리 및 운행 따른 운용 및 평가를 담당한다. 또한 시뮬레이터의 운용 상태를 파악하고 훈련 진행을 총괄하다. 교관석은 교관 콘솔, 제어장치, 인터콤으로 구성된다. 교관 스테이션에 현시되는 정보는 교관의 선택에 의하여 동일하게 관찰자 스테이션에 현시되게 함으로써 교육 후 디브리핑시 피교육생들과 시뮬레이션 교육내용을 공유할 수 잇도록 한다.

○ 관찰자 스테이션

- 관찰자 스테이션은 피훈련자의 시뮬레이션 시 교관과 피훈련자 이외의 관찰자들에게 시뮬레이터가 운영되는 현황에 대한 정보를 제공한다. 또한 교육 후 디브리핑 시 피교육자가 시뮬레이터 운영 시 기록된 내용을 현시하여 교관과 결과에 대한 토의가 이루어 질 수 있도록 한다.

○ 컴퓨터시스템

- 컴퓨터 시스템은 시뮬레이터를 운영하기 위한 다수의 컴퓨터들로 구성된다. 각각의 컴퓨터는 시뮬레이터를 운영하기 위한 기능을 모듈별로 탑재하여 각 컴퓨터들이 유기적으로 연계하여 교관이 설정한 시나리오에 따라 시뮬레이터 캐빈에 탑승한 피교육자의 운전에 따라 차량과 동일한 결과를 만들어 내도록 한다.

(다) 소프트웨어 (Software)

시뮬레이터의 소프트웨어 모듈 구성 및 각각의 모듈별 연계는 아래 그림과 같이 구성된다.



<그림 85> 기관사 운전직무 시뮬레이터의 소프트웨어 구성

(6) 건설기술연구원 자동차 모의주행 시뮬레이터(2007)

○ 장비본체 Dimension: 20m x 20m x 5m (추정)

○ Main Components: 6축 모션시스템(차량운동), 4축 가진기(차량진동), 360도 원형스크린, HD급 프로젝터 1대, XGA급 프로젝터 8대

○ 부대설비: 생체신호(심전도, 뇌파)측정시스템, 고글형 안구운동측정기 등

○ 장비전경



<그림 86> 건설기술연구원 자동차 모의주행 시뮬레이터의 장비전경

○ 시험가능항목

- 도로환경 개선을 위한 설계기법 연구, 안전시설 효율성 평가, 운전자 행태 연구, 도로정보 판독관련 연구, 교통류 시뮬레이션 추종모델 개발 등

○ 특징

- 360도 스크린을 통한 모든 시야각에서의 운행환경 모사 및 진동대를 활용한 승차환경 모사

(7) 벨기에 SNCB (Société Nationale des Chemins de Fer Belge) 시뮬레이터

○ SNCB는 벨기에의 국영 철도회사로 본사는 벨기에의 수도인 브뤼셀에 있다. 산하에 11개의 교육훈련 센터가 있으며 중앙 교육센터는 본사와 동일 위치에 있다.

○ SNCB 시뮬레이터는 PTS(Part Task Simulator)와 CBT(Computer Based Training)을 함께 사용한 기관사 훈련용 시뮬레이터이다. 전체 시스템은 2개의 화면(display)과 운전 계기판(control desk)으로 구성되어 있다. 좌측 화면에는 3차원 영상의 가상 환경(레일 및 주변 환경)이 나타나고 우측 화면은 CBT 화면으로 훈련 세션 전체를 가이드하는 역할을 한다.



<그림 87> SNCB 기관사 훈련용 시뮬레이터 1

○ 학습자는 CBT 화면에 나타나는 지시에 따라 운전 연습을 진행하고 운전 연습 중간 중간에 나타나는 정보(교육 내용)들을 숙지하고 넘어가도록 되어 있다. 또한 운전 연습하는 동안 정해진 규칙을 어기면(예. 속도위반) CBT 화면에 경고 메시지가 나타난다.

○ 기관사가 학습을 하는 동안 훈련 교관(instructor)이 개입하는 경우도 있고 전혀 개입하지 않는 경우도 있는데, 훈련자(trainee)가 자신의 훈련 과정을 다른 사람이 지켜보고 있다는 데서 오는 긴장감과 스트레스를 낮추기 위해서 대개는 교관이 개입하지 않고 기관사 혼자서 학습하도록 하고 있다.

○ 기본 학습basic learning)의 경우 20개 정도의 훈련 시나리오를 연습하는데, 각 시나리오는 평균 32~40분 정도 소요된다. 하나의 훈련 세션(session)은 대개 4개의 훈련 단계(phase)로 구성되고 각 단계는 5분 정도 소요된다. 시나리오 연습(운전 연습)이 끝나면 연습 내용과 관련된 Q&A 및 피드백 세션이 있다. 훈련이 끝나면 훈련 점수가 자동적으로 생성되고, 교관은 나중에 훈련 결과들을 분석한다.

○ 아래 그림과 같이 시뮬레이터와 조금 거리를 두고 교관석이 위치해 있는데, 한 테이블 위에 3개의 컴퓨터가 있다. 교관들은 이 컴퓨터를 사용하여 다양한 훈련 시나리오를 생성하고 훈련에 사용한 시나리오들을 관리(scenario management)한다.



<그림 88> SNCB 기관사 훈련용 시뮬레이터 교관석

○ 새로운 시나리오가 생성되면 그에 적합한 훈련 내용들(예. 작업 절차 및 규칙)로 CBT 내용이 구성되며, 이렇게 만들어진 훈련 시나리오 및 내용들은 옆에 위치한 시뮬레이터 뿐 아니라 다른 장소 또는 지역에 있는 시뮬레이터들과 네트워크로 연결되어 CBT 화면에 나타나도록 할 수 있다.



<그림 89> 기관사 훈련용 시뮬레이터 2

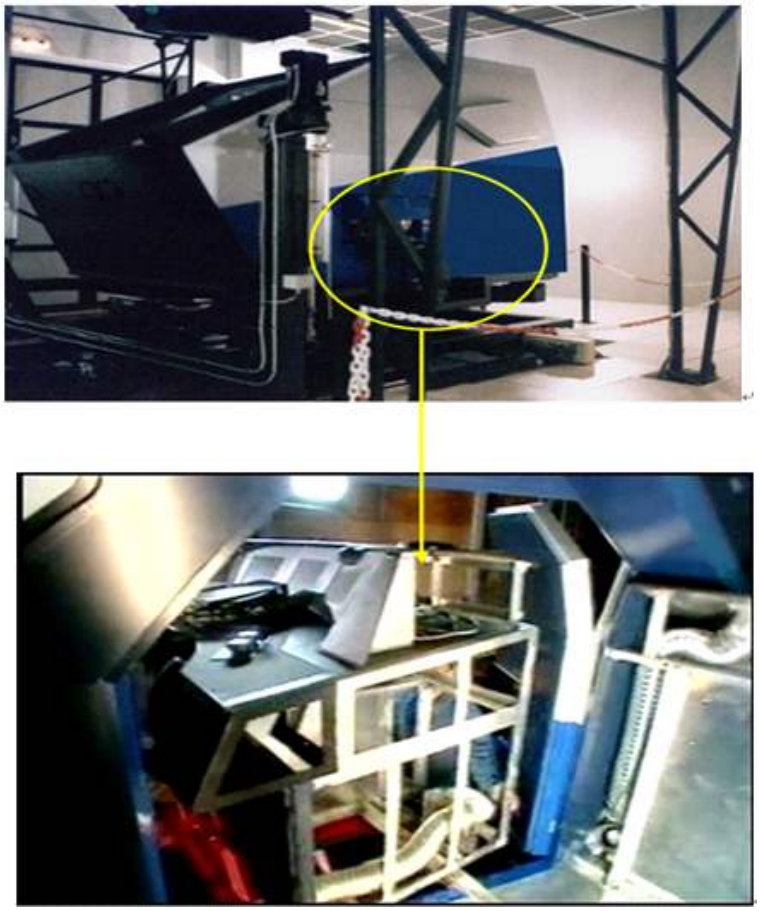
(8) 프랑스 SNCF(Société Nationale des Chemins de Fer Français) 시뮬레이터

(가) SNCF 연구용 시뮬레이터(Simufer: simulator ferroviaire)

○ SNCF의 연구용 시뮬레이터 Simufer는 측면에서 control desk를 교환하기 쉽도록 설계되어 있고, 5 자유도의 모션시스템이 설치되어 있다.

○ 운전석은 전체적으로 기존의 TGV의 것과 동일하지만, 연구를 목적으로 control desk를 구성하는 제어 장치들(버튼, 스위치 등)을 일렬로 나열된 5개의 디스플레이에 S/W로 구현하였다.

○ TGV를 제작한 프랑스의 알스톰에서 새로운 DMI (driver-machine interface) 요소(예. 버튼, 스위치 등의 모양, 색깔 등)들을 검증하는 데 사용하기도 한다.



<그림 90> SNCF 연구용 시뮬레이터

(나) SNCF 훈련용 시뮬레이터 활용 현황

○ SNCF에서 훈련용으로 활용하고 있는 시뮬레이터는 세계 최초로 3차원 영상을 도입한 Eurostar 시뮬레이터와 TGV 시뮬레이터가 있으며, TGV 시뮬레이터는 90년 후반에 설치된 시뮬레이터와 2006년에 도입된 시뮬레이터가 있다.

○ 2006년에 도입된 신규 TGV 시뮬레이터는 observer system으로 하나의 projector를 사용하고, instructor도 observer system과 병행하여 교관의 관리 point를 감소시킨 것이다.

○ Eurostar 시뮬레이터와 구형 TGV 시뮬레이터는 업그레이드 예정이며, 현재는 2006년에 도입한 시뮬레이터를 주로 사용하고 있다.

○ SNCF에서 시뮬레이터를 활용한 훈련은 주로 기초 훈련(basic training)에 해당하는데, 신입 기관사(beginners)들을 위한 훈련, TGV 기관사들을 위한 훈련, 다른 나라의 기관사들을 위한 훈련의 세 가지로 나뉜다.

○ TGV 신규노선 투입으로 인해 현재 약 140명의 운전자들이 SNCF의 시뮬레이터들을 통해 훈련받고 있다.



<그림 91> Eurostar 시뮬레이터

(9) 호주 Rail Corp 시뮬레이터

○ Rail Corp Training Centre는 훈련자(trainee)의 개인 훈련을 위한 Personal Training Room과 위험인지훈련(Hazard Perception Training)을 위한 Grop Training Room으로 이루어져 있다. 그림 20은 Personal Training Room에 설치된 Full-cab 시뮬레이터로 교관의 지시에 따라 만들어진 시나리오를 통해 훈련이 이루어진다.

○ VR Centre로 가상환경을 구현하여 실제 발생할 수 있는 인적오류에 대한 피훈련자 그룹의 생각을 들어보고 토론을 실시한다. 이를 통해 인적오류가 발생할 수 있는 상황에 대한 위험인지(Hazard perception) 능력을 학습한다.

○ Rail Corp Training Centre의 기관사에 대한 교육 훈련 프로그램은 교육훈련에 대한 소개와 브리핑 세션(session), 시뮬레이터 훈련 세션(session), 리뷰 세션(session), 결과 및 평가 세션(session)으로 구성되어 있다. 브리핑 세션(session)에서는 시뮬레이터 훈련 중 요구되는 과업(task)해서 설명하고 과업에 요구되는 행동(performance)에 대해서 토론한다. 시뮬레이터 훈련 단계에서는 요구되는 과업을 수행하기 위해 수립된 시나리오를 통해 시뮬레이터 훈련이 이루어진다. 이러한 훈련이 끝나면 훈련 결과에 대한 리뷰 및 평가가 이루어진다.

<table>
<tr><td>Full Cab
시뮬레이터 2</td><td rowspan="4"></td><td>대형 스크린</td></tr>
<tr><td>Full Cab
시뮬레이터 1</td><td rowspan="3">교관용
시뮬레이터</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>Operationg room</td></tr>
</table>

<그림 92> Personal Training room / Grop training room(VR Centre)



<그림 93> Training Centre 시뮬레이터



<그림 94> VR Cemter





<그림 95> Training Centre 시뮬레이터 내부 모습

(10) 일본 RTRI 인간공학 연구부 시뮬레이터

○ 다른 연구기관의 체험형 시뮬레이터와 유사점은 가상현실(VR, 인공 현실감, 가상 현실감) 기술을 이용하였고, 이용자의 시각이나 청각, 촉각 등에 리얼하게 호소하는 것으로 현실 장면에 가까운 실제 감이 있는 조건하에서의 실험 검토가 가능한 특성이 있다. 운전 시뮬레이터는 열차의 운전실 내의 환경을 모의한 장치로서, 운전기사의 교육훈련을 주된 목적으로 하며 현재 철도사업자에게 넓게 도입되고 있음.

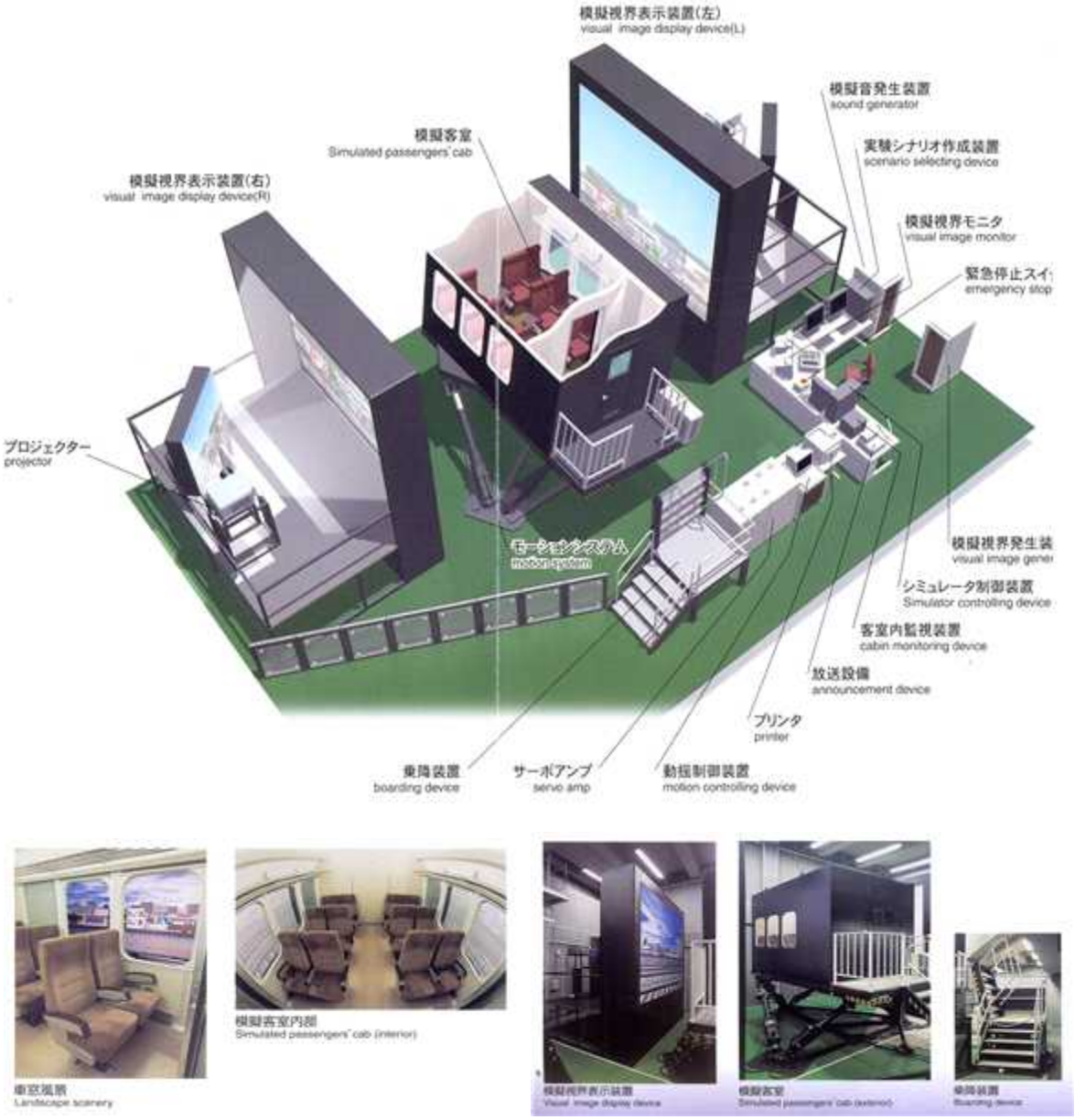
○ RTRI의 연구 개발용 운전 시뮬레이터는, 운전시의 피로감이나 각성도, 또는 인간의 실수를 유발하는 환경요인을 조사하거나 운전대의 조작성 등을 평가하는 목적으로 개발된 것이다. 차내 쾌적성 시뮬레이터는 열차 내에 있어서의 쾌적성(승차감)의 평가 지표의 개발을 목표로 하여 제작한 장치이며, 객실 내의진동, 소음, 차창 풍경 등을 실험실내에서 모의 할 수 있다.

○ 장비본체 Dimension: 15m x 10m x 6m (추정)

○ Main Components: simulating passengers′ cab, visual image display, motion system, sound generator, cabin monitoring device

○ 부대설비: 탑승장치, 방송설비, 비상계단 등

○ 장비전경



○

<그림 96> 일본 RTRI 시뮬레이터

○ 시험가능항목: 피시험자의 설문조사를 통한 실내쾌적성 평가

○ 특징: 승객의 운행조건을 현실적으로 재현, 신칸센 열차 진동소음 구현

(11) 스웨덴 봄바르디어 시뮬레이터

○ 장비본체 Dimension: 20m x 3.5m x 5m

○ Main Components: 철도차량 1~2량, loudspeaker, amplifier, cable, control screen

○ 부대설비: actuator, shaker, projectors, 구동 S/W

○ 장비전경:



<그림 97> 스웨덴 봄바르디어 시뮬레이터

○ 시험가능항목: 기존 차량의 실내 음향 환경과 대비하여 인공적인 가감을 거친 모의 음향 환경의 승차감 및 쾌적성 평가

○ 특징: 기존 차량의 실내 소음 및 진동을 여러 채널로 녹음한 후, 차량부품의 변경 시 모의 음향 환경을 신호처리를 거쳐 모사함, 차량 탑승 환경을 최대한 활용

<표 55> 국내 시뮬레이터 하드웨어 비교

구분		기관사 운전직무 시뮬레이터(로템)	대전1호선	광주1호선	부산3호선	인천공항철도	NEL8200대	비고
운전자 캐빈	대상모델	경의선 대상	대전1호선 전동차 대상	광주1호선 전동차 대상	부산3호선 전동차 대상	인천공항철도 대상	철도공사 기관차(8200대)대상	
	모션시스템	6자유도/ 전기식모션	미적용	미적용	2자유도/ 전기식모션	미적용	3자유도/ 전기식모션	
	영상시스템	1채널/40도 (스크린캐빈 일체형)	3채널/120도	3채널/120도	3채널(중앙: 전방영상, 좌/우측영상: 좌/우측플렛폼 영상으로 구분) (스크린지상 고정형)	3채널/120도	3채널/120도	
	운전대 인터페이스	운전대 입출력정보 처리용 DAQ(Data Acquisition Unit)	입출력 배전반	입출력 배전반	입출력 배전반	입출력 배전반	입출력 배전반	

구분		기관사 운전직무 시뮬레이터(로템)	대전1호선	광주1호선	부산3호선	인천공항철도	NEL8200대	비고
교관스테이션	모니터 구성	교관제어모니터: 1대 훈련감시모니터: 1대 (선로영상/CCTV/배전반상태/운전대기기상태) 훈련감시모니터 제어용터치스크린: 1대, 전원제어용 터치스크린: 1대	교관제어 모니터: 1대 훈련감시용 모니터: 1대 (CCTV/선로영상/캐빈I/O)	교관제어 모니터: 1대 CCTV모니터: 1대 TID모니터: 1대 선로영상용 모니터: 1대	교관제어 모니터: 1대 CCTV모니터: 1대 TID모니터: 1대 선로영상용 모니터: 1대	교관제어 모니터: 1대 CCTV모니터: 1대 TID모니터: 1대 선로영상용 모니터: 1대	교관제어 모니터: 1대 CCTV모니터: 1대 TID모니터: 1대 선로영상용 모니터: 1대	
	통신장비	PA/라디오/운전실 통신용 인터폰 2set (교관/사령)	PA/라디오통신용인터폰	PA/라디오통신용인터폰	PA/라디오통신용인터폰	PA/라디오통신용인터폰	PA/라디오통신용인터폰	
	전원관리 시스템	전원제어용 터치스크린 및 차단기	시뮬레이터 전원 제어용 스위치 및 차단기 설치	시뮬레이터 전원 제어용 스위치 및 차단기 설치	시뮬레이터 전원 제어용 스위치 및 차단기 설치	시뮬레이터 전원 제어용 스위치 및 차단기 설치	시뮬레이터 전원 제어용 스위치 및 차단기 설치	
	기타	모션스위치 (비상용)		CCTV용 비디오레코더	CCTV용 비디오레코더	CCTV용 비디오레코더	CCTV용비디오레코더, 모션제어기	

구분		기관사 운전직무 시뮬레이터(로템)	대전1호선	광주1호선	부산3호선	인천공항철도	NEL8200대	비고
관찰자 스테이션	모니터구성	훈련감시용 모니터 (선로영상/CCTV/배전반상태/운전대기기상태, 3분할가변방식)	훈련감시용 모니터 (CCTV/선로영상/캐빈I/O현시, 9분할고정방식)	CCTV용 모니터, 선로영상 현시용 모니터, TID현시용 모니터	CCTV용 모니터, 선로영상 현시용 모니터, TID현시용 모니터, 운전대정보현시 모니터	CCTV용 모니터, 선로영상 현시용 모니터, TID현시용 모니터, 운전대정보현시 모니터	CCTV용 모니터, 선로영상 현시용 모니터, TID현시용 모니터, 운전대정보현시 모니터	
컴퓨터시스템	컴퓨터구성	호스트컴퓨터, 교관운영컴퓨터, 운전실I/O컴퓨터, 데이터관리 컴퓨터, 가상열차모델 컴퓨터, TGIS모델컴퓨터, 신호모델컴퓨터, 영상컴퓨터, DWG컴퓨터, 모션컴퓨터	호스트컴퓨터, 교관용컴퓨터, 운전실I/O컴퓨터, 운전실E/V 컴퓨터, 운전실TTM(TID)컴퓨터, 영상컴퓨터	호스트컴퓨터(VME), 교관석컴퓨터, 음향/TID컴퓨터, 영상컴퓨터	주컴퓨터, 영상컴퓨터, 모션컴퓨터, 교관제어 컴퓨터, TID(운전선도) 컴퓨터, 고장처치컴퓨터	호스트컴퓨터(VME), 교관석컴퓨터, 음향/TID 컴퓨터, 영상컴퓨터, 고장처치컴퓨터	호스트컴퓨터(VME), 교관석컴퓨터, 음향/TID 컴퓨터, 영상컴퓨터, 고장처치 컴퓨터, 모션컴퓨터	

<표 56> 국내 시뮬레이터 소프트웨어 비교

구분		기관사 운전직무 시뮬레이터(로템)	대전1호선	광주1호선	부산3호선	인천공항철도	NEL8200대	비고
기본 구성	운영체계	Windows	Windows	HOST: RTLinux 기타: Windows	HOST: RTLinux 기타: Windows	OST: RTLinux 기타: Windows	HOST: Windows 기타: Windows	
	개발언어	프로그램:visual C++/C#	프로그램:visual C++	프로그램: C/C++, 교관프로그램: Visual BASIC	프로그램: C/C++, 교관프로그램: Visual BASIC	프로그램: C/C++, 교관프로그램: Visual BASIC	프로그램: C/C++, 교관프로그램: Visual BASIC	
시뮬레이션	영상 시스템	Open SimGraph SDK 사용/ Visual C++	Open GL 기반	미국CG2사의 Vtree 그래픽엔진 SDK사용/ Visual C++	미국CG2사의 Vtree 그래픽엔진 SDK사용/ Visual C++	미국CG2사의 Vtree 그래픽엔진 SDK사용/ Visual C++	Vega Prime 그래픽엔진 SDK사용/ Visual C++	
	차량 특성	견인 및 제동특성, 곡선/구배동특성, 신호시스템재현, 전기회로모듈	견인 및 제동, 곡선/구배동특성, 신호시스템재현, 전기회로모듈	견인 및 제동, 곡선/구배동특성, 신호시스템재현, 전기회로모듈	견인 및 제동, 곡선/구배동특성, 신호시스템재현, 전기회로모듈	견인 및 제동, 곡선/구배동특성, 신호시스템재현, 전기회로모듈	견인 및 제동, 곡선/구배동특성, 신호시스템재현, 전기회로모듈	
	차상 장비 구현	ATS, TGIS, VVVF/SIV, 제동장치, 방송장치	ATP/ATO, TCMS, VVVF/SIV,	ATP/ATO, TCMS, VVVF/SIV, PSE,	ATP/ATO, TCMS, VVVF/SIV,	ATP/ATO, TCMS, VVVF/SIV,	ATS/ATP, MMI, VVVF/SIV,	

