20RTRP
-B145983-03

열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발 최종보고서

2021

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제( ) / 공개( ), 비공개( )

발간등록번호(11-B554334-000001-01)

철도기술연구사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 20RTRP
-B145983-03

자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발

최종보고서

2021. 2.

주관연구기관 / 국가철도공단
협·공동연구 기관 / 한국철도기술연구원
협동연구기관 / 한국철도공사
공동연구기관 / 철도신호사업연구조합
공동연구기관 / 한국전자통신연구원
공동연구기관 / 현대로템(주)
공동연구기관 / 대아티아이(주)
공동연구기관 / 유경제어(주)
위탁연구기관 / 네오트랜스(주)

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발'(연구개발 기간 : 2018. 4. 27. ~ 2020. 12. 31.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2021. 3.

주관연구기관명 : 국가철도공단 (김한영)

참여기관명 : 한국철도기술연구원
원장 직무대행 부원장

참여기관명 : 철도신호사업연구조합 (이기서)

참여기관명 : 한국전자통신연구원 (김명주)

참여기관명 : 네오트랜스(주) (윤병식)

주관연구기관책임자: 성동일 연구단장
참여기관책임자: 김정태 책임
참여기관책임자: 이기서 이사장
참여기관책임자: 윤병식 책임
참여기관책임자: 이재호 책임

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제37조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'이동폐색 ATP/ATO기술 및 장치 개발'(연구개발 기간 : 2018. 4. 27. ~ 2020. 12. 31.) 과제의 최종보고서 15부를 제출합니다.

2021. 2. .

협동연구기관명 : 한국철도기술연구원장 (원장직무대행 부원장) 조 용 현 (인)

공동연구기관명 : 현대로템(주) 대표이사 이 용 배 (인)

대아티아이(주) 대표이사 최 진 우 (인)

유경제어(주) 대표이사 박 종 문 (인)

협동연구기관책임자 : 윤 용 기 책임연구원

공동연구기관책임자 : 박 성 호 책임연구원

안 진 전 무

지 정 근 팀 장

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제37조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발'(연구개발 기간 : 2018. 4. 27. ~ 2020. 12. 31.) 과제의 최종보고서 15부를 제출합니다.

2021. 2. .

협동연구기관명 : 한국철도공사 사장 손병석 (인)

공동연구기관명 : 한국전자통신연구원 원장 김명준 (인)

공동연구기관명 : 대아티아이 대표이사 최진우 (인)

공동연구기관명 : 유경제어 대표이사 박종문 (인)

협동연구기관책임자: 박주훈 책임연구원
참여기관책임자: 조한벽 책임연구원
참여기관책임자: 신준섭 상무
참여기관책임자: 지정근 팀장

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제37조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	20RTRP-B145983-03	해당 단계 연구 기간	2018.04.27. ~2020.12.31.	단계구분	3/3
연구사업명	세부사업명	철도기술연구사업			
연구과제명	대과제명	자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체 기술개발			
	세부과제명	열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발			
연구책임자		해당단계 참여연구원 수	총:125 명 내부: 43 명 외부: 82 명	해당단계 연구비	정부: 5,739,000 천원 민간: 2,028,332 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 7,767,332 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총:125 명 내부: 43 명 외부: 82 명	총 연구비	정부: 11,477,000 천원 민간: 3,985,683 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:15,462,683 천원
연구기관명 및 소속 부서명	국가철도공단 인재개발연구원 기술연구처			참여기업명 한국철도기술연구원, 한국철도공사, 철도신호사업연구조합, 한국전자통신연구원, 네오트랜스(주), 현대로템(주), 대아티아이(주), 유경제어(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 네오트랜스(주)			연구책임자: 이재호	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수 : 735page

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 고속철도 운행환경(350km/h 속도 대역)에서 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신(LTE-R)만을 활용하여 열차제어가 가능한 차상 ATP/ATO 및 지상 ATP 개발·기 개발된 KTCS-M·KTCS-2 및 현재 철도노선에 구축된 ATP(KTCS-1)와의 상호운영성 확보 · 현재 운용 중인 고속철도 열차제어시스템(ATC)과 인터페이스 확보 · SIL4 인증 획득 · 궤도회로 기능 대체장치 개발
연구개발성과	○ 열차제어시스템 요구사항 조사 및 분석결과 - 하부시스템 단위 요구사항 조사 및 분석결과 포함 ○ 열차제어시스템 개발명세서 ○ 열차제어시스템 인터페이스 명세서 ○ 열차무결성검지장치 시제품 ○ 레일절손검지장치 시제품(센서 포함) ○ LTE-R 무선접속제어 알고리즘 및 알고리즘을 구현한 프로그램 ○ 열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 및 알고리즘을 구현한 프로그램 ○ 관련 기술기준 및 규격 제/개정안 ○ 열차제어시스템 표준규격(안) 및 기술기준(안)
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 무선통신(무궤도회로) 방식을 통한 열차 위치 검지에 따라 정확하고 세밀한 열차 점유 정보를 바탕으로 효율적이고 경제적인 열차 운행 제어 가능 ○ 자동운전기능(GOA2)을 통하여 인적오류를 방지하고 열차운영 안전성 및 효율성 제고 ○ 경제적 효과 - 지상설비 절감을 통한 설비투자비용 및 유지보수비용 20% 절감 기대 - 열차수송용량 증대 및 이로 인한 철도운영기관 수익 증대 기대 - 지상시설물을 최소화하여 노선연장, 역 추가 등의 열차운행계획 변경시 단기간 내에 시스템을 조정할 수 있어 운영 효율성 향상 기대 ○ 기술적 효과 - 현재까지 상용화되지 않은 열차제어기술을 개발함으로써 철도선진국과 경쟁할 수 있는 기술력 확보 ○ 정책적 효과 - 자동운전기술 및 이동폐색기술 적용으로 열차 운영 중 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생을 최소화하여 높은 정시성 제공 - 운전시격 단축을 통한 통행시간 절감 및 도로 이용객 흡수로 인한 에너지절감효과, 안전성 향상을 통한 인적·물적 피해감소 기대

국문핵심어 (5개 이내)	이동폐색	열차제어	자동운전	신호시스템	고속철도
영문핵심어 (5개 이내)	Moving block	Train control	Autonomous operation	Signalling system	High speed train

< 차례 >

1. 연구개발과제의 개요

[1세부] ····· 5

[2세부] ····· 7

[3세부] ····· 11

2. 연구수행내용 및 성과

[1세부] ····· 13

[2세부] ····· 297

[3세부] ····· 553

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

[1세부] ····· 716

[2세부] ····· 719

[3세부] ····· 725

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

[1세부] ····· 726

[2세부] ····· 731

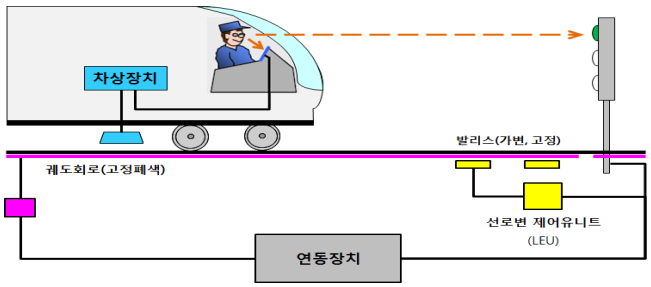
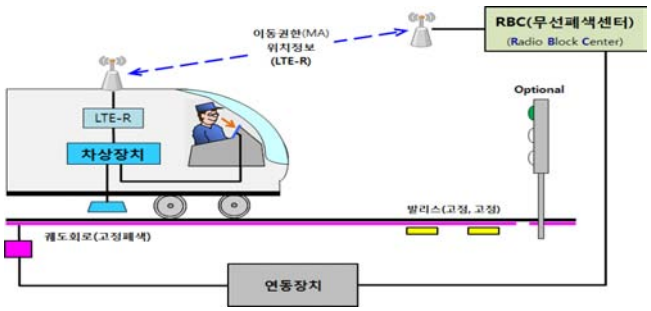
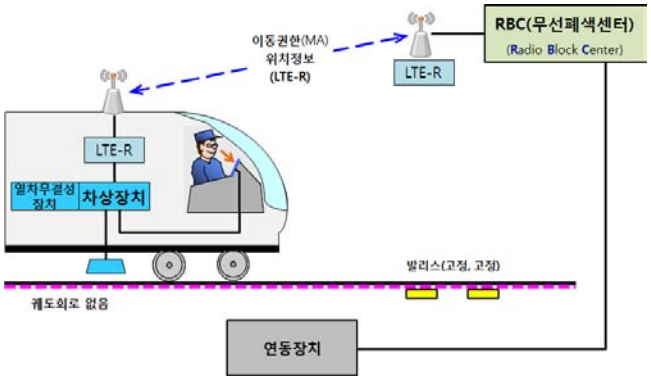
[3세부] ····· 732

1. 연구개발과제의 개요 [1세부]

○ 고속철도 운행환경(350km/h 속도 대역)에서 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신(LTE-R)만을 활용하여 열차제어가 가능한 차상 ATP/ATO 및 지상 ATP 개발

- 기 개발된 KTCS-M · KTCS-2 및 현재 구축된 ATP(ETCS L1)와의 상호운영성 확보
- 현재 운용 중인 ATC(고속철도)와 인터페이스 확보
- SIL4 인증 획득
- 궤도회로 기능 대체장치 개발

1-1. 기존 기술과의 차별성 및 개발 필요성

ETCS 기술수준	제어방식
Level 1(현재 운영 중) 	- 궤도회로 사용(고정폐색) ※ 궤도회로 기능 · 열차 위치검지(1,500m 단위) · 열차분리 검지(차량에는 없음) · 레일절손 검지(부가기능) - 열차제어정보는 유선(가변발리스)으로 전송 ※ 전송주기 : 가변 발리스를 지날 때마다 (궤도회로 단위)
Level 2 (KTCS-2, 시범노선) 	- 궤도회로 사용(고정폐색) ※ 궤도회로 기능 · 열차 위치검지(1,500m 단위) · 열차분리 검지(차량에는 없음) · 레일절손 검지(부가기능) - 열차제어정보는 무선으로 정보전송(LTE-R) ※ 전송주기 : 새로운 제어정보 생성 시마다
Level 3 (KTCS-3) 	- 궤도회로 없음(이동폐색) - 열차제어정보는 무선으로 정보전송 (LTE-R) ※ 전송주기 : 최소 0.5초 ☞ **개발 필요성** : 열차위치검지기술(±80m) : 열차안전간격제어기술(최소화) : 열차진로제어기술(이동폐색) : 열차운행스케쥴 관리기술(이동폐색) : 열차자동운전기술(신기술) : 상호운영성기술(법령 요구사항) : 무결성기술(열차분리, 레일절손)

1-2. 개발기술 및 내용

구분		요소기술	기술개발 내용
열차제어 시스템	열차위치 검지기술	열차위치 검지기술	- 절대위치보정을 위한 발리스(필요시 태그 병행)와 무선통신기술을 적용하여 고속열차위치를 실시간으로 추적하는 기술개발
	열차안전 간격제어 기술	이동폐색 제어기술	- 절대 제동거리를 적용한 이동폐색 제어기술 · 시스템의 지상설비에서 제어영역에 있는 모든 열차위치를 토대로 각각의 열차에 대해서 열차이동권한과 열차제한속도를 실시간으로 설정하는 기술
		열차속도 제어기술	- 지성설비에서 전송된 이동권한과 제한속도를 기준으로 열차 속도와 제동거리를 계산하여 제한속도를 제시하고, 속도 초과시 경고 또는 감속하는 기술
	열차진로 제어기술	열차진로 제어기술	- 궤도회로를 사용하지 않고 분기지역(건넘선)과 승강장에서 열차진로를 제어하는 기술 · 고속선과 일반선에 사용중인 기존 연동장치와 연계하는 인터페이스 기술 개발
	열차운행 스케쥴 관리기술	열차운행 스케쥴 관리기술	- 무선으로 전송된 실시간 열차위치정보를 토대로 열차운행스케쥴의 만족정도를 확인하고, 지연이 발생하는 경우 열차의 출발과 정차시간을 조정하여 지연시간을 복구하는 기술
	열차자동 운전기술	열차자동 제어기술	- 열차제한속도를 초과하지 않도록 열차속도를 자동으로 제어하는 기술 - 시스템의 지상설비와 차상장치가 연계하여 열차의 자동 출발 및 출입문 개·폐 제어기술 - 시스템의 지상설비와 차상장치가 연계하여 승강장에 설정된 정지선에 자동으로 정차하는 제어기술
	상호운영성 기술		- 무궤도회로 방식의 열차제어시스템의 차상장치와 기존 신호시스템의 지상설비와 연계하는 기술

1. 연구개발과제의 개요 [2세부]

1-1. 연구개발 목적 및 필요성

가. 최종목표

[연구목표]

○ 차상ATP/ATO·지상ATP 사양 개발 및 차상-지상장치 통합

○ 요구사항 도출 및 검증 관리

○ 이동폐색용 지상ATP 개발

○ 자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 개발

[연구개발내용]

○ 이동폐색용 ATP/ATO 명세서 개발

- 차상ATP/ATO·지상ATP 개발명세서 작성 및 검증
  · 차상ATP/ATO·지상ATP 장치구성, 성능사양, 기능사양 및 기능배치
  · 차상ATP/ATO·지상ATP 인터페이스 명세서
  · 단품시험, 안전성평가 결과에 따른 명세서 검증

○ 이동폐색용 지상ATP개발

- 이동폐색용 지상ATP 개념·기본설계
- 이동폐색용 지상ATP 제어기술 및 안전간격제어기술 설계 및 구현
  · 열차위치결정, 열차이동권한설정, 열차제한속도설정 등
- 이동폐색용 지상ATP 제작 및 실험실단위 시험
- 이동폐색용 지상ATP RAM 활동 및 SIL4 인증

○ 이동폐색용 차상ATP/ATO개발

- 자동운전(GoA2)을 지원하는 이동폐색용 차상ATP/ATO 개념·기본설계
- 열차속도제어기술 및 열차자동운전기술 설계 및 구현
  · 동적속도 프로파일 생성, 정위치정차, 열차속도·주행거리 감시 등
- 차상ATP/ATO장치 제작 및 실험실단위 시험
- 차상ATP/ATO장치 RAM 활동 및 SIL4인증

나. 필요성

○ 철도선진국의 철도산업전략에 대응

- 열차운행안전과 효율성을 향상하고 철도산업을 활성화하기 위해 수립된 '철도 신호통신시스템 국산화 계획(2017.12)'전략과 로드맵의 성공적 수행을 지원

○ 국내 철도 신호산업의 경쟁력 제고를 위한 선제적 연구개발

- (영국) "Delivering a Sustainable Railway"를 통해서 용량확대, 탄소배출량감소, 고객만족, 비용감소를 핵심적인 요구조건으로 정하고, 30년 후인 2040에 달성하여야 할 도전 목표를 설정
- (프랑스) 환경오염, 고객만족도 향상기술 개발과 함께 2020년까지 철도용량증대방안 연구 수행

- (유럽) 유럽의 철도산업 경쟁력을 지속적으로 유지하고, 유럽철도시장 확대를 위한 Forster Rail, Shift2Rail을 추진하고 있음
  · Forster Rail(Future of Surface Transport Research Rail)은 유럽철도의 연구개발 및 혁신 전략을 강화하는 것이 목적임
  · NGTC(Next Generation of Train Control)는 보다 큰 신호시장과 저렴한 시스템 비용을 확보하는 것이 목적이며, Shift2Rail의 IP2(Traffic Management and Control System)에 적용됨

1-2. 연구개발 내용

○ 연차별 연구개발 목표 및 내용

구분	기 관	목 표	내 용
1차 연도	(협동)한국철도기술연구원	• 차상ATP/ATO, 지상ATP 개발요구사항 조사 및 분석	• '열차제어시스템 개발요구사항' 분석 • KTCS-1 및 KTCS-2, 현재 철도노선에 구축된 ATP(ETCS L1)와의 상호운영을 위한 요구사항 분석 • 성능 및 기능 요구사항 정의
	(공동)현대로템㈜	• 자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 요구사항 분석	• 차상 ATP/ATO 요구사항 분석 • 자동운전 개념 및 설계방안 수립
		• 안전성 인증 활동 계획수립 및 요구사양 도출	• RAM 및 안전성 활동 계획 수립 • 안전성 활동 요구사양 도출
	(공동)대아티아이㈜	• 이동폐색용 지상ATP 개발	• 지상 ATP시스템 요구사양 분석 • 지상 ATP시스템 개념설계
		• RAM 및 안전성 인증 활동	• 안전성 계획 수립 • 시스템 위험원 분석 • 안전요구사항 도출 • 단계 별 Verification 수행
	(공동)유경제어(주)	• 차상ATP/ATO, 지상ATP개발명세서 검증계획 작성	• 검증계획 수립을 위한 요구사항 검토 • 개발사양 검증항목 수립 및 계획서 작성
2차 연도	(협동)한국철도기술연구원	• 차상ATP/ATO, 지상ATP개발명세서 작성	• 차상ATP/ATO·지상ATP 개발명세서 작성 - 장치구성 - 성능사양 작성 - 기능사양 작성 및 기능배치(기본설계) ※현재 운용중인 열차제어시스템과의 상호운영성 반영(계속)
	(공동)현대로템㈜	• 자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 설계 및 기능 구현	• 차상 ATP/ATO 개념, 기본, 상세설계 • 차상 ATP/ATO 기능 기본, 상세설계 • 차상 ATP/ATO 전체 기능 구현

구분	기 관	목 표	내 용
			• 차상 ATP/ATO 시제품 제작
		• 차상 ATP/ATO 설계 및 구현 안전성 인증 활동	• 시스템 위험원 분석 • 시스템 구조 및 디자인 사양 정의 • 신뢰성 및 안전성 입증 • 소프트웨어 요구사양 정의 • 소프트웨어 구조 및 디자인 사양 정의 • 소프트웨어 컴포넌트 설계, 구현, 시험 • 소프트웨어 통합 시험
	(공동)대아티아이㈜	• 이동폐색용 지상ATP 개발	• 지상 ATP 시스템 이동폐색제어기술 및 안전간격제어 기술 설계 및 시제품 제작
		• RAM 및 안전성 인증 활동	• RAM Analysis 수행 • Safety Analysis 수행 :FMEA 수행 :FTA 수행 • 단계별 Verification 수행 :설계 및 구현단계에 대한 검증
	(공동)유경제어(주)	• 차상ATP/ATO, 지상ATP 인터페이스 명세서 검증계획 작성	• 지상 및 차상 인터페이스 검증 요구사항 검토 • 인터페이스 검증항목 수립 및 계획서 작성 • 실내 시험환경 기본 설계 • (무선)인터페이스검증을 위한 안전감시모듈 및 안전성 검사/평가
3차 연도	(협동)한국철도기술연구원	• 차상ATP/ATO, 지상ATP/ATO인터페이스 명세서 작성	• 차상장치 및 지상장치 간 인터페이스 명세서 작성 • 차상ATP/ATO와 열차 내 타 장치와의 인터페이스 명세서 작성 • 지상ATP/ATO와 지상의 타 장치와의 인터페이스 명세서 작성 및 검증 • 차상ATP/ATO·지상ATP/ATO 제작 및 단품시험, 안전성평가 결과에 따른 최종 명세서 작성
		• 현재 운용중인 열차제어시스템과의 인터페이스 확보	• 현재 운용중인 열차제어시스템과의 인터페이스(상호운영성) 점검(주1) ※현재 운용중인 열차제어시스템과의 상호운영성 반영(2차년도~3차년도)
	(공동)현대로템㈜	• 자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 시험	• 차상 ATP/ATO 장치 보완 • 실험실 단품시험
		• 차상 ATP/ATO 시스템 검증 및 안전성 인증	• 소프트웨어 및 하드웨어 통합시험 • 차상 ATP/ATO 시스템 검증 • 차상 ATP/ATO 시스템 안전성 인증 획득

구분	기 관	목 표	내 용
	(공동)대아티아이㈜	• 이동폐색용 지상ATP/ATO 개발	• 지상 ATP시스템 이동폐색제어기술 및 안전간격제어 기술 설계 • 지상 ATP/ATO시스템시제품 제작 • 소프트웨어 모듈 통합 • 지상 ATP/ATO시스템 실험실 시험 및 검증
		• RAM 및 안전성 인증 활동	• 단계별 Verification 수행 :시험 및 확인단계에 대한 검증 • 시스템 안전성 보증 입증 • 이동폐색용 지상ATP Generic Application SIL4 인증 획득
	(공동)유경제어(주)	• 차상ATP/ATO, 지상ATP 명세서 검증	• 차상ATP/ATO, 지상ATP 개발명세서 검증 • 차상ATP/ATO, 지상ATP 인터페이스 명세서 검증 • 실내 시험환경 상세설계 • (무선)인터페이스검증을 위한 안전감시모듈 개발 검증 및 안전성 검사/평가

1. 연구개발과제의 개요 [3세부]

○ 본 연구는 '고속철도 운행환경(350km/h 속도 대역)에서 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신(LTE-R)만을 활용하여 열차제어가 가능한 차상 ATP/ATO 및 지상 ATP 개발' 을 목표로 함

○ 자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 개발 목표는 철도의 수송능력, 경제성, 서비스, 안전성 향상을 달성하는데 필요한 고속화, 지능화, 고밀도 운행화, 상호운영성 향상, 지상설비 최소화를 지원하는 것임

- 무선통신망 및 제어시스템의 심각한 장애 발생 시 열차운행을 최소한으로 보장하는 장애 대응 지원
- 현재 철도노선에 구축된 ATP(ETCS L1), 개발완료된 KTCS-1, 현재 개발 중인 KTCS-2와 상호운영이 가능

○ 이를 위해서 개발이 요구되는 기술개발분야는 다음과 같음

- 열차안전간격제어기술 (이동폐색기반)
- 열차자동운전제어기술 (GoA2)
- 열차위치검지기술(레일절손 및 열차 무결성 포함)
- 철도무선통신기술
- 열차운행관제기술

○ '한국형 철도신호시스템 구축계획('17.5월)' 및 '철도 신호통신시스템 국산화 계획('17.12월)' 을 통해 차세대 신호시스템 개발 추진전략 수립

- 1단계로 T2I(Train to Infra, 차상-지상) 방식의 무선기반의 신호시스템 개발(무궤도 회로방식의 ETCS L3급)

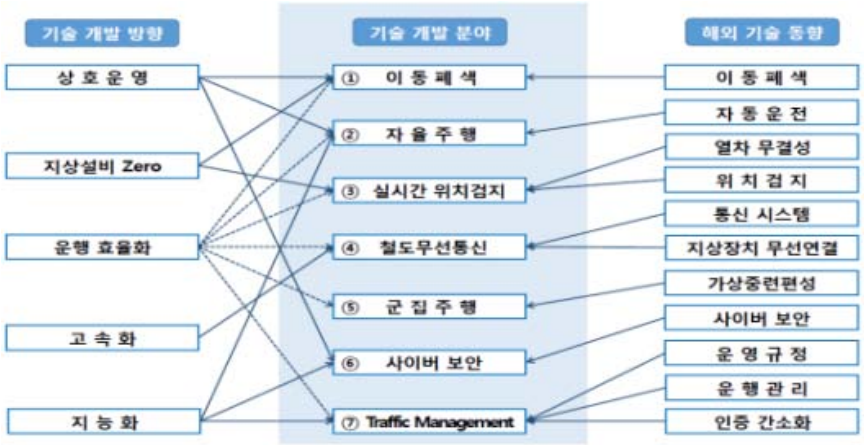


그림 1. 차세대 신호시스템 개발분야(국토부 철도 신호통신시스템 국산화계획, 2017.12)

○ 유럽은 철도산업혁신프로젝트(FORSTER-RAIL, SHIFT2RAIL, NGTC)을 진행하고 있으며, 이를 통해 세계철도산업의 주도권을 유지하는 전략과 로드맵 마련

- (FORSTER-RAIL) 유럽철도의 연구개발 및 혁신전략을 강화할 수 있도록 지원하기 위한 기술개발 로드맵
- (SHIFT2RAIL) 단일화된 유럽철도망 구축, 유럽철도시스템의 장점과 경쟁력 제고, 유럽

철도산업의 글로벌 시장 주도를 목표로 매년 연구과제를 공모하고 예산 지원

- (NGTC) ETCS와 CBTC 시스템을 통합하여 신호시스템 공급자에게는 보다 큰 신호시장을 제공하고 시스템 사용자에게는 경쟁 강화를 통한 시스템 구매비용 절감이 목적

* NGTC : Next Generation of Train Control System
* ETCS : European Train Control System
* CBTC : Communication Based Train Control

○ 대외환경변화에 능동적으로 대응하여 국내 철도 신호산업의 경쟁력 제고를 위한 선제적 연구개발 필요

- 전국 주요도시를 1시간 30분대로 연결하기 위한 '국가 철도망 구축 계획' 정책의 실현을 지원하고 해외 선진기술에 대한 의존도를 벗어나 열차제어기술의 국산화 및 시장 선점이 필요

- 철도 선진국인 유럽에서도 아직 실용화하지 못하고 기술개발 중인 궤도회로를 사용하지 않는 고속철도 및 일반철도용 열차제어기술을 개발하는 것이 요구됨

- 현재 고속철도에서 사용 중인 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하고 있어 수송용량을 획기적으로 높이거나 선로에 설치되는 장치(구성품)을 획기적으로 줄이는 것이 어려움

- 현행 경부 및 호남고속철도는 최고속도 350㎞/h로 설계되었으나, 차량성능, 궤도회로를 사용하는 열차제어시스템, 국외기술에 대한 높은 의존도로 인하여 300㎞/h로 운영하는 한계를 갖고 있는데, 최고속도 및 선로용량 향상을 위해서는 선행열차와 후속열차 간 열차안전간격을 최소로 단축하는 정밀한 열차제어기술 개발 필요

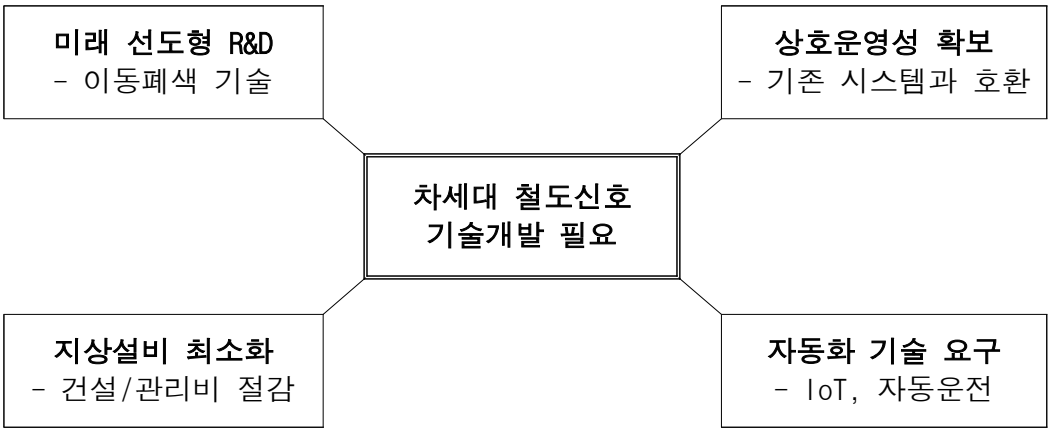
표 1. 철도 신호통신시스템 국산화 계획(국토교통부, 2017.12)

세부과제	조치내용	일정
1. KTCS_2 개발 및 실용화		
1-1 안전성 인증	인증기관의 설계, 제작, 시험보고서 평가	'15.8～'17.10
	인증기관 현장실사 및 인증서 취득	'17.10～'17.12
1-2 성능 검증	유럽 공인시험기관의 장비로 실험실 시험	'17.1～'17.9
	공인시험기관의 현장시험	'17.9～'17.12
1-3 현장시험	차상장치 및 지상장치 통합 현장시험	'17.3～'17.12
1-4 사용자 검증	지상장치 공단의 성능검증	'17.3～'18.4
	차상장치 공사의 현차시험	'18.1～'18.8
2. 차세대 신호시스템 개발		
2-1 T2I 방식	실용화 연구개발 착수	'18 ～ '21
2-2 T2T 방식	기초기술 및 이론 정립 연구개발 착수	'18 ～ '30
3. 해외 진출 지원		
3-1 전략 수립	해외시장 진출을 위한 맞춤형 전략 수립	'18 ～ '19
3-2 국제행사 참여	국제행사 참여를 위한 기본계획 수립	'17.7 ～ '18
4. 표준화 및 기술기준 마련		
4-1 표준규격 마련	표준규격서(안) 마련 및 제정	～'18
4-2 기술기준 마련	연구용역 시행	'17.4～'17.12
	기술기준(안) 마련 및 제정	～'18

※ KTCS1 : 도시철도용 한국형 무선기반 열차제어시스템('10.12월~'14.7월, 한국철도기술연구원)
※ KTCS2 : 일반·고속철도용 한국형 무선기반 열차제어시스템('14.12월~'18.6월, 한국철도시설공단)
※ ATP(Automatic Train Protection) : 선로에 설치된 전송장치를 통해 선로정보를 제공 받아 차상에서 허용속도를 생성하고 그 속도에 따라 운전 / 경부선 등18개(1,031㎞) 노선에 설치
※ ATC(Automatic Train Control) : 레일을 통해 전송되는 허용속도에 따라 열차를 운전

2. 연구수행내용 및 성과 [1세부]

2.1 연구개발과제 배경



가. 미래 선도형 R&D 추진

(1) 유럽철도연합(ERA) 등 철도 선진국에서 이동폐색을 이용한 열차제어 기술 개발에 착수하고 있어 국내기술 선점 및 주도 필요 [제3차 철도산업발전기본계획('17.02)]

(2) 상호운영성 확보

- 기존 시스템(ETCS L1)은 물론 실용화 예정인 KTCS-2(ETCS L2) 노선에 동일한 차상장치로 운행 가능(향후 국가 간 운행 가능)

  ※ 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률 제19조 제3항

(3) 지상설비 간소화

- 궤도회로를 이용한 열차 위치검지 및 제어기술이 사용되고 있으나 건설비 및 유지보수 비용이 증가하고 열차안전운행의 장애 잠재요인으로 작용하고 있어 궤도회로를 사용하지 않고 위치검지 및 제어할 수 기술이 요구됨

(4) 자동화 기술 요구

- 4차산업의 급속한 확대로 센서 및 제어기술의 발전, 사물인터넷(IoT) 기술의 상용화, 휴먼에러 제로화 등을 위하여 일반철도는 물론 고속철도 등 국가철도망에도 자동운전의 필요성 대두

2.1.1 연구개발 추진 전략 및 방법

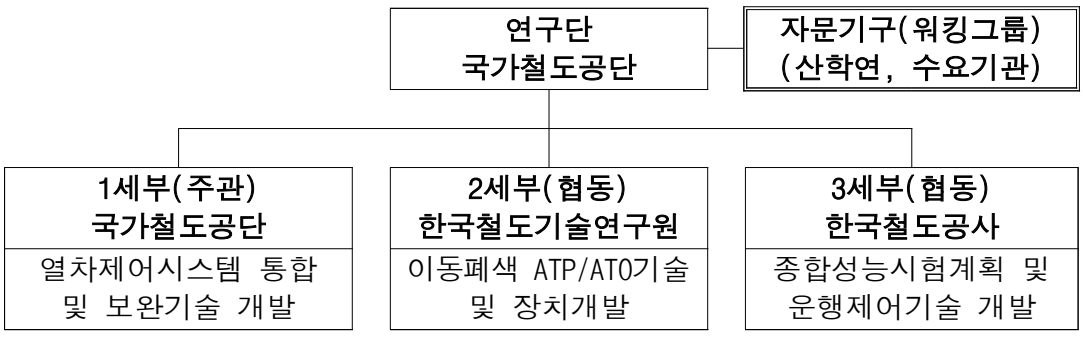
가. 추진전략 및 방법

- 연구과제 목표 달성을 위하여 세분화된 3개 세부과제 별로 연구목표를 구체화하고 세부과제 간 연계내용 및 협력체계 유지



나. 세부과제 별 전략 및 방법

(1) 실용화와 최신기술 접목을 위하여 수요기관 및 산학연 전문가로 구성된 자문기구를 조직하여 연구단 상설 자문단으로 활용



(2) 철도 선진기술 보유국의 연구 및 기술개발 동향을 신속히 파악하고, 국내 열차운영의 특징 및 장단점을 분석하여 국내 운영환경에 최적화된 시스템 구현

(3) 외국의 철도운영 환경을 반영한 시스템 개발로 향후 해외시장 진출 기반 마련

(4) 철도통합무선망의 이례상황 시 안전 확보를 위한 무선통신망 안정성 기술수준 마련

(5) 기술독점방지 및 경쟁체계 확보를 위하여 기술자료는 표준화하고, 연구단 및 산업체와 협의하여 개발된 기술을 실시 할 수 있는 복수의 참여기업을 공모 선정

(6) 열차제어시스템 개발명세서를 2세부 및 3세부와 공유하여 차상ATP/ATO, 지상ATP 및 열차무결성 검지장치의 개발요구사항에 대해 완성도를 높이며 시제품 시험 결과 등으로 변경이 필요한 사항은 수시로 세부간 협의를 통해 최종적으로 표준사양(안)으로 도출 예정

(7) 기획보고서의 열차제어시스템 요구사항과 도출된 개발명세서 및 2세부 협동기관에서 수행한 개발 요구사항에 대해 수시·정기적으로 분석

(8) 2세부에서 추진하는 V-model 이론을 토대로 긴밀한 협의체를 구성하여 개발명세서 및 개발요구사항의 완성도를 높임

(9) 종합성능시험(3세부)의 성능시험 만족을 위한 시스템 개발 목표 및 하부시스템 성능 공유

2.1.2 연구개발 추진 체계

연구개발과제	
과제명	자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발

총 참 여 연 구 원
주관연구책임자 성동일 단장 외 125명

기 관 별 참 여 현 황

구 분	기관수	소 계	총인원
대기업	3	38	126
중소기업	2	43	
출연(연)	2	24	
기 타	2	21	
소 계	9	126	

1세부	주관연구기관	2세부	협동연구기관	3세부	협동연구기관
열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발		이동폐색 ATP/ATO 기술 및 장치개발		종합성능시험계획 및 운행제어기술 개발	
국가철도공단 외 3개 기관		한국철도기술연구원 외 3개 기관		한국철도공사 외 3개 기관	
참 여 연 구 원		참 여 연 구 원		참 여 연 구 원	
주관연구책임자 성동일 외 43명		협동연구책임자 윤용기 외 39명		협동연구책임자 박주훈 외 41명	
담당연구개발내용		담당연구개발내용		담당연구개발내용	
- 시스템 통합 및 사양 개발 - 실용화 지원 기술 - 레일절손검지장치(센서 포함) 개발 - 열차진로제어기술 개발 - 무선통신망 안정성 및 가용성 향상기술 개발		- 차상ATP/ATO·지상ATP 사양 개발 및 차상-지상장치 통합 - 이동폐색용 지상ATP 개발 자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 개발 - ATP/ATO 요구사항 및 설계/제작 검증 관리		- 종합성능시험 기본계획 수립 - 열차무결성검지기술 개발 - 열차운행관제기술 개발 - 종합성능시험 인프라 (지상 및 차상장치) 설계	

2.1.3 연구개발 추진 일정

[1세부]

연차	연구목표	연구내용	추진일정(개월)												연구비(백만원)	비중(%)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1차년도(9개월)	시스템통합 및 사양개발	개발요구사항 조사 및 분석	■	■	■	■	■	■	■	■	■				57	
		하부시스템 개발 요구사항 작성 및 검증	■	■	■	■	■	■	■	■	■				50	
	레일절손검지개발	요구사항 분석	■	■	■	■	■	■	■	■	■				45	
		기본설계	■	■	■	■	■	■	■	■	■				45	
	열차진로제어기술개발	요구사항 분석 및 개념설계	■	■	■	■	■	■	■	■	■				100	
		연구결과 활용방안 도출	■	■	■	■	■	■	■	■	■				23	
	무선통신망 안정성 및 가용성 향상기술개발	ETCS L3 열차제어시스템 무선통신망 요구사항 연구	■	■	■	■	■								30	
		열차제어시스템 무선통신망 요구사항 정의서 작성						■	■	■	■				30	
		UIC 열차제어용 무선통신 기술 동향 연구	■	■	■	■	■	■							30	
		열차제어 무선통신 기술 동향 분석서 작성							■	■	■				26	
	소계														436	0
2차년도(12개월)	시스템통합 및 사양개발	열차제어시스템 개발 명세서 작성 및 검증	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	260	
		인터페이스 명세서 작성 및 검증	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	270	
	레일절손검지개발	DAS시범 설치결과 분석 및 보완사항 도출	■	■	■	■	■	■	■	■					40	
		레일절손검지장치 상세설계			■	■	■	■							100	
		외부 인터페이스 설계			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	40	
		레일절손검지장치 제작							■	■	■	■	■	■	240	
	열차진로제어기술개발	기능 및 성능 명세서 작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	71	
		진로제어용 연동장치 시뮬레이터 제작	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	70	
	무선통신망 안정성 및 가용성 향상기술개발	안전성/가용성 향상을 위한 LTE 무선접속제어 알고리즘 연구	■	■	■	■	■	■	■						119	
		안전성/가용성 향상을 위한 무선접속 제어 알고리즘 시험환경 구축 및 시험 시나리오 작성						■	■	■	■	■	■	■	100	
		열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 연구	■	■	■	■	■	■	■						110	
		열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 시험 환경구축 및 시험시나리오 작성						■	■	■	■	■	■	■	100	
	소계														1,520	0

연차	연구목표	연구내용	추진일정(개월)												연구비(백만원)	비중(%)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
3차년도(12개월)	시스템통합 및 사양개발	열차제어시스템 개발 명세서 작성 및 보완	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	250	
		기술기준 및 규격 제/개정(안) 작성 및 보완	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	268	
	레일절손검지개발	단위 시험	■	■	■	■									170	
		시스템 연동 시험 및 보완					■	■	■	■	■	■			200	
		신뢰성 검증							■	■	■	■	■	■	120	
	열차진로제어기술개발	시험 계획서 작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	245	
		진로제어용 연동장치 시뮬레이터 검증	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	200	
	무선통신망 안정성 및 가용성 향상기술개발	무선접속제어 알고리즘 연구	■	■	■	■	■	■	■	■					130	
		무선접속제어 알고리즘 성능검증							■	■	■	■	■	■	125	
		열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 구현	■	■	■	■	■	■	■	■					125	
		열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 성능평가							■	■	■	■	■	■	125	
	소계														1,958	0

2.2 세부과제 별 연구수행내용 및 성과

2.2.1 열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발 _ 국가철도공단

가. 세부과제 별 연구수행 총괄관리 및 성과 통합관리

○ 『자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 개발』 과제의 총괄관리를 위한 통합공정회의, 각종회의를 개최하고 홍보 및 전시활등의 연구성과 확산을 위한 업무를 수행함

(1) 공정회의 추진실적

○ 공정회의는 통합공정회의 세부과제 공정회의 및 이슈사항 발생시 상시 운영함. 특히, 통합공정회의 시행을 통해 세부과제 간 인터페이스, 문제점 도출 및 해결함

※ 3차연도(2020년)는 COVID-19의 영향으로 서면회의를 시행함

시행일자	주 요 안 건	비 고
2018.06.14	1세부 기관 별 성과 공유 및 인터페이스 수립 등	1차년도
2018.07.04	세부과제별 1차년도 연구목표 대비 이행실적 점검 등	
2019.04.23	2차년도 연구 이행실적, 계획현황 파악 등	2차년도
2019.07.18	인터페이스 협의, 연구단 협약변경 방안 토의 등	
2019.10.02	세부과제 별 2차년도 연구목표 대비 이행실적 점검	
2020.01.16	1세부 기관 별 공정현황 발표 등	3차년도
2020.02.14	세부과제 별 3차년도 연구목표 수행계획 점검 등	
2020.05.21	연구목표 대비 실적 검토, KTCS-3 상용화 방안 등	
2020.09.22	최종평가 사전점검 대비 과제 진행현황 점검 등	









(2) 워킹그룹 운영 실적

○ “자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체 기술개발” 과제를 추진하면서 대내·외 리더급의 전문가로 구성된 워킹그룹을 운영하여 연구성과의 전문성 및 완성도를 높임

○ 주요 이슈사항, 연구성과 도출 등의 이벤트 발생시 Working Goup을 상시 가동하여 전문가의 의견을 반영한 연구성과를 도출코자 노력함

시행일자	주 요 안 건	비고
2018.11.12	워킹그룹 자문단 구성	1차년도
2019.11.05	가상폐색 길이 및 궤도절손 검지기술 수준 적정성 등	2차년도
2020.06.18	종합성능시험의 현차시험 간소화 방안 적정성 등	3차년도
2020.08.25	ETCS L3 현장시험 대비 차량 대체방안 등	3차년도
2020.12.16	ETCS L3 연구목표 달성 수준의 적정성 등	3차년도









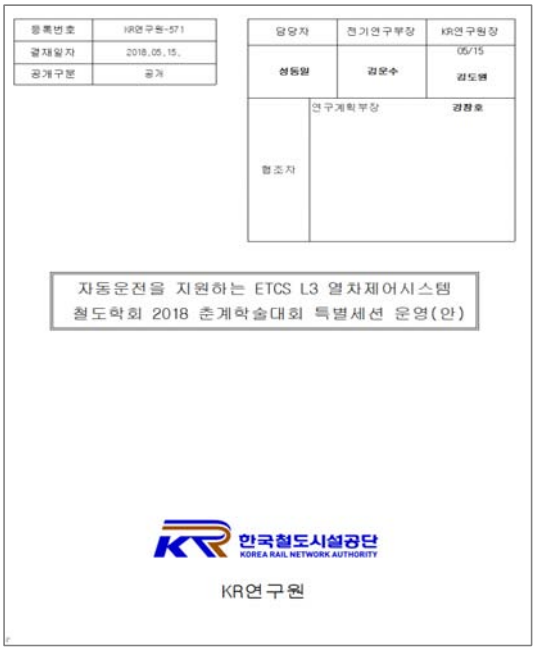
(3) 홍보 및 전시활동

○ “자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발” 과제에 대한 연구성과 홍보 및 기술 교류 등을 위해 철도학회 특별세션 운영을 통한 성과물 홍보, 시작품 전시 등의 업무를 수행함

(가) 1차년도

① 2018 철도학회 춘계학술대회 특별세션 운영(‘18.5.18.)

※ 연구성과 홍보 (발표 7건)



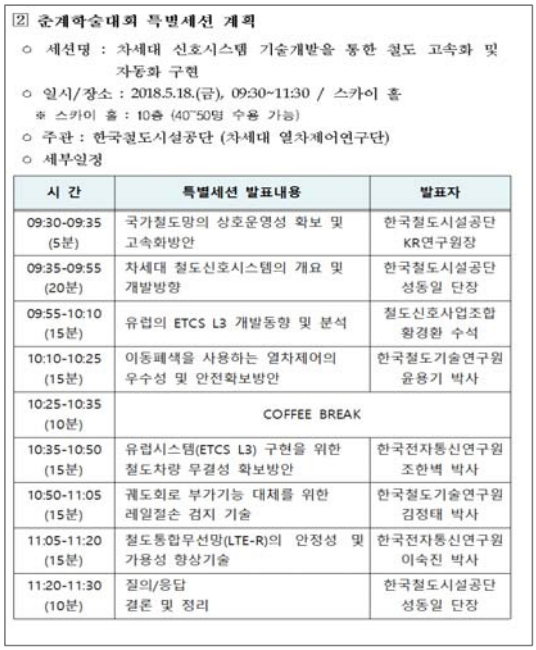
등록번호	KR연구원-571
결재일자	2018.05.15.
공개구분	공개

담당자	전기연구부장	KR연구원장
성동일	김오수	05/15 김도명
협조자	연구계획부장	강창호

자동운전을 지원하는 ETCS L3 열차제어시스템
철도학회 2018 춘계학술대회 특별세션 운영(안)

한국철도시설공단 KOREA RAIL NETWORK AUTHORITY

KR연구원



② 춘계학술대회 특별세션 계획

○ 세션명 : 차세대 신호시스템 기술개발을 통한 철도 고속화 및 자동화 구현

○ 일시/장소 : 2018.5.18.(금), 09:30~11:30 / 스카이 홀

※ 스카이 홀 : 10층 (40~50명 수용 가능)

○ 주관 : 한국철도시설공단 (차세대 열차제어연구단)

○ 세부일정

시 간	특별세션 발표내용	발표자
09:30-09:35 (5분)	국가철도망의 상호운영성 확보 및 고속화방안	한국철도시설공단 KR연구원장
09:35-09:55 (20분)	차세대 철도신호시스템의 개요 및 개발방향	한국철도시설공단 성동일 단장
09:55-10:10 (15분)	유럽의 ETCS L3 개발동향 및 분석	철도신호사업조합 황경환 수석
10:10-10:25 (15분)	이동폐색을 사용하는 열차제어의 우수성 및 안전확보방안	한국철도기술연구원 윤용기 박사
10:25-10:35 (10분)	COFFEE BREAK	
10:35-10:50 (15분)	유럽시스템(ETCS L3) 구현을 위한 철도차량 무결성 확보방안	한국전자통신연구원 조한벽 박사
10:50-11:05 (15분)	궤도회로 부가기능 대체를 위한 레일절손 검지 기술	한국철도기술연구원 김정태 박사
11:05-11:20 (15분)	철도통합무선망(LTE-R)의 안정성 및 가용성 향상기술	한국전자통신연구원 이숙진 박사
11:20-11:30 (10분)	질의/응답 결론 및 정리	한국철도시설공단 성동일 단장



<특별세션 발표 1>



<특별세션 발표 2>



<특별세션 발표 3>

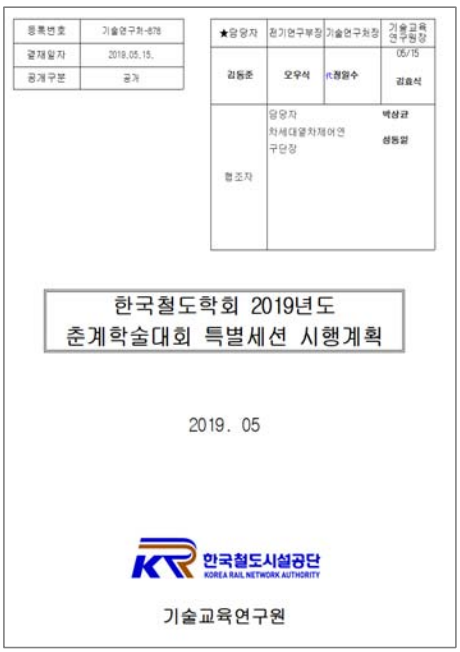


<연구단 단체사진>

(나) 2차년도

① 2019 철도학회 춘계학술대회 특별세션 운영(‘19.5.23.)

※ 연구성과 홍보 (발표 6건)



등록번호	기술연구처-678
결재일자	2019.05.15.
공개구분	공개

★담당자	책임연구부장	기술연구처장	기술교육연구원장
김동준	오우석	代정원수	05/15 김효석
협조자	담당자 차세대열차제어연구단장		박상규 성동일

한국철도학회 2019년도
춘계학술대회 특별세션 시행계획

2019. 05

한국철도시설공단
KOREA RAIL NETWORK AUTHORITY

기술교육연구원

[2] 춘계학술대회 특별세션 계획

○ 세션명 : 차세대 신호시스템으로 국가철도망의 고속화 및 자동화 구현
○ 일시/장소 : 2019.05.23.(목), 10:30 ~ 12:30 / 세미나실2
※ 세미나실2 : B1세미나실
○ 주관 : 한국철도시설공단 (차세대 열차제어연구단)
○ 세부일정

시 간	특별세션 발표내용	발표자
10:30-10:50 (20분)	차세대 철도신호시스템의 개요 및 개발방향	한국철도시설공단 성동일 단장
10:50-11:10 (20분)	이동폐색 및 자동운전 기술 구현방안	한국철도기술연구원 윤용기 박사
11:10-11:30 (20분)	이동폐색(ETCS L3) 구현을 위한 차량 무결성 확보 및 관제방안	한국철도공사 박주훈 책임
11:30-11:40 (10분)	COFFEE BREAK	
11:40-11:55 (15분)	철도통합무선망(LTE-R)의 안정성 및 가용성 향상기술	한국전자통신연구원 윤병식 박사
11:55-12:10 (15분)	궤도회로 부가기능 대체를 위한 레일절손 검지 기술	한국철도기술연구원 김정태 박사
12:10-12:25 (15분)	세계전파통신회의(WRC) 19 철도의제 현황	한국전자통신연구원 조한벽 박사
12:25-12:30 (5분)	질의/응답 결론 및 정리	한국철도시설공단 성동일 단장



<특별세션 발표 1>



<특별세션 발표 2>



<연구단 단체사진>

(다) 3차년도

① 2020 철도학회 춘계학술대회('20.7.7.~7.8.)

○ 온라인 E-부스 전시 및 논문발표 6건

※ COVID-19 로 인한 '2020년 한국철도학회 춘계학술대회' 온라인 개최

2020. 9. 10. 국가철도공단으로 새롭게 시작합니다.

한국철도시설공단

수신자 내부결재
(경유)
제목 "ETCS L3 열차제어시스템" 2020 철도학회 춘계학술대회 결과보고
상위문서 ID 처리기한

『1. 관련 사항
가. 국가 R&D「자동운전을 지원하는 ETCS L3 열차제어시스템 및 궤도회로 기능 대체기술 개발」
나. 2020년 철도학회 춘계학술대회 온라인 개최 알림[기술연구처-2035호(2020.6.18.)]

2. 2020년 철도학회 춘계학술대회가 온라인으로 개최됨에 따라 상기 과제와 관련하여 온라인 춘계학술대회 논문 발표 및 E-부스 전시를 완료하고 그 결과를 다음과 같이 보고합니다.

3. 철도학회 참여내용

구 분	내 용
논문발표	KTCS의 SA 안전성 입증을 위한 위험원 정의 등 총 6건
E-부스 전시	KTCS-3 차상 및 지상장치 시작품 전시 등
학회 참가비	금80,000원 × R&D 참여연구원 4인 = 금320,000원 (참가비는 별도 지급절의 문서로 지급예정)

붙임 1. ETCS L3 철도학회 결과보고 1부.
2. ETCS L3 철도학회 발표 논문 각 1부.
3. ETCS L3 철도학회 E-부스 전시자료 1부. 끝.』

★담당자 이민규 시스템연구부 오우석 기술연구처장 07/13 박종원
협조자 참셀대열차제어연구 성등일
시행 기술연구처-2353 (2020.07.13.) 접수 ( )
우 / http://www.kr.or.kr
전화 042-607-4345 /전송 . / eminkyu@kr.or.kr / 비공개(5)

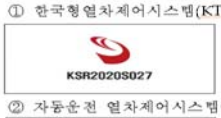
국민의 나라 정의로운 대한민국

「ETCS L3 열차제어시스템 및 궤도회로 대체기술 개발」
2020 한국철도학회 온라인 학술대회 결과보고
한국철도시설공단 차세대열차제어연구단

1 철도학회 논문발표 결과

❒ 논문건수 : 총 6건

① 한국형열차제어시스템(KTCS)의 SA 안전성 입증을 위한 위험원 정의



② 자동운전 열차제어시스템에서 열차 운전모드 기능 구현에 관한 연구



③ 철도 무선통신용 암호키 관리 기술의 국내 적용에 관한 연구



④ ETCS L3 안전성 확보를 위한 연동장치와 레일절손검지장치 간 인터페이스 방안



⑤ 실시간 운행 스케줄을 준수하는 에너지 저감 열차자동운전 프로파일 알고리즘 시뮬레이션 결과 고찰



⑥ ATO over ETCS의 자동운전 속도프로파일 연산을 위한 ATO-ATP 인터페이스에 대한 고찰



2 철도학회 E-부스 전시 결과

❒ 전시내용
○ 연구과제 개요, 목표 및 ETCS L3 연구단 소개
○ KTCS 열차제어시스템 비교 및 개요도
○ KTCS-3(ETCS Level 3급) 차상 및 지상장치 시작품 설명

❒ 전시결과 : 한국철도시설공단 E-부스 운영 화면



② 연구성과 설명회 시행(‘20.10.20.)

○ 차세대 열차제어시스템의 기술 선점을 위하여 본 R&D 과제로 개발한 KTCS-3 핵심기술의 연구 성과를 수요기관은 물론 산 · 학 · 연 등과 공유하고 향후 본 기술의 실용화를 위한 관련 의견 수렴을 위해 설명회를 시행함

※ COVID-19 확산 방지를 위해 온라인 화상방식으로 시행

등록번호	기술연구처-3568
결재일자	2020. 10. 30.
공개구분	공개

★담당자	시스템연구부장	기술연구처장	인재개발연구원장
이민규	성동일	박종원	10/30 김용환
협조자	차세대열차제어연구단장 연구계획부장		성동일 이성기

「차세대 열차제어시스템 KTCS-3」
연구성과 설명회 결과보고

국가철도공단
KOREA NATIONAL RAILWAY
인재개발연구원 기술연구처

※ 설명회 주요 안건

○ 국가 R&D “KTCS-3(열차제어시스템)” 개발의 연구 성과

○ KTCS-3 실용화를 위한 사업화 방안(하위 단계 노선의 상호운영성)

○ 열차제어시스템의 국외 현황 및 기술발전을 위한 논의

※ 설명회 주요 질의/응답

○ 자동운전 기술을 KTCS-2 시스템에 먼저 도입하여 실용화를 빠르게 이룰 수 없나?

: 연구 성과물 조기 실용화 방안으로 검토 중인 사항으로 KTCS-2 시스템에 반영되도록 적극 검토하겠음.

○ ETCS Subset에는 현재 Level 1~3급 ATP에 대한 시나리오만 있는데 ATO 시나리오의 진행 상황이 궁금하다.

: Multitel, CEDEX 등에서 ATO 시나리오를 작업 중에 있으며 그 중 일부가 연구기관에 제공됨. 향후 유럽에서 이를 Subset 방식으로 ATO 시나리오 규격화 예정

○ Test Case 내 Negative case가 추가 되어있는데, 이에 대한 내용이 궁금하다.

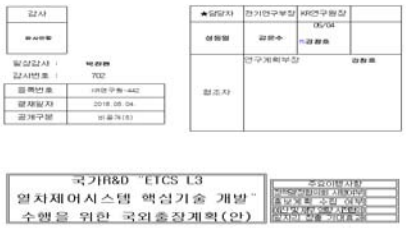
: SIL 인증을 받기 위한 특정상황(고장발생 등)에 대한 시험 절차에 관한 내용임.

(4) 국외출장 시행

○ “자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발” 국가R&D 과제에 대해 국제 경쟁력 강화 및 선진철도 기술확보, 유럽 기술과의 교류 등을 위해 국외출장을 업무를 수행함

(가) 1차년도

① ERTMS & ETCS 2018 철도 신호 컨퍼런스 등



KR연구원

1) 출장기간 : 18.5.6. ~ 5.13.

2) 출장국가 : 영국, 벨기에, 독일

3) 출 장 자 : 참여연구원 4명

4) 출장내용

- ETCS 기반 ATO 노선 탑승 및 기술조사
- ERTMS & ETCS 2018 철도신호 컨퍼런스 참석
- ETCS 시험기술 및 상호운영성 확보 기술 조사

(나) 2차년도

① 유럽열차제어시스템 컨퍼런스(The Future of Railway Signalling) 등



기술교육연구원 기술연구처

1) 출장기간 : 19.3.26. ~ 4.3.

2) 출장국가 : 영국, 벨기에, 스페인

3) 출 장 자 : 참여연구원 3명

4) 출장내용

- 컨퍼런스(The Future of Railway Signalling) 참석
- ETCS 공인시험 평가절차/인프라 및 국외수출 대비 협력방안 협의
- 철도 선진국의 ATO 현황 및 선진기술 협력방안 마련

② 유럽열차제어시스템 컨퍼런스(CCRCC) 참석 등



기술교육연구원 기술연구처

1) 출장기간 : 19.10.14. ~ 10.23.

2) 출장국가 : 프랑스, 네덜란드

3) 출 장 자 : 참여연구원 4명

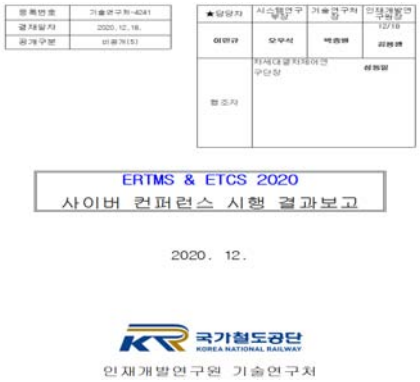
4) 출장내용

- 유럽열차제어시스템 컨퍼런스(CCRCC) 참석
- 고속철도 시스템과 상호운영성 확보를 위한 인터페이스 협의
- ATO 기술 및 시제품 제작/설치, 현장시험 기술 파악

(다) 3차년도

① ERTMS & ETCS The Future of Railway Signalling

※ COVID-19 로 인한 온라인 사이버 컨퍼런스 참여



ERTMS & ETCS 2020
사이버 컨퍼런스 시행 결과보고

2020. 12.

국가철도공단
KOREA NATIONAL RAILWAY
인재개발연구원 기술연구처

1) 시행기간 : 20.12.7. ~ 12.10.

2) 주 최 자 : Waterfront Conference Company

3) 참 석 자 : 참여연구원 3명

4) 주요내용

- 철도계획, 지원, 시설 및 시스템의 디지털화
- 이동폐색(ETCS L3) 및 열차자동운전(ATO) 기술
- 차세대 열차제어용 무선통신 및 신호의 미래 발전방향

나. 열차제어시스템 개발 명세서 작성 및 검증

○ 본 국가 R&D는 고속철도 운영환경(최대 350km/h 속도 대역)에서 궤도회로를 사용하지 않고(이동폐색/無궤도회로) 철도무선통신망(LTE-R)만을 활용하여 열차제어가 가능하며 자동운전(GoA2: Grade of Automation 2)을 지원하는 열차제어시스템의 개발을 목적으로 하며, 한국형 열차제어시스템(KTCS-3)에 대한 시스템 요구사항 등을 규정하였다.

(가) 열차제어시스템(KTCS-3) 요구사항 조사 및 분석

① 본 R&D 과제에서 달성해야 할 열차제어시스템 성능목표는 다음과 같으며,

- 열차운행최고속도 : 350km/h
- **열차위치검지정밀도 : ±80m(지상자간 거리 최대 1,500m 적용)**
- **열차속도검지정밀도 : ±8.8km/h(열차최고속도 350km/h 적용)**
- 동적속도프로파일(ATP프로파일)과 알람프로파일 간 속도 여유 : 5km/h
- 동적속도프로파일(ATP프로파일)과 상용제동프로파일 간 속도 여유 : 5km/h
- 열차위치정보 전송주기 : 최소 0.5초
- 열차이동권한정보 전송주기 : 최소 0.5초
- 자동운전모드에서 열차운행최고속도 : 300km/h
- 정위치정치 정밀도 : ±2.5m

항목 별 분석내용은 아래와 같다.

항목	차상장치	지상장치	차량	철도무선망
열차운행 최고속도 : 350km/h	⦿	⦿	○	△
열차위치 검지 정밀도 : ±80m (지상자간 거리 최대 1,500m 적용)	⦿	⦿	○	△
열차속도 검지 정밀도 : ±8.8km/h (열차최고속도 350km/h 적용)	⦿	○	⦿	
동적속도프로파일(ATP프로파일)과 알람프로파일 간 속도 여유 : 5km/h	⦿	○	△	
동적속도프로파일(ATP프로파일)과 상용제동프로파일 간 속도 여유 : 5km/h	⦿	○	△	
열차위치정보 전송주기 : 최소 0.5초	⦿	○		△
열차이동권한정보 전송주기 : 최소 0.5초	○	⦿		△
자동운전모드에서 열차운행최고속도 : 300 km/h	⦿	○		△
정위치정치 정밀도 : ±2.5m	⦿	○		△

[⦿ : 관련성 높음 ○ 관련성 보통 △ 관련성 낮음]

② 자동운전 및 이동폐색에 대한 성능목표 설정의 근거는 다음과 같이 마련하였다.

ⓐ 성능목표

항목	기술 특징	산출기준 (근거)	비고
열차진로 설정시간	10초 이내	NGTC 기능요구사항 부록 A 관제관련[Su-01] · 진로설정 시간: 3~10초 (☞ 10초)	
위치 정밀도	±80m 이내 (발리스 1500m 기준)	Subset-041 성능요구사항 5.3.1.1 측정위치의 정밀도 · 5m + 5% (☞ 5m+1500m×0.05 = 80m)	
속도 정밀도	±8.8km/h 이내 (350기준)	Subset-041 성능요구사항 5.3.1.2 측정속도의 정밀도 · 500km/h에서 ± 12km/h ☞ 12×350/500 = 8.4km/h	보고서 p.38
정위치정차 정밀도	±2.5m 이내	NGTC 기능요구사항 부록 A 열차이동 및 승객안전[Sa-20] · 열차출입문 열림: ± 1~5m ☞ 2.5m로 목표	

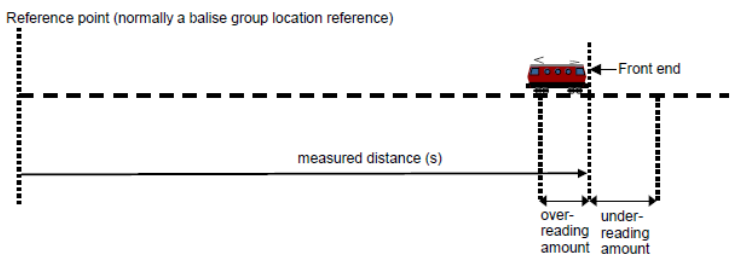
ⓑ 열차진로 설정시간 근거 : NGTC 기능요구사항 부록 A

Criterion reference	Criterion name	Criterion range in different GOAs			
		GOA1	GOA2	GOA3	GOA4
[Su-01]	Time to set a route (s)	3to 10			

ⓒ 열차위치 정밀도 ±80m이내(발리스 1500m기준) : Subset-041 기능요구사항

5.3 Accuracy

5.3.1.1 Accuracy of distances measured on-board

Description	Accuracy of distances measured on-board
Start Event	not applicable
Stop Event	not applicable
Value	for every measured distance s the accuracy shall be better or equal to ± (5m + 5% s), i.e. the over reading amount and the under reading amount shall be equal to or lower than (5m + 5% s). 
Notes	This performance requirement includes the error for the detection of a balise location, as defined in the Eurobalise specifications. Also in case of malfunctioning the on-board equipment shall evaluate a safe confidence interval.

ⓓ 정위치정차 정밀도 근거 : NGTC 기능요구사항 부록 A

Criterion reference	Criterion name	Criterion range in different GOAs			
		GOA1	GOA2	GOA3	GOA4
[Sa-06]	Minimal resolution in the speed measurement (m/s)	± 0,1		± 0,05	
[Sa-07]	Distance between a stopped train and an obstacle (m)	5 to 30			
[Sa-08]	Maximum time to raise an alarm and set the ZOP due to an event internal to the train (s)	1 to 1,5			
[Sa-09]	Maximum time to raise an alarm and set the ZOP due to an event external to the train (s)	0,5 to 1			
[Sa-10]	Maximum time to trigger EB due to an internal event in the train (s)	1 to 2,5			
[Sa-11]	Maximum time to trigger EB due to an external event (s)	1,5 to 3			
[Sa-12]	Time to cut off power for intrusion alarm (s)	3 to 4		4 to 8	
[Sa-13]	Speed margin between the application of Service brake and emergency brake (km/h)	0 to 5		NR	
[Sa-14]	Time to answer an emergency call (s)	2 to 3		2	
[Sa-15]	Time to start the evacuation of a stranded train (s)	900 to 1 800			
[Sa-16]	Time to reach a stranded train (s)	NR			300 to 600
[Sa-17]	Period for checking the clearance of guideway (h)	24			
[Sa-18]	Time for checking a train arriving in depot or shunting area (s)	NR			900 to 1 800
[Sa-19]	Maximum time to trigger the brakes of the moving train during an automatic coupling (s)	NR		0,3 to 0,5	
[Sa-20]	Maximum permitted range for authorising door opening in station not equipped with PDs (m)	± 1 to ± 5			

③ 자동운전 및 이동폐색에 대한 수요기관의 요구사항을 다음과 같이 분석하였다.

㉮ 운전효율 향상 측면

ⓐ 이동폐색(가상폐색 or 완전 이동폐색) 및 운전시격 축소(안전확보)

ⓑ 자동운전 가능

㉯ 안전 확보

ⓐ 이동폐색 적용에 따른 무결성 확보(열차분리 검지, 레일절손 검지)

ⓑ 무선통신망 안정성 및 가용성 향상

ⓒ 안전설비와의 인터페이스

㉰ 상호운영성 측면

ⓐ 현재 운영 중인 시스템과 상호운영 가능

ⓑ 고속철도 열차제어시스템(TVM-430)과 연계운행 가능

④ 위 요구사항을 토대로 자동운전이 가능한 이동폐색 기반 열차제어시스템의 요구사항을 충족하기 위한 개발명세서의 작성 방향을 다음과 같이 설정하였다.

ⓐ 이동폐색 열차제어시스템 : ETCS 기술규격(Subset) 기반 이동폐색 구현

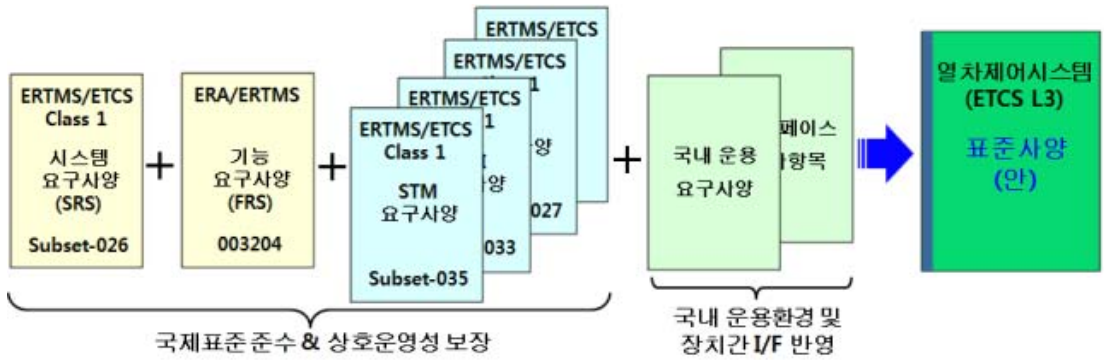


그림 1. 이동폐색 시스템의 사양 마련

ⓑ 자동운전시스템 : ETCS 기반 자동운전(EoA) 기술 구현

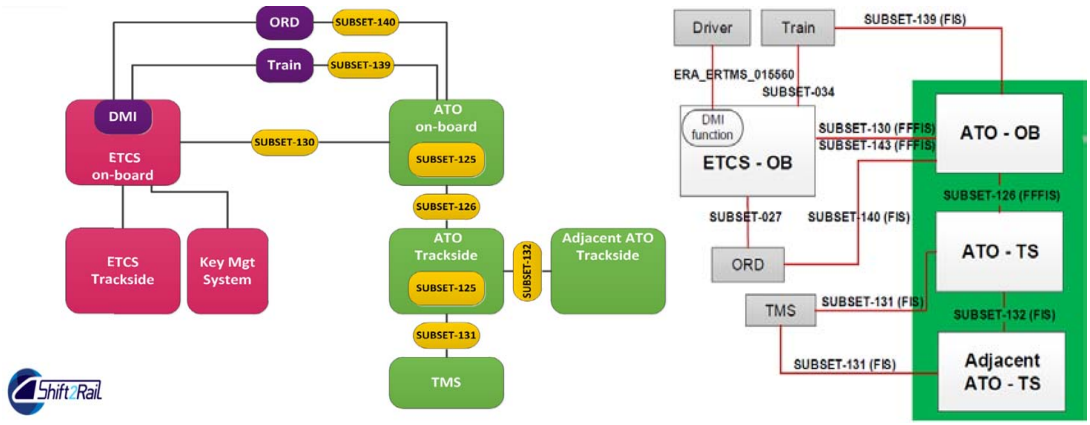


그림 2. 국가철도망의 자동운전 구현 방안

(나) 이동폐색 제어기술

① 열차위치 및 열차속도 검지 정밀도

○ 이동폐색은 궤도회로를 사용하지 않으며 열차위치 검지방식과 정보전송 프로세스는 아래와 같다.

표 1. 열차위치 검지방식/정보전송 프로세스

구분	Level 1 & 2	Level 3
특징	궤도회로 사용	**궤도회로 없음**
열차위치 검지	궤도회로	**열차에서 위치보고**
위치정보 흐름	궤도회로 → 전자연동장치	**열차 → RBC → 전자연동장치**

- 또한 ETCS의 열차 위치검지, 이동권한(MA) 생성에 대한 원리 및 정보의 흐름은 다음 그림과 같이 나타낼 수 있으며,

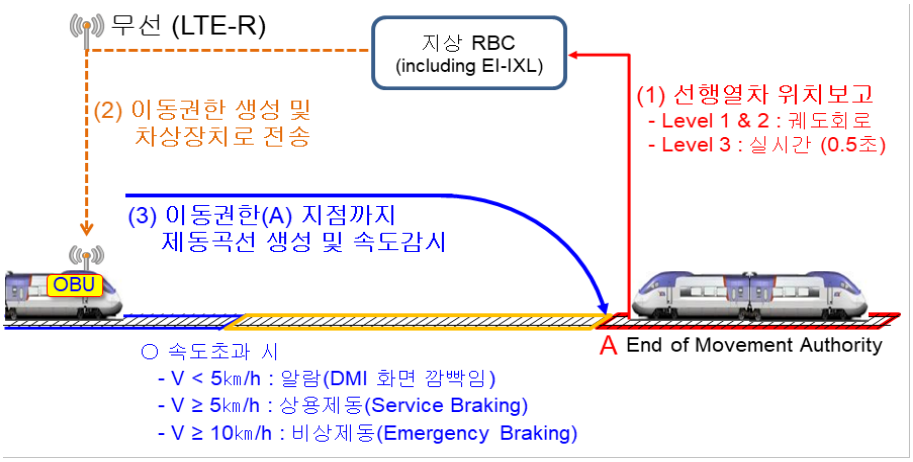


그림 3. ETCS 열차위치검지, 이동권한 생성의 원리/정보 흐름

- 열차에서 지상으로의 위치보고는 다음과 같다.

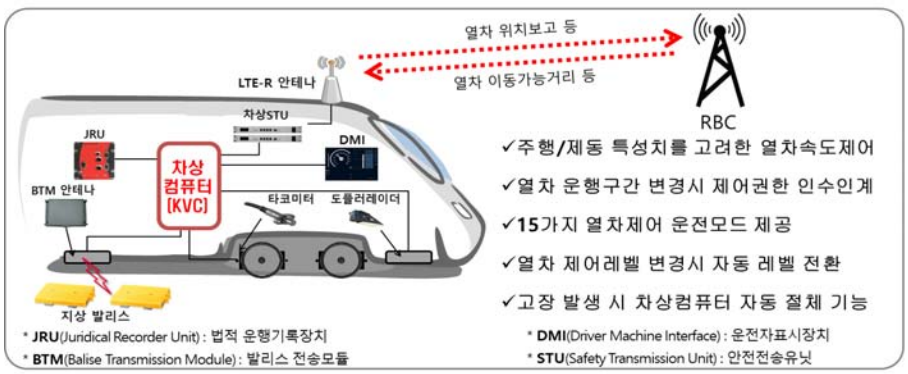


그림 4. 열차에서 지상으로의 위치보고

- 따라서, Level 3에서 열차위치 검지방식은 아래 그림과 같다.

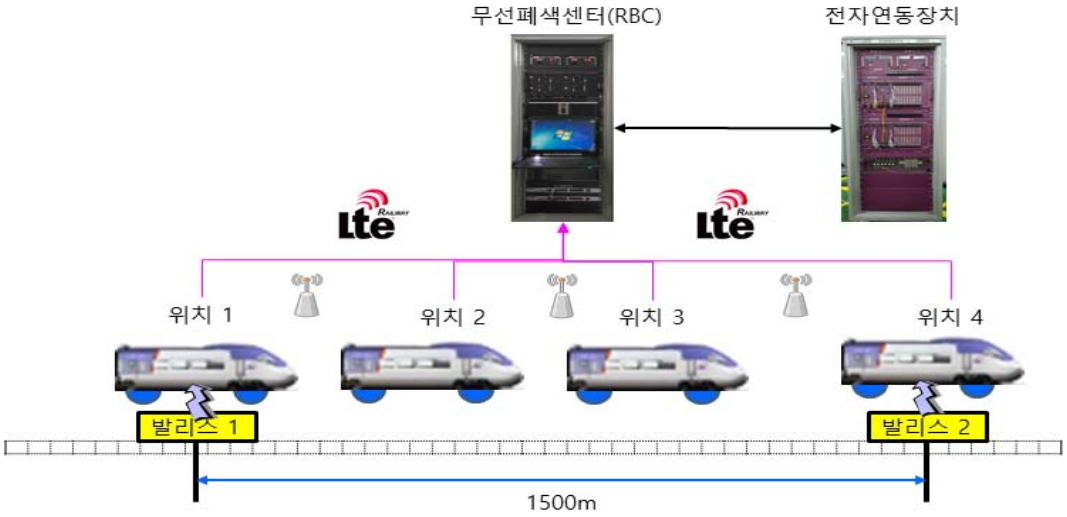


그림 5. ETCS Level 3 열차위치 검지방식

표 2. 위치보고

지점	위치보고 내용	비고
위치 1	발리스 그룹(고정) 1번을 지나면서 열차위치를 RBC로 보고	발리스 그룹은 설치위치가 고정되어 있으므로 위치 오차 없음
위치 2	위치 1번 보고 0.5초 후 차량컴퓨터장치는 열차의 이동거리를 연산하여 RBC로 위치보고	위치 2번까지의 이동거리 연산 과정에서 오차 발생 가능
위치 3	위치 2번 보고 0.5초 후 차량컴퓨터장치는 열차의 이동거리를 연산하여 RBC로 위치보고	위치 3번까지의 이동거리 연산 과정에서 오차 발생 가능
위치 n	위치 3번 보고 0.5초 후 차량컴퓨터장치는 열차의 이동거리를 연산하여 RBC로 위치보고	위치 n번까지의 이동거리 연산 과정에서 오차 발생 가능
위치 4	발리스 그룹(고정) 2번을 지나면서 열차위치를 RBC로 보고	발리스 그룹은 설치위치가 고정되어 있으므로 위치 오차 없음

- 열차위치를 보고받는 무선폐색센터(RBC)가 지상구간에서 열차위치 검지의 최초 수단이 됨을 알 수 있으며, 메시지 규칙은 ETCS Subset-026-8.6.3항의 136번 메시지에 따른다.

표 3. Message 136: Train Position Report

Field No.	VARIABLE/ PACKET	Remarks
1	NID_MESSAGE	
1.	L_MESSAGE	
2.	T_TRAIN	
3.	NID_ENGINE	
4.	Packet 0 or 1	
5.	Optional packets	

- 0.5초 간격으로 열차위치를 보고하는 방식은 ETCS Subset-026 7.4.3.1에 따르며 그 메시지 형식은 다음과 같다.

표 4. ETCS 위치보고(패킷 0번)

변수	길이	내용
NID_PACKET	8	패킷 ID
L_PACKET	13	패킷 길이
Q_SCALE	2	거리값에 대한 배율값
NID_LRBG	10+14	마지막 상대적인 발리스 그룹의 ID
D_LRBG	15	마지막 관련된 발리스 그룹과 예상되는 열차 선두부 사이의 거리
Q_DIRLRBG	2	LRBG의 방향에 관련된 열차 이동방향
Q_DLRBG	2	측정된 열차 선두부가 LRBG의 어느 쪽에 있는지 나타내는 식별자
L_DOUBTOVER	15	신뢰구간의 하한과 D_LRBG의 측정값 사이의 차이
L_DOUBTUNDER	15	신뢰구간의 상한과 D_LRBG의 측정값 사이의 차이
Q_LENGTH	2	열차 무결성 식별자
L_TRAININT	15	안전열차 길이
V_TRAIN	10	실제 열차 속도
M_MODE	4	차상 운영모드
M_LEVEL	3	현재 운영레벨
NID_STM	8	국가 철도시설의 각 성분을 반영하는 특수운영모드 식별자

- 열차에서 0.5초 간격으로 이동거리를 연산하여 위치를 보고함에 따라 이동거리 연산에서 발생할 수 있는 오차는 아래 그림과 같으며,

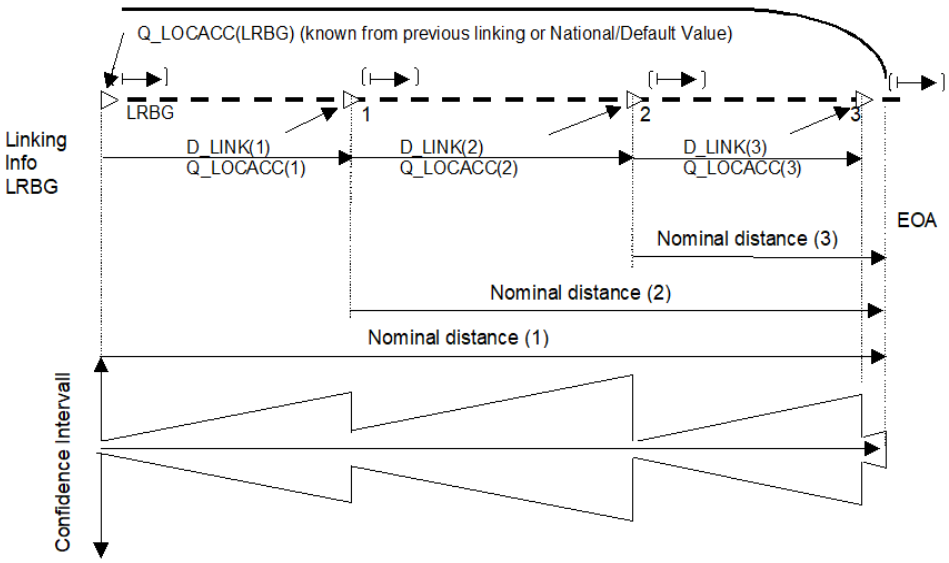


그림 6. 이동거리 연산에서 발생할 수 있는 오차

- 위치 및 속도 오차의 발생 원인으로는
  - 차량에 설치된 속도계 또는 주행거리계의 오차
  - 차륜 직경의 오차 (차륜 삭정 등 직경 변경요인의 입력 가능 여부)
  - 차상컴퓨터(KVC)에서 지상 RBC까지 정보전송의 지연(처리속도, LTE-R망 등)

- 위 3가지 항 등을 고려하여 볼 수 있다. 첫 번째와 두 번째 항의 경우는 차량의 성능에 따른 사항으로 본 열차제어시스템의 개발명세서에서는 제외하며, 마지막 항목은 Subset-041 5.3.1.2항의 차상장치의 속도 정확성 조항을 검토하였다.

5.3.1.2 Accuracy of speed known on-board

Description	accuracy of speed known on-board
Start Event	not applicable
Stop Event	not applicable
Value	± 2 km/h for speed lower than 30 km/h, then increasing linearly up to ± 12 km/h at 500 km/h
Notes	

그림 7. Subset-041 Performance Requirements for Interoperability

- 위 Subset 내용처럼, 500km/h 속도에서 ±12km/h의 정밀도 요구사항을 선형 비례하여 350km/h로 산출한 결과 8.4km/h의 값을 얻을 수 있으므로 RFP의 요구사항을 충족할 수 있음을 확인할 수 있다.

② 동적속도 프로파일과 알람 프로파일 간 속도 여유 : 5km/h

동적속도 프로파일(ATP프로파일)과 상용제동 프로파일 간 속도 여유 : 5km/h

○ 열차의 운행속도가 차상컴퓨터에서 연산하여 DMI에 표시하는 허용속도를 초과할 경우 알람 및 상용제동 간의 속도에 대하여 Subset-026 부록 A3.1을 검토한 결과 허용속도와 비상제동 간의 최소/최댓값을 정하고 있으며, 상용제동은 없으므로 기존 국내 운영환경 및 RFP 요구사항을 반영하여 다음과 같이 정의하였다.

표 5. Subset-026-3, Appendix 3.1 List of Fixed Value Data

고정된 상수 (Fixed Value Data)	값(Value)	명칭(Name)
허용속도와 비상제동이 동작하는 속도의 최소 차이값 Speed difference between Permitted and Emergency Brake Intervention limit, minimum value	5 km/h	DV_EBI_{min}
허용속도와 비상제동이 동작하는 속도의 최대 차이값 Speed difference between Permitted and Emergency Brake Intervention limit, maximum value	15 km/h	DV_EBI_{max}

표 6. 알람 프로파일 및 상용제동 프로파일 간 속도 여유

고정된 상수 (Fixed Value Data)	값(Value)
허용속도와 알람 프로파일 간 속도 여유	+0 ~ +5 km/h
허용속도와 상용제동 프로파일 간 속도 여유	+5 ~ +10 km/h
허용속도와 비상제동 프로파일 간 속도 여유	+10 km/h

③ 열차이동권한정보 전송주기(0.5초)

○ 열차이동권한 전송은 열차위치보고의 주기(0.5초) 및 정보흐름과 같고, 메시지 내용은 다음과 같다.

Field No.	VARIABLE	Remarks
1	NID_MESSAGE	
6.	L_MESSAGE	
7.	T_TRAIN	
8.	M_ACK	
9.	NID_LRBG	
10.	Level 2/3 Movement Authority	Packet 15
11.	Optional packets	

- 열차의 이동권한을 생성할 때 고려할 사항으로 안전을 확보한 상태에서 열차운전을 단축하는 것이 필요하므로 선행열차 위치를 실시간으로 검지하여 후행열차가 안전하게 운전이 가능한 거리를 다음과 같이 검토하였다.

표 7. 고정폐색과 이동폐색의 거리비교

구분	고정폐색	이동폐색
궤도회로	있음(1,500m)	없음
열차위치 검지 단위	궤도회로(1,500m 간격)	실시간 (350㎞/h 오차 ±80m)
후속열차의 정지목표 지점	진행방향 기준으로 선행열차가 점유한 궤도회로 이전의 궤도회로 시작지점	진행방향 기준으로 선행열차후부 위치에 추가 안전거리 시작지점
열차간격	고정폐색 7개 [10.5㎞]	이동폐색 [KTX 최소제동거리* + 안전거리]

* 최소 제동거리 : 3300m, 안전거리 : 열차길이(400m)의 3배(1200m)

- 따라서, 고속철도에 운용 중인 열차제어시스템에서 선행열차의 위치에 따라 후행열의 운행이 가능한 속도코드를 생성하는 현재 시스템에서 열차 간격은 궤도회로 단위로 7개 폐색을 유지하게 되며, 6개 폐색 이하로 접근할 경우 감속 속도코드가 전송되어 최고 운행속도를 유지할 수 없게 된다.
- 그러나, 이동폐색은 KTX 차량의 비상제동에 따른 최소 제동거리 및 상용제동 거리, 점착력 및 제동력 변화 등을 감안하여 선행열차 후부지점에서 열차길이 3배의 안전거리를 추가하여 이동권한을 생성하면 최고속도를 유지하면서 선행열차와의 근접운행이 가능하게 되어 운전시격을 단축할 수 있게 된다.

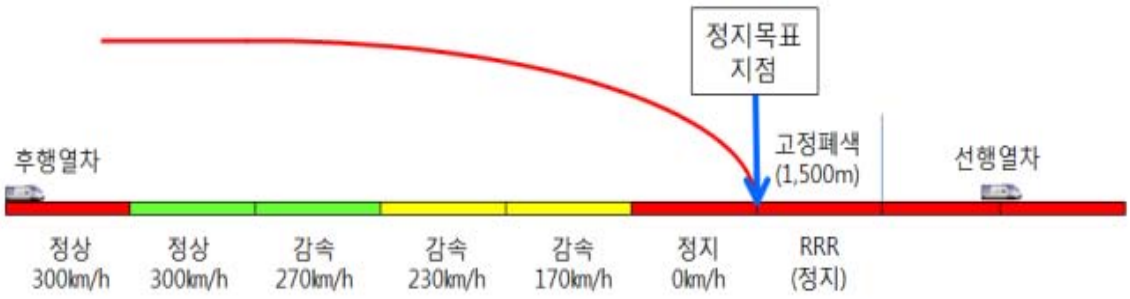


그림 8. 고정폐색

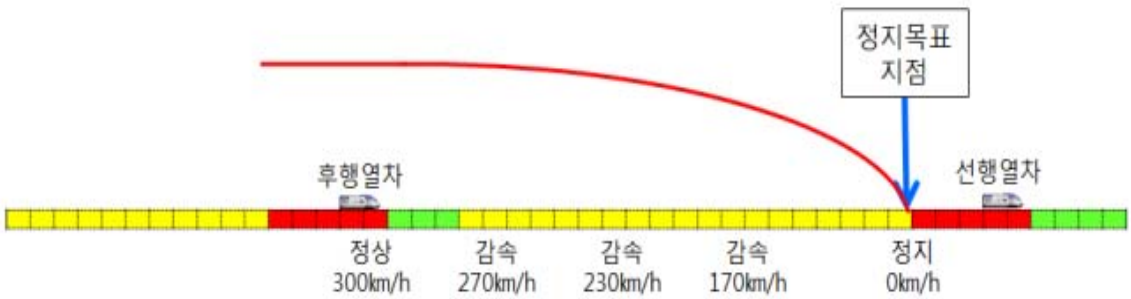


그림 9. 이동폐색

(다) 자동운전모드 운행속도 및 정위치 정차 정밀도(±2.5m)

① 열차 자동운전은 도시철도의 ATC, 경전철 등의 CBTC에서 이미 구현하여 운영 중이나 ETCS 기반의 자동운전 기술은 외국의 일부 노선에서만 제한적으로 운영 중에 있다.

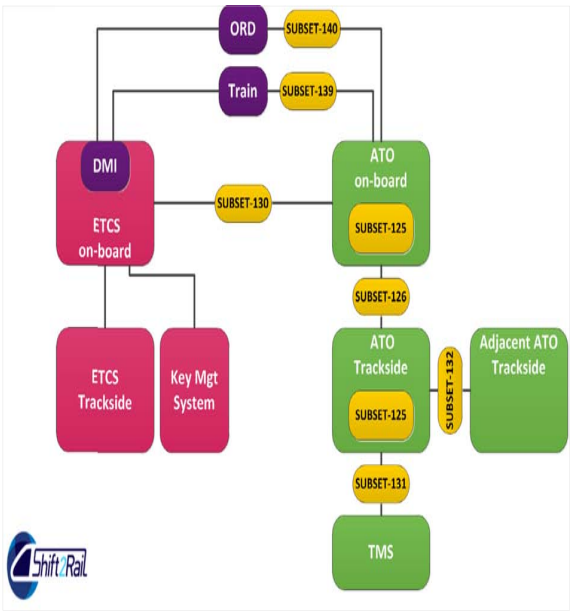


그림 10. EoA (ETCS over ATO) 개요도

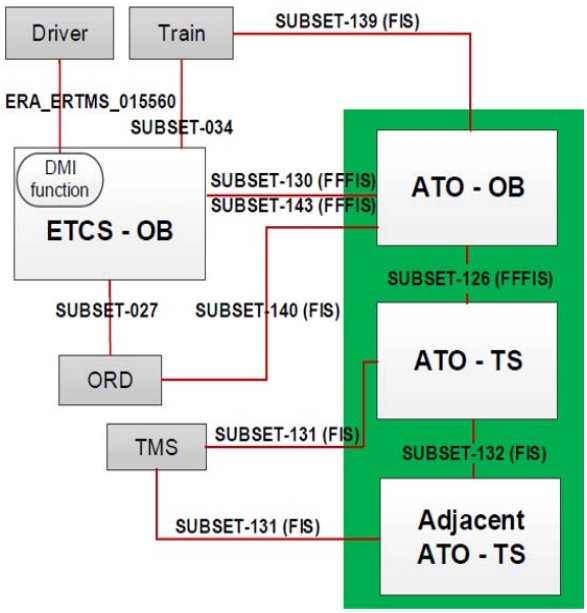


그림 11. EoA (ETCS over ATO) 아키텍처

- 다른 열차제어시스템의 자동운전과는 달리 EoA의 특징은 기존의 ETCS 장치를 그대로 사용하면서 ATO 장치를 추가하여 자동운전이 가능하다는 것이다.
- 다음은 열차 자동운전의 시퀀스에 대하여 검토 하였으며, 당해 연구과제의 열차자동운전의 기술단계 목표는 기관사가 탑승한 자동운전(GoA 2)이므로 열차 자동운전 개시 및 종료의 시퀀스 다이어그램은 다음과 같이 정의할 수 있다.

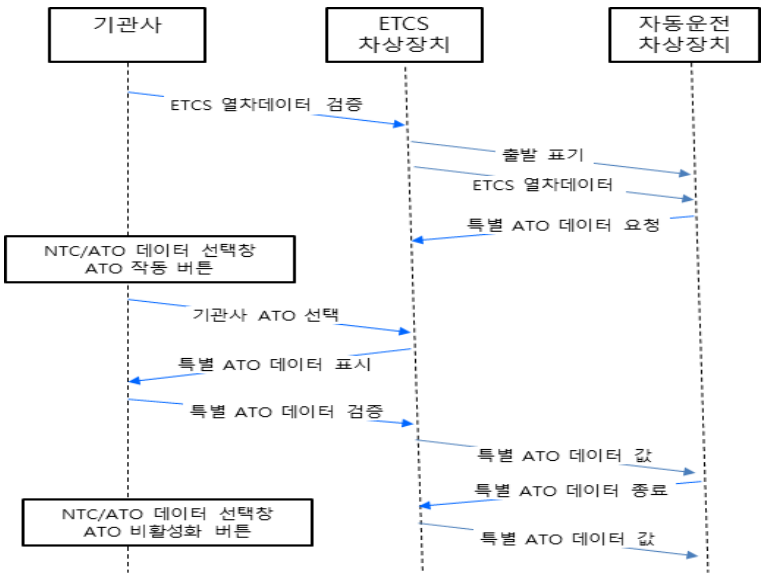


그림 12. Sequence diagram for the ATO Data Entry

- 자동운전에 의한 정차역에 정지할 경우 정위치 정차 정밀도에 대하여 검토하였다.
- GoA 2 수준에서 자동운전은 출발역에서 정차역까지 1구간을 의미하며, 이때의 속도곡선은 다음 그림과 같다.

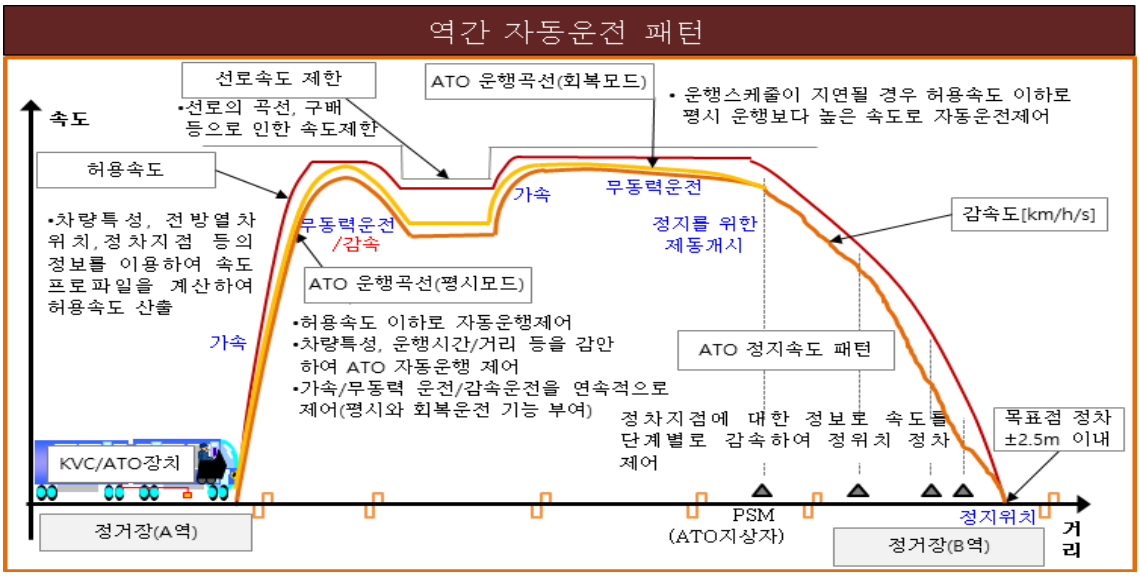


그림 13. 열차 자동운전 패턴

- 여기서 도시철도와 달리 고속철도는 교량, 토공, 터널 구간 등 다양한 선로조건의 환경에서 운행하므로 자동운전의 정위치 정차에 영향을 미치는 요인으로 다음과 같은 사항을 조사하여 ATO 차상장치에서 이러한 요인을 반영하도록 하였다.

- 차량의 제동특성 변화
  : 중량(적재/빈차), 제동장치(모터블럭 또는 대차) 장애
  : 활주방지장치 동작 여부, 차륜 상태 등
  : 차량의 제동 특성(속도 영역 별 감속도 차이의 세분화)
- 선로상태 변화 : 점착계수 변화(우천, 결빙 등)

(라) 열차위치검지정밀도 [±80m(지상자 간 거리 최대 1,500m 적용)]

① 열차위치 검지 정밀도 향상

○ 이동거리 검지 원리



그림 14. 이동거리 검지 원리

회전 수 × 차륜 직경 ×원주율(π)

○ 열차 위치검지 방안 : 0.5초 간격으로 위치보고

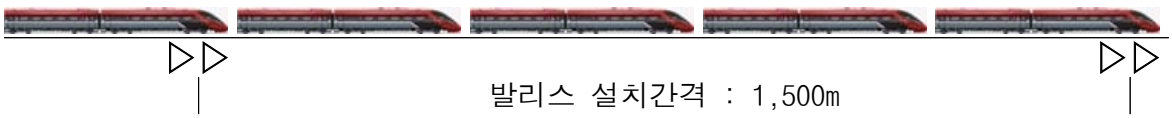


그림 15. 열차 위치검지 방안

- 차량 속도(350km/h) 오차 : 341.2 ≦ V ≦ 358.8 [km/h]
- 차량 속도(97.22m/sec) 오차 : 94.78 ≦ V ≦ 99.67 [m/sec]

☞ 속도 오차율 : 2.5% 이내

- 0.5초 동안 이동거리(48.6m) : 47.39 ≦ L ≦ 49.83 [m]
- 80m 이동 시 소요시간 : 0.82초
- 발리스 통과시간 : 15.43초 (발리스 간격 1,500m 기준)

② 350km/h 열차제어시스템

○ ETCS 기술기준은 350km/h 속도에 적합하도록 시스템 요구사항(SRS)이 작성되어 있으므로 현재 Subset을 기준으로 이동폐색 시스템을 개발한다.

Refer-ence Number	Parameter description	Value For (*) see paragraph 10.1.1.4	
		High-speed Rail	Conventional Rail
10.3.2	**General**		
10.3.2.1	Average speed of trains of the line	260 km/h	80 km/h
10.3.2.2	Max. speed of trains of the line	350 km/h	250 km/h

그림 16. SUBSET-091 10.3.2 Safety Requirements for the Technical Interoperability of ETCS

(마) Level 3 구현을 위한 안전확보 기술

① 열차분리 검지기술

ⓐ 궤도회로가 없는 Level 3의 기술을 구현하는데 있어 가장 큰 장애요인은 다음과 같이 크게 2가지로 볼 수 있다.

- 열차가 분리되었을 경우 검지방안이 존재하지 않음
- 통신이 두절되었을 경우 모든 열차의 위치가 사라짐

ⓑ 먼저 열차분리 검지방안을 분석한 결과 화물열차와 같이 전원이 없는 열차가 분리되었을 경우, 신속히 검지하지 않으면 후속열차와 추돌 등 운행 장애를 발생시키므로 열차 분리 시 검지방안의 개발이 필수적이다.



그림 17. 화물열차 연결기 - 기계적으로만 연결

따라서, 이동폐색용 열차는 열차분리가 이루어진 즉시 차상컴퓨터(KVC)에서 검지가 가능하여야 하고 분리 정보를 지상에 보고할 수 있는 기능을 갖추도록 명시하였다.

② 철도통합무선망(LTE-R) 안정성 및 가용성 향상기술

ⓐ 철도통합무선망(LTE-R)을 이용하여 실시간(0.5초)으로 열차위치보고 및 이동권한을 송수신하게 되며, 통신 두절이 발생하지 않도록 LTE-R의 성능이 매우 높아야 한다.

ⓑ 먼저, 통신 단절과 데이터 지연을 빈번하게 발생시키는 핸드오버 기술, 단말 통신 성능을 향상시키는 주파수 간섭 제거 기술, 데이터 오류시 빠른 재전송 기술 등을 개발하도록 명시하였다.

ⓒ 또한, LTE-R에 오류/장애 발생 시 기존 LTE-R망과 완전히 독립적이고 부가적 경로를 통하여 장애를 극복할 수 있는 기술이 필요하나, LTE-R은 하나의 주파수를 사용하므로 LTE 통신의 가용성을 높이는 방법을 개발하도록 한다.

③ 레일절손 검지기술

ⓐ 궤도회로를 사용하는 궤도에서는 레일 절손이 발생할 경우 궤도회로 장치의 동작으로

절손 여부를 판별할 수 있으나 궤도회로가 없는 이동폐색에서는 레일절손이 발생하여도 이를 검지할 수 없으므로, 레일절손 정보와 위치를 파악하고 이를 열차제어 정보로 활용하여 후속 열차를 정지 또는 감속하도록 할 필요가 있다.

ⓑ 레일절손 검지는 DAS 기술을 활용, DAS는 광케이블에 특정 주파수를 주사하고 이를 수신하여 scattering 정보를 분석함으로써 광케이블 주위에서 발생한 진동정보를 시간별, 거리별로 분석하도록 개발하였다.

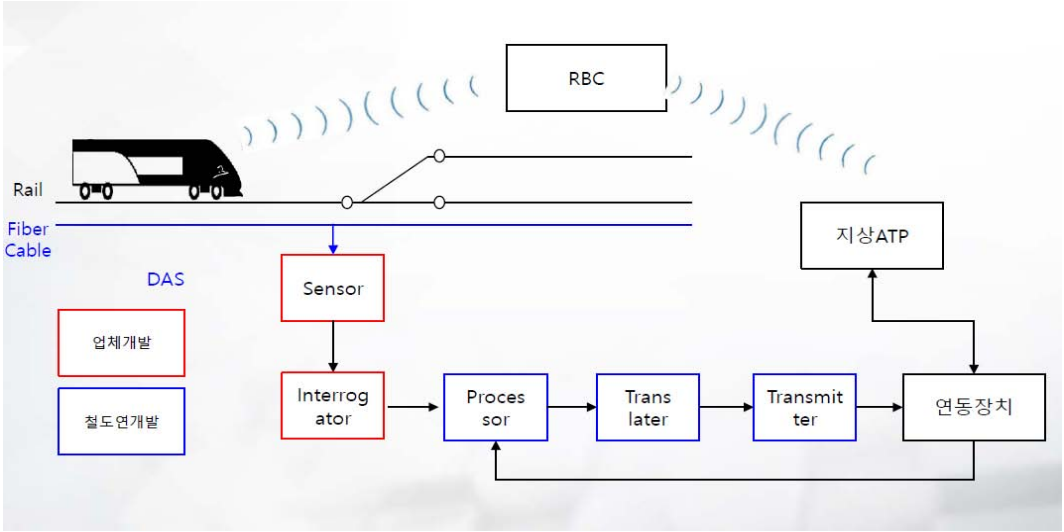


그림 18. DAS 기술을 활용한 레일절손 검지 개요도

④ 안전설비 연계

○ 철도안전운행 강화를 위하여 고속철도는 물론 180㎞/h 이상 선로에도 안전설비들을 설치하도록 “철도의 건설기준에 관한 규정” 제67조(안전설비)에서 규정하고 있고, “철도시설의 기술기준” 제97조(철도안전설비와의 연계) 에서는 안전설비와 신호제어설비를 연계하도록 규정하고 있다.

따라서, 안전설비의 상태 또는 동작정보는 궤도회로 유무와 관계없이 현재와 같이 신호제어설비와 연계하도록 하였다.

표 8. 철도의 건설기준에 관한 규정” 제67조(안전설비)

안전설비	사진	목적 및 내용	인터페이스 대상	**연계결과**
차축온도 검지장치		차축 온도검지 (평균 30㎞ 간격) 70~90℃ : 단순 경보 90℃ 이상 : 위험경보	관제(CTC)	단순경보 : CTC에 경보 위험경보 : 감속 후 정지
터널 경보장치		터널 내 작업자 대피 (30초 이상)	경보부 (경보등,경보기)	작업자 대피 (열차제어 연계 없음)
보수자 선로횡단장치		선로횡단 정보 (20초 이상)	신호등	작업자 횡단 -적색: 횡단불가 -녹색: 횡단가능 (열차제어 연계 없음)
분기기 히팅장치		분기부 결빙방지	분기기	자동 또는 수동 (열차제어 연계 없음)
레일온도 검지장치		레일온도 상승에 따른 변형으로 탈선사고 방지	관제(CTC)	감속 또는 정지 (사령 판단)
지장물 검지장치		낙석, 차량 추락 등 지장물 침입 시 검지선 단선	고속 : ATC ETCS : 전자연동장치 (KTCS-1은 LEU)	1선 단선 : 주의운전 2선 단선 : 정지코드 생성 (상하선)
기상 검지장치		기상정보 풍향/풍속, 강우, 적설	관제(CTC)	감속 또는 정지 운행중지 -강우: 60㎜/h -풍속: 35m/s -적설: 일정량
끌림 검지장치		차체 하부 부속품 파손 및 이탈 상태 검지	고속 : ATC ETCS : 전자연동장치	해당열차 정지
선로변 지진감시설비		지진 발생 시 감속 또는 정지	관제(CTC)	감속 또는 정지 (사령 판단)

(바) 상호운영성 확보 기술

① 기존 시스템과 상호운영을 위한 기술 확보

ⓐ 현재 국가철도망에는 ETCS Level 1 기반인 KTCS-1으로 운영하고 있으며 개발된 '일반 및 고속철도용 열차제어시스템' 도 ETCS Level 2에 기반한 기술이므로 이동폐색 열차제어기술은 ETCS Level 1 및 Level 2와 상호 운영이 가능하여야 한다.
열차제어시스템의 종류에 따른 기술 특징을 다음과 같이 검토하였다.

표 9. 열차제어시스템 종류 별 기술 특징

<table>
<tr><th>구분</th><th>CBTC</th><th>KTCS-M
(도시철도)</th><th>KTCS-1</th><th>KTCS-2</th><th>KTCS-3</th></tr>
<tr><td>적용
규격</td><td>IEEE 1474
· 기능/성능
요구사항</td><td>IEEE 1474
· 기능/성능
요구사항
ETCS Subset
· 정보전송메세지
(참조용)</td><td colspan="3">ETCS Subset
· 정보전송메세지 (유럽/국내 공통규칙)
(기능/성능 요구사항 포함)</td></tr>
<tr><td>기술
특징</td><td>궤도회로 없음
(이동폐색)</td><td>궤도회로 없음
(이동폐색)</td><td>궤도회로 있음
(고정폐색)</td><td>궤도회로 있음
(고정폐색)</td><td>궤도회로 없음
(이동폐색)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">상호
운영성</td><td>없음

- 상호운영
가능구간 : 없음
(제작社별
노선에는 해당
제작社 차량만
운행가능)</td><td>있음

- 상호운영
가능구간 :
KTCS-M 도시철도 구간</td><td colspan="3">있음

- 상호운영 가능구간 : 국가철도망
※ 현재 국가철도망은 ETCS Subset을
적용한 KTCS-1 운영 중(차량 포함)</td></tr>
<tr><td>- 상호운영
불가사유 :
차상↔지상간
정보전송규칙
표준 없음
(기능/성능 요구사항을 제작社별 고유기술로 구현)</td><td>- 상호운영
가능사유 :
차상↔지상간
정보전송규칙을
표준화
(국내 단독표준으로 ETCS 메세지 규칙과 다름)</td><td colspan="3">- 상호운영 가능사유 : 차상↔지상간
정보전송규칙을 표준화
(ETCS 메세지 규칙)

- 상위단계 기술 차량은 하위단계 기술이 설치된
지상구간 운행 가능</td></tr>
</table>

ⓑ KTCS-M 도시철도와 ETCS Level 3의 공통점과 차이점은 아래 표와 같으며 메시지 전송 규칙(패킷)도 상이하여 1개의 차상장치로는 상호운영이 불가한 것으로 분석되었다.

표 10. 한국형 열차제어시스템의 비교

구분	KTCS-M(도시철도)	KTCS-3
공통점	- 궤도회로 없음 (이동폐색) - 자동운전 기능/LTE-R 무선제어 - 메시지(패킷) 규칙이 다른 노선은 운행불가	- 궤도회로 없음 (이동폐색) - 자동운전 기능/LTE-R 무선제어 - 메시지(패킷) 규칙이 다른 노선은 운행불가
차이점	- 지상 위치정보(태그) - 차상↔지상 열차제어정보의 메시지(패킷)는 국내 단독규격으로 제정 *** ETCS와 다른 메시지(패킷)형식** [예시] · 차상⇒지상 위치보고: 패킷번호 42 · 지상⇒차상 이동권한: 패킷번호 21 - **지상/차상장치는 국내 단독규격의 메시지(패킷)를 구현하기 위한 S/W 및 H/W로 제작** - 자동운전 기능은 KTCS-M 도시철도 메시지(패킷)기반으로 구현 - LTE-R 무선은 KTCS-M 도시철도 메시지(패킷)을 전달하는 역할 * 데이터 전송이 가능한 2G 이상의 무선통신이면 가능 (신분당선은 Wi-fi, 유럽은 GSM-R) - **열차분리 검지시스템 없음** * 도시철도차량은 고정편성으로 차량분리 가능성이 매우 적고 만약 분리되었을 경우 차량에서 검지 가능 (전기적 연결이 끊어짐으로 검지) - 국가철도망 운행 필요시 KTCS-M 도시철도 차상장치 외에 KTCS 차상장치 병행 설치 필수	- 지상 위치정보(발리스) - 차상↔지상 열차제어정보의 메시지(패킷)는 ETCS Subset 적용 *** KTCS-M과 다른 메시지(패킷)형식** [예시] · 차상⇒지상 위치보고: 패킷번호 0 · 지상⇒차상 이동권한: 패킷번호 15 (KTCS-2도 같음) - **지상/차상장치는 ETCS Subset에 정해진 메시지(패킷)를 구현하기 위한 S/W 및 H/W로 제작** - 자동운전 기능은 ETCS 메시지 (패킷) 기반으로 구현 - LTE-R 무선은 ETCS 메시지 (패킷)을 전달하는 역할 * 데이터 전송이 가능한 2G 이상의 무선통신이면 가능 (신분당선은 Wifi, 유럽은 GSM-R) - **열차분리 검지시스템 필요** * 화물열차는 전기적 연결없이 기계적으로만 연결되어 있어 차량 분리 시 검지 불가 - 국가철도망 운행 필요시 KTCS-3 차상장치만 설치하면 하위단계구간 모두 운행 가능

표 11. 도시철도용 KTCS와 ETCS의 메시지(패킷) 비교표 (위치보고)

도시철도 위치보고(패킷 42번) [KRS SG 0069 부록 1.11]

차상자동열차보호장치에서 주기적으로 지상 자동열차보호장치에 송신하는 위치정보

변수	길이	내용
NID_PACKET	8	패킷 ID
L_PACKET	13	패킷 길이
Q_SCALE	2	거리값에 대한 배율값
D_TAG	15	열차가 마지막으로 지나온 태그 그룹 내의 0번 태그로부터의 이동거리(진행방향의 차량 전두부 위치)
Q_DIRTAG	2	열차가 실제로 태그를 어떠한 방향(Nominal/Reverse)으로 읽었는지/읽을 것인지 여부Ex) (0,1): Nominal / (0,1): Reverse
Q_TAG	2	LRTG(0번 태그)를 기준으로 열차의 전두부가 왼쪽/오른쪽에 위치하는지 여부 Ex) 오른쪽: Nominal / 왼쪽: Reverse
Q_DIRTRAIN	2	열차의 진행방향
L_DOUBTOVER	15	실제 값보다 크게 읽어 발생하는 에러
L_DOUBTUNDER	15	실제 값보다 크게 읽어 발생하는 에러
Q_LENGTH	2	열차의 무결성 상태를 위한 구분값
L_TRAININT	15	Q_LENGTH = “무결성 관리 장치에 의해 확인된 열차의 무결성” 혹은 “기관사에 의해 확인된 열차의 무결성” 인 경우 안전한 열차 길이
V_TRAIN	10	실제 열차 속도
M_DRVMODE	4	운전모드
M_DEGRADE	2	성능 저하 모드

ETCS 위치보고(패킷 0번) [SRS Subset-026 7.4.3.1]

지상과 차상장치간 정보에 활용

변수	길이	내용
NID_PACKET	8	패킷 ID
L_PACKET	13	패킷 길이
Q_SCALE	2	거리값에 대한 배율값
NID_LRBG	10+14	마지막 상대적인 발리스 그룹의 ID
D_LRBG	15	마지막 관련된 발리스 그룹과 예상되는 열차 선두부 사이의 거리
Q_DIRLRBG	2	LRBG의 방향에 관련된 열차 이동방향
Q_DLRBG	2	측정된 열차 선두부가 LRBG의 어느 쪽에 있는지 나타내는 식별자
L_DOUBTOVER	15	신뢰구간의 하한과 D_LRBG의 측정값 사이의 차이
L_DOUBTUNDER	15	신뢰구간의 상한과 D_LRBG의 측정값 사이의 차이
Q_LENGTH	2	열차 무결성 식별자
L_TRAININT	15	안전열차 길이
V_TRAIN	10	실제 열차 속도
M_MODE	4	차상 운영모드
M_LEVEL	3	현재 운영레벨
NID_STM	8	국가 철도시설의 각 성분을 반영하는 특수운영모드 식별자

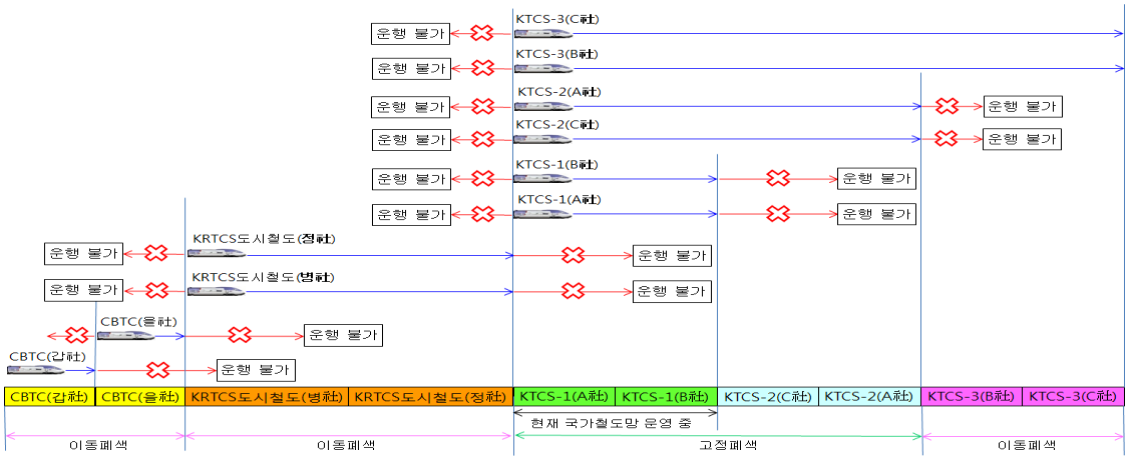


그림 19. 열차제어시스템 종류에 따른 상호운영성 개요도

ⓒ ETCS 기반에서는 하위 단계와 상호운영이 가능하도록 기술기준(Subset)에 명시되어 있으며, 레벨전환 조건은 다음과 같다.

표 12. Subset-026-2 2.6.8.3 레벨 전환 표

2.6.8.3 The following table shows all possible transitions (marked with Grey):

from \ to	0	NTC	1	2	3
0					
NTC		a)			
1					
2				b)	
3					b)

Table 1: Possible level transitions.

a) Transitions between level NTC and level NTC describe the switching from one national system to another national system.

b) Transitions between level 2 and level 2 respectively between level 3 and level 3 describe the handover between RBC's.

ⓓ KTCS 도시철도를 운행하는 경우에는 KTCS 도시철도용 차상장치를 장착하고 ETCS는 STM모드로 동작하여 연계운행 가능을 충족하도록 하였다.

② 고속철도 제어시스템과 연계운행을 위한 기술 확보

ⓐ 현재 고속철도 노선에는 히타치 STS Rail社가 설치한 TVM-430 열차제어시스템이 설치되어 운영 중이며, TVM과 ETCS의 기술 차이는 다음과 같다.

표 13. TVM과 ETCS의 기술 차이

구분	제어원리	장치	비고
TVM-430 (Transmission Voie-Machine)	궤도회로에서 열차위치를 검지하고 운행 가능한 속도코드를 궤도회로 주파수로 전송하여 차량에 현시	- 지상 : 궤도회로, 루프(불연속 정보) - 차상 : 컴퓨터, 현시장치, 안테나	상호운영성 없음
ETCS (European Train Control System)	궤도회로 또는 무선으로 열차위치를 검지하고 운행 가능한 지점을 차량으로 전송하면 차내컴퓨터에서 제동곡선을 생성하여 차량에 현시 (열차마다 다양한 제동력 반영)	- 지상 : 발리스, LEU (L1용) - 차상 : 컴퓨터, 현시장치(DMI),안테나 (BTM, CAU)	상호운영성 있음

ⓑ 프랑스 TVM-430과 ETCS와의 병행 운영노선 현황 및 운영 방안을 조사한 결과 프랑스 고속철도 노선에는 TVM과 ETRMS을 병행 설치하여 운영 중이다.

☞ 병행노선 : 파리~스트라스부르그, 파리~보르도, 파리~렌

☞ 병행사유 : ERTMS 장애 발생 시 백업(SNCF는 TVM 철거계획)

ⓒ TVM과 ETCS는 전혀 다른 시스템으로 상호운영이 불가하므로 양 시스템을 병행 운행하는 고속철도 차량에는 각각의 시스템용 차상장치를 설치하여 운행하고 운전효율을 확보하기 위하여 ETCS에서는 STM모드로 동작하여 연계운행을 충족하도록 하였으며, STM 모드↔ETCS Level 3의 전환절차는 각각 Subset-026 5.10.3.7항 및 5.10.3.10항에 따라 수행하고 인터페이스는 다음과 같다.

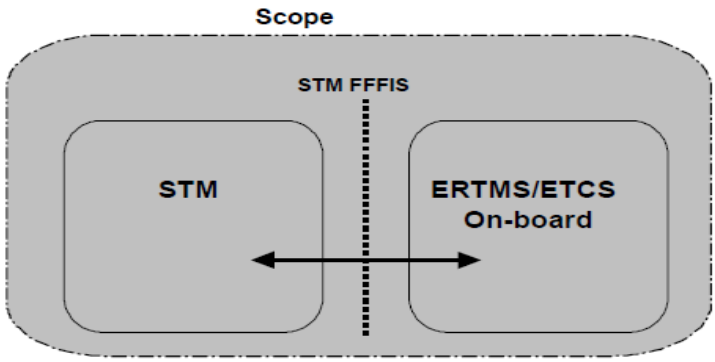


그림 20. Subset-035 STM 기능 형식 인터페이스 사양의 범위

ⓓ ETCS와 STM 간의 차상장치 데이터 흐름도 다음과 같다.

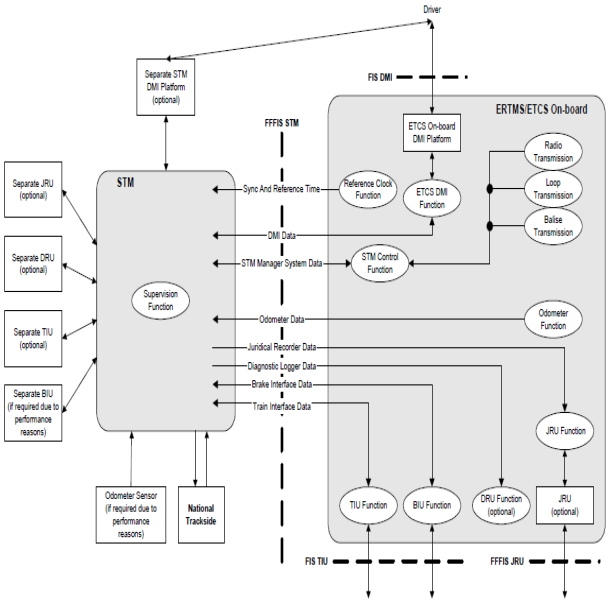


그림 21. ETCS와 STM 간 차상장치 데이터 흐름도

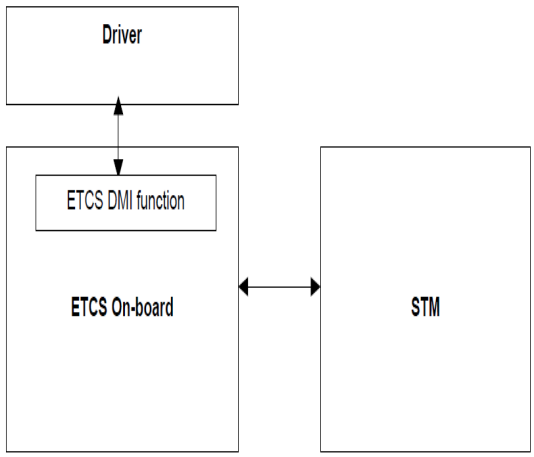


그림 22 ETCS와 STM 간 기관사 표시장치(DMI) 기능도

다. 인터페이스 명세서 작성 및 검증

○ 본 국가R&D 에서는 궤도회로를 사용하지 않는 이동폐색 방식을 구현하기 위한 장치 간 인터페이스를 작성하였으며, 기존의 궤도회로 기능(레일절손, 열차 분리검지)을 대체할수 있는 시제품에 대한 인터페이스를 포함하여 작성하였다.

(가) 무궤도회로(이동폐색) 열차제어시스템 및 하부시스템

① 열차제어시스템 및 하부시스템 인터페이스 대상

○ 무궤도회로(이동폐색) 개발 적용 기술기준

- 현재 시스템과의 상호운영성을 확보하고 국외시장 진출을 위하여 유럽열차제어 시스템(ETCS)의 기술규격(SRS Subset)을 적용한다.
- ETCS 기술규격은 Baseline 2(2.3.0d) 버전을 적용하며 세부 인터페이스 사양은 별도로 정의한다.

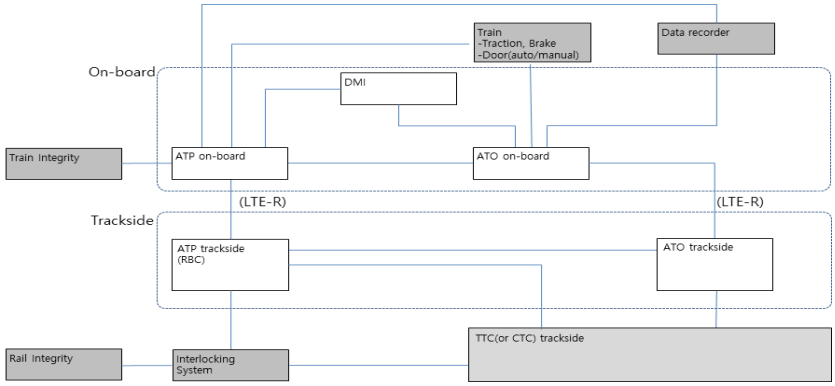


그림 23. 열차제어시스템 구성도

② 열차제어시스템 및 하부시스템 인터페이스

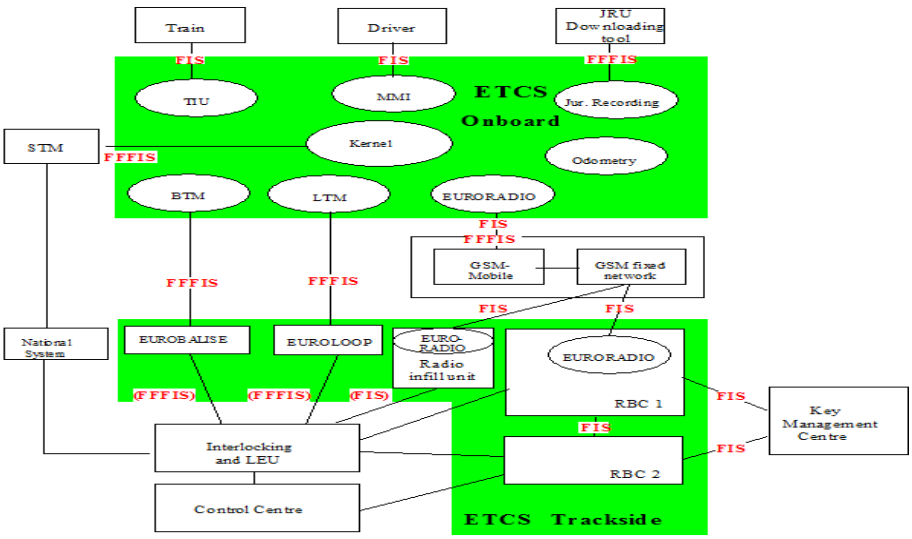


그림 24. ETCS SRS Subset-026 차상 ↔ 지상 구성도

[참고] ETCS SRS의 이동폐색 정의 (Level 2&3)

○ 지상장치 공통 기능
- ETCS에 따라 지상제어장치(RBC)의 제어권역에 있는 각 열차 파악
- 지상제어장치(RBC)의 제어권역에 있는 각 열차의 위치 추적
- 이동권한 및 개별 열차에 선로정보의 전송
- 지상제어장치(RBC)의 제어권역 경계점에서 열차제어의 인계인수(핸드오버)

○ 차상장치 공통 기능
- 발리스 정보 수신 및 관할 지상제어장치(RBC)로 열차위치 보고
- 이동권한 및 발리스를 통한 선로정보의 수신
- 모든 구간에서 가장 제한적으로 허용된 속도의 선택
- 선로 정보에 따라 차량의 주행/제동특성을 반영한 동적속도 프로파일의 계산
- 허용된 속도와 실제 주행속도의 비교 및 필요시 제동
- 기관사에게 차상신호정보의 현시

표 14. ETCS SRS의 이동폐색 정의 (Level 2&3)

구분	Level 2	Level 3
시스템	열차검지 및 열차무결성 감시는 지상 신호시스템(전자연동, 궤도회로 등)에 의하여 수행	열차에서 송신하는 위치보고 및 무결성 정보를 기반으로 지상제어장치(RBC)와 합동으로 열차위치 및 **열차무결성 감시가 수행**
지상장치	○구비사항 · 지상제어장치(RBC) · 양방향 통신망 · 발리스 (절대 위치참조) ○주요 기능 · 공통 기능 · 지상 신호시스템(궤도회로)에 따라 열차 별로 이동권한 결정	○구비사항 · 지상제어장치(RBC) · 양방향 통신망 · 발리스 (절대 위치참조) ○주요 기능 · 공통 기능 · 열차에서 받은 정보에 근거하여 진로의 쇄정/해제 · 열차 별로 이동권한 결정
차상장치	○구비사항 · 발리스와 무선망의 송수신장치 ○주요 기능 · 공통 기능	○구비사항 · 발리스와 무선망의 송수신장치 **· 열차무결성 제공시스템** ○주요 기능 · 공통 기능 · 열차무결성 상태를 감시하고 RBC로 송신 (ETCS 범위 外)

③ 하부시스템 인터페이스 사양

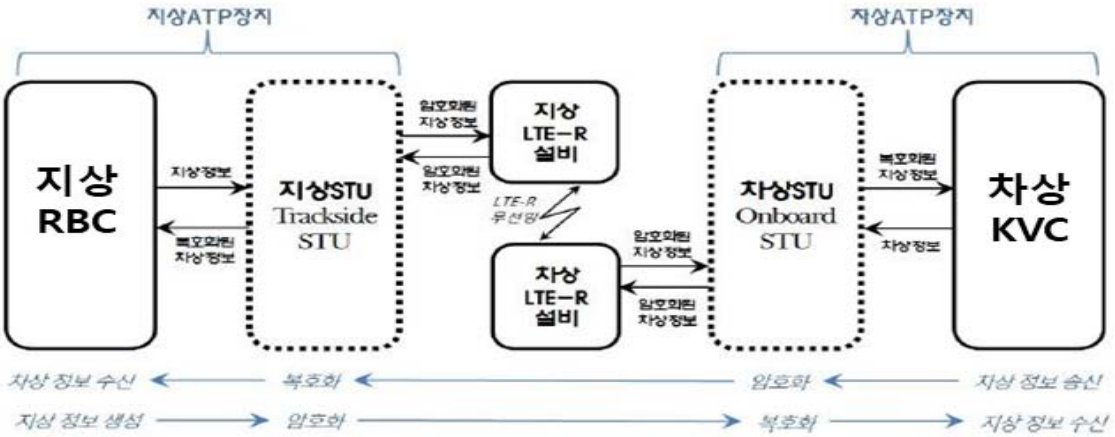


그림 25. 지상RBC ↔ 차상KVC 인터페이스 구성도

ⓐ 주요 송 · 수신 메시지의 정의는 다음과 같다.

표 15. 주요 송·수신 메시지

순번	메시지 명	정의	설명
1	Sa-CONNECT	Safety-CONNECT	안전-접속
2	Sa-DATA	Safety-DATA	안전-데이터
3	Sa-DISCONNECT	Safety-DISCONNECT	안전-해제
4	AU SaPDU	Authentication message Safety Protocol Data Unit	안전 프로토콜 데이터 유닛의 인증 메시지
5	AR SaPDU	Authentication Response Safety Protocol Data Unit	안전 프로토콜 데이터 유닛의 인증 응답

ⓑ 통신 절차(안전-접속)

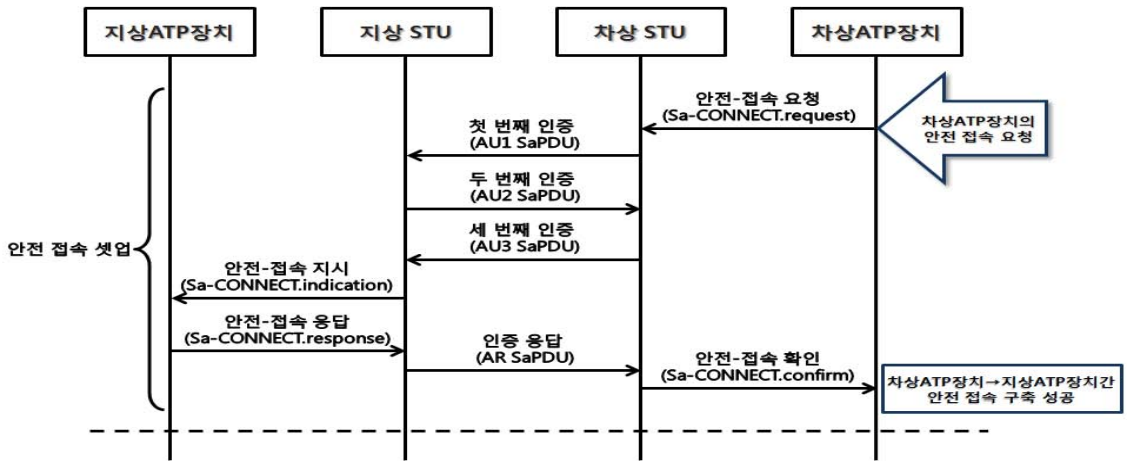


그림 26. 안전-접속 메시지 흐름도

표 16. 지상STU ↔ 지상RBC 인터페이스 사양

구 분	사 양
커넥터 단자	RJ-45 ↔ RJ45
물리적 연결	Ethernet 10/100 Base-T
신호선 회선 수	4
통신 속도	최대 100Mbps
통신 프로토콜	UDP/IP

표 17. 차상STU ↔ 차상 KVC 인터페이스 사양

구 분	사 양
커넥터 단자	D89 ↔ D89
물리적 연결	Serial
신호선 회선 수	4
통신 속도	115,200bps
통신 프로토콜	RS422

ⓒ STU와 LTE-R 장비 간 인터페이스 구성

- 지상 STU는 LTE-R 무선통신망에 접속하기 위하여 EPC에서 할당한 물리포트에 랜 케이블로 연결되며, EPC에서 할당한 공인 IP를 사용해야 한다.
- 차상 STU는 LTE-R 무선통신망식을 제공받기 위해 TCI에서 할당한 물리포트에 랜 케이블로 연결되며, TCI에서 할당한 사설 IP를 사용해야 한다.

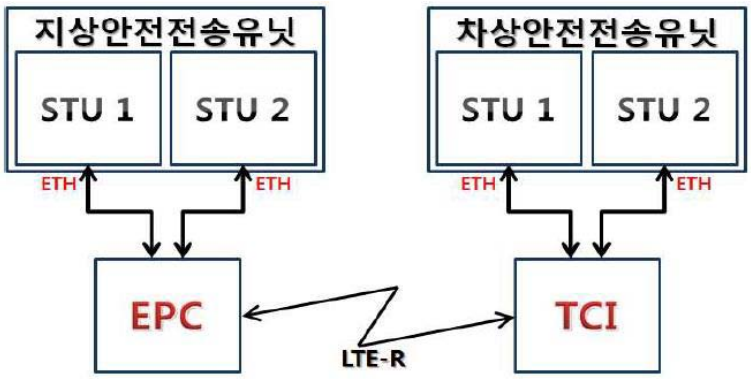


그림 27. STU ↔ LTE-R 장비의 물리적 인터페이스 구성도

④ 하부시스템 프로토콜 구조

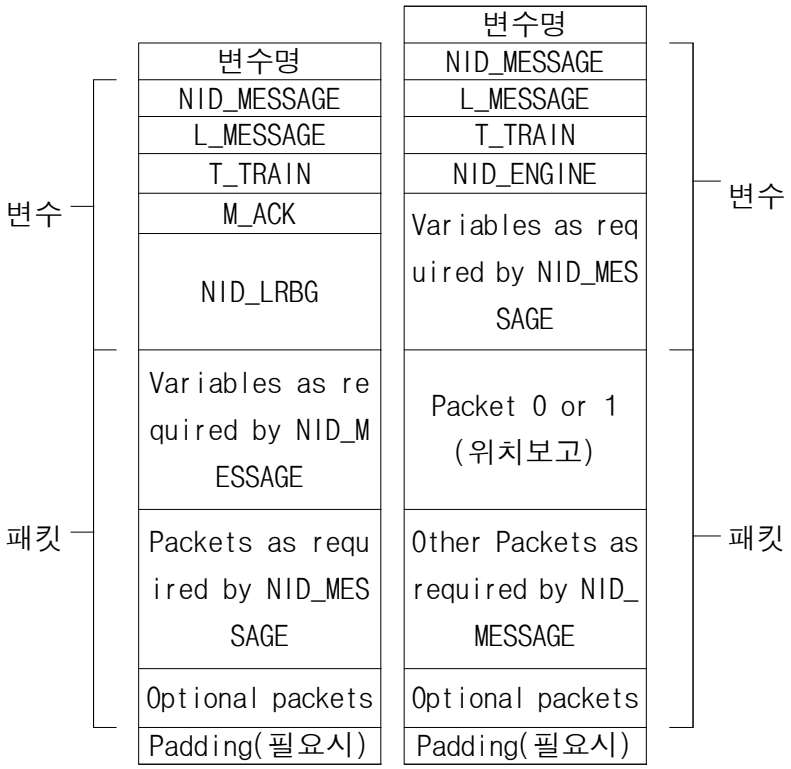
내용	Ethernet Header	IP Header	TCP Header	장치간 송수신 데이터	Ethernet Footer

내용	STX	Length	Sequence	Opcode	SaCEPID	열차제어데이터	CRC32	ETX
Byte	1	2	1	1	3	n	4	1

[차상⇒지상 무선메세지 표준 형식]

○ 프로토콜은 변수, 패킷, 메시지로 구성

- 변수 : 최소의 구성단위
- 패킷 : 여러 개의 변수 그룹
- 메시지 : 패킷으로 구성



내용	STX	Length	Opcode	SaCEPID	열차제어데이터	CRC32	ETX
Byte	1	2	1	3	n	4	1

[지상⇒차상 무선메세지 표준 형식]

(나) RBC(무선폐색센터) ~ 인접 RBC 간 인터페이스

① RBC ~ 인접 RBC 간 물리적 인터페이스

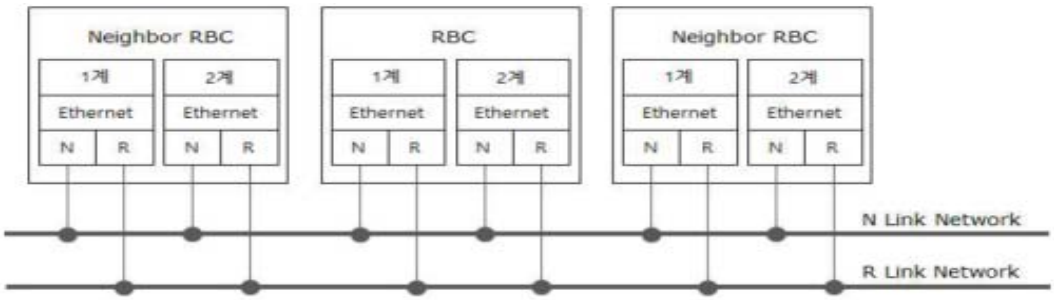


그림 28. RBC ~ 인접 RBC간 물리적 인터페이스

② RBC ~ 인접 RBC 간 논리적 인터페이스

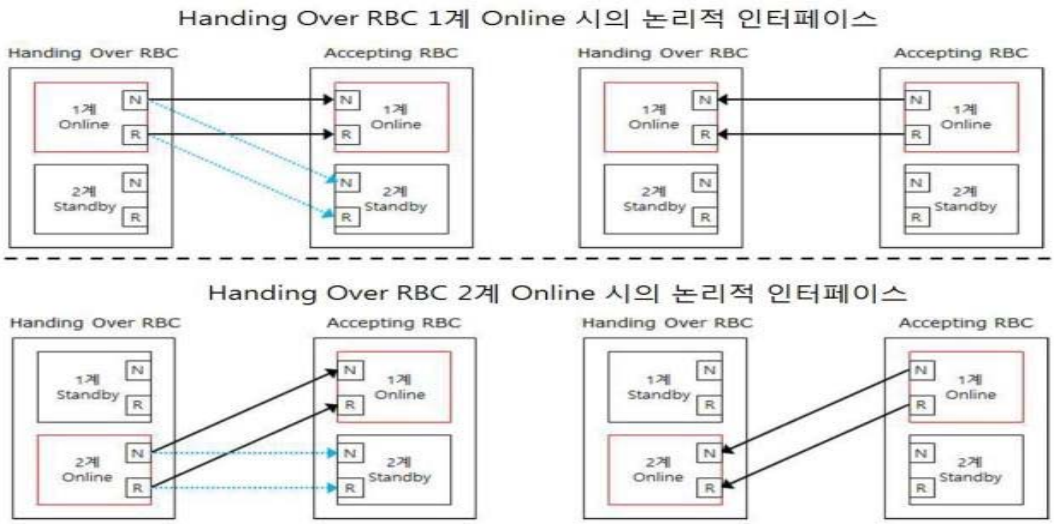
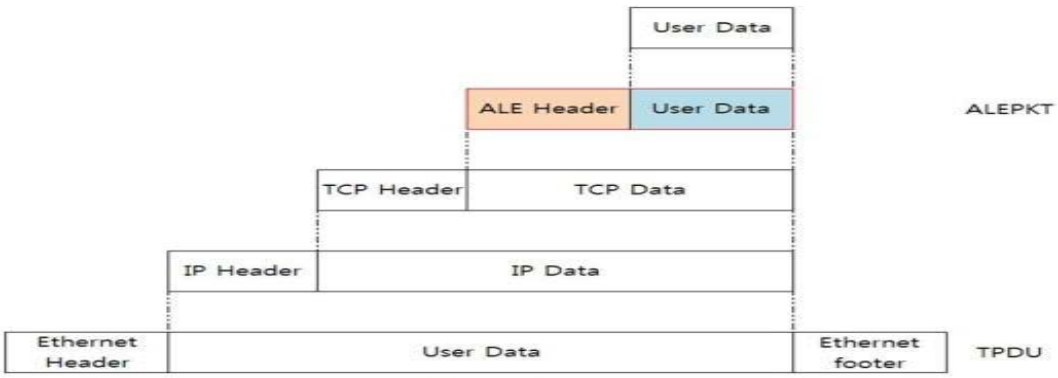


그림 29. RBC ~ 인접 RBC간 물리적 통신 인터페이스

③ RBC ~ RBC 간 통신 구성



[KRTCS 메시지 구조]

ALEPKT(Adaptation Layer Packet Format)

Packet Length	Version	Application Type	Sequence Number	N/R Flag	Packet Type	Checksum	Data
2바이트	1바이트	1바이트	2바이트	1바이트	1바이트	4바이트	가변

그림 30. RBC~ RBC간 통신 패킷 메시지 구조

(다) RBC(무선폐색센터) ~ CTC 간 인터페이스

① RBC ~ CTC 간 물리적 인터페이스

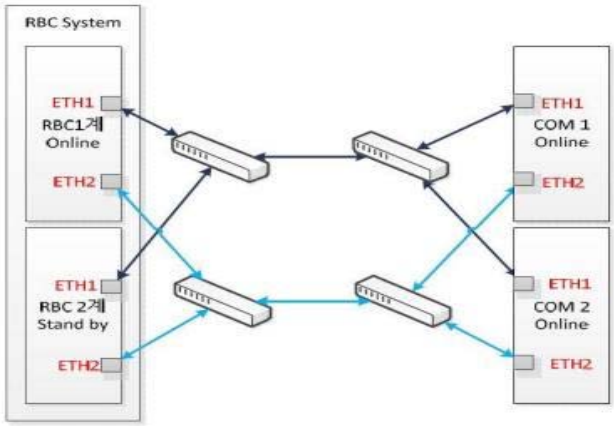


그림 31. RBC ~ CTC간 물리적 구성도

○ RBC는 이중계 시스템으로 Online, Standby로 구성하며, COM(CTC) 서버는 FT 서버로 COM1 서버와 COM2 서버를 별도로 구성한다.
RBC와 CTC는 이중 망을 구성하기 위해 각각 2개의 ETHERNET Port를 가진다.

② RBC ~ CTC 간 인터페이스 정보

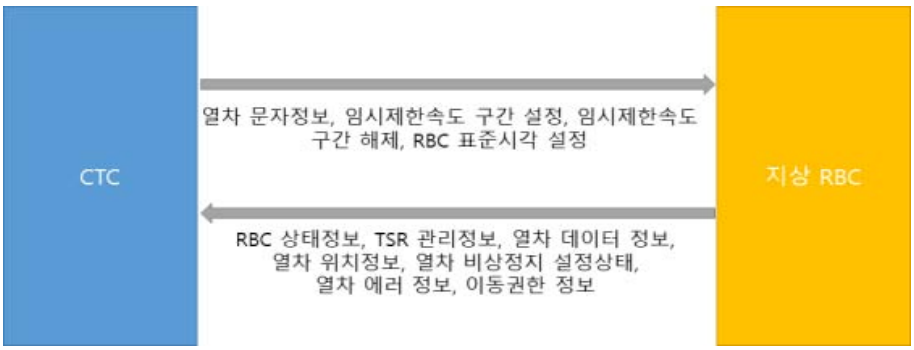


그림 32. RBC ~ CTC간 인터페이스 정보

③ RBC와 CTC 간 메시지 정보는 아래와 같다.

표 18. RBC-CTC 간 메시지 정보

CTC → RBC 메시지 정보	RBC → CTC 메시지 정보
1) 열차 문자정보 전송 2) 임시 제한 속도 구간 설정 3) 임시 제한 속도 구간 해제 4) RBC 표준시각 설정	1) RBC 상태정보 2) TSR 관리정보 3) 열차 데이터 정보 4) 열차 위치 정보 5) 열차 비상정지 설정상태 6) 열차 에러 정보 7) 이동권한 정보

④ RBC와 CTC 간 인터페이스 사양

○ RBC와 CTC 간 인터페이스 통신은 이더넷을 사용, TCP 기반의 프로토콜을 사용하여 1:1 유니캐스트 통신을 사용한다.

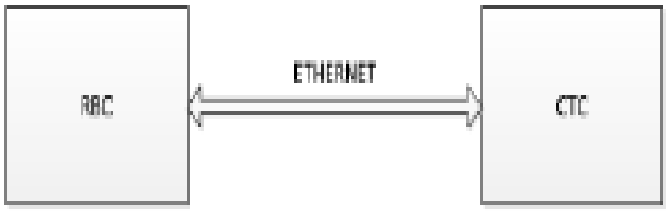


그림 33. RBC ~ CTC간 인터페이스 사양

⑤ RBC와 CTC 간 메시지 흐름

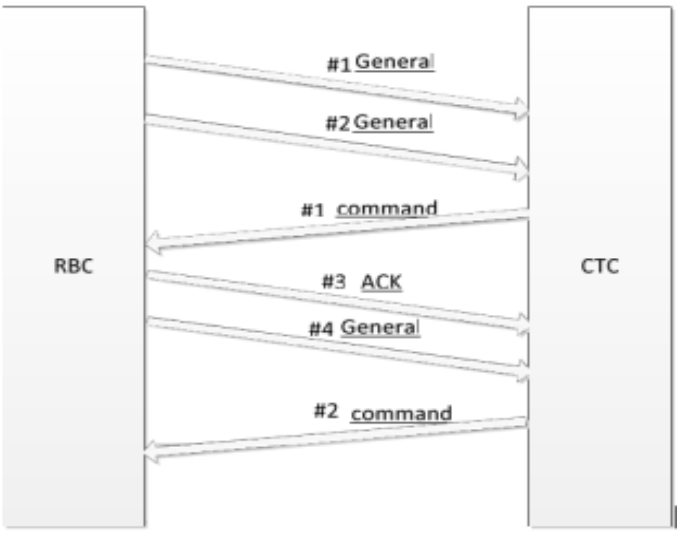


그림 34. RBC ~ CTC간 메시지 흐름도

○ RBC는 시스템 초기화가 완료되면 RBC 영역하에 관리되고 있는 열차정보 데이터와 RBC 상태정보 데이터를 500ms 주기로 CTC로 전송한다.
CTC는 RBC에 표준 시각 정보를 매 1s마다 전송한다. 이는 타 장치와 연동되지 않으며, 시간정보가 아닌, 1s 단위로 통신상태를 확인하는데 주 목적이 있다.

(라) 전자연동장치(EIS) ~ RBC 간 인터페이스

① 전자연동장치 ~ RBC 인터페이스 정보

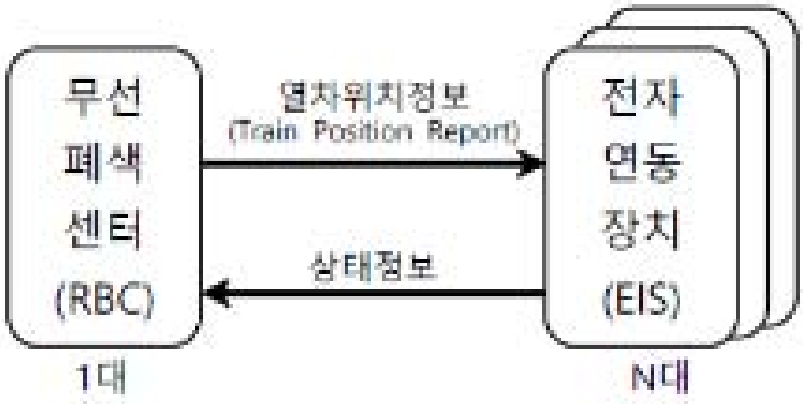


그림 35. EIS-RBC 간 인터페이스

○ N대의 전자연동장치는 N개의 역을 관할하는 RBC와 연계되며 전자연동장치와 RBC 간 인터페이스는 별도의 통신망을 사용하여 연계된다.

RBC는 전자연동장치로 열차위치정보를 전송하며 전자연동장치로부터 진로, 가상블록, 가상신호기, 선로전환기 정보 등의 상태정보를 수신하여 열차주행에 필요한 이동권한을 생성한다.

- 전자연동장치와 RBC 간 인터페이스 사양

표 19. 전자연동장치와 RBC 간 인터페이스 사양

구 분	사 양
정보전송방향	양방향(EIS ↔ RBC)
물리적 연결	Ethernet 10/100 Base-T
통신 회선 수	4회선 / 4채널
커넥터 단자	RJ45 → RJ45(EIS → RBC)
통신 프로토콜	UDP/IP Unicast
전송주기	500ms (열차위치정보 전송주기에 대해서는 사용자 운용시 선택 가능)

- 전자연동장치와 RBC 간 전송 프로토콜

표 20. 전자연동장치와 RBC 간 인터페이스 사양

STX	Data Length	Sequence No.	Station No.	Message Type	Data	CRC	ETX
1byte	2byte	1byte	2byte	1byte	Nbyte	4byte	1byte

(마) 열차집중제어장치(CTC) ~ 전자연동장치(EIS) 간 인터페이스

① CTC와 EIS 간 인터페이스 정보

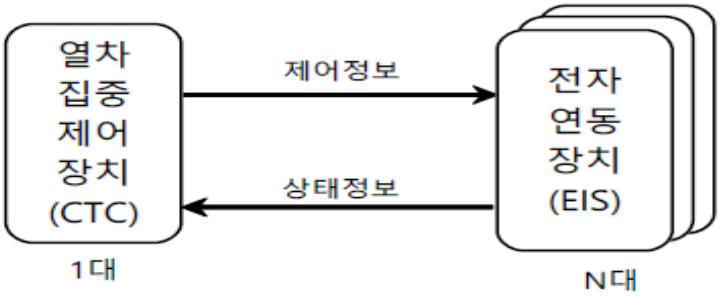


그림 36. CTC와 EIS 간 인터페이스 정보

○ 신호 계전기실에 설치된 N대의 전자연동장치는 N개의 역을 관할하는 열차집중제어장치(CTC)와 연계된다. 이때, 전자연동장치와 열차집중제어장치 간 인터페이스는 별도의 통신망을 사용하여 연계된다.

○ 열차집중제어장치는 전자연동장치를 통한 현장정보를 수신하여 열차운행 상태에 관한 모든 정보의 감시 및 제어를 수행한다.

② CTC와 EIS 간 인터페이스 사양

표 21. CTC와 EIS 간 인터페이스 사양

구 분	사 양
통신방식	TCP/IP
물리적 연결	Ethernet 10/100 Base-T
통신 회선 수	2회선
네트워크 모델	Client-Server 모델(Clinet:CTC/Server:EIS)
데이터 바이트 순서	Big-Endian
정보전송주기	1s
정보재전송주기	1s / 3회
정보전송방향	양방향(CTC ↔ EIS)

③ CTC와 EIS 간 프로토콜 사양

○ 바이트는 8비트 조합으로 이루어지며, 전송 순서는 최상위 비트(MSB)에서 최하위 비트(LSB)로 아래 그림과 같이 전송한다.

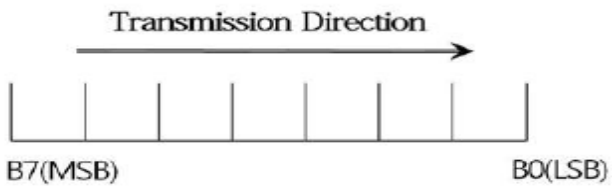


그림 37. CTC와 EIS 간 프로토콜

④ CTC와 EIS 간 통신흐름

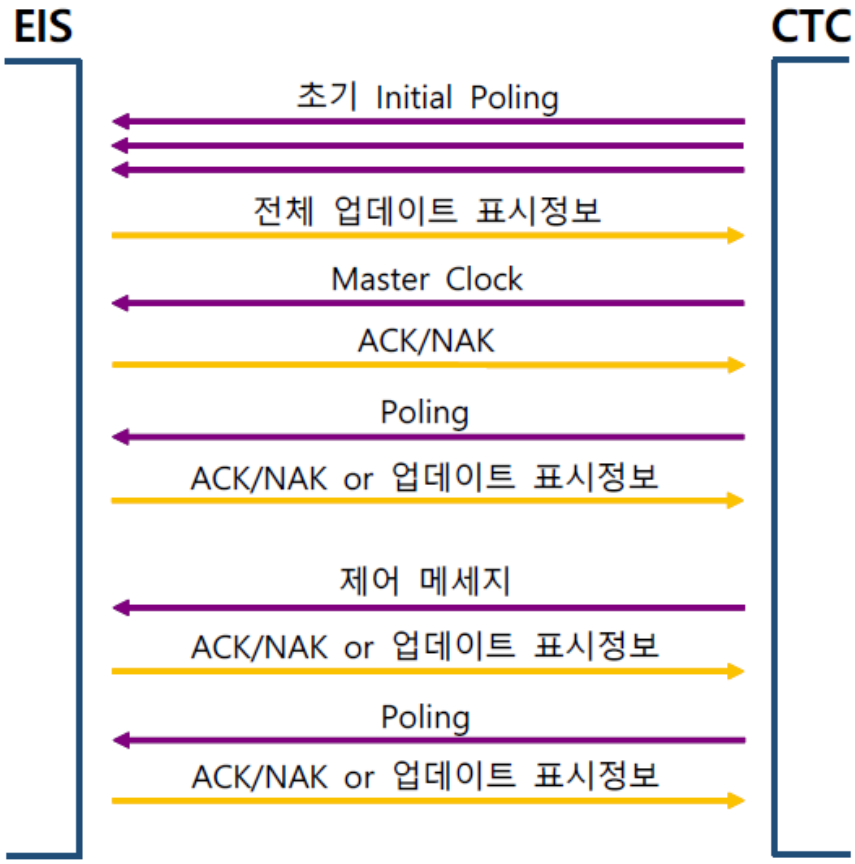


그림 38 EIS와 CTC 간 통신흐름

⑤ EIS → CTC 전송 프로토콜

○ 전송 메시지의 프레임은 시작 및 끝의 검출을 위한 필드를 사용한다.

○ EIS는 CTC가 현장의 변화된 정보를 수용할 수 있도록 CTC에서 주기적으로 1,000ms 단위로 현장 신호설비 및 기기의 변화된 상태정보를 요구하면 EIS에서는 해당 정보를 응답한다.

표 22. EIS → CTC 전송 프로토콜

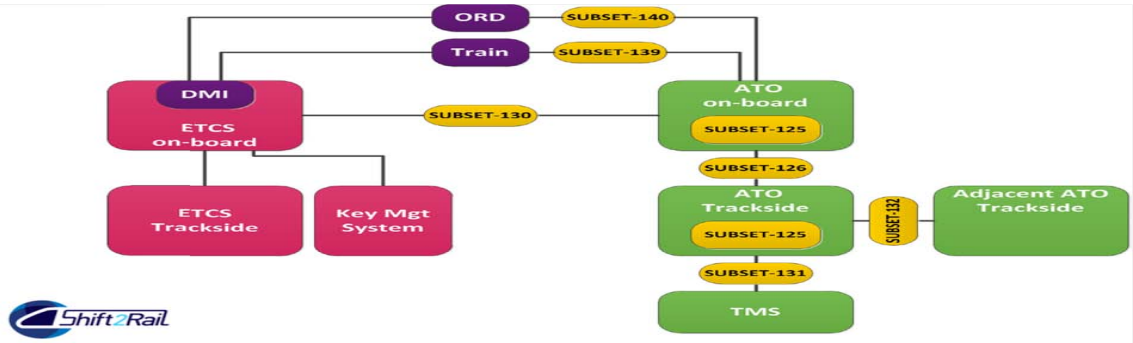
STX	Data Length	Sequence No.	Station No.	Message Type	Data	CRC	ETX
1byte	2byte	1byte	2byte	1byte	Nbyte	4byte	1byte

(바) 무궤도회로(이동폐색) 열차자동운전(ATO) 인터페이스

① 열차자동운전(ATO) 인터페이스 대상

○ 열차자동운전(ATO)을 위한 인터페이스 기술기준

- 차상ATO-지상ATO의 경우 Subset-126을 따른다.



② 열차자동운전(ATO) 인터페이스 정보

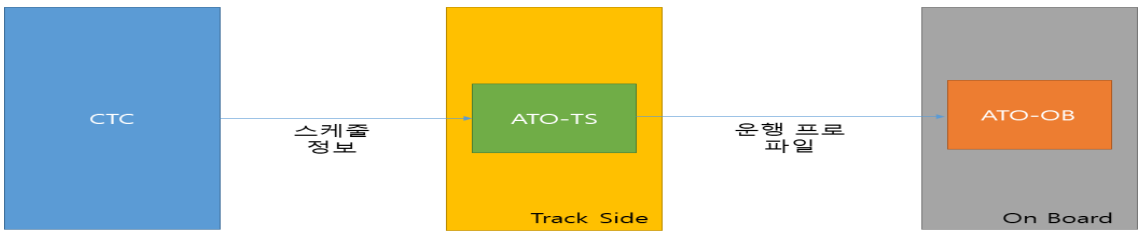


그림 39. 열차자동운전(ATO) 인터페이스 정보

○ ATO-TS(지상ATO)는 CTC로부터 스케줄 정보를 수신하여 ATO-OB(차상ATO)로 운행 프로파일을 전송하고, 선로변 장치 및 선로 상태에 따른 프로파일을 생성하여 ATO-OB로 송신한다.

○ ATO-OB는 열차의 자동운행 기능을 수행하기 위한 장치로 ATO-TS로부터 수신된 운행 프로파일 및 세그먼트 프로파일 정보를 통해 자동운전 기능을 수행한다.

③ 열차자동운전(ATO) 인터페이스 사양

표 23. 열차자동운전(ATO) 인터페이스 사양

구 분	사 양
정보전송 방향	양방향
물리적 연결	Ethernet
통신 프로토콜	UDP/IP 멀티캐스트
전송 주기	각 이벤트
최대 DATA 사이즈	65535byte

④ 열차자동운전(ATO) 전송 프로토콜(지상ATO-차상ATO 전송 프로토콜)

표 24. 지상ATO-차상ATO 전송 프로토콜

STX	Length	Sequence No.	Data	CRC32	ETX
1byte	2byte	1byte	Nbyte	4byte	1byte

(사) 무궤도회로(이동폐색) 레일절손검지장치(DBRD) 인터페이스

① 레일절손검지장치 인터페이스 정보



그림 40. 레일절손검지장치 인터페이스 정보

② 레일절손검지장치 인터페이스 사양

표 25. 레일절손검지장치 인터페이스 사양

구 분	사 양
정보전송방향	양방향(EIS ↔ DBRD)
커넥터 단자	RJ-45 ↔ RJ45(EIS → DBRD)
물리적 연결	Ethernet 10/100 Base-T
통신 회선 수	1회선 / 1채널
통신 프로토콜	UDP/IP Unicast
전송주기	1±0.1s (레일절손정보 전송주기에 대해서는 사용자 운용시 선택 가능)

③ 레일절손검지장치 전송 프로토콜

○ 전송 메시지의 프레임은 시작 및 끝의 검출을 위한 필드를 사용한다.

○ 레일절손검지장치 통신 흐름

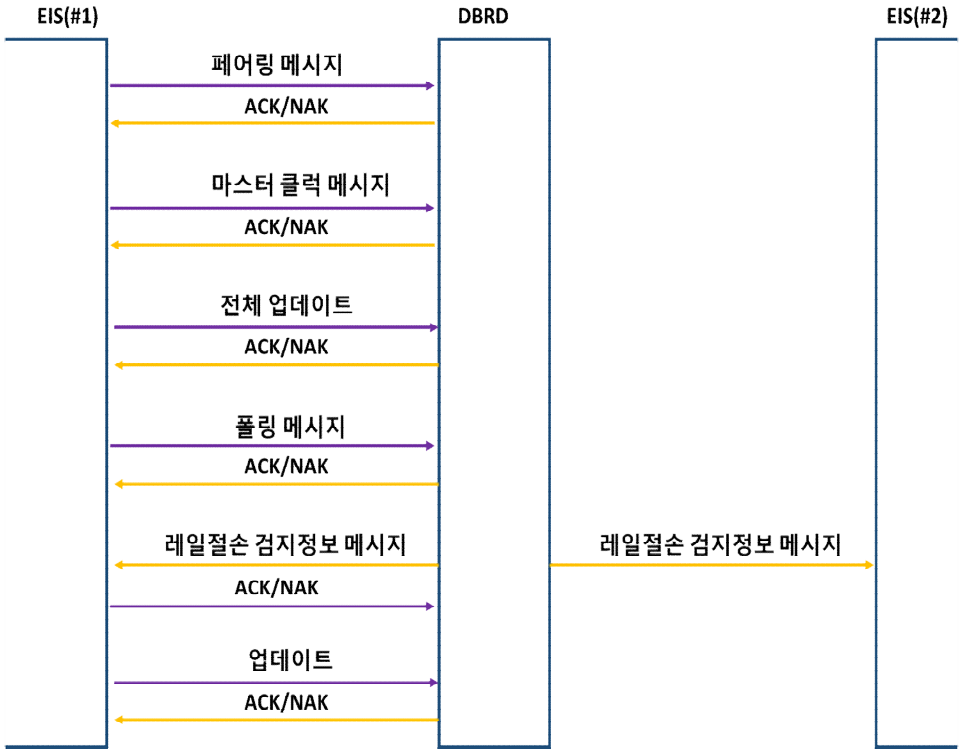


그림 41. 레일절손검지장치 통신 흐름

○ DBRD는 EIS에서 받은 정보와 광케이블로 수신된 데이터를 분석하여 레일절손 여부를 판별하고 이 결과를 1s 단위로 주기적으로 전송한다. 절손으로 판별된 레일구간이 없을 경우에도 이를 1s 단위로 주기적으로 전송하며, 메시지 프레임 구조는 다음과 같다.

표 26. 메시지 프레임 구조

STX	Data Length	Sequence No.	Station No.	Message Type	Data	CRC	ETX
1byte	2byte	1byte	2byte	1byte	Nbyte	4byte	1byte

(아) 무궤도회로(이동폐색) 열차무결성검지장치 인터페이스

① 열차무결성검지장치 인터페이스 정보

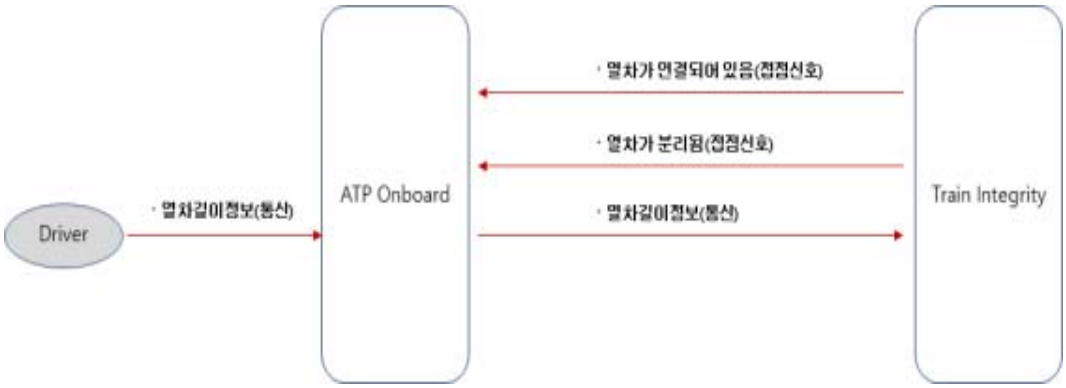


그림 42. 열차무결성검지장치 인터페이스 정보

○ 열차무결성검지장치는 열차분리를 검지하며 열차무결성검지정보를 접점신호 방식으로 차상장치로 전송한다.

○ 열차길이정보는 기관사가 입력하며 차상장치는 기관사가 입력한 길이정보를 열차길이로 확정하며 차상장치는 확정된 열차길이정보를 열차무결성검지장치로 전송한다.

② 열차무결성검지장치 구성 및 메시지 흐름

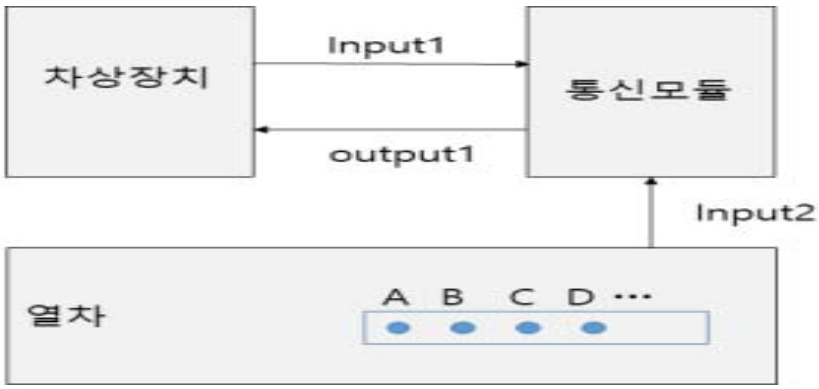


그림 43. 열차무결성검지장치 구성 및 메시지 흐름

구 분	설 명
차상장치	기관실에 설치되어 운용되며 기관사와 휴먼 인터페이스 기능을 제공
열차 통신 모듈	열차 기관실과 후미 열차에 설치되며 Lora 통신과 LTE-R 통신 기능을 제공
열차	열차를 안전하게 운행하기 위한 전체적인 시스템

③ 열차무결성검지장치 입출력 정보

구 분	상세 내용
Input 1 차상장치 인터페이스 신호	RS485 규격을 따르며 열차 구성정보를 받음, 통신 모듈은 해당 정보로부터 열차의 전체 길이를 계산
Input 2 열차 인터페이스 신호	열차간 연결 상태를 나타내는(공기압 충기 또는 완기) 신호접점으로 상세한 규격은 추후 결정
Output 1 통신 모듈 출력 신호	통신 모듈에서 열차의 연결과 분리를 판단하여 무결성 결과를 알려주는 신호접점으로 상세한 규격은 추후 결정

④ 열차무결성검지장치 송수신 데이터 정보

구 분	상세 내용
열선길이정보 입력	· 기관사는 선상신호장치의 하부장치인 MMI에 열선길이정보를 입력 · MMI의 열선길이정보는 선상신호장치 및 TIS(Train Integrity System)로 전송 · MMI는 열선길이정보를 전송하기 위해서 ProfiBus를 적용 · TIS는 ProfiBus를 적용하여 MMI와 연계
TIS의 열선분리정보	· TIS는 열선분리정보를 접점정보(on/off)형태로 선상신호장치로 전송 · 화물열선의 경우 TIS와 선상신호장치간 이격 거리가 길어질 수 있음에 따라, TIS에서 직접 선상신호장치로 연결하지 않고 중간에 계전기를 이용하여 연계 · 계전기는 열선에서 설치한 계전기를 사용

라. 기술기준 제/개정(안) 작성

○ 본 국가R&D 「자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발」 과제의 성과를 실용화하고 기술 실시를 확대하기 위해서는 성과물이 철도건설 정책 등에 반영되어야 한다. 국민의 안전과 편의 등을 최우선으로 하는 철도교통은 법령에 근거를 두고 정부에서 주관하여 수립·시행하고 있다. 따라서 법령 뿐 만 아니라 훈령, 고시 등을 종합적으로 검토하여 기술기준 및 규격의 제·개정이 필요한 사항을 조사하고 한국형 열차제어시스템(KTCS-3) 개발 성과에 따른 기술기준 및 규격 제·개정(안)을 마련하였다.

(가) 철도 관련 법령 현황

① 법령 단계 (시행령 및 시행규칙 포함)

구분	법령의 목적	주요 내용	주관 부처
철도산업발전 기본법	철도산업의 경쟁력을 높이고 발전기반을 조성함으로써 철도산업의 효율성 및 공익성의 향상	- 철도산업발전 정책 수립 - 철도시설과 운영의 구분	국토교통부 (철도정책과)
철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률	철도망의 신속한 확충과 철도시설의 체계적인 관리를 위하여 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 사항을 규정함으로써 공중의 안전을 확보하고 국민의 복리증진에 기여	- 철도건설사업 기본계획 수립 - 철도시설의 기술기준 및 상호호환성 확보 - 철도시설의 유지관리 계획 수립	국토교통부 (철도건설과)
철도사업법	철도사업에 관한 질서를 확립하고 효율적인 운영 여건을 조성함으로써 철도사업의 건전한 발전과 철도 이용자의 편의 도모	- 철도사업 정책수립 및 관리 - 국유철도시설의 활용 및 지원	국토교통부 (철도운영과)
철도안전법	철도안전을 확보하기 위하여 필요한 사항을 규정하고 철도안전 관리체계를 확립함으로써 공공복리의 증진	- 철도안전 종합계획 수립 및 관리 - 철도시설 및 철도 차량의 안전기준 수립 - 철도시설 및 차량의 표준화 - 철도운행안전 및 보호	국토교통부 (철도안전 정책과)

② 하위 법령 단계 (훈령, 고시)

㉮ 철도건설 관련

ⓐ 철도건설규칙 (국토교통부령)

ⓑ 철도의 건설기준에 관한 규정 (고시)

ⓒ 철도건설사업 시행지침 (고시)

ⓓ 철도 노선 간 연계운행을 위한 철도시설 기술기준 (고시)

㉯ 철도안전 관련

ⓐ 철도시설의 기술기준 (고시)

ⓑ 철도교통관제 운영 규정 (고시)

ⓒ 철도용품 기술기준 (고시)

ⓓ 철도차량 기술기준 (고시)

ⓔ 철도표준규격관리 시행지침 (고시)

(나) 실용화를 위한 제도개선 방안 검토

○ 열차제어시스템은 연구결과의 실용화 및 기술실시를 위하여 도출된 연구 성과를 활용하는 방법으로 다음과 같은 방안을 검토하였다.

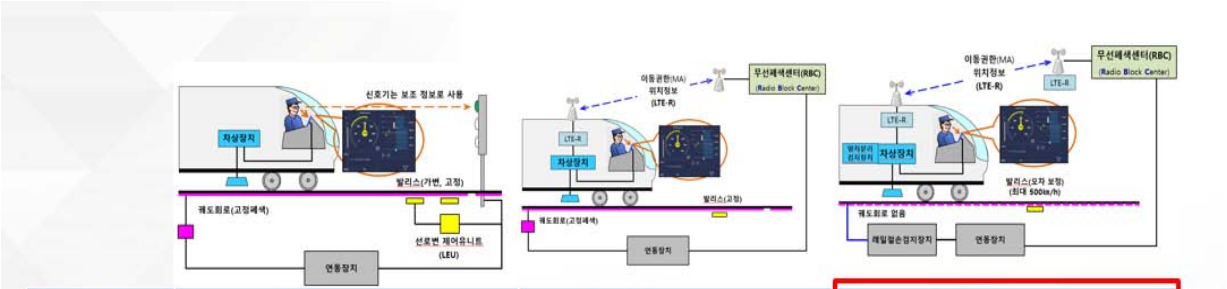
활용방안	구현방법	주최	주요 특징
법제화	철도관련 법령에 포함 (하위 법령 포함)	정부 (국토부)	- 효과 : 가장 강력 - 대상 : 모든 철도 노선 (신설 및 개량 노선) - 예산확보 : 확실 - 법제화 대상 및 범위에 따라 소관부처가 변경되므로 법제화 대상의 확정 필요
제도화	철도시설관리자 내규에 포함 (규정, 지침, 설계기준 등)	철도시설관리자	- 효과 : 양호 - 대상 : 철도시설관리자가 건설 또는 개량하는 노선 - 예산확보 : 유동적(예산 상황 등 고려) - 기존 노선의 개량이나 신설선과 운영선과의 연계 부분에서 운영자의 설득 또는 협의 필요
철도사업 계획	철도건설/개량 사업별	철도시설관리자	- 효과 : 다소 미흡 - 대상 : 계획 수립 시 여건에 따라 변경 가능 - 예산확보 : 유동적(예산 상황 등 고려) - 열차제어시스템의 단일화 곤란

(다) 개정이 필요한 기술기준 및 규격 조사 및 개정(안)

① 국가 기술기준 검토 및 분석

○ 현재 국가철도망의 철도 신호는 크게 신호방식과 신호시스템으로 구분되어 있으며, 신호방식은 지상신호방식과 차내신호방식으로 구분하고 있다.

- 열차제어시스템은「철도의 건설기준에 관한 규정 제60조」에 따라
  - 열차집중제어장치 (CTC : Centralized Traffic Control)
  - 열차자동제어장치 (ATC : Automatic Train Control)
  - 열차자동방호장치 (ATP : Automatic Train Protection)
  - 열차자동운전장치 (ATO : Automatic Train Operation)
  - 통신기반 열차제어장치 (CBTC : Communication Based Train Control)
  - 기타 제어장치
- 위처럼 구분하고 있으나 이는 궤도회로를 사용하여 열차위치를 검지하는 방식으로, 열차제어시스템 또한 유럽열차제어시스템(ETCS Level 1)을 기반으로 하는 시스템이 설치되고 있다.(국내에서는 ATP로 명명)
- 또한 도시철도와 같이 독립된 일부 노선에만 '통신기반 열차제어장치(CBTC)' 가 설치되고 있는 실정이다.
- 따라서, 국가철도망에 궤도회로를 사용하지 않는 ETCS Level 3급 열차제어시스템 실용화를 위해서는 ETCS Level 1, 2, 3와 같이 한국형 열차제어시스템(KTCS)의 기술단계 별로 명칭을 먼저 정립할 필요가 있다.



구분	현재(KTCS-1)	개발 완료(KTCS-2)	개발 중(KTCS-3)
열차제어 전달수단	유선 (LEU→가변 발리스)	무선 (RBC → LTE-R망)	무선 (RBC → LTE-R망)
무선방식	VHF, TRS (음성 전용, 신호는 불가)	LTE-R (4G) (대용량 데이터 고속전송)	LTE-R (4G) (대용량 데이터 고속전송)
폐색방식	고정폐색 (전기적 궤도회로 사용)	고정폐색 (전기적 궤도회로 사용)	이동폐색 (전기적 궤도회로 없음)
상호 운영성	노선마다 다른 시스템 (고속TVM 일반/광역 KTCS-1)	Level 1과 호환 가능	Level 1 & 2와 호환 (자동운전 기능 추가)

그림 44. 한국형 열차제어시스템(KTCS) 명칭 및 기술단계

② 국가 기술기준 개정(안)

○ 철도건설규칙 [국토교통부령]

현행 조항	개정(안)	비고
제2조(정의) 이 규칙에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 20. "열차제어시스템"이란 열차 운행을 직접적으로 제어하기 위하여 연동장치 및 열차자동 제어장치 등을 유기적으로 결합하여 하나의 시스템을 구성하는 것을 말한다.	**제2조(정의)** 이 규칙에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 20. "열차제어시스템"이란 열차 운행을 직접적으로 제어하기 위하여 연동장치 및 열차자동 제어장치 등을 유기적으로 결합하여 하나의 시스템을 구성하는 것을 말하며, 기술구현 단계에 따라 3단계로 구분할수 있다.	한국열차제어시스템의 기술단계 명확화 KTCS-1 KTCS-2 KTCS-3
제49조(궤도회로의 설치) ①신호기, 선로전환기를 포함한 연동장치와 그 밖의 신호설비를 제어하기 위하여 열차 또는 차량의 점유 유무를 감지하는 궤도회로를 설치하여야 한다. 다만, 통신기반열차 제어장치의 경우에는 그에 적합한 설비로 대체할 수 있다. ②궤도회로는 폐전로식(閉電路式) 궤도회로 구성방식으로 하여야 한다. 다만, 필요에 따라 개전로식(開電路式) 궤도회로를 조합하여 설비할 수 있다.	**제49조(궤도회로의 설치)** ①신호기, 선로전환기를 포함한 연동장치와 그 밖의 신호설비를 제어하기 위하여 열차 또는 차량의 점유 유무를 감지하는 궤도회로를 설치하여야 한다. 다만, 궤도회로를 사용하지 않는 열차제어시스템의 경우에는 그에 적합한 설비로 대체할 수 있다. ②(좌동)	궤도회로를 사용하지 않는 시스템 명확화 KTCS-3 CBTC

○ 철도의 건설기준에 관한 규정 [국토교통부 고시]

현행 조항	개정(안)	비고
제2조(정의) 이 규칙에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 20. "열차제어시스템"이란 열차운행을 직접적으로 제어하기 위하여 연동장치 및 열차자동제어장치 등을 유기적으로 결합하여 하나의 시스템을 구성하는 것을 말한다. (신설)	**제2조(정의)** 이 규칙에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 20. "열차제어시스템"이란 열차운행을 직접적으로 제어하기 위하여 연동장치 및 열차자동제어장치 등을 유기적으로 결합하여 하나의 시스템을 구성하는 것을 말하며, 기술구현단계에 따라 3단계로 구분할 수 있다. 39. "철도통합무선망(LTE-R)"이란 4세대 무선기술을 이용하는 음성 및 데이터 전송설비를 말한다.	한국열차제어시스템의 기술단계 명확화 KTCS-1 KTCS-2 KTCS-3 철도통합무선망(LTE-R) 용어 신설
제49조(신호기장치) ①신호기는 소속선의 바로 위 또는 왼쪽에 세우며, 2개 이상의 진입선에 대해서는 같은 종류의 신호기를 같은 지점에 세우는 경우 각 신호기의 배열방법은 진입선로의 배열과 같게 한다. 다만, 지형 또는 그밖에 특별한 사유가 있을 때는 예외로 한다.	**제49조(신호기장치)** ①신호기는 소속선의 바로 위 또는 왼쪽에 세우며, 2개 이상의 진입선에 대해서는 같은 종류의 신호기를 같은 지점에 세우는 경우 각 신호기의 배열방법은 진입선로의 배열과 같게 한다. 다만, 다음 각 호의 경우에는 예외로 한다. 1. 지형 또는 그밖에 특별한 사유가 있을 때 2. 철도통합무선망(LTE-R)을 이용하는 무선제어방식으로 신호기 역할을 대체하는 경우	신호기를 사용하지 않는 시스템 명확화 KTCS-2&3
제53조(폐색신호기) 폐색구간의 시점에는 폐색신호기를 설치하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다. 1. 출발신호기 또는 장내신호기를 설치한 경우 2. 절대신호표지를 설치한 경우 3. 그 밖의 열차운행횟수가 극히 적은 구간 등 폐색신호기를 설치할 필요가 없다고 인정되는 경우	**제53조(폐색신호기)** 폐색구간의 시점에는 폐색신호기를 설치하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다. 1. 출발신호기 또는 장내신호기를 설치한 경우 2. 절대신호표지를 설치한 경우 3. 그 밖의 열차운행횟수가 극히 적은 구간 등 폐색신호기를 설치할 필요가 없다고 인정되는 경우 4. 철도통합무선망(LTE-R)을 이용하는 무선제어방식으로 폐색 신호기 역할을 대체하는 경우	신호기를 사용하지 않는 시스템 명확화 KTCS-2&3

현행 조항	개정(안)	비고
제58조(궤도회로의 설치) 궤도회로는 해당 선로에 적합하도록 다음 각 호에 따라 설치한다. 1. 직류 전철구간 : 가청주파수 궤도회로, 고전압임펄스 궤도회로, 상용주파수 궤도회로 2. 교류 전철구간 : 가청주파수 궤도회로, 고전압임펄스 궤도회로, 직류바이어스 궤도회로 3. 비전철구간 : 가청주파수 궤도회로, 직류바이어스 궤도회로	**제58조(궤도회로의 설치)** 궤도회로는 해당 선로에 적합하도록 다음 각 호에 따라 설치한다. 다만, 궤도회로를 사용하지 않는 열차제어시스템의 경우에는 그에 적합한 설비로 대체할 수 있다. 1. 직류 전철구간 : 가청주파수 궤도회로, 고전압임펄스 궤도회로, 상용주파수 궤도회로 2. 교류 전철구간 : 가청주파수 궤도회로, 고전압임펄스 궤도회로, 직류바이어스 궤도회로 3. 비전철구간 : 가청주파수 궤도회로, 직류바이어스 궤도회로	궤도회로를 사용하지 않는 시스템 명확화 KTCS-3 CBTC
제60조(열차제어시스템) 열차제어시스템은 연동장치와 다음 각 호의 장치를 유기적으로 구성하여야 한다. 1. 열차집중제어장치(CTC : Centralized Traffic Control) 2. 열차자동제어장치(ATC : Automatic Train Control) 3. 열차자동방호장치(ATP : Automatic Train Protection) 4. 열차자동운전장치(ATO : Automatic Train Operation) 5. 통신기반열차제어장치(CBTC : Communication Based Train Control) 6. 기타 제어장치	**제60조(열차제어시스템)** 열차제어시스템은 철도노선간 연계운행을 위한 철도시설 기술기준을 고려하여 연동장치와 다음 각 호의 장치를 유기적으로 구성하여야 한다. 1. 열차집중제어장치(CTC : Centralized Traffic Control) 2. 열차자동제어장치(ATC : Automatic Train Control) 3. 한국 열차제어시스템(KTCS-1, 2, 3) 4. 열차자동운전장치(ATO : Automatic Train Operation) 5. 통신기반열차제어장치(CBTC : Communication Based Train Control) 6. 기타 제어장치	연계운행 적용기준 및 한국열차제어시스템 기술단계 명확화

○ 철도차량 기술기준(고속철도차량 Part 31) [국토교통부 고시]

현행 조항	개정(안)	비고
3.4.2 차량-신호 **3.4.2.1 지상신호장치와 인터페이스** 1) 지상신호장치와의 연계동작 (1) 해당 선구에 운행하는 모든 고속철도 차량(동력분산식, 동력집중식)은 사용 중인 지상신호장치들과 상호연계 운영이 가능하여야 한다. (2) 지상-차상 열차제어설비간 인터페이스 매체는 지상의 궤도회로를 통해 열차제어에 관련된 주요한 정보가 차량으로 연속적으로 전송되므로, 차량에서는 이 신호를 정상적으로 수신할 수 있어야 한다. (3) 궤도회로를 통한 정보전송 이외에 필요개소의 지상에 설치된 불연속 정보 전송 루프 케이블 또는 고정 지상자(예: 발리스)를 통해 차량으로 필요 정보가 전송되므로, 차량은 이 신호를 정상적으로 수신할 수 있어야 한다. (4) 지상에 설치된 통신매체와 원활한 통신 인터페이스 구성을 위하여 차량 하부의 적절한 위치에 지상 통신수단과 인터페이스 할 수 있도록 설치되어야 한다.	**3.4.2 차량-신호** **3.4.2.1 지상신호장치와 인터페이스** 1) 지상신호장치와의 연계동작 (1) (좌동) (2) (좌동) (3) 궤도회로를 통한 정보전송 이외에 필요개소의 지상에 설치된 불연속 정보 전송 루프 케이블를 통해 필요 정보가 전송되므로, 차량은 이 신호를 정상적으로 수신할 수 있어야 한다. 또한, 한국열차제어시스템(KTCS-1)에서는 고정지상자(발리스) 또는 한국열차제어시스템(KTCS-2&3)에서는 철도통합무선망(LTE-R)으로 전송되는 열차제어정보를 수신할 수 있어야 한다. (4) (좌동)	한국열차제어시스템(KTCS) 분리 및 KTCS-2&3는 열차제어정보의 무선전송 명확화

현행 조항	개정(안)	비고
4.7 차상신호장치 **4.7.1 시스템 일반** 1) 고속철도차량이 운행되는 선구의 지상에 설치 및 운용되고 있는 지상신호장치에서 제한속도정보를 수신하여 열차를 제어하는 자동열차방호장치(ATP : Automatic Train Protection)에 대응하는 차상신호장치들이 모두 설치 및 운용되어야 한다. 단, ATP 장치는 고속철도용 ATC(Automatic Train Control), 일반·고속용 ATP로 구분된다.	**4.7 차상신호장치** **4.7.1 시스템 일반** 1) 고속철도차량이 운행되는 선구의 지상에 설치 및 운용되고 있는 지상신호장치에서 제한속도정보를 수신하여 열차를 제어하는 열차자동정지장치(ATS : Automatic Train Stop) 및 열차자동제어장치(ATC : Automatic Train Control, TVM), 지상신호장치에서 이동권한을 수신하여 열차를 제어하는 한국열차제어시스템(KTCS-1, 2, 3), 열차의 안전운행을 확보하고 계획된 제어방식에 의하여 효율적으로 자동운전을 할 수 있는 열차자동운전장치(ATO : Automatic Train Operation)에 대응하는 차상신호장치들이 설치 및 운영되어야 한다.	한국열차제어시스템(KTCS) 및 열차자동운전(ATO) 조항 추가

현행 조항	개정(안)	비고
4.7.3 자동열차방호장치(ATP) 1) 자동열차방호장치는 일반·고속용 ATP장치로서(이하 ATP), 지상에 설치된 신호 설비의 정보를 수신하여 선로 인프라 정보 및 운행상황정보를 바탕으로 목표이동거리 및 속도곡선 제어를 통해 열차가 안전하게 운행될 수 있도록 하는 차상신호장치이다. 2) 차상 ATP 장치는 차상컴퓨터, 안테나, 기록장치, 차상표시장치, 그리고 ATS 변환모듈로 구성된다. 다만, ATS 변환모듈의 경우, 지상신호장치가 ATS/ATP 혼용일 경우에 해당된다. 3) 기관사 표시장치는 기관사 제어콘솔에 위치하며, 목표 이동거리 정보, 차상신호 운전모드, 목표속도, 제동체결 정보, 차상 ATP 장치 상태정보, ATS 현시정보, 기타 장치의 운용을 위한 여러 가지 정보들을 기관사에게 현시하는 MMI기능을 제공하여야 한다. 다만, ATS 현시정보는 지상신호장치가 ATS/ATP 혼용일 경우에 현시가 가능하다. 4) 차상신호장치는 지상으로부터 수신한 신호를 판별할 수 있어야 하며, 신호의 변화가 있을 때에는 기관사표시장치에 표시되어야 한다.	4.7.3 한국열차제어시스템(KTCS) 1) 한국열차제어시스템(KTCS) 차상컴퓨터장치(KVC)는 일반·고속용으로 지상에서 전송된 이동권한을 수신하고 선로 인프라 정보 및 운행상황정보를 바탕으로 제동곡선을 생성하여 열차가 안전하게 운행될 수 있도록 하는 신호장치이며, 기술단계에 따라 KTCS-1, KTCS-2, KTCS-3로 구분된다. 2) 차상컴퓨터장치는 차상컴퓨터, 발리스전송모듈(BTM), 발리스 안테나(CAU), 기록장치(JRU), 기관사 표시장치(DMI), 특정전송모듈(STM)으로 구성된다. 3) 기관사 표시장치(DMI)는 기관사 제어콘솔에 위치하며, (중간 생략) 다만, ATS 현시정보는 지상신호장치가 ATS/KTCS 혼용일 경우에 현시가 가능하다. 4) (좌동)	한국열차제어시스템(KTCS) 기술단계 명확화 용어 정리 용어 정리

현행 조항	개정(안)	비고
5) 차상 ATP 안테나 (1) 차상 안테나는 지상신호를 수신하여 차상컴퓨터로 전송한다. (2) 차상안테나는 선로에 설치된 ATP 지상자에 전원을 공급하고, 지상자로부터 정보를 수신한다. (3) 차상안테나는 지상자로부터 전송정보가 정확하게 수신될 수 있도록 차량 하부에 설치되어야 한다. 6) ATS 변환모듈(STM: Specific Transmission Module)은 차량이 ATS 구간 진입 시 ATS 지상신호를 수신하여 차상컴퓨터로 정보를 변환 및 전송하는 기능을 수행한다. 다만, ATS 변환모듈의 경우, 차/지상신호장치가 ATS/ATP 혼용일 경우에 해당된다. 7) 지상신호장치의 제어영역이 ATS/ATP 혼용일 경우, 열차의 안전이 확인된 상태에서 차상 표시장치에서 신호 제어영역을 선택할 수 있는 기능을 가져야 한다. 8) ~ 11) (생략)	5) 발리스안테나(CAU) (1) 발리스안테나는 발리스로부터 정보를 수신하여 차상컴퓨터로 전송한다. (2) 발리스안테나는 선로에 설치된 발리스에 주파수를 주사하고 발리스로부터 정보를 수신한다. (3) 발리스안테나는 발리스로부터 전송정보가 정확하게 수신될 수 있도록 차량 하부에 설치되어야 한다. 6) 특정전송모듈(STM: Specific Transmission Module)은 차량이 ATS 구간 진입 시 ATS 지상신호를 수신하여 차상컴퓨터로 정보를 변환 및 전송하는 기능을 수행한다. 다만, 특정전송모듈(STM)의 경우, 차/지상신호장치가 ATS/KTCS 혼용일 경우에 해당된다. 7) 지상신호장치의 제어영역이 ATS/KTCS 혼용일 경우, 열차의 안전이 확인된 상태에서 차상 표시장치에서 신호 제어영역을 선택할 수 있는 기능을 가져야 한다. 8) ~ 11) (생략)	용어 정리
(신설)	12) KTCS-2, 3노선을 운행하는 차량에는 해당 기술단계의 차상컴퓨터장치 및 철도통합무선망(LTE-R)을 이용하여 열차제어정보를 송수신하는 장치가 설치되어야 한다.	KTCS 및 LTE-R의 기술 요구사항 반영

현행 조항	개정(안)	비고
4.7.4 자동열차제어장치(ATC) 1) ~ 5) (생략) 6) 지상신호장치의 제어구간이 ATC/ATS/ATP 혼용일 경우, 안전이 확인된 상태에서 차상 표시장치에서 신호 제어영역을 선택할 수 있는 기능을 가져야 한다. 7) ~ 10) (생략)	**4.7.4 자동열차제어장치(ATC)** 1) ~ 5) (생략) 6) 지상신호장치의 제어구간이 ATC/ATS/KTCS 혼용일 경우, 안전이 확인된 상태에서 차상 표시장치에서 신호 제어영역을 선택할 수 있는 기능을 가져야 한다. 7) (좌동)	용어 정리
(신설)	**4.7.5 자동열차운전장치(ATO)** 1) 자동열차운전장치는 열차가 정거장을 출발하여 다음 정거장에 정차할 때까지의 가감속 및 정거장에 정위치 정차하는 일련의 운전행위를 자동으로 수행하는 장치이다. 2) 속도제어 기능 (1) 본 항은 완전자동운전모드 및 자동운전모드가 선택되었을 때만 적용되어야 한다. (2) ATO 장치는 열차의 견인 및 제동 시스템에 명령을 내려 열차속도를 제어를 수행한다. (3) 모든 열차 특성(열차길이, 열차 형식에 따른 최대 안전속도 등)과 선로 특성, KTCS에 의한 허용 운행속도 등을 고려하며, 해당 열차의 감시 및 제동성능을 고려하여 속도 프로파일을 작성하여야 한다.	열차자동운전(ATO) 조항 추가

현행 조항	개정(안)	비고
(신설)	(4) 자동열차운전의 속도 프로파일은 정상운행 중 과속으로 인해 자동열차방호 기능이 활성화되지 않도록 하여야 하며, 역 및 승강장의 정차 지점을 고려하여 가속 및 감속 프로파일을 작성하여야 한다. (5) 속도제어 알고리즘은 정상 운행조건 하에서 저크한계 등을 고려하여 설계되어야 한다. (6) ATO의 주행모드는 일정조건에서 타행운전이 가능한 평상모드와 목표속도하에서 가능한 최고속도를 행하는 회복모드로 구분되어야 한다. 3) 정위치 정차 (1) 시스템은 열차가 각 역의 지정된 정지위치에 정확히 정지할 수 있도록 열차를 제어하여야 한다. (2) 제동 시스템의 허용치 이내에서 모든 역 정차에 대해 역 정위치 정차를 하여야 한다. 역 정차는 열차가 완전히 정지하기까지 저크한계를 고려하여 감속 프로파일로 이루어져야 한다.	열차자동운전(ATO) 조항 추가

현행 조항	개정(안)	비고
(신설)	4) 출입문 제어 및 역출발 제어 (1) 열차 출입문의 개폐는 운전모드에 따라 자동 또는 열차 기관사에 의해 수동으로 이루어지며, 다음 조건이 설명되는 경우에만 적합한 출입문 열기 가능 신호가 발생해야 한다. 가. 열차가 상용제동이 적용된 상태로 정지 중인 경우 나. 열차가 승강장 정지위치 이내에 있을 경우 (2) 열차출입문이 완전히 닫힐 때 까지 열차 이동이 불가능한 기능을 갖추어야 한다. (3) 차상신호장치는 열차운전 중 출입문 닫힘 상태를 감시하여야 하며, 운전중 출입문이 개방되면 제동 정보를 제공하여야 한다. (4) ATO 장치는 모든 출입문(객차 출입문, 승강장 스크린도어)이 닫혔다는 정보를 확인하고, 기관사가 출발 버튼을 누르면 열차를 출발시켜야 한다. 5) 자동열차운전 기능을 위해 열차번호 및 행선정보지령, 역코드, 자동방송지령, 출입문 개폐방향, 주행모드 및 기타 필요한 정보를 철도통합무선망(LTE-R)으로 지상에서 차상으로 전송할 수도 있다.	열차자동운전(ATO) 조항 추가

현행 조항	개정(안)	비고
5.3.19 지상설비연계동작시험 1) 적용범위 (생략) 2) 용어정의 (1) ATC : 자동열차제어장치(Automatic Train Control) (2) ATP : 자동열차방호장치(Automatic Train Protection) 3) 시험의 종류 및 목적 (생략) 4) 시험 방법 및 판정기준 (1) 시험조건 (생략) (2) 신호장치 시험 가. 시험조건 지상에 ATS, ATP, ATC, ATO, TWC 등의 모의 지상자가 설치되어 있어야 한다. 나. ATS 신호수신 및 기능시험 (생략) 다. ATP 신호수신 및 기능시험 가) 차상신호장치에 ATP 장치가 설치되어 있는 경우에 실시한다. 나) 차량을 모의 ATP 지상자가 설치된 위치로 이동하여(시험선로가 없는 경우 지상자를 차량 위치로 이동), 차량에서 모의 ATP 지상자와 정상적으로 연계동작하는지 확인한다.	5.3.19 지상설비연계동작시험 1) 적용범위 (생략) 2) 용어정의 (1) ATC : 자동열차제어장치(Automatic Train Control) (2) KTCS : 한국열차제어시스템(Korean Train Control System) 3) 시험의 종류 및 목적 (생략) 4) 시험 방법 및 판정기준 (1) 시험조건 (생략) (2) 신호장치 시험 가. 시험조건 지상에 ATS, KTCS, ATC, ATO, TWC 등의 모의 지상자가 설치되어 있어야 한다. 나. ATS 신호수신 및 기능시험 (생략) 다. KTCS 신호수신 및 기능시험 가) 한국열차제어시스템(KTCS) 차상신호장치가 설치되어 있는 경우에 실시한다. 나) 차량을 모의 KTCS 지상자가 설치된 위치로 이동하여(시험선로가 없는 경우 지상자를 차량 위치로 이동), 차량에서 모의 KTCS 지상자와 정상적으로 연계동작 하는지 확인한다.	용어 정리
다) 모의 ATP 지상자에서 설정된 지상신호가 차상신호장치에 수신되어 해당하는 제한속도로 차상신호장치에 의해 차량의 속도제어를 확인한다.	다) 모의 KTCS 지상자에서 설정된 지상신호가 차상신호장치에 수신되어 해당하는 제한속도로 차상신호장치에 의해 차량의 속도제어를 확인한다.	용어 정리

<table>
<tr><th>현행 조항</th><th>개정(안)</th><th>비고</th></tr>
<tr>
<td>[별표 1] 고속철도 차량의 적합성평가
<table>
<tr><th rowspan="2">적합성
평가항목</th><th colspan="3">설계적합성검사</th><th rowspan="2">차량
형식시험</th></tr>
<tr><th>기술
검토서</th><th>도면</th><th>해석서
(계산서)</th></tr>
<tr><td>제4장 주요 장치별 기준</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4.7 차상신호장치</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>140) 시스템 일반</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>차상신호장치시험
지상설비
연계동작
시험</td></tr>
<tr><td>141) 자동열차정지장치(ATS)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>상동</td></tr>
<tr><td>142) 자동열차방호장치(ATP)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>상동</td></tr>
<tr><td>143) 자동열차제어장치(ATC)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>상동</td></tr>
</table>
</td>
<td>[별표 1] 고속철도 차량의 적합성평가
<table>
<tr><th rowspan="2">적합성
평가항목</th><th colspan="3">설계적합성검사</th><th rowspan="2">차량
형식시험</th></tr>
<tr><th>기술
검토서</th><th>도면</th><th>해석서
(계산서)</th></tr>
<tr><td>제4장 주요 장치별 기준</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4.7 차상신호장치</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>140) 시스템 일반</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>차상신호장치시험
지상설비
연계동작
시험</td></tr>
<tr><td>141) 자동열차정지장치(ATS)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>상동</td></tr>
<tr><td>142) 한국열차제어시스템(KTCS)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>상동</td></tr>
<tr><td>143) 자동열차제어장치(ATC)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>상동</td></tr>
</table>
</td>
<td>용어 정리</td>
</tr>
<tr>
<td>[별표 2] 기술기준 세부항목과 필수요구사항의 관계
<table>
<tr><th rowspan="2">기술기준
항목</th><th colspan="4">설계적합성검사</th></tr>
<tr><th>안전</th><th>최소
성능</th><th>인터
페이스</th><th>기술적
호환성</th></tr>
<tr><td>4.7 차상신호장치</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1) 시스템 일반</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2) 자동열차 정지장치(ATS)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>○</td></tr>
<tr><td>3) 자동열차 방호장치(ATP)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4) 자동열차 제어장치(ATC)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td>
<td>[별표 2] 기술기준 세부항목과 필수요구사항의 관계
<table>
<tr><th rowspan="2">기술기준
항목</th><th colspan="4">설계적합성검사</th></tr>
<tr><th>안전</th><th>최소
성능</th><th>인터
페이스</th><th>기술적
호환성</th></tr>
<tr><td>4.7 차상신호장치</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1) 시스템 일반</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2) 자동열차 정지장치(ATS)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>○</td></tr>
<tr><td>3) 한국열차제어시스템(KTCS)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4) 자동열차 제어장치(ATC)</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td>
<td>용어 정리</td>
</tr>
</table>

③ 국가 철도 규격의 검토 및 분석

○ 철도용품은 철도안전법 제34조(표준화) 및 시행규칙 제74조(철도표준규격의 제정 등)에 근거하여 철도표준규격을 정하여, 철도의 안전과 호환성의 확보를 목적으로 철도차량 및 철도용품에 대한 국가의 표준규격을 정함으로써 철도 운영자 및 철도차량을 제작/조립 또는 수입하고자 하는 자에게 권고함을 목적으로 하며,

○ 철도 표준규격의 전체 현황은 아래와 같다.

대분류	소분류	수량	비고
철도시설	궤도용품(TR)	14	
	건축용품(AC)	1	
철도전력 신호정보통신	전철전력(PW)	73	
	신호용품(SG)	69	단품, 장치 위주
	통신용품(CM)	26	
철도차량	차체설비용품 등 10종	93	

○ 신호용품(SG)의 철도표준규격을 자세히 분석하면 규격으로 정한 용품은 대부분 지상장치 위주의 단품 또는 조립품이며, 열차제어시스템을 다루는 규격은 “도시철도용 열차제어시스템[KRS SG-0069]” 1건이다.

○ 또한, 현재 국가철도망에 운영중인 KTCS-1을 포함한 일반·고속철도용 열차제어시스템은 국가R&D “일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화” 과제의 연구성과로 표준규격(안)을 제정하여 한국철도기술연구원에 신규 제정요청(‘17.10.27)하였으나, 공인시험/검사기관 미비, 완성차량에 설치 후 성능시험 필요를 이유로 전라선에 시범노선을 선정하여 시범사업을 완료한 후 표준규격으로 제정을 추진할 예정이다.

○ 따라서, 당해 과제에서 마련되는 개발명세서 및 인터페이스 명세서를 반영하여 시제품을 제작하고 실험실 시험 및 안전성 인증을 획득하게 되면 이동폐색 관련 사항을 “일반 및 고속철도용 열차제어시스템 표준규격(안)”에 추가하여 개정을 추진할 예정이다.

④ 기술기준 제·개정 필요성

○ 본 R&D에서 개발하는 ‘한국 열차제어시스템(KTCS-3)’ 뿐 만 아니라, 철도 신호의 기술 발전을 위해서는 법제화, 제도화 등의 조치가 필수적으로 요구된다. 핵심적으로, 연구를 통한 성과의 도출과 해당 성과의 실용화, 더 나아가 기술 실시 및 확대 등을 위해서이다.

○ 대표적인 예로 ‘철도산업발전기본법’의 목적은 철도산업의 경쟁력을 높이고 발전 기반을 조성하여 철도산업의 효율성과 공익성을 향상시키기 위함으로 명시되어 있다.

○ 위에서 살펴본 바와 같이 현재 기술기준은 해당 성과물이 도출된 후 세부적으로도 개정될 사항이 있다.

- 현재 국내에서는 ATP라고 명명되고 있는 KTCS-1 시스템 등의 용어정리가 필요하며,
- 이에 따른, 한국열차제어시스템(KTCS)의 단계별(L1, L2, L3) 기술 명확화가 필요하다.

○ 이러한 세부적인 사항도 함께 고려하여 향후 기술기준의 제·개정이 이루어져야 할 것이다.

마. 열차제어시스템 자동화 수준 정의

지난 수십 년간 열차를 안전하게 운행하기 위한 열차제어시스템은 계속해서 발전해 왔다. 기마수의 깃발에 의한 수신호에서부터 무선통신을 이용하는 현대에 이르기까지는 많은 노력과 시간이 필요하였으며, 기술이 발전해 나감에 따라 승객들의 증가하는 요구사항을 맞추기 위해 또 새로운 솔루션들이 개발되고 있다. 현재 이러한 배경에서 안전하고 빠르게 다수의 승객 또는 화물을 운송 할 수 있는 자동운전기술이 주목받고 있다.

열차자동운전기술(ATO)은 운전시격 단축, 운행효율 증대, 고객편의성 향상, 경제성 향상, 에너지 절감, 선로용량 증대 등의 장점을 가지고 있어 유럽 등의 철도선진국에서 주요 기술개발 과제로 추진하고 있다.



그림 45. 열차자동운전기술(ATO) 장점

2018. 3월 이탈리아에서 열린 1ST UIC Global Conference on Signalling에서 Thales社가 발표한 자료를 보면 계산된 최적의 열차 속도 보다 실제열차 운행속도가 현저히 낮은 속도로 운행됨을 알 수 있으며, 이는 자동운전 도입을 통해 극복 할 수 있다고 이야기 하고 있다.

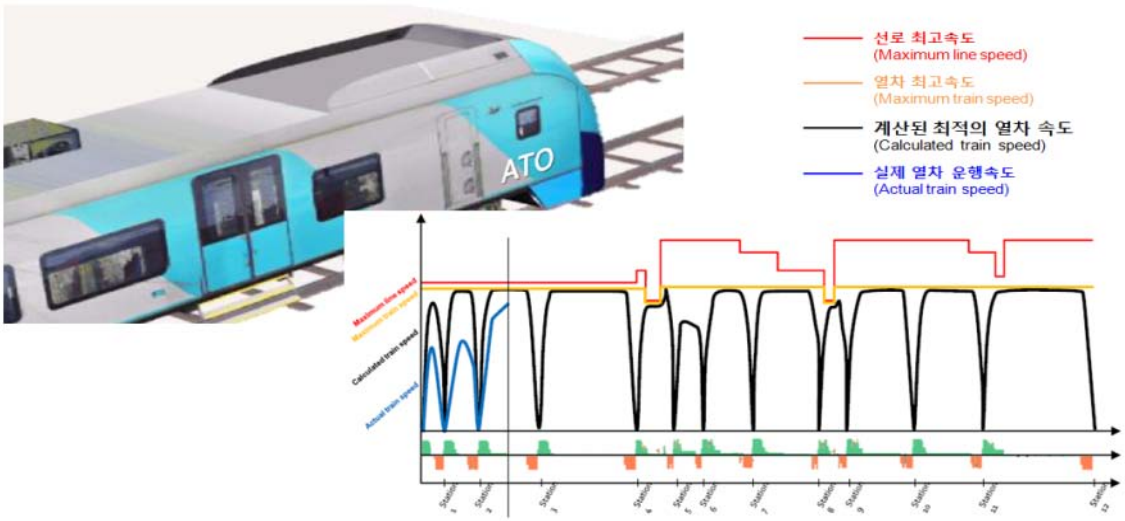


그림 46. 열차자동운전에 따른 열차 속도 비교(Thales社 발표자료 인용)

(1) 열차자동운전기술(ATO) 기술개발 동향

열차제어시스템의 통합과 효율화는 세계적인 추세라고 볼 수 있다. 유럽은 현재 주도하고 있는 철도산업의 경쟁력을 지속적으로 유지하고, 유럽철도 시장규모를 확대하기 위해 Forster Rail, Shift2Rail 프로젝트를 추진하고 있으며 세계 각국에서 무선통신기술을 열차제어기술에 적용한 새로운 열차제어시스템 개발 및 상용화를 위한 연구를 계속해서 추진 중이다. 이러한 상황에서 유럽의 철도산업혁신 전략에 대응하지 않을 경우 수송용량, 가격, 승객서비스 등의 경쟁력 부족으로 과거와 같이 외국시스템이 국내 철도시장을 주도하게 될 우려가 있다.

(가) Foster Rail (Future of Surface Transport Research Rail)

Foster Rail 프로젝트는 유럽철도의 연구개발 및 혁신을 위한 로드맵을 완성하는 것으로 10개 분야로 구성(인프라, 차량, 신호, 통신, 제어, 안전, 보안, 교육 등) 된다. 프로젝트 개요는 다음과 같다.

□ 목적 및 기간 : 유럽철도의 연구개발 및 혁신전략 강화 지원(2013. 5. 1 ~ 2016. 4. 31)

□ 주관 : ERRAC (European Research Advisory Council)

□ 개발기술

- Capacity, Performance and competitiveness
- Energy and environment
- Safety(including certification) and security

□ 구 성

- WP1 Cooperation, Communication & Coordination with other ETPs and national technology platforms
- WP2 Rail Business Scenarios
- WP3 StrategicRail Research & Innovation Agenda (SRRIA)
- WP4 Technology and Innovation Roadmaps, Exploitation & Implementation
- WP5 Fostering innovation and partnerships: ERRAC & Shift2Rail
- WP6 Monitoring to improve rail research innovation
- WP7 Communication & dissemination activities
- WP8 PROJECT MANAGEMENT

□ 참여기관 : UIC, SNCF, RATP, UNIFE, UITP, ALSTOM, ANSALDO STS, BOMBARDIER 등

- Shift2Rail과의 관계

- ERRAC와 협의하여 SHIFT2RAIL의 마스터플랜 작성
- Shift2Rail의 성과물을 규격 및 표준화에 반영

(나) NGTC (Next Generation Train Control)

NGTC 프로젝트는 유럽철도의 경쟁력 강화를 위해 도시철도, 일반철도, 고속철도에서 사용 가능한 무선통신기반 열차제어시스템을 연구 개발하는 것이다. ETCS와 CBTC시스템의 기능요구사항에 대한 공통점과 차이점을 분석하고, 그 결과를 통해 CBTC시스템 솔루션을 활용하여 ETCS의 기능을 발전시키고 열차관제시스템에 대한 핵심을 기능들을 개발 할 계획으로 확인하였다.

NGTC는 Shift2Rail 프로젝트를 위해 진행되었으며, European Rail Joint Technology는 새롭고 진보된 철도 기술들을 위한 개발과 혁신 그리고 시장주도(Market-driven)전략 솔루션에 중점을 두고 약 10억 유로(€1,000,000,000)의 예산을 가지고 시작되었다. 다음 그림은 NGTC를 통해 도시철도와 일반철도의 기능요구사항의 융합에 대한 목표를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 이 프로젝트의 성공여부는 ETCS Baseline 3 사양과의 호환성을 유지하는 것이라 할 수 있다.

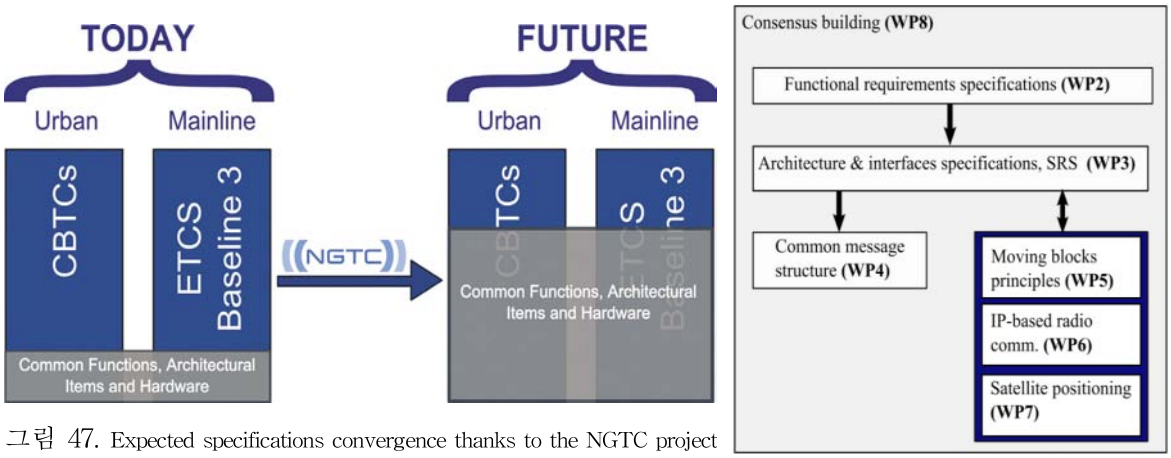


그림 47. Expected specifications convergence thanks to the NGTC project

(다) Shift2Rail

Shift2rail프로젝트는 '유럽의 미래 수송체계를 위한 비전'을 주제로 단일화된 유럽철도의 완성, 아시아 업체들과의 경쟁에서 유럽 철도산업의 경쟁력 증가, 유럽 내의 높은 품질의 일자리 창출과 유지의 3대 목표를 가지고 있으며, 프로젝트 개요는 다음과 같다.

□ 예산 : 9.2억 유로(약 1조1,500억원)의 대형 프로젝트

· 민간부문 : 4.7억 유로(약 6,000억원)　　• 유럽연합 : 4.5억 유로(약 5,500억원)

※ 2013년 12월 법적으로 제안되어 2014년 3. 14일 유럽의회에서 승인됨

□ 개발기술 및 구성 : 다섯 가지 기술혁신분야(IP)로 구분

• IP1 : 비용 대 효과 및 신뢰도가 좋은 고용량 열차

• IP2 : 진보적인 교통관리 및 제어 시스템

- IP3 : 고효율 및 고용량 철도환경 조성
- IP4 : 매력적인 철도 서비스를 위한 IT 접목
- IP5 : 고객을 만족하는 화물운송 기술

□ 주요기술 개발 : 철도신호시스템 개선계획은 Shift2Rail IP2에 포함됨

- 자동운전(ATO)개념을 일반철도와 고속철도에 적용토록 개발
- 철도 운송능력과 성능을 개선하고 에너지 고효율화



그림 48. Shift2Rail 프로젝트의 기술혁신분야

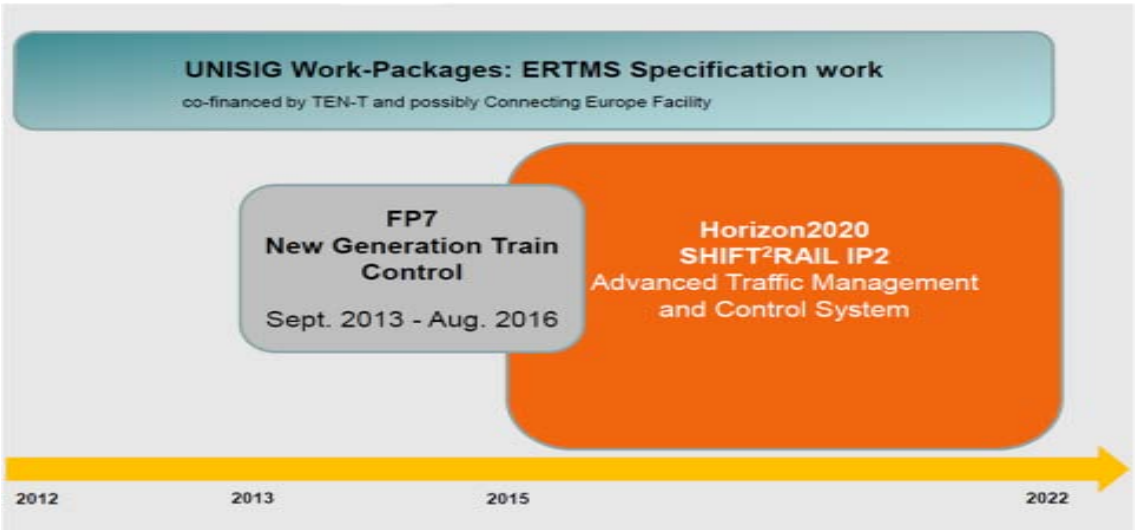


그림 49. Horizon2020, Shift2Rail, NGTC 추진

□ Innovation Programmes (IP)

○ IP1 : 경제적이고 신뢰성 있는 대량 수송용 고속 열차

(Cost-efficient and reliable trains, including high capacity trains and high speed trains)

○ IP2 : 진보한 수송 관리 및 제어 시스템 (Advanced Traffic Management)

IP2는 ERTMS가 당면하고 있는 문제를 해결하기 위한 목표를 가지고 있다. ERTMS의 문제점으로 보고 있는 것은 다음과 같다.

- 현재의 ERTMS 목표는 보다 경쟁력 있고 다양한 기능구현의 가능성을 제약함
- 현재의 시스템은 위성을 이용한 위치확인기술, 고속, 대용량 데이터 및 음성 통신 시스템, 자동화, 혁신적인 실시간 데이터 수집(ex. 예측가능하고 능동적인 열차 운영 시스템) 등의 기능을 구현할 수 없음
- 현재 ERTMS 사양들은 엔지니어링 측면과 운영측면에서의 확장성 요구 및 모든 인터페이스들을 커버할 수 없으며 공급업체들은 여전히 그들만의 솔루션으로 설계함으로써 시스템 상호운영성을 방해하고 비용을 증가시키는 요인으로 작용하며 S2R에서 제시하고 있는 이러한 문제점을 해결하기 위해 다음의 목표를 제시하였다.
- S2R 활동을 통해 전반적인 ERTMS 비용을 감소시키고 ERTMS/ETCS의 일반개념에 기초하여 개선된 기능 및 표준화된 인터페이스를 제공함으로써 ERTMS의 빠르고 넓은 구축을 지원
- Shift2Rail IP2위한 핵심 과제는 ERTMS 코어에 영향을 미치지 않으면서 하위 호환성을 제공함으로써 ERTMS 시스템을 향상 시키는 것

IP2의 우선연구 활동을 보면 다음 표와 같다.

표 27. S2R IP2의 우선연구 및 활동

분 야	활 동
스마트, Fail-safe 통신 및 위치 확인 시스템	- ETCS 및 CBTC의 단점을 극복하기 위해 패킷스위칭/IP(GPRS, EDGE, LTE, 위성) 기술을 사용하여 모든 시장 부문에서 열차제어 애플리케이션을 위한 적응형 통신 시스템 제공 - 신호를 위한 안전 및 보안 기능시스템의 현재 및 미래의 요구사항 지원 - 지상설비(발리스, 궤도회로, 엑셀카운터 등)를 제거하고 열차 위치검지 정보 품질강화 - ETCS 코어에 GNSS를 적용한 다중센서 열차 위치감지 시스템 및 fail-safe 기술개발
교통 관리의 발전	- 첨단 교통 관리 시스템은 자동화되고 상호운영성, 내부 연결성 등이 필요 - 열차의 성능 데이터 및 실시간 네트워크를 통해, 예측가능하고 동적인 교통관리를 허용하는 **운전자지원시스템(DAS)** 기능과 결합되어 무선통신 네트워크에 의해 제어 기능 - 시스템은 표준화된 인터페이스와 제품을 사용하고, 기존 시스템에서 쉽게 확장 가능하고 업그레이드가 가능하여야 한다.

분 야	활 동
자동화	- 도시와 교외의 애플리케이션을 위한 자동화 등급 (GOA4, 무인 열차 운행)까지 **ETCS를 통해 자동열차제어(ATO)를 개발** - 화물 노선을 포함한 다른 부문에서 적어도 GoA2 (반자동 열차 운행)개발
이동폐색 및 열차 무결성	- 폐색의 원칙을 기반으로 고용량, 저비용, 높은 신뢰성의 신호 시스템을 개발 및 검증 - 기존의 ERTMS 시스템 사양과 역방향 호환 및 도시철도 애플리케이션을 위한 CBTC의 기능으로 확장 가능하도록 설정 - 열차 무결성 기능을 동시에 개발
스마트한 구매 및 시험	- 실험실에서 시뮬레이션 도구와 검증인력을 사용한비 현장 테스트 접근 방법을 개발 - 표준화 된 기술 및 운영 규칙 개발, 표준 인터페이스 및 기능 ETCS 설명 모델 개발 - 검증 및 인증프로세스를 용이하게 하기 위해, 형식적인 방법을 기반으로 개선된 상호운영성
Virtual coupling	- 열차운행 유연성의 극대화를 위한 virtual coupling/uncoupling의 개념 도입 필요 - 열차 이용량의 감소에 따른 승객과 화물 운송 사업자들에게 높은 수준의 서비스 제공 - 철도 분야에서 fail-safe를 위한 열차 거리 개념의 중요한 변화를 나타냄
사이버 보안	- 외부에서 오는 사이버 공격과 지속적인 위협으로 부터 보호 - 신호 및 통신 시스템에 대한 중요한 위협에 대한 사이버 보안의 수준향상 및 보호

○ IP3 : 경제적이고, 신뢰할 수 있는 대용량 인프라

○ IP4 : 선호하는 철도 서비스를 위한 IT 솔루션

○ IP5 : 지속 가능하고 선호하는 유럽의 화물 수송을 위한 기술

□ 시사점

유럽은 연구와 혁신에 함께 투자하는 유럽 철도 분야의 모든 이해관계자가 공동 노력을 진행하고 있으며, 철도운송능력과 성능을 개선하고 에너지 고효율화를 통한 세계시장에서의 유럽 철도의 압도적인 점유율 유지하기 위해 노력 중이다. 통신 및 광역철도까지 포함한 유럽 철도의 국제표준으로 도약을 목적으로 지상설비 기반에서 무선통신기반 열차제어시스템으로 진화를 목표로 하고 있다.

이와 같은 유럽의 철도분야 개발 현황을 보고 우리나라 또한 철도 기술에 끝임없는 기술개발이 필요 할 것이다. 특히 표준화를 통한 '상호운영성 확보', 자동화를 통한 '에너지효율 증대' 라는 두 개의 목표는 우리나라 철도 개발에도 적용해야 할 목표일 것이다.

(2) 열차제어시스템의 자동화 분류와 정의

(가) GoA 레벨의 자동화 정의

① GoA 0 : 모든 운전을 기관사 책임 하에 운전을 한다. 어떠한 시스템도 열차운전을 보호하지 않는다.

② GoA 1 : 열차의 운전을 기관사가 하는 운전으로, 열차의 출발과 정지, 가속과 감속, 비상상황 대처를 기관사가 판단하여 하는 운전이다. 이 등급에서는 ATS 및 ATC와 같은 장치가 열차속도를 감시하며, 과속일 경우는 시스템이 제동을 체결한다. 출입문 개폐, 열차출발 등은 모두 기관사가 책임 하에 운행된다.

③ GoA 2 : 열차의 출발은 사람이 지령하고, 정지, 가속과 감속은 차량 시스템이 스스로 한다. 비상상황 대처를 기관사가 책임 하에 수행된다. 출입문 개폐는 선택에 따라 자동적으로 시스템이 수행할 수 있다.

④ GoA 3 : 열차운행을 기관사 없이 하는 것으로, 열차의 출발과 정지, 가속과 감속을 열차 스스로 판단하여 하는 운전이다. 비상상황만을 승무원이 담당한다.

⑤ GoA 4 : 열차운행을 기관사 없이 하는 것으로, 열차의 출발과 정지, 가속과 감속, 비상상황 대처를 열차 스스로 판단하여 하는 운전이다. 화재, 탈선 등과 같은 경우에도 시스템이 담당한다.

표 28. 자동화 운전 등급

열차운전 기본기능		육안운전	수동	반자동	무기관사	무인운전
		GoA0	GoA1	GoA2	GoA3	GoA4
열차안전이동	안전한 진로확보	○	System	System	System	System
	열차간격유지	○	System	System	System	System
열차이동	열차속도유지	○	○ (System 부분감시)	System	System	System
	추진/제동제어	○	○	System	System	System
선로감독	장애물과 충돌방지	○	○	○	System	System
	선로 상의 사람과 충돌방치	○	○	○	System	System
승객이동감독	출입문제어	○	○	○	○	System
	객차사이 및 열차와 승강장사이 사람 보호	○	○	○	○	System
열차운전	안전출발확보	○	○	○	○	System
	열차운전 시작 및 종료	○	○	○	○	System
비상상황처리	열차상태감시	○	○	○	○	System
	진단실행, 화재감시, 탈선감지, 열차무결성 상실, 비상상황취급	○	○	○	○	System

○ : 운용자 책임/ System : 시스템에 의해서 수행

(3) 자동운전(ATO) 요구사항 정의

자동화 등급에 관련되어서 기본 성능은 자동화 등급에 따라서 기본기능을 필요하거나 필요하지 않을 수 있다.

【기본기능】

다음에 오는 기본 기능들은 열차방향, 열차목적지 및 허용속도에 대해서 주어진 철도망 상의 주어진 지역에서 실행하는데 사용된다. 열차의 안전이동은 자동등급과 상관없이 필요 되는 기본 기능이다. 무 기관사 운전인 자동화 등급 GoA3 및 GoA4는 안전열차이동과 더불어 승무운용자의 열차 안전 운용을 대체하는 부가적인 기능을 필요로 한다.

(가) 열차의 안전이동

열차안전이동을 위해서 다음과 같은 기능들을 필요로 한다.

- 안전한 진로확보
- 안전한 열차속도
- 안전한 열차간격
- 열차이동 허가

안전한 열차간격 및 열차속도를 확보하기 위해서 도시철도 열차제어 시스템은 지상과 차상 사이에 데이터 통신을 사용한다.

① 안전진로확보

열차의 충돌과 탈선을 방지하기 위해서, 다른 열차와 진로경합을 피하기 위해서 필요한 선로의 모든 장치는 쇄정되어 진로는 안전한 것으로 간주된다.

② 열차간격의 분리

모든 도시철도 구역에서 운용되는 열차에 대해서 열차 간의 안전거리가 확보되어야 한다. 도시철도 제어 시스템은 부가적인 열차 검지 시스템에 의해서 검지된 제어 시스템 없는 열차 혹은 고장난 열차로부터 제어 시스템을 갖춘 열차에 대해서 안전거리를 확보해야 한다. 열차간격 안전분리는 선행열차의 즉시 정차를 고려한 것(선행열차는 정차해 있는 것)을 바탕으로 한다. 2개의 연속적인 열차 사이의 충돌을 방지하기 위해서, 2개 열차 사이의 안전 제동거리 항상 유지하도록 하여, 안전한 열차간격을 유지하도록 한다.

③ 열차안전속도

탈선과 충돌을 방지하기 위해서, 도시철도 열차제어 시스템은 어떠한 상황에서도 열차속도 조건에서 부과된 가장 낮은 속도를 초과해서는 안 된다.

④ 열차이동허가

이 조건은 모든 안전 조건이 충족되었다면 차량이동을 허가한다.

(나) 열차운전주행

GoA2 및 그 이상은 열차제어 시스템은 열차가 선로를 주행함에 따라서 속도, 가속, 감속 및 충동율은 승차감 이하에 있어야 하고, 열차속도는 안전확보에 의해서 부과된 속도이하인 조건으로 출발, 정지 및 열차속도제어를 한다. GoA1에서는 이러한 기능은 기관사 책임 하에서 준수된다.

(다) 선로감시

GoA1과 GoA2에서 선로감시는 기관사 책임 부분이다. GoA3 이상의 자동화 운전에서는 다음에 오는 기능들은 외부 시스템과 인터페이스를 통하여 열차제어시스템에 의해서 구현된다.

① 선로의 물체와 충돌방지 : 선로 상의 물체와 충돌을 방지는 여러 가지 대책과 규칙에 의해서 구현되어야 한다. 외부 장치와 인터페이스를 통하여 열차이동을 금지하는 것이 필요하다.

② 선로의 사람과 충돌방지 : 선로 상의 사람과 충돌을 방지는 여러 가지 대책과 규칙에 의해서 구현되어야 한다. 외부 장치와 인터페이스를 통하여 열차이동을 금지하는 것이 필요하다.

(라) 승객이동 감독

다음에 오는 기능들은 GoA4에 대해서는 필수요건이다. GoA3이하의 자동기능에서 다음의 기능들을 관련된 시스템과 연관된 플랫폼에서 기관사 혹은 운용원 들에 의해서 전체 혹은 일부를 수행한다.

① 출입문제어 : 열차제어 시스템은 출입문의 열림과 닫힘에 대한 사전조건들과 관련된 모든 운용 및 안전과 관련된 사항이 충족한 것을 확인해야 한다. 열차출입문, 또한 PSD와 비상문이 설치되어 있으면, 이 기능은 모든 문에 해당한다.

② 객차사이 및 차량과 플랫폼사이에서 승객부상방지 : 이 기능은 객차 사이의 간격, 열차와 플랫폼 사이 간격에 기인되는 위험원 혹은 사고를 방지하기 위한 기능이다. 이 기능은 외부장치와 연결되어 사용할 수 있다.

③ 출발조건 : 역에서 열차출발을 승인하기 위해서, 열차제어 시스템은 다음 조건을 확보해야 한다.
(필요한 운용상 사전조건, 안전 사전조건)

(마) 열차이동

열차 이동조건은 다음과 같다.

① 운전시작 및 종료 : 운행 시작은 열차 기상으로, 열차제어 시스템 차량운용영역의 모든 위치에서, 차량 주행에 대한 특이 혹은 차량운전 모드 운용에서 차량설정에 관련되어 차량을 기상시키는 것으로서, 차량자기검사가 포함된다. 운행종료는 차량운용종료에 대한 것으로 열차제어 시스템 차량 운용영역에서 차량을 수면모드로 전환하는 것이다.

② 운전모드변경 : 운전모드 변경은 각기 자동운전 모드의 사이, 운용 상 혹은 비상상황의 이유로 각기 다른 모드로의 전환에 관련된 것으로 차량운용 중에 차량의 운전모드를 변환하는 것이다.

③ 2개의 운전정지 간의 열차 운전 : 이 기능은 특이 차량주행에 관련된 것으로 여객차량 혹은 비 여객차량이 역과 역 사이, 부본선 혹은 차량기지에서 출발 및 입고에 대한 다른 주행행동을 구현할 목적이다.

④ 운전방향 변경 : 이 기능은 플랫폼, 기지의 부본선 혹은 역 간 선로에서 특별한 조건하에서 방향전환을 실행하는 것이다.

⑤ 열차의 병합 및 분리 : 이 기능은 운용상의 이유에 의해서 열차의 병합과 분리를 하는 기능이며, 이 기능은 자동 혹은 수동운전에서 플랫폼, 부본선 혹은 역 간 선로에서 차량을 회복시키기 위한 기능이다.

⑥ 열차상태 감독 : 이 기능은 운전동안에 가용성에 관련되어 열차 상태를 감독하는 기능이다.

⑦ 비상상황의 검지 및 관리 : 이 기능은 다음과 기능들과 연결되어 운용동안에 열차에서 승객의 안전과 관련되어 열차의 상태를 감독하는 것이다.
[열차상태 진단 실행, 화재 및 연기 · 가스의 검지, 열차탈선, 열차의 무결성 상실의 검지, 비상상황 취급(호출/대피, 감독), 주행로 장애물 검지]

【운전 관리 및 감시】

(가) 일상 운전시간표 관리

다음과 같은 기능이 포함된다.

- 열차계획 시스템으로 부터 일상 열차시각표 입력
- 열차시각표 실행
- 열차시각표 수정

① 열차운용 관리 : 열차 운용관리는 자동진로설정, 열차 운전정리, 열차 역 출발관리, 열차 임무 관리, 연결서비스의 확보, 열차 역 출발관리, 운용외란 관리 기능이 포함된다.

- 자동진로설정 : 이 기능은 운용조건(시각표, 열차위치, 주기)에 근거하여 열차진로를 자동적으로 설정한다.
- 열차운전정리 : 이 기능은 열차운전 교란이 발생할 경우에 열차의 쏠림 및 열차 지연을 완화하는 역할을 한다.
- 열차 역 출발관리 : 이 기능은 각 열차가 역에서 정차시간이 다른 것을 고려하여 전체 노선의 역에서 열차 출발을 적정하게 맞추도록 하는 기능이며, 이것은 운전정리의 결과 및 연결서비스에 해당한다.
- 열차연결관리 : 이 기능은 도시철도 열차와 기타 공공교통수단 사이에 연결 서비스가 가능하도록 한다.
- 열차임무관리 : 이 기능은 차량이동을 주제하고 그 이동을 열차에 할당하기 위해서 열차임무를 생성하고 변경하는 것이다.
- 운전외란 관리 : 이 기능은 외란(고장차량에 의한 선로 차단)에 대한 대책을 목록화하고, 운용외란 해결에 활용한다.

② 열차운전감독 : 열차운전 감독기능은 열차추적감독, 시설물 감독, 차량 및 선로변 장치 감독, 승객 감독을 포함한다.

- 열차추적감시 : 이 기능은 열차 ID를 이용하여 자동적으로 망에서 차량을 감시하고, 가

능한 빨리 정상운용에서 이탈한 차량을 인지하기 위해서 상태를 감시한다.

- 열차차상 시스템 및 선로변 장치 감시 : 이 기능은 열차운용에 영향을 미칠 수 있는 기술적 고장을 가능한 빨리 검지할 수 있도록 열차의 서브시스템 및 지상장치를 감시하는 것이다.
- 시설물 감시 : 이 기능은 열차제어 시스템 영역 밖에 있는 시스템을 감시하는 것으로, 열차제어시스템과 연결되어 있다.
- 승객감시 : 이 기능은 CCTV 혹은 다른 장치로 플랫폼, 플랫폼 접근 통로, 열차 내에서 승객을 감독하는 것으로, 열차제어시스템과 연결되어 있다.

③ 차량 견인력 제어 : 이 기능은 일부 구간 혹은 전체구간에서 수동 혹은 자동으로 운전영역에서 견인력을 투입 및 차단하는 기능이다.

- 견인력 제어 기능은 선택사항으로 열차제어 시스템에 포함될 수 있다.
  열차제어 시스템에 이 기능이 없으면, 열차제어 시스템과 차량 간에 인터페이스가 되어 있다. 일반적으로 견인력 제어는 열차제어 시스템 기능에 포함되지 않고, 열차제어 시스템과 인터페이스 되어 있다. 열차제어 시스템에 견인력 제어 기능의 적용은 통상 열차제어 시스템 영역에 포함되지 않는다.

④ 운용자 인터페이스 제공 : 이 기능은 운용자의 명령을 수용하고, 시스템의 상태를 운용자에게 현시한다. HMI는 열차제어시스템 영역에 포함되지 않으며, 열차제어시스템은 HMI에 인터페이스를 제공한다.

- 운용센터 HMI에 인터페이스 제공 : 이 기능은 열차제어 시스템 제어 장치와 운용 제어센터(OCC) HMI 간에 인터페이스를 제공한다.
- 분산센터 HMI에 인터페이스 제공 : 이 기능은 지역 제어시스템 HMI에 인터페이스를 제공한다.
- 차상운용자에 HMI에 인터페이스 제공 : 이 기능은 차상운용자 HMI에 인터페이스를 제공한다.

⑤ 승객 및 철도원을 위한 통신을 이용한 인터페이스 제공 : 이 기능은 승객 및 철도원에게 통신(무선을 통한 음성통신, 전화)을 위한 인터페이스를 제공한다.

⑥ 승객 정보시스템에 인터페이스 제공 : 이 기능은 노선의 승객, 정상상태의 도시철도망, 이례상황에서 음성 혹은화상으로 정보를 제공한다. 열차제어 시스템은 외부 승객정보시스템과 인터페이스를 제공한다.

⑦ 승객 감시시스템에 인터페이스 제공 : 이 기능은 역의 플랫폼 및 객차 내의 CCTV 감시시스템 혹은 기타 장치와 인터페이스를 제공한다.

⑧ 유지보수 시스템 지원 : 이 기능은 고장 발생 시 혹은 계획정비의 경우에 시설물 및 열차의 유지보수를 지원한다. 열차제어 시스템은 외부 유지보수 관리 시스템과 인터페이스를 제공한다.

⑨ 차량 및 철도원 자원 관리 : 이 기능은 열차운용 요구조건에 따라 열차그룹관리와 승무원 배치를 관리한다.

(4) 자동운전관련 이슈사항 분석

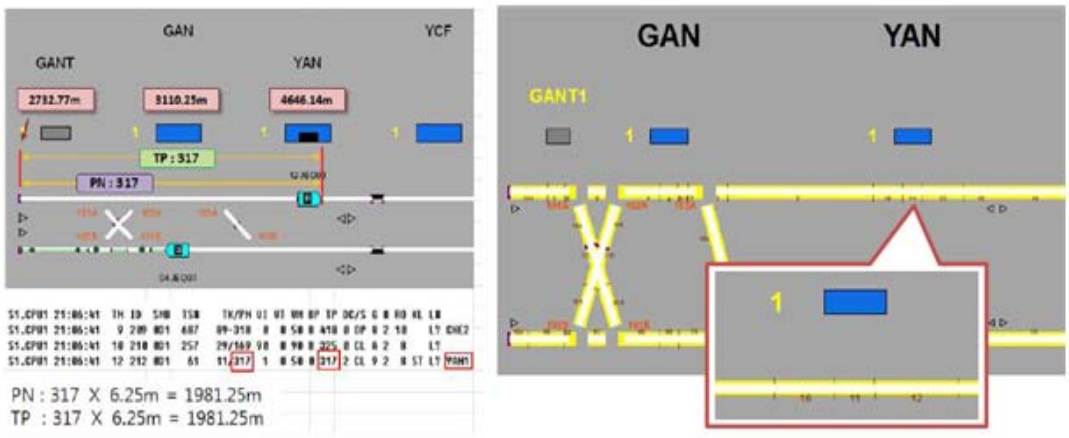
신분당선 열차제어시스템은 Thales社 Seltrac IS(RF-CBTC) 시스템으로 본 사업 추진 간 이슈되었던 사항을 신분당선 사례를 통해 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(가) CBTC 시스템(신분당선) 열차 검지단위 검토

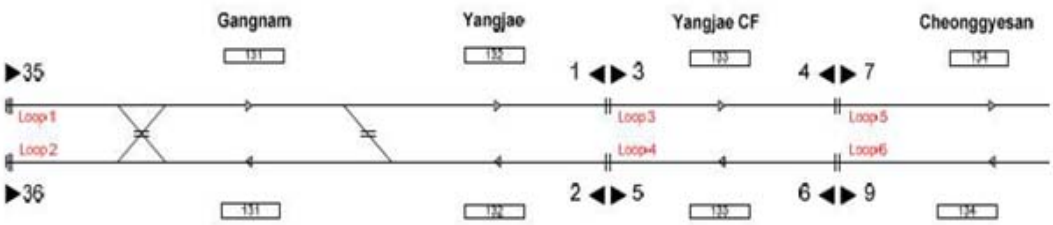
- 타코메터 신호(속도, 방향), 가속도계 및 태그 정보를 모두 이용하여 검지
- POSITION은 개략적 위치 값으로 열차 및 선로전환기 위치 식별에 사용

  * POSITION : 6.25m 단위로 취급
- 승강장에 열차가 정차 또는 Close-Up 경우 Position 길이의 1/8 단위 사용

  * Close-Up은 유치선에 열차간의 간격을 좁게 주밖하거나, 궤도 종단에 정차할 때 사용
- 열차제어시스템(지상)은 POSITION 길이를 1/128(4.8cm) 한 단위를 사용



- VCC 1대는 최대 32개의 LOOP를 제어
- LOOP 최대길이는 512 POSITION * 6.25m × 512 = 3,200m (3.2Km)



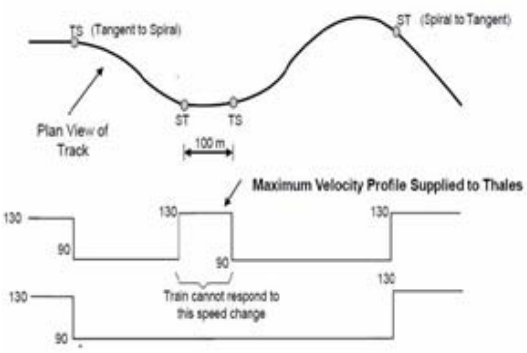
(나) CBTC 시스템 열차 간격제어

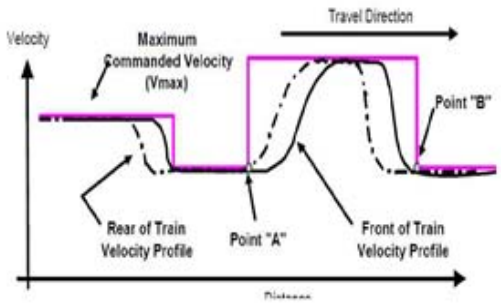
○ 열차간격제어

- 지상 ATP장치는 안전거리를 기준으로 열차정지위치를 결정
- 선로 구배 및 곡선조건에 따라 구간마다 최소 안전거리는 변경됨
- 따라서, 지상 ATP는 다음 사항을 반영하여 열차 정지위치를 결정
  * 긴 안전거리에서 짧은 안전거리로의 변경
  * 짧은 안전거리에서 긴 안전거리로의 변경
  * 다중 안전거리 변경

○ 최대허용속도

- 신분당선 최대 운영속도는 지상구간 110km/h, 터널구간 90km/h 이며, 역사 통과속도는 50km/h
- 다음 그림은 최대 운영속도에서 열차 전두부 통과, 후두부 통과 시점을 그래프로 나타내고 있음(우)
- 선로 최대 속도가 130km/h까지 가능하더라도 구간이 짧거나, 열차의 가감속 성능에 미치지 못할 경우 그 구간은 90km/h로 정의(좌)





(다) AoE SRS 분석 관련

Q1.	AD MODE ?

9.1.1.2 The ETCS-OB applicable conditions for ATO Operational are:

a) The ETCS-OB is in AD Mode or FS Mode and conditions for displaying "ENTERING FS" no longer exist (see [Ref 5] §4.4.9.1.4);

b) The ETCS-OB is not commanding the Emergency Brake or Full Service Brake.

9.1.1.2 ATO 작동(운전)에 대한 ETCS-OB 적용 조건은 다음과 같다.

a) ETCS-OB가 AD 모드 또는 FS 모드에 있으며, "ENTERING FS" 표시 조건이 더 이상 존재하지 않는다.

b) ETCS-OB가 비상제동 또는 상용제동을 명령하지 않는다.

☐ **ATO Selected 용어 정의**

: It is the ATO mode when the ATO-OB is in CO, NA, AV, RE, EM or DE state.

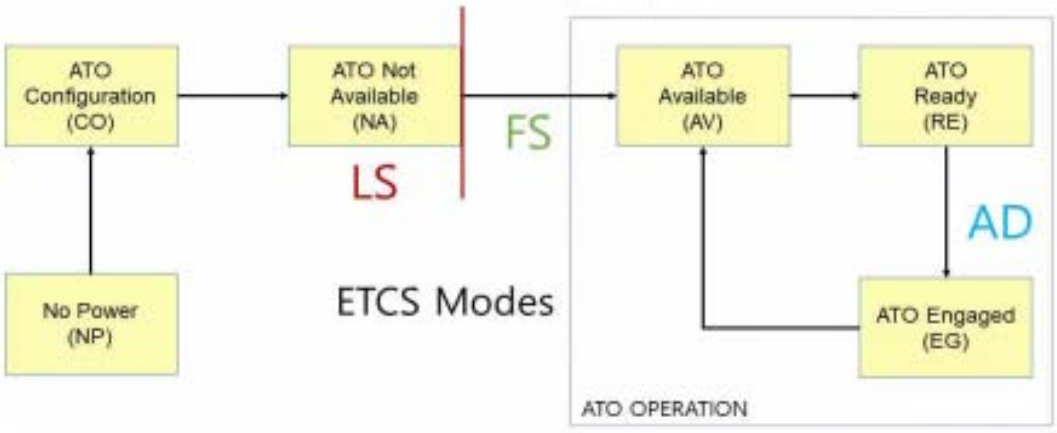
ATO-OB 가 CO, NA, AV, RE, EM 또는 DE 상태에 있을 때 ATO모드 이다.

• Ref. X2Rail-1, Start-up activities for Advanced Signalling and Automation Systems, '18.03.05

(분석1) ATO 운전에 **새로운 ETCS 모드 존재: AD**(Automatic Driving) **Mode**

- 이 모드는 ATO 상태가 ATO Available, Ready, Engaged 일 경우 변경 가능 ATO Engaged 경우 반드시 AD Mode 이어야 함.

* 아래 그림은 스위스 ETCS L1 + ATO 프로젝트에서 작성된 자료를 참조하였으며, ETCS LS → FS → AD 전환되는 과정을 보여준다.



* SS125 Fig 9(Nominal scenrio) 인용

(분석2) AD 모드 전환을 위한 조건

9.12 ETCS Mode transition request
ETCS 모드 전환 요청

9.12.1.1 The ATO-OB shall request the ETCS-OB to be in AD Mode as long as any of the following conditions is fulfilled:
ATO-OB는 다음 조건 중 하나라도 충족되면 ETCS-OB가 AD 모드에 있도록 요청해야 한다.

a) The ATO-OB is in RE State, the train is moving and the TBL is in neutral or traction position;
ATO-OB가 RE 상태이고, 열차가 움직이고 있으며 TBL이 중립 또는 견인 위치에 있다.

b) The ATO-OB is in RE State, the train is stopped and the TBL is in neutral position;
ATO-OB가 RE 상태이고, 열차가 정지하고 있으며 TBL이 중립 위치에 있다.

c) The ATO-OB is in EG or DE State;
ATO-OB는 EG 또는 DE 상태에 있다.

d) The ATO-OB is in AV State, the ETCS-OB is in AD Mode and the TBL is in neutral position.
ATO-OB는 AV 상태이고 ETCS-OB는 AD 모드에 있고 TBL은 중립 위치에 있다.

Q2.	SS 125 8.2.8.1항 해석

8. Driver Machine Interface
운전자 표시

8.2 Information to be displayed to the driver
기관사에게 표시되는 정보

8.2.8 DAS information
DAS 정보

8.2.8.1 The ATO-OB shall request the ETCS-OB to display the following information:
ATO-OB는 ETCS-OB에 다음 정보를 표시하도록 요청해야 한다.

a) "Target Advice Speed" or the "Coasting advice" indication;
"목표속도 지원" 또는 "타행 지원" 표시

b) "Distance to next advice change",
"다음 지원속도 변경까지의 거리"

while the following conditions are fulfilled:
다음 조건이 충족되는 경우

a) The ETCS-OB is not in AD Mode;
ETCS-OB가 AD 모드에 있지 않다

b) The Operational Conditions except "The train is not located within an ATO Inhibition Zone" are fulfilled (see §9.1.1.1);
"열차가 ATO 금지구역 내에 있지 않음"을 제외한 운전 조건이 충족된다.

c) The Engagement Conditions are fulfilled (see §9.1.2.1);
연결조건이 충족된다.

d) The train is not located within a DAS Inhibition Zone;
열차는 DAS 금지 구역 내에 위치하지 않는다.

e) The next "Target Advice Speed" is not zero.
다음 "목표속도 지원"은 0이 아니다.

□ DAS(Driving Advisory System, 운전지원시스템) 정의

- SS125 7.12.1.1 및 7.12.1.2항에 DAS에 대해 정의되어 있으며,

7.12 Driving Advisory System (DAS) 운전지원시스템

7.12.1.1 The ATO-OB shall compute DAS trajectories defined by a "Target Advice Speed" or a "Coasting advice" and a "distance to next advice change" in order to follow the ATO Operational Speed Profile defined from TTSM, ATSM and SSEM.

ATO-OB는 TTSM, ATSM, SSEM에서 정의한 ATO운전 속도프로파일에 따르기 위해 목표속도 지원, 타행지원, 다음지원속도 변경까지의 거리로 정의된 DAS 궤적을 계산한다.

7.12.1.2 Note: The way to establish DAS trajectories to follow the ATO Operational Speed Profile is supplier specific.

ATO 운전 속도프로파일을 따르기 위해 DAS 궤적을 설정하는 방법은 공급자별로 다르다.

- 9.11항을 보면 DAS는 완전히 AD 모드에 진입하지 않아도 CO, NA, AV, RE, EG, DE에서 사용되는 것으로 판단됨

9.11 ATO Active Functions Table

9.11.1.1 X = functions shall be active
기능을 이용 가능
Empty case = function shall be inactive
빈칸 = 기능 사용 불가
O = Optional
(function is not required for interoperability, but is not forbidden)
(반드시 필요하진 않으나, 사용은 가능)

ATO-OB FUNCTIONS	RELATED AoE SRS §	NP	CO	NA	AV	RE	EG	DE	FA
ATO Functions									
Driver Advisory System(DAS)	7.12		O	X[2]	X[2]	X[2]	O	O	

[2] When clause §8.2.8.1 is fulfilled. 8.2.8.1 항이 충족되는 경우

(라) 신분당선(RF-CBTC) 열차제어시스템 통신두절 복구 절차

Ⅰ 통신두절 발생 시

□ 운행열차 제동방법



○ 신분당선 열차 통신두절(VCC-VOBC 간) 발생 시 3.3초에 FSB를 체결하고, 6초에는 EB를 체결하면서 VOBC 철체가 이루어 짐

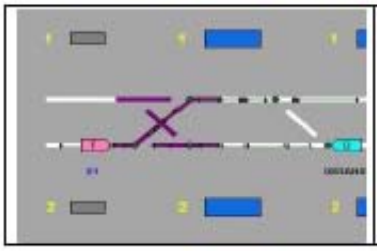
- 단, VOBC 절체 후 통신재개가 이루어 지면 EB 완해 후 정상운행하게 됨

* VCC, Vehicle Contorl Centre, KTCS의 RBC와 유사
* VOBC, Vehicle On-Board Computer, KTCS의 차상KVC와 유사

□ 관제실 현상

○ 본선 구간에서 통신두절 발생 시 관제실에는 열차의 마지막 위치가 표시되고, 해당 구역을 폐쇄하여 다른 열차가 진입하지 못하도록 설정됨

- 분기기 구간은 엑셀카운터에 의해 열차검지 가능 (열차위치 검지 대체 수단×)



[예시]
1편성 통신 두절 상태로, 마지막 보고된 위치에 통신두절 열차 아이콘이 표시됨. 선로전환기 보라색은 통신두절된 열차가 이동하여 선로전환기 구간을 점유한 상태를 액셀카운터가 검지하여 표출

□ 열차 내 방송 유무, 방송시 안내 멘트

○ (자동안내) * 운영상황에 따라 변경 가능

【멘트】"이 열차는 앞 열차와 안전거리 유지를 위해 급정차하고 있습니다. 충격이 발생 할 수 있으니, 주변에 손잡이나 고정물을 잡아주시기 바랍니다. 불편을 드려 대단히 죄송합니다."

○ (수동안내) 관제실에서 운행 중인 모든 열차에 일괄방송 가능

Ⅱ 통신두절 복구 절차

□ 통신두절 복구 확인 방법

○ 통신두절이 발생하여 열차가 정차(FSB/EB)하게 되면
- 관제실에서는 열차의 마지막 위치 및 통신두절을 상태를 알 수 있으며,
- 열차 내 안전요원이 운전대를 개방하여 관제 명령에 따라 수동운전 시행

※ 신분당선 열차제어시스템은 완전무인운전(GoA4수준)이 가능하나, 승객 불편 최소화를 위해 안전요원(1명)이 상시 탑승하고 있음

○ 열차는 안전요원에 의해 수동운전 되며, 25m간격으로 설치된 Tag(테그) 2개가 인식되어야 통신재개 진행됨 (열차위치, 방향 초기화)

Q. 모든 열차를 한꺼번에 복구 가능한지?

○ 통신두절이 모든 열차에 발생할 경우는 VCC 재부팅 등의 상황이며,
- 신분당선은 이 경우를 대비하여 VCC Cold Start(일괄재기동) 기능이 존재함
- 이는, VCC 재부팅 발생 시 기관사가 일일이 열차에 탑승하지 않고도, 관제사 책임하에 Cold Start 기능을 활용하여 한 번에 열차를 복구 할 수 있음

※ 단, 선로전환기 구간 등 위험 구간에 위치한 열차는 기관사 개입이 필요

(마) ETCS 및 신분당선 운전모드 비교

■ 개요

ETCS 사양서 및 KSR SG 0069-19Ⓡ 열차 운전모드에 관한 내용을 포함하고 있으며, 구현 방법에 대에서는 정의되어 있지 않으며 운영기관 환경에 맞춰 구현하고 있다. 각 사양서에서 정의된 운전모드와 신분당선에 구현된 운전모드는 다음과 같다.

■ 운전모드의 비교

사양서별 운전모드의 종류에 차이가 있으며, 유사한 기능을 수행하는 운전 모드들이 존재 한다.

	ERTMS/ETCS[1]	신분당선[2]	KRTCS [3]
1	FS (Full Supervision)	Driverless	완전자동운전모드
2	LS (Limited Supervision)	Driverless Turnback	무인회차모드
3	OS (On Sight)	STANDBY	대기모드
4	SR (Staff Responsible)	AUTO	자동운전모드
5	SH (Shunting)	ATPM	수동운전모드
6	UN (Unfitted)	ATP Reverse	
7	PS (Passive Shunting)	RM (Restricted Manual)	기지운전모드
8	SL (Sleeping)	OFF	OFF모드
9	SB (Stand By)	FM (Full Manual)	비상운전모드
10	TR (Trip)	ATCM	
11	PT (Post Trip)	YARD	
12	SF (System Failure)	YARD CANCEL	
13	IS (Isolation)	OWTP Onboard Wayside Telegram Pre-processor	
14	NP (No Power)		
15	NL (Non Leading)		
16	SN (National System)		
17	RV (Reversing)		

[1] SUBSET-026-4 3.6.0, System Requirements Specification Chapter 4
[2] System Design Description, 신분당선 시스템디자인사양서
[3] KSR SG 0069-19(R), 한국철도표준규격 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템

국내 운영중인 모드 (한국철도공사 운전보안장치 취급 내규 참조)

■ 운전 모드의 전환1 (ETCS)

ETCS의 운전모드는 모드별 조건 충족시 기관사 또는 장치에 의해 운전모드가 전환된다.

- 기관사의 행동에 의해 선택되는 운전모드

☞ NP(No Power), IS (Isoltion), PT (Post Trip), SB(Stand by)

- ETCS 차상장치의 안전 반응에 의해 선택되는 모드

☞ TR(Trip), SF (System Failure)

※ SL (Sleeping, 중련연결) 전기적 신호에 의해 자동으로 실행되는 모드 국내에서는 사용하지 않음

■ 운전 모드의 전환2 (신분당선 CBTC_Thales社 SeltracIS)

신분당선 열차제어시스템 사양서 내에는 아래와 같은 운전모드 들이 존재하며 조건 충족시 마스터Key(기관사)전환에 따른 모드의 변경과 차상장치VOBC에 의한 운전모드의 전환이 가능하다.

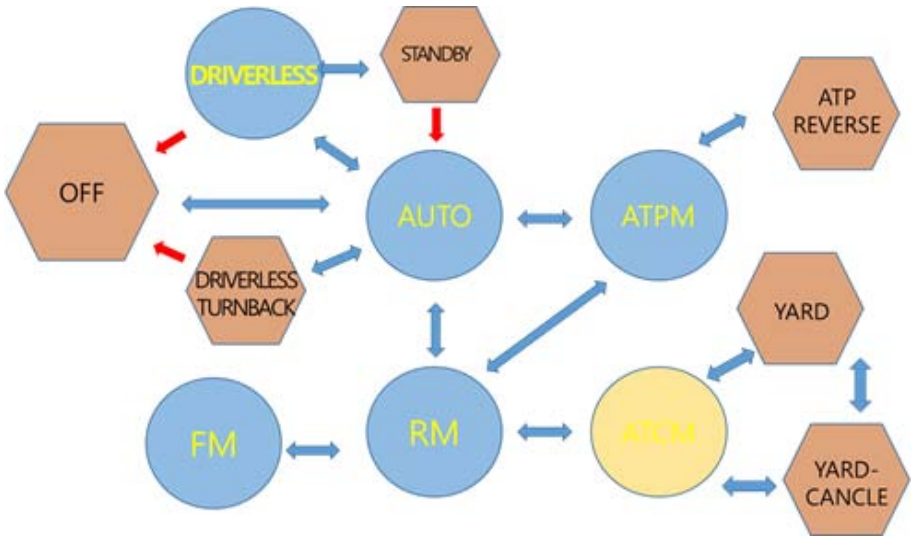


그림 50. 신분당선 열차 운전모드 전환

- 마스터키에 의해 선택되는 운전모드

☞ FM, RM, AUTO(최초 DRIVERLESS 진입 포함), ATPM, ATCM

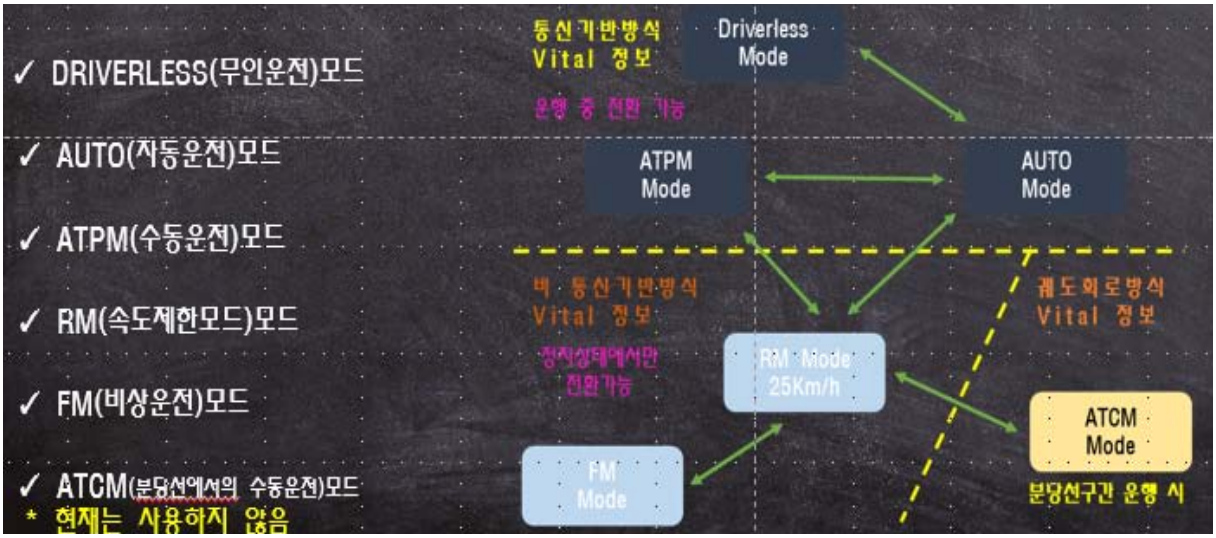
- 차상장치 VOBC[1](명령절차:ATS[2]→VCC[3]→VOBC)에 의한 운전모드

☞ DRIVERLEE→STANDBY 전환이 대표적이며 이때 마스터Key는 OFF에 위치한다.

신분당선 운전모드의 전환은 통신상태 및 정차상태 등에 따라 아래 그림과 같이 전환이 가능하다.

---

1) VOBC : Vehicle On-Board Computer(차상신호장치)
2) ATS : Automatic train Supervision(자동열차감시)
3) VCC : Vehicle Control Center(열차통제센터)



■ ETCS사양서에 추가된 ATO와 관련된 새로운 운전모드

ETCS 장치와 ATO 장치의 인터페이스를 구현하기 위해 AD(Automatic Driving)모드가 추가되었다. ATO 상태가 ATO Available, Ready, Engaged 일 경우 가능하며 ATO Engaged 경우 반드시 AD 모드여야만 한다. Subset026 추가된 모드

※ 정의된 ETCS의 FS 모드 AD 모드의 연관성에 대해서는 추가적인 자료조사 필요

■ 운전모드의 구현

사양서의 운전모드와 실제로 구현된 운전모드를 분석했으며, 유사한 기능과 사양서별 고유의 기능들이 존재한다. 다양한 운전모드에 대한 정의는 필요하나 운전모드의 기능구현은 운영기관의 환경에 맞춰 설계/구현 하는 것이 바람직하며, 연구단계에서는 다양한 운전모드를 정의하고 검증하는 것이 필요

(5) 일반철도에 ATO 도입 시험 사례(해외)

(가) Thameslink 및 CrossRail Line (United Kingdom/London)

영국 내에서 Thameslink와 CrossRail Line 두 프로젝트가 본선운영에 ATO over ETCS의 도입을 선도했으며, 참고로 두 프로젝트는 발전적인 결과를 얻기 위해 서로 다른 기술 경로를 채택하여 진행 되었다. Thameslink는 기존에 현대적인 신호 시스템을 가지고 있었으나, 광범위한 분석 및 모델링을 통해 의도한 24 tph, 최적화된 제동 및 가속률을 달성하기 위해서는 열차가 가능한 짧은 간격으로 일관되게 운전하는 것이 필요한 것으로 드러났다. ETCS는 ATO 개발과 함께 솔루션으로 확인되었다. 개발은 Network Rail과 Siemens 간의 10년 간의 공동 노력에 의해 이뤄졌다. Siemens는 Class 700 열차 선단과 신호 시스템을 모두 공급하고 있다. Govia Thameslink Railway(GTR)은 지정된 운영자이며, 열차 장비에 대한 책임을 지며, 교통부를 대신해서 Network Rail과 함께 시스템 통합을 담당한다.

