철도기술연구사업 R&D-13PRTD-B056522-04

# 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 총괄요약보고서

2015. 05.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
협동연구기관 / 유니슨테크놀러지(주)
/ 한국철도시설공단
/ 한국철도기술연구원
/ 한국철도공사

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

# 제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발" 총괄 보고서로 제출합니다.

2015. 5.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 엄 기 영
참여연구원 : 윤희택 외 29명

협동연구기관명 : ㈜유니슨테크놀러지
협동연구책임자 : 장 강 석
참여연구원 : 고효인 외 26명

협동연구기관명 : 한국철도시설공단
협동연구책임자 : 이 종 근
참여연구원 : 강윤석 외 63명

협동연구기관명 : 한국철도기술연구원
협동연구책임자 : 조 용 현
참여연구원 : 권삼영 외 42명

협동연구기관명 : 한국철도공사
협동연구책임자 : 이 시 빈
참여연구원 : 박주훈 외 96명

# 보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>13PRTD-B0<br>56522-04</td><td>해당단계<br>연구기간</td><td>2013.10.29.<br>~2015.3.28</td><td>단 계 구 분</td><td>4/4단계</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">철도기술연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위<br>과 제 명</td><td colspan="4">400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>엄기영<br>연구단장</td><td>총연구기간<br>참 여<br>연구원수</td><td>총 : 260명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 24,751,500천원<br>기업 : 12,822,100천원<br>계 : 37,573,600천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및<br>소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도기술연구원<br>고속철도인프라연구단</td><td>참여기업명</td><td>한국철도시설공단<br>한국철도공사<br>㈜유니슨테크놀러지<br>(주)GET-PC<br>(주)삼안<br>(주)세인<br>(주)평일<br>(주)한성전공<br>(주)다현CNI</td><td>㈜한국유지관리<br>㈜지구환경전문가그룹<br>대한전선(주)<br>유경제어(주)<br>현대로템(주)<br>삼성SDS(주)<br>세명전기공업(주)<br>승화프리텍(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td>보고서<br>면수</td><td>574</td></tr>
<tr><td colspan="6">‘400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발’ 연구단 과제는 환경소음 저감기술 개발, 선로구축물 모니터링 및 최적 설계기준 연구, 400km/h급 전차선로 시스템 개발, ETCS-L2 열차제어 핵심기술 개발 등 인프라를 구성하는 다양한 분야의 과제로 구성되어 있다.<br>4차년도에는 호남고속철도 테스트베드를 구축하고, 인프라 성능평가를 완료하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 1세부과제에서는 호남고속철도 400km/h급 테스트베드 구축과 이를 통한 성능평가, 테스트베드 모니터링시스템 및 통합DB를 구축하였다.<br>2세부과제에서는 환경소음 저감장치(방음벽 상단장치, 도상용 흡음블럭)와 소음예측모델의 현장적용 성능평가를 수행하였다.<br>3세부과제에서는 테스트베드에 선로구축물(궤도/노반/교량/미기압파) 모니터링시스템을 구축하고, 이를 통하여 선로구축물 400km/h급 핵심 설계기준(안)을 제시하였다.<br>4세부과제에서는 전차선로 핵심부품 평가시스템 구축하고, 전차선로 핵심부품 차상/지상 현장 성능평가를 수행하였다.<br>5세부과제에서는 차상ATP장치 구성품 시험과 지상/차상 ATP장치 인터페이스 성능을 평가하였다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어<br>(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">테스트베드구축, 철도소음원, 선로구축물, 전차선로, 열차제어</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Test-bed, Railway noise source, Structure of Track-bed, Overhead contact wire, Railway control</td></tr>
</table>

# 요 약 문

## Ⅰ. 제 목

400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발

## Ⅱ. 연구개발과제 개요


고속철도 인프라 기술은 궤도토목, 환경, 전차선로, 신호제어 등이 시스템적으로 결합되어야 하며, 이를 위해서는 세부기술의 개발과 각 기술개발이 일관된 목표를 지향할 수 있도록 유기적인 통합과 인터페이스를 필요로 한다.

고속철도 인프라 핵심기술은 국가연구개발 사업을 통해 2011년부터 약 2년간 기초 및 설계기술, 핵심기술, 시제품 등을 개발하고, 이후 1년간 실내외 성능실험, 구내 Test-bed에서 성능검증을 거친 후 2014년 호남고속철도 증속구간에 현장부설과 성능평가 및 검증을 실시하였다.

본 과제에서 개발된 인프라 핵심기술은 호남고속철도 400km/h급 테스트베드 및 통합DB 및 운영관리시스템, 환경소음 저감장치(방음벽 상단장치, 도상용 흡음블럭) 및 소음원 예측모델 및 소음원 기여도 규명기술, 선로구축물 설계기준(궤도단면, 노반침하기준, 교량연직변위 포함 8종) 및 모니터링시스템, 전차선 핵심부품 7종, ETCS-L2 지상 및 차상 ATP 핵심기술 등이다.

400km/h급 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술 분야(1세부)에서는 호남고속철도 상·하행 56km 구간에 400km/h급 인프라 테스트베드를 구축하고, 인프라 핵심성과물의 성능평가를 통하여 통합 DB 및 모니터링시스템을 구축하였다.

환경소음 저감기술 분야(2세부)에서는 고속열차의 소음도 3dB(A) 절감을 목표로 방음벽 상단장치, 슬래브 도상용 흡음블럭 및 소음예측모델과 소음원 기여도 규명기술을 개발하였다. 또한 국내 최초로 400km/h 주행시 소음원별 강도, 소음레벨, 주파수 예측이 가능한 철도소음예측모델과 소음원 기여도 규명기술의 확보와 함께 소음예측, 관련기준을 개발하였다.

선로구축물기술 분야(3세부)에서는 호남고속철도 익산-정읍, 28km 상·하행 구간에 선로구축물 11개소의 모니터링시스템을 구축하고, 이를 통하여 고속운행시 선로구축물의 거동규명과 단계별 증속을 수행하고 시험 분석데이터를 근거로 궤도노반 단면을 제시하고 노반침하기준, 교량연직변위, 궤도충격률 등을 포함한 8종의 설계기준을 도출하였다.

전차선로기술 분야(5세부)에서는 안정적으로 차량에 전력을 공급할 수 있는 전차선로 시스템을 설계하고, 핵심부품 7종을 개발하여 호남고속철도 56km 구간에 시험부설하고, 성능평가를 실시하였다. 또한, 선로 정보 등을 입력하면 자동으로 상세 설계를 할 수 있는 전차선로 시스템 상세설계 프로그램을 개발하여 호남고속철도에 적용하여 사용자재를 DB화하는 등 사업관리 효율과 시공 정밀도를 향상시켰다.

열차제어 분야(5세부)에서는 열차의 안전운행에 필수적인 ETCS-L2 지상 및 차상 ATP를 개발하여 인터페이스 성능시험을 수행하고, 지상-차상 통합시험을 위한 시뮬레이터, 지상 인터페이스 시스템, 무선안전전송모듈 등을 개발하여 통합실험실을 구축하였다.

## Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

**○ 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 분야**

- 호남고속철도 건설 중임에도 당초 일정에 부합하여 400km/h급 인프라 테스트베드 구축 완료함(익산-정읍, 상·하행 28km/h)
- 테스트베드에서 환경소음, 선로구축물, 전차선의 현장계측 및 성능평가 결과를 통합적으로 관리, 분석하기 위한 모니터링시스템 및 통합 DB를 구축하여 운영함

**○ 환경소음 분야**

- 250~400km/h 속도대역에서 고속열차의 소음도 3dB 저감을 목표로 기존 방음벽 대비 10~18%의 공사비 절감이 가능한 방음벽 상단장치와 해외 유사제품 대비 20%의 생산비가 저렴한 도상용 흡음블럭을 개발하여 테스트베드 현장에 각 400m씩 부설하여 성능검증을 완료함
- 소음원 기여도 분석을 통하여 철도 총합소음을 3dB 이내로 정확히 예측할 수 있는 소음예측모델을 개발하여 성능검증을 완료함

**○ 선로구축물 분야**

- 호남고속철도 테스트베드 구간에 11개소의 선로구축물 모니터링 시스템을 설치하여 운영(궤도 3, 노반 3, 교량 3, 터널미기압파 2, 총 11개소)
- 선로구축물 거동 분석을 통하여 400km/h급 핵심 설계기준(안) 도출함

**○ 전차선 분야**

- 전차선 장력이 높을수록 전차선로 최고 허용속도는 증가하는데, 개발된 전차선로 시스템의 장력이 선진외국과 비교하여 가장 높음. 세계 최고 수준인 400km/h급 전차선로 시스템을 개발한 국가는 한국이 유일함
- 400km/h급 전차선로 시스템을 호남고속철도에 상용화함으로써 한국이 세계 최초로 400km/h급 전차선로 시스템을 상용화한 국가가 되었음
- 본 과제에서 개발된 기술은 400km/h급 고속철도에서 기술실시가 완료되었으며, 350, 300km/h 고속철도에도 확대 적용할 수 있을 것으로 판단됨.

**○ 열차제어 분야**

- 열차의 안전운행에 필수적인 ETCS-L2 지상 및 차상 ATP를 개발하여 인터페이스 성능시험을 완료함
- 지상-차상 통합시험을 위한 시뮬레이터, 지상 인터페이스 시스템, 무선안전전송모듈 등을 개발하여 통합실험실을 구축 완료함

## Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

| 구분 | 최종 연구성과 및 적용실적 | 비고 |
|---|---|---|
| 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 분야 | - 호남고속철도 400km/h급 인프라 테스트베드(익산-정읍, 상·하행 28km/h) 구축 완료<br>- 테스트베드 모니터링시스템 및 통합 DB 구축 완료 | |
| 환경소음 분야 | - 방음벽 상단장치 및 도상용 흡음블럭 개발<br>- 테스트베드 구간에 각 400m씩 현장 부설하여 성능검증 완료<br>- 소음원 기여도 분석을 통하여 철도 총합소음을 3dB 이내로 정확히 예측할 수 있는 소음예측모델을 개발하여 성능검증 완료 | |
| 선로구축물 분야 | - 호남고속철도 테스트베드 구간에 11개소의 선로구축물 모니터링 시스템을 설치하여 운영(궤도 3, 노반 3, 교량 3, 터널미기압파 2, 총 11개소)<br>- 선로구축물 거동 분석을 통하여 400km/h급 핵심 설계기준(안) 도출 | |
| 전차선 분야 | - 400km/h급 전차선로 핵심부품 7종 개발<br>- 테스트베드 구간(상·하행 56km)에 상용화 부설 및 성능평가 완료 | |
| 열차제어 분야 | - 열차의 안전운행에 필수적인 ETCS-L2 지상 및 차상 ATP를 개발하여 인터페이스 성능시험 완료<br>- 지상-차상 통합시험을 위한 시뮬레이터, 지상 인터페이스 시스템, 무선안전전송모듈 등을 개발하여 통합실험실을 구축 완료함 | |

# Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

## 1. 연구목표 달성도

**○ 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 분야**

| 번호 | 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%)<br>(달성/목표) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 연구사업 총괄 및 인터페이스 | 세부과제별 진도관리 및 인터페이스 체계 구축 | - 월간 공정회의 14회 개최<br>- 연구현장 점검 및 현안사항 협의 10회<br>- 총괄 및 세부과제별 연구내용 적합성 검토 1회 | 416%<br>(25회/6회) |
| | | 세부과제간 정보공유 체계 강화 | - 홈페이지 Research Community 활성화<br>- 뉴스레터 발송 13건 | 200%<br>(2건/1건) |
| 2 | 연구성과 홍보 및 확산 | 연구성과 홍보 | - 홍보동영상, 선로영상 제작 2건<br>- 연구단 로고 스티커, 연구현장 설명판넬 제작<br>- 연구단 홍보책자 (영문리플렛, 성과집) 발간<br>- 한국방재학회 전시부스 설치, 운영<br>- 철도수송박람회(Innotrans 2014, 베를린) 참가 | 250%<br>(5건/2건) |
| | | 연구성과 발표 | - 한국철도기술 특집기사 5건 기고<br>- 한국구조물진단학회 14 봄학술대회 특별세션 연구성과 발표<br>- 철도교통 사업화 유망R&D 기술설명회 연구성과 발표<br>- 첨단 고속철도 인프라 미래전략 워크숍 | 200%<br>(4건/2건) |
| 3 | 연구성과품 종합평가 및 분석 | 연구성과품 적용성 검토 | - 연구성과품 적용, 속도 증속가능성 분석<br>- 운영속도별 TPS 분석 | 100%<br>(1건/1건) |
| | | 연구성과품 실용화 기반 검토 | - Test-bed 적용을 위한 연구성과 적정성 분석<br>- 실용화 전략 및 기반수립 | 100%<br>(1건/1건) |
| 4 | 테스트베드 구축 및 실행 | 테스트베드 구축 실행 | - 호남고속철도 건설공정과 연계하여 테스트베드 구축<br>• 방음벽 상단장치(1), 흡음블럭(1), 소음예측모델(3), 궤도(2), 노반(3), 교량(2), 미기압파(1), 전차선로 지상(1), 차상(1) | 100%<br>(1건/1건) |
| | | 기술분야별 테스트베드 구축 지원 | - 환경소음저감장치 설치 및 응용 지원 여부<br>- 선로구축물 분야 모니터링시스템 구축 지원 여부<br>- 전차선로 시스템 설치 지원 여부 | 100%<br>(1건/1건) |
| | | 모니터링시스템 DB관리방안 수립 | - 모니터링시스템 및 DB 관리 방안 제시 여부 | 100%<br>(1건/1건) |
| 5 | 테스트베드 DB 개발 및 운영환경 구축 | 통합DB 및 통합UI 시스템 테스트베드 적용 | - 통합 UI 웹프로그램 개발<br>- 테스트베드 통합 DB 개발<br>- 통합 DB 및 통합UI 시스템 테스트베드 적용 | 100%<br>(1건/1건) |
| | | 통합 모니터링 H/W 시스템 테스트베드 적용 | - 테스트베드 통합 모니터링 시스템 개발<br>- 통합 모니터링 H/W시스템 테스트베드 적용<br>- 통합DB 개발 및 운영환경 구축 결과 검증 | 100%<br>(1건/1건) |

○ 환경소음 분야

| 번호 | 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 상단소음 저감장치의 현장적용 성능평가 | 현장소음저감 성능 3dB(A) 이상 | - 방음벽 상단장치 테스트 베드 현장부설 완료<br>• 호남고철 STA. 116k480~880, L=400m<br>- 방음벽 상단장치 음향성능평가<br>• 소음저감성능 3.5dB 확보<br>- HEMU-430X 증속시 방음벽 상단장치 소음저감성능평가<br>• 상단장치 설치/미설치 구간 동시측정 5회<br>• HEMU-430X 367~414km/h 운행시 평균 소음저감량 3.9dB(A) 확보 | 100% |
| 2 | 고속철도 예측설계 기술 인터페이스 완료 | 환경소음 핵심저감장치 예측모델용 데이터 제공 | - 상단장치 설치 전/후 음향성능평가 결과<br>- 상단장치 소음저감 성능평가 결과<br>- 흡음블럭 소음저감 성능평가 결과 | 100% |
| 3 | 고속철도 소음예측 모델 개발 | 개발 소음예측모델 정확도 오차범위 3dB 이내 | - 테스트 베드 TDR 측정결과<br>• 개활지 3회, 방음벽 구간 1회<br>- 현장 소음측정결과와 예측결과의 비교<br>• 개활지 3회, 방음벽 및 교량 구간 2회 현장 소음 측정<br>• HEMU-430X 속도별 측정값과 예측값과 비교결과 총합소음도 오차범위 3dB 이내<br>- 철도 전동소음원 강도해석 프로그램 PRINT-R 등록(C-2015-001699) | 100% |
| 4 | 고속철도 소음저감 시뮬레이션 기술 확보 | 소음원 특성 변화에 따른 수음지 소음저감예측 성능 3건이상 | - 차량의 저소음과 구조 변경에 따른 음압 예측 및 측정치와 비교(측정결과와 오차 1.0dB)<br>- 방음벽 설치에 따른 소음저감효과 예측 및 측정치와 비교(측정결과와 오차 3.0dB)<br>- 흡음블럭 설치에 따른 소음저감효과 예측 및 측정치와 비교(측정결과와 오차 1.0dB)<br>- 철도소음도 시뮬레이션 프로그램 등록(C-2014-034077) | 100% |
| 5 | 슬라브 도상용 흡음블럭 현장부설 | 현장소음저감 성능 3dB(A) 이상 | - 흡음블럭 테스트 베드 현장부설 완료<br>• 호남고철 STA. 109k500~900, L=400m<br>- HEMU-430X 증속시 흡음블럭 소음저감성능평가<br>• 흡음블럭 설치/미설치 구간 동시측정 4회<br>• HEMU-430X 172~404km/h로 상선 운행(마이크로폰 이격거리 선로중앙 5m)시 평균소 | 100% |

| 번호 | 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|---|
| | | | 음저감량 3.0dB(A) 확보<br>• HEMU-430X 172~404km/h로 하선 운행(마이크로폰 이격거리 선로중앙 8.9m)시 평균 소음저감량 4.3dB(A) 확보 | |
| | | 설치후 안정성 및 내구성 관련 점검결과 이상없음 | - 설치 후 안정성 및 내구성 등에 대한 점검<br>- 습윤상태와 건조상태의 흡음블럭 흡음성능 비교 검토<br>• 부설된 흡음블럭이 실제 열차 및 시설물들과의 간섭여부 점검 3회<br>• 흡음블럭 부설 후 열차운행 및 시간경과에 따른 흡음블럭의 움직임 여부 점검 3회<br>• 흡음블럭 부설 후 열차운행 및 외기노출에 따른 흡음블럭의 내구성능 변화 여부 점검 | 100% |

○ 선로구축물 분야

| 번호 | 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Test-Bed 구간 선로구축물 거동평가 모니터링 시스템 구축 • 운영 및 설계기준(안)검토 | Test-Bed 구간 선로구축물 거동평가 모니터링 시스템 구축 • 운영 | - 호남고속선 테스트베드구간 11개소 구축, 운영관리실시<br>- 연구현장 일제점검 14건<br>- 구축시 안전관리교육 및 투입 89건, 안전관리자 4인<br>- 구축 및 시험협의 실시 8건<br>- 증속시 작업,안전관리 협의 요청공문 23건<br>- 시험계획공문 요청발송 3건 | 100% |
| | | 세부과제 진도관리 및 선로구축물 기준(안) 검토 | - 자체 공정회의 2회<br>- 사전기술검토 4개분야<br>- 개발기준 8건에 대한 사전기술검토<br>- 기술검토 협의 3건<br>- 기술자문회의 4건 | 100% |
| 2 | 선로구축물 Test-Bed구간 증속거동 분석 및 400km/h급 설계지침(안) 개발 | 400km/h 주행 파라미터별 속도상관성 분석 | - Test-Bed 모니터링, 현장시험 측정데이터 분석, 해석,실내시험 분석결과를 고려한 선로구축물(궤도,노반,교량,미기압파) 예측경향 및 여유도 분석<br>• 해석수행(TPS,궤도,노반,교량동적해석)<br>• 실내시험(실대형시험,PCL,캠플레이트 17종)<br>• 현장시험(증속시험 293건 통계분석,미기압파 2개소 현장측정시행)<br>- 속도-선로구축물 거동특성(응력,변위,침하) 상관 및 예측챠트 제시 | 100% |
| | | 400km/h 궤도, 노반, 교량 설계기준(안) 제시 | - 선로구축물 설계기준(안)제시<br>• 사전기술검토: 4개분야 궤도 285개, 노반분야 182개, 교량분야 113개, 미기압파 분야 21개 상세항목정의 검토실시<br>• KR C-08070 교량구조 적정설계 변위, KR C-14030, 표준동적하중 충격계수편, KR C-04 미기압파 기준제안 | 100% |
| 3 | 선로구축물(궤도,교량) 거동평가 모니터링 시스템구축 및 성능평가 | 본선 Test-Bed 구간의 선로구축물 성능평가 및 검증 | - 궤도, 교량 모니터링 시스템 및 시험측정데이터 구축<br>• 궤도 직선구간(109K231), 궤도 원곡선구간(98K815), 교량 PSC-BOX교(119k102), 교량 소수주형교(118k577)<br>• 인프라 시험 측정데이터구축(궤도 60ch×24회 / 교량 21ch×24회 데이터구축) | 100% |

| 번호 | 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|---|
| | | | - 교량단부 콘크리트궤도 설계기준정립<br>• KR C-08090 교량단부 콘크리트궤도 사용성 검토를 위한 동적작용 충격계수 산정 | |
| | | 분기기 성능평가 및 측정데이터구축 | - 분기기측정시스템 현장구축 및 시험수행<br>• 정읍역 고속분기기 F26 #6713(131K940) 구<br>• 총 8회 시험측정실시(44ch×24회) | 100% |
| 4 | 선로구축물(노반) 거동평가 모니터링 시스템 구축 및 성능평가 | Test-Bed 구간 선로구축물(노반) 측정 데이터구축 | - 노반 모니터링 시스템 및 시험측정데이터 구축<br>• 표준노반(109K231), 연약지반(110K000), 교대접속노반(120k650)의 모니터링 시스템 구축<br>• 인프라 시험 측정데이터구축(노반 99ch×24회 데이터구축) | 100% |
| | | 침하분석 및 침하관리 기준(안)개발 | - 테스트베드 구간 침하 DB화<br>• 원지반:221개소, 지표:178개소<br>• 침하 분석 잔류침하량 평가(노반정보관리프로그램)<br>• 원지반:221개소<br>- 노반침하(한계침하속도) 기준(안)제시 | 100% |
| 5 | 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 최적설계 및 설계기준(안) 개발 | 동적증가계수와 궤도 및 노반단면 설계의 상관성 분석 | - 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 핵심설계요소의 특성변화 분석을 위한 분석<br>• 충격계수 증가설계하중고려 TCL응력분석<br>• TCL 및 토공노반 변화분석<br>• 사용성검토 분석<br>- 현장 매립센서의 궤도TCL의 동적거동 분석 및 표면게이지 균열분석 | 100% |
| | | 열차속도증속을 고려한 궤도/노반 최적설계(안) 도출 | - 토노반 콘크리트구조 최적설계단면(안)제시<br>• 신규단면제안(TCL축소단면)<br>• 토노반 콘크리트구조 최적설계단면(안)제시<br>• KR C-14040 콘크리트궤도 요구 조건<br>• KR C-14040 콘크리트궤도 구성품 요소 | 100% |

○ 전차선로 분야

| 번호 | 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 상세설계 기술개발 | 드로퍼 간격, 이도 확정 등 400km/h 전차선로 설계안 확정 및 개선 | - 독창적인 400km/h급 전차선로를 설계안 제시 및 현장시험을 통한 적합성 확인<br>- 보완된 기본도를 포함한 토털 One Set 기본도(상세설계 도서) 제시 | 100% |
| 2 | 전차선로 부품 내구성 평가기술 개발 및 DB 구축 | 기존 전차선 대비 개발 전차선의 마모 성능 비교를 위한 시험 및 데이터 구축 | - 개발 전차선에 대한 내마모 성능 확인 | 100% |
| | | 드로퍼 피로시험 및 200만회 반복하중에 견디는 내피로하중 데이터 구축 | - 개발 부품에 대한 장기 신뢰성 검증 및 시공기술 활용을 위한 부품 특성 확인 | 100% |
| 3 | 전기적 결함탐지 장치 | 온도 및 UV탐지를 통한 전차선로 전기적 결함탐지 시스템 목표 성능 달성 (15m 이상/ 0.1℃) | - 코로나 15m에서 측정값 100이상, 20m에서 측정값 80이상 달성<br>- 정량적 성능 목표인 최소온도분해능0.1K를 만족하는 0.07K달성 | 100% |
| 4 | 장력 /전류파형 실시간 모니터링 시스템 | 장력 실시간 모니터링 초도품 실용성 확인(표준장력 34kN 에서 3% 이상 저하되는 것을 실시간 모니터링) | - 현장적용을 통해 표준장력34kN 에서 3% 이내로 정상동작 여부를 실시간 모니터링 성공 | 100% |
| | | 전류파형 실시간 모니터링 초도품 실용성 확인 | - 개발품 현장 적용을 통해 전류 파형분석을 통한 지상부 집전성능 상태 모니터링 성공 | 100% |
| 5 | 종합 집전성능 평가 | 집전 성능 목표 성능 달성 (이선율1% 이하, 접촉 유지 정도를 나타내는 접촉력의 최소값 0 이상) (@400km/h) | - 최고속도 400 km/h에서 목표인 이선율 1% 이하 만족 입증<br>- 최고속도 400km/h에서 목표인 통계적 최소 접촉력 0 이상 만족 입증 | 100% |
| 6 | 전차선로 안정성 평가 | 전차선로 안정성 목표 성능 달성(≤200㎜, 제시여부) (@400km/h) | - 400km/h급 전차선로 지상부 측정기준 만족(압상량, 변형율, 드로퍼 작용력) → 400km/h급 전차선로 성능 확인 | 100% |

○ 열차제어 분야

| 번호 | 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 유럽표준 고속철도 열차제어 상호호환성 검증 엔지니어링 기술개발 | ETCS-L2 핵심장치 통합 및 성능시험 | - 유럽표준(Subset 076) 분석을 통한 차상-지상 통합시험 절차서 작성<br>- 시험 절차서의 시험 항목별 적합성 확인 | 100% |
| | | ETCS-L2 엔지니어링 | - ETCS-L2 과제 통합 및 엔지니어링을 위한 월별 공정관리 9회 시행<br>- '한국철도기술' 기술지 게제, 각종 워크숍 발표 등 홍보 실적 5건 | 100% |
| 2 | 유럽표준 고속철도 열차제어 차상핵심기술개발 | 차상ATP 장치 S/W 개발 | - S/W 구조 사양서(EVCU, SDOU) 분석 및 상세 설계 완료<br>- S/W 구현 및 소스코드 검증 완료<br>- 시뮬레이터 설계 및 제작 완료 | 100% |
| | | 차상ATP 장치 시제품 기능검증 | - ATP 장치 단위시험 완료<br>- 전자파, 온/습도, 진동/충격 환경시험 완료<br>- ATP↔JRU, DMI, SDOU 인터페이스 검증 완료<br>- 소프트웨어 연계 시험 보고서 작성<br>- 차상 ATP장치 통합 시험절차서 작성<br>- 차상 ATP장치 통합 시험결과 보고서 작성 | 100% |
| | | 단계별 안전성(SIL) 검증 | - 시스템 개념 평가 보고서 작성<br>- 차상ATP장치 구조 사양서 작성<br>- 소프트웨어 구조 및 설계 Verification Report<br>- 컴포넌트 설계 Verification Report<br>- RAM 분석보고서 작성<br>- 부품(Component) FMEA 분석보고서 작성<br>- FTA 분석보고서 작성 | 100% |
| 3 | 유럽표준 고속철도 열차제어 인터페이스 기술개발 | 지상-차상 시스템 통합 | - 차상ATP 연계를 고려한 지상ATP 소프트웨어 최적화 완료<br>- 지상ATP-차상ATP 시험절차서 및 시험결과서 작성 | 100% |
| | | 실용화 연계기술 연구 | - 무선폐색센터(RBC) 및 관제시스템 구성기술 방안 수립<br>- 무선통신기술 적용방안 수립 | 100% |
| | | 지상인터페이스 시스템 성능검증 | - 폐색정보전송장치 현장시험(성능시험) 및 결과분석<br>- 현장시험 결과를 반영한 시제품 성능개선 완료<br>- 차상ATP장치↔안전전송모듈 성능시험 완료 | 100% |
| | | ETCS 시스템 검증 및 통합시험 지원 | - 지상↔차상시스템 연계를 위한 인터페이스 기술지원 시행<br>- ETCS 검증장비 운용을 통한 시험지원 시행 | 100% |

2. 연구개발 결과의 파급효과

**○ 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 분야**

- 독일, 프랑스, 일본, 중국 등 철도선진국들간의 고속철도 경쟁이 치열하게 전개되고 있는 상황에서, 본 연구사업은 향후 400km/h급 고속철도 시장에서 기술적 우위를 확보하는 계기가 될 것이라 판단됨
  - 국내 고속철도인프라 기술의 자립이 가능
  - 해외 고속철도시장 진출을 위한 핵심기술 확보 가능
- 본 연구사업을 통해서 개발되는 고속철도인프라 기술에 대한 경제성 분석에 따르면,
  - R&D를 통한 직접편익의 경제적 가치는 835.6억원, 간접편익은 643.8억원에 달하는 것으로 분석됨
  - 또한 산업에 미치는 생산유발효과는 2,776억원, 부가가치 유발효과는 812.4억원, 고용유발효과는 1,195명에 이르는 것으로 분석됨
- 이외에도 ①Test-bed 구간의 영업속도 향상(350→400km/h), 환경소음 저감을 통한 승차감 향상 등을 통해 고객만족도가 높아지고, ②테스트 베드 구간에 대한 지속적인 모니터링 및 분석을 통해 안전성 향상 효과가 클 것으로 예상되며, ③인프라 성능평가 및 검증에 따른 분야별 제품개발 시방서, 기준 확대적용이 가능함

**○ 환경소음 분야**

- 우수한 소음저감 성능으로 400km/h 이상의 속도대역 외에도 250-350km/h 속도대역으로 운행 중인 현재의 고속철도에도 활용 가능
- 방음벽 상단장치는 기존 방음벽 대비 10~18%의 공사비 절감이 가능하며, 현재 운영 중인 방음벽 구간 및 신규노선에 적용하여 년간 50억원의 매출 기대
- 도상용 흡음블럭은 해외 유사제품(독일 Bausteine-briest) 대비 약 20%의 생산비 절감으로 가격 경쟁력이 우수하여 해외수출이 기대됨

**○ 선로구축물 분야**

- 400km/h급 선로구축물 설계기준(안)은 국내 철도의 속도향상(367km) 및 신규 고속선(153km) 건설과 해외 고속철도 시장에 진출하는데 활용 가능
- 선로구축물 모니터링시스템의 국산화 개발로 11.3억원의 수입대체 효과가 발생하였으며, 광섬유센서 기반 궤도모니터링 시스템의 해외수출로 19억원의 매출이 기대
- 400km/h급 최적 설계기준의 신규노선 적용시 약 90.7억원/km의 건설비 절감 기대

**○ 전차선 분야**

- 세계 기술 수준을 뛰어 넘는 400km/h급 전차선로 시스템 독자 개발 및 설계기술 확보
- 개발 기술은 3개 기업체(세명전기, ㈜평일, 대한전선)에 기술이전 되었고, 2014년 현재 호남고속철도 56 km구간에 약 54억원 정도의 부품이 납품되어 기술이전 받은 업체의 매출 향상에 기여.
- 국내·외 속도향상 구간(국내 367km) 및 신규 고속선(국내 153km, 국외 44,190km)에 활용하는 경우 약 766억원의 매출효과 기대
- 400km/h급 고강도/고전도성 동합금 배합 및 제조공정에 적용된 기술은 관련 부품 제작과 특수선에 적용되는 기능성 도체(비철금속분야)에도 활용 가능

❍ **열차제어 분야**

- 본 연구에서 개발된 유럽표준 차세대 고속철도용 열차제어 핵심기술(ERTMS/ ETCS-L2)은 국내 철도 선진화(개량) 사업 시 수입대체 효과
  ※ 경부선(441.7㎞) 적용시 약 148억원 수입대체 효과
- 해외 열차제어시스템 시장에 진출 할 수 있는 기반기술이 될 것으로 예상
- 열차제어시스템의 기술 확보로 해외 신호업체와 같이 철도신호시스템 표준화 작업을 주도할 것으로 기대

## Ⅵ. 연구성과 활용계획

○ 호남고속철도 완공에 따른 시험차량과 기 구축된 선로구축물간의 인터페이스 검증 및 1단계 적용 연구성과품에 대하여 온도 및 계절변화에 따른 인프라 모니터링 장기성능 평가를 통한 안정성 및 신뢰성 확보가 필요하며 지금까지의 연구에서는 주로 개발된 제품의 단기적 거동에 대한 성능평가가 이루어졌으며, 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발('10.12~'15.3) 과제의 종료에 따른 후속 증속시험 운행과의 연계가 단절되므로써 고속철도 인프라 핵심기술은 장기적인 DB 구축 및 운영이 필요하므로 차량의 운행에 따른 지속적인 인프라 기술확보를 통하여 추가적인 실용화 연구가 시급히 필요함

- 고속철도 인프라 연구성과품(흡음블럭, 상단장치, 선로구축물모니터링)안정화 및 신뢰성 검증에 따른 추가 상용화 달성 필요
- 연구성과품의  장기거동평가를 위해서는 환경소음저감장치 및 선로구축물에 대하여 추가센서 설치 및 기존 모니터링에 대하여 분야별 기능보완 및 장기 데이터 활용성을 위해 DB 관리시스템 분석과 운영보완이 시급함
- 고속철도 인프라 통합 DB 구축으로 설계·운영 기준 및 정책에 활용하기 위해서 장기적인 안정화 및 신뢰성 데이터 확보 필요

○ 개발된 핵심 인프라 핵심 연구성과품은 250km/h~400km/h 속도대역에서 활용이 가능하며, 인프라 핵심성과품의 해외 진출을 위한 국내외 인증을 통한 상호 검증 및 유지보수주기 최적화 등 추가연구 필요

<추가 연구내용>

| 연구분야 | 추가 연구내용 |
|---|---|
| 테스트베드 및<br>인터페이스 기술 | - 테스트베드 및 통합DB 장기 구축, 운영<br>- 핵심 성과품의 내구성, 신뢰성 평가<br>- 국내·외 실용화 전략 수립 |
| 환경소음 | - 방음벽 상단장치, 도상용 흡음블럭 내구성 평가<br>- 도상용 흡음블럭 장기 유지보수 방안 연구<br>- 국내·외 인증 취득을 통한 실용화 연구 |
| 선로구축물 | - 선로구축물 장기거동 평가 연구<br>- 장기 거동에 따른 핵심 설계기준 도출<br>- 고속철도 선로구축물 내구성, 경제성, 환경성 평가에 따fms 구조형상, 재료 개선 연구 |
| 전차선 | - 국제 상호 운전성 인증 연구<br>- 350km/h이하 속도대역에 대한 실용화 연구 |

○ 개발된 핵심 인프라 핵심 연구성과품은 250km/h~400km/h 속도대역에서 활용이 가능하며, 인프라 핵심성과품의 해외 진출을 위한 국내외 인증을 통한 상호 검증 및 유지보수주기 최적화 등 추가연구 필요

○ 연구개발결과는 인프라 테스트베드 운영환경 구축 노하우 기술 축적으로 국내 고속철도 건설정책

및 시험선 건설 등에 반영하고 모니터링 시스템 및 측정기법 기술의 상용화를 통한 국내외 매출을 실현하고 장기 성능 평가를 통해 신뢰성이 확보된 소음저감 성과품은 향후 고속철도 차량 운행 시 측정된 소음데이터 및 철도소음 예측식에 적용하고 선로구축물 거동 데이터 확보를 통하여 국내자체 기준개발 및 설계기술 고도화 실현이 가능하여 향후 설계 및 시공품질관리 기술발전과 시공 및 유지관리 비용 절감에 활용 가능

# SUMMARY

Infra-technology for high speed trains demands combined system among infrastructure, environmental engineering, catenary, signal and train control, and so on. In order to combine these technologies, intimate integration and interface among these technologies are required to develop individual technology towards one goal.

Infra-technology for a high speed train has accomplished: (1) fundamental and designing technology, core technique, and prototype during first two years since 2011, (2) verification of performance in both laboratory and field, and through test-bed, (3) implementation of the developed devices into speed-up section of Honam High Speed Railway and thus verification of the performance of developed techniques through support of National Research and Development Project.

The outputs developed by this R&D project are as follows: construction of 400km/h-class test-bed on Honam High Speed Railway, noise reduction devices (e.g., a sound-absorbing device on top of soundproofing wall, a noise-absorbing block installed on trackbed), predictive model for noise source, noise detecting technique, design criteria on infrastructure (e.g., cross-section, criteria on settlement of trackbed and a bridge), monitoring system, seven crucial techniques on catenary system, fundamental technology of ETCS-L2 and ATP.

Construction of testbed for 400km/h-class high speed train and development of interface part (Sub-Task 1) built the testbed that can support 400km/h or faster high-speed-train. Major research products have been verified though 400km/h-class trackbed. The data obtained through this testbed have been accumulated in order to construct database and monitoring system.

Noise reduction part (Sub-Task 2) has developed top part of noise absorbing wall that can reduce noise, noise-absorbing block installed on trackbed, prediction model of noise level due to a high speed train, evaluation technique of contribution of noise-sources under to goal of 3dB(A) reduction of a high speed train.

Infra-structure part (Sub-Task 3) constructed 11 monitoring sections on 28 km upper and lower lines between Iksan and Jungeap of Honam High Speed Railway. Based on the test results from these test sections, Sub-Task 3 team has suggested standard cross-section design for trackbed and rail system and eight design criteria on settlement of trackbed, vertical displacement of bridge deck, dynamic amplitude ratio, and so on.

Catenary part (Sub-Task 5) developed catenary system that can stably supply power to a train in spite of very high speed (usually 400km/h or faster). Seven crucial parts for the catenary system have been developed and implemented into 56 km section on Honam High Speed Railway, and thus performance has also been verified. Catenary team made detailed designing program using basic information such as railway information. The automatic detailed designing program enabled to enhance efficiency and construction accuracy through database of construction materials.

Train control part (Sub-Task 5) developed trackbed ETCS-L2 and train APT. Interface

performance test between ETCS-L2 and ATP has been carried out. Train control team has established integrated laboratory by developing a simulator of trackbed-train interface test, trackbed interface system, wireless safe transferring module, and so on.

# 목 차


제1장 연구개발과제 개요 ····· 1

제1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1

1. 연구개발 목적 ····· 1
2. 연구개발 필요성 ····· 2

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 7

1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 ····· 7
2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발 ····· 8
3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구 ····· 10
4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발 ····· 12
5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발 ····· 14

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 15

1. 국내 기술개발 현황 ····· 15
2. 국외 기술개발 현황 ····· 22

제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 30

1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 ····· 30
2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발 ····· 31
3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구 ····· 32
4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발 ····· 33
5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발 ····· 34

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 36

제1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 36

1. 연구개발 추진체계 ····· 36

제2절 연구수행과정 및 내용 ····· 37

제3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 ····· 38

1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 ····· 38
2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발 ····· 148
3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구 ····· 227
4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발 ····· 311
5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발 ····· 398

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 533

제1절 최종 연구성과 ····· 533

1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 ····· 533
2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발 ····· 536
3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구 ····· 539
4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발 ····· 541
5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발 ····· 542

제2절 기술 실시 및 적용사례 ····· 544
제3절 기술개발 성과의 국내외 시장전망 ····· 546
1. 국외 시장전망 ····· 546
2. 국내 시장전망 ····· 547

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 549
제1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 549
1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 ····· 549
2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발 ····· 550
3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구 ····· 552
4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발 ····· 555
5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발 ····· 556
제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 558
1. 테스트베드 구축 및 인터페이스 분야 ····· 558
2. 환경소음 분야 ····· 558
3. 선로구축물 분야 ····· 559
4. 전차선 분야 ····· 559
5. 열차제어 분야 ····· 560
제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 560
1. 테스트베드 구축 및 인터페이스 분야 ····· 560
2. 환경소음 분야 ····· 560
3. 선로구축물 분야 ····· 562
4. 전차선 분야 ····· 564
5. 열차제어 분야 ····· 565
제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 567

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 568
제1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 568
1. 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 분야 ····· 568
2. 환경소음 분야 ····· 569
3. 선로구축물 분야 ····· 569
4. 전차선 분야 ····· 569
5. 열차제어 분야 ····· 569
제2절 추가연구 필요성 등 ····· 571

참고문헌 ····· 573

# 표 목차


<표 1-1-1-1> 4차년도 연구개발 목표 ····· 1
<표 1-2-1-1> 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발’ 연구범위 ····· 7
<표 1-2-2-1> 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발’ 연구범위 ····· 8
<표 1-2-3-1> 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구’ 연구범위 ····· 10
<표 1-2-4-1> 전차선로 시스템 기술개발‘ 연구범위 ····· 12
<표 1-2-5-1> 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발’ 연구범위 ····· 14
<표 1-3-1-1> 국내 인프라 계측시스템에 반영된 기술 현황 ····· 15
<표 1-3-1-2> 통합모니터링 시스템 데이터 수집방법 및 데이터형식 ····· 16
<표 1-3-1-3> 국내 방음벽 적용현황 ····· 17
<표 1-3-1-4> 국내 흡음블럭 관련 특허 정보 ····· 18
<표 1-3-2-1> 국외 인프라 계측시스템 현황 ····· 23
<표 1-3-2-2> 속도향상에 따른 전차선로 및 기타 조정사항 ····· 27
<표 1-4-1-1> 연구업무 추진 현화 ····· 30
<표 1-4-2-1> 방음벽 상단장치 설치비용 ····· 31
<표 1-4-2-2> 도상용 흡음블럭의 우수성 ····· 31
<표 1-4-2-3> 도상용 흡음블럭의 설치비용 비교 ····· 31
<표 1-4-2-4> 소음 예측모델과 소음원 기여도 분석 기술의 우수성 ····· 32
<표 1-4-3-1> 국내외 관련기술 현황 비교 ····· 32
<표 1-4-4-1> 400km/h급 전차선로의 우수성 ····· 34
<표 2-2-1-1> 연구수행 과정 및 내용 ····· 37
<표 2-3-1-1> 월간공정회의 주요 내용 ····· 38
<표 2-3-1-2> 연구현장 점검내용 ····· 42
<표 2-3-1-3> 1세부과제 년차별 연구내용 적합성 검토 자료 ····· 44
<표 2-3-1-4> Research Community 게시 내용 ····· 45
<표 2-3-1-5> 연구단 뉴스레터 주요 내용 ····· 46
<표 2-3-1-6> 3D 홍보동영상 세부 내용 ····· 48
<표 2-3-1-7> 실사 동영상 세부 내용 ····· 49
<표 2-3-1-8> 선로 동영상 세부 내용 ····· 50
<표 2-3-1-9> 연구성과 발표실적 ····· 55
<표 2-3-1-10> 첨단 고속철도 인프라 미래전략 수립 워크숍 주요 발표내용 ····· 56
<표 2-3-1-11> 구조물진단유지관리공학회 특셜세션 발표논문 ····· 57
<표 2-3-1-12> 한국철도기술학회지 기술기사 목록 ····· 59
<표 2-3-1-13> 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 워크숍 개요 ····· 60
<표 2-3-1-14> 설계기준 정립을 위한 테스트 베드 구간 노반측정 ····· 61
<표 2-3-1-15> 토공노반 계측결과 분석 ····· 62
<표 2-3-1-16> 노반 침하기준 ····· 62
<표 2-3-1-17> 노반침하 해석결과 ····· 63
<표 2-3-1-18> 노반침하 해석결과 ····· 63
<표 2-3-1-19> 설계기준 정립을 위한 교량구조물 측정 ····· 64
<표 2-3-1-20> 교량 구간 측정결과 ····· 64
<표 2-3-1-21> 회룡터널 현황 ····· 65
<표 2-3-1-22> 회룡터널 미기압파 측정 결과 ····· 66
<표 2-3-1-23> 호남고속철도 터널 미기압파 예측 값과 실제 측정 값 비교 ····· 67

<표 2-3-1-24> 소음예측모델 검증을 위한 측정현황 ····· 68
<표 2-3-1-25> 지형별 특성에 따른 소음예측과 측정값의 비교 ····· 68
<표 2-3-1-26> 방음벽 상단장치 성능 측정 결과(V>350km/h) ····· 69
<표 2-3-1-27> 호남고속철도 기설 방음벽의 더 높이기 한계 ····· 70
<표 2-3-1-28> 흡음블럭의 성능평가를 위한 측정방법 ····· 70
<표 2-3-1-29> 흡음블럭 성능 측정 결과 ····· 70
<표 2-3-1-30> 궤도/흡음블럭 인터페이스 검토 항목 ····· 71
<표 2-3-1-31> 아크  집중 발생구간과 노반 현황 ····· 72
<표 2-3-1-32> 시제차량 분석결과 ····· 74
<표 2-3-1-33> 운영차량 분석결과 ····· 74
<표 2-3-1-34> 시제차량 증속가능구간 검토 ····· 75
<표 2-3-1-35> 운영차량 증속가능구간 검토 ····· 75
<표 2-3-1-36> 시제차량 하선 기준에 의한 기존 연구결과 비교 ····· 76
<표 2-3-1-37> 호남고속철도 상용운행 시 증속 가능구간 ····· 77
<표 2-3-1-38> 호남고속철도 운영열차 최고속도에 따른 연구 성과품 적용 ····· 77
<표 2-3-1-39> 통합모니터링 결과 D/B의 활용 ····· 78
<표 2-3-1-40> 테스트베드 구축 추진경과 ····· 81
<표 2-3-1-41> 환경소음 분야 측정시스템 설치위치 및 성능평가 ····· 82
<표 2-3-1-42> 환경소음 분야 현장 측정시스템 설치 현황 ····· 82
<표 2-3-1-43> 선로구축물 분야 측정시스템 설치위치 및 성능평가 ····· 83
<표 2-3-1-44> 선로구축물 분야 현장 측정시스템 설치 현황 ····· 83
<표 2-3-1-45> 전차선 분야 설치현황 ····· 84
<표 2-3-1-46> 전차선 분야 현장 측정시스템 설치 현황 ····· 84
<표 2-3-1-47> 호남고속철도 테스트베드 성능시험 조건 ····· 85
<표 2-3-1-48> 인프라 성능시험 일정 ····· 85
<표 2-3-1-49> 환경소음 분야 성능시험 항목 ····· 85
<표 2-3-1-50> 선로구축물 분야 성능시험 항목 ····· 86
<표 2-3-1-51> 전차선로 분야 성능시험 항목 ····· 87
<표 2-3-1-52> 총괄 분야 지원 내용 ····· 88
<표 2-3-1-53> 환경소음 분야 지원 내용 ····· 89
<표 2-3-1-54> 전차선 분야 지원 내용 ····· 89
<표 2-3-1-55> 인프라 성능시험시 안전대책 ····· 90
<표 2-3-1-56> 통합 모니터링시스템 구축 일정 ····· 94
<표 2-3-1-57> CPU별 tpmC ····· 95
<표 2-3-1-58> 통합 모니터링 서버군 성능 ····· 95
<표 2-3-1-59> 통합 서버 및 계측서버, 기타서버 특장점 ····· 96
<표 2-3-1-60> 데이터용량 합계 ····· 97
<표 2-3-1-61> 스토리지 용량계산 고려사항 ····· 97
<표 2-3-1-62> 스토리지 선정 고려사항 ····· 98
<표 2-3-1-63> 테스트베드 통합 DB 스토리지 ····· 98
<표 2-3-1-64> L3 스위치 검토 내역 ····· 99
<표 2-3-1-65> L3 스위치 사양 ····· 99
<표 2-3-1-66> 보안 방화벽 요구사항 ····· 99
<표 2-3-1-67> 보안 방화벽 사용성 검토 ····· 100
<표 2-3-1-68> 개발환경 툴 ····· 103

<표 2-3-1-69> 웹 프로그래밍 언어중 가장 많이 쓰이는 ASP.NET , JSP , PHP의 특장점 ····· 103
<표 2-3-1-70> 개발된 웹 프로그램 구성 ····· 105
<표 2-3-1-71> 사용자 등급 분류 ····· 106
<표 2-3-1-72> 웹프로그램 알고리즘 개발 및 적용 알고리즘 ····· 108
<표 2-3-1-73> 분류코드표 ····· 112
<표 2-3-1-74> 공구코드표 ····· 113
<표 2-3-1-75> 환경소음분야 센서코드표 ····· 114
<표 2-3-1-76> 노반분야 센서코드표 ····· 114
<표 2-3-1-77> 궤도분야 센서코드표 ····· 115
<표 2-3-1-78> 전차선 분야 센서코드표 ····· 116
<표 2-3-1-79> 상황실 구축 목적 ····· 118
<표 2-3-1-80> 상황실 구축 요구 사항 ····· 118
<표 2-3-1-81> 전상장비 목록 ····· 119
<표 2-3-1-82> 랙 장비 개요 ····· 119
<표 2-3-1-83> 상황실 전력 소모량 검토 ····· 120
<표 2-3-1-84> 상황실 소음 검토 ····· 121
<표 2-3-1-85> 통합 모니터링 서버 구축 현황 ····· 123
<표 2-3-1-86> 통합 상황실 전산장비 목록 ····· 124
<표 2-3-1-87> FTP(계측)서버 IP 구성 현황 ····· 124
<표 2-3-1-88> FTP 접속 방법 ····· 125
<표 2-3-1-89> 노반분야 계측데이터 파일 규약 ····· 126
<표 2-3-1-90> 궤도, 교량 분야 계측데이터 파일 규약 ····· 126
<표 2-3-1-91> 환경 분야 계측데이터 파일 규약 ····· 126
<표 2-3-1-92> 호남고속철도 테스트베드 통합모니티링 시스템 메뉴 구조 ····· 129
<표 2-3-1-93> 메뉴 구성도 ····· 132
<표 2-3-1-94> 감리영역별 상세점검결과 요약 ····· 138
<표 2-3-1-95> 과업이행여부 점검 대상 및 표본 추출 ····· 138
<표 2-3-1-96> 과업 유형에 따른 테스트 방법 ····· 139
<표 2-3-1-97> 과업이행여부 점검 결과 ····· 139
<표 2-3-1-98> 기능 요구사항 ····· 140
<표 2-3-1-99> 비기능 요구사항 ····· 140
<표 2-3-1-100> 사업관리 및 품질보증활동 점검결과 ····· 141
<표 2-3-1-101> 응용시스템 점검결과 ····· 143
<표 2-3-1-102> 데이터베이스 점검결과 ····· 145
<표 2-3-1-103> 시스템아키텍처 및 보안 점검결과 ····· 146
<표 2-3-1-104> 연구수행 결과의 검증방법 ····· 147
<표 2-3-2-1> 방음벽 상단장치 현장부설 전 도막 품질시험 항목 ····· 148
<표 2-3-2-2> 시험부설 전 방음벽 상단장치의 성능평가 관련 규격 및 시험결과 ····· 149
<표 2-3-2-3> HEMU-430X의 소음원별 위치 ····· 154
<표 2-3-2-4> HEMU-430X S3 특성 반영을 위한 주파수별 보정값 ····· 155
<표 2-3-2-5> 방음벽 상단장치 소음저감성능평가를 위한 소음측정 현황 ····· 155
<표 2-3-2-6> 방음벽 상단장치 소음저감성능평가 결과 ····· 158
<표 2-3-2-7> HEMU-430X 및 KTX 호남 열차풍 측정 시험현황 ····· 167
<표 2-3-2-8> KTX호남 풍하중 측정결과 ····· 168
<표 2-3-2-9> HEMU-430X 풍하중 측정결과 ····· 169

<표 2-3-2-10> 공력소음원(S4) 속도계수 ····· 173
<표 2-3-2-11> 공력소음원(S4)강도, 수음점의 단위길이 선로당 강도(높이가정 3.5m,속도 270km) ····· 173
<표 2-3-2-12> 공력소음원(S4)강도, 수음점의 단위길이 선로당 강도(높이가정 3.5m 속도 100km) ····· 174
<표 2-3-2-13> 동력소음원(S3)강도, 수음점의 단위길이 선로당강도(높이가정3.5m, 속도 100km) ····· 176
<표 2-3-2-14> 동력소음원 (S3) 속도계수 ····· 176
<표 2-3-2-15> KTX-호남고속선에서 주행시의 기준파워(단위:dB eq. 1h) (높이 가정 S1 0m, S2 0.5m, 기준속도 100km/h) ····· 179
<표 2-3-2-16> KTX-호남/호남고속선에서 주행 시의 속도계수 ····· 179
<표 2-3-2-17> KTX-호남/호남고속선에서 주행 시의 지향성 인자 ····· 179
<표 2-3-2-18> 동력소음원 (S3) 기준 강도, 수음점 관점의 단위 길이 선로당 강도 (단위: dB eq. 1h) (높이 가정 3.5m, 기준속도 100km/h) ····· 180
<표 2-3-2-19> 동력소음원 (S3) 속도계수 ····· 180
<표 2-3-2-20> 공력소음원 (S4) 기준 강도, 수음점 관점의 단위 길이 선로당 강도 (단위: dB eq. 1h) (높이 가정 3.5m, 기준속도 100km/h) ····· 180
<표 2-3-2-21> 공력소음원 (S4) 속도계수 ····· 180
<표 2-3-2-22> HEMU, 통과소음도 측정값 및 모델 예측 비교, 개활지 109K400지점, 거리 25m, 높이 3.3m TEL (dBA) ····· 181
<표 2-3-2-23> HEMU 통과소음도 측정값, 개활지 109K400지점, 거리 25m, 높이 3.3m TEL (dBA) ····· 181
<표 2-3-2-24> HEMU 통과소음도 측정값, 개활지 109K4지점, 거리 25m, 높이 3.3m TEL(dBA) ····· 182
<표 2-3-2-25> KTX-호남, 방음벽 구간 통과 소음도 측정치와 소음예측모델 예측값 비교 ····· 184
<표 2-3-2-26> HEMU 통과소음도 측정값, 방음벽구간 103K62지점, TEL(dBA) ····· 184
<표 2-3-2-27> KTX-호남교량 구간 계산에 이용한 입력 데이터 ····· 186
<표 2-3-2-28> KTX-호남교량 구간 통과 소음도 측정치와 소음예측모델 예측값 비교 ····· 186
<표 2-3-2-29> HEMU 통과소음도 측정값, 교량구간 111K450지점, TEL (dBA) ····· 186
<표 2-3-2-30> 흡음블럭 설치 유무에 대한 소음 전파항 지면효과 입력 값 ····· 196
<표 2-3-2-31> 현장부설용 투입장비 ····· 199
<표 2-3-2-32> 흡음블럭 큐빙 pallet 소요량 ····· 200
<표 2-3-2-33> 2015년 3월 8일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터 ····· 205
<표 2-3-2-34> 흡음블럭 설치/미설치 통과 소음도 측정치(TEL) 비교 ····· 206
<표 2-3-2-35> 환경소음 분야 연구수행 결과의 검증방법 ····· 213
<표 2-3-2-36> 측정위치 및 측정 관련 기준 ····· 214
<표 2-3-3-1> 호남고속철도 T.B 구간 선로구축물 모니터링설치지역 ····· 228
<표 2-3-3-2> 궤도 성능평가 항목 ····· 230
<표 2-3-3-3> 분기기 성능평가 항목 ····· 230
<표 2-3-3-4> 궤도분야 설치위치별 계측기 종류 및 수량 ····· 232
<표 2-3-3-5> 고속분기기 #6713(F26) 설치위치별 계측기 종류 및 수량 ····· 233
<표 2-3-3-6> 궤도 모니터링 구성 장비 및 계측센서 ····· 234
<표 2-3-3-7> 분기기 모니터링 구성장비 및 계측센서 ····· 235
<표 2-3-3-8> 노반 모니터링 성능평가 항목 ····· 238
<표 2-3-3-9> 표준노반 모니터링 센서 설치 계획 수량 ····· 239
<표 2-3-3-10> 연약지반 노반 모니터링 센서 설치 계획 수량 ····· 240
<표 2-3-3-11> 접속부 노반 모니터링 센서 설치 계획 수량 ····· 240
<표 2-3-3-12> 접속부 궤도 모니터링 센서 설치 계획 수량 ····· 241
<표 2-3-3-14> 선로구축물 노반 계측 센서 특별 요구 사양 ····· 244
<표 2-3-3-15> 노반 모니터링 센서별 주요 특이사항 ····· 245

<표 2-3-3-16> 센서별 사양 및 주요특성 ····· 246
<표 2-3-3-17> 데이터 수집 장비의 사양 ····· 247
<표 2-3-3-18> 데이터 수집 장비의 사양 ····· 248
<표 2-3-3-19> 교량분야 설치위치별 계측기 종류 및 수량 ····· 249
<표 2-3-3-20> 교량 모니터링 측정항목 및 요구사항 ····· 249
<표 2-3-3-21> 교량 모니터링 구성장비 및 계측센서 ····· 251
<표 2-3-3-22> 터널 미기압파 모니터링 환경영향평가 항목 ····· 254
<표 2-3-3-23> 터널출구 미기압파 모니터링의 주요구성장비와 계측센서 ····· 255
<표 2-3-3-24> 측정대상 및 범위 ····· 258
<표 2-3-3-25> 현장측정내용과 설계기준 최종도출결과 ····· 259
<표 2-3-3-26> 인프라 1차 측정 및 보완 측정 기간 및 기상상태 ····· 260
<표 2-3-3-27> 열차 속도 및 대상열차 ····· 261
<표 2-3-3-28> 토공노반 분야의 위치별 수집 장치 및 통신 방식 ····· 262
<표 2-3-3-29> 측정위치 및 방법 관련 기준 ····· 264
<표 2-3-3-30> 열차통과 궤도 측정결과 ····· 266
<표 2-3-3-31> 주요 측정값과 측정결과 기준값 비율 ····· 267
<표 2-3-3-32> 노반 시설물별 성능 평가 ····· 268
<표 2-3-3-33> 열차통과 교량 측정결과 ····· 269
<표 2-3-3-34> 교량 시설물별 성능 평가 ····· 272
<표 2-3-3-35> 궤도 슬래브 응력검토 항목 ····· 275
<표 2-3-3-36> 단면 두께 및 증가율 ····· 277
<표 2-3-3-37> 강화노반 두께 및 증감율 ····· 277
<표 2-3-3-38> 노반 물성치 조건 ····· 279
<표 2-3-3-39> Type(1)의 FEM 해석 결과 ····· 279
<표 2-3-3-40> Type(2)의 FEM 해석 결과 ····· 279
<표 2-3-3-41> FEM 해석 결과와 허용값 비교 ····· 280
<표 2-3-3-42> 최적단면 두께 검토 범위 ····· 282
<표 2-3-3-43> 최적단면 사용성 검토 범위 ····· 283
<표 2-3-3-44> 최종 6가지 Case 선정 ····· 283
<표 2-3-3-45> 동적측정결과 센서별 최대응력 ····· 291
<표 2-3-3-46> 수치해석 입력값 ····· 295
<표 2-3-3-47> 수치해석 철근량 인자 ····· 295
<표 2-3-3-48> 철근비에 따른 응력 ····· 296
<표 2-3-3-49> 철근비에 따른 응력 ····· 297
<표 2-3-3-50> 강화노반에 따른 연직변위 결과 ····· 301
<표 2-3-3-51> 원지반 강도변화에 따른 연직변위 결과 ····· 301
<표 2-3-3-52> KTX, HEMU-430X 현장측정 데이터 ····· 304
<표 2-3-3-53> 각 기준별 위계 ····· 307
<표 2-3-3-54> 고속철도 및 일반철도 설계기준 현황 ····· 308
<표 2-3-3-55> 설계기준(안) 개정항목 ····· 310
<표 2-3-4-1> 400km/h급 전차선로 전철주 하중 ····· 324
<표 2-3-4-2> 찬넬(52/34) 안전성 분석 결과 ····· 325
<표 2-3-4-3> 볼트(M20) 안전성 분석 결과 ····· 325
<표 2-3-4-4> 부재해석 결과 ····· 326
<표 2-3-4-5> C-찬넬의 앵커볼트 1개의 인발시험 하중값 ····· 326

<표 2-3-4-6> C-형 찬넬의 응력검토 ····· 326
<표 2-3-4-7> 400km/h급 전차선로 시공 허용 오차 ····· 328
<표 2-3-4-8> 경동선과 400km/h급 전차선 경도(Hv) 시험결과 ····· 344
<표 2-3-4-9> 내마모 특성 시험 조건 ····· 345
<표 2-3-4-10> 내마모 시험결과 ····· 345
<표 2-3-4-11> 드로퍼 작용력 측정결과 ····· 349
<표 2-3-4-12> 드로퍼 와이어와 드로퍼 클램프의 저항시험 결과 ····· 349
<표 2-3-4-13> 드로퍼 클램프 온도측정 결과 ····· 350
<표 2-3-4-14> 고속철도용 폴리머 애자 절연 저항 값 ····· 365
<표 2-3-4-15> Test-bed 구간 선정결과 ····· 367
<표 2-3-4-16> 본선 Test-bed 구간의 노반현황 ····· 367
<표 2-3-4-17> 최고속도 400km/h 에서의 접촉력 측정결과 ····· 379
<표 2-3-4-18> 최고속도 400km/h 에서의 이선율 측정결과 ····· 380
<표 2-3-4-19> 사전이도 유무에 따른 접촉력 측정결과 ····· 381
<표 2-3-4-20> 지상부 측정항목별 기준 ····· 382
<표 2-3-4-21> 최고속도 400km/h 에서의 지상부 집전성능 측정결과 ····· 382
<표 2-3-4-22> 속도 단계별 지상부 집전성능 측정결과 ····· 383
<표 2-3-4-23> 호남 고속선 성능시험 결과 1차 ····· 385
<표 2-3-4-24> 호남 고속선 성능시험 결과 2차 ····· 386
<표 2-3-4-25> 호남 고속선 성능시험 결과 3차 ····· 387
<표 2-3-4-26> 호남 고속선 성능시험 결과 4차 ····· 388
<표 2-3-4-27> 전류센서 사양 ····· 390
<표 2-3-4-28> 정읍~익산간 Test-bed(KP104)구간 전기적 결함 측정 및 분석 시트 ····· 394
<표 2-3-4-29> 부천역사 주변 전차선로 및 기자재 적외선 온도 이상 2건 검출 ····· 395
<표 2-3-4-30> 전차선 분야 연구수행 결과의 검증방법 ····· 397
<표 2-3-5-1> CL1000M 사양 ····· 402
<표 2-3-5-2> Server 사양 ····· 402
<표 2-3-5-3> 모듈 시험 후 조치 사항 ····· 413
<표 2-3-5-4> 모듈 시험 항목 ····· 414
<표 2-3-5-5> 차상 ATP 장치 구성 ····· 420
<표 2-3-5-6> CPU 보드 통신 인터페이스 ····· 421
<표 2-3-5-7> SCC 보드 통신 인터페이스 ····· 421
<표 2-3-5-8> S/W 소스코드 검증 규칙 위배 결과 ····· 427
<표 2-3-5-9> 차상 ATP장치 주요사양 ····· 430
<표 2-3-5-10> Balise Antenna 주요사양 ····· 431
<표 2-3-5-11> BTM 보드 주요사양 ····· 433
<표 2-3-5-12> DMI장치 주요사양 ····· 434
<표 2-3-5-13> DMI장치 형상 및 화면 ····· 434
<표 2-3-5-14> 차상 ATP장치 구조사양서 ····· 436
<표 2-3-5-15> SwADVR Verification 활동 결과 ····· 437
<표 2-3-5-16> SwMDVR Verification 활동 결과 ····· 437
<표 2-3-5-17> 차상 ATP장치의 RAM 분석 결과 ····· 438
<표 2-3-5-18> 차상 ATP장치 각 보드 Component FMEA 분석 결과 ····· 439
<표 2-3-5-19> EVCU FTA Result ····· 439
<표 2-3-5-20> 차상 ATP장치 단위시험 결과 ····· 442

<표 2-3-5-21> 차상 ATP 주요 시험 항목 ····· 443
<표 2-3-5-22> 차상 ATP장치 환경시험 보고서 ····· 443
<표 2-3-5-23> 폐색정보전송장치 현장장치(통합형) 제작 사양 ····· 450
<표 2-3-5-24> 폐색정보전송장치 현장장치(분리형) 제작 사양 ····· 451
<표 2-3-5-25> 폐색정보전송장치 역장치 제작 사양 ····· 453
<표 2-3-5-26> 지상시뮬레이터장치 제작 사양 ····· 456
<표 2-3-5-27> 지상인터페이스장치 제작 사양 ····· 461
<표 2-3-5-28> 역정보처리장치 제작 사양 ····· 463
<표 2-3-5-29> 무선폐색센터 감시콘솔 제작 사양 ····· 466
<표 2-3-5-30> 무선폐색 감시콘솔→지상ATP 전송 데이터 ····· 467
<표 2-3-5-31> 지상ATP→무선폐색 감시콘솔 전송 데이터 ····· 467
<표 2-3-5-32> 지상인터페이스장치 온도시험 결과(저온) ····· 477
<표 2-3-5-33> 지상인터페이스장치 온도시험 결과(고온) ····· 477
<표 2-3-5-34> 공인기관 시험(EMI/EMC)에 적용된 규격 ····· 478
<표 2-3-5-35> 전자파 장해 허용 기준 결과 ····· 478
<표 2-3-5-36> 전자파 보호 기준 결과 ····· 479
<표 2-3-5-37> S/W 분석 회차별 S/W 코딩 규칙 위배 수(최종 결과) ····· 480
<표 2-3-5-38> 지상 안전전송모듈 온도시험 결과(저온) ····· 488
<표 2-3-5-39> 지상 안전전송모듈 온도시험 결과(고온) ····· 489
<표 2-3-5-40> 차상 안전전송모듈 온도시험 결과(저온) ····· 489
<표 2-3-5-41> 차상 안전전송모듈 온도시험 결과(고온) ····· 490
<표 2-3-5-42> RBC 배치 구조에 따른 장.단점 비교 ····· 498
<표 2-3-5-43> RBC 기계실 설비 물량 및 수량 ····· 499
<표 2-3-5-44> Track to Train radio message ····· 500
<표 2-3-5-45> Train to Track radio messages ····· 501
<표 2-3-5-46> 차상-지상 간 제어 및 상태보고용 패킷리스트 ····· 501
<표 2-3-5-47> 해외 철도무선통신 사용 현황 ····· 504
<표 2-3-5-48> 폐색정보전송장치와 전자연동장치 및 TLDS의 점유 및 복구 횟수 비교 ····· 527
<표 3-1-1-1> 연구분야별 최종성과 ····· 534
<표 3-1-2-1> 환경소음 분야 최종 연구성과 ····· 536
<표 3-1-3-1> 선로구축분야 최종연구성과 ····· 539
<표 3-1-4-1> 전차선로분야 최종연구성과 ····· 541
<표 3-1-5-1> 열차제어분야 최종연구성과 ····· 542
<표 3-2-1-1> 연구성과품 테스트베드 적용 현황 ····· 544
<표 4-1-1-1> 세부연구 목표별 달성내용 (1세부) ····· 549
<표 4-1-2-1> 세부연구 목표별 달성내용 (2세부) ····· 550
<표 4-1-3-1> 세부연구 목표별 달성내용 (3세부) ····· 552
<표 4-1-4-1> 세부연구 목표별 달성내용 (4세부) ····· 555
<표 4-1-5-1> 세부연구 목표별 달성내용 (5세부> ····· 556
<표 4-3-2-1> 방음벽 상단장치 설치비용 ····· 561
<표 4-3-2-2> 방음벽 상당장치 예상 매출액 ····· 561
<표 4-3-2-3> 도상용 흡음블럭의 설치비용 비교 ····· 561
<표 4-3-2-4> 도상용 흡음블럭 예상 매출액 ····· 562
<표 4-3-3-1> 선로구축물 모니터링시스템 활용으로 인한 예산절감 효과 ····· 563
<표 4-3-3-2> 선로구축물 모니터링시스템 수입대체 효과 ····· 563

<표 4-3-3-3> 설계기준 적용으로 인한 건설비 저감효과 ····· 563
<표 4-3-4-1> 국내외 400km/h급 전차선로시스템 시장 현황 ····· 564
<표 4-3-4-2> 호남고속철도 테스트베드 적용으로 인한 경제적 효과 ····· 564
<표 4-3-4-3> 전차선로 핵심부품 예상 매출액 ····· 564
<표 4-3-4-4> 전차선로 설계 및 성능검측시스템으로 인한 비용절감 효과 ····· 565
<표 5-1-1-1> 성과품의 활용가능성 ····· 568
<표 5-2-1-1> 추가 연구내용 ····· 572

# 그림 목차


<그림 1-1-1-1> 과업 개요도 ····· 1
<그림 1-3-2-1> 세계 고속철도 운영 최고속도 ····· 22
<그림 1-4-5-1> 차상-지상 ATP장치 통합실험실 ····· 35
<그림 2-1-1-1> 연구개발 추진체계 ····· 36
<그림 2-1-1-2> 분야별 참여기관 현황 ····· 36
<그림 2-3-1-1> 월간공정회의 개최 ····· 38
<그림 2-3-1-2> 연구현장 점검 ····· 43
<그림 2-3-1-3> 홈페이지 기능개선 ····· 45
<그림 2-3-1-4> 3D 홍보동영상 ····· 48
<그림 2-3-1-5> 실사 동영상 ····· 49
<그림 2-3-1-6> 선로 동영상 내용 및 시나리오 ····· 50
<그림 2-3-1-7> 국문 리플렛 ····· 51
<그림 2-3-1-8> 영문리플렛 ····· 51
<그림 2-3-1-9> 연구단 CI ····· 52
<그림 2-3-1-10> 연구단 캐릭터 ····· 52
<그림 2-3-1-11> 2014 한국방재학회 정기학술발표대회 전시부스 ····· 53
<그림 2-3-1-12> 연구단 홍보판넬 ····· 53
<그림 2-3-1-13> 테스트베드 현장 설명 판넬 ····· 54
<그림 2-3-1-14> 고속철도 첨단 인프라 핵심기술 ····· 56
<그림 2-3-1-15> 2014 구조물진단유지관리공학회 특셜세션 ····· 57
<그림 2-3-1-16> 철도교통 사업화 유망 R&D 기술설명회 발표 ····· 58
<그림 2-3-1-17> 한국철도기술지 기술기사 ····· 59
<그림 2-3-1-18> 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 워크숍 ····· 60
<그림 2-3-1-19> 400km/h속도를 반영한 교량 경간과 속도에 따른 계수 값의 변화 ····· 65
<그림 2-3-1-20> 미기압파의 현장 계측 개요도 ····· 66
<그림 2-3-1-21> 호남고속철도 터널 미기압 예측. ····· 67
<그림 2-3-1-22> 방음벽 상단장치의 설치 전후 소음도 ····· 69
<그림 2-3-1-23> 이선율 측정 개요도 ····· 71
<그림 2-3-1-24> 테스트베드 및 전후구간 운전선도(상선과 하선) ····· 73
<그림 2-3-1-25> 성능시험 결과보고서(전차선 분야 예제) ····· 87
<그림 2-3-1-26> 통합 모니터링 시스템 개념도 ····· 93
<그림 2-3-1-27> 서버 장비 검토 자문회의 ····· 96
<그림 2-3-1-28> 통합 모니터링 시스템 웹 프로그램 사용자 인터페이스 구성 ····· 104
<그림 2-3-1-29> 통합 모니터링 시스템 그룹웨어 기능 ····· 107
<그림 2-3-1-30> 프로세스 구성도 ····· 107
<그림 2-3-1-31> 데이터베이스 다이어그램 ····· 111
<그림 2-3-1-32> 측정 및 분석보고서 표준화 ····· 117
<그림 2-3-1-33> 데이터 표출 ····· 117
<그림 2-3-1-34> 상황실 내부 배치도 ····· 120
<그림 2-3-1-35> 서버랙 1번 배치 및 구성 ····· 122
<그림 2-3-1-36> 서버랙 2번 배치 및 구성 ····· 122
<그림 2-3-1-37> 서버랙 3번 배치 및 구성 ····· 122
<그림 2-3-1-38> 서버랙 4번 배치 및 구성 ····· 122

<그림 2-3-1-39> 서버랙 전경 ····· 123
<그림 2-3-1-40> 상황판 및 공조장치 ····· 123
<그림 2-3-1-41> 테스트베드 모니터링시스템 운영자 메뉴얼 ····· 127
<그림 2-3-1-42> 사용자 관리 매뉴얼 ····· 127
<그림 2-3-1-43> 테스트베드 통합모니티링 시스템 메인 페이지 ····· 128
<그림 2-3-1-44> 테스트베드 통합모니티링 시스템 메뉴 리스트 ····· 128
<그림 2-3-1-45> 호남고속철도 테스트베드 통합모니터링 시스템 메뉴 구조도 ····· 129
<그림 2-3-1-46> 통합 DB 및 통합 UI시스템 테스트 ····· 131
<그림 2-3-2-1> 방음벽 상단장치 도막품질시험결과 공인시험성적서 ····· 149
<그림 2-3-2-2> 400km/h급 방음벽 상단장치 현장부설 위치 ····· 150
<그림 2-3-2-3> 400km/h급 방음벽 상단장치 시공 개략도 ····· 150
<그림 2-3-2-4> 400km/h급 방음벽 상단장치 현장부설 전경 ····· 151
<그림 2-3-2-4_계속> 400km/h급 방음벽 상단장치 현장부설 전경 ····· 152
<그림 2-3-2-5> 400km/h급 방음벽 상단장치 음향성능시험을 위한 소음측정 단면 ····· 153
<그림 2-3-2-6> HEMU-430X의 소음원별 위치별 주파수 특성 ····· 154
<그림 2-3-2-7> 방음벽 상단장치 소음저감성능평가를 위한 소음측정 단면 ····· 156
<그림 2-3-2-8> 방음벽 상단장치 설치구간 및 미설치구간 소음측정 전경 ····· 157
<그림 2-3-2-8_계속> 방음벽 상단장치 설치구간 및 미설치구간 소음측정 전경 ····· 158
<그림 2-3-2-9> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간 및 설치구간 시간이력 ····· 159
<그림 2-3-2-9_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간 및 설치구간 시간이력 ····· 160
<그림 2-3-2-9_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간 및 설치구간 시간이력 ····· 161
<그림 2-3-2-10> HEMU-430X 운행시 상단장치 설치구간의 주파수 특성 및 삽입손실 ····· 162
<그림 2-3-2-10_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 주파수 특성 및 삽입손실 ····· 163
<그림 2-3-2-10_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 주파수 특성 및 삽입손실 ····· 164
<그림 2-3-2-10_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 주파수 특성 및 삽입손실 ····· 165
<그림 2-3-2-11> HEMU-430X 속도별 운행시 방음벽 상단장치의 소음저감량 ····· 166
<그림 2-3-2-12> HEMU-430X 속도별 소음레벨(TEL, O.A. Freq. range 31.5~10kHz) ····· 166
<그림 2-3-2-13> 풍하중 및 변위 측정전경 ····· 167
<그림 2-3-2-14> KTX호남 측정일자별 열차풍 시간이력 ····· 168
<그림 2-3-2-15> HEMU-430X 측정일자별 열차풍 시간이력 ····· 170
<그림 2-3-2-15_계속> HEMU-430X 측정일자별 열차풍 시간이력 ····· 171
<그림 2-3-2-16> 수치해석으로 구한 공력소음원 통과소음도 기여성분(S4, S5, S6의 합). 수음점 위치: 거리 25m, 높이 3.5m ····· 172
<그림 2-3-2-17> 수치해석으로 구한 공력소음원 S4, S5, S6에 대한 통과소음도 기여성분. 수음점 위치: 거리 25m, 높이 3.5m, 통과속도 270 km/h(좌), 통과속도 90 km/h(우) ····· 173
<그림 2-3-2-18> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 270 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m ····· 174
<그림 2-3-2-19> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 232 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m ····· 174
<그림 2-3-2-20> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 90 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m ····· 175
<그림 2-3-2-21> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 60 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m ····· 175
<그림 2-3-2-22> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 60 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m. ····· 176

<그림 2-3-2-23> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 90 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m. ····· 176
<그림 2-3-2-24> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 232 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m. ····· 177
<그림 2-3-2-25> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 270 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m. ····· 177
<그림 2-3-2-26> KTX-호남/호남고속선에서 측정값을 통한 음원 강도 보정을 수행한 모델 결과. 통과 속도 60 km/h ····· 178
<그림 2-3-2-27> KTX-호남/호남고속선에서 측정값을 통한 음원 강도 보정을 수행한 모델 결과. 통과 속도 90 km/h ····· 178
<그림 2-3-2-28> KTX-호남/호남고속선에서 측정값을 통한 음원 강도 보정을 수행한 모델 결과. 통과 속도 232 km/h ····· 178
<그림 2-3-2-29> KTX-호남/호남고속선에서 측정값을 통한 음원 강도 보정을 수행한 모델 결과. 통과 속도 270 km/h ····· 179
<그림 2-3-2-30> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 속도 170km/h. ····· 181
<그림 2-3-2-31> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 속도 350km/h. ····· 182
<그림 2-3-2-32> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 속도 390km/h. ····· 182
<그림 2-3-2-33> 방음벽 측정 구간 및 측정 개요도 (113K620) ····· 183
<그림 2-3-2-34> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 방음벽 구간. 속도 350km/h. ····· 184
<그림 2-3-2-35> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 방음벽 구간. 속도 390km/h. ····· 185
<그림 2-3-2-36> KTX-호남 교량 구간 측정 모습 (111k450) ····· 185
<그림 2-3-2-37> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 교량 구간. 속도 350km/h. ····· 187
<그림 2-3-2-38> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 교량 구간. 속도 390km/h. ····· 187
<그림 2-3-2-39> 그래픽 유지 인터페이스(GUI) 구성 ····· 188
<그림 2-3-2-40> 소음원 변화에 따른 소음예측 위한 추가 모듈 구축 ····· 188
<그림 2-3-2-41> 새 프로젝트 생성 화면 ····· 189
<그림 2-3-2-42> 프로젝트 로드 ····· 190
<그림 2-3-2-43> 프로젝트 수정 ····· 190
<그림 2-3-2-44> 소음원 그룹 추가 화면 ····· 190
<그림 2-3-2-45> 소음원 그룹 관리 화면 ····· 191
<그림 2-3-2-46> 소음원 보기 화면 ····· 191
<그림 2-3-2-47> 소음원 자세히 보기 가능 화면 ····· 191
<그림 2-3-2-48> 소음원 편집 기능 화면 ····· 192
<그림 2-3-2-49> 작업 취소 및 다시 실행 화면 ····· 192
<그림 2-3-2-50> 소음도 계산 수음 위치 설정 화면 ····· 192
<그림 2-3-2-51> 음도 계산 해석 결과 확인 화면 ····· 193
<그림 2-3-2-52> 음도 차량의 구조변경, 방음벽에 의한 소음도 변화 예측 위한 계산 모듈 예 ····· 193
<그림 2-3-2-53> 소음도 특성 계산 기능 화면 ····· 193
<그림 2-3-2-54> 시간영역/주파수영역, 개별소음원별, 총합소음등 다양한 소음도정보 도식화 기능 ····· 194
<그림 2-3-2-55> 차간연결부 통로차단 장치 설치전 후의 음원분포, 160Hz~3150Hz A-가중 값 ····· 194
<그림 2-3-2-56> 차간연결부 차단 장치 설치 전 후의 음압 시뮬레이션(위)/측정값(아래) 예시 ····· 195
<그림 2-3-2-57> 흡음블럭 미설치(좌)/설치(우) 구간에 대한 음압 시뮬레이션 ····· 195
<그림 2-3-2-58> 흡음블럭 설치 전 후의 소음도 측정값 ····· 196
<그림 2-3-2-59> 방음벽 미설치(상)/설치(중) 구간에 대한 음압 시뮬레이션 ····· 197
<그림 2-3-2-60> 설치용 자재 적재 모습 ····· 198

<그림 2-3-2-61> 흡음블럭 중앙용 5단 큐빙 ····· 200
<그림 2-3-2-62> 자재상차 ····· 200
<그림 2-3-2-63> 자재이동 ····· 201
<그림 2-3-2-64> 자재하차 ····· 201
<그림 2-3-2-65> 먹놓기 ····· 201
<그림 2-3-2-66> 접착제 도포 ····· 202
<그림 2-3-2-67> 제품 설치 ····· 202
<그림 2-3-2-68> 흡음블럭 설치 완료 전경 ····· 203
<그림 2-3-2-69> 흡음블럭 상세 설치 형태 ····· 203
<그림 2-3-2-70> 흡음블럭 설치 및 미설치 구간 측정 지역 ····· 204
<그림 2-3-2-71> 흡음블럭 설치 구간 측정 모습 (109k700) ····· 204
<그림 2-3-2-72> 흡음블럭 미설치 구간 측정 모습 (109k200) ····· 204
<그림 2-3-2-73> 2014년 7월 9일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터 ····· 205
<그림 2-3-2-74> 2015년 1월 23일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터 ····· 205
<그림 2-3-2-75> 2015년 2월 1일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터 ····· 205
<그림 2-3-2-76> 2015년 3월 15일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터 ····· 206
<그림 2-3-2-77> HEMU 통과 소음도 측정값 (TEL). (2015.1.23.) ····· 207
<그림 2-3-2-78> HEMU 통과 소음도 측정값 (TEL). (2015.2.1.) ····· 208
<그림 2-3-2-79> HEMU 통과 소음도 측정값 (TEL). (2015.3.8.~9.) ····· 208
<그림 2-3-2-80> HEMU 통과 소음도 측정값 (TEL). (2015.3.15.) ····· 209
<그림 2-3-2-81> 1차 현장모니터링 ····· 211
<그림 2-3-2-82> 2차 현장모니터링 ····· 212
<그림 2-3-2-83> 3차 현장모니터링 ····· 212
<그림 2-3-2-84> B&K PULSE Labshop의 시간이력 측정 예 ····· 215
<그림 2-3-2-85> 차량 통과소음 시간이력에서 등가소음도 계산을 위한 시간 설정 예 ····· 215
<그림 2-3-2-86> 차량 통과소음 시간이력에서 등가소음도 계산을 위한 시간 설정 예 ····· 220
<그림 2-3-2-87> 레일 음향조도의 측정 (109k400 지점) ····· 221
<그림 2-3-2-88> 궤도 진동감쇠율 시험 모습 (124k100 지점) ····· 221
<그림 2-3-2-89> 주행 철도차량 소음원 강도 측정, 산출 위하 마이크로폰 어레이 시스템 모습 (호남고속선 개활지, 109k지점) ····· 225
<그림 2-3-2-90> 주행 철도차량 소음원 분포, 강도 및 소음원 위치 규명 결과 예 ····· 225
<그림 2-3-2-91> 주행 철도차량 소음도 시뮬레이션 및 측정 결과 예 (409km/h) ····· 226
<그림 2-3-2-92> 수음지 소음도 시뮬레이션 프로그램 GUI ····· 226
<그림 2-3-3-1> 호남고속철도 T.B 구간 선로구축물 모니터링설치지역 (11개소) ····· 227
<그림 2-3-3-2> 궤도 구간의 모니터링 측정위치 ····· 231
<그림 2-3-3-3> Test-Bed 직선구간 센서 설치 위치도 ····· 232
<그림 2-3-3-4> Test-Bed 직선구간 센서 설치 확대도 ····· 232
<그림 2-3-3-5> 매립형 변형률계 설치 방법 및 위치 ····· 233
<그림 2-3-3-6> #6713(F26) 분기기 센서배치도 ····· 233
<그림 2-3-3-7> 직선구간 궤도 모니터링 시스템 구축 및 검증 ····· 236
<그림 2-3-3-8> TCL 내부 궤도 모니터링 시스템 구축 및 검증 (직선구간) ····· 237
<그림 2-3-3-9> 토공노반 측정시스템 및 모니터링 소프트웨어 ····· 248
<그림 2-3-3-10> PSC BOX교 및 소수주형교 계측기 배치도 ····· 250
<그림 2-3-3-11> 교량 센서 배치도 ····· 250
<그림 2-3-3-12> 교량 모니터링 시스템 구축 및 검증 <정지고가 내 Extradosed교 > ····· 252

<그림 2-3-3-13> 교량 모니터링 시스템 구축 및 검증 <연정교 내 소수주형교> ····· 253
<그림 2-3-3-14> 회룡터널 종점 외부의 계측기 배치도 ····· 254
<그림 2-3-3-15> 현장시험에 사용된 A/D 컨버터의 슬롯구성 ····· 256
<그림 2-3-3-16> 터널 미기압파 모니터링 시스템 구축 및 검증(회룡터널 종점) ····· 256
<그림 2-3-3-17> 시설물 측정시험 중 열차속도 ····· 261
<그림 2-3-3-18> 궤도 모니터링 측정블록 ····· 262
<그림 2-3-3-19> 교량 모니터링 측정 블록도 ····· 263
<그림 2-3-3-20> 터널출구 미기압파 모니터링 측정블록 ····· 263
<그림 2-3-3-21> 궤도 현장시험 절차 ····· 264
<그림 2-3-3-22> 단부 사용성 검토를 위한 단부회전각 계측결과 ····· 273
<그림 2-3-3-23> 호남고속철도 증속구간 우산터널 미기압파 저감 후드 ····· 274
<그림 2-3-3-24> 최적단면 Case1(TCL층은 줄이고 HSB층 기존두께인 경우) ····· 284
<그림 2-3-3-25> 최적단면 Case2(TCL층은 기존두께 HSB층은 줄인 경우) ····· 285
<그림 2-3-3-26> 최적단면 Case3(TCL, HSB층 두께 모두 줄인 경우) ····· 286
<그림 2-3-3-27> 최적단면 Case4(TCL, HSB층 두께 모두 늘린 경우) ····· 287
<그림 2-3-3-28> 최적단면 Case5(R • L~F • L:772mm을 만족하고 TCL층 두께 줄인 경우) ····· 288
<그림 2-3-3-29> 최적단면 Case6(R • L~F • L:772mm을 만족하고 HSB층 두께 줄인 경우) ····· 289
<그림 2-3-3-30> 속도대역 별 슬래브 휨응력 검토 ····· 290
<그림 2-3-3-31> Test-Bed구간 TCL 동적측정데이터 ····· 291
<그림 2-3-3-32> HEMU-430X 응력 및 예상응력 ····· 292
<그림 2-3-3-33> CRCT 모델링 ····· 295
<그림 2-3-3-34> CRCT 슬래브 응력분포 ····· 295
<그림 2-3-3-35> 횡방향을 따른 응력 ····· 296
<그림 2-3-3-36> 종방향을 따른 응력 ····· 296
<그림 2-3-3-37> 철근비에 따른 최대 응력 변화 ····· 296
<그림 2-3-3-38> 횡방향을 따른 응력 ····· 297
<그림 2-3-3-39> 종방향을 따른 응력 ····· 297
<그림 2-3-3-40> 철근비에 따른 최대 응력 변화 ····· 297
<그림 2-3-3-41> FEM 해석 표준 단면 ····· 298
<그림 2-3-3-42> 두께 450mm, 속도별 연직변위 ····· 299
<그림 2-3-3-43> 속도 300km/h, 강화노반(입도조정층) 두께변화에 대한 연직변위 ····· 300
<그림 2-3-3-44> 응력 결과 (300km/h, 두께200mm) ····· 302
<그림 2-3-3-45> 응력 결과 (430km/h, 두께200mm) ····· 302
<그림 2-3-3-46> 응력 결과 (500km/h, 두께200mm) ····· 302
<그림 2-3-3-47> 변형계수(35MPa) ····· 302
<그림 2-3-3-48> 변형계수(25MPa) ····· 302
<그림 2-3-3-49> 변형계수(15MPa) ····· 302
<그림 2-3-3-50> 변형계수(35MPa) ····· 303
<그림 2-3-3-51> 변형계수(25MPa) ····· 303
<그림 2-3-3-52> 변형계수(15MPa) ····· 303
<그림 2-3-3-53> 입도조정층 200mm, ····· 303
<그림 2-3-3-54> 입도조정층 300mm, ····· 303
<그림 2-3-3-55> 계측결과 ····· 304
<그림 2-3-3-56> 설계기준, 지침, 편람(안) 개발절차 ····· 305
<그림 2-3-3-57> 건설기준 위계 ····· 306

<그림 2-3-3-58> 철도건설기준 위계 ····· 306
<그림 2-3-4-1> 시속 360km/h 일 때 3차원 집전성능 시뮬레이션 프로그램의 국제공동연구 Benchmark 결과 비교(철도연 SPOPS는 D) ····· 312
<그림 2-3-4-2> 호남고속철도 전차선/조가선 전류 측정결과(HEMU열차 400 km/h) ····· 319
<그림 2-3-4-3> 합금 전차선 식별 Groove 유형 (EN50149) ····· 332
<그림 2-3-4-4> 드로퍼 피로 P-N 선도 ····· 348
<그림 2-3-4-5> 전차선로 이상상태 모니터링 시스템 Layout ····· 354
<그림 2-3-4-6> 복합진단장비 개발 개요도 ····· 360
<그림 2-3-4-7> 복합진단 시스템 완성 시제품 ····· 361
<그림 2-3-4-8> Test-bed현장 성능 평가 후 개선 사항 반영된 최종 시제품 ····· 362
<그림 2-3-4-9> 발열 및 전자파 간섭으로 인한 노이즈 해결 ····· 362
<그림 2-3-4-10> 복합진단 시스템 User Interface ····· 363
<그림 2-3-4-11> 고정형 복합진단시스템 1.2차 시제품 ····· 364
<그림 2-3-4-12> 사전이도 미적용구간(KP 114.0 ~ 111.5, 2015.02.08. 개활지 상행2차) ····· 381
<그림 2-3-4-13> 장력 상태 실시간 모니터링 시스템 전원 및 계측장치 설치 사진 ····· 383
<그림 2-3-4-14> 상부 로드셀 및 X축 센서 설치 사진 ····· 384
<그림 2-3-4-15> 장력 상태 실시간 모니터링 시스템 전원 및 계측장치 설치 사진 ····· 384
<그림 2-3-4-16> 상부 장력 로드셀 및 X축 센서 설치 사진 ····· 384
<그림 2-3-4-17> 장력 이상상태 모니터링 시스템 수신 서버 화면 ····· 385
<그림 2-3-4-18> 호남 고속선 성능시험 결과 1차 ····· 386
<그림 2-3-4-19> 호남 고속선 성능시험 결과 2차 ····· 386
<그림 2-3-4-20> 호남 고속선 성능시험 결과 3차 ····· 387
<그림 2-3-4-21> 호남 고속선 성능시험 결과 4차 ····· 388
<그림 2-3-4-22> 전차선로 이상상태 모니터링 시스템 Layout ····· 389
<그림 2-3-4-23> 하부 계측장치 제작 사진 ····· 389
<그림 2-3-4-24> 전류센서 사진 ····· 390
<그림 2-3-4-25> 정읍-익산간 Test-bed현장 현장 시험 ····· 393
<그림 2-3-4-26> 적외선, 자외선 복합 진단 화면 ····· 393
<그림 2-3-5-1> 지상 ATP장치의 구성 ····· 399
<그림 2-3-5-2> 무선폐색센터 지상 ATP 시스템 부 ····· 399
<그림 2-3-5-3> 2oo3 CPU 보드(MEN-D602보드) ····· 400
<그림 2-3-5-4> 가상 아키텍쳐의 적용 개념 ····· 401
<그림 2-3-5-5> KVM Console ····· 401
<그림 2-3-5-6> V-cycle development method ····· 403
<그림 2-3-5-7> 지상 ATP 장치 Redundancy 구조 ····· 403
<그림 2-3-5-8> S/W Hierarchy Concept Diagram ····· 404
<그림 2-3-5-9> System Layer ····· 405
<그림 2-3-5-10> General Application Layer Modules ····· 405
<그림 2-3-5-11> General API Layer Modules ····· 406
<그림 2-3-5-12> Time Partition Configuration ····· 406
<그림 2-3-5-13> Example of Software Hierarch Diagram ····· 407
<그림 2-3-5-14> 지상 ATP 장치 기능 알고리즘 ····· 407
<그림 2-3-5-15> 무선폐색센터와 주변 장치와의 인터페이스 ····· 409
<그림 2-3-5-16> 무선폐색센터 내부 인터페이스 ····· 410
<그림 2-3-5-17> 지상ATP 장치-차상ATP 장치 간 인터페이스 ····· 410

<그림 2-3-5-18> 무선폐색센터와 무선폐색센터 간의 이동권한 생성 ····· 412
<그림 2-3-5-19> SCADE Suit IDE 운영 Procedure ····· 413
<그림 2-3-5-20> EMI/EMC 인증 ····· 415
<그림 2-3-5-21> 차상 ATP 장치 구성 ····· 416
<그림 2-3-5-22> 이중계 동작 원리 ····· 417
<그림 2-3-5-23> 유지보수성 증대를 위한 서브랙 구조 설계 ····· 418
<그림 2-3-5-24> 차상 ATP장치 2 oou of 2 동작 원리 ····· 418
<그림 2-3-5-25> 차상 ATP H/W 구성 ····· 420
<그림 2-3-5-26> Main Power Supply 구성 및 연결 ····· 422
<그림 2-3-5-27> 차량 인터페이스 구성도 ····· 423
<그림 2-3-5-28> 차량 인터페이스 I/O Data 정리 ····· 423
<그림 2-3-5-29> BTM보드 형상 ····· 424
<그림 2-3-5-30> BTM S/W 구성도 ····· 424
<그림 2-3-5-31> DMI 장치 구성도 ····· 424
<그림 2-3-5-32> DMI 화면 구성도 ····· 425
<그림 2-3-5-33> ATPU(CPU/SCC), SDOU 인터페이스 구조 설계 ····· 426
<그림 2-3-5-34> 차상/지상 ATP장치 간 인터페이스 설계 ····· 427
<그림 2-3-5-35> 시뮬레이터 사양 분석 및 설계 ····· 428
<그림 2-3-5-36> Balise 안테나 인터페이스 구성도 및 형상 ····· 432
<그림 2-3-5-37> BTM 보드 형상 ····· 433
<그림 2-3-5-38> 1st Concept Audit Report ····· 435
<그림 2-3-5-39> 1st Concept Audit 실시 사진 ····· 436
<그림 2-3-5-40> 차상 ATP장치 구조 설계 ····· 437
<그림 2-3-5-41> Fault Tree ····· 439
<그림 2-3-5-42> 시뮬레이터 입고 및 시험실 설치 ····· 440
<그림 2-3-5-43> 시뮬레이터 기능 검증 ····· 441
<그림 2-3-5-44> ATP장치 S/W 연계시험 구성 ····· 444
<그림 2-3-5-45> 차상 ATP장치 소프트웨어 연계시험 검증 ····· 445
<그림 2-3-5-46> S/W 연계시험 구성 및 시험 결과 ····· 445
<그림 2-3-5-47> 차상 ATP장치 통합시험 구성 ····· 446
<그림 2-3-5-48> ETCS Level 2 지상인터페이스시스템 구성도 ····· 447
<그림 2-3-5-49> 폐색정보전송장치 현장장치(통합형) 설계도 및 시제품 ····· 449
<그림 2-3-5-50> 폐색정보전송장치 분리형 설계도(기구함 및 기타 구성품 포함) 및 시제품 ····· 451
<그림 2-3-5-51> 폐색정보전송장치 역장치 설계도 및 시제품 ····· 452
<그림 2-3-5-52> 폐색정보전송장치 물리적 인터페이스 구성 ····· 454
<그림 2-3-5-53> 지상시뮬레이터장치 설계도 및 시제품 ····· 455
<그림 2-3-5-54> 지상시뮬레이터장치 인터페이스 구성 ····· 457
<그림 2-3-5-55> 소프트웨어 프로세스 구성도 ····· 457
<그림 2-3-5-56> 표시제어부 시스템 구성도 ····· 458
<그림 2-3-5-57> 표시제어부 기본화면 ····· 458
<그림 2-3-5-58> I/O시뮬레이터 구성도 ····· 459
<그림 2-3-5-59> I/O시뮬레이터 기본화면 ····· 459
<그림 2-3-5-60> 열차제어 시뮬레이터 S/W 인터페이스 구성도 ····· 460
<그림 2-3-5-61> 지상인터페이스장치 설계도 및 시제품 ····· 461
<그림 2-3-5-62> 지상인터페이스장치 물리적 인터페이스 구성 ····· 462

<그림 2-3-5-63> 역정보처리장치 설계도 및 시제품 ····· 463
<그림 2-3-5-64> 역정보처리장치 물리적 인터페이스 구성 ····· 464
<그림 2-3-5-65> 역 정보처리장치 화면 구성 ····· 465
<그림 2-3-5-66> 무선폐색센터 감시콘솔 설계도 ····· 465
<그림 2-3-5-67> 무선폐색센터 감시콘솔 ····· 466
<그림 2-3-5-68> 무선폐색 감시콘솔의 물리적 인터페이스 구성 ····· 466
<그림 2-3-5-69> 무선폐색센터 감시콘솔 화면 구성 ····· 468
<그림 2-3-5-70> 차상 시뮬레이터 운용을 위한 장비 구축 사진 ····· 469
<그림 2-3-5-71> 열차 출발 대기 상태 ····· 470
<그림 2-3-5-72> 열차 운행 정도 ····· 470
<그림 2-3-5-73> 출발 화면 ····· 471
<그림 2-3-5-74> 열차의 속도 정보 그래프 ····· 471
<그림 2-3-5-75> RBC의 메시지 교환 화면 ····· 472
<그림 2-3-5-76> RBC와 DMI의 메시지 교환 정보 ····· 473
<그림 2-3-5-77> Emergence Brake 화면 ····· 473
<그림 2-3-5-78> 지상인터페이스시스템 통합시험실 구성도(예) ····· 474
<그림 2-3-5-79> 지상인터페이스장치 온도시험 장면 ····· 478
<그림 2-3-5-80> 방사고주파전자계 내성시험 장면 ····· 479
<그림 2-3-5-81> 안전전송모듈 기능 구성 ····· 481
<그림 2-3-5-82> 지상/차상 안전전송모듈 개념도 ····· 482
<그림 2-3-5-83> 안전전송모듈 전면부 구성 ····· 483
<그림 2-3-5-84> 안전전송모듈 시작품 형태 ····· 483
<그림 2-3-5-85> 차상 안전전송모듈 설계도면 ····· 484
<그림 2-3-5-86> 차상 안전전송모듈 외형 ····· 484
<그림 2-3-5-87> 안전전송 시스템 S/W 계층구조 ····· 485
<그림 2-3-5-88> Layered Architecture ····· 485
<그림 2-3-5-89> 안전전송모듈 시스템 다이어그램 ····· 486
<그림 2-3-5-90> 안전전송모듈 소프트웨어 기능 블록 다이어그램 ····· 486
<그림 2-3-5-91> Test case 시험 시스템 구성 ····· 487
<그림 2-3-5-92> 시험 시스템 구성 및 절차도 ····· 488
<그림 2-3-5-93> 지상 안전전송모듈 전자파시험 장면 ····· 489
<그림 2-3-5-94> 차상 안전전송모듈 온도 시험 장면 ····· 490
<그림 2-3-5-95> 차상 안전전송모듈 전자파 시험 장면 ····· 490
<그림 2-3-5-96> 차상 안전전송모듈 진동 시험 장면 ····· 491
<그림 2-3-5-97> 지상-차상 시스템 구성 ····· 491
<그림 2-3-5-98> 지상 ATP-안전전송모듈 단위시험 시스템 구성 ····· 492
<그림 2-3-5-99> Test case 명령 흐름 ····· 492
<그림 2-3-5-100> 차상 Simulator - 안전전송모듈 단위시험 시스템 구성 ····· 493
<그림 2-3-5-101> 차상ATP내 차상 안전전송모듈 장착 사진 ····· 494
<그림 2-3-5-102> 무선폐색센터(RBC)와 인터페이스 장치 ····· 495
<그림 2-3-5-103> Roma - Napoli High/Speed Signalling System Architecture ····· 496
<그림 2-3-5-104> 이탈리아 Milano-Bologna-Firenze 고속선 구성도(집중형 RBC) ····· 496
<그림 2-3-5-105> RBC 기계실이 현장에 설치된 경우(분산형 RBC) ····· 497
<그림 2-3-5-106> ETCS-L2 RBC 및 철도관제시스템 구성도(안) ····· 498
<그림 2-3-5-107> ETCS Level 2 열차 상태 정보 ····· 502

<그림 2-3-5-108> ETCS Level 2 열차 관제 제어 정보 ····· 503
<그림 2-3-5-109> 국내 철도 신호/통신 시스템의 현황 ····· 505
<그림 2-3-5-110> Structure of Message in ERTMS/ETCS ····· 506
<그림 2-3-5-111> Message capacity(a) and Packet ratio(b) in Gyeong-chun Line ····· 507
<그림 2-3-5-112> Message capacity(a) and Packet ratio(b) in Jeol-la Line ····· 508
<그림 2-3-5-113> Algorithms of Telegram Optimization(1) ····· 509
<그림 2-3-5-114> 차상-지상 통합 시험 구성도 ····· 510
<그림 2-3-5-115> 통합 시험 인터페이스도 ····· 512
<그림 2-3-5-116> LOG 분석 ····· 514
<그림 2-3-5-117> 통합 시험 수행 ····· 515
<그림 2-3-5-118> 결함 치명도에 따른 시험 처리방법 ····· 516
<그림 2-3-5-119> 결함 원인에 따른 시험 처리방법 ····· 516
<그림 3-2-1-1> 기술이전 관련 협약서 ····· 545
<그림 3-2-1-2> 기술이전 관련 보도자료 ····· 546

# 제1장 연구개발과제 개요

## 제1절 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발 목적

‘400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발’ 연구단 과제는 환경소음 저감기술 개발, 선로구축물 모니터링 및 최적 설계기준 연구, 400km/h급 전차선로 시스템 개발, ETCS-L2 열차제어 핵심기술 개발 등 인프라를 구성하는 다양한 분야의 과제로 구성되어 있다. 4차년도에는 호남고속철도 테스트베드를 구축하고, 인프라 성능평가를 완료하는 것을 목표로 하고 있으며, 이에 따른 세부 분야별 연구개발 목적은 아래와 같다.

<표 1-1-1-1> 연구개발 목표

| 400km/급 고속철도 인프라 시범적용 개발 | |
|---|---|
| 최종 연구개발 목표 | ▪ 400km/급 고속철도 인프라 핵심기술 개발<br>▪ 호남고속철도 테스트베드 구축을 통한 개발품의 성능평가 및 실용화 |
| 테스트베드 구축 및 인터페이스 분야 (1세부) | ▪ 호남고속철도 400km/h급 테스트베드 구축 및 성능평가<br>▪ 테스트베드 모니터링시스템 및 통합DB 구축 |
| 환경소음 분야 (2세부) | ▪ 환경소음 저감장치(방음벽 상단장치, 도상용 흡음블럭) 현장적용 성능평가<br>▪ 소음예측모델 개발 및 성능평가 |
| 선로구축물 분야 (3세부) | ▪ 선로구축물(궤도/노반/교량/미기압파) 거동평가 모니터링시스템 구축<br>▪ 선로구축물 400km/h급 핵심 설계기준(안) 제시 |
| 전차선 분야 (4세부) | ▪ 전차선로 핵심부품 평가시스템 구축<br>▪ 전차선로 핵심부품 차상/지상 현장성능 평가 |
| 열차제어 분야 (5세부) | ▪ 차상ATP장치 구성품 시험<br>▪ 지상/차상 ATP장치 인터페이스 성능 검증 |




<그림 1-1-1-1> 과업 개요도

## 2. 연구개발 필요성

### 가. 기술적 측면

고속철도 차량 기술의 발전과 비교하여 궤도, 노반, 교량, 전차선, 신호 등의 인프라에 대한 연구는 상대적으로 부진했다. 고속철도 건설 규칙이 최고속도를 350km/h로 규정하고 있다는 것에서 잘 나타나듯이 현재 350km/h 이상의 고속 대역에 대한 인프라 기술이 매우 부족한 상황이다.

우리나라는 2010년부터 철도에서 환경소음에 대한 규제가 강화(야간 5dB(A) 강화)됨으로 인해 소음저감 방안은 사회적 이슈로 부각되고 있으며, 세계 고속철도의 속도 향상에 발맞추어서 목표속도를 향상하는 선진화 사업에 의한 국내 고속철도의 목표속도 향상 계획에 의하여 최고속도 400km/h 운행에서의 소음증가에 대한 소음저감 대책이 요구되고 있다. 400km/h 고속운행 소음원에 대한 객관적인 연구자료와 적용사례는 국내외적으로 미흡하며, 고속선 환경영향평가 및 방음시설 실시설계 시 해외개발 예측방법 및 해외구축 데이터베이스에만 의존했던 기술을 국내기술로 전환하고, 강화하여 설계정확도를 향상함으로써 민원 제기를 예방, 감소하고자하는 노력이 절실하다. 현재 고속철도 계획노선의 환경영향 평가는 설계속도 350km/h 임에도 불구하고 300km/h 까지만 수행되어 있어, 속도향상에 따른 소음에 대해 정확한 예측이 필요하며, 이에 따른 소음 증가에 대한 방음 대책이 필요하다.

선로구축물은 고속으로 주행하는 열차의 주행안전성 및 승차감에 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 환경소음, 진동 및 철도 전체건설 및 운영비에 직접적인 영향을 준다. 현재 국내의 주요 설계기준은 고속철도를 수십 년 전부터 건설하고 운영해왔던 선진국의 기준을 대부분 준용하고 있다. 대부분의 기준은 각국에서 속도증속에 대한 충분한 거동 데이터를 축적하면서 다년간의 다각적인 검증과 확신을 통하여 기준이 정립되어왔다고 할 수 있다. 운행속도의 400km/h급의 철도속도향상은 전 세계적으로 도전적인 기술과제로서 관련 국가로부터의 기술자료 수집도 사실상 불가능하므로 국내에서 독자적인 기술개발을 하기 위해서는 장기적인 측정데이터 수집을 통한 거동분석이 필요하다고 판단된다.

고속철도 증속을 위해서는 전차선과 팬터그래프의 이선율을 줄이고, 안정적으로 양질의 전력을 공급받을 수 있는 전차선로 시스템이 필요하며, 이를 위해서는 고장력/고전도도/고내구성 전차선, 고정밀 드로퍼, 고내구성/고절연 애자, 고장력을 유지시킬 수 있는 장력조정장치, 견고하면서도, 진동흡수가 뛰어난 가동 브래킷 등의 기술개발이 이루어져야 한다.

국내 신호시스템 기술은 열차감지, 운행속도제어 등 핵심기술은 해외에 의존하고 있다. 국내 열차제어시스템은 STM, ETCS-L1(일반선은 ATP 적용하고 ATC는 고속철도에 적용함)으로 구성되어 있다. 또한 유럽의 경우 상호운용성을 적용하여 어느 한대의 열차가 다른 나라를 경유하여 운행할 수 있도록 열차제어시스템은 국가상호간 표준화를 정립하고 있으며, 국내철도의 경우 열차의 증속을 위한 선로개량, 노반개선, 열차제어분야의 사업이 진행 중에 있다. 경부고속철도(1단계 및 2단계) 자동열차제어장치(ATC)는 과거 고속철도 선진국 중 프랑스의 기술을 도입하여 운영하고 있으나, 2000년 이후에는 고속열차를 포함한 열차제어 기술에 대한 표준화가 세계적인 추세이다. 같은 맥락에서 현재 세계 각국은 기존선 속도향상과 신규 고속선 신설을 위한 활발한 연구 및 사업화를 추진하고 있다. 이에 따라 세계적인 흐름에 뒤처지지 않고 기술 자립을 위하여 표준화된 열차

제어시스템에 대한 개발이 필요하다.

또한 상기와 같이 개발된 고속철도 인프라 핵심기술에 대한 성능평가를 위하여 테스트베드의 구축과 실시간 통합 모니터링시스템, 다양한 계측데이타의 분석을 위한 통합 DB 개발이 필요하다.

국내 신호시스템 기술은 열차감지, 운행속도제어 등 핵심기술은 해외에 의존하고 있다. 국내 열차제어시스템은 STM, ETCS Level 1(일반선은 ATP 적용하고 ATC는 고속철도에 적용함)으로 구성되어 있다. 또한 유럽의 경우 상호운용성을 적용하여 어느 한대의 열차가 다른 나라를 경유하여 운행할 수 있도록 열차제어시스템은 국가상호간 표준화를 정립하고 있으며, 국내철도의 경우 열차의 증속을 위한 선로개량, 노반개선, 열차제어분야의 사업이 진행 중에 있다.

경부고속철도(1단계 및 2단계) 자동열차제어장치(ATC)는 과거 고속철도 선진국 중 프랑스의 기술을 도입하여 운영하고 있으나, 2000년 이후에는 고속열차를 포함한 열차제어 기술에 대한 표준화가 세계적인 추세이다. 같은 맥락에서 현재 세계 각국은 기존선 속도향상과 신규 고속선 신설을 위한 활발한 연구 및 사업화를 추진하고 있다. 이에 따라 세계적인 흐름에 뒤처지지 않고 기술 자립을 위하여 표준화된 열차제어시스템에 대한 개발이 필요하다.

- ❍ 유럽은 1985년부터 ERTMS/ETCS(Level 1, 2, 3)를 정의하였으며, 현재 Level 1, 2가 상용화 되었고, 향후 지속적인 확대가 기대되어지고 있다.
- ❍ 중국은 ETCS와 유사한 CTCS에 대한 표준사양을 4단계로 정의하여 일부 적용하여 운영하고 있다.
- ❍ 일본은 열차의 특성에 따라 속도제어가 가능한 Digital ATC 시스템을 개발하여 적용하여 운영하고 있다.

또한 국내 설치 및 운영되고 있는 신호시스템은 노선별, 시기별로 상이한 기종을 도입, 노선간 연계운행이 불가하여 운행 효율성을 저해하고 있다. 단적인 예로, 국내 고속철인 KTX는 운행 구간에 따라 ATP, ATS 및 ATC 시스템 전환하여 운행하고 있다. 이로 인하여 다양한 운영으로 효율성 저하, 각 시스템에 대한 유지보수의 어려움, 시스템의 복잡화 등 다양한 문제를 내포하고 있다.

특히 열차제어분야에서는 해외에서 기술도입을 통하여 운용되고 있는 실정이다. 이에 대한 해결책으로 국내 열차제어분야도 상호 운영성을 고려한 유럽형 차세대고속철도 열차제어시스템의 기술개발이 필요한 시점이다.

이에 본 연구는 유럽표준 차세대 고속철도용 열차제어 핵심기술(ERTMS/ETCS Level 2) 확보를 통해 국내 철도 선진화(개량) 사업 추진 및 현재 확대되고 있는 해외 고속철도 시장에 진출 할 수 있는 국산화 기술기반 마련이 필요하다.

## 나. 경제·산업적 측면

현재 선진국에서는 고속철도는 거대지역권(Mega-Region) 중심으로 대도시(Mega-City)를 유기적으로 연계하여 집적에 따른 규모의 경제를 추구하고 있다. 또한 거대지역권내 산업간 유기적 연계, 시너지효과 창출을 통한 경쟁력 강화를 위해 고속교통

망 연결에 집중투자하고 있다. 일본은 운영 중인 신간선 2,387km 이외에 1,173km를 추가 건설할 예정이며, 중국은 1.7만㎞ 고속철도망 건설하기 위하여 향후 3년간 360조원 투자를 목표로 하고 있다. 미국은 240km/h 이상의 11개 고속철도망 사업(총 연장 13,760km)을 확정한 바 있으며, 유럽은 2009년 5,764km의 고속철도망을 2020년 까지 21,180km로 확충할 계획이다. HSR Global Market Trends SCI Verkehr(2010)에 따르면 300~350km/h 속도대의 고속철도는 2009년 1,441km에서 2022년 3479km로 2.5배 이상 증가하고, 특히 350km/h~400km/h 속도대의 고속철도는 2018년 667km/h에서 2022년 3115km로 5배 가까이 증가할 것으로 예상하고 있다.

우리나라도 전국을 고속 KTX망으로 연결, 하나의 경제권으로 묶어 거대 지역간 경쟁력 확보를 위한 고속철도망 구축전략을 수립한 바 있다.

고속철도 인프라 기술들은 상기와 같은 철도시장에서 경쟁력을 확보하는데 필수적인 요소라고 할 수 있다. 또한 향후 국내 고속철도의 해외진출에 있어서도 중요한 기반기술로 역할을 할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 이외에도 400km/h 고속철도 인프라시스템의 개발을 통해서 증가되는 고속철도 운영의 안전성 및 신뢰성은 경제적으로 환산할 수 없는 가치를 내포하고 있으며, 고속철도 인프라 기술의 선진화를 통한 안전성과 신뢰성의 향상으로 인명과 재산의 피해를 막을 수 있다.

고속철도의 소음이 300km/h에서 400km/h로 증속이되면 소음은 7dB(A)가 증가한다. 300km/h 속도 대역에서는 국내의 소음기준을 만족하기 위한 방음벽의 높이는 5.0m 이나, 400km/h 속도에서는 8.0m가 필요하다. 방음벽의 높이가 증가함에 따라 풍하중에 의한 지주 및 기초의 크기가 확장되어 공사비가 증가하게 된다. 이러한 문제를 방음벽 상단장치를 적용하게 되면 400km/h 속도에서도 방음벽의 높이를 300km/h와 동일한 높이로 운영이 가능하다. 또한 고속철도 소음원중 레일과 차륜의 마찰에 의해서 발생하는 전동소음은 도상에 흡음블럭을 설치하면 3dB(A)의 소음이 저감되어 소음기준을 만족하기 위하여 방음벽이 필요 없거나, 기존 방음벽의 높이를 저감할 수 있다. 이러한 흡음블럭은 수입에 의존하던 것을 국산화하여 제품의 성능은 수입품 보다 우수하거나 동등하지만 생산단가를 20% 절감할 수 있다. 고속철도 건설계획 시 방음시설에 대한 설계는 소음예측결과를 바탕으로 이루어진다. 지금까지 국외의 예측기술에 의해 의존해 왔던 결과를 국내 철도 환경을 토대로 국내 기술로 전환하여 예측의 신뢰성 및 정확도를 향상하여 방음시설의 과잉 설계 및 민원 제기를 예방할 수 있다.

현재 국내·외 철도시장이 꾸준히 확대 및 성장하고 있으며, 철도 열차제어분야 사업비가 차지하는 비중 또한 계속 높아지고 있다.

- ❍ 세계철도시장은 연간 약 17조 3천억원으로 매년 4.4%의 증가추세를 보이고 있음.
- ❍ 국내 시장규모는 연간 약 600억원으로 세계시장의 약 0.35%를 차지하고 있음.
- ❍ 세계철도는 5대 메이저 업체가 신호시장의 70%를 점유하고 있다.
  * Siemens/Thales 각 17%, Alstom/Ansaldo 각 14%, Invensys 8%
- ❍ 철도신호시스템이 전체 사업비에서 차지하는 비율은 철도의 안전한 운행보장과 철도운영효율 향상을 지원하면서 기존3%대에서 10%로 높아지고 있는 실정이다.

신호시스템에 대한 국내 표준화된 기술개발을 통해 외국 의존도 및 고비용 문제를 해결함과 동시에, 유지보수 비용 절감 및 선로용량 증대 등의 운영 효율성 강화할 필요성

이 있으며 이에 대한 기대효과는 다음과 같다.

❍ 신호 시스템의 표준화를 통하여 노선 간 연계운행 시 상이한 시스템으로 인한 인프라 추가 구축 등 매몰비용 감소 및 운영 효율화 증대

* 경부고속선과 공항철도(65km) 연계 운영 시 : 약 406억원 추가

❍ 무선방식 채택으로 인항 유지보수비용 대폭 절감

* 지상 신호방식(ATP, ATC) 대비 선로용량 2배, 유지보수비용 35% 절감(분당선 86억원/년 감소)
[철도정책관실 “열차신호시스템 표준화 방안”, 2010. 10 자료 인용]

## 다. 사회・문화적 측면

선진국들은 환경 보전과 에너지 효율성을 고려하여 고속철도망을 지속적 확충하는 교통정책을 기본 방향으로 설정하고 있다. 우리나라도 ‘국가기간교통망계획’, ‘제1차 지속가능 국가교통 물류발전 기본계획’ 등에서 저탄소 녹색성장형 교통체계 구축, 철도 고속화 등을 주요 정책 목표로 설정하고 있다. 이에 따르면 우리나라 교통부문의 온실가스 배출량을 2020년까지 전망치(BAU) 대비 34.3% 수준까지 감축키로 하였으며, 이를 위해 고속철도에 대한 투자를 집중적으로 확대할 계획이다.

고속철도는 기존의 공간적 거리를 시간적 거리로 대체함으로써 인구이동이 활발해지고, 이용자들의 여행범위가 확대되어 전국 1일 생활권 및 1일 업무처리가 가능해 지도록 했다. 이로 인하여 고속철도는 서울을 비롯한 수도권 중심의 사회, 문화적 자원이 지방도시로 분산되도록 하여 낙후된 지방의 사회적 변화와 문화산업의 육성을 위한 효과적 대안이 될 수도 있다.

우리나라의 65세 이상 고령인구는 1970년 73만명 수준에서 2010년 545만명(11%)에서 2030년에는 1,269만명(24.3%) 그리고 2060년 1,762만명으로 수준으로 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있다. 버스는 급제동 및 급출발로 차내 사고가 빈번한 반면, 철도는 차내 안전사고가 거의 없어 교통약자에게 안전한 대중교통서비스 제공이 가능할 것이다.

이상과 같이 고속철도의 속도는 사회문화적 경쟁력 확보의 원천일 뿐만 아니라, 국가의 위상과 국민적 자긍심의 근원이기도 하다. 본 연구사업이 목표로 하는 400km/h급 인프라 핵심기술 개발과 운영구간에서의 테스트베드 구축은 국내뿐만 아니라 세계 고속철도 시장에서 우리나라의 위상을 높여줄 수 있을 것이다.

우리나라는 좁은 국토와 철도 역세권에 대한 부동산 개발로 철도 인접에 공동주택 단지와 같은 대단위 주거지역이 위치하고 있으며, 지방의 고속선 인접에도 주거지역이 분포하고 있다. 철도 건설시(일반 및 고속선) 소음예측을 통하여 방음시설물을 설치하고 있지만 소음에 대한 민원은 나날이 증가하고 사회적 문제로 대두되고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 철도 설계시 국내 철도 환경을 바탕으로 개발된 소음예측 모델을 적용한 방음설계를 통하여 소음 민원을 사전에 예방이 가능하다. 또한 운영중인 철도는 방음벽 상단장치 및 흡음 블록을 적용하여 저비용 고효율의 효과로 소음민원 해결이 가능하다. 이러한 기술을 통하여 환경소음 규제를 만족하는 철도 운영이 가능해지고 쾌적한 철도환경이 구현되어 철도 이용이 더욱 활성화될 수 있다. 또한 소음원 기여도 분석 기술은 정확한 소음원 규명하여 저소음 차량의 개발 및 타 산업의 소음저감 기술에 활용이 가능하다.

철도시스템은 타 교통시스템과 비교해서 높은 수송능력과 온실가스 발생량이 적은 대표적인 저탄소 녹색성장을 지향하는 교통수단이다. 이로 인하여 최근 정부의 국가교통정책을 철도교통을 중심으로 하는 교통체계로 전환하고 있는 실정이다. 또한 선진 유럽의 표준열차시스템에 대한 국산화 기술 마련을 통하여 기존 열차제어시스템에 대한 개선안을 제시 및 향후 철도분야에 대한 국가경쟁력에 대한 제고가 필요하다.

- ❍ 현재 운영되고 있는 철도 시스템에 대한 운영 및 관리를 위한 개선안 제시
- ❍ 철도 선진화를 위한 기반 기술 확보 측면에서 바람직한 방향 제시
- ❍ 상대적으로 낙후되어 있는 국내 열차분야에 대한 국가 경쟁력 제고

이처럼 국내 철도산업 활성화, 투자 효율성 제고, 해외진출 기술력 확보 등을 위해 국내 신호시스템 표준화 방안 마련 필요한 실정이다.

# 제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

## 1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발

‘400km/h급 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발’ 과제는 각 세부분야별 인터페이스 체계를 구축하여 연구 성과의 질적 수준을 제고하기 위한 진도 및 성과관리를 수행하는 과제라고 정의할 수 있다. 특히 호남고속철도 400km/h급 테스트베드 구축을 완료하고, 통합DB 및 모니터링시스템을 구축하여 연구 성과품의 성능평가를 수행하는 것을 주요 목표로 삼고 있다.

이러한 목표를 달성하기 위하여 연구사업 총괄 및 인터페이스, 연구성과 홍보 및 확산, 연구성과품 종합평가 및 분석, Test-bed 구축 및 실행, Test-bed DB 개발 및 운영환경 구축를 성과목표로 설정하고 아래와 같이 연구를 수행하였다.

<표 1-2-1-1> ‘400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발’ 연구범위

| 분야 | 연구범위 |
|---|---|
| 연구사업 총괄 및 인터페이스 | ▪ 세부과제별 진도관리 및 인터페이스 체계 구축<br>- 공정회의를 통한 세부과제별 연구개발 진척사항 점검<br>- 호남고속철도 Test-bed 구축중심의 공정관리 실시<br>▪ 세부과제간 정보공유 체계 강화<br>- 홈페이지 및 웹디스크를 이용한 정보공유 활성화 |
| 연구성과 홍보 및 확산 | ▪ 연구성과 홍보<br>- 홍보자료 제작, 홍보책자 발간 및 언론보도 추진<br>▪ 연구성과 발표<br>- 연구성과 발표 및 세미나, 전시회 참가 등 |
| 연구성과품 종합평가 및 분석 | ▪ 연구성과품 적용성 검토<br>▪ 연구성과품 실용화 기반 검토 |
| Test-bed 구축 및 실행 | ▪ Test-bed 구축 실행<br>- 호남고속철도건설사업 일정을 고려한 Test-bed 구축<br>▪ 기술 분야별 Test-bed 구축 지원<br>▪ 모니터링시스템 및 DB 관리 방안 수립 |
| Test-bed DB 개발 및 운영환경 구축 | ▪ 통합DB 및 통합UI 시스템 Test-bed 적용<br>▪ 통합 모니터링 H/W 시스템 Test-bed 적용 |

## 2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발

본 과제에서는 소음원 기여도에 따른 방사특성을 정량화 할 수 있고, 현실적으로 운행속도에 따른 방사특성에 최적인 방음기술을 설계하고 평가할 수 있는 합리적인 기준과 도구를 개발하였다. 또한 400km/h급 고속철도 운행시 발생하는 소음을 저감하기 위하여 전통적으로 사용하는 방음벽의 높이 저감과 3dB(A) 이상의 추가적인 소음저감이 가능한 방음벽 상단장치와 도상 흡음블럭을 개발하였다. 본 연구의 특징은 아래의 연구범위 중에서 방음벽 상단장치 개발 및 성능평가, 고속철도 예측설계 기술 인터페이스, 고속철도 소음예측모델 및 소음저감 효과 시뮬레이션 기술 및 흡음블럭 개발 및 성능평가 분야로 구분 된다.

<표 1-2-2-1> '고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발' 연구범위

| 분야 | 연구범위 |
|---|---|
| 방음벽 상단장치 현장적용 및 성능평가 | ▪ 방음벽 상단장치 현장적용<br>- 테스트 베드 구간에 방음벽 상단장치 시제품 현장부설<br>▪ 방음벽 상단장치 소음저감성능평가(3dB(A) 이상)<br>- HEMU-430x 증속 시 소음측정을 통한 성능평가 |
| 고속철도 예측설계기술 인터페이스 | ▪ 방음벽, 상단장치, 흡음블럭의 소음저감 측정결과 제공<br>- 고속철도 소음저감효과 시뮬레이션 결과의 신뢰성 확보를 확보를 위해 소음측정 및 성능평가 결과 제공 |
| 고속철도 소음예측모델 정확도 | ▪ 고속철도 소음예측모델 정확도 향상 연구<br>- 소음원 모델 검증기법 연구 및 보완<br>- 현장검증시험 및 민감도 연구결과를 이용한 예측모델 보완<br>- 소음예측 모델의 민감도 분석<br>- 고속철도차량 소음원 특성 변화에 따른 수음지 소음저감 시뮬레이션 ->3dB정확도 이내 고속철도 소음예측모델 확보<br>- 일반철도 및 다양한 속도에서의 예측 연계 방안 검토<br>▪ 고속철도 통합예측 모델 검증 현장 시험 (ISO 3095:2005)(환경부 고시 제2010-142)(EN 15610:2009) (EN15461:2008)<br>- 궤도조건, 속도대역별 측정지 현장 답사/선정<br>- 궤도 동특성 레일조도 등 측정<br>- HEMU 통과소음도 현장 측정<br>- 국내지형 특성 별 예측식 보완 및 검증<br>- 타 세부과제 개발품 연계 가능성 검토<br>- 일반철도 및 다양한 속도에서의 예측 연계 방안 검토<br>- 통합예측 모델 값과 비교 검토/보완 |
| 고속철도 소음저감효과 시뮬레이션 기술 | ▪ 소음원 기여도 분석 프로그램 성능검증<br>- 소음저감 시제품 설치에 다른 저감예측 성능 검증시험 (속도대역 별 마이크로폰 어레이 측정 96-144채널, 레일로부터 5-8m, 160Hz-4000Hz, 소음원 기여도 분석 프로그램 활용)<br>-> 소음원 분리 분석/저감효과 시뮬레이션 성능 프로그램 제시(시간 영역/주파수 영역)<br>▪ 고속철도 소음원 규명 기술 검증 및 소음저감 효과 시뮬 |

| 분야 | 연구범위 |
| --- | --- |
| | 레이션 tool제작<br>- 마이크로폰 어레이 측정(96ch-144ch)<br>- 소음저감 대안 효과 현장 시험 |
| 슬라브 도상용 흡음블럭 현장적용 및 성능평가 | ▪ 슬라브 도상용 흡음블럭 현장적용<br>- 테스트 베드 구간에 흡음블럭 시제품 현장부설<br>▪ 흡음블럭 소음저감성능평가(3dB(A) 이상)<br>- HEMU-430x 증속 시 소음측정을 통한 성능평가<br>▪ 흡음블럭 설치후 내구성 및 안정성 점검<br>- 흡음블럭 부설 후 열차운행 및 시간경과에 따른 안정성 및 내구성 관련 현장점검 |

## 3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구

“400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구”에서는 고속선 선로구축물(궤도, 토공,교량,미기압파)의 속도 증속과 거동관의 상관관계를 해석, 시험, 현장시험을 통해 규명하기 위해 Test-Bed 구간 내 선로구축물 거동평가 모니터링 시스템과 증속시험을 통한 시험평가데이터를 구축하였다. 여기에 대한 분석결과를 토대로 향후 400km/h급 증속을 위한 선로구축물의 요구조건 (Requirement)을 도출하고 설계지침(안) 도출을 개발 제시하였다.

<표 1-2-3-1> ‘400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구’ 연구범위

| 분야 | | 연구범위 |
|---|---|---|
| Test-Bed 구간 선로구축물 거동평가 모니터링 시스템 구축•운영 및 설계기준(안)검토 | Test-Bed 구간 선로구축물 거동평가 모니터링 시스템 구축•운영 | • 호남고속선 테스트베드구간 11개소 구축,운영관리<br>- 연구현장 일제점검 14건<br>- 구축시 안전관리교육 및 투입 89건, 안전관리자 4인<br>- 구축 및 시험협의 실시 8건<br>- 증속시 작업,안전관리 협의 요청공문 23건<br>- 시험계획공문 요청발송 3건 |
| | 세부과제 진도관리 및 선로구축물 기준(안) 검토 | • 세부과제 진도관리 및 선로구축물 기준(안) 검토<br>- 자체 공정회의 2회<br>- 사전기술검토 4개분야<br>- 개발기준 8건에 대한 사전기술검토<br>- 기술검토 협의 3건<br>- 기술자문회의 4건 |
| 선로구축물 Test-Bed구간 증속거동분석 및 400km/h급 설계지침(안) 개발 | 400km/h 주행 파라미터별 속도상관성 분석 | • Test-Bed 모니터링, 현장시험 측정데이터 분석,해석,실내시험 분석결과를 고려한 선로구축물(궤도,노반,교량,미기압파) 예측경향 및 여유도 분석<br>- 해석수행(TPS,궤도,노반,교량동적해석)<br>- 실내시험(실대형시험,PCL,캠플레이트 17종)<br>- 현장시험(증속시험 293건 통계분석,미기압파 2개소 현장측정시행)<br>- 속도-선로구축물 거동특성(응력,변위,침하) 상관 및 예측챠트 제시 |
| | 400km/h 궤도, 노반,교량 설계기준(안) 제시 | • 선로구축물 설계기준(안)제시<br>- 사전기술검토: 4개분야 궤도 285개, 노반분야 182개, 교량분야 113개, 미기압파 분야 21개 상세항목정의 검토실시<br>- KR C-08070 교량구조 적정설계 변위, KR C-14030, 표준동적하중 충격계수편, KR C-04 미기압파 기준제안 |
| 선로구축물(궤도,교량) | 본선 Test-Bed 구간의 | • 궤도, 교량 모니터링 시스템 및 시험측정데이터 구축<br>- 궤도 직선구간(109K231), 궤도 원곡선구간(98K815), |

| 분야 | | 연구범위 |
|---|---|---|
| 거동평가 모니터링 시스템구축 및 성능평가 | 선로구축물 성능평가 및 검증 | 교량 PSC-BOX교(119k102), 교량 소수주형교(118k577)<br>- 인프라 시험 측정데이터구축(궤도 60ch×24회/ 교량 21ch×24회 데이터구축)<br>- 교량단부 콘크리트궤도 설계기준정립<br>- KR C-08090 교량단부 콘크리트궤도 사용성 검토를 위한 동적작용 충격계수 산정 |
| | 분기기 성능평가 및 측정데이터구축 | • 분기기측정시스템 현장구축 및 시험수행<br>-정읍역 고속분기기 F26 #6713(131K940) 구축<br>-총 8회 시험측정실시(44ch×24회) |
| 선로구축물(노반) 거동평가 모니터링 시스템 구축 및 성능평가 | Test-Bed 구간 선로구축물(노반) 측정데이터구축 | • 노반 모니터링 시스템 및 시험측정데이터 구축<br>- 표준노반(109K231), 연약지반(110K000), 교대접속노반(120k650)의 모니터링 시스템 구축<br>- 인프라 시험 측정데이터구축(노반 99ch×24회 데이터구축) |
| | 침하분석 및 침하관리 기준(안)개발 | • 테스트베드 구간 침하 DB화<br>- 원지반:221개소, 지표:178개소<br>- 침하 분석 잔류침하량 평가(노반정보관리프로그램)<br>- 원지반:221개소<br>• 노반침하(한계침하속도) 기준(안)제시 |
| 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 최적설계 및 설계기준(안) 개발 | 동적증가계수와 궤도 및 노반단면 설계의 상관성 분석 | • 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 핵심설계요소의 특성변화 분석을 위한 분석<br>- 충격계수 증가설계하중고려 TCL응력분석<br>- TCL 및 토공노반 변화분석<br>- 사용성검토 분석<br>- 현장 매립센서의 궤도TCL의 동적거동 분석 및 표면 게이지 균열분석 |
| | 열차속도증속을 고려한 궤도/노반 최적설계(안) 도출 | • 토노반 콘크리트구조 최적설계단면(안)제시<br>- 신규단면제안(TCL축소단면)<br>- 토노반 콘크리트구조 최적설계단면(안)제시<br>- KR C-14040 콘크리트궤도 요구 조건<br>- KR C-14040 콘크리트궤도 구성품 요소 |

## 4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발

본 과제는 현재 개발 중인 최고시속 400km의 차세대 고속열차를 국내에 적용하고, 나아가서는 고속철도의 해외진출을 위하여 최고시속 400km 까지 영업운행이 가능한 새로운 고속 전차선로 시스템 및 관련부품을 개발하는 것을 목적으로 하고 있으며, 400km/h급 전차선로 설계 기술개발, 400km/h급 전차선로 핵심부품 개발, 400km/h급 전차선로 부품 내구성 평가 기술개발 및 DB구축 그리고 호남고속선 400km/h급 전차선로 테스트베드 부설 및 성능평가를 수행하였다.

<표 1-2-4-1> '전차선로 시스템 기술개발' 연구범위

| 분야 | 연구범위 |
|---|---|
| 증속에 따른 전차선로 시스템 기술 개발 | ▪ 토털 설계문서 구축을 위한 상세설계<br>- 본선 성능시험 결과를 반영한 드로퍼 간격, 이도 확정<br>- 400km/h급 전차선로 설계(안) 확정 및 설계도서 업그레이드<br>▪ 전차선로 부품 내구성 평가기술 개발 및 DB 구축<br>- 전차선 마모시험 및 DB구축<br>- 드로퍼 피로시험 및 DB구축<br>▪ 전차선로 성능평가 종합시험계획 수립<br>- 국제규격 IEC 62486 집전성능 및 전차선로 성능평가 계획 및 절차 수립<br>▪ 차상 및 지상 검측 및 성능평가 시스템 구축<br>- 400km/h급 전차선로 성능평가를 위한 차상+지상 평가 시스템 구축<br>▪ 차상 성능평가 시험 수행<br>- 전차선로 성능검증을 위한 차상 성능평가 시험 수행<br>- 증속 운행에 따른 집전성능 및 시험 결과 DB 구축 및 분석 결과 |
| 본선 Test-bed 품질 검사 및 성능 평가 | ▪ 400km/h급 전차선로 구축<br>- 400km/h급 본선 Test-bed 설치 시공품질검사<br>- 400km/h급 전차선로 지상 성능평가<br>▪ 400km/h급 전차선로 설계기준 수립<br>- 400km/h급 전차선로 설계기준, 자재 규격 확정<br>▪ 본선 Test-bed에서의 전차선로 지상성능평가 및 시험 수행 |
| 전차선로 성능평가 기술개발 | ▪ 전차선로 전용 복합진단장비 개발 및 성능평가<br>- 전기적 결함탐지 복합진단 시스템개발/성능평가/설계보완<br>▪ 복합진단장비 진단기준 및 운용기준 개발<br>- 전기적 결함탐지 복합진단시스템 진단기준/운용기준 |
| 전차선로 성능평가 기술개발 | ▪ 전차선 장력상태 실시간 모니터링 개발<br>- 원격 Data 전송을 위한 Data 전송 방법 검토<br>- 원격 Data 송수신 시스템 및 프로그램 개발 |

| 분야 | 연구범위 |
|---|---|
| | - 호남 고속선 Test-bed 적용 시험<br>▪ 전차선로 이상상태 모니터링 시스템 개발<br>- 이상상태 Data 분석 및 알고리즘 보완<br>- 원격 측정장치 설계 및 제작<br>- 원격 측정장치 운영 프로그램 개발<br>- 원격 측정장치 적용을 위한 모니터링 시스템 시제품 수정<br>- 호남 고속선 Test-bed 적용 시험 및 성능 검증 |

## 5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발

본 연구의 목적은 ETCS Level 2(유럽형 열차제어시스템)을 개발하여 기술자원 확보와 열차운행간격을 단축시켜 선로용량의 증대, 운행속도 및 안전도를 향상 시켜 고속철도의 고속, 고밀도 안전운영의 신뢰성 및 경제성을 크게 개선하고자 함에 있다.

이를 위하여 1차년도에 엔지니어링, 지상ATP 핵심기술개발, 지상인터페이스장치 설계 및 제작 안전전송모듈 설계를 진행하였으며, 2차년도에는 상호호환성 검증 및 엔지니어링 기술개발, 지상 ATP 핵심기술개발, 지상인터페이스 시스템 구축, 안전전송모듈 제작 및 성능검증을 진행하였다. 3차년도에는 ETCS Level 2 핵심장치 통합실험실 실험, 지상 ATP 통합시스템 시험 및 결과분석, 지상인터페이스 시스템 통합 및 연계시험, 안전전송모듈 통합 및 연계시험, 차상 ATP 장치 개발, 차상 ATP 장치 인터페이스 설계 및 시험방안 수립을 진행하였다. 4차년도에는 ETCS Level 2 시스템 통합 및 성능 검증, 엔지니어링, 차상 ATP 장치 S/W 개발, 차상 ATP 장치 시제품 기능검증, 안전성(SIL) 검증, 차상-지상 시스템 통합, 실용화 연계기술 연구, 지상인터페이스 시스템 성능검증, ETCS 시스템 검증 및 통합시험 지원을 진행하였다.

<표 1-2-5-1> '차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발' 연구범위(4차년도)

| 분 야 | 연구범위 |
|---|---|
| ▪ ETCS-L2 시스템 통합 및 성능검증 | ▪ 지상-차상 통합 시험절차 수립<br>- 유럽표준(Subset 076, Test Sequence) 분석 |
| ▪ 지상-차상 통합시험 | ▪ 지상-차상 통합시험(실험실)<br>- 시험 절차서의 시험 항목별 적합성 여부 |
| ▪ 차상ATP 장치 S/W 개발 | ▪ S/W 구조사양분석 및 상세설계<br>▪ S/W 구현 및 소스코드 검증<br>▪ 시뮬레이터 설계 및 제작 |
| ▪ 차상ATP 장치 시제품 기능검증 | ▪ 하드웨어 시험<br>▪ S/W 연계시험<br>▪ 차상-지상 시스템 통합시험 및 분석 |
| ▪ 차상 ATP장치 안전성(SIL) 검증 | ▪ 요구사항 분석 평가<br>- 시스템 개념 평가(Concept Audit Report)<br>▪ EVCU 구조사양 분석(차상 ATP장치 구조사양서)<br>▪ 산출물 Verification<br>- 소프트웨어 구조 및 설계 Verification Report<br>- 컴포넌트 설계 Verification Report<br>▪ RAMS 분석( RAM 분석 외 2종) |
| ▪ 지상-차상 시스템 통합 | ▪ 차상ATP 연계를 고려한 지상ATP S/W최적화<br>▪ 지상-차상 시스템 통합 시험 |
| ▪ 실용화 연계기술 연구 | ▪ RBC 및 관제시스템 구성기술 연구<br>- 무선폐색센터 및 관제시스템 구성기술 연구<br>- 무선통신기술 적용방안 연구 |
| ▪ 지상 인터페이스 시스템 성능검증 | ▪ 폐색정보전송장치 현장 실증시험<br>▪ 차상ATP↔안전전송모듈 성능시험 |
| ▪ ETCS 시스템 검증 및 통합시험 지원 | ▪ 지상↔지상 시험을 위한 인터페이스 기술지원<br>▪ ETCS 검증장비 운용을 통한 시험지원 |

# 제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

## 1. 국내 기술개발 현황

### 가. 철도의 속도향상

세계적인 고속철도 속도경쟁에서와 같이 우리나라 철도기술의 발전은 속도향상과 함께 이루어져왔다. 1987년 최고속도 150km/h의 새마을호 동력차를 개발하였으며, 2004년 프랑스에서 TGV를 도입하여 최고속도 300km/h의 고속철도 시대를 열었다. 이후 1996년부터 2002년까지의 자체 기술개발을 통해 최고속도 350km/h의 고속철도 기술을 확보하게 되었으며, 이 차량은 KTX-산천이라는 모델명으로 상용화에 성공하였다. 2007년부터는 동력분산형 HEMU-430x차량의 개발이 진행되어 2013년 2월 421.4km/h의 최고속도를 기록하였다.

이러한 고속철도 차량 기술의 발전과 비교하여, 상대적으로 고속철도 인프라 기술의 개발은 이루어지지 못했다. 그동안 철도차량을 개발하는 과정에서 안전성과 경제성에 중요한 요소인 인프라에 대한 기술개발은 부차적인 것으로 다루어져왔기 때문이다. 즉 고속철도 차량 개발과 비교하여 인프라 기술은 상대적으로 우선순위가 낮은 것으로 간주되어 왔다.

고속철도 건설규칙이 최고속도를 350km/h로 규정하고 있다는 것에서 잘 나타나듯이 350km/h 이상의 고속 대역에 대한 인프라 기술은 매우 부족한 상황이다. 증속에 있어서 안전성과 신뢰성은 매우 중요한 요소로 이러한 문제 인식에 따라 2010년 12월부터 400km/h 운행에 대응할 수 있는 고속철도 인프라 핵심기술의 개발을 추진하고 있다.

### 나. 통합DB 및 모니터링 시스템 분야

현재 국내에 설치되어 운영 중인 인프라 계측시스템은 서해대교, 영종대교 등 교량 계측시스템과 경부고속철도 노반구조물 상시모니터링 시스템, 한국철도공사 지진가속도 모니터링시스템 등이 있다. 이러한 계측시스템에는 대부분 그래픽 사용자 인터페이스(GUI), 네트워크 기반 데이터 송수신, 이중화, 보안, 백업 기능, 분석기법, 상황실 등의 기술이 적용된 것을 알 수 있다.

<표 1-3-1-1> 국내 인프라 계측시스템에 반영된 기술 현황

| 구 분 | 계측시스템에 반영된 기술 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | GUI | 네트워크 | 이중화 | 보안 | Back up | 분석기법 | 상황실 |
| 서해대교 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 영종대교 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 인천대교 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 한강온라인 통합 모니터링시스템 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 일반국도 특수교 통합 유지시스템 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 경부고속철도 노반구조물상시모니터링시스템 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 강우 방재 모니터링 시스템 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 사면 안정 모니터링 시스템 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 한국철도공사 지진가속도모니터링 시스템 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

본 과제에서는 2011년 400km/h급 고속철도 인프라 핵심 성과품에 대한 성능평가를 통한 데이터베이스를 구축하고, 이를 위한 통합모니터링 계획을 수립하였다. 이를 위하여 4차년도에는 환경소음 저감기술, 선로구축물(궤도, 노반, 교량), 전차선 등 핵심 성과품의 성능평가와 설계기준 도출을 위한 통합DB 및 모니터링시스템을 구축하였다. 통합 UI 시스템은 데이터 처리, 이벤트 통합관리, 편집 기능, 보고서 기능 및 운영 관리 시스템으로 구성되었으며, 모니터링시스템의 데이터 수집방법 및 데이터 형식은 다음 표와 같다.

<표 1-3-1-2> 통합모니터링 시스템 데이터 수집방법 및 데이터형식

| 구분 | | 데이터 형식 | 데이터 수집방법 | 수집 데이터 |
|---|---|---|---|---|
| 환경소음분야 | | Binary file<br>ASCII 파일전환 | FTP를 통해<br>PC전송 | 소음데이터(Leq. Passby, SEL, TEL) |
| 선로<br>구축<br>물분<br>야 | 궤도 | Binary file<br>ASCII 파일전환 | 측정 후 FTP로<br>전송 | 하중, 레일응력, 변위 가속도 등 |
| | 교량 | Binary file<br>ASCII 파일전환 | 측정 후 FTP로<br>전송 | 연직변위, 연직가속도, 차량가속도 등 |
| | 노반 | CSV 파일 | FTP로 데이터<br>로거에서 전송<br>Pakbus Protocol | 노반압력, 진동속도, 진동가속도, 탄성수직변위,<br>누적 변위, 노반온도, 함수비 등 |
| 전차선분야 | | 비디오영상<br>전압(V) | 측정 후 PC 전송 | 수직변위, 적외선 영상 및 사진, 접촉력 이손율<br>등 |

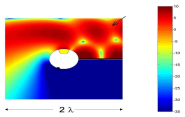
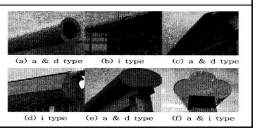
## 다. 환경소음 분야

(1) 400km/h급 방음벽 상단장치

기존 재래선 철도소음 및 도로교통소음 등을 저감시키기 위해 개발된 제품으로 음의 간섭원리를 이용하여 소음을 저감시키는 장치와 음이 회절되는 방음벽 끝단에 집중되는 음에너지를 줄이기 위해 흡음재를 내장하여 방음벽 상단에 설치하는 상단장치들이 아래와 같이 상품화 되어있다. 그러나 국내 방음벽 시뮬레이션 및 설계기술은 대부분 지면의 위치에서 입사하는 낮은 위치의 소음원만을 고려하여 개발되었다. 또한, 현재까지의 상단장치는 도로용이거나 기존 철도용으로서 향후 운행될 400km/h급 고속철도에의 소음특성은 반영할 수 없어 기존 상단장치를 그대로 적용하는 것은 실용성 측면에서 문제가 있을 것으로 판단된다.

또한, 철도분야는 도로분야에 비해서 방음벽 상단기술이나 투과손실 향상 면에서 많이 적용되지 않았으며, 상단의 회절효과 감소를 위한 설계는 프랑스와 일본에서, 그 외 독일에서는 태양에너지를 생성하여 인근의 주거지역에 전기를 공급하는 등 에너지 효율적 활용을 접목한 방음벽을 철도변에 개발, 적용하고 있다. 최근 국내에서도 철도소음용 상단장치에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 일부 제품에 대한 특허도 존재하나 모두가 일반 철도용에 사용되는 목적이며, 주파수 특성이 다른 고속철도 및 400km/h급 차량에 대한 상단장치 개발 내용은 전무하다.

<표 1-3-1-3> 국내 방음벽 적용현황

| 기술유형 | 수행기관 | 저감대상 | 적용현황 | 그림 |
|---|---|---|---|---|
| 철도연변 방음벽 음향설계 | 정부출연기관과 엔지니어링 사업체(1999) | 기존선과 경부고속철도 구간 | 수직형과 말단절곡형으로 제한 |  |
| 일반흡음형 소음감소기, Calm Zone, 공명형) | 한국철도기술연구원 (2000) | 기존선 고속화 | 현장평가 시험 |  |
| 음의 간섭을 이용한 간섭형 방음벽 상단장치 개발 및 성능평가 | 유니슨 (2000-2001), 철도연구원(2001) | 무궁화, 새마을 열차 (1-4 dB 효과상승) | 도로 및 철도 |  |
| 방음벽 형상 및 상단장치 축적모형실험 및 해석적 연구 | 한국철도연구원 (2000), 한국표준과학연구원 (2001) | 고속철도 소음 (2-5 dB 효과상승) | 모형 현장시험 |  |
| 고속철도 구간 방음벽 향상 연구 | 한국철도기술연구원 (2004) | 고속철도 (2-15 dB 효과상승) | 해석연구 |  |
| 방음벽 상단의 소음감소기 성능 평가 | 국립환경과학원 (2007) | 국내소음감소기 (noise reducer) 7종 평가 (주로 도로대상) | 현장 성능평가 |  |

(2) 고속철도 소음예측모델 및 소음저감효과 시뮬레이션 기술

철도소음 및 교통소음 예측에 관하여는 국내에서 대학 연구실을 모태로 하여 출발한 벤처기업에서 소음지도 소프트웨어(ENpro)를 10여년 전에 개발하여 상용화되었다. 철도소음에 대한 입력 라이브러리는 측정데이터를 기반으로 국내 철도소음 등 예측에 활용하고 있으나 400km/h 등 고속열차에 대한 입력 라이브러리는 구성되어 있지 않은 상황이다. 그래서 개발되는 새로운 한국형 고속철도 소음모델을 정의해야만 하며, 신뢰성이 검증되어야 한다.

환경소음 예측에 관하여는 국내에서 대학연구실을 모태로 하여 출발한 벤처기업에서 도로교통 및 플랜트 등의 환경소음시뮬레이션을 위해 소음예측 및 지도작성 소프트웨어(ENPro)를 2002년에 개발하여 상용화하였다. 그러나 이 프로그램에는 철도 소음에 대한 데이터베이스 또는 추정식이 반영되어 있지 않다. 이로 인해 계측 자료를 직접 입력해야만 사용할 수 있으나 철도 소음 발생의 높이 및 길이 방향 특성을 모델에 반영하기 곤란하다. 따라서 고속철도의 운행속도, 도상 종류, 철도 구조 등에 대한 기존 정보 입력만으로 구동, 전동, 공력소음 등을 고려한 음향파워 산정과 소음원 모델링 등의 추가적 기능이 요구되고 있은 실정이다. 또한, 상대적으로 길이가 긴 고속철도 운행 시 수음점에 전달되는 소음의 시간이력 등을 평가할 수 있는 추가적 시뮬레이션 기술 개발이 요구된다. 아울러, 간섭 장치 등이 추가된 형태의 방음벽 및 지형조건에 대한 정보와 기능이 추가적 보완과 함께 이의 신뢰성 검증이 요구되고 있다.

현재 국내에서 도입하여 활용 중인 SoundPlan, Cadna A, Lima 등의 외산 프로그램은 기존 EU 등의 철도 소음예측 모델을 적용하고 있으나, 400 km/h급 고속철도에 대한 라이브러리는 없으며, 굴곡형 방음벽, 다중 재료로 구성된 방음벽 등 고속철도 방음 대책으로 실제 적용되는 방음벽에 대한 해석 기능이 미흡하여 정도 높은 고속철도 소음 시뮬레

이션 및 방음대책 수립에 이들 프로그램을 활용하기는 어려운 실정이다.

한편, 한국철도기술연구원 등에서는 철도 소음원 특성 규명 등에 관한 연구 개발을 수행한 바 있으나 기존 고속열차 및 개발 중인 400 km/h급 고속열차에 대한 정확도 높은 소음원 음향모델 구현을 위한 측정/분석 기술 연구와 이를 통한 국산 고속열차에 대한 소음원 라이브러리 구축 및 고속철도 환경소음예측을 위한 계산 모델 정립에 대한 추가적 연구가 필요한 실정이다.

(3) 400km/h급 슬라브 도상용 흡음블럭

국내에 소음 저감제품 및 방법에 대하여 <표 1-3-1-4>과 같이 지적재산권이 다수 출원 등록되어 있으나 체계적 설계기술 또는 성능검증 등이 이루어지지 않음으로 인하여 실용화에 많은 문제점을 안고 있다.

슬라브 도상 궤도의 증가 및 환경기준의 강화로 인한 소음저감 대책의 필요성이 증가하고 있으나 관련 산업계에서는 대기업의 참여가 없는 실정이며, 일부 중소기업에 의해 연구개발이 진행되고 있는 실정이다.

<표 1-3-1-4> 국내 흡음블럭 관련 특허 정보

| 발명(고안)의 명칭 | 출원인 | 권리 구분 | 출원일 | 출원번호 | 등록 상황 |
|---|---|---|---|---|---|
| 자갈을 이용한 도로용 방음판의 제조방법 | (주)의성개발 | 특허 | 1990. 9.7 | 10-1990-0014132 | 등록 |
| 초경량 발수콘크리트 흡음재의 제조방법 | 쌍용양회공업(주) | 특허 | 1994. 5.17 | 10-1994-0010740 | 등록 |
| 흡음콘크리트의 제조방법 | 이승한 | 특허 | 1994. 6.14 | 10-1994-013581 | 등록 |
| 폐타이어 고무분말을 이용한 레일 저진동 블럭 | 김인중 | 실용 신안 | 2001. 12.13 | 20-2001-0038427 | 등록 |
| 경량·흡음 콘크리트 조성물 및 흡음재 제조방법 | 김태균 | 특허 | 2003. 11.14 | 10-2003-0080432 | 등록 |
| 폐콘크리트 부산물과 경량골재 및 인공 Zeolite를 이용한 소음저감형 포러스 흡음콘크리트 블록의 제조방법 | 충남대학교 산학연교육연구재단 | 특허 | 2003. 11.14 | 10-2003-0080432 | 등록 |
| 흡음블럭 | 정종영 | 특허 | 2006. 10.17 | 10-2006-0100582 | 등록 |
| 철도용 다공성 콘크리트 흡음블록 | 한국유지관리 | 특허 | 2006. 09.12 | 10-2006-0087890 | 등록 |
| 소음 및 진동을 저감시키도록 홈이 형성된 바라스트 매트 | 동일티엔디 | 특허 | 2006. 11.30 | 10-2006-0119586 | 등록 |
| 철도 도상용 흡음콘크리트판 | 최의용 | 특허 | 2009. 02.02 | 10-2009-0007857 | 등록 |
| 철도 도상용 흡음판 | 오성훈, 진흥콘택 | 특허 | 2012. 05.24 | 10-2012-0055192 | 등록 |

## 라. 선로구축물 분야

국내에서는 경부 1단계와 2단계구간에서 개통 전 시험과 최고속도의 350km/h의 평가 시험을 수행하였지만 본격적인 시운전 모니터링 및 측정 DB구축 및 설계기준 도출을 위하여 수행되기는 본 연구 사업이 처음이다. 현재 국내에서는 400km/h 열차 주행시험이 수행된 바 없으며 따라서 설계를 위해 필요한 열차하중 측정 데이터가 전무한 상황이다. 현재 철도건설규칙은 인프라에 대한 설계최고 속도를 350km/h로 규정하고 있는데 이는 주로 국외의 기준을 준용하여 국내실정에 맞게 적용하고 있는 상황이다. 증속에 따른 동적계수, 변위기준, 지지력 등이 국외 증속과 속도향상에 따라 시험 및 측정에 따른 UIC, DIN, EN 규정에 끊임없이 반영되어온 국외 사례를 볼 때에 관련 데이터의 확보가 필요한 상황이며 50km/h 이상의 속도대역에서 증속 시 350km/h 이상 그리고 400km/h급 인프라 성능검증 및 설계기준 도출이 필요하다고 판단된다.

장기적인 거동 모니터링은 이미 도로분야에서 장경간 케이블교량 등에 설계 단계부터 반영되는 추세이다. 국내 현장에 적용되고 있거나 현장적용을 위해 개발된 모니터링 시스템들은 신호기반 알고리즘들로 구분되며, 최근에는 기존의 손상평가에서 모드분해(Modal Decomposition)에 의한 모델 업데이트와 관련한 기법 중심으로 이동하고 있으며 이를 위해 다양한 다측점 측정을 위한 영상기반 시스템(Vision-Based System for Multi-point Measurements) 관련 연구도 시작되고 있다. 궤도분야의 경우도 모니터링 시스템 구축 시 측정 방법 또한 윤축에 설치한 스트레인게이지에 의한 궤도작용력 측정과 노반 콘크리트궤도 시공 단계 시부터 일부 측정센서를 매립하여 측정데이터를 받은 적이 있으나 350km/h 이상 증속 시 콘크리트궤도를 지지하는 노반 층별 열차속도 대역별 응력-변형 거동, 지반진동 변화를 측정하지 않았다.

국내 선로구축물 성능평가를 위한 계측기술은 일본 신칸센에서 적용했던 계측기술을 토대로 적용되어 왔다. 전기저항식 변형률계를 레일 면에 부착하여 측정된 전단변형으로 윤중과 횡압을 측정한다. 데이터로거는 유선방식으로, 현장에 설치하여 측정기간 동안 현장에서 데이터를 직접 확인하게 된다. 그동안의 안정적인 계측경험으로 인해 FBG센서 등의 새로운 계측기술은 연구과제에서 시범적으로 적용되고 있는 수준이며, 대부분 전통적인 계측기술에 의해 궤도거동 계측이 이루어지고 있다. 무선데이터로거는 유비쿼터스 기술 발전과 함께 국내 최초로 개발된 이후로 조금씩 현장에 적용되고 있는 중이다. 무선데이터로거는 휴대성의 요건을 만족하기 위해 유선계측기에 비해 부품 성능을 많이 낮추었으므로 아직은 동적계측분야에서 유선계측기에 비해 성능이 떨어지는 형편이다.

## 마. 전차선 분야

세계적으로 고속철도 증속을 위한 고강도/고전도성 전차선 개발에 대한 필요성이 부각되면서, 유럽 및 중국을 중심으로 Cu-Ag, Cu-Sn, Cu-Mg 등과 같은 고용강화 합금 및 공정 개발이 진행 중에 있으며, 일본에서는 석출경화형 합금 전차선(PHC : Precipitation Hardened Copper Alloy Contact wire) 및 동복강선(CS:Copper-Steel Contact wire)에 대한 합금 및 구조개선에 대한 개발이 진행 중에 있다. 국내의 경우, 대한전선, LS전선, 일진전기 전선 메이저 3사가 고강도/고전도 전차선 개발을 진행 중에 있으나,350 Km/h 이상의 고속에는 적용이 불가능하다. 또한, 고속전차선 합금 소재 자체의 핵심 원천기술은 해외 선진 업체에 제한되어 있으며 고가이다.

300km/h 고속철도 전차선로 시스템은 그동안 기술이전 및 연구를 통하여 핵심적인 설계 요소기술을 우리 기술로 소화하여 독자적인 설계기술을 확보한 상태이며, 자동설계 프로그램과 일부 금구류, 전차선 등이 국산화되었다.

최고시속 400km급 전차선로 시스템에서 가동브래킷/곡선당김금구 및 관련금구개발은 필수적이다. 가동브래킷 조립금구류의 동AL합금의 경우 국내사용 재질이 아니므로 표준화를 통해 품질확보를 확실히 할 수 있는 전문제조업체의 확보가 필요한 실정이다.

국내의 경우 국제 규격에 의한 시험 사항을 일부 KRS 규격에 포함하여 개별 부품의 성능시험과 허용 기준을 명시하고 있으나, 국제규격의 모든 사항을 반영하지 못하고 있다. 이에 대응하기 위하여, 국외에서 도입한 ROGER 1000K의 전차선 검측 시스템은 정적인 상태에서의 높이 및 편위를 검측하는 시스템으로 KTX와 같은 전기차량의 집전상태에서의 동적 높이 및 편위 검측 시스템과는 차별성이 있으며 현재의 시스템을 이용한 검측은 불가능한 실정이다.

## 바. 열차제어(ETCS-L2) 분야

### (1) 열차제어시스템 개발 현황

국내 열차제어 분야는 도시철도표준사업, 경량전철시스템개발사업, G7고속철도기술개발사업, 차세대고속철도기술개발사업 등 국가의 연구개발사업을 수행하면서 관련 기술과 시스템 엔지니어링 기술을 확보하였다.

그러나 이러한 기술은 철도관제설비, 사령설비, 전자연동장치 등을 개발하고 적용하는데 일부 활용하고 있으나, ATS, ATP, ATC 등 핵심 열차제어시스템 기술은 모두 해외 철도신호기업(Ansaldo STS, Bombardier Transportation etc) 제품을 도입하거나 기술협력을 통하여 도입하고 있는 실정이다. 1990년대 이후 개통예정이거나 건설 중인 일반철도를 대상으로 구축된 신호시스템 현황은 아래와 같으며, 일반철도의 경우 발리스와 궤도회로방식의 ATP를 도입하고 있다.

2003년 코레일이 경부/호남선 일반철도 지상구간과 KTX포함 4차종 400대의 차상장치를 기존 자동열차정지(ATS)에서 유럽표준(ETCS Level 1)장치로 개량함에 따라 우리나라도 유럽표준 열차제어시스템을 도입하게 되었다.

스웨덴의 Bombardier Transportation사와 프랑스의 Ansaldo STS사가 9:1의 비율로 점유하고 있는 우리나라 시장은, 열차제어시스템에 대한 핵심기술을 모두 외국사에 의존하고, 설치 및 안전성(RAMS)검증을 포함한 엔지니어링 기술만 확보하고 있다.

이처럼 국내 신호시스템 운영현황은 대부분 국외 시스템을 도입하여 설치·운행함으로서 각각의 노선에 따라 모두 상이하게 기술적 특성이 주어져있고, 운영 및 유지보수 측면에서 각각의 노선별로 기술적인 호환 및 교류가 불가능한 상태이다.

완전한 기술 이전이 전제가 된 경우에 설비의 개량 및 개조 등이 가능하지만, 대부분의 시스템은 이러한 설비 개량 및 개조 등의 작업을 국내의 기술로서 독자적으로 취급하거나 국내 운영 및 유지보수 기술을 바탕으로 한 완전한 운영 및 유지보수는 여전히 어려운 과제로 남아 있다.

따라서 국내에서 통합시스템으로 제작된 신호시스템의 공급과 이를 상용화하기 위한 노력이 필요한 것은 독자적인 운영 및 유지보수는 물론 국내에서 사용 중인 신호시스템의 통합 운영 기술 확보를 위해 매우 중요한 요인으로 확인된다.

현재 국내에서 운영되고 있는 철도 신호시스템은 기존선의 자동열차정지(ATS) 및 자동열차방호(ATP)와 고속선의 자동열차 제어(ATC) 시스템으로 분류할 수 있다. 열차제어방식에 따라 정보전송 및 내용 그리고 연산방식이 상이하기 때문에 열차의 운영 또한 달라진다. 최근에는 이러한 개별 시스템을 하나의 통합된 시스템을 개발하여 지상시스템에 따라 보다 유기적인 연계 및 효율적 운영을 위한 연구개발이 추진 중에 있다.

## 2. 국외 기술개발 현황

### 가. 고속철도의 속도향상

철도의 역사는 속도향상의 역사였다. 영국에서 세계 최초로 증기기관차를 운행하기 시작한 이래, 1964년 일본 신간선이 210km/h의 속도를 달성하면서 전세계적으로 속도향상을 위한 기술경쟁이 촉발되었다.

일본은 신간선 개통이후 1980년대 220km/h로 속도를 향상하였고, 1992년 신간선300계 270km/h, 1997년 신간선500계 300km/h, 1999년 신간선700계 285km/h, 2004년 신간선800계 260km/h를 달성하였으며, 2008년에는 최고속도 398km/h를 수립하였다.

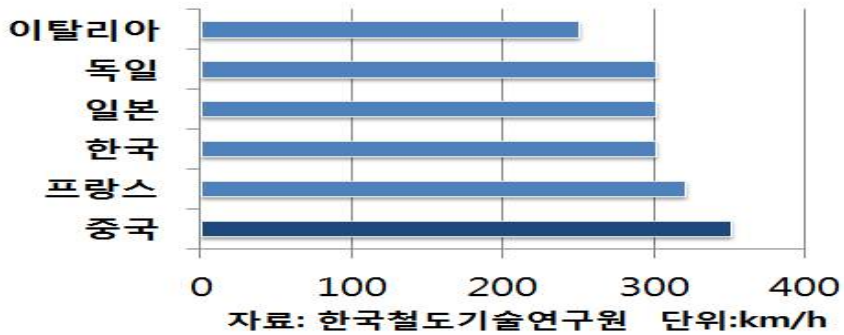
일본의 신간선 개통으로 자극을 받은 프랑스는 1981년 9월 신간선보다 빠른 260km/h로 TGV남동선(Paris-Lyon)을 운행하기 시작하였고, 현재는 320km/h로 운행 중에 있다. 프랑스는 1981년 2월 380km/h, 1990년 5월 515km/h, 2007년 4월 574.8km/h 등 1981년 이후 바퀴식 철도의 세계 최고속도를 갱신하며 자국의 기술력을 과시하고 있다.

독일은 1978년 IC특급으로 본격적인 200km/h 운행을 시작하였다. 이후 1985년 ICE 시제차량을 개발하여 1985년 11월 기존선에서 317km/h, 1986년 11월 신선의 일부를 사용하여 345km/h의 속도기록을 달성하였다. 이후 지속적인 연구개발을 통해 2000년 프랑크푸르트와 쾰른구간 신선에서 300km/h 운행이 가능한 동력분산형 고속열차인 ICE3(설계최고속도 330km/h)까지 성능을 향상시켜 왔다.

한편, 독일은 자기부상열차 분야에서도 뛰어난 기술력을 보여주고 있다. 1969년 자기부상열차 개발에 착수한 뒤 1987년에 차량을 제작하였으며, 2004년에는 중국 푸동공항-상하이 구간에서 상용화에 성공하였다. 중국에서 운행중인 자기부상열차의 최고 운행속도는 430km/h이며, 시험선에서 최고속도 500km/h를 기록한 바 있다.

현재 세계의 고속철도 지도는 중국에 의해 새로 그려지고 있다. 2007년만 해도 중국에는 근대적인 고속철도는 거의 전무했고 평균 시속 100km 정도의 일반 재래철도가 중심이었다. 그러나 1년 후인 2008년 8월 베이징올림픽 개막 직전에는 중국 최초로 근대 고속철도인 징진(京津)철도(북경-천진간 총길이 120km)가 개통되었고 그 운행속도는 당시 세계최고인 350km/h이었다.

다음의 그림은 세계 고속철도의 운영 최고속도를 나타내고 있다. 최근 중국 고속철도의 급격한 기술발전에 돋보이며, 프랑스, 일본, 독일 등 전세계적으로 영업노선에서의 속도를 높이기 위한 기술경쟁이 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다.




<그림 1-3-2-1> 세계 고속철도 운영 최고속도

## 나. 통합모니터링 시스템 분야

국외 인프라 계측시스템 중에서 중국교량 통합모니터링 시스템과 일본 아카시 대교 모니터링 시스템은 GUI, 네트워크 기반 데이터 송수신, 이중화, 보안, 백업기능, 분석기법, 상황실 등이 적용되었으나, 미국 Commodore John Berry교량 모니터링 시스템과 영국 윌포드교와 험버교 모니터링 시스템은 이중화, 보안, 상황실 등이 적용되지 않을 것을 알 수 있다.

<표 1-3-2-1> 국외 인프라 계측시스템 현황

| 구 분 | 연구내용 검토 사항 및 반영기술 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | GUI | 네트워크 | 이중화 | 보안 | 백업 | 분석기법 | 상황실 |
| 중국교량 통합 모니터링 시스템 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 일본 아카시 대교 모니터링 시스템 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 미국 Commodore John Berry 교량 모니터링 시스템 | ○ | ○ | | | ○ | ○ | |
| 영국 Willford 교 Humber 교 | ○ | ○ | | | ○ | ○ | |

이 외에 선로구축물 모니터링과 관련하여 프랑스는 '07년 최고속도 574.8km/h에서 궤도, 노반, 교량에 대한 모니터링 시험을 수행하였다. 프랑스 SNCF에서는 궤도 이상개소 감시경보시스템을 구축하여 차창의 고속 주행 시 궤도이상개소에 대한 상호관계를 규명하고 유지보스 기분 및 열차 운전 규준으로 정립하였다. 일본은 차량궤도교량 상호작용 해석 프로그램인 DIASTARS 개발, 선로구축물 주요 파라미터별 예측식 개발 등 거동특성 해석의 독보적 기술을 기반으로 독자적인 선로구축물 설계기준을 정립하였다. 미국교통연구원(TRB)에서는 교량에 대한 실시간 영상정보를 포함하는 계측시스템(SHMS, Structural Health Monitoring System)을 개발하였다. 미국교통연구원은 실시간 영상정보, 차량속도 및 중량, 기상정보를 모니터링 할 수 있는 GUI을 갖추고 있으며 센서별 채널을 선택하여 실시간 영상과 측정자료를 모니터링하는 시스템이다. 네덜란드는 노반의 부담력을 정량적으로 평가하고 속도영향을 고려할 수 있는 동적 할증계수 방법을 채택하고 있으며, 노반성능검증 결과를 설계기준에 반영하였다. 독일 센서사(Sensor)에서는 광섬유를 이용한 레이패드형태의 윤중 측정센서를 상용화하여 윤중 측정에 적용하고 있다.

소음 모니터링과 관련하여 일본은 신칸센 고속열차 연변 소음예측을 위해 마이크로폰 어레이 활용하여 저감대책을 수립하고 있다.

전차선 모니터링과 관련하여 유럽에서는 Europac(EURopean Optimised PAntograph Catenary interface) 프로젝트를 통해 팬터그래프와 전차선로 상호작용 평가 연구를 추진[1]했다. Europac 프로젝트에서는 팬터그래프와 전차선의 측정 및 모니터링을 위한 소프트웨어를 개발했으며 기후조건, 예상치 못한 인위적 조건, 그 외 다양한 상황에 대비하도록 고안되었다. 프랑스에서는 Europac 프로젝트 이전부터 무선통신 및 종합감시 기술을 활용하여 전차선의 압상량 변화를 감시하고 있다. 독일은 차량에 있는 팬터그래프에서 동적특성 측정 데이터를 무선으로 전송하는 방식과 광센서를 이용하는 방식을 개발하여 상용화하였다. 일본은 텔레메트릭스 기술을 활용한 전차선로 모니터링 시스템(PCM)을

1) 고속철도 성능향상을 위한 전차선로 설비 특성 측정에 관한 연구, 오석용, 2011. 8

개발하여 특수구간 및 중요 구간에 설치하여 사용 중이다. 노르웨이는 2004년 전차선 압상량 측정 장치를 4개소에 장착하여 압상량과 안전성 평가 수행하였다. 국내외 공통적으로 전차선로 모니터링 인증 및 유지보수를 위한 항목별 필요사항을 규격화하여 정의하고 있다.

## 다. 환경소음 분야

국외에서는 1960년대 이후로 방음벽 연구에 있어서 상단 모서리의 회절현상에 관한 연구들이 진행되어왔다. 방음벽 상단에 관한 연구로는 크게 상단 모서리 형태의 변형과 상단모서리의 음향임피던스 최적화에 관한 연구 등으로 나눌 수 있으며 다양한 기하학적 변형을 통해 간섭 혹은 산란의 효과를 이용하여 소음저감 목표지점에서의 그늘효과를 향상시키는 연구는 주로 유럽, 미국, 일본 등에서 1980~1994년에 이루어져왔다. 90년대 이후로 지금까지 이론적 수치 해석적 그리고 실험적으로 밝혀진 가장 유력한 방법으로 꼽히는 방음벽 기술은 상단의 음향 임피던스를 최소화하여 회절하여 넘어가는 에너지를 제어하는 방법이며 이를 실제적으로 적용할 수 있는 수동적 방법으로는 공진성 흡음장치(λ/4, HEMLMHOLTZ resonator)를 상단에 이용하는 방법이다. 프랑스와 일본은 상단의 회절효과 감소를 위한 기술을 학보했으며 독일에서는 태양에너지를 생성하여 인근의 주거지역에 전기를 공급하는 등 에너지 효율적 활용을 접목한 방음벽을 철도변에 개발, 적용하고 있다.[2)]

국외에 설치된 흡음블럭의 표면형태는 크게 3가지 형식으로 구분되는데[3)] 첫째로 물결모양의 요철을 흡음블록 표면에 만들어 흡음효과와 전달음의 난반사를 유도하여 음에너지를 분산시키는 형식, 둘째로 표면의 요철은 없이 흡음블록 표면의 직각 방향으로 구멍을 뚫어 흡음블록 표면에 작용하는 입사음을 흡음블록 표면의 공극과 구멍 속에서 소산시킴으로써 소음을 저감시키는 형식, 셋째로 흡음블록 표면의 가공 없이 흡음블록 재료의 흡음성능만을 이용한 편평한 표면의 흡음블록 형식이다. 독일과 일본 등 국외 고속철도 구간의 콘크리트 궤도의 흡음을 위해 도상용 흡음재 및 흡음패널이 개발, 도입되었으며 이는 주로 터널 내 소음증가에 대한 대안 및 최근 미기압과 소음을 저감하는 용도로도 활용되고 있다.[4)] 독일의 경우 1998년 5월에 개통된 ICE 고속선인 베를린-하노버(연장:80km, 최대속도 250km/h)구간과 2002년 11월에 개통된 쾰른-프랑크프루트(최대속도 300km/h)구간의 소음을 저감하기 위하여 콘크리트궤도 상면에 설치하였으며 현장적용된 흡음블럭은 주파수 대역은 200~250Hz에서 3.0~3.5dB(A)의 소음저감효과를 보였다.

일본은 콘크리트 궤도가 많이 설치된 국가로, 소음을 저감시키기 위해 재활용 흡음재(도자기성분, 유리성분 및 세골재 등과 같은 무기질 재료를 이용)를 이용한 소음저감 연구가 수행되었다. 재활용 흡음재의 저감효과는 약 400~4,000Hz사이의 고주파영역에서 소음저감 효과가 있는 것으로 보고되었다. 일본의 Tobi-Tech(주)는 흡음패널, 유리섬유강화플라스틱(FRP) 그레이팅, 지지부재로 구성된 흡음패널을 개발중으로 상용화 추진중이나 고가인 것이 약점이며 콘크리트 도상용 흡음블럭 외 차량용 흡음패널 개발사례가 있다.(Fastech 360 관련)

철도소음 예측방법은 전용 해석프로그램을 이용하는 방법, 측정데이터에 기초한 예측

2) 철도소음저감 기술현황 분석, 2008, 한국철도기술연구원
3) 인공경량골재를 이용한 철도 흡음블록의 흡음특성에 관한 연구, 2008, 강덕만 외 3, 철도학회 추계학술대회
4) 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발 연구보고서, 2011. 10, 국토해양부, 한국건설교통기술평가원

식을 이용하는 방법이 있는데 유럽에서는 주로 소음의 전파이론과 소음원의 특성을 DB로 구축고 지형의 특성을 디지털 정보로 변환하여 그 전파를 기하음향학으로 해석한 전용 해석 프로그램을 개발하여 판매하고 있다. 우리나라 및 일본은 소음원의 특성과 전파이론, 측정 데이터에 기초한 예측식을 개발하여 소음을 예측하고 있다.

미국 연방철도청(FRA, Federal Railroad Administration)의 경우 고속열차 소음 예측 및 저감대안에 대한 연구 프로젝트를 수행하고 있다.[5] 노르웨이는 2010년 소음지도를 완성하고 2012년부터 새로운 차량, 레일 그라인딩, 소음방음벽, 레일삭정 등에 대한 측정연구가 진행중이다.. 프랑스는 SNCF를 중심으로 주요 철도소음원 위치 규명을 위한 음장 가시화 기술이 개발되어 저소음화 방안 효과 예측 및 신차 개발 등에 적용하고 있으며[6] 최근 TGV Reseau 360km/h 에 대해 다양한 음향시험 연구를 다년간 진행하였다. 스위스의 경우 2007년부터 2010년까지 스위스 연방 환경청을 중심으로 대학 및 산업체가 컨소시엄을 이루어 스위스 철도소음 예측식(Swiss Prediction Model for Railway Noise)을 개발하였다.[7]

AKUSRAIL(Simulation of Noise Generation in Rail Traffic)은 독일 SFE사에서 개발한 소음예측 프로그램으로서, 차륜에 대한 유한요소 모델과 궤도에 대한 유한요소 모델을 적용하고 있다. AKUSRAIL은 각 조도에 따른 차량동력학해석을 통해 상호작용력을 산정하고, 산정된 상호작용력에 따른 차륜 및 궤도의 발생소음을 수치적으로 추정하는 프로그램이다. 일본은 신칸센 고속열차 연변 소음예측을 위해 소음원별로 기여도를 분리한 기술을 개발하였다. 철도기술 각 분야의 전문가들로 구성된 T23 신간센 속도향상 연구팀은 300km/h 급 신간센 속도향상의 기술적 가능성과 경제성에 대해 검토하였다.

5) 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발 연구보고서, 2011.10, 한국건설교통기술평가원
6) 해외고속철도 기술발전 동향 및 우리나라 발전방향 연구, 2010, 국토해양부
7) 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발 연구보고서, 2011.10, 한국건설교통기술평가원

## 라. 선로구축물 분야

속도향상과 관련하여 프랑스가 세계 최고시험속도인 574.8km/h를 2007년에 달성한 바 있으며, 일본 443km/h, 독일 406km/h를 기 달성한바 있다. 최고 운영속도도 프랑스가 360km/h, 일본이 320km/h, 중국이 350km/h를 선언한 바 있다. 프랑스는 1981년 이후 증속이 단계적으로 이루어졌다. LGV Sud-Est의 운행 개시전인 1981년 2월 26일 TGV차량(TGV) 16편성의 최고속도 시험에서는 시속 380km/h(236mph)를 달성했다. 이 선로는 선로중심간격 4.2m에 시속 300km/h로 설계되고 최소 곡선반경은 4,000m(이중 7개 곡선구간은 3200m이하)로 전체노선의 길이는 847km이었다. 그 구간 중 UIC 60레일은 288m 간격으로 테르미트 용접되어 시공하였다. 당시 시속 380km/h의 속도구간은 R=19,000m 이었으며 전후구간도 곡선반경 15,000m~10,000m에서 이루어졌다.

TGV가 380km/h의 최고속도를 실시했을 때의 궤도부설기준은 고저틀림 5mm, 줄틀림 2mm정도기준을 적용하였다. LGV Atlantique의 개시 전에는 1990년 5월 18일에 TGV 117과 TGV 140에 의한 최고속도 시험에서는 515.3 km/h를 달성하였다. 이 속도의 궤도구조와 전차선시스템의 획기적인 변화는 없었지만 선형 개선은 이루어졌다. 이 라인은 KP 135~170km에 최소곡선반경이 15,000m(K.P 150km)에 위치하고 있으며 KP 160km지점의 Vendôme TGV 역을 지나고 KP 166km의 25‰m의 경사의 Loir Valley를 지나서 175m교량을 지날 때 최고속도를 달성한 바 있다. 유지보수 3/64in(1mm)는 관리되면서 모니터링 시험기간 중에는 궤도구조의 손상은 거의 없었으며 매우 적은 궤도틀림복원 유지보수만이 있었던 것으로 보고되었다. TGV가 1955년 속도 331km/h (206mile)인 경우에 선로에 심각한 손상이 있었던 사례와 대비된다. 분기기의 경우도 Vendôme TGV 역을 통과 시에는 502km/h로 통과하였고 이 때 고속 분기기의 모니터링이 수행되었다.