구분		기관사 운전직무 시뮬레이터(로템)	대전1호선	광주1호선	부산3호선	인천공항철도	NEL8200대	비고
	모션 제어	가속/감속운동감, 구배/곡선운동감, 충돌Effect, 선로잡음	구현 없음	구현 없음	가속/ 감속운동감, 구배/ 곡선운동감	구현 없음	가속/ 감속운동감, 구배/ 곡선운동감	
시나리오 관리	시나리오 목록	목록 및 상세보기	목록 및 상세보기	목록 및 상세보기	목록 및 상세보기	목록 및 상세보기	목록 및 상세보기	
	시나리오 생성	운전구간 선택, 신호기 선택, 경로선택(전철기), 승객하중 선택 (0-100%), 노면상태선택 고장 및 이례사항 설정, 날씨 선택 (비, 눈, 안개, 흐림) 운전시간 선택, 음향Effect 선택	운전구간 선택 차량편성 선택 승객하중 선택 노면상태 선택 고장 및 이례사항 설정	운전구간 선택 차량편성 선택 승객하중 선택 노면상태 선택 고장 및 이례사항 설정	운전구간 선택 차량편성 선택 승객하중 선택 노면상태 선택 고장 및 이례사항 설정	운전구간 선택 차량편성 선택 승객하중 선택 노면상태 선택 고장 및 이례사항 설정	운전구간 선택 차량편성 선택 승객하중 선택 노면상태 선택 고장 및 이례사항 설정	
	시나리오 삭제	불필요한 시나리오 삭제	불필요한 시나리오 삭제	불필요한 시나리오 삭제	불필요한 시나리오 삭제	불필요한 시나리오 삭제	불필요한 시나리오 삭제	

구분		기관사 운전직무 시뮬레이터(로템)	대전1호선	광주1호선	부산3호선	인천공항철도	NEL8200대	비고
훈련 관리	훈련관리	훈련목록 및 상세보기, 훈련관리 불필요한 훈련 삭제, 훈련내용평가, 훈련평가 리포트작성, 훈련내용재생,	훈련목록 및 상세보기, 불필요한 훈련 삭제, 훈련내용평가, 훈련평가 리포트작성, 훈련내용재생	훈련목록 및 상세보기, 불필요한 훈련 삭제, 훈련내용평가, 훈련평가 리포트작성, 훈련내용재생	훈련목록 및 상세보기, 불필요한 훈련 삭제, 훈련내용평가, 훈련평가 리포트작성, 훈련내용재생	훈련목록 및 상세보기, 불필요한 훈련 삭제, 훈련내용평가, 훈련평가 리포트작성, 훈련내용재생	훈련목록 및 상세보기, 불필요한 훈련 삭제, 훈련내용평가, 훈련평가 리포트작성, 훈련내용재생	
훈련 제어	임무제어	시나리오 선택 (정상상태훈련, 오류대응훈련, 비상대응훈련), 훈련실행, 훈련정지 및 재실행, 훈련종료	새 훈련 생성, 훈련실행, 훈련정지 및 재실행, 훈련종료	새 훈련 생성, 훈련실행, 훈련정지 및 재실행, 훈련종료	새 훈련 생성, 훈련실행, 훈련정지 및 재실행, 훈련종료	새 훈련 생성, 훈련실행, 훈련정지 및 재실행, 훈련종료	새 훈련 생성, 훈련실행, 훈련정지 및 재실행, 훈련종료	
	환경제어	시간대 설정, 날씨설정(0-100%), 비, 눈, 안개 설정	시간대 설정, 날씨 설정, 비, 눈, 안개 설정	시간대 설정, 날씨 설정, 비, 눈, 안개 설정	시간대 설정, 날씨 설정, 비, 눈, 안개 설정	시간대 설정, 날씨설정, 비, 눈, 안개 설정	시간대 설정, 날씨 설정, 비, 눈, 안개 설정	
	고장 및 이례사항	차량고장설정, 이례사항 설정, 배전반 NFB트립	차량고장 설정, 이례사항 설정, 후면배전반 NFB트립	차량고장 설정, 이례사항 설정, 후면배전반 NFB트립	차량고장 설정, 이례사항 설정, 후면배전반 NFB트립	차량고장 설정, 이례사항 설정, 후면배전반 NFB트립	차량고장 설정, 이례사항 설정, 후면배전반 NFB트립	

구분		기관사 운전직무 시뮬레이터(로템)	대전1호선	광주1호선	부산3호선	인천공항철도	NEL8200대	비고
	ECP사항	수풀 혹은 그림자로 신호기/표시기/작업자 가려짐, 신호기/표시판 이물질 발생, 계기판이물질발생, 외부소음발생 (주변도로/교행열차 등), 차량기기 경고음 미발생, 통신잡음발생, 내부표시장치 미동작, 표시장치 이상 정보 현시, 충동에 의한 Motion Effect 등	-	-	-	-	-	
	신호 및 전철기 제어	전철기제어, 신호기제어	전철기 제어	전철기 제어	전철기 제어	전철기 제어	전철기제어, 신호기제어	
시뮬레이터간 통신 및 제어	시뮬레이터 간 통신 및 제어	IEEE1516(HLA)에 의한 연동시뮬레이터 간 통신 및 제어	-	-	-	-	-	

<표 57> 국내외 주요 시뮬레이터 비교

구분	기관사 운전직무 시뮬레이터(로템)	국내(건설기술연구원)	국외(일본 RTRI)	국외(스웨덴, 봄바르디아)
스펙상의 특징	6자유도 모션시스템 차량운행환경 시뮬레이션 S/W제작	360도 스크린을 통한 모든 시야각에서의 운행환경 모사	승객의 운행조건을 현실적으로 재현 신칸센 열차 진동소음 구현	승객이 느끼는 철도차량 실내 음질평가 시스템
시험가능 항목	철도기관사 운전직무 훈련 및 시험 사고대처 및 사건유발 모의훈련	안전시설 효율성 평가, 운전자 행태 연구, 도로정보 판독관련 연구, 교통류 시뮬레이션 추종모델 개발 등	피시험자의 설문조사를 통한 실내쾌적성 평가	기존 차량의 실내 음향 환경과 대비하여 인공적인 가감을 거친 모의 음향 환경의 승차감 및 쾌적성 평가
주요 차별성	기관사 반응 및 직무시험용	승요차 운행 중 생체변화특성 분석	진동, 소음, 시각효과에 대한 승객 운행쾌적성 평가	객실 내 이동설치 가능

나. 기존 시뮬레이터 고찰 및 인간공학적 운전실 최적화를 위한 시뮬레이터 요구사항

(1) 기존 시뮬레이터의 종류 및 장단점

○ 시뮬레이터는 아래 표와 같이 다양한 종류로 구분할 수 있으며, 각 시뮬레이터는 여러 장점과 단점을 갖고 있어 훈련 및 평가의 목적에 적합한 시뮬레이터를 선택하는 것이 중요하다.

<표 58> 시뮬레이터의 종류

종 류	정 의	목 적
Real Cab	비 조작 환경에서의 실제 장비 사용 훈련	조작 기술 훈련 및 실제 훈련
FS (Full Simulators)	복잡한 작업과 그에 따르는 모든 환경적 복잡성까지 구현된(high fidelity) 장비 또는 워크스테이션	실제와 유사한 동적환경에서 상황 인식을 통한 정신 운동성 기술의 발달
PTT (Part Task Trainers)	비교적 실제 환경과 비슷하게 부분적으로 구현된 장치	특정한 역할 태도를 집중적으로 훈련
CBT (Computer Based Training)	교육용 소프트웨어 형태의 PC 장비	자기 주도적 학습 및 평가
CAI (Computer Assisted Instruction)	교관과의 상호작용을 통한 강의실 훈련	교관의 평가와 시나리오를 통하여 피훈련자들의 상호작용을 유도하고 지식을 습득
GD/RP (Group Discussions /Situational Role-Play)	비 기술적 환경에서의 강의실 훈련	피훈련자들의 상호작용을 통한 기술개발 지원 및 과업 수행 상황에 적합한 반응을 훈련

<표 59> 시뮬레이터 종류별 장·단점

종 류	장 점	단 점
Real Cab	- 정확하고 실제적인 느낌 제공 - 물리적으로 가장 실제적	- 강사 자원에 대한 과도한 수요 - 거대 설비의 요구 - 장비 이용의 문제 - 높은 유지보수 비용 - 실제적인 위험발생 가능성

종 류	장 점	단 점
FS (Full Simulators)	- 훈련을 위한 시나리오와 조건의 반복성 - 복잡한 기술습득의 연습 및 발달을 제공 - 실제적인 환경을 제공을 함으로서 규정 및 절차의 응용 연습이 가능 - 평가의 객관성을 유지하기 위해 사건을 기록하고 기계적인 성능 평가를 제공 - 실제 환경과 흡사한 환경에서 위험 없이 훈련 - 많은 수의 피훈련자를 수용 가능	- 초기 비용 문제 및 유지비용 문제 - 훈련장소가 고정되어 있어 훈련 시 이동 비용이 발생함 - 구현된 환경이 부적절할 경우 실제 환경과 구현된 환경에서 서로 다른 결과를 초래할 가능성이 있음 - 고도의 기술이 요구되며 구현이 어려움
PTT (Part Task Trainers)	- 특정 과업 또는 기술에 대한 실시간 훈련/ 평가/연습을 제공 - 비교적 쉽게 제한적인 환경 (distraction free environment) 구현하는 것이 가능 - FS에 비해 상대적으로 저비용 - 교실 또는 사무실 환경에 일반적으로 적합 - 추가적인 피훈련자를 수용하는 비용이 적음	- 추가적인 훈련의 필요성 - 주관적인 교관의 평가 - 교관들을 위한 특별한 훈련이 요구 될 수 있음
CBT (Computer Based Training)	- 교육프로그램을 통한 체계적인 훈련 - 상대적으로 저비용 하드웨어와 교육프로그램의 사용을 통하여 피훈련자를 교육 - 피훈련자들의 데이터의 효율적 수집/저장 - 코스웨어의 발달과 개량을 지원하기 위하여 피훈련자들의 응답에 대한 통계적 분석용이	- 코스웨어 변경 시 비용이 많이 듬 - 코스웨어 훈련을 위한 교관의 숙달이 선행되어야 함 - 정신 운동성 기술의 연습/발달을 제공하지 못함
CAI (Computer Assisted Instruction)	- 빠른 업데이트 가능 - 실제적인 상황에 대한 멀티미디어 표시 가능	- 개인적인 교관의 경험에 의존
GD/RP (Group Discussions /Situational Role-Play)	- 저비용 - 긍정적인 피훈련자들의 반응 - 교관 및 숙련자들의 경험 공유 - 쉽고 빠른 업데이트 - 팀워크/커뮤니케이션과 같이 사회적인 상황을 통한 훈련	- 적은 스킬 연습 기회 - 충분한 참여를 이끌어내기 어려움 - 주관적이고 어려운 평가

(2) 기존 시뮬레이터의 한계점

○ 기존 시뮬레이터에 대한 조사내용을 바탕으로 운전실 최적화 관점에서 기존 시뮬레이터의 한계점을 도출하였다.

○ 기존 시뮬레이터는 기관사 훈련을 목적으로 제작되어, 운행 중이 차량을 대상으로 운전실의 설비가 고정되어 있어, 다양한 운전실 하드웨어와 소프트웨어에 따른 기관사 편의성과 인적오류의 발생가능성을 평가하고 검증하지 못하고 있다.

○ 기존 시뮬레이터는 정상상황 하에서의 운행연습이나 고장발생 시 조치 연습 등에 중점을 두고 있으며, 가능하면 오류를 발생시키지 않도록 훈련을 하고 있다. 따라서 기존훈련은 새로운 상황에 처했거나 오류가 발생했을 때 적절하게 대처할 수 있는 능력을 개발해 주지 못하고 있다.

○ 기존 시뮬레이터는 제한된 범위의 스트레스만을 제공하여 왔다. 따라서 기존 훈련을 통해서는 실제 직무수행 시 겪을 수 있는 다양한 스트레스 상황에 대해 피훈련자의 직무수행수준의 향상을 보장하지 못한다.

○ 기존의 시뮬레이터는 인지적 스킬(cognitive skills)이나 대인관계 스킬 (interpersonal skills)과 같은 비기술적 스킬들(non-technical skills)에 관한 훈련 내용을 거의 다루고 있지 않다. 비기술적 스킬들에 대한 내용은 강의실 기반의 훈련에서만 주로 다루어지고 있기 때문에 비기술적 스킬들의 개발과 유지를 위한 경험적 형태의 훈련을 제공하지 못하고 있다.

○ 기존 시뮬레이터 훈련의 디브리핑(debriefing) 단계는 오류 이벤트에 대한 깊이 있는 분석의 기회를 제공하지 않고 있다. 훈련 결과는 점수로만 평가하고 있고, 훈련 수행 내용 및 결과에 대한 사후 분석은 하지 않기 때문에 피훈련자가 오류의 원인파악과 대처방법을 탐구할 수 있는 기회가 부족한 상황이다.

○ 기존 시뮬레이터는 훈련 목표를 훈련 시나리오에 체계적으로 반영하는 시나리오 개발 방법이 마련되어 있지 않다. 각 이벤트의 목적과 요구되는 행위 및 예상 오류 등이 명시적으로 기술되어 있지 않아 교관이 주의하여 관찰해야 할 부분이 명확하지 않으며, 이에 따라 평가의 정확도에 문제가 있을 수 있다.

(3) 인간공학적 운전실 최적화를 위한 시뮬레이터 요구사항

○ 시뮬레이터 훈련을 통해 피훈련자의 오류관리 능력을 향상시키고 다양한 상황하에서도 피훈련자의 직무수행 능력을 유지하기 위해서는 여러 가지 요구사항들을 만족시켜야 한다. 앞에서 소개한 인적오류 저감을 위한 훈련 기법들에 기

초하여 시뮬레이터를 활용한 인적오류 저감 훈련에의 적용점을 파악하고 필수 요구사항들을 아래와 같이 도출하였다.

<표 60> 시뮬레이터를 활용한 인적오류 저감 훈련의 필수 요구사항

기법	주요 내용	인간공학적 운전실 최적화를 위한 시뮬레이터 적용점
Error Management Training(EMT)	훈련 시 피훈련자가 오류를 직접 경험하고 교관의 가이드에 따라 오류를 분석함으로써 오류관리 능력을 향상시키는 훈련	• 오류유발 상황에의 노출 • 오류관리의 결과에 대한 직접 경험 • 효과적인 학습을 지원하기 위한 훈련 중 교관의 개재 • 디브리핑(debriefing)을 통한 오류관리 능력의 개발 • 비기술적스킬(non-technical skills)에 대한 교육과 연습
Stress Exposure Training(SET)	훈련 시 피훈련자가 실제 작업환경에서 접할 수 있는 다양한 스트레스를 경험해봄으로써 작업환경과의 친숙도를 높이고 스트레스 하에서도 작업자의 직무수행 능력이 보장될 수 있도록 하는 훈련	• 스트레스 유발 상황에의 노출 • 다양한 상황의 경험 • 비기술적 스킬에 대한 교육과 연습 • 점진적인 강도의 스트레스 제공
Crew Resource Management(CRM)	승무원들이 다양한 상황 하에서 효과적이고 안전하게 직무를 수행하기 위해 필요한 지식 및 비기술적(non-technical) 스킬들을 습득하는 훈련. 특히 팀으로서의 기능개발에 중점을 둠	• 비기술적 스킬에 대한 교육과 연습 • 정상, 비정상, 긴급 상황에 대한 경험 • 팀 훈련의 제공 • 디브리핑을 통한 능력 개발
Event-Based Approach to Training(EBAT)	훈련 목표에 따라 실습에 사용될 이벤트와 이에 대한 관찰 및 피드백 내용을 미리 정의함으로써 체계적으로 실습 시나리오를 개발하는 방법	• 체계적인 실습 시나리오 개발 • 훈련 목적에 적합한 다양한 이벤트 제공

○ 다양한 운전실 하드웨어와 소프트웨어의 조합 및 조립이 가능하여 다양한 운전실 환경에서 실험할 수 있는 기회를 제공해야 한다.

- 기존 시뮬레이터는 기관사 훈련을 목적으로 제작되어, 운행 중이 차량을 대상으로 운전실의 설비가 고정되어 있어, 다양한 운전실 하드웨어와 소프트웨어에 따른 기관사 편의성과 인적오류의 발생가능성을 평가하고 검증하지 못하고 있다. 운전실 기기와 장치 기능 보완 및 기관사의 휴먼에러 발생에 영향을 주는 요인들을 분석하여 새로운 운전실 기기와 장치에 대한 분석이 가능해야 한다.

○ 비기술적 스킬들 (non-technical skills)을 연습할 수 있는 기회를 제공해야 한다.

- 오류관리 스킬들은 본질적으로 주로 비기술적 (non-technical)이다. 오류는 언제 어떤 상황에서나 발생가능하기 때문에 특정상황에 적용될 수 있는 기술적 스킬(technical skills)만으로는 인적오류의 편재에 적절히 대응하기 어렵다. 비기술적 스킬의 개발과 유지를 위해서는 경험적인 형태의 학습이 필요하다. 따라서 훈련은 시뮬레이터를 적극 활용하여 기술적 스킬뿐만 아니라 비기술적 스킬을 연습할 수 있는 기회를 제공하고, 이를 통해 피훈련자가 오류관리 능력을 탐색하고 개발할 수 있도록 지원하여야 한다.

○ 오류가 발생하기 쉬운 상황에서의 훈련 (exercise)을 제공해야 한다.

- 오류가 발생하기 쉬운 상황을 알아차리는 것은 오류 발생을 감지하는데 필수적인 요소이다. 따라서 주의분산, 다수의 직무들, 서로 상충하는 직무들 및 높은 작업부하 등을 포함하는 상황을 오류발생과 오류관리의 관점에서 직접 경험하고 분석해보아야 한다. 이를 통해 피훈련자는 오류발생 상황을 감지하는 능력을 개발할 수 있을 뿐만 아니라 이와 같은 상황에서 주로 발생하는 스트레스에 대한 적응력과 대처능력을 기를 수 있다.

○ 스트레스를 점진적인 강도로 제공할 수 있어야 한다.

- 높은 스트레스에 갑자기 노출될 경우 피훈련자는 오히려 자신감을 잃고 부정적 학습을 하게 될 수 있다. 따라서 점차적으로 스트레스의 강도를 변화시켜 가면서 피훈련자가 스킬들을 적용 및 실습해볼 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 이는 피훈련자가 스트레스에 압도당하지 않고 익숙해 질 수 있도록 도와줄 뿐만 아니라 피훈련자의 제어능력을 향상시켜주기도 한다.

○ 훈련 목적에 맞는 다양한 이벤트들을 제공할 수 있어야 한다.

- 현실적인 훈련 실습을 제공하기 위해서는 다양한 이벤트들이 마련되어 있어야 한다. 다양한 이벤트들의 조합을 통해 시나리오를 개발하여 여러 훈련목적에 맞는 시나리오를 제공하고, 피훈련자가 여러 가지 상황을 겪어 볼 수 있도록 해야 한다.

○ 훈련 시나리오를 체계적으로 개발할 수 있어야 한다.

- 훈련 실습의 효과를 보장하기 위해서는 체계적인 훈련 시나리오 개발 방법이 필요하다. 훈련 목표를 충실히 반영하고 이에 적합한 이벤트를 도입하여 시나리오를 구성하고 주어진 상황에 요구되는 활동이나 예상되는 오류를 미리 정의해 둠으로써 평가의 용이성과 신뢰성을 높이도록 해야 한다.

○ 팀 단위의 훈련을 제공해야 한다.

- 철도 시스템은 다수의 관계자들이 상호작용하여 운영되는 것이므로 단순히 개인의 역량을 향상시키는 것만으로는 전체 시스템의 안전을 보장하기 어렵다. 사람들이 효과적으로 상호작용하기 위해서는 팀워크와 의사소통 스킬이 필수적이다. 또한 상황판단이나 의사결정 과정에서 발생한 인적오류는 오류를 저지른 본인보다 타인에 의해서 더욱 잘 발견되므로 오류관리의 측면에서도 팀 훈련은 필수적인 요소이다. 따라서 훈련은 팀 단위 훈련을 제공하여 피훈련자들이 팀워크 및 의사소통 스킬을 연습할 기회를 갖도록 함으로써, 피훈련자들이 하나의 완전한 팀으로서 기능할 수 있는 능력을 개발하고 시너지 효과를 얻을 수 있도록 해야 한다.

○ 디브리핑 (debriefing) 시 훈련 중에 발생했거나 발생할 뻔 했던 오류의 원인과 영향, 대처방안에 대한 토론의 기회를 제공해야 한다.

- 오류관리 훈련의 가장 핵심적인 요소는 바로 오류이벤트에 대한 피드백이다. 교관의 인도 하에 피훈련자들이 실습단계에서 발생했거나 발생 가능했었던 오류들에 대해 분석해봄으로써 그 원인을 파악하고 이에 대한 적절한 예방 및 관리 전략을 찾을 수 있도록 해야 한다.

○ 효과적인 오류 관리와 잘못된 오류 관리의 실제 결과를 직접 경험할 수 있는 기회를 제공해야 한다.

- 효과적인 오류관리 및 잘못된 오류관리의 원인과 그 결과들을 실제로 경험해 보는 것은 바람직한 오류관리 태도의 개발을 촉진시킨다. 또한 이는 피훈련자들이 실수를 통한 학습 (learning from mistakes)을 할 수 있도록 한다.

○ 훈련 중 피훈련자에게 오류 관리에 관한 교육적 질의(instructional prompts)를 해야 한다.

- 경험에만 의존하는 학습은 시간과 비용 측면에서 상당히 비효율적이며 부정적 학습이 발생할 우려가 있다. 따라서 훈련 중 적절한 교관의 개재는 훈련의 효율을 높이는 중요한 역할을 한다. 특히, 시뮬레이터 훈련 중 교육적 질의를 함으로써 피훈련자가 특정 오류관리 스킬을 개발할 수 있도록 도울 수 있다.

○ 오류 관리에 대한 사전교육을 제공해야 한다.

- 오류관리에 필요한 핵심적인 지식의 습득을 지원하여 피훈련자가 발생 가능한 오류와 그 영향에 대해 예측할 수 있도록 해주어야 한다. 이는 오류에 대처하기 위한 전략개발에 도움을 줄 뿐만 아니라 오류에 대한 효과적인 예방, 감지, 대응을 위해 필요한 스킬과 태도의 개발에 필요한 기반을 제공한다.

○ 비기술적 스킬들 (non-technical skills)의 중요성에 대한 교육을 제공해야 한다.

- 오류관리를 위해 필요한 비기술적 스킬의 종류와 역할에 대한 정보 및 이에 대한 토론의 기회를 제공하여 훈련에 대한 인식을 높이고 훈련동기를 유발하도록 해야 한다.

○ 철도 운행 환경에서 발생하기 쉬운 스트레스와 그 영향 및 대처방법에 대한 교육을 제공해야 한다.

- 다양한 환경에서 피훈련자의 직무수행능력을 보장하기 위해서는 스트레스에 효과적으로 대처할 수 있는 능력이 필요하다. 이를 위한 준비로써 작업환경에서 자주 경험하게 되는 스트레스에는 어떤 것들이 있으며 이들 스트레스는 어떠한 영향을 미치는지에 대한 교육이 제공되어야 한다. 이를 통해 피훈련자는 스트레스와 그 효과에 대해 예상할 수 있는 능력을 기르게 되고, 스트레스에 당황하지 않고 대응할 수 있게 된다.

15. 시뮬레이터를 이용한 기관사 피로도 측정을 위한 H/W와 S/W 구성

○ 시뮬레이터를 이용한 실험에서 상황변화에 유의하게 반응하는 생체신호 인 GSR(Galvanic Skin Response) 과 EEG(Electroencephalogram), HR(Heart Rate), Perclos , Blink Frequency , Pupil Diameter는 크게 두 부분으로 나눌 수 있다.

○ 첫 번째는 GSR, EEG, HR 신호로 전극을 이용하는 접촉식 센서를 사용하는 생체신호이다. 기관사의 신체일부에 전극용 젤을 바르고 직접 센서를 부착해야 한다.

○ 두 번째는 Perclos , Blink Frequency , Pupil Diameter 신호로 이 신호들은 vision을 이용하여 측정을 하는 비 접촉식 센서이다. 비 접촉식 센서는 렌즈에서 비춰지는 영상을 분석하여 신호결과를 나타낸다. 접촉식 센서는 전선에 의해 신호가 전송되기 때문에 전선끼리의 간섭 혹은 피험자의 움직임에 영향을 받는 단점이 있다. 측정을 위해서는 각 신호전선이 서로 영향을 주지 않도록 주의하여야 한다. 비 접촉식 센서는 간섭 등의 영향은 접촉식 센서에 비해 작지만, 처음 calibration과정이 복잡하고 피험자가 바뀔 때마다 다시 calibration을 해줘야 하고, 처음 calibration이 잘못되면, 측정결과에도 큰 영향을 미치므로 calibration

을 하는데 각별히 주의하여야 한다.