Thameslink는 영국 ETCS 배치 계획에서 확인된 EAST Coast 본선 및 Middle 본선을 연결할 수 있을 것으로 생각되었기 때문에 ETCS ATO를 개발하는 것이었다. Crossrail의 경우, 필요한 결과를 제공한 경험이 있는 CBTC 시스템과 비교할 때 성능 및 운전 요건에서 ETCS ATO와 같은 입증되지 않은 기술에 대해 너무 많은 개발 위험을 초래한다는 견해가 있었다. 따라서, 중앙 밀집 구역에 CBTC를 사용하는 솔루션은 ATO 기능을 제공하지만 ETCS에 대한 동적 및 정적 전환 및/또는 기존의 신호전송 방법을 제공하기로 결정했다. 이 결정으로 ATO/ETCS 시스템 개발과 관련된 개발 위험이 줄어들었지만, 3가지 서로 다른 신호전송 시스템을 통합하기 위해 열차 시스템이 복잡해질 필요가 있었다. 두 프로젝트의 결과로 다음과 같은 공통 주제를 선택하였다.

두 프로젝트 모두 운전 개념을 거의 갖지 못했고, 프로젝트들에 대한 이해가 필요했으며, 그 다음 기존 영국의 운영 환경에서 ATO가 어떻게 운영되어야 하는지에 대한 솔루션을 개발이 필요하다. 본선 운전을 위한 ATO의 지속적인 개발에 이 같은 이해를 포함시키는 것은 필수 요소이며, 열차 이동과 관련된 시스템 간의 기술 인터페이스는 상당히 잘 이해된 것으로 보이지만, 가장 중요한 어려움을 야기한 대용량 열차 운전을 최적화하는 것은 운전 인터페이스이다.

Thameslink 프로젝트의 주요 구성요소들은 다음과 같다.

- 12개 차량 열차를 수용할 수 있는 길이의 플랫폼
- Farringdon에서 플랫폼을 연장할 수 있도록 Moorgate 역 폐쇄.
- Blackfriars 역의 남쪽 끝의 간섭 경로 처리.
- London Bridge 역에 대한 접근 방식을 리모델링하여, Thameslink 열차의 모든 교차점 (flat junctions)을 가능한 제거.
- Kings Cross/St Pancras에 국내 및 해외 주행객 모두를 위한 새로운 역을 제공한다.
- 새로운 운하 터널을 통해 Thameslink 루트를 동부 해안 본선(ECML)과 연결한다.
- 시간당 24대의 열차(tph)를 처리할 수 있는 신호 시스템을 제공한다.

마지막 항을 제외하고, 나머지 항목들은 현재 완료된 상태이다.

(나) Mexico City - Toluca Line (Mexico)

최종 사양은 아직 논의 중이지만, CAF 신호 전송은 현재 건설 중인 Mexico City - Toluca 통근 노선에서 AoE 상용 애플리케이션을 선도할 수 있는 기회를 가졌다. 이 노선의 ATO 시스템은 차상 및 지상 장비를 모두 포함한다.

이 프로젝트는 2015년에 시작되었고, AoE 초안 사양을 사용하여 처음부터 열차제어 시스템을 설계할 수 있다. 필요한 자동화 등급은 GoA2이다. 역들 사이의 운전은 자동으로 이루어지지만, 기관사가 각 정차 지점에서 문을 닫을 필요가 있다; 또한, 기관사는 장애 기간 동안 수동으로 열차를 운행할 수 있다.

이 노선에는 SRS 버전 2.3.0d에 따라 ETCS 레벨 2가 장착된다. AoE 사양은 주로 ETCS Baseline 3의 환경에서 제작되지만, 이 초기 구현에서는 상호 운용성 개념이 Baseline 2에서도 작동함을 보여준다. 중요한 인터페이스 사양은 AoE 표준 초안, 특히 ATO 차상과 지상 사이의 인터페이스에 대한 Subset 126 및 ETCS와 ATO 차상 장비 사이의 인터페이스에 대한 Subset 130에 따른다.

Mexico City - Toluca 노선은 아직 운전되지 않지만, 지금까지의 프로젝트 개발 작업을 통해 상호운용 가능한 AoE가 많은 이점을 제공함을 확인했다. 가장 중요한 것은, 초안 사양을 바탕으로 ATO 배치를 통한 안전을 보장하기 위해 ETCS를 ATP 기능으로 결합하여, GOA2에 대한 표준 및 상호운용이 가능한 접근이 타당하다는 것을 확인했다는 것이다.

이 구성은 ATO와 ETCS 간의 높은 기능적 독립성을 보장한다. 자동화 기능 및 성능은 ATP에서 부과된 안전 제약 외에, ETCS에서 제한하지 않는다. RBC에 대한 수정은 필요하지 않았으며, ETCS 지상 장비를 사용하여 기본 노선2 또는 3으로 개념을 구현할 수 있다.

AoE는 상호 운용성 및 표준화를 기반으로 하는 강력한 개념이다. Mexico City - Toluca와 같은 독립형 프로젝트에 적용할 수 있지만, 개념 자체는 보다 폭넓은 철도 네트워크를 지향한다. ATO 장착 열차가 네트워크의 모든 장착 구간에서 자동으로 운행할 수 있도록 구성하면 배치 및 마이그레이션 프로세스가 단순화되어 필요한 투자 수준이 줄어들고 철도 운영자와 승객에게 큰 혜택을 제공할 수 있다.

(다) 향후 전망

유럽은 지난 10년 동안 본선 철도에 대한 ATO 도입을 위해 연구를 진행 하였다. 이 기간 동안, ATO를 본선에 도입하는 것뿐 아니라, 유럽 전역의 본선 철도에 상호 운용이 가능한 ATO를 지정하기 위한 욕구가 커졌다. 이는 2015년에 발표된 ERA ERTMS 보고서에 그 내용을 포함시킴으로써 명확해졌다.

※ Thameslink line에서 2018년 3월 17일 ETCS ATO를 사용하여 최초의 시험을 진행

또한 ATO over ETCS의 편의성은 지금까지 연구 및 개발을 통하여 입증 되었다. 특히 아래와 같이 운전, 비용 및 사용자 경험에 대한 중요한 개선 사항을 제공하고 있다.

- 수송용량 증가, 주행 최적화를 통한 열차 간 운행 간격 감소
- 효율적인 운전을 통해 예측된 타이밍을 달성하기 위해, 지상으로부터 노선 데이터, 스케줄 데이터 및 TMS 정보를 사용하여 정시성 향상
- 최적의 속도 프로파일로 운전하기 위해, 노선 데이터 및 실시간 정보를 사용하여 에너지 효율을 높이고 관련 에너지를 절감
- 최적화된 운전으로 궤도 및 열차차륜의 마모를 줄임으로써 유지보수 비용감소 하지만 아래의 몇 가지 과제에 직면한다.
- ATP 시스템에서 ATP+ATO 시스템으로 마이그레이션하면 차상 및 지상 시스템 모두에 영향을 미친다. 이는 인프라 관리자와 열차 운영자들 간에 어느 정도의 협력을 필요로 한다.
- 더 큰 용량을 허용하려면 통신을 발전시켜야 한다.
- ATO를 표준화 할 수 있는 경우라도, 시스템이 구현되는 열차는 완전히 다르므로 차상 장비의 통합은 각 사례에 따라 신중하고 독립적으로 연구해야 한다. 자동화 등급에 따라, ATO 시스템은 열차(견인, 브레이크 등)와 어느 정도 상호 작용한다.
- 기관사의 기능이 변경된다. 자동화 등급에 따라, 기관사가 수행할 과업이 다소 변경된다. 이 변화는 기관사에게 인간적 및 사회적 영향을 미치게 된다. 기관사들은 새로운 기능을 배우고 적응해야 한다. 자동화가 제공하는 중요한 이점을 활용할 수 있는 유일한 기회는 전체 철도 부문 에서 상당한 수준의 자원 투입을 통해 얻을 수 있다. 오늘날 AoE의 개발 계획은 이 부분 내의 여러 주체들에 의한 지원이지만, 이를 유지하기 위해서는 결과가 중요해야 한다. 일부 조치들은 이러한 과제의 달성을 용이하게 하기 위해 수행되었지만, 목표를 충족시키기 위해 다른 조치들을 분석 및 개발해야 한다. 조치들 중 일부는 다음과 같다.
- ETCS 성능과 기존에 신호전송 시스템이 있는 경우 기본 신호전송 시스템에 가능한 적게 영향을 미치는 ATO 시스템의 구현을 허용하기 위해 사양과 요건을 정의해야 한다.
- 명확한 마이그레이션 시설과 계획 필요. 이는 복잡한 시스템의 실현 계획 및 배치를 정의하는데 필요하다. 공급자가 제공할 장비도 단계별 마이그레이션 전략을 용이하게 해야 한다.
- 적합성 시험: 시험 표준화는 ATO 시스템의 실제 상호 운용성을 충족시키기 위해 정의해야 할 가장 중요한 주제 중 하나로 보인다.

영국의 철도 네트워크에서 이 기술을 적용함으로써 실제로 혜택을 누리려면, 유럽에서 상호 운용이 가능한 ATO 사양을 사용하고, 새로운 차량과 인프라의 조달 주기에 따르는 것이 필수적이다. 이는 ETCS 네트워크 배치와 함께, 네트워크 운영을 강화하기 위한 비용 효율적인 도입 및 기회 즉, ATO 본선 주행을 가능하게 하였다.

(6) Hybrid ETCS Level 3 사양서 분석

(가) ETCS Levle 3 개념

레벨3의 개념은 SRS(Subset-026v3.6.0)에서 정의된다. 레벨3의 열차분리기능(충돌 방지)은 차상 및 지상 장비에서 보고되는 열차위치와 열차 무결성 승인을 이용하여 지상 장비가 수행한다. 레벨2의 열차분리기능은 지상 열차검지 장비가 보고한 사용 상태를 이용한다.
레벨3은 간혹 이동폐색과 동일한 것으로 간주되는 경우가 있다. 그러나 레벨3의 정의에서 SRS는 이동폐색을 의미하지 않는다. 레벨3을 시행할 때 폐색 구간은 지상 시스템에 로직 형태(logic form)로 존재하며, 고정(가상)폐색일수도, 이동(가상)폐색 일 수도 있다. 둘 다 가능하며 모두 레벨3 시행법으로 간주된다.

(나) 레벨3의 장점

레벨3의 주요장점은 지상장비 가동 비용절감, 성능향상 또는 이 둘 모두이다. 레벨3에서 비용이 저감되는 주된 이유는 지상 열차검지 장비가 불필요하기 때문이다. 열차 위치 참조 값(발리스)만 여전히 필요하다. 지상 열차검지 장비가 없기 때문에 지상 시스템의 환경설정을 변경함으로써 매우 짧은 고정형 가상폐색 구간 또는 이동폐색 구간을 설정할 수 있는데, 이 때 추가 지상 장비 비용이 증가하지 않기 때문에 비교적 적은 비용으로 성능을 개선할 수 있다.

(다) 레벨3의 선제조건

레벨3에서 열차분리기능은 열차의 위치, 길이, 무결성 상태에 의해 결정된다. 각 열차에 TIMS를 장착하여 열차의 무결성 상태를 차상 시스템에 보고하면, 차상 시스템이 이 정보를 이용하여 지상으로 위치보고 값을 전송한다. 특히 다양한 혼합 열차(화물)의 경우, 아직 신뢰도가 높고 운영 측면에서 신뢰할 수 있는 TIMS가 존재하지 않는다.

SRS에 의하면 기관사가 열차 무결성을 확인한다. 그러나 이를 모든 선로에 적용할 수는 없는데, 필수안전요건이 충족되지 않기 때문이다. 기관사의 실수 위험이 비교적 적은 경우에만 이 기능이 허용된다.

열차 데이터를 통해 확보되는 레벨3의 열차 길이는 열차를 안전하게 분리할 때 특히 중요하다. 따라서 열차의 무결성은 “안전하게” 확보된 열차 길이와 함께 승인된다. 지상 열차검지 장비가 없는 경우, 전체 레벨3 개념은 지상에서 통제 범위에 속한 지역에 물리적으로 존재하는 각 열차나 차량의 위치와 무결성 상태를 항상 안다고 가정한다. 문제는 현실에서 항상 이 가정이 실현되지는 않는다는 데 있다. 차상 시스템이 입환(shunting)모드에 들어가고 고의적으로

전원이 차단되거나 (NP 모드) 무선 연결이 끊기는 등 연결이 끊기면 지상에서 열차 관측이 불가능하다. 지상에서 열차의 마지막 위치보고 값과 열차가 이동 권한을 부여받은 영역을 기억하더라도 여전히 열차가 그곳에 있다는 보장은 없다. 운영 절차에 따라 열차를 이동시킬 여러 이유가 존재한다. 권한 없이 열차가 움직일 수도 있다. 지상 열차검지 장비가 없다면 지상에서 이러한 열차의 위치를 충분히 신뢰도가 높은 방식으로 파악할 수가 없다.

지상 시스템 전원을 제어하는 경우(재시동 등으로 인해), 그 구간에 있는 모든 열차의 정보를 파악할 수 없다. 이 상태를 복원하는 것은 복잡하며 시간이 오래 걸린다. 이러한 선제조건과 관련된 문제를 완화하면서 레벨3의 장점을 그대로 유지하기 위해 하이브리드 레벨3 개념이 개발 되었다.

(라) Hybrid ETCS Level 3 개념

EuG에서 작성된 문서에서 설명하는 하이브리드 레벨3 개념은 다음의 특징을 기반으로 한다. 이 개념은 기존 Baseline 3 Release 2(B3R2) 표준에 기반을 두고, 합의된 솔루션인 CR940 (ETCS 변경요청서 940: 최소 후미 허용값과 위치보고 값의 모호성 최소화)에서 정의한 대로 수정했다. 이렇듯 수정된 표준은 추가 기능 없이도 사용 가능하다. 대안으로 이 수정사항을 반영하지 않은 B3R2를 사용할 수도 있다.

이 개념은 가상의 고정폐색을 사용한다. 개념상 근본적으로 필요한 요소는 아니다. 실용적인 이유로 필요하다. 이동폐색과 비교했을 때, 가상의 고정폐색은 RBC, 연동장치, 교통제어센터(관제) 등의 기존 지상 시스템과 운영 절차에 영향을 덜 주는 여러 시행법을 보유하고 있다. 가상 폐색의 길이를 축소함으로써 이동 폐색과 유사한 성능을 발휘하여 성능 효과를 가져올 수 있다.

이 개념은 지상 열차검지 장비를 제한적으로 사용한다. 이를 통해 레벨3의 선제조건과 관련된 2가지 문제가 모두 완화될 수 있다. 확인된 무결성을 보고하지 않는 열차도 선로 주행을 허가 받을 수 있고, 시격도 비교적 길기는 하지만 허용 가능한 수준이다. 하이브리드 레벨3(HL3) 지상 장비와의 연결이 끊긴 열차를 더 이상 잃어버리지 않을 수 있다. 지상 열차검지 장비를 통해 지속적으로 열차가 관측 가능하며 연결이 끊긴 열차의 이동을 촉진하고, 미허가된 연결이 끊긴 열차를 방호하며, HL3 지상 시스템이 고장 난 후에 복구를 빠르게 할 수 있다. 나아가 지상 열차검지 장비로 중요한 인프라(예: 선로 전환기)의 진로설정 속도를 위치보고 값을 사용할 때보다 높여 성능을 개선할 수 있다.

이 개념은 열차분리기능을 위해 가상 폐색의 상태를 활용한다. 지상 열차검지 장비와 위치 보고 값만 사용하여 가상 폐색의 상태를 판별한다.

이 개념은 (지상 열차검지 장비를 제한적으로 사용하여) 레벨2의 운용 규칙에 미칠 어떤 잠재적 영향도 최소화하는 것을 목표로 한다.

지상 열차검지 장비로 엑셀카운터를 설치하면 아마도 선로전환기와 건널목 지점에만 배치하므로, 전체 노선에 열차 검지 장비를 설치할 때와 비교했을 때 극히 일부 비용만 소요된다. 분기점 사이의 전체 선로(stretch of track)가 하나의 거대한 지상 열차 검지 구간으로 설정된다. 다음으로 이 거대한 물리적 구간을 목표 성능을 발휘하기 위해 필요한 수만큼 가상 구간으로 나눈다. 선로 전환 구간(points area)에서는 선로 전환기를 가동하기 위해 전력과 케이블을 무조건 배치한다. 비용을 많이 저감할 수 있는 곳은 선로 전환 구간 사이의 비교적 긴 선로이다.

이 개념을 이미 열차 검지 장비가 장착된 기존 선로에서 사용하면 특히 피크 타임 때 선로의 수송량을 비용 효율적으로 늘릴 수 있다. 그 외의 시간대에는 화물열차 등 TIM이 미 장착된 열차를 운행할 수 있다. 따라서 열차 대다수에 TIMS가 설치된다고 가정했을 때 유용한 개념이다.

이 개념을 분기점에 소수의 열차 검지 장비(예: 엑셀 카운터)와 HL3 지상 시스템이 설치된 밀도가 낮은 노선에서 사용하여 비용 효율적으로 ETCS를 시행할 수도 있다. 하이브리드 레벨3 개념을 유일한 레벨3 개념으로 취급할 계획은 없음을 유념해야 한다. 가상 폐색 구간이 충분히 작다면 하이브리드 레벨3 개념으로 이동 폐색과 동일한 성능을 실현할 수 있다.

지상 열차검지 장비를 전혀 사용하지 않는 레벨3과 관련된 문제를 쉽게 해결할 방법이 없기 때문에, 우선 하이브리드 레벨3 개념이 레벨3의 시행 시 실용적이고 융통적인 해결책이 된다.

※ Hybrid Level 3 주요원칙, 운영시나리오 등의 자세한 내용은 부록 보고서 참조

(마) Hybrid ETCS Level 3 사양분석 결과

□ TTD(기존의 지상검지설비)의 제한적 이용을 통한 위험완화

TTD를 제한적으로 사용하여 열차의 통신두절이나 정보지연, 재연결시 열차복원 및 선로의 안전점검의 기능을 보다 효율적으로 수행할 수 있으며, 연결이 끊긴 열차의 이동을 촉진하여 선로의 기능을 향상 시킬 수 있을 것으로 예상됨.

□ VSS상태머신(Timer)의 기능

VSS 상태머진 기능을 통한 상호운용성 확보 및 TTD의 정보사용으로 인하여 발생할 수 있는 성능저하 상황 및 위험으로 부터 방호가 가능.

□ ETCS L3의 기능저하와 위험에 대한 예상 및 대비

Hybrid ETCS L3에서 운영 시나리오를 통하여 다수의 성능저하와 위험상황을 보여준다. 이러한 시나리오들은 L3에서도 존재하기 때문에 성능저하 및 위험상황을 예상할 수 있으며, HL3의 일부 기능을 활용하여 L3에도 적용 가능 할 것으로 예상됨.

□ 고찰

Hybrid ETCS Level 3 사양 분석으로 TTD를 활용하여 완화 했던 성능저하의 상황은 L3에서도 존재하며 기능구현에 있어 TTD를 대체 할 수 있는 요구사항이 필요할 것으로 판단된다. 또한 기존 구간에 ETCS Level 3가 설치된 열차가 운행될 경우 RBC가 TTD의 정보를 활용 할 수 있다면, L2 구간에서도 경우에 따라 선로의 기능은 향상 될 수 있다. 여러 종류의 열차가 경합하는 구간에서 상호운용성 확보와 함께 검토해 볼만한 사항이다. 또한 Timer의 기능을 통하여 열차의 일시적인 통신두절 및 무결성 손실을 완화하고 있다. L3급 신호제어시스템에서도 일부 Timer의 기능을 구현이 가능하다. 이를 통해 저하의 상황일 일부 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

(7) ETCS CBTC 혼용 운영 사례 분석 : ① 영국 런던 ATO 도입사례

(가) 사업개요

도심외곽에서의 장거리 운행차량을 위해 ATO 적용한 최초 사례는 영국 런던의 크로스레일(Cross Rail) 및 템즈링크(Thames Link) 프로젝트 사업에서 수행하였다. 다음의 그림은 영국 런던의 크로스레일(Cross Rail)의 노선현황과 열차운행방식에 대하여 나타내고 있다.

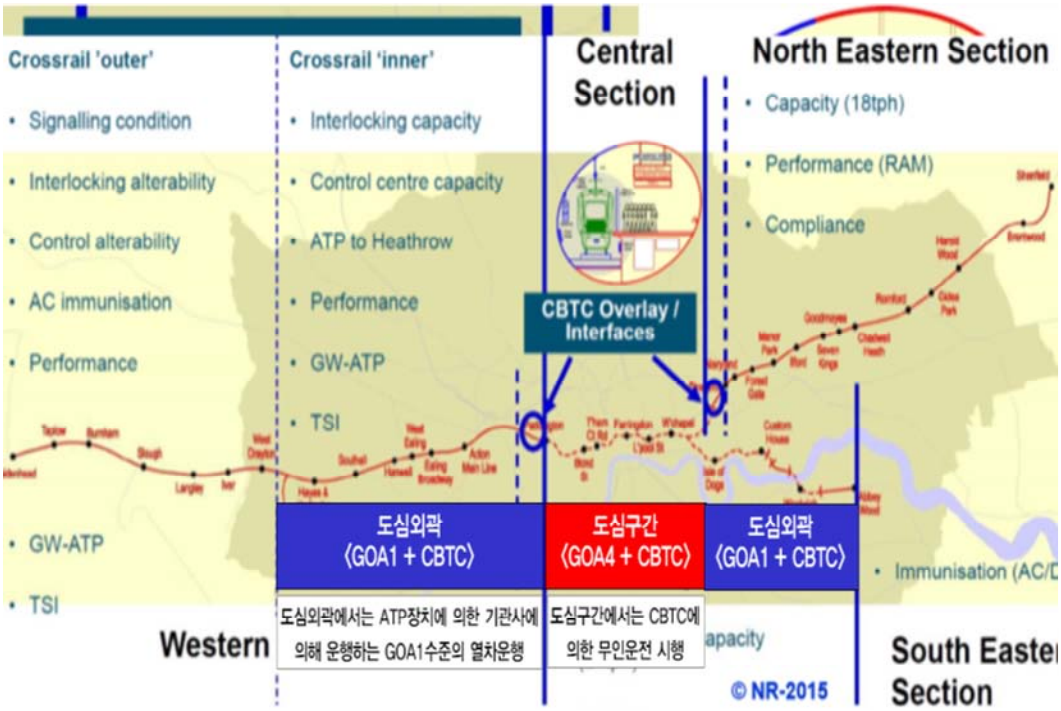


그림 51. 크로스레일(Cross Rail)의 노선현황과 열차운행방식

(나) 시스템 구성 및 운영방식

영국 런던의 크로스레일 미 템즈링크 프로젝트는 선로사용을 최대화 하기위하여 장거리 열차운행에 ATO 기능을 적용하였다. 크로스레일의 프로젝트는 2가지 다른 열차제어시스템(ATP 및 CBTC)을 장착하여 운행 중이며, 운영방식은 도심구간에서는 CBTC에 의한 무인운전(GoA4)을 시행하고 있고, 도심외곽에서는 기관사가 시계운전을 하여 열차운행을 하는 GoA1 수준의 열차자동운전을 시행하고 있다.

템즈링크 프로젝트에서는 ETCS 시스템을 장착하여 전체구간에서 GoA1 + GoA2 수준의 열차자동운전을 시행하고 있다. 다음의 그림은 크로스레일과 템즈링크 프로젝트의 시스템 구성과 운영방식을 나타내고 있다.

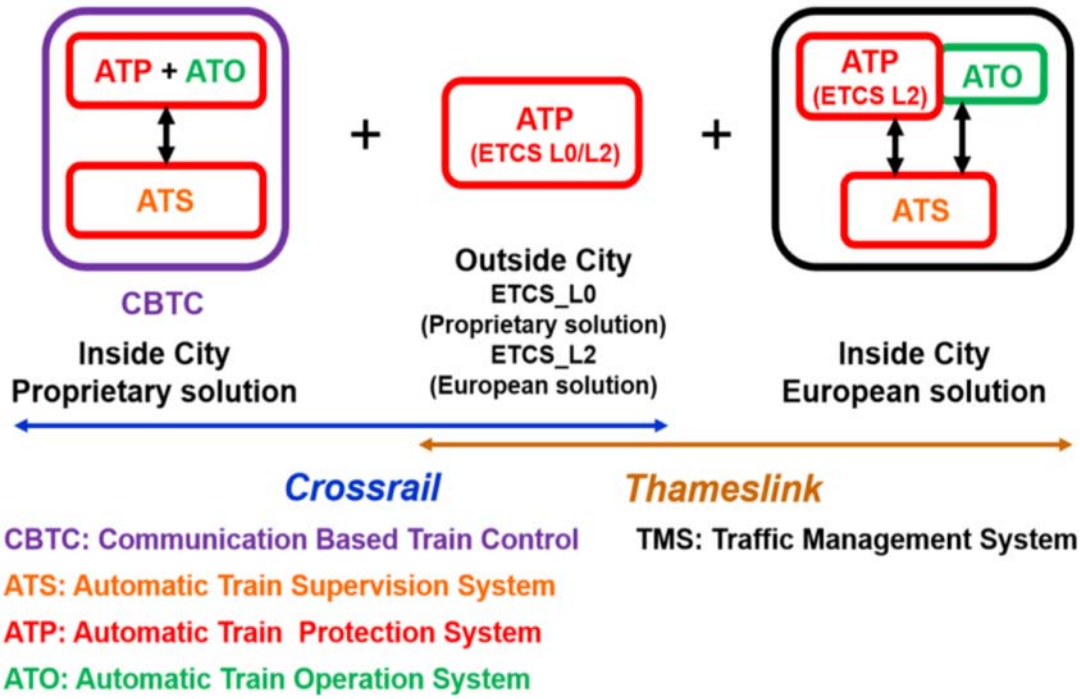


그림 52. 크로스레일 및 템즈링크 프로젝트 시스템 구성 및 열차운영방식

(다) 크로스레일 열차운영방식



그림 53. 크로스레일 열차운영방식

(라) 템즈링크 열차운영방식



그림 54. 템즈링크 열차운영방식

(마) 템즈링크 열차자동운전(ATO)장치 특성검토

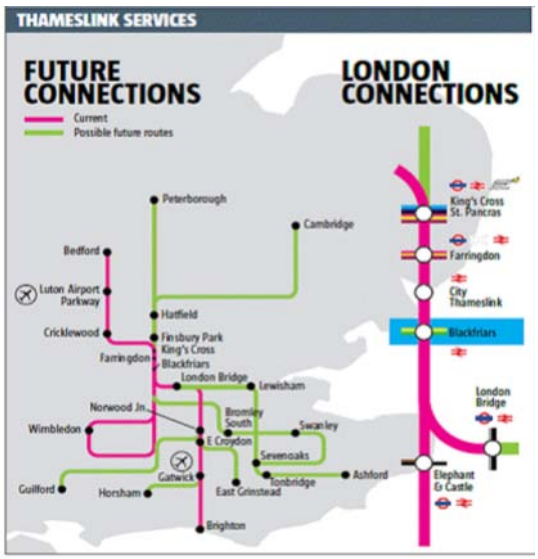


그림 55. 템즈링크 노선도

- 템즈링크 노선 및 런던의 기타 운행 노선 승객 과밀 완화
- 12TPH에서 24TPH로 용량 향상
- 12량으로 열차 증대
- 런던을 가로지르는 새로운 운행 서비스
- 런던 지하철의 부하 감소
- St Pancras International 역의 승객 분산 도모
- 본선과 지하철 운행 간 환승 필요성 감소

① 템즈링크 네트워크 선로용량 증대

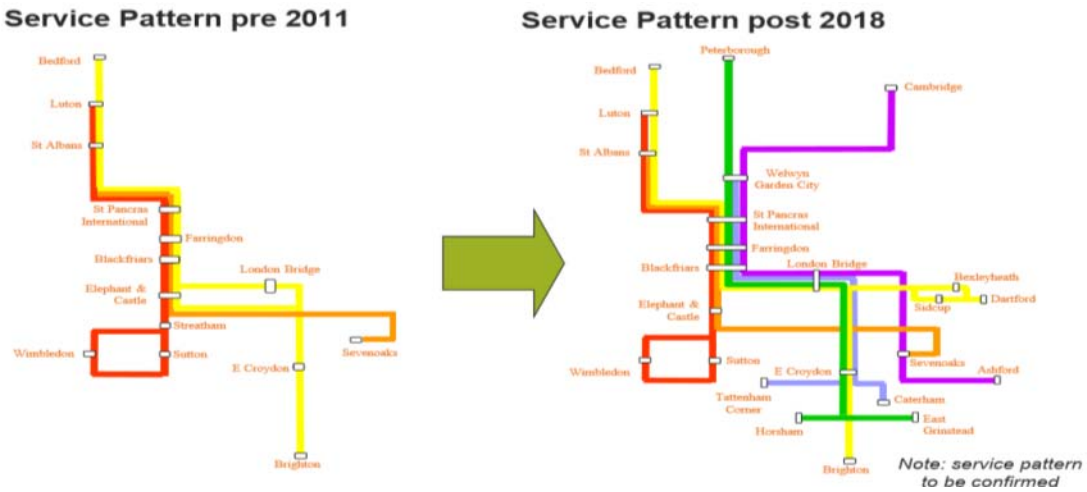


그림 56. 템즈링크 네트워크 선로용량 증대

② 신호 및 용량

- 복선선로, 양방향 신호
- 선로속도 50kph(30mph)
- 8량 및 12량 구성의 새로운 편성, 이중 전압(배전압) 열차
- 4현시 신호
- 폐색 길이 200m
- 최대정차시간 60s
- 첨두시간대 이론적 용량 30TPH
- 그러나, '전문적인 운전' 기술을 사용해 첨두시간대 얻을 수 있는 최선의 용량은 22-24TPH 임을 모델링을 통해 알 수 있었다.
- 수용 가능한 운송능력마진(회복마진)을 포함해 24TPH의 신뢰할 수 있는 운행 서비스를 위해서는 ATO가 필요하다.

③ ATO 요구사항

- ATP방식은 CBTC 또는 ETCS가 될 수 있다.
- ATO는 부가 기능으로 구성된다.
- ETCS는 국제적인 ERTMS 프로그램(상호운용성 지침 참조)의 일환으로 인접 노선(MML & ECML)에 제공된다.
- 이에 따라 ETCS를 ATP장치로 선택하였다.
- ATO를 ETCS와 함께 사용한 적이 없었다.

(바) 템즈링크 ATO 표준

- 템즈링크 ATO는 독점적이며, 최신 유럽형 ATO 사양보다 먼저 구현된 기능이다.
- 기존에 확립된 ATO 구축경험에 기반으로 한다.
- 공급사인 Siemens AG는 유럽형 ATO-ETCS 표준 개발에 기여했다.

(사) 시스템 구성

① 차상 장치 (Siemens AG)

- 새로운 EMU 차량(Class 700)으로서 ATO 및 ETCS 차상장치 장착
- DAS 운전자 지원 시스템(중앙 연결형 및 독립형) 포함

- 패킷44를 통한 SDO 및 전원 절체(PCO) 제어를 위해 ETCS 활용

② 지상 장치 (Siemens RA)

- ETCS Level 2는 선로변 신호에 중첩 적용
- ATO 정위치정차를 위한 발리스 추가
- 교통관리시스템(TMS) 기능 초기 형태로 관제 시스템에 ATS 기능 구가
- GSM-R 네트워크 강화 (전계 강도, 소형 셀 및 서비스 품질)
- 신호제어에 대한 변경이 거의 없다.

(아) ETCS/ATO/DAS 기능 구성

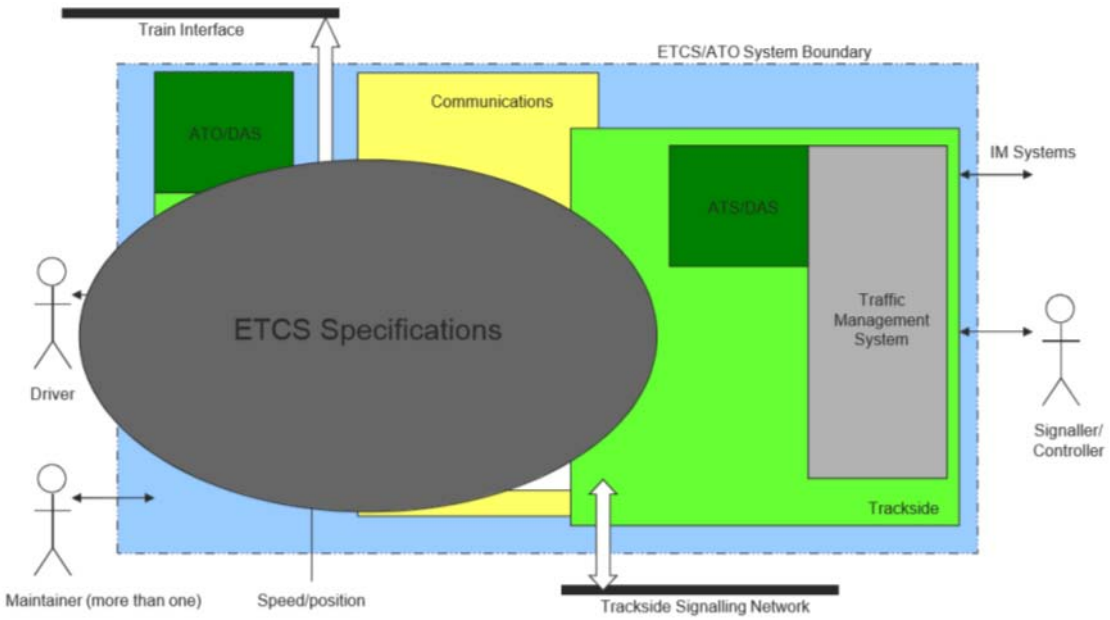


그림 57. ETCS/ATO/DAS Functional Architecture

① ATO 기능

- ETCS가 완전감시모드일 경우에만 가능하다.
- 활성일 때, 다음 프로파일을 최소화 한다.

·ETCS 속도 및 거리 프로파일

·다음 정지 위치를 포함한 ATO 프로파일

- 선로변(ATS) 조정명령(Regulation Command)에 대한 ERTMS 동작

·ERTMS가 패킷44를 사용해 전송한다.

·ERTMS는 통신 게이트웨이로써만 동작한다.

- 차상 데이터베이스에 저장된 지리적 데이터(구배, 진로 정보)
- ETCS에 의한 활성화 및 역 정차 후 자동으로 출입문 개방

· 운전자는 수동으로 출입문을 닫고 ATO 버튼을 취급하여 차량을 다시 출발시켜야 한다.

② ATO 조정 기능

- ATS 메시지는 두 가지 주요 제어 변수를 포함한다.

· 정차시간

· 다음 역까지 이동시간

- ATO는 가장 에너지 효율적인 방식으로 다음 역에 정시에 도착한다.
- ATO는 통신 손실을 줄이기 위해 기본 운행시간표를 탑재하고 있다.
- 운전자는 반드시 출입문을 닫고 열차 출발을 위해 'ATO start' 버튼을 취급한다.
- 업데이트 된 조정 명령은 출발 후 언제든지 허용이 가능하다.

③ 운전자 지원 시스템 (DAS)

- Class 700 열차는 DAS 기능을 포함하고 있다.
- 템즈링크 DAS는 공공 이동 통신이 가능할 때마다 중앙에 연결된다.
- DAS는 중앙 DAS 서버(COM@RL)에 연결할 수 없는 경우 마지막으로 수신한 운행 계획 정보를 사용하여 독립 모드에서 동작한다.
- DAS는 지리 및 진로 정보의 차상 데이터베이스를 사용한다.
- ATO 기능이 개입되지 않으면 DAS는 ETCS 영역에서 활성화 된다.
- 기능적으로, DAS는 ATO가 동력 및 제동을 직접 제어하는 대신에 운전자에게 정보를 표시하는 ATO 모드이다.

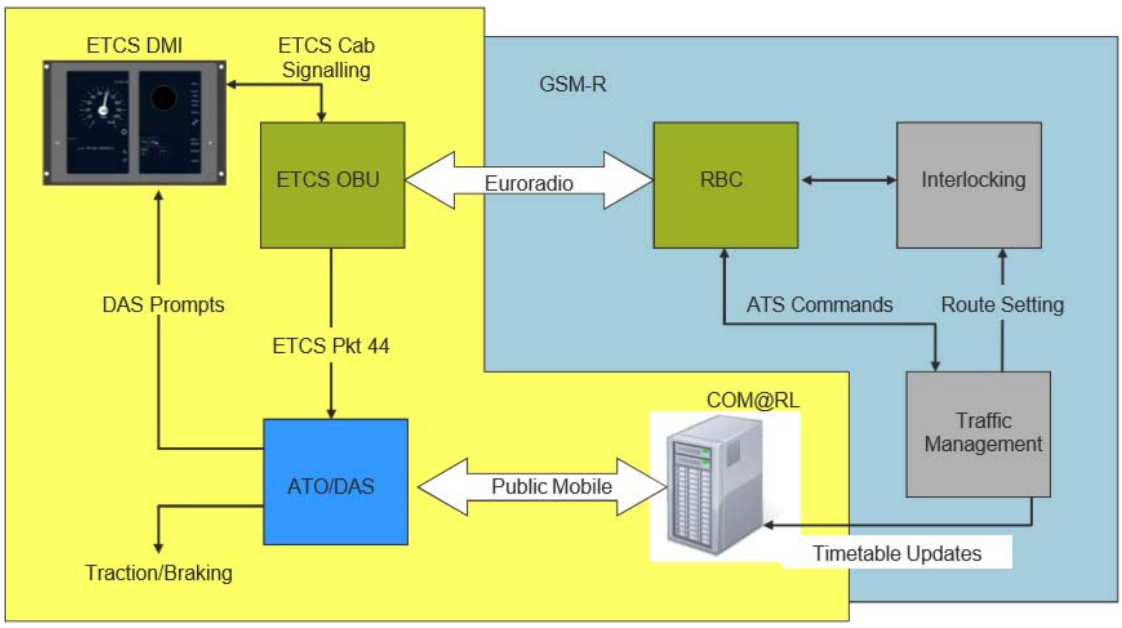


그림 58. 템즈링크 ATO/DAS 구성

(8) ETCS CBTC 혼용 운영 사례 분석 : ② 멕시코 ATO 도입사례

(가) 사업개요

도심외곽에서의 장거리 운행차량을 위해 ETCS에 ATO 적용한 추가사례로는 멕시코에서 ETCS Baseline 2(SRS 2.3.0d, Subset-026)에 ATO 기능을 추가하여 시스템을 구축하고, 시험운행을 하고 있다. 이 사업에서 ETCS에 ATO을 적용한 효과로 UNISIG 자체실험결과 에너지 절감효과가 있는 것으로 조사되었다. 다음의 그림은 멕시코에서 ETCS에 ATO 적용한 노선을 나타낸다.



그림 59. 멕시코 Toluca Interurban Line

(나) 시스템 특성

멕시코에서 ETCS에 ATO 적용한 노선 및 시스템 특성은 다음과 같다.

- 노선특성 : 교외 여객노선, 열차[30xCiva(CAF)]
- 노선길이 : 57.7km, 역사 : 5역
- 시험년도 : 2018년
- 개통예정일 : 2019년
- 최고속도 : 160km/h
- ETCS 시스템 사양 : ERTMS/ETCS Baseline 2(SRS 2.3.0d), ETCS L2
- 최소운행간격 : 2.5분
- 자동화 등급 : GoA 2
- Subsystem
- CAF Signaling : ATO-GB, ERTMS-OB, ATO-TS
- Thales : ERTMS-TS, Interlocking

(다) 시스템 구성

멕시코에서 ETCS에 ATO 적용한 시스템 구성방식은 다음의 그림과 같다.

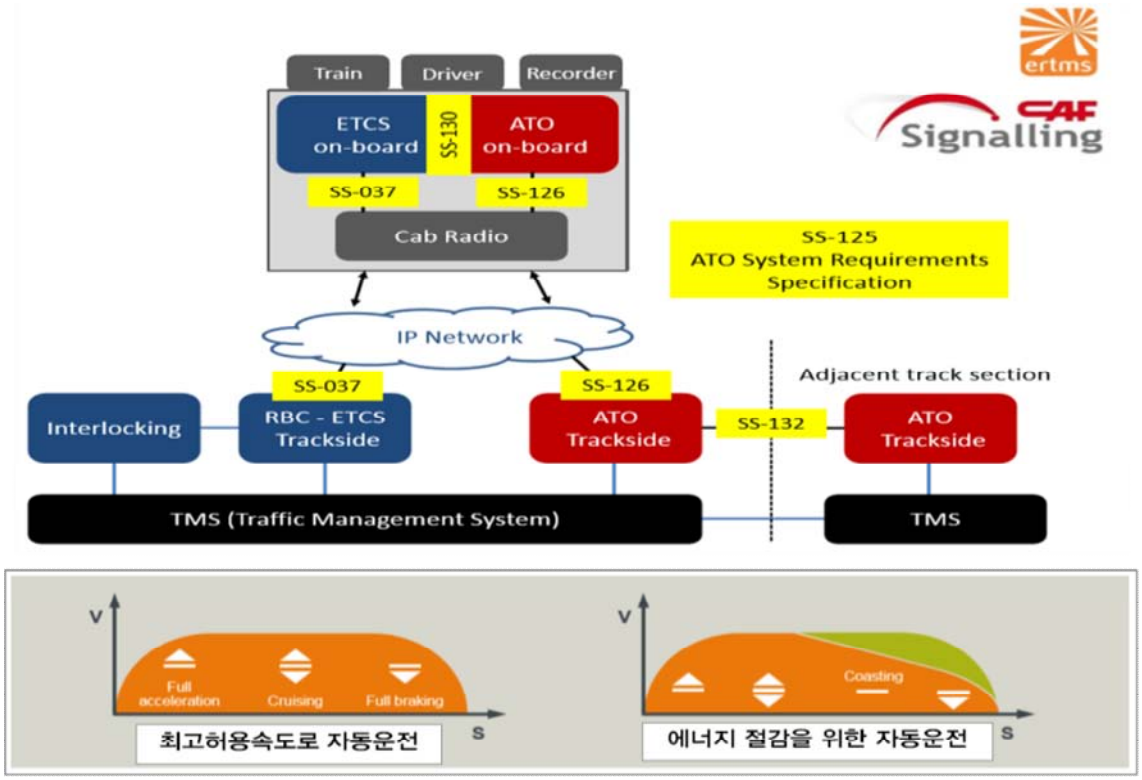


그림 60. 멕시코 Toluca Interurban Line 열차제어시스템 구성방식

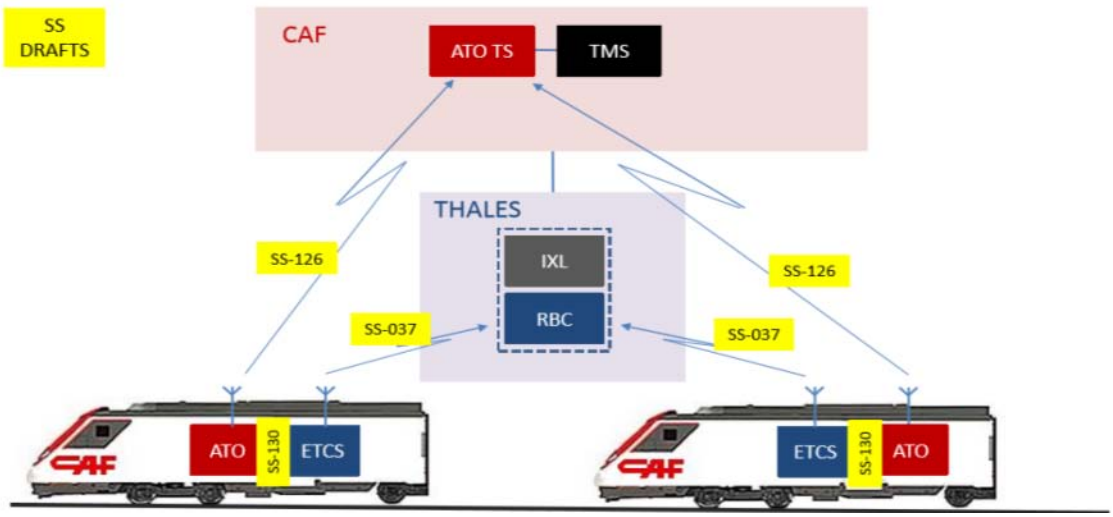


그림 61. 멕시코 Toluca Interurban Line 열차제어시스템 인터페이스 방식

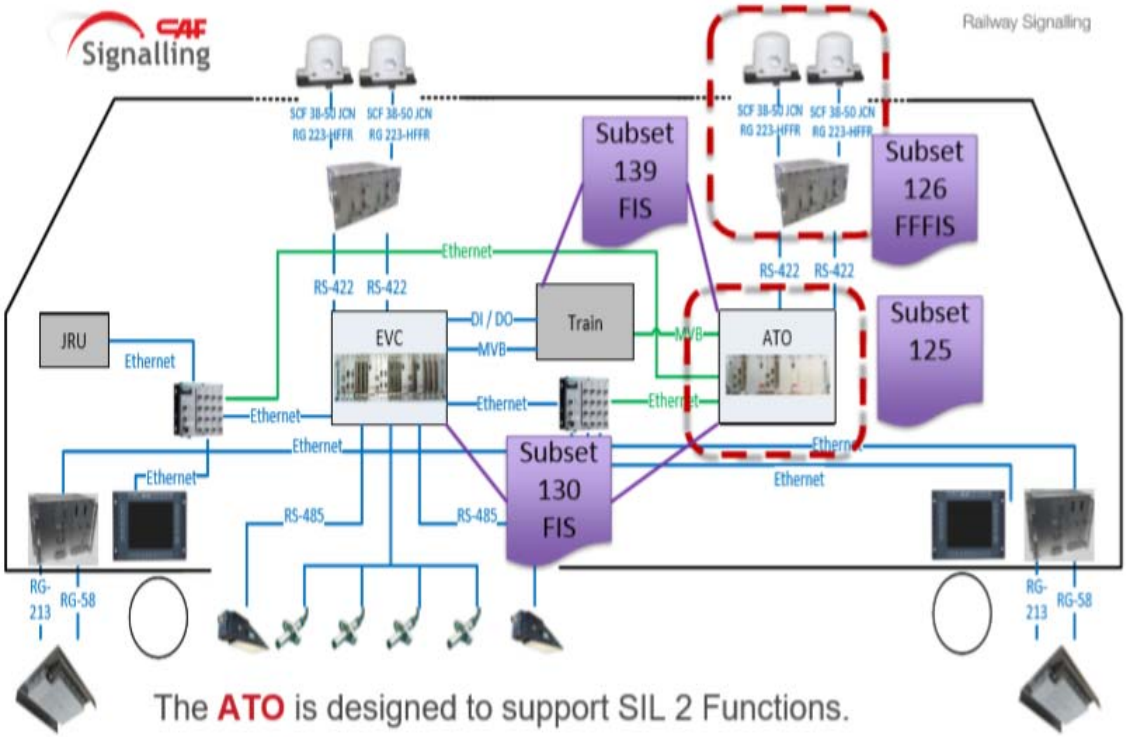


그림 62. 멕시코 Toluca Interurban Line 열차제어시스템 구성도

(라) ATO over ETCS 장점

① 기술적 선로 용량

- ETCS만 설치된 열차제어시스템에 비해 ATO 기능추가 시에 선로용량이 향상된다.
- 경고음 및 상용제동 개입은 억제된다.

② 장치 및 설치

- DMI, JRU 또는 Odometry와 같은 장치의 재사용이 가능하다.
- 필요한 설치 공간 및 전력소모가 감소한다.

③ 기능 진화

- 레벨3, 신규 무선 시스템 또는 위성 위치 추적과 같은 기타 전략에 대해 호환 및 보완 가능한 기능으로 발전이 가능하다.
- GoA-3 및 GoA-4 등급까지 업그레이드가 가능하다.

(9) ETCS CBTC 혼용 운영 사례 분석 : ③ 스위스 ATO 도입을 위한 계획

스위스에서는 장거리 운행 서비스를 위한 자동열차운전 최신기술 및 도전과제를 수행 중에 있으며, 이에 따라 스위스에서 진행 중인 사업에 대하여 다음과 같이 조사하였다.

장거리 운행 서비스를 위한 자동열차운전 최신기술 및 도전과제 내용

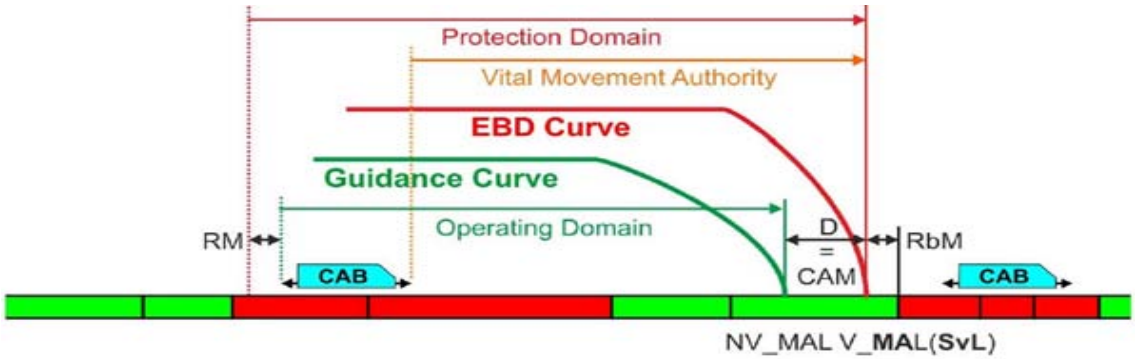


그림 63. CBTC 고정폐색에서 ETCS-ATO 운전

도시철도(메트로) 노선에 자동열차운전을 도입하는 것은 그리 어려운 일이 아니다. 선로간 교차지점이나 건넘선(크로싱)이 거의 없어야 하고, 차량 동질성, 복선 운행, 상대적으로 낮은 속도, 매우 단순한 정거장 궤도 레이아웃, 고무 장착, 그리고 철도건널목이 없는 특정 부지를 조건으로 한다. 또한, 터널과 PSD 구축은 선로 상에 장애물이나 사람이 있지 못하도록 방지한다. 문제는, 어떻게 하면 도시철도(메트로) 노선의 자동열차운전방식을 장거리 노선, 더 나아가 국가 전체 망에 적용할 수 있을까 하는 것이다.

(가) 도입 목적 및 요구사항

용량 최대화, 에너지 효율성 및 운영비 최소화는 점점 더 중요하게 고려해야 할 요소이다. 자동열차운전(ATO)은 교통이 매우 밀집된 지역에서 용량 사용을 극대화 하는데 적합한 시스템이다. 이에 따라, 점점 더 많은 메트로 또는 대량수송시스템(MRT) 노선에서 독점적인 통신기반열차제어(CBTC)시스템을 통해 ATO 시스템을 구축하고 있다.

ATO장치는 또한, 각 열차의 궤적이 다른 열차와 상충될 기회가 거의 없는 경우, 본 선 운행 시 에너지 절감 면에서도 효율적인 시스템이다. 궤도와 열차의 특성을 알면, 최적의 알고리즘을 사용할 수 있다. 사실, 일정하고 유일한 제약은 운행 시간표 상에서 다음 정거장 도착시간이라고 할 수 있다. 반대로, 전체 열차 운행의 최적화를 위해 자동열차감시시스템(ATS)이 열차 경합을 관리해야 한다면, 알고리즘은 훨씬 더 정교해질 것이다. 오늘날, 복잡한 알고리즘을 사용하는 ATO를 본선 운행에 적용한 일은 없다.

GoA4 단계는 완전감시(Full Supervision, FS) 모드와 분리할 수 없다. 다시 말 해, 속도제한곡선(EB곡선)을 절대 통과할 수 없다. 이를 위해, 비상제동개입 (Emergency Brake Interve

ntion, EBI) 곡선을 계산한다. 그런 후, 항상 EBI 곡선 아래 존재하는 목표속도곡선(Target Speed Curve)을 ATO시스템을 위한 가이드 곡선(Guidance Curve)으로 설정한다.

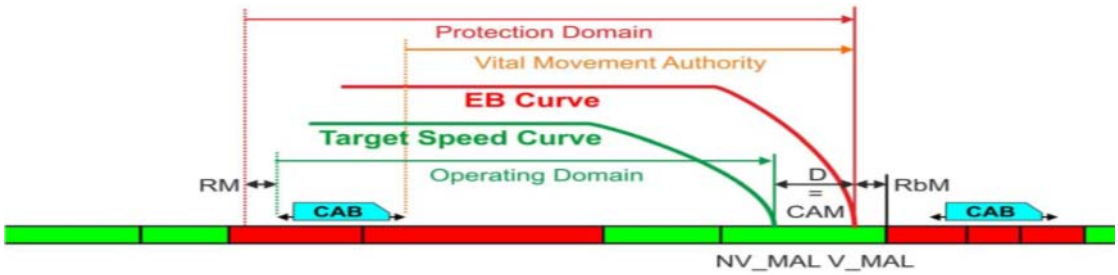


그림 64. 가상 고정폐색 구간

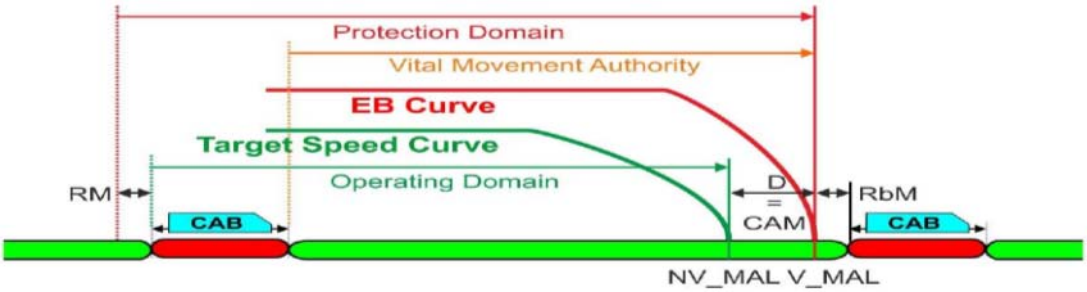


그림 65. 동적가상구간(하단)을 포함한 CBTC 영역

- Protection Domain: 보호구역
- Vital Movement Authority: 바이탈 이동권한
- EB Curve: 비상제동곡선
- Target Speed Curve: 목표속도곡선
- Operating Domain: 운영구역
- RM: 후방 여유거리
- CAB: 열차(운전실)
- D: 거리
- CAM: 충돌방지 여유거리
- RbM: 롤백 여유거리
- NV_MAL: 논-바이탈 이동권한 한계
- V-MAL: 바이탈 이동권한 한계

※ CBTC 시스템 맥락에서 GoA4(ATO-UTO)로 운영되는 실제 노선의 4가지 주요 특성은 다음과 같다.

① 철도건널목 없이, 물리적 장벽을 갖춘 독점 운행로

② 승강장 출입문

③ TMS시스템만으로는 해결할 수 없는 장애 발생시, 수 분 내에 직원이 열차에 탑승

④ 운영기간 동안 인접 궤도 또는 근방의 유지보수작업이 없음.

(10) ETCS+CBTC 혼용 운영 결론 : 상호운영성 확보를 위한 요구사항

현재 GoA4, GoA3, 그리고 심지어 GoA2도 장거리 운행에는 사용되지 않는다. 운전자의 감시 하에 몇몇 장치들은, 에너지 절감차원에서 견인력, 동적제동 및 무동력단계를 전환해 가며, 주어진 속도를 유지하거나 특정속도 이하로 운전하기 위한 열차 제어를 수행할 수 있다. 대도시 내의 도시 철도 서비스를 포함한 장거리 운행 서비스의 2가지 예를 보여준다.

(가) 정속유지기능(Cruise Speed Keeper) (GoA1)

유럽 특히 스위스에서 속도 제한 변화가 매우 빈번하게 발생하기 때문에, 운전자는 현재 국가철도망에서 정속유지기능(Cruise Speed Keeper)을 자주 사용하지는 않는다. 실제로, (운전자는) 낮은 속도 제한을 지키기 위해 차량을 적당히 제동해야 할 책임이 있기 때문에, 이 정속유지기능을 사용하는 것은 그들로 하여금 거짓 안전감을 줄 수 있다. 더욱이, 이러한 기능은 승차감, 에너지 소비 및 마모 측면에서 종종 좋지 못한 결과를 초래한다.

(나) 운행최적화시스템(Trip Optimizer) (GoA1)

운행최적화시스템(Trip Optimizer)은 장거리 화물 서비스 연료 절감을 위해 제작된 GE(제너럴 일렉트릭)사 제품이다. 주어진 영역의 각 열차에 대한 개별 운행 계획을 토대로, 운행최적화시스템(Trip Optimizer)은 자동으로 열차의 엔진스로틀(Throttle)과 동적 제동을 제어한다.

이러한 운행최적화는 운전자 감시 하에 달성되며, 운전자는 언제든지, 특히 화차(Wagon)의 마찰 제동으로 인해 열차가 감속해야 할 때 열차 제어를 수행할 수 있다.

바람 효과, 점착력, 엔진 상태, 그리고 운행에 따라 자유롭게 분배될 수 있는 시간마진을 일관적으로 제공하는 목표도착시간과 같은 매개변수는, 운행최적화시스템이 보다 원활하게 작동하고 연료를 더욱 효율적으로 사용할 수 있도록 돕는다. 열차 및 지형 특성에 따라, 사람이 수행하는 운전에 대비하여 3-17 %의 연료 절감 효과를 얻을 수 있다.

(다) 도시 내 장거리 운행을 위한 ATO

장거리 운행 차량을 위해 처음 ATO를 구현한 것은 London City이다.*크로스레일 및 *템즈링크 노선. 두 경우 모두 직면한 문제는 동일하다. 즉, 노선 중심 구역의 선로 사용을 최대화하기 위해, 장거리 운행 열차에 ATO 시스템을 장착해야 하는 것인데, 이에 대한 크로스레일 프로젝트(Crossrail project)의 해결 방법은 템즈링크 프로젝트(Thameslink project) 와는

전혀 다르다.

※ 크로스레일: 런던 및 남동부를 운행하는 철도 노선

※ 템즈링크: 런던을 중심으로 남북을 관통하는 68개역으로 구성된 총연장 225km의 본선 크로스레일 프로젝트의 경우, 장거리 운행 열차는 두 가지 다른 종류의 감시시스템을 장착하고 있다: 하나는 ATP 시스템이고, 다른 하나는 CBTC 시스템이다. 장거리 운행 열차는 도시 외부에서는 ATO 기능을 발휘할 수 없다. 그러나 반대로, CBTC 시스템이 제공하는 ATO는 도시 내에서 그 기능을 필수로 사용해야 한다. 두 가지 다른 ATP 시스템 간의 전환영역 “T” 및 열차의 CBTC-ATO 운전을 위한 통신을 제어한다. ATO는 도시 내에서만 사용 가능하다.



그림 66. 영국 크로스레일 프로젝트: 장거리 운행 차량을 위한 듀얼시스템

2.2.2 레일절손 검지기술 개발 _ 한국철도기술연구원

가. 레일절손 검지기술 개요

(1) 레일절손 검지기술의 목적 및 개요

ㅇ 레일이 끊어진 경우, 이를 검지하여 열차의 접근을 금지하여 탈선 방지

ㅇ 다양한 원인(마찰, 온도, 외부충격)에 의하여 여러가지 모양의 레일절손 발생

ㅇ 영상 검사(육안 검사, 검측차), 비파괴 검사, 진동에 기초한 방법 등이 있음

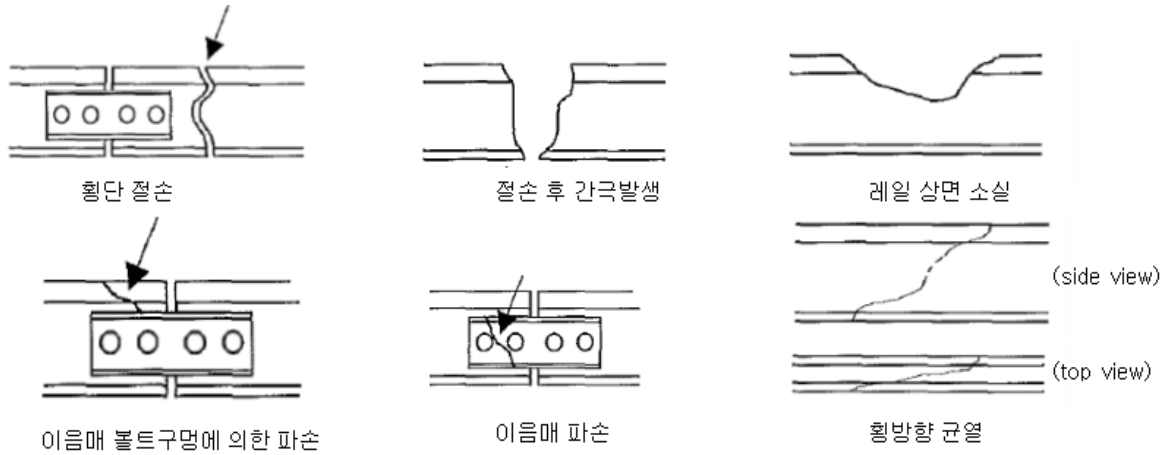


그림 67. 다양한 레일절손 형태[1]

(2) 레일절손 현황(국외)

ㅇ 레일절손과 이의 미검지에 의한 사고는 지속적으로 발생해 왔음
Hatfield 사고(2001, 영국), 캘리포니아 Zephyr(Amtrak) 사고(2001, 미국) 등

ㅇ 레일절손 방지를 위한 기술 발전에도 불구하고 레일 및 연결부의 절손 발생 빈도 높음 (영국의 경우 연간 약 770건(1969~2000년)[2])

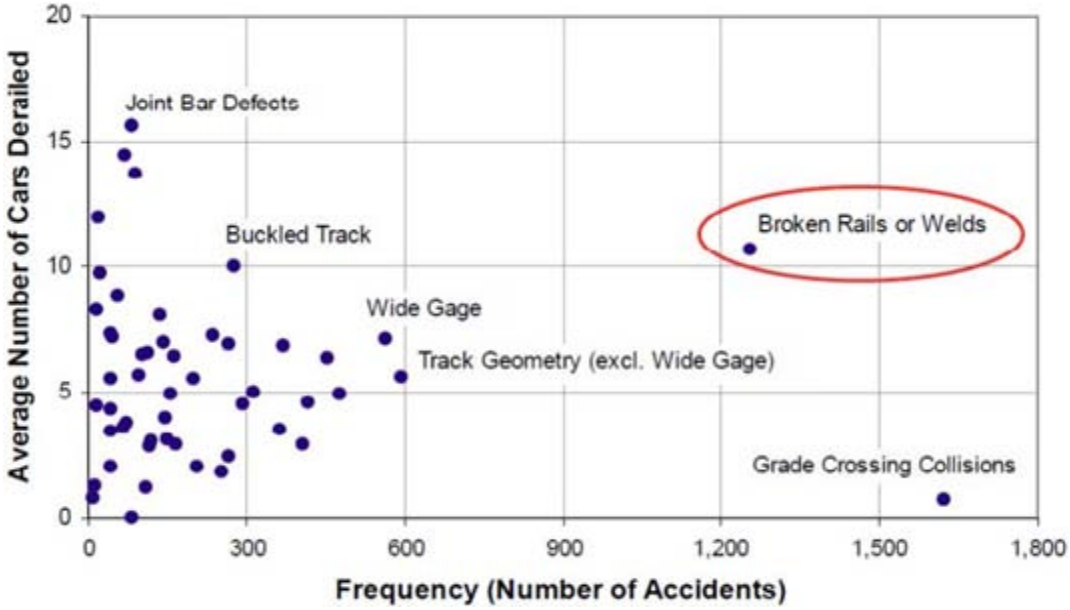
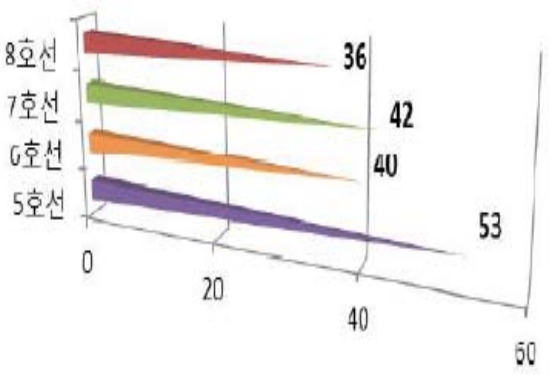


그림 68. 간선철도 탈선 유형별 원인(미국, 1996-2005) [3]

(3) 레일절손 현황(국내)

○ 도시철도(서울5~8호선, 콘크리트 도상)의 경우 1995~2013년간 171건의 레일절손 발생(연평균 9.5건)[4]

○ 간선철도의 경우 연 평균 약 330건의 레일절손 발생(2005~2007년)[5]



Defect type	Number	Rate
Sum	171	100
Crack rail	80	46
Internal defects	55	32
Head damage	18	11
Destroyed rail	18	11

그림 69. 서울도시철도(5~8호선) 레일결함 발생 현황[4] 그림 70. 서울도시철도(5~8호선) 레일결함 발생유형[4]

노선 / 항목	경부선	장항선	중앙선	호남선	경원선	영동선
발생가중치 (건/Km/년)	0.107	0.202	0.056	0.032	0.072	0.048
궤도연장(km)	1,746	231	748	679	247	307

그림 71 간선철도 궤도연장을 고려한 노선별 절손발생 가중치[5]

(4) 기존 레일절손 검지기술

○ 궤도회로에 의한 검지

- 궤도회로는 폐색 구간내 열차의 점유여부를 검지하기 위한 장치이며 폐색구간의 한쪽 끝에서 전류를 흐르게 하면 다른 쪽 끝에서 계전기가 동작하여 작동하게 됨.

- 열차가 없는 경우 계전기가 동작하나 열차가 점유하게 되면 차륜과 차축으로 전류가 흐르게 되어 계전기로 들어가는 전류가 약해져서 신호기가 떨어지게 됨(적색으로 표시, 아래 그림 참고)

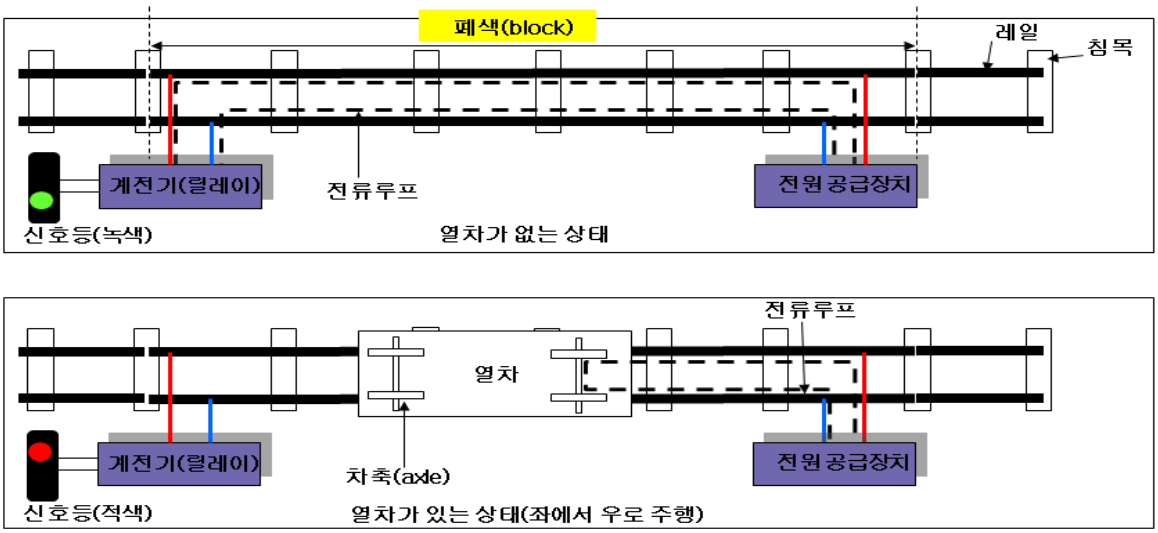


그림 72. 궤도 회로의 동작

- 그런데 레일절손이 발생하면 전류가 흐르지 않게 되므로 마찬가지로 열차가 점유한 것으로 표시되며 인접 폐색구간에 열차가 없을 때도 이렇게 점유한 것을 확인하여 레일절손을 검지할 수 있음

- 그러나 궤도회로에 의한 레일절손은 전류가 흐르지 않는 경우에만 검지가 가능하므로 상기 레일절손 형태를 나타내는 그림에서 레일 상면 소실, 이음매 파손 등의 절손 방식은 검지하지 못하는 단점이 있음

○ 검측차

- 차량을 레일 위에서 운행하며 다양한 근접 탐지 방법으로 레일결함 검지

- 탐지 방법에는 접촉식 초음파(SPENO US1), 영상(ROGER-1000K), 검측용 차축(EN-30) 등이 있음 [6-8]



그림 73. 다양한 검측차 종류(좌로부터 SPENO US1(스페인), EN-30(오스트리아), ROGER-100K(한국)[9]

○ 기존 기술의 한계

- 스웨덴철도청(Banverket)에서 통계적 분석에 의한 시뮬레이션을 수행하였으며 이에 따르면 비파괴검사(Non Destructive Test) 및 휴대용장비에 의한 탐지 비율이 가장 높음

- 궤도회로에 의한 방법은 4.3%이며 0.38%는 미검지로 탈선 발생. 즉 궤도회로에 의하여 탐지되는 레일 절손은 전체 검지 방법 중 작은 부분에 속함

- 그러나 이 부분이 없으면 탈선 발생 확률이 10배 이상 높아지므로 궤도회로를 대체한 레일절손 검지기술은 이 정도 수준의 탐지 빈도를 나타낼 수 있어야 함

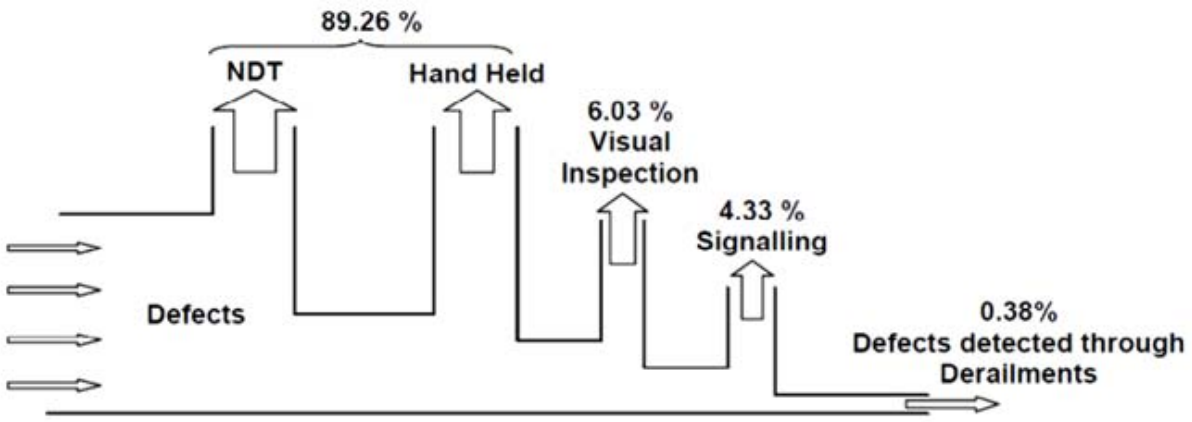


그림 74. 잠정적인 레일절손 탐지 비율(Banverket)[10]

(5) 최신 레일절손 검지기술

○ 에디 전류(사후 대응형)

- 차상에서 레일에 자기장으로 전류를 유도하고(비접촉) 이를 측정하여 레일결함 검지. 짧은 탐지 거리[11]

○ 진동 검지장치(사후 대응형)

- 레일절손 시 진동 전파 양상이 다르다는 점을 검지[12]

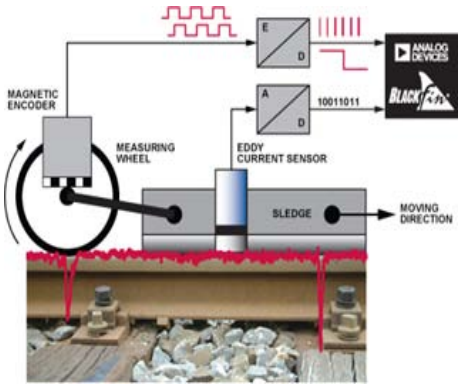


그림 75. 에디 전류 방식의 레일 절손 검지

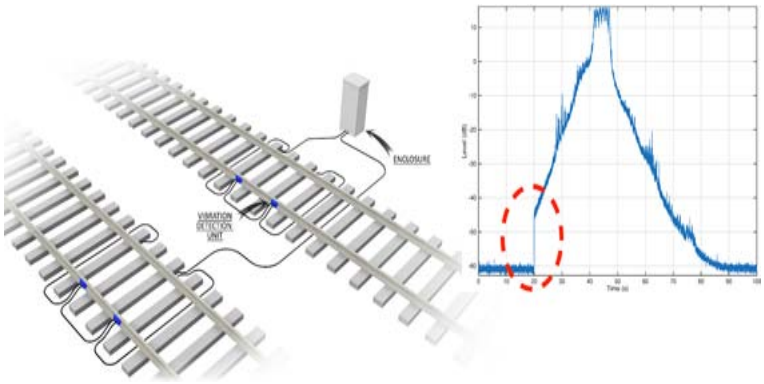


그림 76. 진동 검지장치 방식(NGRT)

○ 사후 대응형 기타

- 광섬유 부착: 레일의 헤드 하부 웹부분에 광섬유 부착, 레일 절손 시 광섬유도 같이 절손되어 검지. 비경제적

- Strain guage: 절손에 의해 레일에 변형이 발생할 경우 이를 검지. 검지가 어려우며 비경제적

- 고출력 RF pulse: 차량의 전방선로에 펄스신호를 보내고 반사파를 측정. 검지거리가 짧음

- 가속도 센서: 가속도 센서를 부착하고 가속도 측정값을 wavelet 분석을 통해 가속도 파동을 이용하여 검지. 표면 결함 검지에 유용하며 상관관계 분석 필요

○ 초음파 센서(사전 검지형)

- 이동형: 검측차 장비와 유사[13]

- 고정형: 설치된 장비에서 초음파를 송신하고 이를 수신하여 검지[14]



그림 77. 이동형 초음파 센서[13]

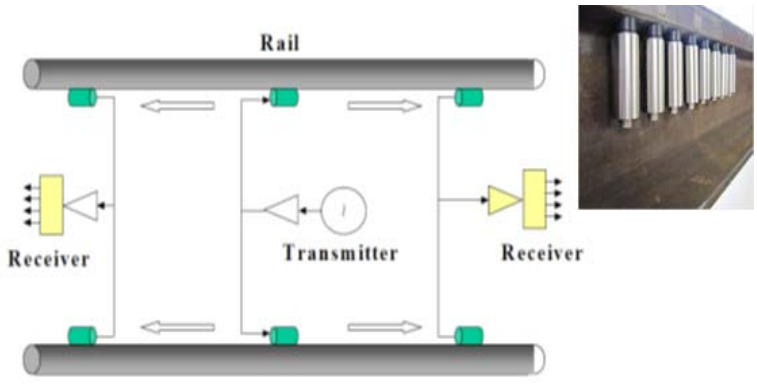


그림 78. 고정형 초음파 센서의 동작과 센서 형상[14]

○ 음파 센서(사전 검지형)

- 송신기에서 광대역 음파 신호를 레일에 주사하고 떨어진 수신기에서 이를 받아 유사성 분석[15]

- 검지범위 2~10㎞. 송수신 장치를 다중으로 운용하여 검지 정확성 제고 가능

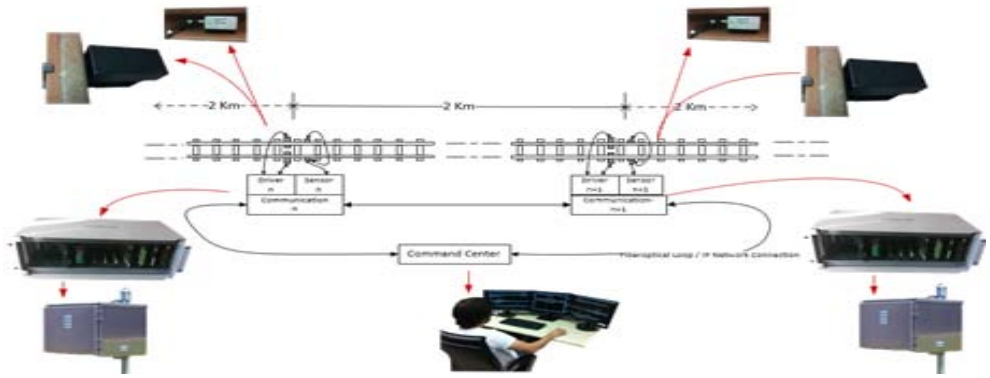


그림 79. 음파 센서의 구성

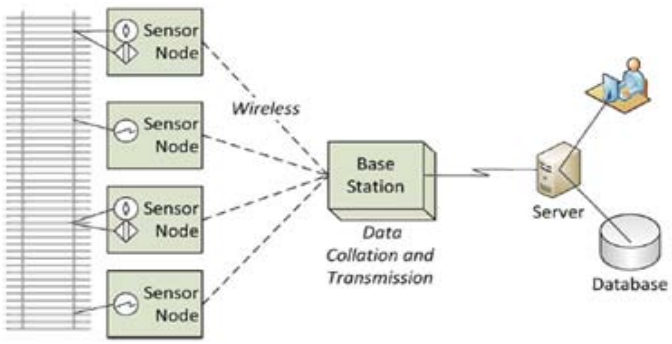


그림 80. 음파 센서의 다중 운용

○ 분산형 음파 검지(사전 검지 및 사후 대응형)

- 분산형 음파 검지기술(Distributed Acoustic Sensing: DAS): 광케이블의 특정 파형이 주위의 진동에 의해 왜곡되는 현상을 이용하여 진동 및 충격 정보를 추출하는 기술

- DAS 시스템은 통신실에 설치하며 선로변에 매설된 광케이블의 코어 1개를 연결하면 케이블과 병행하여 설치된 선로의 상태를 모니터링 할 수 있음

- 최대 검지 거리는 80km이며 신호 세기 및 광케이블 접합 상태에 따라 검지 거리가 달라짐

- 본 과제는 궤도회로 기능 대체기술을 개발하는 것으로서 광케이블을 이용한 레일절손 검지기술을 개발하고 이를 적용하기 위한 가능성을 확인하는 것임

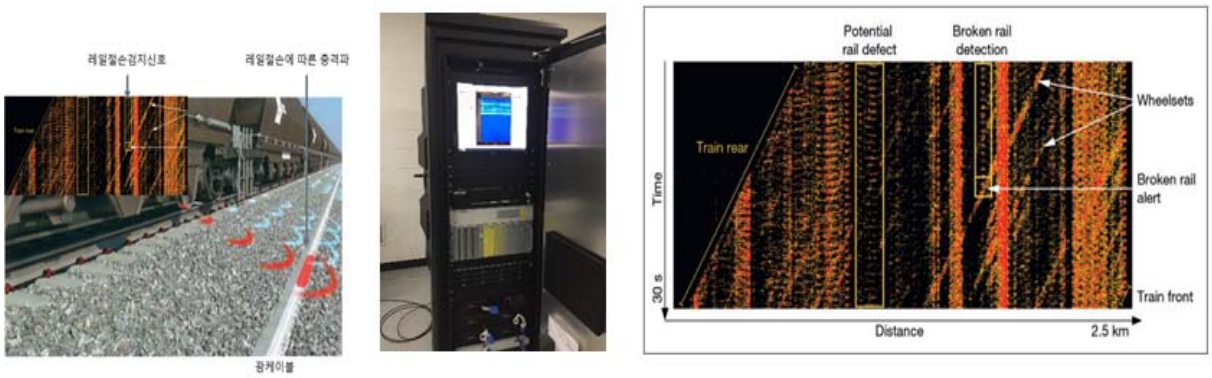


그림 81. DAS 시스템의 동작과 형성

(6) 레일절손 검지기술의 비교

○ 앞에서 기술한 여러 레일절손 검지기술 방식은 다양한 회사에 의해 구현이 되고 있으며 각각의 특성 및 장단점은 다음과 같다.

<레일절손 검지기술의 장단점>

구분	Fibre/optical	NGRT	Siemens	Railsonic
기술	광섬유, 광학	진동 및 음향	광섬유, 온도, 자기장	초음파
케이블	트랙에 따라서	도로변 최대 150m	도로변, 전체 트랙, 열차에 따라서	트랙에 따라서
검지거리	20km	10km	2km	1km
장비위치	도로변	도로변	도로변, 열차	도로변
시스템장비	신호 응용, 신호 센싱, 광섬유 통신, 전원공급장치	통신, 센서, 전원공급장치, 주 조립부품 (Main assembly)	신호 응용, 신호 센싱, 광섬유 통신, 전원공급장치	전송기, 수신기, 변환기, 전원공급장치, 통신장비, 데이터 프로세싱 및 알람 단자
설치	시간 소모	빠르고 간단	비쌈, 시간 소비	
검증	0, 처음과 변경사항 수정 후	0, 설치 후 한번만	0	0
ballast 영향	0	X	0	X
방해	0	X	0	X
통신장치	광섬유	GSM	광섬유	GSM
원 데이터	90TB/1개월	2TB/1개월		
데이터 프로세싱	중앙제어	1. 센서 내부 2. 주 조립부품	중앙제어	중앙제어
정확도	4 feet(피트)	10m		
자동 알람	0	0	0	0
유지보수	중	하	중	하
Library 프로파일	X	0	0	X
전력소비	중	하	중	중
다기능 하드웨어	X	0	X	X
트랙 번호	1	4	1	1
보증기간	24개월	24개월	24개월	24개월
예비부품 보증기간		20년		15년
운전온도		-40+70 degree C		0~50 degree C
레일온도		-40+70 degree C		-10~70 degree
습도	100%	100%	100%	100%

○ 이 중 기존 궤도회로 대비 차별성이 가장 큰 기술은 Fibre기술임. 다만 Fibre 기술의 경우 국외에서 본격적으로 실용화되지는 않았으며 그 가능성을 검증하기 위해 다양한 기관에서 연구개발 및 적용을 진행 중임(독일, 영국, 벨기에 등)

나. 레일절손 검지장치 요구사항 명세

(1) 시스템 개요 및 구성

○ DBRD(DAS based Broken Rail Detector) 시스템은 레일에 발생한 절손을 검지하는 기능을 수행하는 시스템이다. DBRD는 IGU, DPU, DAU, IFU, Mon 및 PDU로 구성되어 있다.

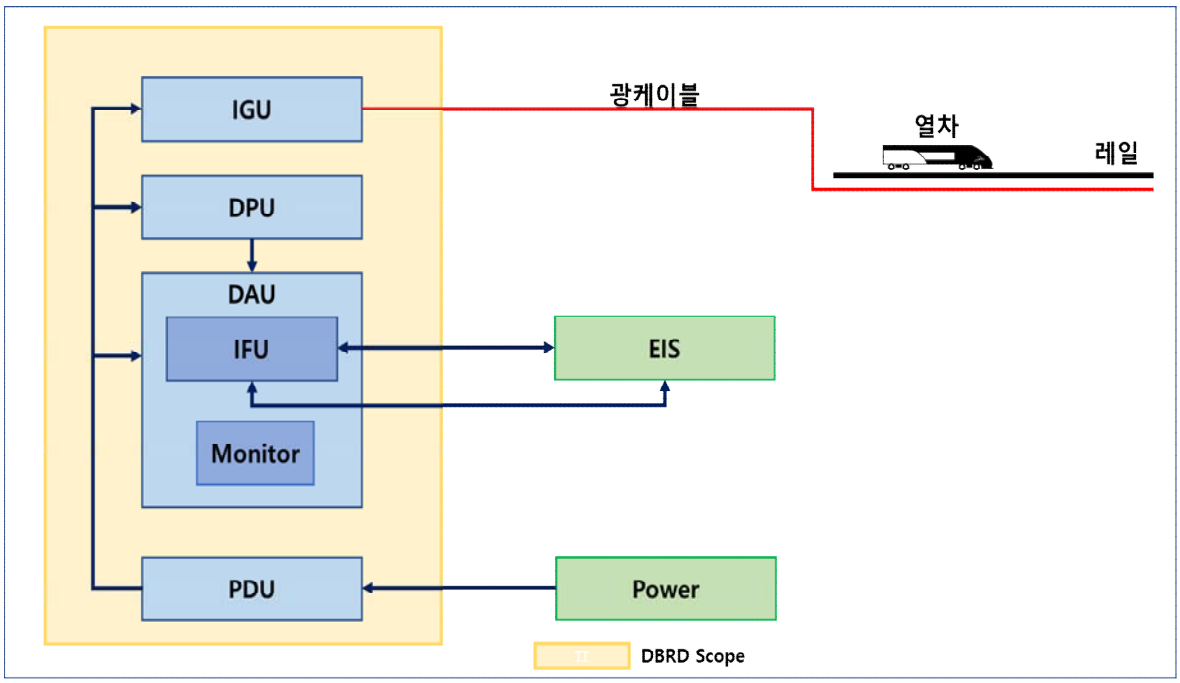


그림 82. DBRD 시스템 구성도

(가) IGU

○ 광케이블에 신호를 보내고 스캐터링에 의하여 반사되는 신호를 수집하는 장치이다. 반사 신호의 크기는 케이블 주변의 소음 및 진동 크기에 비례한다.

(나) DPU

○ IGU로부터 아날로그 신호를 받아 샘플링 및 디지털화한 후 신호를 거리 및 시간에 따라 처리하고 압축하여 파일 시스템으로 구현한다. IGU 및 DPU에서 제공하는 측정 데이터의 시간 및 거리 분해능은 0.25s, 5m 이하가 되어야 한다.

(다) DAU

○ DPU의 데이터를 분석하여 해당 선로에 대한 절손 상태를 추정하고 검지한다. DPU에 수집된 데이터에 대한 접근은 이더넷 네트워크의 서버-클라이언트 모델로 수행한다. 알고리즘 개발을 위한 데이터 분석 과정과 결과를 모니터에 표시하며 레일절손 상태

판별을 위한 선로의 거리별, 열차별 기준값 데이터베이스 구축 및 관리도 수행한다.

(라) IFU

○ 레일절손 검지 결과를 열차제어시스템의 신호장치에 전달하기 위한 인터페이스 역할을 담당한다. 열차제어시스템에서는 연동장치가 이러한 인터페이스를 담당하며 이더넷 등 연동장치와의 직접 인터페이스가 마련되면 IFU는 연동장치와 직접 접속된다. 타 기관과 인터페이스 대상과 방식에 대한 협의가 필요한 관계로 본 과업에서는 IFU의 상세설계를 목표로 삼는다.

(마) PDU

○ 각 장치에 전원 공급을 담당한다. 또한, PDU는 갑작스러운 정전에 대비하여 일정 시간(약 30분) 전원을 유지할 수 있도록 무정전전원 공급장치를 포함하고 있어야 한다.

(2) 시스템 요구사항

(가) IGU 요구사항

○ IGU의 요구사항은 다음 표와 같다.

표 29. IGU 요구사항 목록

요구사항 ID	요구사항
DBRD-IGU-FN-001	IGU는 광케이블에 탐지 신호를 보내고 반사파형을 받아 시간 및 거리에 따른 진동 정보가 있는 Phase를 추출하여 추출한 Phase를 전송하여야 한다.
DBRD-IGU-FN-002	IGU는 광케이블에 이벤트 발생 시 광케이블에서 변형된 신호 위치 및 시간을 감지하여야 한다.
DBRD-IGU-FN-003	IGU는 DPU로부터 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spacial Sampling, Gauge Length)를 수신하여야 한다.
DBRD-IGU-FN-004	IGU는 수신된 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spatial Sampling, Gauge Length)에 따라 광케이블 데이터를 측정하여야 한다.

(나) DPU 요구사항

○ DPU의 요구사항은 다음 표와 같다.

표 30. DPU 요구사항 목록

요구사항 ID	요구사항
DBRD-DPU-FN-001	DPU는 IGU로부터 Phase를 전송받아 Phase를 Digital 처리하여 시간 및 거리에 따른 진동 정보를 구하여야 한다.
DBRD-DPU-FN-002	DPU는 시간 및 거리에 따른 진동 정보에 대하여 FFT를 수행하여 1s ±0.1s 주기로 FBE(Frequency Band Energy)를 구하여야 한다.
DBRD-DPU-FN-003	DPU는 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spatial Sampling, Gauge Length)를 설정하여야 한다.

(다) DAU 요구사항

○ DAU의 요구사항은 다음 표와 같다.

표 31. DAU 요구사항 목록

요구사항 ID	요구사항
DBRD-DAU-FN-001	DAU는 EIS로부터 1s ±0.1s의 주기로 아래의 필요 정보를 수신하면 EIS로 ACK 또는 NAK를 송신하여야 한다. - 필요 정보: 초기 Paring, Master Clock, 전체 업데이트 표시정보, Polling 메시지, ACK/NAK, 업데이트 표시정보
DBRD-DAU-FN-002	DAU는 필요 시 DPU로부터 시간 및 거리에 따른 진동 정보와 FBE(Frequency Band Energy) 데이터를 수신하고 분석하여 레일 절손 여부를 판별하여야 한다.
DBRD-DAU-FN-003	DAU는 1s ±0.1s의 주기로 DRBD의 상태정보(M_DRBD), 절손 위치 반복 수(k)(N_COUNT), 절손위치정보를 EIS로 전송하여야 한다.
DBRD-DAU-FN-004	DAU는 Polling 메시지의 오류를 판단하여 오류 검지 시 EIS로 NAK를 송신하여야 한다.
DBRD-DAU-FN-005	DAU의 Configurator는 DPU로부터 Phase Data, FBE Data, 알람 Data를 받아서 Waterfall Diagram, FBE Diagram으로 구현하고 데이터베이스에 이를 저장하여야 한다.
DBRD-DAU-FN-006	DAU는 저장된 데이터베이스로부터 알람 Data(시간, 위치, 종류)를 읽어들여 DBRD GUI SW에 표시하여야 한다.
DBRD-DAU-FN-007	DAU는 DAS Configurator를 구동하여 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spacial Sampling, Gauge Length)를 변경할 수 있어야 한다.
DBRD-DAU-FN-008	DAU는 DAS Configurator를 구동하여 IGU 상태를 표현하여야 한다.

(라) IFU 요구사항

○ IFU의 요구사항은 다음 표와 같다.

표 32. IGU 요구사항 목록

요구사항 ID	요구사항
DBRD-IFU-FN-001	IFU는 EIS로부터 기차 트랙킹 정보를 수신하여 DAU로 송신하여야 한다.
DBRD-IFU-FN-003	IFU는 DAU로부터 수신한 DBRD 알람 발생 정보를 EIS 시스템에 송신하여야 한다.

(마) PDU 요구사항

○ PDU의 요구사항은 다음 표와 같다.

표 33. PDU 요구사항 목록

요구사항 ID	요구사항
DBRD-PDU-FN-001	PDU는 AC220V를 공급받아 IGU, DPU, DAU 장치로 AC220V를 공급하여야 한다.
DBRD-PDU-FN-001	PDU는 AC220V 공급이 중단될 경우 30분 이상 IGU, DPU, DAU로 AC220V를 공급하여야 한다.

(바) DBRD 주요 요구사항과 그 근거

○ DBRD의 주요 요구사항은 레일파손 및 절손 위치 검지 오차 PDU의 요구사항은 레일파손 및 절손 위치 검지 오차 ±100m 이내, 레일상태정보 전송 주기 1초 임

○ 과제 기획 시(무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 기획) 오차를 100m로 제안함

성능요구사항	- 레일 파손 및 절손 위치 검지오차 : 100m 이내(일반철도 선로변에 설치하는 키로정 표기간격 200m의 중간값으로 설정하였으며, 개발규격서 작성 시 조정 필요) - 레일무결성상태정보 주기 전송 : 1초(개발규격서 작성 시 조정 필요)

○ 근거는 킬로정의 1/2 거리, 연동장치에서 처리하기 위한 시간 기준임

○ 요구사항을 만족하기 위하여 각 구성품별로 요구사항이 수립되어 있으며 특히 (다) DAU 요구사항에 기술되어 있음

(3) DBRD 인터페이스 정보 개요

(가) DBRD 시스템의 인터페이스 개요 정보

○ DBRD 시스템의 인터페이스 정보는 다음 표와 같다.

표 34. DBRD System Inferface Data

Category / From	TO	DBRD System						External system	
		IGU	DPU	DAU	IFU	Mon	PDU	EIS	Power
DRBD System	IGU	N/A	진동 정보 Phase(analog)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	DPU	N/A	N/A	시간 및 거리에 따른 진동 정보, FBE	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	DAU	N/A	N/A	N/A	알람 데이터 정보	표시 정보	N/A	N/A	N/A
	IFU	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	DBRD /Tracking 정보	N/A
	PDU	AC 220V	AC 220V	AC 220V	AC 220V	AC 220V	N/A	N/A	N/A
External System	EIS	N/A	N/A	N/A	DBRD /Tracking 정보	N/A	N/A	N/A	N/A
	Power	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	AC 220V	N/A	N/A

(나) DBRD 시스템의 내부/외부 인터페이스 정보

○ DBRD 시스템의 내부 및 인터페이스 정보는 다음 표와 같다.

표 35. DBRD System Internal/External Interface

Category	DBRD System	Interface Sub-system	Communication Direction	Data
Internal Interface	IGU	DPU	양방향	진동 정보 Phase(analog)
	DPU	DAU	단방향	시간 및 거리에 따른 진동 정보, FBE
	DAU	EIS	양방향	N/A
		Mon	단방향	표시정보
	IFU	EIS	단방향	DBRD/Tracking 정보
	PDU	IGU	단방향	AC220V
		DPU	단방향	AC220V
		DAU	단방향	AC220V
External Interface	EIS	DPU	양방향	N/A
		IFU	양방향	열차 tracking 정보, DBRD 정보
	Power	PDU	단방향	전원공급

다. 레일절손 검지장치 설계

(1) DBRD 시스템 설계

○ DBRD 시스템 설계를 위한 Interface 흐름도는 다음 그림과 같다.

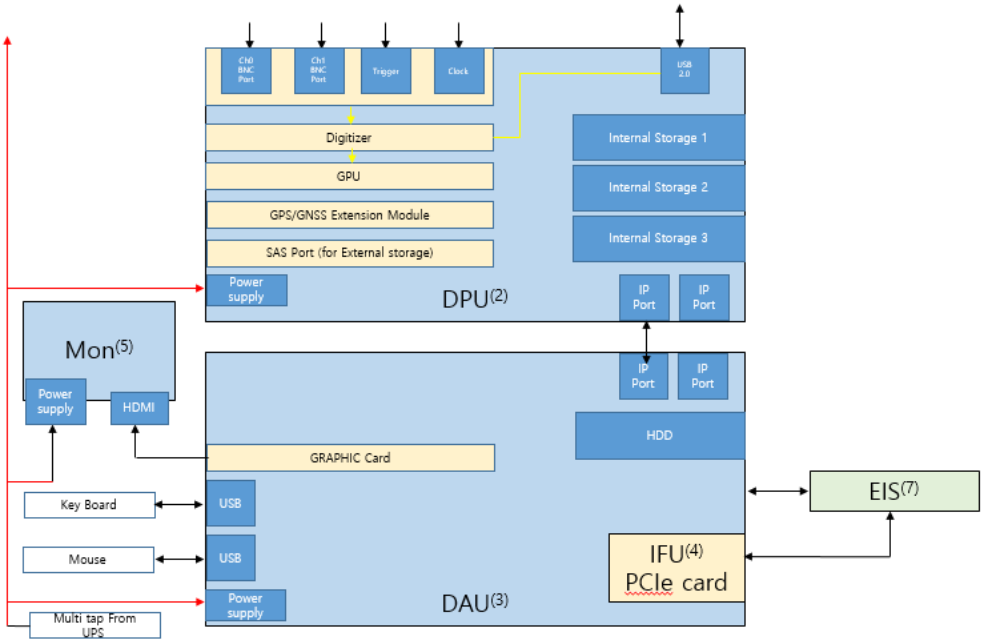


그림 83. DBRD Interface 흐름도

(가) IGU 및 DPU 설계

① IGU 및 DPU 구조

○ IGU 및 DPU 하드웨어를 구성하는 COTS를 사용하며 내부 구성과 연결은 다음 그림과 같다.

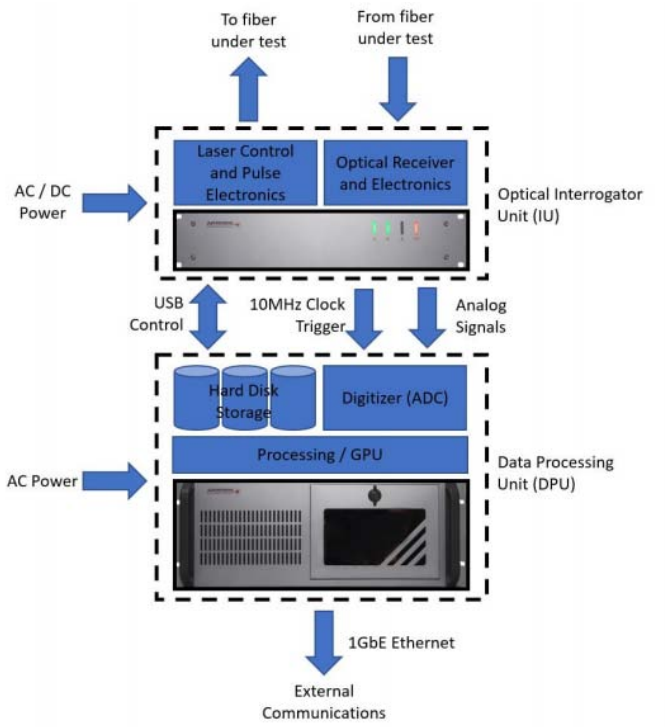


그림 84. DAS N52(IGU 및 DPU) 구조 및 인터페이스

② IGU 및 DPU 사양

○ IGU 및 DPU 하드웨어를 구성하는 DAS N52의 사양은 다음 표와 같다.

표 36. DAS N52-Series

N5200A Distributied Acoustic Sensing(1550 nm)			
Insturment Option	R20	R50	R70
Distance Range	20 km	50 km	70 km
Output Spatial Sampling Interval	1.25 m, 2.5 m, 5 m		
Spatial resolution (Gauge Length)	5 m, 10 m, 20 m, 40 m		
Acoustic Sampling rate	1 kHz, 2kHz, 2.5kHz, 5kHz, 10 kHz, 20 kHz		
Optical channels	1 (C01), 2(C02), 4(C04) and 8(C09)		
Laser class	Class 1 laser product		

표 37. DAS N52-Series Interface

Interfaces	
Optical Connector/Fiber	E2000 APC 8*angled, 9/125 ㎛ single mode
User Interface	Windows based DAS Configurator, SmartVision (optional) 4 LEDs for power, laser on, fault and alarm
Computer Interface	2 * Ethrnet(GbE), 4 * USB 3.0
Data Storage Capacity	Internal RAID (24TB), External RAID up to 96TB (N5010A)
File formats	HDF5

표 38. DAS N52-Series Housing, Power and Environmental

Housing, Power and Environmental		
	IGU	DPU
Housing	19“ rack, 2HU	19“ rack, 4HU
Input Voltage	10...30V DC	100...240V, 50...60Hz AC
Power Consumption	44W	Operating typ. 250W, Idle 170W
Operating Temperature range	0℃ to 40℃(standard), 0℃ to 50℃(on request)	
Storage Temperature range	-20℃ to 60℃	
Operating Humidity range	5 to 95% r.h. non-condensing	
Dimensions (H x W x D)	88 * 483 * 370㎜	177 x 427 x 451mm
Weight	7 kg	19kg

③ IGU 및 DPU Configurator SW

○ DAS Configurator 소프트웨어는 DAS Congifurator 소프트웨어 데이터를 저장하기하고, 그래프를 분석하기 위한 프로그램이다. DAS Configurator Client 소프트웨어를 별도의 컴퓨터에 설치해야 한다. DAS Configurator Client 소프트웨어를 설치하기 위한 운영체제 및 하드웨어 요구사항은 다음 표와 같다.

표 39. DAS Configurator 요구사항

Minimum Requirements	Recommended Requirement
Intel Core i5 (2013+) 8GB RAM 500GB HDD 17” Screen	Intel Core i5 (2015+) 16GB RAM 500GB SSD 19” Screen
Operating System: Windows 7, 8, 10	
Communication Interfaces: TCP/IP	

○ DAS Configurator Client 소프트웨어는 아래와 같은 그래프를 구성하며, 별도의 컴퓨터에 설치가 가능하고 분석모드와 라이브모드 2가지를 가진다. 분석모드는 DAS 시스템에 의해 기록된 데이터를 시각화하고 분석한다. 반면, 컴퓨터가 DAS 시스템의 서버에 연결되어 있지 않으면 라이브모드가 작동되지 않는다.

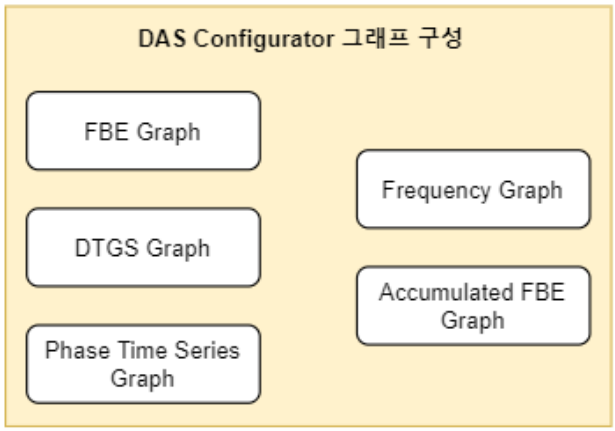


그림 85. Client Configurator 구성

(나) DAU 설계

① DAU 설계

○ DAU는 COTS를 사용하므로 상세 내부 구조를 별도로 설계하지 않는다

② DAU 사양

○ DAU 하드웨어 사양은 아래와 같다.

표 40. DAU 사양

PC 사양	
Model	HP Z4 G3 Pike WKS
Memory	8GB DDR4 2666 DIMM ECC Registered Memory
Storage	HP 2TB SATA 6Gb/s 7200
ODD	9.5 ㎜ DVD-Writer 1st ODD
OS	Windows 10 pro 64 Workstation KOR

(다) IFU 설계

① IFU 구조 및 흐름도

○ 신호기계실에 설치된 이중계의 전자연동장치는 단일계 DBRD와 연계된다. 전자연동장치와 DBRD 간 인터페이스는 별도의 통신망을 사용하여 연계된다.

○ DBRD는 전자연동장치로 레일절손 관련 절손된 위치정보와 절손 종류를 전송하며, 전자연동장치로부터 진로, 가상 블럭, 가상신호기, 선로전환기 정보등의 상태정보를 수신하여 레일절손을 판별하는데 활용한다.

○ EIS/DBRD 장치는 서로 연결된 포트를 통해 송수신 전문을 통신한다. EIS에서 최초 페어링과 마스터 클럭 메시지를 전송한 후 DBRD가 ACK를 응답함으로써 상태정보를 교환할 준비가 이루어진다. EIS는 주계 시스템에서만 실 데이터를 송신하고 부계인 시스템에서는 수신만 하며 EIS가 현재 상태 정보를 DBRD에 전송하면 DBRD는 ACK 메시지를 송신하고 레일절손 검지 정보를 EIS로 송신한다. 주계 EIS는 레일절손 검지 정보에 대해 ACK로 응답한다. DBRD가 수신한 메시지에 오류가 있으면 NAK로 응답한다. (페어링 및 마스터 클럭 포함)

○ IFU 구조 및 흐름도는 아래와 같다.



그림 86. IFU 구조 및 흐름도

ㅇ IFU 프로그램은 다음과 같이 6단계의 과정을 거쳐서 처리된다.

[1 단계]: 최초 EIS에서 초기 Paring을 요청한다.

[2 단계]: DBRD에서 초기 Paring을 수신하면 ACK 또는 NAK로 응답한다.

[3 단계]: EIS가 DBRD에서 ACK를 수신하면 Master Clock을 전송한다.

[4 단계]: DBRD에서 Master Clock을 수신하면 ACK 또는 NAK로 응답한다.

[5 단계]: EIS는 Master Clock 메시지에 대한 ACK 응답을 받은 이후 전체 업데이트 표시정보 메시지를 송신한다.

[6 단계]: DBRD는 EIS의 전체 업데이트 표시정보 메시지를 수신하면 ACK 또는 NAK 로 응답한다.

② IFU 사양

ㅇ 인터페이스를 위한 정보전송 방향, 통신 회선수, 커넥터 단자, 통신프로토콜, 물리적 연결, 전송주기에 따른 필요 사양은 아래와 같다.

표 41. 인터페이스를 위한 필요사양

순번	구분	사양(안)
1	정보전송방향	양방향(EIS↔DBRD)
2	통신 회선수	1회선/ 1채널
3	물리적연결	Ethernet10/100Base-T
4	커넥터단자	RJ45→RJ45(EIS→DBRD)
5	통신프로토콜	UDP/IPUnicast
6	전송주기	1±0.1s (레일절손정보 전송주기에 대해서는 사용자 운용시 선택 가능)

(라) Monitor 설계

① Monitor 구조

ㅇ Monitor는 COTS를 사용하므로 상세 내부 구조를 별도로 설계하지 않는다.

② Monitor 사양

ㅇ Monitor의 하드웨어 사양은 다음 표와 같다.

표 42. Monitor 사양

Monitor 사양	
Model	23MP57HQ
Panel	LED/IPS
Native Resolution	1920 * 1080
Response Time	5ms

(마) PDU 설계

① PDU 구조

ㅇ PDU는 COTS를 사용하므로 상세 내부 구조를 별도로 설계하지 않는다.

② PDU 사양

ㅇ PDU는 최소 522W 이상의 성능을 가져야 안정적인 전원 공급을 할 수 있으며, 상세 사양은 하드웨어 사양은 다음 표와 같다.

표 43. PDU 사양

PDU	
전력 용량	600W/1000VA
명목 출력 전압 / 명목 입력 전압	230V / 230V
출력 주파수 / 입력 주파수	47 ~ 63Hz / 50 /60Hz ± 3Hz
출력 파형	Pure Sine Wave
출력 콘센트 유형 / 입력 콘센트 유형	IEC 320 C 13 + IEC Jumpers / IEC 320 C14
상용 전원 작동시 입력 전압 범위 (최대 조정가능 범위)	189 ~ 287V (170 ~ 300V)
배터리 유형	무보수성 밀폐형 납축전지: 누액 방지
과전압 보호 및 필터링	전시간에 걸친 다극 노이즈 필터링: 0.3% IEEE 서지 통과 제로 클램핑 반응 시간

(바) DBRD GUI SW

ㅇ DAS Configurator에서 발생된 알람은 데이터베이스에 저장되어, DBRD GUI프로그램에 연결된다. DBRD GUI프로그램은 알람 발생 후 알람관련 정보를 보여주는 소프트웨어이다. 프로그램의 구성은 크게 알람 요약, 알람 이력, 설정으로 구분된다. 알람 이력에서는 알람 로그리스트인 위치, 시간, 알람 타입의 값을 표현하며, 설정은 광거리와 랜드마크 등과 같은 설정을 할 수 있다.

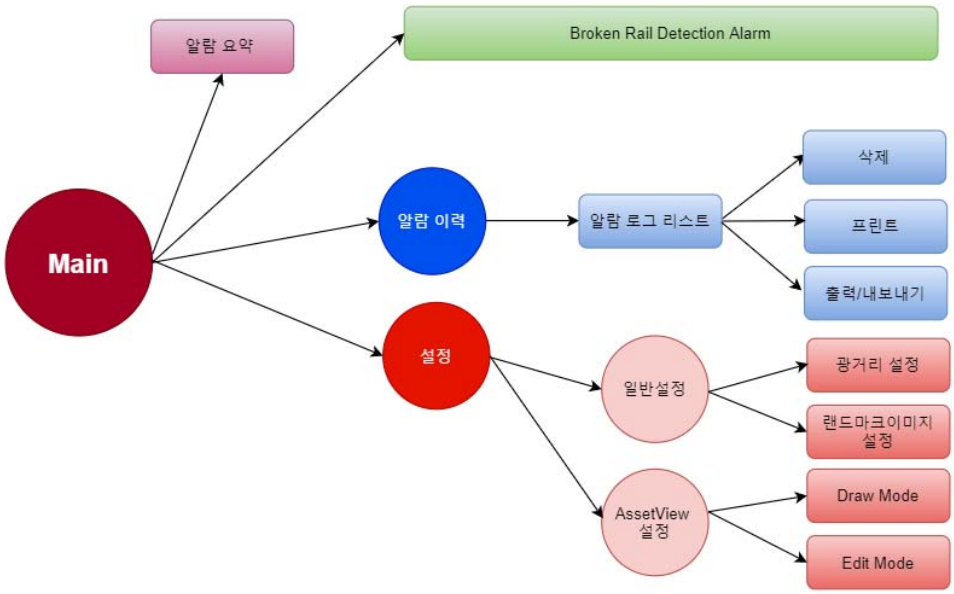


그림 87. DBRD GUI SW 구성도

① 화면 구성

ㅇ 화면 구성은 아래와 같다.

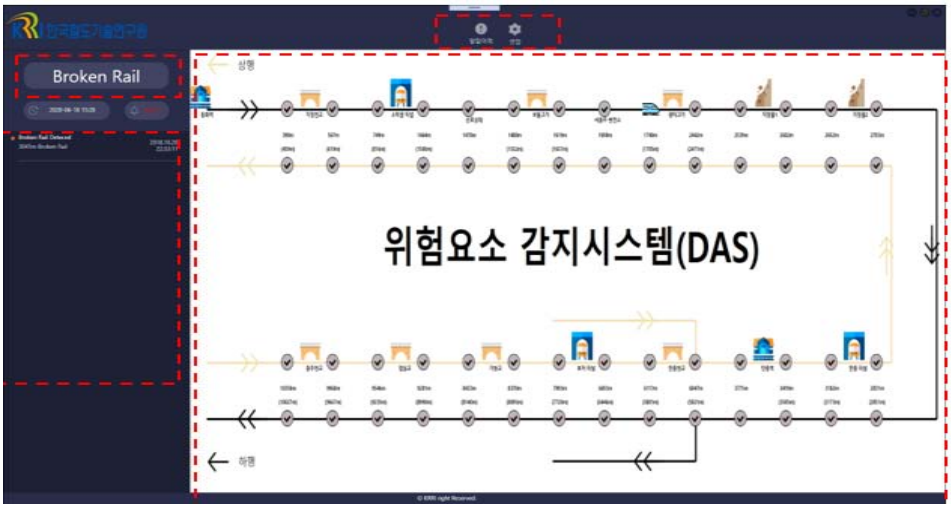


그림 88. 화면 구성

㉮ 알람 아이콘

㉯ 알림 요약리스트

㉰ 메뉴버튼(알람 이력/설정)

㉱ 메인 뷰(Asset View)

② Main View

ㅇ Main View 구성은 아래와 같다.

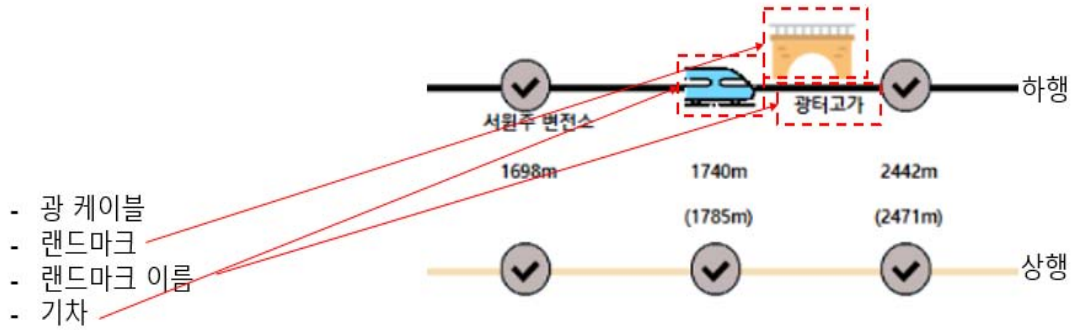


그림 89. Main View

③ 알람

㉮ 알람 발생시 On/OFF기능

㉯ 알람 발생시 popup창으로 생성

- 알람 위치
- 알림 종류
- 알림 시간

④ 알람 요약정리

알람 발생은 아래와 같이 생성된다.

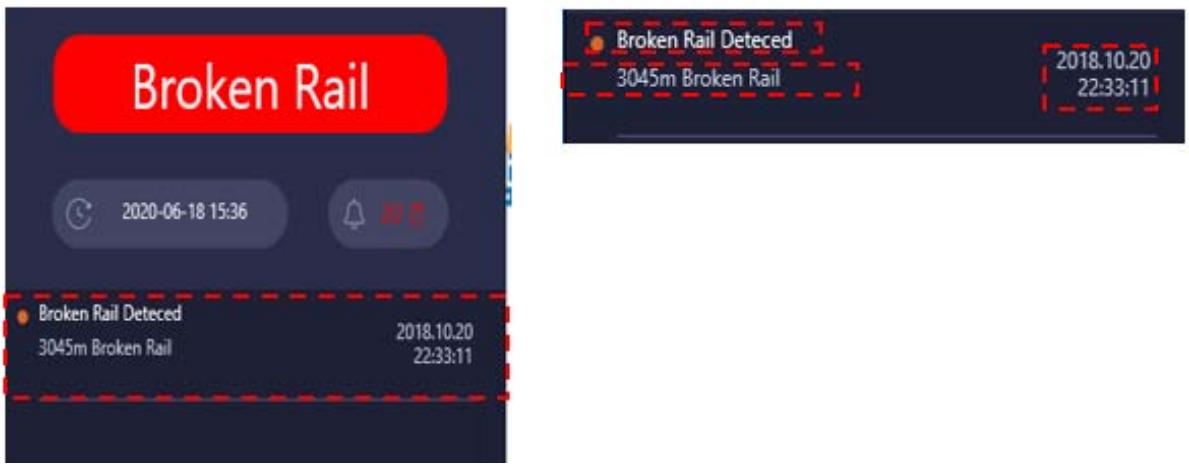


그림 90. 알람 발생

㉮ 가장 최근 알람 요약정리 리스트

- 알람 종류
- 알람 내용
- 알람 시간

㉯ 알람 기록리스트

- 리스트 검색
- 리스트 삭제
- 리스트 출력
- 리스트 내보내기(Export)

⑤ 설정

㉮ 일반설정

- 광거리 설정 : 랜드마크의 광거리 설정
- 랜드마크 이미지 설정: AssetView에서 사용될 종류별로 이미지 설정 가능

㉯ 사용자 설정

- Admin/User

(i) User

- 셋업을 제외한 모든 기능 설정 가능

(ii) Admin

- 셋업을 포함한 모든 기능 설정 가능

⑥ 모드

㉮ DrawMode: 광케이블이 위치(Circuit)하는 GUI를 그려준다.

㉯ EditMode : 광케이블과 셋업데이터를 matching한다.

(2) 레일절손 검지 알고리즘 설계 및 구현

ㅇ 본 알고리즘은 레일절손이 발생하였을 때 열차가 그 부위로 접근 시 열차의 위치와 레일절손이 발생한 위치 모두에 추가 진동이 발생하는 점을 이용하여 레일절손 여부를 판별하는 것이다.

ㅇ 레일절손이 발생하였을 경우 열차 위치에 따른 절손 위치에서의 주파수별 진동데이터는 다음과 같다. 이를 위해 절손지점 x를 기준으로 열차의 위치와 DAS 시스템을 이용한 진동측정 지점을 다음 그림과 같이 구분하였다.

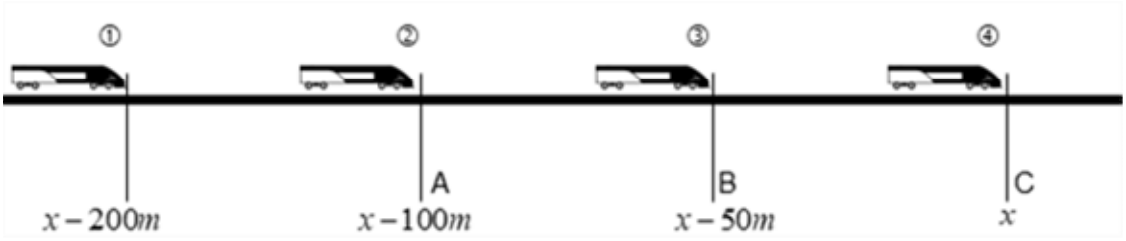


그림 91. 절손지점 x를 기준으로 열차의 위치(①, ②, ③, ④)와 진동측정 지점(A, B, C)

○ 열차가 레일절손 부위 위를 지나기 전부터 근접해 옴에 따라 50~100Hz 대역의 진동이 증가함을 확인할 수 있다. 특히 열차가 절손 전 50m 지점에 있을 때 50~100Hz 대역에서 골고루 진동이 증가하다가 절손 지점을 지날 때에는 50Hz의 진동의 크기가 증가한다.

○ 이 특성을 이용하면 특정 지점과 그 지점을 향해 가는 열차의 위치에서의 진동값에서 주파수 50~100Hz의 크기가 증가하는 경우 레일절손이 일어났을 확률이 높다고 볼 수 있다. 이는 다음 그림과 같이 절손이 일어난 경우 열차 운행으로 인하여 절손 부위에서의 레일 간 마찰로 인하여 진동이 발생하며 또한 레일의 고정이 약화된 관계로 열차가 그 부위에 접근할 때 진동이 커지게 되는 것이다.

○ 측정된 레일절손 시의 진동특성을 이용하여 레일절손 여부를 판별하는 방법을 순서도로 정리하면 다음과 같다.

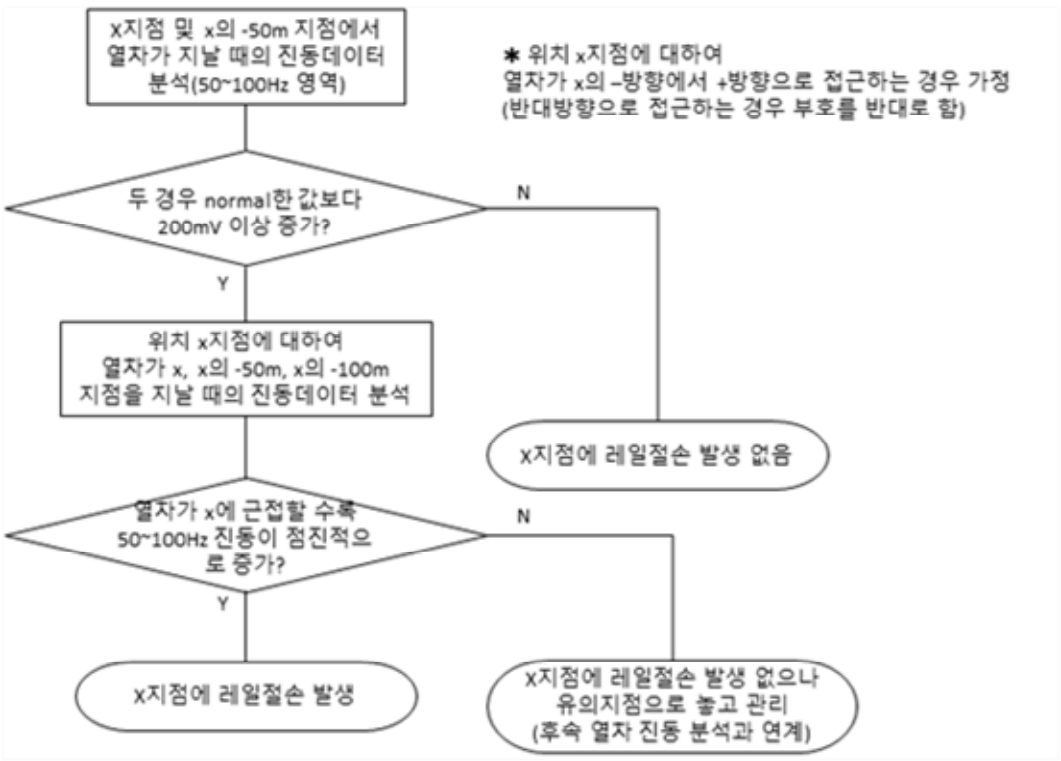


그림 92. 레일절손 여부 판별 순서도

라. 레일절손 검지장치 제작

ㅇ 제작된 장치의 형상은 다음과 같다.



그림 93. 레일절손 검지장치 형상

마. 레일절손 검지장치 신뢰성 분석

(1) RBD(Reliability Block Diagram)

(가) 직렬구조 RBD

ㅇ 직렬구조는 모든 컴포넌트가 하나의 시스템 내에서 서로 의존하는 구조로써, 각 컴포넌트는 설계된 기능을 수행하기 위해 하나의 시스템 내에서 운행된다. 이는 한 시스템 내에서 직렬 연결된 컴포넌트 중 하나에 fail이 발생할 경우, 전체 시스템 fail이 초래됨을 의미한다.

ㅇ 직렬구조는 다음 그림과 같다.

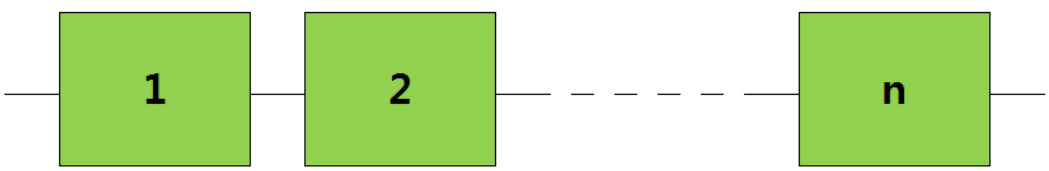


그림 94. 직렬구조 RBD

○ 직렬구조의 경우, 전체 고장률 합(λ_{Total})은 각 컴포넌트 고장률의 합으로 계산된다. 고장률은 아이템의 명시된 수명 기간동안 관찰한 시간에 대한 고장 횟수의 비율을 의미한다.

$$\lambda_{Total} = \lambda_1 + \lambda_2 + ... + \lambda_n$$

○ MTBF는 수리 및 서비스로 반환될 장비에 사용하는 척도이다. 일정한 고장률을 가정한 '유효 수명 시간' 동안 MTBF는 고장률의 역수이며, 용어를 서로 바꾸어 사용할 수 있다. 전체 MTBF($MTBF_{Total}$)는 전체 고장률의 역수로 계산된다.

$$MTBF_{Total} = \frac{1}{\lambda_{Total}}$$

(나) LRU(Line Replaceable Unit) 수준의 RBD

○ DBRD 시스템은 DAS N52(IGU 및 DPU)·DAU·IFU·Monitor 및 PDU가 모두 직렬구조(Series Configuration)로 구성되어 있으므로 단일 구성품에 발생하는 fail이 전체 시스템 fail을 야기할 수 있다. LRU 수준의 RBD는 다음 그림과 같다.



그림 95. LRU 수준의 RBD

○ RBD에 대한 설명은 다음 그림과 같다.

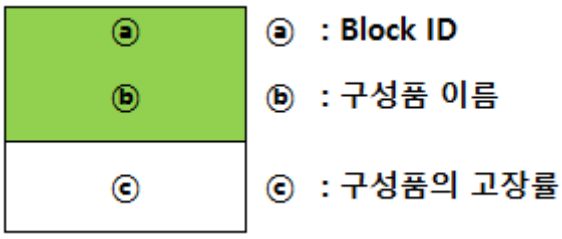


그림 96. RBD 설명

(2) 신뢰도

(가) 적용 기준

표 44. 신뢰도 데이터 출처

구성품 ID	구성품 명	MTBF 산정
RBD-001	IGU	AP Sensing에서 제시하는 MTBF 데이터 인용. 'DAS N52A MTBF'[16]
RBD-002	DPU	AP Sensing에서 제시하는 MTBF 데이터 인용. 'DAS N52A MTBF'[16]
RBD-003	DAU	일반 산업용 PC에 대한 MTBF 데이터 인용. 'BR-TR-332'[17]
RBD-004	IFU	CONTEC에서 제시하는 MTBF 데이터 인용. 'IFU MTBF'[18]
RBD-005	Monitor	동일 제조사인 LG에서 제작된 비슷한 모델(M3800)에 대한 MTBF 인용. 'LG M3800 spec'[19]
RBD-006	PDU	동일 제조사인 APC에서 제작된 비슷한 모델 (SURT1000XLI)에 대한 MTBF 인용. 'SURT1000XLI Information'[20]

ㅇ 각 구성품의 신뢰도 예측을 위한 MTBF 산정은 다음과 같다.

(나) 분석 절차

ㅇ 각 구성품의 신뢰성 분석은 다음과 같은 절차로 수행된다.

① DBRD 시스템 구성품 목록 정의

: DBRD 시스템을 구성하는 구성품의 목록을 정의한다.

② DBRD 시스템 구성품의 LRU 수준의 RBD 구성

: DBRD 시스템 구성품의 LRU 수준의 RBD를 구성하여 연결 구조를 확인한다.

③ DBRD 시스템 구성품의 고장률 및 MTBF를 이용한 신뢰도 예측

: DBRD 시스템 구성품의 고장률 및 MTBF를 이용하여 신뢰도를 예측한다. 고장률 및 MTBF는 제조사에서 제시하는 MTBF 데이터를 인용한다.

④ DBRD 시스템의 전체 고장률 및 MTBF 계산

: ③ 항목에서 구해진 각 구성품의 고장률 및 MTBF를 이용하여 DBRD 시스템의 전체 고장률 및 MTBF를 계산한다.

(다) IGU의 고장률 및 MTBF

ㅇ IGU는 DAS N52를 구성하는 구성품이고 DAS N52 제조사인 AP Sensing에서 제시하는 MTBF 데

이터가 있으므로 해당 데이터 'DAS N52A MTBF' [16]를 인용한다.

○ λ_{IGU} = 7.7220E-06 [/h]

○ $MTBF_{IGU}$ = 129,500 [h]

(라) DPU의 고장률 및 MTBF

○ DPU는 DAS N52를 구성하는 구성품이고 DAS N52 제조사인 AP Sensing에서 제시하는 MTBF 데이터가 있으므로 해당 데이터 'DAS N52A MTBF' [16]를 인용한다.

○ λ_{DPU} = 4.17170-E05 [/h]

○ $MTBF_{DPU}$ = 21,200[h]

(마) DAU의 고장률 및 MTBF

○ DAU의 MTBF는 일반적인 산업용 PC에 대한 MTBF 데이터 'BR-TR-332' [17]로 가정한다.

λ_{total} = 2.00000E-05

$MTBF_{total}$ = 50,000hrs

(바) IFU의 고장률 및 MTBF

○ IFU의 MTBF는 제조사인 CONTEC에서 제시하는 MTBF 데이터를 인용한다.

λ_{total} = 4.16051E-06

$MTBF_{total}$ = 240,355 hrs

(사) Monitor의 고장률 및 MTBF

○ Monitor의 MTBF는 23MP57HQ와 같은 제조사인 LG 전자에서 제작된 M3800 모델의 MTBF 'LG 전자 M3800 spec' [19]을 Monitor의 MTBF로 가정한다.

λ_{total} = 2.00000E-05

$MTBF_{total}$ = 50,000 hrs

(아) PDU의 고장률 및 MTBF

○ PDU의 MTBF는 SCM1000I-2U와 같은 제조사에서 제작된 SURT1000XLI 모델의 MTBF를 PDU의 MTBF로 가정한다.

λ_{total} = 7.4663E-06

$MTBF_{total}$ = 133,935 hrs

(자) DBRD 시스템 전체 고장률 및 MTBF

○ (다)~(아)에서 기술한 각 구성품별 고장률 및 MTBF에 따라 직렬구조로 구성된 DBRD 시스템 전체 고장률 및 MTBF는 다음과 같이 도출된다.

○ λ_{DBRD} = 1.0652E-04 [/h]

○ $MTBF_{DBRD}$ = 9,388 [h] = 1.0717 [year]

○ 추후, DBRD 시스템의 DPU를 병렬구조로 구성한다면 DBRD 시스템의 전체 고장률 및 전체 MTBF은 다음과 같이 예측될 수 있다.

○ λ_{DBRD} = 5.9351E-05 [/h]

○ $MTBF_{DBRD}$ = 16,849[h] = 1.9234 [year]

(3) 유지보수도(MTTR)

○ 유지보수도의 측도인 MTTR은 평균 수리 시간으로 전체 유지보수 시간을 전체 유지보수 횟수로 나눈 시간이다. MTTR에 대한 평가는 'MIL-HDBK-472' [21]를 기반으로 수행한다. 시스템의 계층 구조를 기반으로 LRU 수준의 MTTR을 각각 평가하고 상위 수준의 MTTR은 'MIL-HDBK-472' [21]에서 제시하고 있는 아래의 수식을 적용하여 분석한다.

○ $$MTTR_{total} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\lambda_i \times MTTR_i)}{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}$$

○ MTTR 평가를 위한 요소 및 각 요소에 대한 설명은 다음과 같다.

표 45. MTTR 요소 설명

MTTR 요소	정의	적용 조건
Preparation	Fault Isolation을 실행하기 전에 수행해야하는 작업과 관련된 시간	유지보수자가 교체 가능한 품목을 미리 갖고 있으며, Fault가 있는 아이템을 격리할 준비가 되어 있음. 따라서 Preparation 시간은 0
Fault Isolation	Fault 수정이 시작되는 시간 및 Fault를 격리하는데 필요한 작업과 관련된 시간	Fault가 있는 항목을 제거하는 시간
Disassembly	Fault Isolation 절차 중 식별된 교체 가능한 품목에 대한 접근 권한을 얻는 데 걸리는 시간	Fault가 있는 품목은 시스템에서 직접 제거 가능. 따라서 Isolation 시간은 0
Interchange	Fault가 있는 교체 가능 품목 또는 Fault가 있는 것으로 의심되는 품목의 제거 및 교체와 관련된 시간	Fault가 있는 품목을 새 항목으로 교체하는 시간
Reassembly	Interchange가 수행된 후, 장비 폐쇄(Closing up)와 관련된 시간	Interchange 이후에는 폐쇄(Closing up) 시간이 없으므로 Reassembly 시간은 0
Alignment	Fault가 수정된 후 시스템 또는 교체 가능한 항목 Alignment와 관련된 시간	Alignment 시간은 0. Interchange 후 시스템을 재부팅
Checkout	Fault가 수정되었고 시스템이 작동 중인 것인지를 확인하는 활동과 관련된 시간	Fault가 수정되었는지를 확인하는 시간. 확인은 start-up 후 수행. 따라서 Checkout 및 Start-up 시간이 함께 평가됨
Start-Up	Failure가 수정되고 시스템의 작동 상태가 확인되면, 시스템을 Failure 이전의 작동 상태로 만드는데 걸리는 시간	

○ 상단의 표에 정의된 유지보수도 요소를 기반으로 DBRD 시스템에 대한 MTTR을 산정한 결과는 하단의 표와 같으며, 유지보수 시 각 구성품의 모두 예비품이 준비된 상태를 가정으로 계산되었다.

표 46. MTTR 산정 결과

항목	수량	Average Corrective Maintenance Task Time (h)							MTTR(h)
		Preparation	Fault Isolation	Disassembly	Interchange	Reassembly	Alignment	Checkout and Start UP	
IGU	1	0	0.15	0.1	0.1	0	0	0.15	0.5

DPU	1	0	0.15	0.1	0.1	0	0	0.15	0.5
DAU	1	0	0.15	0.1	0.1	0	0	0.15	0.5
IFU	1	0	0.15	0.15	0.1	0	0	0.15	0.55
Monitor	1	0	0.15	0.1	0.1	0	0	0.15	0.5
PDU	1	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0.15	0.45
$MTTR_{DBRD}$(DBRD System Total MTTR)									0.5

(4) 가용도

○ 본 단계에서 수행하는 가용도 예측은 정상상태 가용도(Steady-state Availability)를 말한다. 가용도를 예측하는 수식은 다음과 같으며, 'Reliability Prediction Basic' [22]를 참조한다.

○ $A_{Steady-state} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$

○ MTBF에 대한 분석은 신뢰도 예측 결과를 이용하며, MTTR은 유지보수도 예측 결과를 이용한다.

○ 직렬구조로 구성된 DBRD 시스템의 신뢰도 및 유지보수도는 5절 및 6절에서 모두 예측되었으며, 이를 공식에 대입하면 다음과 같이 가용도를 예측할 수 있다.

○ $A_{DBRD} = \frac{MTBF_{DBRD}}{MTBF_{DBRD} + MTTR_{DBRD}} = 99.995\%$

○ 추후, DBRD 시스템의 DPU를 병렬구조로 구성한다면 DBRD 시스템의 신뢰도 및 유지보수도는 다음과 같이 가용도로 예측될 수 있다.

○ $A_{DBRD} = \frac{MTBF_{DBRD}}{MTBF_{DBRD} + MTTR_{DBRD}} = 99.997\%$

(5) RAM 분석 결과

○ DBRD 시스템의 모든 구성품이 직렬구조로 구성된 DBRD 시스템의 MTBF, MTTR 및 Availability 예측값은 다음과 같다.

표 47. RAM 분석 결과

구분	Predicted Value
MTBF	9,388 [h]
MTTR	0.5 [h]
Availability	99.995[%]

바. 레일절손 검지장치 시험

(1) 환경시험 절차

ㅇ 레일절손 검지장치의 동작 안정성 확인을 위해 환경시험을 실시하였으며 절차는 다음과 같다.

(가) 기본 시험 절차

① 본 시험은 모든 환경시험 항목에서 DBRD의 정상 동작을 확인하기 위한 시험이다. 환경시험 각 항목 별로 챔버 내에 장치를 설치하고 외부 장치 및 케이블과 연결한 후 본 절차를 진행함으로써 시험 통과 여부를 확인한다.

② DBRD와 EISIM에 전원을 인가하여 정상적으로 부팅이 되는지 확인한다.

③ EISIM에서 유선네트워크(Ethernet)을 통해 DBRD에 접속하여 DBRD의 화면(Configurator 및 Waterfall diagram)을 확인한다. 챔버 바깥에서 DBRD의 화면 확인이 어려우면 DBRD의 모니터의 전원은 OFF하며 DBRD의 화면 확인은 생략할 수 있다.

④ 광케이블의 끝부분(DBRD에 연결되지 않은 부분)이 바닥에 위치하도록 하고 나무망치를 50cm 위의 높이에서 떨어뜨려 케이블 끝에 진동이 가해지도록 한다.

⑤ EISIM에서 접속을 통해 확인하는 DBRD의 Waterfall diagram에 진동의 위치와 크기가 표시되는지 확인하고 기록한다.

⑥ ④를 2회 더 반복한다.

⑦ Waterfall diagram에 ⑤에서 확인한 진동의 크기가 위치가 유사한지 확인한다. DAU 분석 화면에서 검지 된 위치는 1km (오차 ±100m) 이내여야 하며 진동의 크기는 3회가 유사하게 나와야 한다.

⑧ EISIM에서 USB-DIO로 특정 출력을 전달한다. (예: DO 10번째, 20번째 채널을 0 또는 1로 전달, USB-DIO 모듈에서 제공하는 프로그램 사용)

⑨ DBRD의 화면에서 PCI-DIO로 입력되는 해당 DI 정보가 ⑧에서 보낸 정보와 맞는지 확인한

다. 챔버 바깥에서 DBRD의 화면을 확인할 수 없으면 원격접속을 통해 EISIM에서 DBRD 화면을 불러옴으로써 확인한다.

⑩ DBRD는 PCI-DIO로 특정 출력을 전달한다. (예: DO 10번째, 20번째 채널을 0또는 1로 전달, PCI-DIO 모듈에서 제공하는 프로그램 사용) 챔버 바깥에서 DBRD를 직접 제어하는 것이 불가능할 경우 원격접속을 통해 EISIM에서 DBRD 제어권을 불러옴으로써 제어를 수행한다.

⑪ EISIM은 수신된 정보가 ⑩에서 보낸 정보와 일치하는지 확인한다.

(나) 저온시험

① IEC 60068-2-1 규격에 의거하여 전원 ON 상태로 0도에서 16시간을 유지한 후 0도 마지막 유지 구간에서 가.에 기술한 절차에 따라 시험을 수행한다. 시험 결과는 4장에 제시된 양식(또는 시험소나 규격에서 정해진 양식)에 따라 기록한다.

② 저온시험 전, 중, 후 전체 검사 항목 각각 1 Cycle을 수행한다.

(다) 고온시험

① IEC 60068-2-2 규격에 의거하여 전원 ON 상태로 45도에서 16시간을 유지한 후 45도 마지막 유지 구간에서 가.에 기술한 절차에 따라 시험을 수행한다. 시험 결과는 4장에 제시된 양식(또는 시험소나 규격에서 정해진 양식)에 따라 기록한다.

② 고온시험 전, 중, 후 전체 검사 항목 1 Cycle을 수행한다.

(라) 고온고습시험

① IEC 60068-2-30 규격에 의거하여 전원 ON 상태로 온도 40도, 습도 95% 2주기 유지 후 가.에 기술한 절차에 따라 시험을 수행한다. 시험 결과는 4장에 제시된 양식(또는 시험소나 규격에서 정해진 양식)에 따라 기록한다.

② 고온고습시험 전, 중, 후 전체 검사 항목 각각 1 Cycle을 수행한다.

③ 고온고습시험 후, 절연상태 이상유무를 확인한다.

(마) 온도사이클시험

① IEC 60068-2-14 규격에 의거하여 전원 ON 상태로 온도를 0도에서 45도까지 변화시켜가면서 (유지시간은 3시간) 2주기를 수행한다. 이 후 가.에 기술한 절차에 따라 시험을 수행한다. 시험 결과는 4장에 제시된 양식(또는 시험소나 규격에서 정해진 양식)에 따라 기록

한다.

② 온도사이클시험 전, 중, 후 전체 검사 항목 각각 1 Cycle을 수행한다.

(바) 전가자기 적합성 시험

① IEC 62236-4:2018 규격에 의거하여 7가지 적합성 시험을 수행한다. 가능하면 전자파 전도시험, 전자파 방사시험, 정전기 방전 내성시험, 전기자기 방사 내성시험, 전자기장 전도 내성시험, 전기적 빠른 과도현상 내성시험, 서지 내성시험의 순으로 수행하며 각각의 시험 결과에 따라 4장에 제시된 양식(또는 시험소나 규격에서 정해진 양식)에 따라 기록한다. 해당 시험 규격은 다음 표에 정리되어 있다.

② 전기자기 적합성 시험 전, 후 전체 검사 항목 각 1 Cycle을 수행한다.

③ 각 항목별 적용 규격 및 기준은 다음과 같다.

전도 시험: IEC 61000-6-4:2018

방사 시험 : IEC 61000-6-4:2018

정전기 방전 내성 시험 : IEC 61000-4-2:2008

전기자기 방사 내성 시험 : IEC 61000-4-3:2010

전자기장 전도 내성 시험 : IEC 61000-4-6:2013

전기적 빠른 과도현상 내성 시험 : IEC 61000-4-4:2012

서지 내성 시험 : IEC 61000-4-5:2014

전원 주파수 자계 내성 시험 : IEC 61000-4-8:2009

(사) 전원변동시험

① (의뢰시험) 전원을 ±20% (176~264V, 50/60Hz)로 변화시켜가면서 가. 에 기술한 절차에 따라 시험을 수행한다. 시험 결과는 4장에 제시된 양식(또는 시험소나 규격에서 정해진 양식)에 따라 기록한다.

(아) 절연/내전압 시험

① IEC 60068-2-30, 고온고습 시험 직후 절연상태의 이상유무를 위하여 DC 500V를 1분간 가하여 절연저항을 측정한다.

② 또한, AC 1500V를 1분간 가하고 절연파괴 유무를 확인한다.

(자) 기본 시험 절차

o 각 시험항목 별로 복사하여 사용한다.

o EISIM에서 아래 항목 중 각 모듈의 단자에 직접 접근이 가능하여 측정이 가능하면 측정값을 기입하고 그렇지 않을 경우 시험기에서 측정된 값을 기입한다.

○ 아래 항목 중 정상동작 여부 확인을 위해 필수적으로 확인하여야 하는 것은 회색으로 표시하였으며 나머지는 부가적인 정보를 표시한다.

○ 연속적인 동작 상태를 확인해야 하는 경우 각 모듈의 LED로 동작을 확인한다.

(2) 환경시험 결과

(가) 온도/습도 시험 결과

○ 운영 환경에 맞게 온도/습도 시험을 실시하였으며 모두 통과하였다. 주요 내용은 다음과 같다.



시 험 성 적 서

주식회사 케이 이 에스
경기도 안양시 동안구 시민대로365번길 40, 3701호 (관양동)
Tel : +82-31-425-6200
Fax : +82-31-424-0450

성적서번호: KES-RE-20T0467
페이지 1 / 26

1. 의 뢰 인
○ 기 관 명 : 한국철도기술연구원
○ 주 소 : 경기도 의왕시 철도박물관로 176 (월암동)
2. 시험대상품목
○ 제 품 명 : 레일결손 검지장치(DBRD)
○ 모 델 명 : DBRD-KRAH-01
○ 제 조 자 : 한국철도기술연구원
3. 시험기간 : 2020년 09월 15일 ~ 2020년 09월 24일
4. 시험 장소 : ☑ 고정시험실 ☐ 현장시험실
○ 주 소 : (12658) 경기도 여주시 가여로 473-21 (하거동)
5. 시험방법 : KRS SG 0067-14 : 지상 신호제어설비 시험방법
6. 시험결과 : 시험결과 참조
7. 시험성적서 용도 : 국책과제용

이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료 명에만 한정됩니다.
* 표시된 시험결과는 시험기관의 인정범위 밖의 것임을 밝힙니다.

확인	시험자	승인자 (시험책임자)
	성명 : 김 재 성	성명 : 이 강 선

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

비 고:
이 성적서는 고객이 제공한 시료 및 시료 명에 대한 시험결과이며, 홍보,선전,광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 ㈜케이 이 에스의 승인 없이 복제 및 재발급 금지하며, 원본만 유효하며, 사본 및 전자 이해될 및 스캔본은 결과치 참고용으로 사용 가능합니다.

2020 년 10 월 06 일

한국인정기구 인정 주식회사 케이 이 에스 (인)

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 진위여부 확인이 필요한 경우 shcho@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

KES-QP-7061-03 Rev. 8 KES A4



주식회사 케이 이 에스
경기도 안양시 동안구 시민대로365번길 40, 3701호 (관양동)
Tel : +82-31-425-6200
Fax : +82-31-424-0450

성적서번호: KES-RE-20T0467
페이지 2 / 26

개 정 이 력

개정	발행일	성적서 발급번호	관 련 사 항
-	2020.10.06.	KES-RE-20T0467	최초 발행

1. 시험기관
1.1. 일반현황

기 관 명	주식회사 케이 이 에스
대표이사	김 영 래
주 소	안양시험장 : 경기도 안양시 동안구 시민대로365번길 40, 3701호 (관양동) 여주시험장 : 경기도 여주시 가여로 473-21 (하거동)
전화번호	안양시험장 : 031-425-6200 여주시험장 : 031-425-6200 (내선 310 번)
팩스번호	안양시험장 : 031-424-0450 여주시험장 : 031-883-5169
E-mail	안양, 여주시험장 : kes@kes.co.kr

1.2. 시험장소

구 분	시험장소	시험부서	규 격	적용여부	비 고
여주시험장	D 동	기관산업 사업부	KRS SG 0067-14 : 지상 신호제어설비 시험방법, IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2, IEC 60068-2-14, IEC 60068-2-30	☑	-

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 진위여부 확인이 필요한 경우 shcho@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

KES-QP-7061-03 Rev. 8 KES A4

2. 시험 요약

시 험 명	시험방법	시험항목	적용규격	비 고
4. 전원변동 시험	KRS SG 0067-14	4.3.2항	-	AC 176 V ~ AC 264 V (50 Hz ~ 60 Hz)
*5. 저온 시험		4.3.3 1)항	IEC 60068-2-1: 2007	0 ℃ (전원ON, 동작시험)
6. 고온 시험		4.3.3 2)항	IEC 60068-2-2: 2007	45 ℃ (전원ON, 동작시험)
7. 온도 사이클 시험		4.3.3 3)항	IEC 60068-2-14: 2009	0 ℃ ~ 45 ℃ (전원ON, 동작시험)
*8. 고온 고습 시험		4.3.3 4)항	IEC 60068-2-30: 2005	상한 온도 40 ℃, 95 % R.H., 2주기 (전원ON, 동작시험)
9. 절연저항 및 내전압 시험 (고온고습 후)		4.3.5항	-	절연저항 : DC 500 V 내전압 : AC 1 500 V
*10. 정상동작 확인		신청자 제시 방법		-

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 이제이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 진위여부 확인이 필요한 경우 shchoi@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

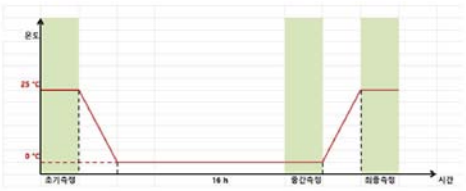
3. 시험품 정보

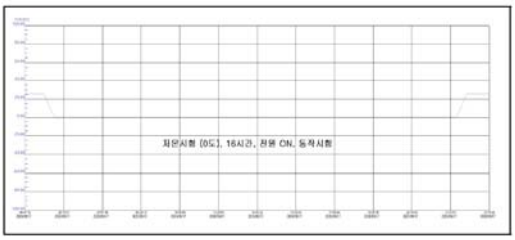
제 품 명	모 델 명	제 조 번 호	수 량	비 고
레일절손 검지장치 (DBRD)	DBRD-KRAH-01	DBRD_001	1	-



이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 이제이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 진위여부 확인이 필요한 경우 shchoi@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

6) 저온 시험 그래프



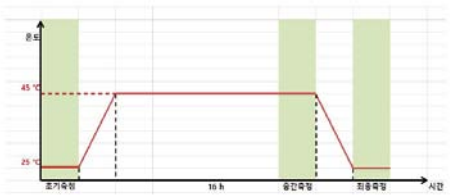


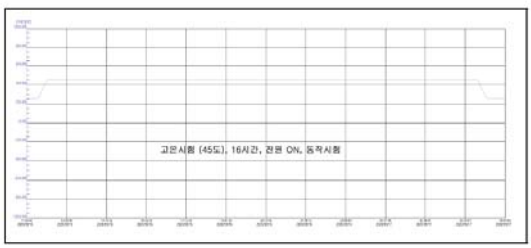
7) 시험결과

시 험 항 목	시 험 기 준	시 험 결 과	비 고
저온 시험 (전원 ON)	IEC 60068-2-1 내한성 시험방법에 따라 0 ℃로 방치시간 16 시간으로 시험초기, 중간, 최종단계에서 성능검사를 실시하였을 때 이상 없고 기계적 결함이 없을 것	시험초기, 중간, 최종단계에서 성능검사를 실시하였을 때 이상 없고 기계적 결함이 없음	4.3.3 1)항 참조

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 이제이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 진위여부 확인이 필요한 경우 shchoi@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

5) 고온 시험 그래프



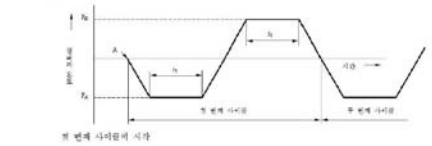


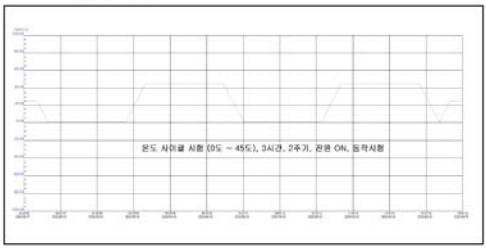
6) 시험결과

시 험 항 목	시 험 기 준	시 험 결 과	비 고
고온 시험 (전원 ON)	IEC 60068-2-2 내열성 시험방법에 따라 45 ℃로 방치시간 16 시간으로 시험초기, 중간, 최종단계에서 성능검사를 실시하였을 때 이상 없고 기계적 결함이 없을 것	시험초기, 중간, 최종단계에서 성능검사를 실시하였을 때 이상 없고 기계적 결함이 없음	4.3.3 2)항 참조

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 이제이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 진위여부 확인이 필요한 경우 shchoi@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

5) 시험 그래프

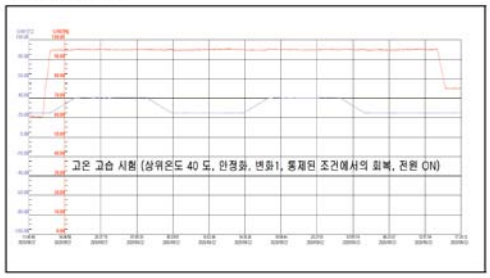




6) 시험결과

시 험 항 목	시 험 기 준	시 험 결 과	비 고
온도 사이클 시험 (전원 ON)	IEC 60068-2-14 온도 사이클 시험방법에 따라 0 ℃ ~ 45 ℃의 온도변화의 사이클 수는 2 주기로 하며, 저온과 고온의 방치시간은 각각 3 시간으로 진행 시험초기, 최종단계에서 성능검사를 실시하였을 때 이상 없고 기계적 결함이 없을 것	시험초기, 최종단계에서 성능검사를 실시하였을 때 이상 없고 기계적 결함이 없음	4.3.3 3)항 참조

3) 고온 고습 시험 그래프



4) 시험결과

시 험 항 목	시 험 기 준	시 험 결 과	비 고
고온 고습 시험 (전원 ON)	IEC 60068-2-30 고온고습 시험방법에 따라 상한 온도 40 ℃, 95 % R.H.로 사이클 수는 2주기로 시험초기, 중간, 최종단계에서 성능검사를 실시하였을 때 이상 없고 기계적 결함이 없을 것	시험초기, 중간, 최종단계에서 성능검사를 실시하였을 때 이상 없고 기계적 결함이 없음	4.3.3 4)항 참조

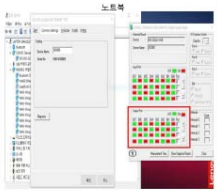
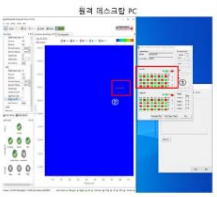
9. 절연저항 및 내전압 시험 (KRS SG 0067-14 : 지상 신호 제어 설비의 시험 방법 4,3,5항)

항 목		상 세 설 명	비 고
시험 일자		2020. 09. 23.	-
대기 조건		(25.0 ± 10.0) ℃, (50 ± 25) % R.H.	고온 고습 직후
전원 상태		☑ AC 전원 ☐ DC 전원 ☐ 기타	AC 220 V, 60 Hz
측정 위치		☑ 입력단자 (도전부) – 접지단자 (프레임) ☑ 입력단자 (도전부) – 출력단자 (도전부)	절연저항, 내전압
절연저항	요구절연 저항 및 시험전압	☐ 1 MΩ 이상 (DC 250 V) ☐ 3 MΩ 이상 (DC 500 V) ☑ 10 MΩ 이상 (DC 500 V) ☐ 30 MΩ 이상 (DC 500 V) ☐ 100 MΩ 이상 (DC 500 V) ☐ 1 000 MΩ 이상(DC 500 V)	KS R 9193:1996 참조
	시험시간	1 분	-
	특이사항	절연저항 측정시험에 적합하지 않은 것은 시험회로로부터 분리하거나 단자를 단락한다.	-
내전압	시험결정 제어요소 및 시험전압	☐ 시험용 공칭 직류 전압 72 V (또는 교류 50 V) 이하 – 시험 전압 : AC 500 V ☐ 시험용 공칭 직류 전압 72 V ~ 125 V (또는 교류 50 V ~ 90 V) 사이 – 시험 전압 : AC 1 000 V ☑ 시험용 공칭 직류 전압 125 V ~ 315 V (또는 교류 90 V ~ 225 V) 사이 – 시험 전압 : AC 1 500 V ☐ 시험용 공칭 직류 전압 300 V ~ 660 V 사이 – 시험 전압 : AC 2 500 V	60 Hz 조건
	시험시간	1 분	-
	특이사항	– 시험 중 방전이나 불꽃발생이 없어야 하고 시험 후 성능검사를 실시하였을 때 이상이 없어야 한다. – 내전압 시험 후의 절연저항을 측정하여 내전압 시험 전에 측정된 절연저항과 비교했을 때 이상이 없어야 하며, 각각의 절연저항과 이상여부를 확인한다.	-

시 험 항 목	시 험 기 준	시 험 결 과
절연저항 시험	DC 500 V 절연저항계 측정 시 절연저항 10 MΩ 이상일 것	4 000 MΩ
내전압 시험	AC 1 500 V, 60 Hz, 1 분간 인가하여 이상 없을 것	이상 없음 (절연파괴 없음)
	내전압 시험 후의 절연저항을 측정하여 내전압 시험 전에 측정된 절연저항과 비교했을 때 이상 없을 것	4 000 MΩ (이상 없음)

주) 서지 보호기 제거 후 시험 진행함.

10. 정상동작 확인 (신청자 제시 방법)

정상 동작 확인 방법(통신상태 확인)	
노트북 	1. Bit 0 ~ 7, Port 0 ~ 3을 노트북 Output Port에서 ON/OFF를 하면 원격 데스크탑 PC Input Port에 나타난다. 2. 센싱케이블의 790 ~ 800 m 지점에 충격을 가했을 때 10 ~ 20Hz 주파수가 화면에 표출 되는 것을 확인한다.
원격 데스크탑 PC 	

(나) 전기자기적합성 시험 결과

○ 운영 환경에 맞게 전기자기적합성 시험을 실시하였으며 모두 통과하였다. 주요 내용은 다음과 같다.



시 험 성 적 서

주식회사 케이이에스
경기도 안양시 동안구 시민대로 365 벤처 40, 3701호 (관양동)
Tel : +82-31-425-6200
Fax : +82-31-424-0450
http://www.kes.co.kr

성적서번호 : KES-EM-20T0673
페이지(1) / (총 58)

1. 의 뢰 인
○ 기 관 명 : 한국철도기술연구원
○ 주 소 : 경기도 의왕시 철도박물관로 176 (월암동)

2. 시험대상품목
○ 제 품 명 : 레일절손 검지장치(DBRD)
○ 모 델 명 : DBRD-KRAH-01
○ 제 조 자 : 한국철도기술연구원

3. 시험기간 : 2020 년 10 월 05 일 ~ 2020 년 10 월 08 일

4. 시험장소 : ■ 고정시험실 □ 현장시험실
○ 주 소 : (12638) 경기도 여주시 가야도 473-21 (하거동)

5. 시험방법 : IEC 62236-4:2018 신호 처리 및 통신 장치의 방출 및 내성

6. 시험결과 : ■ 적합 □ 부적합

이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료형태만 해당됩니다.
* 표시된 시험결과는 시험기관의 인정범위 밖의 것임을 밝힙니다.

확인	시험자	승인자 (시험책임자)
	성명 : 김 장 현	성명 : 장동훈

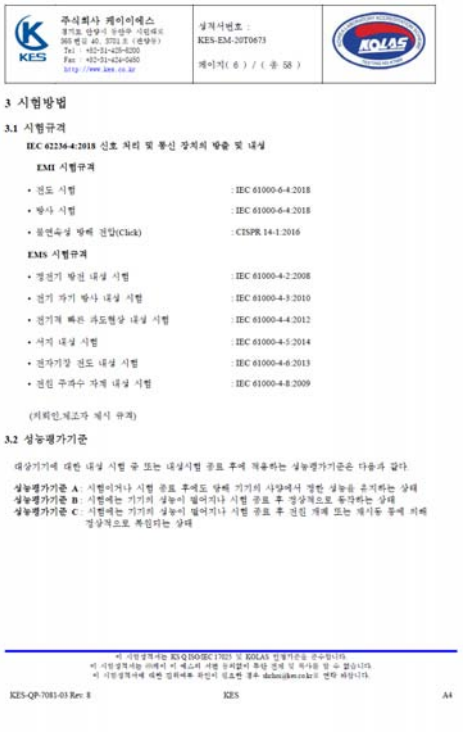
위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2020 년 10 월 13 일

한국인정기구 인정 주식회사 케이 이 에스

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 부분 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 문의사항 확인이 필요한 경우 skcho@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

KES-QP-7081-03 Rev. 8 KES A4



주식회사 케이이에스
경기도 안양시 동안구 시민대로 365 벤처 40, 3701호 (관양동)
Tel : +82-31-425-6200
Fax : +82-31-424-0450
http://www.kes.co.kr

성적서번호 : KES-EM-20T0673
페이지(6) / (총 58)

3 시험방법

3.1 시험규격

IEC 62236-4:2018 신호 처리 및 통신 장치의 방출 및 내성

EMI 시험규격

• 전도 시험	: IEC 61000-6-4:2018
• 방사 시험	: IEC 61000-6-4:2018
• 불연속성 방해 전압(Click)	: CISPR 14-1:2016

EMS 시험규격

• 정전기 방전 내성 시험	: IEC 61000-4-2:2008
• 전기 자기 방사 내성 시험	: IEC 61000-4-3:2010
• 전기적 빠른 과도현상 내성 시험	: IEC 61000-4-4:2012
• 서지 내성 시험	: IEC 61000-4-5:2014
• 전자기장 전도 내성 시험	: IEC 61000-4-6:2013
• 전원 주파수 자계 내성 시험	: IEC 61000-4-8:2009

(피시험기기 제조자 제시 규격)

3.2 성능평가기준

대상기기에 대한 내성 시험 중 또는 내성시험 종료 후에 적용하는 성능평가기준은 다음과 같다.

성능평가기준 A : 시험이거나 시험 종료 후에도 당해 기기의 사양에서 정한 성능을 유지하는 상태
성능평가기준 B : 시험에는 기기의 성능이 떨어지나 시험 종료 후 정상적으로 동작하는 상태
성능평가기준 C : 시험에는 기기의 성능이 떨어지나 시험 종료 후 전원 개폐 또는 제시등 통제 의해 정상적으로 복원되는 상태

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 부분 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 문의사항 확인이 필요한 경우 skcho@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

KES-QP-7081-03 Rev. 8 KES A4



주식회사 케이이에스
경기도 안양시 동안구 시민대로 365 벤처 40, 3701호 (관양동)
Tel : +82-31-425-6200
Fax : +82-31-424-0450
http://www.kes.co.kr

성적서번호 : KES-EM-20T0673
페이지(7) / (총 58)

3.3 시험결과요약

시험기간 : 2020 년 10 월 05 일 ~ 2020 년 10 월 08 일
제품구분 : Class A

3.3.1 전자파장해허용기준

Emission	Port	Class	Limits and Test methods	시험결과
전도 시험 (전원)	Power	A	IEC 61000-6-4	적합
전도 시험 (통신)	Network	A	IEC 61000-6-4	적합
불연속성 방해 전압 (Click)	AC Power	-	CISPR 14-1	적합
방사 시험 (1 ㎓ 이하)	Enclosure	A	IEC 61000-6-4	적합
방사 시험 (1 ㎓ 이상) (비고 1)	Enclosure	A	IEC 61000-6-4	적합

* (비고 1) : 방사 시험(1 ㎓ 이상) 시험 조건
시험기기의 내부 발생된 최대 주파수가 108 ㎒이하이면 측정은 1 ㎓까지 수행되어야 한다.
시험기기의 내부 발생된 최대 주파수가 (108 ~ 500) ㎒이면 측정은 2 ㎓까지 수행되어야 한다.
시험기기의 내부 발생된 최대 주파수가 500 ㎒ ~ 1 ㎓이면 측정은 5 ㎓까지 수행되어야 한다.
시험기기의 내부 발생된 최대 주파수가 1 ㎓이상이면 측정은 해당 최대 주파수의 5 배 주파수 또는 6 ㎓ 중 더 작은 주파수까지 수행되어야 한다.

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 부분 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 문의사항 확인이 필요한 경우 skcho@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

KES-QP-7081-03 Rev. 8 KES A4



주식회사 케이이에스
경기도 안양시 동안구 시민대로 365 벤처 40, 3701호 (관양동)
Tel : +82-31-425-6200
Fax : +82-31-424-0450
http://www.kes.co.kr

성적서번호 : KES-EM-20T0673
페이지(8) / (총 58)

3.3.2 전자파보호기준

Immunity	Ports		Test methods	성능평가 기준	Result / Criteria
정전기 방전 내성 시험	Enclosure	± 2 ㎸, ± 4 ㎸, ± 6 ㎸ (Contact)	IEC 61000-4-2	B	적합 / A
		± 2 ㎸, ± 4 ㎸, ± 8 ㎸ (Air)			
전기 자기 방사 내성 시험	Frequency Range [Enclosure]	80 ㎒ ~ 800 ㎒ [10 V/m]	IEC 61000-4-3	A	적합 / A
		800 ㎒ ~ 1 000 ㎒ [20 V/m]			
		1 400 ㎒ ~ 2 000 ㎒ [10 V/m]			
		2 000 ㎒ ~ 2 700 ㎒ [5 V/m]			
		5 100 ㎒ ~ 6 000 ㎒ [3 V/m]			
전기적 빠른 과도현상 내성 시험	Power	± 2 ㎸	IEC 61000-4-4	A	적합 / A
	Process I/O	± 2 ㎸			적합 / A
	Earth	± 1 ㎸			적합 / A
서지 내성 시험	Power	Line – Line : ± 1 ㎸ Line – PE : ± 2 ㎸	IEC 61000-4-5	B	적합 / A
	Process I/O	Line – Line : ± 1 ㎸ Line – PE : ± 2 ㎸			적합 / A
전자기장 전도 내성 시험	Power	10 V	IEC 61000-4-6	A	적합 / A
	Process I/O	10 V			적합 / A
	Earth	10 V			적합 / A
	Frequency Range	0.15 ㎒ ~ 80 ㎒			-
전원 주파수 자계 내성 시험	Enclosure	AC, 100 A/m 16.7 Hz, 50 Hz, 60 Hz	IEC 61000-4-8	A	적합 / A
		DC, 300 A/m 0 Hz			

* 성능 평가 기준에 대한설명은 6 페이지 **3.2 성능평가기준**참고바람.
* 이 성적서의 성능 평가 기준은 의뢰인과 제조자에 의해 규정되었음.

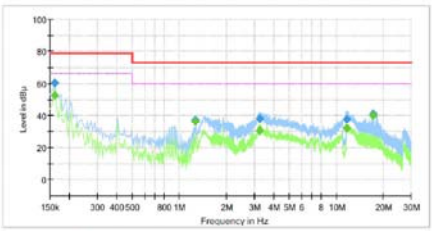
■시험측정 데이터

시험일 : 2020 년 10 월 05 일 시험자 : 김 강 현

[HOT LINE]

Common Information

Test Description: Conducted Emission
Model No.: DBRD-KRAH-01
Phase:
Mode:
Operator Name: KES



Final_Result

Frequency (MHz)	QuasiPeak (dBµV)	CAverage (dBµV)	Limit (dBµV)	Margin (dB)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Line	Corr. (dB)
0.160000	---	52.88	65.00	13.12	1000.0	9.000	L1	19.5
0.160000	60.33	---	79.00	18.67	1000.0	9.000	L1	19.5
1.265000	---	35.11	60.00	23.89	1000.0	9.000	L1	20.1
1.265000	37.25	---	73.00	35.75	1000.0	9.000	L1	20.1
3.250000	---	30.48	60.00	29.52	1000.0	9.000	L1	20.0
3.250000	38.48	---	73.00	34.54	1000.0	9.000	L1	20.0
11.605000	---	31.98	60.00	28.02	1000.0	9.000	L1	20.0
11.605000	37.93	---	73.00	35.07	1000.0	9.000	L1	20.0
17.075000	---	40.13	60.00	19.87	1000.0	9.000	L1	20.1
17.075000	40.93	---	73.00	32.07	1000.0	9.000	L1	20.1

※ 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
※ 시험성적서는 이해서 이 에스에 서명 등위없이 확대 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
※ 시험성적서에 대한 의위에후 확인이 필요한 경우 dschm@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

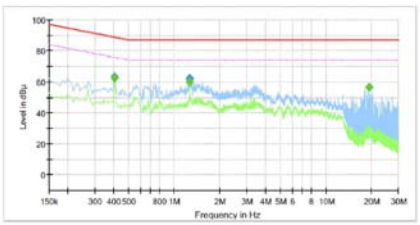
■시험측정 데이터 (통신)

시험일 : 2020 년 10 월 05 일 시험자 : 김 강 현

[100 Mbps]

Common Information

Test Description: Telecommunication Emission
Model No.: DBRD-KRAH-01
Mode :
Speed : 100
Operator Name: KES



Final_Result

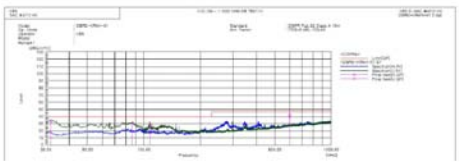
Frequency (MHz)	QuasiPeak (dBµV)	CAverage (dBµV)	Limit (dBµV)	Margin (dB)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Line	Corr. (dB)
0.405003	---	62.43	75.75	13.32	1000.0	9.000	Single Line	19.7
0.405003	63.50	---	88.75	25.25	1000.0	9.000	Single Line	19.7
1.265003	---	60.16	74.00	13.84	1000.0	9.000	Single Line	20.0
1.265003	62.34	---	87.00	24.66	1000.0	9.000	Single Line	20.0
1.270003	---	59.79	74.00	14.21	1000.0	9.000	Single Line	20.0
1.270003	61.98	---	87.00	25.02	1000.0	9.000	Single Line	20.0
19.155003	---	56.57	74.00	17.43	1000.0	9.000	Single Line	20.1
19.155003	56.76	---	87.00	30.24	1000.0	9.000	Single Line	20.1

QuasiPeak[dBuV] / CAverage [dBuV] = Reading Value[dBuV] + Corr. [dB]
QuasiPeak / CAverage : 최종 결과값
Reading Value : 여기 표현산 보여지기 않음
Corr. : 보정값 (ISN 보정값 + (케이블손실 + Pulse Limiter 보정값))

※ 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
※ 시험성적서는 이해서 이 에스에 서명 등위없이 확대 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
※ 시험성적서에 대한 의위에후 확인이 필요한 경우 dschm@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

■시험측정 데이터

시험일 : 2020 년 10 월 05 일 시험자 : 김 강 현



Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB(uV)]	c.f [dB(1/m)]	Result QP [dB(uV/m)]	Limit QP [dB(uV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [deg]	Remark
1	31.819	V	58.1	-25.0	33.1	40.0	6.9	100.0	141.0	
2	66.906	V	55.6	-25.7	29.9	40.0	10.1	214.0	50.0	
3	107.964	V	50.1	-22.6	27.5	40.0	12.5	130.0	350.0	
4	599.996	H	52.4	-9.8	42.6	47.0	4.4	316.0	164.0	
5	599.996	V	49.4	-9.8	39.6	47.0	7.4	100.0	143.0	

• 권과의 H는 수평, V는 수직을 나타낸다.
• Calculation – SAC #4(10 m)
Result(QP) [dB(µV/m)] = (Reading(QP)[dB(µV)] + c.f[dB(1/m)]
Margin(QP)[dB] = Limit[dB(µV/m)] - Result(QP) [dB(µV/m)]
Reading(QP) : 계기지시치, Result(QP) : 계기지시치 + 보정값
Limit(QP) : 제한값, c.f : (안테나 팩터값 + 케이블 손실 - 앰프 보정값), Margin: 마진값

측정불확도

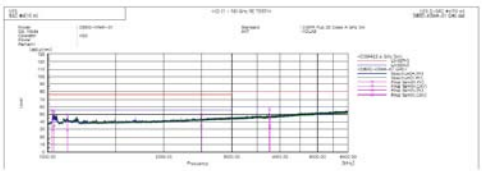
수평 : 측정불확도 4.40 dB (신뢰수준 약 95 %, $k = 2$)

수직 : 측정불확도 4.36 dB (신뢰수준 약 95 %, $k = 2$)

※ 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
※ 시험성적서는 이해서 이 에스에 서명 등위없이 확대 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
※ 시험성적서에 대한 의위에후 확인이 필요한 경우 dschm@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

■시험측정데이터 (1 GHz 이상)

시험일 : 2020 년 10 월 05 일 측정자 : 김 강 현



Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading PK [dB(uV)]	Reading CAV [dB(uV)]	c.f [dB(1/m)]	Result PK [dB(uV/m)]	Result CAV [dB(uV/m)]	Limit PK [dB(uV/m)]	Limit CAV [dB(uV/m)]	Margin PK [dB]	Margin CAV [dB]	Height [cm]	Angle [deg]	Remark
1	1010.400	V	60.5	34.0	-5.2	55.3	28.8	74.0	54.0	18.7	25.2	100.0	239.0	
2	1098.400	H	58.1	32.5	-3.4	54.7	29.1	74.0	54.0	19.3	24.9	100.0	289.0	
3	1098.400	V	55.8	29.5	-3.4	52.4	26.1	74.0	54.0	21.6	27.9	100.0	239.0	
4	2503.869	H	47.3	32.0	2.7	49.4	34.1	74.0	54.0	24.6	19.9	100.0	172.0	
5	2503.750	V	52.7	34.8	2.7	55.4	37.0	74.0	54.0	18.6	17.0	100.0	175.0	
6	3758.500	V	53.4	27.9	6.9	57.3	34.8	80.0	60.0	22.7	25.2	100.0	175.0	

• 계기지시치에는 Antenna Factor, Cable Loss 값, Amplifier Gain 값이 포함되어 있음.
• 권과의 H는 수평, V는 수직을 나타낸다.
• Calculation
Result(PK/CAV) [dB(µV/m)] = (Reading(PK/CAV)[dB(µV)] + c.f[dB(1/m)]
Margin(PK/CAV)[dB] = Limit[dB(µV/m)] - Result(PK/CAV) [dB(µV/m)]
Reading(PK/CAV) : 계기지시치, Result(PK/CAV) : 계기지시치 + 보정값
Limit(QP) : 제한값, c.f : (안테나 팩터값 + 케이블 손실 - 앰프 보정값), Margin: 마진값

측정불확도

수평 : 측정불확도 5.94 dB (신뢰수준 약 95 %, $k = 2$)

수직 : 측정불확도 5.94 dB (신뢰수준 약 95 %, $k = 2$)

※ 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
※ 시험성적서는 이해서 이 에스에 서명 등위없이 확대 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
※ 시험성적서에 대한 의위에후 확인이 필요한 경우 dschm@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

■시험결과 : 접점기 방전 내성 시험

인가방식	인가부위	방전방법	성능평가기준	성능평가결과	비 고
간접인가	수평결합면	접촉방전	B	N/A	-
	수직결합면		B	A	-

인가방식	NO.	인가부위	방전방법	성능평가기준	성능평가결과	비 고
직접인가	1	외함, 손잡이	접촉방전	B	A	-
	2	LCD	기중방전	B	A	-
	3	내부 프레임	접촉방전	B	A	-
	4	나사	접촉방전	B	A	-
	5	포트 주위	접촉방전	B	A	-
	6	내부탐 1	접촉방전	B	A	-
	7	내부탐 2	접촉방전	B	A	-
	8	내부탐 3	기중방전	B	A	-

• N/A : 시험기자재가 바닥 설치형 이므로 수평결합면에 대한 시험은 적용 안함.

■시험자 의견

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A – 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B – 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C – 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D – 회복불능

Remarks: 접점기 방전 내성 시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.

■시험결과 : 전기 자기 방사 내성 시험

인가부위	기 준	성능평가결과	
		수평	수직
전면	A	A	A
후면	A	A	A
우측면	A	A	A
좌측면	A	A	A

■시험자 의견

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A – 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B – 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C – 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D – 회복불능

Remarks: 전기 자기 방사 내성 시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.

■시험결과 : 전기적 빠른 과도현상 내성 시험

■ - [입력 교류 전원단자]

적 용 부 분	기 준	성능평가결과		비고
		(+) 버스트	(-) 버스트	
L	A	A	A	-
N	A	A	A	-
PE	A	A	A	-
L – N	A	A	A	-
L – PE	A	A	A	-
N – PE	A	A	A	-
L – N – PE	A	A	A	-

■ - [신호선 및 통신단자]

적 용 부 분	기 준	성능평가결과		비고
		(+) 버스트	(-) 버스트	
RJ-45	A	A	A	-
40 PIN	A	A	A	-

■ - [접지단자]

적 용 부 분	기 준	성능평가결과		비고
		(+) 버스트	(-) 버스트	
접지	A	A	A	-

■시험자 의견

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A – 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B – 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C – 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D – 회복불능

Remarks: 전기적 빠른 과도현상 내성 시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.

■시험결과 : 서지 내성 시험

■ - [입력 교류 전원단자]

적 용 부 분	기 준	성능평가결과		비고
		(+) 서지	(-) 서지	
L – N	B	A	A	-
L – PE	B	A	A	-
N – PE	B	A	A	-

□ - [입력 교류 전원단자]

적 용 부 분	기 준	성능평가결과		비고
		(+) 서지	(-) 서지	
-	B	-	-	-

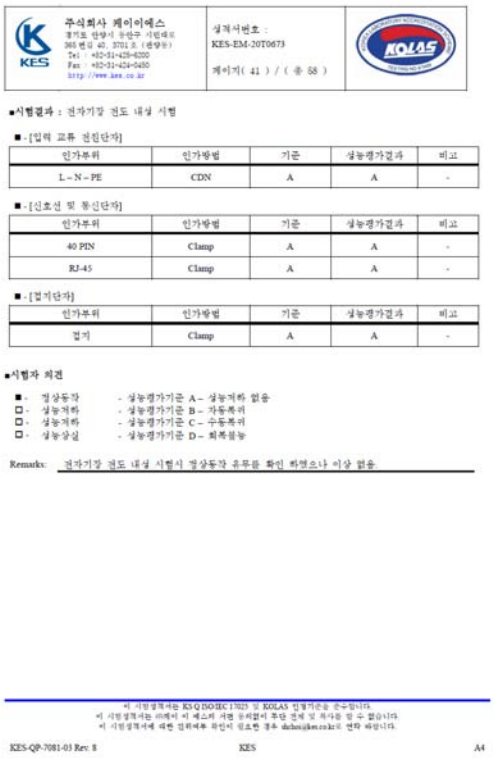
■ - [신호선 및 통신단자]

적 용 부 분	기 준	성능평가결과		비고
		(+) 서지	(-) 서지	
40 PIN (B21-B20)	B	A	A	-
40 PIN (B10-B48)	B	A	A	-
40 PIN (A2-A20)	B	A	A	-
40 PIN (A30-A38)	B	A	A	-
40 PIN (B3)	B	A	A	-

■시험자 의견

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A – 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B – 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C – 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D – 회복불능

Remarks: 서지 내성 시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.



주식회사 케이이에스

성적서번호 : KES-EM-20T0673

페이지(41) / (총 58)

■시험결과 : 전자기장 전도 내성 시험

■ - [입력 교류 전원단자]

인가부위	인가방법	기준	성능평가결과	비고
L - N - PE	CDN	A	A	-

■ - [신호선 및 통신단자]

인가부위	인가방법	기준	성능평가결과	비고
40 PIN	Clamp	A	A	-
RJ-45	Clamp	A	A	-

■ - [접지단자]

인가부위	인가방법	기준	성능평가결과	비고
접지	Clamp	A	A	-

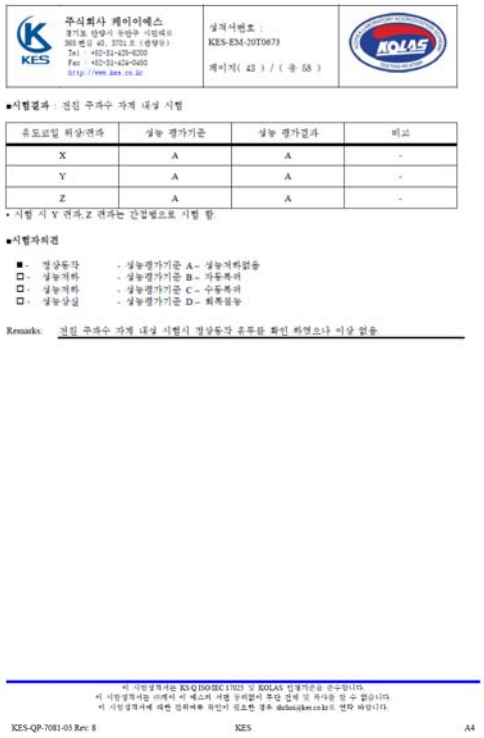
■시험자 의견

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A - 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B - 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C - 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D - 회복불능

Remarks: 전자기장 전도 내성 시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 이에서 이 제스의 서면 동의없이 부단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 질의사항 확인이 필요한 경우 shchoi@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

KES-QP-7081-03 Rev: 8 KES A4



주식회사 케이이에스

성적서번호 : KES-EM-20T0673

페이지(43) / (총 58)

■시험결과 : 전원 주파수 자계 내성 시험

유도코일 위상/관자	성능 평가기준	성능 평가결과	비고
X	A	A	-
Y	A	A	-
Z	A	A	-

• 시험 시 Y 관자, Z 관자는 간접법으로 시험 함.

■시험자의견

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A - 성능저하없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B - 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C - 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D - 회복불능

Remarks: 전원 주파수 자계 내성 시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.

이 시험성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정기준을 준수합니다.
이 시험성적서는 이에서 이 제스의 서면 동의없이 부단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 질의사항 확인이 필요한 경우 shchoi@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

KES-QP-7081-03 Rev: 8 KES A4

(3) 현장검증시험 절차 및 결과

(가) 시험 결과 종합

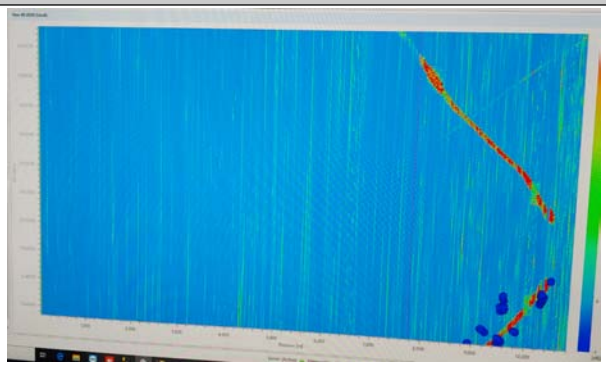
○ DBRD 시스템에 대한 총 14개의 Test Case를 작성하여 시험한 결과, 모든 요구사항이 검증되었음을 확인하였다. DBRD 시스템 요구사항 검증 결과 요약은 다음 표와 같으며, 상세 시험 절차 및 결과는 다음 소절을 참조한다.

표 48. DBRD 시스템 요구사항 검증 결과 요약

Test Case ID	시험 방법	Pass/Fail	성공률
DBRD-TC-001	현장 시험	Pass	100%
DBRD-TC-002	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-003	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-004	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-005	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-006	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-007	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-008	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-009	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-010	현장 시험	Pass	

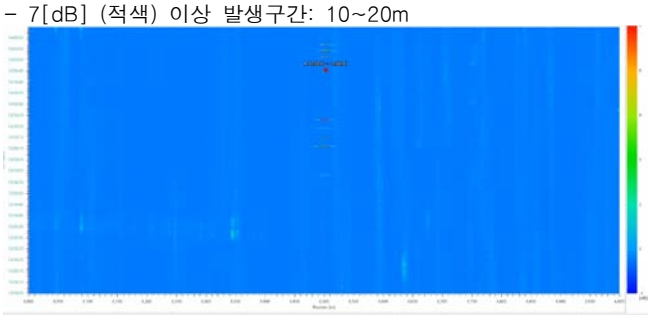
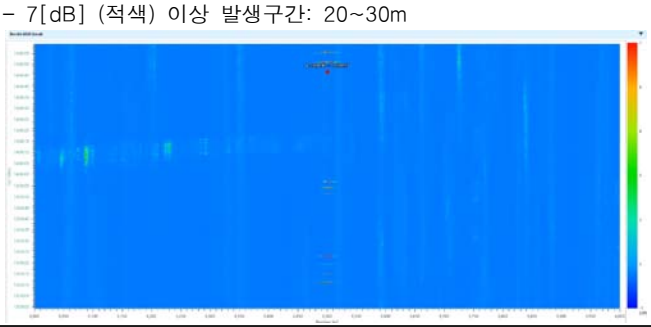
DBRD-TC-011	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-012	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-013	현장 시험	Pass	
DBRD-TC-014	설계 사양서 확인	Pass	

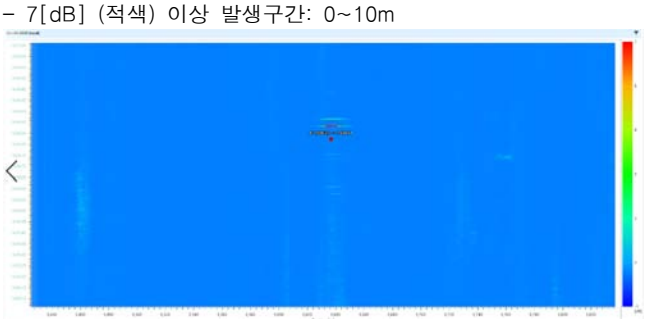
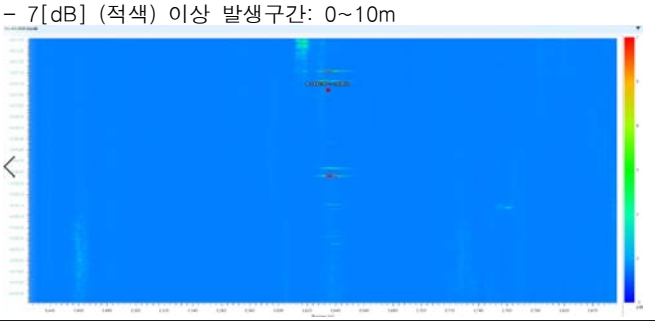
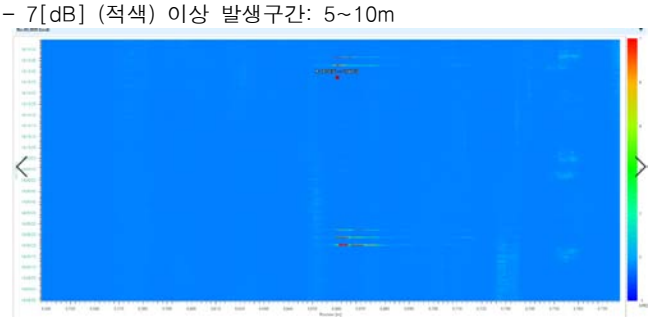
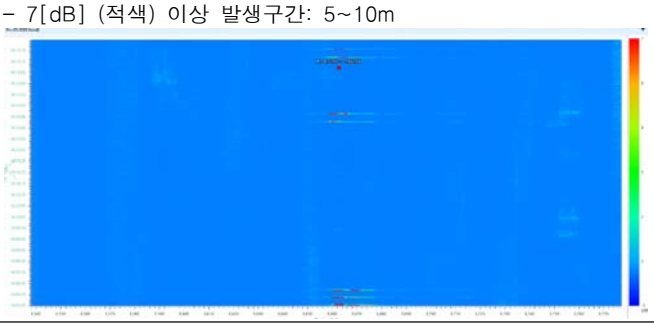
(나) DBRD-TC-001

Test Case ID	DBRD-TC-001				
Requirement ID	DBRD-IGU-FN-001, DBRD-DPU-FN-001				
Requirement 1	IGU는 광케이블에 탐지 신호를 보내고 반사파형을 받아 시간 및 거리에 따른 진동 정보가 있는 Phase를 추출하여 추출한 Phase를 DPU로 전송하여야 한다. (DBRD-IGU-FN-001)				
Requirement 2	DPU는 IGU로부터 Phase를 전송받아 Phase를 Digital 처리하여 시간 및 거리에 따른 진동 정보를 구하여야 한다. (DBRD-DPU-FN-001)				
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조				
Precondition	1. DBRD 부팅 후 DAU가 DPU에 접속 완료되어야 한다. 2. DBRD-TC-003에 의해 설정이 완료되어야 한다. 3. Configurator에서 waterfall diagram 화면을 띄운다.				
Test Procedure	1. Waterfall diagram에 열차 이동에 따라 진동이 표시되는지 확인한다. 2. 추후 실제 열차 이동정보와 일치하는지 확인한다.				
Information	1. 초기화 2. 열차 이동 3. DAU 모니터에서 DAU의 Configurator watefall diagram 그래프로 확인				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark
1	열차 이동에 따른 진동	1. 초기화 2. 열차이동 3.DAU 모니터에서 DAU의 Configurator watefall diagram 그래프로 확인		Pass	
Problem Report					

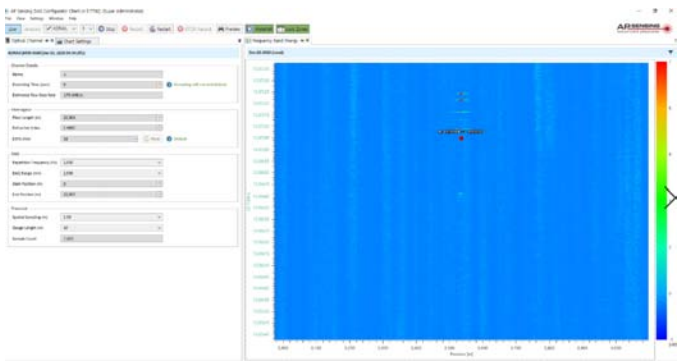
(다) DBRD-TC-002

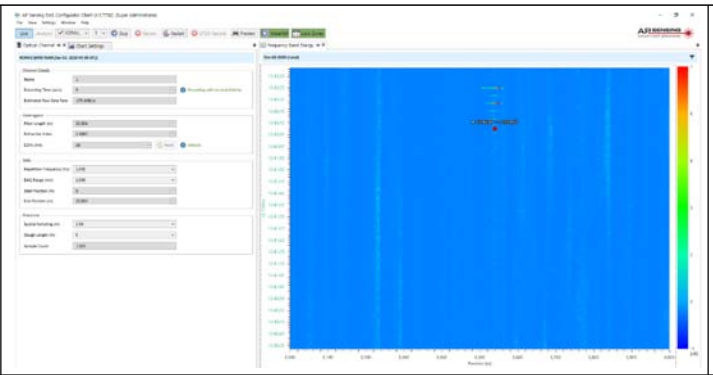
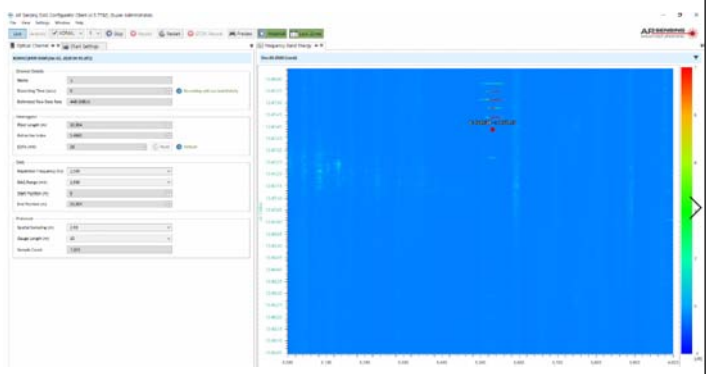
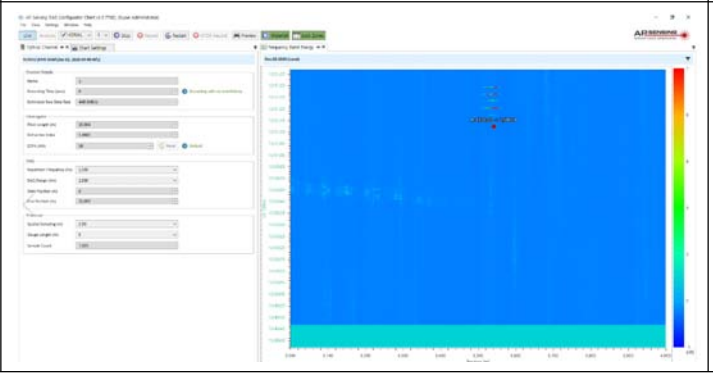
Test Case ID	DBRD-TC-002
Requirement ID	DBRD-IGU-FN-002
Requirement 1	IGU는 광케이블에 진동 이벤트 발생 시 광케이블에서 변형된 신호 위치 및 시간을 검지하여야 한다.
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조

Precondition	1. DBRD 부팅 후 DAU가 DPU에 접속 완료되어야 한다. 2. DPU-TC-003에 의해 설정이 완료되어야 한다. 3. Configurator에서 waterfall diagram 화면을 띄운다. 4. 위치 1, 2 및 3은 현장 시험 여건에 따라 정한다.				
Test Procedure	1. 광케이블이 매설된 정해진 지점에 가서 트러프 위를 해머로 두드린다. 2. DAU의 Cofigurator에서 띄운 Waterfall diagram에 해당 위치와 시각에 진동 정보가 표시되는지 확인한다. 3. 위치와 시간을 변화시켜가면서 맞게 표시되는지 확인하며 시간, 거리 분해능도 확인하여 기록한다.				
Information	1. 진동1은 50cm 위에서 해머를 떨어뜨린다. 2. 진동2는 1m 위에서 해머를 떨어뜨린다. 3. 위치 값은 상대적인 값으로 비교(1st trial의 위치와 크기를 기록 후 2nd trial 부터 비교하여 확인)				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark
1	1. 위치1 1) 실거리 6154m 2) 광거리 3504m 2. 진동1 : 5kg(해머)*0.5m/s = 2.5kg·m/s	위치 및 진동 정보와 일치하는 waterfall diagram 확인	1. 위치1 (광거리 기준): 3502m 2. 진동1 (Waterfall diagram 기준): 7[dB] 이상 - 2[dB] (연두색) 이상 발생구간: 20~30m - 7[dB] (적색) 이상 발생구간: 10~20m 	Pass	- 2[dB] (연두색) 이상일 때 진동발생추정 - 위치는 진동 발생 구간의 중점을 기준
2	1. 위치1 1) 실거리 6154m 2) 광거리 3504m 2. 진동2 : 5kg(해머)*1m/s = 5kg·m/s	위치 및 진동 정보와 일치하는 waterfall diagram 확인	1. 위치1 (광거리 기준): 3500m 2. 진동2 (Waterfall diagram 기준): 7[dB] 이상 - 2[dB] (연두색) 이상 발생구간: 40~50m - 7[dB] (적색) 이상 발생구간: 20~30m 	Pass	- 2[dB] (연두색) 이상일 때 진동발생추정 - 위치는 진동 발생 구간의 중점을 기준

3	1. 위치2 1) 실거리 6281m 2) 광거리 3637m 2. 진동1 : 5kg(해머)*0.5m/s = 2.5kg·m/s	위치 및 진동 정보와 일치하는 waterfall diagram 확인	1. 위치2 (광거리 기준): 3636m 2. 진동1 (Waterfall diagram 기준): 7[dB] 이상 - 2[dB] (연두색) 이상 발생구간: 20~25m - 7[dB] (적색) 이상 발생구간: 0~10m 	Pass	- 2[dB] (연두색) 이상일 때 진동발생추정 - 위치는 진동 발생 구간의 중점을 기준
4	1. 위치2 1) 실거리 6281m 2) 광거리 3637m 2. 진동2 : 5kg(해머)*1m/s = 5kg·m/s	위치 및 진동 정보와 일치하는 waterfall diagram 확인	1. 위치2 (광거리 기준): 3634m 2. 진동2 (Waterfall diagram 기준): 7[dB] 이상 - 2[dB] (연두색) 이상 발생구간: 25~30m - 7[dB] (적색) 이상 발생구간: 0~10m 	Pass	- 2[dB] (연두색) 이상일 때 진동발생추정 - 위치는 진동 발생 구간의 중점을 기준
5	1. 위치3 1) 실거리 6321m 2) 광거리 3662m 2. 진동1 : 5kg(해머)*0.5m/s = 2.5kg·m/s	위치 및 진동 정보와 일치하는 waterfall diagram 확인	1. 위치3 (광거리 기준): 3660m 2. 진동1 (Waterfall diagram scale 기준): 7[dB] 이상 - 2[dB] (연두색) 이상 발생구간: 50~60m - 7[dB] (적색) 이상 발생구간: 5~10m 	Pass	- 2[dB] (연두색) 이상일 때 진동발생추정 - 위치는 진동 발생 구간의 중점을 기준
6	1. 위치3 1) 실거리 6321m 2) 광거리 3662m 2. 진동2 : 5kg(해머)*1m/s = 5kg·m/s	위치 및 진동 정보와 일치하는 waterfall diagram 확인	1. 위치3 (광거리 기준): 3662m 2. 진동2 (Waterfall diagram scale 기준): 7[dB] 이상 - 2[dB] (연두색) 이상 발생구간: 50~60m - 7[dB] (적색) 이상 발생구간: 5~10m 	Pass	- 2[dB] (연두색) 이상일 때 진동발생추정 - 위치는 진동 발생 구간의 중점을 기준
Problem Report					

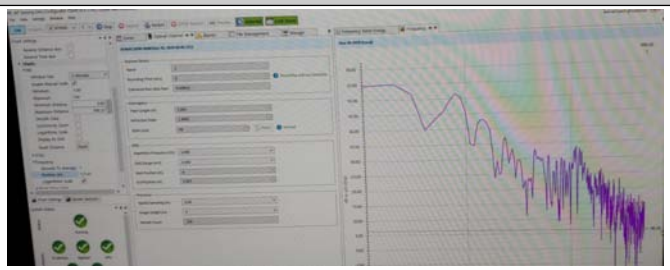
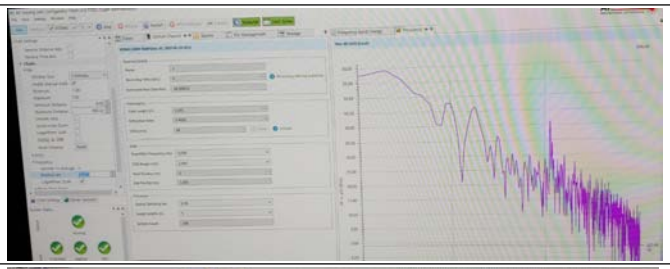
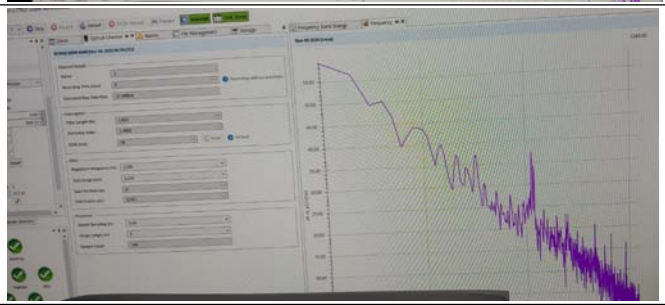
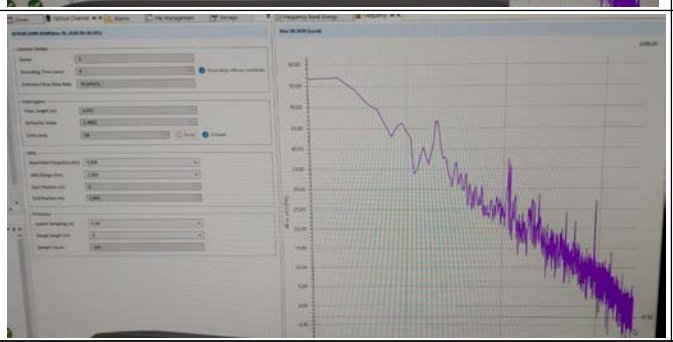
(라) DBRD-TC-003

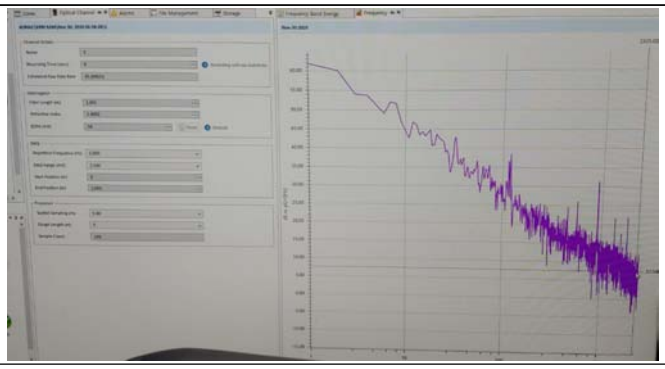
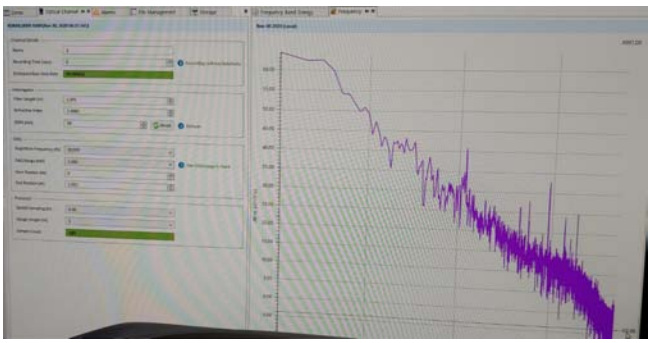
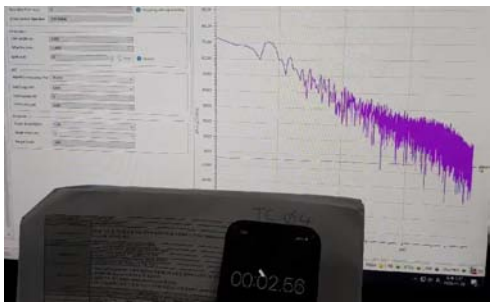
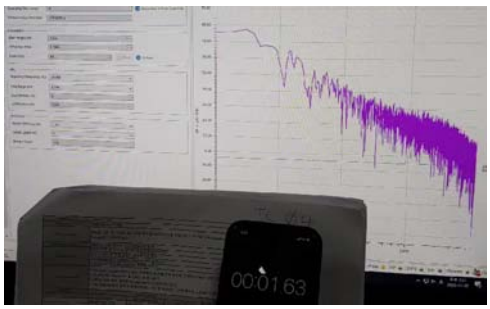
Test Case ID	DBRD-TC-003				
Requirement ID	DBRD-IGU-FN-003, DBRD-IGU-FN-004 , DBRD-DPU-FN-003, DBRD-DAU-FN-007				
Requirement 1	IGU는 DPU로부터 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spacial Sampling, Gauge Length)를 수신하여야 한다. (DBRD-IGU-FN-003)				
Requirement 2	IGU는 수신된 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spatial Sampling, Gauge Length)에 따라 광케이블 데이터를 측정하여야 한다. (DBRD-IGU-FN-004)				
Requirement3	DPU는 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spatial Sampling, Gauge Length)를 설정하여야 한다. (DBRD-DPU-FN-003)				
Requirement 4	DAU는 DAS Configurator를 구동하여 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spacial Sampling, Gauge Length)를 변경할 수 있어야 한다. (DBRD-DAU-FN-007)				
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조				
Precondition	1. DBRD 부팅 후 DAU가 DPU에 접속 완료되어야 한다. 2. Configurator에서 waterfall diagram 화면을 띄운다.				
Test Procedure	1. 초기 측정 파라미터 값을 확인한다. 2. 광케이블이 매설된 특정지점에 가서 트러프 위를 해머로 두드린다. 3. Waterfall diagram에 해당 위치와 시각에 진동 정보가 표시되는지 확인한다. Waterfall diagram이 설정 화면에 표시된 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spacial Sampling, Gauge Length)에 맞게 표시되어 있는지 확인한다. 4. DAU의 Configurator에서 측정 파라미터를 셋트 1로 변경한다. 5. 특정지점에서 가서 트러프 위를 해머로 두드린다. 6. 측정 파라미터 셋트 1로 변경한 대로 waterfall diagram가 맞게 바뀌는지 확인한다. 7. DAU의 Configurator에서 측정 파라미터를 셋트 2로 변경한다. 8. 특정지점에서 가서 트러프 위를 해머로 두드린다. 9. 측정 파라미터 셋트 2로 변경한 대로 waterfall diagram이 맞게 바뀌는지 확인한다.				
Information	1. Expected output는 waterfall diagram과 configurator로 확인				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark
1	Sampling Rate: 1000Hz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 2.5m Gauge Length: 10m	Sampling Rate: 1000Hz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 2.5m Gauge Length: 10m		Pass	

2	Sampling Rate: 1000Hz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 2.5m Gauge Length: 5m	Sampling Rate: 1000Hz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 2.5m Gauge Length: 5m		Pass	
3	Sampling Rate: 2500Hz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 2.5m Gauge Length: 10m	Sampling Rate: 2500Hz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 2.5m Gauge Length: 10m		Pass	
4	Sampling Rate: 2500Hz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 1.25m Gauge Length: 5m	Sampling Rate: 2500Hz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 1.25m Gauge Length: 5m		Pass	
Problem Report					

(마) DBRD-TC-004

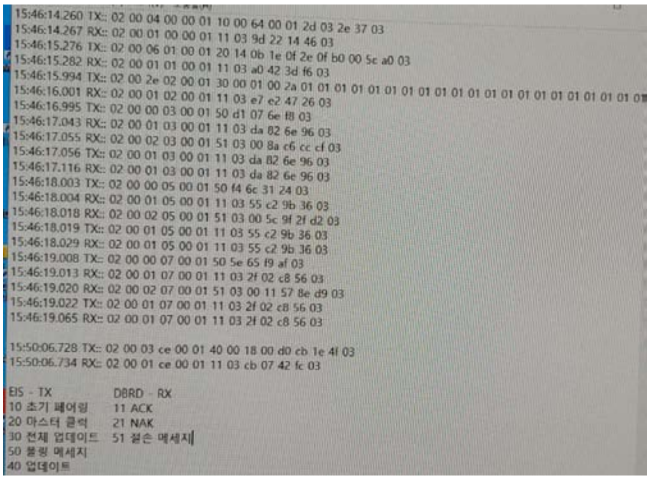
Test Case ID	DBRD-TC-004
Requirement ID	DBRD-DPU-FN-002
Requirement 1	DPU는 시간 및 거리에 따른 진동 정보에 대하여 FFT를 수행하여 1s ±0.1s 주기로 FBE(Frequency Band Energy)를 구하여야 한다.
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조

Precondition	1. DBRD 부팅 후 DAU가 DPU에 접속 완료되어야 한다. 2. DBRD-TC-003에 의해 설정이 완료되어야 한다. 3. Configurator에서 waterfall diagram 화면을 띄운다. 4. Configurator에서 FBE diagram 화면을 띄운다.				
Test Procedure	1. Waterfall diagram에서 진동이 발생하는 부분(빨간색 부분)을 선택하고 FBE가 나타나도록 한다. 2. 화면에 FBE diagram이 표시되는지 확인한다. 3. FBE의 가로축이 설정된 sample rate의 1/2인지 확인한다. 4. FBE diagram에서 결과가 업데이트되는 시간을 측정한다.				
Information	1. Expected output는 waterfall diagram과 configurator로 확인				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark
1	Sample rate: 1kHz	FBE max freq: 0.5kHz		Pass	
2	Sample rate: 2kHz	FBE max freq: 1kHz		Pass	
3	Sample rate: 2.5kHz	FBE max freq: 1.25kHz		Pass	
4	Sample rate: 5kHz	FBE max freq: 2.5kHz		Pass	

5	Sample rate: 10kHz	FBE max freq: 5kHz		Pass	
6	Sample rate: 20kHz	FBE max freq: 10kHz		Pass	
		FBE Diagram 업데이트 주기 1s ±0.1s	 		
Problem Report					

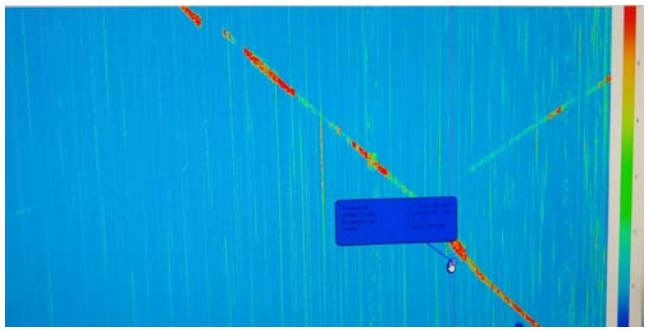
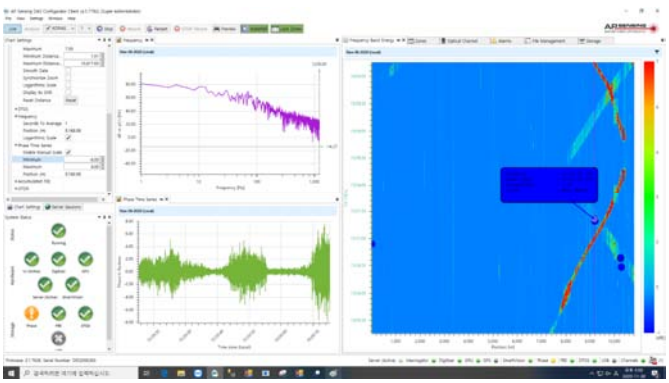
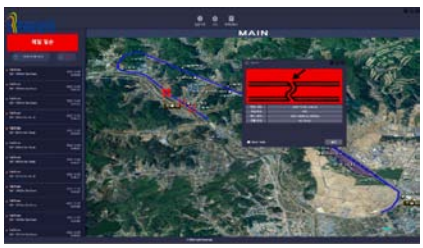
(바) DBRD-TC-005

Test Case ID	DBRD-TC-005
Requirement ID	DBRD-DAU-FN-001
Requirement 1	DAU는 EIS로부터 1s ±0.1s의 주기로 아래의 필요 정보를 수신하면 EIS로 ACK 또는 NAK를 송신하여야 한다. - 필요 정보: 초기 Paring, Master Clock, 전체 업데이트 표시정보, Polling 메시지, ACK/NAK, 업데이트 표시 정보
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조

Precondition	1. DBRD가 통신기계실에 설치되고 전원과 광케이블이 연결되어 있어야 한다. 2. DBRD와 EISIM(EIS Simulator)은 ethernet으로 연결되어 있어야 한다.				
Test Procedure	1. EISim에서 필요 정보(초기 Paring, Master Clock, 전체 업데이트 표시정보, Polling 메시지, ACK/NAK, 업데이트 표시정보)를 DAU로 송신한다. 2. EISim에서 ACK나 NAK의 수신여부와 수신 시각을 확인한다. (EISIM의 화면에 수신 시각이 표시된다.) 3. 정보가 맞는지 확인하고 주기가 1s ±0.1s 인지 확인한다.				
Information	NAK 메시지가 뜰 경우 원인 확인 필요				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pas/ail	Rmk
1	EISim 필요 정보(초기 Paring, Master Clock, 전체 업데이트 표시정보, Polling 메시지, ACK/NAK, 업데이트 표시정보)	ACK/NAK, 수신주기 1 s ±0.1s	 	Pas	
2	EISim 필요 정보(초기 Paring, Master Clock, 전체 업데이트 표시정보, Polling 메시지, ACK/NAK, 업데이트 표시정보)	ACK/NAK, 수신주기 1 s ±0.1s		Pas	
3	EISim 필요 정보(초기 Paring, Master Clock, 전체 업데이트 표시정보, Polling 메시지, ACK/NAK, 업데이트 표시정보)	ACK/NAK, 수신주기 1 s ±0.1s		Pas	
4	EISim 필요 정보(초기 Paring, Master Clock, 전체 업데이트 표시정보, Polling 메시지, ACK/NAK, 업데이트 표시정보)	ACK/NAK, 수신주기 1 s ±0.1s		Pas	
5	EISim 필요 정보(초기 Paring, Master Clock, 전체 업데이트 표시정보, Polling 메시지, ACK/NAK, 업데이트 표시정보)	ACK/NAK, 수신주기 1 s ±0.1s		Pas	
Problem Report					

(사) DBRD-TC-006

Test Case ID	DBRD-TC-006
Requirement ID	DBRD-DAU-FN-002
Requirement 1	DAU는 필요 시 DPU로부터 시간 및 거리에 따른 진동 정보와 FBE(Frequency Band Energy) 데이터를 수신하고 분석하여 레일 절손 여부를 판별하여야 한다.
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조

<table>
<tr><td>Precondition</td><td colspan="4">1. DBRD 부팅 후 DAU가 DPU에 접속 완료되어야 한다. 2. DPU-TC-003에 의해 설정이 완료되어야 한다.
3. DBRD GUI SW가 실행되어야 한다. 4. 열차가 레일의 절손 부위(또는 절손 유사 부위)를 통과하여야 한다.</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="4">1. 열차가 절손부위(또는 절손 유사 부위)를 통행할 때 레일절손 메시지가 DBRD GUI SW 화면에 표시되는지 확인한다.
2. False Alarm이 발생하지 않는 지 확인한다.
3. 열차가 절손부위(또는 절손 유사 부위)을 통과할 때와 정상 레일을 통과할 때를 Configurator의 Waterfall Diagram에서 클릭하여 FBE를 표시하도록 한 후 차이점을 비교한다.</td></tr>
<tr><td>Information</td><td colspan="4">NAK 메시지가 뜰 경우 원인 확인 필요</td></tr>
<tr><td>IN/OUT</td><td colspan="3">Input/Output</td><td>Result</td></tr>
<tr><td>No.</td><td>Input</td><td>Expected output</td><td>Actual output</td><td>Pass/a</td></tr>
<tr><td>1</td><td>열차가 레일의 절손 부위(또는 절손 유사 부위)를 통과</td><td>레일 절손 메시지</td><td rowspan="2">  </td><td>Pass</td></tr>
<tr><td>2</td><td>열차가 정상 레일 통과</td><td>레일 절손 메시지 안뜸</td><td>Pass</td></tr>
<tr><td>Problem Report</td><td colspan="4">초기에 False Alarm이 발생이 발생하였으나 알고리즘의 threshold를 조절하여 false alarm 제거. 추후 다양한 환경에서 시행수를 충분히 확보하여 강인한 알고리즘으로 개선할 필요가 있음
   </td></tr>
</table>

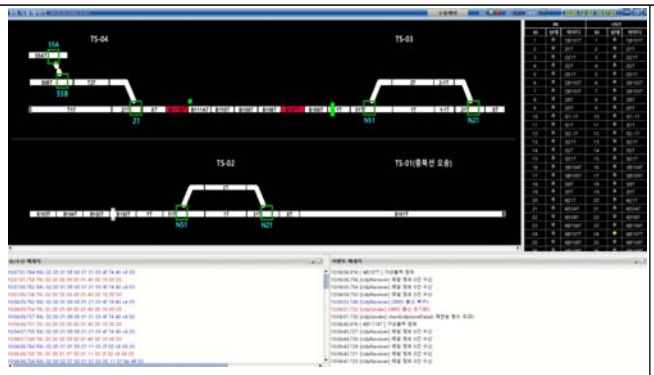
(아) DBRD-TC-007

Test Case ID	DBRD-TC-007
Requirement ID	DBRD-DAU-FN-003
Requirement 1	DAU는 1s ±0.1s의 주기로 DBRD의 상태정보(M_DBRD), 절손 위치 반복 수(k)(N_COUNT), 절손위치정보를 EIS로 전송하여야 한다.
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조

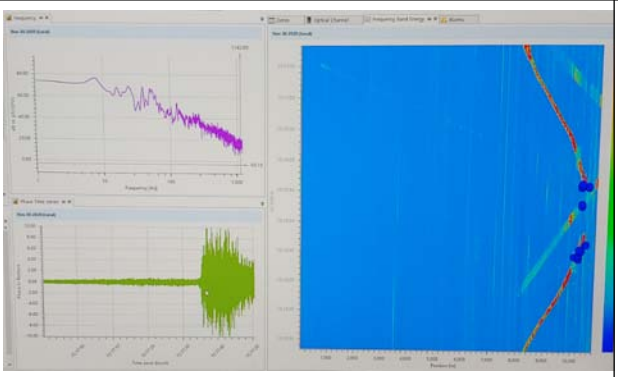
Precondition	DBRD-TC-006에 의해 설정이 완료되어야 한다.				
Test Procedure	1. DAU가 DBRD-TC-006에서 판별된 레일 절손 정보를 M_DBRD, N_COUNT와 함께 EISim에 전송한다. 2. EISim에서 M_DBRD, N_COUNT, 레일절손 정보가 맞게 들어오는지 확인한다. 3. 전송 주기도 DBRD-DAU-TC-001의 방법과 동일하게 확인한다.				
Information	1. Missing과 False Alarm 발생도 허용되나 도수를 기록하여 추후 비율 계산에 사용 2. Missing은 20% 이하면 pass로 간주한다.				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark
1	열차가 레일의 절손 부위(또는 절손 유사 부위)를 통과	판별된 레일절손 정보가 M_DBRD에 반영		Pass	
2	열차가 정상 레일 통과	판별된 레일절손 정보가 M_DBRD에 반영		Pass	
Problem Report					

(자) DBRD-TC-008

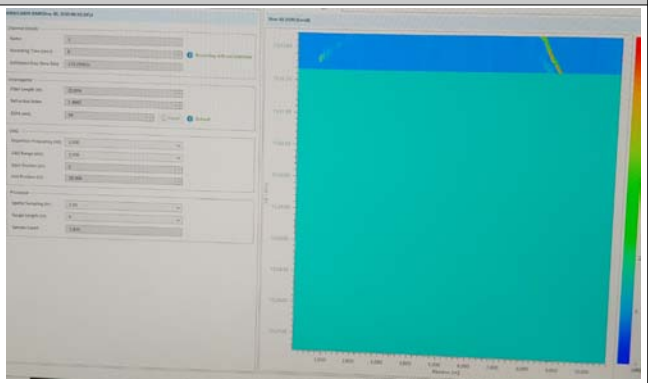
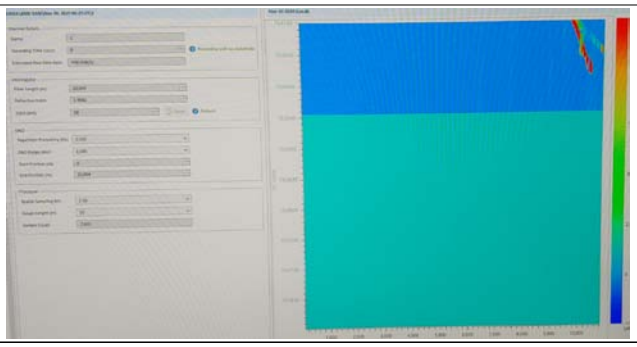
Test Case ID	DBRD-TC-008				
Requirement ID	DBRD-DAU-FN-004				
Requirement 1	DAU는 Polling 메시지의 오류를 판단하여 오류 검지 시 EIS로 NAK를 송신하여야 한다.				
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조				
Precondition	DBRD-TC-005에 의해 설정이 완료되어야 한다.				
Test Procedure	1. EISim에서 Polling 메시지에 오류를 넣어서 DBRD의 DAU로 송신한다. 2. 이후 EISim의 화면으로 DBRD의 DAU에서 NAK를 수신하였음을 확인한다.				
Information	1. Missing과 False Alarm 발생도 허용되나 도수를 기록하여 추후 비율 계산에 사용한다. 2. Missing은 20% 이하면 pass로 간주한다,				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark

1	Polling 메시지 (오류 포함)	ElSim 화면에 NAK(21) 표시		Pa s	
Problem Report					

(차) DBRD-TC-009

Test Case ID	DBRD-TC-009				
Requirement ID	DBRD-DAU-FN-005, DBRD-DAU-FN-006				
Requirement 1	DAU의 Configurator는 DPU로부터 Phase Data, FBE Data, 알람 Data를 받아서 Waterfall Diagram, FBE Diagram으로 구현하고 데이터베이스에 이를 저장하여야 한다. (DBRD-DAU-FN-005)				
Requirement 2	DAU는 저장된 데이터베이스로부터 알람 Data(시간, 위치, 종류)를 읽어들여 DBRD GUI SW에 표시하여야 한다.(DBRD-DAU-FN-006)				
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조				
Precondition	1. DBRD 부팅 후 DAU가 DPU에 접속 완료되어야 한다. 2. DBRD-TC-003에 의해 설정이 완료되어야 한다. 3. 열차가 절손된 레일(또는 절손 유사 레일)을 통과하여야 한다. 4. DBRD-TC-006가 테스트 완료되어야 한다.				
Test Procedure	1. 열차가 절손부위(또는 절손 유사 부위)을 통과할 때 DAU Configurator의 Waterfall Diagram 및 FBE 화면을 확인한다. 2. 열차가 절손부위(또는 절손 유사 부위)를 통행할 때 DBRD GUI SW 화면을 확인한다.				
Information	-				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark
1	열차가 절손된 레일(또는 절손 유사 레일)을 통과	waterfall diagram 및 FBE 화면에 절손 부위의 Phase Data, FBE Data, 알람 Data 표시 DBRD GUI SW 화면에 절손 부위의 화면에 알람 Data표시		Pass	
Problem Report					

(카) DBRD-TC-010

Test Case ID	DBRD-TC-010				
Requirement ID	DBRD-DAU-FN-008				
Requirement 1	DAU는 DAS Configurator를 구동하여 IGU 상태를 표현하여야 한다.				
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조				
Precondition	1. DBRD 부팅 후 DAU가 DPU에 접속 완료되어야 한다. 2. DBRD-TC-003에 의해 설정이 완료되어야 한다.				
Test Procedure	1. DAS Configurator에서 IGU 상태 화면을 띄운다. 2. IGU 상태 화면의 측정 파라미터(Sampling Rate, Fiber Length, Spatial Sampling, Gauge Length)가 실제 IGU의 상태와 일치하는지 확인한다.				
Information	Expected output은 waterfall diagram과 configurator로 확인				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark
1	Sampling Rate: 1kHz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 5m Gauge Length: 40m	Sampling Rate: 1kHz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 5m Gauge Length: 40m		Pass	
2	Sampling Rate: 2.5kHz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 2.5m Gauge Length: 10m	Sampling Rate: 2.5kHz Fiber Length: 20km Spacial Sampling: 2.5m Gauge Length: 10m			
Problem Report					

(타) DBRD-TC-011

Test Case ID	DBRD-TC-011

Requirement ID	DBRD-IFU-FN-001				
Requirement 1	IFU는 EIS로부터 열차 트랙킹 정보를 수신하여 DAU로 송신하여야 한다.				
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조				
Precondition	DBRD-TC-005에 의해 설정이 완료되어야 한다.				
Test Procedure	1. Precondition을 완료한다. 2. EISim의 화면에서 표시되는 정보와 DBRD GUI SW의 Log view로 표시되는 정보가 일치하는지 확인한다.				
Information	-				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark
1	열차 트렉킹 정보	EISim의 화면의 표시되는 정보와 DBRD GUI SW의 Log view와 일치		Pass	
Problem Report					

(파) DBRD-TC-012

Test Case ID	DBRD-TC-012				
Requirement ID	DBRD-IFU-FN-002				
Requirement 1	IFU는 DAU로부터 수신한 DBRD 알람 발생 정보를 EIS 시스템에 송신하여야 한다.				
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조				
Precondition	1. DBRD-TC-006에 의해 설정이 완료되어야 한다. 2. DBRD-TC-007에 의해 설정이 완료되어야 한다.				
Test Procedure	1. 열차가 절손부위(또는 절손 유사 부위)를 통행할 때 레일절손 정보, M_DBRD 및 N_COUNT가 EISim에 수신되었는지 확인한다.				
Information	-				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/Fail	Remark

1	열차가 절손된 레일(또는 절손 유사 레일)을 통과	ElSim의 화면의 표시되는 정보와 DBRD GUI SW의 Log view와 일치		Pa s	
Problem Report					

(하) DBRD-TC-013

Test Case ID	DBRD-TC-013				
Requirement ID	DBRD-PDU-FN-001				
Requirement 1	PDU는 AC220V를 공급받아 IGU, DPU, DAU 장치로 AC220V ±5%를 공급하여야 한다.				
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조				
Precondition	-				
Test Procedure	1. IGU, DPU, DAU에 전원이 공급되는지 확인한다. 2. PDU 전면 표시창을 확인한다.				
Information	-				
IN/OUT	Input/Output			Result	
No.	Input	Expected output	Actual output	Pass/a	Remark
1	AC220V	PDU 전면 표시창에 AC220V ±5% 입력됨을 확인		Pa s	
Problem Report					

(거) DBRD-TC-014

Test Case ID	DBRD-TC-014
Requirement ID	DBRD-PDU-FN-002
Requirement 1	PDU는 AC220V 공급이 중단될 경우 30분 이상 IGU, DPU, DAU로 AC220V를 공급하여야 한다.
Test Environment	3.2.1 시험 환경도 참조

<table>
<tr><td>Precondition</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="4">UPS 사양으로 확인</td></tr>
<tr><td>Information</td><td colspan="4">IGU 44W / DPU 250W / DAU 750W 이면 전체 1044W이고, 30분 사용 소비전력량은522W 이며 PDU는 최소 522W이상의 성능을 가져야 안정적인 전원 공급을 할 수 있다.</td></tr>
<tr><td>IN/OUT</td><td colspan="3">Input/Output</td><td colspan="2">Result</td></tr>
<tr><td>No.</td><td>Input</td><td>Expected output</td><td>Actual output</td><td>Pass/Fail</td><td>Remark</td></tr>
<tr><td>1</td><td>UPS 사양으로 확인</td><td>UPS 사양으로 확인</td><td>’자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발 3차년도 연차실적 계획서’[23]의 레일절손 검지기술 개발 파트의 UPS 사양 참조
<table><tr><td colspan="2">PDU</td></tr><tr><td>전력 용량</td><td>600W/1000VA</td></tr><tr><td>명목 출력 전압 / 명목 입력 전압</td><td>230V / 230V</td></tr><tr><td>출력 주파수 / 입력 주파수</td><td>47 ~ 63Hz / 50/60Hz ± 3Hz</td></tr><tr><td>출력 파형</td><td>Pure Sine Wave</td></tr><tr><td>출력 콘센트 유형
/ 입력 콘센트 유형</td><td>IEC 320 C 13 + IEC Jumpers
/ IEC 320 C14</td></tr><tr><td>상용 전원 작동시 입력 전압 범위
(최대 조정가능 범위)</td><td>189 ~ 287V (170 ~ 300V)</td></tr><tr><td>배터리 유형</td><td>무보수성 밀폐형 납축전지: 누액 방지</td></tr><tr><td>과전압 보호 및 필터링</td><td>전시간에 걸친 다극 노이즈 필터링:
0.3% IEEE 서지 통과 제로 클램핑 반응 시간</td></tr></table></td><td>Pass</td><td></td></tr>
<tr><td>Problem Report</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

사. 레일절손 검지장치 개발 관련 자문회의

(1) 레일절손 검지장치 개발관련 자문회의

(가) 자문회의 개요

ㅇ 목적: 기존 레일절손 사례 검토 및 분석을 통한 레일절손 검지장치 개발 적합성 확인

ㅇ 전문가: 한국철도공사 안종백 단장, 한국철도공사 이상배 차장, 국가철도공단 채기현 부장, 우송대학교 백종현 교수

ㅇ 자문회의 일시 및 장소: 2020년 10월 13일 10시~12시, 오송역 한국철도기술연구원 세미나실

(나) 자문회의 결과

ㅇ 기존 궤도회로를 활용하여 레일절손을 검지하는 방식은 한계가 있으며 활용도도 매우 미미함

ㅇ 기존 사례로 확인한 바와 같이 레일 관리 및 생산 기술의 발달로 절손 사례는 1년에 1건 정도로 빈도가 적음

ㅇ 절손을 일으켜도 69㎜ 이내로 생기도록 설계, 시공되어 있으므로 (탈선 방지를 위해) 안전

측면에서 문제 되지 않음

ㅇ DAS 기반의 기술은 다양한 상황과 데이터가 필요하므로 신뢰성 확보에 어려울 수 있음. 신뢰성 확보를 위해 충분한 데이터 확보와 기술개발이 필요함

ㅇ 레일절손 검지기술은 대상이 궤도이므로 신호 파트에서 주관하는 것이 아니라 시설물 관리 주체 파트에서 주관하는 것이 바람직함

ㅇ 레일절손 검지기술(DAS)의 확장성, 응용성을 이용하여 레일절손 검지 뿐만 아니라 열차 시설 감시 등 다양한 분야의 감시로 나아가야 함





(1) 레일절손 검지장치 개발 기술설명회

(가) 설명회 개요

ㅇ 목적: 레일절손 검지기술 개발 현황 공유, 실용화를 위한 보완기술 검토

ㅇ 일시: 2020년 12월 10일 목요일 14:00~16:20

ㅇ 장소: 국가철도공단 3층 대회의실

ㅇ 진행방법: 온라인 화상방식*(발표자 및 패널, 진행관련인원 등 20명 내외 오프라인 참석)

* 설명회장에 영상카메라를 설치하여 실시간 방송하고 온라인 참석자는 컴퓨터, 스마트폰 등으로 접속하여 시청. 질의/응답은 채팅창 활용

(나) 발표 내용

ㅇ 레일절손 검지장치 개발 현황 공유

- 분산형 음파 검지(Distributed Acoustic Sensing: DAS) 기술 소개 및 DAS 기반 레일절손 검지장치 개발 현황
- 레일절손 발생 및 탐지 현황
- 타 레일절손 검지기술 소개 및 국외 기술개발 동향

ㅇ 신뢰성 확보를 위한 DAS 보완 방안 검토
- 사건 검지 기능 보완 방안
- 시험 계획(2단계 사업) 등 향후 계획

(다) 자문위원(패널)
ㅇ 한국철도공사 신호제어처 박삼종 부장
ㅇ 한국철도공사 인재개발원 이상배 부장(궤도)
ㅇ 국가철도공단 궤도처 유진영 부장
ㅇ 서울과학기술대학교 철도전문대학원 박용걸 교수(궤도)
ㅇ 신분당선(네오트랜스) 신호팀 권혁석 팀장

(라) 패널 자문의견
ㅇ 궤도회로를 대체하기 위한 레일절손 검지기술은 개발이 반드시 필요한 기술임
ㅇ DAS 방식의 검지기술은 절손 여부 및 위치를 제공하므로 점검 및 보수 시간 단축 효과가 예상됨. 다만 사전검지를 위한 기술 개량 및 보완이 필요함
ㅇ DAS 방식은 열차 운행 환경과 관련된 다양한 정보를 제공하므로 철도안전시스템과 접목이 가능할 것으로 사료됨
ㅇ 레일절손 발생 즉시 인식하여 신호시스템 등과 연계되고 조치할 수 있는 신뢰성 높은 기술개발이 필요함
ㅇ 궤도 취약개소(분기부, 신축이음매부, 용접부)의 레일절손을 신속하고 신뢰성있게 검지할 수 있도록 고려해야 함
ㅇ DAS 방식의 검지기술의 신뢰성 확보를 위해 궤도 구조 별 진동특성을 수집하고 데이터베이스로 구축하여 오류를 제거할 필요가 있음
ㅇ 현재 CBTC 방식에서는 레일절손 검지기능 없이 운행하고 있으나 향후 통신 두절 등 이벤트 발생을 대비하여 레일절손 및 궤도 상태를 검지할 수 있는 기술 개발이 필요함
ㅇ DAS 기술을 향상 개발하여 레일절손뿐만 아니라 선로전환기 부분의 차축 검지기 대응으로 사용할 수 있다면 CBTC 무인운전 등에서도 활용도가 많을 것으로 사료됨

(마) 온라인 참석자 의견
ㅇ 새로운 기술로 레일절손 검지를 위한 기능 구현 가능성을 확인 가능. 그 외에도 부수적으로 열차 검지 및 열차의 속도, 열차의 길이까지 가능한 것으로 보임. 특히 유지보수의 편의성이 돋보임


2020 레일절손 검지기술 개발 기술설명회




기술설명회


2020 레일절손 검지기술 개발 기술설명회

아. 레일절손 검지장치 실용화 계획

(1) 실용화 개요

○ 본 사업은 1단계 사업으로써 레일절손 검지장치를 포함한 열차제어시스템의 기술 개발까지를 목표로 함. 따라서 과제 목표 및 기간, 예산이 랩테스트를 수행하는 것까지 맞춰져 있으며 실용화를 위한 2단계 검증사업 진행을 준비하고 있음

(2) 2단계 검증사업 추진계획

○ 2단계 사업은 DBRD의 사전검지기능을 보완하고 검지 정확도를 높여 실용화를 추진하는 사업이며 추진계획은 아래 표와 같다.

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거
1단계 (2021 ~2022)	장거리 궤도회로 제작	장거리 궤도회로 시작품(레일절손 검지장치 인터페이스 포함)	3㎞ 검지용 시작품 제작	5㎞	전체 시공 비용 절감
	장거리 궤도회로 시험(랩 테스트), 레일절손 검지장치 보완	장거리 궤도회로 자체 시험 성적서, 레일절손 검지장치 채널 확장, 알고리즘 개선	3㎞ 검지용 시작품 제작, 1ch 20㎞, 검지 정확도 70%	5㎞, 2ch 양방향 20㎞, 검지정확도 90%	설치 비용 절감
2단계 (2023 ~2024)	레일절손 검지장치 현장 시험	레일절손 검지장치 현장 시험성적서	기능 시험	성능 시험(검지 정확도 90%)	궤도회로 수준
	레일절손 검지장치 신뢰성 검증	레일절손 검지장치 신뢰성 검증 보고서	기능 신뢰성 검증	성능 신뢰성 검증(검지 정확도 90%)	궤도회로 수준

2.2.3 열차진로제어기술 개발 _ 철도신호사업연구조합

가. 진로제어용 연동장치 시뮬레이터 제작 및 검증

(1) ETCS L3 기반 전자연동장치 시뮬레이터 개발 개요

○ ETCS L3 열차제어시스템은 기존의 궤도회로 대신 무선통신 방식으로 열차의 위치를 정밀하게 검지한다. 필요시에는 선로전환기 구간에 엑셀카운터와 같은 설비를 사용하여 열차위치 검지를 보완하여 안전을 보완한다. ETCS L3 전자연동장치(EIS) 시뮬레이터는 연동논리부(CXP, SIOS), 통신부(L3스위치) 및 현장설비와의 인터페이스를 위한 기기랙(Relay, Fuse, 분선반)으로 구성된다. 또한 제어 및 감시를 위한 원격접속설비(LCC, LMC, RC, CTC)가 각 설비별 1개씩 L3스위치에 이더넷 연결되며 통신라인은 이중계로 구성한다. 연동논리부의 안전제어시스템(CXP)은 이중계로 구성한다. 안전입출력시스템(SIOS)은 이중계로 구성하며 역별 현장상황에 따라 SIOS를 최대 10개까지 확장이 가능하다.

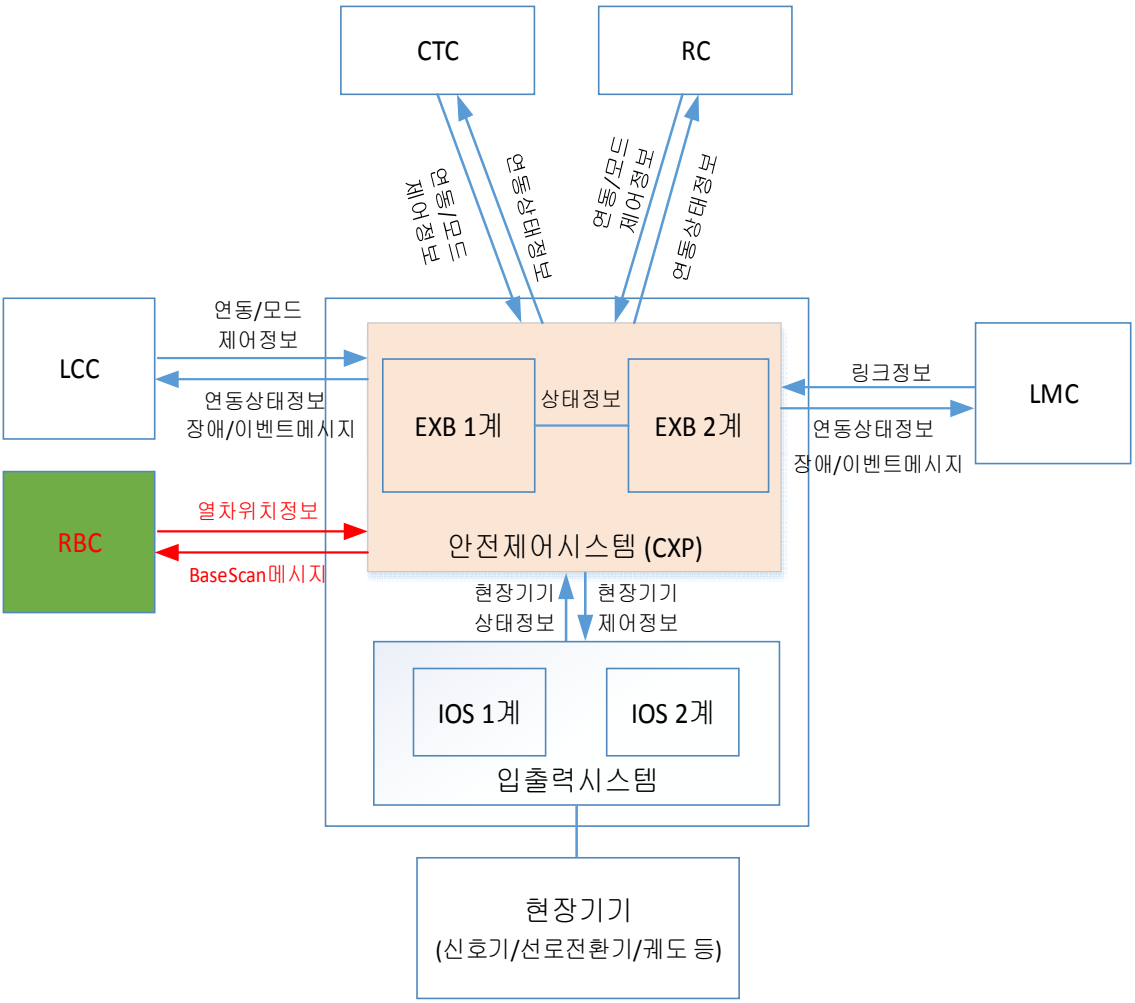


그림 97. ETCS L3 기반 전자연동장치 구성도

(2) 이동폐색 전자연동장치 S/W 추가 개발사항(KTCS-2 대비)

○ KTCS-2 대비 KTCS-3 전자연동장치에서는 차량의 열차 위치정보를 RBC로부터 점 정보(Km정보)로 받아 가상폐색 정보로 변환하고 또한 열차길이 정보를 가상폐색 점유정보 판단 시 고려하여 진로를 설정해주는 연동논리 추가 S/W 모듈 개발이 필요하다. 또한 분기부의 열차점유 및 안전확보를 위한 엑셀카운터 연동처리 추가 모듈 개발이 필요하다. KTCS-2 대비 KTCS-3 추가 개발 내용을 초록색으로 표시하였다.

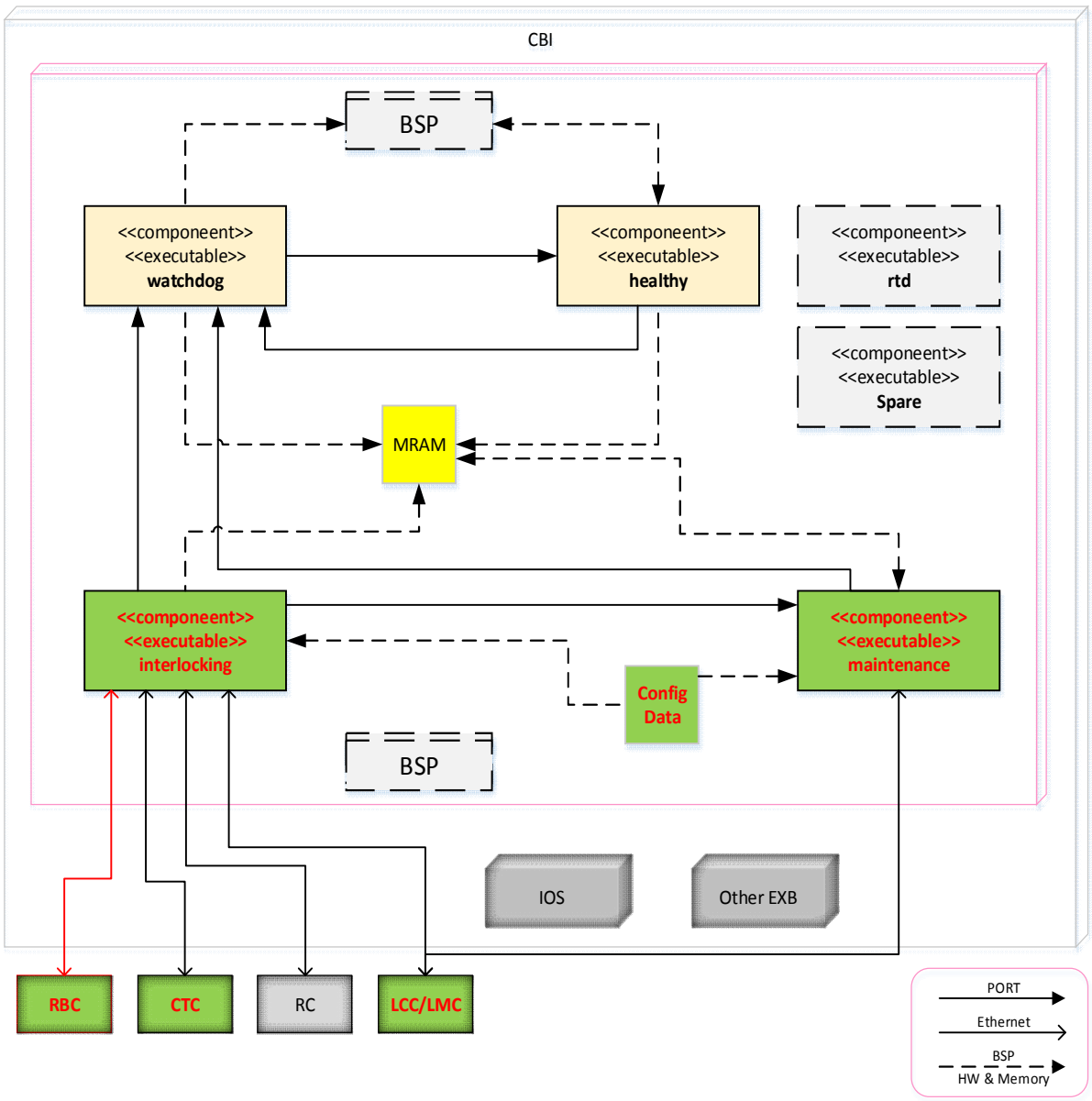


그림 98 . 전자연동장치 S/W 구성도 (이동폐색/KTCS-3)

표 49. KTCS-2 대비 EIS S/W 추가개발 내용

	추가개발 항목	설명	비고
1	RBC와의 정보처리	✔rbcIFDefine.h ✔rbcInput.h ✔rbcInput.c ✔rbcOutput.h ✔rbcOutput.c ✔rbcState.h ✔rbcState.c	· RBC 인터페이스 관련 정의 (열차위치정보, 열차길이정보) · RBC로부터 입력데이터 처리 · RBC로 출력데이터 처리 · RBC 관련 상태 처리
2	논리블럭(가상폐색) 변환 및 처리	✔trainLRBGInput.h ✔trainLRBGInput.c ✔trainLRBGPrecess.h ✔trainLRBGPrecess.c ✔trainLRBGOutput.h ✔trainLRBGOutput.c	· 열차 위치정보 입력 처리 · 논리블력 점유판단 처리 · 열차번호 정보출력 처리
3	DBRD와의 인터페이스	✔dbrdIFDefine.h ✔dbrdInput.h ✔dbrdInput.c ✔dbrdState.h ✔dbrdState.c ✔dbrdOutput.h ✔dbrdOutput.c	· DBRD 인터페이스 관련 정의 · DBRD로부터 입력데이터 처리 · DBRD로 출력데이터 처리 · DBRD정보 관련 논리블럭 장애 처리
4	엑셀카운터와의 정보처리	✔acState.h ✔acState.c	· 분기부 열차 위치정보관련 엑셀카운터 계전기 정보 처리 로직

(3) 시뮬레이터 인터페이스 구성

○ 본 과제에서 개발한 ETCS L3 기반 전자연동장치 시뮬레이터는 취급자의 제어를 처리하고 표시하는 표시제어부(LCC), 열차집중제어장치(CTC), 열차 이동권한을 생성하는 무선폐색센터(RBC), 궤도의 절손상태를 검지하는 레일절손검지장치(DBRD)와 인터페이스를 한다.

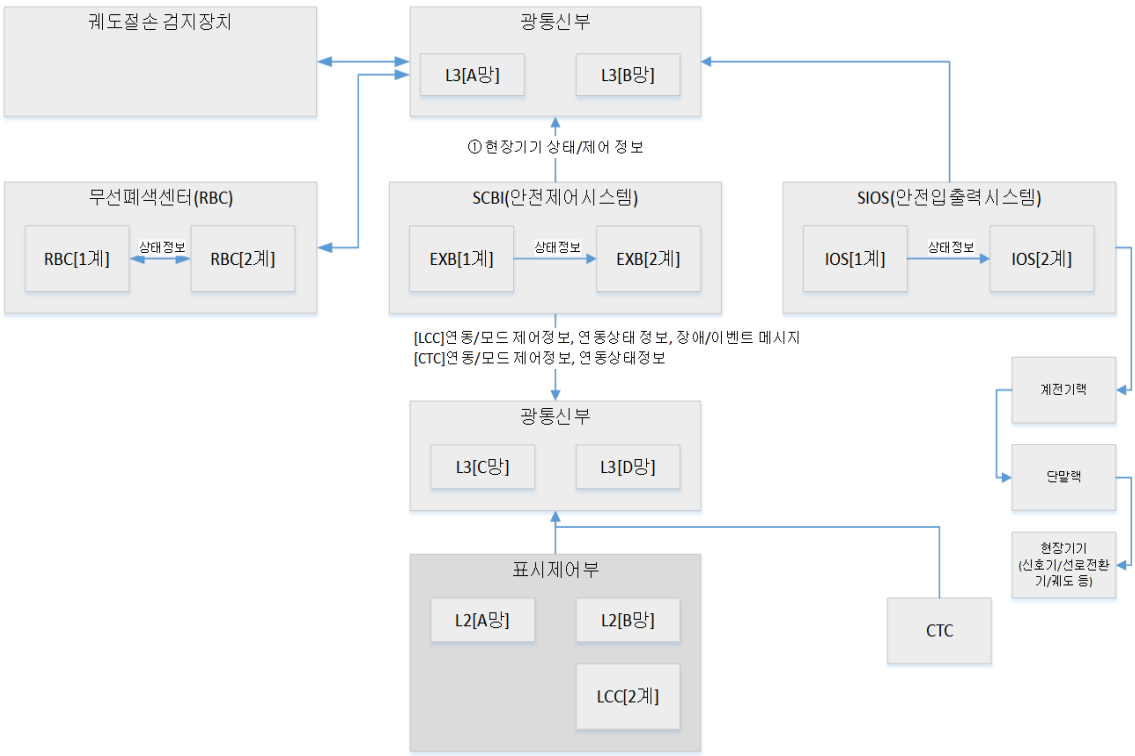


그림 99. 시뮬레이터 인터페이스 구성도

(가) 무선폐색센터(RBC)

○ 무선폐색센터(RBC)는 차상장치에서 수신된 열차위치 정보와 지상 신호기기 상태를 이용하여 열차의 이동권한 및 제한속도를 연산하여 전송하는 장치이다. 무선폐색센터는 차상장치로부터 수신된 열차 위치정보를 전자연동장치로 전송하며, 전자연동장치는 역, 가상 신호, 선로전환기의 방향, 쇄정상태, 진로구성 정보 등을 무선폐색센터로 전송한다.

(나) CTC

○ CTC는 철도시스템의 운영관제가 선로의 상태를 감시하고, 열차 운행을 위해 제어하는 시스템을 말하며, CTC, LCC로 구분한다. LCC는 선로상태를 감시하고, 전자연동장치를 제어할 수 있는 장치이다. 전자연동장치의 안전제어시스템은 CTC로 선로상태 및 연동상태를 실시간으로 제공하고, 연동제어를 LCC로부터 수신하여 연동제어를 수행한다.

(다) 레일절손검지장치(DBRD)

○ 레일절손 검지장치는 레일의 파손여부를 검지하는 장치이다. 레일절손 검지장치는 궤도레일의 절손상태를 전자연동장치에 제공하고, 전자연동장치는 레일절손 검지장치로 응답정보를 전송한다.

(4) 시뮬레이터 구성품

○ 본 과제에서는 아티슨사에 개발한 CXP로 전자연동장치 시뮬레이터를 구성하며 입출력 시스템은 시뮬레이터로 구현한다. 3차연도에는 실물 시뮬레이터를 제작하여 시험하였다. 전자연동장치 시뮬레이터는 연동논리부인 안전제어시스템(CXP)과 안전입출력시스템(SIOS)시뮬레이터로 구성한다. ETCS L3 기반 전자연동장치 시뮬레이터의 주요 구성품은 다음 표와 같다.

표 50. 시뮬레이터의 구성품

구 분	주요구성품	수 량	비 고
연동논리부 (CXP)	정류기 전원모듈 CPU모듈/RTM 통신모듈(SWM)/RTM 인터페이스모듈(SIOS_IFM) L3 스위치 시뮬레이터용 랙	2개(랙별) 2개(랙별) 4개/4개 2개/2개(랙별) 2개 2개 소요량	2중계구성
안전입출력시스템 (SIOS)	PC/SIOS Sim	1	에플리케이션
표시제어부 (LCC)	산업용컴퓨터 모니터 기기랙	2대 1개 1개	

(5) 시뮬레이터 제작

○ ETCS L3 기반 전자연동장치는 실물로 제작하였으며 주요 구성품의 제작사진은 다음과 같다.