최고속도 시험 시 철저한 모니터링을 수행하였는데 궤도,노반,교량 시설별로 다양한 시험평가가 수행되었다. 이후 2007년 4월 3일에는 TG 1/46-60E1-60E1A4 포인트와 크로싱을 KP 188(최고속도 574.8km는 KP191)에서 시속 560km/h로 통과하였을 때 포인트 및 크로싱부에서는 모니터링 시험을 수행하였다. 분기기 직선에서는 500km/h이상으로 28회 통과하면서 측정 데이터를 확보하였다. 이외에 최고 속도 시 안전 확보를 위한 궤도틀림 추이변화 분석 및 가속도 검토가 이루어 졌다. 속도가 증속하는 동안에 모니터링을 지속적으로 시행하여 최고속도 시험시 안정성을 확보하였다.

선로구축물 모니터링 분야에서는 최근 해석과 계측결과를 비교하여 물리적 현상을 규명하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 측정하는 채널수가 늘어남에 따라 데이터의 시각동기화에 대한 관심이 커지고 있으며, 동기화 문제를 해결하기 위한 동기화모듈 개발이 선진국을 중심으로 진행되고 있다. 구조물 건전성 모니터링(Structural Health Monitoring)에 대한 연구가 활발히 진행되면서 초고층, 초장대 구조물에 대한 모니터링 시스템의 개발에 많은 관심이 집중되고 있다.

홍콩에서는 사장교에 1,200개의 센서를 부착하여 시각동기화가 이루어진 동적계측시스템이 구축되었다. 또한 구조물 건전도 모니터링에서는 계측데이터와 해석모델 간의 비교검증에 의해 해석모델을 실제 거동에 맞게 업데이트하여 구조물의 상태평가를 수행하는 기법이 개발되었다.

## 마. 전차선 분야

전차선로 분야도 속도향상의 핵심기술로서 이에 대응하기 위한 연구가 진행되어 현재는 프랑스, 독일, 일본, 스페인, 중국 등에서 최고설계속도 350km/h급 전차선로 시스템에 대한 독자 모델을 개발하여 영업운행구간에 적용되고 있는 실정이다. 고속철도의 속도향상을 위한 시험운행과 이에 따른 전차선로 및 기타 조정사항은 아래 표와 같다.

<표 1-3-2-2> 속도향상에 따른 전차선로 및 기타 조정사항

| 국가명 | 년도 | 시험<br>최고속도 | 시험구간 | 시험<br>열차명 | 전차선로 및 기타 조정사항 |
|---|---|---|---|---|---|
| 독일 | 1988 | 406.9km/h | Fulda-Wurzdurg | ICE-V | 전차선 장력조정 15kN→20kN |
| 프랑스 | 1990 | 515.3km/h | LGV Atlantique | TGV-Atlantique | 전차선 장력조정 20kN→28kN / 전압조정 : 25kV→29.5kV<br>1㎜ 허용오차로 레일 정렬 / 미세자갈 제거 |
| 일본 | 1993 | 425.0km/h | 上越(Jyoetsu) 신간선 | STAR-21 | 전차선 재질변경 및 장력조정 CS 110→TA 150(14.7kN→19.6kN) |
| 일본 | 2005 | 460.0km/h | Tohoku 신간선 | FASTECH 360 | - 전차선 재질변경 및 장력조정 CS 110→TA 150(14.7kN→19.6kN) |
| 프랑스 | 2007 | 574.8km/h | TGV EST | V-50 | - 전차선 장력조정 26kN→40kN / 전압조정 : 25kV→31kV<br>- 1㎜ 허용오차로 레일 정렬 / 캔트조정 / 도상자갈 표면 접촉제 사용<br>- 차량출력 증가 19.6MW / 차륜직경 1,092㎜ 적용 |
| 중국 | 2008 | 394.3km/h | 북경-천진 도시간선철도 | CRH3C | - Simens의 Sicat H1.0을 기반으로 스티치선 대신 사전이도를 경간의 1/2000를 부여하여 설계속도 350km/h 급 전차선로 건설<br>- 2008년 6월 24일 최고속도 394.3km/h 기록을 달성 |
| 중국 | 2009 | 영업운영<br>최고속도:<br>350km/h<br>표정속도:<br>310km/h | Wuhan - Guangzhou 고속철도 | CRH3C | - 스페인 고속철도 AE350에 준하는 EAC350이라 불리는 전차선로(전차선 Cu-Mg0.5% 150mm2 30kN, 조가선 Cu 120mm2 21kN).<br>- 가선의 단면은 중국측의 요구로 약간 변경하였고 중국측 CARS에서 피로시험 수행 |

프랑스는 2007년 4월 시험 운행 시, 574.8km/h의 최고속도를 기록하였으며, 이 때 전차선 장력은 부분적으로 가장 높게는 40kN까지 올렸고, 전차선로 전압도 부분적으로 31kV까지 강제로 승압(Boosting)하였다. 이 때 시험결과를 통해 속도가 400km/h에 접근하면서 전차선과 팬터그래프 사이의 아크가 현저히 증가한 것을 확인할 수 있었다. 독일의 지멘스(Siemens)에서는 Y-stitched 방식의 커티너리 방식의 Sicat H1.0전차선로 시스템을 상용화 하였다. Sicat H1.0은 전차선 장력 27kN, 조가선의 장력은 21kN, Stitch 와이어의 장력은 3.5kN으로 하고 있으며, 최고속도 400km/h, 중련 팬터그래프 조건에서 350km/h가 가능하다.

중국은 스페인 AE350, 독일의 Sicat H1.0 등 해외 고속철도기술을 소화, 흡수하여 자신에게 적합한 신기술로 재창조하는 방식으로 고속철도기술을 개발하고 있다. 일본은 Heavy Compound Catenary 방식을 고수해오고 있으며, 최고속도 350km/h 이상 운행을 위하여 기존의 300km/h 전차선로 보다 장력을 증가시킨 새로운 전차선로 개발 및 상용화하고 있다.[8] 최근에는 110㎟의 전차선을 19.6kN로 높인 시스템을 새로운 신간선에 설치하여 2012년에 320km/h로 증속하고 종국에는 360km/h로 운행선의 속도를 높일 예정이다.

## 바. 열차제어(ETCS-L2) 분야

국외 철도 신호시스템은 노선간 연계운행, 유지보수 비용절감, 수송용량 증대 등을 위하여 표준화 및 무선 신호 시스템으로 전환하는 추세를 보이고 있다. 특히 유럽의 경우 철도운영의 연계운행 및 호환성 확보를 위해 ERTMS/ETCS로 표준화하고 무선시스템을 적용하여 운행중에 있다. (비 유럽권인 중국, 러시아, 미국, 한국 등에서도 ERTMS/ETCS를 적용 중에 있음)

독일 고속철도 ICE에서 적용 중에 있는 열차제어시스템은 LZB 시스템으로 연속 자동열차제어방식(ATC)의 열차제어시스템이다. LZB시스템은 지상 30km~40km 간격으로 설치된 차량제어센터에서 구배 및 허용속도 등에 관한 각종 데이터를 인접 CATC 기계실과 정보 송수신 후 궤도 컨덕터 루프를 통해 차상컴퓨터로 송신하는 것을 특징으로 하며, 독일, 오스트리아, 스페인 등의 고속철도 노선에 적용 중 이다.

일본 고속철도 열차제어시스템(DS-ATC)은 기존의 ATC시스템을 개량한 시스템으로 지상설비에서 선행열차의 위치를 디지털 정보로 변환하여 차량으로 전송하면, 차량에서는 선행열차의 위치정보를 기본정보로 하여 곡선이나 구배 등의 선로조건을 고려한 최적의 제동제어를 수행하는 것을 특징으로 한다. Digital ATC는 적용 노선에 따라 일반철도용 Digital ATC와 고속철도(신간선)용 DS-ATC로 구분된다. 고속철도용 DS-ATC는 2002년 12월 토우호쿠 신간선 모리오카-하치노헤 구간을 시작으로 현재 타 신간선에 확대 설치될 예정이다.

중국의 고속철도 열차제어시스템은 고속철도 도입초기에 국외의 열차제어시스템을 도입하여 운행하였으나, 최근에는 CTCS라는 중국 고유의 열차제어시스템표준을 마련하여 단계적으로 CTCS에 적용을 확장하고 있다. 현재 중국 고속철도 노선에 적용 중인 열차제어시스템은 Qinhuangdao-Shenyang 노선의 경우에는 TVM430-SEI가 적용되고 있으며, Taiyuan-Shijiazhuang노선에는 CTCS-2 (ETCS-1)/SEI가 적용된다. 또한 가장 최근

8) 고속열차 증속을 고려한 인프라 핵심 기술개발사업 추진계획(안), 2010.8. 철도연

인 2009년 12월에 개통한 Wuhan-Guangzhou노선에는 CTCS-3가 적용되어 최고운행속도 350km/h로 운행되고 있는 상황이다.

유럽은 1990년부터 각국의 상이한 열차제어시스템의 통합으로 국가간 열차의 이동성을 높이기 위해 ETCS를 개발하여 설치하고 운용 중에 있다. ETCS는 유럽의 각국을 통과하는 고속철도 및 간선철도를 대상으로 하며, 노선별 특성을 분석하여 시스템을 선정할 수 있도록 ETCS를 3단계로 분류하여 사용한다.

우리나라는 2003년 한국철도공사가 경부 및 호남선 일반철도 지상구간과 KTX포함 4차종 약400대의 차상장치를 기존 자동열차정지(ATS)에서 유럽표준(ETCS 레벨1) 장치로 개량함에 따라 우리나라도 유럽표준 열차제어시스템을 도입하였고, 이탈리아 Turin에서 Novara(85km), 로마에서 나폴리(220km) 또한 스위스의 Mattstetten에서 Rothrist(45km연장)에서는 GSM-R을 이용하여, 지상제어설비와 차상제어 설비간 양방향 통신을 수행하는 ETCS 레벨 2가 운영 중이다.

# 제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

## 1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발

- 고속철도 350km/h급 이상의 인프라 핵심기술 개발은 국내처음이며 고속철도 운영선로에서의 환경소음, 선로구축물, 전차선 통합 모니터링을 위한 테스트베드 구축도 국내 최초로 이루어짐

<표 1-4-1-1> 연구업무 추진 현화

| 구분 | 추진실적 |
|---|---|
| 공정회의 | - 월간 공정회의 총 14회 개최<br>• 진도관리 및 세부과제간 상호 인터페이스 조정<br>• 당월 연구성과 점검 및 차월 연구계획 점검 |
| 연구성과발표회 | - 한국철도기술 특집기사 5건 기고<br>- 한국구조물진단학회 봄학술대회 특별세션 연구성과 발표<br>- 철도교통 사업화 유망R&D 기술설명회 연구성과 발표<br>- 첨단 고속철도 인프라 미래전략 워크숍 |
| 연구성과 홍보 및 정보공유 | - 홈페이지 기능 개선 및 연구성과물 등록 강화<br>• Research Community 기능을 통한 정보 고유<br>• 뉴스레터 발송을 통한 세부과제간 커뮤니케이션 제고<br>• 연구성과물 등록 체계화 및 활성화(논문, 특허 등)<br>- 전문가 및 일반인 수준의 홍보 동영상, 선로영상을 제작함으로써 연구성과 확산에 크게 기여<br>- 홍보책자 발간을 통하여 연구성과에 대한 이해도를 높이고, 홍보자료로서 활용 |
| 연구현장점검 | - 참여기업을 총 10회에 걸쳐 점검<br>• Test-bed 구축에 따른 인프라 현장측정 현황 점검<br>• 4차년도 성과목표 대비 연구실적 점검<br>• 세부과제간 인터페이스 조정 및 의견수렴 |
| 인프라 성능평가 및 검증 | - 열차 증속에 따른 세부 분야별 성능평가 DB구축 점검<br>- 현장부설에 따른 인프라 측정과 관련하여 관계기관 협의를 통한 구축 지원 16회<br>• 호남고속철도 테스트베드 인프라 측정 및 선로사용 협조 요청<br>• 고속철도 인프라 성능시험 관련 증속 승인 요청<br>- Test-bed 구축 실행계획에 따라 조기 현장부설 완료, 상세 모니터링 시스템 구축 및 사전점검으로 일정에 지연사유가 발생하지 않도록 지원 |

- 시제품 제작, 공인시험 등의 연구현장 중심의 관리체계 증속에 따른 성능평가 및 분석

관리를 통해 호남고속철도 400km/h급 Test-bed의 원활한 구축 및 성능검증에 기여

- 시제품의 제작, 공인시험, 현장부설, 증속에 따른 인프라 성능평가 및 DB구축 등이 핵심 연구내용으로 추진됨
- 총 10회에 걸친 연구현장 점검을 통해, ①환경소음, 전차선, 열차제어는 시제품의 제작 및 성능검증 상황을 점검하고, ②환경선로구축물, 전차선로는 각종 센서 및 모니터링 장치의 준비 상황 점검 및 성능평가 실시
- 호남고속철도 건설현장을 방문하여 Test-bed 구축일정 및 현안사항 협의

## 2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발

- 방음벽 상단장치는 도로용에 비해 3배 이상의 소음저감 성능을 가지고 있으며, 일반 방음벽 대비 10~18%의 공사비가 절감됨
  - HEMU-430X 170~250km/h 운행시 평균 4.7dB(A), 370~390km/h 운행시 평균 4.3dB(A), 399~414km/h 운행시 3.6dB(A)로 목표성능 3dB(A)를 상회하는 소음저감 효과를 확보

<표 1-4-2-1> 방음벽 상단장치 설치비용

| 구분 | | 방음벽(8m) | 방음벽(6m) + 상단장치 | 방음벽(5m) + 상단장치 |
|---|---|---|---|---|
| 구분 | 방음벽 | 10.22억원 | 8.46억원 | 7.42억원 |
| | 상단장치 | 없음 | 0.92억원 | 0.92억원 |
| 총공사비 (연장 400m) | | 10.22억원 | 9.38억원 (8.2%↓) | 8.34억원 (18.4%↓) |

- 슬라브 도상용 흡음블럭은 국내·외 유사제품에 비해 우수한 소음저감 성능을 확보하고, 20%의 비용절감 효과 기대

<표 1-4-2-2> 도상용 흡음블럭의 우수성

| 항목 | 국외제품 | 연구성과품 |
|---|---|---|
| 선행국가 | 독일, 일본 | - |
| 적용속도 | 저속용, 중고속용 (300km/h 이하) | 초고속용 (400km/h급) |
| 소음저감 성능 | 2~3dB(A) | 3dB(A)이상 |

<표 1-4-2-3> 도상용 흡음블럭의 설치비용 비교>

| 구분 | | 독일 BB사 | 연구성과품 |
|---|---|---|---|
| 구분 | 자재비 | 3.7억 | 2.8억 |
| | 시공비(신설선) | 0.8억 | 0.8억 |
| 총공사비 (단선 1km 기준) | | 4.5억 | 3.6억 (20.0%↓) |

- 철도소음 예측모델은 국외 기술과 비교하여 동등하거나 더욱 높은 신뢰성 및 정확도를 확보하였고, 철도 소음원 기여도 분석 기술은 국내 최초로 400km/h급 고속철도에 대하여 500Hz이하 영역까지 소음원 위치의 규명이 가능
  • 소음예측모델과 소음원 기여도 규명기술은 기존의 방음벽설계와 건설비용을 각각 20% 저감할 수 있을 것으로 예상
- 환경소음 분야의 연구성과품은 400km/h 속도대역 외에도 250km/h 이상의 속도대역에서도 활용 가능함

<표 1-4-2-4> 소음 예측모델과 소음원 기여도 분석 기술의 우수성

| 구 분 | | 국내기술 | 국외기술 | 연구 성과품 |
|---|---|---|---|---|
| 400km/h 철도소음 예측모델 | 분석항목 및 가능속도 | - 소음레벨만 예측<br>- 300km/h | - 소음원 별 강도 예측<br>- 소음레벨 예측<br>- 주파수 까지 예측<br>- 음향거칠기/소음원DB<br>- 300km/h | - 소음원 별 강도 예측<br>- 소음레벨 예측<br>- 주파수까지 예측<br>- 시간이력 예측 가능<br>- 음향거칠기/소음원 DB<br>- 400km/h |
| | 오차범위 | 3dB 이상 | 3dB 이내 | 3dB 이내 |
| 400km/h 철도 소음원 기여도 규명 기술 | 분석항목 및 가능속도 | - 소음원의 위치 가시화 및 음향특성 분석<br>- 300km/h | - 소음원의 위치 가시화 및 음향 특성 분석<br>- 300km/h | - 소음원의 위치 가시화 및 음향특성 분석<br>- 소음원 간의 기여도 산출<br>- 400km/h |

## 3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구

- 본 선로구축물 모니터링은 시공단계부터 자동화 지반 모니터링을 포함하여 궤도, 노반, 교량 11개소를 동시 측정이 가능함
- 중 · 장기적인 모니터링에 적합한 자동화 운영기술은 일반 철도 시설물에 대하여 범용적으로 사용이 가능함
- 400km/h급 최적 설계기준의 신규노선 적용시 최소 km당 90.7억원의 건설비 저감 가능할 것으로 예상됨

<표 1-4-3-1> 국내외 관련기술 현황 비교

| 구 분 | 국외 | | 고속철도 인프라 기술개발사업 (2011-2014) |
|---|---|---|---|
| | 일본 | 프랑스(2007) | |
| 측정구간 | JR 서일본 코세이선<br>JR 동일본 최고속도시험<br>JR 도호쿠 신칸센 | 파리-스트라스부르 구간 | 호남 고속선<br>콘크리트 궤도 |
| 측정운행차량 | X-300, FASTEC 360 | TGV | HEMU-430X |
| 측정목적 | · 최고속도시 거동분석<br>· 영업선의 장기침하 | · 시운전모니터링 | · 시스템 개발적용<br>· 시험분석,기준개발 |

| 구 분 | | 국외 | | 고속철도 인프라 기술개발사업 (2011-2014) |
|---|---|---|---|---|
| | | 일본 | 프랑스(2007) | |
| 측정회수 | | · 20년간 수시측정 | · 증속단계1회측정 | · 증속측정(2014.4-2015.3) |
| 측정 항목 | 직선선로 | ○ | ○ | ○ |
| | 교 량 | ○ | ○ | ○ |
| | 원곡선 | ○ ($R_{min}$=6,000m/260kph) | ○ ($R_{min}$=10,000m) | ○ ($R_{min}$=7,000m/414kph) |
| | 접속구간 | ○ | ○ | ○ |
| | 특수교량 | • | ○ | ○ |
| | 노반성토침하 | ○ | - | ○ |
| | 절성토경계 | • | - | ○ |
| | 연약지반 | ○ | - | ○ |
| | 고속분기기 | ○ | ○ | ○ |
| | 동기화측정 | • | • | ○ |

## 4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발

- 본 선로구축물 모니터링은 시공단계부터 자동화 지반 모니터링을 포함하여 궤도, 노반, 교량 11개소를 동시 측정이 가능함
- 중 · 장기적인 모니터링에 적합한 자동화 운영기술은 일반 철도 시설물에 대하여 범용적으로 사용이 가능함

- 전차선 장력이 높을수록 전차선로 최고 허용속도는 증가하는데, 개발된 전차선로 시스템의 장력이 선진외국과 비교하여 가장 높으며, 세계 최고 수준인 400km/h급 전차선로 시스템을 개발한 국가는 한국이 유일함
  • 한국: 34kN, 프랑스: 26kN, 중국: 28.5kN, 스페인 : 31.5kN
- 개발된 전차선로 시스템을 호남고속철도에 상용화하여 한국이 세계 최초로 400km/h급 전차선로 시스템을 상용화한 국가가 됨
  • 개발된 핵심부품은 성능인증 취득 후 현재 호남고속철도 56km구간에 설치
- 400km/h급 전차선로의 상세 설계를 할 수 있는 전산프로그램을 개발하여 호남고속철도 건설에 적용하여 설계 오류에 따른 공사 지연을 최소화함
  • 상세설계 전산프로그램 개발국 : 한국, 프랑스, 독일, 스페인
- 개발된 전차선로 시스템 기술의 우수성을 인정받아 2014년 대한민국 기술대상 우수상을 수상하였음
- 개발된 전차선은 독창적인 제조방법으로 외국의 전차선에 비하여 고강도이면서도 저저항의 특성을 보유하는 등 성능이 우수함
  • 개발전차선은 유럽규격(EN50149) 대비 파단강도 16%, 도전율 12%이상향상
- 자체 개발한 전차선로 핵심부품의 경량화 및 고강도화 실현

• 개발 부품은 프랑스에서 도입한 경부1단계 부품에 비하여 고강도/경량화

<표 1-4-4-1> 400km/h급 전차선로의 우수성

| 국가 | | 프랑스 | 독일 | 일본 | | 스페인 | 이태리 | 중국 | 한국 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | TGV-EST | SiCatH1.0 | 동북신간선 | 北陸신간선 | MAC | FS(AC) | 京津線/鄭西 | 경부 | 호남 | 개발품 |
| 전차선 | 선종 | CuSn 150㎟ | CuMg 150㎟ | GT 170㎟ | CS 110㎟ | CuMg 150㎟ | Cu 150㎟ | CuMg 150㎟ | Cu 150㎟ | CuSn 150㎟ | CuMg계열 150㎟ |
| | 장력 | 26kN | 31.5kN | 14.7kN | 19.6kN | 31.5kN | 20kN | 31.5kN | 20kN | 26kN | 34kN |
| 속도[km/h] | | 350/320 | 350 | 360/320 | 300 | 350 | 300 | 350 | 300 | 350 | 400 |
| 조가선 | 선종 | 청동연선 116㎟ | 청동연선 95㎟ | 아연도강 135㎟ | 경동연선 150㎟ | 청동연선 95㎟ | 경동연선 120㎟ | 청동연선 95㎟ | 청동연선 65㎟ | 청동연선 119㎟ | 청동연선 119㎟ |
| | 장력 | 20kN | 15.5kN | 14.7kN | 19.6kN | 15.5kN | 16.25kN | 15.5kN | 14kN | 20kN | 23kN |
| 보조조가선/Y-Stitch | 선종 | N/A | 청동연선 35㎟ | 경동연선 110㎟ | N/A | 청동연선 35㎟ | N/A | 청동연선 35㎟ | N/A | N/A | N/A |
| | 장력 | | 3.5kN | 9.8kN | | 3.5kN | | 3.5kN | | | |

## 5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발

- 국내 ATP(ETCS-L1) 시스템의 핵심기술을 국외에서 도입하여 운영함에 따라 운영 및 유지보수 측면에서 어려움이 있었으나 핵심기술 개발로 실용화 기반 마련
- 400㎞/h에서 운행 가능한 열차제어시스템 핵심기술 개발로 향후 현장시험을 거쳐 일반 및 고속철도에 적용 가능함
- 유럽 열차제어시스템(ETCS-L2) 시스템요구사항을 만족하는 H/W 및 S/W 개발로 해외시장에 진출 발판을 만들었음
- 차상 ATP 장치는 국제 안전무결성 최고등급(SIL4) 인증을 진행하고 있어 신뢰성 및 안전성에 대한 검증으로 해외 경쟁력 확보함
- 무선을 이용하여 열차를 제어하므로 신뢰성 및 보안성 강화를 위해 무선전송장치 개발하여 무선 데이터 오류 및 침입을 방어함
- 개발된 열차제어시스템 성공적인 성능시험을 위하여 해외 공인시험기관에서 사용하고 있는 시험장비를 활용하여 통합실험실 구축하여 성능시험을 시행하여 향후 실용화 과제에 활용 가능
- 역간 궤도회로정보 수집을 위한 폐색정보전송장치를 개발하여 현장시험을 완료하여 광통신을 이용한 역간정보 전송 적용 가능



<그림 1-4-5-1> 차상-지상 ATP장치 통합실험실

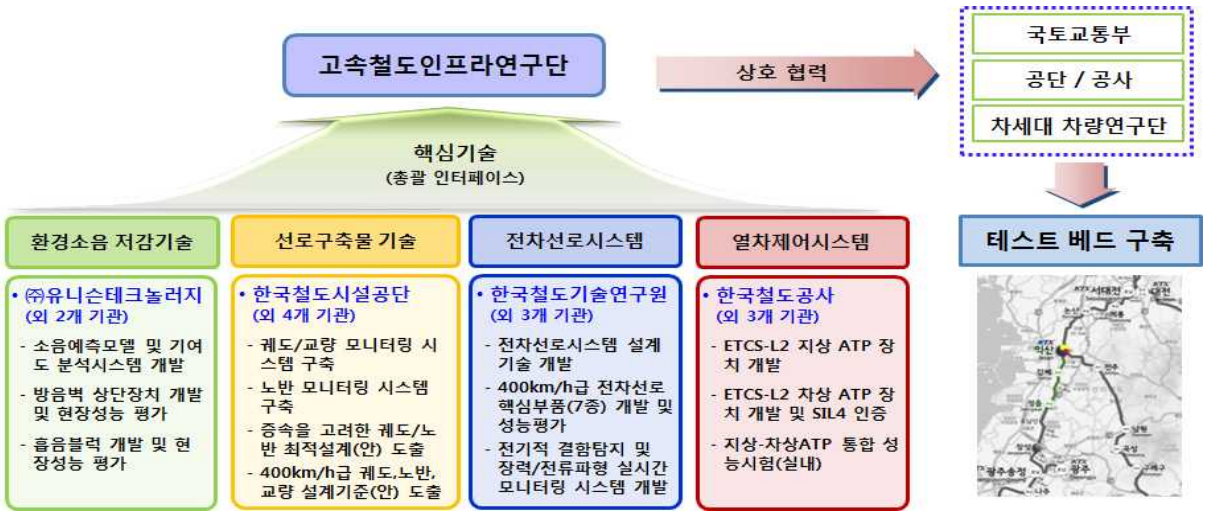
# 제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

## 제1절 연구수행 전략 및 방법론

### 1. 연구개발 추진체계

본 연구단 과제는 환경소음, 선로구축물, 전차선로, 열차제어와 테스트베드 및 통합DB 구축 등 다양한 세부과제들로 구성되어 있다. 연구효율성을 제고하고, 연구성과의 실용화를 촉진하기 위하여 산학연의 효과적인 역할 분담이 매우 중요하다.

환경소음, 전차선, 열차제어 분야는 핵심성과품에 대한 기술이전과 상용화를 위하여 참여기업이 공동기관으로 참여하였으며, 선로구축물 분야에서는 설계기준 도출과 활용을 위한 관련 기관이 참여하였다. 각 분야별로 연구기관, 운영기관, 산업체 등 다양한 전문기관에서 약 300여명의 연구진이 참여하여 연구를 수행하였다. 1개 주관연구기관, 4개 협동연구기관, 5개의 공동연구기관, 3개의 위탁연구기관으로 구성되는 추진체계는 다음과 같다.




<그림 2-1-1-1> 연구개발 추진체계




<그림 2-1-1-2> 분야별 참여기관 현황

## 제2절 연구수행과정 및 내용

본 과제의 연구는 개념정립, 사양개발, 설계, 제작, 테스트베드 구축, 성능평가의 순으로 진행되었다. 개념정립 단계에서는 국내외 사례조사와 성능목표치를 설정하였으며, 이를 바탕으로 핵심개발품 사양을 개발하였다. 설계단계에서는 형상설계 및 재료선정, 구조안전성 평가, 부품 상세설계, 시뮬레이션을 통한 시공계획도를 작성 등이 이루어졌다. 이후 현장부설용 시제품을 제작하고 실내시험, 구내 테스트베드 시험, 공인인증시험 등을 수행하였다. 이후 시공방법에 대한 관계기관 협의를 통하여 테스트베드 구축이 이루어졌으며, 해무열차의 증속에 따른 속도대역별 성능평가와 이를 통한 선로구축물 설계기준을 도출하였다. 이를 정리하면 다음과 같다.

<표 2-2-1-1> 연구수행 과정 및 내용

| 연구과정 | 연구내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 개념정립 | ○ 국내·외 사례조사<br>- 400km/h급 고속철도 인프라 개발 사례<br>- 테스트베드, 통합DB 관련 국내외 사례조사<br>- 환경소음, 전차선, ETCS-L2 열차제어시스템 개발, 적용사례<br>- 선로구축물 설계기준 정립 사례<br>○ 성능목표치 설정<br>- TPS를 통한 테스트베드 성능<br>- 방음벽 상단장치, 도상용 흡음블럭, 소음예측모델, 전차선 핵심부품 성능<br>- 속도민감도 분석에 따른 설계기준 정립 항목 설정 | |
| 사양개발 | ○ 핵심 개발품 사양 개발<br>- 성능목표치에 따른 사양 개발<br>- 방음벽 상단장치, 도상용 흡음블럭, 소음예측모델, 전차선 핵심부품 사양<br>- 해석기법의 정립<br>- 실내시험을 통한 개발품의 성능 예측 | |
| 설계 | ○ 기본 및 상세설계<br>- 형상설계 및 재료선정<br>- 구조안전성 평가<br>- 부품 상세설계<br>- 시뮬레이션을 통한 시공계획도 작성 | |
| 제작 | ○ 시제품 제작 및 성능시험<br>- 현장부설용 시제품 제작<br>- 시제품 실내시험 및 공인인증시험<br>- 구내 테스트베드 시험 | |
| 테스트베드 구축 | ○ 테스트베드 구축<br>- 현장부설 위치 선정<br>- 현장 부설을 위한 시공계획서 작성<br>- 시공방법에 대한 관계기관 협의 및 승인 요청<br>- 시제품 현장부설<br>- 성능모니터링시스템 부설 | |
| 성능평가 | ○ 개발품 성능평가 및 설계기준 제시<br>- 증속에 따른 속도대역별 성능평가<br>- 선로구축물 모니터링 결과에 의한 설계기준 제시 | |

# 제3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법

## 1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발

### 가. 연구수행 결과

(1). 연구사업 총괄 및 인터페이스

(가) 세부과제별 진도관리 및 인터페이스 체계 구축

① 월간 공정회의

본 연구과제는 환경소음, 선로구축물, 전차선, 철도신호 분야 등 다양한 분야를 포함하고 있어 과제의 성공적 추진을 위하여 기술 분야간 인터페이스 체계 구축이 매우 중요하다. 이를 위하여 본 과제에서는 매월 1회, 총 14회의 공정회의를 개최하였다. 여기서는 당해연도의 주요한 성과목표 달성현황 및 차월 연구계획에 대한 점검이 이루어졌으며, 테스트베드 구축에 따른 현장시험 일정에 차질이 없도록 연구개발 진척사항 및 세부과제간 인터페이스 사항 등을 점검하였다.






<그림 2-3-1-1> 월간공정회의 개최

<표 2-3-1-1> 월간공정회의 주요 내용

| 회 | 개최 일자 | 장소 | 주요 내용 |
|---|---|---|---|
| 1 | '13.11.19 | 철도연 5동 중회의실 | ▪ '13년 11월 연구실적 및 12월 연구계획 점검<br>▪ 호남고속철도 테스트베드 구간 현장부설 완료('14년 2월말)에 따른 일정 점검<br>▪ 세부과제별 인터페이스 사항 검토 |
| 2 | '13.12.17 | 철도연 5동 중회의실 | ▪ 테스트베드 현장부설 및 성능평가계획 점검<br>▪ 3차년도 중간평가 평가의견 반영계획 점검<br>▪ 당월 연구실적 및 차월 연구계획 점검 |
| 3 | '14.1.21 | 철도연 10동 대회의실 | ▪ 테스트베드 통합DB 구축에 따른 성능평가 항목 표준화 방안 발표<br>▪ 테스트베드 구축현황 점검 및 분야별 인터페이 |

| 회 | 개최 일자 | 장소 | 주요 내용 |
|---|---|---|---|
| | | | 스 검토<br>▪ 당월 연구실적 및 차월 연구계획 점검<br>▪ 주요 성과목표 달성현황 및 계획 점검 |
| 4 | ’14.2.17 | 철도연 10동 대회의실 | ▪ 테스트베드 통합DB 구축에 따른 측정 및 분석시트 작성 시나리오 발표<br>▪ 테스트베드 구축현황 점검 및 분야별 인터페이스 검토<br>▪ 당월 연구실적 및 차월 연구계획 점검<br>▪ 주요 성과목표 달성현황 및 계획 점검 |
| 5 | ’14.3.21 | 철도연 10동 대회의실 | ▪ 테스트베드 성능평가 관련 계측시스템 준비상황 점검 관련 발표<br>- 계측시스템 준비 현황(현장 사진, 내용 첨부)<br>- 계측요원 확보 및 안전대책 수립 여부<br>- 계측시 세부 시간계획<br>- 계측결과 측정 및 분석시트 및 시나리오 작성 준비 상황<br>▪ 당월 연구실적 및 차월 연구계획 점검 |
| 6 | ’14.4.29 | 철도연 5동 중회의실 | ▪ 테스트베드 현장 측정 및 분석에 따른 통합 DB 연계 시연<br>▪ 호남고속선 시험선 측정(4/16-17, 4/25-26) 및 분석결과 요약 발표<br>- 공정보고서는 4/16(수)~17(목) 측정 및 분석결과를 중심으로 작성하여 4/22(화) 까지 송부<br>▪ 4월 연구실적 및 4월 연구계획 발표<br>- 공정보고서는 작성하고, 3월 공정회의록 반영 결과를 중심으로 간략히 발표<br>▪ 연구윤리 및 연구비 집행 관련 교육 |
| 7 | ’14.5.20 | 철도연 5동 중회의실 | ▪ 호남고속철도 테스트베드 운영계획 발표<br>- 운영 및 유지보수 주체<br>- 시설물 관리 방안<br>- 모니터링 방안<br>- 추가지원 사항(예산, 인력 등)<br>▪ 5월 연구성과 및 6월 연구계획 점검 |
| 8 | ’14.6.24 | 철도연 5동 중회의실 | ▪ 1차 인프라 측정 자문회의 개최 결과 발표<br>- 테스트베드 구축 현황<br>- 1차 인프라 측정 자문회의 결과<br>- 문제점 및 보완내용<br>▪ 테스트베드 운영계획 수립 보고서 작성 |

| 회 | 개최 일자 | 장소 | 주요 내용 |
|---|---|---|---|
| | | | - 주요 예상 성과물 내역<br>- 성과물 모니터링 및 관리방안<br>- 소요예산 및 연구기간<br>▪ 6월 연구성과 및 7월 연구계획 점검<br>- 정성적, 정량적 연구목표 및 달성현황<br>- 예산 집행 현황 |
| 9 | '14.7.22 | 철도연 5동<br>중회의실 | ▪ 연구계획 대비 연구성과물 점검 결과 발표<br>- 당초 연구계획(RFP) 대비 년차별 연구성과물의 적절성<br>▪ 1,2차 인프라 측정 자문회의 주요 의견에 대한 보완결과 발표<br>- 1,2차 인프라 측정 자문회의 주요 의견<br>- 주요 의견에 대한 보완결과<br>▪ 연구성과품 경제적 효과 및 실용화 계획 수립<br>▪ 7월 연구성과 및 8월 연구계획 점검<br>- 정성적, 정량적 연구목표 및 달성현황<br>- 예산 집행 현황 |
| 10 | '14.8.27 | 호남고속철도<br>3-2공구<br>종합상황실<br>(익산역 구내) | ▪ 차세대 고속열차(Hemu-430x) 운행에 따른 호남고속철도 테스트베드 인프라 측정 준비상황 점검<br>- 측정시스템 부설 준비현황<br>- 현장 작업에 따른 안전관리 상황<br>▪ 연구비 사용 적정성 검토<br>- 연구비 관리 규정 준수 여부<br>* 연구비 관리계좌 통장사본 제출(협동기관 취합 및 확인 후 제출)<br>▪ 8월 연구성과 및 9월 연구계획 점검<br>- 정성적, 정량적 연구목표 및 달성현황<br>- 예산 집행 현황 |
| 11 | '14.9.23 | 철도연 10동<br>대회의실 | ▪ 차세대 고속열차(Hemu-430x) 운행에 따른 호남고속철도 테스트베드 인프라 측정 결과 발표<br>- KTX호남과 Hemu-430x의 속도대역별 비교·분석<br>- 향후 증속 예상 가능속도(Hemu-430x)<br>- 증속시 예상되는 문제점 및 해결방안<br>▪ 9월 연구성과 및 10월 연구계획 점검<br>- 정성적, 정량적 연구목표 및 달성현황<br>- 예산 집행 현황 |
| 12 | '14.10.28 | 철도연 10동 | ▪ 증속에 따른 인프라 측정결과와 통합DB 연계 |

| 회 | 개최 일자 | 장소 | 주요 내용 |
|---|---|---|---|
| | | 대회의실 | 구축방안 발표<br>- 기존 계측데이터 통합DB 연계 구축현황<br>- 향후 계측데이터 통합DB 구축 실행계획<br>- 계측데이터 확보 및 활용방안<br>▪ 기술자문회의('14.9.24) 후속 조치결과 발표(승화프리텍(주), 3세부과제)<br>▪ 10월 연구성과 및 11월 연구계획 점검<br>- 정성적, 정량적 연구목표 달성현황 및 계획<br>- 예산 집행 현황 |
| 13 | '14.11.25 | 철도연 5동 중회의실 | ▪ 증속(350~410km/h)에 따른 인프라 측정과 통합DB 연계 구축 실행방안<br>- 측정시스템 부설 및 안전관리 상황<br>- 계측데이터 통합DB 연계 구축 실행계획<br>▪ 증속시(350~410km/h) 예상 문제점 및 대책<br>- 증속 대역별 예상되는 문제점 및 해결방안<br>▪ 11월 연구성과 및 12월 연구계획 점검<br>- 정성적, 정량적 연구목표 달성현황 및 계획<br>- 예산 집행 현황 |
| 14 | '14.1.20 | 철도연 5동 중회의실 | ▪ 최종평가 대비 성과점검<br>- 세부과제별 성과점검기준표 대비 정량적/정성적 성과 점검<br>- 미비사항에 대한 보완방안 협의<br>▪ 최종평가 대비 준비사항 공지<br>- 최종평가 일정<br>- 최종평가 자료(최종보고서, 자체평가의견서, 연구개발결과 활용계획서) 작성<br>- 정산 관련 연구비 집행에 따른 유의사항<br>- 최종보고서 작성, 제출 일정 및 유의사항 등 |

② 연구현장 점검

테스트베드 구축에 따른 인프라 현장측정 현황과 4차년도 성과목표 대비 연구실적 현황, 세부과제별 인터페이스 조정 및 의견수렴을 위하여 총 10회의 연구현장 점검이 이루어졌다. 특히 1세부 공동기관인 승화프리텍(주)에서 수행하는 테스트베드 통합DB 및 운영환경 구축과 관련하여 6회의 현장점검을 통하여 진도 및 성과관리, 연구비 사용실태를 점검하였다.

<표 2-3-1-2> 연구현장 점검내용

| 회 | 점검 일자 | 장소 | 점검내용 |
|---|---|---|---|
| 1 | '13.11.19 (화) | 호남고속철도 테스트베드 현장(3-4, 4-1공구) | ▪ 테스트베드 현장 점검<br>- 호남고속철도 궤도공정 현황 점검<br>- 호남고속철도 3-4, 4-1공구 노반 모니터링시스템 구축, 현황점검<br>- 호남고속철도 4-1공구 방음벽 상단장치 시공 현황점검 |
| 2 | '13.12.11 | ㈜승화프리텍 | ▪ 1세부 공동기관(승화) Kick-off 회의<br>- 철도 관련 DB 및 모니터링 연구동향 및 시장조사 여부<br>- LTO 백업장비 구매 관련 실태<br>- 각 세부별 원격 접속자 조사 현황<br>- CCTV설치 계획<br>- 통합상황실-노반분야 연계 시연회 계획 |
| 3 | '14.6.10 | ㈜승화프리텍 | ▪ 1세부 공동기관(승화) 연구현장 점검<br>- 테스트베드 현장 모니터링을 위한 H/W, S/W 개발 현황<br>- H/W, S/W 성능검증을 위한 시험평가 현황 및 검증계획<br>- 4차년도 연구집행 현황 |
| 4 | '14.7.17 | 테스트베드 선로구축물 모니터링시스템 설치현장 | ▪ 선로구축물 분야 현장점검<br>- 테스트베드 구축 준비현황<br>- 연구비 집행현황 |
| 5 | '14.8.18 | 유경제어(주) | ▪ 5세부과제 연구현장 점검<br>- 연구과제 추진현황<br>- 주요 성과물<br>- 성과목표 달성도 |
| 6 | '14.8.20 | ㈜승화프리텍 | ▪ 1세부 공동기관(승화) 연구현장 점검<br>- 연구과제 추진현황<br>- 연구비 집행현황 |

| 회 | 점검 일자 | 장소 | 점검내용 |
|---|---|---|---|
| 7 | '14.9.30 | ㈜승화프리텍 | ▪ 1세부 공동기관(승화) 연구현장 점검<br>- 테스트베드 현장 모니터링을 위한 H/W, S/W 개발 현황<br>- H/W, S/W 성능검증을 위한 시험평가 현황 및 검증 계획<br>- 4차년도 연구집행 현황 |
| 8 | '14.10.30 | ㈜승화프리텍 | ▪ 1세부 공동기관(승화) 연구현장 점검<br>- 테스트베드 현장 모니터링을 위한 H/W, S/W 개발 현황<br>- H/W, S/W 성능검증을 위한 시험평가 현황 및 검증 계획<br>- 4차년도 연구집행 현황 |
| 9 | '14.11.26 | ㈜승화프리텍 | ▪ 1세부 공동기관(승화) 연구현장 점검<br>- 주간보고(서면) 미송부(10.20~), 9월 및 10월 연구현장 점검결과 및 조치계획 미송부, 11월 진도점검회의 미이행 관련<br>- 테스트베드 현장 모니터링을 위한 H/W, S/W 개발 현황 및 평가·검증계획<br>- 4차년도 연구집행 현황 |
| 10 | '15.2.6 | 철도연 5동 중회의실 | ▪ 1세부 공동기관(승화) 최종평가 준비사항 점검<br>- 4차년도 연구목표 달성현황<br>- 연구비 정산 준비 |



<그림 2-3-1-2> 연구현장 점검

### ③ RFP와 연차별 연구내용 적합성 검토

세부과제별로 RFP 대비 년차별 연구내용의 적합성 , 특히 평가위원 주요 의견에 대한 반영 여부에 대한 검토가 이루어졌다. RFP의 연구내용으로부터 년차별 연구내용이 적합하게 반영되어 있는지의 여부, 누락된 사항이 없는지의 여부, 연구내용이 변경된 경우에는 그에 대한 사유를 검토하였으며, 중간평가시 주요 의견에 대한 반영 여부 등도 중점 검토하였다.

<표 2-3-1-3> 1세부과제 년차별 연구내용 적합성 검토 자료(예시)

| RFP 연구내용 (RFP, 2010. 11) | 1차년도 (2010. 12 ~ 2011. 10) | 2차년도 (2011. 11 ~ 2012. 10) | 3차년도 (2012. 11 ~ 2013. 10) | 4차년도 (2013. 11 ~ 2014. 10) | 최종성과물 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ○ 소요예산 (단위: 천원)<br>- 정부출연금 310,000 | ○ 소요예산 (단위:천원)<br>- 정부출연금 440,000 | ○ 소요예산 (단위:천원)<br>- 정부출연금 460,000 | ○ 소요예산 (단위:천원)<br>- 정부출연금 320,000 | RFP 성과물 | 실제 성과물 |
| ○ 고속철도 인프라 선진화 기술개발의 통합 및 총괄운영관리 체계 구축<br>- 세부과제의 총괄적 조정 및 일정 관리<br>- 세부과제의 상호역할 및 업무 조정<br>- 연차별 사업내용 조정 및 보완<br>- 전산도구를 활용한 기술성과 및 사업기술/성과지표 통합 관리<br>- 연구단의 효율적인 운영 | ○ 고속철도 인프라 선진화 기술개발의 통합 및 총괄운영관리 체계 구축<br>- 세부과제의 총괄적 조정 및 일정 관리<br>- 세부과제의 상호역할 및 업무 조정<br>- 연차별 사업내용 조정 및 보완<br>- 전산도구를 활용한 기술성과 및 사업기술/성과지표 통합 관리<br>- 연구단의 효율적인 운영<br><br>* 연구업무편람, 홈페이지 제작<br>* 정기 워크숍을 통한 세부과제의 총괄적 정 및 일정관리<br>* 세부과제의 상호역할 및 업무조정<br>* 연차별 사업내용 조정 및 보완<br>* 연차별 성과점검기준표 제작 | ○ 고속철도 인프라 선진화 기술개발의 통합 및 총괄운영관리 체계 구축<br>- 세부과제의 총괄적 조정 및 일정 관리<br>- 세부과제의 상호역할 및 업무 조정<br>- 연차별 사업내용 조정 및 보완<br>- 전산도구를 활용한 기술성과 및 사업기술/성과지표 통합 관리<br>- 연구단의 효율적인 운영<br><br>* 연구사업 총괄 및 인터페이스 체계 구축<br>* 세부과제간 인터페이스 및 진도관리의 강화<br>* 참여기업 현장실태조사 등 시제품 중심의 관리<br>* 연구성과의 실용화 및 상용화 방안 모색<br>* 국제세미나를 통한 기술교류 | ○ 고속철도 인프라 선진화 기술개발의 통합 및 총괄운영관리 체계 구축<br>- 세부과제의 총괄적 조정 및 일정 관리<br>- 세부과제의 상호역할 및 업무 조정<br>- 연차별 사업내용 조정 및 보완<br>- 전산도구를 활용한 기술성과 및 사업기술/성과지표 통합 관리<br>- 연구단의 효율적인 운영<br><br>* 공정회의를 통한 세부과제별 연구개발 진척상황 점검<br>* 연구현장 중심의 공정관리 실시<br>* 연구성과의 질적 수준 제고를 위한 전문가 자문회의 추진<br>* 국제세미나를 통한 국외전문가들과의 기술교류 확대<br>* 홈페이지(전산시스템) 및 웹디스크를 이용한 정보공유 활성화 | ○ 고속철도 인프라 선진화 기술개발의 통합 및 총괄운영관리 체계 구축<br>- 세부과제의 총괄적 조정 및 일정 관리<br>- 세부과제의 상호역할 및 업무 조정<br>- 연차별 사업내용 조정 및 보완<br>- 전산도구를 활용한 기술성과 및 사업기술/성과지표 통합 관리<br>- 연구단의 효율적인 운영<br><br>* 공정회의를 통한 세부과제별 연구개발 진척사항 점검<br>* 호남고속철도 Test-bed 구축중심의 공정관리 실시<br>* 홈페이지 및 웹디스크를 이용한 정보공유 활성화 | ○ 기술성과 관리 및 종합 | - 공정회의 개최 30회<br>- 연구현장점검 4회<br>- 전문가 자문회의 개최 8회<br>- 국제세미나 개최 1회<br>- 공정관리표 작성<br>- 성과점검기준표 작성<br>- 연구업무편람 작성<br>- 연구단 홈페이지 제작<br>- 뉴스레터 제작, 발송 21건<br>- 논문게재 9편, 발표 15편<br>- 특허출원 3건<br>- S/W 등록 2건 |
| | · 연구성과 홍보 및 확산<br>* 연구단 브로셔 제작<br>* 학술지 기술기사 게재 | · 연구성과 홍보 및 확산<br>* 고속철도인프라 전시모형 제작<br>* 연구성과 발표회 개최<br>* 연구성과의 실용화 및 상용화 방안 모색을 위한 경제성 분석 및 로드맵 수립 | · 연구성과 홍보 및 확산<br>* 홍보 동영상 제작, 홍보책자 발간 및 언론보도 추진, 기술기사 게재<br>* Test-bed 구축현황에 대한 연구성과 발표 | · 연구성과 홍보 및 확산<br>* 홍보자료 제작, 홍보책자 발간 및 언론보도 추진<br>* 연구성과 발표 및 세미나, 전시회 참가 등 | ○ 기술개발사업 홍보 | - 연구단 홍보책자 발간 2건<br>- 연구단 로고 및 캐릭터 제작 1건<br>- 고속철도 인프라 전시모형 제작 1건<br>- 홍보 동영상 제작 2건(3D, 실사)<br>- 기술기사 3건<br>- 언론보도 7건<br>- 연구성과발표회 및 워크숍 7회 |

(나) 세부과제간 정보 공유체계 강화

① 홈페이지 개선

각 세부과제의 연구정보를 공유하고, 연구성과를 홍보하기 위하여 연구단 홈페이지의 Research Community를 신설하여 활용하였다. 여기서는 세부 분야별 공지사항이나 인터페이스 관련 정보를 전체 연구진과 공유토록 함으로써 연구추진의 효율성을 제고토록 하였다.

이 밖에도 홈페이지 유무선 접속기능 개선 등을 통한 성과확산 플랫폼 기반을 구축하고, 이를 통한 연구성과물의 등록을 체계화, 활성화하였다.




<그림 2-3-1-3> 홈페이지 기능개선

<표 2-3-1-4> Research Community 게시 내용(예시)

| 분야 | 내용 | 게시일 |
|---|---|---|
| 테스트베드 | 4차년도 연구진행사항 점검 및 현안사항 협의 일정 공지 | 13.12.4 |
| | 특수교 유지관리센터 방문 | 14.1.28 |
| | 테스트베드 통합 DB 구축에 따른 성능평가 항목 표준화 방안 발표회 | 14.1.28 |
| | 테스트베드 통합DB 구축에 따른 측정 및 분석시트 작성 시나리오 발표회 | 14.2.25 |
| | 호남고속철도 테스트베드 성능평가관련 계측시스템 준비상황 점검 | 14.4.2 |
| | 테스트베드 장기 운영계획 및 연구성과물 발표 / 6월 공정회의 | 14.7.10 |
| | 연구계획(RFP) 대비 연구성과물 점검 결과 발표 / 7월 공정회의 | 14.8.22 |
| 선로구축물 | Test-Bed 109k.231구간 TCL 매립변형률계 현장 초기 계측일정 공지 | 13.12.18 |
| | Test-Bed 109k.231구간 TCL 슬래브 거동 장계계측 구축 및 측정일정 공지 | 14.1.16 |

### ② 연구단 뉴스레터

연구단 일정, 뉴스기사, 동영상, 국내·외 기술동향을 파악할 수 있도록 매월 총 13회에 걸쳐서 연구단 뉴스레터를 제작하여 참여연구진을 포함한 고속철도 관련 전문가들에게 발송하였다. 테스트베드 구축 현장 등에 대한 연구단 소식을 지속적으로 제작, 배포함으로써 연구진의 정보공유를 강화하고, 연구성과에 대한 홍보에도 적극 활용하였다.

<표 2-3-1-5> 연구단 뉴스레터 주요 내용

| 제호 | 일자 | 주요 내용 |
|---|---|---|
| 10호 | 2013.12.2 | ▪ [공지사항] 12월 공정회의 개최 공지, 연구단 동영상 보완본 내부시사회 개최<br>▪ [뉴스기사] 차량상태 자동 측정 무선데이터 전송<br>▪ [동영상]연구단 3D 홍보동영상 |
| 11호 | 2013.12.24 | ▪ [공지사항] 12월 테스트베드 현장부설 및 성능평가 계획 발표회(13.12.17)<br>▪ [뉴스기사] 철도연, 세계최초 시속 400km/h급 전차선로 핵심부품 개발<br>▪ [참고자료] 호남고속철도 테스트베드 구간의 강성 천이구간의 안정성 검토<br>▪ [동영상] '직업의 세계 : 시속 430km/h 꿈이 달린다.' |
| 12호 | 2014.1.16 | ▪ [뉴스기사] 400km/h급 고속철도 구간에 국산 전차선 자재로 시공<br>▪ [참고자료] 400km/h급 전차선로 시스템 기본 사양(안) 연구<br>▪ [동영상] 호남고속철 '첨단 한국형 기술' 총동원<br>▪ [Research Community] TCL 슬래브거동 장기계측 구축/측정 |
| 13호 | 2014.1.29 | ▪ [뉴스기사] 철도공단, 호남고속철 2호 차량 완료, 오는 27일부터 시운전 시작<br>▪ [참고자료] 400km/h급 선로구축물 설계기준 개발의 경제적 가치<br>▪ [동영상] 철도와 고속선<br>▪ [Research Community] 특수교 유지관리센터 방문 |
| 14호 | 2014.2.11 | ▪ [뉴스기사] 호남고속철도 시대가 다가온다.<br>▪ [참고자료] 호남고속철도 테스트베드 실행 계획<br>▪ [동영상] 고속철도 레일 Concept : Track<br>▪ [Research Community] 테스트베드 성능평가항목 표준화 방안 발표회 |
| 15호 | 2014.2.27 | ▪ [해외정보] 2014년 2월 세계철도 인프라 시장<br>▪ [참고자료] 400km/h급 전차선로 개발에 따른 선로변 검측 기술<br>▪ [동영상] 중국 고속철의 위험한 교각 및 기초<br>▪ [Research Community] 테스트베드 측정 및 분석시트 작성 시나리오 발표회 |
| 16호 | 2014.3.11 | ▪ [연구정보] 유럽연합 철도 궤도 연구개발 프로젝트<br>▪ [참고자료] 400km/h급 전차선로의 성능검증 방법 |

| 제호 | 일자 | 주요 내용 |
|---|---|---|
| | | ▪ [동영상] Gotthard Base 터널에서의 철도기술<br>▪ [공지사항] 테스트베드 계측준비상황 점검 및 3월 공정회의 개최 |
| 17호 | 2014.4.2 | ▪ [연구소식] 호남고속철도 4월7일 운행시험 착수<br>▪ [학술논문] 고속철도에서의 소성침하를 고려한 강화노반 설계기법 개발<br>▪ [참고자료]<br>▪ [동영상] 고속철도 궤도의 기계화 작업, High Speed Trains Today and Innovative Future<br>▪ [공지사항] 연구현장 애로사항 관련 참여연구원 의견조사 |
| 18호 | 2014.4.22 | ▪ [연구소식] 호남고속철도 시험선 구간 증속운행 관련 인프라 1차 시험 수행<br>▪ [학술논문] HEMU-430x 주행특성을 고려한 호남고속철도 곡선궤도구조<br>▪ [참고자료]<br>▪ [동영상] Top10. 세계에서 가장 빠른 열차<br>▪ [공지사항/행사] 참여연구원 안전의식 제고를 위한 설문조사 |
| 19호 | 2014.5.20 | ▪ [연구소식] 일본 JR의 안전확보를 위한 조치(사례)<br>▪ [학술논문] 400km/h급 전차선로 지상부 모니터링 기술 분석<br>▪ [참고자료]<br>▪ [동영상] 정거장 환승시간을 잡는다. 무빙 플랫폼(Moving Platforms)<br>▪ [공지사항/행사] 2014 국토교통기술대전 개최 안내 |
| 20호 | 2014.6.20 | ▪ [연구소식] 테스트베드 현장계측 관련 안전의식 제고를 위한 설문조사 결과<br>▪ [학술논문] 호남고속철도 테스트베드 궤도/교량 성능평가 방안<br>▪ [동영상] 미 Oklahoma주 Ponca시에서의 철도교량 건설<br>▪ [공지사항/행사] 테스트베드 장기 운영계획 및 연구단 성과발표회 개최 |
| 21호 | 2014.7.10 | ▪ [연구소식] 한국철도기술 저널에 수록된 '고속철도 인프라 기술'<br>▪ [학술논문] HEMU-430x 시운전시 고속철도 교량의 동적응답 분석<br>▪ [참고자료]<br>▪ [동영상] 연구단 홍보 동영상<br>▪ [공지사항/행사] 연구계획 대비 연구성과물 점검결과 발표 / 공정회의 개최 |
| 22호 | 2014.7.30 | ▪ [연구소식] 호주의 고속철도사업 시행방안<br>▪ [학술논문] 고속열차의 터널진입 압축파 예측에 관한 경험식 연구<br>▪ [동영상] 세부과제 홍보 동영상<br>▪ [공지사항/행사] Innotrans 2014, 연구단 성과 전시 예정 |

(2) 연구성과 홍보 및 확산

(가) 연구성과 홍보

① 홍보용 영상제작

㉮ 3D 홍보영상 제작

400km/h급 고속철도 인프라 성능평가를 위한 테스트베드 구축과 관련하여 그 상세한 연구내용을 정부 또는 대외 관계자 등에게 전문가적 입장에서 설명함으로써 본 연구단의 연구성과에 대한 이해도를 높이고, 더 나아가 연구성과 평가를 제고하기 위한 기초 자료로 활용하고자 3D 홍보용 영상을 제작하였다. 또한 제작된 동영상은 방문객을 포함하여 각종 성과발표회 등에 활용하였다. 3D 홍보동영상의 제작에 따른 세부 내용은 다음과 같다.

<표 2-3-1-6> 3D 홍보동영상 세부 내용

| |
|---|
| ▪ 테스트베드 구축의 취지 |
| ▪ 연구개발 과정과 내용 설명 |
| ▪ 소음저감장치 (방음벽 상단장치)와 기존 방음벽의 비교를 통한 기대효과, 개발 과정 |
| ▪ 노반, 궤도, 교량 등 선로구축물에 대한 설계기술 개발 내용 |
| ▪ 전차선을 포함한 전차선로 핵심부품의 국산화 내용과 기대효과 |
| ▪ ETCS 레벨2 시스템에 대한 기술개발 내용과 기대효과 |
| ▪ 세계 일류수준의 고속철도 기술을 보유한 대한민국의 위상 |




<그림 2-3-1-4> 3D 홍보동영상

㈏ 실사 동영상 제작

고속철도 인프라 연구단에서 수행한 지금까지의 연구 성과를 일반인 또는 대외 관계자에게 이해하기 쉽게 설명함으로써 본 연구단이 추진해온 과제의 중요성과 연구내용에 대한 이해도를 높이고, 더 나아가 대국민 홍보를 위한 자료로 활용하고자 실사 동영상을 제작하였다. 본 실사 동영상은 각종 국내외 연구 성과발표회와 학회 또는 전시회 등에 활용하였다.

<표 2-3-1-7> 실사 동영상 세부 내용

| |
|---|
| ▪ 테스트베드 구축과 관련하여 환경소음저감 핵심기술개발, 선로구축물(호남고속철도)설계기준 연구, 전차선로 시스템 기술개발, 열차제어(ETCS) 핵심기술 개발 내용<br>▪ 연구단의 연구개발 과정, 그리고 연구시제품, 테스트베드 현장, 연구성과품 성능검증과정<br>▪ 각 세부과제의 연구성과품이 대한민국의 고속철도 기술수준을 한 단계 높이고, 국민의 안전과 편의를 증진시키는데 크게 기여할 수 있음을 알기 쉽게 설명<br>▪ 본 연구단의 연구철학<br>▪ 세계 일류수준의 고속철도 기술을 보유한 대한민국의 위상 |




<그림 2-3-1-5> 실사 동영상

㉰ 선로 영상 제작

고속철도인프라연구단 과제의 최종 목표인 “400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발”에 대해 그동안 진행되어 온 각 세부과제별 연구성과 적용, 모니터링 장비 매설 및 관측, 시험결과 도출 등의 작업이 이루어지고 있는 호남고속철도 테스트베드 노선을 대상으로 손쉽게 연구성과물을 파악할 수 있도록 선로 동영상을 제작하였다. 본 선로 동영상은 대외 관계자에게 그동안의 연구성과를 전달하고, 더 나아가 대국민 홍보를 위한 자료로 활용되었다.

<표 2-3-1-8> 선로 동영상 세부 내용

| |
|---|
| ▪ 호남고속철도 테스트베드 상하선<br>▪ 환경소음저감 핵심기술개발, 선로구축물(호남고속철도)설계기준 연구, 전차선로 시스템 기술개발, 열차제어(ETCS) 핵심기술개발 내용<br>▪ 호남고속철도 테스트베드 선로 따라 장착 또는 매설된 연구시제품, 테스트베드 현장 등의 장면과 내용<br>▪ 대한민국의 고속철도 인프라 기술수준을 한 단계 높이고, 국민의 안전과 편의를 증진시키는데 크게 기여할 수 있음을 알기 쉽게 설명<br>▪ 연구단의 연구철학 및 연구성과물이 충분히 반영 |




<그림 2-3-1-6> 선로 동영상 내용 및 시나리오

② 연구단 리플렛 제작

고속철도인프라연구단 과제의 주요 성과물인 환경소음 저감기술, 400km/h급 선로구축물 설계기준, 전차선로 시스템, ETCS-L2 열차제어 핵심기술에 대한 개발목적, 개발내용, 기대효과 등에 대한 내용을 반영한 국·영문 리플렛을 제작하였다. 본 리플렛은 학회 성과발표회와 Innotrans 2014 등 국내·외 전시회에서 배포함으로서 연구 성과물에 대한 홍보와 실용화를 위해 활용하였다.




<그림 2-3-1-7> 국문 리플렛




<그림 2-3-1-8> 영문리플렛

③ 연구단 CI 및 캐릭터 제작

세부과제별 연구성과품이 제작 완료되어감에 따라 국민들이 이해하기 쉽고, 오래 기억될 수 있는 연구단 CI 및 캐릭터를 제작하여 책자, 영상 등 각종 홍보물과 연구성과물, 테스트베드 시설물 등에 폭넓게 활용하였다.

연구단 CI는 고속철도를 의미하는 이니셜 약어 'HSR'와 인프라를 의미하는 'INFRA' 두 단어를 조합하여 디자인 하였다. 군청(안전성, 신뢰감), 주황(고속철도), 연녹색(조화로운 생태계와 인프라)를 상징하는 3가지 색상으로 구성하였다. 연구단 CI는 아래와 같이 국문, 영문, 국영문 혼용 3가지 형태로 제작하였다.




<그림 2-3-1-9> 연구단 CI

연구단 캐릭터는 연구진, 관련 기관 관계자와 일반인을 대상으로 고속철도 인프라 구성요소를 적절히 조합하여 연구단 과제의 세부분야 영역들이 효과적으로 반영하도록 제작하였다. 머리위의 뫼비우스 띠는 끊임없이 돌아가는 고속철도 인프라(교량, 차량, 터널, 선로)를 나타내며, 머리의 녹색 띠라인은 레일을 상징하고, 가슴부분은 터널속에서 나오는 차량의 모습을 상징적으로 표현하였다. 청색, 녹색, 주황의 세가지 색상으로 구성하여 로고와의 일체감을 부여하고, 이를 바탕으로 하여 기본형과 안내, 환영, 사랑의 3가지 응용형, 총 4가지 형태로 제작하였다.



<그림 2-3-1-10> 연구단 캐릭터

④ 한국방재학회 전시부스 운영

핵심 연구성과를 홍보하고, 향후 실용화를 위한 기반을 구축하기 위하여 2014년 한국방재학회 학술발표대회에서 연구단 전시부스를 설치, 운영하였다. 전시부스에는 연구단 소개 포스터를 설치하고, 리플렛을 제작, 배부하였다.

- 일시 : 2014년 2. 19일 (수), 13:30
- 장소 : 인하대학교




<그림 2-3-1-11> 2014 한국방재학회 정기학술발표대회 전시부스







<그림 2-3-1-12> 연구단 홍보판넬

⑤ 테스트베드 현장 설명 판넬 제작

테스트베드에 설치된 분야별 연구성과에 대한 설명 판넬을 제작하여 홍보에 활용하였다. 각 핵심 성과품 13종에 대하여 개발현황, 측정시스템 및 성능평가, 우수성 및 기대효과 등에 대하여 간략히 정의하여 제작하였다.




<그림 2-3-1-13> 테스트베드 현장 설명 판넬

(나) 연구성과 발표

4차년도에는 테스트베드 인프라 성능평가와 실용화 및 기술이전 등과 관련한 주제로 5회의 연구성과 발표가 이루어졌다. 첨단 고속철도 미래전략 워크숍에서는 고속철도 인프라 R&D 현황과 미래 R&D 전략 수립을 위한 발표 및 의견교환이 있었다. 2014년 한국구조물진단유지관리공학회 특별세션에서는 '400km/h급 테스트베드 인프라 성능평가를 위한 현장모니터링 측정 및 계획'이란 주제로 5편의 연구성과가 발표되었다. 철도교통사업화 유망R&D 기술설명회에서는 기술이전 대상의 연구단 주요 성과물에 대하여 소개하였다. 한국철도기술지 2014년 1,2월호에서는 '400km/h급 고속철도 인프라 핵심기술 개발 및 테스트베드 구축' 외 5건의 기술기사를 게재하였다. 400km/h급 고속철도 시범적용 기술개발 워크숍에서는 최종평가 대비 준비사항, 연구 성과품 실용화 계획, 테스트베드 활용계획 등 과제 종료에 따른 주요 이슈에 대한 발표와 연구진의 의견을 수렴하였다.

<표 2-3-1-9> 연구성과 발표실적

| 구분 | 연구성과 발표실적 |
|---|---|
| 첨단 고속철도 인프라 미래전략 워크숍 | ▪ 첨단 고속철도 인프라 미래전략 워크숍<br>- 일자 및 장소 : 2014.9.16.(화), 수원호스텔<br>- 주요내용 : 고속철도 인프라 R&D 현황 및 성과발표를 통한 기술정보 획득 및 관련 전문가 교류 |
| 2014 한국구조물진단유지관리 공학회 특셜세션 | ▪ 400km/h급 테스트베드 인프라 성능평가를 위한 현장모니터링 측정 및 계획<br>- 일자 및 장소 : 2014.4.11.(금), 경북대학교<br>- 주요내용 : 연구성과 테스트베드 적용 등 7개 분야 연구성과 발표 |
| 철도교통사업화 유망R&D 기술설명회 성과발표 | ▪ 성과확산, 기술사업화를 위한 유망성과 소개<br>- 일자 및 장소 : 2013.12.6.(금), 섬유센터 컨퍼런스홀<br>- 주요내용 : 400km/h 고속철도 인프라 시범적용 기술개발을 통한 설계기준, 핵심제품 등 주요성과 및 기술이전 대상 기술 발표 |
| 학회지 기술기사 게재 | ▪ "400km/h급 고속철도 인프라 핵심기술 개발 및 테스트베드 구축" 외 5건 게재 |
| 400km/h급 고속철도 시범적용 기술개발 워크숍 | ▪ 최종평가 대비 준비사항, 연구 성과품 실용화 계획, 테스트베드 활용계획 등 과제 종료에 따른 주요 이슈에 대한 발표와 의견수렴<br>- 일자 : 2015.3.24.(화)<br>- 주요내용 : 진도관리 및 최종평가 점검 보완답변 내용, 300~410km/h 속도대역별 데이터 분석 및 정리, 연구 성과품 실용성 확대를 위한 속도대역별 활용방안, 250~350km/h, 400km/h 이상 속도대역 활용방안, 연구 성과품 기술이전 및 사업화 계획, 테스트베드 활용계획 |

### ① 첨단 고속철도 인프라 미래전략 워크숍

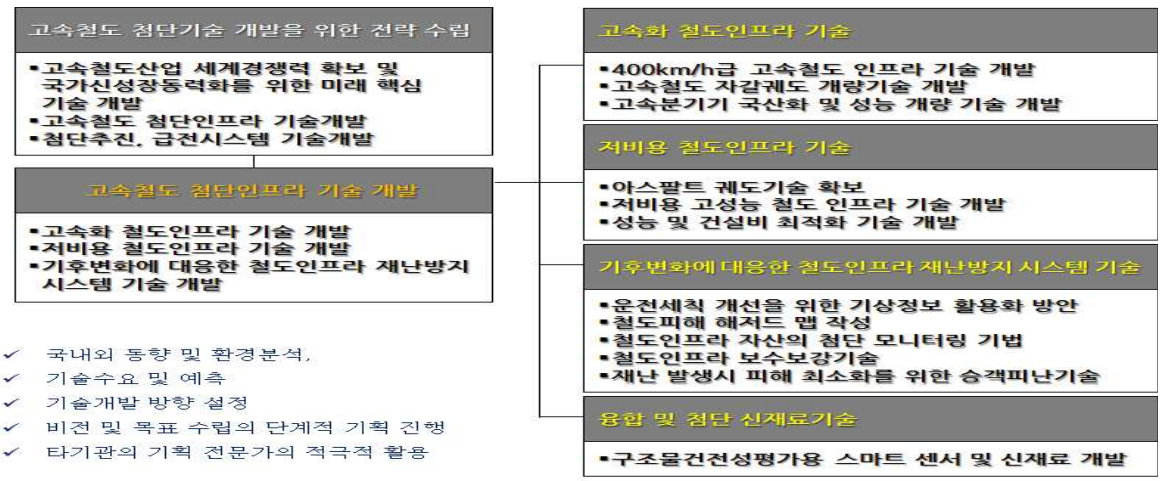
고속철도 인프라 연구현황을 상호공유하고, 현재 추진(또는 계획) 중인 기획과제, 개인별 아이디어 등을 논의함으로써 추후 고속철도 인프라 연구에서의 미래추진동력을 얻고자 「첨단 고속철도 인프라 미래전략 수립」 워크숍을 개최하였다. 여기에서는 고속철도 인프라 R&D 현황 및 성과, 미래 연구개발 전략 수립과 관련하여 다양한 분야의 주제의 발표와 의견교류가 이루어졌다.

- 일시 : 2014.9.16.(화)
- 장소 : 수원호스텔

<표 2-3-1-10> 첨단 고속철도 인프라 미래전략 수립 워크숍 주요 발표내용

| 구분 | 논문제목 | 비고 |
|---|---|---|
| 1 | 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 현황 및 계획 | |
| 2 | 철도인프라 생애주기 관리를 위한 차세대 표준기술 및 운영체계 개발 현황 및 계획 | |
| 3 | 저비용 고성능 철도 인프라 기술 개발 현황 및 계획 | |
| 4 | 고속화에 대응한 철도 아스팔트 노반 및 궤도구조 개발 현황 및 계획 | |
| 5 | 고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량기술 개발 현황 및 계획 | |
| 6 | 철도 노반 성능 및 건설비 최적화 기반기술개발 현황 및 계획 | |
| 7 | 고속철도 자갈궤도 구간 유지보수 저감을 위한 궤도개량 기술개발 현황 및 계획 | |
| 8 | 연약지반구간 교량대체를 위한 침하억제공법 개발 현황 및 계획 | |

본 워크숍 결과는 향후 고속화 철도 인프라 기술, 저비용 철도 인프라 기술, 기후변화에 대응한 철도인프라 재난방지 기술, 융합 및 첨단 신소재 기술 등의 개발 전략을 수립하는데 활용될 예정이다.




<그림 2-3-1-14> 고속철도 첨단 인프라 핵심기술

### ② 구조물진단유지관리공학회 특별세션

2014년 4월 11일, 경북대학교에서 개최된 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회에서 연구단에서 수행 중인 테스트베드에 부설된 연구성과품에 대한 모니터링 계획과 각 세부과제의 연구성과를 홍보하고, 향후 실용화를 위한 기초 기반을 구축하기 위하여 특별세션을 개최하였다. 본 특별세션에서는 '400km/h급 호남고속철도 테스트베드구간 인프라 성능평가를 위한 현장 모니터링 측정 및 계획'이란 주제로 2편의 연구성과를 포함하여 총 5편의 논문을 발표하였다.

- 일시 : 2014.4.11.(금)
- 장소 : 경북대학교

<표 2-3-1-11> 구조물진단유지관리공학회 특셜세션 발표논문

| 구분 | 논문제목 | 발표자 |
|---|---|---|
| 1 | 고속철도 인프라 연구단 연구성과 및 호남고속철도 테스트베드 적용 | 엄기영 외 |
| 2 | 호남고속철도 테스트베드 통합 모니터링시스템 구축 연구 | 황경훈 외 |
| 3 | 호남고속철도 테스트베드에서의 기상정보 취득 및 관리방안 연구 | 박영곤 외 |
| 4 | 철도 콘크리트 궤도 균열 관리기술 동향 | 이지하 외 |
| 5 | 고속철도 교량기술의 최신 기술동향 | 윤희택 외 |




<그림 2-3-1-15> 2014 구조물진단유지관리공학회 특셜세션

### ③ 철도교통사업화 유망R&D 기술설명회

철도 · 교통분야 R&D 성과 활용 · 확산 및 기술사업화 활성화를 위하여 국토교통과학기술진흥원 주최로 개최된 '철도 · 교통분야 사업화 유망 R&D기술 설명회'에서 '400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발' 과제의 주요 성과품인 설계기준, 핵심성과품 등 주요 기술이전 대상 기술을 소개하였다.

- 일시 : 2013.12.6.(금)
- 장소 : 섬유센터 컨퍼런스홀




<그림 2-3-1-16> 철도교통 사업화 유망 R&D 기술설명회 발표

## ④ 학회지 기술기사

한국철도기술지 2014년 1,2월호에 '고속철도 인프라 핵심기술 개발 및 테스트베드 구축' 외 5편의 기사를 게재하였다. 각 기사에서는 분야별 기술개발 성과와 테스트베드 부설 현황과 환경소음, 선로구축물, 전차선, 열차제어 분야의 기술개발 성과, 성능검증 계획에 대하여 소개하였다.

<표 2-3-1-12> 한국철도기술학회지 기술기사 목록

| 구분 | 기술기사 | 저자 |
|---|---|---|
| 1 | 400km/h급 고속철도 인프라 핵심기술 개발 및 테스트베드 구축 | 엄기영 외 |
| 2 | 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음저감 성능평가 연구 | 장강석 외 |
| 3 | 호남고속철도 선로구축물 모니터링 시스템 구축 | 강윤석 외 |
| 4 | 호남고속철도 400km/h급 전차선로 TEST-BED구간의 집전성능 및 건전성 평가 | 박영 외 |
| 5 | 열차제어시스템 상호운용성의 검증과 확인 | 강병욱 외 |

**400km/h급 고속철도 인프라 핵심기술 개발 및 테스트베드 구축**



엄기영 | 한국철도기술연구원 고속철도인프라연구단장 수석연구원 (kyeum@krri.re.kr)
윤장호 | 한국철도기술연구원 고속철도인프라연구단 선임연구원 (yunjh91@krri.re.kr)
최찬용 | 한국철도기술연구원 고속철도인프라연구단 선임연구원 (cychoi@krri.re.kr)
최정환 | 한국철도시설공단 건설본부 고속철도처 처장 (kanina@kr.or.kr)

### 1. 서론

세계 각국에서는 지역의 균형발전과 기후변화에의 대응을 위하여 철도에 대한 투자를 확대하고 있다. 특히 고속철도시장에서의 기술 주도권 확보를 위한 최고속도 경쟁이 점차 치열해지고 있다. 프랑스 등 기존 철도 선진국에서는 바퀴식 철도로 시속 500km/h의 속도까지 시험주행에 성공하였으며, 중국 등 신흥 철도 선진국에서도 400km/h이상의 시험주행에 성공하는 등 추격이 가속화 되고 있다. 우리나라도 2013년 한국철도기술연구원에서 개발한 시제 고속열차인 HEMU-430X를 이용하여 경부고속철도 노선에서 421.4km/h의 시험주행에 성공한 바 있다.

하지만 고속철도의 속도향상을 위해서는 고속철도 차량의 개발뿐만 아니라 인프라시스템의 개발이 반드시 뒷받침되어야 한다. 즉, 열차가 안전하게 운행할 수 있는 선로구축물의 건설과 고속철도 차량에 안정적인 전력공급을 가능케 하는 전차선로 시스템의 구축 등이 전제되어야만 비로소 진정한 고속철도의 속도향상을 달성할 수 있다.

이러한 측면에서 2010년 12월부터 진행되어 온 본 사업은 우리나라의 미래 고속철도 기술 주도권 확보 및 증속 열차 상용화를 위하여 중요한 역할을 하고 있다. 2013년 10월까지 약 3년여에 걸쳐 인프라 시제품 개발을 완료하고, 호남고속철도 56km구간에 400km/h급 고속철도 인프라 테스트베드의 설치를 진행함으로써 시제품의 성능평가 및 실용화를 위한 기반을 마련하였다. 2013년 11월부터 시작된 최종년도 연구에서는 고속철도 인프라 핵심부품의 테스트베드 부설 완료, 핵심부품의 통합성능평가, 모니터링, DB구축 및 운영을 중점목표로 진행 중이다.

본 고에서는 「400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발」 사업을 통하여 개발되고 있는 선로구축물, 전차선로, 환경소음, 열차제어 등의 기술적 성과와 호남고속철도에 부설되고 있는 테스트베드에 대하여 간략히 살펴보고자 한다.

**고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음저감 성능평가 연구**



장강석 | 유니슨테크놀러지(주) 소음진동연구그룹 PM (jks@unisontg.com)
고효인 | 한국철도기술연구원 에코시스템연구실 선임연구원 (hikoh@krri.re.kr)
윤희택 | 한국철도기술연구원 고속철도인프라연구단 책임연구원 (htyoon@krri.re.kr)
이지하 | 한국철도기술연구원 고속철도인프라연구단 선임연구원 (jhlee@krri.re.kr)

1. 서 론

고속화에 따른 저소음차량 개발은 공력소음저감에 초점이 맞추어 졌으나, 운행시의 환경소음 기준 만족을 위해서는 방음벽의 효과를 높이기 위한 추가적인 보강기술이 적용되어야 하며, 속도가 향상될수록 높은 위치에 있는 소음원의 기여도가 커지고 있다. 속도향상을 계획하고 있는 국가들이 적합한 시기에 운행속도에 합리적인 소음저감대안 우선순위를 선정하고 개발할 수 있었던 핵심 기술이 있다. 이는 사전에 다년간 축적된 소음원 규명, 예측기술, 그리고 제어기술 등이 있기 때문이다. 우리나라는 2010년부터 철도에서 환경소음에 대한 규제가 강화(야간 5dB(A) 강화)됨으로 인해 소음저감 방안은 사회적 이슈로 부각되고 있다. 한편 세계 고속철도의 속도 향상에 발맞추어서 목표속도를 향상하는 선진화 사업에 의한 국내 고속철도의 목표속도 향상 계획에 의하여, 최고속도 400km/h 운행에서의 소음증가에 대한 소음저감 대책이 요구되고 있다. 현재 고속철도 계획노선의 환경영향 평가는 설계속도 350km/h 임에도 불구하고 300km/h 까지만 수행되어 있어, 속도향상에 따른 소음에 대해 정확한 예측이 필요 할 뿐 아니라 소음 증가에 대한 방음 대책이 필요하다. 350km/h 이상 400km/h 고속철도처럼 고속으로 운행되는 경우 발생한 고소음이 슬라브 도상에서 반사되어 환경소음을 증가시킬 것으로 예상된다. 따라서 슬라브 도상에서 반사되는 소음에 대한 직접적인 방음 대책 또한 다른 대안과 함께 검토되어야 중요한 요소이다. 반면 300km/h 고속철도마저도 국내 대학 연구를 중심으로 한 소수의 예측방법 들이 존재하나 지형특성이나 소음원 모델이 반영되지 않고 있다. 이로 인해 기본 식만 적용하거나 유럽철도 특성이 반영된 국외 예측방법을 이용하고 있는 실정이다.

이와 같은 상황을 극복하기 위해, 400km/h 운행 시 예상되는 소음증가에 경제적이고 효율적 대처를 위한 신기술의 핵심방음장치를 개발하는 것을 목표로 "400km/h 고속철도 인프라 연구단" 의 4차년 연구과제 중 2세부 과제로 2010년 12월부터 연구를 수행해오고 있다. 2013년 10월 3차년도 연구과제의 성과물로 3dB 내외의 정확성을 갖는 예측 및 평가모델이 개발되었다. 기존의 국내 방음시설 시뮬레이션 및 설계기술 대부분이 지면위치에서 입사하는 낮은 소음원만을 고려하고 있어 고속선로 방음시설설계 및 개발에 걸림돌이 되고 있다. 반면 개발된 기술은 300km/h 이상 고속철도에 대한 공력 및 전동음원에 대한 소음원 특성을 분석한 후 예측기술을 개발하였으며, 슬라브 도상과 방음벽 상단에서 회절 되는 고속철도 소

<그림 2-3-1-17> 한국철도기술지 기술기사(2014.1)

### ⑤ 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 워크숍

4차년도가 종료됨에 따라 최종평가 대비 준비, 연구 성과품 실용화, 테스트베드 활용 등 주요 이슈에 대한 토론과 의견수렴을 위하여 '400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 워크숍'을 개최하였다. 세부 분야별로 테스트베드 활용, 연구성과품 기술이전 및 사업화 계획 등에 대하여 발표하고, 의견을 교환하였다.

<표 2-3-1-13> 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 워크숍 개요

| | |
|---|---|
| 목적 | 최종평가 대비 준비사항, 연구 성과품 실용화 계획, 테스트베드 활용계획 등 과제 종료에 따른 주요 이슈에 대한 토론과 의견수렴 |
| 주요<br>발표 내용 | ▪ 진도관리 및 최종평가 점검 보완답변 내용<br>▪ 300~410km/h 속도대역별 데이터 분석 및 정리<br>▪ 연구 성과품 실용성 확대를 위한 속도대역별 활용방안<br>- 250~350km/h 속도대역 활용방안<br>- 400km/h 이상 속도대역 활용방안<br>▪ 연구 성과품 기술이전 및 사업화 계획<br>▪ 테스트베드 활용계획 |
| 일시 및 장소 | 2015년 3월 24일(화) 14:00~17:00, 철도연 회의실 |
| 참석자 | 협동/공동/위탁 연구책임자 및 실무자 |




<그림 2-3-1-18> 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 워크숍

(3) 연구성과품 종합평가 및 분석

(가) 연구성과품 적용성 검토

① 연구 성과품 성능평가에 따른 인터페이스 안정성 검토

㉮ 궤도·노반 안정성 인터페이스를 위한 기준 도출

○ 성능평가현황

궤도·노반의 안정성을 위한 검토 및 성능평가는 각 구성요소에 대하여 다음과 같이 시행하였다.

- 노반 허용압력(86개 항목) : 열차속도, 강화노반(두께 및 강도), 상부노반 강도, 하부노반 강도, 원지반 강도, 깎기 및 쌓기, TCL과 HSB층의 제원
- 탄성침하량(82개 항목) : 표준 성토단면, 구조물 접속부 단면 각 부분의 열차속도 증속 관련 침하량 및 진동 가속도, 변위. 노반 변위 등
- 허용 잔류 침하량(23개 항목) : 연약지반, 표준 성토체, 접속부 강성변화구간, 강화노반.
- 원지반 요구조건 기준(5개 항목) : 연약지반 처리와 침하량, 원지반 침하 영향 및 층별 탄소성 침하
- 강화노반 지지강성(11개 항목) : 연약지반 및 접속부의 강화노반 토압과 침하량

궤도·노반의 인터페이스 안정성에 대하여 설계기준 정립을 위한 측정은 다음과 같이 시행되었다.

<표 2-3-1-14> 설계기준 정립을 위한 테스트 베드 구간 노반측정

| 설계기준 | 평가 항목 | 설치위치 | 비고 |
|---|---|---|---|
| • 400km/h급 노반 모니터링 시스템 현장구축<br>• 표준노반, 연약지반, 접속노반 기준 | • 표준노반<br>허용 노반 압력, 침하량 | 109k.231 | |
| | • 연약지반<br>압밀도, 잔류 및 소성침하량<br>지반 개량 효과, 지반진동평가 | 110k.000 | |
| | • 교대 접속부 노반<br>강성차에 의한 하중변화 | 120k.650 | |
| • 400km/h급 궤도 모니터링 시스템 현장구축<br>• 측정 데이터 분석, 기준 직선, 곡선, 분기기 구간 | • 직선 : 표준노반 구간<br>• 곡선 : 레일응력, 윤하중, 횡하중, 윤중감소, 변위, 패드 | 109k.231<br>98k.815 | |

○ 설계기준 도출을 위한 주요 항목 측정결과

설계 시 호남고속철도의 설계하중은 HL-25하중을 사용하였으므로, 테스트 베드 구간의 실 열차하중(KTX호남 및 HEMU-430x)과는 차이가 있으나, 실열차하중에 의한 측정 데이터 및 분석결과는 다음과 같다.

<표 2-3-1-15> 토공노반 계측결과 분석

| 구 분 | 호남 KTX<br>(V≦300km/h0 | hemu-430x<br>(V≦402km/h0 | 분석결과 |
|---|---|---|---|
| 노반압력<br>(강화노반) | 최대 13.9kPa<br>(허용치의 10.5%) | 최대 18.3kPa<br>(허용치의 13.7%) | 증속에 따라 토압 증가추세 이나,<br>속도와 상관성은 미소함. |
| 탄성변위 | 최대 0.23mm<br>(허용치의 23%) | 최대 0.25mm<br>(허용치의 25%) | 증속에 따라 탄성변위 증가추세<br>이나 속도와 상관성은 미소함 |
| 지반진동<br>가속도 | 4.0m/sec$^2$<br>(참고치의 40.3%) | 4.2m/sec$^2$<br>(참고치의 42.9%) | 증속에 따라 진동 증가추세<br>(1.1m/s2/100km/h) |

○ 기준 도출

노반 침하기준는 호남고속철도 테스트 베드구간 계측 및 주요해석 결과에 따라 400km/h 급 고속철도 노반 침하기준을 다음과 같이 제안되었다.

<표 2-3-1-16> 노반 침하기준

| 항 목 | 관련기준 및 주요 내용 | 기준개발 내용 |
|---|---|---|
| 노반<br>침하기준 | KR C-04020<br>5.쌓기구간의 원지반 (콘크리트 도상) | |
| | • 노반 인계 인수후 허용 잔류침하량 : 25mm<br>• 종곡선으로 보정될 경우 60mm까지 허용 | • 궤도 부설 후 허용 잔류 침하량 : 25mm<br>• 0.4×V2이상의 종곡선으로 보정될 경우 60mm까지 허용<br>• 한계침하속도 10mm/10년 이하 |

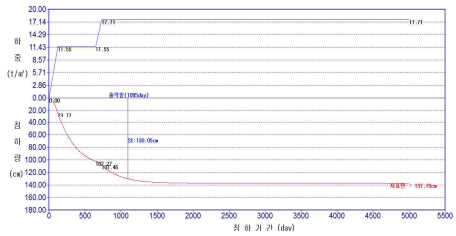
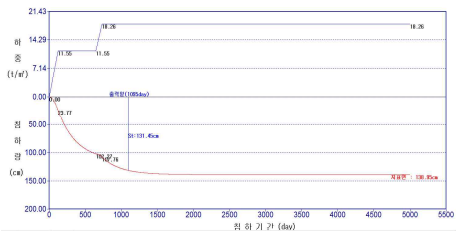
○ 검토결과

토공으로 연속된 구간에서 종곡선으로 보정될 수 있는 분지형 침하는 60mm까지 허용할 수 있으나, 토공구간 중 교량, 구교 등 구조물이 있을 경우 구조물 접속부의 침하는 다음 그림과 같이 침하곡선이 대부분 급한 꺾임각을 형성하게 된다. 따라서, 구조물 접속부에 대한 종곡선 설치도 검토할 필요가 있으며, 이 때 침하부분의 종곡선과 근접하여 설치되는 구조물 접속부 종곡선과의 영향도 검토하여 제시할 필요가 있다. 현재 잔류침하량 25mm로 규정하고 있는 기준을 한계 침하속도 10mm/10년으로 변경할 경우 실제 연약지반[9] 해석을 통한 비교는 다음과 같다.

- 해석 1 : 지반 조건은 연약층 두께 7m, 계획고 7m, 공사기간 5년, 연약지반 처리기간 3년총 발생 침하량 132.4cm

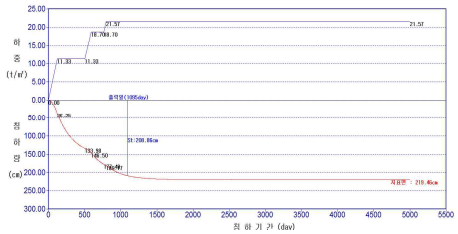
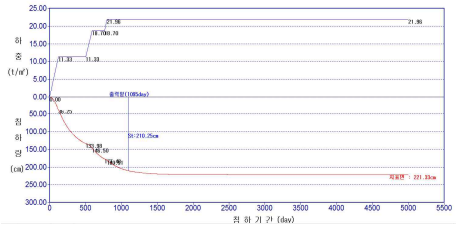
9) 동해북부선(저진~군사 분계선)철도연결 노반실시설계보고서(2005.12. 한국철도시설공단)

<표 2-3-1-17> 노반침하 해석결과

| 구 분 | 잔류 침하량 25mm 이내 적용 | 잔류침하 10mm/10년 적용 |
|---|---|---|
| 해석결과 |  |  |
| 10년간 침하량 | P/L 제거 후 23.5 mm | P/L 제거 후 9.5mm |
| 목표압밀도 | 98.2%(130.05/132.4) | 99.3%(131.45/132.4) |
| 연약지반 처리 | P/L : 2.5m<br>PBD 간격 : 1.4×1.4m | 프리로딩(P/L)고 : 2.8m<br>PBD 간격 : 1.4×1.4m |

- 해석 2 : 지반 조건은 연약층 두께 14m, 계획고 10m, 공사기간 5년, 연약지반 처리 기간 3년 총 발생 침하량 211.0cm

<표 2-3-1-18> 노반침하 해석결과

| 구 분 | 잔류 침하량 25mm 이내 적용 | 잔류침하 10mm/10년 적용 |
|---|---|---|
| 해석결과 |  |  |
| 10년간 침하량 | P/L 제거 후 21.4 mm | P/L 제거 후 7.5mm |
| 목표압밀도 | 98.9%(208.86/211.0) | 99.6%(210.25/211.0) |
| 연약지반 처리 | P/L : 2.4m<br>PBD 간격 : 1.3×1.3m | 프리로딩(P/L)고 : 2.6m<br>PBD 간격 : 1.3×1.3m |

지반조건에 따라 다소 다르게 나타날 수 있으나, 위와 같이 실제 지반개량 사례를 기준으로 비교한 결과 현재와 같이 총 침하량 25mm를 기준으로 하는 경우와 침하속도 10mm/10년을 만족하는 연약지반 처리네 소요되는 비용 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 콘크리트 궤도의 품질 및 유지보수성을 고려하여 기준 개정의 타당성을 확보하였다. 다만, 공용 후 약30~50년의 장기간에 발생하는 연약지반 2차 압밀침하와 성토체의 압축침하로 인한 궤도영향 문제는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

㈏ 궤도・교량

○ 성능평가현황

교량구조물의 안정성 확보를 전제로 적정 설계변위 한계를 제시하기 위하여 다음과 같이 주요 항목에 대한 검토 및 계측이 시행되었다.

- 승차감 확보를 위한 연직변위 기준 유도 절차
- 열차 증속측정 및 현장실험
- PSC 박스 거더 및 소수 주형교에 대한 HEMU-430X 증속에 따른 측정
- 동특성 분석 기법 및 교량 해석모델 개선
- 테스트 베드구간 교량 동적 안정성 검토
- 기준안 제시를 위한 측정 및 실험결과 분석
- 강합성, PSC 거더교, Extradosed교 등 교량 형식별 열차 증속에 따른 측정 및 실내시험

교량구조물의 설계변위 기준설정을 위한 측정현황은 다음과 같이 시행되었다.

<표 2-3-1-19> 설계기준 정립을 위한 교량구조물 측정

| 구분 | | 정지고가 | 연정교 | |
|---|---|---|---|---|
| 교량 연장(m) | | 9,315 | 2,910 | |
| 경간 구성 | | PSC-Box, Arch, ED교 | PSC-Box, Arch, 소수주형 | |
| 측정 경간 | 형식 | Extredosed | 소수 주형교 | PSC-Box거더교 |
| | 측정위치 | 65k.388 | 118k.577 | 119k.102 |
| | 길이(m) | 80 | 50 | 40 |
| | 측정 항목 | 처짐, 상판가속도, 차량 가속도 | | |

○ 설계기준 도출을 위한 주요 항목 측정결과

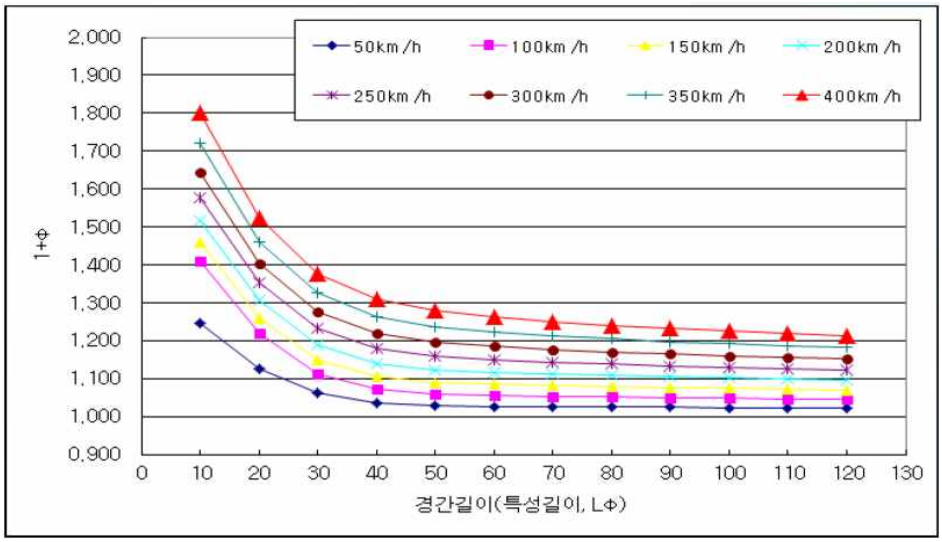
대상교량에 대한 속도별 측정을 시행하였으며, Extradosed교가 있는 정지고가는 KTX 열차를, 소소주형교 및 PSC-Box교인 연정교는 HEMU-430X 열차운행을 기준으로 측정하였다. 각 교량별 최고속도 운행에 따른 측정결과는 다음과 같다.

<표 2-3-1-20> 교량 구간 측정결과

| 구분 | 기준 값 | Extradosed | 소수 주형교 | PSC-Box |
|---|---|---|---|---|
| 측정 열차속도(km/h) | - | 310 | 395 | 395 |
| 처짐(mm) | 측정 값/ 기준 값 | 3.40/36.36 | 2.669/22.73 | 0.911/21.25 |
| 상판 가속도(G) | 0.5 | 0.102 | 0.145 | 0.255 |
| 차량 가속도(G) | 0.1 | | 0.089 | 0.081 |

○ 기준 도출

교량 단부 콘크리트 궤도의 사용성을 위하여 검토하여야 하는 단부회전은 열차의 수직하중에 실 열차하중의 보정과 충격계수를 고려하여 산정하게 되며, 충격계수는 교량 경간과 열차속도에 따라 산정된 계수를 적용토록 하고 있으나, 현재 우리나라의 교량 동적 증폭계수는 열차 최고속도 350km/h 이하, 경간 120m 이하에 한정되어 있다. 따라서, 400km/h급 고속철도와 120m를 초과하는 장경간의 교량에 적용할 수 있는 동적 증폭계수가 산정되었다.




<그림 2-3-1-19> 400km/h속도를 반영한 교량 경간과 속도에 따른 계수 값의 변화

㉰ 터널 미기압

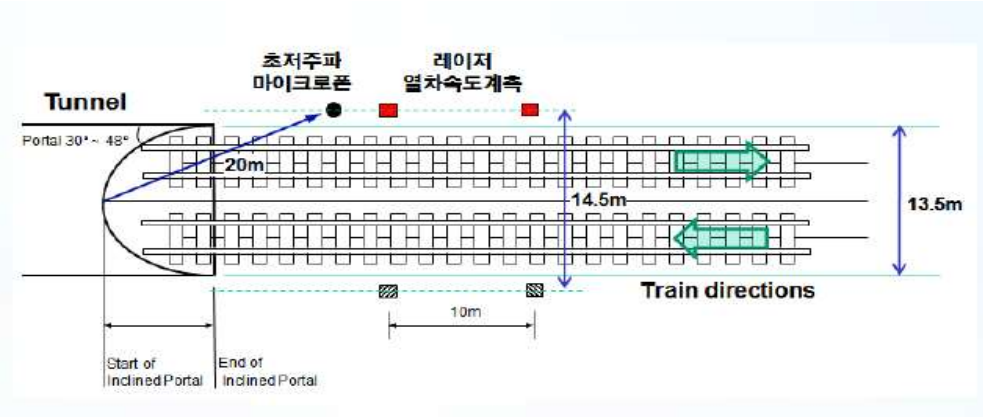
○ 미기압파 허용기준 설정을 위한 측정 현황

현재 우리나라의 터널 미기압에 대한 세부 기준이 정립되어 있지 않으 므로 열차 속도 상승에 따른 터널 미기압 발생으로 인한 문제점을 해소하기 위한 선제적 조치가 필요하다. 터널 미기압파는 터널내 공기압의 변동에 따른 승차감 저하문제와 더불어 열차의 고속운행 시 터널에서 발생하는 가장 큰 문제점 중의 하나이 경부고속철도 건설 당시부터 연구가 있었으나, 경부고속철도의 터널단면(109㎡)을 비교적 크게 계획하였고, 운행열차의 최고속도가 300km/h에 불과하여 미기압파 문제가 발생하지 않았다. 그러나, 400km/h급 고속철도 설계기준 설정을 위하여 미기압파의 실제 발생현황 파악이 필수적이므로 테스트 베드 구간의 회룡터널(L=550m)에서 현장 계측이 집중적으로 시행되었다.

<표 2-3-1-21> 회룡터널 현황

| 위 치 | (오송 기)121k.565 | 터널 길이 | 550m |
|---|---|---|---|
| 선로 선형 | 완화곡선~직선 | 터널 단면적 | 96.7㎡ |
| 터널 입출구 | 벨 마우스 | 도상형식 | 콘크리트 도상 |

미기압파는 다음과 같은 방법으로 계측되었다.




<그림 2-3-1-20> 미기압파의 현장 계측 개요도

○ 설계기준 도출을 위한 주요 항목 측정결과

HEMU-430X열차 운행에 따른 회룡터널 미기압파는 총 14회 측정하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

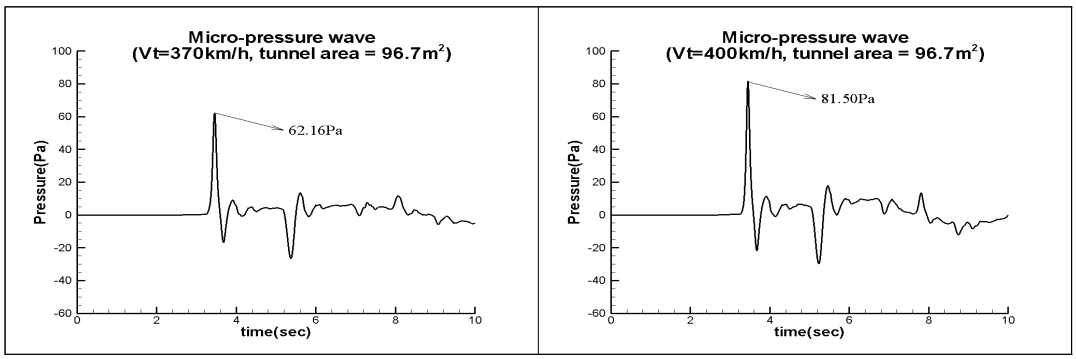
<표 2-3-1-22> 회룡터널 미기압파 측정 결과

| 일자 | 회 | 열차속도 (km/h) | 측정 값 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Pa | dB | |
| '14.12.03 | 1 | 342.0 | 51.7 | 128.25 | |
| '14.12.12 | 1 | 352.7 | 58.4 | 129.3 | |
| | 2 | 362.2 | 61.4 | 129.7 | |
| | 3 | 360.9 | 61.9 | 129.0 | |
| '15.01.23 | 1 | 368.7 | 74.1 | 131.4 | |
| | 2 | 372.6 | 79.3 | 132.0 | |
| | 3 | 373.5 | 78.7 | 131.9 | |
| '15.02.01 | 1 | 168.5 | 4.3 | 106.7 | |
| | 2 | 373.4 | 78.4 | 131.9 | |
| | 3 | 376.9 | 81.7 | 132.2 | |
| '15.03.15 | 1 | 177.6 | 4.7 | 107.3 | |
| | 2 | 400.7 | 105.7 | 134.5 | |
| | 3 | 420.6 | 108.1 | 134.7 | |

위 측정 결과에 따라 HEMU-430X열차 운행 시 발생하는 미기압파는 열차속도 420km/h 전후에서 잠정적인 제한 기준 50Pa를 초과하는 것으로 나타났다. 호남고속철도의 미기압파는 기존 연구결과를 이용한 예측(전산유체해석 프로그램을 이용한 시뮬레이션)에서 다음과 같이 평가된 바 있으나, 실제 측정 결과와는 많은 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 2-3-1-23> 호남고속철도 터널 미기압파 예측 값과 실제 측정 값 비교

| 예측 값 | | 실측 값 | |
|---|---|---|---|
| 속도(km/h) | 미기압파(Pa) | 속도(km/h) | 미기압파(Pa) |
| 370 | 62.2 | 368.7 | 74.1 |
| 400 | 81.5 | 400.7 | 105.7 |




<그림 2-3-1-21> 호남고속철도 터널 미기압 예측[1].

○ 기준 도출

터널 미기압파는 열차속도를 기본으로 차량의 형상(단면적, 전두부 모양)과 터널의 단면적 비율, 그리고 터널의 길이 및 터널 내 표면형상에 따라 크기가 결정되는 것으로 알려져 있다. 우리나라의 일반철도 구간은 열차속도가 낮으며, 고속열차 운행구간인 경부고속철도에서는 공기압 변동 및 미기압파 등을 고려하여 충분한 크기의 단면적을 적용하였으므로 미기압파가 발생된 사례는 없었다. 그러나, 호남고속철도 테스트 베드 구간 HEMU-430X 시험열차 운행 시 측정된 미기압파에 따라 400km/h급 고속철도의 미기압파 관련 기준 설정이 필요하다.

▪ KR Code 개정(안)

터널 미기압파의 저감 : 고속열차가 터널에 돌입할 때, 미기압파가 출구에서 확산 하여 주변에 영향을 미치는 일이 있다. 터널 갱구에서 외부로 방사되는 미기압파의 허용 기준은 다음과 같다. 이 허용기준을 초과하는 경우에는 미기압파의 저감대책을 설치하여야 한다.

① 추정되는 미기압파의 최대치가 터널 갱구 중심 20m 지점에서 50Pa(128dB)이하 일 것(폭발음 대책)

② 터널 갱구주변의 현존하는 민가 근방에서 추정되는 미기압파가 20Pa(120dB)이하 일 것(진동대책)

③ 터널 갱구 부근에 병원, 학교, 축사, 공용도로, 기타 특히 조용한 환경을 필요로 하는 시설이 있을 경우에도 1항과 2항에 따른다.

○ 검토결과

미기압파에 대한 기준은 일본 및 독일의 기준과 유사한 값을 채택하고 있다. 따라서, 설계시 미기압파 발생을 예측하여 이를 적용하여야 하나, 미기압파의 발생은 열차속도와 단면적 비외에도 터널의 형상(길이, 터널내의 표면 형상 등) 등 여러 가지 요인에 따라 달라지므로, 400km.h급 고속철도 인프라 시범적용사업에서 측정된 값을 기초로 추가적인 연구를 통하여 일반적으로 적용할 수 있는 예측식 도출이 필요하다. 또한, 노반분야의 미기압파 저감 방안은 대표적으로 터널 단면적의 확대와 터널 후드 설치가 있고, 갱문의 지형효과 활용, 터널 내부 거친 표면 적용 등의 방법이 있으며, 특히 장대 터널의 경우 장력조정 장치 설치구간의 터널 단면 확대, 경사갱 및 수직구 등의 미기압파 저감 효과를 가져오는 시설물이 설치되므로, 미기압파의 저감을 위하여 채택할 수 있는 여러 가지 방안을 검토하여, 기준과 함께 제시할 필요가 있다.

㉮ 소음예측모델

HEMU-430X열차에 대한 소음예측 모델을 개발하고, 예측식의 정확도를 검증하기 위하여, 다음과 같이 지형조건별 현장측정을 통한 검증이 시행되었다.

<표 2-3-1-24> 소음예측모델 검증을 위한 측정현황

| 구분 | 개활지 | 교량구간 | 방음벽 구간 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 위치(오송기점) | 109k.400 | 111k.450 | 113k.620 | |
| 평면선형 | 직선 | R=15,000m | 직선 | |
| 종단선형(‰) | - 1 | + 1 | + 7 | |
| 측정 거리 | 25m | 25m | 25m | |

열차증속에 따른 테스트 베드 구간의 환경소음 평가는 연구 성과품인 방음벽 상단장치와 흡음블럭의 성능 검증을 주목표로 측정되었다.

HEMU-430X열차 운행 시 발생하는 소음예측을 위하여 차량 각 부분의 공력소음 발생 특성과 차량과 궤도의 구성품에 대한 전동소음 특성이 분석되었다. 해석모델에 의한 소음을 예측하고, 현장 측정결과와 비교하여 해석모델의 정확도가 검증되었다. 해석모델 예측 값과 현장 측정결과는 다음과 같이 정리될 수 있다. HEMU-430X운행에 따른 소음예측과 실측값의 차이는 최대 2.5dB 이하이며, 토공구간의 평균 오차는 1.6dB이므로 신뢰성을 확보한 것으로 판단된다.

<표 2-3-1-25> 지형별 특성에 따른 소음예측과 측정값의 비교

| 구 분 | 토공구간(109k.400) | | | 교량구간(111k.450) | | | 방움벽 구간(113k620) | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 실측 | 예측 | 차이 | 실측 | 예측 | 차이 | 실측 | 예측 | 차이 | |
| 200km/h미만 | 88.7 | 89.1 | -0.4 | | | | | | | |
| 250km/h미만 | 91.1 | 90.5 | -0.6 | | | | | | | |
| 300km/h미만 | 94.9 | 93.3 | -1.6 | | | | | | | |
| 350km/h미만 | | | | | | | | | | |
| 350km/h이상 | 102.9 | 101.3 | -1.6 | 92.6 | 95.0 | 2.4 | 97.7 | 97.1 | -0.6 | |
| ※실측 및 예측치는 속도 구간별 평균이며 이 값은 절대 값 기준임. | | | | | | | | | | |

㈐ 방음벽 상단장치

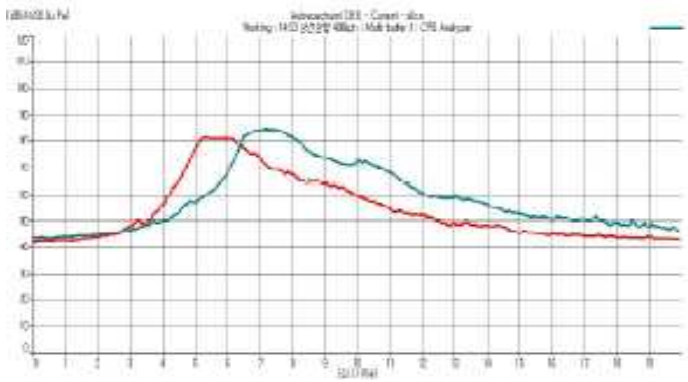
○ 측정현황 및 측정결과

방음벽 상단장치의 성능검증을 위한 테스트 베드 구간 소음측정은 방음벽 상단장치 설치 전후를 비교할 수 있도록 측정하였으며, EMU-430X열차가 350km/h를 초과하는 속도로 운행할 때 발생한 소음은 측정일자별 최고소음도를 기준으로 할 경우 다음과 같이 분석되었다.

<표 2-3-1-26> 방음벽 상단장치 성능 측정 결과(V>350km/h)

| 구분 | 상단장치 설치 전 dB(A) | 상단장치 설치 후 dB(A) | 저감 효과 dB(A) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| H=3.5m | 88.8 | 84.9 | 3.9 | 5회 측정 최고치 평균 |
| H=1.2m | 85.3 | 81.5 | 3.8 | |
| ※2015. 1.23~3.15일 간 5일 측정, 일별 최고속도 시 측정 값 기준 | | | | |

또한, 방음벽 상단장치 설치 전후의 소음측정 결과에 따른 소음도는 다음과 같이 나타났다.



<그림 2-3-1-22> 방음벽 상단장치의 설치 전후 소음도

방음벽 상단장치의 소음 저감 목표는 3.0dB이나 측정결과 방음벽의 높이에 따라 3.8dB~3.9dB의 효과가 있는 것으로 나타났으므로 충분한 성능 확보가 되었다. 방음벽 상단장치는 기존 경부고속철도 및 호남고속철도의 증속 또는 열차 증편운행에 따른 소음도(Leq) 증가 시 소음을 저감할 수 있는 최선의 대책이 될 수 있다.

○ 방음벽 상단장치 설치에 따른 인터페이스 검토

HEMU-430X 열차 운행에 따라 방음벽 상단장치를 호남고속철도 기존 방음벽에 추가로 설치하여 소음을 저감시키고자 할 경우 풍압과 열차풍에 의한 기존 방음벽의 구조적 안전성이 검토되었다. 기존 방음벽의 구조검토는 호남고속철도의 기설 방음벽의 구조에 대하여 풍압(횡풍 및 열차풍)을 고려한 더 높이기 한계는 다음과 같이 검토되었다.

- 단일말뚝 형태로 설계된 기존 방음벽의 구조검토는 다음과 같이 시행
- 토공구간: 지지력, 전도, 말뚝과 지주의 휨응력, 전단응력, 변위
- 교량구간: 지주의 휨응력, 전단응력, 압축응력, 앵커의 전단응력과 인발력

<표 2-3-1-27> 호남고속철도 기설 방음벽의 더 높이기 한계

| 현재 높이 | 더 높이기 한계 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 토공구간 | | 교량구간 | |
| | 한계높이 | 한계 사유 | 한계높이 | 한계 사유 |
| 1m | 1.5m | 전도 | 4.5m | 앵커 전단응력 |
| 3m | 4.5m | 기초말뚝 휨응력 | 4.5m | 앵커 전단응력 |
| 4m | 5.5m | 기초말뚝 휨응력 | 4.5m | 앵커 전단응력 |
| 6m | 8.5m | 기초말뚝 휨응력 | - | - |

위의 기설방음벽 더 높이기 한계 분석결과와 같이 토공구간에서 2.5m~0.5m, 교량구간에서 3.5m~0.5m의 여유가 있으므로 높이 0.5m인 방음벽 상단장치를 기설 방음벽 상단에 부착할 경우 횡풍 및 열차풍에 대한 구조적 안정성을 확보하는 것으로 검토되었다.

㉯ 흡음블럭

○ 측정현황 및 측정결과

설치 위치는 오송 기점 109k.5~109.k9(상하선 L=400m)이며 흡음블럭의 소음저감 성능 평가는 소음발생의 특성에 따른 흡음블럭 설치 전·후 조건을 동일하게 하기 위하여 다음과 같은 측정 방법으로 수행되었다.

<표 2-3-1-28> 흡음블럭의 성능평가를 위한 측정방법

| 측정 항목 | 측정 위치 | 마이크로 폰 위치 | 측정방법 |
|---|---|---|---|
| 흡음블럭 설치 | STA.106k200 | 궤도 중심 5.0m 거리<br>레일면 기준 1.2m 높이 | 동시 측정<br>속도별 통과소음 측정 |
| 흡음블럭 미설치 | STA.106k700 | | |

흡음블럭의 설치 전·후 개소에 대한 HEMU-430X열차의 속도 구간별 소음 측정 결과는 다음과 같이 정리되었다.(최고속도 404km/h)

<표 2-3-1-29> 흡음블럭 성능 측정 결과

| 구분 | 열차속도(km/h) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 200이하 | 250이하 | 300이하 | 350이하 | 350초과 |
| 설치 시(dB) | 89.2 | 90.2 | 85.6 | 105.2 | 101.5 |
| 미설치 시(dB) | 94.0 | 94.2 | 89.5 | 108.4 | 104.4 |
| 저감 효과(dB) | 4.8 | 4.0 | 3.9 | 3.2 | 2.9 |
| ※2015.1.23~2015.3.15 기간 중 5일 15회 측정값의 속도 구간별 평균치 기준 | | | | | |

위 표와 같이 흡음블럭 성능측정 결과 200km/h 속도에서 4.8dB, 400km/h 영역에서 2.9dB가 저감되어 초고속 영역보다 다소 낮은 200km/h 이상내외의 속도에서 더욱 큰 효과가 발휘되는 것으로 나타났다.

○ 흡음블럭 설치에 따른 인터페이스 검토

흡음블럭은 차량하부에서 발생되는 소음을 중점적으로 저감시키기 위한 목적이 있으므

로 궤도 도상면에 설치되어 궤도와의 인터페이스 검토가 필요하며, 흡음블럭 설치에 따른 유지관리계획을 수립하였으며, 여러 분야의 검토 항목에 의한 시험 및 궤도/흡음 블럭의 인터페이스를 검토하였다. 흡음블럭과 궤도의 인터페이스 항목은 다음과 같이 제시되었다.

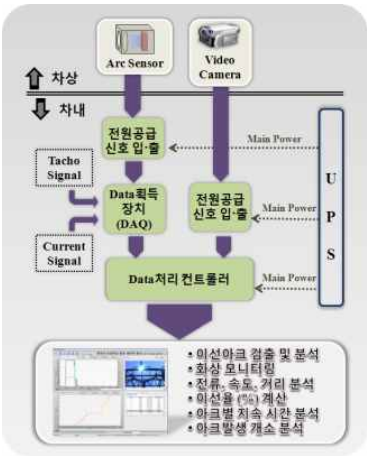
<표 2-3-1-30> 궤도/흡음블럭 인터페이스 검토 항목

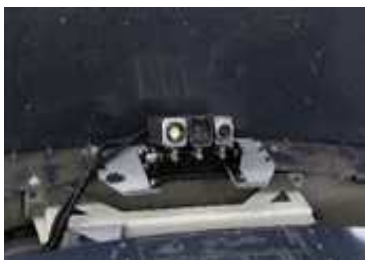
| 항목 | 내 용 | 성능 검토 결과 |
|---|---|---|
| 열차 안전 | • 블럭 솟음으로 건축한계 침범 | • Interlocking구조로 제작 및 접착강도 0.9Mpa 확보, 후렌지 웨이 여유(h=70mm, b=158.5mm)확보 |
| | • 블럭 유동으로 후랜지 웨이 저촉 | |
| | • 열차풍에 의한 부상 | • 풍동실험 시행 및 검증 완료 |
| 선로 유지 보수 | • 도상 콘크리트 균열점검 지장 | • 침목체결구 주위 폭 300mm 여유 |
| | • 이물질 적층으로 잡초 생육 | • 돌출부 경사처리로 이물질 적층방지 |
| | • 침목체결구 보수 지장 | • 침목체결구 주위 폭 300mm 공간확보 |
| | • 도상면 배수불량 | • 블럭 간 간격유지로 배수로 기능확보 |
| 내구성 | • 이물질에 의한 흡음기공 폐쇄 | • 유지모수 시 흡착물 제거 용이 |
| | • 장기사용에 따른 열화 | • 압축강도 14.7MPa 확보 |
| | • 강설시 차량하부 낙빙에 의한 파손 | • KS F4770-3에 의한 충격시험 완료 |

㈏ 전차선로

○ 전차선 성능평가현황

테스트 베드 구간의 전차선로 성능평가는 전차선 이선율과 압상력을 측정하였으나, 선로 구축물과 관련된 항목은 이선율이다. 400km/h급 전차선은 전차선과 장력조정장치, 가동브래킷 등 새로 개발된 7종의 부품으로 구성되어 있다. 팬터그라프와 전차선 간의 아크 발생은 차량 상부와 내부에 설치된 측정장치를 통하여 데이터를 수집하였으며, 측정장치의 개요도는 다음 그림과 같다.




| | |
|---|---|
| 이선율 시험장치 |  |
| 측정시간 | 정격전류 30% 이상 |
| 이선시간 | 최소 아크지속 시간 총합 |
| 이선율 (%) | $\text{이선율}(\%) = \frac{\Sigma t_{arc}}{t_{total}} \times 100$ |

<그림 2-3-1-23> 이선율 측정 개요도

이선의 기준은 100m 거리 당 이선시간 10ms를 넘는 아크를 기준으로 하며, 해당 속도 등급에 대하여 1%이하로 하도록 하고 있음.[10] 이선율은 다음과 같이 이선 시간 또는 이선 거리를 측정하여 평가하며, 25ms를 초과하는 이선의 경우 별도의 대책을 수립토록 규정하고 있다.

10) KR E 03020 전차선로의 동적성능(2012.12 한국철도시설공단)

$$\text{이선율}^{1} = \frac{\text{일정구간주행시 이선시간의 합}}{\text{일정구간 주행시간}} \times 100$$

$$\text{이선율}^{2} = \frac{\text{일정구간주행시 이선하여 주행한 거리의 합}}{\text{일정구간 주행거리}} \times 100$$

테스트 베드 구간의 이선율 측정은 이선시간을 기준으로 5ms 이상 지속되는 개소에 한하여 검출하였으며, 2014.12.12~2015. 2. 8일까지 350km/h 이상의 속도로 운행한 HEMU- 430X열차의 12회 측정결과 88개 구간에서 331회의 이선이 측정되었고, 이는 이선율의 기준치 이내로 분석된다.

○ 검토결과

일반적으로 전차선의 이선은 차량과의 상호 작용에 따라 발생할 수 있으며, 차량의 이상 진동은 선로선형, 궤도의 상태, 구조물의 상태 또는 차량 특성과 관련성이 있을 것으로 추정할 수 있으나, 한국철도시설공단의 KR Code에서는 전차선의 이선에 영향을 주는 요소를 전차선의 파동전파속도, 전차선의 장력, 압상량 및 열차속도 등으로 제시하고 있다. 본 연구에서는 전차선 이선과 선로 구축물의 인터페이스를 검토하기 위하여 집중적으로 이선이 발생하는 구간에 대한 선로구축물 현황을 검토한다. 기간 중 집중적으로 이선이 발생한 개소는 다음과 같다.

<표 2-3-1-31> 아크 집중 발생구간과 노반 현황

| 위치 | Arc 발생 측정 | | | 선로현황 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 총 측정 횟수 | 발생 개소 | 평균 Arc 길이(m) | 평면 선형 | 종단 선형 | 노반 형식 | 특 성 |
| 117.3~117.2 | 12 | 19 | 1.26 | 직 | -6‰ | 토공 | B(함)백산 제3 시점부근 |
| 117.2~117.1 | 12 | 35 | 1.21 | 직 | -6‰ | 토공 | 깎기(H=6.30~0.30m) |
| 117.0~117.1 | 12 | 32 | 0.96 | 직 | -6‰ | 토공 | 깎기(H=5.50m) |
| 116.8~116.7 | 12 | 11 | 0.93 | 직 | V.C | 토공 | 절성토 경계, |

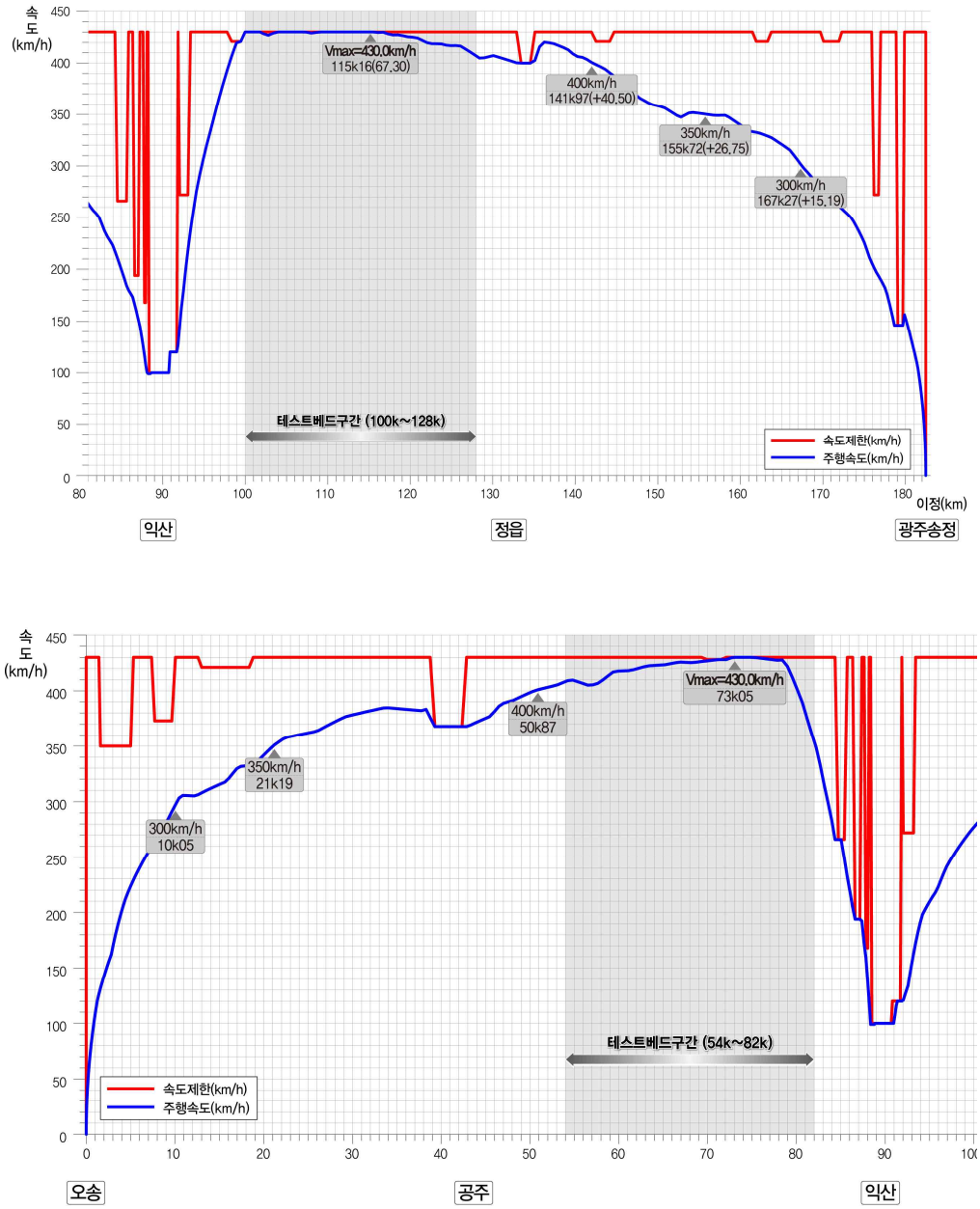
전차선의 이선은 열차속도 350km/h~400km/h 대역에서 전차선과 팬터그래프 간의 복합적인 용인으로 이선(Loss of Contact)가 현저히 증가[11]하므로 열차속도에 대응하는 전차선이 필수적이다. 호남고속철도 일반구간에 설치된 350km/h급 전차선에 비하여 경제성이 있는 것으로 평가되었으므로 향후 350km/h 내외의 고속철도 노선 또는 경부 고속철도 증속 시 활용이 가능하다.

11) 고속철도 인프라 테스트베드 구축에 따른 실용화 전략 수립(2013.10. 한철철도기술연구원)

① 400km/m급 고속철도 운영을 위한 연구 성과품 적용가능 개소 검토

㉮ 최고속도 구현을 위한 테스트베드 구간 확장 검토

○ 테스트 베드 구간 및 전후구간 TPS 분석




<그림 2-3-1-24> 테스트베드 및 전후구간 운전선도(상선과 하선)

○ 분석결과 및 적정성

<표 2-3-1-32> 시제차량 분석결과

| 구 분 | | 시점쪽 구간 | T/B 구간 | 종점쪽 구간 | 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| 하선 | 위 치 | 45k.5~54k.0 | 54k.0~82k.0 | - | |
| | 연 장(km) | 8.5 | 28.0 | 0 | 36.5 km |
| | 최고속도(km/h) | 400.5 | 420.2 | 350.0 이하 | |
| | 최저속도(km/h) | 370.2 | 352.6 | 350.0 이하 | |
| 상선 | 위 치 | 97k.2~100k.0 | 100k.0~128k.0 | 128k.0~147.6 | |
| | 연 장(km) | 2.8 | 28.0 | 19.6 | 50.4 km |
| | 최고속도(km/h) | 416.8 | 426.8 | 416.5 | |
| | 최저속도(km/h) | 371.3 | 391.3 | 370.2 | |

테스트 베드구간 확대를 검토하면 하선은 테스트 베드 구간의 시점부는 39k.067 지점 R=5,000m 곡선으로 인하여 360km/h의 속도제한이 불가피하므로 해당 구간을 360km/h로 통과한 다음 가속할 경우 증속 목표속도인 370km/h도달 위치는 43k.9지점이다. 따라서, 45k.5~54k.0(L=8.5km)간은 증속이 가능하며, 종점 쪽은 선형불량으로 익산역 통과속도(95km/h) 유지를 위한 감속으로 증속이 가능한구간은 없는 것으로 분석된다. 상선은 시점부는 익산역 부근 기존선 병행구간으로 선형 상 고속운행에 적합하지 않을 뿐만 아니라, 정거장 통과속도 95km/h를 위한 감속이 필요하므로 속도 증속은 97k.2이전에 한하며, 종점 쪽은 152k.720~54k.000(L=1.28km) 구간의 25‰ 상 기울기로 인하여 속도 저하가 발생, 147k.6 지점부터 370km/h가 가능하다.

<표 2-3-1-33> 운영차량 분석결과

| 구 분 | | 시점쪽 구간 | T/B 구간 | 종점쪽 구간 | 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| 하선 | 위 치 | 43k.9~54k.0 | 54k.0~82k.0 | - | |
| | 연 장(km) | 10.1 | 28.0 | | 38.1 km |
| | 최고속도(km/h) | 369.9 | 383.0 | 350.0미만 | |
| | 최저속도(km/h) | 350.0 | 348.9 | 350.0미만 | |
| 상선 | 위 치 | 96k.5~100k.0 | 100k.0~128k.0 | 128k.0~151k.5 | |
| | 연 장(km) | 3.5 | 28.0 | 23.5 | 55.0 km |
| | 최고속도(km/h) | 391.3 | 392.8 | 398.1 | |
| | 최저속도(km/h) | 350.0 | 359.1 | 350.0 | |

증속구간 확대를 보면 하선은 시점쪽 39k.067 R=5,000m 곡선구간은 현행기준을 적용 최고운행 속도 350km/h를 적용하고 익산역 정차 조건을 반영할 경우, 테스트 베드구간 이전에서 350km/h가 가능한 구간은 43k.9~54k.0간이다. 종점쪽은 익산정거장 정치 및 전후 기존선 병행구간의 선형에 따라 350km/h가 가능한 구간은 테스트 베드 이후 약 2km에 불과한 것으로 분석된다. 상선은 익산역 정차 및 전후구간 선형 불량으로 속도 제한에 따라 시점 쪽은 96k.5까지 350km/h가 발휘되고, 종점 쪽은152k.720~154k.000 (L=1.28km) 구간의 급기울기(25‰)로 인하여 감속이 발생, 151k.5지점부터 350km/h가 가능하다.

㈏ TPS분석 및 증속구간 확대 방안 모색

○ 고속도에 의한 증속가능 구간 분석

TPS 분석을 통하여 얻어진 운전선도는 곡선반경, 완화곡선 연장, 종곡선 등 개량이 조정이 불가능한 속도 제약요소인 선형을 기준으로 제한 속도 값을 적용하였으므로 분석된 운행속도를 유지하기 위하여 전차선, 궤도의 품질, 환경영향 등에 대한 추가적인 대책이 필요하다. 테스트베드구간 및 전후구간을 제외한 일반구간에서 증속이 가능한 구간을 분석한 결과 다음과 같이 정리되었다.

<표 2-3-1-34> 시제차량 증속가능구간 검토

| 구 분 | | 증속 가능구간 | | 계 / 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 하선 | 위 치 | 24k.8~38k.7 | 115k.9~173k.3 | |
| | 연 장(km) | 13.9 | 57.4 | 71.3 km |
| | 최고속도(km/h) | 389.1 | 424.6 | |
| | 최저속도(km/h) | 370.0 | 370.0 | |
| 상선 | 위 치 | 10k.2~36k.4 | 43k.1~63k.5 | |
| | 연장(km) | 26.2 | 20.4 | 46.6 km |
| | 최고속도(km/h) | 410.9 | 400.4 | |
| | 최저속도(km/h) | 370.0 | 370.0 | |

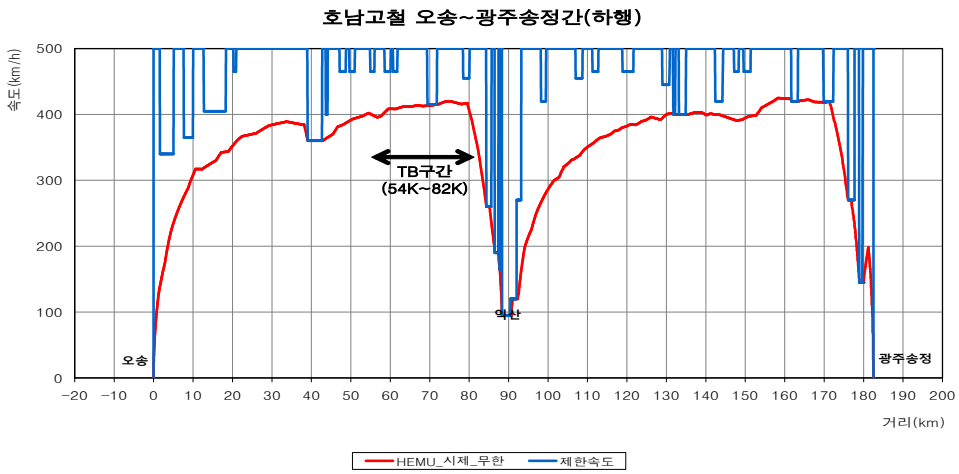
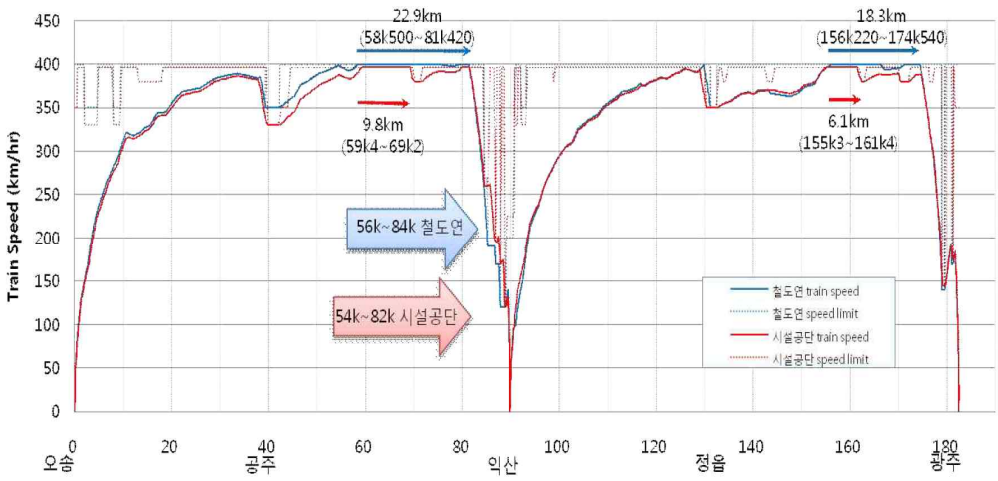
<표 2-3-1-35> 운영차량 증속가능구간 검토

| 구 분 | | 증속 가능구간 | | 계 / 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 하선 | 위 치 | 20k.4~38k.7 | 112k.0~172k.6 | |
| | 연 장(km) | 18.3 | 60.6 | 78.9 km |
| | 최고속도(km/h) | 375.0 | 395.9 | |
| | 최저속도(km/h) | 350.0 | 350.0 | |
| 상선 | 위 치 | 42k.9~67k.3 | | |
| | 연 장(km) | 24.4 | | 24.4 km |
| | 최고속도(km/h) | 385.4 | | |
| | 최저속도(km/h) | 350.0 | | |

○ 기존 연구결과와의 비교

호남고속철도의 테스트 베드 구축 및 속도 증속을 위한 그 간의 연구결과에서 검토된 TPS 결과를 비교, 속도 증속구간 설정의 오류를 방지하고자 하였다.

<표 2-3-1-36> 시제차량 하선 기준에 의한 기존 연구결과 비교

| 구분 | 열차운전성능분석 |
|---|---|
| 본 과제 | <br>• 최고속도 : 420.2km/h - 오기(현)75k.15 / 424.9km/h - 오기(현)158k.30<br>• 분석조건 : 정거장 통과속도 제한 없음 |
| 인프라 연구단12) | <br>• 최고속도 : 400.0km/h (최고속도 400km/h 속도제한)<br>• 분석조건 : 정거장 통과속도 350km/h 제한 - KRRI / 공주정거장 330km/h 제한 - KR<br>• 견인성능 : 35.3km(0→400km/h) |

12) 고속철도 인프라 기술개발 총괄 및 인터페이스 연구보고서 (2011.10)

㉰ 최고속도 증속에 따른 연구 성과품 적용 가능개소 검토

호남고속철도 증속은 HEMU-430열차 상용운영을 기준으로 운행할 경우의 증속가능구간은 다음과 같다.

<표 2-3-1-37> 호남고속철도 상용운행 시 증속 가능구간

| 구 분 | | 증속 가능구간 | | 계 / 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 하선 | 위 치 | 20k.4~82k.0 | 112k.1~172k.6 | |
| | 연 장(km) | 61.6 | 59.9 | 121.5 km |
| | 최고속도(km/h) | 375.0 | 395.9 | |
| | 최저속도(km/h) | 350.0 | 350.0 | |
| 상선 | 위 치 | 42k.9~67k.3 | 96k.5~151k.5 | |
| | 연 장(km) | 24.4 | 55.0 | 79.4 km |
| | 최고속도(km/h) | 385.4 | 398.1 | |
| | 최저속도(km/h) | 350.0 | 350.0 | |

※테스트 베드구간 포함 V>350km/h이상 구간 기준임

운영열차를 기준으로 HEMU-430열차의 최고속도 증속 시 연구 성과품 적용 가능 현황은 다음과 같이 검토되었다.

<표 2-3-1-38> 호남고속철도 운영열차 최고속도에 따른 연구 성과품 적용

| 구 분 | 방음벽상단 장치 | 흡음블럭 | 400km/h급 전차선 | ETCS-L2 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 하선 | 145.1 | 145.1 | 116.0 | 185km | 오송~송정 |
| 상선 | 139.7 | 139.7 | 105.2 | 185km | 오송~송정 |
| 계 | 284.8 | 284.8 | 221.2 | 370km | |

※ 방음벽 상단장치 및 흡음블럭은 V> 300km/h 구간의 기존 방음벽을 기준

※ 전차선은 V> 350km/h 운행 구간 기준

(가) 연구성과품 실용화 기반 검토

① 고속철도 인프라 기술개발 통합 모니터링 및 인터페이스 기술

프랑스, 독일, 일본 등 선진 철도강국에 한하여 통합 모니터링을 수행 경험이 있거나 수행 중에 있으며, 우리나라는 최초로 시도된다. 환경 소음, 선로, 궤도 등의 선로 구축물 및 전차선로에 대한 통합 모니터링기술은 향후 철도 시험선 구축 또는 자갈도상인 경부 고속철도 1단계 구간 증속시 등 종합적인 모니터링이 필요할 경우 활용이 가능하며, 기존선의 속도증속시 모니터링에 의한 검증이 요구될 경우에도 활용될 것이다. 또한, 모니터링 결과 수집된 DB는 향후 철도 설계 및 설계 최적화를 위한 프로그램 제작과 유지보수 등에 활용이 가능할 것으로 판단되며, 개략적이 활용방안은 다음과 같다.

<표 2-3-1-39> 통합모니터링 결과 D/B의 활용

| 구 분 | 측정항목 | D/B 내용 | 활용방안 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 토공 | 접속부 노반 안정성 | 열차속도와 접속부 각 부분 의 변위 및 거동 | 구조물 접속부 설계 최적화 | |
| | 연약지반 | 열차 속도와 연약지반 토공노반 각 부분의 변위 및 거동 | 연약지반 설계 최적화 | |
| | 표준성토 노반 | 표준 성토 노반 각 부분의 변위 및 거동 | 토공노반 설계 최적화 | |
| 궤도 | 분기기 | 열차속도와 고속분기기 궤도구조의 응력 및 변위 | 분기기 구조설계 | |
| | 직선구간 | 열차속도와 레일 및 TCL, HSB의 응력 및 변위 | 콘크리트 궤도 최적화 설계 | |
| | 곡선구간 | 열차속도와 레일 및 TCL, HSB의 응력 및 변위 | 선형 및 곡선부 최적화 설계 | |
| 환경 | 소음평가 | 교량 및 개활지의 열차소음 | 방음시설 계획 | |
| 터널 | 미기압 | 열차속도별 터널 미기압의 세기 | 터널 설계 | |
| 전차선 | 압상력, 이선율 | 압상력 및 열차속도별, 위치별 이선율 | 전차선 설계 | |
| ※ 본 용역에서 설계기준, 성능평가 등으로 활용한 사항은 제외 | | | | |

② 방음벽 상단장치

방음벽 상단 장치의 성능은 높이별, 열차 속도별로 다소 차이가 있으나, 최소 약 3.5dB 내외의 저감효과가 있는 것으로 평가되었다. 본 방음벽 상단장치는 철도소음 저감을 위해 국내에서 개발된 유일한 제품으로 다음과 같은 조건의 경우 고속노선을 포함하여 250km/h 전후의 준 고속노선 구간에도 활용이 가능하다.

- 신선 건설
  - 방음벽 높이에 제한이 있어 필요한 저감효과를 얻을 수 없는 구간
  - 대상 시설의 특성으로 인하여 추가적인 소음효과가 필요한 구간
  - 기타 민원 등으로 과도한 시설(예, 방음터널 등)을 대체할 수 있는 구간

▪ 운행선 구간
  - 열차속도 증속에 따라  소음이 증가하여 기존 방음벽의 보강이 필요한 구간.
  - 열차횟수 증가에 따라 등가소음이 증가하여 방음시설의 보강이 필요한 구간
  - 기존 방음시설 설치 구간의 소음으로 인한 민원 발생개소
  - 운행선 인접지역의 특수한 정온시설 설치로 특별한 방음효과가 요구되는 구간

### ③ 흡음블럭

흡음블럭의 성능평가 결과 300km/h 미만의 속도대역에서 4.3dB, 350km/h 이상의 속도대역에서 3.0dB의 소음 저감효과가 나타났다. 흡음블럭의 적용은 기존 방음벽에 의한 소음저감 효과로는 충분하지 않을 경우 보조적으로 활용이 가능하며, 최근 유지관리의 용이성으로 인하여 철도 건설 시 길이 200m이상의 터널은 콘크리트 도상을 적용하고 있고, 토공, 교량 등 일반 구간에서도 콘크리트 도상형식이 증가되고 있다. 그러나, 콘크리트 도상은 열차 주행 시 소음이 증가하는 단점이 있어 이에 대한 대책이 필요하므로 흡음블럭은 콘크리트 도상의 단점을 보완할 수 있는 대안이다. 따라서, 콘크리트 도상구간에서 다음과 같은 조건의 경우 흡음블럭 설치 소요가 증가할 것이다.

▪ 터널 내 열차 소음 저감으로  숭차감 향상이 필요한 구간
▪ 방음벽 및 방음벽 상단장치 만으로는 방음효과가 부족하거나, 방음벽 높이를 제한할 필요가 있는 구간
▪ 고속열차 통과로 인하여 승강장 대기 승객의 소음불편이 야기되는 구간
▪ 열차 고속주행으로 미기압파가 발생하여 미기압 저감시설이 필요한 터널
▪ 기존 방음벽 설치구간 중 보강이 곤란구간의 소음증가 구간

### ④ 400km/h급 선로 구축물 설계기준

세계적으로 고속철도의 수요 증가와 함께 고속열차의 속도 경쟁이 심화되고 있음을 감안, HEMU-430X열차를 개발하였으나, 경부 및 호남고속철도의 설계속도는 350km/h에 불과하고, 현행 우리나라의 설계기준 상 열차 최고속도는 350km/h로 한정되어 있으며, 세계적으로도 350km/h를 초과속도데 대한 설계기준은 정립되어 있지 않거나, 공개되지 않고 있는 실정이다. 또한, 현행 기준은 근거가 불확실한 부분이 다소 존재하고 있어 명확한 근거 마련이 필요하고, 주요 항목의 검토 및 시험을 통하여 설계 최적화 등 합리적인 기준 정립을 추진하였다. 따라서 400km/h급 선로 구축물 설계기준은 국내 고속철도의 증속을 가능하게 할 뿐만 아니라, 400km/h급 선로 구축물 설계기준을 정립함으로써 우리나라 철도의 위상을 높이는 간접적인 효과와 이에 따른 기술수출이 가능성을 제고하고, 우리나라의 세계철도시장 점유율을 높일 수 있는 계기가 될 것이다.

### ⑤ 400km/h급 전차선

국내에서는 최근 350km/h급 전차선을 개발한 바 있으며, 본 연구와 관련하여 400km/h급 전차선을 개발, 테스트베드 구간 56km에 적용함으로써 상용화에 성공하였다. 국제적인 고속열차 속도경쟁에 따라 향후 400km/h급의 전차선 수요가 발생할 수밖에 없는 실정을 고려할 때, 확보된 전차선로 시스템의 기술은 매우 중요한 위치를 차지할 것이다. 또한 향후 경부 및 호남고속철도의 증속이 추진될 것으로 볼 때, 장기적으로 400km/h급 전차선로의 국내 수요도 증가할 것으로 보인다. 경부 및 호남고속철도 증속과 관련된 연구[13]는 400km/h급 고속열차 투입에 따른 경제성 검토에서 향후 열차 투입 시 상용열차 속도 370km/h로 시설을 보완하는 방안을 제시하고 있다.

### ⑥ 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술

우리나라의 열차제어를 비롯한 신호 시스템은 대부분 외국의 시스템을 도입하여 사용하고 있으며, 도임 과정이 서로 상이하여 호환성 및 연계성이 부족할 뿐만 아니라, 확장성이 떨어지는 문제가 있다. 이에 따라 신설선 건설 시 신호시스템 선정과 시스템의 안정성에 애로가 많으며, 경제적인 측면에서도 불리하게 작용하고 있다. 따라서, 국제적인 기준에 적합하고 우리나라의 실정에도 부합하며, 한국철도기술의 해외 진출에도 상징적으로 작용할 수 있는 제어기술 개발이 필수적인 상황이다. 본 기술의 안정성 및 상용화 시험이 완료될 경우 경부 및 호남고속철도의 속도증속과 250km/h 내외의 준 고속철도 노선에 적용될 것이다.

13) 경부 및 호남고속철도 속도향상방안 연구(2011.5 한국철도시설공단)

(4) 테스트베드 구축 및 실행

(가) 테스트베드 구축 실행

① 호남고속철도 건설일정과 연계

테스트베드 구축은 호남고속철도 건설 및 HUMU-430x 차량 개발 일정과 연계하여 추진되었으며, 구체적 일정은 아래와 같다. 2011년 4월 테스트베드 구간이 선정되고, 동년 12월 '400km/h급 시설구축 방안'이 국토부에 보고되었다. 이후 2013년 10월 환경소음, 선로구축물, 전차선 등 고속철도 인프라 시스템의 개발이 완료되었다. 2014년 4월에는 호남고속철도 오송-광주 구간이 건설되었으며, 테스트베드 구간의 노반보강이 이루어지고, 환경소음 저감장치, 터널 미기압파 후드, 전차선 등의 설치가 이루어졌다. 2014년 4월 16일부터 24일에는 KTX-호남 차량의 증속시험이 실시되었으며, 이후 동년 8월부터 2015년 3월까지는 HEMU-430x 차량에 의한 인프라 성능시험이 실시되었다.

<표 2-3-1-40> 테스트베드 구축 추진경과

| 일시 | 추진경과 |
|---|---|
| 2010. 12 | 400km/h급 고속철도 인프라 기술개발 착수 |
| 2011. 04 | 400km/h Test-bed 구간 선정 (오송기점 100~128k, 54~82k) |
| 2011. 06 | 철도시설공단 "경부 · 호남고속철도 속도향상 방안" 용역결과 발표 |
| 2011. 12 | 철도시설공단 "400km/h급 시설구축 방안" 국토교통부 보고<br>- 궤도/노반, 전차선, 신호, 환경소음 등 분야 등 시설보완 방안 |
| 2012. 05 | 차세대고속열차(HEMU-430X) 개발완료 및 출고식 |
| 2013. 03 | 차세대고속열차 421.4km/h 증속시험 성공 |
| 2013. 10 | 400km/h급 고속철도 인프라시스템 개발 완료 |
| 2014. 04 | 철도시설공단 호남고속철도 오송-광주송정 구간 건설<br>- 테스트베드 구간 노반보강, 터널 미기압파 후드 설치 등 완료<br>- 400kph급 전차선, 환경소음 저감장치, 선로구축물 모니터링 시스템 설치 완료 |
| 2014. 04 | KTX-호남 60-170-270-300 증속시험 실시<br>- 익산-정읍 TB 구간, 4/16~4/24 |
| 2014. 08 | 고속철도 인프라 300km/h 성능시험 실시<br>- HEMU, 광주송정-익산, 8/28 |
| 2014. 11 | 고속철도 인프라 310km/h 성능시험 실시<br>- HEMU, 익산-오송, 11/26 |
| 2014.12<br>~ 2015.02 | 고속철도 인프라 350~400Km/h 성능시험 실시<br>- HEMU, 익산-오송, 12/3, 12, 15년 1/23, 2/1, 8 |

## ② 분야별 테스트베드 구축 현황

### ㉮ 환경소음 분야

환경소음 분야의 주요성과물 중에서 테스트베드에서 검증하고자 하는 성과물은 방음벽 상단장치, 흠음블럭, 소음예측모델과 기여도분석시스템이다. 400km/h 고속철도 운행을 위한 핵심 방음시설로서 고속철도의 소음원 특성별 저감장치인 방음벽 상단 소음저감장치과 슬래브 도상용 흡음블럭을 테스트베드 현장에 부설하여 성능평가를 수행하였다. 또한 한국형 고속철도 소음원 모델을 개발하였으며 차량의 전동, 동력, 공력 소음원의 통합소음예측모델과 개별 소음원 별 기여도 산출 시스템을 개발하여 현장측정을 통하여 성능을 검증하였다.

테스트베드에는 소음 저감장치(방음벽 상단장치, 흡음블록), 소음 예측모델, 기여도 분석 시스템의 성능검증 및 평가를 위하여 7개 지점, 8개소에 성과품을 부설하였다.

<표 2-3-1-41> 환경소음 분야 측정시스템 설치위치 및 성능평가

| 항 목 | | 테스트베드 위치 | 성능평가항목 |
|---|---|---|---|
| 방음벽 상단장치 | 소음측정 | STA.113k620 (설치 전)<br>STA.116k620 (설치 후) | 방음벽 상단장치 소음저감성능 |
| | 열차풍 측정 | STA.116k680 (설치 후) | 열차풍에 의한 구조안전성 |
| 흡음블록 | 개활지 구간 | (설치 전 위치 협의 중)<br>STA.109k700 (설치 후) | 흡음블록 소음저감 성능 |
| 소음예측 모델 | 개활지 구간 | STA.109k700 | 소음 예측모델 성능 |
| | 방음벽 구간 | STA.107k400 | |
| 기여도 분석 | | STA.104k600 | 기여도 분석 시스템 성능 |

<표 2-3-1-42> 환경소음 분야 현장 측정시스템 설치 현황

| 설치위치(STA.) | 계측 내용 | Data Logger | 계측기 가용채널 |
|---|---|---|---|
| 104k600 | 기여도 분석 시스템(개활지) | 1개 | 96EA |
| 107k400 | 소음예측모델(방음벽) | 1개 | 2EA |
| 107k400 | 소음예측모델(방음벽) | 1개 | 2EA |
| 109k700 | 흡음블록(설치 후, 개활지) | 1개 | 2EA |
| 109k700 | 소음예측모델(개활지) | 1개 | 2EA |
| 113k620 | 방음벽 상단장치(설치 전) | 1개 | 2EA |
| 116k620 | 방음벽 상단장치(설치 후) | 1개 | 2EA |
| 116k680 | 방음벽 상단장치(열차풍) | | 1EA |
| 000k000 | 흡음블록(설치 전) | 1개 | 2EA |
| 계 | | 8개 | 111EA |

㈏ 선로구축물 분야

선로구축분 분야의 연구목표는 400km/h급 고속철도에 적합한 선로구축물 설계기준을 개발하는 것으로 열차의 증속에 따른 핵심 설계기준을 도출하기 위하여 테스트베드에서 HEMU-430X 차량의 실주행시 궤도, 노반, 교량 등 선로구축물의 거동을 모니터링 하하고, 이를 통하여 열차의 속도증가에 따른 궤도/노반 핵심요소의 특성변화를 파악하였다.

궤도에서는 완화곡선, 원곡선, 직선구간에 각각 변형률계, 가속도계, 변위계를 설치하고, 표준노반, 연약지반노반, 교량접속부 노반, 그리고 PSC Box교, 소수주형교에 각각 센서를 설치하고 모니터링을 수행하였다.

<표 2-3-1-43> 선로구축물 분야 측정시스템 설치위치 및 성능평가

| 항 목 | | 설치위치 | 성능평가 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 궤도 | 완화곡선 | STA.98k416 | 선형별 충격계수 분석 | R=7,000m 지점 |
| | 원곡선 | STA.98k815 | | R=7,000m 지점 |
| | 직선 | STA.109k231 | | 표준노반 연계 측정 |
| 노반 | 표준토공 | STA.109k231 | 탄성, 잔류침하, 노반압력 진동속도, 가속도, 배수 검증 | 원지반과 성토높이 고려 |
| | 연약지반 | STA.110k000 | 잔류침하, 소성침하 검증 | 프리로딩공법 구간 |
| | 접속부 | STA.120k650 | 강성 차이에 따른 하중변화, 접속슬래브 변형 검증 | 교량 측정부와 비교해석 고려 |
| 교량 | Extradosed교 | STA.65k388 | 동적변위분석 시스템 검증 | 정지고가교 |
| | 소수주형교 | STA.118k577 | 동적변위, 단부 사용성 검토 | 연정교 |
| | PSC BOX교 | STA.119k102 | 동적변위, 단부 사용성 검토 | 연정교 |

<표 2-3-1-44> 선로구축물 분야 현장 측정시스템 설치 현황

| 분야 | | 설치위치 (STA.) | 계측 내용 | Data Logger | 계측기 가용채널 |
|---|---|---|---|---|---|
| 선로구축물 분야 | 궤도 | 98k416 | 완화곡선 구간 | 1개 | 33EA |
| | | 98k815 | 원곡선 구간 | 1개 | 33EA |
| | | 109k231 | 직선 구간 | 1개 | 35EA |
| | | 소계 | | 3개 | 101EA |
| | 교량 | 65k388 | Extradosed교 | 1개 | 21EA |
| | | 118k577 | 소수주형교 | 1개 | 35EA |
| | | 119k102 | PSC Box교 | 1개 | 19EA |
| | | 소계 | | 3개 | 75EA |
| 선로구축물 분야 | 노반 | 109k231 | 표준노반 | 2개 | 17EA |
| | | 110k000 | 연약지반 | 2개 | 33EA |
| | | 120k650 | 교대 접속부 | 3개 | 93EA |
| | | 소계 | | 7개 | 143EA |
| | 계 | | | 13개 | 319EA |

㉰ 전차선 분야

전차선 분야에서는 400km/h급 핵심부품 7종 및 장력 및 이상상태 모니터링시스템과 전기적 결함탐지 시스템이 개발되었다. 핵심부품들로 구성된 전차선로 시스템은 호남고속철도 테스트베드 구간 상·하행 56km구간에 설치되었다.

전차선로 분야의 모니터링은 지상측정과 차상측정으로 구분된다. 지상측정에서는 전차선 압상량 및 변형률, 전차선 실시간 장력상태, 전차선 이상상태, 전차선로(애자류 및 금구류) 결함 등을 고속열차의 최고 주행속도구간에서 측정하였으며, 차상측정에서는 전차선과 팬터그래프 간 접촉력 및 이선아크 등 차량의 주행성능을 모니터링 하였다. 아래 표에는 전차선로 시스템의 성능평가를 위한 항목과 설치위치 등을 나타내었다.

<표 2-3-1-45> 전차선 분야 설치현황

| 항 목 | | 시험항목 | 설치위치 | 성능평가 |
|---|---|---|---|---|
| 차상 | 집전성능시험 | 전차선과 팬터그래프 간 접촉력 | 차상 | 팬터그래프와 전차선간 접촉력 |
| | | 전차선과 팬터그래프 간 이선아크 | 차상 | 팬터그래프와 전차선간 이선율 |
| 지상 | 동적특성시험 | 선로 최고속도에서 전차선 동적상호작용 | 최고속도 1개소 (KP113) | 곡선당김금구 압상량<br>전차선 변형율, 조가선 온도 |
| | | 전차선로 이상상태 모니터링 | 최고속도 1개소 (KP113) | 이선율 0.2%<br>접촉율(CQ) |
| | | 장력상태 실시간 모니터링 | 최고속도 2개소 (KP104) | 장력변동율 측정<br>장력조정장치의 X, Y값, 온도 |
| | 정적특성시험 | 전차선로 결함탐지 | 주요구간 | 전차선 온도 및 조가선/전선소손 애자류/전압유기 |

<표 2-3-1-46> 전차선 분야 현장 측정시스템 설치 현황

| 분야 | | 위치 (STA.) | 계측 내용 | Data Logger | 계측기 가용채널 |
|---|---|---|---|---|---|
| 전차선 분야 (4세부) | 지상 | 최고속도 구간 (104k000) | 전차선 압상량 | 1개 | 3EA |
| | | | 이상상태 검측 | 1개 | 2EA |
| | | | 선로변 결함탐지 | 1개 | 2EA |
| | | | 전차선 장력조정장치 | 2개 | 8EA |
| | | 소계 | | 5개 | 15EA |
| | 차상 | TB#1 | 접촉력 | 1개 | 10EA |
| | | | 이선아크 | 1개 | 1EA |
| | | TB#2 | 접촉력 | 1개 | 10EA |
| | | | 이선아크 | 1개 | 1EA |
| | | 소계 | | 4개 | 22EA |
| | 계 | | | 9개 | 37EA |
| 합계 | | | | 25개 | 413EA |

### ③ 테스트베드 인프라 성능시험

#### ㉮ 성능시험 일정

테스트베드 인프라 성능시험은 300km/h, 310km/h, 350km/h, 370km/h, 390km/h, 410km/h 속도대역으로 단계별 증속운행에 따라 실시하였다. 증속단계는 2013년 3월 HEMU-430x 차량의 성능시험이 실시된 점과 호남고속철도 테스트베드 구간의 설계속도가 400km/h인 점등을 고려하여 설정하였다. 단계별 증속을 고려하여 2014년 8월 28일부터 실시된 인프라 성능시험 일정은 아래 표와 같다.

<표 2-3-1-47> 호남고속철도 테스트베드 성능시험 조건

| 구분 | | 경부고속철도 | 호남고속철도 테스트베드 |
|---|---|---|---|
| 시험차량 | | - HEMU-430X (421.4km/h 성능시험 완료) | - HEMU-430X |
| 인프라 | 신호 | - ATC, 시험구간 ATP 발리스 설치 | - ATC, 시험구간 ATP 발리스 설치 |
| | 전차선 | - 350km/h급 전차선<br>- 시험시장력 20→23kN으로 조정 | - TB구간 400km/h급 전차선 설치<br>- 전구간장력 26kN, TB구간34kN으로 400km/h주행 가능 |
| | 궤도 | - 콘크리트 궤도 | - 콘크리트 궤도<br>- TB구간 구조물접속부강화노반 보강 (20cm→50cm) |
| | 터널 | - 미기압파 저감장치 없음 | - TB구간 터널 미기압파후드 설치 |

<표 2-3-1-48> 인프라 성능시험 일정

| 일자 | 2014년 | | | | 2015년 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 08/28 (목) | 11/26 (수) | 12/03 (수) | 12/12 (금) | 01/23(금) | 02/01(일) | 02/08 (일) |
| 구간 | 익산~정읍 | 오송~익산 | 익산~광주 | 오송~광주 | 오송~광주 | 오송~광주 | 오송~광주 |
| 최고속도 | 300km/h | 310km/h | 350km/h | 370km/h | 390km/h | 400km/h | 403km/h |

#### ㉯ 성능시험 항목

각 분야별 성능시험 항목은 다음과 같다. 환경소음 분야는 방음벽 상단장치 및 도상용 흡음블럭의 소음저감 성능을 평가하며, 참고기준은 3dB 저감을 목표로 하였다. 선로구축물 분야는 변위, 하중, 침하량 등 궤도 , 노반, 교량의 주요 인자에 대하여 증속에 따른 측정값과 참고기준치를 비교하여 평가하였다. 전차선로 분야에서는 압상량, 접촉력 등 전력 품질과 관련한 주요 항목에 대하여 측정하고, 이를 참고 기준치와 비교평가 하였다.

<표 2-3-1-49> 환경소음 분야 성능시험 항목

| 구분 | 측정항목 | 참고기준 |
|---|---|---|
| 방음벽 상단장치 및 도상용 흡음블럭 | 소음저감성능 | 3dB 저감 |
| 소음예측 모델 및 기여도분석 시스템 | 소음예측 정확도 | 3dB 미만 |

<표 2-3-1-50> 선로구축물 분야 성능시험 항목

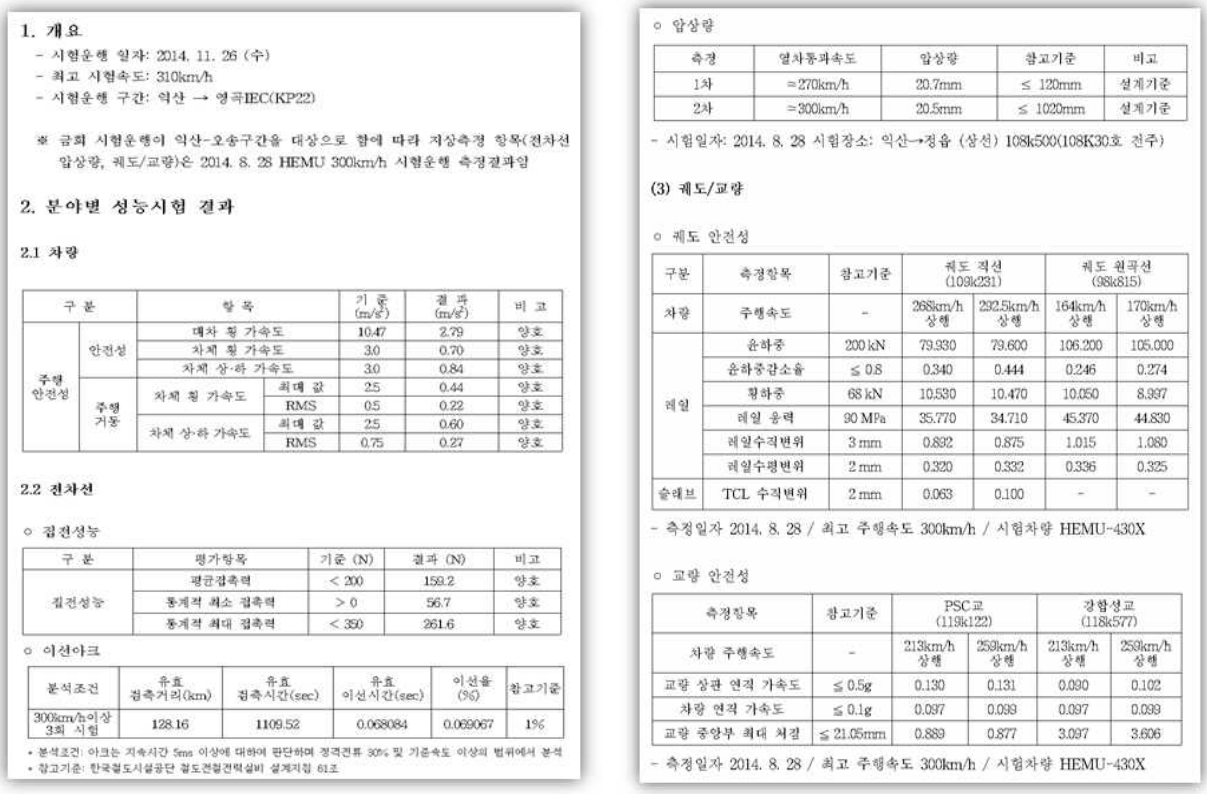
| 측정항목 | | | 참고기준 |
|---|---|---|---|
| 궤도 | 레일 | 윤하중 | 200 kN |
| | | 윤하중감소율 | ≦ 0.8 |
| | | 횡하중 | 68 kN |
| | | 레일 응력 | 90 MPa |
| | | 레일수직변위 | 3 mm |
| | | 레일수평변위 | 2 mm |
| | 슬래브 | HSB 수직변위 | 1 mm |
| | | TCL 수직변위 | 2 mm |
| | | TCL 균열변위 | 1 mm |
| | 어프로치슬래브 | 휨응력 | ≦+1000με |
| | 전단키 | 휨응력 | ≦+1000με |
| 노반 | 강화노반 | 노반압력 | ≦ 133.0 kPa |
| | | 탄성침하량 | ≦ 1 mm |
| | | 누적침하량 | ≦ 25 mm |
| | | 진동가속도 | ≦ 4.9 m/s² |
| | | 진동속도 | ≦ 5 cm/s |
| | 상부노반 | 노반압력 | ≦ 88.7 kPa |
| | | 누적침하량 | ≦ 25 mm |
| | 하부노반 | 노반압력 | ≦ 66.5 kPa |
| | | 누적침하량 | ≦ 25 mm |
| | 원지반 (연약지반처리) | 누적침하량 | ≦ 25 mm |
| | | 진동가속도 | ≦ 4.9 m/s² |
| 교량 | | 슬래브 HSB 수직변위 | ≦ 0.5g |
| | | TCL 수직변위 | ≦ 0.5g |
| | | 슬래브수직가속도 | ≦교량길이/1700 |

<표 2-3-1-51> 전차선로 분야 성능시험 항목

| 측정항목 | 참고기준 |
|---|---|
| 지지점압상량 | ≤200 mm |
| 전차선 변형률 | ≤ 500 με |
| 드로퍼 작용력 | ≤ 300 N |
| 팬터그래프 접촉력 | Fmean-3σ 0 초과<br>Fmean+3σ 350 이하 |
| 이선아크 | ≤ 0.2 % |
| 이상상태 | ≦ 30 % |
| 장력이상상태 | ≦3% |
| 온도결함 | 상한 온도기준 (설계기준) |
| 방전검출 | ≦ 5회 / min |
| 동편위 | ≤ ± 250 mm |

㉱ 성능시험 결과

이상의 과정으로 실시된 테스트베드 인프라 성능시험 결과는 보고서로 작성되었으며, 계측데이터와 함께 통합DB에 구축되었다. 자세한 성능시험 결과는 세부과제별 보고서에 각각 기술하였다.



1. 개요

- 시험운행 일자: 2014. 11. 26 (수)
- 최고 시험속도: 310km/h
- 시험운행 구간: 익산 → 영곡IEC(KP22)

※ 금회 시험운행이 익산-오송구간을 대상으로 함에 따라 저상측정 항목(전차선 압상량, 궤도/교량)은 2014. 8. 28 HEMU 300km/h 시험운행 측정결과임

2. 분야별 성능시험 결과

2.1 차량

| 구 분 | | 항 목 | | 기 준 (m/s²) | 결 과 (m/s²) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 주행 안전성 | 안전성 | 대차 횡 가속도 | | 10.47 | 2.79 | 양호 |
| | | 차체 횡 가속도 | | 3.0 | 0.70 | 양호 |
| | | 차체 상·하 가속도 | | 3.0 | 0.84 | 양호 |
| | 주행 거동 | 차체 횡 가속도 | 최대 값 | 2.5 | 0.44 | 양호 |
| | | | RMS | 0.5 | 0.22 | 양호 |
| | | 차체 상·하 가속도 | 최대 값 | 2.5 | 0.60 | 양호 |
| | | | RMS | 0.75 | 0.27 | 양호 |

2.2 전차선

○ 집전성능

| 구 분 | 평가항목 | 기준 (N) | 결과 (N) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 집전성능 | 평균접촉력 | < 200 | 159.2 | 양호 |
| | 통계적 최소 접촉력 | > 0 | 56.7 | 양호 |
| | 통계적 최대 접촉력 | < 350 | 261.6 | 양호 |

○ 이선아크

| 분석조건 | 유효 접촉거리(km) | 유효 접촉시간(sec) | 유효 이선시간(sec) | 이선율 (%) | 참고기준 |
|---|---|---|---|---|---|
| 300km/h이상 3회 시험 | 128.16 | 1109.52 | 0.068084 | 0.069067 | 1% |

* 분석조건: 아크는 지속시간 5ms 이상에 대하여 판단하며 정격전류 30% 및 기준속도 이상의 범위에서 분석
* 참고기준: 한국철도시설공단 철도건설건력설비 설계지침 61조

○ 압상량

| 측정 | 열차통과속도 | 압상량 | 참고기준 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1차 | ≈270km/h | 20.7mm | ≤ 120mm | 설계기준 |
| 2차 | ≈300km/h | 20.5mm | ≤ 1020mm | 설계기준 |

- 시험일자: 2014. 8. 28 시험장소: 익산→정읍 (상선) 108k500(108K30호 전주)

(3) 궤도/교량

○ 궤도 안전성

| 구분 | 측정항목 | 참고기준 | 궤도 직선 (109k231) | | 궤도 원곡선 (98k815) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 차량 | 주행속도 | - | 268km/h 상행 | 292.5km/h 상행 | 164km/h 상행 | 170km/h 상행 |
| 레일 | 윤하중 | 200 kN | 79.930 | 79.600 | 106.200 | 105.000 |
| | 윤하중감소율 | ≤ 0.8 | 0.340 | 0.444 | 0.246 | 0.274 |
| | 횡하중 | 68 kN | 10.530 | 10.470 | 10.050 | 8.997 |
| | 레일 응력 | 90 MPa | 35.770 | 34.710 | 45.370 | 44.830 |
| | 레일수직변위 | 3 mm | 0.892 | 0.875 | 1.015 | 1.080 |
| | 레일수평변위 | 2 mm | 0.320 | 0.332 | 0.336 | 0.325 |
| 슬래브 | TCL 수직변위 | 2 mm | 0.063 | 0.100 | - | - |

- 측정일자 2014. 8. 28 / 최고 주행속도 300km/h / 시험차량 HEMU-430X

○ 교량 안전성

| 측정항목 | 참고기준 | PSC교 (119k122) | | 강합성교 (118k577) | |
|---|---|---|---|---|---|
| 차량 주행속도 | - | 213km/h 상행 | 259km/h 상행 | 213km/h 상행 | 259km/h 상행 |
| 교량 상판 연직 가속도 | ≤ 0.5g | 0.130 | 0.131 | 0.090 | 0.102 |
| 차량 연직 가속도 | ≤ 0.1g | 0.097 | 0.099 | 0.097 | 0.099 |
| 교량 중앙부 최대 처짐 | ≤ 21.05mm | 0.889 | 0.877 | 3.097 | 3.606 |

- 측정일자 2014. 8. 28 / 최고 주행속도 300km/h / 시험차량 HEMU-430X

<그림 2-3-1-25> 성능시험 결과보고서(전차선 분야 예제)

(나) 분야별 테스트베드 구축 지원

① 총괄 분야

테스트베드는 호남고속철도 건설일정과 해무차량의 개발 일정과 연계하여 추진되었다. 특히 호남고속철도의 건설 일정이 변경되거나, 해무차량의 운행이 어려운 경우에는 테스트베드 구축 일정을 수시로 보완하고, 관련 기관과 재협의를 해야 하는 어려움이 있었다. 개발품 및 현장계측시스템 부설, 성능평가 단계마다 호남고속철도 발주기관, 시공 및 감리업체 그리고 차량 담당자와 긴밀히 협의함으로써 전체 일정상의 차질을 최소화하도록 하였다.

발주기관에는 7차례에 걸쳐 테스트베드 인프라 시험계획을 제출하여 테스트베드 시공에 반영하고, 현장 측정이 차질없이 진행되도록 지원하였다. 350km/h 이상의 속도에서는 증속 단계마다 4차례에 걸쳐 발주기관의 승인을 얻기 위하여 전 단계의 인프라 성능시험 보고서, 요약보고서, 성능시험서, 증속승인서 등을 작성하여 제출하였다. 테스트베드 구축에 따른 총괄 지원내용은 다음과 같다.

<표 2-3-1-52> 총괄 분야 지원 내용

| 구분 | 지원내용 | 일시 |
|---|---|---|
| 1 | 호남고속철도 테스트베드 인프라 측정 협조요청 | 13.12.11 |
| 2 | 호남고속철도 테스트베드 구간 인프라 측정을 위한 시험차량 운행 협조 요청 | 14.01.24 |
| 3 | 호남고속철도 테스트베드 인프라 측정시험 협조 요청 | 14.03.21 |
| 4 | 차세대 고속열차(MEMU-430X)의 호남고속철도 시운전 및 인프라 시험계획 제출 | 14.07.31 |
| 5 | 차세대고속열차(MEMU-430X)의 호남고속선 시운전 및 인프라 시험일정 제출 | 14.08.12 |
| 6 | 차세대고속열차(MEMU-430X)의 호남고속철도 시운전 및 인프라 시험계획 제출 | 14.10.22 |
| 7 | 차세대고속열차(MEMU-430X)의 호남고속철도 시운전 및 인프라 시험계획 수정안 제출 | 14.11.17 |
| 8 | 고속철도 인프라 성능시험 관련 350km/h 증속승인 요청 | 14.11.28 |
| 9 | 400km/h급 고속철도 인프라 성능시험 계획 수정(안) 제출 | 14.11.28 |
| 10 | 고속철도인프라 성능시험 관련 370km/h 증속승인 요청 | 14.12.05 |
| 11 | 고속철도인프라 성능시험 관련 390km/h 증속승인 요청 | 14.12.15 |
| 12 | 고속철도인프라 성능시험 관련 410km/h 증속승인 요청 | 15.01.28 |

② 환경소음 분야

환경소음 분야에서는 인프라 시험 및 증속과 관련된 지원 외에도 아래와 같은 3건의 지원을 수행하였다. 테스트베드 사전 소음측정 협조와 관련하여 고속차량의 운행전 궤도 진동 감쇄율을 측정하기 위한 시험계획서를 제출하고, 현장출입과 측정이 원활하게 진행되도록 지원하였다. 흡음블럭 현장부설시에는 작업계획서와 선로사용계획서를 제출하고, 현장작업이 일정에 따라 차질없이 이루어지도록 지원하였다.

<표 2-3-1-53> 환경소음 분야 지원 내용

| 구분 | 지원내용 | 일시 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 테스트베드 사전 소음측정 협조 요청 | 14.02.24 | 궤도 진동감쇄율 측정 |
| 2 | 호남고속철도 테스트베드 인프라 성과물(흡음블럭) 현장부설 협조 요청 | 14.04.29 | 시암 신호통신실 주차공간 사용 |
| 3 | 호남고속철도 테스트베드 구축(흡음블록)관련 선로사용 협조 요청 | 14.05.09 | 선로사용 |

③ 선로구축물 분야

선로구축물 분야는 측정 개소가 가장 많고, 외부에 노출된 개소도 많으므로 측정시 안전사고의 우려도 매우 많다. 따라서 현장측정 전 세부 시험계획과 안전을 제출하여 현장 계측요원의 안전을 확보하도록 하였다. 또한 안전관리자 2명을 현장 2개소(109k231 직선구간, 131k940 정읍역 분기기)에 상시 배치하여 안전교육을 실시하고, 현장 계측상황을 상시 관리하도록 하였다.

궤도와 교량 안전성은 단계별 증속시험에 매우 중요한 사항으로 증속 단계별 성능시험 보고서를 작성하여 한국철도시설공단 현장 담당자와 의 협의를 통하여 다음 단계의 증속에 따른 성능시험을 진행하였다. 선로구축물 분야의 테스트베드 구축 관련 지원 내용은 총괄 분야 지원 내용과 같다.

④ 전차선 분야

전차선 핵심부품은 400km/h 속도대역에서의 성능평가가 이루어져야 한다. 이를 위하여 해무차량 운행일정과 주행 최고속도에 대하여 일정, 횟수 등에 대하여 검토하였으며, 지상과 차상 측정을 위한 측정위치, 측정항목 등에 대한 시험계획서를 제출하고, 일정에 따라 측정이 진행되도록 지원하였다.

<표 2-3-1-54> 전차선 분야 지원 내용

| 구분 | 지원 내용 | 일시 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 1. 호남고속철도 테스트베드 인프라(전차선로) 현장 측정 협조요청 | 13.12.11 | 측정위치, 측정항목, 측정일정 |

### (다) 인프라 성능시험시 안전대책

호남고속철도 건설현장에서 개발품과 계측시스템의 설치, 그리고 현장계측시 작업차량이나 시운전 차량들로 인하여 매우 위험한 상황이 발생할 수 있다. 이를 감안하여 직선궤도(109k231)과 정읍역 분기기(131k940) 구간 2개소에 안전관리자 2명을 상시 배치하여 현장계측요원들을 통제토록 하였다.

시험운행 시작 1시간 전에 안전관리자를 통하여 현장작업자를 대상으로 안전교육을 실시하였으며, 현장 작업시에는 안전모, 안전화, 안전조끼 등 안전장구를 반드시 착용토록 하였다. 현장작업 시에는 전화, 문자 등 유·무선 통신망을 활용하여 실시간으로 현장작업자를 통제하거나, 안전과 관련한 정보를 전파하도록 하였다. 시험차량의 운행시에는 현장작업자들을 전원 안전펜스 바깥으로 이동하고 운행 종료시까지 안전구역 내에서 현장 측정 작업을 수행토록 하였다.

<표 2-3-1-55> 인프라 성능시험시 안전대책

| 안전대책 | 세부내용 |
|---|---|
| 안전관리자 배치 | - 직선궤도 109k231, 정읍역 분기기 131k940 2개 구간에 상시 배치<br>- 시험운행시 안전펜스 밖으로 이동하여 안전구역 내에서 현장작업 실시<br>- 안전모, 안전화, 조끼 등 안전장구 착용상태 점검<br>- 각종 센서, 케이블 고정상태 및 낙하물 유무 확인 |
| 안전교육 실시 | - 장소 : 전북 김제시 오정동 170-14번지 엄지식품 광장<br>- 교육시간 : 매일 시험운행 1시간 전 |
| 유무선을 활용한 실시간 안전관리 | - 전화, 문자, SNS를 활용한 계측위치별 상황 점검 |
| 차상 계측장치를 활용한 실시간 모니터링 | - 팬터그래프 계측 및 영상장치, 휠/레일 및 대차영상장치 등을 이용한 실시간 모니터링 실시 |
| 고속선 진출입 관련 취급절차 준수 | - 한국철도시설공단과 협의하여 절차 준수 |
| ATP발리스 설치 | - 진입지점 : 광주송정역 분근(KP 171) 진입예고(2개) 및 진입(2개)<br>- 진출지점 : 익산역 부근(KP 100) 진출예고(2개) 및 진출(2개) |

### (라) 모니터링 및 DB관리방안 수립

#### ① 데이터베이스 관리방안

㉮ 데이터베이스 관리방안

모니터링시스템은 지속적으로 데이터가 누적되어 연구 자료로 활용될 예정이다. 따라서 데이터베이스에 대한 운영 및 유지관리가 무엇보다도 중요한 사항이며 백업과 확장성에 중점을 두어 유지관리가 되어야한다. 설계 및 구축단계에 생성된 데이터베이스 자료는 철저한 관리가 되어야 한다. 데이터베이스 최종 산출물 자료는 다음과 같다.

- ERD 정의서
- 논리적, 물리적 데이터베이스 정의서
- 데이터사전 정의서
- 코드정의서
- 데이터베이스기초데이터 정의서
- 그 외 데이터베이스 구축 기초자료

최종 산출물은 향후 데이터베이스 확장 및 유지관리의 중요한 입력 자료로써 활용되며 데이터베이스 수정 및 확장 시 변경데이터는 항상 현행화하여 관리하여야 한다. 또한 짧은 기간에 대량의 데이터가 증가할 경우 등을 고려하여 데이터 관련 테이블에 대한 운영 관리체계를 수립하여야 한다. 상시적 관리항목은 다음과 같다.