<그림 98> 실험평가 Sensor구성요소 설정

○ 기관사의 직무수행능력을 정량적으로 측정하기 위하여 신체의 거동, 머리 및 시선의 방향, 눈꺼풀의 거동, 그리고 생체신호 등의 정보를 수집하여 분석한다. 이러한 정보들을 정량적으로 측정하기 위하여 hardware를 구성하게 되는데, 인간의 대부분의 생체신호를 측정하기 위해서 접촉방식의 측정 장치를 사용하고, 생체신호가 아닌 신체적 거동을 측정하기 위해서는 비 접촉방식의 측정 장치를 이용한다.

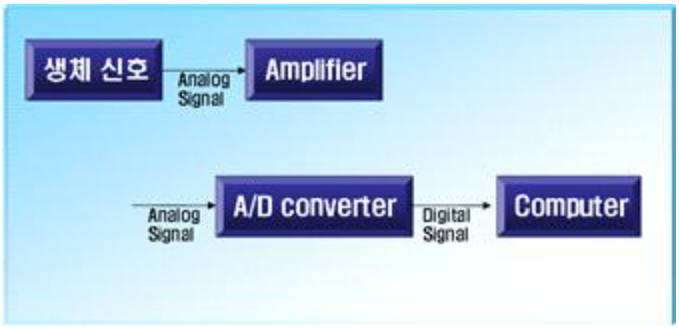


<그림 99> 데이터 수집 H/W 구성요소 분류

○ 접촉식 Hardware

- EEG, GSR, HR등의 생체 신호를 측정하기 위한 장비 중 대부분의 장비들은 신체와 직접적으로 접촉이 되어 측정을 한다. 이들의 신호는 센서부의 일렉트로드를 통해 전기신호의 형태로 측정이 된다. 초기 일렉트로드를 통한 전기신호는 극히 작은 양으로서 데이터를 분석하기에 적절하지 않으므로 증폭기를 통해 신호를 증폭시킨다.

- 초기 측정된 전기 신호는 아날로그 형태의 신호로서 디지털 신호를 처리하는 컴퓨터의 입력신호로 사용할 수가 없으므로 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환해주는 A/D Converter 장치를 이용하여 신호를 변환 후 컴퓨터에 입력하여 분석을 할 수 있도록 한다. 이 과정에서 신호의 종류에 따라 순수 생체 신호가 아닌 외란이 포함된 신호일 경우 별도의 필터링 과정을 통하여 신호를 처리한 후 분석을 한다.



<그림 100> 신호의 흐름

○ 비 접촉식 Hardware

- 안구 운동을 통해 기관사의 행동이나 피로도를 측정하기 위하여 비 접촉방식의 안구운동 추적기를 사용한다. 안구 운동은 생체 신호와 같이 신체의 신호를 직접 측정하지 않고도 측정할 수 있기 때문에 비 접촉방식이 가능하며 따라서 amplifier나 A/D converter 같은 장비 없이 센서를 통해 얻어진 정보가 이를 분석하기 위한 컴퓨터로 바로 입력된다.

16. 철도차량 운전실 기준·요건과 실차를 이용한 철도차량 운전실 검증 사례 분석(EUDDplus 적합성(confirmity) 검사 사례)

○ EUDDplus 프로젝트에서는 아래 그림의 CR TSI Loc&Pas RST 항목들을 식별해 시험 차량의 운전실 적합성 검증하였다.

4.4	Brake command
4.4.1	Emergency braking command
4.4.2	Service braking command
4.4.3	Direct braking command
4.4.4	Dynamic braking command
4.4.5	Parking braking command

7.2	Visual and audible vehicle identification and warning functions
7.2.2	External lights
7.2.2.4	Lamp controls
7.2.3.2	Warning horn sound pressure levels
7.2.3.4	Warning horns, control

9.1	Driver's cab design
9.1.1	Cab design
9.1.1.1	Interior layout
9.1.1.2	Desk ergonomics
9.1.1.3	Driver's seat
9.2	Working conditions
9.2.1	Environmental conditions
9.2.1.3	Lighting in driver cabs
9.3	Driver/machine interface
9.3.1	Driver/machine interface
9.3.1.2	driver display unit and screens
9.3.1.3	controls and indicators
9.3.2	Driver supervision
9.3.3	rear and side view
9.4	Marking and labelling in Driver cabs
9.5	Equipment and other facilities onboard for staff
9.5.3	On-board tools and portable equipment

<그림 101> EUDDplus의 TSI 기준·요건의 적합성(confirmity) 검증 관련 범주 리스트

○ CR TSI Loc&Pas RST의 요건의 관련 절을 요소(item)별로 나누어, UIC 612 (그리고 관련 UIC 640과 651)에 의해 주어진 EUDDplus 운전실 제어대의 사양과 비교했다. 이 요소 중 86 %는 TSI의 요건에 일치했다. 2 %는 요건을 충족하지 않았고, 요소 중 6 %는 정확하게 평가할 수 없었다. 누락된 6 %는 아직까지 보류 상태이다.

○ 테스트된 EUDDplus 제어대 개념이 UIC 612에 의해 주어진 EUDDplus 사양을 80 % 준수하기 때문에, 모든 요소의 CR TSI Loc&Pas RST 준수성을 평가하기 위해 모든 요소를 네 범주로 구분했다.

- 현장 시험의 프레임워크에서 적합성을 평가했다. (예, “실내 배치는 선 자세 및 앉은 자세 운전이 모두 가능하도록 해야 한다.”)
- 육안검사로 적합성을 평가했다. (예, 비상장치 중 한 가지는 빨간색 펀치 버튼이어야 한다.)
- 적합성에 관한 정보는 전문가 면담을 통해 얻었다. (예, “열차에서 단 하나의 상용 제동 명령만 활성이어야 한다.”)
- 이 프로젝트의 프레임워크에서 적합성은 평가될 수 없었다. (예, 앞유리의 광학적 또는 기계적 특성)

○ 이 범주들을 토대로, 현장 시험 평가, 육안 및 수작업 검사 그리고 전문가 면담을 적절히 고려해 평가를 실시했다. 다음 표에 평가 결과가 나와 있다.

<표 61> EUDDplus 적합성(confirmity) 검사 방법 및 결과

TSI 요건·기준	검사 방법	검사 기준 및 임계값	결과
비상 제동 명령 [4.4.1]			
적어도 두 개의 독립 비상 제동 명령 장치가 이용 가능해야 한다,… [4.2.4.4.1]	육안검사	적어도 두 개의 독립 비상 제동 명령 장치가 확인된다.	합격
… 기관사가 정상 운전 위치에서 한 손으로 간단한 단일 동작에 의해 비상 브레이크를 조작할 수 있어야 한다. [4.2.4.4.1]	현장 시험 설문지	“앉은 운전 위치에서 한 손으로 간단한 단일 동작에 의해 비상 브레이크를 조작할 수 있었습니까? 라는 질문에 모든 기관사가 “예”라고 대답했다.	합격
이 장치들 중 하나는 빨간색 펀치 버튼(버섯 푸시버튼)이어야 한다. [4.2.4.4.1]	육안검사	한 개의 빨간색 펀치 버튼이 확인된다.	합격
조작될 때 이 두 장치의 비상 브레이크 위치는 기계적 장치에 의해 자동 잠금이어야 한다. [4.2.4.4.1]	수작업 검사	장치의 위치에 변함이 없다. - 기계적 힘이 적용될 때만 원위치에서 이동된다.	합격
이 위치에서 잠금이 풀리는 것은 의도적인 행동에 의해서만 가능해야 한다. [4.2.4.4.1]	수작업 검사	빨간색 펀치 버튼을 다시 잡아당겨야 하고, 다른 위치보다 비상 브레이크 위치에서 자동 브레이크 제어기를 이동시키는 데 기계적인 힘이 훨씬 더 많이 든다.	합격
비상 브레이크 조작은 CR CCS TSI에 정해진 대로 제어명령과 차상 신호 장치에 의해서도 가능해야 한다. [4.2.4.4.1]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
상용 제동 명령 [4.4.2]			
열차 속도를 제어하기 위해, 상용 제동 기능은 기관사가 제동력을 적어도 7 단계 범위(브레이크 완해와 최대 제동력 포함)의 최솟값과 최댓값 내에서 조절할 수 있게 해야 한다. [4.2.4.4.2]	수작업 검사	자동 브레이크 제어장치 레버를 가능한 위치로 이동할 수 있고, 적어도 7단계 구분이 가능하다.	합격
단 하나의 상용 제동 명령만 열차에서 활성이어야 한다. [4.2.4.4.2]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
이 요건을 충족하기 위해, 상용 제동 기능을, 고정 및 미리 정의된 열차 편성에 따라 열차를 편	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격

TSI 요건·기준	검사 방법	검사 기준 및 임계값	결과
성하는 구성 부분에 대한 다른 상용 제동 명령과 분리할 수 있어야 한다. [4.2.4.4.2]			
열차 속도가 15 km/h 이상일 때, 상용 브레이크를 체결하면 자동으로 모든 견인력이 차단되어야 한다. [4.2.4.4.2]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
기관사가 견인 명령을 취소할 때까지 이 차단은 리셋되어서는 안된다. [4.2.4.4.2]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
직동식 제동 명령 [4.4.3]			
일반 작동을 평가하는 기관차(화차 또는 객차를 끌기 위해 설계된 유닛)에는 직동식 브레이크 장치가 있어야 한다. [4.2.4.4.3]	운행 중 검사	시험 선로 주행 중 최소 3명의 전문가가 독립적으로 기능성을 확인했다.	합격
직동식 브레이크 장치는 해당 유닛만 제동력이 걸리고, 다른 유닛은 제동되지 않은 상태를 유지하도록 해야 한다. [4.2.4.4.3]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
발전 제동 명령 [4.4.4]			
가공전차선을 따라 주행할 때 가공전차선에 에너지를 다시 보내지 못하도록, 전차에서 기관사가 회생제동 사용을 막을 수 있어야 한다. (CR ENE TSI 4.2.7항 참고). [4.2.4.4.4]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
다이내믹 브레이크를 다른 제동장치와 독립적으로나 함께 사용할 수 있다. [4.2.4.4.4]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
주차 제동 명령 [4.4.5]			
주차 제동 명령은 차상에 에너지 부족이 발생할 수 있는 동안, 무제한 기간 동안 정해진 제동력을 적용할 수 있어야 한다. [4.2.4.4.5]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
구난 목적을 포함해 어떤 상황에서도 주차 브레이크를 정지 상태에서 완해시킬 수 있어야 한다. [4.2.4.4.5]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
실외등 [7.2.2]			
램프 제어장치 [7.2.2.4]			
기관사가 정상 운전 위치에서 열차의 전조등, 마커등, 미등을 조절할 수 있어야 한다. 이 조절은	육안검사 현장 시험	정상 운전 위치에서 램프 조절장치를 켜고 끄는 것. 도달 가능성 질문에 대한 전체적	합격

TSI 요건·기준	검사 방법	검사 기준 및 임계값	결과
독립 명령 또는 결합 명령을 사용할 수 있다. 주: 비상 상황에서 비상 경고 신호를 표시하기 위해 등을 특별한 결합으로 조절하는 것이 필요하지 않다. [4.2.7.1.4]	설문지	대답은 “매우 좋다”였다.	
경적 제어장치 [7.2.3.4]			
이 TSI의 4.2.9항에 명시된 모든 운전 위치에서 기관사가 가청 경고장치의 소리를 들을 수 있어야 한다. [4.2.7.2.4]	현장 시험 설문지	기관사의 제어대에 있는 경적에 대한 도달가능성을 기관사들이 매우 긍정적으로 평가했다.	합격
운전실은 1인 승무가 가능하도록 설계되어야 한다. [4.2.9.1.1]	운행 중 검사	시험 선로 주행 중 최소 3명의 전문가가 독립적으로 기능성을 확인했다.	합격
운전실 설계 [9.1.1]			
실내 배치 [9.1.1.1]			
운전실의 실내 배치는 부록 E에 명시된 대로, 기관사의 인체 측정치를 고려해야 한다. [4.2.9.1.4]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
운전실 내 기관사의 이동의 자유가 장애물에 의해 방해 받아서는 안 된다. [4.2.9.1.4]	육안검사	운전실 내 자유로운 이동을 방해하는 것이 확인되지 않는다.	합격
기관사의 업무 구역에 해당하는 운전실 바닥에는 층계가 없어야 한다. (운전실 진입 구역 제외). [4.2.9.1.4]	육안검사	운전실 바닥에 층계가 확인되지 않는다.	합격
실내 배치는 기관차 그리고 객차 달린 기관차에서 선 자세와 앉은 자세 운전이 모두 가능하도록 해야 한다. [4.2.9.1.4]	운행 중 검사	시험 선로 주행 중 최소 3명의 전문가가 독립적으로 기능성을 확인했다.	합격
운전실에는 적어도 하나의 운전석(4.2.9.1.5 참고)과 운전석이 아닌 동승 승무원용 전방을 향한 의자가 있어야 한다. [4.2.9.1.4]	육안검사	하나의 운전석이 확인되었다.	합격
운전실 제어대 인간공학 [9.1.1.2]			
운전실 제어대와 제어대상의 조작장치, 제어장치는 부록 E에 명시된 대로 기관사의 인체 측정치를 고려해, 기관사의 이동의 자유를 방해함 없이, 가장 일반적으로 사용하는 운전 위치에서 기관사가 정상 자세를 유지할 수 있도록 배치되어야 한다. [4.2.9.1.6]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격

TSI 요건·기준	검사 방법	검사 기준 및 임계값	결과
운전 중 필요한 문서를 제어대 표면에 두고 볼 수 있도록, 최소 폭 30cm, 높이 21cm인 문서 열람 구역이 운전석 앞에 있어야 한다. [4.2.9.1.6]	육안검사	문서 열람 구역의 측정	합격
조작 및 제어장치는 기관사가 식별할 수 있도록 분명하게 마킹되어야 한다. [4.2.9.1.6]	육안검사	모든 제어장치가 분명하게 마킹되었는지 확인한다.	합격
견인력과 제동력을 레버로 조절할 때 (결합식 또는 분리식일 수 있음), “견인력”은 레버를 앞으로 밀면 증가하고, “제동력”은 레버를 기관사 쪽으로 당기면 증가해야 한다. [4.2.9.1.6]	작동 중 검사	이 제어장치에 필요한 운행 모드를 검증했다.	합격
비상 제동을 위한 홈이 있으면, 이 홈이 레버의 다른 위치와 분명히 구별되어야 한다. [4.2.9.1.6]	육안검사	자동 브레이크 제어장치를 비상 브레이크 위치로 옮기거나 그 반대로 옮기는 위치와 행동은 분명히 구별되어야 한다.	합격
운전석 [9.1.1.3]			
운전석은 부록 E에 명시된 대로 기관사의 인체 측정치를 고려해 앉은 자세에서 모든 정상적인 운전 기능을 수행할 수 있도록 설계되어야 한다. [4.2.9.1.5]	현장 시험 설문지	“운전석이 앉은 자세에서 모든 운전 기능을 수행할 수 있도록 설계되었습니까?”라는 질문에 18%의 기관사가 부정적으로 대답했다.	불합격
운전석은 생리학적 관점에서 기관사의 정확한 자세를 고려해야 한다. [4.2.9.1.5]	생리학적 평가	해당 사항 없음. - EUDDplus의 프레임워크 내에서 실시되지 않음.	보류
4.2.9.1.3.1에 정의된 대로, 외부 가시성을 확보하기 위해 눈 기준 위치를 맞출 수 있도록 기관사가 의자 위치를 조절할 수 있어야 한다. [4.2.9.1.5]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
비상시 탈출에 좌석이 방해가 되어서는 안 된다. [4.2.9.1.5]	현장 시험 설문지	비상 제동을 체결한 후, 운전실에서 빨리 탈출하는 데 좌석이 방해가 되었는지 물었을 때, 50% 이상의 기관사가 “아니요”라고 답했다.	불합격
의자와 의자의 장착 그리고 기관사의 의자 사용을 설계할 때, 인간공학 및 건강적 측면을 고려해야 한다. [4.2.9.1.5]	해당사항 없음	해당 사항 없음. - EUDDplus의 프레임워크에서 실시되지 않음.	보류
기관차 그리고 객차 달린 기관차에 운전석을 장착할 때는 선 자세 운전에서 필요한 여유 공간을 확보할 수 있도록 조절이 가능하게 해야 한다. [4.2.9.1.5]	현장 시험 설문지	선 자세 운전에 필요한 충분한 공간이 있는지 기관사들에게 물었을 때, 50%의 기관사가 “아니요”라고 답했다.	불합격

TSI 요건·기준	검사 방법	검사 기준 및 임계값	결과
운전실 앞유리 [9.1.3]			
장비 [9.1.3.3]			
앞유리에는 기관사가 조절할 수 있는 제빙장치, 서리 제거장치 그리고 외부 세척장치가 있어야 한다. [4.2.9.2.3]	운행 중 검사	이러한 기능성의 이용가능성을 검사했다.	합격
ANNEX 7 / TSI 문언	제어 메커니즘	제어 기준 및 임계값	결과
환경 조건 [9.2.1]			
운전실 조명 [9.2.1.3]			
차량의 모든 정상 운행 모드에서 기관사의 제어에 의해 운전실 전체 조명이 제공되어야 한다. ("스위치 off" 포함). [4.2.9.1.8]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
계기 조명이 제공될 때, 계기 조명은 전체 조명과 독립적이어야 하고, 조절 가능해야 한다. [4.2.9.1.8]	수작업 검사	이 제어장치의 작동 모드가 시험되었다.	합격
외부 운전 신호와의 위험한 혼동을 막기 위해, 기존 클래스 B 운전실 신호 시스템 (CR CCS TSI에 정의되어 있음)을 제외하고, 운전실에 녹색 조명이 있어서는 안 된다. [4.2.9.1.8]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
기관사-기계 인터페이스 [9.3.1]			
기관사 디스플레이 장치와 스크린 [9.3.1.2]			
이 TSI 범위의 기능을 위해, 기관사가 열차를 조절, 제어하기 위해 사용되고, 디스플레이 장치 또는 스크린에 의해 주어지는 정보 또는 명령은 기관사가 이러한 정보 또는 명령을 적절히 사용하고 반응할 수 있도록 설계되어야 한다. [4.2.9.3.3]	현장 시험	'적절한'이라는 용어는 너무 광범위한 표현이다. 이 표현을 더 구체적으로 하기 위해, 문서 D3.2에서 세부항목이 제안된다.	보류
제어장치와 표시장치 [9.3.1.3]			
모든 표시등은 자연광 또는 인공광(비연속 조명 포함) 조건하에서 정확하게 볼 수 있도록 설계되어야 한다. [4.2.9.3.4]	현장 시험 설문지	EUDDplus에서 명시적으로 시험되지 않음.	보류
조명이 들어와 있는 표시기 또는 버튼에서 유리창에 반사되는 빛이 정상 운전 위치에 있는 기관사의 시선에 간섭을 일으켜서는 안 된다. [4.2.9.3.4]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격

TSI 요건·기준	검사 방법	검사 기준 및 임계값	결과
외부 운전 신호와의 위험한 혼동을 피하기 위해, 기존 클래스 B 운전실 신호 시스템 (CR CCS TSI에 정의되어 있음)을 제외하고, 운전실에 녹색 조명이 있어서는 안 된다. [4.2.9.3.4]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
운전실 내 차상 장비에 의해 생성되는 가청 정보는 '소음 TSI'에 정의된 대로 측정했을 때, 운전실의 수신된 소음 수준 중앙값 위 6 dB(A) 이상이어야 한다. [4.2.9.3.4]	운행 중 측정	EUDDplus에서 테스트되지 않음.	보류
기관사 감시 [9.3.2]			
기관사 활동 제어 기능 - 열차가 운행 구성일 때(운전실 활성화)와 움직이고 있을 때(움직임 감지의 기준은 저속 임계치임), 기관사의 활동 없음이 60초 내에 감지되어야 한다. 그리고 기관사의 반응이 없을 시, 열차에 완전 상용 제동 또는 비상 제동을 체결해야 한다. [4.2.9.3.1]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
완전 상용 제동 체결 시, 효과적인 체결이 자동으로 제어되어야 하고, 비 체결 시 비상 브레이크가 뒤따라야 한다. [4.2.9.3.1]	시작품 전문가 평가	전문가의 확인.	합격
뒤와 옆 보기 [9.3.3]			
운전실은 기관사가 정지 상태에 있는 열차의 각 측의 후부를 보면서, 동시에 비상 브레이크를 조작할 수 있도록 설계되어야 한다. [4.2.9.1.3.2]	육안검사 및 수작업 검사	후부를 보면서, 비상 브레이크를 조작할 수 있는 위치로 이동하기.	합격
앞의 요구사항을 다음 수단 중 한 가지로 충족하는 것이 허용된다. 측창 또는 운전실 각 측의 패널을 여는 것, 실외 거울, 카메라 시스템. [4.2.9.1.3.2]	육안검사 및 수작업 검사	창의 구멍으로 머리를 집어넣는 것과 비상 브레이크 조작.	합격
측창 또는 패널을 여는 경우, 측창 또는 패널의 구멍이 기관사가 머리를 집어넣을 수 있을 정도로 커야 한다. [4.2.9.1.3.2]	육안검사	구멍으로 머리를 집어넣을 수 있을 정도의 공간이 있는지 확인한다.	합격
운전실에 다음 정보가 표시되어야 한다: 최고속도(Vmax), 차량 식별번호(견인차량번호), 휴대용	육안검사	언급한 표시가 이용 가능한지 확인한다.	불합격

TSI 요건·기준	검사 방법	검사 기준 및 임계값	결과
장비(예, 자력구조장치, 신호기)의 위치, 비상구 [4.2.9.3.5]			
운전실의 제어장치와 표시장치를 표시하기 위해 조화된 그림문자를 사용해야 한다. [4.2.9.3.5]	육안검사	사용된 그림문자를 UIC leaflet 612에 제안된 그림문자와 비교해 본다.	합격
차상 도구와 휴대용 장비 [9.5.3]			
비상시에 다음과 같은 장비가 필요할 때를 대비해 운전실 안 또는 근처에 다음 장비를 보관할 공간이 있어야 한다: 적색등과 백색등이 있는 손전등, 궤도회로 단락 장비, 선로 구배에 따라 주차 성능이 충분하지 않을 경우, 바퀴 괸목, HS RST TSI 2008 4.2.7.2.3.2항에 따른 소화기, 화차의 유인(manned) 견인장치, SRT TSI에 명시된 인공호흡장치. [4.2.9.4]	육안검사	충분한 공간이 이용 가능한지 확인한다.	합격

○ 일반적으로, 분석 결과 테스트된 EUDDplus 운전실 제어대가 CR TSI Loc&Pas RST의 많은 부분에 적합한 것으로 나타났다. EUDDplus 운전실 제어대, 따라서 UIC 612의 주요 부분이 CR TSI Loc&Pas RST를 준수하는 것으로 증명되었다. (CR TSI Loc&Pas RST를 기준으로 평가한 EUDDplus 운전실 제어대의 모든 항목이 UIC 612를 준수한다). UIC 612는 적어도 EUDDplus에서 달성, 시험된 모든 부분에 대해 운전실 제어대가 필수 요건을 충족하도록 하는 탄탄한 기초이고, 따라서 상호운용성(interoperability)을 개선하기에 적절한 것으로 나타났다.

○ CR TSI Loc&Pas RST 요건의 관련 절을 53개 항목으로 나누어 테스트된 EUDDplus 운전실 제어대와 비교했다. 이 항목들의 79 %는 TSI의 요건을 충족했다. 8 %는 요건을 충족하지 않았고, 항목 중 13%는 정확하게 평가할 수 없었다.

○ 교차승인과 더 효율적인 승인 절차의 개발을 위한 주요 결론은 다음과 같다.

- 투명성과 공통의 이해성을 높이기 위해 문서마다 일관적인 용어를 사용하는 것이 매우 유용할 것이다. 예: 발전제동 명령은 UIC 612에 정의된 견인/다이내믹 브레이크 제어장치를 결합한 것과 같다. 양 문서(TSI와 UIC 612)는 다른 용어를 사용한다.
- UIC 651과 640에서 파생된 UIC 612 내에 언급되어 있지 않은 작업들은 통합되어야 한다.