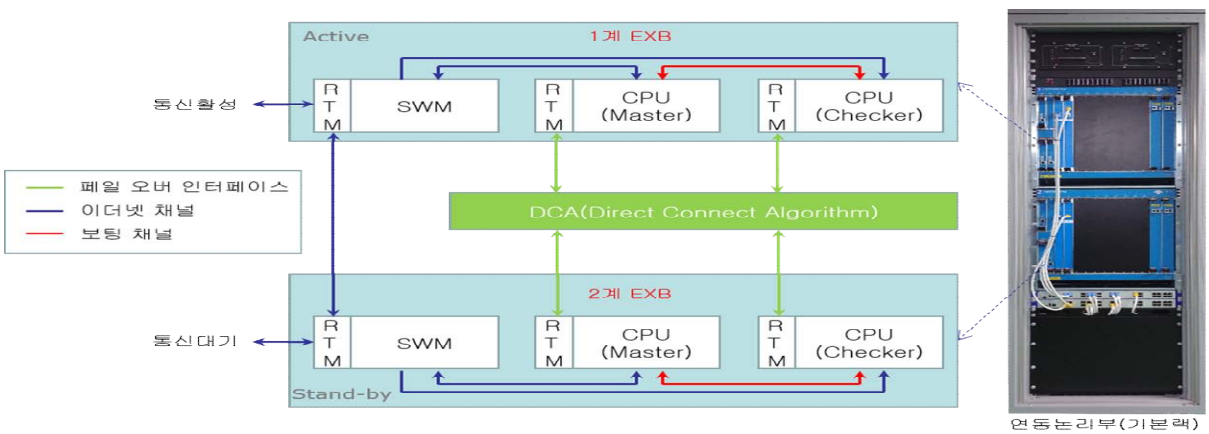


그림 100. 연동논리부 HW구성

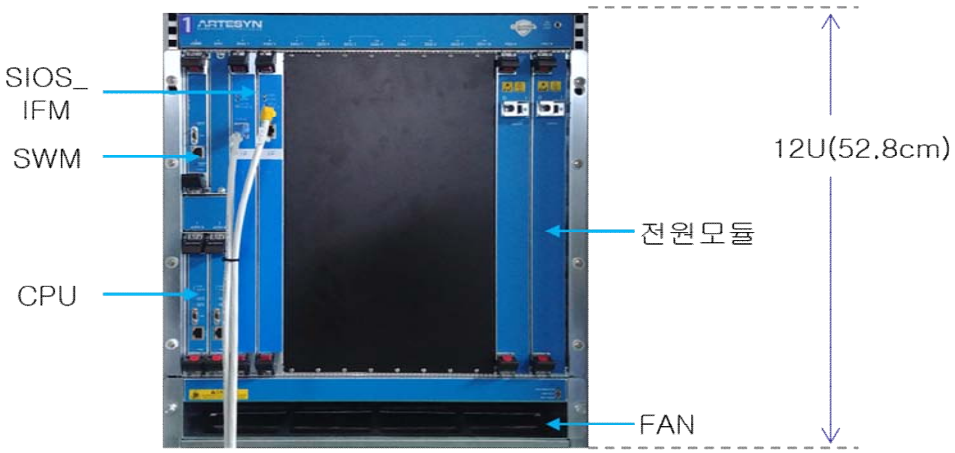


그림 101. 연동논리부 서브랙 정면

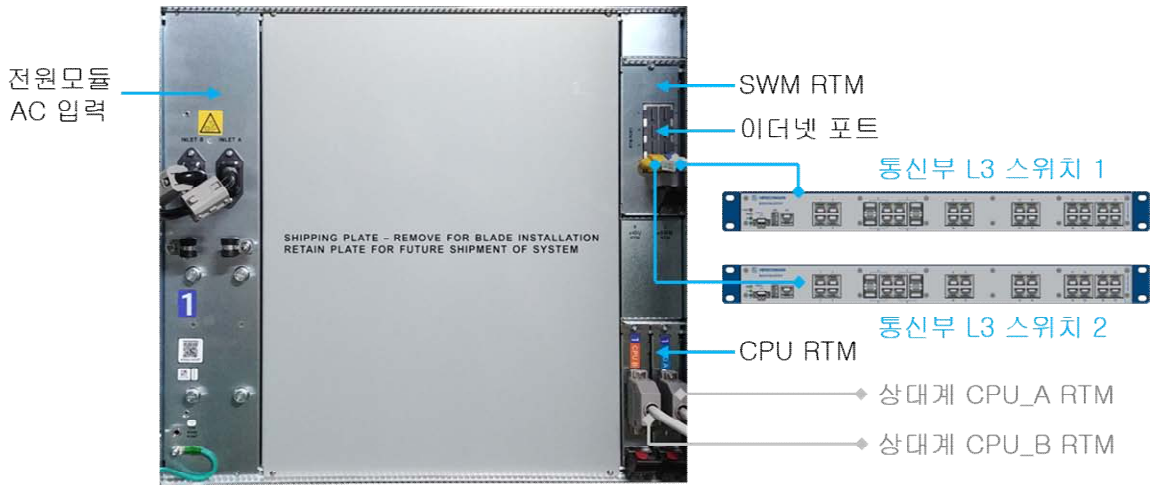


그림 102. 연동논리부 서브랙 후면



프 로 세 서	NXP P2020 (1GHz)
운 영 체 제	VxWorks 653
메 모 리	1GB DDR3-800 SDRAM, ECC
플 래 시	2 X 128MB NOR
M R A M	2 X 2MB MRAM
크기 / 전원	4U, DC 12V

그림 103. 연동논리부 CPU 모듈

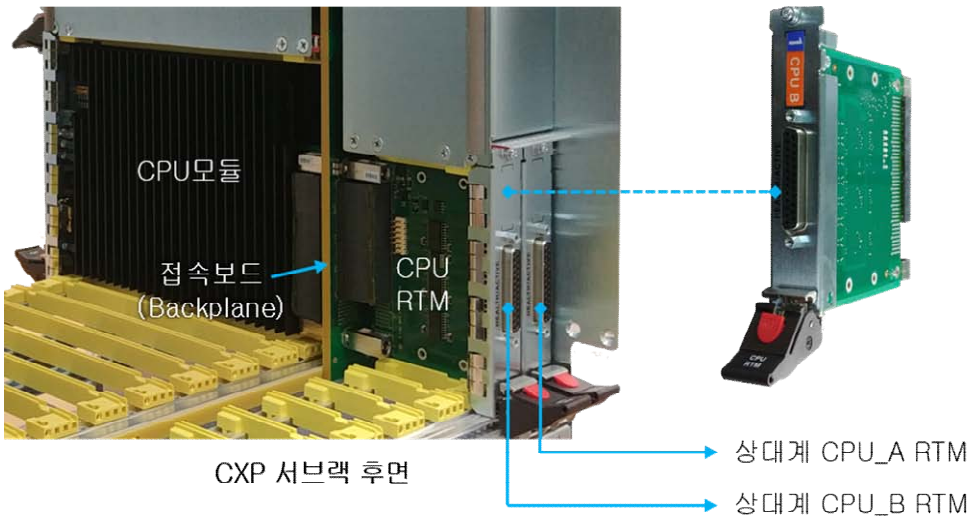
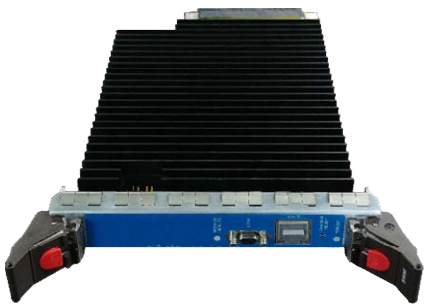


그림 104. 연동논리부 CPU모듈 RTM



프 로 세 서	NXP P1011 (800MHz)
운 영 체 제	VxWorks 653
메 모 리	512MB DDR3-667 SDRAM, ECC
플 래 시	2 X 64MB NOR
M R A M	1 X 2MB MRAM
크기 / 전원	4U, DC 12V

그림 105. 연동논리부 통신모듈(SWM)

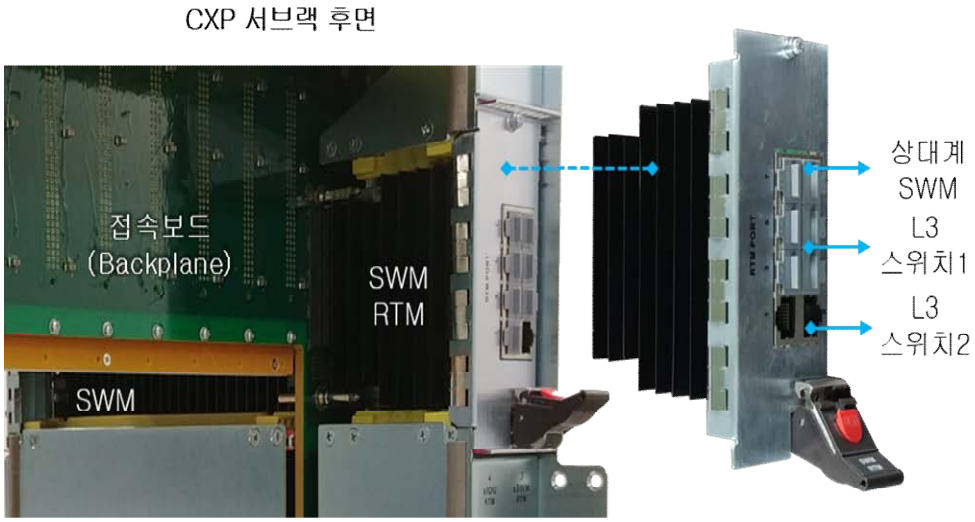
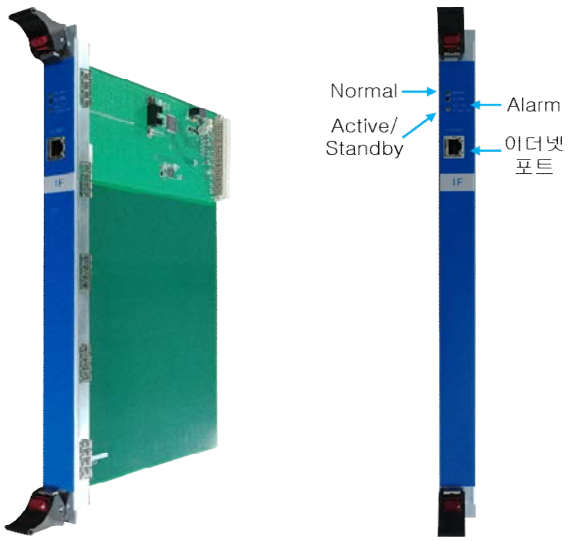


그림 106. 연동논리부 통신모듈(SWM) RTM



- Normal 램프
  모듈상태표시:녹색(정상, OFF:장애)
- Alarm 램프
  모듈장애표시:적색(장애, OFF:정상)
- Active/Standby 램프
  주부계상태표시:녹색(ATC),
  OFF(STBY)
- 이더넷 포트
  Network(L3스위치)연결용
- 크기/전원
  9U, DC 12V

그림 107. 연동논리부 IF모듈

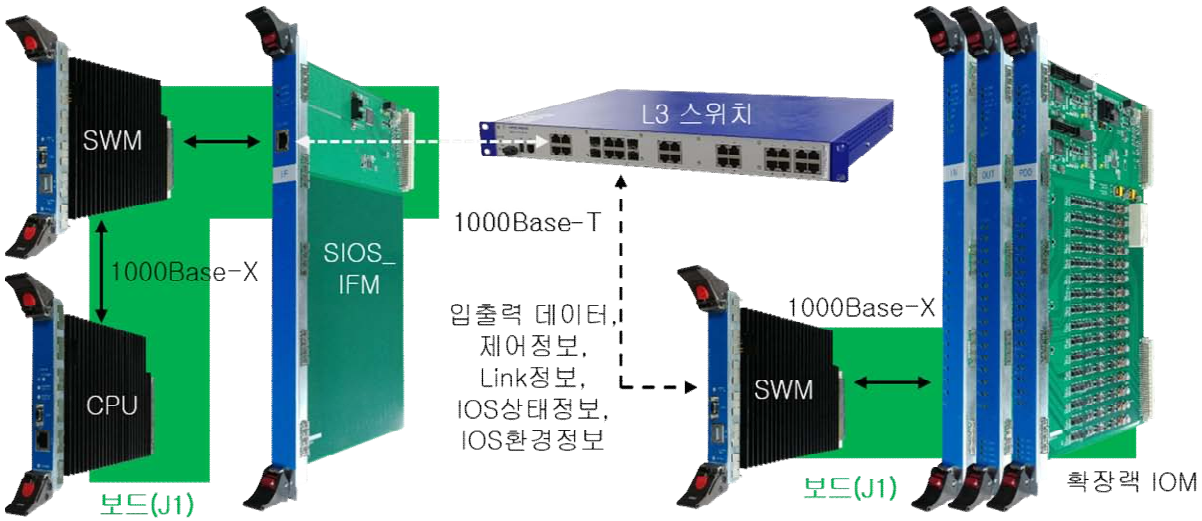
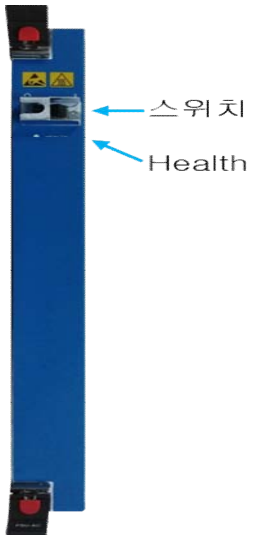


그림 108. 연동논리부 인터페이스 구성





- ON/OFF 스위치
- Health 램프

  OFF(전원off), 녹색점등(전압정상)
- 입력전압 / 전류

  AC220V, 60Hz / 3.4A
- 출력전압 / 전류

  DC12V±10% / 20.8A
- 크기 9U

그림 109. 연동논리부 전원모듈(PSU)



• Fan operation 램프

OFF(FAN동작안함), 녹색점등

(FAN동작)

•Fan Fault 램프

OFF(FAN정상), 적색점등(FAN이상 검지)

•Fan Power

OFF(입력전원off), 녹색점등

(DC12V 정상 입력)

그림 110. 연동논리부 냉각팬

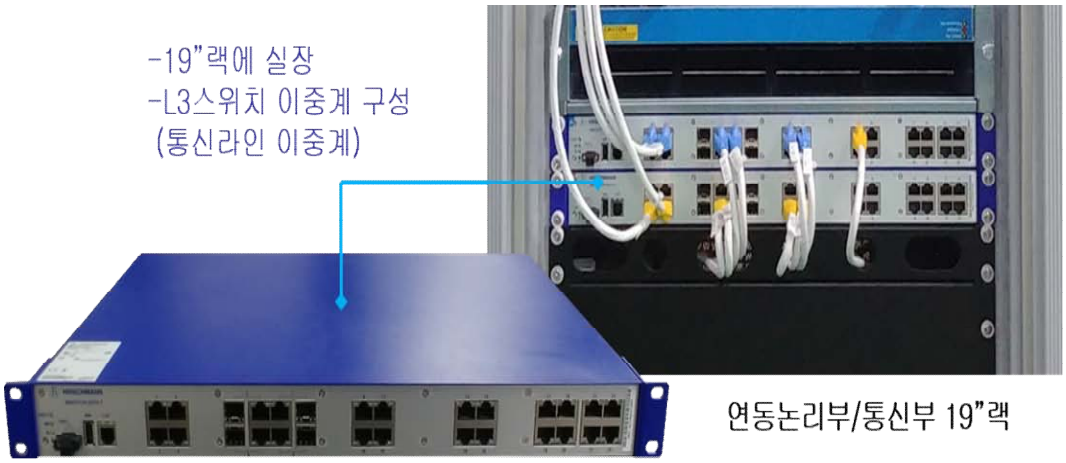


그림 111. L3 스위치 형태

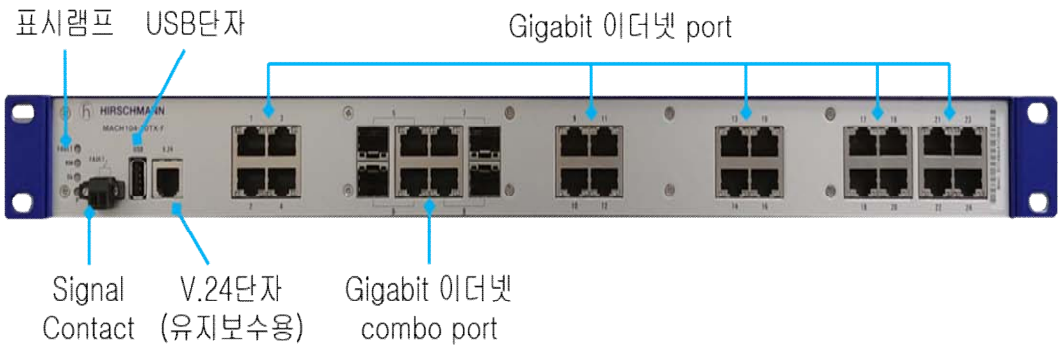


그림 112. 연동논리부 L3스위치

(6) 시뮬레이터 시험

(가) EIS와 CTC 간 인터페이스 시험

① CTC 제어 메시지 시험 결과

○ CTC 시뮬레이터를 통하여 제어메시지를 송신하여 EIS의 제어 메시지 수신기능을 시험한다. 주요 시험결과는 다음과 같다.

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="3">LOCAL 모드전환제어 메시지 송신</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Test Case ID</td><td rowspan="2">CTC_TTR_CTRL_TC01</td><td>Tester</td><td>김철환</td></tr>
<tr><td>Test Date</td><td>2020. 06. 15</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="3">CTC_TTP_CTRL_TC01</td></tr>
<tr><td>Result Data</td><td colspan="3">1.LOCAL 전환 메시지
<table><tr><th>객체구분</th><th>메시지구성</th><th>제어코드</th><th>객체ID</th><th>상태값</th></tr><tr><td>CTC</td><td>적합</td><td>0x01</td><td>0x0000</td><td>0x01</td></tr></table>-User Data :

0204003001000001c5f803</td></tr>
<tr><td>Expected Data</td><td colspan="3">1.LOCAL 전환 메시지
-메시지 구성 : CTC_TTP_TXD_TC03
-제어코드 : 0x01
-객체ID : 0x0000
-상태값 : 0x01</td></tr>
<tr><td>Test Result</td><td colspan="3">적합</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="3">비상CTC 모드전환제어 메시지 송신</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Test Case ID</td><td rowspan="2">CTC_TTR_CTRL_TC02</td><td>Tester</td><td>김철환</td></tr>
<tr><td>Test Date</td><td>2020. 06. 15</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="3">CTC_TTP_CTRL_TC01</td></tr>
<tr><td>Result Data</td><td colspan="3">1.비상CTC 전환 메시지
<table><tr><th>객체구분</th><th>메시지구성</th><th>제어코드</th><th>객체ID</th><th>상태값</th></tr><tr><td>CTC</td><td>적합</td><td>0x01</td><td>0x0000</td><td>0x02</td></tr></table>-User Data :

020400300100000285f903</td></tr>
<tr><td>Expected Data</td><td colspan="3">1.비상CTC 전환 메시지</td></tr>
</table>

	-메시지 구성 : CTC_TTP_TXD_TC03 -제어코드 : 0x01 -객체ID : 0x0000 -상태값 : 0x02
Test Result	적합

Test Case	선로전환기 정위전환 제어메시지 송신		
Test Case ID	CTC_TTR_CTRL_TC03	Tester	김철환
		Test Date	2020. 06. 15
Test Procedure	CTC_TTP_CTRL_TC02		
Result Data	1.선로전환기 정위전환 메시지 -User Data : 0204003002000301c54c03 0204003002000401c77c03		
Expected Data	1.정위 전환 메시지 -메시지 구성 : CTC_TTP_TXD_TC03 -제어코드 : 0x02 -객체ID(4byte) : 제어Table 해당 선로전환기 객체위치 -상태값 : 0x01		
Test Result	적합		

객체구분	메시지구성	제어코드	객체ID	상태값
N21A	적합	0x02	0x0003	0x01
51A	적합	0x02	0x0004	0x01

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="3">선로전환기 반위전환 제어메시지 송신</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Test Case ID</td><td rowspan="2">CTC_TTR_CTRL_TC04</td><td>Tester</td><td>김철환</td></tr>
<tr><td>Test Date</td><td>2020. 06. 15</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="3">CTC_TTP_CTRL_TC02</td></tr>
<tr><td>Result Data</td><td colspan="3">1.선로전환기 반위전환 메시지
<table>
<tr><th>객체구분</th><th>메시지 구성</th><th>제어코드</th><th>객체ID</th><th>상태값</th></tr>
<tr><td>N21A</td><td>적합</td><td>0x02</td><td>0x0003</td><td>0x02</td></tr>
<tr><td>51A</td><td>적합</td><td>0x02</td><td>0x0004</td><td>0x02</td></tr>
</table>
-User Data :
02040030020003028 54d03
02040030020004028 77d03</td></tr>
<tr><td>Expected Data</td><td colspan="3">1.반위 전환 메시지
-메시지 구성 : CTC_TTP_TXD_TC03
-제어코드 : 0x02
-객체ID(4byte) : 제어Table 해당 선로전환기 객체위치
-상태값 : 0x02</td></tr>
<tr><td>Test Result</td><td colspan="3">적합</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="3">가상신호기 진로 설정 메시지 송신</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Test Case ID</td><td rowspan="2">CTC_TTR_CTRL_TC05</td><td>Tester</td><td>김철환</td></tr>
<tr><td>Test Date</td><td>2020. 06. 15</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="3">CTC_TTP_CTRL_TC03</td></tr>
<tr><td>Result Data</td><td colspan="3">1.가상신호기 진로 설정 메시지
<table>
<tr><th>객체구분</th><th>메시지구성</th><th>제어코드</th><th>객체ID</th><th>상태값</th></tr>
<tr><td>1A-1DN설정</td><td>적합</td><td>0x03</td><td>0x000f</td><td>0x01</td></tr>
<tr><td>3A-A2설정</td><td>적합</td><td>0x03</td><td>0x0010</td><td>0x01</td></tr>
<tr><td>2A-2UP설정</td><td>적합</td><td>0x03</td><td>0x0014</td><td>0x01</td></tr>
<tr><td>4A-B2설정</td><td>적합</td><td>0x03</td><td>0x0016</td><td>0x01</td></tr>
</table>
-User Data :

0204003003000f01c1b003

0204003003001001c98003

0204003003001401cb4003

0204003003001601ca2003</td></tr>
<tr><td>Expected Data</td><td colspan="3">1.가상신호기 진로설정 메시지
-메시지 구성 : CTC_TTP_TXD_TC03
-제어코드 : 0x03
-객체ID(4byte) : 제어Table 해당 진로 객체위치
-상태값 : 0x01</td></tr>
<tr><td>Test Result</td><td colspan="3">적합</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="3">설정한 가상신호기 진로 취소 메시지 송신</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Test Case ID</td><td rowspan="2">CTC_TTR_CTRL_TC06</td><td>Tester</td><td>김철환</td></tr>
<tr><td>Test Date</td><td>2020. 06. 15</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="3">CTC_TTP_CTRL_TC03</td></tr>
<tr><td>Result Data</td><td colspan="3">1.설정한 가상신호기진로 취소 메시지
<table><tr><th>객체구분</th><th>메시지구성</th><th>제어코드</th><th>객체ID</th><th>상태값</th></tr><tr><td>1A-1DN취소</td><td>적합</td><td>0x03</td><td>0x000f</td><td>0x02</td></tr><tr><td>3A-A2취소</td><td>적합</td><td>0x03</td><td>0x0010</td><td>0x02</td></tr><tr><td>2A-2UP취소</td><td>적합</td><td>0x03</td><td>0x0014</td><td>0x02</td></tr><tr><td>4A-B2취소</td><td>적합</td><td>0x03</td><td>0x0016</td><td>0x02</td></tr></table>-User Data :

0204003003000f0281b103

02040030030001002898103

0204003003001402 8b4103

0204003003001602 8a2103</td></tr>
<tr><td>Expected Data</td><td colspan="3">1.설정진로 취소 메시지

-메시지 구성 : CTC_TTP_TXD_TC03

-제어코드 : 0x03

-객체ID(4byte) : 제어Table 해당 진로 객체위치

-상태값 : 0x02</td></tr>
<tr><td>Test Result</td><td colspan="3">적합</td></tr>
</table>

② EIS 송신 메시지 시험 결과

○ CTC 시뮬레이터에서 EIS 송신 메시지를 수신하여 EIS의 메시지 송신기능을 시험한다. 항목 시험 시 송신하는 메시지값(hexa)을 CTC 시뮬레이터 수신Data창에 표시하는 기능을 확인한다. 전자연동장치의 초기폴링메시지, 폴링메시지, 제어메시지, 베이스스캔 등 수신 메시지들을 시험한다. 주요 시험결과는 다음과 같다.

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="3">폴링 메시지 전송</td></tr>
<tr><td>Test Case ID</td><td rowspan="2">CTC_TTR_TXD_TC01</td><td>Tester</td><td>김철환</td></tr>
<tr><td>Test Date</td><td>2020. 06. 15</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="3">CTC_TTP_TXD_TC02</td></tr>
<tr><td>Result Data</td><td colspan="3">1.폴링 메시지 구성 및 크기
<table><tr><th>구분</th><th>크기</th><th>값(Hexa)</th></tr><tr><td>STX</td><td>1byte</td><td>0x02</td></tr><tr><td>Data Length</td><td>1byte</td><td>0x00</td></tr><tr><td>SEQ</td><td>1byte</td><td>0x00</td></tr><tr><td>Message Type</td><td>1byte</td><td>0x20</td></tr><tr><td>CRC</td><td>2byte</td><td>0x01d8</td></tr><tr><td>ETX</td><td>1byte</td><td>0x03</td></tr></table>-User Data

0200002001d803</td></tr>
<tr><td>Expected Data</td><td colspan="3">1.폴링 메시지 구성

-메시지 구성

<table><tr><th>STX</th><th>Data Length</th><th>Seq. No.</th><th>Message Type</th><th>CRC(Low)</th><th>CRC(High)</th><th>ETX</th></tr><tr><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td></tr></table>-Message Type : 0x20</td></tr>
<tr><td>Test Result</td><td colspan="3">적합</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="3">제어 메시지 전송</td></tr>
<tr><td>Test Case ID</td><td rowspan="2">CTC_TTR_TXD_TC02</td><td>Tester</td><td>김철환</td></tr>
<tr><td>Test Date</td><td>2020. 06. 15</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="3">CTC_TTP_TXD_TC03</td></tr>
<tr><td>Result Data</td><td colspan="3">1.제어 메시지 구성 및 크기

: 모드제어(LOCAL) 메시지 전송

<table>
<tr><th>구분</th><th>크기</th><th>값(Hexa)</th></tr>
<tr><td>STX</td><td>1byte</td><td>0x02</td></tr>
<tr><td>Data Length</td><td>1byte</td><td>0x04</td></tr>
<tr><td>SEQ</td><td>1byte</td><td>0x00</td></tr>
<tr><td>Message Type</td><td>1byte</td><td>0x30</td></tr>
<tr><td>Data</td><td>4byte</td><td>0x01000001</td></tr>
<tr><td>CRC</td><td>2byte</td><td>0xc5f8</td></tr>
<tr><td>ETX</td><td>1byte</td><td>0x03</td></tr>
</table>
-User Data :

0204003001000001c5f803</td></tr>
<tr><td>Expected Data</td><td colspan="3">1.제어 메시지 구성

-메시지 구성

<table>
<tr><th>STX</th><th>Data Length</th><th>Seq. No.</th><th>Message Type</th><th>Data</th><th>CRC(Low)</th><th>CRC(High)</th><th>ETX</th></tr>
<tr><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>4byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td></tr>
</table>
-Message Type : 0x30

-Data구성

• Data[0] : 제어코드(Control code)

• Data[1][2] : 제어를 위한 Element ID

• Data[3] : 제어상태(Control state)</td></tr>
<tr><td>Test Result</td><td colspan="3">적합</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="2">초기폴링 메시지 전송</td></tr>
<tr><td>Test Case ID</td><td>CTC_TTP_TXD_TC01</td><td>□Safety □Safety-related ■Non-Safety</td></tr>
<tr><td>Description</td><td colspan="2">콘솔시뮬레이터의 초기폴링 메시지 송신기능을 확인</td></tr>
<tr><td>Preconditions</td><td colspan="2">CTC_TTP_SET_TC01, CTC_TTP_SET_TC02 완료</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="2">WireShark를 실행하여 IP 192.168.10.11에 대해 모니터링 한다
콘솔시뮬레이터 Config창 시작버튼을 클릭하여 통신을 시작, WireShark에서 다음 사항을 확인한다.
1.초기폴링 메시지 구성.</td></tr>
<tr><td>Expected Result</td><td colspan="2">1.초기폴링 메시지 구성
-메시지 구성
<table>
<tr><th>STX</th><th>Data Length</th><th>Seq. No.</th><th>Message Type</th><th>Data</th><th>CRC(Low)</th><th>CRC(High)</th><th>ETX</th></tr>
<tr><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>6byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td></tr>
</table>
-Message Type : 0x10
Data구성
• Data[0][1] : 첫 번째 Element ID
• Data[2][3] : 마지막 Element ID
• Data[4][5] : 총 Element 수</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="2">제어 메시지 전송</td></tr>
<tr><td>Test Case ID</td><td>CTC_TTP_TXD_TC03</td><td>□Safety □Safety-related ■Non-Safety</td></tr>
<tr><td>Description</td><td colspan="2">콘솔시뮬레이터의 제어 메시지 송신기능을 확인</td></tr>
<tr><td>Preconditions</td><td colspan="2">CTC_TTP_SET_TC01, CTC_TTP_SET_TC02 완료</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="2">WireShark를 실행하여 IP 192.168.10.11에 대해 모니터링 한다
콘솔시뮬레이터 Config창 시작버튼을 클릭하여 통신을 시작한다.
Mode창에서 제어모드 설정하여 제어Table에서 제어객체/동작 선택.
Mode창에서 제어Type 체크 후 전송버튼 클릭하여 제어메시지전송,
WireShark에서 다음 사항을 확인한다.
1.제어 메시지 구성.</td></tr>
<tr><td>Expected Result</td><td colspan="2">1.제어 메시지 구성
-메시지 구성
<table>
<tr><th>STX</th><th>Data Length</th><th>Seq. No.</th><th>Message Type</th><th>Data</th><th>CRC(Low)</th><th>CRC(High)</th><th>ETX</th></tr>
<tr><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>4byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td></tr>
</table>
-Message Type : 0x30
-Data구성
• Data[0] : 제어코드(Control code)
• Data[1][2] : 제어를 위한 Element ID
• Data[3] : 제어상태(Control state)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="2">베이스스캔 요구 메시지 전송</td></tr>
<tr><td>Test Case ID</td><td>CTC_TTP_TXD_TC04</td><td>□Safety □Safety-related ■Non-Safety</td></tr>
<tr><td>Description</td><td colspan="2">콘솔시뮬레이터의 베이스스캔 요구 메시지 송신기능을 확인</td></tr>
<tr><td>Preconditions</td><td colspan="2">CTC_TTP_SET_TC01, CTC_TTP_SET_TC02 완료</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="2">WireShark를 실행하여 IP 192.168.10.11에 대해 모니터링 한다
콘솔시뮬레이터 Config창 시작버튼을 클릭하여 통신을 시작한다.
Config창의 전체정보요구 체크박스 체크하여 베이스스캔 요구 메시지를 전송하고 WireShark에서 다음 사항을 확인한다.
1.베이스스캔 요구 메시지 구성.</td></tr>
<tr><td>Expected Result</td><td colspan="2">1.베이스스캔 요구 메시지 구성
-메시지 구성
<table>
<tr><th>STX</th><th>Data Length</th><th>Seq. No.</th><th>Message Type</th><th>Data</th><th>CRC(Low)</th><th>CRC(High)</th><th>ETX</th></tr>
<tr><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>4 byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td><td>1byte</td></tr>
</table>
-Message Type : 0x60
-Data구성
• Data[0][1] : 시작 Element ID(2 바이트
• Data[2][3] : 마지막 Element ID(2 바이트)</td></tr>
</table>

(나) EIS와 RBC 간 인터페이스 시험

① EIS->RBC 송신 메시지 시험 결과

○ EIS에서 RBC 시뮬레이터로 전송된 기기 상태 업데이트 메시지에 대한 확인을 통하여 시험결과를 검증한다. 주요 시험결과는 다음과 같다

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="3">기기 상태 업데이트</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Test Case ID</td><td rowspan="2">RBC_TTR_TXD_TC01</td><td>Tester</td><td>김철환</td></tr>
<tr><td>Test Date</td><td>2020.06. 15</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="3">RBC_TTP_TXD_TC01</td></tr>
<tr><td>Result Data</td><td colspan="3">표시Table byte별 bit 구성
1) Mode상태
<table>
<tr><td>객체ID</td><td>CTC</td></tr>
<tr><td>bit구성</td><td>
<table>
<tr><th>bit 3</th><th>bit 2</th><th>bit 1</th><th>bit 0</th></tr>
<tr><td>LOCAL전환중</td><td>CTC</td><td>CTC전환중</td><td>LOCAL</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

비고	적합

2) 전원상태

객체ID	POWER
bit구성	
비고	적합

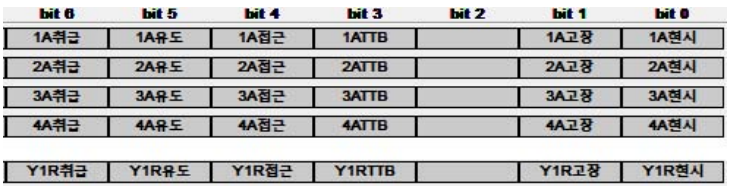
3) EIS상태

객체ID	SYS
bit구성	
비고	적합

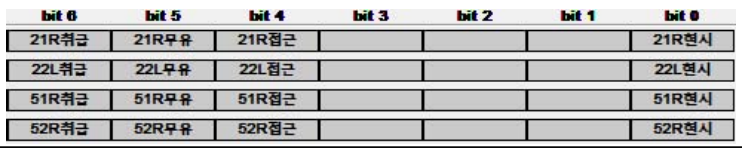
4) 선로전환기 상태

객체ID	N21A, 51A
bit구성	
비고	적합

5) 가상신호기 상태

객체ID	1A, 2A, 3A, 4A, Y1R
bit구성	
비고	적합

6) 입환표지(가상신호기) 상태

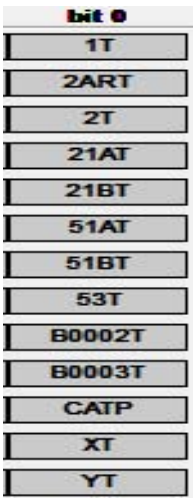
객체ID	21R, 22L, 51R, 52R
bit구성	

비고	적합

7) 진로 상태

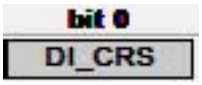
객체ID	1A-1DN, 3A-A2, 21R-A2, 21R-X1, 22L-1DN, 2A-2UP, 4A-B2, 51R-2UP, 51R-1UP, 52R-1UP
bit구성	
비고	적합

8) 가상 블럭

객체ID	1T, 2ART, 2T, 21AT, 21BT, 51AT, 51BT, 53T, B0002T, B0003T, CATP, XT, YT
bit구성	

비고	적합

9) 건널목 표시

객체ID	DI_CRS
bit구성	
비고	적합

10) 폐색화살표 표시

객체ID	CA장내, CA출발
bit구성	
비고	적합

11) 일괄정지 표시

객체ID	EMSTOP
bit구성	
비고	적합

Expected Data

1.표시Table byte별 bit 구성

1) Mode상태

Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
				LOCAL 전환중	CTC	CTC 전환중	LOCAL

2) 전원상태

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
입환				UPS	정류기	N2	N1

3) EIS 상태

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
2계주계	2계상태					1계주계	1계상태

4) 선로전환기 상태

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
		객체_R전환중	객체_N전환중	객체_고장	객체_쇄정	객체_반위	객체_정위

5) 가상신호기 상태

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
	객체_취급	객체_유도	객체_접근	객체_TTB		객체_고장	객체_현시

6) 가상입환표지/가상입환신호기 상태

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
	객체_취급	객체_무유도	객체_접근				객체_현시

7) 진로 상태

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
진로명							

8) 가상 블럭

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
							궤도명

9) 건널목 표시

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
							건널목명

10) 폐색화살표 표시

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
					객체_장내적색	객체_장내황색	
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

	<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>객체_ 출발 적색</td><td>객체_ 출발 황색</td><td></td></tr></table> 11) 일괄정지 표시 <table><tr><td>Bit 7</td><td>Bit 6</td><td>Bit 5</td><td>Bit 4</td><td>Bit 3</td><td>Bit 2</td><td>Bit 1</td><td>Bit 0</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>EMST OP</td></tr></table>
Test Result	적합

② RBC->EIS 송신 메시지 시험 결과

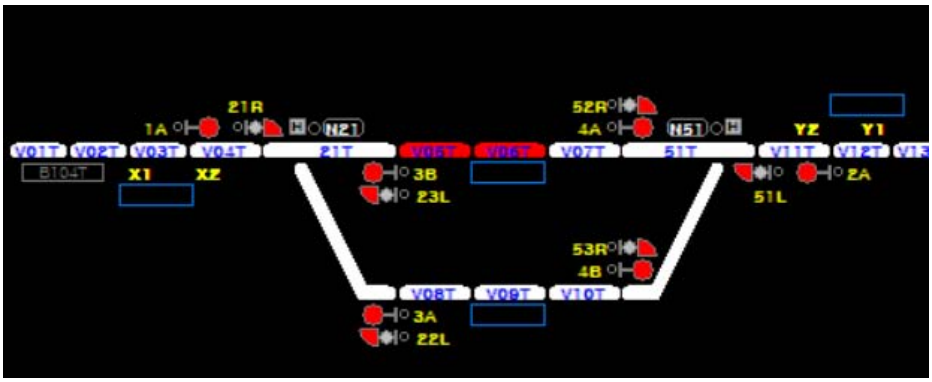
○ RBC 시뮬레이터에서 EIS로 전송된 열차위치정보 메시지에 대한 확인을 통하여 시험결과를 검증한다.

<table>
<tr><td>Test Case</td><td colspan="3">단선자동폐색 취소 메시지 송신</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Test Case ID</td><td rowspan="2">RBC_TTR_RXD_TC01</td><td>Tester</td><td>김철환</td></tr>
<tr><td>Test Date</td><td>2020. 06. 15</td></tr>
<tr><td>Test Procedure</td><td colspan="3">RBC_TTP_RXD_TC01</td></tr>
<tr><td>Result Data</td><td colspan="3">
1. 열차위치 메시지 구성
<table>
<tr><th>Data Field</th><th>변수명</th><th>값의길이 (Bit)</th><th>설명</th></tr>
<tr><td>1</td><td>NID_RBC</td><td>16</td><td>0x01</td></tr>
<tr><td>2</td><td>M_RBC</td><td>8</td><td>0x33(RBC 1계 good/on, RBC 2계 good/on)</td></tr>
<tr><td>3</td><td>N_COUNT</td><td>8</td><td>0x01</td></tr>
<tr><td>4</td><td>NID_MESSAGE(k)</td><td>8</td><td>0x01</td></tr>
<tr><td>5</td><td>L_MESSAGE(k)</td><td>10</td><td>Packet0+op1: 0x25(294bit)
Packet0+op2: 0x25(295bit)
Packet1+op1: 0x28(318bit)
Packet1+op2: 0x28(319bit)</td></tr>
<tr><td>6</td><td>T_TRAIN(k)</td><td>32</td><td>0x32A(Time clock)</td></tr>
<tr><td>7</td><td>NID_ENGINE(k)</td><td>24</td><td>0x01</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Packet 0 or 1(k)</td><td>137 or 161</td><td>아래 표 참조</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Optional packets(k)</td><td>29, 30</td><td>0x00</td></tr>
</table>
1) Packet Number 0: Position Report
<table>
<tr><th>Variable</th><th>Length(Bit)</th><th>Comment</th></tr>
<tr><td>NID_PACKET</td><td>8</td><td>0x01</td></tr>
<tr><td>L_PACKET</td><td>13</td><td>0x14</td></tr>
<tr><td>Q_SCALE</td><td>2</td><td>0x00(10cm scale)</td></tr>
<tr><td>NID_LRBG</td><td>10 + 14</td><td>0x02 + 0x05</td></tr>
<tr><td>D_LRBG</td><td>15</td><td>0x5fc</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

Q_DIRLRBG	2	0x01(Nominal)
Q_DLRBG	2	0x01(Nominal)
L_DOUBTOVER	15	0x01(오차 10cm)
L_DOUBTUNDER	15	0x01(오차 10cm)
Q_LENGTH	2	0x01
L_TRAININT	15	0x07d0(열차길이 200m)
V_TRAIN	7	0x21(165km/h)
Q_DIRTRAIN	2	0x01(Nominal)
M_MODE	4	0x00
M_LEVEL	3	0x00
NID_STM	8	0x00

2) Packet Number 1: Position Report based on two balise groups

Variable	Length(Bit)	Comment
NID_PACKET	8	0x01
L_PACKET	13	0x17
Q_SCALE	2	0x00(10cm scale)
NID_LRBG	10 + 14	0x02 + 0x05
NID_PRVLRBG	10 + 14	0x02 + 0x04
D_LRBG	15	0x5fc
Q_DIRLRBG	2	0x01(Nominal)
Q_DLRBG	2	0x01(Nominal)
L_DOUBTOVER	15	0x01(오차 10cm)
L_DOUBTUNDER	15	0x01(오차 10cm)
Q_LENGTH	2	0x01
L_TRAININT	15	0x07d0(열차길이 200m)
V_TRAIN	7	0x21(165km/h)
Q_DIRTRAIN	2	0x01(Nominal)
M_MODE	4	0x00
M_LEVEL	3	0x00
NID_STM	8	0x00

	2. 가상블럭 표시  3. 수신Data창 수신메시지(haxa) 표시 Packet0: 02 25 01 00 01 71 25 40 04 08 08 02 85 fc 50 00 20 00 50 fa 10 0a 00 00 00 00 00 ed b8 83 20 03 Packet1: 02 25 01 00 01 71 25 40 04 08 08 08 02 01 05 fc 50 00 20 00 50 fa 10 0a 00 00 00 00 00 ed b8 83 20 03
Expected Data	1. 열차위치 메시지 구성 2. 가상블럭 표시 3. 수신Data창 수신메시지(hexa) 표시
Test Result	적합

(7) 시뮬레이터 검증

○ ETCS L3 기반 전자연동장치의 기능 및 성능을 검증하기 위한 주요 시험은 다음과 같으며 LAB TEST 결과 모든 기능 및 성능을 만족하였다.

(가) 논리블럭 상태 업데이트

○ 레벨3용 전자연동장치의 논리블럭 처리 모듈에서는 RBC로부터 수신된 열차위치정보의 LRBG정보에 근거하여 논리블럭의 점유 여부를 판단하여 가상폐색 상태를 업데이트한다. 업데이트된 가상폐색 상태 정보에 근거하여 전자연동장치는 연동된 논리를 처리하게 된다.

- 논리블력 점유 여부
- 논리블럭 연관 궤도회로 점유 여부
- RBC와 연결상태 체크 및 장애/절체 처리
- RBC 메시지 무결성 체크
- RBC 전송 메시지 관련 처리

(나) 엑셀 카운터 정보처리

○ 레벨3용 전자연동장치의 논리블럭 처리 모듈에서는 엑셀카운터로부터 처리된 계전기의 상태에 근거하여 가상폐색 상태를 업데이트 한다.

- 논리블력 점유 처리
- 논리블럭 연관 궤도회로 점유
- 엑셀카운터 계전기 입력과 기타 논리블럭 상태 정보 비교 및 장애 처리
- 선로전환기 쇄정 관련 로직 처리

(다) 레일절손검지장치 정보처리

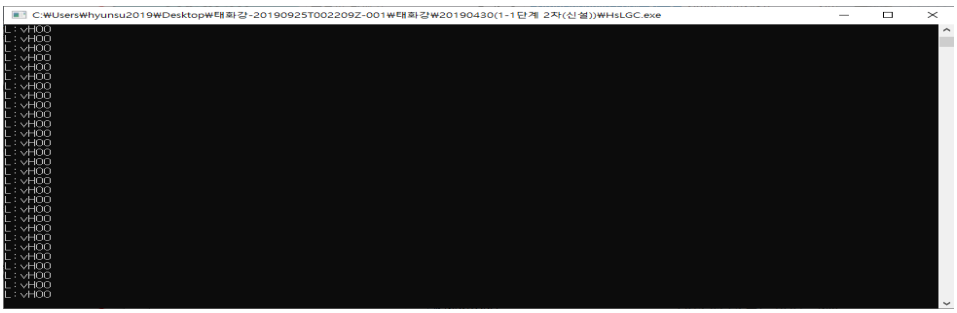
○ 레벨3용 전자연동장치의 논리블럭 처리 모듈에서는 또한 레일절손 검지창치로부터 수신된 절손상태 정보에 근거하여 해당된 논리블럭(궤도)의 상태를 장애로 처리하여 궤도장애가 발생할 때 처리되는 연동로직을 수행하게 한다.

- 논리블력 절손/정상/미확인 상태 처리
- 논리블럭 연관 궤도회로 상태 처리
- 논리블럭 장애 처리

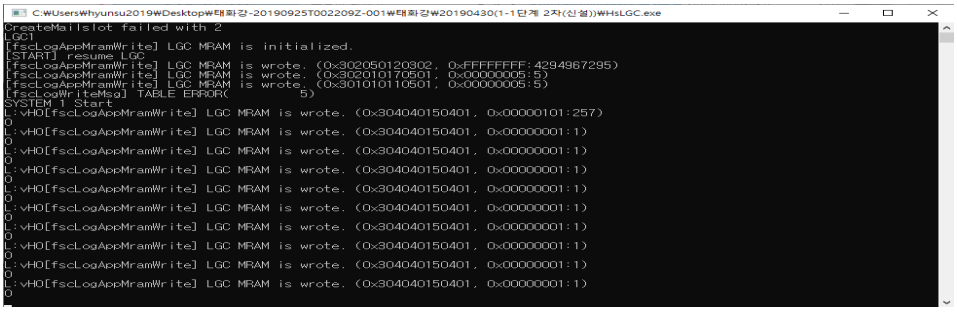
(라) 열차번호 정보처리

○ 레벨3용 전자연동장치의 열차번호 처리 로직에서는 열차의 위치정보를 추출하여 열차번호와 관련 메시지를 생성하여 LCC/LMC로 전달한다.

(마) 연동논리부 시뮬레이터(HsLGC.exe, PC용 APP) 시험 화면



- 동작상태 시험

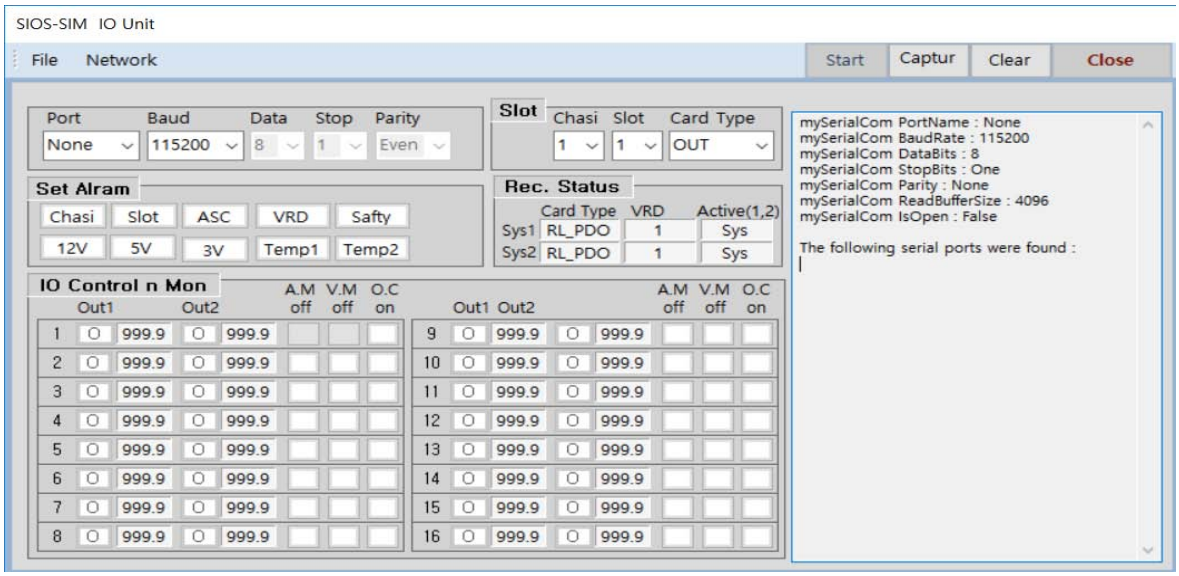


- 메모리 체크 화면

(바) 연동논리부 시뮬레이터(CXP용 APP) 시험 화면

```
Loader: Jun 29 2016 13:24:02
pci: waiting for checker
pci: found POST IDs
pci: fsc post ready
MRAM:WRITEPROTECT ..... PASSED
CFPGA:FAULTLOC ..... PASSED
VFPGA:FAULTLOC ..... PASSED
VFPGA:SETUP ..... PASSED
CFPGA:SAFETYWDEXP ..... [Testing Safety WD-A]
Loader: Jun 29 2016 13:24:02
pci: waiting for checker
pci: found POST IDs
pci: fsc post ready
MRAM:WRITEPROTECT ..... PASSED
CFPGA:FAULTLOC ..... PASSED
VFPGA:FAULTLOC ..... PASSED
CFPGA:SAFETYWDEXP ..... [Testing Safety WD-B]
Loader: Jun 29 2016 13:24:02
pci: waiting for checker
pci: found POST IDs
pci: fsc post ready
MRAM:WRITEPROTECT ..... PASSED
```

(사) 입출력시스템 시뮬레이터(SIOS_Sim) 시험 화면



- 동작상태
- 입력 값을 설정하여 전송 가능
- 선로전환기 상태를 설정하여 전송 가능
- 출력모듈에 출력상태를 확인 가능
- 통신메시지를 표시 가능

(아) 표시제어부(LCC) 시험 화면: 진로 설정 및 취소

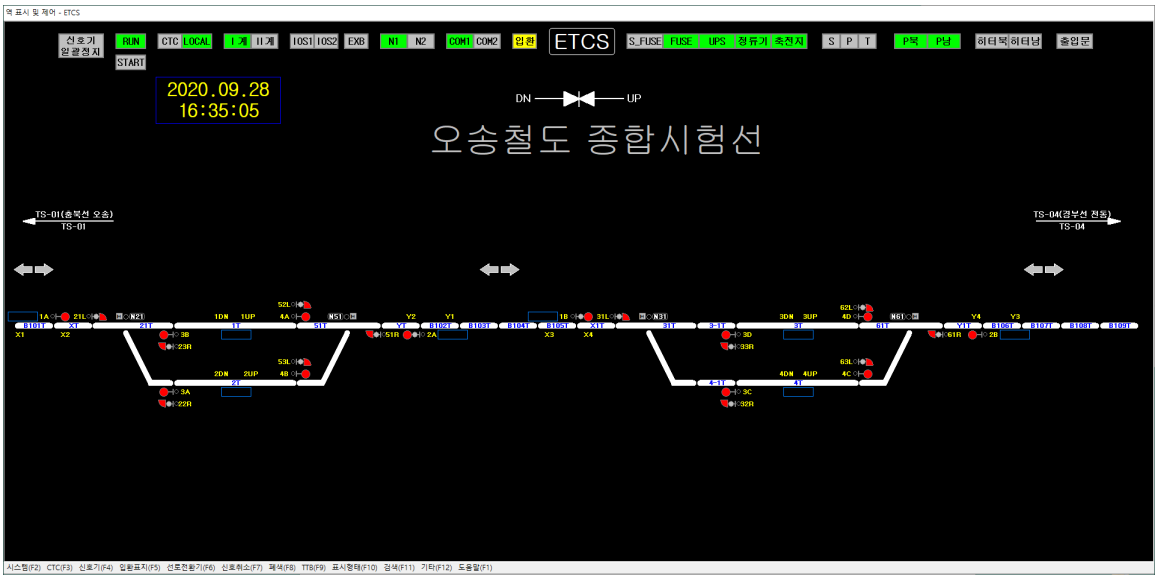


그림 113 . 표시제어부 시험 화면



그림 114 . 표시제어부 진로설정 시험 화면

(자) 시험사진

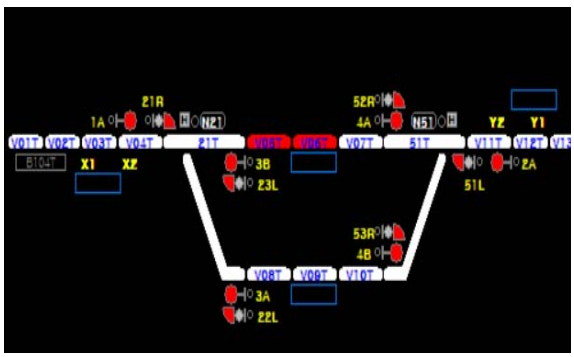
○ ETCS L3 기반 전자연동장치의 기능 및 성능을 검증하기 위한 시험은 혁신전공사 양지공장(사전 Lab Test)에서 단계적으로 수행하였으며 주요 시험 사진은 다음과 같다.



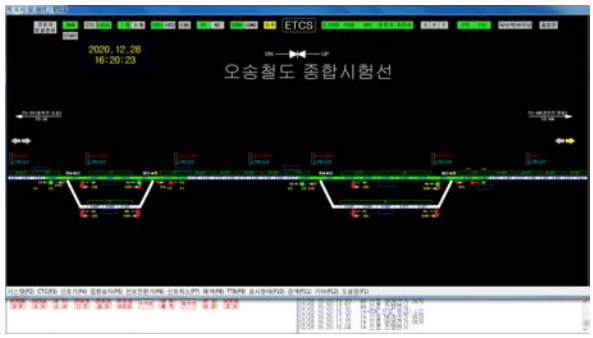
LAB TEST 시험(1)



LAB TEST 시험(2)



LAB TEST 시험(3)



LAB TEST 시험(4)

(차) 시뮬레이터 제작 및 시험관련 전문가 자문

○ 국가 R&D "ETCS Level3 열차진로제어 기술개발" 과제를 원활하게 진행하기 위해서 국내 전자연동장치 전문가를 초빙하여 ETCS L3 기반 전자연동장치의 기능 및 성능과 시험계획에 대해 자문을 얻고 과제수행을 효율적으로 이행 할 수 있도록 전문가 자문회의를 개최 하였음.

① 일시 : 2020. 11. 3.(화) / 16:00 ~ 18:00

② 장소 : 용산역(ITX6) 회의실

③ 주제 : 과제수행 관련 고려사항 및 주요사항 협의

- ETCS L3 기반 전자연동장치 기능 및 성능 확인
- ETCS L3 기반 전자연동장치 오송 철도종합시험선 시험계획 자문
- 국내전문가 소속 기관별 기술 현황

④ 참석자

- 국가철도공단(주관연구기관), 철도신호사업연구조합(공동연구기관) 및 국내전문가 10인

⑤ 주요 자문의견

○ ETCS L3 기반 전자연동장치 기능 및 성능 확인과 오송 철도종합시험선 시험계획에 대한 주요 자문의견은 다음과 같다.

자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 과제 (열차진로제어 기술개발)			
소 속	국가철도공단	이 름	윤 학선
직 위	처장	연락처	010 7700 2634

○ 개발된 시제품의 적용 범위를 명확히 정의하여 시험선에서 적용한 사항을 정리할 필요가 있음.

○ 궤도회로 방식, 무궤도방식을 모두 수용하는 기능을 수용하는 방식으로 개발한 것에 대한 수요, 사용 가능성을 고려하여 수요조사 필요.

○ 열차제어시스템과 연동장치의 기능은 명확히 구분하여 시험조건을 반영하시기 바람

자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템
핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 과제 (열차진로제어 기술개발)

소 속	국토교통부 일산지방국토관리청	이 름	양 동 인
직 위	주임	연락처	010-8723-4688

○ 그간에 ETCS L3 시험계획에 대하여
- 우선 최종목표 및 시험을 명확하게 선정할 필요.
- 최종계획은 그간에 사업예상에 맞추어 재검토 고민.

○ 현재 계획에 대하여 언급하면
- 현차시험에 대한 보다 구체적인 계획을 수립 필요.
* 고속차량을 활용한 것인지 여부 등
- 결합 현차시험에는 안전요원 확보방안도 검토.

자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템
핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 과제 (열차전로제어 기술개발)

소 속	네오트랜스(주)	이 름	오 세하
직 위	기술본부장	연락처	010-3220-4389

0. 시에서 선로전환기에 의한 선로상태의 감시조건을 구성하고 시험하게 된다. L3에서도 선로상태가 구현될 수 있고 수용한 다양한 명시의 (경로제어, 취소제어, 선행열차위치에 따른 속도제어)를 검증할 시험성적서(검사표) 준비하여 열차에 의한 시험전에 시험을 보기로 비정상상황 발생시 증명할 수 있어야 할것임.

자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템
핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 과제 (열차전로제어 기술개발)

소 속	서울 고등 학교	이 름	강 봉 은
직 위	선 더 장	연락처	010 4239 6827

ii. System 개발. 시험은
실용화, 사업화를 목표 시행 하에야 함을
강조 합니다.

ii. 오송 종합 시험선에 왕 전용망 인프라를
확인하여 연동장치 시험시 전용 폭넓은 사용을
강조 합니다.

ii. L3 System 제어시 기존 Data (체크)
를 확보하는 방법을 추가 논하여
안전을 강화 하시길 바랍니다.

나. ETCS L3 기반 전자연동장치 시험계획서

○ ETCS L3기반 전자연동장치의 성능 시험을 위한 시범역은 국가철도공단과 협의하여 오송시험선으로 선정하였다. 또한 ETCS L3기반 연동장치는 IP기반 철도 전자연동장치를 사용하여 ETCS L3 기능 및 성능시험을 수행 할 예정이다.

(1) 시험선 위치 및 노선의 형태

○ 시험선 위치는 아래 그림과 같다.



그림 115 . 오송 철도종합시험선로 위치

○ 노선의 형태 및 구성도, 시설규모는 아래와 같다.

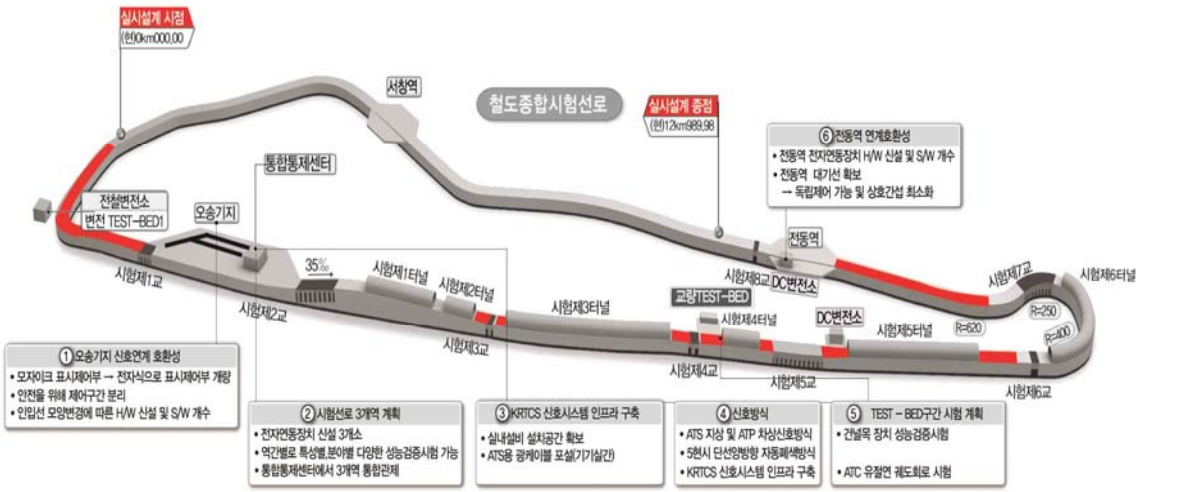


그림 116 . 오송 철도종합시험선로 형태 및 구성도

○ 시설규모

구 분		기본설계	실시설계	증 감
노 선 연 장		12km973	12km990	17m
기존선 활용		1km094	1km196	102m
노반	토 공	6km037	5km923	△ 114m
	교 량	1km502	1km597	95m
	터 널	4km340	4km274	△ 66m
궤 도		12km973+3km897	12km990+2km686	△ 1,194m
시 스 템		12km973	12km990	17m
건 축		4개소	5개소	1개소

(2) 시험구간

○ 시범역에서 ETCS L3 기반 IP연동장치 및 현장제어장치를 시험하기 위한 해당역의 ETCS L3 ATP PLAN(TS-02역, TS-03역, TS-04역)은 아래와 같다.

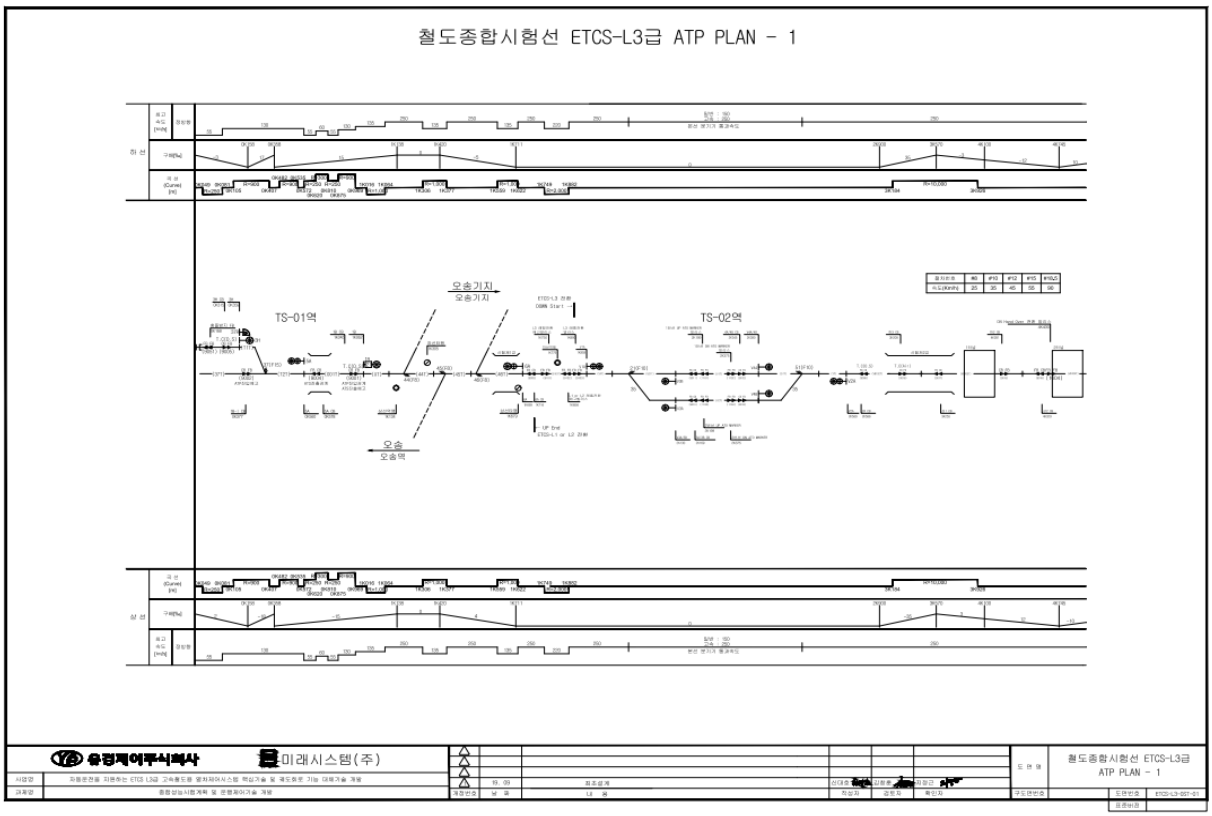


그림 117 . TS02 역 ETCS L3 ATP PLAN

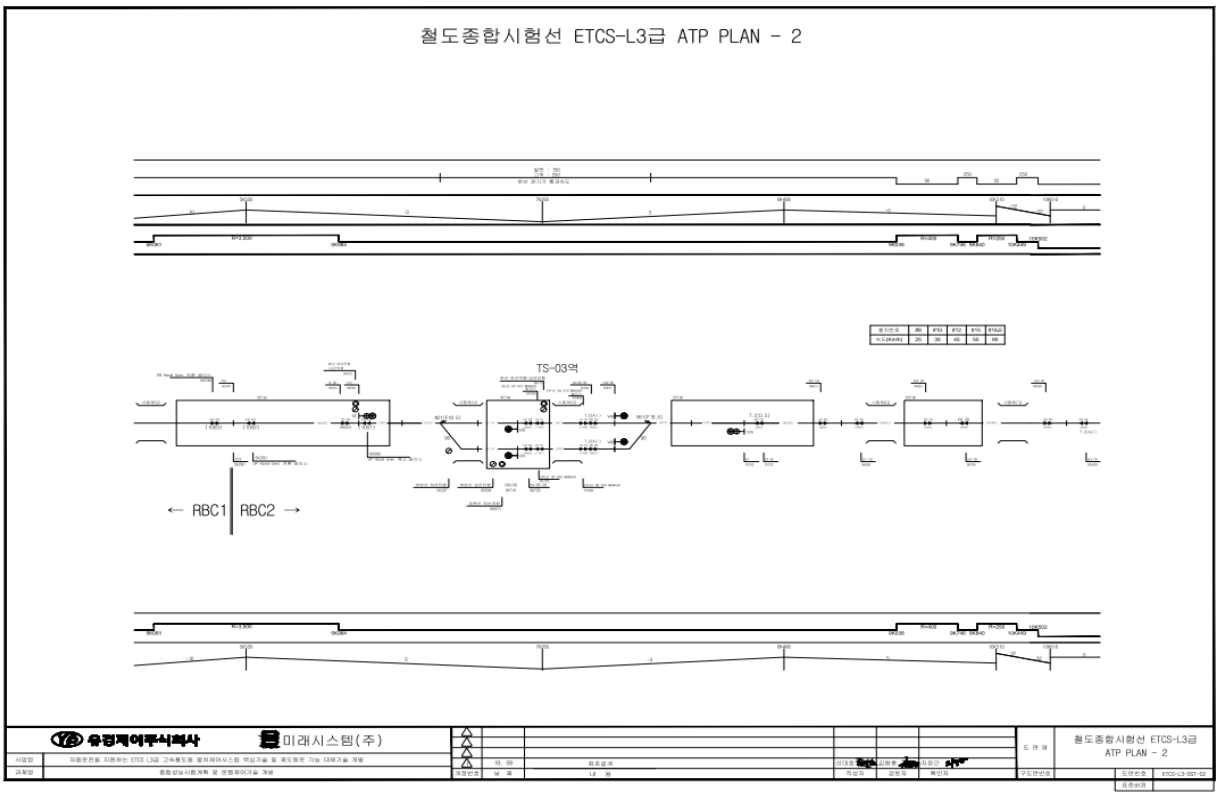


그림 118 . TS03 역 ETCS L3 ATP PLAN

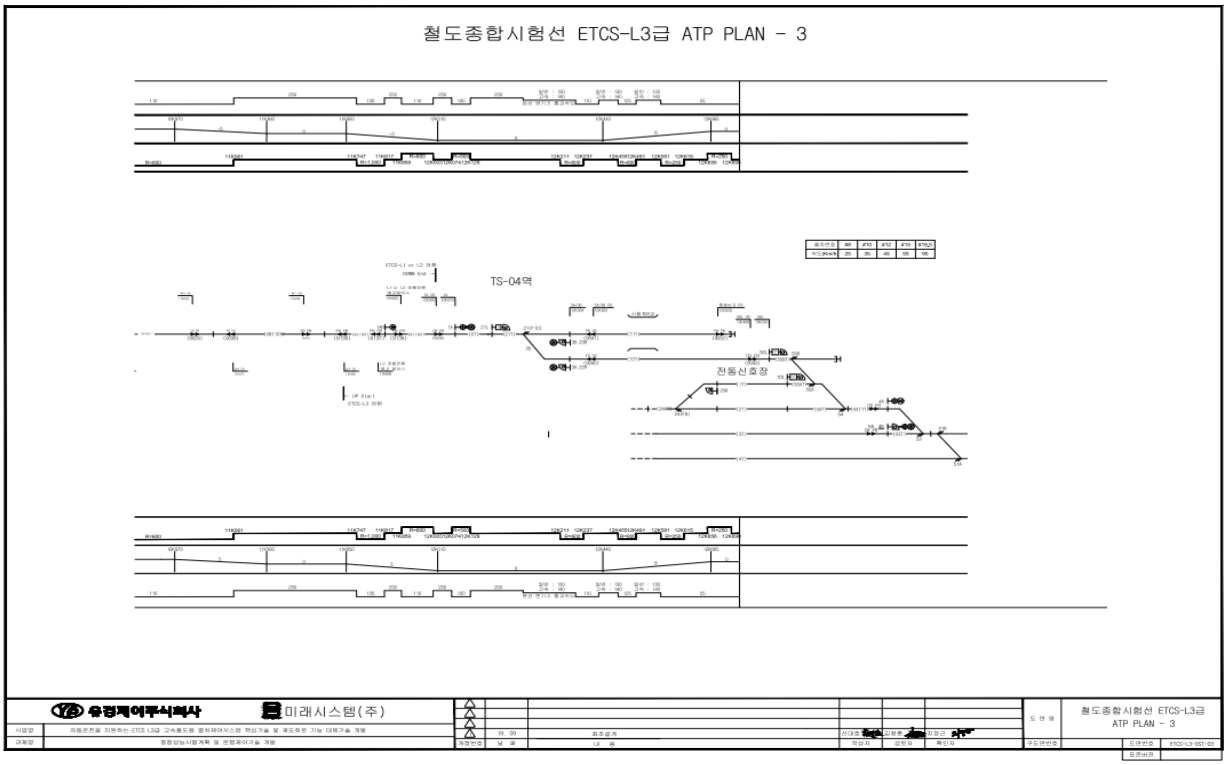


그림 119 . TS04 역 ETCS L3 ATP PLAN

(3) 시스템 구성 및 시험방법

(가) 시스템 구성도

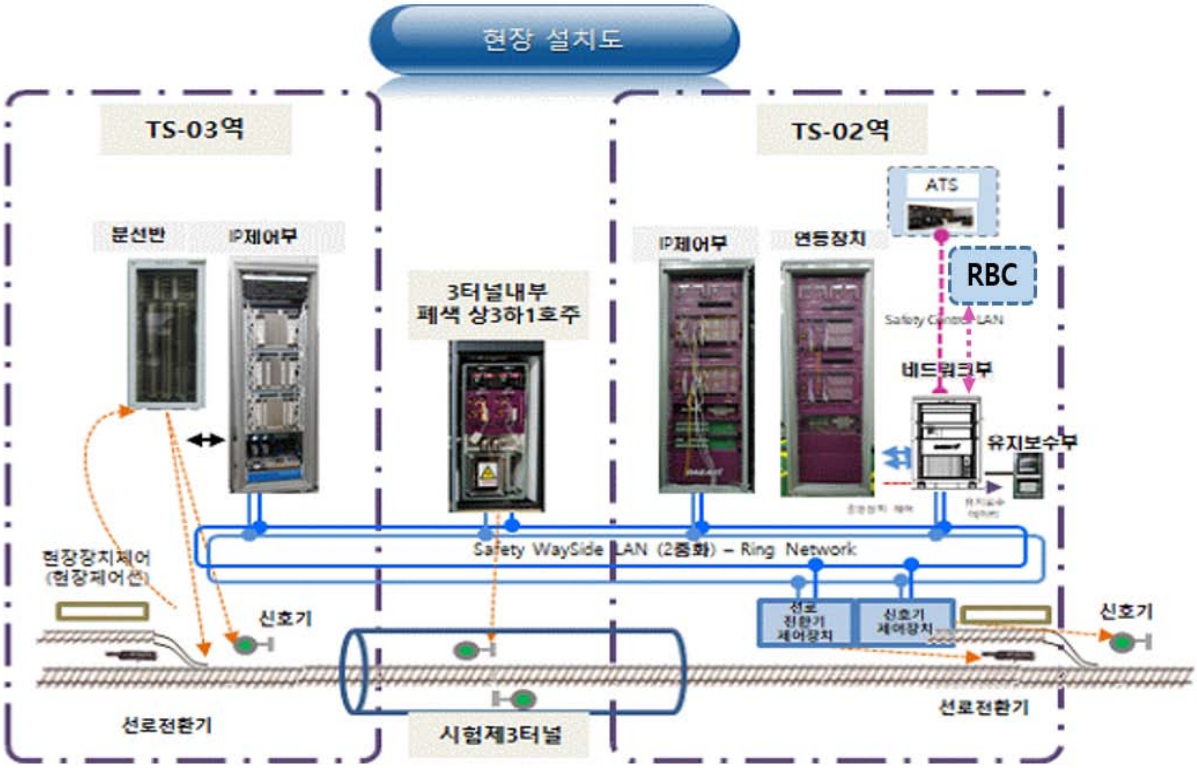


그림 120. 시험선 시스템 구성도

(나) 시험방법

○ 연동역(TS-02역)과 기기집중역(TS-03역)에 시험장치를 기능별로 구분하여 설치하고 시험 절차에 따라 가상폐색 및 고정폐색 연동기능시험을 수행한다.

시험대상	설치장소	시험 및 검증대상
ETCS L3 기반 연동논리부 (고정폐색/가상폐색)	연동역 (TS02)	□ 인터페이스 시험 ◦ CTC, RBC, DBRD, 원격유지보수부, 전자연동장치(인접역) 등과 전자연동장치와의 인터페이스 □ 연동논리부 기능시험 : 고정폐색/가상폐색
유지보수 및 데이터관리부	연동역 (TS02)	□ 유지보수 및 데이터관리부 기능시험 : 유지보수 정보통합관리
IP/제어부 (신호기/선로전환기/가상폐색)	기기 집중역 (TS03)	□ 인터페이스 시험 ◦ 안전설비(기상검지, 지장물 검지 등), 건널목 장치, 선로전환기, 궤도회로/엑셀카운터/가상(논리) 궤도회로 등과 전자연동장치와의 인터페이스

(다) 시험일정(안)

○ 현차시험 기간 : 2022. 4. ~ 2024. 6. (예정)

시험내용	추진일정(26개월)													비고
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
설치 준비														
기존설비와 병렬 연결														
현차시험														

(라) 시험 검증 방법

○ 1단계 : 설치준비

- 장치 이동
- 장치 위치 선정 및 Setting
- 관련 역 케이블 구성내역 검토 및 확인
- 기존 설비와 연결할 케이블 재단 및 제작

○ 2단계 : 기존 설비와 병렬연결

- 변환랙에 IP 기반 전자연동장치 케이블 결선
- 변환랙에 기존 설비의 케이블 연결
- IP 기반 광케이블을 광분배함에 연결
- 변환랙을 이용하여 IP 기반 장치 동작시험 및 결선 확인

○ 3단계 : 고정폐색/가상폐색 기능시험 및 호환성 시험

- 열차운행 종료 후 기존 설비에서 신규설비로 전환 후 신규설비에서 현장 장치 동작시험 및 검증
- 현장장치 호환성 시험 및 검증
- 열차 운행 전 기존 설비로 전환
- 문제 발생 시 기존 설비로 긴급전환 기능 구현

○ 4단계 : 현차시험 및 시연회
- 현장검증 완료 후 기존 시스템 정지
- 신규 설비로 전환 후 직접 상용 운전(국가철도공단과 상용운전 확인방안 협의, 시행)
- 시연회

○ 5단계 : 철거 및 복구
- IP 기반 장치 철거
- 기존 장치로 복구 및 정리

(4) 타 세부와의 연구내용 및 성과 연계·활용 전략 및 시험 협업

○ 열차진로제어 기술개발 시험관련 타 세부와의 연구내용 및 성과를 다음과 같이 연계·활용한다.

구분	시험 협업
세부 과제 간 연구내용 및 성과 연계·활용을 위한 전략	열차진로제어 기술개발 시험관련 타 세부와의 연구내용 및 성과 연계·활용 ○ 1세부:레일절손검지장치-EIS 인터페이스 협업 . 인터페이스 개요 . 전송프로토콜 사양 . 전송데이터 . 인터페이스 시험 ○ 2세부:RBC-EIS 인터페이스 협업 . 인터페이스 개요 . 전송프로토콜 사양 . 전송데이터 . 인터페이스 시험 ○ 3세부:CTC-EIS 인터페이스 협업 . 인터페이스 개요 . 전송프로토콜 사양 . 전송데이터 . 인터페이스 시험

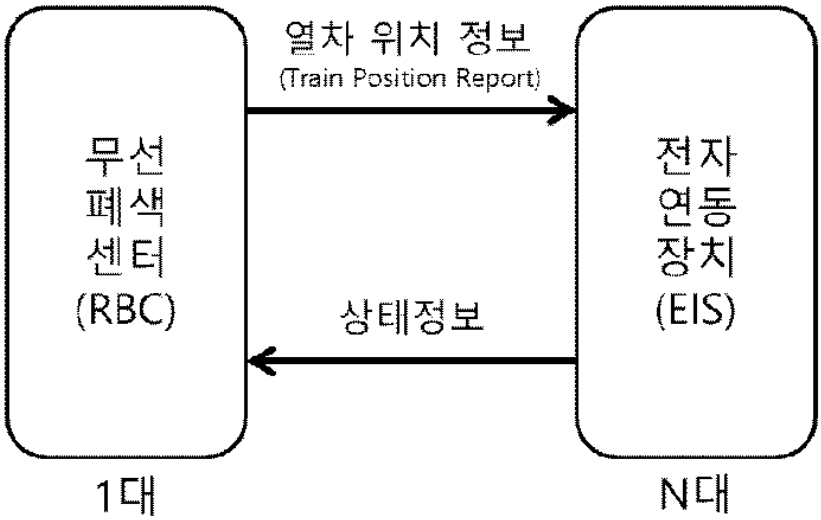
(5) 인터페이스 시험

○ L3 기반 전자연동장치 시뮬레이터는 열차집중제어장치(CTC), 무선폐색센터(RBC), 레일절손 검지장치(DBRD)와 인터페이스를 한다. 인터페이스 시험은 다음과 같다.

- RBC-EIS 인터페이스 시험
- CTC-EIS 인터페이스 시험
- DBRD-EIS 인터페이스 시험

(가) RBC-EIS 인터페이스 시험

○ 무선폐색센터(RBC)는 ETCS Level3차상장치로부터 열차 위치정보(Train Position Report)를 전송 받아 이를 전자연동장치로 전송하며, 전자연동장치로부터 가상 신호, 선로전환기의 방향, 쇄정상태, 진로구성 정보 등을 전송 받아 열차의 이동권한 및 제한속도를 연산하여 LTE-R 기반 무선통신 설비와 연계되어 열차제어정보를 ETCS LEVEL3 차상장치로 전송 하는 장치이다.



○ 신호계전기실에 설치된 N대의 전자연동장치는 N개의 역을 관할하는 무선폐색센터(RBC)와 연계된다. 이때, 전자연동장치와 무선폐색센터 간 인터페이스는 별도의 통신망을 사용하여 연계된다. 무선폐색센터(RBC)는 전자연동장치로 열차위치정보(Train Position Report)를 전송하며, 전자연동장치로부터 진로, 가상 신호, 선로전환기 정보 등의 상태정보를 수신하여 열차 주행에 필요한 이동권한(MA)을 생성한다.

○ 상세 인터페이스 구성 및 동작

- 전자연동장치의 1계 LAN포트(1) 및 2계 LAN포트(3)은 통신망 A를 통해 RBC 1계 LAN포트(1) 및 LAN포트(3)과 연계되고 전자연동장치의 1계 LAN포트(2) 및 2계 LAN포트(4)는 통신망 B를 통해 RBC의 1계 LAN포트(2) 및 2계 LAN포트(4) 와 연계된다.

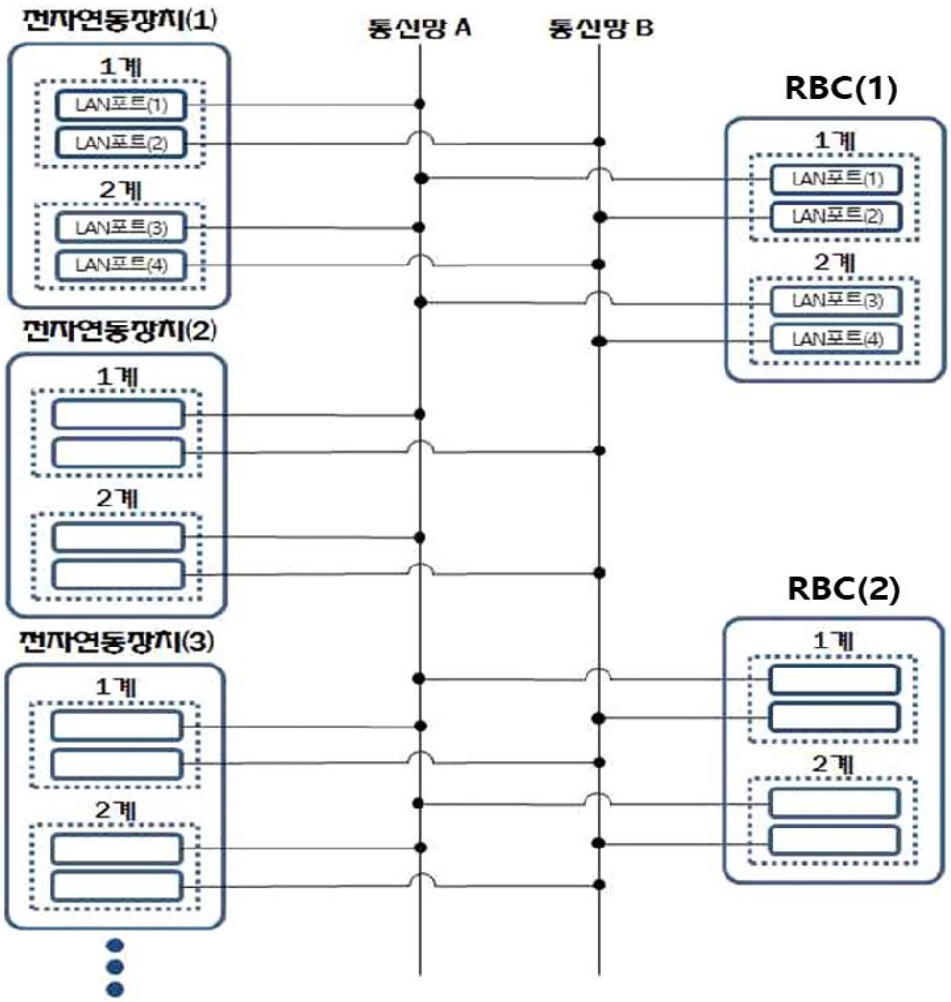


그림 121. RBC-EIS 인터페이스 구성도

- 전자연동장치의 1계 고장 시, 2계로 자동 절체되며 RBC는 전자연동장치의 2계로 필요 정보를 전송한다.RBC는 전자연동장치로부터 응답 정보를 3회 수신 받지 못하거나 전자연동장치의 상태정보를 2초 내에 수신 받지 못하면 전자연동장치와의 통신이 차단된 것으로 판단한다. 전자연동장치는 RBC로부터 응답 정보를 3회 수신 받지 못하거나 RBC의 열차위치정보를 2초 내에 수신 받지 못하면 RBC와의 통신이 차단된 것으로 판단한다. RBC-EIS간 전송 메시지의 프레임은 시작 및 끝의 검출을 위한 필드를 사용한다. 메시지 프레임 구조는 다음 표와 같다.

RBC-EIS 메시지 프레임 구조

STX	Data Length	Sequence No.	Station No.	Message Type	Data	CRC	ETX
1 byte	2 byte	1 byte	1 byte	1 byte	N byte	4 byte	1 byte

○ EIS->RBC 전송 프로토콜

- EIS는 RBC가 현장의 변화된 정보를 수용할 수 있도록 현장 신호설비 및 기기의 변화된 상태정보를 500ms 단위로 주기적으로 전송한다. EIS가 RBC에 전송하는 Data는 다음과 같다.

① 전자연동장치 1,2계 상태

- 전자연동장치는 1계 정상/고장, 1계 on-line 모드/대기모드, 2계 정상/고장, 2계 on-line 모드/대기모드 상태정보(표시정보)를 전송하여야 한다.

② 선로전환기

- 선로전환기는 정/반위, 쇄정/해정, 정상/고장, 정/반위 동작 중 상태정보를 전송하여야 한다.

③ 가상 장내 및 출발신호기

- 출발, 장내신호기는 진행/정지, 고장/정지, 접근쇄정/해정, 진행정위진로 설정/취 소 상태정보(표시정보)를 전송하여야 한다.

④ 가상 구내자동폐색 신호기

- 구내자동폐색 신호기는 진행/정지, 정상/고장 상태정보(표시정보)를 전송하여야 한다.

⑤ 가상 폐색 신호기

- 폐색 신호기는 고장/정지 상태정보(표시정보)를 전송하여야 한다.

⑥ 입환신호기, 입환표지

- 입환신호기, 입환표지는 진행/정지, 정상/고장, 접근쇄정/해정, 무유도 ON/ OFF 상태정보(표시정보)를 전송하여야 한다.

⑦ 진로

- 진로는 진로 쇄정/해정 상태정보(표시정보)를 전송하여야 한다.

⑧ 가상폐색(구내, 역간폐색)

- 가상폐색 비점유/점유 상태정보(표시정보)를 전송하여야 한다.

⑨ 건널목

- 건널목은 정상/고장 상태정보(표시정보)를 전송하여야 한다.

⑩ 폐색방향

- 출발 폐색방향표시 상태정보(표시정보)를 전송하여야 한다.

○ RBC->EIS 전송 프로토콜

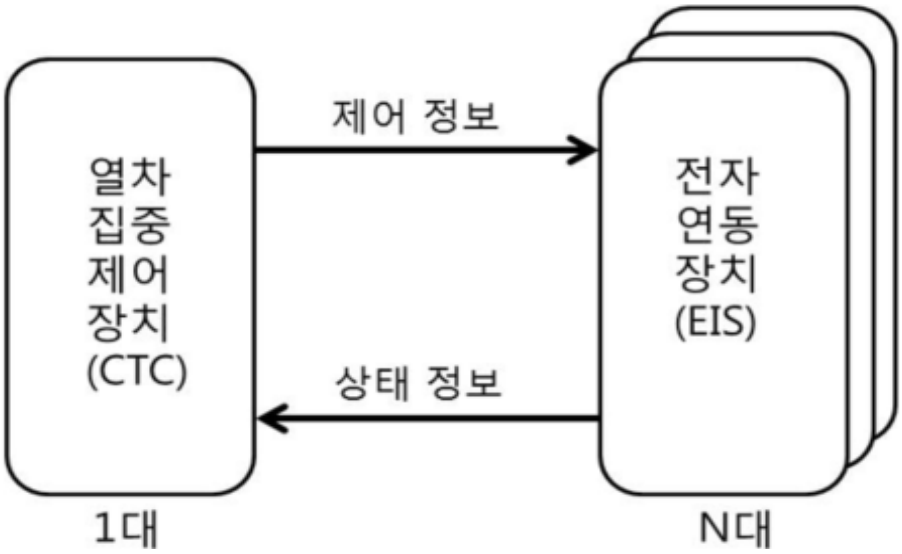
- RBC는 열차위치정보(Train Position Report)를 ETCS Level 3 차상장치로부터 전송 받아 EIS로 다음과 같이 전송하여야 한다.
- RBC가 EIS로 전송하는 열차위치정보는 RBC의 상태정보(M_RBC), 열차 반복 대수(k)(N_COUNT), 열차위치정보(Train Position Report)로 구성하여 전송한다. EIS 영역 내에 열차가 k대만큼 있을경우 Data Field 3 NID_MESSAGE부터 Data Field 8 Optional packets까지 k번 반복한 Data 값을 전송한다. RBC는 EIS 영역 내에 열차가 없을 경우 RBC의 상태정보(M_RBC)와 열차 반복 대수(k)(N_COUNT)의 값 '0' 만 전송한다.

Message 136 : Train Position Report

Data Field	변수 명	값의 길이 (Bit)	설명
1	NID_MESSAGE	8	Message identifier
2	L_MESSAGE	10	L_MESSAGE indicates the length of the message in bytes, including all packets and all variables defined in the message header (NID_MESSAGE and L_MESSAGE also).
3	T_TRAIN	32	Time, according to trainborne clock, at which message is sent
4	NID_ENGINE	24	The ETCS identity number is uniquely defined for ERTMS/ETCS purposes
5	Packet 0 or 1	137 or 161	Packet 0 : Position Report Packet 1 : Position Report based on two balise groups
6	Optional packets	29, 30	Packet 4 : Error reporting Packet 44 : Data used by applications outside the ERTMS/ETCS System.

(나) CTC-EIS 인터페이스 시험

○ 열차집중제어장치(CTC)는 열차 운행 관제 시스템으로 열차의 이동을 감시 및 모니터링 하고 스케줄에 따라 자동운행을 지원한다. 전자연동장치는 열차집중제어장치로 진로 및 상태 정보 등을 송신하고 열차집중제어장치로부터 신호설비제어정보를 수신받는다. 전자연동장치와 열차집중제어장치 간의 인터페이스는 “CTC-EIS 인터페이스 사양서”를 참조한다.



○ 신호 계전기실에 설치된 N대의 전자연동장치(EIS)는 N개의 역을 관할하는 열차집중제어 장치(CTC)와 연계된다. 이때, 전자연동장치(EIS)와 열차집중제어장치(CTC)간 인터페이스는 별도의 통신망을 사용하여 연계된다.

○ 전자연동장치와 열차집중제어장치 간의 통신흐름은 다음과 같다.

- 최초에 CTC에서 초기 Initial Polling을 요청한다.
- EIS에서 초기 Initial Polling을 수신하면 전체 업데이트 표시정보 메시지로 응답한다.
- CTC에서 전체 업데이트 표시정보를 수신하면 Master Clock을 요청한다.
- EIS에서 Master Clock을 수신하면 ACK 또는 NAK로 응답한다.
- CTC에서 1초주기로 Polling을 요청한다.
- EIS에서 Polling을 수신하여 변경정보가 없으면 ACK로 응답하고, 변경정보가 있으면 업데이트 표시 정보로 응답한다.
- CTC에서 Polling 전문이 약 3초(1초 * 3회) 이내에 ACK나 업데이트 표시 정보 메시지에 대해 수신 받지 못하면 장애 처리하고 초기 Initial Polling 처리를 수행한다.
- CTC에서 제어 메시지를 요청한다.
- EIS에서 제어 메시지를 수신하여 변경정보가 없으면 ACK로 응답하고, 변경정보가 있으면

업데이트 표시 정보로 응답한다.

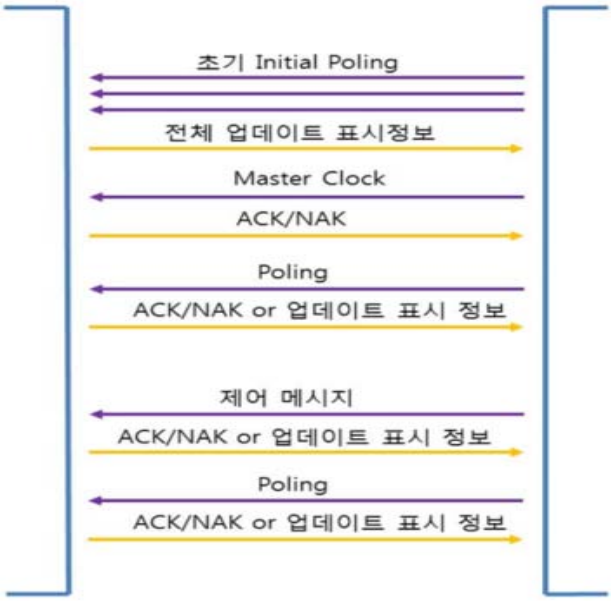


그림 122. CTC-EIS 인터페이스 흐름도

○ EIS->CTC 전송 프로토콜

- EIS에서 CTC로 전송되는 메시지의 프레임은 시작 및 끝의 검출을 위한 필드를 사용한다. EIS는 CTC가 현장의 변화된 정보를 수용할 수 있도록 CTC에서 주기적으로 1000ms 단위로 현장 신호설비 및 기기의 변화된 상태정보를 요구하면 EIS에서는 해당 정보를 응답한다. 메시지 프레임 구조는 다음 표와 같다.

EIS → CTC 전송 프로토콜

STX	Data Length	Sequence No.	Station No.	Message Type	Data	CRC	ETX
1 byte	2 byte	1 byte	2 byte	1 byte	N byte	4 byte	1 byte

○ CTC->EIS 전송 프로토콜

- CTC에서 EIS로 전송되는 메시지의 프레임은 시작 및 끝의 검출을 위한 필드를 사용한다. EIS는 신호설비 제어를 수신 받을 때마다 CTC로 신호설비의 변화된 상태를 전송한다. 메시지 프레임 구조는 다음 표와 같다.

CTC→ EIS 메시지 프레임 구조

STX	Data Length	Sequence No.	Station No.	Message Type	Data	CRC	ETX
1 byte	2 byte	1 byte	2 byte	1 byte	N byte	4 byte	1 byte

(다) DBRD-EIS 인터페이스 시험

○ 전자연동장치는 역구내에서 열차의 운행과 차량의 입환 작업을 안전하고 신속하게 수행하기 위하여 가상신호기, 선로전환기, 가상블럭, 엑셀카운터 등의 신호보안장치를 전기적으로 연쇄하거나 컴퓨터 소프트웨어에 의한 데이터베이스화 및 로직을 상호 연쇄하여 열차에 대한 진로취급이나 신호설비 취급시 오동작이나 부정동작을 방지하도록 구성한 장치이다.

○ DBRD는 레일절손 여부를 판별하여 절손된 위치와 절손 정보를 EIS에 전송하는 장치이다. 이 장치는 DAS기술을 사용하는데 DAS는 광케이블에 특정 주파수를 주사하고 이를 수신하여 scattering 정보를 분석함으로써 광케이블 주위에서 발생한 진동정보를 시간별, 거리별로 분석하는 기술이다. DBRD는 선로 변에 통신, 열차제어 등의 용도로 매설된 광케이블의 여분의 코어를 이용한다.



○ 신호기계실에 설치된 이중계의 전자연동장치는 단일계 DBRD와 연계된다. 전자연동장치와 DBRD 간 인터페이스는 별도의 통신망을 사용하여 연계된다. DBRD는 전자연동장치로 레일절손 관련 절손된 위치정보와 절손 종류를 전송하며, 전자연동장치로부터 진로, 가상 블럭, 가상신호기, 선로전환기 정보등의 상태정보를 수신하여 레일절손을 판별하는데 활용한다.

○ 상세 인터페이스 구성 및 동작

- 전자연동장치의 1계 A망 LAN포트(1) 및 2계 A망 LAN포트(3)은 DBRD의 A망 LAN포트(1)와 연계되고 전자연동장치의 1계 B망 LAN포트(2) 및 2계 B망 LAN포트(4)는 DBRD의 B망 LAN포트(2)와 연계된다.

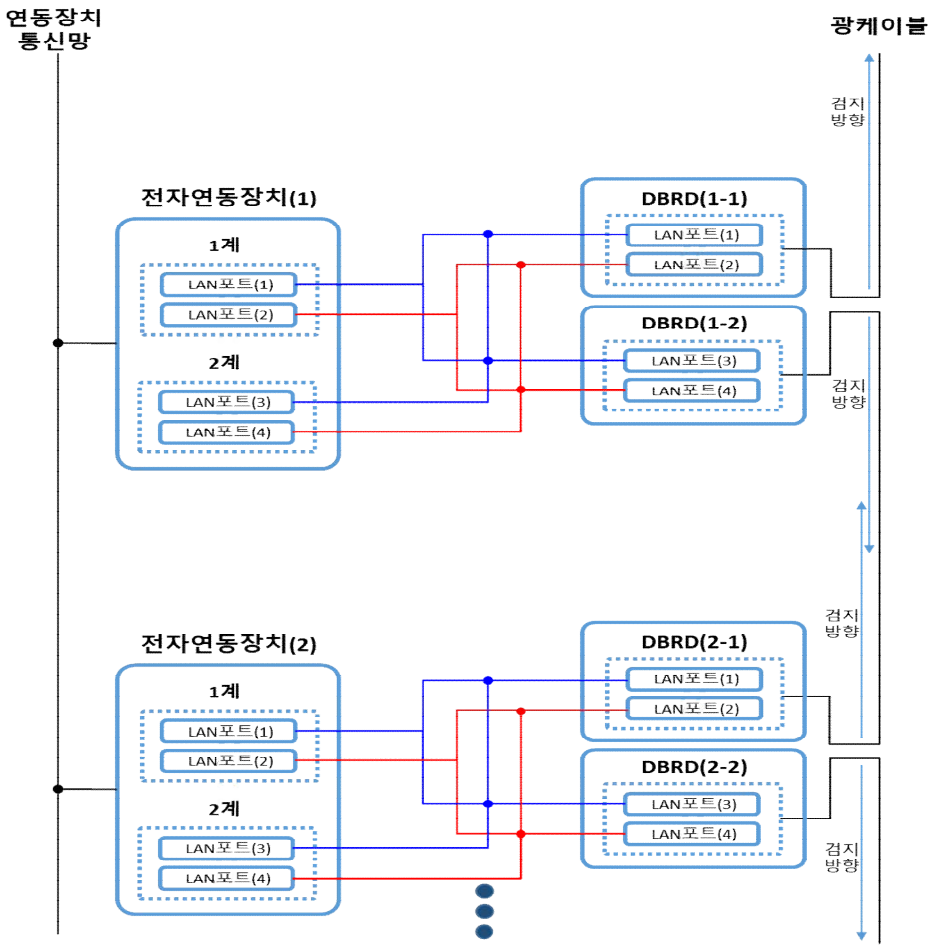


그림 123. DBRD-EIS 인터페이스 구성도

- 각 DBRD에는 1개의 광케이블 인터페이스와 2개의 LAN포트가 있다. 각각의 광케이블 인터페이스는 광케이블의 양단에 연결되어 각각 상행과 하행으로 선로를 따라 신호를 송수신하여 레일절손을 검지한다. (1계: 상행, 2계: 하행). DBRD의 2개 LAN포트는 각각 해당 전자연동장치의 1계 장치와 2계 장치로 연결되어 중복구조를 구성한다. 전자연동장치의 2계 시스템은 각각의(1계와 2계) DBRD와 메시지를 송수신한다. DBRD는 2계의 EIS 중 활성화된 것의 정보를 유효한 것으로 간주하며 1계와 2계 모두 활성화 되어 있을 경우 1계가 활성화 된 것으로 간주한다. DBRD는 전자연동장치로부터 2초 내(2회 실패)에 필요 정보를 수신 받지 못하면 전자연동장치와의 통신이 차단된 것으로 판단한다. 전자연동장치는 DBRD로부터 2초 내(2회 실패)에 필요 정보를 수신 받지 못하면 DBRD와의 통신이 차단된 것으로 판단한다.

○ 인터페이스를 위한 필요 사항

- 인터페이스를 위한 정보전송 방향, 통신 회선수, 커넥터 단자, 통신프로토콜, 물리적 연결, 전송주기에 따른 필요 사양은 다음 표와 같다.

순번	구분	사양(안)
1	정보전송방향	양방향(EIS↔DBRD)
2	통신 회선수	1회선/ 1채널
3	물리적연결	Ethernet10/100Base-T
4	커넥터단자	RJ45→RJ45(EIS→DBRD)
5	통신프로토콜	UDP/IPUnicast
6	전송주기	1s (레일절손정보 전송주기에 대해서는 사용자 운용시 선택 가능)

2.2.4 무선통신망 안정성 및 가용성 향상 기술 개발 _ 한국전자통신연구원

가. 열차제어시스템용 무선통신망 요구사항 및 LTE-R 적용방안 연구

(1) 열차제어 무선통신 기술 동향 연구

(가) GSM-R (GSM for Railway) 기술 동향

○ 주요특성

- 유럽의 경우, 상하향 8MHz 주파수 대역에 6MHz E-GSM-R 추가 주파수를 할당하였다.
  - 876-880MHz/921-925MHz (8MHz 대역폭)
  - 국가에 따라 확장된 E-GSM-R (873-876MHz/918-921MHz) 사용 가능

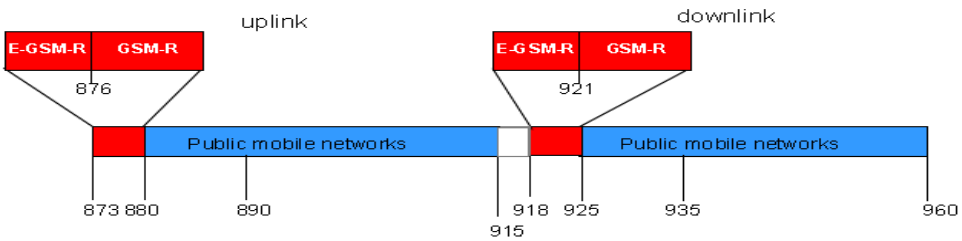


그림 124 GSM-R 주파수 분포

- 호주의 경우, 1.8GHz 대역을 GSM-R 대역으로 할당하였다.
- ETSI TC RT에서는 기존 GSM 규격에서 철도전용 음성 통신 기능 (Advanced Speech Call Item) 규격을 추가하였다.
  ※ 주요 ASCI 기능 : VGCS(Voice Group Call), VBS(Voice Broadcast), EMLPP(Enhanced Multi Level Precedence and Preemption), Fast call-setup
- EIRENE(European Integrated Radio Enhanced Network)에서는 철도통신에 필요한 추가 기능 규격 작업을 수행했다.
  ※ 철도전용추가기능 : FA(Functional Addressing), LDA(Location Dependent Addressing, REC(Railway Emergency Call) 등
- EIRENE에서는 또한 ETCS(European Train Control System) 신호를 안전하고 신뢰성 있게 전송하기 위한 요구사항 규격 제정(GSM-R QoS requirement)을 하였다.
  ※ Strong coverage, Double coverage, Disaster management 등
- GSM-R 채널 간격은 200kHz, 4MHz의 대역을 200kHz 대역폭으로 서브 밴드 19개를 사용하고, 나머지 200kHz 대역 1개의 밴드는 잘게 나누어서 각 서브 채널 가드 밴드로 활용하였다.

- GSM-R은 TDMA(Time Division Multiple Access) 시스템이기 때문에 하나의 서브 밴드당 8개의 통신 채널을 사용할 수 있다. 따라서 GSM-R 4MHz 대역 총 통신 채널은 19개의 서브 밴드당 8개의 통신 채널이므로 152개의 통신 채널이 활용 가능하다.
- GSM-R은 Fully duplicated radio coverage를 갖추어야 하는 요구에 따라 주파수 재사용 비율은 3이나 4로 운용이 가능하다. 주파수 재사용 비율이 3일 경우, 하나의 기지국 당 50개 정도의 통신 채널 운용이 가능하고, 4일 경우 38개의 통신 채널 운용이 가능하다.

○ 구축현황

- 2007년 1월 TELERAIL에 의하여 네덜란드 (3000km)에서 처음 GSM-R이 구축된 후, 2008년 노르웨이 (3000km), 스웨덴 (8500km), 독일 (24000km), 이탈리아 (7500km) 구축되었고, 유럽 전역이 전 철도 노선에 대한 GSM-R 구축이 진행 중이다. 최종적으로 유럽 철도 노선 221,025km 노선 중 GSM-R은 149,673km를 (전체 67.7%) 커버할 예정이다.
- 현재, GSM-R을 이용한 철도 노선 대부분은 ETCS-L2 기반의 인프라에서 사용되지만 적은 운용비용과 소량의 철도 운송량에 적합한 간소화된 ETCS-L3 기반인 ERTMS-Regional 장비가 스웨덴에서 Malung과 Repbäcken 사이의 129km 구간에 적용되어 있다.

(나) FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) 기술 동향

○ 주요특성

- 사용자 요구사항 (User Requirement Spec.) Ver 3.0이 완성되었다. (2018년 1월)
- 현재 GSM-R에서 불필요한 기능이 삭제되고 추가 기능이 보강되는, 기능 요구사항 (Functional Requirement Spec.)이 작성 중에 있다. (2018년 Q4)
- 3GPP SA1에서 FS_FRMCS (Study on future railway mobile communication) work item에 의하여 UIC의 FRMCS 사용자 요구사항을 검토하기 시작하였으며, 검토한 문서번호는 TR 22.889 이다. 주요 내용은 UIC에서 작성한 Use case에 대한 통신 요구사항을 정리하는 것이 목적이다.
- 3GPP SA6에서 FS_FRMCS_ARCH (Study on application architecture for future railway mobile communication) work item에 의하여 FRMCS 응용 구조에 대하여 검토하였다. (TR 23.790) 주요 내용은 FRMCS의 요구사항이 stage 2 mission critical service 규격으로 구현 가능한지를 확인하는 목적이다.
- 3GPP에서는 MONASTERY (Mobile Communication System for Railway) work item들이 만들어졌으며, 실제 FRMCS의 요구사항이 Spec에 반영할 수 있도록 규격 작업을 진행 중이다. Rel. 15에서는 TS 22.280 (MCCore), TS 22.179 (MCPTT), TS 23.379 (MCPTT Arch. & Flow), TS 33.180 (Security of MCS) 규격 변경 작업을 수행한다.

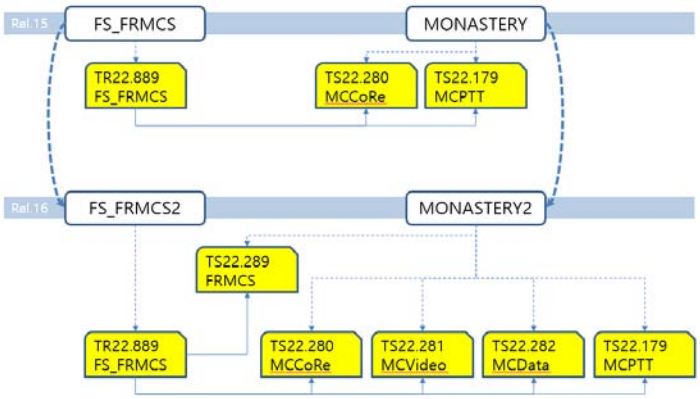


그림 125 3GPP FRMCS 표준 규격 체계

- Rel 16에서는 TS 22.289 (Group services and system aspect for railway) 신규 규격과 기존 Mission Critical Service 규격 TS 22.280, TS 22.281, TS 22.282, TS 22.279 규격을 개정하여 3GPP에서 미래 철도용 무선통신 규격을 최종 완성할 예정이다.
- 철도통신 전용 장비를 개발하지 않고 상용 3GPP 규격의 통신 장비만으로 활용할 예정이고 철도전용 서비스는 어플리케이션 레벨에서 구현할 예정이다.

○ 향후 일정

- 선로 통신 장비, 차상 통신 장비에 대한 시스템 요구사항 작성 (2019년)
- CEPT/ECC FM56 (Radio Spectrum for Railway)에서 후보 주파수 추천 (2018년 ~ 2019년)
- 시험선 구축 및 기능시험 시작 (2020)

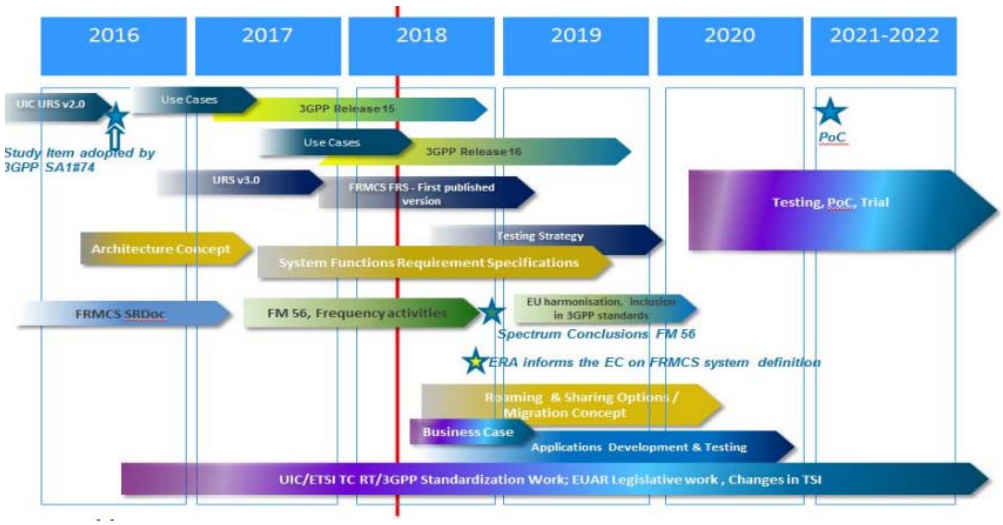


그림 126 FRMCS 일정

(다) ATACS (Advanced Train Administration and Communication System) 기술 동향

○ 주요특성

- 시스템 전체를 관리하는 지령장치(Management system)를 센터에서 설치하고 선로 구간을 복수제어범위로 분할한 후 거점 장치(Ground controller)를 설치하며 거점 장치는 기지국(Radio base station)과 접속한다.
- 각 열차는 위치 정보를 연속적으로 기지국을 통하여 거점 장치에 전송하며 거점 장치는 안전주행 조건, 정차한계 위치 등을 각 열차에 전송한다.
- 각 열차는 전송받은 안전주행 조건, 정차한계 위치를 기반으로 현재 열차속도를 고려한 속도조사패턴을 계산하고 패턴을 초과한 경우, 브레이크 제어를 수행한다. (Brake control profile은 ETCS와 차별화됨)
- 거점 장치는 열차의 위치와 열차의 속도정보를 기반으로 건널목 장치를 제어하여 건널목 운행의 안전성과 효율성(건널목 교통 흐름 최적화)을 높인다.
- 열차 차상에서 위치 검지, 열차 속도제어, 열차 간 간격 제어, 역 구내 연동 제어, 건널목 제어, 보수작업의 안전 제어, 시스템관리 기능, 무선 전송제어 등을 수행할 수 있다. (음성통화 기능 없음)

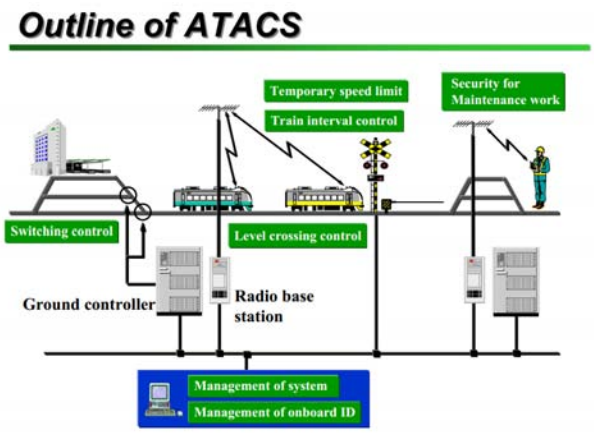


그림 127 ATACS 개요

- 통신접속방식은 TDMA 방식이며 주파수 대역은 400MHz에서 6.25kHz 대역폭을 활용한다. 6.25 kHz 대역폭을 총 16개의 slot으로 분류하고 4개의 slot은 시스템 제어용으로 사용하고 12개의 slot을 이용하여 12대의 열차에 대한 열차제어를 수행한다.
- 동일채널 간섭(Co-channel interference)을 없애기 위하여 주파수 재사용 계수는 4이며, 첫 번째 기지국과 다섯 번째 기지국의 주파수는 동일하다.
- 기지국간 Handover는 수신 전계 강도 기반이 아닌 열차의 특정 위치에서 강제적으로 수행하며, 9.6kbps 열차 운행정보를 1초에 한 번씩 송신한다. 이때 3번 연속 송수신이 실패하였을 경우, 열차는 비상제동을 수행한다.
- 열차 선로의 기지국의 라디오 출력은 3W이며 단말의 출력은 1W이다. 기지국의 라디오 커

버리지는 일반적으로 약 3Km이다. 설계상 요구되는 전계 강도는 모든 노선에서 100% 충족하여야 하며, 전 노선에서 프레임 수신율은 최소 99.9% 이상 요구된다.

○ 구축현황

- 히타치는 ATACS 시스템의 지상 장비를 (거점 장치, 기지국, 발리스 등) 개발하며, 미츠비시는 열차에 설치되는 차상 장치를 개발하여 시험선에 제공했다.
- 현재 일본에서는 단 한 개의 노선만 ATACS로 시범 운영 중이다. 해당 노선은 센다이와 시오가마를 잇는 18km 선로의 센세기 라인으로 4개의 컨트롤센터, 8개의 기지국, 기관차 20량으로 2011년부터 시범 운행 중이다.
- 네트워크 가용성이 99.999999%로 알려져 있으며, 무선통신으로 인한 10초 이상 장애가 일어날 확률은 6개월에 한 번 정도로 알려져 있다.

(라) PTC (Positive Train Control) 기술 동향

○ 주요특성

- PTC는 GPS와의 연동되어 기관사가 철도 신호를 지키지 못하는 경우 등을 대비하여 무선망을 통해 열차를 감시하고 제동하는 충돌방지시스템, 안전성, 보안성, 효율성, 정확성 등을 향상하기 위해 명령, 통제, 통신, 정보 관련 시스템을 통합한 시스템이다.

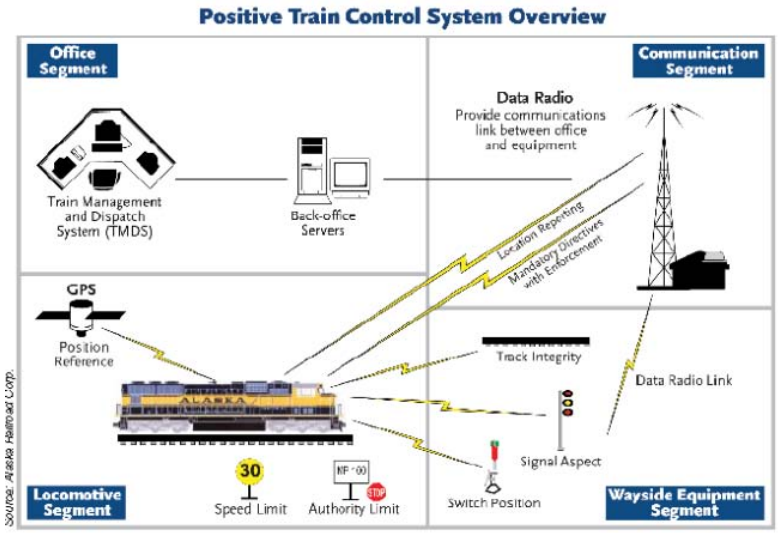


그림 128 PTC 운영 구조도

- PTC는 4개의 주요 파트로 구성되고 TMDS(Train Management and Dispatch System)는 열차와 관련된 각종 정보를 취합하고 명령 및 통제를 수행한다. 무선통신 시스템은 TMDS, 열차, 선로 장치 간 양방향 무선통신 송수신을 담당한다. 선로 장치는 열차와 무선통신을 통하여 선로 무결성, 교차로 안전, 선로 전환 정보, 작업자 보호 정보 등을 송수신한다. 차

상 장치는 GPS로부터 수신된 열차 위치 정보를 송신하고, 열차운행 명령과 정지 명령을 수신한다.

- PTC가 제공하는 대표적인 기능은 열차 충돌, 분리 방지, 선로 최고 속도제어, 일시적 열차 속도제어, 선로 종사자 작업 안전이다.
- PTC는 일본의 ATACS와 유사하게 음성통화 부분이 제외된 무선통신 기술 기반의 열차 자동제어시스템으로, PTC는 220MHz를 주파수를 사용하는 시스템이며 180km/h 이하의 속도에서 운영된다.
- 2011년 IEEE 802.15 (Wireless PAN) Positive Train Control Group이 발족하였으며, PTC에 필요한 무선통신 시스템의 규격화 작업을 진행 중이며, 주로 RF/PHY/MAC 규격에 대한 논의를 하였다.
- PTC-IG (Positive Train Control-Interest Group) 주요 규격은 다음과 같다.
  - Data rate : 9.6k ~ 200k bits per second
  - Support multiple simultaneous network
  - Mobility : Up to 500km/h
  - Coverage : Maximum 50km

○ 구축현황

- 2018년 12월까지 철도 운영사 (Class 1)는 모든 PTC 장비를 구축하여야 하며, 이와 관련된 주파수를 허가받아야 한다. 더불어 전체 노선의 50% 이상 PTC 인프라가 구축되어야 하며, 열차운행 요원은 PTC 관련 교육을 이수하여야 한다.
- 2년간 (2020년까지) 각 철도 운영사는 PTC 장비를 시험 운행하고, 각 열차 선로에 상호 호환됨을 증빙하여야 한다. 이는 PTC 장비 탑재 열차는 PTC가 인프라가 설치된 모든 선로에서 운용되어야 함을 의미한다.
- Amtrack 사업자의 2018년 PTC 구축현황을 살펴보면, 모든 기관차의 86%, 선로 장치 73%, 기지국 87% 등 구축이 완료되어 있고, 95%의 종업원들은 이미 PTC관련 교육을 이수하였으며, 현재 67% 정도의 노선은 실제 PTC로 운행 중이다.

(2) 열차제어 무선통신 요구사항 연구

(가) 기능 요구사항 (Functional requirements)

- 차상 장치는 ETCS data를 단독으로 처리하는 전용 무선장비가 탑재되어야 하며, 이는 다른 통신 장비와 분리되어 운영되어야 한다.
- ETCS 전용 무선장비는 자체적으로 지상 장비와 무선접속 기능을 수행할 수 있어야 하며, 해당 호 접속에 대한 제어 권한을 가져야 한다.
- ETCS 전용 무선장비는 지상과 무선접속을 수행할 때, ETCS 차상 장비에 설치된 어플리케이션에 의하여 직접적으로 수행하여야 한다.

- ETCS 전용 무선장비는 호 접속 제어(연결, 재연결, 해제, 전송속도 제어 등)를 ETCS 차상 장비에 설치된 어플리케이션에 의하여 직접적으로 수행해야 한다.
- ETCS 전용 무선장비는 규격으로 정의된 인터페이스를 ETCS 차상 처리 장치 통신하기 위하여 제공하여야 한다.
- ETCS 전용 무선장비는 ETCS 차상 처리장치 규격으로 정해진 인터페이스를 통하여 운용 중에 발생한 다양한 통신 기록(log)을 제공하여야 한다.

(나) 시스템 요구사항 (System requirements)

- 220km/h 이하로 운행하는 선로의 ETCS L2/L3 열차제어를 위한 무선 전파 커버리지 구축에서 전체 95%에 해당하는 지역은 최소 41.5dBμV/m (-95dBm) 이상의 전파환경을 구축하여야 한다.
- 280km/h 이상으로 운행하는 선로의 ETCS L2/L3 열차제어를 위한 무선 전파 커버리지 구축에서 전체 95%에 해당하는 지역은 최소 44.5dBμV/m (-92dBm) 이상의 전파환경을 구축하여야 한다.
- 220km/h 이상 280km/h 이하로 운행하는 선로의 ETCS L2/L3 열차제어를 위한 무선 전파 커버리지 구축에서 전체 95%에 해당하는 지역은 최소 41.5dBμV/m (-95dBm)이상, 44.5dBμV/m (-92dBm) 이하의 전파환경을 구축하여야 한다.

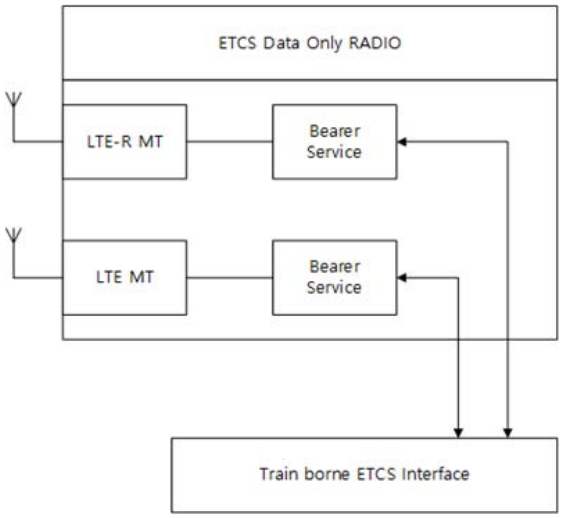


그림 129 ETCS data only radio

- ETCS 데이터 전용 라디오는 하나 이상의 LTE-R 혹은 LTE 기반 이동 터미널로 구성되어야 한다. 또한, 각 이동 터미널은 LTE 무선접속 규격을 준수하여야 한다.
- ETCS 데이터 전용 라디오와 차상 ETCS 인터페이스는 'Radio Transmission FFFIS for Euroradio', MORANE A 11 T6001 12 규격을 준수하여야 한다.

- ETCS 데이터 전용 라디오는 패킷 스위치 모드 (UDP 혹은 TCP 프로토콜) 기능을 지원하여야 한다.
- ETCS 데이터 전용 라디오는 국내 LTE-R로 할당된 700MHz 주파수 대역 (718~728MHz, 773~783MHz) 사용하여야 한다.
- ETCS 데이터 전용 라디오는 -20° C ~ + 70° C 환경에서 작동하여야 하며, 기관차 밖 외부 온도 -40° C ~ + 70° C 환경의 극한 상황에서도 동작하여야 한다. 또한, ETCS 데이터 전용 라디오는 초당 ±3° C의 급격한 온도 변화 환경에서 정상 동작하여야 한다.
- ETCS 데이터 전용 라디오는 3초 이상의 터널 내 압력 변동 6kPa 환경과 100kPa/s 압력 변동을 견딜 수 있어야 한다.
- ETCS 데이터 전용 라디오의 SIM 카드 (가입자 카드) ETCS 데이터 전용 라디오에 설치되어야 하며, 관리자 이외에는 물리적 접근이 엄격히 제한되어야 한다.
- ETCS 데이터 전용 라디오는 차상 장치가 설치된 열차 내 선형파 진동 5-200Hz, 최대 7mm 진폭, 중력가속도 1.5g를 견뎌야 하며, 기관차 밖 선형파 진동, 5-1000Hz, 최대 5mm 진폭, 중력가속도 2.5g를 견뎌야 한다.

(다) 단대단 서비스 요구사항 (End to end service requirements)

- 열차제어 신호전송을 위하여 무선통신 시스템은 지상의 RBC와 (Radio Block Center) 차상의 OBC 간 (On-board Unit) 데이터 베어러 서비스가 가능하여야 한다.
- 열차제어 신호는 안전한 열차운행에 핵심적인 중요 데이터임에 따라 무선통신 시스템은 데이터 전송에 가장 안정적인 데이터 베어러 설정을 수행하여야 하며, 호 처리 시 가장 높은 순위의 호 접속을 수행하여야 한다.

(라) QoS (Quality of Service) 요구사항

- 열차제어 무선통신 시스템은 해당 노선의 최대 속도에서 지상에서 차상 혹은 차상에서 지상까지 열차제어 신호 전달을 수행할 수 있어야 하며, 아래의 설명에 요구되는 QoS 항목은 네트워크의 부하와 무관하게 제공될 수 있어야 한다.

① 연결 설정 지연 (Connection establishment delay)

- 정의 : 차상 혹은 기지국에서 연결 설정 요청 명령을 수행하고 성공적인 연결 설정이 마무리된 시간까지의 간격을 의미한다.
- 차상 장치에서 진행된 호 처리에서 연결 설정 지연은 < 8.5s (95%), ≤ 10s (100%)이어야 한다.
- 10초 이상의 연결 설정 지연은 연결 설정 실패로 간주한다.
- 연결 설정 지연시간은 호 설정 과정이나 열차의 위치와 상관없이 요구사항을 만족하여야 한다.

② 연결 설정 오류율 (Connection establishment error ratio)

- 정의 : 무선통신 시스템에서 연결 설정 실패 수를 연결 설정 시도 수로 나눈 비율을 의미한다.
- 차상에서 시도한 연결 설정 오류율은 < 10^{-2} 이어야 한다.

③ 전달 지연시간 (Transfer Delay)

- 정의 : ETCS 단대단 데이터 전달에서 송신단의 사용자 데이터 블록의 전송요청으로부터 수신단의 사용자 데이터 블록이 성공적 전달이 완료된 시점까지의 시간을 의미한다. 전달 지연시간은 송신단 첫 번째 비트가 송출되는 시점에서 수신단 마지막 비트가 수신되는 시간을 의미한다.
- 단대단 통신에서 30바이트에 해당하는 사용자 데이터 블록의 전달 지연시간은 ≤ 0.5s (99%)이어야 한다.

④ 접속 손실률 (Connection loss rate)

- 정의 : 특정 시간 동안 의도치 않게 통신 연결이 해제되는 경우의 수를 의미한다.
- 만약 연결 설정 오류율이 < 10^{-2}일 경우 접속 손실률은 < 10^{-2}/h이어야 한다.

⑤ 전송간섭 (Transmission interference)

- 정의 : 전송간섭 시간은 베어러 서비스에서 에러 없이 30바이트의 사용자 데이터 전송을 할 수 없을 때의 데이터 전송 시간을 의미한다. 만약 전송간섭이 발생하면, 30바이트의 전송 데이터 전체 혹은 부분적으로 손실되었음을 의미한다.
- 전송간섭 시간은 < 0.8s (95%)이고 < 1s (99%)이다.
- 정의 : 에러 미발생시간은 TRec (Transmission Recovery) 전송 장애가 발생한 후, 이를 극복하기 위한 재전송이 이루어지기까지 시간을 의미한다.
- 에러 미발생시간은 95%에 해당하는 데이터에 대해서 20초 이상 보장해야 하며, 99%에 해당하는 데이터에 대하여 7초 이상 보장해야 한다.

⑥ 네트워크 등록 지연시간 (Network registration delay)

- 정의 : 철도통신 네트워크에서 사용자 등록을 요청하고, 철도통신 네트워크에서 해당 단말의 사용자 등록을 허가하는 응답이 단말에 도착할 때까지의 시간을 의미한다.
- 네트워크 등록 지연시간은 95% 해당하는 이벤트에 대하여 30s 내에 등록을 완료해야 하며, 99% 해당하는 이벤트에 대하여 35s 내에 등록을 완료해야 한다. 만약 40s가 넘어가면 네트워크 등록 실패로 간주한다.

⑦ 핸드오버 성공률 (Handover success rate)

- 정의 : 철도통신 네트워크에서 단말이 기지국 변경 과정 (핸드오버 : Handover)을 통신 장애 없이 성공적으로 수행하는 확률을 의미한다.
- 철도통신 네트워크에서 단말의 핸드오버 성공률은 최소 99.5% 이상을 지원하여야 한다. (ETSI TR103134)

(마) 기타 요구사항 (Other requirements)

① 전송 에러 발생률 (Transmission error rate) (Option)

- 정의 : 철도통신 네트워크 송신단에서 전송된 30바이트의 전송 데이터가 수신단에서 확인 결과, 전체 혹은 부분적 손실이 발생할 확률을 의미한다.
- 철도통신 네트워크에서 전송 에러 발생 확률은 $< 10^{-3}$/h이어야 한다.

② 전송 실패 확률 (Transmission failure rate) (Option)

- 정의 : 철도통신 네트워크 송신단에서 전송된 30바이트의 전송 데이터가 통신의 모든 절차를 수행하여도 수신단까지 전송되지 못하는 확률을 의미한다.
- 철도통신 네트워크에서 전송 실패 확률은 $< 10^{-4}$/h이어야 한다.

③ 네트워크 가용성 (Network availability)

- 정의 : 유무선을 통합한 철도통신 전체 네트워크에서 하드웨어 장비 혹은 통신의 장애 없이 원활하게 운용될 수 있는 시간의 비율이다. 일반적으로 성공적 운영시간/전체시간으로 표현된다.
- 네트워크 장비와 통신 장애로 인한 운영 가용성은 (Operation availability) 0.999984 이상 되어야 한다. (ERTMS/ETCS RAMS Requirements spec : EEIG:96S126)

표 51 열차제어용 무선통신망 QoS 요구사항

요구사항 항목	요구값	확률
연결설정지연시간	< 8.5s	95%
	≤ 10s	100%
연결설정오류율	$< 10^{-2}$	-
전달지연시간	≤ 0.5s	99%
접속 손실률	$< 10^{-2}$/h	-
전송간섭시간	< 0.8s	95%
	< 1s	99%
에러 미발생시간	≥ 20s	95%
	≥ 7s	99%
등록지연시간	≤ 30s	95%
	≤ 35s	99%
핸드오버성공율	≥ 99.5%	-
네트워크가용성	≥ 99.9984%	-

(바) LTE-R 통신망에서 열차제어 통신 요구사항 충족 방안

① 성능향상 필요성

- LTE-R 통신망은 기존 LTE 통신 시스템을 규격 변경 없이 철도통신에 적용하고 있어 열차제어용 요구사항을 모두 만족하지 못한다.
- ETCS L3는 열차운행에 핵심적인 정보 송수신을 전적으로 무선통신에 의존하는 열차제어

시스템임에 따라 ETCS L2 (무선통신/궤도회로 혼합)보다 높은 무선통신 성능이 필요하다.

- ETCS L2보다 훨씬 빈번하게 이동 권한, 위치보고 등을 무선통신을 통하여 송수신하기 때문에, 동일한 통신 환경이라 해도 전송 오류 혹은 장애가 발생하는 횟수가 증가할 뿐 아니라, 오류/장애 발생 시 열차운행에 즉각적인 영향을 미침 따라서 ETCS L2 무선통신보다 통신 오류에 강인하고, 장애를 쉽게 극복할 수 있는 개선된 무선통신 방식 필요하다.

② 요구사항 충족 방안

- ETCS L3용 열차제어 통신을 위하여 무선통신의 안정성과 가용성을 높여 열차제어 무선통신의 요구사항을 충족하여야 한다.
- ETCS L3 무선통신 안전성 정의 : 열차운행의 안전을 위하여 전송되는 데이터를 오류나 장애 없이 수신 단에 충분히 안정적으로 전달하는 능력이다.
- ETCS L3 무선통신 가용성 정의: 열차제어 무선통신 시스템에 각종 장애가 발생하더라도 장애를 극복하고 계속해서 통신을 수행하는 능력이다.
- ETCS L3 무선통신 안전성 향상 방안 :무선통신의 데이터를 안정적으로 송수신하는 방법은 무선전송 기술 (Layer 1) 혹은 무선접속기술을 (Layer 2/3) 개량하여 성능을 향상할 수 있으나, 규격 변경이 힘든 하드웨어 기반의 무선전송 기술을 (Layer 1) 개량할 시 실제 적용에 많은 어려움이 예상됨에 따라 비교적 개량 기술 적용이 수월한 무선접속기술 개량에 (Layer 2/3) 집중하여야 한다. 특히 높은 속도의 열차 이동에 적합한 핸드오버 기술, 단말 통신 성능을 향상하는 주파수 간섭 제거 기술, 데이터 오류 시 빠른 재전송 기술 등의 무선접속기술 개발을 통하여 안정성을 향상할 수 있다.
- ETCS L3 무선통신 가용성 향상 방안 : ETCS L3 무선통신에서 기지국과 같은 장비의 오류나 장애가 발생하였을 경우, LTE-R 무선통신망으로부터 완전히 독립적이고 부가적 경로를 (상용 LTE 통신망) 통하여 가용성을 향상할 수 있다.

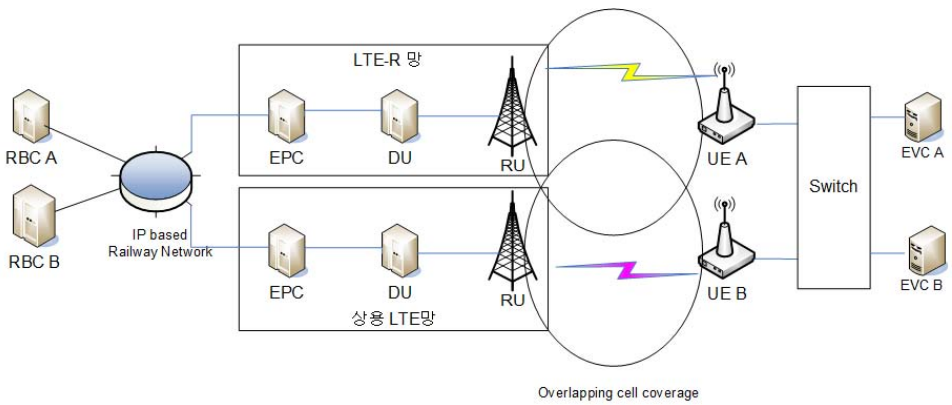


그림 130 상용 LTE망을 활용한 무선통신 가용성 향상 방안

(3) 무선접속기술 LTE-R 적용방안 연구

(가) 핸드오버 제어기술 적용

○ 핸드오버 제어기술 개요

철도통신에서 핸드오버가 문제가 되는 가장 큰 이유는 신호 세기를 기반으로 핸드오버를 결정하는데, 고속열차이동 HSR (High Speed Rail) 환경에서는 신호 세기는 짧은 시간 안에 급격히 변화하기 때문이다. 이러한 급격한 변화로 인하여 핸드오버 시 RLF (Radio Link Failure)와 같은 장애가 발생하고 그 결과 핸드오버 지연 혹은 핸드오버 실패가 발생한다. 현재 LTE 통신은 신호 세기가 급격히 변화하는 HSR 환경을 고려하지 않은 핸드오버 알고리즘으로 설계되어 있다. 따라서 고속운행 환경의 철도통신에 최적화된 핸드오버 알고리즘 설계가 필요하다. 특히 철도전용 무선통신을 위해서 기존의 LTE 핸드오버 알고리즘 개선이 필요하며, 다음과 같은 세부 항목에서 최적화가 이루어져야 한다고 판단된다.

○ 핸드오버 제어기술 적용방안

- TTT 최적화 : Time To Trigger 값은 핸드오버 핑퐁을 방지하기 위한 파라미터다. 지정된 경로를 운행하는 열차의 경우, 핸드오버 핑퐁이 일어날 확률은 현저히 줄어든다. 따라서 TTT 값을 최적화할 경우, 철도 무선통신 환경에서 핸드오버 성능을 높여줄 것으로 예상한다.
- 핸드오버 파라미터 최적화 : 현재 A1 ~ A6, B1 ~ B2의 핸드오버 파라미터는 도보 사용자 혹은 100Km/h 이하의 이동성을 가지는 자동차 사용자에 최적화되어 있다. 따라서 300Km/h의 이동성을 가지는 철도 환경에서 핸드오버 파라미터의 최적화가 필요하다고 판단된다.
- 새로운 핸드오버 알고리즘 : 핸드오버 알고리즘은 무선접속 규격과는 상관없이 완전히 기지국의 자체 규격으로 구현할 수 있다. 즉 표준화의 영역과 별개의 설계가 가능한 영역이기 때문에 새로운 핸드오버 알고리즘을 통하여 고속열차 이동 환경에 맞는 재설계가 가능하다.

(나) 간섭제어기술 적용

○ 간섭제어기술 개요

인접 셀의 기지국과 협력하여 서빙 셀 기지국이 할당한 주파수 resource block을 인접셀이 중복하여 할당하지 않도록 주파수 자원을 관리하는 기술이다.

○ 철도통신 간섭제어 적용방안

간섭제어 기술을 철도통신에 적용할 경우, 철도통신의 안정성 향상에는 도움이 될 것으로 판단된다. 특히 신호대잡음비 SNR(Signal Noise Ratio)을 높임으로써, 철도통신이 요구하는 무선통신 QoS 요구사항을 만족하게 하는데 기여할 수 있다. 일반적으로 철도통신 접속 손실률은 10^{-2}/h 이하이며, 간섭제어 기술을 적용할 경우 접속 손실률이 개선될 것으로 판

단된다.

(다) 캐리어 집성기술 적용

○ 캐리어 집성기술 개요

캐리어 집성기술은 CA (Carrier Aggregation)이라고 칭하며, LTE에서 높은 전송속도를 지원하기 위하여 Rel. 12 규격으로 완성하였다. LTE에서는 통신사가 2개 이상의 주파수 대역으로 서비스를 제공할 수가 있는데, CA는 여러 개의 주파수를 하나의 대역으로 묶어서 서비스를 제공하는 기술이다.

○ 철도통신 캐리어 집성기술 적용방안

캐리어 집성기술의 주요 목표는 통신의 전송속도를 높이는 데 있다. 서로 다른 주파수 대역을 이용하여 데이터를 전송하는 특성을 활용할 경우, 주파수 다이버서티를 높이는데 활용할 수 있다. 예를 들어, 열차제어 신호를 서로 다른 주파수 대역에 전송하도록 하면 서로 다른 주파수 대역에서 동일한 열차제어 신호를 이중화하여 각각 송신한다면 하나의 주파수 대역에서 데이터가 손실되더라도 다른 주파수 대역에서 전송된 신호로 열차제어 신호를 확보할 수 있으므로 안정성을 높일 수 있다고 판단된다. 그러나 현재 LTE 규격에서는 기지국과 단말이 동일한 열차제어 신호를 서로 다른 주파수 대역으로 전송할 방법이 없으므로 단말과 기지국에 이를 위한 추가적 장치 또는 S/W 개발 및 적용이 필요하다.

(라) 이중접속 기술 적용

○ 이중접속 기술 개요

이중접속 기술은 DC (Dual Connectivity) 이라고 칭하며, 캐리어 집성 (CA)와 유사하지만, CA와는 달리 서로 다른 기지국에서 전송이 이루어지는 것이 가장 큰 차이점이다. 이런 사유로 DC는 inter-site carrier aggregation이라고 칭하기도 한다.

○ 철도통신 이중접속 기술 적용방안

이중접속은 캐리어 집성기술보다 조금 더 수월하게 철도통신에 적용할 수 있다. 특히 이중접속 구조 중 off-loading 타입의 이중접속 구조는 철도통신의 이중화에 더욱 효율적이다. 예를 들어 S-GW에서 데이터를 분기할 때, 열차제어 메시지를 각각의 기지국으로 복사하여 분기하는 메커니즘을 적용한다면 단말은 MeNB와 SeNB에서 열차제어 메시지를 중복으로 수신하기 때문에 자연스럽게 열차제어 메시지를 이중화할 수 있다. 이 같은 경우, 기지국에서 송신하는 캐리어 집성 방식보다 유리한 이유는 캐리어 집성의 경우 동일한 기지국에서 서로 다른 주파수 대역으로 데이터를 전송하기 때문에 해당 기지국에 장애가 발생할 경우, 통신 장애를 극복할 수 없는 반면 이중접속에서는 하나의 기지국에서 장애가 발생하더라도 다른 기지국으로부터 열차제어 메시지를 정상적으로 송수신하기 때문에 이를 극복할 수 있다. 이러한 이중 접속방식도 철도통신에 적용하기 위해서는 추가적 기능이 필요하다. 첫

째, S-GW에 데이터를 분기할 때, 열차제어 메시지를 이중화하는 방법이 필요하다. 단말에서 이중화된 열차제어 메시지를 통합하여 처리하는 방법도 필요하다.

(마) 협력 송수신 기술 적용

○ 협력 송수신 기술 개요

협력 송수신 기술은 CoMP(Coordinated Multi-Point transmission/reception) 라고 칭하며, 셀 내 용량을 늘리고 셀 가장자리에 전송속도를 향상하는 전송 기술이다. CoMP의 원리는 현재 단말과 통신하고 있는 서빙 셀과 이웃 셀이 협력하여 해당 단말에 다른 셀과 통신을 할 수 있도록 함으로써, 셀 간 간섭을 줄이고 단말의 전송속도를 높일 수 있다.

○ 철도통신 협력 송수신 기술 적용방안

협력 송수신 기술에서 제공하는 기능은 단말의 간섭을 줄이고, 수신 성능을 높이는 데 그 목적이 있다. 열차 단말의 간섭이 줄고 수신 성능이 높아지면 열차운행의 안정성이 높아지기 때문에 열차제어 신호를 안정적으로 송수신할 수 있다. 현재 표준화되어 있는 4가지 협력 송수신 기술 그대로 열차 통신에 적용한다면 철도통신의 안정성이 향상될 것으로 판단된다. Joint Transmission 기술을 핸드오버와 연계하면, 현재 LTE의 Hard Handover를 Soft Handover로 전환할 수 있으며, 그 결과로 핸드오버 실패율을 감소할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 열차제어 무선통신 품질 측정 및 장애 분석

(1) 철도 전장품 전자기파 기술기준 분석

철도시스템은 다양한 전기 및 전자 제품으로 구성되어 있다. 모든 전장품은 장치가 동작하는 동안 불가피하게 전자기적 간섭이 발생한다. 전자기적인 간섭은 전장품의 회로 기능을 약화하고, 장애를 발생시킬 수 있다. 따라서 전파 방해 잡음 (Electro Magnetic Interference)은 법규에 따라 적정수준 이하로 방사할 수 있게 정해져 있다.

전자기파 적합성은 (Electro Magnetic Compatibility) 전자파 환경의 양립성/적합성을 의미한다. 여기서 양립성이란 전자기기와 부품은 특정 범위 이상의 전파 방해 잡음을 내지 않아야 하며, 특정 값 이하의 전파 방해 잡음의 영향도 받지 않아야 한다는 의미이다.

철도 전장품의 전자기파 운영 규칙은 주로 전자기파 적합성 기준에 의하여 정의되고 있다. 철도 전장품과 관련된 국내 전자기파 관련 법령, 기술기준, 지침, 규격 등은 다음과 같다.

(가) 국토부 고시 철도시설 기술기준

국토부 고시 철도시설의 기술기준에서는 제2조 (정의) 제79조 (일반기준), 제102조 (철도사고 관련 위험원 관리), 제149조 (전자파 억제), 제179조 (접지), 제180조 (유도장해의

억제) 등에서 전자파 관련 기술기준을 제시하였다.

(나) 전파법 전자기파 적합성 정의

전파법 제47조에서는 “전자파 장해를 주거나 전자파로부터 영향을 받는 기자재를 제작하거나 수입하려는 자는 전자파 적합성 기준을 초과하지 아니하여야 한다 ”, “정부는 전자파 장해를 주거나 전자파로부터 영향을 받는 기자재에서 발생하는 전자파가 전자파 적합성 기준을 초과할 가능성이 있다고 판단할 경우에는 해당 기자재에 대하여 전자파 적합성 여부를 측정하거나 조사할 수 있다” 라고 정의하였다.

(다) 전파법 시행령 전자파 적합성 기준

전파법 시행령 제67조 2항에서는 “전자파 장해를 주는 기자재에 대한 성능 기준”, “전자파로부터 영향을 받는 기자재에 대한 성능 기준” 을 각호로 구성하여 전자파 적합성 기준을 정의하였다.

(라) 철도 전장품 전자기파 관련 기술기준

전파연구소 고시 전자파 적합성 기준은 전파법 시행령 제67조에 따른 전자파 적합성 기준의 세부적 내용에 관한 규정을 적시하였으며, 이는 제10조 전기철도기기류의 전자파 적합성 기준에 적시되어 있다. 구체적 내용은 전기 철도기기류의 전자파 장해방지 기준과 전자파 내성 기준으로 구분하여 정의하고 있다.

전자파 장해방지 기준은 전기 철도 전체 시스템의 장해방지 기준, 열차 및 완성 차량의 장해방지 기준, 전기 철도 차량 내의 기기에 대한 장해방지 기준, 신호 및 전기 통신 기기의 장해방지 기준, 고정전원 설비 및 기기의 장해방지 기준으로 구분하여 정의하고 있다.

전자파 내성 기준은 전기 철도 차량 내 기기의 내성 기준, 신호 및 전기 통신기기의 내성 기준, 고정 전원설비 및 기기의 내성 기준으로 구분하여 정의하고 있다.

(마) 한국철도공사 철도 차량 전자기파 기술기준

한국철도공사에는 철도 차량 및 철도 차량에 설치된 전기설비의 전자파 적합성 기술기준은 KS C IEC 62236-1, KS C IEC 62236-2, KS C IEC 62236-3-1, KS C IEC 62236-3-2, IEC 62236-1, IEC 62236-2, IEC 62236-3-1, IEC 62236-3-2 을 따르며, KS C 표준과 IEC 국제표준 간의 상이한 사항은 최신판을 적용하는 것으로 명시하였으며 이는 전파연구소 고지 전기철도 기기류의 전자파 적합성 기준과 같다.

(2) 강릉선 KTX 무선통신 품질 측정 및 분석

철도통신에서 무선통신 성능을 개선하기 위해서는 현재 구축된 무선통신의 성능을 파악할

필요가 있다. 특히 네트워크 시뮬레이션을 통하여 무선통신의 성능을 향상하기 위해서는 실제 구축된 LTE-R 의 성능뿐만 아니라 무선 주파수 특성을 파악하고, 현재 무선 특성 (주파수 특성)을 반영하여 네트워크 시뮬레이션에서 시험환경을 유사하게 구성할 필요가 있다. 따라서 LTE-R 환경에서 전파의 물리적 특성을 사전에 규명하여 무선 링크에서 발생될 수 있는 근본적인 제약점을 면밀히 분석한다면 성능 개선이 가능하다.

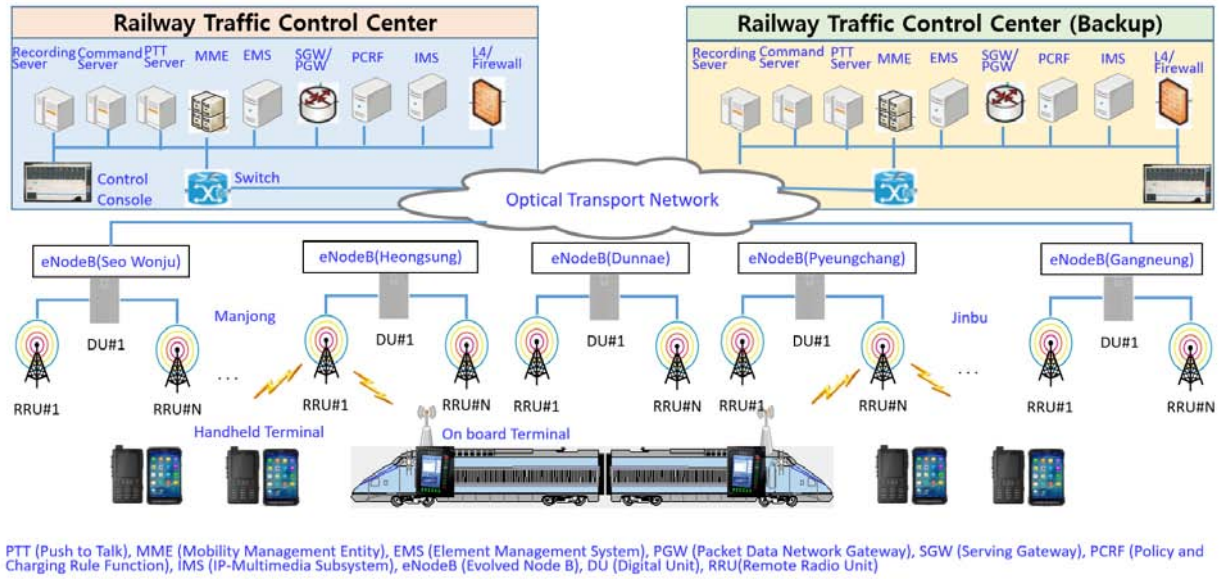


그림 131 강릉선 LTE-R 시스템

강릉선 철도통합무선망(LTE-R)은 철도교통 관제센터와 철도교통 예비관제센터로 이루어진 LTE-R 중앙제어센터, 광 전송망, DU(Digital Unit)와 RRU(Remote Radio Unit)로 구성된 지상 장치, 운전실에 설치된 차상 장치 및 승무원용 휴대 단말기 등으로 구성된다.



그림 132 LTE-R 휴대단말 (스마트폰 타입)

무선통신 품질 측정을 위하여 LTE-R 휴대단말을 통하여 무선통신특성과 관련된 데이터를

수집하였다. LTE-R 휴대단말은 삼성전자에서 제작한 SM-G888N0 단말기를 이용하였다. 단말의 지속적 양방향 데이터 통신 설정을 위하여 LTE-R 단말 2대를 VoLTE(Voice over LTE) 기반 고화질 비디오 통신으로 연결한 후 관련 데이터를 수집하였다. 데이터 수집 및 분석장치는 네티마이저(Netimizer)를 활용하였다.

측정한 각 지표는 RSRP (Reference Signal Received Power), RSRQ (Reference Signal Received Quality), SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio), RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 측정하였으며, RSRP는 단말이 기지국으로부터 수신하는 참조 무선신호의 수신전력을 나타낸다. RSRQ는 수신한 참조 무선신호의 품질을 나타내는 지표이다. RSSI는 단말이 수신하는 모든 신호의 수신전력을 나타내며, SINR은 신호대 잡음 및 간섭 비율을 나타낸다.

(가) 1차 LTE-R 무선통신 품질 측정

일시 : 2019년 10월 31일

장소 : 강릉선 KTX LTE-R 구간 (만종역 - 강릉역)

측정 장비 : Netimizer DML : Notebook 포팅, LTE-R 단말 2대

측정 방법 : 3회 (KTX 운전실(강릉-만종 1회), KTX 승객실 왕복 1회), LTE-R 단말 2대를 화상통화로 연결



그림 133 강릉-만종 간 LTE-R 무선통신 품질 측정 (운전실)



그림 134 강릉-만종 간 LTE-R 무선통신 품질 (운전실)

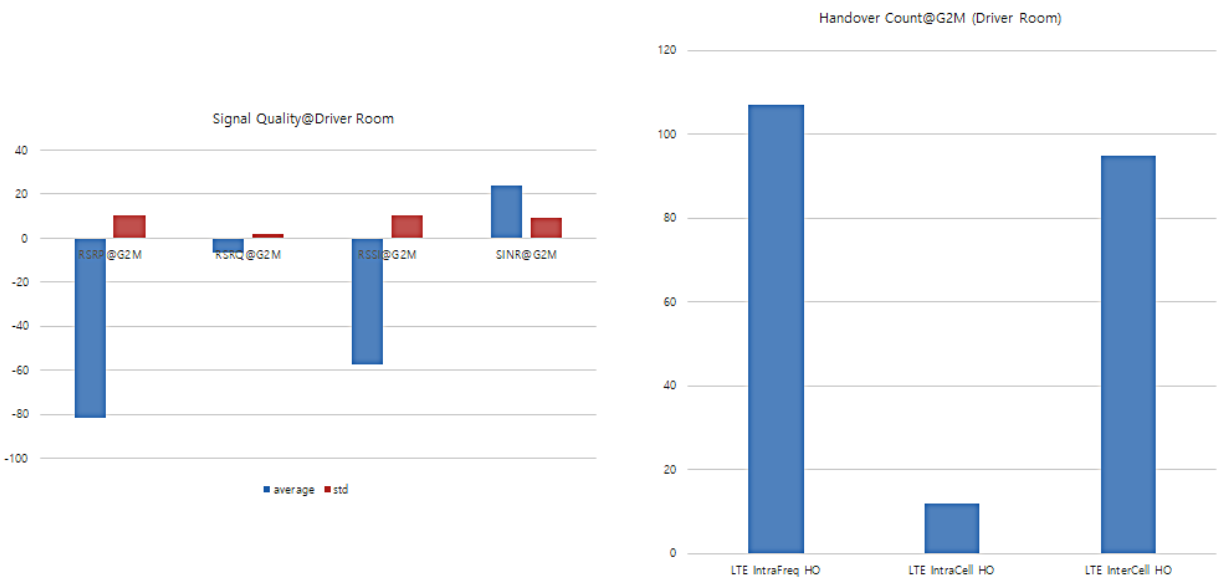


그림 135 강릉-만종 간 LTE-R 무선통신 품질(평균치), 핸드오버 정보 (운전실)



그림 136 LTE-R 무선통신 품질 측정 (승객실)

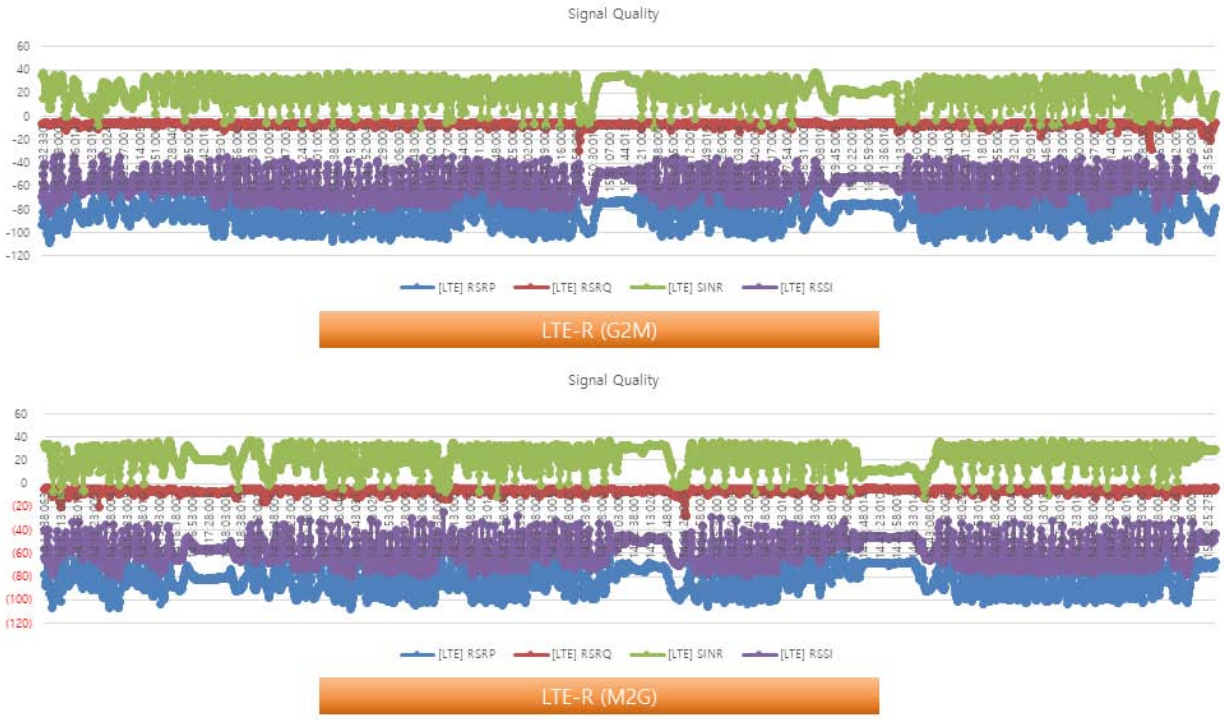


그림 137 LTE-R 무선통신 품질 (승객실)

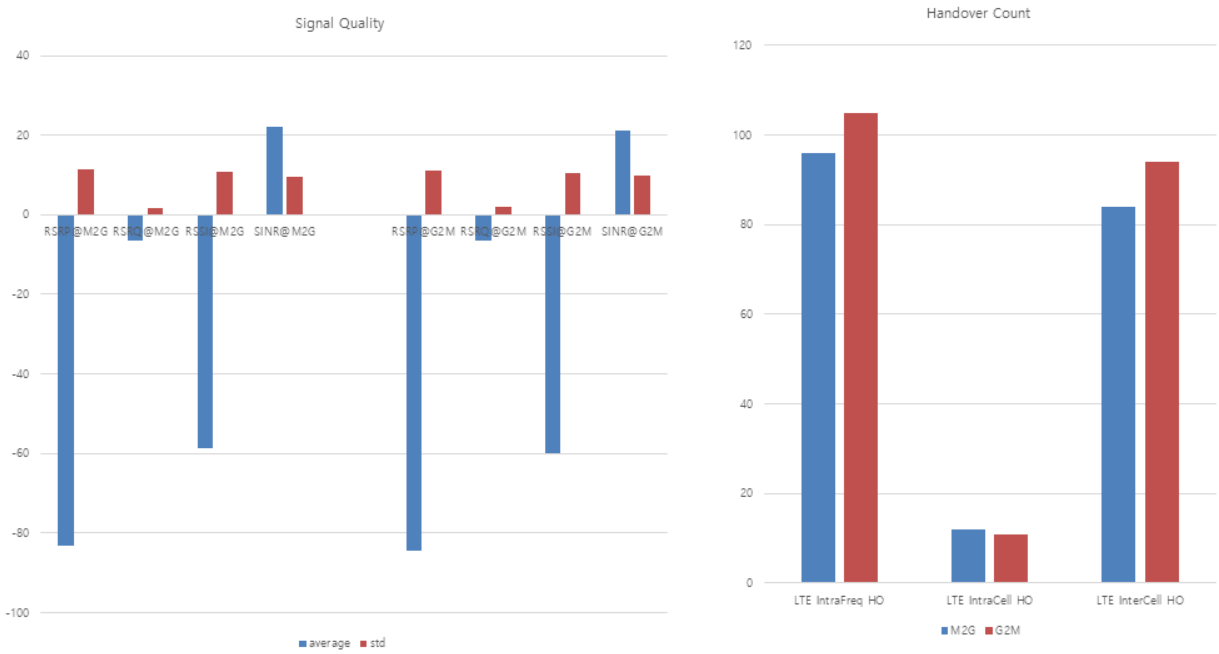


그림 138 LTE-R 무선통신 품질(평균치), 핸드오버 정보 (승객실)

LTE-R 무선통신 품질 측정 결과, 강릉-만종 운전실, 양방향 승객실 측정에서 각각 RLF(Radio Link Failure) 현상이 각각 1차례 발생하였으며, 발생 원인에 대한 로그 리포트(Log report)는 otherFailure로 확인되었다. 전반적인 신호품질은 운전실이 승객실과 비교하여 평균 RSRP값이 약 2dBm 정도 양호한 것으로 확인되었다. 승객실에서 측정한 상행선과 하행선의 신호품질 차이는 미미한 것으로 보이지만, 측정 위치에 따라 편차가 발생하는 것으로 판단된다. 핸드오버 성공률은 100%이며, 3차례 측정에서 이루어진 평균 핸드오버 발생 수는 약 100회로 관측되었다.

(나) 2차 LTE-R 무선통신 품질 측정

일시 : 2020년 6월 4일

장소 : 강릉선 KTX LTE-R 구간 (만종역 - 강릉역)

측정 장비 : Netimizer DML : Notebook 포팅, LTE-R 단말 2대

측정 방법 : 왕복 1회 (KTX 승객실), LTE-R 단말 2대를 화상통화로 연결



그림 139 2차 LTE-R 무선품질 측정

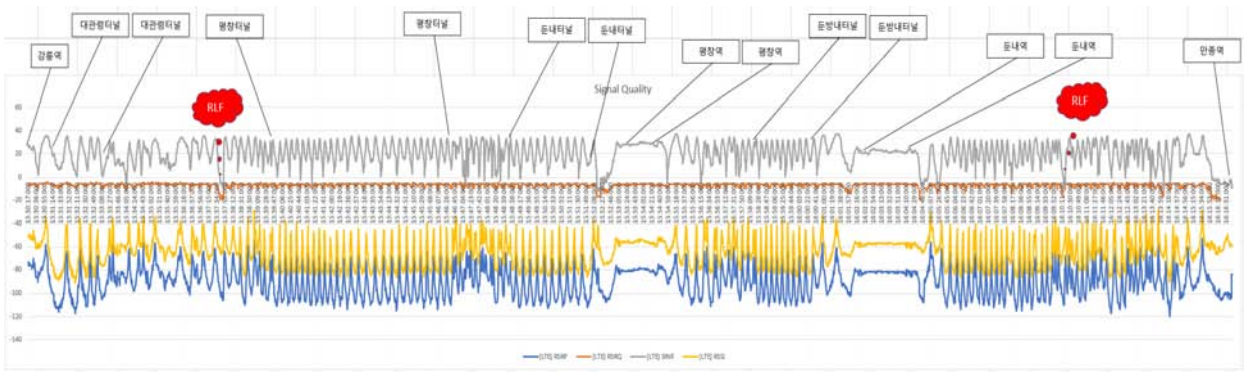


그림 140 강릉-만종 간 LTE-R 무선통신 품질

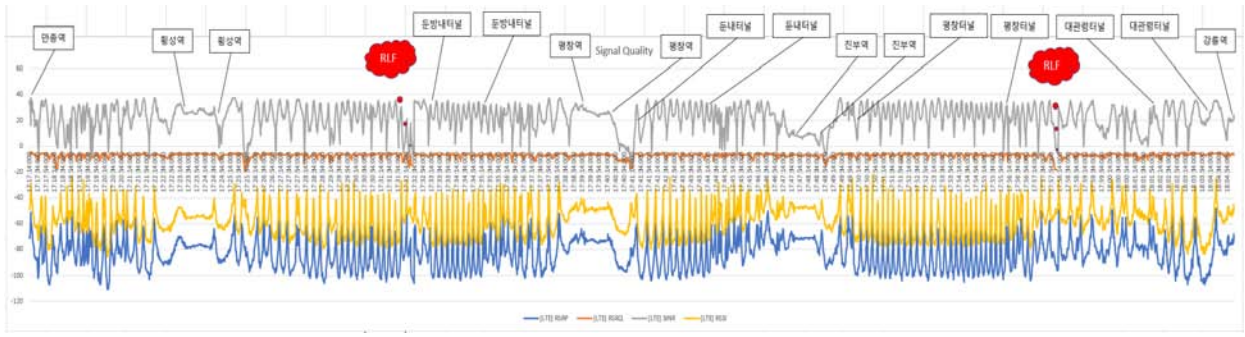


그림 141 만종-강릉 간 LTE-R 무선통신 품질

위 그림은 만종에서 강릉 왕복하는 동안 KTX 열차 이동 시 측정된 무선통신 특성을 보여준다. 그림에서 확인할 수 있듯이 열차가 이동 시 신호의 편차가 급격히 발생함을 확인할 수 있다. 특히, 열차가 왕복하는 동안 4번의 RLF (Radio Link Failure)를 확인하였는데, 이는 통신 단락을 의미한다. 통신 단락의 원인은 동일한 주파수를 사용하는 재난망 간 간섭 혹은

노이즈, 패이딩 현상 증가 등으로 유추된다. 정확한 원인을 파악하기 위해서는 간섭 분석, 주파수 신호분석, 기지국 로그 분석 등이 필요하다.



그림 142 LTE-R 무선통신 품질 평균값

위 그림에서 왼쪽은 강릉선-KTX에서 만종-강릉 이동 시 측정한 LTE-R 무선통신 품질의 평균값을 보여주며, 오른쪽 그래프는 강릉-만종 이동 시 LTE-R 무선통신 품질 평균값을 보여준다. 만종에서 강릉 이동 시 전반적인 LTE-R 무선통신 품질이 더 좋음을 확인할 수 있다. 휴대단말 기준 참조 신호 수신전력 (RSRP)의 평균값은 - 86dBm 이며, 98% 커버리지에 대하여 참조 신호 수신전력이 - 110dBm 보다 큰 값으로 확인했으므로 전계 강도에 해당하는 요구사항을 만족한다.

표 52 RF 파라미터에 따른 RF 품질 등급

Conditions	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
Excellent	≧ -80	≧ -10	≧ 20
Good	-80 ~ -90	-10 ~ -15	13 ~ 20
Mid Cell	-90 ~ -100	-15 ~ -20	0 ~ 13
Cell Edge	≦ -100	< -20	≦ 0

강릉선 LTE-R 셀 RF 등급은 RSRQ, SINR 기준으로는 매우 우수 (Excellent), RSRP 기준으로는 우수 (Good) 수준에 해당함을 확인하였다. RSRP 신호의 표준 편차는 약 12dBm으로 수신신호의 변동성은 조금 큰 것으로 파악된다. 핸드오버는 왕복 측정구간에서 총 212번의 핸드오버를 수행하였으며, 핸드오버 성공률은 100%임을 확인하였다.

표 53 전송간섭시간 및 에러 미발생시간 현황

RLF #	전송간섭시간	에러 미발생시간
RLF #1	329 msec	32 min 26 sec
RLF #2	1944 msec	
RLF #3	725 msec	25 min 36 sec
RLF #4	471 msec	

RLF #1, RLF #2 는 강릉역에서 만종역으로 이동 시 발생하였고, RLF #3, RLF #4는 만종역에서 강릉역으로 이동 시 발생하였다. 통신장애가 발생하고 다시 무선통신이 재개할 때까지 소요된 시간 (전송간섭시간), RLF가 발생하고 다음 RLF가 발생할 때 시간 (에러 미발생시간)을 확인하기 위하여 필드 테스트 로그 분석을 수행하였다. 0.8초 이상의 전송간섭이 일어난 경우는 RLF #2 에서만 확인되고, 나머지의 RLF에서는 모두 0.8초 이내에 간섭을 극복한 것으로 파악된다. 그러나 RLF #2에서 발생한 2초 정도의 전송간섭은 0.5초 간격으로 지상에서 송신되는 열차제어 메시지를 단말에서 3번 이상 수신하지 못할 경우, 비상제동을 수행하는 ETCS 열차제어시스템에 큰 영향을 줄 수 있으므로 빠른 시간 내에 전송간섭을 극복하지 못한 원인 분석이 필요하다. 에러 미발생시간과 관련하여 RLF가 20초 이내에 연속적으로 발생하지 않았음을 확인하였다.

(다) 강릉선-KTX LTE 무선통신 품질 측정

일시 : 2020년 6월 5일

장소 : 강릉선-KTX 구간 (만종역 - 강릉역)

측정 장비 : Netimizer DML : Notebook 포팅, LTE(KT) 단말 1대

측정 방법 : 왕복 1회 (KTX 승객실), LTE(KT) 단말에서 유튜브 영상 수신 후 측정

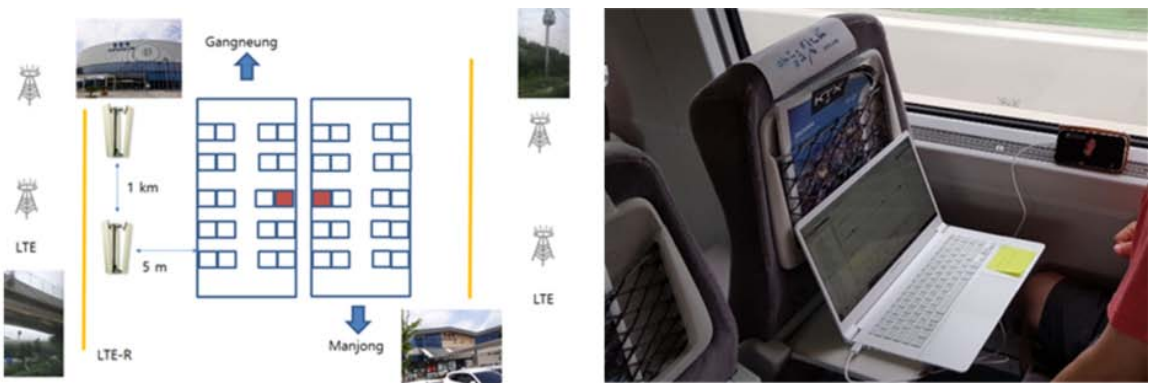


그림 143 강릉선-KTX LTE 무선통신 품질 측정

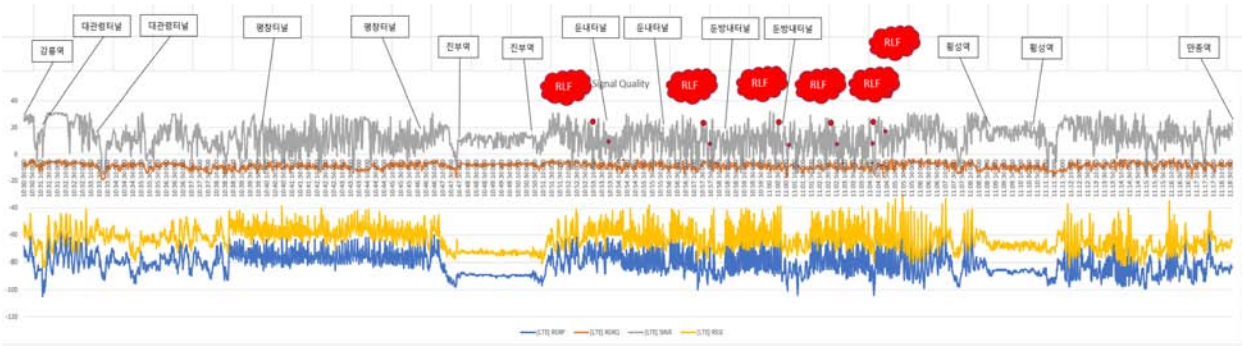


그림 144 강릉-만종 간 LTE(KT) 무선통신 품질 특성

위 그림은 강릉에서 만종 간 KTX 이동 시 측정된 KT의 상용 이동통신망의 무선통신 특성을 보여준다. 각 지표는 LTE-R과 마찬가지로 RSRP, RSRQ, SINR, RSSI를 나타내며, 그림에서 나타난 것과 같이 총 6회의 RLF가 발생하였고, 진부역과 평창역 사이에서 집중적으로 일어났음을 알 수 있다.

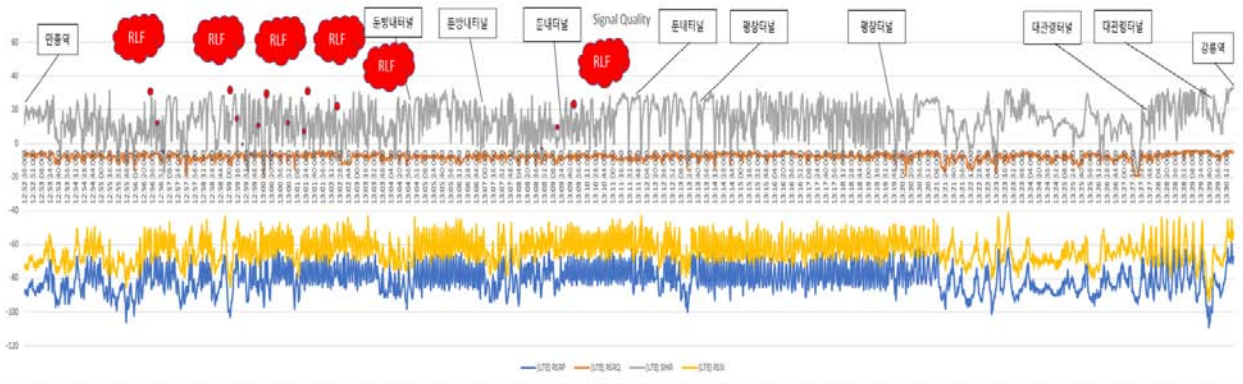


그림 145 만종-강릉 간 LTE(KT) 무선통신 품질 특성

위 그림은 만종에서 강릉 간 KTX 이동 시 측정된 KT의 상용 이동통신망의 무선통신 특성을 보여준다. 강릉-만종과 유사하게 총 6회의 RLF가 발생하였고, 만종역과 평창 터널 사이에서 집중적으로 일어났음을 알 수 있다.

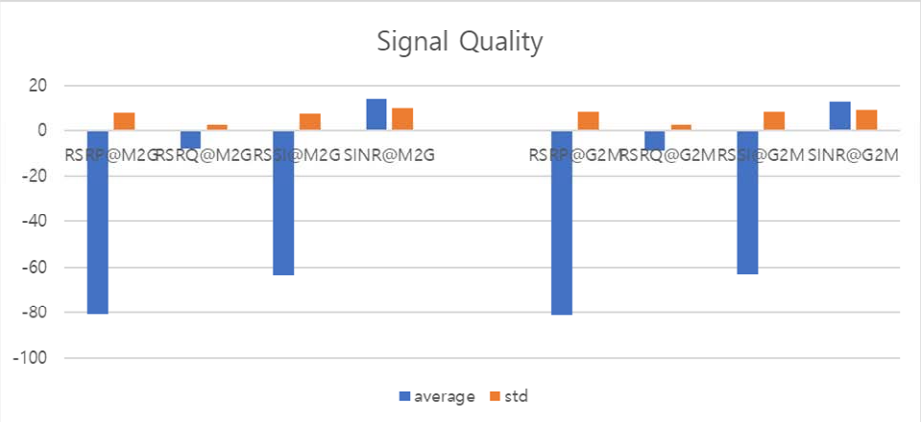


그림 146 강릉선 KTX에서 LTE(KT) 무선통신 품질 평균값

위 그림에서 왼쪽 그래프는 LTE(KT) 무선통신 품질 측정에서 만종에서 강릉 이동 시 측정한 무선통신 품질의 평균값을 보여주며, 오른쪽 그래프는 강릉에서 만종 이동 시 무선통신 품질 평균값을 보여준다. 기지국이 고르게 분포한 특성에 따라 상하행선 모두 무선통신 품질은 유사하며, RSRP값은 LTE-R보다 더 양호함을 보였다. 그러나 LTE 무선통신 품질에서 많은 RLF가 발생하고 BLER 특성은 LTE-R보다 열악함을 확인하였다. 그 이유는 많은 사용자가 상용 통신을 사용함에 따라, LTE-R과 비교하여 사용자 간 간섭이 높으리라 판단된다.

(2) 호남선 KTX 무선통신 품질 측정 및 분석

호남선에서 상용 LTE 무선통신 품질 특성 측정은 2개의 상용 이동통신 사업자에 대한 측정을 수행하였다. KT와 SKT 사업자의 이동통신 서비스를 이용하여 열차 승객이 많은 주간 시간대와 열차 승객이 적은 야간 시간대에 걸쳐 총 4회 측정을 수행하였다. 주간 시간대는 오후 1시부터 오후 4시 사이에 측정하였으며, 야간 시간대는 오후 8시에서 오후 11시까지 측정하였다. 이용 열차는, 주간 시간대는 KTX를 이용하였으며, 야간 시간대는 SRT를 이용하였다. 측정구간은 공주에서 정읍으로 왕복하면서 측정하였다.

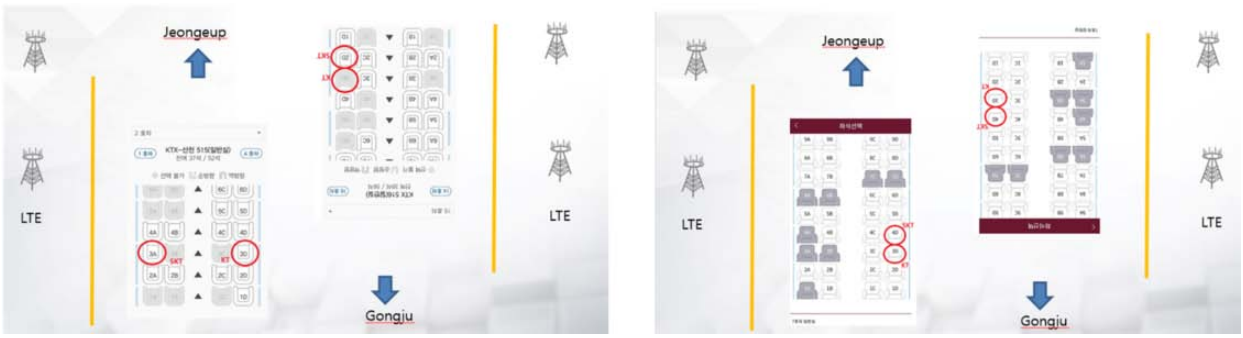


그림 147 호남선 무선통신 품질 측정 위치

위 그림의 좌측 그림은 주간 시간에서 KTX를 탑승하고 품질 측정 시 KT, SKT 측정기의 측정 위치를 나타내며, 우측 그림은 야간 시간에서 SRT를 탑승하고 무선통신 품질 측정 시 SKT, KT 측정기의 측정 위치를 나타낸다.



그림 148 호남선 무선통신 품질 측정

측정에 사용된 단말은 KT 사업자의 경우 갤럭시 J5를 사용하였고, SKT의 경우 갤럭시 S8 단말기를 사용하였다. 측정에 사용된 툴은 네티마이저를 사용하였으며, 무선통신 품질이 측정하는 동안 유튜브 영상을 응용프로그램으로 활용하였다.

(가) 호남선 KT 통신사 무선통신 품질 측정

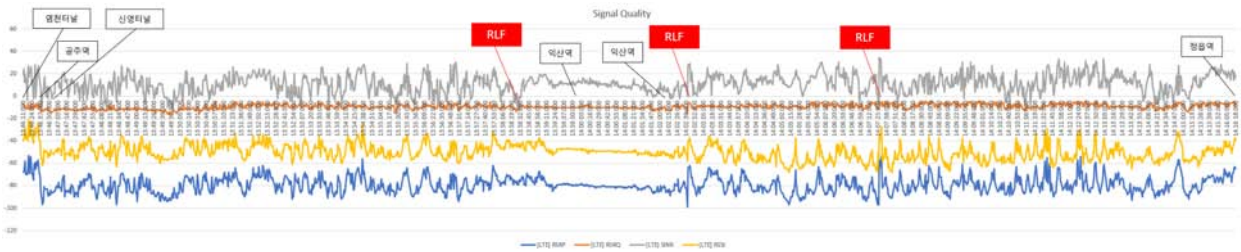


그림 149 주간 시간대 공주-정읍 구간 KT 무선통신 품질 특성

측정된 무선통신 특성은 RSRP, RSRQ, SINR, RSSI을 이용하였고 이는 위 그림에서 보여준다. 주간 시간대 정읍-공주 구간에 3차례 RLF가 발생함을 확인하였고, 주간 시간대 공주-정읍 구간에 1차례 RLF가 발생함을 확인하였다. 또한, 야간 시간대 공주-정읍 구간에 RLF 1차례, 정읍-공주 구간에는 RLF가 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

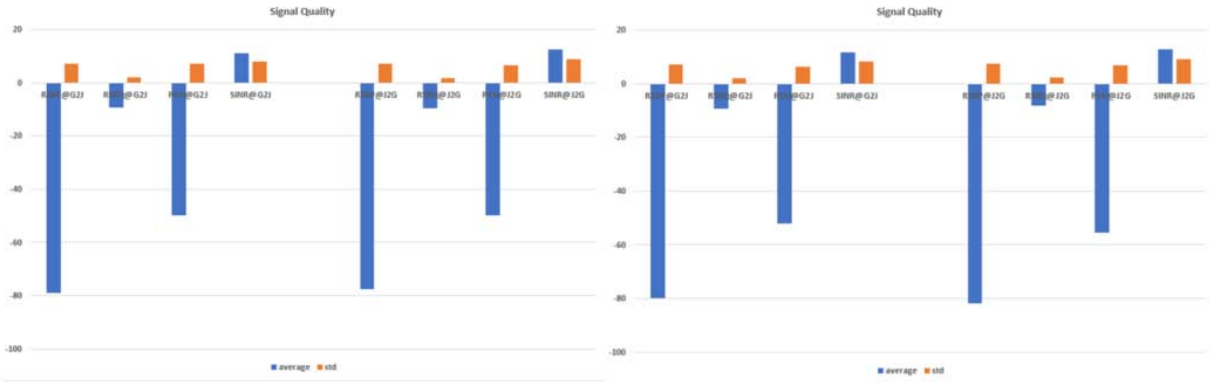


그림 150 주간(좌) / 야간(우) 시간대 호남선 KT 무선통신 품질 평균값

위 그림의 좌측은 주간 시간대 호남선 KT 무선통신 품질 평균값을 나타낸다. 파란색 바는 평균값, 주홍색 바는 표준 편차를 나타낸다. 상행선(왼쪽 그림 좌측그래프) 하행선(왼쪽 그림 우측 그래프) 각 파라미터 평균값과 표준 편차는 거의 동일함을 알 수 있다. 위 그림의 우측은 야간 시간대 호남선 KT 무선통신 품질 평균값을 보여준다. 주간과 비교하여 무선통신 품질 평균값이 조금 줄어들었음 확인할 수 있다. 이는, 야간에는 통신 사용자가 줄어듦에 따라, 기지국 전력제어 혹은 기지국 운영개수 감소를 통하여 핸드오버가 감소하고 무선품질이 조금 열화되었음을 의미한다. 그러나 사용자가 줄어듦에 따라 사용자 간 간섭 감소로 인하여 야간에서 RLF는 훨씬 적게 발생함을 확인할 수 있었다.

(나) 호남선 SKT 통신사 무선통신 품질 측정



그림 151 주간시간대 공주-정읍 구간 SKT BLER 특성

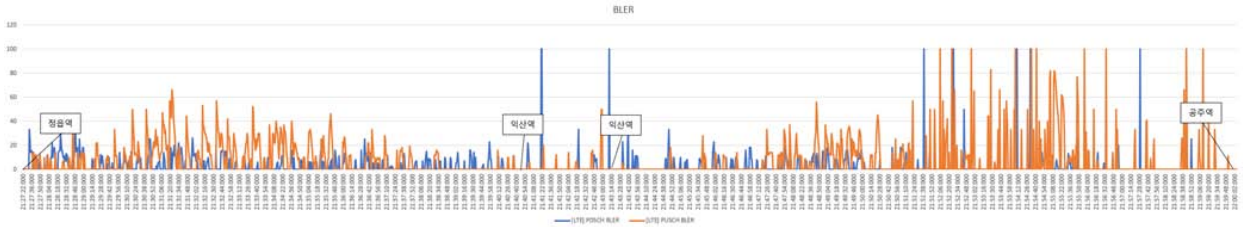


그림 152 야간 시간대 정읍-공주 구간 SKT BLER 특성

위 그림에서 첫 번째 그림은 주간 시간대 공주-정읍 구간, 두 번째 그림은 야간 시간대 정읍-공주 구간의 SKT 통신사에서 측정한 BLER (Block Error Rate) 현황을 나타낸다. 첫 번째 그림과 같이 주간 시간대 공주-익산 사이에서의 BLER 변동성이 익산-정읍 사이의 BLER 변동성보다 월등히 많이 일어남을 확인할 수 있었다. 또한, 두 번째 그림에서는 익산역과 공주역 사이에 BLER 열화는 관측하였으나 RLF는 발생하지 않음을 보여준다.

주간 시간대 공주-정읍 구간에서는 총 9회의 RLF가 발생하였고, 정읍-공주 구간에서는 총 2회의 RLF가 발생함을 확인하였다. 또한, 야간 시간대에서는 왕복하는 동안 RLF가 전혀 발생하지 않음을 확인하였다.

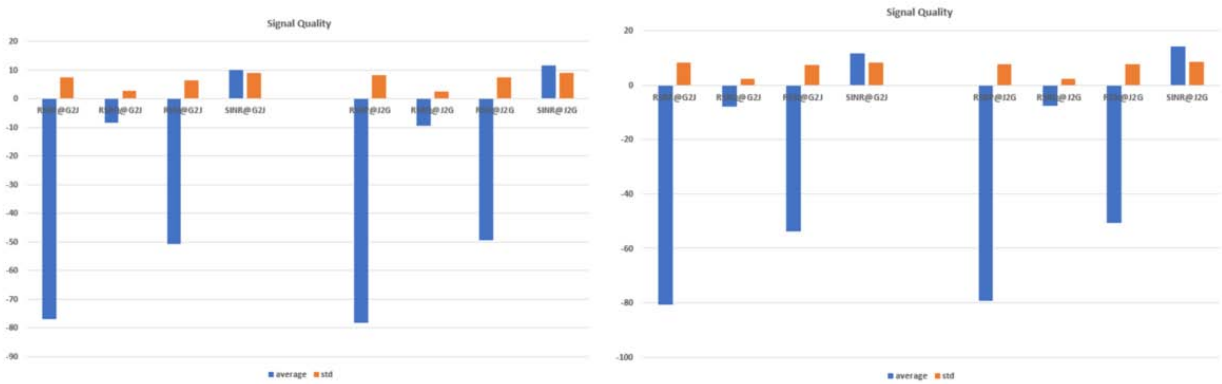


그림 153 주간(좌) / 야간(우) 시간대 호남선 SKT 무선통신 품질 평균값

위 그림의 좌측은 주간 시간대 호남선 SKT 무선통신 품질 평균값을 나타낸다. 파란색 바는 평균값, 주홍색 바는 표준 편차를 나타낸다. 상행선(왼쪽 그림 좌측그래프) 하행선(왼쪽 그림 우측 그래프) 각 파라미터 평균값과 표준 편차는 거의 동일함을 알 수 있다. KT와 유사하게 야간 시간대의 무선통신 품질은 전반적으로 다소 떨어지나, 주간 시간대에 11차례 발생한 RLF는 야간 시간대에서 발생하지 않음을 확인하였다. 이는 사용자 간 간섭이 무선통신의 안정성에 많은 영향을 주는 것으로 판단된다.

(다) 향후 무선통신 품질 측정

무선통신 품질을 측정하는 이유는 현재 구축된 LTE-R 무선통신의 특성이 열차제어서비스를 수용할 수 있는지 검증하기 위함이다. 이를 위해서는 LTE-R 차상무전기를 통하여 무선통신 품질 측정이 이루어져야 한다. 그러나 상용 노선에서 운행 중인 열차의 LTE-R 차상무전기에 각종 검측 장비를 설치하기 위해서는 장비의 형식승인이 필요할 뿐만 아니라 측정 도중 열차운행에 지장을 줄 수 있다는 우려에 다라 차선책으로 LTE-R 휴대 단말을 사용하였다. 2단계 사업에서는 오송 시험선에서 자체적인 시험 인프라를 구축함에 따라 무선통신 품질

측정을 LTE-R 차상무전기를 통하여 수행해야 한다. 이를 위하여 열차제어를 위한 LTE-R 차상무전기에 각종 검측 장비가 연동될 수 있도록 무선통신 품질측정 환경구축을 추진해야 한다. 측정된 대량의 무선통신 특성 파라미터들을 처리 및 분석할 수 있도록 장비와 인력을 확보하여 열차제어를 위한 LTE-R 통신의 현황파악을 진행할 수 있어야 한다.

다. 열차제어 무선통신망 안정성 향상 연구

(1) LTE-R 무선접속 알고리즘 설계

본 장에서는 열차운행 시 하나의 intra-RAT (Radio Access Technology)에서 발생할 수 있는 handover에 대해 안정성(reliability)을 향상할 수 있는 방식 및 알고리즘에 관해 설명한다.

Handover에는 여러 성능 KPI(Key Performance Indicator)가 존재하며 그 중 안정된 handover delay를 제공할 수 있는 방식과 알고리즘에 대해 초점을 맞추어 설명한다. 핸드오버 지연시간은 단말이 소스(source) 기지국에서 핸드오버를 시작하여 타겟(target) 기지국에 연결될 때까지의 시간을 말한다. 핸드오버 지연시간을 줄일 수 있는 방식은 크게 2가지가 있다. 하나는 기존 3GPP LTE 규격에 있는 핸드오버 절차와 파라미터를 수정하는 방식이다. 기존에 많은 연구 가 이러한 방법을 제안하였으나 이는 기존 3GPP LTE 규격을 수정해야 하므로 실제로 적용되기 어려운 접근 방식이다. 또 다른 하나는 기존 3GPP LTE 규격에 절차 변경 없이 이미 정의된 핸드오버 파라미터값을 조절하는 방식이다. 이는 기존 3GPP LTE 규격에 영향이 없으며, 이미 통신망 운영 측면에서 사용하고 있는 방식이다.

본 문서에서는 기존 3GPP LTE 규격에 절차 변경 없이 이미 정의된 핸드오버 파라미터인 Event A3의 Off 파라미터값을 조절하여 속도에 무관하면서 예측 가능하고 안정된 핸드오버 지연시간을 확보하고자 하였다. 빈번한 핸드오버가 발생하는 LTE-R 시스템에서 다양한 속도로 고속 주행하는 열차를 실시간으로 원격 제어하는 경우 열차제어 메시지의 안정된 실시간 송수신은 열차운행에 중요한 요소이다.

(가) Intra-RAT handover 제어 이벤트

Intra-RAT handover와 관련된 event는 A1, A2, A3, A4, A5 event가 있으나 주로 A3 event가 사용된다. (3GPP TS 36.331)

아래 조건은 핸드오버를 위한 A3 event의 Entering condition과 Leaving condition을 보여주고 있다. Entering condition이 만족하면 단말이 기지국으로 A3 event를 전송하며, Leaving 조건이 만족하면 A3 event 전송을 중지한다.

A3 이벤트 (event)는 단말에서 소스 셀과 타겟 셀의 상대적 신호 세기를 비교하여 아래 조건에 맞는 경우 단말에서 기지국으로 전송되는 이벤트로 기지국이 이를 수신하면 핸드오버

수행 여부를 결정한다. Off 값을 작게 설정하면 Early 핸드오버를 발생시킬 수 있으며, 큰 값으로 설정하면 Late 핸드오버를 발생시킬 수 있다. 아래 조건에서 Off 값은 망 운영자가 각자의 환경에 맞게 설정하여 사용할 수 있다.

RSRP는 단말에 수신되는 LTE-R Reference Signal의 전력을 나타낸다. RRC idle 모드와 RRC connected 모드에서 측정 가능하며, 셀 재선택과 핸드오버에 사용 가능하다. RSRQ (Reference Signal Received Quality)는 단말에 수신되는 모든 신호에 대한 평균 전력대비 LTE-R Reference Signal 전력의 비율을 나타낸다. RSRQ는 주변 셀의 간섭 신호와 열잡음의 전력도 포함되어 간섭의 영향을 파악할 수 있으며, RRC connected 모드에서만 측정 가능하여 핸드오버 시에만 사용 가능하다. 핸드오버에 RSRP를 사용할지, RSRQ를 사용할지는 망 운용자가 각자의 환경에 맞게 설정하여 사용할 수 있다.

○ Event A3 (Neighbour becomes offset better than PCell/ PSCell)

Inequality A3-1 (Entering condition)

$$Mn + Ofn + Ocn - Hys > Mp + Ofp + Ocp + Off$$

Inequality A3-2 (Leaving condition)

$$Mn + Ofn + Ocn + Hys < Mp + Ofp + Ocp + Off$$

Mn : intra-RAT neighbour cell의 RSRP/RSRQ

Ofn : intra-RAT neighbour cell의 frequency specific offset

Ocn : intra-RAT neighbour cell의 cell specific offset (주로 load balancing을 위해 사용)

Hys : hysteresis 파라미터

Mp : intra-RAT serving cell의 RSRP/RSRQ

Ofp : intra-RAT serving cell의 frequency specific offset

Ocp : intra-RAT serving cell의 cell specific offset (주로 load balancing을 위해 사용)

Off : 본 A3 event의 옵셋값

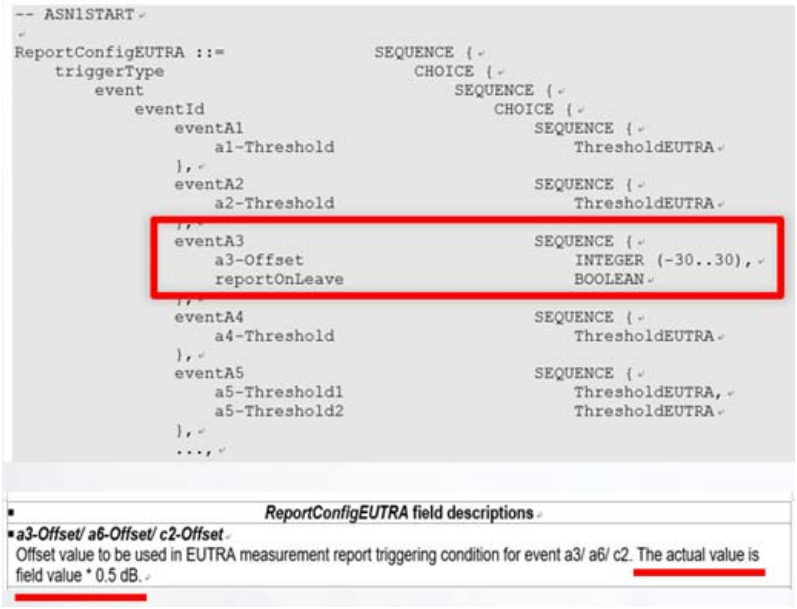


그림 154 Event A3 in ReportConfigEUTRA Information Element

본 알고리즘에서는 상기와 같은 핸드오버 관련 파라미터의 동적 제어를 통해 안정된 handover delay를 제공하는 것을 목표로 하였다.

Off 값은 위 그림과 같은 영역의 값을 가질 수 있다. (3GPP TS 36.331)

Off 값은 RSRP를 적용한 Off_RSRP 와 RSRQ를 적용한 Off_RSRQ 로 분류될 수 있다. 실제로는 그림처럼 field value * 0.5 dB 값이 적용된다. (3GPP TS 36.331)

(나) Intra-RAT handover 제어 절차

표 54 Intra-RAT handover 제어 절차

순서	절차	상태	동작
1	Measurement configuration	Pre-handover	기지국에서 단말로 intra-RAT neighbour cell을 위한 Measurement report 관련 파라미터를 전달
2	Measurement report	Pre-handover	단말에서 intra-RAT neighbour cell이 measurement report 조건에 맞으면 해당 event를 기지국으로 보고
3	Handover decision	Pre-handover	Source 기지국에서 단말에서 보고된 intra-RAT neighbour cell 관련 measurement report 내용을 보고 handover를 수행
4	Handover preparation	Handover	망에서 데이터 path forwarding 준비

5	Handover execution	Handover	Data forwarding
6	Handover completion	Handover	Path switching

상기 표의 절차를 통해 intra-RAT handover가 가능하다.

단계별 동작에서 설명한 것과 같이 handover는 단말에서 handover event를 포함한 measurement report를 기지국으로 보고하면 기지국에서 handover 수행 여부를 판단하는 구조이다. 세부 단계별 설명은 다음과 같다.

① UE가 source eNB와 UL/DL user data를 송수신하면서 handover zone으로 이동하게 되면 source eNB의 신호가 target eNB의 신호보다 작아져서 Event A3 조건을 만족하는 경우, Measurement_Reort를 이용해 UE가 source eNB로 보고한다.

② Source eNB는 handover를 실행할지 말지를 판단한다. 실행할 경우 target eNB로 Handover_Request를 송신한다.

③ Target eNB는 Handover_Request를 수신하면 admission control을 통해 handover 요청을 받아줄지 말지를 판단한다. 받아 줄 경우, UE가 target eNB로 직접 RRC connection을 연결할 수 있는 RRC_Connection_Reconfiguration 정보를 포함하여 Handover_Command를 생성한 후 Handover_Ack 메시지에 실어 source eNB로 송신한다.

④ Source eNB는 Handover_Ack에서 Handover_Command를 추출한 후 이를 UE로 송신한다. 그동안 수신한 UL/DL user data를 target eNB로 전달하기 위해 PDCP sequence number가 포함된 SN_Status_Transfer를 target eNB로 송신한 후 user data를 target eNB로 전달한다. 이를 수신한 target eNB는 이를 저장한다.

⑤ UE의 RRC 계층에서 source eNB로부터 수신한 Handover_Command를 디코딩하고 target eNB로의 직접 연결 정보인 RRC_Connection_Reconfiguration 정보를 추출하여 저장한다.

⑥ UE가 UL/DL user data 송수신을 stop 한다.

⑦ UE가 source eNB와의 RRC 연결을 해제하고 target eNB의 방송채널(MIB/SIB) 모니터링을 통해 동기를 추출한다.

⑧ UE가 저장해 둔 target eNB의 RRC_Connection_Reconfiguration 정보를 바탕으로 target eNB 의 RACH subframe을 기다린 후 handover를 위한 contention-free 형태의 Random_Access 메시지를 target eNB로 송신한다.

⑨ 이를 수신한 target eNB 의 MAC 계층에서 RACH Preamble를 디코딩하고, UL Grant와 TA(Timing Advance) 정보를 포함한 Random_Access_Response (RAR)를 UE로 송신한다.

⑩ UE 는 이 정보를 바탕으로 RRC_Connection_Reconfiguration_Complete 정보를 포함한 Handover_Complete를 target eNB로 송신한다.

⑪ UE 와 target eNB 가 UL/DL user data를 송수신한다.

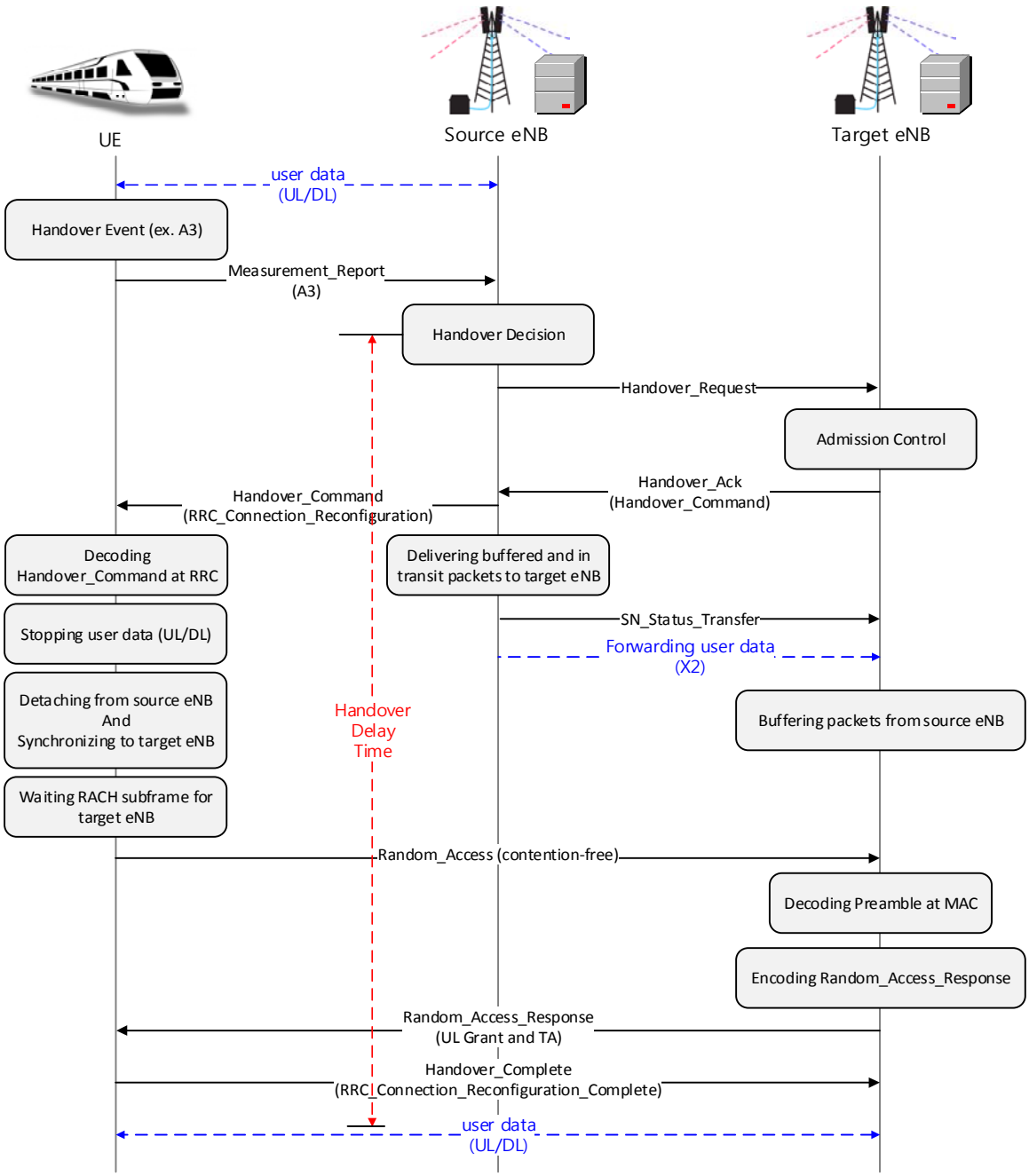


그림 155 열차기반 Intra-RAT handover 절차

Handover delay는 상기 그림과 같이 source eNB가 handover 수행을 판단한 시점부터 target eNB로부터 UL/DL user data를 송수신하는 시점까지를 말한다.

성능분석을 위해 다음과 같은 2가지 KPI를 정의한다.

(다) average handover delay ($\overline{D(t)}$)

식 (1)은 average handover delay를 나타낸다. D(t)는 time slot t에서 handover delay를 나타내고, 전체 n 번 발생하였을 경우 식 (1)과 같이 average handover delay로 나타낼 수 있다.

$$\overline{D(t)} = \frac{\sum_{t=1}^{n} D(t)}{n} \quad (1)$$

(라) handover delay standard deviation (σ)

식 (2)는 handover delay의 표준 편차 (Standard Deviation)을 나타낸다. 이것을 통해 handover delay 시간들이 평균에서 얼마만큼 분산되어 있는지를 알 수 있으며, 핸드오버 지연시간의 안정성 분석에 사용되었다.

값이 작을수록 안정된 handover delay를 제공하는 것을 의미하고, 값이 클수록 불안정한 handover delay를 제공하는 것을 의미한다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n} (D(t) - \overline{D(t)})^2}{n}} \quad (2)$$

본 장에서는 LTE-R 철도 통합 무선통신망에서 열차의 통신 관련 핸드오버 안정성(reliability)을 증대시킬 수 있는 방안에 관해 설명하였다. Intra-RAT handover와 관련된 A3 event의 Offset 값 제어에 의한 handover delay 안정화에 중점을 두어 설계하였으며, average handover delay와 handover delay standard deviation과 같은 KPI를 새로 정의하여 handover delay 안정화의 성능을 측정할 수 있도록 하였다.

(2) 시뮬레이션 시험환경 구축 및 절차 및 시나리오 정의

본 장에서는 시스템 모델을 적용한 시뮬레이션 환경에 관해 설명한다. 시뮬레이터는 Riverbed Technology 사의 OPNET network simulator를 사용하였다.

빈번한 핸드오버가 발생하는 LTE-R 시스템에서 다양한 속도로 고속 주행하는 열차를 실시간으로 원격제어하는 경우 열차제어 메시지의 안정된 실시간 송수신은 열차운행에 중요한 요소이다. 본 장에서는 이러한 LTE-R 환경에서 실시간 원격 열차제어의 안정성을 높이기 위해 열차속도에 무관한 핸드오버 지연시간 안정화 방안을 제시하였다. 또한, 시뮬레이션의 정확도와 handover delay 안정성(reliability) 성능분석의 신뢰도를 높이기 위해 실제 강릉선 KTX 만종역-강릉역 구간의 구간별 가변속도, 고도 등을 LTE-R 실측 데이터를 반영하여 시뮬레이션을 수행하였다.

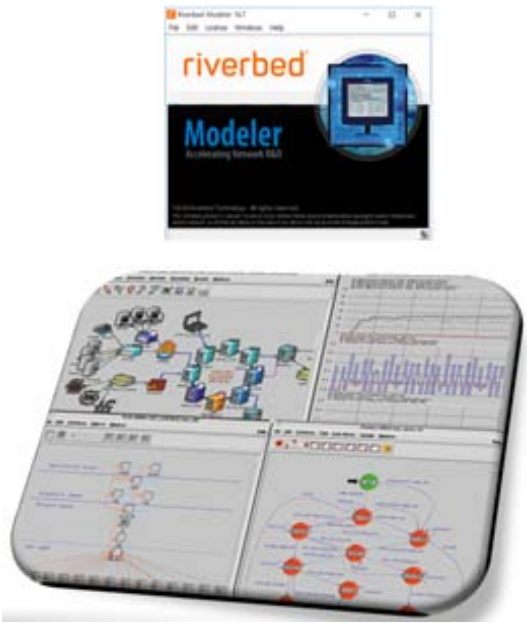


그림 156 OPNET 시뮬레이션 소프트웨어

(가) 시뮬레이션 소프트웨어

시뮬레이션을 위한 소프트웨어는 riverbed 사의 OPNET 소프트웨어를 사용하였다.

OPNET은 통신프로토콜 모델링 및 성능분석에 특화된 시뮬레이션 도구로, 전 세계 상용 Simulation Tool의 약 85% 시장 점유율을 자랑하고 있다. 미 국방성(DoD)의 표준 M&S (Modeling & Simulation) Tool로 검증된 Simulation 엔진과 방대한 표준장비 모델 제공하고 있다.

(나) 시뮬레이션 파라미터

LTE-R 무선환경을 고려하여 3GPP LTE FDD 10MHz Band 28를 사용하였으며, 기지국은 LTE eNodeB model을 사용하였다. 서비스는 Video Conferencing (Light)을 이용하였다.

또한, KTX 강릉선 만종역~강릉역 구간의 LTE-R 실측 데이터를 반영하였다. 성능평가를 위한 시뮬레이션 시 실측 데이터를 기반으로 한 시뮬레이션으로 알고리즘 신뢰도를 높이기 위해 KTX 강릉선 만종역~강릉역 구간에서 실시한 LTE-R 실측환경에 관해 설명한다.



그림 157 KTX 강릉선 만종역~강릉역 구간 LTE-R 환경

위 그림은 KTX 강릉선 만종역~강릉역 구간에 설치된 LTE-R 환경을 보여주고 있다. LTE-R 기지국 안테나는 역 주변, 개활지, 터널에 따라 종류는 다르지만, 기지국 장애를 대비한 이중화 스위칭을 고려해 cell coverage가 겹치도록 1㎞ 정도 간격으로 촘촘하게 설치되어 있다. 이러한 구조는 통신 시스템의 안정성과 신뢰성 면에서는 유리하나 빈번한 핸드오버가 필연적으로 발생하게 되는 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 빈번한 핸드오버 환경에서 핸드오버의 안정성을 향상하는 것은 철도통합무선망 전체에서 매우 중요한 성능지수로 작용한다. KTX 열차와 LTE-R 안테나 사이의 거리는 약 5m 정도로 파악되었다. 실측은 만종역-강릉역 방향이며 위 그림의 KTX 객차 붉은색 표시 좌석 위치에서 수행되었다.

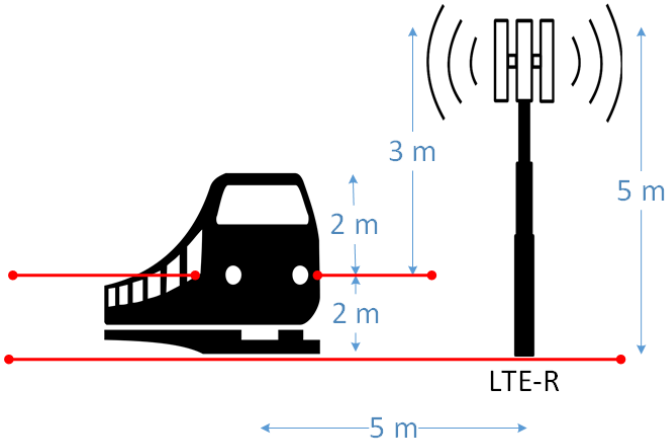


그림 158 열차 및 LTE-R 안테나 사이 거리 및 고도

위 그림은 KTX 열차와 LTE-R 안테나 사이의 거리와 높이를 보여준다. 객차의 좌석은 지면으로부터 2m 높이로 파악되었으며, 전체 KTX 열차의 높이는 4m로 파악되었다. LTE-R 안테나의 높이는 지면으로부터 5m 정도로 파악되었다.



그림 159 KTX 객석에서 LTE-R 무선 실측환경

위 그림은 KTX 객차 좌석에서 2대의 LTE-R 단말기를 이용해 실측을 수행한 장면을 보여주고 있다. 핸드오버 성능을 측정하기 위해서는 처음부터 지속적인 RRC (Radio Resource Control) 연결상태가 유지되어야 하므로 단말 어플리케이션은 HD (High Definition) 영상통화를 사용하였다. MCPTT (Mission Critical Push To Talk) 어플리케이션의 경우 talk 상태에서만 RRC 연결을 재설정하여 유지하고, silent 상태에서는 RRC 연결을 해제하므로 핸드오버 성능측정에 부적합하여 제외하였다. LTE-R 시스템 파라미터 추출을 위한 DM (Diagnostic Monitor) Tool은 국내 Spire Technologies 사의 Netimizer 장비를 사용하였다. 고도 정보는 u-blox사의 GPS/GNSS 장비를 이용해 측정하였다.

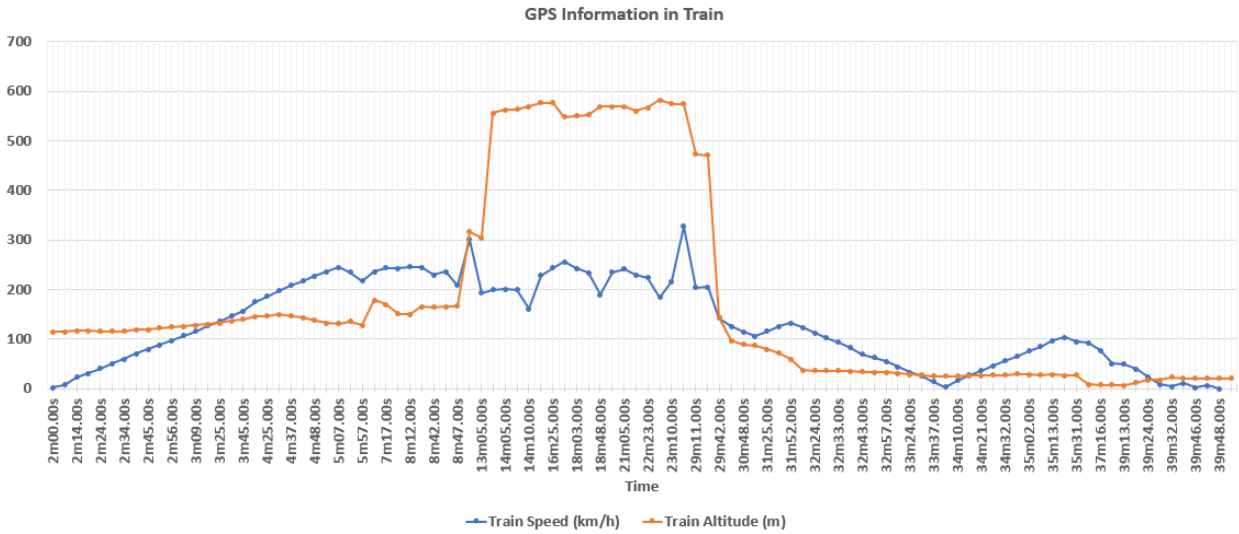


그림 160 KTX 객석에서 측정된 속도 및 고도

위 그림은 실측을 통해 분석된 KTX 열차의 40분간 속도와 고도 정보를 보여주고 있다. 고도 정보는 평균 해수면 높이를 기준으로 한 MSL (Mean Sea Level) Altitude 정보를 사용하였다. 평균 속도는 175km/h, 최고속도는 327km/h이고, 평균 고도는 해발 130m, 최고 고도는 해발 582m로 분석되었다.

표 55 시뮬레이션 파라미터

Parameters	Values
system bandwidth per carrier	10 MHz
subcarrier space	15 KHz
number of physical resource block (PRB)	50
carrier frequency	band 28 frequency DL = 773 ~ 783MHz, UL = 718 ~ 728MHz
eNodeB TX power	46dBm
UE TX power	23dBm
inter-site distance (ISD) of eNodeBs	1km
distance between eNodeB and UE	5m
antenna	Omni (gain = 14dBi, height = 5m)
MIMO	* 2Tx2Rx
hysteresis (RSRP, RSRQ)	1 dB
path loss (PL) and shadow fading	vehicular environment (ITU-R M.1225)
train speed	Variable (0 ~ 327km/h)
train altitude	Variable (7 ~ 582m)
application	Video Conferencing (Light) over UDP
MAC scheduler	link adaptation and channel dependent scheduling
simulation time	1,291 sec

Name	LTE-R 10 MHz FDD
⊟UL SC-FDMA Channel Configuration	<...>
├Base Frequency (GHz)	0.718
├Bandwidth (MHz)	10 MHz
└Cyclic Prefix Type	Normal (7 Symbols per Slot)
⊟DL OFDMA Channel Configuration	<...>
├Base Frequency (GHz)	0.773
├Bandwidth (MHz)	10 MHz
└Cyclic Prefix Type	Normal (7 Symbols per Slot)

그림 161 carrier frequency@LTE-R

(다) 시뮬레이션 모델 환경구성

3D 구형 지구의 환경에서 실측된 KTX 열차의 GPS 데이터를 기반으로 주변 기지국의 위치와 기지국 간 거리를 OPNET 시뮬레이터의 경위도 좌표계에 적용하기 위해, Navigation에서 사용하는 식 (3)과 같은 Haversine 공식을 사용하였다. Haversine 공식은 3D 구형의 지구와 같은 환경에서 두 지점간 거리를 구하기 위해 주로 사용된다.

식 (3)의 Haversine 공식은 출발점 경위도 좌표지점 $(x_1,\ y_1)$ 과 도착점 경위도 좌표지점 $(x_2,\ y_2)$ 사이의 거리 D 를 나타내고 있다.

$$D = 2R^{*}\arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{y_2 - y_1}{2}\right) + \cos\ (y_1)\cos\ (y_2)\sin^2\left(\frac{x_2 - x_1}{2}\right)}\right) \quad (3)$$

x_1 과 x_2 는 출발점 1과 도착점 2의 경도를 나타낸다. (in radians)

y_1 과 y_2 는 출발점 1과 도착점 2의 위도를 나타낸다. (in radians),

D 는 3D 구면인 지구에서 출발점과 도착점 사이의 거리를 나타낸다. (in km)

R 은 3D 구면인 지구의 반지름을 나타낸다. (= 6,371km)

(라) 시뮬레이션 OPNET 모델

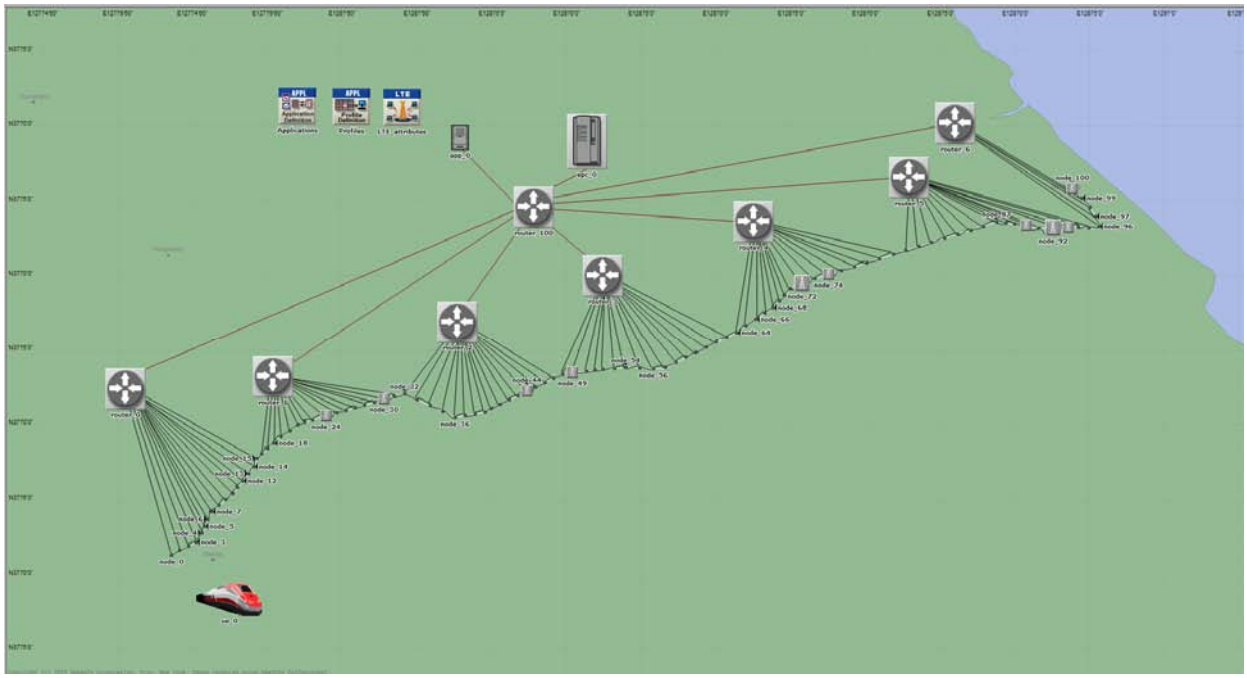


그림 162 안정성(reliability) 분석을 위한 전체 OPNET 시뮬레이션 구조

위 그림은 OPNET에 구현된 시뮬레이션 모델을 보여주고 있다. 실측된 KTX 강릉선 열차의 가변속도 및 가변 고도 정보를 포함한 GPS 정보를 바탕으로 열차가 지나가는 경로가 구성되었으며, 또한 시스템 모델과 식 (3)의 Haversine 공식에 의해 고도가 서로 상이한 총 101개의 기지국이 배치되었다. OPNET이 제공하는 EPC 모델을 사용하였으며 총 1개의 EPC가 배치되었다. 라우터 또한 최대 16개의 광 링크만을 지원하여 총 8개의 라우터가 사용되었다. 또한, application 서비스를 위해 Ethernet을 지원하는 1대의 application 서버가 사용되었다. 열차는 이동성 지원이 가능한 LTE android mobile 모델 1대가 사용되었다.
KTX 강릉선 열차는 만종역에서 강릉역 방향으로 운행되는 것을 가정하였고, 실측된 결과에 따라 기지국은 철로 변 좌측에 배치되었다. 기지국과 열차에 LTE-R 관련 파라미터는 실측에서 Netimizer tool을 이용하여 획득한 데이터를 반영하여 구축하였다.

각 OPNET 노드 모델은 다음과 같다.

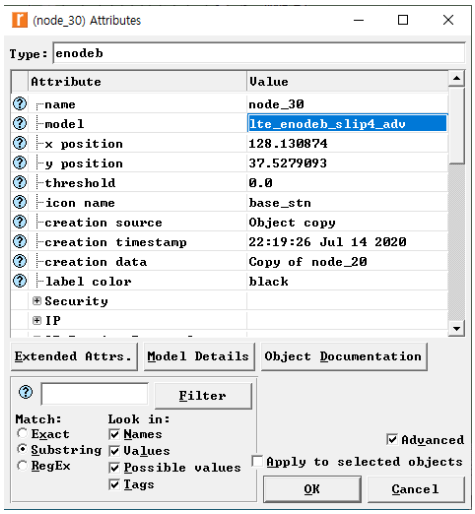


그림 163 OPNET LTE eNodeB 모델

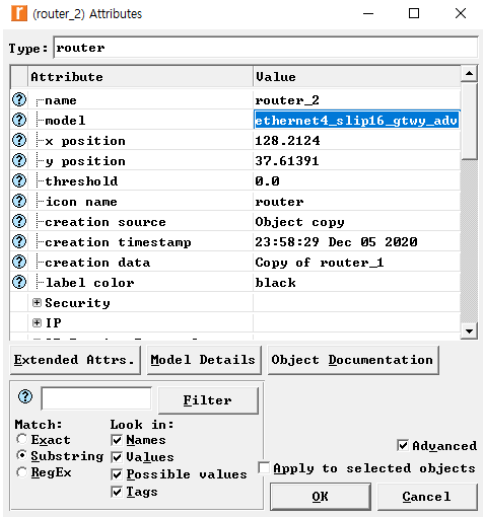


그림 164 OPNET router 모델

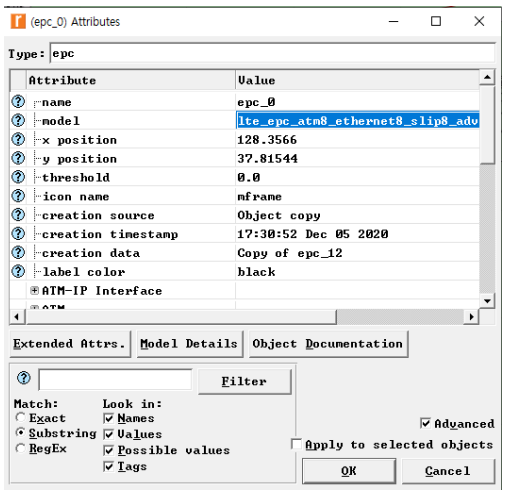


그림 165 OPNET LTE EPC 모델

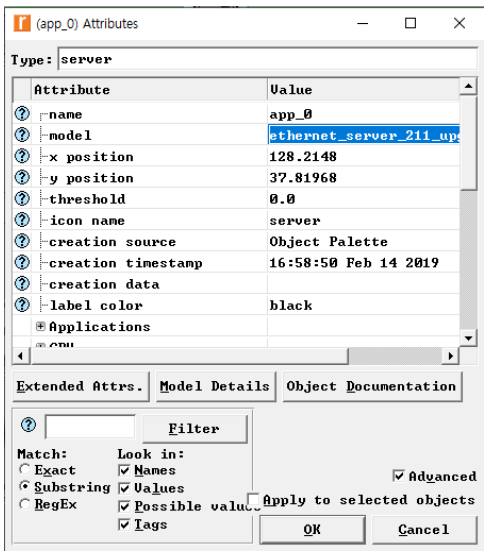


그림 166 OPNET application 서버 모델

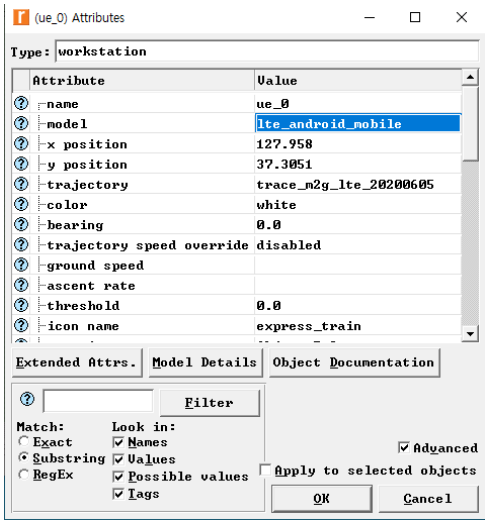


그림 167 OPNET LTE UE 모델

(3) LTE-R 무선접속 알고리즘 성능평가

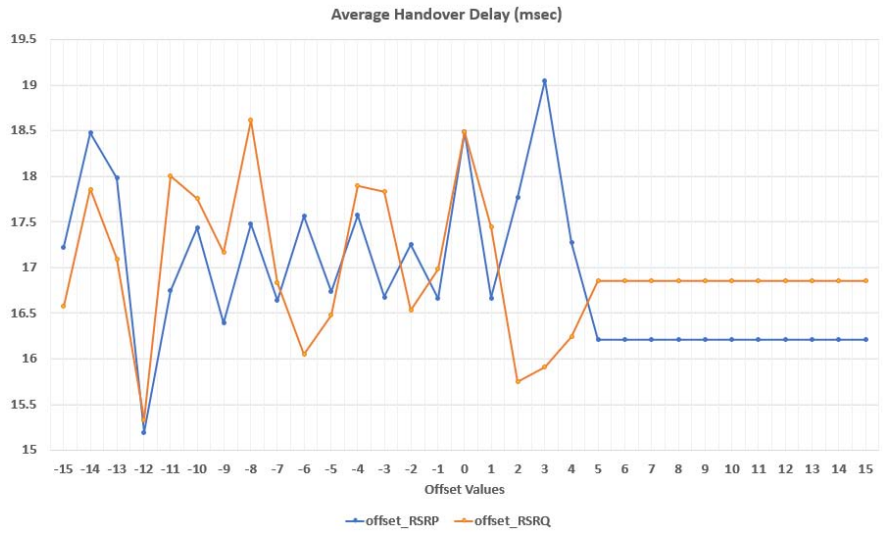


그림 168 Average Handover Delay over Offset Values

위 그림은 Offset 값 변화에 따른 평균 핸드오버 지연시간을 보여주고 있다. RSRP기반 제어와 RSRQ기반 제어 결과 모두 Offset = -12에서 가장 작은 평균 핸드오버 지연시간을 갖는 것을 알 수 있다. 하지만, 위 그림에서 보는 바와 같이 좌측 Offset = -15 ~ 5 구간은 평균 핸드오버 지연시간이 일정하지 않고, 불안정한 현상을 나타내며, 우측 Offset = 5 ~ 15 구간은 일정하고 안정된 현상을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 또한, 핸드오버 타이밍 관점에서 볼 때 좌측 불안정한 구간은 Early 핸드오버 구간에 해당하며, 우측 안정된 구간은 Late 핸드오버에 해당한다. 이것은 평균 핸드오버 지연시간에 대한 최적값이 불안정한 영역

에 존재하며, 열차의 속도에 종속적인 최적값의 특징을 고려했을 때, 운행구간별로 상이한 열차의 속도에 따라 핸드오버 타이밍(timing)이 어긋날 경우 잘못된 최적값 선택이 될 수도 있다는 것을 의미한다. 이것은 실제 Early 핸드오버를 통해 평균 핸드오버 지연시간을 줄이고자 할 경우 발생할 수 있으며, 안정된 평균 핸드오버 지연시간이 필요한 철도와 같은 환경에서는 적합하지 않을 수 있다. 따라서 약간의 평균 핸드오버 지연시간 성능열화를 감수하더라도 우측 안정영역의 Offset을 통한 Late 핸드오버를 선택하는 것이 철도환경에서는 더 적합하다고 판단된다.

KTX와 같은 고속열차 환경을 고려했을 때, LTE-R을 이용해 실시간 열차제어 메시지를 송수신해야 하는 열차제어 어플리케이션 관점에서는 핸드오버 지연에 따른 열차제어 메시지 수신 지연은 아주 먼 거리를 제어 없이 지나치게 되므로 열차제어 안정성 측면에서 더욱 문제가 될 수 있다. 또한, 열차제어 어플리케이션 설계 시 예측 가능한 제어 메시지 지연은 열차제어 안정성 측면에서 아주 중요한 요소가 된다.

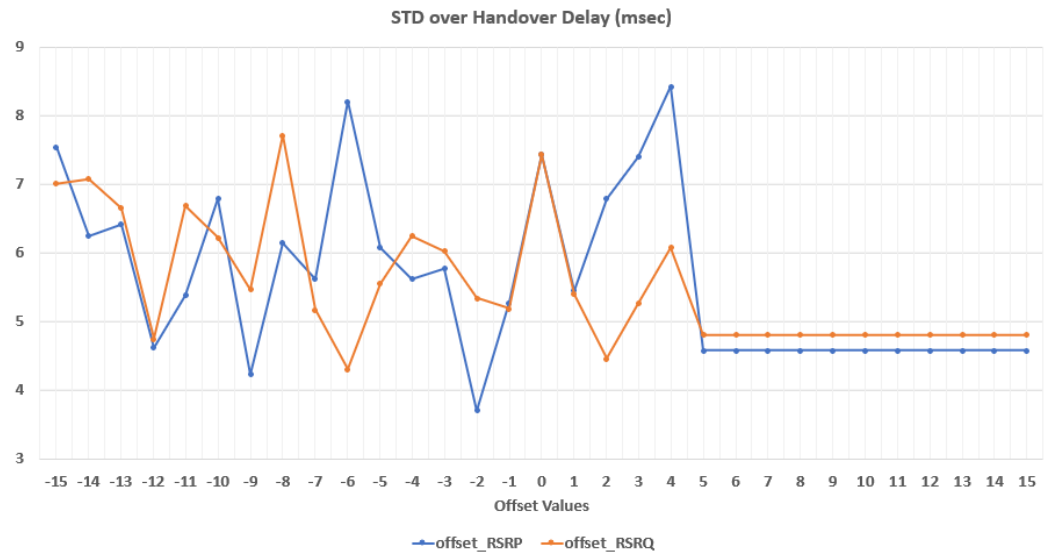


그림 169 Handover Delay Standard Deviation over Offset Values

위 그림은 Offset 값 변화에 따른 핸드오버 지연시간의 표준 편차를 보여준다. 이전 그림과 동일하게 좌측은 불안정한 핸드오버 지연시간의 표준 편차를 나타내고, 우측은 안정적인 핸드오버 지연시간의 표준 편차를 나타내고 있다. 또한, RSRP기반 제어 시에는 Offset = -2에서, 그리고 RSRQ (Reference Signal Received Quality)기반 제어 시에는 Offset = -6에서 가장 작은 표준 편차를 갖는 것을 알 수 있으며, 이전 그림과 동일하게 이 값이 Offset = -15 ~ 5 구간의 불안정한 영역에 존재하는 것을 볼 수 있다. 안정된 핸드오버를 제공하기 위해서는 핸드오버 지연시간의 표준 편차도 중요한 역할을 하며 안정된 핸드오버가 중요한 철도 환경에서는 앞서 설명한 것과 같은 이유로 Offset = 5 ~ 15 구간 안정된 영역의 Offset

값을 선택하는 것이 더 적합하다는 것을 알 수 있다.

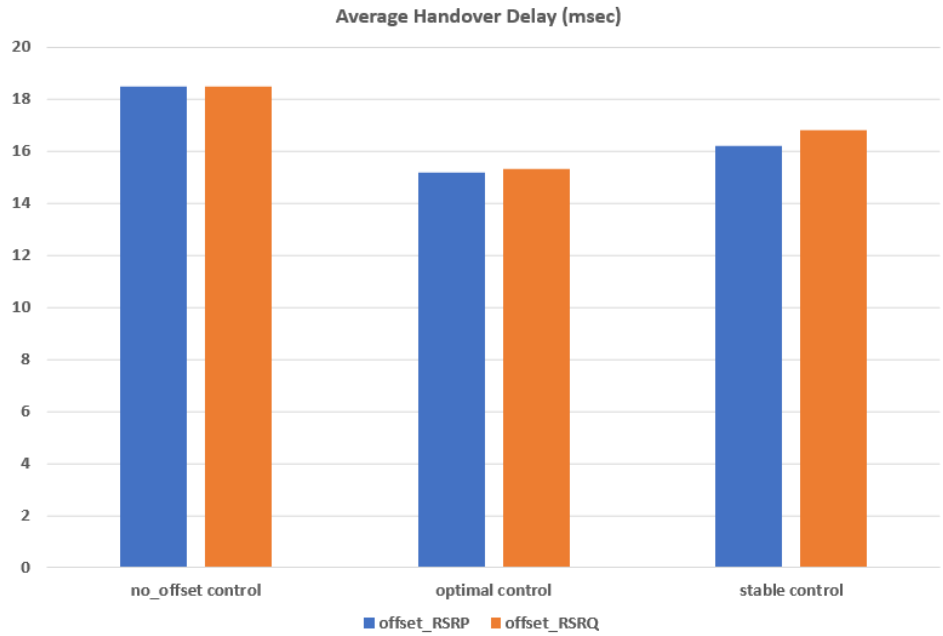


그림 170 Average Handover Delay by Offset Control

위 그림은 Offset 제어의 형태에 따른 평균 핸드오버 지연시간에 대한 전체 통계치를 보여준다. no_offset control은 offset 제어를 하지 않는 offset = 0임을 의미한다. optimal control은 이전 그림의 좌측에 있는 최적의 offset을 선택한 경우를 말하며, stable control은 이전 그림의 우측에 있는 안정된 영역의 offset을 선택하는 경우를 말한다. 각 제어는 RSRP기반 제어와 RSRQ기반 제어로 구분될 수 있다.

optimal control에서는 RSRP기반 제어 시 no_offset control과 비교하면 17.8% 정도의 평균 핸드오버 지연시간을 감소시킬 수 있었으며, RSRQ기반 제어 시는 no_offset control과 비교하면 17.0% 정도의 평균 핸드오버 지연시간을 감소시킬 수 있었다. RSRP기반 제어와 RSRQ기반 제어 사이에는 큰 차이 없이 유사한 성능을 보였다.

stable control에서는 RSRP기반 제어 시 no_offset control과 비교하면 12.3% 정도의 평균 핸드오버 지연시간을 감소시킬 수 있었으며, RSRQ기반 제어 시는 no_offset control과 비교하면 9.1% 정도의 평균 핸드오버 지연시간을 감소시킬 수 있었다. RSRP기반 제어와 RSRQ기반 제어 사이에는 3.2% 정도의 성능 차이가 있었으며 RSRP기반 제어가 더 좋은 성능을 보였다.

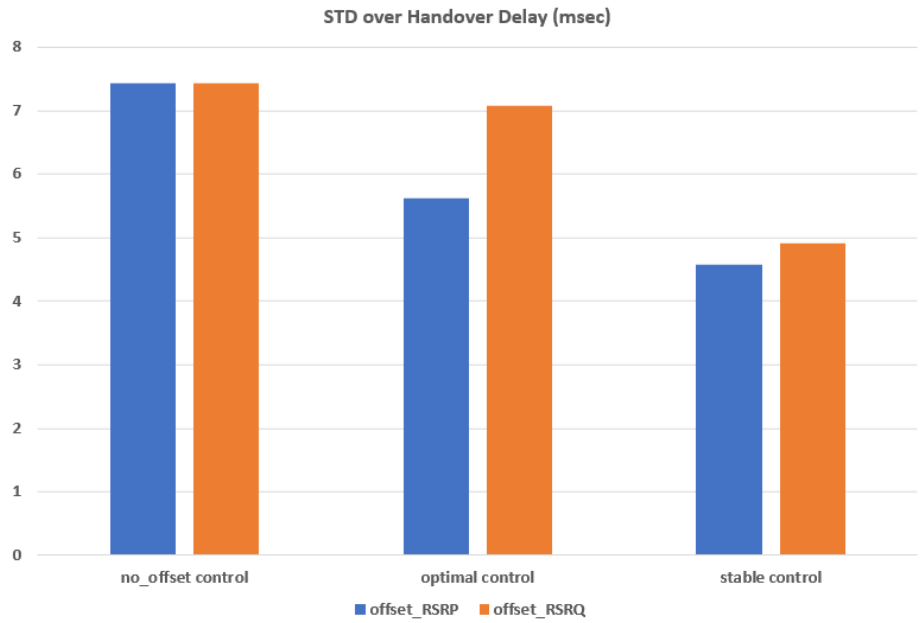


그림 171 Handover Delay Standard Deviation by Offset Control

위 그림은 Offset 제어의 형태에 따른 핸드오버 지연시간의 표준 편차에 대한 전체 통계치를 보여준다. no_offset control은 offset 제어를 하지 않는 offset = 0 를 의미한다. optimal control은 이전 그림의 좌측에 있는 최적의 offset을 선택한 경우를 말하며, stable control은 이전 그림의 우측에 있는 안정된 영역의 offset을 선택하는 경우를 말한다. 각 제어는 RSRP기반 제어와 RSRQ기반 제어로 구분될 수 있다.

optimal control에서는 RSRP기반 제어 시 no_offset control과 비교하면 24.4% 정도의 핸드오버 지연시간의 표준 편차를 감소시킬 수 있었으며, RSRQ기반 제어 시는 no_offset control과 비교하면 4.7% 정도 핸드오버 지연시간의 표준 편차를 감소시킬 수 있었다. RSRP기반 제어와 RSRQ기반 제어 사이에는 19.8% 정도의 성능 차이가 있었으며 RSRP기반 제어가 더 좋은 성능을 보였다.

stable control에서는 RSRP기반 제어 시 no_offset control과 비교하면 38.4% 정도의 핸드오버 지연시간의 표준 편차를 감소시킬 수 있었으며, RSRQ기반 제어 시는 no_offset control과 비교하면 33.9% 정도 핸드오버 지연시간의 표준 편차를 감소시킬 수 있었다. RSRP기반 제어와 RSRQ기반 제어 사이에는 4.5% 정도의 성능 차이가 있었으며 RSRP기반 제어가 더 좋은 성능을 보였다.

빈번한 핸드오버가 발생하는 LTE-R 시스템에서 다양한 속도로 고속 주행하는 열차를 실시간으로 원격 제어하는 경우, 예측 불가능하고 불안한 통신 지연은 열차제어 설계의 복잡도를 증가시키는 원인이 되므로 예측 가능하고 안정된 핸드오버 지연시간은 중요한 요소가 된다.

본 문서에서는 철도통합무선망인 LTE-R 망에서 국내 고속철도인 KTX 강릉선을 대상으로 예

측 가능하고 안정적인 핸드오버를 수행할 수 있는 방안에 대해 논의하였다. 또한, 좀 더 현실적인 성능 시뮬레이션을 위해 KTX 강릉선의 만종역~강릉역 구간을 실측하여 얻은 데이터를 바탕으로 OPNET 네트워크 시뮬레이션 환경을 구축한 후 시뮬레이션을 수행하였다. KTX 강릉선은 핸드오버에 A3 이벤트만을 사용하는 것으로 파악되었으며, 이러한 A3 오프셋 값은 핸드오버 타이밍에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 OPNET 시뮬레이션 결과에서 보는 바와 같이 평균 핸드오버 지연시간과 핸드오버 지연시간의 표준 편차에 영향을 미친다. 본 문서에서는 A3 오프셋 값에 따라 평균 핸드오버 지연시간과 핸드오버 지연시간의 표준 편차가 불안정한 영역과 안정한 영역이 존재한다는 것을 밝혔으며, Early 핸드오버에 해당하는 최적값은 불안정한 영역에 존재한다는 것 또한 분석되었다. 본 연구 결과는 평균 핸드오버 지연시간과 핸드오버 지연시간의 표준 편차 성능 측면에 있어서 국내 철도통합무선망인 LTE-R 망에서 안정적인 핸드오버를 위해서는 불안정한 영역에 있는 A3 오프셋 값을 통한 Early 핸드오버보다는, 안정적 영역에 있는 A3 오프셋을 이용한 Late 핸드오버가 안정성을 최우선시하는 국내 철도통합무선망인 LTE-R 망에 더 적합하다는 것을 보여주었다.

라. 열차제어 무선통신망 가용성 향상 연구

(1) 주파수 자동천이 알고리즘 설계

열차제어 주파수 자동천이 개념은 열차제어 통신을 위해서 할당된 통합 공공 주파수 대역(f1)에 통신 장애로 인하여 내부 알고리즘에 의해 자동으로 상용주파수(f2)망으로 변경하는 것을 의미한다.

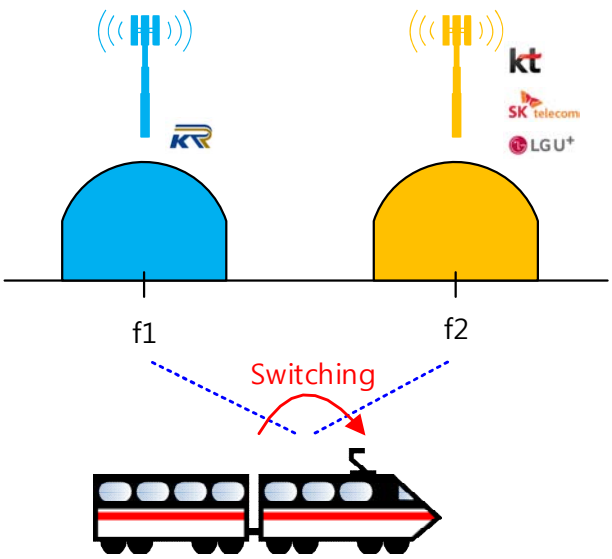


그림 172 이종 기지국간의 주파수 천이

주파수 천이는 하나의 carrier frequency f1이 간섭이나 다른 이유로 통신품질이 떨어지는 경우, 좀 더 품질이 좋은 다른 carrier frequency f2로 자동 천이하는 것이다. 그 결과, 기존 서비스 품질을 유지할 수 있다.

열차 무선통신의 가용성(availability)을 향상할 수 있는 무선통신 기술에는 Active/Standby를 이용한 장치 다중화 기술, MPTCP(Multipath TCP) 기술, Inter-RAT handover 기술이 있다. 본 문서에서는 무선채널 특성을 기반으로 한 Active/Standby 선택장치를 이용하여 열차에서 주파수 자동천이를 할 수 있는 장치 및 알고리즘에 관해 설명한다.

(가) Active/Standby 선택장치 구조

본 문서에서 설명하고 있는 Active/Standby 선택장치는 LTE-R 모듈과 상용 LTE 모듈에서 무선채널 특성 정보(RSRP, SINR) 정보를 이용하여 LTE-R 망의 통신 장애가 발생할 수 있는 상황에서 열차제어 메시지 송수신이 손실 없이 전달하게 해주는 장치이다.

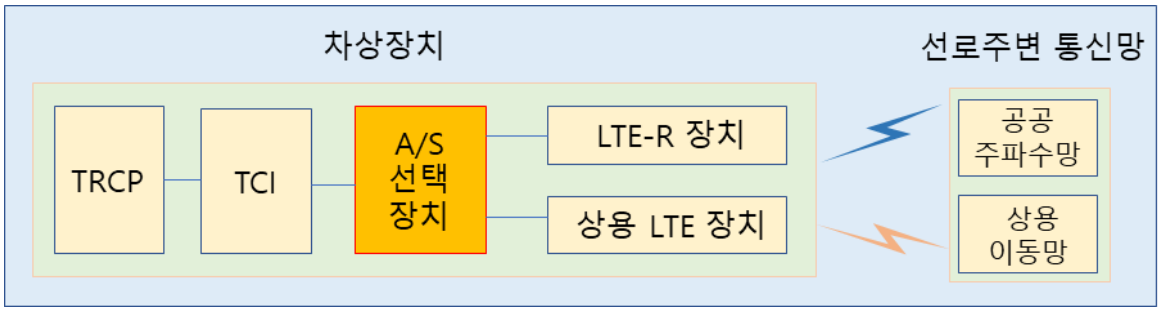


그림 173 열차이동국 차상장치 H/W 구조

위 그림은 자동천이 알고리즘 기능을 수행하기 위한 열차 이동국 내의 차상 장치 H/W 구조를 설명하고 있다. 가용성 향상을 위한 열차 이동 차상 장치는 크게 TRCP(Train Radio Control Panel), TCI(Train Control Interface), Active/Standby 선택장치, LTE-R 모듈, 상용 LTE 모듈과 통합 안테나로 구성할 수 있다. TRCP는 주요 제어장치, 지상 서버 등을 연동해 음성과 비디오 통화, 데이터 전송을 지원하는 장치다. 대 승객 방송과 비상 인터폰 통화 등의 오디오 전송은 물론 단말기, 지령장치 간 미디어 전송을 지원한다.

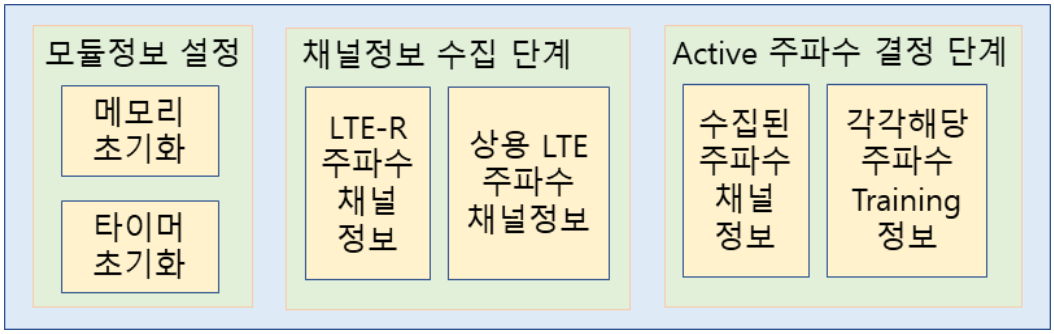


그림 174 Active/Standby 선택장치 소프트웨어 구조

위 그림에서의 Active/Standby 선택장치 소프트웨어 구조는 해당 장치 초기화를 위한 모듈 정보 초기화 설정 단계, 채널 정보 수집단계와 Active 주파수 결정 단계로 구성되어 있다. 모듈 정보 설정은 본 모듈에서 사용할 메모리와 타이머를 초기화하고, 채널 정보 수집단계에서 주기적으로 LTE-R과 상용 LTE 주파수 채널 정보를 수집하고, 수집된 정보를 이용하여 Active 주파수를 결정한다.

(나) Active/Standby 결정 알고리즘

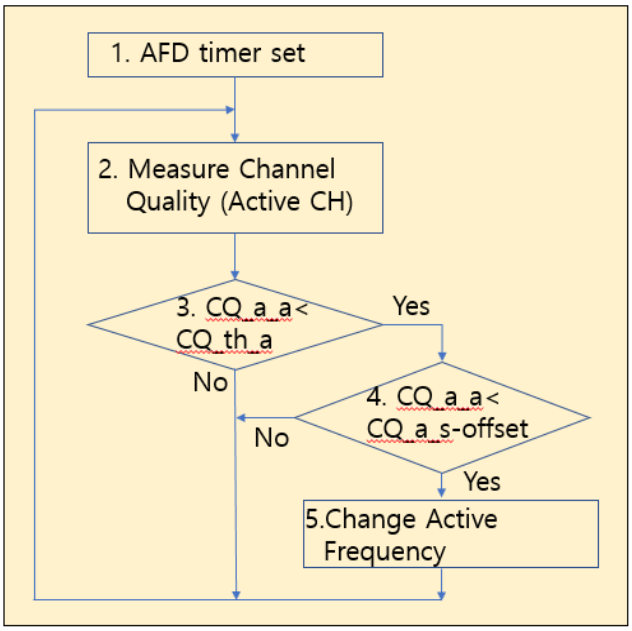


그림 175 Active/Standby 선택 알고리즘

Active/Standby 결정 알고리즘은 초기에 AFD(Active Frequency Decision) 타이머를 설정하고, 공공주파수망 Active Frequency Channel 정보를 측정하고, 현재 CQ_a_a(Channel Quality moving average of Active Frequency) 값과 CQ_th_a(Channel Quality threshold va

lue of Active Frequency)를 비교한다.

측정 평균값과 현재 CQ_a_s(Channel Quality moving average of Stand-by Frequency)에서 offset 값을 비교하여 해당 측정값이 적으면 현재 Active Frequency를 변경한다.

아래의 표는 Active/Standby 선택 알고리즘에서 사용되는 약어와 의미를 설명하고 있다.

표 56 Active/Standby 선택 알고리즘 변수

순서	약어	Full Name	설명
1	AFD	Active Fequency Decision	알고리즘 주기 타이머
2	CQ_a_a	Channel Quality moving average of Active Frequency	Active 주파수의 채널 이동 평균값
3	CQ_th_a	Channel Quality threshold value of Active Frequency	Active 주파수의 채널 임계값
4	CQ_a_s	Channel Quality moving average of Stand-by Frequency	Stand-by 주파수의 채널 이동 평균값

(2) 시뮬레이션 시험환경 구축 및 절차 및 시나리오 정의

본 장에서는 리버베드사의 OPNET 네트워크 시뮬레이터를 사용하여 열차제어 무선통신망 가용성 향상을 위한 LTE-R과 LTE 시스템 모델을 적용한 시뮬레이션 시험환경을 구축하였다. LTE-R 시스템에서 다양한 속도로 고속 주행하는 열차를 실시간으로 원격 제어하는 경우 열차제어 메시지의 실시간 송수신은 열차운행에 중요한 요소이다. 본 문서에서는 이러한 LTE-R 환경에서 열차제어 무선통신망의 가용성을 향상하기 위해서 LTE-R 시스템에서 장애로 인하여 통신을 할 수 없을 경우 자동으로 상용 LTE 망으로 연결되는 알고리즘을 위한 방안을 제시하였다. 또한, 시뮬레이션의 정확도와 가용성 성능분석의 신뢰도를 높이기 위해 실제 강릉선 KTX 만종역~강릉역 구간의 LTE-R 철도전용망과 LTE 상용망 실측 데이터를 반영하여 시뮬레이션을 수행하였다.

(가) 시뮬레이션 소프트웨어

본 시뮬레이션에서 사용하는 OPNET은 미 국방성(DoD)의 표준 M&S (Modeling & Simulation) Tool로 검증된 Simulation 엔진과 방대한 표준장비 모델 제공하고 있다. 아래의 그림은 OPNET 시뮬레이터의 부가기능과 OPNET을 이용하여 데이터를 수집하고 분석하여 수정하는 과정을 설명하고 있다.



그림 176 OPNET 기능과 시뮬레이션 소프트웨어 분석과정

(나) 시뮬레이션 파라미터

LTE-R 무선환경을 고려하여 3GPP LTE FDD 10MHz Band 28을 사용하였으며, 서비스는 HD video 콜을 이용하였다. 가용성을 위한 상용 LTE 무선환경은 3GPP LTE FDD 20MHz Band 1을 사용하였고, 서비스는 YouTube 비디오 clip을 이용하였다. 기지국은 LTE omni eNodeB model을 이용하였다.또한, KTX 강릉선 만종역~강릉역 구간의 LTE-R와 상용 LTE 실측 데이터를 반영하였다. 아래 그림은 성능평가를 위한 시뮬레이션 시에 실측 데이터를 기반으로 한 시뮬레이션으로 알고리즘 신뢰도를 높이기 위해 KTX 강릉선 만종역~강릉역 구간에서 실시한 LTE-R와 상용 LTE 실측환경에 관해 설명한다.

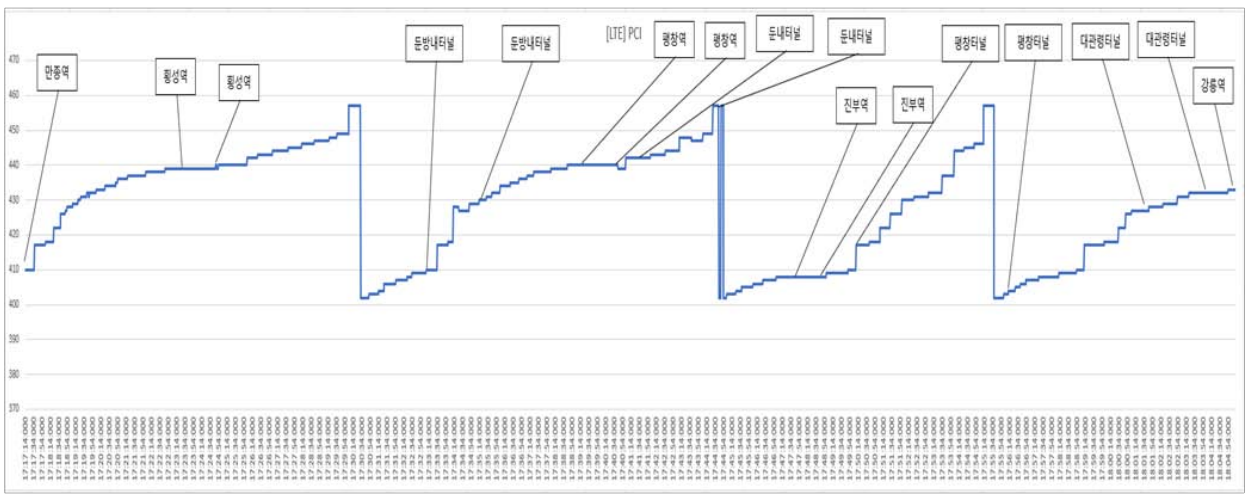


그림 177 LTE-R 망의 PCI

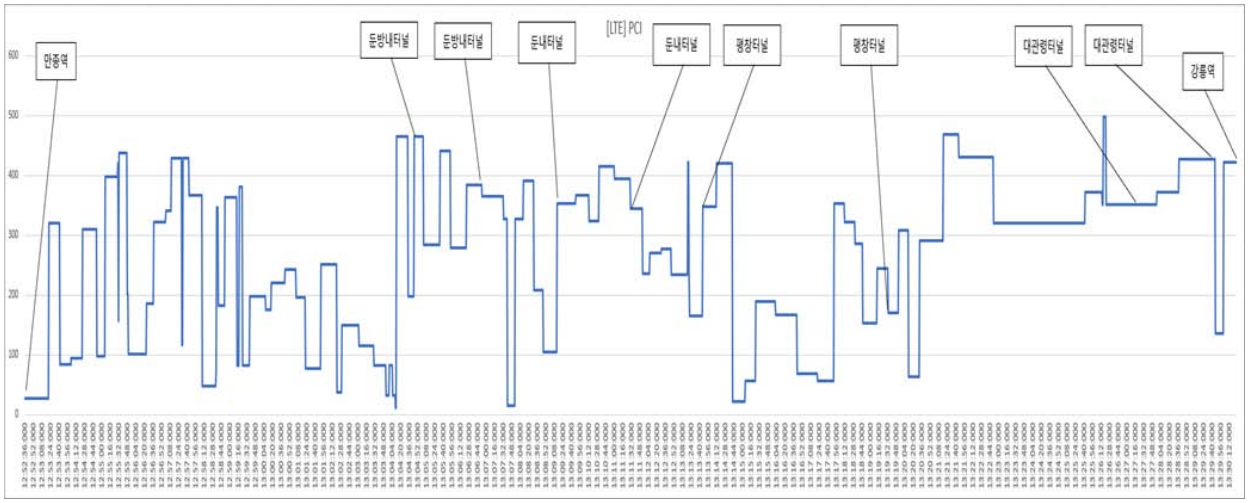


그림 178 상용 LTE 망의 PCI

위 그림은 KTX 강릉선 만종역~강릉역 구간에 설치된 LTE-R 열차 무선망과 상용 LTE 무선환경을 보여주고 있다. LTE-R 기지국 안테나는 역 주변, 개활지, 터널에 따라 종류는 다르지만, 기지국 장애를 대비한 이중화 스위칭을 고려해 cell coverage가 겹치도록 1km 정도 간격으로 촘촘하게 설치되어 있다. LTE-R 망의 PCI 값으로 실제 101개의 기지국이 존재함을 확인하였다. 가용성 향상을 위한 상용 LTE 통신망 기지국 정보는 KTX 객차에서 측정된 PCI 정보를 이용하여 총 67개의 기지국이 존재하고 셀 범위가 2km 정도 간격으로 설치되어 있다.



그림 179 만종역~강릉역 구간 LTE-R/LTE 환경

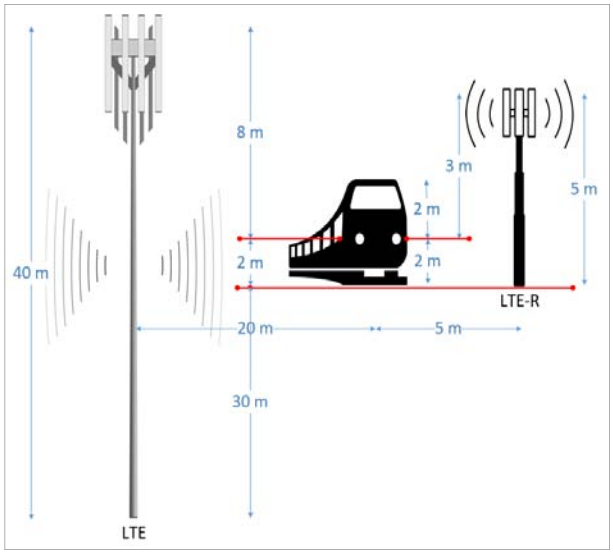


그림 180 LTE-R/LTE 안테나 위치 및 고도



그림 181 가용성 시뮬레이션 환경구축을 위한 무선환경 실측

위 그림은 KTX 객차 좌석에서 2대의 LTE-R 단말기와 상용 LTE 단말을 이용해 실측을 수행한 장면을 보여주고 있다. LTE-R 단말기는 지속적인 RRC (Radio Resource Control) 연결이 유지되어야 하므로 단말 어플리케이션은 HD (High Definition) 영상통화를 사용하였고, 상용 LTE 단말기도 지속적인 연결을 위해서 YouTube 비디오 영상을 사용하였다. LTE-R 시스템과 상용 LTE망 파라미터 추출을 위한 DM (Diagnostic Monitor) Tool은 국내 Spire Technologies 사의 네티마이즈 장비를 사용하였다. 고도 정보는 u-blox 사의 GPS/GNSS 장비를 이용하여 KTX 열차의 40분간 속도와 고도 정보를 측정하였다. 측정된 고도 정보는 평균 해수면 높이를 기준으로 한 MSL (Mean Sea Level) Altitude 정보를 사용하였다. 평균 속도는 175km/h, 최고속도는 327km/h이고, 평균 고도는 해발 130m, 최고 고도는 해발 582m로 분석되어 경로 정보로 사용하였다.

표 57 LTE-R vs 상용 LTE 무선 시스템 변수

Parameters	LTE-R	상용 LTE
주파수 대역	UL : 718 ~ 728MHz DL : 773 ~783MHz	UL : 1920 ~ 1940MHz DL : 2110 ~ 2130MHz
system bandwidth per carrier	10 MHz@LTE-R	20 MHz@LTE
subcarrier space	15 KHz	15 KHz
number of physical resource block (PRB)	50@LTE-R	100@LTE
eNodeB TX power	46dBm	46dBm
UE TX power	23dBm	23dBm
inter-site distance (ISD) of eNodeBs	1km	2km
distance between eNodeB and UE	5m	20m

antenna	* height = 5m	* height = 10m
MIMO	* 2Tx2Rx	* 2Tx2Rx
hysteresis (RSRP, RSRQ)	1 B	1dB
path loss (PL) and shadow fading	vehicular environment (ITU-R M.1225)	vehicular environment (ITU-R M.1225)
UE mobility speed	Random	Random
application	voice over IP (VoIP) (PCM Quality)	voice over IP (VoIP) (PCM Quality)
MAC scheduler	link adaptation and channel dependent scheduling	link adaptation and channel dependent scheduling

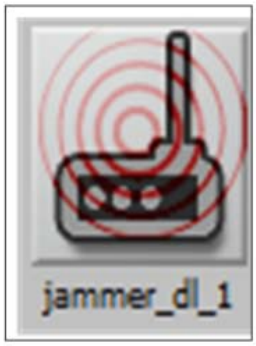
Name	LTE-R 10 MHz FDD
⊟ UL SC-FDMA Channel Configuration	<...>
Base Frequency (GHz)	0.718
Bandwidth (MHz)	10 MHz
Cyclic Prefix Type	Normal (7 Symbols per Slot)
⊟ DL OFDMA Channel Configuration	<...>
Base Frequency (GHz)	0.773
Bandwidth (MHz)	10 MHz
Cyclic Prefix Type	Normal (7 Symbols per Slot)

그림 182 OPNET LTE-R 주파수 정보 모델

Name	LTE 20 MHz FDD
⊟ UL SC-FDMA Channel Configuration	<...>
Base Frequency (GHz)	1920 MHz
Bandwidth (MHz)	20 MHz
Cyclic Prefix Type	Normal (7 Symbols per Slot)
⊟ DL OFDMA Channel Configuration	<...>
Base Frequency (GHz)	2110 MHz
Bandwidth (MHz)	20 MHz
Cyclic Prefix Type	Normal (7 Symbols per Slot)

그림 183 OPNET 상용 LTE 주파수 정보 모델

위 표는 LTE-R 시스템과 상용 LTE 시스템에서 사용하는 무선 변수를 나타내고 있다. LTE-R 주파수 대역(FDD 10MHz Band 28 DL:773 ~ 783MHz, 718~728MHz)과 대역폭 10MHz에서 측정하였고, 상용 LTE 주파수 대역(FDD 20MHz Band 1 DL : 2110 ~ 2130MHz, UL : 1920 ~ 1940MHz)과 대역폭 20MHz에서 측정하였다. 또한, LTE-R ISD 1km, 차상 장치와 기지국 간의 간격은 5m, 안테나의 높이는 5m로 환경에서 측정하였고, 상용 LTE ISD 2km 차상 장치와 기지국 간의 간격은 20m이고 안테나의 높이는 10m에서 측정하였다. 앞에서 언급한 변수를 제외한 기지국 송신전력, MIMO 환경 등 다른 무선 변수는 동일하게 적용하였다.



(dl_jammer_lter_2) Attributes

Type : jammer

Attribute	Value
name	dl_jammer_lter_2
model	jam_sb
x position	127.93093
y position	37.402545
threshold	0.0
icon name	vless_jammer
creation source	Object copy
creation timestamp	11:30:31 Sep 21 2020
creation data	Copy of dl_jammer_lter_2
label color	black
Altitude	0.0
Jammer Band Base Frequ...	773
Jammer Bandwidth	10.000
Jammer Bandwidth Usage...	Full Bandwidth
Jammer Data Rate	1Mbps
Jammer Packet Interarr...	constant (1.0)
Jammer Packet Size	constant (1024)
Jammer Start Time	10.0
Jammer Stop Time	Infinity
Jammer Transmission Ba...	Random
Jammer Transmitter Power	10
altitude modeling	relative to subnet-platfo
condition	enabled
financial cost	0.00
hostname	
minimized icon	circle/#708090
role	

그림 184 재머(Jammer) 정보 모델

본 문서에서 제시하는 재머 장애 발생 모델을 위하여 fixed mode의 single band 재머를 사용하였다. 재머 모델의 특성에서 방해파 주파수 설정, 대역폭, 데이터 전송률, 고도 정보와 같은 파라미터를 설정하였다.