- 시스템에 의한 스케줄링 백업 완료 여부
- 대상 테이블별 데이터량 및 증가추이 관리
- 데이터베이스서버 정상 가동 여부
- 계측 전송데이터 데이터베이스 적용 여부
- 데이터베이스 수정 및 확장 시 현행화 여부
- 상시 모니터링 주기 관리
- 담당자, 보고, 조치 등 대처 방안 관리

㉯ 향후 데이터베이스 확장 방안

모니터링시스템의 데이터베이스 테이블은 메타데이터를 보관하는 용도로 설계되었으며 장기적 관점으로 볼 때, 짧은 기간에 대량의 데이터가 증가할 경우 시스템 작동이 중단되거나, 사용이 어려울 수 있는 위험이 예상되므로 데이터 증가에 대한 모니터링 및 대응을 위한 운영관리 체계수립이 요구되며 추후 데이터베이스 대용량에 대비하여 빅 데이터 처리를 위한 설계와 대비책을 추가 과제에서 수행할 필요가 있으며 추진방향은 설정되어 있으나 상세계획이 구체화되지 않았으므로 추후 연구개발 과제 시 추진전략과 구체적인 방안, 방법 등의 상세한 세부계획 수립 및 설계가 필요하다.

#### ② 모니터링시스템 관리방안

㉮ 모니터링시스템 관리방안

모니터링시스템은 웹으로 구축되어 있고 시스템 성능 또한 만족한 수준이다. 그러나 추가적인 기능개선의 필요성이 있는지는 시스템을 운영하면서 지속적으로 모니터링 해야 한다. 또한 최종적으로 시스템 사용자 만족도를 조사하고 추가 개선해야 할 사안이 있는지를 파악하여 시스템 개선에 반영하여야 할 것이다. 다음은 모니터링시스템의 안정적 운영을 위한 관리방안 내용이다.

- 모니터링시스템 개발 시 작성한 산출물의 무결성 보장을 위한 현황화 작업 수행으로 오류수정, 정합성 개선 등 작업 결과물에 대한 형상통제
- 모니터링시스템의 하자보수기간 동안의 안정적인 시스템 운영을 위한 기술 이전방안을 마련
- 모니터링시스템에 대한 안정적 운영을 위해 하자보수 기간 동안의 유지보수 지원요건 내용을 구체화하여 확립
- 모니터링시스템에 대한 사용자 시스템 만족도 조사 실시 및 시스템 기능의 추가개선 사항 파악 후 시스템 개선에 반영
- 시스템 운영일지를 작성하고 시스템 장애에 대한 대처 방안을 시나리오별로 준비 및 테스트 실시
- 완성된 시스템의 전체 소스코드는 개발자로부터 확보하여 CD로 보관하고 구축시스템의 형상관리를 위한 Baseline으로 사용
- 완성된 시스템의 기능의 완전성과 무결성을 추가확인 하고 대응계획 수립

㉯ 모니터링시스템 보안관리 방안

모니터링시스템은 보안 및 안정적 운영을 위해 각 시스템 별로 설치 소프트웨어에 대한 정보를 목록화하고 지속적인 관리가 필요하며 웹서비스의 문제점 중의 하나인 소스코드에 대한 취약점 점검이 필요하다.

- 취약한 버전의 S/W 설치 여부 확인하여 최신 버전으로 업그레이드하도록 하고 향후 지속적인 관리를 위해 전체 시스템별로 설치된 소프트웨어와 버전을 목록화하여 지속적인 관리
- 안전한 소프트웨어 개발 및 운영을 위해 정보시스템 구축·운영 지침을 준수하고 소스코드 취약점에 대한 점검항목을 보완하고 진단을 수행
- 관리적, 기술적, 물리적 보안 설계 및 문서화 방안 수립

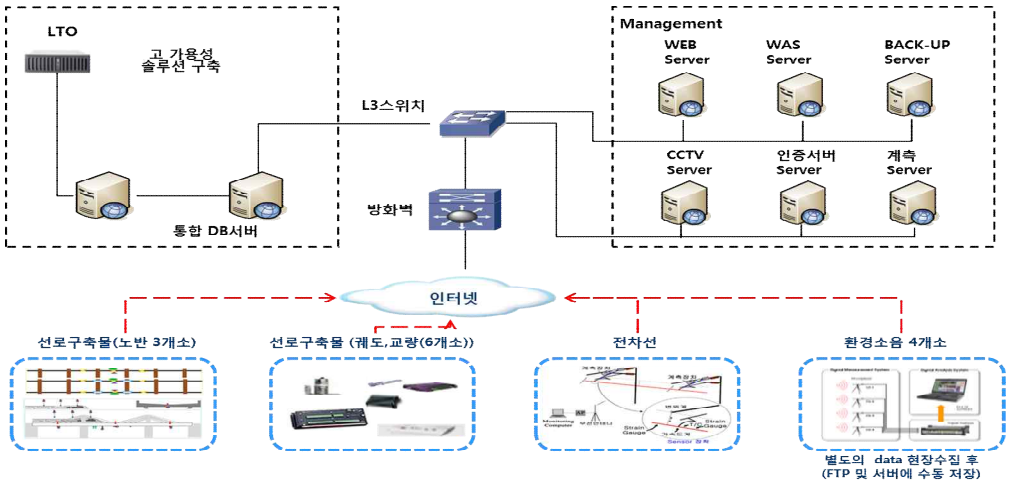
(5) 테스트베드 DB개발 및 운영환경 구축

(가) 테스트베드 통합 모니터링 시스템 개발

① 구축목표 및 시스템 요구사항

㉮ 목표시스템

통합 모니터링 시스템은 각 분야별 현장 데이터 수집시스템과 연동하여 계측 데이터를 수집, 분석 및 DB와 스토리지에 저장하고, 테스트베드 구간의 상황을 모니터링 하여 필요시 상세한 원인 분석을 위해 Trace Back이 가능하며, 이를 위해 필요한 데이터를 일정기간 안전하게 저장할 수 있어야 한다. 각 현장데이터 수집 시스템은 인터넷으로 연동하여 표준화된 프로토콜에 의해 이루어지며, 정보의 수집 및 범위에서 데이터를 인터넷을 통하여 수집하도록 구성하여야 한다. 또한 외부의 비인가 접속자 및 해킹 등에 대해 안전하도록 인증된 보안 시스템을 가져야 하며, 향후 연구 기간에 따른 시스템 확장성을 고려하여 계획되어야 한다. 아래 그림은 통합 모니터링 시스템의 구축목표에 따른 최적 시스템을 도식화하였다.




<그림 2-3-1-26> 통합 모니터링 시스템 개념도

㉯ 시스템 요구사항

현장데이터 수집시스템과 통합 모니터링 시스템은 대량의 동적/정적 센서 데이터를 수집 하여 저장하고 이를 분석한 후 이벤트 발생 및 처리 등을 효과적으로 처리하기 위해 계층화 되고 모듈화 된 공통 구조를 채택한다. 각 시스템의 요구사항은 다음과 같다.

- 모니터링 하는 대상 구조물에 대한 기반정보와 통합시스템 상에서 중앙 집중 모니터링이 되어야 하며, 장애 발생 시 조기 확인이 가능한 구조를 제공한다.
- 독립적 운용 및 확장 가능한 플랫폼으로 기능, 인터페이스, 데이터/이벤트/서비스 처리 Rule의 확장이 가능하게 한다.
- 통합 모니터링을 위해 다수의 네트워크 간 연동이 용이한 구조로 한다.

## ② 통합 모니터링 시스템 구조

### ㉮ 통합 모니터링 시스템 구조

테스트베드 13개소 구간에 대한 통합 모니터링 시스템의 구성은 분야별 수집 데이터의 용량 분석을 통하여 저장공간 및 이중화 규모를 결정하였으며, 통합 모니터링 시스템에 대한 세부 하드웨어(스토리지, LTO, 서버군 등) 규격은 최신 정보 기술추세 및 동향 분석, 자문회의 등을 통해 결정하였다.

▪ 데이터의 안정성 및 시스템 관리 용이성 확보

- 분야별 데이터 용량 분석을 통한 저장장치 선정 및 자동백업 시스템 구축
- 시스템 내 장애 발생을 고려한 이중화 운영시스템 구성
- 원거리에 분산된 모니터링 테스트베드 13개소를 고려하여 중요장소 CCTV를 통한 현장상황 대처 시스템 구성
- 웹서버를 통한 시스템 관리로 접근성 및 효율성 증대

▪ 보안 및 확장성

- 관리자, 사용자, 인증, 암호화 시스템 구축 및 시스템 확장성 제공
- 방화벽 구축으로 독립적 운용 및 확장 가능한 플랫폼 제공

### ㉯ 통합 모니터링 시스템 구축 일정

호남고속철도 테스트베드 통합 모니터링 시스템 구축은 기본 설계안을 바탕으로 2012년 11월 3차년도 연구과제로 본격적으로 시작하여 2014년 8월에 완료하였다. 통합 모니터링 시스템은 H/W 구축과 UI 웹프로그램 및 DB 구축 두 가지로 분류되어 진행되었다

<표 2-3-1-56> 통합 모니터링시스템 구축 일정

| 내용 | 3차년도 | | | | | | | | | | | | 4차년도 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2012 | | 2013 | | | | | | | | | | | | 2014 | | | | | | | | | |
| | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 통합모니터링 시스템 구축 착수 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 선행 시스템 조사 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 통합/기타 서버군 장비검토 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 스토리지 용량검토 및 장비검토 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 네트워크 장비검토 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 방화벽 장비검토 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DB상용 프로그램 검토 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 통합시스템 장비 및 소프트 구매 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 통합 상황실 구축 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 통합 상황실 장비배치 및 장비 설정 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CCTV 현장조사 및 설치, 연결 | | | | | | | | | | | | | 현장조사 | | | | | | | | | 설치 | | |
| UI시스템 개발 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 통합 DB개발 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 통합 UI 및 DB 확장 개발 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 통합시스템 현장 및 분야별 요구정의 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 인수시험 및 교육, 인수인계 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 프로그램 매뉴얼 제작 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 하드웨어 지침서 제작 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 유지관리 방안 수립 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 홍보카달로그, 브로셔 제작 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

### ③ 통합 모니터링 시스템 H/W 구축

㉮ 통합 서버 및 기타 서버 검토

통합 모니터링 서버는 시스템 중 가장 핵심이 되는 서버이다. 통합 서버는 시스템의 모든 제어 관리 등을 수행하는 서버이며 실제 관리자가 사용할 서버이기도하다. 통합 서버는 모든 서버를 제어하기 위해 충분한 성능이 확보 되어야 한다. 다음은 통합 서버 및 기타 서버의 적정 성능을 분석하기 위한 CPU 공인 추정 성능치 조사 결과이다. 공인추정 성능치란(tpmC :Tracnsaction Per Minute) 동시 사용자 수, 트랜잭션 수, 피크타임 보정값, CPU 부하 보정값, 데이터베이스 크기, 어플리케이션 복잡도 보정 값/구조 보정/부하보정 값, 클러스터 등을 계산하여 나온 값이며, 이 값은 서버의 CPU 성능의 지표 값이 된다. 아래 표는 CPU종류별 tpmC 계산값과 통합모니터링 시스템에 적용한 tpmC 값이다.

<표 2-3-1-57> CPU별 tpmC

| 시리즈 | 프로세스번호 | Cache(L3) | 클럭속도 (GHz) | 코어 타입 | 탑재 CPU수 | 코어수 | tpmC | DDR3 Speed |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E3 | E3-1280 | 8MB | 3.50GHz | Quad | 1 | 4 | 422,885 | 1333 |
| E3 | E3-1270 | 8MB | 3.40GHz | Quad | 1 | 4 | 415,005 | 1333 |
| E3 | E3-1240 | 8MB | 3.30GHz | Quad | 1 | 4 | 404,499 | 1333 |
| E3 | E3-1230 | 8MB | 3.20GHz | Quad | 1 | 4 | 396,619 | 1333 |
| E3 | E3-1220 | 8MB | 3.10GHz | Quad | 1 | 4 | 330,954 | 1333 |
| E3 | E3-1220 | 3MB | 2.2GHz | Dual | 1 | 2 | 64,426 | 1333 |

<표 2-3-1-58> 통합 모니터링 서버군 성능

| 서버 | CPU | 메모리 | tpmC |
|---|---|---|---|
| 통합DB서버 | 2CPU 16 Core, 2.9GHz | 64GB | 1,503,471 |
| 계측서버 (노반, 궤도, 교량) | 2CPU 16 Core, 2.4GHz | 32GB | 1,314,111 |
| 계측서버 (전차선, 환경소음) | 2CPU 16 Core, 2.4GHz | 32GB | 1,314,111 |
| 백업서버 | 1CPU 8 Core, 2.4GHz | 16GB | 1,314,111 |
| 인증서버 | 1CPU 8 Core, 2.4GHz | 16GB | 1,314,111 |
| 웹 서버 | 1CPU 8 Core, 2.4GHz | 16GB | 1,314,111 |
| WAS 서버 | 1CPU 8 Core, 2.4GHz | 16GB | 1,314,111 |

호남 고속철도 통합 모니터링 서버는 장기간 확장성 및 유지관리성, 고가용성 등 여러 가지 부분을 검토하여 선정되었다. 서버 선정을 위해선 먼저 자료를 조사하고, 서버 선정 관련 자문회의를 개최하였다 다음 그림은 장비 검토 자문회의 전경이다.



<그림 2-3-1-27> 서버 장비 검토 자문회의

서버 선정의 주안점은 보안, 확장, 유지관리, 성능, 경제성 등에 중점을 두고 검토하였으며, 통합 모니터링 서버는 가격 대비 적정한 성능 수준에서 선정하였다. 가장 메인이 되는 통합 DB서버는 2CPU에 16코어 이상 64GB 메모리의 고 사양으로 선정하였으며, 나머지 계측, 백업, 인증, 웹, WAS 서버는 각 서버의 용도를 정확히 수행할 수 있도록 선정 하였다.

통합 서버 및 계측서버, 기타서버인 HP Proliant Gen8 제품군은 다음과 같은 특장점이 있다.

<표 2-3-1-59> 통합 서버 및 계측서버, 기타서버 특장점

| 기능 | 내용 |
|---|---|
| Smart Socket | 메인보드 장애 요인 사전에 예방 |
| Smart Memory | 고효율 저전력 메모리 |
| Smart Carrier | 데이터 손실을 미연에 방지 |
| Smart Update | 자동으로 툴 업데이트 |
| Flexible LOM | NIC CARD 마더보드 탈부착 |
| FlexFabric | 차세대 CNA FcoE 카드 내장 |
| 3D Sea of Sensor | 3D 에너지 사용량 트래킹 |
| FBWC Standard | FBWC Standard |
| Intelligent Provisionig | Firmware / Driver 자동 설치 |
| Agentless Management | 하드웨어 모니터링 |
| Active Health System | 1600 파라미터로 상시 모니터링 |

㈏ 스토리지 용량 산정 및 장비 검토

스토리지 장비 선정은 분야별 계측데이터의 용량을 고려하여 향후 계측기간 조정에 따른 시스템 확장성과 관리 용이성을 고려하였으며, 저장장치로써 데이터의 망실 우려가 없도록 안정성 및 신뢰성 있는 제품으로 구성하였다. 또한 향후 유지관리성 및 확장성에도 유리한 제품은 선정 하였다. 최종적으로 검토된 스토리지는 실무회의 및 자문회의를 통해 검증되어 선정 하였다.

테스트베드에 설치될 센서 및 로거의 계획을 바탕으로 테스트 베드 분야별 데이터 용량을 산출하였으며, 산출된 데이터 용량을 근거로 스토리지 용량을 산출하였다. 분야별 데이터 용량은 다음과 같다.

<표 2-3-1-60> 데이터용량 합계

| 분야 | | 용량(GB) |
|---|---|---|
| 환경소음 | | 41.4 |
| 선로구축물 | 노반 | 255.9 |
| | 교량 | 127.1 |
| | 궤도 | 380.5 |
| 전차선 | | 210.0 |
| 합계 | | 1,015 |

스토리지 용량은 6가지 부분을 고려하여 용량 산출을 하였다. 다음 표는 스토리지 용량산출 시 고려사항이다.

<표 2-3-1-61> 스토리지 용량계산 고려사항

| 용량 산출시 고려사항 | 내용 |
|---|---|
| RAW 데이터 영역 | 계측 데이터의 기본자료 공간 |
| 백업 영역 | 계측 데이터 기본자료 백업 공간 |
| 시스템 파일 여유율 | 스토리지 시스템 프로그램 공간 |
| RAID 여유율 | 스토리지 고장 파손 대비를 위한 디스크 중복 배열 공간 |
| 데이터 여유율 | 계측 데이터 추가 시 여유 공간 |
| 확장성 | 추후 공구 및 센서 추가 시 확장 부분 |

▪ 스토리지 용량 산출

[(Raw데이터영역 + DB데이터영역(Raw데이터×5)) + (백업영역)] × 파일시스템 여유율(1.1) × RAID여유율(1.3) × 데이터여유율(1.2) × 확장성(1.2) = 스토리지 총용량

[ [ 1,015 + ( 1,015×5 ) ] + 6,090 ] × 1.1 × 1.3 × 1.2 × 1.2 = 25,081GB = **25TB**

테스트베드 통합모니터링 시스템 스토리지 예상 용량은 약25TB으로 이중화 백업을 위해 총 50TB로 산정하였다.

스토리지 장비 선정시 구성의 유연성, 관리의 용이성, 성능 및 확장성, 고 가용성, 이중

화, 안전성, 전력 소모, 스토리지 로딩 속도 등을 고려하였다.

<표 2-3-1-62> 스토리지 선정 고려사항

| 고려사항 | 내용 |
|---|---|
| 구성의 유연성 | 디스크 사이즈 혼합 구성기능, 디스크 혼용 가능, 다양한 OS지원여부 |
| 관리의 용이성 | 관리 솔류션 제공 여부, GUI 콘솔 관리 여부, 원격 모니터링 지원 여부 |
| 성능 및 확장성 | 유연한 확장성 지원여부, 포트 확장 여부, 성능 최적화 솔류선제 공여부 |
| 고 가용성 | 부품의 이중화 여부, 데이터 이중화 여부, 펌웨어 지원 여부 |
| 이중화 | 스토리지 공간의 이중화 여부 |
| 안전성 | 최소한의 외부 충격에 잘버티는지 여부 |
| 전력 소모 | 전력을 소모량이 높은지 여부 |
| 스토리지 로딩 속도 | 스토리지 검색 시 로딩속도 |

선정된 스토리지 및 기능은 다음과 같다.

<표 2-3-1-63> 테스트베드 통합 DB 스토리지

| 구분 | 기능 및 특징 |
|---|---|
| 제품명 | HP P2000 G3 MSA FC Dual Cntrl LFF Array |
| 제조사 | HP |
| 전경 |  |
| 옵션기능 | ▪ HP P2000 16TB 6G SAS 7.2K 3.5in MDL HDD<br>▪ HP P2000 Dual I/O LFF Drive Enclosure<br>▪ HP P2000 14TB 6G SAS 7.2K 3.5in MDL HDD<br>▪ HP Install MSA Array & Enclosure SVC<br>▪ HP 3y 4h 24x7 MSA2000 Enclosure HWSupp<br>▪ HP Install MSA Array & Enclosure SVC<br>▪ HP 3y 4h 24x7 MSA 2000 G3 HWSupp<br>▪ HP 15m Multi-mode OM3 LC/LC FC Cable<br>▪ HP 82Q 8Gb Dual Port PCI-e FC HBA |
| 특징 | ▪ 스토리지 만의 ASIC을 통해 강력한 하드웨어 기반의 I/O 성능과 진보된 Thin 자동 구현 기능이 번들 제공<br>▪ Thin Built in Zero Detect<br>- 미사용 영역(zero)을 감지하여 가장 진보된 Provisioning 지원<br>- 자동 Thin Reclaim을 지원<br>- 사용 현황의 정확한 모니터링<br>▪ Tightly-Coupled Cluster High Bandwidth, Low Latency Interconnect<br>- 각 Controller node에 분산 배치<br>- 높은 대역폭의 Full Mesh Backplane 과 연결 |

㉰ 방화벽 및 네트워크 장비 검토 및 구축

네트워크 구성은  상단에 라우터 기능을 동시에 가지고 있는 L3스위치 장비를 구성하였다. L3 스위치 검토 내역은 아래 <표>에 나타내었다.

<표 2-3-1-64> L3 스위치 검토 내역

| 구분 | 상세내역 |
|---|---|
| 장비 | 각 Service Zone과의 고속스위칭을 제공하기 위한 고용량 L3 스위치 1식 |
| 망 | L3 스위치 상단망은 10Giga Ethernet으로 하단망은 1Giga Ethernet으로 구성 |
| 이중화 방안 | 구성 내부의 모든 장비는 공통 설계방향의 이중화 설계 기준을 준수하여 설계함<br>L3 스위치는 Active/Standby 또는 Active/Active로 구성 |
| 라우팅 방안 | 각 Zone에서 인터넷으로 나가는 경로는 Static Routing Protocol인 Default Gateway를 설정하여 구성 |

선정된 L3스위치는 위의 <표>와 같은 요구사항을 만족하는 장비를 구축하였으며 통합서버와 호환성을 고려하여 선정하였다.

<표 2-3-1-65> L3 스위치 사양

| 구분 | 상세사양 |
|---|---|
| 대기시간 | 1000Mb 지연: 3.2μs 미만<br>10Gb/s 지연: 2.6μs 미만 |
| 관리특징 | IMC - 인텔리전트 관리 센터 ,CLI(명령줄 인터페이스)<br>웹 브라우저 , SNMP 관리자 , IEEE 802.3 이더넷 MIB |
| 작동 온도 | 0~45℃ |
| 작동 습도 | 10~90%(비응결) |

테스트베드 통합 모니터링 시스템은 공개 시스템이 아니다. 이는 보안이 매우 중요하며 내부 자료의 유출 및 복제 등에 대한 대책이 중요 하다. 아래 <표>는 보안 방화벽의 필요 요구사항 이다.

<표 2-3-1-66> 보안 방화벽 요구사항

| 구분 | 요구사항 |
|---|---|
| FireWall | ▪ VLAN 별 정책관리<br>▪ BlackList IP 설정/ 차단 (예외목록 설정)<br>▪ Policy Based QoS(Traffic Shaping)<br>▪ Schedule Based Policy(일회, 매일, 매주, 매월, 매년, 기간)<br>▪ 정책별 Session 수 제한 기능<br>▪ 소스 IP 당 Session 수 제한 기능<br>▪ Internal Database<br>▪ External Database(RADIUS 연동 등) |

| 구분 | 요구사항 |
|---|---|
| | ▪ 내부 ID/ Password<br>▪ 내부 OTP 인증<br>▪ 방화벽 기록 출력기능 |
| IPS | ▪ 보안위협 모니터링 및 분석, Signature 제작 대응능력 보유<br>▪ 각종 위협에 대한 24시간 모니터링 및 분석/ 대응<br>▪ Emergency 대응체제 보유<br>▪ Zero-Day Attack 방어<br>▪ 좀비 악성코드 모니터링 및 탐지<br>▪ MicroSoft 보안패치공지 이전 취약점 정보공유<br>▪ 폐쇄망 업데이트 지원<br>▪ 공격탐지, 방어 Signatures<br>▪ 취약점 악용 공격방어<br>▪ 네트워크 기반 공격방어<br>▪ 악성코드 공격방어 |

보안 방화벽 프로그램은 위 표와 같은 요구사항을 만족해야하며, 유지 관리 성이 중요하다. 방화벽 프로그램은 위 요구사항을 만족하는 프로그램으로 검토하였다. 다음<표>는 보안 방화벽 사용성 검토이다.

<표 2-3-1-67> 보안 방화벽 사용성 검토

| 구분 | 제품명 | 사용성 |
|---|---|---|
| 1 | 안랩 : TrusGuard500P | 국가망 |
| 2 | 시큐아이 : MF2 1000 | 국가망 |
| 3 | 주니퍼 : SSG140 | 공공기관 |

주니퍼 네트웍스 SSG140보안 서비스 게이트웨이 (Secure Services Gateway)는 중간 규모의 지사와 기업 구축을 위해 탁월한 성능, 보안, 라우팅 및 LAN/WAN연결 기능을 완벽하게 결합한 맞춤형 보안 장비이다. Stateful 방화벽, IPSec VPN (IPSecurity Virtual Private Network ), IPS (Intrusion Prevention System), 바이러스 차단 (스파이웨어/애드웨어/피싱 차단 포함), 스팸 차단 및 웹 필터링을 포함한 포괄적인 UTM (UnifiedThreat Management)보안 기능들을 통해 지사 또는 공공기관 및 기업에서 수행되는 트랜잭션을 웜, 스파이웨어, 트로이 목마 및 악성 코드로부터 보호 한다.

㈑ 데이터베이스 프로그램 (DBMS, 오라클)

테스트베드의 대용량 계측데이터를 여러 사람들이 공유하고 사용할 목적으로 통합관리하는데 있어서 데이터베이스는 매우 중요하다. 논리적으로 연관된 하나 이상의 자료의 모음으로 그 내용을 고도로 구조화함으로써 검색과 갱신의 효율화 작업, 즉, 몇 만개의 자료로서 각 사용자는 같은 데이터라 할지라도 각자의 응용 목적에 따라 다르게 사용할 수 있다.

본 연구에서는 최적화, 효율성, 확장성 등 데이터베이스의 특징을 분석하여 최적의 실시간 접근성, 지속적인 접근성, 변화, 동시 공유, 내용에 대한 참조 등, 주요 사양을 고려하여 다음과 같은 데이터베이스를 선정하였다.

- 데이터 중복 최소화 기능
- 데이터 공유 기능
- 일관성, 무결성, 보안성 유지
- 최선의 데이터 유지 및 관리 기능
- 데이터의 표준화 기능(확장성)
- 데이터의 논리적, 물리적 독립성
- 용이한 데이터 접근 기능
- 데이터 저장 공간 절약

또한, 데이터베이스는 다음과 같은 ACID 규칙을 만족해야 한다.

- 원자성(Atomicity) : 한 트랜잭션의 모든 작업이 수행되는지, 아니면 하나도 수행되지 않아야 한다. 트랜잭션이 제대로 실행되지 않았으며 롤백(roll back) 한다.
- 일관성(Consistency) : 모든 트랜잭션은 데이터베이스에서 정한 무결성(integrity) 조건을 만족해야 한다.
- 격리성(Isolation) : 두 개의 트랜잭션이 서로에게 영향을 미칠 수 없다. 트랜잭션이 실행되는 동안의 값은 다른 트랜잭션이 접근할 수 없어야 한다.
- 내구성(concurrency control) : 트랜잭션을 안전하게 처리하고 ACID 규칙을 만족시키는 기술이다.

본 연구에서는 위와 같이 만족하는 데이터베이스 프로그램을 오라클 11g로 선정하여 데이터베이스를 설계하고, 스토리지, 서버군과 이중화를 하여 대용량 계측데이터의 안정성을 높였고, 향후 확장성을 제공할 수 있도록 하였다.

### ② 통합 UI 웹프로그램 개발

#### ㉮ 통합 UI 웹 프로그램 요구사항

테스트베드 통합 모니터링을 위한 웹 프로그램은 다음과 같은 요구사항을 만족하도록 개발하였다.

- 모든 데이터는 데이터베이스화 하여 저장 한다.

기본적으로 계측데이터는 시계열 데이터이다. 따라서 데이터의 체계화 및 분석과정을 용이하게 하기 위해서는 데이터베이스화는 필수 과정이며, 서버 프로그램은 이러한 측정 데이터를 체계적으로 데이터베이스화 하여야 한다.

- 계측 데이터의 기본적 분석 기능이 내장 되어야 한다.

통합 테스트베드 같은 경우 활용·도입될 수 있는 분석 기법은 다양하게 있을 수 있으나 센서 경고등의 정량화된 등급으로 분류할 수 있는 분석기법은 필수적으로 서버 프로그램에 내장 되어야 한다. 특히 분석기법등을 이용한 관리기법등은 기본적으로 탑재 되어야 한다.

- 센서의 속성 정보 추가, 수정, 삭제 등의 관리가 될 수 있어야 한다.

센서의 속성정보는 기본적으로 프로그램에서 설정 가능해야 한다. 센서 망실 및 보수, 추가시 관리자는 개발사의 도움 없이 바로 설정이 가능해야 능동적 센서 정보 관리가 가능하다.

- 경보 및 상황전파 등이 분석 모듈과 연계되어 운영될 수 있어야 한다.

유지관리 시 계측 목적중 하나가 센서 기반 경고 상황 대응 및 대처이기 때문에 서버 프로그램은 분석모듈에서 발생된 경고를 관리자, 관계자 등에게 SMS, MMS, Email, 화면, 소리 등으로 전달될 수 있어야 한다.

- 모든 UI는 사용자 편의성을 고려해야한다.

- 사용자 등급을 분류해야 한다.

㉯ 개발 환경 구축

개발단계로 들어가기에 앞서 개발환경을 구축해야 한다. 개발 환경에는 범용적으로 가장 많이 쓰이는 운영체제(OS ; Operating System)는 Windows 7을 사용하였다. 웹 프로그래밍언어 선정은 ASP.NET C#을 채택하였기 때문에 Visual Studio 2010 개발 툴을 사용하여 개발 시 호환성이 좋아 컴파일과 디버깅이 원활하게 이루어질 수 있도록 하였다. 다음 <표>는 개발 환경에 대한 항목이다.

<표 2-3-1-68> 개발환경 툴

| 구분 | 개발환경 툴 | |
|---|---|---|
| Operating System | Microsoft Windows 7 |  |
| Development Tool | Microsoft Visual Studio 2010 |  |
| Development Language | ASP .Net C# |  |
| WAS(Web Application Server) | Internet Information Server (IIS) |  |

웹 프로그램은 범용적으로 많이 사용하는 Microsoft Windows Server OS에 가장 특화되어 있는 ASP.Net을 이용하여 개발하였다. ASP.Net은 프로그램 초기 개발 난이도가 높은 대신 확장성과 유지보수에 편리함을 가지고 있으며, 큰 규모에서 사용이 가능하다. 또한, ASP.Net에서 사용하는 웹서버인 Internet Information Server(IIS)의 경우 Apache Tomcat Server와 같이 제약이 발생하여 Websphere 등의 유료프로그램의 추가가 필요없다는 장점을 가지고 있다. 다음 표는 웹 프로그래밍 언어 중 가장 많이 쓰이는 ASP.NET , JSP , PHP의 특장점 이다.

<표 2-3-1-69> 웹 프로그래밍 언어중 가장 많이 쓰이는 ASP.NET , JSP , PHP의 특장점

| 구 분 | ASP.Net | JSP | PHP |
|---|---|---|---|
| 특 징 | MVC(ModelView Controller) 지원으로 쉬운 유지보수가 가능하며 확장성이 뛰어남 | 직접 HTML코드를 소스안에 작성하므로 코딩속도가 빠르지만, 별도 프레임워크 설치가 필요해 개발 및 유지보수에는 다소 불편 | 컴파일(Complie)과정이 필요없는 구조로 빠른 개발이 가능 |
| | Windows Server OS와 최적의 환경을 지원 | 모든 환경에서 동작 가능하지만 특별히 최적화된 환경은 없음 | Linux Apache Web Server와 최적 환경을 이룸 |
| 사용 기반 언어 | C# | JAVA | C |
| 구동 가능 규모 | 중,대규모 이상 사이트 | 중,대규모 이상 사이트 | 중,소규모 이상 사이트 |
| 프로그램 난이도 | 上 | 中上 | 下 |

㉰ 사용자 인터페이스 개발

사용자 인터페이스 개발을 위해 국내외 현황을 조사하였다. 조사된 결과를 바탕으로 사용자 인터페이스를 개발하였으며, 실무진 회의를 통해 사용자 인터페이스를 확정하였다. 사용자 인터페이스 개발을 위한 실무회의는 총 7번 개최하였다.

- 1차 실무자 회의 ( 장소 : 철도 기술 연구원, 일시 : 2013. 1.21 )
- 2차 실무자 회의 ( 장소 : 철도 기술 연구원, 일시 : 2013. 1.28 )
- 3차 실무자 회의 ( 장소 : 철도 기술 연구원, 일시 : 2013. 2.14 )
- 분야별 1차 실무자 방문 및 회의( 장소 : 각 세부 방문, 일시 : 2013. 3.04 ~ 3.05 )
- 웹 개발 1차 발표( 장소 : 철도시설공단(대전), 일시 : 2014.3. 19)
- 웹 발표관련 의견사항 수립 ( 2013.4.05. )
- 통합 모니터링 시스템 자문회의( 장소 : 철도 기술 연구원 2013.5.15. )
- 분야별 2차 실무자 방문 및 회의( 장소 : 각 세부 방문, 일시 : 2013. 7.04 ~ 7.09 )

아래 그림은 통합 모니터링 시스템 웹 프로그램 사용자 인터페이스 구성 내용이다. 시스템 개요는 테스트베드 개요, 테스트베드 현황, 통합모니터링 개요, 통합모니터링 현황으로 구성되었다. 시스템 관리는 일정관리, 열차관리, 데이터 수신 관리, 사용자 관리 등으로 구성되었다. 업무관리와 데이터관리 보고서 관리는 각 세부 분야별로 구성되었으며, 테스트베드 설계자료는 사진관리, 도면 관리, 정비관리, 기타 자료 관리로 구성되었다.




<그림 2-3-1-28> 통합 모니터링 시스템 웹 프로그램 사용자 인터페이스 구성

통합 모니터링 시스템 웹 프로그램의 구성은 대 구분으로 시스템 개요, 시스템 관리, 업무 관리, 데이터 관리, 보고서 관리로 구성하였으며 각 항목별 계층구조로 세부 항목을 설계하였다.

<표 2-3-1-70> 개발된 웹 프로그램 구성

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 시스템개요 | 테스트베드개요 | Test_Bed 추진배경<br>Test_Bed 구축필요성<br>호남고속철도 건설현황 및 노선<br>호남고속철도 운행 차량 성능 제원<br>연구 분야별 소개, Test_Bed 구조물 현황 |
| | 테스트베드 현황 | 호남 고속철도 Test_Bed 현황 설명( 각 위치별 공구 소개 )<br>각 공구별 설치 센서 수량 및 목적 평가항목 등 소개 |
| | 통합모니터링 개요 | 통합모니터링 시스템 구축 추진배경 및 필요성<br>통합모니터링 시스템 구축 장점 |
| | 통합 모니터링 현황 | 통합 모니터링 시스템 H/W 구성 소개<br>통합 모니터링 시스템 S/W 구성 소개 |
| 시스템관리 | 일정관리 | Test_Bed 시험 일정 입력 및 관리 |
| | 열차관리 | Test_Bed 열차 운행 일정 입력 및 관리 |
| | 데이터수신 관리 | 시험 결과 데이터 업데이트 관리 |
| | 세부관리 | 각 세부 별 담당자 알림 및 업무 그룹웨어 관리 |
| | 사용자 관리 | 각 세부 별 담당자 알림 및 업무 그룹웨어 관리 |
| 업무관리 | 환경소음 | 환경소음 분야 업무 일정 관리 |
| | 노반 | 노반 분야 업무 일정 관리 |
| | 교량 | 교량 분야 업무 일정 관리 |
| | 궤도 | 궤도 분야 업무 일정 관리 |
| | 전차선 | 전차선 분야 업무 일정 관리 |
| 데이터관리 | 환경소음 | 환경소음 분야 데이터 관리 |
| | 노반 | 노반 분야 데이터 관리 |
| | 교량 | 교량 분야 데이터 관리 |
| | 궤도 | 궤도 분야 데이터 관리 |
| | 전차선 | 전차선 분야 데이터 관리 |
| 보고서관리 | 환경소음 | 환경소음 분야 보고서 관리 |
| | 노반 | 노반 분야 보고서 관리 |
| | 교량 | 교량 분야 보고서 관리 |
| | 궤도 | 궤도 분야 보고서 관리 |
| | 전차선 | 전차선 분야 보고서 관리 |

㉮ 통합 모니터링 시스템 그룹웨어 개발

통합 모니터링 시스템은 접근이 제한된 시스템이며 원천적으로 외부에서 침입이 불가하고 허가된 사용자만 접근 가능하다. 허가된 사용자들은 공통된 분야의 업무를 수행할 것이므로 업무 간 연계가 매우 중요하다. 이러한 업무 간 연계를 위해 통합 모니터링 시스템은 그룹웨어를 개발 하였다. 그룹웨어를 설정하기 위해선 사용자의 접근 등급을 분류할 필요가 있다. 등급이 분류된 사용자는 일부 기능을 제한하며 슈퍼바이저에 의해 통제 되도록 하여야한다. 다음은 등급이 분류된 사용자 표이다.

<표 2-3-1-71> 사용자 등급 분류

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="3">상세권한</th></tr>
<tr><td rowspan="6">게스트 1등급</td><td>시스템 개요</td><td colspan="2">일부자료 읽기 기능</td></tr>
<tr><td>시스템 관리</td><td colspan="2">접근 권한 없음</td></tr>
<tr><td>업무 관리</td><td colspan="2">접근 권한 없음</td></tr>
<tr><td>데이터 관리</td><td colspan="2">일부자료 읽기 기능</td></tr>
<tr><td>보고서 관리</td><td colspan="2">일부자료 읽기 기능</td></tr>
<tr><td>테스트베드설계자료</td><td colspan="2">일부자료 읽기 기능</td></tr>
<tr><td rowspan="6">게스트 2등급</td><td>시스템 개요</td><td colspan="2">일부자료 읽기 기능</td></tr>
<tr><td>시스템 관리</td><td colspan="2">접근 권한 없음</td></tr>
<tr><td>업무 관리</td><td colspan="2">접근 권한 없음</td></tr>
<tr><td>데이터 관리</td><td colspan="2">접근 권한 없음</td></tr>
<tr><td>보고서 관리</td><td colspan="2">접근 권한 없음</td></tr>
<tr><td>테스트베드설계자료</td><td colspan="2">접근 권한 없음</td></tr>
<tr><td rowspan="6">사용자 1등급</td><td>시스템 개요</td><td>읽기</td><td rowspan="6">타 분야<br>접근 가능</td></tr>
<tr><td>시스템 관리</td><td>읽기</td></tr>
<tr><td>업무 관리</td><td>읽기, 쓰기</td></tr>
<tr><td>데이터 관리</td><td>읽기, 쓰기</td></tr>
<tr><td>보고서 관리</td><td>읽기, 쓰기</td></tr>
<tr><td>테스트베드설계자료</td><td>읽기, 쓰기</td></tr>
<tr><td rowspan="6">사용자 2등급</td><td>시스템 개요</td><td>읽기</td><td rowspan="6">타 분야<br>접근 불가</td></tr>
<tr><td>시스템 관리</td><td>읽기</td></tr>
<tr><td>업무 관리</td><td>읽기, 쓰기</td></tr>
<tr><td>데이터 관리</td><td>읽기, 쓰기</td></tr>
<tr><td>보고서 관리</td><td>읽기, 쓰기</td></tr>
<tr><td>테스트베드설계자료</td><td>읽기, 쓰기</td></tr>
<tr><td rowspan="6">슈퍼 바이져</td><td>시스템 개요</td><td colspan="2" rowspan="6">모든 권한 사용</td></tr>
<tr><td>시스템 관리</td></tr>
<tr><td>업무 관리</td></tr>
<tr><td>데이터 관리</td></tr>
<tr><td>보고서 관리</td></tr>
<tr><td>테스트베드설계자료</td></tr>
</table>

최종 슈퍼바이저는 그룹웨어의 총괄 관리를 수행할 것이며. 다음과 같은 권한이 주어진다.

- 접속한 ID 확인
- 접속한 ID 그룹 메시지 전송
- 접속한 ID 동시 토의 가능 대화창 열람
- 이상 접속자 접속 차단

- 슈퍼바이저 지정된 사용자에게 업무 일정 동시 메일 전송
- 수퍼바이저 공지, 게시 기능
- 설계도서자료 이용 기능

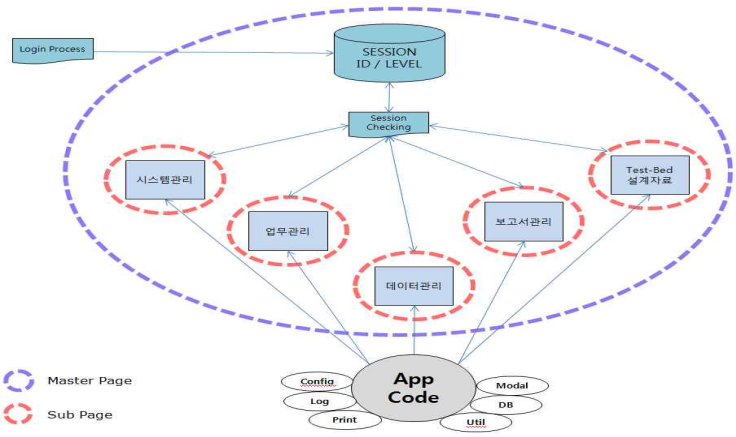
다음은 그룹웨어 기능화면이다.




<그림 2-3-1-29> 통합 모니터링 시스템 그룹웨어 기능

㉮ 통합 웹 프로그램 개발을 위한 알고리즘

사용자가 Login을 하게 되면 Login Process부터 진행을 하게 된다. Login 정보는 마스터페이지(Master Page ; 웹사이트의 전반적인 프레임을 담당)의 Session에 기록된다. 기록되는 사항은 사용자의 ID와 권한레벨이며, 기능별 페이지 마다 로그인 정보 체크(Session Check)를 진행 후 Access가 가능하다. AppCode는 Client에서 Server로 데이터를 호출 할 때 필요한 코드들을 표준화 시켜 다형성(Polymorphism)을 갖춘 함수를 관리한다. 다음은 웹 페이지에서 운영되는 소스코드의 큰 흐름을 직관적으로 이해할 수 있도록 도식화 하였다.




<그림 2-3-1-30> 프로세스 구성도

아래 표는 웹프로그램 항목별 적용된 알고리즘을 나타낸다.

<표 2-3-1-72> 웹프로그램 알고리즘 개발 및 적용 알고리즘

| 구 분 | 항 목 | 설 명 |
|---|---|---|
| 시스템 관리 | 일정 관리 기능 | ▪ Calender 연동 알고리즘<br>▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 열차 관리 기능 | ▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 데이터 수신 관리 기능 | ▪ SMS 연동 알고리즘<br>▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 세부 관리 기능 | ▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 사용자 관리 기능 | ▪ 사용자 권한 구분 알고리즘<br>▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | SMS 전송이력 관리 기능 | ▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 메세지 관리 기능 | ▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| 업무 관리 | 업무 등록 / 조회 기능 | ▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| 데이터 관리 | 데이터 조회 기능 | ▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 데이터 다운로드 기능 | ▪ 데이터 파일 전송 알고리즘<br>▪ 데이터 파일 엑세스 알고리즘 |
| | 분석프로그램 열기 | ▪ 외부 프로그램 연동 알고리즘 |
| | 데이터 분류조회 | ▪ 데이터 파일 엑세스 알고리즘<br>▪ 데이터 파일 분석 알고리즘 |
| 보고서 관리 | 보고서 조회 | ▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 보고서 양식 설정 | ▪ 보고서 양식 분석 알고리즘<br>▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 보고서 등록 | ▪ 데이터 파일 전송 알고리즘<br>▪ 데이터 파일 분석 알고리즘<br>▪ 보고서 양식 분석 알고리즘<br>▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 보고서 데이터 트렌드 분석 | ▪ 보고서 데이터 추출 알고리즘<br>▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| Test-Bed 설계자료 | 설계자료 조회 | ▪ 데이터 파일 전송 알고리즘<br>▪ 설계 자료 코드 표준화 알고리즘<br>▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |
| | 설계자료 등록 | ▪ 데이터 파일 전송 알고리즘<br>▪ 설계 자료 코드 표준화 알고리즘<br>▪ DB 연동 알고리즘<br>▪ Data Sorting 알고리즘 |

일정관리에 사용되는 Calendar 알고리즘은 서버에서 관리하는 데이터베이스의 일정테

이블의 데이터를 참조하여 시작시간과 종료시간을 클라이언트 PC에 설정되어 있는 시간과 비교하여 조회를 시작한다. 조회기간에 속해있지 않는 데이터는 무시하게 된다. DB에서 필터링으로 추출된 데이터를 클라이언트 PC 메모리에 담아둔 후 <InitSchedule>함수를 호출하여 최종적으로 각 항목의 해당기간을 화면에 바(Bar)형식으로 일정명(Title)과 함께 출력하게 된다. 다음은 Calendar 알고리즘의 흐름을 좌에서 우로 표현하여 도식화 하였다. StringQuery는 조회 시 DB의 원하는 데이터를 검색하기 위한 검색조건이다.

㉱ 데이터베이스 연동 알고리즘

업무에 많이 쓰이는 기초정보를 DB의 기초정보테이블에 고유코드를 부여하여 데이터를 입력한다. 기초정보테이블은 웹 페이지의 기능별 화면에 구애받지 않고 다양한 알고리즘에 참조 및 적용된다. 고유코드의 필드에 인덱싱을 설정하여 조회 시 빠르게 검색을 수행한다. 여러 화면의 기능에 추가적으로 데이터테이블을 호출하여 검색조건을 좀 더 다양하게 수행할 수 있다.

○ Data Sorting 알고리즘

DB에서 검색조건으로 조회되는 데이터들을 오름차순 및 내림차순으로 정렬한다. 데이터가 한글일 경우 <가나다>순으로 정렬되며 날짜는 가장 최근날짜 또는 조건의 가장 마지막일이 조회의 첫 번째 열로 검색이 가능하다. 필드별로 조건을 걸 수 있고, 정렬된 자료들을 취합하여 메모리에 데이터를 넘겨주고 클라이언트에 자료를 출력하게 된다. 선택정렬(Selection Sort)방식과 병합정렬(Marge Sort)방식이 적용되었다. 다음 <그림>은 Data Sorting 알고리즘을 그림으로 도식화 하였다. ASC는 오름차순 , DESC는 내림차순을 의미한다.

○ SMS연동 알고리즘

SMS전송 페이지로 이동하게 되면 System에서 SMS를 발송할 대상을 선택할 수 있는 ComboBox를 제공한다. 이 ComboBox에서 사용자를 선택하게 되면 해당 사용자의 정보에서 “연락처” 필드에 있는 값이 수신연락처 항목에 자동으로 채워진다. <SMS 전송>을 시작하게 되면 세부정보 / 담당자 이름 / 발신연락처 / 수신연락처 / 내용 / 발신시간이 모두 취합되어 <SMS기능전용> DB로 이동한다. SMS DB에 저장된 데이터는 내부의 Thread로 실시간 감지하여 새로운 정보가 있을 시 SMS를 대상에게 전송하게 된다. 전송이 성공한 경우 철도기술연구원의 DB에 SMS전송이력을 같은 시각으로 등록한다. 전송 실패 시 해당 이력은 등록되지 않는다.

○ 사용자 권한 구분 알고리즘

Login Process가 진행되면 DB에서 사용자의 아이디를 체크하여 부여된 권한을 확인한다. Login Process가 완료되면 사이트의 Master Page에서 관리하는 Session정보에 아이디와 권한레벨이 등록되며 로그아웃이 수행될 때 까지 지속된다. 각 기능별 페이지에서 마스터페이지에 기록된 권한이 각 기능별 페이지의 권한레벨을 비교하여 지정된 권한레벨보다 낮으면 접근이 거부된다.

○ 외부 프로그램 연동 알고리즘

웹 페이지의 유저인터페이스(User Interface ; UI) 즉, 해당 서버에서 외부 프로그램 제공 서버로 FTP주소를 제공받고 외부 프로그램이 필요한 항목에 FTP주소로 Link를 적용한다. ASP.NET 특성상 Interface(HTML) 코드와 달리 C#코드에서 동적으로 Link를 할당할 수 있다.

○ 보고서 양식 분석 알고리즘

웹 페이지의 '표'와 같은 형식은 웹 표준 규격으로 사용되는 HTML코드를 기반으로 한다. 따라서 사용자가 커스터마이징한 보고서 양식 그대로를 보존하기 위해서 HTML코드 전체를 데이터베이스에 등록해야 한다. 보고서 양식의 분량의 제한이 없으므로 HTML코드 전체를 BASE64방식으로 Encoding하여 보고서 양식의 제목과 양식이 데이터베이스에 등록된다. 보고서를 작성하기 위해 최초 작성한 양식을 데이터베이스에서 클라이언트 메모리에 보고서 양식 정보를 다운로드 받은 후 BASE64형식으로 되어있는 코드를 다시 Decoding하여 HTML코드로 변환 수행한다. 마지막으로 클라이언트 웹 페이지에 HTML 코드를 적용하여 사용자가 직접 커스터마이징 한 보고서 양식 그대로 확인 할 수 있다.

○ 보고서 데이터 추출 알고리즘

보고서 양식에 들어가는 항목마다 Parameter를 부여하여 항목의 제목과 내용을 구분한다. DB 에는 Report Sheet테이블(양식정보)과 Report Data테이블(내용정보)로 구성되어 있다. 두 테이블의 스키마 설계는 동일하며 unique code 필드를 고유키로 설정해서 양식 정보와 내용을 Parameter의 순서대로 불러낼 수 있다.

○ 데이터 파일 전송 알고리즘

각 기능별로 첨부된 파일들은 각각의 DB 테이블에 기록된다. 파일의 확장자를 검사하여 사진파일 / 데이터파일 / 일반파일로 구분한 뒤 파일종류에 따라 서버 내 지정된 업로드 폴더에 저장된다. 업로드 되는 파일의 정보는 고유 번호로 채번 되어 파일의 경로를 각 기능별 테이블에 기록한다. 다음은 데이터 파일 전송 알고리즘의 흐름을 도식화하여 그림으로 표현하였다.

○ 데이터 파일 엑세스 알고리즘

게시물 조회 시, 모든 게시물의 정보에는 고유 번호가 기록되어 있어 업로드 한 게시물을 고유 번호와 매칭하며 데이터베이스의 게시물 정보를 서버 메모리에 받게 된다. 이후 업로드 한 파일의 존재여부를 먼저 판별한 뒤 결과 값이 TRUE일 경우 파일의 경로를 추적하여 최종적으로 파일에 접근할 수 있다.

○ 데이터 파일 분석 알고리즘

데이터포맷이 정형화 되어있는 파일의 내용 첫 번째 열부터 차례대로 읽어 메모리에 담는다. 분석에 필요 없는 문자는 필터링 하여 제거 한다. 가공된 정보들은 해당 필드별로 구분한 뒤 열의 수 만큼 정렬 알고리즘을 적용한 뒤, 각각의 필드로 값들을 정리하여 기록한다. 메모리에 정리된 정보들은 수치 값으로 표현되며 Max Value , Min Value , Average Value , RMS Value , STD Value등으로 통계치를 연산 수행한다. 추출된 값은 표로 도식화 하고 Line Chart로 나타낼 수 있다.

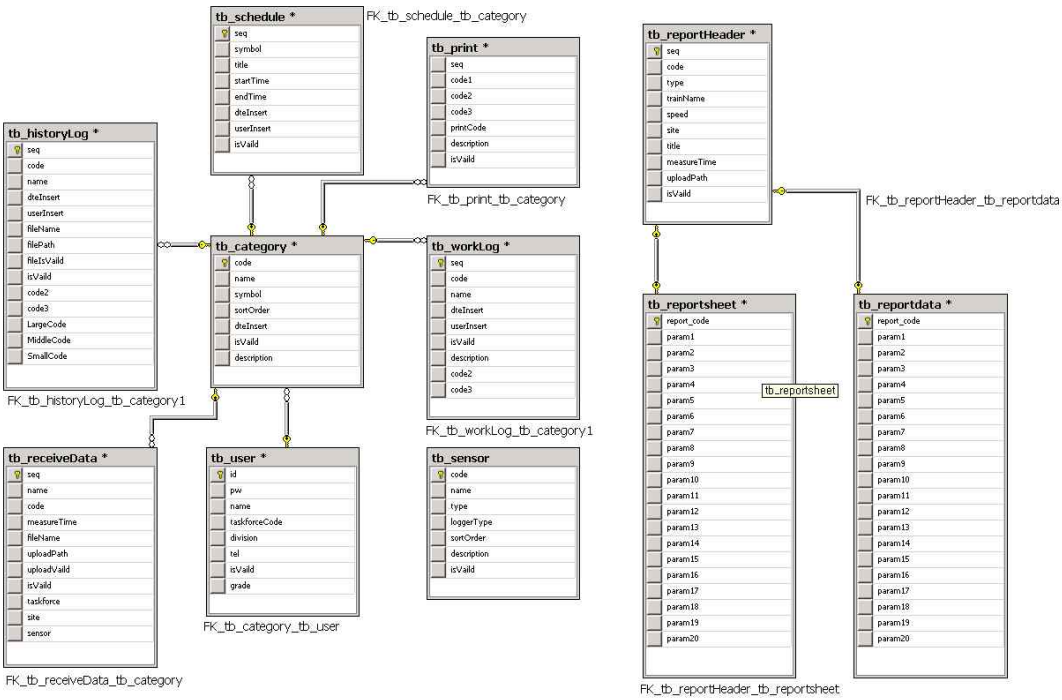
○ 설계 자료 코드 표준화 알고리즘

DB에서 코드체계를 3단계로 구분하며 대분류/중분류/소분류로 구성할 수 있다. 대/중/소분류를 모두 취합한 형태로 표준화를 정의하고 기록한다. 설계자료 코드는 세 가지 코드를 언더바('_')로 이어 성립된다. 예를 들어 3-4 공구의 환경소음세부 Station은 109K700이라면 설계자료 코드는 '3-4_EN_109K700'으로 정의된다.

## (다) 테스트베드 통합 DB 개발

### ① 통합DB 스키마 구조 개발

테스트 베드에서 나오는 모든 데이터는 정제화 하여 DB에 저장하여야하며 백업하여야한다. 시스템에서 통합 DB는 저장 및 백업의 역할을 수행하며 저장된 DB를 체계화하여 관리 한다. 스키마는 DB의 뼈대와 같은 부분으로서 체계화된 DB를 구성하기 위해선 스키마 설계가 매우 중요하다. 다음은 스키마 구조도이다.




<그림 2-3-1-31> 데이터베이스 다이어그램

통합 DB는 다음과 같은 내용을 중점으로 개발되었다

- 확장성 : 향후 추가될 수 있는 사용자 정보 및 열차 정보와 같은 정보에 대한 확장이 편리하도록 설계하여 시스템 관리자로 하여금 관리를 용이하게 지원.
- 표준화 : 카테고리 테이블을 설계하여 데이터베이스 스키마 코드 표준화. 이를 통해 데이터베이스 정보체계의 일관성을 유지하여 향후 유지/보수에 용이.
- 보고서 관리 : 보고서 양식 및 데이터에 대한 구조적 체계 반영으로 인해 보고서에 대한 세부별 양식 및 보고서 데이터에 대한 통계적 관리가 가능.

② 통합DB 코드 구조 설계

통합 DB 코드 구조는 각 분야별 특성과 위치정보, 센서정보, 기능정보, 코드역할 정보 등을 표현할 수 있게 설계하였다. 코드 분류로는 분류코드, 공구코드, 센서코드로 나누어진다. 분류코드는 열차, 분야, 소속, 보고서, 일정, 이력, 사용자권한 등 코드로 나누어지며, 공구코드는 각공구별로 코드를 분류한다, 센서코드는 공구로 코드를 분류 후 다시 STA.으로 분류하며 마지막 센서를 분류해서 완성된다.

㉮ 분류코드

<표 2-3-1-73> 분류코드표

| 명칭 | 구분 | 코드 | 비고 |
|---|---|---|---|
| KTX | 열차 | TA_KX | KTX |
| KTX산천 | | TA_SC | SanCheon |
| KTX해무 | | TA_HM | HaeMoo |
| 환경소음 | 세부구분 | NOI | ※세부별 상세 분류 가능<br>ex) WAY01, BDG01 |
| 궤도 | | WAY | |
| 노반 | | BED | |
| 전차선 | | LIN | |
| 교량 | | BDG | |
| 2세부 환경소음 | 소속 | TF02_NOI | TaskForce+세부구분코드 |
| 3세부 궤도 | | TF03_WAY | |
| 3세부 노반 | | TF03_BED | |
| 4세부 전차선 | | TF04_LIN | |
| 년 | 보고서기간 | RP_Y | YEAR |
| 월 | | RP_M | MONTH |
| 주 | | RP_W | WEEK |
| 일 | | RP_D | DAY |
| 계측테스트 | 일정명 | TEST_MEA | Test Measurement |
| 운영테스트 | | TEST_RUN | Test Run |
| 사진관리 | 이력구분 | MNG_PIC | Management Picture |
| 도면관리 | | MNG_PLN | Management Plan |
| 정비관리 | | MNG_REP | Management Repair |
| 관리자 | 사용자구분 | US_ADM | 사용자 등급별로 웹사이트 보기 및 작성 권한설정 |
| 사용자 | | US_USR | |
| Guest | | US_GST | |

㈏ 공구 코드

<표 2-3-1-74> 공구코드표

| 공구 | 분야 | STA | 설명 | DB코드 |
|---|---|---|---|---|
| 2-1 | - | - | - | - |
| 2-2 | - | - | - | - |
| 2-3 | 교량 | 065K388 | Extradosed교 | 2-3_BR_065K388 |
| 3-1 | - | - | - | - |
| 3-2 | - | - | - | - |
| 3-3 | 궤도 | 098k416 | 완화곡선, 교량 | 3-3_RR_098K416 |
| | | 098k815 | 원곡선, 교량 | 3-3_RR_098K815 |
| 3-4 | 환경소음 | 107K400 | 방음벽상단장치 | 3-4_EN_107K400 |
| | | | 기여도분석 | 3-4_ENC_107K400 |
| | | 109K700 | 방음벽상단장치 | 3-4_EN_109K700 |
| | | | 기여도분석 | 3-4_ENC_109K700 |
| | | 104K600 | 기여도분석 | 3-4_ENC_104K600 |
| | 궤도 | 109K231 | 직선, 토공 | 3-4_RR_109K231 |
| | 노반 | 109K231 | 표준성토노반 | 3-4_RB_109K231 |
| | | 110K000 | 연약지반노반 | 3-4_RB_110K000 |
| 4-1 | 교량 | 118K577 | 소수주형교 | 4-1_BR_118K577 |
| | 교량 | 119K102 | PSC Box | 4-1_BR_119K102 |
| | 노반 | 120K650 | 접속부 노반 | 4-1_RB_120K650 |
| | | | 접속부 궤도 | |
| 4-2 | 환경소음 | 109K700 | 기여도분석 | 4-2_ENC_109K700 |
| 전차선 | | 지상 | 압상량 | ECL_UL |
| | | | 이상상태 | ECL_CR |
| | | | 결함탐지 | ECL_DD |
| | | 차상 | 접촉력 | ECL_CF |
| | | | 이선아크 | ECL_PA |

㉰ 센서 코드

<표 2-3-1-75> 환경소음분야 센서코드표

| 위치 | | | 계측기종류 | 목적구조물 | 코드네이밍 |
|---|---|---|---|---|---|
| 구간 | 공구 | STA. | | | |
| TB#1 | 3/4 | 107K 400 | 마이크로폰 | 방음벽 구간 | MIC_107K400_1 |
| | | | 마이크로폰 | | MIC_107K400_2 |
| TB#1 | 3/4 | 109K 700 | 마이크로폰 | 개활지 구간 | MIC_109K700_1 |
| | | | 마이크로폰 | | MIC_109K700_2 |
| TB#1 | 4/2 | 121K 800 | 마이크로폰 | 터널구간 | MIC_121K800_1 |
| | | | 마이크로폰 | | MIC_121K800_2 |
| TB#1 | 3/4 | 109K 700 | 마이크로폰 | 개활지 구간 | MIC_109K700_3 |
| | | | 마이크로폰 | | MIC_109K700_4 |
| TB#1 | 3/4 | 107K 400 | 마이크로폰 | 방음벽 구간 | MIC_107K400_3 |
| | | | 마이크로폰 | | MIC_107K400_4 |
| TB#1 | 3/4 | 104K 600 | 마이크로폰 | 개활지 구간 | MIC_104K600_1~ |
| | | | 마이크로폰 | | MIC_104K600_96 |

<표 2-3-1-76> 노반분야 센서코드표

| 위치 | | | 계측기 종 류 | 목적구조물 | 코드네이밍 |
|---|---|---|---|---|---|
| 구간 | 공구 | STA. | | 구조물 | |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 토압계 | 표준성토노반 | EPR_109K231_1 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 토압계 | 표준성토노반 | EPR_109K231_2 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 토압계 | 표준성토노반 | EPR_109K231_4 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 토압계 | 표준성토노반 | EPR_109K231_3 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 토압계 | 표준성토노반 | EPR_109K231_5 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 가속도계 | 표준성토노반 | ACC_109K231_1 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 가속도계 | 표준성토노반 | ACC_109K231_4 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 가속도계 | 표준성토노반 | ACC_109K231_2 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 가속도계 | 표준성토노반 | ACC_109K231_3 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 가속도계 | 표준성토노반 | ACC_109K231_5 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 함수량계 | 표준성토노반 | WTC_108K231_1 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 함수량계 | 표준성토노반 | WTC_108K231_2 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 층별침하계 | 표준성토노반 | SSK_109K231_1 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 층별침하계 | 표준성토노반 | SSK_109K231_2 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 층별침하계 | 표준성토노반 | SSK_109K231_3 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 변위계 | 표준성토노반 | DIS_109K231_1 |
| TB#1 | 3-4 | 109K 231 | 강우량계 | 표준성토노반 | RAM_109K231_1 |
| TB#1 | 3-4 | 110K 000 | 간극수압계 | 연약지반노반 | WPR_110K000_1 |
| TB#1 | 3-4 | 110K 000 | 간극수압계 | 연약지반노반 | WPR_110K000_2 |
| TB#1 | 3-4 | 110K 000 | 토압계 | 연약지반노반 | EPR_110K000_1 |
| TB#1 | 3-4 | 110K 000 | 토압계 | 연약지반노반 | EPR_110K000_2 |
| TB#1 | 3-4 | 110K 000 | 토압계 | 연약지반노반 | EPR_110K000_3 |
| TB#1 | 3-4 | 110K 000 | 토압계 | 연약지반노반 | EPR_110K000_4 |
| TB#1 | 3-4 | 110K 000 | 가속도계 | 연약지반노반 | ACC_110K000_1 |

<표 2-3-1-77> 궤도분야 센서코드표

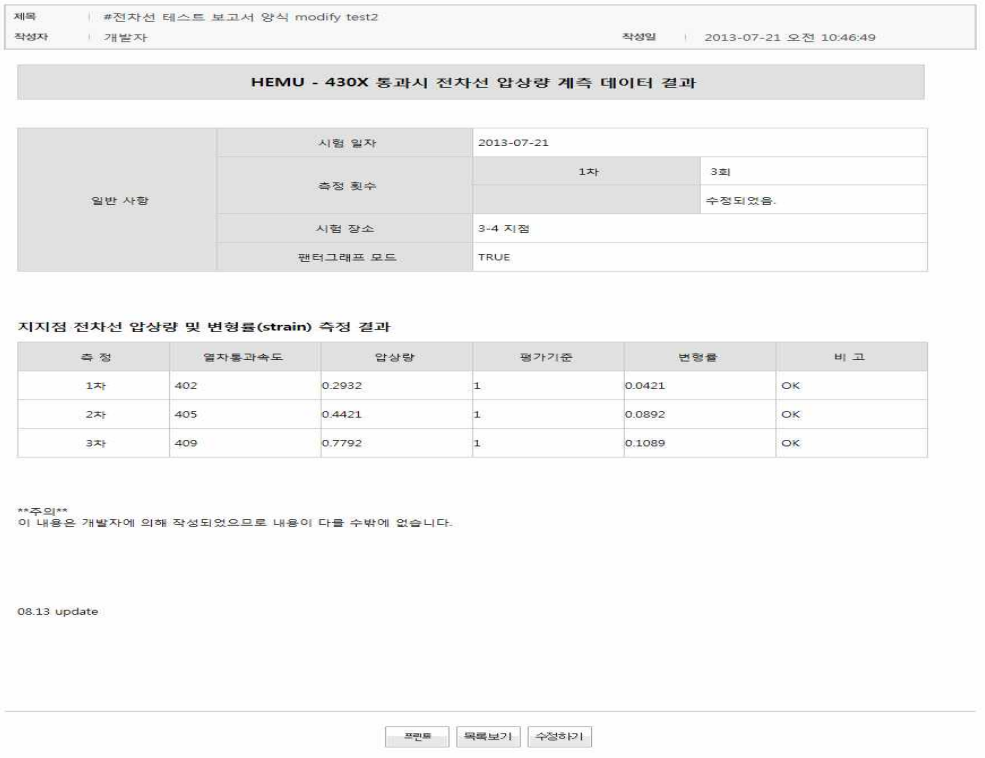
| 위치 | | | 계측기 종 류 | 목적구조물 | 코드네이밍 |
|---|---|---|---|---|---|
| 구간 | 공구 | STA. | | 구조물 | |
| TB#1 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_1 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_2 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_3 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_4 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_5 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_6 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_7 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_8 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC__065K388_9 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_10 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_1 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_2 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_3 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_4 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_5 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_6 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_7 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_8 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_9 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 변위계 | 교량(Extradosed) | DIS_065K388_10 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_11 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_12 |
| TB#2 | 2-3 | 065K 388 | 가속도계 | 교량(Extradosed) | ACC_065K388_13 |
| TB#1 | 3-3 | 098K 416 | 변형률계(브리지) | 궤도 (완화곡선, 교량) | BSG_098K416_1 |
| TB#1 | 3-3 | 098K 416 | 변형률계(브리지) | 궤도 (완화곡선, 교량) | BSG_098K416_2 |
| TB#1 | 3-3 | 098K 416 | 변형률계(브리지) | 궤도 (완화곡선, 교량) | BSG_098K416_3 |

<표 2-3-1-78> 전차선 분야 센서코드표

| 위치 | | | 계측기 종 류 | 목적구조물 | 코드네이밍 |
|---|---|---|---|---|---|
| 구간 | 공구 | STA. | | 구조물 | |
| TB#1 | 지상 (압상량) | 66k450 | Strain Gauge | 곡선당김금구 (최대속도구간) | UL_STG_1 |
| TB#1 | | | Strain Gauge | 곡선당김금구 (최대속도구간) | UL_STG_2 |
| TB#1 | | | 변위계 | 가동브래킷 (최대속도구간) | UL_DIS_1 |
| TB#1 | | | 온도계 | 전차선 (최대속도구간) | UL_CTMP_1 |
| TB#1 | | | 온도계 | 조가선 (최대속도구간) | UL_MTMP_2 |
| TB#1 | 지상 (이상상태) | 66k450 | 전류계 | 전차선 (건넘선 구간) | CR_CCT_1 |
| TB#1 | | | 전류계 | 조가선 (건넘선 구간) | CR_MCT_1 |
| TB#1 | | | 온도계 | 전차선 (건넘선 구간) | CR_CTMP_1 |
| TB#1 | | | 온도계 | 조가선 (건넘선 구간) | CR_MTMP_1 |
| TB#1 | 지상 (결함탐지) | 최고속도 일부구간 | IR 카메라 | 전차선로 선로변 | DD_IRC_1 |
| TB#1 | | | 초음파 측정기 | 전차선로 선로변 | DD_UST_1 |
| TB#1 | | | 자외선 카메라 | 전차선로 선로변 | DD_UVC_1 |
| TB#1,2 | 차상 (접촉력) | 전구간 | 로드셀 | 팬터그래프 | CF_LOC_1 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 로드셀 | 팬터그래프 | CF_LOC_2 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 로드셀 | 팬터그래프 | CF_LOC_3 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 로드셀 | 팬터그래프 | CF_LOC_4 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 로드셀 | 팬터그래프 | CF_LOC_5 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 로드셀 | 팬터그래프 | CF_LOC_6 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 가속도계 | 팬터그래프 | CF_ACC_1 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 가속도계 | 팬터그래프 | CF_ACC_2 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 가속도계 | 팬터그래프 | CF_ACC_3 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 가속도계 | 팬터그래프 | CF_ACC_4 |
| TB#1,2 | 차상 (이선아크) | 전구간 | 전류계 | 팬터그래프 | PA_MCT_1 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 디지털 카메라 | 팬터그래프 | PA_CCD_1 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 속도계 | 팬터그래프 | PA_TSS_1 |
| TB#1,2 | | 전구간 | 아크센서 | 열차의 지붕 | PA_ARC_1 |

㉮ 측정 및 분석보고서 표준화 및 데이터 표출

통합 모니터링 시스템 웹 프로그램에서 계측데이터를 종류별로 분류 조회하고 테스트 결과를 분석하며 측정 및 분석 데이터를 표준화한 포맷으로 출력하는 기능을 구현하였다.



제목 | #전차선 테스트 보고서 양식 modify test2

작성자 | 개발자 작성일 | 2013-07-21 오전 10:46:49

**HEMU - 430X 통과시 전차선 압상량 계측 데이터 결과**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 일반 사항 | 시험 일자 | 2013-07-21 | |
| | 측정 횟수 | 1차 | 3회 |
| | | | 수정되었음. |
| | 시험 장소 | 3-4 지점 | |
| | 팬터그래프 모드 | TRUE | |

**지지점 전차선 압상량 및 변형률(strain) 측정 결과**

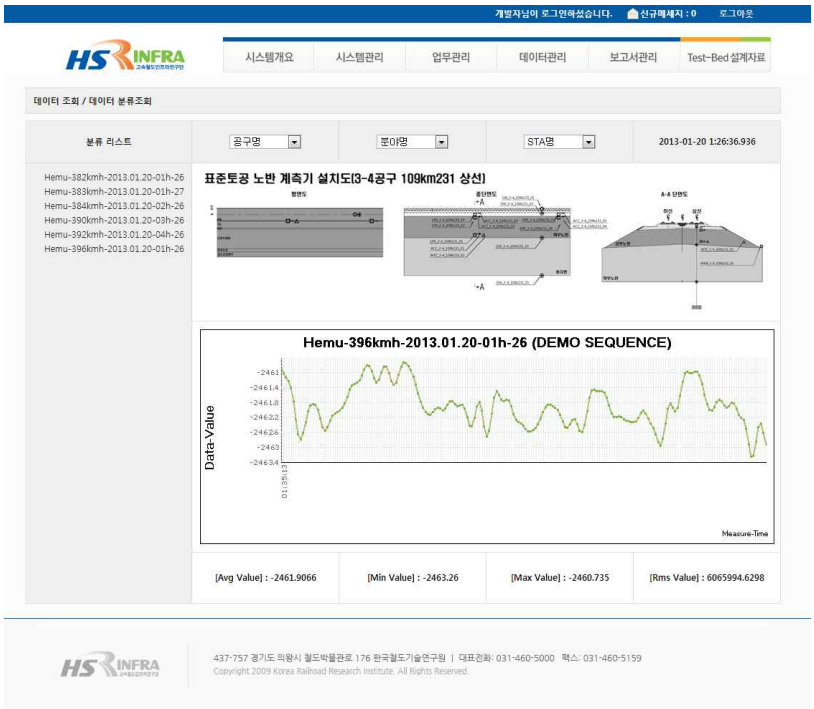
| 측 정 | 열차통과속도 | 압상량 | 평가기준 | 변형률 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1차 | 402 | 0.2932 | 1 | 0.0421 | OK |
| 2차 | 405 | 0.4421 | 1 | 0.0892 | OK |
| 3차 | 409 | 0.7792 | 1 | 0.1089 | OK |

**주의**
이 내용은 개발자에 의해 작성되었으므로 내용이 다를 수밖에 없습니다.

08.13 update

프린트 목록보기 수정하기

<그림 2-3-1-32> 측정 및 분석보고서 표준화




<그림 2-3-1-33> 데이터 표출

### (라) 통합 모니터링 H/W시스템 테스트베드 적용

#### ① 목표시스템 운영환경 구축

㉮ 통합 상황실 운영 환경 구축

호남고속철도 테스트베드에 설치된 인프라 계측시스템은 국내 최초로 시공 중에 설치되어 향후 고속철도 운영환경에서 인프라 계측데이터를 수집/분석하고 이를 연구에 활용하게 될 것이다. 이러한 중요도에 따라 통합 상황실을 구축하여, 대규모 계측데이터를 손실 없이, 보관 및 활용 할 수 있도록 하였다.

상황실 구축 장비는 계측데이터 망실을 사전 차단할 수 있는 저장장치(스토리지, LTO)와 웹 프로그램 구동을 위한 서버군을 구축하여 운영 중에 발생할 수 있는 장애요인을 사전에 차단하였다. 또한, 고가의 서버군 등이 최적의 상태로 운영될 수 있도록 공조시스템 및 상황판을 구축하였다.

○ 상황실 구축 필요성

호남고속철도 테스트 베드 통합 시스템 서버 및 기타서버, 스토리지, 방화벽 등은 고가의 장비이다, 이 장비들은 환경요인인 전력, 온도, 습도 등에 민감하며, 환경요인이 이상이 있을 경우 장비가 고장 날 우려가 있다. 이러한 장비의 환경 요인을 충족시키며 지속적인 유지관리를 위해선 상황실 구축이 필요하다.

○ 상황실 구축 목적

호남고속철도 테스트베드 통합 상황실은 통합DB서버 및 스토리지 등 장비의 최적화 환경을 유지하는 것을 목적으로 하였다. 최적화 환경을 유지하기 위해선 다음과 같은 요구를 충족해야한다. 다음은 상황실 구축 목적 및 요구사항이다.

<표 2-3-1-79> 상황실 구축 목적

| | |
|---|---|
| 상황실 구축목적 | ▪ 안정된 전원 공급<br>▪ 최적화된 환경 공급<br>▪ 통합 서버 및 기타 장비의 최적화된 유지관리 |

<표 2-3-1-80> 상황실 구축 요구 사항

| 구분 | 목적 | 방안 |
|---|---|---|
| 전력 설비 | 단독 전력 연결 여부 | 단독 전력 연결 설비 |
| | 전력량 충족 여부 | 전력량 조사 및 확인 |
| | UPS 설치 여부 | UPS 설치 |
| | 접지 설비 여부 | 단독 접지 설비 |
| 항온항습 설비 | 냉각 설비 여부 | 에어콘 설치 |
| | 공조 설비 여부 | 철기연 내부 공조장치 이용 |
| 소음 차단 | 외부로 소음 차단 설비 여부 | 소음 차단 벽 설치 |
| 소화 장비 | 비상소화기 배치 여부 | 비상 소화기 배치 |
| | 자동화재 탐지 여부 | 철도연 내부 자동 화재 탐지기 이용 |
| 인테 리어 | 전산실 바닥공사 설비 여부 | 바닥공사 수행 |
| | 조명 설비 여부 | 철기연 조명장비 이용 |
| 보안 설비 | 출입시 보안 검색 여부 | 출입문 보안 장비 설치 |

○ 상황실 장비 구성

통합 상황실에 배치된 전산 장비는 다음 아래와 같다.

<표 2-3-1-81> 전상장비 목록

| 구분 | 내용 | 수량 | |
|---|---|---|---|
| 서버군 | 통합 DB 서버 | 2EA | 10EA |
| | 계측 서버 | 2EA | |
| | WEB 서버 | 2EA | |
| | WAS 서버 | 2EA | |
| | 백업 서버 | 1EA | |
| | 인증 서버 | 1EA | |
| 저장장치 및 백업 | 스토리지 | 1EA | 1EA |
| 네트워크장비 | L3 Switch | 1EA | 1EA |
| 보안장비 | 방화벽 | 1EA | 1EA |
| UPS 장비 | 비상전력 UPS 장비 | 4EA | 4EA |

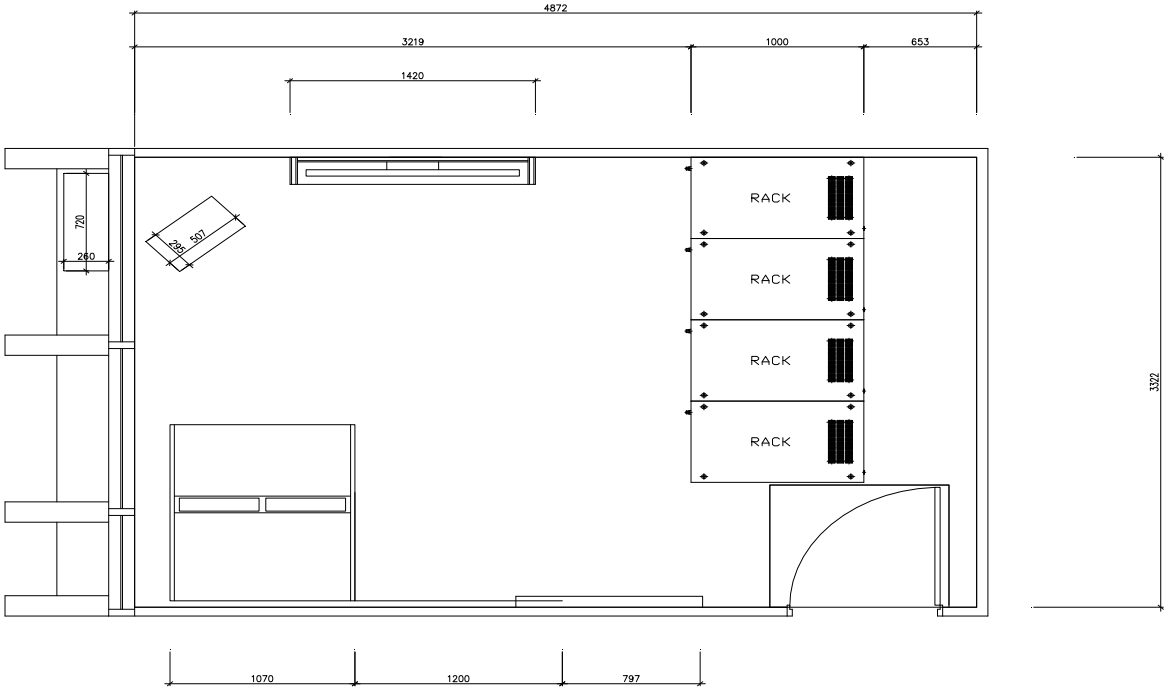
위와 같은 전상 장비를 배치하기 위해선 랙 장비가 필요하다 랙 장비는 총 4대로 구성될 계획이다. 다음은 랙 장비 개요이다.

<표 2-3-1-82> 랙 장비 개요

| 전경 | 개요 | |
|---|---|---|
|  | 크기 | 59.7cm(폭)×101.5cm(길이)×224.8cm(높이) |
| | 용량 | 47U |
| | 무게 | 123kg |
| | 인텔리전스 | 서버 작업 부하 조정 기능 |
| | 냉각 | 서버 냉각에 필요한 서버 팬 전력 효율감소<br>81% 개방형 도어 개구부 |
| | 전력 | 저력 사용량 추적기능 |
| | 편리성 | 케이블 정리 가능, 공조 기능 |
| | 최대정적허용하중 | 1360kg |
| | 최대동적허용하중 | 1134kg |

○ 상황실 내부 배치도

통합 상황실은 한국철도기술연구원 5동 309호에 구축되었다. 내부 넓이는 4.760m~3.350m(15.94㎡) 이다. 다음은 상황실 내부 배치도이다.




<그림 2-3-1-34> 상황실 내부 배치도

○ 상황실 전력 소모량 검토

상황실 설치 장비에 대한 종류별 소모 전력을 파악하고 전체 전력 소요량을 계산하여 통합 모니터링 시스템 상황실의 안정적 전원 공급 및 UPS 용량을 산정하였다.

<표 2-3-1-83> 상황실 전력 소모량 검토

| 구분 | 소모전력 | | |
|---|---|---|---|
| | 수량 | 소모전력 | 총소모전력 |
| LED TV | 1 | 60W | 60W |
| 서버군 | 10 | 125W | 1,250W |
| 스토리지 | 1 | 100W | 100W |
| 방화벽 및 LTO | 2 | 50W | 100W |
| 네트워크 L3 | 4 | 30W | 120W |
| 네트워크 L4 | 4 | 30W | 120W |
| 서버랙 전원 | 4 | 30W | 120W |
| 냉방기 | 1 | 70W | 70W |
| 총 소모 전력량 합계 | | | 1,940W |

○ 상황실 소음 검토

서버 및 장비별 소음을 검토하여 주어진 조건 안에서 최적의 장비 설치 위치 선정과 내부 구성 공사를 실시하였다.

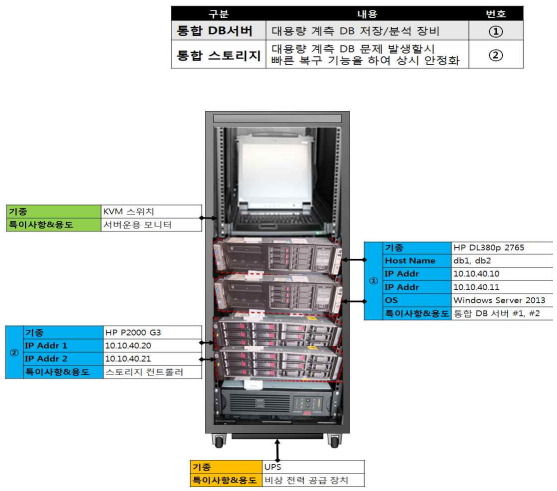
<표 2-3-1-84> 상황실 소음 검토

| 장비구분 | 수량 | 상태 | 소음 |
|---|---|---|---|
| 통합 서버 | 2 | Idle | 25dB |
| | | Operating | 31dB |
| 계측 서버 | 2 | Idle | 25dB |
| | | Operating | 31dB |
| WEB 서버 | 2 | Idle | 25dB |
| | | Operating | 31dB |
| WAS 서버 | 2 | Idle | 25dB |
| | | Operating | 31dB |
| 백업 서버 | 1 | Idle | 25dB |
| | | Operating | 31dB |
| 인증 서버 | 1 | Idle | 25dB |
| | | Operating | 31dB |
| 방 화 벽 | 1 | Operating | 48dB |
| 스토리지 | 1 | Operating | 55dB |

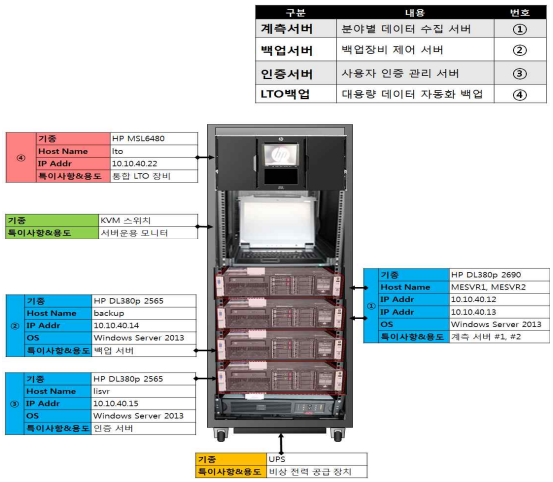
- 30~35dB : 최적의 상태. 수면에도 거의 영향이 없는 상태
- 50~60dB : 어른의 발소리나 아이들이 쿵쾅거리며 지속적으로 뛰는 등의 층간소음 민원이 제기될 정도의 소음
- 60~70dB : 정신 집중력이 저하되고 TV나 라디오 등의 청취가 어려워짐, 이 레벨의 소음에 계속적으로 노출될 경우 정신적, 육체적인 피로 등 생리적인 영향을 미칠 수 있음
- 90dB : 수년간 이 레벨의 소음에 노출될 경우 영구성 난청의 원인이 됨.
- 100dB : 단시간 노출되었을 경우에도 청각 기능이 일시적으로 저하, 장기간 노출 시 청각을 회복하기 어려움

㉮ 통합 상황실 구축 현황

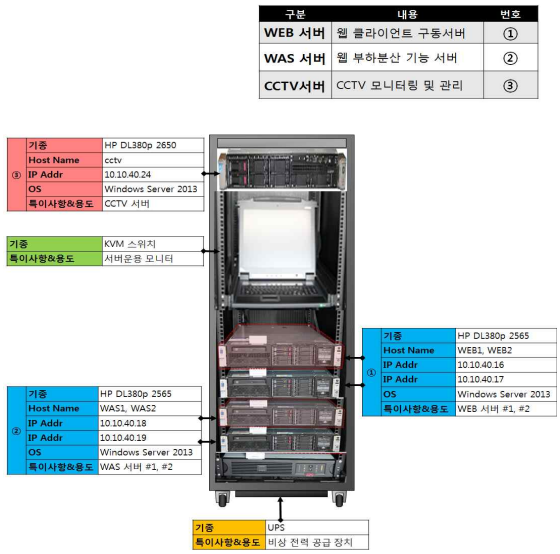
서버랙 1번에는 통합 스토리지(1EA)와 통합DB서버(2EA)를 설치하였다. 스토리지는 통합DB서버 내에 모든 운영체제 및 계측데이터를 물리적 장애발생 시 자동복구 할 수 있도록, 이중화 솔루션이 구축되었고, 정전 시 UPS가 1차 전원복구를 제공하여 계측데이터를 안전하게 보호할 수 있도록 구성되어 있다. 서버랙 2번에는 인증서버(1EA), 백업서버(1EA), 계측서버(2EA)를 설치하였다. LTO와 이중화로 연결되어 있어 서버상태가 물리적 장애발생시 자동복구 할 수 있다. 정전시 UPS가 1차 전원복구를 제공하여 계측데이터를 안전하게 보호할 수 있도록 구성되어있다. 서버랙 3번에는 WAS서버(2EA), WEB서버(2EA), CCTV서버(1EA)를 설치하였다. LTO와 이중화로 연결되어 있어 서버상태가 물리적 장애발생시 자동복구 할 수 있다. 정전 시 UPS가 1차 전원복구를 제공하여 계측데이터를 안전하게 보호할 수 있도록 구성되어 있다. 서버랙 4번에는 방화벽, L3 스위치를 설치하였다. 정전 시 UPS가 1차 전원복구를 제공하여 계측데이터를 안전하게 보호할 수 있도록 구성되어있다.



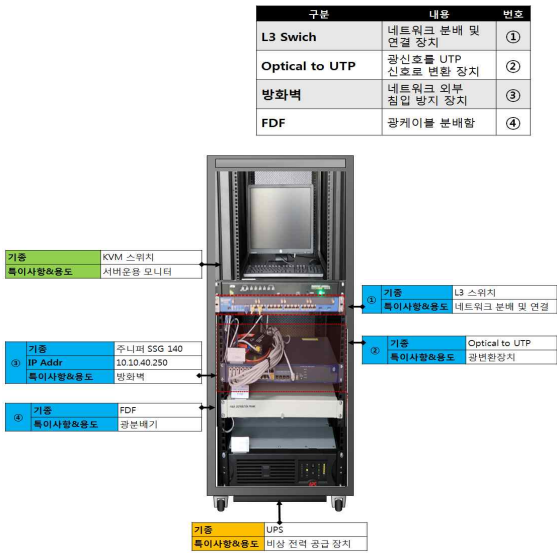

<그림 2-3-1-35> 서버랙 1번 배치 및 구성




<그림 2-3-1-36> 서버랙 2번 배치 및 구성




<그림 2-3-1-37> 서버랙 3번 배치 및 구성




<그림 2-3-1-38> 서버랙 4번 배치 및 구성

㉰ 상황실 구축 전경

4개의 서버랙을 구성하여 장비 보관 및 유지관리 효율성을 높였고, 서버에서 구동되는 웹프로그램를 상황판으로 전달하여 사용자/관리자에게 실시간 자료를 보여 줄 수 있도록 하였다.



<그림 2-3-1-39> 서버랙 전경



<그림 2-3-1-40> 상황판 및 공조장치

## ② 통합 모니터링 H/W 시스템 보완

통합 모니터링 시스템의 보완을 위하여 테스트베드 구간의 상황을 CCTV 영상으로 상시 모니터링 할 수 있도록 테스트베드 주요구간 3곳에 CCTV 카메라를 설치하였다. 통합 상황실에는 CCTV영상을 보관 및 관리를 위하여 CCTV 전용서버를 추가 설치하였다. 또한 CCTV 영상을 통합 모니터링하기 위하여 통합 상황실 벽면에 대형 모니터를 설치하고 CCTV 전용서버와 연결하여 3개의 채널로 분리하여 영상을 제공하고 필요시 상세한 원인 분석 및 현장상황 대처를 할 수 있도록 환경을 구축 하였다. CCTV 서버는 표준노반 109k231, 소수주형교 118k577, 접속부 노반 120k650에서 각 1대, 총3대의 CCTV 현장 영상 제공하고 영상데이터를 저장한다. 아래 표는 통합 상황실에 최종적으로 구축된 저장장치 및 서버 군과 역할을 정리한 것이다.

<표 2-3-1-85> 통합 모니터링 서버 구축 현황

| 구분 | 내용 |
|---|---|
| 스토리지(1EA) | 통합DB서버 이중화 복구 기능 및 테스트베드 13개소 계측데이터 저장 |
| LTO(1EA) | 계측서버, 백업서버, 인증서버, WEB서버, WAS서버, CCTV서버 이중화 복구 기능 및 계측데이터 저장 |
| 통합DB서버(2EA) | 통합 데이터베이스 저장 및 관리 |
| 계측서버(2EA) | 분야별 계측 데이터 수집/분석 |
| 백업서버(1EA) | 백업 정책 관리, 정기적인 데이터 백업 |
| 인증서버(1EA) | 사용자 인증/권한 관리, 인증서 관리 |
| WEB(2EA) | 홈페이지 표출 서버 |
| WAS(2EA) | 웹서버 부하량 분산 관리 |
| CCTV서버(1EA) | CCTV 영상자료 저장 관리 |

### ③ 통합 상황실 최종 전산장비 목록

통합 상황실의 최종 설치 장비의 종류와 수량은 아래와 같다. 서버군 11EA, 저장장치 및 백업장치 2EA, 네트워크장비, 보안장비, UPS장비 등으로 구성되었다.

<표 2-3-1-86> 통합 상황실 전산장비 목록

| 구분 | 내용 | 수량 | |
|---|---|---|---|
| 서버군 | 통합 DB 서버 | 2EA | 11EA |
| | 계측 서버 | 2EA | |
| | WEB 서버 | 2EA | |
| | WAS 서버 | 2EA | |
| | 백업 서버 | 1EA | |
| | 인증 서버 | 1EA | |
| | CCTV 서버 | 1EA | |
| 저장장치 및 백업 | 스토리지 | 1EA | 2EA |
| | Back-UP LTO | 1EA | |
| 네트워크장비 | L3 Switch | 1EA | 1EA |
| 보안장비 | 방화벽 | 1EA | 1EA |
| UPS 장비 | 비상전력 UPS 장비 | 4EA | 4EA |

### ④ 통합 모니터링 H/W시스템 매뉴얼 작성

㉮ 통합시스템 FTP접속 매뉴얼

각 계측데이터 분야별 전송데이터 준비 후 해당 IP로 FTP프로그램을 이용하여 21번 포트로 접속한다. 접속 후 ID와 패스워드를 입력하여 FTP계측서버의 인증 후 계측데이터를 전송한다.

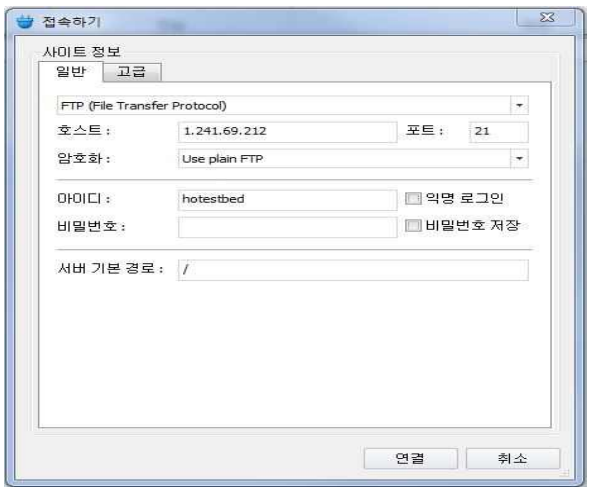
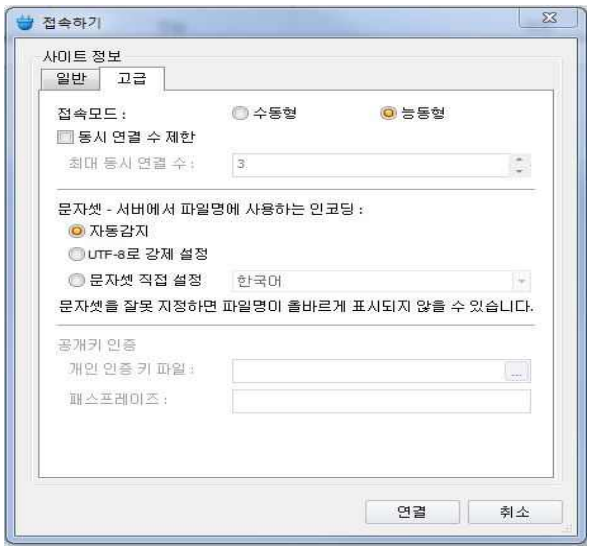
<표 2-3-1-87> FTP(계측)서버 IP 구성 현황

| 구분 | | 분야 | IP | 포트 | ID/PW |
|---|---|---|---|---|---|
| FTP서버 | 계측서버1 | 노반, 궤도, 교량 | 1.241.69.212 | 21 | ID : ???<br>PW : ??? |
| | | | 10.10.40.12 | | |
| | 계측서버2 | 전차선, 환경소음, 터널 | 1.241.69.213 | | |
| | | | 10.10.40.13 | | |

○ FTP 접속 방법

상세한 FTP접속 방법은 다음과 같다. FTP접속프로그램 다운로드 후 전송PC에 설치한 다음 FTP서버의 IP주소로 접속하여 전송하는 순서이다.

<표 2-3-1-88> FTP 접속 방법

| 순번 | 상세내용 | |
|---|---|---|
| 1 | FTP 접속 프로그램 다운로드(알드라이브), 설치, 실행<br>http://software.naver.com/software/summary.nhn?softwareId=MFS_116476 | |
| 2 |  | 접속 하기 클릭 |
| 3 |  | 호스트 : IP 입력<br>아이디 : ID 입력<br>비빌번호 : 비밀번호 입력<br>포트 : 21 연결 |
| 3 |  | 고급탭에<br>접속모드를 능동형으로 체크 |

○ 계측데이터 FTP 업로드 폴더 연계

계측데이터는 분야별로 전송하며 전송 시 FTP전송서버에 저장된다. 각 분야별 데이터 저장은 서버의 폴더로 구분하고 분야별 하위폴더를 구성하여 계층 구조로 데이터를 저장한다.

○ 분야별 계측데이터 파일 규약

분야별 계측데이터 파일 규약을 표준화하여 수집/분석 등의 있어 활용도가 높게 하였으며, 향후 확장성과 유지관리성에 있어 효율성을 극대화 하였다. 다음은 각각 분야별 파일 규약 표준화 코드이다.

<표 2-3-1-89> 노반분야 계측데이터 파일 규약

| E | UU | YYYYMMDD | HHMMSS | HUMU430X | 6 | 300 | 000K000 | *** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 각분야 약자<br>노반 S | 상행/하행 분류<br>상행선상행차 UU<br>상행선하행차 UD<br>하행선상행차 DU<br>하행성하행차 DD | YYYY 년<br>MM 월<br>DD 일 | HH 시<br>MM 분<br>SS 초<br>측정 시작시간 | 열차종류 | 열차 편성량 | 열차 속도 | 측정위치 | 파일 확장자<br>EX ☞<br>.DAT |
| 파일 규약 표준화 | E_UU_YYYYMMDD_HHMMSS_HEMU430X_6_300_000K000.DAT | | | | | | | |

<표 2-3-1-90> 궤도, 교량 분야 계측데이터 파일 규약

| E | UU | YYYYMMDD | HHMMSS | HUMU430X | 6 | 300 | 000K000 | *** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 각분야 약자<br>노반 S | 상행/하행 분류<br>상행선상행차 UU<br>상행선하행차 UD<br>하행선상행차 DU<br>하행성하행차 DD | YYYY 년<br>MM 월<br>DD 일 | HH 시<br>MM 분<br>SS 초<br>측정 시작시간 | 열차종류 | 열차 편성량 | 열차 속도 | 측정위치 | 파일 확장자<br>EX ☞<br>.TXT |
| 파일 규약 표준화 | E_UU_YYYYMMDD_HHMMSS_HEMU430X_6_300_000K000_Code.TXT | | | | | | | |

<표 2-3-1-91> 환경 분야 계측데이터 파일 규약

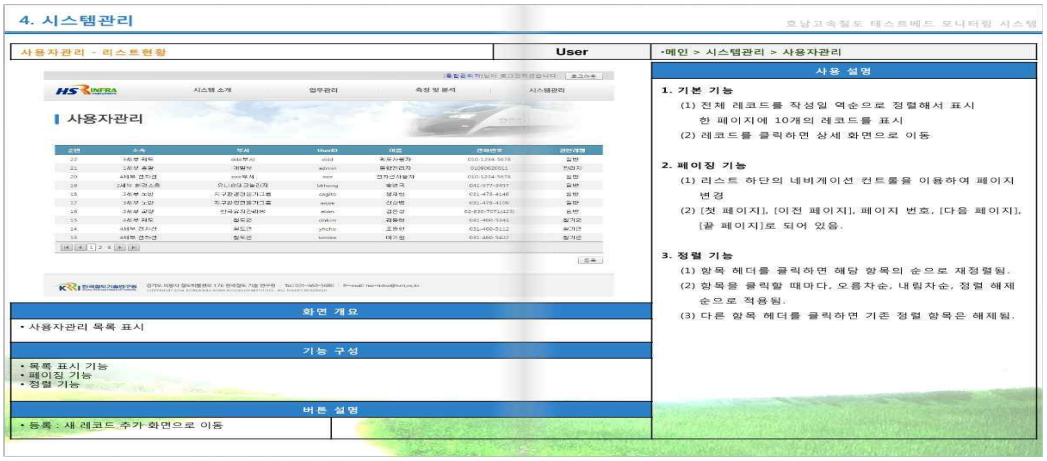
| E | UU | YYYYMMDD | HHMMSS | HUMU430X | 6 | 300 | 000K000 | *** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 각분야 약자<br>노반 S | 상행/하행 분류<br>상행선상행차 UU<br>상행선하행차 UD<br>하행선상행차 DU<br>하행성하행차 DD | YYYY 년<br>MM 월<br>DD 일 | HH 시<br>MM 분<br>SS 초<br>측정 시작시간 | 열차종류 | 열차 편성량 | 열차 속도 | 측정위치 | 파일 확장자<br>EX ☞<br>.ZIP |
| 파일 규약 표준화 | E_UU_YYYYMMDD_HHMMSS_HEMU430X_6_300_000K000_Code.ZIP<br>(소음예측 분야는 폴더 명칭 이용, 방음벽 분야 전체 센서별 파일 압축 | | | | | | | |

㉯ 통합시스템 운영자 매뉴얼

다음은 테스트베드 모니터링시스템 운영자를 위한 매뉴얼이다. 시스템 사용자관리, 사용자 권한관리, 스테이션 관리, 운행열차 정보관리, H/W현황 관리, S/W개발자 가이드로 구성 되었으며 각 관리항목 별 등록, 정정, 삭제, 현황 등을 유지 관리할 수 있도록 테스트 베드 모니터링시스템에 웹 화면으로 구성하였다. 아래의 내용은 각 화면별 관리 및 사용설명 내용이다.




<그림 2-3-1-41> 테스트베드 모니터링시스템 운영자 메뉴얼




<그림 2-3-1-42> 사용자 관리 매뉴얼

(마) 통합 DB 및 통합UI 시스템 테스트베드 적용

① 통합 DB및 통합 UI시스템 보완

통합 DB 및 통합 UI 시스템 개발을 위해 기존 요구사항 분석 및 설계 자료를 바탕으로 호남고속철도 테스트베드 통합모니터링 시스템을 개발 하였으며 실무 회의를 통해 화면 시안 확정 및 Layout변경, 메뉴 구조 변경, 공통 알고리즘 보완, 프로그램들을 보완하였다.

㉮ 메인 및 서브 페이지 개선

메인페이지, 서브 페이지의 다자인 및 Layout 변경하였으며 Tree 구조의 메뉴를 Drop Down 방식으로 변경하였다.




<그림 2-3-1-43> 테스트베드 통합모니터링 시스템 메인 페이지




<그림 2-3-1-44> 테스트베드 통합모니터링 시스템 메뉴 리스트

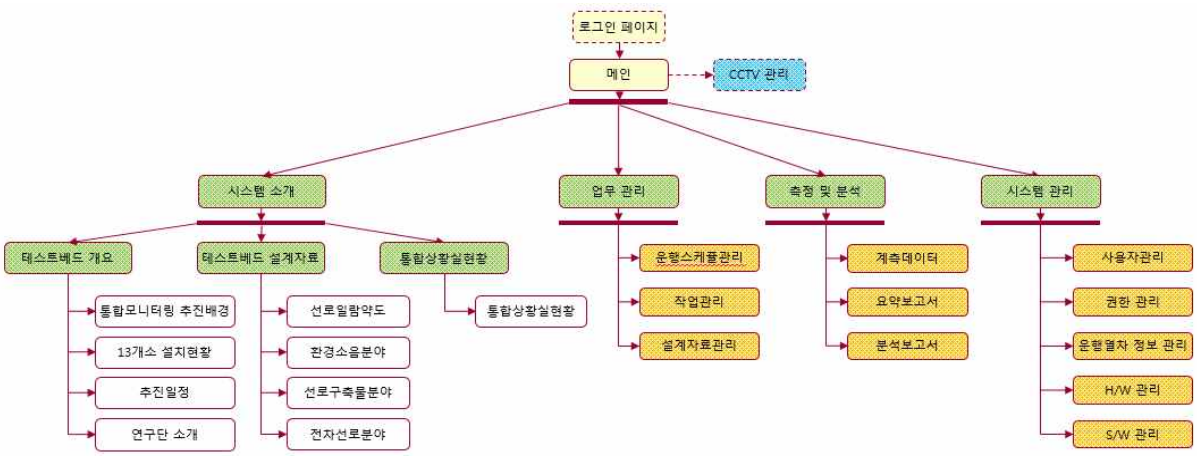
㉯ 메뉴 구조 변경

기존의 3차 구조의 메뉴를 콘텐츠 부분은 변경 없이 그대로 수용하고 업무부분만 2차 구조로 변경하였으며, 2차 메뉴 구조에서 해당 기능들을 수행하는 형태로 변경하였다. 변경된 메뉴 구조는 다음과 같다.

<표 2-3-1-92> 호남고속철도 테스트베드 통합모니터링 시스템 메뉴 구조

| 구분 | 1차 | 2차 | 3차 |
|---|---|---|---|
| 호남고속철도 테스트베드 통합모니터링 시스템 | 1. 메인 | 1.1 계정 로그인 | |
| | | 1.2 메인 페이지 | |
| | 2. 시스템 소개 | 2.1 테스트베드 개요 | 2.1.1 통합모니터링 추진배경<br>2.1.2 13개소 설치현황<br>2.1.3 추진일정<br>2.1.4 연구단 소개 |
| | | 2.2 테스트베드 설계 자료 | 2.2.1 선로일람약도<br>2.2.2 환경소음분야<br>2.2.3 선로구축물분야<br>2.2.4 전차선로분야 |
| | | 2.3 통합상황실 현황 | 2.3.1 통합상황실현황 |
| | 3. 업무 관리 | 3.1 운행스케줄 관리 | |
| | | 3.2 작업관리 | |
| | | 3.3 설계자료관리 | |
| | 4. 측정 및 분석 | 4.1 계측데이터 | |
| | | 4.2 요약보고서 | |
| | | 4.3 분석보고서 | |
| | 5. 시스템 관리 | 5.1 사용자 관리 | |
| | | 5.2 권한 관리 | |
| | | 5.3 운행열차 정보 관리 | |
| | | 5.4 H/W 관리 | |
| | | 5.5 S/W 관리 | |

기존의 메뉴명들을 모두 새롭게 변경하였으며, 시스템 소개는 3개의 파트로 분류하였다. 그리고 각 업무별로 메뉴 구조 위치를 조정하였다.




<그림 2-3-1-45> 호남고속철도 테스트베드 통합모니터링 시스템 메뉴 구조도

㉰ 콘텐츠 변경 및 보완

통합모니터링 추진배경에서 개요 및 필요성, 테스트베드 13개소 설치현황, 추진일정, 연구단 조직도, 통합상황실 콘텐츠 프레임구조, 통합상황실 하드웨어 현황 등을 최종 연구 성과물과 일치하도록 보완하였다.

㉱ 패턴 알고리즘 적용 및 공통 모듈 보안

개인정보 및 공통사용 모듈을 별도로 개발하여 각 프로그램에서 참조하여 사용할 수 있도록 변경하였다.

㉲ 프로그램 변경 및 보완

상세 조회 페이지 항목 및 디자인, 조회 조건(일/주/agenda) 등을 변경하였으며, 추가된 일정을 캘린더 내에서 더블 클릭하여 수정, 내역조회, 삭제할 수 있도록 하였다. 작업관리에서는 검색조건을 변경하였으며, 설계자료 관리에서는 검색 조건을 Tree List view 형태로 변경하였다. 계측데이터 관리에서는 그래프 view 항목 및 디자인을 변경하였다. 요약보고서 디자인 및 리스트에서 보기/수정/삭제 기능을 할 수 있도록 하고, 페이지 Navigation을 추가하고 요약보고서 항목을 변경하였다. 분석 보고서에서는 검색 조건 및 첨부파일 다운로드 기능을 변경하였다. 그 밖에 사용자와 권한관리, Mapping 기능, Station관리, H/W 및 S/W 관리기능을 변경하였다.

## ② 통합 DB 및 통합 UI시스템 종합 테스트

호남고속철도 테스트베드 통함모니터링 시스템 점검을 위해 요구사항 및 설계 문서를 기준으로 각 세부과제 담당자와 시스템 관리자를 대상으로 2차례의 종합 테스트 및 3차례의 사용자 테스트를 하였다. 테스트 결과 오류 및 변경요청에 대해 조치되었거나 반영되었는지 확인하고, 미반영 사항은 반영토록 하였다.

- 1차 종합 테스트 ( 장소 : 철도기술연구원, 일시 : 2014 9.17 )
- 2차 종합 테스트 ( 장소 : 승 화 프 리 텍, 일시 : 2014 9.30 )
- 3차 종합 테스트 ( 장소 : 철도기술연구원, 일시 : 2014. 10.28 )
- 1차 사용자 테스트 ( 장소 : 철도기술연구원, 일시 : 2014. 10.20 ~ 10.24 )
- 2차 사용자 테스트 ( 장소 : 철도기술연구원, 일시 : 2014. 10.27 ~ 10.31 )



<그림 2-3-1-46> 통합 DB 및 통합 UI시스템 테스트

### ③ 통합 DB 및 통합 UI시스템 매뉴얼 작성

㉮ 메뉴 구성도

아래는 테스트베드 통합 모니터링 시스템 전체 메뉴 구성도이다. 대분류로 로그인 화면, 시스템 개요, 시스템 관리, 업무 관리, 데이터 관리, 보고서 관리, 테스트베드 설계자료 관리로 구성되어 있으며 각각 세부 항목별로 관리하도록 하였다.

<표 2-3-1-93> 메뉴 구성도

| 구분 | 1차 | 2차 | 3차 |
|---|---|---|---|
| 호남 고속 철도 Test - Bed 통합 모니 터링 시스템 | 1. 로그인 | 1.1 계정 로그인 | |
| | 2. 시스템 개요 | 2.1 테스트베드 시스템 개요 | 2.1.1 테스트베드 추진배경<br>2.1.2 테스트베드 구축필요성<br>2.1.3 건설현황 및 노선<br>2.1.4 차량성능 제원<br>2.1.5 환경소음<br>2.1.6 전차선로<br>2.1.7 선로구축물 노반분야<br>2.1.8 선로구축물 교량분야<br>2.1.9 선로구축물 궤도분야<br>2.1.10 선로구축물 & 구조물현황<br>2.1.11 연구수행기관<br>2.1.12 테스트베드구간 시험평가 항목 현황 |
| | | 2.2 테스트베드 13개소 현황 | |
| | | 2.3 통합 모니터링 현황 | 2.3.1 H/W 구성도<br>2.3.2 S/W 구성도 |
| | 3. 시스템 관리 | 3.1 일정 관리 | |
| | | 3.2 열차 관리 | |
| | | 3.3 데이터 수신 관리 | |
| | | 3.4 세부 관리 | |
| | | 3.5 사용자 관리 | |
| | | 3.6 SMS 전송이력 관리 | |
| | | 3.7 메시지 관리 | |
| | 4. 업무 관리 | 4.1 업무 관리 | 4.1.1 게시물 등록<br>4.1.2 SMS 전송 |
| | 5. 데이터 관리 | 5.1 데이터 조회 | 5.1.1 게시물 등록 |
| | | 5.2 데이터 분류조회 | |
| | 6. 보고서 관리 | 6.1 보고서 조회 | 6.1 보고서 등록<br>6.2 보고서 양식 등록<br>6.3 보고서 수정<br>6.4 보고서 출력 |
| | 7.Test -Bed 설계자료 | 7.1 풍향풍속계 | 7.1.1 게시물 등록<br>7.1.2 SMS 전송 |

㉯ 초기화면

아래 그림은 테스트베드 통합 모니터링 시스템 Login 화면이다. ID와 패스워드를 이용하여 접속하며 사용인증 후에 시스템을 사용한다. 사용자 로그인과 관리자 로그인으로 구분되어 있으며, 사용자 아이디와 비밀번호를 입력 후 엔터 키(Enter Key)를 누르거나 로그인 버튼을 클릭하면 로그인이 진행된다.

㉰ 메인화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 메인 화면이다. Login 후 사용자가 업무를 수행하는 주 화면이다. 로그인에 성공하면 메인화면으로 이동하며, 최상단 우측에는 사용자 이름과 신규메시지, 로그아웃 버튼이 있다. 상단의 주 메뉴를 선택하여 업무를 수행할 수 있다.

㉱ 시스템 개요

▪ 연구의 배경 및 필요성

연구의 배경 및 필요성 정보 화면이다. 고속철도 인프라 기술 개발의 필요성을 확인할 수 있다.

▪ 테스트베드 구축 필요성

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 구축필요성 정보 화면이다. 테스트베드 구축 계획 및 필요성을 볼 수 있다.

▪ 테스트베드 구축 현황 정보

테스트베드 통합 모니터링 시스템 현황 및 노선 정보 화면이다. 테스트베드 구간 현황 및 환경소음, 선로구축물, 전차선로 분야의 모니터링 현황을 확인할 수 있다.

▪ 차량성능 제원 정보

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 차량성능 제원 정보 화면이다. 테스트베드를 운행하는 차량성능 제원 정보를 볼 수 있다. 차량성능 제원에는 KTX, KTX-산천, HEMU-430x 차량의 설계속도, 운행속도, 축중, 최대 견인력, 편성, 편성중량, 견인성능, 제동거리 등을 나타내었다.

▪ 환경소음 분야 연구개요

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 환경 소음분야 연구 개요을 보여주는 화면이다. 테스트베드 환경 소음 분야 개발 목적 및 내용을 볼 수 있다.

▪ 선로구축물 노반분야 연구개요

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 선로구축물 노반분야 정보 화면이다. 테스트베드 선로구축물 노반분야 개발 목적 및 내용과 기대효과를 볼 수 있다.

▪ 선로구축물 교량분야 연구개요

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 선로구축물 교량분야 정보 화면이다.

테스트베드 선로구축물 교량분야 개발 목적 및 내용과 기대효과를 볼 수 있다.

▪ 선로구축물 궤도분야 연구개요

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 선로구축물 궤도분야 정보 화면이다. 테스트베드 선로구축물 궤도분야 개발 목적 및 내용과 기대효과를 볼 수 있다.

▪ 전차선로 분야 연구개요

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 전차선로 정보 화면이다. 테스트베드 전차선로 분야 개발 목적 및 내용과 기대효과를 볼 수 있다.

▪ 테스트베드 구조물 현황 정보

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 구조물 현황정보 화면이다. 테스트베드 선로구축물과 구조물 현황의 개요를 볼 수 있다. 테스트베드 내에 위치한 선로구축물 구조물 현황에는 교량과 터널의 명칭, 위치, 연장, 형식, 가설공법 등을 나타내었다.

▪ 연구수행기관

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 영구수행기관 개요 정보 화면이다. ‘400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발’ 연구단 과제에 참여하고 있는 기관들을 나타내었다. 각 세부 분야별로 협동, 공동, 위탁기관을 볼 수 있다.

▪ 테스트베드 구간 시험 평가항목 현황 화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 테스트베드 구간 시험 평가항목 정보 화면이다. 테스트베드 구간에서 환경소음, 선로구축물, 전차선로 분야의 성능평가 위치, 계측항목, 평가항목, 데이터로거, 계측채널, 계측 주기 등 성능평가 관련 정보를 볼 수 있다.

▪ 테스트베드 13개소 현황 화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 테스트베드 13개소 정보 화면이다. 테스트베드 구간내에 위치한 환경 분야 4개소, 궤도 분야 3개소, 노반 분야 3개소, 교량 분야 3개소, 전차선 분야의 위치정보를 볼 수 있다.

▪ H/W 구성도 화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 H/W 구성 및 DB 구성 현황 정보 화면이다. 테스트베드 H/W 구성 및 DB 구성 현황 내용을 볼 수 있다.

▪ S/W구성도 화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 개요 업무의 S/W 구성 현황 정보 화면이다. 테스트베드 S/W 구성 현황 내용을 볼 수 있다. 미들웨어의 용도에 따른 구성요소와 웹기반 아키텍처 구성도를 볼 수 있으며, 본 시스템에 적용된 대용량 처리기술인 IFS(Indexed File Structure)에 대한 설명과 개방형 DB에 대하여 스토리지 LTO 구성도와 주기별 평균값 저장에 대한 설명을 볼 수 있다.

㈐ 시스템 관리

▪ 일정관리

테스트베드 통합 모니터링 시스템 관리 업무의 일정관리 업무 화면이다. 테스트베드 일정관리 업무를 처리한다. 시스템 관리에서 일정 관리를 선택할 경우 해당 화면으로 이동하며, 열차분류를 선택하면 그 분류에 해당하는 열차명을 선택할 수 있다. 일정을 등록하거나 조회할 수 있으며, 서브메뉴를 선택하여 다른 페이지로 이동할 수 있다.

▪ 열차관리

테스트베드 통합 모니터링 시스템 관리 업무의 열차관리 업무 화면이다. 테스트베드 열차관리 업무를 처리한다. 시스템 관리에서 열차 관리 선택시 해당 화면으로 이동하며, 열차를 데이터베이스에 등록하고 조회할 수 있다.

▪ 데이터 수신관리 화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 관리 업무의 데이터수신 관리 업무 화면이다. 테스트베드 데이터수신 관리 업무를 처리한다. 시스템 관리에서 데이터 수신관리를 선택할 경우 해당 페이지로 이동한다. 여기에서는 계측데이터 업로드 여부를 확인하고 해당 담당자에게 SMS전송을 할 수 있으며, 계측 날짜별로 조회를 할 수 있다.

▪ 세부 관리 화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 관리 업무의 세부관리 업무 화면이다. 테스트베드 세부관리 정보를 확인할 수 있다.  시스템 관리에서 세부 관리 선택시 해당 페이지로 이동하며, 세부명, 세부코드, 해당 담당자의 정보를 확인할 수 있다.

▪ 사용자 관리 화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 관리 업무의 사용자 관리 업무 화면이다. 테스트베드 사용자를 관리한다. 시스템 관리에서 사용자 관리를 선택할 경우 해당 페이지로 이동하며 사용자를 등록하고 삭제할 수 있다. 또한 소속과 부서, 사용자 이름, 연락처를 조회할 수 있으며, 관리자 권한을 가진 사용자만 해당 페이지를 이용할 수 있다.

▪ SMS 전송 이력 관리 화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 관리 업무의 SMS 전송 이력 관리 업무 화면이다. 테스트베드 SMS 전송 이력 관리 정보를 볼 수 있다. 시스템 관리에서 SMS 전송이력 관리를 선택할 경우 해당 페이지로 이동한다. SMS전송 이력을 기간별, 사용자, 수신번호, 내용으로 검색할 수 있으며, 관리자 권한을 가진 사용자만 해당 페이지를 이용할 수 있다.

▪ 메세지 관리 화면

테스트베드 통합 모니터링 시스템 관리 업무의 메세지 관리 업무 화면이다. 테스트베드 사용자끼리 메시지를 주고받을 수 있다. 시스템 관리에서 메세지 관리를 선택할 경우 해당 페이지로 이동한다. 사용자끼리 웹페이지 상에서 메시지를 주고 받을 수 있으며, 메

시지를 수신 여부를 바로 확인 할 수 있다.

㉮ 업무 관리

테스트베드 통합 모니터링 업무 관리 업무의 업무관리 화면이다. 테스트베드 업무관리 업무를 처리한다. 업무관리 선택시 해당 페이지로 이동하며, 등록된 업무관련 게시물을 조회할 수 있다. 업무 확인 후 SMS전송을 수행할 수 있다. 또한 단계별로 검색조건을 사용할 수 있으며, 항목을 정렬하여 수월한 조회가 가능하다.

㉯ 데이터 관리

테스트베드 통합 모니터링 업무 관리 업무의 데이터관리 화면이다. 테스트베드 데이터 관리 업무를 처리한다. 데이터 분류별 조회 및 상세 정보를 조회할 수 있다. 데이터관리에서 데이터 조회 선택시 해당 페이지로 이동한다. 여기서는 데이터 관련 게시물을 등록하거나 조회할 수 있으며, 세부별로 제공되는 데이터와 분석프로그램을 실행할 수 있다.

㉰ 보고서 관리

테스트베드 통합 모니터링 보고서 관리 업무의 보고서 관리 화면이다. 테스트베드 보고서관리 업무를 처리한다. 기간별 공구별 검색조건을 입력하여 조회하며 상세 정보를 조회하고 신규 보고서 양식을 등록 및 수정한다. 보고서 출력기능을 제공한다.

㉱ 테스트베드 설계자료

테스트베드 통합 모니터링 테스베드 설계자료 관리 화면이다. 테스트베드 설계자료 관리 업무를 처리한다. 도면 자료 등 설계 자료를 등록하고 조회한다. 테스트베드 설계자료 선택시 해당 페이지로 이동하며, 도면자료 및 필요한 파일들을 등록할 수 있다. 해당 담당자에게 SMS전송 기능을 사용할 수도 있다.

## (바) 통합DB 개발 및 운영환경 구축 결과 검증

### ① 통합DB 개발 및 운영환경 구축 감리 종합의견

‘400km/h급 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발’ 과제에서 진행된『호남고속철도 통합 모니터링을 위한 테스트베드 DB개발 및 운영환경 구축』분야의 감리는 데이터수집, 데이터 분석, 데이터 적재 및 운영 모니터링 시스템 분석, 설계, 개발을 포함한 연구과제 전반을 대상으로 하여 종료단계 감리를 실시하였다.

결론적으로 시스템 기능은 성과 목표를 대부분 달성하여 향후 다양한 측면에서 시스템과 DB를 활용할 수 있게 구축된 것으로 판단된다. 향후에는 추가 데이터 확보에 의한 데이터베이스의 확대 구축과 다양한 시스템 기능에 의한 분석 및 통계 기능을 추가하고 고도화시켜 더욱더 고속철도 연구에 효율적인 시스템으로 확대할 필요가 있다. 감리 결과의 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

○ 사업관리 및 품질보증활동

품질보증활동의 철저한 수행으로 감리 대상 과제는 기간 내에 성공적으로 종료한 것으로 판단되나 주연구사업자가 법정관리에 들어감에 따른 일부 혼란이 있었으나 감리사업

자를 선정하여 객관적인 시각에서 연구 과제에 대한 감리를 시행함으로써 감리사업자로 하여금 연구 과제가 성공적으로 종료하도록 하는 등 위험관리와 변경관리 측면에서 시기적절한 조치를 취한 것으로 판단된다. 추후 시스템을 운영하면서 구축 시스템과 작업 성과물에 대한 업그레이드 작업이 지속적으로 필요하다. 또한 하자보수기간 동안에 안정적인 시스템 운영 능력을 제고하기 위한 기술이전 및 유지보수 계획 수립의 공식화를 권고하였다.

○ 응용시스템

모니터링 시스템은 웹으로 적정하게 구축되어 있으며, 성능도 양호한 결과를 내고 있는 것으로 판단된다. 그러나 추가적인 기능 개선의 필요성이 있는지는 시스템을 운영하면서 지속적으로 모니터링해야 할 것으로 판단된다. 시험활동 전반을 검토한 결과, 단위시험을 충실히 수행한 것으로 판단된다. 사용자매뉴얼과 운영자매뉴얼도 전자화 되어 있다. 최종적으로 시스템 사용자의 만족도를 조사하고 추가 개선해야 할 사안이 있는지 파악해야 할 필요가 있다.

○ 데이터베이스

데이터베이스 설계서, ERD 등 최종 산출물과 데이터베이스 기초데이터 정의 등 데이터베이스 요구사항에 대한 과업이행을 완료하였다. 최종 작성된 자료를 토대로 기초 데이터의 확보 및 전환을 완료하고 시스템 통합 테스트도 완료한 것으로 판단된다.

테이블은 메타데이터를 보관하는 용도로 설계되었으며 장기적 관점으로 볼 때, 짧은 기간에 대량의 데이터가 증가할 경우 시스템 작동이 중단되거나, 사용이 어려울 수 있는 위험이 예상되므로 데이터 증가에 대한 모니터링 및 대응을 위한 운영관리 체계수립이 필요함을 제시하였다. 또한, 추후 데이터베이스 대용량에 대비하여 빅 데이터 처리를 위한 설계와 대비책을 추가 과제에서 수행할 필요가 있으며 대용량 데이터의 체계적 분류 및 표준화 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

- 시스템 아키텍처

신규 시스템 도입 자원에 대한 설치 및 검수는 정상적으로 완료되었으나, 운영환경에 대한 보안 취약점 점검 결과, 일부 소프트웨어 버전에서 보안 취약점이 확인되었다. 해당 소프트웨어는 정품으로 업그레이드하도록 하고, 시스템별로 설치 소프트웨어에 대한 정보를 목록화하여 지속적인 관리가 필요하다.

추가적으로 사업자가 자체적으로 수행하는 소스코드 취약점에 대한 점검항목은 정보시스템 구축·운영 지침의 소프트웨어 보안약점 점검항목(47개 항목)을 참고하여 추가 연구 시 실시할 것을 권고하였다.

<표 2-3-1-94> 감리영역별 상세점검결과 요약

| 개선권고사항 | 개선권고 유형 | 개선 시점 | 중요도 | 발주기관 협조필요 |
|---|---|---|---|---|
| <사업관리및 품질보증활동> | | | | |
| (1) 시스템을 운영하면서 구축 시스템과 작업 성과물에 대한 현행화 작업이 필요함 | 권고 | 장기 | ○ | - |
| (2) 하자보수기간 동안의 안정적인 시스템 운영을 위한 기술이전 방안 마련 및 유지보수 계획의 공식화를 권고함 | 협의 | 장기 | - | ○ |
| < 응용시스템> | | | | |
| (1) 시스템 운영일지 작성이 필요하고 시스템 장애에 대한 대처방안을 시나리오 별로 작성 및 테스트가 필요함 | 필수 | 장기 | ○ | - |
| (2) 구축 완료된 시스템에 대한 사용자의 만족도조사 및 시스템 기능의 추가 개선 사항 파악이 필요함 | 필수 | 장기 | ○ | ○ |
| < 데이터베이스 > | | | | |
| (1) 요구사항을 반영하여 데이터베이스를 적정하게 구현하였으므로 대용량 데이터 증가 위험에 대비할 수 있도록 데이터에 대한 운영관리 체계수립을 권고함 | 권고 | 장기 | - | - |
| (2) 향후 대용량 데이터 및 빅데이터 처리에 대한 대비책 수립이 필요함 | 권고 | 장기 | - | - |
| < 시스템 아키텍처 및 보안 > | | | | |
| (1) 보안 취약점이 존재하는 소프트웨어는 최신버전으로 업그레이드하도록 하고 시스템별로 설치된 소프트웨어를 목록화하여 지속적인 관리가 필요함 | 권고 | 장기 | ○ | - |
| (2) 안전한 소프트웨어 개발을 위해 정보시스템 구축 운영 지침을 준수하도록 소스코드취약점에 대한 점검항목을 보완하고 진단을 수행할 것을 권고함 | 권고 | 장기 | - | - |

② 과업이행여부 점검결과

○ 점검현황

<표 2-3-1-95> 과업이행여부 점검 대상 및 표본 추출

| 과업 유형 | 단위 시스템 | 총 요구 건수 | 테스트 가능여부 | | 점검 범위 | 점검 건수 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 가능 (완료) | 불가능 (미완료) | | |
| 기능 | 호남고속철도 통합모니터링웹 시스템 1식 | 3 | 3 | - | 전수 | 3 |
| 비기능 | 장비 도입 外 | 2 | - | 2 | 전수 | 2 |

기능 요구사항과 비기능 요구사항의 과업 유형에 따른 테스트 방법은 다음과 같다.

<표 2-3-1-96> 과업 유형에 따른 테스트 방법

| | |
|---|---|
| 기능 요구사항 | -기능시험의 경우 검사기준서의 작성 형식에 따라 각 요구사항을 구성하는 프로그램 단위로 시험하고, 모든 프로그램의 기능이 정상적으로 동작하는지 여부를 점검함.<br>-서버기능의 경우 모듈 단위의 기능 시험으로 구성되므로 개발팀의 협조를 얻어 진행함.<br>-시험은 운영환경과 동일하게 구성된 개발용 서버에서 수행함. |
| 비기능 요구사항 | -검사기준서의 판정기준을 기준으로 사업관리, 인프라 구축 산출물을 검토하여 과업 이행 여부를 확인하였음. |

○ 점검결과

<표 2-3-1-97> 과업이행여부 점검 결과

| 과업 유형 | 단위 시스템 | 합계 | 점검 대상 | | | 점검제외 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 소계 | 적합 | 부적합 | | |
| 기능 | 호남고속철도 통합모니터링시스템웹시스템 1식 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| 비기능 | 장비 도입 外 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | |

○ 세부 점검결과

<표 2-3-1-98> 기능 요구사항

| 요구사항 ID | 요구사항명 | 검사 기준 | 완료 여부 | 적/부 판정 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| KRRI-FR-0001 | 분야별 수집 데이터 분석을통한 DB설계 및 개발 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0002 | 웹기반 통합 UI시스템 상세설계 및 개발 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0003 | 운영자 중심의 인터페이스 개발 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0004 | 통합 DB 및 통합 UI 시스템 종합테스트 수행 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0005 | 통합테스트 및 사용자 인수시험 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0006 | 홍보 및 실용화 방안 마련 제시 | N/A | 진행중 | 점검제외 | |
| KRRI-FR-0008 | 제품 매뉴얼 및 홍보물 제작 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0009 | 목표시스템 개발 환경구축 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0010 | 통합 H/W 시스템의 구성품 개별 테스트 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0011 | 현장 수집시스템과 통합 시스템의 호환성 테스트 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0012 | 목표시스템 운영 환경 구축 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0013 | 통합 H/W 시스템의 구성품 개별 테스트 | N/A | 완료 | 적합 | |
| KRRI-FR-0014 | 현장수집 데이터에 대한 분석 및 시스템 보완 | N/A | 완료 | 적합 | |

<표 2-3-1-99> 비기능 요구사항

| 요구사항 ID | 요구사항명 | 검사기준 | 완료 여부 | 적/부 판정 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| KRRI-NFR-0001 | 통합서버 | 납품내역서를 통해 도입및 설치 내역 확인 | 완료 | 적합 | |
| KRRI-NFR-0002 | 계측서버 | 납품내역서를 통해 도입및 설치 내역 확인 | 완료 | 적합 | |
| KRRI-NFR-0003 | WEB서버 | 납품내역서를 통해 도입및 설치 내역 확인 | 완료 | 적합 | |
| KRRI-NFR-0004 | WAS서버 | 납품내역서를 통해 도입및 설치 내역 확인 | 완료 | 적합 | |
| KRRI-NFR-0005 | 백업서버 | 납품내역서를 통해 도입및 설치 내역 확인 | 완료 | 적합 | |
| KRRI-NFR-0006 | 인증서버 | 납품내역서를 통해 도입및 설치 내역 확인 | 완료 | 적합 | |
| KRRI-NFR-0007 | 방화벽 | 납품내역서를 통해 도입및 설치 내역 확인 | 완료 | 적합 | |
| KRRI-NFR-0008 | 스토리지 | 납품내역서를 통해 도입및 설치 내역 확인 | 완료 | 적합 | |

③ 감리영역별 점검결과

○ 사업관리 및 품질보증활동

<표 2-3-1-100> 사업관리 및 품질보증활동 점검결과

| 단계 | 점검항목 | 검토항목 | 점검결과 |
|---|---|---|---|
| 사업관리 (실행/ 통제 단계) | 01.범위관리 및 범위 변경관리를 적정하게 수행하고 있는지 여부 | 01.과업범위 이행여부 점검<br>- 과업대비표를 근거로 초기 과업내용 및 요구사항의 단계별 이행 과정에 대한 점검<br>-과업대비표, 요건정의서(요구사항정의서), 요구사항추적표 : 요구사항 누락 여부 및 요구사항 변경내역 반영 여부에 대한 점검 | 적정함 |
| | | 02.과업범위의 변경을 공식적인 변경관리 절차에 따라 수행하고 추적 가능한가?<br>- 사용자 요구사항의 변경절차 준수 여부<br>- 변경에 대한 추적 가능 여부<br>- 사업자 추가제안사항의 이행 여부(추가) | 적정함 |
| | 02.진척관리를 적정하게 수행하고 있는지 여부 | 03. 사업의 일정 등 진척사항을 관리하면서 통제하고 있는가?<br>- 정기적인 진척관리<br>- 관리 도구의 사용 | 적정함 |
| | 03.인력관리를 적정하게 수행하고 있는지 여부 | 04.사업 수행을 위한 투입인력을 계획에 따라 관리하고 있는가?<br>- 월별 투입인력 계획 및 실적<br>- 인력 변경에 적정성(기술력, 경험 등)<br>- 교육계획에 따른 참여인력 교육 실시<br>- 투입인력 근태관리의 적정성<br>- 인력교체 절차, 인계인수 절차의 준수 여부 | 적정함 |
| | 04.의사소통관리를 적정하게 수행하고 있는지 여부 | 05.의사소통관리 체계에 따라 사업 수행 현황을 전문기관, 주관기관과 사업자 간에 원활하게 공유하고 있는가?<br>- 보고 방법 및 주기<br>- 보고 결과에 대한 피드백 | 적정함 |
| | 05.위험관리를 적정하게 수행하고 있는지 여부 | 06.위험관리를 계획된 절차에 따라 수행하고 있는가?<br>- 식별된 위험에 대한 정기적인 평가<br>- 쟁점 및 위험에 대한 추가식별 및 해결에 따른 관리<br>- 개별 위험에 대한 대응방안 수립 | 적정함 |

| 단계 | 점검항목 | 검토항목 | 점검결과 |
|---|---|---|---|
| | 06.변경관리체계를 적정하게 수립하여 관리/통제하고 있는지 여부 | 06.변경관리를 계획된 절차에 따라 수행하고 있는가?<br>- 식별된 변경에 대한 지침/절차에 따른 관리<br>- 변경에 영향도 및 고려 분석 및 결과 확인<br>- 변경DPE | 적정함 |
| 사업관리 (종료 단계) | 06.사용자요구사항을 충분히 반영하고 있는지 여부 | 07.계약사항과 사용자요구사항을 계약종료 전에 완료할 수 있도록 관리하고 있는가?<br>- 사용자요구사항 추적의 완전성 | 적정함 |
| 품질보증 활동 (시험 단계) | 01.품질보증활동을 적정하게 수행하고 있는지 여부 | 01.품질보증 활동을 계획대로 수행하고 있는가?<br>- 품질보증활동 계획 대비 활동 적정성 | 적정함 |
| | 02.사용자 요구사항 및 관련 산출물 간의 추적성, 일관성 | 02.구현된 시스템에서 기능적/비기능적 사용자요구사항을 추적할 수 있는가?<br>- 요구사항 대비 구현 기능의 추적성<br>- 검사기준에 따른 요구사항의 이행 여부 | 적정함 |
| | 03.교육계획을 적정하게 수립하였는지 여부 | 03.사용자 및 운영자를 위한 기술이전 교육계획을 수립하였는가?<br>- 교육내용, 일정, 대상, 방법의 구체성<br>- 교육 및 기술이전 내용, 교재 | 적정함 |
| 품질보증 활동 (전개 단계) | 04.방법론 및 절차/표준의 준수 여부 | 04.방법론 및 관련 표준을 준수하고, 산출물을 적절하게 작성하였는가?<br>- 방법론 및 지침에서 제시한 절차<br>- 각종 설계 및 작성 표준<br>- 각종 국내/외 표준 또는 사실표준 | 최종 성과물 작성 현행화 작업 권고 |
| | 05.사용자/운영자 교육을 적정하게 실시하였는지 여부 | 05.사용자 및 운영자를 대상으로 한 교육을 적절하게 실시하였는가?<br>- 교육 기간, 교육 참가자, 교육 참가자 수, 교육 내용<br>- 교육 만족도, 교육 효과 확인 | 적정함 |
| | 06.인수 운영조직을 적정하게 구성하였는지 여부 | 06.시스템을 인수하여 운영할 조직을 구성하고, 인수 준비를 하였는가?<br>- 업무 및 시스템에 대한 인수 조직의 적정성 | 적정함 |

○ 응용시스템

<표 2-3-1-101> 응용시스템 점검결과

| 단계 | 점검항목 | 검토항목 | 점검결과 |
|---|---|---|---|
| 구현 | 01.응용시스템의 과업내용 이행여부 점검 | 01.테스트 가능한기능 목록 중 선정된 기능들에 대한 과업내용 이행여부 점검<br>- 단위 시스템별 전수조사 또는 표본추출의 대상 선정<br>- 과업범위의 기능/비기능 요구사항 이행(완료) 여부 점검 및 적합/부적합/점검불가 판정 | 적정함 |
| | 02.업무기능구현의 충분성, 완전성 | 02.업무흐름에 따라 각 기능을 충분하고 완전하게 구현하였는가?<br>- 요구사항정의서와의 비교<br>- 응용시스템 설계 산출물과의 비교<br>- 개발대상 세부 기능 목록과의 비교<br>- 수작업업무와 시스템업무간의 연결성<br>- 시스템 활용 업무의 기능성 | 적정함 |
| | 03.사용자 편의성을 확보할 수 있도록 사용자인터페이스를 구현하였는지 여부 | 03.응용시스템에 대한 사용자인터페이스를 편리하게 구현하였는가?<br>- 인터페이스의 일관성<br>- 입력처리 및 기능의 편리성<br>- 업무흐름을 반영한 인터페이스의 구현 | 적정함 |
| | 04.내·외부시스템인터페이스 구현의 충분성, 완전성 | 04.내·외부시스템인터페이스를정확하게구현하였는가?<br>- 연계시스템/기능/데이터의 확인<br>- 연계데이터, 방식, 주기 | 적정함 |
| | 05.접근권한및 통제기능을 정확하게구현하였는지 여부 | 05.응용시스템에 대한 사용자접근권한/통제 및 보안사항을 정확하게 구현하였는가?<br>- 사용자별/그룹별/업무별 접근권한 구현 | 적정함 |
| | 06.단위시험을 실시 하였는지 여부 | 06.단위시험을 적절하게 수행하였는가?<br>- 시험결과관리 | 적정함 |
| | 07.통합시험계획을 적정하게 수립하였는지 여부 | 07.통합시험계획을 적정하게 수립하였는가?<br>- 통합시험유형 및 범위<br>- 시험환경, 절차, 시나리오, 데이터 | 적정함 |
| 시험 | 08.통합시험 실시 및 검증을 적정하게 수행하였는지 여부 | 08.통합시험을 계획에 따라 적정하게 실시하였는가?<br>- 통합시험계획서/통합시험시나리오상의시험대상업무 중전체업무를수행하였는지여부<br>- 통합시험 결과내역을 정확하게 기록하였는지 여부<br>- 현장에서 발생할 수 있는 시험수행데이터의 유형을 | 적정함 |

| 단계 | 점검항목 | 검토항목 | 점검결과 |
|---|---|---|---|
| | | 누락없이 충분히 반영하여 시험을 수행하였고 내용이 충실한지 여부<br>- 통합시험결과에 따른 시스템수정사항을 시스템에 반영하였는지 여부<br>- 시험결과에 따라 관련 산출물을 최신내용으로 수정하였는지 여부 | |
| | | 09. 통합시험을 통해 내·외부 시스템 간의 연계 및 구현된 시스템 간의 기능의 완전성과 데이터 무결성을 확보하였는가?<br>- 내·외부시스템연계기능이 정상 작동하였는지 여부<br>- 데이터변환/통계기능이 정상 작동하였는지 여부<br>- 사용자인터페이스 관련 결함이 있는지 여부<br>- 업무기능 관련 결함이 있는지 여부<br>- 데이터검증처리 관련 결함이 있는지 여부 | 적정함 |
| | 09.시험결과의 관리 및 개선을 적정하게 수행하였는지 여부 | 10.시험 결과에 대한 관리 및 개선을 적정하게 수행하였는가?<br>- 시험 유형별 시나리오, 데이터, 결과 관리의 적정성<br>- 시험 결과에 따른 오류 개선 | 적정함 |
| | 10.사용자지침서를 적정하게 작성하였는지 여부 | 11.사용자지침서를 적정하게 작성하였는가?<br>- 구현 기능에 대한 사용방법 설명의 충분성<br>- 지침서 내용의 현행화 여부<br>- 사용자의 교육, 이해 및 사용 편의성 확보 여부 | 적정함 |
| | 11.사용자 인수 시험 계획의 적정성 | 12. 사용자인수시험계획을적정하게수립하고인수시험을 적절하게 수행하였는지 여부 | 장애대처 준비 |
| | 12.업무전환계획의 적정성 | 13.시스템 및 업무전환 계획을 적정하게 수행하였는지 여부 | 시스템운영일지 작성 |

○ 데이터베이스

<표 2-3-1-102> 데이터베이스 점검결과

| 단계 | 점검항목 | 검토항목 | 점검결과 |
|---|---|---|---|
| 구현 | 1.데이터베이스 과업내용 이행여부 점검 | 1.데이터베이스 관련의 과업내용(요구사항) 이행여부 점검<br>- 과업범위의 요구사항 이행(완료) 여부 점검 및 적합/부적합/점검불가 판정 | 적정함 |
| | 2.공통 코드를 적정하게 설계하였는지 여부 | 2.공통코드에 대한 설계가 이루어졌는가?<br>- 코드 설계 대상의 선정<br>- 코드 구조 및 생성 규칙<br>- 코드 증가 및 확장에 대한 고려 | 적정함 |
| | 3.데이터베이스테이블구현을 적정하게 수행하였는지 여부 | 3.설계에따라데이터베이스에테이블및테이블간업무관계를적합하게구현하였는가?<br>- 테이블, 인덱스, 키설계, 트리거 | 적정함 |
| | 4.데이터베이스성능을 충분히 고려하여 구현하였는지 여부 | 4. 성능을고려하여데이터베이스를구현하였는가?<br>- 각종데이터베이스관련설정<br>- 인덱스, 메모리, 세션 | 적정함 |
| | 5.데이터접근권한 및 통제를 정확하게 구현하였는지 여부 | 5.데이터에 대한 접근권한 및 통제를 설계에 맞게 구현하였는가?<br>- 사용자별/그룹별/업무별 데이터 접근권한 구현 | 적정함 |
| | 6. 단위시험을 실시하였는지 여부 | 6.시험을 통해 구현된 데이터베이스의 적합성을 확인하였는가?<br>- 테이블속성, 크기, 속성도메인<br>- 트리거, 내부함수 | 적정함 |
| 시험 | 7.시험데이터 준비의 적정성 | 7. 시험데이터준비를 적정하게 수행하였는가?<br>- 시험데이터구축이 적정하게 이루어졌는지 점검<br>- 시험데이터 관리방안을 적절히 수립하고 관리하는지 점검 | 적정함 |
| | 8.통합시험 실시 및 검증을 적정하게 수행하였는지 여부 | 8.통합시험을 계획에 따라 적정하게 실시하였는가?<br>- 현장에서 발생할 수 있는 시험데이터의 유형을 누락없이 충분히 반영하여 시험을 수행하였고 내용이 충실한지 여부 | 적정함 |
| | | 9.통합시험을 통해 데이터 무결성을 확보하였는가?<br>- 데이터검증처리 관련 결함이 있는지 여부 | 적정함 |
| 운영준비 | 9.초기데이터 구축 및 데이터 전환/검증을 적정하게 수행하였는지 여부 | 10.초기데이터 구축과 데이터 전환을 적정하게 실시하고 검증하였는가?<br>- 초기데이터의 구축 및 적정성 검증<br>- 기존 데이터 전환 수행 및 결과의 적정성 검증 | 적정함 |

○ 시스템아키텍처 및 보안

<표 2-3-1-103> 시스템아키텍처 및 보안 점검결과

| 단계 | 점검항목 | 검토항목 | 점검결과 |
|---|---|---|---|
| 시스템 구조 및 보안 | 1.과업내용(요구사항)의 이행여부 | 01.세부검사 항목별 과업내용 이행 여부 점검(요구사항, 추적, 검사기준서) | 적정함 |
| | 2. 시스템 설치 및 검증 계획을 적정하게 수립하였는지 여부 | 02.시스템 설치 및 검증 계획이 수립되었는가?<br>- 각종 도입 장비에 대한 설치계획<br>- 설치 후 각 장비의 요구사항에 대한 검증 방법 및 절차 | 적정함 |
| | 3.시스템 전환계획을 적정하게 수립하였는지 여부 | 03.시스템 전환계획이 적정하게 수립되었는가?<br>- 유사사례 및 기술/업무적 특성에 따른 위험요인 분석<br>- 시스템 및 업무 특성을 고려한 전환계획<br>- 시스템 전환 절차/방법, 검증계획<br>- 문제발생시 복구 및 업무처리계획 | 적정함 |
| | 4.시스템도입/설치 및 보안환경의 구축을 충분하게 수행하였는지 여부 | 04.시스템 도입계획 및 설계에 따라 도입/설치되었는가?<br>- 계획대비 도입 장비의 적합성<br>- 시스템 및 각종 소프트웨어 설치<br>- 보안 솔루션 | 적정함 |
| | 5.시스템 시험 계획을 적정하게 수립하였는지 여부 | 05.시스템 시험이 계획되고 수행 되었는가?<br>- 시스템 시험 유형 및 범위<br>- 시험 환경, 절차, 시나리오, 데이터 | 적정함 |
| | | 06.시스템최적화활동을적정하게수행하였는지여부 | 적정함 |
| | 6.정보시스템구축.운영기술지침반영의 적정성 | 07.정보시스템구축운영기술지침반영이적정한가?<br>- 기술적용추적가능한산출물및페이지의명확한식별<br>- 기술지침적용계획및준수결과의일관성및완전성 | 적정함 |
| | 7.표준화 요건을 준수하였는지 점검 | 08. 전자정부 웹호환성 준수지침의 준수를 위한계획 및 점검결과가 적정한지 여부 | N/A |
| | | 09.인터넷웹콘텐츠접근성지침 및 웹접근성 향상을 위한 국가표준기술 가이드라인의 준수를 위한 계획 및 점검결과가 적정한지 여부 | N/A |
| | | 10.시스템 표준 상호 운용성 준수 여부 | 적정함 |
| | | 11.적용대상 표준 식별여부 및 적정성 | 적정함 |

## 나. 연구수행 결과의 검증방법

연구수행결과의 검증방법은 4차년도 협약시에 제출한 성과점검기준표에 명시되어 있다. 성과점검기준표에서 총괄 및 1세부과제는 연구성과 총괄 및 인터페이스 체계 구축을 포함하여 총 5가지의 성과목표를 설정하고, 각 성과목표에 대하여 총 11가지의 성과지표를 설정하였다. 또한 각 성과지표에 대한 목표치와 검증방법을 제시하였다.

<표 2-3-1-104> 연구수행 결과의 검증방법

| 성과목표 | 성과지표 | 목표치 | 검증방법 |
|---|---|---|---|
| 연구사업 총괄 및 인터페이스 | ▪ 세부과제별 진도관리 및 인터페이스 체계 구축 | 6회 이상 | ▪ 공정회의를 통한 세부과제별 연구개발 진척사항 점검<br>▪ 호남고속철도 Test-bed 구축중심의 공정관리 실시 |
| | ▪ 세부과제간 정보공유 체계 강화 | 1건 | ▪ 홈페이지 및 웹디스크를 이용한 정보공유 활성화 |
| 연구성과 홍보 및 확산 | ▪ 연구성과 홍보 | 2건 이상 | ▪ 홍보자료 제작, 홍보책자 발간 및 언론보도 추진 |
| | ▪ 연구성과 발표 | 2건 이상 | ▪ 연구성과 발표 및 세미나, 전시회 참가 등 |
| 연구성과품 종합평가 및 분석 | ▪ 연구성과품 적용성 검토 | 1건 | ▪ 연구성과품 적용에 따른 통합 성능평가 결과 분석 |
| | ▪ 연구성과품 실용화 기반 검토 | 1건 | ▪ 연구성과품 실용화 달성을 위한 점검<br>▪ 테스트베드 실적용에 따른 인터페이스 검토 |
| Test-bed 구축 및 실행 | ▪ Test-bed 구축 실행 | 1건 이상 | ▪ 호남고속철도건설사업 일정을 고려한 Test-bed 구축 |
| | ▪ 기술 분야별 Test-bed 구축 지원 | 1건 이상 | ▪ 환경소음저감장치 설치 및 응용 지원<br>▪ 선로구축물 분야 모니터링시스템 구축 지원<br>▪ 전차선로 시스템 설치 지원 |
| | ▪ 모니터링시스템 및 DB 관리방안 수립 | 1건 | ▪ 모니터링시스템 및 DB관리방안 제시 |
| Test-bed DB 개발 및 운영환경 구축 | ▪ 통합DB 및 통합UI 시스템 Test-bed 적용 | 1건 | ▪ 통합 DB 및 통합 UI 시스템 Test-bed 적용<br>▪ 전자메뉴얼 작성 |
| | ▪ 통합 모니터링 H/W 시스템 Test-bed 적용 | 1건 | ▪ 통합 모니터링 H/W시스템의 Test-bed 적용 |

## 2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발

### 가. 연구수행결과

#### (1) 방음벽 상단장치 테스트 베드 구축 및 성능평가

##### (가) 방음벽 상단장치 현장부설 전 품질시험

본 연구에서 개발된 성과품 중 호남고속철도 테스트 베드 구간에 시험부설 되는 방음벽 상단장치의 현장부설 전 품질시험은 현재 사용되고 있는 제품과 동등이상의 성능을 검증함으로써 현장부설시 적합여부를 판단할 수 있는 자료로 활용할 수 있다.

##### ① 품질시험 항목 및 시험방법

상단장치 시제품의 외형은 도장 강판으로 제작 되었다. 외기에 장시간 자외선에 노출되어 있어 도장 성능에 대한 성능평가를 수행하기 위해 KS F 4770-2(방음판-금속재 컬러)에 언급되어 있는 도막 품질시험 시험을 수행하였다. 도막품질시험은 아래와 같이 시험하여 품질기준을 만족하여야 한다.

<표 2-3-2-1> 방음벽 상단장치 현장부설 전 도막 품질시험 항목

| 분야 | 항 목 | 시험규격 | 400km/h급 기준 |
|---|---|---|---|
| 도막 품질시험 | 광택도 | KS M 5000 | 40% 이하 |
| | 염수분무시험 | KS D 9502 | 5mm 이외에서 녹발생 없음 |
| | 밀착성 시험 | KS D 3520 | 도막이 벗겨지지 않아야 함 |

(1) 광택도 : KS M 5000의 60° 경면 광택도 시험방법에 따라 시험하여, 40% 이하이어야 한다.

(2) 염수분무시험 : KS D 9502에 따라 시험하여, 'X'표시 부위면측 5mm 이외에서 녹발생이 없어야 한다.

(3) 밀착성시험 : KS D 3520의 바둑판 눈금 시험에 따라 시험하여, 도막이 벗겨지지 않아야 한다.

##### ② 품질시험 결과

도막품질시험(광택도, 염수분무시험, 밀착성 시험) 시험을 KOLAS 인증기관인 한국화학융합시험연구원에 의뢰하여 수행하였다. <표 2-3-2-2>는 공인시험 결과를 나타낸 것이다. 시험결과 관견기준을 모두 만족하였으며, 테스트 베드 시험부설에 문제가 없는 것으로 평가되었다.

<표 2-3-2-2> 시험부설 전 방음벽 상단장치의 성능평가 관련 규격 및 시험결과

| 항 목 | 시험규격 | 품질 기준 | 시험결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 광택도 | KS M 5000 | 40% 이하 | 11% | 성적서번호 TAD-009622 |
| 염수분무시험 | KS D 9502 | 5mm 이외에서 녹발생 없음 | 이상없음 | |
| 밀착성 시험 | KS D 3520 | 도막이 벗겨지지 않아야 함 | 이상없음 | |



YOUR PARTNER FOR THE BEST QUALITY

TEST REPORT

우 306-130 대전광역시 대덕구 신탄진로 637 (평촌동) TEL (042)931-8511~3 FAX (042)931-8514

성적서번호 : TAD-009622
대 표 자 : 김영찬
업 체 명 : 유니슨테크놀러지(주)
주 소 : 충청남도 천안시 서북구 월봉7길 49 (쌍용동)

접 수 일 자 : 2013년 11월 22일
시험완료일자 : 2013년 12월 17일

시 료 명 : 상단장치

시 험 결 과

| 시험항목 | 단위 | 시료구분 | 결과치 | 시험방법 |
|---|---|---|---|---|
| 염수분무시험(500 h) | - | - | - | KS F 4770-2 : 2001 |
| -외관 | - | - | 이상없음 | KS F 4770-2 : 2001 |
| 밀착성(1 mm Cross Cut) | - | - | 이상없음 | KS F 4770-2 : 2001 |
| 광택도 | % | - | 11 | KS F 4770-2 : 2001 |

용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

작성자 : 정헌태
Tel : 032-570-9752

기술책임자 : 권성일
E-mail : ksi@ktr.or.kr

2013년 12월 17일

한국화학융합시험연구원장

Page : 1 of 1

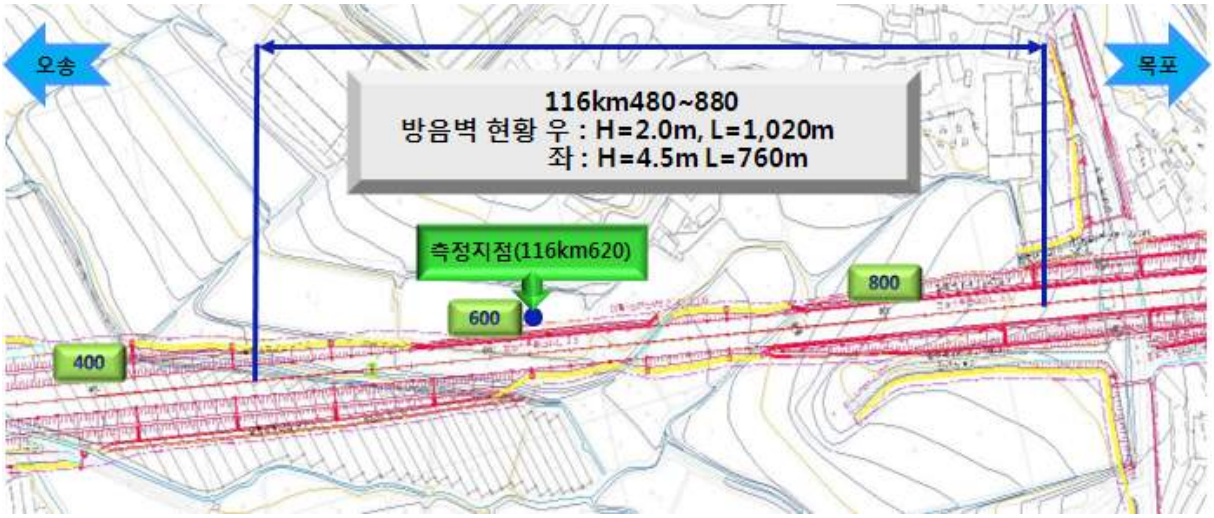
전자문서본(Electronic Copy)

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-T09-F01(01) A4(210 × 297)

<그림 2-3-2-1> 방음벽 상단장치 도막품질시험결과 공인시험성적서

## (나) 방음벽 상단장치 현장부설

방음벽 상단장치의 소음저감성능평가를 위하여 호남고속철도 테스트 베드 구간에 2013년 10월 29일~12월 9일까지 현장부설을 수행하였다. 현장부설 위치는 전라북도 정읍시 신태인읍 백산리 노량산리 마을에 인접한 호남고속철도 STA.116k480~880, L=400m, 하선(좌)에 설치하였다. <그림 2-3-2-2>는 400km/h급 방음벽 상단장치의 현장부설 위치를 나타낸 것이다.

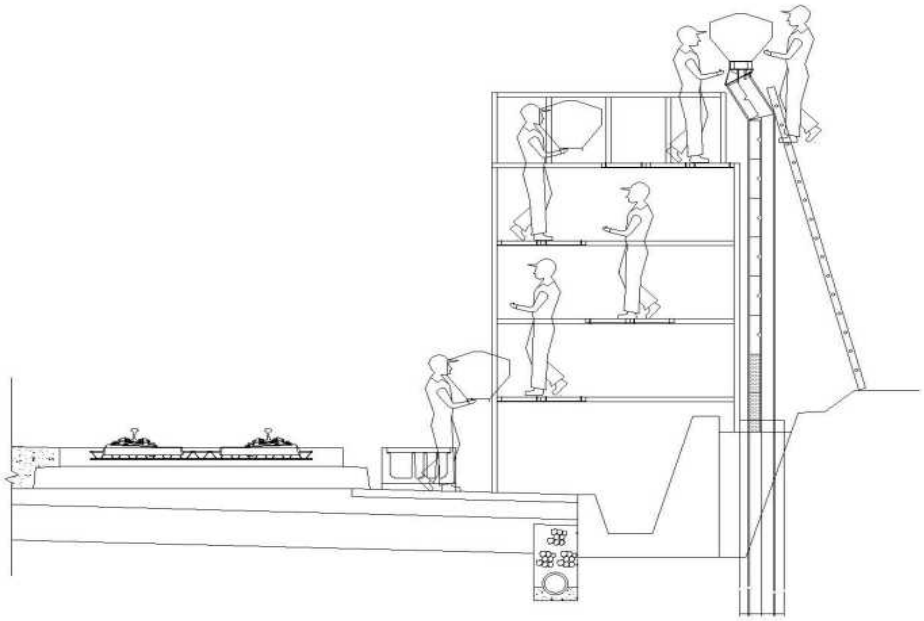



<그림 2-3-2-2> 400km/h급 방음벽 상단장치 현장부설 위치

① 방음벽 상단장치 현장시공 방법

방음벽 상단장치 시공은 비계설치, 자재반입, 상단장치의 설치의 순서로 진행되었으며 상세 시공방법은 다음과 같다.

① 1단계(비계설치) : 전차선 공사부분 바깥쪽(방음벽 쪽)에 높이 4.0m, 폭 4.5m로 설치(개략도 <그림 2-3-2-3> 참조)
② 2단계(자재반입) : 조립식 간이대차를 선로 위에 설치하고 선로를 이용 자재 반입
③ 3단계(상단장치 설치) : 계단식 비계를 설치하여 인력으로 구조물 양중하여 설치함. 이때, 방음벽 후면에서 사다리를 이용하여 설치(매 구간마다 비계 이동 및 설치하여 작업진행)



<그림 2-3-2-3> 400km/h급 방음벽 상단장치 시공 개략도

② 상단장치 설치 공정 세부 작업 순서

(1) 캡 플레이트 제거 후 상단장치 설치용 브라켓 용접

(2) 방음벽 지주에 각관 설치

(3) 방음판과 상단장치 사이에 발생하는 틈새는 전면 막음판을 시공하여 소음의 누출을 방지. 전면 막음판의 하부는 방음벽 지주 절곡면에 걸치고 상부를 각관 지그에 M14 직결 피스로 고정

(4) 상단장치를 각관 지그 상부에 안착한 상태에서 전/후면에 M14 직결피스로 총 4개 지점을 체결

(5) 시공 시점부, 종점부 및 지형 변화로 방음벽이 꺽이는 부분과 같이 상단장치 측면의 사출 부분은 자외선에 장시간 노출시 손상의 우려가 있어 철판을 이용해 마감작업

③ 안전관리에 관한 사항

(1) 설치 시설물(전차선, 신호시설물 등)에 대하여 지장이 없도록 관계자 업무협의를 철저히 시행한다.

(2) 작업개시 전 작업자 및 장비운전원에 대해 작업장 안전에 대한 교육을 실시하고 작업책임자 입회하에 작업을 시행한다.

(3) 개인 안전보호구(안전모, 안전화, 반사조끼, X반도, 장갑 등)의 착용여부를 확인 한다.

(4) 안전관리자는 위험지역 및 작업지역을 순찰한다.

(5) 작업시간을 철저히 준수한다.

(6) 응급처치용 구급품을 확보 및 구비한다.

(7) 사고 발생시 신속히 보고하며, 복구에 철저를 기한다.

(8) 작업 전후 및 작업 중의 현장 정리정돈을 철저히 한다.





(a) 자재 반입





(b) 자재운반 (c) 비계설치

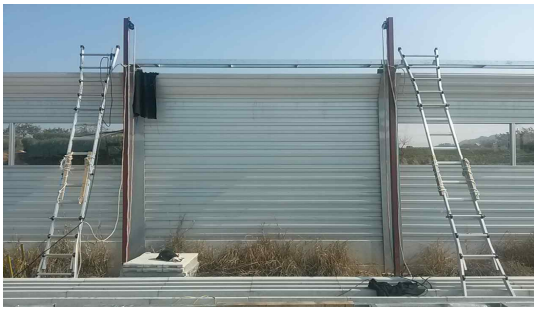
<그림 2-3-2-4> 400km/h급 방음벽 상단장치 현장부설 전경



(d) Cap plate 제거



(e) 브라켓 용접



(f) 각관 설치



(g) 상단장치 설치



(h) 상단장치 하부 마감



(i) 상단장치 측면 마감





(j) 상단장치 시공 완료

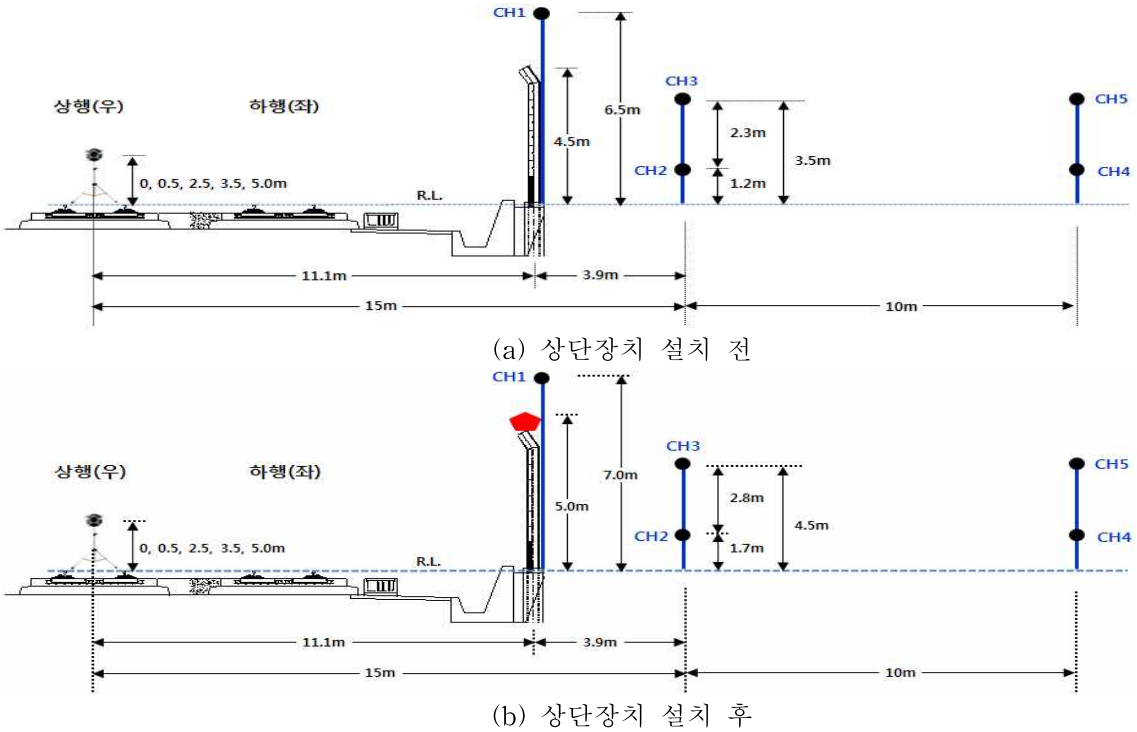
<그림 2-3-2-4_계속> 400km/h급 방음벽 상단장치 현장부설 전경

(나) 방음벽 상단장치 성능평가

방음벽 상단장치의 소음저감성능평가를 위하여 스피커 음원을 이용한 음향성능 시험과 HEMU-430X 운행시 소음측정을 통한 성능평가를 수행하였다. 스피커를 이용한 음향성능시험은 상단장치 설치 전과 후의 상태에서 평가를 진행하였고, 음원의 높이별 강도를 보정하여 최종 성능을 도출하였다. 차량 운행(HEMU-430X 및 KTX호남)에 따른 성능평가는 호남고속철도 건설일정으로 인하여 상단장치 시공 완료 후 300km/h 미만의 속도대역에서 소음측정(14년 4월, 8월)을 수행하였다. HEMU-430X의 증속이 본격적으로 시작된 2015년 1월 이후 400m 설치 구간 중 160m(HEMU-430X 1편성 150m)를 부분 철거 후 설치 구간과 미설치 구간에서 동시측정을 통해 성능평가를 진행하였다.

① 음향(스피커)성능평가

테스트 베드 구간에 차량 운행(HEMU-430X 및 KTX호남)전 스피커 음원을 통한 음향성능평가를 수행하였다. 철도 소음은 공력, 전동, 기계 등 차량의 높이별로 다양한 소음원이 분포되어 있다. 이와 같은 특성을 구현하기 위해 음원인 스피커의 높이를 0, 0.5, 2.5, 3.5 및 5.0m로 하여 상단장치 설치 전/후의 소음을 측정하였다. <그림 2-3-2-5>는 상단장치 음향성능을 위한 측정 단면을 나타낸 것이다.




(a) 상단장치 설치 전

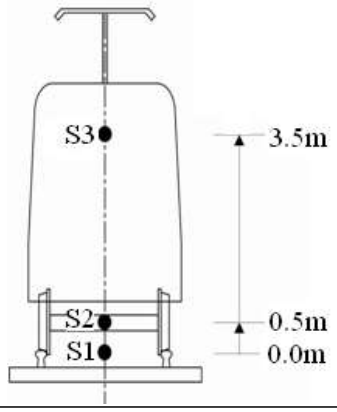
(b) 상단장치 설치 후

<그림 2-3-2-5> 400km/h급 방음벽 상단장치 음향성능시험을 위한 소음측정 단면

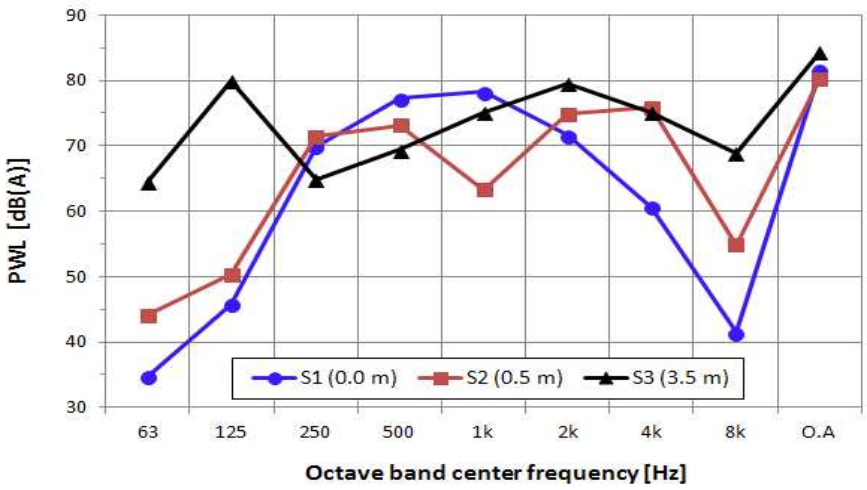
음원 신호는 화이트 노이즈 (white noise)로 하고, 각 측정점에서 측정된 음압레벨의 주파수 가중 특성은 “Linear”으로 하고 시간 특성은 "빠름(fast)"으로 하였다. 1/3 옥타브 밴드 중심주파수로 주파수 특성 분석을 하고, 31.5~4kHz를 평가하였으며, "총합소음레벨(overall)"을 산출하였다. 음향성능시험 전과 후에 배경소음을 측정하여 신호음과 배경소음의 차이가 10dB 미만일 경우에는 “소음·진동공정시험기준”에 의거하여 주파수별로 배경소음 보정을 하였다.

HEMU-430X은 레일과 차륜에서 발생하는 전동소음(S1~S2)보다 본체 및 판토그라프에서 발생하는 소음 S3가 3~4dB(A) 정도 크다.(3차년도 연구결과) 이러한 특성을 반영하기 위하여 측정 결과에 강도가 가장 큰 S3에 해당하는 측정결과를 도출하였다. 또한 HEMU-430X에서 주행시 발생하는 주파수의 최대 피크는 2kHz(2, 3차년도, 경부 2단계 측정결과)로 이 주파수 대역을 기준으로 주파수 보정값을 산정하여 소음저감성능을 평가하였다.

<표 2-3-2-3> HEMU-430X의 소음원별 위치

| Noise source and height from rail level | | Location of noise source |
|---|---|---|
| S1 | Noise source : rolling noise(track : rail, sleeper) |  |
| | Height of noise source : 0.0m | |
| S2 | Noise source : rolling noise(wheel) | |
| | Height of noise source : 0.5m | |
| S3 | Noise source : aerodynamic noise (bogie and pantograph) | |
| | Height of noise source : 3.5m | |






<그림 2-3-2-6> HEMU-430X의 소음원별 위치별 주파수 특성

<표 2-3-2-4> HEMU-430X S3 특성 반영을 위한 주파수별 보정값

| Freq. [Hz] | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Correction value [dB] | -15.0 | 0.4 | -14.6 | -10.1 | -4.3 | 0.0 | -4.4 | -10.5 |

HEMU-430X은 레일과 차륜에서 발생하는 전동소음(S1~S2)보다 본체 및 판토그라프에서 발행하는 소음 S3가 3~4dB(A) 정도 크다.(3차년도 연구결과) 이러한 특성을 반영하기 위하여 측정 결과에 강도가 가장 큰 S3에 해당하는 측정결과를 도출하였다. 또한 HEMU-430X에서 주행시 발생하는 주파수의 최대 피크는 2kHz(2, 3차년도, 경부 2단계 측정결과)로 이 주파수 대역을 기준으로 주파수 보정값을 산정하여 소음저감성능을 평가하였다. <그림 2-3-2-7>은 HEMU-430X의 소음특성을 반영한 방음벽 상단장치 음향성능시험 결과를 나타낸 것이다. 소음저감을 목표 주파수인 125, 250, 500 및 1kHz에서의 감음량은 2~3dB로 나타났다. 방음벽 상단장치 형상에 따른 회절 경로 증가로 고주파수 영역(2~4kHz)에서는 4.1dB의 성능이 나타났으며, 전체 측정지점에 대한 평균 소음저감량은 3.5dB 이었다.

### ② 열차(HEMU-430X)운행에 따른 소음저감성능평가

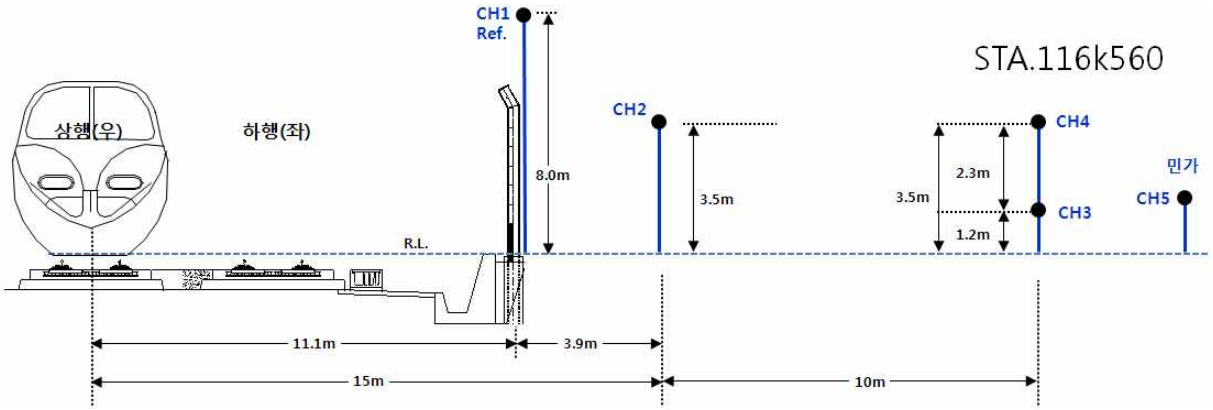
열차 운행에 따른 소음저감성능평가는 테스트 베드 구간의 노반, 전차선, 신호 등 각종 시설물의 검증을 위한 운행, HEMU-430X의 시운전 및 증속 운행의 순서로 진행되었다. 호남고속철도 건설일정으로 인하여 시설물 검증 및 HEMU-430X 시운전 시에는 방음벽 상단장치의 현장부설이 완료된 상태로 측정시스템 및 측정결과 분석의 사전점검을 위한 측정이 이루어졌다.

HEMU-430X의 증속시에는 설치된 상단장치 160m(STA.116k480~640, HEMU-430X 1편성 150m)를 부분 철거하여 동일 열차에 대하여 설치구간과 미설치구간에 대하여 동시 측정을 수행하여 평가하였다. <표 2-3-2-5>은 방음벽 상단장치의 성능평가를 위해 테스트 베드 구간에서 소음을 측정한 현황을 나타낸 것이다.

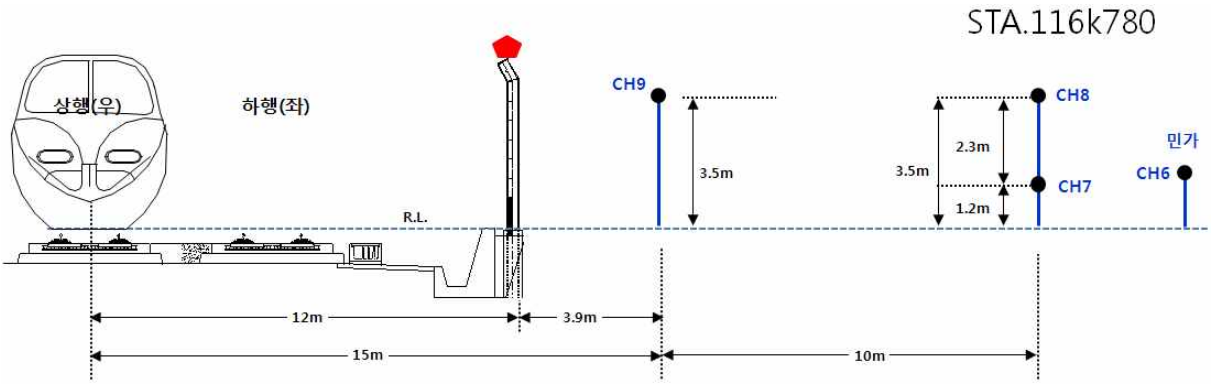
<표 2-3-2-5> 방음벽 상단장치 소음저감성능평가를 위한 소음측정 현황

| 운행 열차 | 속도 대역[km/h] | 측정일자 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| KTX호남 | 60~270 | 14.04.23~24 | 시설물검증 |
| HEMU-430X | 60~290 | 14.08.28 | 시운전 |
| HEMU-430X | 310 | 14.12.04 | 설치후 소음측정 |
| | 250~370 | 14.12.12 | |
| | 170~386 | 15.01.26 | 미설치/ 설치 구간 동시 소음측정 |
| | 386~387 | 15.02.01 | |
| | 177~383 | 15.02.15 | |
| | 399~414 | 15.03.09 | |
| | 400~401 | 15.03.15 | |

방음벽 상단장치의 소음저감성능평가 위치는 선로 중앙 25m 이격된 위치에서 레일 상면으로부터 1.2m(ISO 3095 기준 준용) 열차통과소음(TEL)을 평가하는 것이다. 성능평가 측정 시에는 상단장치 설치에 따른 소음 특성을 확인하기 위해 인접 민가 등 추가적인 위치를 선정하여 측정을 수행하였다. <그림 2-3-2-7>은 상단장치 설치구간과 미설치 구간의 소음측정 단면을 나타낸 것이다. 성능평가를 위한 측정 및 분석시트에 기록된 소음저감성능은 선로 중앙 25m이격 된 지점에서 레일 상면으로 1.2, 3.5m의 위치에서 열차통과소음에 대한 소음저감성능을 기록하였으며, 참고사항인 인접 민가의 경우는 국내 환경부의 철도소음기준인 1시간 등가소음(Leq1hr)도로 나타내었다.




(a) 미설치 구간 소음측정 단면




(b) 설치 구간 소음측정 단면

<그림 2-3-2-7> 방음벽 상단장치 소음저감성능평가를 위한 소음측정 단면

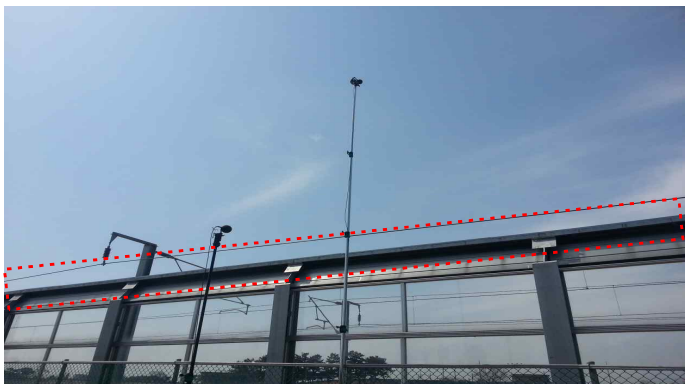
<그림 2-3-2-7>은 설치 구간과 미설치 구간의 소음측정 전경을 나타낸 것이다. <표 2-3-2-5>는 상단장치 설치구간과 미설치구간에서 HEMU-430X 운행시 동시 측정결과를 나타낸 것이다. 측정결과에서, 367~414km/h의 속도 대역에서 선로 중앙 25m(H=1.2m, H=3.5m)에서 평균소음저감량은 3.9dB(A)로 방음벽 상단장치의 성능평가 기준인 3dB(A)의 목표를 달성하였다.

방음벽 상단장치는 HEMU-430X의 소음특성 중 200~500Hz 대역은 상단장치 내부의 간섭형 공명기, 1~2kHz 대역은 상단장치 형상을 통해 저감하도록 설계되었다. <그림 2-3-2-9>의 설치 구간과 미설치구간의 주파수 특성과 같이 200~500Hz 대역은 2~3dB(A), 1~2kHz 대역은 3~5dB(A) 저감 되어 내부 구조와 형상에 따른 소음저감성능도 확보하였다. 따라서 고속철도뿐 아니라 일반철도에도 해당 열차의 주파수 특성에 따

라 내부 구조 변경을 통해 일반철도 구간에 적용이 가능하다.

고속철도가 300km/h에서 400km/h 증속시 약 7dB(A)의 소음이 증가하는 것으로 알려져 있다.(1차년도 연구결과) 성능평가 시 HEMU-430X가 60~414km/h로 운행시 속도 증속에 따라 7dB(A)의 소음이 상승하는지를 확인하였다. 소음측정시 방음벽과 상단장치의 영향을 받지 않는 위치(CH1, Ref.)의 총 32개의 측정결과를 회귀분석한 결과 y=79.80458+0.0650X의 회귀식을 얻었으며, 증속시(300->400km/h) 7dB(A)가 상승하는 것을 확인하였다.