- 예: 대부분의 그림문자가 UIC 612에 정의되어 있지만, 일부는 UIC 640에만 언급되어 있다. 예 - 비상 브레이크(640 Appendix F 1), 비상 앞유리 와이퍼 조절장치(640 Appendix F 4), 2개 톤 경적(640 Appendix F 22) 그리고 엔진 격실 조명(640 Appendix K 1).
- 양 문서(TSI와 UIC 612)의 용어가 더 구체적이면, 적절한 측정 방법의 정의가 단순화될 것이다. TSI의 경우, 디스플레이의 설명이 표준화된 평가 절차를 제안/정의하기 위해 필요한 만큼 정확하지 않고, 실행 지침 또는 매뉴얼의 형태일 수 있다.
- 이 구에 따르면, 적절한 사용과 반응을 분류하기 위한 주안점이 분명하지 않다.
- TSI의 내용에 맞게 UIC 612의 내용을 수정하는 것이 유용할 것이다. 이 프로젝트의 범위 내의 적합성 검사에 따라, 비상 브레이크에 대한 편차가 발견되었다.
- ASC 제어장치의 잠금을 해제하려면, UIC 612에 명시되어 있는 대로 핸들을 반시계방향으로 돌려야 한다. 일부 기관사와 기술자들은 ASC 제어장치의 핸들을 반시계방향으로 돌려 잠금 해제하는 것이 쉽지 않을 것이라고 말했다. 알스톰은 핸들을 시계방향으로 돌려야 잠금이 해제되는 ASC 제어장치로 추가 시험을 했는데, 그 결과 핸들을 시계방향으로 돌릴 때 잠금 해제가 훨씬 더 쉬운 것이 판명되었다. 따라서 UIC 612가 ASC 제어장치의 위치 또한 고려해야 한다고 제안된다. 제어장치가 운전실 제어대 오른쪽에 있으면, 회전 방향이 반시계방향이어야 한다. 제어장치가 제어대 왼쪽에 있으면, 회전 방향이 시계방향이어야 한다.
- 현 EU 정책(상호운용성 지침)에 따라, EUDDplus 사양이 의무적인 필수 요건을 충족하는지 확인하는 접근법이 성공적인 것으로 판명되었다.
- EUDDplus 사양(즉, UIC 612)으로 ERA 스프레드시트를 보충함에 의해 유럽 교차 승인(European Cross Acceptance) 활동이 지원되었다.
- 필수적 결과로, EUDDplus 사양을 상호운용성 기술사양(Technical Specifications of Interoperability, TSI)(준수가 의무적임)과 비교해 확인하면 매우 유용한 것으로 판명되었다. 특히 만약 UIC 612처럼 EUDDplus 사양이 시스템의 기초가 되면, 그에 따라 적합성 평가의 이점이 증가할 것이다. 따라서 각 TSI에 대한 이러한 적합성 평가가 철도의 다른 하부시스템의 사양에 대해서도 권장된다. 평가를 위해, EUDDplus 내에서 상세화된 절차가 다른 철도 하부시스템에 쉽게 적용될 수 있다.

○ EUDDplus 결과가 유럽 수준에서 다음 표준화 활동에 적극적으로 사용될 것이다.

- UIC 612, EUCAB 그리고 EUDDplus 결과를 바탕으로 한, UIC 와 UNIFE 간 합의된 문서인 기관사-기계 인터페이스의 기술 권고(TecRec). 이 문서는 CEN WG37 활동과 EUDDplus 제어대 시작품 구현에 기여한다.

- 부분적으로 EUDDplus 프로젝트의 결과를 바탕으로 한 prEN CAB은 CEN TC256과 밀접한 관계가 있다.

17. 특허·논문 동향분석

가. 특허동향분석

○ 분석 방법론

- 도시철도차량 운전실 설계기준 및 표준화 기술의 전반적인 특허 성과를 비교해 보기 위해서 대분류 및 중분류에 대한 키워드 검색을 통해 주요국에 대한 해당 분야에서의 특허 성과 수를 비교함

<표 62> 특허 성과 분석을 위한 분류 및 키워드

대분류	중분류	키워드
도시철도차량 운전실 설계기준 개발 및 표준화 검증방안 기획	A기술. 도시철도차량 운전실 설계기준 개발 방안 기획 (Urban railway vehicle cabin design)	- urban railway vehicle - standardization of driver's cabin - human engineering - human error - job analysis
	B기술. 도시철도차량 운전실 표준화 검증방안 기획 (Urban railway vehicle cabin standard)	

<표 63> 특허 성과 분석을 위한 검색식 및 결과

기술분류	중분류	검색 결과	유효 특허
대분류	Tab=((subway or (urban adj rail*) or rail* or locomotive or tram or train or (rolling adj stock)) near3 ((cab or cabin or (operating adj room))))	1201건	83건
중분류 (A기술, B기술)	(ALL=(((subway or (urban adj rail*) or rail* or locomotive or tram or train or (rolling adj stock)) and (cab or cabin or (operating adj room))))) AND (CTB=(((human* adj factor* adj engineering) or ergonomics or HFE or (human* adj engineering))));	32건	2건

○ 특허 성과 분석결과

- 철도차량 운전실 설계기준과 표준화와 관련된 주요 국가별 특허 성과는 일본, 유럽을 중심으로 지속적인 활동이 이루어지고 있음.

- 한국의 경우 2006년 이후로 활발한 특허 성과를 보여주고 있으며, 등록특허를 보유한 주요 주체들의 현황을 보면, 현대로템에서 5건, 한국철도기술연구원에서 2건, 코레일공항철도(주)에서 1건 등 해당 분야에서 관련 특허를 보유하고 있음.

- 전반적으로 일본, 유럽, 미국, 중국에 비해 한국의 관련 분야 특허 성과가 미흡하지는 않지만, 유관기관(한국철도기술연구원, 한국철도공사 등)이 주체가 되는 특허는 많지 않은 것으로 조사되어 보다 활발한 특허출원 활동이 요구됨.

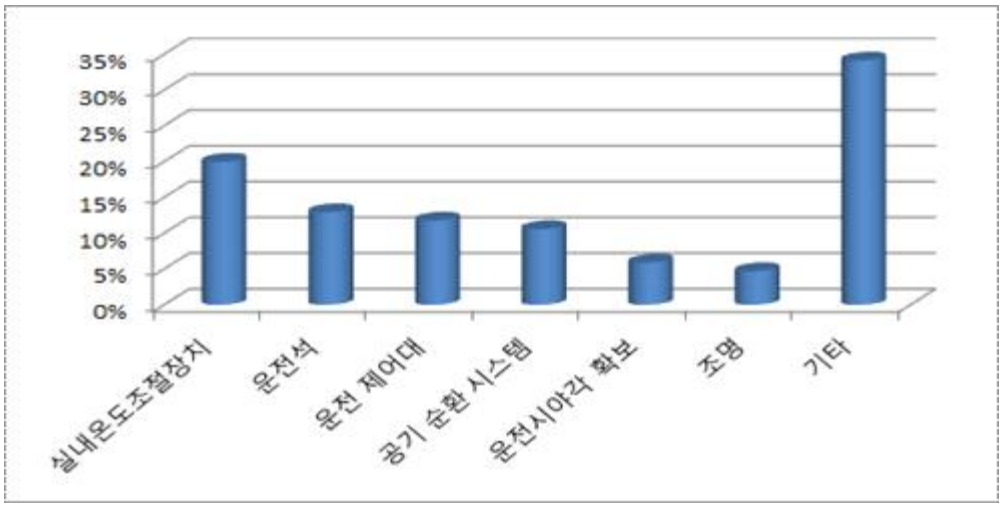
<표 64> 각국별 철도차량 운전실 설계기준 및 표준화 분야 등록특허 연도별 현황

구분	2000 이전	2000	2001	2002	2003	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	총합계
일본 (JP)	3	2	1		5	1	1	1	1	2	2	2		21
유럽 (EP)	4			2			4	2	3	1	1	2		19
미국 (US)	5	1	1	1		1		1	2	1	3			16
중국 (CN)				1		1		4	2		3	2	1	14
한국 (KR)					1		1	2	3	2	4	2		15
총합계	12	3	2	4	6	3	6	10	11	6	13	8	1	85

- 철도차량 운전실의 설계기준 개발에 활용 가능한 기술이 상당수 존재하며, 운전실 공기 순환 시스템, 운전 제어대, 운전석, 운전시야각 확보 등 다양한 측면에서의 설계기준 관련 특허가 조사되었음.

- 특히, 운전 제어대 및 운전석과 관련하여 다양한 형태를 제시하고 있으나, 인간공학적인 설계기준이 고려되었는지 확인이 어렵고 설계기준의 표준화가 가능한지의 여부를 언급한 사례는 없음.

- 다양한 관점에서 철도차량 운전실을 개선하기 위한 특허들은 다수 존재하였으나, 다양한 차종을 고려한 운전실 설계기준의 표준화 부분과 관련한 특허는 아직까지 없는 것으로 파악됨.



<그림 102> 철도차량 운전실 설계기준 및 표준화 분야 등록특허 주제

나. 논문동향분석

○ 분석 방법론

- 도시철도차량 운전실 설계기준 및 표준화 기술의 전반적인 논문 성과를 비교해 보기 위해서 대분류 및 중분류에 대한 키워드 검색을 통해 해당 분야에서의 논문 성과 수를 비교함

<표 65> 논문 성과 분석을 위한 분류 및 키워드

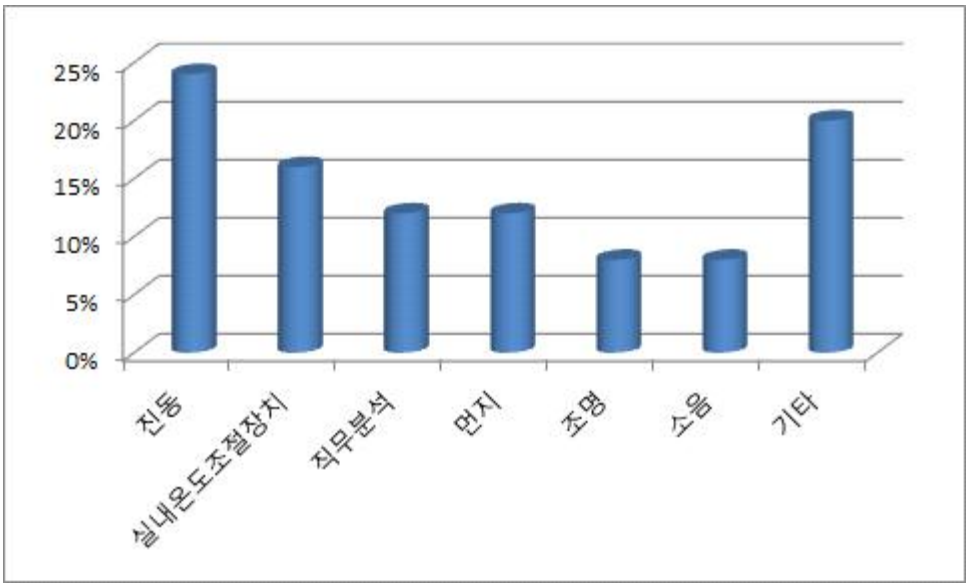
대분류	중분류	키워드
도시철도차량 운전실 설계기준 개발 및 표준화 검증방안 기획	**A기술.** 도시철도차량 운전실 설계기준 개발 방안 기획 (Urban railway vehicle cabin design)	- urban railway vehicle - standardization of driver's cabin - human engineering - human error - job analysis
	B기술. 도시철도차량 운전실 표준화 검증방안 기획 (Urban railway vehicle cabin standard)	

<표 66> 논문 성과 분석을 위한 검색식 및 결과

기술분류	중분류	검색 결과	유효 논문
대분류	All=((subway or (urban adj rail*) or rail* or locomotive or tram or train or (rolling adj stock)) and ((cab or cabin or (operating adj room))))	248건	24건
중분류 (A기술, B기술)	(ALL=(((subway or (urban adj rail*) or rail* or locomotive or tram or train or (rolling adj stock)) and (cab or cabin or (operating adj room))))) AND (all=(((human* adj factor* adj engineering) or ergonomics or HFE or (human* adj engineering))));	6건	1건

○ 논문 성과 분석결과

- 유효논문(관련논문) 25건 중 운전실의 환경적인 측면, 즉 소음, 진동, 먼지, 조명, 실내온도조절장치 등을 고려한 운전실 설계기준의 도입을 권장하는 논문이 많았고 그 외에 기관사의 인지능력, 신체조건, 심리상태 등을 고려하여 체계적으로 직무를 분석한 논문 등이 있었음.
- 최근(2010년)에는 운전실에 제공되는 신호 체계가 기관사의 운전 직무 수행능력에 끼치는 영향을 분석하는 연구가 진행되고 있으며, 기관사가 쉽게 인지할 수 있도록 설계하도록 언급하고 있음.
- 국내 철도기술연구원에서는 서울 지하철을 대상으로 운전실에 유입되는 미세먼지 및 유입되는 공기의 양을 측정하여 쾌적하지 못한 환경에 의해 운전 직무 수행 능력이 떨어질 수 있음을 언급하고 있음.
- 철도차량 운전실 설계기준 개발과 관련하여 운전실의 환경적인 측면을 고려한 여러 가지 연구개발이 시도되었으나, 다양한 차종을 고려한 운전실 설계기준의 표준화 부분에 대해서 제출된 논문은 부족함.



<그림 103> 철도차량 운전실 설계기준 및 표준화 분야 연구 주제

3절. SWOT 분석

○ 현재 철도공사에서는 KTX, 신·구형 전기기관차, 디젤전기기관차, 저항제어 전동차, VVVF제어 전동차, 도시통근형 동차(CDC), 새마을호 동차(PP) 및 전기동차형 여객열차(EMU) 등의 차량을 운영하고 있으며, 서울메트로를 비롯한 경전철 등 지속적인 전철화 확대로 인해 차량의 종류가 더욱 많아질 것으로 예상되므로 철도차량 제작 시 운전실 설계에 대한 기준 정립이 중요함

○ 많은 인원을 수송하는 대중교통수단인 도시철도의 안전은 전기·시설·차량 등 각 분야의 기술과 운영자의 노하우로 확보되고 있으며, 특히 열차를 직접 운전하는 기관사에 의해 취급되는 운전실 내부 기기 및 장치들의 배치는 안전 확보를 위하여 대단히 중요함

○ 운전실의 환경적 요건(소음, 진동, 조명, 공기의 질, 냉/난방, 온・습도, 속도에 따른 운전실 기압차 등)에 따라 정신적, 육체적으로 피로 및 운전에 대한 집중도가 현저히 낮아짐으로 이러한 문제는 기관사의 인적오류에 밀접한 영향을 줄 수 있음으로 기술적인 환경개선이 시급함

○ 차량 제작사의 여건과 차량이 개발되는 시기에 따라 운전실 내부 장치 및 기기들의 명칭과 배치에 차이가 발생하고 있으므로 기관사의 순간적인 응급조치 상황에서 기기조작 오류를 유발하기 때문에 철도 수송안전성 향상을 위하여 사용용어의 표준화 및 기기/장치의 표준화 방안이 필요함

○ 국내에서는 원자력발전분야의 한국원자력연구소를 중심으로 인적오류에 대한 연구가 이루어져 왔고, 다른 분야에서는 아직 관련 연구가 부족한 상황임

○ 국외에서는 원자력, 항공, 선박, 석유화학 분야 등에서 인적오류에 대한 연구가 많이 이루어져 왔고, 근래에는 철도, 의료 분야에서도 인적오류 관련 연구가 활발히 진행되고 있음

○ 철도사고의 50% 이상이 인적요인이 개입된 사고로 해석하는 등 영국, 미국 등 세계 각국은 공통적으로 인적요인의 심각성을 인식하고 있고, 인적오류를 저감하여 철도의 안전성을 높이려는 시도로 국가 차원의 정책적인 투자를 확대하고 있는 추세임

○ 우리나라도 국토해양부의 2차 철도종합안전계획(2011~2015)에서 철도 종사자 작업환경 개선, 직무설계 등 인적요인 감소대책을 추진할 예정임

○ 인적오류란 인간과 작업 대상인 시스템사이에 이루어지는 상호작용에서 생길 수 있는 작업 대상과 작업자간의 부조화 또는 불일치에서 발생함

○ 따라서 효율적인 인적 오류에 대응과 인간공학적 설계평가를 위해서는 인간과 시스템을 하나의 인간-기계 연계체계(MMIS: Human-Machine Interface System)로 이해하고, 이 연계 체계 내에서 이루어지는 인간-기계 상호작용(MMI: Man-Machine Interface)을 연구하여야 함

○ 영국 RSSB, 미국 FRA, 호주 철도는 철도차량 운전실 인간공학 평가 가이드라인 개발하였고, 철도차량 운전실의 환경(소음, 진동, 공기의 질 등), 철도차량 운전실의 배치(접근성, 가시성, 의자 등), 워크스테이션 디자인(디스플레이, 장비 등)의 요소에 대한 자국 철도에 적합한 종합적인 규정 및 지침을 제시하였고, 최근 영국 RSSB는 철도차량 운전실 인간공학 평가 연구를 활발히 수행 중임

○ 국제철도연맹 UIC는 철도차량의 수출 및 철도의 국가 간 이동시 회원 국가 간의 권고사항으로 철도차량 운전실 인간공학 평가 가이드라인을 제시함

○ 최근 국내 철도에서는 철도종합안전기술개발사업이 진행되어 연구내용 중 인적요인 연구와 관련된 「안전업무종사자 인적오류관리 및 업무적성 평가기준 개발」 과 「안전업무종사자 교육훈련체계 구축」이 진행됨

○ 해당 연구들은 제도적 관리체계 중 자격제도 및 교육훈련에 통해 기관사의 인적오류를 줄이는데 목적이 있으며, 인적요소 관리체계 중 인간-기계 연계체제(MMI) 관리 형태, 철도차량 운전실의 환경, 배치, 워크스테이션 디자인과 같은

작업환경의 평가 및 개선에 관한 연구는 진행되지 못 하였음

○ 따라서 기관사의 인적오류 예방을 위해서는 현재의 자격제도, 교육훈련과 더불어 철도차량 운전실의 환경, 배치, 워크스테이션 디자인과 같은 작업환경의 평가 및 개선이 필요함

○ 해외의 철도규정(UIC)에 따르면, 운전실 데스크 설비기준 및 주요기기의 배치, 작동 형태에 대한 기준이 확립되어 있으며, 기타설비(운전실 의자, 헤드라이트, 전방 시계조건 등)에 대한 기준까지 명시되어 있음에 기인하여 국내 기관사들의 신체적 특징과 환경적 요인을 반영한 운전실 설계기준의 확립이 필요함

<표 67> SWOT 분석

S(강점)	W(약점)
◆국가 R&D(철도종합안전기술개발사업) 수행을 통한 직무 분석/부하 분석기술 및 인간오류 분석기술의 기술기반 구축 -철안사 연구내용 중 「안전업무종사자 인적오류관리 및 업무적성 평가기준 개발」에서 기관사 직무 분석/부하 분석기술 개발 -철안사 연구내용 중 「안전업무종사자 교육훈련체계 구축」에서는 인간오류 분석기술의 기술 개발 **◆중대사고 분야 선진국수준 안전성 확보** -열차사고율은 선진국 수준 달성/유지 -안전성능 감시와 위험예측을 위한 국제기준에 부합하는 철도안전지표의 관리 **◆차세대 고속철도, 차세대 전동차, 한국형 경량전철, 틸팅차량 등 차량설계의 기술보유** -원내 철도차량 운전실의 설계기술 보유에 따른 차량설계의 기술지원 확보가 용이함 **◆영국, 미국, UIC 등 관련 기술의 보유기관과의 네트워크 구성** -우리연구원이 국제철도안전학회(IRSC)의 핵심구성기관으로 등록됨에 관련 기술의 보유기관과 국제적 연구 네트워크의 구성이 용이함	**◆국내 인간공학 연구 미비** -국내에서는 원자력발전 분야를 중심으로 인적오류에 대한 연구가 이루어져 왔고, 다른 분야에서는 아직 관련 연구가 부족한 상황임 -국외에서는 원자력, 항공, 선박, 석유화학 분야 등에서 인적오류에 대한 연구가 많이 이루어져 왔음 -근래에는 철도, 의료 분야에서도 인적오류 관련 연구가 활발히 진행되고 있음 **◆철도차량 운전석의 인간공학적 설계 기준과 평가에 원내 기술 미비** -영국, 미국, UIC 등 국외 철도차량 운전실 가이드라인과 같이 철도차량 운전실의 환경(소음, 진동, 공기의 질 등), 철도차량 운전실의 배치(접근성, 가시성, 의자 등), 워크스테이션 디자인(디스플레이, 장비 등)의 요소에 대한 종합적인 규정 및 지침이 존재하지 않음 -이에 따른 철도차량 운전석의 인간공학적 평가에 관한 연구 미비 **◆국내 철도에서 기관사의 인적오류사고의 지속적 발생에 따른 대형 철도사고의 발생 우려** -국내 철도에서 인적요인의 중요성을 표면화시킬 만한 대형 사고가 없었으나, 전체 철도사고의 30~60% 정도가 인적오류에 의한 것으로 나타났음 -일본, 미국, 네덜란드 등에서 최근 발생한

	대형 인명피해사고의 주요 원인은 종사자의 인적오류에 의해 발생
O(기회)	T(위협)
◆녹색성장의 원동력으로서 고속철도망을 확대하는 철도중심의 국가 교통정책 추진 -정시성, 안전성, 친환경성이 장점인 고속철도 확대를 통한 교통경쟁력 강화 **◆인적오류를 저감 위해 국가 차원의 정책적인 투자 확대** -영국, 미국 등 국가 차원의 정책적인 투자를 확대 -국내의 경우 철도종합안전계획에서 철도종사자 작업환경 개선, 직무설계 등 인적요인 감소대책의 지속적 추진 **◆철도 인간오류 연구 중 선진국을 중심으로 철도차량 운전실에서 인간-기계 상호작용(MMI)에 관한 연구가 활발히 진행됨** -영국 RSSB, 미국 FRA, 호주 철도, UIC 등에서 철도차량 운전실 인간공학 평가 가이드라인 제시 -평가 가이드라인에 따라 맞추어 운전실의 인간공학적 평가에 대한 연구가 활발히 수행됨 -국외 연구결과의 벤치마킹 및 비교분석을 수행하고, 국내 철도분야로의 적용가능성 검토 및 세부방안을 제시할 수 있는 기반이 조성됨 **◆차량설계 시 인간공학적 설계에 대한 인식 확대** -고속철도, 차세대 전동차, 한국형 경량전철, 틸팅차량 등 신규 철도차량 중심으로 승객과 승무원의 편의성을 인체공학적 설계측면 고려 **◆철도차량의 해외진출에 따라 고객의 만족을 위한 운전실의 인체공학적 디자인 요구 증대** -브라질, 미국 등으로의 고속철도시스템 해외수출을 위한 국가적인 노력 전개 -운전실의 인체공학적 디자인이 수출 차량의 강점이 될 수 있음	**◆철도 고속화, 자동화 등 새로운 기술의 도입에 따른 안전위협요소의 등장** -고속화로 인한 충돌, 탈선의 가능성과 피해심각도 증가 우려 -기관사의 역할 변화와 철도차량 운전실의 질적, 양적 변화 심화 **◆철도종사자의 오류로 인한 대형철도사고 빈발** -일본, 미국, 네덜란드 등에서 최근 발생한 대형 인명피해사고의 주요 원인은 종사자의 인적오류에 의해 발생 **◆운행선 주변 공사장설비, 도로자동차, 공중의 선로 침입으로 인한 철도사고 및 운행 장애의 지속적인 발생** -열차지연 및 종사자의 업무부담 증가와 추가적인 안전설비 설치운영에 따른 철도운영자 부담 증가 **◆철도교통 투자확대로 운송여건이 개선됨에 따라 철도를 이용한 위험물 및 화물의 운송량 증가** -석유 화학물·화약류 등 철도를 이용한 위험물 수송 증가 -화물 수송 및 화물열차 운행 증가에 따른 안전관리 필요 · 화물수송량 확대 : 6.2%(4,450톤, '09년) → 20%('20년)

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표



○ 복선화, 전철화, 자동화 등 지속적 철도시설개량과 최첨단 차량 도입, 유지보수 장비현대화, 철도종사자 사고방지, 교육훈련 강화와 대국민 안전홍보, 안전시설물 확충, 철도안전 관리강화 등에 따라 철도사고는 감소하고 있으나 휴먼에러와 연관된 운행 장애 및 관리장애는 증가추세에 있음

○ EMU 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식,

디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급

○ 운전자 부주의의 원인은 운행 중인 철도차량 운전실의 인간-기계 인터페이스의 상이함에 따른 휴먼에러(Human Error)와 고속·소음·터널·협소한 공간 등 열악한 근무환경에 따른 운전자 스트레스와 부하(workload)가 주원인으로 분석되고 있음

○ 유럽철도의 경우 기관사 휴먼에러 및 운전실 제작비용 최소화를 위해 운전실 표준화를 진행하였음.

○ 따라서 본 연구의 비전을 “운전실 표준화 및 최적의 인간공학적 운전실 설계로 인한 기관사 휴먼에러 및 운전실 제작비용 최소화”로, 연구목표는 “EMU 철도차량 운전실 표준화 및 ICT 융합 시뮬레이터 개발”로 설정함

○ 세부목표는 ① EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발, ② EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발로 설정

○ “EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발”의 목표 아래 ① 철도차량 운전실 표준화, ② 운전실 시험방법 및 절차를 개발하고 함

○ “EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발” 목표 아래 ① 표준에 따른 운전실 기기 개발, ② ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터를 개발하고, 최종적으로 ③ 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축하여 개발 기술의 적합성을 평가하고 함

○ 연구개발을 통해 ① 운전실 표준화를 통한 휴먼에러 예방 사회적 편익 증대, ② 표준화를 통한 철도차량 운전실 제작비 절감, ③ 철도안전법 개정에 따른 연구결과물의 철도차량 형식승인에 활용에 따른 안전성 확보, ④ 국제수준의 운전실 표준화를 통한 철도차량의 신뢰성 향상의 효과가 예상 된다.