(다) 시뮬레이션 OPNET 모델

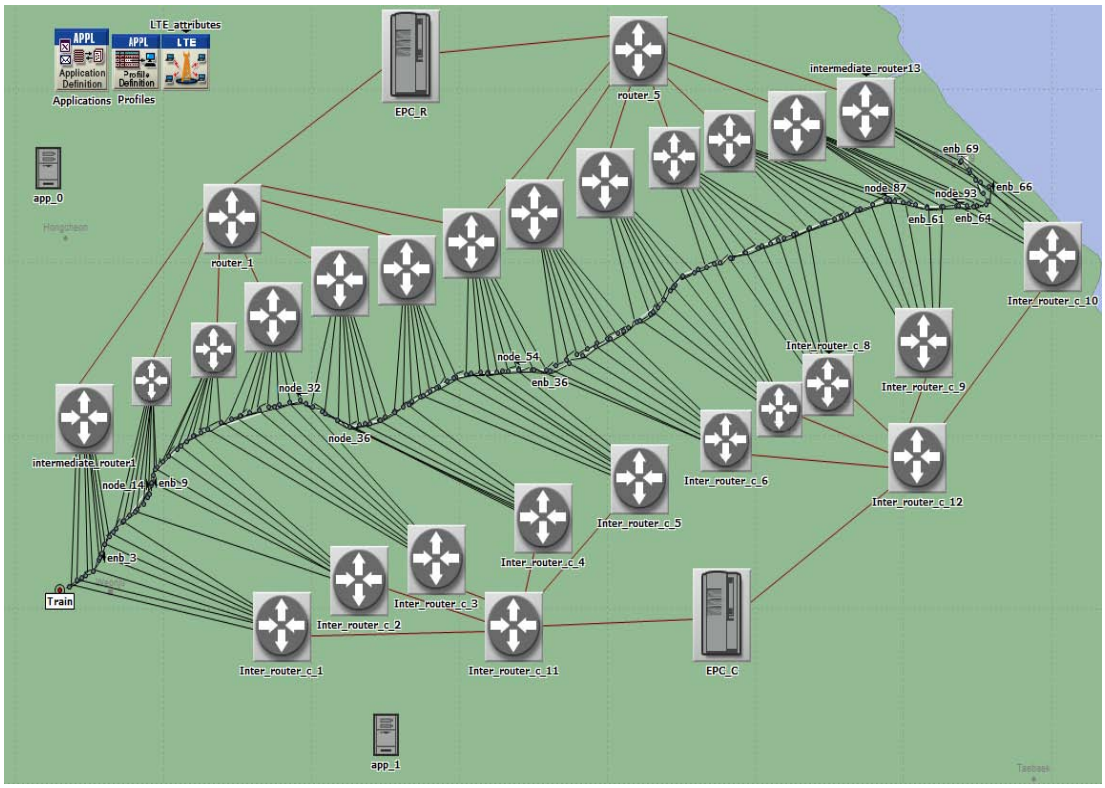


그림 185 가용성 분석을 위한 OPNET 시뮬레이션 기본 구조

위 그림은 OPNET 에 구현된 시뮬레이션 모델을 보여주고 있다. 실측된 KTX 강릉선 열차의 가변속도 및 가변 고도 정보를 포함한 GPS 정보를 바탕으로 열차가 지나가는 경로가 구성되었다. LTE-R 시스템은 고도가 서로 상이한 총 101개의 기지국이 배치되었다. OPNET 이 제공하는 EPC 모델을 사용하였으며 총 1개의 EPC-R을 배치되었다. 라우터 또한 최대 8개의 광링크만을 지원하여 총 15개의 라우터(Intermediate Router)가 사용되었다. 또한, 어플리케이션 서비스를 위해 Ethernet을 지원하는 1대의 어플리케이션 서버가 사용되었다. 열차는 이동성 지원이 가능한 LTE-R android mobile 모델 1대가 사용되었다. 또한, 상용 LTE 시스템은 고도가 서로 상이한 총 67개의 기지국이 배치되었다. OPNET 이 제공하는 EPC 모델을 사용하였으며 1개의 EPC-C를 배치되었다. 라우터 또한 최대 8개의 광 링크만을 지원하여 총 12대의 라우터가 사용되었다. 또한, application 서비스를 위해 Ethernet을 지원하는 1대의 application 서버가 사용되었다. 열차는 이동성 지원이 가능한 상용 LTE 모델 1대가 사용되었다.

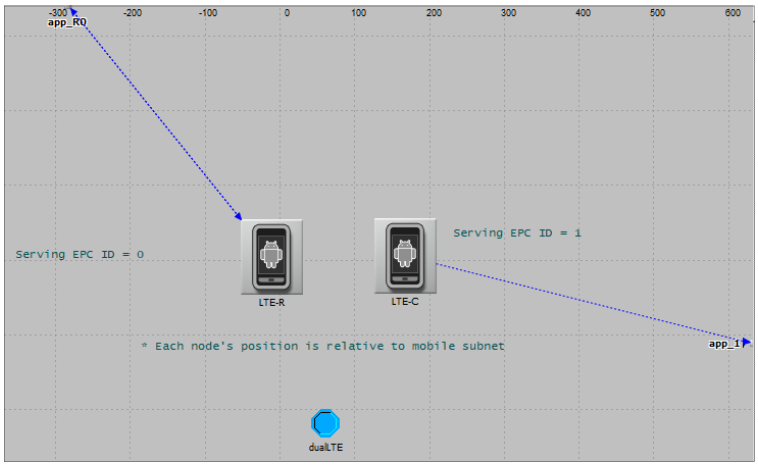


그림 186 Train 내부 시뮬레이션 구조

시뮬레이션 구조에서 이동하는 열차는 LTE-R(Railway 단말), LTE-C(상용단말)과 두 장치의 무선채널 정보를 수신하여 선택하는 dualLTE 모듈로 위의 그림과 같이 구성되어있다.

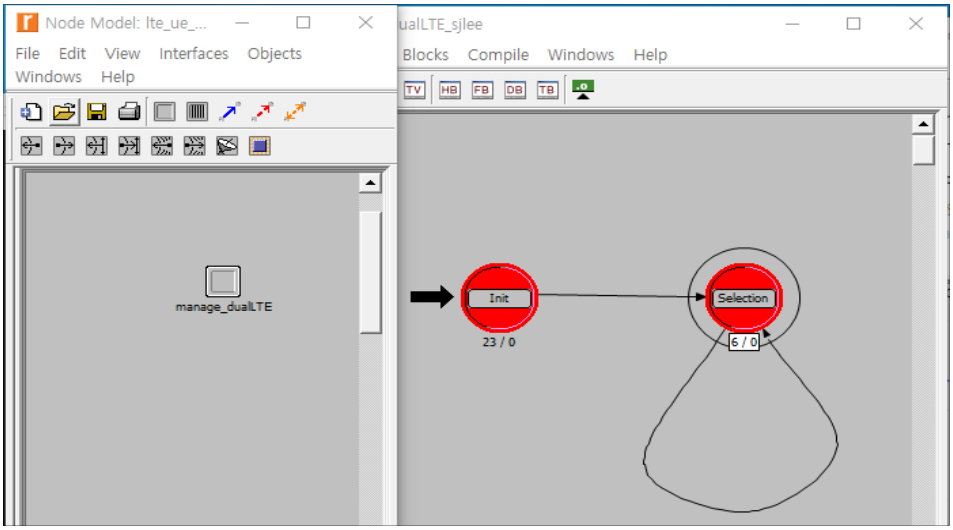


그림 187 dualLTE node 내부 프로세스 구조

위 그림 dualLTE node는 내부 Init stat와 Selection stat로 구성되어 있고, LTE 장치에서 수신된 무선채널 정보를 선택하는 기능으로 구성되어 있다. 위 그림의 LTE-R과 상용 LTE에서 송신한 무선채널 정보를 저장하고 주기적으로 시스템을 선택하는 기능을 수행하고 있다.

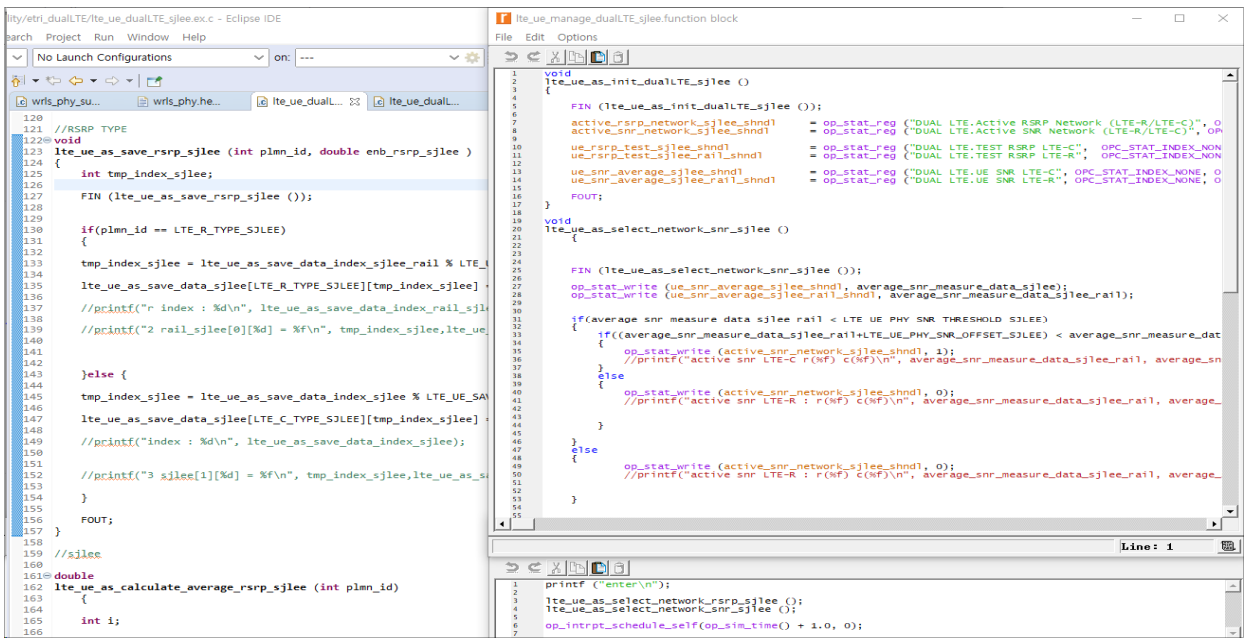


그림 188 dualLTE node 외부함수 및 내부 프로그램

위 그림 dualLTE node 모듈은 RSRP와 SINR 값을 저장하는 계산하여 저장하는 함수와 초기화하는 외부 함수와 1초 간격으로 저장된 데이터를 비교하여 천이를 판단하는 내부 함수로 구성되어 있다. Active/Standby 결정 알고리즘은 40개의 데이터를 저장한 정보의 이동 평균

값(Moving Average)을 구하기 위해서 Window 사이즈는 20개로 하였고 OFFSET 값을 표준 편차값으로 설정하여 1초마다 비교하는 방식으로 구현하였다.

(3) 주파수 자동천이 알고리즘 성능평가

(가) 기본 모델

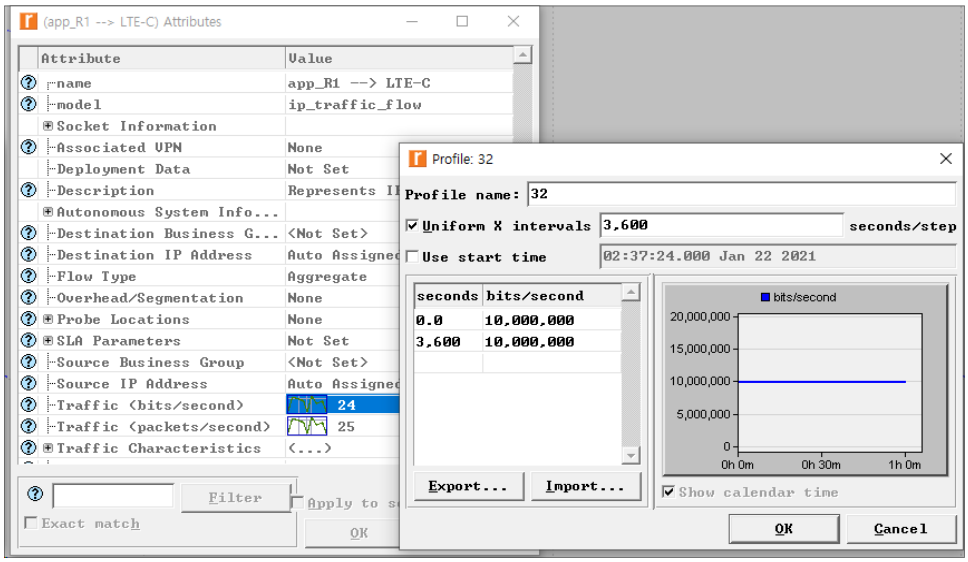


그림 189 LTE-R 열차 데이터 트래픽 부하

OPNET 시뮬레이션 기본 모델에서 열차 통신에 필요한 서비스를 구현하기 위해서 예상되는 데이터 크기를 고려하여 1000개의 팻킷(10Mbps) 트래픽으로 사용하였다.

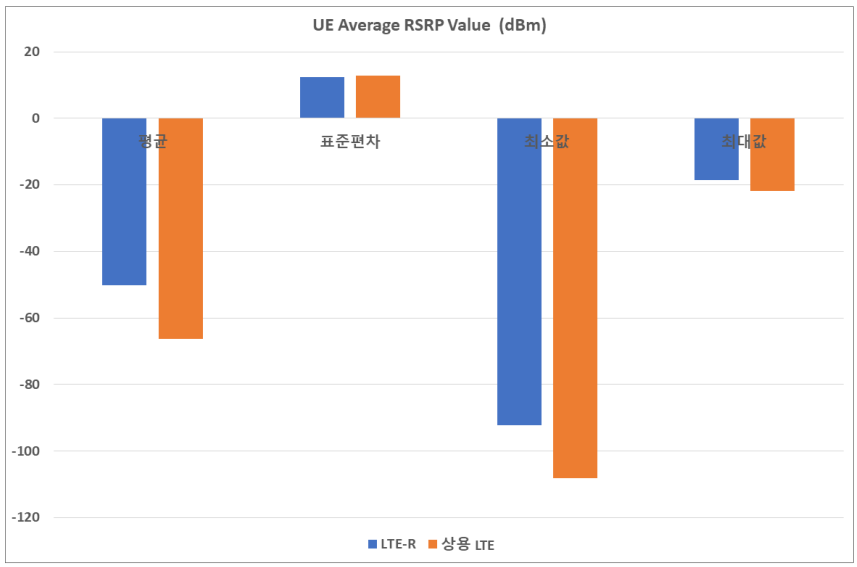


그림 190 UE RSRP Average Value(dBm)

위의 그림은 OPNET 시뮬레이션 기본 모델에서 측정된 LTE-R과 상용 LTE 망에서 단말기

RSRP 평균값, 최소값, 최대값, 표준편차를 나타내고 있다. 표준 편차는 12dB로 비슷하고, 평균값은 LTE-R과 상용 LTE가 16dB 정도 차이가 나는 것을 확인 할 수 있다. A/S 알고리즘에 기준 평균값을 -66dB로 하고 최적의 OFFSET 값을 5dB 임을 확인 하였다.

(나) 장애 발생 모델

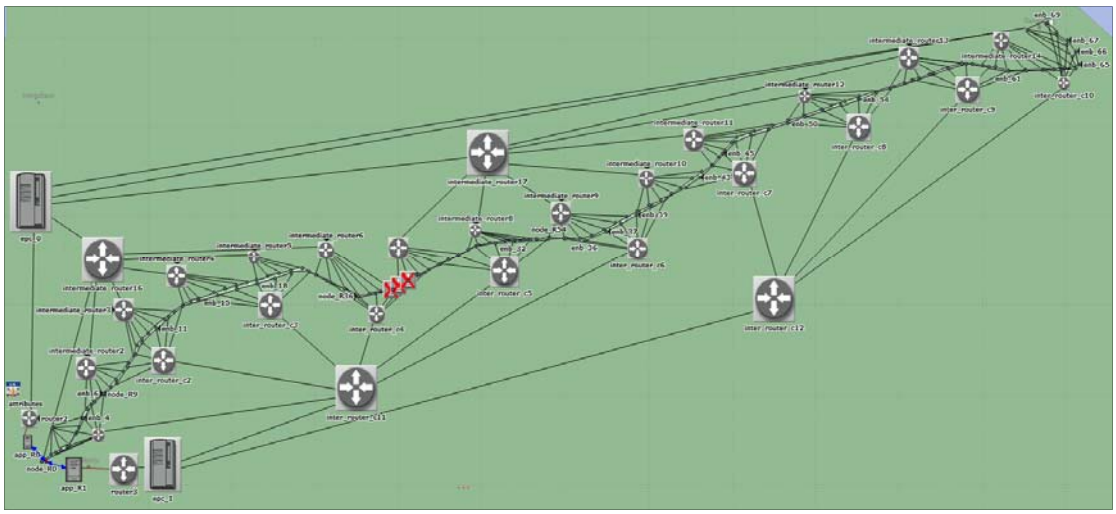


그림 191 장애 발생을 위한 만종 강릉간 KTX 모델

위 그림은 만종에서 강릉까지 KTX 운행 중 발생 할 수 있는 장애들을 나타내고 있다. 아래의 그림에서는 여러 장애 중에서 재머 장애를 시뮬레이션하기 위해서 분리된 2개의 single band 재머 장치를 설치하였고 기지국 장애로 인한 LTE-R 통신 장애를 시뮬레이션하기 위해서 출발 후 15분 지난 지점의 해당 eNodeB(39 ~ 41 기지국)들을 Fail this node로 설정하였다.

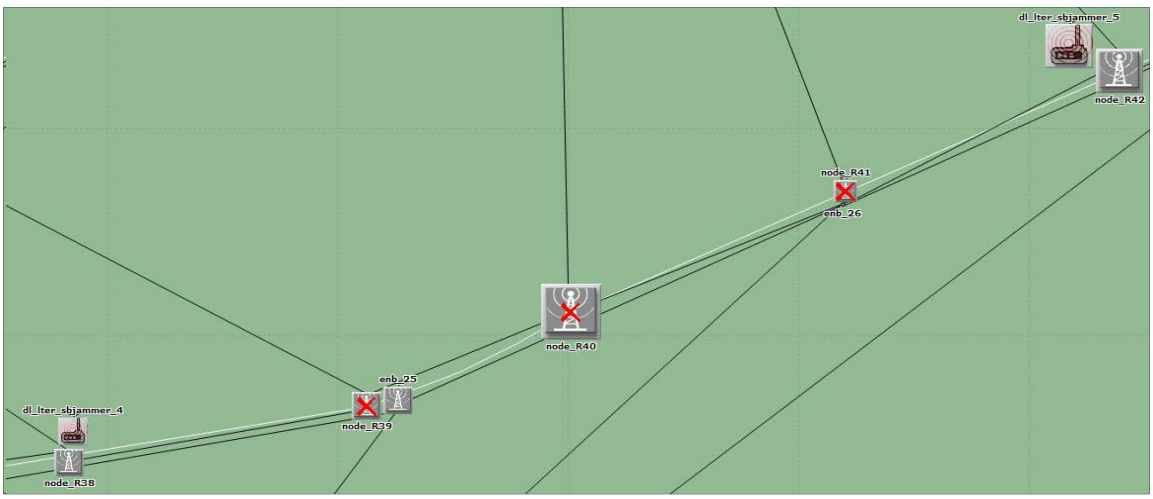


그림 192 재머 발생과 기지국 Fail 장애 상세 모델

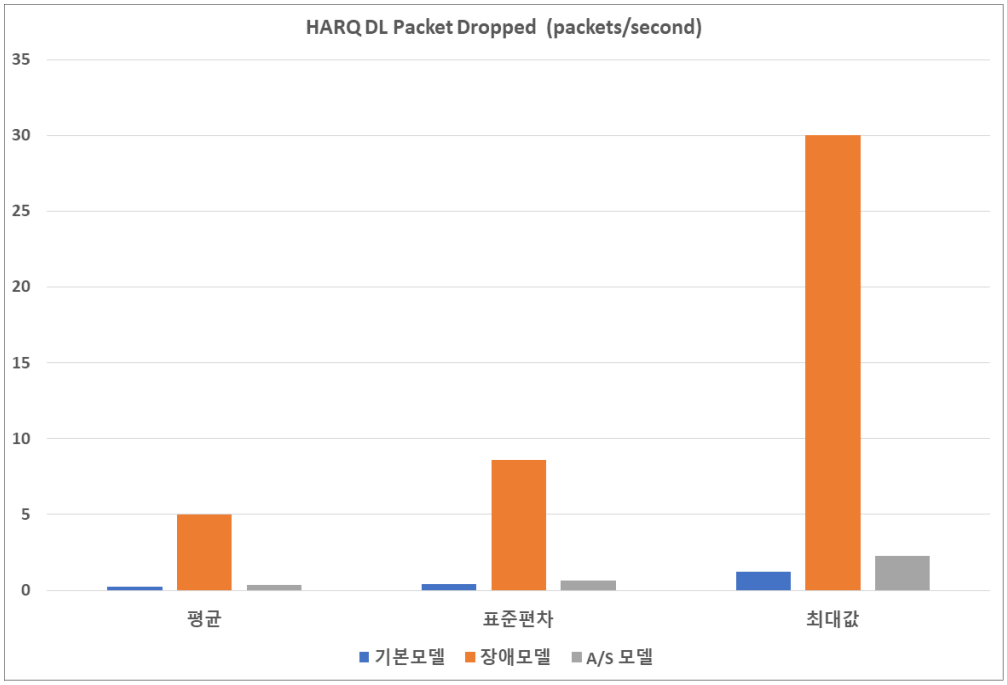


그림 193 장애 발생 시 HARQ 다운 링크 데이터 패킷 손실 성능

기본 LTE-R 시스템은 기지국에서 10Mbps 정도의 트래픽이 전송하여도 단말 PHY단의 HARQ 기능이 대부분의 무선전송 손실을 복구할 수 있다. 위의 그림은 기지국 장애나 재머 발생 시 HARQ 다운 링크 데이터 패킷 손실의 결과를 비교하였다. 해당 그래프는 LTE-R 기본모델, 장애모델, 장애 시 상용 LTE로 전환한 Active/Standby 모델에서는 HARQ 기능 패킷 손실 성능을 나타낸다. LTE-R 망에서 장애 발생 시 팻킷 손실 개수의 평균값은 20배이상 발생하고, 최대값은 24배이상 증가함을 알 수 있다. 또한, 위의 그림에서 Active/Standby 모델 알고리즘을 이용하여 상용 LTE로 천이 되었을 경우 HARQ 팻킷 손실률(packets/second) 장애 발생 모델보다 1/13배 정도로 감소하였고, 최대값은 1/13배 정도 감소함을 확인할 수 있었다.

본 문서에서는 철도통합무선망인 LTE-R 망에서 열차제어 무선망의 가용성을 향상시키기 위해서 고속철도인 KTX 강릉선을 대상으로 자동천이 알고리즘을 수행할 수 있는 방안에 대해 논의하였다. 또한, 현실적인 성능 시뮬레이션을 위해 KTX 강릉선의 만종역~강릉역 구간을 실측하여 얻은 데이터를 바탕으로 OPNET 네트워크 시뮬레이션 환경을 구축한 후 시뮬레이션을 수행하여 본 문서에서 제안하는 A/S 알고리즘을 위한 자동천이 평균 RSRP 값과 OFFSET 값을 도출하였다. 또한, 제안 알고리즘을 성능을 측정하기 위해서 재머 발생기와 eNode

Fail을 이용한 장애 모델을 제안하여 자동천이 알고리즘의 성능을 도출하였다. 본 연구 결과는 주파수 이중화를 사용할 수 없는 국내 철도 무선통신망에서 신뢰성 향상을 위해서 상용 LTE 망을 활용하는 본 알고리즘과 같은 자동 천이 알고리즘이 꼭 필요하다는 것을 보여주었다.

마. 철도통신 표준화 및 연구 성과 홍보

(1) 한국정보통신 기술 협회 (TTA) 및 대회 활동

표 58 한국정보통신 기술협회 (TTA) 철도통신시스템 실무반 (WG9051) 활동 요약

회의 차수	일시	회의 장소	주요 의제	비고
21차	2020.01.21.	TTA 11 회의실	- 20년도 WG9051 표준화 과제 추진 현황 점검 - 위원 정비 관련 사항 검토 - Guard band를 이용한 NB-IoT 서비스 검토	
22차	2020.03.08.	E-mail을 통한 서면회의	- 철도통신 프로젝트 그룹 신설 추진 여부 결정을 위한 서면의결	
23차	2020.05.06.	ETRI 서울사무소	- WG9051 표준 검토 ▪ LTE-R 기반 스마트 철도 서비스 플랫폼 요구사항 ▪ LTE-R 기반 스마트 플랫폼 서비스 요구사항 (도시철도) ▪ LTE-R 기반 스마트 플랫폼 서비스 요구사항 (일반.고속 철도) - 유지보수 대상 표준 검토 - 3GPP 규격의 TTA 전환채택 관련 논의 - 스마트표준화포럼 출범 논의	
24차	2020.07.02.	철도시설공단 (대전)	- 20년도 WG9051 신규 표준 초안 검토 ▪ 스마트 철도 디바이스 정보모델 ▪ 스마트 철도 디바이스 요구사항 - 정보모델 ▪ 스마트 철도 플랫폼 요구사항 - 정보모델 - WG9051과 스마트표준화포럼 표준 협력방안 논의	
25차	2020.08.18.	철도시설공단 (대전)	- 20년도 WG9051 신규 표준 초안 검토 ▪ 스마트 철도 디바이스 정보모델 ▪ 스마트 철도 디바이스 요구사항 - 정보모델 ▪ 스마트 철도 플랫폼 요구사항 - 정보모델	
26차	2020.09.03.	전자회의 (GoTo Webinar)	- 20년도 WG9051 신규 표준 초안 검토 ▪ 스마트 철도 디바이스 정보모델 ▪ 스마트 철도 디바이스 요구사항 - 정보모델 ▪ 스마트 철도 플랫폼 요구사항 - 정보모델	

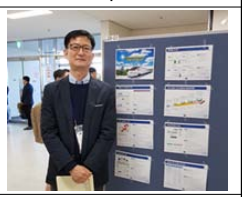
표 59 한국정보통신 기술협회 (TTA) 스마트표준화포럼(SRF) 활동 요약

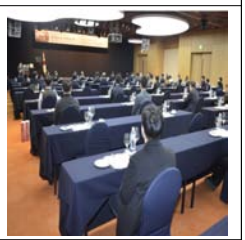
회의 차수	일시	회의 장소	주요 의제	비고
1차 준비위	2020.05.15.	철도시설공단	- 스마트철도표준화포럼 활동방안 토의 - 스마트철도표준화포럼 창립총회 준비 논의	

원회		(대전)		
2차 준비위원회	2020.05.26.	철도시설공단 (대전)	- 스마트철도표준화포럼 추진 경과보고 - 스마트철도표준화포럼 활동방안 토의 - 스마트철도표준화포럼 창립총회 준비 논의 - 철도기술 관련 현안 토의	
3차 준비위원회	2020.06.09.	비앤디파트너스 서울역점 회의실 10호	- 스마트철도표준화포럼 보고안건 검토 - 스마트철도표준화포럼 포럼 정관(안) 검토 - 스마트철도표준화포럼 활동 방안 토의 - 스마트철도표준화포럼 창립총회 준비 논의	
1차	2020.07.09.	전자회의 (GoTo Webinar)	- 스마트철도표준화포럼 창립총회 및 기념세미나	

(2) 연구과제 성과 홍보

표 60 과제 성과 홍보 및 논문발표 요약

일시	회의장소	주요 내용	비고
2018년 10월 19일	세인트존스 호텔 (강릉)	- 한국정보통신학회 추계학술 대회 - 논문 제목 : 이동 통신기반 열차제어 기술과 무선통신 요구사항 연구 - 주요 내용 : 열차제어를 위한 무선통신에서 요구되는 시스템 성능과 QoS 성능을 제시	
2019년 5월 3일	세인트존스 호텔 (강릉)	- JCCI 2019 (통신정보합동학술대회 2019) 논문 발표 - 논문 제목 : 소프트웨어 정의 네트워크에서 철도제어 시스템 장애 복구 방법 - 주요 내용 : SDN 환경에서 LTE-R 장애를 빠르게 탐색하고 복구할 수 있는 방법 제안	
2019년 7월 5일	제주대 (제주)	- ICCT 2019 (International Conference on Convergence Technology) 논문 발표 - 논문 제목 : Stable UDP Service for Korean Radio-based Train Control System - 주요 내용 : 고속철도통신환경에서 NLS 기반 UDP 서비스 성능 평가	
2019년 9월 11일	ICC (Istanbul Congress Center) (터키)	- IEEE PIMRC 2019 (Personal, Indoor and Mobile Radio Communication) 논문 발표 - 논문 제목 : Handover Delay Mitigation for Korean Radio-based Train Control System - 주요 내용 : LTE-R 통신시스템에서 핸드오버 최적화를 통하여 핸드오버 지연시간 감소	
2020년 9월 24일	한국정보통신학회	- 한국정보통신학회논문지 게재(Vol. 24, No. 9, pp. 1172-1179, Sep. 2020) - 논문 제목 : 철도통합무선망(LTE-R) 환경에서 무선통신 안정성과 가용성 향상을 위한 방안 연구 - 주요 내용 : LTE-R망 안정성 및 가용성 향상을 위해 무선환경 모델을 구축하고 향상된 무선접속 알고리즘과 주파수 자동천이 알고리즘을 제안	

2020년 9월 30일	한국산학기술학회	- 한국산학기술학회논문지 게재(Vol. 21, No. 9, pp. 1-8, Sep. 2020) - 논문 제목 : 철도통합무선망(LTE-R)의 무선통신특성 분석 - 주요 내용 : LTE-R 무선통신의 특성과 성능을 기반으로 현재 구축된 통신망의 적정성과 안정성에 대한 분석 수행 결과 제시	
2020년 10월 21일	ICTC (Ramada Plaza Hotel) (제주)	- ICTC 2020 (The 11th International Conference on ICT Convergence) 논문 발표 - 논문 제목 : Duplex Communication Method for Railway Vehicle Communication System - 주요 내용 : LTE-R 통신 시스템에서 가용성 향상을 위해 LTE-R망과 상용 LTE망 간 효율적인 핸드오버 방법 제안	
2020년 10월 22일	ICTC (Ramada Plaza Hotel) (제주)	- ICTC 2020 (The 11th International Conference on ICT Convergence) 논문 발표 - 논문 제목 : Handover Impact on E2E Delay of Multimedia Service in High-Speed Railway System - 주요 내용 : High-Speed Railway System에서 E2E 간 서비스 지연시간을 감소시키기 위해 핸드오버 영향을 분석하고 안정적인 서비스를 위해 핸드오버 A3 오프셋 값을 제어하여 시뮬레이션을 통한 성능 제공	
2020년 11월 05일 ~ 06일	웨스턴조선호텔 (부산)	- 스마트철도기술 워크샵 스마트철도표준기술 관련 발표 - 발표 제목 : LTE-R 철도주파수 확보, 스마트 철도 표준화 동향 - 주요 내용 : LTE-R 적용 주파수 확보를 위한 연구 및 국내외 활동 소개, 스마트 철도 표준화 절차, 필요성, 기술보고서 및 요구사항과 표준 모델의 전반적인 소개	
2020년 11월 13일	해비치호텔&리조트 (제주)	- 2020 철도학회 추계학술대회 특별 세션 발표 - 발표 제목 : 철도 무선통신망 안정성 및 가용성 향상 기술개발 - 주요 내용 : 철도 무선통신망 안정성 및 가용성을 향상시키기 위해 알고리즘 개발 및 성능검증 연구내용 소개	
2020년 12월 31일	한국정보통신학회	- 한국정보통신학회논문지 게재(Vol. 24, No. 12: 1646-1653, Dec. 2020) - 논문 제목 : LTE-R 시스템에서 열차제어를 위한 핸드오버 지연 안정화 방안 - 주요 내용 : LTE-R 환경에서 실시간 열차 원격제어의 안정성을 높이기 위해 핸드오버 지연시간 안정화 방안을 제시	

2.3. 연구 결과

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2018)	시스템통합 및 사양개발	시스템통합 및 사양개발	열차제어시스템 개발요구사항 조사 및 분석	열차제어시스템 개발 명세서
			열차제어시스템을 구성하는 하부 시스템 개발 요구사항 작성 및 검증	인터페이스 명세서
			제/개정이 필요한 기술기준규격 조사	기술기준규격 조사서
	실용화 지원 기술	실용화 지원기술	제/개정이 필요한 기술기준 및 규격 조사	제/개정이 필요한 기술기준 및 규격 조사
	레일절손검지 기술개발	요구사항 분석 및 개념설계	레일절손 검지기술 요구사항 분석 및 개념설계	연구보고서
	열차진로제어 기술 개발	이동폐색을 지원하는 일반·고속철도 전자연동장치의 요구사항 분석 및 개념설계	ETCS 레벨3를 구현하기 위해 열차 진로제어의 중심기능을 하는 전자연동장치의 요구사항 분석	연구보고서
			ERTMS/ETCS와의 인터페이스 방안과 표준화를 기반으로 하는 ETCS레벨3용 전자연동장치의 개념설계	
		“IP 기반 철도전자연동장치 실용화” 과제 연구결과 활용방안 도출	고속철도용 ETCS 레벨3 연구개발 및 KTCS-2 실용화 적용 시기에 맞춰 IP기반 철도 전자연동장치 실용화 과제의 연구성과 분석 및 활용 방안 제시	연구보고서
	무선통신망 안정성 및 가용성 향상 기술 개발	열차제어시스템용 무선통신망 요구사항 정의	열차제어시스템 무선통신망 요구사항 정의서 작성	무선통신망 요구사항 정의서
		가용성 향상을 위한 열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 설계 및 시험환경 구축	열차제어 무선통신 기술 동향 분석서 작성	무선통신 기술 동향 분석서

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2019)	시스템통합 및 사양개발	시스템통합 및 사양개발	열차제어시스템 개발 명세서 작성 및 검증	· 열차제어시스템 개발 명세서
			인터페이스 명세서 작성 및 검증	· 인터페이스 명세서
			제/개정이 필요한 기술기준규격 조사	· 기술기준규격 조사서
	레일절손검지기술 개발	레일절손 검지기술 개발 - 요구사항 분석 및 개념 설계	레일절손 검지장치 설계	· 상세설계서
			레일절손 검지장치 제작	· 시제품 설계도면
	열차진로제어 기술 개발	기능 및 성능 명세서 작성	· CTC-EIS 인터페이스 사양서 작성 · RBC-EIS 인터페이스 사양서 작성 · ETCS 레벨3 기반 전자연동장치 기능 및 성능 보고서 작성	· 기능 및 성능명세서
		진로제어용 연동장치 시뮬레이터 제작	· PC 기반 연동로직 시뮬레이터와 입.출력 시스템 시뮬레이터 개발 · ETCS L3 진로제어용 연동장치 시뮬레이터 제작 보고서 작성	· 보고서
	무선통신망 안정성 및 가용성 향상 기술 개발	안정성 향상을 위한 무선 접속제어 알고리즘 설계 및 모의시험 환경 구축	· 고속운행 환경에서 무선통신 장애분석 및 대응방안 연구 · 안전성 관련 무선통신 기술 LTE-R 적용 방안 연구 · 안정성 향상을 위한 무선접속제어 설계 및 모의시험 환경 구축	· LTE-R 적용방안 보고서 · 열차제어 무선접속 시험환경 및 시나리오 보고서 · 무선접속 알고리즘 설계서
		가용성 향상을 위한 열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 설계 및 시험환경 구축	· 가용성 향상을 위한 열차제어 지상 및 차상 장비 이중화 구조 연구 · 가용성 관련 무선통신 기술 LTE-R 적용방안 연구 · 가용성 향상을 위한 열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 설계 및 시험환경 구축	· 열차제어 주파수 자동천이 환경 및 시나리오 보고서 · 열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 설계서

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2020)	시스템통합 및 사양개발	ETCS 기반 시스템 사양 마련 - 이동폐색 및 자동운전	열차제어시스템 개발 명세서 작성 및 보완	열차제어시스템 개발 명세서
		실용화를 위한 기준개정 마련	기술기준 및 규격 제/개정(안) 작성 및 보완	기술기준 및 규격 제/개정(안)
	레일절손검지기술 개발	열차진로제어기술 개발	신뢰성 검증 보고서 (검증시험 보고서 등)	보고서
	열차진로제어 기술 개발	열차진로제어기술 개발	· 시험계획서 작성 · 진로제어용 연동장치 시뮬레이터 검증	보고서
	열차제어용 무선접속제어 알고리즘 구현 및 성능 평가	열차제어용 무선접속제어 알고리즘 개발	· 무선접속알고리즘 시뮬레이터 · 열차제어용 무선접속 알고리즘 성능 평가서	기술문서
		열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 개발	· 주파수 자동천이 알고리즘 시뮬레이터 · 주파수 자동천이 알고리즘성능평가서	기술문서
	열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 구현 및 성능평가	열차제어용 무선접속제어 알고리즘 개발	열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 시뮬레이터	S/W
		열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 개발	열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 성능평가서	기술문서

2. 연구수행내용 및 성과 [2세부]

2-1. 연구개발과제 배경

가. 국내외 정책동향

(1) 국내 정책동향

○ 철도노선별 연계운행 강화 및 운행시격 단축을 통한 철도수송능력증대, 세계 기술시장 변화에 대응한 철도안전을 확보하고자 무선통신을 기반으로 하는 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KTCS: Korean Radio-based Train Control System)을 개발하고 국산 신호시스템 도입의 필요성 강조

- 신호시스템 핵심기술의 해외 의존 및 국내 상용화 한계로 시스템 국산화가 미흡하여 국내 철도신호산업 성장을 저해되는 등의 문제점 극복하고자 국토교통부를 중심으로 '한국형 철도시스템 구축계획'을 수립(2017.4)하였음
- 열차운행안전과 효율성을 향상하고 철도산업을 활성화하기 위해 '철도 신호통신시스템 국산화 계획'을 수립(2017.12)하였음

(2) 국외 정책동향

○ 2009년 영국 교통부는 30년 후 철도의 지속적인 성장을 위한 비전을 담은 백서 "Delivering a Sustainable Railway" 작성하고, 철도가 지속적으로 성장·발전하기 위한 핵심적인 요구조건으로 용량확대, 탄소배출량감소, 고객만족, 비용감소를 정하고, 2040에 달성하여야 할 목표를 설정하였음

○ 유럽이 주도하고 있는 철도산업의 경쟁력을 지속적으로 유지하고, 유럽철도시장규모를 확대하기 위한 Forster Rail, Shift2Rail을 추진하고 있음

- 유럽은 ETCS를 이용하여 철도신호산업을 주도하고 있으나, 철도산업의 경쟁력을 지속적으로 유지하고, 유럽철도시장 규모를 확대하기 위한 Forster Rail, NGTC 및 Shift2Rail을 추진하고 있음
- Forster Rail(Future of Surface Transport Research Rail)은 유럽철도의 연구개발 및 혁신전략을 강화 할 수 있도록 지원하는 것이 목적임
- NGTC는 ETCS와 CBTC시스템을 통합하여 신호시스템 공급자에게는 보다 큰 신호시장을 제공하고, 시스템 사용자에게는 경쟁을 강화하여 시스템 구매비용을 낮추는 것이 목적

· NGTC성과물은 Shift2Rail의 IP2(Traffic Management and Control System)에 적용함
· NGTC는 WP를 9개로 구성하여 프로젝트의 목표를 달성함

나. 국내 연구개발 현황

(1) 국내 연구개발 개요

○「도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가」,「일반·고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화」를 통해서 열차제어시스템 개발을 수행하였음

-「도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가」과제를 통해서 ATP 등 열차제어기술, 무인운전기술, 무선통신망(LTE-R)기술 등 핵심기술을 개발하였고, 상용화 성과

를 도출하였음(신림경전철, 동북경전철, 일산선 신호개량사업)
- 현재는「일반·고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화」과제를 완료하였으며, 상용화 실적을 확보하기 위한 전라선 시범사업을 수행하고 있음

(2) 국외 연구개발 현황

(가) ETCS L3 개발 및 운영현황

○ (특징) ETCS Level 3는 ETCS Level 2와 달리 열차를 검지하는 궤도회로를 사용하지 않고, 무선통신(GSM-R)을 사용하여 수송용량 향상, 비용절감, 효율성 향상, 신뢰성 향상 등이 기대됨

○ (개발현황-시범사업) ETCS Level 3는 현재까지 스웨덴, 카자흐스탄, 잠비아에 구축되어 시범운영되고 있으나, 열차운행편성이 적은 노선이고, 시범운영을 통해서 많은 개선과 개발이 요구되고 있음
- 현재까지 스웨덴의 West Dalarna 노선(Malung~Borlange, 143km, 단선), 카자흐스탄의 Uzen- Bolashak 노선(146km), Korgas-Zhetygen노선(293km), 잠비아 Chingola- -Livingstone line(980km)이 확인되었음
- 위 사업에서 시스템 공급사는 BT(Bombardier Transport)에서 공급하고 있으나, 이동폐색제어, 열차분리검지기능 등 주요 기능을 적용하지 않고 있어서 많은 논란이 있기 때문에 저비용 시스템인 ETCS Regional로 부르고 있음

○ (개발현황-구축기술개발) 네덜란드의 ProRail사와 영국의 NetworkRail이 ETCS Level 3 구성품에 대한 시험을 실시하였으며, ETCS Level 3를 효율적으로 구축하기 위한 MOU(2016) 체결

○ (상용화를 위한 제한사항) ETCS Level 3를 상용화하기 위해서는 열차분리검지기능과 열차위치정보의 신뢰성검증을 요구하고 있음

○ (ETCS Level 3 적용단계) ETCS Level 3를 적용하는데 필요한 제한사항을 해소할 때까지 ETCS Level 3 적용하는 단계를 4단계로 구분하여 사업전략을 마련함
- (1단계 : Level 3 Overlay) ETCS 장착 열차와 미장착 열차가 혼용되어 운영되는 경우
- (2단계 : Level 3 Hybrid) 모든 열차가 ETCS를 장착했으며, 선로변에 설치되어 있는 열차검지장치의 열차검지정보를 활용함
- (3단계 : Level 3 Virtual Block) 열차운행시격에 따라 폐색의 길이를 조정할 수 있으며, 모두 열차가 ETCS를 장착했으며, 열차에서 열차분리검지기능을 수행하고, 입환구역 등에서 열차위치를 관리하기 위한 열차운전규칙을 마련함
- (4단계 : Level 3 Moving Block) 선행열차와 후속열차 간 안전간격에 따라 폐색의 위치와 폐색의 길이가 조정되며, 모두 열차가 ETCS를 장착했으며, 열차에서 열차분리검지기능을 수행하고, 입환구역 등에서 열차위치를 관리하기 위한 열차운전규칙을 마련함

(나) ETCS의 ATO 개발 및 운영현황

○ (ETCS의 ATO요구사항) ETCS제작자 모임인 UNISIG에서 ATP장치구성과 시스템개발규격서(Subset 125)를 제안하고 있으나, 현재까지 공개되지 않고 있음

○ (ETCS의 ATO구축단계) ETCS에 ATO기능을 적용하는 것은 2단계로 구분하여 진행되며, 최종적으로 GoA4를 구현함

- (1단계) 2019년까지 GoA 2를 지원하는 ETCS를 개발하고, 2022년까지 상용화함
- (2단계) GoA 3/4를 지원하는 자율주행 ATO를 개발하며, Shift2Rail의 개발공정에 맞춤

○ (ETCS의 ATO개발현황) 일부 노선에서 ATO기능을 탑재한 ETCS개발 프로젝트를 추진하고 있으나, 모든 고속철도 및 간선철도에 적용할 수 있는 ATO개념, 성능, 기능이 확정된 개발 규격서가 없는 상황(Shift2Rail을 통해서 완료할 예정)

- (런던의 Thamslink) 기존 신호설비를 자동운전을 지원하는 ETCS L2/ATO로 개량하며, 2018년 1월부터 Kentish Town과 Elephant&Castle구간에서 운행시작

· 열차운행편성수를 24tph(피그시간대 30tph)로 높이고, GoA2 지원



(다) NGTC 프로젝트

○ (NGTC활용) NGTC 성과는 Shift2Rail의 IP2(Traffic Management and Control Systems)에 적용됨

○ 프로그램 수행 내용 : WP의 기술적인 관계는 아래 그림과 같으며, 현재 WP2, WP6의 경우 구체적인 내용을 공개하고 있으나, WP3, WP4, WP5 등의 내용은 확인할 수 없음

(라) Shift2Rail

○ Shift2Rail의 IP2에 포함된 사항으로 도시철도에서 적용되고 있는 자동운전(ATO)개념을 일반철도와 고속철도에 적용토록 개발하여 철도운송능력과 성능을 개선하고 에너지 고효율화를 목표함

- 일반철도 및 고속철도는 ATO 적용 목적과 환경에 있어서 도시철도와 확실하게 상이하며, 다음과 같은 요구사항의 특성을 가짐

· 다양한 서비스 형태 및 여객, 화물 등 혼합된 교통을 효율적으로 관리해야 함
· 속도를 최적화 하고, 필요 이상의 속도로 주행하지 않으며 주행을 안정화 하여 에너지를 절감
· 운행계획의 예비시간을 최소화 하고 선로용량을 증가
· 자동운전에 의한 승객에 대한 안정성을 향상

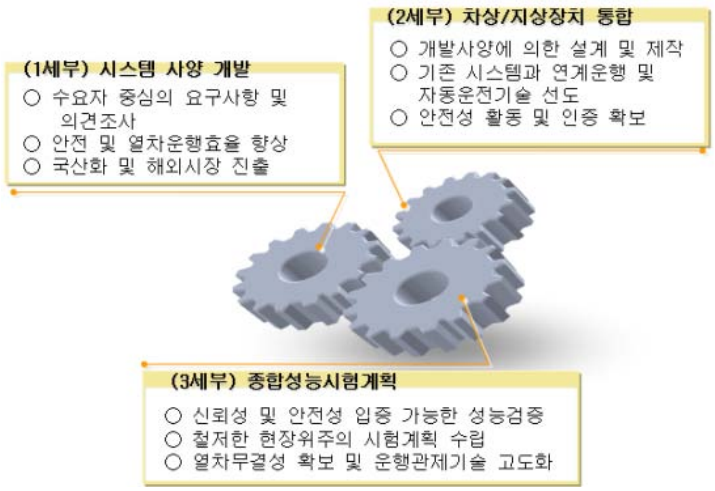
2-2. 연구개발 추진전략 및 방법

가. 추진전략 및 방법

○ 연구단 추진 전략 및 방법 원칙

- 연구과제 목표 달성을 위하여 세분화된 3개 세부과제 별로 연구목표를 구체화하고 세부과제간 연계내용 및 협력체계 유지

• 공동연구기관간 연구성과 및 자료 공유를 위해서 연구개발 실무자간 인터페이스 협의를 추진하고 관리함



○ 세부과제2의 과제 추진 전략 및 방법

- V model 이론을 토대로 1세부(주관)과의 긴밀한 협력체계를 구성하여 1차년도에 차상ATP/ATO·지상ATP 개발요구사항분석의 완성도를 높임

• 차상ATP/ATO·지상ATP 개발요구사항분석 결과를 1세부와 공유하여 1세부(주관)에서 수행하는 열차제어시스템 개발요구사항의 완성도를 높일 수 있도록 함

• 열차제어시스템 핵심장치인 차상ATP/ATO·지상ATP 개발공정에 대한 안전성을 검증하기 위해서 IEC 62278 등을 적용한 안전성활동/평가를 실시함



- 차상ATP/ATO와 기존 신호시스템(ATP, 고속철도용 ATC), 개발중인 일반·고속철도용 KTCS, 상용화 예정인 도시철도용 KTCS(KTCS-M)의 지상설비와의 상호운영성(interoperability)를

지원하여 상용화 여건을 마련함

• 본 연구에서 상호운영성을 확보하기 위한 전략은 다음과 같음

: 본 연구에서는 특정기업의 기술독점을 제한하고, 가격경쟁체계를 구축하기 위해서 지상ATO 제작사와 차상ATP/ATO공급사를 분리하여 개발함

: 또한 시스템개발에 필요한 각종 자료(명세서, 프로토콜 등)을 공개하고, 규격화하여 복수의 기업이 장치를 공급할 수 있도록 함

• 본 연구에서 상호운영성과 관련된 기능을 구현하는 범위는 다음과 같이 제한함

: 본 연구에서 개발예정인 차상ATP/ATO가 설치된 열차는 ATP, 고속철도용 ATC, 일반·고속철도용 KTCS, 도시철도용 KTCS가 설치된 노선을 주행할 수 있도록 함

: 기존 신호시스템의 차상장치가 본 연구에서 개발한 열차제어시스템만 설치된 노선을 주행하는 것은 지원하지 않음(본 연구에서 개발예정인 차상ATP/ATO가 설치된 열차만 주행할 수 있음)

• 본 연구에서 개발예정인 열차제어시스템의 지상설비를 기존 노선에 중첩(overlay)하여 설치한 경우에 대해서는 열차운행시나리오를 작성하고 기능은 구현하지 않음

• 유럽 ETCS검증 전문기관(멀티텔, TUV-SUD 등)과의 기술협력체계를 구축하여 유럽의 기술표준내용을 신속히 분석하여 적용방안을 마련함

- 차상ATP/ATO·지상ATP 개발요구사항 조사 및 분석

• 기획보고서의 열차제어시스템 요구사항과 1세부(주관)에서 수행한 열차제어시스템 개발요구사항을 분석하여 반영

• 개발이 완료된 KTCS-M과 개발중인 KTCS-2 및 현재 일반철도에서 운영중인 ATP(ETCS L1)의 지상설비구성, 지상-차상간 프로토콜 등을 조사하여 개발요구사항에 반영

• NGTC의 기능요구사항, 성능요구사항 등을 입수하여 기능 및 성능요구사항에 반영

• 차상ATP/ATO, 지상ATP개발명세서 검증계획 작성

- 이동폐색용 지상ATP 개발요구사항 분석

• 기획보고서의 열차제어시스템 요구사항과 1세부(주관)에서 수행한 열차제어시스템 개발요구사항 및 2세부 협동기관에서 수행한 요구사항을 분석하여 반영

• NGTC의 기능요구사항, 성능요구사항 등을 입수하여 기능 및 성능요구사항에 반영

- 자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 개발요구사항 분석

• 기획보고서의 열차제어시스템 요구사항과 1세부(주관)에서 수행한 열차제어시스템 개발요구사항 및 2세부 협동기관에서 수행한 요구사항을 분석하여 반영

• 개발이 완료된 KTCS-M과 개발중인 KTCS-2 및 현재 일반철도에서 운영중인 ATP(ETCS L1)의 지상설비구성, 지상-차상간 프로토콜 등을 조사하여 개발요구사항에 반영

• NGTC의 기능요구사항, 성능요구사항 등을 입수하여 기능 및 성능요구사항에 반영

- ATP/ATO 요구사항 및 설계/제작 검증 관리

• 전문 검증기관과의 협업을 통한 구체적이고 실현 가능한 검증 계획을 수립하고, 기존 국내·외에서 사용하는 검사계획서, V&V Plan 등의 검증 항목을 참고함

• 기존 국내·외에서 사용하는 검사계획서, V&V Plan 등의 검증 항목을 참고하여 검증계획 수립

• 개발 및 인터페이스 명세서에서 필수로 반영되어야 할 항목에 대한 검토 및 의견 제시하고, 전문 검증기관과의 협업을 통한 구체적이고 실현 가능한 검증 보고서의 작성

- ATP/ATO 하드웨어 및 소프트웨어 실용화 및 사업화

• 연동장치 등 vital장치 제작에 적용하여 국내외 시장에 진출하도록 함

나. 추진체계

연구개발과제(2세부)	
과제명	이동폐색 ATP/ATO 기술 및 장치개발

총 참 여 연 구 원	
협동연구책임자 윤용기 책임 외	39명

기 관 별 참 여 현 황

구 분	기관수	소 계	총인원
대기업	1	12	40
중견기업	-	-	
중소기업	2	22	
대 학	-	-	
국공립(연)	-	-	
출연(연)	1	6	
기 타	-		

2세부	협동연구기관
한국철도기술연구원	
ATP/ATO 사양개발 및 차상/지상 통합기술개발	
협동연구책임자 윤용기 외 5명	
담당기술개발내용	
- 개발 요구사항 조사 및 분석 - 개발 명세서 작성 - 인터페이스 명세서 작성 - 현재 운용중인 열차 제어 시스템과의 인터페이스 확보	

2세부	공동연구기관
현대로템(주)	
차상 ATP/ATO개발 및 안전성 인증	
공동연구책임자 박성호 외 11명	
담당기술개발내용	
- 자동운전을 지원하는 차상 ATP/ATO 요구사항 분석 - 안전성 인증 활동 계획수립 및 요구사양 도출 - 자동운전을 지원하는 차상 ATP/ATO 설계 및 기능 구현 - 차상 ATP/ATO 설계 및 구현 안전성 인증 활동 - 자동운전을 지원하는 차상 ATP/ATO 시험 - 차상 ATP/ATO 시스템 검증 및 안전성 인증	

2세부	공동연구기관
대아티아이(주)	
이동폐색 지상ATP 및 안전성 인증	
공동연구책임자 안진 외 15명	
담당기술개발내용	
- 이동폐색용 지상ATP 요구사항 분석 및 개념설계 - 이동폐색용 지상ATP 개발 - 지상ATP 시스템 이동폐색 제어기술 및 안전간격제어 기술 설계 - 지상ATP 시제품 제작 - 지상ATP 실험실 시험 및 검증 - RAM Analysis 수행 - Safety Analysis 수행 - Verification 수행	

2세부	공동연구기관
유경제어	
ATP/ATO 요구사항 및 설계/제작 검증관리	
공동연구책임자 지정근 외 5명	
담당기술개발내용	
- 차상 ATP/ATO, 지상 ATP 개발명세서 검증계획 작성 - 차상 ATP/ATO, 지상 ATP 인터페이스 명세서 검증계획 작성 - 차상 ATP/ATO, 지상 ATP 명세서 검증	

다. 추진일정

연차	연구목표	연구내용	추진일정(개월)												연구비	비중
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	(백만원)	(%)
1차년도 (9개월)	차상ATP/ATO, 지상ATP 개발요구사항 조사 및 분석	개발요구사항 조사분석	■	■	■	■	■	■	■	■	■				80	0.87
		상호운영요구사항분석	■	■	■	■	■	■	■	■	■				41	0.45
		차상ATP/ATO, 지상ATP 성능 및 기능요구사항 정의	■	■	■	■	■	■	■	■	■				100	1.09
	이동폐색용 지상ATP 개발	지상ATP 요구사항 분석 및 개념설계	■	■	■	■	■	■	■	■	■				38	0.41
	RAM 및 안전성 인증 활동	RAM 및 안전성 인증활동	■	■	■	■	■	■	■	■	■				30	0.33
	자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 요구사항 분석	차상 ATP/ATO 요구사항 분석	■	■	■	■	■	■	■	■	■				39	0.42
	안전성 인증 활동 계획수립 및 요구사양 도출	안전성 활동 계획 수립 및 요구사양 분석	■	■	■	■	■	■	■	■	■				30	0.33
	차상ATP/ATO, 지상ATP 개발명세서 검증계획 작성	검증계획 수립을 위한 요구사항 검토	■	■	■	■	■	■	■	■	■				30	0.33
		개발사양 검증항목 수립 및 계획서 작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■				38	0.41
	소계														426	**4.63**
2차년도 (12개월)	차상ATP/ATO, 지상ATP 개발명세서 작성	장치구성도 작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	39	0.42
		성능사양 작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	100	1.09
		기능사양 작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	250	2.72
	이동폐색용 지상ATP 개발	지상 ATP 기본 및 상세 설계서 지상ATO설계	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		251	2.73
		지상ATP/ATO 시작품제작					■	■	■	■	■	■	■	■	553	6.01
	RAM 및 안전성 인증 활동	RAM 및 안전성 인증활동	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	605	6.58
	자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 설계 및 기능 구현	차상 ATP/ATO 시제품 제작 및 기능구현	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1,262	13.72
	차상 ATP/ATO 설계 및 구현 안전성 인증 활동	설계 및 구현 안전성 인증 활동	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	746	8.11
	차상ATP/ATO, 지상ATP 인터페이스 명세서 검증계획 작성	지상 및 차상 인터페이스 검증 요구사항 검토	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	60	0.65
		인터페이스 검증항목 수립 및 계획서 작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	260	2.83
	소계														4126	**44.84**
3차년도	차상ATP/ATO, 지상ATP 인터페이스 명세서 작성	차상장치 및 지상장치 간 인터페이스 명세서 작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	160	1.74
		차상ATP/ATO와 열차 내 타 장치와의 인터페이스 명세서 작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	70	0.76

연차	연구목표	연구내용	추진일정(개월)												연구비 (백만원)	비중 (%)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		지상ATP와 지상의 타 장치와의 인터페이스 명세서 작성													70	0.76
	현재 운용중인 열차제어시스템과의 인터페이스 확보	현재 운용중인 열차제어시스템과의 인터페이스(상호운영성) 점검													150	1.63
	이동폐색용 지상ATP 개발	지상ATP/ATO 시험 환경구축													593	6.44
		지상ATP/ATO 시작품제작													194	2.11
		지상 ATP/ATO 단품 시험													288	3.13
	RAM 및 안전성 인증 활동	지상ATPRAM 및 안전성 인증활동													548	5.96
	자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 시험	차상 ATP/ATO 기능시험													1,168	12.69
	차상 ATP/ATO 시스템 검증 및 안전성 인증	차상 ATP/ATO 시스템 검증													1,158	12.59
	차상ATP/ATO, 지상ATP 명세서 검증	개발명세서 검증													50	0.54
		인터페이스 명세서 검증													200	2.17
	소계														4649	**50.53**

2-3 연구개발 주요내용

2-3-1 [협동] ATP/ATO명세서 개발

가. ATP/ATO개발요구사항 조사 및 분석

(1) 본 과제의 제안요구서(RFP) 요구사항

(가) 제안요구서의 연구개발 검토

- 고속철도 운행환경(350km/h 속도 대역)에서 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신(LTE-R)만을 활용하여 열차제어가 가능한 차상 ATP/ATO 및 지상 ATP 개발
  - KTCS-M, KTCS-2, ATP(ETCS L1) 및 ATC와의 상호운영성 확보 및 SIL4 인증
- 또한 다음과 같이 자동운전수준 및 성능기준을 제안요구서에 제시함
  - 자동운전수준 : GoA2(Grade of Automation 2)
  - 열차운행최고속도 : 350km/h
  - 열차위치검지정밀도 : ±80m(지상자간 거리 최대 1,500m 적용)
  - 열차속도검지정밀도 : ±8.8km/h(열차최고속도 350km/h 적용)
  - 동적속도프로파일(ATP프로파일)과 알람프로파일 간 속도 여유 : 5km/h
  - 동적속도프로파일(ATP프로파일)과 상용제동프로파일 간 속도 여유 : 5km/h
  - 열차위치정보 전송주기 : 최소 0.5초- 열차이동권한정보 전송주기 : 최소 0.5초
  - 자동운전모드에서 열차운행최고속도 : 300km/h
  - 정위치정치 정밀도 : ±2.5m

(나) 연구단의 자동운전 요구사항 조사

본 과제의 과제제안서를 기준으로 연구단과의 공정회의와 자문회를 통해서 자동운전에 대한 요구사항을 다음과 같이 확인하였다.

표 1 연구단의 자동운전 요구사항 제시안

구분	기능	기능 담당자	ATO담당
차상	견인력 및 제동력 제어	기관사(주관제어기)	대상
	주차단기 개폐 제어	기관사 - 주차단기 차단은 자동 - 주차단기 투입은 차종에 따라 자동 또는 수동	대상
	팬터그라프 제어	기관사 - 팬터그라프 하강은 자동 - 팬터그라트 상승은 차종에 따라 자동 또는 수동	대상
	출입문 개폐 제어	기관사 또는 승무원	대상
	정위치 정차	기관사	대상
지상	정위치 정차	해당사항 없음	대상

(2) ATP/ATO기능요구사항

본 과제의 과제제안서, 연구단의 자동운전 요구사항 및 해외 일반선 ATO적용사례 분석 결과를 토대로 ATP/ATO 기능요구사항을 작성하였다. 다음 문서 목록 중에서 FRS for NGTC의 기능항목을 기능요구사항으로 선정하였으며, 선정하기 위해서 아래 2가지 문서를 참조하였다.

- FRS for NGTC - Core and for the functions and requirements specific to each domain - Mainline and Urban(28/02/2017)
- IEC 62290-1, Railway applications-Urban guided transport management and command/control system-Part 1: System principles and fundamental concepts
- ATO over ETCS operational requirements, version 1.7, ERTMS users group(2016)

(가) ATP/ATO기능 구조

본 과제의 열차제어시스템은 관제설비(ATS 또는 TTC), ATP/ATO장치, 연동장치 및 기타 하부장치로 구성된다. ATP/ATO장치는 차상장치와 지상장치로 구성되며, 다른 하부장치, 기관사(driver) 등과 연계된다. 다음 그림과 ATP/ATO기능을 차상과 지상으로 구분하고, ATP/ATO기능과 연계되는 장치, 기관사 등을 제시하였다.

- Rail Integrator(레일절손검지)는 궤도회로가 수행하고 있는 레일절손검지 기능을 대체하며, 레일절손 검지정보를 연동장치(Interlocking)로 전송함
- Train Integrator(열차분리검지)는 궤도회로가 수행하고 있는 열차가 끊어진 것을 검지하는 검지하는 기능을 수행하며, 차상ATP로 검지정보를 전송함

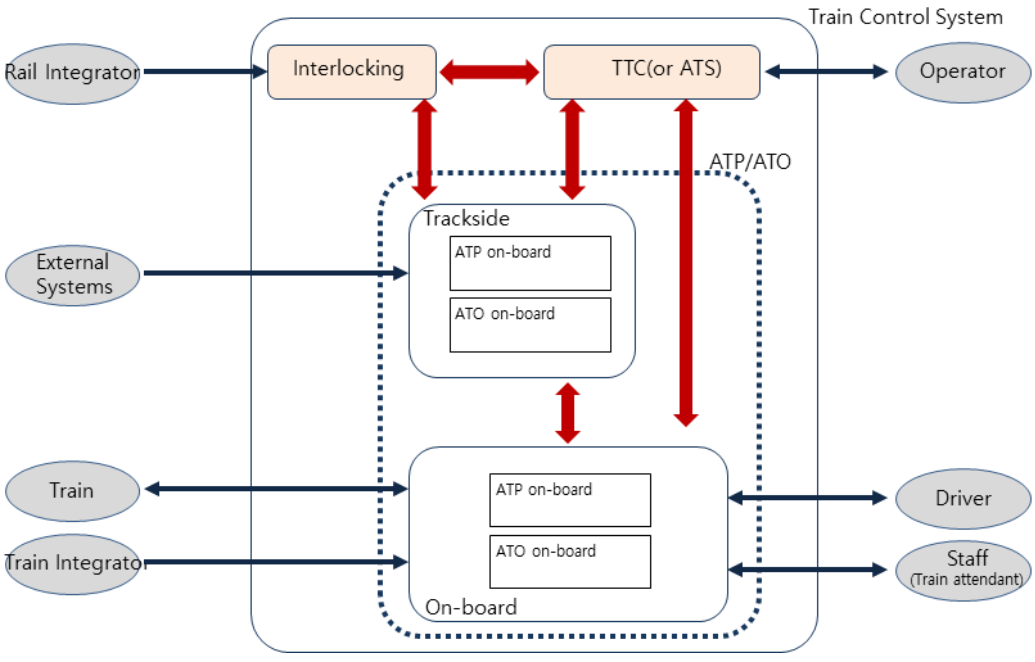


그림 1 ATP/ATO 기능구조도

(나) ATP/ATO 기능요구사항

① ATP/ATO 기능요구사항 - Ensure safe movement of train

열차의 안전한 이동을 보장하기 위해서 ATP/ATO가 수행해야 할 기능과 인터페이스 사항을 다음과 같이 제시하였다.

표 2 Ensure safe movement of trains기능 요구사항(일부 발췌)

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 1.1.1	Set and protect route	I/F사항
FRS 1.2.1.1-2	Initialization of train location entering TC territory	
FRS 1.2.1.1-3	Initialization of train location on recovery	
FRS 1.2.1.1-4	Initialization of train position in manual driving mode	
FRS 1.2.1.1-5	Automatic Determination of Train Length	I/F사항
FRS 1.2.1.2-1	Determination of actual train travel direction	
FRS 1.2.1.2-2	Provide actual train travel direction to OCC	I/F사항
FRS 1.2.1.2-3	Provide train location status to the external train HMI	
FRS 1.2.1.2-4	Update the location information	
FRS 1.2.1.2-5	Taking into account of inaccuracies in location	
FRS 1.2.1.2-7	Stopping of the train by localisation failure	
FRS 1.2.1.2-9	Re-initialization of train location	
FRS 1.2.1.2-10	Recovery from loss of train location	
FRS 1.2.1.2-11	Provide train location status to trackside	I/F사항
FRS 1.2.1.2-12	Setting of zone of protection by loss of train location status by reporting trains	I/F사항
FRS 1.2.2	Locate non-reporting trains by track sections	
FRS 1.3.1	Infrastructure data	
FRS 1.3.2-1	Limit the operational impacts	
FRS 1.3.3	Route suitability data	
FRS 1.3.4-1	Determination of the most restrictive speed profile	
FRS 1.3.4-2	Determination of permitted speed	
FRS 1.3.5-1	Setting of a zone of temporary speed restriction	
FRS 1.3.5-2	Content of temporary speed restriction	
FRS 1.3.5-3	Several speed restrictions at the same location	
FRS 1.3.5-4	Setting of new temporary speed restriction	
FRS 1.3.5-7	Provide status of speed restrictions to OCC	
FRS 1.3.6	Determine permanent rolling stock speed restrictions	
FRS 1.3.7	Determine temporary rolling stock speed restrictions	
FRS 1.4.1-3	Update of movement authority due to a loss of safe route	
FRS 1.4.1-5	Update of movement authority due to a loss of safe route	
FRS 1.4.1-7	Co-operative shortening of a movement authority	
FRS 1.4.1-8	Requesting a movement authority	
FRS 1.4.1-9	Display of Movement Authority	
FRS 1.4.2-1	Determination of train protection curve for each train	
FRS 1.4.2-3	Calculation of speed limits	
FRS 1.4.2-4	Speed limits for the whole train length	
FRS 1.4.2-6	Take into account different Emergency Brake rates	
FRS 1.4.2-13	Information on adhesion conditions	
FRS 1.4.3	Authorize train movement by trackside signals	I/F사항
FRS 1.4.4	Determine a zone of protection	I/F사항
FRS 1.4.5-1	Stopping of the train	

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 1.4.5-2	Provide information about train stopping to the OCC	I/F사항
FRS 1.4.5-3	Display emergency stops	
FRS 1.4.5-4	Revoke emergency stop	
FRS 1.4.6-1	Authorization of entry of reporting trains in TC territory	I/F사항
FRS 1.4.8	Track ahead free request	
FRS 1.5.1	Determine actual train speed	
FRS 1.5.2-1	Supervision of safe train speed	
FRS 1.5.2-2	Supervision of safe train speed to a target speed	
FRS 1.5.2-3	Release speeds	
FRS 1.5.2-4	Pre-indication location	
FRS 1.5.2-5	Traction power cut-off and brake commands	
FRS 1.5.2-6	Warning information in manual driving mode	
FRS 1.5.2-7	Service braking triggering	
FRS 1.5.2-8	Emergency braking triggering - Overspeed	
FRS 1.5.2-9	Service Brake cannot be applied	
FRS 1.5.2-10	Provide information about EB triggering to OCC	I/F사항
FRS 1.5.2-15	Release of service brake	
FRS 1.5.2-17	Emergency Brake Triggering - Overrun	
FRS 1.5.3	Inhibit train stops	
FRS 1.5.4	Monitor speed limit at discrete location	
FRS 1.5.5	Supervise train rollaway and reverse movement protection	
FRS 1.5.6	React to unauthorized movements of non-operative TC trains	
FRS 1.6	Provide interface with external interlocking	I/F사항
FRS 1.7-1	TC trackside handovers	
FRS 1.7-2	ATO trackside/ATO trackside handover	I/F사항
FRS 1.9	Trigger EB automatically	

② ATP/ATO 기능요구사항 - Drive train

열차 주행을 위해서 ATP/ATO가 수행해야 할 기능, 인터페이스 사항을 다음과 같이 제시하였다.

표 3 Drive Train기능 요구사항(일부 발췌)

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 2.1-1	Determination of operating speed profile	
FRS 2.1-2	Determination of new speed profile for stop	
FRS 2.1-3	Determination of new speed profile for stop commanded from OCC	I/F사항
FRS 2.2-1	Command acceleration/deceleration	
FRS 2.2-2	Deliver traction commands by power supply sections	
FRS 2.2-3	Deliver deceleration commands	
FRS 2.2-4	Minimise transitions between traction and brake commands	
FRS 2.3.1-1	Allow train stop	
FRS 2.3.1-2	Modifying of station status	
FRS 2.3.1-3	Stopping according to the operating profile	
FRS 2.3.1-7	Stopping outside the stopping tolerance	
FRS 2.3.1-8	Indication about stopping outside the stopping tolerance	
FRS 2.3.1-11	Proceed to next station after a limited number of jogs	
FRS 2.3.1-12	Update of platform data	
FRS 2.3.2	Hold train at next station	

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 2.3.3-1	Skipping of station stop	
FRS 2.3.3-2	Skip station commanded by driver	
FRS 2.3.3-3	Revoke the skip station	I/F사항
FRS 2.3.3-4	Skip station stop	
FRS 2.3.3-6	Provide the skip station status to the trackside	
FRS 2.3.3-7	Inform ATO trackside	
FRS 2.4.3-1	Start the train manually	

③ ATP/ATO 기능요구사항 - Supervise guideway

안전한 선로상태를 확인하기 위해서 ATP/ATO가 수행해야 할 기능, 인터페이스 사항을 다음과 같이 제시하였다.

표 4 Supervise guideway기능 요구사항(일부 발췌)

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 3.1.1-1	Stop trains if intrusion reported	I/F사항
FRS 3.1.2-2	Provide information to OCC	
FRS 3.1.2-3	Maintenance of alarm until released by staff	
FRS 3.1.2-4	Provide information to external train HMI	
FRS 3.3	Protect staff on track by work zone	

④ ATP/ATO 기능요구사항 - Supervise passenger transfer

승객의 안전한 승하차를 보장하기 위해서 ATP/ATO가 수행해야 할 기능, 인터페이스 사항을 다음과 같이 제시하였다.

표 5 Supervise passenger transfer기능 요구사항(일부 발췌)

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 4.1.1-1	Authorise door opening	부분적용
FRS 4.1.1-4	Zero speed and stopping point achieved	
FRS 4.1.1-5	Prevent movement of train	
FRS 4.1.1-6	If door detected as open provide information to OCC	
FRS 4.1.2-1	Command opening if authorized	
FRS 4.1.2-2	Management of doors on both sides	

⑤ ATP/ATO 기능요구사항 - Operate a train

열차운전을 지원하기 위해서 ATP/ATO가 수행해야 할 기능, 인터페이스 사항을 다음과 같이 제시하였다.

표 6 Operate a train기능 요구사항(일부 발췌)

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 5.1.1-1~2	Activation of on-board equipment	
FRS 5.1.2-2	De-energise the train and TC on-board equipment manually	
FRS 5.1.2-3	Application of brakes for a de-energised TC on-board equipment	
FRS 5.2.1-2a	Train data entry(Enter or validate train data)	

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 5.2.1-2b	Train data entry(Minimize the specific time and work required)	
FRS 5.2.1-3	Entering the driver ID	
FRS 5.2.1-6b	Modify train data during a mission(Modify and revalidate the train data)	
FRS 5.2.1-7a	Entering a mission(Perform and validate of data)	
FRS 5.2.2-1a	End of mission(When there is a communication session)	
FRS 5.2.2-1b	End of mission(To report the end of mission)	
FRS 5.3-1	Manage driving modes	GoA2까지
FRS 5.3-2	Managing functions for corresponding GOA	GoA2까지
FRS 5.3-3	Management of driving modes	GoA2까지
FRS 5.3-4	Full supervised manual mode	GoA2까지
FRS 5.3-5	Partial supervised manual mode	GoA2까지
FRS 5.3-6	Bypass	GoA2까지
FRS 5.3-8	Provide driving mode info to HMI or to the trackside	GoA2까지
FRS 5.4-4	Manage specific mainline operational modes(Auxiliary modes)	
FRS 5.4-5	Manage specific mainline operational modes(Special modes)	
FRS 5.4.2-1a	Shunting Mode(An TC equipped traction unit)	
FRS 5.4.2-1b	Shunting Mode(Selecting and accepting shunting mode)	
FRS 5.4.2-1c	Shunting Mode(Supervision of shunting speed)	
FRS 5.4.2-1d	Shunting Mode(To apply the train trip function)	
FRS 5.4.2-1e	Shunting Mode(Perform the train position function)	
FRS 5.4.2-1h	Shunting Mode(Selection of shunting mode by the driver)	
FRS 5.4.2-1i	Shunting Mode(Order to switch to shunting mode from trackside)	
FRS 5.4.2-1j	Shunting Mode(Requesting acknowledgement to switch to shunting mode)	
FRS 5.4.2-1k	Shunting Mode(No authorization for SH mode)	
FRS 5.4.3	Full supervision mode	
FRS 5.4.4	Isolation mode	
FRS 5.4.5-1a	Unfitted mode(Ordered by trackside)	
FRS 5.4.5-1b	Unfitted mode(Selected by the driver at start up)	
FRS 5.4.5-1c	Unfitted mode(The ceiling speed value for the unfitted operation)	
FRS 5.4.5-1f	Unfitted mode(To display the train speed in UN mode)	
FRS 5.4.6-1a	On-sight mode(Using train data and infrastructure data)	
FRS 5.4.6-1b	On-sight mode(The ceiling speed level for the movement authority)	
FRS 5.4.6-1c	On-sight mode(Before entering an on-sight section)	
FRS 5.4.6-1e	On-sight mode(To request of the TC trackside)	
FRS 5.4.6-1f	On-sight mode(Advantage with on-sight mode)	
FRS 5.4.6-1g	On-sight mode(Supervision of the train movements)	
FRS 5.4.6-1h	On-sight mode(Until switched to OS mode)	
FRS 5.4.6-1i	On-sight mode(Immediately switch to OS mode)	
FRS 5.4.6-1j	On-sight mode(Acknowledge of mode conversion)	
FRS 5.4.7	Non-leading mode	
FRS 5.4.8	Reversing mode	
FRS 5.5-1b	Manage transitions between different GOA domains(Modifying the GoA)	GoA2까지
FRS 5.6-1	Restart of train(To restart in automatic mode)+Adding restart condition	
FRS 5.7-1	Assign trains to designated stabling positions	
FRS 5.10-1	Permit a change in travel direction	
FRS 5.10-2	Determine the requested travel direction	
FRS 5.11-1	Manage units by TC as a single train	
FRS 5.11-2	Update trackside of new train consist	
FRS 5.11-4	Inform driver about new train data	
FRS 5.12.1-2	Perform self-tests	

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 5.12.1-3	Complete self-test in predefined time	
FRS 5.12.1-4	Start and run self-test automatically	
FRS 5.12.2-1	Check the safe status of TC	
FRS 5.12.2-2	Not compromise the ability of train movement	
FRS 5.13-1	Determine all information related to power supply	
FRS 5.13-2	Provide command outputs for lowering and raising current collector	I/F사항
FRS 5.13-3	Impact on journey profile from lowering current collectors	I/F사항
FRS 5.13-4	Inhibit traction command to rolling stock	I/F사항
FRS 5.13-5	Command to switch from one power supply system to another	I/F사항

⑥ ATP/ATO 기능요구사항 - Ensure detection and management of emergency situation

철도운행중 발생되는 비상상황을 검지하고 대응할 수 있도록 지원하기 위해서 ATP/ATO가 수행해야 할 기능, 인터페이스 사항을 다음과 같이 제시하였다.

표 7 Ensure detection and management of emergency situations기능 요구사항(일부 발췌)

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 6.1	React to detected fire/smoke	I/F사항
FRS 6.1-3	Maintain status until it is released by operations staff	
FRS 6.1-4	Provide the information to the trackside	
FRS 6.1-5	Provide the information to HMI	
FRS 6.2	React to detected derailment	I/F사항
FRS 6.3.1-1	Interface with broken rail detector	I/F사항
FRS 6.3.1-2	Provide the information to the trackside	
FRS 6.3.1-3	Reaction to broken rail detection	
FRS 6.3.2	React to suspected broken rail	
FRS 6.4	Manage passenger requests	I/F사항
FRS 6.5	React to loss of train integrity	I/F사항
FRS 6.6-1	Command immobilization of the train	
FRS 6.6-2	Establish a zone of protection	I/F사항
FRS 6.6-3	Request the cut off of the traction power	I/F사항
FRS 6.6-4	Allow the train to proceed to the next station	I/F사항
FRS 6.6-5	Provide the information to the trackside	
FRS 6.6-7	Maintain the immobilization until it is released from OCC	I/F사항

⑦ ATP/ATO 기능요구사항 - Operations management and supervision

효율적인 철도운행을 지원할 수 있도록 ATP/ATO가 수행해야 할 기능, 인터페이스 사항을 다음과 같이 제시하였다.

표 8 Operations management and supervision기능 요구사항(일부 발췌)

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 7.6.3-1c	DMI Depending on Modes(To read the relevant status)	
FRS 7.6.3-1d	DMI Depending on Modes(To display the shunting request)	
FRS 7.6.3-1e	DMI Depending on Modes(To read and display the override request)	
FRS 7.6.3-1f	DMI Depending on Modes(To read the non-leading request)	

기능번호	기능요구사항(기능명칭)	비고(적용)
FRS 7.6.3-1j	DMI Depending on Modes(To read the speed limit and change the distance)	
FRS 7.6.3-1l	DMI Depending on Modes(To display eventual levels and modes)	
FRS 7.6.3-1m	DMI Depending on Modes(To Notify after entering FS/OS)	
FRS 7.6.3-1n	DMI Depending on Modes(Level transitions announcement)	
FRS 7.6.3-1o	DMI Depending on Modes(To display of reversing allowed information)	
FRS 7.6.3-1r	DMI Depending on Modes(To inform the driver connection error)	
FRS 7.6.3-1s	DMI Depending on Modes(inform eventual route unsuitability etc.)	
FRS 7.6.3-1u	DMI Depending on Modes(To read and display the driver information)	
FRS 7.6.3-1v	DMI Depending on Modes(To read the selected level)	
FRS 7.6.3-1w	DMI Depending on Modes(To read the selected language)	
FRS 7.8.2-1	General radio communication management	
FRS 7.8.2-3	Terminating a communication session	
FRS 7.8.2-4	Registering to the radio network	
FRS 7.8.2-5	Managing the safety layer	
FRS 7.9	Provide interface with the passengers information system	I/F사항
FRS 7.11	Support maintenance	I/F사항
FRS 7.11-1	Provide identification of any failed unit	I/F사항
FRS 7.11-2	Provide failure and status information	I/F사항
FRS 7.11-3	Include related information	I/F사항
FRS 7.11-7	Detect alteration of performances	
FRS 7.11-9	Detect and report occurrence of specific failures	
FRS 7.11-12	Amend arrival times due to reduced train performance	I/F사항

(3) ATP/ATO 인터페이스 요구사항

ATP/ATO장치와 연계하는 레일절손검지장치, 열차분리(끊어짐)검지장치, 전자연동장치, 관제설비와의 인터페이스 요구사항을 정의하였다.

(가) 열차분리검지장치와의 인터페이스 요구사항

본 과제에서 개발하는 열차제어시스템의 차상ATP장치는 열차분리검지장치(train integrity)장치와 연계하여 열차분리사고 시 열차를 방호하여야 한다.

- TI(Train Integrity)는 열차분리를 검지한다.
- TI는 열차분리검지정보를 접점신호방식으로 차상ATP로 전송한다.
- 열차길이정보는 기관사가 입력하며, 차상ATP는 기관사가 입력한 길이정보를 열차길이로 확정한다.
- 차상ATP는 확정된 열차길이정보를 TIS로 전송한다.

(나) 연동장치 및 레일절손검지장치와의 인터페이스 요구사항

본 과제에서 개발하는 지상ATP장치는 연동장치(레일절손검지장치(rail integrity)장치 포함)와 연계하여 레일절손사고 시 열차를 보호하여야 한다.

- 연동장치는 궤도회로를 사용하지 않으므로, 지상ATP의 열차위치정보를 기반으로 열차진로제어를 처리한다.
- 지상ATP장치는 이동폐색기반의 열차위치정보를 생성하고, 별도의 정보변환없이 연동장치로 전송한다.

• 열차위치정보는 LRBG(Last Reported Balise Group)를 기준으로 열차의 선두위치와 후미위치로 한다.

- 연동장치는 진로가 설정되면, 진로정보(진로의 시작점과 진로의 끝점)를 지상ATP장치로 전송한다.

• 진로정보는 열차진행방향을 기준으로 진로에 근접하고 있는 LRBG를 기준으로 진로의 시점과 끝점으로 한다.

(나) 관제설비와의 인터페이스 요구사항

ATP/ATO장치의 인터페이스 요구사항은 기능요구사항에서 제시한 I/F사항으로 대체하고 별도로 작성하지 않는다.

나. ATP/ATO 개발명세서 작성

ATP/ATO장치의 Lab단위 시험결과를 기준으로 ATP/AO기능요구사항을 ATP/ATO명세서를 보완하였고, 현차시험을 통해서 확정한다.

다. ATP/ATO 인터페이스명세서 작성

(1) ATP/ATO의 인터페이스항목

ATP/ATO장치의 현차시험결과를 토대로 ATP/AO 인터페이스명세서를 확정할 계획이며, 다음과 같이 5가지 항목으로 분류하여 인터페이스내용을 작성하였다.

(가) 열차이동과 관련한 ATP/ATO의 인터페이스

표 9 열차이동과 관련한 ATP/ATO의 인터페이스 항목

인터페이스 항목	인터페이스 기능
1. WATP ↔ OCC(ATS)	IF1-1-1 (F1.1)열차의 안전한 진로 보장(Ensure safe route) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) OCC로 전송되는 열차위치정보
	IF1-1-2 (F1.2.1.2-2) 관제설비로 열차진행방향 보고(Provide actual train travel direction to OCC) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) WATP의 관할영역에서 주행중인 모든 열차의 주행방향정보
	IF1-1-3 (F1.2.1.2-8) 열차위치정보오류상태 공유(Provide information about the train location failure to OCC and train HMI) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) OCC로 전송하는 열차위치오류정보
	IF1-1-4 (F1.2.1.2-12) 열차위치정보 상실시 방호구역 설정(Setting of zone of protection by loss of train location status by reporting trains) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) OCC에서 설정한 방호구역정보
	IF1-1-5 (F1.3.5-1) 임속제한구역 설정(Setting of a zone of temporary speed restriction)

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	(1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) OCC에서 설정한 임속제한구역 정보 - a ceiling speed and - the concerned area of the track.
	IF1-1-6~15는 본 보고서에 포함하지 않음
2. WATP ↔ EI	IF2-1-1 (F1.1)열차의 안전한 진로 보장(Ensure safe route) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) EI의 열차진로설정정보를 기준으로 열차이동권한 설정
	IF2-1-2 (F1.2.2) Locate non-reporting trains by track sections (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 열차보조검지장치를 이용하여 다음 정보를 WATP로 전송함 - 열차진로정보 또는 - 열차점유구간정보
	IF2-1-3 (F1.4.1-3) 진로상실 시 이동권한 갱신(Update of movement authority due to a loss of safe route) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) EI에서 설정한 진로가 상실되면 이동권한을 단축함
	IF2-1-4 (F1.4.3) 신호기 정보에 의한 열차이동 승인(Authorize train movement by trackside signals) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) EI의 신호기 제어정보(진로설정)를 토대로 이동권한 설정
3. WATP ↔ OATP	IF3-1-1 (F1.2.1.1-2) 지상ATP의 제어영역으로 진입하는 열차위치 초기화(Initialization of train location entering TC territory) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 다음과 관련한 정보를 지상으로 전송함 - when a communication session is established, - when certain events occur; - when there is a level change, - when there is a mode change, - when the train passes an LRBG compliant balise group, - when requested by trackside.
	IF3-1-2 (F1.2.1.1-3) 복구된 차상장치의 열차위치 초기화(Initialization of train location on recovery) (1) 인터페이스 방식 : IF3-1-2 적용
	IF3-1-3 (F1.2.1.1-4) 수동운전모드에서 열차위치 초기화(Initialization of train position in manual driving mode) (1) 인터페이스 방식 : IF3-1-2 적용
	IF3-1-4 (F1.2.1.2-1) 열차진행방향 결정(Determination of actual train travel direction) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 다음 정보를 지상으로 보고함 - the actual travel direction of the reporting train on the track - the physical orientation of the reporting train relative to the defined orientation of

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	the track - the position of the front and rear of the reporting train.
	IF3-1-5 (F1.2.1.2-3) 운전자에게 열차위치관련 정보 제공(Provide train location status to the external train HMI) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 지상에서 열차로 열차의 키로정 정보를 제공
	IF3-1-6~22는 본 보고서에 포함하지 않음
4. WATP ↔ WATO	해당사항 없음
5. WATO ↔ OCC	해당사항 없음
6. WATO ↔ OATO	IF6-1-1 (F1.3.2-2a~2b) ATO자료 전송(Perform the downloading both locally and remotely) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 지상에서 차상으로 다음의 ATO자료를 전송 - journey profile - static infrastructure data - 정차하는 역사의 platform data
	IF6-1-2 (F1.7-2) 지상ATO장치간 제어권 이관(ATO trackside/ATO trackside handover) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 차상장치(또는 지상장치) 제어권 이관(핸드오버)를 위한 정보 - 차상장치(또는 지상장치)로 핸드오버 선언을 위해서 보내는 정보 - 차상장치(또는 지상장치)로 핸드오버 완료를 위해서 보내는 정보
7. OATP ↔ OATO	해당사항 없음
8. OATP ↔ DMI	IF8-1-1 (F1.2.1.1-6) 열차길이를 포함한 열차데이터 수동입력(Manual input of train data - including train length) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 운전자가 입력하는 열차데이터는 다음과 같음
	IF8-1-2 (F1.2.1.2-3) 운전자에게 열차위치관련 정보 제공(Provide train location status to the external train HMI) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 지상에서 전송된 열차 키로정 정보를 현시함
	IF8-1-3 (F1.2.1.2-10a) 열차위치정보오류에 대한 대응(Recovery from loss of train location) (1) 기능 (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 링킹에러원인 표시하며, 링킹에러의 종류와 조치는 다음과 같음
	IF8-1-4 (F1.3.1-5) 선로조건 또는 상태(Track conditions) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (1) 기능 (a) 운전자에게 현지되는 선로조건(또는 상태)정보는 다음과 같이 구성 - profile data (e.g. non-stopping area), i.e. start and end of the data is given, - 또는 location data (e.g. change of traction system power) i.e. start location given
	IF8-1-5~12는 본 보고서에 포함하지 않음

인터페이스 항목	인터페이스 기능
9. OATP ↔ DCU	해당사항 없음
10. OATP ↔ TI	IF10-1-1 (F1.2.1.1-5) 열차길이 자동설정(Automatic Determination of Train Length) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) TI가 열차길이정보를 OATP로 전송
11. OATP ↔ BG (balise group)	IF11-1-1 (F1.2.1.2-4) 열차위치정보 갱신(Update the location information) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) balise group의 ID, 설치정보(위치, 배열)정보를 적용하여 열차위치정보를 갱신
12. OATP ↔ BU/VVVF (braking/traction unit)	IF12-1-1 (F1.2.1.2-7) 열차위치정보 오류시 열차정차(Stopping of the train by localisation failure) (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용 (a) 사전에 정의된 linking에러에 맞추어 조치(trip, 상용제동, 무조치 등)
	IF12-1-2 (F1.2.1.2-10b) 열차위치정보오류에 대한 대응(Recovery from loss of train location) (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용 (a) 제동해정
	IF12-1-3 (F1.4.1-4) 이동권한 위반시 비상제동 인가(Activate emergency brake if the train passes movement authority limits) (1) 인터페이스 방식 : 인통선 (2) 내용 (a) 비상제동인가
	IF12-1-4 (F1.4.1-5b) 진로해제시 이동권한 갱신(Update of movement authority due to a loss of safe route) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 조건부 비상제동 명령 - If the train has already passed the location for the emergency stop the command is ignored. - If not, the message is accepted and the stop location is used to define the new EoA/SvL.
	IF12-1-5 (F1.5.2-7) 상용제동 투입(Service braking triggering) (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 상용제동명령정보
	IF12-1-6~10는 본 보고서에 포함하지 않음
13. OATO ↔ BU/VVVF	해당사항 없음
14. OATO ↔ DMI	해당사항 없음
15. OATO ↔ DCU	해당사항 없음
16. WATP ↔ WATP	IF16-1-1 (F1.4.6-1)차상장치를 설치한 차량의 진입을 승인(Authorization of entry of reporting trains in TC territory)

인터페이스 항목	인터페이스 기능
(핸드오버)	(1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 인접한 WATP영역에서 진입하기 위한 핸드오버정보 - 인접한 지상장치로 핸드오버 선언을 위해서 보내는 정보 - 인접한 지상장치로 핸드오버 완료를 위해서 보내는 정보
17. WATO ↔ WATO (핸드오버)	IF17-1-1 (F1.7-2)지상ATO장치간 제어권 이관(ATO trackside/ATO trackside handover) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 인접한 WATOP영역에서 진입하기 위한 핸드오버정보 - 인접한 지상장치로 핸드오버 선언을 위해서 보내는 정보 - 인접한 지상장치로 핸드오버 완료를 위해서 보내는 정보
18. WATP ↔ 기타	IF18-1-1 (F1.4.2-13) 점차계수 정보(Information on adhesion conditions) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용 (a) 접착계수정보를 전송하는 장치가 설치된 경우
19. OATP ↔ 기타	해당사항 없음
20. OATO ↔ 기타	해당사항 없음

(나) 열차운전과 관련한 ATP/ATO의 인터페이스

표 10 열차운전과 관련한 ATP/ATO의 인터페이스 항목

인터페이스 항목	인터페이스 기능
1. WATP ↔ OCC(ATS)	해당사항 없음
2. WATP ↔ EI	해당사항 없음
3. WATP ↔ OATP	IF3-2-1 (F2.4.1-1) 열차출발승인(Authorisation of station departure (safety related conditions) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차출발을 승인하기 위한 정보 : All train doors are closed and locked. : The train is not immobilised in the station by emergency braking, : The start of the train is not inhibited (e.g. by activated emergency stop handle)
4. WATP ↔ WATO	해당사항 없음
5. WATO ↔ OCC	IF5-2-1 (F2.2-1) 열차의 가감속도 제어(Command acceleration / deceleration) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 전력사구간 정보
	IF5-2-2 (F2.3.1-1) 열차정차 승인(Allow train stop) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법)

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	(a) journey profile정보에 정차관련 내용 포함
	IF5-2-3 (F2.3.1-2) 열차의 역정차 변경(Modifying of station status) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 역정차 명령 정보
	IF5-2-4 (F2.3.1-3) 열차운행파일에 따라 열차정차(Stopping according to the operating profile) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 역정차 정보(정차위치, 정차정밀도)
	IF5-2-5~8는 본 보고서에 포함하지 않음
6. WATO ↔ OATO	IF6-2-1 (F2.2-1) 열차의 가감속도 제어(Command acceleration / deceleration) (1) 인터페이스 방식 : 통신, PWM 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 전력사구간 정보
	IF6-2-2 (F2.3.1-1) 열차정차 승인(Allow train stop) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) journey profile정보에 정차관련 내용 포함
	IF6-2-3 (F2.3.1-2) 열차의 역정차 변경(Modifying of station status) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 역정차 명령 정보
	IF6-2-4 (F2.3.1-3) 열차운행파일에 따라 열차정차(Stopping according to the operating profile) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열정차 정보(정차위치, 정차정밀도)
	IF6-2-5 (F2.3.1-12) 승강장데이터 갱신(Update of platform data) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 지상에서 차상으로 전송되는 승강장 정보
	IF6-2-6 (F2.4.2-1) 열차출발승인(Authorisation of station departure (operational conditions), WATO) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차(자동)출발정보
7. OATP ↔ OATO	해당사항 없음
8. OATP ↔ DMI	해당사항 없음
9. OATP ↔ DCU	해당사항 없음
10. OATP ↔ TI	해당사항 없음
11. OATP ↔ BG (balise	해당사항 없음

인터페이스 항목	인터페이스 기능
group)	
12. OATP ↔ BU/VVVF	해당사항 없음
13. OATO ↔ BU/VVVF	IF13-2-1 (F2.2-1) 열차의 가감속도 제어(Command acceleration / deceleration) (1) 인터페이스 방식 : 통신, PWM 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 추진장치 또는 제동장치로 전송되는 가감속도명령 정보 (b) 다음 사항을 고려해야 함 - operating speed profile, the jerk rate limits, the required travel direction
	IF13-2-2 (F2.2-3) 열차감속(Deliver deceleration commands) (1) 인터페이스 방식 : 통신, PWM 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 제동장치로 전송되는 감속도명령 정보
	IF13-2-3 (F2.3.1-2) 열차의 역정차 변경(Modifying of station status) (1) 인터페이스 방식 : 통신, PWM 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 역정차 명령 정보
	IF13-2-4 (F2.3.1-3) 열차운행파일에 따라 열차정차(Stopping according to the operating pro file) (1) 인터페이스 방식 : 통신, PWM 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열정차 정보(정차위치, 정차정밀도)
14. OATO ↔ DMI	IF14-2-1 (F2.3.1-8) 정차위치를 벗어난 정차상태 현시(Indication about stopping outside the stopping tolerance) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차과주정보
	IF14-2-2 (F2.4.2-3) 열차출발승인정보 제공(Provide authorization to the train HMIs and the trackside) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차출발승인정보
	IF14-2-3 (F2.4.2-4) 열차출발승인정보 제공(Provide information to driver's DMI) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차출발이 거부되는 정보
	IF14-2-4 (F2.4.2-5) 역정차시간 제공(Provide dwell time information to HMI) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 역정차정보
15. OATO ↔ DCU	해당사항 없음
16. WATP ↔ WATP (핸드오버)	해당사항 없음
17. WATO ↔ WATO	해당사항 없음

인터페이스 항목	인터페이스 기능
(핸드오버)	
18. WATP ↔ 기타	해당사항 없음
19. OATP ↔ 기타	해당사항 없음
20. OATO ↔ 기타	IF20-2-1 (F2.4.2-6) 역정차시간 제공(Provide dwell time to an external platform HMI) (1) 인터페이스 장치 : OATO ↔ TCMS(or OBCS) (2) 인터페이스 방식 : 통신 (3) 내용(IF정보표기방법) (a) 역정차시간
	IF20-2-2 (F2.4.3-1) 열차출발(Start the train manually) (1) 인터페이스 장치 : 운전대 (2) 인터페이스 방식 : 운전대 램프 (3) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차출발명령(램프점등)

(다) 선로감시와 관련한 ATP/ATO의 인터페이스

표 11 선로감시와 관련한 ATP/ATO의 인터페이스 항목

인터페이스 항목	인터페이스 기능
1. WATP ↔ OCC (ATS)	IF1-3-1 (F3.3-1) 작업구간 설정(Establish work zone from the trackside) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 설정된 작업구간 정보
	IF1-3-2 (F3.3-2) 작업구간 해정(Release work zone from the trackside, WATP) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 해제된 작업구간 정보
	IF1-3-3 (F3.3-8) 속도제한조건에서 작업구간 해제(Release of work zone with regard to speed restriction) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 작업구간 해제 및 임속설정 유지 정보
2. WATP ↔ EI	해당사항 없음
3. WATP ↔ OATP	IF3-3-1 (F3.3-4) 임속설정(Choose selected speed) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 임속설정정보
	IF3-3-2 (F3.3-5) 작업구역 진입 제한(Train entry in the work zone) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 임속설정정보
	IF3-3-3 (F3.3-6) 작업구간정보 제공(Provide information to the HMIs) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 작업구간 정보
	IF3-3-4 (F3.3-8) 속도제한조건에서 작업구간 해제(Release of work zone with regard to speed restriction) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 작업구간 해제 및 임속설정 유지 정보
4. WATP ↔ WATO	해당사항 없음
5. WATO ↔ OCC	해당사항 없음
6. WATO ↔ OATO	해당사항 없음
7. OATP ↔ OATO	해당사항 없음
8. OATP ↔	IF8-3-1 (F3.3-6) 작업구간정보 제공(Provide information to the HMIs)

인터페이스 항목	인터페이스 기능
DMI	(1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 작업구간 정보
9. OATP ↔ DCU	해당사항 없음
10. OATP ↔ TI	해당사항 없음
11. OATP ↔ BG (balise group)	해당사항 없음
12. OATP ↔ BU/VVVF	해당사항 없음
13. OATO ↔ BU/VVVF	해당사항 없음
14. OATO ↔ DMI	해당사항 없음
15. OATO ↔ DCU	해당사항 없음
16. WATP ↔ WATP (핸드오버)	해당사항 없음
17. WATO ↔ WATO (핸드오버)	해당사항 없음
18. WATP ↔ 기타	해당사항 없음
19. OATP ↔ 기타	해당사항 없음
20. OATO ↔ 기타	해당사항 없음

(라) 승객의 승하차 감시와 관련한 ATP/ATO의 인터페이스

표 12 승객의 승하차 감시와 관련한 ATP/ATO의 인터페이스 항목

인터페이스 항목	인터페이스 기능
1. WATP ↔ OCC (ATS)	IF1-4-1 (F4.1.2-2) 출입문 열림방향 관리(Management of doors on both sides) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법)

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	(a) 열차출입문 열림방향(왼쪽, 오른쪽, 양방향)정보
2. WATP ↔ EI	해당사항 없음
3. WATP ↔ OATP	IF3-4-1 (F4.1.1-1) 출입문 열림 승인(Authorise door opening) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차출입문 열림정보
	IF3-4-1 (F4.1.2-2) 출입문 열림방향 관리(Management of doors on both sides) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차출입문 열림방향(왼쪽, 오른쪽, 양방향)정보
4. WATP ↔ WATO	해당사항 없음
5. WATO ↔ OCC	IF5-4-1 (F4.1.2-2) 출입문 열림방향 관리(Management of doors on both sides) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차출입문 열림방향(왼쪽, 오른쪽, 양방향)정보
6. WATO ↔ OATO	IF6-4-1 (F4.1.2-2) 출입문 열림방향 관리(Management of doors on both sides) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차출입문 열림방향(왼쪽, 오른쪽, 양방향)정보
7. OATP ↔ OATO	해당사항 없음
8. OATP ↔ DMI	IF8-4-1 (F4.1.1-6) 열차출입문 열림정보 알림(If door detected as open provide information to OCC) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 운전자에게 현시해야 하는 열차열림상태정보
9. OATP ↔ DCU	IF9-4-1 (FRS 4.1.1-4) 출입문 열림조건 확인 (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 출입문 열림 승인정보
	IF9-4-2 (F4.1.1-5) 열차이동 금지(Prevent movement of train) (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 출입문 열림 상태정보
10. OATP ↔ TI	해당사항 없음
11. OATP ↔ BG (balise group)	해당사항 없음
12. OATP ↔ BU/VVVF	해당사항 없음
13. OATO ↔ BU/VVVF	해당사항 없음
14. OATO ↔ DMI	IF14-4-1 (F4.1.4-3) 출입문 상태정보 제공(Provide information to HMI or external equipment) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법)

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	(a) 출입문 상태정보
15. OATO ↔ DCU	IF15-4- (F4.1.2-1) 출입문 개방(Command opening if authorized) (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 출입문개방명령정보
16. WATP ↔ WATP (핸드오버)	해당사항 없음
17. WATO ↔ WATO (핸드오버)	해당사항 없음
18. WATP ↔ 기타	해당사항 없음
19. OATP ↔ 기타	해당사항 없음
20. OATO ↔ 기타	해당사항 없음

(마) 열차운영과 관련한 ATP/ATO의 인터페이스

표 13 열차운영과 관련한 ATP/ATO의 인터페이스 항목

인터페이스 항목	인터페이스 기능
1. WATP ↔ OCC (ATS)	IF1-5-1 (F5.2.1-6d) 업무(임무)수행중 열차데이터 수정(Modify train data during a mission) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차편성번호정보 (b) 열차편성번호 수정 방법
	IF1-5-2 (F7.1-1) Time reference shall be unique (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 기준시정보
	IF1-5-3 (F7.3.1-9) Create a unique train identification number (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차ID생성정보
	IF1-5-4 (F7.3.1-10) Remove the train identification number (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차ID삭제정보
	IF1-5-5 (F7.4.1, F7.4.1-1) Supervise train tracking (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차추적정보 - Safety critical information, Non-safety critical information
	IF1-5-6~8은 본 보고서에 포함하지 않음
2. WATP ↔ EI	IF2-5-1 (FRS 7.4.1-1) Report the position of all trains

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	(1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 차상장치가 설치되지 않은 열차위치정보
3. WATP ↔ OATP	IF3-5-1 (F5.2.1-5a) 열차접속보고(A reporting train at start of mission) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차접속정보
	IF3-5-2 (F5.2.1-5b) 열차접속보고(A reporting train at start of mission) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 운전자의 MA요청정보
	IF3-5-3 (F5.2.1-5c) 열차접속보고(A reporting train at start of mission) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차확인 및 열차위치 확인 정보 (b) 열차접속 거부정보
	IF3-5-4 (F5.2.1-5d) 열차접속보고(A reporting train at start of mission) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차편성번호(train running number) 정보
	IF3-5-5 (F5.2.1-5e) 열차접속보고(A reporting train at start of mission) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차접속거부시 정보 (b) 지상에서 위치정보를 삭제하는 방법
	IF3-5-6~31은 본 보고서에 포함하지 않음
4. WATP ↔ WATO	해당사항 없음
5. WATO ↔ OCC	IF5-5-1 (F7.3.1) Manage train journey profiles (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) journey profiles정보
	IF5-5-2 (F7.3.1-1) Assign a journey profile to a train journey (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) journey profiles 인정정보
	IF5-5-3 (F7.3.1-2) Assign a journey profile to a specific train (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 특정열차의 journey profiles 승인정보
	IF5-5-4 (F7.3.1-8a) Select specific trains (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 특정열차의 journey profiles 선택정보
	IF5-5-5 (F7.3.1-9) Create a unique train identification number (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법)

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	(a) 열차ID생성정보
	IF5-5-6 (F7.3.1-10) Remove the train identification number (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차ID삭제정보
	IF5-5-7 (F7.4.2-3) Provide all status and failure information to OCC (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 지상장치 상태(장애)정보
6. WATO ↔ OATO	IF6-5-1 (F5.3-2) 자동운전기능 관리(Managing functions for corresponding GOA2) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) GoA2수행을 위한 정보
	IF6-5-2 (F5.3-9) 자동운전제한(Inhibition of driving mode on section) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 자동운전제한정보
	IF6-5-3 (F5.5-3a, b, c) Disengagement of automatic driving (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 자동운전제한정보
	IF6-5-4 (F7.3.1-13) Allow modification of all the parameters (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 수정되는 journey profile 파라메터
7. OATP ↔ OATO	IF7-5-1 (F5.3-1) 운전모드관리(Management of driving modes) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a)열차운전모드관리정보
	IF7-5-2 (F5.3-2) 자동운전기능 관리(Managing functions for corresponding GOA2) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) GoA2수행을 위한 정보
	IF7-5-3 (F5.3-3) 열차운전모드관리(Management of driving modes) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차운전모드관리정보
	IF7-5-4 (FS 5.5-1d) GOA transition (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차의 자동운전수준관리정보
	IF7-5-3 (F5.5-1b) GOA transition (1) 인터페이스 방식 : 통신 (3) 내용(IF정보표기방법) (a) 자동운전모드관리
	IF7-5-4 (F5.6-1) Restart of train (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차의 자동재출발관리정보
	IF7-5-5 (F5.6-2) Restart of train

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	(1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차의 자동재출발관리정보
	IF7-5-6 (F7.4.2-1) Provide all status and failure information of on-board equipment to HMI (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 차상장치 상태(장애)정보
8. OATP ↔ DMI	IF8-5-1 (F5.1.1-1) 차상장치 구동(Activation of on-board equipment) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차기동과 관련된 입력정보
	IF8-5-2 (F5.2.1-2a) 열차데이터 입력(Train data entry) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 입력할 열차데이터
	IF8-5-3 (F5.2.1-2b) 열차데이터 입력(Train data entry) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차데이터를 입력하는데 소요되는 시간
	IF8-5-4 (F5.2.1-2c) 열차데이터 입력(Train data entry) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 입력할 열차데이터 : Train category(ies), Train length, Traction/ brake parameters, Maximum train speed, Loading gauge, Axle load category, Traction system(s) accepted by the engine, Train fitted with airtight system, List of national systems available onboard, Axle number 등
	IF8-5-5 (F5.2.1-2d) 열차데이터 입력(Train data entry) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 데이터 입력방법 : 운전자가 직접 입력
	IF8-5-6~35는 본 보고서에 포함하지 않음
9. OATP ↔ DCU	해당사항 없음
10. OATP ↔ TI	해당사항 없음
11. OATP ↔ BG (balise group)	IF11-5-1 (F7.8.6.2-1a, b, c) Balise data consistency& linking consistency (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 발리스정보 무결성정보
12. OATP ↔ BU/VVVF (braking/traction unit)	IF12-5-1 (F5.1.2-3) 차상장치 전원차단시 비상제동 인가(Application of brakes for a de-energised TC on-board equipment) (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 비상제동출력과 관련된 정보
	IF12-5-2 (F5.4.4-1b) Isolation mode (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법)

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	(a) 제출관리정보
	IF12-5-3 (F5.4.10-1b) Trip mode (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 비상제동출력과 관련된 정보
	IF12-5-4 (F5.4.11-1b) Post trip mode (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 비상제동해정과 관련된 정보
	IF12-5-5 (F5.4.14-1b) Standby mode (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 비상제동출력과 관련된 정보
	IF12-5-6 (F5.12.2-1) Check the safe status of TC (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 비상제동출력과 관련된 정보
	IF9-5-1 (F6.6-1) Command immobilization of the train (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 접점 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차제동출력과 관련된 정보
13. OATO ↔ BU/VVVF (braking/traction unit)	IF13-5-1 (F5.5-1p) GOA transition (1) 인터페이스 방식 : 통신 또는 인통선 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 제동출력과 관련된 정보
14. OATO ↔ DMI	IF14-5-1 (F5.1.1-1) 차상장치 구동(Activation of on-board equipment) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차기동과 관련된 입력정보
	IF14-5-2 (F5.2.1-3) 운전자 ID 입력(Entering the driver ID) (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차운전자 ID정보
	IF14-5-3 (F5.5-1n) GOA transition (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차자동운전관리정보
	IF14-5-4 (F5.5-2a) Disengagement of automatic driving (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차자동운전관리정보
	IF14-5-5 (F5.5-3d) Disengagement of automatic driving (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 자동운전제한정보
	IF14-5-6 (F5.12.1-5) Provide the results by HMI or OCC (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법)

인터페이스 항목	인터페이스 기능
	(a) 기동후 시행하는 일상점검정보
	IF14-5-7 (F7.3.1-7) End of Journey (1) 인터페이스 방식 : 통신 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 정차 후 새로운 journey profile이 없을 경우의 현시정보
15. OATO ↔ DCU	해당사항 없음
16. WATP ↔ WATP (핸드오버)	해당사항 없음
17. WATO ↔ WATO (핸드오버)	해당사항 없음
18. WATP ↔ 기타	IF18-5-1 (F5.1.2-2) 차상장치 전원차단(De-energise the train and TC on-board equipment manually) (1) 인터페이스 장치 : 운전대 (2) 인터페이스 장치 : 스위치 (a) 전원차단
	IF18-5-2 (F7.7.1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) Provide all information to be recorded to an external recorder (1) 인터페이스 장치 : recoder (2) 인터페이스 장치 : 통신 (a) 저장정보
	IF18-5-3 (F7.8.6.3-1a) Radio data consistency (1) 인터페이스 장치 : LTE-R 기지국 (2) 인터페이스 장치 : 통신 (a) 송수신데이터의 신뢰성정보
19. OATP ↔ 기타	IF19-5-1 (F5.1.2-2) 차상장치 전원차단(De-energise the train and TC on-board equipment manually) (1) 인터페이스 장치 : 운전대 (2) 인터페이스 장치 : 스위치 (a) 전원차단
	IF19-5-2 (F5.2.1-4)무선통신망 접속(Establishing communication with the trackside) (1) 인터페이스 장치 : LTE-R차상단말 (2) 인터페이스 장치 : 통신 (a) 접속방식(규격)
	IF19-5-3 (F5.2.2-1a) 업무(임무) 종료(End of mission) (1) 인터페이스 장치 : LTE-R차상단말 (2) 인터페이스 방식 : 통신 (a) 열차임무종료(영업종료)에 따른 통신종료
	IF19-5-4 (F5.4.1-1d) Sleeping mode (1) 인터페이스 장치 : 운전대 (2) 인터페이스 방식 : 인통선 또는 접점
	IF19-5-5 (F5.4.8-1a, b) Reversing mode (1) 인터페이스 장치 : 운전대 (2) 인터페이스 방식 : 접점 또는 인통선 (3) 내용(IF정보표기방법) (a) Reversing모드관리정보
	F19-5-6~11은 본 보고서에 포함하지 않음

인터페이스 항목	인터페이스 기능
20. OATO ↔ 기타	IF20-5-1 (F5.2.1-4)무선통신망 접속(Establishing communication with the trackside) (1) 인터페이스 장치 : LTE-R차상단말 (2) 인터페이스 장치 : 통신 (a) 접속방식(규격)
	IF20-5-2 (F5.2.2-1a) 업무(임무) 종료(End of mission) (1) 인터페이스 장치 : LTE-R차상단말 (2) 인터페이스 방식 : 통신 (3) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차임무종료(영업종료)에 따른 통신종료
	IF20-5-3 (F5.6-3) Restart of train (1) 인터페이스 장치 : 운전대 (1) 인터페이스 방식 : 접점 또는 스위치 (2) 내용(IF정보표기방법) (a) 열차의 수동재출발관리정보
	IF20-5-4 (F7.8.6.3-1a) Radio data consistency (1) 인터페이스 장치 : LTE-R radio set (2) 인터페이스 장치 : 통신 (a) 송수신데이터의 신뢰성정보

(2) ATP/ATO 인터페이스 명세서

위에서 언급한 ATP/ATO와 연관된 인터페이스 20항목중 지상RBC와 CTC간 작성된 사항을 본 보고서에 일부를 발췌하여 기술하였다.

CTC에서 RBC로 보내는 메시지 목록(NID_MESSAGE)은 다음 표와 같다.

표 14 CTC → RBC 메시지 목록

NID_MESSAGE	설명	방향
51	열차문자전송	CTC→RBC
52	열차비상정지설정/해제	CTC→RBC
53	열차임시속도설정	CTC→RBC
54	열차번호설정	CTC→RBC
55	표준시각정보	CTC→RBC

RBC에서 CTC로 보내는 메시지 목록(NID_MESSAGE)은 다음 표와 같다.

표 15 RBC → CTC 메시지 목록

NID_MESSAGE	설명	방향
61	ACK/NACK	RBC→CTC
63	General Message	RBC→CTC

열차안전과 관련하여 RBC에서 CTC로 보내는 인터페이스(메시지 목록 NID_MESSAGE)는 다음 표와 같다. 인터페이스 내용이 장치간 전송메세지에 반영된 것을 표에 기술하였다.

일부 항목은 현차시험을 통해서 확정할 계획이다.

표 16 열차의 안전한 이동과 관련된 RBC --> CTC 인터페이스

구분	인터페이스 기능	메시지 반영
IF1-1-4	(F1.2.1.2-12) 열차위치정보 상실시 방호구역 설정(Setting of zone of protection by loss of train location status by reporting trains) (a) 방호구역설정정보 - RBC는 임시속도제한을 0으로 하여 방호구역 설정	임시제한속도구간 설정/해제 Message No.53 packet 65
IF1-1-5	(F1.3.5-1) 임속제한구역 설정(Setting of a zone of temporary speed restriction) (a) 임속제한구역 설정정보 - a ceiling speed, the concerned area of the track.	임시제한속도구간 설정/해제 Message No.53 packet 65
IF1-1-6	(F1.3.5-2) 임시제한속도 내용(Content of temporary speed restriction) (a) 임속제한설정정보 - a ceiling speed, the concerned area of the track.	임시제한속도구간 설정/해제 Message No.53 packet 65
IF1-1-7	(F1.3.5-3) 동일 위치에 대한 여러 개의 속도제한 설정(Several speed restrictions at the same location) (a) 동일 구역에 임속제한속도 복수 설정정보	확인중
IF1-1-8	(F1.3.5-4) 새로운 임시속도 설정(Setting of new temporary speed restriction) (a) 동일구역에 설정된 여러 개의 임속제한속도 정보	확인중
IF1-1-9	(F1.3.5-6) 임시제한속도 해정(Release of temporary speed restrictions set manually) (a) OCC에서 설정하는 임속해제정보	임시제한속도구간 설정/해제 Message No.53 packet No.66

표 17 열차의 안전한 이동과 관련된 CTC --> RBC 인터페이스

구분	인터페이스 기능	인터페이스 정보
IF1-1-1	(F1.1)열차의 안전한 진로 보장(Ensure safe route) (a) WATP의 관할영역에서 주행중인 열차위치정보	열차위치정보 Message No.63 packet No.0
IF1-1-2	(F1.2.1.2-2) 관제설비로 열차진행방향 보고(Provide actual train travel direction to OCC) (a) WATP의 관할영역에서 주행중인 모든 열차의 주행방향정보	열차위치정보 Message No.63 packet No.0
IF1-1-3	(F1.2.1.2-8) 열차위치정보오류상태 공유(Provide information about the train location failure to OCC and train HMI) (a) WATP의 관할영역에서 주행중인 열차의 열차위치오류정보	열차에러정보 Message No.63 packet No.4
IF1-1-10	(F1.3.5-7) 임시속도설정상태 제공(Provide status of speed restrictions to OCC) (a) 임속설정명령에 대한 조치결과정보	임시제한속도 관리정보 Message No.63 packet No.65
IF1-1-11	(F1.4.1-9) 이동권한 현시(Display of Movement Authority) (a) OCC에 현시는 MA정보	이동권한정보 Message No.63 packet No.202
IF1-1-12	(F1.4.4) 방호구역 설정(Determine a zone of protection) (a) 방호구역을 해제하기 위한 정보 - 방호구역 설정명령/조치결과 - 방호구역 해제명령/조치결과	임시제한속도 관리정보 Message No.63 packet No.65
IF1-1-13	(F1.4.5-2) 열차제동정보를 OCC로 제공(Provide information about tr	열차속도정보

구분	인터페이스 기능	인터페이스 정보
	ain stopping to the OCC) (a) OCC에 현시하기 위한 열차정차정보(WATP 관할영역) - 열차속도정보로 열차정차정보로 활용	Message No.63 packet No.0
IF1-1-14	(F1.5.2-10) 비상제동정보 제공(Provide information about EB triggering to OCC) (a) OCC에 현시하는 비상제동정보(WATP 관할영역) - 차량에서 지상으로 전송한 정보를 토대로 비상제동투입여부를 판단(차상에서 별도로 비상제동체결 정보를 제공하지 않음) : EoA초과시 트립모드 전환, Linking Error발생, 지상의 제동요청에 대한 인정 또는 거절	열차비상정지 설정상태 Message No.63 packet No.201
IF1-1-15	(F1.5.2-16) 비상제동 해정정보를 OCC에 제공(Provide information about EB release to OCC) (a) OCC에 현시하는 비상제동 해정정보(WATP 관할영역) - 차량에서 지상으로 전송한 정보를 토대로 비상제동해정여부를 판단함(차상에서 별도로 비상제동해정정보를 제공하지 않음) : 운전자 조치에 따른 TRIP모드를 다른 모드로 조정, Linking 에러 발생 후 새로운 이동권한 요청	열차비상정지 설정/해제 Message No.63 packet No.201

라. 운용중인 열차제어시스템과의 인터페이스 확보

(1) 운용중인 열차제어시스템과 연계를 위한 요구사항

본 과제에서 개발하는 ATP/ATO 차상장치(KTCS 3)는 지상에 구축되어 있는 ATP(ETCS L1), KTCS 2(ETCS L2), ATC지상설비와 정상적으로 연계되어야 한다. 또한 ATP/ATO 차상장치(KTCS 3)는 도시철도용 열차제어시스템(KTCS M)의 지상설비와도 정상적으로 연계되어야 한다. 이를 위해서 ATP/ATO 차상장치(KTCS 3)과 다른 열차제어시스템의 지상설비와 연계를 위한 요구사항을 다음과 같이 정의한다.

(가) ATP/ATO 차상장치(KTCS 3)과 ATP(ETCS L1)지상설비와의 연계

- 수동운전으로 한정하며, 자동운전(GoA2)는 지원하지 않는다.
- ATP//ATO차상장치(KTCS 3)는 ATP지상설비와 연계하는데 필요한 기능을 소프트웨어로 구현하며, 하드웨어를 열차에 별도로 설치하지 않는다.
- 선로에 예고발리스를 설치하고, ATP//ATO차상장치(KTCS 3)가 본 발리스를 검지하면 ATP(ETCS L1)모드로 전환한다.
- 또는 ATP//ATO차상장치(KTCS 3)가 본 발리스를 검지하면 ATP(ETCS L1)모드에서 ATP/ATO(KTCS 3)모드로 전환한다.

(나) ATP/ATO 차상장치(KTCS 3)과 KTCS 2(ETCS L2)지상설비와의 연계

- 수동운전으로 한정하며, 자동운전(GoA2)는 지원하지 않는다.
- ATP//ATO차상장치(KTCS 3)는 KTCS 2 지상설비와 연계하는데 필요한 기능을 소프트웨어로 구현하며, 하드웨어를 열차에 별도로 설치하지 않는다.
- 선로에 예고발리스를 설치하고, ATP//ATO차상장치(KTCS 3)가 본 발리스를 검지하면 KTCS 2(ETCS L2)모드로 전환한다.

- 또는 ATP//ATO차상장치(KTCS 3)가 본 발리스를 검지하면 KTCS 2(ETCS L2)모드에서 ATP/ATO(KTCS 3)모드로 전환한다.

(다) ATP/ATO 차상장치(KTCS 3)과 고속철도 ATC지상설비와의 연계

- 수동운전으로 한정하며, 자동운전(GoA2)는 지원하지 않는다.
- ATP//ATO차상장치(KTCS 3)는 ATC지상설비와 연계하기 위해서 별도의 인터페이스 장치, ATC안테나를 열차에 설치한다.
- 선로에 예고발리스를 설치하고, ATP//ATO차상장치(KTCS 3)가 본 발리스를 검지하면 ATC 모드로 전환한다. 인터페이스 장치는 고속철도용 ATC차상장치의 기능을 수행한다.
- 또는 ATP//ATO차상장치(KTCS 3)가 본 발리스를 검지하면 ATC모드에서 ATP/ATO (KTCS 3) 모드로 전환한다.

(라) ATP/ATO 차상장치(KTCS 3)과 도시철도용 KTCS-M 지상설비와의 연계

- 수동운전으로 한정하며, 자동운전(GoA2)는 지원하지 않는다.
- ATP//ATO차상장치(KTCS 3)는 KTCS-M 지상설비와 연계하기 위해서 KTCS-M차상장치 및 부속장치를 열차에 설치한다.
- 선로에 예고발리스를 설치하고, ATP//ATO차상장치(KTCS 3)가 본 발리스를 검지하면 KTCS-M모드로 전환하고, KTCS-M차상장치는 KTCS-M의 ATP기능을 수행한다.
- 또는 ATP//ATO차상장치(KTCS 3)가 본 발리스를 검지하면 KTCS-M에서 ATP/ATO (KTCS 3) 모드로 전환한다.

(2) 운용중인 열차제어시스템의 인터페이스

(가) 인터페이스 원칙

- 차상ATP/ATO장치는 현재 운용중인 고속철도용 신호시스템(ATC)구간, ETCS L1 (ATP)구간, ETCS L2구간 및 KTCS-M구간에 설치된 지상신호장치와 연계한다.
- 차상ATP/ATO장치는 ETCS L1(ATP) 및 ETCS L2의 지상신호장치와 상호운영성에 필요한 기능을 갖는다. 이에 필요한 별도 차상장치(STM)은 설치하지 않는다.
- 차상ATP/ATO장치는 고속철도용 신호시스템(ATC) 및 KTCS-M의 지상신호장치와 상호운영성을 지원하며, 이에 필요한 별도 차상장치(STM)을 열차에 설치한다.
- STM장치가 설치되면, 차상ATP/ATO장치와 STM장치는 연계하는데 필요한 기능을 각각 설치한다.
- 차상ATP/ATO장치는 STM장치의 안전성을 감시하고 필요한 경우에 안전조치를 취한다.
- STM장치가 활성화되면, 차상ATP/ATO장치는 STM레벨로 동작하고 STM장치에 필요한 데이터, 속도센서정보 및 열차내 다른 장치와의 인터페이스에 필요한 정보를 계속 제공한다.
- STM장치는 지상에 설치된 기존 신호시스템의 지상신호장치와 연계하여 열차의 안전한 이동보장 등 열차이동을 감시한다.

(나) STM(Specific Transmission moule)장치의 기능

- STM장치는 고속철도용 신호시스템(ATC) 또는 KTCS-M의 차상장치 기능을 수행하는 차상장치이며, 수동운전(GoA 1)만을 지원한다.
- STM장치는 차상ATP/ATO장치로부터 표준시각, 속도센서 정보를 받는다. 단, STM과 속도센서가 직접 연결된 경우는, 이를 적용하지 않는다.
- STM은 열차제동장치 및 열차 내 기타 장치를 제어하며, 사전에 정의된 조건에 해당하면 비상제동을 인가하고 추진장치를 차단한다.
- STM은 수행하는 기능의 안전성을 감시하고, 필요한 경우에는 상태정보를 차상ATP/ ATO 장치로 보낸다.
- 열차가 주행하는 구간에 설치되어 있는 기존 신호시스템이 2개 이상이면, 2종 이상의 STM장치가 열차에 설치되며, STM 1종만이 활성화되어 열차의 이동을 감시한다.
- STM장치 간의 절체제어는 STM장치 간에 이루어지며, 차상ATP/ATO는 STM장치 간의 절체에 간여하지 않는다.

(다) 차상ATP/ATO장치의 STM 인터페이스 기능

① 차상ATP/ATO장치는 STM과 연계하여 필요한 데이터를 지원하기 위하여 다음과 같은 기능을 수행한다.

- DMI(Driver Machine Interface)데이터 인터페이스기능
- STM제어 기능
- 표준시 기능
- 제동장치 인터페이스기능
- 열차내 다른 장치와의 인터페이스기능
- 열차운행정보 저장기능
- 열차진단정보 저장기능
- 열차속도정보 인터페이스기능

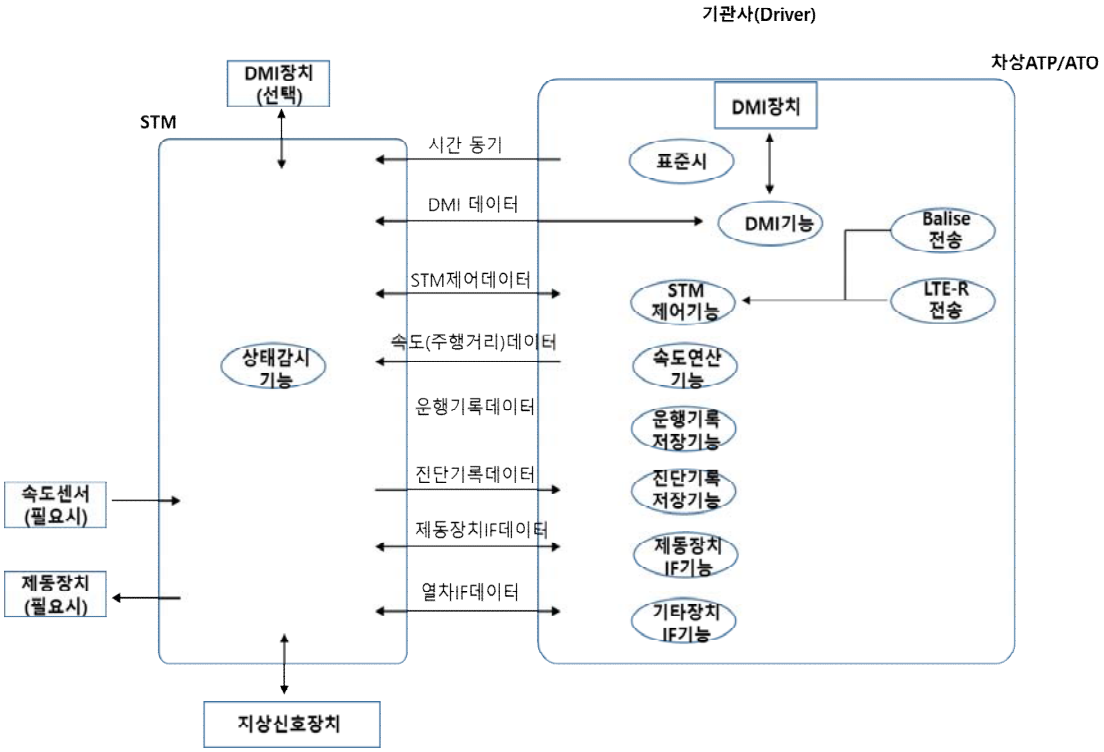


그림 2 차상ATP/ATO장치와 STM장치간 인터페이스 구성도(데이터 흐름)

② 차상ATP/ATO의 열차속도정보 인터페이스기능(속도연산기능)은 STM장치로 속도(주행거리)데이터를 전소한다. 전송데이터는 구성은 다음과 같다.

- 거리
- 속도
- 속도데이터 및 거리데이터의 보장
- 전송데이터의 유효시간

③ 열차내 기타 장치와의 IF기능은 차상장치 명령, 차상장치 상태정보를 포함한다.

- 차상장치명령은 판토그라프, 추진력 차단, 주차단기, 회생제동 등을 포함한다.
- 차상장치 상태정보는 운전실상태, 추진력 차단, 차상ATP/ATO의 슬립핑 등을 포함한다.

④ 제동장치IF기능은 비상제동 및 상용제동을 취급과 관련된 제동파라메터, 제동명령, 제동상태 및 제동장치의 가용성을 포함한다.

- STM이 특별한 제동성능(추진력 차단 포함)을 요구할 경우, STM은 제동장치와 직적적으로 연계할 수 있다.
- STM이 비활성화 상태가 되면, STM은 인가되어 있는 비상제동을 해정한다.

⑤ STM제어기능은 STM상태, STM의 안전무결성 및 차상ATP/ATO장치와 STM장치의 호환성을 관리한다.

- STM제어기능은 STM장치의 시험절차를 제어한다.
- STM제어기능은 명령, 상태의 갱신절차를 관리한다.

(라) 차상ATP/ATO데이터 공유

① 차상ATP/ATO장치는 다음의 열차데이터를 STM으로 전송한다.

- 열차형식
- 열차길이
- 열차감속데이터
- 열차최대속도
- 부하게이지
- 축부하
- 전원공급
- 열차조성
- 열차번호

② 차상ATP/ATO장치는 차상ATP/ATO장치 데이터를 포함한 정보를 STM으로 전송한다.

- 기관사 ID
- 차상ATP/ATO장치 형식(Level)
- 차상ATP/ATO의 ID
- 점착계수
- 날짜 및 시간

③ 차상ATP/ATO장치는 열차운전모드별 허용속도정보를 STM으로 전송한다.

- 기관사가 입력한 점착계수
- Shunt모드에서의 허용속도
- SR모드에서의 허용속도
- OS모드에서의 허용속도
- Unfitted모드에서의 허용모드
- 해정속도
- 열차후진방호거리
- EOA갱신을 요구할 수 있는 최고속도
- EOA갱신시 허용속도, 열차 트립거리, 트립시간
- PT모드를 허용할 수 있는 거리
- SR모드에서 주행할 수 있는 거리

(마) STM(Specific Transmission Module) 상태

① STM에 전원이 공급되지 않으면, STM은 NP(No Power)상태가 된다.

② STM에 전원이 투입되면, STM은 PO(Power On)상태가 된다.

• STM은 P0상태가 되면 자체시험을 실시한다.

• STM은 차상ATP/ATO와 연계한다.

③ STM은 STM과 차상ATP/ATO간 형상데이터를 변경할 사항이 되면, C0(Configu- lation)상태가 되며, 변경 가능한 데이터는 다음과 같다.

• 차상ATP/ATO데이터

• 속도센서 파라메터

• 제동장치 인터페이스

: 상용제동명령에 대한 상태/사용가능성

: 비상제동 및 상용제동 상태에 대한 상태/사용가능성

: 차상ATP/ATO가 STM을 이용한 상용제동 및 비상제동 체결시 소요시간

④ STM은 CS(Cold Standby)가 되면, STM은 초기화, 시험, 형상변경 등을 수행하지만, 지상신호장치의 정보를 받을 수 없다.

⑤ STM은 HS(Hot Standby)가 되면 지상신호장치에서 전송된 정보에 따라 임무를 수행한다.

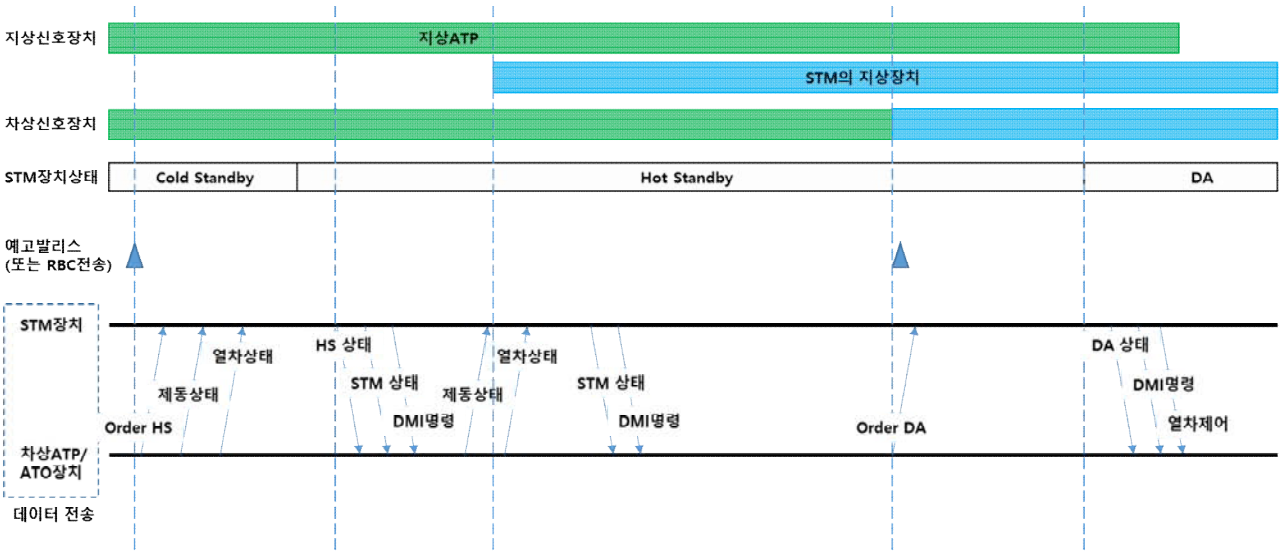


그림 3 STM의 상태천이 과정

⑥ STM은 DA(Data Available)가 되면 지상신호장치에서 올라온 정보를 기준으로 열차이동을 감시한다.

⑦ STM은 FA(Failure)상태가 되면 어떠한 임무도 수행하지 못한다.

(바) STM과 차상ATP/ATO의 연결

• STM은 CS상태에서 HS상태로 전환하며, 차상ATP/ATO와 접속하는 과정을 진행한다.

• STM은 차상ATP/ATO와 접속과정을 진행할 때, 두 장치의 형상정보가 호환성을 만족하는 것을 확인한다.

• STM은 차상ATP/ATO장치와 접속을 시도하며, 접속이 실패하면 FA상태로 전환한다.

(사) 기존 ATC(또는 ATS) 차상장치와 KTCS-3 차상장치와의 연계

- 기존 차상신호장치(ATC 또는 ATS)를 개선하여 STM장치 또는 모듈로 구성
- 기존 차상신호장치와 KTCS-3차상장치가 속도센서, 운전자표시장치(DMI), 기록장치를 공유하도록 수성
- KTCS-3 차상장치에서 기존 차상신호장치로 전송하는 정보(RS-485적용)

  : DMI현시정보, STM상태정보, 제한속도, 고장정보
- 기존 차상신호장치에서 KTCS-3로 전송하는 정보(RS-485적용)

  : STM 상태전환 명령, DMI 제어정보, ATP 상태정보

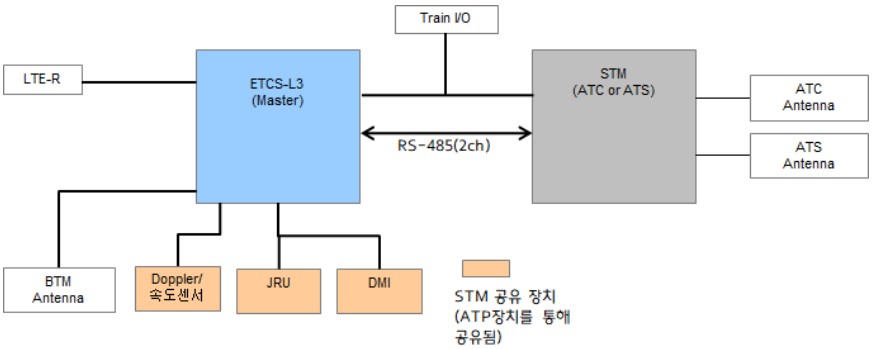


그림 4 기존 차상신호장치(STM)과 KTCS3(ETCS L3)의 연결도

2-3-2 [공동] 차상ATP/ATO개발

가. 차상 ATP/ATO 요구사항 분석 및 개념 설계

(1) 차상ATP 요구사항 분석

규격 System Requirements Specification, Subset-026(2.3.0d)를 참조하여 차상ATP요구사항을 분석하였다.

표 18 ERTMS/ETCS Application Level 3 분석 결과 (Subset-026)

참조번호	요구사항	비고
2.6.7.1.4	Train location and train integrity supervision are performed by the trackside radio block centre in co-operation with the train (which sends position reports and train integrity information).	

표 19 Report of Train Rear End Position for Level 분석 결과 (Subset-026)

참조번호	요구사항	비고
3.6.5.2.1	Train integrity information shall be given by external device or by driver. Driver input of train integrity shall only be permitted at standstill.	
3.6.5.2.3	The train integrity information shall consist of - Train integrity status information - No train integrity information - Train integrity information confirmed by integrity monitoring device - Train integrity information confirmed (entered) by driver - Train integrity lost Safe train length information (only valid if train integrity is confirmed at the same time).	
3.6.5.2.4	The safe train length information shall represent the distance between the min safe rear end (by subtracting the train length from the min. safe front end position at the time when integrity was established last time) and the estimated position of the train front. The safe train length information shall be re-calculated for every position report using the same last value of min safe rear end position until a new min safe rear end position is established on-board taking into account the time to detect train integrity.	

표 20 Structure of a Movement Authority(MA) 분석 결과 (Subset-026)

참조번호	요구사항	비고
3.8.3.5	In level 3, no time-outs shall be used. Note: For level 3 functionality the split of responsibility between the RBC and the Interlocking has to be considered. Time out of routes and related overlap can not be based on train position reports since the position report can be delayed compared to the real position of the train. The route release and revocation of routes can not be carried out by the interlocking until permitted by the RBC.	

(2) 차상ATO 요구사항 분석

규격 ATO over ETCS Operating Requirements (13E137(v1.7))를 참조하여 차상ATO요구사항을 다음과 같이 분석하였고, 일부 내용을 기술하였다.

- Interoperability, Interchangeability, Compatibility, Adaptability and Safety
- Performance and Energy Efficiency
- Supervision and Regulation
- Ensure safe movement of trains
- Operate Train
- Manage GoA and transitions
- Change the driving direction
- Joining and splitting a train
- Advisory Information
- Control traction power
- Supervise loading and unloading
- Supervise the status of the ATO
- Management of degraded operations

표 21 Manage the train service 분석 결과(일부 발췌)

참조번호	요구사항	비고
ATO-2.2-R1	The Journey Profile times shall use UTC.	
ATO-2.2-R4	A Journey Profile shall include times and identifiers for each Timing Point.	
ATO-2.2-R5	The ATO on-board function shall accept a Journey Profile sent by the ATO trackside function.	
ATO-2.2-R6	ATO 열차는 Journey Profile를 위해 유일하게 식별되어야 한다.	
ATO-2.2-R8	Upon receipt of the estimated deviation, the ATO trackside function shall send an updated Journey Profile if available to the ATO on-board function.	
ATO-2.2-R9	The ATO function shall support cancelling or amending a Journey	

	Profile automatically when a new Journey Profile is assigned.	
ATO-2.2-R10	If the Segment Profile is not consistent with the expected data, the ATO on-board function shall inform the ATO trackside function.	
ATO-2.2-R11	If the Segment Profile is not consistent with the expected data, an updated Journey Profile and/or Segment Profile shall be sent to the ATO on-board function.	
ATO-2.2-R12	If the infrastructure data from the Segment Profile is not consistent with the infrastructure encountered then the ATO shall disengage, until a consistent Segment Profile is received.	
ATO-2.2-R15	After all Journey Profiles assigned to the ATO train are completed, the ATO on-board function shall inform the ATO trackside function.	
ATO-2.2-R14	If no new Journey Profile is received by the ATO on-board function or it is the end of the journey, the train driver shall be informed.	
ATO-2.2-R19	The ATO on-board function shall support any changes to the intended final destination of the Journey Profile before departure or at any time during the journey.	
ATO-2.2-R21	The ATO on-board function shall support any changes to the passing, arrival or departure times for Timing Points before departure or at any time during the journey.	
ATO-2.2-R22	Changes in Journey Profiles shall be available to other systems e.g. Passenger Information Systems.	

표 22 Ensure safe movement of trains 분석 결과

참조번호	요구사항	비고
ATO-4-R1	National systems, rules, processes and ETCS shall be responsible for ensuring the safe movement of ATO trains in all directions of travel (including rollback).	

표 23 Control traction power 분석 결과

참조번호	요구사항	비고
ATO-6-R1	The ATO on-board function shall be able to deliver traction commands in such a way that unnecessary drawing of traction power is avoided whilst the train is traversing a gap between two sections of the conductor rail or overhead line.	
ATO-6-R2	If there is a limit to the current consumption, the ATO on-board function shall adapt the traction force setting.	
ATO-6-R5	The ATO on-board function shall take into account degraded performance of the train.	
ATO-6-R6	If there is a command for lowering or raising current collector(s) provided to the train, the ATO on-board function shall adapt the train speed to meet the next Timing Point as defined in	

	the Journey Profile.	
ATO-6-R7	The ATO on-board function shall adapt the train speed according to the traction system characteristics (AC/DC/Diesel)	

표 24 Control traction power 분석 결과

참조번호	요구사항	비고
ATO-6-R1	The ATO on-board function shall be able to deliver traction commands in such a way that unnecessary drawing of traction power is avoided whilst the train is traversing a gap between two sections of the conductor rail or overhead line.	
ATO-6-R2	If there is a limit to the current consumption, the ATO on-board function shall adapt the traction force setting.	
ATO-6-R5	The ATO on-board function shall take into account degraded performance of the train.	
ATO-6-R6	If there is a command for lowering or raising current collector(s) provided to the train, the ATO on-board function shall adapt the train speed to meet the next Timing Point as defined in the Journey Profile.	
ATO-6-R7	The ATO on-board function shall adapt the train speed according to the traction system characteristics (AC/DC/Diesel)	

(2) 자동운전 개념 및 설계방안 수립

(가) 자동운전 개념

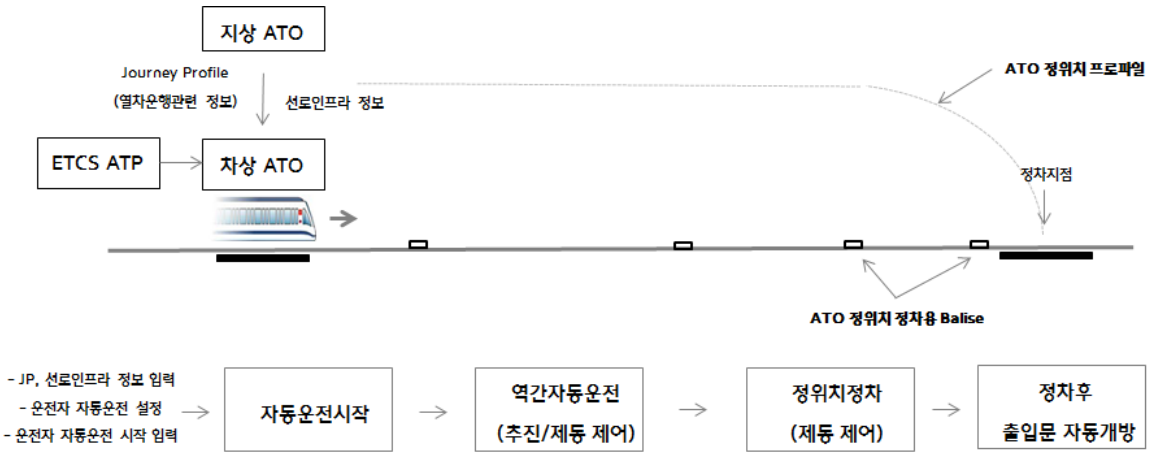


그림 5 GoA2 수준의 자동운전 개념

- 차상ATO는 지상ATO로부터 열차운행관련 정보와 선로인프라 정보를 수신한다.
- 운전자는 자동운전 가능 조건을 설정한다.
- 운전자는 자동운전 시작 가능 상태 확인 후, 자동운전 시작 취급을 통해 차상ATO의 자동운전을 실행한다.

- 차상ATO은 차상ATP의 방호하에 다음 정차지점까지 추진/제동제어를 수행하며 자동운전 한다.
- 차상ATO는 다음 정차지점에 제동제어를 통해 정위치 정차한다.
- 차상ATO는 정위치 정차후 허가된 방향의 출입문을 자동 개방한다.

(나) 자동운전 설계 방안

① 자동운전을 위한 운전자 I/F

표 25 자동운전을 위한 운전자 I/F

I/F	설명
■ 운전자 -> ATO/차량	
- ATO select switch	차상 ATO의 활성화/비활성화 전환 스위치
- ATO start/engage button(s)	차상 ATO의 자동운전 시작/설정 버튼
- ATO stop/disengage button	차상 ATO의 자동운전 멈춤/해제 버튼
- Mascon switch	추진/제동 제어를 위한 마스콘 스위치(추진/제동/중립)
■ 운전자 <-> ATO	
- DMI	운전자 ID 입력, 자동운전 가능상태 현시, 운행보조정보 현시, 운전자 확인 취급, ATO 상태 현시

② 자동운전을 위한 차량 I/F

표 26 자동운전을 위한 차량 I/F

I/F	설명
■ ATO -> 차량	
- Traction request	열차의 추진 제어 요청
- Brake request	열차의 제동 제어 요청
- Traction/Brake notch	추진/제동 제어의 단계 설정
- Left Door Open	왼쪽 출입문 자동개방 요청
- Right Door Open	오른쪽 출입문 자동개방 요청
- ATO operational	ATO 활성화 상태
- ATO engaged	ATO 자동운전 상태
■ ATO <- 차량	
- ATO select switch	차상 ATO의 활성화/비활성화 전환 스위치
- ATO start/engage button(s)	차상 ATO의 자동운전 시작/설정 버튼
- ATO stop/disengage button	차상 ATO의 자동운전 멈춤/해제 버튼
- Mascon switch	추진/제동 제어를 위한 마스콘 스위치(추진/제동/중립)
- Door status	출입문 열림/닫힘 상태
- Traction applied	열차의 추진 적용 상태
- Brake applied	열차의 제동 적용 상태

③ 수동/자동운전 간 전환 관리

- 수동운전에서 자동운전으로 전환 관리
- 자동운전에서 수동운전으로 전환관리(모든 자동운전의 해제 조건에서 운전자의 자동운전 해제 확인 요청이 필요함)

④ 열차 자동운전

차상 ATO는 지상 ATO와 ETCS ATP로부터 수신된 정보를 이용하여 ETCS ATP 방호 하에 다음 정차지점까지 열차의 추진/제동 제어를 통해 자동운전 한다.

- Journey Profile 요청
- Journey Profile, 선로 인프라 정보 수신
- ETCS ATP 정보 수신

⑤ 열차 정위치 정차

차상 ATO는 지상 ATO와 ETCS ATP로부터 수신된 정보를 이용하여 다음 정차지점까지 자동운전하며 정차 지점에 자동으로 정위치 정차한다.

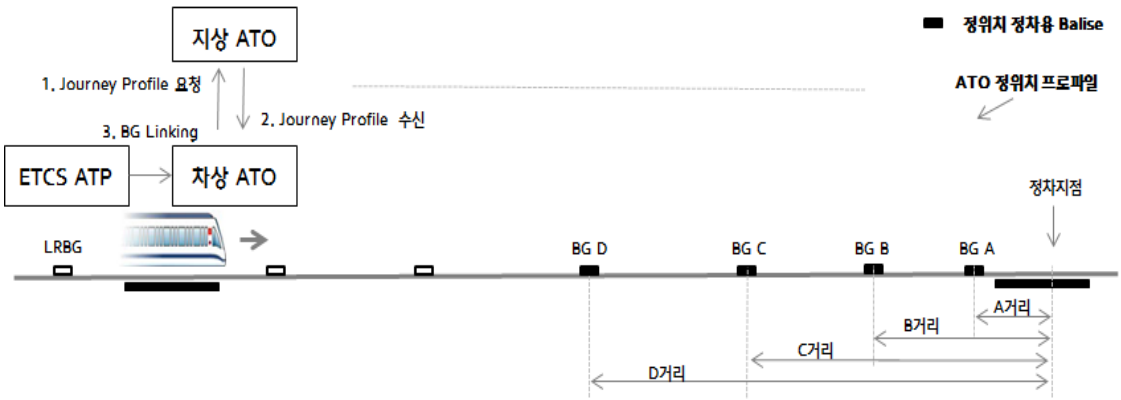


그림 6 열차 정위치 정차

- Journey Profile 요청 : 차상 ATO는 LRBG를 기준으로한 열차의 위치 정보를 지상 ATO로 송신하며 지상 ATO로 Journey Profile을 요청
- Journey Profile 수신 : 차상 ATO는 지상 ATO로부터 다음 정차지점 위치(LRBG 기준), 정위치 정차용 발리스 리스트, 발리스 위치(정차위치 기준), 출입문 방향 정보, Dwell Time 정보를 수신
- BG Linking 수신 : 차상 ATO는 ETCS ATP로부터 정차지점까지 Balise간 Linking 정보를 수신하여 정차지점까지 남은 거리를 보정

⑥ 출입문 자동개방

- 차상 ATO는 수신된 다음 정차지점 정보, 정차허용범위, 출입문 방향 정보를 이용하여 열차가 정차지점에 정위치 정차한 후 허가된 방향의 출입문을 자동으로 개방한다.
- 차상ATO의 출입문 자동개방 기능은 ETCS ATP의 출입문 개방 허가의 방호하에서 수행되어야 한다.

⑦ 열차 원격 제어

차상ATO는 지상ATO로부터 열차 원격 명령을 수신하여 실시간으로 열차 운행을 제어한다.

- 정차지점 통과(Skip) 명령 : 차상 ATO는 정차지점 통과 명령을 수신하면 정차지점에 정차하지 않고 통과
- 정차지점 정차(Stop) 명령 : 차상 ATO는 정차지점 정차 명령을 수신하면 정차지점에 정차
- 정차유지(Hold) 명령 : 차상 ATO는 정차지점에 정차한 상태에서 정차유지 명령을 수신하면 정차유지 해제 명령을 수신할 때까지 정차를 유지
- 열차 감속 운행 명령 : 차상 ATO는 특정 구간에 대한 감속 운행 명령을 수신(역 통과시 역 구간 감속 운행)하면 열차를 감속 운행
- Dwell Time 제어 : 차상 ATO는 정차지점에 대한 Dwell Time 제어 명령을 수신하면 Dwell Time이 만료될 때까지 열차의 정차를 유지

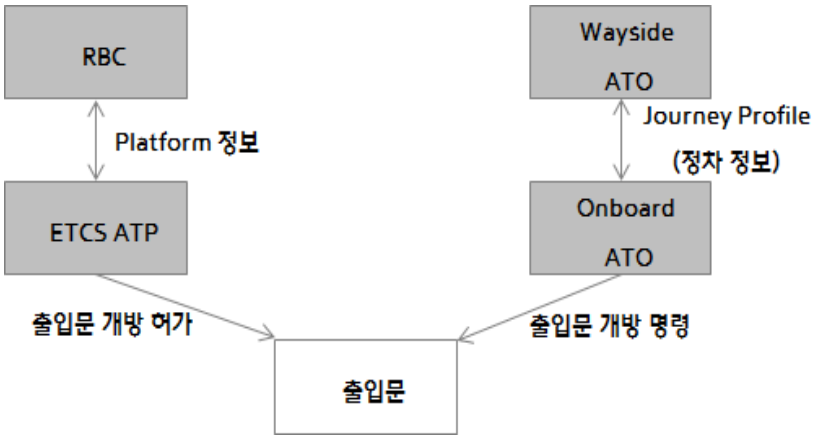


그림 7 출입문 자동개방

⑧ 운행스케쥴을 준수한 에너지 효율적인 자동운전

차상 ATO는 열차운행스케쥴이 포함된 Journey Profile을 수신하여 열차운행스케쥴을 준수하며 에너지 효율적인 자동운전을 수행해야 한다.

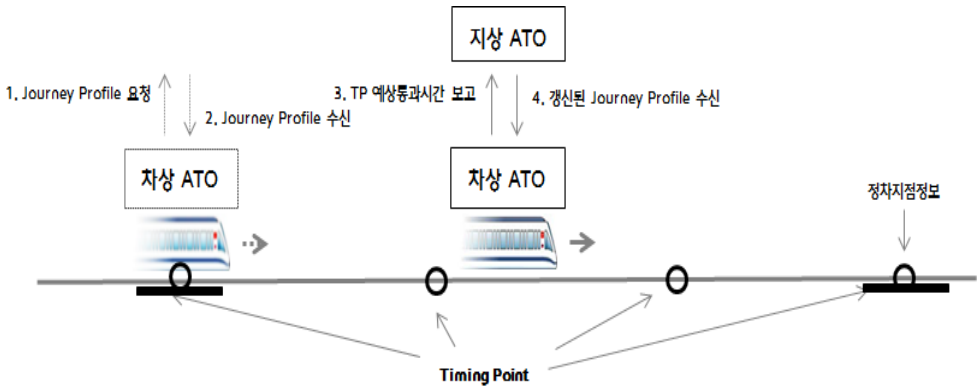


그림 8 운행스케쥴을 준수한 에너지 효율적인 자동운전

- Journey Profile 요청 : 차상 ATO는 LRBG를 기준으로한 열차의 위치 정보를 송신하며 지상 ATO로 Journey Profile을 요청
- Journey Profile 수신 : 차상 ATO는 다음 정차지점 정보 위치(LRBG 기준), 각 Timing Point별 위치, 운행스케쥴을 지상 ATO로부터 수신
- Timing Point 예상 통과시간 보고 : 차상 ATO는 다음 Timing Point의 예상 통과시간을 계산하여 지상 ATO로 보고
- 갱신된 Journey Profile 수신 : 지상 ATO는 운행스케쥴이 조정된 경우 갱신된 Journey Profile을 차상 ATO로 송신하고, 차상 ATO는 갱신된 Journey Profile을 새로 적용하여 자동운전 수행

⑨ 운행보조정보 현시

차상 ATO는 GOA1(수동운전)에서 수동운전 보조정보(목표운행속도/거리)와 운행보조정보를 DMI에 현시하며 GOA2(자동운전)에서는 운행보조정보를 DMI에 현시한다.

⑩ 선로 점착상태를 고려한 추진/제동 제어

차상 ATO는 검지된 선로점착상태를 지상 ATO로 보고하고 지상 ATO는 낮은 선로점착상태 구간에 차상 ATO로 예고하여 열차의 추진/제동을 제어하며 자동운전한다.

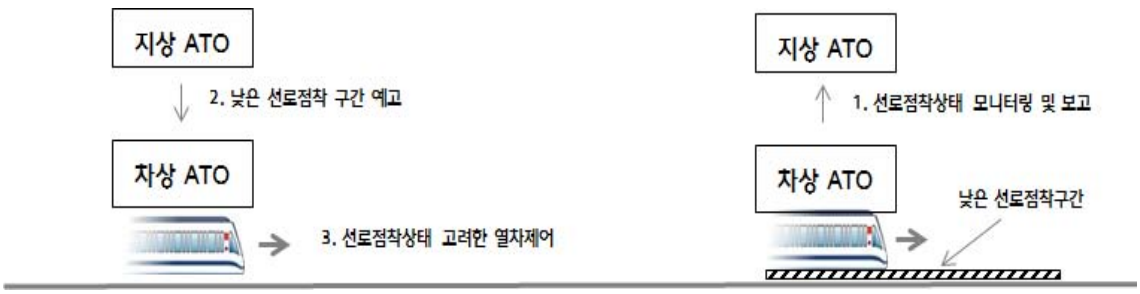


그림 9 선로점착상태를 고려한 추진/제동 제어

- 선로점착상태 모니터링 및 보고 : 각 열차의 ATO는 선로점착상태를 주기적으로 모니터링하여 낮은 선로점착상태를 검지 시 지상 ATO로 보고한다. 차상 ATO는 낮은 선로점착상태 검지 시 최대 추진/제동력 또는 제어속도를 낮춰 열차를 제어한다.

- 낮은 선로점착 구간 예고 : 지상 ATO는 보고된 낮은 선로점착구간 정보를 그 구간을 통과하는 모든 열차에 예고한다.
- 예고된 전방 선로점착상태를 고려한 열차제어 : 차상 ATO는 지상 ATO로부터 낮은 선로점착구간 예고정보를 수신하면 전방의 낮은 선로점착상태를 고려하여 최대 추진/제동력을 낮춰 열차를 제어한다.

나. 차상 ATP/ATO장치 설계 및 제작

(1) 장치 구성

ETCS-L3 ATP/ATO 장치는 ATP/ATO Mechanism Rack, ATP 장치, ATO 장치, SDOU 장치, BTM 장치, 전원 모듈, STU 장치, IO 커넥터로 구성된다.

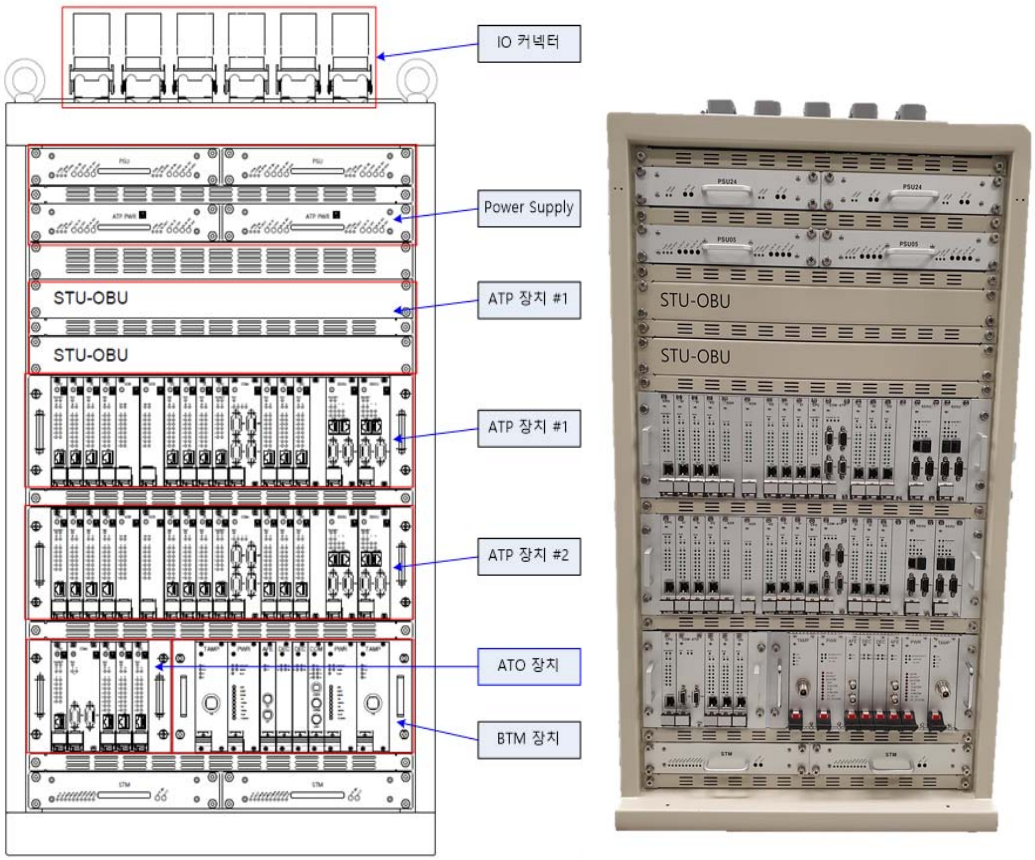


그림 10 차상 ATP/ATO 장치 형상

표 27 차상 ATP/ATO 장치 구성

구 성 품	설 명	비 고
ATP/ATO Mechanism Rack	ATP Mechanism Rack에는 ATP Sub-Rack, Power Supply, I/O Connector, Switch Module, SDU Module, 배선 등이 설치된다.	

ATP 장치	ATP장치는 2중계의 2 out of 2로 구성되며, 지상으로부터의 ATP신호 판별기능, 차내MMI로의 열차속도, 현시정보 및 예고정보 전송기능, 속도조사기능, 출입문 제어기능, 역전기 선택과 열차운행방향 일치 감시기능, FSB 기능 등을 가지는 장치이다.	
ATO 장치	ATP의 속도 프로파일을 기준으로 자동운전 속도 프로파일을 생성하여 열차를 운행하고, 출발 명령에 따라 열차를 자동으로 운행하기 위해 추진/제동 장치를 제어한다. 또한 자동으로 열차를 플랫폼에 정위치정차를 유도하는 기능을 가지고, 열차가 플랫폼에 정차 시 열차의 출입문을 자동은 개방하는 기능을 수행하는 장치이다.	
SDOU 장치	차량의 속도센서와 도플러 레이터 센서로부터 수신한 센서 정보를 기반으로 열차의 속도와 이동방향, 이동거리를 계산하는 장치이다.	
BTM 장치	BTM 장치는 BTM 모듈과 안테나로 구성되며 지상에 설치된 발리스의 텔레그램을 수신하기 위해 tele-power를 송신하고 발리스의 응동 데이터인 telegram을 해석하여 ATP 장치로 전송하기 기능을 수행하는 장치이다.	
전원 모듈	Power Supply는 차량의 DC72V로부터 전원을 공급받아 ATP 장치와 ATO 장치가 사용할 수 있는 DC24V와 DC5.0V를 공급한다. Power Supply는 2중으로 구성되며, 하나는 ATP1을 나머지 하나는 ATP2를 분담한다.	
STU 장치	지상 RBC와 통신하기 위한 통신모듈의 암호화와 복호화 기능을 수행하는 안전 전송 장치이다.	
IO 커넥터	I/O Connector는 ATP/ATO 내부장치 및 ATP/ATO와 외부장치 간에 Interface되는 신호의 연결을 위해 사용된다.	

(2) 차상ATP 장치

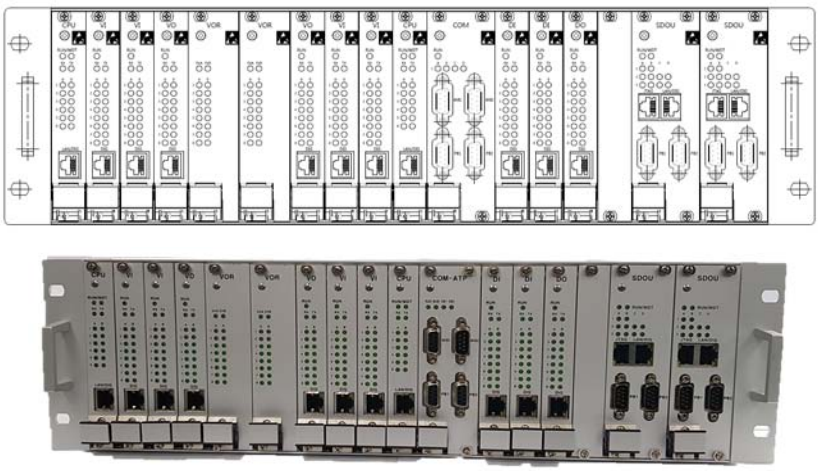


그림 11 ATP 서브랙 형상

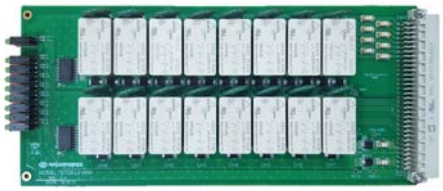
표 28 차상ATP 서브랙 구성

보드	수 량	설 명
CPU 보드	2	전체 운영 및 동작을 제어하는 중앙 프로세서로 입출력보드

		(VI/VO/DI/DO), 속도거리연산보드(SDOU) 및 각 장치와 인터페이스하여 데이터 송수신, 상태 감시 및 제어를 수행한다. CPU 보드는 복합구조(2개 채널)로 설계된다.
COM 보드	1	ATP 외부장치와의 통신을 위한 보드이다.
VI 보드	4	Vital 입력 신호를 처리하는 보드이며, 입력 신호를 CPU보드로 전달한다. VI 보드는 복합구조로 설계된다.
VO 보드	2	Vital 출력 신호를 처리하는 보드이며, CPU보드로부터 수신된 출력신호를 VOR보드로 출력한다. VO 보드는 복합구조로 설계된다.
VOR 보드	2	Relay 보드로, Vital1과 Vital2의 제어를 통하여 출력된다.
DI 보드	2	Non Vital 입력 신호를 처리하는 보드이며, 입력 신호를 CPU보드로 전달한다.
DO 보드	1	Non Vital 출력 신호를 처리하는 보드이며, CPU보드로부터 수신된 출력신호를 출력한다.
SDOU 보드	2	속도센서 및 도플러 센서의 속도 신호를 처리하는 보드이며 생성된 속도, 거리, 방향정보를 CPU보드로 전달한다. SDOU 보드는 복합구조로 설계된다.
Backplane 보드	2	Local보드간 인터페이스 되는 신호들의 통로 역할을 한다. 외부로 인터페이스 되는 신호는 WAGO 단자를 거쳐 AMP 커넥터를 통하여 인터페이스 된다.
서브랙	1	3U 표준 서브랙을 사용한다. 각종 보드 및 마더 보드를 취부 할 수 있도록 구성되어 있다.

표 29 차상 ATP장치의 보드별 형상 및 사양

보드명		형상	설명
ATP	CPU		• MCU : 800MHz, 64 bit • Memory : SDRAM, Flash, eMMC, FRAM • Interface : RS232, Ethernet, CAN, RS422, RS485, SPI, PWM • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)
	VI		• MCU :168MHz, 32 bit • Interface : RS232, CAN, RS422 • Input Channel :16 • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)
	VO		• MCU :168MHz, 32 bit • Interface : RS232, CAN • Output Channel :16 • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)

	VOR		• Ouput Channel :16 • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)
	DI		• MCU :168MHz, 32 bit • Interface : RS232, CAN, RS422 • Input Channel : 16 • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)
	DO		• MCU :168MHz, 32 bit • Interface : RS232, CAN • Output Channel :16 • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)
	COM		• MCU :216MHz, 32 bit • Interface : RS232, Profibus, MVB, SPI • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)
	SDOU		• MCU :180MHz, 32 bit • Interface : RS232, Ethernet, CAN, JTAG, RS485, Profibus • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)

(3) 차상ATO 장치

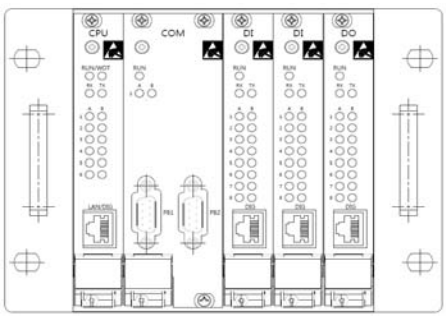




그림 12 ATO 서브랙 형상

표 30 ATP 서브랙 구성

보드	수 량	설 명
CPU 보드	1	차상ATO의 전체 운영 및 동작을 제어하는 중앙 프로세서로 입출력보드(DI/DO), 차상ATP 및 각 장치와 인터페이스하여 데이터

		송수신, 상태 감시 및 제어를 수행한다.
COM 보드	1	ATO 외부장치와의 통신을 위한 보드이다.
DI 보드	2	Non Vital 입력 신호를 처리하는 보드이며, 입력 신호를 CPU보드로 전달한다.
DO 보드	1	Non Vital 출력 신호를 처리하는 보드이며, CPU보드로부터 수신된 출력신호를 출력한다.
Backplane 보드	2	Local보드간 인터페이스 되는 신호의 인터페이스 역할을 한다.
서브랙	1	3U 표준 서브랙을 사용한다. 각종 보드 및 마더보드를 취부 할 수 있도록 구성되어 있다.
서브랙	1	3U 표준 서브랙을 사용한다. 각종 보드 및 마더보드를 취부 할 수 있도록 구성되어 있다.

표 31 차상 ATO장치의 보드 형상 및 사양

보드명		형상	설명
ATO	CPU		• MCU : 800MHz, 64 bit • Memory : SDRAM, Flash, eMMC, FRAM • Interface : RS232, Ethernet, CAN, SPI, PWM • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)
	DI		• MCU :168MHz, 32 bit • Interface : RS232, CAN, RS422 • Input Channel : 16 • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)
	DO		• MCU :168MHz, 32 bit • Interface : RS232, CAN • Output Channel :16 • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)
	COM		• MCU :216MHz, 32 bit • Interface : RS232, Profibus, SPI • Size : 220 x 100 mm(3U) • PCB : FR5(185HR)

다. 열차속도제어기술 및 열차자동운전기술 구현

(1) 차상 ATP 기능

(가) ERTMS/ETCS(Subset-026) ATP 기능

① ERTMS/ETCS 모드 결정 및 전환

차상장치는 ERTMS/ETCS 모드간 전환을 관리한다.
- 완전감시(FS, Full Supervision) 모드
- 차단(IS, Isolation) 모드
- 비선두(NL, Non Leading) 모드
- 무전원(NP, No Power) 모드
- 시각 운전(OS, On Sight) 모드
- 포스트 트립(PT, Post Trip) 모드
- 후진(RV, ReVerse) 모드
- 대기(SB, Stand By) 모드
- 시스템 장애(SF, System Failure) 모드
- 입환(SH, SHunting) 모드
- 휴면(SL, SLeeping) 모드
- STM 국가(SN, STM National) 모드
- 기관사 책임(SR, Staff Responsible) 모드
- 비장착(UN, UNfitted) 모드트립(TR, TRip) 모드
- 비장착(UN, UNfitted) 모드
- 트립(TR, TRip) 모드

② ERTMS/ETCS 레벨 결정 및 전환

차상장치는 ERTMS/ETCS 레벨(0/STM/1/2/3)간 전환을 관리한다.
- 레벨전환 예고 발리스를 수신하면 DMI화면에 레벨 전환 예고 정보가 현시된다.
- ERTMS 레벨 0 / STM / 1 / 2 / 3의 운전자 인지 영역에 진입하기 전에 운전자 인지가 DMI 화면에 표시된다.
- 전환 실행 지점에서 전환 인지가 수신되지 않으면 5초 타이머가 시작된다. 타이머가 인지를 수신하기 전에 종료되면, 상용 제동이 체결된다. 메시지가 인지되면 제동은 완해 된다.

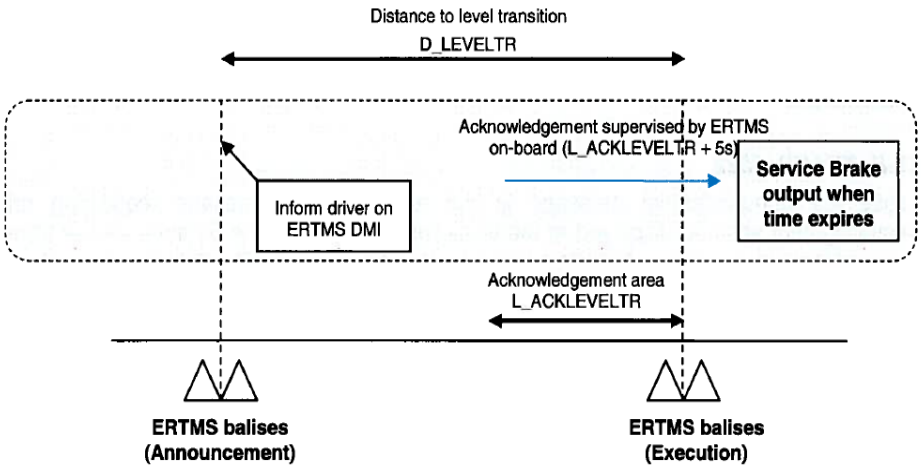


그림 13 ERTMS/ETCS 레벨 전환

③ 발리스 텔레그램 입력 관리
- 발리스와 응동을 통해 발리스 그룹으로부터 발리스 텔레그램을 수신한다.
- 발리스 텔레그램의 데이터가 ETCS 문법에 부합하는지 데이터 유효성 및 일관성을 점검한다.
- 수신된 텔레그램의 헤더와 데이터를 레벨, 모드별 조건에 따라 구분하여 저장 관리한다.

④ RBC 메시지 입력 관리
- RBC와 무선통신을 통해 메시지를 수신하고 수신된 메시지의 시퀀스를 점검한다.
- RBC 메시지가 ETCS 문법에 부합하는지 데이터 유효성 및 일관성을 점검한다.
- RBC와 무선 통신 연결상태를 감시하며 무선 통신 연결상태 장애 발생시 정의된 제어(TRIP/상용제동/무반응)를 실행한다.

⑤ 열차위치관리

㉮ 응동된 기준 발리스(LRBG)를 기준으로한 열차의 위치를 결정한다.
- 마지막 응동한 기준 발리스 그룹(LRBG) ID
- LRBG 발리스로부터 열차가 이동한 거리
- 이동거리 신뢰 간격(Over-reading/Under-reading)
- LRBG 기준으로한 열차 운행방향(orientation)
- LRBG 기준으로한 열차 이동방향(movement direction)
- 열차 속도
- 열차 무결성 상태

㉯ 결정된 열차의 위치를 지정된 주기와 송신 이벤트에 따라 지상RBC로 보고한다.

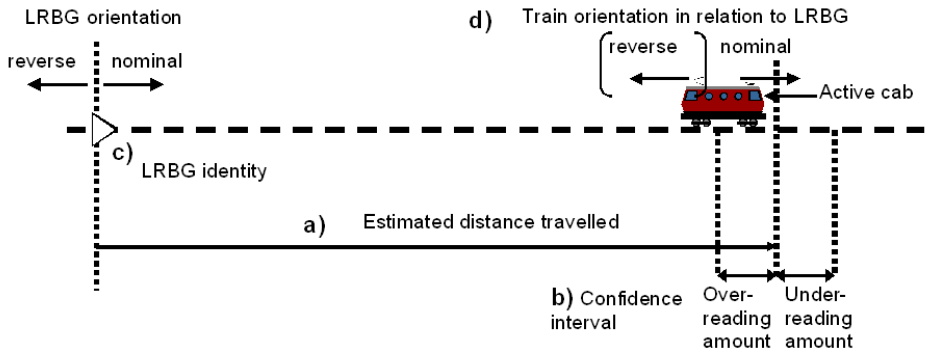


그림 14 열차 위치 결정 및 보고

⑥ 열차 속도 감시 및 제어

㉮ 다음 정적 속도 제한에 따라 열차를 감시한다.
- 정적 속도 프로파일(Static Speed Profile)
- 축하중 속도 프로파일(Axle load Speed Profile)
- 임시 속도 제한(Temporary Speed Restrictions)
- 열차 최대 속도
- 신호기 연계 속도 제한(레벨1만)
- 모드에 따른 속도 제한

㉯ 이동권한 종료지점(EOA)까지의 동적 속도(허용속도, 경고속도, 상용제동속도, 비상제동속도) 프로파일을 계산하고 열차를 감시한다.

㉰ 정적/동적 속도 제한을 초과하면 경고(Warning), 상용제동(SB), 비상제동(EB)를 순차적으로 적용하여 열차를 제어한다.

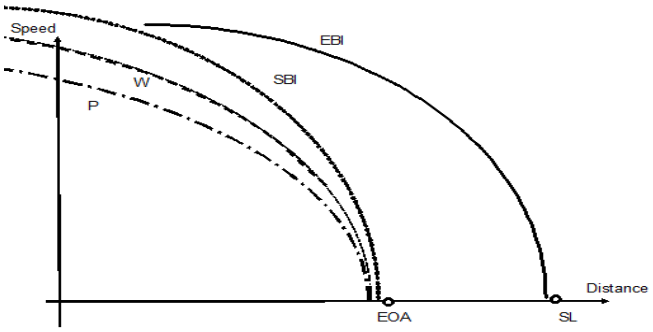


그림 15 동적속도프로파일 생성

(나) 열차 무결성 상태 모니터링 및 보고 기능

① 열차 무결성 검지장치(TIS) 모니터링
- 열차 무결성 상태(Train integrity confirmed by TIS / Train integrity lost) 정보

- 열차 길이 정보

② 안전한 열차 길이 계산 및 위치보고
- 안전한 열차 길이 계산 :열차 무결성 검지장치로부터 확인된 안전 열차 후두부 위치부터 열차 전두부 위치까지 길이

③ 열차 무결성 상태 결정 : 열차 연결확인 및 분리 상태 결정

표 32 열차 무결성 상태 정의

정의값	의미
0	No train integrity information available
1	Train integrity confirmed by integrity monitoring device
2	Train integrity confirmed by driver
3	Train integrity lost

④ 열차의 위치를 지정된 주기와 송신 이벤트에 따라 지상RBC로 보고한다.

표 33 열차 위치보고 데이터(Packet 0)

변수명	설명
NID_PACKET	위치보고 패킷 ID
L_PACKET	패킷 길이
Q_SCALE	거리정보의 스케일
NID_LRBG	기준 발리스 ID
D_LRBG	기준 발리스로부터 열차 이동거리
Q_DIRLRBG	기준 발리스로부터 열차 운행방향
Q_DLRBG	기준 발리스로부터 열차 전두부 방향
L_DOUBTOVER	기준 발리스로부터 이동거리의 불확실성
L_DOUBTUNDER	기준 발리스로부터 이동거리의 불확실성
Q_LENGTH	열차 무결성 상태
L_TRAININT	안전한 열차길이
V_TRAIN	열차 운행 속도
Q_DIRTRAIN	기준 발리스로부터 열차 이동방향
M_MODE	ERTMS/ETCS 모드
M_LEVEL	ERTMS/ETCS 레벨

(다) ATO 운영을 고려한 제어

① ETCS Braking Curve 제어

동적속도프로파일(Dynamic Speed Profile) 구간에서 차상 ATO가 최대성능(최대선로용량)으로 운행되도록 EB 제동곡선을 제외한 Warning ~ SBI곡선의 감시를 하지 않는다.

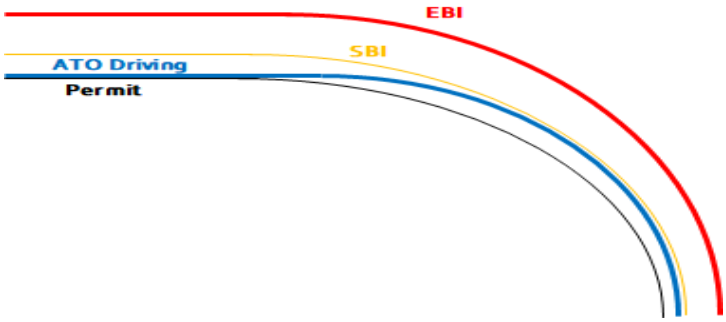


그림 16 ATO 자동운전시 ETCS Braking Curve

② ATO 자동운전시 DMI 속도 지시 상태 변경

- 차상 ATP는 ATO에 의한 자동운전시 DMI 속도 게이지의 지시 상태를 수동운전상태로 다르게 현시한다. 속도게이지는 수동운전시 Warning/Overspeed 조건에서 Yellow(경고상태)로 현시되지만 자동운전시 Warning/Overspeed 조건에서 White(정상상태)로 현시한다.
- 차상 ATP는 ATO에 의한 자동운전시 DMI 속도 바늘의 지시 상태를 수동운전상태로 다르게 현시한다. 속도게이지는 수동운전시 Warning/Overspeed 조건에서 Yellow(경고상태)로 현시되지만 자동운전시 Warning/Overspeed 조건에서 White(정상상태)로 현시한다.

(라) 출입문 개방 허가

① 차상 ATP의 출입문 개방 허가 및 차상 ATO의 출입문 개방 명령 개념

차상 ATO 출입문 개방제어는 차상 ATP의 출입문 개방 허가 조건이 만족했을때만 출입문이 개방되도록 방호기능이 있어야 한다. 그러기 위해 차상 ATP는 발리스 또는 RBC를 통해 승강장정보를 수신하여 출입문 개방 허가 조건이 만족할 때 출입문으로 허가 명령을 송신한다.

② 출입문 개방 허가 조건

- 열차가 지정된 정차위치에 정위치 정차
- 출입문 개방이 허가된 방향에 승강장이 있을 때
- 영속도 검지
- 열차 이동이 제한될 때

③ 지상 RBC/Balise로부터 승강장 정보 입력

- D_TRACKCOND : 승강장 시작 위치
- L_TRACKCOND : 승강장 길이
- Q_PLATFORM : 승강장 방향

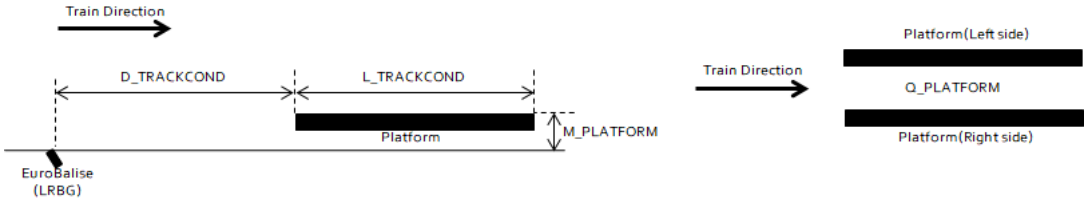


그림 17 승강장 정보

(2) 차상 ATO 기능

(가) 수동/자동운전간 전환 관리

① 수동운전에서 자동운전으로 전환 관리
- 자동운전 가능 조건에서 차상 ATO는 DMI를 통해 운전자에게 자동운전 가능 상태를 알림
  * 자동운전 가능 조건 : ATO 정상 상태, 완전감시모드, 출입문 닫힘 상태, 비상제동 해제 상태, 유효한 이동권한, 유효한 Journey Profile(열차운행관련 정보)과 선로 인프라 정보 수신 상태
- 자동운전 가능 상태에서 운전자는 마스콘을 중립으로 위치하고 자동운전 시작버튼을 취급하여 자동운전을 실행한다.

② 자동운전에서 수동운전으로 전환 관리(모든 자동운전의 해제 조건에서 운전자의 자동운전 해제 확인 요청이 필요함)
- 정차지점에 정위치 정차 시 자동운전은 해제된다.
- 운전자가 자동운전 해제 버튼을 취급 시 자동운전은 해제된다.
- 운전자가 제동 취급(마스콘 제동위치)시 자동운전은 해제된다.
- ETCS ATP에 의한 비상제동 체결 시 자동운전은 해제된다.
- 지상 ATO로부터 수신되는 Journey Profile(열차운행관련 정보)와 선로 인프라 정보가 유효하지 않을 때 자동운전은 해제된다.
- ETCS ATP가 완전감시모드이외의 모드로 전환 시 자동운전은 해제된다.
- 차상 ATO가 고장 시 자동운전은 해제된다.
- 자동운전중 출입문 열림 검지시 자동운전은 해제된다.
- 이동권한 끝 지점에서 열차 정차 시 자동운전은 해제된다.

(나) 자동운전 기능

① 차상 ATO는 지상 ATO와 ETCS ATP로부터 수신된 정보를 이용하여 ETCS ATP 방호 하에 다음 정차지점까지 열차의 추진/제동 제어를 통해 자동운전 한다.

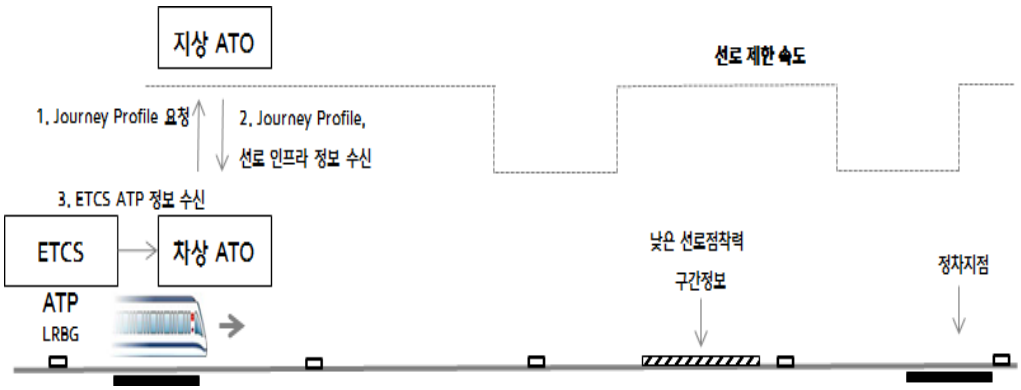


그림 18 열차 자동운전 개념

- Journey Profile 요청 : 차상 ATO는 LRBG를 기준으로한 열차의 위치 정보를 지상 ATO로 송신하며 지상 ATO로 Journey Profile을 요청한다.
- Journey Profile, 선로 인프라 정보 수신 : 차상 ATO는 지상 ATO로부터 다음 정차지점 정보, 낮은 선로점착구간 정보, 임시제한속도구간 정보, Platform 구간 정보를 수신한다.
- ETCS ATP 정보 수신 : 차상 ATO는 ETCS ATP로부터 선로 제한속도, ATP Braking curve, 모드, 이동권한 정보를 수신한다.

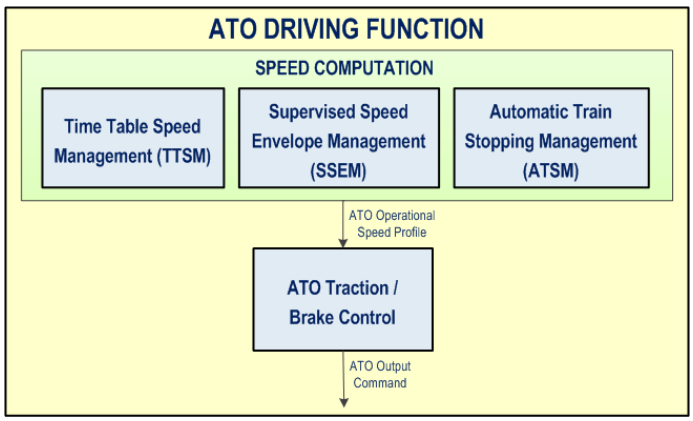


그림 19 ATO 자동운전 기능 구성

② 차상 ATO는 운행시간 관리, ATP에 의해 감시되는 속도관리, 정차지점에 대한 자동정차 관리를 통해 ATO 운영을 위한 속도 프로파일을 생성하며 생성된 속도프로파일을 열차 추진/제동 제어기능을 통해 제어한다.

- 운행시간 관리 : 지상 ATO로부터 수신한 Journey Profile에 포함된 운행시간을 기준으로 에너지효율적인 운행속도 프로파일을 생성한다.
- ATP에 의해 감시되는 속도 관리 : ATP에 감시되는 제한속도를 초과하지 않는 최대속도로 열차를 운행하는 프로파일을 생성한다.
- 정차지점에 대한 자동정차 관리 : 다음 정차지점까지의 거리와 Skip/Stop 상태를 구분하고 정차지점에 정위치 정차하기 위한 프로파일을 생성한다.

(다) ATO 운영 모드 결정

① 차상ATO는 열차가 자동운전으로 정차위치에 정차하게되면 자동열림 절차에 따라 출입문을 제어한다.

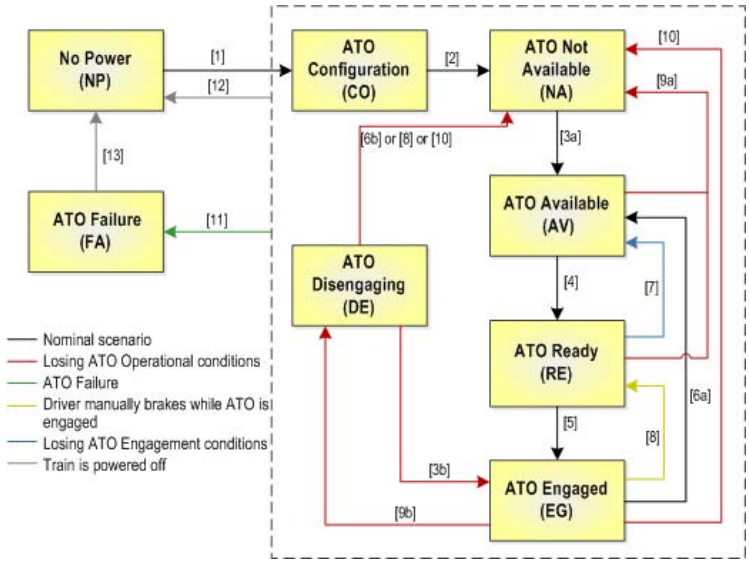


그림 20 ATO 운영 모드 전환

표 34 ATO 운영 모드 전환 조건표

Condition ID	Condition description
[1]	The ATO-OB is powered on.
[2]	The ATO-OB has received the required “ETCS Data” and “Specific ATO Data”.
[3a]	The ATO-OB is Operational.
[3b]	The ATO-OB recovers the ATO Operational Conditions within 5 seconds after changing to DE State.
[4]	ATO Engagement Conditions are fulfilled.
[5]	(The ATO-OB considers the input “ATO Engage” as selected) AND (the TBL is in neutral or traction position),
[6a]	(The train stops at a Stopping Point) AND (the ATO-OB requests “Train Holding Brake” activation).
[6b]	(The train stops) AND (the ATO-OB requests “Train Holding Brake” activation).
[7]	ATO Engagement Conditions are not fulfilled.
[8]	Driver manually brakes using the TBL.
[9a]	The ATO-OB loses any ATO Operational Condition.
[9b]	The ATO-OB loses any ATO Operational Condition except “The ETCS-OB applicable conditions for ATO Operational are fulfilled”).
[10]	The ETCS-OB leaves AD Mode.
[11]	The ATO-OB detects a fault which does not allow performing ATO functions (e.g. connection with ETCS-OB is not active while ATO-OB is not in CO State).
[12]	The ATO-OB is powered off.

(라) 출입문 자동열림 기능

차상ATO는 열차가 자동운전으로 정차위치에 정차하게되면 자동열림 절차에 따라 출입문을 제어한다.

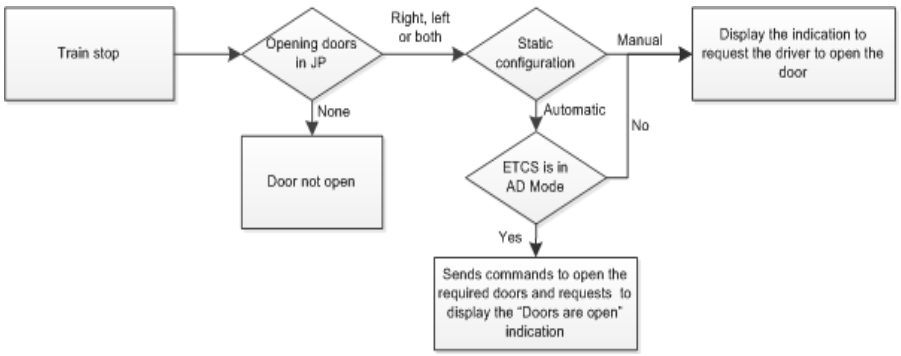


그림 21 출입문 자동열림 기능

(마) 열차 원격 제어

차상ATO는 지상ATO로부터 열차 원격 명령을 수신하여 실시간으로 열차 운행을 제어한다.

- 정차지점 통과(Skip) 명령 : 차상 ATO는 정차지점 통과 명령을 수신하면 정차지점에 정차하지 않고 통과하며 다음 정차지점까지 자동운전을 계속한다.
- 정차지점 정차(Stop) 명령 : 차상 ATO는 정차지점 정차 명령을 수신하면 정차지점에 정차한다.
- 정차유지(Hold) 명령 : 차상 ATO는 정차지점에 정차한 상태에서 정차유지 명령을 수신하면 정차유지 해제 명령을 수신할 때까지 정차를 유지한다.
- 열차 감속 운행 명령 : 차상 ATO는 특정 구간에 대한 감속 운행 명령을 수신(역 통과시 역 구간 감속 운행)하면 열차를 감속 운행한다.
- Dwell Time 제어 : 차상 ATO는 정차지점에 대한 Dwell Time 제어 명령을 수신하면 Dwell Time이 만료될 때까지 열차의 정차를 유지한다.

(바) 운행 보조정보 현시

차상 ATO는 GOA1(수동운전)에서 수동운전 보조정보(목표운행속도/거리)와 운행보조정보를 DMI에 현시하며 GOA2(자동운전)에서는 운행보조정보를 DMI에 현시한다.

표 35 운행보조정보 현시

운행보조정보	GOA1	GOA2
정차지점 Skip/Stop 상태	O	O

자동운전 상태 (GOA1 : 자동운전 가능상태, (GOA2 : 자동운전 진행중)	0	0
ATO 상태	0	0
타행운행 가능상태/추진제동 상태	0	0
남은 Dwell Time/ 목표지점까지 거리	0	0
출입문 방향 정보	0	0
정위치 정차 상태		0
다음 정차지점명	0	0
다음 정차지점까지 도착시간		0
다음 정차지점까지 거리	0	0

(3) 차상 ATP/ATO 인터페이스 설계

차상ATP/ATO의 전체 인터페이스 구성은 다음과 같다.

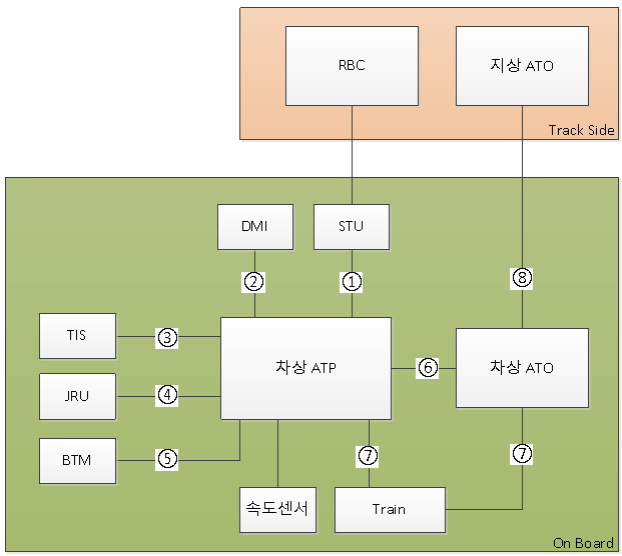
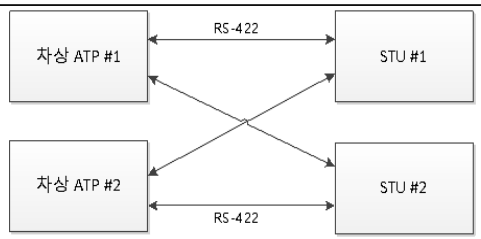
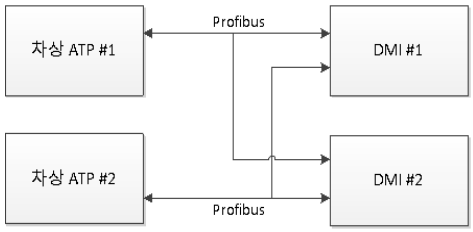
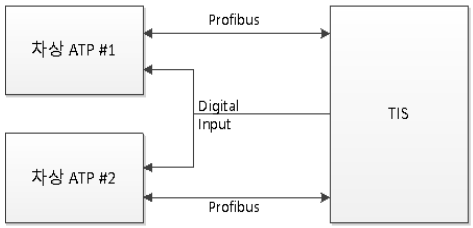
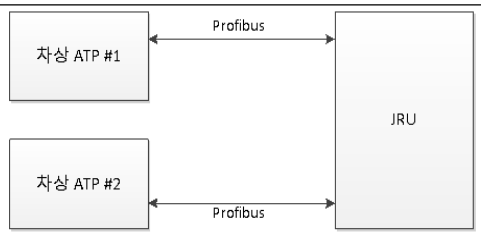
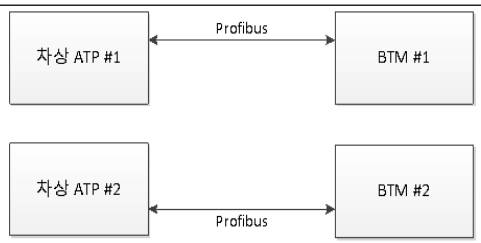
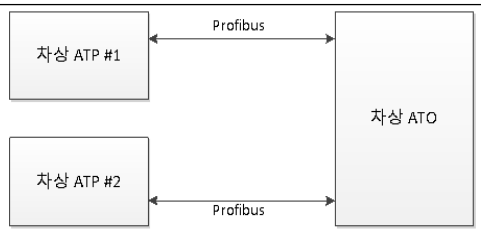


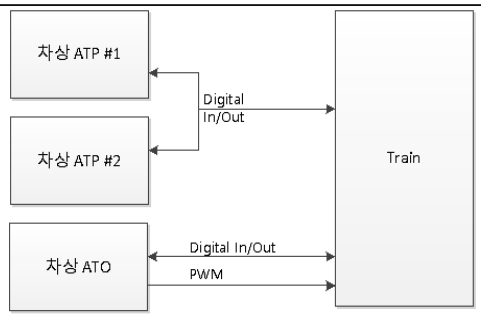
그림 22 차상ATP/ATO 인터페이스 구성

차상ATP/ATO의 각 인터페이스 구성 및 사양은 다음과 같다.

표 36 차상ATP/ATO 인터페이스 사양

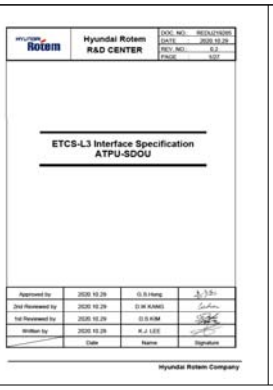
순	인터페이스 구성	인터페이스 사양
①		• 물리적 IF 및 프로토콜 : RS-422 • 정보전송 방향 : 양방향 통신 • 전송 주기 : 각 RBC 메시지 송수신 • 데이터 사이즈 : 최대 1024 Bytes

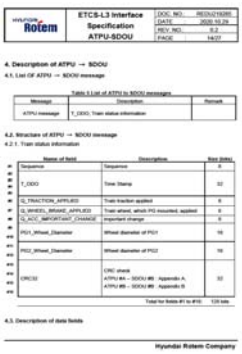
		
②		• 물리적 IF 및 프로토콜 : Profibus • 정보전송 방향 : 양방향 통신 • 전송 주기 : 주기적 통신(300ms) • 데이터 사이즈 : 최대 244 Bytes
③		1) 통신 인터페이스 • 물리적 IF 및 프로토콜 : Profibus • 정보전송 방향 : 양방향 통신 • 전송 주기 : 차상ATP->TIS 500ms, TIS->차상ATP 300ms • 데이터 사이즈 : 최대 244 Bytes 2) 디지털 입력 • 전기적 사양 : DC72V 4채널 • 정보전송 방향 : 단방향(TIS->차상ATP)
④		• 물리적 IF 및 프로토콜 : Profibus • 정보전송 방향 : 양방향 통신 • 전송 주기 : JRU 저장 이벤트 • 데이터 사이즈 : 최대 244 Bytes
⑤		• 물리적 IF 및 프로토콜 : Profibus • 정보전송 방향 : 양방향 통신 • 전송 주기 : 발리스 수신 이벤트 • 데이터 사이즈 : 최대 244 Bytes
⑥		• 물리적 IF 및 프로토콜 : Profibus • 정보전송 방향 : 양방향 통신 • 전송 주기 : 차상ATP->차상ATO 200ms, 차상ATO->차상ATP 100ms • 데이터 사이즈 : 최대 244 Bytes
⑦		1) 디지털 입력/출력 • 전기적 사양 : DC72V • 정보전송 방향 : 양방향 2) PWM • 전기적 사양 : DC24V, 500 Hz • 정보전송 방향 : 단방향(차상ATO->Train)

		
⑧		• 물리적 IF : Ethernet • 통신 프로토콜 : UDP/IP 멀티 캐스트 • 정보전송 방향 : 양방향 통신 • 전송 주기 : 각 이벤트 • 데이터 사이즈 : 최대 65535 Bytes

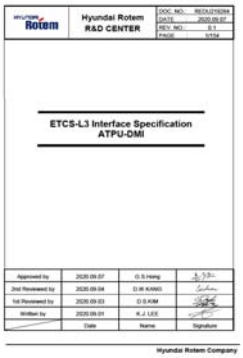
③ 인터페이스 사양서

㉮ ATP 인터페이스 사양서



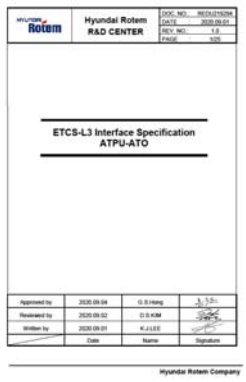


<ATP-SDOU I/F 사양서>



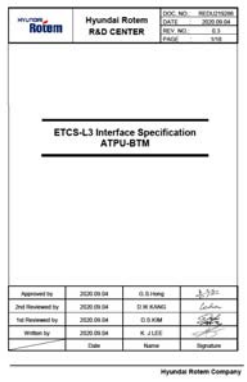


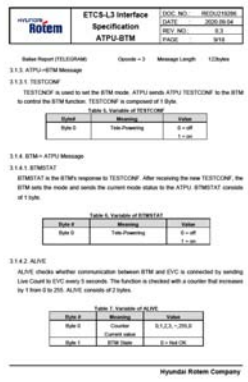
<ATP-DMI I/F 사양서>





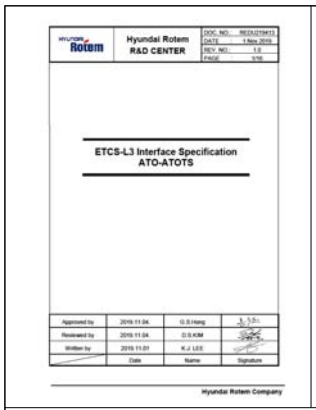
<ATP-ATO I/F 사양서>

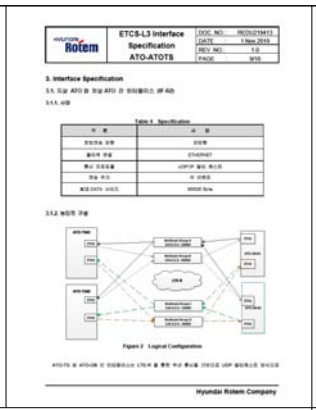




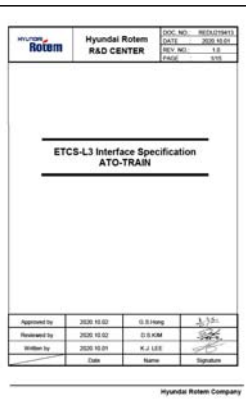
<ATP-BTM I/F 사양서>

㉮ ATO 인터페이스 사양서





<ATO-ATOTS I/F 사양서>





<ATO-TRAIN I/F 사양서>

라. 실험실에서의 단품 시험

(1) 하드웨어 단위시험

(가) ATP/ATO 장치 보드별 단위시험 내용

① 보드별 기능블럭 단위 시험 실시

② 신호 입출력 확인 및 기능 동작 확인

표 37 하드웨어 단위시험 항목

No.	Sub-system	보드명	시험 항목	비고
1	ATPU Equipment	CPU Board	44	
2		COM Board	21	
3		VI Board	59	
4		VO Board	56	
5		VOR Board	13	
6		DI Board	58	
7		DO Board	56	
8		MEM Board	19	
9		ATP BP Board (Main, Sub)	26	
10	ATOU Equipment	CPU Board	44	
11		COM Board	21	
12		DI Board	58	
13		DO Board	56	
14		ATP BP Board (Main, Sub)	11	
15	SDOU Equipment	SDOU Board	60	
16	PSU Equipment	PSU Board(24V, 5V)	22	

(2) 환경시험

차상ATP/ATO 장치가 설치되고 동작되는 환경에서 장치가 규정된 환경조건을 견디고규정의 성능을 유지하는지를 검증한다.

표 38 하드웨어 환경시험 항목

순	시험 항목	시험 규격
1	저온 방치 시험	IEC 60068-2-1:2007
2	고온 시험	IEC 60571:2012
3	고온 · 고습 시험	IEC 60068-2-30:2005
4	온도 사이클링 시험	IEC 60068-2-14:2009
5	과전압 시험	IEC 60571:2012
6	정전기 방전 시험	IEC 61000-4-2:2008
7	서지 내성시험	IEC 61000-4-5:2014+A1:2017
8	과도 버스트 시험	IEC 61000-4-4:2012
9	무선주파수 간섭 시험	IEC 62236-3-2:2018
10	전도성 방출 시험(CE)	IEC 62236-3-2:2018
11	복사성 방출 시험(RS)	IEC 62236-3-2:2018
12	전기자기장 전도 내성시험	IEC 61000-4-6:2013
13	절연저항, 내전압 시험	IEC 60571:2012
14	전압 변동 시험	IEC 60571:2012
15	진동 및 충격시험	IEC 61373:2010

마. RAM 및 안전성 인증 활동

(1) 안전성 활동계획수립

(가) 안전성 활동

- 현대로템에서 수행하는 안전성 활동의 목적은 시스템 개발 시 요구되는 신뢰성, 가용성, 유지보수성에 대하여 정량적 목표를 만족하도록 관리하여 객관적인 정보를 통해 목표를 입증하고, 시스템의 위험원으로 인한 Risk가 허용할 수 있는 수준으로 건전하게 제어되었음을 객관적인 정보를 통해 입증하는 활동을 의미한다.
- 현대로템에서 개발한 차상 ATP/ATO 시스템은 개념 설계부터 개발 제품의 검증 단계까지 안전성 활동을 수행할 것이다.
- 열차제어시스템 안전성 활동은 EN 50126에서 언급하고 있는 V-Cycle를 기반으로 한다. 또한 EN 50126에서 권고하는 수명주기에 따라 활동을 단계별로 실시할 것이다.

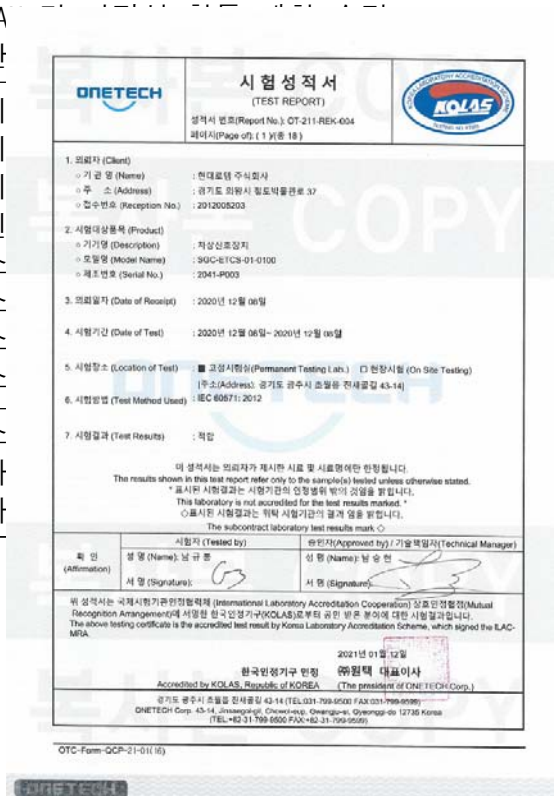
표 39 차상ATP/ATO의 년차 별 안전성 활동 계획

년차	단계 구분	설명



시 험 성 적 서
(TEST REPORT)

<온도, 절연저항, 내전압시험 보고서>



시 험 성 적 서
(TEST REPORT)

<전자기 내성 시험 보고서>



시 험 성 적 서

<전자파 시험 보고서>



시험 성적서

<진동/충격 시험 보고서>

(나) 시스템 안전 계획 (System Safety Plan)

① 작성 목적

- 시스템 안전 계획은 현대로템에서 개발하는 ETCS-L3 장치의 안전성을 확보하기 위해 개발의 수명주기에 따라 안전 활동을 수행하기 위한 계획을 수립하고, 안전 활동을 위한 방법론 등을 정의하기 위한 계획서이다.
- 시스템 안전 계획은 EN 50126, EN 50128, EN 50129, EN 50159 국제 규격을 적용하여 안전성 활동을 위해 필요한 업무, 책임 등을 정의한다.

③ 안전성 활동 관리

- 안전성 활동 조직도은 프로젝트 관리자(PM), 요구사항 관리자(REQ), 설계/구현자(DES/IMP), 시험자(TST/INT), 형상관리자(CM), 검증자(VER), 확인자(VAL), 품질보증관리자(QAM), 독립검증기관(ISA)로 구성되어 활동을 진행할 것이다.
- 구성원의 역할과 책임은 아래 그림과 같다.

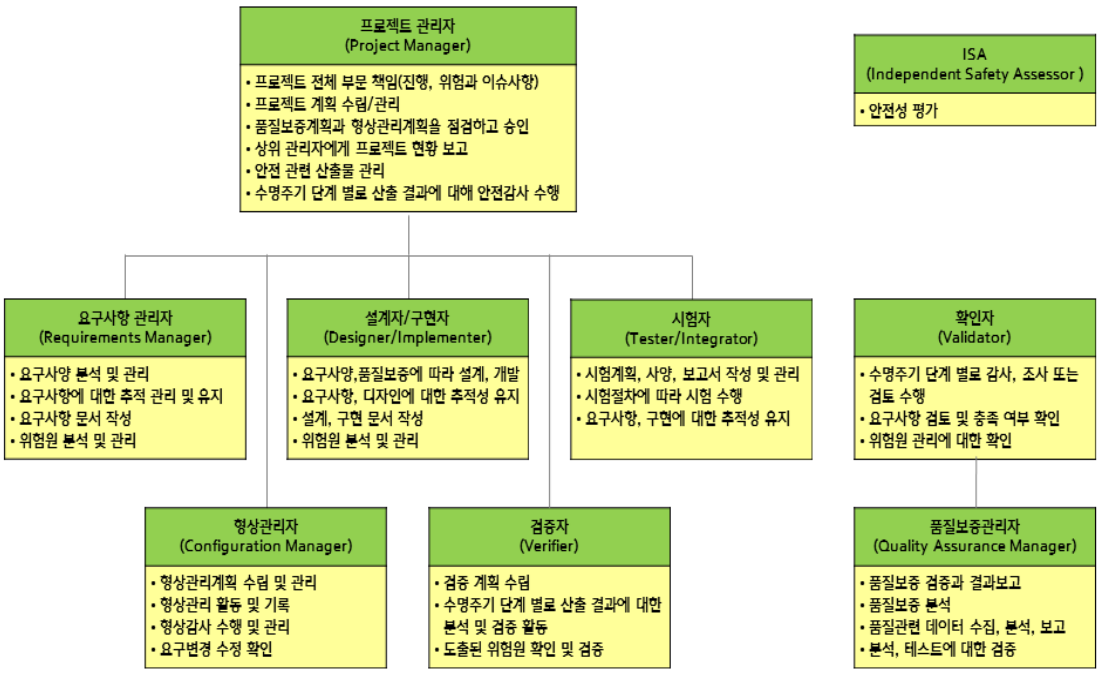


그림 23 안전성 활동 조직

④ 안전 요구사항

- ETCS-L3 안전성 활동을 수행하기 위해 안전요구사항을 정의할 것이며, System Safety Requirements Specification(SSRS) 문서에 정의하여 관리할 것이다.
- 소프트웨어 설계에 대한 안전요구사항은 EN 50128:2011 Annex A(Table A.1 ~ A.23)을 참조하여 정의하고, 시스템/하드웨어 설계에 대한 안전요구사항은 EN 50129:2003 Annex E(Table E.1 ~ Table E.10)을 참조하여 정의하였다.
- 7단계의 수명주기는 시스템 정의 단계, 시스템 요구사양 정의 단계, 안전 요구사양 정의 단계, 시스템 설계 단계, 하드웨어 설계 단계, 소프트웨어 설계 단계, 시스템 요구사항 검증 단계로 구분하여 수행할 것이다.

⑤ RAM 분석

- 설계된 ETCS-L3 차상신호장치의 신뢰성 분석은 MIL-HDBK-217F를 적용하여 하드웨어에 대한 신뢰성을 분석하여 평균 무고장 시간(MTBF : Mean Time between Failures)
- 설계된 장치의 LRU(Line Replaceable Unit) 단위의 평균 수리 시간(MTTR : Mean Time to Repair)을 계산하여 개발된 ETCS-L3 차상신호장치의 유지보수시간을 예측한다.
- 예측된 MTBF 값과 MTTR 값을 적용하여 가용성 값을 예측한다.

⑥ 신뢰성 분석 도구

- 개발된 ETCS-L3 차상신호장치의 신뢰성 분석은 입증은 FTA 기법을 적용할 것이며, 사용되는 분석 도구는 Reliability Workbench(Isograph)를 이용할 것이다.

⑦ 안전성 활동 교육

- 안전성 활동을 위해서는 관련 규격 등에 대한 교육이 필요하며, 이를 위해 EN 50126, EN 50128, EN 50129에 대한 교육을 실시할 것이다.

⑧ RAMS 산출물 정의

- 전체 수명주기 단계 별 산출물 목록은 다음과 같다.

표 40 수명주기 단계별 산출물 목록

단계	문서명	
시스템 정의	SSP	ETCS-L3 System Safety Plan
	SQMP	ETCS-L3 System Quality Management Plan
	SCMP	ETCS-L3 System Configuration Management Plan
	SwQAP	ETCS-L3 Software Quality Assurance Plan
	SwCMP	ETCS-L3 Software Configuration Management Plan
	SVVP	ETCS-L3 System Verification & Validation Plan
시스템 요구사양 정의	SRS	ETCS-L3 System Requirement Specification
	SRTS	ETCS-L3 System Requirement Test Specification
	SRTC	ETCS-L3 System Requirement Test Case
	SRVR	ETCS-L3 System Requirement Verification Report
	ETP	ETCS-L3 Environment Test Plan
안전 요구사양 정의	SSRS	ETCS-L3 System Safety Requirements Specification
	SSRVR	ETCS-L3 System Safety Requirement Verification Report
시스템 설계	SAS	ETCS-L3 System Architecture Specification
	SAVR	ETCS-L3 System Architecture Verification Report
	SFMEA	ETCS-L3 System FMEA
	HL	ETCS-L3 Hazard Log
	IS	ETCS-L3 Interface Specification
	FTAR	ETCS-L3 Fault Tree Analysis Report
하드웨어 설계	HwDS	ETCS-L3 Hardware Design Specification
	HwDVR	ETCS-L3 Hardware Design Verification Report
	RAMAR	ETCS-L3 RAM Analysis Report
	CFMEAR	ETCS-L3 Component FMEA Report

	HwUTP	ETCS-L3 Hardware Unit Test Plan
	HwUTPDV	ETCS-L3 Hardware Unit Test Plan and Drawing Verification
	HwUTR	ETCS-L3 Hardware Unit Test Report
소프트웨어 설계	SwRS	ETCS-L3 Software Requirements Specification
	SwRTS	ETCS-L3 Software Requirements Test Specification
	SwRVR	ETCS-L3 Software Requirements Verification Report
	SwITP	ETCS-L3 Software Integration Test Plan
	SwITC	ETCS-L3 Software Integration Test Case
	SwRTS	ETCS-L3 Software Requirements Test Specification
	SwRTC	ETCS-L3 Software Requirements Test Case
	SwHwITP	ETCS-L3 Software Hardware Integration Test Plan
	SwHwITC	ETCS-L3 Software Hardware Integration Test Case
	SwAS	ETCS-L3 Software Architecture Specification
	SwAVR	ETCS-L3 Software Architecture & Design Verification Report
	SwDS	ETCS-L3 Software Design Specification
	SwDVR	ETCS-L3 Software Design Verification Report
	SwMDS	ETCS-L3 Software Module Design Specification
	SwMDTR	ETCS-L3 Software Module Design Test Report
	SwMVR	ETCS-L3 Software Module Verification Report
	SwMTS	ETCS-L3 Software Module Test Specification
	SwMTC	ETCS-L3 Software Module Test Case
	SwSCVR	ETCS-L3 Software Source Code Verification Report
	SwMTR	ETCS-L3 Software Module Test Report
	SwITR	ETCS-L3 Software Integration Test Report
	SwHwITR	ETCS-L3 Software Hardware Integration Test Report
	SwRTR	ETCS-L3 Software Requirements Test Report
	SwVR	ETCS-L3 Software Validation Report
시스템 요구사양 검증	SRTR	ETCS-L3 System Requirement Test Report
	SVR	ETCS-L3 System Validation Report
	ETR	ETCS-L3 Environment Test Report
	SSC	ETCS-L3 System Safety Case

⑨ Safety Case

- Safety Case는 ETCS-L3 차상신호장치의 승인뿐만 아니라, 전 제품 수명기간 동안에 요구사항을 만족하고 있다는 것을 입증하기 위해 작성된다. Safety Case는 EN 50129에서 정의된 절차에 따라 수행될 것이며, 품질, 안전, 기술 요구사양에 대해 기술할 것이다.

(다) 시스템 형상관리 계획 (System Configuration Management Plan)

- 형상 관리 계획서는 ETCS-L3 차상신호장치를 개발하는 단계에서 산출되는 다양한 형상관리 항목을 정의하고 관리하기 위한 목적으로 사용된다. 주요 목적은 다음과 같

다.

· 허가받지 않은 변경에 대한 보호
· 형상 항목에 대한 변경 사항을 제어하고 기록
· 프로젝트의 다양한 요소들과 하위 시스템 간의 적절한 조율

- 형상관리 절차
  · 형상관리 프로세스의 목적은 전체 라이프 사이클에 따라 개발기간 동안 시스템의 일관성을 확립하기 위함이다.
  · 모든 형상관리(시스템 및 소프트웨어) 절차는 형상식별, 형상변경, 형상상태기록 및 보고, 형상감사 4단계로 나누어 관리한다.
- 형상관리 프로세서 별 구성원 정의
- 형상 통제
  · 형상변경관리는 베이스라인 초기 배포 후 발생하는 모든 형상변경에 대해 관리하는 것을 의미한다. 형상변경관리는 8단계의 절차로 구성되어 통제한다.

표 41 형상관리 활동 별 구성원 정의

형상관리 활동	해당 구성원
형상관리 조직 구성	Project Manager
형상 항목 식별	Designer, Implementer, Tester, Integrator, Configuration Manager
형상관리계획서 작성	Configuration Manager
형상관리계획서 검토	Project Manager, Verifier, Validator
형상관리계획서 승인	Project Manager, Verifier, Validator
형상관리계획서 확정	Configuration Manager
형상관리시스템 구성	Configuration Manager
형상관리 교육/훈련	Configuration Manager
베이스라인 검토 요청	Configuration Manager
베이스라인 검토	Project Manager, Verifier, Validator
베이스라인 승인	Project Manager, Verifier, Validator
베이스라인 생성 및 배포	Configuration Manager
베이스라인 검증 & 베이스라인에 의거하여 개발 수행	Implementer, Tester, Integrator
변경 요청	Designer, Implementer, Tester, Integrator, Configuration Manager, Project Manager, Verifier, Validator
변경 검토	Configuration Manager
변경 협의	Configuration Control Board
변경 승인	Configuration Control Board
변경 요청 건 반려	Configuration Control Board
형상 변경	Designer, Implementer, Tester, Integrator
변경 확인 및 베이스라인 변경	Designer, Implementer, Tester, Integrator

변경된 베이스라인 통보	Configuration Manager
형상상태 기록	Configuration Manager
형상상태 보고서 작성	Configuration Manager
형상상태 통보	Designer, Implementer, Tester, Integrator
형상감사 준비	Configuration Manager
형상감사 수행	System/Software Quality Manager
형상감사 보고서 작성	System/Software Quality Manager
형상감사 보고서에 따른 조치수행	Configuration Manager
시정 및 예방활동 수행	Designer, Implementer, Tester, Integrator

(라) 시스템 품질 관리 계획 (System Quality Management Plan)

① 시스템 품질 관리 계획의 목적

- 수명주기의 각 단계에서 인적 오류의 발생을 최소화하여 시스템, 하위 시스템 또는 장비의 결함 위험을 줄이는 것이다.
- 시스템 품질 관리 계획은 EN 50126 표준에 정의에 따라 시스템/하위시스템/장비 수명주기 전반에 걸쳐 적용한다.
- 품질 관리 절차는 현대로템의 내부 품질관리 절차에 따라 수행할 것이다.

② 품질관리 절차

- 프로젝트 품질 시스템과 현대로템의 주요 프로세스는 ISO 9001 : 2008을 기준으로 진행되며 품질 관리를 수행한다.
- 품질 관리는 QMP 문서를 통해 관리 절차 및 항목을 정의하여 관리한다.

③ 협력업체 관리 방안

- ETCS-L3 차상신호장치 제작, 납품업체의 품질 관리 계획 및 검증 방안에 대해 감사를 통해 확인하고 관리를 수행한다.
- 수명주기 동안 2회의 품질 감사를 실시할 것이며, 품질 감사에 대한 보완 및 시정 조치 후 결과를 확인할 것이다.

(마) 시스템 확인 및 검증 계획 (System Verification and Validation Plan)

- 확인 및 검증 계획은 ETCS-L3 차상신호장치를 개발하는 전체 수명주기 동안의 모든 활동에 대한 확인 및 검증을 수행하기 위한 계획이다.
- ETCS-L3 차상신호장치의 확인 및 검증 활동은 아래 그림의 절차에 따라 수행할 것이며, 최상위 요구사양으로 정의하여 시스템 Hazard 분석, 시스템 구조설계, SW 설계 및 제작, 하드웨어 설계 및 제작, SW 시험, SW/HW 통합시험, SW 확인시험, 시스템 확인시험 등 전 Life-Cycle에 대한 V&V 활동은 물론 추적성을 유지하며 활동한다.
- 확인 및 검증 활동은 각 단계 별로 수행되며 확인 및 검증 활동을 수행하기 위한 입력 문서와 결과물은 아래 표와 같다.

표 42 확인 및 검증 활동 산출물

구분	입력 문서	확인 및 검증 산출물
시스템	System Requirements Specification	System Requirements Verification Rep

/하드웨어	System Requirements Test Specification	ort
	System Architecture Specification	System Architecture Verification Report
	Hardware Design Specification Hardware Unit Test Specification	Hardware Design Verification Report
	Hardware Unit Test Specification	Hardware Unit Test Report
	Environment Test Plan	Environment Test Report
	System Requirements Specification System Requirement Test Report	System Validation Report
소프트웨어	Software Requirements Specification Software Requirements Test Specification	Software Requirements Verification Report
	Software Requirements Specification Software Architecture Specification Software Design Specification	Software Architecture & Design Verification Report
	Software Module Design Specification Software Module Test Specification	Software Module Verification Report
	Software Module Design Specification Software Module Test Specification Software Source Code	Software Source Code Verification Report

(2) 요구사양 도출

(가) 시스템 안전 요구사양 분석

- 시스템 안전 요구사양(SSRS : System Safety Requirement Specification)은 현대로템에서 개발한 ETCS-L3 차상신호장치의 안전 요구사항에 대해 정의한 문서이다.
- 설계 및 분석을 통해 정의된 위험원이 안전 측으로 동작함을 전체 수명주기에 걸쳐 입증을 수행할 것이다.
- 위험원 정의
  ·ETCS-L3 차상신호장치는 유럽 표준인 ETCS에 기반을 둔 시스템으로 ETCS subset에서 요구하는 위험원에 대해 입증할 것이다.
  ·관련 규격 : subset-088 (ETCS Application - Safety Analysis (Functional Analysis))
- THR (Tolerable Hazard Rates) 정의
  ·ETCS-L3 차상신호장치 최상위 THR 정의 : 0.67x10-9 (subset-088 part 3 참조)
  ·규격에 정의된 fault tree 구조는 다음 그림과 같이 표현되며, 개발된 장치에 대해 component 단위의 고장율을 산출하여 THR 값을 만족하는지 입증할 것이다.
  ·각 위험원에 THR값(DMI, ODO, KERNEL, Train Interface, Euro Balise, BTM, Track side, Euro Radio, External System, Driver, Engineering, Information Point)을 할당하였다.

표 43 THR 정의 (KERNEL)

Event ID.	Event 설명	THR	비고
KERNEL-1	Balise linking consistency checking failure	$6.24x10^{-9}$	SIL4 level 동일한 하드웨어 장치에서 동작하기 때문의 하나의 영향으로 분석함
KERNEL-2	Balise group message consistency checking failure		
KERNEL-3	Failure of radio message correctness check		
KERNEL-4	Radio sequencing checking failure		
KERNEL-5	Radio link supervision function failure		
KERNEL-6	Manage communication session failure		
KERNEL-7	Incorrect LRBG		
KERNEL-8	Emergency Message Acknowledgement Failure		
KERNEL-9	Speed calculation underestimates train speed		
KERNEL-10	Functional failure of standstill detection		
KERNEL-11	Incorrect traction/braking model (e.g. brake use restrictions)		
KERNEL-12	Failure of standstill supervision		
KERNEL-13	Failure of backward distance monitoring		
KERNEL-14	Failure of reverse movement protection		
KERNEL-15	Incorrect cab status (TIU failure)		
KERNEL-16	Incorrect train status TIU sleeping/cab status		
KERNEL-17	Wrong Acceptance of MA		
KERNEL-18	Failure to manage RBC/RBC		
KERNEL-19	Failure of train trip supervision in OS and FS		
KERNEL-20	Failure of train trip supervision, shunting and SR		
KERNEL-21	Incorrect supervision of stop in SR		
KERNEL-22	Incorrect current EoA		
KERNEL-23	Incorrect train position / train data sent from onboard to trackside		
KERNEL-24	Failure of message acknowledgement		
KERNEL-25	Incorrect traction/braking model (Acceleration only)		
KERNEL-26	Deleted		
KERNEL-27	Incorrect System Data (e.g. current level)		
KERNEL-28	Incorrect confidence interval		
KERNEL-29	Failure to shorten MA		
KERNEL-30	Incorrect shortening of MA		
KERNEL-31	Deleted		
KERNEL-32	Failure of loop message consistency checking		
KERNEL-33	Wrong processing of MA information		
KERNEL-34	Incorrect supervision of MA time-outs (sections and overlaps)		

표 44 THR 정의 (Train Interface)

Event ID.	Event 설명	THR	비고
TI-1	Service brake / emergency brake not commanded when required	$1.0x10^{-9}$	SIL4 level 동일한 하드웨어 장치에서 동작하기 때문의 하나의 영향으로 분석함
TI-2	Service brake / emergency brake release commanded when not required		
TI-3	Inappropriate sleeping request		
TI-4	Incorrect brake status (TIU failure)		
TI-5	Incorrect direction controller position report (TIU failure)		
TI-6	Loss of Cabin Active signal		

표 45 THR 정의 (Track Side)

Event ID.	Event 설명	THR	비고
TRACK-1	Incorrect gradient (track description)	$0.67x10^{-9}$	Subset-088 Part 3, section 6.1.1.3 Trackside failure rate
TRACK-3	Incorrect signalling related speed restriction		
TRACK-4	Incorrect MA data		
TRACK-5	Incorrect system data. V_NVREL		
TRACK-6	Incorrect track description		

표 46 THR 정의 (Euro Radio)

Event ID.	Event 설명	THR	비고
TRANS-OB /RADIO-1	Incorrect radio message received by the on-board kernel functions as consistent	$0.11x10^{-9}$	Subset-088 Part 3, section 6.1.1.3 Transmission On-board EUR failure rate
TRANS-TS /RADIO-1	Incorrect on-board radio message received by RBC kernel functions as consistent	$0.11x10^{-9}$	Subset-088 Part 3, section 6.1.1.3 Transmission Trackside EUR failure rate

표 47 THR 정의 (Engineering)

Event ID.	Event 설명	THR	비고
ENG-1A	Incorrect engineering data processing	0.001	Subset-088 Part 3, section 5.5.1.1
ENG-1B	Incorrect engineering data processing		

ENG-2	Incorrect engineering data (for a mission)		Unavailability (Q) 값과 동일한 값 적용
ENG-3	Incorrect engineering data (fixed Data)		

(3) 시스템 위험원 분석 결과

설계된 결과를 기반으로 FTA 분석을 진행하였으며, 설정된 THR 목표 값에 대해 분석 결과는 아래 표와 같다. 안전 기능 요구 사항, 설계에 필요한 SIL을 준수하는 기술 및 측정을 실현하기 위해 안전 계획 및 시스템 안전 요구 사항 사양을 기반으로 시스템 아키텍처 및 하드웨어 설계 사양이 작성되었음을 확인하였다.

표 48 FTA 분석 결과

No.	Hazard ID (Requirement ID)	Safety Function ID	Safe State	Target		Achievement	
				THR(/h)	SIL	THR(/h)	SIL
1	KERNEL-1 (SSRS_ATPU_1_0)	SSRS_ATPU_1_1	Emergency Brake	6.24*10-9	SIL4	2.586x10-9	SIL4
2	KERNEL-2 (SSRS_ATPU_2_0)	SSRS_ATPU_2_1 SSRS_ATPU_2_2 SSRS_ATPU_2_3 SSRS_ATPU_2_4 SSRS_ATPU_2_5 SSRS_ATPU_2_6 SSRS_ATPU_2_7 SSRS_ATPU_2_8	Safe State: Service brake	6.24*10-9	SIL4	2.586x10-9	SIL4
3	KERNEL-3 (SSRS_ATPU_3_0)	SSRS_ATPU_3_1 SSRS_ATPU_3_2	message reject and inform to wayside	6.24*10-9	SIL4	2.586x10-9	SIL4
일부 항목을 보고서에 기술하지 않음							
23	KERNEL-23 (SSRS_ATPU_23_0)	SSRS_ATPU_23_1 SSRS_ATPU_23_2 SSRS_ATPU_23_3 SSRS_ATPU_23_4 SSRS_ATPU_23_5 SSRS_ATPU_23_6 SSRS_ATPU_23_7 SSRS_ATPU_23_8 SSRS_ATPU_23_9 SSRS_ATPU_23_10	Emergency Brake	6.24*10-9	SIL4	2.586x10-9	SIL4
24	KERNEL-24 (SSRS_ATPU_24_0)	SSRS_ATPU_24_1 SSRS_ATPU_24_2 SSRS_ATPU_24_3 SSRS_ATPU_24_4	Emergency Brake	6.24*10-9	SIL4	2.586x10-9	SIL4
25	KERNEL-25 (SSRS_ATPU_25_0)	SSRS_ATPU_25_1 SSRS_ATPU_25_2 SSRS_ATPU_25_3 SSRS_ATPU_25_4 SSRS_ATPU_25_5 SSRS_ATPU_25_6 SSRS_ATPU_25_7 SSRS_ATPU_25_8 SSRS_ATPU_25_9 SSRS_ATPU_25_10 SSRS_ATPU_25_11	Emergency Brake	6.24*10-9	SIL4	2.586x10-9	SIL4

26	KERNEL-27 (SSRS_ATPU_27_0)	-	Emergency Brake	6.24*10-9	SIL4	2.586x10-9	SIL4
27	KERNEL-28 (SSRS_ATPU_28_0)	SSRS_ATPU_28_1 SSRS_ATPU_28_2 SSRS_ATPU_28_3	Emergency Brake	6.24*10-9	SIL4	2.586x10-9	SIL4
일부 항목을 보고서에 기술하지 않음							
34	ODO-4 (SSRS_ODO_4_0)	SSRS-ODO-4_1 SSRS-ODO-4_2 SSRS-ODO-4_3	1. Under non-failure-system, SDOU shall determine the movement direction of train by using the input signal from 2 PG sensors and 2 Doppler radars installed on the discrete different bogies. 2. If the calculated tolerance range is over 5%, SDOU shall recognize the failure, and then, block the output of communication. 3. SDOU shall detect the failure state of PG sensors, and then detects the failure of system	1.0x10-10	SIL4	5.124x10-11	SIL4

(4) 시스템 구조 및 디자인 사양 정의

(가) ETCS L3 ATP/ATO 시스템 구조

① ERTMS/ETCS 시스템의 전체 구성은 다음과 같다. ETCS-L3 ATP/ATO는 ATPU, SDOU, BTM, ATO의 4개의 서브시스템으로 구성된다. 각각의 서브시스템은 다음의 기능을 수행한다.

- ATPU 장치 : ETCS Kernel 기능
- SDOU 장치 : Odometry 기능
- BTM 장치 : 안테나를 통해 발리스 수신 기능
- ATO 장치 : 자동운전 기능

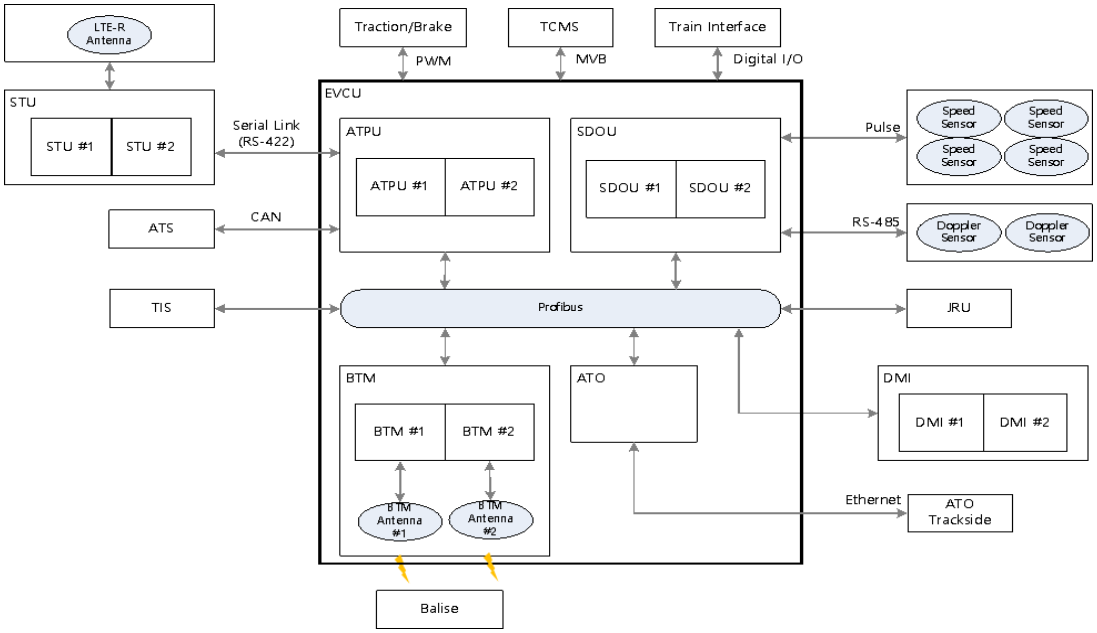


그림 24 시스템 구조

② ATPU 주요기능

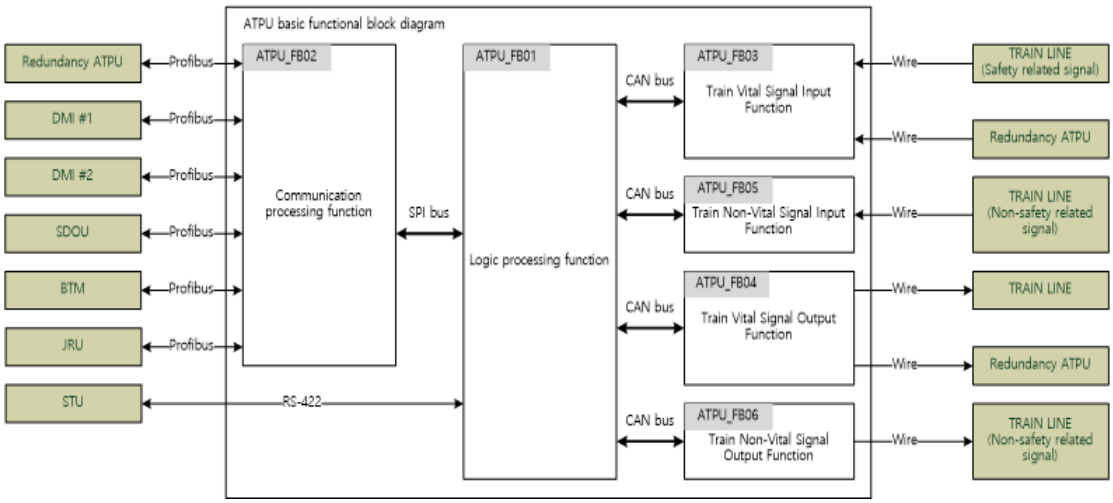


그림 25 ATPU 주요 기능블록도

표 49 ATPU 주요기능

Function ID	Function Name	Function Description
ATPU_FB01	Logic processing function	ATPU의 모든 기능에 대한 논리 연산을 수행함. ATPU_BF02 ~ ATPU_BF06 기능 블록과 통신 인터페이스를 수행하여 데이터를 교환하고, STU 장치와 통신 인터페이스를 수행하여 데이터를 교환함
ATPU_FB02	Communication processing function	ATPU_FB01과 Redundancy, DMI #1, DMI #2, SDOU, BTM, JRU 사이의 데이터 교환을 위한 통신 기능으로 수행하며, 통신

		방식은 Profibus 통신을 통하여 수행함.
ATPU_FB03	Train Vital Signal Input Function	Train Line의 safety related signal을 수신 받아 CAN bus 통신을 통해ATPU_FB01로 전달하는 기능을 수행함.
ATPU_FB04	Train Vital Signal Output Function	ATPU_FB01에서 CAN bus 통신을 통해 safety related signal을 전달 받아 Train Line으로 출력하는 기능을 수행함
ATPU_FB05	Train Non-Vital Signal Input Function	Train Line의 non-safety related signal을 수신 받아 CAN bus 통신을통해ATPU_FB01로 전달하는 기능을 수행함.
ATPU_FB06	Train Non-Vital Signal Output Function	ATPU_FB01에서 CAN bus 통신을 통해 non-safety related signal을 전달 받아 Train Line으로 출력하는 기능을 수행함

③ ATOU 주요기능

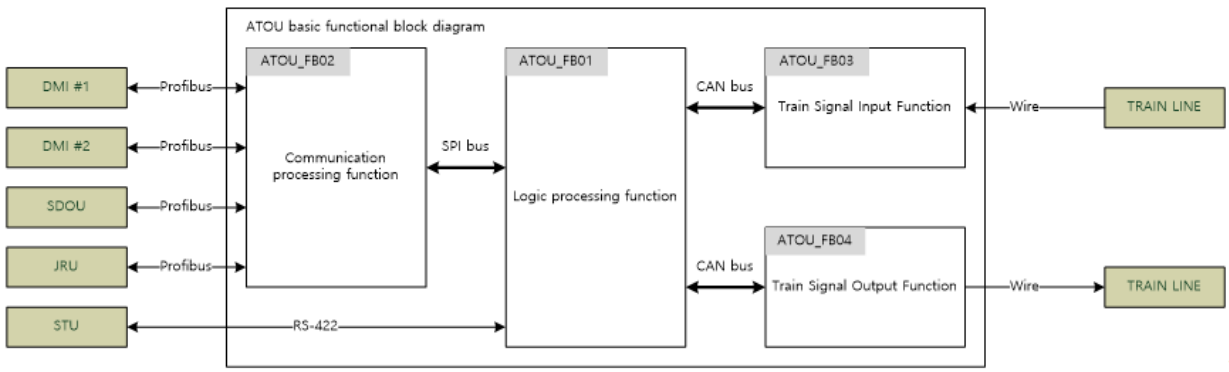


그림 26 ATOU 주요 기능 블록도

표 50 ATOU 주요 기능

Function ID	Function Name	Function Description
ATOU_FB01	Logic processing function	ATOU의 모든 기능에 대한 논리 연산을 수행함. ATOU_BF02 ~ ATOU_BF04 기능 블록과 통신 인터페이스를 수행하여 데이터를 교환하고, STU 장치와 통신 인터페이스를 수행하여 데이터를 교환함
ATOU_FB02	Communication processing function	ATOU_FB01과 Redundancy, DMI #1, DMI #2, SDOU, BTM, JRU 사이의 데이터 교환을 위한 통신 기능으로 수행하며, 통신 방식은 Profibus 통신을 통하여 수행함.
ATOU_FB03	Train Signal Input Function	Train Line의 신호를 수신 받아 CAN bus 통신을 통해ATOU_FB01로 전달하는 기능을 수행함.
ATOU_FB04	Train Signal Output Function	ATOU_FB01에서 CAN bus 통신을 통해 신호를 전달 받아 Train Line으로 출력하는 기능을 수행함

(5) 신뢰성 및 안전성 입증

ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification의 2장에 있는 RAM 요구사항을 목표수준을 선정하였다. RAM 분석을 수행하고 RAM 요구사항을 만족하였음을 입증하였다.

(가) 신뢰성 분석

① RBD 구조

ETCS-L3 ATP/ATO 신뢰성 분석은 RBD 단위로 수행하였다. ATOU 장치의 경우 고장이 발생하더라도 시스템에 위험을 초래하지 않는 non-safety 장치이고, 발생한 고장은 ATPU 장치가 수행하는 기능에서 방호가 되기 때문에 분석에서 제외하였다. 아래에 ETCS-L3, ATPU, SDOU, PSU에 대한 RBD 구조를 나타내었다.



그림 27 ETCS-L3 ATP/ATO 시스템 RBD

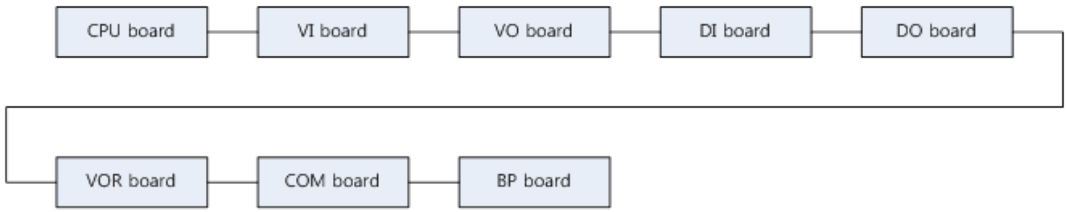


그림 28 ETCS-L3 ATPU RBD

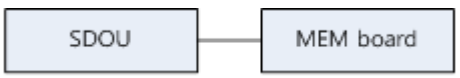


그림 29 ETCS-L3 SDOU RBD

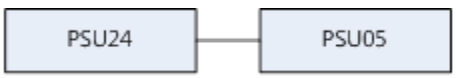


그림 30 ETCS-L3 PSU RBD

② 신뢰성 분석 결과

표 51 ETCS-L3 ATPU MTBF analysis result

System	Board name	Failure Rate	Remark
ATPU	CPU board	2.335E-06	
	VI Board	1.548E-06	
	VO Board	1.187E-06	
	DI Board	1.548E-06	
	DO Board	1.415E-06	
	VOR Board	3.120E-07	
	COM Board	1.242E-06	

	BP Board	1.780E-07	
Failure Rate	$\lambda_{ATPU\_CPU} + \lambda_{ATPU\_VI} + \lambda_{ATPU\_VO} + \lambda_{ATPU\_DI} + \lambda_{ATPU\_DO} + \lambda_{ATPU\_VOR} + \lambda_{ATPU\_COM} + \lambda_{ATPU\_BP}$	9.765E-06	

표 52 ETCS-L3 SDOU MTBF analysis result

System	Board name	Failure Rate	Remark
SDOU	SDOU board	1.496E-06	
	MEM Board	5.730E-07	
Failure Rate	$\lambda_{SDOU} + \lambda_{MEM}$	2.069E-06	

표 53 ETCS-L3 PSU MTBF analysis result

System	Board name	Failure Rate	Remark
PSU	PSU24	1.125E-06	
	PSU05	1.786E-06	
Failure Rate	$\lambda_{PSU24} + \lambda_{PSU05}$	2.911E-06	

③ 유지보수성 분석 결과 분석 결과

표 54 ETCS-L3 ATP/ATO MTTR alalysis result

No	Product ID	MTTR/h
1	ETCS-L3 ATP/ATO SYSTEM	0.5
2	ATPU Sub-System	0.5
3	SDOU Sub-System	0.5
4	PSU Sub-System	0.5

③ 가용성 분석 결과

표 55 ETCS-L3 ATP/ATO Availability

Item	Availability	Availability (%)
ETCS-L3 ATP/ATO System	0.9999796	99.99796
ATPU Sub-System	0.9999930	99.99930
SDOU Sub-System	0.9999990	99.99990
Power Sub-System	0.9999981	99.99981

(나)안전성 분석

ETCS-L3 ATP/ATO 장치의 안전성 분석을 위해 장치 설계 자료를 기준으로 분석을 진행하였다. 각 보드의 분석된 고장율을 기준으로 하였으며, 분석된 값은 ETCS 규격인 Subset-088에서 제시하는 시스템 레벨의 fault tree를 만족하는지 확인하였다. 분석 시 적용된 고장율은 기능에 따라 고장을 분리할 수도 있지만 ETCS-L3 ATP/ATO 시스템의 경우 서브시스템이나 개별 보드, 보드 내의 기능 블록이 고장이 발생할 경우 ETCS-L3 ATP/ATO의 기능을 정상적으로 수행할 수 없기 때문에 보수적인 접근 방식을 적용하여 기본 고장율을 적용하여 분석하였다. 분석을 위해 FTA 분석 툴인 Reliability Workbench (Isograph)를 적용하였다.

표 56 ETCS-L3 ATP/ATO CORE Hazard FTA alalysis result

FTA ID	Fault Tree Description	Target	Achievement			Conformity (Yes/No)
		Failure Rate /hour	Unavailability (Q)	Frequency (w(FIT))	Failure Rate /hour	
CORE HAZARD	Exceedance of Safe Speed/Distance limits known by ETCS	$6.70x10^{-10}$ (6.70E-09)	7.498E-06	5.910E-01	5.910E-10	Yes
KERNEL-1	Balise linking consistency checking failure	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-2	Balise group message consistency checking failure	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-3	Failure of radio message correctness check	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-4	Radio sequencing checking failure	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-5	Radio link supervision function failure	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-6	Manage communication session failure	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-7	Incorrect LRBG	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-8	Emergency Message Acknowledgement Failure	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-9	Speed calculation underestimates train speed	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-10	Functional failure of standstill detection	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-11	Incorrect traction/braking model (e.g. brake use restrictions)	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-12	Failure of standstill supervision	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-13	Failure of backward distance monitoring	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes

일부 항목을 보고서에 기술하지 않음						
KERNEL-33	Wrong processing of MA information	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
KERNEL-34	Incorrect supervision of MA time-outs (sections and overlaps)	$6.24x10^{-9}$ (6.24E-09)	1.771E-05	2.586E+00	2.586E-09	Yes
ODO-2	Speed measurement underestimates trains actual speed	$1.0x10^{-10}$ (1.0E-10)	3.51e-7	5.124e-2	5.124x10-11	Yes
ODO-3	Incorrect actual physical speed direction	$1.0x10^{-10}$ (1.0E-10)	3.51e-7	5.124e-2	5.124x10-11	Yes
ODO-4	Distance measurement is incorrect	$1.0x10^{-10}$ (1.0E-10)	3.51e-7	5.124e-2	5.124x10-11	Yes

(6) 소프트웨어 구조 및 디자인 사양 정의

(가) 차상 ATP/ATO의 소프트웨어 구조 및 설계

① 차상 ATP/ATO 소프트웨어 레이어 구조

- ATPU_CPU Application : ATP 메인 응용프로그램
- Operating System : 소프트웨어의 운영스케줄을 제어하는 운영체제(VxWorks)
- BSP/CPLD : 하드웨어를 직접적으로 구동시키는 하위레벨의 소프트웨어

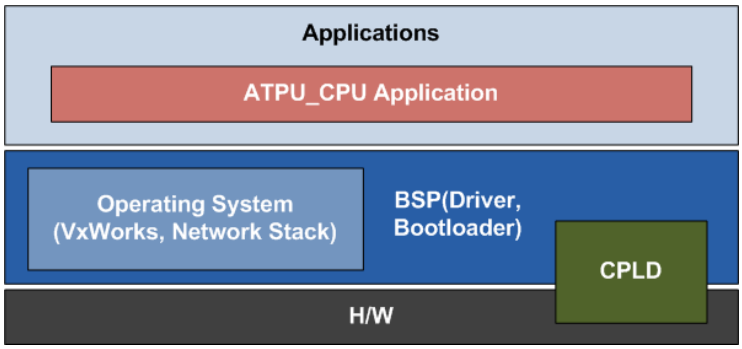


그림 31 차상 ATP/ATO 소프트웨어 레이어 구조

② 응용프로그램의 계층 구조

- Task : 특정 주기에 따라 함께 실행되어야하는 실행 단위
- Process : 주요 기능 항목 및 상위 로직 단위
- Module : Process 하위의 기능 함수 단위

③ 응용프로그램의 안전동작 설계

차상장치는 시스템의 안전한 동작을 보증하기 위해 기동시 시스템 동작 가능상태 진단과 시스템 운영중 주기적인 상태 진단을 통해 시스템 동작 불가상태가 진단되면 시스템을 안전상태로 전환하도록 설계된다.

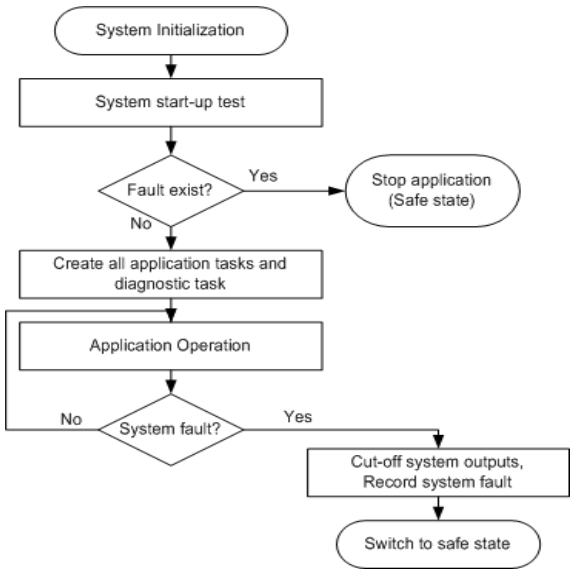


그림 32 응용프로그램 안전동작 설계

④ ATP 응용프로그램의 Task 구성 및 데이터 흐름 설계

- StartUp Task : 응용프로그램 실행 및 기동시험 기능
- CommTxTask : ATP 내/외부 장치와 통신(송신) 인터페이스
- CommRxTask : ATP 내/외부 장치와 통신(수신) 인터페이스

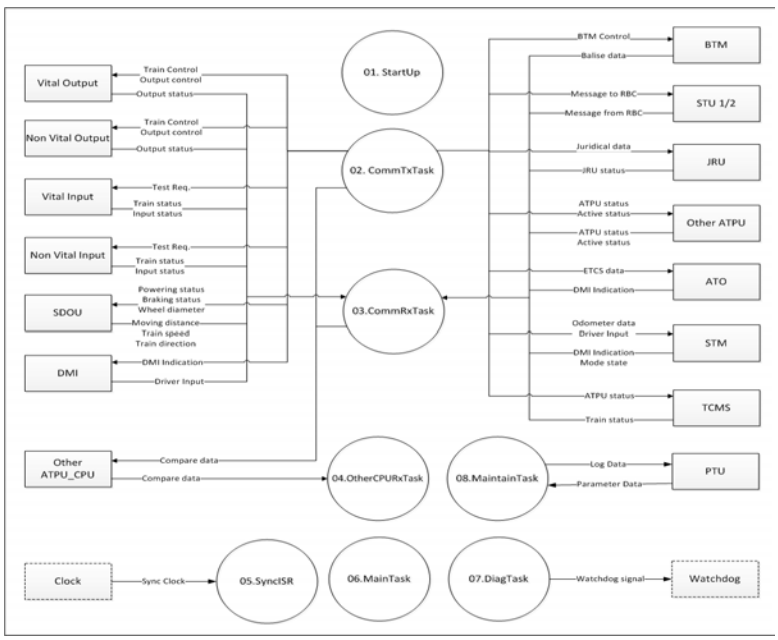


그림 33 ATP 응용프로그램의 Task 구성 및 데이터 흐름

- OtherCPURxTask : 2oo2 CPU와 통신 인터페이스
- SyncISR : 2oo2 CPU 동기화
- MainTask : 운영모드결정, 정적/동적프로파일 생성, 열차속도, 이동감시 및 제어

- DiagTask : ATP 시스템 상태 진단
- MaintainTask : ATP 시스템의 로깅 및 유지보수장치와 인터페이스

⑤ ATP 응용프로그램의 Main Logic SCADE 구현

RBC로부터 수신한 SSP, ASP, TSR 데이터를 이용하여 기준 위치로부터 MRSP를 계산한다. 계산된 MRSP는 제동 프로파일 연산을 위해 사용된다.

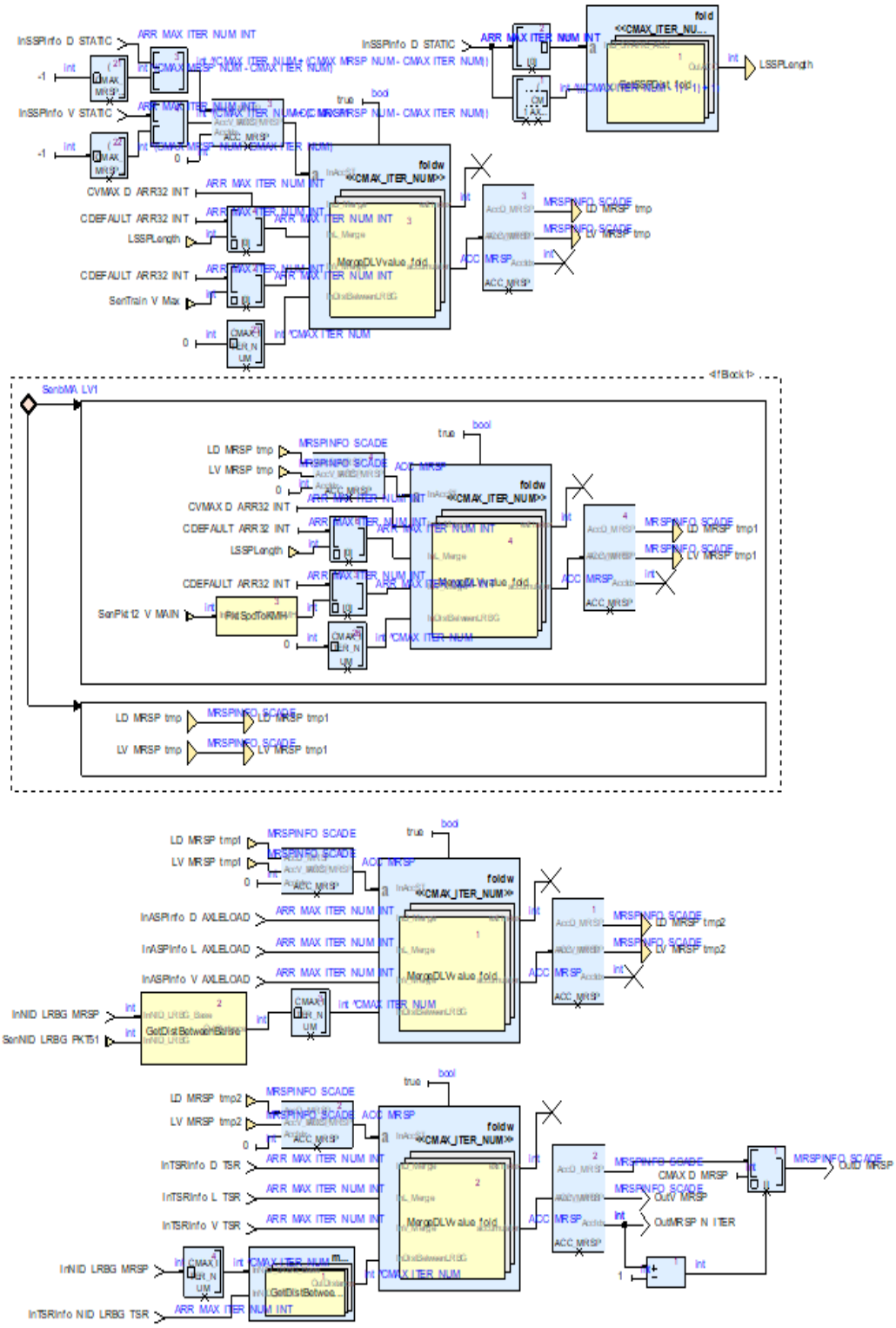


그림 34 MRSP 생성 로직 모델링

㉰ 제동 프로파일 생성 로직 구현

계산된 MRSP를 이용하여 열차의 제동 프로파일을 구한다. 열차 파라미터 값과 지상의

구배정보를 이용하여 현재 위치에서의 안전 감속도를 연산하고 열차 전두부 위치를 기준으로 전방 감속 구간에 대한 제동 프로파일을 연산한다.