(a) 방음벽 상단장치 미설치 구간



(b) 방음벽 상단장치 설치 구간

<그림 2-3-2-8> 방음벽 상단장치 설치구간 및 미설치구간 소음측정 전경

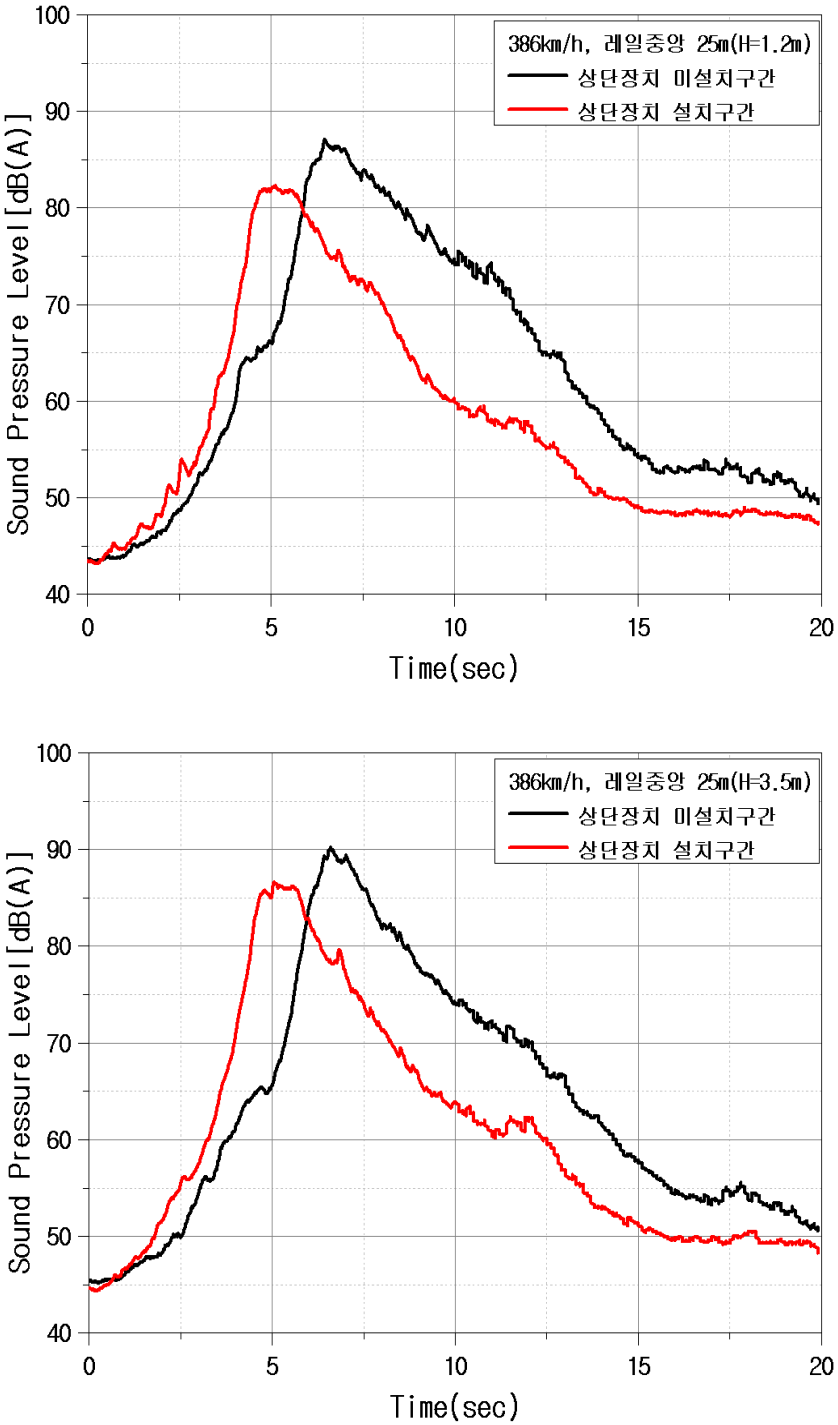


(b) 방음벽 상단장치 설치 구간

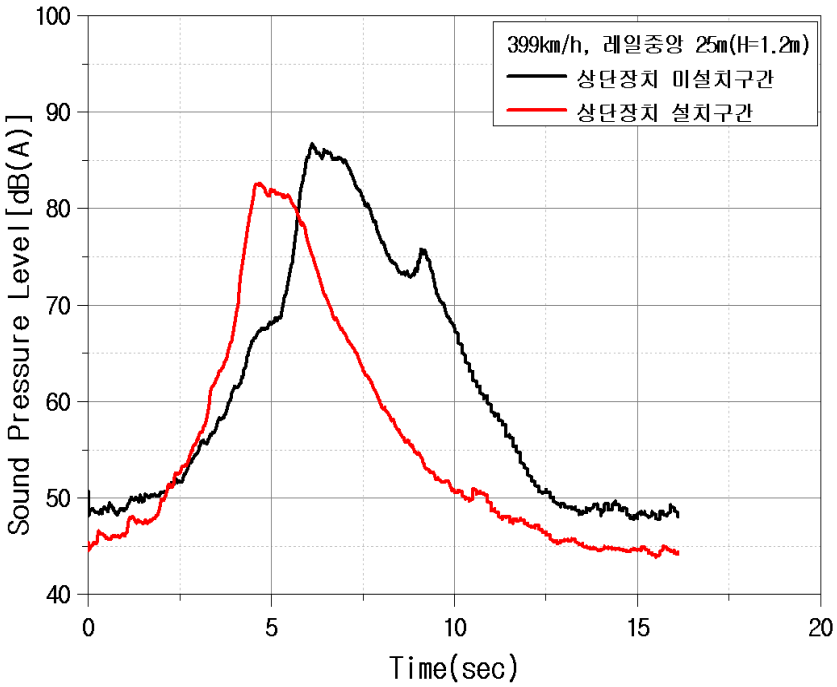
<그림 2-3-2-8_계속> 방음벽 상단장치 설치구간 및 미설치구간 소음측정 전경

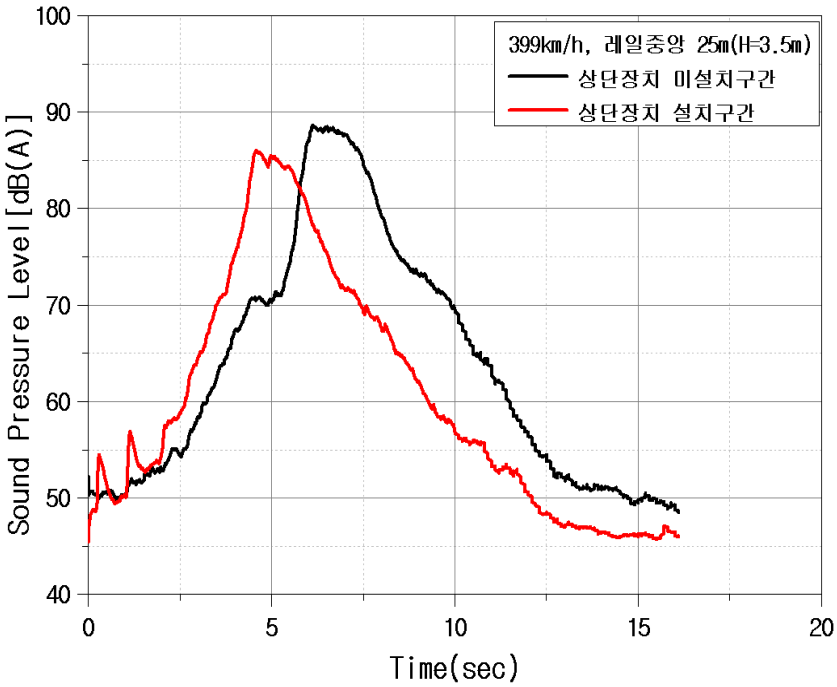
<표 2-3-2-6> 방음벽 상단장치 소음저감성능평가 결과

| HEMU-430X Km/h | 미설치구간(선로중앙 25m, TEL, dB(A)) | | 설치구간 (선로중앙 25m, TEL, dB(A)) | | 소음저감량 [TEL, dB(A)] | | 평가기준 [TEL, dB(A)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | H=1.2m | H=3.5m | H=1.2m | H=3.5m | H=1.2m | H=3.5m | |
| 170 | 70.6 | 71.5 | 65.5 | 67.2 | 5.1 | 4.3 | 선로중앙 25m (H=1.2m) 3dB(A) |
| 229 | 74.2 | 75.9 | 69.7 | 72.0 | 4.5 | 3.9 | |
| 248 | 76.1 | 78.9 | 71.6 | 74.5 | 4.5 | 4.4 | |
| **367** | 85.8 | 89.3 | 81.4 | 84.2 | **4.4** | **5.1** | |
| **375** | 85.7 | 88.8 | 80.8 | 83.3 | **4.9** | **5.5** | |
| **385** | 85.1 | 87.8 | 81.0 | 84.6 | **4.1** | **3.2** | |
| **386** | 85.7 | 89.2 | 81.8 | 84.8 | **3.9** | **4.4** | |
| **399** | 85.2 | 87.8 | 81.4 | 84.7 | **3.8** | **3.1** | |
| **400** | 83.7 | 86.7 | 80.6 | 83.7 | **3.1** | **3.0** | |
| **401** | 84.5 | 88.9 | 81.3 | 85.0 | **3.2** | **3.9** | |
| **414** | 87.8 | 92.0 | 83.5 | 86.8 | **4.3** | **5.2** | |

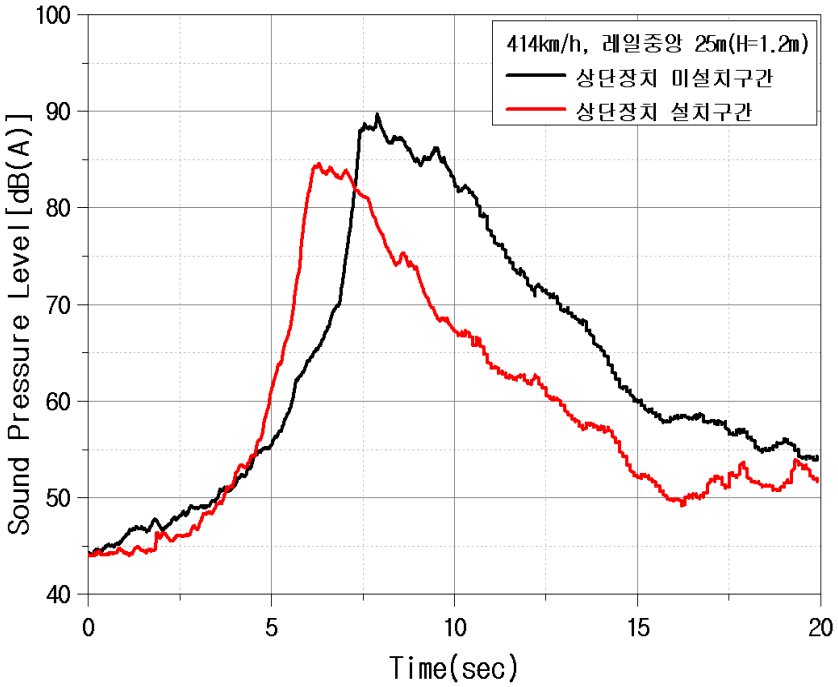


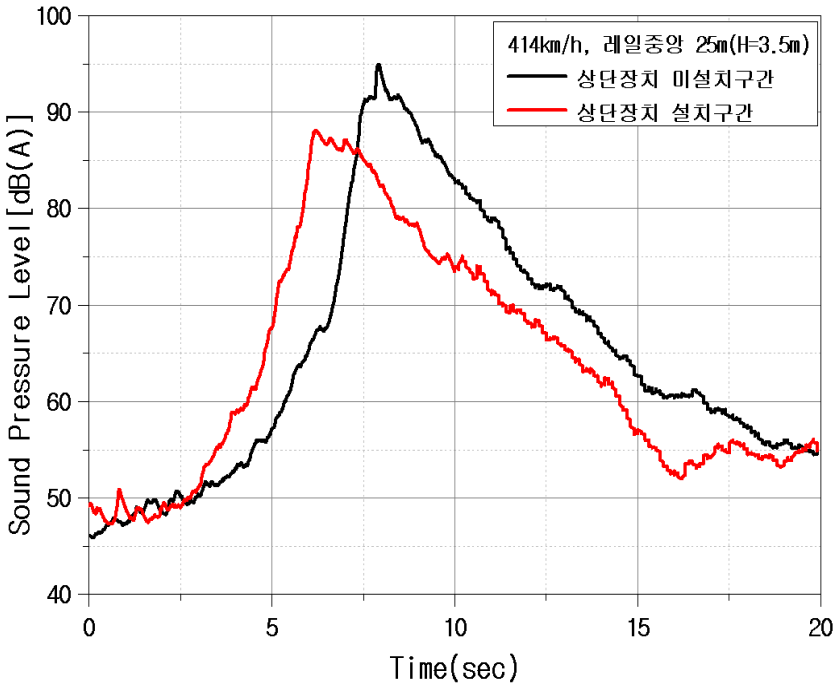

<그림 2-3-2-9> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간 및 설치구간 시간이력



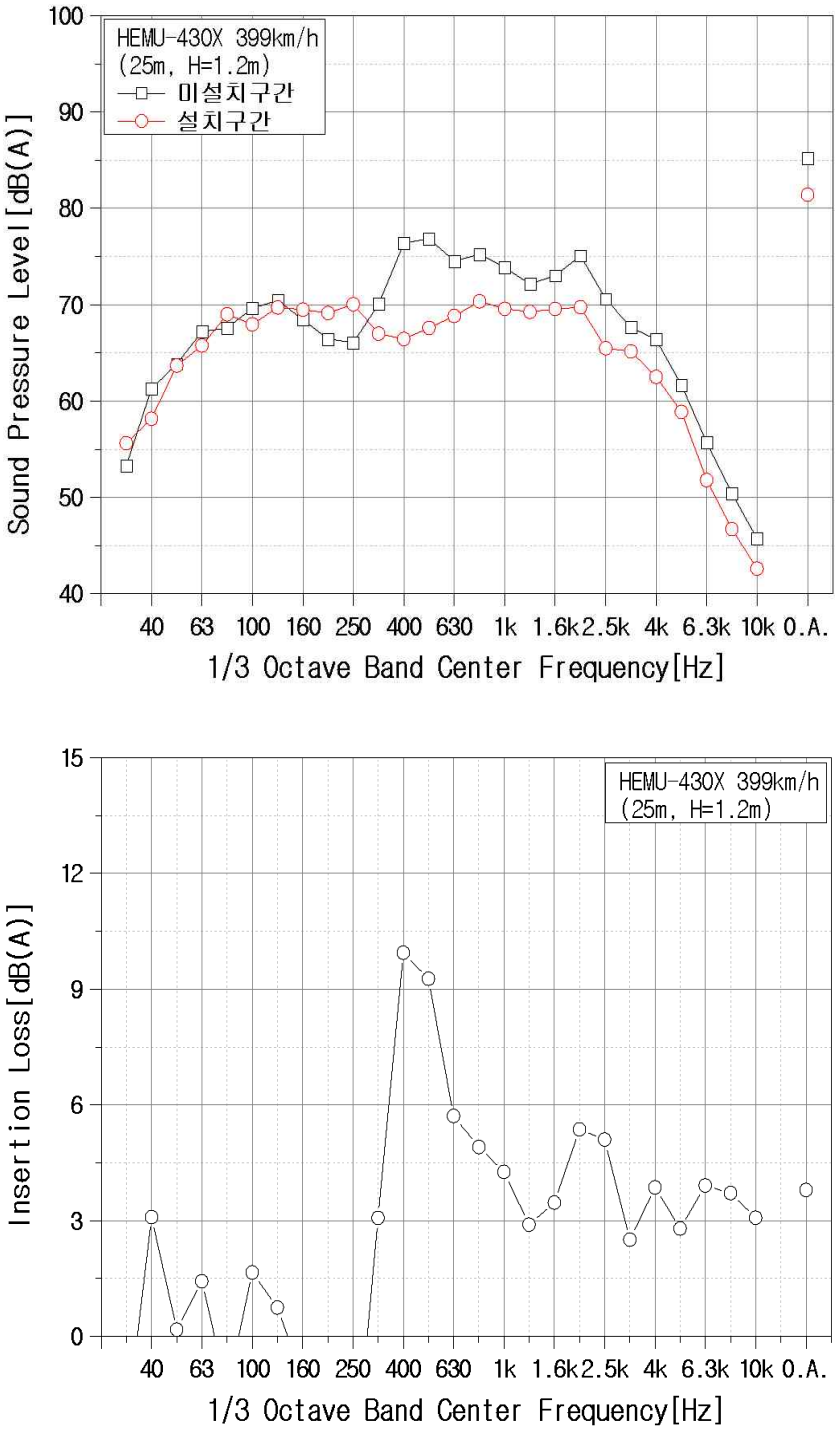




<그림 2-3-2-9_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간 및 설치구간 시간이력

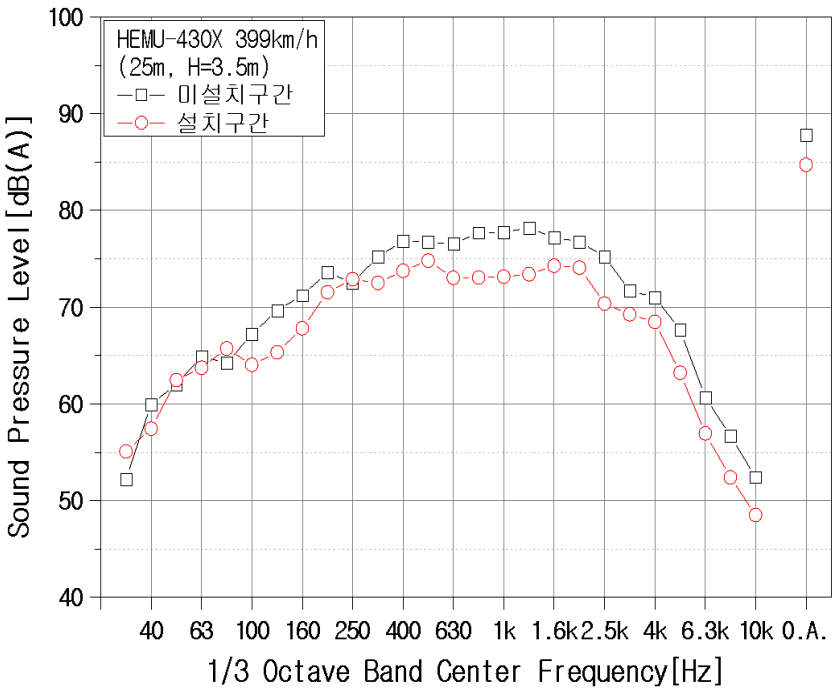


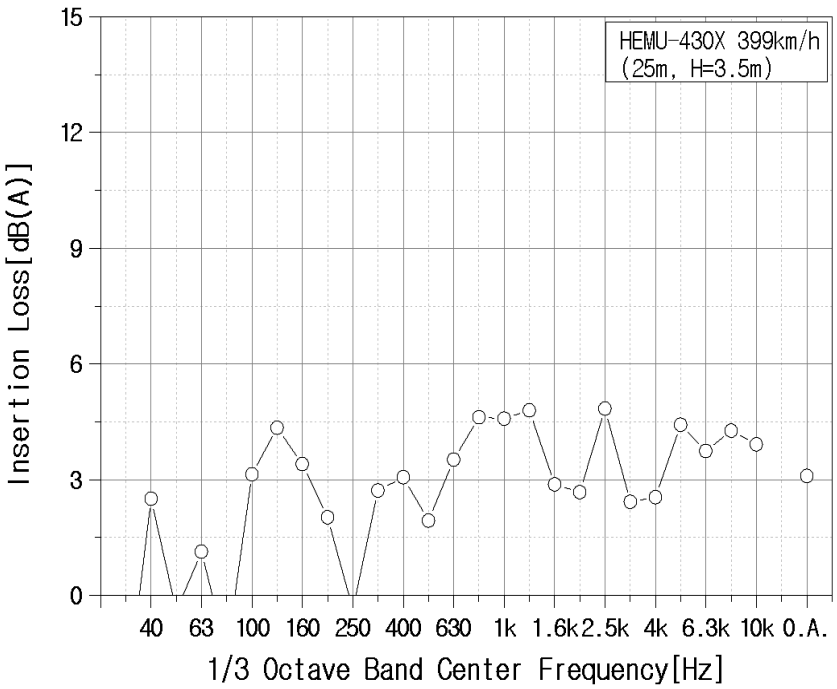




<그림 2-3-2-9_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간 및 설치구간 시간이력

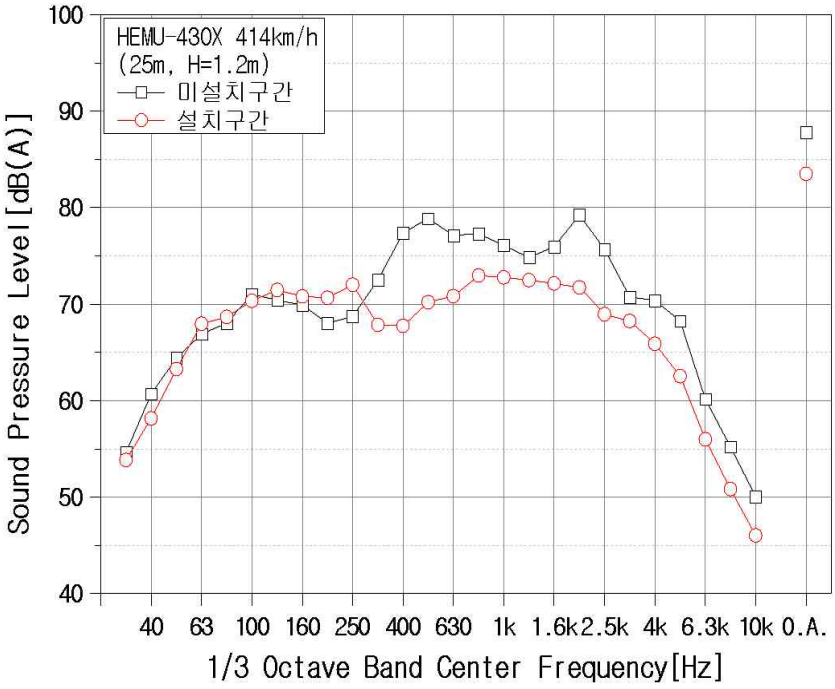


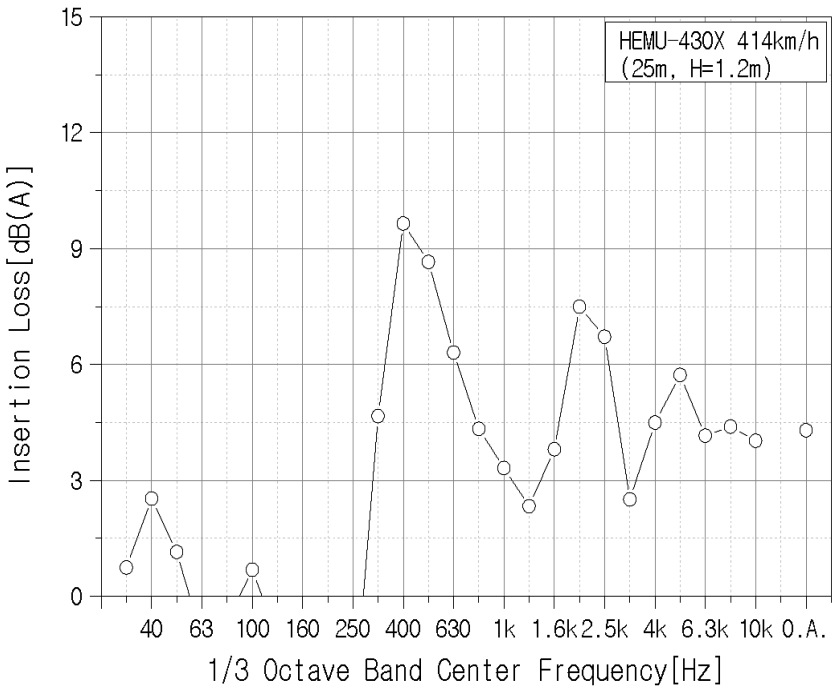

<그림 2-3-2-10> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간, 설치구간의 주파수 특성 및 삽입손실



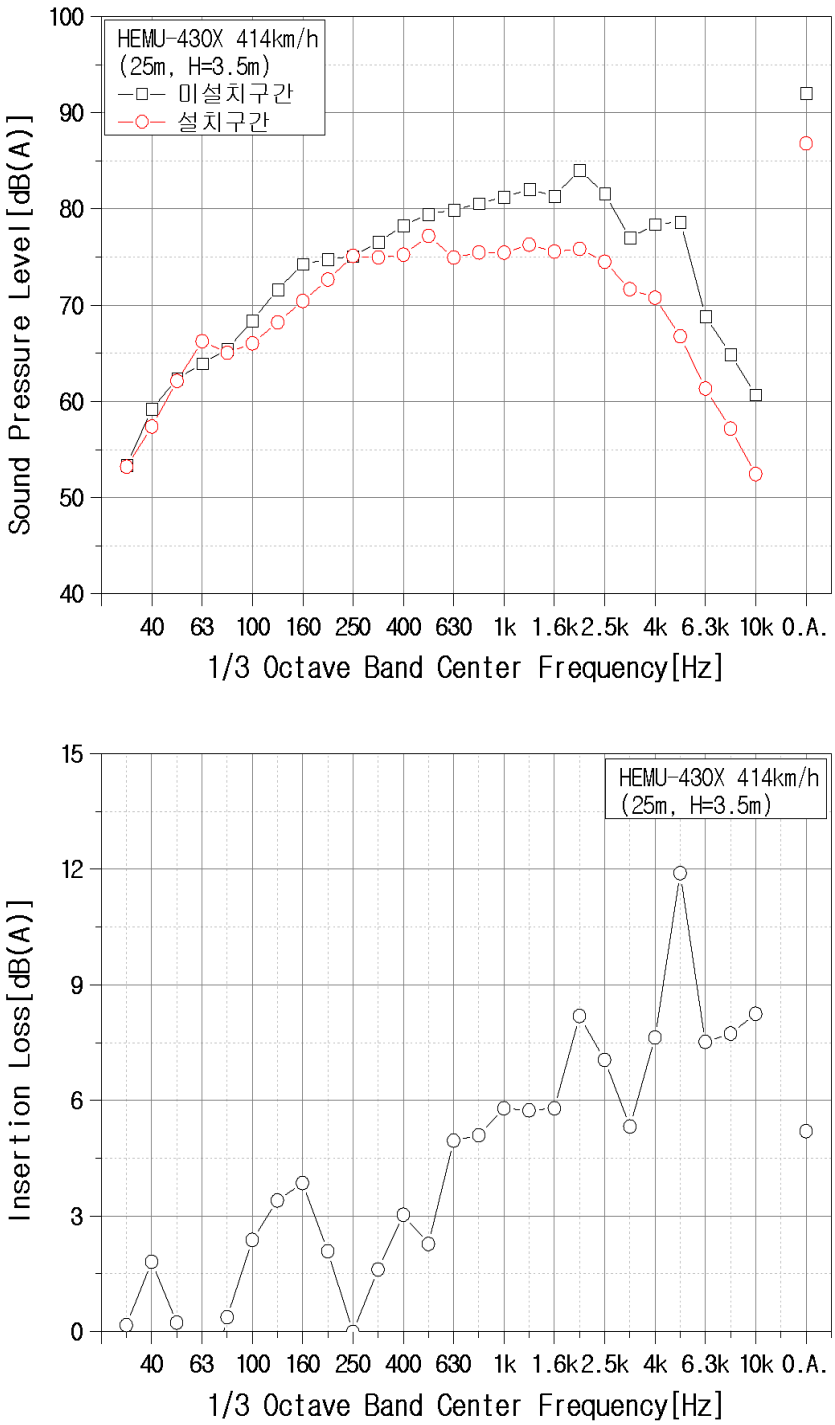




<그림 2-3-2-10_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간, 설치구간의 주파수 특성 및 삽입손실

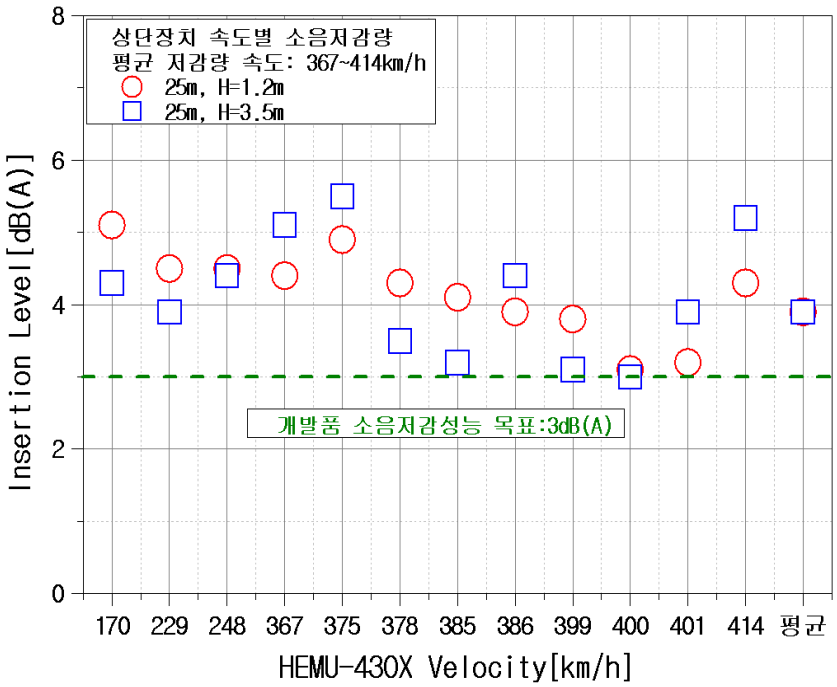


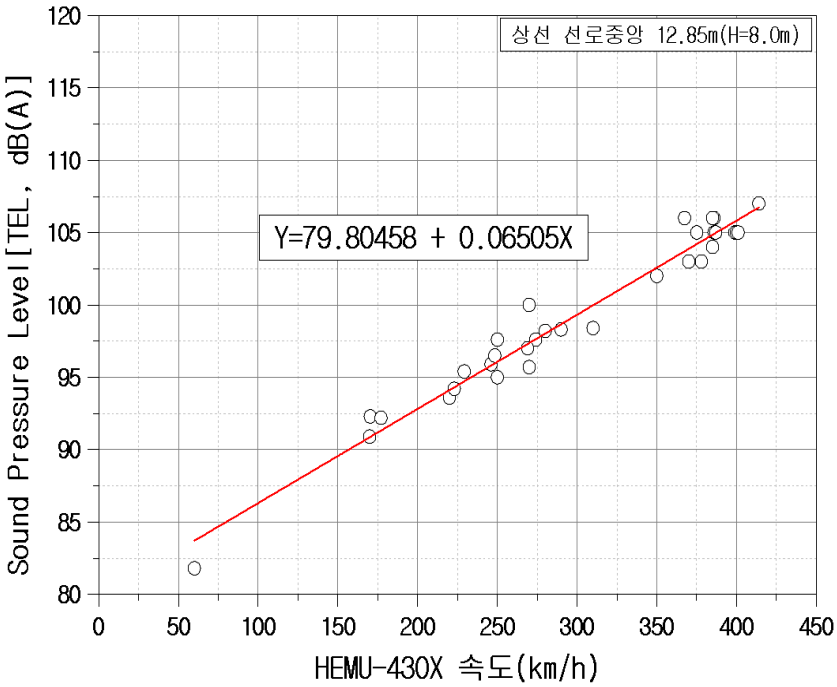

<그림 2-3-2-10_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간, 설치구간의 주파수 특성 및 삽입손실




<그림 2-3-2-10_계속> HEMU-430X 운행시 상단장치 미설치구간, 설치구간의 주파수 특성 및 삽입손실




<그림 2-3-2-11> HEMU-430X 속도별 운행시 방음벽 상단장치의 소음저감량




<그림 2-3-2-12> HEMU-430X 속도별 소음레벨(TEL, O.A. Freq. range 31.5~10kHz)

### ③ 열차(HEMU-430X)운행에 따른 소음저감성능평가

㉮ 측정개요

400km/h급 방음벽 상단장치는 3차년도에 설계 풍하중(3.0KN/$m^2$)과 400km/h 속도의 열차풍을(0.56KN/$m^2$)에 대한 구조적 안정성을 구조해석과 유동해석을 통하여 안정성을 검증하였다. 예측을 통한 구조적 안정성을 실제 측정값과 비교를 통해 설계의 적정성을 검증하기 위하여 HEMU-430X 증속 시 및 KTX호남 시운전 시 상단장치에 작용하는 열차풍과 변위를 측정하였다.

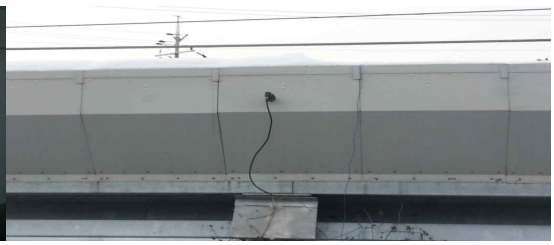
열차풍 측정은 HEMU-430X 및 KTX호남의 증속 및 시운전 시 총 4회에 실시하였으며, <표 2-3-2-7>는 측정일자와 운행 차량을 나타낸 것이며 <그림 2-3-2-13>은 풍하중 및 변위 측정 전경을 나타낸 것이다.

<표 2-3-2-7> HEMU-430X 및 KTX 호남 열차풍 측정 시험현황

| 운행 열차 | 속도 대역[km/h] | 측정일자 | 센서설치위치 |
|---|---|---|---|
| KTX호남<br>HEMU-430X | 72~310 | 14.12.03 | 하선 |
| KTX호남 | 147~288 | 15.01.08 | 하선 |
| HEMU-430X | 310 | 15.01.23 | 하선 |
| HEMU-430X | 154~387 | 15.02.01 | 상선 |

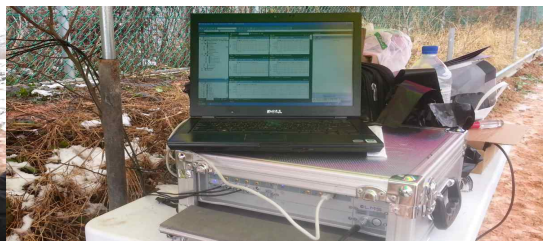


(a) 압력센서



(b) 변위센서(가속도계)





(c) 측정시스템





(d) HEMU-430X 측정지점 통과

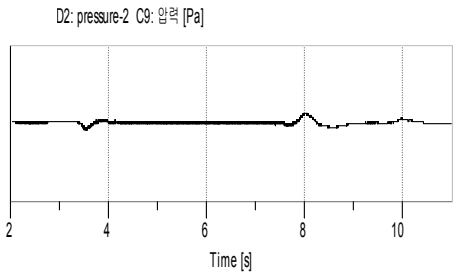
<그림 2-3-2-13> 풍하중 및 변위 측정전경

㈏ KTX호남 및 HEMU-430X 열차풍 측정결과

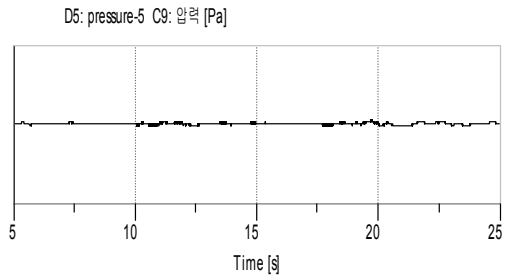
KTX호남의 시운전은 상선과 하선을 모두 주행하였으며, 압력 센서는 하선 방향에 설치 되어 있었다. KTX호남 운행 시 측정결과는 <표 2-3-2-8>과 같다. 측정결과에서 센서가 설치된 하선방향으로 288km/h 주행 시 300Pa 미만(Peak 및 Peak to Peak)으로 측정되었다. <그림 2-3-2-16>은 KTX호남 운행시 발생하는 열차풍의 시간이력을 나타낸 것이다.

<표 2-3-2-8> KTX호남 풍하중 측정결과

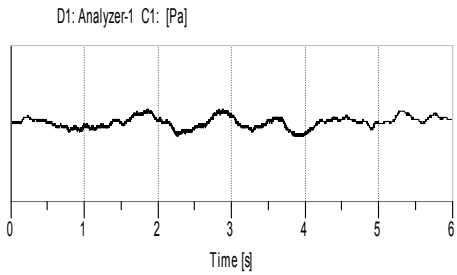
| 측정 일자 | 평균 풍속 [m/s] | 측정 시간 | 센서 위치 | 선로 | 속도 [km/h] | Peak [Pa] | Peak to Peak [Pa] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14.12.03 | 1.2 | 09:54 | 하선 | 상선상행 | 138 | 50.0 | 84.8 |
| | | 11:44 | | | 72 | 18.5 | 33.3 |
| 15.01.08 | 1.2 | 13:10 | | 상선상행 | 147 | 72.6 | 137.4 |
| | | 16:17 | | | 206 | 142.3 | 247.5 |
| | | **17:06** | | **하선하행** | **288** | **194.5** | **271.1** |



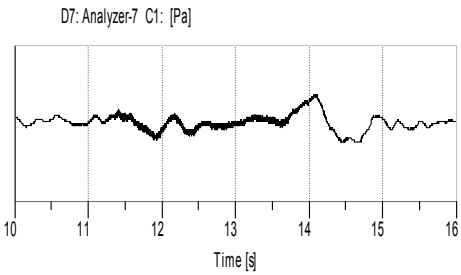

(a) 14.12.03, 09:54



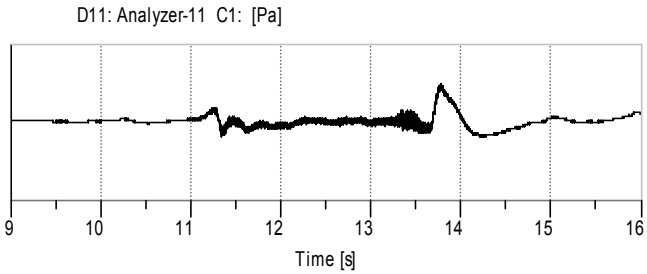

(b) 14.12.03, 11:44




(c) 15.01.08, 13:10




(d) 15.01.08, 16:17




(e) 15.01.08, 17:06

<그림 2-3-2-14> KTX호남 측정일자별 열차풍 시간이력

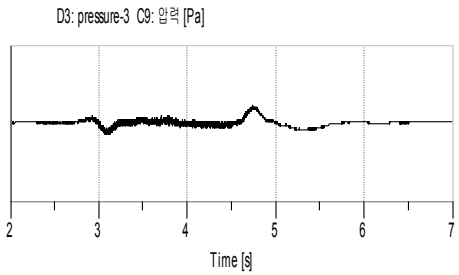
측정 기간중 HEMU-430X의 속도 증속은 상선에서만 이루어 졌다. 방음벽 상단장치와 압력센서가 하선에 설치되어 있어 상선에서 운행한 열차풍은 30~369Pa(peak)로 유사한 운행 속도에서도 측정결과의 재현성은 나타나지 않았다. 열차의 증속이 상선에서만 이루어지는 관계로 마지막 측정인 15년 2월 1일에는 상선측의 방음벽 2.0m의 상단에 압력센서를 부착하여 측정하였다. 385km/h 운행시 측정중 가장 높은 600Pa의 압력이 측정되었다.

방음벽 상단장치의 구조적 안정성은 기본적으로 고속철도 방음벽 풍하중 설계지침과 같이 3.0KN/$m^2$을 만족하며 추가적인 구조적 안정성 확보를 위하여 HEMU-430X가 400km/h로 주행할 때 발생하는 열차풍을 추가하여 풍하중에 대한 구조안정성 기준은 3.56KN/$m^2$으로 설계되었다. 측정시 발생한 최대 압력은 385km/h 0.6KN/$m^2$으로 400km/h 예측결과인 0.56KN/$m^2$을 다소 상회하나 그 차이가 미미하다. 또한 측정결과를 바탕으로 400km/h 운행시의 압력을 예측하면 0.65KN/$m^2$미만으로 예측된다.

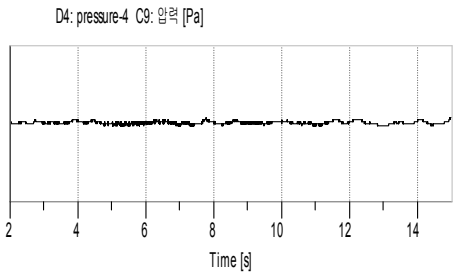
방음벽 상단장치는 태풍하중에도 안정성을 만족할 수 있도록 설계되어 있다. 측정을 통해 추정되는 400km/h 주행시 열차풍은 유동해석과 0.09KN/$m^2$ 높은 것으로 판단되나, 태풍의 기상 조건상에서는 주행 안정성을 위하여 400km/h로 주행이 불가능하기 때문에 구조적인 안정성의 문제는 없는 것으로 판단된다. <표 2-3-2-9>은 HEMU-430X 증속시 열차풍을 측정한 결과이며, <그림 2-3-2-17>은 열차풍의 속도별 시간 이력을 나타낸 것이다.

<표 2-3-2-9> HEMU-430X 풍하중 측정결과

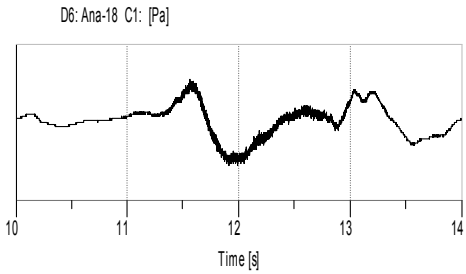
| 측정 일자 | 평균풍속 [m/s] | 시간 | 센서위치 | 주행 선로 | 속도 [km/h] | Peak [Pa] | Peak to Peak [Pa] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14.12.03 | 1.2 | 10:08 | 하선 | 상선상행 | 310 | 86.6 | 149.5 |
| | | 11:25 | | 상선하행 | 93 | 30.1 | 49.4 |
| 15.01.23 | 1.3 | 13:52 | 하선 | 상선상행 | 367 | 205.1 | 383.0 |
| | | 14:31 | | 상선하행 | 246 | 125.5 | 249.4 |
| | | 16:36 | | 상선상행 | 385 | 195.4 | 365.4 |
| | | 17:22 | | 상선하행 | 248 | 78.4 | 131.1 |
| | | 17:45 | | 상선상행 | 386 | 166.8 | 282.1 |
| 15.02.01 | 1.3 | 13:42 | 상선 | 상선상행 | 170 | 215.6 | 401.0 |
| | | 14:17 | | 하선하행 | 154 | 179.1 | 288.9 |
| | | **15:26** | | **상선상행** | **385** | **599.7** | **855.0** |
| | | 15:55 | | 하선하행 | 227 | 91.7 | 181.2 |
| | | 17:12 | | 상선상행 | 387 | 369.0 | 690.5 |



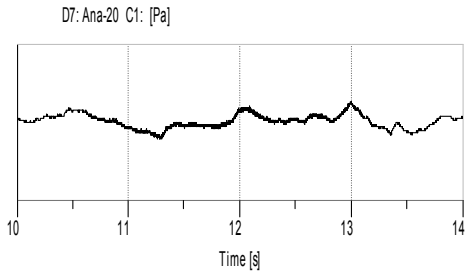

(a) 14.12.03, 10:08



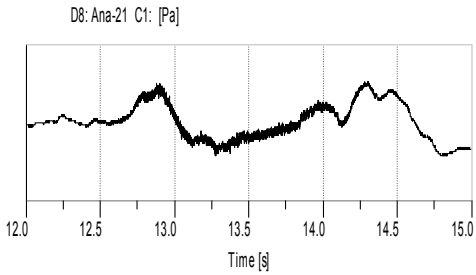

(b) 14.12.03, 11:25



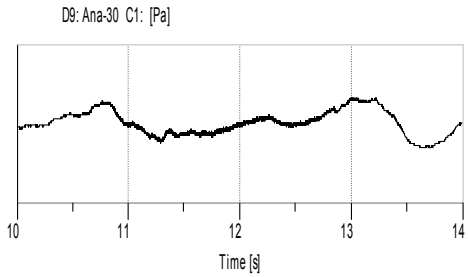

(c) 15.01.23, 13:52



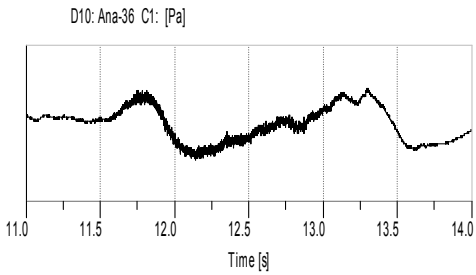

(d) 15.01.23, 14:31



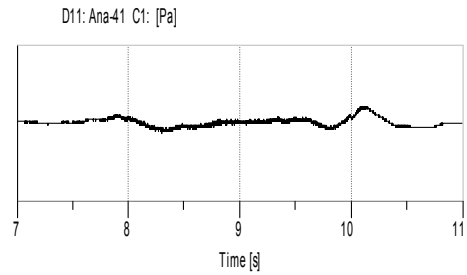

(e) 15.01.23, 15:09



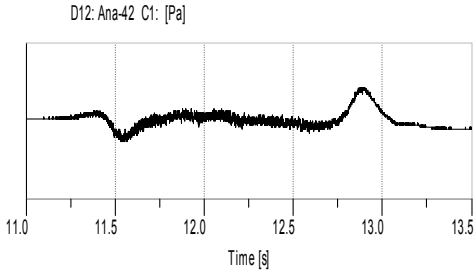

(f) 15.01.23, 16:03



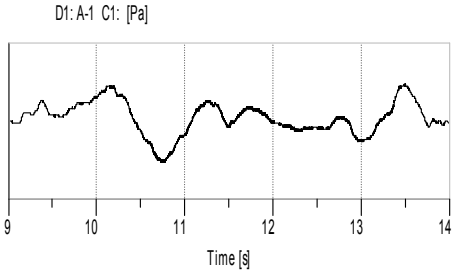

(g) 15.01.23, 16:36




(h) 15.01.23, 17:22

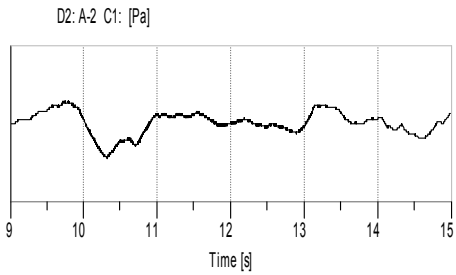



(g) 15.01.23, 17:45

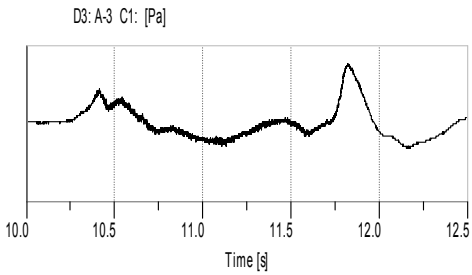



(h) 15.02.01, 13:42

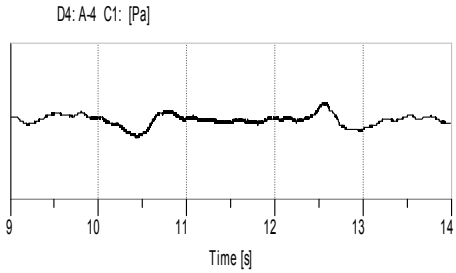
<그림 2-3-2-15> HEMU-430X 측정일자별 열차풍 시간이력



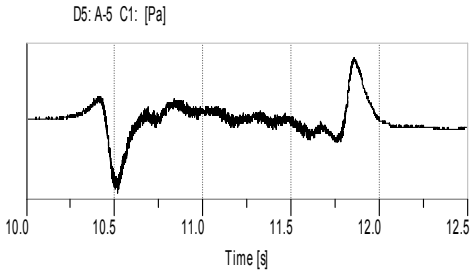

(i) 15.02.01, 14:17




(j) 15.02.01, 15:26




(k) 15.02.01, 15:55




(l) 15.02.01, 17:12

<그림 2-3-2-15_계속> HEMU-430X 측정일자별 열차풍 시간이력

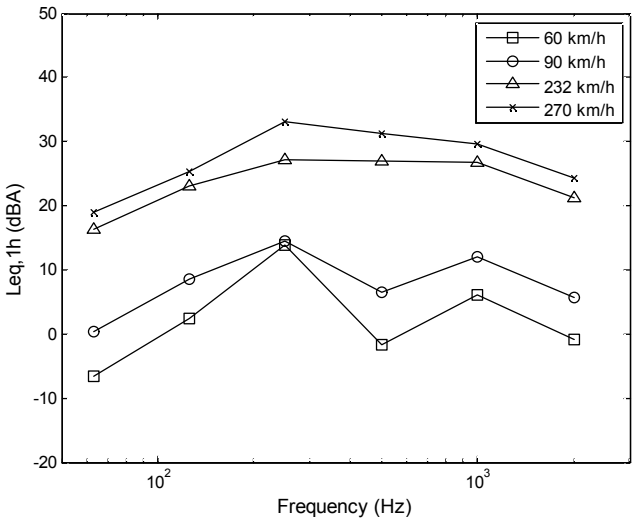
(2) 고속철도 소음예측모델 및 기여도 분석기술

(가) 측정 데이터를 이용한 예측모델 보완

호남고속철의 소음원 특성은 주로 궤도 지지구조 및 음향조도의 차이로 인하여 경부2단계 등의 소음원 특성과 상이하다. 따라서 기존의 KTX-산천 및 경부2단계 궤도 시스템의 소음원 모델에 대하여 호남고속철 특성을 반영한 보완이 요구된다. 본 절에서는 KTX-호남에 대하여 앞 절의 전동소음원 모델과 측정 데이터를 활용하여 소음원 모델을 보완하였다.

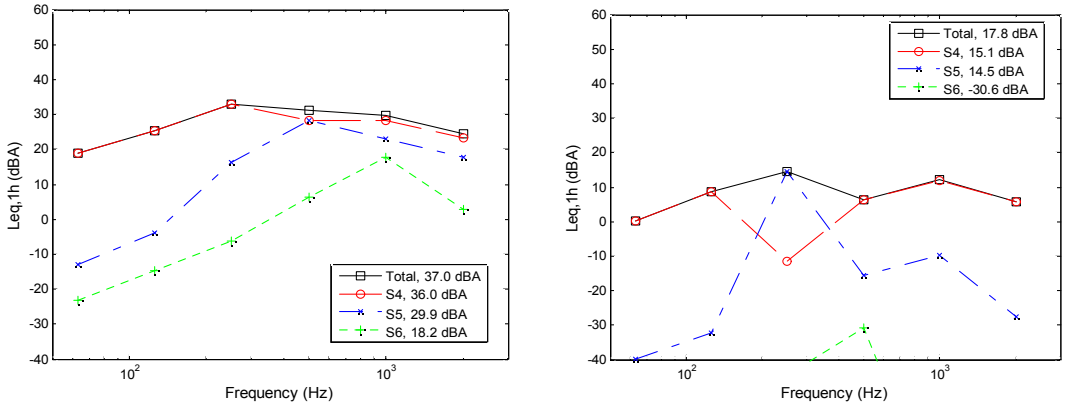
한편, 고속철도 소음원은 궤도와 차량의 높이별로 분포되어 있으며, 속도별로 그 강도 변화 추이가 상이하다. 따라서 통과 소음도 측정을 통한 소음원 강도 추정은 근사적인 접근으로만 가능한 상황이다. 다만, KTX-호남의 시험에서는 차량 시운전으로 인하여 고속선에서 60 및 90km/h 속도 데이터를 얻을 수 있었으며, 이것은 소음원 모델의 정확성 향상에 큰 기여를 한다. 참고로 경부 2단계에서 KTX 및 KTX-산천의 소음도 측정 속도의 최저는 약 250km/h이었으며, HEMU의 시험 시 소음 측정은 약 150km/h이상에서 이루어졌다.

본 과제의 3차년도에 수치해석을 통해서 계산된 공력소음원 성분에 대해서 속도별로 계산한 결과는 아래 그림과 같다. 여기서 S4는 차체와 차체 연결부의 공력소음원을, S5는 판토그래프 수직 구성품, S6는 판토그래프 수평 구성품의 공력소음원을 의미한다.




<그림 2-3-2-16> 수치해석으로 구한 공력소음원 통과소음도 기여성분(S4, S5, S6의 합). 수음점 위치: 거리 25m, 높이 3.5m

수치해석에서 계산된 값은 수치 격자, 계산 인자의 상수, 지향성 등에 의하여 그 절대값이 차이가 발생하였을 것으로 여겨진다. 실제로도 열차 통과 시에 측정된 소음도의 저주파수 대역(공력성분)의 절대값과 차이를 보인다. 본 연구에서는 수치해석의 결과에서 주파수에 따른 스펙트럼의 경향 정보만을 이용하고 저주파수 대역의 측정값을 비교하여 전체 크기를 조정하는 근사적인 접근을 하였다. 또한 공력 소음원에 대하여 적절한 하나의 소음원 높이를 근사적으로 적용하기로 하였으며, 각 S4, S5, S5 성분에 대한 기여도를 살펴보면 일부 주파수를 제외하고 S4 성분이 가장 크므로 대표적인 높이는 S4의 높이인 3.5 m로 하기로 하였다.




<그림 2-3-2-17> 수치해석으로 구한 공력소음원 S4, S5, S6에 대한 통과소음도 기여성분. 수음점 위치: 거리 25m, 높이 3.5m, 통과속도 270 km/h(좌), 통과속도 90 km/h(우)

계산된 주파수 대역들에서 250, 500 Hz를 제외하고 S4의 속도계수를 대표 공력소음원에 대한 속도계수로 할 수 있다. 250 Hz와 500 Hz에 대해서 속도 60과 270 km/h의 공력소음원 전체에 대한 소음도를 검토하여 속도계수를 구하면 각각 29.5, 50.4이다. 따라서 최종적인 대표 공력소음원의 속도계수 결과는 다음과 같다. 이때 대표 공력소음원을 추후 활용 시 통일성을 위하여 다시 S4로 표시하기로 한다.

<표 2-3-2-10> 공력소음원 (S4) 속도계수

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 속도계수 | 39.1 | 35.3 | 29.5 | 50.4 | 33.9 | 36.7 |

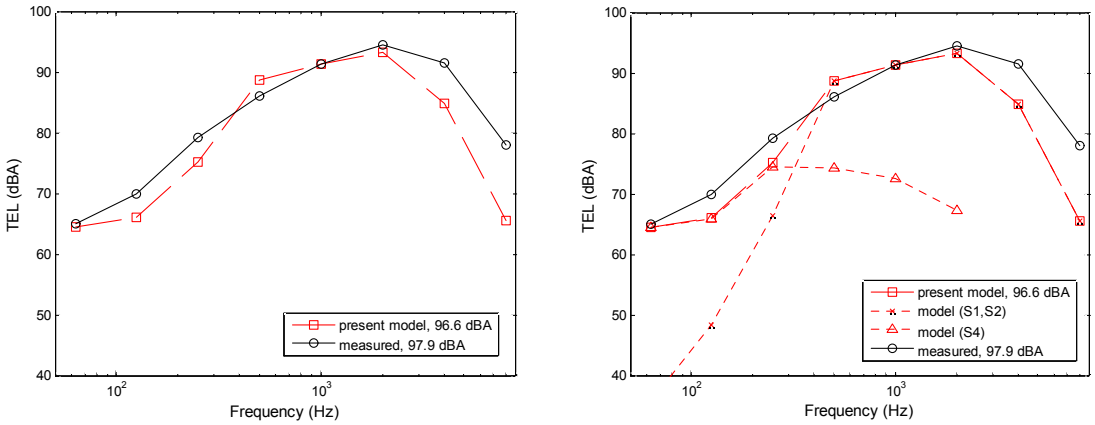
공력소음원 강도에 대한 전체 레벨의 조정을 위하여 실제 측정된 KTX-호남의 63 Hz 주파수 통과소음도와 비교하였다. 측정치 33.74 dBA이며 계산치 18.96 dBA와의 차이에 의하여 14.8 dB를 보정한다. 앞에서 270 km/h에서의 공력소음원 기여도 합에 각 주파수별로 14.8 dB를 더하고 전달감쇠항을 역합산하여 음원강도를 도출하였다. 그리고 기준속도 100 km/h에 대한 기준 음원 강도를 도출하였다. 아래 음원강도는 A-보정하지 않은 선형 주파수 특성의 값이다. 공력소음원 기준 강도와 속도계수는 2 kHz까지의 주파수에 대하여 얻어졌다.

<표 2-3-2-11> 공력소음원 (S4) 강도, 수음점 관점의 단위 길이 선로당 강도 (높이 가정 3.5m, 속도 270km/h)

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 음원강도 (dB) | 78.9 | 74.8 | 75.1 | 68.1 | 63.2 | 56.9 |

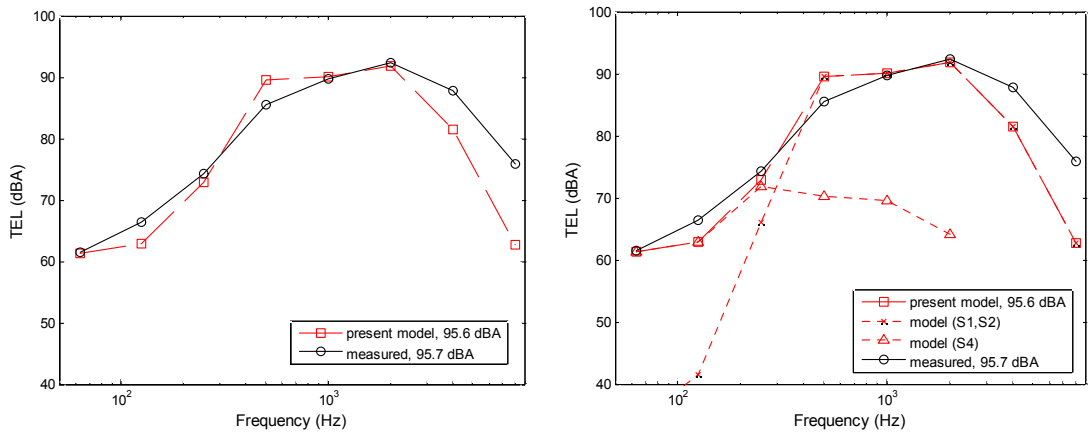
<표 2-3-2-12> 공력소음원 (S4) 기준 강도, 수음점 관점의 단위 길이 선로당 강도 (높이 가정 3.5m, 기준속도 100km/h)

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 음원강도 (dB) | 62 | 59.6 | 62.4 | 46.4 | 48.6 | 41.1 |



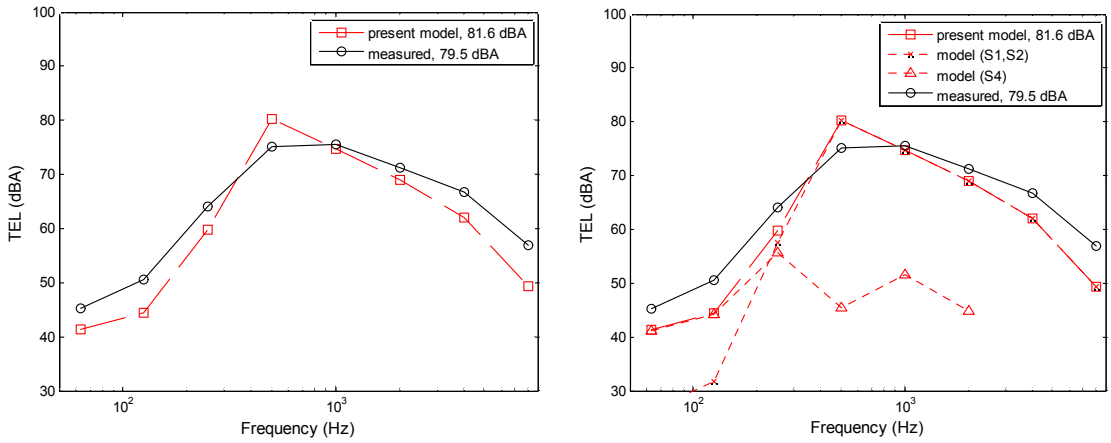

<그림 2-3-2-18> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 270 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m

위 결과에서 측정값과 모델의 S1, S2에 의한 기여도의 차이는 4와 8 kHz에서 각각 6.7과 12.3 dB의 차이가 발생하며, 이후의 모델 보완 작업에서 적용된다.



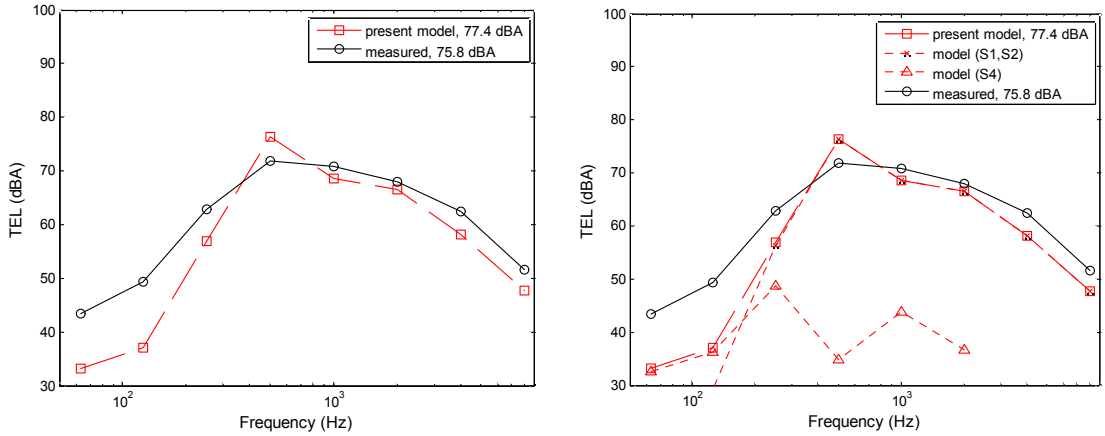

<그림 2-3-2-19> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 232 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m

통과속도 232 km/h의 결과에서는 측정값과 모델의 S1, S2에 의한 기여도의 차이는 4와 8 kHz에서 각각 6.4와 13.2 dB의 차이가 발생하며, 이후의 모델 보완 작업에서 적용된다.




<그림 2-3-2-20> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 90 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m.

통과속도 90 km/h의 결과에서는 측정값과 모델의 S1, S2에 의한 기여도의 차이는 4와 8 kHz에서 각각 4.7과 7.5 dB의 차이가 발생하며, 이후의 모델 보완 작업에서 적용된다.




<그림 2-3-2-21> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 60 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m.

통과속도 60 km/h의 결과에서는 측정값과 모델의 S1, S2에 의한 기여도의 차이는 4와 8 kHz에서 각각 4.3과 3.9 dB의 차이가 발생한다.

한편, 기존 연구 자료와 측정값 비교에서 살펴보면 낮은 속도 대역의 저주파수 대역에서는 동력 소음원이 주요하게 작용할 것을 추정할 수 있으며 모델에 반영할 필요가 있다. 본 연구에서는 60과 90 km/h의 속도에서 측정한 저주파수 대역 (63, 125 Hz)의 측정값을 이용하여 동력 소음원에 해당하는 소음원 강도를 추가하였다. 63, 125 Hz에서의 TEL 값은 60 km/h에서 각각 42, 48이고 90 km/h에서 각각 48, 51이다. Leq,1h로 환산하면 60에서 90 km/h로 속도 증가에 따라서 약 1.2 dB 정도 증가한다. 이 때 속도계수는 7에 해당하며, 이것과 전달감쇠, A-보정항을 이용하여 기준속도(100 km/h)에서의 음원강도를 계산하면 63, 125 Hz에서 각각 62.6, 62.3 dB이다. 본 연구에서 동력소음원에 해당하는 것을 S3로 표시하기로 한다. 이때 지향성은 무지향성으로 가정하였다.

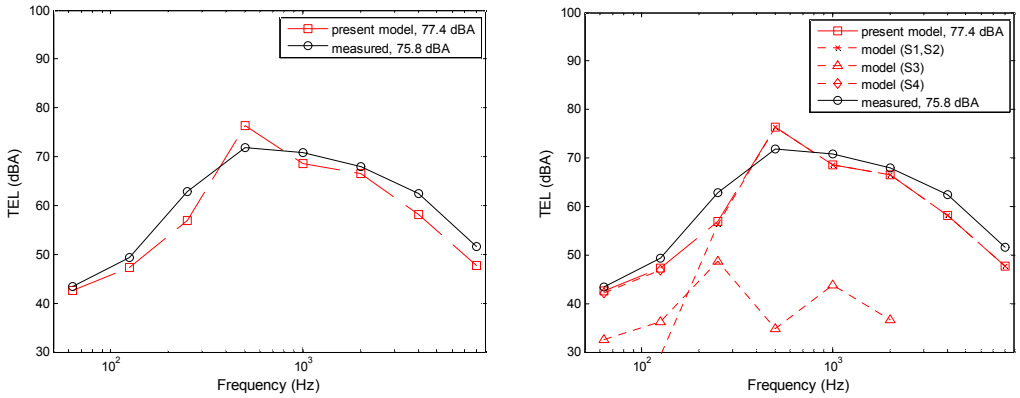
<표 2-3-2-13> 동력소음원 (S3) 기준 강도, 수음점 관점의 단위 길이 선로당 강도 (높이 가정 3.5m, 기준속도 100km/h)

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 - 8k |
|---|---|---|---|
| 음원강도 (dB) | 62.6 | 62.3 | - |

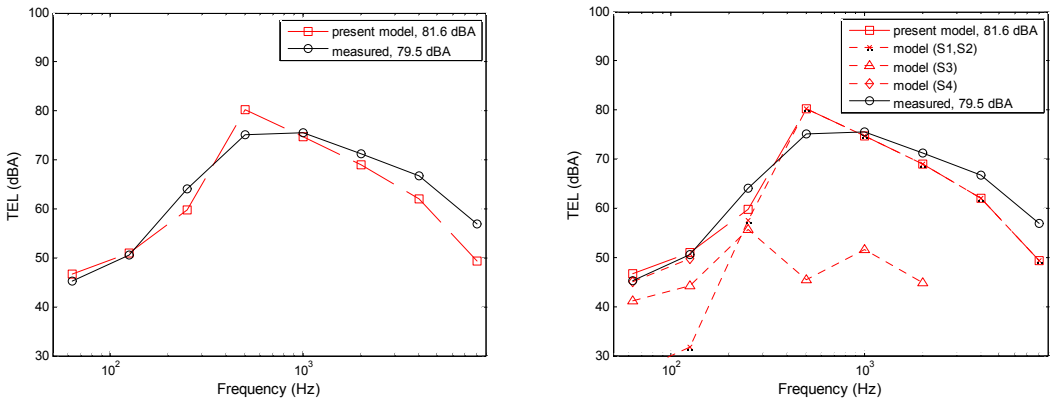
<표 2-3-2-14> 동력소음원 (S3) 속도계수

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 - 8k |
|---|---|---|---|
| 속도계수 | 7 | 7 | - |

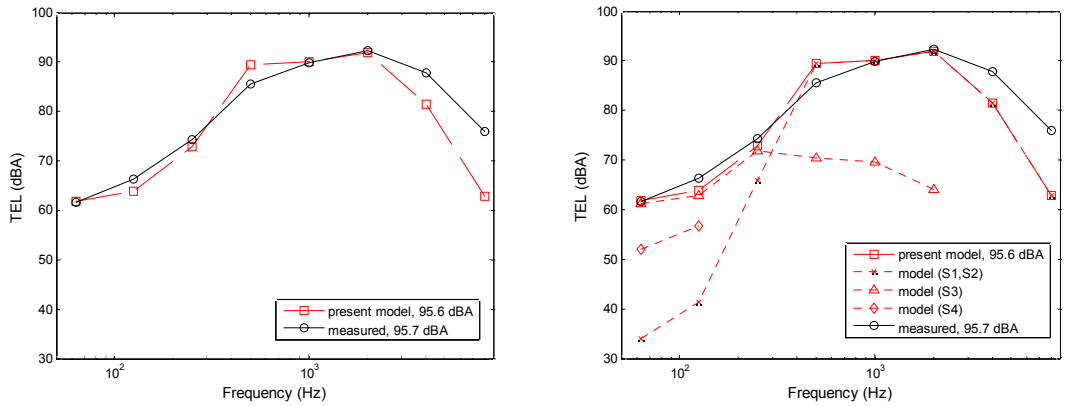
결과적으로 앞의 동력 (S3)과 공력 (S4) 성분까지 각 속도별로 모두 계산한 모델 결과와 측정값의 비교는 다음과 같다.



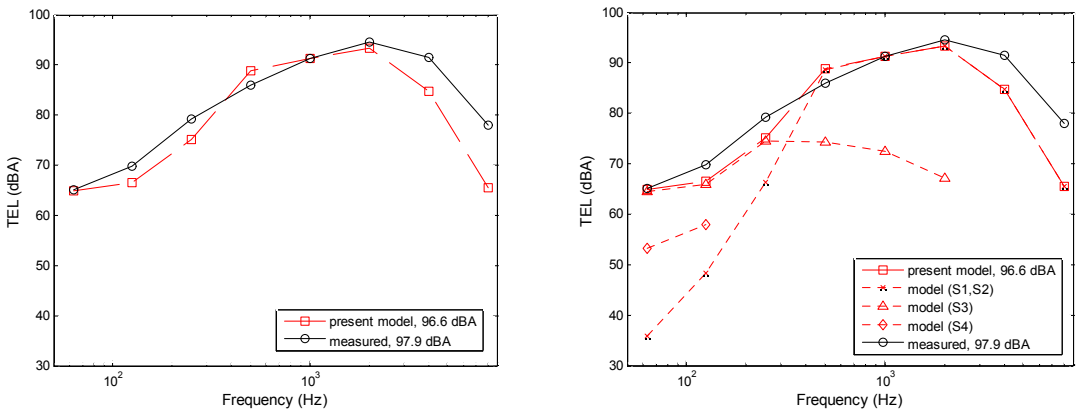

<그림 2-3-2-22> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 60 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m.




<그림 2-3-2-23> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 90 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m.

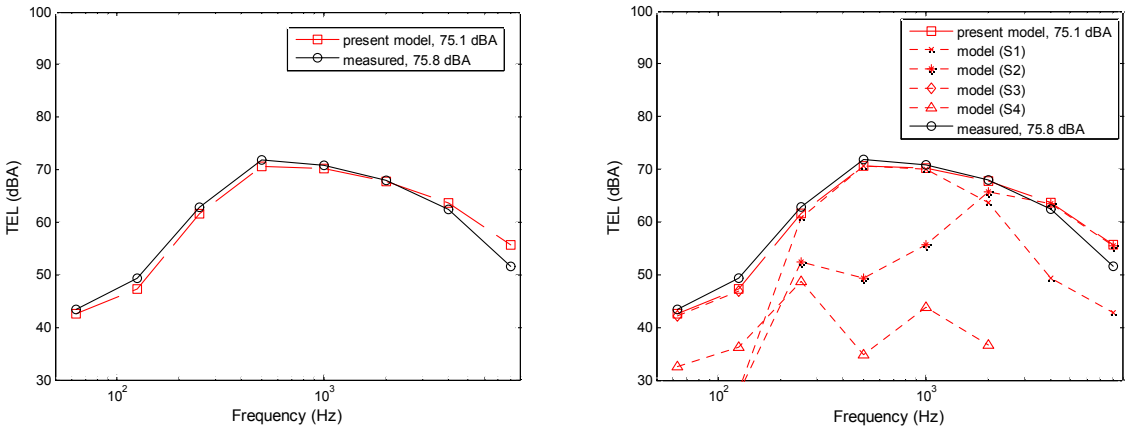



<그림 2-3-2-24> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 232 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m.

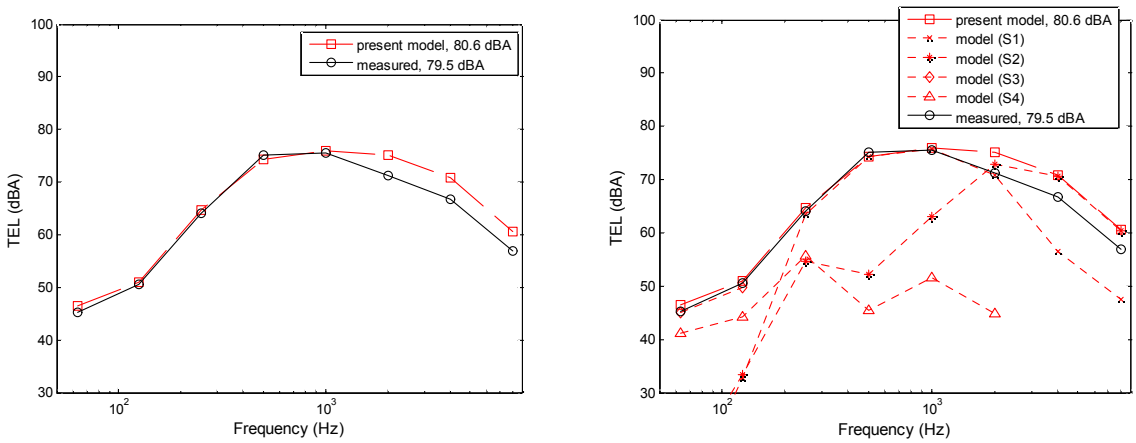



<그림 2-3-2-25> 소음원 모델에 의한 예측값과 측정값의 비교. 통과속도 270 km/h. 수음점 위치: 거리 25 m, 높이 3.5 m.

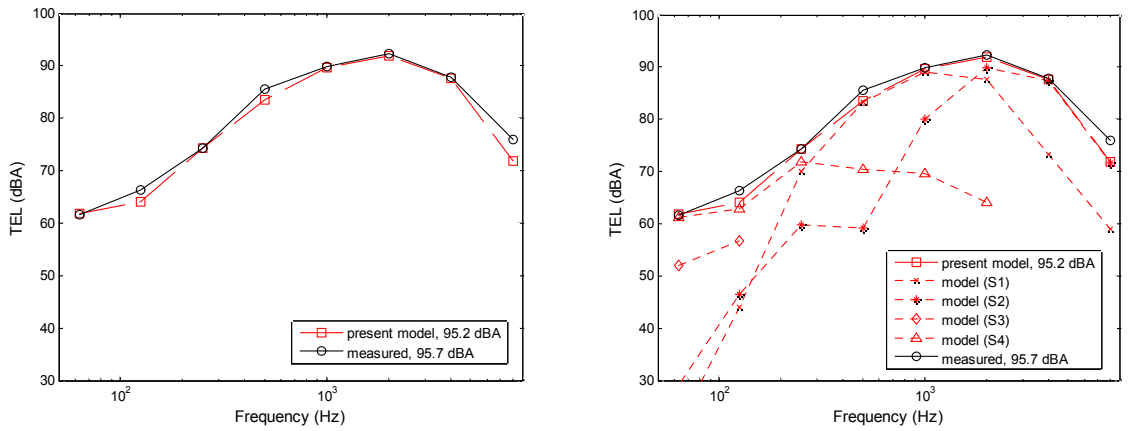
앞에서 계산에 이용된 전동 소음원 S1, S2의 기여도는 전동 소음원 해석 모델(PRiNT) 계산값을 옥타브 밴드 주파수로 표현하였을 뿐 측정치와 비교에 의한 추가적인 조정을 가하지 않은 값이다. 환경영향 평가와 같이 실용적인 활용을 위해서는 PRiNT를 일선에서 매번 운용하여 계산하기가 수월하지 않으므로 옥타브 밴드별 기준 소음원 강도와 속도 계수로 근사화하여 이용하는 것이 적합하다. 또한 측정 데이터를 근거로 S1 및 S2 소음원 강도를 보완하여 주어진 속도계수에 대해 각 속도별로 최소의 소음도 예측 오차가 되도록 조정하였다. 그 결과는 아래 그림과 같다.



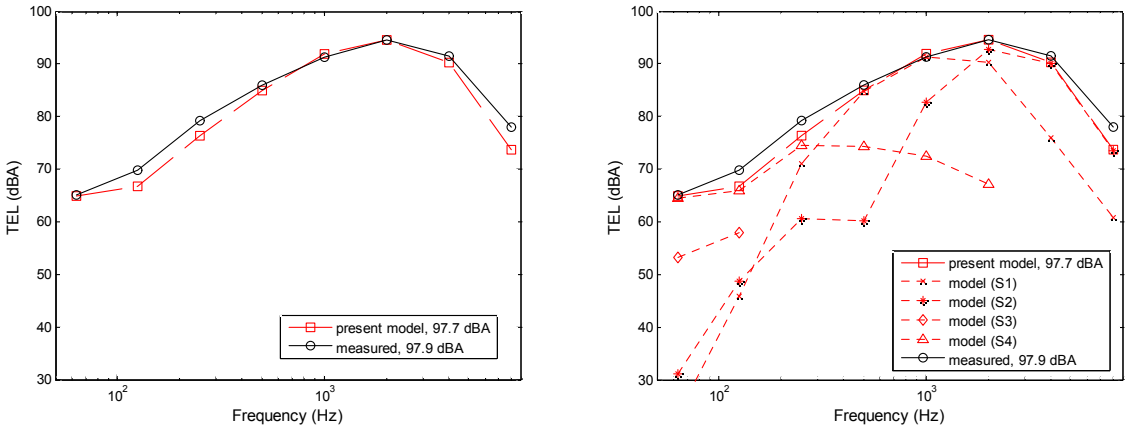

<그림 2-3-2-26> KTX-호남/호남고속선에서 측정값을 통한 음원 강도 보정을 수행한 모델 결과. 통과 속도 60 km/h




<그림 2-3-2-27> KTX-호남/호남고속선에서 측정값을 통한 음원 강도 보정을 수행한 모델 결과. 통과 속도 90 km/h




<그림 2-3-2-28> KTX-호남/호남고속선에서 측정값을 통한 음원 강도 보정을 수행한 모델 결과. 통과 속도 232 km/h




<그림 2-3-2-29> KTX-호남/호남고속선에서 측정값을 통한 음원 강도 보정을 수행한 모델 결과. 통과 속도 270 km/h

<표 2-3-2-15> KTX-호남/호남고속선에서 주행 시의 기준파워 (단위: dB eq. 1h) (높이 가정 S1 0m, S2 0.5m, 기준속도 100km/h)

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 26.5 | 45.1 | 69.8 | 76.5 | 72.3 | 65.1 | 51.8 | 46.7 |
| S2 | 35.4 | 47.2 | 61.9 | 54.5 | 60.7 | 68.7 | 67.2 | 60.5 |

주) S1: 궤도 소음원 성분, S2: 차륜 소음원 성분

<표 2-3-2-16> KTX-호남/호남고속선에서 주행 시의 속도계수

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 22.0 | 17.5 | 5.9 | 11.5 | 22.4 | 30.8 | 30.9 | 17.7 |
| S2 | 22.5 | 22.2 | 2.6 | 6.6 | 31.5 | 31.3 | 30.8 | 17.5 |

주) S1: 궤도 소음원 성분, S2: 차륜 소음원 성분

<표 2-3-2-17> KTX-호남/호남고속선에서 주행 시의 지향성 인자

| 지향성 인자 | S1 | S2 | S3 | S4 |
|---|---|---|---|---|
| $D$ | 0 | $10\log(0.4+0.6\cos^2\psi)$ | 0 | $10\log(\cos\psi)$ |

주) $\psi$는 해당 구획 선로 중심에서 수음점까지의 연결선과 해당 구획의 수평축 (차축 방향) 사이의 각도

<표 2-3-2-18> 동력소음원 (S3) 기준 강도, 수음점 관점의 단위 길이 선로당 강도 (단위: dB eq. 1h) (높이 가정 3.5m, 기준속도 100km/h)

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 - 8k |
|---|---|---|---|
| 음원강도 (dB) | 62.6 | 62.3 | - |

<표 2-3-2-19> 동력소음원 (S3) 속도계수

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 - 8k |
|---|---|---|---|
| 속도계수 | 7 | 7 | - |

앞에서 구한 공력소음원(S4) 강도에 대하여 지향성 인자를 고려하여 보정한 값은 아래와 같다.

<표 2-3-2-20> 공력소음원 (S4) 기준 강도, 수음점 관점의 단위 길이 선로당 강도 (단위: dB eq. 1h) (높이 가정 3.5m, 기준속도 100km/h)

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k - 8k |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 음원강도 (dB) | 63.9 | 61.1 | 64.0 | 48.1 | 50.3 | 42.7 | - |

<표 2-3-2-21> 공력소음원 (S4) 속도계수

| 옥타브밴드 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k - 8k |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 속도계수 | 39.1 | 35.3 | 29.5 | 50.4 | 33.9 | 36.7 | - |

(나) 호남고속선 시험운행 구간 통과 소음도 측정값과 전동소음원 모델 예측과의 비교

① 개활지 구간

소음원 모델 및 통합 예측모델을 이용하여 각 속도별로 예측하고 측정값과 비교하면 다음과 같다. 다만, 고속철 운행 구간이므로 저속에서의 데이터 61, 161km/h는 제외하였다.

총합 소음도로 정리하면 측정된 값과 소음원 모델 및 통합 예측모델의 예측값을 비교하면 다음 표와 같다. 오차의 크기는 1.8dB 내이며, 목표 오차 3dB 이내의 결과를 얻었다.

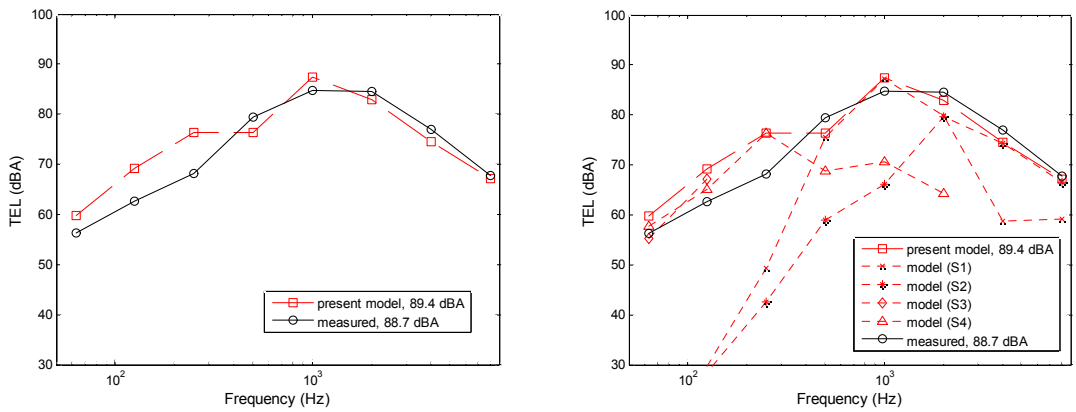
<표 2-3-2-22> HEMU, 통과소음도 측정값 및 모델 예측 비교, 개활지 109K400지점, 거리 25m, 높이 3.3m TEL (dBA) (2014년 08월 28일)

| 위치/지점 | 측정항목 | 열차속도 (km/h) | 측정치(dBA) | 예측치(dBA) | 오차 (dBA) | 특이사항 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 109k400 (직선구간) | 통과 소음도 | 61 | 78.7 | - | | 거리 25m, 높이 3.3m, 통과소음도 (TEL) |
| | | 161 | 87.1 | - | | |
| | | 220 | 90.2 | 90.8 | 0.6 | |
| | | 295 | 95.7 | 93.9 | -1.8 | |
| | | 271 | 94.3 | 92.8 | -1.5 | |
| | | 291 | 95.3 | 93.7 | -1.6 | |
| | | 262 | 93.4 | 92.4 | -1.0 | |
| | | 295 | 95.7 | 93.9 | -1.8 | |

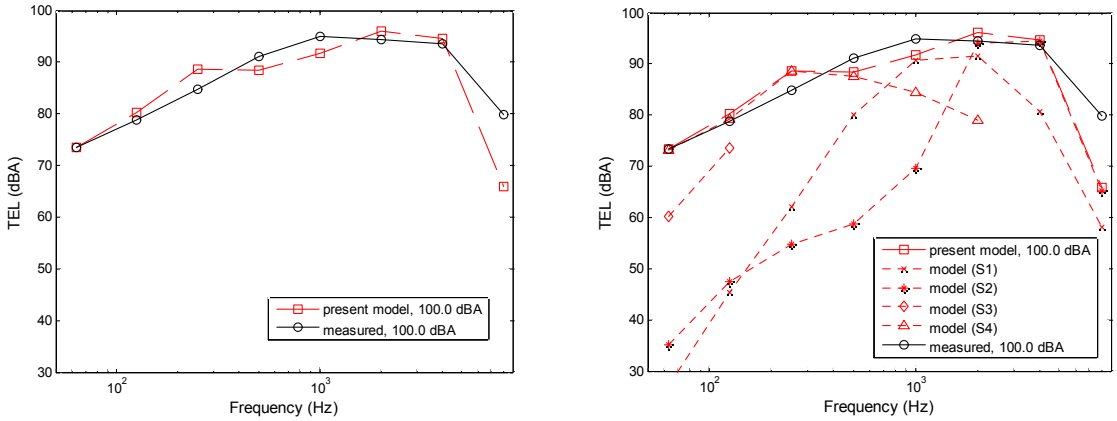
<표 2-3-2-23> HEMU 통과소음도 측정값, 개활지 109K400지점, 거리 25m, 높이 3.3m TEL (dBA) (2015년 1월 23일)

| 위치/지점 | 측정항목 | 열차속도 (km/h) | 측정치(dBA) | 예측치(dBA) | 오차 (dBA) | 특이사항 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 109k400 (직선구간) | 통과 소음도 (TEL) | 170 | 88.7 | 89.4 | 0.7 | |
| | | *346* | *106.2* | - | | *판토 접음* |
| | | *232* | *96.9* | - | - | *에어혼 켬* |
| | | 350 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | |
| | | *240* | *97.4* | - | - | *에어혼 켬* |
| | | 390 | 102.5 | 101.6 | -0.9 | |
| | | *250* | *99.1* | - | - | *판토 접음* |
| | | *396* | *103.6* | - | - | *에어혼 켬* |

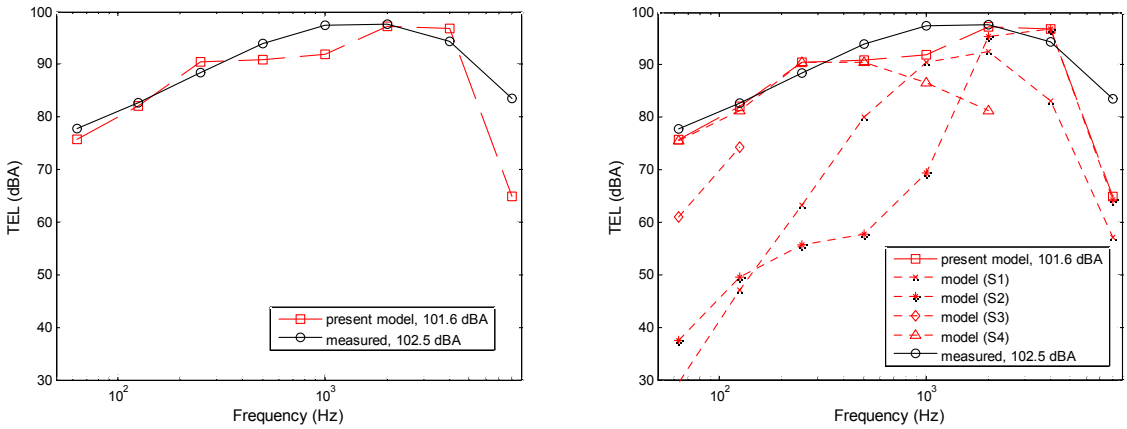
- 마이크로폰 어레이 시험과 병행하여 시험이 이루어진 관계로 판토를 접고 통과하거나, 에어혼을 켜고 통과한 경우가 있어서 일반적인 주행 상황이 아닌 경우가 포함되었음 (이탤릭 회색으로 표기). 모든 통과에서 상선으로 주행하였음




<그림 2-3-2-30> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 속도 170km/h.




<그림 2-3-2-31> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 속도 350km/h.




<그림 2-3-2-32> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 속도 390km/h.

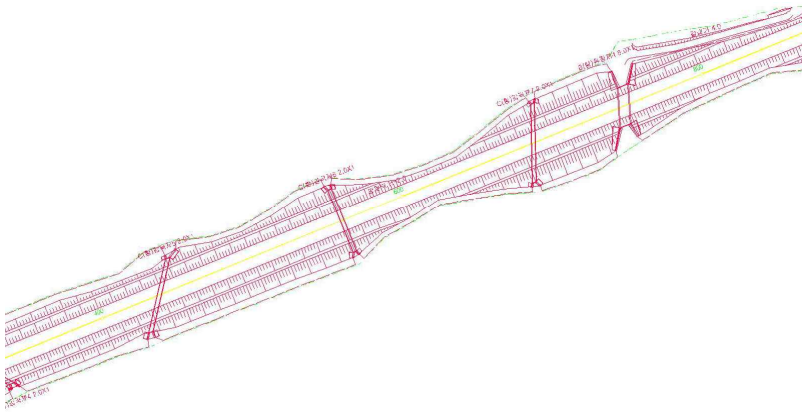
<표 2-3-2-24> HEMU 통과소음도 측정값, 개활지 109K400지점, 거리 25m, 높이 3.3m TEL (dBA) (2015년 2월 1일)

| 위치/지점 | 측정항목 | 열차속도 (km/h) | 측정치(dBA) | 예측치(dBA) | 오차 (dBA) | 특이사항 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 109k400 (직선구간) | 통과 소음도 (TEL) | 170 | 90.6 | 89.4 | -1.2 | 상선/상행 |
| | | 172 | 88.6 | 88.7 | 0.1 | 하선/하행 |
| | | 394 | 104.3 | 101.8 | -2.5 | 상선/상행 |
| | | 229 | 91.9 | 90.1 | -1.8 | 하선/하행 |
| | | 394 | 104.6 | 101.8 | -2.8 | 상선/상행 |
| | | 223 | - | - | - | 하선/하행 |

- 상행과 하행의 주행 방향에 따라서 상선과 하선으로 운행하였음. 따라서 상선의 경우 선로에서 마이크로폰까지 5m이지만, 하선의 경우 마이크로폰까지 거리는 5m에 추가하여 상선-하선 사이의 거리를 더하여야 함

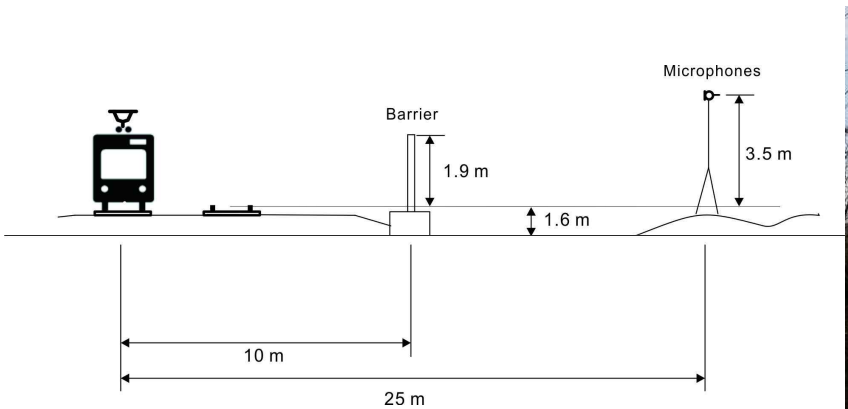
② 방음벽 구간

방음벽 및 교량 구간에 대한 소음을 앞의 예측모델을 이용하여 예측한 결과와 실제 측정값을 비교 검토하였다. 방음벽 구간은 113k620 지점으로 아래 도면과 같다. 방음벽 구간은 하행 방향에 2m 높이로 방음벽이 설치되어 있다. 방음벽 뒷편으로는 논밭, 얕은 높이의 언덕, 나무 등으로 되어 있으며 선로에서 수십 미터 거리에 설치하게 될 마이크로폰으로는 주변 반사의 영향은 적을 것으로 판단된다.












<그림 2-3-2-33> 방음벽 측정 구간 및 측정 개요도 (113K620)

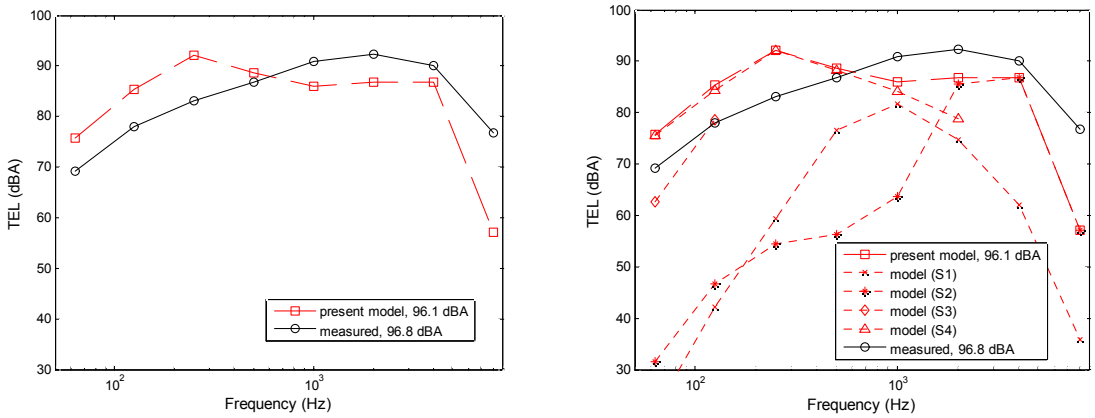
<표 2-3-2-25> KTX-호남, 방음벽 구간 통과 소음도 측정치와 소음예측모델 예측값 비교 (2014년 04월 23일)

| 위치/지점 | 측정항목 | 열차속도 (km/h) | 측정치(dBA) | 소음예측모델(dBA) | 오차 (dBA) |
|---|---|---|---|---|---|
| 113k620 (방음벽 구간) | 통과 소음도 (Leq,1h) | 232 | 62.7 | 61.8 | -0.9 |
| | | 270 | 64.8 | 63.5 | -1.3 |

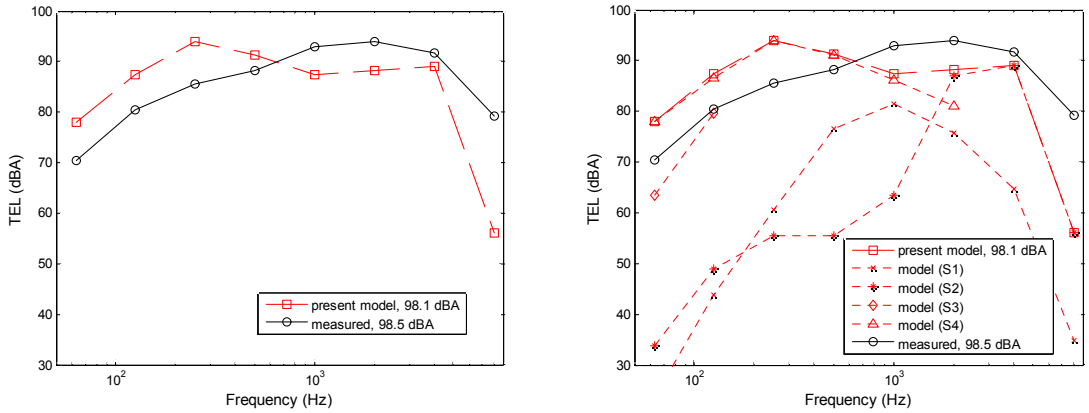
<표 2-3-2-26> HEMU 통과소음도 측정값, 방음벽구간 103K620지점, TEL (dBA) (2015년 1월 23일)

| 위치/지점 | 측정항목 | 열차속도 (km/h) | 측정치(dBA) | 예측치(dBA) | 오차 (dBA) | 특이사항 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 113k620 (방음벽 구간) | 통과 소음도 (TEL) | 170 | - | - | - | |
| | | *346* | - | - | - | *판토 접음* |
| | | *232* | *85.9* | - | - | *에어혼 켬* |
| | | 350 | 96.8 | 96.1 | -0.7 | |
| | | *240* | *88.7* | - | - | *에어혼 켬* |
| | | 390 | 98.5 | 98.1 | -0.4 | |
| | | *250* | *90.2* | - | - | *판토 접음* |
| | | *396* | *98.6* | - | - | *에어혼 켬* |

- 마이크로폰 어레이 시험과 병행하여 시험이 이루어진 관계로 판토를 접고 통과하거나, 에어혼을 켜고 통과한 경우가 있어서 일반적인 주행 상황이 아닌 경우가 포함되었음 (이탤릭 회색으로 표기). 모든 통과에서 상선으로 주행하였음
- 센서설치 오류로 처음의 2회에 대한 측정은 불가하였으며, 정상 주행 상황이 아닌 경우는 예측모델이 예측 불가함




<그림 2-3-2-34> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 방음벽 구간. 속도 350km/h.




<그림 2-3-2-35> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 방음벽 구간. 속도 390km/h.

### ③ 교량 구간

철도 교량은 대부분 강교량과 콘크리트교로 구분되며 강교량의 경우 교량 자체의 진동에 의한 소음이 무시될 수 없으며 레일이 놓인 아래 면이 도상이 없이 교량 아래로 열린 상황이다. 반면 콘크리트교의 경우 63 Hz 이상의 주파수 대역에서 교량 상판의 진동 크기가 레일의 진동 크기보다 매우 작다고 알려져 있으며, 교량 상판이 콘크리트 면으로 되어 있어 레일 및 차량 소음이 교량 상판 끝에서 회절되어 교량 아래로 전파되는 성분을 고려하여야 한다.

교량 구간 측정은 111k450 지점에서 이루어 졌으며, 측정점의 위치 및 환경 조건은 아래 표와 같다.



<그림 2-3-2-36> KTX-호남 교량 구간 측정 모습 (111k450)

<표 2-3-2-27> KTX-호남 교량 구간 계산에 이용한 입력 데이터

| | | |
|---|---|---|
| 선로와 수음점의 수평거리 (m) | dsr | 22.8 |
| 방음벽 높이 (m) | hbar | 1.3 |
| 선로에서 방음벽 사이 거리 (m) | dbar | 2.5 |
| 레일 면의 지면(상판)에서 높이: 음원위치 (m) | hts | 0.2 |
| 레일 면의 지면에서 높이: 수음점위치 (m) | htr | 11.0 |
| 수음점의 레일면에서 높이 (m) | hr0 | -7.5 |
| 지면유효유동저항:음원위치(x10^3Pa.s/m^2) | Fs | 20000.0 |
| 지면유효유동저항:수음점위치(x10^3Pa.s/m^2) | Fr | 2000.0 |
| 교량 상판 두께 (m) | hp | 0.8 |
| 선로에서 상판 끝 사이 거리 (m) | de | 2.6 |

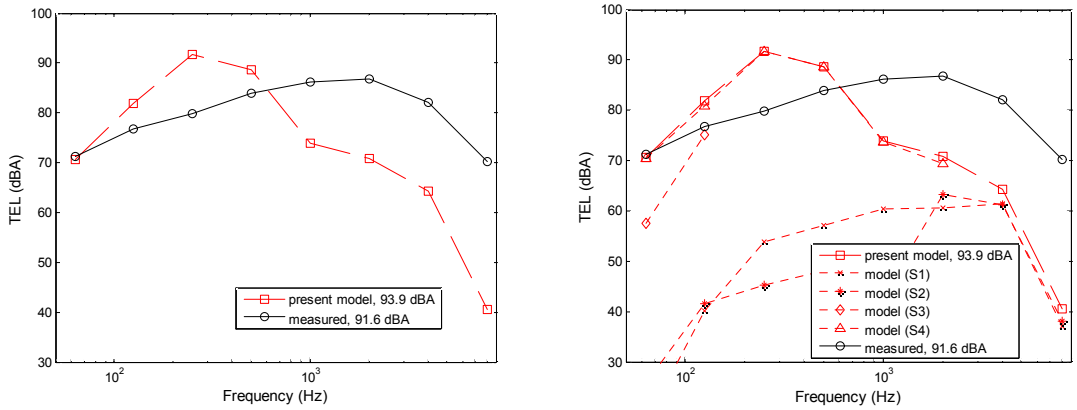
<표 2-3-2-28> KTX-호남 교량 구간 통과 소음도 측정치와 소음예측모델 예측값 비교 (2014년 04월 23일)

| 위치/지점 | 측정항목 | 열차속도 (km/h) | 측정치(dBA) | 소음예측모델(dBA) | 오차 (dBA) |
|---|---|---|---|---|---|
| 111k450 (교량 구간) | 통과 소음도 (Leq,1h) | 232 | 48.7 | 48.8 | 0.1 |
| | | 270 | 51.2 | 50.9 | -0.3 |

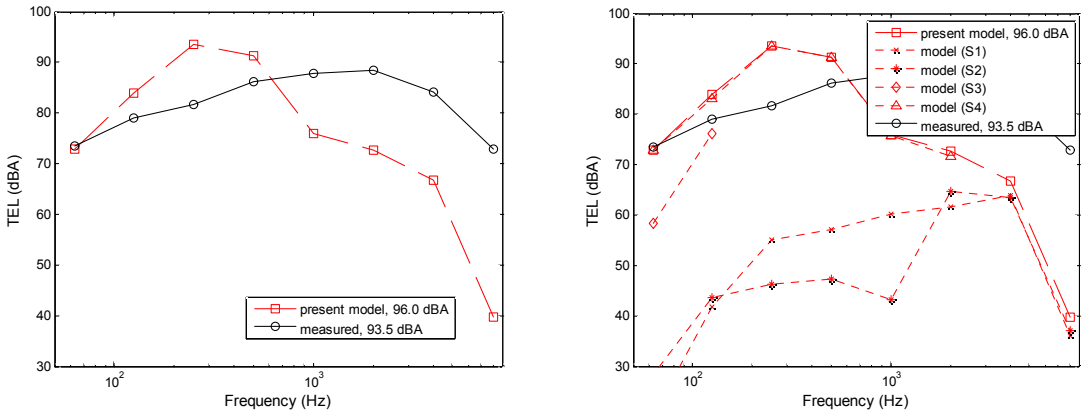
<표 2-3-2-29> HEMU 통과소음도 측정값, 교량구간 111K450지점, TEL (dBA) (2015년 1월 23일)

| 위치/지점 | 측정항목 | 열차속도 (km/h) | 측정치(dBA) | 예측치(dBA) | 오차 (dBA) | 특이사항 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 111k450 (교량 구간) | 통과 소음도 (TEL) | 170 | - | - | - | |
| | | *346* | *91.8* | - | | *판토 접음* |
| | | *232* | *81.4* | - | - | *에어혼 켬* |
| | | 350 | 91.6 | 93.9 | 2.3 | |
| | | *240* | *82.5* | - | - | *에어혼 켬* |
| | | 390 | 93.5 | 96.0 | 2.5 | |
| | | *250* | *83.8* | - | - | *판토 접음* |
| | | *396* | *93.8* | - | - | *에어혼 켬* |

- 마이크로폰 어레이 시험과 병행하여 시험이 이루어진 관계로 판토를 접고 통과하거나, 에어혼을 켜고 통과한 경우가 있어서 일반적인 주행 상황이 아닌 경우가 포함되었음 (이탤릭 회색으로 표기). 모든 통과에서 상선으로 주행하였음




<그림 2-3-2-37> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 교량 구간. 속도 350km/h.




<그림 2-3-2-38> HEMU 통과소음도에 대한 예측값과 측정값 비교. 교량 구간. 속도 390km/h.

호남 고속선의 교량은 상판 좌우로 슬라브 난간이 설치되어 있으며, 난간을 넘어 회절 성분이 전파된다. 회절 성분과 그 지면에서 반사되는 성분 간의 중첩과 상쇄로 인하여 주파수별 성분은 측정값과 예측값이 다소 차이를 보인다. 그러나 총합 소음도 에서는 측정치와 예측치가 비교적 작은 오차를 보이고 있다.

### (3) 고속철도 주행에 의한 소음도 시뮬레이션 프로그램 개발

#### (가) 목적

- 수음지에서의 고속철도 소음레벨을 계산하고, 시간이력특성과 주파수 특성을 제시하는 S/W 프로그램의 GUI 제작
- 차량의 개별소음원의 변화에 따른 수음지에서의 소음효과를 예측하는 시뮬레이션 기능 S/W 프로그램 GUI 제작

#### (나) 개발의 범위

- 차량의 속도, 차량소음원 정의, 특성 선택 모듈
- 전파특성 항목 선택 모듈
- 통과시간에 따른 시간이력 소음레벨 계산 모듈

- 소음레벨 주파수 특성 계산 모듈
- 소음제시치 (Leq, TEL, SEL 등) 계산 모듈
- 입출력 인터페이스 모듈
- 파일 및 데이터 관리 운영 모듈
- 결과 가시화, 도식화 모듈

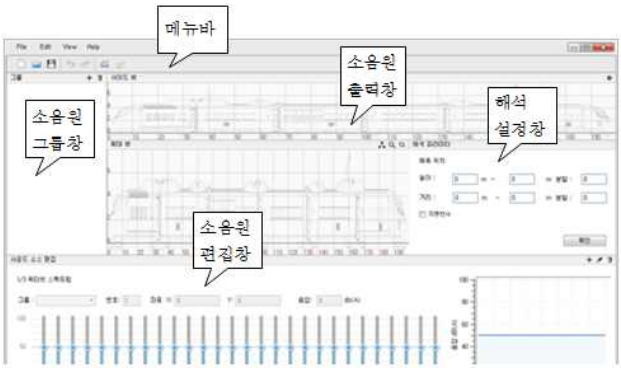
(다) 개발환경

- 개발도구 및 라이브러리
- Microsoft VisualStudio 2008 C++
- Matlab Compiler Runtime
- Qt Library, OpenGL

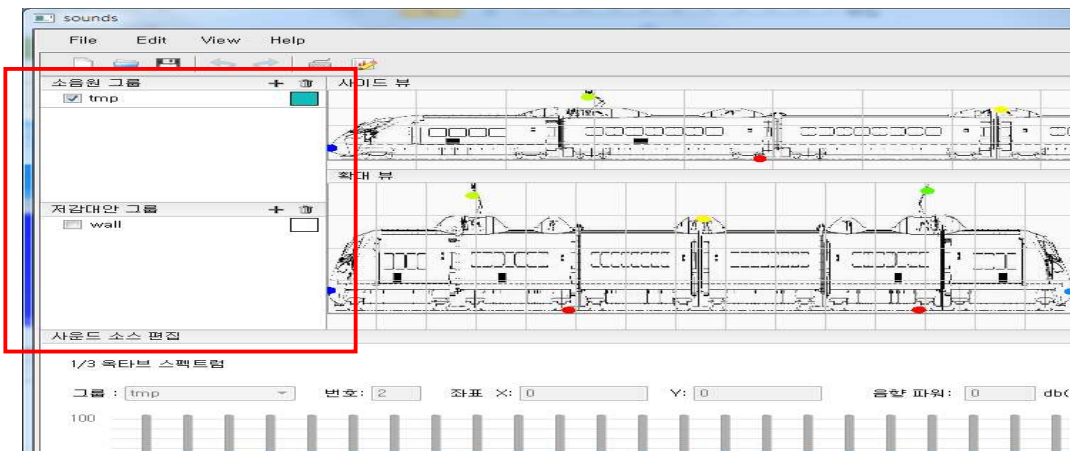
C++ 기반의 프로그램으로, Qt 라이브러리와 OpenGL를 이용하여 Windows Linux에서 동작함. 직접 제작한 관계형 DB인 Reansoft Database를 사용하여, 해석에 필요한 데이터 처리 및 작업 히스토리 관리, 프로젝트 저장 기능에 사용함.

(라) 프로그램 구성

① 그래픽 유저 인터페이스(GUI) 구성




<그림 2-3-2-39> 그래픽 유지 인터페이스(GUI) 구성




<그림 2-3-2-40> 소음원 변화에 따른 소음예측 위한 추가 모듈 구축

GUI 구성은 메뉴바, 소음원 그룹 창, GUI 구성은 메뉴 바, 소음원 그룹 창, 소음원 출력 창, 소음원 편집 창, 해석 설정 창 등으로 구분할 수 있다.

메뉴 바는 프로젝트 생성, 불러오기, 저장, 작업 취소, 작업 반복, 소음원 설정 페이지 보기, 해석 결과 페이지 보기 버튼 등으로 구성되어 있다. 소음원 그룹 창은 해석하고자 하는 소음원들을 그룹별로 관리할 수 있는 창이다. 소음원 출력 창은 입력된 소음원 들과 열차 차량의 전체 도면을 함께 보여주며, 해석 이후에는 해석 결과를 컨투어 맵으로 보여주기도 한다. 소음원 편집 창은 소음원 그룹 내의 각 소음원들을 편집하거나, 추가 및 삭제를 할 수 있다. 또한 해석 이후에는 해석 결과를 선 그래프로 보여주기도 한다

해석 설정 창은 해석 이전에 소음원들을 예측하는 지점을 설정하는 곳이며, 해석 이후에는 해석 결과를 보기위한 설정 창이다.

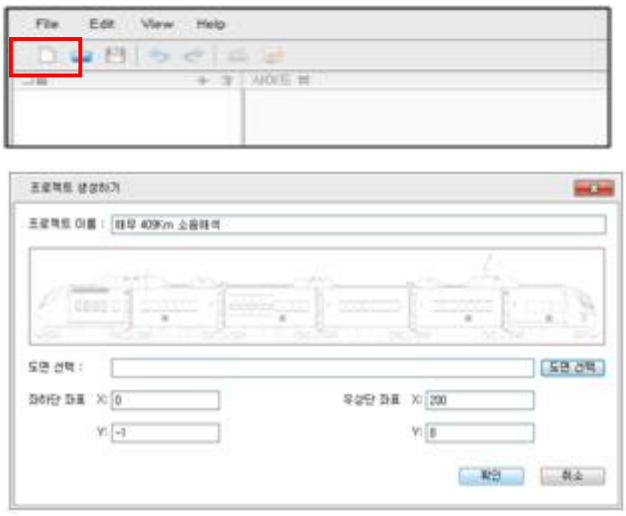
## ② 내부 설계 구성

소음 시뮬레이션 프로그램은 UI 는 Qt라이브러리를 이용하여 Windows 나 Linux에서 동작하도록 구현하였고, 소음원 및 해석 결과 자료 구조 및 작업 관리는 직접 개발한 Renasoft Database를 이용하였다. 해석 과정은 Matlab 라이브러리를 쓰레드로 백그라운드에서 진행할 수 있도록 구현하였고, 해석 결과들을 컨투어 맵과 선그래프 등으로 시간에 따른 애니메이션이 보일 수 있도록 설계하였다. GUI 디자인은 Qt 라이브러리의 css를 이용하여 디자인하였고, AnalysisWorker 클래스는 쓰레드를 이용한 Matlab 라이브러리동작 및 해석 담당 클래스, Document 클래스는 소음원 자료구조 처리 및 작업 히스토리 관리 클래스, SoundContour 클래스는 소음도 해석 결과를 컨투어 맵으로 그려주는 클래스 그리고 SoundGraph 클래스는 소음도 해석 결과를 선그래프로 그려주는 클래스로 구성되었다.

## ③ 프로젝트 관리

새 프로젝트 생성

- 프로젝트 이름 설정
- 도면 로드
- 도면 거리 및 높이 좌표 설정 가능




<그림 2-3-2-41> 새 프로젝트 생성 화면

- 프로젝트 로드 : 기존 프로젝트 로드 가능



<그림 2-3-2-42> 프로젝트 로드

- 프로젝트 수정 : 프로젝트의 정보 수정 가능

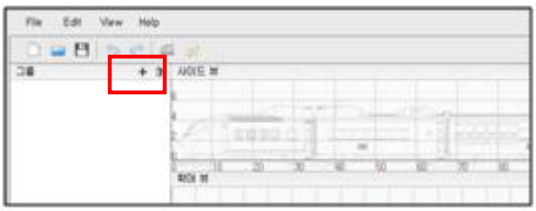


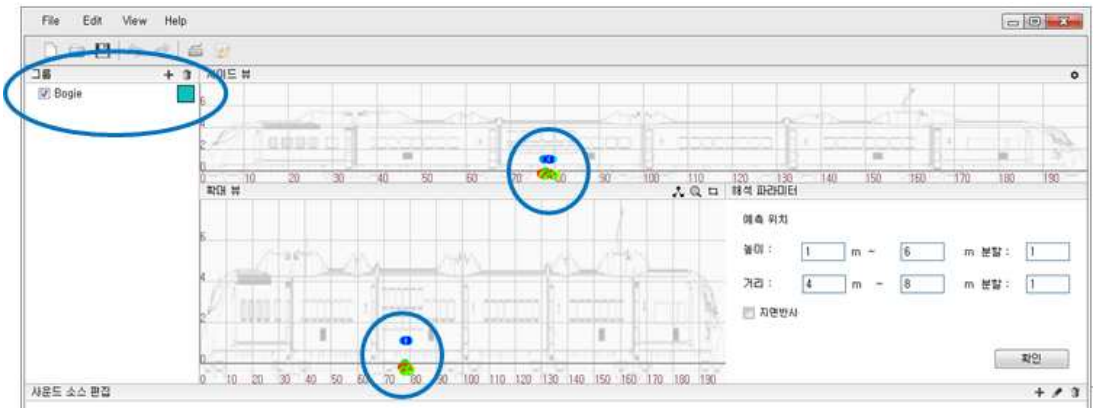
<그림 2-3-2-43> 프로젝트 수정

## ④ 소음원 입력 및 편집

소음원 그룹 추가 : 소음도 해석을 위한 소음원 그룹 추가 가능

- 새 소음원 그룹 추가
- 텍스트 파일로 저장된 소음원 파일 가져오기 가능

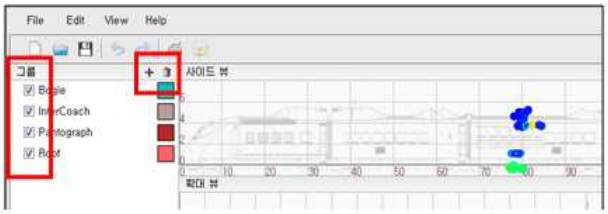





<그림 2-3-2-44> 소음원 그룹 추가 화면

소음원 그룹 관리 : 소음원 그룹들을 삭제, 또는 삭제하지 않고 숨길 수 있음

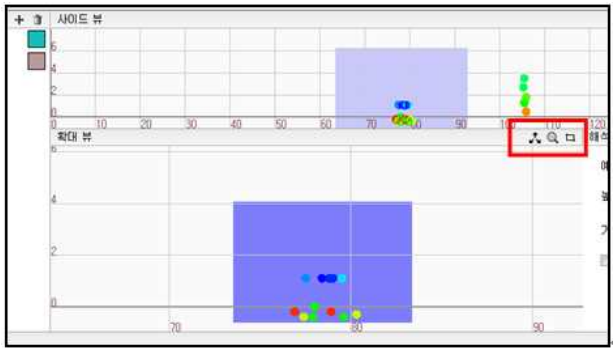
- 그룹 별 숨기기 ON/OFF
- 그룹 삭제




<그림 2-3-2-45> 소음원 그룹 관리 화면

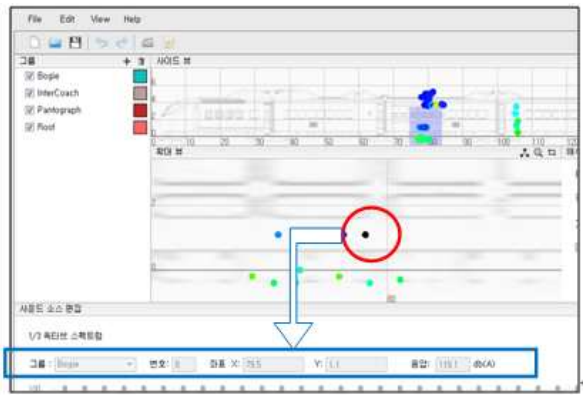
소음원 보기 : 각종 컨트롤을 통해 소음원들의 상태 자세히 확인 가능함

- 마우스 드래그를 통한 영역 확대 보기 가능
- 이동, 확대/축소, 영역 선택 버튼을 통한 다양한 보기 가능




<그림 2-3-2-46> 소음원 보기 화면

- 소음원 각 점 직접 클릭 시 자세히 보기 가능




<그림 2-3-2-47> 소음원 자세히 보기 가능 화면

소음원 편집 : 기존의 소음원의 값을 수정하거나, 삭제, 그리고 새로운 소음원을 추가 해볼 수 있음

- 새 소음원 정의 후 추가 가능
- 소음원 값 편집 가능
- 소음원 삭제 가능



<그림 2-3-2-48> 소음원 편집 기능 화면

작업 취소 및 다시 실행 : 소음원 그룹, 소음원 각 점들에 대한 여러 작업들을 이전으로 되돌리거나 다시 실행 가능함

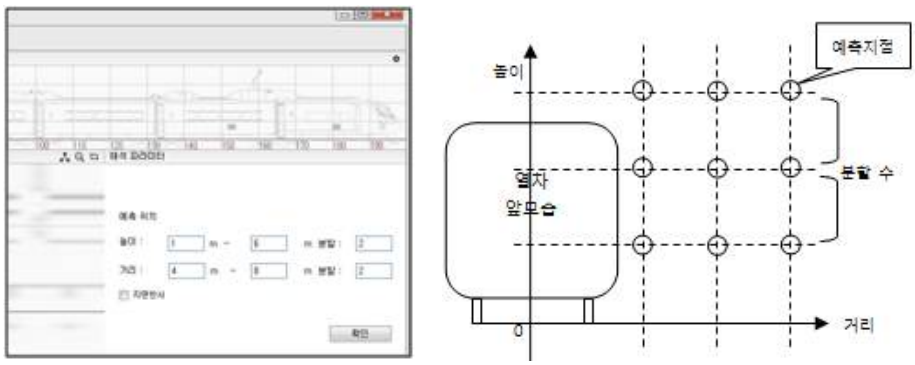



<그림 2-3-2-49> 작업 취소 및 다시 실행 화면

⑤ 소음도 계산

해석 설정

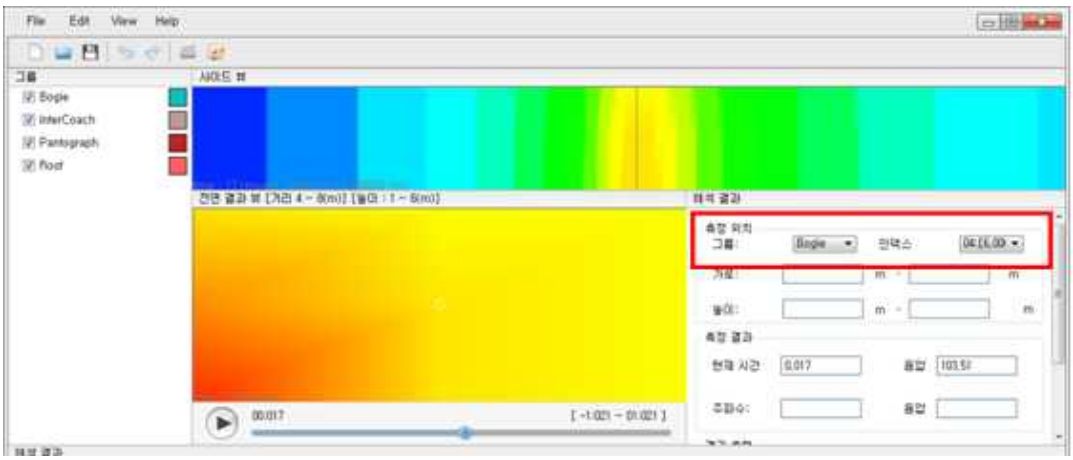
- 수음 위치 설정



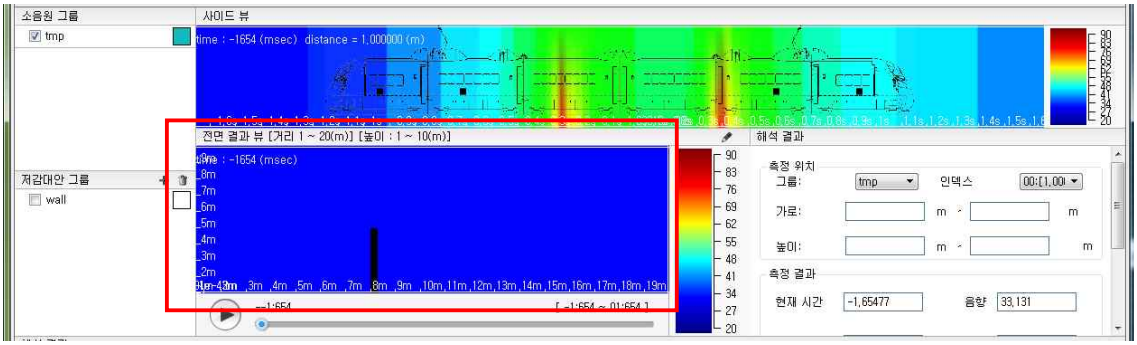

<그림 2-3-2-50> 소음도 계산 수음 위치 설정 화면

해석 결과 확인

- 특정 수음 위치에서의 시간 이력 소음 레벨 그래프

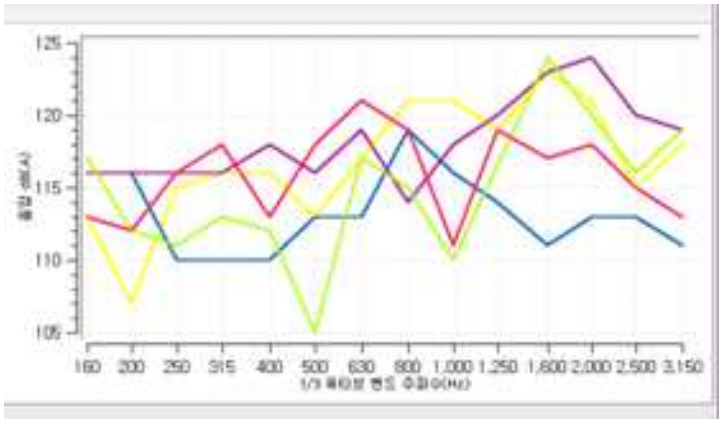


<그림 2-3-2-51> 음도 계산 해석 결과 확인 화면



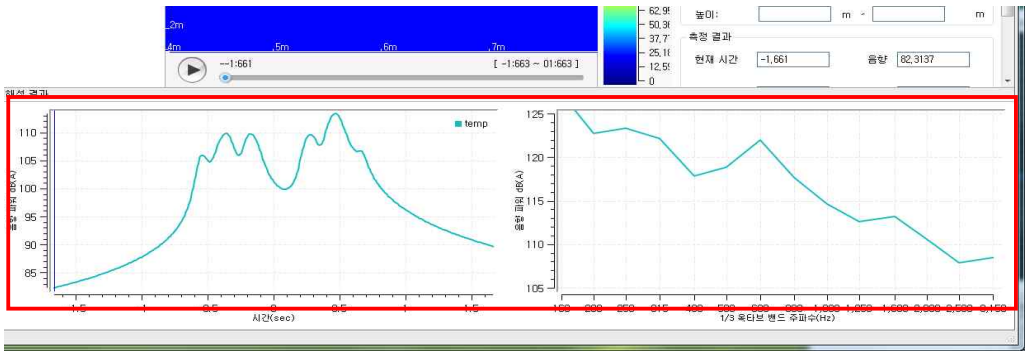
<그림 2-3-2-52> 음도 차량의 구조변경, 방음벽에 의한 소음도 변화 예측 위한 계산 모듈 예

- 차량 이동 시간 변화에 따른 소음도 결과 컨투어 맵
- 소음도의 1/3, 옥타브 주파수 특성 계산 기능



<그림 2-3-2-53> 소음도 특성 계산 기능 화면

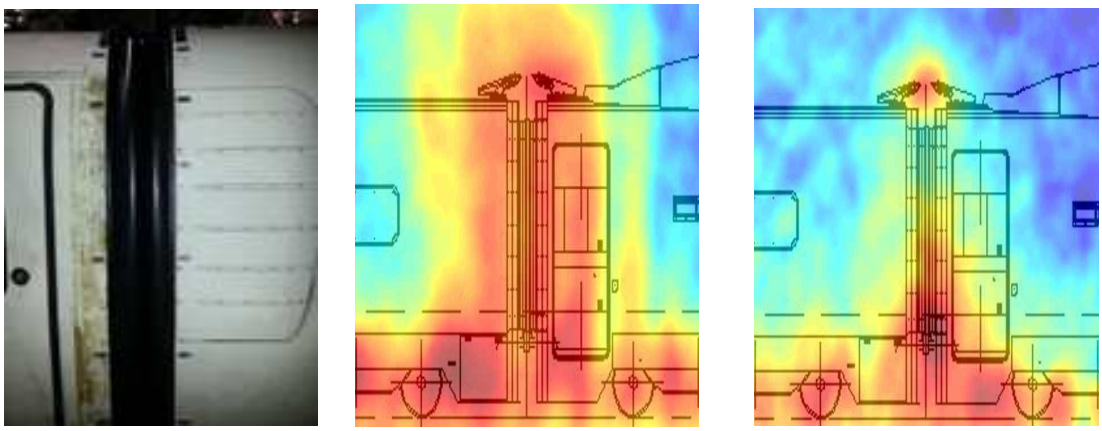
- 시간 변화에 따른 그래프 변화 애니메이션 가능



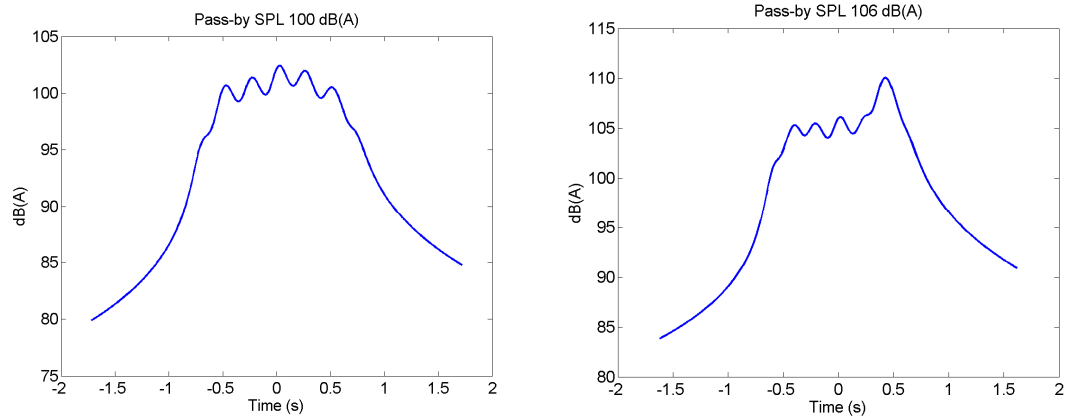

<그림 2-3-2-54> 시간영역, 주파수 영역, 개별소음원별, 총합소음 등 다양한 소음도 정보 도식화 기능

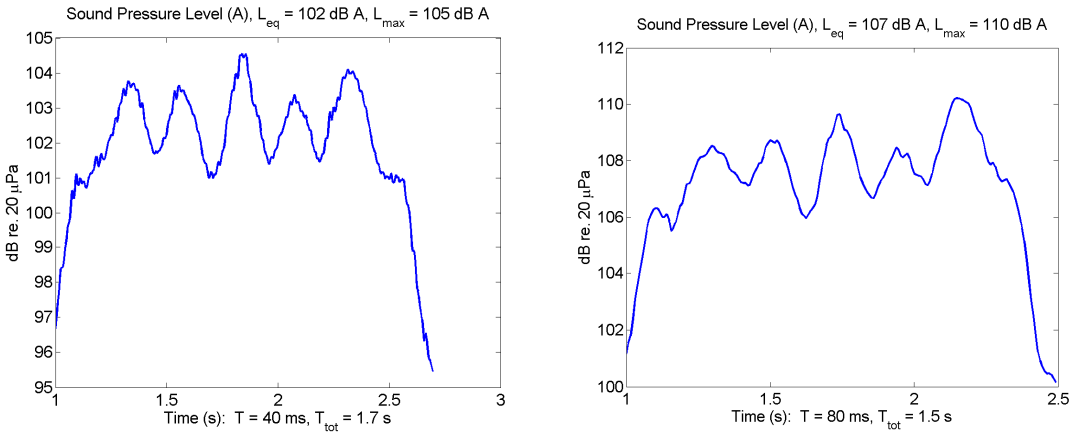
(마) 차량의 구조 변경, 궤도 흡음블럭 적용, 방음시설 시공 따른 저감효과 시뮬레이션 계산

차량의 연결부 차단, 판토그라프의 영향 등 차량구조 변경에 따른 음원강도 DB를 구축하고, 이에 따른 임의의 수음지에서의 적용 전 후의 음압을 산출할 수 있다.



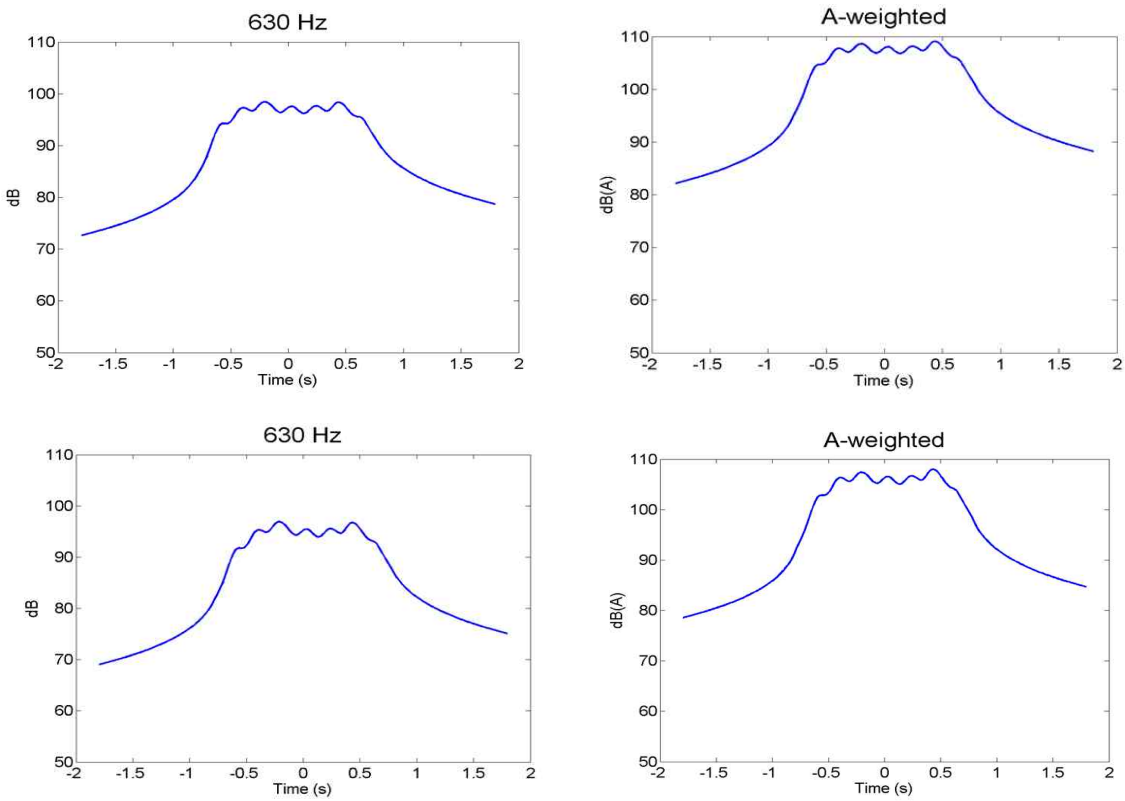
<그림 2-3-2-55> 차간연결부 통로 차단 장치 설치 전 후의 음원 분포 예시, 160Hz~3150Hz A-가중 값






<그림 2-3-2-56> 차간연결부 차단 장치 설치 전 후의 음압 시뮬레이션(위)/측정값(아래) 예시

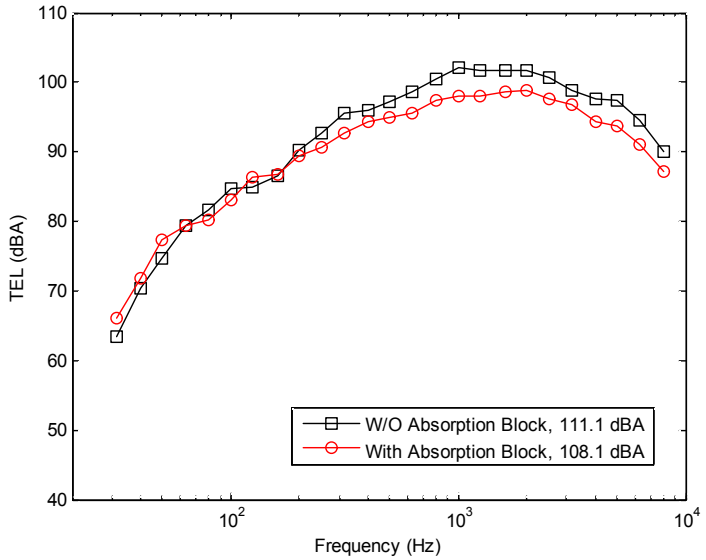
슬라브도상 표면 반사 저감을 위한 흡음블럭 미설치 구간 운행속도는 394km/h (2015.2 측정), 설치 구간 운행속도 : 394km/h (2015.2 측정)이고, 흡음블럭 도입에 의하여 변경된 지면효과를 반영하여 미설치 및 설치 구간에 대한 열차통과 시뮬레이션 결과(109dBA, 107dBA, 2.6dB 저감 성능)를 검토하였다.




<그림 2-3-2-57> 흡음블럭 미설치(좌)/설치(우) 구간에 대한 음압 시뮬레이션

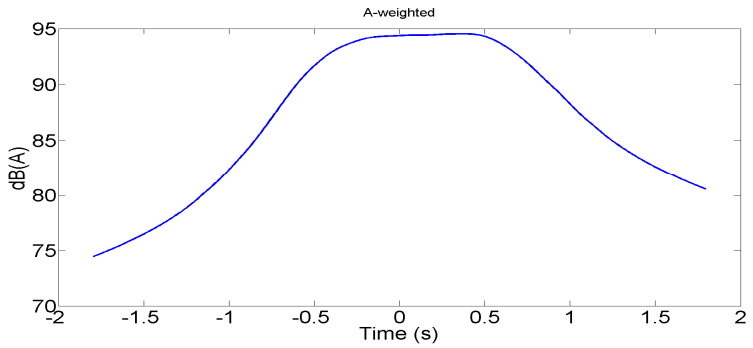
<표 2-3-2-30> 흡음블럭 설치 유무에 대한 소음 전파항 지면효과 입력 값

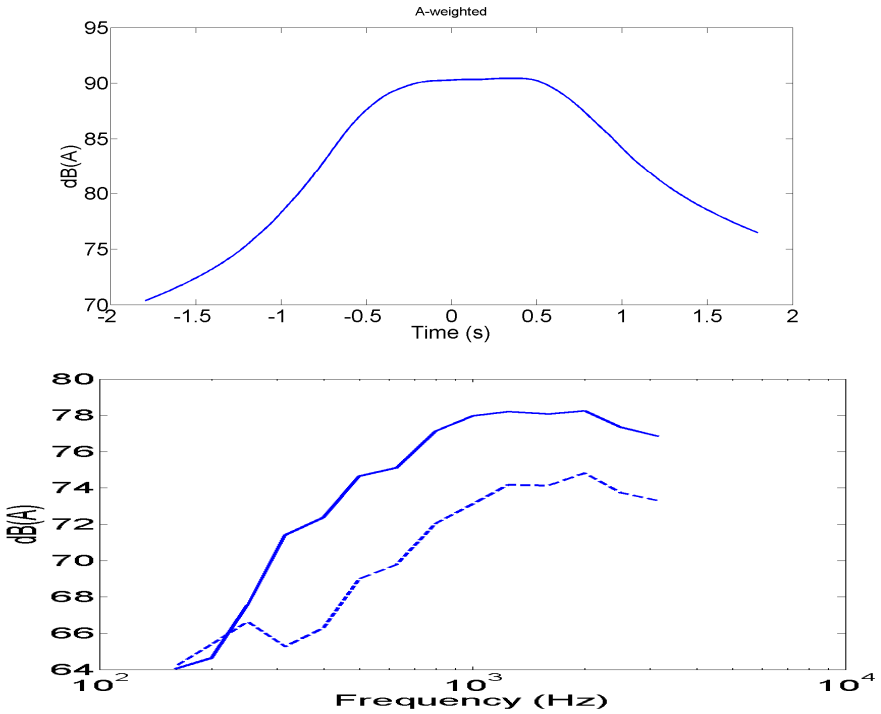
| 구 분 | ISO 9613-2 전파모델 지면효과 입력항 (0: Rigid ~ 1: Porous) | | |
|---|---|---|---|
| | 음원 영역 | 중간영역 | 수음 영역 |
| 흡음블록 미설치 | 0 | 0 | 0.3 |
| 흡음블록 설치 | 1 | 0.8 | 0.3 |




<그림 2-3-2-58> 흡음블럭 설치 전 후의 소음도 측정값

방음벽의 경우 방음벽 설치에 따른 국제 규격에 따른 소음전파 감쇠항을 반영하여 계산할 수 있고, 또한 BS EN 규격에 따라서 철도 방음벽 주파수 별 표준 삽입손실 값을 활용하여 주파수 영역에서 계산 가능하다. 미설치 및 설치 구간에 대한 열차통과 시뮬레이션 결는 90.6dBA에서 86.5dBA 로 4.1dB 저감성능의 예가 있고, 실제 현장에서의 미설치 및 설치 구간에 대한 열차통과 측정 결과는 87.2dBA에서 83dBA로 4.2dBA 저감성능을 보인예가 있다.






<그림 2-3-2-59> 방음벽 미설치(상)/설치(중) 구간에 대한 음압 시뮬레이션

### (4) 슬라브 도상용 흡음블럭

400Km급 고속철도 구간에서 증가되는 환경소음을 저감하기 위해서, 400km급의 고속운행 차량환경에서의 소음특성을 예측하고 주행환경에서 발생하는 외부인자에 대한 여러 가지 요구인자에 대한 해석을 통해 내구성능을 도출하였다. 도출된 소음특성과 요구성능조건을 충족하기 위한 소재 및 배합 개발, 설계안 수립 등의 반복과정으로 시작품을 제작하여 실험실 성능평가 과정을 거쳐 최종적으로 현장에 적용 가능한 시제품을 제작하였다. 이러한 과정으로 개발된 슬라브 도상용 흡음블럭의 실제 주행환경에서의 소음저감 효과와 안정성을 검증하기 위해 본차년도에서는 제작된 시제품의 현장설치를 위한 현장부설계획 수립과정과 테스트 베드구간 현장부설, 미부설 및 부설구간의 동시 소음저감 성능 측정, 부설 후 모니터링을 통한 안정성 점검등을 수행하였다.

#### (가) 현장시부설 시공

##### ① 현장부설 관련 일반사항

㉮ 현장부설 일시

현장부설 시기는 당초 계획보다 많이 연기되어 2014.05.07. ~ 05.19.에 실시되었다. 대신 시험운행이 없는 기간이어서 예정되었던 야간작업 대신 주간작업으로 실시되었으며, 이로 인해 공사기간이 단축되어 13일간의 공사로 현장부설을 완료하였다.

㉯ 현장부설 위치

전북 김제시 서정동 인근에 해당하는 호남고속철도 테스트 베드 STA.109K 500~900 구간의 복선 400m에 대해 계획된 바와 같이 선로 중앙 및 외측에 흡음블럭을 설치하였다.

㉰ 자재적재 위치

부설용 자재는 그동안의 현장조사 및 협조 요청을 통해 확보된 STA.110k 030의 시암신호통신실 주차장을 활용하였다. 해당부지의 경우 넓은 공간 덕택에 자재의 운반이 원활히 진행되었다.




<그림 2-3-2-60> 설치용 자재 적재 모습

㉱ 투입 자재량

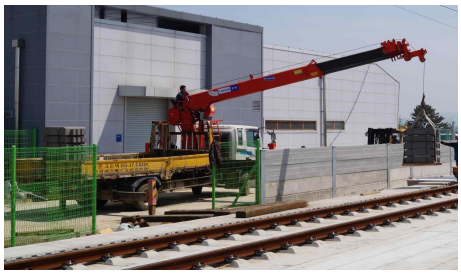
흡음블럭 자재의 투입은 계획상 중앙용 1250EA, 측면용 2500EA으로 산출하였으나, 실제 도상의 경우, 신호시설물의 설치로 인해, 흡음블럭을 설치할 수 없는 구간이 존재한다. 설치를 진행한 후 최종적으로 실제 사용된 흡음블럭은 중앙용 1180EA, 측면용

2400EA이었다.

㈐ 투입 장비

흡음블럭 설치를 위해 투입된 장비는 크게 운반용 장비와 설치용 장비로 나누어 볼 수 있다. 자재의 운반을 위해 지게차와 카고크레인, 미니모터카 및 트로이가 사용되었으며, 흡음블럭의 설치를 위해 인력대신 포크레인과 설치용 지그가 사용되었다.

<표 2-3-2-31> 현장부설용 투입장비

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">투입 장비</th></tr>
<tr><td rowspan="3">운반용<br>장비</td><td><br><지게차></td><td><br><카고크레인></td></tr>
<tr><td colspan="2"><br><미니모터카 및 트로이></td></tr>
<tr><td rowspan="2">설치용<br>장비</td><td><br><포크레인 02></td><td><br><설치용 지그></td></tr>
</table>

## ② 공정별 시공작업

㈎ 자재생산 및 자재수송

Testbed 구간 복선 400m에 흡음블럭을 부설하기 위한 개발된 흡음블럭의 수량을 검토하였다. 개발품의 단위 길이는 0.64m로 총 부설 거리 800m에 설치하기 위해서는 1250조가 필요하며, 1조는 중앙용 1EA, 측면용 2EA로 구성되므로, 중앙용 블록 1250EA, 측면용 2500EA가 필요하다. 흡음블럭은 생산 공정당 3조의 흡음블럭이 생산되므로, 소요 공정수는 417공정이었으며, 실공정수 420공정을 통해 여유분을 확보하도록 하였다. 또한 생산된 제품을 부설지역으로 운반해야 하므로, 운반을 위한 적재방안을 검토하였다. 흡음블럭 중앙용, 측면용 각각 5EA, 10EA씩 1pallet로 적재하여 총 500pallet가 필요한 것으로 나타났다.

<표 2-3-2-32> 흡음블럭 큐빙 pallet 소요량

| 설치수량 | | 큐빙양/Pallet | 소요 Pallet | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1250 조 | 중앙용 1250EA | 5EA | 250 Pallet | 총 500 Pallet | |
| | 측면용 2500EA | 10EA | 250 Pallet | | |



<그림 2-3-2-61> 흡음블럭 중앙용 5단 큐빙

제품 운반을 위해 사용되는 일반적인 25t 트럭의 경우 적재공간의 길이가 약 10m 정도로, 일반적인 규격인 1×1m의 pallet의 경우 18~20pallet의 적재가 가능하다. 이럴 경우 500pallet의 자재를 운반하기 위해서는 최소 25회의 운반 횟수가 필요하게 된다. 운반비용을 줄이고, 운반횟수를 줄이기 위해 흡음블럭 적재를 위한 1000×700㎜의 pallet를 별도로 제작하였다. 이를 통해 1회에 26~28pallet를 운반할 수 있게 되었고, 운반횟수도 20회로 줄일 수 있었다.

㈏ 선로반입 및 선로내 수송

공장에서 운반되어 온 자재는 지게차를 이용하여 자재적재공간에 하차한다. 설치를 위해 이 자재들은 선로내부로 이동되어야 하는데, 카고크레인을 사용하여 1pallet씩 선로내부로 이동시킨다. 이때 선로내부에 대기중인 트로이 위에 자재를 상차시킨다.



<그림 2-3-2-62> 자재상차

트로이 위에 상차된 자재는 트로이에 연결된 미니모터카의 동력을 이용해 상차지점에서 설치지점으로 이동한다. 이때 1회 이동량은 트로이에 4pallet, 미니모터카에 3pallet씩 가능하여 총 7pallet씩 설치지점으로 이동하였다. 이동속도는 사람의 도보와 별 차이가 없어 빠르지 않았다. 때문에 자재이동 인원은 별도로 하여 자재이동만 반복적으로 담당

하였다.



<그림 2-3-2-63> 자재이동

미니모터카와 트로이 위에 올려져 설치지점으로 운반된 자재는 설치지점에서 설치를 진행하던 포크레인이 하차하였다. 하차시에는 제품의 설치 위치를 미리 예측하여 일정 간격으로 하차하였다.



<그림 2-3-2-64> 자재하차

㉰ 흡음블럭 설치

흡음블럭 설치시 중앙용 블록의 경우에는 양측의 레일 및 침목이 설치할 위치를 알수 있게 해주지만, 측면용 블록 설치시에는 그렇지 않다. 때문에 측면용 블록 설치시에 블록 설치지점의 외측에 먹놓기 작업을 미리 실시하여, 측면용 흡음블럭이 바르게 설치되도록 하였다. 이 작업은 별도의 작업인원을 배치하지 않고, 당일 작업 시작시점에 자재운반작업이 이루어지는 동안 실시하도록 하였다.



<그림 2-3-2-65> 먹놓기

흡음블럭을 설치시에는 도상의 유지보수를 고려해야한다. 흡음블럭 하부의 도상 균열 발생시 흡음블럭을 제거해야 하는 경우가 발생할 수 있는데, 이를 위해 제품 2개당 1개만 접착제를 사용하여 고정하였다. 물론 이때 고정되지 않은 제품이 이동할 우려가 있을

수 있으나, 이 부분은 제품 개발과정에서 미리 고려된 부분으로 블록 상호간 인터락되도록 제작되었기에, 제품의 개별 이동에 대한 우려는 없다고 할 수 있다. 접착제는 블록의 네 모서리에 접착될 수 있도록 하여, 제품 설치 전에 미리 도포하였다.



<그림 2-3-2-66> 접착제 도포

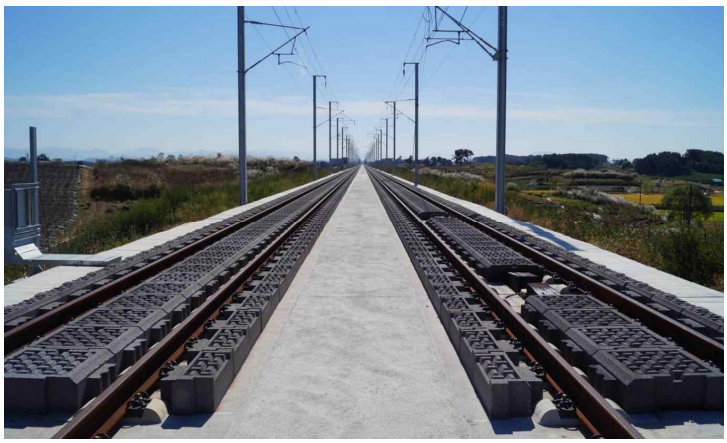
흡음블럭 제품 설치시에는 포크레인에 연결된 지그를 사용하였다. 설치작업의 진행은 포크레인 조종수 1명, 지그가 제품을 집는 위치에 작업자 1명, 지그가 잡고 있던 제품을 설치하는 위치에서 위치를 맞춰 주기 위한 작업자 1명, 설치 후 미세조정을 위한 작업자 1명이 한팀으로 구성되어 설치작업을 진행하였다.



<그림 2-3-2-67> 제품 설치

㉮ 현장부설 완료

흡음블럭의 설치는 언급한 바와 같이 13일간의 공사 작업으로 완료되었다. 완료 후 전경은 아래의 사진에 나타내었으며, 양 선로의 내·외측에 각각의 중앙용과 측면용 흡음블럭을 설치하였다.



<그림 2-3-2-68> 흡음블럭 설치 완료 전경

개발된 흡음블럭은 호남고속철도에 설치된 침목의 간격을 기준으로 하여 제품의 규격을 결정하였다. 이에 따라 제품의 설치시에도 선로에 시공되어 있는 각각의 침목을 기준으로 하여 설치위치가 결정되었다. 아래의 사진에서 보이는 바와 같이 흡음블럭의 날개부는 침목사이 공간에 위치해 흡음면적을 넓힐 수 있도록 되어있다.



(a) 침목 고려 (b) 시설물 고려

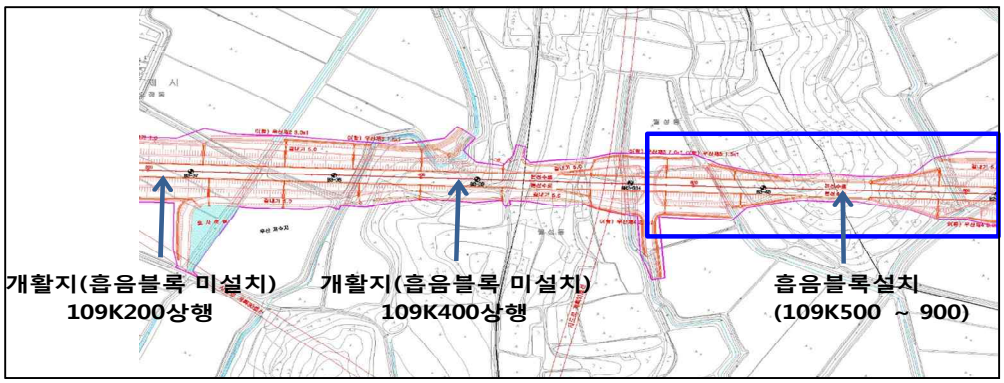
<그림 2-3-2-69> 흡음블럭 상세 설치 형태

또한 흡음블럭의 설치일정 검토시 신호시설물의 설치 이후에 진행되도록 하였는데, 이는 흡음블럭을 먼저 설치하는 경우 신호시설물의 설치가 불가능하거나, 흡음블럭을 제거해야 하는 어려움이 발생하게 되기 때문이다. 흡음블럭은 도상에 설치되는 제품으로 동일하게 도상에 설치되는 신호시설물을 고려하여 설치해야만 한다. 이 때문에 <그림 217>과 같이 신호시설물이 설치된 공간은 배제하고 흡음블럭을 설치하였다.

## (나) 소음저감 성능 평가

### ① 소음저감 성능평가 개요

400Km급 고속철도용 흡음블럭의 성능 평가를 목적으로 흡음블럭 설치 및 미설치 구간에 대한 소음도 측정을 통하여 흡음블럭의 성능을 검토한다. 토공구간으로 흡음블럭 설치 구간은 109k700에서, 미설치 구간은 109k200에서 측정한다. 열차 운행 속도는 측정지점에서 마이크로폰 신호를 참조한 통과 시간을 구하여 열차 길이와 함께 검토하여 계산하였다.




<그림 2-3-2-70> 흡음블럭 설치 및 미설치 구간 측정 지역



<그림 2-3-2-71> 흡음블럭 설치 구간 측정 모습 (109k700)

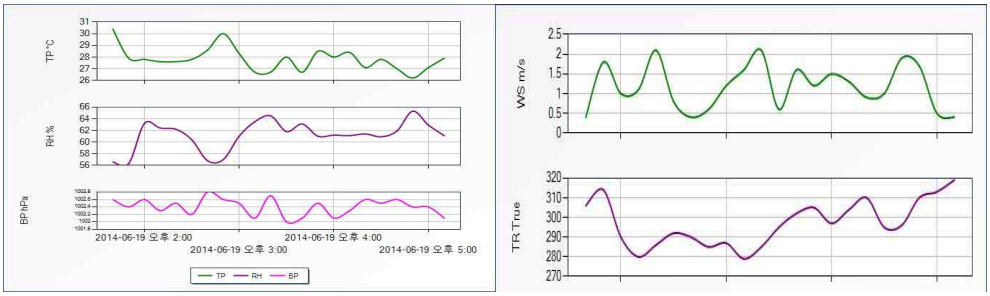


<그림 2-3-2-72> 흡음블럭 미설치 구간 측정 모습 (109k200)

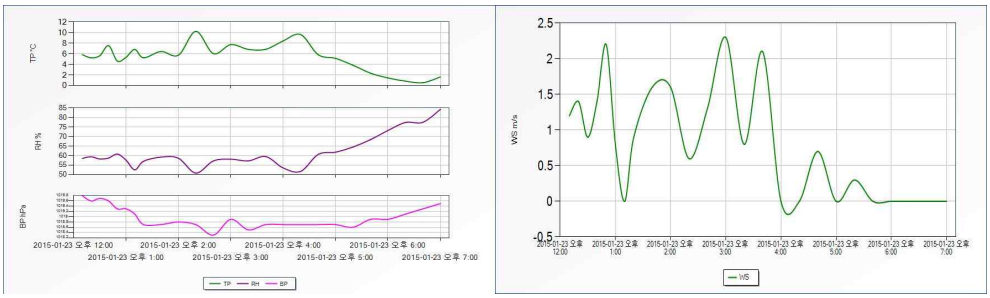
## ② 소음저감 측정결과

### ㉮ 측정 조건

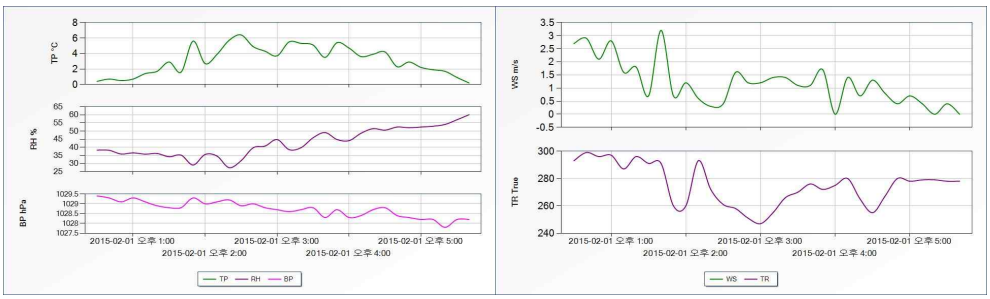
마이크로폰으로 선로 중심에서 5m, 레일에서 1.2m 높이에 설치하고 통과소음도를 측정하였다. 흡음블럭 설치 구간과 미설치 구간에 선로에서부터 동일한 거리와 높이에서 동일한 통과 차량에 대한 소음 측정 후 비교하였다. 측정 시의 각각의 기상 데이터 (위쪽부터 온도, 습도, 기압, 풍속, 풍향)는 다음과 같다.




<그림 2-3-2-73> 2014년 7월 9일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터




<그림 2-3-2-74> 2015년 1월 23일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터

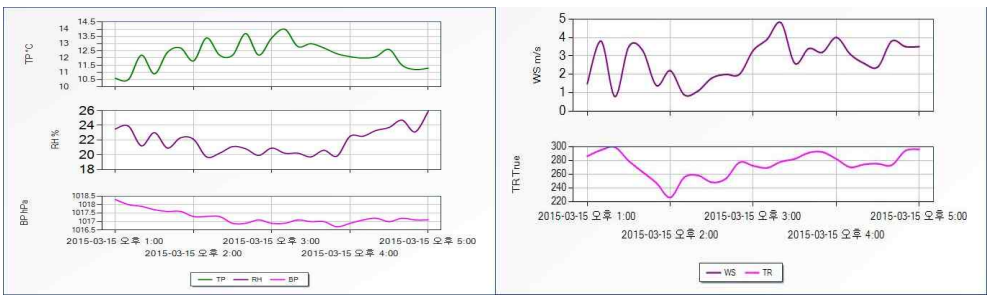



<그림 2-3-2-75> 2015년 2월 1일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터

<표 2-3-2-33> 2015년 3월 8일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터

| 일.시 | 날씨 | | | | 기온(℃) | | | 강수 | | | 바람 | | 기압(hPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 현재일기 | 시정 km | 운량 1/10 | 중하층 운량 | 현재 기온 | 이슬점 온도 | 체감 온도 | 일강수 mm | 적설 cm | 습도 % | 풍향 | 풍속 m/s | 해면 기압 |
| 09.20H | | | | | -1.5 | -10.5 | -4.9 | 0.5 | | 50 | 서북서 | 2.6 | 1027.1 |
| 09.19H | | | | | -0.9 | -9.7 | -4.4 | 0.5 | | 51 | 서북서 | 2.8 | 1026.3 |
| 09.18H | 구름조금 | 20.0 | 3 | 3 | 0.8 | -8.2 | -2.9 | 0.5 | | 51 | 서북서 | 3.4 | 1025.5 |
| 09.17H | 맑음 | 18.0 | 2 | 2 | 2.7 | -7.2 | -1.0 | 0.5 | | 48 | 서북서 | 4.1 | 1024.6 |
| 09.16H | 맑음 | 18.0 | 2 | 2 | 4.5 | -5.3 | 1.5 | 0.5 | | 49 | 서북서 | 3.6 | 1023.8 |
| 09.15H | 맑음 | 15.0 | 0 | 0 | 6.2 | -6.1 | 3.4 | 0.5 | | 41 | 서북서 | 3.8 | 1022.9 |
| 09.14H | 맑음 | 12.0 | 0 | 0 | 7.9 | -7.8 | 5.8 | 0.5 | | 32 | 서북서 | 3.3 | 1022.6 |
| 09.13H | 맑음 | 12.0 | 0 | 0 | 8.5 | -0.5 | 6.0 | 0.5 | | 53 | 서북서 | 4.4 | 1022.4 |
| 09.12H | 연무 | 8.0 | 2 | 2 | 8.0 | 0.2 | 5.1 | 0.5 | | 58 | 서북서 | 4.9 | 1022.1 |
| 09.11H | 연무 | 8.0 | 3 | 3 | 7.8 | 1.6 | 5.4 | 0.5 | | 65 | 서북서 | 3.8 | 1021.5 |
| 09.10H | 연무 | 7.0 | 6 | 6 | 8.9 | -0.4 | 8.9 | 0.5 | | 52 | 서남서 | 1.2 | 1021.0 |
| 09.09H | 비 끝남 | 7.0 | 6 | 6 | 6.5 | -0.2 | 6.5 | 0.5 | | 62 | 서남서 | 1.0 | 1020.7 |
| 09.08H | | 5.0 | | | 5.4 | 3.7 | 5.4 | 0.5 | | 89 | 남남서 | 1.3 | 1020.0 |
| 09.07H | | 5.0 | | | 5.3 | 3.4 | 5.3 | 0.5 | | 88 | 남서 | 1.1 | 1020.1 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09.06H | | 6.0 | | | 5.8 | 3.7 | 5.8 | 0.5 | | 87 | 정온 | 0.3 | 1019.9 |
| 09.05H | | 18.0 | | | 7.0 | -0.7 | 5.9 | 0.0 | | 58 | 동남동 | 1.8 | 1018.8 |
| 09.04H | | 14.0 | | | 6.0 | -0.7 | 6.0 | 0.0 | | 62 | 동남동 | 1.2 | 1019.3 |
| 09.03H | | 16.0 | | | 6.5 | -1.6 | 6.5 | | | 56 | 남남동 | 0.5 | 1019.9 |
| 09.02H | | | | | 6.1 | -2.0 | 6.1 | | | 56 | 남남동 | 0.6 | 1020.6 |
| 09.01H | | | | | 6.1 | -2.5 | 5.2 | | | 54 | 동남동 | 1.5 | 1020.7 |
| 09.00H | | 16.0 | | | 6.2 | -3.2 | 6.2 | | | 51 | 동남동 | 0.6 | 1021.3 |
| 08.23H | | | | | 6.4 | -3.2 | 6.4 | | | 50 | 정온 | 0.1 | 1021.2 |
| 08.22H | | | | | 6.6 | -3.6 | 6.6 | | | 48 | 정온 | 0.2 | 1021.4 |
| 08.21H | | 12.0 | | | 7.4 | -3.7 | 7.4 | | | 45 | 북북동 | 1.1 | 1021.5 |
| 08.20H | | | | | 7.9 | -3.9 | 7.9 | | | 43 | 북북동 | 0.5 | 1021.3 |
| 08.19H | | | | | 9.4 | -4.9 | 9.4 | | | 36 | 북북동 | 1.3 | 1020.8 |
| 08.18H | | 12.0 | | | 11.1 | -2.3 | 11.1 | | | 39 | 북북동 | 1.3 | 1020.3 |
| 08.17H | | 17.0 | | | 13.3 | -3.0 | 13.1 | | | 32 | 서북서 | 1.9 | 1019.9 |
| 08.16H | | 20.0 | | | 16.9 | -4.9 | 16.9 | | | 22 | 서 | 2.5 | 1019.2 |
| 08.15H | | 20.0 | | | 17.4 | -7.9 | 17.4 | | | 17 | 동남동 | 1.9 | 1019.3 |
| 08.14H | | 20.0 | | | 16.1 | -7.5 | 16.1 | | | 19 | 남서 | 1.4 | 1019.8 |
| 08.13H | | 20.0 | | | 15.1 | -4.2 | 15.1 | | | 26 | 서북서 | 1.7 | 1021.2 |
| 08.12H | | 16.0 | | | 13.3 | -4.3 | 13.3 | | | 29 | 서 | 1.5 | 1022.8 |
| 08.11H | | 19.0 | | | 10.9 | -3.9 | 10.2 | | | 35 | 북 | 2.0 | 1024.1 |




<그림 2-3-2-76> 2015년 3월 15일 흡음블럭 성능평가시의 기상 데이터

㉯ 측정결과

각 속도별 통과 시 주파수분석을 통한 1/3-옥타브밴드 소음도 측정값은 다음과 같다.

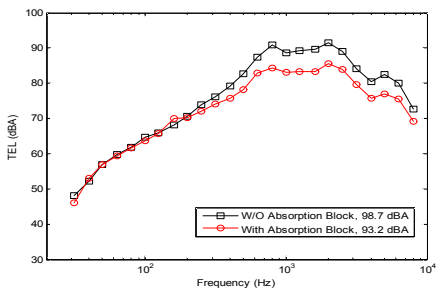
i) 흡음블럭 설치/미설치 통과 소음도 측정치(TEL) 비교

<표 2-3-2-34> 흡음블럭 설치/미설치 통과 소음도 측정치(TEL) 비교

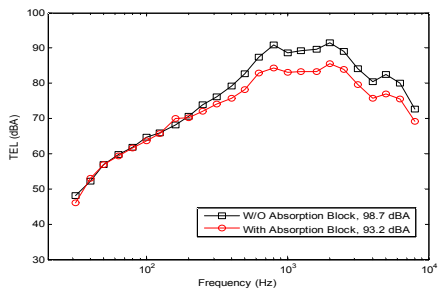
| 통과차량 | 열차속도 (km/h) | 통과소음도 측정치(dBA) | | 소음 저감량 (dB) | 측정일자 | 특이사항 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 109K700 (설치구간) | 109K200 (미설치구간) | | | |
| HEMU | 170 | 93.2 | 98.7 | 5.5 | 2015.1.23 | 상선/하행 |
| HEMU | 350 | 105.2 | 108.4 | 3.2 | 2015.1.23 | 상선/상행 |
| HEMU | 390 | 108.1 | 110.8 | 2.7 | 2015.1.23 | 상선/상행 |
| HEMU | 170 | 93.3 | 99.2 | 5.9 | 2015.2.1 | 상선/상행 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HEMU | 172 | 89.2 | 94.0 | 4.8 | 2015.2.1 | 하선/하행 |
| HEMU | 394 | 108.1 | 111.1 | 3.0 | 2015.2.1 | 상선/상행 |
| HEMU | 229 | 93.5 | 97.0 | 3.5 | 2015.2.1 | 하선/하행 |
| HEMU | 394 | 108.8 | 111.4 | 2.6 | 2015.2.1 | 상선/상행 |
| HEMU | 223 | 93.2 | 97.2 | 4.0 | 2015.2.1 | 하선/하행 |
| HEMU | 404 | 97.0 | 99.9 | 2.9 | 2015.3.8 | 상선/상행 |
| HEMU | 378 | 96.5 | 99.4 | 2.9 | 2015.3.8 | 상선/상행 |
| HEMU | 215 | 92.6 | 95.9 | 3.3 | 2015.3.9 | 상선/상행 |
| HEMU | 173 | 85.4 | 91.3 | 5.9 | 2015.3.15 | 상선/상행 |
| HEMU | 212 | 81.5 | 86.9 | 5.4 | 2015.3.15 | 하선/하행 |
| HEMU | 371 | 96.3 | 99.1 | 2.8 | 2015.3.15 | 상선/상행 |
| HEMU | 264 | 85.3 | 89.4 | 4.1 | 2015.3.15 | 하선/하행 |
| HEMU | 378 | 95.9 | 99.3 | 3.4 | 2015.3.15 | 상선/상행 |
| HEMU | 264 | 85.8 | 89.5 | 3.7 | 2015.3.15 | 하선/하행 |

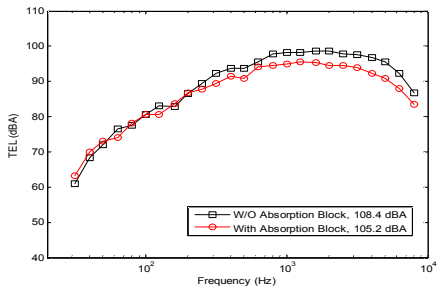
ii) HEMU 통과 소음도 측정값 (TEL)




(a) 170km/h

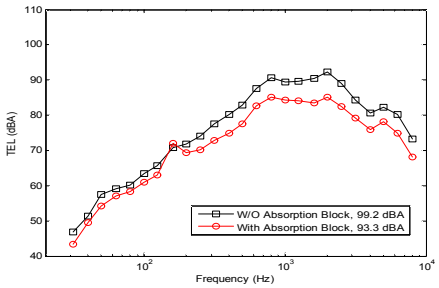



(b) 350km/h

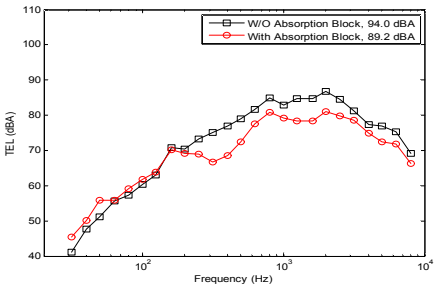



(c) 390km/h

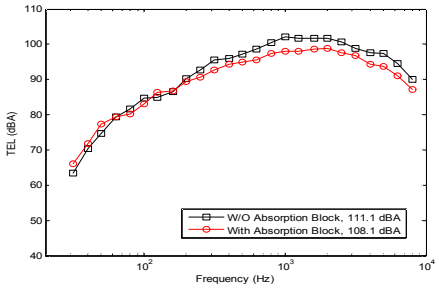
<그림 2-3-2-77> HEMU 통과 소음도 측정값 (TEL). (2015.1.23.)



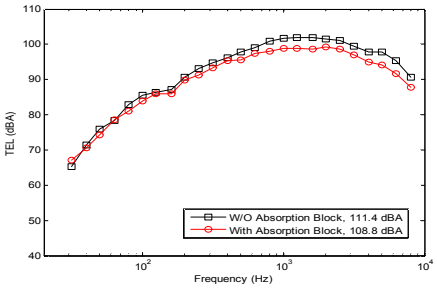

(a) 170km/h



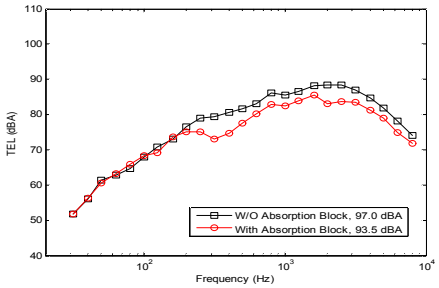

(b) 172km/h



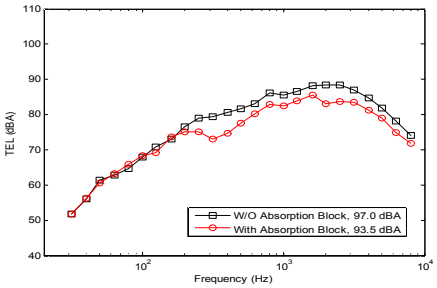

(c) 394km/h




(d) 229km/h

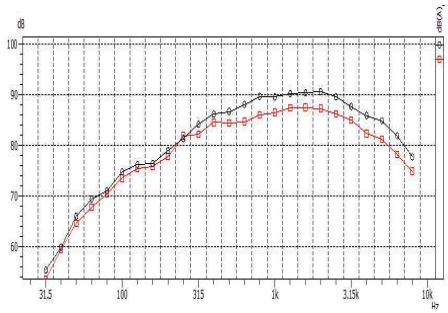



(e) 394km/h

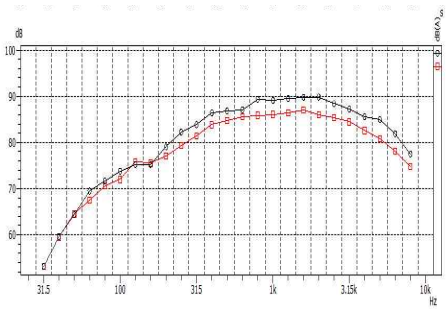



(f) 223km/h

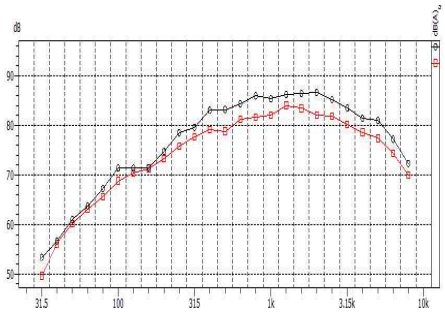
<그림 2-3-2-78> HEMU 통과 소음도 측정값 (TEL). (2015.2.1.)



(a) 404km/h

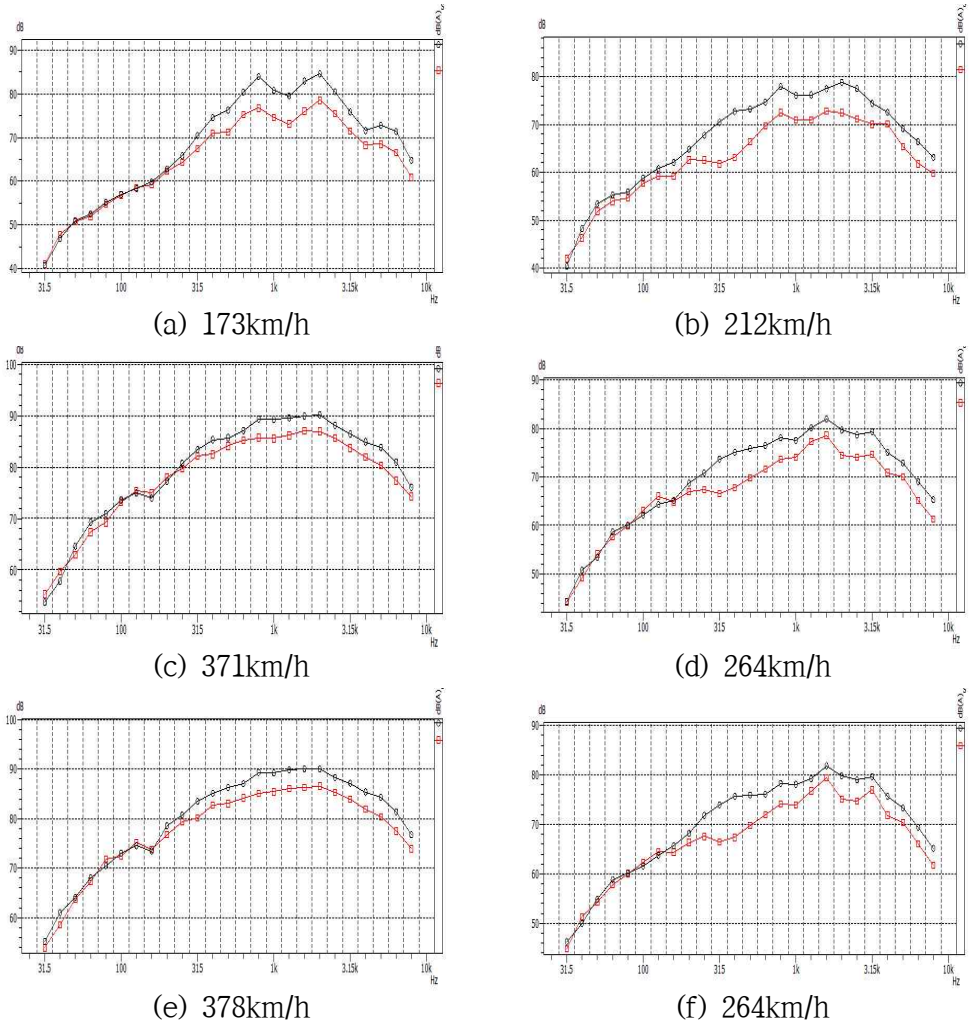


(b) 378km/h



(c) 215km/h

<그림 2-3-2-79> HEMU 통과 소음도 측정값 (TEL). (2015.3.8.~9.)



(a) 173km/h (b) 212km/h

(c) 371km/h (d) 264km/h

(e) 378km/h (f) 264km/h

<그림 2-3-2-80> HEMU 통과 소음도 측정값 (TEL). (2015.3.15.)

## (다) 안전성 및 내구성 모니터링

### ① 유지관리점검항목 및 점검표작성

흡음블럭이 현장에 설치된 이후 흡음성능 및 안전성의 유지를 위해 지난 3차년도에 유지관리 시방서를 작성하였으며, 이 중 다음의 유지관리 점검항목을 검토하여 흡음블럭의 설치 후 현장점검에 적용할 수 있도록 하였다.

㉮ 시설물의 청소상태 점검

시설물 상부나 인근에 먼지나 흡착된 부유물, 생육하고 있는 넝쿨식물 등이 시설물의 설치 목적을 저해할 수 있는 요소가 있을 경우 이를 제거하여 시설물의 설치 목적에 적합한 상태로 유지 관리한다. 시설물의 점검방법은 점검자가 시설물주위를 육안으로 관찰하여 점검기준에 적합한지 파악한다.

i) 시설물 상부에 비산될 수 있는 휴지, 합성수지, 낙엽과 같은 부유물이 시설물에 흡착되어 있지 않아야 한다.

ii) 시설물 상부에 육안관찰을 통하여 발견될 수 있는 크기의 석재류, 목재류, 기타 물품 등이 없어야 한다.

iii) 시설물 주위의 줄기식물이 시설물에 부착되어 생육하지 않아야 한다.

iv) 시설물 위에 육안으로 판단하여 시설물 설치 목적을 저해할 수 있을 정도의 기공을 막음이 없어야 한다.

㉯ 시설물의 배수상태 점검

시설물의 배수성은 우천으로 인한 물이 원활히 배출됨으로써 다량의 수분으로 인한 철로의 안전 및 외부에 노출된 시설물의 내구성을 저해하는 요인을 근본적으로 제거함으로써 시설물 설치 목적에 적합한 상태로 유지 관리한다.

i) 시설물 상부에 이물질이 적채되어 있지 않아야 한다.

ii) 기존 철로와 시설물 사이에 이물질이 적채되어 있지 않아야 한다.

iii) 시설물 하부와 철로도상 사이에 이물질이 적채되어있지 않아야 한다.

iv) 도상을 통해 빠져나온 우수가 원활히 배수로를 통해 배수 될 수 있어야 한다.

㉰ 시설물의 위치이동상태 점검

도상에 설치된 시설물이 최초의 설치 위치에 정확히 위치하고 있는지를 점검하여 시설물의 설치목적에 적합한 상태로 유지 관리한다.

i) 시설물이 규칙적으로 배열된 상태에서 위치이동이 다른 시설물과 비교시 최대 50mm이하인 경우 부분 관찰대상으로 정하고 집중점검 한다.

ii) 시설물이 규칙적으로 배열된 상태에서 위치이동이 다른 시설물과 비교시 최대 50mm이상 위치가 상이한 상태로 배열되어있는 경우 해당 시설물을 철거하여 원인을 제거하고 철거된 시설물을 재설치 한다.

iii) 시설물에 중대한 원인이 있는 경우에는 시설물을 폐기시키고 동일한 규격의 새로운 시설물로 교체 설치한다.

㉱ 시설물의 부착상태 점검

도상에 설치된 시설물의 고정상태가 완전하게 유지되고 있는지를 점검하여 견고히 유지됨으로써 철로시설의 이용 시 안전을 확보하고 시설물의 설치 목적에 적합한 상태로 유지 관리한다.

i) 점검자가 보행으로 진행하면서 시설물의 움직임 상태를 파악하고 움직임 크기가 기존시설물에 비해 최대 30mm이하인 경우에는 관찰대상으로 정하고 집중점검 한다.

ii) 점검자가 보행으로 진행하면서 시설물의 움직임 상태를 파악하고 움직임 크기가 기존시설물에 비해 최대 30mm이상이 되는 경우에는 전면 보수대상으로 한다.