2절. 기술개발에 따른 미래상

1. 현황 및 미래상

○ 철도시스템에서의 인간공학 적용은 다른 교통수단 (항공기, 도로 등)에 비해 그 기간이나 적용범위가 상당히 제한받아 왔으며, 최근에는 다양한 기관들의 펀드를 지원받아 인간공학을 적용한 철도시스템에 관한 연구들이 발표되고 있지만 (예, 스웨덴, 독일, 네덜란드, 일본, 영국 등) 아직까지는 다른 교통수단에 비해 많은 양의 성과물은 발표하지 못하고 있는 실정

○ 현재 차량 제작 시 설계기준과 관련하여 기관사들에게 설문을 받고, 운전분야 근무경력자(기관사, 운전팀장)와 차량설계 담당자들이 참석하여 현 차량의 기기 배치와 모양수정 및 추가되는 보안장치 등을 고려하여 제작하고, 신조차량에 대한 외형 및 내부의 디자인 변경에 따라 기기와 장치를 제작하고 있음

○ 최근, 취급부주의사고(휴먼에러)에 대한 연구가 진행되면서 철도시스템에서의 인간공학의 역할 중요성을 인정받고 있고 특히, 외국에서는 신호와 새로운 운행시스템의 적용에 있어서 인간특성을 반영한 장치들이 소개되고 있으며, 이러한 시스템의 장점 즉, 중앙센터와 계기판의 집중화, 무수히 많은 기기들의 소량화, 각종 기기와 장치의 기능들을 통합을 통해 중앙센터에서의 기능을 간단하면서도 안전적 부분을 강화하였으며, 이를 통해 열차기관사와 중앙센터사이에서 발생하는 정보처리의 속도와 통신시스템의 효율화 등 영국에서는 기존시스템에 대한 대변혁을 가지고 오고 있음

○ 철도시스템은 인간공학적 측면이 강조될 전형적인 교통수단이라고 할 수 있고 모든 형태의 작업에서 필요하며 수송제어, 모니터링, 계획 등 거의 전 부문에서 인간 특성은 적용되고 있음. 즉, 차량의 제작에서부터 운행까지 그리고 승객의 수송에서부터 안전까지 처음부터 끝까지 사람의 손길이 닿는 곳이면 반드시 고려해야 함

○ 2003년 영국에서 개최된 Rail Human Factors에서는 특히 철도에서의 신호체계와 안전운행에 대한 연구들이 많이 발표되었으며 SPAD(Signal passed at danger)에 관한 교육이 강조되었고 이외에도 승무원의 피로도를 고려한 운행시간표의 제작, 객차관리에 있어서 작업자의 인체특성을 반영한 장치개발, 철도사고 예방 및 후속조치에 필요한 디스플레이의 설치 등에 대한 다양한 연구들과 응용프로그램에 대한 연구가 선행되고 있음

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합

철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 현재 운행되는 철도차량 운전실의 lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 현대화된 디스플레이의 장착 등에 의해 차량마다 다르고, 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 발생하고 있음

○ 현재 도시철도차량 기관사는 승무사업상 1개 사업을 출근하여 승무할 열차번호에 따라 운전실이 서로 다른 차량을 2번에서 3번 정도 변경운행(기기취급오류발생 가능)함에 따라 취급부주의 사고를 예방하기 위해서는 운전실 표준화에 대한 연구가 선행되어야 함

○ 또한, 운전실의 환경적 요건(소음, 진동, 조명, 공기의 질, 냉/난방, 온·습도, 속도에 따른 운전실 기압차 등)에 따라 정신적, 육체적으로 피로 및 운전에 대한 집중도가 현저히 낮아짐으로 이러한 문제는 기관사의 인적오류에 밀접한 영향을 줄 수 있음으로 기술적인 환경개선이 선행 되어야 함

○ 철도안전 관계법령 중 운전자에 대한 조항과 기관별로 다른 운전취급규정이 면허 시험을 보는 기관별로 다르고, 이례적인 사고발생시 기관사들의 취급절차가 복잡함에 따라 이차적인 사고발생이 자주발생하거나 사고복구에 많은 시간이 소요되므로 기관사 업무범위의 간소화가 필요

○ 철도기관사들의 직무스트레스(외상 후 스트레스장애 포함)를 분석하여 작업관련 스트레스를 감소시키고, 조직문화 및 작업능률 향상에 기여

○ EMU 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급

○ 이와 같은 배경에 따라 EMU 철도차량 운전실 표준화를 수행하고, 운전실의 검증하고, 향후 교육 훈련용으로도 활용 가능한 EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터를 개발하고 함

○ 표준안과 개발 기술은 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 실험을 통해 검증을 수행하여 연구결과물의 활용도를 높이고, 최종적으로 제도화를 추구하여 기존 철도차량 운전실 개선 및 신규 철도차량의 도입·개발 시 활용하고자 함

○ 본 과제를 통해 운전실 표준화를 통한 휴먼에러예방 사회적 편익 증대, 표준화를 통한 철도차량 운전실 제작비 절감, 철도안전법 개정에 따른 연구결과물의 철도차량 형식승인에 활용에 따른 안전성 확보, 국제수준의 운전실 표준화를 통한 철도차량의 신뢰성 향상의 효과가 예상됨

2. 기술개발 전략 및 효과

○ 본 과제에서는 먼저 철도 운영기관의 기존 EMU 철도차량 운전실의 문제점을 다음과 같이 세부적으로 분석하여 개선요구 사항을 도출하여 현장의 의견을 파악하고자 함

- EMU 철도차량 기관사 휴면에러 형식 및 원인 분석
- EMU 철도차량 기관사 직무 분석
- EMU 철도차량 기관사 신체 자료, 신체질환 및 정신질환 분석
- EMU 철도차량 기관사 운전실 요구사항 도출(설문, 인터뷰 포함)

○ 다음으로 기존 EMU 철도차량 운전실의 기기 장치 표준화에 앞서, 기존 EMU 철도차량 운전실의 기존 EMU 철도차량 운전실 HW·SW의 기능(FBS, Functional Breakdown Structure) 및 구조(PBS, Physical Breakdown Structure) 분석하고 모듈화 하여 EMU 철도차량 운전실 HW/SW의 표준 기능(FBS) 및 표준 구조(PBS) 개발하고자 함 (용어 표준화 포함)

○ 다음으로 철도안전법 개정에 따른 철도차량 형식승인 등에 활용 가능한 국제적인 수준의 EMU 철도차량 운전실 설계 기술기준 및 가이드라인을 제시하고, 이의 검증을 위한 EMU 철도차량 운전실 설계 검증 절차 및 기준 개발(운전실 DMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근)을 개발하고 제도화를 추진한다.

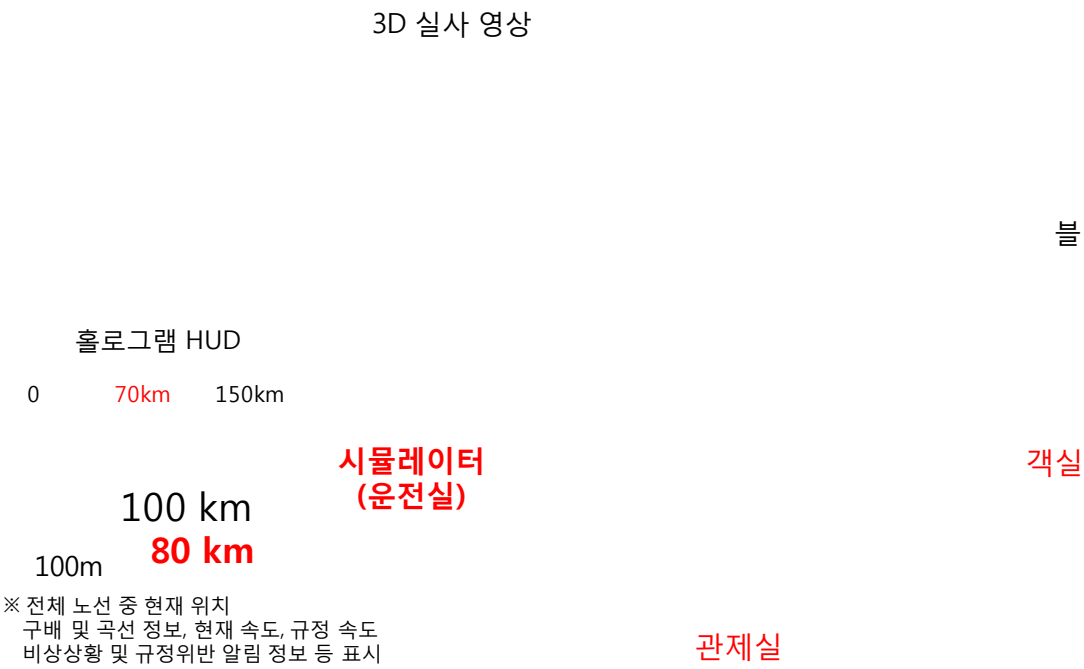
○ EMU 철도차량 운전실 설계 기술기준 및 가이드라인에 따른 운전실 기기/장치의 표준규격을 제시하고, 제도화를 추진한다.

○ 앞의 연구내용을 기술적으로 지원하기 위해 다음과 같은 검증평가 기술개발을 수행한다.

- 기관사 휴먼에러 분석 기술 개발 및 적립
- 철도차량 운전실 감성평가 기술 개발 및 적립
- 기관사 생체신호를 활용한 운전실 평가기술 개발 및 적립
- 가상모형화(VR), Mockup, 시뮬레이터 실험, 실차 실험 등을 활용한 운전실 적합도 평가 기술 개발 및 적립
- EMU 철도차량 운전실 구성품 평가기술 개발(운전실 MMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근) 및 적립
- 철도차량 운전실 평가 기술 시범적용 및 검증

○ 개발된 기술을 실험하고 검증하기 위해서는 시뮬레이터 및 실자 테스트가 반드시 요구되며, 이를 위해 본 과제에서는 EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축를 구축하고자 하며, 개발시스템의 지속적 활용을 위해 기관사가 최적의 운전기술을 습득하도록 교육하여 안전운행 및 에너지 절감 운행을 할 수 있고 사고발생시 실시간 영상(운전실-관제실-객실)을 통하여 2차적인 병발사고를 최소화할 수 있는 다음 사양의 3D 홀로그램 영상기반 ICT융합 도시철도 운전 시뮬레이터 기술을 개발하고 하며, 다음과 같은 사양을 가져야 함

- 기관사 운전 오류 최소화 및 비상상황 즉각 대응을 위한 각종 DMI 디스플레이의 위치 및 기기를 임의로 화면에 배치 가능한 기술
- 철도차량 기관사를 대상으로 기존 철로 및 신규 철로를 3D 영상으로 디스플레이하여 실제 상황과 동일한 환경 (예외상황, 돌발 상황, 비상상황 등을 임의 발생)에서 교육할 수 있는 시뮬레이터
- 기관사가 즉각 대응할 수 있게 차량 앞 유리 하단에 주요 운행정보 및 비상상황을 표시할 수 있는 홀로그램 기반 HUD(Head Up Display) 기술 (철도차량 내부 정보를 디스플레이 가능한 정보로 변환하는 기술과 변환된 정보를 유리에 투영하는 홀로그램 기술) 및 음성 알림 기술
- 시뮬레이터를 통한 기관사 교육 결과분석 및 평가 기술
- 위치검지 기술 및 영상통화 기술을 블랙박스 영상과 연계하여 실시간으로 비상상황에 대응할 수 있는 ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템
- 비상상황에 따른 영상 및 음성 안내 시스템



<그림 104> ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터

- EMU 철도차량 운전실 표준규격에 따른 운전실 HW/SW 구성품 제작 및 시뮬레이터 개발(디스플레이 포함)
- 시범 노선 3D 실사 영상 획득 및 DB 구축 기술 개발 (규정 속도, 구배, 곡선 정보 포함)
- 시범 노선에 시뮬레이터를 탑재한 Test-bed 구축
- 실차 적용을 통한 EMU 철도차량 운전실 표준규격 유효성 확인
- 시험 운영을 통한 결과 분석 및 문제점 보완

○ 본 연구결과를 활용하는 것이 다음과 같은 효과를 발생시켜 수 있어야 함.

- 기관사에 대한 측면 (안전 관련)
  · 최신 인간공학 지식을 적용한 기관사의 근무 조건 개선
  · 오류율 감소뿐 아니라 예기치 못한 특이한 상황에 대한 대응 개선
  · 철도 안전에 관한 최근 프로젝트의 결과를 고려한 기관사의 안전 개선
- 철도 운영사에 대한 측면
  · 전체 수명주기비용(LCC)의 감소
  · 기관사 훈련비용의 감소

· 전자기계 장치를 완전 전자 장치로 교체함에 의한 신뢰성 개선

- 철도 업계에 대한 측면

· "출시 시간" 단축 뿐 아니라 "규모의 경제"를 통한 제조비용 절감

· 업그레이드를 통한 새로운 비즈니스 기회 창출

3절. 연구개발과제 구성

○ 선행 연구개발 사례분석을 통해 본 과제는 ① EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발 세부 과제와 ② EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 세부과제로 구성

<표 68> 연구과제 구성

주관과제	세부과제	연구내용 (세세부과제)
휴먼에러 예방을 위한 철도안전 시스템 개발	1. EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발	1.1 EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출
		1.2 EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발
		1.3 EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발
		1.4 EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발
	2. EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발	2.1 3D 영상기반 EMU 철도차량 운전실 검증·교육용 시뮬레이터 개발
		2.2 ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발
		2.3 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축

○ “EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발” 과제에서는 ① EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출, ② EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발, ③ EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발, ④ EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발을 수행하고 자함

○ “EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발” 과제에서는 ① 표준에 따른 운전실 기기 개발, ② ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터를 개발하고, 최종적으로 ③ 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축하여 개발 기술의 적합성을 평가하고 함

4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발

가. 연구개발 주요 내용

○ EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출

- EMU 철도차량 기관사 휴면에러 형식 및 원인 분석
- EMU 철도차량 기관사 신체 자료, 신체질환 및 정신질환 분석
- 기존 EMU 철도차량 운전실 HW·SW의 기능(FBS, Functional Breakdown Structure) 및 구조(PBS, Physical Breakdown Structure) 분석
- EMU 철도차량 기관사 직무 분석
- 철도차량 운전실 기술동향 및 설계 동향 분석(자동차, 항공 분야 등 선진 운전실 설계 동향 분석)
- EMU 철도차량 기관사 운전실 요구사항 도출(설문, 인터뷰 포함)
- EMU 철도차량 운전실 철도차량 개선사항 도출

○ EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발

- EMU 철도차량 운전실 설계 요건 및 기준 개발(운전실 DMI(Driver Machine Interface)/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점에서 접근)
- EMU 철도차량 운전실 설계 검증 절차 및 기준 개발(운전실 DMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근)

- EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 시범적용 및 검증
- EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 제도화

○ EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발

- EMU 철도차량 운전실 HW/SW의 모듈화, 표준 기능(FBS) 및 표준 구조(PBS) 개발 (용어 표준화 포함)
- EMU 철도차량 운전실 표준 직무절차서 개발
- EMU 철도차량 운전실 표준 규격 개발
- EMU 철도차량 운전실 표준규격 시범적용 및 검증
- EMU 철도차량 운전실 표준규격 제도화

○ EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발

- 기관사 휴먼에러 분석 기술 개발 및 적립
- 철도차량 운전실 감성평가 기술 개발 및 적립
- 기관사 생체신호를 활용한 운전실 평가기술 개발 및 적립
- 가상모형화(VR), Mockup, 시뮬레이터 실험, 실차 실험 등을 활용한 운전실 적합도 평가 기술 개발 및 적립
- EMU 철도차량 운전실 구성품 평가기술 개발(운전실 MMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근) 및 적립
- 철도차량 운전실 평가 기술 시범적용 및 검증

나. 연구개발 추진전략

○ 본 과제에서는 먼저 철도 운영기관의 기존 EMU 철도차량 운전실의 문제점을 다음과 같이 세부적으로 분석하여 개선요구 사항을 도출하여 현장의 의견을 파악하고자 함

- EMU 철도차량 기관사 휴면에러 형식 및 원인 분석
- EMU 철도차량 기관사 직무 분석
- EMU 철도차량 기관사 신체 자료, 신체질환 및 정신질환 분석
- EMU 철도차량 기관사 운전실 요구사항 도출(설문, 인터뷰 포함)

○ 다음으로 기존 EMU 철도차량 운전실의 기기 장치 표준화에 앞서, 기존 EMU

철도차량 운전실의 기존 EMU 철도차량 운전실 HW·SW의 기능(FBS, Functional Breakdown Structure) 및 구조(PBS, Physical Breakdown Structure) 분석하고 모듈화 하여 EMU 철도차량 운전실 HW/SW의 표준 기능(FBS) 및 표준 구조(PBS) 개발하고자 함 (용어 표준화 포함)

○ 다음으로 철도안전법 개정에 따른 철도차량 형식승인 등에 활용 가능한 국제적인 수준의 EMU 철도차량 운전실 설계 기술기준 및 가이드라인을 제시하고, 이의 검증을 위한 EMU 철도차량 운전실 설계 검증 절차 및 기준 개발(운전실 DMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근)을 개발하고 제도화를 추진한다.

○ EMU 철도차량 운전실 설계 기술기준 및 가이드라인에 따른 운전실 기기/장치의 표준규격을 제시하고, 제도화를 추진한다.

○ 앞의 연구내용을 기술적으로 지원하기 위해 다음과 같은 검증평가 기술개발을 수행한다.

- 기관사 휴먼에러 분석 기술 개발 및 적립
- 철도차량 운전실 감성평가 기술 개발 및 적립
- 기관사 생체신호를 활용한 운전실 평가기술 개발 및 적립
- 가상모형화(VR), Mockup, 시뮬레이터 실험, 실차 실험 등을 활용한 운전실 적합도 평가 기술 개발 및 적립
- EMU 철도차량 운전실 구성품 평가기술 개발(운전실 MMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근) 및 적립
- 철도차량 운전실 평가 기술 시범적용 및 검증

2. EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축

가. 연구개발 주요 내용

○ 3D 영상기반 EMU 철도차량 운전실 검증·교육용 시뮬레이터 개발

- 기관사 운전 오류 최소화 및 비상상황 즉각 대응을 위한 각종 DMI 디스플레이의 위치 및 기기를 임의로 화면에 배치 가능한 기술 개발
- 철도차량 기관사를 대상으로 기존 철로 및 신규 철로를 3D 영상으로 디스플레이하여 실제 상황과 동일한 환경 (예외상황, 돌발 상황, 비상상황 등을 임의 발

생)에서 교육할 수 있는 시뮬레이터 개발

- 기관사가 즉각 대응할 수 있게 차량 앞 유리 하단에 주요 운행정보 및 비상상황을 표시할 수 있는 홀로그램 기반 HUD(Head Up Display) 기술 (철도차량 내부 정보를 디스플레이 가능한 정보로 변환하는 기술과 변환된 정보를 유리에 투영하는 홀로그램 기술) 및 음성 알림 기술 개발
- 시뮬레이터를 통한 기관사 교육 결과분석 및 평가 기술 개발

○ ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발

- 위치검지 기술 및 영상통화 기술을 블랙박스 영상과 연계하여 실시간으로 비상상황에 대응할 수 있는 ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발
- 비상상황에 따른 영상 및 음성 안내 시스템 개발

○ 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축

- EMU 철도차량 운전실 표준규격에 따른 운전실 HW/SW 구성품 제작 및 시뮬레이터 개발(디스플레이 포함)
- 시범 노선 3D 실사 영상 획득 및 DB 구축 기술 개발 (규정 속도, 구배, 곡선 정보 포함)
- 시범 노선에 시뮬레이터를 탑재한 Test-bed 구축
- 실차 적용을 통한 EMU 철도차량 운전실 표준규격 유효성 확인
- 시험 운영을 통한 결과 분석 및 문제점 보완

나. 연구개발 추진전략

○ 개발된 기술을 실험하고 검증하기 위해서는 시뮬레이터 및 실자 테스트가 반드시 요구되며, 이를 위해 본 과제에서는 EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축를 구축하고자 하며, 개발시스템의 지속적 활용을 위해 기관사가 최적의 운전기술을 습득하도록 교육하여 안전운행 및 에너지 절감 운행을 할 수 있고 사고발생시 실시간 영상(운전실-관제실-객실)을 통하여 2차적인 병발사고를 최소화할 수 있는 다음 사양의 3D 홀로그램 영상기반 ICT융합 도시철도 운전 시뮬레이터 기술을 개발하고 하며, 다음과 같은 사양을 가져야 함

- 기관사 운전 오류 최소화 및 비상상황 즉각 대응을 위한 각종 DMI 디스플레이의 위치 및 기기를 임의로 화면에 배치 가능한 기술
- 철도차량 기관사를 대상으로 기존 철로 및 신규 철로를 3D 영상으로 디스플레

이하여 실제 상황과 동일한 환경 (예외상황, 돌발 상황, 비상상황 등을 임의 발생)에서 교육할 수 있는 시뮬레이터

- 기관사가 즉각 대응할 수 있게 차량 앞 유리 하단에 주요 운행정보 및 비상상황을 표시할 수 있는 홀로그램 기반 HUD(Head Up Display) 기술 (철도차량 내부 정보를 디스플레이 가능한 정보로 변환하는 기술과 변환된 정보를 유리에 투영하는 홀로그램 기술) 및 음성 알림 기술
- 시뮬레이터를 통한 기관사 교육 결과분석 및 평가 기술
- 위치검지 기술 및 영상통화 기술을 블랙박스 영상과 연계하여 실시간으로 비상상황에 대응할 수 있는 ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템
- 비상상황에 따른 영상 및 음성 안내 시스템
- EMU 철도차량 운전실 표준규격에 따른 운전실 HW/SW 구성품 제작 및 시뮬레이터 개발(디스플레이 포함)
- 시범 노선 3D 실사 영상 획득 및 DB 구축 기술 개발 (규정 속도, 구배, 곡선 정보 포함)
- 시범 노선에 시뮬레이터를 탑재한 Test-bed 구축
- 실차 적용을 통한 EMU 철도차량 운전실 표준규격 유효성 확인
- 시험 운영을 통한 결과 분석 및 문제점 보완

5절. 연구성과의 활용방안

○ 기획과제를 통하여 제안 될 모사업은 EMU 철도차량 운전실 표준화 및 ICT 융합 시뮬레이터 개발을 통화여 EMU 철도차량 운전실의 국가적으로 제도화된 기준 및 표준사양을 정립하고자 하며, 최종적으로 운전실 표준화 및 최적의 인간공학적 운전실 설계로 인한 기관사 휴먼에러 및 운전실 제작비용 최소화하고자 함

○ EMU 철도차량 운전실의 형식인증을 위한 기술기준 및 국가기준 고시

- 형식인증을 위한 기술기준을 선진국 수준으로 향상시킬 수 있도록 세부내용의 기술적 고도화 및 기준 작성
- 작성된 기준에 대하여 유관기관 의견수렴 및 자문, 시험을 통함 검증을 통하여 국가 기술기준 최종(안) 작성.
- 국가기술기준의 최종(안)이 작성되는 순서대로 주관부처인 국토부를 보조하여, 국가시험규격의 최종 고시를 적극 지원해야 함

○ EMU 철도차량 운전실의 형식인증을 위한 시험규격, 표준사양 및 국가시험규격 고시

- 본사업 진행과정 상에서 초기부터 국토부 및 관련기관과의 적극적 의견수렴을 시험규격 정비 대상 선정
- 선정된 대상에 대하여 유관기관 의견수렴 및 자문, 시험을 통함 검증을 통하여 국가시험규격 최종(안) 작성
- 국가시험규격의 최종(안)이 작성되는 순서대로 주관부처인 국토부를 보조하여, 국가시험규격의 최종 고시를 적극 지원

○ 최종 고시된 국가시험규격은 개정예정인 철도안전법 과 연계하여 국내 개발 및 해외 도입 철도차량의 성능인증에 직접적으로 적용될 계획인 바, 연구 성과의 활용가능성은 매우 높음

○ ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터는 EMU 철도차량 운전실의 형식인증, 철도운영사의 신규 철도차량 도입사양 결정, 기관사 교육훈련에 지속적으로 활용 가능함

6절. 연구수행체계 제안

○ 본 과제는 크게 “운전실 표준화 기술 개발”과 “ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발”로 구분 할 수 있음

○ 본 기획연구를 통해 도출되는 모사업의 핵심 연구결과물인 EMU 운전실 설계 및 검증 기준, 표준사양은 국가가 주도하는 철도차량 형식승인에 활용될 예정이므로 공공기관이 수행하고, 국토부, 운영유관기관, 철도산업체(설계, 제작업체 등) 등 유관기관의 인원, 인간 및 감성 공학, SE로 구성된 자문위원회를 구성하여, 설계·검증 기준, 표준사양에 대한한 자문 및 검토를 수시로 수행하며, 세부 기술적 지원을 위한 위탁연구를 수행할 수 있음