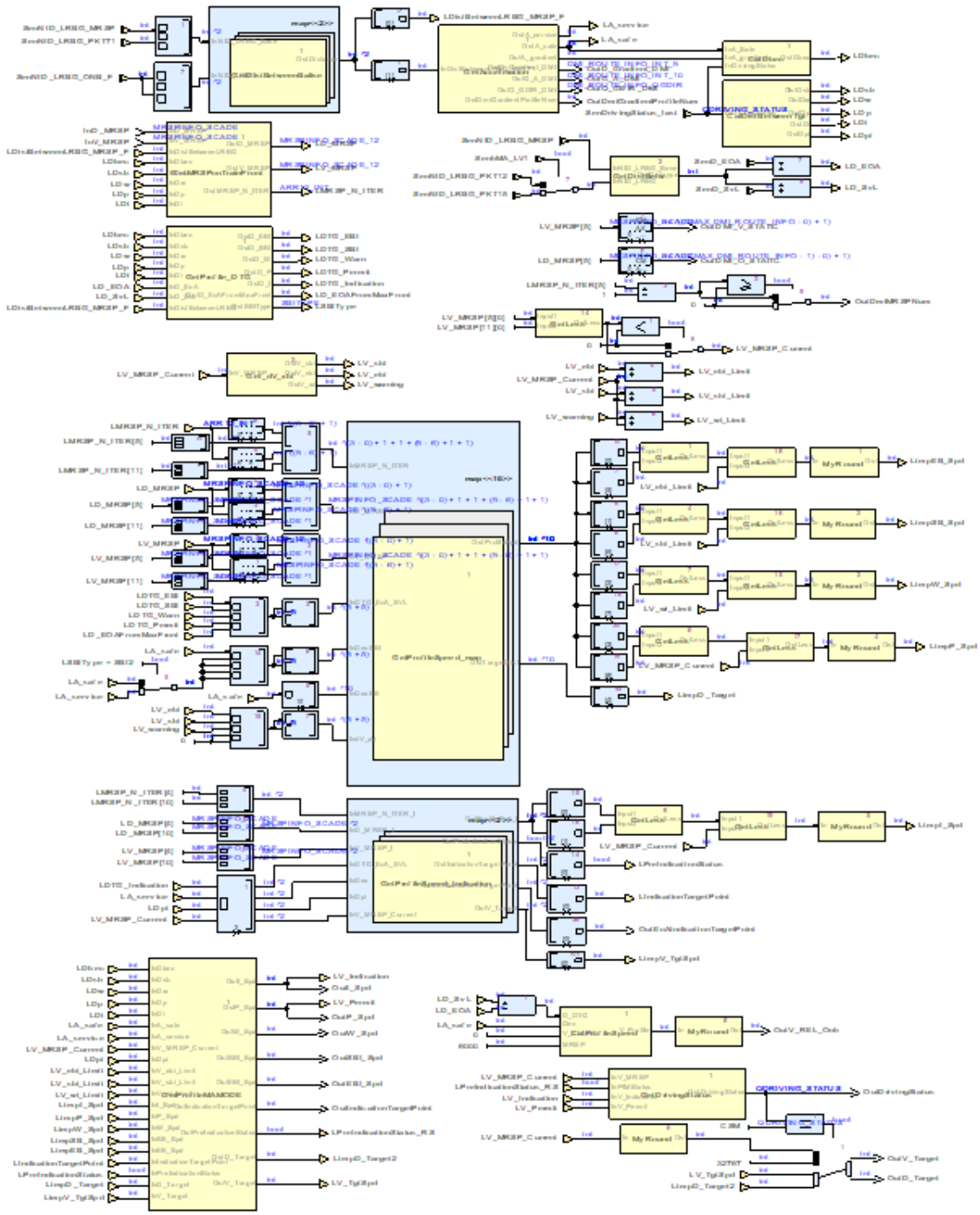


그림 35 제동 프로파일 생성 로직 모델링

㉰ 속도 프로파일 연산 로직 구현

MRSP와 열차의 안전 감속도를 이용하여 속도 프로파일을 연산한다.

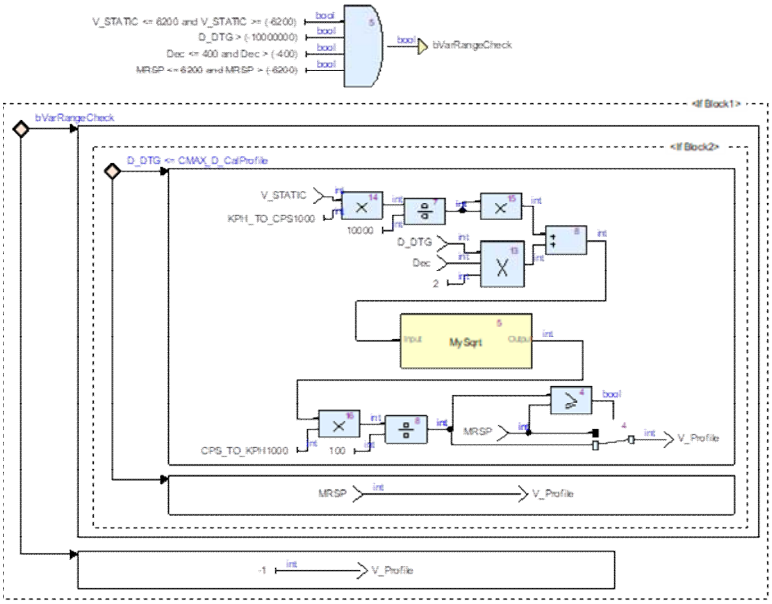


그림 36 속도 프로파일 연산 로직

㉮ 안전 감속도 연산 로직 구현

열차 파라미터와 현재 위치 및 구배 정보를 이용하여 열차 안전 감속도를 구한다.

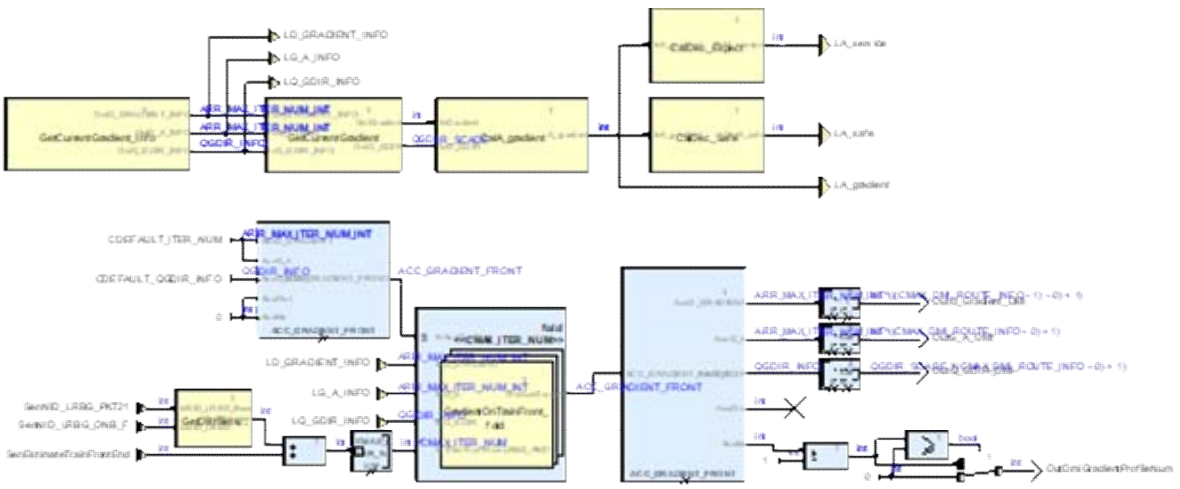


그림 37 안전 감속도 연산 로직

⑥ ATO 응용프로그램의 Task 구성 및 데이터 흐름 설계

- StartUp Task : 응용프로그램 실행 및 기동시험 기능
- MainTask : ATO 운영상태결정, 자동운전 제어 기능
- ProfileTask : 운영시간 준수, ATP 감시속도, 정차지점 자동정차에 최적화된 운행 프로파일 생성
-ATOTSCommTask : 지상ATO와 통신 인터페이스
- ATPUCommTask : 차상ATPU와 통신 인터페이스
- DOCommTask : 차량으로 출력 인터페이스
- DICommTask : 차량으로부터 입력 인터페이스
- JRUCommTask : JRU 장치와 통신 인터페이스
- DiagTask : ATO 시스템 상태 진단
- MaintainTask : ATO 시스템의 로깅 및 유지보수장치와 인터페이스

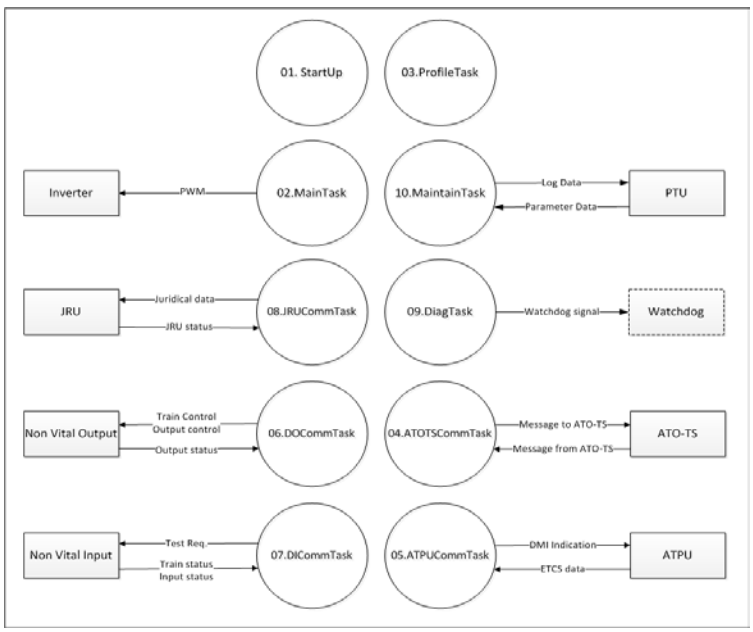


그림 38 ATO 응용프로그램의 Task 구성 및 데이터 흐름

⑦ ATO 응용프로그램의 구현

㉮ MainTask

MainTask는 ATO 운영상태(ATO Operation state), 자동운전상태(Engagement) 및 Timing Point 상태를 결정하고 자동운전, 출입문 및 Holding Brake 제어를 수행한다. 각각의 동작상태결정과 개별열차제어 기능은 지정된 ATO 운영상태에만 동작된다. ATO 운영상태가 FA(System Failure) 상태로 전환되면 MainTask의 주요기능은 실행되지 않는다. 아래의 그림은 MainTask의 프로세스 흐름을 나타낸다.

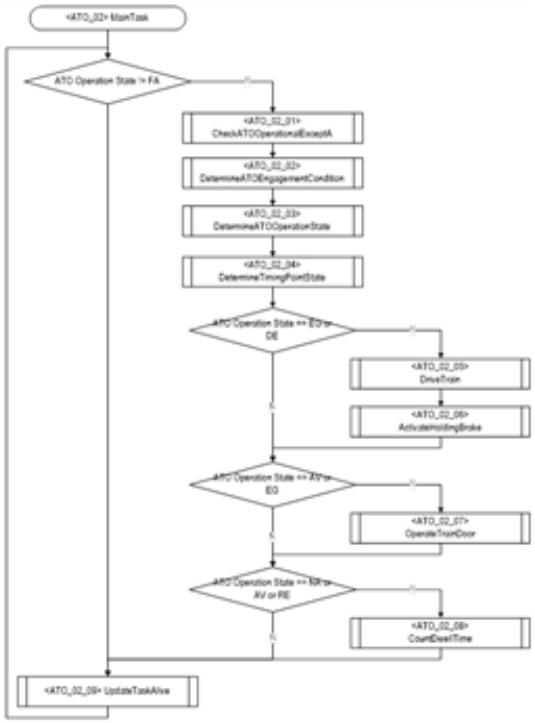


그림 39 MainTask S/W Design

㉮ ProfileTask

주어진 선로/운영 정보를 바탕으로 에너지 효율적인 운행 프로파일을 작성하고 운영 요구시간도 반영하여 프로파일을 수정한다. 연산 시 별도 함수를 호출한다. 아래의 그림은 ProfileTask의 프로세스 흐름을 나타낸다.

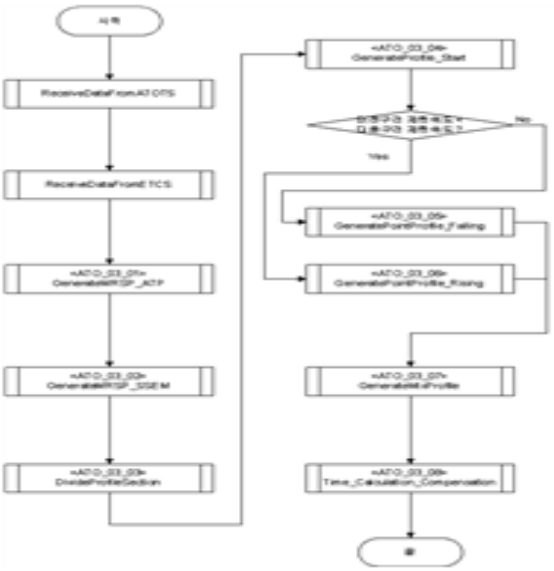


그림 40 ProfileTask S/W Design

㈐ ATOTSCommTask

ATOTSCommTask는 ATOTS 장치와 통신을 담당한다. Task는 주기적으로 ATOTS로부터 데이터 수신을 체크하며 데이터가 수신되면 데이터의 유효성과 버전을 체크하고 수신데이터를 파싱 및 처리한다. Task는 ATOTS로부터 주기적인 데이터 수신확인을 통해 ATOTS와 통신상태를 체크한다. 또한 Task는 ATOTS로 송신할 이벤트 데이터가 있는지 또는 주기적인 송신 데이터가 있는지 체크하여 송신데이터가 있다면 송신 메시지를 생성하여 ATOTS로 송신한다. 아래의 그림은 ATOTSCommTask의 프로세스 흐름을 나타낸다.

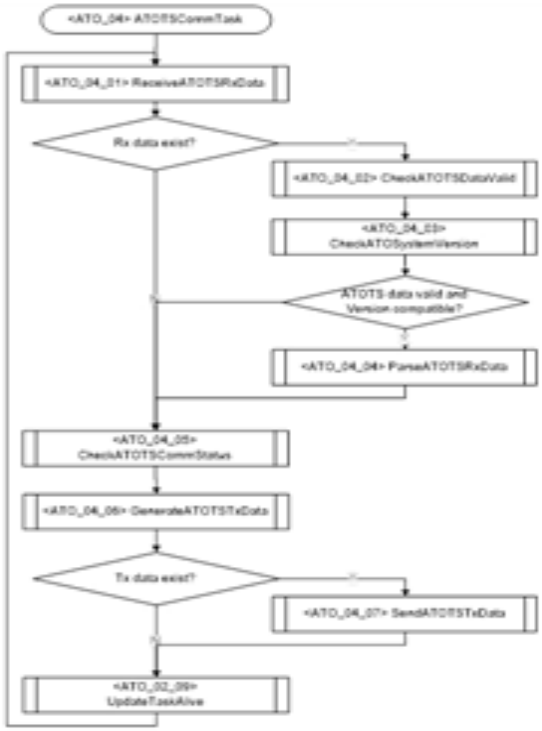


그림 41 ATOTSCommTask S/W Design

㉮ ATPUCommTask

ATPUCommTask는 ATPU 장치와 통신을 담당한다. Task는 주기적으로 ATPU로부터 데이터 수신을 체크하며 데이터가 수신되면 데이터의 유효성을 체크하고 수신데이터를 파싱 및 처리한다. Task는 ATPU로부터 주기적인 데이터 수신확인을 통해 ATPU와 통신상태를 체크한다. 또한 Task는 ATPU로 송신할 이벤트 데이터가 있는지 또는 주기적인 송신 데이터가 있는지 체크하여 송신데이터가 있다면 송신 메시지를 생성하여 ATPU로 송신한다. 아래의 그림은 ATPUCommTask의 프로세스 흐름을 나타낸다.



그림 42 ATPUCommTask S/W Design

(7) 소프트웨어 컴포넌트 시험

(가) 소프트웨어 정적시험(Static Test)

① 소프트웨어 컴포넌트 설계, 구현 후 코딩규칙 준수 여부 및 코드 오류를 확인하는 시험이며, Code Inspector를 사용하여 시험



그림 43 정적시험 절차



그림 44 Code Inspector

(나) 소프트웨어 동적시험(Dynamic Test)

① 소프트웨어에 포함된 모든 단위 함수의 입력값(Input) 대비 출력값(Output)이 소프트웨어 컴포넌트 사양서에 정의한 대로 동작하는지 확인하는 시험

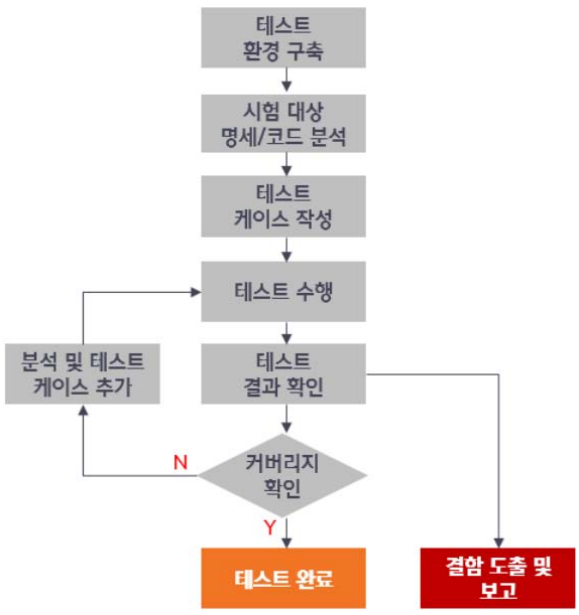


그림 45 동적시험 절차



그림 46 Controller Tester

(8) 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 및 시스템 검증

소프트웨어와 하드웨어를 통합하여 요구사양에 정의된 기능이 구현되고 동작되는지

확인한다.

(가) 시험항목

① 레벨 2이하 호환 기능시험 : ETCS Kernel 기능 중 레벨2 이하 기능에 대한 호환성을 검증하기 위한 시험시나리오로 ETCS-L2 기능검증에서 사용된 Subset-076-6-3 시나리오 15개 항목을 적용하여 검증

② 레벨 3 기능시험 : ETCS Kernel 기능 중 레벨3 기능을 검증하기 위한 시험시나리오로 Subset-076 시나리오를 일부 변경하여 5개의 시험시나리오를 생성하여 검증

③ ATO 기능시험 : Subset-125기반 ATO 주요 기능을 하나의 시나리오로 작성하여 기능검증

표 57 기능시험 시나리오

순	시나리오 명	주요내용
1	Subset-076-6-3-001	• 현재 위치에서 OS 모드프로파일 전환 • 전방 위치에서 OS 모드프로파일 전환 • OS 모드에서 TAF(Track ahead Free) 구역 현시 및 확인 • OS 모드에서 속도감시을 위한 국가값 • OS 모드에서 속도감시 • 현재 위치에서 Mode profile SH 모드 전환 • 모드프로파일 전환시 5초이내 운전자 확인(Ack) 없을시 비상제동 체결
2	Subset-076-6-3-005	• SR 모드에서 기본 국가값 허용속도(V_NVSTFF=40Km/h) • Unknown 시작 조건 • 운전자에 의해 레벨 2 전환 • RV 모드 전환, 운행 및 텍스트 현시
3	Subset-076-6-3-008	• 상용제동 프로파일을 통한 EOA 감시 • T_NVCONTACT에 의한 무선통신 두절상태 • OS 모드프로파일 전환 • 운전자에 의해 SH 모드 전환 • M_VERSION 비호환
4	Subset-076-6-3-020	• OS 모드프로파일 전환 • OS 모드에서 무조건적인 비상 정지 제어 • 레벨 0로 전환 • 레벨 1 전환 예고 및 실행 • 레벨 2 전환 예고 • 현재 위치에서 SH 모드프로파일 전환
5	Subset-076-6-3-036	• 기동시 StartUp 시험 및 DMI 상태 확인 • FS 모드전환 및 운행 • Geographical 위치 현시 확인 • EOA 초과에 의한 TR 모드 전환 및 비상제동 체결 확인 • 레벨 2에서 레벨 1전환 • PT 모드 전환 및 비상제동 해제 확인 • SOM을 통해 SR 모드로 전환

		• SR 모드로 운행중 OS 모드프로파일 전환 • OS 모드로 운행중 레벨 1에서 레벨 0전환 • 레벨 0에서 레벨 2 FS 모드로 전환 • 전방 위치에서 SH 모드프로파일 전환
6	Subset-076-6-3-046	• 유효하지 않은 열차 위치로 레벨 2 시작 • 주기적인 이동권한 요청 • 레벨 2에서 레벨 0 전환의 다양한 케이스 • RV 구역 정보 무시
7	Subset-076-6-3-047	• 레벨 2 FS 모드에서 LOA 감시 • 위치 보고 • 레벨 2에서 레벨 1전환 • 레벨 1에서 EOA/LOA 초과시 TR 모드 전환 • TR 모드로 정차중 레벨 0로 전환 • TR 모드로 정차 후, 운전자 확인시 UN 모드로 전환 • 레벨 0로 운행중 (혼합레벨중)레벨 1 FS 모드로 전환 • 레벨 2 예고 및 실행
8	Subset-076-6-3-051	• 레벨 2에서 운전자의 SH 모드 전환이 RBC에의해 거절 • 운전자의 NL 모드 전환 • 데스크 비활성화시 미션 종료 • Sleeping 신호 입력이 있을 때 SL 모드 전환 • Sleeping 신호 입력 해제시 SB 모드 전환 • SB 모드에서 정차 방호 확인
9	Subset-076-6-3-052	• 레벨 2 SR 모드에서 텍스트 메시지 현시 확인 • 레벨 2 SR 모드에서 FS 모드로 전환 • 레벨 2에서 레벨 1 전환 • 레벨 1 FS 모드에서 고정된 텍스트 메시지 현시 확인 • SH 모드프로파일 전환 • SH 모드에서 정지 신호수신시 TR 모드 전환 확인 • 운전자 확인을 통해 PT 모드 전환 확인 • 운전자에 의해 SH 모드 시작 • 운전자에 의해 SH 모드 종료
10	Subset-076-6-3-057	• 레벨 2 FS 모드로 운행 • 레벨 0로 전환후 오버라이드 전환 • 레벨 2 전환 명령 수신후 레벨 2 SR 모드로 전환 • 레벨 2 SR 모드에서 고정된 텍스트 현시 확인 • 레벨 2에서 레벨 1 전환 • 레벨 1 SR 모드에서 고정된 텍스트 현시 확인 • 레벨 1 SR 모드에서 SH 모드프로파일 전환 • SH 모드에서 정지 신호수신시 TR 모드로 전환
11	Subset-076-6-3-060	• Slave 엔진으로 미션 시작 • 데스크 활성화 후 운전자에 의한 레벨 2 NL 모드 전환 • NL 모드로 운행 및 방향 전환 • 운전자에 의한 NL 모드 종료 • 주 엔진으로 미션 시작하여 SR 모드 역방향으로 이동
12	Subset-076-6-3-072	• 레벨 1 SR 모드로 운행 시작 • MA보다 짧은 SSP 무시 • 정상적인 선로정보 수신후 레벨 1 FS 모드로 전환

		• 레벨 2 예고 및 실행 • 열차 데이터 수신전 이동권한 무시 • 경로 유효성 확인 • 이동권한 단축 확인 • 제한속도 초과시 경고 확인 • 비상제동 곡선 초과시 비상제동 체결 확인 • 2 mobiles을 이용한 RBC 핸드오버
13	Subset-076-6-3-074	• 레벨 2 FS 모드 운행 • 임시제한속도 수신 및 임시제한속도 감시 확인 • 조건적인 비상 정지 명령 수신 • 이동권한 단축 확인 • 임시제한속도 해제 확인 • RBC1, 2 모두와 통신 세션 연결
14	Subset-076-6-3-076	• 레벨 1 SR 모드 운행 • SR 모드에서 정지 신호수신시 TR 모드로 전환 • TR 모드로 정차중 레벨 2 전환 • 레벨 1, 레벨 2, 레벨 0 전환
15	Subset-076-6-3-088	• 레벨 2, 레벨 1, 레벨 0 전환 • Axle Load 프로파일 감시 • Override 제어 및 감시 • 후진 가능 구간 현시 및 설정 • RV 모드로 전환 및 후진 이동 • NP 모드에서 국가값 저장 확인
16	L3 FTS 001	• SOM을 통해 레벨 3 전환 • 레벨 3에서 RBC와 통신 세션 연결 • 운전자의 “Start” 입력을 통해 이동권한을 수신하여 FS 모드로 전환 • 레벨 3에서 레벨 1 전환
17	L3 FTS 002	• 레벨 1 SR 모드로 운행 시작 • 정상적인 선로정보 수신후 레벨 1 FS 모드로 전환 • 레벨 3 예고 및 실행 • 레벨 3에서 RBC와 통신 세션 연결 • 열차 데이터 수신전 이동권한 무시 • 경로 유효성 확인 • 이동권한 단축 확인 • 제한속도 초과시 경고 확인 • 비상제동 곡선 초과시 비상제동 체결 확인 • 2 mobiles을 이용한 RBC 핸드오버 • 레벨 3에서 레벨 1 전환
18	L3 FTS 003	• 레벨 1 SR 모드 운행 시작 • SR 모드에서 정지 신호수신시 TR 모드로 전환 • TR 모드로 정차중 레벨 3 전환 • 정차후 운전자 확인시 PT 모드 전환 • 운전자의 “Start” 입력을 통해 이동권한을 재수신하여 FS 모드로 전환 • 레벨 3에서 레벨 0 UN 모드로 전환
19	L3 FTS 004	• 레벨 1 SR 모드로 운행 시작 • 정상적인 선로정보 수신후 레벨 1 FS 모드로 전환

		• 레벨 3 예고 및 실행 • 제한속도 초과시 경고 확인 • 레벨 3에서 EOA 초과시 TR 모드 전환 • 레벨 3에서 임시제한 속도 설정 및 감시 확인
20	L3 FTS 005	• 레벨 3 FS 모드로 운행 시작 • 열차 무결성 상태를 포함한 주기적인 열차위치보고 확인 • 열차 무결성 상실을 통해 무결성 상실정보를 포함한 열차위치보고 확인
21	ATO scenario 001	• ATO Operation 상태 전환 • ATO Operational 결정 • ATO Engagement 결정 • 운행 프로파일 생성 • Timing Point 상태 전환 • 열차 출입문 제어 • Dwell Time 관리 • 자동운전 및 정위치 정차

(나) 시험장비

① 시험장비는 다음과 같은 기능을 수행한다.

- 시험 시나리오 파일(Subset 076) 실행 및 편집 기능
- 시험 시나리오 시작 및 실시간 동작상황 현시
- MRL과 인터페이스 하는 모든 장치들의 로그데이터 저장 및 관리
- 시험 시나리오에 따라 열차 속도 프로파일 생성 및 프로파일에 따른 열차 자동제어 수행
- 시험 시나리오에 따라 발리스 패킷, RBC 메시지 생성 기능

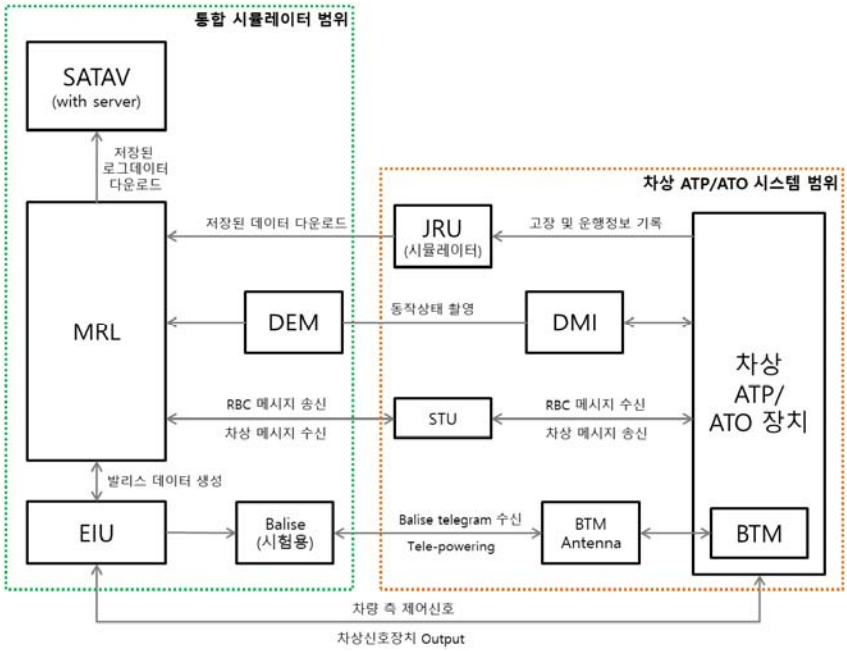


그림 47 시험장비 구성도



그림 48 시험환경 구축 사진

② 시험 환경 구성품 및 버전 정보

표 58 시험장비 구성품

순번	구성품	설명	비고
1	DEM	DMI 동작상태를 촬영하여 이벤트를 저장하고 관리	
2	EIU	TIU, ODO, Balise 데이터 생성 등 외부 인터페이스 정보 생성	
3	MRL	시나리오 시뮬레이션 수행 및 로그 저장 Testbench SW	
4	SA-TAV	MRL이 수집한 로그를 취합하여 Validation을 수행	

표 59 시험장비/툴 버전 정보

순번	장비/Tools	버전	설명
1	MULTITEL Simulator (MRL Testbench SW & EIU)	Testbench SW : 1.0.7562.25066	MRL PC (Testbench SW) - OS : Microsoft Windows 7 - CPU : Intel Xeon E5-1650
		EIU Rack : V1.1	
		Power Module : V1.1	
		TMS Module : V1.1	
		RTM Module : V1.1	
		ODO Module : V1.2	
		BSG Module : V1.1	
		TIUP Module : V1.1	
		TIU-IO Module : V1.1	
2	Monitoring Laptop	OS : Windows 10	모델명 : Samsung NT501R5A
3	RTOS	VxWorks : 7 Cert	

(다) 시험 절차

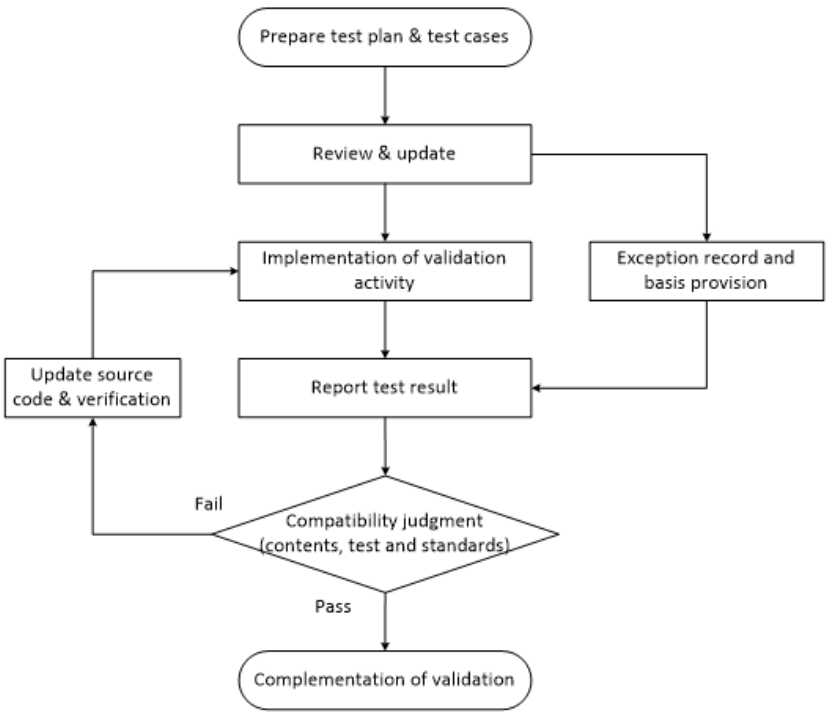
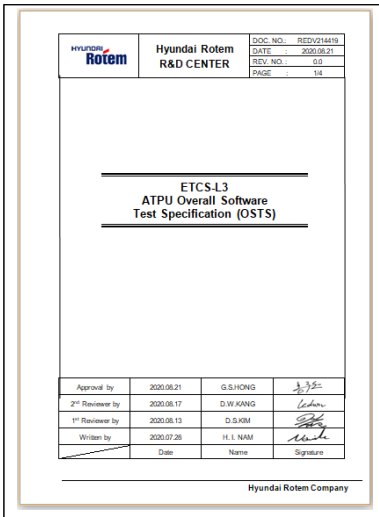


그림 49 기능 시험 절차

① 시험 계획 및 Test case 작성

- 시험 계획서에 세부 시험 절차 및 Test case를 작성한다.



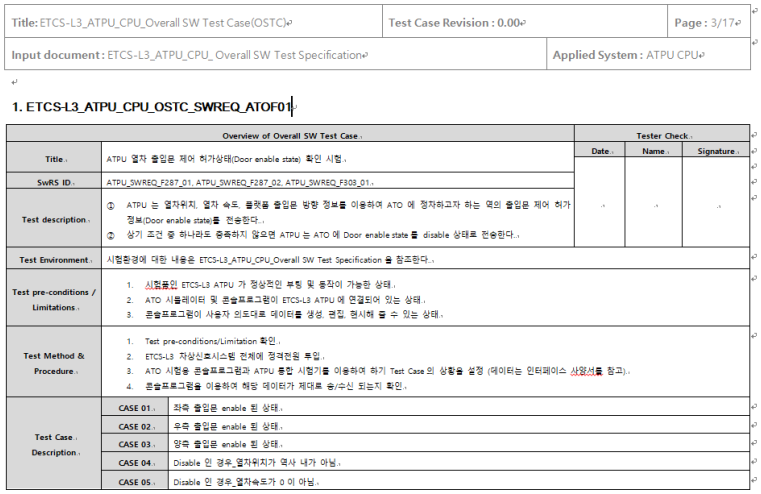
HYUNDAI Rotem | Hyundai Rotem R&D CENTER | DOC. NO.: REDV214419 | DATE: 2020.06.21 | REV. NO.: 0.0 | PAGE: 1/4

ETCS-L3
ATPU Overall Software
Test Specification (OSTS)

Approval by	2020.06.21	G.S.HONG	
2nd Reviewer by	2020.06.17	D.W.KANG	
1st Reviewer by	2020.06.13	D.S.KIM	
Written by	2020.07.26	H. I. NAM	
	Date	Name	Signature

Hyundai Rotem Company

그림 50 시험계획서



Title: ETCS-L3_ATPU_CPU_Overall SW Test Case(OSTC) | Test Case Revision : 0.00 | Page : 3/17

Input document : ETCS-L3_ATPU_CPU_ Overall SW Test Specification | Applied System : ATPU CPU

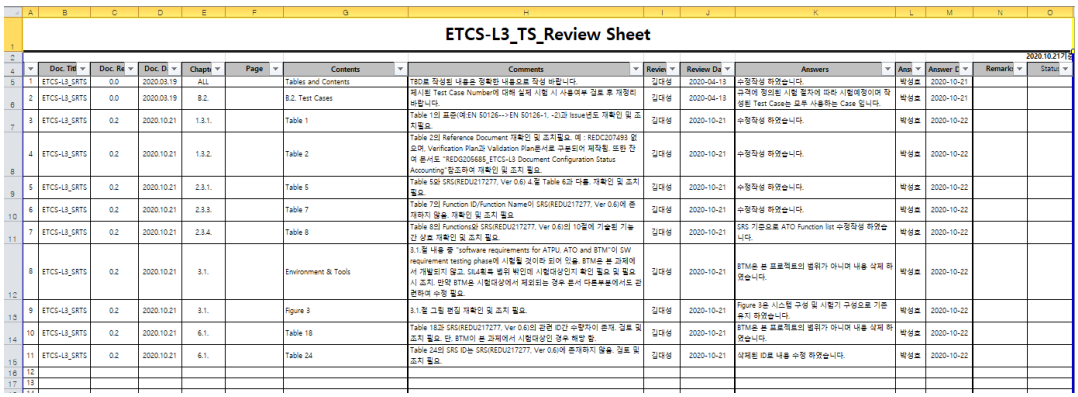
1. ETCS-L3_ATPU_CPU_OSTC_SWREQ_ATOF01

Overview of Overall SW Test Case		Tester Check		
		Date	Name	Signature
Title	ATPU 열차 출입문 제어 허가상태(Door enable state) 확인 시험			
SwRS ID	ATPU_SWREQ_F287_01, ATPU_SWREQ_F287_02, ATPU_SWREQ_F303_01			
Test description	① ATPU 는 열차위치, 열차 속도, 플랫폼 출입문 방향 정보를 이용하여 ATO 에 정차하고자 하는 역의 출입문 제어 허가 정보(Door enable state)를 전송한다. ② 상기 조건 중 하나라도 충족하지 않으면 ATPU 는 ATO 에 Door enable state 를 disable 상태로 전송한다.			
Test Environment	시험환경에 대한 내용은 ETCS-L3_ATPU_CPU_Overall SW Test Specification 을 참조한다.			
Test pre-conditions / Limitations	1. 시험용인 ETCS-L3 ATPU 가 정상적인 부팅 및 동작이 가능한 상태. 2. ATO 시뮬레이터 및 콘솔프로그램이 ETCS-L3 ATPU 에 연결되어 있는 상태. 3. 콘솔프로그램이 사용자 의도대로 데이터를 생성, 편집, 명시해 줄 수 있는 상태.			
Test Method & Procedure	1. Test pre-conditions/Limitation 확인. 2. ETCS-L3 차상신호시스템 전체에 정격전원 투입. 3. ATO 시험을 콘솔프로그램과 ATPU 통합 시험기를 이용하여 하기 Test Case의 상황을 설정 (데이터는 인터페이스 사양서를 참고). 4. 콘솔프로그램을 이용하여 해당 데이터가 제대로 송/수신 되는지 확인.			
Test Case Description	CASE 01 : 좌측 출입문 enable 된 상태.			
	CASE 02 : 우측 출입문 enable 된 상태.			
	CASE 03 : 양측 출입문 enable 된 상태.			
	CASE 04 : Disable 인 경우_열차위치가 역사 내가 아님.			
	CASE 05 : Disable 인 경우_열차속도가 0 이 아님.			

그림 51 Test case

② 시험 계획 및 Test case 검토

- Verifier에 의한 Review sheet 작성 및 검토결과에 따른 문서 보완



ETCS-L3_TS_Review Sheet

	Doc. Title	Doc. Rev	Doc. Date	Chapter	Page	Contents	Comments	Reviewer	Review Date	Answers	Answerer	Answer Date	Remark	Status
1	ETCS-L3_SRTS	0.0	2020.03.19	ALL		Tables and Contents	TBD로 작성됨 내용은 정확한 내용으로 작성 바랍니다.	김대성	2020-04-13	수정작성 하였습니다.	박성호	2020-10-21		
2	ETCS-L3_SRTS	0.0	2020.03.19	B.2.		B.2. Test Cases	제시된 Test Case Number에 대해 실제 시험 시 사용여부 검토 후 재정의 바랍니다.	김대성	2020-04-13	규격에 정의된 시험 절차에 따라 시험예정이며 작성된 Test Case는 모두 사용하는 Case 입니다.	박성호	2020-10-21		
3	ETCS-L3_SRTS	0.2	2020.10.21	1.3.1.		Table 1	Table 1의 표준(예:EN 50126-->EN 50126-1, -2)과 Issue년도 재확인 및 조치필요.	김대성	2020-10-21	수정작성 하였습니다.	박성호	2020-10-22		
4	ETCS-L3_SRTS	0.2	2020.10.21	1.3.2.		Table 2	Table 2의 Reference Document 재확인 및 조치필요. 예 : REDC207493 없으며, Verification Plan과 Validation Plan문서로 구분되어 제작됨. 또한 잔여 문서로 "REDQ205685_ETCS-L3 Document Configuration Status Accounting"참조하여 재확인 및 조치 필요.	김대성	2020-10-21	수정작성 하였습니다.	박성호	2020-10-22		
5	ETCS-L3_SRTS	0.2	2020.10.21	2.3.1.		Table 5	Table 5은 SRS(REDU217277, Ver 0.6) 4.절 Table 6과 다름. 재확인 및 조치필요.	김대성	2020-10-21	수정작성 하였습니다.	박성호	2020-10-22		
6	ETCS-L3_SRTS	0.2	2020.10.21	2.3.3.		Table 7	Table 7의 Function ID/Function Name이 SRS(REDU217277, Ver 0.6)에 존재하지 않음. 재확인 및 조치 필요.	김대성	2020-10-21	수정작성 하였습니다.	박성호	2020-10-22		
7	ETCS-L3_SRTS	0.2	2020.10.21	2.3.4.		Table 8	Table 8의 Functions은 SRS(REDU217277, Ver 0.6)의 10절에 기술된 기능간 상호 재확인 및 조치 필요.	김대성	2020-10-21	SRS 기준으로 ATO Function list 수정작성 하였습니다.	박성호	2020-10-22		
8	ETCS-L3_SRTS	0.2	2020.10.21	3.1.		Environment & Tools	3.1.절 내용 중 "software requirements for ATPU, ATO and BTM"이 SW requirement testing phase에 시험될 것이라 되어 있음. BTM로 본 과제에서 개발되지 않고, GUI등과 별도 N장애 시험대상인지 확인 필요 및 필요시 조치. 만약 BTM은 시험대상에서 제외되는 경우 문서 다른부분에서도 관련하여 수정 필요.	김대성	2020-10-21	BTM은 본 프로젝트의 범위가 아니며 내용 삭제 하였습니다.	박성호	2020-10-22		
9	ETCS-L3_SRTS	0.2	2020.10.21	3.1.		Figure 3	3.1.절 그림 편집 재확인 및 조치 필요.	김대성	2020-10-21	Figure 3은 시스템 구성 및 시험기 구성으로 기존 유지 하였습니다.	박성호	2020-10-22		
10	ETCS-L3_SRTS	0.2	2020.10.21	6.1.		Table 18	Table 18과 SRS(REDU217277, Ver 0.6)의 관련 ID간 수량차이 존재. 검토 및 조치 필요. 단, BTM이 본 과제에서 시험대상인 경우 해당 함.	김대성	2020-10-21	BTM을 본 프로젝트의 범위가 아니며 내용 삭제 하였습니다.	박성호	2020-10-22		
11	ETCS-L3_SRTS	0.2	2020.10.21	6.1.		Table 24	Table 24의 SRS ID는 SRS(REDU217277, Ver 0.6)에 존재하지 않음. 검토 및 조치 필요.	김대성	2020-10-21	삭제된 ID로 내용 수정 하였습니다.	박성호	2020-10-22		
12														
13														

그림 52 시험계획서 문서 검토내용

③ 시험 수행 및 테스트 결과 레포트 생성

④ 시험 결과 및 규격/표준 정합성 확인

⑤ 부적합 사항 조치 및 재시험

⑥ 시험 결과 확인 및 시험 완료

(라) ATP 기능시험

① 시험 시나리오 작성

- 시험 시나리오는 MRL(Multi Rail Lab) Testbench 프로그램으로 수정하거나 실행

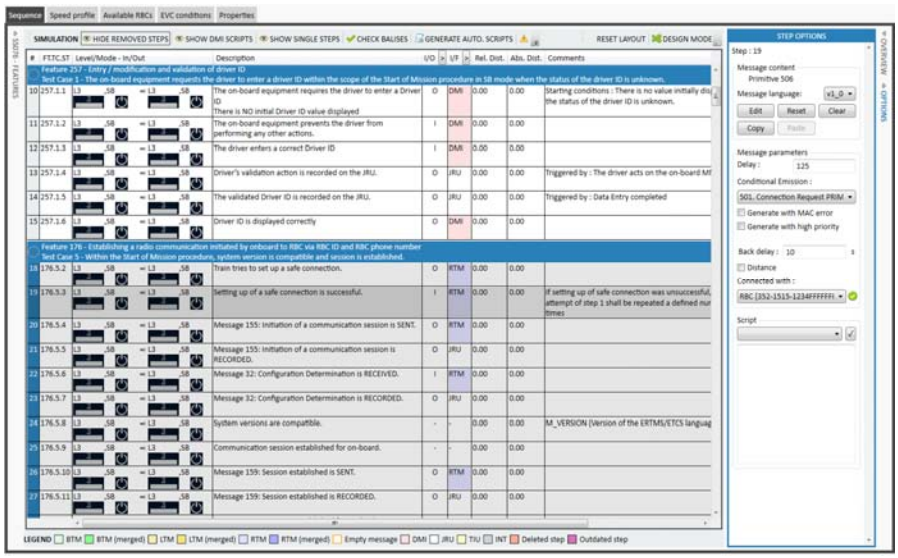


그림 53 차상 ATP 시험 시나리오 작성

② MRL 시뮬레이터 시뮬레이션 실행 및 로그 수집

㉮ MRL은 시나리오 시뮬레이션 실행 후 데이터 송수신 및 열차 제어 역할 수행

㉯ 시나리오에 정해진 열차 운행 프로파일을 기반으로 Odometer 정보를 생성하여 차상신호장치로 전송

㉰ 시나리오에 정해진 발리스 위치에서 발리스 텔레그램 정보를 BTM 안테나로 송신

㉱ RBC 메시지와 패킷 데이터를 차상신호장치로 송신

㉲ Train Interface 입출력 정보를 차상신호장치로 송신

㉳ 차상신호장치와 주고받는 발리스 데이터, RBC 데이터를 로깅

㉴ 테스트 종료 후 DMI 화면 레코딩 정보와 MRL 로그를 SA-TAV 서버로 전송

㉵ SA-TAV 서버는 수신한 로그를 .sat 파일로 변환하여 저장

㉶ SA-TAV Validation을 통해 시나리오 스텝 별 수행 결과 확인

③ ATP 레벨 2 이하 호환 기능시험 주요 내용

㉮ 모드 프로파일에 의한 OS모드 전환

㉯ 모드 프로파일에 의한 SH모드 전환

㉰ SR 모드허용속도 확인

㉱ 레벨 전환

㉲ 레벨 2 FS 모드 운행 및 RBC로부터 MA 수신

㉰ RV 모드 전환 및 후진 이동

㉱ RBC 핸드오버

㉲ 과속 검지 및 제동 체결

④ ATP 레벨 3 기능시험 주요내용

㉮ 레벨 3으로 기동하여 SOM 후 RBC와 통신세션 연결 및 이동권한 수신 시험

차상신호장치가 기동 후 레벨 3 상태에서 CAB 활성화 신호를 입력받으면 SOM 절차를 시작한다. Driver ID 입력 시 RBC에 통신 세션 연결을 요청하고, 통신 세션 연결 및 SOM 절차를 통해 RBC로 MA 요청 메시지를 전송한다. MRL은 레벨2/3 MA 패킷을 송신하고 차상신호장치는 이를 수신하여 MA 패킷에 이상이 없을 경우 FS 모드로 전환된다.

㉯ 레벨 1 -> 레벨 3 레벨전환 시험

레벨 1로 운행 중에 RBC로부터 레벨 3 전환 패킷을 수신하고 패킷에 이상이 없을 경우 DMI 화면에 레벨 3 전환 예고를 현시한다. 열차 전두부가 레벨전환 경계 지점을 통과하면 레벨이 전환되고 변경된 레벨이 현시된다.

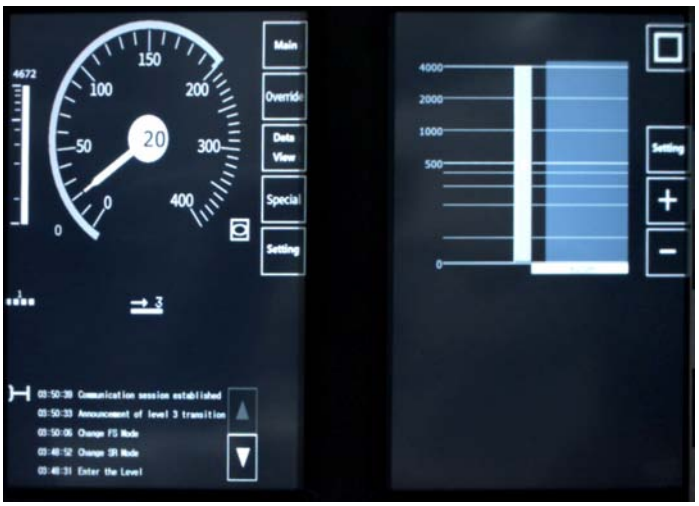


그림 54 레벨 1 -> 레벨 3 전환 예고 현시 화면

㉰ 레벨 0 -> 레벨 3 레벨전환 시험

㉱ 레벨 3 -> 레벨 1 레벨전환 시험

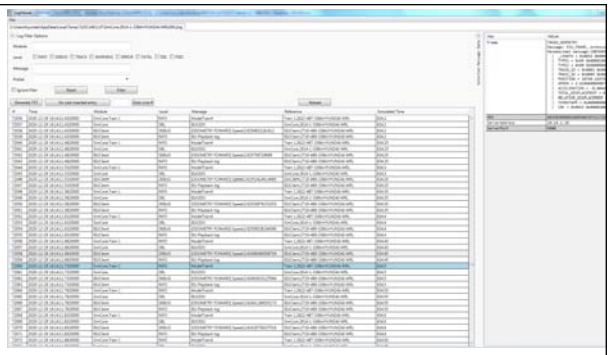
㉲ 레벨 3 EOA 초과 시 TRIP 모드 전환 시험

㉳ 열차 무결성 상태를 포함한 주기적인 열차위치보고 확인

레벨 3으로 운행 중 RBC로 주기적인 열차위치 보고 시 열차의 무결성 상태를 포함하여 전송한다. 전송된 메시지 내용은 SA-TAV 검증 또는 MRL 로그로 확인한다.



위치보고 메시지 전송



MRL 로그 확인

⑤ 테스트 검증

㉮ 테스트 종료 시 DMI 화면 레코딩 데이터와 MRL 로그를 수집하여 SA-TAV 전송

테스트 종료 후 MRL Testbench SW의 Validation 버튼 클릭 시 DMI 레코딩 데이터와 MRL 로그가 자동으로 수집되어 SA-TAV 서버로 전송된다.

㉯ SA-TAV 검증 파일로 변환

수집된 로그는 SA-TAV 서버로 전송되어 SA-TAV 검증 파일 (“.sat”)로 변환 작업을 거친다. SA-TAV 검증 파일은 DMI 화면 레코딩 파일, JRU 로그, MRL 로그를 수집하여 각각의 이벤트에 해당하는 스크립트를 생성하고 시나리오의 각 스텝별로 필요한 로그를 쉽게 분석할 수 있도록 한다.

㉰ SA-TAV 실행 후 각 Step별 Validation

SA-TAV 실행 후 Observable 파일(.opy)을 Import 하여 시나리오 각 Step별로 Validation을 진행한다. 각각의 스텝을 선택할 때 마다 미리 지정된 스크립트에 의해 해당 스텝에 해당하는 장치의 로그를 필터링하여 해당 이벤트가 발생한 시점 부근의 로그들을 확인할 수 있다.

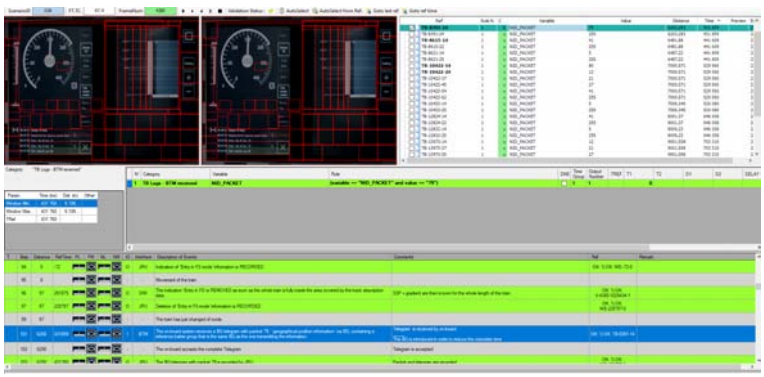


그림 55 SA-TAV 로그 분석 및 Validation 화면

㉱ Test Report 생성

Validation 완료 후 SA-TAV의 Test Report 생성기능을 이용하여 레포트문서를 생성한다. 아래 그림과 같이 각각의 스텝별로 Validation 결과를 확인한다.

Step number 23

Step description

Step	Dist. (m)	Previous		Description of Events	I/O	Interface	Comments	Next		Test Result
Feature 176:										
Test Case 1:										
23	0	L3	SB	Message 155: Initiation of a communication session is SENT.	O	RTM		L2	SB	OK

Test result remark(s)

[No comment]

Test results summary

Rule 1: OK

Test results for rule 1

Expected observations time/distance window

Time/distance condition name	Expected time/distance condition value
Train Location Type	ESTIMATED FRONT END
Rule Time Group	1

Expected observations

그림 56 시나리오 스텝별 Validation 결과 예

(라) ATO 기능 시험

① 시험 시나리오 작성

열차가 출발하여 발리스를 통과한 후 발리스 텔레그램 정보를 수신하고, 수신된 MA 정보를 이용하여 EoA(End of Authority)를 설정한다. 차상 ATO가 ATP, 지상 ATO, 열차로부터 Packet을 수신한다. 이러한 절차들이 MRL 시뮬레이터 시험 시나리오를 통해서 정상적으로 이루어지는지 확인한다.

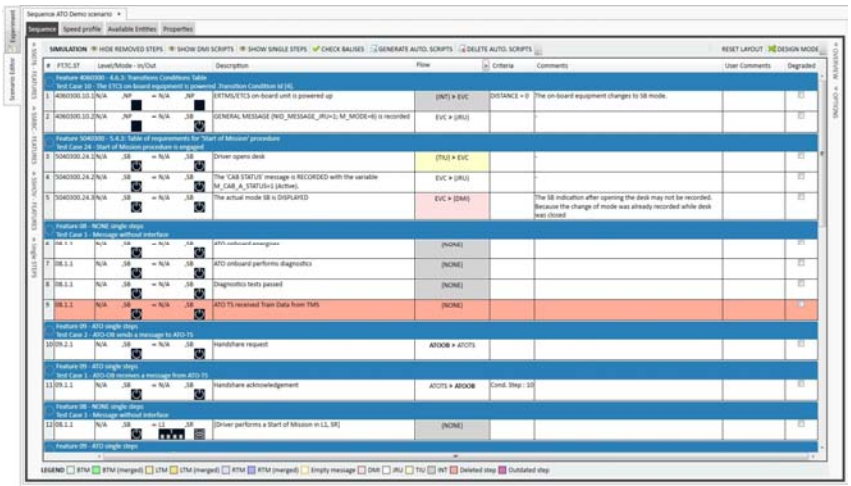


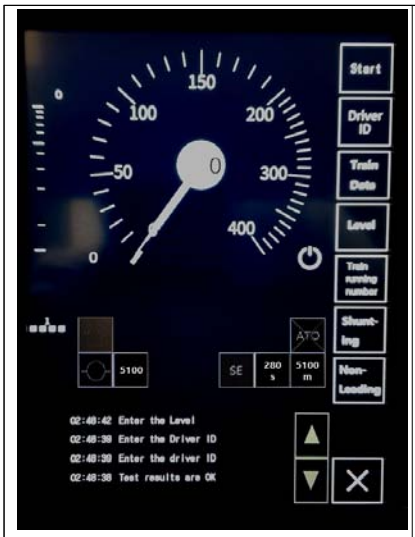
그림 57 ATO 시험 시나리오 생성

② ATO 기능 확인

㉮ ATO Operation State 전환

- ATO Operation State는 FA, NP, CO, DE,NA, AV, RE, EG 등이 있으며, 조건에 따라서 변경된다.

- DMI는 ATO State를 3가지 (FA / CO,NA / AV,RE,EG,DE)로 분류하여 현시한다. 각 State의 변경 조건에 맞춰서 아래와 같이 ATO State가 변경된다.



ATO FA state DMI



ATO CO state DMI



ATO EG state DMI

㉰ ATO Operational 결정

ATO State가 DE(Disengage)일 때, ATO Operational 조건이 만족되면 EG(Engage)로 변경된다. ATO state가 DE -> EG일 경우 DMI에는 별도의 현시정보 변화가 없고, ATO Operational 만족 시 MRL에서 ATO Operational 버튼이 활성화된다.

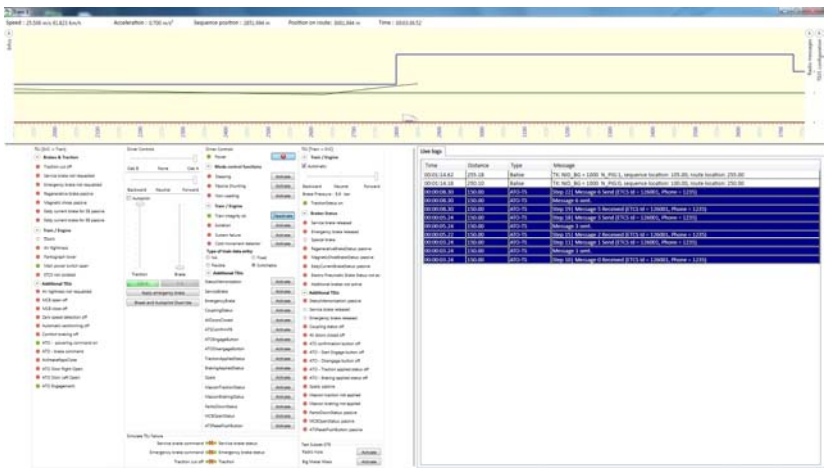
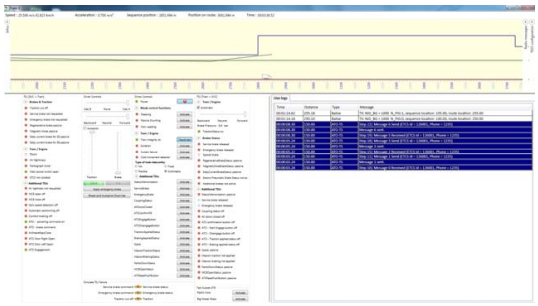


그림 58 ATO Operational 만족 시 버튼 활성화

㉱ ATO Engagement 결정

ATO State가 AV(Available)일 경우, ATO Engagement 조건을 만족하면 RE(Ready)로 변경된다. ATO State가 AV에서 RE로 변경될 경우에 DMI에서 ATO engaged 버튼 아이콘이 사진(DMI좌→DMI우)과 같이 변경된다. 또한 ATO Engagement가 만족되었을 때, MRL에서도 ATO Engaged 버튼이 활성화 된다.

		
ATO ready for Engagement	ATO Engaged	ATO Engaged 상태의 MRL

㉮ 운행 프로파일 생성

- 차상 ATO가 지상 ATO로부터 선로 정보를 수신하여 아래와 같이 ATO 운행 프로파일을 생성한다.

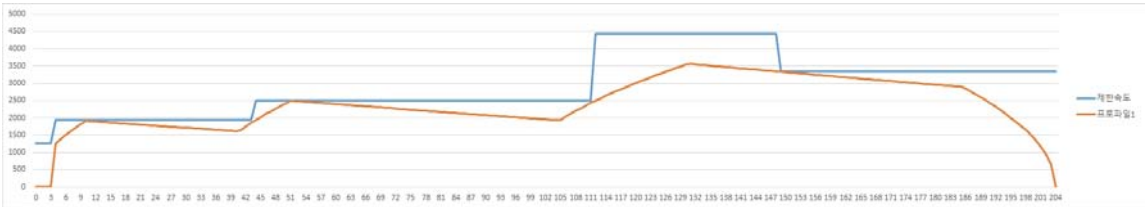


그림 59 ATO 운행 프로파일 연산 결과

- 생성된 ATO 운행 프로파일을 바탕으로 MRL 시뮬레이터를 이용한 시험에서 열차 가 실제로 운행한 속도 프로파일은 아래와 같다. 차상 ATO는 MRL 시뮬레이션 상에서 미리 연산된 속도 프로파일과 동일하게 운행한다.



그림 60 ATO 운행 프로파일에 의한 실제 운행 결과

㉯ Timing Point 상태 전환

열차가 Timing Point(Passing Point, Stopping Point)를 통과할 때 Passing Point (또는 Stopping Point to be skipped)는 Passed 상태로 변경되고, 정차할 때는 Stopping Point가 Reached 상태로 변경된다.



Timing Point-
Passing Point 통과 시



Timing Point-
Stopping Point 정차 시

㉮ 열차 출입문 제어

열차가 정차 위치에 정차하고 출입문 열림 조건이 충족되었을 경우에 수신한 출입문 열림 신호에 따라서 출입문 개방 명령을 내리고 알맞은 방향의 출입문을 개방한다.



출입문 열림 상태



출입문 닫힘 상태



ATO 제어 출입문 닫힘 상태 DMI

㉯ Dwell Time 관리

열차가 정차지점(역)에서 정차 시 열차 출발 시점까지 남은 시간을 계산하여 DMI에 현시한다. 열차를 멈춰놓거나 남은 시간이 1분 이상일 경우, 열차 출발 예정 시간이 지나 지연된 경우 지연된 시간을 현시한다.



출발 시점까지 남은 시간



정차 지점에서 Train Hold



출발 시점까지 남은 시간(1분 이상)



출발 시점 기준 지연 시간

㉮ 자동운전 및 정위치 정차

- 열차가 SoM(Start of Mission) 절차를 거쳐서 ATP가 FS(Full Supervision)모드로 변경되고, ATO가 ATO Engagement를 만족할 경우에 자동운전을 시작한다.
- 열차가 LRBG(Last Related Balise Group)를 통과하여 MA(Movement Authority) 정보를 수신하고 EoA 지점까지 운행한 뒤 정차하는 프로파일을 따라 운행하고 목표지점에 정차하여 정위치 정차 시 DMI에 현시된다.



자동운전 화면



정위치 정차 화면

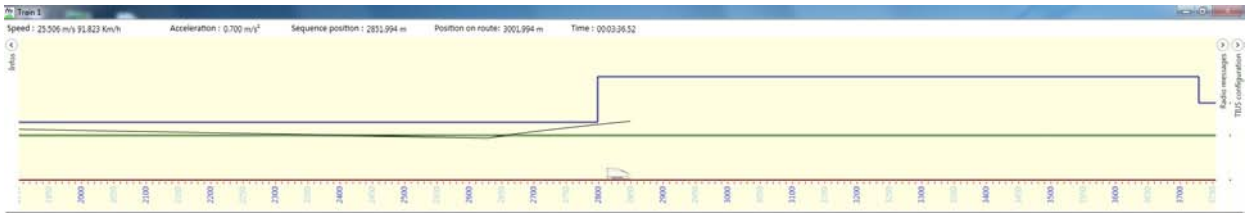


그림 61 ATO 자동운전



그림 62 ATO 정위치 정차

③ 차상 ATO 인터페이스 확인

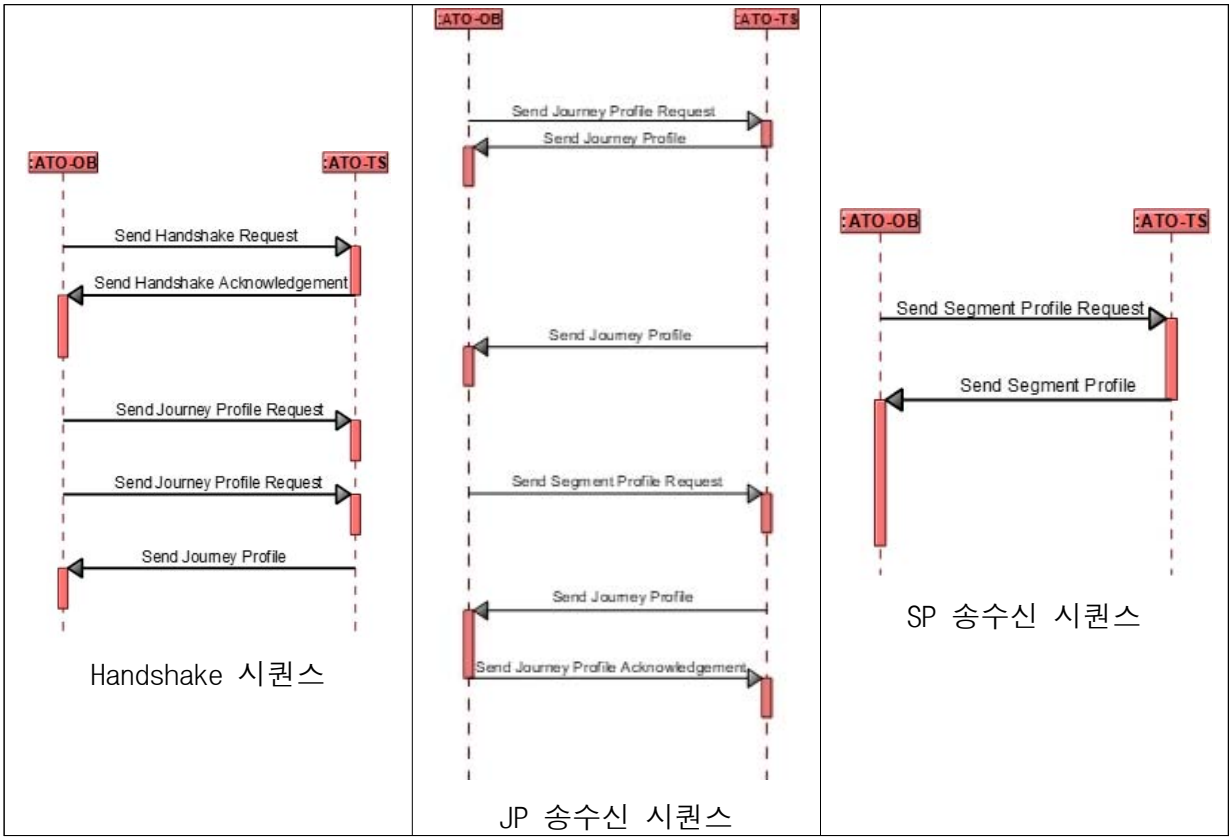
차상 ATO CPU보드는 ATP CPU보드와 Profibus를 통하여 인터페이스하고 MRL과 UDP를 사용하여 인터페이스한다. ATOOB CPU보드의 제어는 콘솔과 Serial 통신을 통하여 수행한다. MRL은 ATOTS와 차량의 역할을 대신하여 ATOOB와 인터페이스한다.

㉮ ATO-ATP 인터페이스

ATP - ATO간 송수신 Packet 데이터를 출력하여 동일함을 확인한다.

㉯ 차상 ATO - 지상 ATO 인터페이스

- 차상 ATO → 지상 ATO 전송 Packet : Handshake Request, Journey Profile Request, Journey Profile Acknowledgement, Segment Profile Request
- 지상 ATO → 차상 ATO 전송 Packet : Handshake Acknowledgement, Journey Profile, Segment Profile
- 차상 ATO와 지상 ATO간 정의된 Sequence에 따라서 Packet을 주고받는다. 순서에 맞게 정상적인 Packet이 송수신되었을 경우 MRL의 Live Log 화면에 Log가 현시된다.



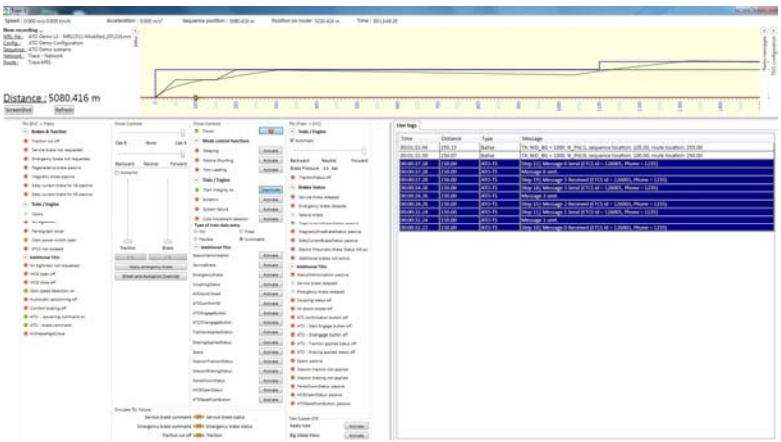
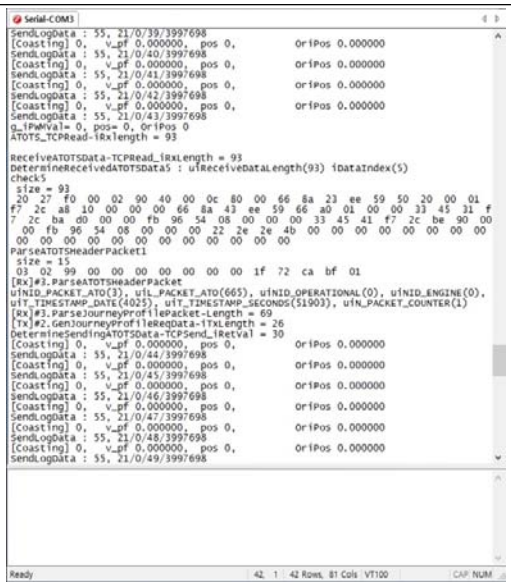
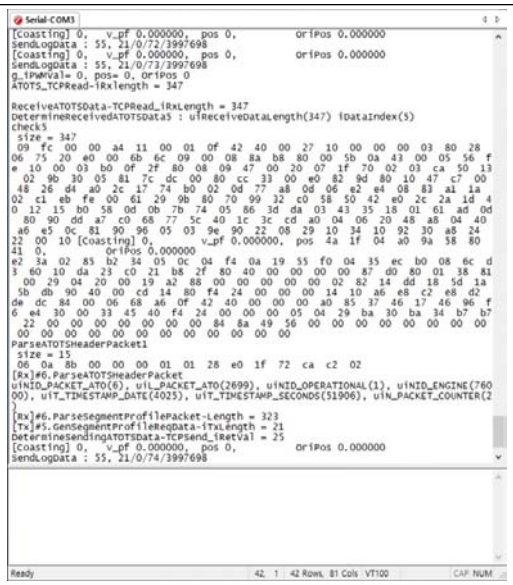


그림 63 차/지상 ATO 송수신 패킷 로그

- 차상 ATO가 지상 ATO(MRL)로부터 수신한 Journey Profile Packet과 Segment Profile Packet의 Parsing 결과는 아래와 같다. 지상 ATO(MRL)에서 송신한 두 Packet의 data와 차상 ATO가 수신한 두 Packet의 data를 콘솔 화면으로 확인한다.



Journey Profile Packet 데이터



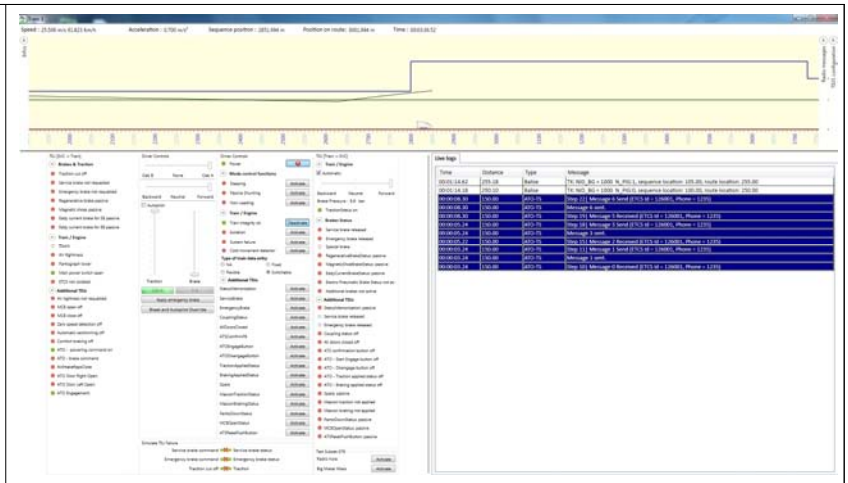
Segment Profile Packet 데이터

㉰ ATOOB-TRAIN 인터페이스

- 연산된 프로파일에서 열차가 추진(Motoring) 구간에 위치할 때, ATO는 열차 추진 명령을 출력하고 DMI에 현시된다.



추진 제어 구간



MRL 화면(Motoring 제어 구간)

④ ATO Test Report

- 시나리오 각 스텝별 결과를 확인하여 Test Report를 작성

(9) 확인/검증

(가) 확인(Verification)

ETCS-L3 시스템 개발 수명주기 동안 시스템 전체, 하드웨어 및 소프트웨어의 Verification 프로세스는 아래 그림과 같다.

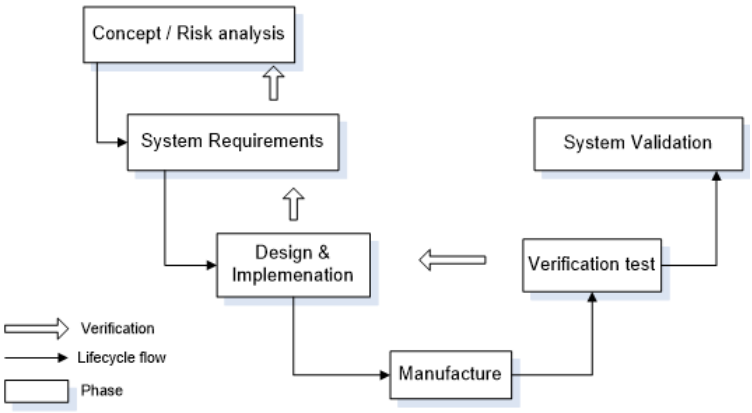


그림 64 시스템 Verification 절차

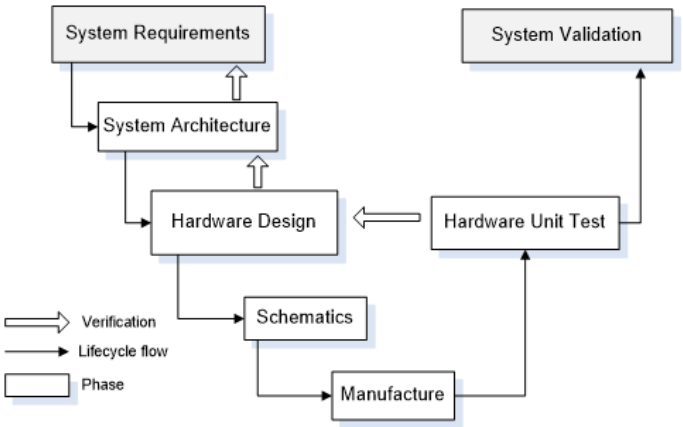


그림 65 하드웨어 Verification 절차

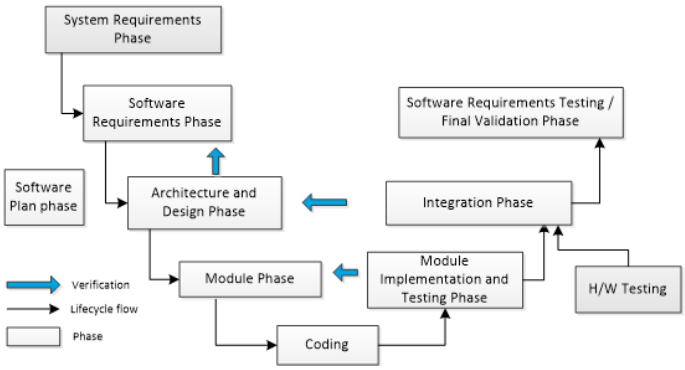
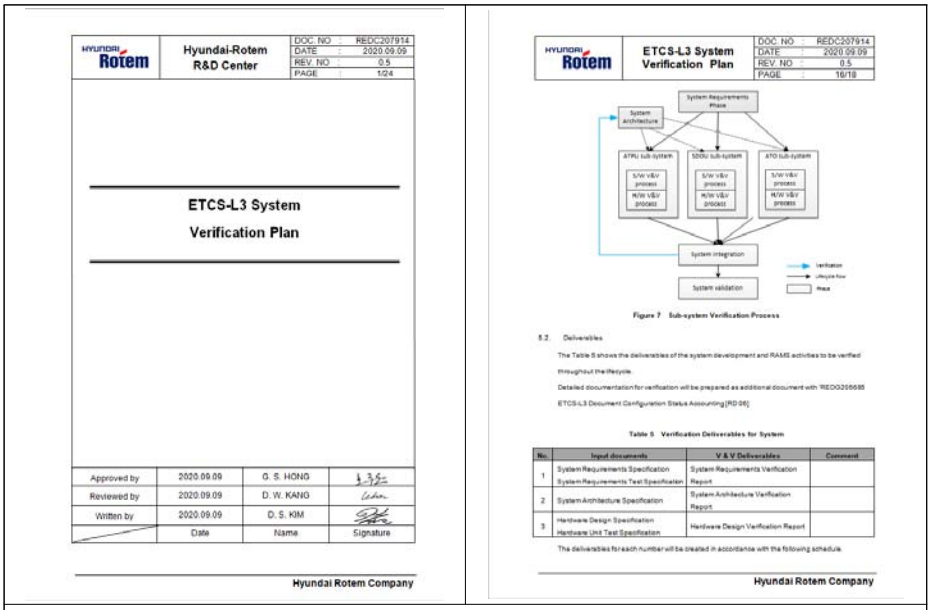


그림 66 소프트웨어 Verification 절차

Verification에 대한 상세한 계획은 Verification 계획서에 명시되어 있으며 계획에 따라 개발 수명주기 동안 Verifier에 의해 Verification이 진행된다. 아래는 Verification

계획서이다.



<시스템 Verification 계획서>

Verification 활동 수행에 따른 Verification Report 결과물은 아래와 같다.

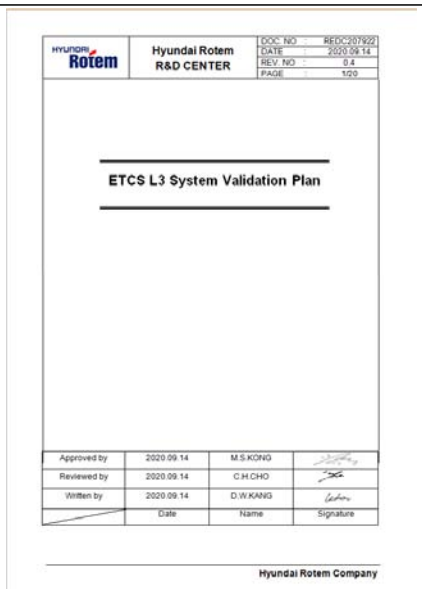
표 60 Verification 결과

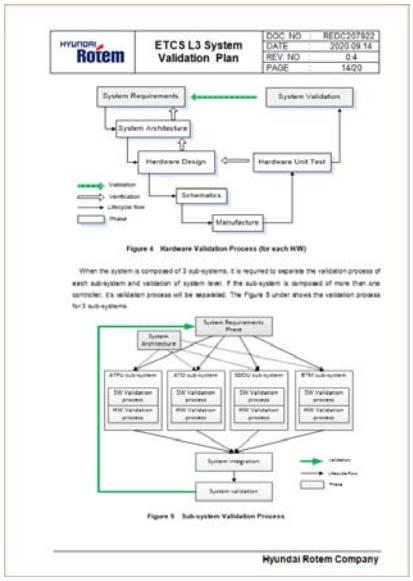
단계	Verification 보고서
Concept/ Risk analysis	ETCS-L3_Hardware Design and FMECA Verification Report ETCS-L3_Software Quality Assurance Verification Report
System Requirements	ETCS-L3_System Requirement Verification Report ETCS-L3_ATP_CPU_APP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_SDOU_APP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_ATO_CPU_APP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_ATP_CPU_BSP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_SDOU_BSP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_ATO_CPU_BSP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_ATP_VI_APP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_ATP_VO_APP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_ATP_COM_APP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_ATP_DI_APP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_ATP_DO_APP_Software Requirements Verification Report ETCS-L3_ATP_MEM_APP_Software Requirements Verification Report
Design & Implementation	ETCS-L3_System Architecture Verification Report ETCS-L3_ATP_CPU_APP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_ATP_CPU_APP_Software Component Design Verification Report ETCS-L3_SDOU_APP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_SDOU_APP_Software Module Design Verification Report

	ETCS-L3_ATO_CPU_APP_Software Architecture Verification Report ETCS-L3_ATP_CPU_BSP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_ATP_CPU_BSP_Software Component Design Verification Report ETCS-L3_SDOU_BSP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_SDOU_BSP_Software Component Design Verification Report ETCS-L3_ATO_CPU_BSP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_ATP_VI_APP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_ATP_VI_APP_Software Component Design Verification Report ETCS-L3_ATP_VO_APP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_ATP_VO_APP_Software Component Design Verification Report ETCS-L3_ATP_COM_APP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_ATP_DI_APP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_ATP_DO_APP_Software Architecture & Design Verification Report ETCS-L3_ATP_MEM_APP_Software Architecture & Design Verification Report
Manufacture	ETCS-L3_ATP_CPU_APP_Software Source Code Verification Report ETCS-L3_ATP_CPU_APP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_SDOU_APP_Source Code Verification Report ETCS-L3_SDOU_APP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_ATO_CPU_APP_Source Code Verification Report ETCS-L3_ATO_CPU_APP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_ATP_CPU_BSP_Source Code Verification Report ETCS-L3_ATP_CPU_BSP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_SDOU_BSP_Source Code Verification Report ETCS-L3_SDOU_BSP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_ATO_CPU_BSP_Source Code Verification Report ETCS-L3_ATO_CPU_BSP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_ATP_VI_APP_Software Source Code Verification Report ETCS-L3_ATP_VI_APP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_ATP_VO_APP_Software Source Code Verification Report ETCS-L3_ATP_VO_APP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_ATP_COM_APP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_ATP_COM_APP_Software Source Code Verification Report ETCS-L3_ATP_DI_APP_Software Source Code Verification Report ETCS-L3_ATP_DI_APP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_ATP_DO_APP_Software Source Code Verification Report ETCS-L3_ATP_DO_APP_Software Integration Verification Report ETCS-L3_ATP_MEM_APP_Software Source Code Verification Report ETCS-L3_ATP_MEM_APP_Software Integration Verification Report

(나) 검증(Validation)

System Requirement Specification (including HW Requirements) 및 SW Requirement Specification을 만족하는지 검증한다. Validation에 대한 상세한 계획은 Validation 계획서에 명시되어 있으며 계획에 따라 개발 수명주기 동안 Validator에 의해 진행된다. 아래는 Validation 계획서이다.





<시스템 Validation 계획서>

시스템 Validation 계획에 따라 소프트웨어 Validation과 시스템 Validation으로 진행된다. Validation 결과물은 아래와 같다.

표 61 Validation 결과

단계		Validation 보고서
System Requirement		ETCS-L3_System Requirement Validation Report
Validation	SW Validation	ETCS-L3_ATP_CPU_APP_Software Validation (incl. Report) ETCS-L3_SDOU_APP_Software Validation (incl. Report) ETCS-L3_ATO_CPU_APP_Software Validation (incl. Report) ETCS-L3_ATP_CPU_BSP_Software Validation Report ETCS-L3_SDOU_BSP_Software Validation Report ETCS-L3_ATO_CPU_BSP_Software Validation (incl. Report) ETCS-L3_ATP_VI_APP_Software Validation Report ETCS-L3_ATP_VO_APP_Software Validation Report ETCS-L3_ATP_COM_APP_Software Validation (incl. Report) ETCS-L3_ATP_DI_APP_Software Validation Report ETCS-L3_ATP_DO_APP_Software Validation Report ETCS-L3_ATP_MEM_APP_Software Validation Report
	System Validation	ETCS-L3_System Validation (incl. Report)

각 산출물을 기반으로 프로세스, 요구사항 및 규격의 준수여부에 대한 validation을 수행하였으며, 각 수명주기 단계 별 활동이 잘 이루어지고 있음을 확인하였다.Validation 단계에서 SW Validation 및 System Validation을 통해 최종적으로 validation이 종결되며, 정의된 요구사항에 근거하여 적합한 시스템이 개발되었음을 나타낸다.

(10) 안전성 평가(독일 TUV-SUD)

(가) 안전성 평가회의

① 개념평가 회의(1차,2차 web-meeting)
- 날짜 : 20.07.06(1차), 20.07.09(2차)
- 주요 내용
  - 미팅 순서 및 참석자 소개
  - 시스템 정의 및 인증 평가 범위
  - 시스템의 안전기능, HW 구조 및 SIL 할당
  - 시스템 평가 범위 관련 문서 구조
  - 품질 관리 프로세스 체크
  - 안전 관리 프로세스 체크
  - 내용 정리 및 이후 일정 협의

② 3차 회의(web-meeting)
- 날짜 : 20.09.02
- 주요 내용
  - 프로젝트 진행 상태 점검
  - 개념평가 회의 결과의 후속조치 사항 확인
  - ATPU 시스템 구조와 안전/비안전 기능모듈 및 재사용 모듈 확인
  - 전원모듈 개념 확인
  - SDOU 시스템 구조와 안전/비안전 기능모듈 및 재사용 모듈 확인
  - 내용 정리 및 이후 일정 협의

③ 4차 회의(web-meeting)
- 날짜 : 20.10.07
- 주요 내용
  - 프로젝트 진행 상태 점검
  - 이전 회의 결과의 후속조치 사항 확인
  - 안전장치와 비안전장치간 인터페이스 구조 및 설계
  - 인증/비인증 범위에 대한 구분/분리
  - SDOU 변경기능 및 변경에 따른 영향분석 활동
  - 내용 정리 및 이후 일정 협의

④ 5차 회의(web-meeting)
- 날짜 : 20.12.07
- 주요 내용
  - 프로젝트 진행 상태 점검
  - 이전 회의 결과의 후속조치 사항 확인

- SDOU 변경기능 및 변경에 따른 영향분석 활동
- 내용 정리 및 이후 일정 협의

⑤ 6차 회의(web-meeting)

- 날짜 : 20.12.16
- 주요 내용
  - 프로젝트 진행 상태 점검
  - 이전 회의 결과의 후속조치 사항 확인
  - ATPU, SDOU SW 설계 확인 (Manual code, SCADE)
  - Defensive Programming 적용
  - 내용 정리 및 이후 일정 협의

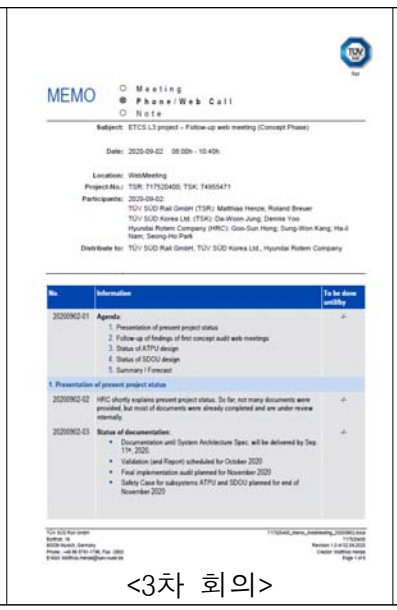


그림 67 Web-meeting 실시 사진



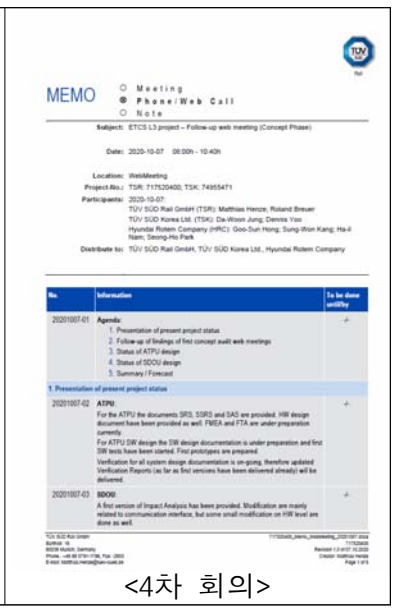
MEMO ○ Meeting ◉ Phone/Web Call ○ Note

<1, 2차 회의>



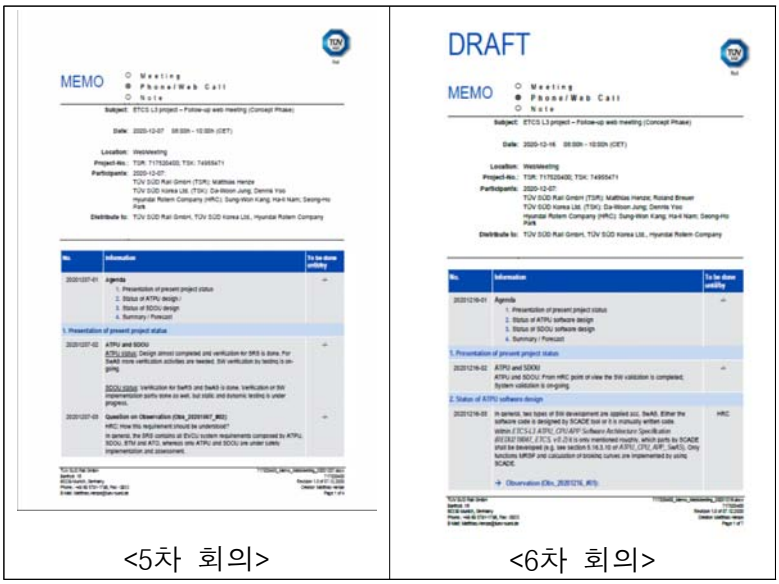
MEMO ○ Meeting ◉ Phone/Web Call ○ Note

<3차 회의>



MEMO ○ Meeting ◉ Phone/Web Call ○ Note

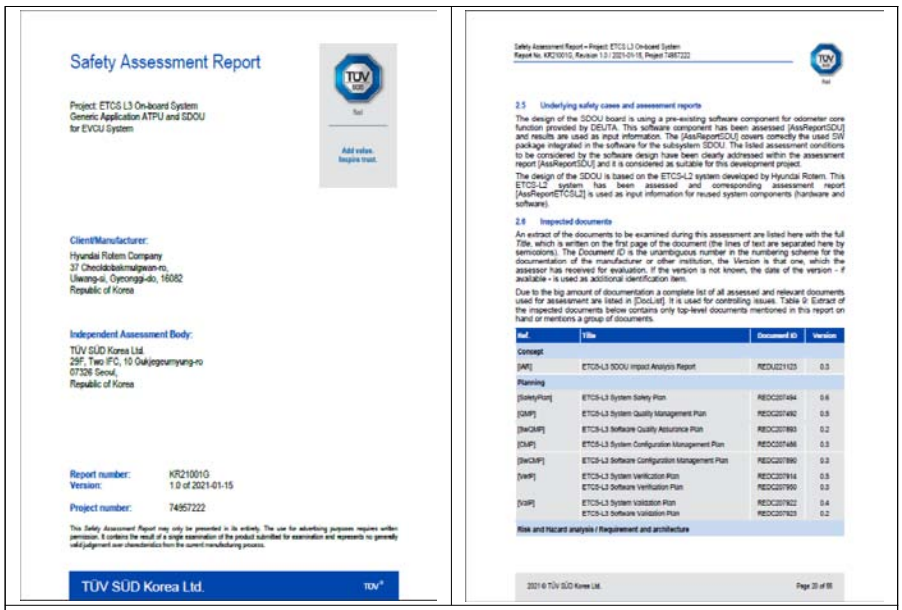
<4차 회의>



<5차 회의> <6차 회의>

(나) 안전성 평가 보고서(Interim)

- 날짜 : 21.1.15
- 주요 내용
  - COVID-19 영향에 의해 평가활동에 제약이 있었으며, 이 상황이 과제진행에 지연을 발생함
  - 현재 개발 현황은 SIL4의 요구사항에 따라 ATPU 및 SDOU가 적합하게 구현됨을 확인함
  - SIL4에 연관된 표준 준수 여부에 대한 최종 확인이 보류중임



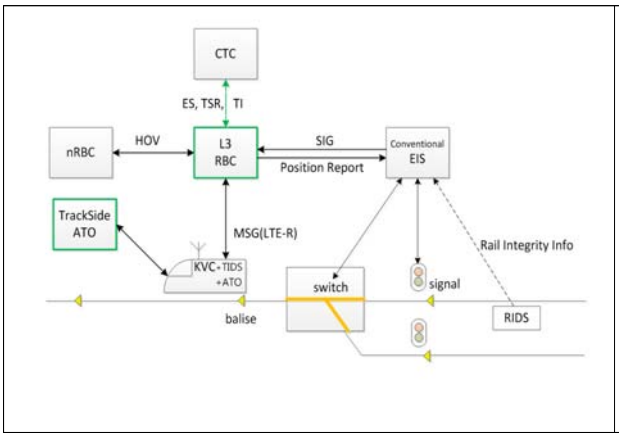
<Safety Assesment Report>

2-3-3 [공동] 지상ATP 개발

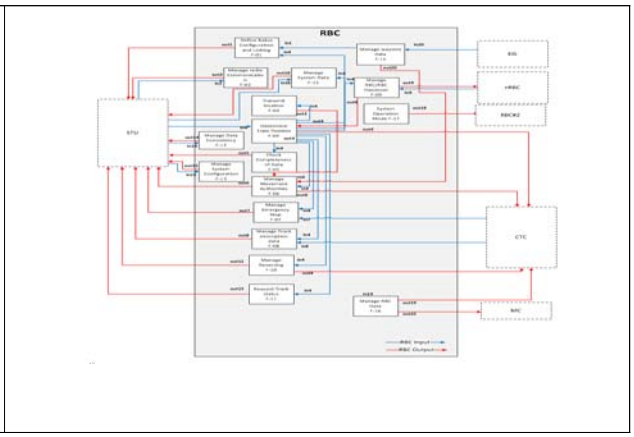
가. 이동폐색 지상 ATP/ATO 요구사항 분석 및 개념 설계 수행

(1) ERTMS/ETCS 요구사항 분석 및 시스템 개념 설계

- 시스템 구성도 및 지상 ATP 배경 개념 수립
- System Function 기능 개념 설계 작성
- 차상 ATP 관리 요구사항 분석 및 개념 설계 작성
- 인접 지상 ATP 핸드오버 기능 분석 및 개념 설계 작성
- ETCS Baseline2 Subset-026 상호호환을 위한 시스템 요구사양서 분석과 시스템 기능 13개 도출



〈시스템 컨셉 및 구성〉



〈시스템 기능 및 기능 간 Data Flow〉

표 62 System Function별 Software 기능 분석

System Function Block ID	System Function Block Name	Software Function Block	Software Sub-Function Block
F_01	Define Balise Configuration and Linking	Define Balise Configuration and Linking	Define Balise co-ordinate system
			Define Linking
F_02	Manage Radio Communication	Manage Radio Communication	Initial of a communication session
			No Compatible
			Session Establish
			Terminate a communication session
F_03	Determine Train Position	Determine Train Position	Train Position Report Parameter
			Train Position Report
F_04	Manage Movement Authorities	Manage Movement Authorities	MA Request Parameter
			Structure Movement Authority
			SR Authority
			Cancel Route Shortening MA
			RID Shortening MA
F_05	Manage Emergency	Manage Emergency	Unconditional EmergencyStop

	Stop	Message	Conditional EmergencyStop
			Revoke emergency message
F_06	Manage Track description data	Manage Track description data	SSP
			Gradient
			TrackCondition
			Temporary speed restriction
			Revocation Temporary speed restriction
			Send TSR packet
			Send Text Messages
F_07	Manage RBC/RBC Handover	Handingo5ver RBC	preannouncement
			RRI Request
			Announcement
			Cancellation
			Handover RBC Termination
			RRI Confirmation
			RecvRRI
			RecvTakingOver
			RecvAcceptingRBCCancellation
			CheckLifeSign
		Accepting RBC	RRI
			Taking over
			LifeSign
			Accepting RBC Cancellation
			Request for RRI Confirmation
F_08	Manage Reversing	Manage Reversing	Reversing
F_09	Request Track Status	Request Track Status	Track ahead Free Request
			Track ahead Free Granted
F_10	Manage Data consistency	Manage Data consistency	Prepare of radio messages
			Check received radio messages
F_11	Manage System Data	Manage System Data	Manage National values
			Manage Train data
			Train Running Number
F_12	System Operation Mode & Redundancy Principle	System Operation Mode & Redundancy Principle	Startup mode
			Stanby mode
			Online mode
			Maintenance mode
F_13	Procedure	Procedure	start of Mission

			end of mission
			Shunting Initiated by Driver
			Exit of Train trip
IF_01	RBC_EIS	EIS IF Management	EISDataConsistency
			EisLinkFail
			RbcReportEis
IF_02	RBC_CTC	CTC IF Management	CTCIFConsistency
			CTCLinkFail
			RbcReportCtc
IF_03	RBC_SCM	SCM IF Management	SCMDataConsistency
			Safe Connection
			Safe Data
			Safe Disconnection
IF_04	RBC_NRBC	NRBC IF Management	NRBCIFConsistency
			ALE Connection Request
			ALE Connection Confirm
			ALE Data
			ALE Disconnection request
			Check Life Sign
IF_05	RBC_MC	MC IF Management	RbcReportMc
IF_06	RBC#1_RBC#2	RBC RBC IF Management	RBCRBCDataConsistency

(2) 이동폐색 알고리즘 적용을 위한 요구사양 분석 및 개념 설계

(가) 소프트웨어 요구사항 분석

- 시스템 기능에 따른 소프트웨어 기능 요구 분석
- 소프트웨어 요구 명세서 작성 및 소프트웨어 요구사항 124개 도출
- 소프트웨어 (하드웨어, 유저) 인터페이스 설계
- 소프트웨어 Function 모듈 간 인터페이스 설계

표 63 System Function Block ID

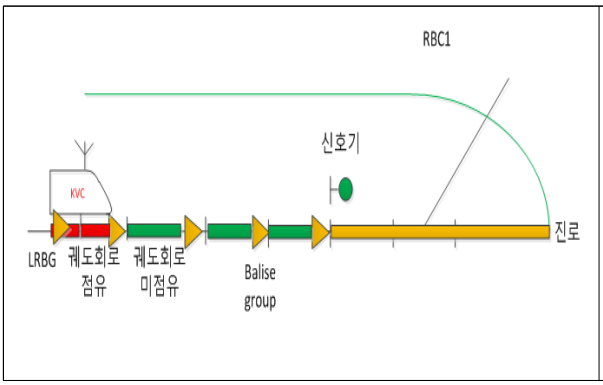
System Function Block ID	System Function Block Name	Software Function Block	Software Sub-Function Block
F_01	Define Balise Configuration and Linking	Define Balise Configuration and Linking	Define Balise co-ordinate system
			Define Linking
F_02	Manage Radio Communication	Manage Radio Communication	Initial of a communication session
			No Compatible
			Session Establish
			Terminate a communication session
F_03	Determine Train	Determine Train	Train Position Report Parameter

	Position	Position	Train Position Report
F_04	Manage Movement Authorities	Manage Movement Authorities	MA Request Parameter
			Structure Movement Authority
			SR Authority
			Cancel Route Shortening MA
			RID Shortening MA
F_05	Manage Emergency Stop	Manage Emergency Message	Unconditional EmergencyStop
			Conditional EmergencyStop
			Revoke emergency message
F_06	Manage Track description data	Manage Track description data	SSP
			Gradient
			TrackCondition
			Temporary speed restriction
			Revocation Temporary speed restriction
			Send TSR packet
			Send Text Messages
F_07	Manage RBC/RBC Handover	Handingover RBC	preannouncement
			RRI Request
			Announcement
			Cancellation
			Handover RBC Termination
			RRI Confirmation
			RecvRRI
			RecvTakingOver
			RecvAcceptingRBCCancellation
			CheckLifeSign
		Accepting RBC	RRI
			Taking over
			LifeSign
			Accepting RBC Cancellation
			Request for RRI Confirmation
F_08	Manage Reversing	Manage Reversing	Reversing
F_09	Request Track Status	Request Track Status	Track ahead Free Request
			Track ahead Free Granted
F_10	Manage Data consistency	Manage Data consistency	Prepare of radio messages
			Check received radio messages
F_11	Manage System Data	Manage System	Manage National values

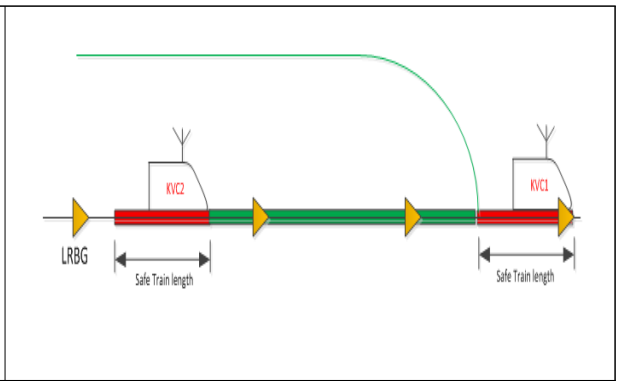
		Data	Manage Train data
			Train Running Number
F_12	System Operation Mode & Redundancy Principle	System Operation Mode & Redundancy Principle	Startup mode
			Stanby mode
			Online mode
			Maintenance mode
F_13	Procedure	Procedure	start of Mission
			end of mission
			Shunting Initiated by Driver
			Exit of Train trip
IF_01	RBC_EIS	EIS IF Management	EISDataConsistency
			EisLinkFail
			RbcReportEis
IF_02	RBC_CTC	CTC IF Management	CTCIFConsistency
			CTCLinkFail
			RbcReportCtc
IF_03	RBC_SCM	SCM IF Management	SCMDataConsistency
			Safe Connection
			Safe Data
			Safe Disconnection
IF_04	RBC_NRBC	NRBC IF Management	NRBCIFConsistency
			ALE Connection Request
			ALE Connection Confirm
			ALE Data
			ALE Disconnection request
			Check Life Sign
IF_05	RBC_MC	MC IF Management	RbcReportMc
IF_06	RBC#1_RBC#2	RBC RBC IF Management	RBCRBCDataConsistency

(나) Level 3의 연동장치와 열차 위치 정보에 의한 이동폐색형 이동권한 생성 분석

- Level 2 기존 연동장치의 시그널링 정보에 의한 이동권한 생성 분석
- Level 3의 연동장치와 열차 위치 정보에 의한 이동폐색형 이동권한 생성 분석



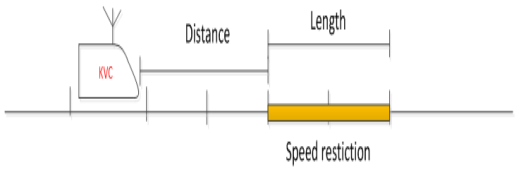
<Level 2 이동권한 생성 방법>



<Level 3 이동권한 생성 방법>

(다) CTC 관제 설비 제어 명령 분석

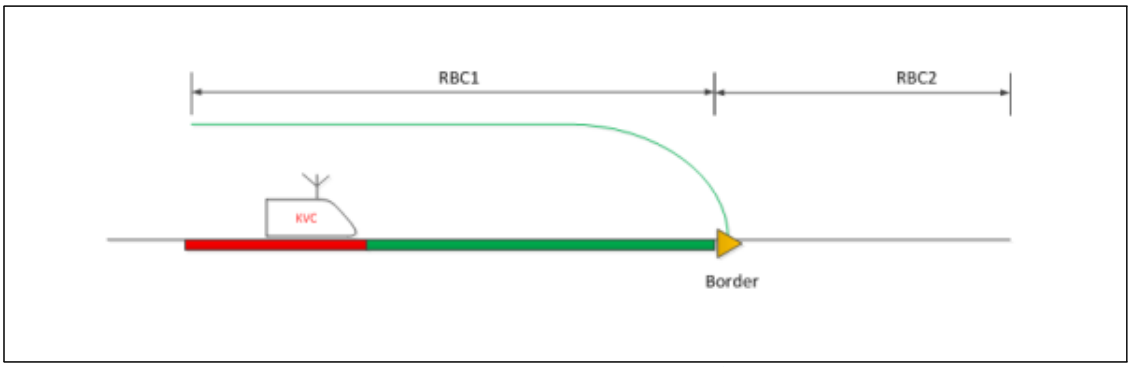
- 비상정지 명령 개념 설계를 위한 분석
- 임시 제한 속도 개념 설계를 위한 분석

- 무조건 비상정지 Unconditional Emergency Stop은 RBC가 열차로 비상정지 ID와 함께 전송한다. 열차가 무조건 비상정지를 수신하면 Trip 모드가 되어 비상정지로 정지함 ● 연동장치로부터 시그널링 정보를 수신하지 못할 때. ● CTC로부터 제어 메시지를 수신할 때. - 비상정지 회복 CTC로부터 무조건 비상정지로 인한 열차의 Trip 모드 시 열차의 완전 정차 후 CTC로부터 비상정지 해제 명령을 수신하면 열차의 모드 전환 절차(기관사의 Trip모드 해제 후) 에 따라 비상정지체결 ID와 함께 비상정지 해제 명령을 전송함	- 지상 ATP에서 차상 ATP/ATO로 전송할 데이터 도출 - 필요 데이터 : 시작하기까지의 거리 임시속도제한 구역의 길이 임시속도제한의 속도 임시속도제한 구분 ID RBC1 
<비상정지 명령 개념 설계>	<임시속도제한 개념 설계>

(라) 지상 ATP 핸드오버 절차 및 시스템 기능 분석

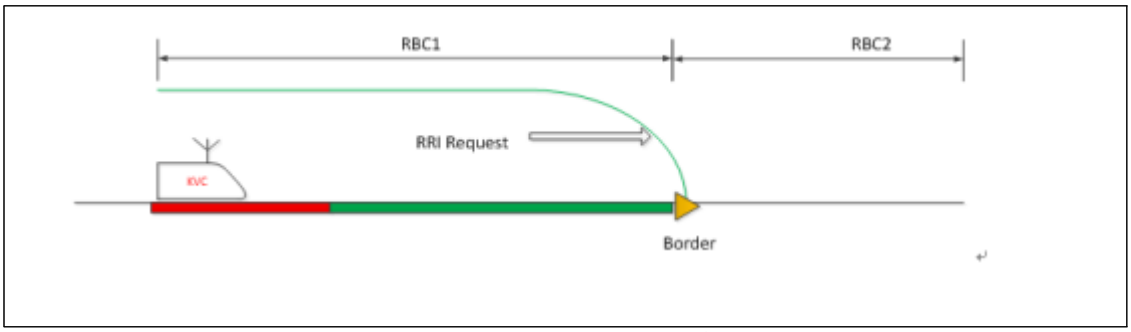
- 열차가 RBC의 경계지점을 정차없이 통과할 수 있도록 하기 위한 절차이며, Accepting RBC의 구역의 이동권한을 핸드오버 RBC가 수신하여 열차로 전달하기 위한 기능

- Pre-announce



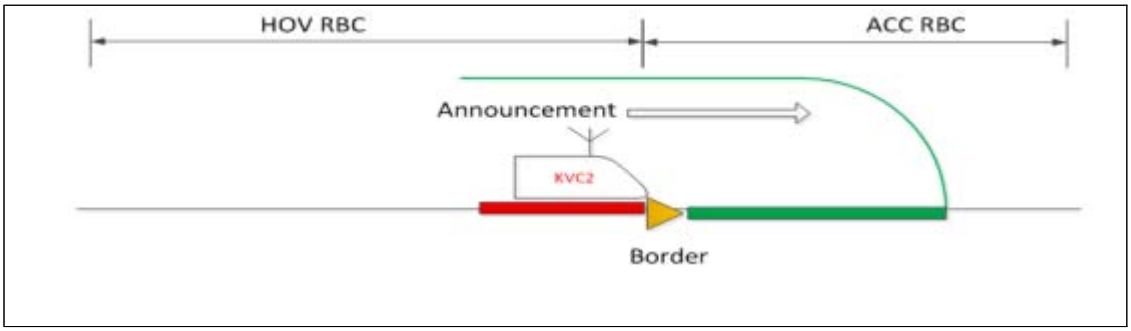
〈Prea-announce 개념 설계〉

- Route Reated Information Request



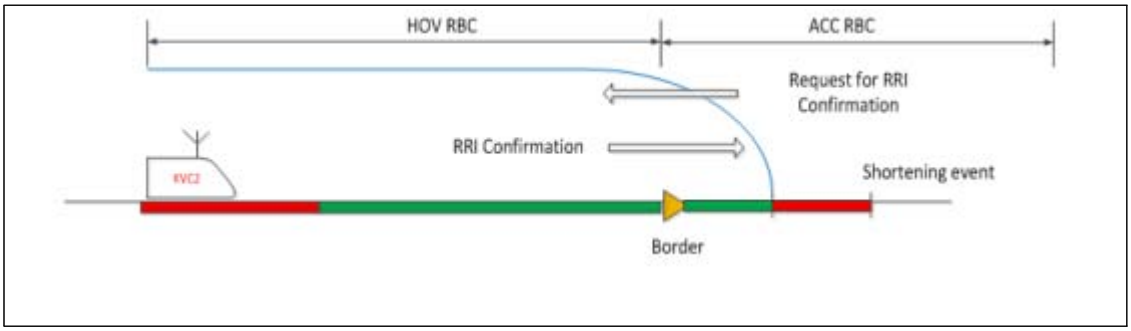
〈RRI Request 개념 설계〉

- Announcement



〈Announcement 개념 설계〉

- RRI Confirmation



〈RRI confirmation 개념 설계

(3) RBC와 외부 인터페이스간 인터페이스 분석

(가) 지상 ATP와 관제 설비간 인터페이스를 위한 명세서 분석

① 지상ATP 및 관제설비간 EN50128 규격 적용 검토

표 64 지상 ATP(RBC)-CTC EN50159 Trace Matrix

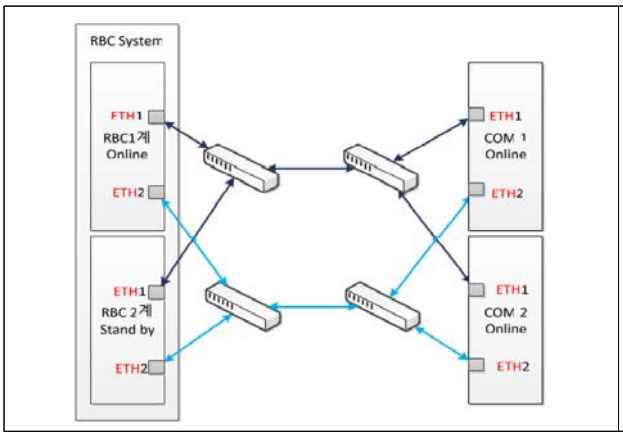
Threats	Defences							
	Sequence Number	Time Stamp	Time-out	Source and destination identifiers	Feed-back message	Identification procedure	Safety code	Cryptographic techniques
Repetition	X							
Deletion	X							
Insertion	X			X	X			
Re-sequence	X							
Corruption							X	
Delay			X					
Masquerade					X			
RBC-CTC FFFIS	3.3.2.3 Sequence Number		3.3.1 TCP	3.3.2.4 Message	3.3.2.4.3 ACK		3.3.2.5 CRC32	

② 지상ATP 및 관제설비간 사양 검토

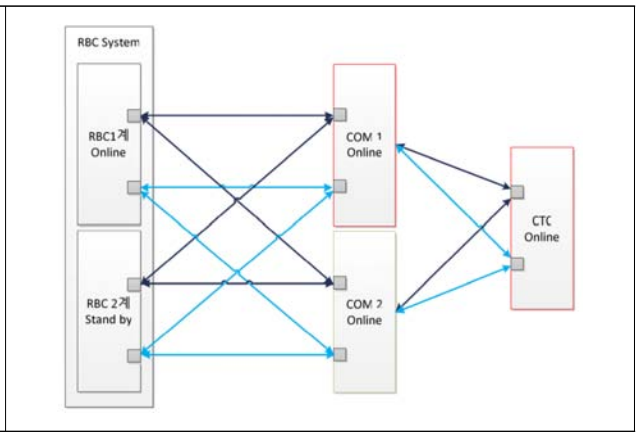
표 65 지상 ATP와 관제 설비간사양

구분	사양
정보전송 방향	양방향(RBC <-> CTC)
신호 회선 수	2회선
물리적 연결	ETHERNET 10/100 Base-T
커넥터 단자	RJ-45 -<> RJ-45
통신 프로토콜	TCP/IP
전송 주기	CTC 1s, RBC 500ms
최대DATA 사이즈	1024 Byte

③ 지상ATP 및 관제설비간 물리적 논리적 연결 검토

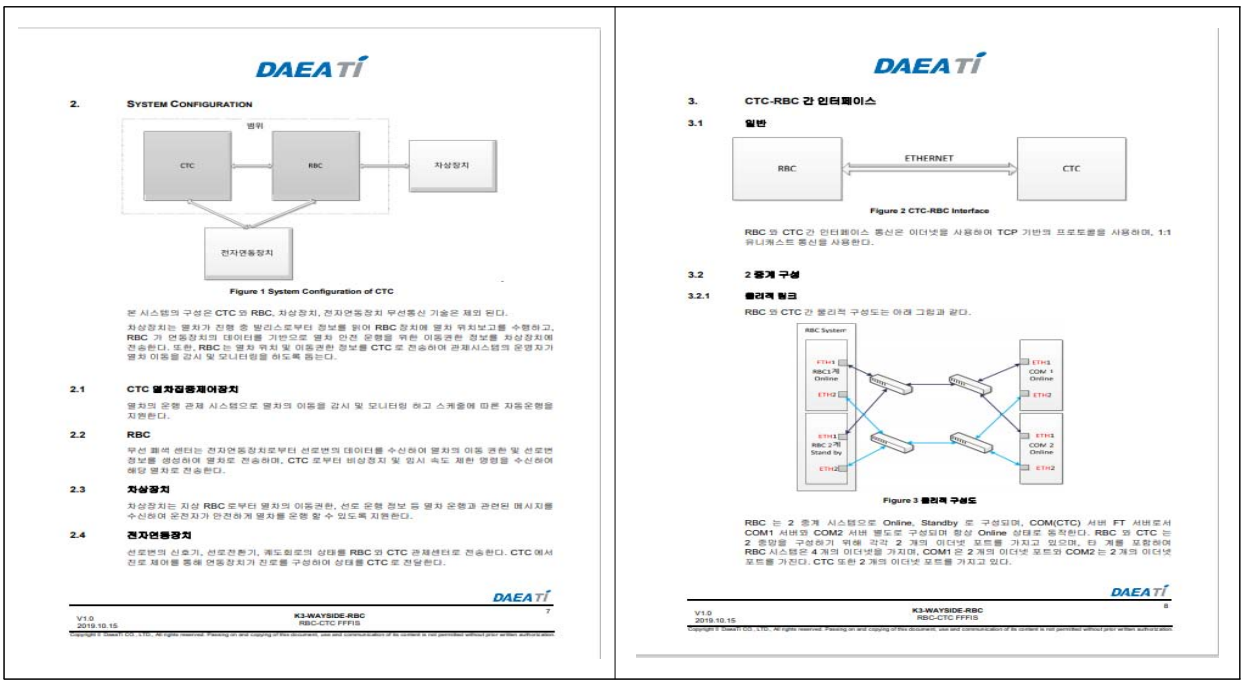


<RBC - CTC 물리적 연결 검토>



<RBC-CTC 논리적 연결 검토>

④ 지상ATP와 관제 설비간 인터페이스 명세서 (RBC-CTC FFFIS) 작성



<RBC-CTC FFFIS 작성>

(나)지상 ATP와 전자연동장치간 인터페이스를 위한 명세서 분석

① 지상ATP 및 전자연동장치간 EN50128 규격 적용 검토

표 66 지상 ATP(RBC)-EIS EN50159 Trace Matrix

Threats	Defences							
	Sequence Number	Time Stamp	Time-out	Source and destination identifiers	Feed-back message	Identification procedure	Safety code	Cryptographic techniques
Repetition	X							
Deletion	X							

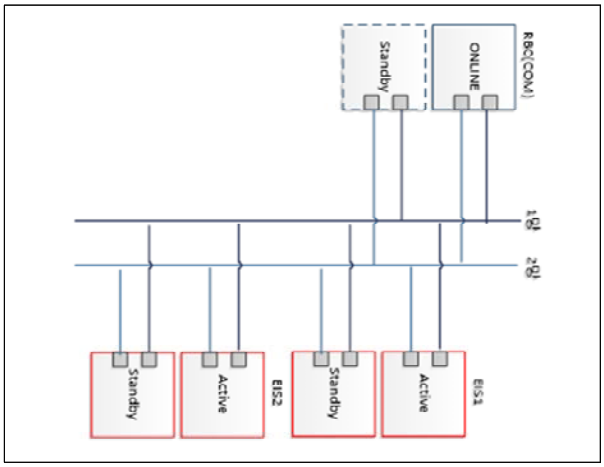
Insertion	X			X				
Re-sequence	X							
Corruption							X	
Delay			X					
Masquerade								
RBC-EIS인터페이스 사양서	2.4.3 3)Sequence No		3.2 전송주기	4.3 4) Station No.			4.4 에러 검출	

② 지상ATP 및 전자연동장치간 사양 검토

표 67 지상ATP와 전자연동장치간 사양

구분	사양
정보전송 방향	양방향(EIS <-> RBC)
신호 회선 수	2회선
물리적 연결	ETHERNET 10/100 Base-T
커넥터 단자	RJ-45 <-> RJ-45 (EIS<-> RBC)
통신 프로토콜	UDP
전송 주기	500ms

③ 지상ATP 및 전자연동장치간 인터페이스 검토



<RBC - EIS 물리적 연결 검토>

④ 지상ATP와 전자연동장치간 인터페이스 명세서 검토

(다) 지상 ATP와 인접 지상ATP간 안전한 Handover를 위한 인터페이스 명세서 분석

① 지상ATP 및 인접 지상ATP간 EN50159 규격 적용 검토(생략)

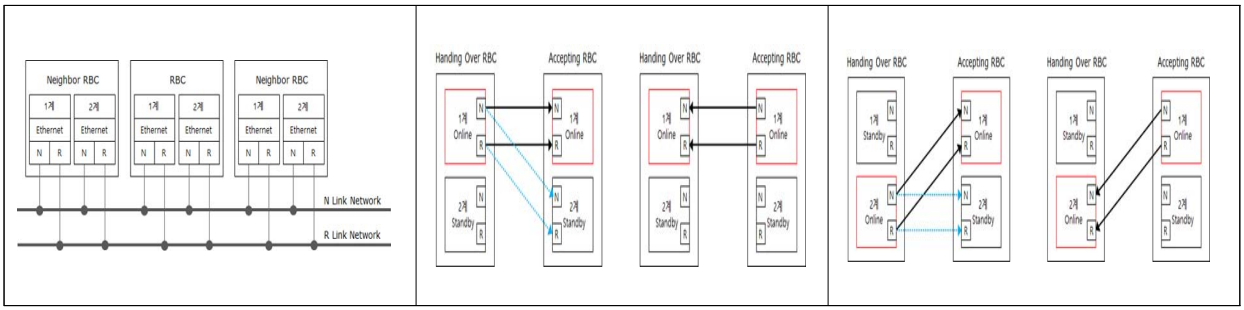
② 지상ATP 및 인접 지상 ATP 사양 검토

표 68 지상 ATP와 인접 지상 ATP 간 사양

구분	사양

정보전송 방향	양방향(RBC <-> NRBC)
신호 회선 수	2회선
물리적 연결	ETHERNET 10/100 Base-T
커넥터 단자	RJ-45 -<> RJ-45
통신 프로토콜	TCP/IP
전송 주기	이벤트
최대DATA 사이즈	1024 Byte

③ 지상ATP 및 인접 지상ATP간 물리적 논리적 연결 검토



<RBC-NRBC 물리적 구성> <RBC-NRBC 논리적 구성(1계)> <RBC-NRBC 논리적 구성(2계>

④ 지상ATP와 인접 지상ATP간 인터페이스 명세서 (RBC-NRBC FFFIS) 작성

(라)지상 ATP와 차상 ATP간 안전 전송 적용을 위한 분석 및 인터페이스 명세서 작성

① 지상ATP 및 차상ATP간 안전전송 유닛 EN50159 규격 적용 검토(생략)

② 지상ATP 및 차상ATP간 안전전송 유닛 사양 검토

표 69 지상 ATP와 안전전송 유닛간 사양

구분	사양
정보전송 방향	양방향(RBC <-> SCM(WS))
신호 회선 수	2회선
물리적 연결	ETHERNET 10/100 Base-T
커넥터 단자	RJ-45 -<> RJ-45
통신 프로토콜	UDP/IP
전송 주기	이벤트
최대DATA 사이즈	1024 Byte

③ 지상ATP 및 차상ATP간 안전전송 유닛 물리적 논리적 연결 검토



<RBC - STU 물리적 연결> <RBC- STU 논리적 연결> <RBC-STU 통신 세션 구축>

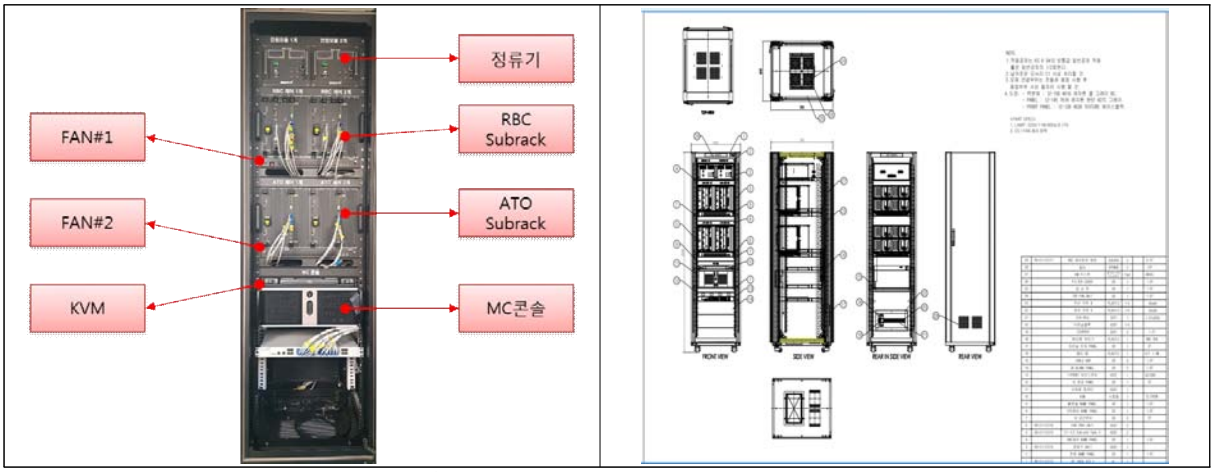
④ 지상ATP와 차상ATP간 안전전송 유닛 인터페이스 명세서 (RBC-STU FFFIS) 작성

나. 이동폐색 지상 ATP/ATO 제작

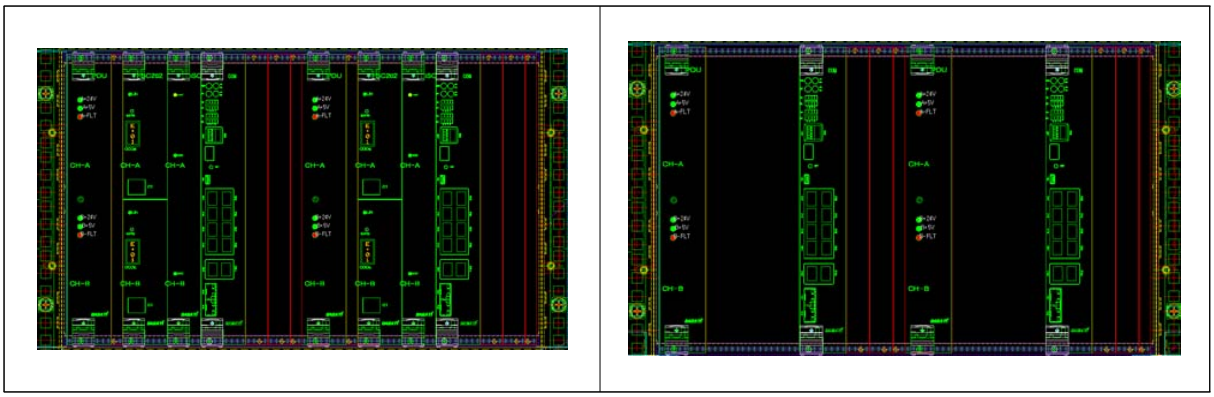
(1) 지상 ATP/ATO 시작품 제작

(가) 지상 ATP/ATO 5식 제작

- 지상 ATP/ATO RACK 및 Subrack 설계



<지상 ATP/ATO 시작품> <지상 ATP/ATO 시작품 도면>



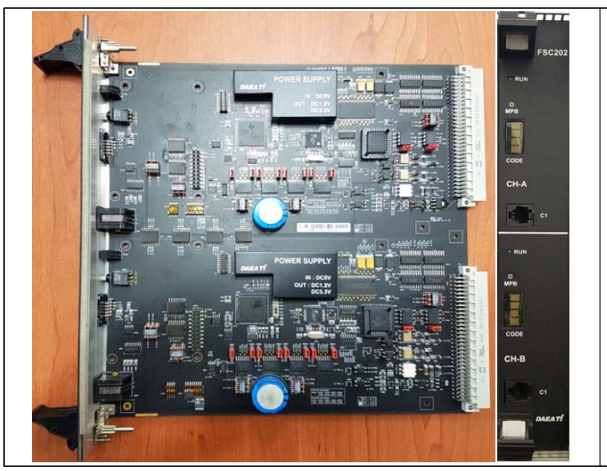
<지상 ATP 도면> <지상 ATO 도면>

표 70 지상 ATP/ATO 구성

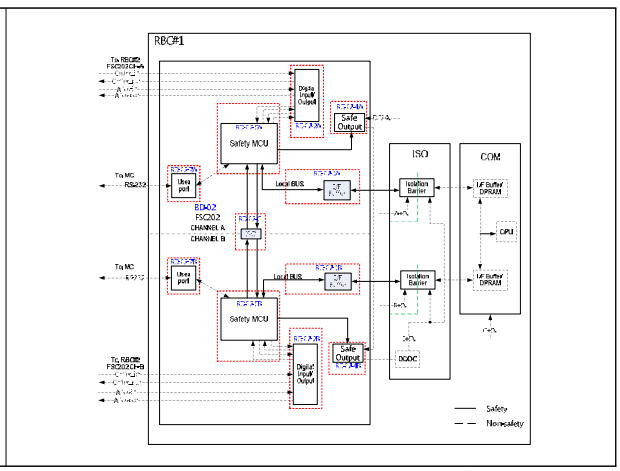
품목	품명	비고
정류기	ERS-2430	
FAN	R0002119	
PDU	PDU_V1.03	ATP, ATO Subrack
CPU	FSC202_V1.4	ATP Subrack
ISO	ISO_V1.3	ATP Subrack
COM	-	ATP, ATO Subrack
Backpalne	-	ATP, ATO Subrack
제어렉	R0002256	
LCD KVM		
MC 콘솔		
COM S/W	-	
SCM S/W	-	

- 지상 ATP CPU 보드 설계 및 제작

FSC202는 MCU, 전원, 메모리, IOBUS, UART, CAN, DI, DO, User port, Indication, ID and Use set, JTAG, Inter-communication, Safe output, 그리고 MPB로 구성되며, 독립된 2채널 구조이다. 이 FSC202에는 RBC software가 탑재되어 기능을 수행한다.

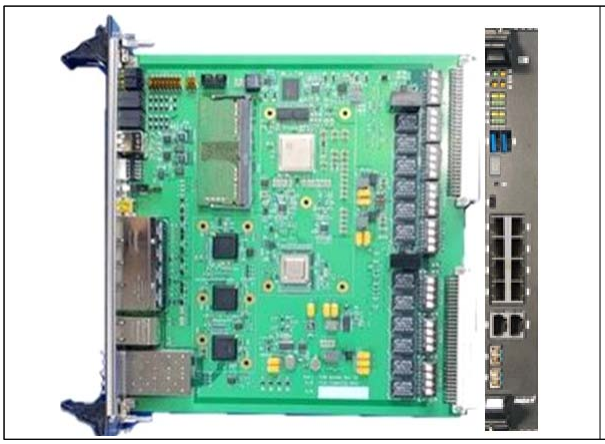


<지상 ATP CPU 보드 제작>

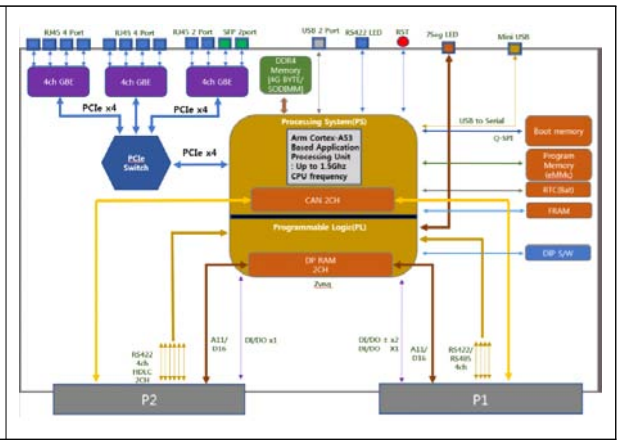


<지상 ATP CPU 보드 설계>

- 지상 ATO 보드 설계 및 제작(지상 ATP COM보드 동일 H/W)



<지상 ATO 보드 제작>



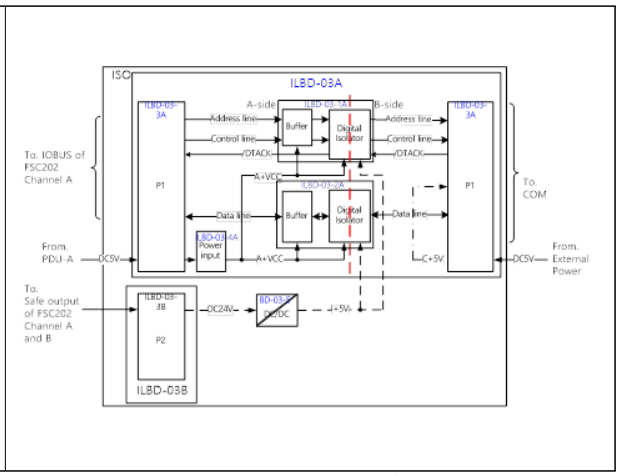
<지상 ATO 보드 설계>

- ISO 보드 설계 및 제작

ISO는 레벨 변환, 신호 절연, 절연 전원, 신호 차단, 표시들 그리고 휴즈로 구성되며, 독립된 2채널 구조이다. FSC202의 IOBUS 신호들은 Data isolator에 의해 전기적으로 분리되며, Data isolator의 left-side의 전원 공급은 FSC202의 공급전원과 동일한 전원(5V)을 사용하고, right-side와 COM board의 전원공급은 별도의 DC/DC 컨버터에 의해 제공된다.



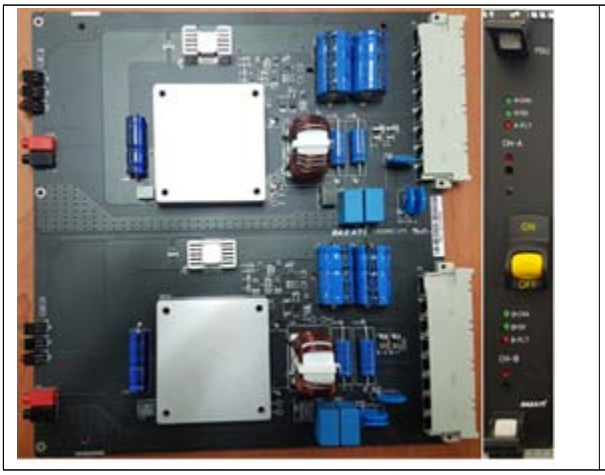
<ISO 보드 제작>



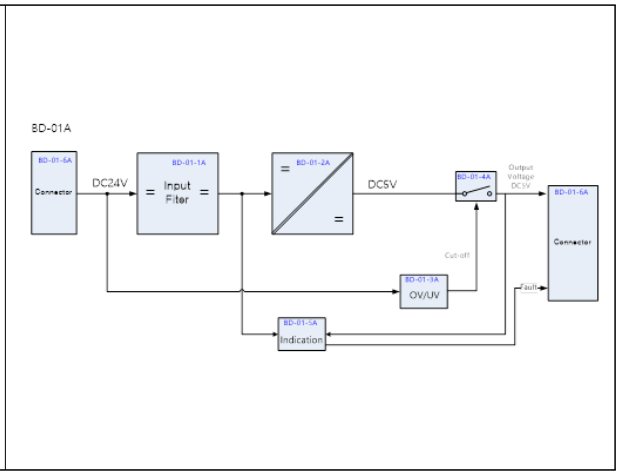
<ISO 보드 설계>

- PDU 보드 설계 및 제작

전원 공급 장치(PDU)는 입력 보호 및 필터, DC/DC 컨버터, OV/UV 검지 및 차단, 표시, 측정 단자 그리고 전원 스위치로 구성된다. DC24V 입력을 DC5V로 출력하며, 독립된 2채널 구조이다.



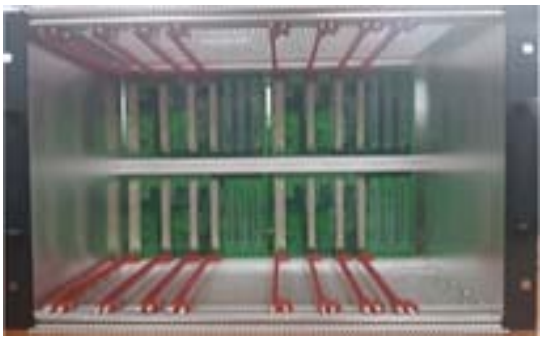
<PDU 보드 제작>



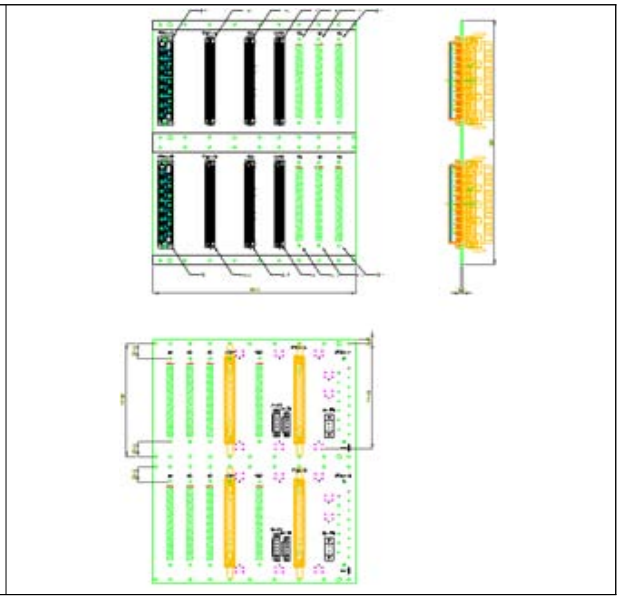
<PDU 보드 설계>

- Backplane 설계 및 제작

Backplane은 RBC를 구성하는 PDU, FSC202, ISO 그리고 COM module에 동작 전원 및 신호라인들 연결을 제공한다. 연결 커넥터는 J1과 J2로 구분하며, 하나의 PCB에 구성되지만 상호 독립적인 구성을 갖는다. J1은 channel A, J2는 channel B의 신호들을 인터페이스 한다.



<Backplane 제작>



<Backplane 설계도면>

표 71 Backplane

Items	specification	Note
규격	Board size : 207.5 x 264 x 2.4mm	
재질	Tray 재질 : EGI Tray 표면처리 : 흑색 도장	
구성	J1-1/J2-1 : PDU slot	

	J1-2/J2-2 : FSC202 slot J1-3/J2-3 : ISO slot J1-4/J2-4 : COM slot J1-5/J2-5 : Not used(NOP) J1-6/J2-6 : Not used(NOP) J1-7/J2-7 : Not used(NOP) A-PW/B-PW : DC24V POWER INPUT A-Z2/B-Z2 : ALIVE IN and OUT signal A-Z3/B-Z3 : ONLINE IN and OUT signal	

(나) COM S/W 설계 및 구현

External Communication System은 RBC-COM SW가 외부 인터페이스인 EIS, EVC, CTC, nRBC,COM, MC와 통신하기 위한 시스템으로 각 외부 인터페이스의 통신 모듈로 이루어져 있다.Internal Communication System은 RBC-COM SW가 내부 인터페이스인 RBC와 통신하기 위한 시스템으로 RBC Communication Module로 이루어져 있다.

① EIS(전자연동장치) 통신 모듈

EIS Communicator(NOS)는 NOS를 이용한 UDP 통신 모듈로 UDP 메시지의 송신 및 수신을 담당하는 모듈이다. NOS를 이용하여 UDP Communicator 모듈보다 더 낮은 응답시간과 높은 전송률을 제공한다. 설정에 따라 포트당 최대 16개까지의 EIS 장치와 통신이 가능하다.

② EVC(STU, 안전전송유닛) 통신 모듈

EVC Communicator(NOS)는 NOS를 이용한 UDP 통신 모듈로 UDP 메시지의 송신 및 수신을 담당하는 모듈이다. NOS를 이용하여 UDP Communicator 모듈보다 더 낮은 응답시간과 높은 전송률을 제공한다. 설정에 따라 포트당 최대 20개까지의 열차 장치와 통신이 가능하다

③ CTC 통신 모듈

CTC Communicator는 TCP 통신 모듈로 TCP 메시지의 송신 및 수신을 담당하는 모듈이다.

④ NRBC 통신 모듈

NRBC Communicator는 TCP 통신 모듈로 TCP 메시지의 송신 및 수신을 담당하는 모듈이다.

⑤ COM 통신 (RBC 1계/2계)모듈

COM Communicator(NOS)는 NOS를 이용한 UDP 통신 모듈로 UDP 메시지의 송신 및 수신을 담당하는 모듈이다. NOS를 이용하여 UDP Communicator 모듈보다 더 낮은 응답시간과 높은 전송률을 제공한다.

⑥ MC 통신 모듈

MC Communicator는 TCP 통신 모듈로 TCP 메시지의 송신 및 수신을 담당하는 모듈이다.

⑦ Internal Communication System

Internal Communication System은 FSC202와의 통신을 하는 모듈로 메모리에 바인딩 되어 있는 I/F Buffer를 통해 통신을 한다.

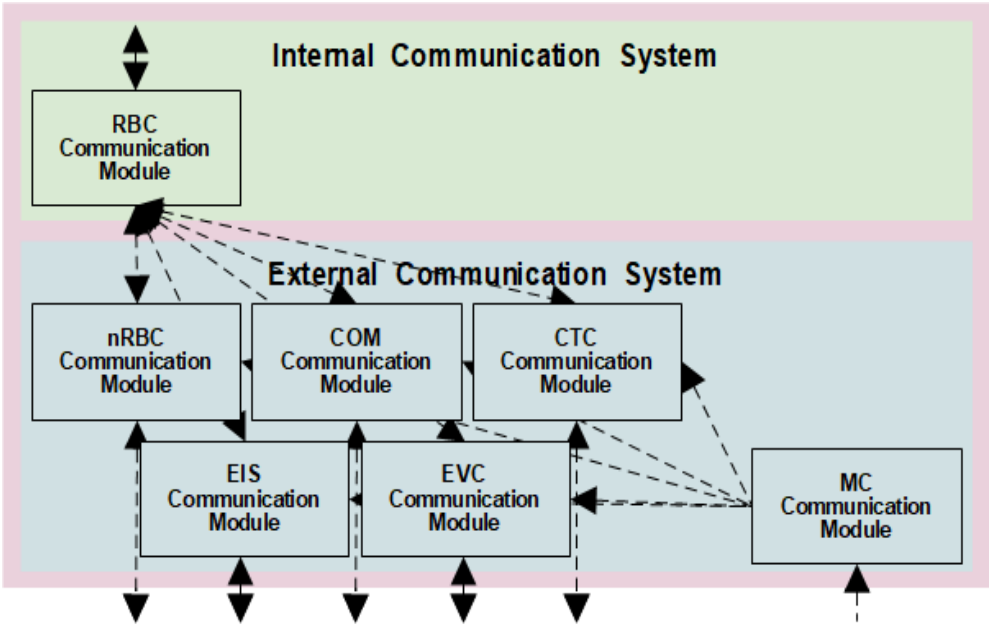


그림 68 지상ATP의 COM S/W구조

(다) SCM SW 설계

① SCM SW 구조

KVC는 물리적으로 최대 n개의 RBC와 연결이 가능하며, 지상RBC는 최대 n개의 KVC의 접속요청을 수락하여 연결될 수 있다. SCM에는 데이터의 보안을 담당하는 SFM 모듈과 통신을 담당하는 CFM 모듈이 독립적인 프로세스 형태로 탑재되며, 해당 SCM이 지상RBC기능을 수행할 것인지 또는 KVC기능을 수행할 것인지는 초기 Set-up 과정에서 환경 설정 값이나 외부 인터페이스를 통한 명령에 의해 결정된다.

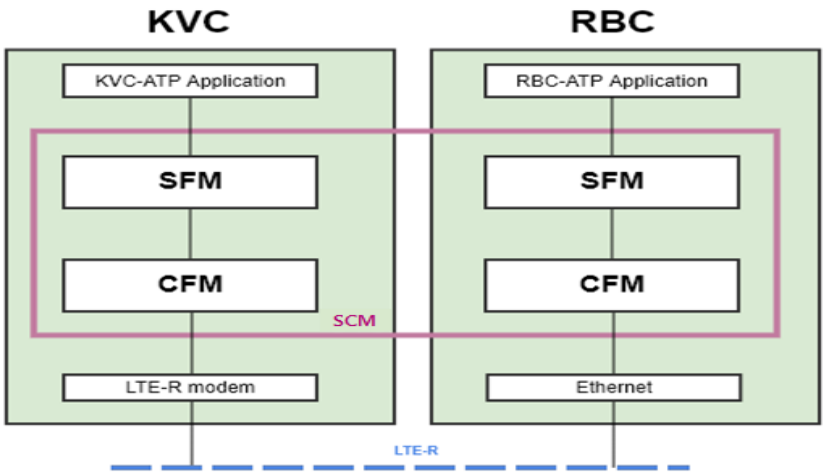


그림 69 지상 RBC, KVC 간 시스템 구조

② RBC 내 SCM 기능

RBC내 SCM 또한 SFM, CFM의 두 개 프로세스가 각각 독립적으로 탑재되며 해당 프로세스를 통해 다음과 같은 기능을 수행한다.

표 72 SFM

Function	Description
Key 읽기, 수정, 삭제	KMC 에서 생성된 Key 값을 수신하여 모든 메시지의 암·복호화에 사용하며, 해당 Key값의 수정, 삭제 기능 수행
RBC-ATP 메시지 송·수신	Serial 통신을 통해 KVC-ATP로부터 메시지를 수신하거나 RBC로부터 수신된 메시지를 KVC-ATP에 전송
Safe Connection Set-up	KVC요청을 수락하여 정해진 절차에 따라 KVC와 통신 세션 구축
Safe Data Transfer	안정성과 신뢰성을 확보하며 RBC-ATP로 부터의 메시지를 KVC로, KVC로부터 수신된 메시지를 RBC-ATP로 전송
Safe Connection Release	정해진 절차에 따른 연결 해제 요청 수행 및 안전 접속 종료
Error Reporting	TCP, Serial 등 각종 통신 Error Management를 통해 오류 감지 및 처리
CFM과 통신	CFM과 IPC를 통해 메시지 송·수신
로그 전송	MC 로 각종 로그 전송

표 73 CFM

Function	Description
SFM과 통신	SFM 과 IPC를 통해 메시지 송·수신
KVC SCM와 통신	KVC와 정해진 절차에 따른 안전접속 및 메시지 송·수신

	- Safe Connection Set-up - Safe Data Transfer - Safe Connection Release
Network registration	LTE-R를 비롯한 KVC와의 Call 연결 등록
로그 전송	MC 로 각종 로그를 전송한다.

(2) 지상 ATP 소프트웨어 설계 및 기능 구현

(가) 소프트웨어 구조 설계

- DFD를 이용한 소프트웨어 구조 설계 기법 적용

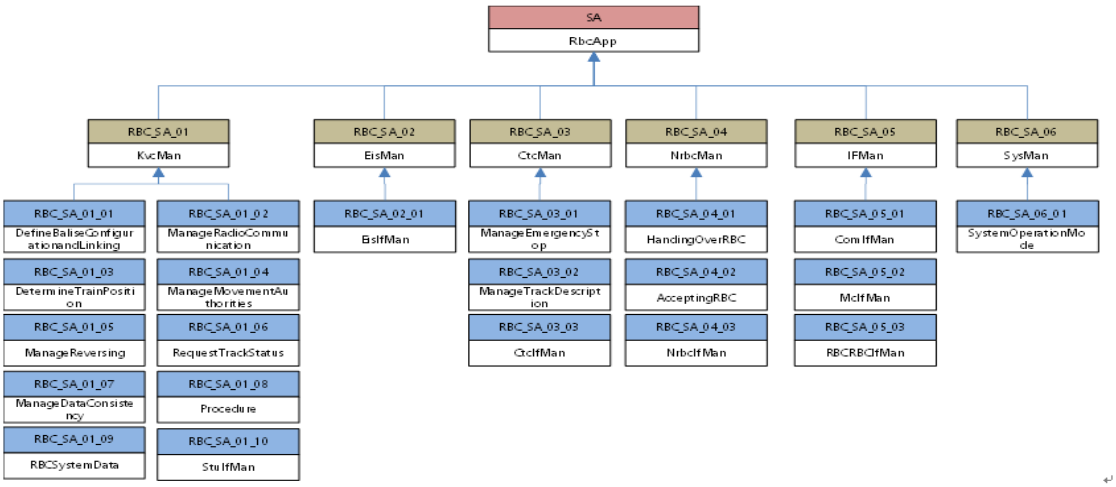


그림 70 RBC Overall Software Hierarchy

표 74 Architecture Block Name

Architecture ID	Architecture Block Name	Description
RBC_SA_01	KvcMan	KvcMan은 RBC와 차상간 인터페이스 데이터 처리를 위한 기능을 수행한다.
RBC_SA_02	EisMan	EisMan은 RBC와 Eis간 인터페이스 데이터 처리를 위한 기능을 수행한다.
RBC_SA_03	CtcMan	CtcMan은 RBC와 CTC간 인터페이스 데이터 처리를 위한 기능을 수행한다.
RBC_SA_04	NrbcMan	NrbcMan은 RBC와 NRBC간 인터페이스 데이터 처리를 위한 기능을 수행한다.
RBC_SA_05	IFMan	IFMan은 RBC와 RBC의 타계 인터페이스 및 CPU와 통신 보드간 인터페이스 데이터 처리를 위한 기능을 수행한다.
RBC_SA_06	SysMan	SysMan은 RBC의 모드 결정 및 타계와 인터페이스를 위한 기능을 수행한다.

표 75 KvcMan Sub Block

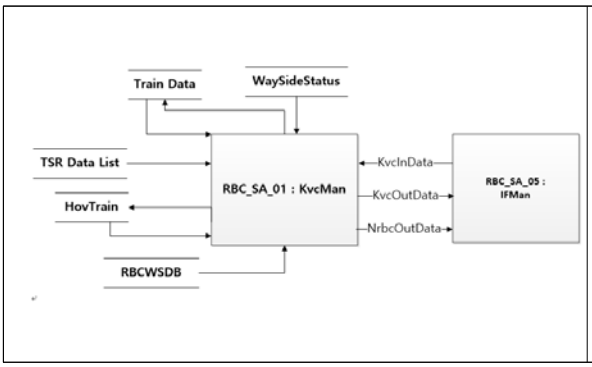
Architecture ID	Architecture Block Name	Description

Architecture ID	Architecture Block Name	Description
RBC_SA_01_01	DefineBaliseConfigurationandLinking	DefineBaliseConfigurationandLinking은 열차의 진행방향 판단 및 경로에 따른 링킹 정보를 생성하는 기능의 구조이다.
RBC_SA_01_02	ManageRadioCommunication	ManageRadioCommunication은 무선 세션 연결 관리에 대한 기능을 하는 구조이다.
RBC_SA_01_03	DetermineTrainPosition	DetermineTrainPosition은 열차 위치 판단을 위한 기능을 하는 구조이다.
RBC_SA_01_04	ManageMovementAuthorities	ManageMovementAuthorities은 현재 열차의 LRBG를 기준으로 MA를 생성 전달하는 기능을 하는 구조이다.
RBC_SA_01_05	ManageReversing	ManageReversing은 열차가 특정구역을 통과할 때 Reversing 정보를 생성하여 Reversing 가능 지역을 통보하는 기능을 하는 구조이다.
RBC_SA_01_06	RequestTrackStatus	RequestTrackStatus은 열차로부터 Track 상태를 확인 한 후 MA를 전송하기 위한 기능 구조이다.
RBC_SA_01_07	ManageDataConsistency	ManageDataConsistency은 열차로부터 입력된 메시지의 일관성을 확인하는 기능의 구조이다.
RBC_SA_01_08	Procedure	Procedure은 열차와의 특수 절차에 따른 응답 메시지를 생성하는 기능의 구조이다.
RBC_SA_01_09	RBCSystemData	RBCSystemData은 국가값 전송, Train Data의 확인, 열차 번호 변경과 같은 Data 생성 기능을 위한 구조이다.
RBC_SA_01_10	StulfMan	StulfMan은 열차와의 Safe Connection 절차 및 프로토콜의 일관성을 확인하는 기능의 구조이다.

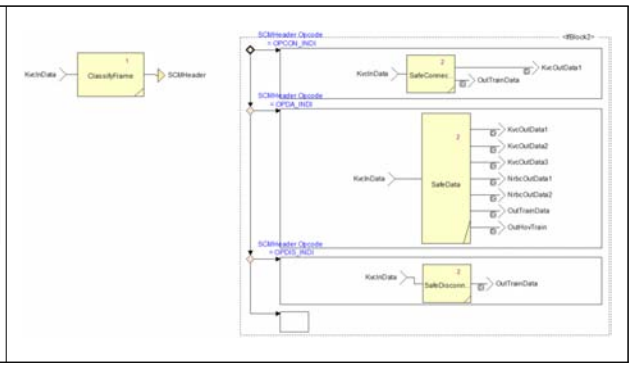
(나) 지상 ATP Software Architecure Level1 Description

- KvcMan (RBC_SA_01) Description

KvcMan은 열차 위치 정보를 기반으로 이동 폐색 알고리즘을 처리하기 위한 기능블록이다. 열차의 마지막 위치 정보를 저장하고, 필요에 따라 사용한다. 연동장치로부터 수신되어 저장된 WaySideStatus는 가상 블록 정보와 가상 신호기 정보, 진로 정보를 포함하고 있다. TSR Data List는 CTC로부터 수신된 Tsr 정보를 저장하고 있으며, Kvc로부터 수신된 열차의 위치 정보를 기반으로 TSR 전송 데이터를 구분할 때 사용한다.



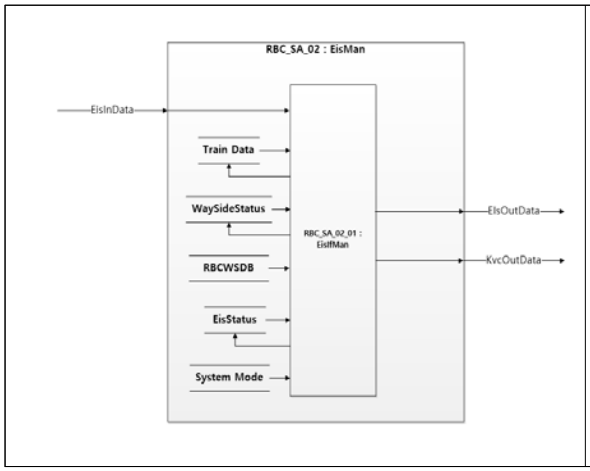
<KvcMan Description>



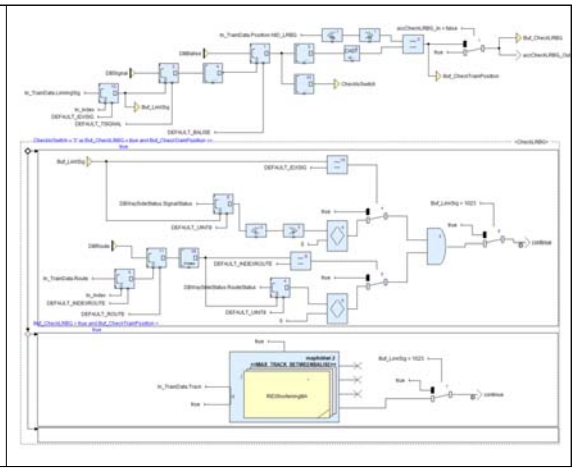
<KvcMan Design>

- EisMan (RBC_SA_02) Description

EisMan은 RBC와 EIS간 인터페이스 데이터 처리를 위한 기능을 수행한다. IFMan을 이용하여 EIS로 부터 수신한 EisInData를 받아오거나 EIS로 송신할 EisOutData와 열차로 송신할 KvcOutData를 보낸다. EisStatus 값을 이용하여 EIS와의 통신 상태나 오류 등을 확인할 수 있으며 TrainData를 EIS로 전송한다. 또한 EIS로부터 받은 선로변 장치의 상태를 WaySideStatus에 업데이트 하고 해당 정보를 이용하여 열차에 전송 할 Shortening MA를 생성하는 역할을 한다.



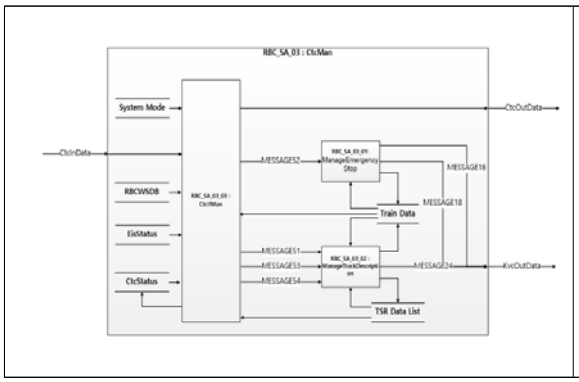
<EisMan Description>



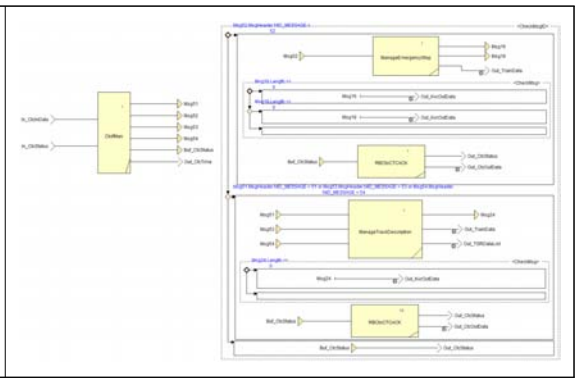
<EisMan Design>

- CtcMan (RBC_SA_03) Description

CtcMan은 RBC와 CTC간 인터페이스 데이터 처리를 위한 기능을 수행한다. IFMan을 이용하여 Ctc로 부터 수신한 CtcInData를 받아오거나 Ctc로 송신할 CtcOutData와 열차로 송신할 KvcOutData를 보낸다. CtcStatus 값을 이용하여 CTC와의 통신 상태나 오류 등을 확인할 수 있으며 TrainData와 EisStatus 등의 정보를 CTC로 전송한다. 또한 CTC로 부터 수신한 TSR 설정/해제 정보를 TSRDataList에 업데이트하며 Emergency Stop 설정/해제 정보를 TrainData에 업데이트 한다.



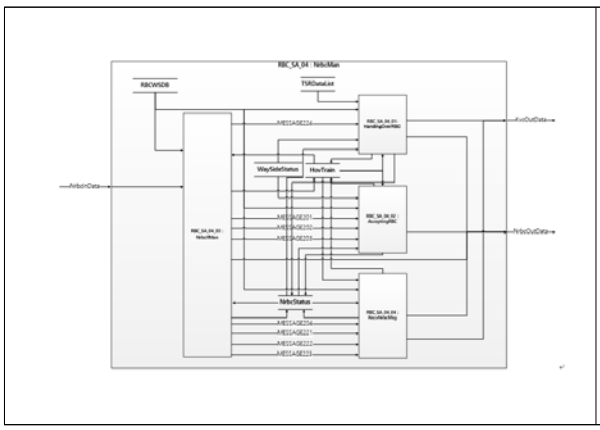
<CtcMan Description>



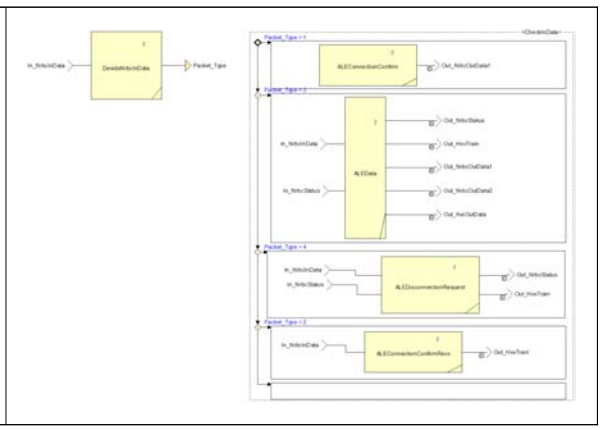
<CtcMan Design>

- NrbcMan (RBC_SA_04) Description

NrbcMan은 RBC와 NRBC간 인터페이스 데이터 처리를 위한 기능을 수행한다. IFMan을 이용하여 NRBC로 부터 수신한 NrbcInData를 받아오거나 NRBC로 송신할 NrbcOutData와 열차로 송신할 KvcOutData를 보낸다. NrbcStatus 값을 이용하여 NRBC와의 통신상태나 오류 등을 확인할 수 있으며 Hand-over에 필요한 TSRDataList와 TrainData를 NRBC와 주고 받는다. 또한 Hand-over에 진입 한 열차나 절차가 종료된 열차를 관리하기위한 Pre-Announcement와 Cancellation 등의 정보와 열차 운행에 필요한 MA 데이터를 주고 받는다.



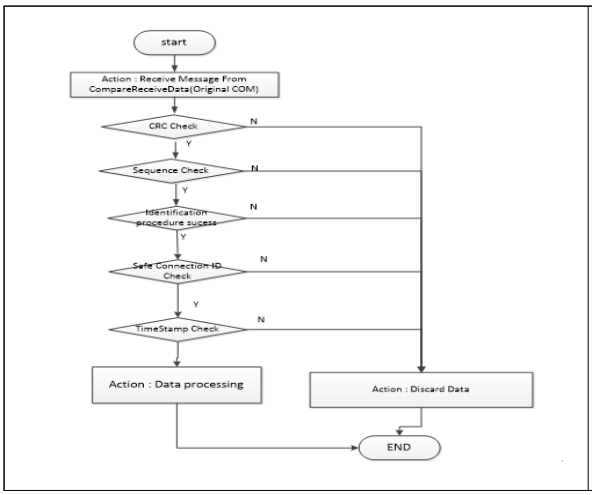
<NrbcMan Description>



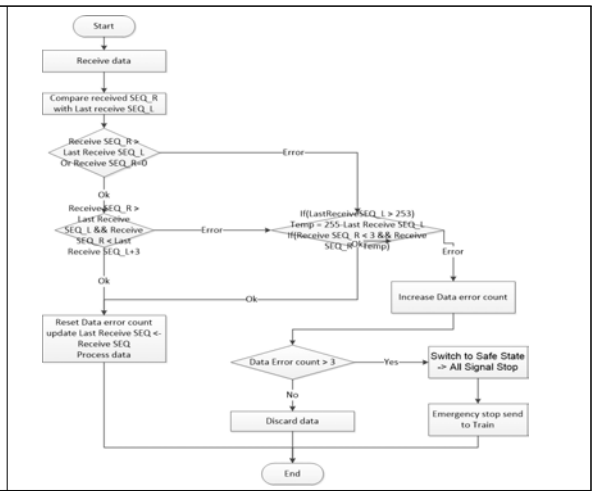
<NrbcMan Design>

(3) 지상 ATP 외부 인터페이스 기능 설계 및 구현

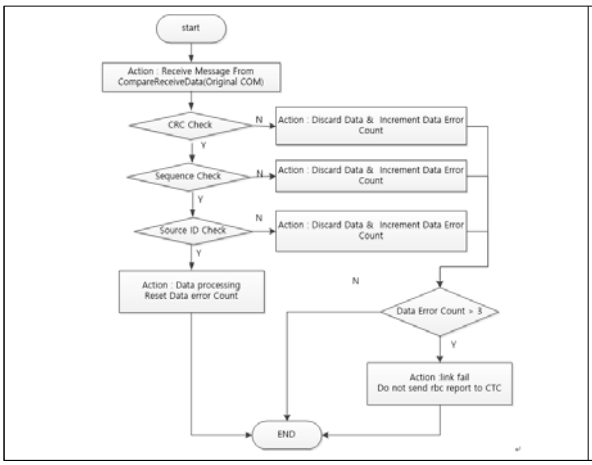
- 외부 인터페이스 Threat 방어 기술 적용



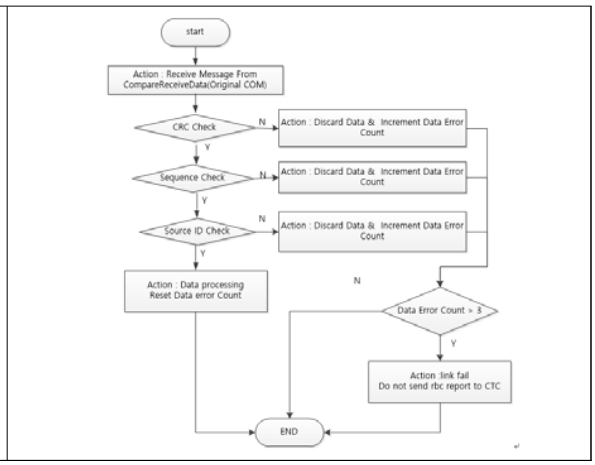
<STU 인터페이스 Threat 처리>



<EIS 인터페이스 Threat 처리>



<CTC 인터페이스 Threat 처리 >



<NRBC 인터페이스 Threat 처리>

(4) 지상 ATO 시스템 요구사양서 및 소프트웨어 설계

(가) 지상 ATO 시스템 요구사양서 설계

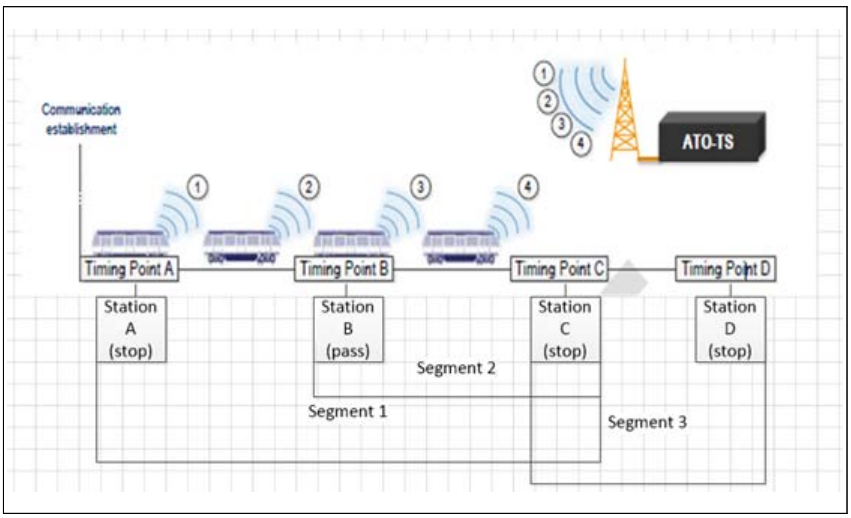
① ETCS Baseline2 Subset-125, Subset-126 분석

㉮ Journey Profile 분석

표 76 Journey Profile 항목

항목	세부 항목
Status of the Journey Profile	-
Train route data including a list	Segment Profile identifier
	Segment Profile version
	Segment Profile travelling direction
Operational data including a list	Timing Point identifier
	Arrival time and tolerance
	Timing Point alignment
	Day light saving hour information
	Timing Point type

	Additional Timing Point information End of journey
	Departure time
	Train hold information
	Minimum dwell time
	Doors management information
Dynamic infrastructure data required to operate	Temporary Constraint type
	Temporary Constraint location
	Low adhesion rate



<Timing Point 분석>

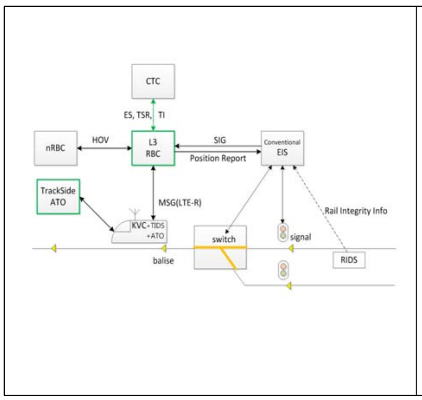
㉮ Segment Profile 분석

표 77 Segment Profile 항목

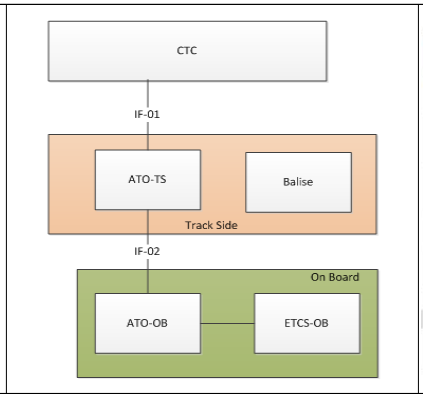
항목	세부 항목
Status of the Journey Profile	-
Segment Profile identifier	-
Segment profile version	-
Segment Profile Status	-
Length of the SP	-
Distance to stop in rear of an EOA	-
Offset to compute the local time from the UTC time	-
Altitude at the beginning of the SP	-
Static Speed Profile	-
Gradient Profile	-
Curve Profile	-
Traction system information	-
Allowed current consumption	-
Balises information	BG identifier
	Position of the balise in the balise group

	Balise location
Timing Point information	TP Identifier
	TP Location
	Stopping tolerance
	Stopping Point Reached distance
	TP Name
Platform areas	-
Tunnel information	-
Powerless sections	-
Axle Load Speed Profile	-
Stop in rear of an unprotected level crossing	-
Permitted Braking Distance	-
Switch off Regenerative Brake areas	-
Switch off eddy current brake for service brake areas	-
Switch off eddy current brake for emergency brake areas	-
Switch off Magnetic Shoe Brake areas	-

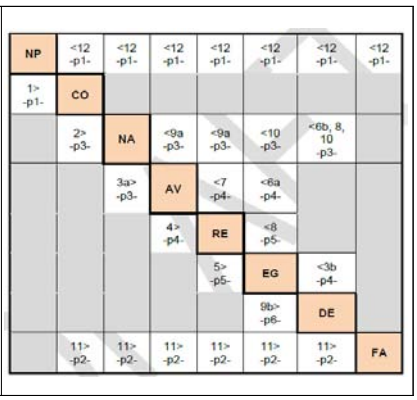
㉰ 시스템 구성도 및 지상 ATO 배경 개념 수립
- 지상 ATO 시스템 구성 및 개념 설계
- 지상 ATO 인터페이스 정의



<시스템 컨셉>

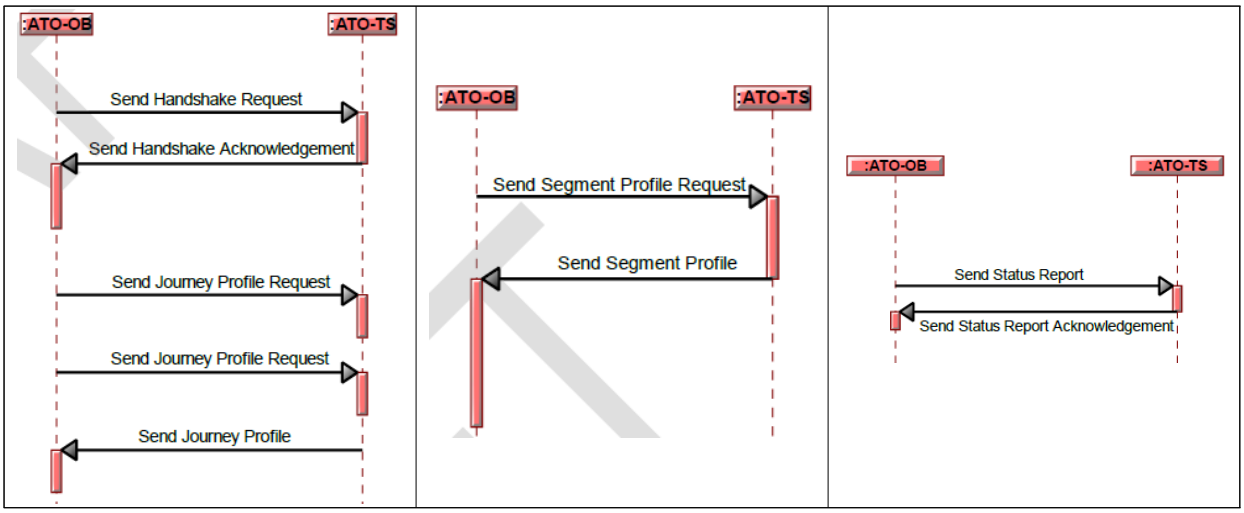


<시스템 구성 및 인터페이스>



<차상 ATO 운영 상태 분석>

㉱ 지상 ATO와 차상 ATO 간 송수신 정보 및 절차 분석
- 지상 ATO와 차상 ATO간 인터페이스 절차 분석



<Handshake / Journey Profile> <Segment Profile> <Status Report>

㈐ Subset125 및 Subset-126 상호호환을 위한 시스템 함수 10개 도출

표 78 시스템 기능 도출

System Function Name	Description	개수
ATO-OB Communication	지상 ATO가 차상 ATO와 데이터 송수신을 위한 연결을 수립하는 기능을 한다.	2
Journey Profile	지상 ATO가 차상 ATO의 운행에 필요한 Journey Profile을 송신하기 위한 기능을 한다.	3
Segment Profile	지상 ATO가 Stopping point 사이의 지형 정보 및 열차 자동 운행에 필요한 정보를 차상 ATO로 송신하는 기능을 한다.	1
Add/Skip Stopping Point	지상 ATO가 삭제/수정된 Stopping Point 정보를 Time Table에 업데이트하여 차상 ATO로 송신하는 기능을 한다.	1
Hold a Train at a Stopping Point	지상 ATO가 CTC로부터 수신한 Train Hold 요청을 차상 ATO로 송신하는 기능을 한다.	1
Time Management	지상 ATO와 차상 ATO는 UTC 시간을 적용한다.	1
Door Open Side	지상 ATO가 열차 정차 지점에서 출입문 제어를 위한 정보를 Journey Profile에 저장하여 송신하는 기능을 한다.	1
Reporting Management	지상 ATO가 차상 ATO로부터 수신한 상태 보고 패킷에 대한 응답 패킷을 생성하여 송신하는 기능을 한다.	2
Time Table Management	지상 ATO가 CTC로부터 Time Table을 수신하여 Journey Profile을 생성하는 기능을 한다.	3
Time Table Update	지상 ATO가 CTC로부터 업데이트된 Time Table을 수신하면 Journey Profile을 생성하여 전송하는 기능을 한다.	1

(나) 지상 ATO 소프트웨어 설계

① 소프트웨어 아키텍처 구조 설계

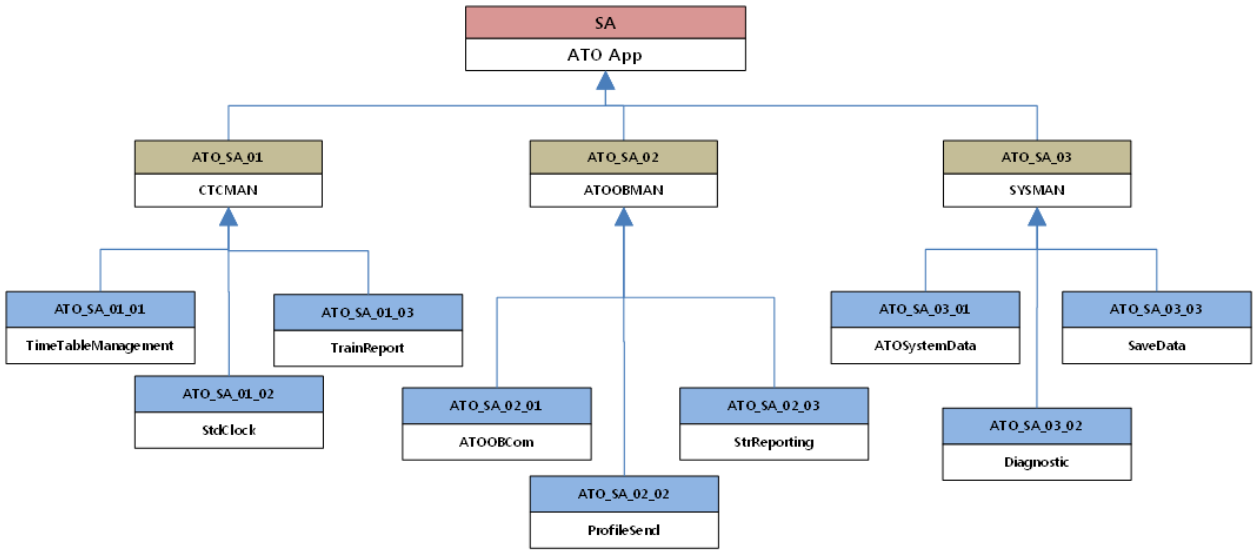


그림 71 차상ATO의 Overall Software Hierarchy

- Architecture Level 1 구조

표 79 ATO App 하위 모듈 구조

Architecture ID	Name	Description
ATO_SA_01	CTCMAN	CTCMAN은 ATO-TS가 CTC로부터 수신된 정보들을 처리하기 위한 기능 블록이다.
ATO_SA_02	ATOMAN	ATOMAN은 ATO-TS가 ATO-OB로부터 수신된 정보들을 처리하기 위한 기능 블록이다.
ATO_SA_03	SYSMAN	SYSMAN은 ATO-TS가 시스템 기능 처리를 위한 기능 블록이다.

- Architecture Level 2 구조

표 80 CTCMAN 하위 모듈 구조

Architecture ID	Name	Description
ATO_SA_01_01	TimeTableManagement	TimeTableManagement 구조는 CTC로부터 수신된 스케줄 정보를 관리하는 기능의 구조이다.
ATO_SA_01_02	StdClock	StdClock은 CTC로부터 수신된 표준 시각 정보를 업데이트 하기 위한 기능의 구조이다.
ATO_SA_01_03	TrainReport	TrainReport은 CTC로 열차 위치 정보를 전송하기 위한 기능의 구조이다.

표 81 ATOMAN 하위 모듈 구조

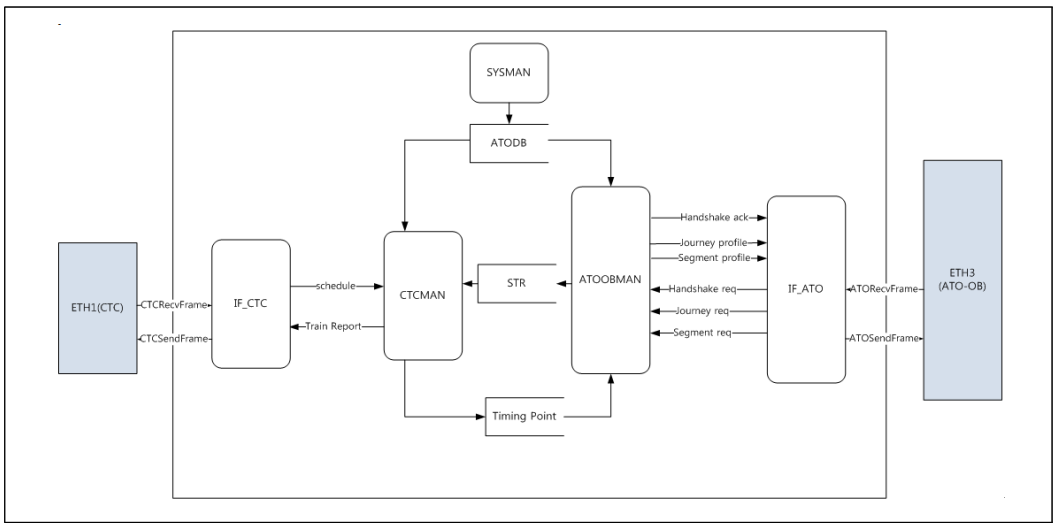
Architecture ID	Name	Description
ATO_SA_02_01	ATOOBCom	ATOOBCom은 ATO-OB와 인터페이스 초기화를 위한 기능의 구조이다.
ATO_SA_02_02	ProfileSend	ProfileSend 는 ATO-OB가 요청하는 Journey Profile, Segment Profile의 기능을 처리하기 위한 기능의 구조이다.
ATO_SA_02_03	StrReporting	StrReporting은 ATO-B로부터 수신된 STR 정보를

		처리하기 위한 기능의 구조이다.

표 82 SYSMAN 하위 모듈 구조

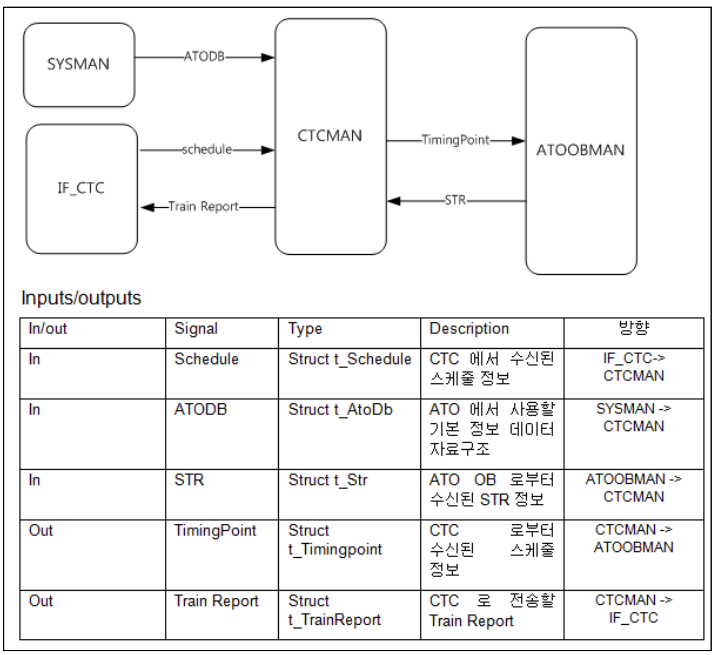
Architecture ID	Name	Description
ATO_SA_03_01	ATOSystemData	ATOSystemData은 ATO를 수행하기 위한 시스템 data 및 User Define Data를 저장장치에서 메모리로 로딩하기 위한 기능의 구조이다.
ATO_SA_03_02	Diagnostic	Diagnostic 은 어플리케이션의 진단을 수행하기 위한 기능의 구조이다.
ATO_SA_03_03	SaveData	SaveData은 외부 인터페이스 장치로부터 송수신된 데이터를 저장하기 위한 기능의 구조이다.

② 소프트웨어 인터페이스 설계



<소프트웨어 인터페이스 설계>

③ 기능 별 입출력 분석 및 설계



Inputs/outputs

In/out	Signal	Type	Description	방향
In	Schedule	Struct t_Schedule	CTC 에서 수신된 스케줄 정보	IF_CTC-> CTCMAN
In	ATODB	Struct t_AtoDb	ATO 에서 사용할 기본 정보 데이터 자료구조	SYSMAN -> CTCMAN
In	STR	Struct t_Str	ATO OB 로부터 수신된 STR 정보	ATOOBMAN -> CTCMAN
Out	TimingPoint	Struct t_Timingpoint	CTC 로부터 수신된 스케줄 정보	CTCMAN -> ATOOBMAN
Out	Train Report	Struct t_TrainReport	CTC 로 전송할 Train Report	CTCMAN -> IF_CTC

<기능 별 입출력 분석 및 설계>

(5) 지상 ATO 외부 인터페이스 명세서 작성

(가) 지상 ATO와 관제설비 간 인터페이스 명세서 작성

- 인터페이스 사양 분석 및 설계

표 83 일반 사양

구분	사양
정보전송 방향	양방향
신호 회선수	2회선

물리적 연결	ETHERNET 10/100 Base-T
케넥터 단자	RJ-45 <-> RJ-45
통신 프로토콜	TCP/IP
전송 주기	3s, 이벤트
최대DATA 사이즈	1024 Byte /* 경유역 최대 27개역 예)경부선50개역 이상 */

- 정보 전송 프레임 분석 및 설계

표 84 CTC <-> ATO-TS 전송 프레임

STX	Length	Sequence	ATO-TS ID	Message Type	Data	Ctc32	ETX
1byte	2byte	1byte	2byte	1byte	Nbyte	4byte	1byte

- 송수신 정보 분석 및 설계

표 85 송수신 정보 분석

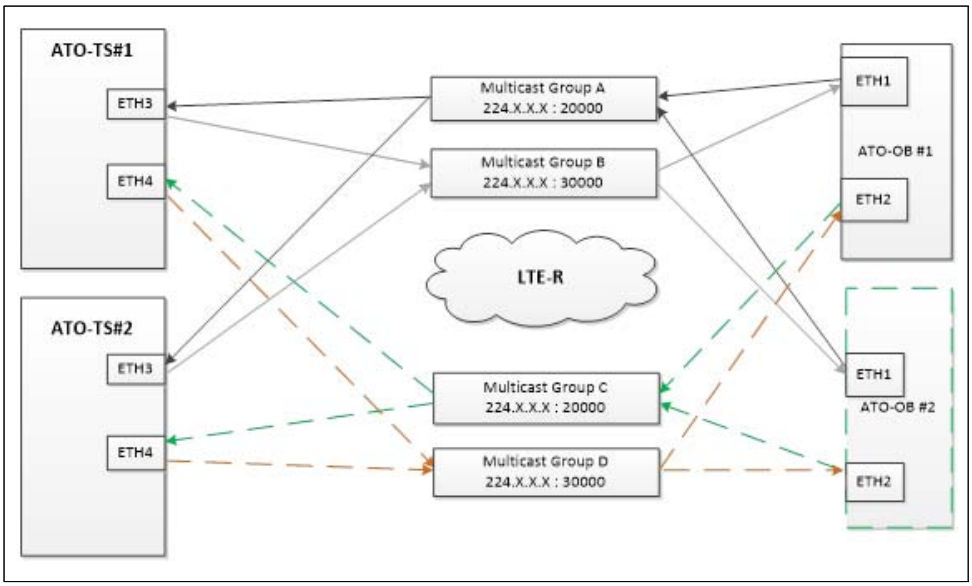
Message Type	설명	전송 방향
0x20	표준시각정보	CTC->ATO-TS
0x21	Time Table All (당일 해당 영역 전체 Time Table 정보)	CTC->ATO-TS
0x22	Time Table Update (해당 열차 Time Table 수정 정보)	CTC->ATO-TS
0x23	STR 이벤트 Ack	CTC->ATO-TS
0x24	End Working (업무종료)	CTC->ATO-TS
0x50	STR (열차 정보)	ATO-TS->CTC
0x51	Time Table All Request	ATO-TS->CTC
0x52	Time Table Ack (All, Update 겸)	ATO-TS->CTC
0x53	STR 이벤트	ATO-TS->CTC
0x54	End Working(업무 종료) Ack	ATO-TS->CTC

(나) 지상 ATO와 차상 ATO 간 인터페이스 명세서 작성

- 인터페이스 사양 분석 및 설계

표 86 일반 사양

구분	사양
정보전송 방향	양방향
물리적 연결	ETHERNET
통신 프로토콜	UDP/IP 멀티 캐스트
전송 주기	각 이벤트
최대DATA 사이즈	65535 Byte



<통신 연결 및 데이터 전송 방법>

- 정보 전송 프레임 분석 및 설계

표 87 ATO-OB <-> ATO-TS 전송 프레임

STX	LENGTH	SEQUENCE NUMBER	Data	CRC32	ETX
1byte	2byte	1byte	Nbyte	4byte	1byte

- 송수신 정보 분석

Packet Number (NID_PACKET_ATO)	Packet Name	Source	Sink	Page N°
0	Handshake Request	ATO-OB	ATO-TS	13
1	Handshake Acknowledgement	ATO-TS	ATO-OB	14
2	Journey Profile Request	ATO-OB	ATO-TS	15
3	Journey Profile	ATO-TS	ATO-OB	16
4	Journey Profile Acknowledgement	ATO-OB	ATO-TS	20
5	Segment Profile Request	ATO-OB	ATO-TS	21
6	Segment Profile	ATO-TS	ATO-OB	22
7	Status Report	ATO-OB	ATO-TS	34
8	Status Report Acknowledgement	ATO-TS	ATO-OB	36

<송수신 정보 분석>

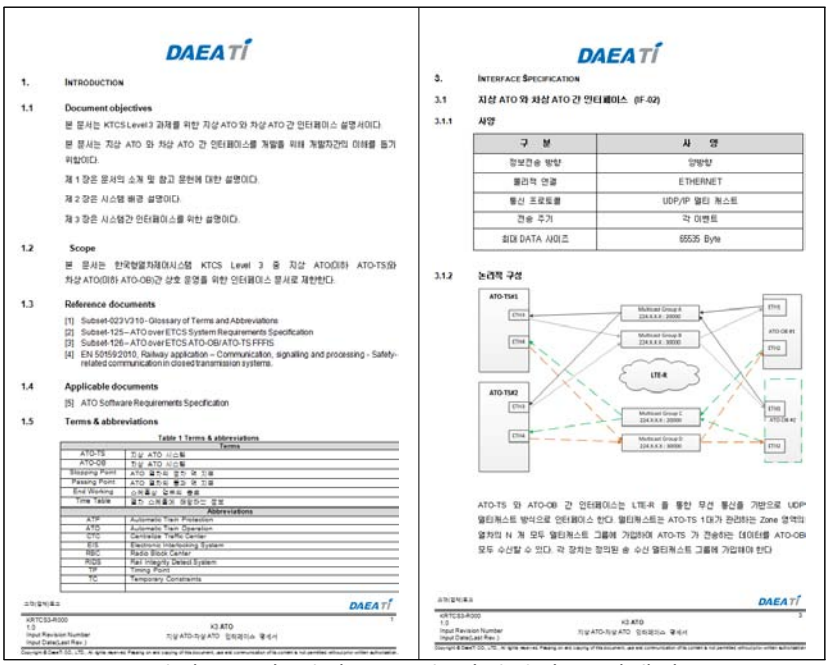
- 통신 절차 분석 및 설계

표 88 통신 절차

구분	설명
통신 연결	ATO-OB는 ATO-TS로 통신 연결 요청인 Handshake Request를 전송한다. ATO-OB는 Handshake Acknowledgement 를 수신할 때까지 주기적으로

	Handshake Request를 ATO-TS로 전송한다. ATO-OB는 Handshake Acknowledgement를 수신하면 Journey Profile Request를 송신하고, ATO-TS는 Journey Profile Request을 수신하면 ATO-OB로 Journey Profile을를 송신한다. Journey Profile, Segment Profile, STR 에 대한 인터페이스 절차는 Subset-125의 12장을 참조한다.
통신 오류	ATO-OB는 ATO-TS로 송신한 패킷에 대하여 HSAck 패킷의 ATO-TS 응답 Timeout 시간(T_Timeout_ATOTS_Response) 동안 Acknowledgement를 수신하지 못할 경우 패킷을 재송신하며, Acknowledgement를 연속 5회 미수신하면 통신 오류로 판단한다. ATO-OB는 통신 오류가 발생하면 ATO-TS로 통신 재연결을 요청한다. ATO-TS는 주기적으로 ATO-OB의STR 정보 요청을 위한 파라미터 T_Reporting_Time을 설정하고 ATO-TS는 T_Reporting_Time 주기로 ATO-OB로부터STR정보를 수신한다. ATO-TS는 STR 정보를 5회 이상 수신하지 못하여 Time out이 발생할 경우 통신 오류로 판단한다. 통신 오류로 판단할 경우 ATO-TS는 대기 상태로 ATO-OB의 통신 재연결을 기다린다.
통신 재연결	ATO-OB는 ATO-TS와 통신 연결 후 통신 오류 발생을 검지하면 통신 연결 절차와 같이 Handshake Acknowledgement 를 수신할 때까지 Handshake Request를 주기적으로 ATO-TS에게 송신한다. ATO-TS는 ATO-OB와 통신 연결 후 통신 오류 발생을 검지하면 ATO-OB로부터 Handshake request를 수신할 때까지 대기한다.
통신 종료	ATO-OB는 유효한 Journey profile의 End of Journey 정보를 가진 Timing Point 지점에 정차하여 ATO-TS로 Status Report(STR) 패킷(Q_Pass_Stop_Depart = 1)을 송신한 후 ATO-TS로부터 Status Report Acknowledgement를 수신하면 통신을 종료한다. ATO-OB는 통신 종료 후 통신 연결 조건이 만족되기 전까지 ATO-TS로 데이터를 전송하지 않는다.

- 지상 ATO와 차상 ATO 간 인터페이스 명세서 작성



<지상 ATO와 차상 ATO 간 인터페이스 명세서>

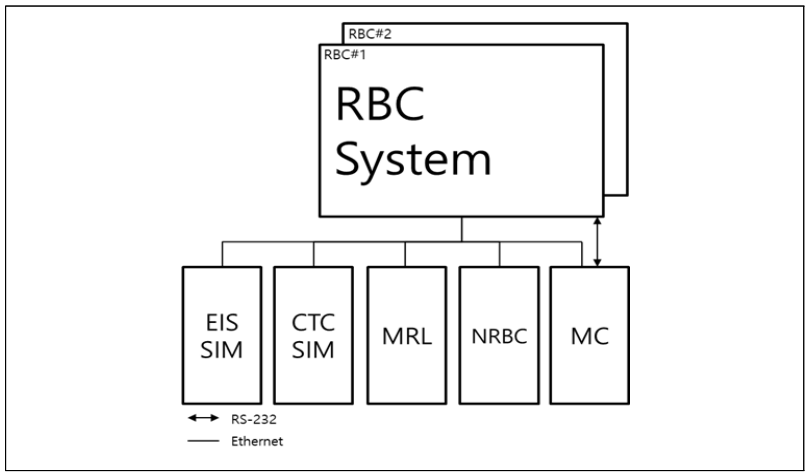
다. 이동폐색 지상 ATP/ATO 시험

(1) 지상 ATP 시스템 및 환경시험

(가) 시스템 테스트 방안 및 절차

① RBC에 대한 시험 환경 구성

- RBC와 외부 장치 간 이더넷 기반 인터페이스



<RBC Test Environment Diagram>

② 시험을 위해 필요한 하드웨어 장비

표 89 하드웨어 장비

Tool	Model (Supplier)	Calibration date	Expiration date	Description
Oscilloscope	TDS5104B (Tektronix)	2020.02.05	2021.02.04	입/출력되는 Digital 및 Analogue 신호를 측정하기 위해 사용되는 도구
Digital Multi-meter	U1231A (KEYSIGHT)	2020.03.24	2021.03.24	전압 및 전류, 저항을 측정하는 계측기
Power Supply	UDP-503 (UNICORN)	2020.03.24	2021.03.24	전원을 공급하는 장비
DC Electronic Load	SL-300 (UNICORN)	2020.03.24	2021.03.24	부하를 Load 시키는 장비

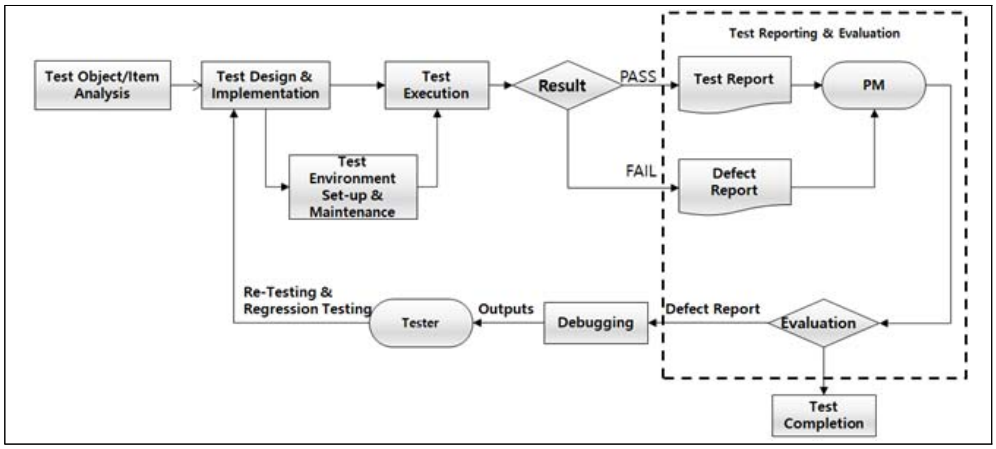
③ 시험을 위해 필요한 시험 장비 제작

표 90 소프트웨어 장비

Tool	Version	Classification	Description
MC	V1.0	T1	RBC와 각 장치들에 대한 인터페이스 로그 정보를 저장하기 위함 이며, RBC의 유지보수 명령어 사용을 위함.Freeware software

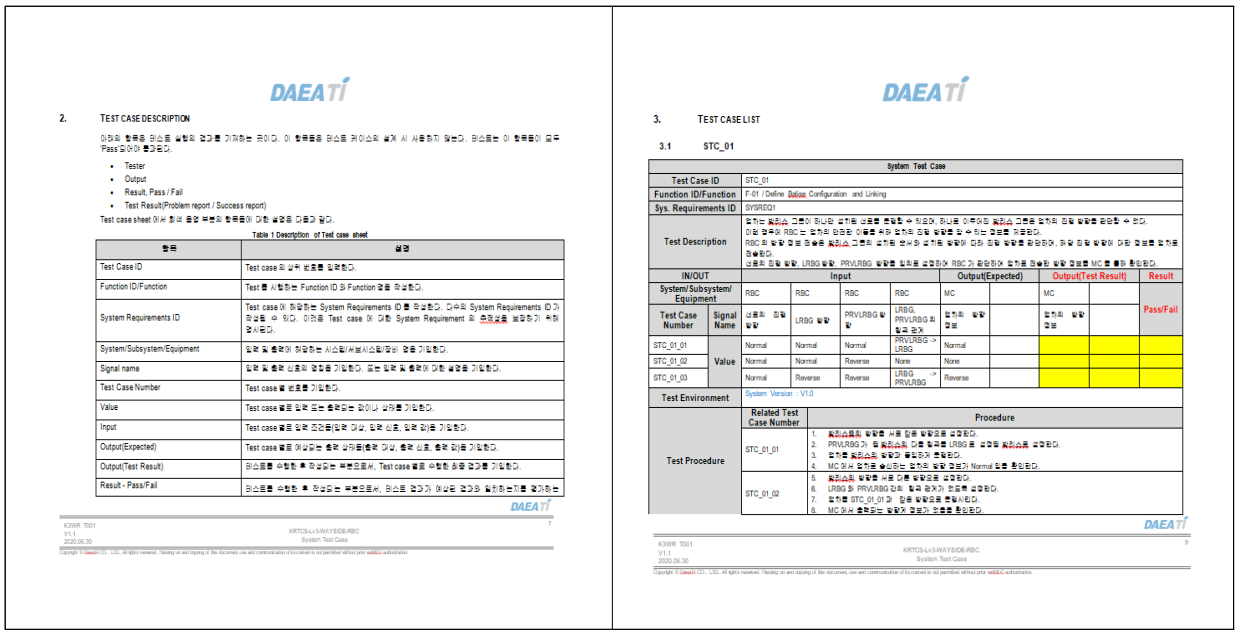
EIS SIM	V1.0	T2	Simulator to perform the function of EIS system
CTC SIM	V1.0	T2	Simulator to perform the function of CTC system
MRL(차상시뮬레이터)	-	T2	Simulator to perform the function of Train On Board system and SCM(WS)

④ RBC 요구사항을 테스트 가능성 면에서 분석하여 테스트 방법론을 설계한 후 테스트 케이스 설계



<시험 절차>

⑤ 시험 대상을 테스트하기 위한 Test Case 작성



2. TEST CASE DESCRIPTION

이하의 항목을 테스트 실행의 결과를 기재하는 곳이다. 이 항목들을 테스트 케이스의 설계 시 사용하지 않는다. 테스트는 이 항목들이 모두 'Pass'되어야 통과된다.

- Tester
- Output
- Result, Pass / Fail
- Test Result(Problem report / Success report)

Test case sheet 에서 항목 별로의 항목들에 대한 설명은 다음과 같다.

Table 1 Description of Test case sheet

항목	설명
Test Case ID	Test case 의 넘버 번호를 입력한다.
Function ID/Function	Test 를 시험하는 Function ID 와 Function 명을 작성한다.
System Requirements ID	Test case 이 참조하는 System Requirements ID 를 작성한다. 다수의 System Requirements ID 가 작성될 수 있다. 이러한 Test case 이 갖는 System Requirement 와 추적성을 보장하기 위해 필수적이다.
System/Subsystem/Equipment	입력 및 출력이 해당하는 시스템/서브시스템/장비 명을 기입한다.
Signal name	입력 및 출력 신호의 명칭을 기입한다. 또는 입력 및 출력에 대한 설명을 기입한다.
Test Case Number	Test case 별 번호를 기입한다.
Value	Test case 별로 입력 또는 출력되는 값이나 상태를 기입한다.
Input	Test case 별로 입력 조건(입력 대상, 입력 신호, 입력 라인 기입한다.
Output(Expected)	Test case 별로 예상되는 출력 상태들(출력 대상, 출력 신호, 출력 라인 기입한다.
Output(Test Result)	테스트를 수행한 후 작성되는 부분으로서, Test case 별로 수행한 최종 결과를 기입한다.
Result - Pass/Fail	테스트를 수행한 후 작성되는 부분으로서, 테스트 결과가 예상된 결과와 일치하는지를 평가하는

Copyright © DaeaTi CO., LTD. All rights reserved. Reading on and copying of this document, use and communication of its content is not permitted without prior written authorization.

3. TEST CASE LIST

3.1 STC_01

System Test Case									
Test Case ID	STC_01								
Function ID/Function	F-01 / Define Balise Configuration and Linking								
Sys. Requirements ID	SYSREQ1								
Test Description	정차는 최진소 그룹이 하나의 상태를 변할 수 있으며, 하나로 이루어진 최진소 그룹은 정차의 정밀 방향을 판단할 수 있다. 이를 경우에 RBC 는 정차의 방향을 이용해 최진 정차의 정밀 방향을 알 수 있는 경우를 가정한다. RBC 로 정밀 정보 정보를 최진소 그룹의 상태를 변경하기 위해 정밀 방향을 판단하며, 정밀 정밀 방향에 대한 정보를 정차로 판단한다. 상용의 정밀 방향, LRBG 방향, PRVLRBG 방향을 입력을 결정하고 RBC 가 판단하고 정차로 정보된 방향 정보로 MC 를 통해 확인한다.								
IN/OUT	Input						Output(Expected)		Output(Test Result)		Result
System/Subsystem/ Equipment	RBC	RBC	RBC	RBC	MC		MC			Pass/Fail
Test Case Number	Signal Name	상용의 정밀 방향	LRBG 방향	PRVLRBG 방향	LRBG, PRVLRBG 의 일곱 경우		정차의 방향 정보		정차의 방향 정보		
STC_01_01	Value	Normal	Normal	Normal	PRVLRBG -> LRBG		Normal				
STC_01_02		Normal	Normal	Reverse	None		None				
STC_01_03		Normal	Reverse	Reverse	LRBG -> PRVLRBG		Reverse				
Test Environment	System Version : V1.0										
Test Procedure	Related Test Case Number	Procedure									
	STC_01_01	1. 최진소음화 방향을 서로 같은 방향으로 설정한다. 2. PRVLRBG 가 될 최진소음 다른 일곱의 LRBG 로 설정된 최진소음 설정한다. 3. 일곱의 최진소음 방향이 출력되기 변경한다. 4. MC 에서 일곱의 상태는 정차의 방향 정보가 Normal 임을 확인한다.									
	STC_01_02	5. 최진소음의 방향을 서로 다른 방향으로 설정한다. 6. LRBG 와 PRVLRBG 같은 일곱 경우가 반드시 설정한다. 7. 일곱을 STC_01_01 과 같은 방향으로 변경시킨다. 8. MC 에서 출력되는 방향과 같은지 확인을 종료한다.									

Copyright © DaeaTi CO., LTD. All rights reserved. Reading on and copying of this document, use and communication of its content is not permitted without prior written authorization.

<System Test Case 작성>

⑥ System Test 환경 구성 및 테스트 수행

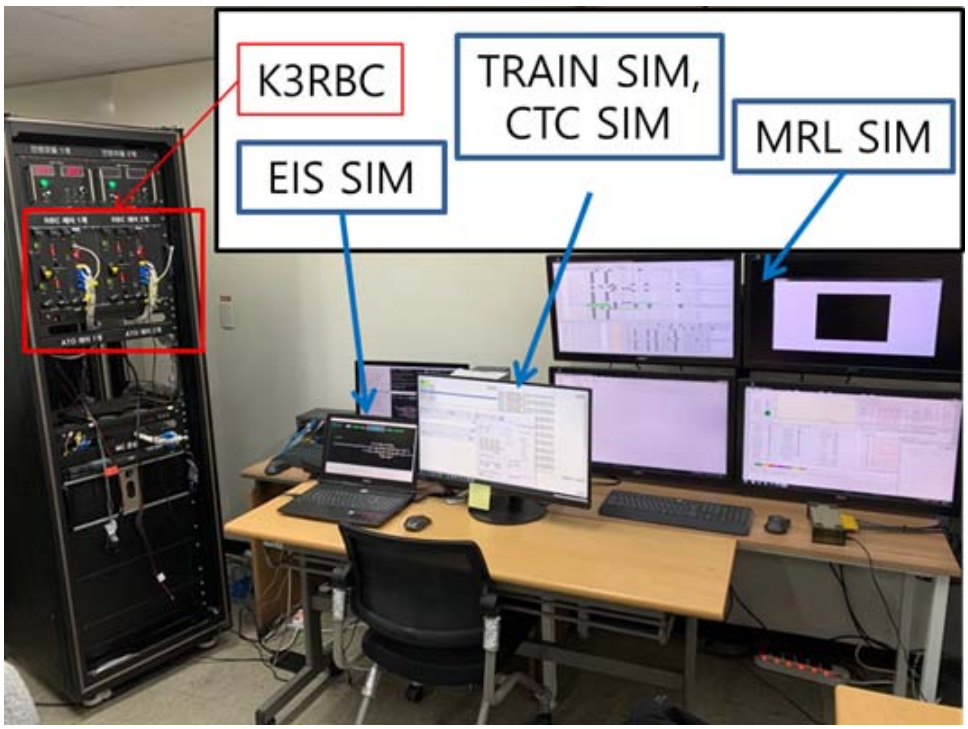


그림 72 System Test 환경 구성 및 테스트 수행

⑦ System Test 결과 입력(내용 생략)

⑧ System Test 결과 보고서 작성(내용 생략)

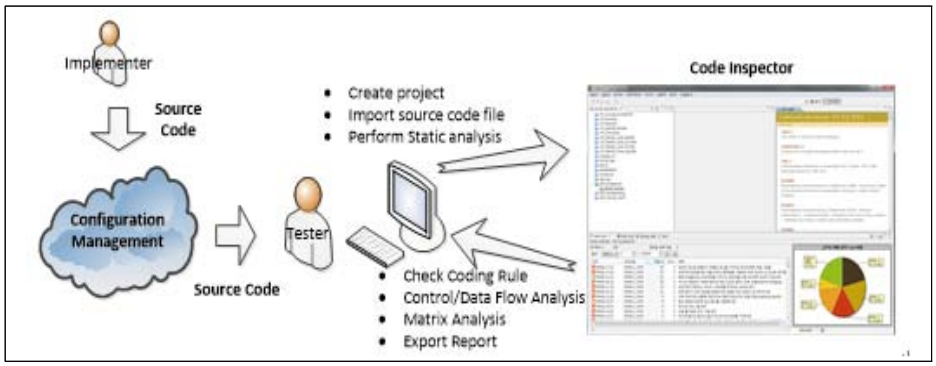
(2) 이동 폐색 알고리즘 소프트웨어 시험

(가) 소프트웨어 단위 시험 방안 및 절차

① 시험 환경 구성 및 사용 도구

㉮ 정적 분석

- Manual Code에 대한 정적 분석 수행을 위해 Code Inspector를 사용

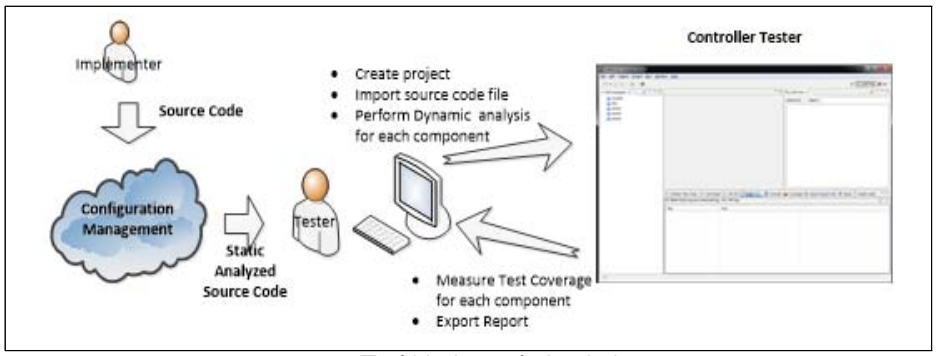


<SW 정적 분석 - 시험환경>

- SCADE SUITE의 KCG는 Class 3 Tool이며 SIL3&4를 준수하는 소프트웨어의 생성 보장으로 정적분석을 수행하지 않음

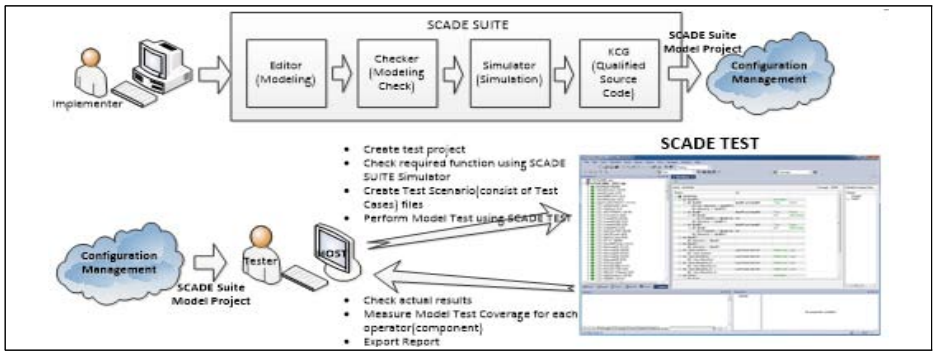
㉯ 동적 분석 도구

- Manual Code에 대한 동적 분석 수행을 위해 Controller Tester를 사용



<SW 동적분석 - 시험 환경>

- SCADE Model Test 시험하기 위해 SCADE TEST를 사용



<SCADE Model 동적 분석 - 시험 환경>

㉰ SW Component test 소프트웨어 사용 도구

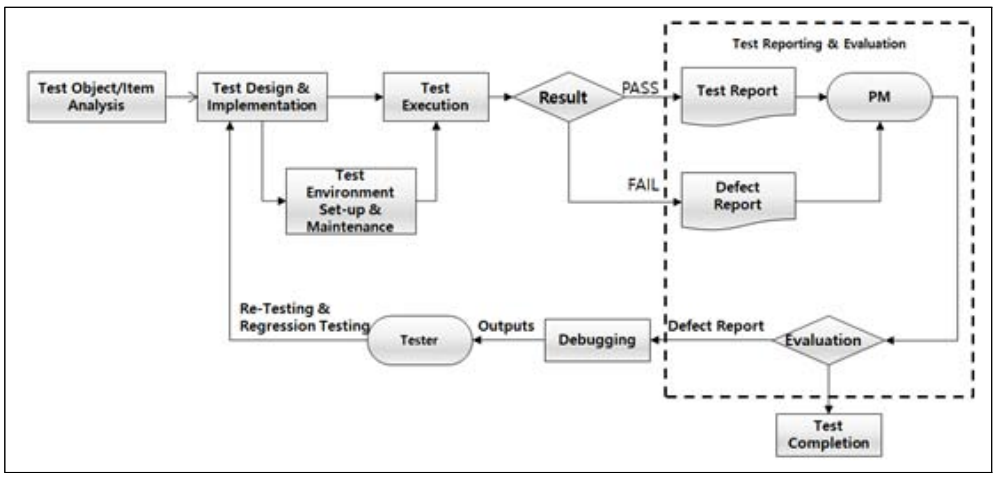
표 91 사용 도구

Tool	Version	Classification	Description
CodeScroll Code Inspector	3.6	T2	A solution for static analyzing the software source code.

CodeScroll Controller Tester	3.0	T2	Test automation solution for unit and integration tests of software developed and processed in various environments
SCADE TEST (SCADE MTC)	17.2	T2	SCADE® Test Model Coverage is a coverage analysis tool that executes and reports coverage on requirements-based tests coverage for SCADE Suite both at the model level and at the C generated code level. SCADE Test Model Coverage was qualified as a verification tool that satisfies DO-178B/C objectives.

② 시험 절차

- SW Component 가 의도된 기능 수행 하는지 Test



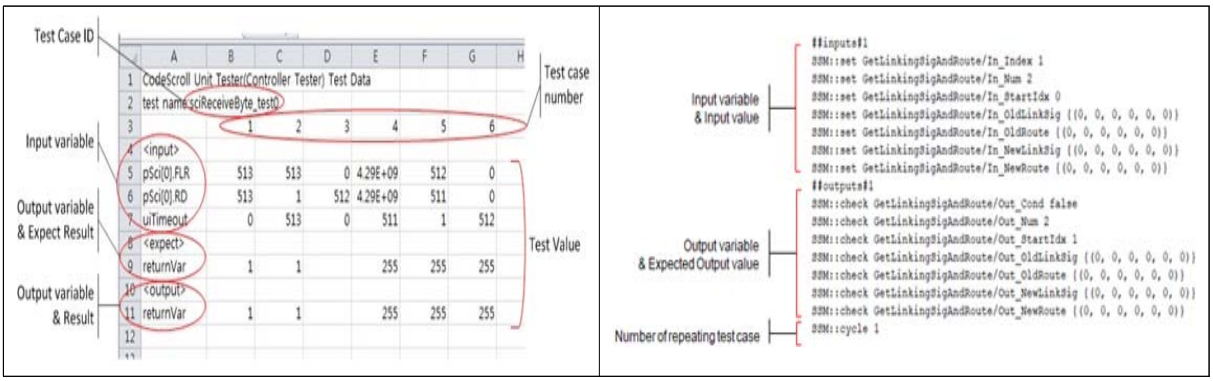
<SW Component 시험 절차>

③ Test Case Sheet 작성

㉮ SW Component test를 수행하기 위한 Test Case를 정의

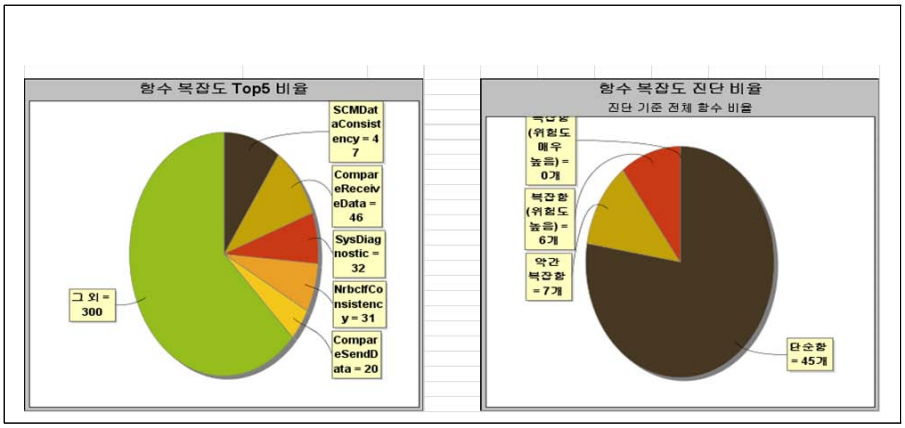
㉯ Manual Code의 경우에는 Controller Tester를 이용하여 Test Case 생성

㉰ SCADE TEST에 사용 되는 Test Case는 텍스트 타입으로 작성하여 시나리오 파일생성



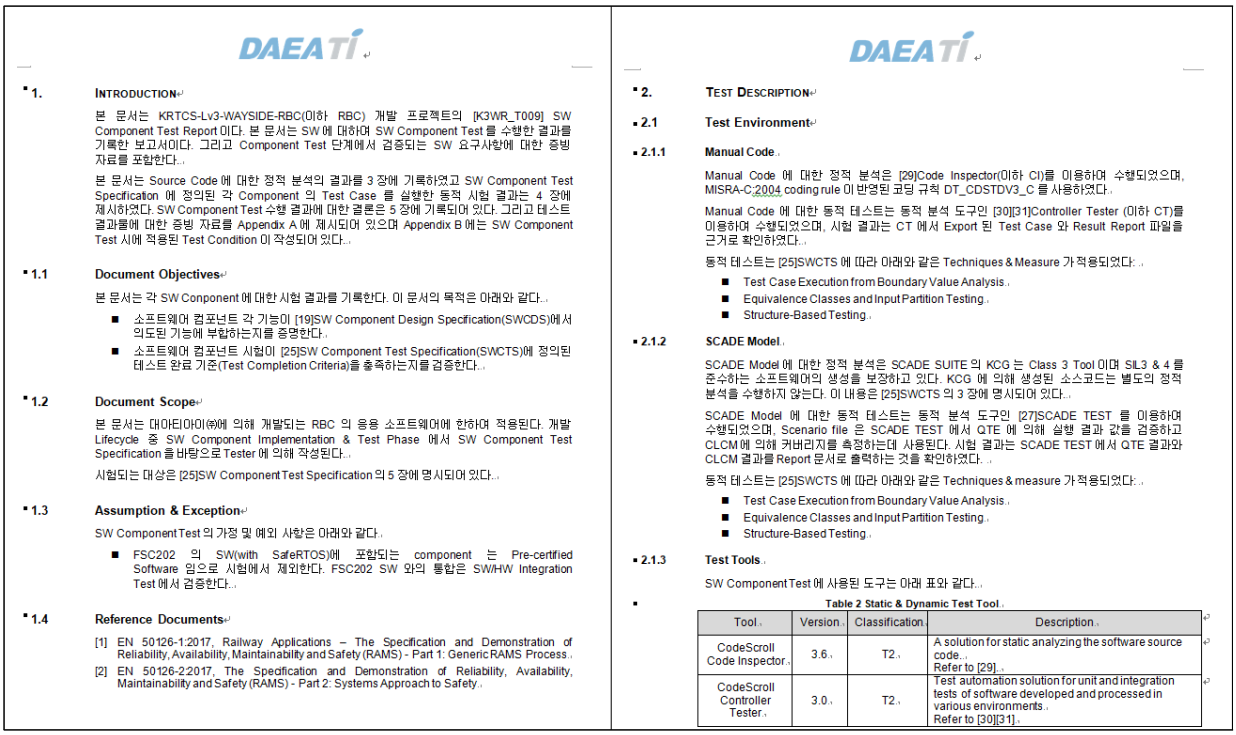
<Manual Code Test Case Sheet> <SCADE Model Test Case Sheet>

④ SW Component test 결과 확인



<SW Component test 결과 확인>

⑤ SW Component test 결과 보고서 작성



DAEATI

1. INTRODUCTION

본 문서는 KRTCS-Lv3-WAYSIDE-RBC(이하 RBC) 개발 프로젝트의 [K3WR_T009] SW Component Test Report 이다. 본 문서는 SW 에 대하여 SW Component Test 를 수행한 결과를 기록한 보고서이다. 그리고 Component Test 단계에서 검증되는 SW 요구사항에 대한 증빙 자료를 포함한다.

본 문서는 Source Code 에 대한 정적 분석의 결과를 3 장에 기록하였고 SW Component Test Specification 에 정의된 각 Component 의 Test Case 를 실행한 동적 시험 결과는 4 장에 제시하였다. SW Component Test 수행 결과에 대한 결론은 5 장에 기록되어 있다. 그리고 테스트 결과물에 대한 증빙 자료를 Appendix A 에 제시되어 있으며 Appendix B 에는 SW Component Test 시에 적용된 Test Condition 이 작성되어 있다.

1.1 Document Objectives

본 문서는 각 SW Conponent 에 대한 시험 결과를 기록한다. 이 문서의 목적은 아래와 같다.

- 소프트웨어 컴포넌트 각 기능이 [19]SW Component Design Specification(SWCDS)에서 의도된 기능에 부합하는지를 증명한다.
- 소프트웨어 컴포넌트 시험이 [25]SW Component Test Specification(SWCTS)에 정의된 테스트 완료 기준(Test Completion Criteria)을 충족하는지를 검증한다.

1.2 Document Scope

본 문서는 대아티아이㈜에 의해 개발되는 RBC 의 응용 소프트웨어에 한하여 적용된다. 개발 Lifecycle 중 SW Component Implementation & Test Phase 에서 SW Component Test Specification 을 바탕으로 Tester 에 의해 작성된다.

시험되는 대상은 [25]SW Component Test Specification 의 5 장에 명시되어 있다.

1.3 Assumption & Exception

SW Component Test 의 가정 및 예외 사항은 아래와 같다.

- FSC202 의 SW(with SafeRTOS)에 포함되는 component 는 Pre-certified Software 임으로 시험에서 제외한다. FSC202 SW 와의 통합은 SW/HW Integration Test 에서 검증한다.

1.4 Reference Documents

[1] EN 50126-1:2017, Railway Applications – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process.

[2] EN 50126-2:2017, The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 2: Systems Approach to Safety.

DAEATI

2. TEST DESCRIPTION

2.1 Test Environment

2.1.1 Manual Code

Manual Code 에 대한 정적 분석은 [29]Code Inspector(이하 CI)를 이용하여 수행되었으며, MISRA-C:2004 coding rule 이 반영된 코딩 규칙 DT_CDSTDV3_C 를 사용하였다.

Manual Code 에 대한 동적 테스트는 동적 분석 도구인 [30][31]Controller Tester (이하 CT)를 이용하여 수행되었으며, 시험 결과는 CT 에서 Export 된 Test Case 와 Result Report 파일을 근거로 확인하였다.

동적 테스트는 [25]SWCTS 에 따라 아래와 같은 Techniques & Measure 가 적용되었다:

- Test Case Execution from Boundary Value Analysis.
- Equivalence Classes and Input Partition Testing.
- Structure-Based Testing.

2.1.2 SCADE Model

SCADE Model 에 대한 정적 분석은 SCADE SUITE 의 KCG 는 Class 3 Tool 이며 SIL3 & 4 를 준수하는 소프트웨어의 생성을 보장하고 있다. KCG 에 의해 생성된 소스코드는 별도의 정적 분석을 수행하지 않는다. 이 내용은 [25]SWCTS 의 3 장에 명시되어 있다.

SCADE Model 에 대한 동적 테스트는 동적 분석 도구인 [27]SCADE TEST 를 이용하여 수행되었으며, Scenario file 은 SCADE TEST 에서 QTE 에 의해 실행 결과 값을 검증하고 CLCM 에 의해 커버리지를 측정하는데 사용된다. 시험 결과는 SCADE TEST 에서 QTE 결과와 CLCM 결과를 Report 문서로 출력하는 것을 확인하였다.

동적 테스트는 [25]SWCTS 에 따라 아래와 같은 Techniques & measure 가 적용되었다:

- Test Case Execution from Boundary Value Analysis.
- Equivalence Classes and Input Partition Testing.
- Structure-Based Testing.

2.1.3 Test Tools

SW Component Test 에 사용된 도구는 아래 표와 같다.

Table 2 Static & Dynamic Test Tool

Tool	Version	Classification	Description
CodeScroll Code Inspector	3.6	T2	A solution for static analyzing the software source code. Refer to [29].
CodeScroll Controller Tester	3.0	T2	Test automation solution for unit and integration tests of software developed and processed in various environments. Refer to [30][31].

<SW Component Test 결과 보고서 작성>

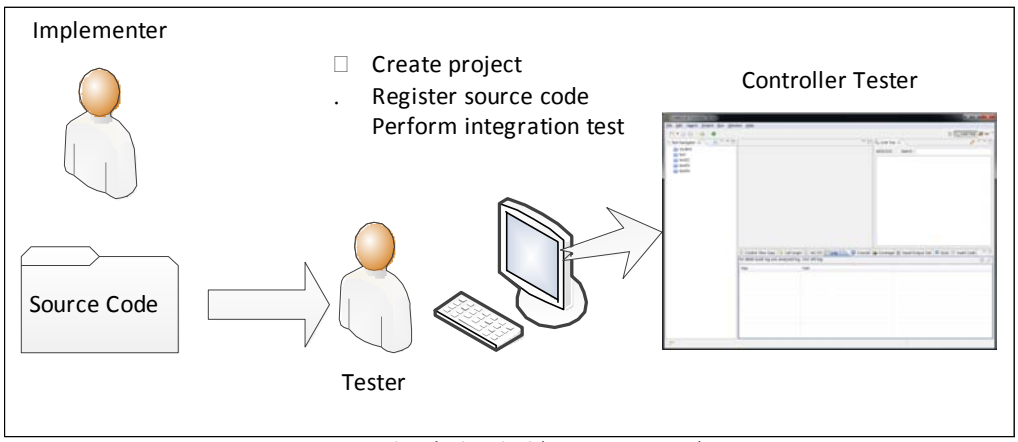
(3) 이동 폐색 알고리즘 소프트웨어 통합시험 및 소프트웨어/하드웨어 통합 시험

(가) 소프트웨어 통합 시험

① 시험 환경 구성

㉮ Manual Code 에 대한 통합시험 환경

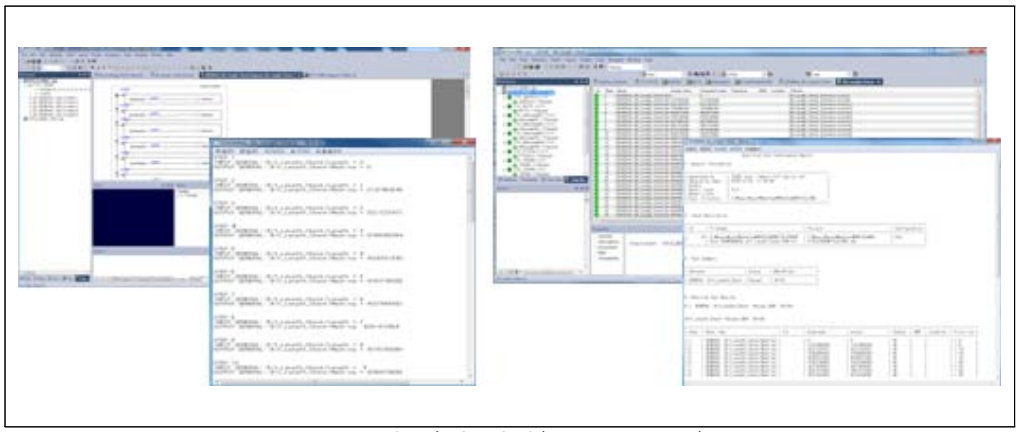
- RBC의 SW를 시험하기 위해 Controller Tester를 사용



<SW 통합 시험 환경(Manual Code)>

㉯ SCADE Model 에 대한 통합시험 환경

- RBC의 SCADE Model을 시험하기 위해 SCADE TEST를 사용
- SCADE 프로젝트 하위에 TEST프로젝트를 생성하고 시나리오 파일을 등록



<SW 통합 시험 환경(SCADE Model)>

㉰ SW 통합 시험 소프트웨어 사용 도구

표 92 사용 도구

Tool	Version	Classification	Description
CodeScroll Controller Tester	3.0	T2	Test automation solution for unit and integration tests of software developed and processed in various environments
SCADE Suite KCG	6.6	T3	SCADE Suite KCG automatically generates ANSIand Ada code from a SCADE model. SCADE Suite KCG Code Generator was developedin compliance with the highest levels of Safety Standards (DO-178C/DO-330 at TQL-1, IECup to SILENup to SILISOup to ASIL
SCADE TEST (SCADE MTC)	17.2	T2	SCADE® Test Model Coverage is a coverage analysis tool that executes and reports coverage on requirements-based tests coverage for SCADE Suite both at the model level and at the C generated code level. SCADE Test Model Coverage was qualified as a verification tool that satisfies DO-178B/C objectives.

② 시험 절차

㉮ Manual Code 통합 시험에서는 Bottom-Up 접근법을 적용하여 점진적으로 통합시험

㉯ SCADE Model 통합 시험에서는 Bottom-Up 접근법을 적용하여 각 Model 들에 대해 정의된 기능을 시험하고 Model Test Coverage 측정

③ SW integration test 수행하기 위한 Test Case 작성(내용 생략)

④ SW integration test 결과 확인



테스트 보고서(호스트)

프로젝트: SWIT_V1.3 (C/C++)

2020-12-14 09:57:32.041

전체 커버리지

구문	분기	호출	MC/DC	함수
100.00 %(2,305/2,305)	100.00 %(747/747)	100.00 %(551/551)	89.66 %(425/474)	00.00 %(48/48)

유닛 테스트

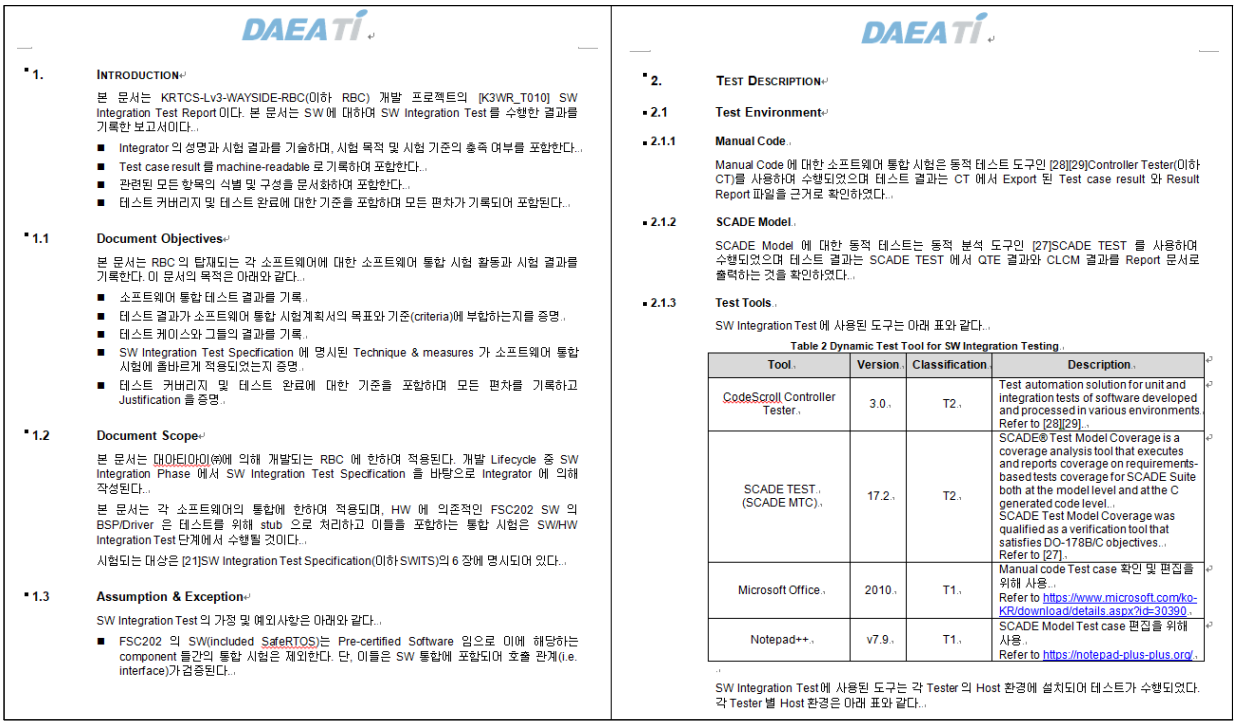
총 테스트 수	성공한 테스트 수	총 테스트 케이스 수	공한 테스트 케이스 수
66	66	913	913

유닛 테스트 요약

테스트	테스트 케이스 수	성공	오류	실패	구문	분기	호출	MC/DC
CalcCRC32(const uns	3	3	0	0	%(10/2	%(4/7	%(1/2	%(2/4
CalcCRC32(const uns	3	3	0	0	%(10/2	%(3/7	%(1/1	%(1/4
ChannelCompare(unsi	12	12	0	0	%(65/2	%(14/7	%(13/3	%(9/4
ChannelCompare(unsi	13	13	0	0	%(65/2	%(14/7	%(13/3	%(8/4
ChannelSync(unsigne	10	10	0	0	%(14/2	%(6/7	%(5/5	%(3/4
ChannelSync(unsigne	5	5	0	0	%(13/2	%(4/7	%(5/5	%(1/4
CheckLifeSign(unsign	16	16	0	0	%(94/2	%(27/7	%(27/	%(16/
CheckReceivedRadio	11	11	0	0	%(69/2	%(18/7	%(16/3	%(8/4
ComRead(unsigned sl	1	1	0	0	%(8/23	%(2/7	%(2/1	%(1/4
ComRead(unsigned sl	1	1	0	0	%(8/23	%(2/7	%(2/1	%(1/4
ComWrite(unsigned s	4	4	0	0	%(22/23	%(2/7	%(10/2	%(2/4
ComWrite(unsigned s	3	3	0	0	%(22/23	%(2/7	%(10/1	%(1/4
CompareApplicationD	10	10	0	0	%(93/2	%(20/7	%(22/	%(11/
CompareReceiveData	94	94	0	0	%(426/9	%(121/	%(104	%(38/
CompareSendData()	39	39	0	0	%(149/22	%(54/7	%(46/	%(38/
CpuComAliveCheck()	23	23	0	0	%(25/2	%(16/7	%(7/	%(8/4
CreateRbcDataBase(s	6	6	0	0	%(89/23	%(4/7	%(13/3	%(3/4
CreateRbcDataBase(s	5	5	0	0	%(89/23	%(4/7	%(13/2	%(2/4
CreateRbcMessage()	24	24	0	0	%(288/2	%(42/7	%(49/	%(16/

<SW integration test 결과 확인>

⑤ SW integration test 결과 보고서 작성



DAEATI

1. INTRODUCTION

본 문서는 KRTCS-Lv3-WAYSIDE-RBC(이하 RBC) 개발 프로젝트의 [K3WR_T010] SW Integration Test Report 이다. 본 문서는 SW 에 대하여 SW Integration Test 를 수행한 결과를 기록한 보고서이다.

- Integrator 의 성명과 시험 결과를 기술하며, 시험 목적 및 시험 기준의 충족 여부를 포함한다.
- Test case result 를 machine-readable 로 기록하여 포함한다.
- 관련된 모든 항목의 식별 및 구성을 문서화하여 포함한다.
- 테스트 커버리지 및 테스트 완료에 대한 기준을 포함하며 모든 편차가 기록되어 포함된다.

1.1 Document Objectives

본 문서는 RBC 의 탑재되는 각 소프트웨어에 대한 소프트웨어 통합 시험 활동과 시험 결과를 기록한다. 이 문서의 목적은 아래와 같다.

- 소프트웨어 통합 테스트 결과를 기록.
- 테스트 결과가 소프트웨어 통합 시험계획서의 목표와 기준(criteria)에 부합하는지를 증명.
- 테스트 케이스와 그들의 결과를 기록.
- SW Integration Test Specification 에 명시된 Technique & measures 가 소프트웨어 통합 시험에 올바르게 적용되었는지 증명.
- 테스트 커버리지 및 테스트 완료에 대한 기준을 포함하며 모든 편차를 기록하고 Justification 을 증명.

1.2 Document Scope

본 문서는 대아티아이㈜에 의해 개발되는 RBC 에 한하여 적용된다. 개발 Lifecycle 중 SW Integration Phase 에서 SW Integration Test Specification 을 바탕으로 Integrator 에 의해 작성된다.

본 문서는 각 소프트웨어의 통합에 한하여 적용되며, HW 에 의존적인 FSC202 SW 의 BSP/Driver 은 테스트를 위해 stub 으로 처리하고 이들을 포함하는 통합 시험은 SW/HW Integration Test 단계에서 수행될 것이다.

시험되는 대상은 [21]SW Integration Test Specification(이하 SWITS)의 6 장에 명시되어 있다.

1.3 Assumption & Exception

SW Integration Test 의 가정 및 예외사항은 아래와 같다.

- FSC202 의 SW(included SafeRTOS)는 Pre-certified Software 임으로 이에 해당하는 component 들간의 통합 시험은 제외한다. 단, 이들은 SW 통합에 포함되며 호출 관계(i.e. interface)가 검증된다.

DAEATI

2. TEST DESCRIPTION

2.1 Test Environment

2.1.1 Manual Code

Manual Code 에 대한 소프트웨어 통합 시험은 동적 테스트 도구인 [28][29]Controller Tester(이하 CT)를 사용하여 수행되었으며 테스트 결과는 CT 에서 Export 된 Test case result 와 Result Report 파일을 근거로 확인하였다.

2.1.2 SCADE Model

SCADE Model 에 대한 동적 테스트는 동적 분석 도구인 [27]SCADE TEST 를 사용하여 수행되었으며 테스트 결과는 SCADE TEST 에서 QTE 결과와 CLCM 결과를 Report 문서로 출력하는 것을 확인하였다.

2.1.3 Test Tools

SW Integration Test 에 사용된 도구는 아래 표와 같다.

Table 2 Dynamic Test Tool for SW Integration Testing

Tool	Version	Classification	Description
CodeScroll Controller Tester	3.0	T2	Test automation solution for unit and integration tests of software developed and processed in various environments. Refer to [28][29].
SCADE TEST (SCADE MTC)	17.2	T2	SCADE® Test Model Coverage is a coverage analysis tool that executes and reports coverage on requirements-based tests coverage for SCADE Suite both at the model level and at the C generated code level. SCADE Test Model Coverage was qualified as a verification tool that satisfies DO-178B/C objectives. Refer to [27].
Microsoft Office	2010	T1	Manual code Test case 확인 및 편집을 위해 사용. Refer to https://www.microsoft.com/ko-KR/download/details.aspx?id=30390
Notepad++	v7.9	T1	SCADE Model Test case 편집을 위해 사용. Refer to https://notepad-plus-plus.org/

SW Integration Test 에 사용된 도구는 각 Tester 의 Host 환경에 설치되어 테스트가 수행되었다. 각 Tester 별 Host 환경은 아래 표와 같다.

<SW integration test 결과 보고서 작성>

(나) 소프트웨어/하드웨어 통합 시험

① RBC에 대한 SW/HW 통합 시험 환경

- RBC와 외부 장치 간 이더넷 기반 인터페이스

② 시험을 위해 필요한 하드웨어 장비(내용 생략)

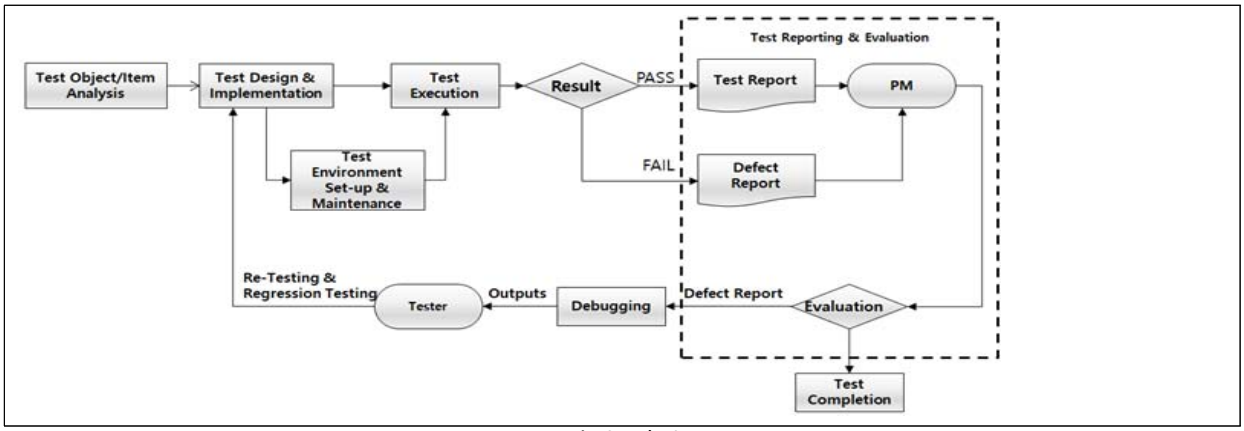
표 93 소프트웨어 장비

Tool	Version	Classification	Description
MC	V1.0	T1	RBC와 각 장치들에 대한 인터페이스 로그 정보를 저장하기 위함 이며, RBC의 유지보수 명령어 사용을 위함.Freeware software
EIS SIM	V1.0	T2	Simulator to perform the function of EIS system
CTC SIM	V1.0	T2	Simulator to perform the function of CTC system
MRL(차상시뮬레이터)	-	T2	Simulator to perform the function of Train On Board system and SCM(WS)

③ 시험을 위해 필요한 소프트웨어 장비

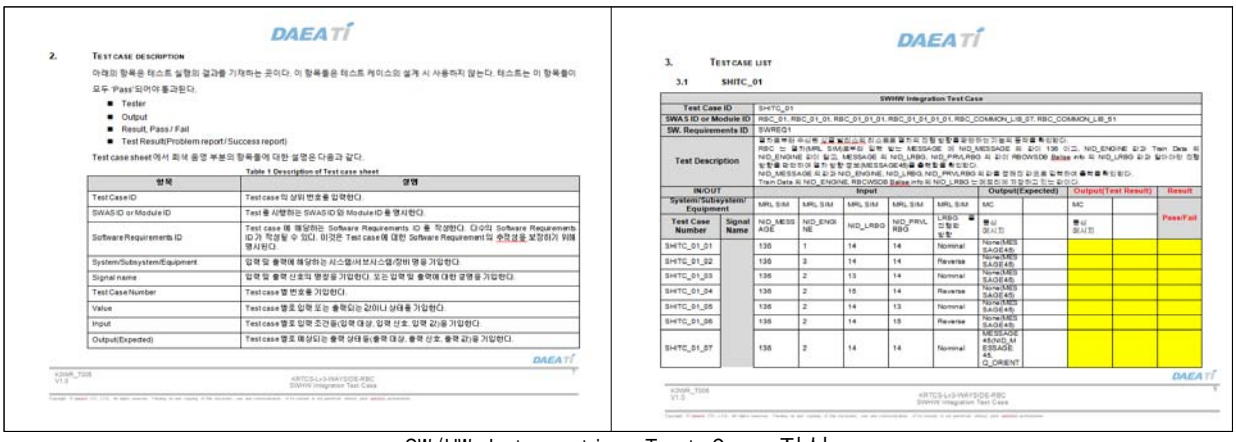
④ 시험 절차

- SW통합 이후 완성된 시스템이 설계된 Architecture, Design 대로 동작하는지 평가



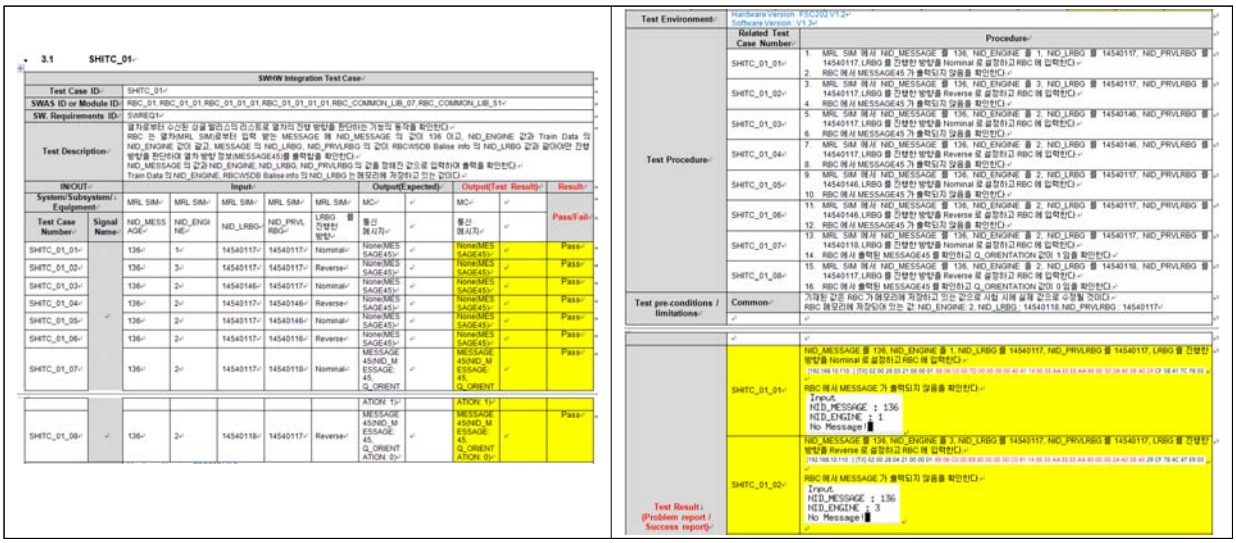
<시험 절차>

⑤ SW/HW Integration Test 수행하기 위한 Test Case 작성



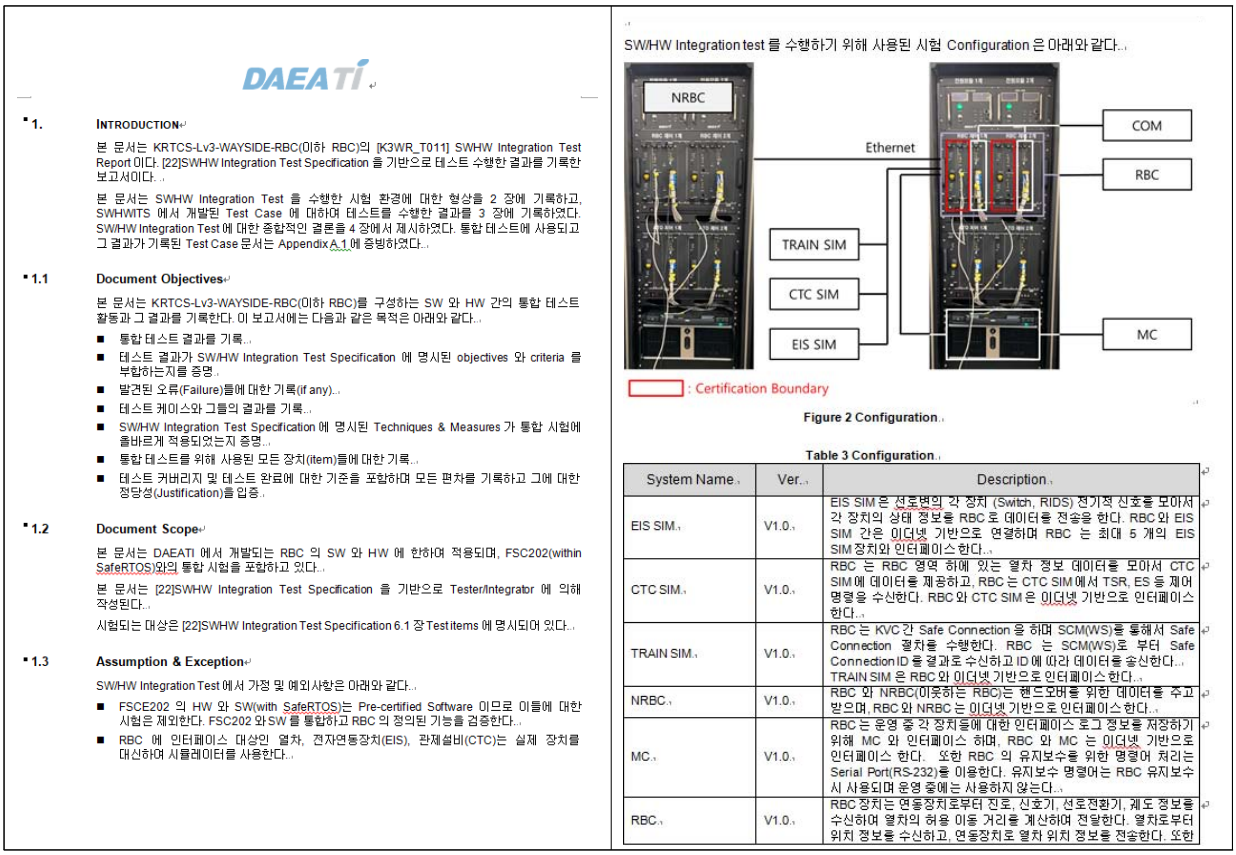
<SW/HW Integration Test Case 작성>

⑥ SW/HW Integration Test 결과 입력



<SW/HW Integration Test 결과 입력>

⑦ SW/HW Integration Test 결과 보고서 작성



<SW/HW Integration Test 결과 보고서 작성>

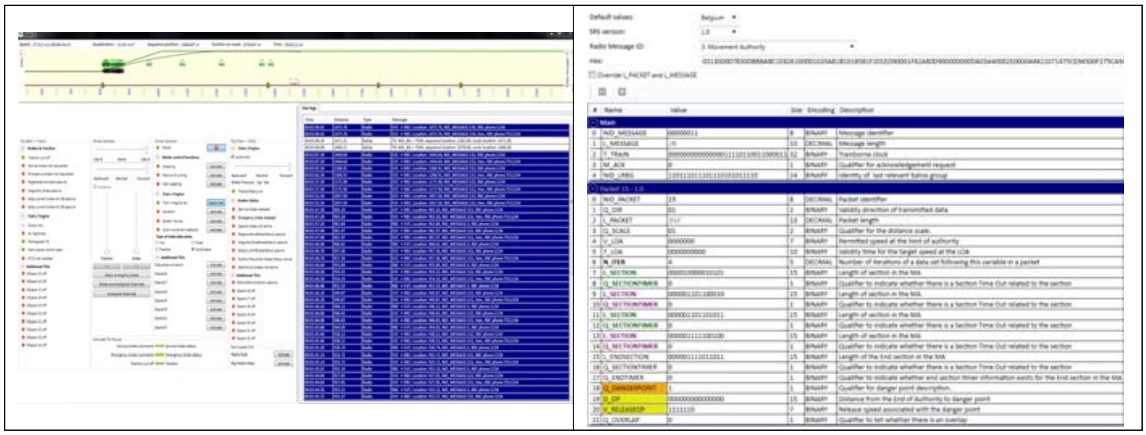
(4) 이동폐색 알고리즘 검증을 위한 지상 ATP 시험용 Test-bench 구축 및 시험

(가) 지상 ATP 시스템 시험 환경 구성

① 지상 ATP TestBench

㉮ ATP MRL (ATP Multi Rail Lab)

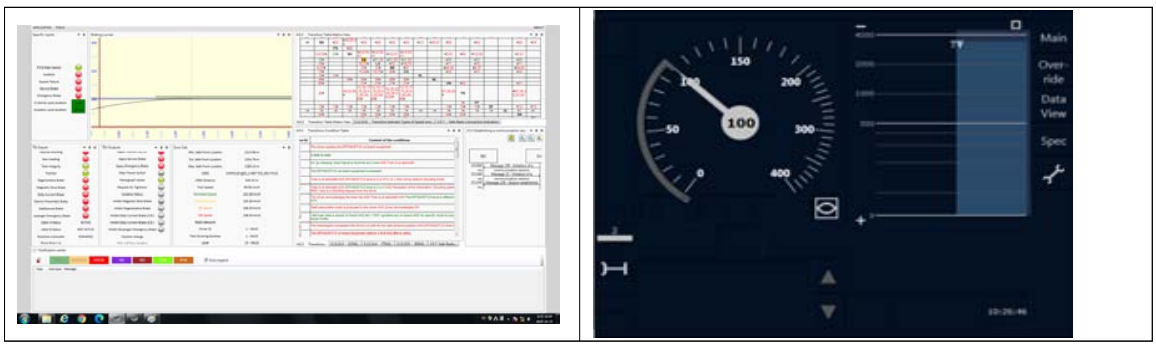
장소/시간 등에 따른 송수신 정보를 시나리오화 하여 테스트를 수행하고 그 결과를 다른 어플리케이션으로 전달하는 기능을 수행한다. 또한 송수신된 패킷을 분석하는 기능을 가지고 있다.



<ATP MRL Main Screen>

㉯ VCD (Vital Computer Debugger)

실제 차상장치를 모방하는 역할을 수행한다. 열차의 현재 운행 모드와 속도, 제한 속도 등의 정보를 확인할 수 있으며 차상의 DMI 화면을 Emulation 한다.



<VCD Main Screen> <DMI>

㉰ BCD (Block Center Debugger)

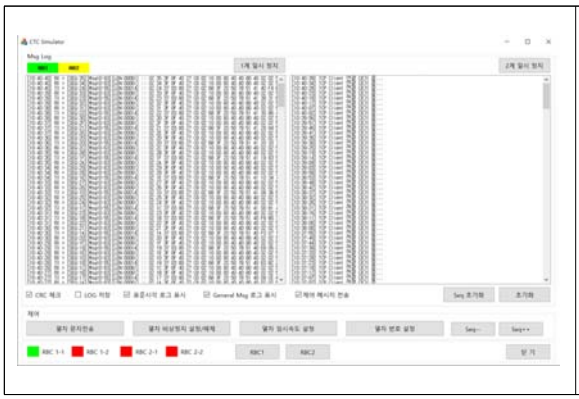
- 시험에 사용되는 시나리오 파일에 문제가 없는지 검사할 수 있으며, 시험 도구(ATP MRL, VCD)에 이상이 없음을 확인하는 역할을 수행한다.

② EIS SIM

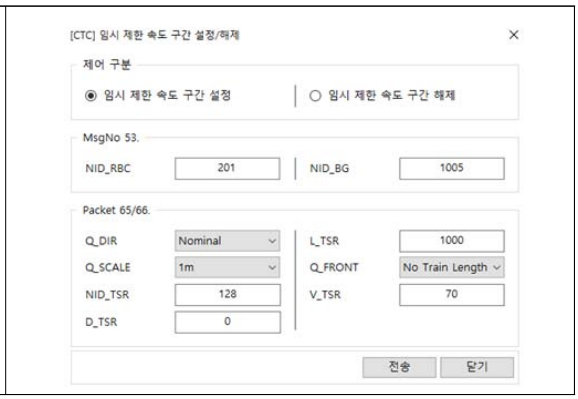
- 연동장치 또는 RBC 통신 시뮬레이션 프로그램으로 송/수신 되는 통신 프레임 내용을 직접 확인하고 송/수신하는 프로그램

③ CTC SIM

- RBC와 CTC간 인터페이스 및 제어 메시지 송 수신 확인을 위한 시뮬레이터 제작



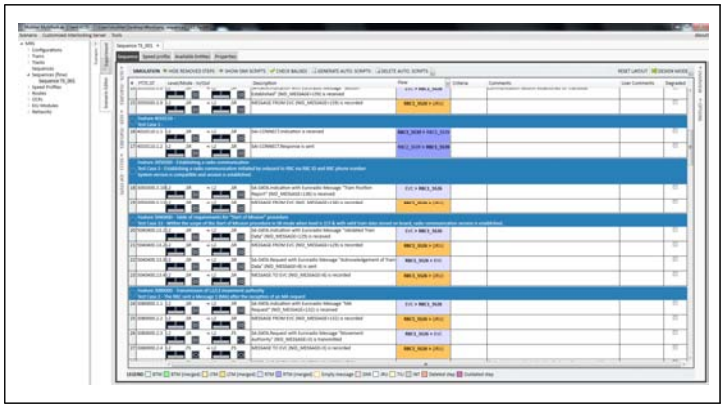
<RBC-CTC 인터페이스 상태>



<CTC 제어 메시지 전송>

(나) 지상 ATP 시험 명세서 작성
- 시스템 요구사양 분석
- 지상 ATP와 관제설비 간 인터페이스 명세서 분석
- 지상 ATP와 차상 ATP 간 인터페이스 명세서 분석
- 지상 ATP Test Case 정의 및 설계
- 지상 ATP 시험 명세서 작성

(다) 지상 ATP 시스템 연동 시험
① 시험 시나리오 작성



<지상 ATP 시나리오 파일 작성>

② ATP 열차 정보 전송 연동장치 열차 위치 정보 확인



연동장치 열차 점유 표시



연동장치 열차 이동 표시

③ 열차 DMI 레벨 변경 확인



〈레벨 1〉

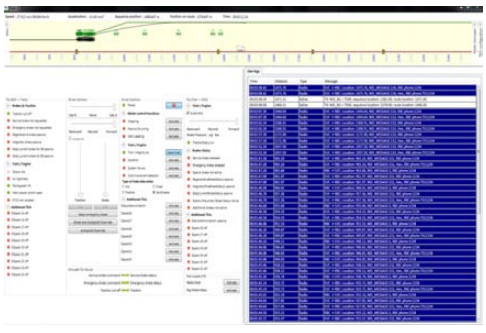


〈레벨 3 예고〉



〈레벨 3 전환〉

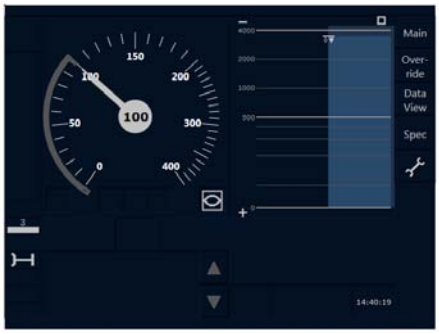
④ 이동권한 및 열차 위치 보고 확인



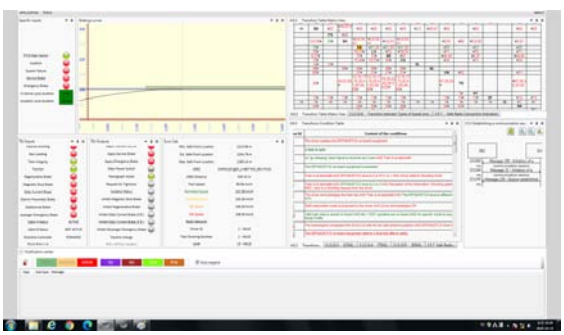
〈이동권한 요청 메시지〉



〈레벨3 이동권한 표시〉



〈이동권한 확장〉



<MRL VCD 상태 표시>

(5) 자동 운전 지원을 위한 지상 ATO 시험용 Test-bench 구성 및 시험

(가) 지상 ATO 시스템 시험 환경 구성

① ATO-OB TestBench

㉮ ATO MRL (ATO Multi Rail Lab)

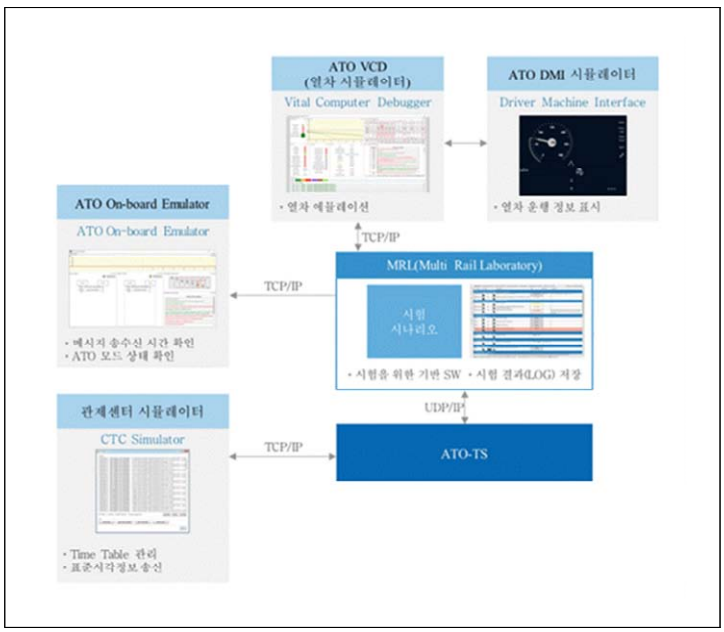
- 장소/시간 등에 따른 송수신 정보를 시나리오화 하여 테스트를 수행하고 그 결과를 다른 어플리케이션으로 전달하는 기능을 수행한다.