㉲ 시설물의 손상상태 점검

도상에 설치된 시설물의 외형상태가 완전한 상태로 유지되어 시설물의 설치목적에 적합한 상태로 유지 관리한다.

i) 시설물의 원상태에서 상부 표면 측의 부분 파손된 부위의 크기가 직경 120mm 이하, 깊이 80mm 이하인 경우는 관찰대상으로 하여 집중 점검한다.

ii) 시설물의 원상태에서 상부 표면 측의 부분 파손된 부위의 크기가 직경 120mm 이상, 깊이 80mm 이상인 경우는 동일 규격의 시설물로 교체 설치한다.

iii) 측면부분과 하면부분의 경우 상부 표면 측의 부분 파손된 부위의 2배를 크기를 기준으로 한다.

iv) 시설물의 균열상태가 블록 길이의 2/3이하인 경우에는 부분파손으로 정하고 관찰 대상으로 합당한 조치를 취한다.

v) 균열이 2/3 이상 진행된 시설물은 동일 규격의 시설물로 교체 설치한다.

vi) 시설물의 설치 위치가 변경되는 중대한 원인이 있는 경우에는 시설물을 완전 파손으로 간주한다.

vii) 시설물의 원상태에서 상부 표면 측의 부분 파손된 부위의 크기가 직경 120mm 이상, 깊이 80mm 이상인 경우는 동일 규격의 시설물로 교체 설치한다.

viii) 균열이 2/3 이상 진행된 시설물은 동일 규격의 시설물로 교체 설치한다.

이상의 유지관리 점검항목을 검토하여 흡음블럭의 현장점검에 적용할 수 있는 체크리스트를 제작하였다.

## ② 흡음블럭 설치 후 안전성 모니터링

### ㉮ 모니터링 계획

i) 모니터링 시기

환경적 영향을 고려하여, 태풍 및 장마후 우천 관련 안전성 점검 실시하고, 기상청 예보 상 8월 4일 전까지 우천확률이 높으므로, 8월 4일 이후 점검 실시하며, 주기는 2개월 단위 모니터링 실시

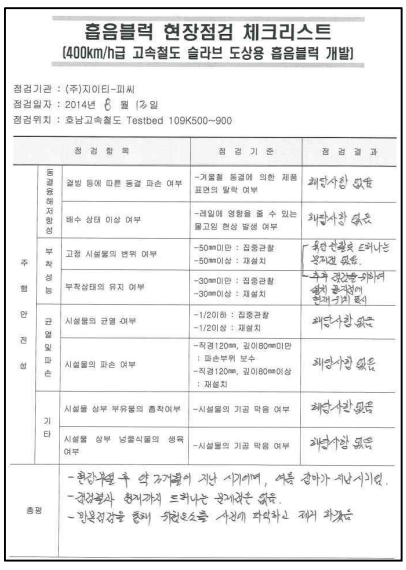
ii) 모니터링 방법

현장부설 지점의 상하선을 각각 1명이 도보로 진행하여 끝지점에서 교차하여 재점검하며 육안 관찰 및 사진, 동영상을 촬영하여 기록

iii) 모니터링 항목

유지관리 점검 항목 검토를 통해 작성된 체크리스트에 따라 점검 실시

### ㉯ 1차 현장 모니터링 (2014년 8월 13일)



**흡음블럭 현장점검 체크리스트**

**(400km/h급 고속철도 슬라브 도상용 흡음블럭 개발)**

점검기관 : (주)지이티-피씨

점검일자 : 2014년 8 월 13 일

점검위치 : 호남고속철도 Testbed 109K500~900

| 점검항목 | | | 점검기준 | 점검결과 |
|---|---|---|---|---|
| 주행안전성 | 동결융해저항성 | 결빙 등에 따른 동결 파손 여부 | -겨울철 동결에 의한 제품 표면의 탈락 여부 | 해당사항 없음 |
| | | 배수 상태 이상 여부 | -레일에 영향을 줄 수 있는 물고임 현상 발생 여부 | 해당사항 없음 |
| | 부착성능 | 고정 시설물의 변위 여부 | -50㎜미만 : 점증관찰<br>-50㎜이상 : 재설치 | 육안 관찰로 드러나는 문제점 없음. |
| | | 부착상태의 유지 여부 | -30㎜미만 : 점증관찰<br>-30㎜이상 : 재설치 | 추후 점검을 위하여 설치 완료점에 현재 구간 표시 |
| | 균열및파손 | 시설물의 균열 여부 | -1/20하 : 점증관찰<br>-1/20상 : 재설치 | 해당사항 없음 |
| | | 시설물의 파손 여부 | -직경120㎜, 깊이80㎜미만 : 파손부위 보수<br>-직경120㎜, 깊이80㎜이상 : 재설치 | 해당사항 없음 |
| | 기타 | 시설물 상부 부유물의 흡착여부 | -시설물의 기공 막음 여부 | 해당사항 없음 |
| | | 시설물 상부 넝물식물의 생육여부 | -시설물의 기공 막음 여부 | 해당사항 없음 |
| 총평 | | | -현장부설 후 약 2개월이 지난 시기에며, 비교 양하가 지난 시기임.<br>-점검봉과 한계까지 드러나는 문제점은 없음.<br>-원활점검을 통해 위험요소를 사전에 파악하고 제거 하겠음 | |





<그림 2-3-2-81> 1차 현장모니터링

㉰ 2차 현장모니터링 (2014년 10월 17일)

**흡음블럭 현장점검 체크리스트**
**(400km/h급 고속철도 슬라브 도상용 흡음블럭 개발)**

점검기관 : (주)지이티-피씨
점검일자 : 2014년 10 월 17 일
점검위치 : 호남고속철도 Testbed 109K500~900

| 점검 항목 | | | 점검 기준 | 점검 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 주행안전성 | 동결융해저항성 | 결빙 등에 따른 동결 파손 여부 | -겨울철 동결에 의한 제품 표면의 탈락 여부 | 없음 |
| | | 배수 상태 이상 여부 | -레일에 영향을 줄 수 있는 물고임 현상 발생 여부 | 없음 |
| | 부착성능 | 고정 시설물의 변위 여부 | -50㎜미만 : 집중관찰<br>-50㎜이상 : 재설치 | 최초 위치에서 변화없음 |
| | | 부착상태의 유지 여부 | -30㎜미만 : 집중관찰<br>-30㎜이상 : 재설치 | 추가적으로 현재 위치 표시 |
| | 균열 및 파손 | 시설물의 균열 여부 | -1/20이하 : 집중관찰<br>-1/20이상 : 재설치 | 없음 |
| | | 시설물의 파손 여부 | -직경120㎜, 깊이80㎜미만 : 파손부위 보수<br>-직경120㎜, 깊이80㎜이상 : 재설치 | 없음 |
| | 기타 | 시설물 상부 부유물의 흡착여부 | -시설물의 기공 막음 여부 | 없음 |
| | | 시설물 상부 넝쿨식물의 생육 여부 | -시설물의 기공 막음 여부 | 없음 |
| 총평 | | | - 1차점검 후 지적사항 개선 시현.<br>- 전반적 양호하였음.<br>- 단, 도심에서 작업용 장갑 및 헬메트가 활성화 되므로 보다 적극적이 지원되는 것으로 보임. 추후 지속 관찰 필요 | |





<그림 2-3-2-82> 2차 현장모니터링

㉱ 3차 현장모니터링 (2015년 1월 15일)

**흡음블럭 현장점검 체크리스트**
**(400km/h급 고속철도 슬라브 도상용 흡음블럭 개발)**

점검기관 : (주)지이티 피씨
점검일자 : 2015년 / 월 15일
점검위치 : 호남고속철도 Testbed 109K500~900

| 점검 항목 | | | 점검 기준 | 점검 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 주행안전성 | 동결융해저항성 | 결빙 등에 따른 동결 파손 여부 | -겨울철 동결에 의한 제품 표면의 탈락 여부 | 없음 |
| | | 배수 상태 이상 여부 | -레일에 영향을 줄 수 있는 물고임 현상 발생 여부 | 없음 |
| | 부착성능 | 고정 시설물의 변위 여부 | -50㎜미만 : 집중관찰<br>-50㎜이상 : 재설치 | 없음 |
| | | 부착상태의 유지 여부 | -30㎜미만 : 집중관찰<br>-30㎜이상 : 재설치 | 없음 |
| | 균열 및 파손 | 시설물의 균열 여부 | -1/20이하 : 집중관찰<br>-1/20이상 : 재설치 | 없음 |
| | | 시설물의 파손 여부 | -직경120㎜, 깊이80㎜미만 : 파손부위 보수<br>-직경120㎜, 깊이80㎜이상 : 재설치 | 없음 |
| | 기타 | 시설물 상부 부유물의 흡착여부 | -시설물의 기공 막음 여부 | 없음 |
| | | 시설물 상부 넝쿨식물의 생육 여부 | -시설물의 기공 막음 여부 | 없음 |
| 총평 | | | - 현차부 시개활이 잘 시현되며, 특별한 이상은 발견되지 않음.<br>- 장, 하차장의 흔적이 지속적으로 발견됨.<br>- 변위 방지를 위해 추가적으로 마킹 필요 | |





<그림 2-3-2-83> 3차 현장모니터링

## 나. 연구수행 결과의 검증방법

연구수행결과의 검증방법은 4차년도 협약시에 제출한 성과점검기준표에 명시되어 있다. 성과점검기준표에서 2세부과제는 상단장치 현장적용 성능평가 및 고속철도 예측설계기술 인터페이스 완료를 포함하여 총 5가지의 성과목표를 설정하고, 각 성과목표에 대하여 총 6가지의 성과지표를 설정하였다. 또한 각 성과지표에 대한 목표치와 검증방법을 제시하였다.

<표 2-3-2-35> 환경소음 분야 연구수행 결과의 검증방법

| 성과목표 | 성과지표 | 목표치 | 검증방법 |
|---|---|---|---|
| 상단장치 현장적용 성능평가 | ▪ 현장소음평가 | 3dB 이상 | ▪ 현장설치 전/후 감음량 측정 |
| 고속철도 예측설계기술 인터페이스 완료 | ▪ 환경소음저감 핵심저감장치 저감성능 예측모델용 DB 제공 | 2개소 | ▪ 환경소음저감 핵심저감장치 저감성능 예측모델용 DB 제공 |
| 고속철도 소음예측 모델개발 | ▪ 예측모델 검증시험과 보완연구를 통한 총합소음도 표준편차 | 3dB 이내 | ▪ 현장시험을 통해 측정된 총합소음도와 예측모델 총합소음도의 비교값 |
| 고속철도 소음저감효과 시뮬레이션 기술 확보 | ▪ 소음저감 시제품 설치에 따른 수음지 소음 저감 예측결과의 측정결과와의 비교값 제시 실적 | 3건 이상 | ▪ 현장시험을 통한 측정값과 현장측정에 상응하는 조건에서의 소음도 시뮬레이션 값을 제시 |
| 슬라브 도상용 흡음블럭의 현장부설 | ▪ 흡음블럭의 소음저감 성능평가 | 3dB 이상 | ▪ 고속열차 운행시 흡음블럭 부설 / 미부설 구간에서 측정된 소음측정 결과 비교 |
| | ▪ 흡음블럭 설치 후 안전성 및 내구성 관련 점검 | 이상 없음 | ▪ 설치 후 현장점검 실시 결과 확인 |

(1) 방음벽 상단장치 성능검증 방법

(1) 측정목적, 측정일자, 작성일자, 열차종별, 편성수, 통과시간 및 주행속도를 기록한다.

(2) 기상 조건(기온, 풍향/풍속, 습도, 강우량)을 로거에 저장하거나, 자동 저장장치가 없는 기상계인 경우 수기로 기록한다.

(3) 측정구간, 측정위치(STA), 측정 노반의 궤도 특성, 구조물 및 소음저감장치의 설치 유/무, 방음벽의 높이, 방음벽 설치 방향과 같은 고정데이터를 기록한다.

(4) 측정지점에 마이크로폰을 설치한다. 이때 마이크로폰에 방풍망을 설치하고 삼각대에 확실하게 고정이 되도록 한다.

(5) 열차가 주행하면, 측정지점(STA. 116k620)에 설치한 주파수 분석기(B&K 3560C)[14] 에 연결된 ICP type[15]의 마이크로폰 센서[16]로부터 열차의 소음도 데이터를 취득한다.

(6) (5)를 통하여 시험한 통과 차량 횟수에 따른 각각의 소음도 데이터 세트를 취득한다.

(7) (5)의 측정위치 및 측정방법은 <표 2-3-2-36>의 기준에 따른다.

<표 2-3-2-36> 측정위치 및 측정 관련 기준

| 사양/규격 번호 | 제목 | 개정일자 | 발행기관 |
|---|---|---|---|
| KS I ISO 10847 | 음향-옥외 방음벽의 삽입 손실 측정 | 2004 | 한국표준협회 |
| ISO 3095 | Railway applications-Acoustics-Measurement of noise emitted by railbound vehicles | 2005 | ISO |
| Directive 2001/16/EC | Concerning the technical specification for interoperability relating to subsystem 'rolling stock noise of the trans-European Conventional rail system | 2005 | European Union |
| UTG-S-001 | 400km/h급 고속철도용 방음벽 상단장치 성능평가 | 2013 | 고속철도인프라시스템연구단 |

(8) (5)에서 마이크로폰 센서가 연결될 분석기(B&K 3560C)는 다음과 같이 설정한다.

- B&K PULSE Labshop(ver.12.5)에 내장된 1/3 옥타브 밴드 주파수 분석을 하도록 설정한다.
- 주파수 분석기의 측정 주파수 범위는 31.5 Hz~8 kHz 이상으로 설정한다.
- 주파수 분석기에서 적용 필터는 A-가중 (A-weighting) 필터를 적용한다.
- 적분형 소음계를 사용할 경우 동특성은 빠름(fast)으로 설정한다.

14) 주파수 분석기(B&K 3560C) : 주파수 분석기는 보통 스펙트럼 어낼라이저(Spectrum Analyzer)라 불리운다. 입력 신호에 대하여 가로축은 주파수를, 세로축은 해당 물리량(dB, m/s2, V 등)을 나타낸다. B&K 3560C는 덴마크 브뤼엘 앤드 캐아(Brüel & Kjær)의 주파수 분석기 제품명을 의미하며 25.6kHz까지 주파수 분석이 가능하며 6채널 이상의 입력단자를 가지고 있다.

15) ICP type : 정전류를 입력 받아서 작동하는 앰프가 내장된 센서타입, 흔히 IEPE 타입센서라 하는데 제조사에 따라서, Deltatron, ICP, ISOTRON, PIEZOTRON Type으로 명칭한다.

16) 마이크로폰 센서 : 공기의 진동으로 전달되어 온 음향신호를 전기신호로 변환하는 장비를 말한다. 마이크로폰에는 읍압(Pa)이 가해지고 출력되는 것은 전압(V)이므로 센서의 성능을 나타낸는 감도 표기는 mv/Pa 이다. 측정 목적에 따라 다양한 감도를 가지는 마이크로폰을 사용하며, 본 측정에서는 40~50mv/Pa의 감도를 가진 마이크로폰을 사용한다.




<그림 2-3-2-84> B&K PULSE Labshop의 시간이력 측정 예

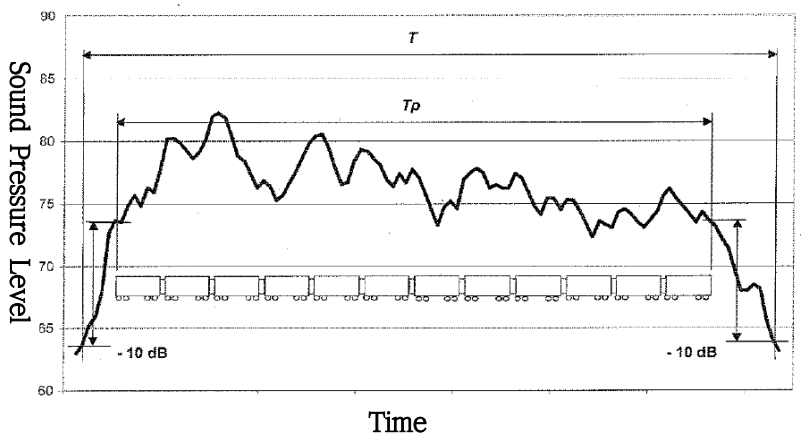
(9) (8)의 주파수 분석기로부터 델타값(주파수 분석을 수행하는 시간 간격)은 0.02초로 설정하여 시간 이력 데이터를 저장한다.

(10) (8)에서 저장된 시간이력 데이터로부터 차량이 임의의 지점에 진입하여 통과하는 시간 $T_p$ 이내에서 시간에 따라 변화하는 대상음과 동일한 평균 제곱 음압을 갖는 정상음의 등가소음도(dB)를 식 (2)에 의하여 계산한다. (Lmax[17]_$L_{eq,T}$[18]_$L_{eq,T_p}$(TEL)[19]_SEL[20] 자동계산 프로그램에 의해서 열차의 진입시간의 시작시간과 끝시간을 커서를 이용해 지정해 주면 Lmax, $L_{eq,T_p}$, TEL, SEL이 자동으로 계산되어 진다.)

$$L_{eq,T} = 10\log\left(\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2}\frac{p^2(t)}{p_0^2}dt\right)dB \quad (1)$$

$$L_{eq,T_p}(TEL) = 10\log\left[\frac{1}{T_2 - T_1}\int_{T_1}^{T_2}\frac{p^2(t)}{p_0^2}dt\right]\ dB \quad (2)$$

여기서 $T$ :$t_2$-$t_1$, $T_p$: 측정통과시간 간격, $t_1$: 차량 진입시간 $t_2$: 차량 통과시간, $p(t)$: 순간음압, $p_0$: 기준 음압($20\mu Pa$)




<그림 2-3-2-85> 차량 통과소음 시간이력에서 등가소음도 계산을 위한 시간 설정 예

17) Lamx : 차량 주행 시 측정된 차량 통과소음도 중 최대소음도, dB(A)

18) $L_{eq,T}$ : 측정시간 T 이내에서 시간에 따라 변화하는 대상음과 동일한 평균 제곱 음압을 갖는 연속 정상음의 음압레벨

19) $L_{eq,T_p}$ : 차량이 임의의 지점에 진입하여 통과하는 시간 $T_p$ 이내에서 시간에 따라 변화하는 대상음과 동일한 평균 제곱 음압을 갖는 연속 정상음의 음압레벨

20) SEL : 소음폭로레벨(Sound Exposure Level), $L_{eq,T_p}$(TEL)구간보다 10 dB 아래의 구간의 $L_{eq,T}$

(11) 통과하는 시간 $T_p$에 대하여 얻은 등가소음도 식 (2)을 각 통과 횟수에 따라서 산술평균하여 평균 등가소음도 ($\overline{L}_{eq,T_p}$)를 구한다. 이때 동일한 차량과 동일한 속도로 통과한 결과를 평균한다.

(12) 방음벽 상단장치의 설치 전/후에 측정된 (11)의 평균 등가소음도를 비교하여 방음벽상단장치의 소음저감 성능을 판단한다.

(13) (4)~(12)의 과정을 측정지점(7.5, 25m 및 인접민가) 별로 반복하여 시트에 기록한다.

(14) 만일 민가 부근의 소음도가 환경 소음 기준치에 만족하는지를 판단하고자 하면, 환경 소음 기준의 단위인 열차 통과 편수를 고려한 1시간 등가 소음도로 환산하되, 식 (2)와 같이 계산한다. 계산도구는 엑셀 시트인 calculate $L_{eq,1h}$[21]을 사용한다.

$$L_{eq,1h} = \overline{L}_{eq,T_p} + 10\log\left(\frac{N\times \overline{T_p}}{3600}\right) \quad (3)$$

여기서, N: 1시간 열차 통과 대수.

$\overline{T_p}$: 운행 차량의 통과 시간 산술평균 값.

(15) (14)에서 열차 통과 대수(N)는 영업운영 계획에서 1시간당 열차통과대수 중 가장 큰 값으로 한다. 또한 $\overline{T_p}$는 1시간당 열차 통과 시간의 산술평균 값으로 계산하여 측정치에 기록한다.

(16) (14)의 등가소음도를 참고기준치와 비교하여 방음벽 상단장치의 소음저감 성능을 판단하며, 측정결과의 분석에 RFP 상의 소음저감성능 값과의 비교내용을 기술한다.

(17) 측정시트의 첨부 문서에 측정장비에 기록된 통과소음도에 대한 시간이력 그래프를 첨부한다.

(18) 측정시트의 첨부 문서에 열차의 통과소음도를 1/3 Octave band로 분석한 주파수 특성을 첨부한다.

(19) 측정시트의 첨부 문서 측정전경, 측정단면도를 첨부한다.

방음벽 상단장치의 성능 평가 기준은 소음저감성능 확보 차원에서 접근하고 있으며 과제 계획서 상의 기준은 다음과 같다.

○ 방음벽 상단장치 설치 전/후 소음저감성능 3dB 이상

---

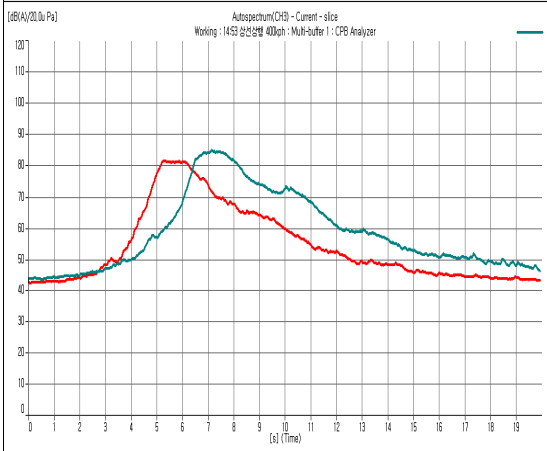
21) calculate $L_{eq,1h}$ : 식(3)의 입력값인 $\overline{L}_{eq,T_p}$, 차량의 평균 통과시간 $\overline{T_p}$, 1 시간 열차 통과 대수 N을 입력하면 자동으로 $L_{eq,1h}$가 계산된다.

# 방음벽 상단장치 측정 및 분석시트

<table>
<tr><td colspan="2">측정목적</td><td>방음벽 상당장치<br>소음저감 성능시험</td><td>측정일자</td><td>2015.03.15</td><td>작성일자</td><td>2015.03.16</td></tr>
<tr><td colspan="2">열차종별</td><td>HEMU-430X</td><td>편성수</td><td>6량</td><td>주행속도</td><td>400, 401km/h</td></tr>
<tr><td colspan="2">기온</td><td>11~13℃</td><td>풍향/풍속</td><td>동남 0.5~2.0m/s</td><td>강우량</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">측정구간</td><td>정읍-익산</td><td>상·하행</td><td>상행</td><td>STA.</td><td>STA.116k620</td></tr>
<tr><td colspan="2">곡선반경/캔트</td><td>직선구간</td><td>종곡선반경</td><td>-</td><td>기울기</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">궤도구조</td><td>Rheda-2000</td><td>레일/침목</td><td>UIC60/바이블록</td><td>체결장치</td><td>System300</td></tr>
<tr><td colspan="2">노반구조</td><td>표준단면</td><td>노반형식</td><td>성토 / 9.2m</td><td>연약지반처리</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">구조물</td><td>-</td><td>구조형식</td><td>-</td><td>경간장/총연장</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">전철주/경간</td><td>I-type / 55m</td><td>전차선종/장력</td><td>Cu150 / 34KN</td><td>가고</td><td>1.4m</td></tr>
<tr><td colspan="2">소음저감장치</td><td>방음벽</td><td>방음벽 높이/연장</td><td>4.5m / 400m</td><td>방음벽 설치방향</td><td>좌</td></tr>
<tr><td colspan="3">측정항목</td><td>측정치</td><td>참고기준치</td><td>근거</td><td>측정결과</td></tr>
<tr><td rowspan="6">측정<br>소음도<br>dB(A)<br>TEL</td><td rowspan="3">상단장치<br>설치 전</td><td>25m(H=3.5)</td><td></td><td rowspan="6">상단장치 설치<br>전/후 소음저감량<br>3.0dB(A) 이상<br>(모든 측정지점<br>적용)<br><br>주간: 70dB 이하<br>야간: 60dB 이하<br>(인접민가의<br>경우만 적용)</td><td rowspan="6">연구개발 RFP<br>4차년도 성과지표<br><br>소음진동관리법<br>시행규칙 제25조<br>교통소음진동<br>관리기준(2.철도)</td><td rowspan="6">소음저감량<br>25m(H=3.5m):<br><br>25m(H=1.2m):</td></tr>
<tr><td>25m(H=1.2)</td><td></td></tr>
<tr><td>인접민가(H=1.2)</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">상단장치<br>설치 후</td><td>25m(H=3.5)</td><td></td></tr>
<tr><td>25m(H=1.2)</td><td></td></tr>
<tr><td>인접민가(H=1.2)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">측정결과 분석</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

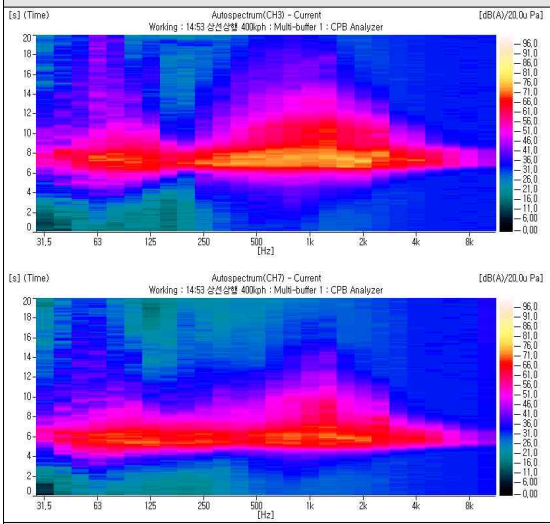
<첨부>

1. 통과소음도 (시간이력)




- 400km/h 운행시 시간이력에 따른 소음레벨
(25m, H=1.2m, 붉은색:설치구간, 초록색:미설치구간)

2. 통과소음도(1/3 Octave band 주파수 특성)




- 400km/h 차량 운행중 발생하는 주파수 특성
(25m, H=1.2m, 상:미설치구간, 하:설치구간)

3. 측정전경



(2) 고속철도 소음데측모델 및 흡음블럭 성능검증 방법

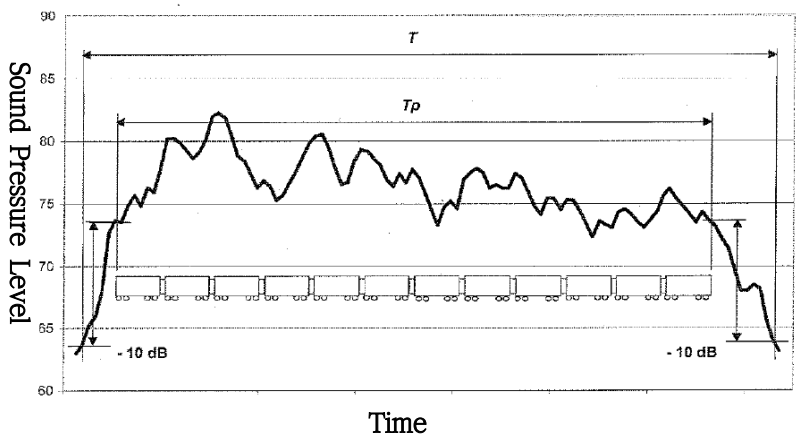
1) 측정목적, 측정구간, STA., 체결구, 침목 종류, 노반 현황과 같은 측정현장의 현황에 관련된 내용을 기록한다.
2) 측정일자, 작성일자를 기록한다.
3) 기상 조건(기온, 풍향/풍속, 습도)을 로거에 저장하거나, 자동 저장장치가 없는 기상계인 경우 수기로 기록한다.
4) 측정지점에 마이크로폰을 설치한다. 이때 마이크로폰에 방풍망을 설치하고 삼각대에 확실하게 고정이 되도록 한다.
5) 열차가 주행하면, 측정지점에 설치한 주파수 분석기(PAK MKII)에 연결된 ICP type의 마이크로폰 센서로부터 열차의 소음도 데이터를 취득한다. 주파수 분석기로는 PAK MKII 대신에 B&K 3655 옥외 소음모니터링 장비 (potable noise monitoring unit)를 이용할 수 있다.
6) 열차종류 및 량수 및 주행속도, 통과시간을 기록한다.
7) 레일음향거칠기 측정기 CAT를 이용하여 레일 표면의 음향조도를 측정하여 기록한다. 또한 레일 하부에 가속도 센서를 부착하고 주파수 분석기(PAK MKII)에서 열차통과 시의 가속도 레벨을 이용하여 유효조도를 검토할 수 있다. 측정된 음향조도를 기록한다. 조도에 영향을 주는 레일 유지보수 작업을 수행하지 않았을 경우 측정 시 한달 이내의 측정값을 취할 수 있다.
8) 5)를 통하여 시험한 통과 차량 횟수에 따른 각각의 소음도 데이터 세트를 취득한다.
9) 5)에서 마이크로폰 센서가 연결될 분석기(PAK MKII)는 다음과 같이 설정한다.
   - PAK MKII에 내장된 1/3 옥타브 밴드 주파수 분석을 하도록 설정한다.
   - 주파수 분석기의 측정 주파수 범위는 31.5 Hz~8 kHz 이상으로 설정한다.
   - 주파수 분석기에서 적용 필터는 A-가중 (A-weighting) 필터를 적용한다.
   - 적분형 소음계를 사용할 경우 동특성은 빠름(fast)으로 설정한다.
10) 9)의 주파수 분석기로부터 델타값(주파수 분석을 수행하는 시간 간격)은 0.02초로 설정하여 시간 이력 데이터를 저장한다.
11) 9)에서 저장된 시간이력 데이터로부터 차량이 임의의 지점에 진입하여 통과하는 시간 $T_p$ 이내에서 시간에 따라 변화하는 대상음과 동일한 평균 제곱 음압을 갖는 정상음의 등가소음도(dB)를 식 (2)에 의하여 계산한다. Lmax[22], $L_{eq,\,T}$[23], $L_{eq,\,T_p}$ (TEL)[24], SEL[25] 자동계산 프로그램에 의해서 열차의 진입시간의 시작시간과 끝시간을 커서를 이용해 지정해 주면 Lmax, $L_{eq,\,T_p}$, TEL, SEL이 자동으로 계산되어 진다.

$$L_{eq,\,T} = 10\log\left(\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2}\frac{p^2(t)}{p_0^2}dt\right)dB \qquad (1)$$

22) Lamx : 차량 주행 시 측정된 차량 통과소음도 중 최대소음도, dB(A)
23) $L_{eq,\,T}$ : 측정시간 T 이내에서 시간에 따라 변화하는 대상음과 동일한 평균 제곱 음압을 갖는 연속 정상음의 음압레벨
24) $L_{eq,\,T_p}$ : 차량이 임의의 지점에 진입하여 통과하는 시간 $T_p$ 이내에서 시간에 따라 변화하는 대상음과 동일한 평균 제곱 음압을 갖는 연속 정상음의 음압레벨
25) SEL : 소음폭로레벨(Sound Exposure Level), $L_{eq,\,T_p}$(TEL)구간보다 10 dB 아래의 구간의 $L_{eq,\,T}$

$$L_{eq,T_p}(TEL) = 10\log[\frac{1}{T_2 - T_1}\int_{T_1}^{T_2}\frac{p^2(t)}{p_0^2}dt]\ dB \qquad (2)$$

여기서 $T$ :$t_2$-$t_1$, $T_p$: 측정통과시간 간격, $t_1$: 차량 진입시간 $t_2$: 차량 통과시간, $p(t)$: 순간음압, $p_0$: 기준 음압($20\mu Pa$)




<그림 2-3-2-86> 차량 통과소음 시간이력에서 등가소음도 계산을 위한 시간 설정 예

12) 통과하는 시간 $T_p$에 대하여 얻은 등가소음도 식 (2)을 각 통과 횟수에 따라서 산술평균하여 평균 등가소음도 ($\overline{L}_{eq,T_p}$)를 구한다. 이때 동일한 차량과 동일한 속도로 통과한 결과를 평균한다.

13) 측정된 12)의 평균 등가소음도와 예측모델에서 예측된 값을 비교하여 예측모델의 예측 성능을 판단한다.

14) 4)~13)의 과정을 측정지점(25m 및 인접민가) 별로 반복하여 시트에 기록한다.

15) 만일 민가 부근의 소음도가 환경 소음 기준치에 만족하는지를 판단하고자 하면, 환경 소음 기준의 단위인 열차 통과 편수를 고려한 1시간 등가 소음도로 환산하되, 식 (2)와 같이 계산한다.

$$L_{eq,1h} = \overline{L}_{eq,T_p} + 10\log\left(\frac{N\times\overline{T_p}}{3600}\right) \qquad (3)$$

여기서, N: 1시간 열차 통과 대수.

$\overline{T_p}$: 운행 차량의 통과 시간의 산술평균 값.

16) 15)에서 열차 통과 대수(N)는 영업운영 계획에서 1시간당 열차통과대수 중 가장 큰 값으로 한다. 또한 $\overline{T_p}$는 1시간당 열차 통과 시간의 산술평균 값으로 한다.

17) 15)의 등가소음도를 예측모델의 예측값과 비교하여 예측모델의 예측 성능을 판단한다.

한편, 레일 표면의 음향조도 (acoustic roughness) 측정은 RailMeasurement Ltd.의 CAT (Corrugation Analysis Trolley)를 이용하였다.



<그림 2-3-2-87> 레일 음향조도의 측정 (109k400 지점)

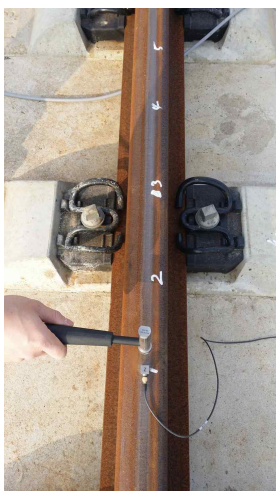
측정된 조도 데이터는 EN 15610:2009 규격에 따라서 CAT 분석 프로그램 상에서 1/3-옥타브 밴드 파장대역별 음향조도 스펙트럼 계산을 수행한다.

궤도 진동 감쇠율 (TDR)은 임팩트 해머와 진동가속도계를 이용하여 측정한다. TDR 측정법과 관련된 국제규격 EN 15461:2008에 따라서 시험 수행 및 계산을 수행한다. 측정된 데이터에 대하여 Matlab 계산코드를 작성하여 분석하였으며, 대표적으로 각 1/3 옥타브 밴드 내에서 얻어진 평균 감쇠율을 구한다. 레일 두부에는 가속도계 (B&K Type 4525-B-001)를 설치하였으며, 임팩트 해머 (B&K Type 8206-003)를 이용하여 레일 두부의 29개 지점에 충격 가진 시험을 수행하였다. 시험으로 구한 속도 응답을 이용하여 궤도 진동 감쇠율은 다음과 같이 계산되어 진다.

$$\triangle(dB/m) \approx \frac{4.343}{\sum_{z=0}^{z_{max}} \frac{|A(z)|^2}{|A(0)|^2} \triangle z}$$

여기서 $z$는 가속도계 부착지점을 원점으로 임펙트 해머로 가진하는 지점의 위치, $\Delta z$는 근접한 임펙트 해머 가진점 사이의 거리, $A(z)$는 위치 $z$에서 가진할 때 가속도계에서의 속도 응답을 의미한다. 환경부 고시 또는 EN 규격에서는 주파수 100 ~ 5000 Hz 범위의 1/3옥타브 밴드로 감쇠율을 로그 스케일로 표시하도록 하고 있다.





<그림 2-3-2-88> 궤도 진동감쇠율 시험 모습 (124k100 지점)

예측모델의 성능 평가 기준은 정확성 차원에서 접근하고 있으며 과제 계획서 상의 기준은 다음과 같다.

○ 3dB 정확도 이내 고속철도 소음예측모델 확보

고속철도 통합예측 모델 검증의 현장 시험은 ISO 3095:2005 규격, 환경부 고시 제 2010-142호, EN 15610:2009, EN 15461:2008 규격의 시험 방법을 따른다.

흡음블럭의 성능 평가 기준은 소음저감성능 확보 차원에서 접근하고 있으며 과제 계획서 상의 기준은 다음과 같다.

○ 흡음블럭 설치 전/후 소음저감성능 3dB 이상

# 소음예측모델 검증시험 측정 및 분석시트

| 측정목적 | 소음예측모델 검증시험 | 측정일자 | 2014.04.16 | 작성일자 | 2014.04.19. |
|---|---|---|---|---|---|
| 열차종별 | KTX-호남 | 편성수 | 10량 | 주행속도 | 60~270km/h |
| 기온 | 23.5℃ | 풍향/풍속 | 동북동 / 2.0m/s | 강우량 | |
| 측정구간 | 정읍-익산 | 상·하행 | 상행 | STA. | STA.111k450 |
| 곡선반경/캔트 | R10,000 / 10cm | 종곡선반경 | R25,000 | 기울기 | -10‰ |
| 궤도구조 | Rheda-2000 | 레일/침목 | UIC60/바이블록 | 체결장치 | System300 |
| 노반구조 | 표준단면 / 연약지반 | 노반형식 | 성토 / 9.2m | 연약지반처리 | 치환 |
| 구조물 | - | 구조형식 | - | 경간장/총연장 | - |
| 전철주/경간 | I-type / 55m | 전차선종/장력 | Cu150 / 34KN | 가고 | - |
| 소음저감장치 | - | 방음벽 높이/연장 | - | 방음벽 설치방향 | - |
| 측정항목 | | 측정 및 예측치 | 참고기준치 | 근거 | 오차범위 |
| 측정소음도 dB(A) TEL | 25m(H=3.5m) | | 측정결과와 예측결과의 오차 범위 ±3.0 dB(A) 이내<br><br>주간: 70dB 이하<br>야간: 60dB 이하<br>**(인접민가의 경우 만 적용)** | 연구개발 RFP 4차년도 성과지표<br><br>소음진동관리법 시행규칙 제25조 교통소음진동 관리기준(2.철도) | |
| 예측소음도 dB(A) TEL | 25m(H=3.5m) | | | | |
| 측정결과 분석 | | | | | |

# 도상용 흡음블록 측정 및 분석시트

<table>
<tr><td colspan="2">측정목적</td><td>도상용 흡음블럭<br>소음저감 성능시험</td><td>측정일자</td><td>2014.06.19</td><td>작성일자</td><td>2014.06.20.</td></tr>
<tr><td colspan="2">열차종별</td><td>KTX-호남</td><td>편성수</td><td>10량</td><td>주행속도</td><td>60, 301km/h</td></tr>
<tr><td colspan="2">기온</td><td>26-30℃</td><td>풍향/풍속</td><td>1.0m/s</td><td>강우량</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">측정구간</td><td>정읍-익산</td><td>상·하행</td><td>상행</td><td>STA.</td><td>STA.109k200, 700</td></tr>
<tr><td colspan="2">곡선반경/캔트</td><td>직선구간</td><td>종곡선반경</td><td>-</td><td>기울기</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">궤도구조</td><td>Rheda-2000</td><td>레일/침목</td><td>UIC60/<br>바이블록</td><td>체결장치</td><td>System300</td></tr>
<tr><td colspan="2">노반구조</td><td>표준단면</td><td>노반형식</td><td>성토 / 2m</td><td>연약지반처리</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">구조물</td><td>-</td><td>구조형식</td><td>-</td><td>경간장/<br>총연장</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">전철주/경간</td><td>I-type / 55m</td><td>전차선종/장력</td><td>-</td><td>가고</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">소음저감장치</td><td>-</td><td>방음벽 높이/연장</td><td>-</td><td>방음벽<br>설치방향</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="3">측정항목</td><td>측정치</td><td>참고기준치</td><td>근거</td><td>측정결과</td></tr>
<tr><td rowspan="2">측정<br>소음도<br>dB(A)<br>TEL</td><td>미설치<br>구간<br>(109k<br>200)</td><td>5m(H=1.2)</td><td></td><td rowspan="2">상단장치 설치<br>전/후 소음저감량<br>3.0dB(A) 이상<br><br>주간: 70dB 이하<br>야간: 60dB 이하<br>(인접민가의<br>경우만 적용)</td><td rowspan="2">연구개발 RFP<br>4차년도<br>성과지표<br><br>소음진동관리법<br>시행규칙 제25조<br>교통소음진동<br>관리기준(2.철도)</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>설치<br>구간<br>(109k<br>700)</td><td>5m(H=1.2)</td><td></td></tr>
<tr><td>측정결과 분석</td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

(3) 고속철도 소음도 시뮬레이션 기법 개발

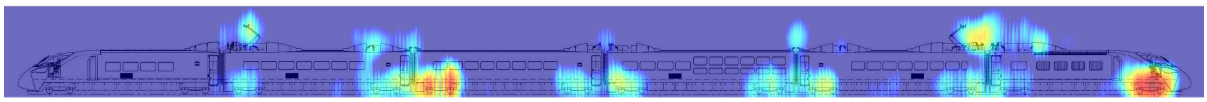
① 주행 통과 철도차량 철도방사 음원 강도 산출

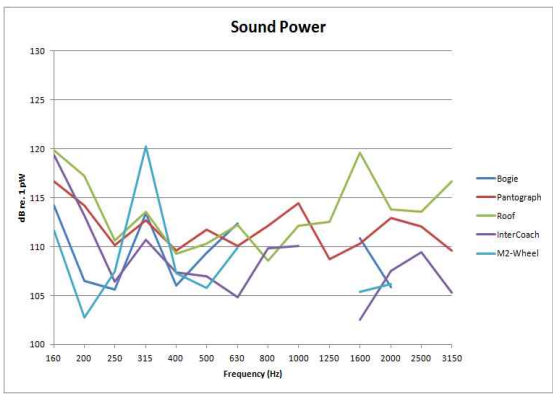
다수개의 마이크로폰이 배치된 어레이 시스템을 통하여 통과하는 열차에 대한 음압을 측정하였고, 차량에서 방사되는 주요 소음원의 위치와 각 소음원의 강도를 추정하였다.

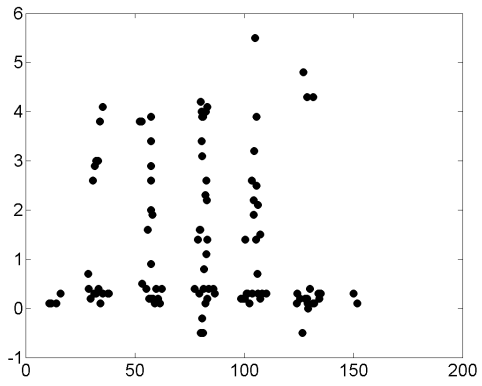


<그림 2-3-2-89> 주행 철도차량 소음원 강도 측정, 산출 위하 마이크로폰 어레이 시스템 모습 (호남고속선 개활지, 109k지점)

시간영역에서의 지연-합 빔포밍 (Delay -and-Sum beamforming) 처리계산을 통하여 음원의 위치를 규명할 수 있고, 실내 및 측정현장에서의 스피커 측정을 통하여 어레이시스템의 음향특성과 현장에서의 전달특성을 분석하여 주요음원으로 규명된 음원의 위치에서의 음향강도를 추정하였다.





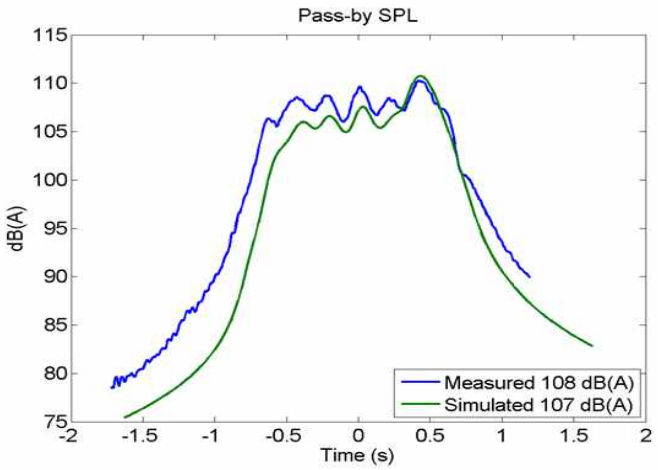

(a) 소음원 별 음향강도 (b)차량 전 영역에 대한 주요 소음원 위치

<그림 2-3-2-90> 주행 철도차량 소음원 분포, 강도 및 소음원 위치 규명 결과 예

② 소음원 별 음향특성에 따른 수음지에서의 소음도 예측 알고리즘 개발

열차의 통과 시에 측정된 각 음압으로부터 산출된 차량상의 방사 음원은 차량상의 위

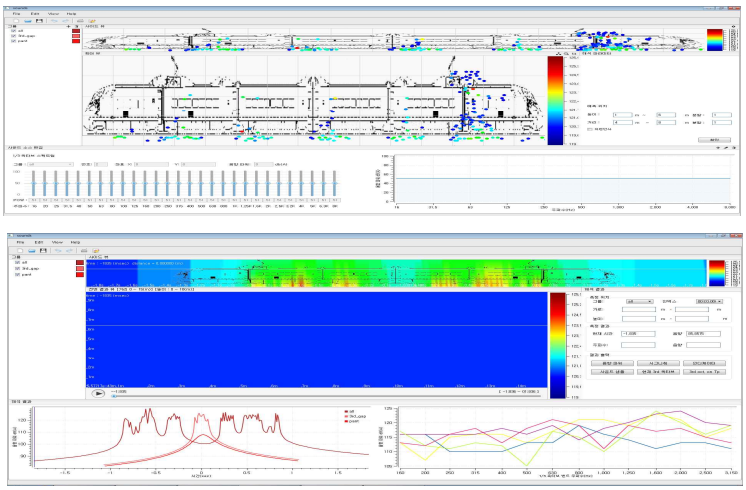
치, 좌표, 음향강도, 지향성등의 정보를 포함한다. 음압레벨이 예측되는 위치와 열차의 속도가 주어져야 하고, 통과시각에 대한 각 시점에서의 음압레벨이 계산된다. 임의의 수음위치에서의 음압레벨은 음향강도 외에 거리에 의한 전달 감쇠항 $\triangle L_d$, 음원의 지향특성에 의한 감쇠항 $\triangle L_{\theta,r}$ 에 의하여 산출된다. 이 계산은 각 시각별로, 주파수 대역별로 계산되어 모든 음원들의 합으로 결정된다. 또한 운행하는 소음원으로 인하여 도플러 효과가 영향을 미친다. 이동하는 음원에서의 거리감쇠항 계산시에는 수음위치에서 측정되는 음압에 기여하는 각 시각에서의 음원강도 부분을 고려해야 한다.




<그림 2-3-2-91> 주행 철도차량 소음도 시뮬레이션 및 측정 결과 예 (409km/h)

### ③ 소음원 별 음향특성에 따른 수음지 소음도 시뮬레이션 프로그램 개발

소음도를 예측 가능한 시뮬레이션 알고리즘을 기반으로 소음원 DB 부분, 소음전파항 부분, 소음도 계산 부분, 계산결과의 가시화 및 도식화 부분으로 구성되는 프로그램 GUI를 개발하였다.



<그림 2-3-2-92> 수음지 소음도 시뮬레이션 프로그램 GUI

### ④ 소음원 변화에 따른 저감효과 시뮬레이션 모듈 구축

차량상의 구조변경에 따른 소음원 음향특성 DB 수정, 궤도의 흡음재 등과 같이 전파상의 지면효과 변화 및 방음벽등과 같이 전파경로상의 음압저감에 따른 영향을 예측하기 위한 프로그램 모듈을 구축하였다.

## 3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구

### 가. 선로구축물 거동계측(모니터링) 시스템 구축

(1) 개 요

호남고속선 증속시 400km/h이상 11개소 동시측정, 시공단계 침하모니터링, 노반침하 및 TCL 내부변형측정(시공단계 센서설치)이 가능한 선로구축물 모니터링 시스템(궤도,노반,교량,미기압파)을 <그림 2-3-3-1>과 같이 구축하였다. 구축된 호남고속철도 T.B 구간 선로구축물 모니터링설치지역 및 측점을 지정한 사유는 <표 2-3-3-1>과 같다.




<그림 2-3-3-1> 호남고속철도 T.B 구간 선로구축물 모니터링설치지역 (11개소)

<표 2-3-3-1> 호남고속철도 T.B 구간 선로구축물 모니터링설치지역

| 구분 | 설치항목 | K.P(km) | HEMU 통과속도(km/h) | 선정사유 |
|---|---|---|---|---|
| 궤도 모니터링 | •토공구간 | 109k231 | 427.58 | • HEMU 430x 주행시 직선최고속도구간<br>• TESTbed 표준토공구간과 일치시킴 |
| | •원곡선 구간 | 98k815 | 360 | • R=7,000m인 지점 (속도제한)<br>• HEMU 430x 주행시 원곡선부 최고속도 주행구간 |
| | •분기기 구간 | 131k011 | 413.74 | • 정읍정거장 부근 (속도무제한)<br>• HEMU 430x 주행시 분기기구간 최고속도 주행구간 |
| 노반 모니터링 | •표준노반 | 109k231 | 427.58 | • Test-Bed구간내 TPS분석결과 최고속도 400km/h 이상의 구간에 가장 근접한 표준토공구간인 3-4공구 토공5구간 108k620~110k 368(L=1,748m)중 시추공 B3-37지점 원지반 N치가 10~30으로 안정하며 성토높이 9.18m로 적합한 지점 선정 |
| | •연약지반 | 110k000 | 427.42 | • 연약지반은 처리공법이 PreLoading공법이 계획된 3-4공구 4구간 109k980~110k260(L=280m)에서 치환공법 적용구간의 영향범위와 최소성토높이(h=3.0m)를 고려한 지점 선정 |
| | •접속부노반 | 120k650 | 424.63 | • 교량모니터링결과와 비교해석을 고려하여 Test-Bed구간내 연정교 종점토공접속부 120k650지점선정 |
| 교량 모니터링 | • PSC-Box교량 (연정교)<br>• 소수주형교량 | 117k735 ~ 120k645 | 425.23 | • 30m 경간 교량의 경우 KTX의 공진소멸 지간과 근접하며, 35m 경간 교량의 경우 HEMU-430X의 공진소멸 지간과 근접함. 대상열차가 HEMU-430X일 경우 동적거동이 취약하고 PSC 박스 중 장경간인 40m 경간에 대한 모니터링이 필요하다고 판단됨<br>• 아치교의 경우 케이블 교량에 비하여 상대적으로 고강성으로 동적거동에 있어 유리함.<br>• 소수주형교의 경우 PSC 박스거더에 비하여 동적거동에서 취약할 수 있으나, 장경간 케이블 교량에 비해서는 유리함. 해석적인 검토로 대응 예정 |
| | • Extradosed교 (정지고가) | 56k933 ~ 66k248 | 360 | • 강아치교의 경우 상대적으로 큰 강성으로 동적거동에 있어 유리함<br>• 최장경간이며, 케이블 교량으로 상대적으로 유연한 Extradosed교 구간에 대한 검증 필요 |

(2) 궤도모니터링 시스템

(가) 개요

궤도 모니터링 시스템은 열차의 최고속도가 달성되는 직선구간(STA 109k 231)과, 열차주행시 부족캔트 발생에 따라 전도 및 궤도부담력이 급격히 증가하는 곡선구간(STA 98k 416) 및 분기기 구간에 대해 호남고속선 테스트베드에 구축하였다. Test-Bed구간 열차 주행 시 분기기 모니터링 데이터 확보를 위해 정읍역 직선궤도(STA 131k 940) 구간에 고속분기기 모니터링 시스템을 구축하였다. 분기기 모니터링 시스템은 HEMU-430X의 열차증속시험 시 고속분기기에서 발생되는 궤도의 동적응답을 측정하고 분기기 궤도구조의 주행안전성과 구조안정성 검토를 수행하여 관련기준과의 비교를 통해 고속분기기 궤도구조의 성능평가를 수행하였다.

궤도 모니터링 시스템은 호남고속철도 3-4공구(109k.231) 직선구간의 최대속도 측정가능 구간을 테스트베드 구간으로 선정하여 계측을 수행하였다. Test-Bed구간 TCL층에 매립한 변형률계와 상부표면에 설치한 변형률계의 계절별 환경하중 변화에 따른 슬래브 내부변형과 열차하중에 의한 슬래브 응력을 계측하였다. 또한, 계절별 균열 발생 특성변화 파악과 철근량에 대한 균열 영향 자료를 수집하였으며, 도상콘크리트층(TCL)의 허용균열폭을 만족시키는 최적철근량 산정을 위해 상·하부 철근량과 배근위치에 대한 분석의 검증자료로 활용방안을 정립하였다. 환경하중에 대한 온도 변화별 슬래브의 균열과 HEMU-430X 열차하중에 의한 슬래브 균열의 DB를 수집하여 시스템구축에 활용할 계획이며, 철도설계지침 및 편람(KR CODE) 콘크리트 궤도의 도상 콘크리트층(TCL) 요구조건 철근량에 대해 분석하기 위하여 환경하중에 의한 슬래브 거동과 균열 발생 양상 및 영향에 대한 DB 구축과 KR CODE 개정 근거자료에 활용할 목적으로 설치하였다.

각각의 시스템은 지속적으로 측정이 될 수 있도록 전원이 상시 공급되며 각 센서별로 데이터 취득 장치와 연결 되어 데이터를 저장하며, 이는 계측서버와 통신 시스템을 통하여 데이터 전송을 한다. 이 데이터를 계측관리 프로그램을 통하여 계측결과 정리 및 분석을 수행할 수 있도록 되어 있다. 측정된 데이터를 통해 증속에 따라 속도 민감 파라미터에 대한 충격계수 연구를 수행하였다. 궤도 모니터링 시스템은 대부분 이동 및 장기 모니터링 측정이 가능한 시스템으로 구축되어 있으며 TCL 내부변형률 또한 매립되어 자동모니터링이 가능한 시스템으로 구성되어있다.

직선 및 원곡선 궤도시스템은 2014년 1월부터 4월까지 계측기 설치 및 예비시험을 완료하였고, 4월 부터 KTX 및 8월 이후 HEMU430-X 주행 현장측정을 통하여 측정 및 분석을 수행하고 현재까지 시스템 안정화 및 보완을 완료하였다.

(나) 기술적 요구사항

궤도 모니터링 시스템은 다음과 같은 성능평가항목을 할 수 있도록 구성되었고 관련 측정항목, 계측센서 및 위치는 다음과 같다.

<표 2-3-3-2> 궤도 성능평가 항목

| 구 분 | 평가항목 | 현행기준 | 관련근거 | 계측항목 | 계측센서 | 계측위치 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 궤도 성능평가 | 윤하중 | 200 kN | 경부2단계 최고속도시험 절차서 | 레일 윤하중 | 스트레인 게이지 | 레일 측면 |
| | 윤하중 감소율 | 0.8 | | | - | - |
| | 횡하중 | 68 kN | | 레일 횡하중 | | |
| | 레일변위 | 3 mm | | 레일 수직변위 | LVDT | 레일 측면 |
| | | 2 mm | | 레일 수평변위 | | |
| | 도상변위 | 2 mm | | TCL 수직변위 | LVDT | TCL |
| | | 1 mm | | HSB 수직변위 | LVDT | HSB |
| | 레일응력 | 90 MPa | | 레일 응력 | 스트레인 게이지 | 레일 하부 |
| | 레일진동 특성 | 없음 | 철도설계편람 (궤도편) | 레일 가속도 | 가속도계 | 레일 측면 |

위 항목에서 레일 진동 특성은 현행 기준에는 포함되어 있지 않지만 충격률 등을 예상할 수 있는 레일 수직, 수평 가속도 및 슬래브 가속도 등을 연구 목적으로 계측을 실시하였다.

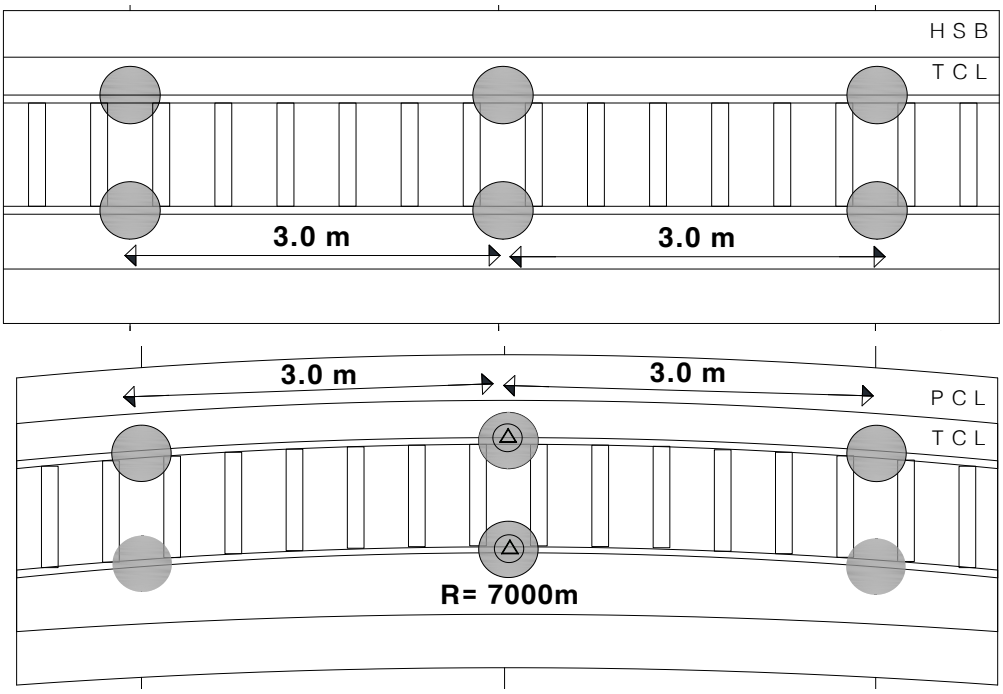
분기기 모니터링 주요 개소의 성능평가 항목을 결정하고 관련근거와 계측항목 및 계측센서는 다음과 같다.

<표 2-3-3-3> 분기기 성능평가 항목

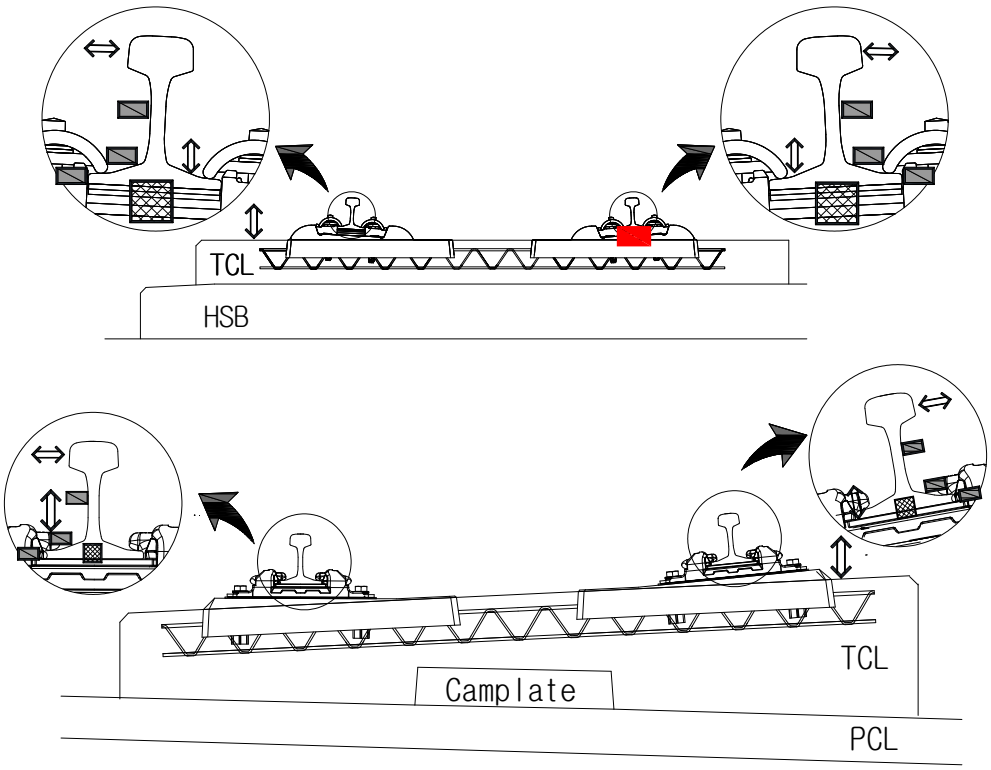
| 구 분 | 평가항목 | 현행기준 | 관련근거 | 계측항목 | 계측센서 | 계측위치 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 분기기 성능 평가 | 윤하중 | 200 kN | 경부2단계 최고속도시험 절차서 | 레일 윤하중 | 스트레인 게이지 | 레일 측면 |
| | 윤하중 감소율 | 0.8 | | | - | - |
| | 횡하중 | 68 kN | | 레일 횡하중 | | |
| | 레일변위 | 3 mm | | 레일 수직변위 | LVDT | 레일 측면 |
| | | 2 mm | | 레일 수평변위 | | |
| | 도상변위 | 2 mm | | TCL 수직변위 | LVDT | TCL |
| | | 1 mm | | HSB 수직변위 | LVDT | HSB |
| | 레일응력 | 90 MPa | | 레일 응력 | 스트레인 게이지 | 레일 하부 |
| | 레일진동 특성 | 없음 | 철도설계편람 (궤도편) | 레일 가속도 | 가속도계 | 레일 측면 |

(다) 현장 모니터링 시스템의 설치

궤도 모니터링 시스템의 직선구간과 원곡선구간의 모니터링 측정위치는 아래 그림과 같고 궤도모니터링 시스템의 설치위치별 계측기 종류 및 수량은 다음 표에 제시하였다.




(a) 궤도 구간의 평면도 센서 배치




(b) 궤도 구간의 단면도 센서 배치

<그림 2-3-3-2> 궤도 구간의 모니터링 측정위치

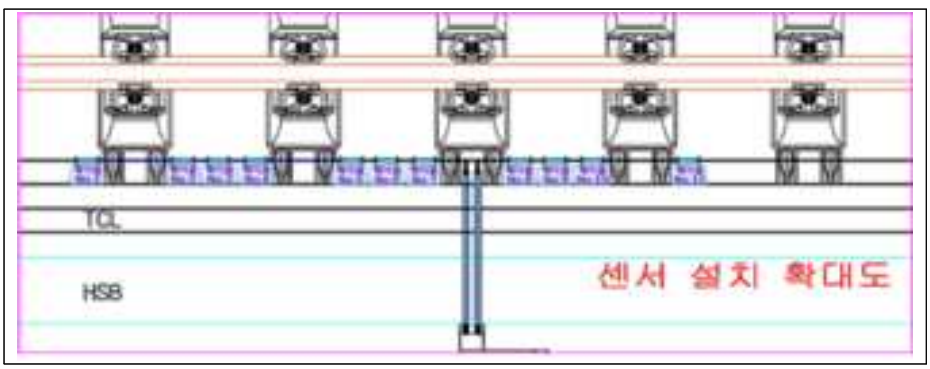
<표 2-3-3-4> 궤도분야 설치위치별 계측기 종류 및 수량

| 위치 | 기호 | 센서종류 | 수량 | 설 명 |
|---|---|---|---|---|
| 원곡선 구간 | ■ | 변형률계 | 12 | 윤하중, 횡하중, 레일응력 계측 |
| | ▲ | 가속도계 | 5 | 레일 연직/수평, 도상 가속도 계측 |
| | ⇔ | 변위계 | 12 | 레일 연직/수평, 도상 변위 궤측 |
| | ■ | FORP | 6 | 레일패드센서 침목부 지압응력 측정 |
| 직선구간 | ■ | 변형률계 | 12 | 윤하중, 횡하중, 레일응력 계측 |
| | ▲ | 가속도계 | 5 | 레일 연직/수평, 도상 가속도 계측 |
| | ⇔ | 변위계 | 10 | 레일 연직/수평, 도상 변위 궤측 |
| | ■ | FORP | 6 | 레일패드센서 침목부 지압응력 측정 |

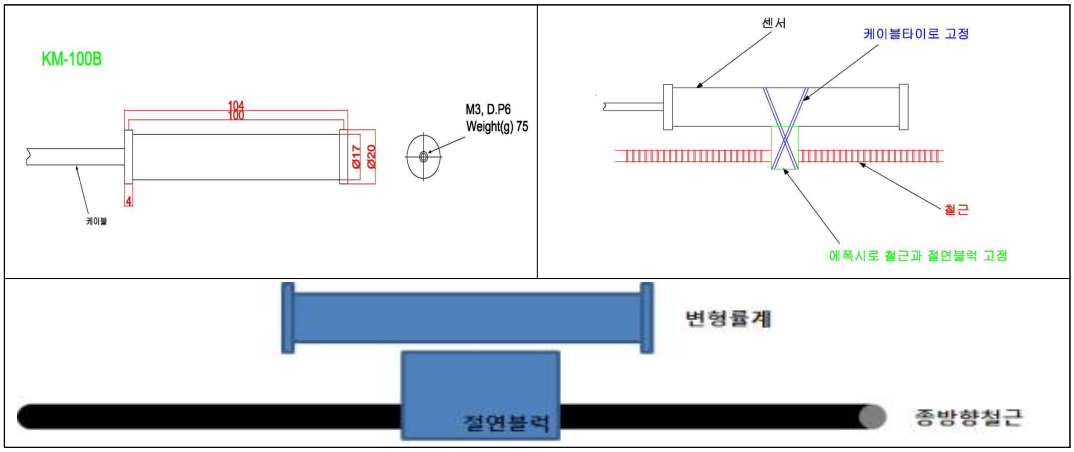
궤도 모니터링 시스템의 직선구간 TCL 내부 모니터링 측정위치는 <그림 2-3-3-3>, <그림 2-3-3-4>와 같고 궤도모니터링 시스템의 매립형 변형률계 설치 방법 및 위치는 <그림 2-3-3-5>과 같다.



<그림 2-3-3-3> Test-Bed 직선구간 센서 설치 위치도

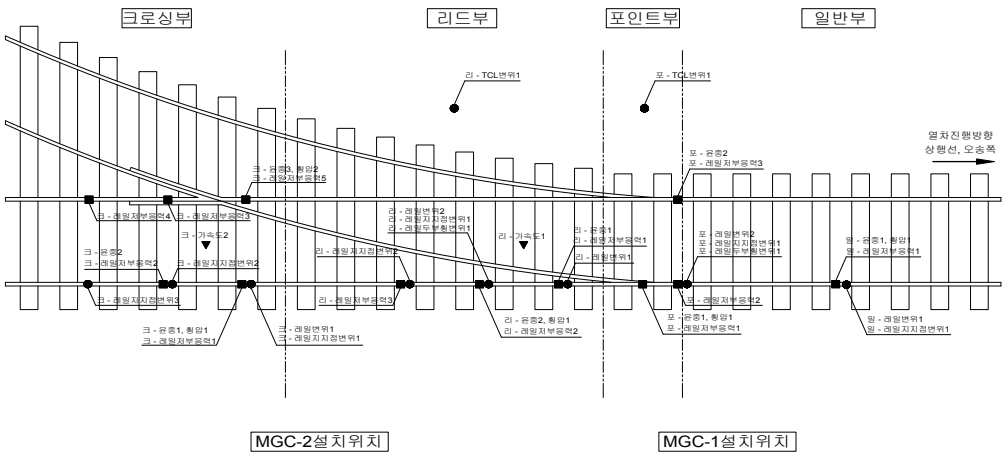



<그림 2-3-3-4> Test-Bed 직선구간 센서 설치 확대도




<그림 2-3-3-5> 매립형 변형률계 설치 방법 및 위치

분기기 모니터링 시스템을 구축한 과업대상구간(STA 131k 940)에 설치된 센서 설치위치는 아래 그림과 같고 설치위치별 계측기 종류 및 수량은 다음 표에 있다.




<그림 2-3-3-6> #6713(F26) 분기기 센서배치도

<표 2-3-3-5> 고속분기기 #6713(F26) 설치위치별 계측기 종류 및 수량

| 측정항목 | | 일반부 | 포인트부 | 리드부 | 크로싱부 | 측정 채널수 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 변위 | | ·레일변위:1개소<br>·레일지지점 변위:1개소<br>·총 2Ch | ·레일변위:2개소<br>·레일지지점 변위:1개소<br>·TCL변위:1개소<br>·총 4Ch | ·레일변위:2개소<br>·레일지지점 변위:2개소<br>·레일두부횡변위 :1개소<br>·TCL변위:1개소<br>·총 6Ch | ·레일변위:1개소<br>·레일지지점 변위:3개소<br>·레일두부횡변위 :1개소<br>·총 5Ch | 17 |
| 응력 | | ·레일저부:1개소<br>·총 1Ch | ·레일저부:3개소<br>·총 3Ch | ·레일저부:3개소<br>·총 3Ch | ·레일저부:5개소<br>·총 5Ch | 12 |
| 하중 | 윤중 | ·윤중:1개소<br>·총 1Ch | ·윤중:2개소<br>·총 2Ch | ·윤중:2개소<br>·총 2Ch | ·윤중:3개소<br>·총 3Ch | 8 |
| | 횡압 | ·횡압:1개소<br>·총 1Ch | ·횡압:1개소<br>·총 1Ch | ·횡압:1개소<br>·총 1Ch | ·횡압:2개소<br>·총 2Ch | 5 |
| 가속도 | | - | - | ·도상가속도:1개소<br>·총 1Ch | ·도상가속도:1개소<br>·총 1Ch | 2 |
| 측정 채널수 | | 5 | 10 | 13 | 16 | 44 |

(라) 구성장비 및 계측센서

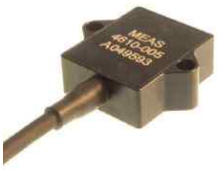
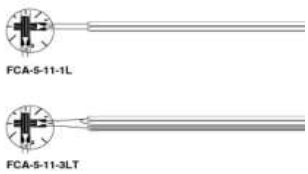
궤도 모니터링 시스템의 구성장비 및 계측센서는 다음 표와 같다.

<표 2-3-3-6> 궤도 모니터링 구성 장비 및 계측센서

| 장비명 | 주요사양 | 설치 위치 | 용도 |
|---|---|---|---|
| <br>DAQ | - 10kS/s/ch 샘플링<br>input type : differential<br>full scale sensitivity range : 5.0 V(DC)<br>Excitation: 0.8-10 mV/V<br>Operating Temperature : 0 to 70℃ | 원곡선부,<br>직선부 | 데이터수집 |
| <br>Accelerometer | - Amplitude range : 1000g PK<br>Resolution : 0.004g rms<br>Mechanical Shock Limit : 5000g PK<br>Temperature Range : -30~80℃ | 레일<br>슬래브 | 가속도 계측 |
| <br>LVDT | - Measuring Range : 10 mm<br>- Full Bridge type | 레일<br>TCL<br>HSB | 변위 계측 |
| <br>2축 스트레인 게이지 | - Resistance : 120Ω<br>Full Bridge type<br>Temperature Range : -20~80℃ | 레일 | 윤하중, 횡하중 계측 |
| <br>1축 스트레인 게이지 | - Resistance : 120Ω<br>Temperature Range : -20~80℃ | 레일 | 레일응력 계측 |
| <br>레일패드 센서 | - 최대하중 : 10ton<br>- 최소 감지 하중 : 200kg<br>- Temperature Range : -40~80℃ | 레일침목 | 윤하중 |

분기기 모니터링 시스템의 구성장비 및 계측센서는 다음 표와 같다.

<표 2-3-3-7> 분기기 모니터링 구성장비 및 계측센서

| 장비명 | 주요사양 | 설치 위치 | 용도 |
|---|---|---|---|
| <br>MGC-plus | - 모 델 명 : MGC-plus<br>- 제 작 사 : HBM(독일)<br>- amplifier plug-in modules.-ML38<br>- Strain Gauge Full Bridge<br>- Accuracy Class 0.0025%,<br>- Temperature range : -20~+ 60℃<br>- 5 V and 2.5 V carrier frequency (225.05 Hz) excitation | 분기기 | 데이터 수집 |
| <br>Accelerometer | - Range (g) : ±2<br>- Sensitivity(mV/g) : 1,000<br>- Frequency response(Hz) : 0~400<br>- Natural Frequency(Hz) : 700<br>- Non-Linearity(%FSO) : ±0.5 | 레일 및 슬래브 | 가속도 계측 |
| <br>Displacement transducer | - Measuring Range : 5~10 mm<br>- Full Bridge type | 레일, TCL, 레일지지점 | 변위 계측 |
| <br><br>2축 스트레인 게이지 | - Resistance : 120Ω<br>Full Bridge type<br>Temperature Range : -20~80℃ | 레일 | 윤하중, 횡하중 계측 |
| <br><br>1축 스트레인 게이지 | - Resistance : 120Ω<br>Temperature Range : -20~80℃ | 레일 | 레일응력 계측 |

(마) 시스템의 현장구축 현황

직선구간(109k231) 및 원곡선구간(98k416)에 구축된 궤도모니터링 시스템은 다음과 같다.



(a) 직선 매립형 센서설치



(b) 직선 외부 함체설치



(c) 직선 레일패드센서 설치



(b) 직선 레일 표면센서 설치



(e) 현장 구축 검증

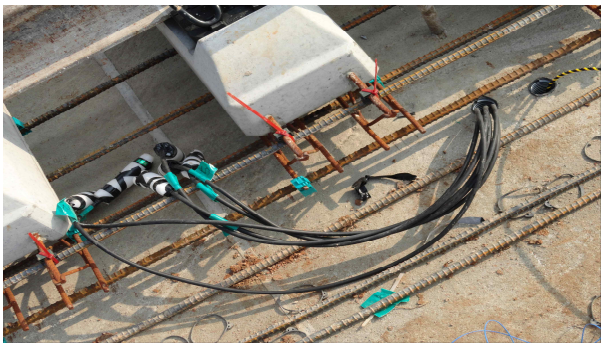


(f) 직선 현장 모니터링 시스템 구축 전경

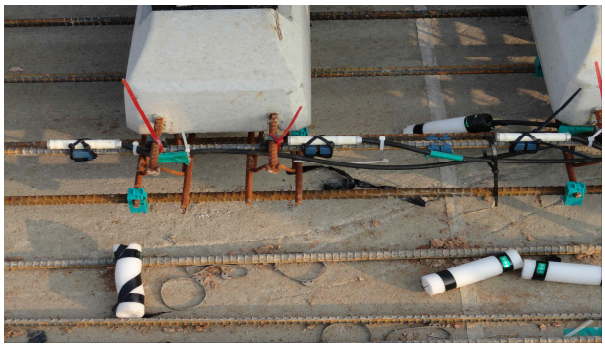


(g) KTX-호남 주행 시 직선구간 현장 자동 계측

<그림 2-3-3-7> 직선구간 궤도 모니터링 시스템 구축 및 검증



(a) 센서 케이블 SW관 연결



(b) 센서 설치 포인트에 연결



(c) KM-100BT 및 온도센서 고정



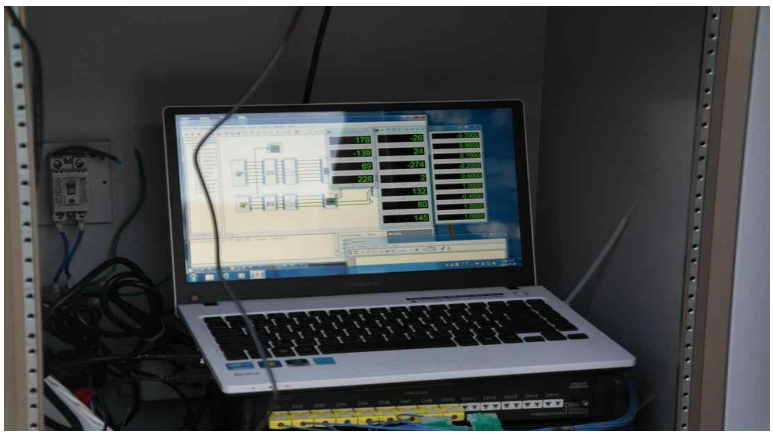
(b) 센서설치구간 현장타설



(e) 침목별 센서 위치 표시



(f) 계측 함체 케이블 작업



(g) 직선구간 모니터링 시스템 구축 전경

<그림 2-3-3-8> TCL 내부 궤도 모니터링 시스템 구축 및 검증 (직선구간)

### (4) 노반모니터링 시스템

#### (가) 개요

노반 모니터링 시스템은 테스트베드 구간 전 구간에 대하여 노반 침하 및 품질 시험 자료를 취합 및 DB화하여 침하량을 분석하고 시공중 침하관리기준을 제시하며, 잔류침하량을 예측할 수 있도록 400km/h 주행시 노반 침하관련 성능을 평가함과 동시에 TB#1에 대하여 노반을 대표할 수 있는 표준토공노반(109k231), 연약지반노반지반노반(110k000), 접속부노반(120k650) 3개소를 선정하여 노반 모니터링 시스템을 구축하였다. 상시 및 열차 운행시 원지반과 노반의 층별 침하, 압력, 가속도, 수압, 함수비등을 자동측정 및 분석하여 400km/h급 노반의 성능평가 및 설계기준 검증자료로써 활용할 계획이다. 2014년 4월까지 계측기 설치를 완료하고, 4월부터 현장측정을 통하여 측정 및 분석을 수행하고 현재까지 시스템 안정화 및 보완을 하고 있다.

#### (나) 기술적 요구사항

노반 모니터링 주요 개소의 성능평가 항목을 결정하고 관련근거와 계측항목 및 계측센서는 다음과 같다.

<표 2-3-3-8> 노반 모니터링 성능평가 항목

<table>
<tr><th>구 분</th><th>평가항목</th><th colspan="3">현행기준(관련근거)</th><th>계측항목</th><th>계측센서</th><th>계측위치</th></tr>
<tr><td rowspan="4">궤도 지지 성능 평가</td><td>허용노반 압력</td><td colspan="3">상부노반 : 81kPa<br>강화노반 : 133kPa<br>(KR C-14040 콘크리트궤도 구조)</td><td>토압</td><td>토압계</td><td rowspan="4">표준, 연약, 접속부</td></tr>
<tr><td>탄성침하</td><td colspan="3">1.0mm 이하 (한국형고속열차 증속기준)</td><td>침하 변위</td><td>변위계 층별침하계</td></tr>
<tr><td>탄성침하</td><td colspan="3">2.5mm 이하 (일본RTRI 기준)</td><td>침하 변위</td><td>변위계 층별침하계</td></tr>
<tr><td>누적침하</td><td colspan="3">25mm 이하<br>(철도설계기준, 노반편)</td><td>침하 변위</td><td>변위계 층별침하계 액상침하계</td></tr>
<tr><td rowspan="4">주행 안전성 평가</td><td rowspan="4">동적 진동</td><td colspan="3">$5m/s^2$ 이하<br>주파수범위 : 1 ~ 80Hz<br>(진동 허용기준, ISO)</td><td>가속도</td><td>가속도계</td><td rowspan="4">표준, 연약, 접속부</td></tr>
<tr><td><10Hz</td><td>10 ~ 50Hz</td><td>50 ~ 100Hz</td><td rowspan="3">진동</td><td rowspan="3">가속도계</td></tr>
<tr><td>0.3</td><td>0.3 ~ 0.8</td><td>0.8 ~ 1</td></tr>
<tr><td colspan="3">(진동예민구조물, 독일 DIN 4150, part-3)</td></tr>
<tr><td>재료 내구성</td><td>배수효과</td><td colspan="3">별도의 평가기준을 정하지 않으며, 노반 강성차 및 강도저하를 분석하는데 사용</td><td>함수비 지하수위</td><td>함수량계 지하수위</td><td>표준, 연약, 접속부</td></tr>
</table>

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 성능 평가 | | (철도설계기준, 노반편) | | | |
| | 강우시 노반강성 변화 | 별도의 평가기준을 정하지 않으며 강우침투 여부 및 배수 성능을 분석하는데 활용 (철도설계기준, 노반편) | 강우량 함수비 | 강우량계 함수량계 | |
| | 기후변화에 따른 노반 재료의 영향 | 별도의 평가기준을 정하지 않으며 강우침투 여부 및 배수 성능에 따른 노반강성변화 분석에 활용 (철도설계기준, 노반편) | 온도 강우량 함수비 | 온도계 강우량계 함수량계 | |

### (다) 현장 모니터링 시스템의 설치

표준토공노반은 건설공정과 현장접근성 등을 고려하여 3-4공구에 해당하는 토공 5구간 108k620~110k368(L=1748m)중 109km231을 선정하였다. 해당 표준토공노반은 현재 고속철도 표준성토단면으로 성토높이 9.20m 이며 원지반의 구성은 N>10 이상인 풍화토의 두께는 5.6m 로 이루어져 있다.

<표 2-3-3-9> 표준노반 모니터링 센서 설치 계획 수량

| 표시 | 센서 | 수량(ea) | 설치위치 |
|---|---|---|---|
| | 토압계 | 5 | 상부노반(5) |
| | 가속도계 | 5 | 강화노반(2), 상부노반(3) |
| | 침하계 | 3 | 상부노반(1), 원지반(1) |
| | 함수량계 | 2 | 상부노반(1), 노반 사면부(1) |
| | 변위계 | 1 | HSB층(1) |
| | 강수량계 | 1 | 노반 사면부(1) |
| | 지중경사계 | 1개소 | 성토노반(원지반, 상부노반, 하부노반) |
| | 크로스홀 | 1회 | 성토노반(중앙, 신호트레일) |

연약지반노반 단면은 3-4공구 현장의 토공 5구간에 포함되어 있는 연약지반 구간 109k980~110k260으로 치환공법이 아닌 Preloading 공법으로 시공되는 점을 고려하여 110km000을 최종 선정하였다. 노반은 성토고가 3.97m 로 상대적으로 성토고가 낮으며 하부노반이 없으며 원지반은 사질토층으로 구성되며, N<10이하의 연약지반이 GL-11.08m까지 분포된다. 설계 시 해석 잔류침하량이 46.2mm(>25.0mm)으로써 허용잔류침하량을 초과하여 연약지반 대책공법으로 널리 사용하고 있는 Preloading 공법을 적용하였으며, 성토높이 1.5m을 고려한 해석 잔류침하량이 14.3mm(<25.0mm)로써 호남고속철도 허용잔류침하량 기준 이내로 설계된 구간이다. 참고로 방치기간은 6개월을 적용하였다.

<표 2-3-3-10> 연약지반 노반 모니터링 센서 설치 계획 수량

| 표시 | 센서 | 수량(ea) | 설치위치 |
|---|---|---|---|
| | 토압계 | 4 | 원지반(1), 상부노반(3) |
| | 가속도계 | 1 | 연약지반(1) |
| | 변위계 | 1 | HSB층 |
| | 침하계 | 3 | 상부노반(1), 원지반(2) |
| | 간극수압계 | 2 | 상부노반(1), 노반 사면부(1) |
| | 지하수위계 | 1 | 노반 중앙부 |
| | 지중경사계 | 20 | 사면 하부 원지반 내부(20) |
| | 액상침하계 | 1 | 원지반(1) |

접속부 노반은 교량 계측결과와의 비교해석을 고려하여 TB#1구간 120km650을 연정교 종점-토공 접속부 구간으로 선정하였다. TB#1구간 접속부 노반 구간은 차량이 400km/h의 속도로 운행되어야 하지만 정읍역과 익산역의 위치로 가감속 구간이 존재하여 실제로 400km/h 운행되지 않는 지점에 있다. 접속부 노반은 이러한 가감속 구간에 속하였으며 실제 운행속도는 387km/h가 될 것이다. 그럼에도 불구하고 접속부 노반 계측 구간을 이 지점으로 선택한 배경은 교량 계측 구간에 연정교 교량계측이 계획되어 있어 노반과 계측데이터의 교차검토가 가능하기 때문이며, 종점부를 택한 것은 시공일정상의 문제로 인한 것이다.

접속부 노반 단면은 연약지반 9구간인 120k654 ~ 121k720(L=65.5)으로 성토높이 8.5m이며 원지반의 구성은 N<10 이하인 전답토 및 퇴적층이 두께 2.0m 로 구성되어 있어 설계 시 잔류침하량이 1.12mm(>25.0mm)으로써 허용잔류침하량을 초과하지 않지만 Preloading 공법을 적용하여 교통하중을 성토체로 환산한 성토높이 2.64m로 설계하였으나 빠른 공정 진행을 위하여 치환공법으로 시공되었다.

<표 2-3-3-11> 접속부 노반 모니터링 센서 설치 계획 수량

| 표시 | 센서 | 수량(ea) | 설치위치 |
|---|---|---|---|
| | 토압계 | 7 | 상부노반(7) |
| | 가속도계 | 10 | 강화노반(3), 상부노반(6), 접속슬래브(1) |
| | 침하계 | 7 | 상부노반(1), 원지반(1) |
| | 함수량계 | 4 | 상부노반(2), 노반 사면부(2) |
| | 변위계 | 3 | HSB층(3) |
| | 강수량계 | 1 | 노반 사면부(1) |
| | 온도계 | 4 | 상부노반(3), 대기 온도(1) |
| | 변형율계 | 11 | 접속슬래브(8), Endsporn(3) |

접속부 궤도 모니터링 단면은 교량 구간과 노반 구간의 구성 재료 특성에 따른 궤도의 변형 특성을 파악하기 위하여 교량 구간과 노반 구간의 경계부와 접속슬래브와 강화노반의 경계부에 집중적으로 설치하여 모니터링 하였다..

<표 2-3-3-12> 접속부 궤도 모니터링 센서 설치 계획 수량

| 표시 | 센서 | 수량(ea) | 설치위치 |
|---|---|---|---|
|  | 윤중, 횡압 변형율계 | 16 | 레일 부재 측면 및 하부면 설치 |
|  | 가속도계 | 8 | 레일(4), 침목(4), |
|  | 궤도침하계 | 10 | 궤도 침목 또는 TCL층 |
|  | 레일 수직, 수평 변위계 | 4 | 레일 부재 측면 및 하부면 설치 |
|  | 레일 온도계 | 2 | 레일 온도(2) |
|  | 레일 휨 응력 변형율계 | 6 | 레일 하부면 설치 |

## (라) 구성장비 및 계측센서

노반모니터링은 호남고속선에서 성토부, 연약지반, 접속부 노반에서 실시되는데 증속을 위한 하중평가에 토압계가 매립되고 침하평가를 위해서는 지하수위계, 함수량계, 크로스홀 시험(crosshole test), 침하계를 통한 평가를 계획하고 있다. 철도하중을 지지할 수 있는 최적 단면설계와 국내의 재료에 대한 파괴기준을 설정하기 위해 매설되는 각종 센서를 대상으로 측정범위, 정밀도, 차량하중에 의한 파손가능성, 노이즈 문제와 주기적인 장기 계측센서의 경우 자동화 계측시스템 적용성 등을 중심으로 센서의 사양을 조사 및 검토하였다.

노반 계측기는 일반적으로 지반에 매설되기 때문에 요구사양 고려 시 우선적으로 고려되어야 항목은 항상 정상적으로 작동될 수 있도록 방수성 및 내구성이 확보되어야 한다. 특히 한번 매설되면 보수가 거의 불가능하기 때문에 센서선택 및 설치 시 신중을 기해야 한다.

첫 번째 지반 중에 매설되는 센서는 기본적으로 고압에도 방수에 되어야 한다. 생활방수 수준으로는 지반중의 간극수압을 감당할 수 없기 때문에 완전방수의 사양조건을 만족하는 센서를 사용하여야 한다. 본 모니터링 시스템의 구축의 특성은 콘크리트 노반이 완성된 이후로는 콘크리트 궤도 하단에 위치한 센서의 재시공 및 보수가 사실상 불가능함으로써 더욱더 신중을 기해야 한다. 따라서 지중에 매설되는 센서는 먼지로부터 완벽하게 보호되고 항상 압력을 가진 수중에서 연속사용에 적합한 IP68 이상의 등급을 만족하는 센서를 최우선 선정기준으로 고려하였다.

두 번째로 노반 계측에 중요한 사양은 센서가 시공 중 매설되기 때문에 각종 공사차량으로 인한 계측케이블 및 센서의 파손 방지대책에 대하여 신중을 기해야 한다.

일반적으로 센서가 시공 중 망실되는 경우는 대부분 공사 중의 케이블 파손이 가장 크다. 이를 방지하기 위해서는 센서 및 케이블 설치 위치에는 반드시 공사차량의 운전사가 육안으로 쉽게 식별할 수 있도록 안내판을 설치하여야 하며, 팬스 등으로 1차 보호를 해야 한다. 또한 케이블이 노반 침하 및 건설장비의 하중으로부터 장력에 견딜 수 있도록 고장력 케이블과 보호관 등을 사용하여 파손되지 않도록 하여야 한다.

앞서 2가지 사양은 지반 계측 시에 일반적으로 요구되는 센서 및 케이블의 요구사양으로써 노반계측 시 반드시 필요 요구사양이기 때문에 센서 선택 및 시공 시 필수 사양으로 고려하였다.

세 번째는 본 모니터링은 일시적으로 계측하는 방식이 아닌 자동화된 시스템으로 장기 원격 모니터링 방식을 진행되기 때문에 센서 및 계측기기 선택 시 자동계측이 가능한 사양으로 선택 시 고려하였다. 따라서 레벨 측량방식의 지표침하핀 측정은 열차 운용 시에 측정이 불가하고, 자동계측이 곤란하기 때문에 원지반 ROD 고정형 변위계 및 층별침하계를 이용하여 노반의 동적변위 및 장기변위량을 원격자동수집방식으로 선택하였다.

네번째는 토압, 변위, 변형률 등은 400km/급 고속열차 동하중으로 인한 노반 응답하중 및 변위를 손실 없이 측정하기 위해서는 측정간격이 초당 100hz~1000hz이어야 하기 때문에 센서가 충분한 측정 속도와 회복속도를 가지는 성능요건을 만족하도록 선택 시 고려하였다.

계측센서 및 구성장비의 계측 일반요구사항은 계측표준시방서(안)(한국구조물진단유지관리공학회)의 계측시방을 준수하였으며 그 외 400km/h급 고속열차 주행에 따른 계측 특별 요구사항은 당 현장에서 특별히 요구되는 사양을 제시하였다.

본 선로구축물 모니터링에 적용될 계측 일반 요구사항 기준을 정리하면 다음과 같다.

○ 본 모니터링은 궤도지지 성능평가, 주행안전성 평가, 재료내구성 성능평가 중 특별계측으로 분류되며, 연구를 목적으로 하는 계측 대상 시설물의 심층적 거동분석을 목적으로 한다.
○ 계측기간은 공사 중 및 유지관리 중 계측을 포함하여 설계 및 구축한다.
○ 열차하중에 따른 노반의 거동 특성을 심도 있게 수집하기 위해서는 동적계측을 수행하며, 모든 측정 방법은 100%로 자동화 원격 온라인 시스템으로 일관한다.
○ 계측기의 선정기준은 내구성, 정밀도, 상호 호환성 등을 종합적으로 검토하여 선정한다.
○ 동적데이터 획득 시스템은 자체 메모리와 트리거 기능을 보유해야 하며, 내장 프로그래밍이 가능하여 계측 시 측정데이터에 대한 연산, 논리 기능이 있어야 한다.

또한 모니터링 적용될 노반 계측기 센서의 특별 요구사항 기준은 아래 표와 같다.

<표 2-3-3-13> 선로구축물 노반 계측 센서 특별 요구 사양

| 기기명 | 설치 위치 | 예상범위 | | 요구사양 | | 모델명 | 산출근거 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 측정 범위 | Frequency | 측정범위 | Sample rate | | |
| 변위계 | 어프로치 슬래브 | 1.8mm이하 | 1.2khz 이하 | ±12.70 mm | 2.4kHz 이상 | 500HCA | · 400km/h급 TCL상단에서 최대 약 1.8mm 예상(400km/h급 해석결과)<br>· 최대 잔류침하량 20mm 고려하여 25mm측정 범위로 선택(성토체 즉시침하 이후) |
| | 강화노반 상단 | 1.8mm이하 | 0.2khz 이하 | ±12.70 mm | | | |
| 변형률계 | TCL | 연직방향 0.001% =10strain ( $\sigma = \Delta$ 200kPa이하) | 0.6kHz 이하 | ±5000 $\mu\varepsilon$ | 2.4khz 이상 | SGT-100 ,KM100B | · 수치해석결과(1차년도) TCL층 최대응력 $\Delta$ 200kPa, 변형률 0.001% 예상<br>· 경부고속선 KTX 실측결과 윤중하중 $\Delta$ 148kPa(Mean+4.5$\sigma$)으로 축방향 변형률은 0.001%이하임<br>· 콘크리트 타설전 센서를 설치함으로 양생시의 수축량을 고려하여 5000$\mu\varepsilon$으로 함. |
| | HSB | | 0.6kHz 이하 | ±5000 $\mu\varepsilon$ | 2.4khz 이상 | | |
| | 어프로치 블록 | | 0.6kHz 이하 | ±5000 $\mu\varepsilon$ | 2.4khz 이상 | | |
| 토압계 | 강화노반 | $\Delta$ 30kPa 이내 (최대 75kPa) | 250hz이하 | 200kPa | 1.0khz 이상 | SWP-2 | · 이일화(2006) 수치해석 및 주행시험결과 $\Delta$ 20kPa이하 토압 발생<br>· 최찬용(2008) 실대형시험결과 $\Delta$ 30kPa이내<br>· 일본RTRI 궤도하부로부터 약 3M지점에서 증가토압 10% 이내로 감소<br>· 높은 측정 범위를 가지는 토압계는 상대적으로 분해능이 저하되기 때문에 200kPa로 선정 |
| | 상부노반 | $\Delta$ 20kPa 이내 (최대 115kPa) | 100hz이하 | 200kPa | 1.0khz 이상 | | |
| | 하부노반 | 총 115kPa+H x20kPa/H | - | - | - | | |

<표 2-3-3-14> 선로구축물 노반 계측 센서 특별 요구 사양

| 기기명 | 설치위치 | 예상범위 | | 요구사양 | | 모델명 | 산출근거 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 측정 범위 | Frequency | 측정범위 | Sample rate | | |
| 진동가속도계 | TCL,HSB | 2g | 600hz | 4g | 2.4kHz 이상 | 4810A, ES-U2 | · 열차속도 변화에 따른 심도별 변위속도, 변위가속도(1차년도 수치해석결과)<br>-보조도상층이 약 20mm/sec, 0.25g이하<br>· TCL, HSB층은 침목에서의 최대가속도가 2g 이하임으로 4g가 적절한 범위로 판단됨. (경부 KTX실측)<br>· 지중에 가속도계가 매설됨으로 방수형으로 선택. |
| | 어프로치 슬래브 | 0.5g | 250hz | 2g | 2.4kHz 이상 | | |
| | 강화노반 | 0.25g | 250hz | 2g | 1.0kHz 이상 | | |
| | 상부노반 | 0.25g | 250hz | 2g | 1.0kHz 이상 | | |
| | 원지반 | 0.1g | 250hz | 0.25g | 1.0kHz 이상 | | |
| 궤도침하계 | TCL, 침목 | 최대 25mm이하 | 정적 | ±12.70 mm | 1회/hr | ACE-RTM | · 노반 최대 허용 잔류 침하량 25mm, 수직 및 수평방향 측정 |
| 함수율측정 | 상부노반 | 50%이하 | 정적 | 50% | 1회/hr | CS616 | · 센서 위치에서 이론적으로 최대 측정될 수 있는 최대값 (수압 = GL * 물의단위중량) |
| 지하수위계 | 원지반 천공 | 최대15M | 정적 | 200kPa | 1회/hr | SPP-2 | |
| 간극수압계 | 원지반 천공 | 0~200kPa | 정적 | 200kPa | 1회/hr | SPP-2 | |
| 온도계 | 센서측정 개소 | -30~80도 | 정적 | -20~60도 | 정적측정 | KT-110A | · 온도 = -30~80도 |
| 데이터로거 | 시스템 박스 (선로 연변) | 센서 50개를 동시에 2.4khz 이상 동시(측정/필터링/트리거/저장/전송)사양 | | | | cRIO-9025(NI), CR9000X | · 측정, 아날로그 및 디지털 필터, 트리거 저장 기능 탑재<br>· 임베디드 OS로 PC없이 독립구동<br>· 측정데이터는 FTP, TCP/IP로 서버 전송<br>· 열차운행시 데이터는 내장 트리거에 의해 파일로 저장되고 손실 없이 FTP로 서버 전송<br>· 열차운행이 없을시 데이터는 TCP/IP형태로 네트워크 최대속도로 측정 데이터 전송 |

HERON, Vol.45, No.1 (2000) ISSN 0046-7316

- 레일 최대 Frequency(pined-pined) : $f = \frac{w}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\pi^2\sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$ = 약 1.2khz 이하
- 레일 패드 Frequency : 200~600hz
- 강화노반 Frequency : 200hz이하 , 상부노반 Frequency : 100hz 이하
- 궤도부 Sample Rate : 레일 공진 주파수 1.2kHz의 2배(Nyquist 이론)인 2.4khz 적용
- 노반부 Sample Rate : 노반 공진 주파수가 100~200hz이나 스텍트럼 유실을 최소화(5배 이상)하고, 측정 이산개수를 통일하기 위하여 1.0kHz 공통 적용

아래 표는 노반 모니터링 센서별 주요 특이사항을 나타내었다.

<표 2-3-3-15> 노반 모니터링 센서별 주요 특이사항

| 단면 | 계측항목 | 주요사양 | 특이사항 |
|---|---|---|---|
| 표준 토공 노반 | 토압계 | ·모델 : SWP-2,KDJ-200KPA<br>·측정범위 : 0~200kPa | · 강화노반 : 최대 81kPa 이내<br>· 상부노반 : 최대 133kPa 이내<br>· 당초 센서 측정범위가 너무 과대(2000kPa)하여 정밀도를 향상하기 위하여 측정범위를 센서 설치위치에 적절하게 선택 |
| | 가속도계 | ·모델 : 4810A, ES-U2, ICP<br>·측정범위 : ±0.25g, ±0.5g, ±2.0g, ±5.0g | · TCL,HSB층 : ±4.0g<br>· 어프로치브럭: ±2.0g<br>· 상부노반,하부노반 : ±0.25g |
| | 함수량계 | ·모델 : CS616<br>·측정범위 : 50% VWC | · 현장시료 시험 필요 |
| | 변위계 | ·모델 : 500HCA<br>·측정범위 : ±12.70mm | · 정적, 동적 모두 측정<br>· 어프로치블록, 강화노반 : 1.8mm 이하<br>· 천공후 설치 |
| 연약 지반 노반 | 간극수압계 | ·모델 : SPP-2<br>·측정범위 : 0~200kPa | · 천공 후 원지반에 설치 |
| | 지하수위계 | | |
| 접속부 노반 | 궤도침하계 | ·모델 : ACE-RTM<br>·측정범위 : ± 10° | · 궤도 면틀림, 침하량 모두 측정 |
| | 온도계 | ·모델 : KT-110A<br>·측정범위 : -30~80℃ | · 동적/정적 측정하여 온도뿐만아니라 센서 보정에도 사용 |
| | 변형율계 | ·모델 : SGT-100, KM-100B<br>·측정범위 : ±5000 $\mu\varepsilon$ | · 콘크리트 매설형이기 때문에 타설/양생시 측정범위 넘어가지 않도록 주의요 |
| 공통 | 강우량계 | ·모델 : WDR-205<br>·측정범위 : 0.5mm/1pulse | · 기상청 검정 필수<br>· 강우 후 노반 침하량이 변동이 있음으로 지속적으로 측정해야 함. |

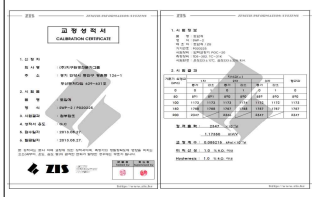
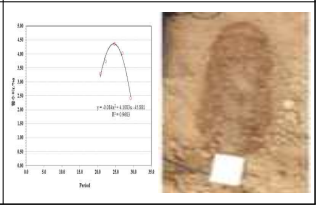
다음 표는 노반에 설치될 센서별 사양 및 주요 특성을 나타낸다.

<표 2-3-3-16> 센서별 사양 및 주요특성

| 계측 항목 | 계측기 | 모델명 | 사 양 | 주요특성 | 사 진 |
|---|---|---|---|---|---|
| 수직변위 | 변위계 | 500HCA | · 형 식 : LVDT타입<br>· 측정범위 : ±12.7mm<br>· 방수 : IP 68 | · 측정범위 대비 정밀도 우수<br>· 설치용이 및 내구성 우수<br>(고내구성 산업용 센서) |  |
| 윤중 및 휨응력 | 변형률계 | SGT-100<br>KM-100B | · 형 식 : 전기저항식<br>· 측정범위 : ±5,000 $\mu\varepsilon$<br>· 방수 : IP 68 | · 정·동적 측정가능<br>· 부재와의 일체화 우수<br>· 측정폭 넓고 정밀도우수 |  |
| 토공 토압 | 토압계 | SWP-2<br>KDJ-200<br>KPA | · 형 식 : 압전식<br>· 측정범위 : 0~200kPa<br>· 방수 : IP 68 | · 정·동적 측정가능<br>· 국내 사용실적 및 내구성 우수 |  |
| 진동 가속도 | 가속도계 | 4810A,<br>ES-U2 | · 형 식 : MEMS<br>· 측정범위 : ±0.25g, ±2g, ±4g<br>· 방수 : IP 68(주문제작형) | · 측정범위 대비 정밀도 우수<br>· 설치용이 및 내구성 우수<br>· 중국고속철도 시험시공구간 사용 |  |
| 토공 함수비 | 함수량계 | CS616 | · 형 식 : TDR방식<br>· 측정범위 : 0~50%<br>· 방수 : IP 68 | · 국내 지반분야(도로포장 외) 사용실적 다수<br>· 정밀도 및 내구성 우수 |  |
| 궤도침하 | 궤도침하계 | ACE-RTM | · 형 식 : 전기저항식<br>· 측정범위 : ± 10° | · 국내 궤도침하 실적보유<br>· 신뢰성 및 안정성 확보<br>· 내구성 우수 및 센서견고 |  |
| 레일 상하 및 충별 침하 | 변위계 | 500HCA | · 형 식 : LVDT<br>· 측정범위 : ±12.7mm<br>· 방수 : IP 68 | · 국내 장기계측실적 다수<br>· 내구성 및 정밀도 우수 |  |
| 온 도 | 온도계 | KT-110A | · 형 식 : 열전대<br>· 측정범위 : -30℃~80℃<br>· 방수 : IP 68 | · 측정범위 대비 정밀도 우수<br>· 설치용이 및 내구성 우수 |  |
| 지중경사계 | Tilt | IPI | · 형 식 : MEMS<br>· 측정범위 : -30℃~80℃<br>· 방수 : IP 68 | · 측정범위 대비 정밀도 우수<br>· 설치용이 및 내구성 우수 |  |
| 면틀림 | 궤도침하계 | ACE-RTM | · 형 식 : 전기저항식<br>· 측정범위 : ± 10° | · 측정범위 대비 정밀도 우수<br>· 설치용이 및 내구성 우수 |  |

모니터링 센서에 대한 검교정 시험 및 교정주기를 제시한 표이다. 지반 관련 압력 센서 (간극수압계, 지하수위계, 토압계), 함수량계 등은 전문 교정기관 시험항목 대상이 아님으로 센서 제조사의 시험성적서로 대체하였다. 센서 제조사의 센서 시험에 사용된 시험기는 전문 교정기관에서 인정 받은 시험기를 사용하였다.

<표 2-3-3-17> 데이터 수집 장비의 사양

| 계측기 | 모델명 | 유효성 평가 결과 | 교정주기 및 방법 (기술표준원 고시 2013-84호) | 검교정 성적서 |
|---|---|---|---|---|
| 변위계 | 500HCA | · 한국산업기술시험원 (KOLAS기관)<br>- 불확도:FS0.18%(0.045mm)<br>- 신뢰수준 약95%,k=2<br>- 시험절차:CP801-10210-1,KTL | 공인교정검사기관에서 1년 주기 교정 |  |
| 가속도계 | 393B31, 393C | · 한국산업기술시험원 (KOLAS기관)<br>- 불확도 : 1.3~1.9%<br>- 신뢰수준 약95%,k=2<br>- 시험절차:CP801-60304-1,KTL | 공인교정검사기관에서 1년 주기 교정 |  |
| 온도계 | KT-110A | · 한국산업기술시험원 (KOLAS기관)<br>- 불확도 :0.04℃<br>- 신뢰수준 약95%,k=2<br>- 시험절차:CP801-50103-2,KTL | 공인교정검사기관에서 1년 주기 교정 |  |
| 간극수압계<br>지하수위계 | SPP-2 | · ZIS(KOLAS 인증 시험기 보유)<br>- 교정기 : 압력교정기 PGC-20<br>- 비직진성 : 1.0% R.O이내<br>- Hysteresis<br>: 1.0 % R.O. 이내 | 매설계기임으로 측정범위, 저항 등 유효성 확인 (성적서 참조) |  |
| 토압계 | SWP-2 KDJ-200KPA | · ZIS(KOLAS 인증 시험기 보유)<br>- 교정기 : 압력교정기 PGC-20<br>- 비직진성 : 1.0% R.O이내<br>- Hysteresis<br>: 1.0 % R.O. 이내 | 매설계기임으로 측정범위, 저항 등 유효성 확인 (성적서 참조) |  |
| 변형률계 | SGT-100 KM-100B | · ZIS(KOLAS 인증 시험기 보유)<br>- 교정기 : 변형률교정기 SC-100<br>- 비직진성 : 1.0% R.O이내 | 매설계기임으로 측정범위, 저항 등 유효성 확인 (성적서 참조) |  |
| 함수량계 | CS616 | · 현장 시험<br>- 현장조건 및 흙 종류 따라 상이하게 나옴으로 현장 시험 필수 | 매설계기임으로 측정범위, 저항 등 유효성 확인 (성적서 참조) |  |

<표 2-3-3-18> 데이터 수집 장비의 사양

| | | |
|---|---|---|
| 동적 측정용 (I) | <br>NI cRIO-9014 | - 모 델 명 : NI cRIO-9014<br>- 제 작 사 : National Instrument사(미국)<br>- Network interface : 10BaseT, 100BaseTX Ethernet<br>- Maximum cabling distance : 100 m/segment<br>- Output 특성 : Logic high : 3.3 V, Logic low : 0 V<br>- Input 특성 : Minimum input level : -500 mV<br>Maximum input low level : 990 mV<br>Minimum input high level : 2.31 V<br>Maximum input level : 5.5 V<br>- Memory : 2 GB<br>- DRAM : 128 MB |
| 동적 측정용 (II) | <br>CR9000X | - 모 델 명 : CR9000X<br>- 제 조 사 : CampbellSCI(미국)<br>- Network interface : 10BaseT<br>- 측정속도 : 100kHz<br>- 특징 : 범용 로거(스트레인, 온도, 전압, 전류, 펄스)<br>embedded program 단순, 하드웨어 필터링<br>- 저장용량 : 2 GB |
| 정적 측정용 | <br>CR1000 | - 모 델 명 : CR1000<br>- 제 조 사 : CampbellSCI(미국)<br>- 측정센서 : 전기저항식, 진동현식, 전압Type, 온도측정<br>- 저장용량 : 128kbyte(60,000data)<br>- 측정속도 : 100hz<br>- 입력채널 수 : 최대 344ch(채널 확장기 사용)<br>- 동작온도범위 : -20~50 |

(마) 시스템의 현장구축현황

현장에 구축된 노반 모니터링 시스템을 아래 그림에 나타내었다.



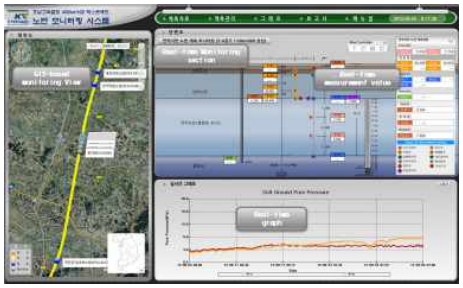
(a) 표준성토노반(109k231)



(b)연약지반노반(110k000)



(c) 접속부노반(120k650)



(d) 모니터링 프로그램

<그림 2-3-3-9> 토공노반 측정시스템 및 모니터링 소프트웨어

### (5) 교량모니터링 시스템

#### (가) 개요

교량모니터링은 교량구조를 대표하는 PSC BOX거더교(118k623), 강합성 소수주형교(118k553), Extradosed교(65k388)에 3개소를 구축하였다. 운영속도 400km/h 이상에 대한 안전성뿐만 아니라 사용성 측면까지도 고려하였고, 속도증가에 민감한 항목을 위주로 교량 관련기준(안)을 제시하기 위하여 가속도 및 연직변위 측정센서 설치가 이루어 졌다. 향후 장기 모니터링 수행하고 데이터를 수집 및 분석을 통해 하중체계 및 평가기술 확보가 필요하다고 판단된다. 2014년 4월까지 계측기 설치를 완료하고, 4월부터 현장측정 및 분석을 수행하고 시스템 안정화 및 보완을 완료하였다.

#### (나) 현장 모니터링 시스템의 설치

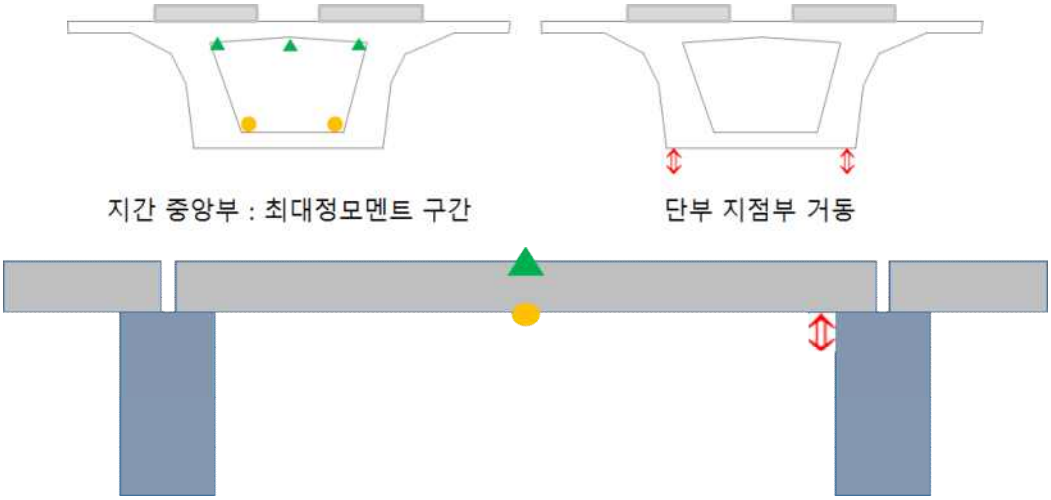
교량모니터링 시스템은 PSC 거더교(118k623), 강합성 소수주형교(118k553), Extradosed교(65k388)에 다음과 같이 계측센서가 설치되었다.

<표 2-3-3-19> 교량분야 설치위치별 계측기 종류 및 수량

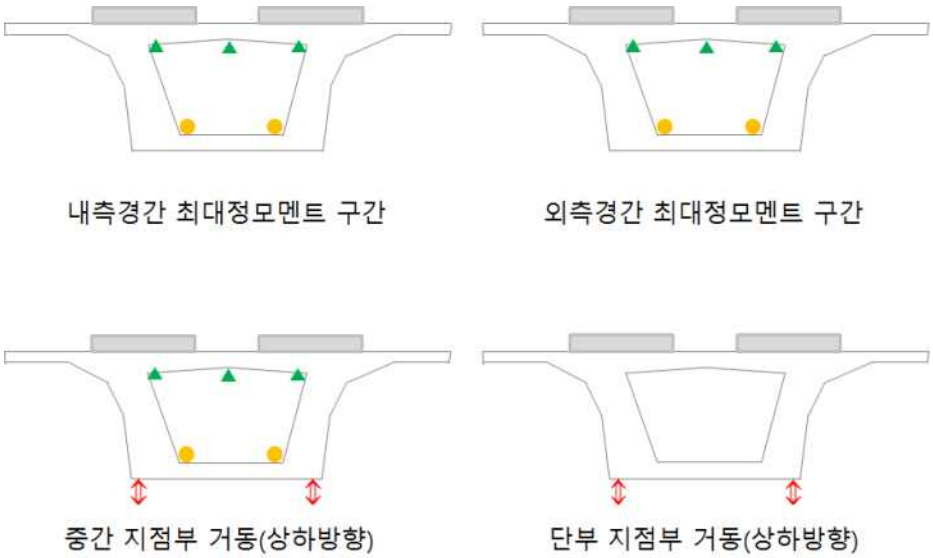
| 위치 | 기호 | 센서종류 | 수량 | 내 용 |
|---|---|---|---|---|
| PSC BOX교 | ▲ | 가속도계 | 3 | 상부구조 가속도 계측 |
| | ● | 변위계 | 2 | 상부구조 처짐 계측 |
| | | LVDT | 2 | 상부구조 처짐 계측 |
| 소수주형교 | ▲ | 가속도계 | 3 | 상부구조 가속도 계측 |
| | ● | 변위계 | 2 | 상부구조 처짐 계측 |
| | | LVDT | 2 | 상부구조 처짐 계측 |
| Extradosed교 | ▲ | 가속도계 | 3 | 상부구조 가속도 계측 |
| | ● | 변위계 | 2 | 상부구조 처짐 계측 |
| | | LVDT | 2 | 상부구조 처짐 계측 |

<표 2-3-3-20> 교량 모니터링 측정항목 및 요구사항

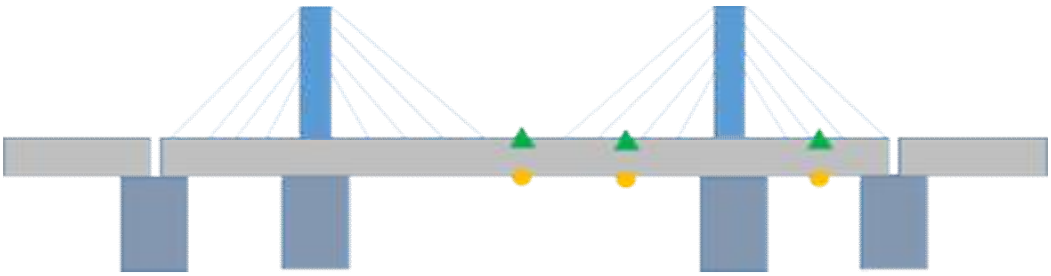
| 구 분 | 설 계 기 준 | 측정항목 | 기술요구사항 | 예상 성과 |
|---|---|---|---|---|
| 주행 안전성 | - 교량 상판의 최대처짐 제한<br>- 상판 수직 가속도 제한 : 5.0 m/s$^2$<br>- 면틀림 제한 : 1.5mm / 3m | 처짐<br>가속도<br>변위 | 70mm이내<br>±1.0 g<br>3mm이내 | 400km/h급 최대처짐 제한기준 제시 |
| 승차감 | - 승차감을 고려한 연직 처짐 (L/$\delta$)의 경간길이와 열차속도별 제한<br>- 객차내 연직방향 가속도<br>(매우양호: <1.0 m/s$^2$) | 처짐<br>가속도 | 30mm이내<br>±0.5 g | 교량-열차 상호작용 분석에 따른 승차감 기준 제시 |
| 동적 안정성 | - 고유진동수, 임계속도(공진) 검토 | 가속도 | ±1.0 g | 400km/h급 동적응답 분석 |




<그림 2-3-3-10> PSC BOX교 및 소수주형교 계측기 배치도




(a) PSC BOX교 및 소수주형교 계측기 배치도



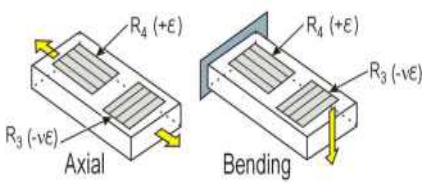
(b) Extradosed교 계측기 배치도

<그림 2-3-3-11> 교량 센서 배치도

(다) 구성장비 및 계측센서

교량모니터링의 주요 구성장비와 계측 센서는 다음과 같다.

<표 2-3-3-21> 교량 모니터링 구성장비 및 계측센서

| 장비명 | 주요사양 | 수량 | 설치 위치 | 용도 |
|---|---|---|---|---|
| <br>DAQ | - 10kS/s/ch 샘플링<br>Intel Atom Z530 1.6GHz<br>1GB RAM<br>Operating Temperature : 0 to 70℃<br>20CH | 3 | 계측점 | 데이터수집 |
| <br>Accelerometer | - Amplitude range : 5g PK<br>Resolution : 0.004g rms<br>Temperature Range : -30~80℃ | 9 | 교량 내부 | 가속도 계측 |
| <br>LASER DISPLACEMENT SENSOR | Measurement range : 0.1 m up to 30 m<br>Resolution : 0.1mm<br>Operating Temperature : -10 to 50℃ | 1 | 교량 하부 | 변위 계측 |
| <br>LVDT | - Measuring Range : 10 mm<br>- Full Bridge type | 15 | 교량 중앙부, 단부 | 변위 계측 |
| <br><br>스트레인 게이지 | R1, R2는 브릿지 회로 구성 및 온도 보상 역할<br>Full Scale -1500 ~ 1500 $\mu$strain<br>Sampling Rate : 5,000 Hz | 27 | 슬래브 | 슬래브 변형률 계측 |

(라) 시스템의 현장구축현황

현장에 구축된 교량 모니터링 시스템은 <그림 2-3-3-12>, <그림 2-3-3-13>과 같다.



(a) Extradosed 교량 하부 전경 (정지고가)



(b) Extradosed 교량 외부 링게이지 변위계 설치



(c) Extradosed 교량 외부 링게이지 변위계



(d) Extradosed 교량내 비젼시스템 (상행방향)



(c) Extradosed 교량내 비젼시스템(하행방향) 및 함체 설치



(d) Extradosed 교량내 비젼시스템 타겟 및 가속도계 설치

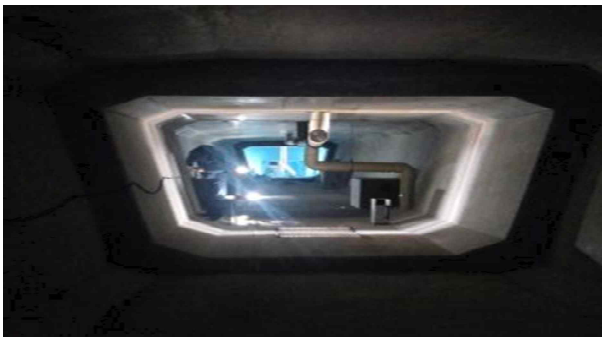


(e) ED교 자문회의 등을 통해 최종보완 후 외부 전경



(h) 열차 주행시 자동 계측 시스템

<그림 2-3-3-12> 교량 모니터링 시스템 구축 및 검증 <정지고가 내 Extradosed교 >



(a) 연정교 내부 전기공사



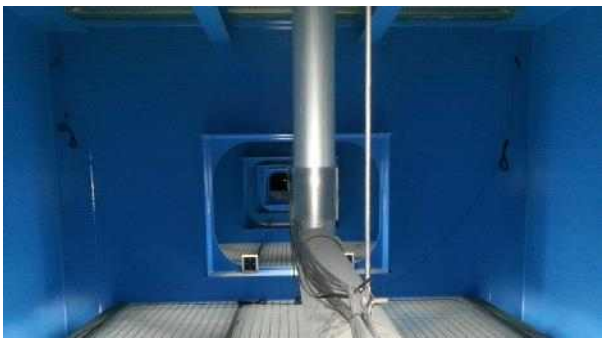
(b) PSC BOX 교량 외부 1차 링게이지 변위계 설치



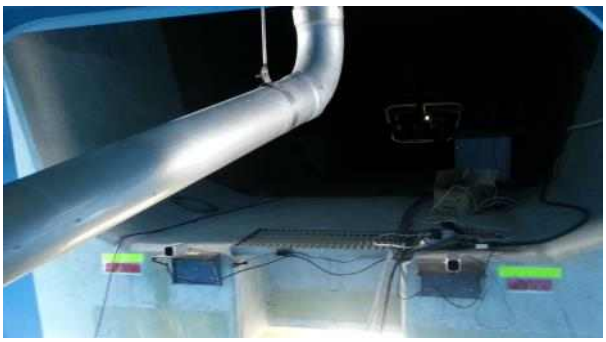
(c) PSC BOX 교량 통해 최종보완 후 외부 전경



(d) PSC BOX 교량 외 변위계 추가 설치



(e) 소수주형교 내 비젼시스템 타겟 및 가속도계



(f) 소수주형교 내부 비젼시스템 설치 (연정교)



(g) 단부사용성 검토를 위한 회전각 측정



(h) 열차 주행시 자동 계측 시스템

<그림 2-3-3-13> 교량 모니터링 시스템 구축 및 검증 <연정교 내 소수주형교>

2014년 4월 초 KTX 주행 측정 후 기술자문 등을 통해 모니터링 시스템을 보완 하였으며, 시스템 구축을 최종 완료 하였다. 측정 후 결과보고서 및 데이터에 대해 기술자문 등 전문가 검토를 수행하였다.

(5) 터널출구 미기압파

(가) 개요

터널출구 미기압파 모니터링 시스템은 테스트베드 터널 구간에 대하여 300km/h ~ 400km/h 주행시 우산터널과 회룡터널, 김제 개착박스구간에 대하여 터널 출구 미기압파의 충격성 소음/진동의 환경영향평가 모니터링 시스템을 구축하였다. 터널 입구에 열차 진입시 터널출구에서 의 미기압파를 측정 및 분석하여, 400km/h급 터널의 성능평가 및 설계기준 검증자료로써 활용할 계획이다. 2014년 4월까지 계측 시스템 준비를 완료하고, 4월부터 시운전 시험의 계획이 마련될 때마다 현장측정을 통하여 측정 및 분석을 수행하고 현재까지 시스템 안정화 및 보완을 하고 있다.

(나) 기술적 요구사항

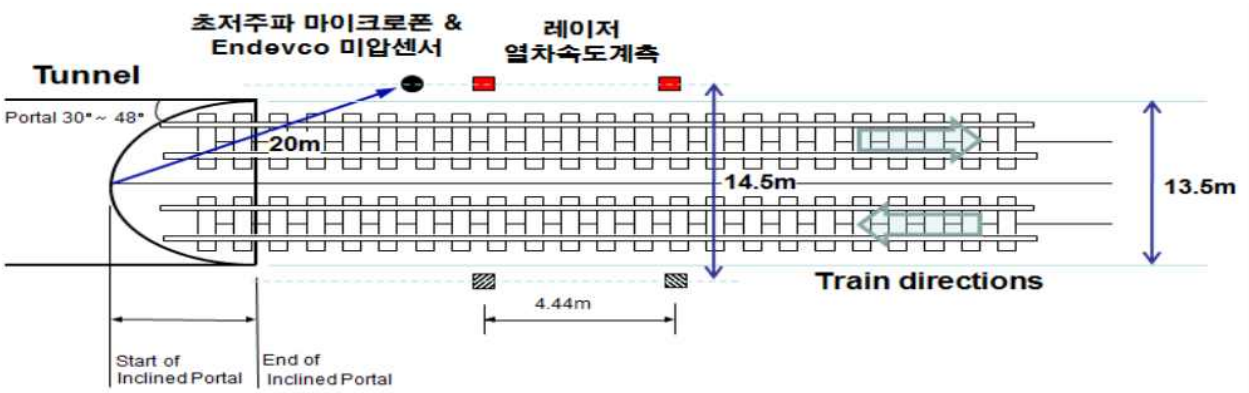
터널출구 미기압파 모니터링은 다음의 환경영향평가 항목[미기압파(충격성 소음/진동)의 피크값]을 평가하기 위하여 시스템을 구축하였다.

<표 2-3-3-22> 터널 미기압파 모니터링 환경영향평가 항목

| 구 분 | 평가항목 | 현행 국제기준 | 계측항목 | 계측센서 | 계측위치 |
|---|---|---|---|---|---|
| 터널출구 미기압파 환경영향 평가 | 미기압파 피크값 | 터널출구 20m에서 50Pa 이하일 것 | 초저주파 음압 | 초저주파 음압센서 | 터널출구 외부 20m 거리의 레일상면 1.2m |

(다) 현장 모니터링 시스템의 설치

터널출구 미기압파 모니터링 시스템은 회룡터널 종점(STA122km130)에 다음과 같이 계측기가 배치되었다.




<그림 2-3-3-14> 회룡터널 종점 외부의 계측기 배치도

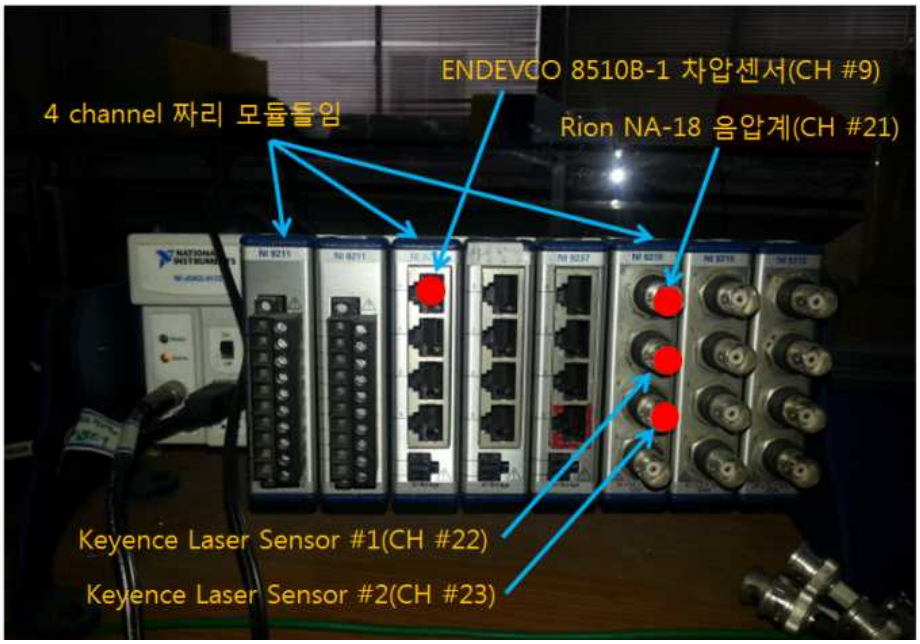
### (라) 구성장비 및 계측센서

터널출구 미기압파 모니터링의 주요구성장비와 계측센서는 다음과 같다.

<표 2-3-3-23> 터널출구 미기압파 모니터링의 주요구성장비와 계측센서

| 번호 | 장비명 | 주요사양 | 수량 | 용도 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 열차모델 주행시험기 | - 최고속도 470km/h<br>- 2량1편성 ~ 10량1편성 가능<br>- 1:60 축척시험기<br>- Air-gun 발사장치<br>(Max. 60bar)<br>- 댐핑 제동장치 | 1 | - 현장시험 예비시험장치<br>- 터널 미기압파 환경영향평가<br>- 터널 미기압파 저감 후드 개발 및 성능검증<br>- 터널내 압력변동 시험평가<br>- 열차모델 공력저항 시험평가<br>- 자체설계 및 제작(독자모델) |
| 2 | 미기압파 계측 데이터 처리 시스템 | - Desktop Computer<br>· Window XP<br>- LabVIEW 프로그램<br>- Data Acquisition Board<br>· NI DAQ 9172 Chassis<br>· NI 9237 Module<br>· NI 9215 Module | 1<br><br>1<br>2 | - 실험데이터 처리 H/W<br><br>- 실험데이터 처리 S/W<br>- A/D Converter<br>- National Instruments사 제품 |
| 3 | 미기압파 계측 미압센서 | - 미세압력 센서(차압센서)<br>· ENDEVCO 8510B-1<br>(Range: 1 PSI, 2PSI) | 6 | - 터널내 압력변동 및 미기압파 계측<br>- 미국 ENDEVCO사 제품 |
| 4 | 미기압파 계측 전용 초저주파 음압계 | - Rion NA-18 음압계<br>· 초저주파 음압계(0.2Hz이상)<br>· 1/3 Octave analysis<br>· Range: 100 ~ 140 dB<br>120 ~ 160 dB<br>- Rion NL-62 음압계<br>· 일반 음압계<br>· 1Hz~20kHz<br>- 높이 2m급 Tripod set | 1<br><br><br><br><br>2<br><br>1 | 터널 미기압파 계측전용장비<br>- Reference sensor<br>- 측정범위: 02Hz ~ 1000Hz<br>- 일본 RION사 제품<br><br><br>전체소음 계측(1Hz ~ 20kHz)<br>- 일본 RION사 제품 |
| 5 | 레이저센서 | - LV-H67 Laser sensor<br>- LV-21A Amp<br>· Range : 20~30 m<br>· Response time:<br>· Fine mode 80 $\mu$sec<br>· Turbo mode 500 $\mu$sec<br>· Super mode 4 ms<br>레이저 반사판<br>높이 1.5m급 Tripod set | 6<br>6<br><br><br><br><br><br>2<br>4 | 열차모델 위치검지 및 속도 측정<br>- 일본 KEYENCE사 제품 |
| 6 | 와전류 센서 | KD-2306 Gap Sensor System<br>- 2CU Sensor<br>- KD-2306 driver(AMP)<br>- Target Material: Aluminium | 5 | 열차모델 속도 및 가속도 측정<br>- 표준 계측장비로 활용<br>- 미국 Karman사 제품 |
| 7 | TruSense 열차속도 측정 시스템 | TruSense 속도측정 시스템<br>- TruSense T100<br>- TruSense T200<br>- Flat Mounting Surface (750mm)<br>- Beam Spreder<br>- 듀얼 센싱 구동 프로그램<br>- 메인 컨트롤러<br>- 대중량 Tripod set | 1 | 터널입구 진입 열차속도 정밀계측<br>- 직접반사 광폭 레이저센서 시스템<br>- 미국 Laser Technology사 제품 |

NI cDAQ 9172 A/D 컨버터(노트북과 USB 연결, 8-Slot Ethernet Chassis)




<그림 2-3-3-15> 현장시험에 사용된 A/D 컨버터의 슬롯구성

(마) 시스템의 현장구축현황

현장에 구축된 터널출구 미기압파 모니터링 시스템은 아래 그림과 같다.



<그림 2-3-3-16> 터널 미기압파 모니터링 시스템 구축 및 검증(회룡터널 종점)

## 나. 선로구축물 증속시험데이터 구축 및 분석

### (1) 개 요

#### (가) 측정목적

선로구축물 분야의 연구목적은 고속선에서 속도증속에 따라 궤도, 노반, 교량 터널 미기압파 등 의 속도-거동의 상관성을 평가하여 주행 시 안전성을 확보하고 속도-거동 상관성을 규명하는 것이다. 이를 위하여 호남고속선 테스트베드구간(오.기 98k~120k구간)에서 고속열차(호남-산천 KTX, HEMU-430X) 차량의 시험주행시 측정데이터를 분석하며 열차의 속도증가에 따른 궤도/노반 핵심요소의 특성변화를 파악하고 속도와 상관관계가 있는 설계기준(안)을 제시하고 검증하게 된다.

선로구축물 모니터링은 궤도, 노반, 교량, 터널출구 미기압파에 대해서 수행된다. 궤도 모니터링은 원곡선(98k815), 직선구간(109k231), 분기기구간(131k940) 총 3개소에 구축되는데 각각 변형률계, 가속도계, 변위계 등을 설치한다. 2014년 4월 16일~24일 시행된 호남고속철도(익산-정읍)구간 시설물 검증시험시에는 아직 분기기구간 개통이 이루어지지 않아 분기기구간 모니터링을 이루어지지 않았다. 인프라  노반 모니터링은 토공 노반을 대표할 수 있는 표준성토노반(109k231), 연약지반노반(110k000), 접속부노반(120k650) 3개소를 구축한다. 측정항목은 원지반과 노반의 층별 침하, 압력, 가속도, 수압, 함수비 등이다. 접속부노반(120k650)은 궤도/노반의 상호영향을 분석하기 위하여 윤중, 횡압, 레일 수직·수직 변위 및 응력 등을 측정하였다. 교량모니터링은 교량구조를 대표하는 PSC 거더교(118k623), 강합성 소수주형교(118k553),  Extradosed교(65k388)에 3개소를 구축하고 변위 및 가속도 센서를 설치하고 측정하였다. 터널 출구 미기압파 모니터링은 우산터널 시점, 회룡터널 시점의 2개소를 대상으로 시운전시험 계획이 마련될 때마다 초저주파 음압센서와 열차주행 속도계측시스템을 설치하여 측정하였다.

#### (나) 측정 대상 및 범위

선로구축물 분야의 측정대상과 범위는 <표 2-3-3-24>과 같다. <표 2-3-3-25>는 선로구축물 분야의 측정 대상에 대한 성능평가 항목, 관련기준을 제시한 표이다.

<표 2-3-3-24> 측정대상 및 범위

| 분야 | 구분 | K.P | 측정지점 | 위치 |
|---|---|---|---|---|
| 선로구축물 분야 | 궤도 | 98k815 | 원곡선 구간 | 전북 김제시 공덕면 황산리 62-8 |
| | | 109k231 | 직선 구간 | 전북 김제시 오정동 61-16 |
| | | 131k 940 | 분기기 구간 | 전북 정읍시 정읍역내 |
| | 교량 | 65k388 | Extradosed교 | 충남 논산시 강경읍 |
| | | 118k577 | 소수주형교 | 전북 정읍시 신태인읍 백산리 1005-2 |
| | | 119k102 | PSC Box교 | 전북 정읍시 신태인읍 백산리 1005-2 |
| | 노반 | 109k231 | 표준노반 | 전북 김제시 오정동 61-16 |
| | | 110k000 | 연약지반 | 전북 김제시 월성동 54 |
| | | 120k650 | 교대 접속부 | 전북 정읍시 정우면 산북리 183 |
| | 터널 미기압파 | 122k130 | 회룡터널 종점 | 전북 정읍시 정우면 회룡리 산69-5 |
| | | 125k120 | 우산터널 종점 | 전북 정읍시 정우면 |
| | | 103k560 | 김제개착박스 시점 | 전북 김제시 상동동 38-11번지 |

<표 2-3-3-25> 현장측정내용과 설계기준 최종도출결과

| 구 분 | | 연구내용 | 모니터링위치(K.P),성능평가항목 | 관련지침(안) 연계내용 |
|---|---|---|---|---|
| 현장측정실측검증 | 노반분야 | - 400km/h급 노반 모니터링 시스템 현장 구축/측정DB분석,기준도출<br>• 표준노반, 연약지반, 교대 접속부노반 | • 표준노반(109K231)<br>- 탄성, 소성 침하량/ 허용노반압력 | - 노반 허용 노반압력 기준제시<br>- 탄성침하량/ 허용소성 침하량 |
| | | | • 연약지반(110K000)<br>- 압밀도, 잔류 침하량, 소성 침하량<br>- 연약지반개량 효과, 지반진동평가 | - 허용소성침하량 기준<br>- 장기적 계측을 통한 원지반 요구조건 현행기준 검증 |
| | | | • 교대접속부 노반(120K650)<br>- 강성차에 따른 하중변화평가 | - 충격계수 통계적 분석 및 지지강성, 하중변화 최적설계(안) |
| | 궤도분야 | - 400km/h급 궤도 모니터링 시스템 현장 구축/측정DB분석,기준도출<br>• 직선, 곡선, 분기기구간 | • 궤도(직선 109k231)<br>• 곡선(98k815)<br>- 궤도작용력평가(레일응력, 윤하중, 횡하중,윤중감소율,레일변위,슬래브변위) | - 하중분석을 동한 동적 설계 충격계수 도출식 산정<br>- 궤도열차하중, 속도 및 거동(응력, 변위)상관그래프제시 |
| | 교량분야 | - 400km/h급 교량 모니터링 시스템 현장 구축/측정DB분석,기준도출<br>•PSCBOX,Extradosed교 | • 교량(65k388, 118k577, 119k102)<br>- 교량변위기준(속도별/경간별 변화)<br>- 교량 주행안정성 및 승차감 확보를 위한 교량설계기준 | - 교량구조 적정설계변위 제시(속도별/경간별 변화)<br>- 교량현장측정기준 검증<br>- 단부사용성 검토를 위한 충격하중식 |
| | 터널분야 | - 400km/h급 터널 미기압파 모니터링 시스템 현장구축/측정DB분석,기준도출<br>•산악터널 | • 터널(121k550, 124k790)<br>- 터널 미기압파 허용기준 | - 터널 미기압파 허용기준 제시 |
| ※ Test-Bed 측정DB분석 → 증속 고려한 노반, 궤도, 교량, 터널 내공단면적의 400km/h 급 최적설계(안)제시 | | | | |

(다) 측정기간 및 기상상태

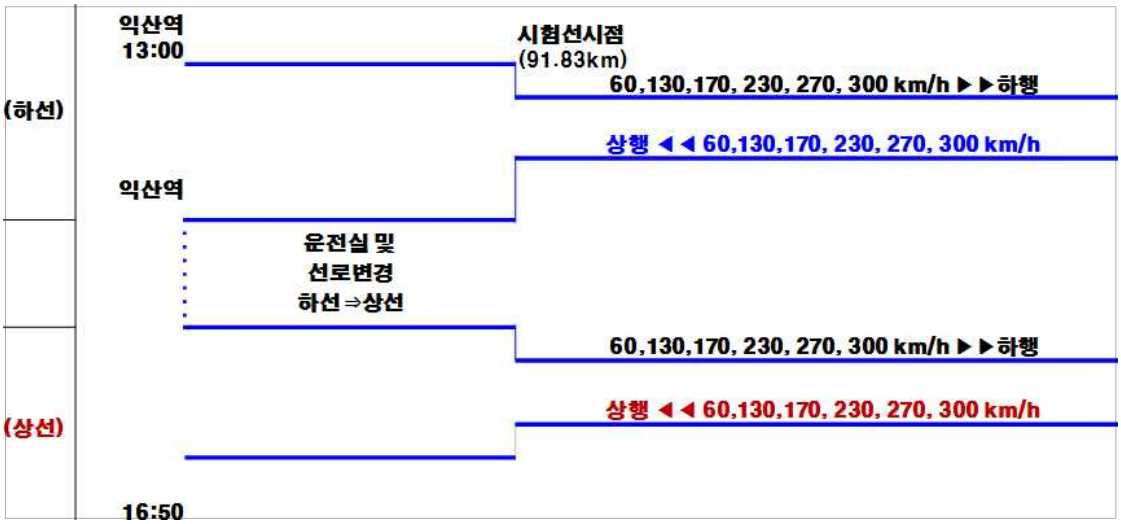
1차 측정 및 보완 측정을 수행한 기간과 측정당시 기상 상태는 <표 2-3-3-26>과 같다.

<표 2-3-3-26> 인프라 1차 측정 및 보완 측정 기간 및 기상상태

| 측정항목 | 측정기간 | 기상상태 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 궤도 | 2014.04.16~17 | 20.2~21.8℃,<br>16일 맑음, 17일 강우량 17.5mm | 기상청 부안(관) 기준 측정시간을 감안하여 최고온도 선택 |
| | 2014.04.23~24 | 22.2~26.1℃, 맑음 | |
| | 2014.06.12 | 20.5~24.7℃, 강우량 0.3mm | |
| 노반 | 2014.04.16~17 | 온도 20.2℃, 강우량 2.5mm | 기상청 부안(관) 기준 측정시간을 감안하여 최고온도 선택 |
| | 2014.04.23~24 | 온도 22.2℃, 맑음 | |
| | 2014.08.28 | 온도 23.8℃, 맑음 | |
| | 2014.12.03 | 온도 2.9℃, 강우량 3.2mm/h | |
| | 2014.12.12 | 온도 0.6℃, 강우량 1.5mm/h | |
| | 2015.01.23 | 온도 2.6℃, 맑음 | |
| | 2015.02.01 | 온도 -1℃, 맑음 | |
| | 2015.02.08 | 온도 -1℃, 맑음 | |
| | 2015.03.08 | 온도 6.3℃, 맑음 | |
| | 2015.03.15 | 온도 18.7℃, 맑음 | |
| 교량 | 2014.04.16~17 | 20.7~23.5℃,<br>16일 맑음, 17일 강우량 21.0mm | 기상청 정읍(기) 기준 측정시간을 감안하여 최고온도 선택 |
| | 2014.04.23~24 | 24.8~26.6℃, 맑음 | |
| | 2014.06.12 | 21.4~27.3℃, 맑음 | |
| 터널<br>미기압파 | 2014.04.23.<br>~2014.04.24 | 24.8~26.6℃, 맑음 | 기상청 정읍(기) 기준 측정시간을 감안하여 최고온도 선택 |
| | 2014.11.03.<br>~2015.03.15 | 11~12월 1.2~4.5℃ 많은 눈<br>1~2월 2.4~11.5℃ 맑음<br>3월 11.4~16.5℃ 맑음 | |

(라) 열차운행속도

측정 대상 차량은 2014년 4월 16일, 17일, 23일, 24일에 운행 속도는 60~300 km/h 속도로 익산-정읍 사이에서 운행하였고 상행구간 주행 시 측정을 수행하였다.




<그림 2-3-3-17> 시설물 측정시험 중 열차속도

아래 표는 측정 기간별 열차 속도 및 대상 열차를 정리한 표이다.

<표 2-3-3-27> 열차 속도 및 대상열차

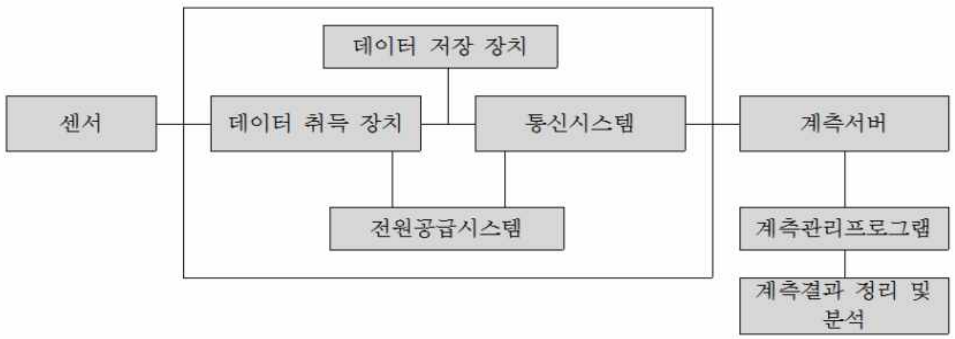
| 측정기간 | 대상열차 | 최대속도 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 2014.04.16~17 | KTX 호남 | 300 km/h | 예비시험계측 |
| 2014.04.23~24 | KTX 호남 | 300 km/h | 예비시험계측 |
| 2014.08.28 | HEMU 430X | 305 km/h | |
| 2014.12.03 | HEMU 430X | 340 km/h | |
| 2014.12.12 | HEMU 430X | 357 km/h | |
| 2015.01.23 | HEMU 430X | 362 km/h | |
| 2015.02.01 | HEMU 430X | 393 km/h | |
| 2015.02.08 | HEMU 430X | 398 km/h | |
| 2015.03.08 | HEMU 430X | 402.4km/h | |
| 2015.03.15 | HEMU 430X | 403.7 km/h | |

(2) 측정시스템 개요 및 성능평가기준

(가) 거동계측(모니터)시스템 구성개요

① 궤도 거동계측(모니터링)

모니터링의 과정은 아래의 측정 블록도와 같다. 각 센서별로 데이터 취득 장치와 연결 되어 데이터 저장을 하며, 이는 계측서버와 통신 시스템을 통하여 데이터 전송을 한다. 이 데이터를 계측관리 프로그램을 통하여 계측결과 정리 및 분석을 수행한다. 궤도 성능평가를 위해 사용된 측정 시스템은 “3절 선로구축물 거동계측(모니터링) 시스템 구축”의 궤도 모니터링 구성 장비, 계측센서의 주요사양에 제시되어 있다.

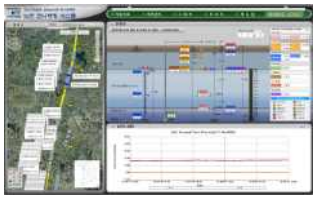



<그림 2-3-3-18> 궤도 모니터링 측정블록

② 노반 거동계측(모니터링)

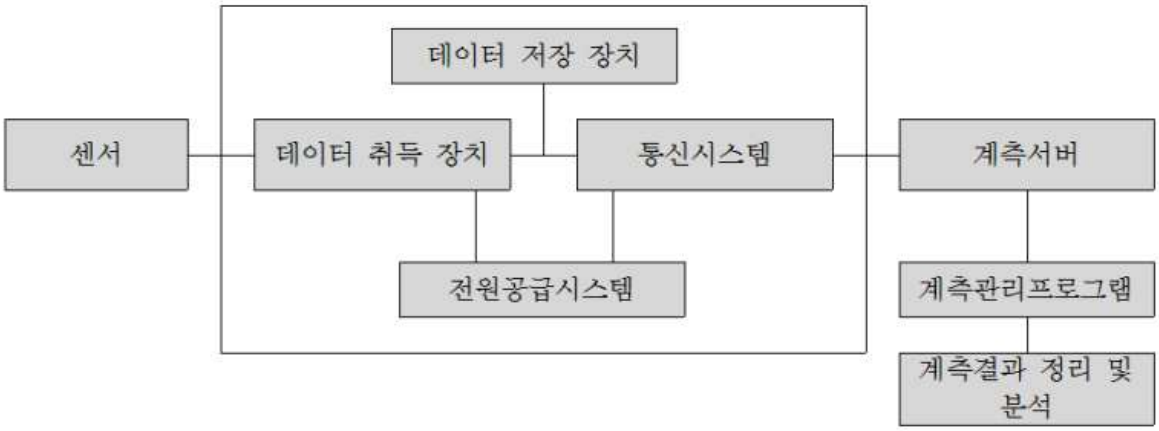
아래 표와 같이 토공 노반의 성능평가를 위해 사용된 측정 시스템은 CAMPBELLSCI사에서 제작한 CR9000X 2개, CR5000 1개, CR1000 1개, National Instrument사에서 제작한 cRIO-9025 1개를 사용하였다. 측정방식은 인터넷망을 이용한 원격 자동화 모니터링이다. 측정 즉시 데이터는 서버로 전송되어 저장되고 분석은 서버에 저장된 데이터를 이용하여 수행한다.

<표 2-3-3-28> 토공노반 분야의 위치별 수집 장치 및 통신 방식

| 측정위치 | 데이터 수집 장치 | | 통신방식 | 측정 방식 |
|---|---|---|---|---|
| | 모델명 | 수량 | | |
| 표준성토노반<br>(109k231) | CR1000<br>CR9000X | 1<br>1 | LTE 무선 인터넷<br>(SK망 사용) | 원격 자동화 모니터링<br>(측정즉시 통신을 통해 원격 서버로 저장됨. 분석은 서버에 저장된 데이터를 이용하여 수행)<br><br><http://rbm.egeit.co.kr> |
| 연약지반노반<br>(110k000) | CR1000<br>CR5000 | 1<br>1 | 유선 인터넷<br>(KT 인터넷 사용) | |
| 접속부노반<br>(120k650) | NI cRIO-9014<br>(궤도측정) | 1 | | |
| | CR1000<br>CR9000X<br>(노반측정) | 1<br>1 | | |

### ③ 교량 거동계측(모니터링)

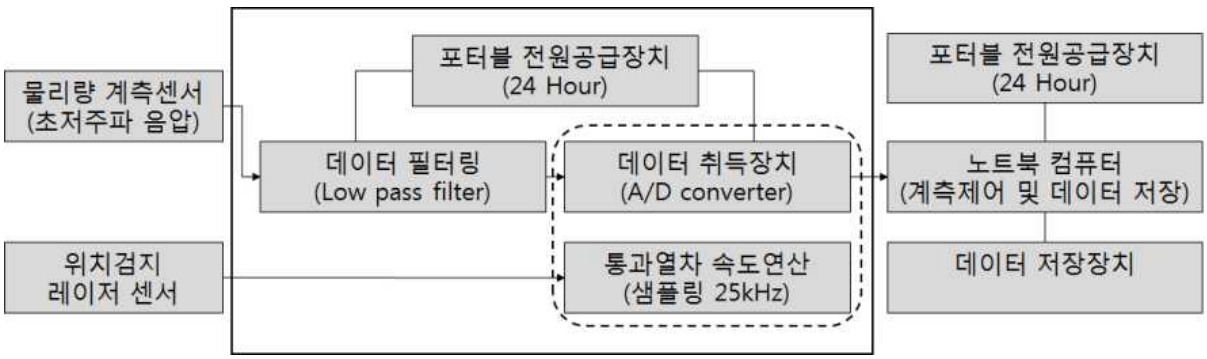
교량 모니터링의 절차는 아래의 측정 블록도와 동일하다. 각 센서 별로 데이터 취득 장치와 연결 되어 데이터 저장을 하며 이는 계측서버와 통신 시스템을 통하여 데이터 전송을 한다. 이 데이터를 계측관리 프로그램을 통하여 계측결과 정리 및 분석을 수행한다. 교량 성능평가를 위해 사용된 측정 시스템은 “제3장 인프라 성과품 및 테스트베드구축”의 교량 모니터링 구성 장비, 계측센서의 주요사양에 제시되어 있다.




<그림 2-3-3-19> 교량 모니터링 측정 블록도

### ④ 터널 출구 미기압파 거동계측(모니터링)

터널 출구 미기압파에 대한 모니터링의 과정은 아래의 측정 블록도와 같다. 각 센서 별로 데이터 취득 장치와 연결 되어 아날로그 시그널을 디지털 데이터로 변환하여 데이터를 저장한다. 이 데이터를 계측관리 프로그램을 통하여 계측결과를 정리 및 분석을 수행한다. 터널출구 미기압파 환경영향 평가를 위해 사용된 측정 시스템은 “제3장 인프라 성과품 및 테스트베드구축”의 터널 출구 미기압파 모니터링 구성 장비, 계측센서의 주요사양에 제시되어 있다.




<그림 2-3-3-20> 터널출구 미기압파 모니터링 측정블록

(나) 성능평가 기준

① 궤도

㉮ 성능평가 방법

성능평가의 방법은 아래의 그림과 같이 각 센서를 현장시험 절차에 따라 설치하고, 데이터 수집 장치(DAQ)를 이용하여 수집한 데이터를 결과를 분석, 판단하여 성능평가를 수행하고 결과 보고서를 작성한다.




<그림 2-3-3-21> 궤도 현장시험 절차

측정 보고서 및 성능평가 등에 참고된 측정 위치 및 방법관련 기준은 다음 표와 같다.

<표 2-3-3-29> 측정위치 및 방법 관련 기준

| 사양/규격번호 | 제목 | 개정일자 | 발행기관 |
|---|---|---|---|
| 내규 8119 | 철도시설성능검증지침 | 2012 | 한국철도시설공단 |
| 제2010-563호 | 철도차량 성능시험 시행지침 | 2010 | 국토해양부 |
| UIC 518 OR | Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Ride quality | 2005 | International Union of Railways |
| UIC 719 R | Earthworks and track bed for railway lines | 2008 | International Union of Railways |
| 96/48/EC | Functional and technical specifications of the domain | 2008 | Official Journal of the European Union |
| - | 철도구조물등설계표준동해설 | 2007 | 철도총합기술연구소 |
| - | 경부2단계 최고속도시험 절차서 | 2012 | 한국철도시설공단 |

(3) 결론

(가) 평가 및 고찰

① 궤도

초기 KTX 주행 4월과 6월에 걸쳐 측정과 보완측정을 실시하였다. 보완 측정은 1차 측정에서 미흡했던 사항과 문제점에 대해 수행한 조치결과의 효과를 확인하기 위한 계측이었다. 1차 계측 후, 노이즈로 인한 데이터 신뢰성에 문제가 있었던 바, 다음과 같은 조치를 취했다.

- 1종 접지공사를 하여, 전기노이즈의 유입을 최소화
- 계측 모듈 변경하여, 신호-잡음비 개선
- 후처리 필터처리 방식에 대한 대대적인 수정
- 링게이지 보강

위 사항에 대한 조치 후 보완측정에 임하였고, 보완 조치에 대한 효과를 확인하였다. 보완 조치 후, 수집된 데이터의 신호-잡음비가 10배 향상되어 궤도 윤하중, 횡하중, 레일 변위 계측 성능이 향상되었음을 확인하였고, 파손된 링게이지를 재설치하여 PSC Box 거더교의 연직처짐을 측정하였다.

HEMU 열차 운행에 따른 선로구축물거동의 계측을 위해 추가적인 보완 사항은 다음과 같다.

- 교량의 연직처짐 계측값의 신뢰성 향상을 위한 LVDT설치
- 수리가 완료된 윤중검증장비를 이용한 새로운 윤중 검증

KTX 및 HEMU430-X 측정시 호남고속철도 궤도 테스트 베드 구간에서 열차통과에 따른 궤도의 영향을 측정한 결과 이다. 운행 속도 대역은 직선의 경우 60~400 km/h, 원곡선의 경우 60~205 km/h 이다.

직선 및 원곡선궤도구간의 측정결과는 아래표에 나타내었다. 증속시험 최대허용치를 기준으로 할 때, 윤하중, 횡하중, 변위 등 모든 항목에서 안전범위 내 속하며 원곡선의 경우 열차통과속도가 205km/h이내의 저속이므로 내측 구간에서 최대값을 보이고 있으나, 300km/h의 속도에 이르게 되면 외측 궤도의 부담력이 커질 것으로 예상된다

측정 결과에 대한 통계분석 거쳐 가정된 설계기준(안)의 타당성을 검토하였으며, HEMU열차 운행시 수집된 계측결과를 반영하여 최종 결론을 도출하였다.

<표 2-3-3-30> 열차통과 궤도 측정결과

| 구 분 | | | | 윤하중 (kN) | 윤하중 감소율 | 횡하중 (kN) | 레일수직 변위(mm) | 레일수평 변위(mm) | TCL 변위(mm) | 레일응력 (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 기준값 (km/h) | | | | 200kN | 0.8 | 68kN | 3.0mm | 2.0mm | 1.0mm | 90Mpa |
| KTX 주행 측정 | 직선 구간 | 1차 | 90 | 91.17 | 0.103 | 9.52 | 0.71 | 0.32 | - | 32.99 |
| | | | 170 | 97.06 | 0.031 | 9.83 | 1.18 | 0.51 | 0.287 | 38.39 |
| | | | 270 | 113.9 | 0.113 | 17.4 | 1.18 | 0.39 | 0.347 | 48.38 |
| | | 2차 | 300 | 111.5 | 0.215 | 8.07 | 1.23 | 0.55 | 0.31 | 57.53 |
| | | | 196 | 108.600 | 0.125 | 12.780 | 1.520 | 0.468 | - | 40.500 |
| | | | 108 | 106.200 | 0.105 | 15.340 | 1.581 | 0.477 | - | 43.450 |
| | | | 248 | 107.800 | 0.197 | 12.590 | 1.539 | 0.338 | - | 40.960 |
| | 원곡선 구간 | 1차 | 62 | 107.8 | 0.166 | 11.05 | 1.166 | 0.998 | - | 36.97 |
| | | | 170 | 126.9 | 0.338 | 17.88 | 1.241 | 0.552 | 0.210 | 49.67 |
| | | | 170 | 128.2 | 0.309 | 18.95 | 1.107 | 0.645 | 0.155 | 55.76 |
| | | 2차 | 164 | 129.3 | 0.389 | 21.52 | 1.801 | 0.952 | 0.048 | 64.44 |
| | | | 90 | 91.170 | 0.103 | 16.770 | 0.705 | 0.320 | - | 32.990 |
| | | | 59 | 92.300 | 0.110 | 27.120 | 1.460 | 0.840 | 0.035 | 47.880 |
| | | | 164 | 117.700 | 0.136 | 20.960 | 1.410 | 0.754 | 0.036 | 49.800 |
| HEMU 430-X 주행 측정 | 직선 구간 | 1차 | 60 | 77.963 | 0.240 | 6.947 | 0.718 | 0.230 | 0.024 | 36.010 |
| | | | 268 | 79.930 | 0.340 | 10.530 | 0.892 | 0.320 | 0.063 | 35.770 |
| | | | 292.5 | 79.600 | 0.444 | 10.470 | 0.875 | 0.332 | 0.100 | 34.710 |
| | | 2차 | 290 | 83.300 | 0.444 | 5.325 | 0.988 | 0.322 | 0.100 | 34.710 |
| | | | 261 | 84.500 | 0.340 | 4.954 | 0.983 | 0.353 | 0.084 | 34.170 |
| | | 3차 | 283 | 73.110 | 0.315 | 3.726 | 1.048 | 0.300 | 0.171 | 31.910 |
| | | | 355 | 85.110 | 0.379 | 15.890 | 1.173 | 0.638 | 0.438 | 43.460 |
| | | | 370 | 81.780 | 0.316 | 19.910 | 1.298 | 0.281 | 0.453 | 41.660 |
| | | 4차 | 344 | 85.400 | 0.305 | 6.221 | 1.055 | 0.381 | 0.143 | 31.300 |
| | | | 392 | 79.890 | 0.343 | 10.300 | 1.096 | 0.454 | 0.158 | 37.600 |
| | | | 396 | 86.090 | 0.437 | 9.706 | 1.198 | 0.413 | 0.215 | 36.990 |
| | | 5차 | 394 | 102.400 | 0.146 | 13.740 | 1.204 | 0.517 | 0.541 | 37.760 |
| | | | 394 | 102.200 | 0.395 | 14.320 | 1.271 | 0.478 | 0.203 | 38.450 |
| | | 6차 | 398 | 107.900 | 0.272 | 11.370 | 1.458 | 0.419 | 0.215 | 38.830 |
| | | | 403 | 101.700 | 0.234 | 10.600 | 1.497 | 0.579 | 0.278 | 35.790 |
| | | | 395 | 102.300 | 0.265 | 13.310 | 1.243 | 0.478 | 0.193 | 34.010 |
| HEMU 430-X 주행 측정 | 직선 구간 | 7차 | 404 | 113.700 | 0.289 | 13.690 | 1.336 | 0.485 | 0.215 | 39.780 |
| | | | 378 | 108.200 | 0.340 | 12.750 | 1.254 | 0.426 | 0.267 | 35.880 |
| | | 8차 | 377 | 89.070 | 0.184 | 8.526 | 1.095 | 0.503 | 0.129 | 38.020 |
| | | | 376 | 89.570 | 0.213 | 10.430 | 1.292 | 0.416 | 0.167 | 38.710 |
| | 원곡선 구간 | 1차 | 145 | 104.600 | 0.067 | 9.826 | 1.012 | 0.339 | - | 45.480 |
| | | | 164 | 106.200 | 0.123 | 10.050 | 1.015 | 0.336 | - | 45.370 |
| | | | 170 | 105.000 | 0.274 | 8.997 | 1.080 | 0.325 | - | 44.830 |
| | | 2차 | 120 | 96.870 | 0.240 | 8.886 | 1.040 | 0.353 | 0.067 | 39.300 |
| | | | 120 | 97.060 | 0.182 | 11.200 | 1.060 | 0.381 | 0.061 | 39.000 |
| | | 3차 | 158 | 105.900 | 0.385 | 11.700 | 1.050 | 0.371 | 0.099 | 45.300 |
| | | | 161 | 106.200 | 0.372 | 11.010 | 1.063 | 0.396 | 0.104 | 44.820 |
| | | | 174 | 103.900 | 0.358 | 15.240 | 1.008 | 0.363 | 0.095 | 45.620 |
| | | 4차 | 166 | 108.100 | 0.348 | 12.240 | 1.070 | 0.308 | 0.070 | 47.140 |
| | | | 168 | 106.600 | 0.405 | 11.200 | 1.087 | 0.316 | 0.068 | 44.280 |
| | | | 167 | 110.800 | 0.374 | 12.030 | 1.096 | 0.324 | 0.056 | 48.050 |
| | | 5차 | 145 | 106.000 | 0.361 | 13.300 | 1.082 | 0.332 | 0.048 | 41.700 |
| | | | 177 | 106.800 | 0.375 | 17.220 | 1.063 | 0.414 | 0.071 | 41.430 |
| | | 6차 | 204 | 104.200 | 0.431 | 14.300 | 1.025 | 0.452 | 0.098 | 44.140 |
| | | | 145 | 111.800 | 0.397 | 10.610 | 1.091 | 0.372 | 0.063 | 43.200 |
| | | | 155 | 108.900 | 0.422 | 13.940 | 1.091 | 0.372 | 0.063 | 41.200 |
| | | 7차 | 170 | 105.500 | 0.344 | 11.230 | 1.030 | 0.318 | 0.077 | 45.980 |
| | | | 164 | 110.900 | 0.349 | 11.520 | 1.026 | 0.338 | 0.066 | 47.300 |
| | | 8차 | 165 | 105.100 | 0.345 | 12.980 | 1.038 | 0.441 | 0.075 | 46.870 |
| | | | 169 | 102.900 | 0.329 | 12.850 | 1.015 | 0.423 | 0.068 | 45.730 |

<표 2-3-3-31> 주요 측정값과 측정결과 기준값 비율

| 구 분 | | 측정항목 | 기준값 | | 측정 최대값 | 측정최대값/기준값 대비 비율(%) | 기준값 이내 판정여부 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KTX 주행 측정 | 직선구간 (KP.109K231) | 윤하중 (kN) | 200 | | 113.900 | 56.950 | 기준 이내 |
| | | 횡하중 (kN) | 68 | | 17.400 | 25.590 | 기준 이내 |
| | | 레일수직변위(㎜) | 3 | | 1.581 | 52.700 | 기준 이내 |
| | | 레일수평변위(㎜) | 2 | | 0.477 | 23.850 | 기준 이내 |
| | | 레일저부응력(Mpa) | 90 | | 57.530 | 63.920 | 기준 이내 |
| | 곡선구간 (KP.98K815) | 윤하중 (kN) | 200 | | 128.200 | 64.100 | 기준 이내 |
| | | 횡하중 (kN) | 68 | | 18.950 | 27.870 | 기준 이내 |
| | | 레일수직변위(㎜) | 3 | | 1.460 | 48.670 | 기준 이내 |
| | | 레일수평변위(㎜) | 2 | | 0.840 | 42.000 | 기준 이내 |
| | | 레일저부응력(Mpa) | 90 | | 49.800 | 55.330 | 기준 이내 |
| HEMU 430-X 주행 측정 | 직선구간 (KP.109K231) | 윤하중 (kN) | 200 | | 113.70 | 56.850 | 기준 이내 |
| | | 횡하중 (kN) | 68 | | 22.380 | 32.912 | 기준 이내 |
| | | 레일수직변위(㎜) | 3 | | 1.497 | 49.900 | 기준 이내 |
| | | 레일수평변위(㎜) | 2 | | 0.644 | 32.200 | 기준 이내 |
| | | 레일저부응력(Mpa) | 90 | | 43.460 | 48.289 | 기준 이내 |
| | | TCL 수직변위(mm) | 2 | | 0.541 | 27.050 | 기준 이내 |
| | | HSB 수직변위(mm) | 1 | | 0.091 | 9.100 | 기준 이내 |
| | 곡선구간 (KP.98K815) | 윤하중 (kN) | 200 | 내측 | 111.800 | 55.900 | 기준 이내 |
| | | | | 외측 | 79.590 | 39.795 | |
| | | 횡하중 (kN) | 68 | 내측 | 11.330 | 16.662 | 기준 이내 |
| | | | | 외측 | 19.130 | 28.132 | |
| | | 레일수직변위(㎜) | 3 | 내측 | 1.098 | 36.600 | 기준 이내 |
| | | | | 외측 | 1.049 | 34.967 | |
| | | 레일수평변위(㎜) | 2 | 내측 | 0.482 | 24.100 | 기준 이내 |
| | | | | 외측 | 0.452 | 22.600 | |
| | | 레일저부응력(Mpa) | 90 | 내측 | 34.430 | 38.256 | 기준 이내 |
| | | | | 외측 | 48.050 | 53.389 | |
| | | TCL 수직변위(mm) | 2 | 내측 | 0.098 | 4.900 | 기준 이내 |
| | | | | 외측 | 0.077 | 3.850 | |

HEMU430-X 주행시 직선구간의 경우 분석결과 증속에 따라 기울기의 차이는 발생하더라도 모든 측정항목에서 증가하는 경향을 타나낸다. 또한 증속에 따른 측정결과의 최대값을 검토하여 60~410 km/h 주행시 결과를 분석해 보면, 300km/h 이하의 KTX운행시와 유사한 결과를 보였다. 이는 170 kN의 축하중을 갖는 KTX와 150 kN의 HEMU430-X 축하중의 차이가 원인으로 보이며, 추가적인 증속시 궤도 및 슬래브에 문제가 없을 것으로 보인다. 원곡선의 경우 HEMU430-X 는 곡선반경이 R 7,000 m, 150mm 의 설정캔트로 인하여 내외측으로 구분하여 분석하였다. 약 200 km/h 이하의 주행 속도로 인하여 내측이 외측에 비하여 큰 윤하중 결과를 보였지만, 원심력 등의 원인으로 횡하중, 레일수평변위 및 레일응력은 증속에 따라 외측에서 증가하며, 결과 또한 내측에 비하여 큰 값을 보였다. 이는 이론적인 구조계산의 원리와 유사하며, 모든 결과 대해서 기준값 이내의 거동을 보였다.

② 노반

노반 시설물별 성능 평가를 종합하면 다음과 같다. 노반 시설물의 성능 평가 항목별 최대 측정치 및 비율를 나타낸 것이다. 열차 속도가 증가함에 따라 하중과 변위의 변동 폭은 크지 않았으나, 진동가속도 및 진동 속도는 증가 경향이 뚜렷하였다.

결론적으로는 모든 노반 성능 평가항목에 대하여 기준치 이내에로 측정되었기 때문에 토공 노반의 400km/h 이하 속도 대역에서 안정성은 확보 된 것으로 판단된다.

다만, 향후 노반 잔류 침하로 인하여 궤도 평탄성 저하, 처짐 및 틀림이 발생 될 경우 탄성변위, 노반압력, 지반진동에 악영향을 줄 수 있기 때문에 침하가 수렴되기까지 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 보인다.

측정기간 동안의 장기거동은 침하의 경우 지하수위 하강으로 인하여 침하가 발생한 것으로 보인다. 연약지반노반(110k000)에서 지하수위 하강에 따라 침하가 발생하였다. 지하수위 1m 하강에 따라 최대 침하속도는 0.372 mm/m 였다. 테스트베드 구간내의 침하는 일부개소가 절대 기준치를 초과하는 개소가 있으나 종단선형을 고려한 기준치 60mm를 초과하는 개소는 없었다. 강우에 따른 강화노반의 함수비 변화는 거의 없었으며, 강화노반 지중 온도 범위는 측정기간동안 1.4~29.11℃ 였다.

<표 2-3-3-32> 노반 시설물별 성능 평가

| 평가 항목 | 단위 | 기준치 (참고치) | 표준성토노반 (109k231) | | 연약지반노반 (110k000) | | 접속부노반 (120k650) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대값 | 비율 | 최대값 | 비율 | 최대값 | 비율 |
| 노반압력 (강화노반) | kPa | 133.0 | 12.865 | 9.7% | 18.316 | 13.8% | 9.390 | 7.1% |
| 탄성변위 | mm | 1 | 0.182 | 18.2% | 0.246 | 24.6% | 0.163 | 16.3% |
| 진동가속도 | $m/s^2$ | (9.8) | 3.401 | 34.7% | - | - | 4.166 | 42.5% |
| 진동속도 | cm/s | 5 | 1.212 | 24.2% | 1.734 | 34.7% | 0.716 | 14.3% |
| 윤하중 | kN | 200 | - | - | - | - | 89.260 | 44.6% |
| 윤하중감소율 | 0.8 | 0.8 | - | - | - | - | 0.643 | 80.4% |
| 횡하중 | kN | 68 | - | - | - | - | 43.524 | 64.0% |
| 레일응력 | MPa | 90 | - | - | - | - | 33.577 | 37.3% |
| 레일수직변위 | mm | 3 | - | - | - | - | 1.704 | 56.8% |
| 레일수평변위 | mm | 2 | - | - | - | - | 0.767 | 38.3% |
| 레일가속도 | $m/s^2$ | - | | | | | 1212.103 | - |
| 접속부 부등침하 | mm | 5 | - | - | - | - | 0.041 | 0.8% |
| 접속부 꺽임각 | mm/m | 1 | - | - | - | - | 0.001 | 0.1% |
| TCL 휨응력 | MPa | 0.87 | - | - | - | - | 0.488 | 56.1% |
| TCL 가속도 | $m/s^2$ | - | - | - | - | - | 17.351 | - |
| 어프로치슬래브 휨응력 | MPa | 1.6 | | | | | 0.588 | 36.8% |
| 전단키 | MPa | 1.6 | | | | | 0.126 | 7.9% |
| 잔류침하 | mm | 25 | 4.4 | 17.7% | 5.340 | 21.4% | 4.940 | 19.7% |
| 함수비 | % | - | 2.3~2.7 | - | - | - | 4.533 | - |
| 간극수압 | kPa | - | 8.3~32.7 | - | - | - | - | - |
| 지하수위 | EL.m | - | 99.5~106.9 | - | - | - | - | - |

③ 교량

호남고속철도 테스트 베드 구간 중 교량 2개소에 대하여 열차 동적 응답 측정을 KTX (97~300 km/h)와 HEMU430-X (58~410 km/h) 속도 대역에서 수행하였다. 측정 목적은 장기모니터링 측정데이터와 열차운행시의 교량 중앙부 수직 처짐 및 교량/차량 가속도 계측을 통해 측정 데이터를 분석하여 열차 주행 시 시설물 교량의 성능평가를 승차감 측면에서 확인하기 위함이다. 이번 측정의 모니터링 위치는 교량 형식에 따라 소수주형교 (119k122, 경간장 50m), PSC BOX교 (118k553 경간장 40m) 및 Extradosed교(65k388, 경간장 80m) 등 교량 3개소에 해당한다. 각 교량별 모니터링 시스템을 현장 구축하여 열차 운행시의 교량 및 차량의 응답을 측정하였다. 측정항목은 교량 상판 연직 가속도, 차량 연직 가속도, 교량 중앙부 최대 처짐 등이다. 측정 데이터는 데이터베이스화 되어 설계기준(안) 검증 및 시설물 안정성 검증자료에 활용하였다.

<표 2-3-3-33> 열차통과 교량 측정결과

| 구분 | | 측정일자 | 통과 속도 [km/h] | 교량 중앙부 최대처짐(mm) | 상판가속도 (g) | 차량가속도 (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기준값 | | | | 22.73 mm | 0.5 g | 0.1 g |
| KTX 주행 측정 | 소수 주형 교량 | 1차 측정 2014.04.23 ~ 2014.04.24 | 97 | 1.954 | 0.047 | 0.044 |
| | | | 144 | 2.069 | 0.114 | 0.055 |
| | | | 190 | 2.120 | 0.074 | 0.107 |
| | | | 231 | 1.618 | 0.139 | 0.087 |
| | | | 290 | 1.782 | 0.162 | 0.101 |
| | | 2차 측정 2014.06.12 | 321 | 1.552 | 0.180 | 0.084 |
| | | | 238 | - | 0.125 | - |
| | | | 204 | - | 0.097 | - |
| | | | 300 | - | 0.139 | - |
| | PSC BOX 교량 | 1차 측정 2014.04.23 ~ 2014.04.24 | 기준값 | 21.05 mm | 0.5 g | 0.1 g |
| | | | 97 | 2.550 | 0.040 | 0.044 |
| | | | 144 | 1.380 | 0.047 | 0.055 |
| | | | 190 | 1.369 | 0.057 | 0.107 |
| | | | 231 | 1.680 | 0.110 | 0.087 |
| | | | 290 | 2.058 | 0.157 | 0.101 |
| | | | 321 | 2.023 | 0.149 | 0.084 |
| | | 2차 측정 2014.06.12 | 238 | 0.775 | 0.092 | - |
| | | | 204 | 0.644 | 0.089 | - |
| | | | 300 | 0.701 | 0.099 | - |
| 기준값 | | | | 22.73 mm | 0.5 g | 0.1 g |

| 구분 | | 측정일자 | 통과 속도 [km/h] | 교량 중앙부 최대처짐(mm) | 상판가속도 (g) | 차량가속도 (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HEMU 430-X 주행 측정 | 소수 주형 교량 | 1차 측정 2014.08.28 | 53 | 3.170 | 0.016 | 0.009 |
| | | | 213 | 3.080 | 0.090 | 0.030 |
| | | | 259 | 3.610 | 0.102 | 0.039 |
| | | 2차 측정 2014.12.03 | 330 | 2.774 | 0.161 | - |
| | | | 344 | 2.929 | 0.142 | 0.052 |
| | | 3차 측정 2014.12.12 | 350 | 3.099 | 0.121 | 0.052 |
| | | | 362 | 2.838 | 0.143 | 0.053 |
| | | | 373 | 2.921 | 0.167 | 0.053 |
| | | 4차 측정 2015.01.23 | 380 | 3.161 | 0.136 | 0.078 |
| | | | 384 | 3.211 | 0.171 | 0.057 |
| | | | 384 | 3.150 | 0.126 | 0.084 |
| | | | 385 | 3.034 | 0.156 | 0.074 |
| | | 5차 측정 2015.02.01 | 384 | 2.956 | 0.247 | 0.080 |
| | | | 385 | 2.987 | 0.240 | 0.067 |
| | | 6차 측정 2015.02.08 | 386 | 2.917 | 0.146 | 0.081 |
| | | | 393 | 2.828 | 0.156 | 0.076 |
| | | | 395 | 2.667 | 0.145 | 0.081 |
| | | 7차 측정 2015.03.08 | 391 | 3.083 | 0.139 | 0.076 |
| | | | 410 | 2.808 | 0.153 | 0.086 |
| | | 8차 측정 2015.03.15 | 404 | 3.199 | 0.207 | 0.064 |
| | | | 399 | 3.060 | 0.198 | 0.058 |
| HEMU 430-X 주행 측정 | PSC BOX 교량 | 1차 측정 2014.08.28 | 53 | 0.930 | 0.029 | 0.013 |
| | | | 213 | 0.920 | 0.130 | 0.030 |
| | | | 259 | 0.880 | 0.131 | 0.039 |
| | | 2차 측정 2014.12.03 | 330 | 0.803 | 0.121 | - |
| | | | 344 | 0.861 | 0.154 | 0.064 |
| | | 3차 측정 2014.12.12 | 350 | 0.868 | 0.216 | 0.048 |
| | | | 362 | 0.906 | 0.184 | 0.052 |
| | | | 373 | 0.915 | 0.251 | 0.055 |

| 구분 | | 측정일자 | 통과 속도 [km/h] | 교량 중앙부 최대처짐(mm) | 상판가속도 (g) | 차량가속도 (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HEMU 430-X 주행 측정 | PSC BOX 교량 | 4차 측정 2015.01.23 | 380 | 0.967 | 0.223 | 0.078 |
| | | | 384 | 0.943 | 0.223 | 0.060 |
| | | | 384 | 0.972 | 0.242 | 0.079 |
| | | | 385 | 0.963 | 0.241 | 0.076 |
| | | 5차 측정 2015.02.01 | 384 | 0.876 | 0.289 | 0.069 |
| | | | 385 | 0.903 | 0.226 | 0.060 |
| | | 6차 측정 2015.02.08 | 386 | 0.903 | 0.241 | 0.081 |
| | | | 393 | 0.884 | 0.202 | 0.076 |
| | | | 395 | 0.911 | 0.255 | 0.081 |
| | | 7차 측정 2015.03.08 | 391 | 0.990 | 0.293 | 0.076 |
| | | | 410 | 1.019 | 0.345 | 0.076 |
| | | 8차 측정 2015.03.15 | 404 | 1.010 | 0.362 | 0.052 |
| | | | 399 | 1.001 | 0.326 | 0.058 |
| 기준값 | | | | 36.36 mm | 0.5 g | 0.1 g |
| HEMU 430-X 주행 측정 | Extra dosed 교량 | 1차 측정 2014.11.28 | 160 | 3.300 | 0.060 | - |
| | | | 270 | 3.300 | 0.065 | - |
| | | | 230 | 3.100 | 0.082 | - |
| | | | 310 | 3.500 | 0.083 | - |
| | | | 310 | 3.400 | 0.102 | - |
| | | | 300 | 3.100 | 0.133 | - |

교량 및 차량의 측정결과는 <표 2-3-3-34>에서 제시한 바와 같이 승차감 기준에서 모두 기준치 이내로 측정되었다. 변위 계측은 비접촉 방식에 대한 신뢰성이 아직 확보되기 이전이므로, 직접 계측방식인 링게이지와 LVDT를 이용한 측정 결과를 통해 결과분석을 수행했다.