○ 본 기획의 모 과제 완료 후 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터는 철도운영사의 신규 철도차량 도입사양 결정, 기관사 교육훈련에 지속적으로 활용 가능하므로 철도운영기관에서 수행하고, 시뮬레이터 제작업체 및 운전실 기기 및 제작업체와 협력하여 연구결과물을 제시하여야 함

○ 차량 발주처인 EMU 철도 운영자가 참여하여 설계 및 검증 기준, 표준사양의 자문 및 검토를 하도록 하며, 운전실 제작업체는 형식승인 및 제작자 승인 검증을 위한 운전실 기기·장치의 대상을 검토하도록 함

4장. 사전 타당성 검토

1절. 정책적 타당성

○ 철도시스템은 인간요소, 선로시설, 열차, 운영·제어, 유지보수 등 다양한 구성요소가 서로 유기적으로 연계되어 운영되는 복잡도가 대단히 높은 시스템임

○ 하드웨어 부분은 최신 기술의 발전과 품질관리 등의 인증 기준이 강화되고 있어서 신뢰도 수준이 많이 개선되어 가고 있으나, 철도 시스템을 운영하는 주체인 인간의 직무수행도에 대한 신뢰도 수준은 하드웨어 설계에서 인적요인에 대한 고려가 미흡함

○ 따라서 상대적으로 불확실도가 높은 인간이 수행하는 직무의 내용과 질에 따라 철도시스템 전체의 수행(안전)도가 결정됨

○ 국토해양부의 2차 철도종합안전계획(2011~2015)에서는 종사자 인적요인의 체계적 관리를 주요 추진 사항으로 두고 있으며, 국내외 철도산업의 인적오류 관련 고시 및 기술수준은 다음과 같음

- 신체적 요인

· 국내 및 해외철도의 경우 신체적 요인과 관련하여 소분류 항목인 연령요인, 신체요인, 감각요인, 운동능력에 대한 기준을 가지고 있음

· 국내철도는 '철도안전법'과 시행규칙을 제정하여 철도 차량운전면허응시자 및 철도종사자 신체검사에 관한 지침이 고시되어 신체검사가 수행되고 있음

· 검사항목으로는 일반결함, 비·구강·인후계통, 치아계통, 피부질환, 흉부질환, 순환기계통, 소화기계통, 생식 또는 비뇨기계통, 내분비 계통, 혈액 또는 조혈계통, 신경계통, 사지, 귀, 눈, 정신계통으로 구성됨

· 영국 철도의 경우 신체적 요인과 관련된 기준으로 의료적 평가 방법 및 적합성 요건, 질병 이후의 평가에 관한 규정이 있음

· 일반적인 의료적 조건으로는 운전업무종사자가 되고자 하는 자의 갑작스런 의식의 상실, 경계 또는 집중력 결함, 갑작스런 무능력, 균형 및 근육운동의 조화의 결함, 이동성의 제한 등의 결함 기준이 있음

· 캐나다의 신체적 관련 규정으로 의료적 평가의 주기, 의료적 적합성 평가, 의료적 요건으로 인한 제한 사항에 대한 기준이 있음

· 의료적 조건으로 운전업무종사자의 신체적 적합성 평가 시, 갑작스런 신체적

결함, 인식기능의 결함, 의식의 결함, 근골격계 기능의 결함, 철도안전에 위협을 줄 것 같은 결함을 고려함

- 정신적 요인

· 정신적 요인의 소분류항목 중 국내외 철도와 비교 시 차이가 발생하는 부분은 수면관련 부분임

· 일반적으로 수면 부족은 작업수행도의 편차를 나타내며, 작업우선순위에 대한 무시, 집중도의 저하를 가져오고 수면 부족시간이 길수록 작업에 악영향이 빨리 나타나고 작업이 길수록 그 영향이 커짐

· 현재 국내 철도의 신체검사 항목에서는 수면관련 항목이 존재하지 않아 법적 기준은 제시되지 않고 있음

· 캐나다 및 호주에서는 의료적 기준으로 수면질환에 대한 적합성 평가를 수행하고 있음

- 심리적 요인

· 국내 철도는 심리적 요인의 소분류 항목인 피로/스트레스 항목과 관련해서는 철도차량운전규칙 제6조 3항에서 과로 등으로 인하여 당해 업무를 적절히 수행하기 어렵다고 판단되는 경우에는 그 업무를 수행하도록 하여서는 아니 된다는 관련 조항만 언급하고 있을 뿐 피로와 관련된 구체적인 조항은 없음

· 호주의 안전법 규정에서는 철도운영자는 운전업무종사자의 피로 관리 요건과 일치하여 프로그램을 준비 및 이행을 요구하는 조항이 있음

· 캐나다 철도안전법은 Section 20(1)을 근거로 WORK/REST RULES FOR RAILWAY OPERATING EMPLOYEES 에서 피로관련 최소 요건과 피로관리 계획을 설명함

· 영국의 피로관련 가이드라인에서는 관리자가 운전업무종사자의 피로에서 발생하는 위험을 관리하기 위하여 효과적인 배치를 수립하는 9단계 절차를 가지고 있음

- 장비특성 요인

· 장비특성요인과 관련된 규정으로 국내 철도는 철도안전법 제26조(철도차량의 안전기준)에 철도차량은 대통령령이 정하는 구조 및 장치가 건설교통부령이 정하는 안전기준에 적합하지 않으면 운행하지 못하고 안전기준에 맞도록 철도차량을 점검·보수하는 등 유지 관리하도록 하는 규정이 있음.

· 이 규정에 근거하여 철도차량안전기준에 관한 규칙(국토해양부령 제280호) 제42조(운전실)와 제43조(운전실에 갖추어야 할 장치)에는 운전실에서 요구되는

기준이나 장치에 대한 규정을 제시하고 있음

· 그러나 현재 이들 조항에는 인간공학측면이 고려되어 명문화된 조항이 기술되지 않고 있는 실정이고 이런 부분이 해외 철도와 큰 차이를 보임

· 호주, 영국, 미국의 경우 운전실에서 사용하는 장치나 작업장의 설계 시에 인적요인을 고려하는 지침을 제시하고 있음

- 업무의 신체적 특성 요인

· 신체적 특성요인과 관련하여 국내철도에서 업무시간 및 휴식시간과 관련된 규정으로는 철도차량운전규칙 제6조 3항의 과로관련 조항이 있을 뿐이며, 의사교환 형태의 적합성 관련된 법적 조항은 없는 상황임.

· 업무시간 및 휴식은 심리적 요인의 피로, 스트레스 부분과도 밀접한 연관관계가 있음

· 호주의 지침서에서는 철도운영자는 철도 운전업무종사자의 근무시간, 근무패턴을 확인해야 하고, 근무 및 휴식기간에 대한 시간을 관리하기 위한 범위를 설정하도록 하고 있음

· 의사교환 형태의 적합성과 관련하여, 영국의 의사교환 관련 규정은 직원들 간의 안전하고 효율적으로 의사전달이 이루어지도록 의사교환 적합성모델의 개발을 요구하고 있음

- 업무의 정신적 특성 요인

· 업무의 정신적 특성요인과 관련해서 국내 철도는 적성검사 시 반응형 검사에서 주의력 검사항목이 존재하고 있음

· 기억요구 항목에 대해서는 기억 관련 검사가 규정에는 없지만 적성검사의 문답형 검사와 반응형 검사가 전반적으로 기억능력을 요구하고 있음

· 영국의 규정은 철도 종사자의 선발 시 반복적이고 지루한 단순 직무를 수행할 때 경계심 및 집중력 유지, 비상시에만 사용되는 정보를 포함하여 안전관련 정보의 유지 및 회상, 시간의 압박 하에서 절차, 규정, 지침의 준수, 비상상황 또는 스트레스 상황에서의 반응 등을 확인하고 있음

- 물리적 환경 요인

· 국내 철도에서는 물리적 환경요인과 관련하여 운전실의 소음에 대해서는 철도차량 안전기준에 관한 규칙 제42조(운전실)에서 운전실은 열차운행 및 기계실의 소음이 최소화되는 구조로 설계되어야 하며 열차운행 시 운전실의 실내소음은 등가소음(Equivalent Sound) 기준으로 측정한 경우 85데시벨을 초과할 수 없음을 규정하고 있음

· 조명, 온도, 습도에 대해서도 운전업무종사자를 위한 적절한 조명설비 및 냉·난방장치가 설치 규정. 공간배치의 적합성에 대해서는 운전하는 경우 사용되는 모든 장치는 운전업무종사자의 시야 범위 안에 있어야 하며, 운전업무종사자가 혼동하거나 어려움 없이 제어할 수 있도록 배치를 요구하고 있음.

· 영국의 규정 및 가이드라인에서는 공간 배치의 적합성과 관련해서 정착물, 부속품, 내부시설, 비품, 장치류, 제어기, 지시기, 계측기 등을 포함하는 기관실의 내부 치수는 운전업무종사자의 신체적 치수 범위에 적합해야 하며 인간공학 배치의 관점에서 운전업무종사자에게 안전하고 효율적인 직무환경을 제공해야 한다고 언급하고 있음

- 화학적 환경 요인

· 운전실의 화학적 요인은 작업장의 환기와 연관이 되어 있음. 국내 철도의 경우 환기와 밀접한 기준으로 철도차량 안전기준에 관한 규칙 제 42조(운전실)에서 운전실의 양 측면에는 개폐가 가능한 창문이 설치되어야 한다고 규정만 있을 뿐, 그 이외의 기준은 언급되고 있지 않음

· 영국에서는 규정에서는 운전업무종사자가 포함된 열차승무원이 거주하는 지역의 환기에 대한 기준이 제시되고 있으며 미국의 가이드라인에서도 환기에 관한 기준을 제시하고 있음

○ 분석 결과, 국내 철도는 기관사 특성요인에 해당하는 부분에 대해서 소분류 차원에서 일부 부족한 항목이 파악되고 있지만, 전체적으로 보았을 때 제도적 기준이 잘되어 있는 것으로 분석

○ 법적 조항 측면으로는 신체검사, 적성검사, 자격관련 부분과 연결되어 있어 일부 부족한 항목에 대해서는 기존 제도를 근거로 하여 보완이 가능함

○ 그러나 운전업무특성요인 및 작업장환경요인은 해외 철도분야와 비교 시 차이가 많음

○ 운전실 장비나 운전실 주변 환경뿐만 아니라 직무분석분야 등 다양한 분야에 대하여 인적요인이 고려되는 법적인 근거가 존재하지 않는 상황임

○ 일반적으로 인간은 불완전한 특성을 가지고 있는 존재이기 때문에 언제, 어느 상황에서 인적오류로 인한 사고를 발생 시킬 가능성은 항상 내포되어 있으므로 작업자에게 잘 맞도록 설계된 작업상황은 그렇지 못한 경우보다 오류의 발생확률이 분명히 낮아짐

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합

철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 타 산업인 원자력 발전소 주제어실의 경우, 휴먼에러에 영향을 주는 요소들을 평가하여 디자인에 반영을 규제사항으로 제시함

○ EMU 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급

○ 따라서 운전업무특성 요인 및 작업장 환경요인이 인적오류를 발생할 수 있는 중요한 요인임을 인식하여 인간공학적 결함을 설계단계에서 사전에 밝혀내고 이를 제거할 수 있는 제도, 교육훈련, 설비의 개발이 필요하며, EMU 철도차량 운전실의 표준화 및 최적의 운전실 설계로 인한 기관사 휴먼에러 및 운전실 제작비용 감소 필요

○ 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육을 위한 ICT(Information & Communication Technology) 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축이 요구됨

2절. 기술적 타당성

○ 운전실에 설치된 기기/설비가 대부분 인간공학적 설계개념 및 기본원칙에 부합되지 않아, 잠재적 인적오류 유발 가능성이 상존함

○ 운전실에 설치된 기기/설비가 기관사의 운전직무를 적절하게 지원하거나 안전운행을 저해하는 요인이 되지 않아야 함

○ 설계초기부터 인간공학적 개념 및 절차를 도입하여 제작할 수 있는 체계를 구축해야 하며 이는 국제 경쟁력 차원에서 국가 표준으로 개발되어야 함

○ 운전실 기기/설비 위치 및 배치, 조작 및 제어관련, 운전제한 및 주의운전 지원

등은 설계제작 초기단계에서부터 고려되어야 함

○ 운전실 기기/설비(이하 인간-시스템연계설비)는 전 차종에서 전반적으로 인간공학적 기본 원칙에 부합하지 않게 설치·운영되고 있어, 잠재적 인적오류 유발 가능성이 높은 것으로 판단됨

○ 본 기획연구에서 설문조사 결과 분석한 결과 최근 1년 동안에 사고로 이어 지지는 않았지만 차량고장으로 인해 당황한 경우가 57. 9%(409명)이 있다고 분석되었고, 사고분석에서도 차량 고장으로 당황하여 2차적인 사고로 이어지는 경우가 발생되고 있는 것으로 분석되었다.

○ 또한 가장 많이 발생되고 있는 정차역 통과 또는 정지위치 어김 사고와 관련하여 급제동을 취급한 경우를 질문한 결과 51.2% 경험을 한 것으로 분석됨

○ 유럽 운전실 제어대(EUDD, European Driver's Desk) 프로젝트, 2001-2003) 사례를 보았을 때 EMU 철도차량 운전실의 표준화로 휴먼에러로 인한 사고(accident)의 10% 감소가 예상되며, 예기치 못한 특이한 상황에 대한 대응 및 휴먼에러에 의한 아차사고(near miss)가 90% 이상 감소가 가능할 것으로 판단됨

○ 운전실에 설치된 인간-시스템연계 설비의 인간공학적 설계기준을 우선적으로 수립·개발하여, 향후 "기관사 중심설계(Human-Centered Design)" 개념에 부합하는 운전환경을 구축할 수 있수 있을 것으로 판단됨

○ 기존 EMU 철도차량 운전실 제어대 대비 표준화에 이점은 다음과 같음

- 최신 인간공학 기술을 적용한 개선된 MMI, 이전에 하드웨어 기능이었던 것을 단말기(소프트웨어 기능)로 이전하여 제어대 상 하드웨어 요소 수 감소, 향상된 기능적 모듈화, 중요 조작의 표준화

3절. 경제적 타당성

○ 본 과제와 유사한 유럽 운전실 제어대(EUDD, European Driver's Desk) 프로젝트, 2001-2003) 사례에서 제시된 운전실 표준화 및 모듈화에 의한 경제적 타당성은 다음과 같음

- 공급 업계 측 이익

· 제조비용 25% 절감 (소프트하드웨어 > 50%, 전기적 하드웨어 ~25%, 기계적 제어대 구성요소 ~25%)

· 출시시간 10% 단축

- 철도 운영사 측 이익

· 내용연수 동안 제어대 유지보수 비용 30% 절감

· 전체 수명 주기 비용 25% 절감

· 기관사 훈련 비용 30% 절감

· 전기기계 장치를 완전 전자 장치로 교체함에 의한 신뢰성 25% 개선

- 사고 저감에 의한 기관사 측 및 사회에 대한 기대 이익

· 철도차량 운전실의 작업환경 개선 통한 기관사의 직무수행도 제고와 업무만족도 향상으로 인한 생산성 제고

· 기관사의 심리 및 신체적 안정을 통한 의료비용 절감

· 기관사 인적오류를 저감에 따른 철도운영사 및 국가의 사고비용 절감

· 해외 수출차량의 운전실의 인체공학적 디자인에 따른 수출 차량의 경쟁력 강화

· 철도차량의 쾌적함 및 안전성 향상으로 인한 철도이용 만족도 증가에 따른 경제적 편익 증가

4절. 기술개발 필요성

○ 복선화, 전철화, 자동화 등 지속적 철도시설개량과 최첨단 차량 도입, 유지보수 장비현대화, 철도종사자 사고방지, 교육훈련 강화와 대국민 안전홍보, 안전시설물 확충, 철도안전 관리강화 등에 따라 철도사고는 감소하고 있으나 휴먼에러와 연관된 운행 장애 및 관리장애는 증가추세에 있음

○ EMU 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급

○ 운전자 부주의의 원인은 운행 중인 철도차량 운전실의 인간-기계 인터페이스의 상이함에 따른 휴먼에러(Human Error)와 고속·소음·터널·협소한 공간 등 열악한 근무환경에 따른 운전자 스트레스와 부하(workload)가 주원인으로 분석

○ 특히 철도사고는 원전, 비행기 등과 같이 운전자 휴먼에러가 대형재해(catastrophic disaster)로 이어질 가능성이 높은 분야 중 하나로 관련 연구는 철

도 고속화와 첨단화에 대응한 안전 확보, 향후 수출 등 관련 산업의 성장동력화에 있어 중요한 요소로 대두

○ 점차 증가하는 국민의 안전 및 삶의 질 욕구 증가와 국가 인프라인 철도시설 신뢰 및 믿음의 향상시키기 위한 휴먼에러 감소는 운전자의 직무만족도 향상과 함께 대국민 안전의 중요한 요소로 인식

○ 현재 차량 제작 시 설계기준과 관련하여 기관사들에게 설문을 받고, 운전분야 근무경력자(기관사, 운전팀장)와 차량설계 담당자들이 기기배치와 모양수정 및 추가되는 보안장치 등을 고려하여 제작하고, 신조차량에 대한 외형 및 내부의 디자인 변경에 따라 기기와 장치를 제작하고 있음(정량화된 설계제작 미흡)

○ 휴먼에러 사고분석과 기관사들의 면접을 통한 앗차사고를 분석하여 현재 설치된 기기의 기능 보완 및 기관사의 휴먼에러 발생에 영향을 주는 요인들을 분석하여 기기 표준화에 대한 연구가 필요

○ 기관사의 승무 중 신체적, 정신적 상태는 휴먼에러에 밀접한 영향을 줄 수 있음

○ 예를 들어, 좌석의 높이나 각도가 맞지 않는 경우, 소음이 기준을 초과한 경우, 가시성 현저히 떨어지는 경우는 기관사의 신체적인 상태와 정신적인 상태에 악(惡) 영향을 줄 수 있음

○ 승무 중 신체적, 정신적 상태에 영향을 주는 인자들은 주로 운전실의 환경(소음, 진동, 공기의 질 등), 운전실의 배치(접근성, 가시성, 의자 등), 워크스테이션 디자인(디스플레이, 장비 등)의 요소들임

○ 기관사의 휴먼에러 예방을 위해서는 현재의 자격제도, 교육훈련과 더불어 운전실의 환경, 배치, 워크스테이션 디자인과 같은 작업환경의 평가 및 개선 필요함

○ 현재 국내의 철도차량 운전실 개발 시 운전실에 관련된 인간공학적 기준 및 제작 검증기준은 부족한 상태임

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합 철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 타 산업인 원자력 발전소 주제어실의 경우, 휴먼에러에 영향을 주는 요소들을 평가하여 디자인에 반영을 규제사항으로 제시함

5절. 정부지원 타당성

○ 국내 철도는 철도안전법 제26조(철도차량의 안전기준)에 철도차량은 대통령령이 정하는 구조 및 장치가 건설교통부령이 정하는 안전기준에 적합하지 않으면 운행하지 못하고 안전기준에 맞도록 철도차량을 점검·보수하는 등 유지 관리하도록 하는 규정이 있음.

○ 이 규정에 근거하여 철도차량안전기준에 관한 규칙(국토해양부령 제280호) 제42조(운전실)와 제43조(운전실에 갖추어야 할 장치)에는 운전실에서 요구되는 기준이나 장치에 대한 규정을 제시하고 있음

○ 그러나 현재 이들 조항에는 인간공학측면이 고려되어 명문화된 조항이 기술되지 않고 있는 실정이고 이런 부분이 해외 철도와 큰 차이를 보임

○ 현재 국내 철도 운영사에서는 차량 제작 시 설계기준과 관련하여 기관사들에게 설문을 받고, 운전분야 근무경력자(기관사, 운전팀장)와 차량설계 담당자들이 기기배치와 모양수정 및 추가되는 보안장치 등을 고려하여 제작하고, 신조차량에 대한 외형 및 내부의 디자인 변경에 따라 기기와 장치를 제작하고 있음(정량화된 설계제작 미흡)

○ 호주, 영국, 미국의 경우 운전실에서 사용하는 장치나 작업장의 설계 시에 인적요인을 고려하는 지침을 제시하고 있음

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합 철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 타 산업인 원자력 발전소 주제어실의 경우, 휴먼에러에 영향을 주는 요소들을 평가하여 디자인에 반영을 규제사항으로 제시함

○ 국내·외 개발 차량 및 철도용품에 대한 객관적인 성능검증을 위하여 철도 안전법

개정을 2012년부터 추진하고 있으며, 차량의 경우에는 형식승인, 제작자 승인 및 완성검사, 철도용품의 경우에는 형식승인 제작자 승인의 형태로 개정되고 있음

○ 철도안전법 개정의 후속조치로 철도차량의 형식승인 및 완성 검사에 대한 국제 수준의 시험방법 및 절차의 마련이 요구되므로, 문제점을 해외와 비교·검토하고, 시험방법의 제/개정 방향 및 고도화가 시급한 실정임

○ 차량의 형식승인 제도는 철도차량에는 처음으로 적용되는 방식으로써 이에 대한 준비 작업이 시급한 실정이며, 차량 운전실 관련 설계기준 마련이 시급함

○ 본 사업 국가에서 시행하는 철도안전법을 지원하는 직접적인 연구 활동이고 상업적인 이득을 목표로 하기 보다는 철도안전관련 정부정책을 지원하는 과제이므로 정부에서 100%지원이 요구됨

6절. 전문가 의견 수렴

○ 본 기획연구를 통해 많은 전문가의 자문과 토론회가 있었다. 본 기획연구에서 수행된 의견수렴, 전문가 자문의 내용을 다음에 요약하였다.

- 항공기처럼 해당 기획과제에 인적오류 저감을 위한 자동화 기술 개발 검토 필요
- 기관사 직무분석을 위한 설문 내용과 표준화 내용을 포함해야함
- 표준화가 바람직하나, 기기별, 기관사별로 특성, 선호도가 다양
- 과업범위를 명확히 해석하는 것이 필요하며, Test-bed에 대한 전략 도출 필요 (예 : 발주계획 차량, Simulator 개발 등)
- 국내 실정에 맞는 운전실 국산화인지 아니면 수출과 연계할 수 있는 표준화인지 고려 필요
- 운전실이라는 H/W 뿐만 아니라,운전실 Function을 어떤 식으로 표준화할 것인지 연구 필요(H/W와 S/W의 조화 등)
- 기획결과 활용을 위한 규제 수준 등 적용방안 제시
- 표준화와 기준은 국제적 표준화에 맞도록 하여야 함
- 기관사의 신체조건 분석과 휴먼에러의 원인 규명에 대한 연구내용 구체화 및 인간의 감성 분석에 대한 내용 포함 필요
- 최근 도시철도의 확충에 따라 각 지방자치단체 및 운영기관에 따라 차량의 종류와 운전실 형태가 다양하게 도입되고 있어 기관사들의 취급부주의에 따른 사고가 발생방지를 위해 도시철도운전실의 표준화는 필요하다고 판단됨. 다만 본

표준화가 이루어졌을 때 제조업체가 이를 준수할 수 있는 제도적인 장치도 본 과업에 포함하여 시행하는 것도 검토하시기 바람

- 표준화된 모델에 대하여 수요기관인 구체적으로 적용 강제성을 갖도록 하는 추진방안이 필요
- 국토부에 표준안을 표준안으로 건의 필요
- 강제성의 범위에 대한 설정이 필요
- 이미 진행 중인 EU 표준과의 차별화
- 체형만의 차이가 발생 시에는 거의 EU의 표준과 유사할 것으로 예상됨
- 최종적으로 EU의 모델과 많은 차이가 난다면 수출에 어려움 예상되는 상황에 대한 방안이 필요
- 실현을 위한 규제 수준에 대한 연구도 포함 되어 연구되어야 할 것으로 사료됨
- 운영분야의 의견과 산업안전이나 기계- 인간 공학 분야 전문가의견이 폭 넓게 반영되어야 할 것으로 사료됨
- 언어적 측면에 대한 연구 인력 또는 자문 방안도 포한 되어야 할 것으로 사료됨
- 현재 운행 중인 차량의 종류에 따라 운전실의 기기와 장치의 배치위치의 차이로 인하여 운전자에게 피로와 스트레스를 주고 있으므로 이를 저감하기 위하여 조작기기의 위치표준화는 운전자로 하여금 수월한 운전으로 고객에게 안전한 서비스 제공이라는 차원에서 필요하다고 판단되나 생산업체의 제작 노하우와 타회사 제품의 차별화로 각기 다르게 하는 것에 대하여 상세 검토가 필요함
- 모든 표준화와 기준은 상호 수출입을 위하여 국제적 표준화에 맞도록 하여야 하고 일부 한국의 습관과 안전에 맞는 표준화는 필요함
- 연구개발의 결과물이 국가의 표준으로 정하든지, 또는 본 과제에 참여하는 연구기관의 내규로 확정할 수 있는 방안을 연구범위에 포함할 필요가 있음
- 철도 차량제작사의 주관적, 기술적 기능 구성에 대한 국내 표준화 요구의 가능성 조사
- 차량구입 시(제작 시) 표준화항목 준수 의무 규정 실시방안 포함
- 인간의 감성 분석도 연구내용에 포함되어야 한다고 판단됨
- 철도운전실 사용성 평가(usability test) 체계 구축방안이 포함되어야 함.