㉯ ATO VCD (Vital Computer Debugger)

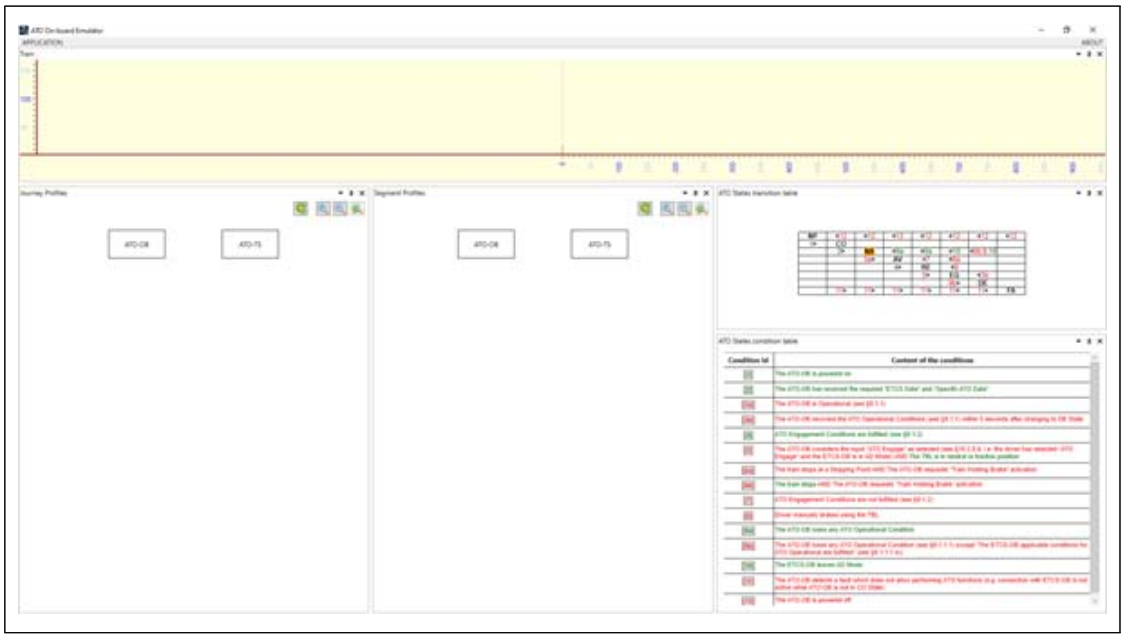
- 실제 차상장치를 모방하는 역할을 수행한다. 열차의 현재 운행 모드와 속도, 제한 속도등의 정보를 확인할 수 있으며 차상의 DMI 화면을 Emulation 한다.

㉰ ATO On-board Emulator

- ATO MRL 장비로부터 송수신한 Journey Profile과 Segment Profile의 송수신 시간, 현재 ATO 운행 모드 등의 정보를 확인할 수 있다.



<지상 ATO 통합 시험 구성도>



<ATO On-board Emulator Main Screen>

② CTC SIM

표 94 CTC SIM 주요 기능

Name	Description
세션 연결	지상 ATO와 세션을 연결하는 기능을 수행한다.
표준시각정보 전송	지상 ATO와 세션이 연결된 경우 1초 주기로 표준시각정보를 전송한다.
Time Table 관리	Time Table 생성/수정/삭제 기능을 수행하여 지상 ATO로 Time Table을 전송하는 기능을 한다.
STR 정보 수신	주기적으로 STR 정보가 수신되는지 검사하고 일정 시간동안 수신되지 않는 경우 세션 재연결을 기다린다.
End Working	당일 운행을 종료하는 기능을 수행한다.

(나) 지상 ATO 시험 명세서 작성

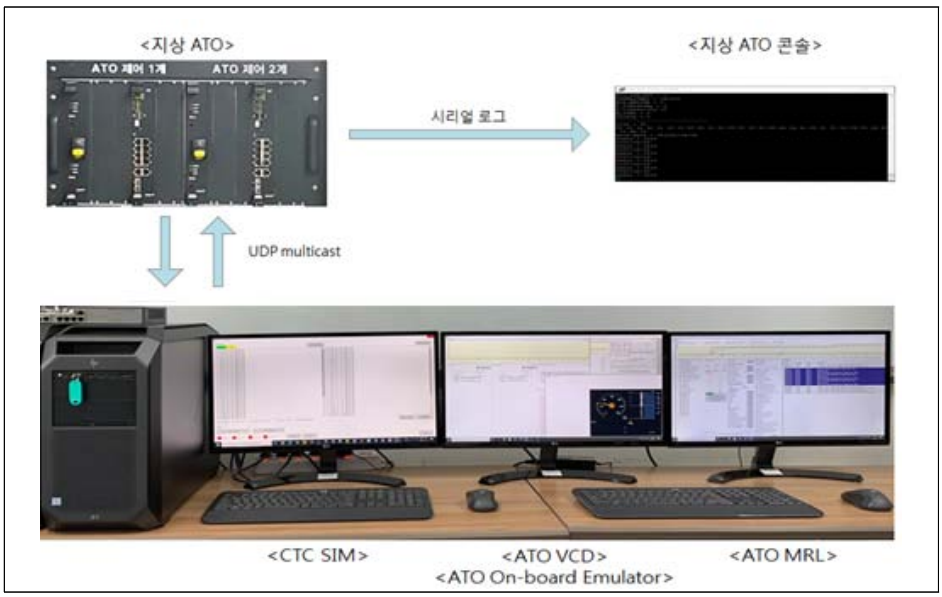
- 시스템 요구사양 분석
- 지상 ATO와 관제설비 간 인터페이스 명세서 분석
- 지상 ATO와 차상 ATO 간 인터페이스 명세서 분석
- 지상 ATO Test Case 정의 및 설계
- 지상 ATO 시험 명세서 작성

(다) 지상 ATO 시스템 연동 시험

표 95 시험 인터페이스 분석

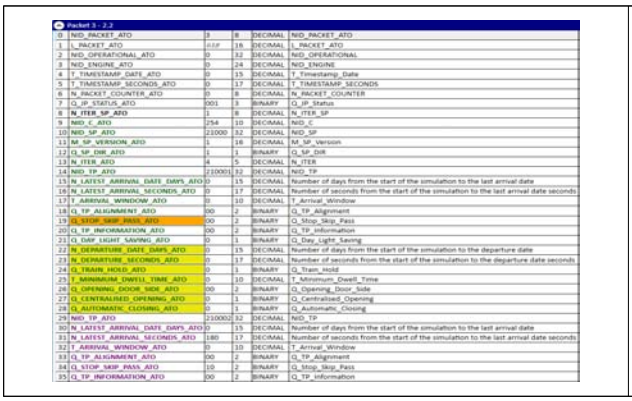
Interface ID	Interface Device	Description
IF_01	ATO-OB SIM	ATO-TS는 Handshake 응답과 JP 정보, SP 정보, STR 정보 응답 패킷을 ATO-OB로 송신하고, ATO-OB SIM으로부터 Handshake 요청과 JP 정보

		요청/확인, SP 정보 요청, STR 정보를 수신한다.
IF_02	CTC SIM	ATO-TS는 Time Table 요청/확인과 STR 정보, STR 이벤트, 업무 종료 응답 메시지를 송신하고, CTC SIM으로부터 표준시각정보와 TIme Table All, Time Table Update, STR 이벤트 확인, 업무 종료 메시지를 수신한다.

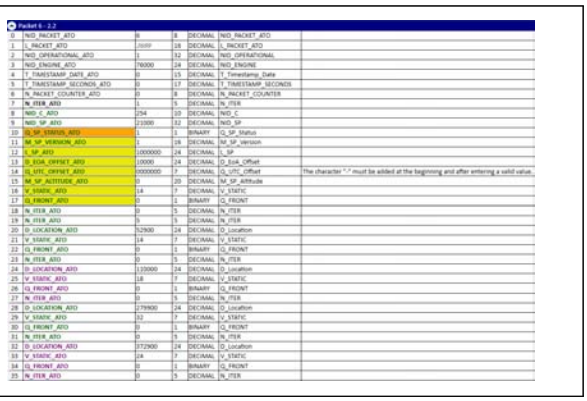


〈지상 ATO 시험 수행〉

① Journey Proeile과 Segment Profile 설계 및 생성

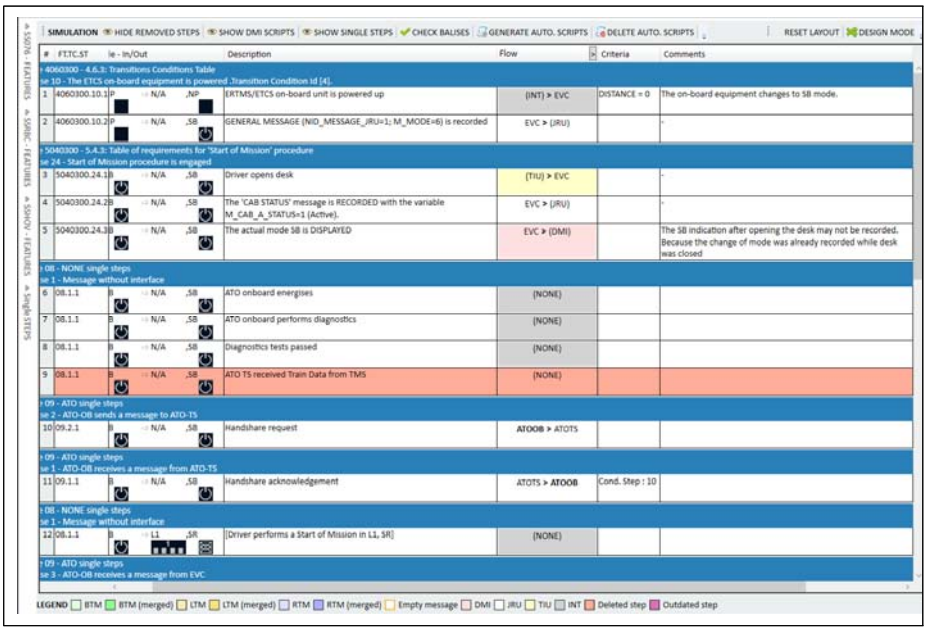


〈Journey Profile 생성〉



〈Segment Profile 생성〉

② 지상 ATO 시험 시나리오 생성

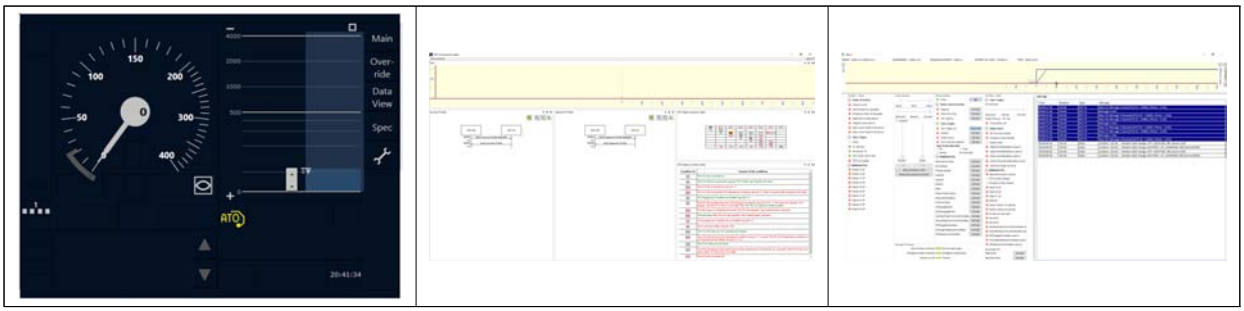


〈시험 시나리오 생성〉

③ 지상 ATO 시험 및 결과(일부 발췌)

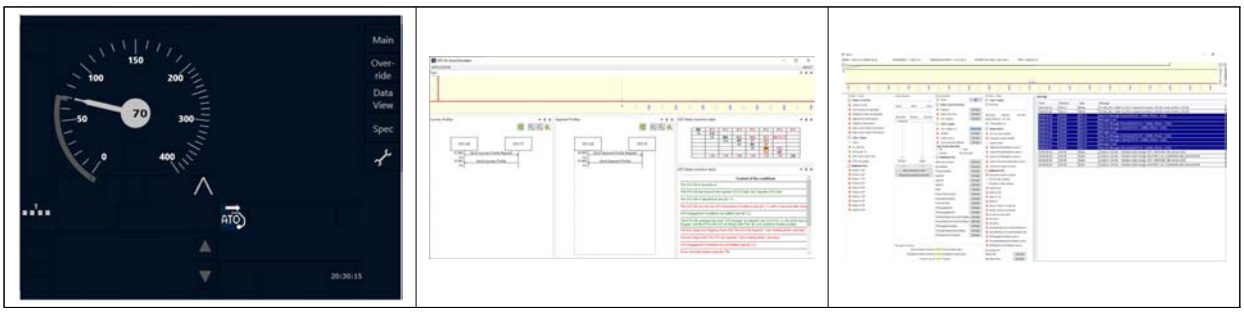
● ATO 출발 대기 (운전자 응답 대기)

Journey Profile 및 Segment Profile 요청/응답 송수신



〈ATO DMI 화면〉 〈ATO VCD 화면 (NA 모드)〉 〈MRL 화면〉

● ATO 운행

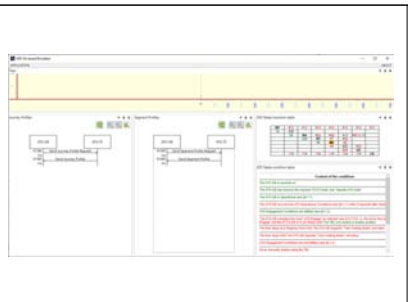


〈ATO DMI 화면〉 〈ATO VCD 화면 (EG 모드)〉 〈MRL 화면〉

● 운행 중 ATO 모드 전환



〈ATO DMI 화면〉


〈ATO VCD 화면 (RE 모드)〉


〈MRL 화면〉

라. RAM 및 안전성 인증 활동

본 연구과제 수행 간 RAM 및 안전성 활동은 아래의 표준을 준수하여 수행되었다.

- EN50126-1:2017
- EN50126-2:2017
- EN50128:2011
- EN50129:2018
- EN50159:2010

(1) RAM 및 안전성 인증활동 계획수립

(가) 개발 수명주기

- RAM 및 안전성 활동은 철도 RAMS 표준인 EN50126-1과 EN50128에서 제시하는 시스템 수명주기를 준수하여 각 수명주기 단계 별 활동을 수행하였다.
- 본 연구과제 수행 간 RAM 및 안전성 인증활동을 위한 개발 수명주기는 아래와 같다.

표 96 RAM 및 안전성 활동 수명주기

단계			설명
1	Concept		시스템의 목표 수립 및 개념 정의 단계
2	System Definition and Operational Context		시스템 정의 및 RAM 및 안전성 활동 계획 수립 단계
3	Risk Analysis and Evaluation		위험원 분석 및 평가를 통한 안전 요구사항 도출 및 관리대상 위험원 식별 단계
4	Specification of System Requirements		시스템 요구사항 및 안전 관련 적용 조건 정의 단계
5	Architecture and Apportionments of System Requirements	System Architecture	시스템 요구사항에 따른 구조 설계 단계
		SW Requirement	소프트웨어 요구사항 정의 단계
6	Design and Implementation	HW Design	시스템 구조에 따른 하드웨어 상세설계 및 정량적 안전무결성(SIL)을 입증하는 단계
		SW Architecture & Design	소프트웨어 요구사항 구현을 위한 구조 및 설계 단계
		SW Component Design	소프트웨어 상세설계 단계
7	Manufacture	HW Test	하드웨어 제작 및 단위 테스트 단계
		SW Component	소프트웨어 소스코드 구현 및 컴포넌트 테스트

단계			설명
		Implementation & Test	단계
		SW Integration	소프트웨어 및 소프트웨어/하드웨어 통합 단계
8	Validation	SW Validation	소프트웨어 요구사항의 정확한 구현 검증 단계
		System Validation	시스템 요구사항의 정확한 구현 검증 및 최종 안전 보고서(Safety Case) 산출 단계

(나) RAMS 조직구성

RAM 및 안전성 활동을 위한 조직은 상기 표준에서 제시하는 SIL4 수준에 적합한 조직으로 구성되었으며, 조직구성은 아래와 같다.

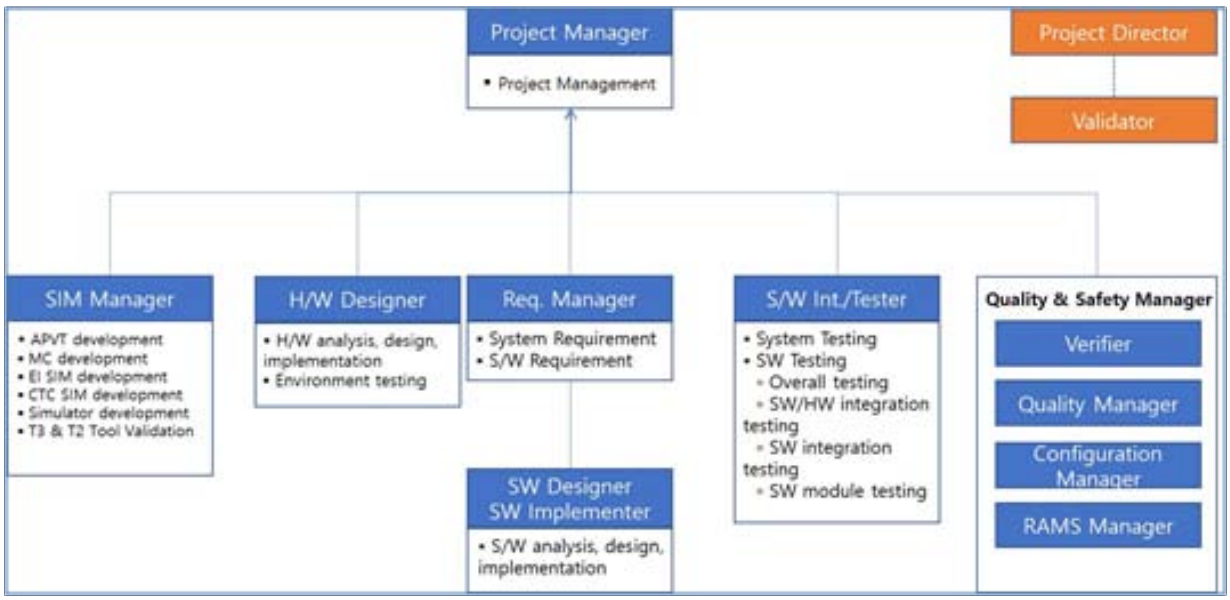


그림 73 지상ATP RAMS조직 구성도

본 연구과제에서 수행되는 RAM 및 안전성 활동은 ISA에 의해 평가 받으며, 최종적으로 시스템에 대한 Generic Application 인증서를 획득함으로써, 시스템의 RAM 및 안전성을 인증받는다.

(나) 안전성 보증에 따른 계획 수립

Concept 단계의 사전 조사 및 연구를 바탕으로 System Definition and Operational Context 단계에서 RAM 및 안전성 활동을 위한 계획을 수립하였다.

- 안전성 활동 계획(System Safety Plan) 수립
- RAM 활동 계획(System RAM Plan) 수립
- 품질관리 계획(System Quality Management Plan) 수립
- 소프트웨어 품질보증 계획(SW Quality Assurance Plan) 수립
- 형상관리 계획(System Configuration Plan) 수립
- 시스템 확인 계획(System Verification Plan) 수립
- 시스템 검증 계획(System Validation Plan) 수립

안전성 활동 계획을 통해 정의된 RBC 시스템의 목표 안전성 수준은 SIL4로 정의되었으며, 이를 충족 및 입증하기 위한 절차와 기준이 정의되었다.

(2) RAM 분석 활동

RAM 활동은 다음의 목적으로 수행되었다.

- 시스템의 RAM 목표 수립 및 입증
- 정량적 안전성(목표 TFFR) 입증을 위한 데이터 제공

(가) RAM 요구사항

System Definition and Operational Context 단계에서 RAM 활동에 대한 계획을 수립 시 정의된 RAM 요구사항은 아래와 같다.

표 97 RAM 요구사항

항목		요구사항	비고
Reliability	Immobilising MTBF	$MTBF_I = 3.5\times10^8$ (hour)	Ref(EEIG: 96S126) : ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification Chapter2(RAM) - 2.2.2.2.2
	Service MTBF	$MTBF_S = 4.0\times10^7$ (hour)	Ref(EEIG: 96S126) : ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification Chapter2(RAM) - 2.2.2.2.3
	Minor MTBF	$MTBF_M = 1.0\times10^5$ (hour)	Ref(EEIG: 96S126) : ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification Chapter2(RAM) - 2.2.2.2.4
Maintainability		MTTR = 2 (hour)	Ref(EEIG: 96S126) : ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification Chapter2(RAM) - 2.2.2.3.3
Availability	Immobilising Availability	$A_I \geq 99.999999\%$	Availability = MTTR/(MTBF+MTTR)
	Service Availability	$A_S \geq 99.999995\%$	
	Minor Availability	$A_M \geq 99.998000\%$	

(나) RAM 활동 결과

System RAM Plan에 따라 HW Design 단계에서 신뢰성, 유지보수성 및 가용성에 대한 분석을 수행하였으며, 모든 RAM 요구사항을 충족하였음을 입증하였다. RAM 요구사항 충족에 대한 내용은 아래와 같다.

표 98 RAM 요구사항 충족 입증

항목		요구사항	분석결과	충족여부
Reliability	Immobilising MTBF	$MTBF_I = 3.5\times10^8$ (hour)	$2.07064X10^9$	충족
	Service MTBF	$MTBF_S = 4.0\times10^7$ (hour)		
	Minor MTBF	$MTBF_M = 1.0\times10^5$ (hour)		

항목		요구사항	분석결과	충족여부
Maintainability		MTTR = 2 (hour)	0.94 (hour)	충족
Availability	Immobilising Availability	$A_I \geq 99.999999\%$	99.9999999%	충족
	Service Availability	$A_S \geq 99.999995\%$		
	Minor Availability	$A_M \geq 99.998000\%$		

RAM 활동 결과는 RAM Analysis Report로 작성되어 verification을 통해 적합성을 확인하였으며, 이에 대한 사항은 라.(4).(가)를 참조한다.

(3) 안전성 분석 활동

안전성 활동은 다음의 목적으로 수행되었다.

- 체계적 위험(Systematic failure)을 최소화하기 위한 안전성 활동 절차 및 방법 준수
- 무작위 위험(Random failure)을 허용가능 수준으로 통제하기 위한 시스템 분석 및 설계
- 정성적 및 정량적 안전성 목표 수립 및 입증

(가) 위험원 식별 및 결과 분석

Risk Analysis and Evaluation 단계에서 다음의 목적으로 위험원 분석을 수행하였다.

- 시스템 내에서 발생 가능한 위험요인, 상태, 사건 등을 규명
- 위험원의 원인 및 영향 분석
- 설계 단계 및 이후 단계에서 발생 가능한 위험 요인을 예측하여 사전에 이를 완화 또는 제거함으로써 시스템의 안전성을 확보

위험원 분석을 통해 식별된 위험원은 아래와 같다.

표 99 위험원 식별 결과

위험원 ID	설명
F-01_H1	RBC가 잘못된 열차운행방향정보를 열차로 송신함
F-01_H2	RBC가 열차운행방향정보를 열차로 송신하지 못함
F-01_H3	RBC가 잘못된 링킹정보를 열차로 송신함
F-01_H4	RBC가 링킹정보를 열차로 송신하지 못함
F-02_H1	RBC가 열차로 잘못된 시스템버전을 송신함
F-02_H2	RBC가 열차로 시스템버전을 송신하지 못함
F-02_H3	RBC가 잘못된 통신종료 확인 정보를 열차로 송신함
F-02_H4	RBC가 통신종료 확인 정보를 열차로 송신하지 못함
F-03_H1	RBC가 잘못된 Position report parameter 정보를 열차로 송신함
F-03_H2	RBC가 Position report parameter 정보를 열차로 송신하지 못함.
F-03_H3	RBC가 잘못된 열차위치정보를 연동장치로 송신함
F-03_H4	RBC가 열차위치정보를 연동장치로 송신하지 못함
F-03_H5	RBC가 비상정지 메시지를 송신하지 못함
F-04_H1	RBC가 잘못된 MA Request parameter를 열차로 송신함
F-04_H2	RBC가 MA Request parameter를 열차로 송신하지 못함
F-04_H3	RBC가 잘못된 MA 를 열차로 송신함

위험원 ID	설명
F-04_H4	RBC가 MA를 열차로 송신하지 못함
F-04_H5	RBC가 잘못된 SR모드 승인을 열차로 송신함
F-04_H6	RBC가 SR모드 승인을 열차로 송신하지 못함
F-04_H7	RBC가 잘못된 축소MA를 열차로 송신함
F-04_H8	RBC가 축소 MA를 열차로 송신하지 못함
F-05_H1	RBC가 잘못된 UES메시지를 열차로 송신
F-05_H2	RBC가 UES메시지를 열차로 송신하지 못함
F-05_H3	RBC가 CTC로부터 UES메시지를 수신하지 못함
F-05_H4	RBC가 잘못된 UES취소메시지를 열차로 송신함
F-05_H5	RBC가 UES취소메시지를 열차로 송신하지 못함
F-05_H6	RBC가 CTC로부터 UES취소메시지를 수신하지 못함
F-05_H7	RBC가 잘못된 CES메시지를 열차로 송신함
F-05_H8	RBC가 CES메시지를 열차로 송신하지 못함
F-06_H1	RBC가 열차에 잘못된 Staticspeedprofile을 송신함
F-06_H2	RBC가 열차에 Staticspeedprofile을 송신하지 못함
F-06_H3	RBC가 열차에 잘못된 기울기정보를 송신함
F-06_H4	RBC가 열차에 기울기정보를 송신하지 못함
F-06_H5	RBC가 열차에 비정상적인(초과속도)TSR을 송신함
F-06_H6	RBC가 열차에 TSR을 송신하지 못함
F-06_H7	RBC가 열차로 잘못된 텍스트 메시지를 송신함
F-06_H8	RBC가 열차로 텍스트 메시지를 송신하지 못함
F-07-01_H1	HOV RBC가 nRBC로 잘못된 Preannouncement 메시지를 송신함
F-07-01_H2	HOV RBC가 nRBC로 Preannouncement 메시지를 송신하지 못함
F-07-01_H3	HOV RBC가 잘못된 Handover 메시지를 송신함
F-07-01_H4	HOVRBC가 Handover 메시지를 송신하지 못함
F-07-01_H5	HOVRBC는ACC RBC에 진로관련정보 요청메시지를 송신하지 못함
F-07-01_H6	HOV RBC는 잘못된 정보임에도 불구하고 Ack를 ACC RBC로 송신함
F-07-01_H7	HOV RBC가 잘못된 MA를 열차로 송신함
F-07-01_H8	HOV RBC가 MA를 열차로 송신하지 못함
F-07-01_H9	Handover 구간에 진입한 열차에 HOV RBC의 Announcement송신 오류
F-07-01_H10	Handover 구간에 진입한 열차에 HOV RBC가 Announcement를 송신하지 못함
F-07-01_H11	HOV RBC는 Taking over가 완료하지 않은 상태에서 열차와의 통신세션을 종료함
F-07-01_H12	HOV RBC와 nRBC간 통신세션이 종료되지 않음
F-07-01_H13	HOV RBC와 열차간 통신세션이 종료되지 않음
F-07-02_H1	ACC RBC가 Handover시 열차로 잘못된 시스템 버전을 송신함
F-07-02_H2	ACC RBC가 Handover시 열차로 시스템 버전을 송신하지 못함
F-07-02_H3	ACC RBC는 HOV RBC에 잘못된 진로정보를 송신함
F-07-02_H4	ACC RBC는 HOV RBC에 진로정보를 송신할 수 없음
F-07-02_H5	ACC RBC는 Taking over상태가 아님에도 불구하고 수용한다는 정보를 HOV RBC로 송신함
F-07-02_H6	ACC RBC가 Takingover 상태를 송신하지 못함
F-07-02_H7	ACC RBC가 잘못된 MA를 열차로 송신함

위험원 ID	설명
F-07-02_H8	ACC RBC가 MA를 열차로 송신하지 못함
F-08_H1	RBC가 Reversing이 허용되지 않은 구간임에도 잘못된 Reversing정보를 열차에 송신함
F-08_H2	RBC가 Reversing정보를 열차로 송신하지 못함
F-09_H1	RBC가 TrackAhead Free Request를 열차로 송신하지 못함
F-10_H1	RBC가 Timestampvalue를 잘못 생성함
F-10_H2	RBC가 Timestamp를 열차로 송신하지 못함
F-10_H3	RBC가 잘못된 General Message를 열차로 송신함
F-10_H4	RBC가 General Message를 열차로 송신하지 못함
F-11_H1	RBC가 잘못된 National Value 및 열차데이터를 열차로 송신함
F-11_H2	RBC가 National Value 및 열차 데이터를 열차로 송신하지 못함
F-12_H1	타계 RBC가 온라인 상태에서 RBC도 온라인 상태로 설정됨
F-12_H2	타계 RBC가 대기 상태에서 RBC도 대기 상태로 설정됨
F-13-01_H1	RBC가 잘못된 SOM 확인 응답 정보를 열차로 송신함
F-13-01_H2	RBC가 SOM확인 응답정보를 열차로 송신하지 못함
F-13-02_H1	RBC가 잘못된 Communication session termination request를 송신함
F-13-02_H2	RBC가Communicationsessionterminationrequest를송신하지못함
F-13-03_H1	역간구역에서SH가승인됨
F-13-03_H2	역내에서SH가거절됨
F-13-04_H1	RBC가 PT확인정보를 열차로 송신하지 못함
SEC_H1	허가되지 않은 인원의 시스템 조작에 의한 위험 측 열차제어
SEC_H2	RBC와 EIS의 인터페이스 간 무단 접근으로 인한 위험 측 열차제어
SEC_H3	RBC와 CTC의 인터페이스 간 무단 접근으로 인한 위험 측 열차제어
SEC_H4	RBC와 SCM(WS)의 인터페이스 간 무단 접근으로 인한 위험 측 열차제어
SEC_H5	RBC와 NRBC의 인터페이스 간 무단 접근으로 인한 위험 측 열차제어
SEC_H6	RBC와 MC의 인터페이스 간 무단 접근으로 인한 위험 측 열차제어
CCF_H1	공통원인고장에 의한 RBC의 비정상 출력 발생
ETCS-HL_H1	On-Board start of mission position report after movement towards LRBG
ETCS-HL_H2	Expired MA and Level Transition Order from RBC Becomes Valid (Entry inside Level 2 Area)
ETCS-HL_H3	Supervision Gap In NRBC Handover
ETCS-HL_H4	Use of estimated frontend for TAF window in RBC, leading to driver granting the wrong TAF
ETCS-HL_H5	Unwanted change of the permitted distance to run in Reversing mode.
ETCS-HL_H6	Too many track conditions removed in ERTMS/ETCS On-Board
ETCS-HL_H7	More restrictive RBC data is rejected after re-establishment of safe radio connection
ETCS-HL_H8	Acknowledgement of Train Data is rejected when received in Reversing mode
ETCS-HL_H9	Session establishment pkt.42 leads to supervision gap for vehicles with one mobile during NRBC handover
ETCS-HL_H10	Minimum Safe Rear End position ambiguities

(나) 안전 요구사항

위험원 분석을 통해 위험도를 허용 가능 수준으로 저감하기 위한 저감대책이 도출되었으며, 기능과 관련된 저감대책을 안전 기능으로 식별하였다. 모든 저감 대책은 안전 요구사항 및 안전관련 적용 조건으로 정의되어 개발 수명주기 동안 추적 및 관리하였다. 위험원 분석을 통해 도출된 안전 기능은 아래와 같다.

표 100 안전 기능

안전기능 ID	설명
SF_01	열차로부터 수신한 데이터의 무결성 검증 및 처리
SF_02	열차로 송신하는 데이터의 무결성 검증 및 처리
SF_03	Preparation Data의 무결성 검증 및 처리
SF_04	연동장치로부터 수신한 데이터의 무결성 검증 및 처리
SF_05	축소MA의 송신결과 확인 및 처리
SF_06	비상정지 제어메시지의 송신결과 확인 및 처리
SF_07	비상정지 취소메시지 송신결과 확인 및 처리
SF_08	TSR 송신결과 확인 및 처리
SF_09	NRBC와의 통신결과 감지 및 처리
SF_10	열차와의 통신상태 감지 및 처리
SF_11	NRBC로 송신하는 데이터의 무결성 검증 및 처리
SF_12	NRBC와의 통신세션 연결상태 관리
SF_13	SOM 시작 시 SR모드 허용

위험원 분석 결과에 대한 요약사항은 아래와 같다.

표 101 위험원 분석 결과

항목		개수	비고
식별된 위험원	허용가능	93	
	허용불가	0	
안전 기능		13	
안전 요구사항		59	
안전 관련 적용 조건		22	

위험원 분석을 통해 식별된 위험원은 위험도를 허용가능 수준으로 관리하기 위해 안전기능, 안전 요구사항 및 안전관련 적용 조건을 정의하였다. 해당 사항은 Hazard Log에 의해 추적 및 관리되었으며 요구사항 및 설계에 반영되었음이 확인되었다.

(다) 안전성 설계

HW Design 단계에서는 위험원 분석을 통해 식별된 위험원의 저감대책, 안전 기능에 할당된 TFFR 및 RAM 요구사항을 충족하는 안전성 있는 설계를 위하여 아래의 활동을 수행하였다.

- System FMEA
- Component FMEA
- FTA

① System FMEA

System FMEA는 다음의 목적으로 수행되었다.

- 시스템 구조 기반의 고장 모드 및 영향 분석
- HW고장 발생 시 안전 상태를 유지하기 위한 저감대책 도출

System FMEA를 통해 식별된 고장모드는 아래와 같다.

표 102 고장모드 식별 결과(일부 발췌)

기능블록	고장모드ID	고장모드설명
PDU Module	FM-RBC-001	Over Voltage (OV) output
	FM-RBC-002	Under Voltage (UV) output
	FM-RBC-003	Over Current (OC)
	FM-RBC-004	전원공급실패(Off)
	FM-RBC-005	전원oscillation
	FM-RBC-006	24V LED가 정상상태에서 turn-On되어야 하는데 turn-Off
	FM-RBC-007	5V LED가 정상상태에서 turn-On되어야 하는데 turn-Off
CPU Module	FM-RBC-011	data Corruption to ISO(COM)
	FM-RBC-012	data Insertion to ISO(COM)
	FM-RBC-013	data Deletion to ISO(COM)
	FM-RBC-014	data Corruption to BD-02-5A
	FM-RBC-015	data Insertion to BD-02-5A
	FM-RBC-016	data Deletion to BD-02-5A
	FM-RBC-017	stuck-at Stand-by
	FM-RBC-018	stuck-at Online
	FM-RBC-019	Alive_out신호가Toggling되지 않음
	FM-RBC-034	stuck-at Safe state
	FM-RBC-035	stuck-at Normal state
	FM-RBC-036	data Corruption to BD-02-1A
	FM-RBC-037	data Insertion to BD-02-1A
	FM-RBC-038	data Deletion to BD-02-1A
	FM-RBC-039	data Repetition to BD-02-1A
	FM-RBC-040	data Re-sequnce to BD-02-1A
	FM-RBC-041	data Delay to BD-02-1A
	FM-RBC-042	data Corruption to BD-02-6
	FM-RBC-043	data Insertion to BD-02-6
	FM-RBC-044	data Deletion to BD-02-6
	FM-RBC-045	data Repetition to BD-02-6
	FM-RBC-046	data Re-sequnce to BD-02-6
	FM-RBC-047	data Delay to BD-02-6
	FM-RBC-048	stuck-at Stand-by
ISO module	FM-RBC-059	COMmodule로 잘못된 Address 전달
	FM-RBC-060	COMmodule로 잘못된 Data 전달
	FM-RBC-061	BD-02-1A로 잘못된 Data 전달

기능블록	고장모드ID	고장모드설명
	FM-RBC-062	COMmodule로 잘못된 Control signal 전달
	FM-RBC-063	COMmodule로 Safetydata Corruption
	FM-RBC-064	COMmodule로 Safetydata Insertion
	FM-RBC-065	COMmodule로 Safetydata Deletion
	FM-RBC-066	COMmodule로 Safetydata Repetition
	FM-RBC-067	COMmodule로 Safetydata Re-sequence
	FM-RBC-068	COMmodule로 Safetydata Delay
Backplane	FM-RBC-075	BD-02channelA로 전원공급 안됨
	FM-RBC-076	PDU-A에과전류가공급됨
	FM-RBC-077	외부로Online인데Stand-by로 출력
	FM-RBC-078	외부로Stand-by인데Online으로 출력
	FM-RBC-079	Alive_out신호가Toggling되지않음

System FMEA 분석결과 발생 가능한 위험을 저감하기 위한 대책으로 안전관련 적용 조건이 식별되었다. System FMEA를 통해 도출된 안전관련 적용 조건은 아래와 같다.

표 103 System FMEA 안전관련 적용 조건

안전관련 적용조건 ID	안전관련 적용 조건	설명
SFMEA-SRAC1	PSU Overvoltage 보호	DC24V를 공급하는 외부PSU는 IEC60950 기준에 따른SELV/PELV 전원의 조건을 만족해야 하며, 안전상태는 전원을 공급하지 않는 상태(Off)이다.
SFMEA-SRAC2	PSU Undervoltage 보호	DC24V를 공급하는 외부PSU는 DC24V 출력에 대한 Under Voltage 보호기능을 가져야하며, 안전상태는 전원을 공급하지 않는 상태(Off)이다.
SFMEA-SRAC3	PSU OverCurrent 보호	DC24V를 공급하는 외부PSU는 DC24V 출력에 대한 OverCurrent 보호기능을 가져야하며, 안전상태는 전원을 공급하지 않는 상태(Off)이다.
SFMEA-SRAC4	CTC운영절차대응	RBC시스템의 전원상실 상태에서는 CTC로부터 어떠한 정보를 수신 할 수 없음으로 비상정지 명령을 열차로 전달할 수 없게 된다. 이러한 경우에는 운영절차를 수립하여 대응해야 한다.
SFMEA-SRAC5	External System Data Check	RBC로부터 안전데이터를 수신하는 장치는 RBC의 2채널(A/B)로부터 각 데이터를 수신하여 데이터를 비교하여 유효성을 검사하고 적절한 대응을 해야 한다.
SFMEA-SRAC6	External System CRC Check	External systems는 인터페이스 프로토콜에 CRC를 추가하여 CRC를 체크하고 오류에 대해 처리해야 한다.
SFMEA-SRAC7	External System Sequence Check	External systems는 인터페이스 프로토콜에 Sequence Number를 추가하여 Sequence Number를 체크하고 오류에 대해 처리해야 한다.
SFMEA-SRAC8	External System Timeout check	RBC-NRBC, RBC-SCM은 전체운영룰 및 User에 의해 Timeout을 결정한다. CTC-EIS, CTC-RBC는 RBC가 500ms주기로 RBC 보고메세지를 전송하고 3회 이상 수신되지 않을 때 Timeout 이므로1.5s 이상 RBC메세지가 수신되지 않으면 link-fail로 간주하고 CTC 및 EIS는 link-fail에 대응해야 한다.
SFMEA-SRAC9	External System Sequence Check	External systems는 인터페이스 프로토콜에 Identifier를 추가하여 Identifier를 체크하고 오류에 대해 처리해야 한다.

System FMEA 분석 결과에 대한 요약사항은 아래와 같다.System FMEA 분석을 통해 식별된 고장모드는 본 시스템의 고장 감지 및 fail-safe 설계에 의해 모두 안전 상태로 전환됨을 확인하였다.

표 104 System FMEA 분석 결과

항목		개수	비고
식별된 고장모드	안전	71	
	위험	0	
안전 관련 적용 조건		9	

② Component FMEA

Component FMEA는 다음의 목적으로 수행되었다.

- 컴포넌트 기반의 고장모드 및 영향 분석
- FTA 분석을 위한 입력 데이터 준비(컴포넌트의 위험 측 고장률)

Component FMEA를 통해 식별된 고장모드의 종류는 아래와 같다.

표 105 컴포넌트 별 고장모드 종류

번호	고장모드	비고
1	Interruption	
2	Parallel short-circuit	
3	Increase of rupture current	
4	Increase of rupture time	
5	Reconnection after rupture	
6	Short-circuit	
7	Increase of capacitance	
8	Decrease of capacitance	
9	Increase of resistance	
10	Increase of clamp voltage	
11	Decrease of clamp voltage	
12	Increase of leakage current	
13	Increase of breakdown voltage	
14	Decrease of breakdown voltage	
15	Interruption of winding	
16	Short-circuit of winding	
17	Increase of resistance of winding	
18	Increase of inductance	
19	Decrease of inductance	
20	Overvoltage output	
21	Undervoltage output	
22	Decrease of resistance	
23	Stuck-at low	
24	Stuck-at high	
25	Interruption	

상기에 식별된 각 고장모드에 따라 진단, 검지 및 검지 후 동작에 따라 시스템에 미치는 영향을 분석하였다. Component FMEA 분석결과 컴포넌트 및 기능블록 별 위험 측 고장률과 통

신에 대한 위험 측 고장률을 도출하였다. 기능블록 별 위험 측 고장률은 아래와 같다. 통신에 대한 위험 측 고장률은 $2.70617X10^{-12}$으로 도출되었다.

표 106 기능블록 별 위험 측 고장률

기능 블록 ID	블록 명	위험 측 고장률
BD-01A	PDU module	8.59578E-07
BD-01-1A	Input Protection and Filter block	8.63538E-08
BD-01-2A	DC24V to DC5V Convertor block	7.56092E-07
BD-01-3A	Output OV/UV detection block	1.42252E-09
BD-01-4A	Output voltage cut-off and latch block	1.57092E-08
BD-01-5A	Display and fault output block	0
BD-01-6A	External connection block	0
PCB	N/A	0
BD-02A	CPU module	9.87897E-08
BD-03A	ISO module	1.39571E-07
BD-03-1A	Address bus & Control signal interface block	3.58260E-09
BD-03-2A	Data bus interface block	3.32372E-09
BD-03-3A	Connection block	1.34009E-08
BD-03-4A	Power input block	4.60212E-09
BD-03-5	Safe output I/F	0
PCB	N/A	1.14662E-07
BD-04A	Backplane	1.44814E-07
BD-04A	Backplane	3.01520E-08
PCB	N/A	1.14662E-07

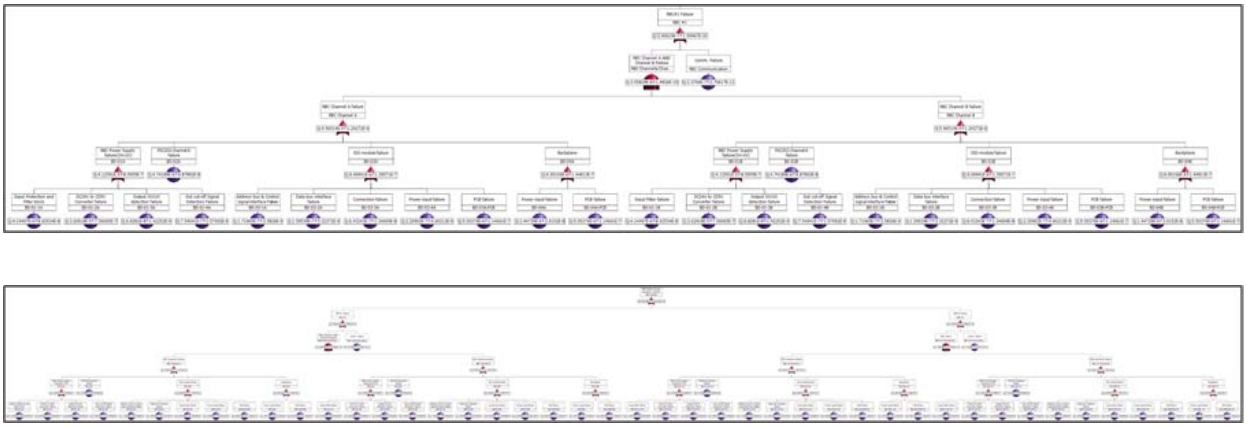
③ FTA

FTA분석은 Windchill 10.2 도구를 통해 수행되었으며, 아래와 같은 구조로 분석되었다. 해당 사항은 모든 기능블록의 위험 측 고장이 안전에 영향을 미친다고 가정한 것으로 가장 보수적인 관점에서 분석 방법이다.

표 107 FTA 구조

번호	FTA 구조	블록 명	비고
1	RBC Hazard Rate	-	
1.1	RBC Kennel Hazard Rate	-	
1.1.1	Power Supply failure	BD-01A	
1.1.2	FSC202 Channel A failure	BD-02A	
1.1.3	ISO module failure	BD-03A	
1.1.4	Backplane failure	BD-04A	
1.3	RBC Communication Failure	-	
1.4	RBC Common Cause Failure	-	

상기 구조를 바탕으로 하위 기능 블록의 위험 측 고장률과 분석 항목 간 관계를 단일계와 이중계 기준으로 아래와 같이 구성하였다.



위 FTA 구성도에 따른 RBC의 단일계 및 이중계 기준의 위험 확률은 아래와 같다.

표 108 FTA 분석 결과

항목	위험 확률
RBC(2 Channel) failure causes hazardous situation	$1.50967X10^{-10}$
Redundancy RBC system failure causes hazardous situation	$3.01933X10^{-10}$

위험원 분석을 통해 도출된 안전 기능의 실패로 인해 발생할 수 있는 모든 위험원은 RBC의 모든 구성품에 의해 발생할 수 있으므로, 본 분석에서는 각각의 위험원에 따라 분석을 구분하지 않고, 모든 구성품을 포함한 한번의 분석으로 각 안전 기능에 대한 TFFR 충족 여부를 입증하였다. RBC의 각 안전 기능에 대한 TFFR 요구사항 충족 결과는 아래와 같다.

표 109 안전 기능의 TFFR 충족 입증

안전기능 ID	안전 기능 설명	TFFR	FTA 결과	충족여부
SF_01	열차로부터 수신한 데이터의 무결성 검증 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_02	열차로 송신하는 데이터의 무결성 검증 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_03	Preparation Data의 무결성 검증 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_04	연동장치로부터 수신한 데이터의 무결성 검증 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_05	축소MA의 송신결과 확인 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_06	비상정지 제어메시지의 송신결과 확인 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_07	비상정지 취소메시지 송신결과 확인 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_08	TSR 송신결과 확인 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_09	NRBC와의 통신결과 감지 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_10	열차와의 통신상태 감지 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_11	NRBC 송신 데이터의 무결성 검증 및 처리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_12	NRBC와의 통신세션 연결상태 관리	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족
SF_13	SOM 시작 시 SR모드 허용	$6.7X10^{-10}$	$1.50967X10^{-10}$	충족

상기 FTA 분석 결과에 따라 RBC 시스템이 모든 안전 기능에 할당된 TFFR을 충족함으로써, 정량적 안전성을 확보하였음을 입증하였다. FTA 분석 결과는 verification을 통해 적합

성을 확인하였다.

(라) 위험원 관리(Hazard Log)

본 연구과제의 수명주기 동안 다음의 목적으로 지속적인 위험원 관리를 수행하였다.

- 수명주기 동안 식별된 위험원을 지속적으로 추적 및 관리
- 식별된 위험원의 위험도를 허용 가능한 수준으로 완화 및 제거하여 시스템의 안전성 확보

위험원 관리 간 위험저감 대책에 대한 추적 및 관리는 아래와 같이 수행되었다.

표 110 단계 별 위험저감 대책 추적

번호	단계	활동	결과
1	Specification of system requirements	위험저감 대책의 안전 요구사항 반영 확인	모든 위험 저감대책이 안전 요구사항 또는 안전관련 적용 조건으로 반영됨
2	SW Requirements	안전 요구사항 중 안전 기능의 소프트웨어 요구사항 반영 확인	모든 안전기능이 소프트웨어 요구사항으로 반영됨
3	HW Design	안전 요구사항 중 하드웨어 관련 항목의 하드웨어 설계 반영 확인	안전요구사항 중 하드웨어 요구사항이 설계에 반영됨
4	SW Architecture & Design	소프트웨어 요구사항의 설계 반영 확인	소프트웨어 요구사항이 설계에 반영됨
5	HW Test ~ System Validation	설계사항의 시험 및 합격 여부 확인	설계사항의 시험 수행 및 합격이 확인됨

위험원 관리는 Hazard Log를 통해 각 수명주기 단계 진행 및 갱신 필요 시 마다 갱신되었으며, System Validation 단계까지 지속 관리된다.

(4) 안전성 확인/검증 및 내부심사

(가) 확인(Verification)

RAM 및 안전성 인증을 위한 활동 간 수명주기 각 단계에서 요구된 다음의 사항의 만족 여부를 확인하고 다음 단계 진행여부를 판단하기 위해 verification이 수행되었다. System Verification Plan에 따라 수명주기 단계 별로 verification을 수행하였으며, 아래의 산출물이 작성되었다.

표 111 단계 별 Verification 결과

단계	Verification 대상	Verification 결과
System Definition and Operational Context	- System Quality Management Plan - System Configuration Management Plan - System Safety Plan - System RAM Plan - System Validation Plan	System definition and operational context Verification Report
Risk Analysis and Evaluation	- Risk Assessment Report - Safety-Related Application Condition - Hazard Log	Risk Analysis Verification Report
Specification of system requirements	- System Requirements Specification - System Test Specification - System Environment Test Specification - Requirements Traceability Matrix	Specification of System Requirement Verification Report

단계	Verification 대상	Verification 결과
Architecture and Apportionment of System Requirement	- System Architecture Description - System FMEA	System Architecture Verification Report
	- Software Requirements Specification - Overall SW Test Specification	Software Requirement Verification Report
Design and Implementation	- HW Design Specification - Hardware Unit Test Specification - RAM Analysis Report - Component FMEA - FTA Report	Hardware Design Verification Report
	- Software Architecture and Design Specification - Software/Hardware Integration Test Specification - Software Integration Test Specification	Software Architecture & Design Verification Repor
	- Software Component Design Specification - Software Component Test Specification - Coding Standard	Software Component Design Verification Report
Manufacture	- Hardware Unit Test Report	Hardware Test Verification Report
	- SW Implementation (Source code) - Software Component Test Report - Tool Qualification Report	SW Source Code Verification Report
	- Software Integration Test Report - Software/Hardware Integration Test Report	SW Integration Verification Report
Validation	- Overall Software Test Report - Software Release and Deployment Plan - Software Release Note - Software Maintenance Plan - Installation / Operation / Maintenance / Commissioning Manual (+procedure) - Software Validation Report	Validation Verification Report

각 단계 별 verification을 수행하여 안전성 활동 및 산출물의 적합성을 검토하였다. 현재 Manufacture 단계까지 모든 활동 및 산출물에 대한 적합성이 확인되었으며, Validation 단계까지 verification을 수행하고 해당 내역이 Safety Case의 입증 근거로 활용된다.

(나) 검증(Validation)

RAM 및 안전성 인증을 위한 활동 간 RBC 시스템의 안전성 및 품질에 관련되고 의도된 환경에서 목적에 따른 적합성 항목(설계, 절차, 문서, SW 프로그램 등)이 System Requirement Specification(including HW Requirements) 및 SW Requirement Specification을 만족하는지 검증하기 위해 validation이 수행되었다 Validation은 Specification of system requirement 단계와 Validation 단계에 수행된다. System Validation Plan에 따라 validation을 수행하고, 아래의 산출물이 작성된다.

표 112 Validation 결과

단계	Validation 활동	Validation 산출물
Specification of system requirements	- 각종 계획서에 정의된 절차의 준수 여부 검증, verification 결과 검증 - RAM 시스템 요구 사항이 적절하게 식별되었는지 검증 - 모든 시스템 요구사항이 대상 시스템에 맞게 적절	Validation Report Covering up to Phase4

단계		Validation 활동	Validation 산출물
		하게 식별되었는지 검증 - 규격 준수 여부에 대한 검증 - Test를 통해 validation되는 요구사항들을 validation하기 위해 정의하는 system test specification의 적합성 검증	
Validation	SW Validation	- Software Validation 목적 및 범위 검증 - 시험결과와 대상기계(Target Machine)의 전체 소프트웨어가 소프트웨어 요구사양에 나열된 요구사항 충족 여부 검증 - 소프트웨어 요구사양의 요구사항에 대한 시험범위의 평가 제공의 적절성 검증 - 시험증명 및 그들의 결과 기록 여부 검증 - 형상관리 및 식별에 대한 문서상태 검증 - 기술적 지원프로그램(SW) 및 장비의 식별과 설명 - 사용된 시뮬레이션에 대한 식별 및 설명 - Overall SW 시험 사양의 적합성 검증 - 오류, 결함에 대한 추적 및 관리 검증 - 발생 가능한 위험의 평가 결과 검증	Software Validation Report
	System Validation	- 시스템 검증계획의 목적 및 범위를 만족했는지 여부의 적절성 검증 - 시험결과와 전체 시스템이 시스템 요구사양에 나열된 요구사항을 만족하는지 여부의 적절성 검증 - 시스템 요구사양의 요구사항에 대한 시험범위의 평가 제공의 적절성 검증 - 시험증명 및 그들의 결과 기록 여부 검증 - 시스템 요구사항 중 Hardware와 관련된 요구사항 만족 여부의 적절성 검증	System Validation Report

각 산출물을 기반으로 프로세스, 요구사항 및 규격의 준수여부에 대한 validation을 수행하였으며, 각 수명주기 단계 별 활동이 잘 이루어지고 있음을 확인하였다.Validation 단계에서 SW Validation 및 System Validation을 통해 최종적으로 validation이 종결되며, 정의된 요구사항에 근거하여 적합한 시스템이 개발되었음을 나타낸다.

(다) 내부 심사

수명주기 동안 수립된 System Safety Plan에 따라 프로세스 측면에서 안전성 활동의 수행여부를 확인하기 위해 내부 심사를 수행하였다. 내부 심사는 안전성 활동에 직접적으로 관여하지 않는 프로젝트 외부의 제 3자로써, 안전성과 본 시스템에 대한 전반적인 지식을 갖춘 인원에 의해 수행되었다. 내부 심사는 품질(형상 포함) 및 안전성 부분에 대하여 수행되었다. 내부 심사 이력 및 결과는 아래와 같다.

표 113 내부심사 결과

단계	심사 산출물	심사 결과
Specification of system requirements 단계 종료 시	-Quality Management Audit Report (Configuration Audit 포함) -Safety Management Audit Report	모든 심사항목 종결
Manufacture 단계 종료 시	-Quality Management Audit Report (Configuration Audit 포함) -Safety Management Audit Report	모든 심사항목 종결

내부 심사 결과 모든 심사 항목이 종결되었으며, 정의된 프로세스를 준수하여 품질, 형상

및 안전관리 활동이 수행되었음을 확인하였다.

(5) 안전성 입증(Safety Case)

시스템이 제반 안전 규격을 준수하여 개발되었고, 목표 SIL4에 준하는 요구사항을 충족하였으며, 그 충족된 내용이 모든 개발과정에서 타당하게 수행하였음을 입증하는 근거자료로 Generic Application Safety Case가 작성된다. Safety Case는 수명주기 마지막 단계인 Validation 단계에서 작성되며, 본 연구과제 수행 간 산출된 모든 관련문서들을 참조로 한다. Safety Case Part 1 ~ Part 6를 통해 다음의 내용을 제시하였다.Safety Case를 통해 RBC 시스템의 정성적 및 정량적 안전성이 SIL4 수준에 적합함이 제시되었다.

표 114 Safety Case의 제시 내용

구분	명칭	제시 내용
Part 1	Definition of System	- Safety Case가 참조하는 시스템 및 서브시스템 정의 - 모든 산출물의 버전 및 상태
Part 2	Quality Management Report	- 품질 관리 시스템의 효과 및 입증 근거
Part 3	Safety Management Report	- 안전 관리 프로세스의 모든 요소를 준수함에 대한 입증 근거
Part 4	Technical Safety Report	- 설계의 안전성에 대한 기술적인 입증 근거
Part 5	Related Safety Case	- 본 시스템이 의존하는 모든 시스템, 서브시스템 또는 장비의 Safety Case에 대한 참조
Part 6	Conclusion	- Part1 ~ Part 5에 제시된 입증 근거의 요약 - 본 시스템의 안전성에 대한 주장

본 연구과제 수행 간 RAM 및 안전성 인증 활동은 국제 철도 표준을 준수하여 수행되었으며, RAM 및 안전성 요구사항을 충족하는 시스템을 개발하였다. RAM 측면에서는 ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification에 제시된 RAM 요구사항을 충족시키는 시스템을 개발하였다. 안전성 측면에서는 국제 철도 표준의 개발 프로세스를 준수하였으며, 위험원 분석을 통해 위험도를 허용 가능 수준으로 통제하고, 정량적 위험 확률을 SIL4 수준으로 완화하였다. 또한 프로세스 단계 별 Verification 및 Validation을 통해 개발 활동 및 산출물에 대해 검증함으로써 시스템의 안전성을 확보하였다. 최종적으로 ISA로부터 Generic Application SIL4 인증을 획득함으로써 안전성을 입증하였다.

2-3-4 [공동] ATP/ATO명세서 검증

가. 개발명세서 검증

(1) 개발명세서 검증 계획 수립

베이스라인2 기반 시스템 요구사항에는 총 93개의 테스트시퀀스가 있으며 ERA에서 요구하는 차상장치의 인터페이스 기능을 확인한다. 본 테스트시퀀스는 레벨0/1/2/STM의 기준으로 설계되어 있으며 레벨2/3가 공통적으로 적용되는 항목 외에 레벨3만을 위한 테스트케이스는 포함되어 있지 않으므로 레벨3 시스템을 위한 별도의 테스트시퀀스 설계/추가가 필요하다. 시스템요구사항을 시험하기 위해 설계한 테스트케이스는 모두 1875개이며 633개의 기능모음으로 묶여있다. 테스트시퀀스는 전체 테스트케이스를 모두 시험하여 시스템요구사항에 대한 검증하기 위한 최적화된 시나리오로서 설계되었다. 베이스라인2 기준 ERTMS/ETCS 시스템 요구사항의 레벨3 요구사항은 대부분 레벨2의 요구사항과 교집합의 상태로 분류되며 레벨3 단독 요구사항에 해당하는 검증 항목은 다음과 같다.

표 115 레벨3 단독 요구사항 항목

구분	요구사항 내용	차상 관련 요구사항	기관사 관련 요구사항	지상 관련 요구사항
1	레벨3 열차 후방 종단 위치 보고(열차 무결성)	3.6.5.2.1 3.6.5.2.2 3.6.5.2.3 3.6.5.2.3 a) b) 3.6.5.2.4 3.6.5.2.5	3.6.5.2.1	
2	레벨3 이동권한 구조			3.8.3.5 3.8.3.11
3	긴급 메시지			3.10.1.2

상기 레벨3 단독 요구사항에 대한 테스트케이스는 모두 SUBSET-076에 설계되어 있다. 하지만 베이스라인2 시스템은 레벨3에 대한 시험이 공식 요구사항에 포함되어 있지 않았으므로 레벨3 테스트케이스는 테스트시퀀스에 포함되지 않는다. 각 항목에 대한 테스트케이스와 매칭은 다음과 같다.

표 116 레벨3 단독 요구사항에 대한 테스트케이스 매칭 표

구분	요구사항 내용	차상/지상/기관사	요구사항	테스트케이스
1	레벨3 열차 후방 종단 위치 보고 (열차 무결성)	차상 요구사항	3.6.5.2.1	167.1, 167.2, 168.1, 168.2
			3.6.5.2.2	167.1, 167.2, 189.1
			3.6.5.2.3	167.1, 167.2, 168.1, 168.2, 184.1, 184.2, 184.3, 184.4, 188.1, 188.2, 189.1
			3.6.5.2.4	167.1, 167.2, 168.1, 168.2, 188.1, 188.2, 189.1
			3.6.5.2.5	167.1, 167.2, 168.1, 168.2, 189.1, 338.1, 339.2
		기관사 요구사항	3.6.5.2.1	167.1, 167.2, 189.1
2	레벨3 이동권한 구조	지상 요구사항	3.8.3.5	없음
			3.8.3.11	338.1
3	긴급 메시지	지상 요구사항	3.10.1.2	12.1, 12.2, 12.4, 12.5, 12.6, 12.7, 12.8, 236.1, 236.5, 236.6, 236.7, 236.9

(2) LAB 시험항목 선별

개발명세서는 최종 NGTC 기능요구사항 기반으로 작성되었다. NGTC 기능요구사항은 ERTMS/ETCS 시스템 요구사항(베이스라인3) 및 ATO over ETCS 규격 등을 기반으로 구성된다. 따라서 1차년도에 수립된 개발명세서 검증계획을 참조하여 ATP/ATO 개발명세서 각각의 요구사항에 대해 유럽시험사양 (Subset-076)의 시험요구사항과 매칭하여 최종 LAB 시험항목 선별 체크리스트를 작성하였다.

표 117 개발명세서 LAB 시험항목 선별 체크리스트(일부 발췌)

ID	ATP/ATO 개발 요구사항	연관된 SRS	SS-076 테스트 Feature
FRS 1.2.1.1-3	·Initialization of train location on recovery	§3.6.5	3050300 3060500 3150100 3160200 3160400 4040600 5100300 9990200
FRS 1.2.1.1-4	·Initialization of train position in manual driving mode	§ 3.6.5	3050300 3060500 3150100 3160200 3160400 4040600 5100300 9990200
FRS 1.2.1.2	·Determine actual train travel direction, train orientation & train position	§3.6.1 §3.6.5	3060100 3050300 3060500 3150100 3160200 3160400 4040600 5100300 9990200
FRS 1.2.1.2-5	·Taking into account of inaccuracies in location - TC shall take into account inaccuracies (e.g. balise positioning, on-board odometry and reading of balise) in determining location for reporting trains.	§3.6.4.1 §3.6.4.2 §3.13.9.3.2.1 §3.6.4.2.2	3040400 3060400 3090300 3111200 4041100 4041800 4070201 9990200 9990500

ID	ATP/ATO 개발 요구사항	연관된 SRS	SS-076 테스트 Feature
FRS 1.2.1.2-9	·Re-initialization of train location - Following loss of train localisation, TC shall re-initialise train position	§3.16.2.6.2 §3.6.5	3050300 3060500 3150100 3160200 3160400 4040600 5100300 9990200 9990400
FRS 1.2.1.2-10a	·Recovery from loss of train location - When the linking reaction leads to train trip or a service brake application, the driver shall be informed that the intervention is due to data consistency problem with the expected balise group.	§3.16.2.6	3040400 3160200 4060300 9990400
FRS 1.2.1.2-10b	·Recovery from loss of train location - The brake command shall be released after one or a combination of the following conditions has been fulfilled, depending on the reason for the brake command: a) The train is at standstill; b) The driver has acknowledged the brake command; c) The condition for starting the brake command has been resolved.	§3.14.1	3120300 3140100 3140300 3160200 3170300 4041400 4041800 5100300 5100400 5110200 5170200 9990200 9990400
FRS 1.3	·Determine permitted speed	§3.13.7 §3.11.2	3110200 3130232 3130700 4041800 5080300 9990200
FRS 1.3.1-1	·General - It shall be possible to send both location specific data (location data) and data for a specific distance (profile data) from the trackside to the on-board.	§3.6.1	3060100
FRS 1.3.1-2	·Location and profile data - All location and profile data transmitted shall refer to a location reference and orientation.	§3.6.2	3060100 3060200 3060500 3150400 4080404 4080414 4080418 4080420 4080424 4080427 4080445 4080454 5040300
FRS 1.3.1-3a	·Validity direction of data - Data transmitted to the on-board equipment(by balise or radio) shall be identified as being valid for: a) both directions b) the nominal direction c) the reverse direction	§3.6.3	3060300 3070300 3090200 3150400 4080402 4080404 4080418 4080420 4080424 4080425 4080427 4080445 4080454 5100100

ID	ATP/ATO 개발 요구사항	연관된 SRS	SS-076 테스트 Feature
FRS 1.3.1-3a	·Validity direction of data - When receiving information from any transmission medium, the TC on-board equipment shall only take into account information valid for its orientation	§3.6.3	3060300 3070300 3090200 3150400 4080402 4080404 4080418 4080420 4080424 4080425 4080427 4080445 4080454 5100100
FRS 1.3.1-3c	·Validity direction of data - Data that is received from the trackside when the train position is unknown that is valid in only one direction shall be rejected. If valid in both directions then it is shall be evaluated.	§3.6.3	3060300 3070300 3090200 3150400 4080402 4080404 4080418 4080420 4080424 4080425 4080427 4080445 4080454 5100100
FRS 1.3.1-4	·Gradient data - The gradient information for a given piece of track shall be transmitted to the on-board equipment in form of a gradient profile.	§3.11.12	3111200
FRS 1.3.1-5	·Track conditions - The track condition function is used to inform the driver and/or the train of a condition in front of the train. A track condition shall be given as; a) profile data (e.g. non-stopping area), i.e. start and end of the data is given, b) or location data (e.g. change of traction system power) i.e. start location given, depending on the type of track condition.	§3.12.1	3120100 4070201 4080444 4080445 4080454 5180200 5180300 5180400 5180600 5180700 5180900 9990500 9990600

(3) LAB 통합시험 설계

ETCS L3급 열차제어시스템의 시험환경 구성의 목적은 본 프로젝트에서 개발된 시작품인 차상ATP/ATO 장치와 RBC가 통합된 환경에서 시험을 수행하고 기능 및 성능을 시나리오에 따라 검증하기 위함이다. 시험환경 구성은 차상ATP/ATO 장치와 RBC의 기능 및 인터페이스를 검증하기 위한 시뮬레이션 환경 구현에 범위를 둔다. ETCS L3급 시험설비는 ETCS L3급 차상장치와 지상장치를 시험 및 검증하기 위해 다음과 같은 시뮬레이션 환경을 제공하는 장치이다.

■ 시험용 시뮬레이터

순번	구분	주요 기능	인터페이스장치
1	통합 인터페이스 시뮬레이션	시험설비 제어 및 시나리오 정보 전송 및 전체 시스템 열차 운행 관리 제어 구현	차상장치
2	열차 시뮬레이션	물리적 특성을 고려한 차량 인터페이스 구현 (속도계, 도플러레이더, 열차제어용 인터페이스신호 등)	차상장치
3	선로 시뮬레이션	구배, 곡선, 진로, 발리스, 신호기 등 시험용 선로 구현	차상장치/ 지상장치
4	연동장치 시뮬레이션	연동장치 기능 구현	지상장치
5	CTC(ATS) 시뮬레이션	CTC 기능 구현	지상장치
6	인접RBC 시뮬레이션	CTC 인터페이스 구현	지상장치

■ 시험 설계 도구

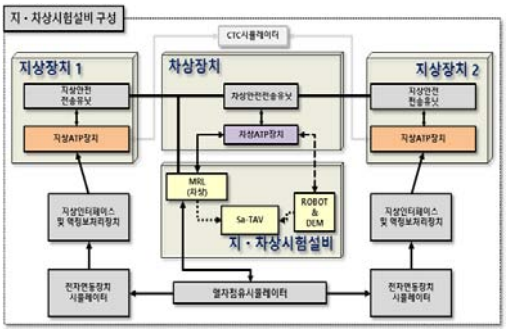
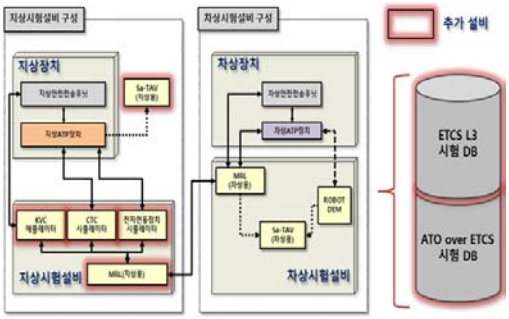
순번	구분	주요 기능	비고
1	운영시나리오 설계툴	시험설비에 사용될 운영 시나리오 구조 설계 도구	JED-OSE
2	테스트케이스 설계툴	시험용 테스트케이스 설계 도구	TCD
3	Journey 시나리오 설계툴	시험설비에 사용될 ATO 시퀀스 설계 도구	JED-JSE

■ 시험 검증 도구

순번	구분	주요 기능	비고
1	반자동 운행 데이터 분석 및 검증 장치	시험결과 및 로그를 취합하여 각 시험 항목에 대한 시험품의 정상 동작 여부를 검증하는 장치	SATAV
2	DMI 이벤트 매니저	차상장치 DMI 화면을 녹화하여 로그로 저장하는 장치	DEM

ETCS L3급 KTCS-3의 지상-차상 통합시험설비는 KTCS-2의 지상-차상 통합시험설비와 비교하여 다음과 같이 업그레이드 설계되었다.

구분	KTCS-2 지/차상 시험설비	KTCS-3 지/차상 시험설비

구분	KTCS-2 지/차상 시험설비	KTCS-3 지/차상 시험설비
구성도		
구축 목적	• KTCS-2 지상 및 차상장치 시험	• ETCS L3 지상 및 차상장치 시험 • ATO over ETCS 시험
주요 장비	• SA-TAV(차상용) • ROBOT&DEM • MRL(차상용) • 지상인터페이스장치 • 역정보처리장치 • 전자연동장치 시뮬레이터 • 열차점유시뮬레이터	• SA-TAV(차상용) • ROBOT&DEM • MRL(차상용) • 전자연동장치 시뮬레이터 (보완) • MRL(지상용) • SA-TAV(지상용) (추가) • KVC 에뮬레이터 (추가) • CTC 시뮬레이터 (추가) • MRL(지상용)(DB포함) (추가)
시나리오 설계툴	• 없음	• ATO 시험 시나리오 설계 소프트웨어 필요 (Mutitel 제작)
시험용 DB	• ETCS 베이스라인2/3 ETCS L2 차상용 시험 DB 보유 • 지상 및 ATO 시험용 DB 없음	• ETCS 베이스라인2/3 ETCS L3 지상 및 차상용 시험 DB 추가 필요 • 이동폐색 시험용 DB 추가 필요 • ATO over ETCS 시험 DB 추가 필요

통합시험설비는 다음 구성도와 같이 지상 및 차상 시작품과 인터페이스하며 시험/검증용 데이터베이스, 시험용 주변 환경 시뮬레이터(연동장치, CTC, 인접RBC, 인접 ATO-TS), 시험/검증 화면으로 구성된다.

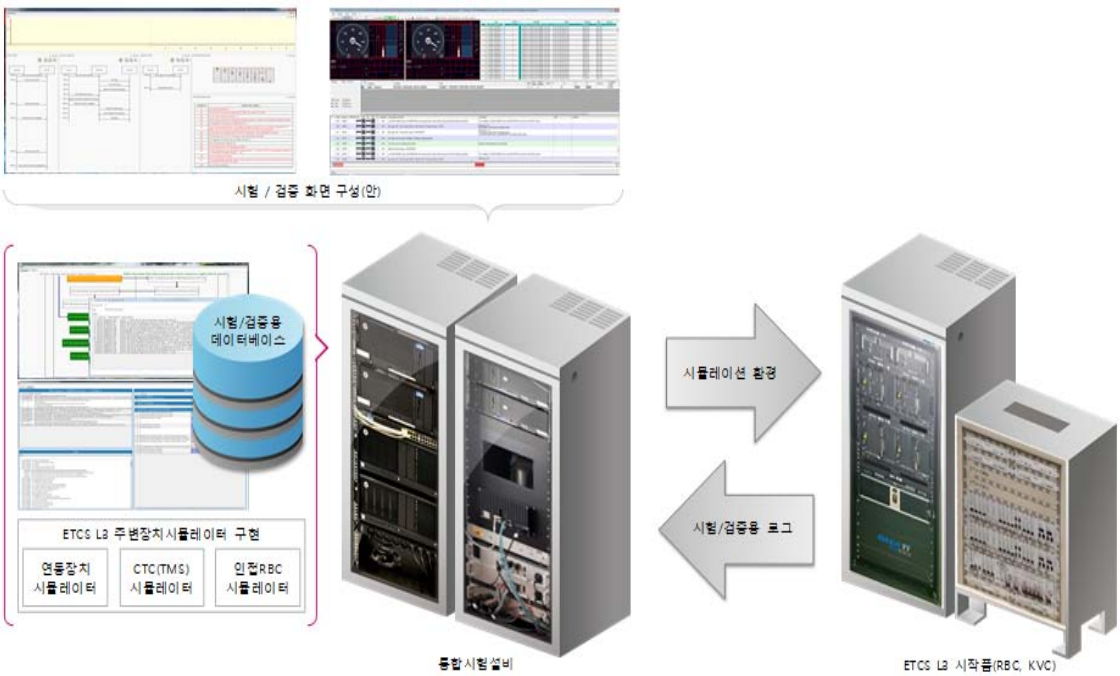
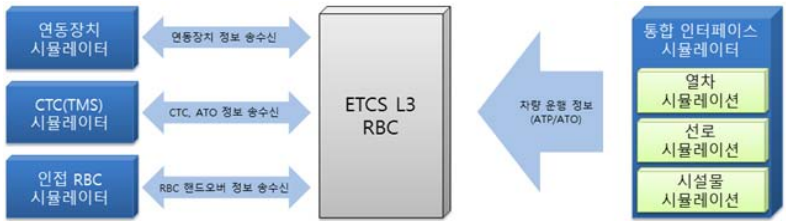
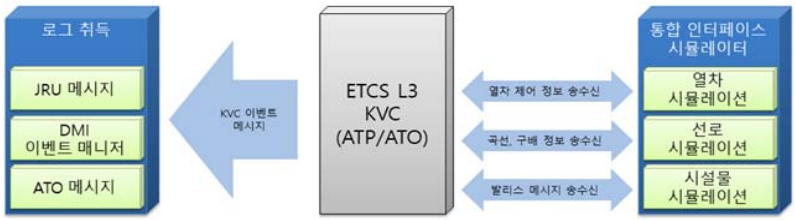


그림 74 통합시험환경 설계 범위 구성도

지상설비 통합시험 인터페이스는 다음과 같이 지상장비 시험인터페이스, 차상장비 시험인터페이스, 시험결과 취득을 위한 인터페이스로 구성된다.

순번	구분	인터페이스 구성도
1	지상장비 시험 인터페이스	
2	차상장비 시험 인터페이스	
3	시험결과 취득 위한 인터페이스 구성도	

ETCS L3급 지상-차상 통합시험설비의 전체 인터페이스 구성 및 인터페이스 구성에 따른 해당되는 관련 규격은 다음과 같다.

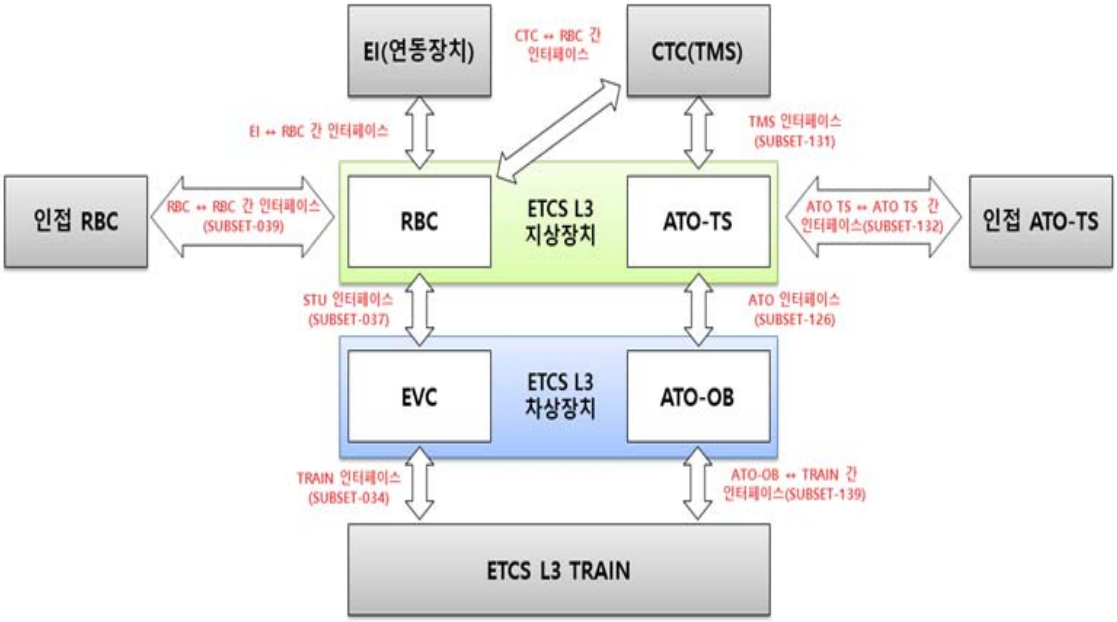


그림 75 지상-차상 통합시험설비의 전체인터페이스 구성

■ ETCS L3 관련 인터페이스 요구사항

규격명	요구사항 내용	버전
SUBSET-034	FIS for the Train Interface	2.0.0
SUBSET-037	Euroradio FIS	2.3.0
SUBSET-039	FIS for the RBC/RBC Handover	2.3.0
SUBSET-094	Functional requirements for an onboard reference test facility	2.0.2

■ ETCS L3 관련 국내 독자 규격 인터페이스 요구사항

규격명	요구사항 내용	버전
EI-RBC I/F	연동장치와 RBC 간 인터페이스	1.0
CTC-RBC I/F	CTC와 RBC 간 인터페이스	1.2.1

■ ATO 관련 규격

규격	규격 내용	버전
SUBSET-126	ATO-OB / ATO-TS Interface (FFFIS application layer)	0.0.16
SUBSET-131	ATO-TS / TMS Interface (FIS)	N/A
SUBSET-132	ATO-TS / ATO-TS Interface (FIS)	N/A
SUBSET-139	ATO-OB / Train Interface (FIS)	0.0.8

ETCS L3급 지상-차상 통합시험설비의 주요 설계기능요구사항, 시험구동기능요구사항, 시험검증기능

요구사항은 다음과 같다.

■ 주요 설계기능요구사항

ID	Description
L3-ITLreq-DSN-01	설계된 시험선을 시험설비에 사용가능한 형태의 파일 형식으로 저장할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-02	설계된 시험선을 불러와 수정할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-03	통합시험설비는 시험을 위한 선로를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-03-01	시험 선로를 구간별로 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-03-01-01	시험선 각 구간의 길이, 구배, 곡선을 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-03-01-02	시험선 각 구간 내 발리스, 신호기, 터널, 교량 등 시설물의 위치 및 거리를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-03-02-01	발리스는 ERTMS/ETCS 규격에 따라 패킷을 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-03-02-02	발리스는 ERTMS/ETCS 규격에 따라 인코딩/디코딩 할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04	시험 시나리오를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-01	ERTMS/ETCS 규격에 따라 테스트케이스를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-01-01	시험 장비의 구성을 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-01-02	시작 및 종료 조건을 정의할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-01-03	시스템요구사항에 따른 시험 단계를 정의할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-01-04	시험을 위한 발리스, 무선메시지, ATO 메시지의 구성을 정의할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-01-05	테스트시퀀스에 사용될 수 있는 형태의 파일 형식으로 저장할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-02	ERTMS/ETCS 규격에 따라 테스트시퀀스를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-02-01	테스트케이스가 설계된 파일을 불러올 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-02-02	테스트케이스에 정의되지 않은 상세한 조건을 설정할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-02-03	시험을 구동하기 위한 속도 프로파일을 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-02-04	시험 장비의 구성 및 조건을 설정할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-02-05	시험설비에서 사용가능한 형태의 파일 형식으로 저장할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-03	ATO over ETCS 규격에 따라 저니 프로파일을 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-03-01	열차 진로 데이터를 설계할 수 있어야 한다.(열차 이동에 의해 정의된 순서대로 ATO-OB가 운행 할 구간 프로파일 식별자, 세그먼트 프로파일 버전, 세그먼트 이동 방향)
L3-ITLreq-DSN-04-03-02	타이밍 포인트를 설계할 수 있어야 한다. (타이밍포인트 식별자, 도착 시간 및 허용 오차, 타이밍 포인트 정렬, 서머타임정보, 유형, 추가 타이밍 정보)
L3-ITLreq-DSN-04-03-03	운행 종료를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-03-04	출발 시각을 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-03-05	열차 유지 정보를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-03-06	최소 체류 시간을 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-03-07	문 관리 정보를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-03-08	임시 제한 위치 (ASR, 낮은 접착력, ATO 억제 영역 또는 DAS 억제 영역)을 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-03-09	임시 제한 조건 위치를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-03-10	속도 제한 종료의 감독이 열차의 전면 또는 후면과 관련되는지를 나타내는 ASR 속도 레벨 및 규정을 설계할 수 있어야 한다.

ID	Description
L3-ITLreq-DSN-04-03-11	낮은 점착 계수를 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-04	ATO over ETCS 규격에 따라 세그먼트 프로파일을 설계할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-DSN-04-04-01	세그먼트 프로파일 식별자
L3-ITLreq-DSN-04-04-02	세그먼트 프로파일 버전
L3-ITLreq-DSN-04-04-03	세그먼트 프로필 상태
L3-ITLreq-DSN-04-04-04	세그먼트 프로파일의 길이
L3-ITLreq-DSN-04-04-05	EOA 후면에서 멈출 거리
L3-ITLreq-DSN-04-04-06	UTC 시간에서 현지 시간을 계산하기위한 오프셋
L3-ITLreq-DSN-04-04-07	세그먼트 프로파일 시작 고도
L3-ITLreq-DSN-04-04-08	정적 속도 프로파일
L3-ITLreq-DSN-04-04-09	구배 프로파일
L3-ITLreq-DSN-04-04-10	곡선 프로파일
L3-ITLreq-DSN-04-04-11	견인 시스템 정보
L3-ITLreq-DSN-04-04-12	허용 전류 소비
L3-ITLreq-DSN-04-04-13	발리스 정보(발리스 ID, 발리스 그룹 내 순번, 발리스 위치)
L3-ITLreq-DSN-04-04-14	타이밍포인트 (타이밍포인트 ID, 위치, 정지 허용오차, 정지점 도달 거리, 타이밍포인트 이름
L3-ITLreq-DSN-04-04-15	기타정보(승강장 구역, 터널, 무전원 구간, 차축 하중 속도 프로파일, 보호되지 않은 수평 교차점 뒤의 정지점, 허용된 제동 거리, 회생 브레이크 영역 차단, 상용 제동 영역 와전류 제동 차단, 비상 제동 구역의 와전류 제동 차단, 마그네틱 슈 제동 영역 차단)

■ 시험구동기능요구사항

ID	Description
L3-ITLreq-TST-01	설계된 시험선 데이터베이스를 불러올 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-TST-02	설계된 시험시나리오를 불러와 시험용으로 가공할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-TST-03	시험 구동을 위한 상세 기능을 설정 및 저장할 수 있어야 한다. (열차 제원, KVC 인터페이스 구성, 무선 ID, KVC ID, RBC ID, 진로, 속도 프로파일, 타 장비 IP 또는 PORT, 등)
L3-ITLreq-TST-04	시험 시뮬레이션 환경에 대한 로그를 시간의 흐름에 따라 종류별로 기록해야 한다.(차량 속도, 위치, 메시지 내용 및 메시지 발생 시간, 차량 제어 정보, 등)
L3-ITLreq-TST-05	시험 구동을 위한 제어기능이 있어야 한다. (시험 시작, 중지, 저장)
L3-ITLreq-TST-06	열차 운행 환경과 동일하게 실시간 시험 구동 화면을 현시해야 한다.(선로 화면, 진로 화면, 발리스, 속도 프로파일, 제한속도 등)
L3-ITLreq-TST-07	열차 제어 기능을 제공해야 한다.(견인력 제어, 제동 제어, Train Interface 제어, 열차제어 신호 점등/소등, 자동운전(ATO)↔수동운전 전환)

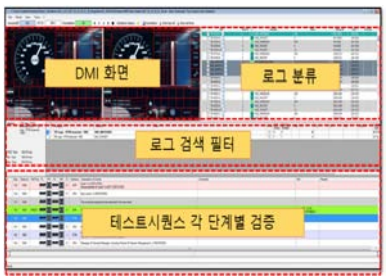
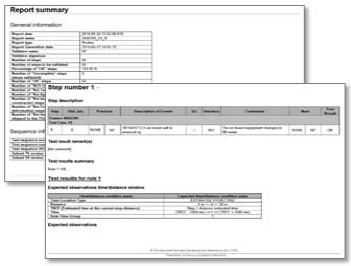
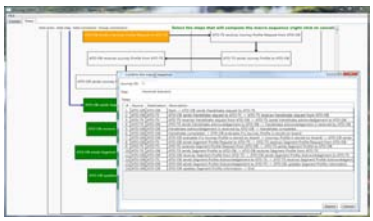
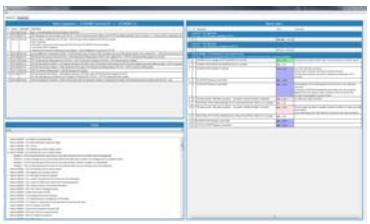
■ 시험검증기능요구사항

ID	Description
L3-ITLreq-VAL-01	시험에 의해 생성된 로그를 불러와 검증용으로 가공할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-VAL-02	검증용 데이터베이스를 불러와 검증용으로 가공할 수 있어야 한다.
L3-ITLreq-VAL-03	각 시험 항목을 검증하기 위한 시간순 로그 표시 및 검색 기능이 있어야 한다.
L3-ITLreq-VAL-04	각 시험 항목의 검증 결과 및 코멘트를 기록할 수 있어야 한다. (OK, NOT OK, NOT implemented, Not Evaluated, Not Tested, Not Applicable, Not validated)
L3-ITLreq-VAL-05	각 시험 항목의 검증(1회차) 및 검토(2회차)를 기록할 수 있어야 한다.(검증자 이름 및 검증 일자, 검토자 이름 및 검토 일자)
L3-ITLreq-VAL-06	검증 결과를 저장하고 불러올 수 있어야 한다.

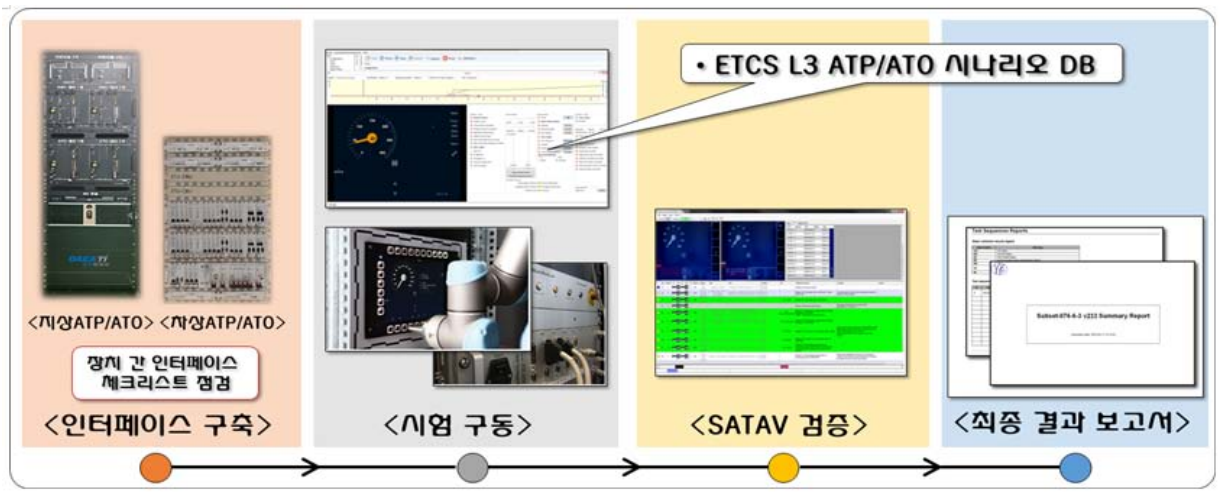
ID	Description
L3-ITLreq-VAL-07	검증 결과를 보고서 형태로 출력할 수 있어야 한다. (시험자/검증자의 서명, 시험 대상 장비의 시리얼번호, S/W 버전, 시험 시나리오 별 시험 및 검증 최종 결과, 각 시험 항목 단계별 검증 증빙 로그 표시)

ETCS L3급 지상-차상 LAB 통합시험설비의 결과검증기능 및 시나리오 설계를 위한 상세 시험구성 및 시험구성에 따른 주요 S/W 기능 설계는 다음과 같다.

표 118 결과검증 및 시나리오설계 기능 시험구성 상세설계

구분	HW 구성 설계	SW 기능설계	
통합시험 결과검증		 [결과검증 SW설계]	 [보고서 출력 SW설계]
시나리오 설계		 [ATO 시퀀스 SW설계]	 [운영시나리오 SW설계]

ETCS L3급 지상-차상 LAB 통합시험설비의 시험 및 검증 운용을 위한 절차는 다음과 같이 인터페이스 구축, 시험구동, 결과검증(SATAV검증), 결과보고서 도출의 순서로 절차를 설계하였다.



ATP/ATO의 LAB시험을 위한 운영 시험 시나리오는 MRL-JED (Journey Editor)에 의해 생성되며 운영 시

험 선택 화면은 다음과 같다.

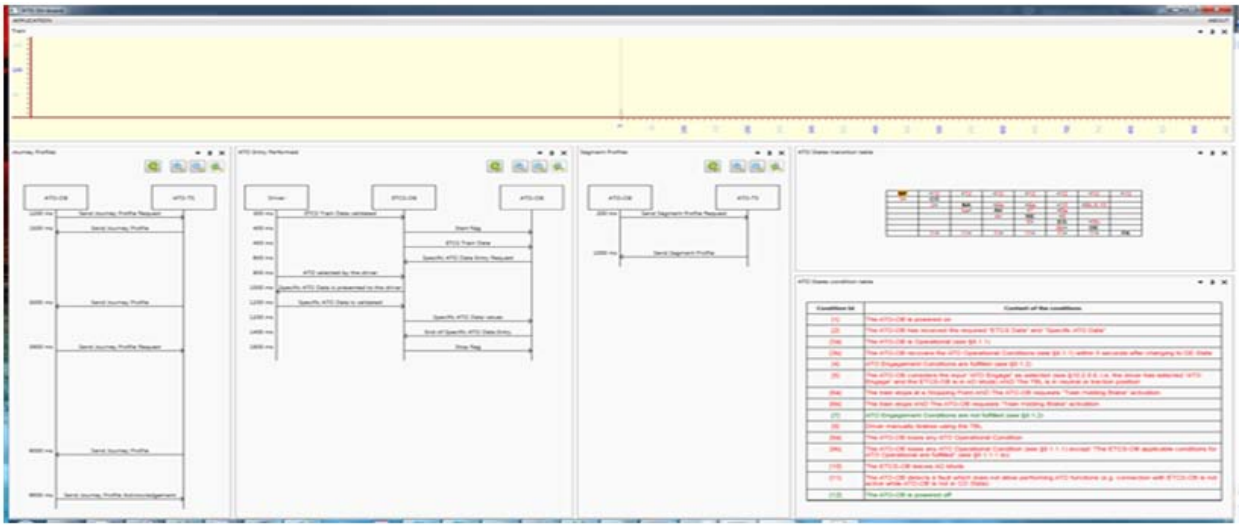
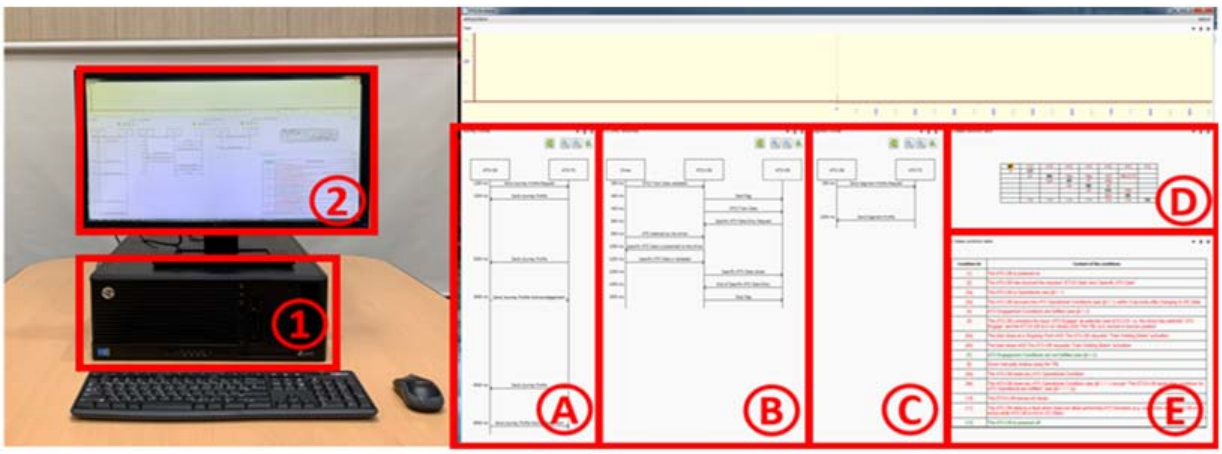


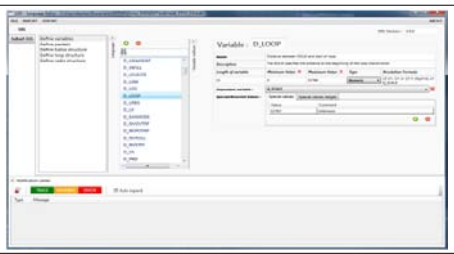
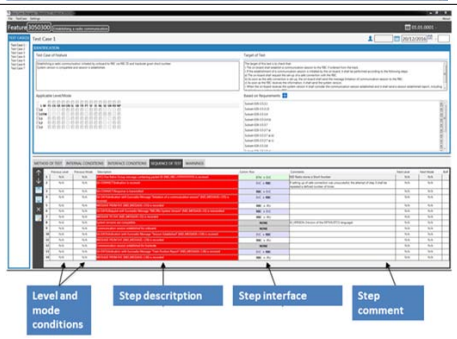
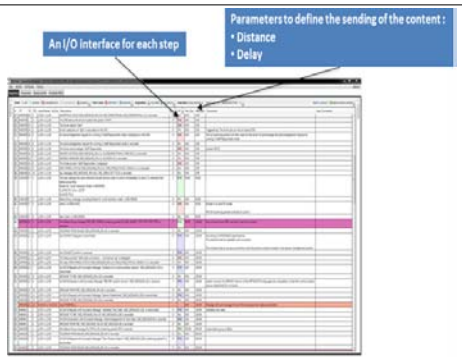
그림 76 JED의 운영 시험 시나리오 구동 화면



No	명칭
①	인터페이스 시험 시나리오 설계 도구 PC
②	시나리오 설계도구 실행화면
Ⓐ	Journey Profiles
Ⓑ	ATO Entry Performed
Ⓒ	Segment Profiles
Ⓓ	ATO States transition table
Ⓔ	ATO States condition table

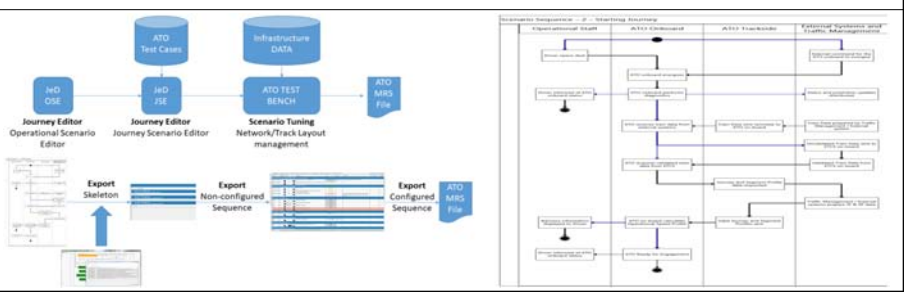
ETCS L3급 열차제어시스템의 시험 시나리오 설계하기 위한 설계 도구는 다음과 같이 MRL-SCT-LED (Multitel Standard Creation tools - Language Editor), MRL-SCT-TCD (Multitel Standard Creation tools - Test Case Designer), MRL-SCT-SED (Multitel Standard Creation tools - Test Sequence Designer) 등으로 구성된다.

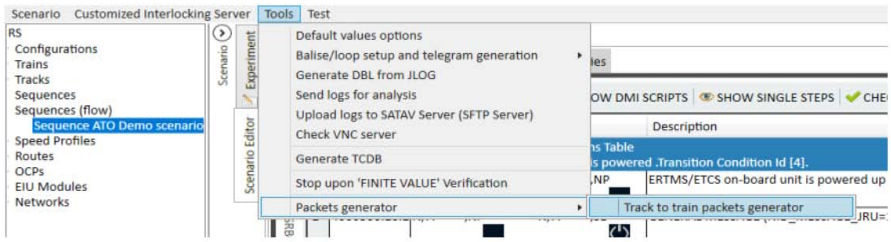
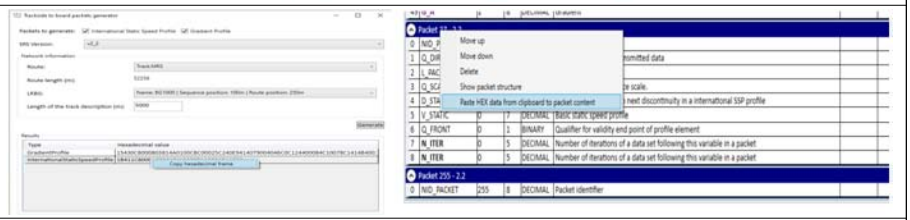
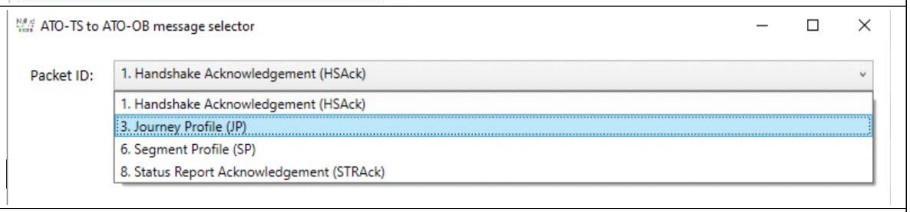
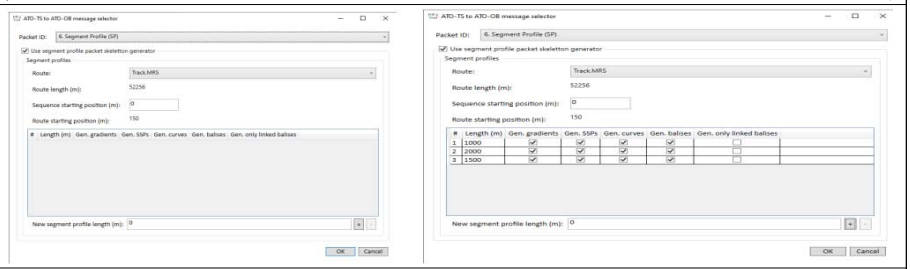
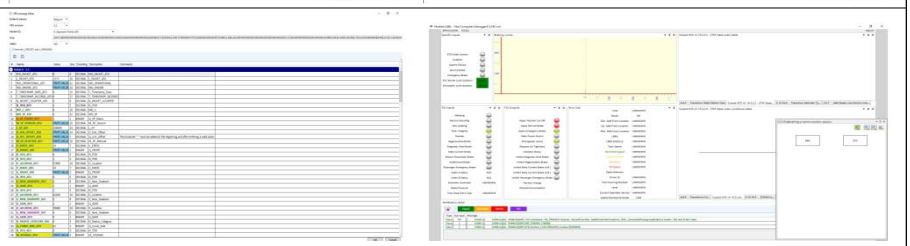
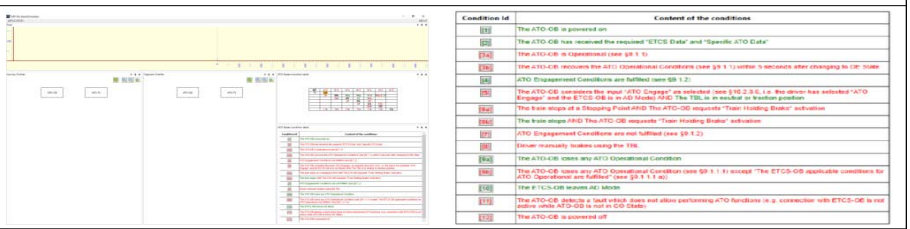
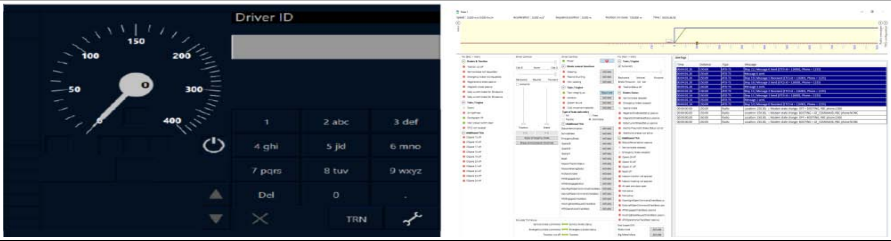
표 119 시험환경 기본설계를 위한 시나리오 설계도구

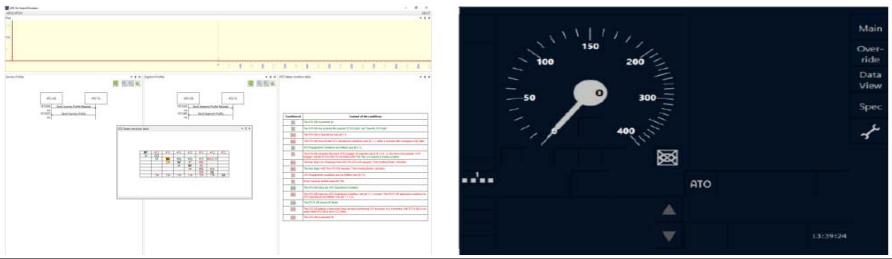
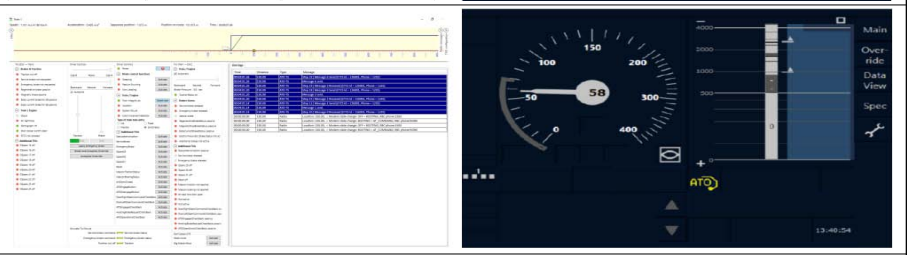
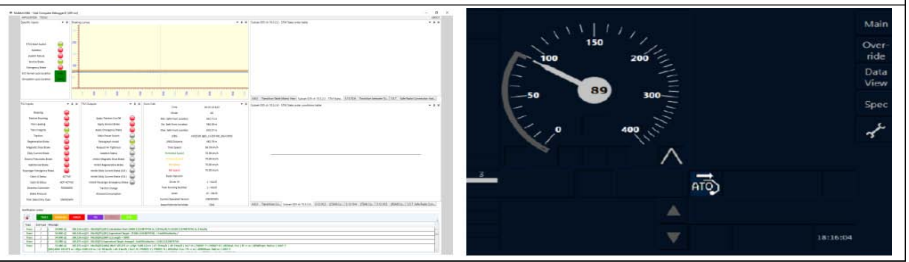
설계도구	이미지	설명
MRL-SCT-LED		기존의 규격에서 사용하든 패킷, 메시지, 변수 등을 설계할 수 있는 기능이 도구이다. 본 도구를 사용하여 Packet 44를 수정하여 ATO 관련 패킷으로 설계가 가능하며 테스트케이스, 테스트시퀀스를 설계할 때 해당 내용을 반영할 수 있다.
MRL-SCT-TCD		ERTMS/ETCS 표준에 따라 테스트케이스를 설계할 수 있는 도구이다. 이 도구를 사용해 ATO와 관련하여 추가한 기능, 등에 대한 테스트케이스를 설계, 생성할 수 있고 각 테스트 단계와 요구사항 간 관계를 설정하므로 ATO 요구사항의 Coverage를 검토할 수 있다. 특히 ERTMS 뿐 아니라 한국의 KTCS과도 호환되므로 기 존재하는 요구사항 또는 표준사양에서 확장하는 방식의 시스템 기능 요구사항 설계에 용이하다.
MRL-SCT-SED		ERTMS/ETCS 표준에 따라 테스트시퀀스를 설계할 수 있는 도구이다. 이 도구를 사용해 LED, TCD 도구에 의해 설계, 생성한 테스트케이스를 취합하여 테스트시퀀스를 생성할 수 있으며 생성된 테스트시퀀스를 멀티텔의 시험설비에서 사용된다. 본 도구는 자동화 검증용 식별자를 생성할 수 있으며 그에 따라 로봇으로 차상장치와 DMI를 제어할 수 있는 기능을 제공한다. 본 도구를 활용하여 ATO 관련 요구사항이 반영된 테스트시퀀스를 생성하여 개발된 장비의 기능 및 인터페이스를 검증할 수 있다는 점을 확인할 수 있었다.

ATO over ETCS 기반의 ATO LAB 시험시나리오에 대한 설계 절차 및 실행은 유럽의 공인시험기관에서 사용하는 설계 소프트웨어를 사용하며 다음과 같은 순서로 설계되어 실행된다.

표 120 ATO LAB 시험 시나리오설계 및 실행 절차

순번	내용	참고 이미지
1	Design FLOW strategy /major steps and Starting Journey Scenarios	

순번	내용	참고 이미지
2	Track to train packets generation	
4	Adopt ATO Trackside equipment and BALISE or RADIO	
5	Edit ATO-TS to ATO-OB step	
6	Design Segment Profile (SP)	
7	Segments aligned with Track Layout infrastructure data coming from the network design	
8	Design ATO mode and train is up and ready	
9	Start of Mission and MRL delivered each configured messages to the ATO-OB	

순번	내용	참고 이미지
10	Exchanged DATA with ATO-TS and connected to external ATO-OB	
11	SELECT AUTOPILOT on train to simulate DRIVER behaviour	
12	ATO mode is triggered	

ETCS L3급 지상 및 차상장비의 개발명세서 요구사항에 대한 통합시험을 위해 앞서 테스트케이스를 정의하였다. 정의된 각각의 주요 테스트케이스는 Subset 076 테스트시퀀스에 포함되고, 본 연구과제에서 선정한 시험선 모의주행 시나리오에 포함된다. 반면, ATO 시험시나리오는 별도의 ATO over ETCS(AoE) 시스템요구사항을 준수하여 작성된다. LAB 통합시험을 위한 시험시나리오는 다음과 같이 선정하였다.

표 121 LAB 통합시험을 위한 시험시나리오 선정

순번	시험 시나리오 항목
1	유럽시험규격(SUBSET-076) L3 선별 시나리오
2	ATO over ETCS(AoE) 기반 ATO 시험시나리오
3	시험선(호남고속선, 철도종합시험선) 모의주행 시나리오

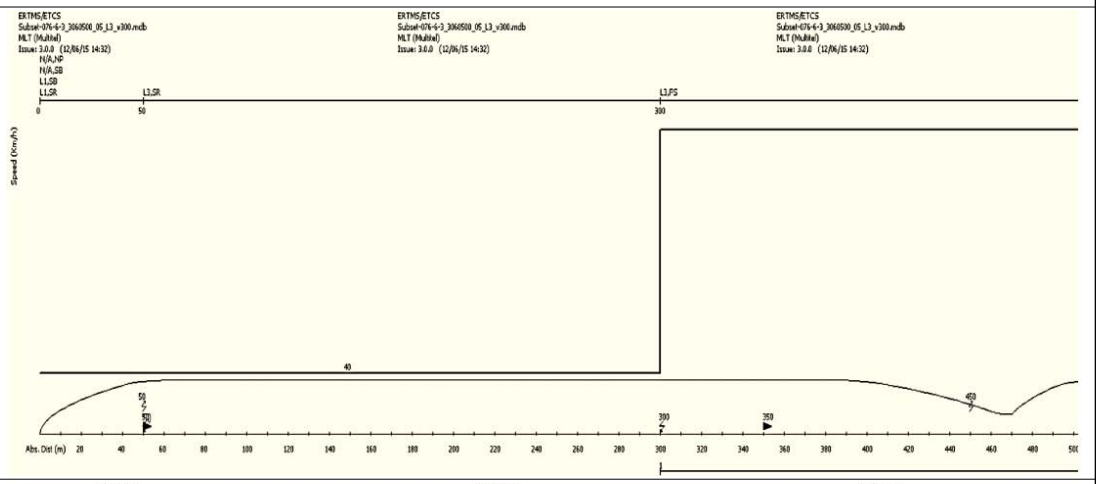
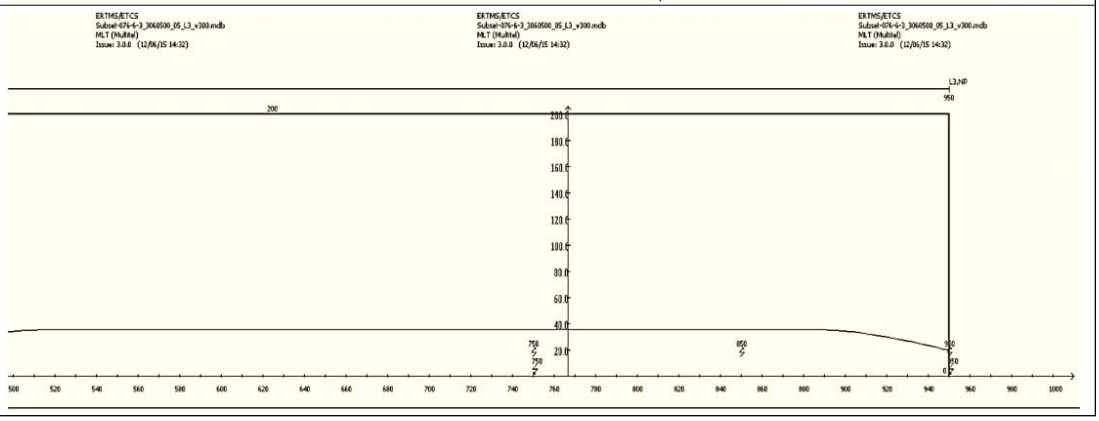
상기 표에서 유럽시험규격(Subset-076)의 테스트시퀀스 중에서 ERTMS/ETCS 공인시험기관인 벨기에 멀티텔社에서 추천한 주요 Level 3 핵심기능이 포함된 테스트시퀀스는 다음과 같이 선별하였다. 테스트시퀀스 Subset-076-6-3_3060500_05_L3를 참고로 보고서에 기술하였다.

표 122 Subset 076 선별 테스트시퀀스

순번	시나리오명
①	Subset-076-6-3_3060500_05_L3
②	Subset-076-6-3_4050200_05_L3
③	Subset-076-6-3_4080413_02_L3
④	Subset-076-6-3_4080419_03_L3
⑤	Subset-076-6-3_5100100_02_L3
⑥	Subset-076-6-3_5100300_03_L3
⑦	Subset-076-6-3_5100400_07_L3

① Subset-076-6-3_3060500_05_L3_v300

- 기능시험 노선도

지점	기능시험 노선도
0m ~ 500m	
500m ~ 1,000m	

- 구간별 기능 동작

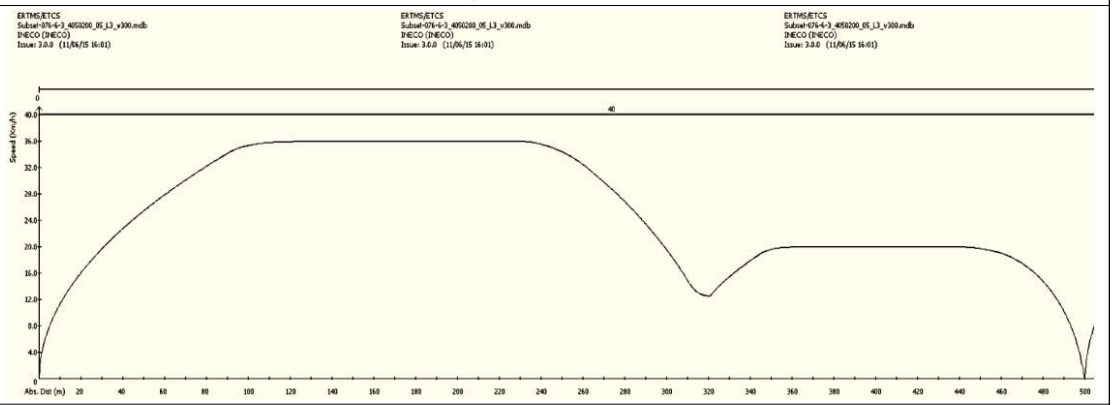
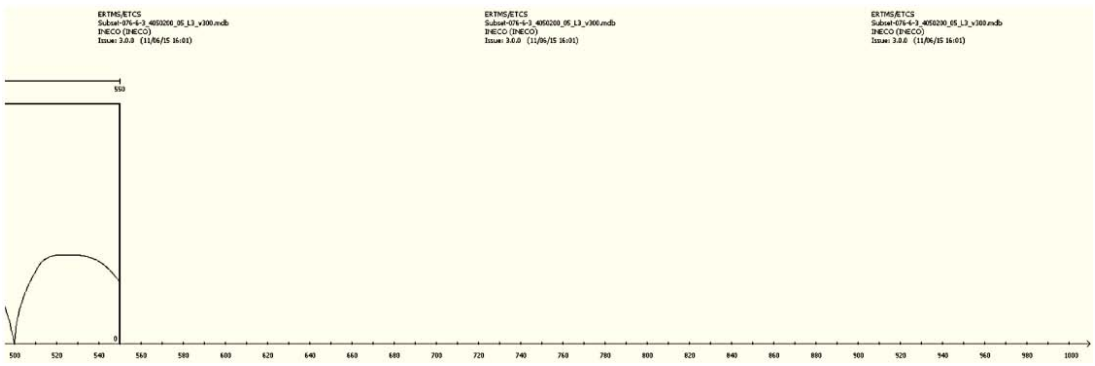
지점	레벨	기능 동작

지점	레벨	기능 동작
0m	L0	The ETCS on-board equipment is powered .
0m	L0	The on-board equipment requests the driver to enter a driver ID within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when the status of the driver ID is unknown.
0m	L0	Within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode, the status of the ERTMS/ETCS Level data is INVALID. The driver selects a level (the existing ERTMS/ETCS Level or a new one).
0m	L0 L1	Within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode, the On-Board equipment offers the driver to select either SH or NL or 'Train Data Entry' before the on-board equipment requests the driver to enter a complete set of Train Data. The driver selects 'Train Data Entry'.
0m	L1	The on-board equipment requests the driver to enter a complete set of Train Data within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when the status of the Train Data is unknown
0m	L1	After the set of Train Data has been entered/re-validated by the driver (in S12), if the status of the Train running number is 'unknown', the ERTMS/ETCS on-board equipment requests the driver to enter the Train running number
0m	L1	The driver selects 'Start' within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode and in ERTMS Level 1.
50m	L1 L3	The train receives an order to switch immediately from L1 to L3 at the current position. On-board equipment immediately switches to L3.
50m	L3	System version is compatible and session is established.
50m	L3	Radio message with new Train Data and acknowledge of the RBC
300m	L3	The train is in level 2 or 3 in SR and a new MA, SSP and Gradient Profile is received on board. No specific mode is required by a Mode Profile. The track description is available at least from the Front End of the train The system switches to FS immediately.
350m ~ 450m	L3	Supervision of train integrity entered by driver. Driver input of train integrity is only permitted at standstill. The driver confirms train integrity (Q_LENGTH = 2).
450m	L3	The on-board equipment sends a position report by means of Packet 0: 'Position report'.
450m ~ 750m	L3	Supervision of train integrity entered by driver. Driver input of train integrity is only permitted at standstill. The driver confirms train integrity (Q_LENGTH = 2).
750m	L3	The on-board equipment sends a position report by means of Packet 0: 'Position report'.
750m	L3	Supervision of train integrity entered by driver. Driver input of train integrity is only permitted at standstill. The driver confirms train integrity (Q_LENGTH = 2).
750m	L3	The on-board equipment sends a position report by means of Packet 0: 'Position report'.
750m	L3	The train receives a message including Packet 58 (Position report parameters) that is transmitted from RBC. The message is ACCEPTED.
750m	L3	Supervision of train integrity evaluated by train integrity device. The external monitoring device confirms train integrity (Q_LENGTH = 1).
750m	L3	The on-board equipment sends a position report by means of Packet 0: 'Position report'.

지점	레벨	기능 동작
850m	L3	Supervision of train integrity evaluated by train integrity device. The external monitoring informs the onboard equipment that train integrity is lost (Q_LENGTH = 3).
850m	L3	The on-board equipment sends a position report by means of Packet 0: 'Position report'.
950m	L3	The on-board equipment terminates a communication session ordered by RBC.
950m	L3	The ETCS on-board system is NOT powered.

② Subset-076-6-3_4050200_05_L3_v300

- 기능시험 노선도

지점	기능시험 노선도
0m ~ 500m	
500m ~ 1,000m	

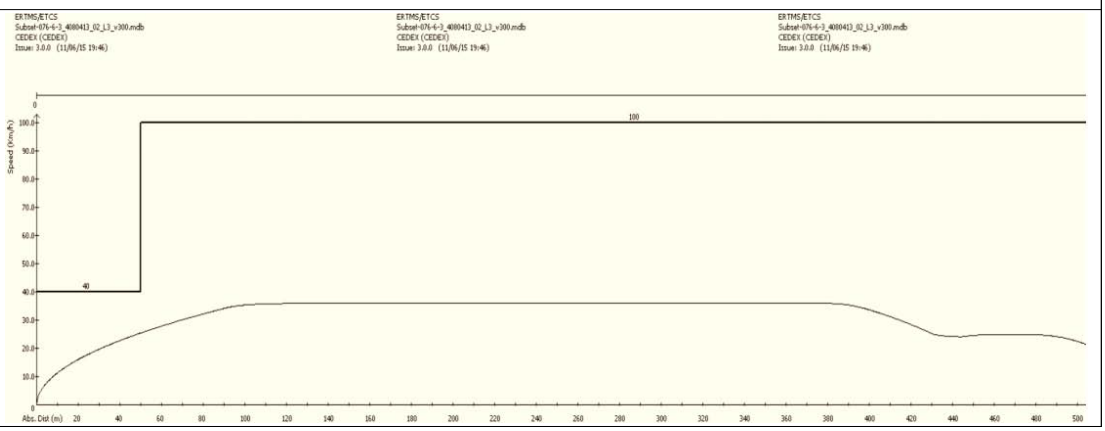
- 구간별 기능 동작

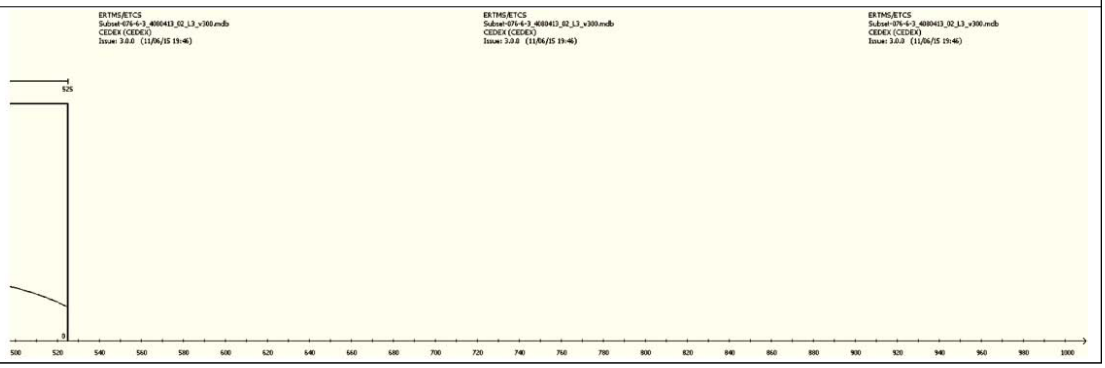
지점	레벨	기능 동작
0m	L0	The ETCS on-board equipment is powered .
0m	L0	The on-board equipment requests the driver to enter a driver ID within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when the status of the driver ID is unknown.
0m	L0 L1	Within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode, the status of the ERTMS/ETCS Level data is INVALID. The driver selects a level (the existing ERTMS/ETCS Level or a new one).
0m	L1	Within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode, the On-Board equipment offers the driver to select either SH or NL or 'Train Data Entry' before the on-board equipment requests the driver to enter a complete set of Train Data. The driver selects 'Train Data Entry'.

지점	레벨	기능 동작
0m	L1	The on-board equipment requests the driver to enter a complete set of Train Data within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when the status of the Train Data is unknown
0m	L1	After the set of Train Data has been entered/re-validated by the driver (in S12), if the status of the Train running number is 'unknown', the ERTMS/ETCS on-board equipment requests the driver to enter the Train running number
0m	L1	The on-board equipment requests the driver to re-validate/enter a complete set of Train Data within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when level is 0/1/NTC (Subset-026-5.4.3.2 S12). The driver is requested to enter/re-validate the Train running number if the status of the Train running number is 'unknown' or 'invalid'.
0m	L1	The driver selects 'Start' within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode and in ERTMS Level 1
100m	L1 L3	The train receives an order to switch immediately from L1 to L3 at the current position. On-board equipment immediately switches to L3.
100m	L3	System version is compatible and session is established.
100m	L3	Radio message with new Train Data and acknowledge of the RBC
300m	L3	The driver selects NON LEADIND mode, the train is at standstill and the 'non leading' input signal is received. The system switches to Non Leading Mode.
300m	L3	The on-board equipment sends a position report by means of Packet 0: 'Position report'.
500m	L3	The on-board equipment does not send a position report when loss of train integrity is detected.
550m	L3/L0	The ETCS on-board system is NOT powered.

③ Subset-076-6-3_4080413_02_L3_v300

- 기능시험 노선도

지점	기능시험 노선도
0m ~ 500m	

지점	기능시험 노선도
500m ~ 1,000m	

- 구간별 기능 동작

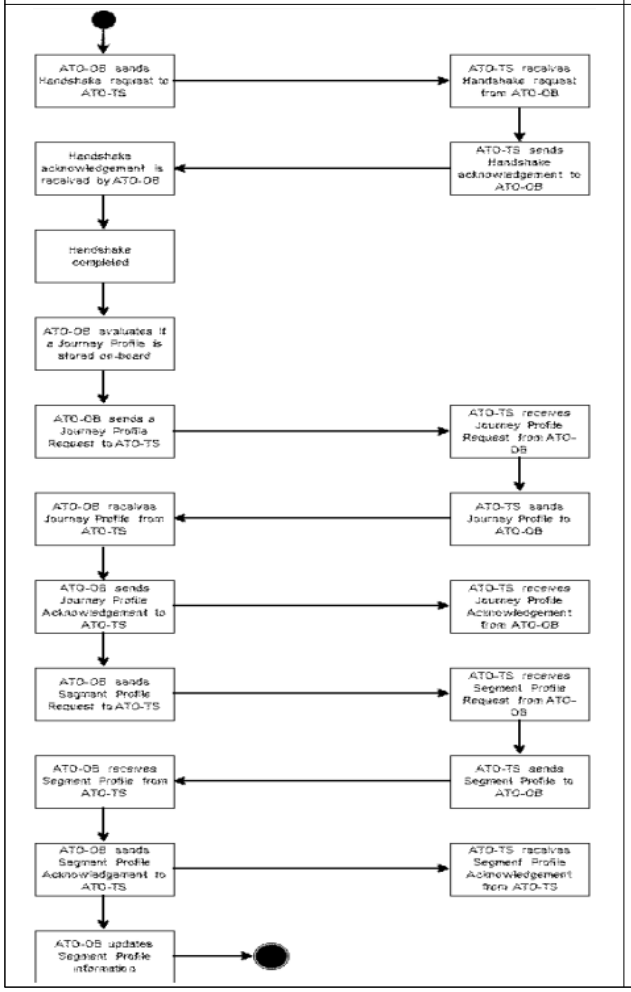
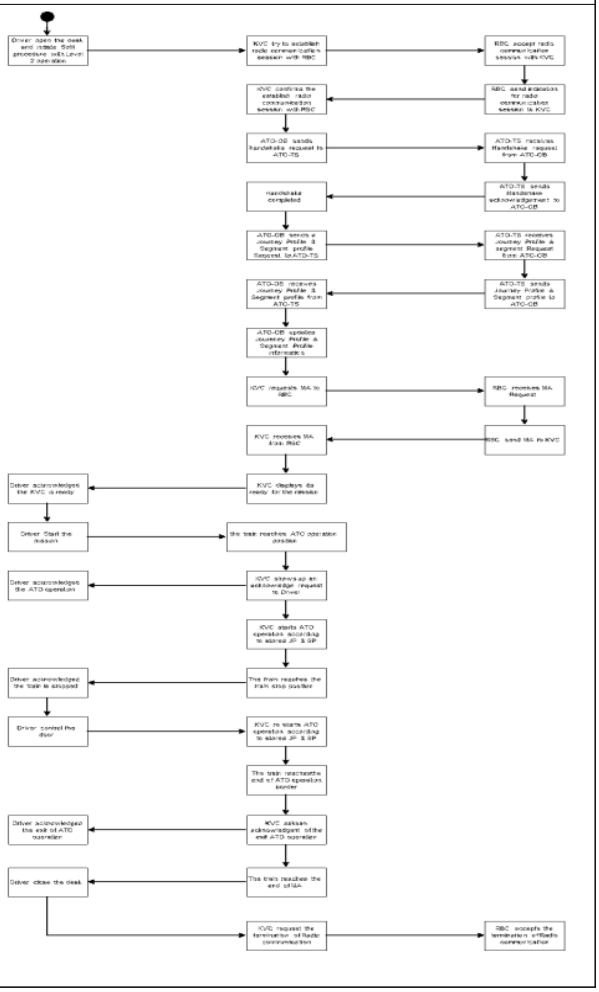
지점	레벨	기능 동작
0m	L0	The ETCS on-board equipment is powered.
0m	L0	The on-board equipment requests the driver to enter a driver ID within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when the status of the driver ID is unknown.
0m	L0 L1	Within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode, the status of the ERTMS/ETCS Level data is INVALID. The driver selects a level (the existing ERTMS/ETCS Level or a new one).
0m	L1	Within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode, the On-Board equipment offers the driver to select either SH or NL or 'Train Data Entry' before the on-board equipment requests the driver to enter a complete set of Train Data. The driver selects 'Train Data Entry'.
0m	L1	The on-board equipment requests the driver to enter a complete set of Train Data within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when the status of the Train Data is unknown
0m	L1	After the set of Train Data has been entered/re-validated by the driver (in S12), if the status of the Train running number is 'unknown', the ERTMS/ETCS on-board equipment requests the driver to enter the Train running number.
0m	L1	The on-board equipment requests the driver to re-validate/enter a complete set of Train Data within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when level is 0/1/NTC (Subset-026-5.4.3.2 S12). The driver is requested to enter/re-validate the Train running number if the status of the Train running number is 'unknown' or 'invalid'.
0m	L1	The driver selects 'Start' within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode and in ERTMS Level 1.
50m	L1	The train switches in FS mode, because a MA and Track Description are stored on-board and no specific mode is required by a Mode Profile and No Trip order is given by balise.
100m	L1 L2	The train receives an order to switch immediately from L1 to L2 at the current position. On-board equipment immediately switches to L2.
100m	L2	System version is compatible and session is established.
100m	L2	Radio message with new Train Data and acknowledge of the RBC
400m	L2	The train is in FS / LS / OS and the train/engine overpasses the EOA/LOA of its MA. The system switches to TR Mode.

지점	레벨	기능 동작
400m	L2	Indication of Trip mode and the reason to the driver.
400m	L2	The train is in FS / LS / OS and the train/engine overpasses the EOA/LOA of its MA. The system switches to TR Mode.
400m ~ 435m	L2	Before the train reaches standstill, no message to acknowledge Train Trip is displayed. The train reaches standstill in level 1, 2 or 3 and TR mode. The train/engine performs transition to PT after Driver acknowledgement of the TRIP mode. In level 2 or level 3, a communication session is opened and the On-Board sends a position report to the track-side when the mode changes Transition Id [7].
435m	L2	Train is at standstill in L2/L3 and PT mode. The on-board reports mode change to RBC. After receiving RBC acknowledgement of exit Trip mode and no pending emergency stops to be revoked it is possible to accept new MA (new TC)
435m ~ 500m	L2 L3	Train is at standstill in L2/L3 and PT mode. The on-board reports mode change to RBC. After receiving RBC acknowledgement of exit Trip mode and no pending emergency stops to be revoked it is possible to accept new MA (new TC)
500m	L3	The train is in FS / LS / OS and the train/engine overpasses the EOA/LOA of its MA. The system switches to TR Mode.
500m ~ 525m	L3	Before the train reaches standstill, no message to acknowledge Train Trip is displayed. The train reaches standstill in level 1, 2 or 3 and TR mode. The train/engine performs transition to PT after Driver acknowledgement of the TRIP mode. In level 2 or level 3, a communication session is opened and the On-Board sends a position report to the track-side when the mode changes Transition Id [7].
525m	L3	Train is at standstill in L2/L3 and PT mode. The on-board reports mode change to RBC. After receiving RBC acknowledgement of exit Trip mode and no pending emergency stops to be revoked it is possible to accept new MA (new TC)
525m	L3	The train receives an order via radio or balise to switch immediately to NTC at the current position. Since the on board equipment is in PT mode, the system does not switch to NTC.
525m	L3	The train receives an order via radio or balise to switch immediately from L3 to L0 at the current position. Since the on board equipment is in PT mode, the system does not switch to L0.
525m	L3	The train receives an order via radio or balise to switch immediately from L3 to L1 at the current position. Since the on board equipment is in PT mode, the system does not switch to L1.
525m	L3	Train is at standstill in L2/L3 and PT mode. The on-board reports mode change to RBC. After receiving RBC acknowledgement of exit Trip mode and no pending emergency stops to be revoked it is possible to accept new MA (new TC)
525m	L3	The on-board equipment terminates a communication session ordered by RBC.
525m	L3	The ETCS on-board system is NOT powered.

④ Subset-076-6-3_4080419_03_L3_v300(생략)
⑤ Subset-076-6-3_5100100_02_L3_v300(생략)
⑥ Subset-076-6-3_5100300_03_L3_v300(생략)
⑦ Subset-076-6-3_5100400_07_L3_v300(생략)

ATO 시험시나리오는 다음과 같이 ATO-OB와 ATO-TS 간 기본 인터페이스 구동 시험과 ATP/ATO 시험을 위한 기본 운행 확인 시험시나리오로 구분된다.

표 123 ATO LAB 시험시나리오(예시)

기본 인터페이스 구동 시험시나리오	기본 운행 확인 시험시나리오
	

ATO over ETCS 기반의 ATO의 단계별 레벨 및 모드, 지점별 이벤트 및 내용이 적용된 LAB 시험시나리오는 다음과 같다.

표 124 ATO LAB 시험시나리오

Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next	
			Lv	Mode				Lv	Mode
Feature 4060300: 4.6.3: Transitions Conditions Table Tet Case 10: The ETCS on-board equipment is powered .Transition Condition Id [4].									

Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next	
			Lv	Mode				Lv	Mode
1	1	0m	N/A	NP	ERTMS/ETCS on-board unit is powered up	INT→ EVC	The on-board equipment changes to SB mode.	N/A	NP
2	2		N/A	NP	GENERAL MESSAGE (NID_MESSAGE_JRU=1; M_MODE=6) is recorded	EVC→ JRU	-	N/A	SB
Feature 5040300: 5.4.3: Table of requirements for 'Start of Mission' procedure Test Case 24: Start of Mission procedure is engaged									
3	1		N/A	SB	Driver opens desk	TIU→ EVC	-	N/A	SB
4	2		N/A	SB	The 'CAB STATUS' message is RECORDED with the variable M_CAB_A_STATUS=1 (Active).	EVC→ JRU	-	N/A	SB
5	3		N/A	SB	The actual mode SB is DISPLAYED	EVC→ DMI	The SB indication after opening the desk may not be recorded. Because the change of mode was already recorded while desk was closed	N/A	SB
Feature 08: NONE single steps Test Case 1: Message without interface									
6	1		N/A	SB	ATO onboard energises	NONE	-	N/A	SB
7	1		N/A	SB	ATO onboard performs diagnostics	NONE	-	N/A	SB
8	1		N/A	SB	Diagnostics tests passed	NONE	-	N/A	SB
Feature 09: ATO single steps Test Case 2: ATO-OB sends a message to ATO-TS									
10	1		N/A	SB	Handshare request	ATO_OB → ATO_TS	-	N/A	SB
Feature 09: ATO single steps Test Case 1: ATO-OB receives a message from ATO-TS									
11	1	Step 10	N/A	SB	Handshare acknowledgement	ATO_TS → ATO_OB	-	N/A	SB
Feature 08: NONE single steps Test Case 1: Message without interface									

Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next	
			Lv	Mode				Lv	Mode
12	1		N/A	SB	[Driver performs a Start of Mission in L1, SR]	NONE	-	L1	SR
Feature 09: ATO single steps Test Case 3: ATO-OB receives a message from EVC									
13	1		L1	SR	Train Data are acquired by ATO on-board from ETCS system	EVC→ ATO_OB	-	L1	SR
Feature 08: NONE single steps Test Case 1: Message without interface									
14	1		L1	SR	No train data received from external systems	NONE	-	L1	SR
Feature 09: ATO single steps Test Case 2: ATO-OB sends a message to ATO-TS									
15	1		L1	SR	ATO OB requests JP	ATO_OB → ATO_TS	-	L1	SR
Feature 08: NONE single steps Test Case 1: Message without interface									
16	1		L1	SR	ATO TS requests JP to TMS	NONE	-	L1	SR
17	1		L1	SR	TMS sends valid JP to ATO TS	NONE	-	L1	SR
Feature 09: ATO single steps Test Case 1: ATO-OB receives a message from ATO-TS									
18	1	Step 15	L1	SR	Valid JP is received by ATO TS and delivered to ATOOB	ATO_TS → ATO_OB	-	L1	SR
Feature 09: ATO single steps Test Case 2: ATO-OB sends a message to ATO-TS									
19	1	Step 18	L1	SR	ATO OB requests SP	ATO_OB → ATO_TS	-	L1	SR
Feature 08: NONE single steps Test Case 1: Message without interface									
20	1		L1	SR	ATO TS requests SP to TMS	NONE	-	L1	SR
21	1		L1	SR	TMS sends valid SP to ATO TS	NONE	-	L1	SR
Feature 09: ATO single steps Test Case 1: ATO-OB receives a message from ATO-TS									
22	1	Step 19	L1	SR	Valid SP is received by ATO TS and delivered to ATOOB	ATO_TS → ATO_OB	-	L1	SR
Feature 08: NONE single steps Test Case 1: Message without interface									

Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next	
			Lv	Mode				Lv	Mode
23	1		L1	SR	ATO OB calculates operational speed profile	NONE	-	L1	SR
24	1		L1	SR	GoA2 (ATO) status	NONE	-	L1	SR
Feature 04: DMI single steps Test Case 1: DMI output									
25	1		L1	SR	Driver is informed of ATO onboard status	EVC→ DMI	-	L1	SR
Feature 08: NONE single steps Test Case 1: Message without interface									
26	1		L1	SR	ATO Ready for Engagement	NONE	-	L1	SR
Feature 3060100: 3.6.1: Location Principles and Train Position and Train Orientation Test Case 9: The ERTMS/ETCS on-board equipment determines the train position referenced to LRBG									
27	1	100 m	L1	SR	One Balise Group message (Q_LINK=1) containing packet 255 is received	BTM→ EVC	The train passes over a balise group. The BG is marked as linked, so it is set as the new LRBG	L1	FS
28	2		L1	FS	TELEGRAM FROM BALISE (NID_MESSAGE_JRU=6) is recorded	EVC→ JRU	The TRAIN_POSITION variables are recorded with valid values in the header of the JRU message. In particular, NID_LRBG has the value than NID_BG + NID_C of the BG that has been passed	L1	FS
Feature 04: DMI single steps Test Case 1: DMI output									
29	1		L1	FS	AD mode is displayed in the DMI	EVC→ DMI	-	L1	FS
Feature 04: DMI single steps Test Case 2: DMI input									
30	1		L1	FS	Driver acknowledges AD mode	DMI→ EVC	-	L1	AD
Feature 5100100: 5.10.1: Level Transitions General requirements Test Case 14: The train receives from the balise group BGa the Level Transition announcement LX/LY. The driver is informed.									

Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next	
			Lv	Mode				Lv	Mode
31	1		L1	AD	An announcement of level transition to Level Y (Packet 41) is RECEIVED from Balise Group BGa:D_LEVELTR ↔0 and ↔32767M_LEVELTR= M_LEVEL_Y (Level Y)	BTM→ EVC	Order to switch to level Y at further location and this announcement will result in a change of the on-board level.	L3	AD
32	2	150 m	L3	AD	An indication of Announcement of Level Y is DISPLAYED.	EVC→ DMI	('Except in SL and SB modes')	L3	AD
33	3		L3	AD	Displayed indication is recorded	EVC→ JRU	('Except in SL and SB modes')	L3	AD
34	4		L3	AD	Balise Group BGa message, including Packet 41'Level transition order', is RECORDED.	EVC→ JRU	-	L3	AD

시험선 모의주행 시나리오는 오송 철도종합시험선 상/하선 주행 및 호남고속선 정읍-익산 구간 상선 주행 시나리오로 설계되었다.

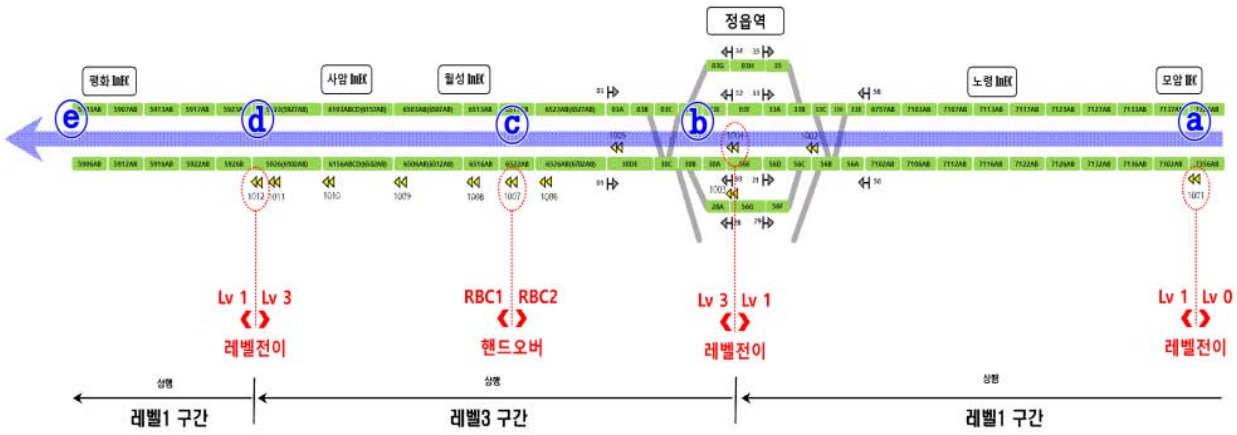
표 125 LAB 통합시험을 위한 시험선 모의주행 시나리오

순번	시험노선	구간	열차	주행방향	시스템	ATP레벨	상세 내용
①	호남 고속선	모암IEC ~ 익산역 직전	1편성	상행	ATP	Lv1 Lv3	· 레벨 전환(L1→L3→L1) 시험 · L3 구간 RBC 핸드오버(RBC2→RBC1) 시험 · L3 구간 내 최고속도 주행(350Km/h) 시험
②	철도종합 시험선	TS-01 ~ TS-04	1편성	하행	ATP	Lv0 Lv1 Lv2 Lv3	· 레벨 전환 (L0→L1→L2→L3) 시험 · L2 및 L3 구간 RBC 핸드오버(RBC1→RBC2) 시험 · L3 구간 내 최고속도 주행(250Km/h) 시험
③	철도종합 시험선	TS-04 ~ TS-03	1편성	상행	ATP	Lv3	· 완해속도 감시 시험 · 특수운전모드 (OVERRIDE) 사용 시 제한범위(25km/h, 60s) 준수 시험 · 입환모드 시험
④	철도종합 시험선	TS-03 ~ TS-04	1편성	하행	ATP	Lv3	· 임시제한속도 적용 시험 · 정지신호 통과 시 트립(비상제동) 시험
⑤	철도종합 시험선	TS-04 ~ TS-03	1편성	상행	ATP	Lv3	· 입환모드 시험 · 비장착 모드(70km/h 제한속도) 운행 시험

순번	시험노선	구간	열차	주행방향	시스템	ATP레벨	상세 내용
⑥	철도종합 시험선	TS-04 ~ TS-01	1편성	상행	ATP	Lv0 Lv1 Lv2 Lv3	· 레벨 전환(L3→L2→L1→L0) 시험 · L2 및 L3 구간 RBC 핸드오버(RBC2→RBC1) 시험 · L3 구간 내 최고속도 주행(250Km/h) 시험
⑦	철도종합 시험선	TS-02 ~ TS-04	1편성	하행	ATP ATO	Lv2 Lv3	· L2 및 L3 구간 자동운전 (AD) 정상주행시험 · L2구간 내 TS-02역 정위치정차 시험 · L3 구간 내 TS-03역 정위치정차 시험
⑧	철도종합 시험선	TS-03 ~ TS-04	2편성	하행	ATP ATO	Lv3	· (가상 또는 이동) 폐색구간에서의 선행열차와 후속열차 간 안전간격 주행 시험

■ 호남고속선 정상주행(상행) 시험

- 열차 모의주행시험 구성도

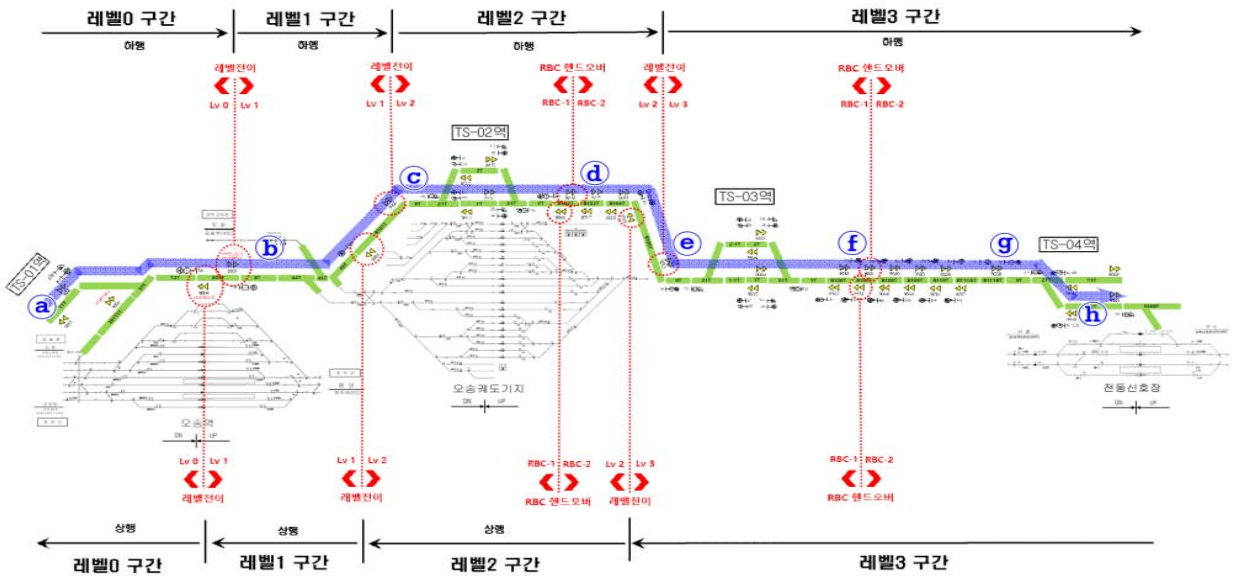


- 주요 구간별 기능 동작

순번	주요 내용	레벨	모드	속도(km/h)
ⓐ	열차 출발 준비 및 출발 후 레벨전이(Level0→Level1)	Level 1	SB, FS	20
ⓑ	정읍역 진입 후 레벨전이(Level1→Level 3)	Level 3	FS	350
ⓒ	정읍역 통과 후 핸드오버(RBC2→RBC1)	Level 3	FS	350
ⓓ	레벨전이(Level3→Level 1)	Level 1	FS	300
ⓔ	익산역 진입			30

■ 오송 철도종합시험선 정상주행(하행) 시험

- 열차 모의주행시험 구성도

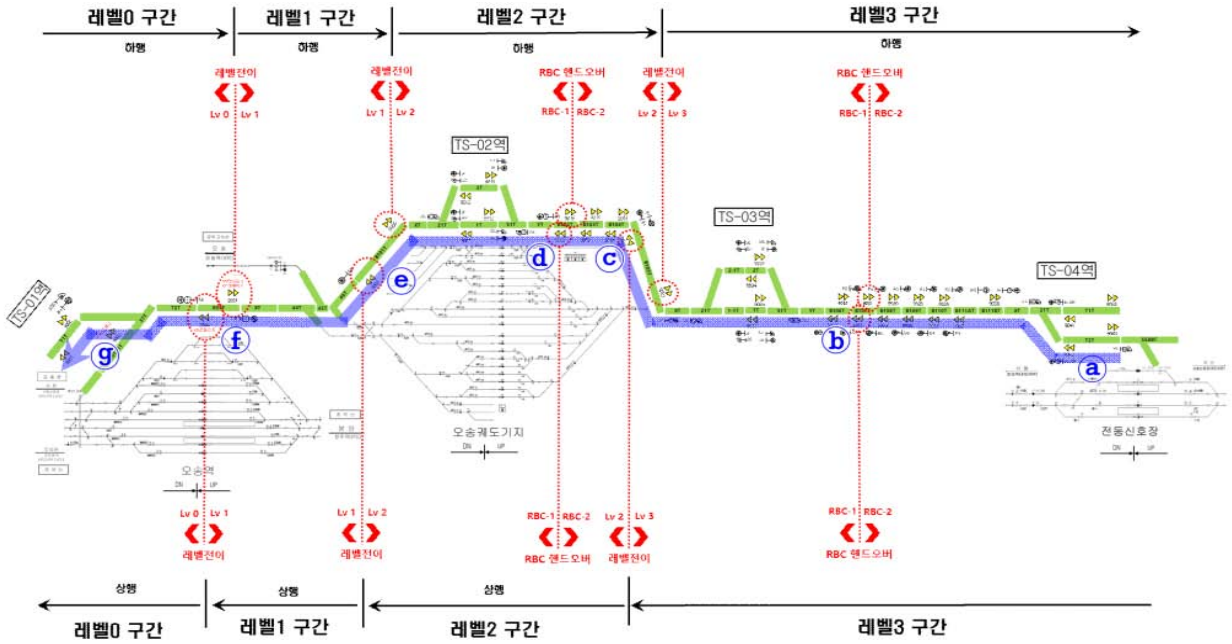


- 주요 구간별 기능 동작

순번	주요 내용	레벨	모드	속도(km/h)
ⓐ	TS-01역 출발 준비		SB	0
ⓑ	레벨전이(Level0 →Level1) 및 분기구간 진입	Level 1	FS	100
ⓒ	레벨전이(Level1→Level 2) 및 TS-02역 진입	Level 2	FS	150
ⓓ	핸드오버(RBC1→RBC2)	Level 2	FS	200
ⓔ	레벨전이(Level2→Level3) 및 TS-03역 진입	Level 3	FS	250
ⓕ	핸드오버 (RBC 1 → RBC 2)	Level 3	FS	250
ⓖ	TS-04역 진입	Level 3	FS	25
ⓗ	TS-04역 정차	Level 3	FS	0

■ 오송 철도종합시험선 정상주행(상행) 시험

- 열차 모의주행시험 구성도



- 주요 구간별 기능 동작

순번	주요 내용	레벨	모드	속도(km/h)
ⓐ	TS-04역 출발 준비		SB	0
ⓑ	핸드오버(RBC2→RBC1) 및 TS-03역 진입	Level 3	FS	250
ⓒ	레벨전이(Level3→Level 2)	Level 2	FS	250
ⓓ	핸드오버(RBC2→RBC1) 및 TS-02역 진입	Level 2	FS	200
ⓔ	레벨전이(Level2→Level1) 및 분기구간 진입	Level 1	FS	150
ⓕ	레벨전이(Level1→Level 0)	Level 0	SR	80
ⓖ	TS-01역 정차	Level 0	SR	0

나. 인터페이스명세서 검증

(1) LAB 시험항목 선별

인터페이스명세서는 최종 NGTC 기능 인터페이스요구사항 기반으로 작성되었다. NGTC 기능 인터페이스요구사항은 ERTMS/ETCS 시스템요구사항 및 ATO over ETCS 규격 등을 기반으로 구성된다. 따라서 2차년도에 수립된 인터페이스명세서 검증계획을 참조하여 ATP/ATO 인터페이스명세서 각각의 요구사항에 대해 최종 LAB 시험항목 선별 체크리스트를 작성하였다.

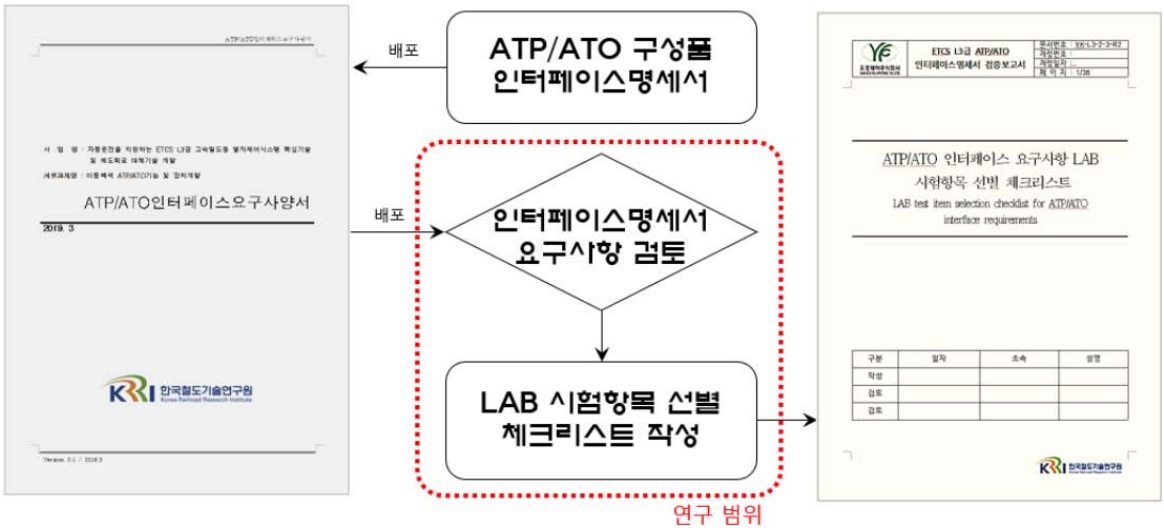


그림 77 개발명세서 LAB 시험항목 선별 업무 절차도

표 126 인터페이스명세서 LAB 시험항목 체크리스트

FRS ID	인터페이스 대상	ATP/ATO 인터페이스 요구사항	LAB시험용 시뮬레이터 &인터페이스	연관된 SRS	SS-076 테스트 Feature
N/A	EIS	·In principle, signals and track circuits are not used between stations, and signals and track circuits can be installed for train operation within the stations, and electronic interlocking system manage them.	EIS시뮬레이터 → 지상ATP/ATO	N/A	N/A
N/A	EIS	·The electronic interlocking system should reflect the following train operation requirements. a) The electronic interlocking system supports the entry of two or more trains into the stations. - Related requirement : FRS 2.3.1-4 Platform berthing control where the platform is longer than the train - Related requirement : FRS 2.3.1-5 Platform berthing control with multiple trains	EIS시뮬레이터 → 지상ATP/ATO	N/A	N/A
N/A	EIS	·An interlocking diagram is created in the electronic interlocking system, and train route information is	EIS시뮬레이터 → 지상ATP/ATO	N/A	N/A

FRS ID	인터페이스 대상	ATP/ATO 인터페이스 요구사항	LAB시험용 시뮬레이터 &인터페이스	연관된 SRS	SS-076 테스트 Feature
		generated according to the interlocking diagram and transmitted to ATP/ATO.			
FRS 1.2.1.2-2	TMS	·Provide actual train travel direction to TMS	지상ATP/ATO→ TMS시뮬레이터	N/A	N/A
FRS 1.2.1.2-4	Balise	·Update the location information - TC shall update the location information with regard to fixed trackside reference point devices(e.g. balises). When the train passes over a reference point, the location uncertainty shall be minimised.	Reference Balise→ 차상ATP/ATO	SRS v330 3.6.4.1 & 3.6.4.2 & 3.13.9.3.2.1 & 3.6.4.2.2	3040400 3060400 3090300 3111200 4041100 4041800 4070201 9990200 9990500
FRS 1.2.1.2-8	TMS	·Provide information about the train location failure to TMS and train HMI - TC shall provide the information about the train location failure of reporting trains to the interface with the operations control HMI and with the external train HMI.	지상ATP/AT→TMS시뮬레이터	N/A	N/A
FRS 1.2.1.2-12	TMS	·Setting of zone of protection by loss of train location status by reporting trains	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO→ 차상ATP/ATO	N/A	N/A
FRS 1.3.2-2a	TMS	·Perform the downloading both locally and remotely - The journey profile and static infrastructure data shall be sent to the TC on-board system.	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO→ 차상ATP/ATO	N/A	N/A
FRS 1.3.5-1	TMS	·Setting of a zone of temporary speed restriction - In TC a temporary speed restriction shall include a ceiling speed and the concerned area of the track.	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO	§3.11.5	3110500
FRS 1.3.5-2	TMS	·Content of temporary speed restriction - In TC a temporary speed restriction shall include a ceiling speed and the concerned area of the track.	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO	§3.11.5	3110500

FRS ID	인터페이스 대상	ATP/ATO 인터페이스 요구사항	LAB시험용 시뮬레이터 &인터페이스	연관된 SRS	SS-076 테스트 Feature
FRS 1.3.5-3	TMS	·Several speed restrictions at the same location - In case several temporary speed restrictions are set at the same location, TC shall enforce the lowest speed restriction	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO	§3.11.5	3110500
FRS 1.3.5-4	TMS	·Setting of new temporary speed restriction - All temporary speed restrictions shall be independent of each other. This means that an individual temporary speed restriction shall not affect, nor be affected by, any other individual temporary speed restriction.	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO	§3.11.5.2	N/A
FRS 1.3.5-5	TMS	·Automatic setting of speed restrictions	N/A	§3.18.4.6	3130235 3180400 4080402 4100103
FRS 1.3.5-6	TMS	·Release of temporary speed restrictions set manually or automatically - A TSR shall be revoked manually by a safety related command from the trackside. A TSR shall be revoked immediately when revocation is received from trackside.	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO	§3.11.5	N/A
FRS 1.3.5-7	TMS	·Provide status of speed restrictions to TMS	지상ATP/ATO →TMS 시뮬레이터	N/A	N/A
FRS 1.4.1-9	TMS	·Display of Movement Authority - TC movement authority limits shall be capable of being displayed on the TMS user interface.	지상ATP/ATO →TMS시뮬레이터	N/A	N/A
FRS 1.4.2-13	지상설비	·information on adhesion conditions	지상설비→ 지상 ATP/ATO	N/A	N/A
FRS 1.4.4	TMS	·Determine a zone of protection	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO	N/A	N/A
FRS 1.4.5-1	TMS	·Stopping of the train - TC shall command an immediat	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO→	§3.10.2.3	

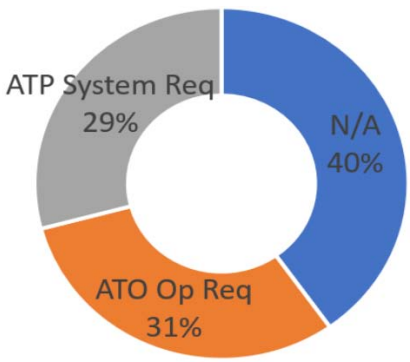
FRS ID	인터페이스 대상	ATP/ATO 인터페이스 요구사항	LAB시험용 시뮬레이터 &인터페이스	연관된 SRS	SS-076 테스트 Feature
		e emergency brake application on a designated train on receiving an unconditional emergency stop command.	차상ATP/ATO		
FRS 1.4.5-2	TMS	·Provide information about train stopping to the TMS.	지상ATP/ATO →TMS시뮬레이터		
FRS 1.4.6-1	TMS	·Authorization of entry of reporting trains in TC territory	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO		
FRS 1.5.2-10	TMS	·Provide information about EB triggering to TMS	차상ATP/ATO → 지상ATP/ATO→TMS시뮬레이터		
FRS 1.5.2-16	TMS	·Provide information about EB release to TMS	차상ATP/ATO → 지상ATP/ATO→TMS시뮬레이터		
FRS 1.5.5-7	TMS	·Provide information to TMS	N/A		
FRS 2.1-1	TMS	·Determination of operating speed profile - TC shall determine the most energy efficient operating speed profile in accordance with the following parameters: a) infrastructure data, b) rolling stock parameters, c) train protection curve, d) passenger comfort parameters, e) the operational non-safety critical parameters related to stopping points (e.g. headway, timetable), f) stopping points in stations or sidings, g) authorizations to enter in station, h) departure conditions.	TMS시뮬레이터 →지상 및차상ATP/ATO		
FRS 2.1-2	TMS	·Determination of new speed profile for stop - TC shall determine an energy efficient operating speed profile to enable the train to	TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO→ 차상ATP/ATO		

FRS ID	인터페이스 대상	ATP/ATO 인터페이스 요구사항	LAB시험용 시뮬레이터 &인터페이스	연관된 SRS	SS-076 테스트 Feature
		stop at the next stopping point (e.g. station stopping point, end of journey profile or other stopping point) as required by the journey profile of the train.			
FRS 2.1-3	TMS	·Determination of new speed profile for stop commanded from TMS	TMS시뮬레이터→지상ATP/ATO→차상ATP/ATO		
FRS 2.3.1-1	TMS	·Allow train stop - The TC shall automatically stop the train in the station if the stop is part of the journey profile and no other command to skip the platform is received by the TC on-board sub-system.	TMS시뮬레이터→지상ATP/ATO→차상ATP/ATO		
FRS 2.3.1-2	TMS	·Modifying of station status - If TC on-board receives a command to modify the status of a platform from "platform skip" to "platform stop" then it shall command the train to stop if the stop can be achieved through normal service brake.	TMS시뮬레이터→지상ATP/ATO →차상ATP/ATO		
FRS 2.3.1-3	TMS	·Stopping according to the operating profile - TC shall automatically stop the train according to the stopping point and accuracy determined in the platform data.	TMS시뮬레이터→지상ATP/ATO →차상ATP/ATO		
FRS 2.3.1-4	EIS/TMS	·Platform berthing control where the platform is longer than the train	EIS/TMS시뮬레이터→ 지상ATP/ATO →차상ATP/ATO		
FRS 2.3.1-5	EIS/TMS	·Platform berthing control with multiple trains	EIS/TMS 시뮬레이터→지상ATP/ATO →차상ATP/ATO		
FRS 2.3.1-7	N/A	·Stopping outside the stopping tolerance	N/A		

FRS ID	인터페이스 대상	ATP/ATO 인터페이스 요구사항	LAB시험용 시뮬레이터 &인터페이스	연관된 SRS	SS-076 테스트 Feature
		- An TC train that overruns the stopping location by more than the rollback tolerance shall remain stationary with the doors closed until commanded otherwise by the driver or the trackside.			
FRS 2.3.1-8	N/A	·Indication about stopping outside the stopping tolerance - An TC train that overruns the stopping point shall provide an indication on the drivers DMI or the train attendant's HMI or the trackside that the train has overshot the accurate stop position.	N/A		
중략					

상기 표의 연관된 SRS 부분은 ATP System Requirements(예시: §3.16.3), ATO Operational Requirements, Not Applicable의 세가지로 구분된다. ATP System Requirements은 Subset-076 테스트 Feature와 매칭되어 공개된 LAB 시험절차를 수행할 수 있다. 반면 ATO Operational Requirements는 운영적인 부분으로서 언급되고 있어서 LAB시험으로는 제한적이다. 하지만 일부 ATO 요구사항은 별도의 ATO 시퀀스를 적용하여 LAB 시험이 가능하다. 인터페이스 명세서에 언급된 ATP System Requirements, ATO Operational Requirements, Not Applicable의 요구사항 수는 다음과 같다.

표 127 인터페이스명세서에 제시된 요구사항 구분 및 갯수



순번	요구사항 구분	요구사항 수
1	ATP System Requirements (ATP System Req)	37
2	ATO Operational Requirements (ATO Op Req)	39
3	Not Applicable (N/A)	51

(2) LAB 시험항목 시나리오 설계

(가) ATP LAB 시험시나리오 선정

ATP LAB 시험시나리오는 각각의 인터페이스 요구사항이 연관된 SRS와 매칭되는 Subset-076 테스트

Feature가 포함된 개수를 식별하는 것을 시작으로 Subset-076 테스트 Feature가 많이 포함된 SS-076 테스트시퀀스 등을 식별하여 선정하였다.

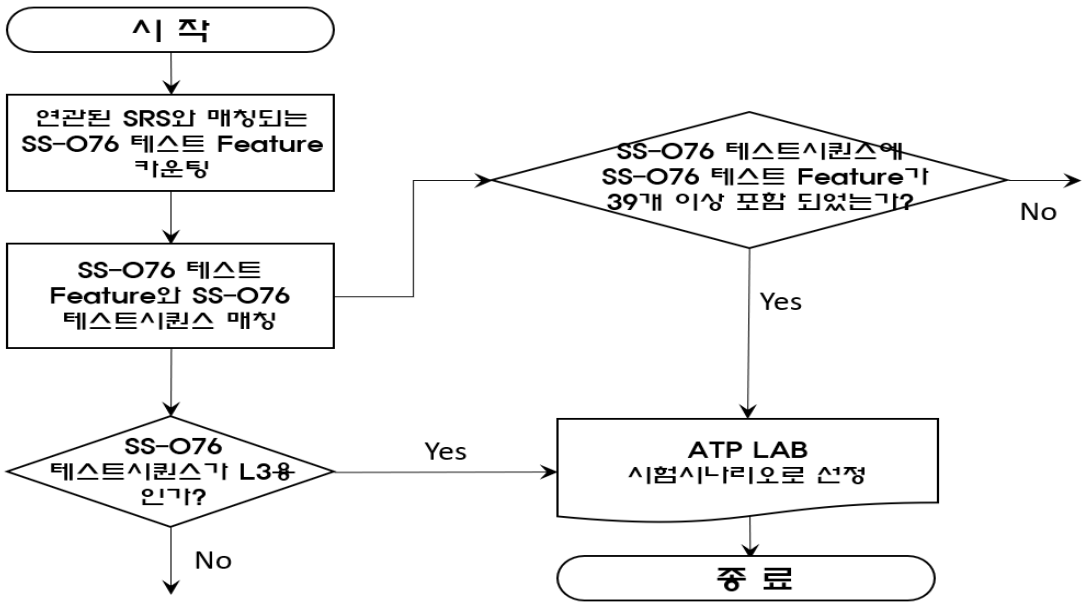


그림 78 ATP LAB 시험시나리오 선정 절차

표 128 ATP/ATO 개발요구사항에 포함된 SS-076 테스트 Feature 갯수

순번	ATP/ATO 인터페이스 요구사항에 포함된 SS-076 테스트 Feature	ATP/ATO 인터페이스 요구사항에 포함된 SS-076 테스트 Feature 갯수
1	9990500	8
2	3050300	6
3	3120300	6
4	4080414	6
5	4080427	6
6	3180500	5
7	4070201	5
8	5040300	5
9	3110500	4
10	3130235	4
11	3180300	4
12	3180400	4
13	4080402	4
14	4100103	4
15	9990200	4
16	9990400	4
17	3050400	3
18	3110800	3
19	3140100	3
20	3180200	3
21	3180600	3

순번	ATP/ATO 인터페이스 요구사항에 포함된 SS-076 테스트 Feature	ATP/ATO 인터페이스 요구사항에 포함된 SS-076 테스트 Feature 갯수
22	4041800	3
23	4060300	3
24	4070200	3
25	4080300	3
26	4080401	3
27	4080426	3
28	4080446	3
29	5080200	3
30	5080400	3
31	5100315	3
32	5150400	3
33	6060304	3
34	3040400	2
35	3110200	2
36	3130700	2
37	3150400	2
38	3180200	2
39	5040500	2
40	3050700	1
41	3060400	1
42	3090300	1
43	3111200	1

Subset-076-6-3은 테스트 Feature (또는 테스트케이스)의 조합으로 이루어진 테스트시퀀스를 제시한다. SS-076 테스트시퀀스와 매칭되는 ATP/ATO 인터페이스 요구사항에 포함된 SS-076 테스트 Feature 포함 수는 다음과 같다.

표 129 SS-076 테스트시퀀스에 포함된 테스트 Feature 갯수

순번	SS-076 테스트시퀀스	SS-076 테스트 Feature 포함수
1	Subset-076-6-3_4100103_03	45
2	Subset-076-6-3_3120400_01	41
3	Subset-076-6-3_4080410_01	40
4	Subset-076-6-3_3120300_01	39
5	Subset-076-6-3_4100103_14	38
6	Subset-076-6-3_4080410_02	37
7	Subset-076-6-3_4100103_02	37
8	Subset-076-6-3_4100103_16	36
9	Subset-076-6-3_4100103_17	36
10	Subset-076-6-3_4100103_21	36
11	Subset-076-6-3_3150800_03_CMD_LOOP	35
12	Subset-076-6-3_4080421_02	34
13	Subset-076-6-3_4080434_01	33

순번	SS-076 테스트시퀀스	SS-076 테스트 Feature 포함수
14	Subset-076-6-3_4100103_09	33
15	Subset-076-6-3_5040500_02	33
16	Subset-076-6-3_5080200_01	32
17	Subset-076-6-3_3110500_02	31
18	Subset-076-6-3_4080421_03	31
19	Subset-076-6-3_4100103_07	31
20	Subset-076-6-3_4080421_01	30
21	Subset-076-6-3_4100103_05	30
22	Subset-076-6-3_4080300_10	29
23	Subset-076-6-3_4080402_01	29
24	Subset-076-6-3_4100103_04	29
25	Subset-076-6-3_4100103_06	28
26	Subset-076-6-3_5120200_01	28
27	Subset-076-6-3_4080445_01	27
28	Subset-076-6-3_4042000_03	26
29	Subset-076-6-3_4060300_10	26
30	Subset-076-6-3_5080400_03	26
31	Subset-076-6-3_4080300_02	25
32	Subset-076-6-3_4080415_01	25
33	Subset-076-6-3_4080424_01	25
34	Subset-076-6-3_4080437_01	25
35	Subset-076-6-3_5040300_02	25
36	Subset-076-6-3_9990200_01	25
37	Subset-076-6-3_9990200_02	25
38	Subset-076-6-3_4080300_03	24
		24
	Subset-076-6-3_4080414_01	24
39	Subset-076-6-3_4080431_01	24
40	Subset-076-6-3_4080451_01	24
41	Subset-076-6-3_4080454_01	24
42	Subset-076-6-3_4100103_15	24
43	Subset-076-6-3_5060200_03	24
44	Subset-076-6-3_5190200_01	23
45	Subset-076-6-3_3180300_02	23
46	Subset-076-6-3_4080300_05	23
47	Subset-076-6-3_4080300_06_LOOP	23
48	Subset-076-6-3_4080440_01	23
49	Subset-076-6-3_4100103_10_LOOP	23
50	Subset-076-6-3_4100103_20	23
51	Subset-076-6-3_5050400_01	23
52	Subset-076-6-3_5060200_02	22
53	Subset-076-6-3_3050700_02	22
54	Subset-076-6-3_3170200_02	22
55	Subset-076-6-3_4080300_04	22

순번	SS-076 테스트시퀀스	SS-076 테스트 Feature 포함수
56	Subset-076-6-3_4080426_01	22
57	Subset-076-6-3_4080427_01	22
58	Subset-076-6-3_4080441_01	22
59	Subset-076-6-3_4100103_18	22
60	Subset-076-6-3_4100103_19	22
61	Subset-076-6-3_5040500_03	21
62	Subset-076-6-3_3040200_03	21
63	Subset-076-6-3_3040200_04	21
64	Subset-076-6-3_3050700_01_RIU	21
65	Subset-076-6-3_3120300_02	21
66	Subset-076-6-3_3180400_04	21
67	Subset-076-6-3_4080433_01	21
68	Subset-076-6-3_4100103_08	21
69	Subset-076-6-3_5080200_02	21
70	Subset-076-6-3_5080400_01	21
71	Subset-076-6-3_5080400_04	20
72	Subset-076-6-3_3180200_01	20
73	Subset-076-6-3_4080300_07	20
74	Subset-076-6-3_4080500_01	20
75	Subset-076-6-3_5050300_01_RIU	20
76	Subset-076-6-3_5080400_02	19
77	Subset-076-6-3_3060400_01	19
78	Subset-076-6-3_3150800_02_CMD	19
79	Subset-076-6-3_3180400_01	19
80	Subset-076-6-3_4080300_09	
81		
중략		

ATP LAB 시험시나리오 선정 절차에 따라 745개의 SS-076 테스트시퀀스에서 테스트 Feature 포함수가 39개 이상인 SS-076 테스트시퀀스 4개를 다음과 같이 선정하였다.

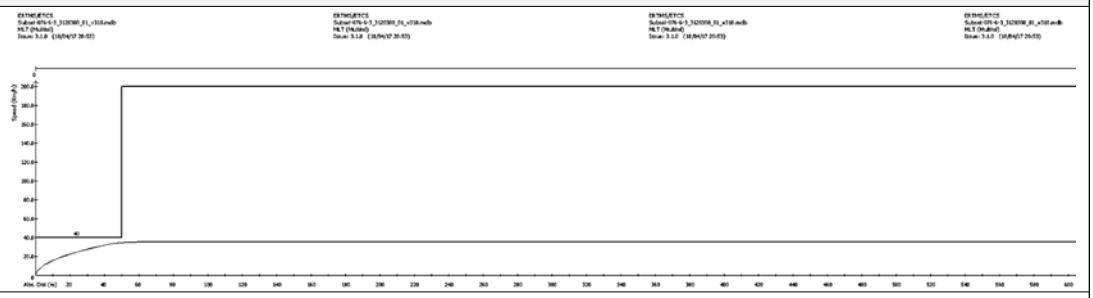
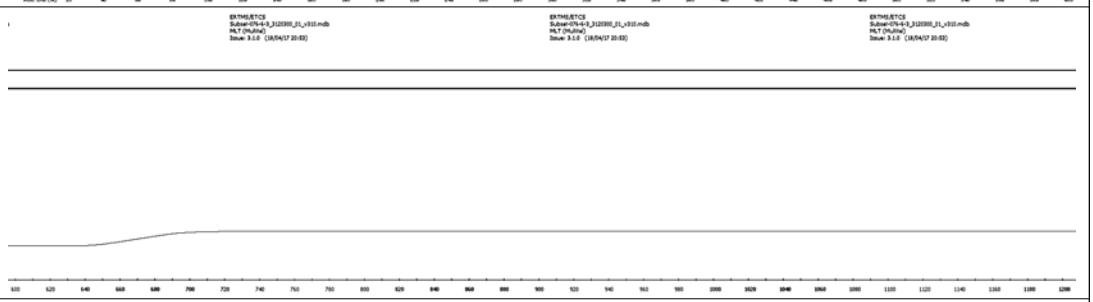
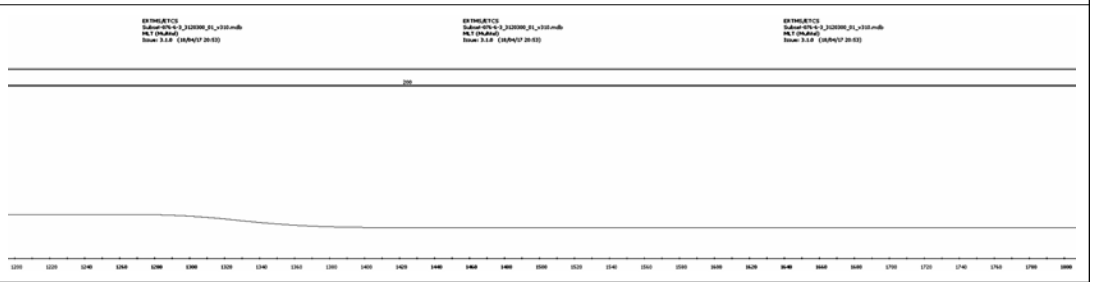
표 130 ATP LAB 시험시나리오 선정 (SS-076 테스트 Feature 다수포함 기준)

순번	SS-076 테스트시퀀스 선정	ATP/ATO 개발명세서에 포함된 SS-076 테스트 Feature 포함수
①	Subset-076-6-3_4100103_03	45
②	Subset-076-6-3_3120400_01	41
③	Subset-076-6-3_4080410_01	40
④	Subset-076-6-3_3120300_01	39

각각의 선정된 SS-076 테스트시퀀스 중 ①, ②, ③번의 테스트시퀀스는 개발명세서 검증보고서에서 선정된 8개의 테스트시퀀스에 포함되고 ④번의 테스트시퀀스 Subset-076-6-3_3120300_01는 인터페이스명세서 검증보고서에서 새롭게 선정되었다. 테스트시퀀스 Subset-076-6-3_3120300_01의 기능시험 노선도 및 구간

별 기능동작은 다음과 같다.

표 131 Subset-076-6-3_3120300_01 기능시험 노선도

지점	기능시험 노선도
0m ~ 600m	
600m ~ 1,200m	
1,200m ~ 1,800m	
1,800m ~ 2,400m	
2,400m ~ 3,000m	

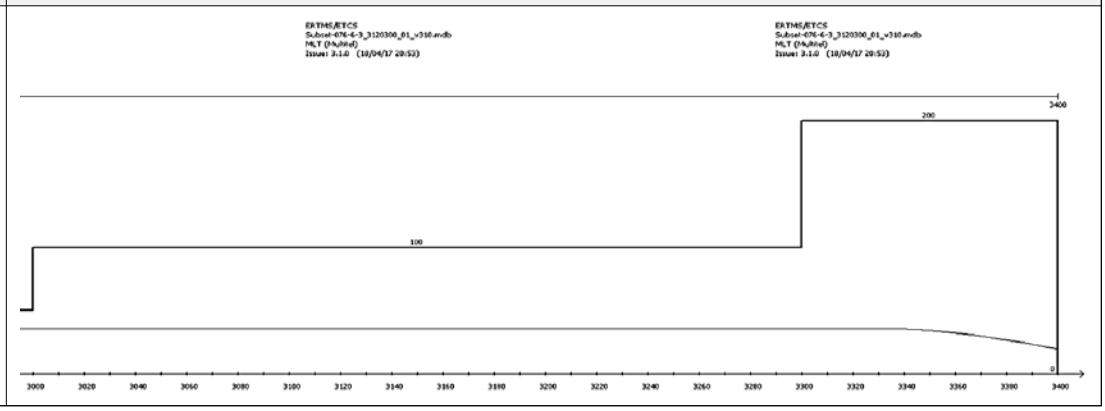
지점	기능시험 노선도
3,000m ~ 3,400m	

표 132 Subset-076-6-3_3120300_01 구간 별 기능동작

지점	레벨	Feature	기능 동작
0m	N/A	4060300	The ETCS on-board equipment is powered .
0m	N/A	5040300	Start of Mission procedure is engaged
0m	N/A	5040300	The on-board equipment requests the driver to enter a driver ID within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when the status of the driver ID is unknown.
0m	N/A	5040300	Within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode, the status of the ERTMS/ETCS Level data is INVALID. The driver selects a level (the existing ERTMS/ETCS Level or a new one).
0m	L1	5040300	Within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode, the On-Board equipment offers the driver to select either SH or NL or ‘Train Data Entry’ before the on-board equipment requests the driver to enter a complete set of Train Data. The driver selects ‘Train Data Entry’ .
0m	L1	5040300	The on-board equipment requests the driver to enter a complete set of Train Data within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when the status of the Train Data is unknown
0m	L1	5040300	After the set of Train Data has been entered /re-validated by the driver (in S12), if the status of the Train running number is 'unknown', the ERTMS/ETCS on-board equipment requests the driver to enter the Train running number
0m	L1	5040300	The on-board equipment requests the driver to re-validate/enter a complete set of Train Data within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when level is 0/1/NTC. The driver is requested to enter/re-validate the Train running number if the status of the Train running number is 'unknown' or 'invalid'.
0m	L1	5040300	The driver selects 'Start' within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode and in ERTMS Level 1.
50m	L1	4060300	The train switches in FS mode, because a MA and Track Description are stored on-board and no specific mode is required by a Mode Profile and No Trip order is given by balise.
50m	L1	4080427	A plain text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU.
100m~ 200m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about plain text messages. The plain text message is displayed according to the start / end conditions. The start condition is limited to a location condition. The end condition is limited to a time condition.
250m	L1	4080414	A fixed text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU. The message is ACCEPTED.

지점	레벨	Feature	기능 동작
250m~ 400m	L1	3120300	Texts displayed on DMI, fixed text messages and the data entry dialogs are displayed in language selected by the driver
450m	L1	4080427	A plain text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU.
500m~ 600m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about plain text messages. The plain text message is displayed according to the start / end conditions. Only one of the Start / End conditions shall be fulfilled to display the message
650m	L1	4080427	A plain text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU.
650m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about plain text messages. The plain text message is not displayed if the end condition is immediately fulfilled.
700m	L1	4080414	A fixed text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU. The message is ACCEPTED.
750m~ 900m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about fixed text messages. The text message requires EB application when end conditions are reached and the message has not been confirmed by the driver. The text message is displayed according to the display conditions. As the message is not acknowledged when the end conditions are reached, the EB is applied. As soon as the driver confirms the message, the EB is released and the message is removed.
1,000m	L1	4080414	A fixed text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU. The message is ACCEPTED.
1,050m~ 1,200m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about fixed text messages. The text message requires SB application when end conditions are reached and the message has not been confirmed by the driver. The text message is displayed according to the display conditions. As the message is not acknowledged when the end conditions are reached, the SB is applied. As soon as the driver confirms the message, the SB is released and the message is removed.
1,350m	L1	4080427	A plain text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU.
1,350m~ 1,650m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about a fixed or plain text message. The text message requires to be confirmed by the driver. The text message is displayed according to the display conditions. A newer message of the same class which requires no driver confirmation is received and displayed but it is hidden behind the previous one. Another message to be confirmed is received and displayed. The third message is hidden until the first one is confirmed.
1,700m	L1	4080427	A plain text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU.
1,700m~ 1,850m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about fixed or plain text messages. The text message regards auxiliary information and requires to be confirmed by the driver. The text message is displayed according to the display conditions. A newer message regarding important information which requires no driver confirmation is received and is not displayed although it regards important information
1,950m	L1	4080427	A plain text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU.

지점	레벨	Feature	기능 동작
2,000m~ 2,100m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about fixed or plain text messages. The text message requires SB application when end conditions are reached and the message has not been confirmed by the driver. The text message requires driver acknowledgement and one or more events to be removed. The text message is displayed according to the display conditions. As the message is acknowledged and the end conditions are reached, the message is removed.
2,150m~ 2,250m	L1	4080427	A plain text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU.
2,300m~ 2,450m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about fixed or plain text messages: • The first message to be displayed is an auxiliary information. • The second message be displayed is an important information. • The third message to be displayed is an auxiliary information. The first message is displayed. • When the second message has to be displayed, it hides the first one. • When the third message has to be displayed, it is hidden by the second one. • When the second message is removed according to its end condition for display, the third message reappears. The appearance of the auxiliary information message is not the same than the appearance of the important information message.
2,550m	L1	4080427	A plain text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU.
2,600m~ 2,650m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about fixed or plain text messages. The text message requires driver acknowledgement to be removed. The text message is displayed according to the display conditions. As the message is acknowledged, the message is removed.
2,750m	L1	4080427	A plain text message sent via balise group is received by the on-board equipment and recorded in the JRU.
2,800m~ 2,850m	L1	4060300	On Sight is requested for the current location and the driver acknowledges within the driver acknowledgement time (refer to Appendix A3.1) after the change to OS mode.
2,850m	L1	4070201	On Sight mode is permanently displayed to the driver when the on-board equipment is in On Sight mode
2,850m	L1	4060300	On Sight is requested for the current location and the driver acknowledges within the driver acknowledgement time (refer to Appendix A3.1) after the change to OS mode.
2,950m	L1	3120300	The on-board equipment has received information about plain text messages. The plain text message is displayed according to the start / end conditions. All of the Start / End conditions shall be fulfilled to display the message
3,000m	L1 L0	5100100	The train receives an order to switch immediately from L1 to L0 at the current position. on-board equipment immediately switches to L0.
3,000m	L0	4060300	ERTMS/ ETCS Level switches to level 0.
3,000m	L0	5100400	The train has passed over the Level Transition border and the On-board equipment has switched from L1 to Level 0, upon receipt of an order . The driver acknowledges within the driver acknowledgement time[5 seconds] after the Level transition.
3,150m	L0	3120300	The on-board equipment has received information about plain text messages. The plain text message is displayed according to the start / end conditions. All of the Start / End conditions shall be fulfilled to display the message

지점	레벨	Feature	기능 동작
3,200m	L0	5100100	The train receives from the balise group BGa the Level Transition announcement LX/LY. The driver is informed.
3,200m	L0	4080425	New Level 1 MA is ACCEPTED by the on board equipment because the SSP (Static Speed Profile) and GP (Gradient Profile) sent together with the MA on-board covers the whole length of the MA.
3,300m	L0 L1	5100100	The train receives an order to switch immediately from L0 to L1 at the current position. on-board equipment immediately switches to L1.
3,350m	L1 L2	5100100	The train receives an order to switch immediately from L1 to L2 at the current position. On-board equipment immediately switches to L2.
3,400m	L2	4060300	The driver closes the desk. The on-board equipment immediately switches to SB mode and the end of mission procedure is triggered (there is a radio link with RBC).
3,400m	L2	5040300	Start of Mission procedure is engaged
3,400m	L2	5040300	The on-board equipment allows the driver to validate an existing Driver ID within the scope of the Start of Mission procedure in SB mode when the status of the driver ID is invalid.
3,400m	L2	5040300	During the SoM procedure, if the stored train position and level are valid (for example, when closing the desk and making the transition SR-SB) and if level is 2 or 3, and if no mobile terminal is registered to a radio network (D7), the driver shall be informed (A29) and the process shall go to S10.
3,400m	L2	4060300	The ETCS on-board system is NOT powered.

개발명세서 검증보고서에 언급된 SS-076 테스트시퀀스가 Level 3 기능시험 항목을 포함한 테스트시퀀스 7개는 인터페이스명세서 검증 시에도 필수적으로 활용해야 한다. L3 기능을 포함하는 SS-076 테스트시퀀스 및 각각의 SS-076 테스트시퀀스 별 ATP/ATO 인터페이스명세서에 포함된 SS-076 테스트 Feature 포함수는 다음과 같다.

표 133 L3 기능 테스트시퀀스 별 인터페이스명세서 테스트 Feature 포함수

순번	L3 기능 포함 테스트시퀀스	ATP/ATO 인터페이스명세서에 포함된 SS-076 테스트 Feature 포함수
①	Subset-076-6-3_3060500_05_L3	12
②	Subset-076-6-3_4050200_05_L3	13
③	Subset-076-6-3_4080413_02_L3	17
④	Subset-076-6-3_4080419_03_L3	12
⑤	Subset-076-6-3_5100100_02_L3	16
⑥	Subset-076-6-3_5100300_03_L3	18
⑦	Subset-076-6-3_5100400_07_L3	13

(나) ATO LAB 시험시나리오 설계

ETCS L3급 ATP/ATO 인터페이스명세서의 선별된 LAB 시험항목 중 「ATO Op Req」으로 분류된 항목은 ETCS와 호환되는 ATO 시스템요구사항이 기반이 된다. 이러한 인터페이스명세서에 언급된 ATO 시스템요구사항의 검증은 개발명세서 검증보고서에 언급된 ATO over ETCS 테스트시퀀스를 동일하게 활용하여 검증한다.

(3) 인터페이스 명세서 검증

(가) 차상 ATP/ATO 인터페이스명세서 검증

ETCS L3 기반 차상 ATP/ATO 인터페이스를 검증하기 위해 2세부 공동연구기관인 현대로템에서 작성한 「ETCS-L3 차상ATP/ATO 인터페이스 명세서(REV. NO.: 0.1)」를 검토하였다. 차상 ATP/ATO 인터페이스명세서의 검증 결과는 다음과 같다.

표 134 인터페이스명세서 검증규격(안) 및 검증장소(안)

순번	인터페이스	검증규격(안)	검증장소(안)		검증의견
			LAB	현장	
1	차상ATP-STU	SUBSET-076 SUBSET-037	△	○	• LAB 시험규격 이외의 현장시험 규격 필요
2	차상ATP-DMI	SUBSET-076 SUBSET-033	△	○	• 의견 없음.
3	차상ATP-TIS	자체규격	X	○	• 의견 없음.
4	차상ATP-JRU	자체규격	X	○	• 의견 없음.
5	차상ATP-BTM	SUBSET-076 SUBSET-036 SUBSET-085	△	○	• SUBSET-085 시험은 별도로 시행 필요
6	차상ATP-차상ATO	SUBSET-130 SUBSET-143	X	○	• 의견 없음
7	차상ATP-Train	SUBSET-076 SUBSET-034	△	○	• SUBSET-076에 제시된 일부 인터페이스는 LAB 시험에서 검증
8	차상ATO-Train	SUBSET-139	X	○	• 의견 없음
9	차상ATP-지상ATO	SUBSET-126	△	○	• 별도의 ATO LAB 시나리오 마련 필요

○: 시험가능, △: 일부시험가능, X: 시험불가

표 135 인터페이스명세서 내용 검증(안)

순번	인터페이스	내용 검증(안)			검증의견
		사양	데이터 프레임	송·수신 데이터	
1	차상ATP-STU	○	△	○	• 일부 데이터프레임만 서술하였음.
2	차상ATP-DMI	○	N/A	△	• 송·수신 데이터에 ATO 정보 추가 필요
3	차상ATP-TIS	○	○	○	• 의견 없음
4	차상ATP-JRU	○	N/A	○	• 의견 없음
5	차상ATP-BTM	○	N/A	○	• 의견 없음
6	차상ATP-차상ATO	○	N/A	○	• 의견 없음
7	차상ATP-Train	○	N/A	○	• 의견 없음
8	차상ATO-Train	○	N/A	△	• 추가적인 송·수신데이터 검토 필요
9	차상ATP-지상ATO	○	○	○	• 의견 없음

순번	인터페이스	내용 검증(안)			검증의견
		사양	데이터 프레임	송·수신 데이터	

◯: 적합, △: 일부적합

(나) 지상 ATP/ATO 인터페이스명세서 검증

ETCS L3 기반 지상 ATP/ATO 인터페이스를 검증하기 위해 2세부 공동연구기관인 대아티아이에서 작성한 「RBC - SCM FFFIS(V1.0)」 및 「ATO TS - ATO OB(V1.1)」를 검토하였다. 인터페이스명세서 검증 결과는 다음과 같다.

표 136 인터페이스명세서 검증규격(안) 및 검증장소(안)

순번	인터페이스	검증규격(안)	검증장소(안)		검증의견
			LAB	현장	
1	RBC-SCM	SUBSET-076 SUBSET-037	△	◯	• LAB 시험규격 이외의 현장시험 규격 필요
2	ATO TS-ATO OB	SUBSET-126	△	◯	• 별도의 ATO LAB 시나리오 마련 필요

◯: 시험가능, △: 일부시험가능, X: 시험불가

표 137 인터페이스명세서 내용 검증(안)

순번	인터페이스	내용 검증(안)			검증의견
		사양	데이터 프레임	송·수신 데이터	
1	RBC-SCM	◯	◯	◯	• 의견 없음.
2	ATO TS-ATO OB	◯	◯	◯	• 의견 없음.

◯: 적합, △: 일부적합

(4) 지상-차상 무선 인터페이스 안전검증

ETCS L2기반 KTCS-2 및 ETCS L3 기반 KTCS-3의 지상-차상 무선인터페이스는 안전전송 기능이 수행된다. ETCS L3 시스템은 ETCS L2에 비해 완전 무선방식이 적용되므로 보다 강화된 안전-기능이 추가되고 검증되어야 한다. KTCS-2 안전전송유닛과 KTCS-3 안전전송유닛의 차별성은 다음과 같다.

구분	KTCS-2 안전전송유닛	KTCS-3 안전전송유닛
이미지		
내부구성	·입출력처리모듈 ·전원모듈 1, 2	·입출력처리모듈(변경/보완) ·전원모듈 1, 2 ·안전감시모듈 (추가)
기능/성능	○	○
안전성	X	진행중
ATO 확장성	없음.	가능
적용규격	·ETCS Subset 026 ·ETCS Subset 037 ·ETCS Subset 092	·ETCS Subset 026 ·ETCS Subset 037 ·ETCS Subset 092 ·ETCS Subset 088 (추가) ·ETCS Subset 091 (추가) ·EN50126/IEC62278 (추가) ·EN50128/IEC62279 (추가) ·EN50129/IEC62425 (추가) ·EN50159/IEC62280 (추가)

상기 표에서 추가된 안전기능을 수행하는 안전감시모듈과 인터페이스가 가능하도록 보완 설계된 하드웨어 구성은 다음과 같이 설계되었다.

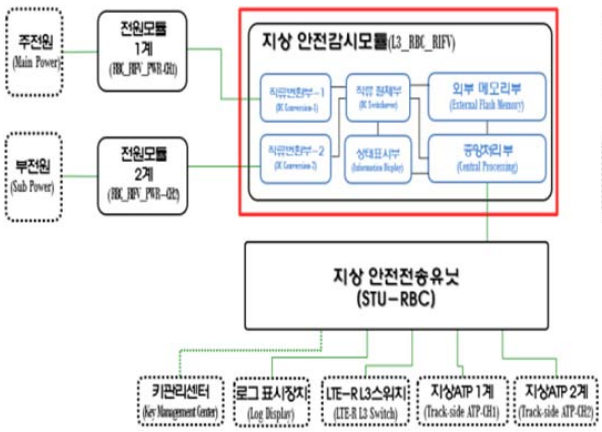


그림 79 지상 안전감시모듈 구성

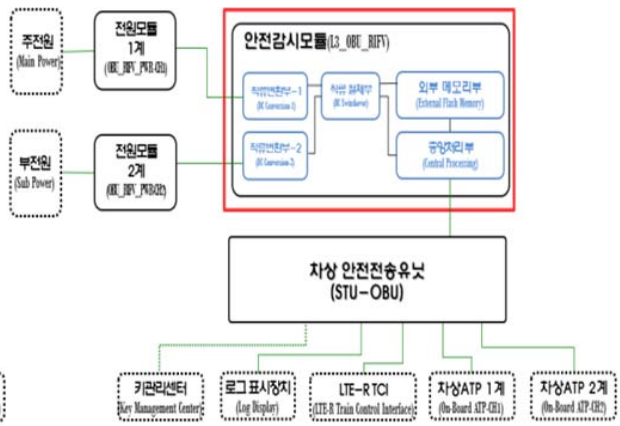
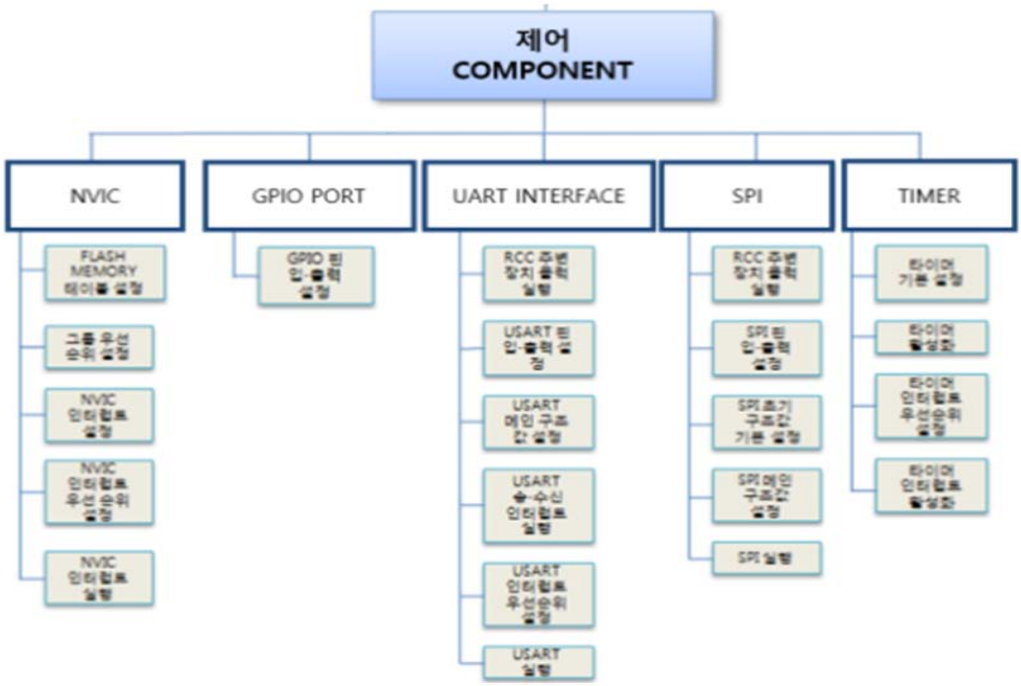
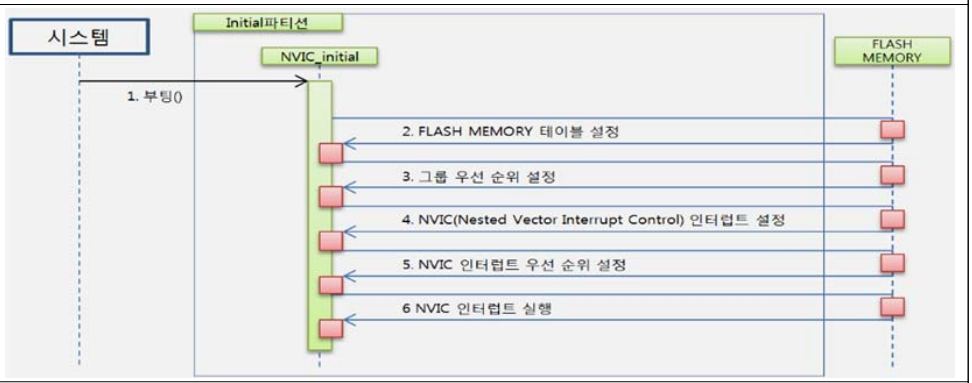


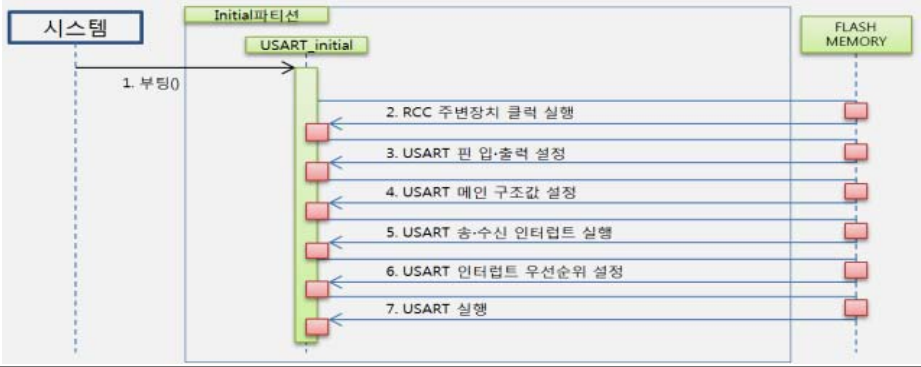
그림 80 차상 안전감시모듈 구성

안전감시모듈의 소프트웨어는 지상-차상 간 인터페이스요구사항에 따른 SW요구사항을 식별하여 다음과 같이 SW구조설계를 수행하였다 안전감시모듈의 소프트웨어는 제어Component, 표시Component, 처리Component로 구성되며 각 Component의 구성 및 실행 절차도는 다음과 같다.

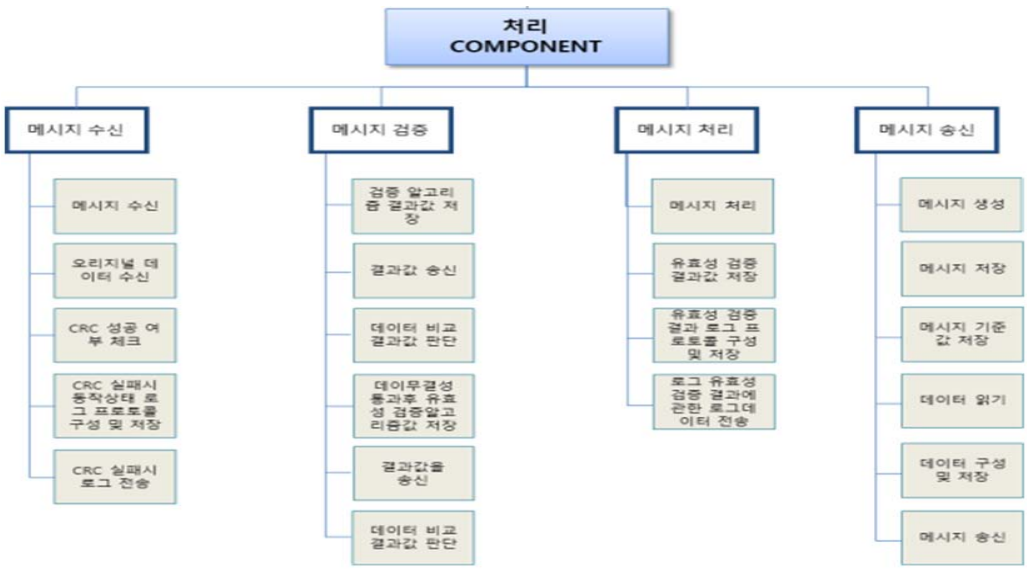
■ 제어Component 구성 및 실행 절차도

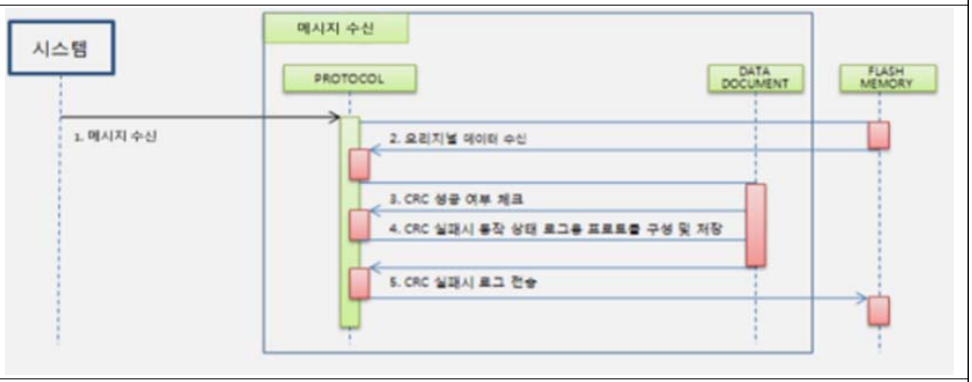
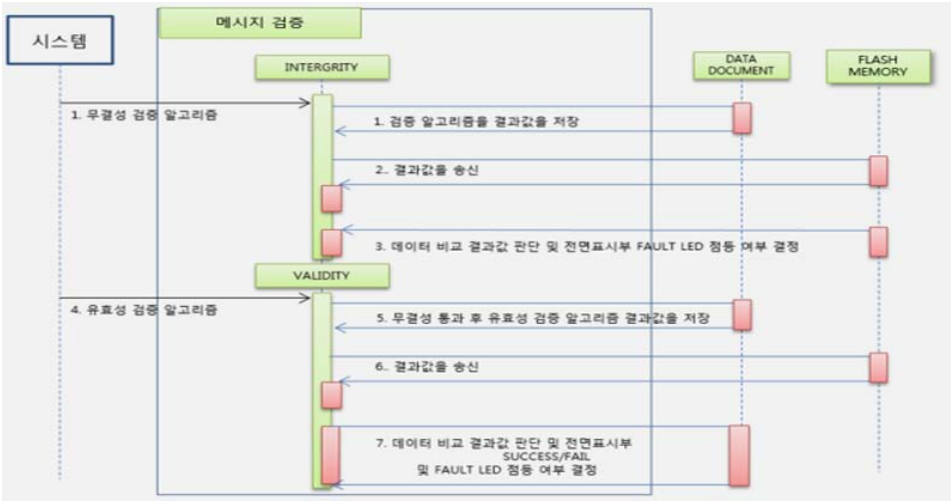
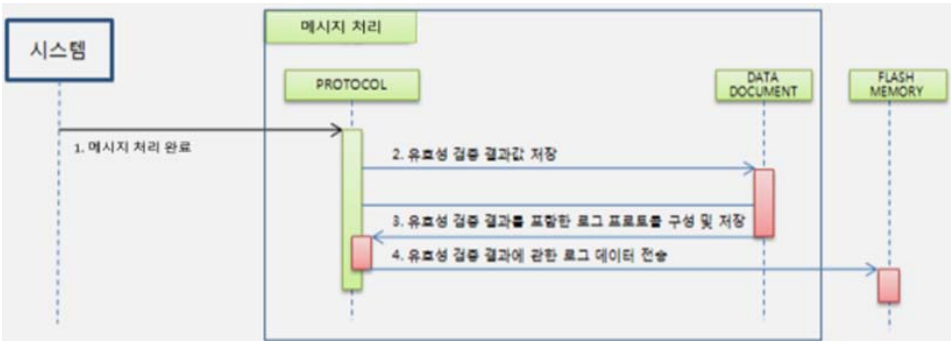


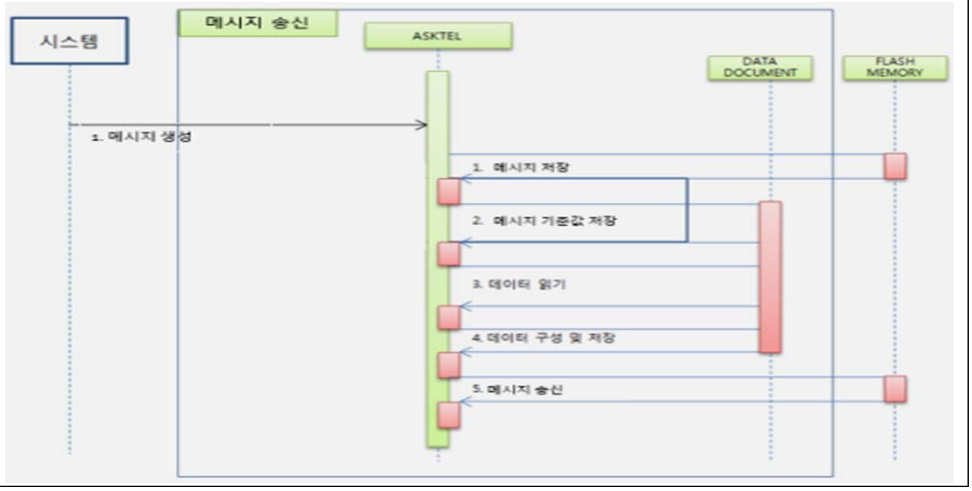
순번	구분	절차도
1	NVIC 제어	
2	GPIO PORT 제어	

순번	구분	절차도
3	USART 제어	
4	SPI 제어	
5	TIMER 제어	

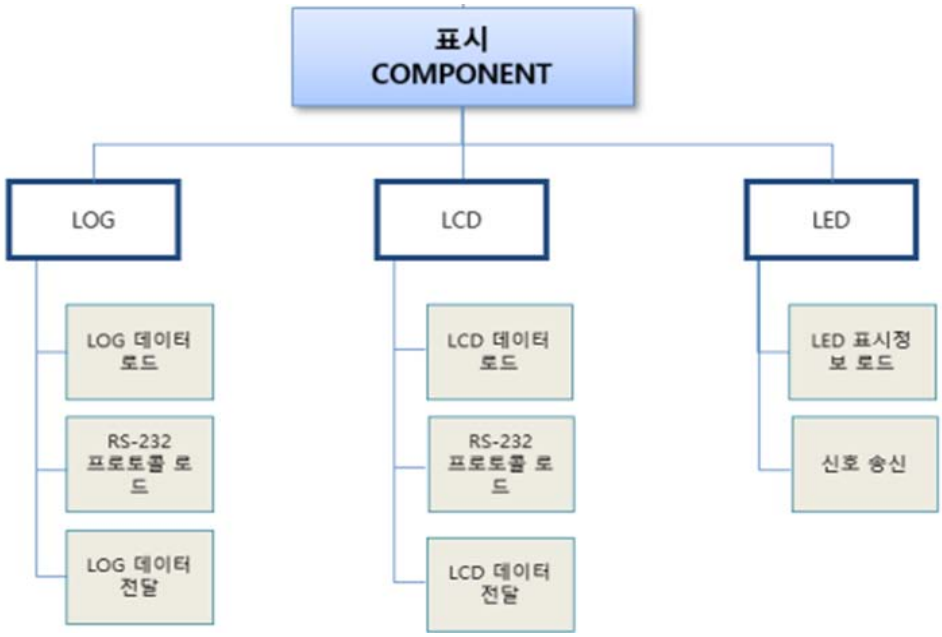
■ 처리Component 구성 및 실행 절차도



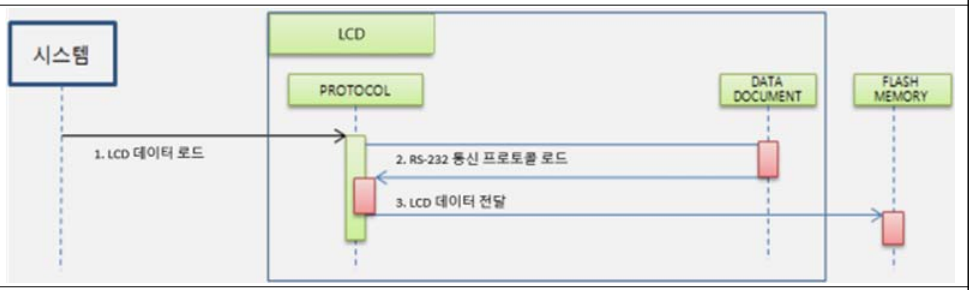
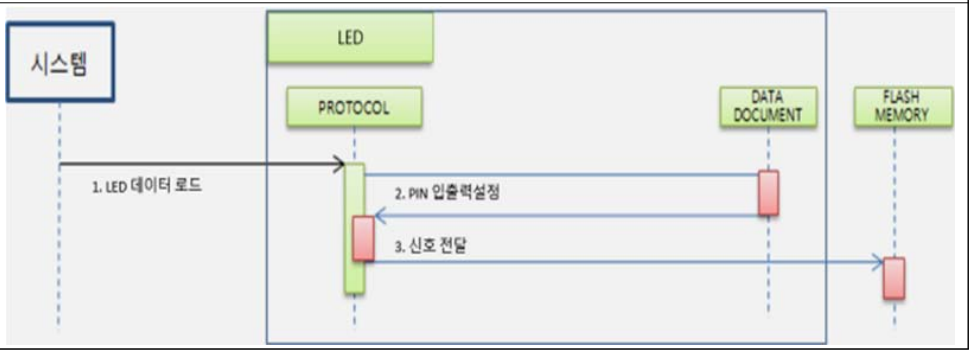
순번	구분	절차도
1	메시지 수신 처리	
2	메시지 검증 처리	
3	메시지 처리	

순번	구분	절차도
4	메시지 송신	

■ 표시Component 구성 및 실행 절차도



순번	구분	절차도
1	LOG 표시	

순번	구분	절차도
2	LCD 표시	
3	LED 표시	

제작된 지상 및 차상 안전감시모듈의 시험하기 위한 인터페이스 구성 및 자체시험기준, 각종 시험 방법은 다음과 같이 설계되었다. 일부 항목을 본 보고서에 기술하였다.

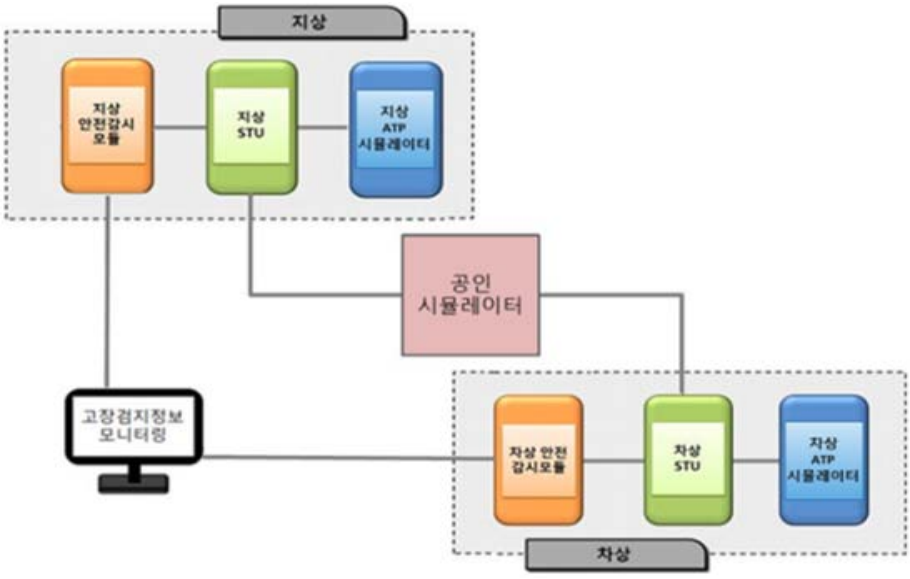


그림 81 안전감시모듈 인터페이스 시험환경 구성

표 138 안전감시모듈 자체시험 기준

순서	시험구분	상세 시험 내역
1	정상 부팅시험	1) 인터페이스 검사 2) 부팅시험
2	정상 메시지 송수신 시험	3) 안전-접속(Sa-CONNECTION) 구축 시험(차상측) 4) 안전-접속(Sa-CONNECTION) 구축 시험(지상측)

순서	시험구분	상세 시험 내역
		5) 안전-데이터 송수신 시험(지상측) 6) 안전-데이터 송수신 시험(차상측) 7) 안전-접속종료 시험(지상측) 8) 안전-접속종료 시험(차상측)
3	메시지 고장발생 시험	9) 메시지 고장(Message Corruption) 발생 시험(지상측) 10) 메시지 고장(Message Corruption) 발생 시험((차상측) 11) 안전-접속(Sa-CONNECTION) 구축 메시지 오류 시험 12) 안전-접속 구축 절차오류 시험(차상측)

■ 안전-접속(Sa-CONNECTION) 구축 시험(차상측)

구분	내용
대상장치	• OBU/SFM, 차상안전감시모듈
시험 조건	• 차상STU에 전원을 인가하여 부팅이 완료된 상태 • 차상STU의 시스템 상태가 IDLE 상태
시험 절차	1. 차상ATP 시뮬레이터(S/W)에서 안전-접속 요청(Sa-CONNECT.request) 정보(호출된 주소, 호출하는 주소, 어플리케이션 타입 데이터를 포함)를 차상STU로 전송한다. 2. 차상STU는 차상ATP장치로부터 안전-접속 요청(Sa-CONNECT.request)정보를 수신하고, 1차 안전-프로토콜 인증(AU1 SaPDU) 정보를 생성한다. 3. 지상장치 시뮬레이터는 차상STU로부터 1차 안전-프로토콜 인증(AU1 SaPDU) 정보를 수신하고 2차 안전-프로토콜 인증(AU2 SaPDU) 정보를 생성 후 차상STU로 전송한다. 4. 차상STU는 지상STU로부터 2차 안전-프로토콜 인증(AU2 SaPDU) 정보를 수신하고 3차 안전-프로토콜 인증(AU3 SaPDU) 정보를 생성한다. 5. 지상장치 시뮬레이터는 차상STU로부터 3차 안전-프로토콜 인증(AU3 SaPDU) 정보를 수신하고 안전-프로토콜 인증 응답 정보(AR SaPDU) 정보를 생성한다. 6. 차상STU는 지상장치 시뮬레이터로부터 안전-프로토콜 인증 (AR SaPDU)정보를 수신하여 안전-접속 확인(Sa-CONNECT.confirm) 정보를 생성 후 차상ATP장치로 전송한다. 7. 제어감시 메시지 로그 취득점 1, 2에서 취득한 로그를 각각 확인하여 안전-접속이 정상적으로 이루어졌는지 확인한다.
판정 기준	• SaPDU 및 STU와 ATP시뮬레이터 간 메시지가 시험 절차에 따라 정상적으로 메시지 교환이 진행될 경우

■ 안전-접속(Sa-CONNECTION) 구축 시험(지상측)

구분	내용
대상장치	• RBC/SFM, 지상안전감시모듈
시험 조건	• 지상STU에 전원을 인가하여 부팅이 완료된 상태 • 지상ATP 시뮬레이터 S/W 정상 구동상태 • 차상장치 시뮬레이터 S/W 정상 구동상태 • 사전 정의된 IP와 암호화키(KMAC)가 각 장치에 입력되어 있는 상태 • 지상STU의 시스템 상태가 IDLE 상태

구분	내용
시험 절차	1. 차상장치 시뮬레이터는 1차 안전-프로토콜 인증(AU1 SaPDU) 정보를 생성한다. 2. 지상STU는 차상장치 시뮬레이터로부터 1차 안전-프로토콜 인증(AU1 SaPDU) 정보를 수신하고 2차 안전-프로토콜 인증(AU2 SaPDU) 정보를 생성 후 차상장치 시뮬레이터로 전송한다. 3. 차상장치 시뮬레이터는 지상STU로부터 2차 안전-프로토콜 인증(AU2 SaPDU) 정보를 수신하고 3차 안전-프로토콜 인증(AU3 SaPDU) 정보를 생성한다. 4. 지상STU는 차상장치 시뮬레이터로부터 3차 안전-프로토콜 인증(AU3 SaPDU) 정보를 수신하고 안전-접속 지시(Sa-CONNECT.indication) 정보를 생성하여 지상ATP시뮬레이터로 전송한다. 5. 지상ATP 시뮬레이터는 안전-접속 확인(Sa-CONNECT.confirm) 정보를 생성하여 지상STU로 전송한다. 6. 지상STU는 안전-접속 확인(Sa-CONNECT.confirm) 정보를 수신하고, 안전-프로토콜 인증 응답 정보(AR SaPDU)를 생성하여 차상장치 시뮬레이터로 전송한다. 7. 차상장치시뮬레이터는 지상STU로부터 안전-프로토콜 인증 (AR SaPDU)정보를 수신하여 안전-접속 세션을 수립한다. 1. 제어감시 메시지 로그 취득점 1, 2에서 취득한 로그를 각각 확인하여 안전-접속이 정상적으로 이루어졌는지 확인한다.
판정 기준	• SaPDU 및 STU와 ATP시뮬레이터 간 메시지가 시험 절차에 따라 정상적으로 메시지 교환이 진행될 경우

■ 안전-데이터 송수신 시험(지상측)

구분	내용
대상장치	RBC/SFM, 지상안전감시모듈
시험 조건	• 지상STU에 전원을 인가하여 부팅이 완료된 상태 • 지상ATP 시뮬레이터 S/W 정상 구동상태 • 차상장치 시뮬레이터 S/W 정상 구동상태 • 사전 정의된 IP와 암호화키(KMAC)가 각 장치에 입력되어 있는 상태 • 지상STU의 시스템의 상태가 DATA 상태
시험 절차	• 차상에서 지상으로 전달되는 데이터 1. 지상ATP시뮬레이터에서 지상STU로 안전-데이터 요청 정보(Sa-DATA.request)와 안전-최우선-데이터 요청 정보(Sa-HP-DATA.request)를 연속적으로(지상ATP시뮬레이터에서 일정한 비율로 반복됨) 요청한다. 2. 지상STU는 차상장치 시뮬레이터로부터 일정비율로 전송되는 안전-프로토콜 데이터(DT SaPDU)를 수신한다. 3. 지상STU가 차상장치 시뮬레이터로부터 수신한 데이터는 안전-데이터 지시 정보(Sa-DATA.indication)에 의해 지상ATP 시뮬레이터에 표시되어야 한다. • 지상에서 차상으로 전달되는 데이터 4. 지상STU는 지상ATP시뮬레이터로부터 안전-데이터

	요청(Sa-DATA.request) 정보와 안전-최우선데이터 요청(Sa-HP-DATA.request) 정보를 수신한다. 5. 지상STU가 지상ATP시뮬레이터로부터 수신한 데이터는 안전-프로토콜 데이터(DT SaPDU)와 안전-프로토콜 최우선데이터(HP SaPDU)로 차상장치 시뮬레이터에 표시되어야 한다. 6. 각 제어감시 메시지 로그 취득점에서 취득한 로그를 각각 확인하여 정상적으로 데이터 송수신이 이루어졌는지 확인한다.
판정 기준	SaPDU 및 STU와 ATP시뮬레이터 간 메시지가 시험 절차에 따라 정상적으로 메시지 교환이 진행될 경우

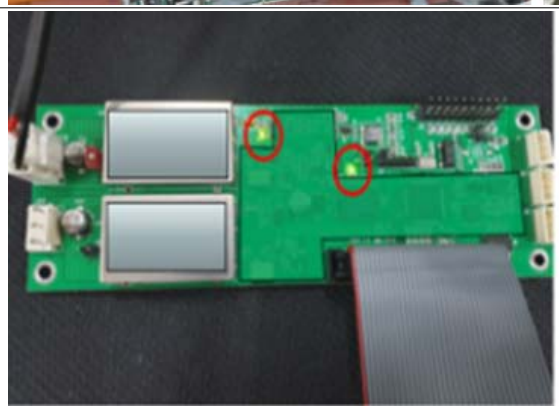
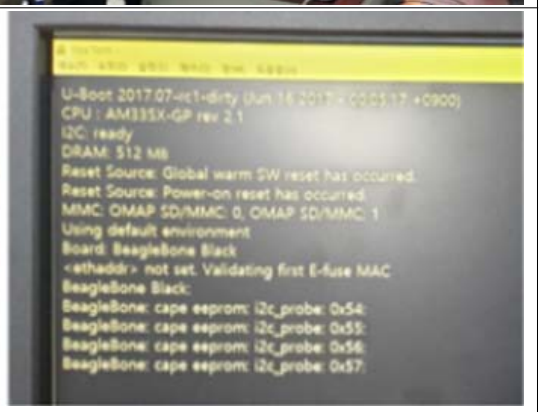
■ 안전-데이터 송수신 시험(차상측)

구분	내용
대상장치	OBU/SFM, 차상안전감시모듈
시험 조건	• 차상STU에 전원을 인가하여 부팅이 완료된 상태 • 차상ATP 시뮬레이터 S/W 정상 구동상태 • 지상장치 시뮬레이터 S/W 정상 구동상태 • 사전 정의된 IP와 암호화키(KMAC)가 각 장치에 입력되어 있는 상태 • 차상STU의 시스템의 상태가 DATA 상태
시험 절차	• 차상에서 지상으로 전달되는 데이터 1. 차상ATP시뮬레이터는 차상STU에게 안전-데이터 요청 정보(Sa-DATA.request)를 연속적으로(차상ATP시뮬레이터에서 일정한 비율로 반복됨) 요청한다. 2. 차상STU는 차상ATP시뮬레이터로부터 일정비율로 전송되는 안전-데이터 요청 (Sa-DATA.request)를 수신한다. 3. 차상STU가 차상ATP 시뮬레이터로부터 수신한 데이터는 안전-프로토콜 데이터(DT SaPDU)에 의해 지상장치 시뮬레이터에 표시되어야 한다. • 지상에서 차상으로 전달되는 데이터 4. 또한 지상장치 시뮬레이터는 안전-프로토콜 데이터(DT SaPDU)와 안전-프로토콜 최우선데이터(HP SaPDU)를 차상STU로 전송한다. 5. 차상STU는 지상장치 시뮬레이터로부터 안전-프로토콜 데이터(DT SaPDU)와 안전-프로토콜 최우선데이터(HP SaPDU)를 수신한다. 6. 차상STU가 지상장치 시뮬레이터로부터 수신한 데이터는 안전-데이터 지시(Sa-DATA.indication) 정보와 안전-최우선데이터(Sa-HP-DATA.indication) 정보로 차상ATP시뮬레이터에 표시되어야 한다. 7. 각 제어감시 메시지 로그 취득점에서 취득한 로그를 각각 확인하여 정상적으로 데이터 송수신이 이루어졌는지 확인한다
판정 기준	SaPDU 및 STU와 ATP시뮬레이터 간 메시지가 시험 절차에 따라 정상적으로 메시지 교환이 진행될 경우

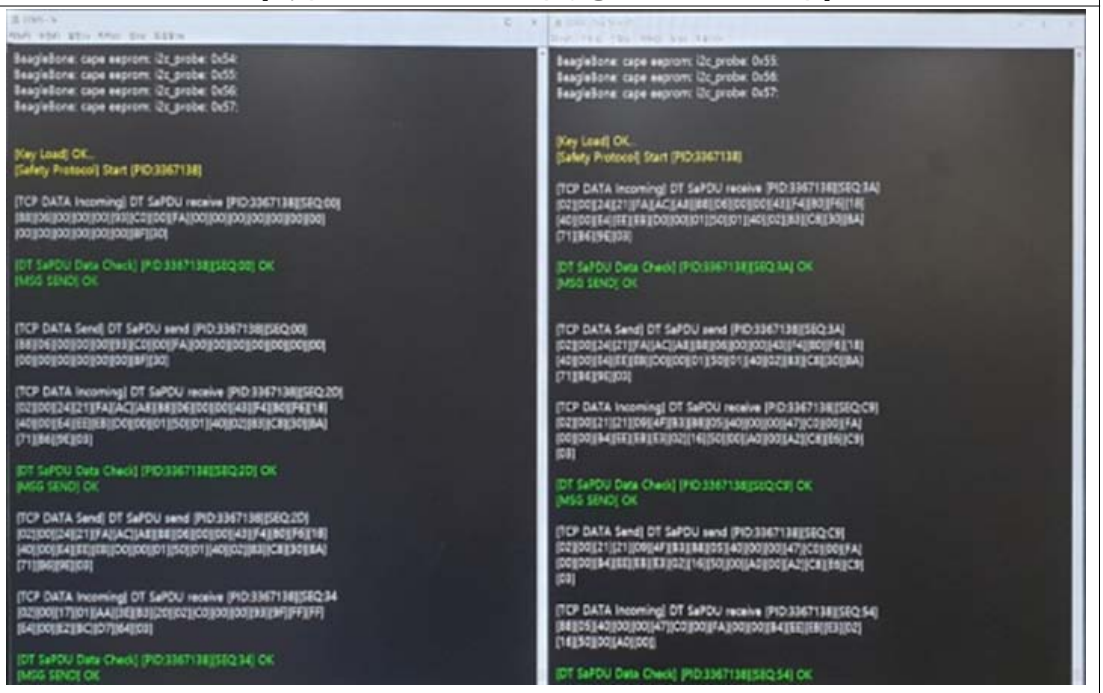
제작된 지상 및 차상 안전감시모듈의 시험방법을 참조하여 다음과 같이 인터페이스 기본 시험을 수행하

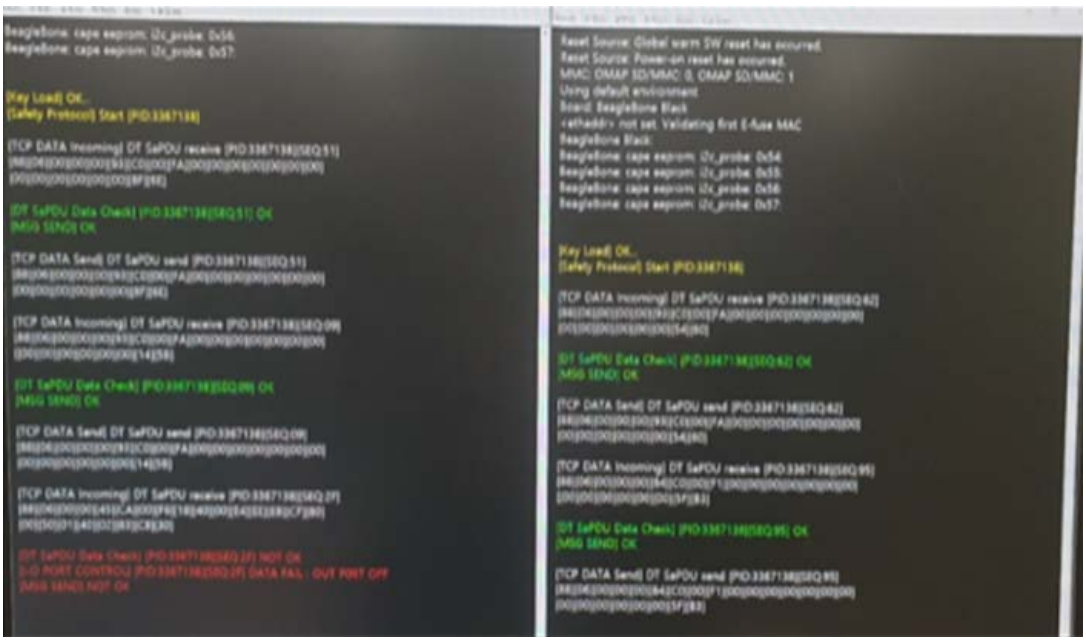
여 정상적인 결과를 도출하였다.

표 139 안전감시모듈 인터페이스 시험 수행 내용

<table>
<tr><th>구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>시험 환경구성</td><td>  </td></tr>
<tr><td>시험장면</td><td>   </td></tr>
<tr><td>정상부팅시험</td><td>  

[지상 안전감시모듈 정상부팅시험 결과 : 정상]</td></tr>
</table>

구분	내용
	 [차상 안전감시모듈 정상부팅시험 결과 : 정상]
정상메시지 송수신 시험	 [시험결과 : 정상]

구분	내용
메시지 고장발생 시험	 [인터페이스 연계 동작]  [시험결과 : 정상]

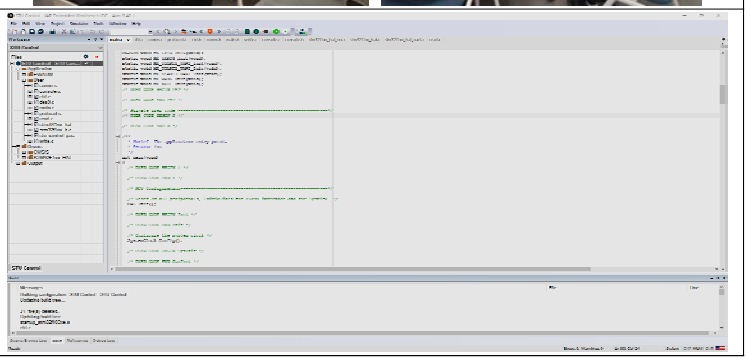
제작된 지상 및 차상 안전감시모듈의 KRS 온도적합성 기준을 만족하기 위해 다음과 같이 자체적으로 시험을 수행하여 정상적인 결과를 도출하였다. 요구사항에 따라 설계된 안전감시모듈 소프트웨어는 IEC62279에서 제시하는 바에 따라 정적시험(Static Analysis) 및 동적분석(Dynamic Analysis)를 수행하였다. 시험을 위해 수행한 사전 검토 내용은 다음과 같다.

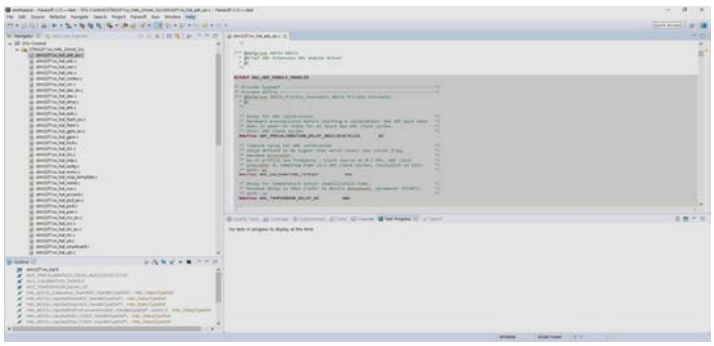
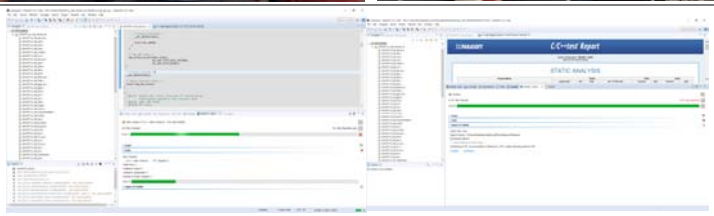
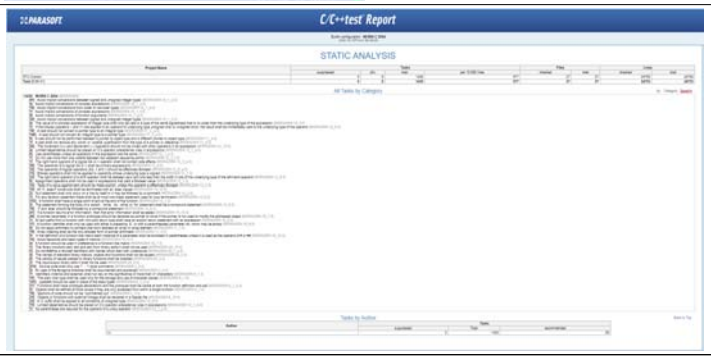
표 140 SW 정적 및 동적분석 사전 검토 내용

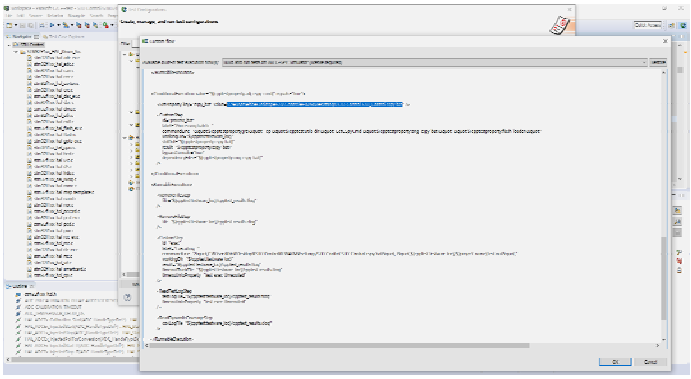
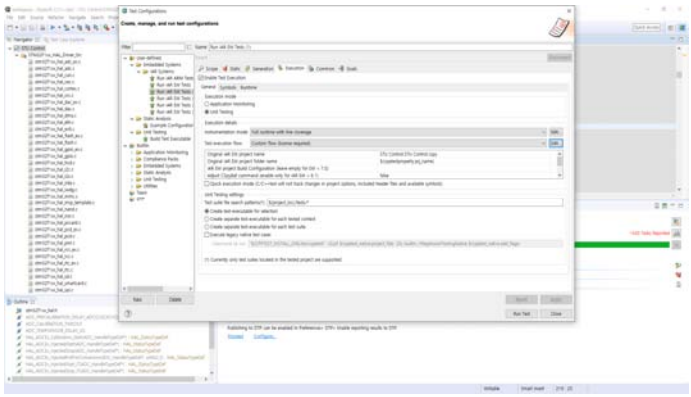
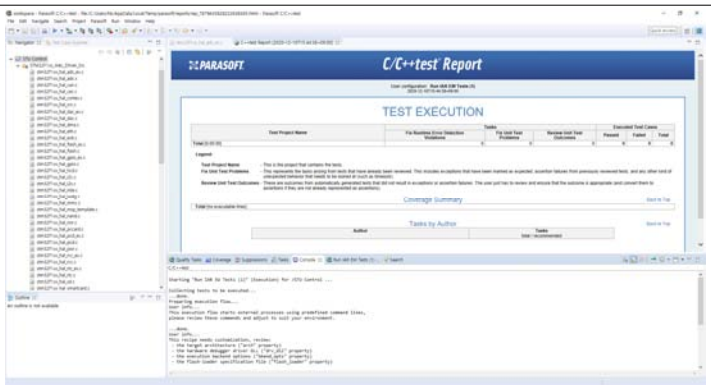
순번	검토내용	참고사진
1	• C언어 관련 코딩규칙 MISRA-C 2004 요구사항 분석 • IAR SW 사용버전 확인 및 IAR SW에서의 정적분석 도구 활용 방향 검토	
2	• 공인시험소 전경 및 KOLAS 인정 자격사항 확인 • 소프트웨어(Parasoft C/C++) 시험환경 조사	 
3	• 각 소프트웨어 컴포넌트 별 요구사항 반영 여부 검토(백분율로 산정 필요) • 소프트웨어(Parasoft C/C++) 도구에 대한 사전 검토 관련 협의	 

요구사항에 따라 설계된 안전감시모듈 소프트웨어는 공인시험소의 시험도구(parasoft C/C++)를 사용하여 아래와 같이 SW 정적/동적시험을 수행하였다.

표 141 SW 정적/동적시험 수행

순번	구분	참고사진
1	소프트웨어 구조 및 시험 준비사항 상호 검토	 
2	parasoft C/C++ 소스코드 탑재 전 IAR 프로그램 내 소스코드 빌드 및 사전 컴파일 결과 확인	

순번	구분	참고사진
3	parasoft C/C++ 프로그램 내 소스코드 탑재를 위한 확장자 Conversion (ARM용 C언어→ 어플리케이션용 C언어)	
4	parasoft C/C++ 프로그램 내에서 확장자 Conversion 완료 확인	
5	parasoft C/C++ 프로그램 내 소프트웨어 정적 및 동적 시험 진행	 
6	parasoft C/C++ 프로그램 내 정적분석 결과 산출	
7	parasoft C/C++ 프로그램 내 정적분석 결과 출력(1)	

순번	구분	참고사진
8	parasoft C/C++ 프로그램 내 정적분석 결과 출력(2)	
9	parasoft C/C++ 프로그램 내 소프트웨어 동적시험을 위한 경로설정	
10	parasoft C/C++ 프로그램 내 소프트웨어 동적시험을 위한 환경 설정	
11	parasoft C/C++ 프로그램 내 동적분석 결과 출력	

순번	구분	참고사진
12	안전감시모듈 소프트웨어 정적/동적 시험결과 상호 확인 및 분석	 

상기에서 수행된 정적분석은 국제 표준 코딩규칙인 MISRA-C(2004)의 요구사항 적합성 만족 여부를 검증하는 방법이다. parasoft C/C++ 테스트 검증 툴에 의해 수행된 MISRA-C(2004) 요구사항 적합성 여부의 검증 결과는 다음과 같다.

표 142 검증결과 요약

구분	Total Analysis Lines	Total Checked Tasks
결과	24,753	1,430

안전감시모듈 개발에 대한 단계별 독립안전평가는 독립안전평가기관(ISA)에 의해 수명-주기 단계 별 산출물 검토 및 현장심사를 통해 진행되었다.