<표 2-3-3-34> 교량 시설물별 성능 평가

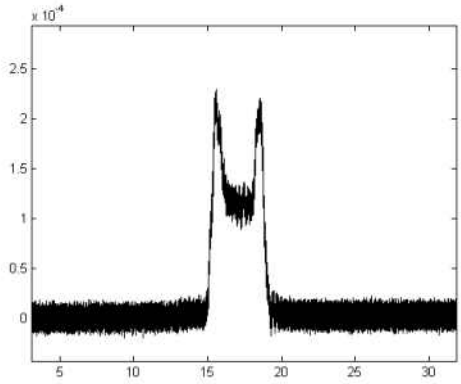
| 평가 항목 | | | 단위 | 기준치 (참고치) | 측정 최대값 | 측정최대값/기준값 대비 비율(%) | 기준값 이내 판정여부 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HEMU 430-X 주행 측정 | 소수 주형 교량 | 교량중앙 처짐변위 | mm | 22.73 | 3.600 | 15.9 | 기준 이내 |
| | | 상판 가속도 | g | 0.5 | 0.247 | 49.4 | 기준 이내 |
| | | 차량 가속도 | g | 0.1 | 0.086 | 8.6 | 기준 이내 |
| | PSC BOX 교량 | 교량중앙 처짐변위 | mm | 21.05 | 1.019 | 4.8 | 기준 이내 |
| | | 상판 가속도 | g | 0.5 | 0.345 | 69.0 | 기준 이내 |
| | | 차량 가속도 | g | 0.1* | 0.081 | 81.0 | 기준 이내 |
| | Extra dosed 교량 | 교량중앙 처짐변위 | mm | 36.36 | 3.400 | 9.4 | 기준 이내 |
| | | 상판 가속도 | g | 0.5 | 0.133 | 26.6 | 기준 이내 |

* Eurocode에서 제시하는 승차감 기준 매우 좋은 상태에 대한 기준치

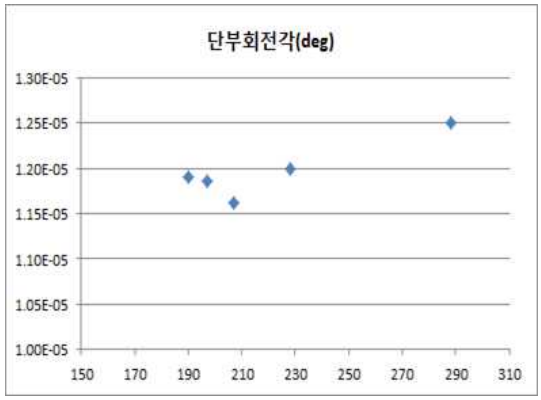
교량구간은 전체적으로 구조적 안정성 부분에 대해서는 충분한 안정성을 갖는 것으로 판단된다. 교량 처짐 및 가속도에 대해서 위 표와 같이 안전측 이내에 속함을 확인하였다. 다만, Extradosed 교량의 경우 주무 기관이 서로 달라, 시공일정 등 주무기관과의 협의 문제로 인하여 측정량이 많지 않았으며, 차량 가속도를 수집하지 못해서, 측정 데이터가 분석할 만큼의 양이 되지 못하였다.

위에 언급된 교량 동적응답에 대한 측정 항목 외에도 설계기준(안)과 연계하여 추가적으로 교량 단부에서 속도별 회전각을 계측하였다. 단부 회전각은 교량의 설계기준(안) 단부사용성 계정에 연구목적으로 이용되었으며, 이는 6절의 “열차속도증가(400kmh)에 따른 설계지침(안) 개발”에 수록하였다.

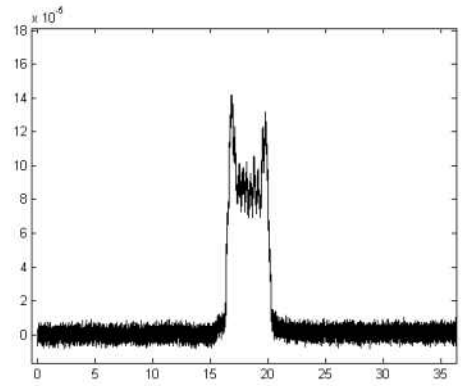
두 개의 다른 형식의 교량 모두가 증속에 따라 단부 회전각이 비례하여 증가함을 보였으며, 특히 경간장의 증가에 따라 단부회전각도 증가함을 보였다. 이를 바탕으로 수치해석과 연계하여 속도상관성에 따른 단부 사용성 검토를 위한 충격계수식(안)에 대해 연구가 진행 중이다.



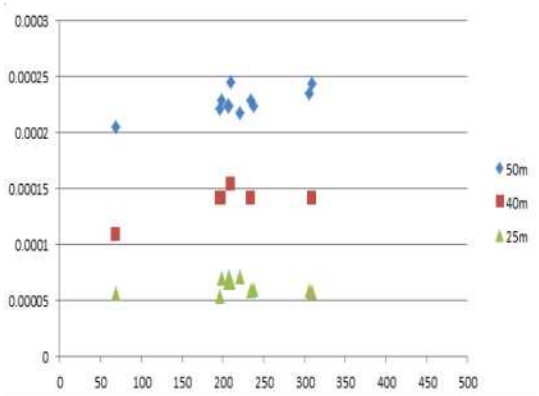

(a) 열차 주행시 소수주형교 단부 회전각




(b) 소수주형교 속도별 단부 회전각




(c) 열차 주행시 PSCBOX교 단부 회전각




(d) 통과속도별 경간장별 단부 회전각

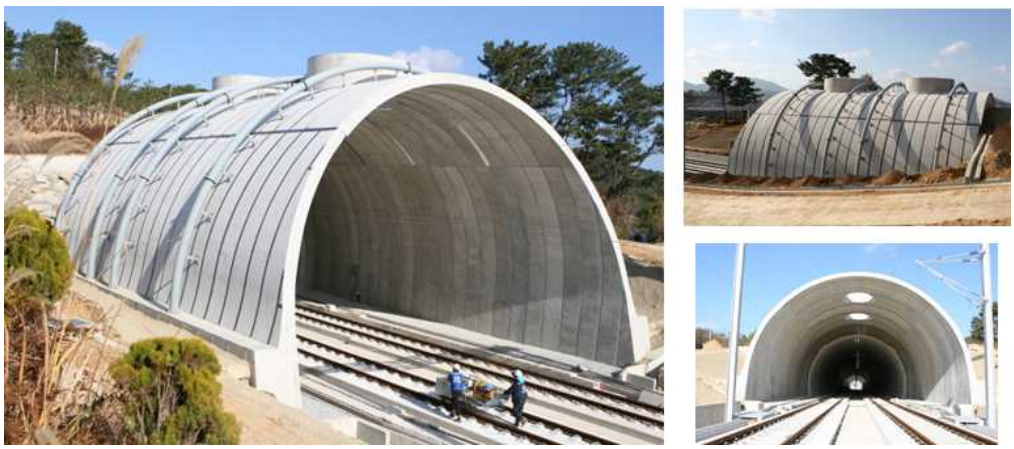
<그림 2-3-3-22> 단부 사용성 검토를 위한 단부회전각 계측결과

## ④ 미기압파

호남고속철도 증속구간에서 HEMU-430X 고속열차로 차량속도 169 km/h - 405 km/h 주행의 현장시험을 수행하였다.

비교적 짧은 터널인 회룡터널(550m) 출구 외부 20m지점에서 터널 미기압파를 측정하였는데 터널진입속도 342km/h에서 51Pa의 터널 미기압파가 방사되었다. 국제기준으로 참고하고 있는 일본기준이 터널 출구 20m지점에서 50Pa 이하로 권고하고 있는데 열차진입속도 342km/h에서 이 수치를 넘고 있다. 고속철도에서 콘크리트 궤도를 적용한 터널은 터널연장이 길어질수록 미기압파는 열차진입속도의 3승 이상으로 비례하여 크게 증가한다. 호남고속철도의 설계속도는 350km/h이므로 터널 미기압파 허용기준이 필요하다.

터널 미기압파에 대한 주파수 분석을 수행해 보면 호남고속철도의 500m급 터널은 약 15Hz 이하의 낮은 저주파에서 100dB 이상의 환경 소음 및 진동이 발생된다. 또한 0Hz ~ 0.2Hz의 초저주파에서 최고 피크 값이 형성된다.



<그림 2-3-3-23> 호남고속철도 증속구간 우산터널 미기압파 저감 후드

일본철도총합연구소의 연구결과에 따르면 터널연장 1km급 이하의 큰크리트 궤도 터널은 터널 길이에 상관없이 방출되는 터널미기압파 크기는 같다. 호남고속철도 증속구간의 우산터널에 터널 미기압파 저감 후드가 시범 설치되어 있는데, 터널 출구 미기압파를 회룡터널의 34° 경사갱문(벨-마우스 갱문)보다 약 43.2%정도 더 저감시킨다. 34° 경사갱문이 면벽형 갱문보다 약 12%정도 미기압파를 더 저감시킨다면, 터널 미기압파 저감 후드는 면벽형 갱문보다 약 55.2%의 저감성능을 가진다.

## 다. 열차속도증가에 따른 궤도/노반 단면 최적설계(안) 개발

### (1) 개 요

본 연구는 열차증속에 따라 동적으로 증가하는 하중에 따라 슬래브궤도의 속도민감 파라미터를 검토하여 설계변화요인을 도출하고 궤도-노반의 역학적인 거동을 규명하고자 한다. 이를 위하여 해석적, 시험적, 현장시험에 따른 분석을 수행하여 최종적으로는 최적설계 및 설계기준(안) 제시와 궤도-노반의 최적단면을 개발 제시하였다.

이를 위하여 연구기간 동안 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1. 국내외 고속철도 궤도노반 현황조사 및 슬래브 설계변화요인 분석
2. 속도민감 파라미터와 슬래브 설계변화요인 분석, 증속시 설계 핵심요소를 도출
3. 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 핵심설계요소의 특성변화 분석을 위한 해석 I (Odenmark 등가깊이 이론 - Eisenmann 해석법 적용)

- 충격계수로 인한 설계하중(고속철도 HL-25하중) 증가로 인한 콘크리트 궤도슬래브 각 층의 콘크리트 응력 및 노반의 응력 변화
- 레일의 거동분석

- 콘크리트 TCL층과 레일의 인터페이스 해석((레일지지점,패드물성변화,레일체결장치 하부의 도상 콘크리트층 지압응력, 매립전전단파괴 해석)

4. 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 핵심설계요소의 특성변화 분석을 위한 해석 II (FEM에 의한 해석)

- 단면변화에 따른 콘크리트 응력 및 노반의 응력 변화

5. 궤도구조의 균열해석
6. 실내시험 결과검토

- 실대형 궤도-노반시험(주요 시험결과는 실대형 시험편에 기술)

7. 현장시험

- 경부 2단계 실측결과 비교검토
- 호남고속철도 인프라시험시 TCL 매립센서 변형율측정
- 호남고속철도 TCL 외부변형율 및 균열폭(크랙게이지) 측정
- 호남고속철도 측정결과 비교검토

이러한 결과를 바탕으로 최적설계 및 설계기준(안)을 제시하였다.

### (2) 열차속도와 궤도노반/PCL층 두께 상관성 분석

#### (가) 속도민감 파라미터와 슬래브 설계변화요인

##### ① 궤도·노반 설계변화 요인 검토 항목

궤도·노반 설계변화 요인은 궤도 슬래브의 응력과 노반은 강화노반 하부의 상부노반 응력을 검토하였다. SYSTEM Ⅰ은 층 1와 층 2 사이에 결합이 이루어지지 않았으며 지지 슬래브, “결합되지 않은” HGT층, 탄성 기초로 이루어진 3층 시스템에서의 휨변형 계산을 수행한다. SYSTEM Ⅱ은, "결합된" HGT층, 탄성 기초로 이루어진 3층 시스템에서의 휨변형율을 계산한다. 관련 그림은 <그림 3.5.36>에 도시되어있다. 콘크리트궤도의 안전성 검토를 위해 국내 철도설계편람(궤도편)의 슬래브 및 기층의 허용응력 검토 기준에 따라 콘크리트궤도의 비결합상태와 결합상태를 가정하고 비결합시 기층은 탄성계수($E_2$)의 균열을 가정한 $0.5E_2$를 고려하여 검토를 수행 하였다.

궤도 슬래브 응력은 도상콘크리트층(TCL)과 도상안정층(HSB)의 비결합시스템(I), 결합시스템(II)에 대해 아래 표와 같이 각각 곡선부 종/횡방향 슬래브 각층의 응력을 검토한다.

<표 2-3-3-35> 궤도 슬래브 응력검토 항목

| 슬래브 응력 | SYSTEM Ⅰ(비결합상태) | | SYSTEM Ⅱ(결합상태) | |
|---|---|---|---|---|
| | 0.5E2 | E2 | 0.5E2 | E2 |
| 곡선부 횡방향 | $\sigma_{max1,2}$ | $\sigma_{max1,2}$ | $\sigma_{max1,2}$ | $\sigma_{max1,2}$ |
| 곡선부 종방향 | $\sigma_{max1,2}$ | $\sigma_{max1,2}$ | $\sigma_{max1,2}$ | $\sigma_{max1,2}$ |

② 궤도·노반 열차속도와 상관성 분석 방법

상관성 분석 방법은 호남고속철도 설계지침 및 독일 AKFF 설계기준에서 권고하는 Odemark의 등가깊이이론을 이용한 Eisenmann의 설계법을 따라 수행하였다.

③ 분석 결과

최대 열차속도 500km/h까지 설계하중 변화(250kN～125kN)까지 변화시키면서 CASE-A와 CASE-B 궤도슬래브의 응력을 계산하여 다음 결론을 얻었다.

- 열차속도의 증가에 따라 궤도슬래브의 응력은 증가하는 경향을 나타냄
- 설계하중의 감소에 따라 궤도슬래브의 응력은 감소하는 경향을 나타냄
- 콘크리트궤도의 최대인장응력은 비결합시스템(System Ⅰ)의 도상콘크리트(TCL)의 횡방향 응력($\sigma_{1,trans}$)에서 발생함
- 콘크리트궤도층의 인장응력은 도상콘크리트층(TCL)의 응력($\sigma_{1,trans,long}$)이 도상안정층(HSB)의 응력($\sigma_{2,trans,long}$)보다 높게 나타남
- 콘크리트궤도의 응력은 횡방향 인장응력이 종방향 인장응력에 비해 1.5배 높게 나타남
- HSB의 횡방향응력은 열차속도가 300km/h에서 400km/h로 증속시 5% 증가함

열차속도와 설계하중을 변화시키면서 계산한 콘크리트궤도의 응력결과 중에서 최대응력이 발생하는 결합조건 (System Ⅱ)의 궤도층 응력을 허용응력과 비교하여 다음결과를 얻었다.

- CASE-A 및 CASE-B의 도상콘크리트층(TCL)의 응력은 열차속도에 따라 증가하는 경향을 나타내지만 열차속도 500km/h까지 해석적으로 안전함
- CASE-A의 경우 도상안정층(HSB)의 응력 중 종방향 응력($\sigma_{2,long}$)은 열차속도가 500km/h까지 증가하여도 독일의 허용응력을 기준을 초과하지 않아 구조적으로 안전한 것으로 분석되었으나, 횡방향 응력($\sigma_{2,trans}$)의 응력은 열차속도 400km/h에서 설계하중이 250kN일 경우는 독일의 허용응력 기준을 초과하는 것으로 나타났으며 설계하중을 200kN으로 낮추었을 경우는 열차속도 500km/h까지 허용응력 이내로 안전함을 확인함.
- CASE-B의 경우 도상안정층(HSB)의 응력은 열차속도가 400km/h에서 응력 안전율은 250kN에서 1.3이며, 150kN에서 2.1로 하중의 감소에 따라 더욱 안전성을 확보함.

최대 열차속도 500km/h까지 및 설계하중 변화(250kN～125kN)까지 변화시키면서 상부노반의 발생응력을 허용응력과 비교한 결과 CASE-A 및 CASE-B 모두 열차속도 500km/h까지 발생응력은 증가하지만 허용응력 이내로 안전함을 확인할 수 있다.

(나) 설계변화 항목의 속도영향 결과

① 해석 CASE

설계변화 항목의 속도 및 설계하중에 대한 영향 결과 분석을 위해 다음과 같이 궤도두께(TCL, HSB) 및 강화노반두께를 증가시켜 계산을 수행하였다. 현재 TCL층의 두께가 240mm, HSB층이 300mm이므로 두께가 줄면 안정성에 불리할 것을 고려하여 50mm씩 증가시켜 해석 CASE를 수행하였다.

- 궤도두께: TCL 및 HSB층의 두께를 증가시켜 해석함

<표 2-3-3-36> 단면 두께 및 증가율

| 구 분 | TCL | | HSB | |
|---|---|---|---|---|
| | 두께(mm) | 증가율(%) | 두께(mm) | 증가율(%) |
| 두께 및 증가율 | 240 | 100.0 | 300(289) | 100.0 |
| | 300 | 125.0 | 350 | 116.7 |
| | 350 | 145.8 | 400 | 133.3 |
| | 400 | 166.7 | 450 | 150.0 |

주) ()는 KCT-II의 경우임

- 강화노반두께:

<표 2-3-3-37> 강화노반 두께 및 증감율

| 강화노반두께 | mm | 300 | 350 | 400 | 450 |
|---|---|---|---|---|---|
| 증 감 율 | % | 100.0 | 116.7 | 133.3 | 150.0 |

② 설계변수 변화에 따른 해석결과 그래프

콘크리트궤도의 도상콘크리트층(TCL)의 두께 변화(240mm~400mm)에 따라 열차속도와 설계하중을 변화시키면서 횡방향 발생응력($\sigma_{1,trans}$)을 허용응력과 비교한 결과 CASE-A 및 CASE-B 모두 다음과 같은 결과를 나타내었다.

- TCL의 횡방향 응력은 두께가 증가할수록 응력이 증가하는 경향을 나타낸다.
- CASE-A에서 응력 안전율은 열차속도 400km/h 설계하중 250kN에서 두께가 240mm일 경우 1.8로 해석적으로 안전하다.
- CASE-B에서 응력 안전율은 열차속도 400km/h 설계하중 250kN에서 두께가 240mm일 경우 5.1로 해석적으로 안전하다.

또한 콘크리트궤도의 도상안정층(HSB)의 두께 변화(300mm~450mm)에 따라 열차속도와 설계하중을 변화시키면서 횡방향 발생응력($\sigma_{2,trans}$)을 허용응력과 비교하였다.

- HSB의 종방향 응력은 두께가 증가할수록 응력이 감소하는 경향을 나타낸다.
- CASE-A에서 HSB응력은 V=400km/h, 설계하중 250kN에서 두께를 350mm로 증가시켜야 안전하며, CASE-B의 HSB응력은 V=400km/h, 설계하중 250kN에서 두께 289mm에서 1.3의 해석적 안전율을 확보하였다.

강화노반층의 두께 변화(300mm～450mm)에 따라 열차속도와 설계하중을 변화시키면서 상부노반의 발생응력( $\sigma_z$ )을 허용응력과 비교한 결과 <그림 3.5.33~34>과 같이 나타났으며 경향은 다음과 같다.

- 강화노반의 두께를 증가시킬수록 상부노반의 응력은 감소하는 경향을 나타내고 있다.
- CASE-A 및 CASE-B 모두 최대 설계하중 250kN과 열차속도 500km/h에 대해서도 노반두께 300mm는 응력 안전율이 1.3으로 안전하다.

### ③ FEM을 통한 CASE-B 검토

FEM 해석은 열차하중이 침목을 거쳐 지반으로 전달되어 발생되는 응력 흐름 및 변위를 검토하기 위함으로 해석 프로그램은 유한요소법에 의한 지반거동 해석 프로그램인 MIDAS-GTS 4.0버전을 사용하여 3차원 해석을 실시하였다. 해석시 원지반의 물성치는 호남고속철도 실시설계를 성과를 반영하여 $E_{V2}$=30 MN/㎡을 적용하였으며 해석의 타입을 Type(1)과 Type(2)로 나누었으며 Type(1)은 호남고속철도 설계지침에서 제시한 노반의 조건을 사용하고 Type(2)는 안전측 결과를 도출을 위해 원지반의 $E_{V2}$ 값을 상부노반과 하부노반에 동일한 값을 사용하여 해석을 실시하였다.

- FEM 해석 조건

- 원지반은 Mohr-Coulomb 파괴규준을 따르는 탄소성 모델을 사용
- 좌・우측 경계부는 수평변위를 구속하였고, 하단의 경계부는 수직변위를 구속
- 하중 조건은 위 해석의 방법과 동일한 HL-25 표준활하중을 사용하고 충격계수 산정시궤도/노반의 표준편차 가중치 t=3으로 원지반은 t=1로 사용하여 충격계수를 산정하고 레일의 내측= 1.2, 외측= 0.8 계수 값을 곱한 하중에 모델링을 실시하였다.

<표 2-3-3-38> 노반 물성치 조건

| 구분 | | | Type(1) | Type(2) |
|---|---|---|---|---|
| 강화노반 | 재 료 | | 쇄석강화노반 | 쇄석강화노반 |
| | 다짐도 | 보조도상 | EV2≥ 120 MN/㎡ ( D : 200 mm) | EV2≥ 120 MN/㎡ ( D : 200 mm) |
| | | 입도조정층 | EV2≥ 80 MN/㎡ ( D : 300 mm) | EV2≥ 80 MN/㎡ ( D : 300 mm) |
| 상부노반 | 다짐도 | | EV2≥ 80 MN/㎡ | EV2≥ 30 MN/㎡ |
| 하부노반 | 다짐도 | | EV2≥ 60 MN/㎡ | EV2≥ 30 MN/㎡ |

• Type(1)의 FEM 해석 결과

<표 2-3-3-39> Type(1)의 FEM 해석 결과

| 구 분 | 변 위 | 종방향응력 | 횡방향응력 |
|---|---|---|---|
| TCL | 0.9165 mm | 1.0698 N/$mm^2$ | 0.9171 N/$mm^2$ |
| HSB | 0.8176 mm | 0.6717 N/$mm^2$ | 0.2073 N/$mm^2$ |
| 강화노반 | 0.8105 mm | 0.0587 N/$mm^2$ | |
| 상부노반 | 6.7713x10-4 m | 0.0513 N/$mm^2$ | |

• Type(2)의 FEM 해석 결과

<표 2-3-3-40> Type(2)의 FEM 해석 결과

| 구 분 | 변 위 | 종방향응력 | 횡방향응력 |
|---|---|---|---|
| TCL | 1.3656 mm | 1.1089 N/$mm^2$ | 0.9413 N/$mm^2$ |
| HSB | 1.3549 mm | 0.5838 N/$mm^2$ | 0.2029 N/$mm^2$ |
| 강화노반 | 1.3505 mm | 0.0628 N/$mm^2$ | |
| 상부노반 | 1.2226 mm | 0.0481 N/$mm^2$ | |

• 검토결과

열차속도 400km/h의 동적할증계수를 고려한 설계하중이 궤도 및 노반에 미치는 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 궤도 및 노반의 변위는 설계하중 HL-25에 곡선부 윤하중 증가율 할증하여 해석을 하였으며, 그 결과 궤도 도상안정층(TCL)의 변위는 Type(1)에서 0.915mm, Type(2)에서 1.365mm 발생하였으며, 시공기면인 강화노반 상면의 변위는 Type(1)에서 0.8105mm, Type(2)에서 1.351mm 발생하였다. 상기의 변위는 호남고속철도 설계지침(노반편)에서 권장하는 열차하중에 의한 최대 탄성처짐 5mm이내이며, 기존 연구보고에 의한 결과와 비교시 적정 값으로 판단된다.

- 궤도의 응력은 설계하중 HL-25에 동적할증계수(t=3)와 곡선부 윤하중 증가율(1.2)을 할증하여 해석을 하였으며, 그 결과 TCL의 종방향 응력은 허용응력 값을 초과하였다. 궤도구조체는 노반에 비해 상대적으로 약소한 구조체로 노반에 비해 과대평가된 것으로 판단되며, 기존의 궤도분야에서 검증된 Eisenmann 설계법에 따른 검토결과는 400km/h에서 허용응력 이내로 안전한 것으로 검토되었다.

- 상부노반 상면의 응력은 동적할증계수(t=1)과 곡선부 윤하중 증가율(1.2)을 할증하여 해석을 하였으며, 그 결과 Type(1)은 0.0513 N/$mm^2$, Type(2) 0.0481 N/$mm^2$으로 모두 허용응력 0.067N/$mm^2$ 이내로 400km/h의 열차속도 주행에도 안전한 것으로 계산되었다.

<표 2-3-3-41> FEM 해석 결과와 허용값 비교

| 구 분 | | Type(1) 결과(최대) | Type(2) 결과(최대) | 허용값 |
|---|---|---|---|---|
| 변위 | | 0.915 mm | 1.365 mm | - |
| 궤도 응력 | TCL (횡방향) | 0.917 N/$mm^2$ | 0.941 N/$mm^2$ | 1.70 N/$mm^2$ |
| | TCL (종방향) | 1.069 N/$mm^2$ | 1.108 N/$mm^2$ | 0.9 N/$mm^2$ |
| | HSB (횡방향) | 0.207 N/$mm^2$ | 0.202 N/$mm^2$ | 1.57 N/$mm^2$ |
| 노반 응력 | 상부노반(수직방향) | 0.0513 N/$mm^2$ | 0.0481 N/$mm^2$ | 0.067 N/$mm^2$ |

(다) 결론

열차속도증가에 따른 두께 상관성분석을 위해 민감 파라미터로 열차속도의 함수인 충격계수와 설계하중을 고려하여 Eisenmann의 설계법에 따라 콘크리트궤도층의 응력계산 및 전산 FEM 해석을 통해 흙노반 구조물의 응력을 계산하였다.

계산의 입력값은 현장타설 콘크리트궤도의 표준단면을 가지고 있는 독일의 입력값과 호남고속철도 궤도실시설계 성과로 반영될 국내의 현장타설 콘크리트궤도 단면으로 두 가지를 비교검토 하였다. 분석을 위해 다음과 같은 가정과 조건을 적용하였다.

- 충격계수는 Eisenmann의 충격계수 식을 고속영역으로 확장했을 때의 계수값을 가설로 가정하여 사용했으며 이에 대한 상세한 기술은 보고서 3장 6절 5의 표준동적하중 충격계수편에 되어있다.
- 궤도패드의 동적스프링계수는 열차속도에 따라 변화하는 특성을 가지나 본 연구의 해석에서는 시험값의 부재로 모든 속도에 동일한 동적스프링계수를 적용하였다.

Eisenmann의 설계법으로 열차속도의 함수인 충격계수와 설계하중의 증감시켜 계산한 결과는 다음과 같다.

- 열차속도가 300km/h에서 400km/h로 증가시는 HSB의 응력이 5%정도 증가하는 경향을 나타냈다.
- 설계하중을 250kN에서 150kN으로 감소시는 HSB의 응력안전율이 1.3에서 2.1로 증가하였다.

위의 특성으로 독일의 표준단면궤도에서는 열차속도 400km/h에서 궤도층의 발생응력이 허용응력을 초과하여 단면의 재설계가 필요하며, 호남고속철도 궤도실시설계 성과의 표준단면은 도상안정층(HSB)의 탄성계수가 상대적으로 높은 특성으로 인해 열차속도 400km/h에서도 안전함을 확인하였다. 또한 궤도층의 두께를 변화시키며 분석을 한 결과 도상콘크리트층(TCL)의 횡방향 응력은 두께가 증가할수록 응력이 증가하는 경향을 도상안정층(HSB)의 종방향 응력은 두께가 증가할수록 응력이 미소 감소하는 경향을 나타냈다. 따라서 열차속도에 따라 더욱 안전한 궤도설계를 위해서는 궤도층의 탄성계수와 두께의 조정에 의해 최적화가 가능할 것으로 판단된다.

궤도와 흙구조물 상부노반 각층별 상세 변화와 응력 거동 분석을 위한 FEM 전산해석은 흙구조체의 거동묘사를 위해 Solid 유한요소에 Mohr-Coulomb의 탄소성 모델을 적용하였고, 모델 구속조건은 좌우측 경계부는 수평변위를 구속하였고, 선로 길이방향으로 대칭모델을 적용하였다. 해석단면으로 가정된 상부노반 단면의 높이는 기준에 의한 3.0m을 적용하였다.  해석 Case는 호남고속철도 설계기준에 의한 Type(1)과 안전측 결과를 도출을 위해 원지반의 $E_{V2}$ 값을 상부노반에 동일하게 사용한 Type(2)의 경우로 해석을 하였다.

해석결과 수직 변위는 재하된 집중하중 하에 궤도 도상안정층(TCL)의 변위는 Type(1)에서 0.915mm, Type(2)에서 1.365mm 발생하였으며, 시공기면인 강화노반 상면의 변위는 Type(1)에서 0.8105mm, Type(2)에서 1.351mm 발생하였다. 상기의 변위는 호남고속철도 설계지침(노반편)에서 권장하는 열차하중에 의한 최대 탄성처짐 5mm이내이며, 기존 연구보고에 의한 결과와 비교시 적정값으로 판단된다. 응력작용은 집중하중을 통해 콘크리트 궤도의 TCL 및 HSB층을 통하여 균일하게 노반으로 작용되는 것으로 나타났으며, 길이방향으로 다소 응력이 집중되는 것으로 나타났다. 노반의 상부면에 작용하는 수직응력은 Type(1)과 Type(2)에서 0.0481~0.0513 N/$mm^2$로 허용응력 0.067 N/$mm^2$이내로 열차속도 400km/h에서 안전한 것으로 분석 되었다.

### (3) 열차속도증가(400km/h)에 따른 설계지침(안) 개발

#### (가) 철도설계지침 및 편람 KR C-14040 콘크리트도상 표준단면도 (350<V≤400km/h) 제시

고속화에 따른 구조적 안정성, 사용성을 고려해 현행 표준단면도(250<V≤350km/h) 유지 및 400km/h급 고속철도 단면을 추가 제시하고자 구조적 단면거동 분석과 현장시험을 통한 측정데이터를 비교 분석하여 350<V≤400km/h에 적용되는 표준단면도 개정을 하고자 하였다.

##### ① 최적단면 선정을 위한 검토

최적 단면두께를 선정하기에 앞서 RL~FL까지 772mm를 만족하는 범위 내에서의 TCL층(Track Concrete Layer)과 HSB층(Hydraulic Stabilized Base)의 두께를 변화시켰을때와 772mm를 만족하지 않을 경우로 나누어 검토를 수행하였고, 두 층이 결합(System 2)일 경우와 비결합(System 1)일 경우까지 고려하여 단면 거동 분석을 수행하였다.

- 구조안정성과 사용성 측면의 최적단면 검토 범위

<표 2-3-3-42> 최적단면 두께 검토 범위

| Case 선정 조건 | | 단면 두께 범위 | 해석 Case 개수 |
|---|---|---|---|
| Case(Ⅰ) | 제약조건<br>R・L~F・L(772mm) 만족할 경우 | TCL(230mm~255mm)<br>HSB(280mm~315mm) | Case(Ⅰ)-14 |
| Case(Ⅱ) | 제약조건<br>R・L~F・L(772mm)<br>만족하지 않는 경우 | TCL(230mm~255mm)<br>HSB(280mm~315mm) | Case(Ⅱ)-56<br>(반복제외) |

<표 2-3-3-43> 최적단면 사용성 검토 범위

| | | Default | Case(1) | Case(2) | Case(3) |
|---|---|---|---|---|---|
| 상부철근 | 종류 | H16 | H16 | H16 | H16 |
| | 배근 방법 | 4/3/4 | 5/4/5 | 5/4/5 | 4/3/4 |
| | 피복두께 | 42 | 42 | 50 | 42 |
| 하부철근 | 종류 | H19 | H16 | H16 | H16 |
| 철근비(%) | | 0.80 | 0.73 | 0.73 | 0.65 |

선행분석을 통하여 최종 6가지 Case를 선정하였고 구조안정성과 사용성 측면의 분석을 수행하여 단면의 거동이 허용응력에 모두 만족하는지 해석을 진행하였다.

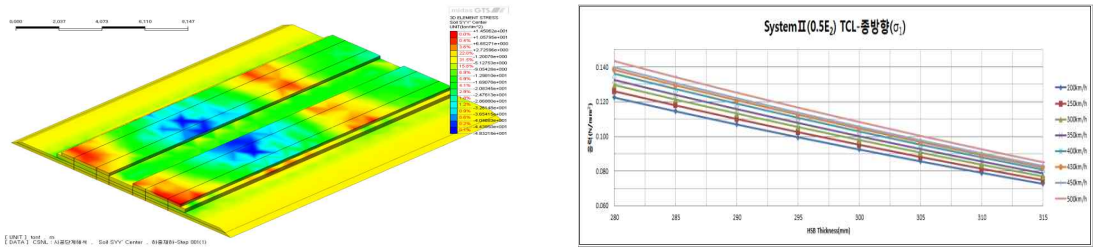
- 구조안정성 및 사용성 검토 결과에 의한 6가지 단면 선정(열차속도 400km/h 적용)

<표 2-3-3-44> 최종 6가지 Case 선정

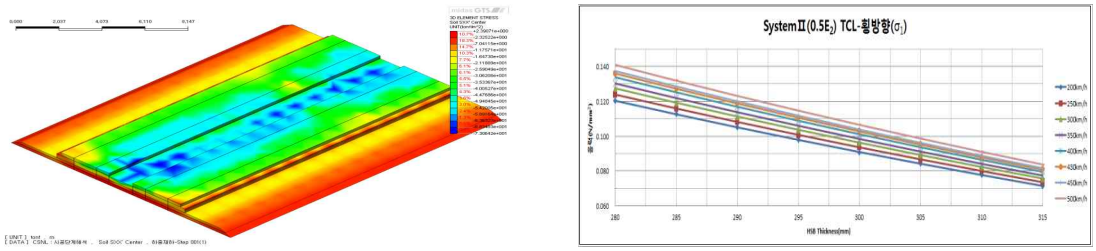
| 구 분 | Case 선정 조건 | 단면 두께 범위 | 비고 |
|---|---|---|---|
| Case1 | TCL층은 줄이고 HSB층 기존두께 경우 | TCL( 230mm), HSB(300mm) | 선정 |
| Case2 | TCL층은 기존두께 HSB층은 줄인 경우 | TCL( 240mm), HSB(290mm) | |
| Case3 | TCL, HSB층 두께 모두 줄인 경우 | TCL( 230mm), HSB(290mm) | |
| Case4 | TCL, HSB층 두께 모두 늘린 경우 | TCL( 250mm), HSB(310mm) | |
| Case5 | R•L~F•L:772mm 만족 TCL층 두께 줄인 경우 | TCL( 230mm), HSB(310mm) | |
| Case6 | R•L~F•L:772mm 만족 HSB층 두께 줄인 경우 | TCL( 250mm), HSB(290mm) | |
| Default | Test-Bed 현장계측 및 최적단면 검증 적용 | TCL( 240mm), HSB(300mm) | |

◦ 최적단면 Case1(TCL 230mm, HSB 300mm):

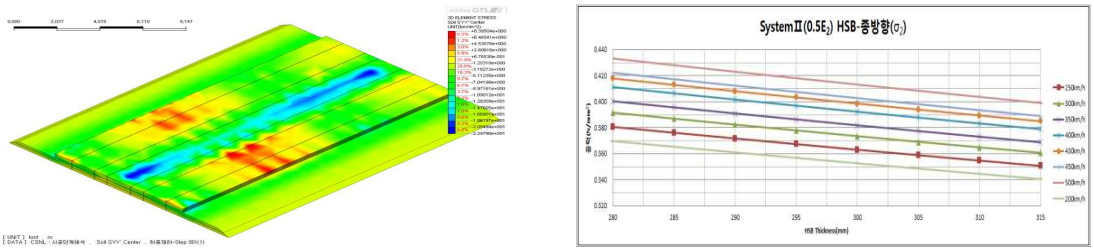
단면의 휨거동분석을 통해 종방향 허용응력과 횡방향 허용응력 모두 만족하는 범위에서 TCL층과 HSB층에 대해 각각의 작용하는 응력 값을 산출하였으며 Case1의 경우 시공상의 경제성은 우수하나 구조 안정성과 사용성 측면에서는 TCL의 하중에 의한 횡방향 인장응력이 크게 작용하는 것으로 분석되었다.



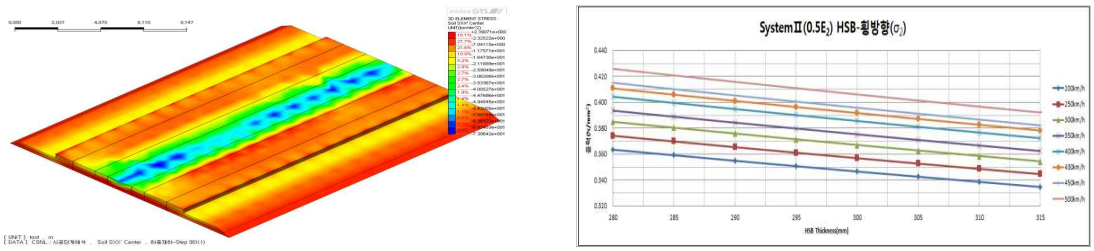

(a) TCL 종단응력(Case 2-3)-0.483218 MPa,, 철근비 : 0.65%




(b) TCL 횡단응력(Case 2-3)-0.730642 MPa, 철근비 : 0.65%




(c) HSB 종단응력(Case 2-3)-0.224790 MPa, 철근비 : 0.65%

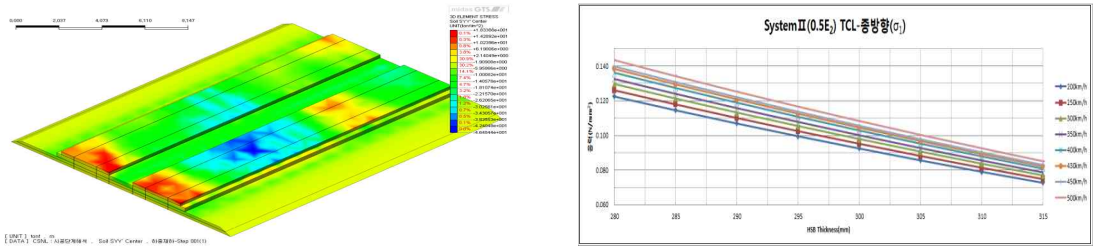



(d) HSB 횡단응력(Case 2-3)-0.730642 MPa, 철근비 : 0.65%

<그림 2-3-3-24> 최적단면 Case1(TCL층은 줄이고 HSB층 기존두께인 경우)

◦ 최적단면 Case2(TCL 240mm, HSB 290mm):

Case2의 경우 열차하중에 의한 TCL의 하중 부담을 고려하고 경제성을 반영한 무근 콘크리트 층의 단면을 줄여 분석을 수행하였으나 구조적인 측면에서는 case1보다는 응력이 작게 발생하지만 경제적인 측면에서는 효과가 적은 것으로 분석되었다.




(a) TCL 종단응력(Case 2-10)-0.464544 MPa,, 철근비 : 0.65%

(b) TCL 횡단응력(Case 2-10)-0.718326 MPa, 철근비 : 0.65%

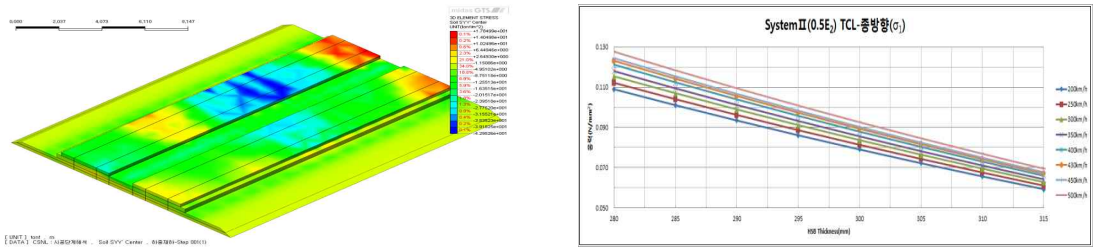
(c) HSB 종단응력(Case 2-10)-0.235483 MPa, 철근비 : 0.65%

(d) HSB 횡단응력(Case 2-10)-0.718326 MPa, 철근비 : 0.65%

<그림 2-3-3-25> 최적단면 Case2(TCL층은 기존두께 HSB층은 줄인 경우)

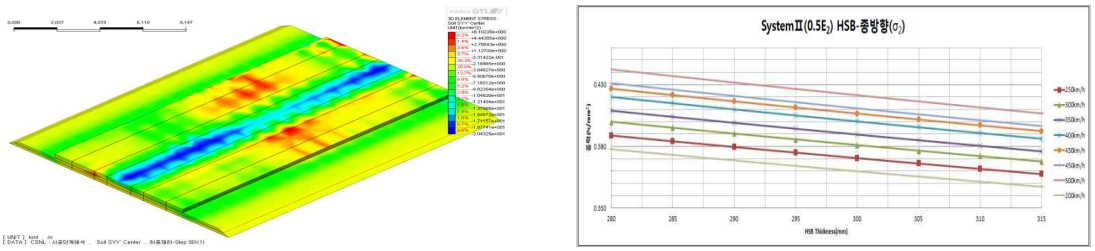
◦ 최적단면 Case3(TCL 230mm, HSB 290mm):

경제적인 측면에서는 최적으로 분석되었으나 구조적인 측면에서는 다른 Case에 비해 크게 작용하여 일부 종방향과 횡방향의 응력이 크게 작용하는 것으로 분석되었다.

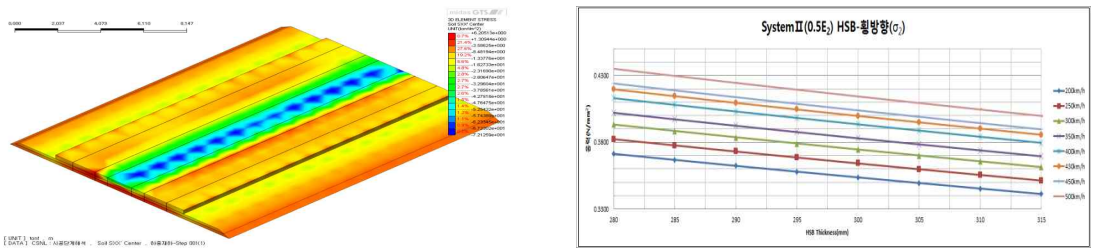



(a) TCL 종단응력(Case 2-1)-0.429526 MPa, 철근비 : 0.65%

(b) TCL 횡단응력(Case 2-1)-0.831904 MPa, 철근비 : 0.65%




(c) HSB 종단응력(Case 2-1)-0.204325 MPa, 철근비 : 0.65%

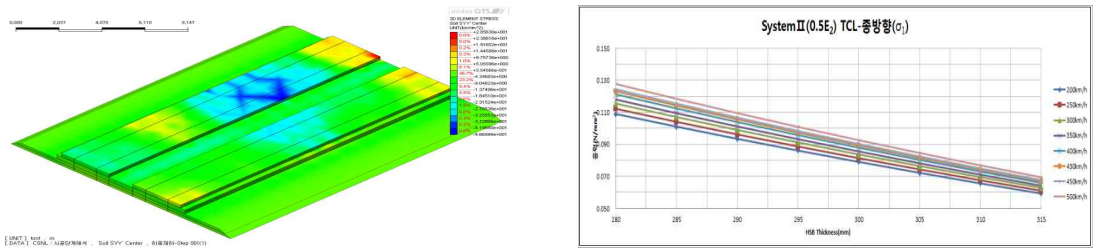



(d) HSB 횡단응력(Case 2-1)-0.721259 MPa, 철근비 : 0.65%

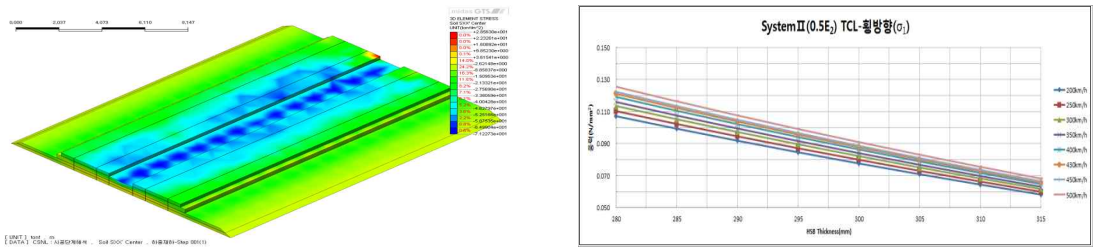
<그림 2-3-3-26> 최적단면 Case3(TCL, HSB층 두께 모두 줄인 경우)

◦ 최적단면 초안단면 Case4(TCL 250mm, HSB 310mm):

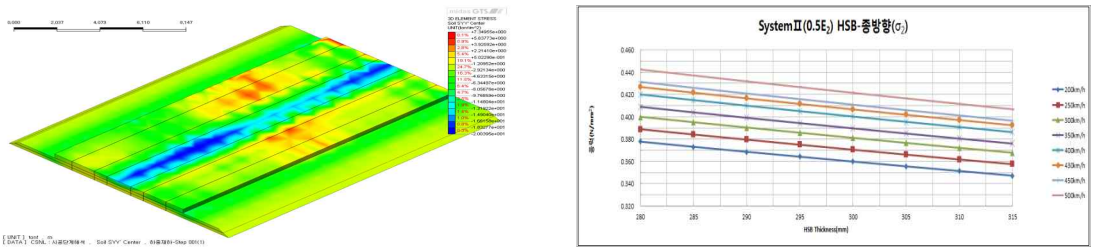
단면의 구조적 측면에서는 충분한 안전율로 분석되었지만 경제성 측면에서는 과도한 설계 두께로 분석되었다.



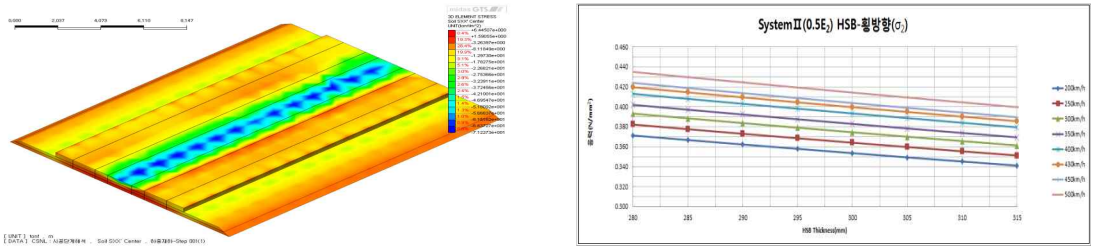

(a) TCL 종단응력(Case 2-16)-0.466594 MPa, 철근비 : 0.73%




(b) TCL 횡단응력(Case 2-16)-0.712273 MPa, 철근비 : 0.73%




(c) HSB 종단응력(Case 2-16)-0.200395 MPa, 철근비 : 0.73%

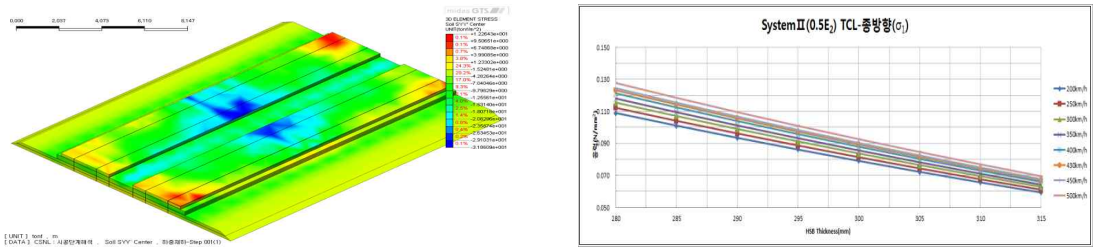



(d) HSB 횡단응력(Case 2-16)-0.712273 MPa ,철근비 : 0.73%

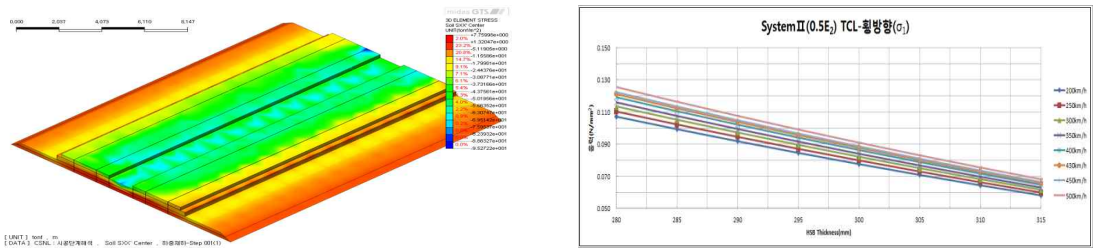
<그림 2-3-3-27> 최적단면 Case4(TCL, HSB층 두께 모두 늘린 경우)

◦ 최적단면 초안단면 Case5(TCL 230mm, HSB310mm):

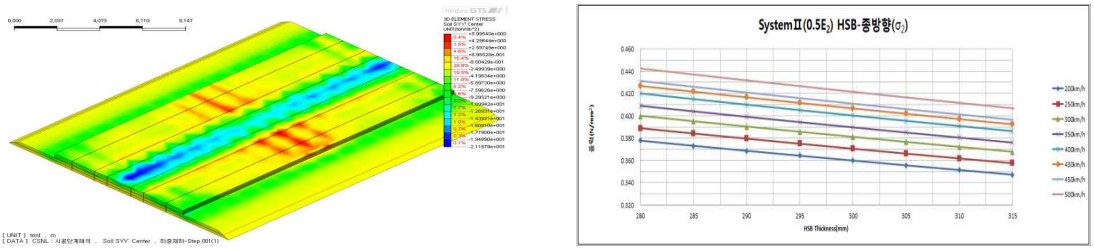
시공기면을 만족하면서 TCL층 두께를 줄이고 HSB층의 두께를 늘려서 작용하는 열차하중에 의한 작용응력은 표준단면에 비해 미소하게 증가하는 것으로 분석되었으며 TCL층 단면의 축소로 철근량 감소 등의 경제성 기준에도 만족하는 것으로 판단되었다.



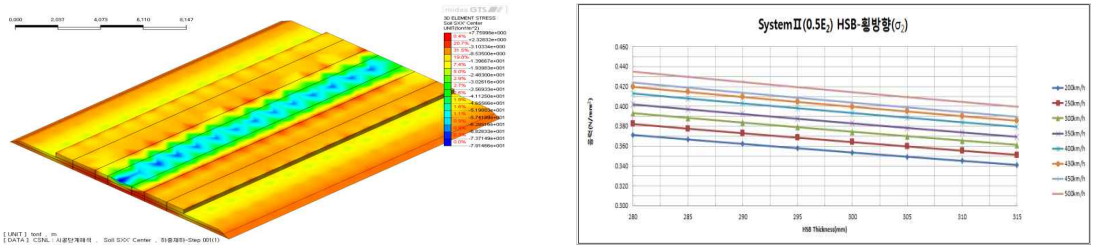

(a) TCL 종단응력(case 1-1)-0.318609 MPa, 철근비 : 0.65%




(b) TCL 횡단응력(case 1-1)-0.759537 MPa, 철근비 : 0.65%




(c) HSB 종단응력(Case 1-1)-0.204325 MPa, 철근비 : 0.65%

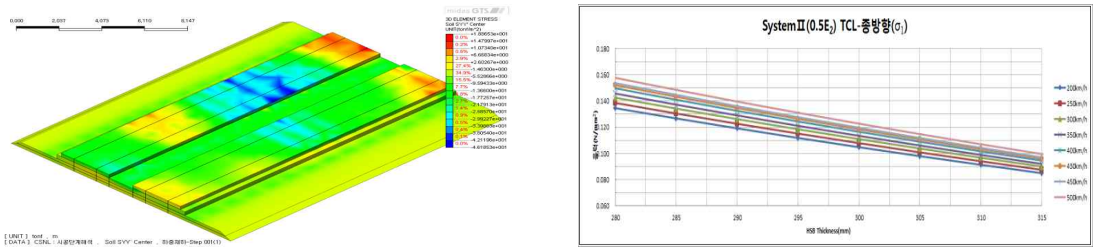



(d) HSB 횡단응력(Case 1-1)-0.721259 MPa, 철근비 : 0.65%

<그림 2-3-3-28> 최적단면 Case5(R•L~F•L:772mm을 만족하고 TCL층 두께 줄인 경우)

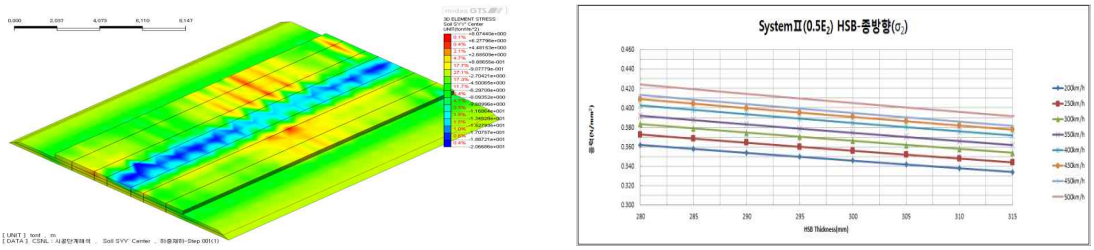
◦ 최적단면 초안단면 Case6(TCL 250mm, HSB290mm):

비교적 단면의 작용하는 하중이 TCL층에 의해 응력이 작용되어지며 HSB의 횡방향 응력이 비교적으로 증가는 것으로 분석되었으며 Case1,2에 비해 경제성은 낮은 것으로 분석됨.

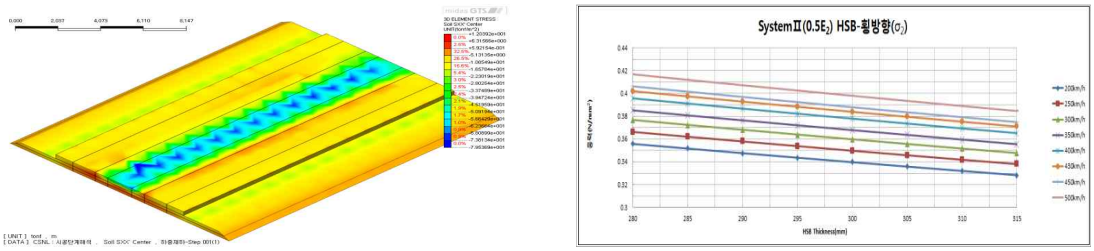



(a) TCL 종단응력(Case 1-5)-0.429526 MPa, 철근비 : 0.73%

(b) TCL 횡단응력(Case 1-5)-0.683966 MPa, 철근비 : 0.73%




(c) HSB 종단응력(Case 1-5)-0.206686 MPa, 철근비 : 0.73%



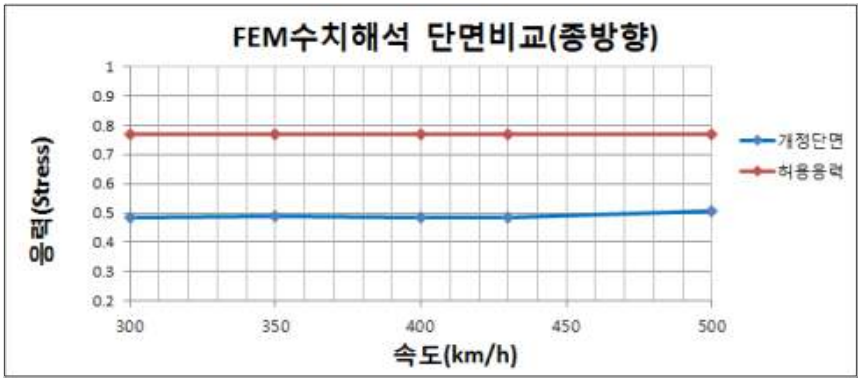

(d) HSB 횡단응력(Case 1-5)-0.721259 MPa, 철근비 : 0.73%

<그림 2-3-3-29> 최적단면 Case6(R•L~F•L:772mm을 만족하고 HSB층 두께 줄인 경우)

구조안정성과 사용성을 모두 고려한 모델링을 구축하여 응력과 경제성을 고려한 분석결과 TCL층 230mm, HSB층 300mm(Case1)의 단면의 경우가 적절한 것으로 나왔다.

### ② 구조안정성 검토

동적계측 시 시험운행되는 고속열차 HEMU-430X의 축하중 및 설계하중을 적용하였으며, 현행기준에 적용된 호남고속철도 설계하중을 적용하여 구조적 안정성을 검토하였다.




<그림 2-3-3-30> 속도대역 별 슬래브 휨응력 검토

◦ 수치해석 응력검토 결과 Case1 단면의 속도대역 별 슬래브 휨응력은 허용응력 이내로 안전한 것으로 나타났다.

### ③ 호남시험선 Test-Bed구간 동적계측 결과 검토

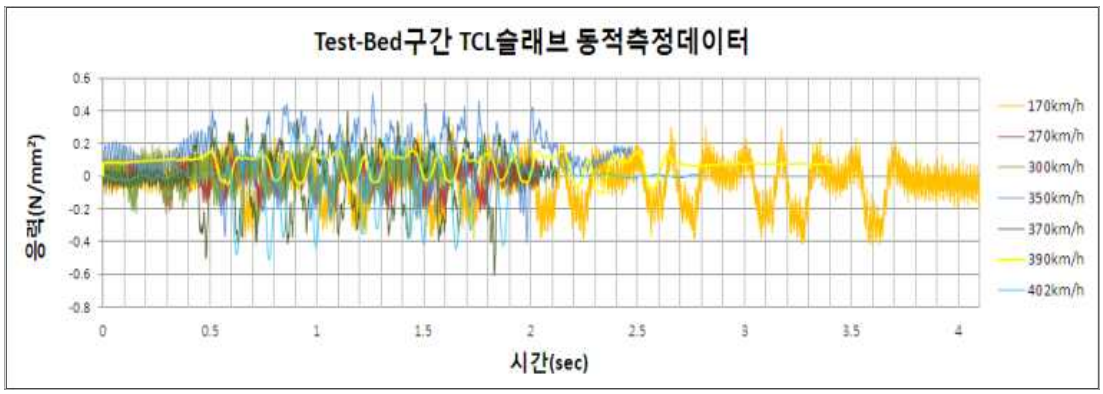
호남고속철도 Test-Bed구간에서 2014년 8월부터 2015년 3월까지 HEMU-430X의 시험운행을 통하여 얻은 동적계측 자료를 속도증속에 따라 분석하였다.

◦ 170km/h ~ 402km/h까지의 속도대역 별 HEMU-430X의 속도대역별 종방향 응력은 설계기준에 의한 허용응력 값 이하로 모두 만족 하는 것으로 분석되었다.

◦ 허용응력값은 KR CODE에서 제시하는 허용응력 계산식과 동일하게 시행하였으나 콘크리트 설계 휨강도에는 안전율을 고려하여 적용하였다.

◦ 현 보고서 '제3절 선로구축물 거동계측(모니터링) 시스템 구축'의 동적측정결과 그래프를 보면 속도증가에 따라 응력값이 증가하는 양상을 보이며 KTX는 30km/h 증속시 7.8%증가, HEMU-430X는 27.7%가 증가하였다.

◦ 열차 HEMU-430X가 300km/h에서 354km/h로 증속시는 14% 증가, 354km/h에서 370km/h으로 증속시 5.8% 응력값이 증가하였다.



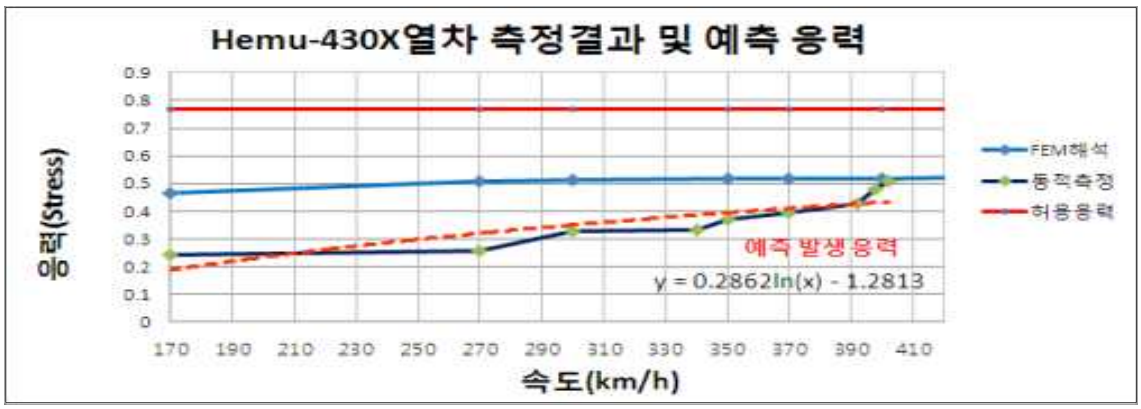

<그림 2-3-3-31> Test-Bed구간 TCL 동적측정데이터

◦ 170km/h부터 402km/h까지의 응력을 하나의 그래프에서 비교해 본 결과 속도가 증가할수록 응력이 증가하여 상승하는 경향을 확인하였다.

<표 2-3-3-45> 동적측정결과 센서별 최대응력

| 구 분 | No.1 (MPa) | No.2 (MPa) | No.3 (MPa) | No.4 (MPa) | No.5 (MPa) | No.6 (MPa) | No.7 (MPa) | No.8 (MPa) | No.9 (MPa) | No.10 (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 170 km/h | 0.1553 | 0.1794 | 0.1951 | 0.1809 | 0.0780 | 0.1273 | | 0.1052 | 0.1499 | 0.1338 |
| 270 km/h | 0.1395 | 0.1674 | - | 0.256 | 0.1625 | 0.1591 | 0.1964 | 0.2008 | 0.2361 | 0.1423 |
| 300 km/h | 0.2131 | 0.1953 | - | 0.327 | 0.2260 | 0.2748 | 0.3016 | 0.3048 | 0.2848 | 0.2488 |
| 354 km/h | 0.2583 | 0.3700 | 0.3731 | 0.1723 | 0.2113 | 0.3609 | 0.3346 | 0.3315 | 0.3690 | 0.2011 |
| 370 km/h | 0.2062 | 0.3884 | 0.3947 | 0.2956 | 0.3840 | 0.3895 | 0.2312 | 0.1053 | 0.0879 | 0.2983 |
| 402 km/h | 0.5543 | 0.5104 | 0.2176 | 0.1393 | 0.1097 | 0.2254 | - | 0.1162 | 0.2094 | 0.1634 |

◦ 위의 표는 속도대역 170km/h ~ 402km/h의 동적측정데이터를 응력으로 환산하여 얻은 센서별 최대응력값이다.
◦ 위 표에서 응력을 받지 못한 속도대역은 출력오류로 인하여 데이터가 유실된 경우이다.
◦ 동적 센서별 최대응력을 검토한 결과 속도가 증가함에 따라 응력이 증가함을 나타났으나, 정적 Data와는 다르게 동적 Data는 최대응력값이 수치해석과는 비슷한 경향을 나타나지는 않았다.




<그림 2-3-3-32> HEMU-430X 응력 및 예상응력

◦ 현재 속도대역 별로 현장 측정한 최대 402km/h의 계측결과와 FEM 해석 및 수치해석을 통한 응력 값을 비교 검토한 결과 속도증가에 따라 응력값이 증가하는 양상을 보인다.

◦ FEM 해석 결과와 구조계산 및 동적측정 데이터 결과를 바탕으로 응력 발생 증가율을 산출하였고 측정예상 응력을 로그함수를 이용하여 예측한 결과 허용응력에는 모두 만족하며 현장측정 환경과 오차를 감안하여도 해석 결과와 비슷한 양상 또는 이하로 발생할 것으로 예측된다.

◦ 측정결과 FEM해석으로 얻은 최대응력값과 실제 동적측정값은 KR CODE에 제시된 허용응력 식에서 콘크리트 설계 휨강도에 안전율을 고려한 0.76 N/$mm^2$ 보다 작게 나온 것을 확인하였고, FEM해석한 응력값들은 0.50 N/$mm^2$를 기준으로 0.1N/$mm^2$이상의 오차가 일어나지 않는 범위로 나왔으며, 동적 측정한 값은 0.25 N/$mm^2$에서부터 상승하여 400km/h 속도대역에서는 FEM해석값과 비슷하게 나왔다.

## (나) 표준단면도 추가 제시(안) 분석결과 및 경제적 효과

열차증속을 하면서 동적으로 증가하는 하중에 따라 슬래브궤도의 속도민감 파라미터를 검토하여 콘크리트 도상두께에 따라 궤도-노반의 역학적인 거동에 상관관계가 있음을 분석하였다. 콘크리트 슬래브궤도 단면두께를 변화시켜 역학적인 거동을 분석하였으며 단면감소를 통하여 시공비 절감을 통해 효율성을 높일 수 있는 검토를 하였다.

### ① 분석결과

HEMU-430X의 이동하중에 의한 단면거동은 단면의 두께에 따라 거동이 크게 달라지기 때문에 TCL층과 HSB층의 두께를 조절하여 분석하였다. 현재 TCL층(240mm)과 HSB층(300mm)의 두께와 차이가 크지 않고 응력은 넘지 않는 범위내로 Case를 6가지

를 선정했다. 그 중 TCL층의 두께가 230mm, 250mm일때 현행기준의 표준단면 거동과 큰 차이가 없었으나 시공성과 경제성을 고려하여 230mm가 적절한 것으로 분석되었다.

HSB층은 열차하중을 받아 노반에 직접 전달하여 노반 안정성에 영향을 줄 뿐 아니라 경제성에 미치는 영향이 미비하여 HSB층의 두께조절은 적절치 않다고 판단하여 현 기준의 두께를 유지하는 것으로 하였다.

### ② 경제적 효과

또한 경제적 효과를 보면 콘크리트 궤도 단면의 콘크리트 도상(TCL층) 현행 두께를 240mm에서 230mm로 감소시 저감효과로 호남고속철도의 경우를 대입하여 보면 궤도공사 총 건설비 2,352억원 대비 34.5억원(10km당 1.93억원 저감) 절감이 가능할 것으로 보인다.

## (다) 철도설계지침 및 편람 KR C-14040 요구 사용성 철근비 개정

현행 연속 철근 콘크리트 궤도는 유사한 연속 철근 콘크리트 도로 기준에 비해 철근량이 과도하게 적용되어 있고 국외의 궤도시스템 적용으로 인하여 철근비에 따른 DB의 부족으로 요구 사용성 철근비 개정을 하고자 하였다. 구조 안정성, 요구 사용성을 검토한 결과와 현장시험을 통한 데이터분석 비교결과 철근량을 감소시켜도 TCL층 단면에 안정성이 확보되기 때문에 현행 0.8~0.9%인 철근비를 0.6~0.7%로 감소하여도 무방할 것으로 판단하였다. 다만 철근의 배근 위치를 조정하여 안정성을 확보한다는 전제조건이 있다.

### ① 연속 철근 콘크리트궤도(CRCT)의 철근비와 균열폭 관계 분석

- CRCT 철근비와 균열과의 관계 분석

- 철근직경에 따라 철근비가 변할 경우 철근직경이 커질수록 콘크리트에 발생하는 응력이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 배근이 동일할 경우 철근직경이 커지면 콘크리트와 철근간의 부착면적이 커지기 때문에 철근이 콘크리트에 가하는 구속력이 증가하게 되어 콘크리트에 발생하는 응력이 커지게 된다.
- 철근직경이 커질수록 균열폭은 작게 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 철근직경이 커지면 구속력이 증가하기 때문에 콘크리트의 변형을 억제하게 되어 균열폭이 작아지게 된다.
- 철근개수에 따라 철근비가 변할 경우 철근비가 증가할수록 콘크리트에 발생하는 응력은 커지며 균열폭은 작아지는 경향을 나타내었다. 하지만 이는 침목부를 제외한 측면부와 중앙부에 철근이 배치되는 개수에 따라 응력과 균열폭이 결정되는 것으로 나타났다. 즉 철근비는 같더라도 철근의 배근 위치에 따라 응력 발생과 균열폭은 다르게 나타날 수 있다. 따라서 CRCT 설계 시 적절한 위치에 철근배근을 하여 중앙부와 측면부에 응력이 균등하게 도입될 수 있도록 해야 할 것으로 판단된다.

- CRCT는 침목과 슬래브를 종방향으로 연결하는 철근이 사용되지 않기 때문에 침목과 슬래브가 분리되어 균열폭이 과도하게 커질 수 있다. 따라서 침목과 CRCT의 분리 방지를 위한 방안 혹은 분리 시 균열폭을 적절하게 제어 할 수 있는 방안 등이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

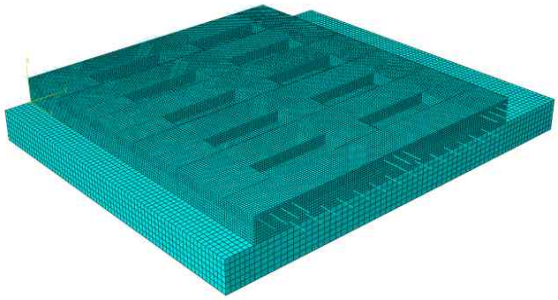
● 철근 배근 위치와 균열과의 관계 분석

- 철근의 개수가 많이 배근될수록 컬링 및 온도하강에 대하여 콘크리트 슬래브에 더 큰 응력이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 컬링 및 온도하강에 대하여 철근의 개수가 많아질수록 철근이 슬래브의 변위에 가하는 구속력이 더욱 증가하기 때문이다. 따라서 철근비가 동일할 경우에 슬래브 상부에 배치된 철근의 개수가 많으면 슬래브 상부에서의 응력이 증가하게 되며 하부에서의 응력은 감소하게 된다.
- 철근비가 동일할 경우에 균열폭은 철근 배치에 따라 영향을 받게 되며 슬래브 상부에 철근이 많이 배근될수록 균열폭이 감소하게 된다.
- 컬링 현상 분석 결과 컬업(슬래브가 인장응력을 받을 때 나타나는 현상) 시가 컬다운(슬래브가 압축응력을 받을 때 나타나는 현상)시 보다 더 큰 인장응력이 발생하는 것으로 나타났다. 만약 침목부가 없으면 컬업과 컬다운 시의 응력이 비슷하게 발생 할 것으로 판단되지만 침목으로 인해 슬래브 상부의 단면적 감소 및 응력집중으로 컬업 시 슬래브 상부의 인장응력이 컬다운 시 슬래브 하부의 인장응력에 비해 크게 발생하게 된다.

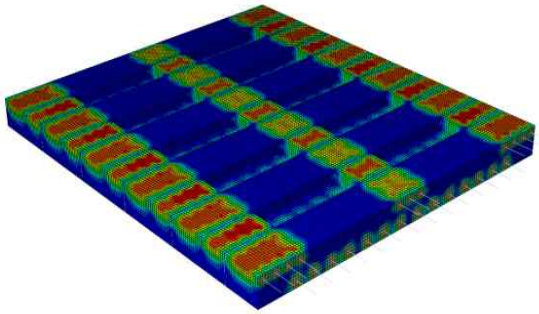
● 슬래브 두께와 균열과의 관계 분석

- 슬래브 두께 별 종방향 최대 응력은 TCL의 두께가 225mm에서 255mm까지는 슬래브 두께가 증가할수록 슬래브에 발생하는 응력이 크게 나타나며, TCL의 두께가 260mm 이상일 경우 응력이 다시 감소하는 것으로 나타났다.
- 슬래브 두께 별 평균 균열폭은 TCL의 두께가 두꺼워 질수록 균열폭이 커지는 것으로 나타났다. 하지만 슬래브 두께에 따라 균열폭의 차이가 10% 이내로 발생하기 때문에 두께 변화에 따라 균열폭은 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
- 궤도 시스템 전체 두께에 따른 환경하중 최대응력 및 균열폭의 경우 HSB층의 두께는 거의 영향이 없으며, TCL의 두께가 응력에 지배적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

② 수치해석 모델링



<그림 2-3-3-33> CRCT 모델링



<그림 2-3-3-34> CRCT 슬래브 응력분포

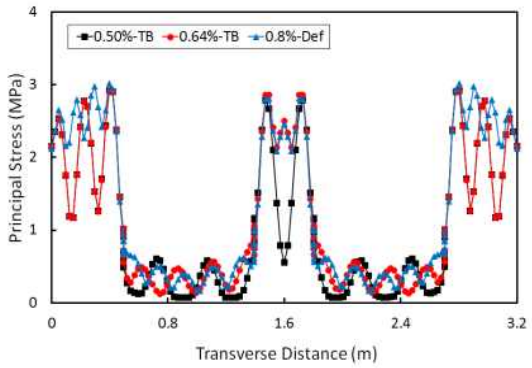
<표 2-3-3-46> 수치해석 입력값

| 설계조건 | 입력값 |
|---|---|
| CRCT 탄성계수(MPa) | $3.36\times10^4$ |
| 빈배합 콘크리트 탄성계수(MPa) | $2.84\times10^4$ |
| 철근 탄성계수(MPa) | $2.00\times10^5$ |
| 콘크리트 열팽창계수(/° C) | 0.00001 |
| 철근직경 | 상부 - H16, 하부 - H19 |
| 철근비(%) | 0.5 ~ 0.8 |
| 온도하강(° C) | ± 20 |

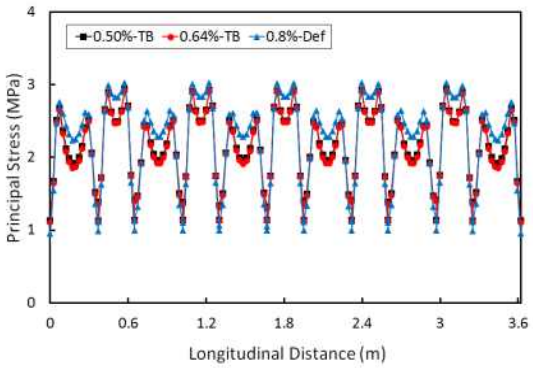
<표 2-3-3-47> 수치해석 철근량 인자

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 상부 철근 조절 | 철근비 | 0.73% | 0.75% | 0.8% (기준) |
| | 상부철근개수 | 3/2/3 | 3/3/3 | 4/3/4 |
| | 하부철근개수 | 14 | 14 | 14 |
| 하부 철근 조절 | 철근비 | 0.58% | 0.69% | 0.8% (기준) |
| | 상부철근개수 | 4/3/4 | 4/3/4 | 4/3/4 |
| | 하부철근개수 | 8 | 11 | 14 |
| 상하부 철근 조절 | 철근비 | 0.50% | 0.64% | 0.8% (기준) |
| | 상부철근개수 | 3/2/3 | 3/3/3 | 4/3/4 |
| | 하부철근개수 | 8 | 11 | 14 |

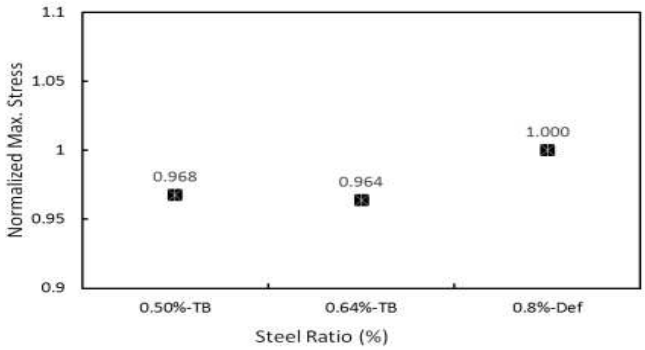
③ 수치해석 슬래브 응력 결과(TCL 두께 240mm)




<그림 2-3-3-35> 횡방향을 따른 응력




<그림 2-3-3-36> 종방향을 따른 응력



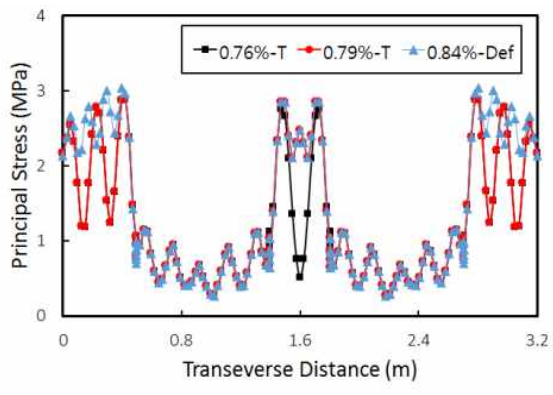

<그림 2-3-3-37> 철근비에 따른 최대 응력 변화

<표 2-3-3-48> 철근비에 따른 응력

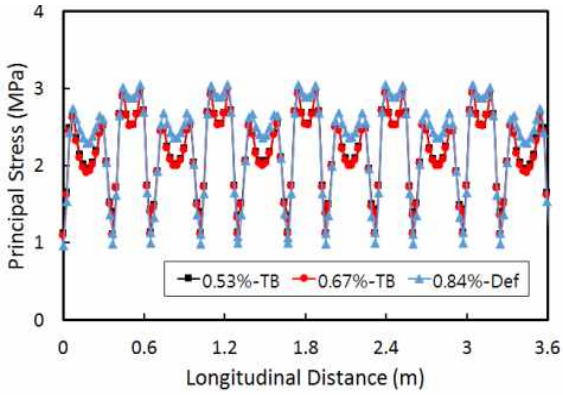
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 상부 철근 조절 | 철근비 | 0.73% | 0.75% | 0.80%(기준치) |
| | 슬래브 응력 | 0.947 | 0.947 | 1 |
| | 철근응력 | 1.014 | 1.011 | 1 |
| | 균열폭 - Edge | 1.080 | 1.080 | 1 |
| | 균열폭 - Center | 1.092 | 1.000 | 1 |
| 하부 철근 조절 | 철근비 | 0.58% | 0.69% | 0.80%(기준치) |
| | 슬래브 응력 | 1.020 | 1.017 | 1 |
| | 철근응력 | 0.995 | 1.001 | 1 |
| | 균열폭 - Edge | 0.994 | 0.996 | 1 |
| | 균열폭 - Center | 0.978 | 0.988 | 1 |
| 상하부 철근 조절 | 철근비 | 0.50% | 0.64% | 0.80%(기준치) |
| | 슬래브 응력 | 0.968 | 0.964 | 1 |
| | 철근응력 | 1.013 | 1.011 | 1 |
| | 균열폭 - Edge | 1.074 | 1.076 | 1 |
| | 균열폭 - Center | 1.070 | 0.988 | 1 |

현행 표준단면의 TCL층 두께 240mm 일 때 철근량 인자 변경에 따라 철근비가 0.5%와 0.64%의 경우는 슬래브 최대 응력이 유사하며 철근비가 0.8%일 경우를 기준으로 약 4% 정도 슬래브 응력이 작게 발생하였다.

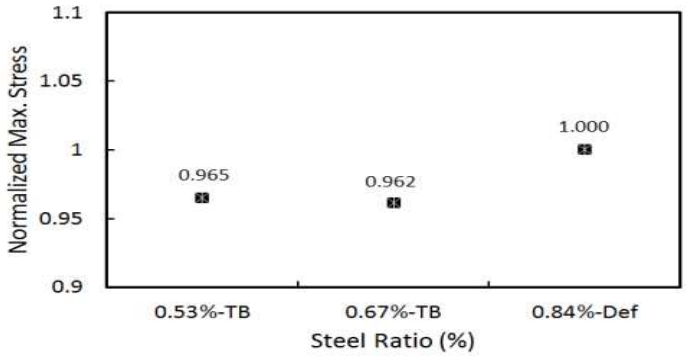
④ 수치해석 슬래브 응력 결과(TCL 두께 230mm)




<그림 2-3-3-38> 횡방향을 따른 응력




<그림 2-3-3-39> 종방향을 따른 응력




<그림 2-3-3-40> 철근비에 따른 최대 응력 변화

<표 2-3-3-49> 철근비에 따른 응력

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 상부 철근 조절 | 철근비 | 0.76% | 0.79% | 0.84%(기준치) |
| | 슬래브 응력 | 0.948 | 0.948 | 1 |
| | 철근응력 | 1.044 | 1.043 | 1 |
| | 균열폭 - Edge | 1.082 | 1.082 | 1 |
| | 균열폭 - Center | 1.094 | 1.000 | 1 |
| 하부 철근 조절 | 철근비 | 0.61% | 0.72% | 0.84%(기준치) |
| | 슬래브 응력 | 1.017 | 1.014 | 1 |
| | 철근응력 | 1.021 | 1.029 | 1 |
| | 균열폭 - Edge | 0.995 | 0.997 | 1 |
| | 균열폭 - Center | 0.992 | 0.944 | 1 |
| 상하부 철근 조절 | 철근비 | 0.53% | 0.67% | 0.84%(기준치) |
| | 슬래브 응력 | 0.965 | 0.962 | 1 |
| | 철근응력 | 1.040 | 1.042 | 1 |
| | 균열폭 - Edge | 1.076 | 1.079 | 1 |
| | 균열폭 - Center | 1.087 | 0.994 | 1 |

철근비 변화 따른 슬래브 두께의 영향은 동일한 철근 배치일 경우 240mm와 230mm 모델 모두 비슷한 경향의 응력분포가 발생하였다. 그러나 230mm 모델의 경우 240mm 모델에 비하여 슬래브의 응력이 다소 작게 발생하고 철근의 응력은 다소 크게

발생하였으나 그 차이는 매우 미소한 것으로 분석되었다.

철근비 0.60~1.0%의 범위에서 슬래브, 철근 응력을 검토한 결과 종방향 철근비 0.6~0.8% 범위의 응력은 차이가 거의 없는 것으로 분석되었으며 철근비 0.9~1.0% 범위에서 응력은 크게 발생하는 것으로 분석되었다. 비교한 결과 0.6%~0.7%로 감소되어도 응력의 차이가 없어 적용 가능할 것으로 보이며 철근 배근위치를 조정한다면 현행 설계지침 및 편람[궤도편]의 콘크리트궤도의 철근량 0.8~0.9%를 0.6~0.7%로 사용해도 안전할 것으로 보인다.

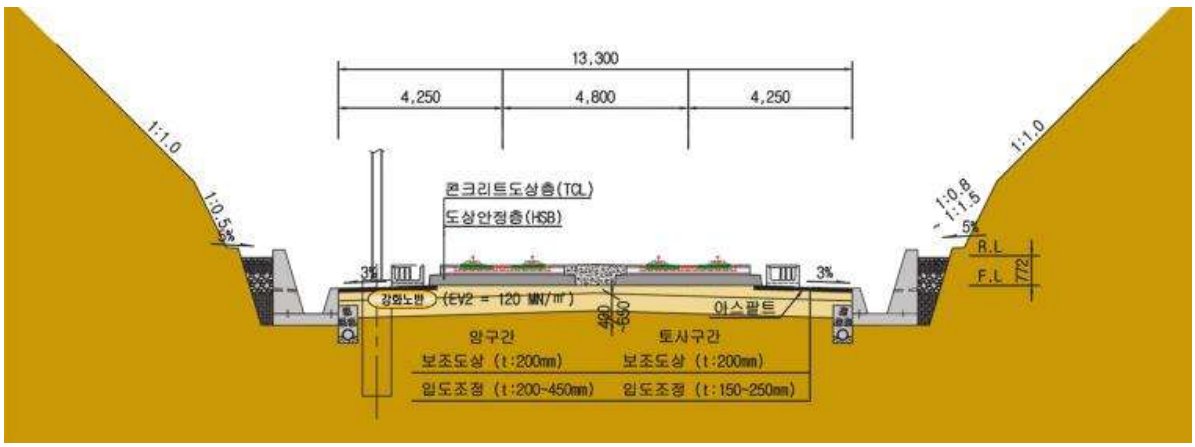
### (라) 강화노반 지지강성에 따른 안정성 검토

열차속도증가 및 강화노반 두께 상관성을 분석하기 위해 강화노반의 두께를 호남고속철도 설계지침 기준에 근거하여 보조도상층 200mm, 입도조정층 200mm~450mm로 변화할 경우 노반에 미치는 영향을 검토하여 그 설계기준변경안을 제시하는 것을 목적으로 시작하였다. 열차속도 증가에 따른 속도민감 파라미터를 이용한 결과 분석을 위해 300km/h~500km/h로 충격계수변화에 따른 하중변화를 통해 종합적인 노반 단면 안정성에 대해 분석 및 검토한 결과 강화노반(입도조정층)에 대한 강도를 35MPa로 변화시켰을 경우 열차속도가 두께가 얇을수록 작아지는 경향을 보였으며 원지반(25MPa)보다 강도가 작은 15MPa을 적용할 시 열차속도에 대한 경향은 비슷하였다. 그래서 현기준인 25MPa에 설계기준을 개정이 아닌 검증에 대한 방향으로 정립하게 되었다.

정립 후 강도(재료의 탄성계수)의 변화에 따라 노반의 안정성에 대해서 노반의 두께 및 열차속도 증가 등 설계변화 현황에 대해 복합적인 검토를 수행하였다.

#### ① 강화노반(입도조정층) 두께 및 강도에 따른 해석

해석단면은 성토부, 깎기 및 원지반 조건의 호남고속철도 대표단면 중 강화노반 및 원지반 특성에 좀 더 민감한 조건으로 고려할 수 있는 깎기 및 원지반 대표단면을 FEM 해석 표준단면으로 선정하였다.



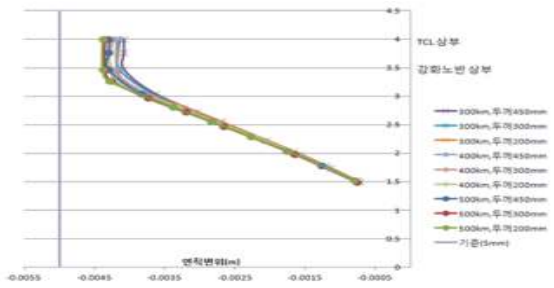

<그림 2-3-3-41> FEM 해석 표준 단면

본 해석에서 적용된 TCL층 상부의 변위기준은 원지반에 대한 압밀침하 등이 배제된 결과로 전체 허용잔류침하량 기준인 30mm중 원지반 침하량과 성토체 침하량 및 궤도구조 침하량을 합한 25mm를 제외한 5mm(호남고속철도 설계지침(노반편)에서 권장하는 열차하중에 의한 탄성처짐 기준)를 연직 변위 기준으로 적용하였다(철도설계기준, 2011, 4-26page참조).

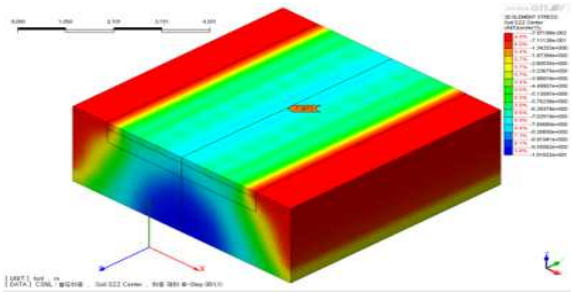
· 해석 Case 선정

FEM 해석 Case는 열차속도에 따라 300km/h, 400km/h, 500km/h로 구분하여 해석을 수행하였으며, 강화노반 두께에 대한 최적설계를 위해서 입도조정층 두께(200~450mm) 및 강도(3차년도 보고서 참조)를 변화하여 총 27개의 Case를 선정하여 해석을 수행하였다.

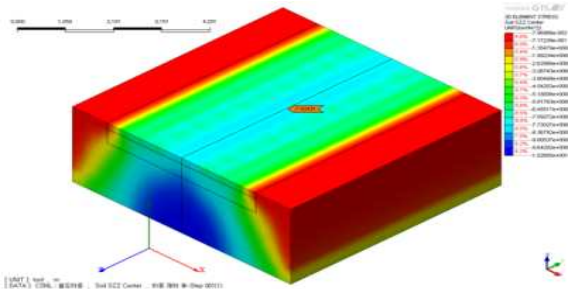
## ② 열차속도 증가에 따른 노반 안정성 검토 (깍기부)



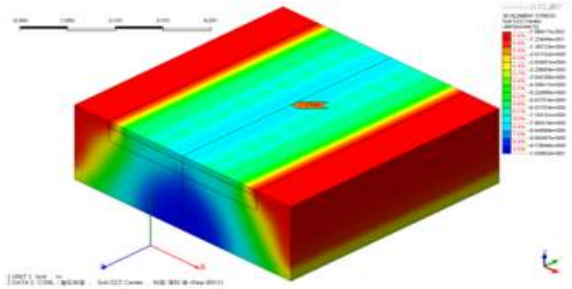

속도별 연직변위 결과



응력결과(300km/h,)



응력결과(400km/h)

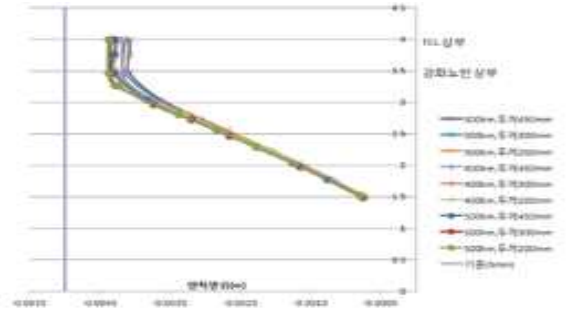


응력결과(500km/h)

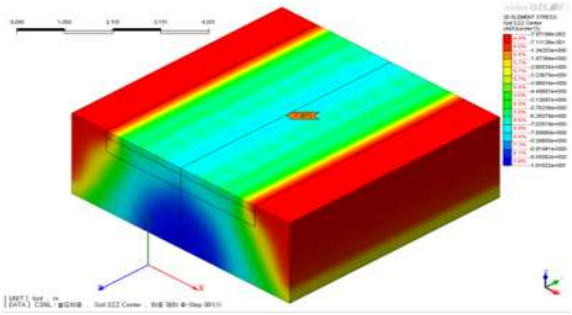
<그림 2-3-3-42> 두께 450mm, 속도별 연직변위

- 열차속도 증가에 따른 강화노반에 대한 응력은 최소72.7kPa~최대75.8kPa으로 허용응력인 89kPa 이내로 안정한 것으로 나타났으며, 열차 속도가 증가할수록 강화노반에 대한 응력이 증가하지만, 그 차이는 크지 않은 것으로 나타나, 노반 안정성에 민감한 영향인자는 아닌 것으로 사료되었다.

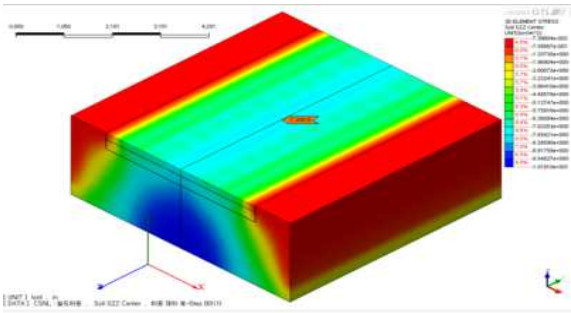
③ 강화노반 두께변화에 대한 노반 안정성 검토 (깍기부)



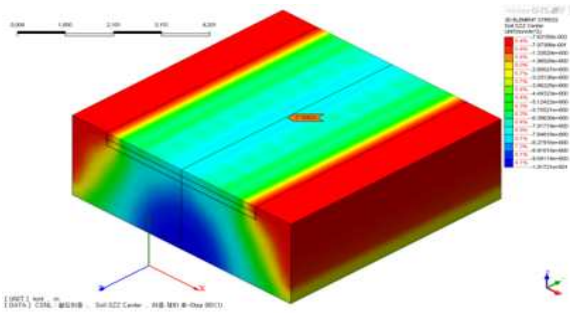
두께변화에 대한 연직변위 결과



강화노반450mm



강화노반300mm



강화노반200mm

<그림 2-3-3-43> 속도 300km/h, 강화노반(입도조정층) 두께변화에 대한 연직변위

- 강화노반 두께 증가에 따른 강화노반에 대한 응력은 최소71.8kPa~최대72.7kPa으로 허용응력인 89kPa 이내로 안정한 것으로 나타났으며, 강화노반 두께가 증가할수록 강화노반에 대한 응력이 감소하지만, 그 차이는 크지 않은 것으로 나타나, 노반 안정성에 민감한 영향인자는 아닌 것으로 사료되었다.

④ 강화노반 강도변화에 대한 노반 안정성 검토 (깍기부)

강화노반(입도조정층)에 대한 강도를 35MPa로 변화시켰을 경우 열차속도가 300km/h에서 500km/h로 증가할수록 강화노반(입도조정층)두께가 얇을수록 작아지는 경향을 보였으나, 원지반(25MPa)보다 강도가 작은 15MPa을 적용할 시 열차속도에 대한 경향은 비슷하였지만, 강화노반(입도조정층) 두께가 클수록 큰 연직변위가 발생하였다.

<표 2-3-3-50> 강화노반에 따른 연직변위 결과

| 열차속도 | 강화노반 두께 | 강화노반 강도변화에 따른 연직변위(mm) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 35MPa | 25MPa | 15MPa |
| 300km/h | 450mm | 4.086 | 4.328 | 4.934 |
| | 300mm | 4.141 | 4.305 | 4.711 |
| | 200mm | 4.173 | 4.284 | 4.555 |
| 400km/h | 450mm | 4.193 | 4.443 | 5.060 |
| | 300mm | 4.246 | 4.416 | 4.829 |
| | 200mm | 4.278 | 4.393 | 4.668 |
| 500km/h | 450mm | 4.302 | 4.559 | 5.189 |
| | 300mm | 4.353 | 4.528 | 4.951 |
| | 200mm | 4.384 | 4.502 | 4.784 |

- 강화노반 강도 증가에 따른 강화노반에 대한 응력은 최소73.6kPa~최대75.8kPa으로 허용응력인 89kPa 이내로 안정한 것으로 나타났으며, 강화노반 강도가 증가할수록 강화노반에 대한 응력이 증가하지만, 그 차이는 크지 않은 것으로 나타나, 노반 안정성에 민감한 영향인자는 아닌 것으로 사료되었다.

### ⑤ 원지반 강도변화에 대한 노반 안정성 검토 (깍기부)

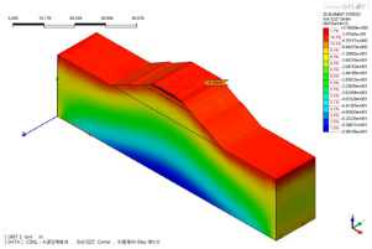
원지반층에 대해 강도(변형계수)를 변화한 경우 25MPa이하는 허용연직변위 기준인 5mm를 상회하는 것으로 나타났으며, 원지반 강도에 따라 연직변위의 변화율이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 원지반의 강도는 호남고속철도 설계지침기준인 EV2>60MPa(N>10)이 적정할 것으로 판단되었다.

<표 2-3-3-51> 원지반 강도변화에 따른 연직변위 결과

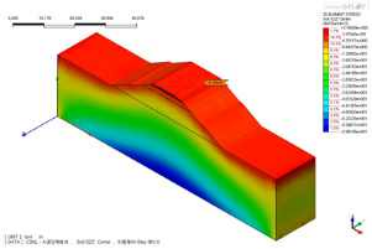
| 열차속도 | 강화노반 두께 | 원지반 강도변화에 따른 연직변위(mm) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 25MPa | 15MPa | 5MPa |
| 300km/h | 450mm | 4.086 | 6.328 | 17.448 |
| | 300mm | 4.141 | 6.539 | 18.517 |
| | 200mm | 4.173 | 6.681 | 19.231 |
| 400km/h | 450mm | 4.193 | 6.493 | 17.891 |
| | 300mm | 4.246 | 6.706 | 18.978 |
| | 200mm | 4.278 | 6.850 | 19.708 |
| 500km/h | 450mm | 4.302 | 6.660 | 18.340 |
| | 300mm | 4.353 | 6.875 | 19.447 |
| | 200mm | 4.384 | 7.021 | 20.184 |

- 강화노반 강도 증가에 따른 강화노반에 대한 응력은 최소75.8kPa~최대79.1kPa으로 허용응력인 89kPa 이내로 안정한 것으로 나타났으며, 강화노반 강도가 증가할수록 강화노반에 대한 응력이 증가하지만, 그 차이는 크지 않은 것으로 나타나, 노반 안정성에 민감한 영향인자는 아닌 것으로 사료되었다.

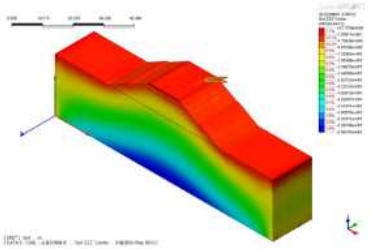
⑥ 열차속도 증가에 따른 노반 안정성 검토 (성토부)



<그림 2-3-3-44> 응력 결과 (300km/h, 두께200mm)



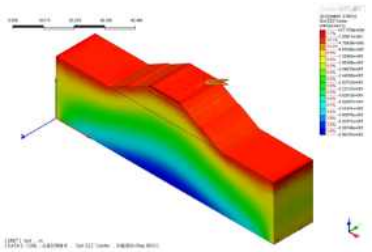
<그림 2-3-3-45> 응력 결과 (430km/h, 두께200mm)



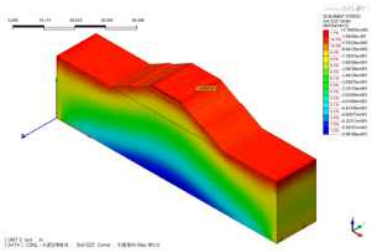
<그림 2-3-3-46> 응력 결과 (500km/h, 두께200mm)

열차속도 증가에 따른 강화노반에 대한 응력은 최소42.7kPa~최대58.8kPa으로 허용응력인 89kPa 이내로 안정한 것으로 나타났으며, 열차 속도가 증가할수록 강화노반에 대한 응력이 증가하지만, 그 차이는 크지 않은 것으로 나타나, 노반 안정성에 민감한 영향인자는 아닌 것으로 사료되었다.

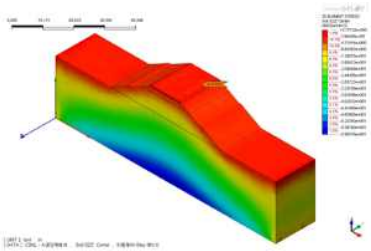
⑦ 강화노반 강도변화에 대한 노반 안정성 검토 (성토부)



<그림 2-3-3-47> 변형계수(35MPa)



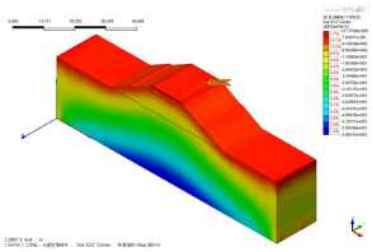
<그림 2-3-3-48> 변형계수(25MPa)



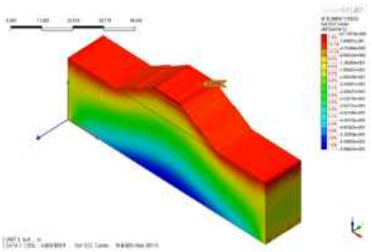
<그림 2-3-3-49> 변형계수(15MPa)

강화노반 강도 증가에 따른 강화노반에 대한 응력은 최소43.8kPa~최대58.8kPa으로 허용응력인 89kPa 이내로 안정한 것으로 나타났으며, 등속도일 경우, 강화노반 강도가 증가할수록 강화노반에 대한 응력이 감소하지만, 그 차이는 크지 않은 것으로 나타나, 노반 안정성에 민감한 영향인자는 아닌 것으로 사료되었다.

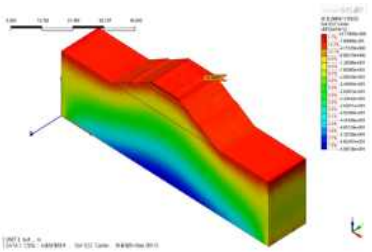
⑧ 상부노반 강도변화에 대한 노반 안정성 검토 (성토부)



<그림 2-3-3-50>
변형계수(35MPa)



<그림 2-3-3-51>
변형계수(25MPa)



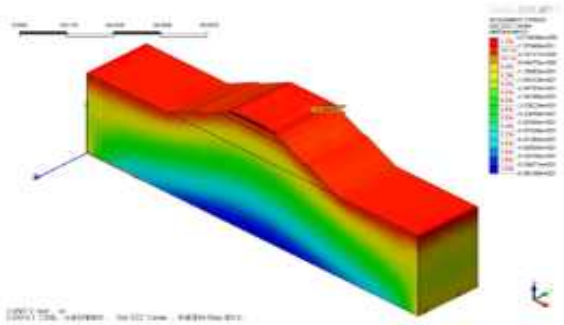
<그림 2-3-3-52>
변형계수(15MPa)

상부노반 강도 증가에 따른 강화노반에 대한 응력은 최소58.8kPa~최대64.0kPa으로 허용응력인 89kPa 이내로 안정한 것으로 나타났으며, 등속도일 경우, 상부노반 강도가 증가할수록 강화노반에 대한 응력이 증가하지만, 그 차이는 크지 않은 것으로 나타나, 노반 안정성에 민감한 영향인자는 아닌 것으로 사료되었다.

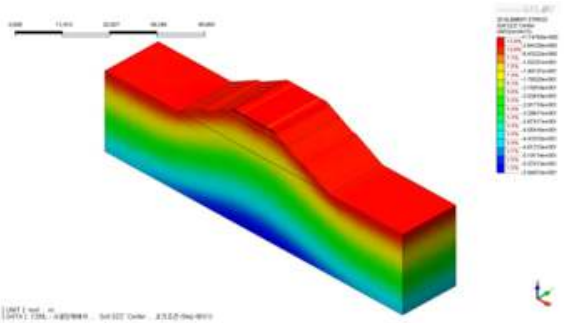
⑨ 하부노반 강도변화에 대한 노반 안정성 검토 (성토부)

본 연구에서는 강화노반의 보조도상층, 입도조정층, 상부노반 및 원지반 강도를 각각 호남고속철도 설계기준인 120MPa, 35MPa, 25MPa로 고정하고, 하부노반층에 대한 강도(변형계수)를 25MPa, 15MPa, 5MPa로 구분하여 FEM해석을 수행하였다. 하부노반에 대한 강도를 25MPa~5MPa로 변화시켰을 경우 최소 46.5kPa~최대 46.9kPa로 나타났으며, 열차속도가 높을수록 하부노반 강도가 작을수록 대체로 큰 노반응력이 발생하였다. 하지만, 하부노반의 강도변화에 따라서 연직변위는 크게 영향을 미치나, 응력은 차이가 거의 발생하지 않았다.

⑩ 강화노반 두께변화에 대한 노반 안정성 검토 (성토부)



<그림 2-3-3-53> 입도조정층 200mm,
42.662kPa



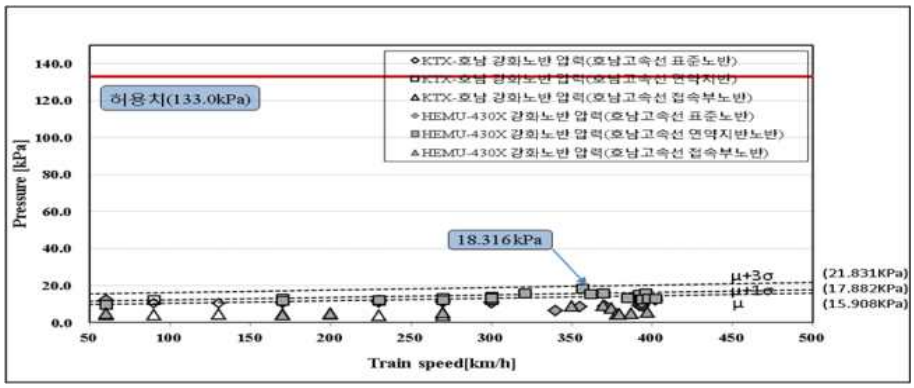
<그림 2-3-3-54> 입도조정층 300mm,
64.322kPa

강화노반의 두께를 200mm~300mm로 변화시켰을 경우 응력은 최소42.7kPa~최대64.3kPa으로 허용응력인 89kPa 이내로 안정한 것으로 나타났으며, 열차속도가 높을수록 두께가 클수록 큰 노반응력이 발생하였다.

⑪ 계측 데이터 분석(지구환경전문가 그룹 계측보고서 참조)

<표 2-3-3-52> KTX, HEMU-430X 현장측정 데이터

| 측정값 / 속 도 | 노반압력(kPa) | | |
|---|---|---|---|
| | 강화노반 | 상부노반 | 하부노반 |
| 300km/h | 13.210 | 9.257 | 1.852 |
| 350 km/h | 18.316 | 8.027 | 2.228 |
| 402 km/h | 15.896 | 12.940 | 4.186 |




<그림 2-3-3-55> 계측결과

계측 데이터 분석결과 열차속도가 증가할수록 증가 추세로 나타나나, 해석결과와 같이 노반 안정성에 민감한 영향을 주지 않으며, 응력은 차이가 거의 발생하지 않았다. 또한, HEMU-430X열차의 강화노반 최대압력은 18.3kPa으로, KTX호남열차의 강화노반 최대압력은 13.9kPa으로 각각 해석값(최소42.7kPa~최대58.8kPa)의 31%, 24%로 나타나 안정한 것으로 분석되었다.

속도별, 강화노반 강성별, 강화노반 두께별 및 상부, 하부 노반 강도변화에 따라 FEM해석을 통해 강화노반응력의 기준 검증한 결과 철도설계지침 및 편람(궤도편)의 콘크리트 궤도에 대한 기준이 자갈궤도 기준을 준용하여 사용하는 Heukelom - Klomp 공식의 허용노반응력 범위 내로 나타나 안정적인 것으로 판단되나, 콘크리트 궤도에 맞는 적용기준의 제시가 필요할 것으로 사료되었다.

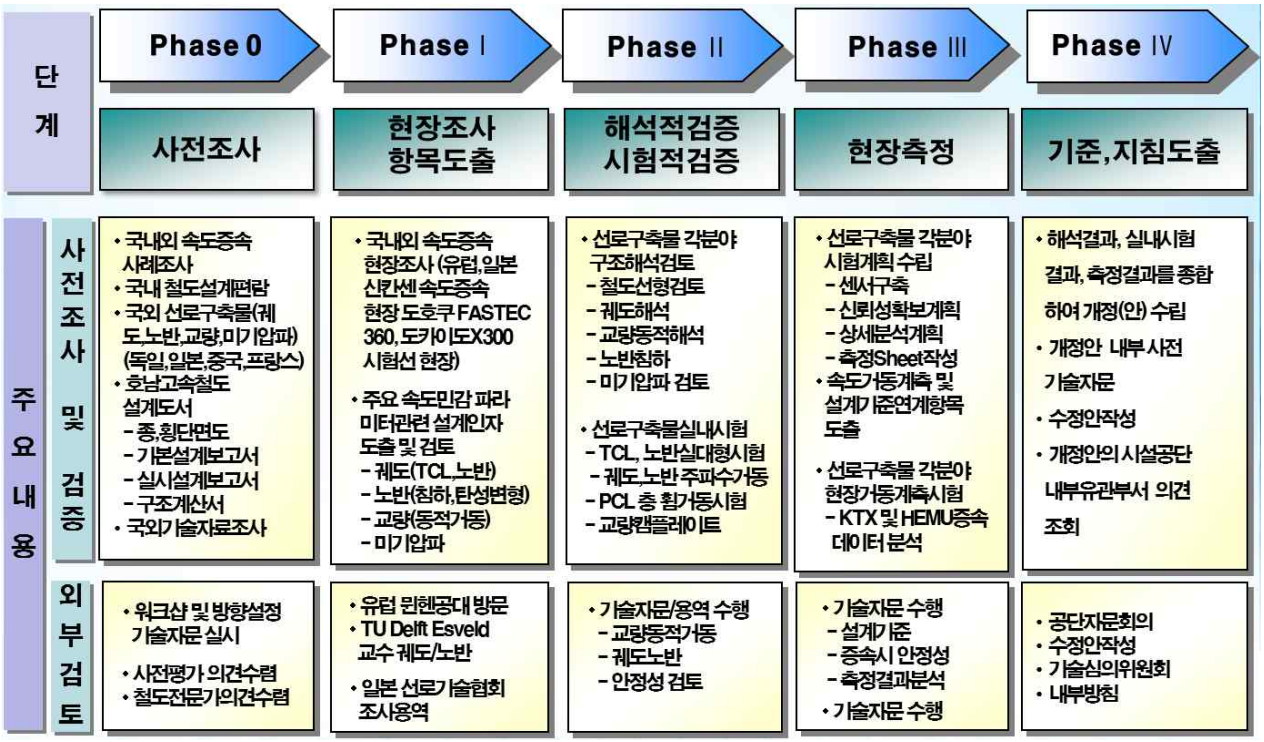
## 라. 열차속도증가(400km/h)에 따른 설계지침(안) 개발

### (1) 개 요

본 절에서는 1~4차년도까지 수행된 연구수행내용을 종합적으로 검토하여 개발 제시된 열차속도증가(400km/h)에 따른 8개의 설계지침 및 편람을 제시하였다. 본 연구에서는 400km/h 증속 시 선로구축물(궤도, 토공노반, 교량, 터널미기압파) 열차속도와 거동과의 상관관계를 고려하여 민감한 설계인자들을 추출하고 이를 집중적으로 검토하였다.

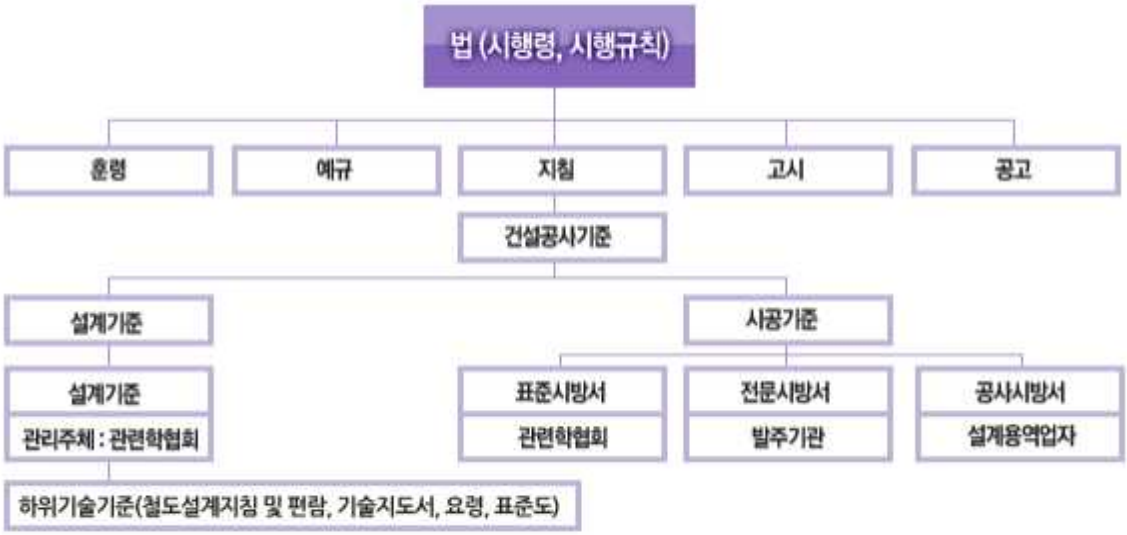
장대하고 규모가 큰 선로구축물(궤도, 노반, 교량)을 대상으로 속도에 민감한 파라미터를 결정하고 속도와 각 변수와의 상관관계를 분석하였다. 먼저 해석적인 검토를 내려 호남고속철도 Test-Bed 구간(익산~정읍)에서 400km/h 주행 시 선로구축물의 안정성을 해석적으로 검토하였다. 이후 해석적 검토가 어렵고 검증이 어려운 항목에 대해서는 400km/h 이상영역에서 발생되는 충격하중에 대하여 궤도, 노반단면의 실제거동에 대한 거동분석을 수행하여 2차로 안정성을 확보하고 시험데이터를 확보하였다. 이후 현장거동(모니터링)계측분석을 수행하여 측정시험데이터 확보하고 중간에 세운 여러 가지 가설과 설계지침(안)에 대한 시험을 통한 검증을 실시하였다.

지금까지 수행된 설계기준을 제시하기 위한 절차는 다음 표와 같은 절차에 의하여 제시되었다.




<그림 2-3-3-56> 설계기준, 지침, 편람(안) 개발절차

일반적으로 건설기준의 위계는 <그림 2-3-3-57>와 같고 철도건설기준의 위계는 <그림 2-3-3-58>과 같다. 철도건설기준의 각 기준의 항목별 정의는 <표 2-3-3-58>과 같다.




<그림 2-3-3-57> 건설기준 위계

| | | | |
|---|---|---|---|
| 법 률 | | 철도건설법 | 철도건설규칙 |
| | | 철도안전법 | 철도시설 기술기준 |
| 행정규칙(고시) | | | 철도의 건설기준에 관한 규정 |
| 건설공사기준 | 국가기준 | 설계기준 | 철도설계기준(분야별) |
| | | 시공기준 | 철도건설공사 전문시방서(분야별) |
| | 공단기준 | 하위기술기준 | 철도설계지침 및 편람, 철도표준도(분야별) |

<그림 2-3-3-58> 철도건설기준 위계

<표 2-3-3-53> 각 기준별 위계

| 구 분 | 정 의 | 비 고 |
|---|---|---|
| 설계기준 | 국가기준으로서 각 시설물별 또는 작업조건에 대해 품질, 강도, 안전, 성능 등 설계조건의 한계(최저한계)를 규정한 기준 | 중앙건설기술심의 |
| 설계지침 | 기준과 편람의 중간적 성격을 띠고 있으며, 분야별 설계방법에 대한 상세한 기술적 기준을 각 요소별로 정의(대부분 설계지침은 발주처에 의해 제시됨) | |
| 설계편람 | 기준이나 지침에 기술하기 곤란한 사항 등을 실무에 쉽게 활용하도록 상세하게 만든 도서 | |
| 표준도 | 비교적 설계빈도가 많고 동일한 공법 및 설계기준을 적용하는 암거, 옹벽 등 구조물에 대하여 설계 및 시공단계에서 적용하거나 참고할 수 있는 표준화된 도면형식 | |
| 표준시방서 | 시설물의 안전 및 공사시행의 적정성과 품질 확보 등을 위하여 시설물별로 정한 표준적인 시공기준으로서 공사시방서를 작성할 때 활용하기 위한 시공기준 | |
| 전문시방서 | 공사시방서 작성을 위한 가이드로서 시설물별 표준시방서를 기본으로 모든 공종을 대상으로 하여 특정한 공사의 시공 또는 공사시방서의 작성에 활용하기 위한 종합적인 시공기준 | 중앙건설기술심의 |
| 공사시방서 | 표준시방서와 전문시방서를 기본으로 공사의 특수성·지역여건·공사방법 등을 고려하여 기본설계 및 실시설계 도면에 구체적으로 표시할 수 없는 내용과 공사수행을 위한 시공방법, 자재의 성능·규격 및 공법, 품질시험 및 검사, 안전관리계획 등에 관한 사항을 기술한 시공기준으로 당해공사의 계약문서임 | |

<표 2-3-3-54> 고속철도 및 일반철도 설계기준 현황

| 구분 | | 일반철도 | 고속철도 |
|---|---|---|---|
| 공통 | | -철도건설규칙(09.09.1) “철도의 건설기준에 관한규정” | |
| 설계기준 | 노반 | -철도설계기준(노반편)개정(11.5) | |
| | | -철도설계기준(노반편)개정(04.12)<br>-철도설계기준(철도교편)개정(04.12) | -호남고속철도설계지침(08)<br>-고속철도설계기준(노반편)개정(05.7) |
| | 궤도 | | -호남고속철도설계지침(10) |
| | 건축 | -철도건축물설계기준(05.6)개정 | |
| | 전기 | -전철전력시설규정 (03.5)<br>-통신선로시설규정 (93.11)<br>-철도신호규정(03.1) | |
| 전문시방서 | 노반 | -철도공사전문시방서(노반편)개정 (04.12) | -고속철도공사 전문시방서(노반편) (03.4) |
| | 궤도 | | -고속철도공사 전문시방서(궤도편) (04.4) |
| | 건축 | -철도공사 전문시방서 (건축편) (06.6) 제정예정 | |
| | 전기 | -철도전철전력공사 시방서(04.12)<br>-철도통신공사 시방서(04.12)<br>-철도신호공사 시방서(04.12) | |
| 편람 | 노반 | -철도설계편람(토목편)(04.12) | |
| | 궤도 | -철도설계편람(궤도편)(10.8) | |
| | 건축 | | |
| | 전기 | -철도설계편람(전철전력편)<br>-철도설계편람(통신편)<br>-철도설계편람(신호편) | |

설계기준 정립을 위하여 1차년도에 설계기준 Review를 수행하였다. 현행 철도기준은 고속철도 및 일반철도 설계기준의 현황은 <표 2-3-3-54>와 같다. 철도구조물에 대한 설계기준은 일반철도와 고속철도로 구분되어 있었으나, 2011년 철도설계기준(한국철도시설공단, 2011)이 발간되어 통합되었다. 철도설계기준은 일반 구조물의 경우와 마찬가지로 강교량은 허용응력설계에 기반을 둔 설계법을, 콘크리트교량의 경우 강도설계법을 제시하고 있다.

궤도의 경우 재래적인 자갈도상과 콘크리트도상으로 구분될 수 있다. 궤도에 적용되는 PC침목의 경우 “PC침목 설계시방서”에 따라 콘크리트 상하연의 허용응력초과 여부를 검토하며 강도설계법에 근거하여 균열모멘트, 극한모멘트 및 극한안전율을 검토한다. 일반선에 적용되는 충격계수의 경우 “PC침목 설계시방서”가 제시하고 있는 식을 적용할 경우 과다 설계될 우려가 있어, 일본 설계기준(철도종합기술연구소, 1997)이 제시하고 있는 충격계수 식을 적용하고 있다. 레일 단면의 설계 시는 레일저부 최대응력, 레일과 침목 간 최대응력 등의 허용응력 초과 여부를 검토한다. 도시철도의 경우 국토해양부의 “도시철도 표준화사업”의 일환으로 진행된 “도시철도 선로시스템 표준화”연구 과제를 통하여 “콘크리트 궤도 설계기준”(2004)이 제시된 바 있다. 레일의 경우 레일의 잔류응력 및 피로를 고려하여 허용응력을 산정한다. 침목 및 궤도슬래브의 경우도 마찬가지로 수직하중에 의한 지압응력과 휨모멘트에 의한 휨응력의 허용응력 만족 여부를 검토한다. 고속철도에 적용되는 콘크리트궤도의 경우는 시스템이 다양하며 각 시스템 별로 개발된 국가가 상이하므로 설계법이 다양할 수 있으나, 경부고속철도 2단계에 적용된 Rheda 2000의 경우 독일의 설계기준을 적용하여 허용응력을 산정하고 있다(한국철도시설공단 등, 2011).

철도설계지침 및 편람(KR CODE)은 2012년에 한국철도시설공단이 제정하였다. 글로벌표준(Global Standard)에 맞게 CODE로 체계화한 ′철도설계지침 및 편람(KR CODE)′에 대해 저작권등록(제C-2013-001788호)을 하고 기준을 체계화하였다. KR CODE는 철도건설공사 기준에 대해 이용자의 활용성향상, 기준의 중복성 해소, 기준의 연계성 강화, 개정내용의 체계적 관리를 위해 UIC(국제철도연맹) CODE체계를 벤치마킹, 그 동안 철도설계지침과 편람으로 이원화 돼있는 것을 통합하고 표준화, 체계화하였다. 관련기준은 토목·궤도 88개, 건축 39개, 전철전력 56개, 신호제어 31개, 정보통신 28개 등 총 242개로 구성돼 있다. 향후 철도기술의 국제적 위상을 제고하고 향후 기술변화 추이를 수시로 반영, 제·개정관리를 이루어질 전망이다.

설계기준 Review를 수행하면서 속도에 민감한 설계기준 거동항목을 추출, 선정하였다. 그 상세한 내용은 아래 표와 같다.

향후 개정에 필요한 내용은 다음과 같다.

○ **국가기준**(철도설계기준 및 철도건설공사 전문시방서)
①개정(안) 작성 ▷ ②유관부서 의견조회 ▷ ③**자문 및 심의**(공단) ▷ ④검토의뢰(국가기준센터) ▷ ⑤최종(안) 작성 ▷ ⑥개정요청(철도건설과) ▷ ⑥관계기관 의견조회 ▷ ⑦**중앙건설기술심의위원회**(기술기준과) ▷ ⑧내부방침 ▷ ⑨공고(국토교통부)

○ **공단기준**(철도설계지침 및 편람, 철도표준도)
①개정(안) 작성 ▷ ②유관부서 의견조회 ▷ ③**자문회의** ▷ ④수정(안) 작성 ▷ ⑤**기술심의위원회** ▷ ⑥내부방침(이사장, 본부장) ▷ ⑦홈페이지 등록

<표 2-3-3-55> 설계기준(안) 개정항목

| 구 분 | 400km/h급 기준(안)<br>제안 항목 | 관련기준 | |
|---|---|---|---|
| | | 관련 KR CODE 및 관련분야 | 관련 철도설계기준(노반편) 분야 |
| 1 | 교량 구조적정 설계변위 | - KR C-08070<br>• 3. 주행안정성 및 승차감 검토를 위한 절차 및 방법 (Page. 2-4) | - 제8장 교량일반<br>• 8.6 운행을 위한 한계조건<br>8.6.3 주행안전성 및 승차감 검토 기준 |
| 2 | 노반 침하기준(한계침하속도) | - KR C-04020<br>• 5. 쌓기 구간의 원지반 (Page.18) | - 제4장 흙구조물<br>• 4.3.4 쌓기 구간의 원지반 (Page. 4-26) |
| 3 | 연약지반 판정기준 | - KR C-04040<br>• 3. 연약지반 판정 (Page.1) | - 제4장 흙구조물<br>• 4.5.2 연약지반의 판정 (Page. 4-38) |
| 4 | 표준동적하중 충격계수 | - KR C-14030<br>• 표준동적하중계산(p22-23;해설편) | - |
| 5 | 교량단부 콘크리트궤도<br>사용성 검토 | - KR C-08090<br>• “교량단부 콘크리트궤도 사용성 검토” pp.9~10 | 제8장 교량 일반사항<br>8.6.4 궤도/교량 종방향 상호작용력 검토 |
| 6 | 콘크리트궤도 요구조건 | - KR C-14040<br>• 5.3 콘크리트궤도 요구 조건<br>(Page.8~9) | |
| 7 | 콘크리트궤도 구성품요소 | - KR C-14040 해설<br>• 3. 콘크리트궤도 구성품 요소<br>(Page.21) | |
| 8 | 터널 미기압파 허용기준 | - KR C-04 신규제시<br>- KR C-04 해설<br>• 1. 터널 미기압파의 평가방법 | |

# 4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발

## 가. 연구수행 결과

### (1) 400km/h급 전차선로 시스템 기본설계 및 설계 기준

#### (가) 400km/h급 전차선로 시스템 기본사양 결정

##### ① 시뮬레이션 프로그램 신뢰성 검증

㉮ 시뮬레이션 프로그램

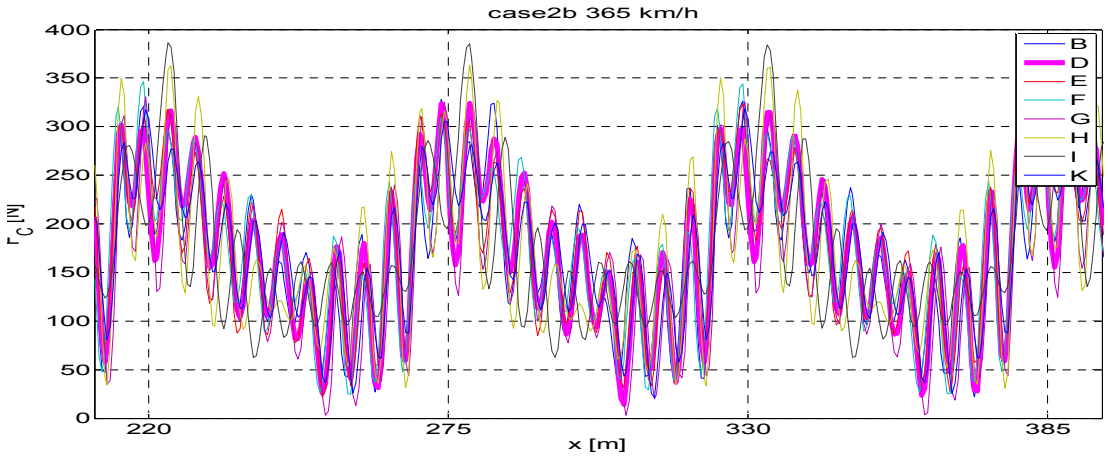
호남고속철도에 설치될 시속 400km급 전차선로의 집전성능과 드로퍼에 작용하는 동하중 예측을 위하여 한국철도기술연구원에서 개발한 SPOPS(Simulation Program of Overhead contact line and Pantograph coupled System) 프로그램을 사용하였다. SPOPS는 유한요소법 기반 시뮬레이션 프로그램으로 전차선의 스테거로 인한 집전성능의 영향을 평가할 수 있는 시뮬레이션 프로그램이다.

㉯ 타 시뮬레이션 프로그램과의 비교를 통한 정밀도 확인

SPOPS의 정밀도 검증을 위하여 한국철도기술연구원은 2013년에 프랑스 SNCF, 독일 DB, 일본 RTRI, 이탈리아 밀라노공대 등 세계 최고의 전문가들과 함께 집전성능 시뮬레이션 프로그램의 Benchmark 국제공동연구를 수행하였다. 국제공동연구는 1, 2단계로 나누어서 수행된다. 1단계에서는 실제 전차선로(프랑스 LN2와 이탈리아의 C270)와 유사한 가상의 전차선로(그림 1 참조)와 가상의 팬터그래프(그림 2 참조)를 대상으로 동역학 시뮬레이션 결과를 비교한다. 2단계에서는 실제 노선에서의 집전성능 측정결과를 확보하여 이를 시뮬레이션 결과와 비교한다. 현재는 1단계 연구가 완료된 상태이다.

시뮬레이션 결과를 비교하는 속도는 시속 10, 230, 275, 320 및 360km이다. 본 보고서에서는 편의상 최고 속도인 시속 360km에서의 결과만을 비교하였다.

시속 360km에서 SPOPS를 사용하여 얻은 접촉력 시간 파형(아래 그림에서 D가 SPOPS결과를 나타냄)은 다른 3차원 시뮬레이션 프로그램 결과와 비교할 때 평균에 매우 근접하다는 것을 아래 그림을 통하여 알 수 있다.




<그림 2-3-4-1> 시속 360km/h 일 때 3차원 집전성능 시뮬레이션 프로그램의 국제공동연구 Benchmark 결과 비교 (철도연 SPOPS는 D) : 팬터그래프 주행 위치별 접촉력(점선 위치는 전주 위치를 나타냄)

시뮬레이션 결과를 정성적으로 분석하기 위하여 접촉력을 통계처리하여 비교해 보았다. 아래 그림을 보면 SPOPS를 사용하여 얻은 접촉력 평균, 표준편차, 저주파수 RMS(0~5Hz), 고주파수 RMS(5~20Hz) 모두 Benchmark에 참여한 모든 시뮬레이션 결과를 평균하여 얻은 값(그림에서 수평의 점선으로 표시)에 근접한다는 것을 알 수 있다.

따라서, 본 연구에서 사용하는 SPOPS 시뮬레이션 프로그램의 정밀도는 Benchmark를 위한 국제공동연구에 참여하는 다른 시뮬레이션 프로그램과의 비교를 통하여 적절함을 확인할 수 있었다.

## ② 시뮬레이션 결과

○ 드로퍼 배치 1안 : 집전성능 평가기준 모두 만족

| 항목 | 경간 50m | 경간 55m | 기준 |
|---|---|---|---|
| 평균 접촉력(N) | 191,2 | 190,1 | <= 200 |
| 접촉력 표준편차(N) | 50,0 | 47,6 | |
| 통계적 최대 접촉력(N) | 341,1 | 332,9 | <= 350 |
| 통계적 최소 접촉력(N) | 41,4 | 47,2 | > 0 |
| 최대 접촉력(N) | 287,9 | 292,0 | |
| 최소 접촉력(N) | 91,9 | 100,0 | |
| 지지점에서의 압상량(cm) | 5,9 | 6,1 | <= 12 |
| 드로퍼 하중 최대 변화(kgf) | 20,1 | 22,0 | |

○ 드로퍼 배치 2안 : 집전성능 평가기준 모두 만족

| 항목 | 경간 50m | 경간 55m | 기준 |
|---|---|---|---|
| 평균 접촉력(N) | 191,3 | 190,8 | <= 200 |
| 접촉력 표준편차(N) | 45,2 | 45,9 | |
| 통계적 최대 접촉력(N) | 326,9 | 328,6 | <= 350 |
| 통계적 최소 접촉력(N) | 55,8 | 53,0 | > 0 |
| 최대 접촉력(N) | 277,3 | 292,7 | |
| 최소 접촉력(N) | 98,3 | 80,5 | |
| 지지점에서의 압상량(cm) | 5,2 | 5,6 | <= 12 |
| 드로퍼 하중 최대 변화(N) | 20,2 | 21,2 | |

드로퍼 배치 두가지 안에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과 모두 평가기준을 만족하였다. 드로퍼 배치 1안을 적용할 때는 국부 이선과 관련된 최소 접촉력 측면에서 상대적으로 경간길이가 더 긴 55m에서 더 좋은 집전성능을 보이고 있고, 드로퍼 배치 2안을 적용할 때는 경간길이가 더 짧은 50m에서 더 좋은 집전성능을 보이고 있다.

## ③ 전차선 및 조가선 안전율

### ㉮ 전차선

400km/h급 전차선로에 사용되는 전차선은 Cu-Mg 소재(150mm2)의 나전선으로, 최소 파단하중은 80 kN(붙임 2 참조)이다. 전차선에 작용하는 장력은 34 kN이므로 전차선의 안전율은 80/34 = 2.3529가 되며, 이것은 전차선이 만족해야 하는 최소 안전율 2.2를 상회한다.

### ㉯ 조가선

400km/h급 전차선로에 사용되는 조가선은 Cu-Mg 소재(116mm2)의 연선으로 최소 파단하중은 68.5 kN이다. 조가선에 작용하는 장력은 23 kN이므로 조가선의 안전율은 68.5/23 = 2.9783이 되며, 이것은 조가선이 만족해야 하는 최소 안전율 2.5를 상회한다.

## ④ 400km/h급 전차선로 급전용량 검토

### ㉮ 송변전 분야 열차주행 시뮬레이션(TPS) 결과[*]

### ㉯ 검토기준

호남고속철도 오송~공주~익산 구간에 운행되는 고속열차에 대하여 주행하는 상황을 차량 및 선로 데이터를 사용하여 열차주행 시뮬레이션을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 열차주행 시뮬레이션(TPS) 결과(요약)

- Total Travel Distance : 179264 [m]
- Total Traveling Time : 2950.5 [s]
- Scheduled Speed : 218.7 [㎞/h]
- Total Energy for accelerating : 5727.6 [kWh]
- Total Energy from regenerative braking : 886.3 [kWh]
- Total Energy for train auxiliaries : 1739.2 [kWh]
- Peak Current : 888.9[A] at location 40004.3737919354[m]

| 구 간 | 위치[m] | 역간거리 | 시간[s] | | | 에너지[kWh] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | DWT | TT | 누계 | 역행 | 회생 | 보조 | 계 |
| 오송→공주 | 73800 | 43800 | 90 | 678.50 | 678.50 | 1528.61 | -219.33 | 426.95 | 1736.23 |
| 공주→익산 | 119632 | 45832 | 90 | 697.10 | 1465.70 | 1325.31 | -223.87 | 437.30 | 1538.74 |
| 익산→공주 | 165464 | 45832 | 90 | 705.70 | 2171.30 | 1498.53 | -225.56 | 442.04 | 1715.01 |
| 공주→오송 | 209264 | 43800 | 90 | 689.10 | 2950.50 | 1375.13 | -217.50 | 432.85 | 1590.48 |

- 호남고속철도 KTX-Ⅱ 20량, 20분시격, 300㎞/h 운행시 급전시뮬레이션 결과

| 구 분 | 300[㎞/h] 기준 : KTX-Ⅱ | 300[㎞/h] 기준 : KTX-Ⅱ 20량 |
|---|---|---|
| 주행저항[N] | 2769 + 35.86V + 0.424V2 | 5538 + 71.72V + 0.848V2 |
| 열차중량[ton] | 434.0 (10량 기준) | 868.0 (20량 기준) |
| 속도별 견인력[kN] | 최대 : 210.00 <0㎞/h><br>최소 : 102.70 <300㎞/h> | 최대 : 420.00 <0㎞/h><br>최소 : 205.40 <300㎞/h> |
| 속도별 제동력[kN] | 최대 : 170.00 <60㎞/h><br>최소 : 93.500 <300㎞/h> | 최대 : 340.00 <60㎞/h><br>최소 : 187.00 <300㎞/h> |

- 정상급전 결과

[단위 : MVA]

| 변전소명 | 급전구간 | 상 | 공급거리 [km] | 1시간 최대 | 15분 최대 | 1분 최대 | 순시 최대 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부용S/S | 부용S/S-봉명SP | M | 21.51 | 3.040 | 4.059 | 16.257 | 24.831 |
| | 부용S/S-강내SP | T | 10.04 | 2.122 | 2.831 | 24.446 | 25.877 |
| | 전 체 | M+T | 31.55 | 5.162 | 6.89 | 40.703 | 50.708 |
| 논산S/S | 논산S/S-봉명SP | M | 20.48 | 6.372 | 8.915 | 49.356 | 53.455 |
| | 논산S/S-용기SP | T | 16.74 | 1.439 | 1.922 | 9.680 | 24.562 |
| | 전 체 | M+T | 37.22 | 7.811 | 10.837 | 59.036 | 78.017 |
| 기존 호남선 익산S/S | 익산S/S-감곡SP | M | 26.36 | 0.079 | 0.079 | 0.079 | 0.079 |
| | 익산S/S-용기SP | T | 17.04 | 3.990 | 5.324 | 28.674 | 50.422 |
| | 전 체 | M+T | 43.40 | 4.069 | 5.403 | 28.753 | 50.501 |

- 열차집전전압

[단위 : kV]

| 변전소명 | 상 | 공급거리[km] | 집전전압 최소 | 집전전압 최대 |
|---|---|---|---|---|
| 부용S/S | M상 | 21.51 | 24.44 | 28.15 |
| | T상 | 10.04 | 25.18 | 28.21 |
| 논산S/S | M상 | 20.48 | 21.11 | 28.58 |
| | T상 | 16.74 | 24.77 | 28.27 |
| 기존 호남선 익산S/S | M상 | 26.36 | 27.50 | 27.50 |
| | T상 | 17.04 | 24.89 | 28.23 |

※ 위 표에서 열차 집전전압은 열차의 위치에서 팬터그래프에 나타나는 전압을 의미하며, 이것은 변전소의 전압과는 다르다. 또한 최고전압이 27.5kV 보다 높게 되는 것은 열차가 회생제동을 하는 상황에서 열차가 전력을 전차선로 측으로 보내는 전원역할을 하기 때문이다.

- 전압불평형률

전압불평형 계산식은 다음과 같으며 시뮬레이션에 의해 계산된다.

$$\text{전압불평형율} = Z \times |(P_M - P_T)| \times 10^{-4}$$

여기서, Z : 변전소 수전점에서의 3상 전원계통 10[MVA] 기준 %임피던스

PM, PT : 스코트결선변압기 M상 및 T상의 평균부하(kVA)

| 변전소명 | 급전조건 | 불평형률 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| | | 10분 최대 | 순 시 | |
| 부용S/S | 정상급전 | 0.17 | 0.50 | |
| 논산S/S | 정상급전 | 0.34 | 1.04 | |
| 익산S/S | 정상급전 | 0.16 | 0.98 | |

- 전차선 전류

[단위 : A]

| 변전소명 | 급전구간 | 상 | 공급거리 [km] | 1시간 최대 | 15분 최대 | 1분 최대 | 순시 최대 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부용S/S | 부용S/S-봉명SP | M | 21.51 | 57.2 | 76.4 | 309.6 | 474.9 |
| | 부용S/S-강내SP | T | 10.04 | 40.1 | 53.5 | 464.8 | 493.4 |
| 논산S/S | 논산S/S-봉명SP | M | 20.48 | 129.7 | 178.5 | 1032.0 | 1149.3 |
| | 논산S/S-용기SP | T | 16.74 | 26.8 | 35.8 | 181.9 | 468.6 |
| 기존 호남선 익산S/S | 익산S/S-감곡SP | M | 26.36 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| | 익산S/S-용기SP | T | 17.04 | 74.1 | 99.0 | 536.8 | 967.8 |

- 연장급전부하 결과

[단위 : MVA]

| 구 분 | 급 전 구 간 | 상 | 공급거리 [km] | 1시간 최대 | 15분 최대 | 1분 최대 | 순시 최대 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 신청주S/S (부용S/S고장시) | 신청주S/S-부용S/S | T | 20.65 | 15.881 | 19.104 | 59.170 | 77.868 |
| 부용S/S (논산S/S고장시) | 부용S/S-논산S/S | M | 41.99 | 10.103 | 13.173 | 55.958 | 63.744 |
| | 부용S/S-강내SP | T | 10.04 | 2.119 | 2.827 | 24.404 | 25.838 |
| | 전 체 | M+T | 52.03 | 12.222 | 16 | 80.362 | 89.582 |
| 논산S/S (부용S/S고장시) | 논산S/S-부용S/S | M | 41.99 | 9.414 | 12.229 | 48.653 | 52.268 |
| | 논산S/S-용기SP | T | 16.74 | 1.437 | 1.920 | 9.675 | 24.486 |
| | 전 체 | M+T | 58.73 | 10.851 | 14.149 | 58.328 | 76.754 |
| 논산S/S (익산S/S고장시) | 논산S/S-봉명SP | M | 20.48 | 6.312 | 8.836 | 48.702 | 52.328 |
| | 논산S/S-익산S/S | T | 33.78 | 5.619 | 7.503 | 31.074 | 59.801 |
| | 전 체 | M+T | 54.26 | 11.931 | 16.339 | 79.776 | 112.129 |
| 기존 호남선 익산S/S (논산S/S고장시) | 익산S/S-감곡SP | M | 26.36 | 0.079 | 0.079 | 0.079 | 0.079 |
| | 익산S/S-논산S/S | T | 33.78 | 5.471 | 7.304 | 28.655 | 50.387 |
| | 전 체 | M+T | 60.14 | 5.55 | 7.383 | 28.734 | 50.466 |

- 열차집전전압

[단위 : kV]

| 구 분 | 급 전 구 간 | 상 | 공급거리 [km] | 집전전압 최 소 | 집전전압 최 대 |
|---|---|---|---|---|---|
| 신청주S/S (부용S/S 고장시) | 신청주S/S-부용S/S | T | 20.65 | 19.74 - 3.86 = 15.88 | 28.94 |
| 부용S/S (논산S/S 고장시) | 부용S/S-논산S/S | M | 41.99 | 18.04 | 28.96 |
| | 부용S/S-강내SP | T | 10.04 | 25.82 | 28.09 |
| 논산S/S (부용S/S 고장시) | 논산S/S-부용S/S | M | 41.99 | 23.71 | 28.63 |
| | 논산S/S-용기SP | T | 16.74 | 25.47 | 28.15 |
| 논산S/S (익산S/S 고장시) | 논산S/S-봉명SP | M | 20.48 | 23.97 | 28.41 |
| | 논산S/S-익산S/S | T | 33.78 | 19.88 | 28.30 |
| 기존 호남선 익산S/S (논산S/S 고장시) | 익산S/S-감곡SP | M | 26.36 | 27.50 | 27.50 |
| | 익산S/S-논산S/S | T | 33.78 | 24.47 | 28.49 |

※ 위 표에서 열차 집전전압은 열차의 위치에서 팬터그래프에 나타나는 전압을 의미하며 이것은 변전소의 전압과는 다르다. 또한, 최고 전압이 27.5kV 보다 높게 되는 것은 열차가 회생제동을 하는 상황에서 열차가 전력을 전차선로 측으로 보내는 전원 역할을 하기 때문이다. 신청주S/S는 연장급전시 90[MVA] 1Bank 운전조건이다.

- 전압불평형률

전압불평형 계산식은 다음과 같으며 시뮬레이션에 의해 계산된다.

$$\text{전압불평형율} = Z \times |(P_M - P_T)| \times 10^{-4}$$

여기서, Z : 변전소 수전점에서의 3상 전원계통 10[MVA] 기준 %임피던스

PM, PT : 스코트결선변압기 M상 및 T상의 평균부하(kVA)

| 변전소명 | 급전조건 | 불평형률 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| | | 10분 최대 | 순 시 | |
| 부용S/S | 논산S/S 고장시 | 0.40 | 1.24 | |
| 논산S/S | 부용S/S 고장시 | 0.38 | 1.02 | |
| | 익산S/S 고장시 | 0.40 | 1.16 | |
| 익산S/S | 논산S/S 고장시 | 0.21 | 0.98 | |

- 전차선 전류

[단위 : A]

| 변전소명 | 급전구간 | 상 | 공급거리 [km] | 1시간 최대 | 15분 최대 | 1분 최대 | 순시 최대 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부용S/S (논산S/S고장시) | 부용S/S-논산S/S | M | 41.99 | 194.5 | 254.0 | 1116.1 | 1308.6 |
| | 부용S/S-강내SP | T | 10.04 | 39.3 | 52.4 | 453.5 | 480.7 |
| 논산S/S (부용S/S고장시) | 논산S/S-부용S/S | M | 41.99 | 178.1 | 231.6 | 934.3 | 1011.2 |
| | 논산S/S-용기SP | T | 16.74 | 26.4 | 35.3 | 178.8 | 455.8 |
| 논산S/S (익산S/S고장시) | 논산S/S-봉명SP | M | 20.48 | 120.3 | 167.2 | 935.7 | 1012.9 |
| | 논산S/S-익산S/S | T | 33.78 | 104.7 | 139.8 | 590.6 | 1205.2 |
| 기존 호남선 익산S/S (논산S/S고장시) | 익산S/S-감곡SP | M | 26.36 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| | 익산S/S-논산S/S | T | 33.78 | 101.5 | 135.5 | 536.3 | 966.8 |

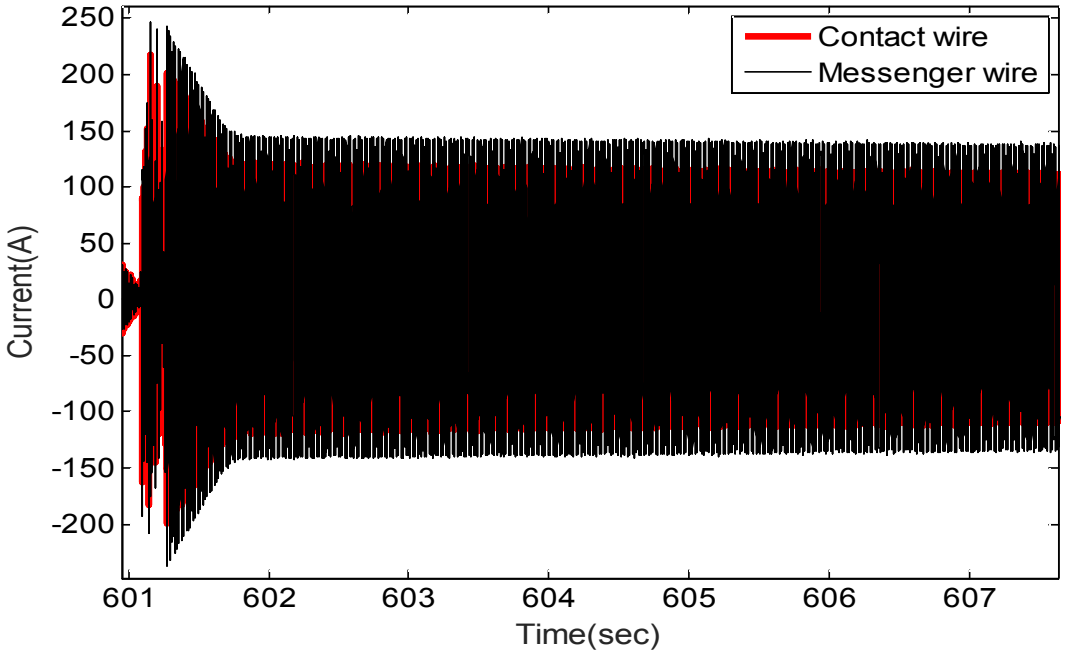
## ⑤ 전차선과 조가선의 연속전류 분류비

전차선로 전체의 연속 허용 전류를 계산하기 위하여 전차선과 조가선의 전류 분류비를 알아야 한다. 칼슨-폴라첵의 식을 이용하여 얻은 전차선로의 자기 임피던스 및 상호임피던스를 사용하여 전차선과 조가선의 전류 분류비를 예측할 수도 있고, 본선에서 전차선과 조가선에 직접 크램프미터를 걸어서 측정할 수도 있다. 여기서는 경부고속철도 2단계 구간 및 호남고속철도 테스트베드 구간에 대하여 전류 분류비를 예측한 값과 측정한 값을 제시한다.

마모가 없는 전차선이 사용될 때의 전차선과 조가선의 전류 분류비와 15% 단면이 마모된 전차선이 사용될 때의 전차선과 조가선의 전류 분류비(식 (18) 참조)를 보면 그 차이가 1% 이하로 미미한 수준임을 알 수 있다.

호남고속철도 테스트베드 구간에서 HEMU열차 통과시 전차선과 조가선에 흐르는 전류 파형을 측정한 결과는 다음과 같다. 호남고속철도 테스트베드 구간에서 측정결과에 따르면 HEMU열차의 속도가 400km/h일 때 전차선 전류의 rms는 41.3A였고, 조가선 전류의 rms는 50.2A로 전차선과 조가선에서의 연속전류 분류비가 45.0:55.0 이었다.

호남고속철도에서 전차선의 전류분류비가 경부고속철도에 비하여 줄어든(전체 전류의 60%→45%) 이유는 도전율 감소(도전율 98% → 70% 이상)로 인한 전차선 저항 증가 및 단면적 증가(87→116mm2)로 인한 조가선 저항 감소에 주로 기인하는 것으로 생각된다. 칼슨-폴라첵의 식을 이용하여 예측한 전차선의 전류분류비는 전차선로 전체 전류의 50%인데 비하여, 측정할 경우 전차선의 전류분류비는 전체 전류의 45%로 예측값에 비하여 약 5% 작다. 호남고속철도에서는 경부고속철도와 달리 균압형 드로퍼를 사용하고 있기 때문에 이러한 차이가 발생하는 것으로 추정된다.




<그림 2-3-4-2> 호남고속철도 전차선/조가선 전류 측정결과(HEMU열차 400 km/h)

- 전선의 허용전류 정리표

| 구 분 | 규 격 | 연 속<br>허용전류[A] | 순 시<br>허용전류[A] | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 전 차 선 | Cu-Mg 145.4㎟ | 500.6 | 12,768 | |
| | Cu-Mg 123.6㎟ | 451.0 | 10,853 | 마모후<br>잔존 등가직경<br>13.6㎜ |
| 조 가 선 | Cu-Mg 116㎟ | 465.6 | 10,187 | |
| 급 전 선 | ACSR 240 | 607.0 | 21,076 | |

- 검토결과

앞서 언급한 바와 같이 호남고속철도에서 HEMU열차 통과시 전차선과 조가선의 전류 분류비는 45:55로 측정되었다. 상기 표에 따르면 전차선의 최대 연속 허용전류는 전차선 마모가 있을 경우 451.1A가 되고 전차선 전류 분류비 45%를 고려하면(전차선 단면 15% 마모가 있더라도 분류비 변화는 1% 내외일 것으로 예측) 전차선로 전체의 허용전류는 1,002.4A가 되고, 조가선의 최대 연속 허용전류는 465.6A로 조가선 전류 분류비 55%를 고려하면 전차선로의 전체 허용전류는 846.5A가 되므로 이들 중 작은 값인 846.5A가 전차선로의 최대 허용전류가 됨을 알 수 있다. 한편, 상기 표에 따르면 급전선의 최대 연속 허용전류는 607.0A이다. 따라서, 호남고속철도의 급전회로(전차선로와 급전선)에서의 가장 작은 값인 607.0A가 급전회로에서의 최대 연속 허용전류가 된다.

상기 변전분야 시뮬레이션 결과(KTX산천 열차 2편성 중련, 시격 20분)를 보면 정상급전시에는 논산S/S~봉명SP 순시최대 1,149.3A 15분 최대 178.5A, 연장급전시에는 논산S/S, 고장시에 부용S/S~논산S/S까지, 순시최대 1,308.6A 15분 최대 254A이다. 연장급전시 15분 최대 254A는 호남고속철도 급전회로를 모두 고려하여 산출한 최대 연속허용전류인 607.0A보다 작고, 순시최대 1,308.6A는 조가선 순시허용전류(10,187A), 전차선 순시허용전류(10,853A) 및 급전선의 순시허용전류(21,076A)에 비하여 충분히 작다. 따라서, 호남고속철도 전차선로는 KTX산천 열차가 2편성 중련인 20량으로 시격 20분으로 300km/h로 운행하는 데에 필요한 전력에 비하여 2.3배 이상의 전력을 공급할 수 있다는 것을 알 수 있다.

## (나) 400km/h급 전차선로 상세설계를 위한 기본도 제시

기본도(상세설계 도서)는 전차선로 상세설계 및 시공을 위한 전차선로의 기초 도면으로, 모든 상세설계/시공에 기초자료로 활용된다. 호남고속철도에 건설될 400km/h급 전차선로의 기본도를 작성하기 위하여 호남고속철도의 350km/h급 전차선로 분야 실시설계와의 연계성을 검토하여 기본도를 작성하였다.

### ① 편위 기준 등 전차선로 상세설계를 위한 기본도 작성

다음은 호남고속철도에 적용한 편위 조건이다. 400km/h급 구간도 동일한 기준을 적용하고, 상세 사양은 기본도에서 제시하고 있다.

○ 일반구간 편위 조건

| 곡선반경(m) | m(mm) |
|---|---|
| ∞ ≥ R ≥ 20,000 m | + 200 |
| 20,000 m > R ≥ 10,000 m | + 150 |
| 10,000 m > R ≥ 7,000 m | + 100 |
| 7,000 m > R ≥ 5,000 m | + 50 |

○ 에어조인트 편위 조건

- 편위 조건

| 곡선반경(m) | m(mm) |
|---|---|
| ∞ ≥ R ≥ 20,000 m | + 200 |
| 20,000 m > R ≥ 10,000 m | + 150 |
| 10,000 m > R ≥ 7,000 m | + 100 |
| 7,000 m > R ≥ 5,000 m | + 50 |

○ 에어섹션 편위 조건

| 곡선반경(m) | m(mm) |
|---|---|
| ∞ ≥ R ≥ 20,000 m | + 200 |
| 20,000 m > R ≥ 10,000 m | + 150 |
| 10,000 m > R ≥ 7,000 m | + 100 |
| 7,000 m > R ≥ 5,000 m | + 50 |

## ② 오버랩 구간 설계

### ㉮ 오버랩 구간

오버랩 구간으로 구성하는 구분장치는 전차선의 일부분에 사고가 발생한 경우나 일상의 보수작업을 위해서 구분하는 전기적 구분장치(에어섹션 등)와 전차선을 일정한 길이마다 인류하는 기계적 구분장치(에어조인트)로 크게 나눌 수 있다.

오버랩 구간 반쪽 평행지역 다음에는 전차선이 팬터그래프 집전면보다 수직으로 올라가는 지역 즉, “상승경간”이라 하는 지역이 있다. 이 상승경간의 조가선과 전차선에는 합성수지 애자가 설치된다. 이와 같은 상승경간용 전주를 “중간전주”라 부른다. 중간전주에는 전선을 들어올리기 위해 수평 파이프를 사용하여 전차선을 0.55m(경부고속철도의 경우) 들어 올리게 된다. 상승경간 다음에는 인류경간을 만드는 수평 이격경간이 있게 된다. 인류를 목적으로 사용하는 전주를 “인류전주”라 부른다.

에어조인트에서 평행개소의 전차선 상호 이격거리는 200mm이고 에어섹션에서 평행개소의 전차선 상호이격거리는 500mm이다.

주축전주와 중간전주의 브래킷은 2개의 브래킷 설비를 가지고 있다. 중간전주용으로 전주축으로부터 등거리인 2개의 브래킷 간에 거리는 1.00m로 한다. 이 경우 브래킷 간의 간격조정은 후면금속판과 둥근 막대로 전주에 부착된 2개의 “U″자형 가로대와 상부 가로대를 브래킷에 볼트를 조여서 시행한다. 주축전주의 2개의 브래킷 간격은 1.6m로 한다.

전차선이 중간주에서 H 거리만큼 인상되었다고 가정할 때 중간주에서 주축주까지의 거리는 L보다 길어야 전차선이 호그(hog)가 지지 않는다. 그러나, 팬터그래프가 압상력을 가지고 집전하기 때문에 주축주에서 전차선 높이가 경부고속철도의 경우 3cm 이하로 상승되는 것으로 제한한다. 곡선반경이 작아서 경간이 짧아지면 이러한 부분을 고려하여 4경간을 구성할 수 없을 때 5경간으로 확장하여 설계한다.

㉯ 절연구분장치 구성

이중에어섹션방식의 구조는 절연구분장치 개소에 절연체를 사용하지 않고 전차선만으로 구성되므로 전차선 구분 장치의 경량화로 팬터그래프와 전차선과 상호작용 시 다른 두 개의 이상전원(M상, T상)이 상호 접촉되지 않도록 이상전원 간 무가압 중성구간(neutral section; 47m)을 삽입하고 이 중성구간 양쪽에는 에어섹션을 설치하여 팬터그래프가 A상측 전원에서 중성구간으로 이행하는 순간 집전이 중단되지만 무가압 중성구간을 통해 다른 전원 측인 B전원 에어섹션 평행구간으로 이행하여 집전함으로써 전기적으로는 순간적으로 단전되나 기계적으로는 완전 연속성으로 접동할 수 있도록 구성되어 있다. 이 장치는 절연체를 사용하고 있는 구분장치에 비해 발전 개선된 구분장치로 속도에 제한이 없어서 기능상으로나 운용보수 상으로 볼 때  고속화 구간에는 이 장치의 사용이 적합할 것으로 판단된다.

## (2) 400km/h급 전차선로 시스템 상세설계 및 시공지원

### (가) 장주도 상세설계 프로그램 개발/활용을 통한 상세설계 및 시공 지원

전차선로 상세설계에서는 크게 전주를 배치하는 등의 설계 작업을 하는 평면도 설계(pegging plan)와 장주도(MD : Mounting Diagram) 작업으로 나눌 수 있다. 장주도는 전주의 크기, 길이, 기초, 전차선 및 조가선 등의 위치 및 가동브래킷 fitting 등을 표시하는 단면도를 제시하고, 전주 및 브래킷을 비롯한 해당 단면에 사용된 자재를 표시하는 도면이다. 즉, 시공을 할 수 있는 도면과 관련 자재를 제시하는 도면이다. 장주도 작업과 관련한 자동 설계 프로그램은 이미 국산화 개발되어 350km/h급 호남고속선 상세설계 시에 사용되었다. 그러나, 400km/h급 전차선로는 350km/h급 전차선로와 비교하여 전차선 장력, 조가선 장력 및 부품 등이 변경되기 때문에 이와 같이 변경되는 시스템에 대응할 수 있는 장주도 설계프로그램이 필요하다.

장주도 설계를 위하여 개발한 프로그램은 400km/h급 전차선로에 대하여 장주도(개활지, 교량, 터널 및 역구내 포털빔 등)를 관련구성요소 기본정보에 의한 전주규격, 전주기초 등을 결정하고 표준형식별 장주도 CAD도면을 자동 작성하고 공구별, 장주도별 등에 사용된 자재 BOM을 WBS구조에 의해 산출, 활용함으로써 다수의 설계자가 효과적이고 신속하게 정밀한 전차선로 설계를 수행할 수 있도록 최적화 고속전차선로 상세설계하는 데에 그 목적이 있다. 또한, 본 시스템에 적용된 주요 특징으로는 구간별 설계 속도 지정, 400km/h급 모멘트 계산, 400km/h급 자재 코드 설계 및 적용, 400km/h급 장력장치 적용 등이 있으며, 가장 큰 특징은 설계속도가 다른 두 트랙을 설계 할 수 있다는 점이다. 즉,  상선은 350km/h로 하선은 400km/h로 설계 할 수 있다는 것이다.

최종적으로, 본 연구에서는 400km/h급 전차선로 장주도를 자동 설계할 수 있는 프로그램을 개발하였고, 개발한 프로그램을 이용하여 호남고속철도에 400km/h급 전차선로 상세설계를 수행하였다. 또한 현장여건에 따라 프로그램을 업그레이드하고 현장지원을 수행하였다.

### ① 장주도 상세설계 프로그램 개발 및 업그레이드

전차선로 시공을 위하여 각 전주위치에서의 단면인 장주도(전주/기초의 결정/설계, 전차선, 조가선, 급전선, 보호선, 가동브래킷 fitting, 곡선당김금구, 드로퍼 간격 및 장력조정장치 설치 등을 위한 도면)를 상세설계 하여야 하고, 계층구조를 가진 사용 자재를 집계(BOQ)하여야 한다. 따라서, 400km/h급 전차선로 장주도를 설계할 수 있는 프로그램을 개발하였고, 개발된 프로그램을 현장 사용성을 증대하기 위하여 프로그램을 업그레이드 하였다.

### ② 장주도 상세설계 프로그램 활용

상기와 같이 개발한 장주도 상세설계 프로그램은 호남고속철도 400km/h급 전차선로 상세설계를 위한 툴로 활용되었다. 상/하선이 각각 설계되어 있는데 좌측의 하선은 350km/h급으로 우측의 상선은 400km/h급으로 설계되었고 사용된 자재 리스트가 제시되어있다. 이와 같이 작성된 장주도는 전주설치, 각 선의 설치, 드로퍼 제작/설치 및 브래킷 제작/설치 등을 위한 도면으로 활용되어 호남고속철도를 성공적으로 시공하였다.

## (나) 호남고속철도 시공지원

본 연구에서는 호남고속철도 56km구간에 400km/h급 전차선로를 건설하기 위한 기술적인 시공지원을 하였다.

### ① 400km/h 구간 교량-전철주 인터페이스 구조 안전성 검토

400km/h급 전차선로에서 전철주가 교량에 작용하는 하중이 350km/h급 호남고속철도 설계당시 상정한 하중보다 증가되었기 때문에 400km/h급의 증가된 하중 조건에서 교량과 단독주 사이의 인터페이스 구조물/구조체에 대하여 구조안전성을 검토하고, 보강이 필요하다면 대안을 모색하는 것이 필요하게 되었다.

400km/h급으로 전차선로 설계속도 증가로 전차선 및 조가선의 장력 등이 증가되어 전차선로 구조물(단독 전주)에 걸리는 하중 및 모멘트가 증가되고 그 중에서 특히 가장 가혹한 하중 조건을 가진 장력주 하중 및 장력주 지선에 대하여 교량 구조물과 전철주 사이의 인터페이스 부분에 대한 구조 안전성 검토를 수행하였다.

### ② 전철주 및 지선주(장력주 지선) 하중

본 검토에서 사용한 전철주 최대 하중/모멘트는 다음 표와 같다.

<표 2-3-4-1> 400km/h급 전차선로 전철주 하중

| 구 분 | 전철주 최악 조건(지역 : Zone1) | 장력주 지선 |
|---|---|---|
| 수 직 | 40.1 kN (↓) | 115 kN (↑) |
| 수 평 | 23.54 kN | 104 kN |
| 모멘트 | 204.5 kN·m | 0.96 kN·m |

### ③ 교량 구조물 구조 안전성 검토 결론

400km/h급 전차선로 Test-bed구간에서 증가한 전철주 하중에 대한 교량 상부구조물의 안전성 검토 결과 특수형식 교량인 소수주거더 강합성교(50m, 55m), Extradosed교(65m+65m, 50+80+50m), 강아치교(70m, 80m)의 기 설계된 상부 구조물에 대하여 모두 400km/h급 전차선로를 적용하였을 때 안전성을 확보하고 있음을 확인하였다.

상부구조물 안전성 검토를 위해 수행한 종방향 해석 시 설계속도 400km/h급 전차선로에 의해 발생되어진 장력주 하중과 장력주 지선 하중이 기 설계되어 시공 중에 있는 호남고속철도 교량에 적용한 2차 고정하중인 170kN/m 범위를 초과하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 기 설계되어 시공 중에 있는 호남고속철도의 교량 구조물의 구조적인 안전성을 확보하여 안전한 것으로 판단된다.

그리고 교량 구조물의 안전성 검토를 위해 수행한 횡방향 해석 결과 400km/h급 전차선로에 의해 발생되어진 장력주 하중과 지선(장력주 지선) 하중이 증감되어 발생하는 휨 응력과 전단력은 기 설계되어 시공 중에 있는 호남고속철도에 사용된 단면과 철근량만으로도 교량 구조물의 구조적인 안전성을 확보하여 충분히 안전한 것으로 판단된다.

결론적으로 설계속도 350km/h급으로 기 설계되어 시공 중에 있는 호남고속철도의 교량 구조물에 400km/h급 전차선로가 설치되는 경우 전철주 하중과 지선(장력주 지선) 하중이 증가하였을 때 교량 구조물의 종방향 해석과 횡방향 해석을 수행하여 교량 구조물의 구조적인 안전성을 검토한 결과, 기 설계되어 시공 중인 호남고속철도 교량이 구조적인 안전성을 확보하여 충분히 안전한 것으로 판단된다.

### ④ 전철주 기초 안전성 검토

기존 350km/h급으로 설계된 호남고속철도 교량 상 전철주 기초와 공동관로 연결부, 공동관로와 PSC박스 연결부, 그리고 전철주 기초 앵커볼트에 대하여 400km/h급 전차선로 변경 설치 시의 안전성을 검토한 결과, 기 설계되어 시공 중인 전철주 기초와 공동관로 연결부, 공동관로와 PSC박스 연결부, 그리고 전철주 기초 앵커볼트의 안전성은 전철주 하중이 증가함에도 불구하고 구조적 안전성을 확보하고 있어 구조적으로 안전한 것으로 판단된다.

### ⑤ 터널구간 조가선용 장력조정장치 설치를 위한 보조도르래 검토

본 연구에서는 400km/h급 전차선로 터널구간에서 조가선용 장력조정장치를 효과적으로 설치하기 위하여 설치하는 보조도르래 설계 및 설치에 대하여 검토하였다.

인류지지대가 터널벽면의 형상에 따라 설치되고 조가선용 장력조정장치가 비스듬히 인류지지대에 설치된다. 이때 장력조정장치의 와이어의 위치와 보조도르래의 도르래의 위치가 정확히 일치해야 한다. 또한 장력추 유도봉이 지상부에 고정되어 있기 때문에 이와 같은 현장 상황에 대응하게 설계하여야 한다.

철도연 실험실에서 보조도르래 시제품을 제작하여 아래 그림과 같이 호남고속철도 터널 벽면을 고려한 조건에서 장력조정장치와 보조도르래를 시험 설치하여 시공 상의 문제점 등을 검토하였다. 시험 설치 시 한국철도시설공단, 시공사 및 시공감리사와 함께 여러 보완점 등의 의견을 수렴하여 최종 도면을 완성하였다.

### ⑥ 터널 하수강 및 C-찬넬 구조 안정성 검토

400km/h급 전차선로 구조물 중 터널 하수강에 가해지는 상정하중이 350km/h급보다 증가하므로 400km/h급의 증가된 하중 조건에서 안전성을 검토하였다. 해석결과를 바탕으로 터널 하수강 찬넬 및 볼트에 대한 안전성 분석결과 찬넬 및 앵커볼트는 안전한 것으로 분석 되었다.

<표 2-3-4-2> 찬넬(52/34) 안전성 분석 결과

| 구분 | | 기준값 | 해석값 | 분석결과 |
|---|---|---|---|---|
| 최소 인장하중 | 단순부하 | 22.0kN | 9.48kN | O.K |
| | 복합부하 | 11.0kN | | |
| 최소 전단하중 | 단순부하 | 22.0kN | 2.12kN | O.K |
| | 복합부하 | 11.0kN | | |

<표 2-3-4-3> 볼트(M20) 안전성 분석 결과

| 구분 | | 기준값 | 해석값 | 분석결과 |
|---|---|---|---|---|
| 충격 내하중 | 충격내하중(kN) | 60.0kN | 2.12kN | O.K |
| | 토오크(N·m) | 120.0N·m | - | 볼트 체결 시 기준값 준용 |

## ⑦ 터널 하수강 구조안전성 분석

■ 하수강 부재에 발생하는 최대 발생 값

구조해석 결과로부터 최대 모멘트, 축력 및 전단력 값을 도출하면 아래 표와 같다.

<표 2-3-4-4> 부재해석 결과

| 구분 | Moment (kN.m) | Shear (kN) | Axial (kN) |
|---|---|---|---|
| 최대발생력 | 3.66 | 2.88 | 14.18 |

호남고속철도 400km/h급 구간 터널 내에 시공된 토목 관련 전기시설물인 전차선로 지지물 기초 C-찬넬의 앵커볼트 인발시험 기준을 제시 및 C-찬넬 안전성 분석을 하기 위하여 경부고속철도 설계 자료인 “Study of the vertical drop suppoer tunnel 107 ㎜² and actions on the vault of tunnel, Korea TGV Consortium, K621-2-E1230-CE-00-X-T-011, CEGELEC, Nov. 6, 1997” 의 절차에 따라 계산을 수행하였다.

설계 자료에서 제시하고 있는 계산 케이스 중 케이스 최대하중이 작용할 것으로 예상하는 중간주에 대한 하중 케이스에 대하여 최대하중을 계산하고, 지지점에서 반력을 계산하기 위하여 MIDAS CIVIL을 이용하여 FEM해석을 수행하였다.

<표 2-3-4-5> C-찬넬의 앵커볼트 1개의 인발시험 하중값

| 구 분 | 최대 발생력 (daN) | 예상치 못한 하중에 대한 여유율(30%) (daN) | 고속철도 설계 기준값 (단순부하시) (daN) | 인발시험 하중값 (daN) |
|---|---|---|---|---|
| 적용값 | 948.0 | 1,232.4 | 2,200 | 2,200 |

따라서, C-형 찬넬에 대한 1개의 앵커볼트에 대한 인발시험 하중값은 고속철도 설계기준이 단순 부하 시 제시한 값이 가장 크므로 2,200daN으로 결정함이 적정한 것으로 분석되었다. (복합부하시험을 실시 할 경우는 1,100daN으로 결정)

<표 2-3-4-6> C-형 찬넬의 응력검토

| 구 분 | 발생값 | 기준안전율 | 분석결과 |
|---|---|---|---|
| 휨응력 | 0.843 | 1.000 | O.K |
| 전단응력 | 0.072 | 1.000 | O.K |

터널하수강 부재는 최대발생응력은 약 18%여유를 보이고 있어 안전한 것으로 판단된다.

### (다) 허용 오차

400m/h급 전차선로는 이제까지 존재하지 않았던 초고속(속도 대역이 새로운) 전차선로 시스템임에 따라 전차선로 시공 오차에 대한 기준을 정립할 필요가 있어 이를 수립하였다.

우리의 400km/h급 전차선로에 대한 시공 허용 오차 기준을 수립하였다. 수립하는데 있어서 원칙은 최대한 국제 기준의 요구사항을 따르도록 하고, 400km/h급 전차선로에서 가동브래킷 형상은 경부고속철도 및 호남선 고속철도와 큰 차이가 없다는 사실 등을 감안하며, 프랑스에서 300km/h급과 350km/h급의 시공 허용 오차를 동일하게 결정한 것도 참조하였다. 독일 및 중국 등의 해외 사례도 참조하였다. 특히 우리나라의 경우가 독일이나 중국에 비하여 시공 허용 오차 기준이 전반적으로 엄격하다는 점도 참조하였다.

한편 400km/h급 전차선로에서 대표적으로 바뀌는 사양이 동합금 전차선을 채용한 것이고 동합금선은 강도가 센 대신 시공 과정에서 미세 굴곡(Microwaves)이 생길 수 있다는 점을 고려하였다. 드로퍼 길이는 경부고속철도 기본도 A02A01에 나오는 드로퍼 길이는 ㎝ 단위로 반올림한다는 코멘트를 참조하였다.

기초 윗면 높이, 전주 종방향 위치, 건식 게이지, 가고, 드로퍼 위치(종방향), 전주 경사도, 전주 회전의 경우는 중국과 독일의 사례를 참고하되, 경부고속철도의 유지보수 기준에서 유사 항목과 비교하여 우리에 맞도록 값을 축소 조정하였다.

최종 수립된 400km/h급 전차선로의 시공 허용 오차는 다음 표와 같다.

<표 2-3-4-7> 400km/h급 전차선로 시공 허용 오차

| 항목 | 400km/h급 전차선로 시공 허용 오차 | 경부고속철도 전차선로 시공 허용 오차 |
|---|---|---|
| 기초 윗면 높이 | ±20 ㎜ | ±20 ㎜ |
| 전주 종방향 위치 | ±200 ㎜ | ±200 ㎜ |
| 건식 게이지 | ±20 ㎜ | ±20 ㎜ |
| 전차선 높이 | ±10 ㎜(전차선 높이와 연관된 항목은 모두 이 범주에 포함) | ±10 ㎜(지지점) |
| 전차선 사전 이도(Pre-sag) | ±10 ㎜ | - |
| 가고(가고 및 가동브래킷 부재 간 수직 간격과 연관된 항목은 모두 이 범주에 포함) | ±10 ㎜ | ±10 ㎜ |
| 드로퍼 위치(종방향) | ±50 ㎜ | ±50 ㎜ |
| 드로퍼 수직도 | ±20 ㎜ | ±20 ㎜ |
| 드로퍼 길이 | ±5 ㎜ | - |
| 전차선 편위(두 커티너리 사이 간격 포함) (전차선, 조가선 편위와 연관된 항목은 모두 이 범주에 포함) | ±10 ㎜ | ±10 ㎜ |
| 전주 경사도 | ±0.3° | ±0.3° |
| 전주 회전(Turning) | ±2° | ±2° |
| 전차선 미세 굴곡(Microwaves) | ±0.05 ㎜ [1)] | - |

※ 주 1) 정현파(1m 파장) 개념에서 진폭의 크기로 표현한 값임.

## (3) 400km/h급 전차선로 핵심부품 개발, 내구성 평가 및 사양서 작성

### (가) 400km/h급 전차선로 핵심부품 개발

#### ① 전차선 개발

㉮ 전차선 시작품 제작 및 평가

일반적으로 전선류에 사용되는 Cu 및 Cu alloy의 경우 주조 후에 최종 완성품을 제작하는 과정에서 가공을 거치게 된다. 즉 인발, 압출, 압연, 단조등의 가공과정에서 원재(Ingot)는 내부 조직의 변이와 함께 높은 잔류응력을 내포하게 된다. 소재내 잔류응력은 강도 및 경도와 같은 기계적 특성을 향상시키는 반면 전기전도도에는 악영향을 미치는 경향이 있다. 따라서 같은 재료라 할지라도 가공정도에 따라 인장강도는 큰 차이를 보이게 된다. 현재 세계적으로 다양한 고속전차선 소재에 대한 연구/개발이 진행되어 일부 구간에 대해 400km/h급의 전차선 시험이 완료된 사례도 있다. 특히 독일의 경우 현재 고속철도 전차선용으로 고용 강화형 합금계인 Cu-0.5wt.%Mg합금을 활용하여 도전율 및 기계적 강도 특성을 확보하였다. 이와 같은 재질에 관한 규격은 DIN 17666, 전차선에 관한 규격으로는 DIN 43141에 기재되어 있다. 그러나, 마그네슘의 경우 그 비등점이 구리의 녹는점보다 낮아 합금화 과정에서 많은 어려움이 있으며, 산화하려는 경향이 강하여, 균일한 조성 조절에 어려움이 있다. 또한 인성이 부족하여 후가공상에도 문제점이 있어, 신선 공정이 난이하다. 현재 350km/h급 이상 고속전차선용으로 독일 및 유럽 등에서 적용되고 있는 고용강화형 Cu-Mg합금의 경우, 첨가되는 Mg 성분으로 인한 주조상의 문제점이나, 인성부족 현상을 나타내는데, 이와 같은 특성을 개선하기 위해 미량의 Sn을 첨가하는 합금개발 등이 진행되었다. 고용강화형 합금은 석출경화형 합금과 같이 열처리에 의한 급격한 강도 향상을 기대할 수는 없으나, 제조공정이 비교적 간단하고 연속작업이 가능하다는 장점이 있어, 현재 전차선 소재로 가장 선호되고 있다. 대표적인 고용강화형 구리합금 첨가원소로는 Cd, Ag, Sn등이 있다. 현재까지 개발/상용화 되어진 350km/h급 전차선의 경우, Cu-Mg와 같은 2원계 고용강화형 합금으로도 요구되어진 특성을 충분히 확보할 수 있었다. 그러나 최근 고속전차 선로의 증속에 대한 수요가 급증함에 따라, 다양한 고용강화형 Cu합금 개발은 물론, 일본에서 진행되었던 석출경화형 열처리 Cu합금, PHC(Precipitation Hardened Copper Alloy Contact wire)에 대한 적용가능성 검토 또한 필요하였다. 석출경화형이라 함은 강도를 높이기 위하여 시효 열처리를 거치는 것을 말하는데, 장점으로는 도전율 저하가 적고, 인장강도의 증가가 크며, 내열성/내마모성 향상도 얻을 수 있다. 그러나 이러한 열처리 공정이 추가되면 공정추가에 따른 제조경비가 상승하게 되고, 특히 전차선에 적용하기 위해서는 대형 설비의 투자가 요구되어진다. 또한 장조장의 전차선에 대한 균질한 성능확보가 어렵다는 단점이 있다. 일반적인 석출경화형 합금 원소로 사용되는 Zr의 경우 Cu에 보통 0.05~0.2 wt.%첨가시켜 시효열처리를 통해 강도를 향상시키며, Cr의 경우도 Zr과 마찬가지로 석출경화형 합금으로서 Zr 첨가와 유사한 경향을 보인다. Cu-Zr 합금이나 Cu-Cr합금과 같은 석출경화형 합금은 뛰어난 기계적 특성을 확보하고 있으나 시효 열처리등의 추가 공정이 필요한 관계로 제조상의 어려움 및 제조 경비 상승이라는 문제점을 안고 있다.

Cu는 산화 및 탄소고용이 낮아 일반적으로 용해가 용이하나 Cr이 첨가될 경우, Melting Point가 약 10℃ 낮아지고 점도 및 산화 친화력이 높아져 용해/주조가 용이하지 못하다. 실제 국내의 경우, Cu-Cr합금에 대한 연속주조 양산업체는 전무한 실정이다. 그러나 전차선과 같이 장조장을 필요로 하는 wire type의 제품을 생산하기 위해서는 연속주조가 가장 유리한 공정으로서, Cu-Cr-Zr합금의 연속주조 가능성을 검토하였다. 아래 그림은 Cu-Cr-Zr합금에 대한 연속주조 시운전 사례로서 제품의 표면에 다량의 산화물(Dross)이 발생되었으며, 용탕 흐름성이 악화되어 정교한 형상구현이 불가하였다. 또한 내부에 다량의 기포가 발생됨으로서 압출 및 신선이 완료된 전차선 성능을 저하시킬 수 있는 문제를 내포하였다. 일본에서 개발하고 있는 PHC의 경우, 본 개발합금과 유사한 Cu-Cr합금 계열로서 특수 공정을 통해 제작하는 것으로 파악되며, 현재 세부공정에 대해 공개된 자료는 전무하여 연속주조 공정 적용에 대해서는 새로운 숙고가 필요하였다.

Cu-Cr-Zr합금의 연속 용해주조 공정에 대한 문제점을 해결하기 위해 시작품 제작 공정에 대한 전반적인 개선이 필요하였으며, 이에 과거 Cu-Cd 등, 합금형 전차선 개발과정에서 채용된 열간압출 공법을 도입하여 Cu-Cr합금 전차선 시작품을 제작하였다. 연속주조 방법으로 모재를 생산할 경우, 장조장 생산이 가능함으로 전차선 접합부를 제어할 수 있으며, 주조 직경이 작아, 별도의 용체화 열처리 없이 바로 시효 열처리가 가능한 장점이 있다. 열간압출 공법은 1차적으로 Billet을 주조하고, 이를 열간압출함으로서 주조결함을 최소화 할 수 있으며, 제조가 비교적 용이하다는 장점이 있다. 그러나 Billet 및 압출기 용량에 따라 장조장 생산이 불가하며, 대형 주물로 생산됨으로서 별도의 용체화 열처리가 필요하다.