· 기존 열차유형별 기관사대상 불편사항과 개선의견에 대한 모니터링 Data 분석

· 철도사고 분석과정에서 기관사 제어부문의 문제점에 대한 문제점 Data 분석

· 신규 열차 계기판과 운전실에 대한 기관사대상 사용성 평가 의무화 필요함

- 표시장치 유형 분류와 기관사 대상 시인성 분석 필요.

· 표시장치에 대한 유형분류(정침형, 정목형 등)

· 시인성 측면 표시장치 유형별 평가 필요함.

· 중요도를 고려한 표시장치 배치에 대한 평가 필요함.

- 제어장치 유형분류와 기관사 대상 조작 및 운전분석이 필요.

· 제어장치 유형에 대한 상세 분류(손조작장치, 발조작장치 등)

· 제어장치에 대한 기관사 정상작업역과 최대작업역 공간파악

· 비상제어장치에 대한 운전실 위치, 작동시간, 제어방식, 중앙관제실 연계에 대한 분석필요

· 기관사 1인 승무에 대한 비상사태 발생 시 중앙관제실 자동연결체계 구축 필요

- 과제의 범위가 너무 넓어 운전실 표준화와 연계된 요소로 압축이 필요함.

· 기관사 대상 운전 및 제어장치 설계의 표준화 요소 연구로 압축이 필요함

· 정비효율화를 위한 보전성, 열차 선로설계, 열차 신호체계 등은 별도 과제로 추진하여야 함

- 연구과제의 많은 부분이 열차 제작사 운전실 설계기준 분석과 연계되어 있어 공동 연구가 필요함

· 열차 기관사 대상 운전실 불편사항에 대한 의견수렴에 따른 설계기준 피드백 체계 구축

· 신규 모델 설계 시 최소 6개월~1년 전 전 기관사 대상 사용성 평가 공동 수행

· 관제시스템 최적화를 위한 설계요소와 긴급 상황 발생 시 비상대응절차의 연계화 방안

5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력투입 계획

1. 전체사업 인력투입 계획

<표 69> 전체사업 인력투입 계획

세부 연구내용		추 진 일 정 (연도별)		
		1차년도	2차년도	3차년도
EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발	EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출	15인		
	EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발	2인	10인	2인
	EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발	3인	15인	8인
	EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발	5인	5인	5인
EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축	3D 영상기반 EMU 철도차량 운전실 검증·교육용 시뮬레이터 개발	5인	10인	5인
	ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발	3인	5인	
	시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축		5인	15인

○ 본 기획연구에서 제안하는 과제는 1차 년도에 EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출을 목적을 기존 철도차량 운전실을 분석하고, 요구사항을 도출하는 분야에 많은 연구 인력이 투여할 계획이다. 2차년도 이후 검증 기준 개발 및 표준규격 개발에 “EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출”에 참여하였던 연구진이 분산 배치하여 연구를 진행하게 된다. EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발에 참여할 연구진은 총 30명이 소요될 것으로 예상된다.

○ “EMU 철도차량 운전실 검증 및 기관사 교육용 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발”에는 3차년에 걸쳐 20명의 전문가가 참여할 예정이며, 1차 년도 개발요구사하에 맞는 시뮬레이터의 설계를 진행하여, 2차 년도 이후 시뮬레이터 제작 및 실차 Test-bed 구축에 중복적으로 참여할 예정이다.

2. 세부 과제별 인력투입

가. EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발

○ “EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발”의 경우 EMU 철도차량 운전실 분석 및 문제점 분석을 통해 개선 요구사항 도출하고, 운전실 설계/검증 기준과 EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발을 통해 이의 정책반영이 요구되는 사항이다. 또한 운전실 설계 기준 및 표준화에 요구되는 검증 및 평가 기술의 분야별 전문가의 참여가 필수적이다. 따라서 다음과 같이 다양한 기술 분야별 전문 인력의 참여가 필요한 과제이다.

- SE 전문가: 기존 EMU 철도차량 운전실 HW·SW의 기능(FBS)·구조(PBS) 분석 및 표준 기능(FBS) 및 표준 구조(PBS) 개발 (용어 표준화 포함), 세부 과제 총괄 4인
- 철도차량 운전업무 전문가 5인: EMU 철도차량 기관사 직무 분석 및 표준 직무 절차서 개발
- 인간공학 및 감성공학 전문가 7인: EMU 철도차량 기관사 신체 자료, 신체질환 및 정신질환 분석, 인간공학적 EMU 철도차량 운전실 설계 요건 및 기준 개발, 기관사 휴먼에러 분석 기술 개발 및 적립, 철도차량 운전실 감성평가 기술 개발 및 적립
- 운전실 기기/장치 전문 8인: EMU 철도차량 운전실 기기/장치 설계 및 검증 기준 개발, EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발
- 운전실 환경분석 전문가 4인: EMU 철도차량 운전실 환경 분야 설계 및 검증 기준 개발, EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발 지원
- 정책지원, 제도화 및 지원인력 2인: EMU 철도차량 운전실 설계·검증 기준 및 EMU 철도차량 운전실 표준규격 제도화

나. EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축

○ “ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축”의 경우 “EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발” 과제에서 도출된 표준사양을 검증하고, 표준사양을 만족하는 운전실 기기/장지 개발 및 개발된 장치를 시뮬레이터 및 실차에 적용하는 역할을 한다. 따라서 운전실 장치/기기 전문가, 시뮬레이터 제작자, 철도차량 운전업무 전문가 등 다양한 분야의 전문 인력의 참여가 필요한 과제이다.

- 3D 영상기반 EMU 철도차량 운전실 검증·교육용 시뮬레이터 개발: 10인
- ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발: 5인
- 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축: 5인

2절. 소요예산 산정

1. 전체 사업 소요예산

○ 표준화 관련 1개과제와 ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터가 개발될 예정이며, 표준화 과제는 3년간 60억이 소요되며, ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터의 개발에 총 90억이 소요된다. 본 과제는 3년간 150억의 예산이 소요될 것으로 계산되었다.

<표 70> 전체 사업 소요예산

세부 연구내용		추 진 일 정 (연도별)			연구비 (백만원)
		1차년도	2차년도	3차년도	
EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발	EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출				1,000
	EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발				1,500
	EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발				2,000
	EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발				1,500
	연구비 소개(백만원)	2,000	2,500	1,500	6,000
EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축	3D 영상기반 EMU 철도차량 운전실 검증·교육용 시뮬레이터 개발				4,000
	ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발				1,500
	시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축				3,500
	연구비 소개(백만원)	1,000	4,500	3,500	9,000
연구비 합계(백만원)		3,000	7,000	5,000	15,000

가. EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발

○ “EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발”의 경우 EMU 철도차량 운전실 분석 및 문제점 분석을 통해 개선 요구사항 도출하고, 운전실 설계/검증 기준과 EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발을 통해 이의 정책반영이 요구되는 사항이다. 또한 운전실 설계 기준 및 표준화에 요구되는 검증 및 평가 기술의 분야별 전문가의 참여가 필수적이다. 따라서 다음과 같이 다양한 기술 분야별 전문 인력의 참여가 필요한 과제이다.

- SE 전문가: 4인
- 철도차량 운전업무 전문가: 5인
- 인간공학 및 감성공학 전문가: 7인
- 운전실 기기/장치 전문가: 8인
- 운전실 환경 분석 전문가: 4인
- 정책지원, 제도화 및 지원인력: 2인

○ 위와 같이 총 30인이 소요되며, 제도개선을 위한 공청회, 표준 사양결정 등 많은 업무를 3년간 추진하기 위해서는 60억의 예산이 소요된다. 60억 원 중 15억 원은 다양한 생체 신호측정장비 및 가상모형화(VR) 실험장비 관련된 비용이며, 이는 국내 최초로 운전실 표준화를 수행하는 시행착오 최소화를 위한 SE비용이 포함된 금액이다.

나. EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축

○ “ICT 융합 기관사-관제사 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축”의 경우 “EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발” 과제에서 도출된 표준사양을 검증하고, 표준사양을 만족하는 운전실 기기/장지 개발 및 개발된 장치를 시뮬레이터 및 실차에 적용하는 역할을 한다. 따라서 운전실 장치/기기 전문가, 시뮬레이터 제작자, 철도차량 운전업무 전문가 등 다양한 분야의 전문 인력의 참여가 필요한 과제이다.

○ HUDD 기술을 활용한 “3D 영상기반 EMU 철도차량 운전실 검증·교육용 시뮬레이터 개발”에 40억, “ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발”에 15억, “시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축”에 35억, 총 90억이 소요된다. 관련 인력은 연구개발 인력을 포함하여 20명이 소요된다.

6장. 과제 제안요구서

1절. 과제 제안요구서(RFP)

연구과제명	**휴먼에러예방을 위한 철도안전 시스템 개발**
1. 연구 목표	
○ EMU(Electric Multiple Units) 철도차량 운전실의 표준화 및 최적의 운전실 설계로 인한 기관사 휴먼에러(Human Error)사고예방 및 기기/장치 표준화로 운전실 제작비용 감소 ○ 기기 취급에 대한 스트레스 및 피로도를 저감하고, 장시간 운전에 따른 근골격계 질환을 예방 및 휴먼에러사고에 따른 보완장치(DMI)를 개발 ○ 철도차량 도입시 운전실 기기/장치에 대한 레이아웃 검증을 위한 ICT(Information & Communication Technology) 융합 검증장치 개발 및 기관사-관제사 영상시뮬레이터 개발과 실차 Test-bed 구축	
2. 연구 필요성	
○ 복선화, 전철화, 자동화 등 지속적 철도시설개량과 최첨단 차량 도입, 유지보수 장비현대화, 철도종사자 사고방지, 교육훈련 강화와 대국민 안전홍보, 안전시설물 확충, 철도안전 관리강화 등에 따라 철도사고는 감소하고 있으나 휴먼에러와 연관된 운행 장애 및 관리 장애는 증가추세에 있음 ○ EMU 철도차량은 우리나라의 대표적인 대중교통수단이고 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있으나, 운전실의 Lay-out이 차량의 종류, 운행선로, 신호방식, 디스플레이의 장착 등으로 인한 내부기기장치의 위치 및 작동방법이 다르게 설치되어, 이례상황 발생 시 신속한 대처가 이루어지지 못해 이에 따른 취급부주의 사고가 빈번히 발생되므로 철도수송에 대한 안전성 확보 시급 ○ 운전자 부주의의 원인은 운행 중인 철도차량 운전실의 인간-기계 인터페이스의 상이함에 따른 휴먼에러(Human Error)와 고속・소음・터널・협소한 공간 등 열악한 근무환경에 따른 운전자 스트레스와 부하(workload)가 주원인으로 분석 ○ 특히 철도사고는 원전, 비행기 등과 같이 운전자 휴먼에러가 대형재해(catastrophic disaster)로 이어질 가능성이 높은 분야 중 하나	

로 관련 연구는 철도 고속화와 첨단화에 대응한 안전 확보, 향후 수출 등 관련 산업의 성장 동력화에 있어 중요한 요소로 대두

○ 점차 증가하는 국민의 안전 및 삶의 질 욕구 증가와 국가 인프라인 철도시설 신뢰 및 믿음의 향상시키기 위한 휴먼에러 감소는 운전자의 직무만족도 향상과 함께 대국민 안전의 중요한 요소로 인식

○ 현재 차량 제작 시 설계기준과 관련하여 기관사들에게 설문을 받고, 운전분야 근무경력자(기관사, 운전팀장)와 차량설계 담당자들이 기기배치와 모양수정 및 추가되는 보안장치 등을 고려하여 제작하고, 신조차량에 대한 외형 및 내부의 디자인 변경에 따라 기기와 장치를 제작하고 있음(정량화된 설계제작 미흡)

○ 휴먼에러 사고분석과 기관사들의 면접을 통한 앗차사고를 분석하여 현재 설치된 기기의 기능 보완 및 기관사의 휴먼에러 발생에 영향을 주는 요인들을 분석하여 기기 표준화에 대한 연구가 필요

○ 기관사의 승무 중 신체적, 정신적 상태는 휴먼에러에 밀접한 영향을 줄 수 있음

○ 예를 들어, 좌석의 높이나 각도가 맞지 않는 경우, 소음이 기준을 초과한 경우, 가시성 현저히 떨어지는 경우는 기관사의 신체적인 상태와 정신적인 상태에 악(惡) 영향을 줄 수 있음

○ 승무 중 신체적, 정신적 상태에 영향을 주는 인자들은 주로 운전실의 환경(소음, 진동, 공기의 질 등), 운전실의 배치(접근성, 가시성, 의자 등), 워크스테이션 디자인(디스플레이, 장비 등)의 요소들임

○ 기관사의 휴먼에러 예방을 위해서는 현재의 자격제도, 교육훈련과 더불어 운전실의 환경, 배치, 워크스테이션 디자인과 같은 작업환경의 평가 및 개선 필요함

○ 현재 국내의 철도차량 운전실 개발 시 운전실에 관련된 인간공학적 기준 및 제작 검증기준은 부족한 상태임

○ 영국, 미국, 호주, UIC, EU 등에서는 국외 철도에서는 이미 자국 철도에 적합 철도차량 운전실 환경/Layout/Desk에 대한 종합적인 기준 및 평가 방법을 제시하고 있으며, 표준화를 추진함

○ 특히 유럽철도의 경우 '01년부터 10년간 철도차량 운전실관련 3개의 R&D 프로젝트를 연속적으로 추진하여, 철도차량 운전실의 표준화 추진하고, EN 및 UIC 표준을 제정 중임

○ 타 산업인 원자력 발전소 주제어실의 경우, 휴먼에러에 영향을 주는 요소들을 평가하여 디자인에 반영을 규제사항으로 제시함

3. 연구 중점분야	

○ EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발

- EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출
- EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발
- EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발
- EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발

○ 철도차량 도입시 운전실 기기/장치에 대한 레이아웃 검증을 위한 ICT(Information & Communication Technology) 융합 검증장치 개발 및 기관사-관제사 영상시뮬레이터 개발과 실차 Test-bed 구축

- 3D 영상기반 EMU 철도차량 운전실 검증·교육용 시뮬레이터 개발
- ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발
- 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축

4. 연구 내용	

□ 1세부과제: EMU 철도차량 운전실 안전시스템 기술 개발

○ EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출

- EMU 철도차량 기관사 휴먼에러 형식 및 원인 분석
- EMU 철도차량 기관사 신체 자료, 신체질환 및 정신질환 분석
- 기존 EMU 철도차량 운전실 HW·SW의 기능(FBS, Functional Breakdown Structure) 및 구조(PBS, Physical Breakdown Structure) 분석
- EMU 철도차량 기관사 직무 분석
- 철도차량 운전실 기술동향 및 설계 동향 분석(자동차, 항공분야 등 선진 운전실 설계 동향 분석)
- EMU 철도차량 기관사 운전실 요구사항 도출(설문, 인터뷰 포함)
- EMU 철도차량 운전실 철도차량 개선사항 도출

○ EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발

- EMU 철도차량 운전실 설계 요건 및 기준 개발(운전실 DMI(Driver Machine Interface)/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점에서 접근)
- EMU 철도차량 운전실 설계 검증 절차 및 기준 개발(운전실 DMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근)
- EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 시범적용 및 검증
- EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 제도화

○ EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발

- EMU 철도차량 운전실 HW/SW의 모듈화, 표준 기능(FBS) 및 표준 구조(PBS) 개발 (용어 표준화 포함)
- EMU 철도차량 운전실 표준 직무절차서 개발
- EMU 철도차량 운전실 표준 규격 개발
- EMU 철도차량 운전실 표준규격 시범적용 및 검증
- EMU 철도차량 운전실 표준규격 제도화

○ EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발

- 기관사 휴먼에러 분석 기술 개발 및 적립
- 철도차량 운전실 감성평가 기술 개발 및 적립
- 기관사 생체신호를 활용한 운전실 평가기술 개발 및 적립
- 가상모형화(VR), Mockup, 시뮬레이터 실험, 실차 실험 등을 활용한 운전실 적합도 평가 기술 개발 및 적립
- EMU 철도차량 운전실 구성품 평가기술 개발(운전실 MMI/디스플레이/구조/환경 등 종합적인 관점접근) 및 적립
- 철도차량 운전실 평가 기술 시범적용 및 검증

□ 2세부과제: EMU 철도차량 인간공학적 설계 검증장치개발 및 ICT 융합시스템 적용 시뮬레이터 개발 및 실차 Test-bed 구축

○ 3D 영상기반 EMU 철도차량 운전실 검증·교육용 시뮬레이터 개발

- 기관사 운전 오류 최소화 및 비상상황 즉각 대응을 위한 각종 DMI 디스플레이의 위치 및 기기를 임의로 화면에 배치 가능한 기술 개발
- 철도차량 기관사를 대상으로 기존 철로 및 신규 철로를 3D 영상으로 디스플레이하여 실제 상황과 동일한 환경 (예외상황, 돌발 상황, 비상상황 등을 임의 발생)에서 교육할 수 있는 시뮬레이터 개발
- 최적의 운전조건을 제시한 표준운전 선도를 화면에 제시하여 기관사가 현 운전에 상태를 확인함으로 에너지 절감 및 운전습성을 개선할 수 있는 홀로그램 기반 HUD(Head Up Display) 기술 (철도차량 내부 정보를 디스플레이 가능한 정보로 변환하는 기술과 변환된 정보를 유리에 투영하는 홀로그램 기술) 및 음성 알림 기술 개발
- 시뮬레이터를 통한 기관사 교육 결과분석 및 평가 기술 개발

○ ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발

- 위치검지 기술 및 영상통화 기술을 블랙박스 영상과 연계하여 실시간으로 비상상황에 대응할 수 있는 ICT 융합 기관사-관제실-객

	실 연계시스템 개발 - 비상상황에 따른 영상 및 음성 안내 시스템 개발 ○ 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-Bed 구축 - EMU 철도차량 운전실 표준규격에 따른 운전실 HW/SW 구성품 제작 및 시뮬레이터 개발(디스플레이 포함) - 시범 노선 3D 실사 영상 획득 및 DB 구축 기술 개발 (규정 속도, 구배, 곡선 정보 포함) - 시범 노선에 시뮬레이터를 탑재한 Test-bed 구축 - 실차 적용을 통한 EMU 철도차량 운전실 표준규격 유효성 확인 - 시험 운영을 통한 결과 분석 및 문제점 보완
□ 주요산출물	○ EMU 철도차량 운전실 분석 및 개선 요구사항 도출 - EMU 철도차량 기관사 휴먼에러 형식 및 원인 DB 및 분석서 - EMU 철도차량 기관사 신체 자료, 신체질환 및 정신질환 분석서 - EMU 철도차량 운전실 HW·SW의 기능 및 구조 DB 및 분석서 - EMU 철도차량 기관사 직무 분석서 - 철도차량 운전실 기술동향 및 설계 동향 분석서 - EMU 철도차량 기관사 운전실 요구사항 - EMU 철도차량 운전실 철도차량 개선 요구사항 ○ EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 개발 - EMU 철도차량 운전실 설계 요건 및 기준 - EMU 철도차량 운전실 설계 검증 절차 및 기준 - EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 시범적용 및 검증 결과 - EMU 철도차량 운전실 설계 및 검증 기준 제도화 ○ EMU 철도차량 운전실 표준규격 개발 - EMU 철도차량 운전실 HW/SW의 모듈화, 표준 기능(FBS) 및 표준 구조(PBS) - EMU 철도차량 운전실 표준 직무절차서 - EMU 철도차량 운전실 표준규격 - EMU 철도차량 운전실 표준규격 시범적용 및 검증 결과 - EMU 철도차량 운전실 표준규격 제도화

○ EMU 철도차량 운전실 검증 및 평가 기술 개발

- 기관사 휴먼에러 분석 알고리즘 및 절차서(SW)
- 철도차량 운전실 감성평가 알고리즘 및 절차서(SW)
- 기관사 생체신호를 활용한 운전실 평가 실험장비(HW), 알고리즘 절차서(SW)
- 가상모형화(VR), Mockup, 시뮬레이터 실험, 실차 실험 등을 활용한 운전실 적합도 평가 알고리즘 및 절차서(SW)
- EMU 철도차량 운전실 구성품 평가 알고리즘 및 절차서(SW 및 HW)
- 철도차량 운전실 평가 기술 시범적용 및 검증 결과

○ 3D 영상기반 EMU 철도차량 운전실 검증 장치 개발

- 운전실 설계 및 디자인 검증용 시뮬레이터 시스템(HW/SW)
- 3D 홀로그램 영상기반 기관사 교육용 시뮬레이터 시스템(HW/SW)
- 시뮬레이터를 통한 기관사 교육 결과분석 및 평가 알고리즘 및 절차(HW)

○ ICT 융합 기관사-관제실-객실 연계시스템 개발

- 블랙박스 영상 연계 관제시스템(HW/SW)
- 비상상황에 따른 영상 및 음성 안내 시스템(HW/SW)

○ 시범 노선에 대한 EMU 철도차량 시뮬레이터 및 실차 Test-bed 구축

- EMU 철도차량 운전실 표준규격에 따른 운전실 구성품(HW/SW)
- 시범 노선 3D 실사 영상 DB(SW)
- 시범 노선에 대한 시뮬레이터 Test-Bed(HW)
- EMU 철도차량 운전실 표준규격에 따른 실차 운전실(HW/SW)
- 시험 운영을 통한 결과 및 검증 결과

5. 연구 추진방법	

□ 추진전략

○ 철안사 사업 결과 기술 등 기존 철도 모니터링 기술을 활용/연계

○ 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립

○ 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 연구 성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴

- 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영

○ 관련분야 전문가 자문

- 각종 유사 선진시스템 및 적용 사례에 대한 조사

□ 추진체계

○ 본 과제는 개발기술의 실용화 및 사업화를 위해 산업체, 연구기관 및 학계 컨소시엄으로 구성하여 공동연구를 수행해야 함

※철도 및 IT 등 관련 기술을 확보한 연구기관 및 성과물을 활용할 수 있는 산업체 참여 유도

○ 관련 정부기관, 수요기관, 운영기관 등과의 연계를 통한 실용화 등의 협력체계 구축

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연·관 역할분담 및 공조체제에 의한 연구개발 추진

6. 사업기간 및 소요예산	

○ 연구기간 : 협약일로부터 총 3년

○ 연구예산 : 15,000백만원 (정부 : 15,000백만원 + 민간 : 0백만원)

1세부과제: 6,000백만원 (정부 : 6,000백만원 + 민간 : 0백만원)

2세부과제: 9,000백만원 (정부 : 9,000백만원 + 민간 : 0백만원)

2절. 평가기준 설정

1. 제안요청 과제의 목적과 제안과제의 연구목표의 일치도 : 배점 30점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
과제목적의 적합성	과제의 목적에 적합한 과제인가?	30	25	20	15	10
소계						

2. 연구목표 달성을 위한 전문성 및 추진체계 : 배점 30점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
최종 목표	연구개발 최종목표의 적절성 및 부합성?	10	8	6	4	2
단계별 목표	단계별 목표의 적절성 및 부합성?	10	8	6	4	2
연구 추진체계	목표 달성을 위한 체계적인 연구추진체계를 갖추고 있는가?	10	8	6	4	2
소계						

3. 자체설정 목표 달성 가능성 : 배점 40점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구 성과	정량적 연구목표는 적절한가?	10	8	6	4	2
연구의 독창성	연구 결과의 독창성 (국내외 최초 등)?	10	8	6	4	2
실용성	연구 결과의 실용성?	10	8	6	4	2
결과활용	기대성과 및 활용방안의 적절성>	10	8	6	4	2
소계						

참고문헌

[1] 건설교통부(2004), “철도안전법”, 제7245호, 제 5조.

[2] 정원대, 김재환, 하재주, 윤완철 (1998). 원자력발전소에서의 예견적 인간오류 분석 사례 연구, 한국경영과학회 학술대회논문집, 제1권, pp1-5.

[3] 한국철도기술연구원(2011), “철도차량 운전실의 작업환경 개선을 위한 인간공학 평가기술 개발” 연구보고서

[4] 한국철도기술연구원(2012), “2층 고속열차 설계기반 및 기관차 운전실 편의성 평가 기술개발” 연구보고서

[5] KAIST(2010), “안전업무종사자 교육훈련체계 구축 연구보고서”

[6] 한국철도공사(2012), “휴먼에러연구위원회 연구보고서”

[7] Beatty, J. (1982). Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. Psychological Bulletin, 91, pp. 276-292.

[8] Biers, D. A., and Masline, P. J. (1987). Alternative approaches to analyzing SWAT data. Proceeding of the 31st Annual Meeting of the Human Factors Society, Santa Monica, CA: Human Factors Society.

[9] Biers, D. W., and McInerney, P. (1988). An alternative to measuring subjective workload: Use of SWAT without the card sort. Proceeding of the 32nd Annual Meeting of the Human Factors Society, Santa Monica, CA: Human Factors Society.

[10] Borg, G. (1978). Subjective aspects of physical and mental load. Ergonomics, 21, pp. 215-220.