표 143 독립안전평가기관의 산출물 검토 및 현장심사 개요

일시	심사규격	심사내용	참고사진
2019년 10월	IEC62278 IEC62425 IEC62280	• 시스템 품질관리 및 형상관리 계획 적합성 심사 • 시스템 수명주기 단계별 확인 및 검증 활동 계획	 
2019년 10월	IEC62278 IEC62425 IEC62280	• 예비위험원 활동에 따른 안전대책 적합성 심사 • 적용규격에 부합하는 요구사항 수립여부 심사	 
2019년 11월	IEC62278 IEC62425 IEC62280	• 시스템 설계단계 적합성 및 설계 반영사항 심사 • 위험원분석 활동 관련 안전대책 매트릭스 적합성 심사	 
2019년 12월	IEC62278 IEC62425 IEC62280	• 시스템 위험목록 갱신 상태 확인 및 심사 • 안전요구사항 검증 및 시험에 대한 근거자료 적합성	 

일시	심사규격	심사내용	참고사진
2020년 07월	IEC62278 IEC62279 IEC62280	• Concept Phase Verification 적절성 평가 및 품지관리 프로세스 • SW QA Verification 적절성 평가 및 이슈관리 프로세스	 
2020년 07월	IEC62278 IEC62279 IEC62280	• SW Requirement 추적성 매트릭스 , 품질지표 포함여부 • Overall SW Test 케이스 반영률 및 케이스별 판단기준	 
2020년 08월	IEC62278 IEC62279 IEC62280	• Requirement Verification 적절성 평가 및 결함 프로세스 • 검증보고서 작성 내역 및 검증활동 부적합 내역	 
2020년 09월	IEC62278 IEC62279 IEC62280	• SW Architecture & Design 적절성 평가 및 컴포넌트 인터페이스 • SW Integration Test 적절성 및 입/출력 선정/판단 기준	 

2.4. 연구개발 성과

구분(연도/단계))	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2018)	이동폐색 ATP/ATO 기술 및 장치개발	• 차상ATP/ATO, 지상ATP개발요구사항 조사 및 분석	• '열차제어시스템 개발 요구사항' 분석	• ATP/ATO운영요구사항 작성 • ATP.ATO기능요구사항 작성
			• KTCS-1 및 KTCS-2, 현재 철도노선에 구축된 ATP(ETCS L1)와의 상호운영을 위한 요구사항 분석	• KTCS-1, KTCS-2의 프로토콜 분석
			• 성능 및 기능 요구사항 정의	• 과업지시서의 성능요구사항 작성 • 주관기관(1세부)의 자동운전범위 작성 • ATP/ATO인터페이스요구사항 작성
		• 자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 요구사항 분석	• 차상 ATP/ATO 요구사항 분석 • 자동운전 개념 및 설계 방안 수립	• 차상 ATP/ATO 요구사항 분석 및 개념설계 보고서
		• 차상 ATP/ATO 안전성 인증 활동 계획수립 및 요구사양 도출	• RAM 및 안전성 활동 계획 수립 • 안전성 활동 요구사양 도출	• 차상 ATP/ATO의 RAM 및 안전성 활동 보고서
		• 이동폐색용 지상ATP 개발	• 지상 ATP시스템 요구사양 분석 • 지상 ATP시스템 개념설계	• 지상 ATP 요구사항 분석 및 개념설계 보고서
		• 지상ATP의 RAM 및 안전성 인증 활동	• 안전성 계획 수립 • 시스템 위험원 분석 • 안전요구사항 도출 • 단계별 Verification수행	• 지상 ATP의 RAM 및 안전성 활동 보고서
		• 차상ATP/ATO, 지상ATP개발명세서 검증계획 작성	• 검증계획 수립을 위한 요구사항 검토 • 개발사양 검증항목 수립 및 계획서 작성	• 검증계획요구사항 분석서 • 개발사양 검증 계획서
2차 연도 (2019)	이동폐색 ATP/ATO 기술 및 장치개발	• 차상ATP/ATO, 지상ATP개발명세서 작성	• 차상ATP/ATO·지상ATP 개발명세서 작성 -장치구성 -성능사양 작성 -기능사양 작성 및 기능배치(기본설계) ※현재 운용중인 열차제어시스템과의 상호운영성 반영(계속)	• ATP/ATO 차상 및 지상 장치구성도 • ATP/ATO 성능사양서 • ATP/ATO 기능사양서 • ATP/ATO 차상·지상기능배치도
		• 자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 설계 및 기능구현	• 차상 ATP/ATO 개념, 기본, 상세설계 -차상 ATP/ATO 기능 기본, 상세설계	• 차상 ATP/ATO 기본 및 상세설계서 작성 -열차무결성상태 모니터링 및 보고기능 -ATO운전모드 결정

구분(연도/단계))	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
				-ATO운전시 DMI속도 현시상태 변경 -출입문 개폐절차 -DMI화면구성 등
			• 차상 ATP/ATO 전체 기능 구현	• SCADE 및 테스트코딩으로 기능구현 -ATP기능, ATP인터페이스, 진단 기능 -ATO기능, ATO인터페이스, 진단 기능
			• 차상 ATP/ATO 시제품 제작	• 차상ATP/ATO랙 및 서브랙 설계 • 차상ATP용 보드 9종 설계 및 제작 • 차상ATO용 보드 5종 설계 및 제작
		• 차상 ATP/ATO 설계 및 구현 안전성 인증 활동	• 시스템 위험원 분석	• 위험원 분석 보고서 -위험원 목록, 위험원 FTA분석
			• 시스템 구조 및 디자인 사양 정의	• ATP/ATO시스템 구조, 주요기능 작성
			• 신뢰성 및 안전성 입증	• 신뢰성 분석 안전성 분석 보고서 -신뢰성 및 유지보수성 분석 -Core Hazard에 대한 안전성분석
			• 소프트웨어 요구사양 정의	• 차상ATP능요구사항 293개, 차상ATO기능요구사항 30개 등 정의
			• 소프트웨어 구조 및 디자인 사양 정의	• ATP/ATO소프트웨어 구조 설계 -ATP응용프로그램의 타스크구성 및 흐름 설계 등
			• 소프트웨어 컴포넌트 설계, 구현, 시험	• 정적시험 및 동적시험 계획서 작성 -Code Inspector를 이용한 정적 시험 수행 -Controller Tester를 이용한 동적 시험 수행
			• 소프트웨어 통합시험	• 멀티텔 시험기를 활용한 통합시험 계획서 작성 -시험항목 및 test case 작성
		• 이동폐색용 지상ATP 개발	• 지상 ATP 시스템 이동폐색제어기술 및 안전간격제어 기술 설계 및 시제품 제작 -지상ATO설계(장치추가)	• 지상 ATP시스템 설계, 시제품 제작 -지상ATP 랙 및 서브랙 설계 -지상ATP용 보드 4종 설계 및 제작 • 이동폐색제어기술 및 안전간격제어 기술 등 설계 및 구현 -지상ATP 소프트웨어 구조설계 -지상ATP와 타장치간 인터페이스 설계 및 구현 -열차이동권한, 열차위치결정 등 기능설계 및 구현(SCADE활용) -지상 ATP 통신소프트웨어 설계 및 구현 • 지상 ATO시스템 설계, 시제품 제작

구분(연도/단계))	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
				-지상ATO 서브랙 설계 -지상ATO용 보드 2종 제작 • 지상 ATO 소프트웨어 설계 -지상ATO 소프트웨어 구조설계 -지상ATO 통신 인터페이스 설계
		• RAM 및 안전성 인증 활동	• RAM Analysis 수행 • Safety Analysis 수행 :FMEA 수행 :FTA 수행 • 단계별 Verification수행 :설계 및 구현단계에 대한 검증	• RAM Analysis Report -신뢰도 및 유지보수성 요구사항 검증 • 위험원 분석결과 보완 • 구성품에 대한 FMEA • FTA Report • 단계별 Verification Report -2차에 걸쳐 audit 수행
		• 차상ATP/ATO, 지상 ATP인터페이스 명세서 검증계획 작성	• 지상 및 차상 인터페이스 검증 요구사항 검토	• 지상 및 차상 인터페이스 요구사항 검토
			• 인터페이스 검증항목 수립 및 계획서 작성	• 참여기관간 인터페이스 검증항목 및 계획 수립 • 지상-차상 인터페이스 검증항목 및 계획 수립 • 시험환경 기본 인터페이스 설계 • 시험환경 기본설계를 위한 시험 Tool 설계 • 무선인터페이스검증을 위한 안전감시모듈 개발
			• 실내 시험환경 기본 설계	
			• (무선)인터페이스검증을 위한 안전감시모듈 및 안전성 검사/평가	
3차 연도 (2020	이동폐색 ATP/ATO 기술 및 장치개발	• 차상ATP/ATO, 지상 ATP/ATO인터페이스 명세서 작성	• 차상장치 및 지상장치 간 인터페이스 명세서 작성	• 차상장치 및 지상장치 간 인터페이스 명세서(작성중)
			• 차상ATP/ATO와 열차 내 타 장치와의 인터페이스 명세서 작성	• 차상ATP/ATO와 열차 내 타 장치와의 인터페이스 명세서(작성중) - 열차분리검지장치(TI)
			• 지상ATP/ATO와 지상의 타 장치와의 인터페이스 명세서 작성 및 검증	• 지상ATP/ATO와 지상의 타 장치와의 인터페이스 명세서(작성중) - 연동장치(레일절손검지정보 포함), 관제설비
			• 차상ATP/ATO·지상ATP/ATO 제작 및 단품시험, 안전성평가 결과에 따른 최종 명세서 작성	• 차상ATP/ATO·지상ATP/ATO 명세서(작성중)
		• 현재 운용중인 열차제어시스템과의 인터페이스 확보	• 현재 운용중인 열차제어시스템과의 인터페이스(상호운영성) 점검	• 현재 운용중인 열차제어시스템과의 인터페이스(상호운영성) 점검
		• 자동운전(GOA2)을 지원하는 차상 ATP/ATO 시험	• 차상 ATP/ATO 장치 보완	• 차상ATP/ATO 장치 보완 리스트
			• 실험실 단품시험	• 단위시험 계획서/보고서

구분(연도/단계))	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
				- 차상 ATP/ATO 단위시험(정적) - 차상 ATP/ATO 정적시험보고서
		• 차상 ATP/ATO 시스템 검증 및 안전성 인증	• 소프트웨어 및 하드웨어 통합시험	• 소프트웨어/하드웨어 통합시험 계획서/보고서 - 차상 ATP/ATO SW/HW 통합시험 - 차상 ATP/ATO SW 통합 시험 - 차상 ATP/ATO통합시험보고서
			• 차상 ATP/ATO 시스템 검증	• LAB 시험 환경 구축 및 계획서 • 시스템 검증 계획서/결과서(진행중) • 시스템 검증 보고서(11월30일 완료예정) • 환경시험 보고서(12월16일 완료예정)
			• 안전성 인증 획득	• 인증 개념 평가 및 월간 미팅 결과서 • 인증 최종평가보고서('21년1월예정), 인증서('21년2월예정)
		• 이동폐색용 지상ATP/ATO 개발	• 지상 ATP시스템 이동폐색제어기술 및 안전간격제어 기술 설계	• 지상 ATP시스템 SW 컴포넌트 설계 - 소프트웨어 컴포넌트 설계서 작성 - 소프트웨어 구조 설계 보완
			• 지상 ATP/ATO시스템 시제품 제작	• 지상 ATP/ATO 시스템 시제품 제작 - 지상 ATP용 보드 4종, 랙 등 제작(2셋트) - 지상 ATO용 보드 2종, 서브랙 등 제작(2세트)
			• 소프트웨어 모듈 통합	• 지상 ATP 시스템 모듈 시험 보고서 - 지상 ATP Overall SW 통합 시험 - 지상 ATP SW/HW 통합 시험 - 지상 ATP SW 통합 시험 - 지상 ATP SW 단위 시험 • 지상 ATO 설계 및 통합 - 지상 ATO 개념, SW 설계 - 지상 ATO 통합
			• 지상 ATP/ATO시스템 실험실 시험 및 검증	• 지상 ATP 시스템 통합 시험 보고서 - LAB 시험 환경 구축 및 계획서 - 지상 ATP 시스템 시험 • 지상 ATO 통합 시험 보고서
		• RAM 및 안전성 인증 활동	• 단계별 Verification수행 :시험 및 확인단계에 대한 검증	• RAM 및 안전성 인증 활동 보고서 - HW 단위 시험 검증 - SW 소스코드 검증 - SW 컴포넌트 시험 검증 - SW 통합시험 검증 - SW/HW 통합시험 검증 - Overall SW 시험 검증 - 시스템 시험 검증
			• 시스템 안전성 보증 입증	• 지상 ATP 안전성 평가보고서

구분(연도/단계))	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
				(12월말)
			• 이동폐색용 지상ATP Generic Application SIL 4 인증 획득	• 지상 ATP SIL4 인증서 (12월말)
		• 차상ATP/ATO, 지상ATP 명세서 검증	• 차상ATP/ATO, 지상ATP 개발명세서 검증	• 개발 요구사항 LAB 시험항목 선별 체크리스트(진행중)
			• 차상ATP/ATO, 지상ATP 인터페이스 명세서 검증	• 인터페이스 요구사항 LAB 시험항목 선별 체크리스트 (진행중)
			• 실내 시험환경 상세설계	• 지상-차상 LAB 통합시험설비 구성 상세 설계 및 열차 모의주행 시나리오 상세 설계 (진행중)
			• (무선)인터페이스검증을 위한 안전감시모듈 개발 검증 및 안전성 검사/평가	• 무선인터페이스 안전감시모듈 SW 구조설계 및 정적/동적 분석(진행중) • 계획/요건/설계/제작 단계의 검증활동에 대한 안전성 검사/평가(진행중)

2. 연구수행내용 및 성과 [3세부]

구분	기 관	목 표	내 용
1차연도	(협동)한국철도공사	ETCS L3급 열차제어시스템 종합성능시험 기본계획 수립	· 열차제어시스템 개발요구사항 조사 분석 · 열차제어시스템 간 인터페이스 조사 분석
	(공동) 한국전자통신연구원	열차무결성 검지장치 개발	· 열차무결성 검지장치 동향분석 · 열차무결성 검지장치 요구사항 개발 · 열차무결성 검지기술 타당성 검토
	(공동)대아티아이㈜	ETCS L3급 열차제시스템을 위한 열차운행관제기술 개발	· 관제설비(ATS) 시스템 분석 · 관제설비(서버, 콘솔, DLP 등) 성능·기능 분석 · 관제설비와 현장장치의 인터페이스 분석 · 열차위치정보 오차 보정을 위한 요구사항 분석 · 열차별 송수신 DATA 분석 · 열차 정시성 확보를 위한 요구사항 분석 · 열차 운행현황 및 스케줄 분석
	(공동)유경제어㈜	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	· 요구사항 조사 및 분석 · 시험선로 선정(안) 수립 및 기본설계
2차연도	(협동)한국철도공사	ETCS L3급 열차제어시스템 종합성능시험 기본계획 수립	· 열차제어시스템 개발사양 조사 분석 · 하부시스템 성능 및 개발 목표 정의 · 종합성능시험 절차 수립
	(공동) 한국전자통신연구원	열차무결성 검지장치 개발	· 열차무결성검지장치 기능규격서 개발 · 열차무결성검지장치 성능규격서 개발 · 열차무결성검지장치 테스트베드 개발
	(공동)대아티아이㈜	ETCS L3급 열차제시스템을 위한 열차운행관제기술 개발	· 관제설비(ATS) 시스템 구성 개념 설계 · 관제설비의 성능 및 기능 설계 · 시스템 메뉴 및 사용자 메뉴 설계 · 관제설비~현장장치의 인터페이스 설계 · 열차위치정보 오차 축소 성능·기능 설계 · 열차정시성 확보 요구성능 및 기능 설계 · 열차 스케줄 설계 · 관제설비 구성하는 각 장치별 기능설계 · 관제설비 구성장치의 인터페이스 설계
	(공동)유경제어㈜	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	· 실내/외 설비 인터페이스 및 종합계측 방안 기본설계 · 실내/외 설비 인터페이스 및 종합계측설비 하드웨어 및 소프트웨어 상세설계
3차연도	(협동)한국철도공사	ETCS L3급 열차제어시스템 종합성능시험 기본계획 수립	· 단계별 성능검사 절차 수립 · 종합성능시험 기본계획 수립
	(공동) 한국전자통신연구원	열차무결성 검지장치 개발	· 열차무결성검지장치 실험실 시험 · 열차무결성검지장치 현장 시험 · 열차무결성 공인시험
	(공동)대아티아이㈜	ETCS L3급 열차제시스템을 위한 열차운행관제기술 개발	· 관제설비(ATS)의 표시기준안 작성 · 관제설비(ATS)의 결과판정 기준 안 작성 · 관제설비(ATS)의 시험항목 작성 · 관제설비(ATS)의 시험방법 작성 · 관제설비(ATS)의 시험절차서 작성
	(공동)유경제어㈜	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	· 시험 열차 선정(안) 수립 및 개조 기본설계 · 시험열차 개조 인터페이스 설계

2.1 연구개발과제 배경

가. 국내외 정책동향

(1) 국내 정책동향

○ 국토교통부는 철도노선별 연계운행 강화 및 운행시격 단축을 통한 철도 수송능력증대, 세계 기술시장 변화에 대응한 철도안전을 확보하고자 무선통신을 기반으로 하는 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KTCS: Korean Radio-based Train Control System)을 개발하고 국산 신호시스템 도입의 필요성 강조

○ 국내 설치된 신호시스템의 노선별 · 시기별로 서로 상이한 기종 도입의 문제점과 노선 간 연계운행이 제한되고 경제성 · 안전성도 저하될 뿐 아니라, 신호시스템 핵심기술의 해외의존 및 국내 상용화 한계로 시스템 국산화가 미흡하여 국내 철도 신호산업 성장을 저해되는 등의 문제점을 극복하고자 국토교통부를 중심으로 '한국형 철도 시스템 구축계획' 을 수립(2017.4)하였음

○ 신호시스템은 선행열차의 위치 · 속도와 선로조건 등을 연속적으로 검지하여 후속열차를 제어하는 열차안전운행의 핵심장치이나, 대부분 외국에서 도입하여 유지비용 증가 등 철도산업의 성장을 저해하고, 노선별로 상이한 시스템을 운용하고 있어 연계운행이 곤란한 상황임

○ 따라서, 열차 운행안전과 효율성을 향상하고 철도 산업을 활성화하기 위해 신호 시스템을 표준화하고, 기술 개발을 통해 국산화 필요에 의해 국토 교통부를 중심으로 '철도 신호통신시스템 국산화 계획' 을 수립(2017.12)하였음

ㅇ**(개발방향)** 열차운행의 **고속화·지능화·운행효율화·상호운영·지상설비 Zero화**를 위해 **2C2S** (Capacity, Cost, Service, Safety)가 **향상된 신호시스템** 개발
- 보다 **빠르고 고밀도**로 **여객**을 **수송**하며 **자율주행**이 가능하도록 하고, 선로 변 **지상설비**를 **최소화**하여 유지관리 **비용**을 절감
- 기존 신호시스템과의 **호환성 확보** 및 **해외시장**을 **선점**하기 위해 **유럽철도 기술기준**(ETCS)을 **기본바탕**으로 **선제적인 기술 개발**

ㅇ**(개발계획) 국내 기술수준** 및 **해외기술 동향**을 고려해 **고속**에서 **자율주행**이 가능한 **신호시스템을 개발**하고 **실용화**를 추진('18~)
- (**1단계 : T2I 방식**) 기존 시스템과 **호환성**을 **확보**하고 **자동운전**이 가능한 **무선기반**의 신호시스템(ETCS Lv3급) 개발('18~'22, 약 230억)
- (**2단계 : T2T 방식**) IoT, 인공지능(AI)을 활용하여 **자율주행·군집운행** 등이 가능한 무인 운전시스템 개발('22~'30, 약 710억)

* 한국철도기술연구원 내부과제로 기초기술연구 우선 시행('18~'21, 120억, 과기부 지원)

(2) 국외 정책동향

○ 2009년 영국 교통부는 30년 후 철도의 지속적인 성장을 위한 비전을 담은 백서

"Delivering a Sustainable Railway" 작성하고 용량확대, 탄소배출량감소, 고객만족, 비용감소를 철도가 지속적으로 성장·발전하기 위한 핵심적인 요구조건으로 정하고, 30년 후인 2040에 달성하여야 할 도전 목표를 설정하였음

○ 영국은 세부 실천과제로 8대 핵심기술과제 선정하였으며 최적화된 궤도-열차 간 인터페이스 개발, 철도의 용량과 신뢰성 향상, 단순하고, 유연하고, 정확한 제어 시스템, 최적화된 견인력과 에너지 등 신호시스템과 연관된 분야에 집중적인 실천계획 수립

○ 프랑스는 철도차량 설계(모델링, 신 재료, eco-design)와 유지보수, 교육훈련 측면에서 경쟁력 확보하고 환경오염, 고객만족도 향상기술 개발과 함께 2020년까지 철도 용량 증대 방안에 대한 연구 수행

○ 미국의 철도분야는 주로 안전성 향상 부분에 초점을 맞추고 있으며 종사자, 하부구조물, 장비, 제어시스템, 교차로 등 여러 요인과 연결되어 있으므로 제어시스템 등 관련 분야에 연구가 수행되고 있음

○ 유럽이 주도하고 있는 철도산업의 경쟁력을 지속적으로 유지하고, 유럽 철도시장규모를 확대하기 위한 Forster Rail, Shift2Rail을 추진하고 있음

- 유럽은 ETCS를 이용하여 철도신호산업을 주도하고 있으나, 철도산업의 경쟁력을 지속적으로 유지하고, 유럽철도시장 규모를 확대하기 위한 Forster Rail, NGTC 및 Shift2Rail을 추진하고 있음

- Forster Rail(Future of Surface Transport Research Rail)은 유럽철도 연구개발 및 혁신전략을 강화 할 수 있도록 지원하는 것이 목적임

- NGTC는 ETCS와 CBTC시스템을 통합하여 신호시스템 공급자에게는 보다 큰 신호시장을 제공하고, 시스템 사용자에게는 경쟁을 강화하여 시스템 구매비용을 낮추는 것이 목적

  * 프로젝트에 신호시스템 공급사, 간선철도운영자, 철도시설관리자, 도시철도운영자 참여

  * NGTC에서 도출된 성과물은 Shift2Rail의 IP2(Traffic Management and Control System)에 적용함

  * NGTC는 WP를 9개로 구성하여 프로젝트의 목표를 달성함

표 2. NGTC의 WP 및 업무내용

분류	세부연구주제
WP1	· 프로젝트 관리
WP2	· ETCS와 CBTC시스템의 성능 및 기능요구사항의 공통점, 차이점 및 유사점 분석
WP3	· 시스템 구조, 시스템 요구명세서 정립
WP4	· NGTC의 메시지 분석과 메시지 규격서 작성
WP5	· 이동폐색의 원칙 및 검증
WP6	· 무선통신시스템의 일반요구명세 및 적용 가능한 무선통신기술 검증
WP7	· 위성을 이용한 열차위치 검지
WP8	· 용어 및 성과물 관리
WP9	· 성과물의 전파 및 사용자 관리

나. 국내 연구개발 현황

(1) 국내 연구개발 개요

○ 국내 철도신호는 G7고속철도기술개발사업, 도시철도표준사업, 경량전철시스템개발사업, 자기부상철도기술개발사업 등 국가연구개발사업을 수행하면서 관련 핵심기술과 시스템엔지니어링기술을 확보하였음

- 1995년 이후 국내에서 추진되었던 열차제어시스템 개발 또는 시스템 도입 타당성 연구와 관련하여 다수의 국가연구개발사업을 진행하였음
- 국가연구개발사업의 목적은 차량시스템을 개발하는 것이었으며, 개발차량의 성능시험을 검증하는데 필요한 열차제어시스템의 차상장치를 개발하였기 때문에 일관성 없는 기술을 개발하였음
- 국가연구개발사업을 통해서 개발된 철도관제설비, 사령설비, 전자연동장치 등은 영업노선에 적용되고 있으나, ATP 등 핵심기술은 해외철도신호기업의 제품을 도입하거나 기술협력을 하고 있는 상황이었음

○「도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가」,「일반·고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화」를 통해서 계획화된 열차제어시스템 개발이 진행되고 있음

-「도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가」과제를 통해서 ATP 등 열차제어기술, 무인운전기술, 무선통신망(LTE-R)기술 등 핵심기술을 개발하였고, 상용화 성과를 도출하였음
- 현재는「일반·고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화」과제를 진행중이며, 이를 통해서 고속철도에도 적용할 수 있는 ETCS L2급의 열차제어기술과 무선통신망(LTE-R) 기술을 확보할 것을 예상됨

○ 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가

㉮ 표준체계 구축

* 무인운전을 지원하는 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템규격서, 프로토콜규격서 작성

: 국내 도시철도운영기관 및 시스템공급사의 열차제어시스템 개발 요구사항 조사 및 반영

: 대불선에서 규격서 검증을 위한 열차제어시스템 설계, 제작 및 구축

* 기존 상용품인 ATS장치와 EI를 시험선에 적합하게 개량

* 지상ATP, 차상ATP/ATO의 H/W 및 열차제어 프로그램 국산화

* 대불 시험선에서 성능을 검증한「도시철도시설 표준규격」개정(안)을 KRS(한국철도표준규격)로 제정(2015.12)

㉯ 성능검증

* 대불선에서 열차운행(운행최고속도 94km/h)을 통하여 성능시험을 수행할 수 있는 인프라 구축

: 대불시험선 11.25km(터널 2.2km 1개소, 교량 3.3km 1개소), 역사 5개소(1개소에 플

랫폼 스크린도어 설치), 시험열차 2편성(경의선 전동차, 차세대도시철도차량), 자동회차지역 1개소

* 철도연 철도안전인증센터를 통한 열차제어시스템 종합성능시험 및 상호운영성 평가 및 도시철도무인운전운영기관(네오트랜스)의 이례사항 점검
* 국제기준 IEC62278 적용 및 유럽의 ISA기관을 통한 ATP/ATO장치에 대한 안전성활동 수행(SIL4인증 획득)

○ 일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화

㉮ 열차제어시스템 기술규격

* 국내 운영중인 시스템(ATS, ATP)와 상호운영 및 연계운행 가능
* LTE-R로 열차제어정보 송수신 (열차 위치보고, 이동권한, 임시속도제한 등)
* 열차제어시스템 지상장치와 차상장치 간 및 기존 운영 중인 설비와 KTCS-2 장치 간의 인터페이스 규격을 표준화하여 상호운영성(TSI) 확보

㉯ 인프라구축

* 설치대상 : 철도통합무선망(LTE-R) 센터설비 및 현장설비
* 설치장소 : 호남고속철도 익산~정읍, 노령터널
* 설치내역

구분	설치대상	구성	장소
센터설비	EPC	Core 장비 1식	정읍시험센터
현장설비	DU	DU 1식	정읍시험센터
		DU 3식	시험선
	RRU	RRU 40기	시험선



그림 86. 호남고속선 LTE-R 및 KTCS-2 시험노선

* 차상/지상장치를 구성하는 부품 중, 국산화 또는 상용화된 부품을 제외한 5개 부품과 차상장치, 지상장치를 개발 및 시험중
* 차상컴퓨터, 무선제어센터, 안전전송모듈, LTE-R 고정국 · 이동국

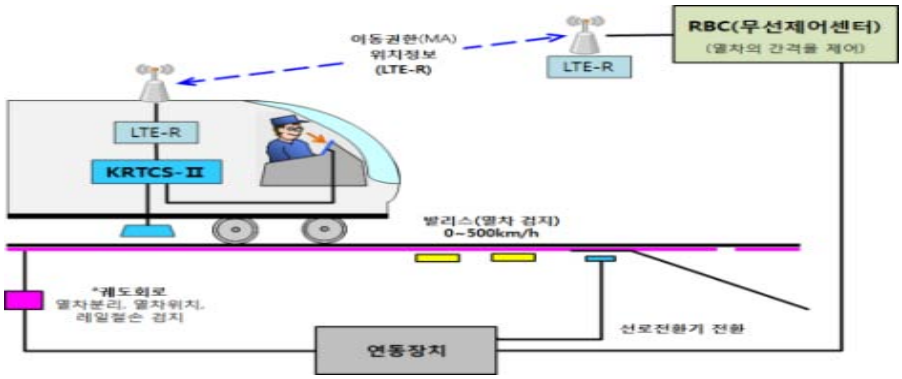


그림 87. KTCS 2 차상/지상장치간 정보전송 설명도

(2) 국외 연구개발 현황

(가) ETCS L3 개발 및 운영현황

○ (특징) ETCS Level 3는 ETCS Level 2와 달리 열차를 검지하는 궤도회로를 사용하지 않고, 무선통신(GSM-R)을 사용하여 수송용량 향상, 비용절감, 효율성 향상, 신뢰성 향상 등이 기대됨

○ (개발현황-시범사업) ETCS Level 3는 현재까지 스웨덴, 카자흐스탄, 잠비아에 구축되어 시범운영되고 있으나, 열차 운행편성이 적은 노선이고, 시범 운영을 통해서 많은 개선과 개발이 요구되고 있음

- 현재까지 스웨덴의 West Dalarna 노선(Malung~Borlange, 143km, 단선), 카자흐스탄 Uzen-Bolashak 노선(146km), Korgas-Zhetygen노선(293km), 잠비아 Chingola--Livingstone line(980km)이 확인되었음

- 위 사업에서 시스템 공급사는 BT(Bombardier Transport)에서 공급하고 있으나, 이동폐색제어, 열차분리검지기능 등 주요 기능을 적용하지 않고 있어서 많은 논란이 있기 때문에 저비용 시스템인 ETCS Regional로 부르고 있음

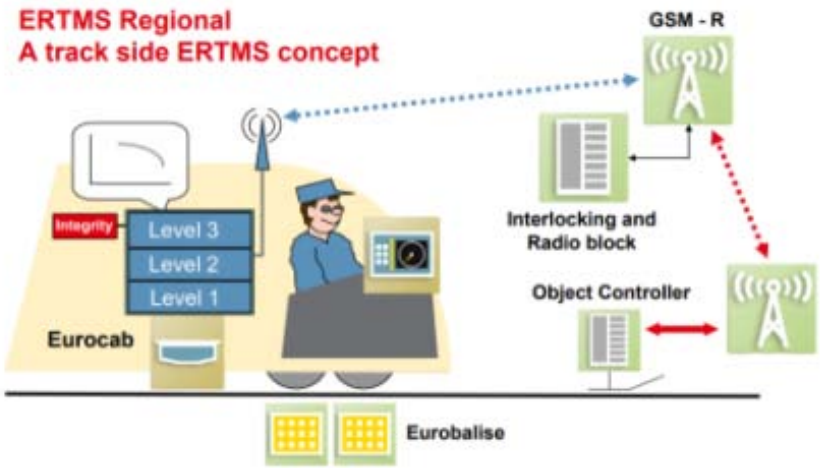


그림 88. ERTMS Regional 구성도(참조 Bombardier Transport)

○ (개발현황-구축기술개발) 네덜란드의 ProRail사와 영국의 NetworkRail이 ETCS Level 3의 구성품에 대한 시험을 실시하였으며, ETCS Level 3를 효율적으로 구축하기 위한 MOU(2016)체결

○ (상용화를 위한 제한사항) ETCS Level 3를 상용화하기 위해서는 열차분리검지기능과 열차위치정보의 신뢰성검증을 요구하고 있음

- 열차분리검지기능은 운행중인 열차의 끊어짐을 검지하여 다른 열차가 접근하는 것을 금지하여 열차충돌사고를 방지하는 것으로서 상용화에 반드시 요구되는 기술임

  * 고속여객열차, 일반여객열차, 일반화물열차, 장대화물열차 등에 모두 적용하는데 있어서 신뢰성과 운영가능성 등이 검증된 기술이 없음(열차에 Train Integrity장치 설치)

- 정차중인 열차의 전원을 차단하거나, 지상에 있는 열차제어장치(RBC)를 재기동할 경우에도 열차위치를 실시간으로 확인할 수 있는 검증된 운영절차를 확보하여야 함

  * 무선통신망의 장애가 발생할 경우, 열차제어시스템이 열차운행의 안전성을 보장할 수 있기 때문에 열차운행지연 등을 초래할 뿐 심각한 철도사고는 발생하지 않음

  * 열차를 조성하기 위해서 입환구역에 있는 열차의 전원을 차단하고 열차를 분리하는 작업을 수행하면 관제실의 열차제어장치가 열차 위치를 확인할 수 없고, 입환구역에 접근하는 열차와 충돌하는 사고가 발생할 수 있음

○ (ETCS Level 3 적용단계) ETCS Level 3를 적용하는데 필요한 제한사항을 해소할 때까지 ETCS Level 3 적용하는 단계를 4단계로 구분하여 사업전략을 마련함

- (1단계 : Level 3 Overlay) ETCS가 장착된 열차와 미장착된 열차가 혼용되어 운영되는 경우

  * 기존선을 대상으로 하며, 혼합열차운영을 위해서 열차운전규칙을 새로이 마련해야 함

  * ETCS 장착된 열차가 열차분리검증기능, 입환구역 등에서의 열차위치검지기능을 요구하지 않음

- (2단계 : Level 3 Hybrid) 모든 열차가 ETCS를 장착했으며, 선로변에 설치되어 있는 열차검지장치의 열차검지정보를 활용함

  * 기존선을 대상으로 하며, 유럽의 시범사업인 ETCS Regional에 적용되고 있는 것으로 예상됨

  * 영국의 Network Rail과 네덜란드의 ProRail에서 적용할 방식임

  * 지상에 설치되어 있는 열차검지장치의 정보를 사용할 수 있어 열차분리검증기능, 입환구역에서의 열차검지기능을 요구하지 않음

- (3단계 : Level 3 Virtual Block) 열차운행시격에 따라 폐색의 길이를 조정할 수 있으며, 모두 열차가 ETCS를 장착했으며, 열차에서 열차분리검지기능을 수행하고, 입환구역 등에서 열차위치를 관리하기 위한 열차운전규칙을 마련함

  * 현재까지 일반·고속철도용으로 개발된 사례가 없으며, 궤도회로와 같은 열차 검지장치를 선로에 설치하지 않음

- (4단계 : Level 3 Moving Block) 선행열차와 후속열차 간 안전간격에 따라 폐색의 위치와 폐색의 길이가 조정되며, 모두 열차가 ETCS를 장착했으며, 열차에서 열차분리

검지기능을 수행하고, 입환구역 등에서 열차위치를 관리하기 위한 열차운전규칙을 마련함

* 현재까지 일반·고속철도용으로 개발된 사례가 없으며, 궤도회로와 같은 열차 검지장치를 선로에 설치하지 않음

(나) ETCS의 ATO 개발 및 운영현황

○ (ETCS의 ATO요구사항) ETCS제작자 모임인 UNISIG에서 ATP장치구성과 시스템개발규격서(Subset 125)를 제안하고 있으나, 현재까지 공개되지 않고 있음

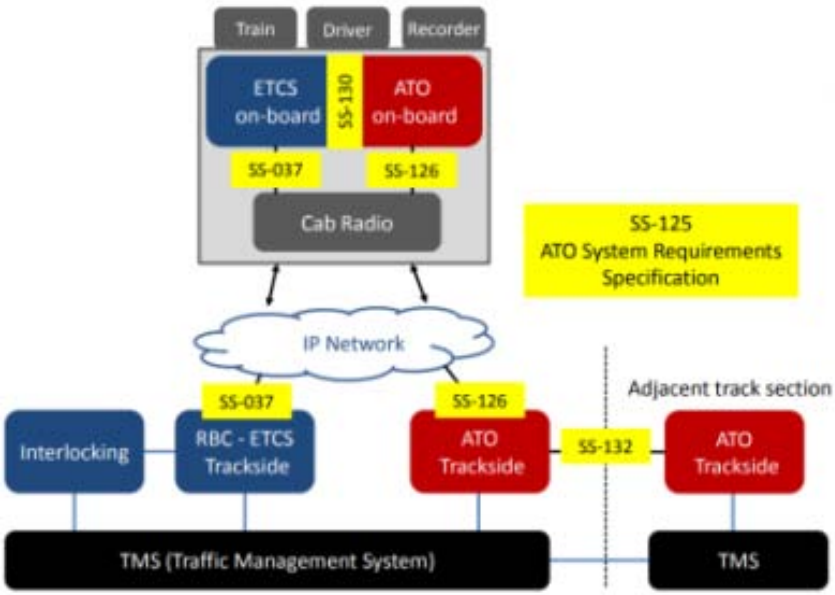


그림 89. ETCS의 ATO 구성도

- (ATO지침) ATO를 개발함에 있어서 확정된 요구사항은 다음과 같음

  * ATO는 ERTMS의 규격서를 만족하여야 함

  * 철도운영을 위해서 ATO를 추가할 수 있으나, ATO가 열차운행을 방해해서는 안됨

  * 열차에 설치되는 ATP장치와 ATO장치는 개발장치이며, 인터페이스규격을 만족해야 함

  * ATO장치와 관제설비(TTC)간 인터페이스는 계속적인 연구개발을 진행해야 함

○ (ETCS의 ATO구축단계) ETCS에 ATO기능을 적용하는 것은 2단계로 구분하여 진행되며, 최종적으로 GoA4를 구현함

- (1단계) 2019년까지 GoA 2를 지원하는 ETCS를 개발하고, 2022년까지 상용화함

- (2단계) GoA 3/4를 지원하는 자율주행 ATO를 개발하며, Shift2Rail의 개발공정에 맞춤

  * Ten-T프로젝트와 NGTC프로젝트를 통해서 ATO 운전개념, 상호운영요구사항을 정립(현재 완료)

  * Shift2Rail프로젝트를 통해서 GoA 2 및 GoA 4 시범운영노선을 구축하고 운영함

○ (ETCS의 ATO개발현황) 일부 노선에서 ATO기능을 탑재한 ETCS개발 프로젝트를 추진하고

있으나, 모든 고속철도 및 간선철도에 적용할 수 있는 ATO개념*, 성능, 기능이 확정된 개발규격서가 없는 상황(Shift2Rail을 통해서 완료할 예정)

* 도시철도는 폐쇄된 노선이기 때문에 노선별로 특화된 ATO개발이 필요하지만, 일반·고속철도는 모든 노선이 연결되어 있기 때문에 ATO를 개발하기 위해서는 다양한 운영조건이 반영되어야 함

- (런던의 Thamslink) 기존 신호설비를 자동운전을 지원하는 ETCS L2/ATO로 개량하며, 2018년 1월부터 Kentish Town과 Elephant&Castle구간에서 운행시작

* 모든 구간의 열차운행편성수를 24tph로 높이고, 피그시간대에 30tph로 높이기 위해서 GoA 2를 지원하는 ATO를 도입



그림 90. 런던의 Thamslink 노선도

- (런던의 CrossRail) 기존 신호설비를 자동운전을 지원하는 ETCS L2/ATO로 개량하고 있으며, 운행구간은 Portobello Junction에서 Pudding Mill Lane/Abbey Wood구간

* Thamslink와 같이 열차운행편성수를 24tph로 높이고, 피그 시간대에 30tph로 높이기 위해서 GoA 2를 지원하는 ATO를 도입(Whitechapel - Paddington구간)



그림 91. 런던의 CrossRail 노선도

표 3. 런던의 Thamslink 및 Crossrail 비교

Classification	Thameslink	Crossrail
Infra Manager	National railway (Network Rail)	Urban railway (TFL)
Open	2018, 4stations	2018, 6stations
Line capacity	24 trains/h (New trains)	24 trains/h (New trains)
Automation	ATO	ATO+PSD
Urban main system	ETCS Level 2	CBTC
Urban sub-system	Wayside signal and TPWS/AWS	-
Exclusive system	ETCS and AWS/ TPWS	CBTC

* AWS /TPWS: Automatic Warning System /Train Protection & Warning System

- (멕시코의 Toluca interurban선) 멕시코의 광역도시철도(58km)이며, 신호설비를 자동운전을 지원하는 ETCS L2/ATO로 구축하였으며, 2018년에 영업운전 계획
  * 열차운전시격이 2.5분이고, GoA 2를 지원하는 ATO를 도입하고 있으나, 적용한 ATO 규격은 draft 규격서를 적용해서 개발한 것임(Thales사)

(다) NGTC 프로젝트

○ NGTC 목적

- ETCS와 CBTC시스템이 요구하는 기능의 공통사항과 특이사항을 분석
- 시스템구조, 하드웨어 플랫폼 및 시스템설계의 공통수준을 결정
  * 시스템 공급자에게 큰 시장을 제공
  * 시스템 사용자는 표준화된 기능과 인터페이스를 통해서 시스템공급자간 경쟁을 유도하고, 이를 통해서 저렴한 시스템을 구매
- 이동폐색원칙을 보다 강화하고 단일화함

- IP기반의 무선통신망을 적용하고 개발함
- 위성을 활용한 기술의 활용방안 등

○ (NGTC 활용) NGTC의 결과는 Shift2Rail의 IP2(Traffic Management and Control Systems)에 적용됨

○ 프로그램 수행 내용 : WP의 기술적인 관계는 아래 그림과 같으며, 현재 WP2, WP6의 경우 구체적인 내용을 공개하고 있으나, WP3, WP4, WP5 등의 내용은 확인할 수 없음

- WP2 내용

  * 도시철도 및 일반철도의 기능요구사항 분석

    : 도시철도의 기능요구사항 분석(IEC 62290-1과 2, MODURBAN D80)

    : 일반철도의 기능요구사항 분석(ERTMS Baseline 3(SRS 3.4.0))

  * NGTC의 기능요구명세서 작성(NGTCS FRS)

    : 일반철도와 도시철도에 공통으로 적용할 기능요구사항(212개), 도시철도에만 적용될 기능요구사항(252개), 일반철도에만 적용될 기능요구사항(292개)를 정의하였음

    : 일반철도의 대표적인 기능요구사항은 ATO기능을 적용하는 것임

- WP3 내용

  * NGTC 기능 요구명세서를 토대로 NGTCS 아키텍쳐 정의, 기능 설계 및 배치를 진행

    : Platform Doors Mangement

    : Automatic Turn-back Operation

    : Automatic Coupling & Splitting

  * NGTC 시스템요구명세서(NGTC SRS)는 자동화 수준을 GoA4까지 지원함

    : 도시철도영역은 GoA4, 일반철도는 GOA2까지 지원할 수 있도록 작성함



그림 92. NGTC의 common ATO 구조

- WP4 내용

  * NGTC message structure는 일반철도에서 다음과 같은 기능을 수행할 수 있도록 반영

    : Platform Doors Management

: Automatic Turn-back Operation

: Automatic Coupling & Splitting

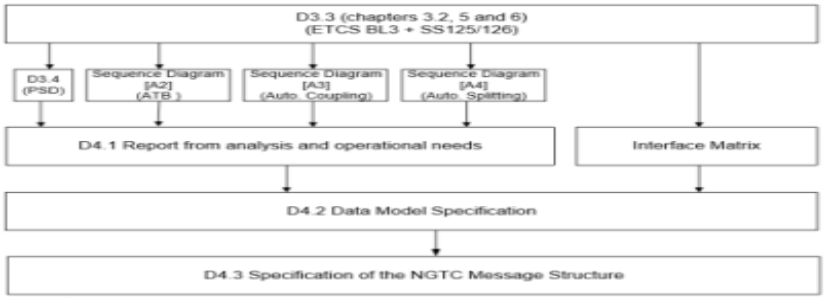


그림 93. WP업무관계도

- WP5 내용

  * Generic Moving Block Principles에 Full Moving Block, Fixed Virtual Blocks을 포함

    : 합의된 Generic Moving Block Principles을 작성하고, 내용을 검증하였음

    : Sift2Rail 프로그램에 제공

(라) 기타 연구개발 동향

○ Shift2Rail의 IP2에 포함된 사항으로 도시철도에서 적용되고 있는 자동운전(ATO)개념을 일반철도와 고속철도에 적용토록 개발하여 철도운송능력과 성능을 개선하고 에너지 고효율화를 목표함

- 일반철도 및 고속철도는 ATO 적용 목적과 환경에 있어서 도시철도와 확실하게 상이하며, 다음과 같은 요구사항의 특성을 가짐

  * 다양한 서비스 형태 및 여객, 화물 등 혼합된 교통을 효율적으로 관리해야 함

  * 속도를 최적화 하고, 필요 이상의 속도로 주행하지 않으며 주행을 안정화하여 에너지를 절감

  * 운행계획의 예비시간을 최소화 하고 선로용량을 증가

  * 자동운전에 의한 승객에 대한 안정성을 향상

○ UNISIG는 자체적인 실험을 통해 최적의 속도프로파일을 이용한 ATO 적용 자동운전에 따른 에너지 절감효과가 있음을 확인함

- ATO를 적용하여 자동운전에 따른 절감은 운행 중 불필요한 열차정지를 회피하게 하고 요구되는 도착 시간에 의거 구간 내에서 운행 할 수 있는 최적의 속도 프로파일을 정의함에 따라 달성 가능함

- 다음 표는 운행시간과 에너지 소모 실적을 비교한 UINSIG 시험결과로, 기관사 스킬에 따라 운행 시간 및 에너지 소모율이 다르며, ATO를 적용 시 에너지 효율이 가장 좋음을 알 수 있음.

표 4. 운행시간과 에너지 소모 실적 비교(UNISG 시험결과)

	Travel time (in sec.)	Energy Consumption (in kWh)
Driver 1	750	148,85
Driver 2	713	195,49
Driver 3	1041	173,57
Driver 4	682	178,35
Optimised speed profile	750	116

○ 스위스의 연방철도청(SBB)는 2017년 12월 4일 베른-올텐 구간에서 ATO 기능시험을 성공적으로 시행하였으며, ATO시스템이 도입되면 열차간격을 줄여 화물 및 승객 수송효율을 30%까지 높일수 있을 것으로 예상함

- 이는 SBB의 스마트레일4.0(SmartRail 4.0)프로그램의 일환으로 진행하였으며, ATO시스템 도입을 통해 선로용량 증대 및 에너지 절약을 목표로 하고 있음

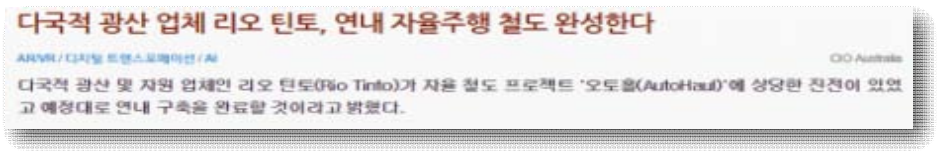

스위스, '자율주행 열차' 철로서 시범운행 성공

(제네바=연합뉴스) 이광철 특파원 = 스위스에서 컴퓨터로 통제되는 자율주행 열차가 성공적으로 시범운행을 마쳤다.

6일(현지시간) 스위스 공영 SRF에 따르면 스위스연방철도청(SBB)은 취재진을 태우고 4일 밤 베른-올텐 구간에서 자율 속도 조절 프로그램이 설치된 이층 열차를 운행했다.

○ 히타치 그룹의 안살도STS는 2012년 자율 철도 프로젝트(오토홀, AutoHaul)에 참여하여 전체 1700km의 노선에 자율 주행 철도관리시스템을 구축하고 있음

- 웜벳 정션에서 파라버두까지 약100km 구간에 기관사가 없는 무인운전에 성공


다국적 광산 업체 리오 틴토, 연내 자율주행 철도 완성한다

다국적 광산 및 자원 업체인 리오 틴토(Rio Tinto)가 자율 철도 프로젝트 '오토홀(AutoHaul)'에 상당한 진전이 있었고 예정대로 연내 구축을 완료할 것이라고 밝혔다.

○ 중국철도공사는 2019년 완공을 목표로 건설 중인 베이징~장자커우 간 시속 300km로 달리는 고속철도에 무인운전 시스템을 도입하기 위해 시험 검증절차를 진행 중



(마) 레일절손 검지기술

○ ETCS L3급 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하지 않기 때문에, 열차가 주행 중인 레일의 절손이 발생한 경우, 이를 신속히 검지하고 해당 구역을 열차방호구역으로 설정하는 것이 요구되나, 검증되거나 표준화된 방식이 없는 상태임. 따라서 이를 대체하여 구현하는 것이 필요함

○ 국내외 기존 기술

- 현재 사용 중인 궤도회로를 레일절손검지용도로 전환하는 방법, 전철화 구간에서 귀선전류를 활용하는 방법, 광케이블을 이용하는 방법 등이 있음
- 본 과제에서는 광케이블을 이용하여 열차위치, 열차속도, 레일절손 등을 검지하는 기술을 개발하는 것을 고려하고 있음

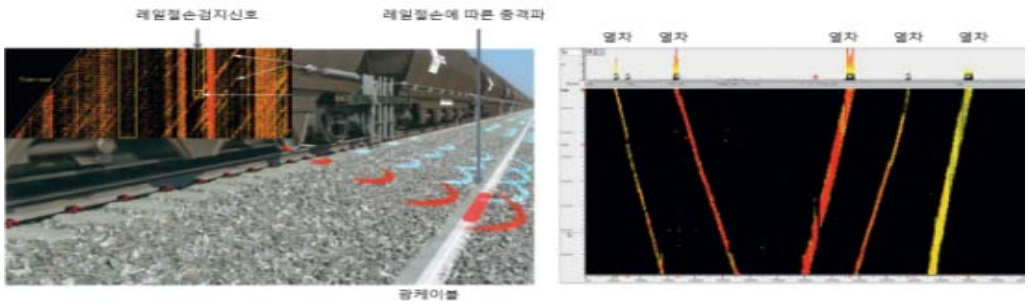


그림 94. 레일절손 검지장치(DAS)원리(그림 좌) 및 DAS가 검지한 신호(그림 우)

* 열차가 레일과 레일의 연결지점, 레일과 침목간 연결 지점을 주행할 때 발생되는 기계적인 충격을 선로변에 설치된 광케이블이 검지하고 이를 신호로 변환하여 분석하는 방식으로 외국에서는 다음 표와 같이 시범구축하고 있음

프로젝트명	설치목적
Washington BNSF (2017)	차륜마모, 레일절손, 시설물 검지
Pennsylvania CSX waterline(2016)	열차추적, 레일절손
Colorado TTCI(2016)	레일파손
DB VDE(2017)	열차추적, 레일절손
DB Zwickau - Bridge Security(2017)	침입감지,
SNCF Villefranche(2015)	침입감지, 레일절손
Queenslan Kuranda Range(2016)	낙석검지

다. 국내・외 열차제어시스템 시장현황

○ 궤도회로를 사용하는 열차제어시스템과 무선통신망을 고속선, 일반선, 광역철도 신선 및 개량선에 적용할 경우 10년간 7조 2,900억원 시장 예상(철도신호통신시스템 R&D추진현황, 철도국, 2016.6)

○ 세계 철도 열차제어시스템 시장은 앞으로 3.1%의 年 평균 성장률(CAGR)이라는 상당한 성장을 지속할 것으로 예측됨. 철도 열차제어시스템 시장의 규모는 2011년~2013년 기간에 127억 유로(약 16.3조원)로 평가되고 2017년~2019년 사이에는 150억 유로(약 19.3조원)를 초과하는 규모를 이룰 것으로 예상됨. 접근 가능한 시장은 전체 시장 중 88%에 해당하는 약 134억 유로(약17.2조원)의 규모를 달성할 것으로 예측됨 (※ 출처 :World Rail Market forecast 2014 to 2019, Unife).

* Compound Annual Growth Rate: 연평균 성장률

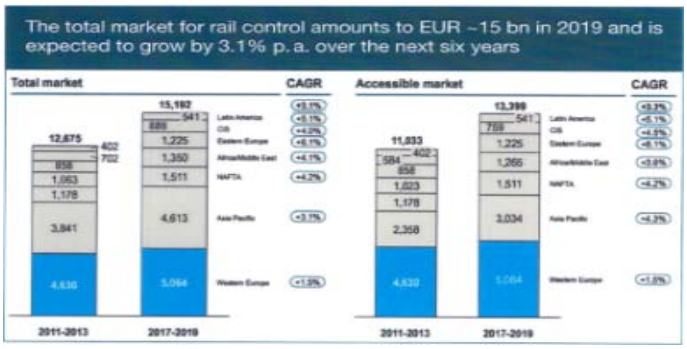


그림 95. 철도 열차제어시스템의 전체 年 평균시장규모

○ 특히 아시아 태평양 지역은 2017년에서 2019년까지 7억 7천만 유로(약 1조원)로 연간시장 규모가 가장 높은 시장의 성장이 이루어지는 지역이 될 것으로 예측됨. 2011년 ~ 2013년 사이에 38억 유로(약 4.9조원)의 시장규모, 이것은 3.1%의 年 평균 성장률에 해당하므로 상대적으로 시장규모와 같은 속도로 성장함.

○ 6.1%의 年 평균 성장률이라는 상대적으로 가장 높은 성장률을 가지는 동유럽은 연간 3.7억 유로(약 4.7천억원)까지 시장규모가 성장할 것으로 예측됨. 세계에서 가장 큰 철도 열차제어시스템 시장인 서유럽은 1.5%의 年 평균 성장률을 가질 것으로 예측됨. 그러나 그것의 시장규모는 4.34억원 유로(약 5.6천억원)의 절대연간시장규모 증가에 대응함.

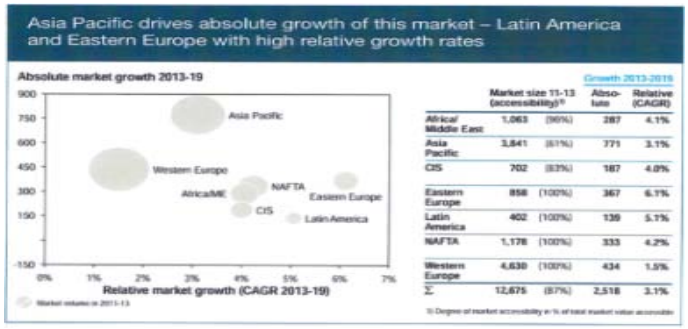


그림 96. 지역별 열차제어 시장의 현재 규모와 성장

○ 적용분야 즉, 경량전철, 도시철도, 일반고속철도의 관점에서 열차제어시스템 시장의 성장률은 모두 유사한 성장속도를 가질 것으로 예측됨. 여기서 주목할 만한 것은 도시철도에서 열차제어 제품에 대한 수요가 급격히 증가할 것으로 예측됨. 2009년~2011년을 통해 2011년~2013년 기간에 시장의 규모에서 높은 증가는 이미 달성하였고 보다 더 높은 2.8%의 年 평균 성장률을 지속할 것으로 예측됨.



그림 97. 분야별 연간 열차제어 시장 발전

○ 미래 시장규모의 2/3에 해당하는 대부분은 도시 간 수송분야를 위한 제어시스템 제품이 줄기가 될 것으로 예측됨. 그 중 연동장치 및 ATP는 수요의 대부분을 차지할 것으로 예측됨.

○ 여기서 ERTMS 표준에 의해 특히 ATP 기술은 핵심적인 역할을 할 것으로 예측됨. ERTMS ATP 제품에 대한 시장은 2017년~2019년 사이 연간 약 17억 유로(약 2.1조원)에 달할 것으로 예측됨.

* European Rail Traffic Management System: 유럽 철도 교통 관리시스템

○ 마찬가지로 CBTC는 도시교통에서의 열차제어 및 보호를 위한 중요한 기술이 되고 있음. CBTC 시스템에 의해 열차의 정확한 위치는 기존 열차제어시스템보다 정확하다고 알려져 있으며 이는 철도 교통관리를 위한 더욱 효과적이고 안전한 방법을 가져옴. 유럽은 CBTC 공급에 있어서 선도적인 공급업체이며 전 세계적으로 도시철도 CBTC 시장은 앞으로도 확대될 것으로 예측됨.

○ 무선통신기반 열차제어시스템 즉, CBTC는 현재까지 가장 진화한 열차제어시스템으로써 全 세계적으로 빠르게 확산되고 있으며 특히 서유럽의 경우 CBTC의 도입은 2021년 까지 年평균 20.2%씩 증가를 예측할 수 있음.

○ 따라서 무선통신(무궤도회로) 방식의 차세대 열차제어시스템을 개발하여 실용화를 수행

할 경우 국외 진출에 대한 기대치를 높일 수 있음

○ 다만 현재 국내 기업은 세계 열차제어시스템 시장점유율은 매우 낮은 수준이며 이는 대형 글로벌 기업의 기술적 선도성과 확장성 때문으로 사료됨

○ 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 무선통신(무궤도회로) 방식의 차세대 열차제어시스템을 개발하고 실용화하여 국내의 열악한 철도산업 여건을 극복할 수 있도록 정부차원의 투자와 지원이 필요함

2.1.1 연구개발 추진 전략 및 방법

○ 연구과제 목표 달성을 위하여 세분화된 3개 세부과제 별로 연구목표를 구체화하고 세부과제간 연계내용 및 협력체계 유지

○ 국내 운영 중인 철도노선에서 성능검증이 가능하도록 열차제어 요구사항 분석

○ 기능점검을 위한 시험기준, 방법, 절차 조사

○ 열차무결성의 신뢰성 및 안전성 확보를 위한 철도차량 기술 분석

○ 자동운전을 반영하는 열차운행관제 기술의 개념 설계

○ 열차운행관제 요구사항의 유도, 분석, 기록을 통해 기능/비기능, 성능 요구사항 도출

2.1.2 연구개발 추진 체계

연구개발과제	
과제명	종합성능시험계획 및 운행제어기술 개발

총 참 여 연 구 원
한국철도공사 박주훈 외 31명

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	3	29	32
출 연 (연)	1	3	
기 타			

협 동 연 구 기 관
한국철도공사

참 여 연 구 원
연구책임자(박주훈)외 17명
수석급 1명, 책임급 9명, 선임급 5명, 주임급 3명

담당연구개발내용	
과제명	ETCS L3 종합성능시험을 위한 기본계획 수립

- 시스템 엔지니어링
- 종합성능시험 계획 수립
- 시험 단계별 성능시험 절차정의

공 동 연 구 기 관
한국전자통신연구원

참 여 연 구 원
연구책임자(조한벽)외 2명
책임급 3명

담당연구개발내용	
과제명	열차무결성 검지장치 기술 개발

- 열차무결성검지기술 개발

공 동 연 구 기 관
대아티아이㈜

참 여 연 구 원
연구책임자(신준섭)외 7명
수석급 4명, 선임급 2명, 원급 2명

담당연구개발내용	
과제명	실시간 열차운행관제기술 개발

- 관제설비(ATS) 시스템 분석
- 관제설비 시스템 개념/기능 설계
- 관제설비 시험계획서 작성

공 동 연 구 기 관
유경제어㈜

참 여 연 구 원
연구책임자(지정근)외 2명
수석급 2명, 선임급 1명

담당연구개발내용	
과제명	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계

- 시험선로 선정(안) 및 시험인프라 설계(안) 수립
- 시험인프라 인터페이스 및 종합계측 설비 설계(안) 수립
- 시험열차 개조 설계(안) 수립

2.1.3 연구개발 추진 일정

연차	연구목표	연구내용	추진일정(개월)												연구비(백만원)	비중(%)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1차년도(9개월)	ETCS L3 종합성능시험을 위한 기본계획 수립	열차제어시스템 개발요구사항 조사 분석	■	■	■	■	■	■	■						40	
		열차제어시스템 간 인터페이스 조사 분석					■	■	■	■	■				40	
	열차무결성 검지장치 개발	열차무결성 연구개발 동향 분석	■	■	■										30	
		열차무결성 검지장치 요구사항 정의		■	■	■	■	■	■	■	■				70	
	ETCS L3를 위한 열차운행관제기술 개발	요구사항 조사 및 분석	■	■	■	■	■	■	■	■					40	
		보고서 작성								■	■				16	
	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	시험인프라 요구사항 조사 및 분석	■	■	■	■	■	■							21	
		시험선로 선정(안) 수립 및 기본 설계			■	■	■	■	■	■	■				35	
	소계														292	
2차년도(12개월)	ETCS L3 종합성능시험을 위한 기본계획 수립	열차제어시스템 개발사양 조사 분석	■	■	■	■	■	■	■						90	
		하부시스템 성능 및 개발 목표 정의						■	■	■	■	■	■	■	90	
	열차무결성 검지장치 개발	열차무결성 검지장치 기능규격 정의	■	■	■	■	■	■	■						90	
		열차무결성 검지장치 성능규격 정의			■	■	■	■	■	■	■				85	
		열차무결성 검지장치 시제품 개발					■	■	■	■	■	■	■	■	200	
	열차운행관제기술 개발	열차운행관제 기술 개념 설계	■	■	■	■	■	■	■	■	■				174	
		실시간 제어관리장치 설계					■	■	■	■	■	■	■	■	170	
	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	시험인프라 인터페이스 및 종합계측설비 기본 설계	■	■	■	■	■	■	■	■	■				130	
		시험열차 선정(안) 수립 및 개조 기본 설계				■	■	■	■	■	■	■	■	■	131	
	소계														1,160	
3차년도(12개월)	ETCS L3 종합성능시험을 위한 기본계획 수립	단계별 성능검사 절차 수립	■	■	■	■	■	■	■	■					90	
		종합성능시험 기본계획 수립									■	■	■	■	90	
	열차무결성 검지장치 개발	열차무결성 검지장치 시제품 시험	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	100	
		열차무결성 검지장치 시제품 현장 시험	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	135	
		시험결과 보고서 작성 최종 보고서	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	40	
	열차운행관제기술 개발	표시기준안 작성	■	■	■	■									107	
		시험계획서 작성				■	■	■	■	■	■	■	■	■	120	
	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	시험인프라 인터페이스 및 종합계측설비 상세 설계	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			100	
		시험열차 개조 인터페이스 설계				■	■	■	■	■	■	■	■	■	111	
	소계														893	

2.2 세부과제 별 연구수행내용 및 성과

2.2.1 [협동] 한국철도공사

가. 열차제어시스템 개발 요구사항 조사 분석

(1) 국내 요구사항 조사 분석

(가) 국내 기술동향

국내 열차제어시스템은 기개발된 한국형무선통신기반 열차제어시스템인 KTCS-1(도시철도용) 과 KTCS-2(일반·고속철도용) 시스템이 개발되어 시범사업 등 실용화를 진행하고 있다. KTCS-1은 IEEE 1474의 규격에 따라 지하철과 같이 단일노선에 운행이 적합한 구조이며, KTCS-2는 유럽의 ERA SUBSET-230을 기반으로 일반·고속선의 상호운영에 초점을 맞춘 시스템으로 기존 시스템과 호환에 유리한 구조이다. KTCS 시스템은 H/W 및 S/W를 국내에서 개발하여 성능 및 기능개선 등 국내 환경에 맞게 보완이 가능하다. 또한 KTCS-1은 일산선, 분당선 등 1개 선구에 시험설치를 계획하고 있으며 KTCS-2는 전라선에 시험사업 진행중에 있다. 아래 그림은 KTCS-1,2의 구성도로 본 연구에서는 두 시스템의 장점을 도출하여 호환이 강한 ETCS 시스템에 자동운전이 가능한 KTCS-1 의 ATO기능을 접목 할 수 있을 것이다.

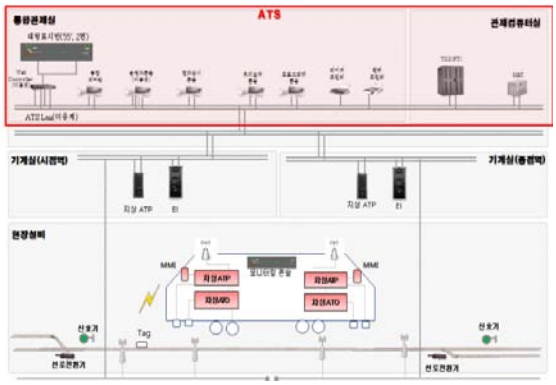


그림 14. CBTC(KTCS-1) 시스템 구성도

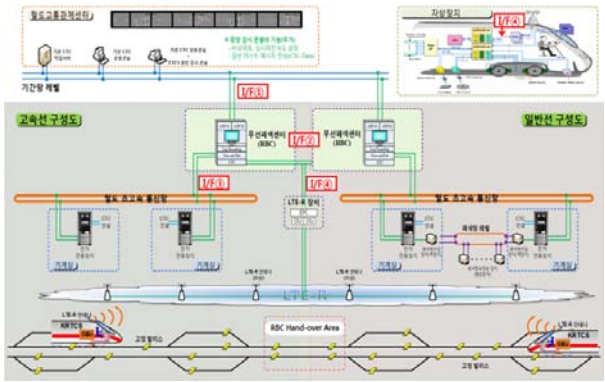


그림 15. KTCS-2 시스템 구성도

(나) 운영기관 요구사항

① 레일절손 검지 기술 개발(1세부 개발 중)

㉮ 고속선 레일절손 상태에서 300㎞/h 운행 시 탈선 가능하여 절손 시 제한속도 있음

㉯ 열차분리 등 대한 안전 확보

㉰ 현재 건널목 경보장치를 제어할 대체 기술 확보

㉱ 열차자동운전(ATO)에 따른 선로무단침입에 대한 방호설비 구축

② 자동화 등급(GoA, Grades of Automation)

ATO 자동화 등급 관련 운행 및 제작사와 협의 결과 안전대책에 대한 부분이 부족하고 차량의 정차위치가 상이한 점 등 추가로 보완해야 할 설비들이 많아 GoA 2로 개발하는 것이

적정한 것으로 조사됨

Grades of Automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of disruption
GoA 1	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2	ATP and ATO with driver	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3	Driverless	Automatic	Automatic	Train Attendant	Train Attendant
GoA 4	Unattended Train Operation	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

그림 16. ATO 운행 자동화 등급(GoA)

(2) 국외 요구사항 조사 분석

(가) ETCS Level 3 및 ATO 기능

안살도 STS社는 호주 ROY HILL에서 화물열차에 대해 ETCS Level 3 및 ATO를 설치하여 시험운행 중에 있다. 아래 그림은 호주 ETCS Level 3 + ATO 구간의 단계별 사용개시 예정이다.



그림 17. 호주 Roy Hill 화물열차 ETCS Level 3 + ATO 운행 구간

ATO 기능은 아래 Command 절체 스위치에서 보듯이 GoA 3 으로 제작 되었다. 즉 안전요원인 승무원은 반드시 탑승해야 한다는 뜻이다. Driverless Mode 표시 장치는 승무원이 차에 탈수 있는 상태를 나태 낸 것으로 Not Safe 상태에서는 탑승을 할 수 없다.

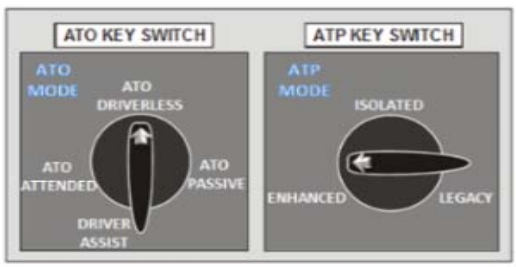


그림 18. COMMAND 절체스위치

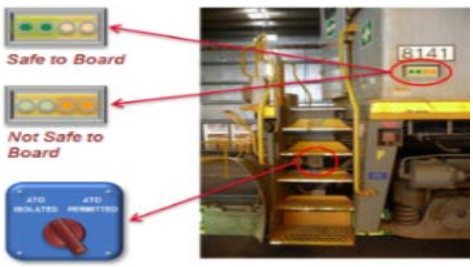


그림 19. Driverless Mode 표시 장치

기타 안전장치로 VICS(On-board Video Image Capture System)는 CCTV를 사용하여 기관차 앞의 상황을 모니터링 할 수 있는 시스템을 탑재하고 있다 아래 그램에서 선로 내 나무 또는 캥거루 등을 확인 할 수 있다.



그림 20. CCVT를 이용한 차량 전방 감시장치

또한 ODS(Level Crossing Obstruction Detection System)는 건널목에서 지장물의 상태를 감시하여 이상이 있을 경우 열차의 이동권한을 축소하는 기능도 있었다.



그림 21. 건널목 지장물 검지 장치

이처럼 ETCS Level 3 + ATO에서 추가로 필요한 기능은 아래 그림과 같이 기관사를 대신하는 시스템들이 추가로 구성되어야 된다.

	Legacy	Enhanced
Supervised Limit of Authority	✓	✓
Enforcement of Temporary Speed Limits	✗	✓
Automatic response to Hot Bearing Detector alarm	✗	✓
Automatic response to Wheel Impact Detector alarm	✗	✓
Automatic response to Level Crossing Obstruction alarm	✗	✓
Automatic response to Stream Flow Detector alarm	✗	✓
Automatic response to Hot Wheel Detector alarm	✗	✓

그림 22. ATO 기능 구현시 추가로 요구되는 기능(안살도 STS社)

(나) 열차무결성검지장치 기술조사 분석

안살도 STS는 열차무결성검지장치를 개발하여 사용중에 있으며 기본적으로 승무원이 열차의 상태(길이 등)를 입력하게 된다. 이 정보는 차상컴퓨터에서 지상RBC로 전송하게 되고 지상 RBC는 TMS라고 하는 열차모니터링시스템에 연계되어 열차의 길이가 맞는지 확인하게 된다. 열차의 길이가 TMS와 다를 경우 차상장치에 열차길이 오류로 재입력을 요청하게 된다. 반대로 TMS의 정보가 실제길이와 다를 경우 승무원은 TMS 정보의 수정을 요청할 수 있다. 이처럼 열차의 길이정보는 열차무결성검지에서 매우 중요한 기본 요소이다.

멀티텔도 Tag를 이용한 열차무결성 검지장치를 운영하고 있다. 50m 정도의 통신반경으로 2~3대 열차간 통신을 수행하고 기관실의 게이트웨이에서 정보를 통합하여 무결성 정보를 판단하는 방식을 사용한다.

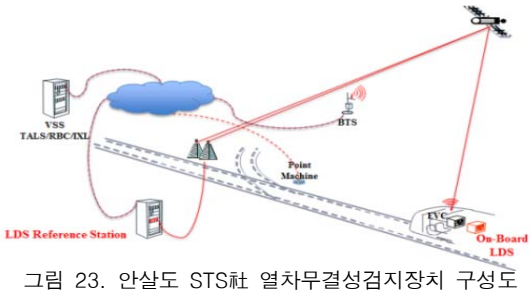


그림 23. 안살도 STS社 열차무결성검지장치 구성도

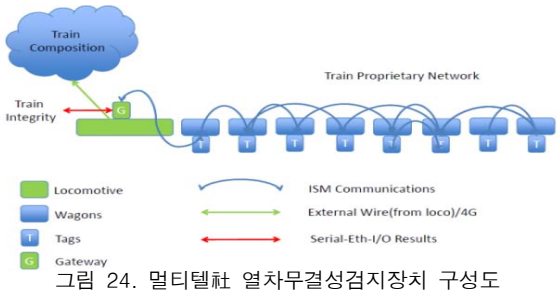


그림 24. 멀티텔社 열차무결성검지장치 구성도

나. 시스템 간 인터페이스 조사

(1) 시스템 인터페이스 구성

(가) ETCS 시스템 인터페이스

본 연구에서 개발하는 열차제어시스템은 유럽 ETCS Level 3를 시스템요구사항으로 정하여 개발하고 있다. [그림 11]은 ERTMS/ETCS 시스템 구성도로 지상설비(ETCS Trackside)는 발리스와 무선폐색센터(RBC), 무선키관리시스템(KMC) 등으로 구성되며 차상장치(ETCS On-board)는 차상컴퓨터, 속도거리 장치, 차상안테나, BTM, 무선 안테나, 자료 기록장치, 운전자 표시장치 등으로 구성 된다. ERTMS/ETCS 시스템은 상호 호환을 위하여 지상/차상장치간 및 기타장치와 인터페이스를 표준화하고 있다. 예를 들어 BTM과 발리스간 인터페이스 규격은 SUBSET-036, 지상과 차상장치간 인터페이스 규격은 SUBSET-037 이다.

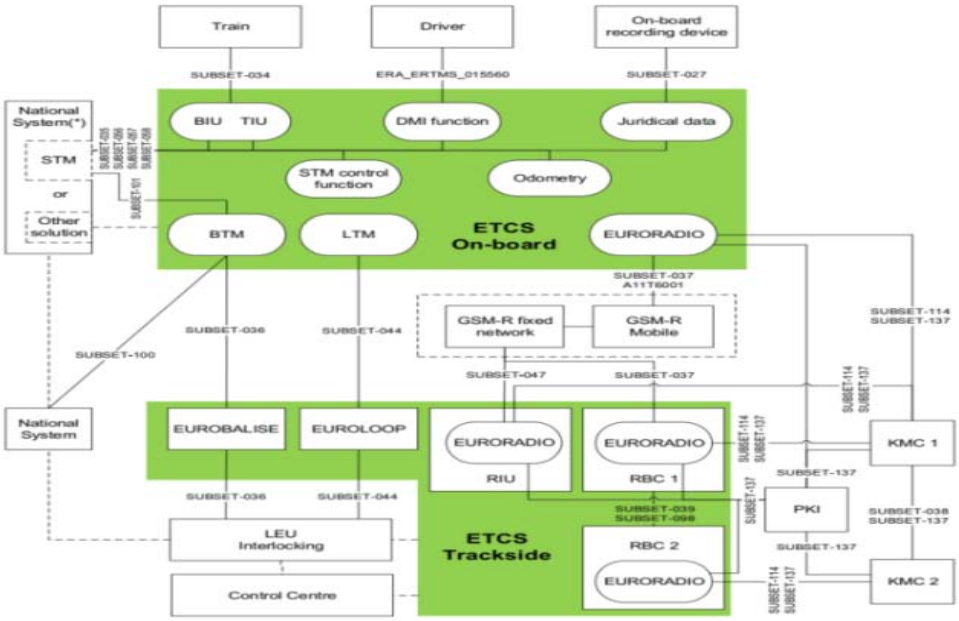


그림 25. ERTMS/ETCS 시스템 구성도

(나) ATP 시스템 인터페이스

차상ATP장치는 타코미터센서(도이타 베르크 社), 도플러 레이더 센서(도이타 베르크 社), 자료기록장치(세세론 社), 제동(Braking)장치, 운전자표시기(MMI), 보조속도계, 입력전원 및 LV(저전압 입력신호) 등의 주변장치와 인터페이스 되며 인터페이스 구성 및 주요 송·수신 정보는 [그림 12]~[그림 13]과 같다.

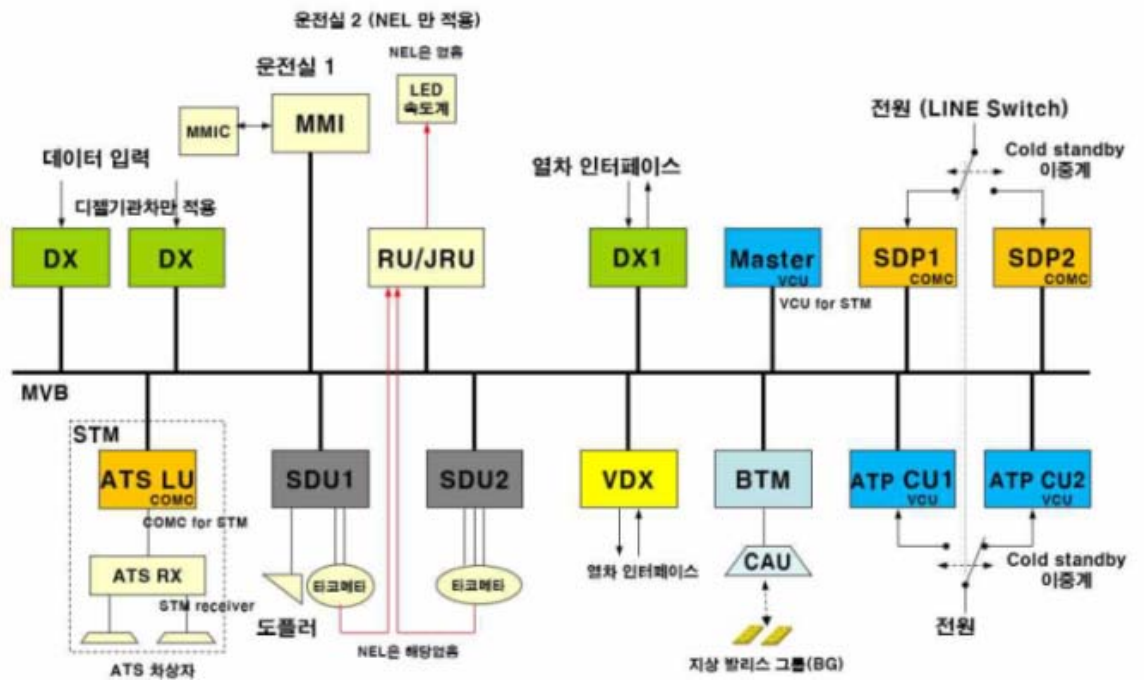


그림 26. 차상ATP장치의 주변 장치 인터페이스



그림 27. 차상ATP장치의 주변장치 인터페이스에 따른 주요 전송 정보

(다) ATO over ETCS(AoE) 인터페이스

열차 자동 운전(Automatic Train Operation: ATO)은 도시철도 분야에서 현재 널리 사용되고 있다. 유럽 내 일반선로의 성능 및 운행 효율 향상에 대한 요구에 따라 ERA는 현재 구축되어 있는 열차 자동 방호(Automatic Train Protection: ATP) 기반에 상호운용성이 더하여진 ERTMS/ETCS에 ATO시스템을 추가하므로 열차 주행에 기관사를 보조하거나 대체하는 계획을 추진 중이다. 하지만 일정한 차종과 일정한 진로를 운행하는 도시철도 시스템과는 달리 일반선로는 다양한 열차 종류, 선로의 복잡성이 혼재한다. 따라서 일반선로에 구축되는 ATO 시스템은 도시철도에 적용된 ATO 시스템과 구분되며 단순히 도시철도 ATO 시스템을 적용하는 것이 아닌 일반선로를 위한 운영 목표, 예를들어 교통 관리 시스템에서 오는 정보를 사용하여 서비스의 정시성과 탄력성을 향상시키고 에너지를 절약 등의 목표 달성을 위한 ATO 기능이 고려되었다.

AoE 프로젝트는 ERA가 Shift2Rail와 함께 추진하고 있으며 2017년까지 Grade of Automation(이하 GoA)의 2단계에 해당하는 수준의 사양을 완성하여 2019년 상반기에 시험선 구현까지 진행하며 동시에 GoA3/4 수준에 해당하는 연구를 병행하여 2020년까지 사양을 제정하고 2022년 시험선 구현이 계획되어 있다.

Shift2Rail에서 제안하는 AoE 시스템 아키텍쳐는 [그림 28]과 같이 ETCS 지상 및 차상 장치와 ATO 지상 및 차상장치로 구분되어 있다. 특히 ATO의 지상부분은 인접한 ATO 지상 시스템 및 TMS와 인터페이스하며 열차 운행 스케줄에 대한 정보를 수신한다. AoE 아키텍쳐의 ATO의 주요 인터페이스 사양은 [표 5]와 같다.

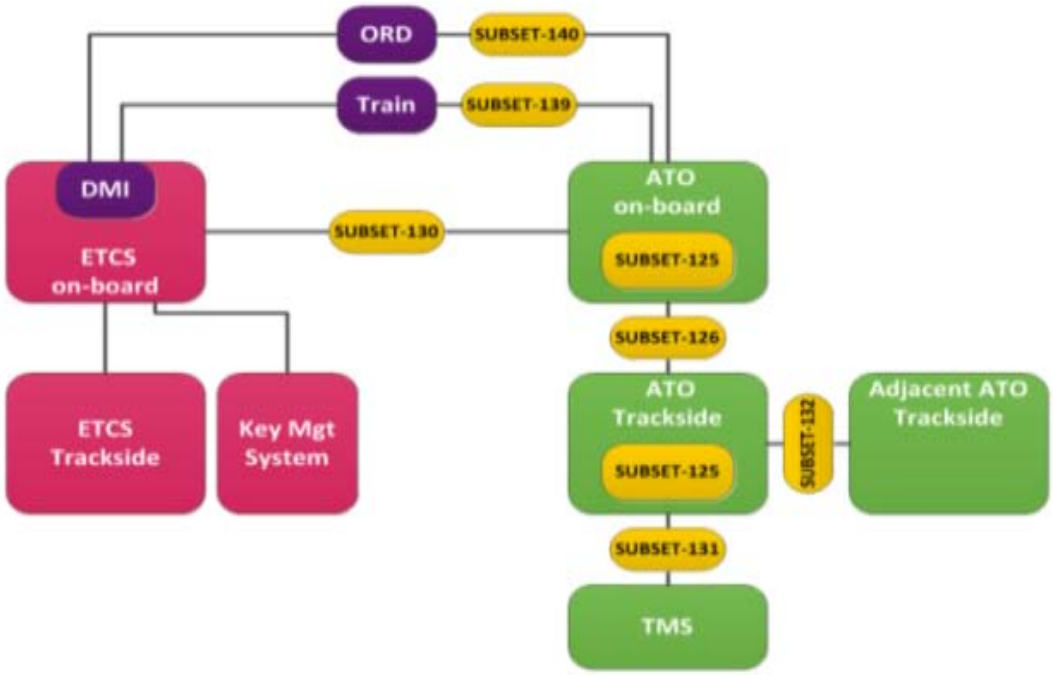


그림 28. Shift2Rail의 AoE 아키텍처

표 5. AoE 주요 SUBSET 리스트

SUBSET	최종 버전	내용
SUBSET-125	Draft	AoE 시스템 요구사항 사양
SUBSET-126	Draft	ATO차상과 ATO지상 간 인터페이스 사양
SUBSET-130	Draft	ATO차상과 ETCS차상 간 인터페이스 사양(FIS)
SUBSET-131	Draft	ATO지상과 TMS 간 인터페이스 사양(FIS)
SUBSET-132	Draft	ATO지상과 ATO지상 간 인터페이스 사양(FIS)
SUBSET-139	Draft	열차와 ATO 차상 간 인터페이스 및 견인/제동 사양
SUBSET-140	Draft	데이터 레코더와 ATO 차상 간 인터페이스 사양

(2) 열차무결성검지장치 인터페이스

ETCS L3는 궤도회로를 사용하지 않으므로 열차가 스스로가 무결성을 확보해야 한다. 다시 말해 열차가 차량의 길이, 열차분리를 검지하여 이상이 발생한 경우 진로를 쇄정하거나 적절한 조치를 취해 한다. 따라서 열차무결성검지장치는 차상ATP와 열차무결성에 대한 정보를 실시간 인터페이스 해야 한다. [그림 29]는 차상ATP장치와 열차무결성검지장치간 정보 전송 개념도이다.



그림 29. 열차무결성 검지 및 정보 전송 개념도

(3) 기관차 인터페이스 조사

(가) 기존장치와 연결

기존장치와 인터페이스에서는 기존장치의 전원장치, 제동장치, 견인장치 및 기타 장치들과 실제적인 인터페이스에 대하여 정의되어야 하다. 기존 차상ATP시스템은 아래와 같은 신호들은 ATP시스템이 통제가 될 수 있도록 인터페이스 되어있으므로 개별 모든 아래 신호를 병렬로 연결해서 차상ATP장치로 연결되도록 한다.

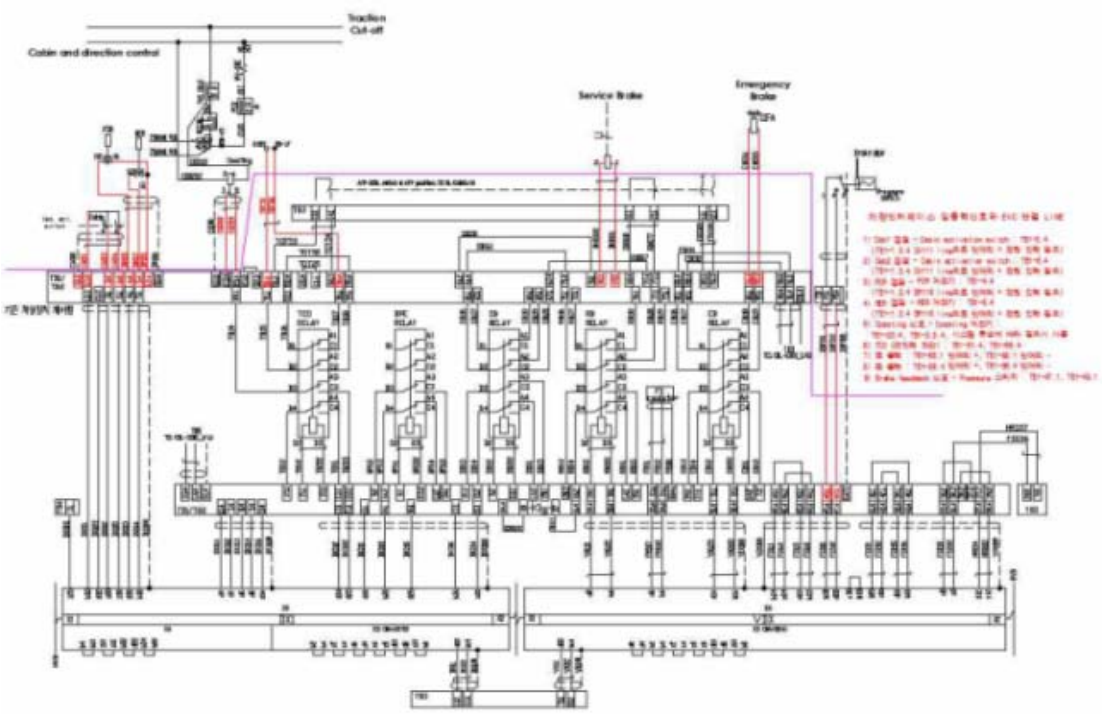


그림 30. 디젤기관차 인터페이스 부분 회로도 일부분

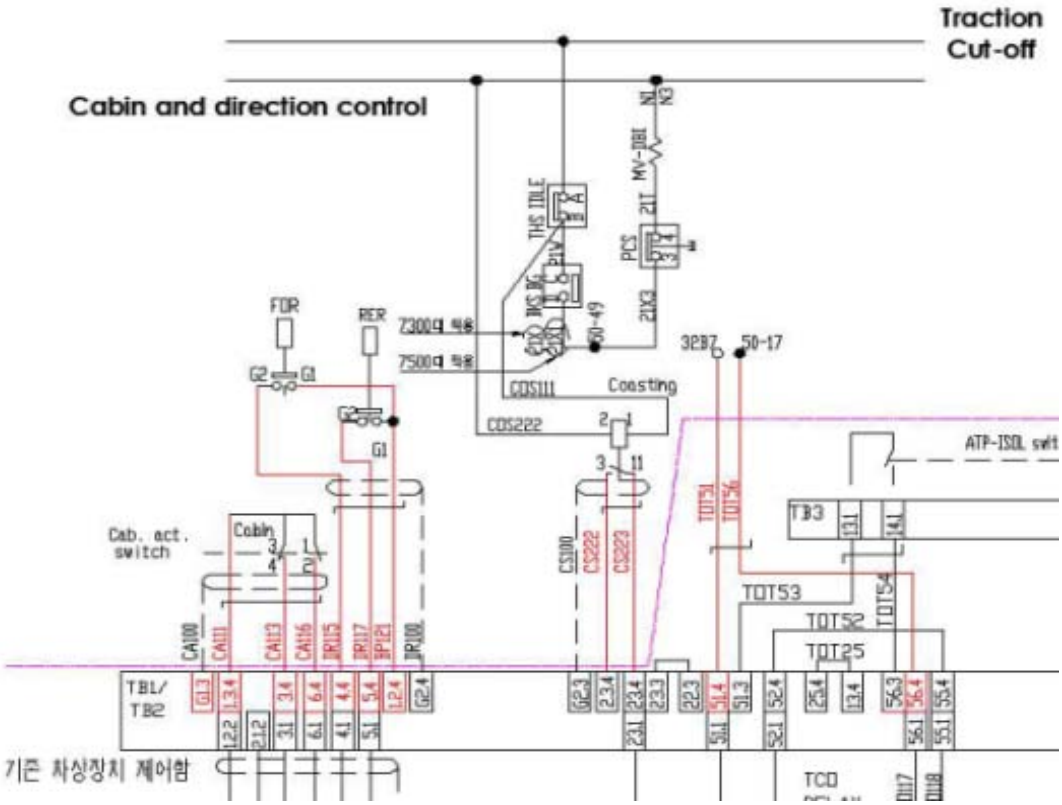


그림 31. 디젤기관차 CAB선택, 전/후방 선택 인터페이스 회로도

(나) 인터페이스 고려사항

시스템의 인터페이스는 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안정성을 고려한 ERTMS/ETCS SRS 표준규격을 준수하며, 주요 인터페이스 구성으로는 전원공급, 운전실과 방향제어, 추진제어, 제동지시와 제동피드백 및 보조 차량인터페이스 부분이 있다. 다음은 기존 장비(외부)와의 인터페이스 시 고려사항을 나타낸다.

표 6. 디젤기관차 인터페이스 고려사항

항목	내 용
전원공급	▪ 공급전압이 지정된 제한 이내로 유지보호(지속적인 과/저 전압발생시) ▪ 이상발생시 +, - 회로 완전차단
제동 지시 및 제동피드백	▪ 위험상황 발생 시 제동지시 보호 (제어 Fail 발생 가능성 고려) ▪ 운행 중 제어지시 시 즉각적인 동작보호 ▪ 제동출력으로 연결된 외부장치에 의한 절연장애나 전압영향의 위험분석 ▪ 실제 제동레벨에 대한 정확한 정보 (비상제동 적용 시)
운전실 방행 제어	▪ 운전실 가동상태와 제어방향에 대한 정보보호 ▪ 운전실 선택스위치에 따른 선택입력을 EVC로 전달하여 선택상태 감시
추진제어	▪ 추진레버의 보호(견인 차단기능오류 발생시) ▪ 견인차단회로(TCO)에 명령지시 시 견인회로 차단 ▪ 기존 공기제어 회로계전기를 소자하여 추진 차단

(4) 구성품 인터페이스 조사

ATO over ETCS L3 의 세부 구성품이 확정되지 않아 현재 사용중인 단위 구성품의 설비를 조사한다.

(가) 타코미터 구성

U/F 하부설치 주행계의 타코미터는 4개의 채널이 있으며 채널 1과 2, 채널 2과 3 사이에 120의 위상각 변위가 가능하다. 또한 펄스 디스크의 광전자 스캐닝을 통해 속도 펄스 신호가 생성되면 1회전 당 128 펄스를 공급한다.(상세 사양은 원제작사 사양서 참조 : DF16_GB_059109420A0)

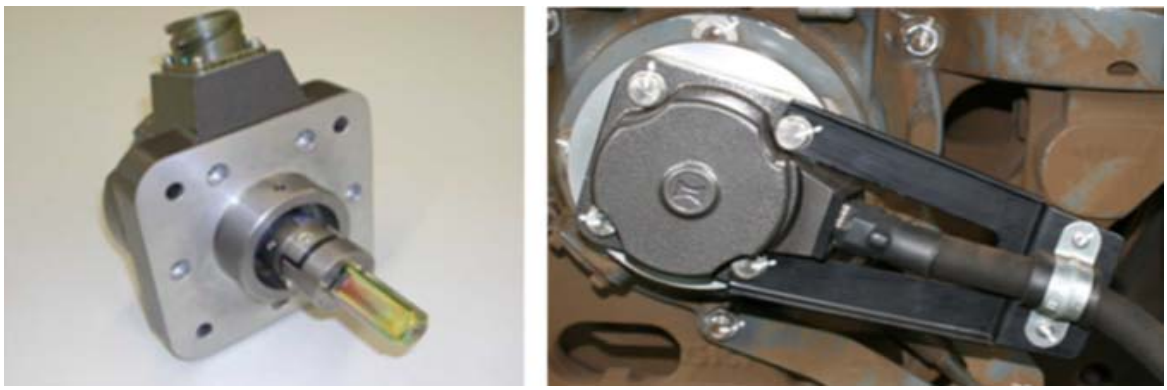
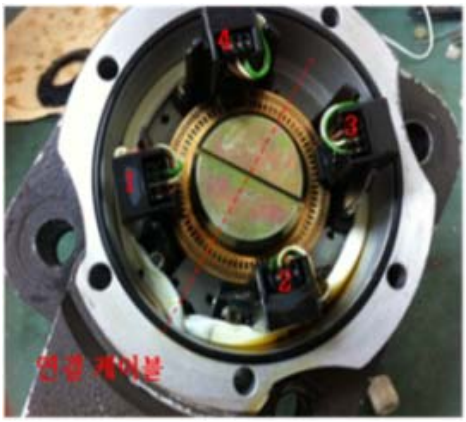


그림 32. DF16 타코미터 사진



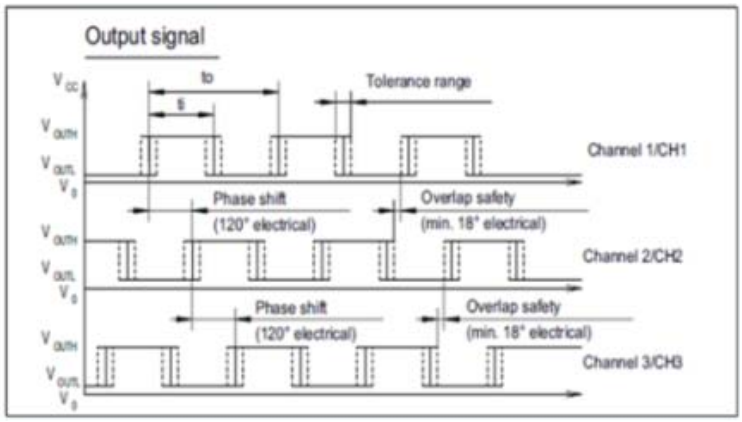


그림 33. DF16 타코미터의 채널 별 위상 관계

표 7. DF16 타코미터의 상세 사양

이미지	구분	사양
	전원	· 10V DC ~ 30V DC
	소비전력	· 채널 당 최대 35mA
	부하전류	· 외부부하저항 RL에서 최대 100mA
	채널	· 채널1/채널2 : 120°, · 채널3/채널4 : 120° · 채널2/채널3, 채널1/채널4 : 미 정의
	속도범위	· 0 … 2000rpm
	펄스/회전	· 200
	온도범위	· -40°C - +70°C

(나) 도플러 레이터 구성

U/F 하부설치 주행계의 도플러 레이더는 설치 사진 및 주요 사양은 다음 그림 및 표와 같다.(상세 사양은 원제작사 사양서 참조 : DRS05_GB_059106230N)

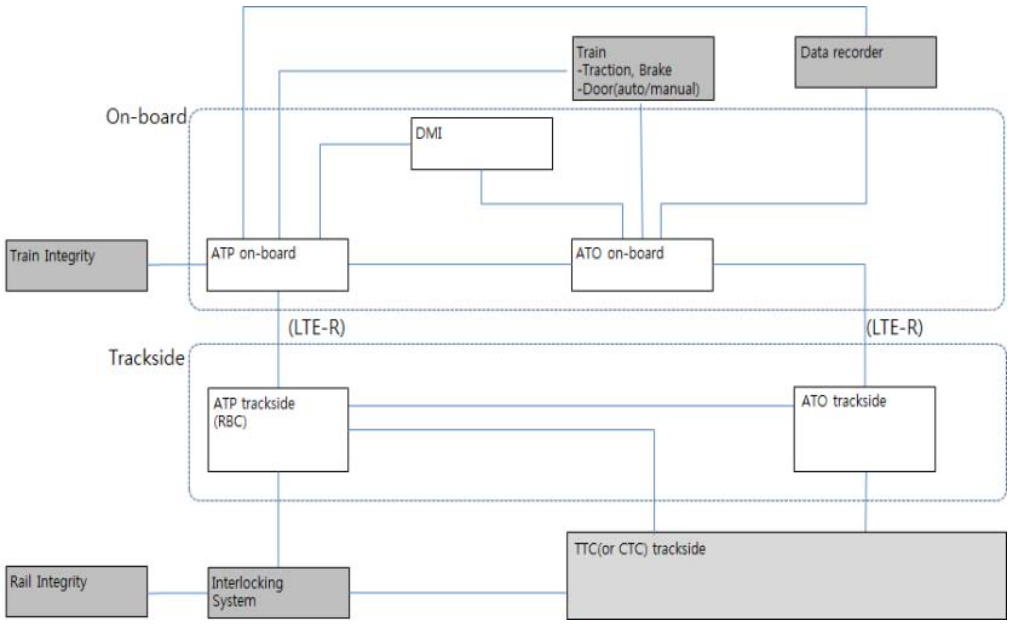
표 8. 타코미터의 상세 사양

이미지	구분	사양
	형식	· DRS05
	공급전압	· 15V DC < UE < 150V DC
	직렬 인터페이스	· RS485 2선
	펄스출력	· km/h당 69.44Hz · 속도에 정비례하는 주파수
	작동온도/보관온도	· -40℃ ~ +70℃
	충격	· 5g, 50ms · LES-DB에 따라 3방향(축)
	안테나	· 패치(평면) 안테나를 통한 송신/수신
	안테나 전송주파수	· 24.125GHz (K 대역)

다. 열차제어시스템 개발사양 조사 분석

(1) 시스템 인터페이스 구성

(가) KTCS L3의 구성도 및 인터페이스 내용

구분	내용
KTCS L3 시스템 구성도	 [KTCS L3 시스템 인터페이스 구성도]
	○ KTCS L3 시스템 구성 - RBC(ATP Trackside)와 차상 ATP의 열차제어시스템에 기관사의 운전 보조를 위한 지상 및 차상 ATO 장치가 추가됨 - CTC의 기능이 자동 운전에 적합하게 보완됨 ○ KTCS L3 시스템 인터페이스 - 자동운전을 위해 차상 ATO는 제동장치, 추진, 출입 문제어 기능과의 인터페이스 필요 - 무궤도회로로 열차무결성검지장치가 새로 추가되어 타 장치와의 인터페이스 필요 - 레일절손 등 선로의 이례사항 검지를 위한 Rail Integrity와의 인터페이스 필요

(2) 개발사양 조사 분석

(가) 안전거리 목표 분석

KTCS L3 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하지 않고 차상장치에서 전송하는 위치정보를 이용하여 이동권한 생성, 진로제어 등을 하게 된다. 궤도회로의 경우 열차와 레일의 물리적 접촉에 의해 열차를 검지하기 때문에 위치의 정확도는 문제가 되지 않는다. 그러나 KTCS L3의 경의 발리스 통과 시 절대위치를 전송하고 발리스와 발리스 사이에서는 차량의 타코미터와 도플러 센서에 의한 최종 발리스(LRBG)에서 상대위치를 차상장치에서 계산하여 전송하므로 오차가 발생하게 된다. 또한 무선을 이용하여 위치 및 제어정보를 전송하기 때문에 무선 통신 두절시 일정 횟수만큼의 여유횟수를 두게 되는 데 일반적으로 3회 또는 3초를 적용하게 된다. 그리고 열차제어시스템에서 요구하는 처리시간 및 차량의 상태에 따른 제동지연, 제동감속도 변화도 안전요건에 반영되어야 할 요소이다. 이러한 안전요건을 조사하고 최악의 시나리오를 작성하여 안전마진(안전여유거리)을 설정하게 된다. 본 연구에서는 1세부에서 이동폐색에서 실시간 위치 검지 및 열차안전간격 제어를 위한 안전 여유 거리를 다음 표와 같이 2~3편성 길이(0.8~1.2㎞)로 정의하고 있다.

(나) 이동폐색 안전여유거리 분석

KTCS L3의 기본개념은 이동폐색으로 CBTC와 유사하여 신분당선 안전여유거리 적용사례를 조사하여 본 연구에서 유사하게 적용하여 계산한다. 신분당선의 경우 이동폐색을 사용하고 있으며 안전 마진은 통신고장(3초), 대차 1편성 제동장치 고장 등 최악의 시나리오를 가정하여 90㎞/h 속도에서 65m의 안전마진을 부여하고 있다. 물론 속도가 감소하게 되면 안전여유거리는 65m보다 줄어들게 된다. KTX 산천의 최악의 시나리오는 대차 제동장치 1개 고장, 통신고장으로 장애가 발생된 상황에서 안전여유거리에 대하여 계산한다. 다음 표에서 같이 최고속도 300㎞/h에서 1대차 제동장치 차단 시 비상제동 거리는 292m 증가하게 된다.

○ 300㎞/h 비상제동 거리 : (정상) 3,215[m], (1대차 차단) 3,507[m]
  * 감속도 : (정상) 1.08[m/s^2] (1대차 차단) 0.99[m/s^2]

○ 1대차 제동 차단 시 제동거리 차이 : 292[m]

열차의 속도를 계산하는 타코미터의 허용오차를 3%로 적용하여 계산하면 308㎞/h에서 300㎞/h로 감소하는데 필요한 거리는 174m이며, 통신지연 3초 동안 300㎞/h로 이동하는 거리는 초당 83.33m로 3초를 곱하면 약 250m를 이동하게 된다. 발리스 거리오차는 본 연구에서 80m를 목표사양으로 하고 있다. 실제는 타코미터 오차로 인해 더 많은 오차가 발생할 수 있으나 이번 계산에서는 제외한다. 끝으로 지상 및 차상 ATP가 반응하여 동작하는 시간을 각각 1초로 계산하여 합계는 962m이다. 여기에 신분당선은 지하구간이라 외부 환경요건에 영향을 많이 받지 않으나 고속 및 일반철도는 눈, 비, 낙엽 등 날씨 및 서리 등에 대한 영향으로 제동거리가 늘어나는 변수로 작용할 수 있어 점착력을 70% 수준으로 계산 할 경우 약 1,251m의 안전여유거리가 필요 할 것으로 판단된다.

표 9. KTX 산천 이동폐색 적용시 안전거리

내용	목표값
열차 최고속도	300 [㎞/h]
1대차 제동 차단시 비상제동 오차	292 [m]
열차속도 8㎞/h 오차에 대한 제동거리	174 [m]
통신지연(3초)에 대한 제동거리	250 [m]
발리스 오차거리	80 [m]
지상 ATP의 반응시간(0.07 ~ 1[초])	83 [m]
차상 ATP의 반응시간(0.07 ~ 1[초])	83 [m]
소계	**962 [m]**
맑은날 대비 눈, 진눈깨비 시 점착력	30 [%]
안전마진 적용값	**1,251 [m]**

(다) KTX 제동거리 및 조정 시 효과 분석

고속철도 제동구간(폐색 길이) 결정은 ATC 제동거리(4단계, 6㎞)는 KTX Ⅰ(TGV) 차량의 감속곡선에 맞춰 견인력, 제동력, 하중, 주행저항 등의 열차데이터, 운행구간 내 구배, 곡률 등의 선로데이터, 안전거리, 정보 수신 시간 등의 신호데이터를 종합하여 동일한 간격으로 추가 제동취급이 필요 없는 최적의 길이(폐색 길이 1.5㎞)로 선정되었다. 현재 제한속도는 270-230-170-000의 4단계로 감속하여 정차 시까지 총 131초의 제동시간이 소요된다.



번호	중간속도	속도제어
1	0㎞/h	0
2	166.07㎞/h	170
3	226.79㎞/h	230
4	264.12㎞/h	270

그림 34. 경부고속선 ATC 제한속도

이동폐색과 유사하게 궤도회로 길이를 짧게 조정하여 운전시격 단축할 경우를 가정하여 폐색길이(궤도회로 길이)를 절반(0.75㎞)으로 분할하여 감속구간을 동일하게 6㎞로 맞출 경우 운행시간은 131.3초로 기존 4폐색 대비 0.3초 증가한다.

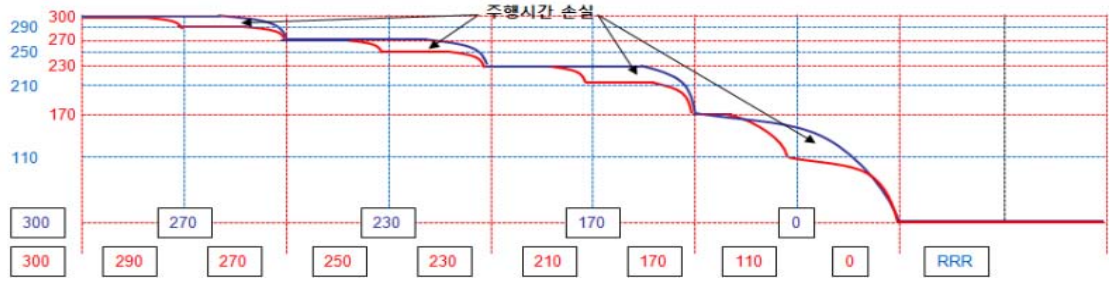
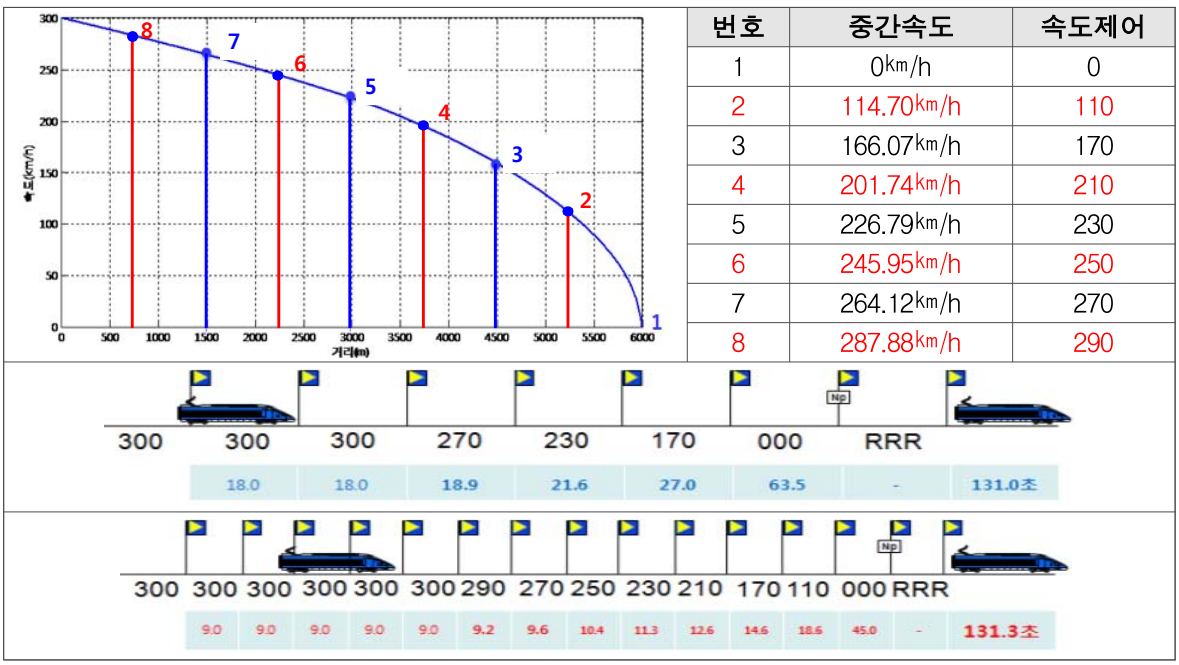


그림 35. 속도코드 추가에 따른 감속 시퀀스 및 주행시간 비교(폐색길이 0.75㎞)

또한 폐색길이가 줄어들 경우 KTX 차상장치가 지상에서 받은 속도코드를 분석하여 현시하는 시간(2.4초), 기관사가 현시된 속도에 반응하는 시간(2초), 실제 차량에 제동이 체결되는 시간(약 3초) 등을 감안할 경우 제동취급을 위한 여유시간은 1.8초로 줄어들어 기관사는 상용제동취급 지연시 비상제동 체결 가능성이 높아진다.

예) 290 구간 : 주행시간 9.2초 - 공주시간 7.4초 = 감속제어 가능시간 1.8초

결과적으로 폐색길이를 축소하는 것은 기관사에게 잦은 경고 및 제동 취급 여유시간 부족으로 인해 운전취급에 대한 부담이 가중될 수 있어 적정한 시스템은 아닌 것으로 판단된다.



번호	중간속도	속도제어
1	0㎞/h	0
2	114.70㎞/h	110
3	166.07㎞/h	170
4	201.74㎞/h	210
5	226.79㎞/h	230
6	245.95㎞/h	250
7	264.12㎞/h	270
8	287.88㎞/h	290

그림 36. 속도코드 추가에 따른 운행곡선

이처럼 현재 사용하고 있는 고속선의 TVM430시스템은 열차의 제동곡선을 기준으로 궤도회로를 분할하고 운행속도를 부여하는 매우 잘 설계된 시스템이다. 궤도회로 길이 축소, 속도코드 변경 등에서 볼 수 있듯이 궤도회로 최적화에 대한 의미가 없는 것으로 판단된다. 따라서 KTCS L3 과제에서 열차제어시스템 설계완료 후 Moving Block 적용과 현재 TVM430에 대한 운행효율 계산 및 검증에 대한 부분이 필요할 것으로 보여진다.

라. 하부시스템 성능 및 개발 목표 정의

(1) 시스템 개발 목표

표 10. 시스템 개발 목표

성능	요구사항
열차운행최고속도	350㎞/h
자동운전수준	GoA2
열차위치검지정밀도	±80m (지상자 간 거리 최대 1,500m 적용)
열차속도검지정밀도	±8.8㎞/h (열차최고속도 350㎞/h 적용)
동적속도프로파일(ATP 프로파일)과 알람 프로파일 간 속도 여유	5㎞/h
동적속도프로파일(ATP 프로파일)과 상용 프로파일 간 속도 여유	5㎞/h
열차위치정보 전송주기	최소 0.5초
열차이동권한정보 전송주기	최소 0.5초
자동운전모드에서 열차운행최고속도	300㎞/h
정위치정차 정밀도	±2.5m

(2) 가상폐색 사양

(가) 선로전환기가 있은 구간

가상폐색을 이용한 ETCS L3 구현시 역 구내, 분기부 등 선로전환기가 있는 특수 구간에는 열차검지 보조장비로 엑셀카운터를 설치하고 별도의 폐색을 구성하여 열차진로제어 및 철사쇄정에 사용하여 안전을 확보하도록 한다.

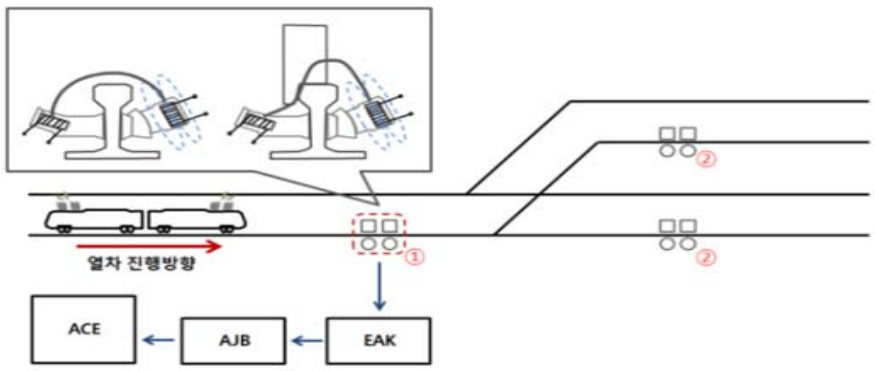
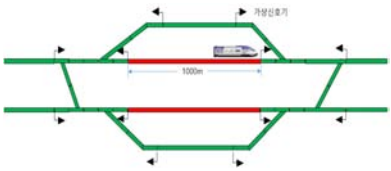
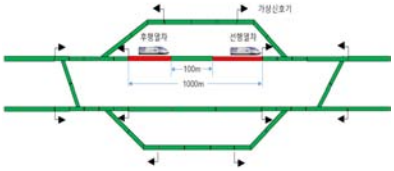
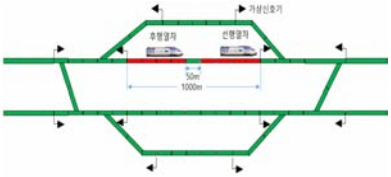


그림 37. 분기부 엑셀카운터 설치 및 폐색구성

(나) 그외 구간

구내의 경의 복합 열차운행으로 가상 폐색의 길이를 조밀하게 설정할 필요가 있고, 역간의 경우 운행 효율을 고려하여 적정한 간격을 확보하여야 한다. 다만 가상폐색이 조밀하게 되면 RBC 및 EIS에 부담을 줄 수 있어 적정한 선정이 필요한 상태이며 전문가 자문 및

연구단에서 최종 사양을 선정할 예정에 있다.

궤도회로길이 동일	100m	50m
		

(3) LTE-R의 성능

LTE-R의 현재 성능은 TTA 규격에 따라 성능목표를 정의하고 있고 1세부에서 신뢰성 및 가용성을 높이는 연구를 진행 중에 있다. 아래 표는 ERTMS의 GSM-R과 KTCS의 LTE-R의 성능을 비교한 표로 기존 대비 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

표 11. GSM-R과 LTE-R 비교

시험 항목	유럽기준(GSM-R)	국내기준(LTE-R)
호 접속 성공률	99%	99%
호 접속 시간(망 기준)	< 8.5s(95%) ≤10s(100%)	1.5s(95%) 2.0s(99%)
절단율	1%/h	1%/h
기지국 핸드오버 성공률	없음	99%
네트워크 등록 지연	≤30s(95%) ≤35s(99%) ≤40s(100%)	≤25s(95%) ≤30s(99%) ≤35s(100%)
최대 이동속도	350 km/h	350 km/h
수신전력	95% 커버리지 -90dBm 이상	95% 커버리지 -90dBm 이상
데이터 전송 실패율	10-4/h 이하	10-4/h 이하
최대 데이터 지연시간	450ms	450ms

(4) 열차위치검지 성능

고정밀 열차위치검지의 성능은 국내외 종합검측차에서 확인한 결과 300㎞/h에서 ±2m 오차로 본 연구에서는 운영 시스템으로 고정밀 위치검지가 필요 없어 현재 3% 세부목표가 적정하다.

표 12. 국외 유지보수 검측차 성능비교

검측차명	Archimede	IRIS320	CRH380A-1 CRH380B-1	EM250	EAST-i
제작국가	이태리 (MerMec)	프랑스 (SNCF)	중국 (중국철도부)	오스트리아 (Plasser)	일본 (도큐차량)
검측최고속도	250km/h	320km/h	400km/h	250km/h	275km/h
위치검지기술	차륜센서 도플러레이더 RFID 레이저센서	차륜센서 DGPS RFID	차륜센서 DGPS RFID	차륜센서 DGPS	-
위치검지성능	-	2m	2m	0.5m (DGPS보정)	-

마. 단계별 성능검사 절차서 작성

(1) 성능시험 단계

ETCS L3 종합성능시험은 연구 개발품의 기능시험 및 현차시험을 포함하고 있어 유럽표준규격(Subset)을 사용하므로 그림 38과 같이 3단계로 시험을 진행한다.



그림 38. 종합성능시험 단계별 시험구분

1단계, 개발사에서 시행하는 자체 기능시험 및 환경시험을 확인하는 단계로 제작사양에 적합하게 기능 시험을 시행했는지 확인한다. 외부 공인기관의 성적서 또는 SIL4 인증 관련서류도 확인이 가능하다.

2단계, 각 제작사에서 기능시험을 하였으므로 상호 인터페이스를 검증을 위한 지·차상 통합기능시험 단계로 Subset-076 시나리오 및 현장 시험선로와 동일한 데이터를 사용하여 시험하게 된다. 통합 기능시험에 사용되는 장비는 유럽 공인인증기관의(Multitel社) 공인 시험장비를 사용하여 진행한다.

3단계, 통합시험이 정상적으로 종료한 경우 시험차량에 설치하여 동적상태를 시험하는 단계로 제동시험, 제한속도에 따른 동작, 정위치 정차 시험 등이 포함되며 완성차 시험수준으로 진행된다. 시험 항목은 오송종합시험선로 및 호남고속선에서 시험 선로환경에 따라 시행한다.

(2) 시작품 기능 및 환경시험

(가) 지상장치

지상장치의 기능은 개발사양에 따라 진행하며 관련내용은 SIL4 인증자료를 확인하고 환경시험은 KRS SG 0067-14(지상 신호제어설비 시험방법)에 따른 시험성적서를 확인한다.

① 전원변동시험

안전한 동작이 가능한 전원공급의 변동범위를 확인하는 시험으로 IEC62498-3을 참고하였다. 전원공급기의 사양으로 공칭전압, 전원 변동 범위 및 내란, 공칭 주파수 및 변동 범위 등을 포함하여야 하며 직류 전원을 사용할 경우 정격 전압의 상한치에서 하한치까지 변화시키면서 성능시험을 실시하여야 한다.

③ 온도시험

성능 확인을 위해 초기, 중간 및 최종단계에서 성능검사를 실시하여야 하며, 저온(IEC 60068-2-1), 고온(60068-2-2)에 따라 시험방법을 각각 준수한다.

④ 온도 사이클링 시험

온도 변화 상태에서 IEC 60068-2-14에 따라 수행하며 온도변화의 범위는 실외에 설치되는 장치의 경우는 -40 ± 3℃에서 70 ± 2℃의 범위에서 시험하며 실내에 설치되는 장치는 IEC 62498-3 또는 당사자 간 협의에 따라 결정한다.

⑤ 고온 고습 시험

고온 고습 상태에서 시험을 실시하며 IEC 60068-2-30의 시험방법에 따라 수행한다. 상한 온도는 55℃로 하며 사이클 수는 2주기로 한다. 시험품 성능을 확인하기 위하여 초기와 중간 및 최종단계에서 성능 검사를 실시하여야 하며 시험결과 성능 및 절연 상태에 이상이 없고 기계적 결함이 없어야 한다. 부품 또는 시험품의 표면에 이슬이 맺히는 상태에서 사용하는 조건인지 보관하는 조건인지에 따라 중간 단계에서 실시하는 성능검사는 협의하여 실시 유무를 결정할 수 있다.

⑥ 전기자기 적합성(EMC) 시험

IEC 62236-4에 따라 전기자기 방사가 주변의 다른 장치에 장해를 일으키지 않도록 허용기준 이하로 유지되는지 확인하고 일정한 조건의 전기자기 장해에 대하여 안전한 동작이 가능하도록 내성을 가지는지 확인하는 시험이다.

⑦ 절연저항 및 내전압 시험

전기적 절연 상태를 확인하는 시험으로 시험방법과 기준은 IEC 60571을 적용하였다. 절연저항 시험과 내전압 시험은 설치위치에 관계없이 시험방법은 동일하며 사용 전원에 따라 시험 기준이 달라진다. IEC 60571은 철도 차량에 사용되는 용품에 대한 규격으로 사용 전원이 직류 315V 또는 교류 225V까지만 규정되어 있으나 지상 신호제어설비 중 600V를 사용하는 장치가 있어, 철도 차량용 전기장치에 적용되는 IEC 60077-1을 적용하고 회로의 공칭 교류전압이 300V에서 660V 사이인 경우를 추가하였다.

⑧ 진동 및 충격 시험

철도 운용 환경에서 발생하는 진동 및 충격 조건에서 정상동작이 가능한지 확인하는 시험으로 IEC 62498-3에 따라 시험하도록 규정하였다. 장치의 설치위치에 따라 진동 및 충격의 강도가 다르게 규정되어 있어 설치위치를 확인하여야 한다. IEC 62498-3 진동 시험은 국가별로 정현파 진동 조건으로 시험이 가능하도록 규정하고 있어 국내 철도 신호용품 진동 시험 규격인 KS R 9186을 적용하여 시험하는 것도 가능하다.

⑨ 방진 및 방수 시험

먼지 등의 물질과 물에 대한 오염에 대해 시험품을 보호할 수 있는지 확인하는 시험으

로 IEC 60529의 시험방법에 시험을 실시하도록 규정하였다. IEC 60529는 보호등급을 IP 코드로 규정하고 있으며 사용 환경에 따라 필요한 IP코드를 규정하여야 한다. 먼지와 물에 의한 오염이 예방되는 실내에 장착하는 장치에 대해서는 시험을 면제할 수 있다.

(나) 차상장치

차상장치의 기능시험은 개발 사양에 따라 진행하며 관련 내용은 SIL4 인증자료를 확인하고 환경시험은 KRS SG 0003-13(철도차량 차상신호장치 시험방법)에 따른 시험성적서를 확인한다.

① 전원 전압 변동 시험

허용오차 범위 내에서 전원변동이 있을 경우 시험품이 요구되는 성능을 만족하는 지의 여부를 시험하는 항목이다. 직류 전원인 경우 전원 변동 시험은 규정된 정격 전원 전압의 하한치에서 상한치까지 변화시키면서 성능검사를 수행했을 때 이상이 없어야 한다.

② 온도시험

성능 확인을 위해 초기, 중간 및 최종단계에서 성능검사를 실시하여야 하며, 저온(IEC 60068-2-1), 고온(60068-2-2)에 따라 시험방법을 각각 준수한다.

③ 고온 고습 시험

고온 · 고습상태에서 요구되는 성능을 만족하는 지의 여부를 시험하는 항목이다. 고온 고습 시험은 IEC 60068-2-30 시험방법에 따라 상한온도를 55℃로 하며 사이클 수를 2 주기로하여 7.3.3항 방법 1을 적용하였을 때 초기측정, 첫번째 주기와 두번째 주기 시험 후 시험품 외관 및 절연상태, 성능검사에 이상이 없어야 한다. 첫번째 주기에서 실시하는 성능검사는 협의에 따라 실시 유무를 결정할 수 있다.

④ 온도 사이클링 시험

시험품이 온도의 변화에 대해 요구되는 성능을 만족하는 지의 여부를 시험하는 항목이다. 온도 사이클링 시험은 IEC 60068-2-14 시험방법에 따라 수행하며 온도변화의 범위는 IEC 60571 또는 당사자간 협의에 따라 결정한다. 온도 변화의 사이클 수는 5주기로 하며 저온과 고온의 방치시간을 각각 30분 이상을 구성해서 시험했을 때 성능에 이상이 없어야 한다.

⑤ 과전압시험

과전압시험은 KS C IEC 60571의 12.2.6.1에 따른다. 시험파형이 시스템 전원전압과 같은 극성을 가지며 시험전압의 크기와 지속시간은 시험품과 연결되지 않은 상태에서 측정한다. 시험파형을 5번 적용한 후 적용한 후 시험품의 성능에 이상이 없어야 하며 시험품의 소자 및 기계적 결함이 없어야 한다. 연속으로 시험파형을 적용할 때 간격은 1분을 넘지 않아야 한다.

⑥ 전기자기 적합성 시험

전기자기 적합성 시험방법 및 기준은 IEC 62236-3-2에 따른다.

⑦ 절연저항 및 내전압 시험

㉮ 절연저항 측정시험

- 전기 계측기는 DC 500V 절연저항계를 사용한다.
- 프레임과 도전부 사이에서 측정 시 절연저항은 20㏁이상 이어야 한다.

- 기기·계기등에서 절연저항 측정시험에 적합하지 않은 것은 시험 회로로부터 분리하거나 단자를 단락한다.

㉣ 내전압 시험

- 절연 저항이 확인된 시험품에 대해 내전압 시험을 실시한다.
- 차상신호장치로부터 전압을 공급받는 장치에 대하여 적용하지 않는다
- 내전압 시험은 모든 단자가 단락된 입·출력 단자와 프레임 사이에서 실시한다.

⑧ 진동 및 충격 시험

진동 및 충격 시험은 IEC 61373에 따라 시험 시 외관 및 성능검사에 이상이 없어야 한다.

⑨ 방수 시험

방수 시험은 KS C IEC 60529 규격의 시험방법에 따라 실시했을 때 외관 및 성능검사에 이상이 없어야 한다. 방수시험은 실내장비에 대하여 시험을 적용하지 않는다.

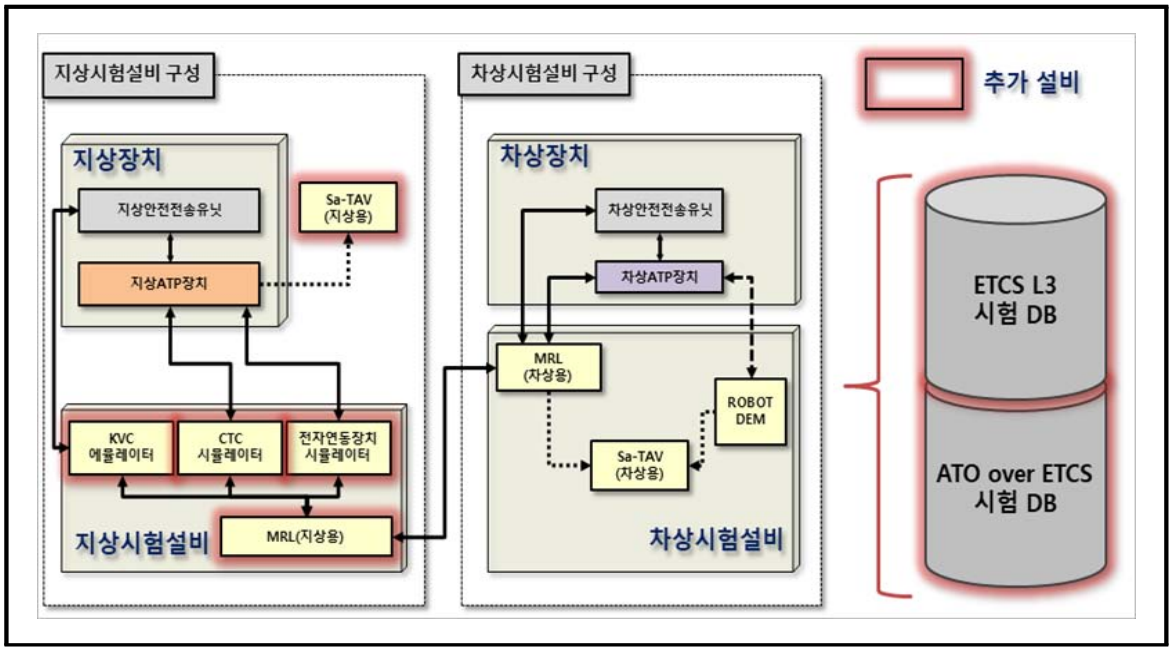
⑩ 조합 시험

시험품의 구성 장치간 그리고 시험품과 연계되는 장치들과의 통신을 통하여 요구 성능을 만족하는 지에 대한 적합성을 시험하는 항목이다. 관련 장치들과 연결되는 시험품의 입출력 단자들의 기능을 확인하기 위하여 파형발생기 또는 모의시험장치를 이용하여 요구되는 신호를 인가하고 인가된 신호에 대한 결과를 측정기 또는 모의시험장치로 측정했을 때 이상이 없어야 한다. 모의시험기의 기능 확인과 관련된 사항은 당사자 간의 협의에 의한다. 다만 SIL 4 인증 시 기능시험 결과로 대체할 수 있다.

(3) 지상-차상 통합시험

(가) 시험 시나리오

표 13. 통합시험 구성도



(4) 현차시험

(가) 현차시험 항목 관련 규정 조사

ERTMS/ETCS 시스템은 SUBSET 076에 성능시험을 위한 시나리오가 정의되어 있어 연구실에서 기능시험을 시행하고 SUBSET 076시험을 만족할 경우 안전성 인증에 문제가 없다. 본 연구에서는 SIL4 인증과 별도로 현차시험을 통해 기능에 대한 공인기관 시험을 시행하도록 과업이 되어 있어 관련 법령 및 기준을 조사하고 최적의 현차시험 기준을 마련하였다. 현차시험 시 시험항목과 관련된 기준은 철도 안전법 하부의 철도차량 기술기준이 있으며, ATP시스템의 제한속도와 관련된 철도공사 사규는 운전보완장치 취급 내규 및 ATP시스템 도입시 적용된 ATP 열차운용 설정값에서 확인할 수 있다. 기술기준에는 시운전 시험에는 '제동시험'과 '지상설비 연계동작시험'으로 분류된다. 일반적으로 차량의 제동시험은 상용제동과 비상제동이 있다. 지상설비 연계동작시험은 ATS, ATP 등 열차제어시스템에 따라 시험하게 된다.

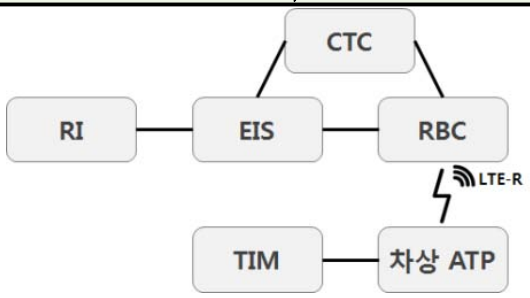
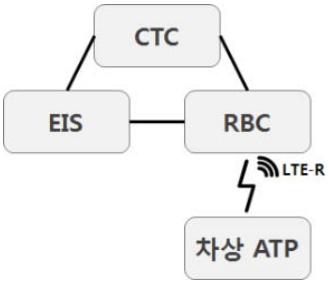
(나) 현차시험 항목

현차시험은 관련 법령 등에 따라 차량의 동적시험 위주로 시행하며 열차제어시스템(ETCS L3)와 열차자동운전장치(ATO)를 구분하여 시행한다.

① 열차제어시스템(ETCS L3) 관련 항목 요약

ETCS L3 종합시험은 크게 정지상태에서 시행하는 시설물 검증 시험과 동적상태에서 시행하는 현차시험으로 구분한다. 시설물 검증 시험은 장치간 인터페이스, 기존 설비간 연결 등이 필요하여 제작사 주관으로 시행한다. 현차시험은 세부과제 책임으로 주관하여 진행하며 절차서에 따라 최종 공인시험을 하게 된다. 열차제어시스템은 안전에 관계되어 주요 시험은 상용·비상 '제동', EIS, TI, RI 등 인터페이스 관련 '연계장치', 궤도회로가 없으므로 열차 검지의 '위치', 대기모드, 기관사책임모드, 완전감시모드, 입환모드, 고장모드 등 '운행모드' 시험으로 구분한다.

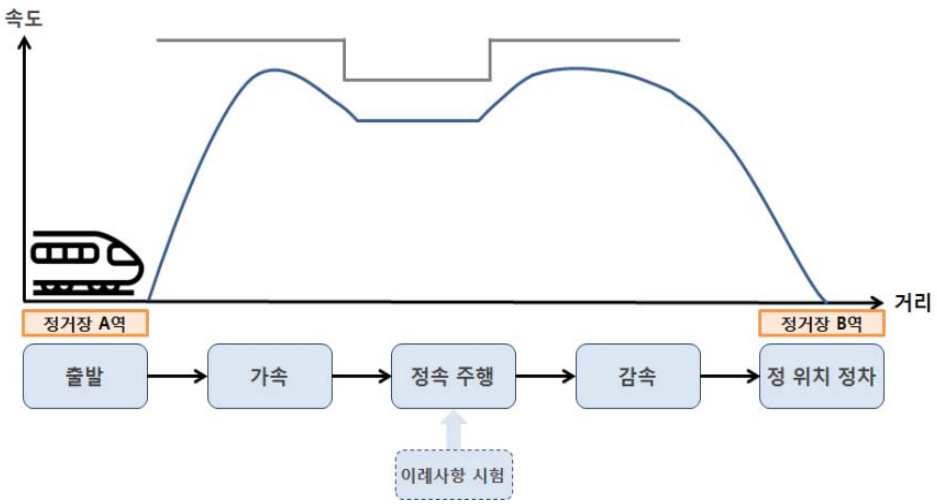
표 14. ETCS L3 열차제어 현차시험 항목

ETCS L3 (ATP)	시설물 검증 시험 (정지상태, 제작사)	현차 시험 (3세부)
▪ 대상 장치		
▪ 제동	▪ 비상, 상용제동	▪ 5㎞/h 초과 시 상용제동 ▪ 10㎞/h 초과 시 비상제동
▪ 연계장치	▪ 위치(궤도회로 KP와 EIS 위치), 인터페이스	▪ TRS, 비상제동, 문자전송 ▪ 안전설비 연계
▪ 위치	▪ -	▪ 열차 위치 검지: 80m 정확도 검증
▪ 운행 시험	▪ 모드 시험 (사용모드 선정)	▪ 레벨 전환* ▪ 모드별 제한속도**

② ATO 관련 항목 요약

ATO 현차시험은 오송종합시험선로에서 시행하며 ATO 기능인 정차상태에서 출발, 가속, 정속주행, 감속, 정위치정차 및 출입물 열림 기능 까지 수행하게 되며 열차제어시스템 비상제동 등을 고려하여 이례사항 시험도 포함한다.

표 15. ATO 관련 항목

구분	내용
역간 자동운전 패턴	
정차상태	▪ 신호장치 ▪ PSD(Platform Screen Door) ▪ 출입문 동작상태(차량의 고유기능 확인, 고정편성 있음)
가속	▪ 출발버튼 취급(세부 절차 확인) ▪ 차량특성, 전방열차 위치, 정차지점 등의 정보로 속도 프로파일을 계산하여 허용속도 산출

구분	내용
정속 주행	▪ 선로의 곡선, 구배 등으로 인한 속도 제한(ATP 제한속도 이하로 제어)
이례사항	▪ 정속 주행 중 이례사항 시 감속 및 해소 후 가속(TRS 등 취급) ▪ 고장 발생
감속	▪ 운행스케줄이 지연될 경우 허용속도 이하로 평시 운행보다 높은 속도로 자동운전제어 ▪ 정차지점에 대한 정보로 속도를 단계별로 감속하여 정위치 정차 제어
정 위치 정차	▪ 정위치 정차 확인 (오차범위 ±2.5m) ▪ 출입문 열림(차량 고유기능 확인, 기관사 취급 vs 자동 취급)

바. 종합성능시험 기본 계획

종합성능시험 계획 수립을 위해 개발사양, 해외사례, 철도차량기술기준, 가용 차량 및 인프라, 전문가 자문을 통해 시험계획을 수립하였다.



(가) 관련 기준

- 고속철도차량 기술기준[KRTS-VE-Part31-2017(R1), 국토교통부 고시 제2017-138호]
- 일반철도차량 기술기준[KRTS-VE-Part41-2014(R1), 국토교통부 고시 제2014-820호]
- 운전보안장치취급 내규(개정 2017.07.11. 2017-1호) 제65조(각종 속도제한)

< 고속철도차량 및 일반철도차량 기술기준 발췌 >
5.4 시운전시험
5.4.2 제동시험
5) 시험
(3) 시험방법
가. 제동성능시험
나) 비상제동시험
(아) 차상신호장치에 의한 비상제동시험
열차 허용최고속도 이상으로 가속시 차상신호감지에 의한 비상제동거리를 측정한다.
5.4.14 지상설비 연계동작시험
4) 시험 방법 및 판정기준
(2) 정지상태 시험
가. 신호장치 정지상태 시험 : 열차의 정지 상태에서 신호장치의 기능을 시험하여 이상이 없어야 한다.
나. 출발전 시험 및 일상시험 : 열차가 본선에 진입하기 전 차상신호장치의 자기진단 기능을 실시한 후 종합제어장치의 모니터에 이상발생 현시가 없어야 한다.
(3) 운행시험
가. 신호장치 기능시험
가) 역전기를 역행 위치로 설정하여 차량을 운행하면서 지상에 설치된 신호장치 지상자로부터 신호를 정상적으로 수신하여 기관사 표시장치에 표시되는지 확인한다.
나) 지상신호장치로부터 수신된 제어정보에 따라 차량이 정상적으로 속도제어, 제동제어, 불연속정보 전송 제어 등의 기능이 정상적으로 수행되는지 확인한다.
다) 지상이 ATS/ATC/ATP 제어구역이 혼재되어 있는 운행 노선의 경우, 제어구역 변경에 따라 차상신호장치가 지상신호장치에 대응하는 장치로 전환제어 및 동작되는지 확인한다.
라) 후진검지 및 제동체결 시험 : 열차의 운행방향이 전진인 상태에서 열차가 후진하게 되는 경우, 제동이 체결되는지 확인한다. 다만, 해당 기능을 가지고 있는 경우에 적용한다.

[별표 18] 시운전시험의 대상 항목
2. 제동시험 : 차상신호장치에 의한 비상제동시험
14. 지상설비 연계동작시험 : 운행시험(신호장치 기능시험)

< 운전보안장치취급 내규 발췌 >

제65조(각종 속도제한) ATP시스템에서 열차 또는 차량은 다음 각 호의 제한을 넘는 속도로 운전할 수 없다.

1. 책임모드 : 45㎞/h 이하
2. 트립/트립 후 모드
   가. 퇴행 시 : 15㎞/h 이하(퇴행거리제한 10m).
   나. 앞 계속운행 시 : 45㎞/h 이하(책임모드 상태)..
3. 입환모드 : 25㎞/h 이하(STM모드 입환운전 포함).
4. 비장착모드 : 70㎞/h 이하
5. 특수운전기능 활성화의 경우 : 25㎞/h 이하(이동거리 제한 80m, 활성화시간 제한 60초)
6. 완해속도 : 25㎞/h 이하(다만, 동해선의 경우 15㎞/h 이하) <개정 2015.06.18>
7. STM모드 운행속도 : ATS 신호현시 계열에 따른 속도이하. 다만, 최고속도 150㎞/h이상 선구의 운행 열차는 열차운전 시행세칙에 따로 정한다.

(나) 국내외 현차시험 내용

- 한국철도공사 간선형 전기동차 ATP 시험항목



한국철도기술연구원 Korea Railroad Research Institute		관리번호(Doc. No)	T12-0289-FCBE1401
		개정번호(Rev. No)	R00
		쪽 이 지(Page No)	3 / 22
시험 절차서 Test Procedures	한국철도공사 간선형 전기동차 138량 Trunkline Electric Car(TEC) 138 CARS for Korail	운행선로시운전 Running Test on Mainline	신호보안장치 지상설비연계동작시험 Interface Test with Wayside Facility

6. 시험 항목

구분	시험	시험수준	
		형식	전수
ATP 시험	비장착 모드(LEVEL 0) 시험	O	O
	기관사 책임모드 시험	O	O
	입환모드 시험	O	O
	완전 감시 모드 시험	O	O
	EOA 시험 [트립모드 인가 및 복귀]	O	-
	정지신호 통과 시험[특수운전(OVERRIDE)]	O	-
	퇴행 방지 기능 시험	O	-
	전차선 절연 구간 제어	O	O
	ATP -> ATS 레벨 전환	O	O

[한국철도공사 간선형 전기동차 138량 ATP시험 항목]

- 터키 전기기관차 ATP 시험항목



AnsaldoSTS

MAIN LINE TEST PLAN AND PROCEDURE

EUROCAB ROTEM TCDD

Ansaldo STS reference : B60S.0100019.S06.04ENErreur ! Source du renvoi introuvable.

Index : 00.00 of : 29/10/2012

HYUNDAI Rotem

	Test Name	Test Purpose	Type / Routine	Static / Dynamic	Comments
Main Line Test	Odometer test	Calibration (if not done during Workshop Tests)	Routine	Dynamic	Refer to FAIVELEY procedure [ODO_TCDD]
		Performance	Type		
	ERTMS/ETCS Tests	Speed control – Emergency Brake	Routine	Dynamic	
		Speed control – Service Brake	Routine	Dynamic	
		Start of Mission – SR mode	Routine	Static	
		Start of Mission – SH mode	Routine	Static	
		Start of Mission – Override procedure	Routine	Static	

[터키 전기기관차 80량 현차시험 항목(AnsaldoSTS-현대로템)]

- KTCS-1 대불선 시험항목, KTCS-2 강릉선 일반 기관차 시험항목

순번	시험 항목	형식	편수	비고
1	지상제어장치 운행시험			
1-1	연동기능 확인시험	○	-	
1-2	열차보호기능 확인시험	○	-	
1-3	통신기능 확인시험	○	-	
2	자동열차감시장치 운행시험			
2-1	자동열차감시장치 상태확인 시험	○	-	
2-2	자동열차감시장치 동작확인 시험	○	-	
3	무선통신동작 확인시험			
3-1	무선통신 지속성 시험	○	-	

순번	시험 항목	형식	편수	비고
1	ATC 정지상태시험	○	-	ATC는 차상ATP임
2	ATO 정지상태시험	○	-	ATO는 차상ATO임
3	출발점시험 및 일상시험	○	-	
4	ATC 운행시험	○	-	
5	ATO 운행시험	○	-	
6	주/보조 ATC 절체시험	○	-	
7	ATO 비정상상태시험	○	-	
8	오동작시험	○	-	
9	추진걸지 및 제동체결시험	○	-	
10	출입문 동작상태 확인	○	-	

[KTCS-1 대불선 시험 항목]

KORAIL

KVC 및 지상RBC 현차시험 절차서

문서번호 : KRTCS-4-HR(2)
개정번호 : Rev 2.0
개정일자 : 2018. 03. 22.
페 이 지 : 42/105

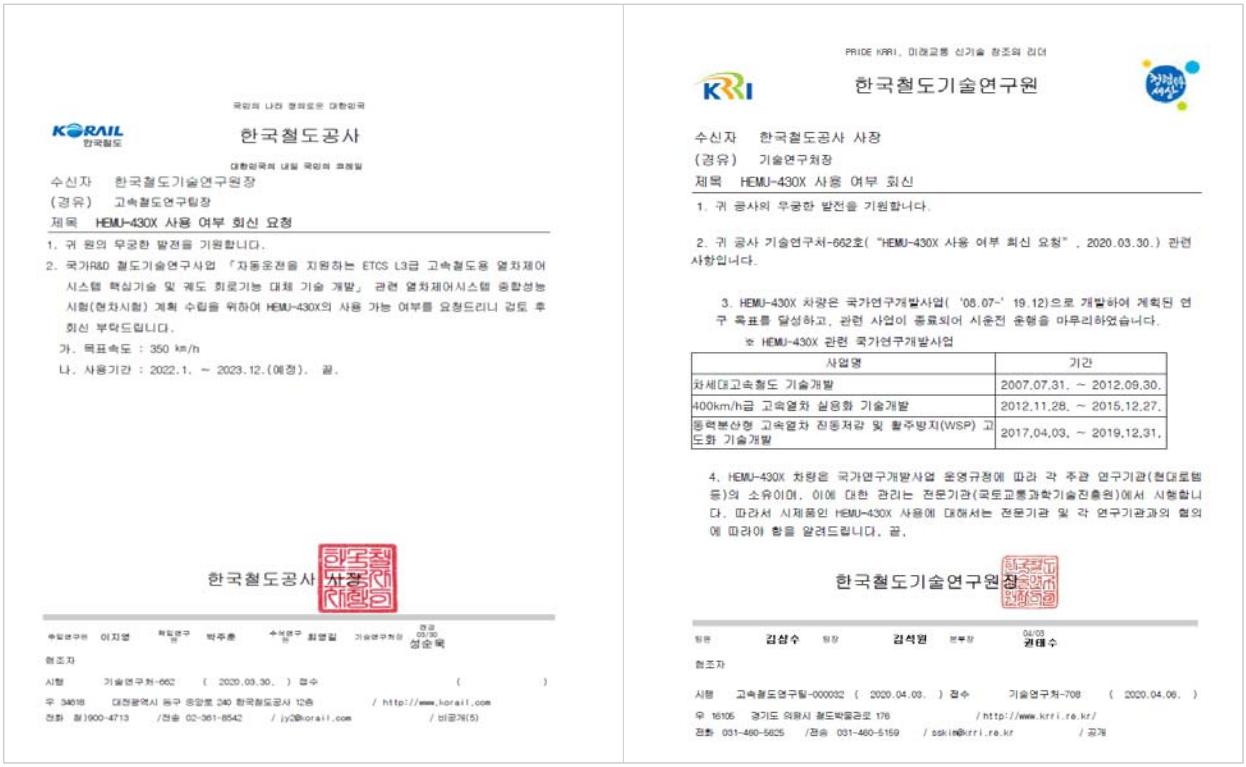
7. 시험 항목

구분	시험항목	세부시험항목	비고
1	만종→횡성(하선) 정상 주행 시험	완전감시모드 전환, 레벨 전환(Lv1→Lv2→Lv1), RBC 핸드오버 시험	지상 RBC, KVC 해당
2	완해속도 감시, 특수운전모드, 레벨2 입환모드 시험	완해속도 감시 시험	KVC 해당
		특수운전모드 (OVERRIDE) 사용 시 제한범위(25km/h, 60s) 준수 시험	
		레벨2에서 입환모드 시험	
3	임시제한속도 적용, 정지신호 통과 시 트립(비상제동)	임시제한속도 적용 시험	지상 RBC, KVC 해당
		정지신호 통과 시 트립 시험	
4	입환모드 및 비장착 모드 운행	입환모드 폐색신호기 통과 시험	KVC 해당
		비장착 모드(70km/h 제한속도) 운행 시험	
5	고장시험 (만종역구내)	그룹 발리스 내 1개 발리스 미검지 고장시험	KVC 해당
		차량밀림 시험	
		레벨 1 상용제동 시험	
6	횡성→만종(상선) 정상 주행	완전감시모드 전환, 레벨 전환(Lv1→Lv2→Lv1), RBC 핸드오버 시험	지상 RBC, KVC 해당

[강릉선 DL기관차 현차시험 항목]

(다) 가용 차량 조사

- HEMU-430X 사용을 위한 협의 결과 노후로 인해 사용 불가능



국민의 나라 정의로운 대한민국

KORAIL 한국철도

한국철도공사

대한민국의 내일 국민의 코레일

수신자 한국철도기술연구원장
(경유) 고속철도연구팀장
제목 HEMU-430X 사용 여부 회신 요청

1. 귀 원의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 국가R&D 철도기술연구사업 「자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도 회로기능 대체 기술 개발」 관련 열차제어시스템 종합성능시험(현차시험) 계획 수립을 위하여 HEMU-430X의 사용 가능 여부를 요청드리니 검토 후 회신 부탁드립니다.
   가. 목표속도 : 350 km/h
   나. 사용기간 : 2022.1. ~ 2023.12.(예정). 끝.

한국철도공사 사장 (한국철도공사장인)

협조자

시행 기술연구처-662 (2020.03.30.) 접수 ( )

우 34618 대전광역시 동구 중앙로 240 한국철도공사 12층 / http://www.korail.com
전화 1900-4713 /전송 02-361-8542 / jy2@korail.com / 비공개(5)

PRIDE KRRI, 미래교통 신기술 창조의 리더

KRRI 한국철도기술연구원

수신자 한국철도공사 사장
(경유) 기술연구처장
제목 HEMU-430X 사용 여부 회신

1. 귀 공사의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 귀 공사 기술연구처-662호("HEMU-430X 사용 여부 회신 요청" , 2020.03.30.) 관련 사항입니다.

3. HEMU-430X 차량은 국가연구개발사업('08.07~' 19.12)으로 개발하여 계획된 연구 목표를 달성하고, 관련 사업이 종료되어 시운전 운행을 마무리하였습니다.

※ HEMU-430X 관련 국가연구개발사업

사업명	기간
차세대고속철도 기술개발	2007.07.31. ~ 2012.09.30.
400km/h급 고속열차 실용화 기술개발	2012.11.28. ~ 2015.12.27.
동력분산형 고속열차 진동저감 및 활주방지(WSP) 고도화 기술개발	2017.04.03. ~ 2019.12.31.

4. HEMU-430X 차량은 국가연구개발사업 운영규정에 따라 각 주관 연구기관(현대로템 등)의 소유이며, 이에 대한 관리는 전문기관(국토교통과학기술진흥원)에서 시행합니다. 따라서 시제품인 HEMU-430X 사용에 대해서는 전문기관 및 각 연구기관과의 협의에 따라야 함을 알려드립니다. 끝.

한국철도기술연구원장 (한국철도기술연구원장인)

협조자

시행 고속철도연구팀-000032 (2020.04.03.) 접수 기술연구처-708 (2020.04.06.)

우 16105 경기도 의왕시 철도박물관로 176 / http://www.krri.re.kr/
전화 031-460-5625 /전송 031-460-5159 / oskim@krri.re.kr / 공개

- HEMU-430X 대안 검토

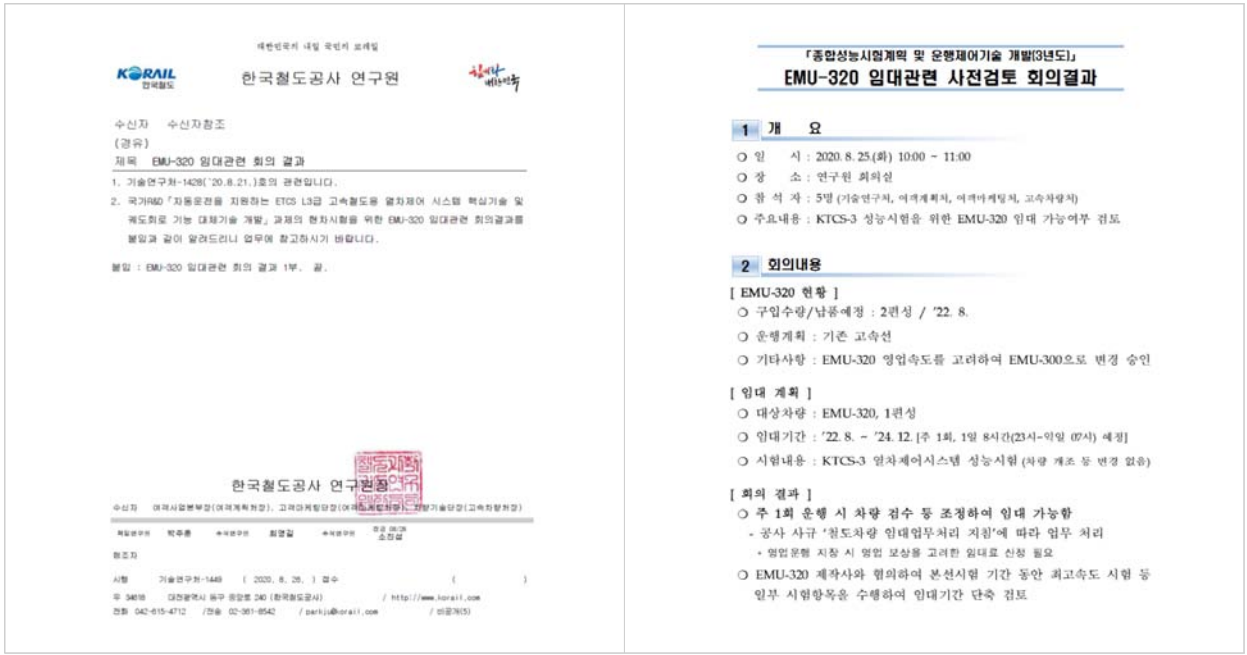
항목	1안	2안	3안
시험방안	시뮬레이션 시험	모의 고속주행 시험	영업차량 활용
시험차량	-	-	EMU-320
시험장소	통합시험실	별도 시험실	호남고속선
시험방법	350㎞/h 시뮬레이션 환경에서 차상↔지상 인터페이스 시험	차륜을 350㎞/h로 회전, 차상장치와 지상장치를 지상에 설치 후 차상↔지상 인터페이스 시험	차량에 차상장치 설치 (속도정보는 GPS 사용), 지상에 지상장치 설치 후 열차제어 시험
논의사항	워킹그룹 안건 결과 부결	실제 운행환경 미적용 논란	주행속도 300km/h로 350km/h 달성 불가

- 노후 전동차를 이용한 이동폐색 시험 검토(2023년 폐차 예정 전동차 현황)

구분	발주	노선	수량	폐차예정	안전진단 반영	차호번호
448량	2019년 12월	저항차 80량	10	2020.06	-	1074
			10	2019.11	-	1075
			50	2021.11	-	1080, 1081, 1083, 1085, 1086
			10	2021.12	-	1084
		일산선 80량	20	2020.12	2023.12	3071~3072
			30	2021.10	-	3078~3080
			30	2021.11	-	3081~3083
		과천안산선 180량	120	2018.11	2023.11	341008~341019
			30	2019.01	2023.12	341020~341022
			30	2021.12	-	341023~341025
		분당선 108량	6	2018.12	2023.07	351002
			60	2019.07	2023.12	351001, 351003~351011
			30	2020.05	2023.12	351012~351016
			12	2021.12	-	351017, 351018

[전동차 폐차 계획]

- EMU-320 사용을 위한 관계 부서 협의 결과



한국철도공사 연구원

수신자 수신자참조
(경유)
제목 EMU-320 임대관련 회의 결과

1. 기술연구처-1428('20.8.21.)호의 관련입니다.
2. 국가R&D「자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어 시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발」과제의 현차시험을 위한 EMU-320 임대관련 회의결과를 붙임과 같이 알려드리니 업무에 참고하시기 바랍니다.

붙임 : EMU-320 임대관련 회의 결과 1부. 끝.

한국철도공사 연구원장

「종합성능시험계획 및 운행제어기술 개발(3년도)」
EMU-320 임대관련 사전검토 회의결과

1 개 요
○ 일 시 : 2020. 8. 25.(화) 10:00 ~ 11:00
○ 장 소 : 연구원 회의실
○ 참 석 자 : 5명 (기술연구처, 여객계획처, 여객마케팅처, 고속차량처)
○ 주요내용 : KTCS-3 성능시험을 위한 EMU-320 임대 가능여부 검토

2 회의내용
[EMU-320 현황]
○ 구입수량/납품예정 : 2편성 / '22. 8.
○ 운행계획 : 기존 고속선
○ 기타사항 : EMU-320 영업속도를 고려하여 EMU-300으로 변경 승인

[임대 계획]
○ 대상차량 : EMU-320, 1편성
○ 임대기간 : '22. 8. ~ '24. 12. [주 1회, 1일 8시간(23시~익일 07시) 예정]
○ 시험내용 : KTCS-3 열차제어시스템 성능시험 (차량 개조 등 변경 없음)

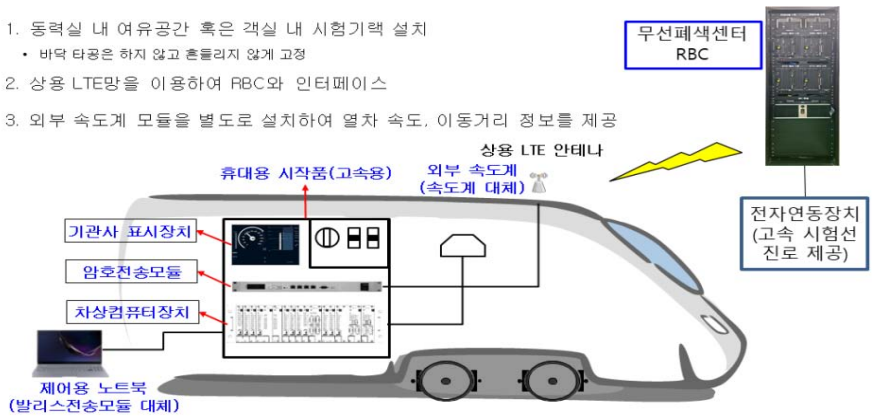
[회의 결과]
○ 주 1회 운행 시 차량 검수 등 조정하여 임대 가능함
- 공사 사규 '철도차량 임대업무처리 지침'에 따라 업무 처리
- 영업운행 지장 시 영업 보상을 고려한 임대료 신청 필요
○ EMU-320 제작사와 협의하여 본선시험 기간 동안 최고속도 시험 등 일부 시험항목을 수행하여 임대기간 단축 검토

- 시험차량 관련 워킹그룹 자문회의 및 국토부 협의 결과

* 시험선로 : 오송종합시험선, 호남고속선

* 시험차량 : (종합시험선) 전동차 및 기관차, (호남고속선) EMU-320

단, EMU-320은 '22.8월 입고 예정으로 하자 등 고려하여 휴대용장치 설치하여 시험



[휴대용 시험기 구성도]

- 시험구간 별 기능시험 요약

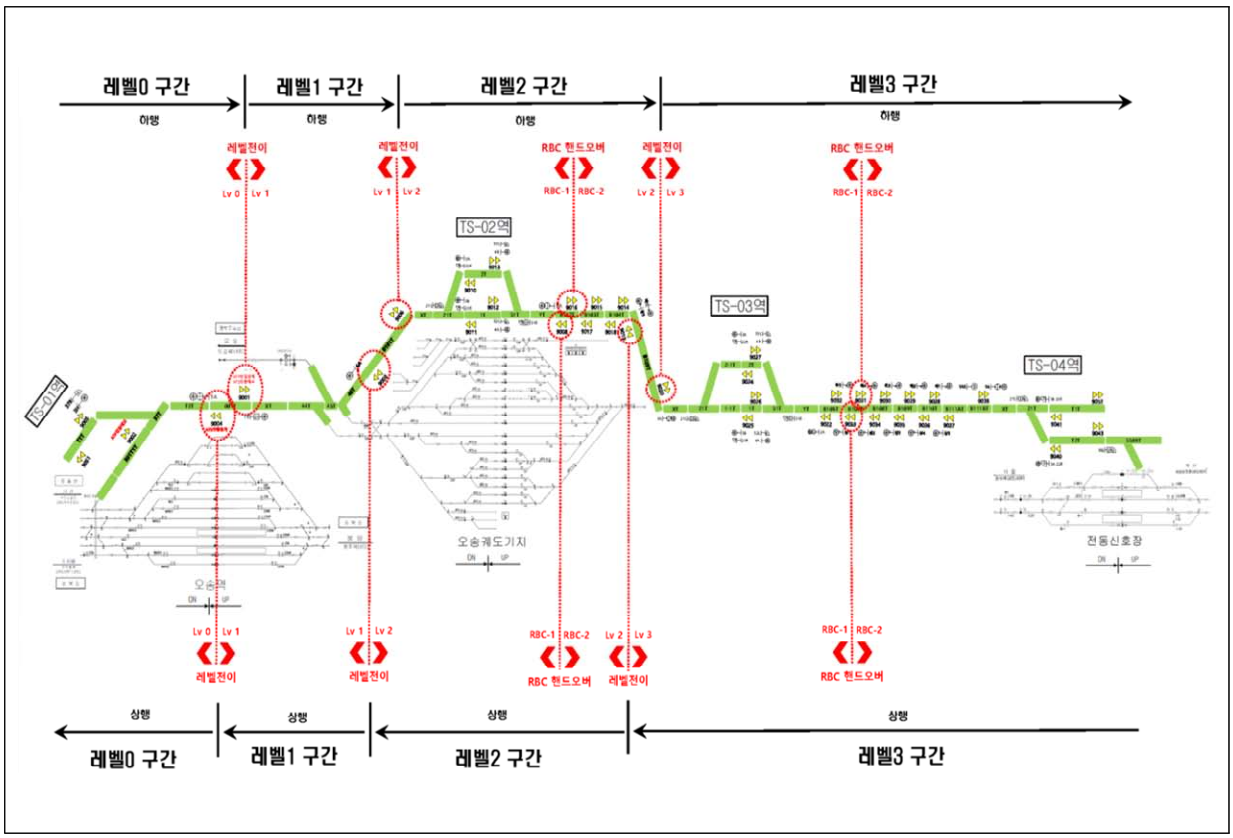
구분	항목	소요차량	시험장소에 따른 시험차량	
			종합시험선	호남고속선
이동폐색 자동운전	주행 기능	1편성	전동차	-
	최고 속도	1편성	시험 불가	필요
	열차 간격	2편성	전동차, 기관차	생략
자동운전	정위치정차	1편성	전동차	생략

구분	기능/동작 시험	저속(오송)	고속(호남)
		실품	휴대용
위치보고	차량→지상으로 위치보고 (0.5초 간격)	O	△
이동권한 생성 및 갱신	지상→차상으로 이동권한에 따라 제동곡선 갱신(0.5초 간격)	O	O
이동권한 전송	지상→차상으로 이동권한 전송 (0.5초 간격)	O	O
제동곡선 생성 및 갱신	갱신되는 이동권한에 맞춰 제동곡선의 실시간 갱신	O	△
과속 조치 사항	제동곡선에 따른 허용속도 초과 시 자동 감속/정지 1㎞≦V<5㎞ : 알람, 5㎞≦V<10㎞ : 상용제동, 10㎞<V : 비상제동	O	X
핸드오버	지상장치(RBC)의 영역 간에 열차정보 인계인수	O	O
이례사항	임시속도 제한, 비상정지, 진로변경 (임시정차 또는 통과)	O	X
자동운전	상기 항목 일체	O	-

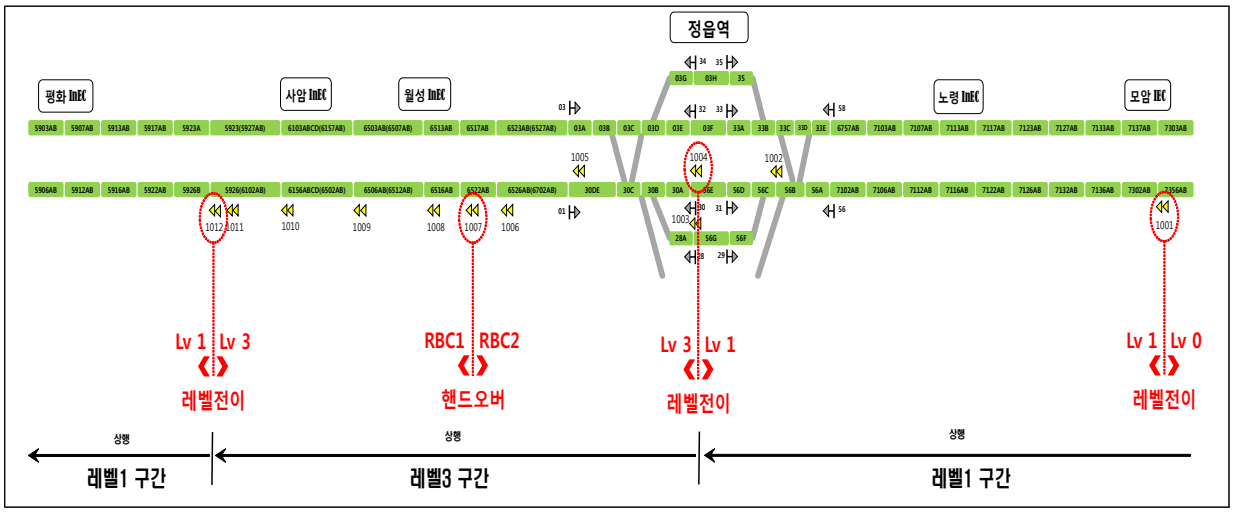
③ 시험 노선도(안)

시험노선은 오송 철도종합시험선로 및 호남고속선에서 시행하며 개략도는 다음과 같다.

- 오송 철도종합시험선 시험노선도(안)



- 호남고속선 시험선(모암IEC~익산역 직전) 시험노선도(안)



④ ETCS L3 + ATO 노선별 현차시험 항목

순	시험노선	구간	열차	주행	시스템	ATP레벨	시험항목	상세 내용

번				방향				
1	철도종합 시험선	TS-01 ~ TS-04	1편성	하행	ATP	Lv0 Lv1 Lv2 Lv3	레벨전환/핸드오버 최고속도(250Km/h) 주행(하행) 시험	• 레벨 전환 (L0→L1→L2→L3) 시험 • L2 및 L3 구간 RBC 핸드오버(RBC1→RBC2) 시험 • L3 구간 내 최고속도 주행 (250Km/h) 시험
2	호남 고속선	모암IE C ~ 익산역 직전	1편성	상행	ATP	Lv1 Lv3	레벨전환/핸드오버 최고속도(350Km/h) 주행(하행) 시험	• 레벨 전환 (L1→L3→L1) 시험 • L3 구간 RBC 핸드오버 (RBC2→RBC1) 시험 • L3 구간 내 최고속도 주행 (350Km/h) 시험
3	철도종합 시험선	TS-04 ~ TS-03	1편성	상행	ATP	Lv3	완해속도 감시, 특수운전모드, 레벨2 입환모드 시험	• 완해속도 감시 시험 • 특수운전모드 (OVERRIDE) 사용 시 제한범위 (25km/h, 60s) 준수 시험 • 입환모드 시험
4	철도종합 시험선	TS-03 ~ TS-04	1편성	하행	ATP	Lv3	임시제한속도 적용,정지신호 통과 시 트립 시험	• 임시제한속도 적용 시험 • 정지신호 통과 시 트립(비상제동) 시험
5	철도종합 시험선	TS-04 ~ TS-03	1편성	상행	ATP	Lv3	입환모드 및 비장착 모드 운행 시험	• 입환모드 시험 • 비장착 모드(70㎞/h 제한속도) 운행 시험
6	철도종합 시험선	TS-03 ~ TS-04	1편성	하행	ATP	Lv3	고장시험	• 발리스그룹 내 1개 발리스 미검지 고장시험 • 차량밀림 시험 • 상용제동 시험
7	철도종합 시험선	TS-04 ~ TS-01	1편성	상행	ATP	Lv0 Lv1 Lv2 Lv3	레벨전환/핸드오버 최고속도(250Km/h) 주행(상행) 시험	• 레벨 전환(L3→L2→L1→L0) 시험 • L2 및 L3 구간 RBC 핸드 오버(RBC2→RBC1) 시험 • L3 구간 내 최고속도 주행 (250Km/h) 시험
8	철도종합 시험선	TS-02 ~ TS-04	1편성	하행	ATP ATO	Lv2 Lv3	ATP/ATO 자동운전(AD) 시험	• L2 및 L3 구간 자동 운전(AD) 정상주행시험 • L2구간 내 TS-02역 정위치정차 시험 • L3구간 내 TS-03역 정위치정차 시험
9	철도종합 시험선	TS-02 ~ TS-04	1편성	상행	ATP ATO	Lv2 Lv3	ATO 고장 시험	• L2 및 L3 구간 자동운전 (AD) 정상주행 중 ATO 고장 시험
10	철도종합 시험선	TS-03 ~ TS-04	2편성	하행	ATP ATO	Lv3	열차 간격제어 시험	• (가상 또는 이동)폐색구간 에서의 선행열차와 후속 열차 간 안전간격 주행 시험

< 상세 시나리오 >

ERTMS

ATO Demo scenario

REF : ATO Demo scenario
ISSUE : 1.0.1
DATE : 15/10/20 19:10

Company	Technical Approval	Management approval
Multitel	Multitel	Multitel

SEQUENCE OF TEST

Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next		Test Result
			Levels	Mode				Levels	Mode	
1	1	0 m	N/A	NP	ERTMS/ETCS on-board unit is powered up	INT > EVC	The on-board equipment changes to SB mode.	N/A	NP	-
2	2		N/A	NP	GENERAL MESSAGE (NID_MESSAGE_JRU=1; M_MODE=6) is recorded	EVC > JRU	-	N/A	SB	-
Feature 5040300: 5.4.3. Table of requirements for 'Start of Mission' procedure **Test Case 24:** Start of Mission procedure is engaged										
3	1		N/A	SB	Driver opens desk	TIU > EVC	-	N/A	SB	-
4	2		N/A	SB	The 'CAB STATUS' message is RECORDED with the variable M_CAB_A_STATUS=1 (Active).	EVC > JRU	-	N/A	SB	-
5	3		N/A	SB	The actual mode SB is DISPLAYED	EVC > DMI	The SB indication after opening the desk may not be recorded. Because the change of mode was already recorded while desk was closed	N/A	SB	-
Feature 08: NONE single steps **Test Case 1:** Message without interface										
6	1		N/A	SB	ATO onboard energises	NONE	-	N/A	SB	-
7	1		N/A	SB	ATO onboard performs diagnostics	NONE	-	N/A	SB	-
8	1		N/A	SB	Diagnostics tests passed	NONE	-	N/A	SB	-
Feature 09: ATO single steps **Test Case 2:** ATO-OB sends a message to ATO-TS										
10	1		N/A	SB	Handshare request	ATO_OB > ATO_TS	-	N/A	SB	-

SEQUENCE OF TEST

Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next		Test Result
			Levels	Mode				Levels	Mode	
Feature 09: ATO single steps **Test Case 1:** ATO-OB receives a message from ATO-TS										
11	1	Step 10	N/A	SB	Handshare acknowledgement	ATO_TS > ATO_OB	-	N/A	SB	-
Feature 08: NONE single steps **Test Case 1:** Message without interface										
12	1		N/A	SB	[Driver performs a Start of Mission in L1, SR]	NONE	-	L1	SR	-
Feature 09: ATO single steps **Test Case 3:** ATO-OB receives a message from EVC										
13	1		L1	SR	Train Data are acquired by ATO on-board from ETCS system	EVC > ATO_OB	-	L1	SR	-
Feature 08: NONE single steps **Test Case 1:** Message without interface										
14	1		L1	SR	No train data received from external systems	NONE	-	L1	SR	-
Feature 09: ATO single steps **Test Case 2:** ATO-OB sends a message to ATO-TS										
15	1		L1	SR	ATO OB requests JP	ATO_OB > ATO_TS	-	L1	SR	-
Feature 08: NONE single steps **Test Case 1:** Message without interface										
16	1		L1	SR	ATO TS requests JP to TMS	NONE	-	L1	SR	-
17	1		L1	SR	TMS sends valid JP to ATO TS	NONE	-	L1	SR	-
Feature 09: ATO single steps **Test Case 1:** ATO-OB receives a message from ATO-TS										

SEQUENCE OF TEST										
Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next		Test Result
			Levels	Mode				Levels	Mode	
18	1	Step 15	L1	SR	Valid JP is received by ATO TS and delivered to ATOOB	ATO_TS > ATO_OB	-	L1	SR	-
Feature 09: ATO single steps **Test Case 2:** ATO-OB sends a message to ATO-TS										
19	1	Step 18	L1	SR	ATO OB requests SP	ATO_OB > ATO_TS	-	L1	SR	-
Feature 08: NONE single steps **Test Case 1:** Message without interface										
20	1		L1	SR	ATO TS requests SP to TMS	NONE	-	L1	SR	-
21	1		L1	SR	TMS sends valid SP to ATO TS	NONE	-	L1	SR	-
Feature 09: ATO single steps **Test Case 1:** ATO-OB receives a message from ATO-TS										
22	1	Step 19	L1	SR	Valid SP is received by ATO TS and delivered to ATOOB	ATO_TS > ATO_OB	-	L1	SR	-
Feature 08: NONE single steps **Test Case 1:** Message without interface										
23	1		L1	SR	ATO OB calculates operational speed profile	NONE	-	L1	SR	-
24	1		L1	SR	GoA2 (ATO) status	NONE	-	L1	SR	-
Feature 04: DMI single steps **Test Case 1:** DMI output										
25	1		L1	SR	Driver is informed of ATO onboard status	EVC > DMI	-	L1	SR	-
Feature 08: NONE single steps **Test Case 1:** Message without interface										
26	1		L1	SR	ATO Ready for Engagement	NONE	-	L1	SR	-

SEQUENCE OF TEST										
Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next		Test Result
			Levels	Mode				Levels	Mode	
Feature 3060100: 3.6.1: Location Principles and Train Position and Train Orientation **Test Case 9:** The ERTMS/ETCS on-board equipment determines the train position referenced to LRBG										
27	1	100 m	L1	SR	One Balise Group message (Q_LINK=1) containing packet 255 is received	BTM > EVC	The train passes over a balise group. The BG is marked as linked, so it is set as the new LRBG	L1	FS	-
28	2		L1	FS	TELEGRAM FROM BALISE (NID_MESSAGE_JRU=6) is recorded	EVC > JRU	The TRAIN_POSITION variables are recorded with valid values in the header of the JRU message. In particular, NID_LRBG has the value than NID_BG + NID_C of the BG that has been passed	L1	FS	-
Feature 04: DMI single steps **Test Case 1:** DMI output										
29	1		L1	FS	AD mode is displayed in the DMI	EVC > DMI	-	L1	FS	-
Feature 04: DMI single steps **Test Case 2:** DMI input										
30	1		L1	FS	Driver acknowledges AD mode	DMI > EVC	-	L1	AD	-
Feature 5100100: 5.10.1: Level Transitions General requirements **Test Case 14:** The train receives from the balise group BGa the Level Transition announcement LX/LY. The driver is informed.										
31	1		L1	AD	An announcement of level transition to Level Y (Packet 41) is RECEIVED from Balise Group BGa: D_LEVELTR <> 0 and <> 32767 M_LEVELTR= M_LEVEL Y (Level Y)	BTM > EVC	Order to switch to level Y at further location and this announcement will result in a change of the on-board level.	L3	AD	-
32	2	150 m	L3	AD	An indication of Announcement of Level Y is DISPLAYED.	EVC > DMI	('Except in SL and SB modes')	L3	AD	-

SEQUENCE OF TEST										
Step	Row	Criteria	Previous		Description of Events	Flow	Comments	Next		Test Result
			Levels	Mode				Levels	Mode	
33	3		L3	AD	Displayed indication is recorded	EVC > JRU	('Except in SL and SB modes')	L3	AD	-
34	4		L3	AD	Balise Group BGa message, including Packet 41'Level transition order', is RECORDED.	EVC > JRU	-	L3	AD	-

2.2.2 [공동] 한국전자통신연구원

가. 열차무결성 검지장치 기술 개발

(1) 요구사항 분석 및 개념설계

(가) 기술동향 분석

여러 대의 차량이 연결되어 운행되는 열차에서 차량의 분리를 감지하는 열차 무결성 검지기술은 폐색구간 (Block section) 마다 설치된 궤도회로를 이용하여 열차의 분리 유무를 검지하였다. 폐색구간은 궤도를 일정한 거리마다 구분하고 해당구역에는 1개 열차만 운행하도록 설정한 구간이고, 궤도회로는 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 궤도회로를 구성한 후 그 궤도회로를 이용하여 열차의 유무를 검지하는 장치이다. 이 방법은 막대한 궤도회로 설치비용과 선로 효용성이 떨어지는 문제점을 가지고 있었다.

최근에는 이런 문제점 해결을 위해서 ETCS Level 3에 적용 가능한 무궤도회로 기반의 열차 무결성 검지 기술이 국내외에서 연구되고 있다. 본 과제에서 개발하는 열차 무결성 검지 시스템은 열차의 선두 차량을 제외하고 전원공급이 제공되지 않은 화물 차량에 적용하는 것을 우선적인 목표로 하고 있어서 전력 효율성을 극대화한 기술이 필요하다. 또한 열악한 환경에서도 강건하게 동작될 수 있는 기술 개발이 중요한 설계 요소로 반영되어야 하는 상황이다.

(나) 특허 분석

한국철도기술연구원에서는 그림 39와 같이 폐색구간 마다 RFID 태그 검지기를 선로변에 설치하고, 열차의 선두 차량에 차상제어기, 후미 차량에 RFID 태그를 장착한다.

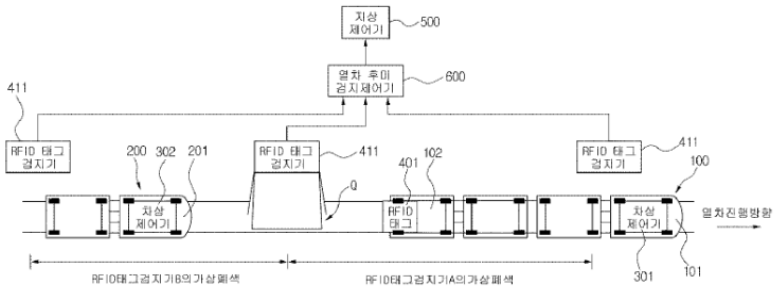


그림 39. RFID 검지기 기반 열차분리 검지 시스템

지상제어기는 선두 차량의 차상제어기로부터 수신한 선두 차량의 위치정보와 RFID 태그 검지로부터 수신한 후미 차량의 위치정보를 수신하여 열차의 분리 유무를 판정하는 방식을 제안하였다. 그러나 이 방식은 폐색구간 마다 RIFD 태그 검지를 설치하는 비용과 유지보수 비용이 증가하는 문제점을 가진다.

㈜엘에스산전은 그림 40과 같이 선로의 일정 구간 마다 표시부재 센서를 설치하고 열차의 선두 차량에 주행 거리를 계산하는 주행거리 계산기와 표시부재 인지 센서를 설치하고, 열차의 후미 차량에는 표시부재 인지 센서를 설치한다. 열차의 선두 차량과 후미 차량은 유무선 통신이 연결되어 있어서, 열차가 주행 중에 선두 차량이 선로에 설치된 표시 부재 센서를 인지하면 인지시점 (t1)과 주행거리를 기록하고, 이어서 후미차량이 표시부재

센서를 인지하면 인지 시점(t2)를 유무선 통신을 통해 선두 차량에게 송신한다. 선두 차량은 t1과 t2간의 차이를 비교하여 열차의 분리 유무를 판정하는 방식을 제안하였다. 이 방식은 일정구간 마다 표시 부재 센서를 설치하는 비용과 유지 보수비용이 증가하는 문제점을 가진다.

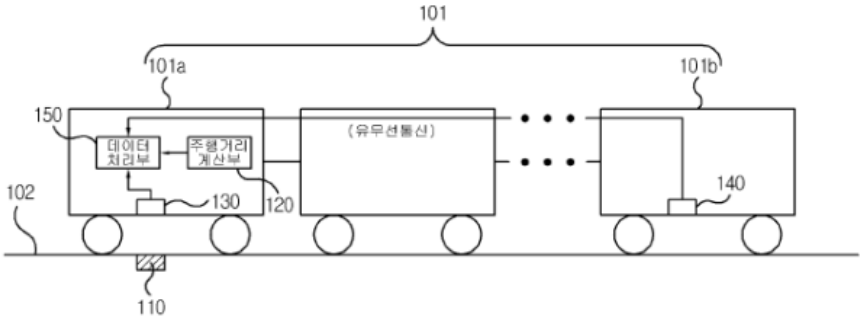


그림 40. 표시부재 센서 기반 열차분리 검지 시스템

㈜네오트랜스는 열차에서 무선신호의 수신감도 모니터링을 통해 열차의 각 차량 간의 분리를 실시간으로 감지할 수 있는 열차의 무선통신을 이용한 열차 무결성 모니터링 방식을 제안하였다. 이 방식은 무선 신호를 전송하고 수신하는 물리 계층만 존재하여 최대 전파 통달 거리 내에서 가변적인 열차의 길이 변화에 대응이 어렵고, 무선 환경변화에 따른 신호의 적정 세기 변화로 열차의 정확한 길이를 추정하는데 정확도가 떨어지는 문제점을 가진다.

한국전자통신연구원은 열차를 구성하는 모든 차량에 무선통신 장치를 설치하고 차량 각각이 현재 위치와 속도를 추정하고 이웃 차량 간에 위치 정보와 속도를 송수신하여 차량 각각에서 열차의 분리유무를 판정하는 방식을 제안하였다. 그러나 일반적으로 화물열차는 전력 공급이 선두차량에만 제공되고 있어서 모든 차량에 상당한 전력을 요구하는 통신 장치를 설치하는 것이 쉽지 않고, 비용 증가와 운영 측면에서 복잡한 문제점을 가진다.

일본에서는 열차의 선두 차량에 기지국과 통신이 가능한 무선통신 장치를 설치하고, 선로에 설치된 기지국과 주기적인 정보 교환을 통하여 궤도회로 없이 열차의 제어나 열차의 무결성을 검지하는 간접통신 기반의 열차 무결성 검지 시스템을 제안한 바 있다.



그림 41. 열차 무결성 검지 시스템 개념도

(2) 열차무결성 검지시스템 개념 설계

(가) 열차무결성 검지 시스템 개념

조성된 열차의 무결성을 검지하기 위한 열차무결성 검지시스템(TIS)에 의한 열차무결성

검지 및 통신 개념을 그림 42에 나타내었다. 열차의 선두차량에 장착된 장치(TIFD: Train Integrity Front Device)와 열차의 후부차량에 장착된 장치(TIRD: Train Integrity Rear Device)는 열차 운행 중에 발생할 수 있는 열차차량의 분리 검지를 위한 열차정보 인식과 구성 장치간에 데이터를 무선통신으로 송수신한다. TIS에 내장된 통신 모듈은 TIFD-TIRD간 직접 통신과 TIFD, TIRD와 열차 관제센터(TCC: Train Control Center)간의 간접 통신을 지원한다.

① 열차무결성 검지 및 통신 개념

열차무결성 검지시스템(TIS)를 통해 열차차량 위치 및 열차 선두차량-후부차량 간의 열차거리 등의 열차차량 정보가 생성되며, 열차분리 여부 등 무결성 정보를 열차 선두차량내의 열차 차상장치(TCMS: Train Control Management System) 및 열차 관제센터(TCC: Train Control Center)에 제공한다.



그림 42. 열차무결성 검지 및 통신 개념도

(3) 열차무결성 검지 장치 요구사항

(가) 열차무결성 검지 기능 요구사항

* 열차무결성 검지 시스템은 차장을 파악할 수 있어야 한다.
* 열차무결성 검지 시스템은 열차의 위치를 파악할 수 있어야 한다.
* 열차무결성 검지 시스템은 열차의 기관실내 열차 제동관의 압력을 파악할 수 있어야 한다.
* 열차무결성 검지 시스템은 열차의 속도 파악할 수 있어야 한다.
* 열차무결성 검지 시스템은 열차의 선두 차량과 후미 차량 간의 통신 링크 상태를 파악할 수 있어야 한다.
* 열차무결성 검지 시스템은 열차의 선두 차량과 후미 차량 간의 길이 차이 변화를 파악할 수 있어야 한다.
* 열차무결성 검지 시스템은 기관실과 후미열차에 장착되어야 한다.
* 열차무결성 검지 시스템 중 후미장착 장치는 탈부착이 용이해야 한다.

(나) 열차무결성 검지 성능 요구사항

* 열차 무결성 검지 정보를 동일 열차간 전송할 수 있어야 한다.
* 열차 무결성 검지 정보를 관제센터로 전송할 수 있어야 한다.

* 열차 운행시 열악한 무선통신 환경(터널, 커브) 에서도 통신이 가능하여야 한다.

(4) 기능 및 성능 사양 정의

(가) 열차무결성 훼손 검지 및 정보 전송 개념

열차 선두차량과 열차 후부차량간 열차 분리로 열차무결성이 훼손된 경우에는 기관실에서 열차 차상장치로부터 입력된 조성된 열차길이를 기본으로 분리 여부를 판단한다. 열차분리 정보가 확인되면 지체없이 TCMS 및 TCC로 이를 통보하여 후속 작업이 이루어지도록 한다.

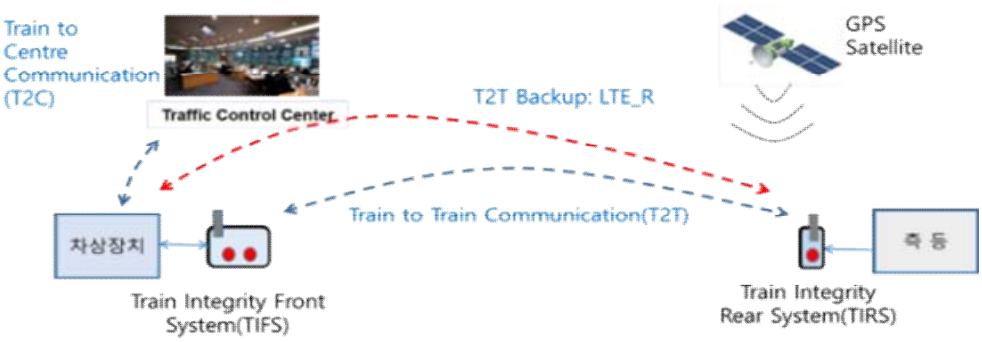


그림 43. 열차무결성 훼손 검지 및 정보 전송 개념도

(나) 열차무결성 검지시스템 기능 규격

사전 정의된 열차무결성 검지시스템의 기능적 요구사항을 바탕으로, 열차무결성 검지시스템(TIS)이 구비하여야 할 주요 기능 규격을 도출하여 기술하였다. 열차무결성 검지, 통신, 훼손 판단 및 정보 전송을 달성하기 위해 열차무결성 검지시스템(TIS)이 구비하여야 할 주요 기능 규격(Functional Specification) 사항들을 세분류하여 기술한다.

표 16. 열차무결성 검지시스템 기능 규격 사항

항목	기능 규격 (Functional Specification)	관련된 시스템 기능 요구사항
열차검지시스템 (TIS) 구성	1. 열차무결성 검지시스템(TIS)은 열차 선두차량에 부착된 장치(TIFD)와 열차 후부차량에 부착된 장치(TIRD)의 1조로 구성된다.	
열차 선두차량장치(TIFD)의 구성 및 기능 (정보 획득, 통신 및 제어, 데이터 송수신/처리/분석)	1. TIFD는 열차 선두차량인 기관실 내에 장착된다. 2. TIFD는 GPS 측위모듈을 구비하며, GPS, GNSS, GLONASS, Galileio, QZSS 등 위성시스템으로부터 GPS 신호를 수신한다. 4. 상기 GPS 모듈은 열차 선두차량의 좌표(위/경도), 속도, 시간 정보를 매 1초 간격으로 수신한다. 5. TIFD는 Peer-to-Peer 통신을 위한 LoRa 통신모듈을 내장하며, 900MHz 대역, ISM Band를 이용하여 통신을 수행한다. 6. TIFD는 철도통신망인 LTE-R 망을 이용하는 LTE 통신모듈을 내장하며, 700MHz 대역, Band28을 이용하여 LTE-R 통신을	UFR.101 UFR.103 UFR.104 UFR.105

	수행한다. 7. TIFD는 Li-ion 이차전지(ex. 3.7V)를 내장한다. 8. TIFD는 제어모듈을 내장하며, 이는 ARM 프로세서를 지원하며 Linux 기반 OS로 구동된다. 9. 상기 제어모듈은 GPS 측위모듈, LoRa 통신모듈, LTE 통신모듈을 관리하고 각 모듈에 전원을 공급한다. 10. 상기 제어모듈은 GPS 수신, LoRa/LTE-R 통신을 제어하고 송수신된 데이터를 처리하고 분석한다. 11. 상기 제어모듈은 GPS 측위모듈로부터 수신된 열차 선두차량의 좌표(위/경도), 속도, 시간 정보와 log 데이터를 처리 및 관리하고 알고리즘으로 분석한다. 12. 상기 제어모듈은 LoRa 통신을 위한 데이터 송수신 프로토콜을 구비하며 AT Command로 수행된다. 13. 상기 제어모듈은 LTE-R 통신을 위한 데이터 송수신 프로토콜을 구비하며, LTE CAT4에서 Uplink 시 150Mbps까지 Downlink 시 50Mbps까지 지원한다. 14. 상기 제어모듈은 LoRa 통신 또는 LTE-R 통신 수행 중의 신호대잡음비(SNR) 및 신호세기(RSSI)를 계산하여 통신 상태를 모니터링하고 통신모듈들을 제어한다. 15. 상기 제어모듈은 Serial 통신인 RS232/RS422/RS485 포트 구비와 10Base T의 Ethernet을 지원한다. 16. 상기 제어모듈은 5VDC(max. 2A) 외부전원 포트를 구비한다. 17. 상기 제어모듈은 배터리제어기(BMS)를 내장하여 상기 Li-ion 이차전지의 충/방전을 관리한다. 18. TIFD의 동작 전원은 내장된 Li-ion 이차전지(ex. 3.7V)나 기관실 유틸리티 전원(110/220VACà5VDC)로부터 공급받는다.	
열차 후부차량 장치(TIRD)의 구성 및 기능 (정보 획득, 통신 및 제어, 데이터 송수신/처리/분석)	1. TIRD는 열차 후부차량의 외부 측등 위치에 장착된다. 2. TIRD는 GPS 측위모듈을 구비하며, GPS, GNSS, GLONASS, Galileio, QZSS 등 위성시스템으로부터 GPS 신호를 수신한다. 4. 상기 GPS 모듈은 열차 후부차량의 좌표(위/경도), 속도, 시간 정보를 매 1초 간격으로 수신한다. 5. TIRD는 Peer-to-Peer 통신을 위한 LoRa 통신모듈을 내장하며, 900MHz 대역, ISM Band를 이용하여 통신을 수행한다.	UFR.101 UFR.103 UFR.104 UFR.105

	6. TIRD는 철도통신망인 LTE-R 망을 이용하는 LTE 통신모듈을 내장하며, 700MHz 대역, Band28을 이용하여 LTE-R 통신을 수행한다. 7. TIRD는 Li-ion 이차전지(ex. 3.7V)를 내장한다. 8. TIRD는 제어모듈을 내장하며, 이는 ARM 프로세서를 지원하며 Linux 기반 OS로 구동된다. 9. 상기 제어모듈은 GPS 측위모듈, LoRa 통신모듈, LTE 통신모듈을 관리하고 각 모듈에 전원을 공급한다. 10. 상기 제어모듈은 GPS 수신, LoRa/LTE-R 통신을 제어하고 송수신된 데이터를 처리하고 분석한다. 11. 상기 제어모듈은 GPS 측위모듈로부터 수신된 열차 후부차량의 좌표(위/경도), 속도, 시간 정보와 Log 데이터를 처리 및 관리하고 알고리즘으로 분석한다. 12. 상기 제어모듈은 LoRa 통신을 위한 데이터 송수신 프로토콜을 구비하며 AT Command로 수행된다. 13. 상기 제어모듈은 LTE-R 통신을 위한 데이터 송수신 프로토콜을 구비하며, LTE CAT4에서 Uplink 시 150Mbps까지 Downlink 시 50Mbps까지 지원한다. 14. 상기 제어모듈은 LoRa 통신 또는 LTE-R 통신 수행 중의 신호대잡음비(SNR) 및 신호세기(RSSI)를 계산하여 통신 상태를 모니터링하고 통신모듈들을 제어한다. 15. 상기 제어모듈은 Serial 통신인 RS232/RS422/RS485 포트 구비와 10Base T의 Ethernet을 지원한다. 16. 상기 제어모듈은 5VDC(max. 2A) 외부전원 포트를 구비한다. 17. 상기 제어모듈은 배터리제어기(BMS)를 내장하여 상기 Li-ion 이차전지의 충/방전을 관리한다. 18. TIRD의 동작 전원은 외부 전원없이 내장된 Li-ion 이차전지(ex. 3.7V)로부터 공급받는다. 19. 상기 Li-ion 이차전지는 약 1 day 정도를 동작할 수 있는 용량(ex. 20,000mAh 이상)을 권장하며, 주기적으로 충전할 수 있어야 한다. 20. TIRD에 내장된 LoRa 통신모듈의 안테나는 Gain 5dBi 이상의 Omni형 또는 지향성 형태를 권장한다.	

열차 선두-후부열차차량 장치간 통신	1. TIFD-TIRD간에는 Peer-to-Peer 데이터 송수신 프로토콜로써 LoRa 통신이 이루어진다. 2. TIFD 및 TIRD와 기지국간에는 LTE-R 망을 이용한 데이터 송수신 프로토콜로써 LTE-R 통신이 이루어진다. 3. TIRD는 TIFD와의 통신 링크를 통해 열차 후부차량의 좌표(위/경도), 속도, 시간 정보 및 Log 데이터를 TIFD에 LoRa 또는 LTE-R 통신으로 송신하고 TIRD는 상기 값들을 수신한다. 4. TIFD-TIRD간의 직접 통신은 상기 장치에 각 구비된 LoRa 통신과 LTE-R 통신 기능중 열차 운행경로 및 환경에 적합한 1종을 사용한다. 5. TIFD는 TIRD간 통신 링크를 통해 매 송수신 시의 신호대잡음비(SNR) 및 신호세기(RSSI) 값을 계산하여 통신 상태를 모니터링 한다. 6. TIFD-TIRD간 직접 통신은 이중계에 기반하여 Fail-safe 한 무선통신을 수행한다. 7. TIFD-TIRD간 직접 통신 수행 중에 GPS 신호나 통신 링크 상태를 자동절체 알고리즘으로 판단하여(통신 정상/두절), 통신 불량 시 다른 통신방식으로 절체하여 송수신 데이터 손실을 최소화한다.	UFR.201 UFR.202 UFR.204 UFR.205
열차 무결성 훼손 판단 및 정보 전송	1. TIFD는 자체 획득된 선두차량 좌표(위/경도), 속도, 시간, Log 데이터와 TIRD와의 통신을 통해 수신된 후부차량 좌표(위/경도), 속도, 시간, Log 데이터를 사용하고, 이에 열차거리 추정 알고리즘을 적용하여 열차 선두-후부차량간 열차거리(D, 차장)를 제공한다. 2. TIFD-TIR간 통신 링크는 SNR및 RSSI값을 모니터링하여 통신 정상/두절을 판단한다. 3. TIFD는 기관실의 열차 차상장치(TCMS)로부터 열차 조성정보(L, 열차길이)를 Profibus(RS485) 포트를 통해 입력으로 제공받는다. 4. TIFD는 열차무결성 정보(열차 연결/분리)를 상기 측정된 열차거리, 열차길이, 통신링크(통신 정상/두절) 정보를 이용하고, 이에 열차 분리 판단 알고리즘을 적용하여 최종 결정한다. 5. TIFD는 열차 분리 이벤트 발생 시에 TCMS와 열차 관제센터(TCC)에 그 정보를 제공한다.	UFR.301 UFR.302 UFR.303 UFR.305 UFR.202
열차 차상장치(TCMS)와 의	1. TCMS는 조성된 열차길이(L)를 Profibus(RS485) 전송으로 TIFD에 제공한다. 2. TIFD는 열차무결성 정보(열차 연결/분리)를 TCMS에 계전기	UFR.202

연동	를 통한 접점 정보(on/off) 형태로 출력 제공한다. 3. 상기 계전기는 기관실 기설치된 릴레이를 사용한다.	
열차 관제센터(TCC)에의 정보 제공	1. TIFD, TIRD와 TCC간에 LTE-R 통신 링크를 형성한다. 2. TIFD는 TCC에 열차무결성 정보(열차 연결/분리)를 LTE-R 통신으로 제공한다.	UFR.203
열차무결성 검지시스템 함체	1. TIFD는 구성품들을 함체에 모두 내장하여 열차 선두차량인 기관실 내부에 장착된다. 2. TIRD는 구성품들을 함체에 모두 내장하여 측등과 함께 열차 후부차량의 현 측등 고정부에 장착된다. 3. TIRD용 함체는 환경 내구 IP67 사양을 권장한다.	

(다) 열차무결성 검지시스템 구성

열차무결성 검지시스템(TIS)의 기본 구성을 그림 44에 나타내었다. TIS에는 동일한 열차내에 편성된 열차의 선두차량과 후부차량에 장착되어 각 차량의 위치정보로부터 두 차량간의 열차거리 정보 등을 파악하여 운행 중 열차분리 등의 무결성 검지를 수행하는데 필요한 핵심 기능을 제공하는 열차 선두차량 장치(TIFD), 열차 후부차량 장치(TIRD)가 핵심 구성 요소이다.

TIFD와 TIRD에 내장된 GPS 측위모듈은 열차 선두차량 및 후부차량의 위치 좌표(경/위도), 속도, 시간 정보 등을 제공하며, 함께 내장된 각 LoRa 통신모듈 및 LTE-R 통신모듈들은 열차의 선두-후미차량간 직접 통신을 수행하며, 열차 관제센터(TCC)와의 LTE-R 통신을 지원한다. 또한, TIS에는 내장 모듈들의 제어, 데이터 송수신, 처리 및 알고리즘에 의한 분석과 전원 관리, 열차 차상장치(TCMS)와의 인터페이스를 포함하는 제어모듈이 구비된다.

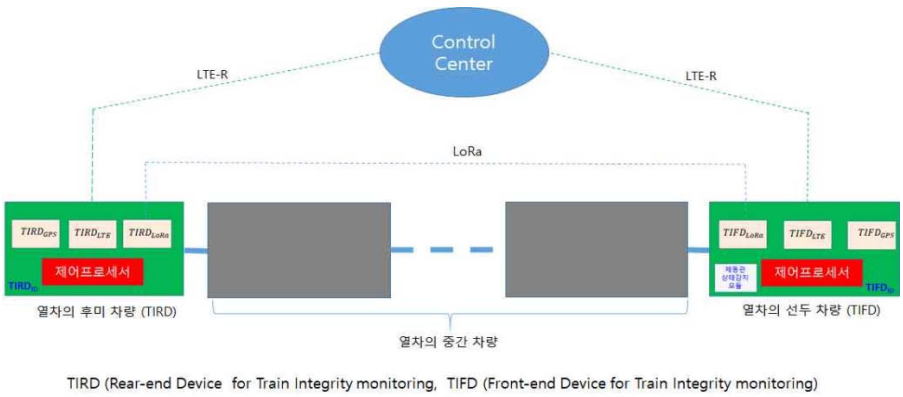


그림 44. 열차무결성 검지시스템의 기본 구성도

① 성능 요구사항

. 열차 길이 측정 오차

. 열차 위치 오차

. 제동관 압력 측정 오차

. 열차 속도 오차

(5) 기본 및 상세설계

(가) 하드웨어 설계

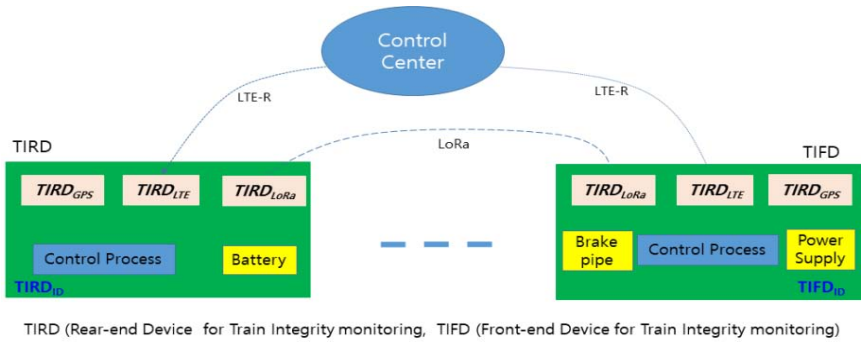


그림 45. 열차 무결성 검지 시스템

TIS에는 동일한 열차내에 편성된 열차의 선두차량과 후미차량에 장착되어 각 차량 위치정보로부터 두 차량간의 열차거리 정보 등을 파악하여 운행 중 열차분리 등의 무결성 검지를 수행하는데 필요한 핵심 기능을 제공하는 열차 선두차량 장치(TIFD)와 열차 후미차량 장치(TIRD)의 1조로 구성된다.

* TIFD와 TIRD에 내장된 GPS 측위모듈은 열차 선두차량 및 후미차량의 위치 좌표(경/위도), 속도, 시간 정보 등을 제공하며, 함께 내장된 각 LoRa 통신모듈 및 LTE 통신 모듈들은 열차의 선두-후미차량간 LoRa 통신 또는 LTR-R 통신에 의한 직접 통신을 수행하고 열차 관제센터(TCC)와의 LTE-R 통신도 지원한다.

또한, TIS에는 내장된 모듈들의 제어, 데이터 송수신, 처리 및 알고리즘에 의한 분석과 전원관리, 열차 차상장치(TCMS)와의 인터페이스를 포함하는 제어모듈과 운용 및 알고리즘 등 SW가 구비된다.



그림 46. 열차무결성 검지시스템(TIS)의 시제품 기본 구성

① 열차 선두차량 장치 (TIFD)

열차 선두차량 장치(TIFD)는 열차의 가장 선두 위치인 기관실 내에 위치한다. TIFD는 열차 선두차량의 위치 정보 획득과 열차 후미차량과의 직접 무선통신, 관제센터(TCC)와의 간접 무선통신, 기관실내 위치한 열차 차상장치(TCMS)와 입/출력 신호 연동, 제어 처리 및 분석, 전원 공급 등의 기능들을 필요로 한다.

그림 47은 TIFD 시제품의 구성 사진을 보인다. TIFD의 시제품은 상기 기능들을 구현하기 위해 GPS 모듈, LoRa 모듈, LTE 모듈, 제어모듈, 배터리, 안테나 등으로 구성되어 지지대상에 조립 결합되며 기관실 내부에 실장된다.



그림 47. 열차 선두차량 장치(TIFD)의 시제품 구성 사진

GPS 모듈은 열차 선두차량의 좌표(위/경도), 속도, 시각 정보를 매 1초 간격으로 GPS, GLONASS, BeiDou, Galileio 등 위성시스템으로부터 GPS 신호로 수신하며, GPS 신호 음영지역에서도 열차 분리를 검지할 수 있도록 RSSI 수신 기능을 구비하고 있다. LoRa 모듈은 열차 선두-후미창량간의 Peer-to-Peer 직접 통신을 수행하는 것으로 900MHz 대역, ISM Band를 이용하여 LoRa 통신을 수행한다. LTE 모듈은 철도통신망인 LTE-R 망을 이용하는 700MHz 대역, Band 28을 이용하여 LTE-R 통신을 수행한다. 열차 선두-후미차량간 직접 통신 또는 열차 관제센터(TCC)간의 간접 통신을 수행한다. TIFD는 GPS 수신, LoRa 통신, LTE-R 통신 용도로 각 1, 1, 2개씩의 안테나가 장착되며, 장치의 전원은 어댑터에 의한 5V DC(3A) 입력이나 내장된 충전가능한 Li Polymer 이차전지(3.7V, 20,000mAh)를 사용할 수 있다. 통상은 기관실의 유틸리티 전원으로터 변환된 DC 어댑터 전원을 사용한다. 제어모듈은 ARM 프로세서를 사용하며 Linux 기반 OS 및 운용 SW로 구동되며, GPS 모듈, LoRa 모듈, LTE 모듈, 배터리를 관리하고 각 모듈에 전원을 공급한다. 그리고 LoRa 통신용 데이터 송수신 프로토콜이 구비되어 AT Command로 수행되며, LTE-R 통신용 데이터 송수신 프로토콜 역시 구비되어 LTE CAT4에서 Uplink 시 150Mbps까지 Downlink 시 50Mbps까지 지원한다.

또한, 제어모듈은 GPS 수신, LoRa 통신, LTE-R 통신을 제어하고 송수신된 데이터를 처리하고 분석한다. 즉, GPS 모듈 및 통신 모듈로부터 자체 획득한 열차 선두차량 정보와 열차 후미차량 장치(TIRD)로부터 수신한 열차 후미차량의 좌표(위/경도), 속도,

시간 정보 등의 Log 데이터들을 처리하여 열차 선두-후미차량간 열차 거리(TD)를 거리 추정 알고리즘으로 분석한다.

그리고 LoRa 통신 또는 LTE-R 통신 수행 중의 신호 대비 잡음비(SNR: Signal-to-Noise Ratio) 및 신호세기 강도(RSSI: Received Signal Strength Indicator)를 계산하여 그 통신 링크 상태를 상시 모니터링한다. 이때 LoRa 통신 링크 불량시 LTE-R 통신 방식으로 자동 절체되어 데이터 송수신의 연속성을 보장되도록 한다.

열차 거리(TD) 및 통신 링크 상태를 상시 모니터닝 하고 이를 외부 입력정보인 편성열차의 전체 길이정보(TL)와 비교 분석하여, 알고리즘에 의해 열차 분리 이벤트 발생 여부를 판단한다.

제어모듈의 인테페이스로는 10Base T의 Ethernet 포트를 지원하며, 선택 가능한 Serial 통신포트인 RS232/RS422/RS485와 3.3V TTL, Relay 접점 신호, SIM, Micro USB, 외부 제어 PC와의 접속을 위한 Terminal 포트 등을 구비한다. RS485 포트는 열차 차상장치(TCMS)로부터 편성된 열차의 전체 길이정보(TL)를 입력으로 제공받는다. 접점 신호는 열차 정지 역할을 하는 제동관으로부터의 입력이나 열차 차상장치(TCMS)에로의 On/off 출력을 위함이다.

TIFD는 열차무결성 정보(열차 연결/분리)를 열차 차상장치(TCMS)의 계전기에 접점 신호(On/off) 형태로 출력하여 제공하고, 열차 관제센터(TCC)에는 LTE-R 통신으로 열차 분리 정보를 전송한다.

표 17. 열차 선두차량 장치(TIFD)의 시제품 사양

항 목	사 양
GPS 수신	▶ Satellite: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo ▶ 위치정보 수신기능 ▶ NEO-M8U ▶ Signal: 위도, 경도, 속도, 시각, 사용위성 개수
LoRa 통신	▶ 900MHz 대역, ISM Band
LTE-R 통신	▶ 700MHz 대역, FDD-LTE B1/B3/B5/B7/B8/B28 ▶ Dual-Band HSDPA/HSPA+ B1/B5
Data Transfer	▶ LTE Category 4 - Uplink up to 150Mbps - Downlink up to 50Mbps
MCU	▶ ARM 3358
Interface	▶ Ethernet: 100Base-T ▶ Serial: RS232/RS422/RS485 ▶ 3.3V TTL, Relay ▶ SIM: Micro SIM ▶ Micro USB ▶ Firmware Update via USB
Power	▶ AC/DC Adaptor (5V DC, 3A) - Max. 2A, Tx Mode ▶ Li Polymer Battery (3.7V DC, 20,000mAh)
제어모듈 Size	▶ 86x121x22.5mm(GPS 및 LTE 모듈 내장)
S/W	▶ 실행 환경 - OS: Linux Debian 9.x 이상 - Serial: GPS, LoRa, RNDIS: LTE-R - Shell: Bone Shell - Linux 기본 명령어 - AT Command 제어 . LoraControl: TIRD, LoraReceive: TIFD ▶ 외부 제어 PC 환경 - OS: Windows - 외부장치: USB (USB to Serial) - Terminal Program

그림 48에 제어모듈(GPS 및 LTE 모듈 내장)의 시제품의 3D 회로도로서 GPS 및 LTE 모듈을 내장하여 함께 통합된 형태로 설계되었다.

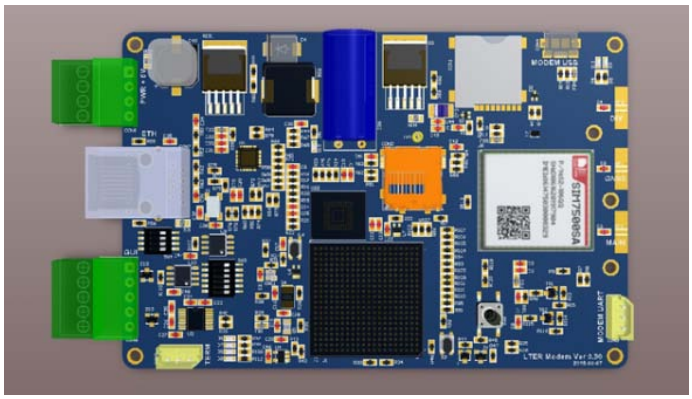


그림 48. 제어모듈(GPS 및 LTE 모듈 내장) 시제품의 3D 회로도

그림 49는 제어모듈(GPS 및 LTE 모듈 내장) 및 LoRa 모듈 시제품의 하드웨어 외관으로 표 17에 해당하는 외부 단자 기능을 요약하였다.

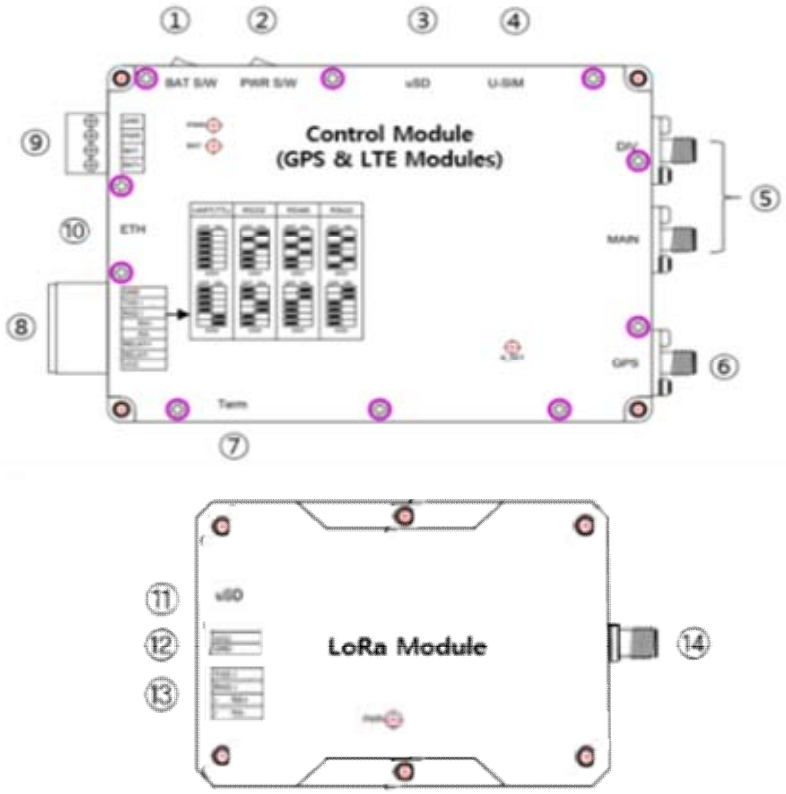


그림 49 제어모듈(GPS 및 LTE 모듈 내장) 및 LoRa 모듈 시제품의 하드웨어 외관

표 17. 제어모듈(GPS 및 LTE 모듈 내장) 및 LoRa 모듈 시제품의 외부 단자 기능

ID	명 칭	기 능
1	배터리 스위치	배터리와 연결된 전원(3.7V DC)을 On/off 하는 스위치
2	어댑터 스위치	DC Adaptor(5V DC)와 연결 전원을 On/off 하는 스위치
3	uSD Card 포트	u-SD Card 삽입 위한 외부 메모리 카드 커넥터
4	SIM Card 포트	LTE-R 통신을 위한 SIM Card용 커넥터
5	LTE-R 안테나 포트	LTE-R 통신 위한 안테나(Main/Diversity) 연결용 SMA 커넥터
6	GPS 안테나 포트	GPS 신호 수신 안테나 연결용 SMA 커넥터
7	Terminal 포트	제어모듈의 프로그래밍을 위한 외부 PC와의 마이크로 USB 연결 커넥터 (Debug 포트)
8	Interface 커넥터	Serial 포트 및 접점 신호 커텍터: RS232/RS422/RS485 선택, 통신의 송수신 및 3.3V DC 및 Relay 접점 신호
9	전원 커넥터	DC Adaptot 전원(5V DC)과 Li Poymer 배터리 전원(3.7V DC)을 연결하기 위한 커넥터
10	Ethernet 포트	Ethernet 연결용 커넥터
11	uSD Card 포트 (LoRa)	LoRa 모듈에의 u-SD Card 삽입용 외장 메모리 카드 커넥터
12	전원 커넥터(LoRa)	LoRa 모듈에의 전원(3.3V DC) 연결용 커넥터
13	Interface 커넥터(LoRa)	LoRa 모듈의 송수신용 커넥터: Serial 포트

② TIRD

열차 후미차량 장치(TIFD)는 열차의 가장 뒤쪽인 후미차량의 외부에 위치한다. 따라서 환경 내구를 위한 함체에 TIRD 구성품들을 내장하여 현재 운행주인 열차 차량에 제작되어 있는 측등 고정부에 장착한다. 여기에서는 외부 환경에 노출되어 사용되는 TIRD용 함체에 대해 먼저 기술한다. 그림 50은 TIRD용 함체의 설계도이다.

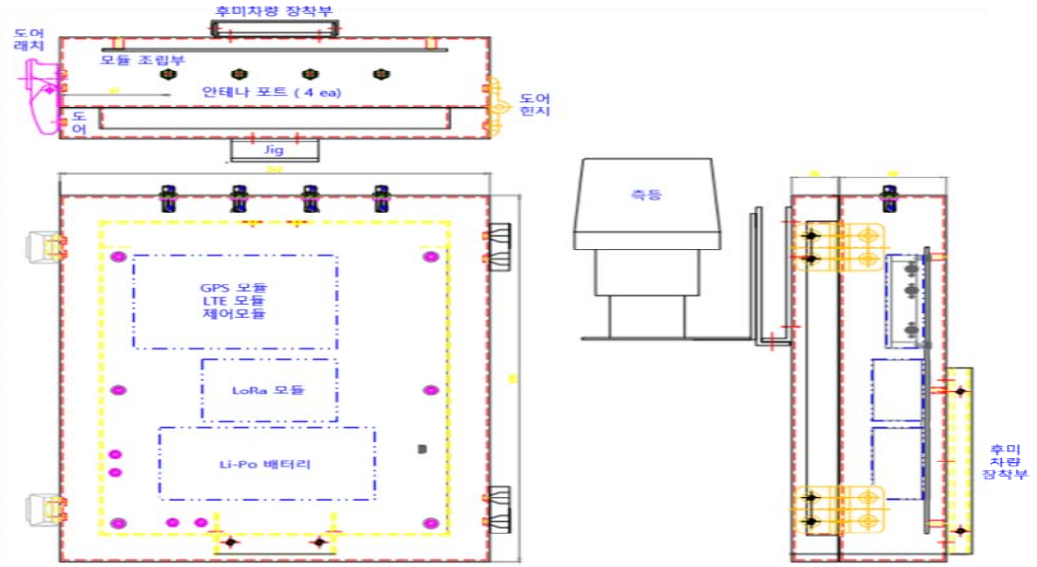


그림 50. TIRD용 함체의 설계도

그림 51에 시제작된 TIRD용 함체의 외관 사진을 나타내었다. TIRD를 구성하는 GPS 모듈, LTE 모듈, 제어모듈, Li Polymer 배터리를 내부의 모듈 조립부에 결합하여 내부의 몸체에 내장하며, 뒷면에는 열차 후미차량의 외부 장착부, 그리고 앞면의 도어부에는 현재 열차에 사용되고 있는 측등을 고정하는 Jig가 구비된다. 도어는 힌지/래치 기구로 탄성재인 Seal부에서 개폐된다. 열차 실제 사용 환경에 적합한 방진 방수 IP55 규격을 준거하도록 계속적인 보완이 진행 중에 있다.



그림 51 TIRD용 함체의 시제품 외관 사진

그림 52은 TIRD의 시제품 구성 사진을 보인다. TIRD는 열차 후미차량의 위치 정보 획득과 열차 선두차량과의 직접 무선통신, 관제센터(TCC)와의 간접 무선통신, 제어 처리 및 분석, 전원 공급 등의 기능들을 필요로 한다.



그림 52. 열차 후미차량 장치(TIRD)의 시제품 구성 사진

TIRD의 시제품은 상기 기능들을 구현하기 위해 GPS 모듈, LoRa 모듈, LTE 모듈, 제어 모듈, 배터리, 안테나 등으로 구성되어 모듈 조립부상에 결합되어 환경 내구 함체에 내장되어 열차 후미차량의 측등 고정부에 장착된다. TIRD에 내장된 LoRa 모듈의 안테나로 고이득 Omni형 또는 지향성 형태를 사용할 수 있다. GPS 모듈은 열차 후미차량의 좌표(위/경도), 속도, 시각 정보를 매 1초 간격으로 GPS, GLONASS, BeiDou, Galileio 등 위성시스템으로부터 GPS 신호로 수신하며, GPS 신호 음영지역 에서도 열차 분리를 검지할 수 있도록 RSSI 수신기능을 구비하고 있다. LoRa 모듈은 열차 선두-후미차량간의 Peer-to-Peer 직접 통신을 수행하는 것으로 900MHz 대역, ISM Band를 이용하여 LoRa 통신을 수행한다. LTE 모듈은 철도통신망인 LTE-R 망을 이용하는 700MHz 대역, Band 28을 이용하여 LTE-R 통신을 수행한다. 열차 선두-후미차량간 직접 통신 또는 열차 관제센터(TCC)간의 간접 통신을 수행한다.

TIRD는 GPS 수신, LoRa 통신, LTE-R 통신 용도로 각 1, 1, 2개씩의 안테나가 장착되며, 후미차량에는가용한 유틸리티 전원이 없는 관계로 열차 운행중 장치의 전원은 내장된 충전가능한 Li Polymer 이차전지(3.7V, 20,000mAh)를 사용한다. 주기적으로 전원 커넥터에 외부 5V DC 어댑터 전원을 연결하여 Li-Po 배터리를 충전한다. 제어모듈은 ARM 프로세서를 사용하며 Linux 기반 OS 및 운용 SW로 구동되며, GPS 모듈, LoRa 모듈, LTE 모듈, 배터리를 관리하고 각 모듈에 전원을 공급한다. 그리고 LoRa 통신용 데이터 송수신 프로토콜이 구비되어 AT Command로 수행되며, LTE-R 통신용 데이터 송수신 프로토콜 구비되어 LTE CAT4에서 Uplink 시 150Mbps까지 Downlink 시 50Mbps까지 지원한다. 또한, 제어모듈은 GPS 수신, LoRa 통신, LTE-R 통신을 제어하고 송수신된 데이터를 처리하고 분석한다. 즉, GPS 모듈로부터 수신된 열차 선두 및 후미차량의 좌표(위/경도), 속도, 시간 정보 등의 Log 데이터들을 처리하여 무선 통신으로 열차 선두차량에 그 정보를 송신한다. LoRa 통신 링크 불량시 LTE-R 통신 방식으로 자동 절체되어 데이터 송수신의 연속성을 보장되도록 한다. 제어모듈의 인테페이스로는 10Base T의 Ethernet 포트를 지원하며, 선택 가능한 Serial 통신포트인 RS232/RS422/RS485와 3.3V TTL, SIM, Micro USB, 외부 제어 PC와의 접속하여 프로그래밍을 위한 Terminal 포트 등을 구비한다. TIRD 시제품에 사용된 제어모듈(GPS 및 LTE 모듈 내장) 및 LoRa 모듈의 하드웨어 사양은 TIFD 시제품 경우와 동일하므로 이하 명기를 생략한다.

③ 전원 및 배터리

그림 53은 TIFD 및 TIRD 장치의 전원 공급을 위한 각 내장된 제어모듈의 전원부를 나타내었다. 열차운행중 유틸리티를 통한 AC/DC 어댑터 전원 또는 배터리를 선택하여 사용할 수 있도록 제어모듈의 좌측면에는 전원 선택 스위치가 구비된다(전원 S/W, 배터리 S/W).

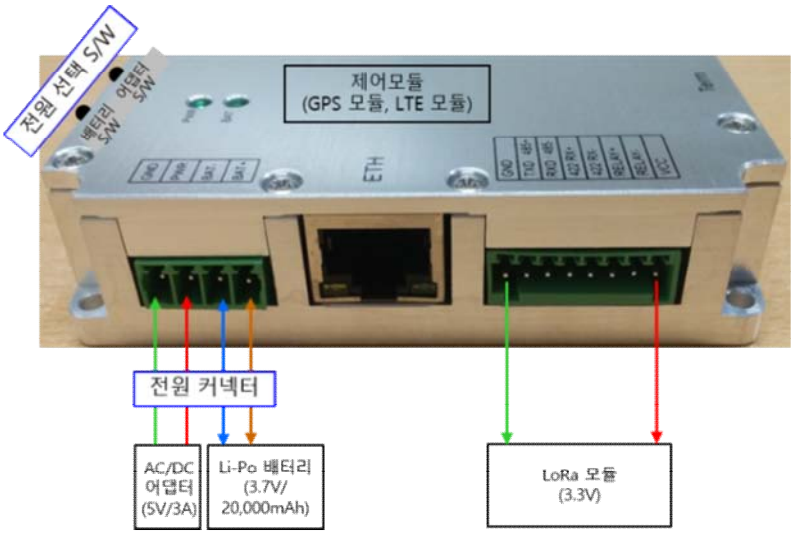


그림 53. TIFD, TIRD의 전원 공급: 제어모듈의 전원부

TIFD는 선두차량인 기관실내에 위치하며 기관실의 유틸리티 전원인 220V 또는 110V AC 포트로부터 AC/DC Adaptor에 의해 변환된 5VDC 전원을 공급받는다. 제어모듈의 전원 커넥터 포트(5VDC, max. 2A, 송신 모드)로 입력된 외부 전원은 제어모듈 자체의 구동과 제어모듈내에 통합된 GPS 모듈 및 LTE 모듈에 필요한 전압 레벨들로 변환되며, 제어모듈은 출력단에서 3.3V DC를 외부의 LoRa 모듈에 전원으로 공급한다.

TIFD는 보조 전원으로 충전 가능하고 Form Factor가 적으면서 대용량이 가능한 Li Polymer 이차전지 배터리(3.7V/20,000mAh)를 내장한다. 그 용량은 TIFD가 차량 유틸리티 전원 없이 배터리 단독으로 약 1 day 정도를 동작할 수 있다. Li Polymer 배터리는 배터리 홀더로써 지지대에 장착되며, 2개의 배터리 단자는 제어모듈의 전원 커넥터포트와 연결되며, 제어모듈의 5VDC 외부 입력전원과 배터리제어보드(BMS)에 의해 충전/방전 및 관리된다.

열차운행중 유틸리티 전원 또는 배터리를 선택하여 사용할 수 있도록 제어모듈의 좌측면에는 전원 S/W(DC 어댑터)와 배터리 S/W(Li Polymer 배터리)가 구비된다.

TIRD는 열차 후미차량에 외부 장착되어 운용되는데, 특히 화물차량인 경우 후미차량은 가용한 열차 전원이 없는 관계로, 열차 운행중 TIRD는 함체내에 배터리 홀더로 장착 되어 있는 Li Polymer 배터리로만 전원을 공급받는 것 이외에는, TIFD와 모두 동일한 방법으로 각 모듈에 전원이 공급된다. 배터리는 약 1 day 정도 동작 가능한 용량으로 TIFD용과 동일 사양이며, TIRD 제어모듈의 전원 커넥터에 5V DC 외부 전원(DC 어댑터)를 입력시켜 BMS에 의해 주기적으로 충전된다.

그림 54에 TIFD 및 TIRD에 사용된 Li Polymer 배터리를 나타내었다. Powerwin사, 모델 1866126으로 보호회로를 구비하며 장치의 함체내에 내충격 패드와 고정지그를 사용 장

착된다.



그림 54. TIFD 및 TIRD 장치용 Li Polymer 배터리

Li Polymer 이차전지의 세부 성능 사양은 하기와 같다.

- 성능
  * 공칭 전압: DC 3.7V, 충전 한계 전압 4.25V (DC 5V /A)
  * 공칭 용량: 20,000mAh 및 30,000mAh
  * 길이: 126mm, 폭: 66mm, 두께: 18mm (158mm X 75mm X 35mm)
  * 보호회로 구비: 5A, 내부 저항: <30mΩ
- 충전 전류: 표준 충전: 0.2C, 급속 충전: 0.5C
  * 정전류 충전(C.C): 0.2C
  * 정전압 충전(C.V-4.2V): 4.25V (전류가 0.05C 미만까지 충전)
  * 최대 충전 전류: 4A
  * 충전시 전압: 4.25V
  * 충전 시간: 2~6 hrs (표준), 2 hrs (급속)
- 방전
  * 최대 방전 전류: 6A
  * 방전 차단 전압: 2.75V
  * 방전 온도: -20~+60℃
  * 충전/방전 회수: >1000회
  * 자체 방전: 200uA 미만

④ 안테나

그림 55는 TIFD 및 TIRD 장치의 측위 및 통신용 안테나 구성을 나타낸다. TIS를 구성하는 핵심장치인 TIFD 및 TIRD의 측위 및 통신 기능이 동작하기 위해서는, GPS 수신, LoRa 통신, LTE-R 통신을 위한 안테나들이 필요하며, 제작된 시스템에서는 각 용도로 1, 1, 2 갯수의 안테나들이 구비된다.

LTE-R 통신용 안테나는 감도를 위해 Main과 Diversity의 2개로 구성된다. 위에서 초도 사용된 각 안테나들의 Gain은 약 2~3dBi 정도이다.

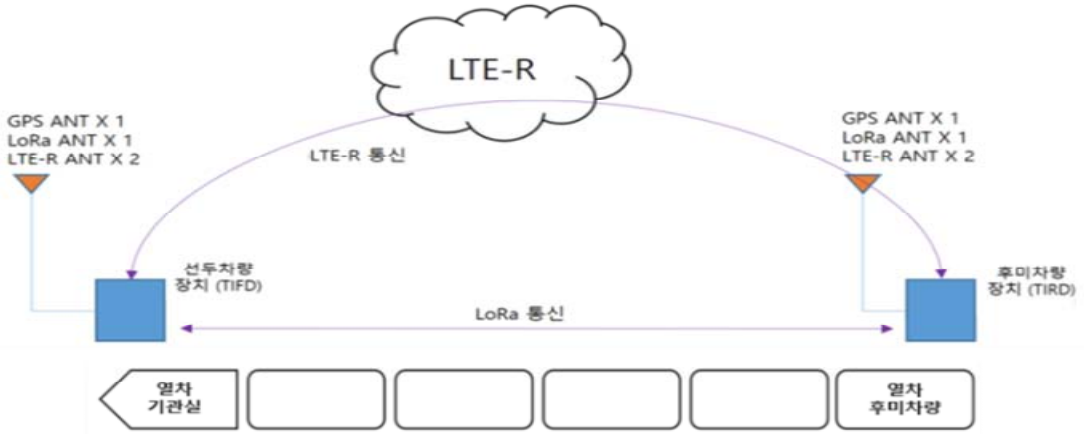
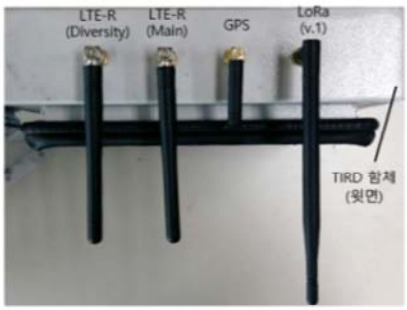
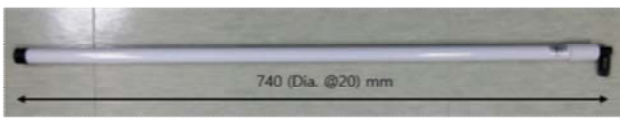


그림 55. TIFD 및 TIRD 장치의 측위 및 통신용 안테나 구성

그림 56은 TIRD 함체에 장착된 안테나들의 배치를 나타낸다. 안테나들은 TIRD 함체 윗면에 돌출되어 장착된다. (b)는 LoRa 통신감도를 높이기 위해 시험한 7dBi LoRa 안테나(v.2)이다.



(a) TIRD의 안테나 배치



(b) TIRD의 LoRa (v.2) 안테나

그림 56. TIRD 함체에 장착된 안테나 배치

신규 시험한 LoRa 안테나(v.2)의 제품 사양은 하기와 같다.

* 주파수: 910~930MHz (LoRa)
* Gain: 7dBi (Max)
* VSWR: <1.5 (Typical)
* Polarization : Vertical
* Type: Omni Direction
* Max Power : 10W
* Connector: SMA
* Size : L 740xDia. @20 mm

그림 57은 TIRD 시제품이 LoRa 안테나(v.2)와 함께 열차 후미차량 측등 고정부에 삽입되어 장착된 예를 보이고 있다.



그림 57. TIRD 시제품의 열차 후미차량 장착 예: LoRa 안테나(v.2)

그림 57은 TIRD 함체 외부의 안테나들이 SMA 커넥터들을 통해 함체내의 GPS 모듈, LTE 모듈 및 LoRa 모듈에 각각 연결된 상태를 나타낸다. LTE-R 통신을 위해 Main과 Diversity의 2개가 LTE 모듈에 연결된다.

열차의 뒷표지는 열차의 맨 뒤 차량에 설치하며, 열차, 특히 화물열차로 편성된 열차의 경우는 차량 외부의 옆면에 돌출한 형태의 측등을 설치한다. 돌출된 측등은 열차 뒤쪽에서 적색등을 점멸하여 기관사가 육안으로 열차 후미를 용이하게 인지하게 한다.

그림 58에 열차 후미차량에 장착되는 TIRD 함체와 열차 뒷표지인 측등의 결합 사진(a)을 나타내었다. 결합은 TIRD 함체(앞면)의 개폐부에 기존 열차에 설치 사용되고 있는 측등을 결합할 수 있는 Sliding식의 측등 장착 Jig를 통해 이루어진다.

(b)의 측등은 Wintech사의 현재 화물열차 뒷표지 사용 모델이다. 측등은 윗면의 태양광 전지와 그 하부의 전후좌우 4개의 LED 점멸등, 중간 기둥내의 충전 배터리, 열차 후미차량의 측면에 돌출된 지그에 장착하기 위한 뒷면의 고정 브라켓이 일체화 된 구조를 가진다.

측등은 TIRD 함체의 외부와 결합되나 그 목적은 TIS(TIRD)와는 별개로 기관사가 육안으로 열차의 후미차량을 식별하기 위한 것이므로 독립적으로 운용된다. 단지 측등 중간의 스위치를 수동으로 On 시킴으로써 측등은 TIS (TIRD)와 관계없이 일정 간격으로 계속 LED 점멸등이 동작한다.



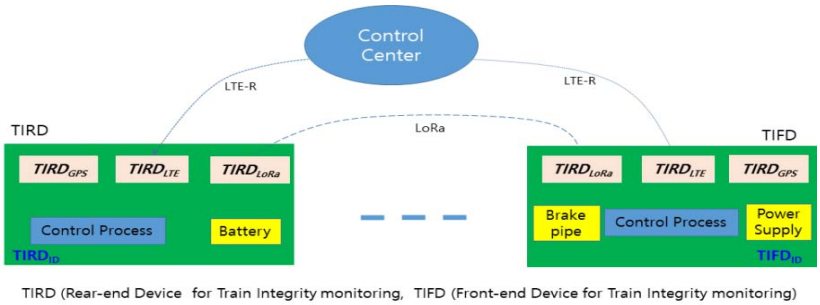
그림 58. TIRD 함체와 열차 뒷표지용 측등의 결합

(나) 소프트웨어 설계

① 소프트웨어 구조도

* TIM (Train Integrity Module)은 설치되는 위치 및 역할에 따라 그림 59와 같이 열차의 선두 차량에 설치되는 TIFD (Front-end Device for Train Integrity monitoring) 장치와 열차의 후미 차량에 설치되는 TIRD (Rear-end Device for Train Integrity monitoring) 장치 2개로 구성된다. TIFD 장치는 두 개의 통신 인터페이스 (LTE-R, LoRa), GPS, Brake Pipe (제동관 접점 인터페이스), 그리고 이 모든 장치들을 제어 관리하는 제어 프로세스로 구성된다.

* TIRD 장치는 자체 전력 공급을 위해 배터리가 추가되고, 제동관 접점 인터페이스 모듈이 제외된다. 각 장치 별로 설치된 두 개의 통신 인터페이스에서 LoRa는 TIFD와 TIRD 간에 직접 통신으로 연결되고, LTE-R은 제어 서버를 통해 TIFD와 TIRD 간에 간접통신으로 연결된다. 후미 차량의 TIRD에서는 1초 간격으로 전송 시점과 현재 위치 정보를 담은 메시지를 선두차량의 TIFD에게 신뢰성 있게 전달하기 위해 두 개의 LoRa와 LTE-R을 통해 동시에 전송한다. 각 장치 별로 설치된 GPS는 열차의 현재 위치와 시간을 추정하는데 사용된다. TIFD 장치에서 제동관 접점 인터페이스는 전 차량에 걸쳐 연결된 제동 파이프내의 공기압의 변화를 접점정보 (온, 오프)형태로 자동 감지한다.



TIRD (Rear-end Device for Train Integrity monitoring, TIFD (Front-end Device for Train Integrity monitoring)

그림 59. 열차 무결성 검지 시스템

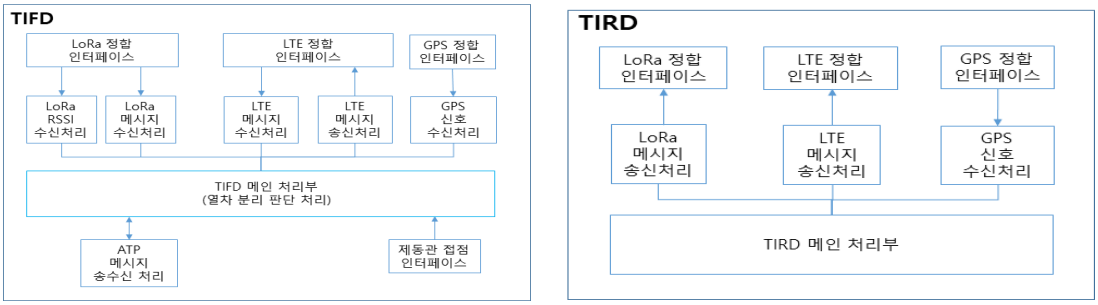


그림 60. TIM 소프트웨어 구조도

* TIFD 소프트웨어 구성 모듈

LoRa 정합 인터페이스 : LoRa 통신 모듈의 하드웨어 초기화와 통신 상태를 점검하는 역할을 담당한다.

LoRa RSSI 수신처리 : TIRD에서 송신한 RSSI (Received Signal Strength Indication) 값을 수신 처리하는 역할을 담당한다.

LoRa 메시지 수신처리 : TRID에서 송신한 메시지를 수신 처리하는 역할을 담당한다.

LTE 정합 인터페이스 : LTE 통신 모듈의 하드웨어 초기화와 통신 상태를 점검하는 역할을 담당한다.

LTE 메시지 수신처리 : TIRD와 TMS (Traffic Management System)서 송신한 메시지를 수신 처리하는 역할을 담당한다,

LTE 메시지 송신처리 : TIFD 메인 처리부에서 송신한 메시지를 TIRD와 TMS로 송신하는 역할을 담당한다.

GPS 정합 인터페이스 : GPS 모듈의 하드웨어 초기화와 통신 상태를 점검하는 역할을 담당한다.

GPS 신호 수신 처리 : 수신한 GPS 신호 데이터 기반으로 현재 TIFD 위치 정보와 현재 속도를 추정하는 역할을 담당한다.

ATP 정합인터페이스 : ATP와 TIFD 간에 연결된 Profi 버스 상태를 점검하고, ATP와 TIFD 간에 데이터 송수신 기능을 담당한다.

제동관 접점 인터페이스: 제동관의 접점 인터페이스를 통해 수신되는 상태 데이터를 처리하는 기능을 수행한다.

TIFD 메인 처리부: 외부 인터페이스로부터 수신한 데이터를 분석하여 열차의 분리 상태를 판단하고, 열차의 분리상태 정보를 담은 메시지를 조립하여 외부 인터페이스로 전달하는 기능을 담당한다.

* TIRD 소프트웨어 구성 모듈

LoRa 정합 인터페이스 : LoRa 통신 모듈의 하드웨어 초기화와 통신 상태를 점검하는 역할을 담당한다.

LoRa 메시지 송신처리 : TIRD 메인 처리부에서 송신한 메시지를 TIFD로 송신하는 역할을 담당한다.

LTE 정합 인터페이스 : LTE 통신 모듈의 하드웨어 초기화와 통신 상태를 점검하는 역할을 담당한다.

LTE 메시지 송신처리 : TIRD 메인 처리부에서 송신한 메시지를 TIFD로 송신하는 역할을 담당한다.

GPS 정합 인터페이스 : GPS 모듈의 하드웨어 초기화와 통신 상태를 점검하는 역할을 담당한다.

GPS 신호 수신 처리 : 수신한 GPS 신호 데이터 기반으로 현재 TIFD 위치 정보와 현재 속도를 추정하는 역할을 담당한다.

TIRD 메인 처리부: GPS 신호 수신처리부에서 수신한 데이터를 기반으로 현재의 위치 정보와 현재 속도정보를 담은 메시지를 조립하여 LoRa 메시지 송신 처리부와 LTE 메시지 송신 처리부로 전달하는 역할을 수행한다.

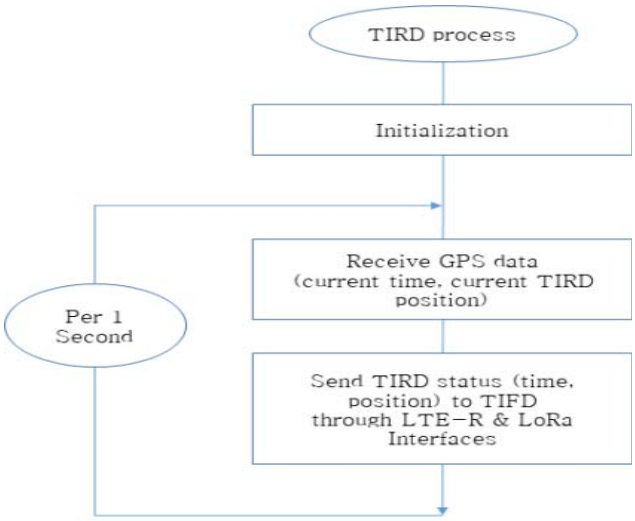


그림 61. 후미차량의 열차 무결성 검지 프로세스

열차 무결성 검지 알고리즘은 그림 61과 같이 열차의 후미 차량에서 동작되는 TIRD 프로세스와 그림 62와 같이 열차의 선두 차량에서 동작되는 TIFD 프로세스로 구성된다.

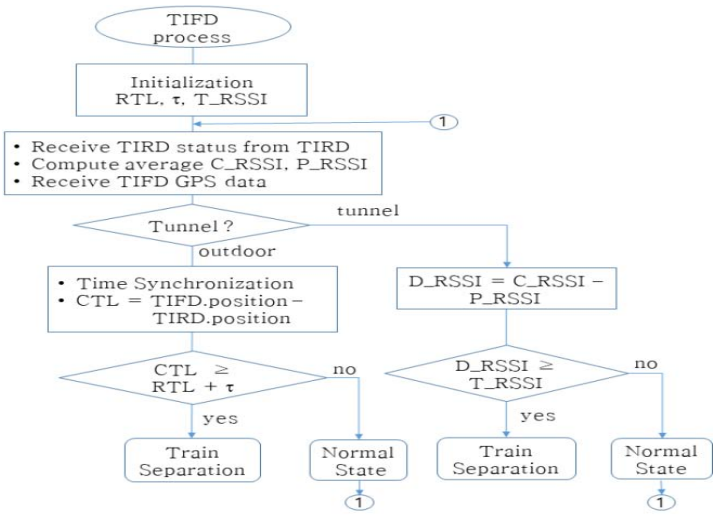


그림 62. 선두차량의 열차 무결성 검지 프로세스

* TIRD 프로세스는 초기화 작업을 수행한 후 열차 운행 중에 GPS 데이터를 수신한다. TIRD 프로세스는 GPS로부터 위치 정보 수신 시간과 후미 차량의 현재 위치 관련 데이터를 수집하고, 이 데이터를 LTE-R과 LoRa 통신 인터페이스를 통해 열차의 선두 차량에 설치된 TIFD 장치에게 송신한다. GPS 수신과 데이터 송신은 일정한 주기로 반복 지속된다.

* 열차의 선두 차량에 설치되는 TIFD 프로세스는 출발 전에 동일 열차의 후미차량에 설치된 TIRD 프로세스와 페어링을 수행하고 기관사나 제어센터로부터 열차를 구성하는 전체 차량의 대수 (NTV: Number of Total Vehicles) 와 차량 한 대의 길이 (VL : Vehicle Length), 열차 분리 검지에 관련된 정보를 수신한다. 그리고 NTV와 VL를 이용하여 실제 열차 길이 (RTL: Real Train Length)를 식 (1)를 통해 계산하고, 최대 거리 추정 에러 값 τ와 RSSI (Received Signal Strength Indication) 임계값 T_RSSI를 설정한다.

$$RTL = NTV * VL \quad (1)$$

* 여기서 최대 거리 추정 에러 값 τ는 열차 운행 중에 측정을 통해 추정할 수도 있고, GPS의 최대 위치 허용 오차 값을 이용하여 추정할 수도 있다. 임계값 T_RSSI는 터널과 같은 GPS 음영지역에서 열차의 분리 유무를 판단하기 위해서 사용된다. TIFD 프로세스는 매 1초 간격으로 TIRD에서 전송한 위치정보와 수신 시간, TIFD GPS에서 수신한 위치정보와 수신시간을 저장한다. 그리고 일정주기로 두 개의 평균 RSSI 값 P_RSSI (Previous average RSSI), C_RSSI (Current average RSSI)을 계산하여 저장한다.

* GPS 수신이 양호한 개활지에서 열차가 운행되는 경우 TIRD에서 전송한 위치정보 수신 시간과 TIFD GPS 프로세스에서 저장한 위치정보 수신 시간이 일치하는지 확인한다. 일치가 되는 경우 일치 시점 t에서 현재 열차 길이 CTL (Current Train Length)을 계산한다. 현재 열차 길이 CTL은 TIFD 위치에서 TIRD 위치를 뺀 값이 되며, 계산식은 식 (2)와 같다.

CTL(t) = TIFD(t).position-TIRD(t).position (2)

* 열차 분리 유무를 판단하기 위해서 식 (1)에서 계산된 RTL 값에 최대 거리 추정 에러 값 τ를 더한 값과 식 (2)에서 계산된 CTL(t) 값을 비교한다.

if (CTL(t) ≧ (RTL+τ)) train separation
else normal state (3)

* 식 (3)의 비교 결과 CTL(t) 값이 (RTL+τ) 값 보다 크거나 같으면 열차 분리로 판단하고, 그렇지 않은 경우는 정상 상태로 판단한다. 열차가 터널 구간에서 운행되는 경우 식(4)와 같이 현재의 주기 w번째에 계산된 평균 RSSI 값 C_RSSI(w)와 전 주기 (w-1)번째에 계산된 평균 RSSI 값 P_RSSI(w-1) 간 차이 값 D_RSSI(w)를 계산한다.

D_RSSI(w) = C_RSSI(w) - P_RSSI(w-1) (4)

C_RSSI와 P_RSSI의 평균 값 계산은 매 초 측정한 RSSI 값을 누적하여 일정 주기로(3-5초) 누적하여 평균값을 계산한다.

* 열차 분리 유무는 식 (4)에서 계산된 D_RTTI(w) 값과 RSSI 임계 값 T_RSSI 값을 비교한다.

if (D_RSSI(w) ≧ T_RSSI) Train separation
else Normal state (5)

* 식 (5)의 비교 결과 D_RSSI(w) 값이 T_RSSI 값 보다 크거나 같으면 열차 분리로 판단하고, 그렇지 않은 경우는 정상 상태로 판단한다.

② TIM 송수신 메시지 포맷

* TIRD에서 TIFD로 전달되는 메시지 포맷

바이트

Command	Category	Answer	Data Size	시간	위치	위성개수	속도	TIRD 상태
2	1	1	4	3	8	1	4	1

TIRD 상태에서는 "1"이면 GPS 수신을 의미하고, "0"이면 UDR을 의미한다.

바이트

시간	위치	위성개수	속도	TIRD 상태
3	8	1	4	1

LoRA 모듈 전송의 경우는 다음과 같다.

TIRD 상태에서는 "1"이면 GPS 수신을 의미하고, "0"이면 UDR을 의미한다.

TIFD와 TMS 간 전달되는 메시지 포맷

바이트

STX	데이터길이	메시지타입	데이터	CRC	EXT
0x02	2	1	N	4	1

STX 는 메시지 시작을 의미하고 "0X02" 로 표기하며 ETX 는 메시지 끝을 의미하고 "0X03" 으로 표기한다.

데이터 길이는 순수 데이터의 길이를 바이트로 나타낸다.

메시지 타입은 "열차 번호 요청"과 "열차 번호 응답"으로 구분하여 열차 번호 요청은 "0X11"로 표기하고 열차 번호 응답은 "0X10"으로 표기한다.

TIFD와 ATP 간 전달되는 메시지 포맷

ATP -> TIFD

바이트

STX	시컨스번호	메시지타입	열차번호	엔진번호	CRC	EXT
0x02	1	1	4	4	4	0x03

메시지 시작 및 종료 구문 : 0x02(STX), 0x03(ETX), 0x10(DLE)

메시지 타입 : 0x9f(초기화 메시지), 0xfa(상태 요청 메시지)

TIFD -> ATP

바이트

STX	시컨스번호	TIFD상태	열차길이	열차분리상태	CRC	EXT
0x02	1	4	2	1	4	0x03

메시지 시작 및 종료 구문 : 0x02(STX), 0x03(ETX), 0x10(DLE)

TIFD 상태 : 0x9f(초기화 완료 메시지), 0xfb(상태 응답 정상 메시지), 0xf5(상태 응답 비정상 메시지)

(5) 열차무결성검지장치와 차상 ATP 간 인터페이스 사양 작성

(가) 인터페이스 정의

열차 무결성 모듈과 연동되는 장치와의 인터페이스는 아래 그림과 같다.

* Interface 1-1: ATP - TIFD 간 이중화된 Profi 버스 유선 인터페이스
* Interface 1-2: ATP - TIFD 간 이중화된 신호접점 인터페이스
* Interface 2: TMS - TIFD 간 이중화된 LTE-R 무선 인터페이스
* Interafce 3: TIFD - TIRD 간 LTE-R와 LoRa 무선 인터페이스
* Interface 4: TIFD - 제동관 간 이중화된 신호 접점 인터페이스

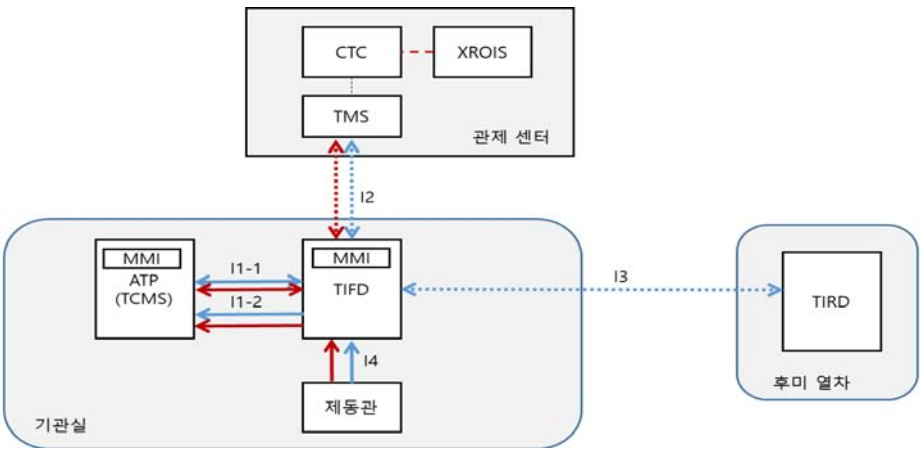


그림 63 열차 무결성 시스템 인터페이스 정의

(나) 시스템 동작 설명

열차 무결성 시스템은 TIM 기능을 수행하기 위해 필요한 정보를 입력하는 초기화 과정과 열차 무결성을 모니터링하는 시스템 운영 과정으로 구분하여 설명한다.

(다) 시스템 초기화 과정

* 기관사가 열차 번호를 입력하고, 입력된 열차번호를 ATP를 통하여 관제 센터(TMS)로 전송한다.
* TIFD는 ATP로부터 열차 번호(엔진 번호)를 수신한다.
* TIFD는 관제 센터에 열차 번호를 보내어 열차 번호와 열차 길이 정보를 수신한다.
* TIFD는 ATP에서 받은 열차번호와 TMS에서 받은 열차 번호 및 길이 정보를 받고 열차 번호가 일치하는지를 확인한다.
* TIFD는 TIRD의 초기 주파수 세팅 메시지(동작 주파수, 메시지 전송 주기, Spreading Factor 등)을 보낸다.
* TIRD는 주파수 세팅을 완료하고 완료했다는 메시지를 TIFD로 보낸다.
* TIFD는 TIRD로 부터 데이터를 정상적으로 수신하는 지를 확인한다.
* 그리고 제동관의 접점신호가 정상인지를 확인한다.
* 상기 초기화 과정을 완료하면 시스템 초기화 과정이 완료 되었다는 것을 ATP에 알린다.

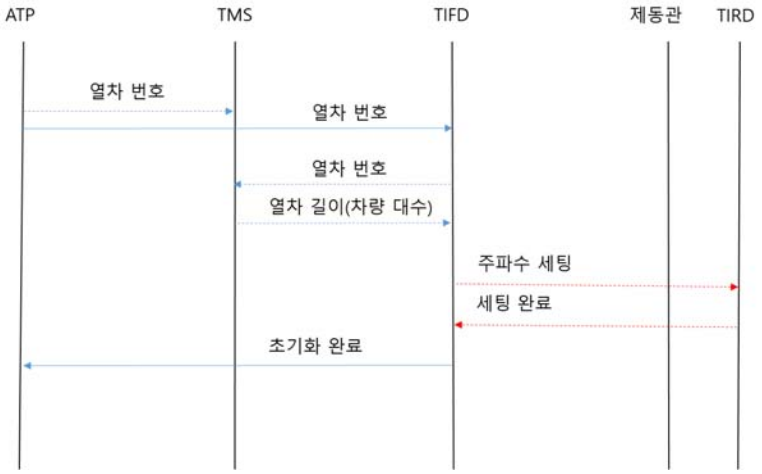


그림 64 열차 무결성 시스템 초기화 과정

(라) 시스템 운영 과정

* TIFD는 TIRD로부터 1초 단위로 수신하는 정보를 기반으로 TIRD ID, 열차 속도와 위치를 모니터링한다.
* ATP에서 주기적으로 TIM의 현재 상태 (정상, 비정상) 요청 시 TIFD는ATP에게 알려 줄 수 있으며 전송 주기는 1초이다. 여기서 TIM의 상태는 분리 상태 체크 결과가 아닌 TIM 자체의 현재 상태와 열차 길이 정보를 의미한다.
* Active/Standby 방식으로 운용하며 TIM 에서 “비정상” 상태라고 보고하면 시스템을 스위칭하고, “정상” 이라고 하면 시스템을 계속 동작 시킴. 정상에서는 “LTE-R” “LORA” “GPS” 상태를 주기적으로 ATP에 보고한다.
* TIFD는 TIRD로부터 받은 정보와 제동관의 신호 접점으로부터 열차 분리 상태(제동관 이상 상태, 열차 길이 허용 오차 범위 밖, RSSI 값 허용 범위 밖 등)를 판단할 수 있으며 분리가 되었다는 판단은 TIFD에서 ATP에 연결된 접점 신호를 통해서만 알려줄 수 있다.

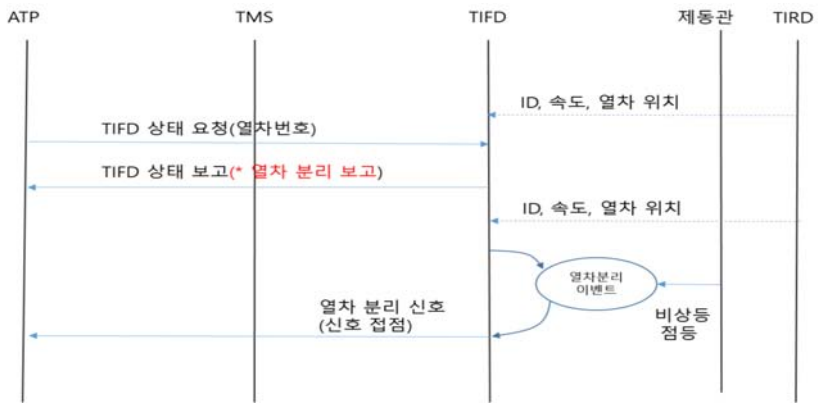


그림 65 열차 무결성 시스템 운영 과정

(6) 시제품 제작

(가) 시제품 구성

열차무결성 검지, 통신, 훼손 판단 및 정보 전송을 달성하기 위해 개발된 열차무결성 검지시스템 시제품을 구성하는 열차 선두차량 장치(TIFD)와 열차 후미차량 장치(TIRD) 시제품의 주요H/W 구성은 다음과 같다. 편성된 열차의 무결성을 검지하기 위하여 개발한 열차무결성 검지시스템(TIS)의 시제품 기본 구성을 그림 66에 나타내었으며, 이에 의해 이루어지는 열차무결성 검지 및 통신, 열차무결성 훼손 검지, 정보 전송 기능 개념을 함께 나타내었다.

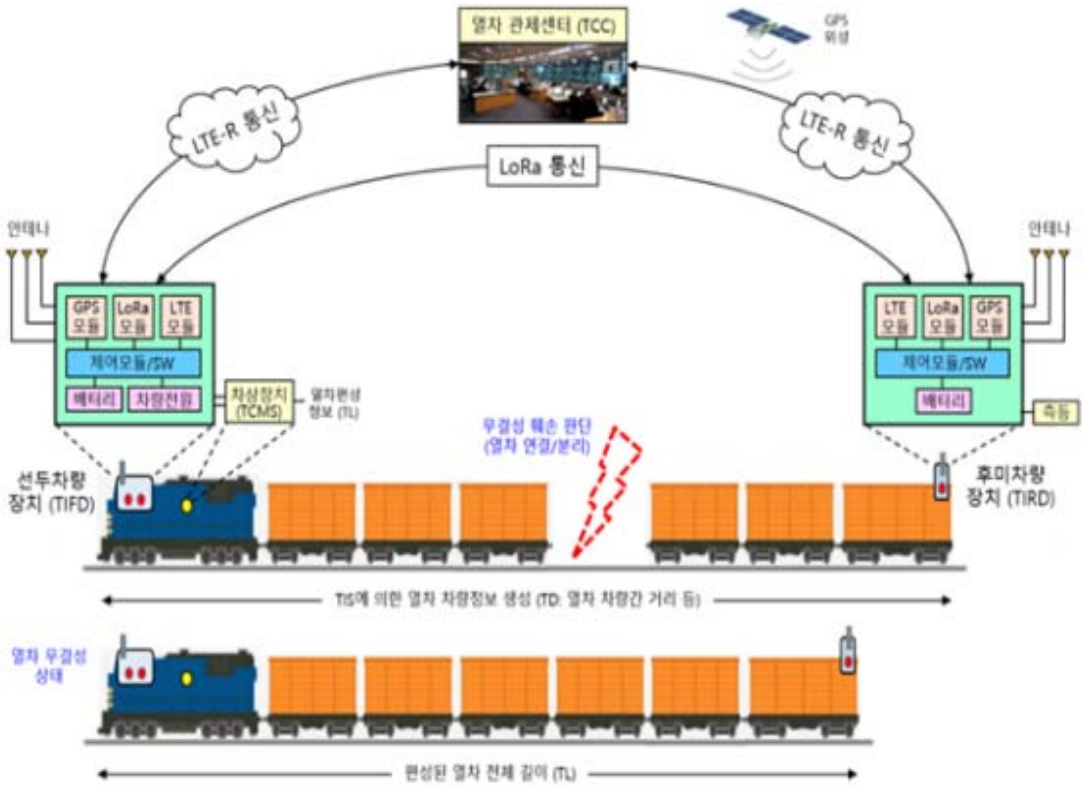


그림 66. 열차무결성 검지시스템(TIS)의 시제품 기본 구성

TIS에는 동일한 열차내에 편성된 열차의 선두차량과 후미차량에 장착되어 각 차량의 위치정보로부터 두 차량간의 열차거리 정보 등을 파악하여 운행 중 열차분리 등의 무결성 검지를 수행하는데 필요한 핵심 기능을 제공하는 열차 선두차량 장치(TIFD)와 열차 후미차량 장치(TIRD)의 1조로 구성된다.

TIFD와 TIRD에 내장된 GPS 측위모듈은 열차 선두차량 및 후미차량의 위치 좌표(경/위도), 속도, 시간 정보 등을 제공하며, 함께 내장된 각 LoRa 통신모듈 및 LTE 통신모듈들은 열차의 선두-후미차량간 LoRa 통신 또는 LTR-R 통신에 의한 직접 통신을 수행하고 열차 관제센터(TCC)와의 LTE-R 통신도 지원한다.

또한, TIS에는 내장된 모듈들의 제어, 데이터 송수신, 처리 및 알고리즘에 의한 분석과 전원 관리, 열차 차상장치(TCMS)와의 인터페이스를 포함하는 제어모듈과 운용 및 알고리즘

등 SW가 구비된다.

(7) 실험실에서의 단위 시험

현차시험을 준비하기 위하여 시제품의 기능 및 성능을 검증하기 위한 시험을 실시하였다.

(ETRI, 대전조차장 및 오봉역 등)

(8) 열차무결성검지장치 시험 절차서

(가) 시험 환경

열차가 운행되는 구간은 무선통신 환경을 고려하여 개활지와 터널 구간으로 나눈다.

* 개활지 구간 시험 : 열차가 정지 또는 속도가 증가하거나 감속하면서 주행하는 구간에서 시험을 한다.

* 터널 구간 시험: 터널에서 열차가 일정한 속도로 주행하는 구간에서 시험을 한다.

(나) 시험 항목

* 패킷 성공율: 송신한 패킷을 기준으로 정상적으로 수신하는 패킷의 비율을 말하며 %로 측정한다.

* 열차 분리 검지율: 열차가 주행 중 분리된 것을 검지하는 비율을 말하며 %로 측정한다.

(다) 시험 시나리오

<개활지 구간에서 패킷 성공률>

① 열차의 선두에 위치한 기관실에 TIFD 모듈, 그리고 열차 후미에 TIRD 모듈을 부착한다.

② TIFD와 TIRD 안테나 지점에 간에는 거리가 300m, 800m, 1km 이상 떨어지게 하며 LOS 환경을 유지하도록 한다.

③ 열차가 정지한 상태에서의 300m, 800m, 1km 이상 거리에서 패킷 성공율을 측정하며 10회 전송을 기준으로 수신율을 계산한다.

④ 열차가 주행하는 상태에서 300m, 800m, 1km 이상 거리에서 속도에 따른 패킷 성공율을 측정하며 10회 전송을 기준으로 패킷 성공율을 계산한다.

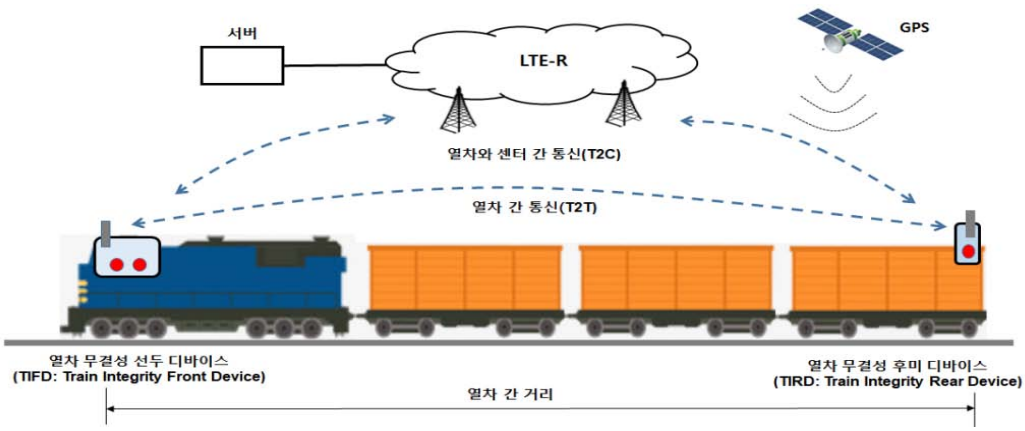


그림 67. 개활지에서 패킷 성공율 시험

<개활지에서 열차 분리 검지율>

① 열차의 선두에 위치한 기관실에 TIFD 모듈, 그리고 열차 후미에 TIRD 모듈을 부착한다.

② TIFD와 TIRD 안테나 지점에 간에는 거리가 800m가 떨어지게 하며 LOS 환경을 유지하도록 한다.

③ 기관실의 열차가 800m 지점에서 TIRD 장치와의 거리가 1km 이상 멀어 지도록 이동하면서 열차가 분리되었는지를 확인한다.

④ 열차의 분리 확인은 10회 반복하여 검지율을 계산한다.

* 열차 분리 시험환경을 구축하기 어려운점을 고려하여 TIRD를 선로변에 고정설치하고 열차가 주행하면서 기관실의 TIFD에서 열차 분리를 시험하는 방법을 적용할 수 있음.

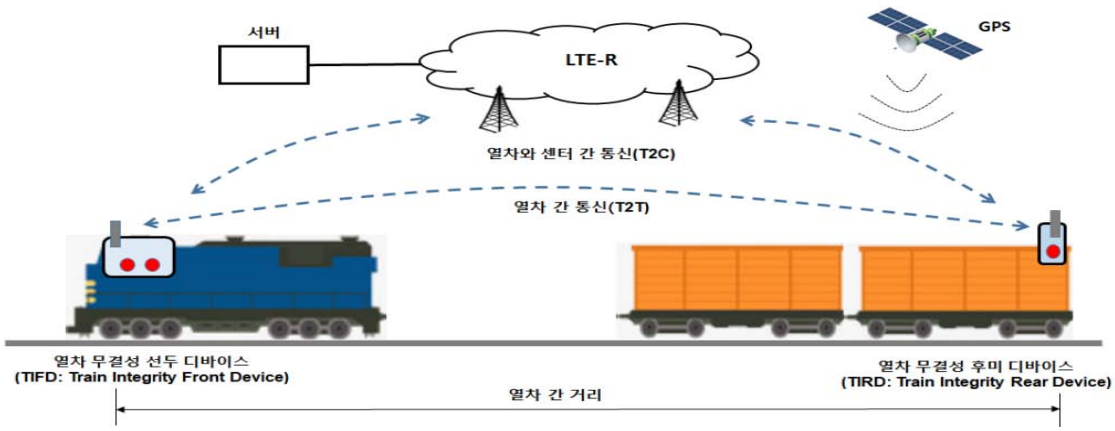


그림 68. 개활지에서 열차 분리 검지 시험

<터널 구간에서 패킷 성공률>

① 열차의 선두에 위치한 기관실에 TIFD 모듈, 그리고 열차 후미에 TIRD 모듈을 부착한다.

② TIFD와 TIRD 안테나 지점에 간에는 거리가 300m, 800m, 1km 이상 떨어지게 하며 LOS 환경을 유지하도록 한다.

③ 열차가 정지한 상태에서의 300m, 800m, 1km 이상 거리에서 패킷 성공율을 측정하며 10회 전송을 기준으로 수신율을 계산한다.

④ 열차가 주행하는 상태에서 300m, 800m, 1km 이상 거리에서 속도에 따른 패킷 성공율을 측정하며 10회 전송을 기준으로 패킷 성공율을 계산한다.

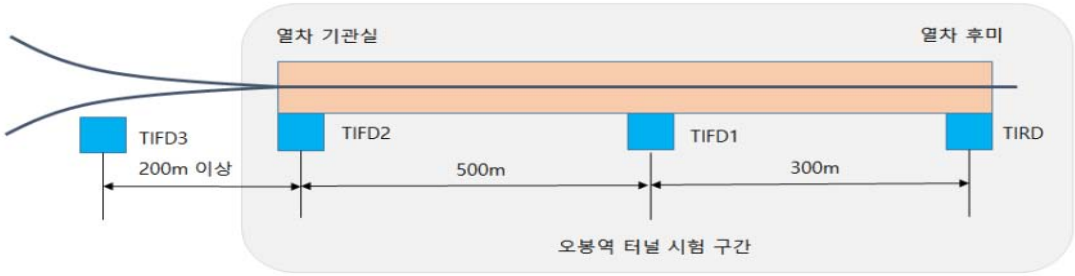


그림 69. 오봉역 터널시험

그림 69는 오봉역 터널 시험을 사례로 보여준다. TIRD를 열차 후미에 부착하고 TIFD1,2,3를 300m, 800m, 1km 이상 지점에 설치하여 패킷 수신 성공율을 시험하며, TIRD는 측등에 부착, TIFD1,2,3은 가능한 LOS 환경을 유지하도록 측등 또는 객차 상부 지점에 안테나를 설치함

<터널 구간에서 열차 분리 검지율>

① 열차 선두에 위치한 기관실에 TIFD 모듈, 그리고 열차 후미에 TIRD 모듈을 부착한다.

② TIFD와 TIRD 안테나 지점에 간에는 거리가 800m가 떨어지게 하며 LOS 환경을 유지하도록 한다.

③ 기관실의 열차가 800m 지점에서 TIRD 장치와의 거리가 멀어 지도록 이동하면서 열차가 분리되었는지를 확인한다.

④ 열차의 분리 확인은 10회 반복하여 검지율을 계산한다.

* 열차 분리 시험환경을 구축하기 어려운점을 고려하여 TIRD를 선로변에 고정설치하고 열차가 주행하면서 기관실의 TIFD에서 열차 분리를 시험하는 방법을 적용할 수 있음

(9) 열차무결성검지장치의 통신시험 결과 정리

열차의 통신 환경은 개활지 구간과 터널 구간이 있으므로 두가지 채널에서의 시험을 추진하였다.

(가) 개활지에서의 통신 시험

개활지 구간에서는 LTE-R 통신이 원활하게 이루어지므로 열차 후미와 기관실 선두간에 거리 측정이 가능하며 거리 오차가 25m 이내이므로 개활지 구간에서 열차 검지는 가능한 것으로 시험 결과를 얻었다.

- 터널 환경에서 LORA/LTE-R 동시 전송 시험
- 시험 일시: 2020.6.3(수)
- 시험 장소: 오송 조차장 터널 환경
- 시험 조건:
  * 열차 후미단과 관실간 거리가 200m. 500m 인 지점에 통신 모듈을 설치하고 LORA/LTE 모듈이 동시에 메시지를 전송한다.
  * 열차 이동 환경을 고려하여 통신 모듈의 기구물과 부착이 견고하도록 한다.

* LORA SF(Spreading Factor) 값은 10으로 고정하고 안테나 이득은 7dBi를 사용한다.
* 열차 후미단과 기관실에 설치한 통신 모듈간에 LOS 환경을 제공하도록 통신 모듈을 설치한다.
* 수신 PER 을 측정하여 통신이 정상적으로 이루어 질 수 있는 지를 분석한다.
* 터널에서 최대 통신거리를 측정하고 200/500m 에서 패킷 에러율, RSSI 값을 측한다.

(나) 터널에서의 통신 시험

<터널 구간에서 500m 거리에서 전파 특성>

터널 구간에서는 LORA 주파수 대역의 신호만 수신하고 이웃한 대역의 신호는 수신 되지 않아서 터널은 로라 주파수 대역의 이웃한 대역에 대해서 필터링 역할을 하였으며 LORA 신호 수신는 매우 양호하며 500m 지점에서 스펙트럼 분석기로 측정한 수신신호의 평균값이 -83dBm 이었음

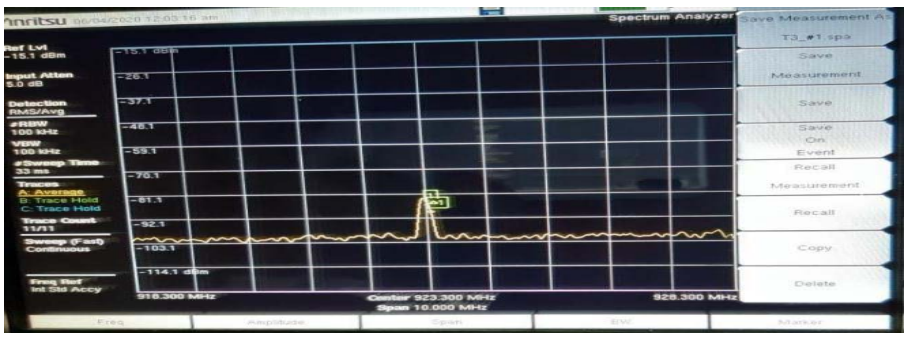


그림 70. 계측기 수신신호

그림 70은 오봉 터널에서의 스펙트럼 분석기로 측정한 LORA 수신신호(500m 지점에서 측정하였으며 수신신호 평균값이 -83dBm 이었음) 터널 입구에서 신호를 전송하고 터널 안쪽에서부터 스펙트럼 분석기로 신호 레벨을 측정했을 때 500m 지점에서 평균 수신신호 레벨이 -83dBm이고 입구 지점에서는 -33dBm 이었으며 100m 마다 평균 10dB정도 감소하였음.

TIFD 모듈에서 측정한 RRSI 신호레벨은 200m 지점에서 평균 -80~88dBm 이고 표준편차는 2.5~5.7dB이다. 500m 지점에서 평균 -105dBm 이었으며 표준편차는 5.3dB 이었음.

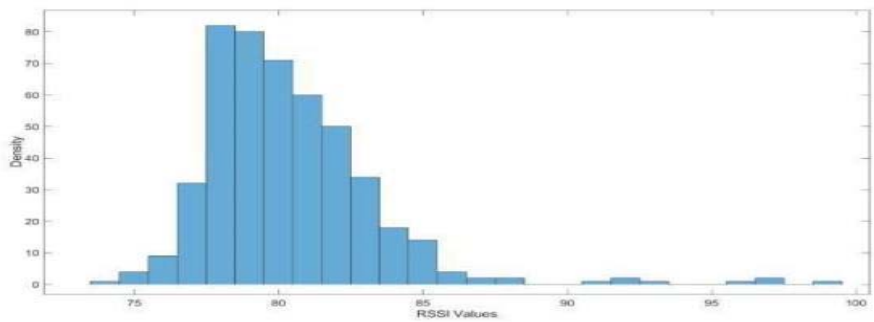


그림 71. 오봉 터널에서의 LORA 수신신호 에너지 RSSI 값에 대한 히스토그램

* 200m 지점에서 측정하였으며 수신 신호 평균값이 -80.5dB, 표준편차는 3.0dB 이었음, 90dB 이상이 발

생하는 것은 터널 출입에 따른 채널 변화로 추정됨

(10) 현차시험 결과

공인시험기관 엔지니어 입회 하에 시험환경을 구성하고 절차에 따라 열차무결성검지장치 현차시험을 아래와 같이 수행하였다.

(가) 시험환경

- 시험 일정 : 2020.11.25.(사전시험) ~ 11.26.(본 시험)

  * 일정 간 오전 9:30 ~ 종료 시까지 시험 시행

- 시험 장소 : 동백산역 ↔ 솔안 터널(터널 구간 시험 시 선로변 위치) ↔ 도계역



그림 72. [동백산역과 도계역간 현차시험 구간]

- 설치 조건

(개활지) 열차 선두차량 TIFD 장치 2개(TIFD 1, TIFD 2), 열차 후미차량 TIRD 장치 1개(TIRD 1), 선로변 1개(TIRD 2)

(터널 구간) 열차 선두차량 TIFD 장치 2개(TIFD 1, TIFD 3), 열차 후미차량 TIRD 장치 1개(TIRD 1), 선로변 1개(TIRD 3)

(나) 시험 항목

- 패킷 성공률 : TIRD 매초 단위 정상 송신 패킷 횟수 및 TIFD 정상 수신 패킷 횟수를 기준으로 수신/송신 비율 측정

- 수신 신호레벨 : LoRa 인터페이스를 통해 TIRD에서 매초 단위로 패킷을 TIFD로 전송, TIRD 수신한 RSSI(LoRa 수신신호강도) 값 측정

- 열차 분리 검지율 : 열차 분리 상황 이벤트 발생 횟수와 TIFD에서 인지한 열차분리 검지 횟수를 기준으로, TIFD 열차분리 검지 횟수/열차분리 상황 이벤트 발생횟수 비율 측정

(다) 시험 절차

(개활지)

- 1초 주기로 TIRD에서 패킷을 TIFD로 전송한다.

- 개활지 구간 내 패킷 성공률을 측정한다.

- 개활지 선로에 위치한 TIRD 2는 1초 주기로 패킷을 TIFD 2로 전송하도록 설정한다.

- 출발 전에 TIFD 2 입력 값(열차길이, 임계치 값, 열차 분리상태)을 비정상으로 설정한다.(임계치 값 = 열차길이 + 열차길이/2)

  * 비정상 상태 계산식 : TIFD 2 현재위치 - TIRD 현재위치 > 임계 값

- 열차 운행 시 TIFD 2 현재위치 - TIRD 2 현재위치 값이 임계치 범위 내로 들어오면서 열차 분리 상태는 정상으로 변경되고, 계속 이동하면서 임계치 범위를 벗어나면 다시 비정상으로 변경됨을 확인한다.