고용강화 합금 용해의 경우, Mg Fading 현상에 따른 균일한 조성제어의 문제점 이 예측되었으며, 첨가 개량원소(P, Fe, Ag 등)는 산화 등으로 소실될 수 있고, 과다 첨가 시 미량만으로도 전기적 특성을 악화시킬 수 있음으로 정밀 제어의 필요성이 검토되었다. 시작품 제작 과정에서 Cu-Mg합금은 용해 과정 및 연속주조 Tundish(Holding)에서 Mg 산화 손실이 높아, 장입량의 40%가 소실되는 문제점을 확인하였으며, 강도향상을 위해서는 고용강화 이외에도 개량화 원소 첨가 및 조직제어를 통한 강도향상 효과가 동반되어야 함을 기술정보 수집활동을 통해 확인하였다. 이에 시작품 제작을 통한 사전성능 평가를 위해서는 석출경화형 합금과 동일한 열간 압출 공법을 활용함으로서 미세조직을 제어하는 기술 접목이 필요하였다.

석출 경화형 합금 시작품 제작은 위와 같은 제조 공정으로 진행하였다. 원자재는 주요 성분인 Cu의 경우 99.9%이상의 전기동 등을 활용하였으며, 첨가 원소들은 모합금을 별도 제작하여 활용함으로서 회수율을 높였다. 용해는 500kg 고주파 용해로를 활용함으로서 교반 효과를 극대화 하였으며, 고용 강화형 합금 시작품은 열처리를 제외한 석출 경화형 합금 시작품과 동일 공정으로 제작하였으며, 용융시간을 단축함으로서 Mg의 손실을 최소화 하였다. 용해 과정에서 산소 함유량 및 게재물을 제어하기 위한 Flux 처리를 출탕전에 실시하였으며, 출탕온도는 1,250℃로 유지 관리하였다. 단중 250kg 압출용 Billet 주조는 경사 주입 방식을 채택함으로서 용탕이 안정적인으로 주입될 수 있도록 하였다. 이와 같은 과정을 통해 각 합금별로 시작품을 제작하여

1800ton급 압출기를 활용한 열간압출을 진행하였다. 압출된 신선용 모재는 28mm(ϕ) Rod로 제작하였으며, 이 후 압연을 통해 25mm(ϕ) Rod로 감소시킨 후 최종 신선공정을 진행하였다. 그림 3.3.4는 열간압출을 통해 제작된 28mm(ϕ) 정상Rod이며, 그림 3.3.5는 열간압출 온도 설정의 문제로 발생된 불량 Rod의 예시이다.

용해 과정에서 산소 함유량 및 게재물을 제어하기 위한 Flux 처리를 출탕전에 실시하였으며, 출탕온도는 1,250℃로 유지 관리하였다. 단중 250kg 압출용 Billet 주조는 경사 주입 방식을 채택함으로서 용탕이 안정적인으로 주입될 수 있도록 하였다. 이와 같은 과정을 통해 각 합금별로 석출경화형 3종, 고용강화형 1종을  제작하여 1800ton급 압출기를 활용한 열간압출을 진행하였다. 압출된 신선용 모재는 28mm(ϕ) Rod로 제작하였으며, 이 후 압연을 통해 25mm(ϕ) Rod로 감소시킨 후 최종 신선공정을 진행하였다.

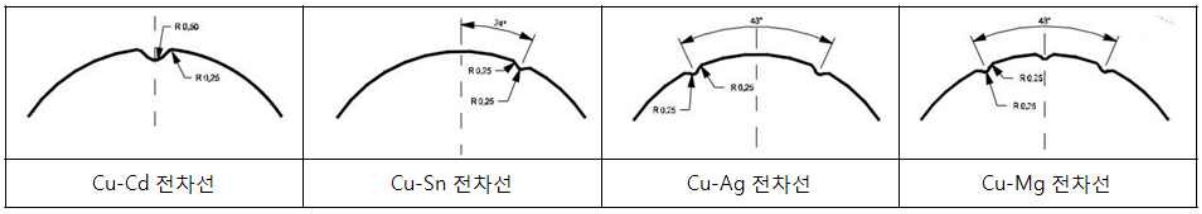
열간 압출온도는 압출 부하를 최소화하기 위해 900℃로 설정하여 진행하였으나 Cu-Mg-P(Fe) 합금의 경우, Grain boundary에서 발생되는 Hot crack에 의해 파손되는 등, 압출 온도에 대한 재설정이 요구되었다. 이에 Cu-Mg-P(Fe)합금에 한해 압출온도를 820℃로 재설정하여 모재 생산을 위한 열간 압출을 진행함으로서 목표로 하는 전차선 신선 모재를 제작할 수 있었다.

전차선 개발합금을 열간 압출함으로서 주조상태에서의 불균일한 조직을 재결정화할 수 있으며, 내부응력을 해소함으로서 소성가공 시 단선 제어 및 균일한 특성을 확보할 수 있도록 설계하였다. 열간압출을 통해 제작된 28mm(ϕ) 모재는 신선이 가능한 25mm(ϕ) 인발을 진행한다. 28mm(ϕ) 모재를 바로 신선할 경우, Handling이 용이하지 않고, 높은 단면 감소율로 인해 단선 가능성이 높아 전차선과 같은 장조장품에 생산을 위해서는 25mm(ϕ)로 1차 인발 가공 후 신선을 진행하는 방안이 유리하다고 판단하였다. 인발공정이 완료된 Cu-Cr 석출경화형 합금은 분위기성 환원로를 이용하여 985℃에서 1시간 동안 용체화 열처리를 진행함으로서 Cr, Zr, Mg, Si등의 화합원소들을 Cu에 과포화 고용 처리하였다. 이는 신선공정 완료 후 진행되는 시효열처리 시 균일한 석출물 형성을 유도하며, 추가적인 강도 향상과 도전율 회복이 가능하도록 해주며, 이 후 450℃, 1시간 시효열처리를 실시하였다.

전차선의 기계적 특성 및 형상제어의 핵심 공정인 신선공정의 금형 형상 및 치수는 신선 모재의 기계적 특성 및 목표 size(직경)에 좌우되며 신선율(가공율)이 클수록 금형 설치 수는 증가한다. 신선기의 주요 운전 Factor는 신선 속도(RPM)와 Torque로서 신선 Wheel Drum의 운행을 조정하도록 되어 있다. 이와 같은 운전 조건 및 금형 설계에 대한 공정제어 기술이 미흡할 경우 전차선에는 과중한 장력이 형성하게 되며, 이는 공정 중 단선으로 이어지게 된다.

신선과정에서 발생되는 단선 유형은 장력에 의한 Cup&Cone Type으로서 신선 조건이 불안정한 구간에서 연속적으로 발생한다. 신선 설비는 각 Wheel Drum마다 회전 RPM 및 Torque를 설정하도록 구성되어 있어, 그 중 1EA Wheel Drum 조건이 맞지 않을 경우에도 단선이 발생될 수 있다. 신선공정 RPM은 각 Drum별 150 ~ 200RPM, Torque는 30 ~ 50%에서 제어함으로서 1차적인 전차선 신선 공정 제어조건을 설정할 수 있는 것으로 확인하였다. 그러나 이와 같은 결과는 각 단계별 금형의 가공률과 모

재의 기계적 특성에 따라 변경될 수 있다.




<그림 2-3-4-3> 합금 전차선 식별 Groove 유형 (EN50149)

시작품 제작용 신선 Dies는 1~4단계까지는 단면적을 감소시키도록 제작하였고, 5~7단계에서 Clamping groove를 형성하며 인입할 수 있도록 제작함으로서 단선불량을 최소화 하고, Dies 수명을 증대 시킬 수 있도록 하였다. 신선 공정은 25mm(ϕ) 모재 → 23mm(ϕ) 신선 → 21.5mm(ϕ) 신선 → 20mm(ϕ) 신선 → 18.3mm(ϕ) 신선→ 17.3mm(ϕ) 신선 또는 235SQ Clamping Groove 형성 → 187SQ Clamping Groove 형성 → 150SQ Clamping Groove 형성의 총 7단계로 구성하였다.

상기와 제조공정을 통행 석출경화 합금 3종, 고용강화 합금 1종에 대한 시작품 제작 및 평가를 완료 하였다. 평가결과, 석출 경화형 합금 전차선 시작품(인장강도 476~520MPa, 도전율 71~74%)에 비해 고형 강화형 합금 전차선 시작품(인장강도 541MPa, 도전율 70.5%) 특성이 높게 확인되었다. 이와 같은 결과는 석출경화 합금의 경우, Cr, Zr등의 석출경화 원소가 산소와 반응하기 쉬워, 용탕내 산소함량을 증대시킴으로서 내부결함 발생 가능성이 높으며, 열처리 조건에 따라 기계적 특성이 급격한 편차를 발생시키는 등, 기계적 특성에 대한 균일한 품질관리가 어려운 부분에서 발생된 것으로 사료된다. 이에, 균일한 기계적 특성을 확보할 수 있으며, 용해/주조 공정조건 제어가 용이하고, 별도의 열처리가 필요하지 않은 고용 강화형 합금 전차선이 400km/h급 전차선 적용에 유리할 것으로 판단하였으며, 시작품으로 제작된 Cu-Mg-P(Fe) 합금 전차선은 전차선 장력 34.4kN(541MPa), 도전율 70.5% IACS를 만족하였다. 그러나 Cu-Mg-P(Fe) 합금에 첨가되는 P 및 Fe의 미량 함량제어가 실패할 경우, 급격한 도전율 하락 등, 단점을 내포하고 있으며 산소와의 반응에 의한 함량감소 현상이 높은 P의 제어는 장조장 생산에 큰 단점이다. 이에 고용도가 높고 산소와의 반응이 적어 장조장 생산에 유리한 첨가원소 Ag에 대해 시제품 제작과정에서 추가적으로 검토하였다. 또한 가공과정에서의 조직제어를 통해 시작품 성능보다 우수한 성능의 시제품 제작을 진행하였다.

400km/h급 전차선 시제품 제작은 연속주조로 제작된 20mm(ϕ) 모재를 연속 가열압출을 통해 조직 및 주조 결함을 제어하여 27mm(ϕ)로 제작되었으며, 압연 공정을 통해 20mm(ϕ)의 신선 모재를 완료하여, 최종 신선공정을 통해 공칭단면적 150㎟ 전차선 시제품 제작을 완료하였다. 전차선 시제품 제작 공정에 따라 다음 그림과 같이 조직제어가 진행되어 최초 연속주조 공정에서의 조대한 조직을 연속압출을 통해 미세화하여, 압연 및 신선을 통해 가공경화를 부여하도록 제작하였다. 제작이 완료된

Cu-Mg-P(Fe) 합금 400km/h급 전차선 시제품의 성능평가 결과, 시작품 성능보다 우수한 성능(인장강도 550MPa, 도전율 75% 이상)을 확보함으로서, 본 기술개발 목표인 기계적 강도 540MPa, 도전율 70% IACS를 만족하였다. 그러나 제조과정에서 P의 함량 제어를 위해 지속적으로 관리하여야 하며, 전기적/기계적 특성의 균일성을 확보하는 부분에서 단점이 확인되었다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 개량화 원소(Modifier)를 FeP에서 Ag로 대체한 Cu-Mg-Ag 합금 전차선을 동일한 제조 Process로 시제품을 제작하여 최적 Mg, Ag 함량 및 제조공정을 확보하였다. Mg의 함량은 0.35~0.45wt.% 범위에서 도전율 70%IACS 이상을 유지할 수 있으며, 여기에 Ag를 0.03~0.1wt.% 첨가할 때 도전율의 하락을 최소화하며, 기계적 강도를 상승시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 각 공정의 가공율을 조정하여 추가적인 가공경화 효과를 확보함으로서 파단강도 80kN(549MPa), 도전율 75% IACS 이상의 고강도 고전도 400km/h급 전차선 시제품을 제작할 수 있었다. 이에 Cu-0.4Mg-0.05 Ag 합금을 400km/h급 전차선 최종 시제품으로 선정하였다.

EN50149에서는 전차선의 합금 종류에 따라 식별할 수 있도록, 전차선 상부에 식별 Groove를 변경 구성하도록 되어 있다. 초기 400km/h급 전차선은 기존 국제적으로 상용중인 Cu-Sn, Cu-Mg 전차선과 차별화하기 위해 상부 중앙과 우측 24°에 2개의 식별 Groove를 제안하였으나, 400km/h급 전차선이 Cu-Mg 합금계를 기반으로 개량화 원소(Modifier) Ag를 첨가하여 성능을 향상한 점을 고려하여, EN50149 규격에 따라 전차선 상부 3개소(24°간격, R 0.25mm) 식별 Groove와 동일하게 규격화 하였다. 또한 전차선의 형상 치수는 전차선 Clamp와의 호환성 및 EN50149 규격에 따라 확정하였다.

400km/h급 전차선의 장기 신뢰성을 검토하기 위해서는 일반적인 성능인 인장강도, 도전율과 같은 기계적/전기적 특성 외에도, 전차선 운행과정에서 집전판(Pantograph)과의 고속 접촉에 따른 내마모 특성, 외기 환경 노출에 따른 내식성, 마찰열 및 외기열에 의해 발생될 수 있는 전차선 이도 제어를 위한 내열성 등에 대한 평가가 진행되어야 한다. 전차선이 실제 고속철도에서 운영될 때에는 집전판과 접촉하여 지속적으로 마모가 발생되며, 특히 400km/h급의 고속운행에서는 전차선뿐만 아니라 집전판의 마모에 대해서도 검토가 필요하다. 이에 따라 내마모 특성을 확인하였는데 부품 내구성 평가기술 개발에서 그 결과를 제시하였다.

그리고, 전차선은 외부온도에 노출됨은 물론, 고속철도 운행과정에서 집전판과 고속으로 접촉되어 마찰열을 받는다. 또한 전동차에 전력을 공급함으로써 저항열이 발생될 수 있다. 이와 같은 열의 영향은 전차선에 이도를 발생시킬 수 있으며, 재결정온도 이상의 고온이 형성될 경우, 전차선의 기계적 특성에 악영향을 미칠 수 있다. 400km/h급 전차선의 고온 특성을 확인하기 위해 TMA(Thermo-mechanical Analysis: ASTM E831-12) 분석을 통한 선열팽창계수를, 일반 상용전차선인 경동선(Cu-ETP), Cu-Sn, Cu-Mg 전차선과 400km/h급 전차선 시제품을 공인 시험기관인 한국화학융합시험연구원(KTR)에 의뢰하여 진행하였다. 열팽창계수 시험 온도범위는 극저온 지역의 온도인 -60℃부터 400km/h급 전차선 시제품 예상 재결정온도인 500℃까지 승온속도 5℃/min로 수행하였다. 측정결과, 19.4~20.4㎛/m・K로서 상용전차선과 400km/h급 전차선 시

제품과 열팽창 계수는 유사한 것으로 확인되었다. 즉, 기존 전차선 시공방법 및 설계에서 400km/h급 전차선을 도입하여도 무방할 것으로 사료된다.

앞에서도 설명한 바와 같이 합금의 재결정온도는 전차선의 기계적 특성 및 수명에 많은 영향을 미칠 수 있다. 일반적으로 Pure Cu(150～200℃)가 첨가원소(Sn, Mg 등)를 포함할 경우, 재결정온도는 상승하는 것으로 알려져 있다. 이에 Cu-Mg합금계열인 400km/h급 전차선의 재결정온도를 기존 상용 전차선과 비교 검토함으로써 안전성을 검증하였다. 재결정온도 측정은 DSC(Differential Scanning Calorimetry)를 이용하여 기존 상용 전차선인 경동 전차선, Cu-Sn, Cu-Mg 전차선과 400km/h급 전차선 시제품을 대상으로 약 5mg 시료를 전차선 완제품에서 Sampling하여 시험하였다. 각 전차선 시험편의 재결정온도는 발열 Peak 발생 온도로 하였으며, 이후 온도상승에 따라 결정립 성장(Grain Growth)을 확인할 수 있다. 경동 전차선의 경우 발열 Peak 발생 온도는 약 268℃이며, Cu-Sn 전차선은 약 307℃, Cu-Mg 전차선은 약 317℃로써, 첨가원소에 따라 다소 재결정 온도가 상승함을 확인할 수 있었다. 400km/h급 전차선 시제품의 경우, 재결정온도가 약 319℃로써 Cu-Mg 전차선과 유사한 결과를 확인하였다.

전차선이 재결정화 되면, 가공에 의해 변형된 미세조직이 회복하게 되고, 가공경화 특성을 저감시키게 된다. 이에 재결정온도를 명확히 확인하기 위해서 전차선의 미세조직을 관찰하였다. 재결정화 열처리는 각 전차선종의 시료를 150～500℃까지 50℃간격으로 1시간 열처리 후, 표면을 연마, 부식하여 조직을 관찰하였다. 각 전차선에 대한 열처리 온도별 미세조직 변화를 관찰한 결과, 경동 전차선은 250℃, Cu-Sn 전차선은 400℃, Cu-Mg 전차선 및 400km/h급 전차선 시제품은 450℃에서 미세조직이 재결화되어 회복됨을 관찰할 수 있었다.

이와 같은 전차선의 열적 특성평가 결과를 바탕으로, 400km/h급 전차선은 기존 전차선에 비해 열변형율은 동급 또는 그 이상의 성능을 확보하고 있으며, 외부 열영향에 의한 기계적 특성 하락 및 수명저하 가능성은 기존 상용 전차선들에 비해 낮은 것으로 확인되었다.

전차선은 외기에 노출되는 나선(裸線)으로서 습도, 외기 pH, 염도 등에 따라 표면 부식이 발생된다. 표면 부식이 빠르게 진전될 경우, 전차선의 수명 저감은 물론, 고속철도 운행 안전성에도 악영향을 미칠 수 있다. 아래 그림은 전차선의 내식특성을 평가하기 위해 KS D 9502 : 2009에 따라, 중성의 염수분무 시험을 168시간 동안 수행한, 일반 상용 전차선 및 400km/h급 전차선 시제품의 표면이다. 각 전차선 시험편은 중성염수분무 시험 전에 표면을 연마, 세척함으로써 외부영향을 최소화할 수 있도록 하였으며 염수분무 시험은 공신력을 확보하기 위해 한국화학융합시험연구원에 의뢰하여 수행하였다. 시험 결과, 아래 그림과 같이 각 전차선의 표면에는 청색의 부식면이 형성되었으며, 부위별 차이는 있으나, 기존 전차선 및 400km/h급 전차선의 내식 특성은 유사한 것으로 사료된다.

일반 상용 전차선 및 400km/h급 전차선에 대한 중성염수분무 시험 후, 전차선 표면에 발생된 부식면에 대한 SEM&EDS 분석을 실시함으로써, 첨가원소가 전차선 부식에 미치는 영향을 검토하였다. 전차선 표면에 발생된 청색의 부식물에서 Mg, 또는 Sn, 등의 첨가원소가 과다하게 검출될 경우, 첨가원소에 따라 내식 특성은 현저히 저

감될 수 있다. 아래 그림과 같이 SEM을 이용하여 1000배 확대한 Image에서는 경동 전차선을 비롯한 상용전차선과 400km/h급 전차선 시제품, 모두에서 동일한 형태의 첨각형 물질이 관찰되었으며, EDS 분석 결과, CuClx(염화구리) 결정체로 확인되었다. 또한 시험대상 상용 전차선에 포함된 첨가원소인 Mg 및 Sn은 검출되지 않았으며, 400km/h급 전차선 시제품의 첨가원소 또한 발견되지 않았다. 이와 같은 결과는 부식 물질로 사용한 염수(NaCl)의 염소와 구리가 반응하여 발생된 것으로 사료되며, 기타 미량 첨가원소가 전차선의 내식성에는 큰 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 개발된 400km/h급 전차선의 상용화를 위한 장기 신뢰성을 검토하고자, 상기와 같이, Test-bed 가속시험 및 내마모 특성, 내열 특성, 내식성에 대한 평가를 기존 상용 전차선과 비교 수행하였으며, 평가 결과, 기존 전차선에 비해 내마모 특성은 우수하고, 내열 특성 및 내식성은 동급 또는 그 이상의 성능을 확보하였음을 확인하였다.

### ② 전차선 성능 평가

400km/h급 전차선 시제품의 주요 목표성능인 인장강도와 도전율 평가의 경우, 신뢰성을 확보하기 위해 공인기관(한국화학융합시험연구원)에 의뢰하여, 인장강도, 연신율, 도전율에 대한 시험평가를 각각 진행하였다. 인장강도 및 연신율은 KS B 0802 시험법에 따라, KS 13B호를 기준으로 시험평가를 진행하였으며, EN50149 기준에 따라 표점거리 200mm를 기준으로 연신율을 측정하였다. 인장강도 및 연신율 공인시험 결과, 400km/h급 전차선 성능규격인 80kN 이상, 3~10%를 무작위로 수집된 시료 각각이 모두 만족하였다.

400km/h급 전차선 시제품에 대한 도전율 성능평가는 인장강도 평가와 마찬가지로 공인 시험기관인 한국 화학융합시험원에서 수행하였다. 도전율 평가 시험편은 제조과정에서 무작위로 수집된 샘플에 대해 진행하였으며, 표면 이물을 제거한 후 평가를 수행하였다. 도전율 시험평가 세부조건은 한국화학융합시험원의 KS B 0802에 따라 수행되었다.

한국화학융합시험원의 400km/h급 전차선에 대한 도전율 평가 결과 아래의 표와 같이 평균 78% IACS로 확인되었으며, 개발 목표 70% IACS를 상회하였다. 또한 시험편 3EA 모두 78% IACS 도전율을 나타냄으로서, 균일한 제품 특성을 확보하고 있음을 확인하였다.

### ③ 가동브래킷 및 곡선당김금구 개발

#### ㉮ 400km/h급 가동브래킷 및 관련금구 개발

가동브래킷의 각 선로의 조건에 따라 I형, O형, F형의 타입별 기본 조립도의 구성을 설계하였다. 실제 현장에서 이외에도 다소 변형적으로 사용하여야 하는 부분도 있으나 이러한 부분은 현장설계에서 적용이 가능한 조정 조립식으로서 충분히 대처가 가능하다고 보아진다. 아래는 기본조립설계도로서 5가지를 제시하였다.

가동브래킷은 전차선을 지지하기 위하여 전주에 취부한 외팔보 형태로서, 브래킷의 본체와 전주의 조립부가 회전축으로 조립되어 자유로이 좌우로  회전하며, 조가선과

전차선의 온도변화에 의해 신축으로 발생하는 전선의 이동에 따라 동시에 그 방향으로 이동할 수 있는 구조로 되어 있으며, 장간애자에 의해 전주와 절연 가설되어 있다. 종류로는 I형, O형, F형으로 분류하며 각 전주의 선로 조건에 따라  현장에서 세팅하여 설치하는 방식과 표준화하여 공장에서 제작하고 현장에서는 납품된 형태 그대로 설치하는 방식이 있다. I형(In type)은 곡선 당김 금구를 전주 쪽에 설치하는 것을 말하고 O형(Out type)은 곡선 당김 금구를 전주의 반대쪽에 설치하는 것을 말한다. F형(Flat type)은 에어 섹션, 에어 조인트 등 전차선의 평행 개소, 말단개소, 전차선의 무효 부분에 설치하는 것을 말한다.

가동브래킷은 온도변화에 가선구조가 흐트러지지 않으므로 고속운전에 적합하고 전차선, 조가선의 장력 변동을 적게 한다는 것과 하중에 의한 전차선의 경점을 적게 할 수 있다. 그리고 조가선을 절연하지 않으므로 지지물 높이가 감소하며, 지지점에서 풍압에 의한 편위의 변화가 적다. 또한 전선을 지지하는데 적합한 클램프 사용과 설계된 높이에 의하여 가선효율이 좋고, 활선작업의 안전도가 높으며,  전주 측에 장간애자를 설치함으로서 보호설비 배선이 용이하다.

㉯ 가동브래킷의 설계계산

- 400km h급 가동브래킷의 하중케이스별 계산

본 계산서는 400km/h급 전차선로의 가동브래킷 설계의 기초가 되는 자료 즉, 기본설계의 기준을 설정하고 이를 바탕으로 구조해석 방법을 사용하여 최대조합응력과 허용응력을 비교하기 위한 보상하중케이스(Compensated load case)를 작성하는데 있다.

상기결과는 400km/h 전차선로용 가동브래킷에 대하여 하중이 많이 작용하는 일반구간과 평행개소, 흐름방지개소를 선별하고 하중케이스를 정하여 계산한 것으로서 곡선당김금구에서와 마찬가지로 가동브래킷 또한 횡장력은 풍압에 의한 영향을 가장 크게 받고 있는 것으로 나타났다.

## ④ 가동브래킷의 구조해석

㉮ 모델 및 하중조건

고속철도용 가동브래킷의 종류는 I-Type, O-Type, F-Type으로 나눌 수 있다. 각 형태에 따른 분류는 표 1과 같다. 본 연구에서 다루는 모델은 가동 브래킷 5종(각 2가지)이다.

㉯ 가동브래킷 각 모델별 구조해석 (#1 모델)

가동 브래킷 #1 모델의 경우 단면 수정은 부재만 실시하였으며, 주어진 하중 조건에서 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 각 절점에서의 하중과 모멘트를 제시하였다.

- 수정 전에는 부재의 응력이 848.2 MPa로 항복강도를 넘어 안전율이 만족되지 않았다. $\phi$38×4t에서 $\phi$49×6.5t로 5번 부재의 단면 수정 후에는 응력이 343.7 MPa의 값을 보여 안전율을 만족하였다.

- 따라서 전차선에 7,500 N의 하중을 작용시키기 위해서는 5번 부재를 $\phi$49×6.5t로 수정해야 한다.

㉰ 가동 브래킷 : #2 모델(I-Type)의 구조해석

가동 브래킷 #2 모델의 경우도 #1 모델과 같이 단면 수정은 5번 부재만 실시하였으며, 주어진 하중 조건에서 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 각 절점에서의 하중과 모멘트를 제시하였다.
- 수정 전에는 5번 부재의 응력이 403.2 MPa로 항복강도를 넘어 안전율이 만족되지 않았다. $\phi$38×4t에서 $\phi$49×4.5t로 5번 부재의 단면 수정 후에는 응력이 206.9 MPa의 값을 보여 안전율을 만족하였다.
- 따라서 전차선에 7,500 N의 하중을 작용시키기 위해서는 5번 부재를 $\phi$49×4.5t로 수정해야 한다.

㉱ 가동 브래킷 : #3 모델(F-Type)의 구조해석

가동 브래킷 #3 모델의 경우 주어진 하중 조건에서 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 각 절점에서의 하중과 모멘트를 제시하였다.
- 굽힘을 받는 구조물의 발생응력이 모두 300 MPa 대 초반을 보였다. #1, #2 모델에 비해 응력이 크게 발생하였다. 그러나 허용 안전율 이내이다.
- 3번 부재의 수정 전·후 나머지 부재의 값은 크게 차이가 없었다.

㉲ 가동 브래킷 : #4 모델(O-Type)의 구조해석

가동 브래킷 #4 모델의 경우 단면 수정은 3, 5번 부재 두 개만 실시하였으며, 주어진 하중 조건에서 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 각 절점에서의 하중과 모멘트를 제시하였다.
- 수정 전에는 3번과 5번 부재의 응력이 각각 779.1 MPa 848.6 MPa로 항복강도를 넘어 안전율이 만족되지 않았다.
- $\phi$49×4.5t에서 $\phi$49×6.5t로 3번 부재의 단면을 수정한 후에도 3번 부재의 응력은 608.8 MPa로 항복강도를 넘어 안전율을 만족하지 못했다. 그러나 $\phi$38×4t에서 $\phi$49×6.5t로 5번 부재의 단면 수정 후에는 5번 부재의 응력이 343.9 MPa로 안전율을 만족하였다.
- 따라서 전차선에 7,500 N의 하중을 작용시키기 위해서는 5번 부재를 $\phi$49×6.5t로 수정해야 한다. 그리고 3번 부재는 $\phi$49×6.5t로 수정하더라도 안전율을 만족하지 못하므로 치수를 키우는 것이 요구된다.

㉳ 가동 브래킷 : #5 모델(I-Type)의 구조해석

가동 브래킷 #5 모델의 경우 #4번 모델과 같이 단면 수정은 3, 5번 부재 두 개만 실시하였으며, 주어진 하중 조건에서 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 각 절점에서의 하중과 모멘트를 제시하였다.
- 수정 전에는 3번과 5번 부재의 응력이 각각 741.3 MPa 442.7 MPa로 항복강도를 넘어 안전율이 만족되지 않았다.
- $\phi$49×4.5t에서 $\phi$49×6.5t로 3번 부재의 단면을 수정한 후에도 3번 부재의 응력은 580.4 MPa로 항복강도를 넘어 안전율을 만족하지 못했다. 그러나 $\phi$38×4t에서 $\phi$

49×4.5t로 5번 부재의 단면 수정 후에는 5번 부재의 응력이 227.1 MPa로 안전율을 만족하였다.

- 따라서 전차선에 7,500 N의 하중을 작용시키기 위해서는 5번 부재를 $\phi$49×4.5t로 수정해야 한다. 그리고 3번 부재는 $\phi$49×6.5t로 수정하더라도 안전율을 만족하지 못하므로 치수를 키우는 것이 요구된다.

### ⑤ 400km/h급 곡선당김금구 설계계산

곡선당김금구는 풍압에 의한 영향을 가장 크게 받고 있으며, 전차선의 장력에 의한 하중의 변화는 크게 나타나지 않는 것으로 나타났다. 곡선당김금구의 횡장력이 가장 크게 미치는 조건은 Zone2, 노출개소 일 때 직선로에서 7,011 N으로 나타났으므로 설계기준 인장하중을 750 daN으로 하였다. 또한 속도가 증가함에 따라 더욱 민감한 부분이 전차선을 지지하는 곡선당김금구에 있어서 중량이므로 기존의 300, 350km/h급의 곡선당김금구에 비하여 경량화를 목적으로 다음과 같이 설계하였다.

몸체인 AL-TUBE는 트랙형으로서 횡장력에 유리한 구조로 설계하였으므로 경량화를 실천할 수 있었으며, 아이로드 및 핀볼의 재질은 고강도 AL합금인 A7075를 사용하여 단조하였고 열처리 후(인장강도 520 N/㎟) 하드 아노다이징(Anodizing)을 실시하여 표면경도를 기존의 철제품(약 HRC25)보다 높게(약 HRC40)하여 내마모 특성을 향상시킨 것도 특징이라 할 수 있다. 이와 같이 고강도에 내식성이 좋은 Al합금재질을 사용함으로써 경량화를 실천할 수 있게 되었다.

■ 해석결과

해석결과 첫 번째 단면의 경우 2,300 N의 하중 작용 시 발생응력이 항복강도 이내이므로 구조적으로 안전하다. 그리고 두 번째 단면의 경우도 2,810 N의 하중 작용 시 발생응력이 항복강도 이내 이므로 구조적으로 안전하다.

주어진 하중 조건에서 곡선당김금구의 단면형상별 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 두 번째 단면이 첫 번째 단면에 비해 강도상 유리한 것으로 나타났다.
- 구조해석결과 첫 번째 단면은 2,300 N(300km/h급의 소성변형하중)의 하중을, 두 번째 단면은 2,810 N(400km/h급의 소성변형하중)의 하중을 작용 시켰을 때는 모두 항복강도 이내로 연구변형이 발생하지 않는 것으로 나타났다.
- 해석결과 첫 번째 단면(350km/h급)에 400km/h급 변형하중 2,810N을 작용 시켰을 때는 응력이 초과하여 영구변형이 발생하게 된다.

### ⑥ 균압 드로퍼, 장력조정장치, 인류금구 및 애자 개발

㉮ 드로퍼 개발

2004년 개통되어 현재 운용되고 있는 경부고속철도 전차선로 시스템은 프랑스 TGV-북선 시스템을 도입하여 건설되었으며, 300km/h 고속철도 전차선로 시스템은 그동안 기술이전 및 연구를 통하여 핵심적인 설계 요소기술을 우리 기술로 소화하여

독자적인 설계기술을 확보하였다.

■ 드로퍼 설계

드로퍼 클램프와 단말 슬리브를 면압에 의한 균압 방식을 적용하고 클램프가 전차선 및 조가선에 견고히 조립 될 수 있도록 쐐기형 조립 방식을 적용하여 설계를 하였으며, 균압용 와이어의 제거로 단순한 구조의 조립 방식을 적용하였다.

■ 드로퍼 시작품 제작

균압드로퍼의 시작품 제작을 위하여 금형을 설계하여 제작하였다. 제작된 금형을 이용하여 균압드로퍼 클램프 시제품을 제작하였다.

균압드로퍼의 경우 2가지 Type으로 제품설계를 확정하여 시작품을 제작 진행 하였으나 1개의 Type으로 결정하여 알루미늄 청동 주조금형 제작 및 주조, 최종 가공을 통하여 시작품을 제작하였다.

드로퍼 클램프와 단말 슬리브를 면압에 의한 균압 방식을 적용하고 클램프가 전차선 및 조가선에 견고히 조립 될 수 있도록 쐐기형 조립 방식을 적용하여 설계를 하였으며, 균압용 와이어의 제거로 무게가 가벼워져서 집전성능에 유리하고 단순한 구조의 조립 방식을 적용하였다.

㈏ 전차선용 단말금구 개발

■ 단말금구 설계 및 시작품 제작

전차선 150㎟에 적합하도록 치수를 선정하고 단말금구의 기계적 특성을 만족할 수 있도록 단말금구의 조립도를 설계하였으며, 전차선을 장악할 수 있도록 쐐기형 구조로 설계를 하였다. 상세 설계도는 자재사양서에 정리하였다.

전차선 150㎟에 적합하도록 치수를 선정하고 단말금구의 기계적 특성을 만족할 수 있게 단말금구를 설계하였고, 전차선을 장악할 수 있도록 쐐기형 구조로 하여 제작하였다.

㈐ 전차선용 인류애자 개발

■ 설계 및 제작

- 인류애자의 전기적 기계적 특성을 만족할 수 있도록 아래와 같이 애자를 설계하였다.

- 애자의 절연을 담당하는 Housing부는 목표사양에 만족할 수 있도록 누설거리와 섬락거리를 만족하여야 하며 FRP 코어는 기계적 특성을 만족할 수 있도록 충분한 직경으로 설계를 진행 하였다.

- Housing 제조사의 중요한 부분은 FRP 코어와 외피제가 충분한 접착을 유지하여야 한다.

- 또한 애자의 연결금구는 목표사양의 기계적 특성을 만족할 수 있도록 설계하였으며 장기적 사용에 내식성이 있도록 용융아연 도금 처리를 하도록 설계하였다.

- 인류애자의 시작품 제작을 위하여 금형을 설계하여 제작하였으며 제작된 금형을 이용하여 시작품을 제작하였다.
- 최종적으로 제작도면을 제시하고, 도면 및 사양에 적합하게 인류애자를 제작하였다.

㉱ 전차선용 장력조정장치 개발

자동장력조정장치는 온도 변화에 따라 전차선과 조가선이 신축하여도 장력추가 상하로 움직여서 전선의 장력을 항상 표준 장력으로 유지하여야 한다.

400km/h 고속선에서 장력을 증가시키기 위하여 전차선과 조가선의 장력을 다르게 주려면 전선 각각에 개별적으로 장력을 부여할 수 있는 개별식 장력조정방식을 채택하는 것이 바람하고, EN50119 및 UIC799에서는 고속에서 개별식 장력조정장치를 적용하도록 하고 있다. 전차선로의 장력 변화는 집전성능에 영향을 미치게 되므로 온도 변화에도 전차선로의 장력이 항상 적절한 범위 내에서 유지하여야 한다. 참고로 설치 유형별 “장력 변동 비율을 살펴보면, 도르래식 장력조정장치는 3% 이내이고, 활차식 자동장력조정장치는 5% 이내, 스프링식 장력조정장치는 15% 이내이다.”

본 연구에서 400km/h 고속철도 속도 향상을 위하여 개발할 장력조정장치는 도르래 방식이다. 도르래 방식은 개별식 혹은 일괄식으로 장력을 조정할 수 있어 활용 범위가 넓고, 장력 변동 비율이 타 방식에 비하여 상대적으로 가장 낮아 고속선에 적합하다. 현재 도르래식 장력조정장치는 350km/h 까지는 국산화가 진행되었고, 현재 400km/h 급 장력조정장치 연구 개발을 통하여 향후 고속철도 전차선로의 자재 성능 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

400km/h에 적용되는 도르래식 장력조정장치의 정상운영하중은 전차선 장력이 34kN이므로 34kN으로 설정하였다. 파괴 하중(Breaking Load)은 이론적으로는 정격 하중 34kN에 안전율 2.0(전철전력설계지침(공단)에서 장력장치에 대하여 2.0로 규정되어 있음) 또는 초과 하중(Overload) 50kN에 안전율 2.0을 적용하면 100kN이면 되지만, 경부고속철도에서 100kN을 적용하였고, 해외 제작사인 Galland사의 경우도 고려하여 120kN을 적용하였다.

그리고 장력추 형상 및 배열 형태는 장력추를 2열 배열로 하는 것은 기존 시스템과의 조화성과 부품 단순화, 차지 공간의 최소화 측면에서 효율성이 떨어지며, 현재 운용되고 있는 장력추의 일렬 방식이 유지 보수 측면에서 더 효과적이다. 장력추 중량을 얼마 정도 늘어나야 하느냐의 문제는 경부선 20kN 대비 34kN의 비 1.7배로 해야 하는지 아니면  25kN 대비 35kN의 비인 1.4배로 설정하는지는 이론적으로는 1.4배로 하면 되지만, 여유율을 고려하여 1.7배(장력추를 원형으로 하고, 기존의 지름 300㎜를 400㎜로 하는 경우에 대한 면적비)로 하는 것이 바람직하다. 결론적으로 장력추의 구조 및 형상은 경부선과 동일한 형태의 홈과 파진 형태를 갖도록 한다.

⑦ 시작품 설계 및 제작

기존 고속선 속도 향상에 따른 가선설비 개량방안 연구개발보고서를 근거로 고속선에 적용되는 장력조정장치 부속품의 재료개발과 설계능력을 바탕으로 구조해석을 실시하였다. 결정된 형상 및 재질에 따라 시제품을 제작하여 현행 경부선 고속철도 도르래식 장력조정장치 규격에 따라 장력변동시험을 실시하였고, 완성품에 대한 하중유지

및 파단시험을 실시하여 안전성을 확보하였다.

㉮ 주요 부품에 대한 응력해석 및 강도취약 개소 검토

각 부품의 설계 및 강도측면에서 취약 부위의 안전성을 확인하기 위하여 상용해석 툴을 이용하여 응력해석을 수행하였다.

풀리 베어링축 부분을 고정하고, 와이어 로우프가 안착되는 풀리의 홈부분에 하중 24kN (120kN/5)을 인가하여 풀리의 안전성을 확인하였다. 앙카링의 조립홀에 파괴하중치 120kN을 인가하여 설계된 앙카링의 안전성을 검토하였다.

브래킷의 경우에 파괴하중치 120kN을 인가하여 응력을 검토하였으며, 앙카 크래비스의 한쪽 조립용 홀부분을 고정하고 크래비스용 홀  조립부분에 인장력(120kN)을 인가하여 구조에 대한 강도를 검토하였다.

그리고, 앙카 크램프의 경우 조립용 홀 부분을 고정하고 풀리 장착 홀 2개소에  인장력 30kN(120kN / 4개소)을 인가하여 부재의 응력을 확인하였다. 앙카 크램프도 조립용 홀 부분을 고정하고, 인장력 24kN (120kN / 5개소)을 인가하여 앙카 크램프에 대한 부품의 안전성을 확인하였다.

㉯ 장력조정장치 시작품 모델링 및 설계도면 작성

위와 같이 검토한 내용을 기초로 상세설계도면을 작성하고 주변 부품간의 인터페이스 등을 고려하여 아래와 같은 최종도면을 작성하고 시작품을 제작하였다.

## (나) 구내 테스트베드 구축을 통한 시공성 및 내구성 평가

본 과제에서 개발한 400km/h급 전차선로 핵심부품을 호남고속선에 설치하기 전에 400km/h급 전차선로가 국내외에 존재하지 않아서 개발부품의 시공 및 내구성 등을 검증하는데 어려움이 있다. 따라서 개발한 부품을 한국철도기술연구원이 보유하고 있는 구내 Test-bed에서 시범 설치하여 시공 상의 문제점 등을 파악하고 검증/보완하여 호남고속선에 사용하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

연구원 구내 Test-bed 노선은 기존구조물의 경우 전차선 장력 14kN 및 조가선 장력 14kN 정도에 적합하게 설계되어 있어서 400km/h급 전차선로 시스템 적용 불가능하여 전주 및 기초를 2차년도에 신설/보강하였다. 이후 기존구조물을 철거하고 400km/h급 전차선로 시스템을 전차선 장력 34kN 및 조가선 장력 23kN으로 적용하여 호남고속선에 설치되는 실제와 동일한 조건으로 시공하였다. 시공단계에서 각 부품들의 시공성을 평가하고 전차선 및 구성부품에 대한 피로시험을 계획하여 400km/h급 전차선로 개발부품들의 내구성과 안전성을 확인하여 본선에 투입하고자 구내 Test-bed상에 시범 설치/평가를 진행하였다.

### ① 구내 Test-bed 설치

기존 구조물의 철거를 시작으로 400km/h급 전차선로 개발품의 시공이 진행되었다. 400km/h급 전차선로 시스템 개발부품들을 활용하여 연구원 구내 Test-bed구간(약

438m)에 전차선 장력 34kN 및 조가선 장력 23kN으로 시범 설치하였다.

구내 Test-bed상에서 실제 호남고속선과 동일한 조건으로 시범 설치를 진행하여 400km/h급 전차선로 시스템 개발부품들의 시공안전성을 확인하였다. 전차선의 경우 기존제품과 달리 강도 및 경도가 증가하여 특수 제작된 스트레이트너를 사용하여 시공에 활용하였으며 이 장비는 수정/보완을 거쳐 호남선 전차선 시공에도 활용하였다.

### ② 가진기를 이용한 개발부품의 시공성 및 내구성 평가

실선과 동일한 조건으로 설치된 구내 Test-bed상에서 개발 부품들의 장기 신뢰성을 간접적으로 확보하기 위해서 인위적으로 열차의 운행과 동일한 압상을 전차선의 경점에 가하여 400km/h급으로 시공된 부품들의 변형/파손 등을 평가하였다. 이는 실제 400km/h급 전차선로에서의 장기성능 평가가 불가능한 국내 실정에서 호남고속선 56km 운영구간에 설치하기 이전에 가능한 장기성능을 평가하고자 시행하는 가속시험이다.

### ③ 시험조건

제작된 가진기의 경우 전차선과의 연결이 없이 실제 열차의 운행과 유사하게 전차선을 일정한 압상력으로 타격하는 방식으로 제작하여 가진 시험을 진행하였다. 전차선의 경점 하단에 설치되어 공기압을 이용하여 전차선을 일정한 간격으로 타격 후 원위치하게 제작되어 가진기로 인한 전차선의 진동을 억제하지 않는 방식으로 설계/제작하였다. 가진기는 장력조절장치와 근접한 곳에 설치한 후 대략 8초 정도의 delay time를 가짐으로써 실제 전차선로 시스템에 전해지는 진동을 유지하면서 가속열화시험을 진행하였다. 시험 전 전차선 상단에 Strain gauge를 부착하여 전차선의 압상에 따른 전차선의 변형률을 모니터링 하여 그 값이 실제 경부선에서 측정된 값과 유사한 충격량으로 가진기의 충격량을 조정하였다.

가속열화 시험의 신뢰성을 확보하고자 전차선 상단에 Strain gauge를 부착하여 전차선의 압상에 따른 전차선의 변형률을 NEC 장비를 활용하여 모니터링 하여 그 값이 실제 경부선에서 계측된 결과값(100 ~ 150με) 에서 추정된 전차선 변형률 값보다 2배 이상(300με 이상)이 되도록 가진기의 충격량을 조정하였다.

위와 같은 조건에서 제작된 가진기를 이용하여 100만회 이상의 가속열화시험을 완료하였다.

### ④ 가속열화 시험 결과

연구원 구내 Test-bed 시범 선로에서 400km/h급 전차선로 시스템의 가속열화시험은 총 100만회 이상을 진행하였다. 실제 열차 주행과 유사한 상황을 모사한 가속 열화시험 결과 400km/h급 전차선로 시스템 개발품의 변형 및 파손은 발생하지 않았으며 가속 열화 시험완료 후 개발품에 대한 분석을 진행하였다.

구내 Test-bed상에서 가속열화시험 진행 완료 후 설치되었던 개발품의 상태를 파악하고자 일부 개발품을 철거하고 신품으로 교체하였다. 철거된 개발품은 가속열화시험 시 전차선 압상량이 가장 큰 개소의 가동브래킷 1set와 전차선 5m, 인접한 장력조정

장치 및 인류애자를 포함한 금구류와 드로퍼 클램프 등이다. 아래 철거/교체시공 사진에서 개발품의 실제 이미지를 확인 가능하다.

⑤ 전차선

전차선 시험편을 Sampling(2013. 10. 23)한 후, 인장시험편(KS B 0801 14A)을 제작하여 KS B 0802 시험규격에 따라 대한전선(주) 기술연구소에서 인장시험을 수행하였다. (Instron 5567 : 검교정 완료 시험기)

Monitoring용 전차선 시험편을 3회 인장강도를 측정한 결과, 557.03MPa로서 Test-bed 시험 이전과 유사한 강도를 유지하고 있으며, 연신율은 400km/h급 전차선 연신율 규격(3~10%)에 만족하였다.

또한, 철거한 400km/h급 전차선의 미세조직을 분석함으로서, 진동(가속) 시험에 의한 전차선 파손(Crack, 표면마모 등), 외부환경(열, 마찰 등)에 의한 조직변화(재결정화 등)을 검토하였다. 미세조직 분석용 시편은 전차선 길이방향으로 1m간격으로, 20mm 시료를 2EA 절단하여, HNO3 수용액을 이용하여 표면부식한 후, 집전판과 접촉하는 하부면부터 조가되는 상부면까지 각각 미세조직을 분석하였다.

미세조직은 관찰은 광학현미경을 이용하여 50배율로 분석하여, Crack의 발생 및 진행 형태를 관찰한 결과, 특이 사항은 발견되지 않았으며, 200배율로 관찰한 결과에서도 미세조직의 재결정화 및 변형은 발견되지 않았다.

그리고, 구내 Test-bed 시험 전/후, 400km/h급 전차선의 치수 변화를 Monitoring한 결과, 특이한 변화는 관찰되지 않았으며, 400km/h급 전차선 규격에 부합하였다.

(다) 부품 내구성 평가기술개발 및 DB구축

① 전차선 굽힘피로 특성

㉮ 선행연구 조사 (Chikara YamashiTa 등)

- Chikara YamashiTa 등은 기존 일본 전차선 피로수명 평가기법의 지나치게 보수적인 점과, 마모의 영향을 고려하지 않은 문제점을 지적하였다. 이에 Chikara YamashiTa 등은 실제 철도차량 운행시 발생하는 마모를 고려하여 전차선의 피로수명을 평가하고, 이를 활용한 전차선 허용응력 도출 기법을 제시하였다.

㉯ 개발된 Cu-Mg 150㎟ 전차선의 마모를 고려한 피로수명 평가 및 허용응력 도출

- Chikara YamashiTa 등이 제시한 전차선 피로수명 평가기법을 바탕으로 Cu-Mg 전차선의 마모를 고려한 피로수명 평가를 수행하였다.

② 전차선 내마모 특성

본 연구에서는 개발한 Cu-Mg 150㎟ 의 내마모 특성을 확인하기 위하여 경부고속철도 및 기존선에서 사용하고 있는 순동 재질의 전차선과 내마모 비교 시험을 수행하였다. 시험은 2가지 방법(ASTM에서 제시하고 있는 시험방법과 철도연에서 개발한 시험기를 이용한 방법)으로 수행하여 기계적 마모 내마모 특성을 상대비교 하였다. 다음은 마모에 직접적인 영향을 미치는 경도특성을 시험한 결과이다.

<표 2-3-4-8> 경동선과 400km/h급 전차선 경도(Hv) 시험결과

| 전차선 종류 | 경도 (Hv) |
|---|---|
| Pure Cu (경동선) | 122 |
| Cu-0.3wt.%Sn 전차선 | 137 |
| Cu-0.5wt.%Mg (해외 전차선) | 158 |
| 400km/h급 개발 전차선 | 161 |

㉮ ASTM 규격에 의한 시험

마모 특성 확인을 위해 ASTM G99 Wear Testing with a Pin-on Disc Apparatus 의 규격에 따라 Pin on disc wear 시험을 시행하였으며, 본 규격은 Pin-on disk 시험기를 이용한 Sliding 시 재료의 마모특성을 결정하는데 사용되고, 시편은 연마재 없이 쌍으로 만들어 사용하며 실험 시 마찰계수 및 실험 후 Wear Weight loss를 상대 비교하여 특성을 평가하였다.

㉯ 개발한 마모시험기를 이용한 내마모 특성 시험

본 연구에서는 철도연에서 자체 개발한 마모시험기를 이용하여 개발한 CuMg 150㎟과 순동 전차선의 내마모 특성 시험을 추가적으로 수행하였다. 개발한 시험기는 아래 그림과 같이 전차선을 2m 반경으로 벤딩시켜 회전체에 고정시켜 회전하면서 시험기 문에 부착된 집전판을 원하는 압력으로 전차선을 눌러서 마모를 발생시키는 구조로 되어 있다. 또한 집전판이 좌우로 운동할 수 있게 하여 전차선 편위를 모사할 수 있도록 하였다.

시험에 사용된 집전판은 KTX에 사용하는 집전판을 이용하여 아래 표와 같은 조건에서 수행하였다. 집전판이 전차선을 누르는 압부력은 약 400N으로, 빠른 시험진행을 위하여 실제 접촉력보다 높은 접촉력에서 시험을 수행하였다. 다만 전차선 고정부 금구로 인하여 전체 탄성이 일정하지 않아서 시험중에 접촉력 편차가 발생하였지만, 평균 400N으로 시험을 수행하였고, 동일한 조건에서 시험을 수행하였다.

<표 2-3-4-9> 내마모 특성 시험 조건

| 전차선 속도 (km/h) | 집전판 좌우속도 (mm/s) | 집전판 접촉력 (N) |
|---|---|---|
| 250 | 30 | ≃400 |

다음은 두 전차선에 대한 내마모 시험결과이다. 전차선 고정부분과 고정부사이간의 탄성차이 등의 이유로 마모가 일정하게 발생하지 않았고, 시험 후 전차선의 여러 지점에서 두께 측정을 통하여 마모량 취득하였다.

<표 2-3-4-10> 내마모 시험결과

| 전차선 | 시험시간 (hour) | 최대마모 지점 (mm) | 최소마모 지점 (mm) | 평균마모량 (mm) | 집전판 마모량 (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| 순동 전차선 | 10 | 0.81 | 0.06 | 0.43 | 18 |
| 개발한 동합금 전차선 | 10 | 0.37 | 0.05 | 0.13 | 12 |

전체적인 평균마모량에서 개발한 Cu-Mg 150㎟ 전차선이 순동 전차선에 비하여 약 3배 가까이 내마모 특성이 좋았고, 집전판 마모량도 상대적으로 작게 측정되었다. 이상과 같이 ASTM에서 제시하는 시험방법과 철도연에서 개발한 내마모 시험기를 이용하여 시험한 결과 순동 전차선에 비하여 내마모 특성이 우수한 것을 알 수 있다.

마모시험기의 지름이 2m, 속도가 250km/h, 접촉력이 400N의 조건에서 마모시험을 수행하였으므로 마모시간 10시간을 팬터그래프 통과횟수로 환산하면 $3.9\times10^5$회이 된다. 이 때 얻은 전차선의 평균마모량은 0.13mm이 되므로 이를 팬터그래프 통과횟수 $2\times10^6$회로 환산하면 0.6667mm의 전차선 마모가 된다. 400km/h급 전차선은 신품의 경우 직경이 14.5mm이므로 팬터그래프 통과횟수가 $2\times10^6$회가 되면 직경은 줄어들어 약 13.7mm가 될 것이다. 팬터그래프 통과횟수 $2\times10^6$회에서의 잔존 직경인 13.7mm는 400km/h급 전차선이 단면적 15%가 마모될 때의 직경인 약 11.67mm보다 2.0mm 이상 크다. 따라서, 400km/h급 전차선은 팬터그래프 통과횟수가 $2\times10^6$회가 되어도 마모 특성이 우수하여 마모 한계인 신품의 단면적 기준 15%보다 작은 단면적 감소를 보일 것으로 판단된다.

### ③ 전차선 크리프 특성

건설단계에서 전차선 및 조가선에 과장력을 인가(영구신장조성(Pre-Stretch))을 하게 되면 설비운영 중에 전차선로 설비 상태를 건전하게 유지관리할 수 있고, 유지보수 업무를 줄여주는데 기여하게 된다. 가설 후 전차선에 상시 장력이 가해지므로 장시간 경과 후, 전선의 크리프 현상으로 인해 자연영구 연신이 발생한다. 이에 따라, 전차선

의 경우는 이로 인해 금구의 설치위치가 변경되고, 전선을 잘라 내는 등 집전특성에 영향을 미쳐 유지보수업무가 과중되는 문제가 발생한다. 따라서 크리프 연신률의 영향을 작게 하는 방법으로 표준장력보다 큰 장력을 일정시간 가하여 미리 초기(1차) 크리프를 없에는 영구신장조성 공법이 채용되어 사용되어 왔다.

이러한 목적으로 실시하는 영구신장조성에서 인가하는 과장력의 크기 및 인가 시간 등에 있어서 우리나라 및 일본의 기준이 조금씩 다르다.

특히 새로 개발되는 동합금 전차선에 대한 크리프 특성 데이터가 없기 때문에 본 연구에서 시험편을 이용하여 크리프 특성을 파악하고자 한다.

㉮ 크리프 시험 관련이론

결정질의 고체 재료에 일정하중 또는 일정응력을 가하고 특정온도에서 긴 시간 동안 유지하면 시간이 경과함에 따라 변형량(strain)이 증가하게 되는데 이러한 현상을 크리프(creep)라 한다.

특정 온도에서 재료에 일정응력을 가했을 때 시간의 경과에 따라 증가하는 변형량을 측정하여 여러 가지 재료역학적인 양을 결정하는 시험을 크리프 시험이라 하며, 크리프 변형량을 $e$라 하고 시간을 $t$라 할 때 $de/dt$를 크리프율(또는 크리프속도, creep rate)이라고 함. 크리프율은 온도의 영향이 크며, 실제로 금속에 있어서 0.4 $T_M$( $T_M$ =Melting Temperature)이상의 온도에서는 크리프 특성이 중요한 문제가 된다. 이는 일반적으로 저온에서는 변형에 따라 가공경화가 발생하지만, 고온에서는 가공경화가 함께 회복연화가 진행되므로 크리프가 현저해지기 때문이다. 그러므로 화복연화하기 쉬운 재료는 저온에서는 강력하더라도 고온에서는 재료의 미세조직이 시시각각 변화하는 것이 보통이기 때문에 비록 짧은 시간 측정하여 얻어진 크리프율이 작다 해도 긴 시간 동안 측정하면 크리프율이 커지는 경우도 보고되고 있다. 용융점이 낮은 금속들 즉, 고융점(高融点) 금속재료에서는, 예를 들면 납, 주석, 구리 등의 순금속(pure metal) 및 연한 경합금 등은 상온에서도 크리프 현상이 나타나지만, 철강 및 강력한 경합금 등에서는 250℃ 이상의 온도가 아니면 실제 사용에 영향을 줄 현저한 크리프 현상이 나타나지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 최근에 발전된 제트기관, 로켓, 증기터빈, 가스터빈 등에서는 450℃ 이상의 고온에서 사용되는 경우가 많고, 또한 화학플랜트 등에서도 고온, 고압에서 사용되는 경우가 많은 실정임. 그러므로 크리프현상은 공학상의 중요한 문제로 대두되고 있으며, 크리프시험이 고온에서 재료의 변형기구를 해석하는 방법으로 널리 이용되고 있다.

일정응력 또는 일정하중 그리고 특정온도에서 시간에 따른 변형량의 증가현상을 크리프라 하였는바, 어떤 재료에 크리프가 생기게 하는 요인은 온도와 하중(또는 응력)으로 알려져 있다. 따라서 크리프 시험에 있어서는 일정하중, 일정온도의 유지와 함께 정확한 변형량을 측정하는 것이 중요하며, 크리프 곡선은 일반적으로 두 개 또는 세 개의 크리프 영역으로 나누어진다.

④ 드로퍼 피로 특성

㉮ 400km/h급 열차통과시 드로퍼에 작용하는 하중 예측

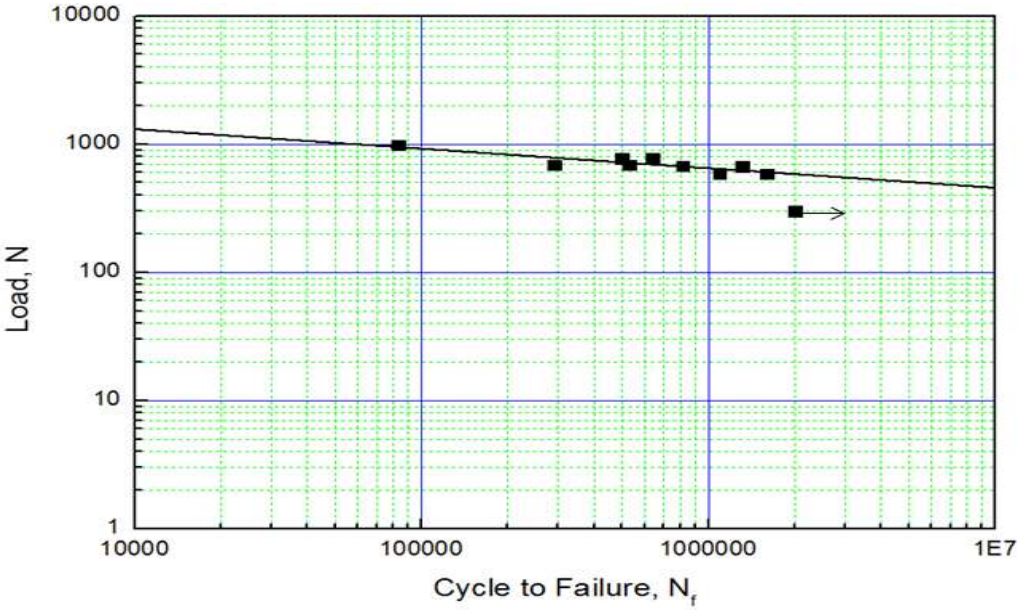
팬터그래프가 전차선의 하중을 조가선에 전달하는 드로퍼를 통과할 때 전차선이 압상되면서 드로퍼는 일시적으로 느슨해졌다가, 즉 드로퍼 장력이 0으로 되었다가 전차선이 자중에 의하여 낙하하면서 드로퍼에는 정적 하중보다 큰 동 하중이 순간적으로 걸리게 되고, 전차선과 조가선의 진동에 따라서 드로퍼 작용 하중은 동적으로 변화하다가 궁극적으로는 정적 하중값으로 수렴하게 된다. 이렇게 드로퍼에 작용하는 동적 하중으로 인하여 팬터그래프가 통과시에 하중의 누적으로 드로퍼가 피로파괴가 발생할 수 있으므로 새로운 전차선로 시스템을 설계할 때에는 팬터그래프-전차선 동역학 시뮬레이션을 통하여 집전성능 이외에도 드로퍼 동하중 예측 등 피로 수명에 대한 검토가 필요하다.

철도연이 보유하고 있는 전차선로/팬터그래프간 동특성 예측프로그램인 SPOPS의 정밀도를 현장 측정결과와 비교하였다. 다음과 같이 드로퍼에 작용하는 하중을 경부고속철도에서 측정하였다.

㉯ 드로퍼 피로시험

본 연구에서는 드로퍼의 피로특성을 평가하기 위하여 EN50119에서 제시된 시험방법을 고려하여 아래와 같이 드로퍼 피로수명평가 장치를 개발하였다. 또한 개발된 장치를 이용하여 400km/h급 드로퍼 클램프의 피로 성능을 평가하였다.

400km/h급 드로퍼 클램프에 대한 피로시험을 수행한 결과는 아래와 같은 드로퍼 피로파단특성 그래프를 제시하였다. 파단은 모두 드로퍼선 압착부위의 드로퍼선에서 발생하였다. 그리고 아래 그래프에서 보는 바와 같이 하중에 따라 파단횟수에서 약간의 산포는 드로퍼 굽힘 발생시 드로퍼의 굽힘방향 및 굽힘각도가 일정하지 않기 때문인 것으로 판단된다. 파로파단 선도를 보면 앞에서 제시한 300N의 동하중을 적용하여도 개발한 드로퍼 클램프의 피로한도가 충분히 여유가 있다.




<그림 2-3-4-4> 드로퍼 피로 P-N 선도

㉰ 400km/h급 열차 통과시 드로퍼에 작용하는 하중 측정 결과

400km/h급 전차선로가 건설되고 시운전시에 실제 드로퍼에 작용하는 하중을 측정하였다. 실제 드로퍼 하중을 측정한 결과는 아래 표와 같다. HEMU-430x가 최고 400km/h로 운행할 때 최대 드로퍼 작용력은 177.6N으로 측정되었다. 이와 같은 결과는 시뮬레이션에서 제시한 최대 드로퍼 작용력인 약 220N보다 작게 측정되어 드로퍼 피로수명에는 문제가 없을 것으로 예상된다.

㉱ 드로퍼 전기적 특성

개발한 400k/h급 드로퍼 클램프는 전차선과 조가선 사이에 전기적으로 균압 기능을 가진 클램프이다. 따라서 본 연구에서는 개발한 클램프의 전기적 균압 특성에 대하여 검토하였다.

㉲ 드로퍼 피로시험에 따른 균압특성 확인

균압드로퍼는 조가선에 접속되는 조가선용 클램프와 전차선에 접속되는 전차선용 클램프, 드로퍼 와이어를 압착하여 클램프와 접속되도록 연결된 드로퍼 단말접속금구로 구성되어 있으며 클램프와 단말접속금구는 면압에 의한 접속이 될 수 있도록 하였다

㉳ 균압특성 확인시험

400km/h급 드로퍼 클램프 규격에 따라서 피로시험을 마친 시료들에 대하여 드로퍼의 가장 중요한 특성인 전기적인 균압특성을 확인하기 위하여 저항시험과 전류시험을 시행하여 신뢰성을 평가하였다.

<표 2-3-4-11> 드로퍼 작용력 측정결과

| 일자 | 열차통과속도 (km/h) | 드로퍼 작용력 익산방향(N) | 드로퍼 작용력 정읍방향(N) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 2014/12/12 | 168.0 | 50.2 | 55.6 | |
| | 348.6 | 132.9 | 129.3 | |
| | 371.0 | 121.5 | 128.7 | |
| 2015/01/23 | 366.9 | 124.1 | 110.3 | |
| | 367.0 | 110.5 | 113.1 | |
| | 392.4 | 113.3 | 142.0 | |
| 2015/02/01 | 392.0 | 146.9 | 163.2 | |
| | 394.0 | 126.3 | 137.9 | |
| 2015/02/08 | 398.0 | 127.1 | 122.0 | |
| | 402.4 | 126.2 | 150.4 | |
| | 395.9 | 122.3 | 118.4 | |
| 2015/03/08 | 403.7 | 147.5 | 177.6 | |
| | 406.0 | 136.8 | 127.0 | |
| 2015/03/15 | 405.3 | 185.5 | 150.6 | |
| | 398.7 | 152.0 | 148.4 | |

㉮ 저항시험

다음에서와 같이 드로퍼 와이어를 드로퍼 단말금구에 압착한 다음, 전차선과 조가선에 각각 드로퍼 클램프를 조립하여 사용상태로 시료를 준비한 다음, 도체저항시험기를 사용하여 각각의 저항특성들을 확인한 결과, 저항특성에 변화가 없음을 확인하였다.

<표 2-3-4-12> 드로퍼 와이어와 드로퍼 클램프의 저항시험 결과

| 구분 | 저항 | 비고 |
|---|---|---|
| 드로퍼 와이어 | 1.887 mΩ | 1m 거리에서 측정<br>* 유동상태에서도 변화 없음 |
| 드로퍼 클램프(전차선) | 1.786~1.789 mΩ | |
| 드로퍼 클램프(조가선) | 1.795~1.800 mΩ | |

㉯ 전류시험

피로시험(300N-200만회)시료와 일반시료를 구분하여 설치상태로 조립하여 폐회로가 되도록 하고 각 부분에 온도센서를 취부하여 준비한 다음, 부하 시험기를 이용하여 105A의 전류를 흐르게 하여 온도가 포화되는 시점에서의 각 부분의 온도를 확인하는 방법으로 시험을 진행하였다.

시험 결과 피로시험 시료의 경우, 105A의 전류가 흐르는 상황에서의 드로퍼 와이어의 온도가 110 ℃ 일 때, 각 드로퍼 클램프와 단말금구의 최대온도는 61℃ ~ 70℃로 안정적이었다. 일반시료의 경우, 105A의 전류가 흐르는 상황에서의 드로퍼 와이어의

온도가 112 ℃ 일 때, 각 드로퍼 클램프와 단말금구의 최대온도는 61.5℃ ~ 74℃로 안정적이었다. 결론적으로 피로시험을 수행했던 드로퍼 클램프와 신품 드로퍼 클램프가 모두, 105A의 전류가 흐르는 상황하에서 드로퍼 와이어의 온도보다 30℃ ~ 40℃ 만큼 낮은 온도가 유지 된다는 것은 둘 다 양호한 도전특성을 가지고 있어 균압이 잘 되고 있음을 알 수 있다.

㉦ 열차통과시 드로퍼 클램프 온도변화 확인

최종적으로 열차 통과시에 균압특성을 확인하기 위하여 드로퍼 클램프의 온도변화를 확인하였다. 호남고속철도 112kp 근처에서 HEMU-430x 시운시에 드로퍼의 온도변화를 열화상 카메라를 이용하여 측정하였다.

최고 394km/h까지 열차가 통과할 때 측정하였으며 통과 전/후의 최소 및 최대 온도는 아래와 같다. 온도 변화가 1℃ 정도 밖에 일어나지 않았고, 열차가 순간적으로 통과하기 때문인 것으로 판단되다. 따라서 열차 통과시 온도 측정결과로 미루어 보면 실제 설치한 전차선로에서도 전차선과 조가선간의 균압에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

<표 2-3-4-13> 드로퍼 클램프 온도측정 결과

| 측정 | 열차통과속도 | 최소온도 | 최대온도 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1차 | 392≃km/h | 3.1C° | 4.3C° | |
| 2차 | 394≃km/h | 3.0C° | 4.2C° | |

## (라) 핵심부품 구매사양서 개발

400km/h급 전차선로 핵심부품에 대하여 제작사양(안)을 작성하였으며 자문회의 등을 통하여 수정보완을 거쳐 최종적으로 구매사양서를 한국철도시설공단에 제시하였다. 개발한 자재 사양서(7개 품목 19종)는 아래와 같다.

철도용품 구매사양서는  350km/h급 구매사양과 통합화하여 규격 효율성과 고속철도 전문규격으로 관리되도록 하였고, 제품의 규격 및 재료와 형태와 같은 기초적인 자료와 함께 상세 도면이 첨부되어 있을 뿐만아니라 제품의 성능을 입증하기 위한 검사 및 시험 항목을 규정하고 있다. 또한, 14종은 철도용품 공단표준규격(KRSA)화 시켰다.

## (마) 핵심부품 유지보수 메뉴얼(안)

호남고속철도에 건설된 400km/h급 전차선로 시스템과 관련하여 철도안전법 시행규칙 제3조 4항에 따라 개발한 400km/h급 전차선로 핵심부품과 관련한 유지보수 기준(안)을 300km/h급 경부고속철도 유지보수 메뉴얼을 기초로 작성하였다. 다음에서

300km/h급 전차선로 유지보수 매뉴얼에서 400km/h급 전차선로 매뉴얼을 작성하기 위하여 수정한 사항을 정리하였다. 다만, 제시한 유지보수 기준(안)은 경부고속철도의 유지보수 기준을 업그레이드 한 사항이므로 향후 열차 운영 등을 통하여 유지보수 항목, 주기 및 방법 등을 최적화하는 것이 필요하다.

## (4) 전차선로 모니터링 시스템 개발

### (가) 전차선 장력 상태 실시간 모니터링 시스템 개발

#### ① 전차선 장력조정장치 기계적 구조 점검 및 분석

- 400km/h급 장력조정장치 사양조사

자동장력조정장치는 전차선 및 조가선의 변화에 따른 선로의 장력을 자동으로 일정하게 유지하기 위한 장치로 활차식, 스프링식, 도르래식의 형상으로 구분되며 400km/h급 전차선의 장력조정장치는 도르래식 형상의 장력조정장치를 사용한다.

도르래식 장력조정장치의 장점은 전차선 단선시 조가선에 파급효과가 없어 고속구간에 적합하며, 온도급변시 전차선과 조가선의 이도를 일정하게 유지하므로 장력장치의 효율이 좋다. 하지만 주기적인 보수가 필요하여 그에 대한 유지보수비용이 증가하며 단선사고시 이동을 제한하는 걸림 장치가 없어 파급이 확대될 수 있는 단점이 있다. 현재 경부고속철도와 프랑스(TGV)에 적용되어 사용되고 있다.

장력조정장치는 조정표에 의하여 도르래의 간격과 추의 길이의 변화에 의해서 장력의 변동을 측정하는 방식으로 장력과 무게추(Weight)의 비는 5:1로 운영된다.

#### ② 장력 이상상태 실시간 모니터링 시스템 설계

전차선의 장력은 열차의 판토그라프와 전차선로의 동적 상호 작용에 의한 집전 성능에 영향을 미치므로 장력을 일정하게 유지하는 장력조정장치의 장력 변화 및 이상상태 계측이 요구된다. 장력 이상상태 실시간 모니터링 시스템의 설계는 전차선로의 취약 장력장치의 유지보수 점검 ICT융합을 통해 장력상태를 측정하여 유지보수 생력화를 가능하게 하고 인력 유지보수 자동화를 통해 높은 실용성을 기반으로 설계하였다.

#### ③ 모니터링 시스템 제작

장력 이상상태 모니터링 시스템은 Data의 신뢰성 확보와 유지보수 및 검증의 편의를 위하여 2 Sets를 제작하였다. 장력상태 모니터링 시스템의 메인 계측 시스템은 계측 컨트롤러 및 센서 측정 모듈, 전원 변환기, 통신 모듈을 포함하여 내부 회로를 구성하여 설계, 제작하였다.

#### ④ 장력 측정 센서 개발

장력상태 모니터링 시스템의 경우 변위와 온도를 측정한 간접 측정방식 외에 전차

선의 장력을 실측하는 직접 측정방식 역시 병행하여 장력상태를 판단하도록 설계되었다. 현재 전차선의 장력을 직접 측정하여 모니터링 하는 사례가 없으며 국내 및 세계 최초로 시도 되는 만큼 장력을 직접 측정할 수 있는 측정 센서의 개발이 필요하다. 장력 센서의 개발을 위해서는 장력 측정에 필요한 장력의 측정범위와 장력을 직접 측정할 위치 선정 및 센서의 정밀도 등을 고려하여 실제 현장에 적용하여 검증 할 수 있고 지상부 옥외에 설치되므로 온도 및 방수구조 등과 같은 측정환경을 고려하한 적합한 구조이어야 한다.

400km/h급 전차선 장력은 34kN으로 유지되도록 설계되었으므로 34kN 장력을 측정할 수 있는 범위에서 장력센서의 개발이 이루어져야 하며 상용화 시 측정할 장력 범위에 따라 제작 될 수 있는 구조로 개발되어야 한다.

장력조정장치의 작용으로 실제 전차선 장력이 유지되고 있는 상태를 측정하기 위해 장력이 걸리는 힘을 측정 할 수 있는 위치를 고려하여 힘을 측정할 수 있는 로드셀 형태로 개발하였다.

### ⑤ 구내 Test-bed 적용 시험

장력상태 모니터링 시스템에 적용된 간접 측정용 변위센서 및 온도센서의 확인과 장력조정장치의 동작을 확인하기 위해 구내 Test-bed에서 장착성 확인과 함께 온도변화에 따른 데이터를 수집하여 시스템 동작여부와 지상부 실외 설치 시 고려하여야 할 부분은 확인하여야 하였다. 한국철도기술연구원에 400km/h급 장력조정장치와 같은 도르래형 장력조정장치 시험구간에 시제품을 설치하여 변위와 온도를 측정하도록 설치하였다. 현장 설치 운영과 관련하여 환경변화 우천시 변위 검측과 관련하여 변위 센서의 방수여부와 우천시의 검출 안정성을 확인하기 위해 센서 설치전 우천 환경에 대한 모의시험을 통해 센서의 측정 상태를 확인하였다.

### ⑥ 원격 Data 송수신 시스템 개발

현재 장력장치의 유지보수 점검은 사람에게 전적으로 의존되어 있다. 본 과제를 통해서 유지보수의 효율성을 높이기 위해 사람의 의존도를 낮추어 장력장치의 상태를 확인할 수 있도록 개발되어야 한다. 본과제로 ICT 융합을 통해 원격으로 측정된 장력상태를 모니터링 할 수 있는 원격 송수신 시스템을 목표로 개발하였다.

원격 데이터 송수신을 위해서는 측정된 위치에서 데이터를 전송할 수 있는 통신기술과 방안이 필요하다. 기존의 통신망을 이용하여 전송할 수 있는 기술을 통해 표준화된 환경을 갖추고 원활한 통신 서비스를 제공할 수 있다.

### ⑦ 장력모니터링 장치의 신뢰성 시험 및 현장적용 및 측정 Data 확인

장력상태 모니터링 시스템 현장 적용의 적합성과 전차선 길이의 변동에 의한 하중의 측정 정밀도를 측정하기 위하여 인증기관의 입회하에 시험을 실시하고 현장 측정의 오차를 검증하였다.

2차에 걸친 장력 변동율 시험장치를 이용한 정력상태 모니터링 시험 결과 상승-하강을 하면서 얻은 측정값의 평균은 3.447 tom 이었으며 측정값은 기준값 평균 3.45

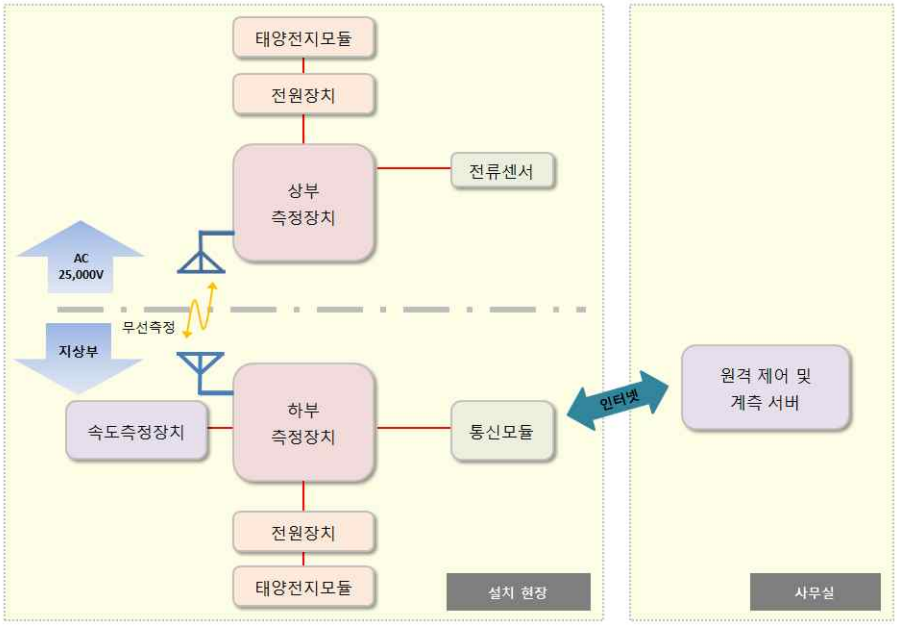
ton 과 비교하여 평균 오차율 0.306 %dml 정밀도를 가짐을 확인하였다. 시험 결과에 따가 시제품은 표준장력 34KN에서 변동율 3% 이상 저하 여부를 실시간 모니터링 하는데 적합함을 확인하였으며 시제품의 실용성 또한 확인되었다.

## (나) 전차선로 이상상태 모니터링 시스템 개발

### ① 전차선로 이상상태 모니터링 시스템 설계 및 제작

㉮ 시스템 구조(Layout) 및 기능

전차선로 이상상태 모니터링 시스템은 현장에 설치되는 장비로 상부계측장치와 전류센서, 하부계측장치, 전원장치, 태양전지 모듈, 통신 모듈, 속도 측정 모듈로 구성되며 사무실에 설치되어 현장 장비를 제어하고 모니터링하는 서버로 구성된다.




<그림 2-3-4-5> 전차선로 이상상태 모니터링 시스템 Layout

㉯ 주요 계측장치 상세

상부계측장치는 전류의 측정을 위한 전류센서, Data 측정을 위한 DAQ 장치, 전원의 제어 및 분배를 위한 전원장치, 하부 장치로 Data 송신을 위한 무선 전송장치와 태양전지 모듈로 구성된다.

하부측정장치는 상부계측장치에서 측정한 Data를 수신하는 무선수신장치, 전체 시스템을 제어하고 서버에 통신모듈을 이용하여 Data를 송신하는 메인 컨트롤러, 그리고 속도의 계측과 상부계측장치 제어를 위한 임베디드 컨트롤러로 구성되며 별도의 전원장치가 연결되어 전원을 공급한다.

㉰ 집전 상태에 따른 전류 변화 상태 및 최적 검출 샘플링 시험

전차선로의 집전 중 전류검출을 모의하기 위해서는 전차선의 이선현상인 Arc가 발생한 시점에 대한 전류의 다양한 패턴 데이터의 검증 자료가 확보되어야 한다. Arc를 발생시켜주는 시험장치를 통해 아크 발생시의 전류의 데이터를 측정하여 최적 측정 속도를 추정하기 위한 데이터로 활용하고 전류변화 패턴과 최적 검출 샘플링 연구에

활용하였다.

전차선의 측정 전류를 분석하여 최적의 Sampling Frequency를 찾아야한다. 최적의 측정 속도는 데이터의 해상도와 관련이 있을 뿐만 아니라 모니터링 시스템의 통신 측정 전송 환경에 영향을 주는 중요한 요소이기 때문에 최적의 측정 속도를 찾아 적용하였다.

모의전류검출 시험을 통해 얻은 전류 데이터를 기반으로 적용하여 분석한 결과를 변곡점 적용전 Arc 검출 결과는 10.44%이고 변곡점을 적용한 결과는 17.93%로 검출 효율이 증가함을 확인하였다. 본 결과는 현장 적용 결과가 아닌 모의시험을 통해 획득한 결과 이므로 본 알고리즘은 향후 고속철도 이외에 도시철도 및 중련운전 중 전류 패턴을 이용한 다양한 집전성능 검증에 활용될 것으로 기대된다.

### ② 원격측정장치 설계 및 제작

모니터링 시스템이 운영될 지상부 실외 환경에서는 유선 통신 환경이 구축되어 있지 않는 것이 일반적이다. 원격으로 데이터를 수신 서버로 전송하기 위해서는 데이터를 전송할 수 있는 통신망이 필요하게 되며 통신망을 통해 데이터를 주고받을 수 있다. 전차선 이상상태 모니터링 시스템은 상부 측정장치와 하부 측정장치 간의 1차 무선 통신과 하부 측정장치와 원격 수신 서버와의 2차 무선 통신으로 전송된다. 모니터링 시스템의 상부와 하부 장치간의 1차 무선 통신은 2500V의 고압으로 인한 전차선 환경을 고려하여 무선으로 안전하게 데이터를 전송하도록 설계하였다. 2차 무선 통신은 장거리 무선 전송을 위한 별도 통신망을 사용하여 전송한다.

전차선 이상상태 모니터링 시스템 하부 측정장치는 전송부로 무선 통신망을 이용하여 전송하고 수신부 원격 서버는 유선 전용회선망을 이용하여 고유 IP를 할당 받아 통신한다.

전차선 및 조가선 데이터 측정 시점과 통과한 열차의 운행 속도 정보를 위해 통과 열차의 속도를 측정할 필요가 있다고 판단하여 열차의 속도를 측정하기 위한 속도측정 모듈을 추가 개발하여 포함하였다.

속도측정을 위해서는 속도를 측정하기 위한 센서가 중요한 과제였다. 속도 측정을 위한 속도 측정장치는 긴 비거리 타입을 가진 센서로 현장 적용이 용이하고 센싱 오류가 적은 타입으로 결정하여야 하였다. 지상부 옥외 설치될 환경 조건에도 만족스러운 센서를 선정하는 것이 중요하다. 현장 열차 속도 측정을 위한 센서는 다음과 같은 사양의 센서로 선정하여 측정 모듈과 로직을 추가하였다.

#### ㉮ 원격측정장치 운영 프로그램 개발

상부 계측 시스템은 독립적인 동작 구조의 계측 컨트롤러를 사용하므로 하부 계측 시스템 프로그램을 통해 통신환경을 구축하여 측정하는 구조로 개발되었다. 상부와 하부의 계측 시스템은 하나의 하부 계측 프로그램으로 동작한다. 하부 계측 프로그램은 시스템에 업로드 되어 단독으로 동작하는 구조로 별도의 UI를 제공하거나 인디케이터를 제공하지 않는 Embedded System 형태로 구동된다. 측정된 데이터의 확인 및 분석은 수신된 원격 수신용 서버 프로그램을 통해 확인 할 수 있다.

상부 계측 시스템과 하부 계측 시스템은 무선 환경으로 서로 연결되어 데이터를 송수신 한다. 송수신시 데이터 인터페이스는 측정용 컨트롤러의 드라이버와 하부장치의 프로그램을 통해 이루어지며 측정 포맷의 경우 하부 계측 시스템 프로그램에서 결정하여 프로그램 한다. 현재 하부 계측 시스템 프로그램에서 사용하는 데이터 포맷은 2D 배열 Binary 형태로 사용한다.

전차선 이상상태 모니터링 시스템의 원격 서버 프로그램은 전차선의 이상상태를 파단하기 위해 개발된 프로그램으로 현장에 전차선의 전류를 측정하는 상부 및 하부 계측 시스템의 측정된 데이터를 기준으로 전차선 및 조가선의 전류파형의 이상 유무를 판단하기 위한 목적으로 개발되었다. 서버 프로그램은 현장계측 및 분석은 물론 원격 측정 및 분석을 할 수 있도록 설계되어 현장에 있지 않더라도 설치된 계측 시스템을 통해 차량 통과 후 측정된 데이터를 바로 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다.

### ③ 전류측정을 이용한 전차선로 이상상태 모니터링 시스템 성능 시험

전차선로 이상상태 모니터링 시스템은 가압중인 전차선로의 전류를 무선을 통해 실시간으로 검측하는 장치로 가압 상태에서 과전압 중 전차선로에 안전하게 노이즈 없이 모니터링을 정확하게 할 수 있는지 검증하는 것이 필요하다. 이러한 목적에 따라 공인기관을 통한 안전성능 검사가 필요하다. 공인 인증기관은 한국전기연구원을 통해 과전압 시험을 수행하였다.

안전성능시험은 KS C IEC 60077-1에 의거하여 전차선로 이상상태 모니터링 상부 계측 시스템에 대하여 아래 사진 <그림 3.4.58 과전압 인증 시험 사진>과 같이 설치하고 이때 계측 시스템과 연결되는 센서는 등전위를 형성하여야 한다.

계측 장치 및 센서에 AC 60 HZ, 75kV의 상용주파수 전압을 약 1분간 인가하였을 때, 센서의 측정 및 Data 송수신의 데이터 끊김 현상이 있는지 정상 동작 여부를 확인한다.

전차선로는 개활지, 터널, 및 지하구간에 설치되어 있고 외부환경에 노출되어 있으므로 설치에 따라 기온의 변화가 다양하다. 그러므로 온도 환경에 따른 동작 성능평가를 통해 시스템 동작 및 정밀한 측정에 대한 성능을 검증하는 것이 필요하다. 이러한 목적에 따라 공인기관을 통한 신뢰성 검사가 필요하다. 공인 인증기관은 한국철도기술연구원을 통해 온도시험을 통한 동작 시험을 수행하였다.

전차선로 이상상태 모니터링 시스템의 온도시험은 '철도신호 보안부품의 고온 및 저온 방법 KSR9191' 성능시험 규격에 의거 하여 수행하였다.

외부환경 변화에 따라 안정적인 검측 상태를 확인하기 위해 고온 및 저온환경에 전차선로 이상상태 모니터링 장치를 위치하고 지상부 모니터링 부와 통신상태를 확인한다. 이때 이상상태 모니터링 장치는 전류센서, 변위계, 온도계를 부착하여 모니터링 장치에 실시간으로 전송하도록 시험한다.

전차선로 이상상태 모니터링 시스템의 온도시험을 통해 과전압 온도변화에 따른 장치의 원활한 동작 여부를 확인하였고, -10 ℃의 저온시험과 60 ℃의 고온시험 결과 정상 동작 하는걸로 확인 하였다.

(다) 전기적 결함 탐지 장치 개발

① 기술 개발 필요성 및 현황

㉮ 전차선로 전기적 결함 탐지 시스템 개발 필요성

현재 우리나라의 사회적 이슈 중 최고는 안전과 관련된 사항이다. 특히 전력계통 관련 사고는 국가적 대형재난으로 발생할 확률이 매우 파급효과가 크다. 현대의 전력 관련시설의 특징을 정리하면 대형화, 고용량화, 연계 계통화로 정의할 수 있다. 또한 이러한 경향은 점점 심화되고 있으며 이러한 현상은 산업이 고도화 되고 전력설비의 효율을 위해 필연적인 현상으로 여겨진다. 아래표에 전력설비의 고도화에 따른 사고의 위험성에 대한 내용으로 근래에 발생하는 대형 안전사고에 대한 경각심을 일깨워주고 있다.

앞서 언급되었듯 이러한 전기적 결함에 의한 사고 사례는 철도분야에서도 나타날 수 있다. 특히 전기적 결함 진단 시스템이 개발이 필요한 반드시 필요한 이유로 전차선로는 전기철도의 핵심 전기설비로 전철 노선의 증가 (04년 이후 266%증가)에 따른 효율적이고 정확한 진단 장비 도입이 필요하다. 또한 현 과제인 열차의 상용속도를 시속 400km/h 증속과 같이 고속화로 노선이 증가됨으로서 효율적 결함탐지 방법이 필요하다. 즉 전기철도에서 전차선로 시스템은 전기차량에 전력을 공급하는 설비이며 전기 철도의 속도를 결정해 주는 중요한 설비로 전차선은 팬터그래프가 일정한 압상력으로 주행함으로써 진동에 의한 파동이 발생하며, 이 파동에 의해 전차선과 팬터그래프 사이에는 이선이 발생하는데 이에 따라 전력공급 장애, 아크의 발생, 전차선 및 습동판의 이상마모, 전자파 발생 등의 원인이 됨. 필연적이나 이를 미리 예방 점검할 수 있는 진단 장비가 시급히 필요하다.

㉯ 전기적 결함 탐지 기술 현황

현재 전력설비 진단과 관련하여 국내에서 가장 과학적이고 선진적인 시스템을 도입하고 있는 한국전력은 2012년 설비진단처를 신설하고 운영중이며 아래 그림 자료는 배전설비 진단 효과로써 설비진단률이 증가할수록 배전고장률이 감소한다는 회귀분석 자료이다. 이러한 통계적 근거와 2010년을 기점으로 전력설비의 증설에서 전력설비의 진단, 유지, 보수 중요성 증대로 아래 표3처럼 각종 총 600여대의 진단장비의 구매 및 연간 100억 수준의 진단용역이 실시되고 있다. 이러한 진단 장비의 보급 및 진단용역의 실시는 아래 그림 3.4.62처럼 정전률 및 기자재로 인한 파급 정전을 획기적으로 줄였으나 현재 기존 보급된 장비 및 기존 실시되는 용역 구조는 진단 효율 및 진단 정확성, 작업자의 편의 및 전문성 면에서 상당히 부족하며 기초적인 운용 매뉴얼 및 진단 절차 및 판정 표준등이 전무하여 진단자의 성향에 의한 진단이 이루어져 그 진단 결과에 대한 신뢰도의 향상도 절대적으로 요구되고 있어 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이에 반해 고속철도 진단 업무 담당자 및 관련 전문가와의 현장 진단 및 의견 수렴을 통해 도출된 전기적 결함 탐지 기술 현황으로는 다음과 같은 결론을 낼 수 있다.

- 현재 전차선로 및 구성하는 기자재에 대한 전기적 결함 진단방식으로는 적외선

카메라가 가장 효과적이며 진단이 용이하여 각 사업소마다 일반적으로 사용되고 있음.

- 또한 자외선으로 전기적 결함을 진단할 수 있는 장비(Ofil사) 보유하여 사용하고 있음
- 그 외 육안 점검을 실시하고 있으나 망원경 및 필드스코프등의 광학 장비는 널리 사용되고 있지 않음
- 위 적외선, 자외선, 육안을 이용한 점검상의 문제로는 적외선 진단의 경우 장비의 특성상 전차선로에 특화된 것이 아닌 범용 진단장비인 관계로 사용상에 덜 효율적이고 조작이 간편하지 않으며 불필요한 기능이 많아 현장 담당자들이 다루기에 다소 불편하였음
- 자외선 진단의 경우 억대가 넘어가는 고가 장비이다 보니 보급도 어렵고 또한 가격대비 성능 그리고 진단 효과에 대한 효율이 매우 떨어져 일반 현장에서의 원활한 사용이 다소 어려움.
- 또한 운용상의 문제로 실제 전차선로를 진단하기 위해서는 주로 고속전철의 운행이 끝나고 단전 후 야간 진단을 실시하다보니 정확한 육안 점검이 어렵고 특성상 통전상태에서의 진단이 유효할 수 밖에 없는 적외선, 자외선 진단도 원활하게 진행할 수 없음.
- 터널 내부(특히 출입구), 사갱 내부의 경우 오염 및 오손이 다른 개소보다 심한 지역으로 터널의 경우 출입구를 비롯하여 전체적으로 오염이 심하고 풍압 및 풍속으로 인한 진동으로 인해 전차선로 및 기자재의 건전성이 쉽게 떨어지고 사갱의 경우 주요 PP의 단로기에서 초음파 검출 사례가 많이 발생함.
- 그리고 주요 배전 및 급전소에서는 내부설비 및 밀폐된 공간에서의 전기실등은 습한 계절에 전기적 결함에 의한 자외선 이상 검출 사례가 많이 발생하고 있다고 함.
- 또한 해안 및 공단 근처의 선로는 공해물질 및 염진해로 인한 급속한 노화현상으로 접속개소 부분의 열화 현상이 다른 곳보다 빈번하게 발생하는 것으로 요약된다.

결과적으로  관련 전문가 및 수요처와의 다양한 검토를 통해 도출된 전차선로 전기적 결함 진단 시스템 개발의 기본 방향으로는 진단 효율 및 정확성이 높일수 있도록 복합적으로 진단할 수 있어야 하고 국산화하여 가성비가 좋으며 작업자의 편의 및 교육과 원활한 기술지원 및 A/S가 가능하여야 한다는 것이다.

### ② 전차선로 전기적 결함탐지 현장 실증 시험

㉮ 전차선로 적용성 성능평가 중인 폴리머 애자 진단(서울메트로담당구간)시행

서행중인 전차의 전차선로 및 관련 기자재를 진단하였으나 이상 신호 검출 하지 못함.서울 메트로에서 신규로 설치하여 특성 및 성능 파악용으로 시험중인 폴리머애자에 대하여 진단하였으나 특별한 이상 신호 및 소견 없음.

㉯ 고속철 전차선로 및 전력설비 진단

울산역 구내 전차선로 및 삼동터널을 구성하는 전차선 및 구성 기자재에 대하여 자외선 및 적외선을 이용한 진단을 시행하였으나 이상 신호 검출 하지 못함. 특히 삼동터널의 경우 터널의 입출구 쪽을 평소에도 육안점검으로 집중적으로 관리하고 있으며 진단 장비 및 광학장비등을 동원한 과학적인 진단은 자주 하지 못하고 있음. 그림 3.4.79은 울산역 구내 전기실의 전력시설로서 이상 및 고장으로 인해 시설을 교체한 곳을 대상으로 진단을 실시하였으나 이상 없었음. 전력 계통 설비들의 과학적인 진단과 관련한 장비 및 시스템의 필요성에 대해 고속철 설비 진단 담당자들은 필요성에 대해 공감하였으며 개발될 시스템에 대한 정보와 필요에 따라 사용자의 의견을 반영해 줄 것을 요청함.

㉰ 자외선 및 적외선 진단장비 시제품을 이용한 배전선로 진단 시험

Test-Bed에서의 현장 시험이 당장 어려운 관계로 비교적 현장 실험이 용이한 한국전력의 배전선로를 대상으로 진단을 실시하였다. 총 7회에 거쳐 적외선 및 자외선 진단 장비의 현장 검출 성능 시험을 실시하였으며 기상(맑음. 비), 지역(도시, 농촌, 공단), 시간(주간, 야간)등으로 조건을 달리하여 시행하였다.

5차 진단시 자외선 진단 장비로 검출한 이상 검출 사례는 자외선 검출 신호 취득 후 현장에서 적외선 진단 장비와 육안(정밀스코프)을 이용한 정밀 진단을 실시하였고 그림 3.4.80처럼 LP바인더 결속이 불량한 기자재를 찾은 후 그 위치에 자외선 진단장비를 삼각대에 거치 후 약 5분 정도 자외선 검출 수치 및 횟수를 체크하였다. (적외선 이상 소견은 없었음)

7차 진단시 적외선 진단 장비로 검출한 이상 검출 사례는 적외선 진단 장비 시제품을 이용하여 진단한 결과, 그림 3.4.81처럼 3상 변압기에서 저압으로 가는 중간 접속재에서 온도 이상이 관찰되었고 한전 담당 직원에게 문의한 결과 명칭은 중간 접속 슬리브이고 접속부의 이상은 심할 경우 수용가에 정전을 일으킬 수 있으나 비교적 좁은 범위에서 정전을 일으킬 수 있다고 함. 또한 온도데이터 표시 S/W미완성으로 인하여 정확한 온도값을 알 수 없었으나 색깔 분포의 차이로 추정하며 약 20도 이상의 온도차가 날 것으로 보여 한전의 열화이상 처리 지침에 의하면 추후 결함으로 진전할 수 있는 수준임.

③ 4차년도 기술 개발 내용




<그림 2-3-4-6> 복합진단장비 개발 개요도

3차년도에 기 개발된 적외선 진단 시스템 및 자외선 진단시스템을 소형 카메라와 결합하여 만든 자외선+적외선+실화상 복합 진단 장비는 각 진단 장비의 단점을 상호간 보완하고 진단 효율을 향상시키며 작업자의 편의를 증진시킬 수 있는 방식으로 개발되어야 하며 특히 400km/h급 전차선로의 환경이나 특성에 맞는 기능 개발과 특화시킬 수 있는 부분을 기존 범용 장비보다 향상시켜 개발할 수 있어야 한다.

또한 고도화된 국내 IT환경을 고려하여 복합진단장비에 융합시킬 수 있는 IT기술에 대한 연구 및 적용등 확장성을 고려하여 제작이 필요함.

3차년도의 연구 성과물인 자외선 진단 시스템과 적외선 진단시스템을 융합하여 복합적으로 진단할 수 있는 복합진단 시스템의 개발이 필요함.

㉮ 각 진단장비별 검출원리 및 장단점을 충분히 고려하여 복합진단 시스템 개발

㉯ 적외선 진단 장비 : 전차선로에 적합한 기능을 특화하여 채용, 전용 S/W개발, 불필요한 기능 배제, 직관적인 UI제작 등

㉰ 자외선 진단 시스템 : 전차선로에 적합한 기능을 특화하여 채용, 전용 S/W개발, 불필요한 기능 배제,외국의 Ofil사의 Corocam과 같은 억대의 장비 대비 가성비 효율 높은 시스템 개발. 작업자 편의 증대 복합진단 시스템

㉮ 디자인 개발

- 휴대가 쉽도록 손잡이 및 거치할 수 있도록 가방 및 보조 벨트를 개발하며 최대한 경량화 함.
- 조작이 쉽도록 조작키를 배치하고  가능한 한 시인성을 최대한 확보함.
- 내구성이 확보될 수 있도록 디자인 개발함.
- 사용자 화면 표시창의 시인성을 높힐 수 있도록 커버 디자인 개발함.

㉯ 1차 복합진단 시스템 시제품




<그림 2-3-4-7> 복합진단 시스템 완성 시제품

- 사용자 화면 : 자외선, 적외선, 실영상에서 검출 및 측정되어진 DB를 수집 처리하여 화면에 표시하며 저장기능을 제공함.
- 자외선 검출부 : 전기적 결함에 의해 발생하는 자외선을 검출하며 자외선 신호의 세기, 및 횟수를 측정하여 처리함.
- 실영상 취득부 : 진단 대상을 실영상 데이터로 수집하여 저장함으로 보고서 작성 및 현장 사진, 증거로 사용할 수 있도록 함.
- 적외선 검출부 : 전기적 결함에 의해 발생하는 적외선을 검출하여 사용자 화면에 영상으로 구현하며 영상에는 최고 온도 자동 표시와 그 외 최고 10개 Spot에 대한 온도 정보를 비교 분석할 수 있도록 사용자 화면에 표시할 수 있음.
- 후면도 : 복합진단시스템의 후면으로 7인치 화면에 모든 측정 데이터가 표시될 수 있도록 구성함.
- 측면도 : 7인치 LCD화면은 개폐가 가능하 구조로 구성하여 운용이 용이하게 구성함.
- 크기 및 중량

LCD 접었을 경우 : 180(W) × 212(L) × 285(H)
LCD 폈을 경우 : 180(W) × 212(L) × 375(H)
1.8Kg, 배터리 내장형 16.8V(4Cell) 연속사용시간 1시간, ABS고강도 수지등

㉮ 적외선+자외선+실영상 복합진단시스템 최종 시제품

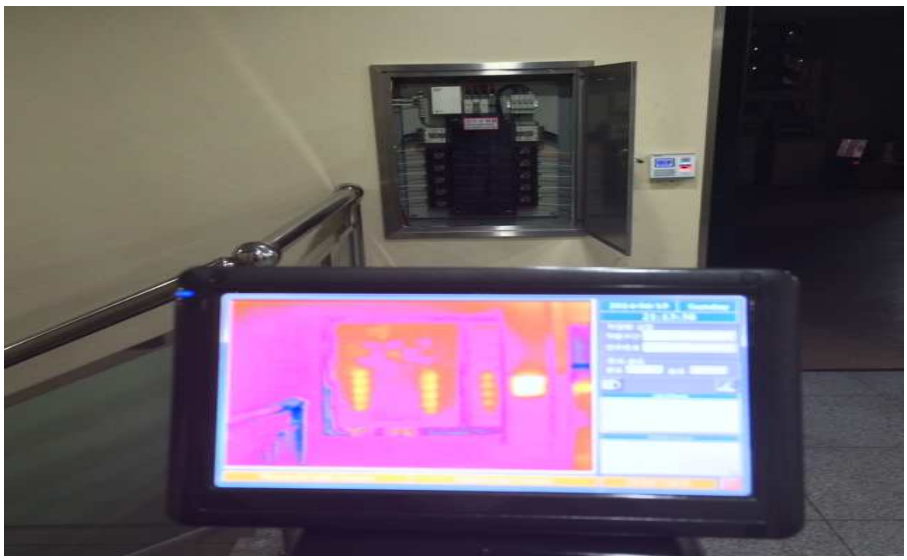


<그림 2-3-4-8> Test-bed현장 성능 평가 후 개선 사항 반영된 최종 시제품

최종 시제품의 현장 적응시험 시 지적되었던 장시간 사용 시 발열문제를 위 그림 3.4.85의 측면 5번측 양쪽에 공기 유입구 및 휀을 설치하여 최종 시제품 보다 현장 성능 평가 결과를 반영한 최종 시제품의 내부 온도가 15도 이상 낮음.

측면도 4번의 배터리 탈부착 설계를 통하여 간편하게 배터리를 교환할 수 있게 됨.

손잡이 그립감 향상을 위해 줄이려던 손잡이 폭은 탈부착 배터리의 설계상 이유로 2mm 정도의 폭만 줄어 효과적으로 적용되지 못함.


<그림 2-3-4-9> 발열 및 전자파 간섭으로 인한 노이즈 해결

현 시험시 발생 되었던 장시간 사용에 따른 노이즈감소를 위해 내부 휀 설치 및 전자파 차단 설계를 통해 장시간 사용으로 인한 화면 노이즈 감소시킴.

㉮ 복합진단시스템 시제품 User Interface 완성

Test-bed 현장실증 및 현장 사용자들의 의견을 반영하여 User Interface를 제작하였고 여러 전문가의 의견 및 사용자의 의견을 일정 부분 참고하여 제작하였으며 실제 Test-bed에서의 현장 실증 후에는 좀 더 사용자가 조작 및 운용이 쉽고 데이터의 저장, 분석, 활용이 용이할 수 있도록 구성함




<그림 2-3-4-10> 복합진단 시스템 User Interface

- 날짜, 시간, 작업구간, 기자재번호, 온도, 습도등 진단 장소 및 환경에 대한 기본적인 사항 입력
- 현재 화면을 저장 아이콘
- 작업구간 및 기자재번호등 글자 입력을 하기 위한 키보드 아이콘이며 누르면 화면에 키보드가 생성되고 이를 이용하여 작업가능
- 설정창으로 대표적으로는 영상 보정 및 조정, 최대 10값 온도 표시 마커등의 기능을 수행하며 그 외 다양한 세부 기능 있음
- Uv Chart : 코로나, 아킹, 트랙킹등에 의해 발생되는 자외선을 검출하여 그래프로 표시하는 창
- Temp Chart : 영상에 표시된 온도값을  최대 10Point까지 그래프로 표시하여 온도변화 트렌드 분석
- 적외선 및 디지털카메라를 선택하여 화면에 표시하며  줌기능을 통해 화면을 확대하여 볼 수 있음.

㉮ 고정형 복합진단 시스템 시제품




<그림 2-3-4-11> 고정형 복합진단시스템 1.2차 시제품

P/T Driver 기능 향상(속도, 작동 각도 등)
조이스틱형 조작 Controller 채용
경량화, 단순화하여 상품성 향상
사용자의 요구에 따라 기능 탈부착이 가능한 분리형 구조
과제범위는 아니었으나 타당서 검토로 만들었으며 향 후 적용성이 뛰어나 추가 개발 필요

## ④ 전차선로 전기적 결함탐지장치의 성능 시험

■ 고속철도용 폴리머 애자 절연 저항 파괴 시험.

시험 결과 위 표처럼 오염 정도가 심할수록 절연 저항 값이 낮게 나타났으며 폴리머 애자의 경우 사기 애자와는 달리 2번 시료처럼 임의로 외부를 파손(임의로 칼로 도려냄)하여도 절연값에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 파악되었다. 또한 오염 초기에는 수분이 남아 있어 비교적 낮은 저항값을 기록하였으나 수분이 증발됨에 따라 저항값이 올라가는 현상을 보였다.

- 고속철도용 폴리머 애자에 탄소실리콘을 이용하여 임의로 오염시키거나 애자의 스커트 부분을 칼로 도려내어 파손시킨 후 절연저항계(Megger 10KV용)를 이용하여 대상 애자의 절연 성능을 측정하였으며 아래 표와 같이 측정되었음.

<표 2-3-4-14> 고속철도용 폴리머 애자 절연 저항 값

| 구분 | 인가 전압(V) | 절연 저항값(Ω) | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1번 폴리머 애자 | 10KV | 1.79T[Ω] | |
| 2번 폴리머 애자 | 10KV | 16.8G[Ω] | |
| 3번 폴리머 애자 | 10KV | 564M[Ω] | |

- 폴리머 애자의 절연 저항값은 실험 환경(온도, 습도등)에 따라 민감하게 변하므로 현 장에서 다시 한 번 절연 저항값을 재측정 하였으나 3번 애자의 절연저항값이 실험 전 측정값 560Ω내외에서 현장 측정값이 1.6GΩ 내외로 상승되어 있어 원하는 절연 저항값을 만들기 위해 탄소 실리콘을 이용하여 오염정도를 더하여 실험함.

- 고압 인가를 위하여 폴리머 애자별로 고전압 설비 챔버에서 준비함.

- 고압 인가(13.4KV, 22.9KV)후 1번, 2번, 3번 애자에 대해 각종진단장비(한성전공 복합진단장비, 한국전력 자외선장비, UE 초음파 장비)로 비교 측정 및 반복 시험함.

⑤ 실험 결과

1. 2번, 3번애자에서 자외선이 검출되었으나 절연 저항값이 낮은 3번(560Ω) 애자보다 절연 저항값이 높은 2번(16GΩ) 애자에서 자외선 발생량 및 세기가 높았음.

한국전력에서 사용중인 자외선 진단장비보다 한성전공의 복합진단장비의 검출 거리가 약 2~3배 내외 높음.

초음파 진단 장비는 검출 되지 않음.

13.4KV에서 22.9KV 전압 상승시 검출 거리가 3배 정도 증가함.

자외선(코로나, 아킹, 트래킹등)이 발생하는 모습이 육안으로는 전혀 관찰되지 않음.

가까운 거리(1m내외)에서는 폴리머 애자의 자외선 발생 위치를 대략적으로 파악 가능함.

2번 애자의 절연저항파괴 당시 임의로 파손(일직선으로 칼로 도려냄)했을 시에는 절연저항에는 아무런 영향을 미치지 못하였음. 그러나 절연저항값이 낮은 3번 애자보다 2번 애자에서 자외선 발생량이 많은 이유에 대한 연구 필요하며 이를 증명하기 위한 실험 방법 고안(현재 시험 결과로는 온도나 습도의 영향이 아닌 2번 애자의 파손에 의한 이유로 추정됨)하여 실험 해야함.

(라) 이미지 프로세싱을 이용한 팬터그래프와 전차선간 접촉 교점 검측장치 고도화

궤도 중심면으로부터 전차선의 위치에 대한 수평거리를 정적 편위라 하며 '코레일 고속철도전차선로실무'에 따르면 고속철도에서는 차량의 고속주행 및 고속주행시의 동역학적 요인, 지역의 풍속 등을 고려하여 최대 좌우 250mm의 정적 편위를 두고 있다.

그러나 고속에서의 동역학적 요인 또는 외부 요인으로 인하여 열차에 전력을 공급하는 핵심장치인 팬터그래프와 전차선간의 접촉 위치인 동적 편위는 정적 편위와 상이할 가능성이 높다. 즉, 안정적인 전력공급 및 속도향상을 위하여 동적 편위에 대한 검측은 반드시 이루어져야 하며, 효과적인 유지보수 및 승객의 안전을 위해서 팬터그래프와 전차선간의 동적 접촉 지점에 대한 측정이 요구되어 왔다. 따라서, 본 연구에서는 400km/h급 전차선로의 성능 평가를 위하여 차상에 설치한 영상 기반의 검측 장치를 이용하여 Test-bed에서의 팬터그래프와 전차선간의 접촉 교점인 동편위를 측정하고자 한다.

## (5) 400km/h급 전차선로 시스템 Test-bed 구축

### (가) 400km/h급 전차선로 Test-bed 구간 결정

400km/h Test-bed 구간을 선정하기 위해서는 먼저 어느 구간에서 400km/h 운행이 가능한 지 검토하는 작업이 필요하다. 고속철도의 운행속도는 차량 자체의 성능(견인력, 제동성능 등)뿐만 아니라 선로선형, 구배조건, 정거장 통과여부, 전차선 절연구간(Neutral section) 등 인프라 측면의 다양한 요인들이 영향을 미치기 때문이다. 결과적으로 400km/h 운행이 가능한 구간을 선정하기 위하여는 시뮬레이션(TPS; Train Performance Simulation)을 통해서 1 편성의 열차가 일정한 선로구간을 주행하는데 따른 시각별 위치, 속도, 전력소비 등의 제반성능을 분석하는 과정이 필요하다.

「400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발」에서는 400km/h 운행이 가능한 구간을 판별하기 위하여 “차세대 고속철도기술개발사업”으로 개발되는 HEMU-400x와 호남고속철도 노선조건을 바탕으로 TPS분석이 이루어졌다.

#### ① Test-bed 구간 선정

본선 Test-bed 구간 선정은 전차선로 시스템만을 가지고 선정할 조건이 아니며 노반, 궤도, 환경 등 각 분야의 계측/시험이 가능하도록 공통된 구간으로 선정되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 그 동안 연구단에서 선정한 Test-bed 구간(안)에 설치될 전차선로의 기술적 사항을 검토하였다.

다음은 선정된 Test-bed 구간이다.

<표 2-3-4-15> Test-bed 구간 선정결과

| 선별 | 구간 | km정 | 변경사유 |
|---|---|---|---|
| 하선 | 공주～익산 | 54km～82km(L=28km) | 신호시스템의 제동폐색 및 과주여유거리 확보 |
| 상선 | 정읍～익산 | 100km～128km(L=28km) | |

② Test-bed 구간 노선현황

본선 Test-bed 구간의 노반조건은 교량구간이 62.4%정도 차지하며 토공이 35.5%, 기타 터널구간이 차지하고 있다.

<표 2-3-4-16> 본선 Test-bed 구간의 노반현황

| | 노선현황 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 계 | 토공 | 교량 | 터널 | 파정 |
| 계 | 56,000 | 19,902 | 34,967 | 1,130 | 1 |
| 공주～익산 (하선) | 28,000 | 7,955 | 19,990 | 55 | |
| 정읍～익산 (상선) | 28,000 | 11,947 | 14,977 | 1,075 | 1 |

③ 호남선 350km/h 구간과의 인터페이스 분석

하나의 건설선구에서 상이한 속도대역의 전차선로 시스템을 건설하기 위해서는 양쪽의 설비가 중첩되는 구간(overlap)에서 온도변화에 따른 장력의 변화량, 가동브래킷의 이동에 따른 가선계의 변위로 편위가 적정한 기준 이내로 유지되는지에 대한 검토가 요구된다. 전차선로에서 사용되는 전차선 및 조가선은 설계 시 선팽창계수를 동일하게 적용하므로 350km/h급 설비인 Cu-Sn합금과 400km/h급 설비인 Cu-Mg합금 전차선은 특별히 온도변화에 따른 변위량으로 중첩구간에서 문제는 없는 것으로 분석된다.

호남고속철도는 전철주의 경간배치를 최대 65m로 정하고 교량부분에 대한 Pegging Plan을 토목분야 시공에 요청한 상태였다. 중국의 350km/h급 심플 카티너리를 참조하여 400km/h급에서 최대경간을 55m로 제한하게 됨에 따라 기존 시공 요청된 Pegging Plan의 전면적인 재조정이 필요하게 되었으며, 이로 인하여 토목공사를 지연시킬 수 있는 여건이 아니었다. 다행히 Test-bed 구간의 공정이 초기상태로 일부를 제외하고는 조정이 가능하였다.

(나) 400km/h급 Test-bed 구간 시공품질검사

호남고속철도에 시공한 400km/h급 전차선로 Test-bed 구간의 고속철도 개통에 따

른 전차선로 시설물의 시공품질 및 안전성의 정밀검사와 평가를 통해 고속열차 진입 가능 여부를 종합적으로 판단하기 위하여 제3의 기관인 한국전기철도기술협력회에서 운행전 전차선로 시공품질검사를 실시하였다. 시공품질검사를 실시한 구간은 다음과 같이 Test-bed 구간과 동일하다.

### (다) Test-bed 내 전차선 사전이도(pre-sag) 적용구간 구축

HEMU-430X 시험 열차를 이용한 시험시 집전 성능 등을 측정하여 사전이도에 따른 영향 인자, 민감도 분석 등을 실시하여 400km/h 전차선로 연구개발 업무의 완성도 향상하고 귀중한 설계-실험 파라미터 획득하며 400km/h 전차선로의 신뢰성 향상을 도모하기 위하여 400km/h 전차선로 시범구축 구간 내에 사전이도(Pre-sag)를 임의로 주는 구간을 조성하였다.

사전이도는 400km/h급 전차선로 시범구축 구간 내에 익산 인근 상선(T2) 118-20호주 ~ 119-14호주(오버랩 중간주-장력주 제외, 아래 그림 참조)에 약 1km를 선정하여 사전이도를 400km/h급 전차선로 설계 파라미터(사전이도 : 0) 와는 다르게 S/3000로 변경 시공하였다. 또한, HEMU-430X 열차로 시험을 완료한 후 원상 복귀 및 조정하였다.

## (6) 400km/h급 전차선로 시스템 Test-bed 성능평가

### (가) 400km/h급 전차선로 종합 성능평가

#### ① 차상평가 항목 및 기준

| 구분 | 기준 | 근거 |
|---|---|---|
| 평균접촉력 | ≤200 | KTX QT |
| 최소접촉력 | >0 | EN 50119:2009 |
| 최대접촉력 | ≤350 | EN 50119:2009 |
| 이선율 | ≤1% | 국토부 개정<br>철도설계기준(시스템편), 2013.12 |

#### ② 평가 방법

○ 팬터그래프-전차선 사이의 접촉력을 측정하여 집전 성능 평가

○ 접촉력 측정장치는 HEMU 열차에 탑재된 팬터그래프에 장착되며, 측정 정밀도는 EN 50317에 따라서 검증(붙임 1 참조)

○ 접촉력 데이터 처리방법

- 접촉력 측정 장비에 의하여 측정된 접촉력에 공력특성시험 결과를 추가하여 전체 접촉력을 산출함.
- 전구간 측정 데이터에서 분석 평가를 위한 선택구간에서 개활지 주행 구간 데이터를 추출하고 20Hz 저역통과 필터를 적용하여 평가함.

○ 접촉력 측정 이외에 이선 발생 위치를 분석하기 위하여 참고로 이선 아크 측정

○ 이선 아크 데이터 처리방법

* 팬터그래프 Trail edge 쪽에 아크 검출기 설치
* 팬터그래프와 전차선간 이선시 발생되는 아크를 220~225 nm 파장, 5 ms 이상 지속시간의 아크를 최고속도 ±10 km/h & 정격전류 30% 이상일 때 아크로 검출

#### ③ 지상부 평가 항목 및 기준

| 항목 | 기준 | 비고 |
|---|---|---|
| 전차선 압상량(㎜) | 120 | EN50119 |
| 전차선 변형률(με) | 500 | 시험결과 |
| 드로퍼 작용력(N) | 300 | 시험결과 |

④ 평가 방법

○ 전차선 압상량 및 스트레인은 전차선에 직접 변위계와 스트레인게이지를 취부하여 열차 통과시 센서가 취득한 신호를 텔레메트리를 통하여 지상으로 전송(센서 시험성적서 붙임 4 참조)

○ 드로퍼 작용력은 지지점 인근 좌우 드로퍼를 로드셀이 달린 드로퍼로 교체하여 열차 통과시 센서가 취득한 신호를 텔레메트리를 통하여 지상으로 전송(센서 시험성적서 붙임 4 참조)

○ 지상 측정 지점

- 350km/h 이하 103k('14.12.06 이전),
- 350km/h 이상 113k(113-2호주, '14.12.06이후)

⑤ 측정장치 개요

테스트베드에서 전차선로 분야의 모니터링은 지상측정과 차상측정으로 구분된다. 지상측정에서는 전차선 압상량 및 변형률, 전차선 실시간 장력상태, 전차선 이상상태, 전차선로(애자류 및 금구류) 결함 등을 고속열차의 최고 주행속도구간에서 측정하게 되며, 차상측정에서는 전차선과 팬터그래프 간 접촉력 및 이선아크 등 차량의 주행성능을 모니터링 한다.

(나) 집전성능 시험 절차

본 시험은 400km/h급 호남고속철도 Test-Bed 구간 전차선과 팬터그래프 간 집전성능(접촉력시험, 이선아크시험)을 평가하기 위한 시험이다. 본 시험은 전차선과 팬터그래프 간 집전성능의 품질을 확인하기 위해 전차선과 팬터그래프 간 접촉력 및 이선이 되었을 때 발생하는 아크 검측을 통해 열차 주행에 따른 집전성능을 확인하는 것이 목적이다.

① 호남선 400km/h급 Test-Bed 현장에서 집전성능 중 차상측정 항목인 접촉력을 확인하기 위해서는 다음사항을 사전에 준비하여야 한다.

㉮ 용어 정의 및 약어 설명

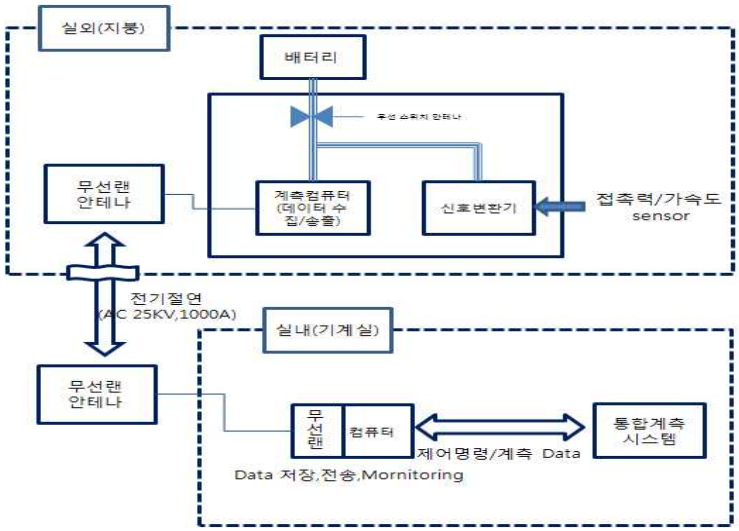
- 평균접촉력(Fm) : 팬터그래프 팬헤드와 전차선간에 발생되는 접촉력을 선택된 구간에서 평균한 값
- 표준편차(σ) : 팬터그래프 팬헤드와 전차선간에 발생되는 접촉력을 선택된 구간에서구한 표준편차 값
- 최대접촉력 : Fm+3σ에 의하여 나타내어지는 통계적 최대접촉력값
- 최소접촉력 : Fm-3σ에 의하여 나타내어지는 통계적 최소접촉력값

㉯ 시험 방법

ㅇ 측정장비

- 실외 계측 시스템 시험 장비 : 팬터그래프에 집전판의 접촉력 측정 센서와 관성력 측정을 위한 가속도계, 실외 데이터 수집, 변환장치, 배터리 및 무선안테나 등
- 실내 계측 시스템 시험 장비 : 실내 데이터 수집 및 모니터링 장치, 차량 신호 등을 같이 저장할 수 있는 인터페이스 설비, UPS 등

ㅇ 측정블록도




ㅇ 사전조치

- 시험을 위한 계측 시스템은 기본적으로 실외 계측 시스템(팬터그래프에 설치된 센서 및 계측 시스템)과 실내 계측 시스템으로 구분되며, 실외 계측 시스템은 운행 시 절연이격거리, 가압환경, 풍력 및 외부 환경 등을 고려하여 제작/설치한다.
- 차상에서 측정된 데이터는 유선으로 실내 계측시스템과 연결하는 것을 기본으로 한다. 실내 계측시스템은 차량 전원을 기본으로 활용하나 UPS를 설치하여 차량전원 단전시에도 연속된 측정이 가능하게 한다.
- 실내 계측 시스템은 실외 팬터그래프 측정 신호와 시운전 상황을 동기화하는데 필요한 차량속도, 견인 상태 및 Kp신호 등을 차량 신호로부터 인출하여 실내 계측 시스템에 연결하여 통합 계측한다.
- 시험 전에 팬터그래프에 설치된 센서 및 계측시스템은 EN50317에 따라 검증하여 신뢰성을 입증하여야 한다.
- 또한, 계측 시스템으로 측정할 수 없는 팬헤드 집전판의 공력 특성은 다음과 같은 계측 시스템 원리를 이해하고, 공력시험(집전판과 전차선을 일정거리를 떨어뜨린 상태에서 속도에 따른 팬헤드의 공력을 측정하는 시험)을 통하여 공력을 측정하여 접촉력 측정시 적용하여야 한다.

단, 여기서 Fc는 공력시험 시 Load Cell로 계측되며 Fint는 0임.

ㅇ 접촉력 검측 시스템

| 구 성 | 사양 / 내용 | |
|---|---|---|
| 실외계측시스템 | 전압용 입력 Module | 입력 채널 수 : 4<br>250Vrms 채널 간 절연<br>50kS/s/ch 동시 입력<br>앨리어스 제거 필터<br>±10V 입력범위 |
| | 접촉력 측정센서 | 하중측정용 |
| | 가속도 센서 | Range : 0~±6g<br>Safe overload rating : 300%<br>출력 : 200mv/g<br>응답주파수 : DC~350Hz<br>사용전원 : 3.3VDC |
| | 배터리 | 전압 : DC 12V<br>용량 : 12AH |
| 실내계측시스템 | Real Time Controller | 400MHz 프로세서<br>2GB 비휘발성 스토리지<br>128MB DRAM 메모리<br>10/100BaseT 이더넷 포트<br>Full-speed USB<br>RS232 시리얼 포트<br>듀얼 9~35VDC 공급 입력<br>-40~70℃ 작동 온도 범위 |
| | 데이터 수집/ 계측 제어 컴퓨터 | CPU : Dual Core<br>RAM : 2GB DDR2<br>HDD : 160GB 이상<br>해상도 : 1680 * 1050<br>CD ROM : DVD Super Multi<br>OS : Window Vista |
| | 무선스위치 | 작동거리 : 30~60m<br>소비전력 : 57mA 이내<br>사용주파수 : FM 447 MHz<br>접점허용전류 : 25A |

- 센서 등을 포함한 계측시스템의 신뢰성 : EN50317 규격에 부합하게 계측시스템의 정확성을 가져야 함
- 적용 공력특성 : 본 시험에서 사용되는 팬터그래프 집전판의 공력특성은 실제 선로에서 계측한 결과를 사용함(EN50317 규격에 부합한 조건 고려)
- 차량 속도 및 부하특성 등은 전기차의 배전반 등에서 인출하여 사용

## ② 이선아크

㉮ 호남선 400km/h급 Test-Bed 현장에서 집전성능 중 차상측정 항목인 이선아크를 확인하기 위해서는 다음사항을 사전에 준비하여야 한다.

㉯ 용어 정의 및 약어 설명

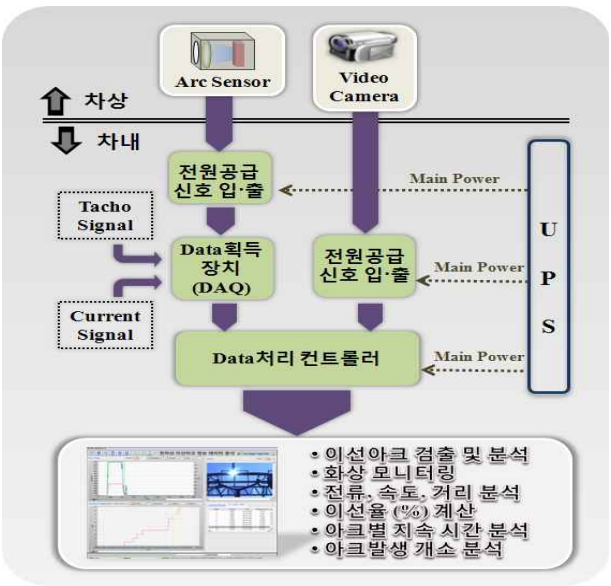
- ㅇ 이선율 : 총 이선시간을 총 측정시간으로 나눈 값의 백분율
- ㅇ 이선시간 : 최소아크 지속시간
- ㅇ 측정시간 : 정력전류의 30% 이상의 전류가 흐른 시간
- ㅇ 이선아크 : 전차선과 집전판간 이선 시 전류의 흐름에 의해 발생하는 강한 빛
- ㅇ 정격전류 : 정격에서 출력하는 팬터그래프 전류

㉰ 시험 방법

- ㅇ 측정장비

- 실외 계측 시스템 시험 장비 : 아크 검출기 (예비성능시험 수행품), 비디오 모니터링 장치 _ 팬터그래프 동작 범위 측정 가능한 장치, Housing _ 열차 지붕의 열악한 환경에서 계측 장비 보호
- 실내 계측 시스템 시험 장비 : 아크 검출기 컨트롤 및 이선율 모니터링 장치, 속도/팬터그래프 전류 검출장치, 운영프로그램 _ 이선율 계산/속도/위치/정격전류등, UPS (비상 전원 공급)

- ㅇ 측정블록도




- ㅇ 시험장비 및 측정방법

- 전차선과 팬터그래프간 아크측정은 구리 혹은 구리합금 전차선로시스템의 아크측정파장범위인 220 nm ~ 225 nm 또는 323 nm ~ 329 nm를 포함 하여야 하며, 파장범위는 관련기관의 협의에 의해 변경가능하다.
- 파장길이 330 nm 이상인 가시광선에는 빔감광성 하도록 한다.
- 검측장의 민감도를 높이기 위해 광센서를 근접하게 설치한다.
- 검측기는 차량 진행방향을 기준으로 팬터그래프 후방에서 집전판을 향하도록 설치한다.

- 검측기는 팬터그래프 작동범위에 반응하도록 충분한 시계와 민감도를 갖도록 한다. 이때 민감도에 대한 허용오차는 10% 미만이어야 한다.
- 검측기는 100 μs 미만의 아크에 해당하는 반응하도록 한다.
- 직사일광에 의해 검측기가 오작동 하지 않도록 출력전압 레벨을 조정하여 임계값으로 설정한다. 이때 임계값을 최소 파워밀도로 한다.

ㅇ 시험장비의 교정 사항
- 시험장비 출력은 파워밀도로 표현하도록 한다. (uW/cm2)
- 시험장비의 최소 검측 파워밀도를 임계값으로 나타내도록 한다.
- 팬터그래프와 검측기간 거리에 따른 파워밀도 교정은 $1/d^2$ 법칙을 이용하여 교정(여기서 d는 전차선과 팬터그래프간의 거리)

ㅇ 검측기 예비성능시험 : 센서 등을 포함한 계측시스템의 신뢰성 확보를 위해 다음사항을 포함하여 예비 성능시험을 수행하도록 하며 필요에 따라 관련기관과의 협의에 의해 시험 절차 및 변경할 수 있다.
- 측정 파장 범위 시험
- 팬터그래프 작동범위에 따른 민감도 시험
- 센서 응답 (V)과 파워밀도 (uW/cm2) 시험
- 최소 아크 응답 속도 시험

ㅇ 전차선로 이선아크 검측 시스템 설치 방법

| 구 성 | 사양 / 내용 | |
|---|---|---|
| 실외계측시스템 | 아크센서 | 출력 : -5 ~ +5 V<br>Sampling : 10 μs |
| | 비디오 장치 | Resolution : 720 × 480<br>Max Frame : 32 fps (full resolution) |
| 실내계측시스템 | DAQ 보드 | 16 Bit<br>1 MS/s/ch |
| | 이선아크 정보 DATA 처리 프로그램 | 실시간 센서 입력 : 25 μs<br>실시간 이미지 입력 : 32 fps<br>LabVIEW 2011 이후 버전<br>NI Device Driver (IMAQdx Driver 포함) |
| | 이선아크 정보 DATA 분석 프로그램 | Data 분석 Sampling : 40k, 50k, 100k<br>아크 추적 프로그램<br>LabVIEW 2011 이후 버전<br>NI Device Driver (IMAQdx Driver 포함)<br>Row Data 저장 메모리 : 1 Tbite |

- 전차선과 팬터그래프 간 이선아크 검측 시험 : 다음과 같이 측정하는 것을 원칙으로 하며 다만 측정구간, 시험 속도 등의 필요에 따라 관련기관과의 협의에 의해 시험절차 및 방법을 변경할 수 있음.
- 시험을 위한 계측시스템은 기본적으로 실외 계측 시스템과 실내 계측 시스템으로 구분되며, 실외 계측시스템은 운행 시 풍력 및 외부환경을 고려하여 하우징을 설치 함.
- 차상에서 측정된 데이터는 유선으로 실내 계측시스템과 연결하는 것을 기본으로 한다. 실내 계측시스템은 차량 전원을 기본으로 활용하나 UPS를 설치하여 차량전원 단전시에도 연속된 측정이 가능하다.
- 실내 계측 시스템은 아크검측이외에 팬터그래프 전류값, 차량속도와 KP신호 및 습동상태 비디오를 실내계측시스템에 연결 통합 한다.
- 최소아크 지속시간을 고려하여 출력하도록 하고 30% 미만의 팬터그래프 정격전류에서는 측정값을 무시한다.
- 모니터링 장치는 다음 사항을 나타내어야 한다.
  - · 차량속도
  - · 아크 발생 횟수
  - · 이선시간 (아크 발생 시간의 총 합)
  - · 최대 아크 발생 시간
  - · 총 측정시간 (팬터그래프 정격전류 30% 이상)
  - · 검측시스템 총 운영시간
  - · 이선율 (%)

## ③ 전차선 지지점 압상량, 전차선 변형률, 드로퍼 작용력

### ㉮ 사전준비의 목적

○ 전차선로는 고전압, 고전류로 열차 운행 또는 가압 중에는 센서의 설치 및 접근이 불가하여 설치위치가 5m 이상으로 높으므로 사전조치에 따라 시험전 준비를 수행한다.

㉯ 용어 정의 및 약어 설명

○ 팬터그래프 : 가선으로부터 집전하는 기기로 열차 지붕에 설치됨.

○ 전차선 : 전철 구동에 필요한 전력을 공급하는 전선으로 공중에 매달려 설치되어 있음

○ 전차선로 지상부 상태 모니터링 시스템 : 센서가 설치된 고전압 환경으로부터 데이터 처리부를 보호하기 위하여 전기적으로 격리시킬 목적으로 사용하는 데이터 전송 장치.

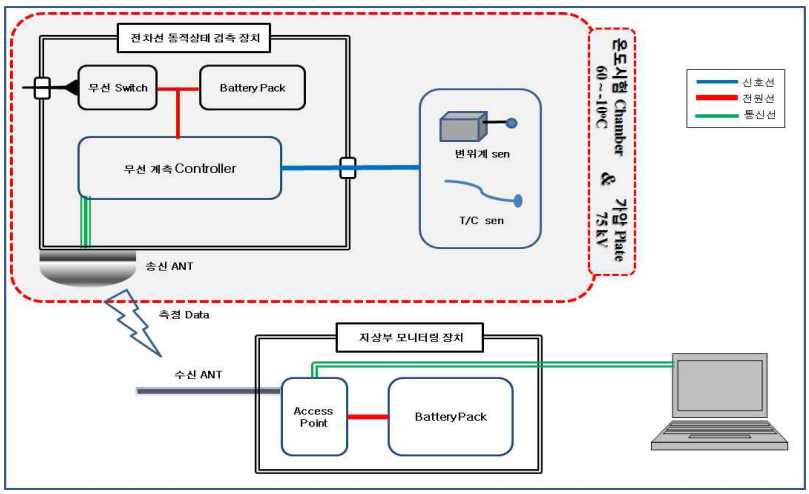
○ 전차선 압상량: 전기차 운행 중 팬터그래프에 의해 전차선이 상승하는량

㉰ 시험 방법

○ 측정장비

| 번호 | 장비명 | 장비형식 | 주요사양 | 수량 | 용도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 지상부 상태 모니터링 시스템 | 무선기반 (TCP/IP) | 압상량, 변형률, 작용력 검측 | 1 | 전차선 압상량 |
| 2 | 신호획득 장치 | 노트북등 | LV 8.5 이상 | 1 | 압상량 저장, 모니터링 |
| 3 | 변위계 | 스트레인게이지 타입 | 2000 mm | 1 | 지지점 압상량 검측 |
| 4 | 무선안테나 | 지향성 | 2.4 GHz | 2 | 검측 신호 송수신 |

○ 측정블록도 (전차선로 지상부 모니터링 시스템 개요도)




○ 사전조치

- 시험에 필요한 시험 소요 인력, 지원 인력, 운행 계획 및 급전 계획을 사전에 협의하여야 한다.
- 종합시험팀은 전차선로 센서 설치를 위하여 전차선 담당과 모터카 및 전차선

로 센서 시공 인력의 지원에 대하여 협의하여야 한다.

- 검측 시스템 설치를 위하여 설치위치 협의 및 설치구간의 도면이 필요함
- 검측 시스템 설치 및 배터리 교체 등을 위하여 필요시 가선에 전류를 흐르지 않도록 행정조치를 해야함
- 검측시스템 설치와 배터리 교체, 점검을 위하여 모터카, 운전원, 안전요원의 협조가 필요함
- 시험을 위한 계측기는 충분한 정밀도를 가져야 하며, 검교정이 완료된 계측기를 사용한다.
- 측정기기는 시험을 시작하기에 앞서 설치 및 조정 작업이 종료되어야 한다.
- 종합시험팀은 열차 운행 및 전기공급과 관련된 안전이 확보되었는지 확인하여야 한다.

ㅇ 시험원 안전확보 방안

- 안전시험규칙에 의거「산업안전보건법」등 관련 법령에서 정한 안전조치사항의 점검 · 확인
- 전차선로 상태모니터링 설치를 위한 별도의 안전교육을 용역 책임자는 수행하여야 하며 현장 시험 시 에는 안전장치를 구비하고 안전대책을 수립하여야 한다.
- 전차선로 상태모니터링 계측 및 시험은 25kV의 고전압, 고전류가 흐르고, 전차선 상부의 높은곳에 설치하여야 하며 고속 열차의 운행 중 측정을 하여야 함을 용역 수행자에게 안전에 관한 모든 내용을 숙지하도록 하고 계측 중에 안전사고등이 발생 할 경우 용역수행기관은 발주자에게 법적, 도의적 책임을 묻지 않는다.
- 시험 중 발생하는 안전사고 방지를 위하여 용역 책임자는 방안을 수립도록 하며, 안전사고 발생 시 에는 과업수행기관 및 대표자 등이 법적, 도의적인 책임 등 모든 책임을 감수하여야 한다.

ㅇ 전차선로 지상부 모니터링 시스템 설치 방법

| 구 성 | 사양 / 내용 | |
|---|---|---|
| 센서부 | 가속도계<br>Accelerometer | 저항 : 입력 121.1Ω, 출력 124.7Ω<br>허용온도범위: -10~60℃<br>정격출력 : 0.5mV/V |
| | 변형계<br>Strain gauge | 무유도 게이지<br>Gauge Factor : 1.99± 1% |
| | 변위계<br>Displacement Sensor | 저항 : 입력 184.1Ω, 출력 596.8Ω<br>정격출력 : 5mV/V<br>고정계수 : 2m |
| 계측부 | 실시간 계측 제어기 | |
| 송・수신부 | 무선 데이타 송수신장치 | |
| 지상신호처리부 | 노트북 및 S/W(RT 프로그램, FPGA프로그램) | |
| 전원부 | 배터리, 전원 제어부 | |

- 지상부 모니터링 시스템은 고전압, 고전류의 가공전차선로에 직접 설치되므로 검측 최소 검측 1일전 시스템 설치를 완료하도록 한다.
- 지상부 모니터링 시스템은 가공전차선로의 배터리로 운영되므로 검측 1일전 배터리 용량을 확인하고 필요시에 검측 전 단전을 수행하고 배터리를 교체한다.
- 지상부 모니터링 설치 및 검측기는 사전조치사항과 현장에서의 안전상황에 대비하여 반드시 관련 전문가가 설치함을 원칙으로 한다.
- 가동브래킷에 전차선로 지상부 모니터링 시스템의 송신부를 설치하고, 전차선로 지상부 모니터링 시스템의 수신부는 전주에 견고하게 설치하고, 터널 구간이라면 터널 벽체에 전차선로 지상부 모니터링 시스템의 수신부를 견고하게 설치한다.
- 변위계 고정부를 진동방지파이프에 설치하고, 변위계의 와이어의 끝은 전차선 위 곡선당김금구에 설치한다.
- 스트레인 게이지를 곡선당김금구에서 70mm 떨어진 지점의 전차선 윗면에 설치한다. (팬터그래프가 진행하는 방향을 기준으로 스트레인게이지 → 곡선당김금구 순으로 위치한다)
- 열차가 곡선당김금구 설치위치를 통과하기 전에 변위계의 초기화를 실시한다.
- 초기화에 따라 이상상황이 없으면 설치를 완료한다.

(다) 집전성능 평가결과

① 차상 집전성능 평가

㉮ 평가 항목 및 기준

| 구분 | 기준 | 근거 |
|---|---|---|
| 평균접촉력 | ≤200 | KTX QT |
| 최소접촉력 | >0 | EN 50119:2009 |
| 최대접촉력 | ≤350 | EN 50119:2009 |
| 이선율 | ≤1% | 국토부 개정<br>철도설계기준(시스템편), 2013.12 |

㉯ 최고속도 400km/h에서의 평가 결과

HEMU열차 시험팀이 총 5회('15.3.8 입회 시험 포함)에 걸쳐 측정한 400km/h 운행시 접촉력 측정결과는 상기 집전성능 평가기준을 만족하고 있음

<표 2-3-4-17> 최고속도 400km/h 에서의 접촉력 측정결과

| 일자 | 최고 속도 (km/h) | 평균 속도 (km/h) | 주행 거리 (km) | 평균접촉력 (N) | | 최소접촉력 (N) | | 최대접촉력 (N) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 측정 | 기준 | 측정 | 기준 | 측정 | 기준 |
| '15.2.1 | 400.2 | 395.1 | 9.5 | 182.8 | ≤200 | 17.8 | >0 | 347.7 | ≤350 |
| '15.2.8 | 400.8 | 394.8 | 7.7 | 171 | | 15.8 | | 326.2 | |
| '15.2.15 | 400 | 400.1 | 3.4 | 179.8 | | 15.1 | | 344.5 | |
| **'15.3.8*)** | **404.1** | **402.1** | **5.0** | **180.0** | | **18.3** | | **341.8** | |
| '15.3.15 | 405.8 | 402.5 | 8.36 | 176.8 | | 19.8 | | 333.8 | |

*) 공단 및 공사 입회시험

호남고속철도 광주송정-익산 간 상선에서 총 6회에 걸쳐 측정한 400km/h 운행 시 이선율 측정결과는 상기 집전성능 평가기준을 만족하고 있다.

<표 2-3-4-18> 최고속도 400km/h 에서의 이선율 측정결과

| 일자 | 최고속도 (km/h) | 분석기준 속도 (km/h) | 유효거리 (km) | 유효시간 (sec) | 이선시간 (sec) | 이선율 (%) | 참고기준 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| '15.2.1 | 397 | 390 | 8.13 | 74.32 | 0.13147 | 0.1769 | ≦ 1% |
| | 400.2 | 390 | 19.27 | 101.8 | 0.2544 | 0.2499 | |
| '15.2.8 | 404.03 | 390 | 14.45 | 131.24 | 0.25532 | 0.1945 | ≦ 1% |
| | 400.84 | 390 | 18.42 | 168.64 | 0.44775 | 0.2655 | |
| '15.3.8 | 404.12 | 397.5 | 9.27 | 83.84 | 0.18662 | 0.2226 | ≦ 1% |
| '15.3.15 | 405.81 | 400 | 7.8 | 69.92 | 0.07992 | 0.1143 | ≦ 1% |

* 분석조건: 아크는 지속시간 5ms 이상에 대하여 판단하며 정격전류 30% 및 기준속도 이상의 범위에서 분석

* 참고기준: 한국철도시설공단 철도전철전력설비 설계지침 61조

㉰ 속도 단계별 증속

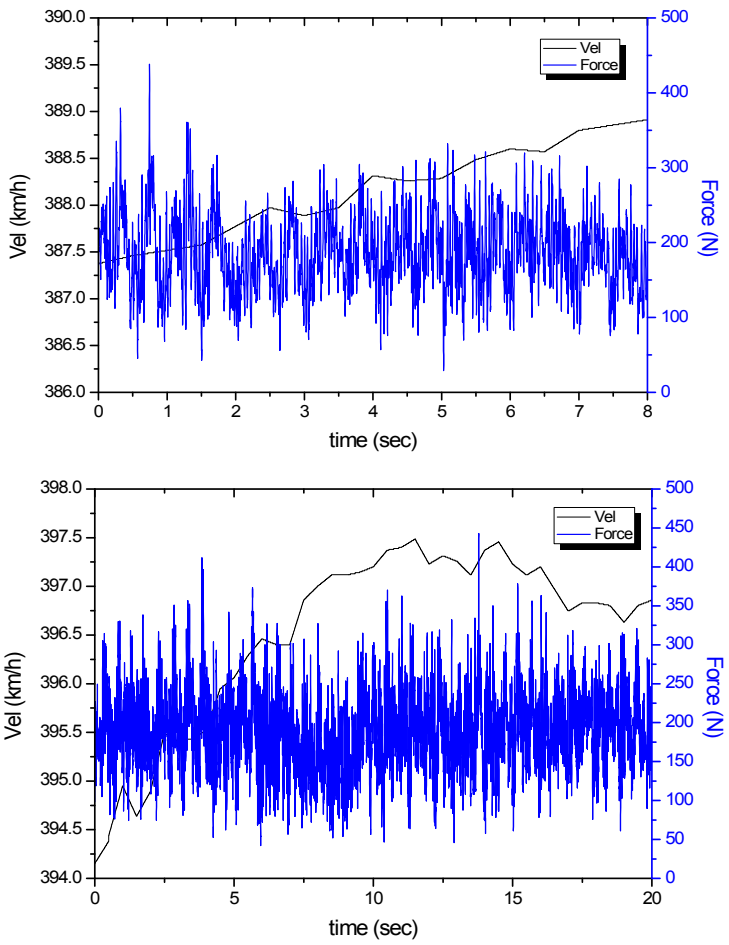
| 일자 | 최고 속도 (km/h) | 평균 속도 (km/h) | 평균접촉력 (N) | | 최소접촉력 (N) | | 최대접촉력 (N) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 측정 | 기준 | 측정 | 기준 | 측정 | 기준 |
| '14.8.28 | 297.4 | 294.8 | 116.4 | ≤200 | 31.0 | >0 | 201.8 | ≤350 |
| '14.11.26 | 312.2 | 307.6 | 159.2 | | 56.7 | | 261.6 | |
| '14.12.03 | 344.7 | 341.5 | 190.4 | | 53.6 | | 327.1 | |
| '14.12.12 | 373.0 | 370.4 | 189.3 | | 36.7 | | 341.9 | |
| '15.01.23 | 395.0 | 393.7 | 166.9 | | 18.3 | | 315.5 | |

다음은 HEMU-430x 시운전 시에 사전이도 적용구간과 미적용 구간에서 측정한 전차선/팬터그래프간 접촉력 측정결과이다. 사전이도 미적용구간이 적용구간에 비

하여 상대적으로 높은 속도 대역의 결과임에도 불가하고 접촉력 변동이 더 작아서 접촉력 표준편차가 더 작게 측정되었다. 이와 같은 결과를 보면 열차속도가 400km/h에 가까워지면 전차선에 사전이도를 적용하지 않는 것이 집전성능 측면에서 더 우수한 것으로 판단된다.

<표 2-3-4-19> 사전이도 유무에 따른 접촉력 측정결과

| 항목 | 기 준(N) | 결 과(N) | |
|---|---|---|---|
| | | 사전이도 적용구간 | 사전이도 미적용 구간 |
| 평균접촉력($F_{mean}$) | ≤ 200 | 186.7 | 187.9 |
| 통계적 최소 접촉력 ($F_{mean}$-3σ) | ≥ 0 | 34.4 | 39.4 |
| 통계적 최대 접촉력 ($F_{mean}$+3σ) | ≤ 350 | 339.2 | 336.4 |
| 평균주행속도 (km/h) | | 388.1 | 396.6 |




<그림 2-3-4-12> 사전이도 미적용구간(KP 114.0 ~ 111.5, 2015.02.08. 개활지 상행2차)

② 지상부 집전성능 검측 결과

㉮ 평가 항목 및 기준

<표 2-3-4-20> 지상부 측정항목별 기준

| 항목 | 기준 | 비고 |
|---|---|---|
| 전차선 압상량(㎜) | 120 | EN50119 |
| 전차선 변형률(με) | 500 | 시험결과 |
| 드로퍼 작용력(N) | 300 | 시험결과 |

㉯ 평가 결과

- 최고속도 400km/h

총 4회('15.3.8 입회 시험 포함)에 걸쳐 실시된 400km/h 운행시 측정결과는 평가 기준을 만족하고 있음

<표 2-3-4-21> 최고속도 400km/h 에서의 지상부 집전성능 측정결과

| 일자 | 최고 속도 (km/h) | 측정 지점 통과 속도 (km/h) | 전차선 압상량 (㎜) | | 전차선 변형율 (με) | | 드로퍼 작용력 (N) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 측정 | 기준 | 측정 | 기준 | 측정 | 기준 |
| '15.2.1 | 400.2 | 394.0 | 48.7 | ≤120 | 82.5 | ≤500 | 137.9 | ≤300 |
| '15.2.8 | 400.8 | 395.9 | 43.8 | | 130.7 | | 122.3 | |
| **'15.3.8*)** | **404.1** | **403.7** | **50.6** | | **179.4** | | **177.6** | |
| '15.3.15 | 405.8 | 398.7 | 50.1 | | 192.3 | | 152.0 | |

*) 공단 입회시험

- 속도 단계별 증속

<표 2-3-4-22> 속도 단계별 지상부 집전성능 측정결과

| 일자 | 최고 속도 (km/h) | 측정 지점 통과 속도 (km/h) | 전차선 압상량 (㎜) | | 전차선 변형율 (με) | | 드로퍼 작용력 (N) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 측정 | 기준 | 측정 | 기준 | 측정 | 기준 |
| '14.8.28 | 297.4 | 297.1 | 22.6 | ≤120 | - | ≤500 | - | ≤300 |
| '14.12.03 | 344.7 | 220(※) | - | | - | | - | |
| '14.12.12 | 373.0 | 371.0 | 43.2 | | 94.7 | | 128.7 | |
| '15.01.23 | 395.0 | 392.4 | 43.6 | | - | | 142.0 | |

※ 측정 지점 저속 통과에 따라서 지상측정 지점을 103k에서 113k로 측정지점 이동

- 지상 측정지점 : 103k('14.12.06 이전), 113k('14.12.06이후)

## (라) 전차선로 모니터링 평가결과

### ① 전차선로 장력 모니터링 장치 구축

익산-정읍 구간 400km/h 호남고속선 TEST-BED 구간 내 상행선 KP 104.10 및 KP 104.2 전주 2 개소에 각 1Set씩 장력센서 4채널, 온도, 변위센서 2채널 및 전원장치, 계측 모니터링 장치를 설치하여 시험하였다.

- 현장 설치

■ 현장 시험 기간 : 2014년 11월부터 계속

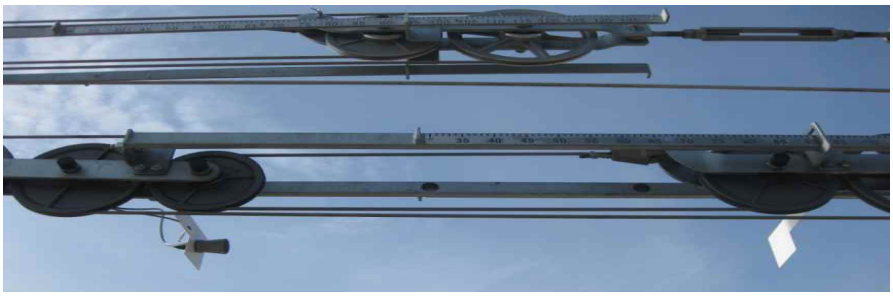
■ 설치 사진

㉮ 호남선 TEST-BED 익산-정읍 구간, 104-10 설치



<그림 2-3-4-13> 장력 상태 실시간 모니터링 시스템 전원 및 계측장치 설치 사진





<그림 2-3-4-14> 상부 로드셀 및 X축 센서 설치 사진

㈏ 호남선 TEST-BED 익산-정읍 구간, 104-2

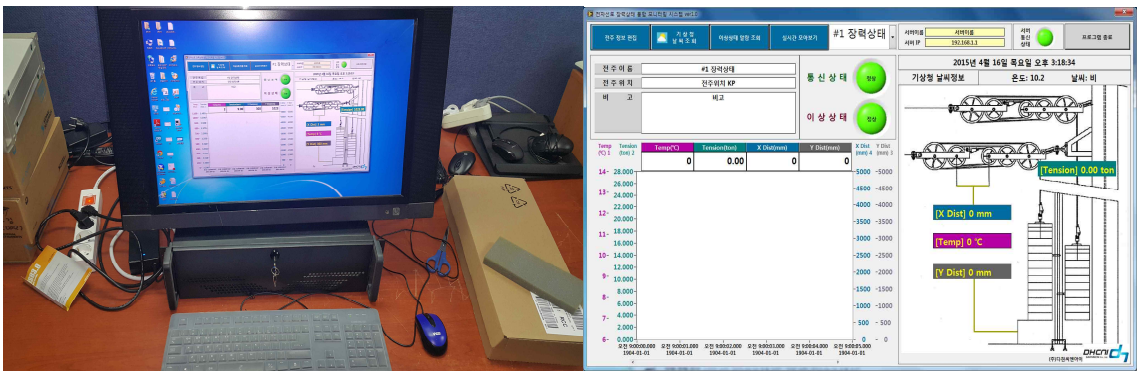



<그림 2-3-4-15> 장력 상태 실시간 모니터링 시스템 전원 및 계측장치 설치 사진




<그림 2-3-4-16> 상부 장력 로드셀 및 X축 센서 설치 사진

㉰ 다현씨엔아이 기술연구소 수신 서버




<그림 2-3-4-17> 장력 이상상태 모니터링 시스템 수신 서버 화면

## ② 모니터링 결과

호남고속선 익산-정읍 테스트베드 구간에서 시제품 설치 후 열차 운행 및 비 운행시 실시간 장력과 변위, 온도를 측정하였으며 기준장력 34KN에서 -3% 해당하는 1020N 이하 저하여부를 장력상태 모니터링 시스템을 통해 실시간 측정 및 전송하고 측정한 데이터를 통해 장시간 데이터를 취득하였다. 장시간 측정한 데이터를 기반으로 시스템의 상시 모니터링 성능과 각 측정 센서부의 성능을 확인하여 현장 설치 운영시 보완해야할 사항을 파악하고 완성도 높은 제품 개발에 활용하기 위한 기반과 24시간 원격 모니터링이 가능한 독립 전원 구성 및 저전력 타입의 제품으로 보완하여 적용하였다.

■ 시험 측정 결과

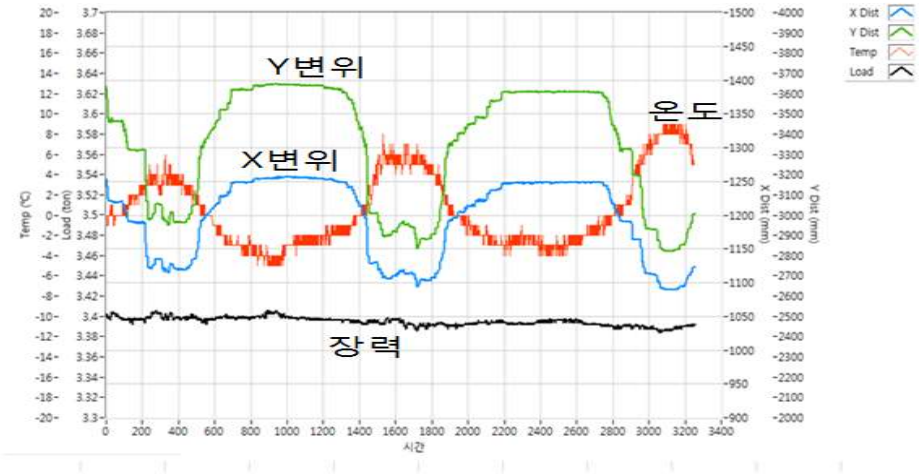
- 2015년 1월 23일 08:40 - 2015년 1월 25일 17:30

▪ 측정 시간 : 약 54시간

▪ 측정 결과

<표 2-3-4-23> 호남 고속선 성능시험 결과 1차

| 항목 | 최대 | 최소 | 평균 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| X Dist (mm) | 1258 | 1089 | 1195.2 | |
| Y Dist (mm) | 3649 | 2821 | 3347.3 | |
| Temp (℃) | 9 | -5 | 0.54 | |
| Load (ton) | 3.4062 | 3.3834 | 3.3948 | |




<그림 2-3-4-18> 호남 고속선 성능시험 결과 1차

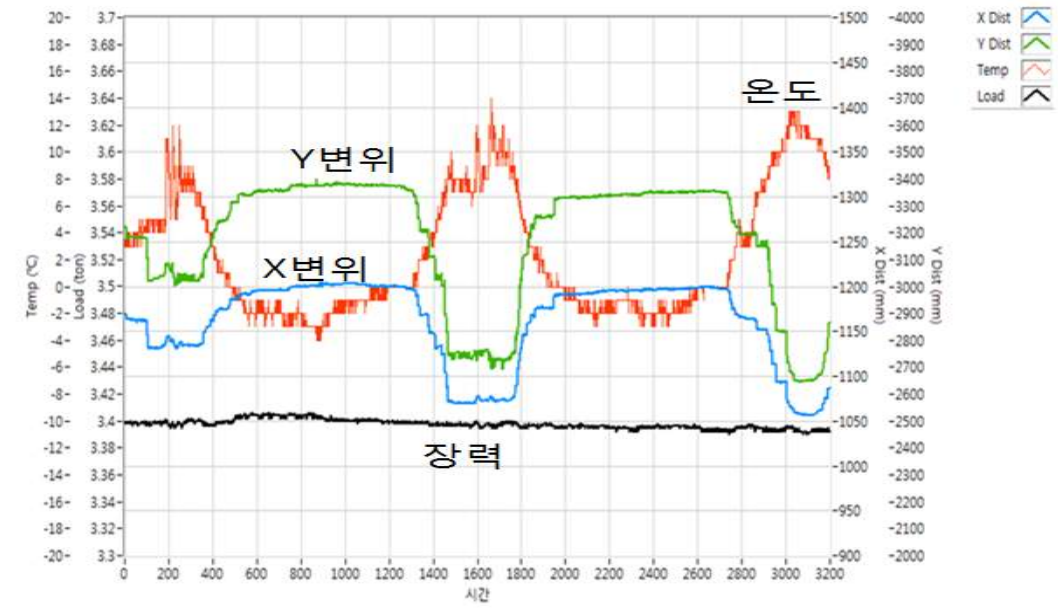
- 2015년 1월 23일 10:48 - 2015년 1월 25일 17:10

▪ 측정 시간 : 약 53시간

▪ 측정 결과

<표 2-3-4-24> 호남 고속선 성능시험 결과 2차

| 항목 | 최대 | 최소 | 평균 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| X Dist (mm) | 1279 | 1123 | 1226.6 | |
| Y Dist (mm) | 3763 | 2974 | 3501.5 | |
| Temp (℃) | 8 | -8 | -2.4 | |
| Load (ton) | 3.3404 | 3.3854 | 3.3958 | |




<그림 2-3-4-19> 호남 고속선 성능시험 결과 2차

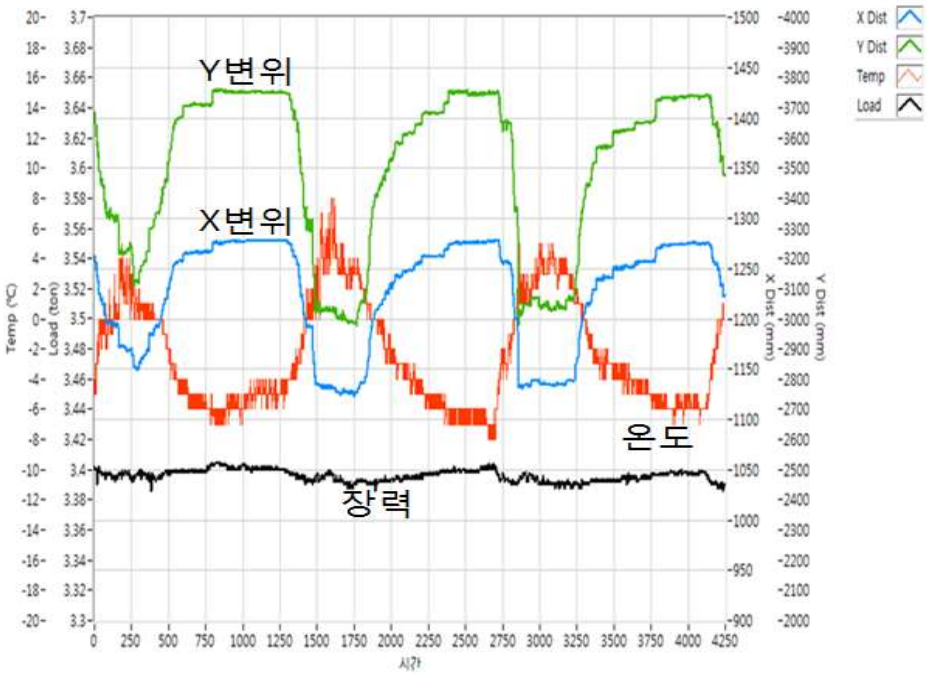
- 2015년 2월 1일 09:13 - 2015년 2월 4일 10:06

▪ 측정 시간 : 약 70시간

▪ 측정 결과

<표 2-3-4-25> 호남 고속선 성능시험 결과 3차

| 항목 | 최대 | 최소 | 평균 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| X Dist (mm) | 1279 | 1123 | 1226.6 | |
| Y Dist (mm) | 3763 | 2974 | 3501.5 | |
| Temp (℃) | 8 | -8 | -2.4 | |
| Load (ton) | 3.3404 | 3.3854 | 3.3958 | |



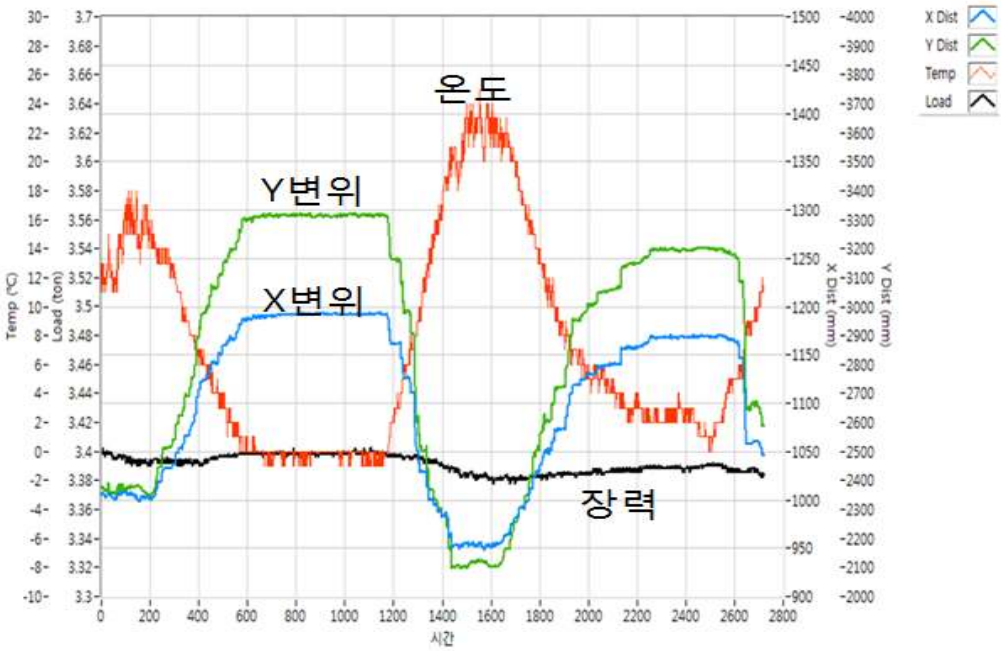

<그림 2-3-4-20> 호남 고속선 성능시험 결과 3차

④ 2015년 3월 15일 12:00 - 2015년 3월 17일 10:04

- 측정 시간 : 약 45시간
- 측정 결과

<표 2-3-4-26> 호남 고속선 성능시험 결과 4차

| 항목 | 최대 | 최소 | 평균 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| X Dist (mm) | 1194 | 948 | 1103.1 | |
| Y Dist (mm) | 3325 | 2097 | 2869.8 | |
| Temp (℃) | 25 | -1 | 7.39 | |
| Load (ton) | 3.402 | 3.378 | 3.3912 | |



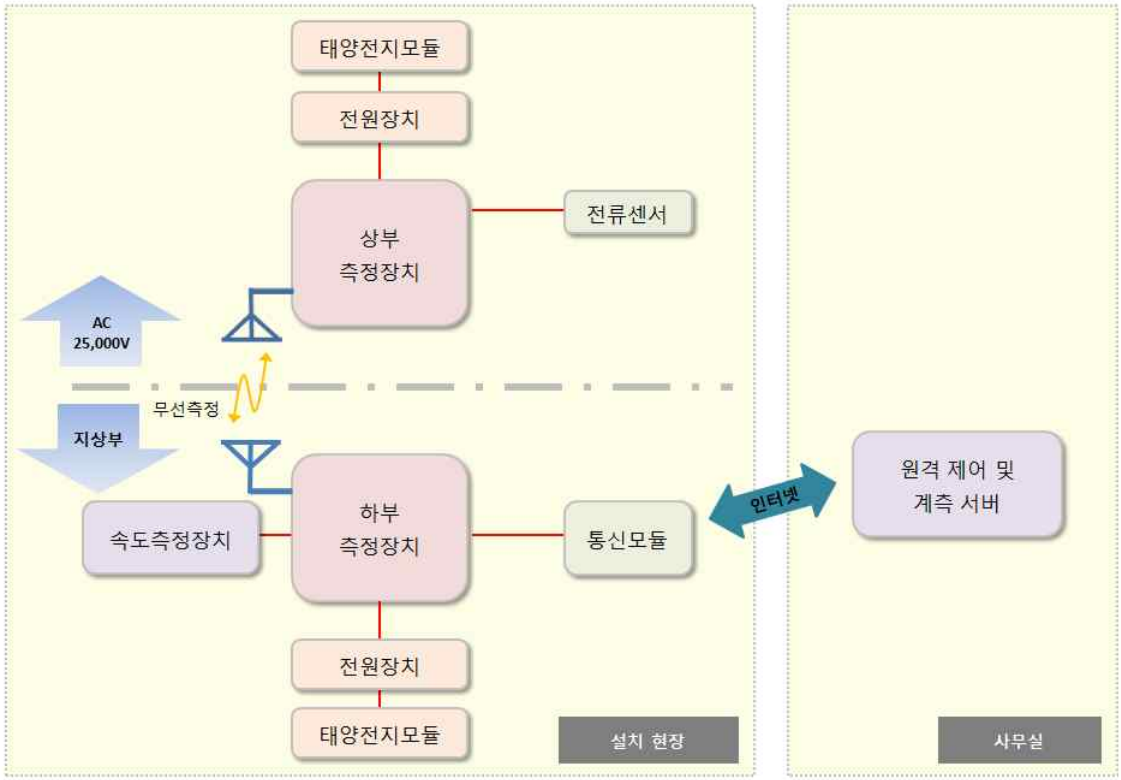

<그림 2-3-4-21> 호남 고속선 성능시험 결과 4차

(마) 전차선로 전류파형 모니터링 장치 모니터링 결과

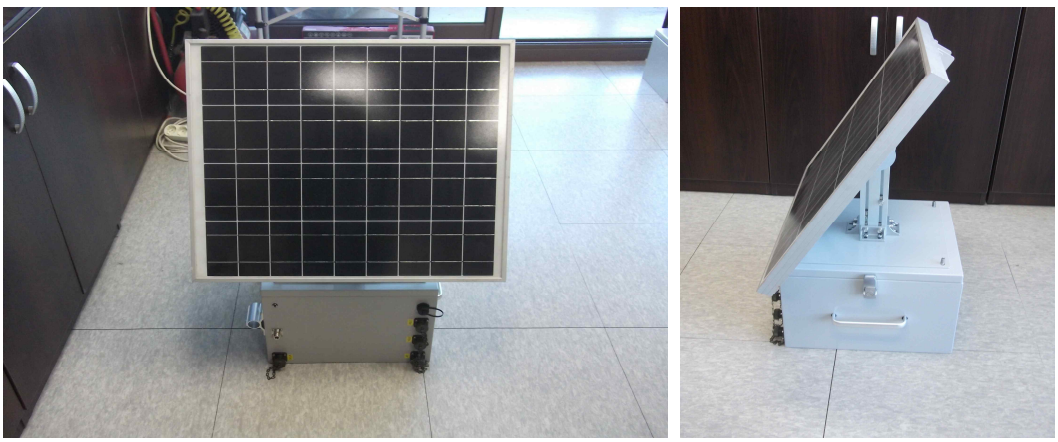
① 전차선로 전류파형 모니터링 장치 구축

호남고속선 익산-정읍 테스트베드 구간에 전류 이상상태 모니터링 시스템 시제품 설치 후 전차선 및 조가선의 전류 데이터를 실시간 측정, 전송하고 측정한 데이터를 통해 전류의 이상상태 데이터를 취득한다.

열차 통과시 이상상태 모니터링 시스템의 모니터링 성능과 현장 설치 운영시 보완 사항을 파악하고 완성도 높은 제품 개발에 활용하기 위한 기반과 원격 모니터링이 가능한 독립 전원 구성 및 저전력 타입의 제품으로 보완하여 적용하였다.

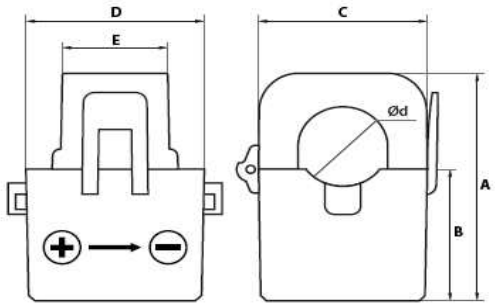



<그림 2-3-4-22> 전차선로 이상상태 모니터링 시스템 Layout



<그림 2-3-4-23> 하부 계측장치 제작 사진




<그림 2-3-4-24> 전류센서 사진

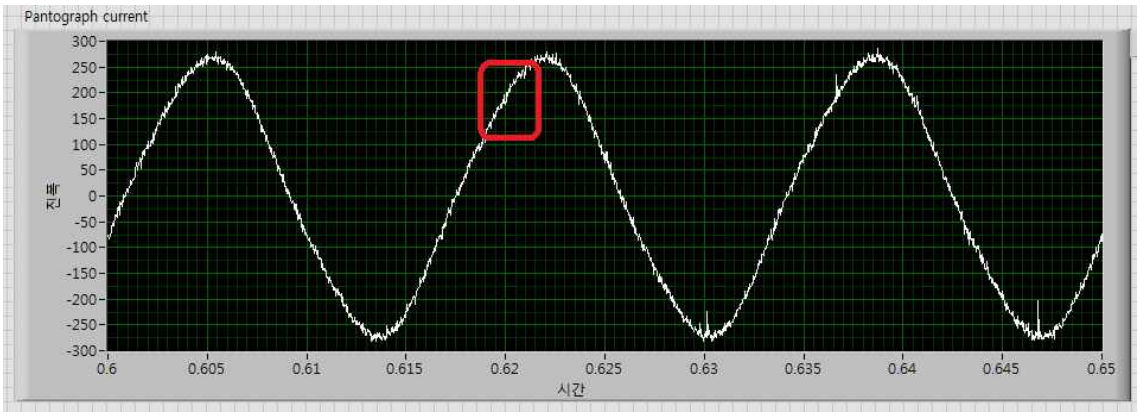
<표 2-3-4-27> 전류센서 사양

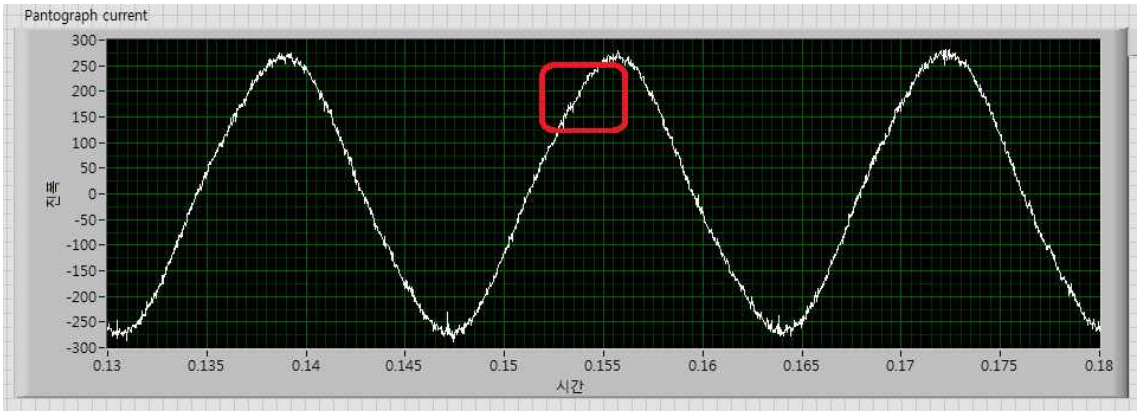
| 전류센서 사양 | 내용 |
|---|---|
| Ratng Current | 500A |
| Saturation Current | 625AT |
| Output Voltage | ±4V, 1% at rated current RL=10KΩ |
| Offset Voltage | ±20mV maxx |
| Power Supply | ±15V (±5%) 25mA |
| Insulation Resistance | DC500V/500MΩ |
| Operating Condition | -25℃ ~75℃, 85% RH non-condensing |

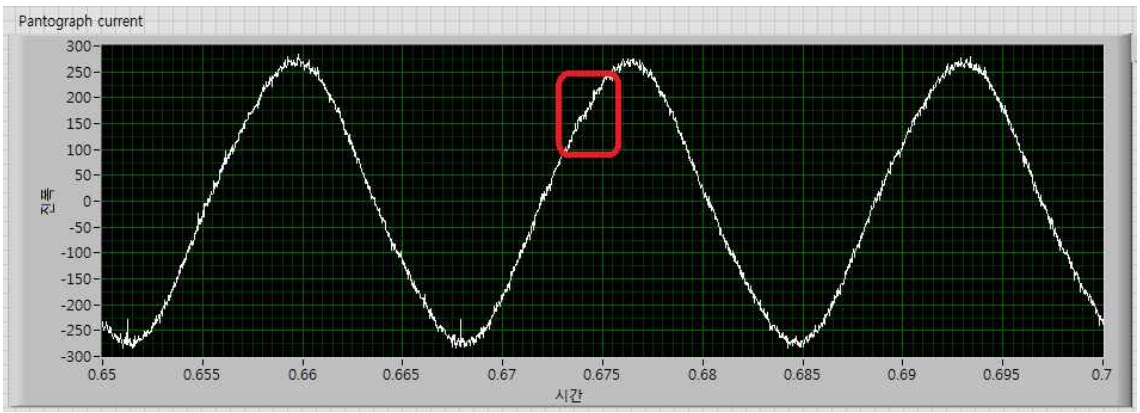
② 전차선로 전류파형 모니터링 결과

HEMU Data 측정 위치 114.15K 위치는 17:00:02초, 112.35K 위치는 17:00:19초, 111.48K 위치는 17:00:28초 위치이고, 전류이상상태 측정위치는 17:00:11 이다.

▪ 아크측정기 Data

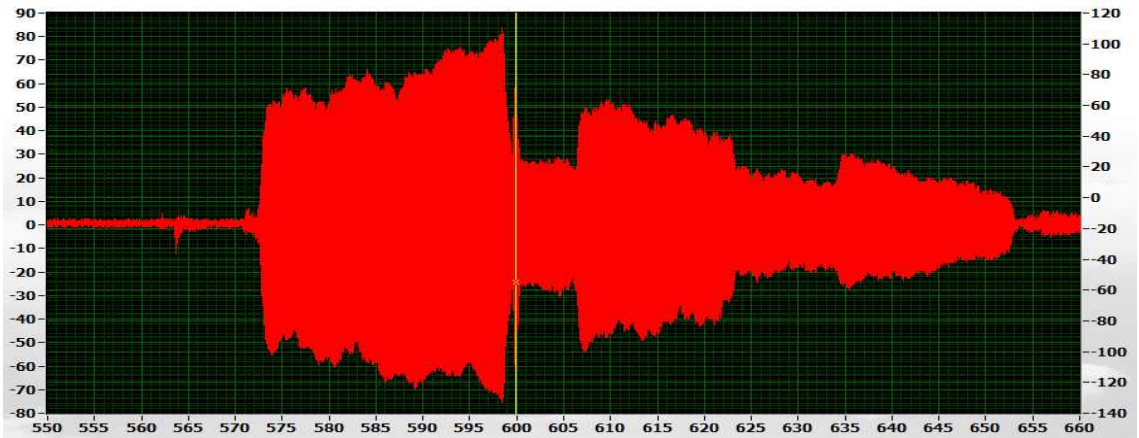




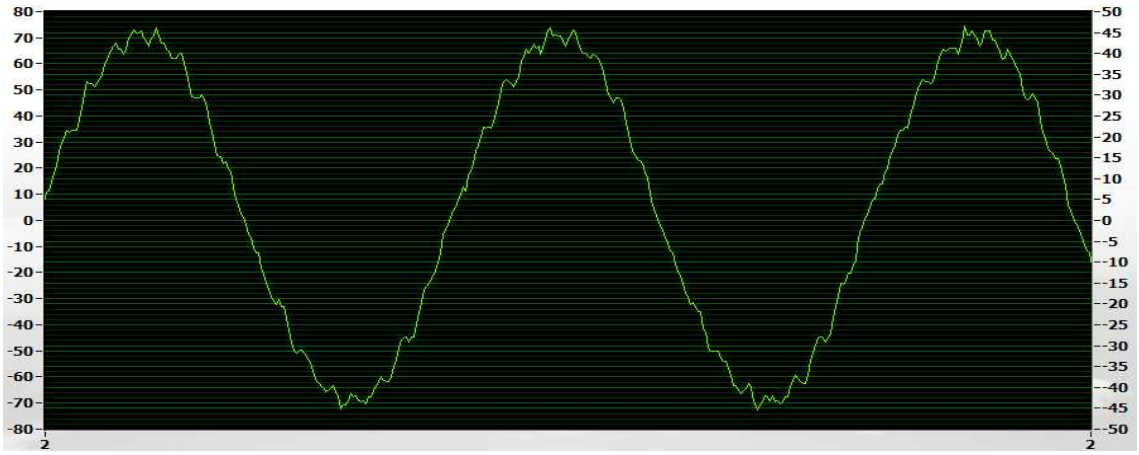



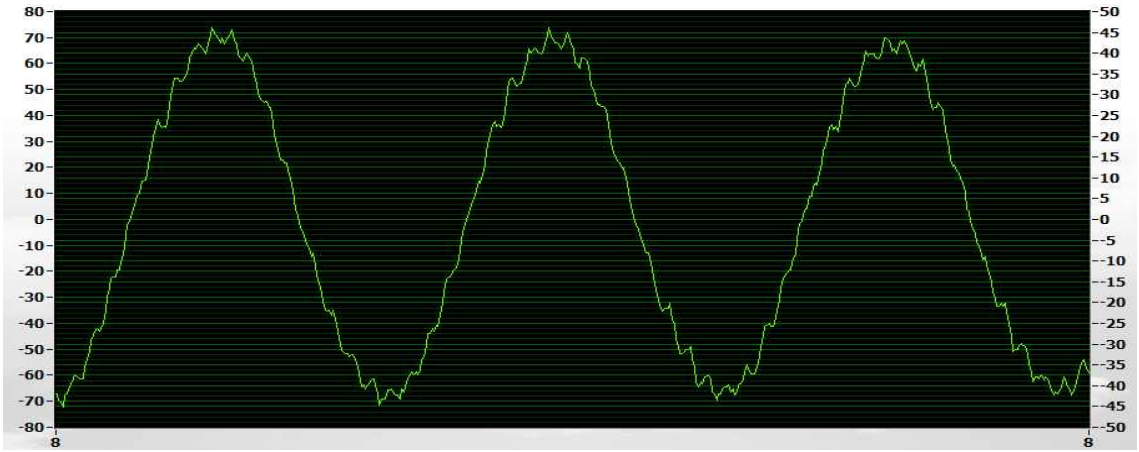

| 구분 | 내용 |
|---|---|
| KP[km] | 114.15, 112.35, 111.48 |
| Train Speed[km/h] | 356.5, 357.64, 357.49 |

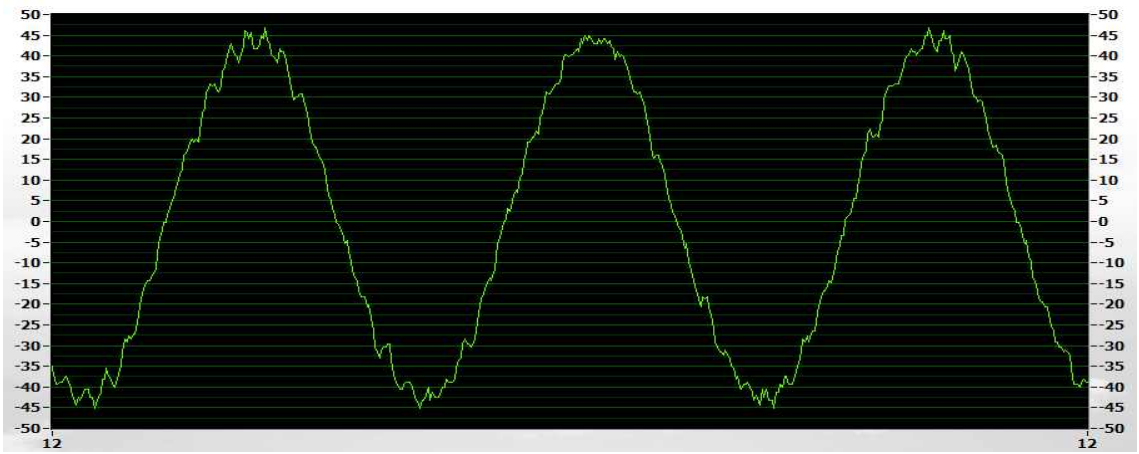
▪ 전류이상상태 측정Data




노란색 부분이 113.18K이고 계측 데이터 시간 단위로 비교한다.