[11] Braby, C. D., Harris., D., and Muir, H. C. (1993). A psychophysiological approach to the assessment of work underload. Ergonomics, 36, pp. 1035-1042.

[12] Byers, J. C., Bittner, A. C., hill, S. G., Zaklad, A. L., and Christ, R. E. (1998). Workload assessment of a remotely piloted vehicle (RPV) system. Proceeding of the 32nd Annual Meeting of the Human Factors Society, Santa Monica, CA: Human Factors Society.

[13] Dougherty, E. M. Jr., and Fragola, J. R.(1988). Human reliability analysis. A systems engineering approach with nuclear power plant applications. New York: John Wiley and Sons.

[14] Embrey, D.E. (1986). SHERPA: A systematic human error reduction and predi Systems, Knoxville, Tennessee. identification in the design lifecycle of NATS future systems. Proceedings of the FAA / Euro Control Technical Interchange Meeting. Toulouse, France, April pp. 27-29.

[15] Embrey, D. E.(1992). Quantitative and qualitative prediction of human error in safety assessments. Major Hazards Onshore and Offshore, Rugby IChemE.

[16] Gopher, D., and Braune, R. (1984). On the psychophysics of workload: Why bother with subjective measures? Human Factors, 26, pp. 519-532.

[17] Hart, S. G., and Staveland, L. E. (1988). Development of NASA TLX (Task Load Index): Results of experimental and theoretical research. In P. A. Hanceck and N. Meshkati, Eds., Human Mental Workload, pp. 139-183, Amsterdam: North Holland.

[18] Hendrick, K. & Benner, L. (1987), Investigating Accidents with Sequentially Timed and Events Plotting (STEP), New York.: Marcel Dekker.

[19] Hill, S. G., Byers, H. P., Byers, J. C., Bittier, A. C., Jr., Zaklad, A. L., and Christ, R. E. (1992). Comparison of four subjective workload rating scales. Human Factors, 34, pp. 429-440.

[20] Hollnagel, E. (1998), Cognitive Reliability and Error Analysis Method, Oxford: Elsevier.

[21] Jung, W., Kang, D. and Kim, J., Development of a Standard Method for Human Reliability Analysis of Nuclear Power Plants, KAERI/TR-2961, KAERI, 2005.

[22] Kahneman D. (1973). Attention and Effort. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

[23] Kim, J., Lee, S. and Jang, S., Analysis of human error potentials and

design-related influencing factors for computer-based procedure and soft controllers to develop HRA method for ACRs, KAERI/TR-4207, KAERI, 2010.

[24] Kirwan, B. (1992). A task analysis programme for a large nuclear chemical plant, In B. Kirwan, and L. K. Ainsworth (Eds.), A guide to task analysis (pp. 363-387), London: Taylor and Francis.

[25] Kirwan, B. Basra, G. Taylor-Adams, S E.(1997). CORE-DATA: A computerized human error database for human reliability support, The 1997 IEEE 6th Conference on Human Factors and Power Plants; Orlando, FL; USA; 08-13 June. pp. 7-9.

[26] Kirwan, B. (1998b) The validation of three Human Reliability Quantification techniques - THERP.

[27] Meshkati, N., Hancock, P. A., Rahimi, M., and Dawes, S. M. (1990). Techniques in mental workload assessment. In J. R. Wilson, and E. N. Corlett (Eds), Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomics Methodology, pp. 749-782, London: Taylor and Francis.

[28] Mulder, G. (1980). The Heart of Mental Effort. Unpublished Ph. D. Thesis. University of Groningen, Groningen.

[29] Mulder, L. J. M. (1988). Assessment of Cardiovascular Reactivity by Means of Spectral Analysis. Unpublished Ph. d. Thesis. Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.

[30] Norman, D. A., and Bobrow, D. G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. Cognitive Psychology, 7, pp. 44-64.

[31] O'Donnell, R. D., and Eggemeier, F. T. (1986). Workload assessment methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman, and J. Thomas, Eds., Handbook of Perception and Human Performance; volume II, cognitive Processes and Performance. New York, NY: J. Wiley and Sons.

[32] Ogden, G. D., Levine, J. M., and Eisner, E. J. (1979). Measurement of workload by secondary tasks. Human Factors, 21, pp. 529-548.

[33] Paradies, M. & Unger, L. (2000), TapRooT®: The system for root cause

analysis, problem investigation, and proactive improvement, System Improvements, Inc.

[34] Rasmussen, J. (1982). Human errors: A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. Journal of Occupational Accidents, 4, pp. 311-33.

[35] Reason, J. T. (1990). Human error . Cambridge, England: Cambridge University Press.

[36] Reid, G. B., and Nygren, T. E. (1988). The Subjective Workload Assessment Technique: A scaling procedure for measuring mental workload. In P.A Hancock and N. MesHati, Eds., Human Mental Workload, pp. 185-218, Amsterdam: North Holland.

[37] Reinach, S. & Viale, A. (2006), "Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations", Accident Analysis and Prevention, 38, pp.396-406.

[38] Sebok, A. (2000). Team performance in process control: infiuence of interface design and staffing levels. Ergonomics, 43, pp. 1210-1236.

[39] Shappell, S.A. & Wiegmann, D.A. (2000), "The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)", Report Number DOT/FAA/AM-00/7, Washington, DC: Federal Aviation Administration.

[40] Shorrock, S. T. and Kirwan, B. (2002). Development and application of a human erroridentification tool for air traffic cont onomics, 33, pp 319-336.

[41] RSSB (2004), Rail-specific HRA technique for driving tasks, Final report.

[42] Swain A. and Guttmann H. E.,(1983). Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications, NUREG/CR-1278., US NRC,USA.

[43] Tattersall, A. J., and Foord, P. S. (1996). An Experimental evaluation of instantaneous self-assessment as a measure of workload. Ergonomics, 39, pp. 740-748.

[44] Tsang, P. S., and Vidulich, M. A. (1994). The roles of immediacy and redundancy in related subjective workload assessment. Human Factors, 36, pp. 503-513.

[45] Tsang, P. S., and Velazquez, V. L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings, Ergonomics, 39, pp. 358-381.

[46] Wickens, C. d., (1992). Engineering Psychology and human Performance. New York, NY: Harper Collins.

[47] Wickens, C. D., Gordon, S. E., and Liu, Y. (1998). An Introduction to Human Factors Engineering. New York, NY: Lomgman.

[48] Williges, R., and Wierwille, W. W. (1979). Behavioral measures of aircrew mental workload. Human Factors, 21, pp. 549-574.

[49] Wierwille, W. W., and Casali, J. G. (1983). A validated rating scale for global mental workload measurement applications. Proceedings of the Human Factors Society 27th Annual Meeting, pp. 129-133, Santa Monica, CA: Human Factors Society.

[50] UIC leaflet 651- layout of driver's cabs in locomotives, railcars, multiple-unit trains and driving trailers

[51] Standard for cab crew seating design and performance

[52] Human Factors Guidelines for Locomotive Cabs

[53] Bailey, R.W. (1989). Human Performance Engineering (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

[54] Woodson, W.E. Tillman, B, Tillman, P. (1992). Human Factors Design Handbook. (2nd ed) NewYork: McGraw.

[55] Woodson, W.E., Mason, S., Pethick, J. and Simpson, G.C. (1980). Ergonomic Principles of Underground Locomotive Design: Guidelines for Designers. Roxburgh Place Edinburgh Scotland: Institute of Occupational Medicine.

[56] Cardosi, K. and Murphy, B. (1995). Human Factors in the Design and Evaluation of ATC Systems, U.S. Department of Transportation, Federal

Aviation Administration.

[57] Snyder, H. (1988). Image Quality. In M. Helander, (ed). Handbook of human-computer interaction. New York: Elsevier/North Holland.

[58] Galitz, W.O. (1993). *User-Interface screen design*. Wellesley Hills, MA.: QED Information Sciences.

[59] Mayhew, D. (1992). Principles and guidelines in Software user interface design. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

[60] Smith, S. and Mosier, J. (1986). *Guidelines for Designing User Interface Software*. Bedford, MA: The MITRE Corporation, Electronic Systems Division.

[61] Sanders, M.S. and McCormick, E.J. (1994). Human Factors in engineering and design (7th ed) New York: Wiley & Sons.

[62] Tullis, T.S. (1988). Screen design. In M. Helander, (ed). Handbook of human-computer interaction. New York: Elsevier/North Holland.

[63] Wieringa, D., Moore, C., and Barnes, V. (1992). *Procedure Writing Principles and Practices*. Columbus, OH: Battelle Press.

[64] Marcus, A. (1992). *Graphic Design for electronic document and user interfaces*. New York: ACM Press.

[65] Ivergard, T. (1989). *Handbook of Control Room Design and Ergonomics*. New York: Taylor and Francis.

[66] Gilmore, W.E., Gertman, D.I., and Blackman, H.S. (1989). The user-computer interface in process control: A human factors engineering handbook. New York: Academic Press.

[67] Burlington Northern. (1989). Headsets. TEAM Technical Bulletin. Overland Park, KS: Author, Vol. 3, (9).

[68] Jankovich, J. (1972). *Human Factors Survey of Locomotive Cabs*. FRA-OPP-73-1. U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration.

[69] Wilde, G.J. and Stinson J.F. (1980). *Human Factors Considerations in*

Locomotive Cab Design. Ontario: Canadian Institute of Guided Ground Transport, Queen's Institute of Guided Ground Transport, Queen's University at Kingston, Report No. 80-9.

[70] Requirements for Driving Cabs of Railway Vehicles (1.1.1.1.1. Railway Group Standard [6.4] GM/RT 2161)

[71] BR 87109 Rule Book

[72] GM/RT 2185 Train Safety Systems

[73] GO/RT 3251 Safety Requirements for Train Drivers

[74] GM/TT 0122 Structural Requirements for Windscreens and Windows on Railway Vehicles

[75] GM/RT 2100 Structural Requirements for Railway Vehicles

[76] GM/TT 0123 Structural Requirements for Doors and Gangways on Railway Vehicles

[77] GM/TT 0179 Structural Requirements for Body-Mounted Equipment on Railway Vehicles

[78] GM/RC 2502 Code of Practice for Structural Aspects of Railway Vehicle Interiors

[79] GM/RT 2177 Emergency and Safety Equipment and Signs on Rail Vehicles

[80] GM/RT 2162 Traincrew Access to and Egress from Railway Vehicles (to be published)

[81] GO/OTS 401 Driver Only Operation of Passenger Train

[82] GM/RT 2160 Ride Vibration and Noise Environment inside Railway Vehicles

[83] BR 0640A

[84] BS 6841

[85] GM/RT 2176 Air Quality and Lighting Environment inside Railway Vehicles

[86] GM/RT 2185 Train Safety Systems

[87] GM/RT 2177 Emergency and Safety Equipment and Signs on Rail

Vehicles

[88] GM/RT 2162 Traincrew Access to and Egress from Railway Vehicles (to be published)

[89] GM/RT 2161 Requirements for Driving Cabs of Railway Vehicles

[90] JIS 핸드북 69편 통근동차 운전실의 설계통칙(일본)

[91] 철도안전법, 철도차량 안전기준에 관한 규칙

[92] Concerning a technical specification for interoperability relating to the 'rolling stock' sub-system of the trans-European high-speed rail system

[93] EN 14067-4; Aerodynamic effects

[100] EN 15152; Windscreen

[101] EN 15153-1; External lights

[102] EN 15153-2; Horn

[103] EN 50125-1; Environmental conditions

[104] EN 60721-3-5; List of substances

[105] 항공교통관제사인적요인 보고서(항공안전본부)

[106] 임재은, 정도원, 김치태, "철도차량 운전실제어대 설계기준 마련 연구.", 한국철도학회 2008년도 춘계학술대회논문집, 6 (2008) : 2119-2124

[107] 최은미, 김영국, 김종봉, "철도차량 운전실 승차감에 관한 연구.", 한국철도학회 2008년도 추계학술대회논문집, 11 (2008) : 1389-1396

[108] Department of Defense (DoD), Software Development and Documentation, USA, Mil-Std-498 (1994) : 67

[109] G. J. Chambers, K. L. Manos, "Requirements : Their origin, format and control.", Systems engineering for the 21st century, (1992) : 83-90

[110] Electronic Industries Alliance (EIA), Process for Engineering a System (EIA-632), EIA Press, Arlington, (1999) : 34-36

[111] Dennis M. Buede, "Developing Originating Requirements: Defining the Design Decisions.", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.33, NO.2 (1997) : 596-609

[112] Elizabeth Hull, Ken Jackson and Jeremy Dick, "Requirements

Engineering.", Second Edition (2004) : 73-86

[113] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE), Recommended Practice for Software Requirements Specifications (IEEE Std 830), (1998)

[114] I. Clifton A. Ericson, *Hazard analysis techniques for system safety.* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

[115] *A guide for system life cycle processes and activities* INCOSE handbook, v3.2, 2010.

[116] J. Y. Park and Y. W. Park, "Model-based concurrent systems design for safety," Concurrent Engineering-Research and Applications, vol. 12, pp. 287-294, Dec 2004.

[117] 윤재한, 이재천, "안전중시 시스템의 설계 환경 구축에 관한 연구", 대한안전경영과학회지, 대한안전경영과학회, 제11권 (3호), pp. 19-26, 2009년 9월

[118] D.D. Black, M.E.C. Hull, and K. Jackson, "Systems engineering and safety - a framework," The Institution of Engineering and Technology, vol. 5, no. 1, pp. 43-53, 2010.

[120] A. Kossiakoff and W. N. Sweet, *Systems engineering principles and practice*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2003.

[121] "Operation of the Defense Acquisition System", US DoD Instruction Number 5000.2 (DoD I 5000.1), 12 May 2003

[122] Systems engineering — System life cycle processes, in ISO/IEC 15288:2002(E): International Organization for Standardization, 2002.

[123] Practice for System Safety: ESOH Risk Management Methodology for Systems Engineering,MIL-STD-882D, 2000.

[124] UML (Unified Modeling Language)2.4". Omg.org. Retrieved 2011-09-22.

[125] "고속철도 안전기술 개발을 위한 조사연구," 한국기계연구원, 1997.

[126] 산업안전 보건관리자를 위한 인간공학, 한경사, 2010, 3rd 기도형, 이경태, 박재희, 최경임

[127] 철도공학,북갤러리, 서사범, 2007

[128] 철도사고인적오류 분석을 위한 지원시스템 프레임웍 설계, 신민주, 백동현,

김동산, 윤완철, 대한인간공학회, 2008.8

[129] 180 km/h급 간선형 전기동차 운전실 설계기준 마련 연구, 한국철도학회 2009년도 춘계학술대회논문집, 임재은, 정도원, 김치태, 한국철도학회, 2009.5

[130] 고속철도 차량시스템 엔지니어링, 한국고속철도, 1996

[131] 철도차량안전기준에 관한 규칙, 국토해양부

[132] 제5차 한국인 인체치수조사사업 보고서, 산업자원부 기술표준원, 2004

[133] 디자이너를 위한 인간공학, 조형사, 1990, 한석우

[136] Code of Federal Regulation(CFR) 238.447 Train operator's controls and power car cab layout

[137] 2009년도 산업·직업별 고용구조조사, 한국고용정보원, 2009. 12

[138] 서울메트로 2호선 전동차 VVVF(54량) 전동차 정비지침서, 서울메트로, 로템, 2005

부 록

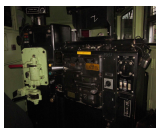
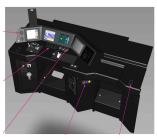
1. 사업소별 차량종류

본부	사업소	현원	차량 종류
서 울	서울고속	302	KTX, KTX-산천,
	서울	220	DL, NEL, EMU-150(누리로), RDC
	용산	144	DL, NEL, EMU-150(누리로)
	일산	167	VVVF 전동차(투핸들, 원핸들)
수도권 동 부	청량리	231	DL, EL, NEL, RDC, EMU-150
	성북	160	VVVF 전동차(투핸들), 저항제어 전동차(3종)
	청량리전동	201	VVVF전동차 (원핸들, 투핸들), EMU-180(ITX-청춘)
	분당	167	VVVF 전동차(원핸들, 투핸들)
수도권 서부	부곡	158	DL, EL, NEL
	구로	311	VVVF전동차(원핸들, 투핸들), 저항제어 전동차(3종)
	병점	141	VVVF전동차(투핸들),저항제어전동차(3종)
	안산	157	VVVF전동차(원핸들, 투핸들)
대전충남	천안	154	DL,EL,NEL, EMU-150(누리로)
	대전	409	DL,EL,NEL, EMU-150(누리로), RDC
대구	대구	254	DL, NEL, RDC
	경주	176	DL, RDC
	김천	87	DL, NEL, RDC
부산	부산고속	143	KTX, KTX-산천
	부산	318	DL, NEL, RDC
	마산	128	DL, NEL, RDC
전북	익산	182	DL, NEL,EMU-150(누리로)
전남	순천	237	DL, NEL, EMU-150(누리로), RDC
광주	광주	112	DL, NEL, RDC, EMU-150
	목포	75	DL, NEL,
경북	영주	314	DL, EL, NEL, RDC, EMU-150
충북	제천	365	DL, EL, NEL, EMU-150(누리로)
강원	동해	175	DL, EL, NEL, RDC
총인원		5,488	

2. 사업소별 차량종류에 따른 형식(외형도)

차종	형식별				
KTX					
KTX-산천					
DL					
EL(NEL)					
EMU-150					
EMU-180 (ITX-청춘)					
VVVF 투핸들					
VVVF 원핸들					
저항차					
RDC					

3. 사업소별 차량종류에 따른 형식 (운전실)

차종	형식별				
KTX					
KTX-산천					
DL					
EL(NEL)					
EMU-150					
EMU-180					
VVVF 투핸들					
VVVF 원핸들					
저항차					
RDC					

4. 노선별 도시철도차량 현황

호선	차량외관		운영 기관	운행 구간	편 성	차 종	제어 방식	신호 방식	도입 년도
	외형도	재 질							
1호선		MILD STEEL	KORAIL	의정부-인천 의정부-천안 성북-용산	10량 (6M4T)	직,교겸용 저항차	저항제어	ATS	1974 ~ 1997
1호선		STS	KORAIL	의정부-인천 의정부-천안 성북-용산	10량 (5M5T)	직,교겸용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATS	1980 ~ 1998
1호선		STS	KORAIL	의정부-인천 의정부-천안 성북-용산	10량 (5M5T)	직,교겸용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATS	2002 ~ 2005
1호선		MILD STEEL	SMSC (서울 메트로)	청량리-인천 청량리-병점	10량 (6M4T)	직,교겸용 저항차	저항제어	ATS	1974 ~ 1990
1호선		STS	SMSC (서울 메트로)	청량리-인천 청량리-병점	10량 (5M5T)	직,교겸용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATS	1998 ~ 2002
2호선		MILD STEEL	SMSC (서울 메트로)	지선 (성수-신정) 본선 (성수-성수)	4량 6량 10량	직류전용 CHOPPER 차	쵸파제어	ATS	1981 ~ 1995
2호선		STS	SMSC (서울 메트로)	본선 (성수-성수)	10량 (5M5T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATS	2005
3호선		MILD STEEL	SMSC (서울 메트로)	지축-수서	10량 (5M5T)	직류전용 CHOPPER 차	쵸파제어	ATC	1985 ~ 1993

호선	차량외관		운영 기관	운행 구간	편 성	차 종	제어 방식	신호 방식	도입 년도
	외형도	재 질							
3호선 (일산선)		STS	KORAIL	지축–수서	10량 (5M5T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC	1995 ~ 1997
4호선		STS	KORAIL	오이도–금정 금정–당고개	10량 (5M5T)	직,교겸용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATS	1993 ~ 1996
4호선		STS	KORAIL	오이도–금정 금정–당고개	10량 (5M5T)	직,교겸용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATS	1999
4호선		STS	SMSC (서울메트로)	금정–당고개	10량 (5M5T)	직,교겸용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATS	1993 ~ 1995
5호선		STS	SMRT (서울도시철도공사)	방화–상일동 방화–마천	8량 (4M4T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	1994 ~ 1996
6호선		STS	SMRT (서울도시철도공사)	응암–봉화산	8량 (4M4T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	1999 ~ 2000
7호선		STS	SMRT (서울도시철도공사)	장암–온수	8량 (4M4T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	1995 ~ 2000
8호선		STS	SMRT (서울도시철도공사)	암사–모란	8량 (4M4T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	1995 ~ 1999
분당선		STS	KORAIL	선릉–오리	6량 (3M3T)	교류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC	1993 ~ 1996

호선	차량외관		운영 기관	운행 구간	편 성	차 종	제어 방식	신호 방식	도입 년도
	외형도	재 질							
분당선		STS	KORAIL	선릉-오리	6량 (3M3T)	교류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC	2003
인천 1호선		STS	IMSC (인천 지하철)	귤현-동막	8량 (4M4T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	1998 ~ 1999
부산 1호선		STS	BUTA (부산교 통공사)	대곡-안심	8량 (6M2T)	직류전용 CHOPPER 차	쵸파제어	ATC/ ATO	1984 ~ 1997
부산 2호선		STS	BUTA (부산교 통공사)	장산-호포	6량 (3M3T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	1997 ~ 2002
대구 1호선		STS	DMSC (대구 지하철)	대곡-안심	6량 (3M3T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	1997
대구 2호선		STS	DMSC (대구 지하철)	문양-사월	6량 (3M3T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	2004
광주 1호선		알루미늄	GMSC (광주 지하철)	녹동-상무	8량 (4M4T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	2003
대전 1호선		알루미늄	대전 지하철	판암-외삼	4량 (2M2T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	2004 ~ 2005
공항 철도		알루미늄	코레일 공항철도	신공항 -서울역	8량 (4M4T)	직류전용 VVVF차	인버터제어 (가변전압 가변주파수)	ATC/ ATO	2006

5. 선박 항해 표준을 위한 S-mode 관련

1) 배경

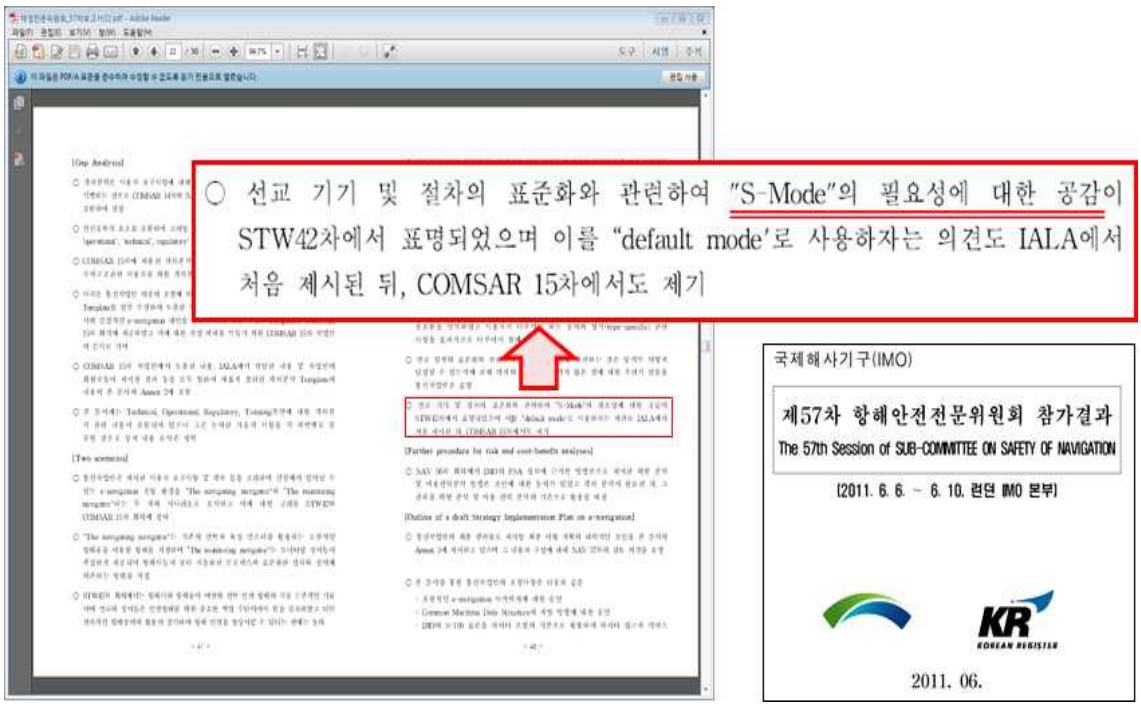
- 각 선박의 항해 장치들이 서로 다르면서 혼선이 발생
- 이에 의한 항해사의 오류, 교육의 어려움 등 해결 필요

2) S-mode (Single mode) 란?

- 항해자에게 단 하나의 항해 인터페이스를 제공하자는 의미, 즉 항해 장치에 대한 사용자 인터페이스 표준

3) 현황

- 2011년 6월 IMO (국제해사기구) 산하 항해안전전문위원회 제57차 회의에서 필요성에 대한 공감대 형성
- 기술적 표준에 대한 준비를 진행 중임



< 국토부의 제 57 차 항해안전전문위원회 참가 결과 보고서 >