- TIFD 2에서 열차 분리를 나타내는 이벤트가 발생했는지 확인한다.

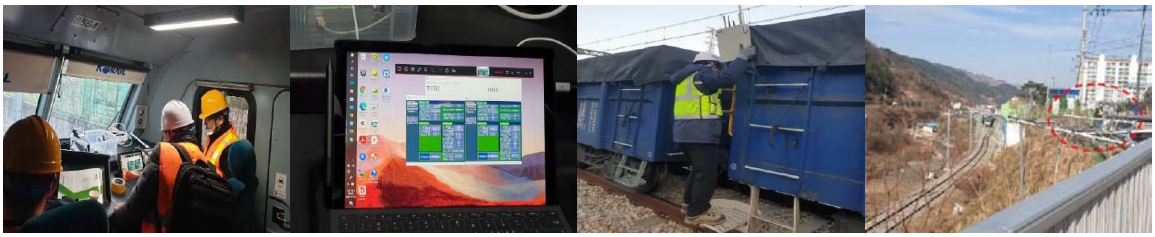


그림 73. [현차 시험 현장사진]

(터널 구간)

- 터널에 위치한 TIRD 3에서 1초 주기로 패킷을 TIFD 3으로 전송한다.

- 터널 진입 전 TIFD 3 RSSI 값이 0인지 확인한다.

- 터널에서 열차 운행 간 TIFD 3가 TIRD 3의 통신 반경에 진입했을 경우 TIFD RSSI 값이 -127dBm 이상인지 확인하고, 열차 이동에 따라 통신 반경에서 벗어났을 경우 TIFD RSSI 값이 -127dBm 이하로 10초 이상 유지하는지 확인한다.

- 터널에 위치한 TIRD 3은 1초 주기로 패킷을 TIFD 3으로 전송하도록 설정한다.

- 출발 전 TIRD 3 RSSI 값은 -127dbm으로 설정된다.

- 터널에서 열차 운행 간 TIFD 3가 TIRD 3의 통신 반경에 진입했을 경우 TIFD 3의 RSSI 값이 -126dbm 이상의 값을 갖는지 확인한다.(열차 분리 정상상태)

- 열차 운행 간 TIFD 3가 TIRD 3 통신 반경을 벗어났을 경우 TIFD 3의 TSSI 값은 -127dbm 값으로 변경, 임계치 값 이하로 10초 이상 지속되는지 확인한다.(열차 분리 비정상)

- TIFD 3에서 열차 분리를 나타내는 이벤트가 발생했는지 확인한다.

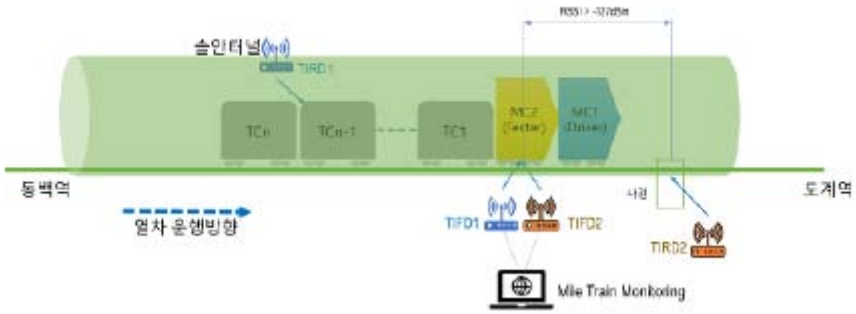


그림 74. [솔안터널 시험 구성]

(라) 시험 결과

① 항목별 시험결과

구분	시험 항목	시험 결과
개활지	패킷 성공율	패킷 성공률 시험 데이터 (99% 이상)
	열차분리 검지율	열차분리 사전 발생 시 비정상 알람 상태 변환
터널	RSSI	RSSI 시험 데이터 스펙트럼 측정 결과
	열차분리 검지율	열차 분리 사전 발생 시 비정상 알람 상태 변환

② 시험로그 분석

- 패킷 수신여부에 대해서는 개활지 구간에서의 로그 정보에서 2번째(LoRa 수신오류) 또는 3번째(LTE 수신오류) 데이터가 0이 아닌 경우에 대해 각각 통신 오류로 판단하였다.(TIFD1 - TIRD1 통신 패킷 수신율)

Case	로그 데이터	LoRa	LTE	결과
LoRa, LTE 수신 정상	20201126-110559 : 0; 0; 37.154831;129.034168; 8;0.15Km/h;11:5:59;37.153091;129.034073;12;0.09Km/h;11: 5:58;rc=0;rsc= 0;rssi= 99;snr=17;191.38m;Normal	0	0	LoRa: 정상수신 LTE: 정상수신
LoRa 수신 오류	20201126-110615 : 1; 0; 37.154842;129.034183;10;1.69Km/h;11:6:15;37.153095;129.034073;12;0.07Km/h;11: 6:14;rc=0;rsc= 0;rssi= 97;snr=18;192.23m;Normal	1	0	LoRa: 수신오류 LTE: 정상수신
LTE 수신 오류	20201126-111500 : 0; 1; 37.154842;129.034075; 9;0.22Km/h;11:15:0;37.153049;129.034088;12;0.01Km/h;11:14:59;rc=0;rsc= 0;rssi= 93;snr=23;196.97m;Normal	0	1	LoRa: 정상수신 LTE: 수신오류
LoRa & LTE 수신 오류	20201126-111550 : 1; 1; 37.154876;129.034121; 8;0.10Km/h;11:15:50;37.153084;129.034134;12;0.12Km/h;11:15:48;rc= 0;rsc= 0;rssi= 95;snr=22;196.95m;Normal	1	1	LoRa: 수신오류 LTE: 수신오류

- 개활지 구간에서의 TIFD1과 TIRD1간의 통신 패킷 수신율은 로그정보를 통해 다음과 같이 확인함.

로그 파일명	로그 시작시간	로그 종료시간	패킷 송신수	패킷 수신수 (LTE or LoRa)	패킷 수신율
recv_20201126-11.log (TIFD1)	11:05:59	11:59:08	3,190	3189	99.97%[Note1]
recv_20201126-12.log (TIFD1)	12:19:25	12:59:51	2,427	2,423	99.83% [Note2]

* Note 1: LTE Only 수신은 3,181 (99.72%), LoRa Only 수신은 2,892개 (90.66%)

* Note 2: LTE Only 수신은 2,136 (88.0%), LoRa Only 수신은 2,256개 (93.0%)

- 상기 시험 결과에 의하여 본 시스템이 99%이상의 수신율을 보여주고 있음을 확인함.

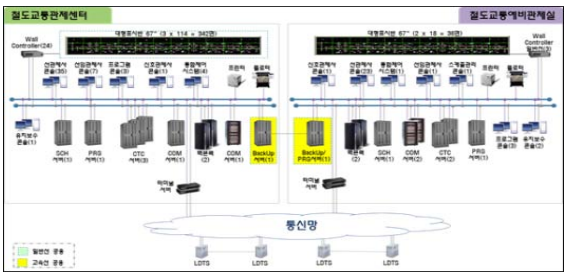
2.2.3.3 [공동] 대아티아이(주)

가. 조사 및 요구사항 분석

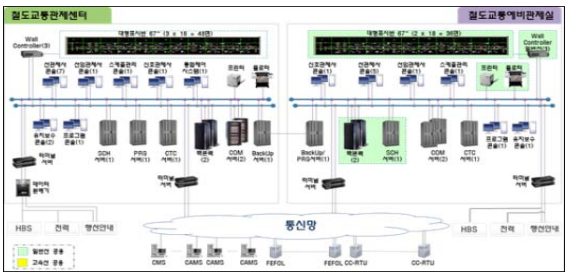
(1) 타 관제시스템 분석

(가) 관제설비 구성 분석

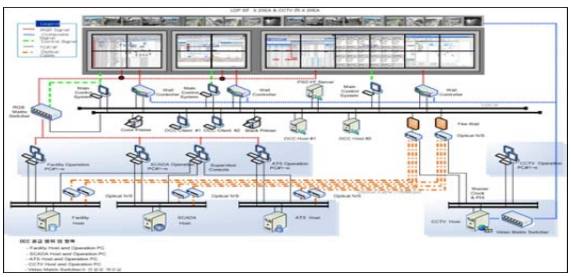
- 타 관제 시스템의 구성 분석



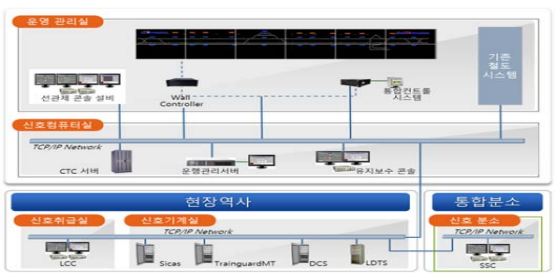
일반선 시스템 구성



고속선 시스템 구성



신분당선 시스템 구성



서해선 시스템 구성

그림 75. 관제시스템 구성도

(나) 신호설비 상태 표시 분석

- 현장에서 수신되는 신호 설비의 정보를 화면에 표시하는 방식을 분석



그림 76. 일반선 화면 표시

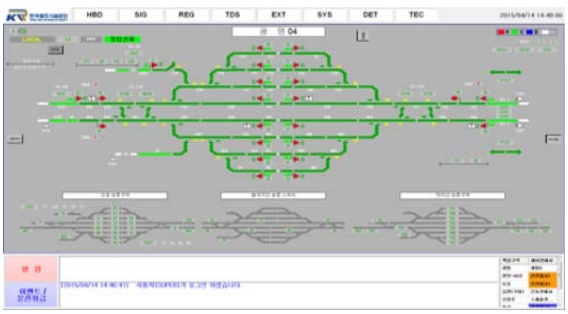


그림 77. 고속선 화면 표시

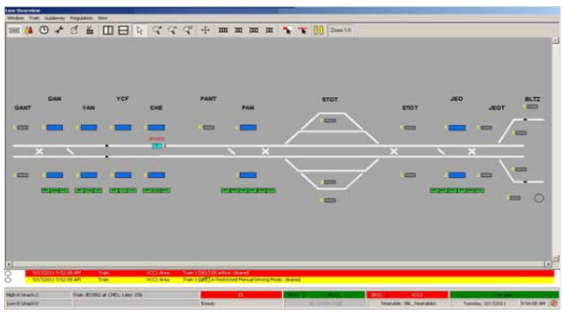


그림 78. 신분당선 화면 표시



그림 79. 서해선 화면 표시

(다) 신호설비 제어 방식 분석

- MMI의 메뉴를 통한 현장의 설비를 제어하는 일반철도, 서해선, 신분당선의 방식과 고속철도의 Key입력방식의 문자형 제어 방식 분석

(라) 관제실 별 열차 위치 표시 방식 분석

- 일반철도와 고속철도의 열차 점유궤도 및 열차번호 표시 방식과 신분당선, 서해선의 열차 위치 아이콘 및 편성번호, 열차번호 표시 방식 분석



그림 80. 일반선 열차위치궤도, 열차번호 표시

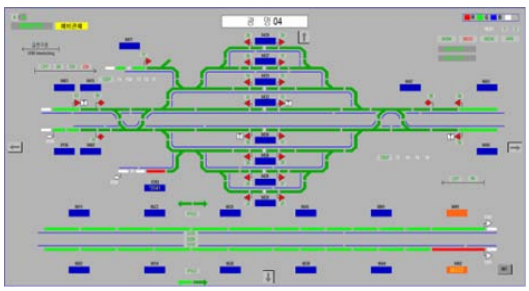


그림 81. 고속선 열차위치궤도, 열차번호 표시

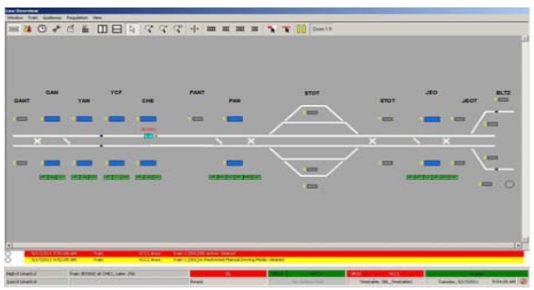


그림 82. 신분당선 열차 아이콘, 열차번호 표시



그림 83. 서해선 열차 아이콘 및 논리궤도, 열차번호 표시

(마) 열차정보 관리 방식 분석

- 열차와 통신 하지 않는 일반철도, 고속철도를 제외하고, 관제실-열차 간 통신이 이루어지는 서해선, 신분당선의 열차 정보 관리 방식 분석

(바) 열차운행 관리 방식 분석

- 열차운행을 관리 할 수 있는 관제실별 스케줄 관리 방식을 분석

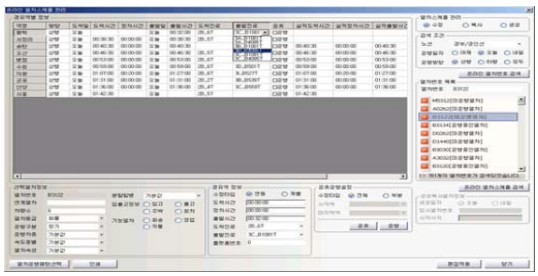


그림 84. 일반선 온라인 스케줄 수정화면

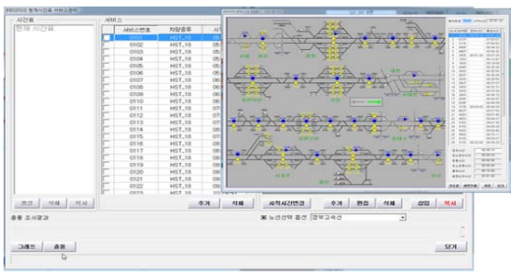


그림 85. 고속선 열차스케줄 생성 화면

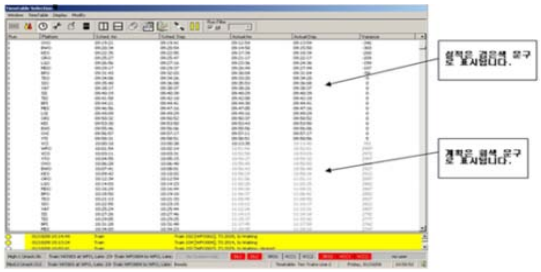


그림 86. 신분당선 타임테이블(스케줄) 내용화면

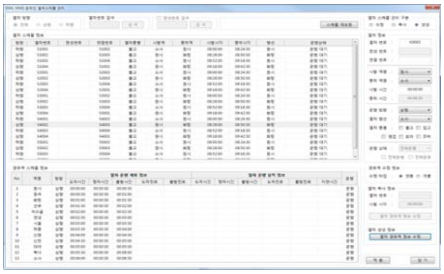


그림 87. 서해선 열차 스케줄 관리 화면

(사) 인터페이스 종류 분석

- 관제실 별 인터페이스 장치 확인 분석

	일반철도	고속철도	신분당선	서해선
인터페이스 장치	LDTS	FEPOL	OCC-Host	SICAS(LDTS)
	고속선 CTC	일반선 CTC	PIDS/PAS	TGMT(LDTS)
	HSE	TIDS	SCADA	PIS/PAS
	지하철	SCADA	VCC	

(1) 요구사항 정의 및 분석

(가) 시스템 구성 정의

- 관제서버, 관제콘솔, 네트워크 장치, 대형표시반 장치, 외부 인터페이스를 위한 통신장치로 구성 정의

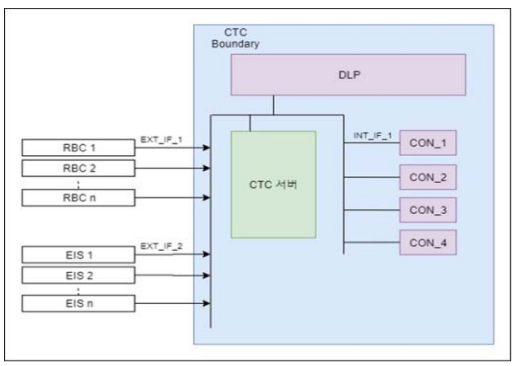


그림 88. 관제시스템 구성

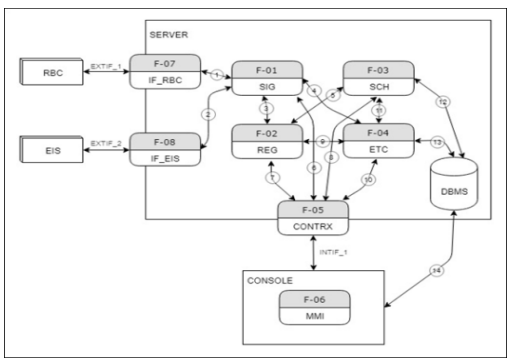


그림 89. 관제시스템 논리적 구성

(나) 인터페이스 정의

- 관제서버-콘솔 간 인터페이스관제시스템과 연결되는 인터페이스를 내/외부로 정의
  * 외부 인터페이스 : RBC 인터페이스, EIS 인터페이스
  * 내부 인터페이스 : 관제서버-콘솔간 인터페이스

(다) CTC시스템 영역 정의

- 시스템 구축 범위 정의

번호	장치명	설명	사양	비고
1	관제서버	신호처리/운행정리	FT 사양	
2	관제콘솔	표시/제어/조회/편집	최신사양, 이중계 구성	
3	대형표시반	전구역 운행 감시	LED 타입	
4	월컨트롤러	대형표시반 PC	최신사양, 그래픽 8IN/8OUT	
5	네트워크	L3 Switch	24Port	

(라) 요구사항 정의 및 분석

항 목	주요 분석 내용
기능	관제 시스템의 기능을 ID별로 분류하여 89개로 구분하여 정의 및 분석
성능	관제 시스템을 서버, 콘솔, 네트워크 장치로 구분하고 각 장치의 비기능 요구사항 정의 및 분석
인터페이스	인터페이스의 확장성, 용이성과 기타로 나누어 요구사항 정의 및 분석
데이터	데이터 표준 준수와 DB구조 최적화, DATA이관 및 데이터 품질에 관한 요구사항 정의 및 분석
테스트	시험방안, 제작완료 시험 및 현장 시험으로 구분하여 요구사항 정의 및 분석
설계제약	비기능 요구와 제약사항, 소프트웨어 시스템 속성에 대한 요구사항 정의 및 분석

(마) 주요 기능 설명

함수 ID	구분	기능 설명
F-01	SIG	RBC에서 수신된 열차정보와 EIS에서수신된 선로변 설비의 상태정보를 처리 및 열차 제어 및 진로제어 검증
F-02	REG	열차의 위치정보를 추적하고 운영계획 정보에 의해 열차가 이동할 수 있도록 진로 구성
F-03	SCH	열차의 운행 계획을 시스템에 로딩하거나, 계획된 운행열차 변경
F-04	ETC	CTC 시스템에서 발생하는 정보를 로깅하고 콘솔의 세션 관리
F-05	CONTRX	MMI의 접속 상태를 관리 기능
F-06	MMI	열차 운행에 대한 정보를 사용자에게 표시하고, 운영자의 제어를 처리할 수 있는 기능이다.
F-07	IF_RBC	RBC와 통신하여, 열차정보와 위치정보, ATO 정보를 송수신한다.
F-08	IF_EIS	EIS와 통신하여, 현장설비의 정보를 수신하고, CTC 시스템에서 발생한 제어정보를 연동장치로 송신한다.

(바) 요구사항 정의 및 분석에 대한 제3자 자문 수행

- 철도기술연구원 윤용기박사
- 철도교통관제센터 전기운용부 기술팀장 이규차장
- 정보시스템감리 및 컨설팅 기업 ㈜아이삭

* 제3자 자문<정보시스템 감리법인 ㈜아이삭>내용 중 관련 사항에 대한 자문 결과는 다음과 같다.

* 열차위치 정보 표현을 위해서는 “열차위치정보 초기화” 의 정확한 정의 및 전제조건 필요

나. 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 설계

(1) 개념설계

(가) 관제설비(CTC) 시스템 구성 개념 설계

① 관제시스템의 구성

- 열차 운행 시스템 전체에서 관제시스템의 영역은 다음과 같다.

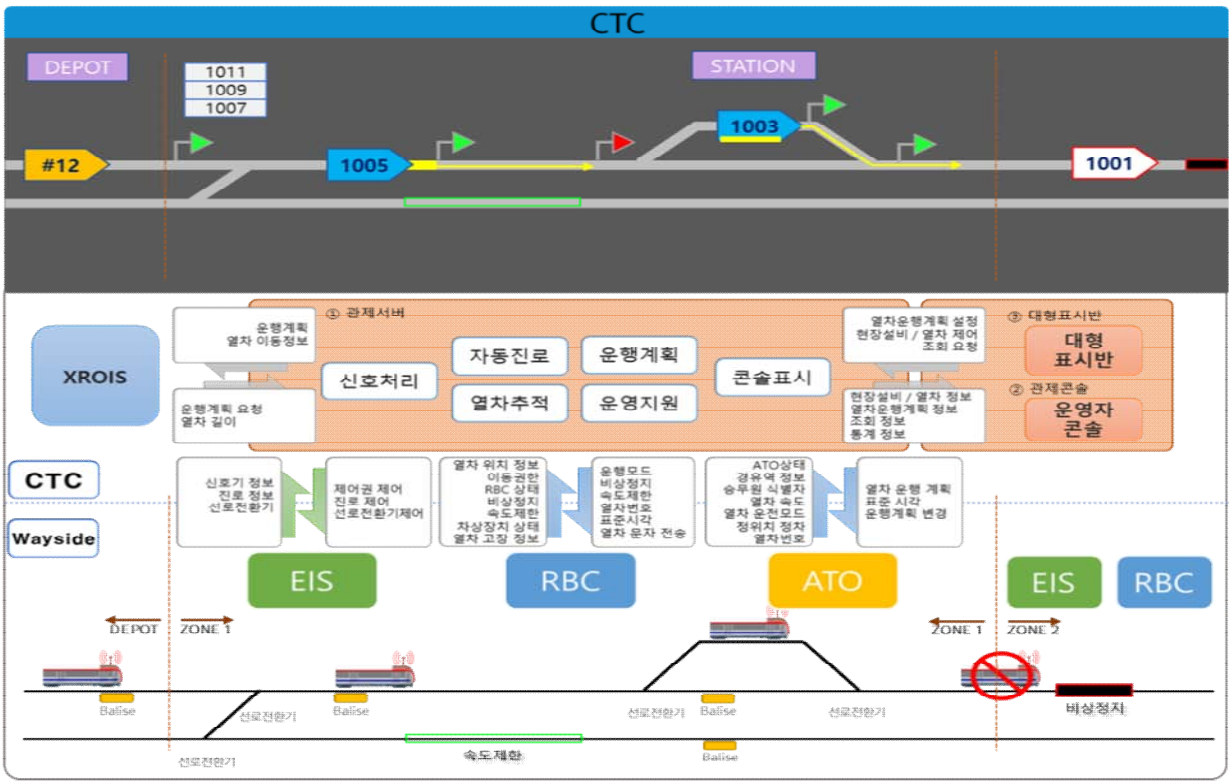


그림 90. 관제시스템 구성

② 관제설비의 구성 장비

- CTC 시스템은 관제 서버, 관제 콘솔, 대형 표시반으로 구성한다. 외부 장치 RBC, ATO, EIS 정보를 인터페이스 하여 관제서버에서 신호처리 및 열차 정보를 활용하여 운행 계획에 의한 자동진로 제어를 시스템에서 자동으로 수행한다. 또한 운영자에게 관제 콘솔과 대형 표시반을 통하여 열차운행 상황을 감시 및 제어할 수 있도록 한다.

번호	장치명	설명	사양
1	관제서버	신호처리/운행정리	FT 사양
2	관제콘솔	표시/제어/조회/편집	최신사양, 이중계 구성
3	대형표시반	전 구역 운행 감시	대형 화면 TV
4	월컨트롤러	대형표시반 PC	최신 사양 그래픽 8IN / 8OUT
5	네트워크	L3 Switch	24Port

③ 관제 시스템의 소프트웨어 구성

- 관제시스템 소프트웨어의 개념적인 구성은 다음과 같다.

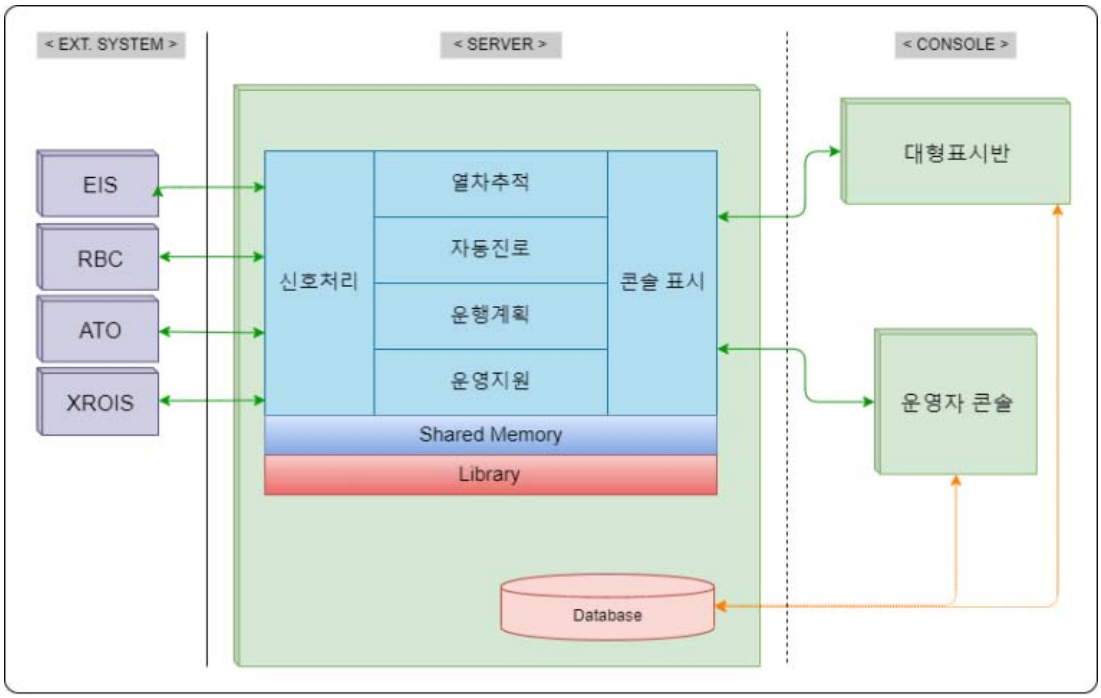


그림 91. 관제시스템 소프트웨어 구성

- 관제 시스템은 외부 시스템에서 발생한 정보를 수신하여 신호처리 하여 열차의 위치를 분석하여 운행 계획에 따라 자동으로 진로를 제어하는 시스템이다. 또한, 운영자에게 정확한 현장 상황을 제공하여 관제 업무를 수행 할 수 있도록 사용자 인터페이스를 구성한다. 관제 시스템은 운영자 및 시스템에 의해 발생한 제어를 검증하여 현장으로 안전한 정보를 송신하도록 소프트웨어를 구성 한다.
- 관제 시스템의 서버는 유닉스 운영체제를 기반으로 제공되는 라이브러리를 활용하여 메시지큐와 공유메모리를 사용하여 현장 정보, 열차정보, 운행계획 정보, 시스템 상태정보 등을 실시간으로 처리할 수 있도록 설계하였다. 시스템에서 발생하는 알람과 이벤트, 조작이력 정보는 DB에 기록하여 운영자가 운행 상황을 조회 할 수 있도록 한다.
- 관제 시스템의 대형표시반은 현장 상황을 서버로부터 수신하여 실시간으로 운영자에게 정확한 그래픽 정보를 제공하도록 구성하고, 운영자 콘솔은 운영자가 현장 제어,

열차 제어, 열차 번호 제어, 스케줄 관리, 각종 조회, 통계 조회 등의 기능을 수행할 수 있도록 하였다.

- 외부시스템과 관제시스템의 서버 간에는 이더넷 통신 방식으로 정보를 송수신하여 처리한다. 관제시스템의 서버와 콘솔 간에도 이더넷 통신 방식을 사용하여 정보를 교환한다. 관제시스템의 서버에 설치되는 Database의 연결 방법은 ODBC(Open Database Connectivity) 방식을 사용하여 정보의 기록과 참조를 할 수 있도록 하였다.

(나) 관제설비의 성능 및 기능 설계

① 서버 컴포넌트 구성

- 서버 소프트웨어 컴포넌트 구성도는 다음과 같다.

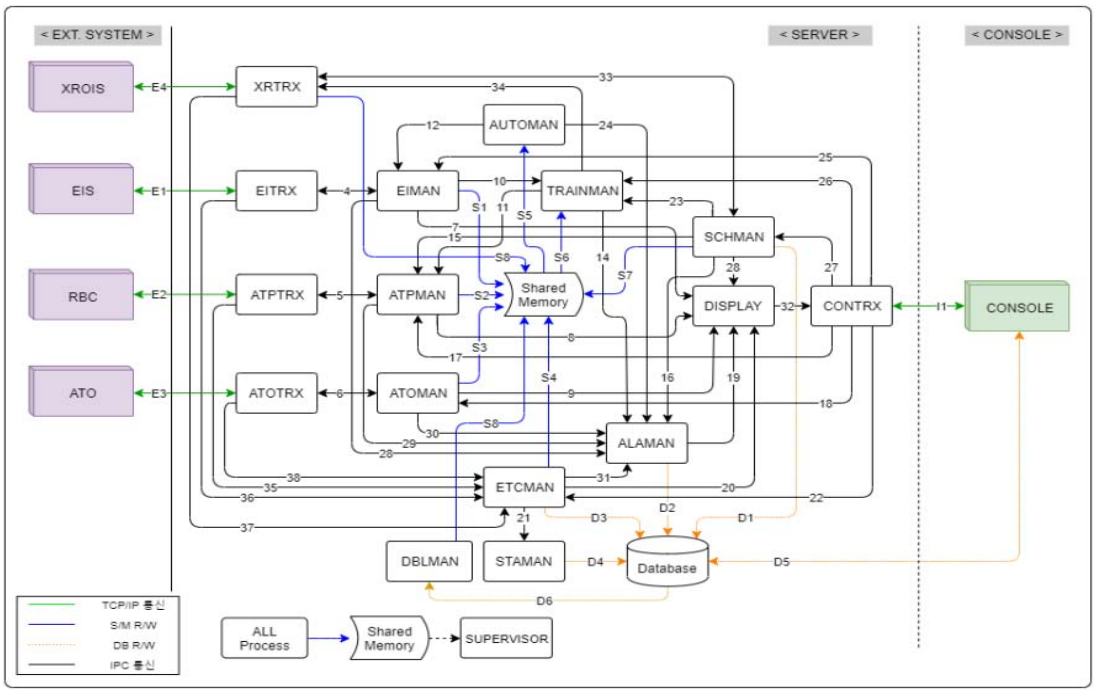


그림 92. 서버 컴포넌트 구성도

② 서버 컴포넌트 설명

- 서버 소프트웨어 설계 식별 목록은 다음과 같다.

서브시스템	컴포넌트 명칭	컴포넌트 설명	Remark
컴포넌트	ALMMAN	알람 정보 처리	
	ATOMAN	ATO 정보 처리	
	ATOTRX	ATO 장치와 인터페이스	
	ATPMAN	ATP 정보 처리	
	ATPTRX	ATP 장치와 인터페이스	
	AUTOMAN	자동진로 정보 처리	
	CONTRX	서버-콘솔간 인터페이스	
	DBLMAN	서버 공유 메모리 생성	
	DISPLAY	콘솔 표시 정보 처리	
	EIMAN	연동장치 정보 처리	
	EITRX	연동장치와 인터페이스	
	ETCMAN	시스템상태 정보 처리	
	SCHMAN	운행계획 정보 처리	
	STAMAN	통계 정보 처리	
	SUPERVISOR	컴포넌트 감시	
	TRAINMAN	열차추적 정보 처리	
	XRTRX	XROIS와 인터페이스	

③ 콘솔 컴포넌트 구성

- 콘솔 소프트웨어 컴포넌트 구성도는 다음과 같다.

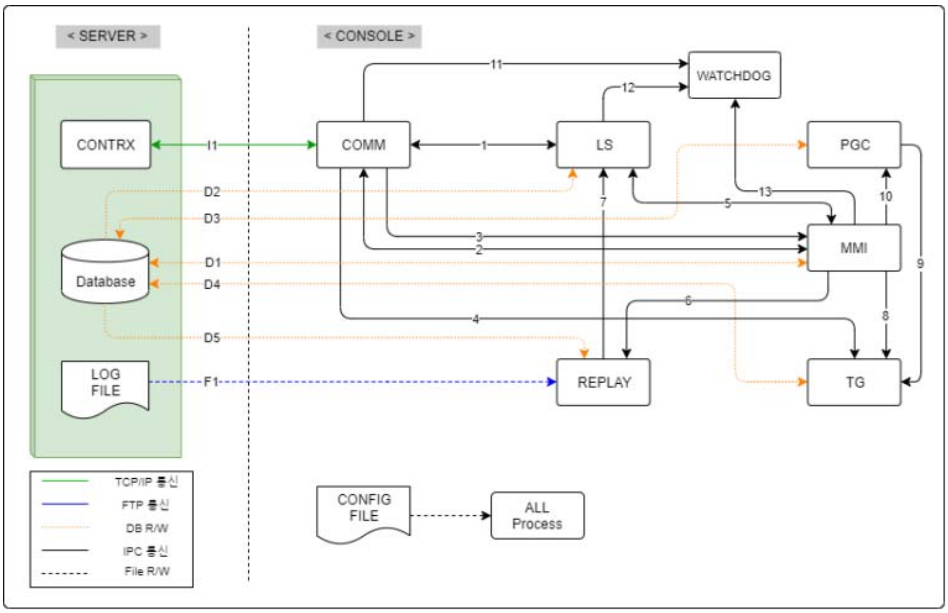


그림 93. 콘솔 컴포넌트 구성도

④ 콘솔 컴포넌트 설명

- 콘솔 소프트웨어 설계 식별 목록은 다음과 같다.

서브시스템	컴포넌트 명칭	컴포넌트 설명	Remark
컴포넌트	COMM	서버 통신 처리	
	LS	열차 운행 정보 표시/제어	
	MMI	운행계획/조회/통계/기타	
	PGC	운행계획 작성	
	REPLAY	로그 재생	
	TG	열차 운행 그래프	
	WATCHDOG	콘솔 컴포넌트 감시	

(다) 관제설비와 현장장치(EI, RBC, ATO, XROIS)와의 인터페이스 설계

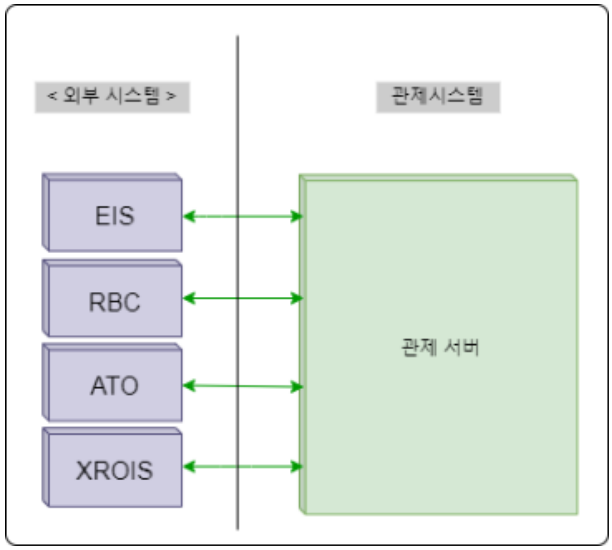


그림 94. 관제설비와 외부 인터페이스 구성

① RBC 시스템

- 관제시스템은 RBC 시스템에서 발생한 열차위치 정보 및 열차 상태정보를 수신하여 열차의 위치를 추적하고 열차 표시정보를 운영자 및 시스템에 제공한다. 또한, 열차의 상태에 따라 운영자에 의한 열차 제어 및 ATP 현장설비 제어를 RBC 장치로 송신한다.

② EIS 시스템

- 관제시스템은 EIS시스템에서 발생한 현장 신호설비 정보를 수신하여 현장 표시 정보와 시스템에서 열차 추적/자동진로 제어를 위하여 사용한다. 또한 운영자에 의해 관제콘솔에서 발생한 각종 제어를 관제서버에서 검증하여 EIS 장치로 제어 정보를 송신한다.

③ ATO 시스템

- 관제시스템은 ATO 시스템에서 발생한 열차 운행정보를 수신하여 관제 시스템의 열차 운행 계획과 비교 검증하여 무결성을 확인한다. 또한 관제시스템에서 생성된 운행계획을 ATO 장치에 전송하여 계획된 경유역의 도착/출발시간에 일치하게 운행할 수 있도록 한다.

④ XROIS 시스템

- 관제 시스템은 XROIS 시스템에서 발생한 열차관련 정보(열차길이)를 수신하여 실제 운행 열차와 비교 검증하여 운영자 참고용 경보를 발생하고, 관제 시스템에서 발생한 열차의 이동 정보를 XROIS로 송신 한다.

(1) 제어관리장치 설계

(가) L/S 기능 설계 (CTC-C-SWD-CO-020)

- LS는 관제 시스템의 현장설비와 열차 위치 상태정보를 그래픽적인 심볼 정보로 운영자에게 제공하는 컴포넌트이다.

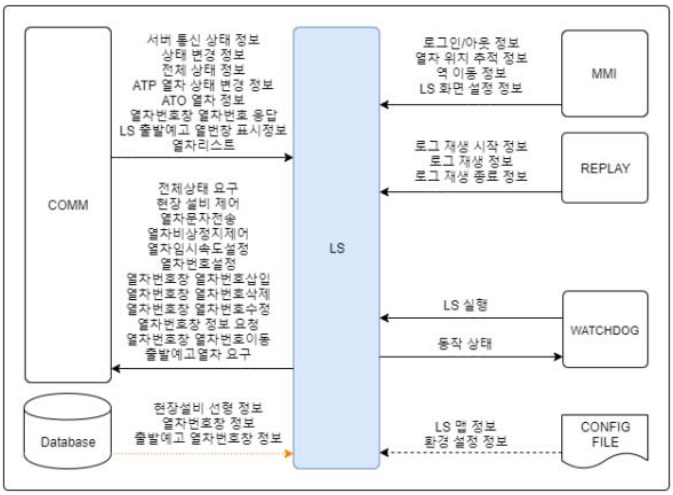


그림 95. LS 구성도

① LS 초기화 (CTC-C-SWD-CO-020-F01)

기능 ID	CTC-C-SWD-CO-020-F01
기능명	LS 초기화
기능 설명	LS 컴포넌트 초기화 기능은 환경 설정 파일과 맵 파일 및 Database 에서 각종 정보를 읽어와 컴포넌트 내부의 그래픽 심볼을 생성하고 내부 통신 상태를 시작할 수 있는 환경을 구성하는 것이다.
INPUT	환경설정 파일에서 설정 정보 - Database 접속을 위한 Data Source Name 정보 - 콘솔 종류 정보 - 콘솔 타입 정보 - 화면 설정 정보 - 맵 설정 정보 맵 파일에서 설정 정보 - 그래픽 심볼 위치 정보 - 그래픽 심볼 색상 정보
OUTPUT	N/A
처리로직	- 환경설정 파일에서 설정 정보 읽어온다. - 맵 파일에서 설정 정보 읽어온다. - Database에서 현장설비 선형 정보 및 열차번호 창 정보, 출발예고 열차번호 창 정보를 읽어온다. - 내부 통신 쓰레드를 초기화 한다. - 그래픽 심볼을 생성한다. - 그래픽 심볼의 상태를 초기화 한다.

② 화면 확대 축소 (CTC-C-SWD-CO-020-F02)

- 화면 확대 축소 기능은 LS 화면의 표시 영역을 확대 혹은 축소

③ 열차 추적 기능 (CTC-C-SWD-CO-020-F04)

기능 ID	CTC-C-SWD-CO-020-F04
기능명	열차 추적 기능
기능 설명	열차 추적 기능은 MMI 로부터 수신 받은 열차위치 추적을 수행할 열차번호를 LS 화면상에서 검색한 후 화면이 열차번호를 추적/이동 하도록 하는 기능이다.
INPUT	MMI - 열차 위치 추적을 수행할 열차번호
OUTPUT	N/A
처리로직	- MMI로부터 열차번호를 수신 받는다. - 수신된 열차번호가 LS상에 존재하는지 확인한다. - 화면 갱신 주기마다 열차번호 위치를 확인하고 열차번호 위치로 표시 영역을 이동한다.

④ L/S 화면 설계

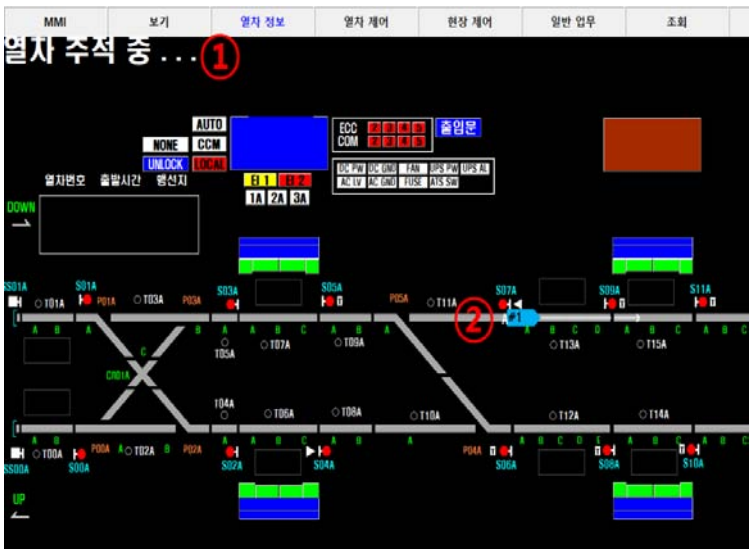


그림 96. L/S 설계 화면

(나) MMI 기능 설계 (CTC-C-SWD-CO-030)

- MMI 는 관제 시스템의 운영자를 위한 사용자 인터페이스 제공

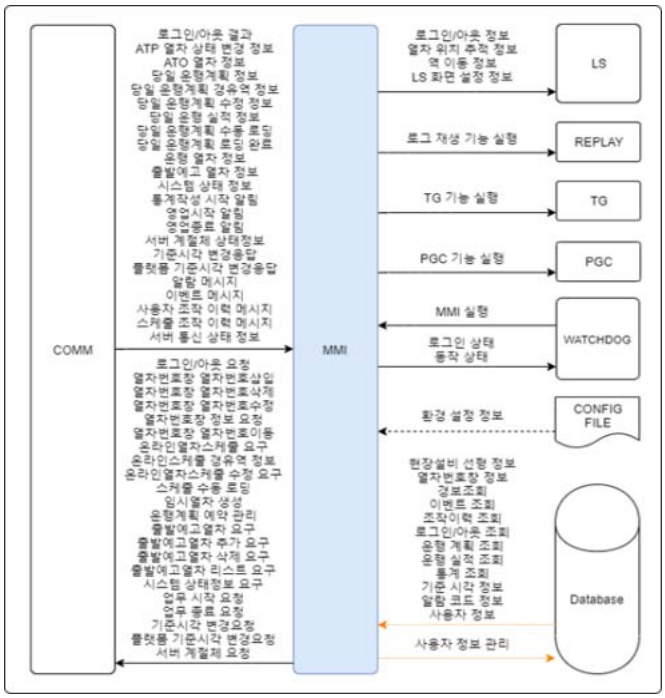


그림 97. MMI 구성도

(다) 관제 설비를 구성하는 각 장치간 인터페이스 설계

① RBC 인터페이스 (CTC-S-SWD-IF-020)

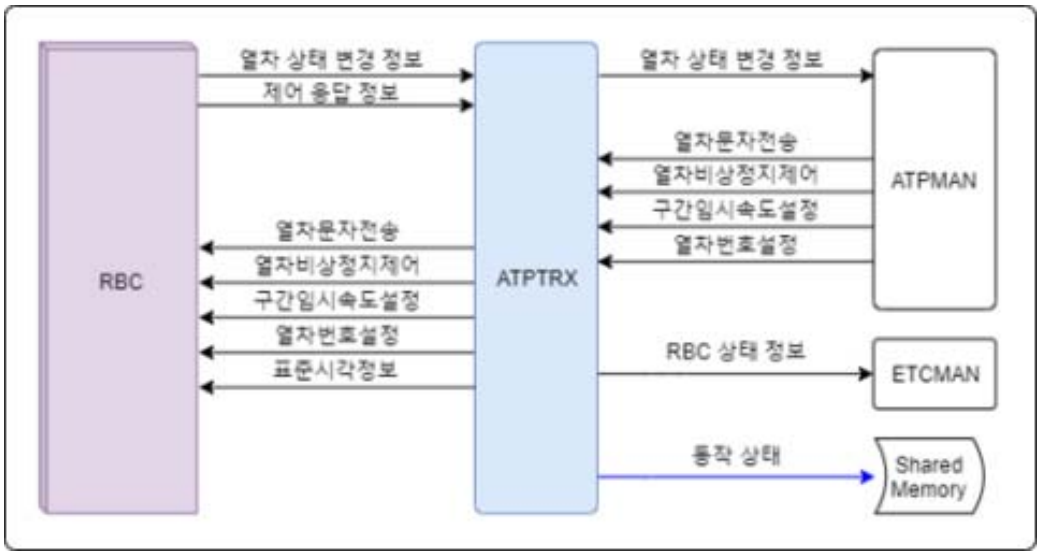


그림 98. 인터페이스 구성도

- RBC 수신 정보 처리 (CTC-S-SWD-CO-050-F01)
- RBC 송신 정보 처리 (CTC-S-SWD-CO-050-F02)

- 통신 상태 처리 (CTC-S-SWD-CO-050-F03)

② ATO 인터페이스 (CTC-S-SWD-IF-030)

- 서버 송신(CTC-S-SWD-IF-030-F01)
- 서버 수신(CTC-S-SWD-IF-030-F02)

③ EIS 인터페이스 (CTC-S-SWD-IF-040)

- 서버 송신(CTC-S-SWD-IF-040-F01)
- 서버 수신(CTC-S-SWD-IF-040-F02)

④ XROIS 인터페이스 (CTC-S-SWD-IF-050)

- 서버 송신(CTC-S-SWD-IF-050-F01)
- 서버 수신(CTC-S-SWD-IF-050-F02)

(라) 서버 공유 메모리 설계

- 서버 내의 각 프로세스들은 각각 필요한 데이터 및 실시간 현장 정보를 공유할 공간이 필요 함으로, 서버 메모리 상에 공유메모리를 생성하고 이곳에 필요한 Data 들을 생성하고 변경하여 다수의 컴포넌트들이 같은 데이터를 참조하도록 설계
- 공유메모리를 사용하기 위해 해당 공간을 생성하는 컴포넌트가 필요하며, 그 이외의 컴포넌트들은 생성된 공간의 메모리 주소로 접근하여 사용하여 실시간으로 변화되는 데이터들을 모든 컴포넌트가 같은 상태로 인식하고 처리

공유 메모리 영역	소프트웨어 ID	컴포넌트명	사용방식	비고
선형정보	CTC-S-SWD-CO-080	DBLMAN	W	
	CTC-S-SWD-CO-100	EIMAN	W	
	CTC-S-SWD-CO-060	AUTOMAN	R	
	CTC-S-SWD-CO-160	TRAINMAN	R	
열차번호창 정보	CTC-S-SWD-CO-160	TRAINMAN	W	
	CTC-S-SWD-CO-060	AUTOMAN	R	
열차 정보	CTC-S-SWD-CO-020	ATOMAN	W	
	CTC-S-SWD-CO-040	ATPMAN	W	
	CTC-S-SWD-CO-060	AUTOMAN	R	
	CTC-S-SWD-CO-160	TRAINMAN	R	
출발예고 열차번호창	CTC-S-SWD-CO-130	SCHMAN	W	
온라인 스케쥴	CTC-S-SWD-CO-130	SCHMAN	W	
	CTC-S-SWD-CO-060	AUTOMAN	R	

(마) 관제 설비 데이터 아키텍처 설계

- 데이터는 기준점이 되는 역정보 데이터를 4가지로 구분
- 신호기, 진로, 선로전환기 등 역 모양을 형상하는 기초 데이터인 선형정보와 각종 알람/이벤트 정보, 열차 운행에 필요한 스케줄 정보 및 기타 통계 및 일반업무 정보 설계

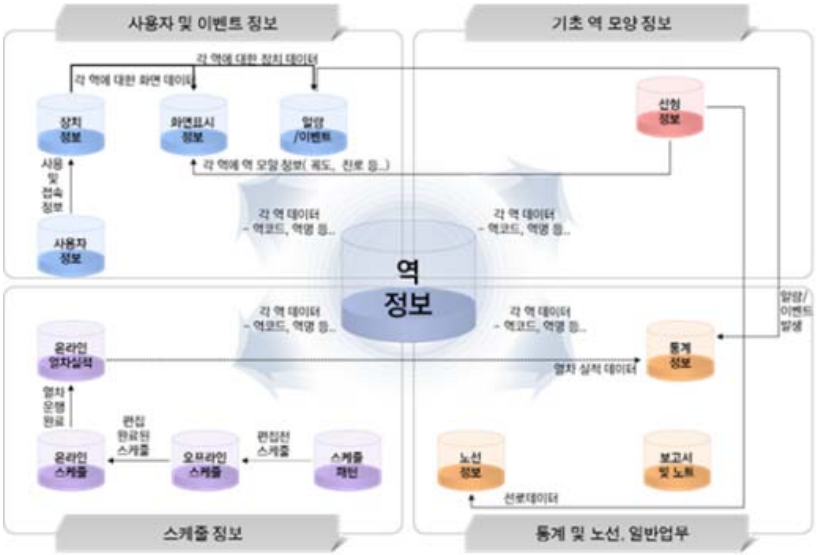


그림 99. 데이터 흐름도

(바) 테이블 설계

- 테이블에 대해 상세 정의를 하기 위해서는 데이터 모델링 수행
- 개념 데이터 모델, 논리 데이터 모델, 물리 데이터 모델 설계

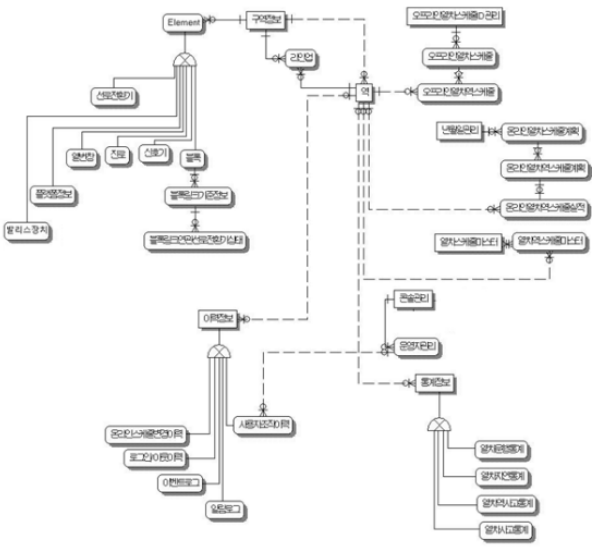


그림 100. 개념 데이터 모델

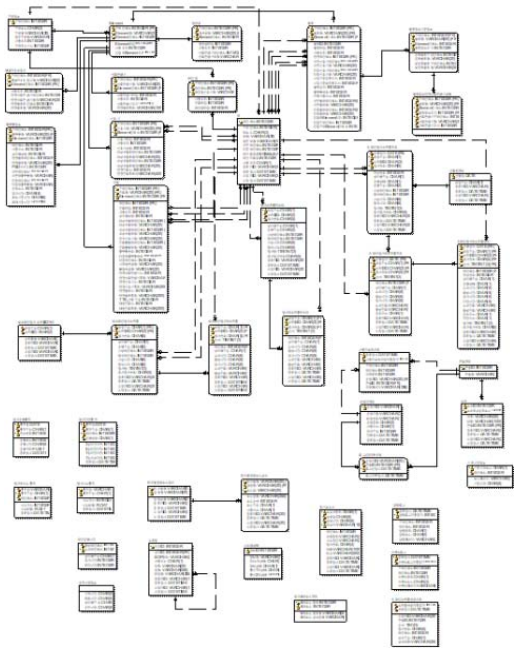


그림 101. 논리 데이터 모델

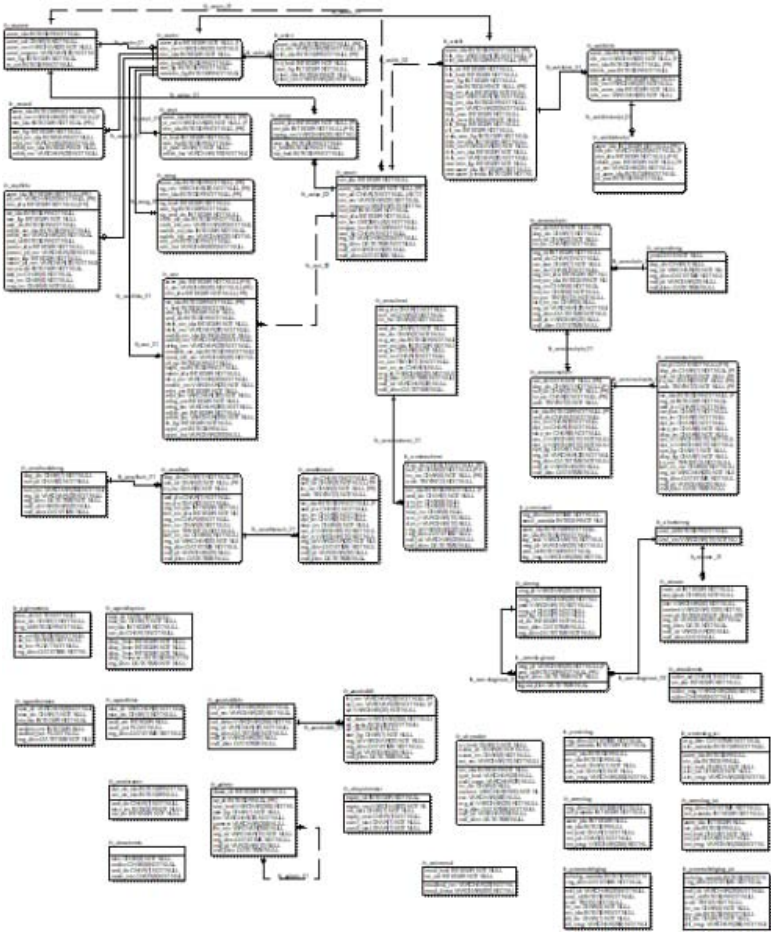


그림 102. 물리 데이터 모델

(사) 실시간 장치관리 설계 보고서 제3자 자문 수행

- KCA 수석 컨설턴트/공학박사 이원택



그림 103. 자문보고서

다. 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 시험계획 및 절차서

(1) 관제 소프트웨어 시험항목 정의

번호	컴포넌트 명칭	소프트웨어 ID	시험항목	비고
1	COMM	CTC-C-SWD-CO-010-F01	COMM 초기화	
2		CTC-C-SWD-CO-010-F02	서버 수신 정보 처리	
3		CTC-C-SWD-CO-010-F03	서버 송신 정보 처리	
4		CTC-C-SWD-CO-010-F04	통신 상태 처리	
5		CTC-C-SWD-CO-010-F05	동작 상태 처리	
6	LS	CTC-C-SWD-CO-020-F01	LS 초기화	
7		CTC-C-SWD-CO-020-F02	화면 확대 축소	
8		CTC-C-SWD-CO-020-F03	화면 이동	
9		CTC-C-SWD-CO-020-F04	열차 추적 기능	
10		CTC-C-SWD-CO-020-F05	로그 재생 기능	
11		CTC-C-SWD-CO-020-F06	제어권한 관리	
12		CTC-C-SWD-CO-020-F07	역모드 표시	
13		CTC-C-SWD-CO-020-F08	연동장치 상태 표시	
14		CTC-C-SWD-CO-020-F09	RBC장치 상태 표시	
15		CTC-C-SWD-CO-020-F10	ATO 장치 상태 표시	
16		CTC-C-SWD-CO-020-F11	역 공통 상태 표시	
17		CTC-C-SWD-CO-020-F12	비상정지 상태 표시	
18		CTC-C-SWD-CO-020-F13	구간 임시속도 상태 표시	
19		CTC-C-SWD-CO-020-F14	신호기 상태 표시	
20		CTC-C-SWD-CO-020-F15	진로 상태 표시	
21		CTC-C-SWD-CO-020-F16	연속진로 상태 표시	
22		CTC-C-SWD-CO-020-F17	선로전환기 상태 표시	
23		CTC-C-SWD-CO-020-F18	궤도회로 상태 표시	
24		CTC-C-SWD-CO-020-F19	열차상태 표시	
25		CTC-C-SWD-CO-020-F20	열차 이동권한 상태 표시	
26		CTC-C-SWD-CO-020-F21	열차번호창 표시	
27		CTC-C-SWD-CO-020-F22	출발 예고창 표시	
28		CTC-C-SWD-CO-020-F23	역정보 요청 제어	
29		CTC-C-SWD-CO-020-F24	역모드 제어	
30		CTC-C-SWD-CO-020-F25	진로 제어	
31		CTC-C-SWD-CO-020-F26	연속 진로 제어	
32		CTC-C-SWD-CO-020-F27	선로전환기 제어	
33		CTC-C-SWD-CO-020-F28	ATP 비상정지 제어	
34		CTC-C-SWD-CO-020-F29	ATP 구간 임시 속도 제어	
35		CTC-C-SWD-CO-020-F30	ATP 열차문자 전송 제어	
36		CTC-C-SWD-CO-020-F31	열차번호 제어	
37		CTC-C-SWD-CO-020-F32	열차번호창 제어	

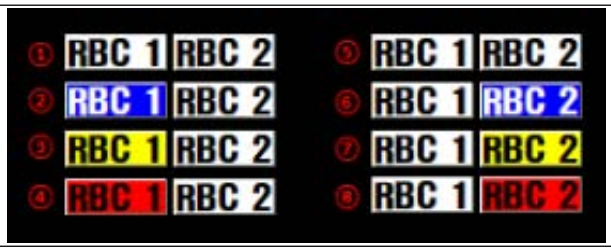
38	MMI	CTC-C-SWD-CO-030-F01	MMI초기화	
39		CTC-C-SWD-CO-030-F02	실시간 경보 처리	
40		CTC-C-SWD-CO-030-F03	역이동 처리	
41		CTC-C-SWD-CO-030-F04	로그인 관리	
42		CTC-C-SWD-CO-030-F05	열차번호창 관리	
43		CTC-C-SWD-CO-030-F06	열차 상태 정보 표시	
44		CTC-C-SWD-CO-030-F07	열차 위치 추적 관리	
45		CTC-C-SWD-CO-030-F08	ATO 운행 계획 전송	
46		CTC-C-SWD-CO-030-F09	열차번호 제어	
47		CTC-C-SWD-CO-030-F10	ATP 열차문자 제어	
48		CTC-C-SWD-CO-030-F11	ATP 비상정지 제어	
49		CTC-C-SWD-CO-030-F12	ATP 구간임시속도 제어	
50		CTC-C-SWD-CO-030-F13	현장 설비 상태 표시	
51		CTC-C-SWD-CO-030-F14	역정보 요청 제어	
52		CTC-C-SWD-CO-030-F15	역모드 제어	
53		CTC-C-SWD-CO-030-F16	진로 제어	
54		CTC-C-SWD-CO-030-F17	연속진로 제어	
55		CTC-C-SWD-CO-030-F18	선로전환기 제어	
56		CTC-C-SWD-CO-030-F19	열차 스케줄 관리	
57		CTC-C-SWD-CO-030-F20	운행 계획 관리	
58		CTC-C-SWD-CO-030-F21	출발 예고 열차 관리	
59		CTC-C-SWD-CO-030-F22	온라인 열차그래프	
60		CTC-C-SWD-CO-030-F23	마스터 스케줄 관리	
61		CTC-C-SWD-CO-030-F24	기본 정보 관리	
62		CTC-C-SWD-CO-030-F25	오프라인 스케줄 관리	
63		CTC-C-SWD-CO-030-F26	사용자 관리	
64		CTC-C-SWD-CO-030-F27	열차 운행 통계	
65		CTC-C-SWD-CO-030-F28	열차 지연 통계	
66		CTC-C-SWD-CO-030-F29	스케줄 조작 이력	
67		CTC-C-SWD-CO-030-F30	알람 이력	
68		CTC-C-SWD-CO-030-F31	이벤트 이력	
69		CTC-C-SWD-CO-030-F32	운영자 조작 이력	
70		CTC-C-SWD-CO-030-F33	로그인/아웃 이력	
71		CTC-C-SWD-CO-030-F34	시스템 상태 보기	
72		CTC-C-SWD-CO-030-F35	로그 재생	
73		CTC-C-SWD-CO-030-F36	기준 시각 관리	
74		CTC-C-SWD-CO-030-F37	업무 시작/종료	
75		CTC-C-SWD-CO-030-F38	도움말	
76		CTC-C-SWD-CO-030-F39	콘솔 종료 기능	
77	PGC	CTC-C-SWD-CO-040-F01	PGC 초기화	
78		CTC-C-SWD-CO-040-F02	열차 생성	
79		CTC-C-SWD-CO-040-F03	열차 복사	
80		CTC-C-SWD-CO-040-F04	열차 수정	
81		CTC-C-SWD-CO-040-F05	열차 삭제	
82		CTC-C-SWD-CO-040-F06	경유역 정보 수정	
83		CTC-C-SWD-CO-040-F07	마스터 스케줄 관리	
84		CTC-C-SWD-CO-040-F08	열차 그래프 보기	
85		CTC-C-SWD-CO-040-F09	기본정보 관리	

86		CTC-C-SWD-CO-040-F10	인쇄	
87		CTC-C-SWD-CO-040-F11	인쇄 미리보기	
88		CTC-C-SWD-CO-040-F12	PGC 종료 기능	
89	REPLAY	CTC-C-SWD-CO-050-F01	REPLAY 초기화	
90		CTC-C-SWD-CO-050-F02	날짜/시간 검색 기능	
91		CTC-C-SWD-CO-050-F03	재생/정지/이동 기능	
92		CTC-C-SWD-CO-050-F04	재생 속도 조정 기능	
93		CTC-C-SWD-CO-050-F05	LS 화면 표시 기능	
94		CTC-C-SWD-CO-050-F06	로그 데이터 출력 기능	
95		CTC-C-SWD-CO-050-F07	알람 정보 출력 기능	
96		CTC-C-SWD-CO-050-F08	로그재생 종료 기능	
97	TG	CTC-C-SWD-CO-060-F01	TG 초기화	
98		CTC-C-SWD-CO-060-F02	열차 그래프 구성 설정	
99		CTC-C-SWD-CO-060-F03	열차 그래프 새로고침	
100		CTC-C-SWD-CO-060-F04	열차 검색	
101		CTC-C-SWD-CO-060-F05	열차 검색 위치 이동	
102		CTC-C-SWD-CO-060-F06	연결 열차 이동	
103		CTC-C-SWD-CO-060-F07	화면 인쇄	
104		CTC-C-SWD-CO-060-F08	전체 인쇄	
105		CTC-C-SWD-CO-060-F09	현재 시간 이동	
106		CTC-C-SWD-CO-060-F10	좌/우 시간 축 이동	
107		CTC-C-SWD-CO-060-F11	시간 축 확대/축소	
108		CTC-C-SWD-CO-060-F12	상/하 역간 이동	
109		CTC-C-SWD-CO-060-F13	역간 확대/축소	
110		CTC-C-SWD-CO-060-F14	열차 그래프 환경 설정	
111		CTC-C-SWD-CO-060-F15	열차 그래프 종료	
112	WATCHDOG	CTC-C-SWD-CO-070-F01	WATCHDOG 초기화	
113		CTC-C-SWD-CO-070-F02	감시 시작 및 세션 관리	
114		CTC-C-SWD-CO-070-F03	감시 상태 표시 기능	
115		CTC-C-SWD-CO-070-F04	감시 설정 기능	
116		CTC-C-SWD-CO-070-F05	감시 종료 기능	

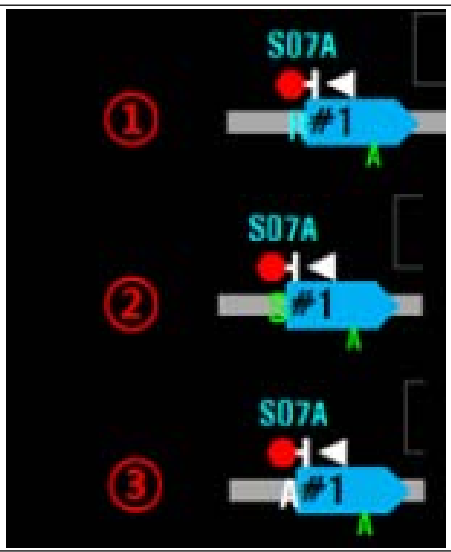
(2) 관제 소프트웨어 검사 및 시험절차서

(가) L/S 기능시험 절차

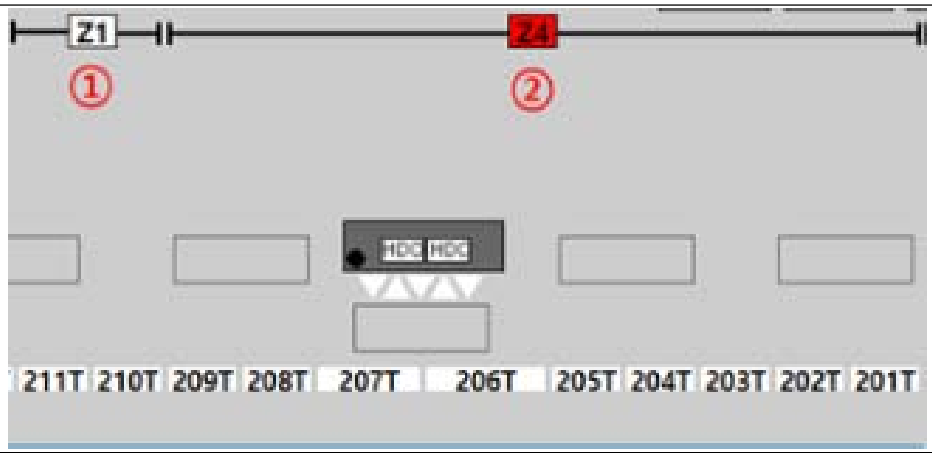
① RBC 장치 상태표시(CTC-C-SWD-CO-020-F09)

시험 항목	RBC 상태 표시
화면 설계	
확인 및 시험방법	- RBC 1계 정상, 주계 상태일 때 파란색 색상을 표시하는지 확인한다. - RBC 1계 정상, 부계 상태일 때 노란색 색상을 표시하는지 확인한다. - RBC 1계 고장 상태일 때 빨간색 색상을 표시하는지 확인한다. - RBC 2계 정상, 주계 상태일 때 파란색 색상을 표시하는지 확인한다. - RBC 2계 정상, 부계 상태일 때 노란색 색상을 표시하는지 확인한다. - RBC 2계 고장 상태일 때 빨간색 색상을 표시하는지 확인한다.

② 열차 상태표시(CTC-C-SWD-CO-020-F19)

시험 항목	열차상태 상태 표시
화면 설계	
확인 및 시험 방법	- 열차 RM 모드로 설정했을 경우 표시가 정상적으로 동작하는지 확인한다. - 열차 SM 모드로 설정했을 경우 표시가 정상적으로 동작하는지 확인한다. - 열차 AM 모드로 설정했을 경우 표시가 정상적으로 동작하는지 확인한다.

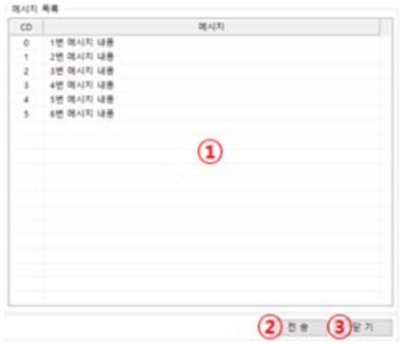
③ 구간 임시속도 상태 표시(CTC-C-SWD-CO-020-F13)

시험 항목	구간 임시속도 상태 표시
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 임시 속도를 설정할 구간을 정한 뒤 임시속도 설정을 한다. - 임시 속도가 설정된 구간에 상태 표시가 정상적으로 동작하는지 확인한다. - 설정된 구간 임시속도를 해제한다. - 임시 속도가 해제된 구간에 상태 표시가 정상적으로 동작하는지 확인한다.

④ 열차 이동권한 상태 표시 (CTC-C-SWD-CO-020-F20)

시험 항목	열차 이동권한 상태 표시
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 열차 이동권한을 설정했을 때 상태 표시가 정상적으로 동작하는지 확인한다.

⑤ 열차문자 전송 제어 (CTC-C-SWD-CO-020-F30)

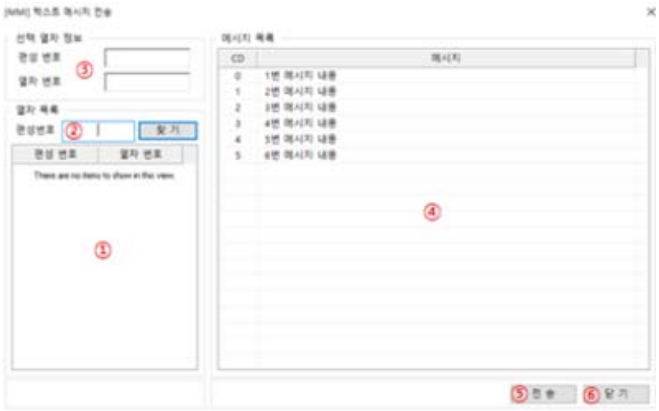
시험 항목	ATP 열차문자 전송 제어
화면 설계	
확인 및 시험방법	- ATP열차 문자 전송 제어 메뉴를 실행한다. - 메시지 목록 중 전송할 메시지를 선택 한 후 전송 버튼을 누른다. - 전송을 한 뒤 정상적으로 메시지가 전송되었는지 확인한다.

(가) MMI 기능시험 절차

① 열차 상태 정보 표시 (CTC-C-SWD-CO-030-F06)

시험 항목	열차 상태 정보
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 열차 상태 정보 메뉴를 실행시킨다. - 열차 목록에서 열차를 선택한다. - 열차 위치 정보, 열차 상태 정보, 열차 운행 정보가 정상적으로 표시되는지 확인한다.

② ATP 열차문자 제어 (CTC-C-SWD-CO-030-F10)

시험 항목	ATP 열차문자 제어
화면 설계	
확인 및 시험방법	- ATP 열차 문자 제어 메뉴를 실행시킨다. - 열차 목록에서 열차번호를 선택한다. - 선택 열차 정보 탭을 통해 정상적으로 열차가 선택되었는지 확인한다. - ATP 열차 문자 전송을 위한 문자 메시지 목록 중 메시지를 선택하여 전송 버튼을 클릭한 뒤 정상적으로 메시지가 전송되는지 확인한다.

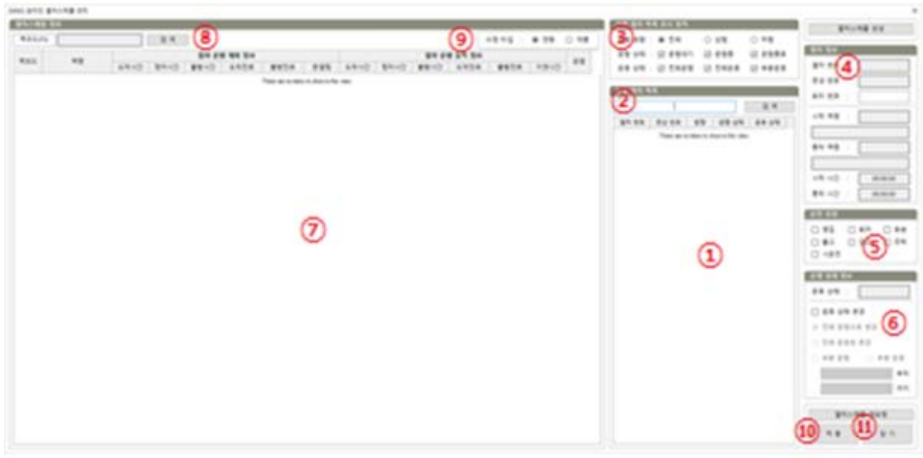
③ ATP 비상정지 제어 (CTC-C-SWD-CO-030-F11)

시험 항목	ATP 비상정지 제어
화면 설계	
확인 및 시험방법	- ATP 비상정지 제어 메뉴를 실행시킨다. - 연동역 목록 중 해당하는 역을 선택한다. - 비상 정지 제어 탭 중 설정을 통해 비상 정지가 정상적으로 설정되는지 확인한다. - 비상 정지 제어 탭 중 해제를 통해 비상 정지가 정상적으로 해제되는지 확인한다.

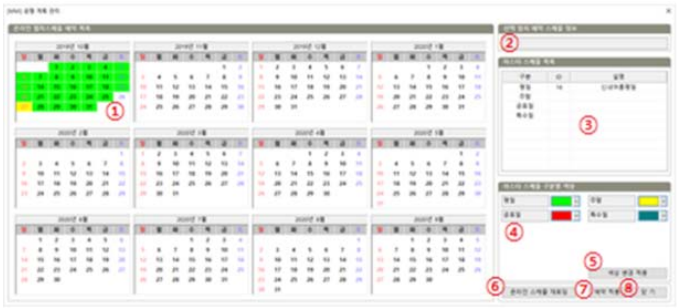
④ ATP 구간임시속도 제어 (CTC-C-SWD-CO-030-F12)

시험 항목	ATP 구간임시속도 제어
화면 설계	
확인 및 시험방법	- ATP 구간임시속도 제어 메뉴를 실행시킨다. - 연동역 구간 목록에서 해당되는 연동역을 선택한다. - 임시속도 제어 탭에서 설정하고자 하는 임시속도를 설정한다. - 설정 버튼을 통해 임시속도 제어가 정상적으로 설정되는지 확인한다. - 해제 버튼을 통해 임시속도 제어가 정상적으로 해제되는지 확인한다.

⑤ 열차 스케줄 관리 (CTC-C-SWD-CO-030-F19)

시험 항목	열차 스케줄 관리
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 열차 스케줄 관리 메뉴를 실행시킨다. - 열차번호 목록에서 열차번호를 클릭한다. - 열차 정보 탭에서 선택된 열차의 기본정보를 확인한다.

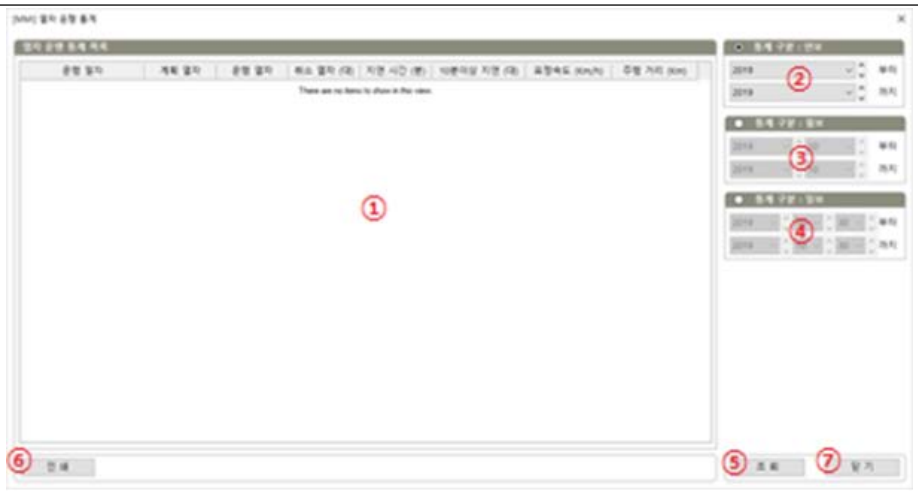
⑥ 운행 계획 관리 (CTC-C-SWD-CO-030-F20)

시험 항목	운행 계획 관리
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 운행 계획 관리 메뉴를 실행시킨다. - 달력에 날짜를 클릭하여 선택된 달력의 운행 계획 정보 표시 박스를 확인한다. - 운행 계획 예약을 위한 오프라인 스케줄 목록을 확인한다. - 예약된 운행 계획의 달력 색상을 설정한 뒤 색상 변경 실행 버튼을 클릭한 뒤 정상적으로 변경되었는지 확인한다. - 당일 운행 계획 재로딩 실행 버튼을 통해 당일 열차운행계획이 정상적으로 재로딩되었는지 확인한다. - 운행 계획 예약 적용 버튼을 통해 선택된 일자에 열차스케줄이 예약 적용되었는지 확인한다.

⑦ 출발 예고 열차 관리 (CTC-C-SWD-CO-030-F21)

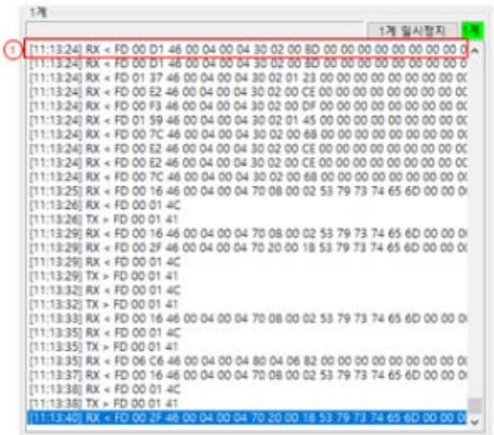
시험 항목	출발 예고 열차 관리
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 출발 예고 열차 관리 메뉴를 실행시킨다. - 역 목록에서 해당 역을 선택한 뒤 출발 예고 열차 조회 버튼을 클릭한다. - 선택된 역에 등록되어 있는 출발 예고 열차 목록을 확인한다. - 출발 예고 열차 목록에서 해당 열차번호를 선택한 뒤 선택 열차 삭제 또는 이전 열차 삭제 버튼을 클릭한 뒤 정상적으로 삭제되었는지 확인한다. - 출발 예고 열차에 등록 가능한 열차 목록에서 선택하거나 검색 박스를 통해 열차를 선택한 뒤 등록 버튼을 클릭한 뒤 정상적으로 등록되었는지 확인한다.

⑧ 열차 운행 통계 (CTC-C-SWD-CO-030-F27)

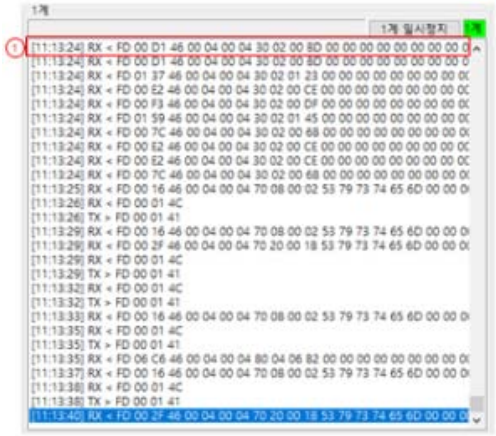
시험 항목	열차 운행 통계
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 열차 운행 통계 메뉴를 실행시킨다. - 연보 통계 구분, 월보 통계 구분, 일보 통계 구분 선택 체크 박스 중 하나를 선택한 뒤 조회 버튼을 클릭한다. - 열차 운행 통계 목록에 데이터가 정상적으로 표출되는지 확인한다.

(나) 통신 기능시험 절차

① 서버 수신 정보 처리 (CTC-C-SWD-CO-010-F02)

시험 항목	서버 수신 정보 화면
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 서버에서 수신된 정보가 제대로 표시되는지 확인한다. * 수신정보 표시 방법: [시:분:초] RX < 통신 수신데이터 16진수 값

② 서버 송신 정보 처리 (CTC-C-SWD-CO-010-F03)

시험 항목	서버 송신 정보 처리 화면
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 서버로 된 정보가 제대로 표시되는지 확인한다. * 수신정보 표시 방법: [시:분:초] RX < 통신 수신데이터 16진수 값

③ 통신 상태 처리 (CTC-C-SWD-CO-010-F04)

시험 항목	통신 상태 정보 처리 화면
화면 설계	
확인 및 시험방법	- 서버 통신 상태 표시를 확인한다. - 1/2계 회선 중 1회선 이상 통신이 정상 일 경우 : 녹색 - 1/2 계 회선 모두 통신이 끊어진 경우 : 적색 - 1계 회선 통신 상태를 확인한다. - 주계 회선 정상 : 녹색 - 2계 회선 통신 상태를 확인한다. - 부계회선 정상 : 황색 - 개별 회선 통신 장애 상태일 경우 2), 3) 항의 표시 적색

라. 향후 기존 관제시스템과의 연계방안

현재 철도교통관제센터의 CTC(관제시스템)의 경우 현장의 LDTS 장비로부터 수신한 EI 정보를 기반으로 스케줄 서버로부터 수신한 열차스케줄 정보를 처리하여 관제업무에 필요한 정보를 관제콘솔과 대형표시반에 표출한다. 향후, 기존 CTC 서버와의 연계를 위해서는 RBC 인터페이스 서버를 설치하여 RBC 시스템에서 발생한 열차위치 정보 및 열차 상태정보를 관제시스템에서 수신하도록 구성하며, 도식화한 예시 그림은 다음과 같다.

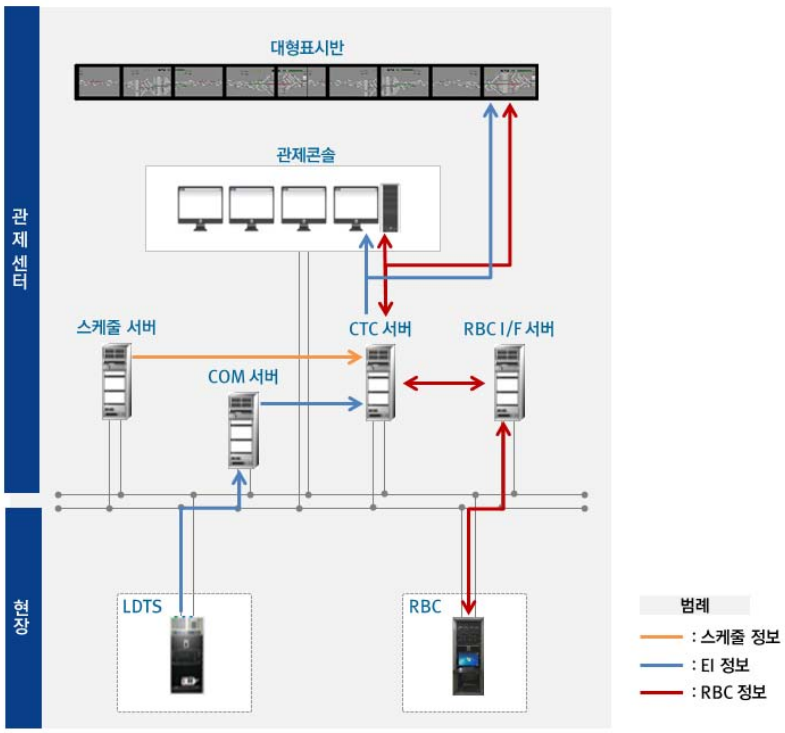


그림 104. 기존 관제시스템과의 연계 방안(예시)

2.2.3.4 [공동] 유경제어(주)

가. 시험선로 선정 및 시험인프라 설계 수립

(1) 시험인프라 요구사항 조사 및 분석

국내에는 ETCS Level 1이 상용화되었고 KTCS 1 및 KTCS 2는 상용화 및 실용화 접근 단계임에 따라, 단계별 ETCS/KTCS 시험인프라 및 요구사항을 조사하여 ETCS Level 3급 시험인프라 환경의 기초 자료 도출하였다.

(가) ETCS 레벨 1, 2, 3 요구사항 현황

유럽의 각 나라는 독자적인 열차제어시스템을 운영하였으나 2000년도 이후부터 상호운영이 가능한 열차제어시스템을 운영하기 위해 세계 열차제어시스템 시장을 선점하고 있는 주요 신호공급업체가 참여하여 유럽형열차제어시스템(European Train Control System : ETCS) 사양을 제정하였다. ETCS는 구현방식에 따라 Level 1, Level 2, Level 3로 구분되며, 각 방식 별 주요 차이점은 다음 표와 같다.

표 18. ETCS 구현 방식별 주요 차이점

구분	Level 1	Level 2	Level 3
개요도			
특징	• Fixed Block • Telegram via balises • Track circuits or Axle counters • Signals	• Fixed Block • Telegram via radio • Track circuits or Axle counters • Signals(optional)	• Moving Block • Telegram via radio • No Track circuits or Axle counters • No Signals

(나) ATO를 고려한 ETCS 기반 시험인프라 조사

ETCS Level 3 열차 운행에 요구되는 필수 사항은 무궤도 방식 선로에서의 열차 무결성 검지와 열차 위치 검지로서, ETCS 규격에 따르면 열차는 위치 오차 5%미만의 요구조건을 만족해야 한다. 이에 따라서 안살도STS社의 ETCS Level 3 솔루션이 적용된 호주 Roy Hill Iron Ore 프로젝트로 명명된 350㎞의 Roy Hill社 탄광의 광물 운송 전용선로의 현장 방문 조사를 수행하였다. 안살도STS社의 ETCS L3 시스템은 LDS 즉 위성을 사용한 열차 위치 보정과 제동압력 검지를 사용한 열차 무결성 검지를 기반으로 중량운송열차 및 화물열차에 적용하기 위

해 개발되었다.



그림 104. 호주 ROY HILL 선로 운행 장면

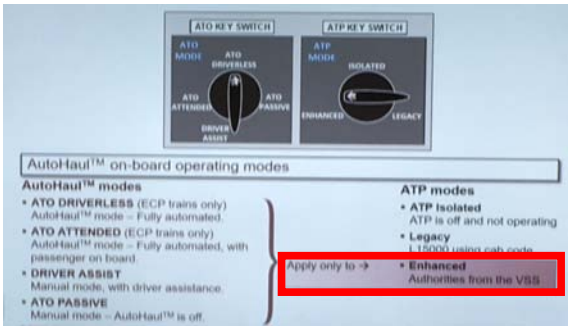


그림 105. 안살도STS社 열차 주요 운행모드

Roy Hill 프로젝트의 열차는 약 3.2km의 가량의 길이로 구성되어 있으며 최대 31,132톤의 대량의 광물을 운송하기에 적합하도록 구축되었다. 또한 24시간 운행하며 최적화 된 운영을 위한 무인기관사 운전기능(ATO)이 구현되어 있으며 레벨3 이동 폐색 방식을 사용하므로 운영 효율을 높였다.

표 19. 안살도STS社 열차 주요 운행모드 비교

구분	내용
ATO 모드	▪ ATO 무인 운전 모드 (완전 자동화 운행) ▪ ATO 승객 탑승 모드 (완전 자동화 운행) ▪ 기관사 보조 모드 (기관사 보조 모드) ▪ ATO 패시브 모드 (수동 조작 모드)
ATP 모드	▪ ATP 차단 (ATP 차단 운행) ▪ ATP 기존 (기존 ATP 사용 운행) ▪ ATP 향상 (Vital Safety Server 감시 운행)

열차의 ATO 운전의 경우 차상장치는 관제실의 VSS(Vital Safety Server)의 감독아래 운행된다. 관제실의 주요 설비는 아래 구성과 같다.

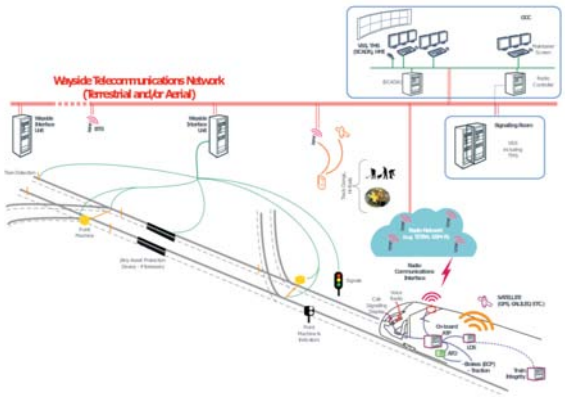


그림 106. 안살도STS社의 지상 및 차상 시스템 구성도

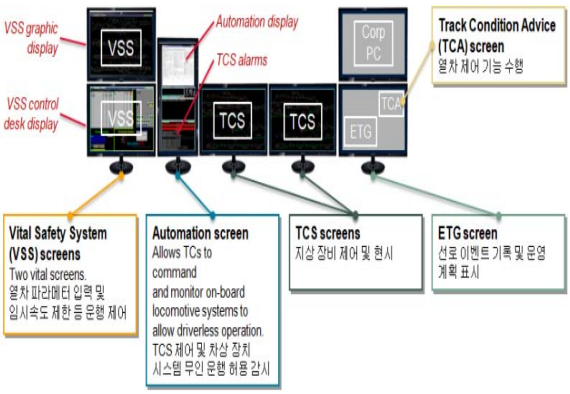


그림 107. Roy Hill L3 관제실 제어 장비 구성도

(다) 기존 KTCS-1 시험인프라 조사

대불선 시험선 구간은 국토교통부 철도기술연구사업인 『도시철도용 무선통신기반열차제어시스템표준화체계구축 및 성능평가』 과제로 2010.12.~2014.07.까지 대불선(일로~대불역간) 11.25Km 길이로 선정하여 KTCS-1[도시철도용 한국형 무선통신기반 열차제어시스템] 시험을 위한 인프라 구축 시험열차(전동차)을 이용하여 운행시험을 완료 후 구축설비의 철거 후 원상복구을 시행하였다. 현재는 시험선 구축설비는 철거되고 영업선 설비만 운영되고 있다.

표 20. KTCS-1 대불선 시험인프라 요구사항 현황

순번	내용
1	대불선에서 열차운행(운행최고속도 94km/h)을 통하여 성능시험을 수행할 수 있는 인프라 구축
2	대불시험선 11.25km(터널 2.2km 1개소, 교량 3.3km 1개소), 역사 5개소 (1개소에 플랫폼 스크린도어 설치), 시험열차 2편성(경의선 전동차, 차세대도시철도차량), 자동회차지역 1개소 이상 가능
3	열차제어시스템 종합성능시험 및 상호운영성 평가가 가능
4	무인운전 운영상의 이례사항 및 고장점검 가능
5	국제기준 IEC62278 적용 및 유럽의 ISA기관을 통한 ATP/ATO장치에 대한 안전성활동 수행 가능(Specific Application)
6	LTE-R 기반의 자동열차방호(Automatic Train Protection), 자동열차운전 (Automatic Train Operation), 자동열차감시(Automatic Train Supervision)의 시험 가능
7	지상 및 차상의 실시간 열차제어(비상제동, 상용제동, 입환, 각종 운행모드 등)의 제어 가능

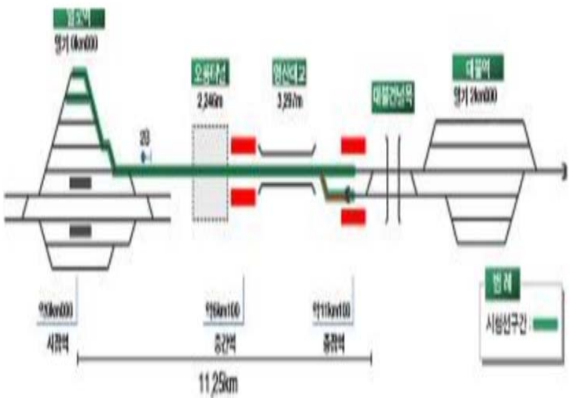


그림 108. 대불선 시험선 KTCS-1 구간 선로도



그림 109. 대불선 시험선 KTCS-1 구간 현황도

(라) KTCS-2 시험인프라 조사

호남고속선 시험선(제 1시험선) 구간은 국토교통부 철도기술연구사업인 『일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화』 국가R&D과제연구로 2014. 12. ~ 2018. 06. 까지 익산역 직전 89km 지점부터 제2송현터널 158km15 지점까지 상선 약 69km 길이로 선정하여 KTCS-2 [LTE-R 기반 열차제어시스템] 350Km/h시험을 위한 인프라 구축 시험열차(HEMU-430X)을 이용하여 ETCS Level 1에서 출발하여 ETCS Level 2로 전환하는 레벨전환 및 ETCS Level 2에서 RBC-RBC 핸드오버 기능을 시험하고 다시 ETCS Level 1으로 레벨전환 운행시험을 3개 컨소시엄社 시험완료 후 구축설비의 철거 후 원상복구을 시행하였다. 현재는 시험선 구축설비는 철거되고 영업선 설비만 운영되고 있다.



그림 110. 호남고속선 시험선 KTCS-2 구간 현황도

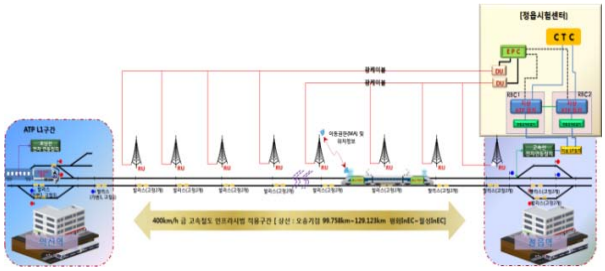


그림 111. 호남고속선 시험선 KTCS-2 구간 구성도

표 21. 호남고속선 시험선 KTCS-2 구간 현황 조사

구분	내용
현장조사	 [정읍신호기계실 조사]  [정읍신호기계실 IXL 및 ATC]

강릉선 시험선(제2시험선) 구간은 국토교통부 철도기술연구사업인 『일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화』 사업으로 2014. 12. ~ 2018. 06. 까지 강릉선 서원주-둔내간 약 25km 구간을 시험선으로 선정하여 KTCS-2[LTE-R 기반 열차제어시스템] 0~250Km/h시험을 위한 인프라를 구축하였고 시험열차 HEMU-430X 및 DL4400대 을 이용하여 ETCS Level 1에서 출발하여 ETCS Level 2로 전환하는 레벨전환 및 ETCS Level 2에서 RBC-RBC 핸드오버 기능을 시험하고 다시 ETCS Level 1으로 레벨전환 운행시험과 다양한 운행조건 시험을 3개 컨소시엄사 시험완료 후 구축설비의 철거 후 원상복구을 시행하였다.



그림 112. 강릉선 시험선 KTCS-2 구간 현황도

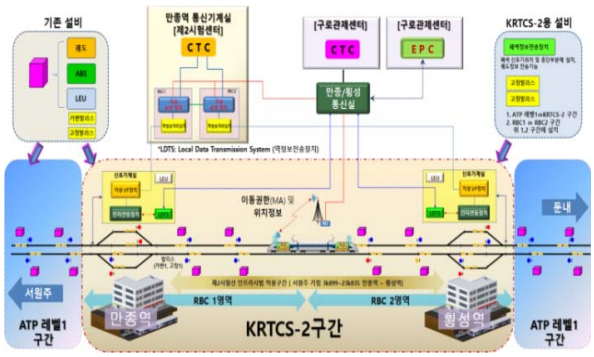


그림 113. 강릉선 시험선 KTCS-2 구간 구성도

(마) ETCS L3 시험인프라 조사

오송 철도종합 시험선로는 국내 철도기술은 기술개발 및 적용의 최우선적인 기반시설인 대형 실내시험시설이 부족한 상황이고, 특히 현장시험을 할 수 있는 전용 시험선로가 없어 차량 및 용품의 현장 시험 실적부족으로 경쟁력 확보측면에서 매우 어려운 실정에 따라 대부분의

시험운행이 기존 선로의 유휴시간을 활용하므로 기존 열차의 정상운행에 대한 지장 가능성이 상존하기 때문에 열차운행에 지장을 주지 않기 위해서 많은 시간과 비용이 요구되므로 종합시험선로를 활용할 수 있다.

표 22. 철도종합시험선 현황 조사

구분	내용
오송철도 종합시험선 현장 조사	 [종합시험동 전경]  [종합시험선로 전경]  [오송철도종합시험선로 지형 노선도]

(바) 국내 시험인프라 분석

고속철도용 ETCS Level 3급 열차제어시스템을 국내에서 시험하기 위해서는 선구 별 최대 속도를 고려하여 시험인프라를 선정해야 한다. 선구 별 최대속도는 영업운행 최대속도와 시험운행 최대속도로 구분할 수 있다. 다음 표는 경부고속선 및 호남고속선의 최대 영업운행 속도 및 호남고속선 선구 별 최대 시험운행 속도를 나타낸다.

표 23. 국내 고속선 최대 운행속도 현황

노선 구분	구간	운행 구분	최대속도
경부고속선	전 노선	영업운행	300Km/h
호남고속선	전 노선	영업운행	300Km/h
호남고속선	공주 ~ 익산 54km~82km(L=28km)	시험운행	400Km/h
호남고속선	익산 ~ 정읍 100km~128km(L=28km)	시험운행	400Km/h

ETCS Level 3급 열차제어시스템의 고속 환경에서의 시험이 아닌 각종 기능 및 성능 시험이 더욱 수월한 시험선 또는 일반철도 노선을 고려할 경우에도 사전 선구 별 최대 속도를 검토해야 한다. 다음 표는 국내에 구축된 시험선 및 일반선의 최대 속도를 나타낸다.

표 24. 국내 시험선 및 일반선 최대속도 현황

노선 구분	명칭	최대속도
시험선	오송 철도종합시험선	250Km/h
일반선	대불선	100Km/h
일반선	구 경전선 폐선	60m/h
일반선	강릉선	250Km/h

① 호남고속선 인프라 신호설비 분석

호남고속 전용구간에 설치된 신호설비는 다음 표와 같이 크게 실내 설비와 실외 설비로 구분되며 설비의 사용 목적에 따라 열차제어시스템, 안전설비, 전원장치, 통합유지보수지원시스템, 선로변 설비로 구분된다.

표 25. 호남고속선 실내 신호설비 구분

구분		장비 명
실내 설비	열차제어 시스템	정보처리장치, 정보전송장치, 계전기랙, 케이블랙, 현장유지보수장치, 속도제한판넬, 저전압배전반, 역조작반
	안전설비	지장물검지장치, 끌림검지장치, 차축온도검지장치, 기상검지장치 등
	전원설비	주전원배전반, 무정전전원장치, 자동전압조정장치, 정류기장치, 직류분전함, 축전지
	통합유지보수 설비	통합유지보수서버, 통합유지보수콘솔, 신호유지보수콘솔, 대형표시판넬, 궤도회로정보검출장치, 원격제어장치
실외 설비	선로변 설비	신호기, PKS, LSC, 접속함, 디지털궤도회로, 불연속루프, 신호기주 및 표지 등
	안전 설비	ATC안전설비, 추가안전설비 등.

TVM-SEI는 열차운행조건에 따라 속도를 자동으로 제어하고, 신호기, 선로전환기, 궤도회로 등을 상호 연동하여 제어하는 설비로써 다음 그림과 같이 선로변 설비와 연계되어 운영된다.

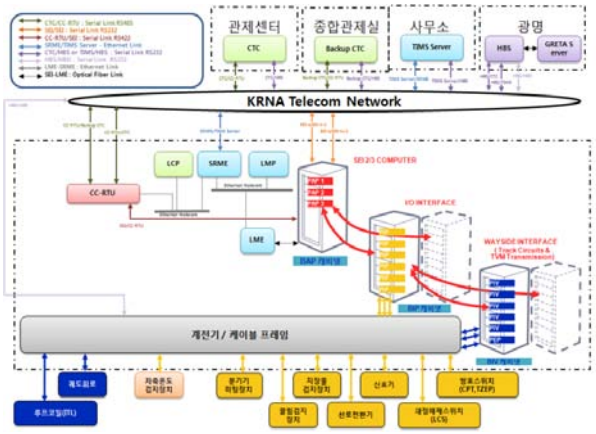


그림 114. TVM-SEI의 인터페이스 구성도

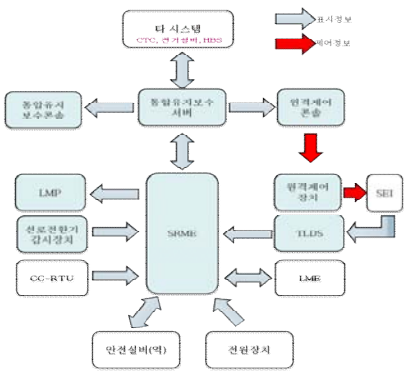


그림 115. 장치 간 데이터의 흐름

위 그림에서 언급되는 통합유지보수서버, 통합유지보수콘솔, 신호유지보수콘솔, 대형표시판넬, 궤도회로 정보 검출장치, 원격제어장치, 선로전환기 감시장치의 상세 인터페이스 기능은 다음 표와 같다.

표 26. TIMS의 상세 인터페이스 기능

장비명	상세 인터페이스 기능
통합유지보수 서버	서버는 정읍 역 신호기계실에 설치되며 모든 SRME로부터 유지보수 정보를 수집 및 저장한다. 저장된 정보는 통합유지보수 콘솔에 전송한다.
통합유지보수 콘솔	통합유지보수 콘솔은 유지보수사무소, 유지보수사업소, 주재에 설치되며 통합유지보수 서버로부터 정보를 전달 받아 유지보수 정보를 표시한다.
신호유지보수 콘솔 (SRME)	신호유지보수콘솔(SRME)은 각 신호기계실에 설치하며, 궤도회로정보검출장치, 선로전환기감시장치, 전원장치, 원격제어장치 그리고 안전설비로부터 수신한 각종 정보를 처리하고 통합유지보수 서버로 전송한다.
대형표시판넬 (LMP)	LMP는 각 역의 기계실에 설치하며, 신호유지보수콘솔(SRME)와 연결하여 실시간으로 각종 신호 설비들에 대한 상태를 수신하고, 그래픽을 심볼화하여 화면에 표시한다.
궤도회로 정보검출장치 (TLDS)	궤도회로정보검출장치는 각 기계실에 설치하며, 궤도회로 및 ITL, DD, ID의 정보를 수집하여 SRME로 전송한다.
원격제어장치 (RCD)	원격제어장치는 각 기계실에 설치하며, 원격 복구 및 원격 속도제한 명령을 수행한다.
선로전환기 감시장치 (PMD)	선로전환기 감시장치는 각 역 및 연동기계실에 설치되며, 선로전환기 모터 구동전류, 밀착검지 정보 등을 취득하여 SRME로 전송한다.

② 오송철도종합시험선 인프라 신호설비 분석

철도종합시험선로에 신호설비는 3개소 전자연동장치를 설치하며, 궤도회로장치와 지상신호방식(ATS)과 차상신호방식(ETCS-L1) 시험이 가능하며, 건널목제어장치등 다양한 시험이 가능한 신호설비가 구축되었다.



그림 116. 철도종합시험선로 신호제어 시설 구축 현황

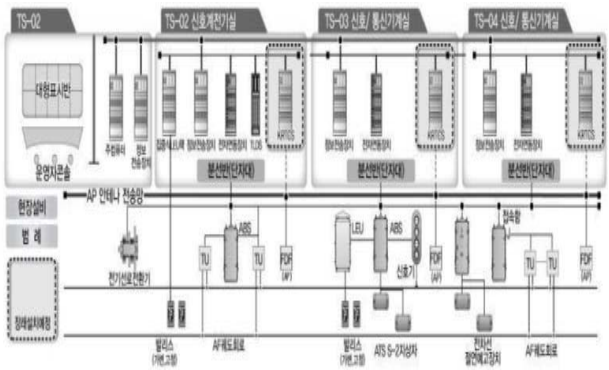


그림 117. 철도종합시험선로 신호제어설비 구성도

철도종합시험선로의 운영은 TS-02 통제실에서 운영관리하고 열차운영, 운전취급을 하는 관계로 신호제어설비가 설치하며, TS-02의 대형 모니터에는 열차의 운행상황 및 전철전력 기능감시와 통신상태 감시하는 설비가 설치된다.

표 27. TS-02 설비 현황

장비	비고
전자연동장치	연동논리부, 광통신부 외 1식
원격제어장치	TS-03, TS-04 제어
CTC용 서버, 메인	향후 KTCS ATS(열차자동감시장치), CTC장치 각종 S/W 시험용
대형표시반	50″LCD 10면 중 신호5면/전기3면/통신2면
신호제어용 Console	전자연동 표시제어부
전원설비	UPS 포함 1식

표 28. 제어설비 특징 및 운전취급 설계 현황

구분	내용
제어설비 특징	TS-02 에서 시험선 열차 운행을 일괄 통제함.
	TS-03 , TS-04의 연동장치에는 표시제어부 없음(유지보수부만 설치)
	CTC용 각종 S/W 시험 가능
	CTC용 각종 H/W 설치 가능(기기실 공간, 전원 확보)
	KTCS용 각종 H/W 설치 가능(기기실 공간, 전원 확보)
	KTCS용 ATS(Automatic Train Supervision) S/W 시험가능
운전취급 설계	철도종합시험선 모든 열차의 운전취급은 기지에서 취급하는 TS-01을 제외하고 통합통제선터에서 취급하도록 하고 TS-03과 TS-04는 원격제어 취급하도록 설계
	TS-03과 TS-04의 연동장치는 신호계전기실에 유지보수부 콘솔을 설치하도록 설계
	TS-01 등 오송기지와 공용하는 부분은 오송기지에서 제어하도록 하고 상호 정보를 교환하도록 설계

ATO 기반 ETCS L3급 열차제어시스템에서의 각 시험장비는 기존 신호설비와 인터페이스되어 필요 정보를 송·수신한다. ETCS L3급 시험장비와 호남고속선의 기존 신호설비, 오송 철도종합시험선의 기존 신호설비 간 인터페이스 필요 장비는 다음 표와 같다.

표 29. 기존설비 인터페이스 대상 장치(안)

번호	ETCS L3급 시험장비	기존설비 인터페이스	
		호남고속선	철도종합시험선
1	지상 ATP	TVM-SEI CTC설비	전자연동장치 CTC설비
2	지상 ATO	CTC설비	CTC설비
3	지상안전전송유닛(STU)	LTE-R 설비 (구축 필요)	LTE-R 설비
4	키관리장비(KMC)	해당없음	해당없음
5	레일절손검지장치	TVM-SEI	전자연동장치
6	Level 3용 발리스	해당없음	해당없음
7	지상 ATO 지상자	해당없음	해당없음
8	종합계측설비	TVM-SEI 안전설비 등	전자연동장치 등
9	지상 인터페이스장치	TVM-SEI 안전설비 등	전자연동장치 등

(2) 시험선로 선정(안) 수립

(가) 호남고속선 시험선 선정(안) 검토

호남고속선 익산 ~ 정읍 간 상/하선 구간을 시험선으로 선정할 경우 ETCS L3급 열차제어시스템의 최고속도 350Km/h 시험열차 운행을 위한 구간 별 속도 및 레벨 선정(안)은 다음 그림과 같다.



그림 118. 호남고속선 상선(정읍~익산) 구간도

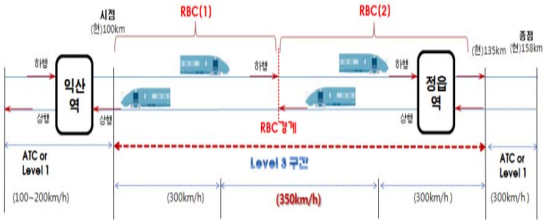


그림 119. 호남고속선 구간 별 운행 계획

호남고속선 400Km/h Test bed 상선(정읍~익산)을 시험선으로 선정할 경우 설계 시 고려 요건은 다음과 같다.

(나) 오송철도종합시험선 선정(안) 검토

철도종합시험선로는 총연장 12㎞989,98이며, 최고속도 200 ~ 250Km/h의 시험선으로 최대속도 200㎞/h 구간(상행 1구간, 하행 1구간)이 구축되어 있다. 철도종합시험선의 선형도 및 구간별 열차운행 속도 현황도는 다음 그림과 같다.



그림 120. 철도종합시험선로 약 13㎞ 선형도

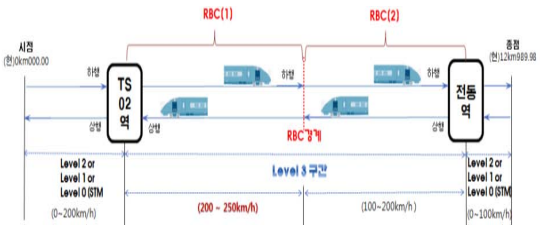


그림 121. 철도종합시험선로 구간별 운행 계획

(다) 오송철도종합시험선 선정(안) 검토

호남고속선 시험선과 철도종합시험선 선정(안) 검토 자료를 바탕으로 각 시험선 별 비교 및 검토 내용은 다음 표와 같다.

표 30. 시험선 선정(안) 수립 및 비교/검토

구분	1안	2안	3안
구간	철도종합시험선로	호남고속선 (정읍-익산간 상선 구간)	호남고속선 (공주-익산간 하선 구간)
연장길이	약 13km	약 35km	약 35km
최고속도	250km/h	400km/h	400km/h
신호시스템	ATS/ATP	ATC(TVM-SEI)	ATC(TVM-SEI)
전자연동장치	국내사	외국사	외국사
시스템 IF S/W 변경	저가	고가	고가
특징	- ATO시험 용이 - 상/하선 시험 수월 - 영업운전 지장 없음 - 인프라 구축 비용 저감	- 인프라 구축 비용 발생 - 매몰비용 발생 - 영업운전 지장 발생가능	- 인프라 구축 비용 발생 - 매몰비용 발생 - 영업운전 지장 발생가능

철도종합시험선로는 LTE-R 통신망 구축 및 RBC 센터는 통합통제센터를 활용과 ETCS-Level 1 및 ATS(STM 모드)가 구축되고 국내제품으로 운영되는 전자연동장치로 인터페이스가 용이하며, 기타 안전설비 인터페이스 또한 용이하여 ETCS L3급 열차제어시스템의 현장시험이 수월한 장점 있다. 철도종합시험선의 상세한 선정 사유는 다음 표와 같다.

표 31. 철도종합시험선 선정(안) 사유

번호	선정 사유
1	시험선 약 13km 구간에서 상/하선 시험이 가능
2	선로허용속도에 따라 RBC구간 최대속도 250Km/h 가능
3	구간 별 Level 1/ATS 및 Level 3 설정에 따른 레벨 전이 시험이 가능
4	시험용 선로로 인프라가 기 구축으로 비용 절감과 시간 단축
5	시험선 구간 LTE-R 통신망 기 구축 완료
6	시험선 구간 시험센터(RBC 센터)는 통합통제센터를 활용
7	전자연동장치 및 각종 인터페이스 설계 및 S/W 구축용이
8	단독선구로 CTC 인터페이스 설계 및 S/W 구축 용이
9	시험선로로 영업운전에 영향이 없이 구축 가능
10	시험선 일부 개소에 시험용 발리스 구축(L1 설치된 발리스 활용)
11	시운전 열차운행 주간 및 야간운행이 가능
12	시험열차 ATO 시험이 용이
13	시험열차 운행모드 ATP L1, ATP L2, ATS이 가능(단, 고속선ATC 시험 제외)

(3) 시험선로 기본 설계

(가) 시험선 ETCS L3급 지상장비 수량 산출(안)

ETCS L3급 지상 열차제어시스템 인터페이스 구성에 따른 장비 수량(안)은 다음 표와 같다.

표 32. ETCS L3급 지상열차제어시스템 장비 및 수량(안)

번호	장비명	수량	비고
1	지상 ATP	2대	2영역으로 구분
2	지상 ATO	2대	2영역으로 구분
3	지상안전전송유닛(STU)	4대	지상 ATP/ATO에 수용
4	키관리장비(KMC)	1대	
5	레일절손검지장치	해당역 1대	
6	Level 3용 발리스	소요량	
7	지상 ATO 지상자	소요량	
8	종합계측설비	1식	
9	기타 인터페이스장치	1식	전자연동장치, CTC 및 안전설비 등

(나) 시험노선 별 장비 배치 방안

① 호남고속선 장비 배치 방안

표 33. 호남고속선 ETCS L3급 지상열차제어시스템 장비 배치(안)

번호	구분	장비명	설치위치	수량
1	신설	지상 ATP	RBC 센터	6대
2	신설	지상 ATO	RBC 센터	3대
3	신설	지상안전전송유닛(STU)	RBC 센터	4대
4	신설	KMC	RBC 센터	1대
5	신설	레일절손검지장치	신호기계실	해당역 1대
6	신설	Level 3용 발리스	시험선로 내 전구간	소요량
7	신설	지상 ATO 지상자	시험선로 내 역구내	소요량
8	신설	종합계측설비	RBC 센터 및 신호기계실	1식
9	신설	기타 인터페이스장치	신호기계실	1식
10	개량	열차진로제어장치(연동장치)	해당역 신호기계실	1식
11	개량	관제설비(CTC)	해당선 관제센터	1식

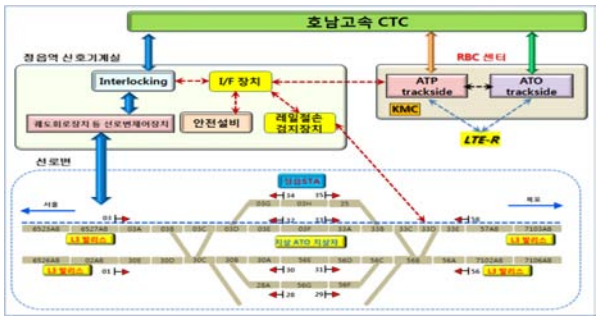


그림 122. 호남고속선 IF 장비 배치(안)



그림 123. 호남고속선 신호기계실 장비 배치(안)

표 34. 호남고속선 ETCS L3급 지상시스템 인터페이스 방안

번호	구분	방안
1	궤도정보(열차점유정보) 처리	RBC 센터(지상ATP)
2	궤도정보(열차점유정보) 입력	RBC 센터(지상ATP) ⇒ 중앙 인터페이스 캐비닛(BIP)로 전송
3	기존 궤도정보(열차점유정보) 입력	궤도 인터페이스 캐비닛(BVI) 궤도정보 차단
4	중앙 인터페이스 캐비닛(BIP) S/W	- 통신포트 2개 추가 - 궤도정보 처리부분
5	역조작반 S/W	RBC 센터 상태정보 표시
6	안전설비 및 기타 정보 등	L3 인터페이스 부분

② 오송철도종합시험선 장비 배치 방안

표 35. 철도종합시험선로 시험선 ETCS L3급 지상장비 배치(안)

번호	구분	장비명	설치위치	수량
1	신설	지상 ATP	통합통제센터 기기실	6대
2	신설	지상 ATO	통합통제센터 기기실	3대
3	신설	지상안전전송유닛(STU)	통합통제센터 기기실	4대
4	신설	KMC	통합통제센터 기기실	1대
5	신설	레일절손검지장치	신호기계실	해당역 1대
6	신설	Level 3용 발리스	시험선로 내 전구간	소요량
7	신설	지상 ATO 지상자	시험선로 내 역구내	소요량
8	신설	종합계측설비	통합통제센터 기기실 및 신호기계실	1식
9	신설	기타 인터페이스장치	신호기계실	1식
10	개량	열차진로제어장치(연동장치)	해당역 신호기계실	1식
11	개량	관제설비(CTC)	통합통제센터 기기실	1식

위 표에서와 같이 철도종합시험선에 ETCS L3급 지상열차제어시스템 구성장비를 배치할 경우 신설되는 장비는 지상ATP, 지상ATO, 지상안전전송유닛(STU) 등 총 9종류의 장비가 설치되며 개량되는 장비는 열차진로제어장치(연동장치), 관제설비(CTC)의 2종류의 장비가 설

치된다. 철도종합시험선에서의 ETCS L3급 지상열차제어시스템 장비 배치(안)을 고려한 구성도 및 신호기계실 장비 배치도는 다음 그림과 같다.



그림 124. 신호기계실 장비 배치(안)

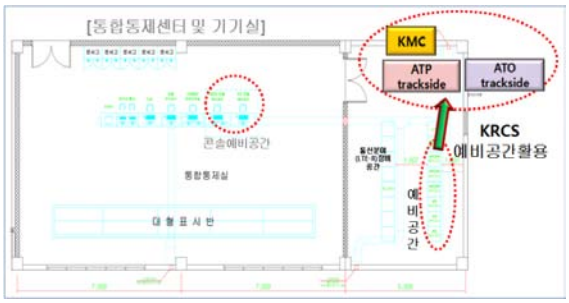


그림 125. 시험선 통합통제실 장비 배치(안)

표 36. 철도종합시험선에서의 ETCS L3급 지상시스템 인터페이스 방안

번호	구분	방안	비고
1	궤도정보 (열차점유정보) 처리	RBC 센터(지상ATP)	
2	궤도정보 (열차점유정보) 입력	RBC 센터(지상ATP) ⇒ 전자연동장치 연동논리부 전송	
3	기존 궤도정보 (열차점유정보) 입력	궤도랙 및 폐색랙 궤도정보 차단	
4	전자연동장치 연동논리부 S/W	- 통신포트 2개 추가 - 궤도정보 처리부분	
5	전자연동장치 표시제어부 S/W	RBC 센터 상태정보 표시	
6	안전설비 및 기타 정보 등	L3 인터페이스 부분	건널목제어장치 등

나. 시험인프라 인터페이스 및 종합계측설비 설계 수립

(1) 시험인프라 인터페이스 설계

(가) 오송철도종합시험선 설계

① 시험선 선로변 인터페이스 설계

오송철도종합시험선에 ETCS L3급 시험을 수행하기 위해선 기존 신호 및 통신 설비와의 인터페이스를 구축해야 한다. 이에 따라 다음과 같이 오송종합시험선의 기존 ATP PLAN과 LTE-R 구성도를 확보하였고 이를 참고하여 ETCS L3급 ATP PLAN 기본설계를 수립하였다.

표 37. 오송철도종합시험선 시험인프라 기존 구성

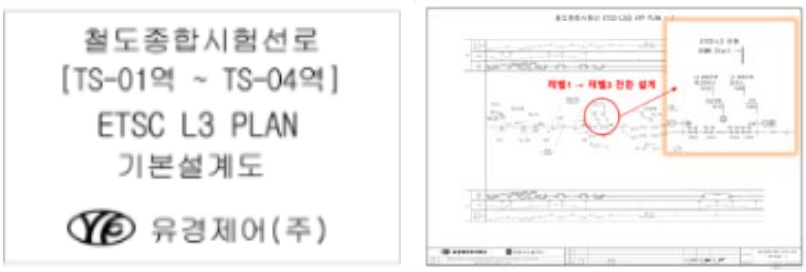
구분	오송철도종합시험선 시험인프라 기존 구성
기존 L1 PLAN 분석	
LTE-R 구성도 및 안테나 위치도	

오송철도종합시험선에서의 ETCS L3급 핵심 기능인 레벨3 전환과 RBC 간 핸드오버 구현을 고려하여 다음과 같이 ETCS L3 PLAN 기본설계를 수립하였다.

구분	설계 항목	설계 고려 사항	설계 결과
1	레벨1→레벨3 전환	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치	TS-01역과 TS-02역 사이 폐색 구간 레벨1↔레벨3 전환 지점 : B101T
2	레벨3 RBC 핸드오버	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치, 구간 허용 최고 속도	TS-02역과 TS-03역 사이 폐색 구간 하선 RBC 핸드오버 지점 : VB104T 상선 RBC 핸드오버 지점 : VB105T
3	ATO 운행 지점	기존 발리스 위치, 구간 허용 최고 속도	TS-03역 내 ATO MARKER 지점 설계
4	레벨3→레벨1/2 전환	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치	TS-03역과 TS-04역 사이 폐색 구간 레벨3→레벨1 전환 지점 : B111BT 레벨1→레벨3 전환 지점 : B111AT

상기의 고려사항을 반영한 오송철도종합시험선 TS-01역부터 TS-04역까지에 해당하는 ETCS L3급 PLAN 기본설계는 다음과 같다.

표 38. 오송철도종합시험선 시험인프라 기본설계

구분	오송철도종합시험선 시험인프라 기본설계
ETCS L3 PLAN 기본 설계	

오송철도종합시험선에의 기존 신호설비 및 통신설비와의 인터페이스를 구축하여 ETCS L3급 시험을 수행하기 위한 상세 인터페이스는 기존 ATP PLAN과 LTE-R 구성도를 확보하여 설계한 기본 설계 자료를 참고하여 다음과 같이 수립하였다.

표 39. 오송철도종합시험선 설계 사항

구분	설계 항목	설계 고려 사항	설계 결과
1	레벨0→레벨1 전환	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치, ATS↔ATP 경계	TS-01역과 TS-02역 사이 폐색 구간 레벨0↔레벨1 전환 지점 : B001T
2	레벨1→레벨2 전환	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치	TS-01역과 TS-02역 사이 폐색 구간 레벨1↔레벨2 전환 지점 : B101T
3	레벨2 RBC 핸드오버	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치	TS-02역과 TS-03역 사이 폐색 구간 RBC 핸드오버 지점 : B102T
4	레벨2→레벨3 전환	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치, 구간 허용 최고 속도	TS-02역과 TS-03역 사이 폐색 구간 레벨2↔레벨3 전환 지점 : B105T
5	레벨3 RBC 핸드오버	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치	TS-03역과 TS-04역 사이 폐색 구간 RBC 핸드오버 지점 : B107T

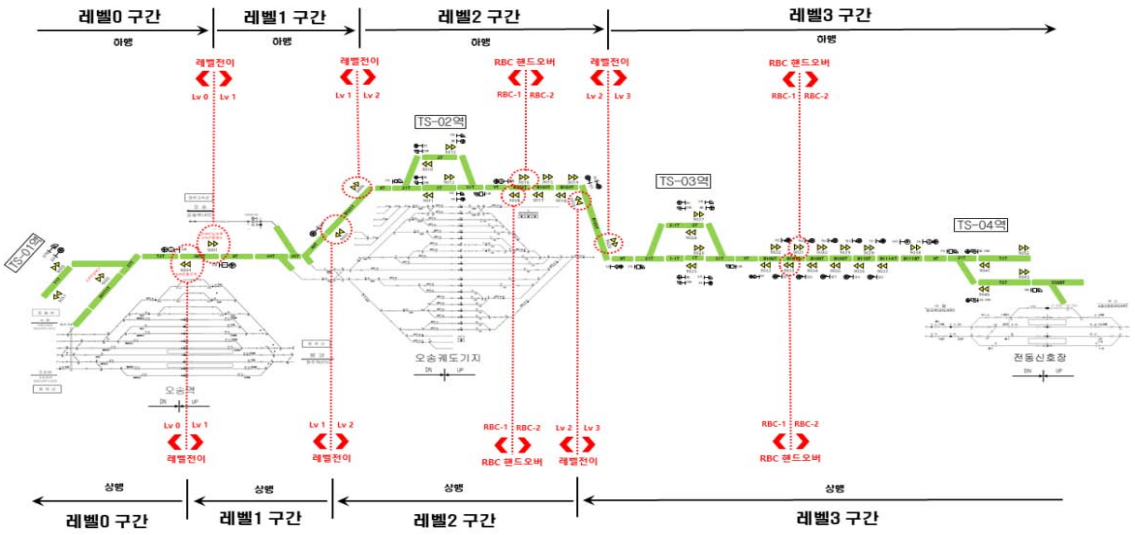


그림 126. 오송철도종합시험선 선로변 인터페이스 상세설계 구성도

상기의 구성도와 같이 오송철도종합시험선 TS-01역부터 TS-04역까지에 해당하는 ETCS L3 급 PLAN 상세설계는 다음과 같다.

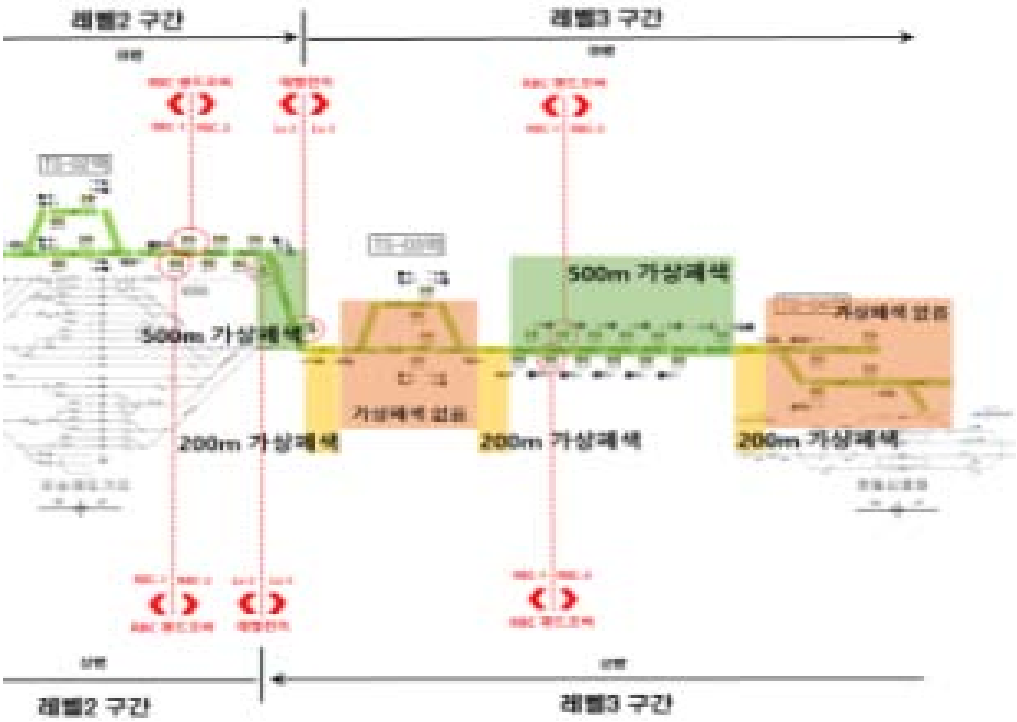


그림 127. 철도종합시험선 선로변 가상폐색 구간

표 40. 오송철도종합시험선 시험인프라 상세설계

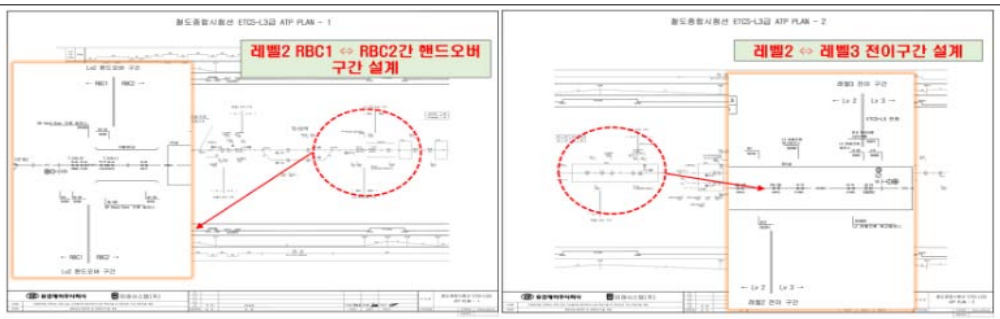
구분	오송철도종합시험선 시험인프라 상세설계
ETCS L3 PLAN 상세설계	

표 41. 오송철도종합시험선 가상 폐색 설계 사항

구분	지점	내용	설계 결과
1	B105T	TS02역 ~ TS03역 간 레벨3 전환 폐색구간	300~500m 간격 가상폐색 설계
2	XT	TS03역 진입 폐색	100~200m 간격 가상폐색 설계
3	TS03역	TS03역 구내	가상폐색 없음
4	YT	TS03역 진입 폐색	100~200m 간격 가상폐색 설계
5	B106T ~ B111BT	TS03역 ~ TS04역 간 레벨3 폐색구간	300~500m 간격 가상폐색 설계
6	XT	TS04역 진입 폐색	100~200m 간격 가상폐색 설계
7	TS04역	TS04역 구내	가상폐색 없음

② 시험선 시험센터 인터페이스 설계

오송철도종합시험선의 현장조사 결과를 기반으로 하여 현재 구축된 설비와 신규 구축 설비의 인터페이스를 고려한 시험센터 기기배치(안)을 수립해야 한다. TS-02 ~ TS-04는 각 역마다 통신장치부, 배전반, MDF, 기지국(DU) 등을 보유하고 있다. 따라서 각 역에 ETCS L3급 시험인프라를 위한 설비를 다음과 같이 설계하였다.



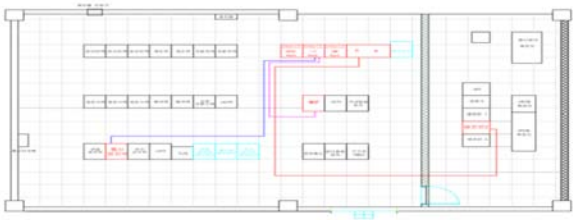
[TS-02 신호/통신기계실 기존 기기배치도]



[TS-02 신호/통신기계실 ETCS L3 기기배치도]



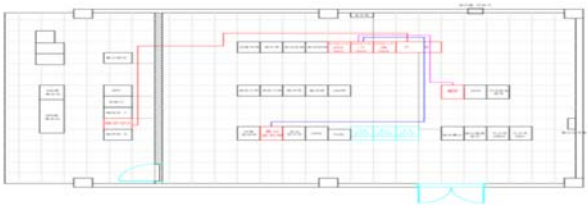
[TS-03 신호/통신기계실 기존 기기배치도]



[TS-03 신호/통신기계실 ETCS L3 기기배치도]

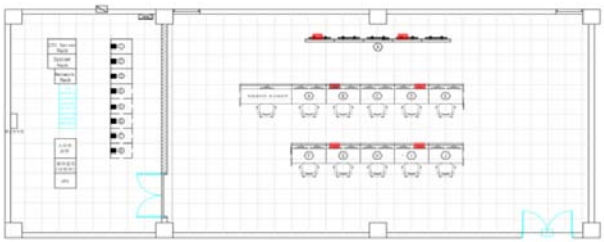


[TS-04 신호/통신기계실 기존 기기배치도]

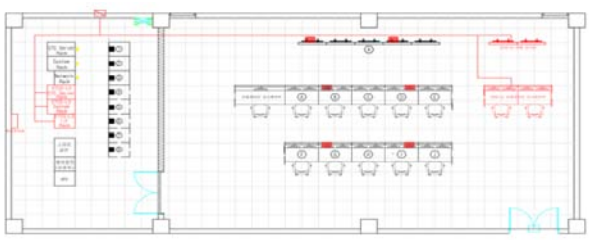


[TS-04 신호/통신기계실 ETCS L3 기기배치도]

오송철도종합시험선의 L3급 시험센터는 접근성, 인터페이스 용이성, 여분 공간 등을 고려하여 통합통제실로 선정하였고 아래 그림과 같이 통합통제실 내 여분 공간에 ETCS L3급 설비의 대형표시반, 표시제어부 등의 콘솔을 구축할 수 있도록 설계하였다.



[철도종합시험선 ETCS L3급 통합통제실 및 기계실 기존 기기배치도]



[철도종합시험선 ETCS L3급 통합통제실 및 기계실 기기배치도]

오송철도종합시험선의 TS-02역, TS-03역, TS-04역, 통합통제센터에 배치될 ETCS L3급 인터

페이스 장비는 다음과 같다.

표 42. 철도종합시험선 개소별 ETCS L3급 장비 배치 기본설계(안)

위치	장비명	수량	비고
TS-02역	ETCS L3 RBC	6	안전전송유닛 포함
	ETCS L3 ATO	3	필요시 배치
	ETCS L3 KMC	1	키관리장치
	ETCS L3 연동논리부	1	IP기반 EIS
	ETCS L3 I/F	1	기존설비와 인터페이스용
	레일절손검지장치	1	
	종합계측설비	1	
TS-03역	ETCS L3 I/F	1	기존설비와 인터페이스용
	ETCS L3 I/O 처리부	1	IP기반 EIS
	레일절손검지장치	1	
	종합계측설비	1	
TS-04역	ETCS L3 I/F	1	기존설비와 인터페이스용
	ETCS L3 I/O 처리부	1	IP기반 EIS
	레일절손검지장치	1	
	종합계측설비	1	
통합통제실	ETCS L3 CTC 서버	1	대형표시반 포함
	ETCS L3 연동제어반 표시제어부	1	
	ETCS L3 시스템	1	CTC 인터페이스 용
	ETCS L3 I/F	1	기존설비와 인터페이스용

오송철도종합시험선의 TS-02역, TS-03역, TS-04역, 통합통제센터에 배치될 장비의 ETCS L3급 인터페이스도는 다음과 같다.

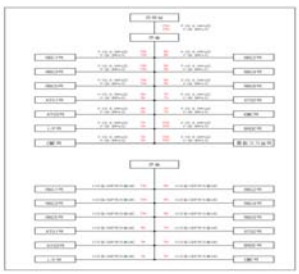


그림 128. ETCS L3급 TS-02역 인터페이스도

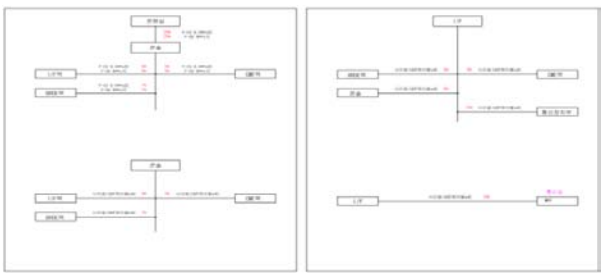


그림 129. ETCS L3급 TS-03역 인터페이스도

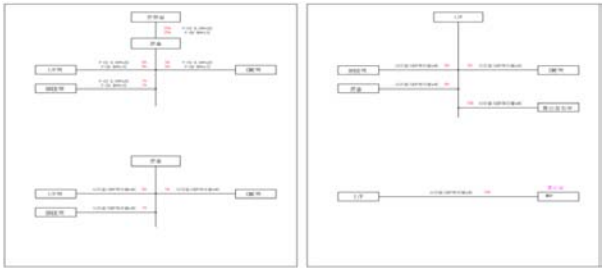


그림 130. ETCS L3급 TS-04역 인터페이스도

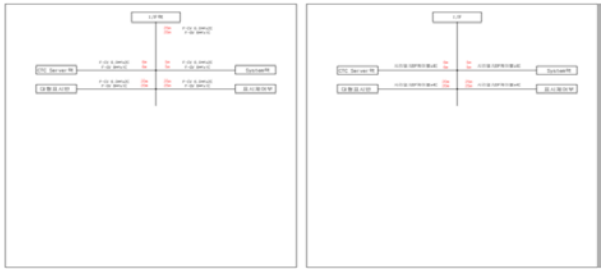


그림 131. ETCS L3급 통합통제실 인터페이스도

오송철도종합시험선 내에는 LTE-R이 구축되어 있으며 레벨3 운행 시험은 두 대의 차량을 사용한 시험 구성이 필요하다. 오송시험선의 LTE-R 인터페이스는 다음 구성도와 같다.

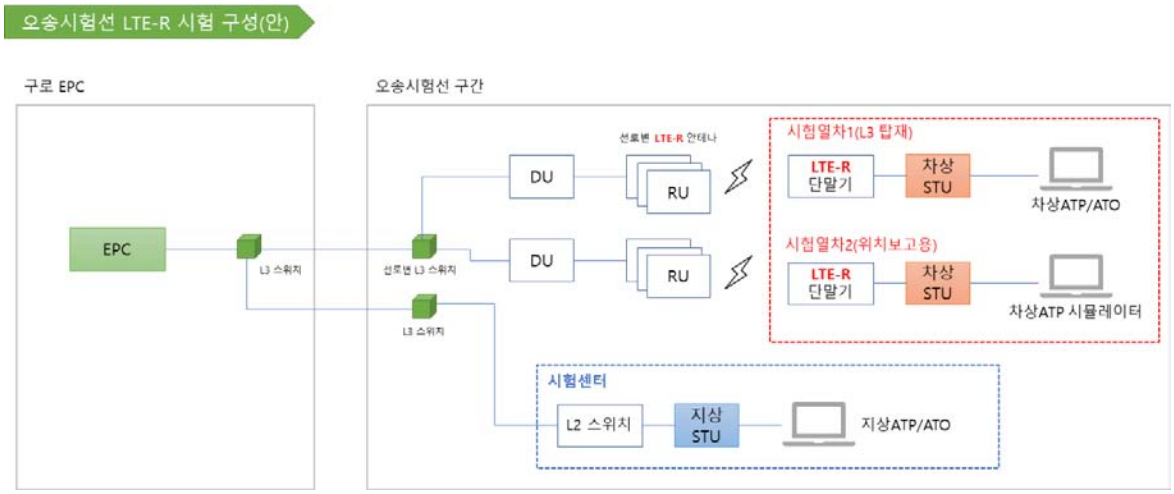


그림 132. 철도종합시험선 LTE-R 인터페이스 구성도

표 43. 철도종합시험선 LTE-R 인터페이스 구축 방안

번호	구분	내용	비고
1	차상 LTE-R 인터페이스	오송시험선 LTE-R 전용 단말기 세팅 차상안전전송유닛과 인터페이스 구축	차상 LTE-R 단말기 2대 필요
2	지상 LTE-R 인터페이스	시험용 포트 개설 지상안전전송유닛과 인터페이스 구축	RBC 1대당 4개 포트 할당 필요
3	지상 및 차상 LTE-R 접속 확인	차상안전전송유닛과 지상안전전송유닛 간 통신 시험 및 확인	

(나) 호남고속선 시험선 설계

① 시험선 선로변 인터페이스 설계

호남고속선 상선 고속 운행이 가능한 광주송정→익산 구간에서 ETCS L3급 핵심 기능인 레벨3 전환과 RBC 간 핸드오버 구현을 고려하여 다음과 같이 ETCS L3 PLAN 기본설계를 수립하였다.

표 44. 호남고속선 ETCS L3 PLAN 기본설계 결과

구분	설계 항목	설계 고려 사항	설계 결과
1	열차 운행 시작 지점	터널, 교량, 발리스 위치 등	상선 송현제3터널 이후 159km 지점 레벨3 전환 예고 발리스 설계
2	레벨STM→레벨3 전환	기존 발리스 위치, 구간 허용 최고 속도	상선 송현제2터널 이후 158km 지점 레벨3 전환 지점 설계
3	ATO 운행 지점	기존 발리스 위치, 구간 허용 최고 속도	정읍역 내 132km 지점 ATO MARKER 지점 설계
4	레벨3 RBC 핸드오버	기존 발리스 위치, 구간 허용 최고 속도	상선 121km 지점 궤도 경계 구간 레벨3 RBC 핸드오버 전환 지점 설계
5	레벨3→레벨1 전환	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치	상선 91km 지점 익산역 직전 구간 레벨1 전환 예고 및 전환 지점 설계

상기의 내용을 반영한 호남고속선 익산-제2송현터널 구간의 ETCS L3급 PLAN 기본설계는 다음과 같다.

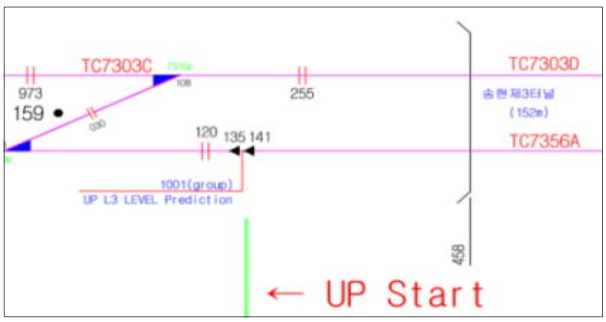


그림 133. 호남고속선 ETCS L3급 기본설계 - 시작 지점 설계

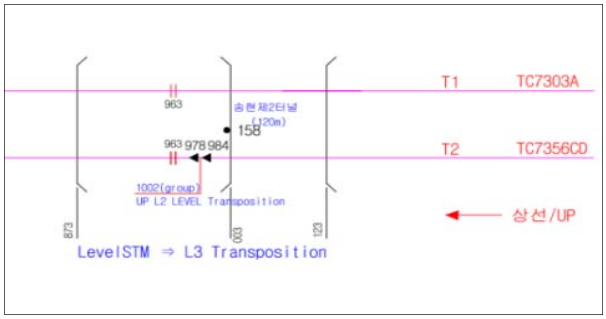


그림 134. 호남고속선 ETCS L3급 기본설계 - 레벨STM→레벨3 전환 지점 설계

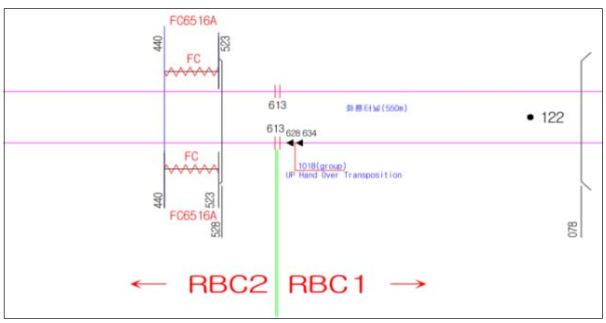


그림 135. 호남고속선 ETCS L3급 기본설계 - RBC 핸드오버 지점 설계

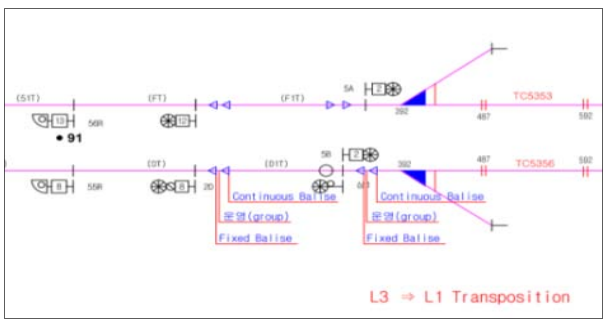


그림 136. 호남고속선 ETCS L3급 기본설계 - 레벨3→레벨1 전환 지점 설계

호남고속선 상선 시험의 경우 차량에 탑재된 차상장치와 가상의 발리스를 사용해 시험을 수행함에 따라 레벨3 ATO 운행의 용이성을 고려하여 레벨3 전환 지점을 ATO 운행이 시작되는 정읍역 구내로 변경하여 다음과 같은 설계를 수립하였다.

표 45. 호남고속선 ETCS L3 PLAN 상세설계 결과

구분	설계 항목	설계 고려 사항	설계 결과
1	열차 운행 시작 지점	터널, 교량, 발리스 위치 등	상선 송현제3터널 이후 159km 지점 레벨1 전환 예고 발리스 설계
2	레벨1→레벨3 전환	기존 발리스 위치, 구간 허용 최고 속도	정읍역 구내 131km 지점 레벨3 전환 경계 발리스 설계
3	ATO 운행 지점	기존 발리스 위치, 구간 허용 최고 속도	정읍역 내 131km 지점 레벨3 운행 예고 구간에 ATO MARKER 지점 설계
4	레벨3 RBC 핸드오버	기존 발리스 위치, 구간 허용 최고 속도	상선 121km 지점 궤도 경계 구간 레벨3 RBC 핸드오버 전환 지점 설계
5	레벨3→레벨1 전환	LTE-R 안테나 위치, 기존 발리스 위치	상선 91km 지점 익산역 직전 구간 레벨1 전환 예고 및 전환 지점 설계

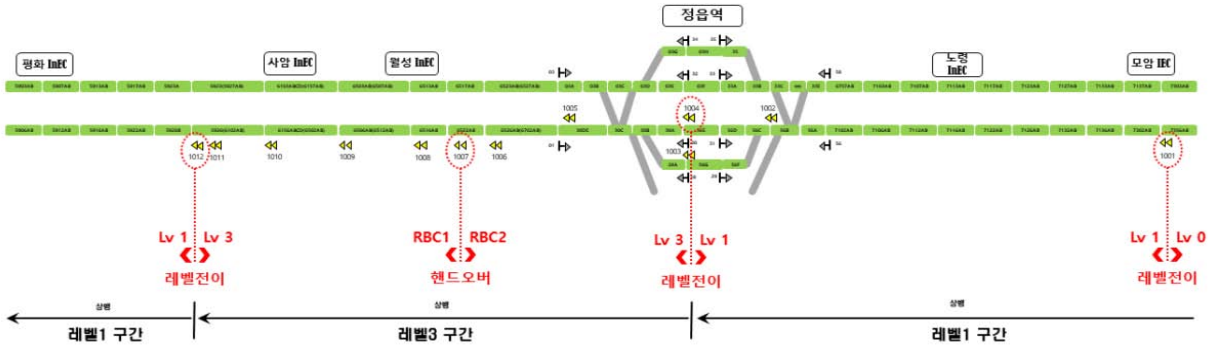


그림 137. 호남고속선 시험선 선로변 인터페이스 상세설계 구성도

표 46. 호남고속선 가상폐색 구간 설계 사항

구분	지점	내용	설계 결과
1	정읍역	정읍역 상선 레벨3 전환 폐색구간	가상 폐색 없음
2	30DE	정읍역 상선 진출 폐색	100~500m 간격 가상폐색 설계
3	6526AB ~ 5926	익산 ~ 정읍 상선 간 레벨3 폐색구간	1,000~2000m 간격 가상폐색 설계

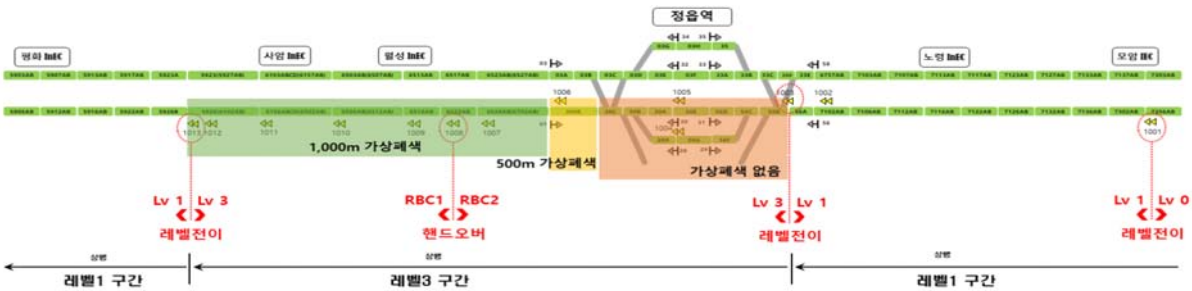


그림 138. 호남고속선 시험선 선로변 인터페이스 가상폐색 구간

표 47. 호남고속선 시험인프라 상세설계

구분	호남고속선 시험인프라 상세설계
ETCS L3 PLAN 상세설계	

② 시험선 시험센터 인터페이스 설계

호남고속선의 기존 시스템의 열차제어정보를 취득하기 위해선 SRME 신호유지보수콘솔과 인터페이스를 해야 한다. 정읍 신호기계실의 기존 배치도는 다음 그림과 같으며 기존 구성에 따른 ETCS L3급 시험인프라 인터페이스를 위해 정읍역 신호기계실 내 설비 구성(안) 설계는 다음 그림과 같다.

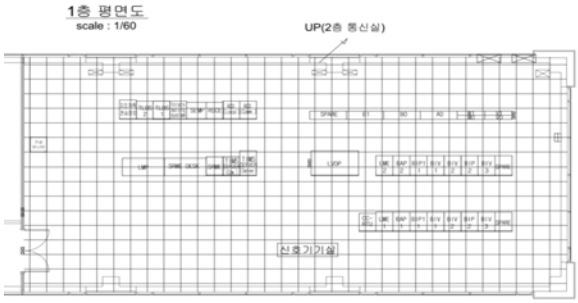


그림 139. 호남고속선 정읍 신호기계실 기존 배치도

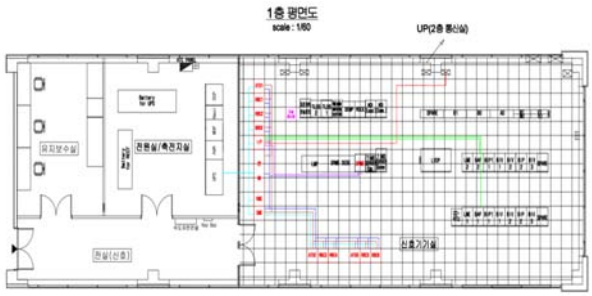


그림 140. 호남고속선 정읍 신호기계실 설비 구성(안)

호남고속선에서의 ETCS L3급 신규설비는 상기의 정읍 신호기계실 내 기존 배치도에서 기상모니터가 설치되어 있는 공간을 활용하여 배치하였다. 호남고속선의 ETCS L3 인터페이스를 위한 장비는 아래 표와 같다.

표 48. 호남고속선 정읍역 신호기계실 ETCS L3급 장비 배치 기본설계(안)

장비명	수량	비고
ETCS L3 RBC	6	안전전송유닛 포함
ETCS L3 ATO	3	
ETCS L3 KMC	1	키관리장치
ETCS L3 I/F	1	기존설비와 인터페이스용
레일절손검지장치(BRDE)	1	
종합계측설비(CME)	1	
시험용 콘솔데스크	1	각종 모니터링용
ETCS L3 CTC 서버	1	
ETCS L3 연동제어반 표시제어부	1	

호남고속선 정읍역 신호기계실에 배치될 ETCS L3급 장비 간 인터페이스도는 아래 그림과 같다.

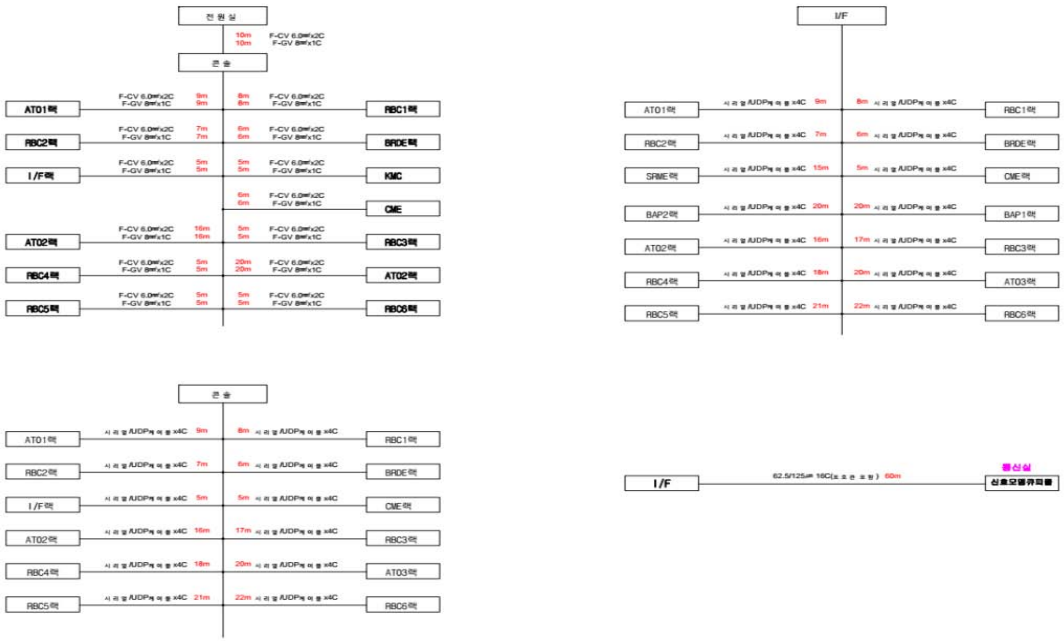


그림 141. 호남고속선 ETCS L3급 정읍 신호기계실 설비 간 인터페이스도

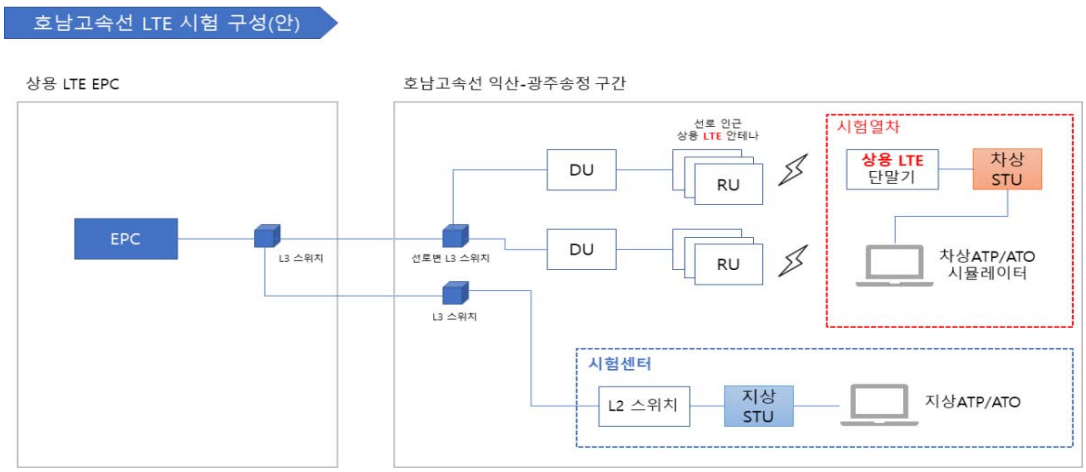


그림 142. 호남고속선 시험선 LTE 인터페이스 구성도

표 49. 호남고속선 LTE-R 인터페이스 구축 방안

번호	구분	내용	비고
1	차상 LTE-R 인터페이스	차상용 상용 LTE 단말기 세팅 차상안전전송유닛과 인터페이스 구축	차상 LTE 단말기 2대 필요
2	지상 LTE-R 인터페이스	시험용 포트 개설(상용망) 지상안전전송유닛과 인터페이스 구축	RBC 1대당 4개 포트 할당 필요
3	지상 및 차상 LTE-R 접속 확인	차상안전전송유닛과 지상안전전송유닛 간 통신 시험 및 확인	

(2) 시험인프라 종합계측설비 설계

종합계측설비는 ETCS L3급 열차제어시스템에서 구축되어진 각 장치의 주요기능을 확인하고, 장치별 인터페이스를 통해 주고 받는 모든 정보를 감시 및 계측하기 위해 지상, 차상 계측을 수행

하는 장치이다.

(가) 지상 종합계측설비 설계

지상계측설비는 ETCS L3급 ATP/ATO 시스템에서 각 장치가 상호간 주기적으로 송 · 수신 데이터를 전송하는 정보를 계측한다.

① 지상 종합계측 인터페이스 구성도

지상 계측설비는 RBC 구간 내의 연동장치, 역정보처리장치, 안전 전송 유닛과의 인터 페이스를 통해 차상으로 전송되는 이동권한 등의 정보를 감시하고 모니터링하는 역할을 한다. 이를 위해 지상 계측설비는 지상ATP와 지상ATO, CTC, 연동장치, 레일절손검지장치와 인터페이스 되도록 다음과 같이 구성한다.



그림 143. 지상 종합계측설비 계측 인터페이스 구성도



그림 144. 지상 계측 항목

② 지상 계측 항목

지상 계측은 다음 구성도와 같은 정보를 송 · 수신하기 위해 이더넷 또는 시리얼 방식을 사용하고 지상장치 간 인터페이스 되는 항목을 계측하여 데이터를 저장하여 실시간으로 화면 표시 및 분석을 한다.

표 50. 지상 계측 항목

구분	인터페이스	주기	설명
1	지상ATP/ATO(N대) ↔ CTC	이벤트 발생시	지상ATP/ATO와 CTC 간 메시지 송/수신 이벤트 발생 시 취득
2	지상ATP/ATO ↔ 연동장치(M대)	500ms	지상ATP/ATO와 연동장치 간 주기적 송/수신 메시지 취득
3	연동장치(N대) ↔ 레일절손검지장치	500ms	연동장치와 레일절손검지장치 간 주기적 송/수신 메시지 취득
4	지상ATP/ATO ↔ 차상ATP/ATO	이벤트 발생시	지상ATP/ATO와 차상ATP/ATO 간 메시지 송/수신 이벤트 발생 시 취득
5	지상ATP/ATO ↔ 인접 지상ATP/ATO	이벤트 발생시	지상ATP/ATO와 인접 지상ATP/ATO 간 메시지 송/수신 이벤트 발생 시 취득

표 51. 지상 계측 인터페이스 항목

구분	인터페이스	주기	설명
1	지상ATP/ATO ↔ CTC	TCP/IP	Ethernet 10/100 4포트
2	지상ATP/ATO ↔ 연동장치	UDP/IP UNICAST	Ethernet 10/100 4포트
3	연동장치 ↔ 레일절손검지장치	UDP/IP UNICAST	Ethernet 10/100 4포트
4	지상ATP/ATO ↔ 차상ATP/ATO	TCP/IP	Ethernet 100/1000 2포트
5	지상ATP/ATO ↔ 인접 지상ATP/ATO	TCP/IP	Ethernet 10/100 4포트

표 52. 지상ATP/AT0 계측정보 수신 항목

구분	계측정보	방향
지상ATP 계측정보	열차 위치정보	지상ATP → 지상계측설비
	열차 운영모드 정보	
	열차 운영레벨 정보	
	열차 상태정보(열차무결성, 고장정보)	
	열차 이동권한정보(MA)	
	열차 번호	
지상ATO 계측정보	지상ATO 장비상태정보	지상ATO → 지상계측설비
	ATO프로파일정보(저니프로파일, 세그먼트프로파일)	
TMS(CTC) 계측정보	표준시간정보	TMS(CTC) → 지상계측설비
	임시속도제한 정보	
	열차 문자 전송 정보	
	RBC 상태정보	
	열차 데이터 정보	
	열차 위치 정보	
	열차 비상정지 설정 정보	
	이동권한 정보	
	ATO 관련 정보	
연동장치 계측정보	열차점유정보	연동장치 → 지상계측설비
	진로정보	
	시설물 상태정보	
	안전설비정보(지장물검지장치 등)	
레일절손검지장치 계측정보	레일절손정보	레일절손검지장치 → 지상계측설비
	레일절손검지장치 상태정보	

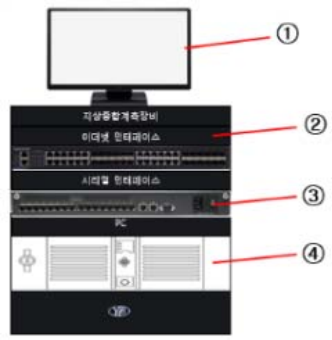
③ 지상 종합계측설비 하드웨어 설계

표 53. 지상 종합계측설비 하드웨어 구성 요구조건

순번	통신방식
1	실내 구축에 적합한 하드웨어 선정
2	외부 조건 및 운영 환경에 대한 내구성/신뢰도를 고려한 구성
3	장치운용의 효율성 및 시험자의 편의성을 고려한 구성
4	장치 간 인터페이스 및 통신방식을 고려한 하드웨어 구성

하드웨어 구성 요구조건에 따른 지상 종합계측설비 구성(안)은 다음과 같이 각 장치별 선택된 통신 방식에 따른 이더넷 및 시리얼 인터페이스 장비, 산업용컴퓨터, 모니터로 구성한다.

표 54. 지상 랙 구성 및 사양(안)



No.	Name	상세사양		기능
1	모니터	Size	24인치 Full HD	지상계측 화면
		해상도	60Hz에서 2560x1600	
2	이더넷	100/1000 이더넷 L3 스위치		이더넷 I/F
3	시리얼	RS-232, RS-422, RS-485		데이터 전송
4	산업용 컴퓨터	CPU	2.0GHz 이상	지상계측정보 모니터링 및 분석
		HDD	1TB 이상	
		RAM	16GB (8GB * 2)	
		운영체제	Window10	
5	소프트웨어	윈도우 기반 응용 프로그램		

④ 지상 종합계측설비 소프트웨어 설계

지상계측설비는 계측한 정보를 실시간으로 표시하기 위해 별도의 모니터링 콘솔을 사용하며 구간 내 열차 위치, 장비 접속상태, 진로, 이동권한 등 계측 정보 현시 화면은 다음 구성(안)과 같다.

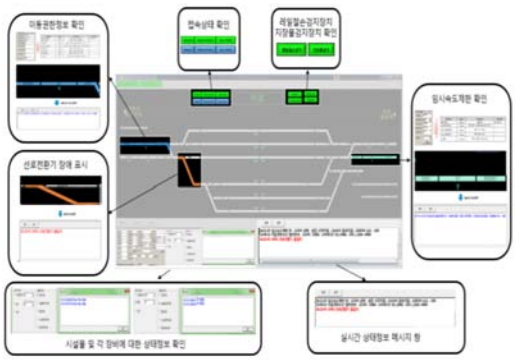


그림 145. 지상계측설비 화면 구성(안)

표 55. 정보 전송 상태 별 표시 상태(안)

정보	표시		
장비 상태 정보	정상 : 초록색	장애 : 빨간색	대기 : 파란색
이동권한 정보	파란색		
임시속도제한 정보	하늘색		
레일절손검지정보	정상 : 초록색	장애 : 빨간색	
지장물검지정보	정상 : 초록색	장애 : 빨간색	
선로전환기 정보	주황색		
실시간 상태정보 메시지	정상 : 검정색	장애 : 빨간색	
진로정보	알림 창으로 확인		
궤도정보	알림 창으로 확인		

지상계측설비와 통신하는 장비의 동작 상태를 확인한다. 일부 인터페이스 장비는 2중계로 구성되어 각각의 계에서 통신 2중계로 정보를 전송한다. 장치의 상태가 정상인 경우 녹색으로 표시하며, 장애 시 적색으로 표시한다. 대기계인 경우엔 파란색으로 표시한다.

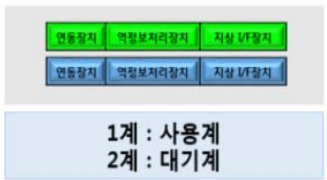


그림 146. 통신 2중계인 장치별 접속 상태



그림 147. 장치 간 접속 상태

열차 이동권한 정보에 대한 계측은 열차 선로에 다음과 같이 파란색으로 표시하며 임시속도 제한 정보에 대한 계측은 열차선로에 다음과 같은 하늘색으로 표시한다. 속도제한은 속도제한ID, 속도제한 설정 상태, 속도제한 시작/종료 지점, 속도제한 지점 허용 속도를 표시한다. 임시속도제한에 대한 정보 전송 시 메시지표시화면에 나타나도록 한다.

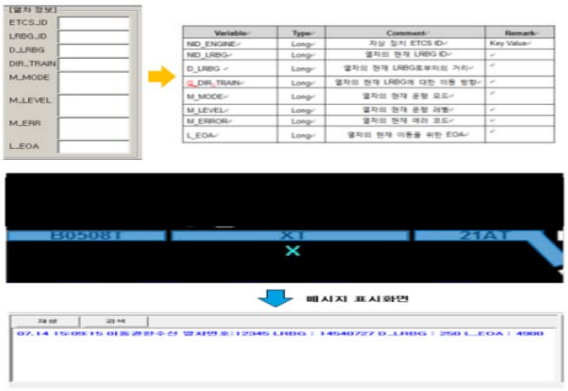


그림 148. 이동권한 정보 확인



그림 149. 임시속도제한 정보 확인

레일절손검지정보와 지장물 검지정보 계측시 정상일 경우 녹색으로 표시하고 장애일시 빨간색으로 표시한다. 선로 전환기 정보 계측은 열차선로에 다음과 같은 주황색으로 표시한다. 또한 선로전환기에 대한 정보 전송 시 메시지 표시화면에 나타나도록 한다.



그림 150. 레일절손검지정보 및 지장물검지정보 확인



그림 152. 선로전환기 정보확인

역 내의 진로정보 및 궤도정보는 하단의 메시지 창에서 확인한다.

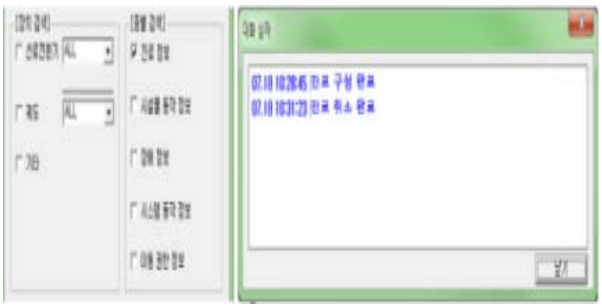


그림 153. 진로정보 확인

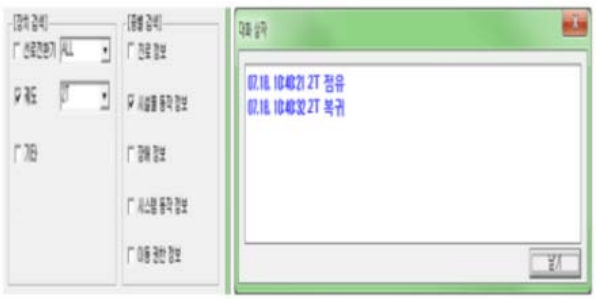


그림 154. 궤도 확인정보



그림 155. 종합계측설비 실제 화면 구성

표 56. 철도종합시험선 설계 및 도면(안)

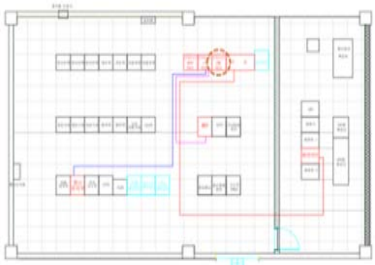
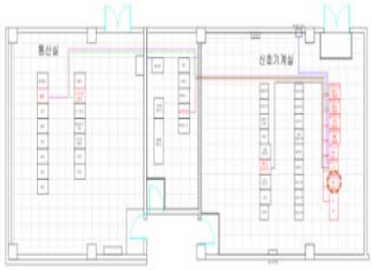
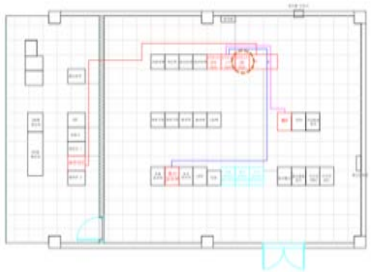
<table>
<tr><td colspan="2">구분</td><td>철도종합시험선</td></tr>
<tr><td>TS-02
신호/통신
기계실</td><td>시험
인프라
설계(안)</td><td> 
<table>
<tr><td>장비명</td><td>비고</td></tr>
<tr><td>ETCS L3 RBC</td><td>안전전송유닛 포함</td></tr>
<tr><td>ETCS L3 ATO</td><td></td></tr>
<tr><td>CTC 서버</td><td></td></tr>
<tr><td>ETCS L3 I/F</td><td>기존설비와
인터페이스용</td></tr>
<tr><td>레일절손검지장치</td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>TS-03
신호/통신
기계실</td><td>시험
인프라
설계(안)</td><td> 
<table>
<tr><td>장비명</td><td>비고</td></tr>
<tr><td>ETCS L3 I/F</td><td>기존설비와
인터페이스용</td></tr>
<tr><td>레일절손검지장치</td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>TS-04
신호/통신
기계실</td><td>시험
인프라
설계(안)</td><td> 
<table>
<tr><td>장비명</td><td>비고</td></tr>
<tr><td>ETCS L3 I/F</td><td>기존설비와
인터페이스용</td></tr>
<tr><td>레일절손검지장치</td><td></td></tr>
</table></td></tr>
</table>

표 57. 호남고속선 시험인프라 기본설계(안) 및 도면

<table>
<tr><td>구분</td><td></td><td>호남고속선</td></tr>
<tr><td>신호
기계실</td><td>시험
인프라
설계(안)</td><td> 
<table>
<tr><td>장비명</td><td>비고</td></tr>
<tr><td>ETCS L3 RBC</td><td>안전전송유닛 포함</td></tr>
<tr><td>ETCS L3 ATO</td><td></td></tr>
<tr><td>CTC 서버</td><td></td></tr>
<tr><td>ETCS L3 I/F</td><td>기존설비와
인터페이스용</td></tr>
<tr><td>레일절손검지장치</td><td></td></tr>
<tr><td>시험용 콘솔데스크</td><td>각종 모니터링용</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

(나) 차상 종합계측설비 설계

① 차상 종합계측설비 인터페이스 구성도

지상장치가 차상장치와 열차제어 메시지를 송·수신 할 때 차상장치에서 기록하는 JRU 메시지를 통해 지상 및 차상과의 메시지 및 로그 데이터를 확보한다. 이때 메시지 송·수신 정보 및 차상장치가 기관사에게 정보를 현시하기 위한 DMI 화면 정보 등을 취합하여 시험결과의 확인 및 검증, 분석을 수행 할 수 있도록 구성한다.

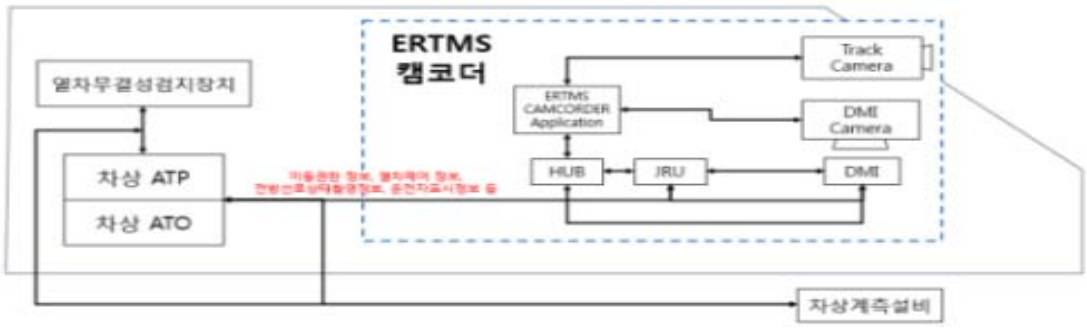


그림 156. 차상계측설비 인터페이스 구성도

표 58. 계측 항목 별 통신방식(안)

계측 항목	통신방식
현재속도정보	이더넷
열차위치정보	이더넷
무선접속정보	이더넷
외부선로상태정보	시리얼/이더넷
레벨 전환	이더넷
RBC 핸드오버	이더넷
열차무결성검지정보	시리얼/이더넷
ATO프로파일 (저니프로파일, 세그먼트프로파일)	

표 59. 차상ATP/ATO 계측정보 수신 항목

구분	계측정보	방향
차상ATP/ATO 계측정보	현재속도 정보	차상계측설비↔차상 ATP/ATO
	이동권한 정보	
	열차제어 정보	
	레벨전환정보	
	전방선로상태촬영정보	
	발리스 정보 판독 및 열차 위치정보	
	운전자표시정보	
	외부선로상태정보	
	ATO프로파일정보 (저니프로파일, 세그먼트프로파일)	
열차무결성검지장치 계측정보	열차 인터페이스 신호	차상계측설비↔열차무결성검지장치

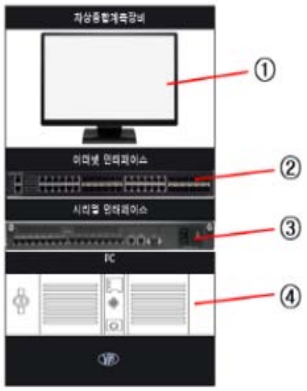
② 차상 종합계측설비 하드웨어 설계

표 60. 차상 종합계측설비 하드웨어 구성 요구조건

순번	통신방식
1	차상에 탑재시 흔들림 방지에 적합한 하드웨어 선정
2	외부 조건 및 운영 환경에 대한 내구성/신뢰도 고려
3	장치운용의 효율성 및 시험자의 편의성 고려
4	인터페이스 되는 장치 간 통신방식에 맞는 하드웨어 고려

하드웨어 구성 요구조건에 따른 지상 종합계측설비 구성(안)은 다음과 같이 각 장치별 선택된 통신 방식에 따른 이더넷 및 시리얼 인터페이스 장비, 산업용컴퓨터, 모니터로 구성한다.

표 61. 지상 랙 구성 및 사양(안)

<table>
<tr><td rowspan="8"> 
</td><td>No.</td><td>Name</td><td colspan="2">상세사양</td><td>기능</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">모니터</td><td>Size</td><td>24인치 Full HD</td><td rowspan="2">차상계측 화면 처리</td></tr>
<tr><td>해상도</td><td>60Hz에서 2560x1600</td></tr>
<tr><td>2</td><td>이더넷 인터페이스</td><td colspan="2">100/1000 이더넷, 입력포트, L3 스위치</td><td>IP주소를 읽어 스위칭</td></tr>
<tr><td>3</td><td>시리얼 인터페이스</td><td colspan="2">RS-232, RS-422, RS-485</td><td>데이터 전송을 위한 인터페이스</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4</td><td rowspan="4">산업용 컴퓨터</td><td>CPU</td><td>Dual core 2.0GHz</td><td rowspan="4">차상계측정보 감시 및 모니터링</td></tr>
<tr><td>RAM</td><td>16GB (8GB * 2)</td></tr>
<tr><td>HDD</td><td>1TB * 2(RAID 1)</td></tr>
<tr><td>운영체제</td><td>Window XP</td></tr>
</table>

차상계측설비는 열차 전방, DMI 화면을 녹화하고 열차관련 정보를 수집, 저장 등을 위한 장치인 JRU와의 인터페이스하여 차상에서 발생한 이벤트 정보를 취득한다. 종합성능시험에서 송·수신하는 정보를 계측하기 위한 차상계측설비는 화면 구성은 다음과 같다.

표 62. 정보 전송 별 표시 상태

<table>
<tr><td rowspan="9"> 
</td><td>정보</td><td>표시</td></tr>
<tr><td>카메라 정보</td><td>Track을 통해 확인</td></tr>
<tr><td>DMI장치 촬영 정보</td><td>DMI를 통해 확인</td></tr>
<tr><td>열차 상태 정보</td><td>Event list를 통해 확인</td></tr>
<tr><td>현재속도 정보</td><td>Speed Graph를 통해 확인</td></tr>
<tr><td>열차 위치 정보</td><td>Track Map, Event list를 통해 확인</td></tr>
<tr><td>레벨전환정보</td><td>Track Map, Event list를 통해 확인</td></tr>
<tr><td>RBC 핸드오버정보</td><td>Track Map, Event list를 통해 확인</td></tr>
<tr><td>열차무결성검지 정보</td><td>Event list를 통해 확인</td></tr>
</table>

다. 시험열차 개조 설계 수립

(1) 시험열차 선정(안) 수립

(가) 시험열차 선정을 위한 현차조사

표 63. 시험열차 선정을 위한 현차조사

구분	현차 조사	
HEMU-430X	 [운전실 신호장치 조사]	 [운전실]
KTX-1	 [KTX-1 운전실]	 [도플러레이더]
KTX-산천	 [KTX-산천 차상신호설비]	 [KTX-산천 제동장치 및 자동장치 기록계 조사]
DL 7500대	 [DL 7580대 외관]	 [7580대 차량 하부]
과천선 전동차	 [전동차 외관]	 [전동차 운전실]

(나) 시험열차 차종별 주요 제원 분석

표 64. 시험열차 차종별 주요 제원

구분	EMU-320	KTX-1	KTX-산천
설계최고속도	352 km/h	330 km/h	330 km/h
차량편성	8-car/train set	20-car/train set	10-car/train set
가속도	2.0 m/s^2	0.47 m/s^2	0.5 m/s^2
궤간	1,435 mm	1,435 mm	1,435 mm
차량 전원	AC 27.5 kV	AC 27.5 kV	AC 25 kV
차체 재질	Aluminum	Mild steel	동력차 : Mild steel 객차 : Aluminum
편성 정원	515명	935 명	515명
신호시스템	ATC, ATS, ATP	ATC, ATS, ATP	ATC, ATS, ATP
주행대차	Bolster-less type	Bolster-less type	Bolster-less type
동력방식	동력분산식	동력분산식	동력집중식
제동시스템	전공협조 제동시스템	전공협조 제동시스템	전공협조 제동시스템
출입문	Single leaf plug-in door	Single leaf plug-in door	Single leaf plug-in door

(다) 시험열차 선정(안) 수립

표 65. ETCS L3급 시험열차 선정(안) 검토 결과

구분	EMU-300	HEMU-430X	KTX-I(KTX-산천)
설계 최고속도	352km/h	430km/h	330km/h(330km/h)
차량편성	8-car/train set	6-car/train set	20-car/train set
신호 시스템	ATC / ATP / ATS	ATC / ATP / ATS	ATC / ATP / ATS (ATC / ATP / ATS)
동력방식	동력분산식	동력분산식	동력집중식
가속도	2.0m/s^2	0.5m/s^2	0.47m/s^2 (0.5m/s^2)
제작년도	2021년	2012년	1998년(2008년)
운행현황	영업열차(예정)	시험열차	영업열차
검토 결과	제작 중이므로 설계 반영이 어려움 수십억 원의 개조/복구 및 영업 손실 비용 발생 철도안전법 정밀검토 필요 차량 설계상 350km/h 주행 불가	현재 열차 노후화로 300km/h 이상 주행을 위한 안전성 검증 필요	수십억 원의 개조/복구 및 영업 손실 비용 발생 철도안전법의 정밀검토 필요 차량 설계상 350km/h 주행 불가

(라) 시험열차 운영비 산출

① KTX 시험열차 운영비 산출(안)

표 66. KTX 사용료 기준

열차구분 (단위 : 량)	시간당사용료 (단위 : 원)	차량 수 (단위 : 량)	1일(24시간) 사용료 (단위 : 원)
KTX-1	158,908	20	76,275,840
KTX-산천	149,335	20	71,680,800

KTX사용료 기준을 참고하여 1개 컨소시엄社의 시험 소요기간을 약 3개월인 93일로 가정하였고 3개 컨소시엄社의 시험열차 운영비를 아래와 같이 산출하였다. 단 예상비용에는 시험열차 인터페이스 구축 비용과 구축 기간은 포함되지 않는다.

표 67. KTX 시험열차 운영비 산출 내역

열차 구분	산출방식 (1일 사용료 × 사용일수 × 컨소시엄社 갯수)	예상비용
KTX-1	76,275,840원 × 93일 × 3개社	21,280,959,360원
KTX-산천	71,680,800원 × 93일 × 3개社	19,998,943,200원

② HEMU-430X 시험열차 운영비 산출(안)

표 68. HEMU-430X 사용료 기준

열차구분	차량 수 (단위 : 량)	1년 사용료(협약 방식) (단위 : 원)
HEMU-430X	6	2,724,000,000
※ 세부 업무 사항 및 진행에 따라 사용료는 변동 될 수 있음		

표 69. HEMU-430X 시험열차 운영비 산출 내역

열차 구분	산출방식 (1년 사용료 × 사용일수/365일 × 컨소시엄社 갯수)	예상비용
HEMU-430X	$76,275,840원 \times \frac{93일}{365일} \times 3개社$	2,082,180,822원

(2) 시험열차 개조 설계

(가) ETCS L3 ATP/ATO 차량 인터페이스 분석

ETCS L3급 열차제어시스템의 GoA2 방식 자동운행을 고려하고 있으며 이에 근거하여 요구되는 ATO의 핵심 인터페이스를 다음과 같이 분류할 수 있다.

표 70. 시험열차 ATO 핵심 인터페이스

순번	핵심 인터페이스	관련 모듈
1	ATO 속도프로파일 계산	ATO 프로파일에 따른 열차 자동주행 제어 모듈
2	열차 가감속 제어	ATP-ATO 인터페이스 모듈
3	역 정위치 정차 및 출발	정위치 정차 처리 모듈 ATO 정위치 정차점 계산 및 프로파일 생성을 위한 모듈

(나) 시험열차 기존 인터페이스 분석

① KTX 시험열차 차상장치 인터페이스 분석 및 설계

KTX의 차상장치 ATP시스템은 Cold Standby 방식의 2중계로 구성된다. 각 하위 모듈은 전원

(DC72V), 디지털입출력, MVB, 텔레파워링, 펄스 인터페이스로 연계되어 있다. 각 모듈별 송수신 정보는 다음 구성도와 같다.

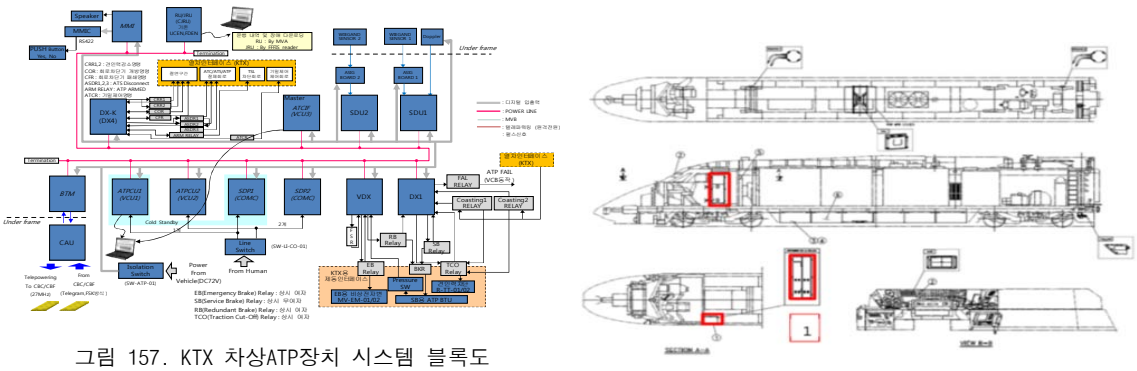


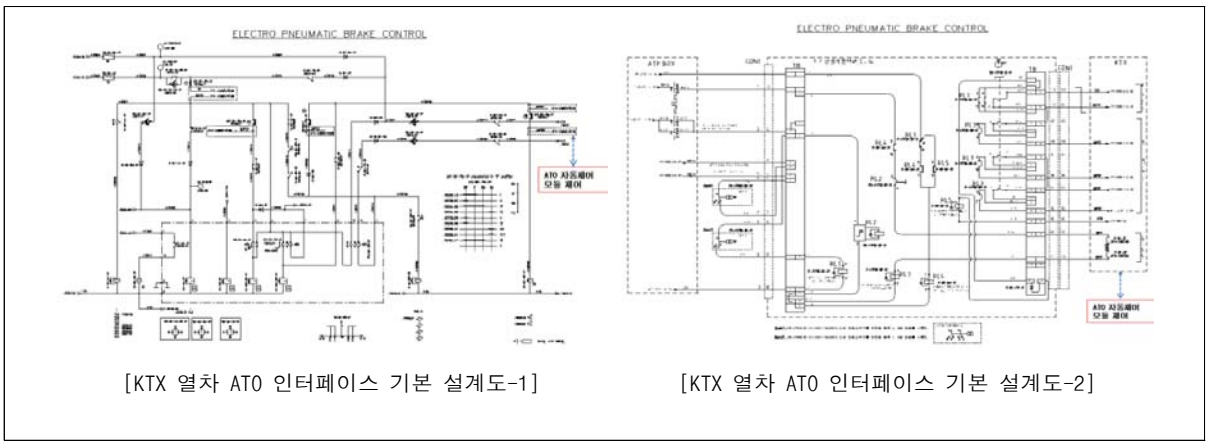
그림 157. KTX 차상ATP장치 시스템 블록도

표 71. KTX 차상ATP장치 주요 모듈별 인터페이스 항목

구분	DX-K(DX4) 모듈	제동 모듈
인터페이스 항목	CRR1,2 : 견인력감소명령 COR : 회로차단기 개방명령 CFR : 회로차단기 패쇄명령 ASDR1,2,3 : ATS Disconnect ARM RELAY : ATP ARMED ATCR : 기밀제어명령	EB(Emergency Brake) Relay : 상시 여자 SB(Service Brake) Relay : 상시 무여자 RB(Redundant Brake) Relay : 상시 여자 TCO(Traction Cut-Off) Relay : 상시 여자

KTX의 ATO 자동제어 모듈은 아래 도면과 같이 기존 차량의 전기 공기압 제동 제어부에 결선하는 방식으로 설계하였다. 하지만 KTX의 기존 신호 시스템인 TVM430과의 인터페이스가 필요하므로 최종 시험열차로 선정시 차상신호설비의 전체 개조가 필요할 수 있다.

표 72. KTX 시험열차 인터페이스 기본 설계



[KTX 열차 ATO 인터페이스 기본 설계도-1]

[KTX 열차 ATO 인터페이스 기본 설계도-2]

표 73. KTX ETCS L3급 장치 설치 방안

구분	설치 방안
신규 차상신호 장치	동력실에는 기존 ATP제어함 설치 위치를 제외하고 신규설치 대상인 L3 장치들을 설치할 여유 공간이 없으므로 L3 장치는 기존 L1 장치를 탈거 후 통합형 랙으로 설치한다. 필수 인터페이스 배선 및 KTX 특정인터페이스 배선 루트는 동력차내 기존 ATP에서 설치한 인터페이스 배선(LV72) 및 중간 커넥터(CF-ATP-02, 03)를 활용해서 연결한다. (활용할 수 있는 배선 및 탈거되어야 할 배선은 상세 검토 필요)
DMI	현재의 제어대를 개조하여 DMI를 설치할 공간을 확보한다.
주행계, 발리스 안테나	주행계시스템은 기존 ATP DRS05 도플러(펄스출력) 및 페블리 위건드센서(2채널) 사용하며 연결 케이블은 동일한 배선을 활용한다. 발리스안테나(1개)는 기존 ATP L1 CAU 탈거 후 동일위치에 설치한다. (케이블은 기존과 동일한 루트로 신규포설 필요함_천공불필요)
기타	ETCS L3급 인터페이스 장치 및 종합계측설비 구축을 위해 객차를 추가 및 의자 탈거를 통한 공간 확보가 필요하다. 해당 장비의 배치는 HEMU-430X의 배치 구성과 동일하다.

② KTX-산천 시험열차 차상장치 인터페이스 분석 및 설계

KTX-산천의 차상장치 시스템은 아래 구성도와 같이 ATS 안테나, TVM 센서, BTM, 도플러레이더, 위건드 센서, DMI 등의 하위 모듈과 인터페이스 한다. 각 모듈은 MVB, PROFIBUS, RS422, RS485 시리얼 방식으로 인터페이스 하며 각 모듈별 송수신 정보는 다음 구성도와 같다.

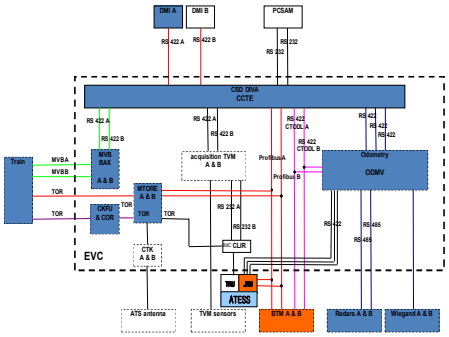


그림 158. KTX-산천 차상신호 시스템 블록도

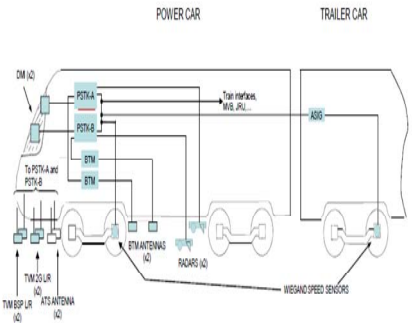
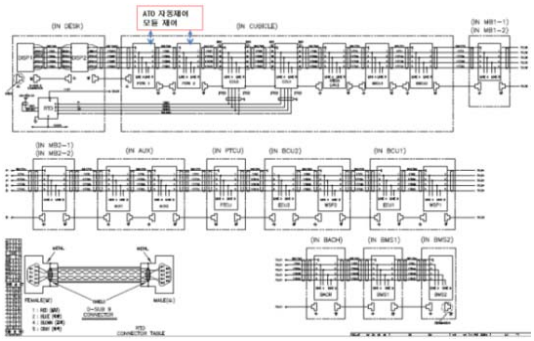


그림 159. KTX-산천 차상ATP 구성도

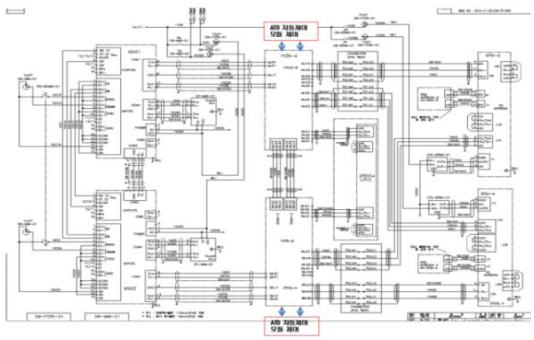
표 74. KTX-산천 PSTK 보드별 기능 설명

PSTK board	Function
CBOP	메모리 보드 (Memory board)
ACSDV	전원공급 보드 (Power supply)
CCTE	CPU보드 (Safety Critical Computer)
ODMV	속도 및 거리측정 보드 (Odometer module)
CTVMS	CCTE 보드와 TVM (CRNB,CDP CTP)보드간 Interface (TVM signal treatment board)
CRNB 60	TVM연속정보감지 보드 (TVM continuous signal detection board)
CTP	TVM 테스트 보드 (TVM Test board)
CDP	TVM 불연속정보(ITL) 관리보드 (TVM ITL signal treatment board)
CTK	ATS주파수 감지보드 (ATS frequency detection)
COR4-4	계전기 보드 (Interface digital outputs between MTORE and the train)
COR4-5	계전기 보드 (Interface digital outputs between MTORE and the train)
CKFU	비상제동 회로 관련 보드(Interface for safety critical outputs between MTORE and the train)
MTORE	입-출력 보드 (Input and output module)
COR 6U	계전기 보드 (Interface digital outputs between MTORE and the train)
CLIR	CCTE와 TRU연결보드 (Interface for TRU)

표 75. KTX-산천 시험열차 인터페이스 기본 설계



[KTX-산천 ATO 인터페이스 기본 설계]



[KTX-산천 ATO 인터페이스 기본 설계]

③ HEMU-430X 시험열차 차상장치 인터페이스 분석 및 설계

HEMU-430X의 통합차상신호시스템은 MMI, 차상신호장치제어기, 연속 안테나, 불연속 안테나, BTM, 발리스 안테나, ATS 차상자로 구성된 시스템으로 통합된 구조를 가지고 있다.

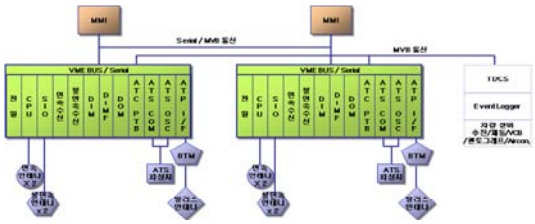


그림 160. HEMU-430X 차상 시스템 구성도

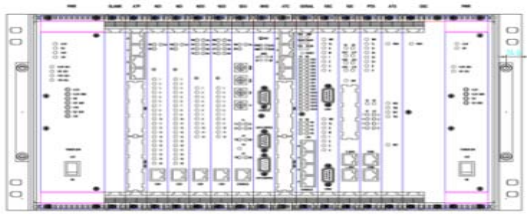
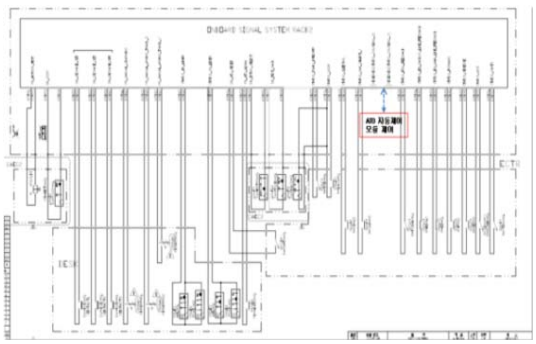


그림 161. HEMU-430X 차상제어장치

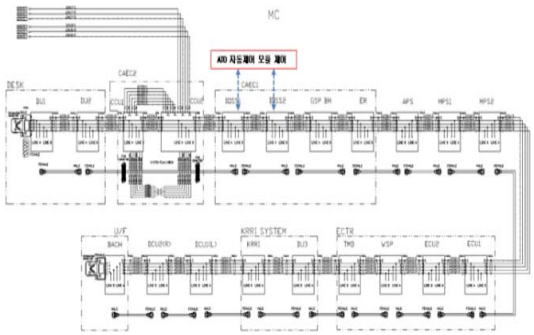
표 76. HEMU-430X 차상 부품별 구성 수량

순번	부품명	단위 명칭	수량	용도
1	차상신호장치제어기	SET	2	신호 제어용
2	MMI	EA	2	모니터
3	연속안테나	EA	4	연속신호 수신
4	불연속안테나	EA	4	불연속신호 수신
5	BTM	EA	2	발리스 수신
6	발리스안테나	EA	2	발리스 수신
7	ATS차상자	EA	2	ATS 수신

표 77. HEMU-430X 시험열차 인터페이스 기본 설계



[HEMU-430X 열차 ATO 제어모듈 인터페이스 기본 설계도]



[HEMU-430X 열차 ATO 제어모듈 IOSS 인터페이스 기본 설계도]

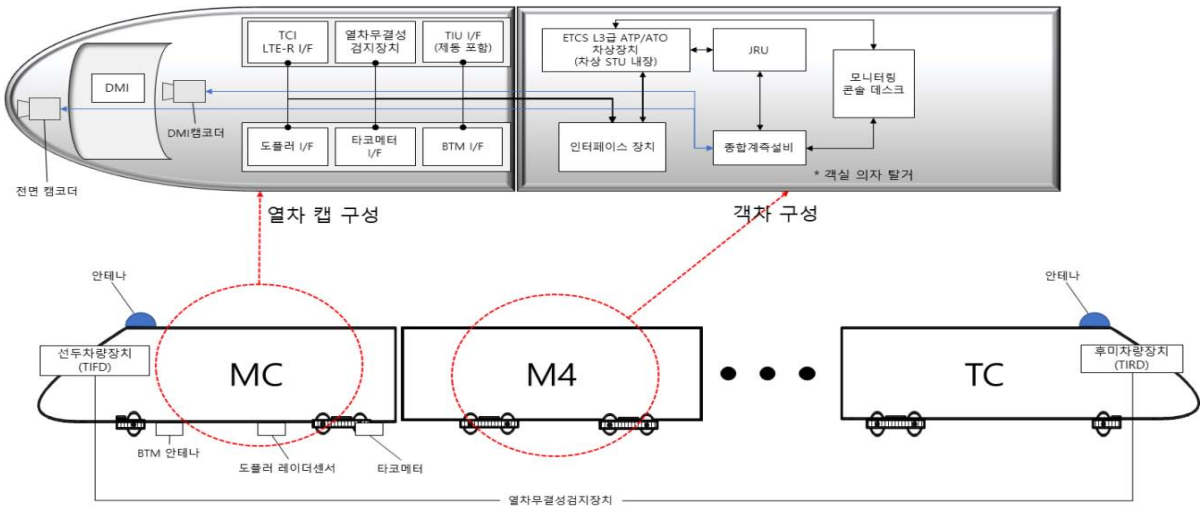


그림 162. HEMU-430X L3급 장치 구축 구성(안)

표 78. HEMUO-430X ETCS L3급 장치 설치 방안

구분	설치 방안
신규 차상신호 장치	동력실 및 운전실의 기존 차상 신호 장치 인터페이스를 해체 하고, M4 차량 객실 의자를 철거한 위치에 ETCS L3급 차상장치를 통합형으로 설치한다. 필수 인터페이스 배선 및 특정인터페이스 배선 루트는 동력차내 기존 ATP에서 설치한 인터페이스 배선(LV72) 및 중간 커넥터를 활용해서 연결한다. (활용 가능 배선 및 해체할 배선 관련 상세 검토 및 설계 필요)
DMI	운전실 내 신규 L3 DMI 설치 공간이 부족할 경우 기존 DMI 탈거 후 L3 DMI 설치한다. 신규 DMI용 케이블은 기존 DMI 케이블을 활용한다.
추가설비	TC와 MC 운전석 뒤편 선반의 공간을 활용하여 LTE-R 인터페이스 설비와 열차무결성검지장치를 설치한다. 해당 장치와 ETCS L3급 차상신호장치 간 인터페이스를 위해 M4차량으로 케이블을 포설한다. LTE-R 인터페이스용 안테나는 TC와 MC 차량 상부에 고속차량 전용으로 설치하고 LTE-R 인터페이스 설비까지 케이블을 포설한다.
주행계 시스템	주행계시스템은 기존 장치를 사용하여 연결 케이블 또는 동일한 배선을 활용하여 기존 CAU 탈거 후 동일위치에 설치한다. (케이블은 기존과 동일한 경로로 신규포설 필요, 천공 불필요)
BTM	기존 설치된 BTM 안테나를 철거하고 신규 BTM을 설치한다. 기존 안테나 케이블은 유지하고 ETCS L3급 전용 케이블을 포설하여 인터페이스한다.
종합 계측설비	차상 종합계측설비용 DMI 카메라는 운전석 데스크 DMI 전면에 설치 및 고정한다. 전면 녹화용 카메라는 기관사의 시야를 가리지 않도록 기관실 상부에 설치하여 고정한다. 인터페이스를 분리하여 M4객차의 인터페이스 장치로 연결한다. 신규 차상장치는 인터페이스 장치를 통해 열차의 TIU 신호를 제어한다.

(2) 시험 운전을 위한 추가 설계

(가) EMU-320 운행 시험을 위한 시험 구성 설계

HEMU-430X의 운행 불가에 따라 호남고속선 고속시험을 수행하기 위해 시험장치를 차세대 전동차 EMU-320 객실에 구축하는 방안은 다음 구성도와 같다.

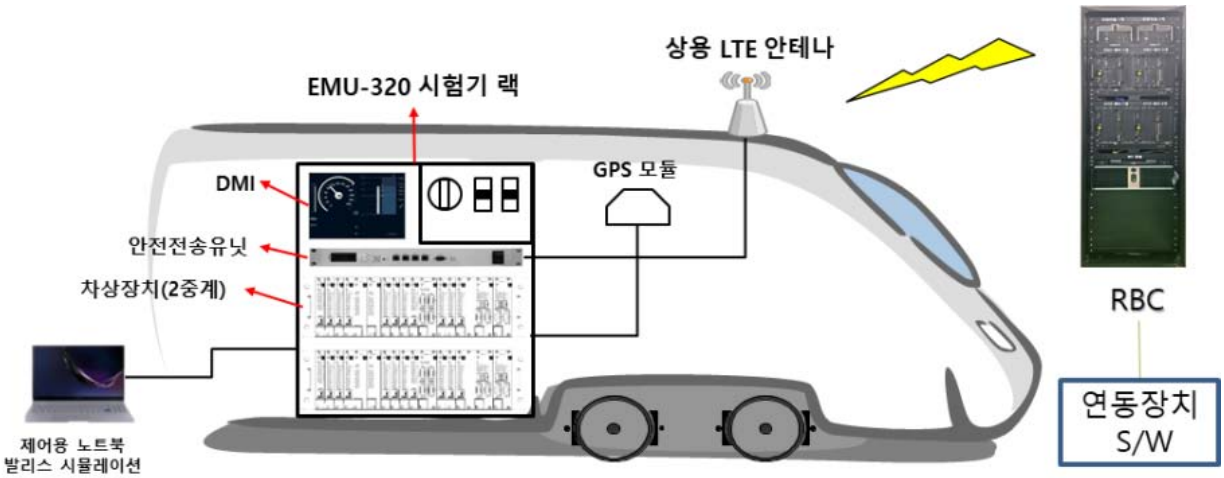


그림 163. EMU-320 L3급 장치 구축 구성(안)

표 79. EMU-320 ETCS L3급 시험용 탑재 항목

구성품	시험차량 설치	휴대용시작품	비고
차상컴퓨터장치	이중계(1계, 2계)	이중계(1계, 2계)	
기관사 표시장치	개발제품	개발제품	
암호전송모듈	개발제품	개발제품	
발리스 전송모듈	개발제품	시뮬레이터	발리스 정보
속도계	판매제품	시뮬레이터	속도 정보

표 80. EMU-320 ETCS L3급 시험장치 설치 방안

순번	내용	비고
1	동력실 내 여유공간 혹은 객실 내 시험기랙 설치	바닥 타공을 제외한 고정방식 사용
2	사용 LTE 망을 사용하여 RBC와 인터페이스	STU와 LTE 휴대단말 연동
3	GPS 모듈을 설치하여 열차속도, 이동거리 정보 수신	터널 등에서는 음영 지역 내 기존 속도 유지

(나) 이동폐색 시험을 위한 전방 차량 설계

오송철도종합시험선에서 L3 이동폐색 기능 구현 시험을 위해 L3 차상장치가 탑재된 차량 전방에 운행하는 위치보고용 차량의 추가 설계를 수행하였다.

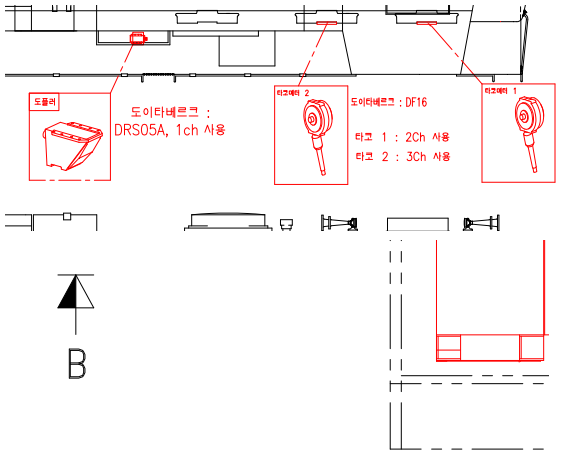


그림 164. DL7500대형 장치 배치도(1안)

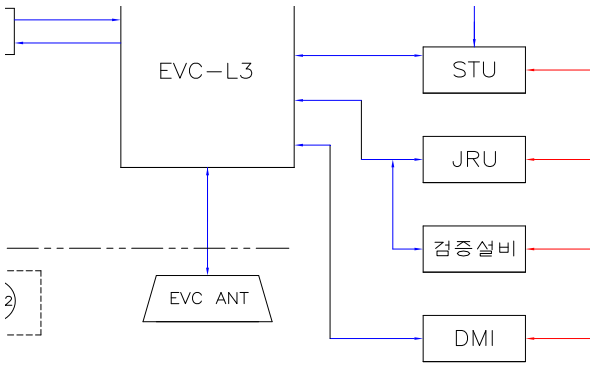


그림 165. DL7500대형 장치 간 인터페이스

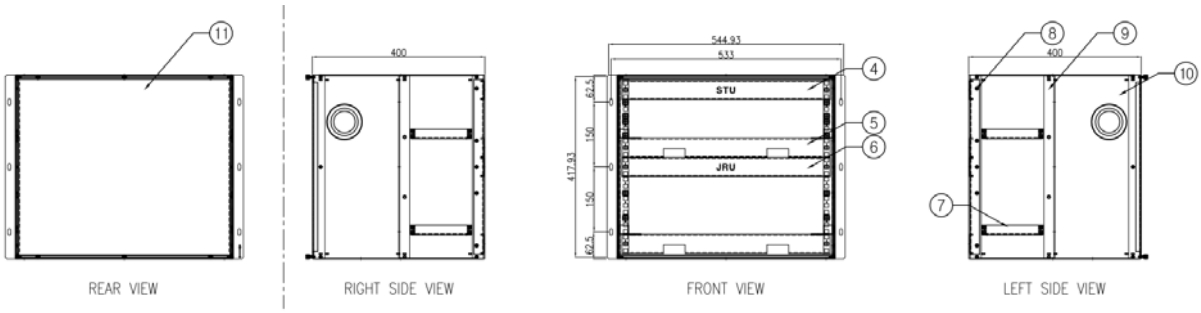


그림 166. 위치보고용 차량 내부 랙 설계(안)

표 81. 위치보고용 차량 내부 탑재 항목

구성품	시험차량 설치	기능	비고
위치보고용 차상장치 시뮬레이터	단일계	위치보고용 시뮬레이션	19인치 랙 타입
암호전송모듈	개발제품	위치보고메시지 송신	
GPS	판매제품	속도 및 위치 계산용	

표 82. EMU-320 ETCS L3급 시험장치 설치 방안

순번	내용	비고
1	보조기관사 의자 탈거	임시 탈거
2	위치보고용 시뮬레이터 설치용 랙 설치	19인치 (10U 이내)
3	GPS 모듈을 설치하여 열차속도, 이동거리 정보 수신	음영 지역 내 기존 속도 유지

(다) ETCS L3 ATP/ATO 탑재 전동차 설계

오송철도종합시험선에서 L3 이동폐색 기능 구현 시험을 위해 L3 차상장치가 탑재된 차량의 추가 설계를 수행하였다.

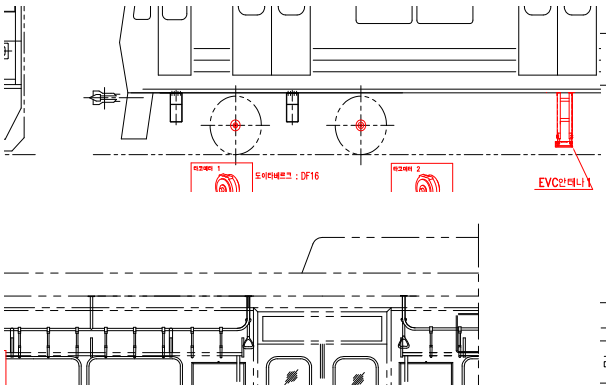


그림 167. 과천선 전동차 장비 배치도(1안)

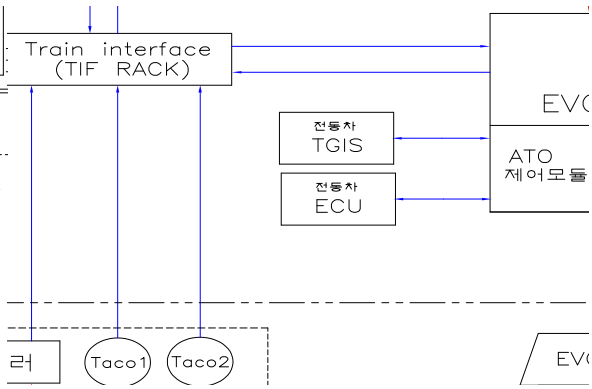


그림 168. 전동차량 차상장치 블록도

표 83. 위치보고용 차량 내부 탑재 항목

순번	부품명	단위	수량	용도	비고
1	ETCS L3 통합장치	SET	1	신호 제어용	신규
2	DMI	EA	1	모니터	신규
3	TCMS	EA	1	열차제어감시장치	기존
4	JRU	EA	1	법적기록장치	신규
5	무선통신모듈(LTE-R)	EA	1	발리스 수신	신규
6	BTM안테나	EA	1	발리스 수신	신규
7	ATS차상자	EA	1	ATS 수신	기존
9	KTCS-1(ATP/ATO)장치	SET	1	STM인터페이스 (ATO기능구현)	기존

(라) 시험차량 개조 비용 및 기간 산출(안)

KTCS-3 열차제어시스템의 실용화 연구 시 오송철도종합시험선에서의 현차 시험을 위해 시험차량 선두차와 후위차가 필요하며 컨소시엄에 따라 후위차는 최대 3회 개조 복구가 필요하다. 이에 해당하는 시험 차량 개조 비용 산출(안)은 다음과 같다.

표 84. 실용화 연구 차량 개조 및 비용 산출(안)

구분	시험차량 선두차 (1회)	시험차량 후위차 (3회)
시험차량 형식	디젤 7500대형 (L1 ATP 미설치차량, 공단배속)	과천선 전동차 1편성 (폐차예정 차량), TC car 1대만 개조설계
개조설계 비용	1.5억원	2.0억원
	차량과 L3 장치간의 제동인터페이스 설계 제외	과천선 TGIS와 L3 차상 인터페이스 설계 제외
설계 기간	6개월 (관계사 장치도면 입수 후)	8개월 (관계사 장치도면 입수 후)
순수 시공 및 복구 비용	1.0억원 (설치기간 : 1주일, 복구기간 : 3일)	2.0억원 (3회 기준) (설치기간 : 1주일, 복구기간 : 3일)
설치 자재 비용	0.5억원	0.8억원
	타코 및 도플러 비용 제외 (제동장치 추가시 0.3억 추가)	타코 및 도플러 비용 제외
자재 준비 기간	2개월	2개월
총 예상비용	3억원	4.8억 (TC1, TC2 2대 적용시는 5.5억원)

2.3. 연구 결과

구분	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2018)	종합성능시험 계획 및 운행제어기술 개발	요구사항 조사 분석	· 개발요구사항 조사 분석	· 개발요구사항 조사 분석 보고서
			· 시스템 간 인터페이스 조사	· 시스템 간 인터페이스 조사 보고서
	열차무결성 검지장치 기술 개발	요구사항 조사 분석	· 열차무결성 검지장치 요구사항 조사 분석	· 열차무결성 검지장치 사용자 요구사항 보고서
			· 열차무결성 검지장치 요구사항 특허 작성	· 열차무결성 검지장치 관련 특허 1건 출원
			· 열차무결성 검지장치 요구사항 논문 작성	· 열차무결성 검지장치 관련 논문 1건 게재
	실시간 열차운행관제 기술 개발	이동폐색을 지원하는 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어 요구사항 분석	· 관제설비(CTC) 시스템 분석 · 관제설비(서버, 콘솔, DLP 등) 성능 · 기능 분석 · 관제설비와 현장장치의 인터페이스 분석 · 열차위치정보 오차 보정을 위한 요구사항 분석 · 열차별 송수신 DATA 분석 · 열차 정시성 확보를 위한 요구사항 분석 · 열차 운행현황 및 스케줄 분석	· 타관제설비 분석 보고서 · 요구사항 정의 보고서 · 요구사항 분석 보고서 · 열차정시성 분석 보고서 · 특허 출원 1건
	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	시험인프라 요구사항 조사 및 분석	· 시험인프라 요구사항 조사	· ETCS Level 1, Level 2, Level 3 요구사항 및 시험인프라 조사 · KTCS-1, KTCS-2 요구사항 조사
			· 시험인프라 요구사항 분석	· 요구사항 조사 내용의 분석 및 검토 · 기존 신호설비와의 인터페이스 분석
		시험선로 선정(안) 수립 및 기본 설계	· 시험선로 선정(안) 수립	· 요구사항 분석/검토 결과 시험선로 선정(안) 수립
			· 시험선로 기본 설계	· 시험선 구간 및 장비 설치위치 기본 설계

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2019)	종합성능시험 기본계획 수립	개발목표 및 기능점검 정의	- 열차제어시스템 개발사양 조사 분석	· 열차제어시스템 개발사양 조사 분석 보고서 · 하부시스템 성능 및 개발 목표 정의 보고서
			- 하부시스템 성능 및 개발 목표 정의	
	열차무결성 검지장치 설계 및 시작품 개발	기능규격 및 성능규격	- 기능규격서	· 기능 및 성능 규격서 · 인터페이스 규격서 · 검지장치 시스템 설계서 · 시험 절차서 · 특허 출원 1건 · 논문 발표 2건 · 시제품 1건
			- 인터페이스 규격서	
		시제품 제작	- 검지장치 시스템 설계서	
			- 시제품 제작	
	실시간 열차운행관제 기술 개발	요구사항 개념 설계	- 관제설비(CTC) 시스템 구성 개념 설계 - 관제설비의 성능 및 기능 설계 - 관제설비와 현장장치(EI, RBC, ATO)와의 인터페이스 설계	· 요구사항 개념 설계 보고서 · 제어장치관리 설계 보고서 · 특허 출원 1건 · 논문 게재 1건
		제어관리 장치 설계	- 관제설비를 구성하는 각 장치별 기능설계 - 관제설비를 구성하는 각 장치간 인터페이스 설계 - 외부전문가 자문(설계 검증)	
	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	시험인프라 인터페이스 종합계측설비 기본 설계	- 시험인프라 인터페이스 기본설계 자료 조사	· 시험인프라 인터페이스 기본설계서 · 종합계측설비 기본설계서 · 시험열차 선정(안) 수립서 · 시험열차 기본설계서 · 논문 발표 1건
			- 종합계측설비 기본설계 자료 조사	
		시험열차 선정(안) 수립 및 개조 기본 설계	- 시험열차 선정(안) 수립 자료 조사	
			- 기본설계 자료 조사	

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2020)	종합성능시험 기본계획 수립	기본계획 수립	- 단계별 성능검사 절차 수립 - 종합성능기본계획 수립	보고서 2건
	열차무결성 검지장치 설계 및 시작품 개발	실내시험 현차시험	- 단위시험 검증 - 시험방법 및 계획 수립 - 시험 성능검증 - 현장설치 및 시험	보고서 4건 논문(발표) 1건 논문(게재) 1건 소프트웨어 4건 특허(출원) 2건
	실시간 열차운행관제 기술 개발	시험계획서 작성	- 시험항목 및 결과판정 기준서 작성 - 시험 절차서 작성	보고서 2건 특허(출원) 1건 특허(등록) 2건
	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	시험인프라 인터페이스 종합계측설비 상세설 시험열차 개조 인터페이스	- 시험인프라 인터페이스 상세설계 - 종합계측설비 상세설계 - 시험열차 개조 인터페이스 설계	보고서(설계서) 3건 논문(발표) 1건

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 [1세부]

[1차년도 : 2018]

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	실적목표
					질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중치 (%)			
1	열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발	1-1	시스템 통합 및 사양개발	①	개발요구사항 조사 및 분석 (분석서 작성여부)	1건	분석서 작성여부	전문가 평가	5	국가철도공단	107	논문발표: 2 건 기타 : 홍보 2건
				②	하부시스템 개발 요구사항 작성 (사양서 작성여부)	1건	사양서 작성여부	전문가 계량평가	10			
				③	제/개정이 필요한 기술기준 및 규격 조사 (조사서 작성여부)	1건	조사서 작성여부	전문가 평가	10			
		1-2	레일절손 검지기술 개발	①	요구사항 분석서	1건	분석서	분석서 작성여부	10	한국철도기술연구원	90	특허 : 출원 1 건
					기본 설계서	1건	보고서	보고서 작성여부	15			
		1-3	열차진로제어 기술 개발	①	요구사항 분석 및 개념 설계	1건	설계서 작성여부	전문가 계량평가	15	철도신호사업연구조합	123	
				②	연구결과 활용 방안 도출	1건	도출 보고서 작성여부	전문가 계량평가	10			
		1-4	열차제어시스템용 무선통신망 요구사항서	①	요구사항 정의서	1건	정의서 작성여부	전문가 계량평가	10	한국전자통신연구원	116	논문발표 : 1 건
		1-5	열차제어 무선통신 기술동향 분석서	①	기술동향 분석서	1건	분석서 작성여부	전문가 계량평가	15			특허 : 출원 1 건
합 계									100		436	특허(출원): 2 건 논문발표 : 3 건

[2차년도 : 2019]

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표				해당 기관	예산 (백만원)	실적목표
					질적목표(측정방법)		달성치	검증방법	가중치			
1세부	1	열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발	1-1	시스템 통합 및 사양개발	①	열차제어시스템 개발 명세서 작성 및 검증 (명세서 기술수준)	1건	전문가 계량평가	5	국가철도공단	530	논문 : 발표 2 건
					②	인터페이스 명세서 작성 및 검증 (명세서 기술수준)	1건	전문가 계량평가	15			
					③	기술기준 및 규격 제/개정(안) (제·개정(안) 구체성)	1건	전문가 계량평가	15			
			1-2	레일절손 검지장치 설계	①	상세설계서 (보고서 작성여부)	1건	전문가 계량평가	14	한국철도기술연구원	420	논문 : 발표 3 건 특허 : 출원 2 건 등록 1건
			1-3	레일절손 검지장치 제작 및 시험	②	시제품 제작 (제작여부)	1건	개발 여부	14			
			1-4	열차진로제어기술 개발	①	기능 및 성능 명세서 작성 (명세서 기술수준)	1건	전문가 계량평가	4	철도신호사업연구조합	141	논문 : 발표 1 건
					②	진로제어용 연동장치 시뮬레이터 제작	1건	전문가 계량평가	5			
			1-5	열차제어용 무선접속제어 알고리즘 개발	①	열차제어 무선접속 알고리즘 (설계서)	1건	작성여부	7	한국전자통신연구원	219	논문 : 발표 2 건 특허 : 출원 1 건
					②	열차제어 무선접속 알고리즘 시험환경 구축 및 시험 시나리오 (보고서)	1건	공인된 네트워크 시뮬레이터(NLS) 기반환경 구축여부 ,작성여부	7			
			1-6	열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 개발	①	열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 (설계서)	1건	작성여부	7		210	논문 : 발표 1 건 특허 : 출원 1 건
					②	열차제어 주파수 자동천이알고리즘 시험환경 구축 및 시험 시나리오 (보고서)	1건	공인된 네트워크 시뮬레이터(NLS) 기반환경 구축여부 ,작성여부	7			
계									100		1,520	특허 : 출원 4 건 논문 : 발표 7 건

[3차년도 : 2020]

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	실적목표
					질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중치 (%)			
1	열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발	1-1	시스템 통합 및 사양개발	①	열차제어시스템 개발 명세서 작성 및 보완	1건	명세서 작성여부	전문가 계량평가	10	국가철도공단	518	논문발표: 3 건
				②	기술기준 및 규격 제/개정(안) 작성 및 보완	1건	보고서 작성여부	전문가 계량평가	16			
		1-2	레일절손 검지장치 제작 및 시험	①	신뢰성 검증 보고서 (검증시험 보고서 등)	1건	보고서	전문가 계량평가	25	한국철도기술연구원	490	논문발표 : 2 건 특허 : 출원 국내 1 건 국외 2 건 등록 국내 1 건 S/W : 1 건
		1-3	열차진로제어기술 개발	①	시험 계획서 작성	1건	계획서 작성 여부	전문가 계량평가	12	철도신호사업연구조합	445	논문발표 : 1 건 시제품 : 1건
				②	진로제어용 연동장치 시뮬레이터 검증	1건	검증 보고서 작성 여부	전문가 계량평가	11			
		1-4	열차제어용 무선접속제어 알고리즘 구현 및 성능 평가	①	무선접속알고리즘 시뮬레이터	1건	시뮬레이터 S/W	등록 여부	8	한국전자통신연구원	505	논문게재 : 2 건 논문발표 : 1 건 특허 : 출원 1 건 S/W : 2 건
				②	열차제어용 무선 접속 알고리즘 성능평가서	1건	평가서	작성 여부	5			
		1-5	열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 구현 및 성능평가	①	열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 시뮬레이터	1건	시뮬레이터 S/W	등록 여부	8			논문게재 : 1 건 논문발표 : 1 건 특허 : 출원 1 건 S/W : 2 건
				②	열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 성능평가서	1건	평가서	작성 여부	5			
합 계									100		1,958	특허(출원): 5 건 특허(등록) : 2 건 논문게재 : 3 건 논문발표 : 8 건 S/W : 5 건 시제품 : 1건

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 [2세부]

3-1. 최종목표달성도

가. 질적성과

성과목표	성과지표	목표치	검증자료	가중치	달성율(%)
ATP/ATO명세서 작성	·차상ATP/ATO, 지상ATP개발요구사항 조사 및 분석서	1식	분석서	2.41	100
	·ATP/ATO개발명세서(지상, 차상)	1식	개발명세서	4.23	100
	·ATP/ATO 인터페이스 명세서	1식	인터페이스 명세서	3.26	100
	·기존 열차제어시스템과의 인터페이스 확보방안	1식	개념방안	1.63	100
이동폐색용 지상ATP 개발	·지상ATP 요구사항 분석 및 개념설계	1식	개발명세서	0.41	100
	·지상ATP/ATO기본설계	1식	기본설계서	2.73	100
	·지상ATP/ATO시작품 제작	5식	시삭품	8.12	100
	·지상ATP/ATO시험(실험실 단위)	1식	시험보고서	9.58	100
	·RAM 및 안전성 인증활동(SIL4인증서)	1식	인증서	12.87	100
자동운전(GoA2) 지원하는 차상ATP/ATO 개발	·차상ATP/ATO 요구사항 분석 및 개념설계	1식	개발명세서	0.42	100
	·차상ATP/ATO기본설계	1식	기본설계서	2.73	100
	·차상ATP/ATO시작품 제작	1식	시삭품	10.99	100
	·차상ATP/ATO시험(실험실 단위)	1식	시험보고서	12.66	100
	·RAM 및 안전성 인증활동(SIL4인증서)	1식	인증서	21.03	**(100)**
차상ATP/ATO, 지상ATP명세서 검증	·개발사양서 및 인터페이스 검증항목 수립 및 계획서 작성	1식	시험계획서	4.22	100
	·개발명세서 검증	1식	검증서	0.54	100
	·인터페이스 명세서 검증	1식	검증서	2.17	100

나. 양적성과

구분			1차연도	2차연도	3차연도	계/(목표)
국외 논문 게재	SCI					
	비SCI					
	계					
국내 논문 게재	SCI					
	비SCI			1	1	2/(1)
	계			1	1	2(1)
특허 출원	국내		2	3	3	8/(8)
	국외					
	계		2	3	3	8/(8)
특허 등록	국내				2	2/(2)
	국외					
	계				2	2/(2)
인력 양성	석사					
	박사					
	계					
기술 이전	계약 건수					
	계약액					
	징수액					
국제 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
국내 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문					
	연구시설 · 장비					
	기술요약정보					
	생명자원	생명정보				
		생물자원				
		신품종				
	소프트웨어			4	11	15/(2)
	화학물					
기타	시제품			4	2	6/(6)
	성과 홍보					
	일자리 창출					

3-2. 연차별 성과목표 달성도

가. 1차년도

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		성과점검기준					해당 기관	실적목표
						질적 성과지표	목표치	검증방법	가중치		
2세부	1	차상ATP/ATO, 지상ATP 개발요구사항 조사분석	1-1	개발요구사항 조사분석	①	요구사항 분석서	1식	전문가 평가	19	철도연	논문발표 : 1건
			1-2	상호운영요구사항분석	①	요구사항 분석서	1식	전문가 평가	10		
			1-3	차상ATP/ATO, 지상ATP 성능 및 기능요구사항 정의	①	요구명세서	1식	전문가 평가	23		특허 : 출원1 건
	2	이동폐색용지상 ATP 개발	2-1	지상ATP 요구사항 분석 및 개념설계	①	요구분석 및 개념설계서	1건	인증기관검증	9	대아티아이(주)	보고서 : 2 건
			3-2	RAM 및 안전성 인증활동	①	안전성활동계획 및 위험원 분석 보고서	1건	인증기관검증	7		
	3	차상 ATP/ATO 기술 및 장치 개발	3-1	차상 ATP/ATO 요구사항 분석	①	요구사항 분석서	1건	인증기관검증	4	현대로템㈜	특허(출원) :1 건
			3-2	안전성 활동 계획 수립 및 요구사양 분석	①	안전성 활동 계획서	4건	인증기관검증	8		
					②	요구사양 분석서	2건	인증기관검증	4		
	4	차상ATP /ATO, 지상ATP 개발명세서 검증계획 작성	4-1	검증계획 수립을 위한 요구사항 검토	①	요구사항 검토자료	1건	전문가평가	7	유경제어(주)	
			4-2	개발사양 검증항목 수립 및 계획서 작성	②	검증계획서	1건	전문가평가	9		
	합 계								100		특허(출원): 2 건 논문발표 : 1 건

나. 2차년도

핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표					해당 기관	실적목표
				질적목표(측정방법)		달성치	검증방법	가중치		
1	차상ATP/ATO, 지상ATP 개발요구사항 조사분석	1-1	장치구성도 작성	①	장치구성도	1식	전문가 평가	2	철도연	특허(출원) : 1 건 논문발표 : 1 건
		1-2	성능사양 작성	①	성능사양	1식	전문가 평가	3		
		1-3	기능사양 작성	①	기능사양	1식	전문가 평가	4		
				②	기능배치도	1식	전문가 평가	4		
2	이동폐색용지상ATP 개발	2-1	지상 ATP 기본 및 상세 설계서 -지상ATO설계 (추가)	①	기본 및 상세설계서 -지상ATP/ATO S/W 구조설계 및 상세설계	1건	인증기관검증	7	대아티아이(주)	특허출원 : 1 건 논문게재 : 1 건 논문발표 : 2 건 시제품 : 3 식 S/W : 2 건
		2-2	지상ATP 시작품제작	①	시작품제작	3식	현장확인 (제작여부 확인)	20		
		2-3	RAM 및 안전성 인증활동	①	RAM 분석 및 안전성 분석 보고서	1건	인증기관검증	13		
3	차상 ATP/ATO 기술 및 장치 개발	3-1	차상 ATP/ATO 시제품 제작 및 기능구현	①	차상 ATP/ATO 기본 및 상세설계서 작성	2건	인증기관검증	8	현대로템㈜	특허(출원): 1 건 논문발표 2 건 시제품 : 1 건 S/W : 2 건
				②	차상 ATP/ATO 시제품 제작	3식	현장확인 (제작여부 확인)	20		
		3-2	설계 및 구현 안전성 인증 활동	①	위험원 분석 보고서	1건	인증기관검증	6		
				②	신뢰성 분석 안전성 분석 보고서	1건	인증기관검증	6		
4	차상ATP /ATO, 지상ATP 인터페이스 명세서 검증계획 작성	4-1	지상 및 차상 인터페이스 검증 요구사항 검토	①	요구사항 검토자료	1건	전문가평가	1	유경제어(주)	논문발표 1 건
		4-2	인터페이스 검증항목 수립 및 계획서 작성	②	검증계획서	1건	전문가평가	6		
합 계								100		특허(출원): 3 건 논문게재 : 1 건 논문발표 : 6 건 시제품 : 4 건 S/W : 4 건

다. 3차년도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검기준				해당 기관	실적목표
					질적 성과지표	목표치	검증 방법	가중치 (%)		
1	차상ATP/ATO, 지상ATP 인터페이스 명세서	1-1	차상장치 및 지상장치 간 인터페이스 명세서 작성	①	인터페이스 명세서	1식	전문기관 또는 전문가 검토서	5	한국철도기술연구원	특허등록 : 1 건 특허출원 : 1 건
		1-2	차상ATP/ATO와 열차 내 타 장치와의 인터페이스 명세서 작성	①	인터페이스 명세서	1식	전문기관 또는 전문가 검토서	3		
		1-3	지상ATP와 지상의 타 장치와의 인터페이스 명세서 작성	①	인터페이스 명세서	1건	전문기관 또는 전문가 검토서	3		논문발표 : 2건
		1-4	현재 운용중인 열차제어시스템과의 인터페이스 (상호운영성) 점검	①	인터페이스 점검	1건	전문기관 또는 전문가 검토서	3		특허출원 : 1 건 논문게재 : 1 건
2	이동폐색용지상ATP 개발	2-1	지상ATP/ATO LAB시험 및 검증	①	LAB환경구축	1식	현장확인	8	대아티아이(주)	특허등록 : 1건 논문발표 : 2건 S/W : 7건 시제품 : 2식
				②	시작품 제작	2식	현장확인	5		
				③	지상 ATP/ATO 기능시험	1건	제3기관 검증	12		
		2-2	RAM 및 안전성 인증활동	①	환경시험	2건	공인기관 (시험성적서)	5		
3	차상 ATP/ATO 기술 및 장치 개발	3-1	차상 ATP/ATO 기능시험	①	기능시험 환경구축	1건	현장확인	10	현대로템㈜	특허출원 : 1건 논문발표 : 2건 S/W : 3건
				②	차상 ATP/ATO 기능시험	2건	제3기관 검증	10		
		3-2	차상 ATP/ATO 시스템 검증	①	환경시험	2건	공인기관 (시험성적서)	4		
				②	차상 ATP/ATO 시스템 안전성 입증 보고서	1건	SIL4 인증	16		
4	차상ATP / ATO, 지상ATP 명세서 검증	4-1	개발명세서 검증	①	검증보고서	1건	전문기관 또는 전문가 검토서	1	유경제어(주)	논문발표 1 건 S/W 1 건
		4-2	인터페이스 명세서 검증	②	검증보고서	1건	전문기관 또는 전문가 검토서	5		
합 계								90		특허등록 : 2 건 특허출원 : 3 건 논문게재 : 1 건 논문발표 : 7 건 시제품 : 2식 S/W : 11 건

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

정량적인 목표와 정성적인 목표를 달성하였으며, 안전성인증(SIL4)발급에 시간 소요

○ (공동) 대아티아이(주)

- 금년 12월 말까지 안전성인증 최종감사(final audit)를 완료하였음
  (SIL4인증서 2월말 발급예정)

○ (공동) 현대로템(주)

- V&V를 완료하여 interlim보고서를 발급받았으며, 안전성인증 최종감사(final audit)을 2월에 받을 예정임
  (SIL4인증서 3월말 발급예정)

3. 목표 달성도 및 관련분야 기여도 [3세부]

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적성과목표
					질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치 (%)			
A	ETCS L3 종합성능시험을 위한 기본계획 수립	A-1	요구사항	①	개발요구사항 조사 분석	1건	보고서	작성여부	2	한국철도공사	80	
				②	시스템간 인터페이스 조사	1건	보고서	작성여부	5			
		A-2	개발목표 및 기능점검 정의	①	개발요구사항 조사 분석	1건	보고서	작성여부	3		180	
				②	하부시스템 성능 및 개발 목표 정의	1건	보고서	작성여부	5			
		A-3	기본계획 수립	①	단계별 성능검사 절차 수립		보고서	작성여부	5		180	
				②	종합성능시험 기본계획 수립		보고서	작성여부	5			
B	열차무결성 검지장치 개발	B-1	요구사항	①	국내외 기술동향 조사·분석	1건	보고서	작성여부	1	한국전자통신연구원	100	특허 : 출원 1건
				②	운용기관 요구사항 분석서	1건	분석서	작성여부	1			
				③	요구사항 정의서	1건	정의서	작성여부	3			
		B-2	기능규격 성능규격	①	기능규격서	1건	규격서	개발여부	2		150	논문 : 1건
				②	성능규격서	1건	규격서	개발여부	3			
				③	인터페이스 규격서	1건	규격서	개발여부	3			
		B-3	시제품 제작	①	검지장치 시스템설계서	1건	설계서	작성여부	2		200	논문 : 1건 특허 : 출원 1건 시작품 : 1건
				②	시제품제작	1건	단위 시험성적서	개발여부	2			
				③	시험 절차서	1건	규격서	작성여부	2			
		B-4	실내시험	①	단위시험 검증 (검증 방안)	1건	설계서 절차서	작성여부	3		150	논문 : 1건 S/W : 1건
				②	시험방법 및 계획수립 (시험절차서)	1건	단위 시험성적서	보고서	3			
				③	시험 성능검증 (시험결과서)	1건	종합시험 결과서	보고서	3			
		B-5	현차시험	①	현장설치 및 시험	1건	종합 시험결과서	보고서	3		150	논문 : 1건 S/W : 1건 특허 : 출원 1건
C	ETCS L3급 열차제시스템을 위한 열차운행관제 기술 개발	C-1	요구사항 분석	①	요구사항정의	1건	보고서	작성여부	2	대아티아이	20	특허 : 출원 1건
				②	요구사항분석	1건	보고서	제3자 검증자문	3		37	
		C-2	개념 설계	①	요구사항개념설계	1건	설계서	작성여부	4		140	특허 : 출원 1건 논문 : 1건
				②	제어관리장치 설계	1건	설계서	제3자 검증자문	6		155	
		C-3	시험계획서 작성	①	표시기준안 작성	1건	보고서	작성여부	4		120	특허 : 출원 1건 특허 : 등록 2건
				②	시험계획서 작성	1건	보고서	제3자 검증자문	6		158	
D	종합성능시험을 위한 ETCS L3급 인프라 설계	D-1	시험선로 선정(안) 및 시험인프라 설계(안) 수립	①	요구사항 조사 및 분석 결과 보고서	1건	보고서	작성여부	2.5	유경제어	57	
				②	시험선로 선정(안) 수립 및 기본설계 보고서	1건	보고서	작성여부	2.5			
		D-2	시험인프라 인터페이스 및 종합계측설비 설계(안) 수립	①	기본설계 보고서	1건	보고서	작성여부	3		208	논문 : 1건
				②	상세설계 보고서	1건	보고서	작성여부	3			
		D-3	시험열차 개조 설계(안) 수립	①	시험열차 선정(안) 수립 및 기본설계 보고서	1건	보고서	작성여부	3		261	논문 : 1건
				②	인터페이스 설계 보고서	1건	보고서	작성여부	5			
합 계									100		2,346	특허(출원) : 6건 논문 : 7건 S/W : 2건 시작품 : 1건

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 [1세부]

4-1. 연구 개발 성과의 활용 방안

○ ‘한국형 철도신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)’ 에 따라 신설 및 개량시기가 도래하는 노선에 단계적으로 설치하여 ‘29년까지 모든 신호시스템을 KTCS_2로 교체함
- KTCS_2의 차상장치는 기존 신호설비(ATS, ATP)와 상호운영성을 가지므로 ‘18년 이후 신규로 도입되거나 내구연한이 도래한 차상장치부터 개량
- 노선 간 연계운행을 할 수 있도록 국가 철도망 및 국가 철도망과 연계되는 모든 철도노선에 KTCS_2 지상장치를 적용함
- 실용화 검증결과 및 중장기 구축계획(안)을 토대로 매년 철도공단공사가 사업시행계획을 수립하고 국토교통부의 승인을 받은 후 추진(‘18~)

○ 본 과제의 열차제어시스템의 차상장치가 KTCS_2를 포함한 기존 신호설비(ATS, ATP)와 상호운영성을 검증한 후, 차상장치부터 적용함
- 상용화를 위한 시범운행을 실시

○ 본 과제는 ETCS Level 3의 핵심기술을 개발한 것으로 최종 결과물의 사업화 및 실용화를 위하여 현장시험의 성능검증이 필요하므로 이에 대한 구체적인 테스트 계획 및 달성 목표를 제시함
- 구체적인 테스트 계획 및 달성 목표 (세부적인 사항은 후속연구 계획에 반영 예정)

구분	항목	테스트 계획	달성 목표	비고
이동폐색 기술	개발명세서 인터페이스 명세서	통합시험 시험차량을 이용한 현장시험	기술수준 달성	ETCS 기술규격(Subset) 수요기관 요구사항 상호운영성 검증
	시작품(차상/지상)	통합시험 시험차량을 이용한 현장시험	시험성적서 (안전성평가 포함)	현장시험(고속/저속)
대체기술	철도통합무선망 안정성/가용성	시험차량을 이용한 현장시험	시험성적서	
	레일절손 검지	현장시험	검지정확도 향상 사전검지	

○ 국외 기술 대비 연구성과의 수준, 기술격차 및 차별성

구분	항목	국외기술 현황	연구성과 수준	기술격차 또는 차별성
이동폐색 기술	개발명세서 인터페이스 명세서	ETCS 기술규격(Subset) (제동곡선 세분화)	ETCS 기술규격 반영 수요기관 요구사항 반영	시작품을 위한 명세서로 따라 제동곡선 세분화는 현장시험 후 가능
	제어장치 (차상/지상장치)	현장시험 진행 중 (독일: 디젤기관차)	시작품 제작 및 실험실 시험	현장시험 미시행
대체기술	철도통합무선망 안정성/가용성	현재: 2세대 통신 (GSM-R)	4세대 LTE기술	LTE-R사용으로 대용량 데이터 전송 가능
	레일절손 검지	기초 연구단계	시작품 제작	실용화를 위한 현장시험 진행 중

4-2. 기대효과

가. 기술적 측면

(1) 자동운전을 지원하는 ETCS L3급 열차제어시스템 개발을 통한 국내 철도산업의 대외 경쟁력 강화 및 세계 시장 선도

(가) 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 개발(2010.12~2014.6), 일반·고속철도용 열차제어시스템 개발(2014.12~2017.6)을 통하여 '열차 신호시스템 표준화방안 통보(국토부, 2010.11)'의 KTCS 구축 단계별 추진전략을 완료하였음

(나) 유럽의 철도산업혁신전략 등 외부환경의 변화에 선제적으로 대응하기 위해서는 고속철도의 자동운전을 포함한 ETCS L3급 열차제어시스템을 개발하기 위한 연구개발사업의 지속적인 추진이 요구됨

(2) 이를 위하여 수송능력(효율성), 경제성, 서비스, 안전성을 열차제어시스템의 핵심기술 개발

(가) 보다 빠르고 보다 높은 밀도로 승객을 수송하고, 위험요인을 사전에 감지하여 사고를 예방할 수 있도록 자동운전을 지원하는 ETCS L3급 열차제어기술을 개발하여 효율성과 안전성을 확보

(나) 해외시장 선점과 국내 기존 신호설비와의 연계를 위해 기존 시스템과의 상호운영성 확보

(다) 무선통신망 및 제어장치에 심각한 장애가 발생하여도 최소한의 열차운행을 보장하는 장애 대응기술 적용

나. 경제적·산업적 측면

(1) 차상장치 개량비 절감비용

(가) 고속 ATC는 현재 고속철도차량에 탑재된 차상ATC장치이며, 대당 단가가 7억원이며, 총 285량에 1,999억원이 설치되었음

(나) ETCS기반 시스템(KTCS-2 ETCS L3)는 개발될 차세대 열차제어시스템의 차상ATP/ATP이며, 대당 단가가 5%정도 높은 7.35억원이며, 총 285량에 설치할 경우, 99.75억원의 비용 상승이 예상됨

[단위: 억원]

구분	수량	고속 ATC (A)	KTCS-2 (B)	ETCS L3 (C)	절감비용	
					C-A	C-B
고속철도	285대	1,995 (단가 7)	1,425 (단가 5)	2,095 (단가 7.35)	△100	△670

* 한국형 신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)

** ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways(TRL, 2010)에서는 현 시스템 대비 5% 비용증대가 예상되며, 열차자동운전장치는 포함하지 않음

(2) 지상장치 개량비 절감비용

(가) 고속 ATC는 현재 개발 완료된 KTCS-2의 지상설비(연동장치 및 주변장치 포함)이며, ㎞당 구축비가 22.25억원이며, 총 645㎞에 1조4,262억원의 구축비가 소요됨

(나) ETCS기반 시스템(KTCS-2 ETCS L3)는 개발될 차세대 열차제어시스템의 지상ATP(연동장치 및 주변장치 포함)며, ㎞당 구축비가 25%정도 낮은 16.69억원이며, 총 641㎞에 설치할 경우, 3,563억원의 비용절감이 예상됨

[단위: 억원]

구분	수량	고속 ATC (A)	KTCS-2 (B)	ETCS L3 (C)	절감비용	
					C-A	C-B
고속철도	641㎞	19,230 (단가 30)	14,262 (단가 22.2)	10,897 (단가 17)	8,333	3,365

* 경부고속철도, 호남고속철도, 수서-평택구간
** 한국형 신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)의 KTCS-2(ETCS L2)구축비용 반영
*** ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways(TRL, 2010), ETCS L2비용의 25%비용 절감 반영

(3) 유지보수비 절감비용

(가) 고속 ATC는 현재 개발 완료된 KTCS-2의 지상설비(연동장치 및 주변장치 포함)이며, ㎞당 유지보수비가 13.28억원이며, 총 581㎞에 104억원이 소요됨

(나) ETCS기반 시스템(KTCS-2 ETCS L3)는 개발될 차세대 열차제어시스템의 지상ATP(연동장치 및 주변장치 포함)며, ㎞당 유지보수비가 50%정도 낮은 8.95억원이며, 총 581㎞에 적용할 경우, 52억원의 비용절감이 예상됨

[단위: 억원]

구분	수량	고속 ATC (A)	KTCS-2 (B)	ETCS L3 (C)	절감비용	
					C-A	C-B
고속철도	641㎞	115 (단가 0.18)	85 (단가 0.133)	58 (단가 0.09)	57	27

* 경부고속철도, 호남고속철도('15' 년 유지보수비를 기준으로 하여 수서-평택구간 제외)
** 한국형 신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)의 KTCS-2(ETCS L2) 유지보수비용 반영
** CBTC before/after cost effectiveness study(미국 FTA, 2011), 궤도회로방식 대비 철도 신호설비 유지관리 시간 및 유지관리비 50%이상 단축

○ 추가적인 산업적 효과는 KTCS-2 시범사업 결과 및 KTCS-3 후속연구(성능검증) 결과에 따라 현 시점 상황, 기술 수준을 반영하여 제시 예정

다. 사회적 측면

(1) 선로수송용량 확대

○ 시스템 A는 ETCS L1이고, 시스템 B는 차세대 열차제어시스템이며, 고속전용선에서 58.1%의 선로용량 증가가 예상됨

구분	시스템 A의 선로용량(A)	시스템 B의 선로용량(B)	용량증가율(B-A)
고속철도	고속철도 100 %(고속선 전용)	158.1 %*(고속선 전용)	58.1

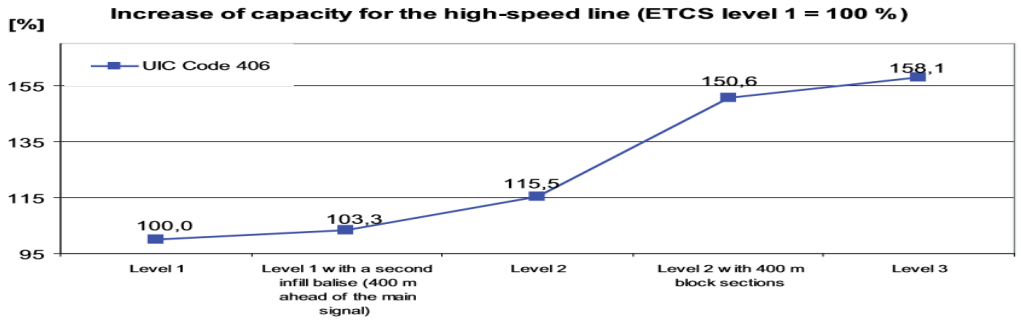
* 'Compendium on ERTMS(UIC, 2009), 고속전용선에서 차세대 열차제어시스템과 유사한 ETCS L3와 ETCS L1간의 선로용량 비교결과 적용

※ 기획연구보고서 인용

2절 기술개발의 필요성

2. 수송용량 측면

·아래 그림과 같이 무선통신기술과 궤도회로를 사용하지 않는 **ETCS L3를 고속선에 적용하는 경우 선로용량(line capacity)이 58% 증가**하고, 일반철도에 적용할 경우에는 선로용량이 42% 증가하는 것으로 분석됨



<고속선에서 ETCS의 선로용량>

·이미 운영중인 노선에 ETCS L3를 적용할 경우(개량할 경우), 운영중인 열차의 종류, 선로구성 등에 따라 선로용량은 15~60%내에서 변동될 것으로 예상하고 있음

○ 미국 FTA의 "Rail Transit Capacity"에서 제공하는 tool을 이용하여 국내 고속철 운행여건을 적용하여 speed code 방식과 moving block방식을 비교하였음

- 기존 속도코드방식은 시간당 12편성, 이동폐색방식은 시간당 19편성이 운영할 수 있어 기존 속도코드방식 대비 58%로 수송용량 증대효과가 있을 것으로 분석되었음

7절 활용 가능성

2. 기대효과

○ 선로수송용량 확대

구분	시스템 A의 선로용량(A)	시스템 B의 선로용량(B)	용량증가율(B-A)
고속철도	100 %(고속선 전용)	158.1 %*(고속선 전용)	58.1

○ 한국철도의 선로용량 계산

- 단선구간

$$N = \frac{f \times T}{t + c} \times \frac{1}{2}$$

- 복선구간

$$N = \frac{T \times f}{h(v' + \Sigma v - \Sigma w) + \Sigma wd}$$

○ 고속철도 선로용량 현황

노선 및 구간		거리(㎞)	선로용량	선로형태
경부고속선	금천구청~오송	107.4	190	복선
	오송~대전	35.1	197	〃
	대전~동대구	126.9	189	〃
	동대구~부산	130.7	191	〃

○ 열차 안전간격(운전시격) 단축방안

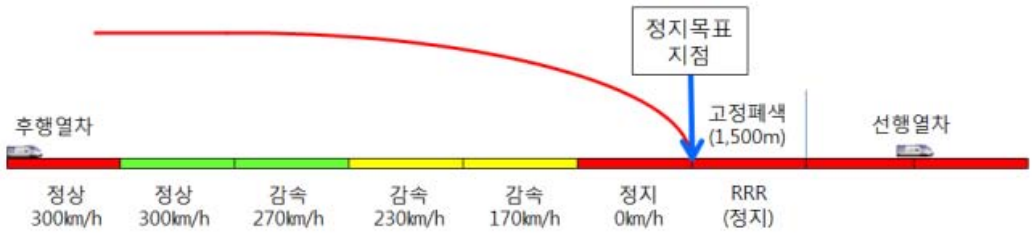
- 운전시격 비교

구분	고정폐색	이동폐색
궤도회로	있음(1,500m - 경부고속선)	없음
열차위치 검지 단위	궤도회로(1,500m 간격)	실시간 (350㎞/h 오차 ±80m)
열차간격	7폐색 (경부고속선 10.5㎞)	연구과제에서 정의
후속열차의 정지목표 지점	진행방향 기준으로 선행열차가 점유한 궤도회로 이전의 궤도회로 시작지점	진행방향 기준으로 선행열차후부 위치에 추가 안전거리 시작지점 ※ 추가 안전거리 : 2~3편성(0.8~1.2㎞)

- 고밀도 운행에 따른 운전효율 향상

현재(고속ATC) 10.5㎞	장래(ETCS L3) 7.8㎞
고정폐색 7개 [1500×7개]	이동폐색 [KTX 제동거리* + 안전거리]

* 제동거리 : 6,600m / 안전거리 : 3편성 길이(1.2㎞, 현장시험 후 확정)



[현재 - 고정폐색]



[개발 - 이동폐색]

○ 추가적인 산업적 효과는 KTCS-2 시범사업 결과 및 KTCS-3 후속연구(성능검증) 결과에 따라 현 시점 상황, 기술 수준을 반영하여 제시 예정

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 [2세부]

○ ‘한국형 철도신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)’에 따라 신설 및 개량시기가 도래하는 노선에 단계적으로 설치하여 ‘29년까지 모든 신호시스템을 KTCS_2로 교체함

- KTCS_2의 차상장치는 기존 신호설비(ATS, ATP)와 상호운영성을 가지므로 ‘18년 이후 신규로 도입되거나 내구연한이 도래한 차상장치부터 개량
- 노선 간 연계운행을 할 수 있도록 국가 철도망 및 국가 철도망과 연계되는 모든 철도노선에 KTCS_2 지상장치를 적용함
- 실용화 검증결과 및 중장기 구축계획(안)을 토대로 매년 철도공단공사가 사업시행계획을 수립하고 국토교통부의 승인을 받은 후 추진(‘18~)

○ 본 과제의 열차제어시스템의 차상장치가 KTCS_2를 포함한 기존 신호설비(ATS, ATP)와 상호운영성을 검증한 후, 차상장치부터 적용함

- 상용화를 위한 시범사업 추진

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 [3세부]

4.1 연구개발성과의 활용방안

○ ‘한국형 철도신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)’ 에 따라 신설 및 개량시기가 도래하는 노선에 단계적으로 설치하여 ‘29년까지 모든 신호시스템을 KTCS_2로 교체함

- KTCS_2의 차상장치는 기존 신호설비(ATS, ATP)와 상호운영성을 가지므로 ‘18년 이후 신규로 도입되거나 내구연한이 도래한 차상장치부터 개량
- 노선 간 연계운행을 할 수 있도록 국가 철도망 및 국가 철도망과 연계되는 모든 철도노선에 KTCS_2 지상장치를 적용함
- 실용화 검증결과 및 중장기 구축계획(안)을 토대로 매년 철도공단공사가 사업 시행 계획을 수립하고 국토교통부의 승인을 받은 후 추진(‘18～)

○ 본 과제의 열차제어시스템의 차상장치가 KTCS_2를 포함한 기존 신호설비(ATS, ATP)와 상호운영성을 검증한 후, 차상장치부터 적용함

- 상용화를 위한 시범운행을 실시
- 세밀한 열차 점유 정보를 바탕으로 효율적이고 경제적인 열차 운행 제어
- NGTC, ETCS, CBTC 시스템의 통합으로 철도선진국과의 경쟁 강화
- 열차의 위치정보, 신호시스템 및 전력계통 상태 등을 종합적으로 현시하고, 감시대상의 상태를 아이콘화하여 직관적으로 알 수 있도록 개발
- 통합시험 장치를 활용하여 제작사 별 장치 간 상호운영성을 확보
- 운영 신뢰성은 가용성 98% 이상, 유지보수성(MTTR) 0.5시간 이하의 RAM 성능목표를 만족하도록 하여 현장 적용성 증대

○ 법령 및 제도적 측면 검토

- 법령 : 철도노선간 상호 연계운행하도록 상호호환성을 의무적으로 갖추어야 함

  ※ 철도시설의 건설 및 유지관리에 관한 법률 제19조 제3항

- 제도 및 개량계획

  : 유럽철도 표준규격(ETCS) 및 검증절차를 적용하여야 하며,

  : 상위 시스템은 하위 Level에서 사용 가능하여야 함

  : 국가철도망 및 국가철도망과 연계되는 노선에 KTCS-2적용

  ※ 철도신호통신시스템 국산화 계획 [철도시설안전과-42(‘18.1.5)]

○ 시스템 Level별 차량 운행방안

- 시스템 Level별 운행 현황

지상 / 차상	ATP (Lv 1)	KTCS-2 (Lv 2)	ETCS L3 (Lv 3)
ATP	○	×	×
KTCS-2	○	○	×
ETCS L3	○	○	○

- 상호운영 추진방향

: 유럽철도 표준규격(ETCS) 및 검증절차를 적용하여 표준사양 및 제작

: Level 3로 설치되는 지상구간에 기존 차량 운행을 위하여 기존 시스템이 병행 설치될 수 있도록 철도시설관리자와 협력하고

: 차량은 신속히 상위 Level 차상장치로 개조될 수 있도록 철도운영기관과 협력체계 구축

- 시스템 개량 완료 후 기존 시스템의 기능 필요 여부는 국토부와 철도시설관리자, 철도운영기관이 협의하여 결정

4.2 기대효과

가. 기술적 측면

○ 자동운전을 지원하는 ETCS L3급 열차제어시스템 개발을 통한 국내 철도산업의 대외 경쟁력 강화 및 세계 시장 선도

- 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 개발(2010.12~2014.6), 일반·고속철도용 열차제어시스템 개발(2014.12~2017.6)을 통하여 '열차 신호시스템 표준화방안 통보(국토부, 2010.11)' 의 KTCS 구축 단계별 추진전략을 완료하였음

- 유럽의 철도산업 혁신전략 등 외부 환경의 변화에 선제적으로 대응하기 위해서는 고속철도의 자동운전을 포함한 ETCS L3급 열차제어시스템을 개발하기 위한 연구개발사업의 지속적인 추진이 요구됨

○ 이를 위해 수송능력(효율성), 경제성, 서비스, 안전성을 열차제어시스템 핵심기술 개발

- 보다 빠르고 보다 높은 밀도로 승객을 수송하고, 위험요인을 사전에 감지하여 사고를 예방할 수 있도록 자동운전을 지원하는 ETCS L3급 열차제어기술을 개발하여 효율성과 안전성을 확보

- 해외시장 선점과 국내 기존 신호설비와의 연계를 위해 기존 시스템과의 상호운영성 확보

- 무선통신망 및 제어장치에 심각한 장애가 발생하여도 최소한의 열차운행을 보장하는 장애 대응기술

- 상용화되지 않은 열차운행관제기술을 개발함으로써 철도선진국과 경쟁할 수 있는 기술력 확보

- 국제 표준 프로토콜을 적용한 열차운행관제분야 통신기술 확보

나. 경제적·산업적 측면

○ 차상장치 개량비 절감비용

- 시스템 A는 현재 고속철도차량에 탑재된 차상ATC장치이며, 대당 단가가 7억원이며, 총 285량에 1,999억원이 설치되었음
- 시스템 B는 개발될 차세대 열차제어시스템의 차상ATP/ATP이며, 대당 단가가 5%정도 높은 7.35억원이며, 총 285량에 설치할 경우, 99.75억원의 비용 상승이 예상됨

(단위: 백만원)

구분	차량대수	시스템A*		시스템B**		절감비용 (A-B)
		대당 단가	구축비(A)	대당 단가	구축비(B)	
고속차량	285	700	199,500	735	209,475	-9,975

* 한국형 신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)

** ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways(TRL, 2010)에서는 현 시스템 대비 5% 비용증대가 예상되며, 열차자동운전장치는 포함하지 않음

○ 지상장치 개량비 절감비용

- 시스템 A는 현재 개발중인 KTCS-2의 지상설비(연동장치 및 주변장치 포함)이며, km당 구축비가 22.25억원이며, 총 645km에 1조4,262억원의 구축비가 소요됨
- 시스템 B는 개발될 차세대 열차제어시스템의 지상ATP(연동장치 및 주변장치 포함)며, km당 구축비가 25%정도 낮은 16.69억원이며, 총 641km에 설치할 경우, 3,563억원의 비용절감이 예상됨

(단위: 백만원)

구분	노선길이* (단위:km)	시스템A**		시스템B**		절감비용 (A-B)
		km당 단가	구축비(A)	km당 단가	구축비(B)	
고속철도	641	2,225	1,426,225	1,669	1,069,829	356,396

* 경부고속철도, 호남고속철도, 수서-평택구간

** 한국형 신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)의 KTCS-2(ETCS L2)구축비용 반영

*** ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways(TRL, 2010), ETCS L2비용의 25%비용절감 반영

○ 유비보수비 절감비용

- 시스템 A는 현재 개발 중인 KTCS-2의 지상설비(연동장치 및 주변장치 포함)이며, km당 유지보수비가 13.28억원이며, 총 581km에 104억원이 소요됨
- 시스템 B는 개발될 차세대 열차제어시스템의 지상ATP(연동장치 및 주변장치 포함)며, km당 유지보수비가 50%정도 낮은 8.95억원이며, 총 581km에 적용할 경우, 52억원의 비용절감이 예상됨

(단위: 백만원)

구분	노선길이* (단위:km)	시스템A**		시스템B**		절감비용 (A-B)
		km당 단가	유지비(A)	km당 단가	유지비(B)	
고속철도	581	17.90	10,400	8.95	5,200	5,200

* 경부고속철도, 호남고속철도(‘15’ 년 유지보수비를 기준으로 하여 수서-평택구간 제외)

** 한국형 신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)의 KTCS-2(ETCS L2) 유지보수비용 반영

*** CBTC before/after cost effectiveness study(미국 FTA, 2011), 궤도회로방식 대비 철도신호설비 유지관리 시간 및 유지관리비 50%이상 단축

- 열차수송용량 증대 및 이로 인한 철도운영기관 수익 증대
- 노선연장, 역 추가 등의 열차운행계획 변경시 단기간 내에 운행관제 시스템을 조정할 수 있어 운영 효율성 향상 기대

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 철도기술연구사업의 연구보고서 입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발 성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.