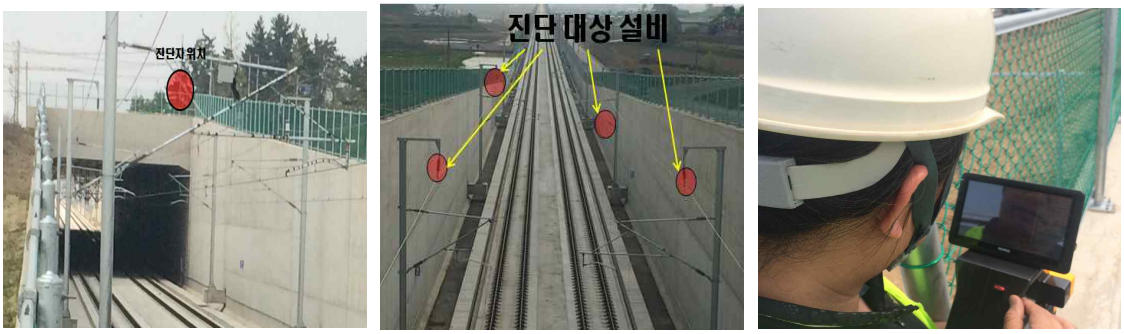




▪ 검토의견 : 아크 측정 데이터와 비교하여도 이상상태를 확인할 수 없었다. 뿐만 아니라 전류 데이터의 값의 양이 작게 들어오는 것을 볼 수 있다.

(바) 전차선로 전기적 결함탐지 장치의 성능 평가

- 복합진단 시스템 시제품 정읍-익산간 Test-bed현장 적용
- 현장 시험 개요
  - ■ 현장 시험 : 정읍~익산간 Test-bed (KP104) 구간
  - ■ 일시 : 2014.04.24.
  - ■ 시험 내용 : 적외선, 자외선 복합진단장비 시제품을 이용한 전차선로 전기적 결함 진단 시험
  - ■ 시험 대상 : 정읍~익산간 Test-bed (KP104) 구간의 전차선로 및 구성 기자재




<그림 2-3-4-25> 정읍-익산간 Test-bed현장 현장 시험

① 시험 내용

아래 그림처럼 접근 거리 및 측정이 용이한 터널 위 상부 구조물에서 전차선로의 전차선 및 구성 기자재를 대상으로 적외선, 자외선 복합진단 장비를 이용하여 진단 실험을 실시.

복합진단 중 적외선 진단의 경우 그림 31처럼 유의미한 온도 차이는 발견하지 못하였음. 복합진단 중 자외선 진단의 경우 검출안됨.




<그림 2-3-4-26> 적외선, 자외선 복합 진단 화면

② 시험결과

적외선 진단의 경우 측정 위치에서의 진단 대상 기자재에 대해 전기적 결함에 대한 온도 이상을 측정한 결과 그림 2처럼 최고 온도는 31.1℃로 전차 레일에 형성되었고 비슷한 기자재인 애자를 측정한 결과 1.6℃의 차이를 보였음. 거의 모든 대상 기자재의 온도 편차 2℃를 넘지 않았음

자외선 진단의 경우 측정 위치에서 십여분 이상 측정하였으나 한 번의 이상 신호도 발생하지 않음.

따라서 위 진단 장소의 진단 기자재는 전기적 결함에 의한 온도 이상이나 코로나, 아킹, 트래킹등에 의한 자외선 발생은 없어 양호한 상태로 판단됨.

이에 아래 표처럼 전차선로 전기적 결함 측정 및 분석 시트 작성함.

<표 2-3-4-28> 정읍~익산간 Test-bed(KP104)구간 전기적 결함 측정 및 분석 시트

| 측정목적 | 전차선로 전기적결함탐지 | 측정일자 | 2014.04.24 | 작성일자 | 2014.04.25. |
|---|---|---|---|---|---|
| 열차종별 | KTX-호남 | 편성수 | 10량 | 주행속도 | 300km/h |
| 기온 | 26℃ | 풍향/풍속 | - | 강우량 | - |
| 측정구간 | 정읍-익산 | 상·하행 | 상선 (1회 왕복) | STA. | 103k927 |
| 곡선반경 /캔트 | - | 종곡선반경 | - | 기울기 | - |
| 궤도구조 | - | 레일/침목 | - | 체결장치 | - |
| 노반구조 | - | 노반형식 | - | 연약지반처리 | - |
| 구조물 | - | 구조형식 | - | 경간장/총연장 | - |
| 전철주/경간 | I-type / 55m | 전차선종/장력 | Cu150 / 34KN | 가고 | 1.4m |
| 소음저감장치 | - | 방음벽 높이/연장 | - | 방음벽 설치방향 | - |
| 측정항목 | | 측정치 (상/하행) | 참고기준치 | 근거 | 측정결과 |
| 온도결함 | | 유의미한 온도이상 없음 | 상대온도차이<5℃ 절대온도차이<20℃ | IETA 한국전력 3상 온도 비교법 | 양호 |
| 방전검출 | | 검출안됨 | ≦ 5회 / min | 한국전력코로나 검출기구매규격서 | 양호 |
| 측정결과 분석 | *복합진단 중 적외선 진단의 경우 유의미한 온도 차이는 발견하지 못하였음<br>*복합진단 중 자외선 진단의 경우 검출안됨.<br>*측정 위치에서의 진단 대상 기자재의 경우 전기적 결함에 의한 온도 이상, 코로나, 아킹, 트래킹등에 의한 자외선 발생은 없어 양호한 상태로 판단됨. | | | | |
| | 소 속 | | 성 명 | | 서명 |
| 검토자 | 한성전공 | | 박준영 외 1인 | | |
| 확인자 | | | | | |

■ 전기적 결함탐지장치의 현장시험결과 자료

- 시험항목 : 온도결함 및 방전검출

- 시험규격

적외선 시험 규격 - ETA 및 한국전력 3상 온도비교법

자외선 시험규격 -한국전력코로나검출기준

- 시험장소 : 400km/h 전차선로 TEST-BED 주요구간 구간 및 일반 전철

- 시험결과 :

정읍-익산간 117K 지점 전차선로 및 급전소의 전기적 결함으로 인한 적외선 온도 이상 및 자외선 방전 현상 없음.

정읍-익산간 113K 지점 전차선로 및 기자재 전기적 결함으로 인한 적외선 온도 이상 및 자외선 방전 현상 없음.

<표 2-3-4-29> 부천역사 주변 전차선로 및 기자재 적외선 온도 이상 2건 검출

| 시험일시 | 장소 | 시험방법 | 시험항목 | 시험결과 |
|---|---|---|---|---|
| 현장시험 1회차 2014.12.03 | 117k 부근 철로변 및 급전소 | 적외선+자외선 복합진단 장비를 이용한 전기적 결함 진단 | 온도결함 상대온도차이<5℃ 절대온도차이<20℃ | 온도결함 없음 정상 |
| | | | 방전검출 5회/분 | 방전없음정상 |
| 현장시험 2회차 2014.12.12 | 117k 부근 철로변 및 급전소 | 적외선+자외선 복합진단 장비를 이용한 전기적 결함 진단 | 온도결함 상대온도차이<5℃ 절대온도차이<20℃ | 온도결함 없음 정상 |
| | | | 방전검출5회/분 | 방전없음정상 |
| 현장시험 3회차 2015.01.23 | 117k 부근 철로변 및 급전소 | 적외선+자외선 복합진단 장비를 이용한 전기적 결함 진단 | 온도결함 상대온도차이<5℃ 절대온도차이<20℃ | 온도결함 없음 정상 |
| | | | 방전검출5회/분 | 방전없음정상 |
| 현장시험 4회차 2014.03.08 | 113k 부근 철로변 | 적외선+자외선 복합진단 장비를 이용한 전기적 결함 진단 | 온도결함 상대온도차이<5℃ 절대온도차이<20℃ | 온도결함 없음 정상 |
| | | | 방전검출5회/분 | 방전없음정상 |
| 현장시험 5회차 2014.03.08 | 부천역사 주변 | 적외선+자외선 복합진단 장비를 이용한 전기적 결함 진단 | 온도결함 상대온도차이<5℃ 절대온도차이<20℃ | 현수애자 2기 이상 |
| | | | 방전검출5회/분 | 방전없음정상 |

*. 상대온도차 : 같은 부품의 온도차를 비교

**. 절대온도차 : 측정 시스템의 모든 온도를 비교

(사) 전차선로 동편위 시험결과

① 영상 취득장치 설치

다음과 같이 측정하는 것을 원칙으로 하며 다만 측정구간, 시험 속도 등의 필요에 따라 관련기관과의 협의에 의해 시험절차 및 방법을 변경할 수 있음.

- 시험을 위한 계측시스템은 기본적으로 차상에 설치되며, 계측시스템을 통해 획득되는 영상에서 팬터그래프가 중심부에 위치할 수 있도록 영상획득장치를 설치한다. 또한, 배경이 같이 촬영되어 동편위 측정에 간섭이 생기는 것을 방지하기 위하여 영상획득장치의 각도는 최대한 높게 한다.
- 차상에서 측정된 데이터는 유선으로 실내 계측시스템과 연결하는 것을 기본으로 한다. 실내 계측시스템은 차량 전원을 기본으로 활용하나 UPS를 설치하여 차량 전원 단전시에도 연속된 측정이 가능 함.
- 실내 계측 시스템은 아크검측이외에 팬터그래프 전류값, 차량속도와 KP신호 및 습동상태 비디오를 실내계측시스템에 연결 통합 한다.

② 분석결과

시험 결과에 따르면 호남선 Test-bed에서 동적 편위를 측정하였을 경우에 최대 운행 속도와 관계없이 고속철도 유지보수 기준인 ± 250 mm 이내인 것을 확인할 수 있었다. 또한, 측정한 구간에서 동편위에 대한 평균과 표준편차를 측정하여 전차선과 팬터그래프 간의 접촉에 대한 통계적인 특징을 확인한 결과, 평균 동편위가 약 15 mm 이내로 접촉이 집전판 전체에 대하여 고르게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한, 표준편차는 100 mm 정도로 팬터그래프 중심에 접촉 지점이 집중되지 않는다는 점이 관찰되었다. 아래 표에 결과를 정리하여 나타내었다.

| 속도 (Km/h) | 동적 편위 | |
|---|---|---|
| | 유효 검측 영상 수 및 유효거리 | 고속철도 유지보수 기준 (± 250 mm) |
| 370 이상 | 4214 (18.73km) | 만족 |
| 390 이상 | 1280 (5.79 km) | 만족 |
| 400 이상 | 714 (3.07 km) | 만족 |

## 나. 연구수행 결과의 검증방법

본 과제는 성과목표치를 협약 시 제출된 성과점검기준표에 따라 달성하였다. 전차선로 시스템의 기본설계 및 상세설계(안)을 구축 하였고, 전차선 마모특성 및 드로퍼 피로시험 데이터 구축도 달성하였다. 전차선로의 전기적 결함탐지 시스템과 장력/전류파형 실시간 모니터링 기능도 확인하였고, 본선 Test-bed 성능 및 안전성 평가를 위하여 시설상태, 인터페이스등을 지원하였다. 본선 시험에서는 이선율을 통한 전차선과 팬터그래프간 접촉력 시험과 고속열차 통과 시 전차선의 압상량과 변형률에 문제가 없음을 확인하였다.

<표 2-3-4-30> 전차선 분야 연구수행 결과의 검증방법

| 성과목표 | 성과지표 | 목표치 | 검증방법 |
|---|---|---|---|
| 토털 설계문서 구축을 위한 상세설계 기술개발 | 본선 성능시험 결과를 반영한 드로퍼 간격, 이도 확정 | 1건 | 보고서 |
| | 400km/h 전차선로 설계안 확정+설계도서 upgrade | 1건 | 보고서 |
| 전차선로 부품 내구성 평가기술 개발 및 데이터 구축 | 전차선 마모 시험 및 데이터 구축 | 달성도 | 보고서 |
| | 드로퍼 피로시험 및 데이터구축 | 달성도 | 보고서 |
| 전차선로 전기적 결함 탐지 Sys. 초도품 실용성 확인 | 전차선로 전기적 결함탐지 시스템 목표 성능 달성 | 15m 이상 / 0.1℃ | 보고서 |
| 장력/전류파형 실시간 모니터링 초도품 실용성 확인 | 장력 및 전류파형 실시간 모니터링 시스템 목표 성능 달성 | -3% 가능여부 | 보고서 |
| 열차 운행 및 성능 평가 시험 지원 | 본선 Test-bed 시설, 열차 운행 등 시험 업무 지원 | 1건 | 보고서 |
| 지상 성능평가 시험 수행 | 지상 성능평가 시험 수행 지원 | 1건 | 보고서 |
| 성능 평가, 시험 계획 수립 및 시행 | 차/지상부 시험계획/절차/기준 수립 및 계측시스템 구축 및 시행 | 2건 | 보고서 |
| 종합 집전성능 평가 → 확인 | 집전 성능 목표 성능 달성 (@400km/h) | ≥ 0N, ≤ 1% | 보고서 |
| 전차선로 안전성 평가 → 확인 | 전차선로 안전성 목표 성능 달성 (@400km/h) | ≤200㎜, 제시여부 | 보고서 |

## 5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발

### 가. 연구수행 결과

(1) 유럽표준 고속철도 열차제어 지상 ATP 기술 개발

(가) 지상 ATP 장치 (Automatic Train Protection)

① 지상 ATP 장치의 개요

지상 ATP(Automatic Train Protection) 장치는 연동장치로부터 열차 위치 및 선로정보 등을 전송받아 열차의 이동권한 및 제한속도를 연산하여 차상으로 전송한다.

㉮ 지상 ATP 장치의 기능

지상 ATP 장치는 ERTMS/ETCS 시스템 내에 운영하는 열차의 위치를 판단하고 ETCS 구간내의 열차의 이동권한을 생성하고 각각의 열차를 안전하게 방호하는 역할을 한다. 지상 ATP 장치에서 생성된 이동 권한은 무선으로 열차에 전송되게 되며 열차는 생성된 이동권한에 따라 이동한다. 특히 ETCS Level 2 에서는 궤도회로를 기반으로 연동장치와 유기적으로 열차를 방호한다.




| 지상 ATP 장치 주요 기능 |
|---|
| - 이동권한 생성<br>- 선형 정보 열차로 전송<br>- 제한 속도 프로파일 생성<br>- 지상 ATP 장치 Self-Test 수행<br>- 비상 상황에서 ATP 기능 수행<br>- RBC 제어 지역 열차 등록 및 해제<br>- 연동장치 진로 설정허용 |

지상 ATP 장치는 Vital System으로써 열차의 이동 권한 생성 및 열차 방호 정적속도 프로파일 생성 등의 역할을 한다. 또한 지상 ATP 장치는 안전전송모듈을 통해 차상장치와 인터페이스하고 네트워크를 통해 연동장치와 인터페이스 하여 열차를 방호하고 현장의 정보를 종합하여 사령 설비로 정보를 제공하거나 ATS를 통한 제어를 수신한다.

모든 지상 ATP 장치는 적절한 온도 및 습도 환경의 기계실 내에 설치된다.

㉯ 지상 ATP 장치의 구성

지상 ATP 장치는 19″ 캐비닛에 설치되며 2 out of 3 바이탈 컴퓨터 부분과 로그확인 및 유지보수용 콘솔, 네트워크 허브, LCD KWM Console 등으로 구성된다.




<그림 2-3-5-1> 지상 ATP장치의 구성

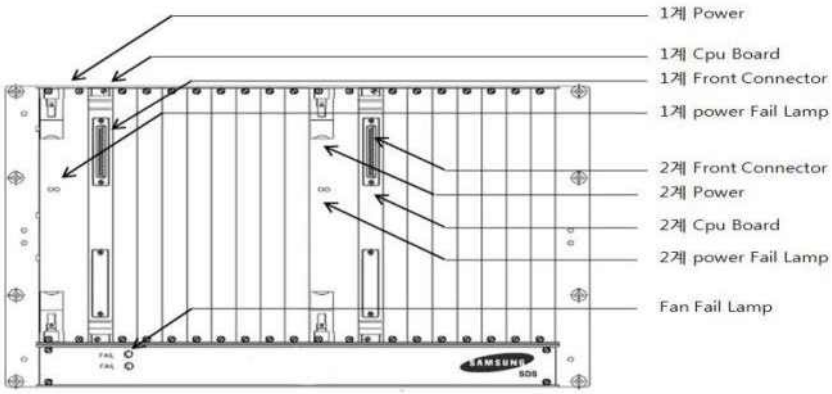
## ② 지상 ATP 장치 시제품 설계

### ㉮ 지상 ATP 장치 H/W 설계

무선폐색센터의 지상 ATP 시스템은 19” 캐비닛 에 설치되며 2 out of 3 바이탈 컴퓨터 부분과 로그 확인 및 유지보수용 콘솔, 네트워크 허브, 안전전송장치 등으로 구성된다.

○ 지상 ATP 시스템 구성

지상 ATP 시스템은 6U Sub Rack 에 설치되며 구성은 아래와 같다.

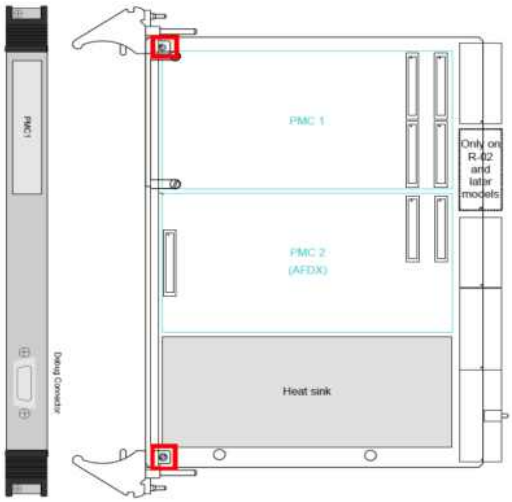



<그림 2-3-5-2> 무선폐색센터 지상 ATP 시스템 부

○ 2 out of 3 바이탈 컴퓨터

- Main 2oo3 CPU Assembly

무선폐색센터에서 열차의 이동권한 생성 및 열차 방호를 담당하는 핵심 구성품인 2oo3 CPU Assembly 는 독일 MEN 사의 D602 보드를 사용한다.

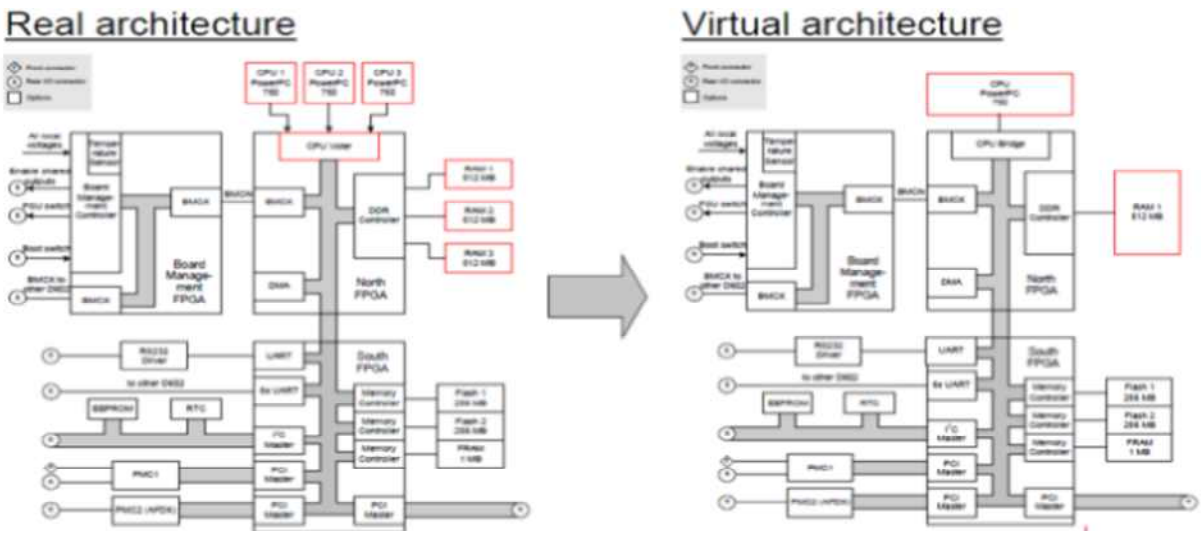



<그림 2-3-5-3> 2oo3 CPU 보드(MEN-D602보드)

- Triple Redundancy

무선폐색센터에서 사용하는 CPU 보드는 2 out of 3 Voting 방식의 Triple Redundancy 구조로서 물리적으로 3개의 동일 CPU와 3개의 동일 Memory 로 구성되어 있다.

각각 CPU 와 Memory는 동일 클락으로 동일한 연산을 수행하며 연산의 결과가 다르거나 H/W 의 오류 발생 시. 3개의 CPU 또는 메모리 중 동일한 결과를 낸 두 개의 CPU 의 값을 대표 값으로 사용한다. 실제 아키텍처는 그림과 같이 삼중화를 통해 안전성을 제공하지만, Application에서는 하나의 CPU 및 하나의 메모리로 인식된다. (Virtual architecture)




<그림 2-3-5-4> 가상 아키텍쳐의 적용 개념

- LCD KVM Console(CL1000M)

CL1000은 LCD 패널, 풀 사이즈 키보드 및 터치 패드가 통합된 KVM 콘솔 모듈로 1U 사이즈 랙에 설치 가능한 슬라이딩 방식으로 설계되어 있다. 이 콘솔 모듈은 호환 가능한 KVM 스위치들을 연동해서 사용할 수 있도록 제품 전면 부에 슬라이딩 방식으로 설치되었다.



<그림 2-3-5-5> KVM Console

<표 2-3-5-1> CL1000M 사양

| | |
|---|---|
| 전력소비 | 120V 60Hz 22.8W<br>230V 50Hz 24W |
| 사용온도 | 0℃ ~ 40℃ |
| 보관온도 | -20℃ ~ 60℃ |
| 습도 | 0~80% |
| Unit Weight | 19.1 kg |
| 크기(DxWxH) | 71.9 x 68.1 x 14.2 cm |
| 해상도 | 1280x1024; DDC2B |

- PC (HP Server)

서버는 HP社의 Intel®Xeon® E3-1220 프로세서 628691-371을 선택하였으며, 서버 앞면의 모습은 다음과 같으며 각 세부 부품의 설명은 아래그림과 같다.

<표 2-3-5-2> Server 사양

| | |
|---|---|
| 프로세서 | Intel®Xeon® E3-1220(4코어,3.1GHz,8MB,80W,1333/t) |
| 기본메모리 | 4GB |
| 메모리 슬롯 | DIMM 슬롯 4개 |
| 메모리 | PC3-10600E UDIMM DDR3 |
| 프로세서 캐시 | 8MB Intel® 스마트 캐시 |
| 원격관리 소프트웨어 | Insight Control(iLO3) |
| 스토리지 컨트롤러 | (1) 스마트 어레이 B110i SATA RAID |
| 전원 공급장치 유형 | 400W 1개(자동감지, CE마크 준수) |

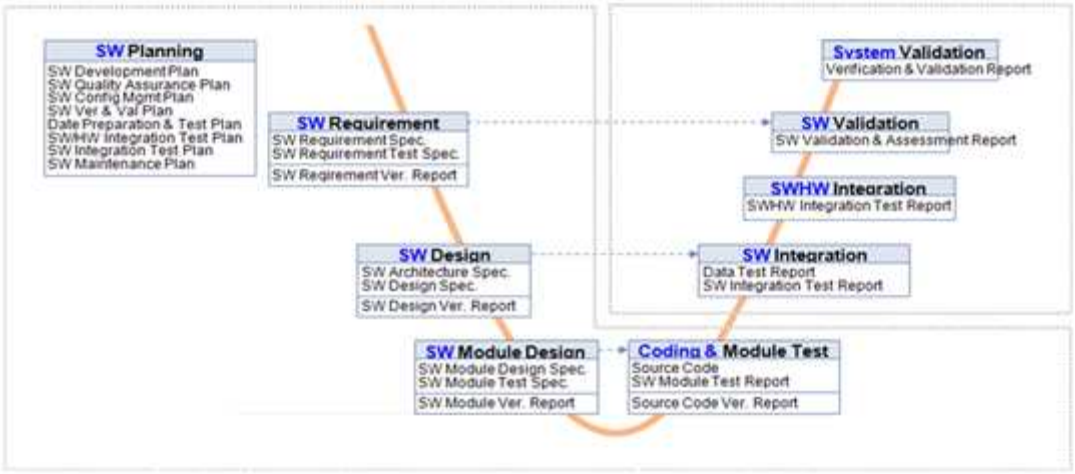
○ 서브 랙 및 시스템 팬

-지상 ATP 6U Sub Rack

지상 ATP 6U 서브 랙은 산업 표준의 6U랙 사이즈를 준수 한다. 또한 제품에서 발생 되는 열을 효율적으로 방출하기 위하여 서브 랙 하단부에는 2개의 시스템 Fan 을 설치한다.

㉯ 지상 ATP S/W 설계

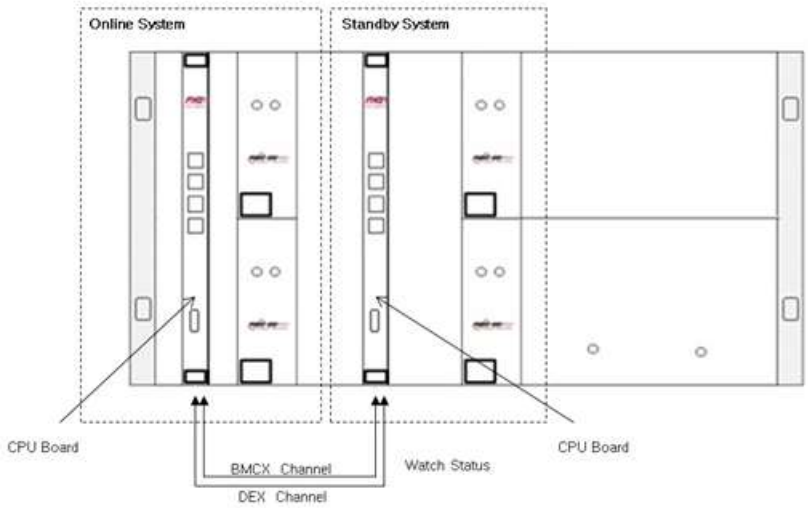
지상 ATP 장치의 안전성을 보장하는 S/W 기능을 구현하기 위하여 V 모델을 적용하여 S/W를 개발하였다. V-cycle development method은 시스템의 요구사항 분석에 이어 시스템 설계, 시스템 아키텍처 설계, 시스템 모델링, 코딩 및 시험에 이르는 전체의 과정에서 시스템 검증을 위한 S/W 개발 방법론이다. 이를 통해 각 개발단계에 상응하는 소프트웨어 시험을 통해 검증 시간을 최소화하고 SRS 2.3.0 요구사항을 반영하여 시스템 S/W 기능을 구현한다.




<그림 2-3-5-6> V-cycle development method

지상 ATP 시스템은 Redundency 구조로 H/W 및 S/W가 구성 된다. Online 계와 Standby 계는 각각 동일한 CPU 보드로 구성되어 있으며 Online 계의 고장발생 시 전체 시스템의 중단이 없도록 즉각 Standby 계로 절체 된다.

지상 ATP 시스템은 단일 CPU board로 2 out of 3 시스템 구성이 가능하나 가용성을 높이기 위하여 online계와 standby 계의 구조로 구성한다.




<그림 2-3-5-7> 지상 ATP 장치 Redundancy 구조

○ 시스템 소프트웨어 설계

지상 ATP 장치는 유럽표준 열차제어시스템의 한 부분으로 무선 통신을 통해 열차의 위치를 수신 받아 해당 열차를 방호 할 수 있도록 Limit of movement protection(L.M.P)을 생성하고, 생성된 Movement authority (M.A) 구간 내의 Static Speed Profile 을 계산하여 M.A 구간내의 가장 제한적인 Speed Profile 을 계산하여 L.M.P와 함께 열차로 제공한다.

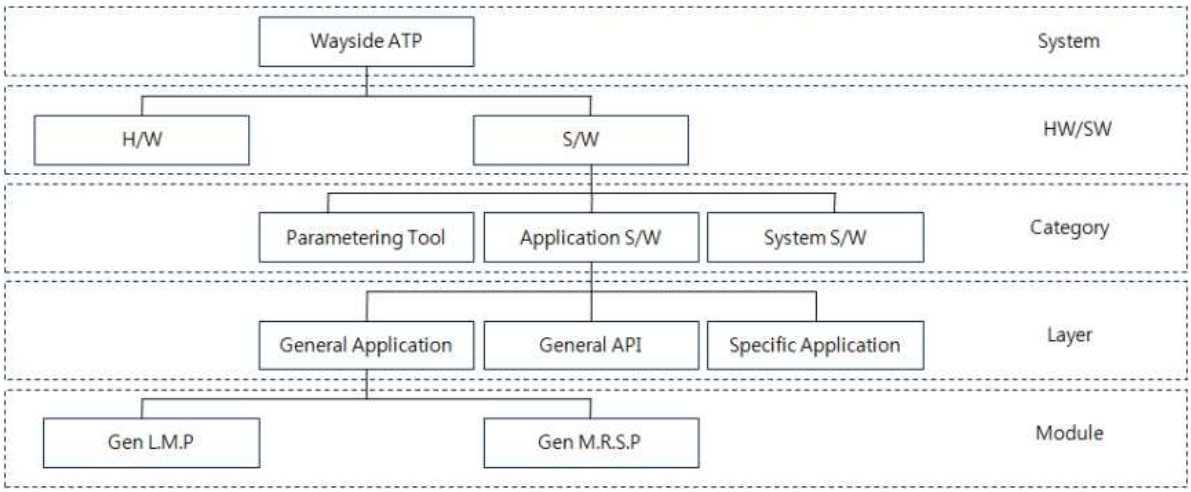
지상 ATP 시스템은 차상 ATP 시스템, EI와 Ethernet 을 통해 상태정보 송/수신 및 제어정보 송신을 한다.

- Software Architecture

지상 ATP 장치는 Redundancy 구조로 H/W 및 S/W 가 구성 된다. Online 계와 Stand-by계는 각각 동일한 CPU 보드로 구성되어 있으며 Online 계의 고장발생시 전체 시스템의 중단이 없도록 즉각 Stand-by계로 절체 된다.

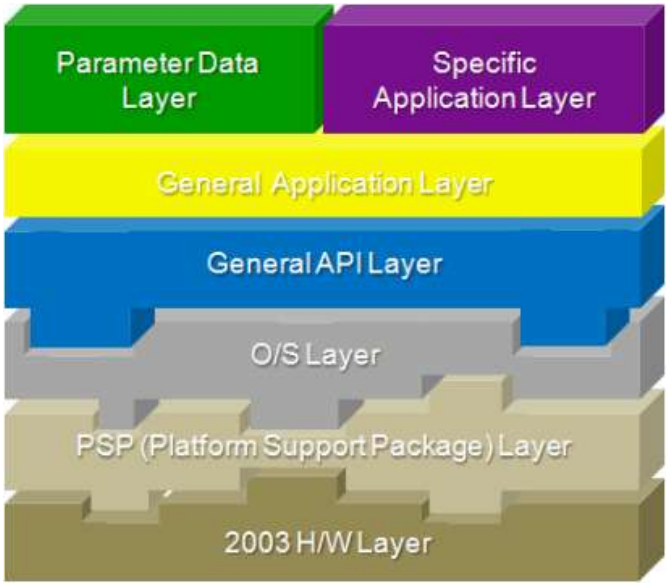
- Definition of Software Architecture

지상 ATP 시스템은 시스템을 Layer로 구분하고 Layer에 배치되는 모듈은 컴포넌트 기법으로 구분된다. 본 프로젝트에서 정의한 Layer와 컴포넌트에 대한 개략적인 내용은 다음과 같다.




<그림 2-3-5-8> S/W Hierarchy Concept Diagram

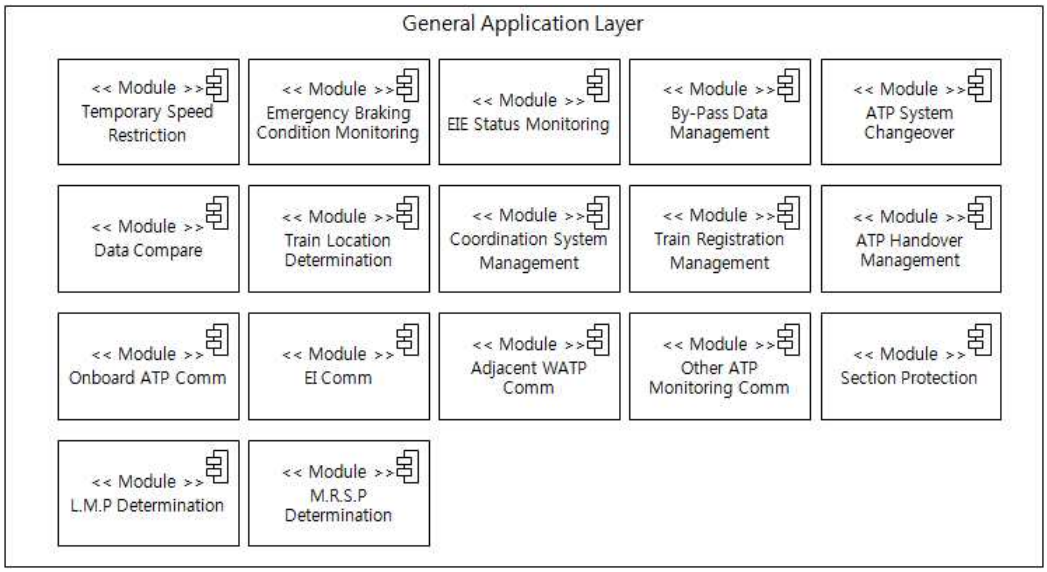
ETCS Level 2 Wayside 시스템의 SW Layer와 Layer별 Roles and Responsibilities과 할당된 SIL 수준은 다음과 같다.



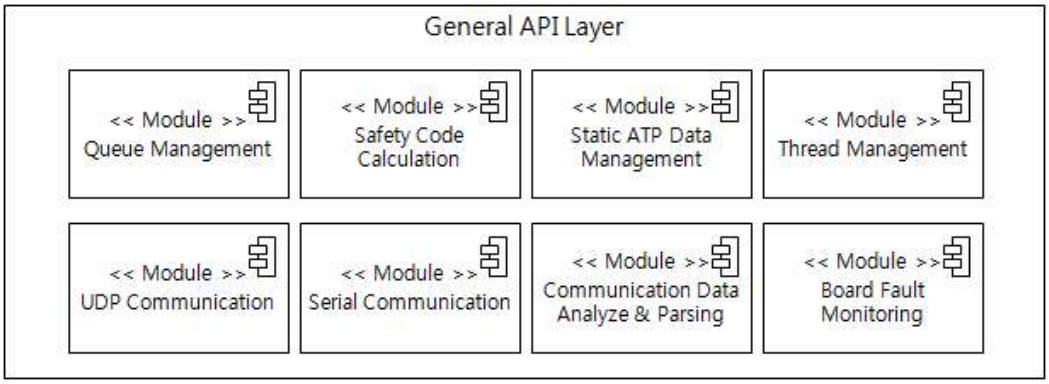
<그림 2-3-5-9> System Layer

- S/W Components

General Application Layer와 General API Layer의 Module을 Component Diagram으로 표현하면 다음과 같다. Module내 응집도는 최대화하고, Module간 결합도는 최소화하여 설계한다. 식별된 Module별 주요 기능과 타 Module과의 인터페이스, 데이터구조를 설계한다.



<그림 2-3-5-10> General Application Layer Modules

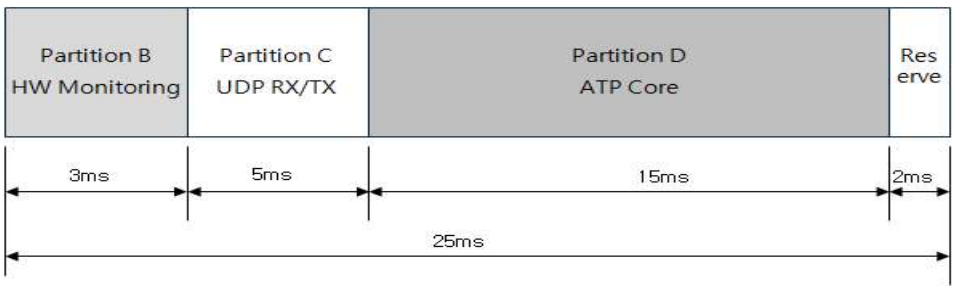



<그림 2-3-5-11> General API Layer Modules

- Time Partition Configuration

지상 ATP 장치는 지상 ATP 시스템 관할 구역내를 운행하는 열차로부터 500ms 간격으로 Position Report 를 받고 Position Report 에 대한 응답으로 L.M.P 를 Position Report 메시지를 수신한 이후 500ms 내에 해당 열차에게 전송 해야 한다.

또한 지상 ATP 시스템 관할구역을 동시에 운행 할수 있는 열차는 최대 20 대이다. 지상 ATP 시스템은 한번의 Cycle 에 한대의 열차의 Position Report 에 대한 처리를 수행한다. 따라서 SRS의 요구사항을 만족하기 위해서는 열차 한대당 최소 25ms 의 Cycle 를 가져야 한다. 뿐만 아니라 ATS, EI, PSD 로부터 전송된 제어 메시지를 열차에게 전송 해야 하므로 최소 500ms 에 한번은 인접 장비와의 통신 상태를 확인해야만 한다.

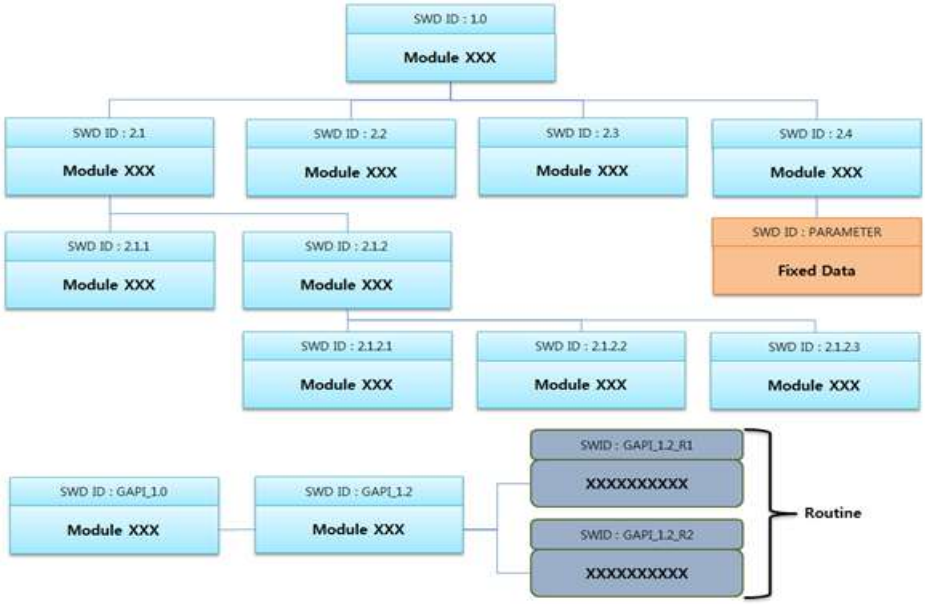



<그림 2-3-5-12> Time Partition Configuration

○ Module Design

- Partitioning of Requirement on Module

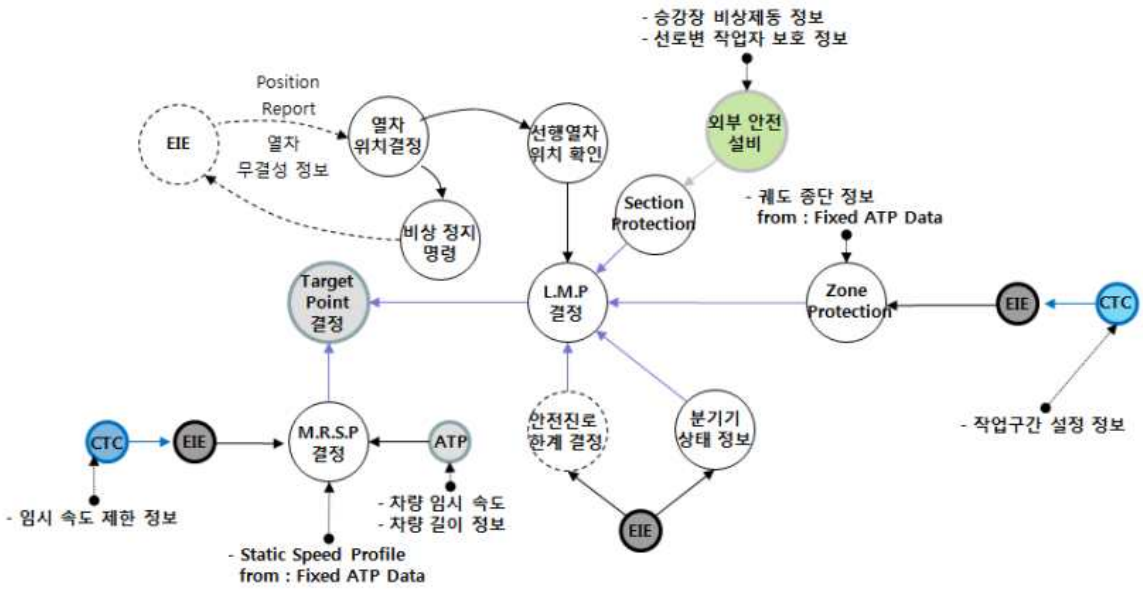
상위 문서에서 정의된 요구사항을 분석/분할하여 작성되는 Wayside ATP Software의 Hierarchy Diagram은 아래 형식을 따르며, Hierarchy간의 구분 및 종속관계는 SWD(Software Design) ID Number로 구분한다.




<그림 2-3-5-13> Example of Software Hierarch Diagram

- 지상 ATP 장치 기능 알고리즘

지상 ATP 장치는 시스템 설계 및 시스템 아키텍처를 바탕으로 아래와 같이 각 모듈을 개발하게 된다. 이러한 각 모듈은 각 DB 데이터를 바탕으로 EI 및 On-board 설비로부터 정보를 수신하여 이동권한 및 허용속도 설정 등의 알고리즘으로 구현되게 된다. 모듈간의 인터페이스도를 간략화하면 아래 그림과 같다.




<그림 2-3-5-14> 지상 ATP 장치 기능 알고리즘

○ 소프트웨어 Code Inspection 결함률

지상 ATP 장치의 소프트웨어 Code Inspection 결함률을 측정하기 위하여 상용 프로그램인 Resort4C을 활용하여 결함률을 측정하였다.

- 최초 코드 결함률 측정

지상 ATP 장치의 각 모듈을 코딩하여 결함률을 코드 규칙 목록에 따라 검사해 본 결과 아래와 같이 1,171개의 결함이 발생하였다.

- 최종 코드 결함률 측정

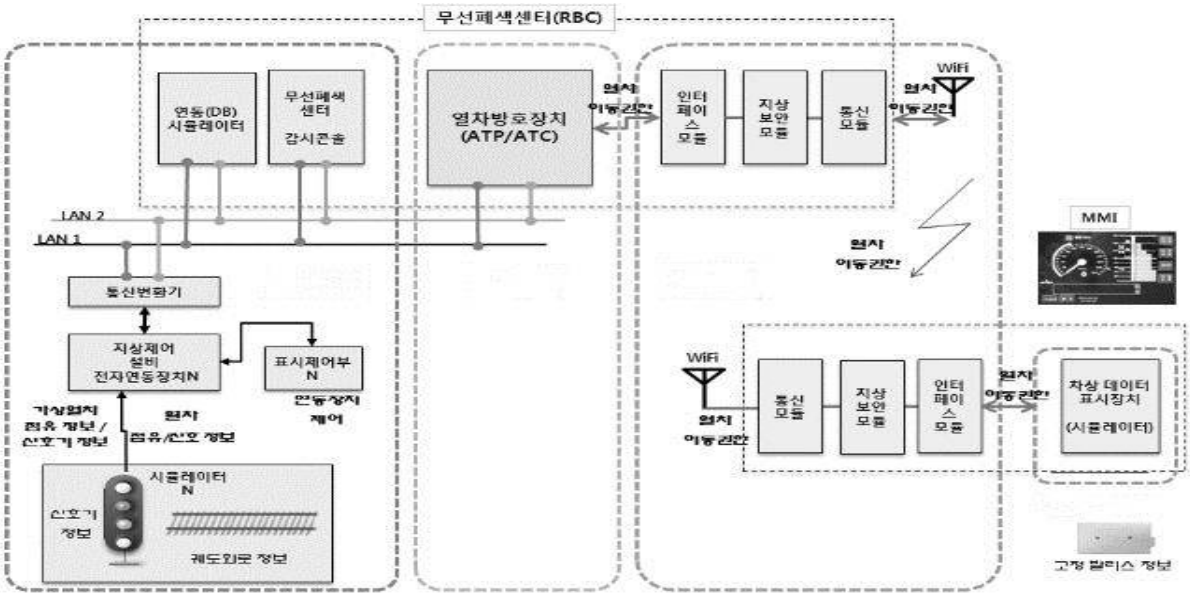
지상 ATP 장치의 각 모듈을 코딩하여 최종 수정/보완하여 결함률을 Rule Set List에 따라 검사해 본 결과 아래와 같이 18개의 결함이 발생하였다. 18개의 결함은 “9.1 항목 지역변수는 사용 전 반드시 초기화해야 한다”에 해당되지만 Float Type으로 지정될 경우 향후 발생할 수 있는 결함을 예상한 부분인데 지상 ATP 장치에서 Float Type으로 지정하여 사용하지 않기 때문에 지상 ATP 장치에서는 문제가 되지 않는다.

최종 18건은 코드 점검 Rule 중 [1]9.1 (req) Used Variable without Definition에 해당하는 결함이며, 번역을 하면 “항목 지역변수는 사용전 반드시 초기화해야 한다” 이다. 그러나 Float Type으로 지정될 경우 향후 발생할 수 있는 결함을 예상한 부분인데 지상 ATP 장치에서 Float Type으로 지정하여 사용하지 않기 때문에 문제시 될 결함은 아니다. 따라서, 현재 결함률은 0%에 해당된다.

㈐ 인터페이스 설계

무선폐색센터는 내부적으로는 열차 및 선구 데이터를 가지고 있는 데이터 베이스와 인터페이스 하고 외부로는 연동장치 및 차상 장치와 인터페이스 된다.

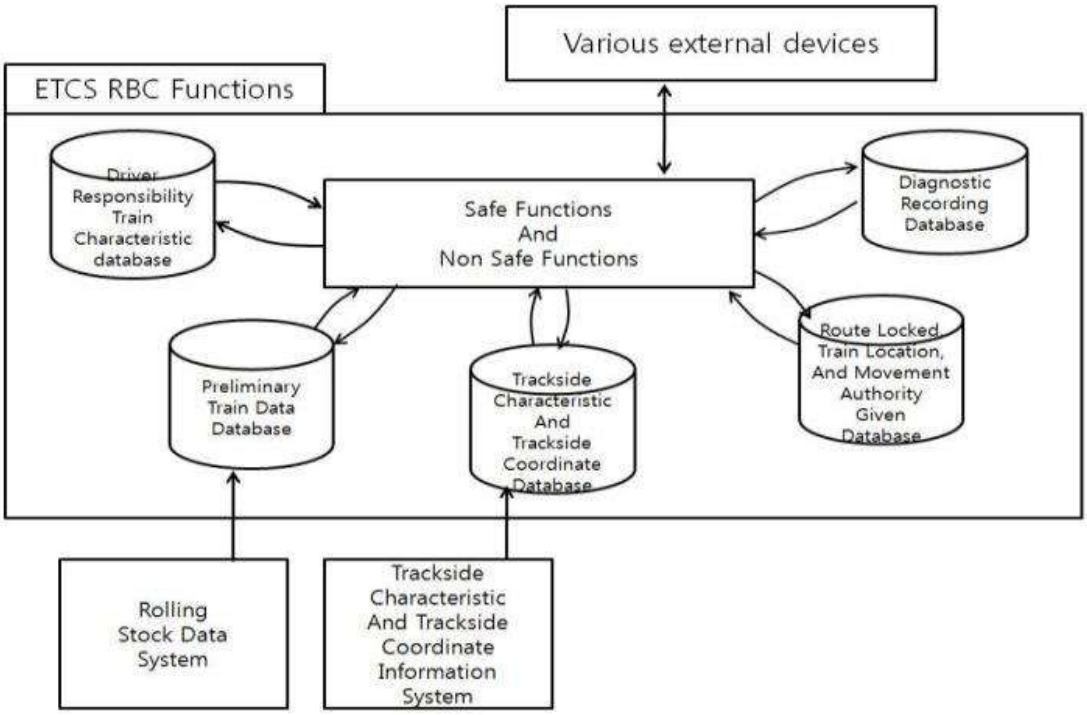
아래 그림은 무선폐색센터 및 무선폐색센터 와 인터페이스 되는 설비들을 표시한 것이다.




<그림 2-3-5-15> 무선폐색센터와 주변 장치와의 인터페이스

○ 내부 인터페이스

무선폐색센터는 관할 구역 내에서 이동하는 열차의 관리 및 정적 속도 프로파일의 생성을 위해 내부적으로 고정 데이터를 저장하고 있는 6개의 데이터베이스를 가진다. 무선폐색센터는 열차로부터 받은 위치 정보와 열차의 ID 등을 이용하여 해당 열차가 현재 위치하고 있는 곳의 지리적 정보를 데이터베이스에서 검색하고 해당 열차의 특성을 열차 ID를 통하여 검색할 수 있다.



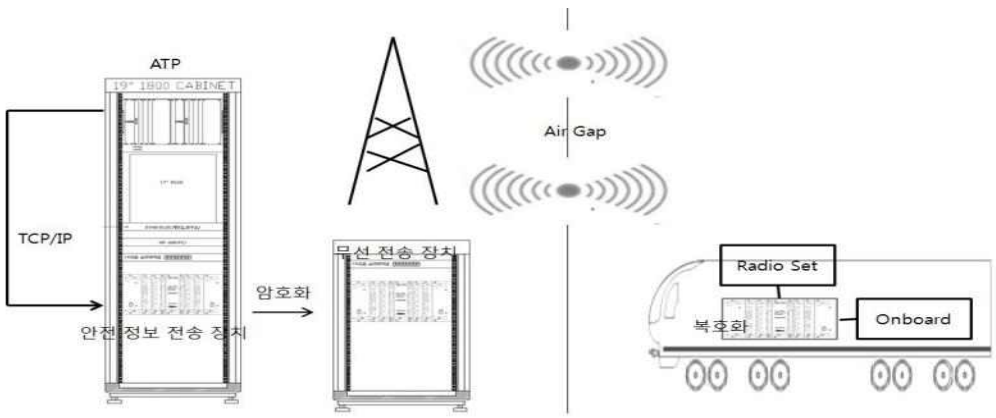

<그림 2-3-5-16> 무선폐색센터 내부 인터페이스

○ 외부 인터페이스

Ⓐ 무선폐색센터와 연동장치 간 인터페이스

Ⓑ 무선폐색센터와 차상장치 간 인터페이스

무선폐색센터와 차상장치는 무선을 이용해서 인터페이스를 한다. 무선폐색센터가 차량으로 보내는 메시지는 TCP/IP 방식으로 안전 정보 전송 장치로 전달이 된다. 안전 정보 전송 장치는 무선폐색센터로부터 수신한 메시지를 암호화 하여 차상장치로 무선으로 전송을 한다. 차상장치의 안전 정보 전송 장치는 해당 메시지를 복호화 하여 차상 장치로 전송 한다.




<그림 2-3-5-17> 지상ATP 장치 - 차상ATP 장치 간 인터페이스

○ RBC-RBC 인터페이스

무선폐색센터와 무선폐색센터는 관할하던 열차가 인접 무선폐색센터로 진입할 때 또는 인접 무선폐색센터로부터 연차의 진입을 통보 받을 때 인터페이스가 이루어진다. 무선폐색센터는 이중화된 Vital 네트워크에 연결되어 있고 DDS Tool을 이용하여 상호 인터페이스 한다.

- 무선폐색센터 데이터 교환

무선폐색센터 간의 데이터교환에 따른 권한 이양 정보를 수신한 ERTMS/ETCS 장착차량은 데이터 교환 지점 보다 앞서 정의된 경계 지역에서 데이터 교환에 따른 접속절차를 확립하고, 새로운 RBC와 데이터 교환에 대한 선행 작업을 마무리해야 한다. 무선폐색센터 경계에서는 발리스 그룹의 정보를 기준으로 데이터 교환에 따른 절차들이 즉각적으로 이루어 져야 한다. 만약 무선폐색센터의 경계에서의 발리스 그룹에 대한 정보를 수신하지 못한 경우, 무선폐색센터 경계 통과 시 데이터교환에 대한 시도는 차량이 해당 경계에서 차량의 최대 안전 전두부 위치를 벗어 날 때까지 지속적으로 실행되어야 한다.

- 무선폐색센터 열차 이관 절차

Ⓐ 열차를 다른 무선폐색센터로 이관하기 전 열차의 이관을 예고

무선폐색센터 영역 변경에 따른 데이터 교환 시 이동권한은 열차를 보내는 쪽 무선폐색센터에 의해 무선폐색센터간 경계 부분까지 생성된다. 이때 이와 관련된 전환 프로세스 들은 초기화 작업을 수행한다. 열차를 보내는 쪽 무선폐색센터는 차상장치에게 해당 내용을 알려 주며 열차가 진입하는 쪽 무선폐색센터 측은 무선폐색센터간 데이터 교환에 따른 준비 작업을 진행 한다.

Ⓑ 열차의 진입을 고지 받은 무선폐색센터의 세션 연결 준비

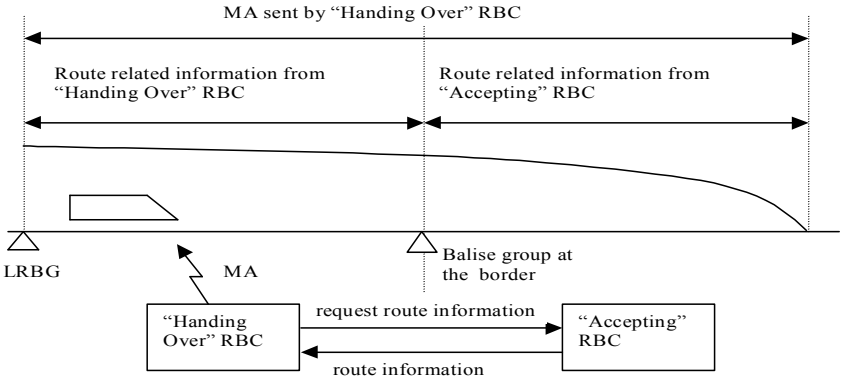
열차가 진입하는 쪽의 무선폐색센터는 열차가 진출 하는 쪽 무선폐색센터가 차상으로 전송한 정보를 기반으로 무선 통신 세션을 개방 한다.

Ⓒ 경계 역에서의 이동권한 생성

열차가 진출하는 쪽 무선폐색센터는 아래내용을 참조하여 이동권한에 대한 생성 책임을 담당 한다.

· 선로변 정보 및 해당영역의 연동정보(경계까지의 진로와 관련된 정보)

· 열차가 진입하는 쪽 무선폐색센터로부터 수신한 경계 전방까지의 진로 정보




<그림 2-3-5-18> 무선폐색센터와 무선폐색센터 간의 이동권한 생성

이동권한을 차량으로 전송 할 때, 열차가 진출한쪽 무선폐색센터는 열차가 진입하는쪽 무선폐색센터에게 경계 전방까지 이동권한을 확장하기 위한 정보를 요구 한다.

Ⓓ 무선폐색센터 변경에 따른 공지

차량의 최대 안전 전두부가 경계에 접근하면 ERTMS/ETCS 차상장치는 진출하는 쪽 무선폐색센터와 진입하는 쪽 무선폐색센터 에게 자신의 위치를 보고 한다. 진출하는 쪽 무선폐색센터는 열차의 위치를 진입하는 쪽 무선폐색센터 에게 전달한다.

Ⓔ 열차를 인수 받는 무선폐색센터 쪽의 권한 이양 절차

열차가 진입하는 쪽 무선폐색센터로 열차 관리권한이 이양되면 차상 장치는 열차가 진입하는 쪽 무선폐색센터로 위치보고를 즉시 해야 한다. 열차가 진입하는 쪽 무선폐색센터가 차상장치로부터 위치보고를 받고, 차량의 최대 안전 전두부가 무선폐색센터 경계를 지난 것이 감지되는 시점에 모든 권한이 열차가 진입하는 쪽 무선폐색센터로 이양되며, 해당 내용이 열차가 진출하는 쪽 무선폐색센터로 전달된다.

Ⓕ 열차를 이관한 쪽 무선폐색센터의 세션 종료 절차

ETCS/ERTMS 장착차량의 최소 안전 후두부가 RBC경계를 통과 하게 되면 차상장치는 이 정보를 열차가 진출하는 쪽 무선폐색센터에게 전송 한다. 열차가 진출하는쪽 무선폐색센터가 차량의 위치보고를 받으면, 해당 차량의 ERTMS/ETCS 차상장치와의 세션을 종료 한다.

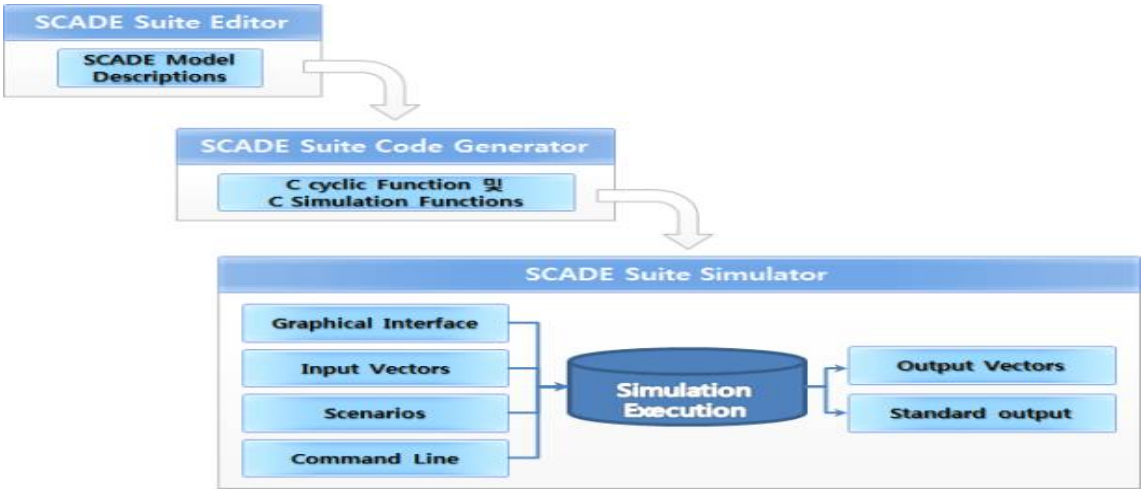
## ③ 지상 ATP 장치 안전성 검증

### ㉮ 모듈 성능 시험

○ 모듈 성능 시험 방법론

지상 ATP 장치를 개발하기 위하여 모듈 사양서에 의해 설계된 모듈은 지상 ATP 장치 개발 Tool인 SCADE Suite IDE 내에 포함된 SCADE Suite Simulator를 사용하여 시험이 진행된다. SCADE Suite Code Generator에 의해 생성된 코드

에서 시뮬레이션 실행파일을 생성하고, 시뮬레이션을 목적으로 실행할 수 있는 환경을 제공하며, SCADE Suit Simulator를 사용하여 시뮬레이션 동작들은 생성된 코드와 동일한 환경을 제공한다. 시뮬레이션 구조 및 테스트 Tool에 대한 정보는 아래 그림을 참조한다.




<그림 2-3-5-19> SCADE Suit IDE 운영 Procedure

테스트는 모듈의 기능적인 측면에서 Black-box Testing을 적용하며, Black-box Testing은 Boundary Value Analysis와 Equivalence Classes and Input Partition Testing 2가지 유형으로 진행된다. 테스트의 결과는 PASS / FAIL / NOT TESTABLE 과 같이 3가지로 나눌 수 있으며, 결과에 따른 처리방법은 아래 표를 참조한다.

<표 2-3-5-3> 모듈 시험 후 조치 사항

| 구 분 | 조치 사항 |
|---|---|
| PASS | 없 음 |
| FAIL | 설계자와 개발자가 회의 후 다시 테스트 |
| Not Testable | Module Test 기간에는 Test하기 힘들 경우 추후에 Test한다. |

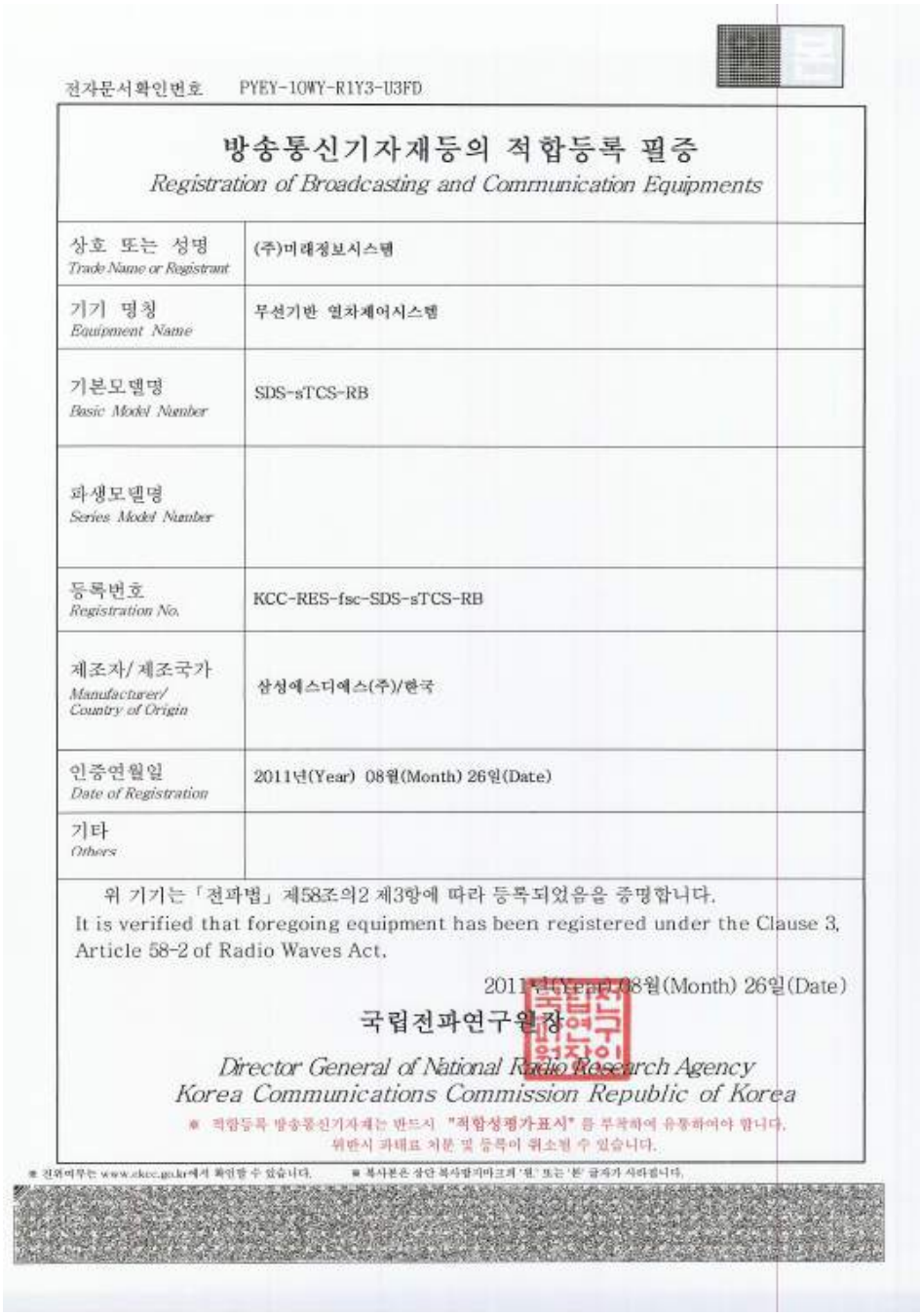
㉯ 모듈 시험 항목

<표 2-3-5-4> 모듈 시험 항목

| 항목 | 세부내용 | 항목 | 세부내용 |
|---|---|---|---|
| Queue Management | ·Queue Status Monitoring<br>·Queue Setup<br>·Message Send<br>·Message Receive | Coordination System Management | ·Convert TPID to Metric<br>·Convert Metric to TPID<br>·Check LRTRP Information |
| Safety Code Calculation | ·Generation CRC32 Table<br>·Generation CRC32 Table<br>·Make CRC32<br>·Check CRC32 | Emergency Breaking Condition Monitoring | ·Get Communication Monitoring<br>·Get EB Command from EIE<br>·Get Train Integrity Status<br>·Get Train Registration Status<br>·Get System Changeover Status<br>·Get Train Registration Status |
| Static ATP Data Management | ·Load Static Data Information<br>·Get Static Data Information | Section Protection | Make EIE Section Protection |
| Thread Management | ·Thread Setup<br>·Thread Creation<br>·Thread Deleting<br>·Thread Suspend<br>·Thread Resume | M.R.S.P Determination | ·Get Infrastructure Data<br>·Get EIE Speed Restriction<br>·Get Safety Train Length<br>·Get L.M.P Information<br>·Generation M.R.S.P |
| Board Fault Monitoring | ·Check_SRARQ_01<br>·Check_SRARQ_02<br>·Check_SRARQ_03<br>·Check_SRARQ_04<br>·Check_SRARQ_05 | L.M.P Determination | ·Compare ATP Core Partition Data<br>·Generation Compare Status<br>·Get EIE Information<br>·Get Section Protection Info<br>·Get Adjacent ATP Status Information<br>·Generation L.M.P |
| UDP Communication | ·UDP Port Setup<br>·UDP Port Initiation<br>·UDP Port Receive<br>·UDP Port Close | ATP System Changeover | ·Check ATP System Start up<br>·Monitoring Board Status<br>·Set WATP Status<br>·Get Other WATP Status<br>·Get L.M.P Information<br>·ATP System Shutdown |
| Serial Communication | UDP Communication과 동일 | | |
| Communication Data Analyze & Parsing | ·Analyze & Parsing Onboard ATP Data<br>·Analyze & Parsing EI Data<br>·Analyze & Parsing Adjacent WATP Data | Temporary Speed Restriction | ·Set EIE Speed Restriction |
| Onboard ATP Communication | ·Link IPC Queue<br>·Make UDP Onboard ATP Comm. Thread<br>·Onboard ATP Data Validation<br>·Onboard Message Receive Queue<br>·Onboard Message Send Queue<br>·Onboard ATP Comm. Status Monitoring | Adjacent WATP Communication | ·Link IPC Queue<br>·Make UDP Adjacent WATP Comm. Thread<br>·Adjacent WATP Data Validation<br>·Adjacent WATP Message Receive Queue<br>·Adjacent WATP Message Send Queue<br>· Adjacent WATP Comm.Status Monitoring |
| EIE Communication | ·Link IPC Queue<br>·Make UDP EIE Comm. Thread<br>·EIE Data Validation<br>☞ EIE Message Receive Queue<br>☞ EIE Message Send Queue | Other ATP Monitoring | ·Link IPC Queue<br>·Make Serial Other WATP Comm. Thread<br>·Other ATP Data Validation<br>·Other ATP Message Receive Queue<br>·Other ATP Message Send Queue<br>·Other ATP Comm. Status Monitoring |
| Train Location Determination | ·Determination Safety Train Rear-End<br>·Determination Safety Train Front-End<br>·Generation Train Position | By-Pass Data Management | ·By-Pass TDR Command to Onboard ATP<br>·By-Pass TSR Information to EIE |
| Train Registration Management | ·End of Mission<br>·Start of Mission | EIE Status Monitoring | ·Make Console Section Protection<br>·Set Switch Fail Protection Information |
| ATP Handover Management | ·Handover Area Checking<br>·Handover Announcement<br>·Handover Execution<br>·Handover Confirmation | Data Compare | ·Compare ATP Core Partition Data<br>·Generation Compare Status |

② EMI/EMC 인증

- 지상 ATP 장치는 EMI/EMC 시험을 국립전파연구원에서 수행 완료하였다.



전자문서확인번호 PYEY-1OWY-R1Y3-U3FD

**방송통신기자재등의 적합등록 필증**

*Registration of Broadcasting and Communication Equipments*

| | |
|---|---|
| 상호 또는 성명<br>*Trade Name or Registrant* | (주)미래정보시스템 |
| 기기 명칭<br>*Equipment Name* | 무선기반 열차제어시스템 |
| 기본모델명<br>*Basic Model Number* | SDS-sTCS-RB |
| 파생모델명<br>*Series Model Number* | |
| 등록번호<br>*Registration No.* | KCC-RES-fsc-SDS-sTCS-RB |
| 제조자/제조국가<br>*Manufacturer/ Country of Origin* | 삼성에스디에스(주)/한국 |
| 인증연월일<br>*Date of Registration* | 2011년(Year) 08월(Month) 26일(Date) |
| 기타<br>*Others* | |

위 기기는 「전파법」 제58조의2 제3항에 따라 등록되었음을 증명합니다.

It is verified that foregoing equipment has been registered under the Clause 3, Article 58-2 of Radio Waves Act.

2011년(Year) 08월(Month) 26일(Date)

국립전파연구원장

*Director General of National Radio Research Agency*

*Korea Communications Commission Republic of Korea*

※ 적합등록 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표시"를 부착하여 유통하여야 합니다.
위반시 과태료 처분 및 등록이 취소될 수 있습니다.

※ 전자여부는 www.ekcc.go.kr에서 확인할 수 있습니다. ※ 복사본은 상단 복사방지마크의 '원' 또는 '본' 글자가 사라집니다.

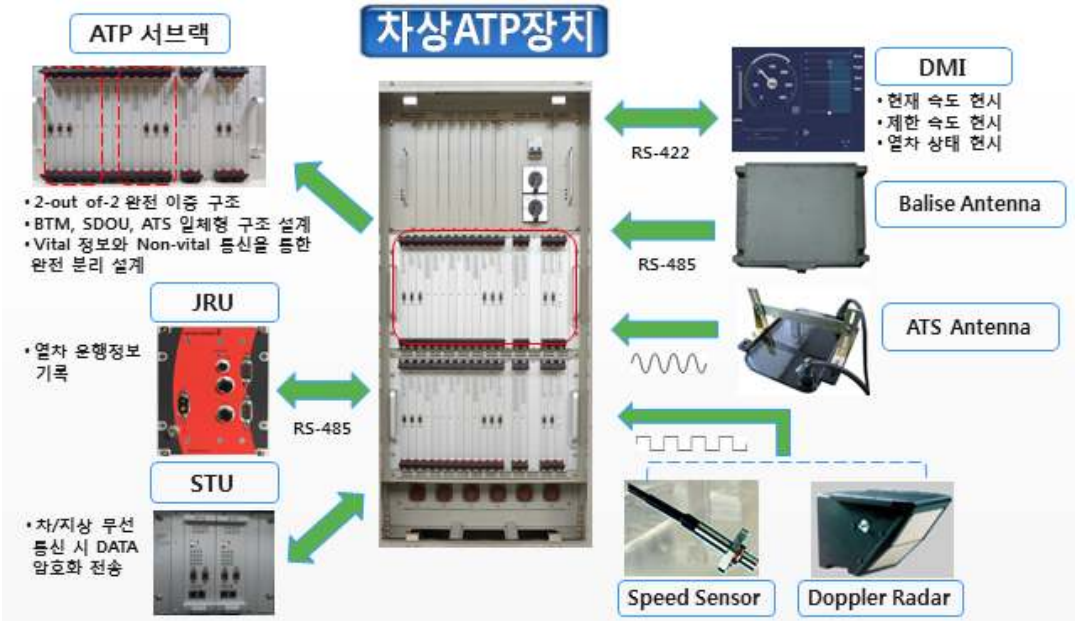
<그림 2-3-5-20> EMI/EMC 인증

(2) 유럽표준 고속철도 열차제어 차상 핵심기술 개발

(가) 차상 ATP 장치(Automatic Train Protection)

① 차상 ATP 장치의 개요

차상 ATP(Automatic Train Protection) 장치는 지상 ATP 장치로부터 열차의 이동권한 및 제한속도를 수신하여 열차를 안전하게 제어하고 방호하는 장치이다.




<그림 2-3-5-21> 차상 ATP 장치 구성

## ② 요구사항 분석

### ㉮ SRS 2.3.0d 요구사항 기능 분석

SRS 2.3.0d에 대한 요구사항 분석을 통해 각각의 요구사항 대해 차량과 지상 또는 LEVEL 1, 2로 분류 하여 요구사항 분석 및 분류하여 요구사항 기능 분석 보고서를 작성하였다. SUBSET-026 v2.3.0d 시스템 요구사항 분석 주요 내용은 아래와 같다.

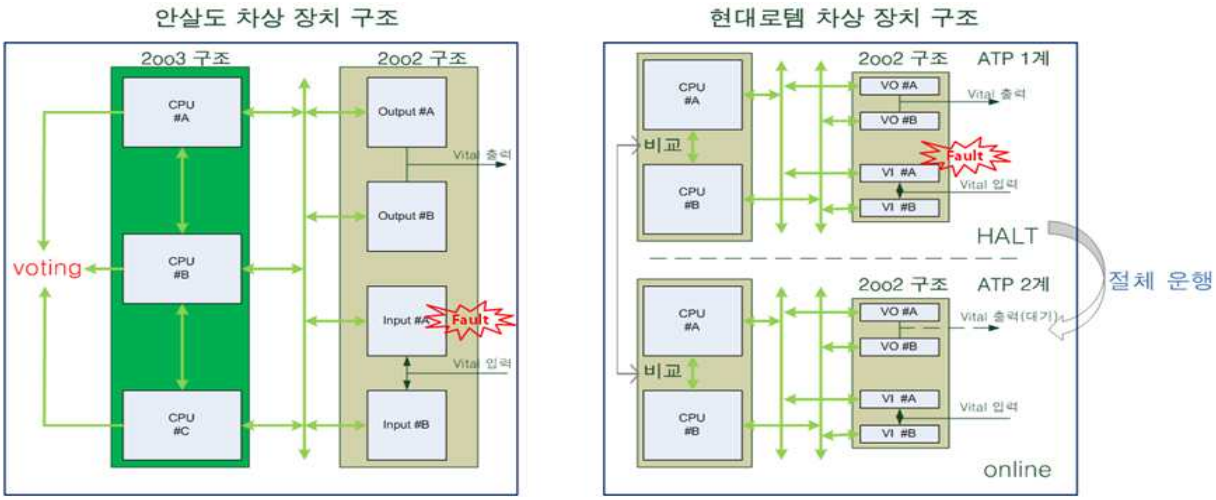
- 차상 내부 변수 처리
- 기능과 모드와의 상관관계
- 데이터 검증 절차
- 입력 데이터 처리 절차
- 발리스 좌표 시스템
- 링킹, 무선통신관리
- 통신 세션 수립, 유지, 종료
- 무선 네티워크 등록
- 위치 원리/열차 위치 등

### ㉯ 차상 ATP시스템 요구 사항

○ 가용성 99.99994[%]를 만족하기 위해서 ATP 시스템 이중화로 구현

안살도 및 타사는 제품은 CPU 보드는 2oo3 구조이어서 1개의 CPU에 장애가 발생하더라도 다른 2개의 CPU동작에 의해 정상 동작을 할 수 있다. 그러나 IO보드는 단일계로 구성되어 있기 때문에 어느 하나의 VITAL 관련 POINT의 장애가 발생하면 즉시 시스템 운영 정지 상태로 되어 진다. 그러나 당사 개발 제품은 IO모듈

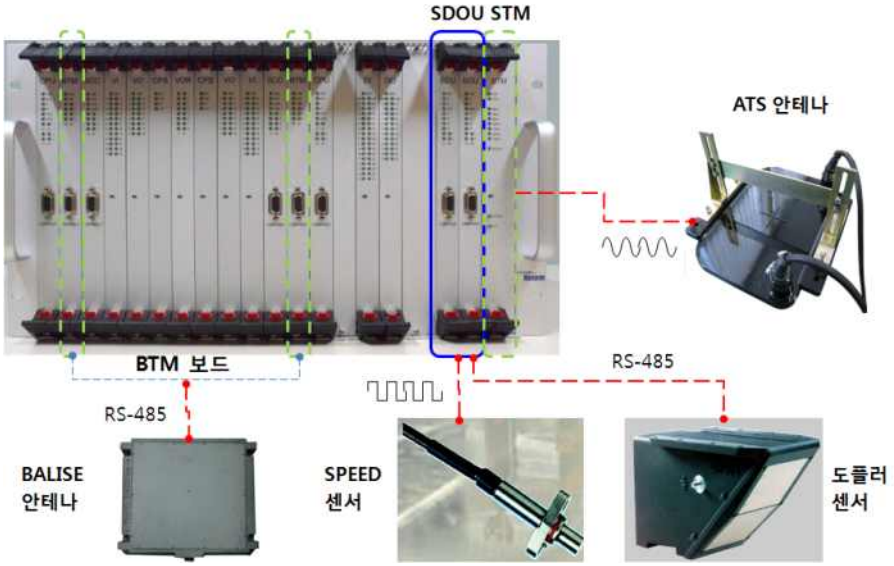
까지 이중화 구조 구성되어 있음으로 어느 하나의 IO POINT가 장애가 발생 하더라도 다른 계로 절체 되어 정상 운행이 가능한 구조이다.




<그림 2-3-5-22> 이중계 동작 원리

○ 유지보수성 증대

차상 ATP 서브랙은 유지보수성을 위해 안테나 및 센서를 제외한 모든 보드류는 서브랙에 장착되어 장애발생시 서브랙 단위 교체가 가능한 구조로 설계하였다.




<그림 2-3-5-23> 유지보수성 증대를 위한 서브랙 구조 설계

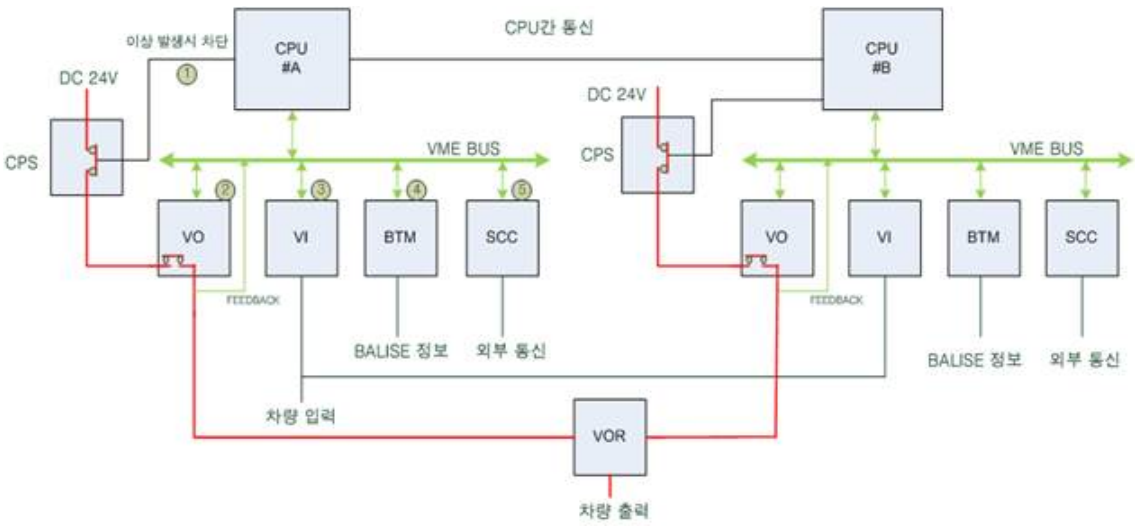
○ 안전성 증대

차상 ATP 장치는 아래 그림과 같이 안전성을 높이기 위해 2oo2 구조로 설계되어 오류에 의한 부정 출력 또는 로직오류가 발생 되지 않는 구조로 설계하였다.

- 2 out of 2 동작 원리

· ATP CPU간 통신을 이용하여 안전에 관련된 IN/OUT 정보 및 통신 정보를 공유

· CPU간 정보가 상이하면 HALT 상태로 되며 CPS를 통해 바이탈 출력이 차단




<그림 2-3-5-24> 차상 ATP장치 2 oou of 2 동작 원리

㈐ 차상 ATP시스템 설계 안전 요구 사항

○ 신호 시스템의 SIL 적용

ETCS LEVEL 2 차상 시스템은 ATP 장비이기 때문에 최고 SIL 등급인 SIL4이어야함. 따라서 위험측 고장률이 10-8>= THR >10-9 되도록 설계되었다.

○ EN50129 안전 요구사항

차상 ATP장치의 H/W는 EN50129에서 요구하는 안전 요구사항을 반영하여 설계되었다.

㈑ 차상 ATP 소프트웨어 기능 요구사양 분석

SUBSET 026(2.3.0D)를 기준으로 Software Requirements Specification을 작성하여 핵심기술과 관련된 기능요구사항을 도출하였다. 주요기능은 아래와 같다.

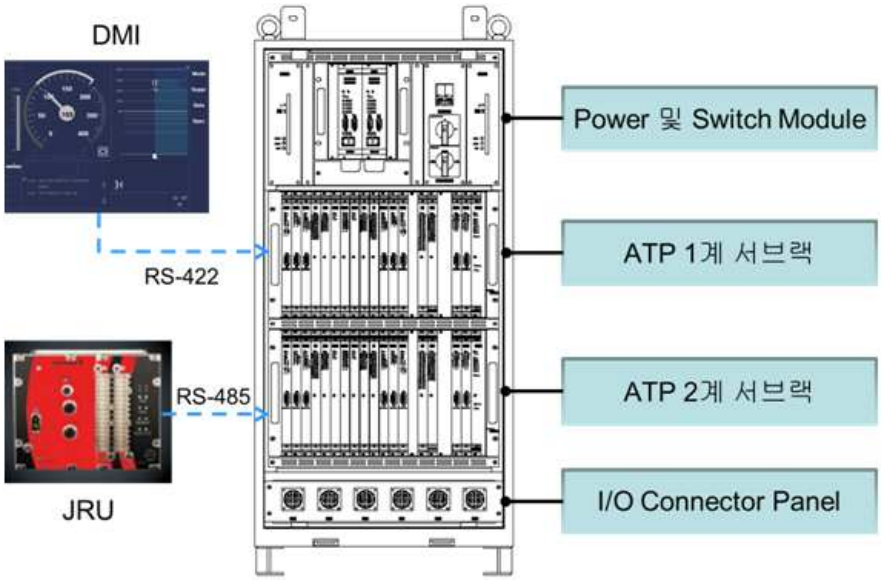
- 데이터 일관성
- 열차속도와 위치 결정
- 이동권한 관리
- 제한적 속도 프로파일결정
- 열차속도 감시 및 과속보호
- 열차이동 감시
- 모드와 레벨 결정
- 지리적 정보 수신 및 해석

## ③ 시제품 설계

㈎ 차상 ATP 장치 H/W 설계

○ 차상 ATP 장치 구조 설계

차상 ATP 장치는 안전성을 위한 2oo2 구조로 설계되었으며 가용성 확보를 위하여 2중화 구조로 제작 설계되었다.




<그림 2-3-5-25> 차상 ATP H/W 구성

- 차상 ATP 장치 구성

<표 2-3-5-5> 차상 ATP 장치 구성

| 구 분 | 구 성 | SIL 인증 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 차상 ATP 장치 | Mechanism Rack | SIL4 | 2oo2, 이중계 |
| | 기능 선택 Switch | | |
| | I/O Connector | | |
| | ATP Sub Rack (보드 포함) | | |
| BTM 장치 | BTM | | 2oo2, 이중계 |
| | BTM 안테나 | | |
| DMI 장치 | DMI 장치 | | 이중계 |
| SDOU 장치 | SDU 장치 | | 2oo2, 이중계 |
| STM 장치 | STM | | 이중계 |
| | STM 안테나 | | |

○ 차상 ATP 장치 인터페이스 설계

- 차상 ATP 장치 CPU 보드 인터페이스

CPU 보드에서 지원하는 통신 인터페이스 및 연결되는 장치는 다음 표와 같다.

<표 2-3-5-6> CPU 보드 통신 인터페이스

| 장 비 | 기 능 | 통신 방식 |
|---|---|---|
| STU(RADIO) | CPU - STU간 통신(차상 지상간 통신) (SIL4) | RS-422(외부) |
| CPU간 | CPU A, B간 2채널 계간 통신(SIL4) | RS-485(외부) |
| SDOU | CPU와 SDOU간 직접 통신(SIL4) | CAN |
| BTM | VME BUS INTERFACE | VME BUS |
| VI, VO | VME BUS INTERFACE | VME BUS |

- 차상 ATP 장치 SCC 보드 인터페이스

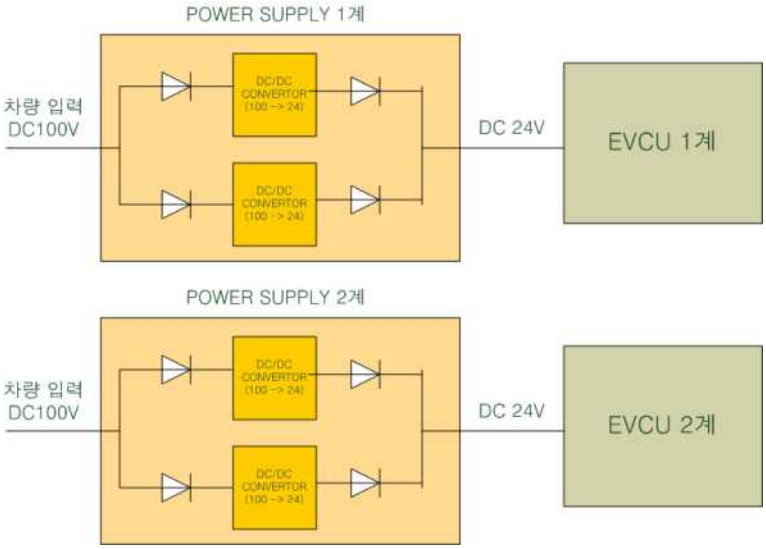
SCC 보드는 차상 ATP 장치와 통신하는 대부분의 외부 장치와 인터페이스 하기 위한 통신 기능을 담당하는 보드이다. SCC 보드에서 지원하는 통신 인터페이스 및 연결되는 장치는 다음 표와 같다.

<표 2-3-5-7> SCC 보드 통신 인터페이스

| 장 비 | 기 능 | 통신 방식 |
|---|---|---|
| 계간 | E-VCU 1,2계간 통신(SIL4) | CAN(PCB) |
| DI, DO | DI, DO와 통신 (SIL0) | CAN(PCB) |
| DMI | DMI와 통신 | RS-422(외부) |
| TCMS | CPU보드와 TCMS간 통신(BTM경유) | RS-485(외부) |
| JRU | SIL0 통신(BTM경유) | RS-485(외부) |
| LOOP | TSI 인증 시 옵션 | RS-485(외부) |
| ATS | DISCRETE 정보 | Hard Wire |

- 차상 ATP장치 전원 인터페이스 설계

차상 ATP 시스템은 차량의 배터리 장치로부터 DC 100[V] 전원을 공급받으며 이를 이용하여 각 모듈 및 I/O 출력 전원을 생성한다.




<그림 2-3-5-26> Main Power Supply 구성 및 연결

## ④ 차량 인터페이스 설계

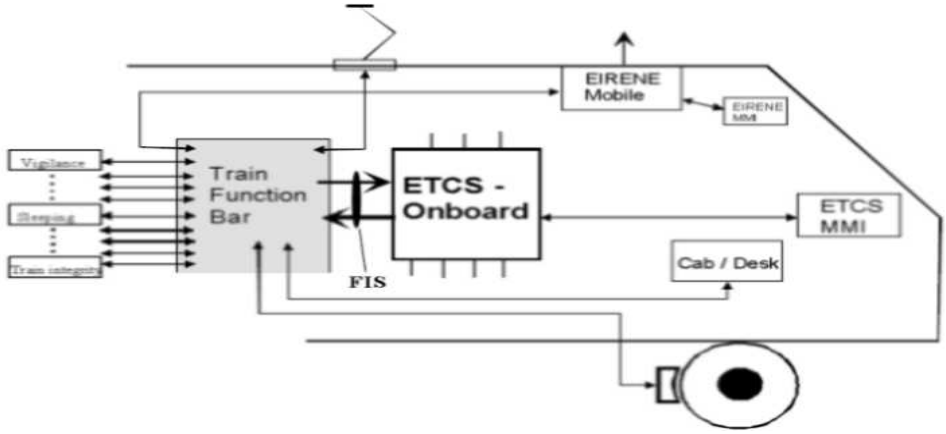
### ㉮ 차량 인터페이스 정의

차량 인터페이스 정의서를 통하여 국내에서 운영되는 KTX-II, 8200대, 8500대의 차상 ATP장치와 차량 간 입/출력 I/O에 대하여 정의하였다.

- 차상 ATP에 인터페이스 되는 차량 IODP 대한 상세 정보 내용 설명
- ETCS Subset-034에 해당 되는 차량 IO 정보 설명 및 강제 사항 설명
- 각 IO정보에 대한 DATA TYPE 설명(INTEGER 또는 BOOLEAN)

### ㉯ 차량 인터페이스 구성

차량 인터페이스는 각 차량의 기능적인 단계, 기술적인 단계, 그리고 물리적인 단계 등을 상세하게 고려해야 한다. 아래의 그림은 차량 인터페이스 구성도를 나타내고 있다. “Train Function Bar”는 각 기능들에 대한 정보의 송/수신 상태를 나타내는 가상의 부분이다.




<그림 2-3-5-27> 차량 인터페이스 구성도

㉰ 차량 인터페이스 IO DATA 정리

차량 IO DATA에 대하여 어느 차량에 사용 되며 SUBSET 034에 어떻게 정의 되어 있는 표 형태로 표시된다.

※ △: 차종에 따라 선택 적용, X : 적용 불필요

| No. | Function Name | V/NV | M/O | I/O | Data Type | Active Status (Values) | ETCS-L2 | Subset 034 | HEMU -430 | KTX-II | 8200 | 8500 | Remark |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.1 | Sleeping | V | M | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | ○ | | | ○ | |
| 3.2 | Isolation | V | M | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | ○ | | | ○ | |
| 3.3 | LZB Störschalter | NV | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | | | | | X |
| 3.4 | Indusi Störschalter | NV | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | | | | | X |
| 3.5 | Service brake status | V | M | Input | Boolean | Applied: 1<br>Release: 0 | | ○ | ○ | | | ○ | |
| 3.6 | Emergency brake(Status_EB_Main_Line_Feedback) | NV | M | Input | Boolean | Applied: 1<br>Release: 0 | | ○ | ○ | | | ○ | |
| 3.6 | Emergency brake(Status_EB_Backup_Line_Feedback) | NV | M | Input | Boolean | Applied: 1<br>Release: 0 | | ○ | ○ | | | ○ | |
| 3.7 | ATS confirmation push button | NV | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | | ○ | | | | |
| 3.8 | Brake pressure | NV | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | | | | ○ | |
| 3.9 | Brake handle(Status_EB_Lever) | V | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | ○ | | | | |
| 3.9 | Brake handle(Status_SB_Lever) | V | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | ○ | | | | |
| 3.10 | Inhibit Passenger Emergency Brake | NV | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | | | | | X |
| 3.11 | Door control(Status_Door) | V | M/O | Input | Boolean | Close: 1<br>Open: 0 | | ○ | ○ | | | | |
| 3.12 | Tilting | NV | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | | | | | X |
| 3.13 | Coupling Status 1 | V | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | ○ | | | | |
| 3.13 | Coupling Status 2 | V | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | ○ | | | | |
| 3.14 | Cold Movement Detector | NV | M/O | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | | | | | X |
| 3.15 | Direction controller position(Forward) | V | M | Input | Boolean | Active: 1<br>Non Active: 0 | | ○ | | ○ | ○ | | |
| 3.15 | Direction controller position(Neutral) | NV | M | Input | Boolean | Active: 1 | | ○ | ○ | | | ○ | |

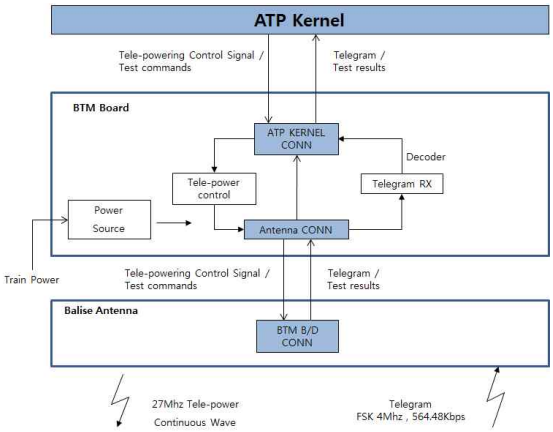
<그림 2-3-5-28> 차량 인터페이스 I/O Data 정리

## ④ BTM 장치 설계

지상 Balise 로부터 수신한 텔레그램을 Subset 036, Subset 026에 정의되어있는 정의되어 있는 패킷과 그 패킷의 파라메터들로 구성된 데이터로 변환하여 차상 ATP 장치로 전송하는 BTM /Balise Antenna를 설계하였다.



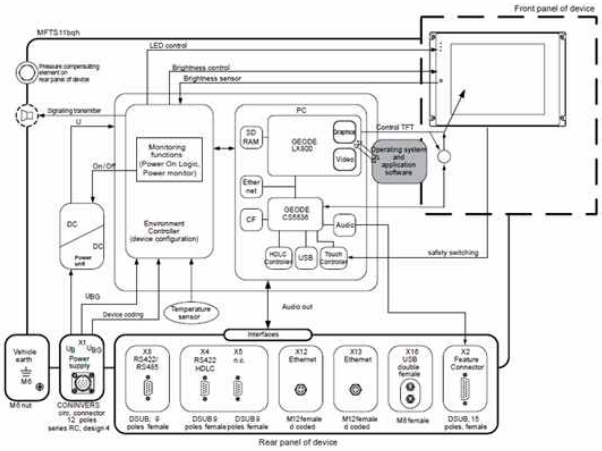

<그림 2-3-5-29> BTM보드 형상



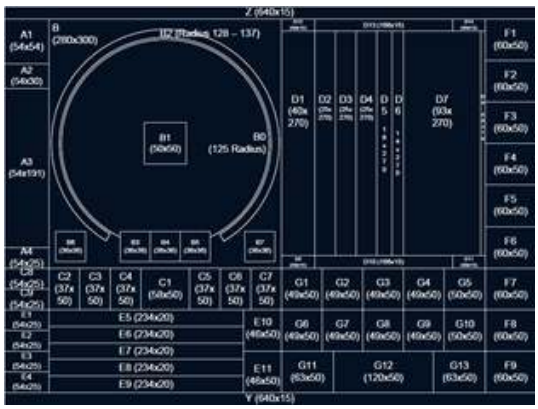

<그림 2-3-5-30> BTM S/W 구성도

## ⑤ DMI 장치 설계

DMI 장치는 ERTMS Subset 015560 V2.3.0 규격을 적용, 운전실에 설치되어 차상 ATP 로부터 전송되는 정보에 따라 차량의 현재속도, 제한속도 등의 운전정보를 현시하고, 운전자로부터 차량정보 등을 입력받아 차상 ATP 장치로 전송한다




<그림 2-3-5-31> DMI 장치 구성도



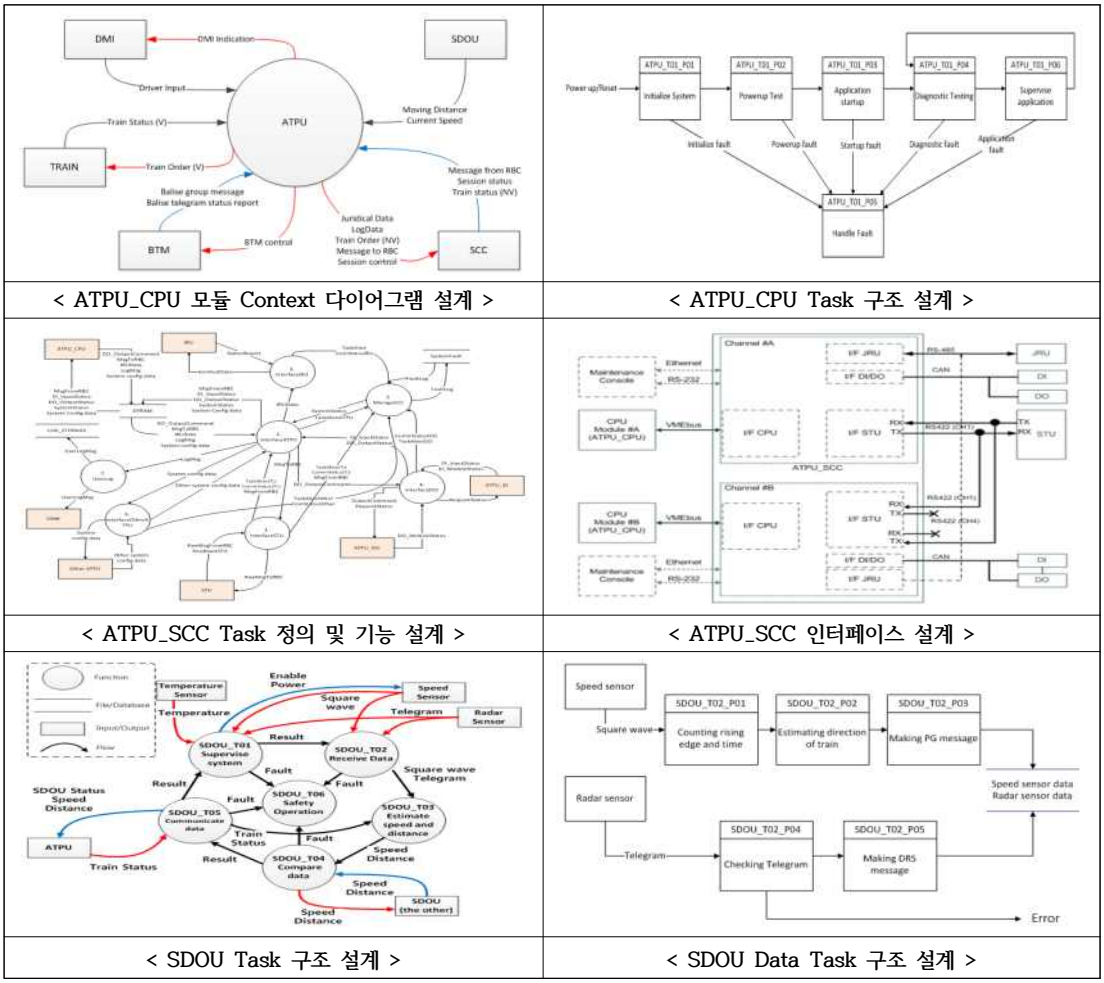

<그림 2-3-5-32> DMI 화면 구성도

## ⑥ 차상 ATP장치 S/W 설계

### ㉮ S/W 구조사양 분석 및 상세설계

- S/W 구조사양서 (EVCU, SDOU) 작성

EVCU 소프트웨어 구조 사양서는 ATPU_CPU와 ATPU_SCC로 2종의 문서로, SDOU 소프트웨어 구조 사양서는 1종의 문서로 작성됨




| < ATPU_CPU 모듈 Context 다이어그램 설계 > | < ATPU_CPU Task 구조 설계 > |
|---|---|
| < ATPU_SCC Task 정의 및 기능 설계 > | < ATPU_SCC 인터페이스 설계 > |
| < SDOU Task 구조 설계 > | < SDOU Data Task 구조 설계 > |

<그림 2-3-5-33> ATPU(CPU/SCC), SDOU 인터페이스 구조 설계

㉯ S/W 소스 코드 검증 보고서 및 COMPONENT 시험

EVCU 소프트웨어 구조 사양서는 ATPU_CPU와 ATPU_SCC로 2종의 문서로, SDOU 소프트웨어 구조 사양서는 1종의 문서로 작성됨.

○ S/W 소스 코드 검증

- Application S/W 소스 코드 검증 규칙(Rules):
  · C Language Coding Style_checklist 사용.
  · MISRA-C:2004 Rules 준수 및
- EN 50128 Standard 준수 확인.

소스코드 검증 결과 심각도가 낮은 허용 가능한 위배를 제외하고 심각도가 높은 규칙에 대한 위배는 모두 제거되었다. 또한 전체 위배 규칙 수도 수정 전과 비교하여 10% 수준으로 제거되었다.

<표 2-3-5-8> S/W 소스코드 검증 규칙 위배 결과

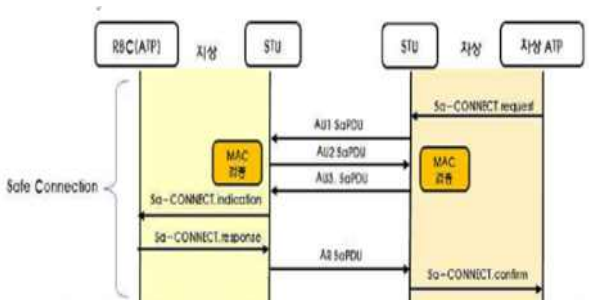
| 심각도 | 위배수(1차) | 위배수(2차) |
|---|---|---|
| 매우높음 | 6 | 0 |
| 높음 | 21 | 0 |
| 낮음 | 1,433 | 0 |
| 매우낮음 | 1,721 | 311 |
| 총계 | 3,181 | 311 |

○ COMPONENT 시험 결과

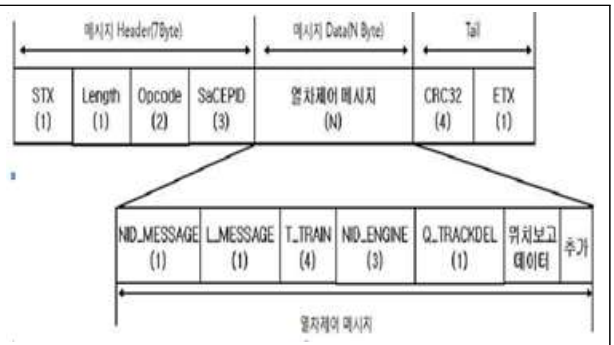
- Controller Tester를 통해 각 모듈별 유효성 검사.
- Controller Tester를 통해 각 모듈별 유효성 검사 (동적 분석).
  · Code Coverage (100%) 확인.
  · 기능 실행 결과 (100%) 확인.

## ⑦ 차상 ATP↔지상 ATP 인터페이스 설계

SUBSET-026, 037, 092-1을 기반으로 무선통신 네트워크를 통한 차상 ATP장치와 지상 ATP장치 간의 교환되는 메시지를 정의하고, 차상 ATP장치와 안전전송장치(STU) 간의 데이터 교환을 위한 통신 프로토콜에 대해 정의.




<차상/지상 ATP장치 간 인터페이스 설계>




<차상 ATP와 안전전송장치 간 메시지>

<그림 2-3-5-34> 차상/지상 ATP장치 간 인터페이스 설계

## ⑧ RAMS 활동

㉮ Plan 문서

총 6종류(SCMP, SSP, SQMP, SQAP, SQAVR, SVVP 문서)의 PLAN 문서 작성.

- 시스템/소프트웨어 형상관리 계획서
- 시스템 안전관리 계획서
- 시스템 품질관리 계획서
- 소프트웨어 품질보증 계획서
- 소프트웨어 품질보증 검증보고서
- 시스템 검증 및 확인 계획서

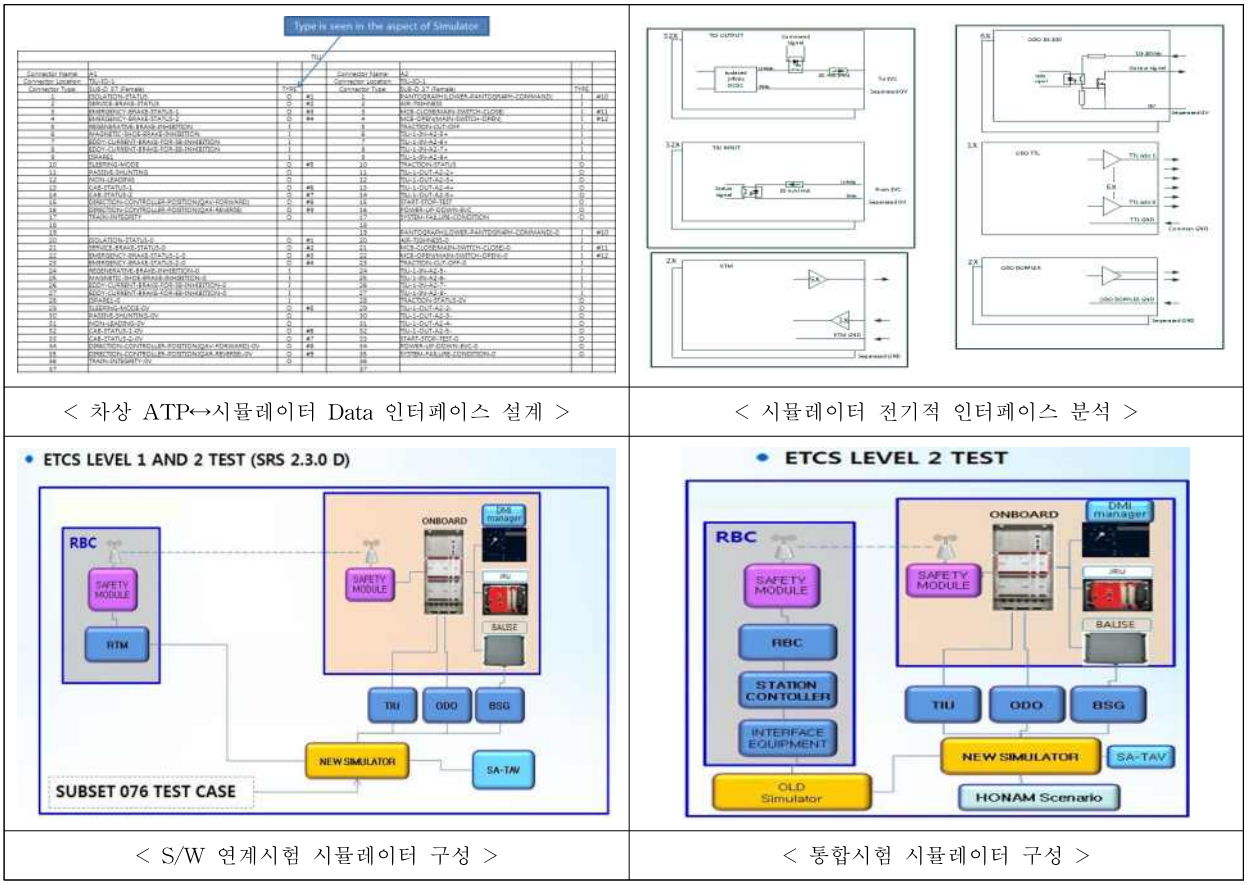
㉯ EVCU SRS, SwRS 문서

EVCU 시스템요구사양서(EVCU SRS) 및 EVCU 소프트웨어요구사양서(EVCU SwRS) 작성.

- EVCU 시스템 요구사양서
- EVCU 소프트웨어 요구사양서

## ⑨ 시뮬레이터 설계 및 제작

차상 ATP의 동작 확인을 위해 유럽표준(Subset-076) 시험 환경에 만족하는 차상시뮬레이터 설계.




< 차상 ATP↔시뮬레이터 Data 인터페이스 설계 >

< 시뮬레이터 전기적 인터페이스 분석 >

< S/W 연계시험 시뮬레이터 구성 >

< 통합시험 시뮬레이터 구성 >

<그림 2-3-5-35> 시뮬레이터 사양 분석 및 설계

## ⑩ 차상 ATP 장치 기능 설명

㉮ 차상 ATP 장치 H/W

○ 주요기능

- 운전 모드 관리

차상ATP 장치는 ATP(ERTMS/ETCS Level 1, 2) 구간, 기존선 구간(STM 장치)에서 운행이 가능하도록 설계되었으며, 차상장치와 지상장치 간의 인터페이스 정보에 따라서 각 모드간의 전환 제어를 수행한다.

- 속도 제어

차상ATP 장치는 ERTMS/ETCS SRS 2.3.0d의 사양에 따라서 차량의 과속 제어를 수행하고, 차량을 안전하게 방호한다. 과속 제어시의 시청각 정보 또한 제공한다.

- 절연구간 제어

지상에 Euro Balise 및 지상 ATP장치를 통해서 절연구간 신호를 수신하면, 차상ATP 장치는 절차에 따라 제어명령을 차량으로 전송한다.

- 차량 인터페이스 관리

차상 ATP장치는 차량과의 인터페이스 관리 기능을 가지며 MVB 및 Vital Input/Output을 통해서 차량과 인터페이스 된다.

- 차량 위치 및 속도 관리

차상ATP 장치는 속도센서와 도플러센서를 사용해서 아래와 같이 차량의 위치 및 속도 정보를 계산한다. 계산된 위치 정보와 속도정보는 무선통신장치를 통해 지상장치로 전송한다.

- 차상 Parameter 관리

차상 Parameter는 차량 운영을 위해서 필요한 차량의 Data를 말하며, 검수원에 의해서 입력되는 차량 구성 데이터 등의 차량 Parameter와 속도연산 장치를 위한 차륜경 등의 Configuration data로 구성된다.

○ 주요사양

<표 2-3-5-9> 차상 ATP장치 주요사양

| 구 분 | 구성 및 규격 | 비 고 |
|---|---|---|
| Mechanism Rack | 구성 장치 : ATP 장치, BTM, SDU, STM, 전원장치, Switch, I/O 커넥터 | |
| | 사이즈 : 540(W) x 947(H) x 550(D)mm | |
| 입력전원 | 110 VDC (+66 ~ +154 VDC) | |
| Interface | BTM | VME Bus |
| | SDU | CAN |
| | JRU | RS-485 |
| | DMI | RS-422 |
| | TCMS | RS-485 |
| | STM | Hard Wire |
| | 차상 안전전송장치 | RS-422 |
| 온도 | -40 ~ +85 ℃ | |

○ 특징

- Vital 시스템으로, 열차 방호, Dynamic Speed Profile 생성, 위치 정보 전송(Level 2) 기능.
- ATP(ETCS Level 1, 2)/ATS 통합 구조로 유지보수성 증대.
- 2 out of 2 완전 이중 구조로 높은 안전성 및 99.99994[%] 가용성 확보.
- 차상 ATP장치는 ATP(BTM 포함), DMI, ATS, SDOU, JRU로 구성.
- ETCS 요구사항(SRS) 2.3.0d 적용.
- 인증 활동을 통한 안전성 확보. (2015.12 SIL4 인증 예정)

○ 우수성

- 유럽 표준 규격에 만족한 제품 개발로 상호호환 가능.
- 기존 간선 신호 ATS, ATP(ETCS Level 1) 구간 운행 가능.

㈏ Balise Antenna

Balise Antenna는 열차의 하부에 장착되어 선로(Rail) 상에 설치되어 있는 지상 안테나인 Balise와 열차운행에 필요한 다양한 정보를 주고받는 역할을 한다. 또한 Balise Antenna는 BTM 보드와 RS-485 통신을 통하여 데이터를 송, 수신한다.

○ 주요기능

- 27.095[MHz] Tele-Power Loop

Balise가 동작하는데 필요로 하는 전력을 Magnetic Flux의 형태로 전달하는 기능을 한다.

- Up-Link 루프

Telegram Pick up을 위한 4.234[MHz] Up-Link 루프 안테나 이다. 이 루프는 Balise가 송신하는 Telegram 신호를 수신하는 역할을 한다.

- Tele-Power Test Loop 안테나

이 루프는 Tele-Power 루프가 방사하는 Tele-Power 신호를 Pick up 하여 이 신호의 특성 등을 해석하여 Balise Antenna가 송신하고 있는 Tele-Power 신호의 유효성을 검사하는데 사용된다.

- Power Amplifier

Balise Antenna의 내부에 구성되어 27.095[MHz] Tele-Power 루프에 직접 Tele-Power 신호를 유기하는 역할을 한다. Balise Antenna의 Tele-Power 루프가 Balise를 동작시키기에 충분한 전력을 전달하기 위해서는 Power Amplifier는 매우 큰 Gain을 가져야 한다.

- Demodulator

Demodulator의 가장 중요한 기능은 Balise Antenna의 내부에 장착되어 Balise에서 수신된 Telegram 신호를 디지털신호로 복조하는 역할을 한다. Up-Link 루프와 연결된 Demodulator는 안테나 루프로부터 Balise가 송신하는 Telegram 신호를 전달 받아 필터링하고 필터링된 RF 신호를 복조하여 1023bit 또는 341bit의 bit stream으로 복조 한다

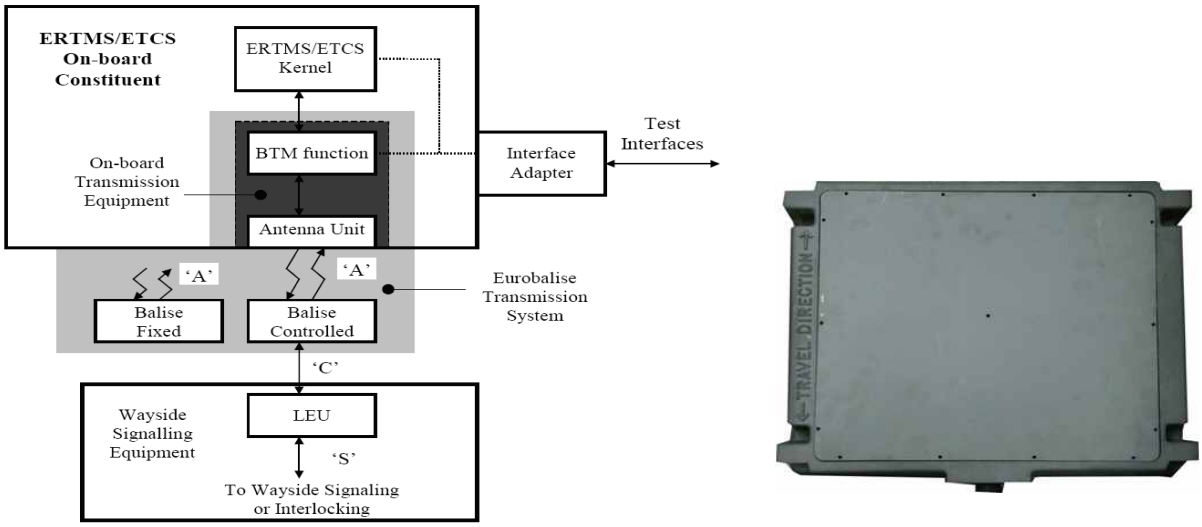
○ 주요사양

- 27.095[MHz] Tele-Power Loop

루프는 Balise가 동작하는데 필요로 하는 전력을 Magnetic Flux의 형태로 전달하는 기능을 한다.

<표 2-3-5-10> Balise Antenna 주요사양

| 구분 | Value | 허용오차 | 최소/최대 | Accuracy |
|---|---|---|---|---|
| Modulation Type | FSK | - | - | - |
| Centre Frequency | 4.234[MHz] | ±200[kHz] | 4.034[MHz]/4.434[MHz] | 20[kHz] |
| Frequency Deviation | 282.24[kHz] | ±5[%] | 268.13[kHz]/296.36[kHz] | 3.0[kHz] |
| Data Rate | 564.48[kbit/s] | ±2.5[%] | 550.36[kbit/s] / 578.59[kbit/s] | 0.01[%] |
| Amplitude Jitter | 0[dB] | ±1.5[dB] | | 0.15[dB] |




<그림 2-3-5-36> Balise 안테나 인터페이스 구성도 및 형상

㉮ BTM 보드

BTM 보드는 Balise Antenna로부터 복조(Demodulate)된 Telegram을 수신하여 이를 복호화(Decode)하고 CPU 보드(ATP Kernel 탑재)로 VME 버스를 통하여 전달하는 기능을 한다. 또한 Balise Antenna로 전송할 Tele-power 제어 신호를 송신하여, Balise Antenna로부터 데이터를 Encoding 할 수 있도록 한다.

○ 주요기능

- ATP Kernel과의 통신 기능

ATP Kernel로부터 Tele-Powering 명령을 수신하고, Telegram을 ATP Kernel로 전송한다.

- BTM Antenna와의 통신 기능

BTM Antenna로 Tele-Powering 명령을 전송하고, Telegram을 수신한다.

- Telegram 복호화(Decode) 기능

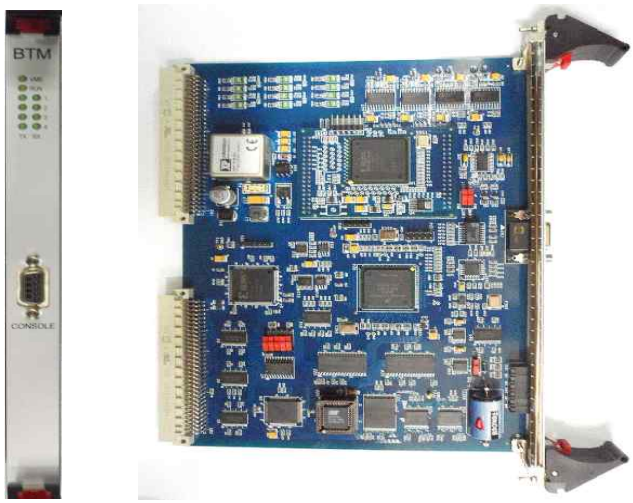
BTM Antenna에서 복조되어(Demodulate) 전달된 Telegram을 복호화(Decode)하는 기능이다.

- BTM Antenna의 정보 저장 기능

○ 주요사양

<표 2-3-5-11> BTM 보드 주요사양

| 구분 | | 규격 | 비고 |
|---|---|---|---|
| CPU | | MPC 860 66[MHz] | |
| Memory | Boot Flash | 512[KB] | System software |
| | | (512K x 8bits) * 1 | |
| | FLASH | 32[MB]* 1(16 Bit) | Application |
| | SRAM | 8[MB]* 2(16 Bit) | Back-up memory |
| | SDRAM | 256[Mbit] | |
| | | (32[MB] x 16bits) | |
| | DPRAM | 16[KB](8K x 16bits) | DUAL PORT RAM |
| Comm. | Console | MAX3250 | ISOLATION / Monitoring |
| Port | RS-485 | ADM2582E* 3 | Photo Isolated |
| LED | | 3Φ* 6 | 각종 동작상태를 표시 |
| PLD | | XC95288 *1 | |
| | | XC9572*1 | |
| PCB SIZE | | 233.3 * 160[mm] | |




<그림 2-3-5-37> BTM 보드 형상

㉮ DMI 장치

DMI장치는 운전실에 설치되어 차상 ATP 장치로부터 전송되는 정보에 따라 차량의 현재속도, 제한속도 등의 운전정보를 현시하고, 운전자로부터 차량정보 등을 입력받아 차상 ATP장치로 전송한다.

○ 주요기능

- 정보 현시 기능
- 알람 기능
- 데이터 수집 기능
- ERTMS/ETCS 표준 규격 준수
  · ERTMS/ETCS 표준 GUI 제공
  · Sound 기능 제공
- 외부 인터페이스 통신 기능 제공.

○ 주요사양

<표 2-3-5-12> DMI장치 주요사양

| 구분 | 규격 |
|---|---|
| 제어 프로세서 | AMD GEODETMLX800processor,clockfrequency |
| | 500[MHz], 256[MByte] DDR RAM |
| Memory | 1 MByte Flash memory for BIOS and Setup data, |
| | backup-up battery optionally |
| | CompactFlash, 2[GB] |
| Graphics controller | 32[MB] Graphics memory, shared memory |
| Display | Activ Matrix colour display (TFT) with background |
| | lighting, 640 x 480 pixel, 10.4″ |
| | Touch panel, resistive |
| Operating temperature | -25～+70[℃] |
| Interface | RS-422 (HDLC),RS-422/485,Ethernet x 2 |
| Power Supply | 110[VDC] |
| Protection class | IP54 |

<표 2-3-5-13> DMI장치 형상 및 화면

| 사진 | 화면 |
|---|---|
|  |  |

⑪ 안전성 검증

㉮ 단계별 안전성(SIL) 검증

○ 요구사항 분석 평가

○ 주요사양시스템 개념 평가 보고서 (Concept Audit Report) 작성

- 개요

· 차상 ATP장치의 개념 단계에 대한 1차 Audit 실시.

· EN 규격에 따라 차상 ATP장치의 상태 점검.

· Plan 문서 및 차상 ATP장치의 Safety 개념에 대한 시스템 요구사항 및 구조에 대한 감사.

- 일정

· 기간: 2014.06.02.~2014.06.03. (2일간)

· 장소: 현대로템(주) 의왕연구소

- 대상 문서

· Plan 문서 6종, SRS 문서 1종, SSRS 문서 1종, SAS 문서 1종.



THE 1ST AUDIT REPORT

ETCS-L2
Onboard EVCU

Client:
HYUNDAI ROTEM COMPANY
Korea

Project-No.: 74938733
Revision: 1.0 dated 23th June 2014

TÜV SÜD Rail GmbH
Barthstrasse 16, München,
80339, Germany

This document may not be reproduced, in full or in part, without prior written permission.

10 Summary

The ISA visited for 2 days HRC's R&D centre and talked to the responsible engineers. A summary shall be given below.

10.1 System architecture and safety principles

The EVCU system architecture is based on fail-safe mechanism which is compliant with EN 50129. Concept of safety principles is set up and after proper implementation the safety requirements can be fulfilled.

10.2 Hardware Design

The hardware design of the EVCU (especially for ATPU, SDOU and SCC) is in principle compliant with SIL 4 requirements. The architecture of BTM, which is a part of EVCU system, is not reviewed during the audit. It will be checked after the architecture design is prepared.

It is recommended as next step to document the "safety concept" with the defined failure detection measures, which is an important input for the further SW development. Furthermore the HW-related "isolation concept" shall be finally documented.

10.3 Software Design

The functional software concept has been presented. Based on the above mentioned "safety concept" all SW-related safety features can be implemented. Furthermore the safety-related source code shall be designed / implemented to "expect' failures in its own environment or use outside nominal or expected conditions, and behave in a predefined manner. If the SW development (design, implementation, testing, verification and validation) will be continued according to the existing and already proofed planning documentation the planned SwSIL-conformity will be reached.

10.4 Documentation

According to railway safety standards (EN 50126, EN 50128, EN 50129) a complete and proper documentation is mandatory. This documentation is needed for an Independent Safety Assessment to confirm the fulfilment of the safety targets.

Within the ETCS-L2 project the documentation is planned according to EN standards, the requirements are defined so far, the documentary evidence is under preparation. After finalizing all documentation the assessment will be completed.

(Created: Matthias Henze - TÜV) (Reviewed: Jung-Wook Seo - TÜV)

< 1st Audit Report >

<그림 2-3-5-38> 1st Concept Audit Report



< 1st Concept Audit 1일차 >

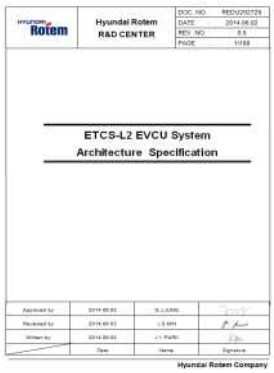


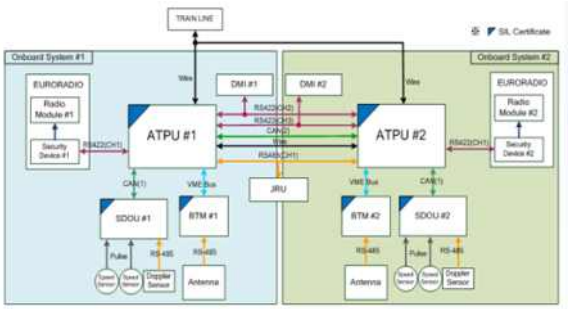
< 1st Concept Audit 2일차 >

<그림 2-3-5-39> 1st Concept Audit 실시 사진

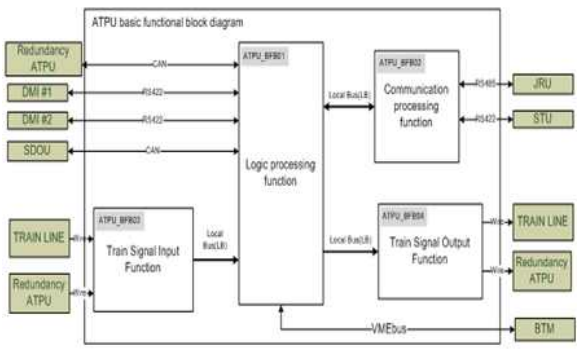
○ EVCU 구조 사양 분석

<표 2-3-5-14> 차상 ATP장치 구조사양서

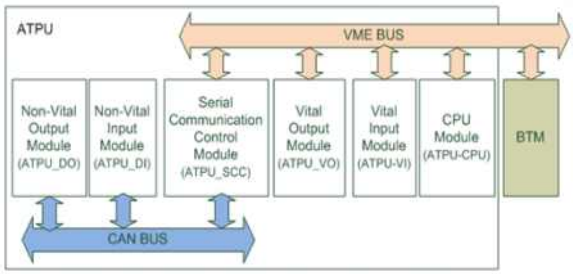
| 문서명 | 표지 | 내용 | 상태 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 차상 ATP장치 구조사양서 |  | ▪ 시스템 개요<br>▪ 시스템 구조 설명<br>- ATPU 구조<br>- SDOU 구조<br>▪ ATPU 단일 채널 구조<br>▪ ATPU 합성 Fail-Safety 구조<br>▪ SDOU 합성 Fail-Safety 구조 | 완료 | |



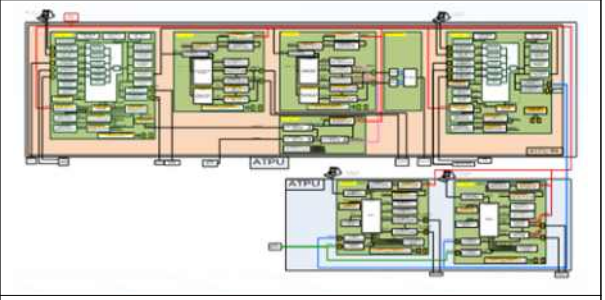

< 차상 ATP 시스템 구조 설계 >



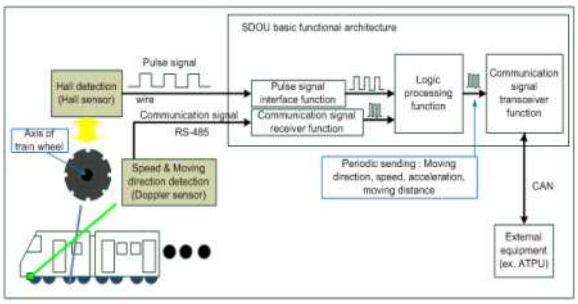

< ATPU 기능 다이어그램 설계 >



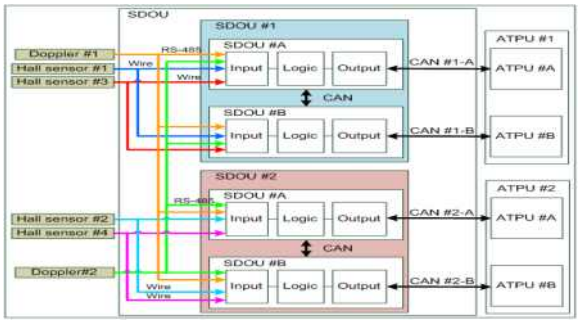

< ATPU 모듈 인터페이스 설계 >



< ATPU 단일 채널 구조 설계 >




< SDOU 기본 기능 구조 >




< SDOU 외부 인터페이스 구조 설계 >

<그림 2-3-5-40> 차상 ATP장치 구조 설계

○ 산출물 Verification

- S/W 구조 및 설계 검증보고서 및 컴포넌트 설계 검증보고서 작성

  * 컴포넌트 설계 검증보고서는 S/W 모듈 설계 검증보고서와 동일.

- 소프트웨어 구조 및 설계 검증보고서(SwADVR) Verification 활동

<표 2-3-5-15> SwADVR Verification 활동 결과

| Verification Document | Issue | Total Raised | Open | Closed |
|---|---|---|---|---|
| SwADS | 1 | 20 | 20 | 0 |
| | 2 | 1 | 0 | 21 |

- 소프트웨어 모듈 설계 검증보고서(SwMDVR) Verification 활동

<표 2-3-5-16> SwMDVR Verification 활동 결과

| Verification Document | Issue | Total Raised | Open | Closed |
|---|---|---|---|---|
| SwMDS | 1 | 18 | 18 | 0 |
| | 2 | 1 | 0 | 19 |

* Issue: Verification 활동 차수 / Total Raised: 발견된 지적사항 / Open: 지적사항 항목수 / Closed: 지적사항 종료수

○ RAMS 분석

○ RAM 분석보고서 작성

- SRS/SwRS RTM(Requirement Traceability Matrix) 작성

· SRS/SwRS ID 항목별 추적성 정리.

<표 2-3-5-17> 차상 ATP장치의 RAM 분석 결과

| Item | System | Target Value | Analysis Value | Conformity (Yes/No) |
|---|---|---|---|---|
| Reliability (MTBF) | EVCU System | 60,000(hours) | 65,406(hours) | Yes |
| | ATPU Sub-System | 100,000(hours) | 100,865(hours) | Yes |
| | SDOU Sub-System | 200,000(hours) | 304,305(hours) | Yes |
| | BTM Sub-System | 200,000(hours) | 632,925(hours) | Yes |
| | Main Power Sub-System | 200,000(hours) | 1,310,616(hours) | Yes |
| Maintainability (MTTR) | EVCU System | 0.5(hours) | 0.43(hours) | Yes |
| | ATPU Sub-System | 0.5(hours) | 0.17(hours) | Yes |
| | SDOU Sub-System | 0.5(hours) | 0.14(hours) | Yes |
| | BTM Sub-System | 0.5(hours) | 0.14(hours) | Yes |
| | Main Power Sub-System | 0.5(hours) | 0.10(hours) | Yes |
| Availability | EVCU System | 99.99917(%) | 99.99934(%) | Yes |
| | ATPU Sub-System | 99.99950(%) | 99.99983(%) | Yes |
| | SDOU Sub-System | 99.99975(%) | 99.99995(%) | Yes |
| | BTM Sub-System | 99.99975(%) | 99.99998(%) | Yes |
| | Main Power Sub-System | 99.99975(%) | 99.99999(%) | Yes |

○ 부품(Component) FMEA 분석보고서 작성

- 각 보드에 대한 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis; 고장형태 영향분석)

분석 완료.

<표 2-3-5-18> 차상 ATP장치 각 보드 Component FMEA 분석 결과

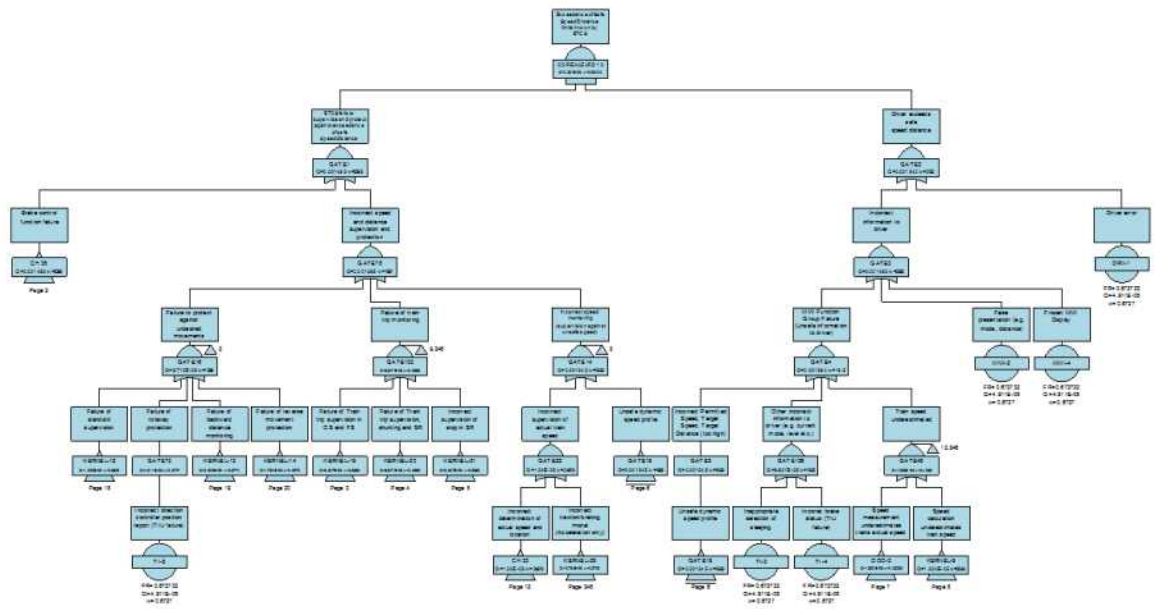
| Board Name | Basic Failure Rate Fits ($10^{-9}$) (MTBF) |
|---|---|
| CPU Board | 1663.9933 |
| SCC Board | 1642.7393 |
| VI1(24V) Board | 1283.8584 |
| VI2(100V) Board | 747.9502 |
| VO Board | 848.2622 |
| VOR Board | 76.3323 |
| DI Board | 1291.8810 |
| DO Board | 999.7545 |
| Mother Board(BP) | 129.7290 |
| SDOU Board | 2464.6312 |
| BTM Board | 1184.9750 |

○ FTA 분석보고서 작성

- FTA Hazard 분석 Tool: Reliability Workbench (Isograph) (v11.0.33.0)
- FTA 분석 결과:

<표 2-3-5-19> EVCU FTA Result

| FTA ID | Fault Tree Description | Unavailability (Q) | Frequency (w(FIT)) | Failure Rate/hour | Remark |
|---|---|---|---|---|---|
| CORE HAZARD 10 | Exceedance of Safe Speed /Distance limits known by ETCS | 0.000002301 | 0.06426 | 6.43E-11 | |



<그림 2-3-5-41> Fault Tree

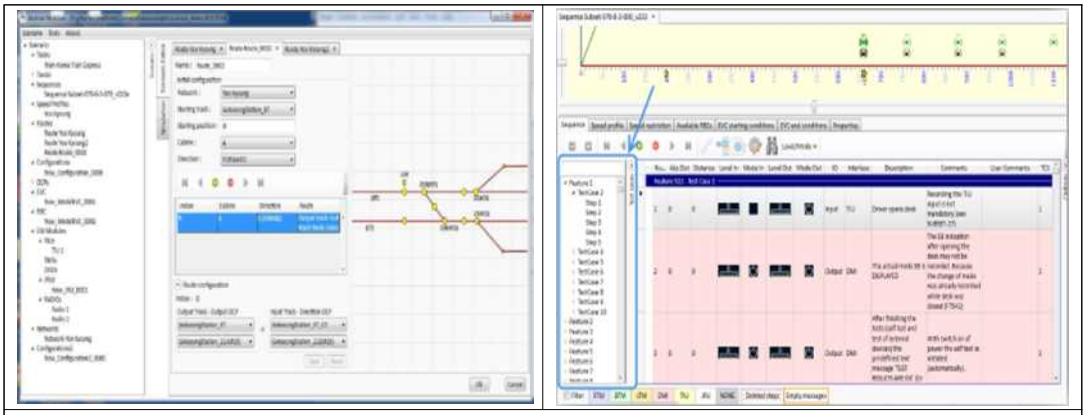
○ 차상 ATP 시뮬레이터 검증

○ 차상 ATP 시뮬레이터 입고 : 2014. 07. 09.

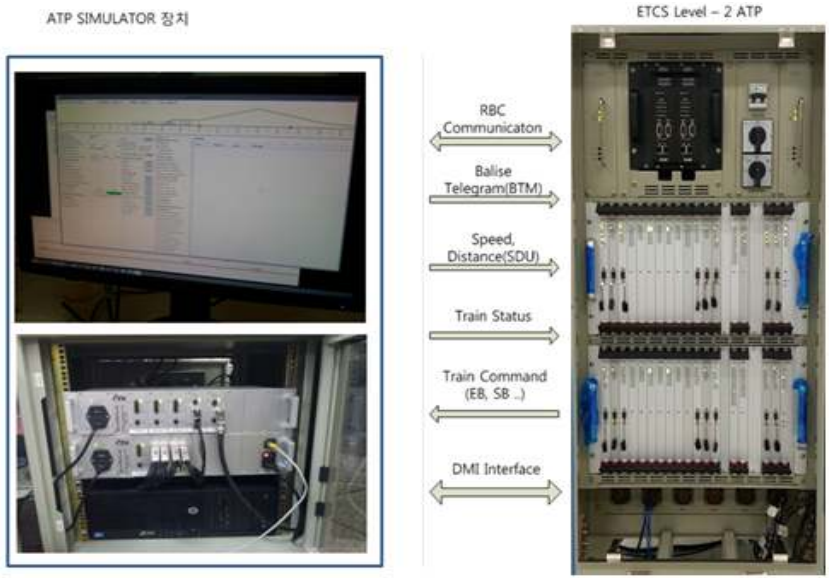


<그림 2-3-5-42> 시뮬레이터 입고 및 시험실 설치

○ 차상 ATP 시뮬레이터 설치 및 교육 실시 : 2014. 07. 09. ~ 2014. 07. 11



< 차상 ATP 시뮬레이터 기능 구현 >




< 차상 ATP장치↔시뮬레이터 간 모듈별 단위시험 완료 >

<그림 2-3-5-43> 시뮬레이터 기능 검증

○ 차상 ATP장치 단위시험

단위시험 주요 항목: 외관 검사, 전원 검사, Oscillator 검사, 동작 검사 등.

<표 2-3-5-20> 차상 ATP장치 단위시험 결과

| 순 | 항목 | 시험 진행 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 |  | 양호 |
| 2 | 전원 검사 |  | 양호 |
| 3 | Oscillator 검사 |  | 양호 |
| 4 | 동작 검사 |  | 양호 |

< CPU 보드 시험 결과 >

| 순 | 항목 | 시험 진행 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 |  | 양호 |
| 2 | 전원 검사 |  | 양호 |
| 3 | Oscillator 검사 |  | 양호 |
| 4 | 동작 검사 |  | 양호 |

< SCC 보드 시험 결과 >

| 순 | 항목 | 시험 진행 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 |  | 양호 |
| 2 | 전원 검사 |  | 양호 |
| 3 | 동작 검사 |  | 양호 |

< DI 보드 시험 결과 >

| 순 | 항목 | 시험 진행 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 |  | 양호 |
| 2 | 전원 검사 |  | 양호 |
| 3 | 동작 검사 |  | 양호 |

< DO 보드 시험 결과 >

| 순 | 항목 | 시험 진행 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 |  | 양호 |
| 2 | 전원 검사 |  | 양호 |
| 3 | Oscillator 검사 |  | 양호 |
| 4 | 동작 검사 |  | 양호 |

< VI1(24V) 보드 시험 결과 >

| 순 | 항목 | 시험 진행 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 |  | 양호 |
| 2 | 전원 검사 |  | 양호 |
| 3 | Oscillator 검사 |  | 양호 |
| 4 | 동작 검사 |  | 양호 |

< VI2(100V) 보드 시험 결과 >

| 순 | 항목 | 시험 진행 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 |  | 양호 |
| 2 | 전원 검사 |  | 양호 |
| 3 | Oscillator 검사 |  | 양호 |
| 4 | 동작 검사 |  | 양호 |

< VO 보드 시험 결과 >

| 순 | 항목 | 시험 진행 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 |  | 양호 |
| 2 | 전원 검사 |  | 양호 |
| 3 | Oscillator 검사 |  | 양호 |
| 4 | 동작 검사 |  | 양호 |

< SDOU 보드 시험 결과 >

| 순 | 항목 | 시험 진행 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 |  | 양호 |

< VOR 보드 시험 결과 >

* VOR 보드의 단위시험 항목은 외관 검사만 해당됨. (전원 검사/Oscillator 검사/동작 검사 등은 통합 시험에 해당)

○ 공인기관 차상 ATP장치 환경시험

단위시험 주요 항목: 외관 검사, 전원 검사, Oscillator 검사, 동작 검사 등.

<표 2-3-5-21> 차상 ATP 주요 시험 항목

| 순 | 시험 항목 | 시험 조건 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | 온도 시험 | EN50155 (EN60068-2-1,2,30) | 양호 |
| 2 | 진동 시험 | EN50155 (EN61373 1-A) | 양호 |
| 3 | EMC | EN50155 (EN50121-3-2) | 양호 |
| 4 | Water tightness (BTM 안테나) | EN60529 (IPx7) | 양호 |
| 5 | Insulation Test | EN50155 (Withstand votage & insulation resistance) | 양호 |
| 6 | 과전압 | EN 50155 (Rated voltage x 1.4) | 양호 |

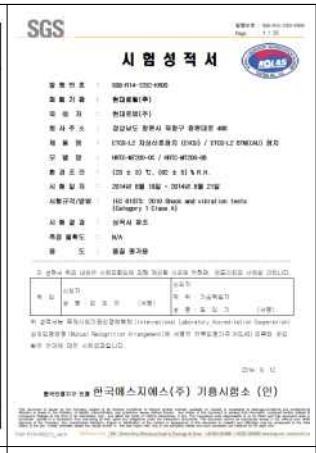
<표 2-3-5-22> 차상 ATP장치 환경시험 보고서




< 전자파 시험 >




< 온도 시험 >




< 진동 시험 >



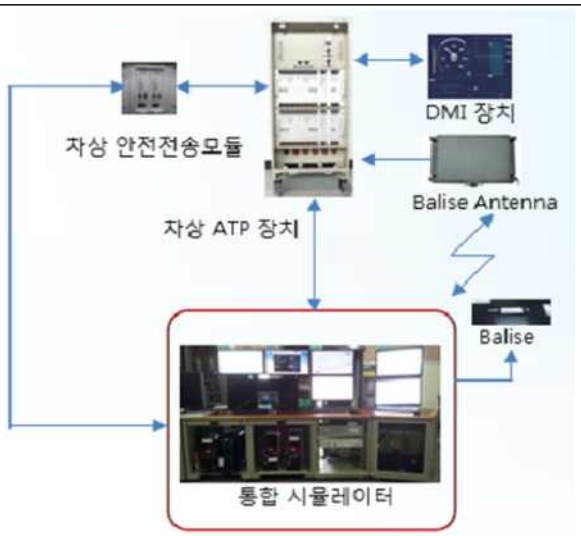

< 방수 시험 >

○ 차상 ATP장치 S/W 연계시험 완료

- 차상 ATP장치의 소프트웨어의 구축 완료 후, 통합 시뮬레이터와 연동하여 지상 발리스 데이터 해석, 안전전송장치를 통한 차/지상간 통신연결 및 데이터 송수신, 이동권한 수신 및 해석, 레벨전환 명령 수신 및 해석 등의 기능을 시험.

- 통합 시뮬레이터를 통하여 생성된 지상 발리스 정보 및 가상 RBC 정보를 해석하여, 각 정보에 맞는 레벨로의 변경 및 이동권한에 대한 해석이 이루어짐을 확인.

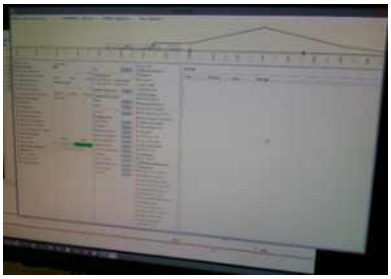
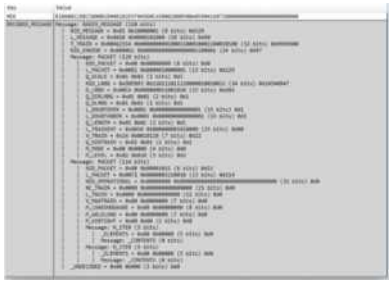
○ 차상 ATP장치 S/W 연계시험 구성도




- 차상 ATP장치↔시뮬레이터(가상 RBC)간 기능 검증.
  - ☞ 열차위치 정보, 운영모드, 운영레벨 처리 및 전송.
  - ☞ 레벨전환 명령, 선로정보, 열차 이동권한 수신 및 처리 확인.
- 차상 ATP장치↔시뮬레이터(EIU) 간 인터페이스 및 기능 검증.
  - ☞ Train I/O 출력신호 확인.
  - ☞ Train I/O 입력신호, 속도신호, 발리스 데이터 수신 및 처리 확인.
- 차상 ATP장치↔안전전송모듈 간의 인터페이스 검증.
  - ☞ Subset-026/Subset-037의 메시지 및 패킷 형태 준수 확인.

<그림 2-3-5-44> ATP장치 S/W 연계시험 구성

○ 차상 ATP장치 S/W 연계시험 검증

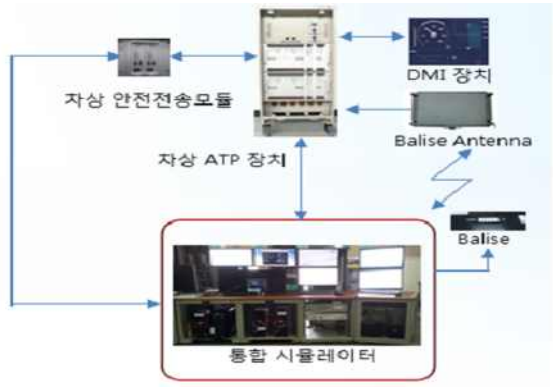
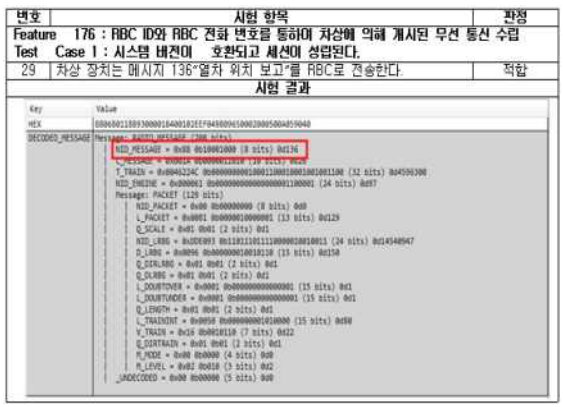
| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| < 시뮬레이터 설치 > | < 발리스 인터페이스 시험 > | < 속도신호 수신 시험 > |
|  |  |  |
| < S/W 연계시험 > | < 이동권한 수신 및 해석 > | < 로그생성 및 데이터 분석 > |

<그림 2-3-5-45> 차상 ATP장치 소프트웨어 연계시험 검증

○ 차상 ATP장치 S/W 연계시험 보고서 작성

- 차상 ATP장치↔시뮬레이터(가상 RBC) 간 기능 검증.
- 차상 ATP장치↔시뮬레이터(EIU) 간 인터페이스 및 기능 검증.
- 차상 ATP장치↔안전전송모듈 간 인터페이스 검증.

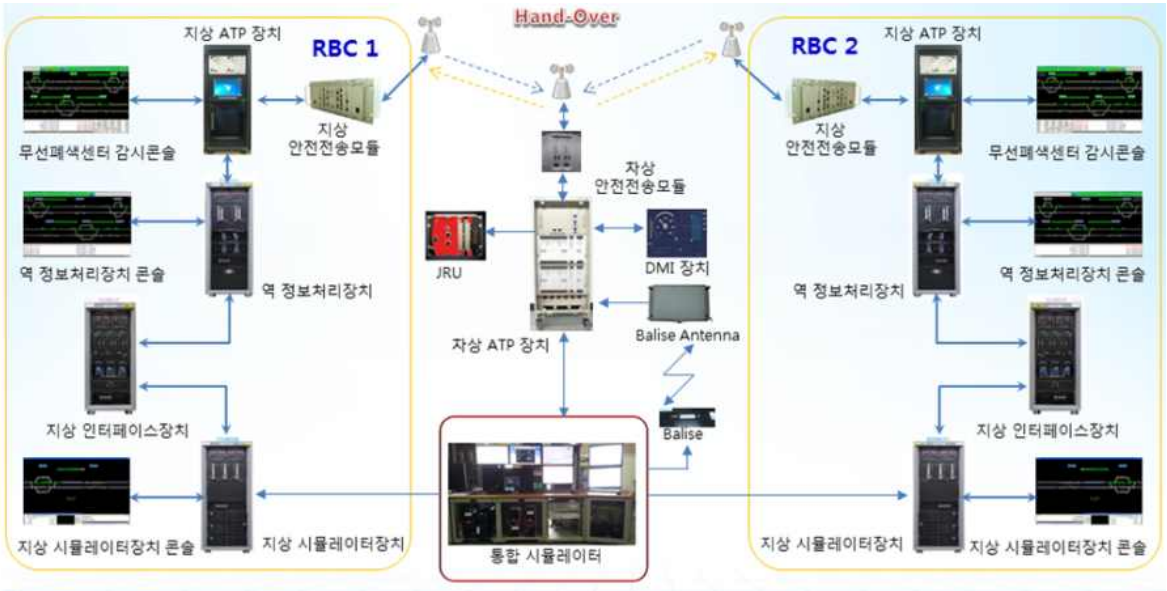
○ 차상 ATP장치 S/W 연계시험구성 및 시험 결과

| | |
|---|---|
|  |  |
| < S/W 연계 시험 구성도 > | < S/W 연계시험 결과 > |

<그림 2-3-5-46> S/W 연계시험 구성 및 시험 결과

○ 차상 ATP장치 통합시험 완료

- 차상 ATP장치의 성능을 검증하기 위하여, ERTMS/ETCS의 Subset 076 Test Plan에 적용하여 차상 ATP장치의 성능을 시험 및 평가.
- 통합시험 환경에서 선별된 Test Case의 실행을 위해 작성된 시험절차서를 기반으로 결과가 수행되는지 유무를 판단하여 시스템 성능을 검증.
- 시험절차서는 ERTMS/ETCS Level2 시스템의 성능 검증을 위해 모든 Test Case 및 시스템 요구사항(SRS)를 선별하여 시험 절차서가 작성되었고, 시험절차서에 정의된 열차의 상태 정보 및 메시지가 RBC로 전송되면, 각 전송된 메시지에 따라 차상 ATP장치 및 RBC가 동작하는지를 시험.



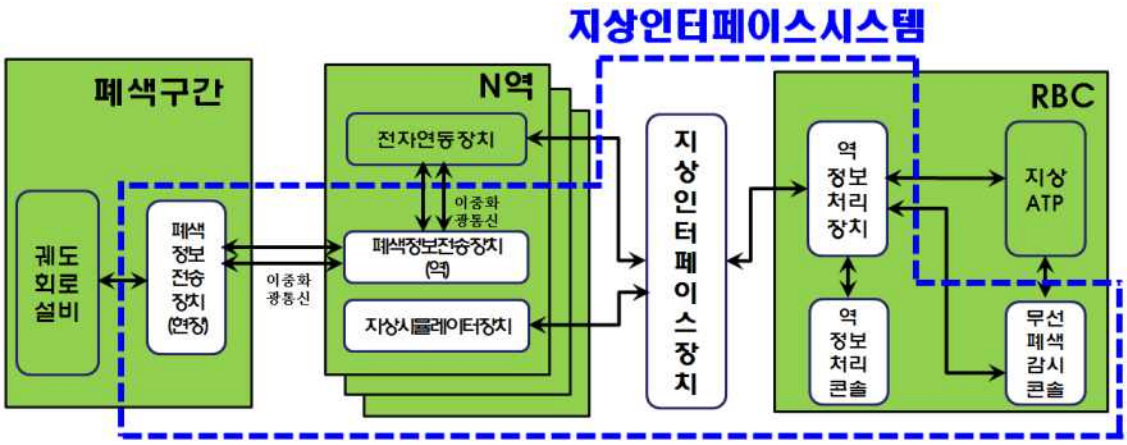

<그림 2-3-5-47> 차상 ATP장치 통합시험 구성

(3) 유럽표준 고속철도 열차제어 지상 인터페이스 기술개발

본 연구는 유럽형 열차제어시스템(European Train Control System : ETCS)의 Level 2 기반 시스템을 구현하기 위해 ETCS Level 2 지상 신호설비인 무선폐색센터(Radio Block Center : RBC)와 국내의 기존 지상 신호 설비 간 상호 호환 가능한 지상인터페이스시스템을 개발하기 위한 연구이다.

(가) 지상인터페이스시스템

① 지상인터페이스 시스템 개요




<그림 2-3-5-48> ETCS Level 2 지상인터페이스시스템 구성도

지상인터페이스시스템은 각 장치의 위치 및 기능에 따라 다음과 같이 분류된다. 첫째, ETCS Level 2 기반에서 역 간 폐색 신호기가 없어짐에 따라 궤도회로 정보에 따른 폐색 정보를 전자연동장치로 전송하기 위한 폐색정보전송장치가 있다. 폐색정보전송장치는 선로변 현장에 위치하는 현장장치와 해당역의 신호계전기실에 위치하는 역장치로 구분된다. 둘째, 통합시험실 시험을 위해 전자연동장치의 기능을 대신해서 구현된 지상시뮬레이터장치가 있다. 셋째, 기존의 전자연동장치와 RBC간 상호 호환성을 구현하기 위한 지상인터페이스장치가 있다. 넷째, RBC 내의 지상 ATP와 지상인터페이스장치 간 인터페이스 기능 구현을 위한 역정보처리장치와 지상ATP 및 역정보처리장치의 정보를 실시간 모니터링 할 수 있는 역정보처리콘솔 및 무선폐색감시콘솔이 있다. 한편, 지상인터페이스시스템과는 별도로 통합시험실에서의 검증을 위한 차상시뮬레이터와 차상시뮬레이터용 DMI를 구축하였다.

② 시스템 요구사항

지상인터페이스시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 구현하기 위해 다음과 같이 각 장치별 기능 및 기능에 따른 동작 요구사항을 정의하였다.

㉮ 폐색정보전송장치

- 현장장치는 선로변에 위치해야하고 선로변 궤도회로로부터 궤도점유 정보를 수신해야한다.
- 현장장치는 역장치로 궤도점유 정보 및 고장 정보를 안정적으로 송신해야 한다.
- 역장치는 신호기계실에 위치해야하고 현장장치로부터 궤도점유 정보 및 고장 정보를 수신하여 전자연동장치로 송신해야한다.
- 별도의 모니터링설비를 구축하여 역장치의 궤도점유 정보 및 고장 정보를 모니터링설비로 송신해야한다.

㉯ 지상시뮬레이터장치

- 별도의 표시제어부를 구성하여 운전취급 정보를 수신하고 각 역의 화면 정보를 표시해야한다.
- 지상시뮬레이터장치 내에 별도의 입출력시뮬레이터를 구성하여 현장의 제어정보를 생성해야한다.
- 지상시뮬레이터장치 내에 별도의 열차제어시뮬레이터를 구성하고 차상시뮬레이터와 연계되어 가상의 열차 주행 정보를 송수신해야한다.
- 지상시뮬레이터장치 내에 별도의 EIS시뮬레이터를 구성하고 지상인터페이스장치와 연계되어 열차점유 정보, 진로 및 상태 정보를 송신해야 한다.

㉰ 지상인터페이스장치

- 지상인터페이스장치는 지상시뮬레이터장치로부터 열차점유정보 및 진로/상태 정보을 수신해야한다.
- 지상인터페이스장치는 수신된 열차점유정보 및 진로/상태 정보를 가공하여 열차점유 정보 및 진로/상태 정보를 역정보처리장치로 송신해야한다.

㉱ 역정보처리장치 및 역정보처리콘솔

- 역정보처리장치는 무선폐색센터 내에 위치해야하며 지상인터페이스장치로부터 열차점유정보, 진로 및 상태정보를 수신해야한다.
- 역정보처리장치는 지상인터페이스장치로부터 수신된 열차점유정보, 진로 및 상태정보를 가공하여 역정보처리콘솔 및 무선폐색감시콘솔, 지상ATP로 송수신해야한다. 이때 역정보처리콘솔 및 무선폐색감시콘솔은 설정된 RBC 영역의 모든 구간의 화면을 표시해야한다.

㉲ 무선폐색감시콘솔

- 무선폐색감시콘솔은 역정보처리장치로부터 열차점유, 진로, 상태 정보를 송수신해야한다.
- 무선폐색감시콘솔은 지상ATP와 열차위치, 이동권한, 상태 정보를 송수신해야

한다.

㉮ DMI 장치

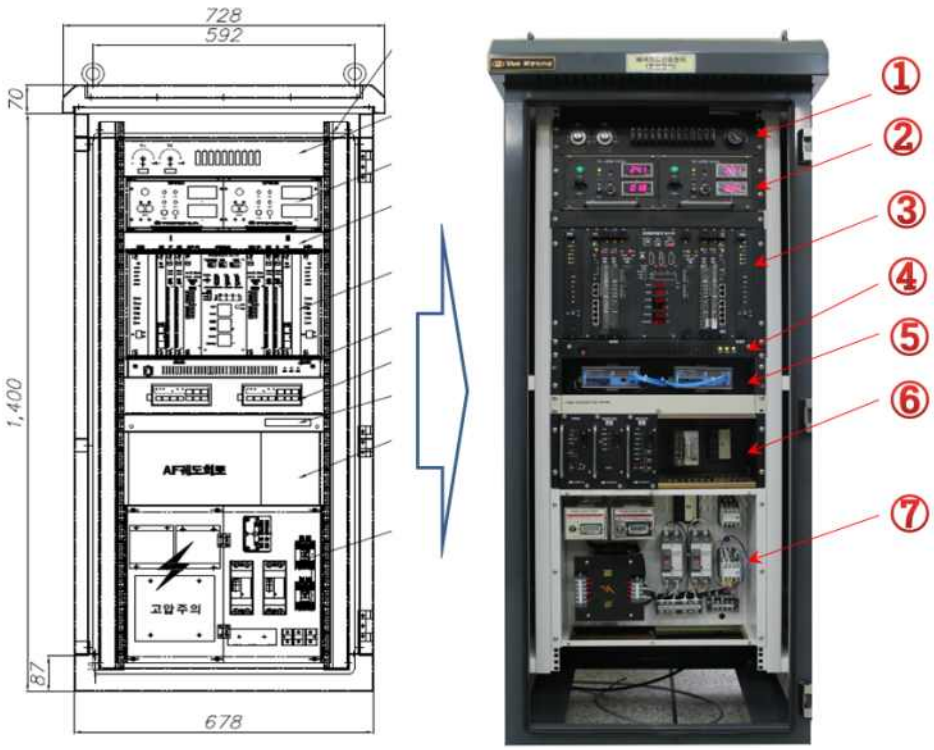
- DMI는 차상시뮬레이터와 연동되어 열차속도, 주행거리, 지리 정보 등을 송·수신해야 한다.
- DMI는 기관사에게 열차속도, 주행거리, 지리 정보 등을 현시해야 하며 기관사의 수동 입력 정보를 수신하여 차상시뮬레이터로 송신해야 한다.

## ③ 지상인터페이스시스템 설계 및 제작

### ㉮ 폐색정보전송장치 설계 및 제작

○ 하드웨어 설계 및 제작

○ 폐색정보전송장치 현장장치(통합형)




<그림 2-3-5-49> 폐색정보전송장치 현장장치(통합형) 설계도 및 시제품

<표 2-3-5-23> 폐색정보전송장치 현장장치(통합형) 제작 사양

| NO. | NAME | DESCRIPTION |
|---|---|---|
| ① | 퓨즈반 | - 2A P형 휴즈 13개<br>- 내부팬 동작조정 온도검지 계전기 장착 |
| ② | DC전원공급장치 | - 입력전압 : AC 220V, 60Hz 단상<br>- 정격출력 : DC 24V / 10A |
| ③ | 제어부 | - CPU : PPC 32BIT 50MhZ<br>- POWER : 입력 DC24V. 출력 +5V, ±12<br>- IN : DC24V 입력 16개<br>- OUT : DC24V 출력 32개<br>- 신호기모듈 : 5현시 신호기 2대 제어, 등별 전류 검지<br>- 상태표시부 : 궤도전압, 신호현시상태, CPU통신상태 표시 |
| ④ | FAN | - 시스템 냉각용 팬3개 장착<br>- 동작전압 : DC24V<br>- 개별팬 동작표시등. |
| ⑤ | 광네트워크스위치 | - 광 2포트, 랜 3포트<br>- 동작전원 : DC24V |
| ⑥ | AF궤도회로 제어부 | AF 궤도회로 제어용 모듈 3개 |
| ⑦ | 전원부 | - 입력 : AC 600V<br>- 출력 : AC 220V<br>- 전원 2중계 구성에 의한 자동절체 |

○ 폐색정보전송장치 현장장치(분리형)

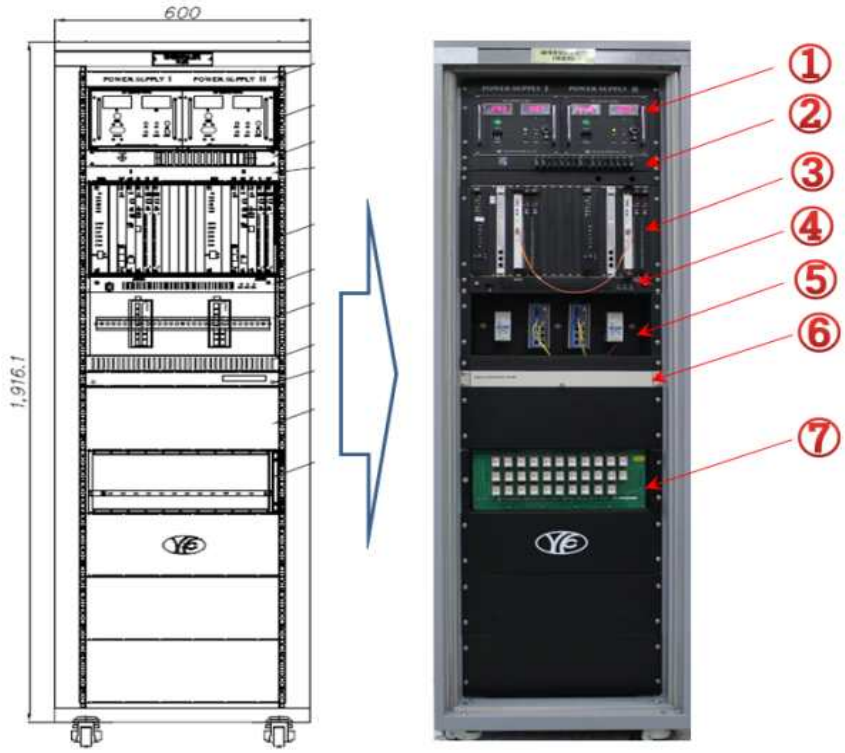



<그림 2-3-5-50> 폐색정보전송장치 분리형 설계도(기구함 및 기타 구성품 포함) 및 시제품

<표 2-3-5-24> 폐색정보전송장치 현장장치(분리형) 제작 사양

| NO. | NAME | DESCRIPTION |
|---|---|---|
| ① | Power모듈 | - 입력 : AC 220V<br>- 출력 : DC 24V/3A, DC10V/2A |
| ② | CPU모듈 | - 동작전압 : DC 5V, DC 3.3V<br>- 통신방식 : SERIAL, ETHERNET |
| ③ | IN모듈 | - 동작 전압 : DC 5V, DC 3.3V<br>- 통신방식 : SRIAL<br>- DI : 16포트 입력 처리(DC 24V) 가능 |
| ④ | OUT모듈 | - 동작 전압 : DC 5V, DC 3.3V<br>- 통신방식 : SERIAL<br>- DO : 8포트 출력 처리(DC 24V) 가능 |
| ⑤ | MDM모듈 | - 동작 전압 : DC 5V, DC 3.3V<br>- 통신방식 : SERIAL |
| ⑥ | 광네트워크스위치 | - 광포트 2포트, SC TYPE (2중계)<br>- 이더넷 5포트 |

○ 폐색정보전송장치 역장치



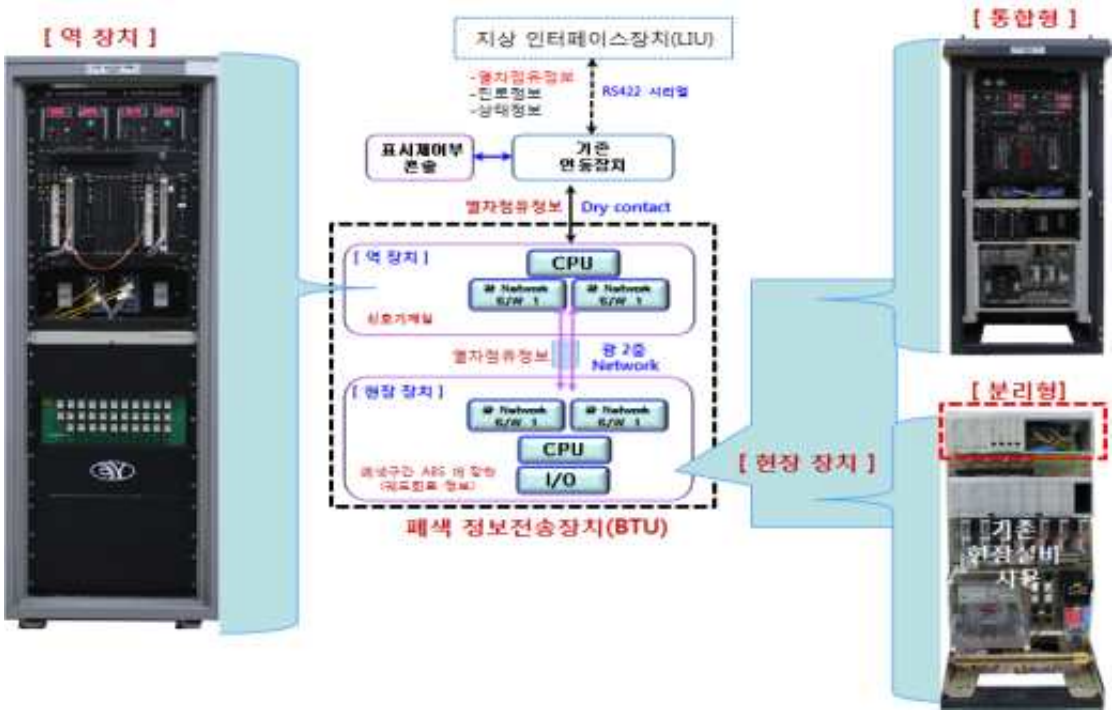

<그림 2-3-5-51> 폐색정보전송장치 역장치 설계도 및 시제품

<표 2-3-5-25> 폐색정보전송장치 역장치 제작 사양

| NO. | NAME | DESCRIPTION |
|---|---|---|
| ① | DC전원공급장치 | - 입력전압 : AC 220V, 60Hz 단상<br>- 정격출력 : DC 24V / 20A |
| ② | 퓨즈반 | 2A P형 휴즈 18개 |
| ③ | 제어부 | - CPU : PPC 32BIT 400MhZ<br>- POWER : 입력 DC24V, 출력 +5V/ ±12<br>- IF : 계간 통신용<br>- TM422 : RS-422 8채널 통신<br>- IN : DC24V 입력 16개<br>- OUT : DC24V 출력 32개 |
| ④ | FAN | - 시스템 냉각용 팬 3개 장착<br>- 동작전압 : DC24V<br>- 개별팬 동작표시등 |
| ⑤ | 광네트워크스위치 | - 광 2포트, 랜 3포트<br>- 동작전원 : DC24V |
| ⑥ | 광분배함 | - 광케이블 24CORE 접속<br>- SC타입 커넥터 |
| ⑦ | 인터페이스계전기모듈 | - 전자연동장치 인터페이스용 계전기 32개 장착<br>- 동작전압 DC24V |

○ 소프트웨어 설계 및 구현

○ 폐색정보전송장치 물리적 구성

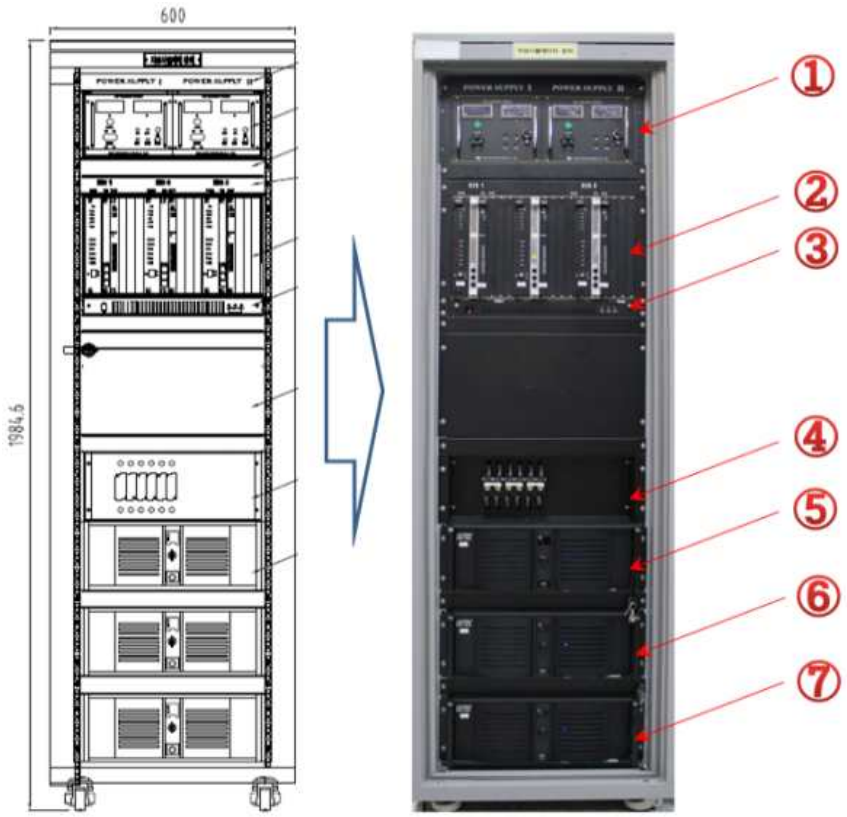



<그림 2-3-5-52> 폐색정보전송장치 물리적 인터페이스 구성

- 역장치는 현장장치로부터 수신된 궤도점유정보, 신호기상태정보를 출력모듈을 통하여 출력한다.
- 역장치는 대기 2중계로 구성되어 상호감시하며, 사용계에 장애 발생시 자동으로 대기계로 절체되어 열차운행에 영향을 주지 않는다.
- 역장치는 현장장치의 변화가 발생할 경우 200ms이내에 출력을 발생한다.
- 통합형 현장장치는 대기 2중계로 구성되어 상호감시하며, 사용계에 장애 발생시 자동으로 대기계로 절체되어 열차운행에 영향을 주지 않는다.
- 통합형 현장장치는 2중계 통신회선을 구성하기 위하여 2개의 링네트워크 스위치가 장착되어 있으며 개별포트로 현장장치 CPU와 연결된다.
- 통합형 현장장치는 상태표시부는 1계, 2계 CPU와 연결되어 있으며, 주계로 동작중인 CPU의 상태를 표시한다.
- 통합형 현장장치는 AF궤도의 상태와 궤도 점유입력을 받는다.
- 분리형 현장장치는 2중계 통신회선을 구성하기 위하여 2개의 링네트워크 스위치가 장착되어 있으며 개별포트로 현장장치 CPU와 연결된다.
- 분리형 현장장치는AF궤도의 궤도 점유정보를 2중으로 개별 입력받는다.
- 분리형 현장장치는 2중으로 개별 입력 받은 데이터를 두 개의 필드에 나누어 전송한다.
- 분리형 현장장치 내 모듈에서 주기적으로 점유정보를 Access하고, 동일한 데이터가 3번 이상 수신되면 데이터를 갱신한다.

㉯ 지상시뮬레이터장치 설계 및 제작

○ 하드웨어 설계 및 제작



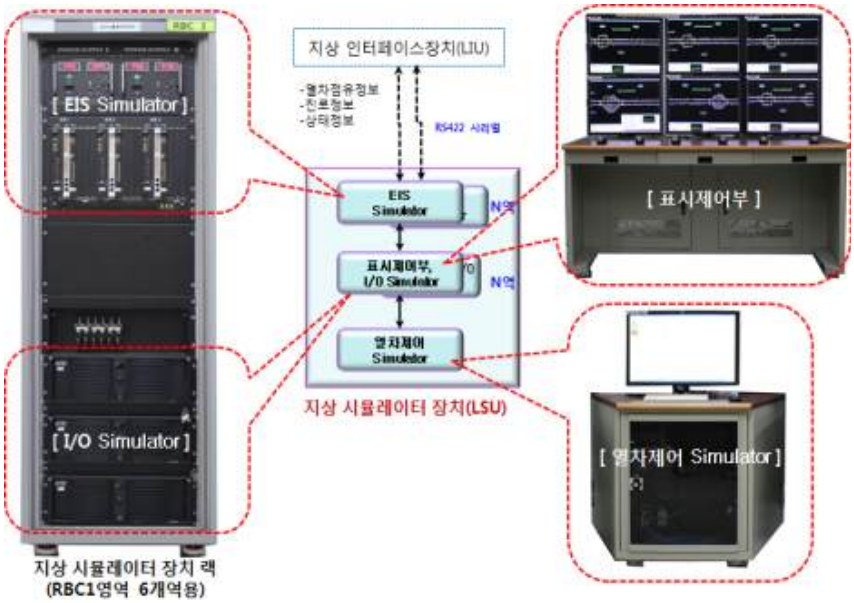

<그림 2-3-5-53> 지상시뮬레이터장치 설계도 및 시제품

<표 2-3-5-26> 지상시뮬레이터장치 제작 사양

| NO. | NAME | DESCRIPTION |
|---|---|---|
| ① | DC전원공급장치 | - 입력전압 : AC 220V, 60Hz 단상<br>- 정격출력 : DC 24V / 20A |
| ② | 제어부<br>3조(1조당 2역)<br>: 12역 제어 처리 | - CPU : PPC 32BIT, 400MhZ<br>- POWER : 입력 DC24V. 출력 +5V, ±12 |
| ③ | 냉각팬 | - 시스템 냉각용 팬3개 장착<br>- 동작전압 : DC24V<br>- 개별팬 동작표시등. |
| ④ | 전원차단기 | - AC 220V 5A 2개<br>- DC 24V 20A 1개 |
| ⑤<br>⑥<br>⑦ | 산업용컴퓨터<br>3조(1조당 2역)<br>: 12개역 I/O 제어 | - CPU : Dual core 2.0GHz<br>- 디스크 : 80GB<br>- 메모리 : 2GB<br>- 운영체제 : Window XP<br>- I/O 슬롯 : ISA 3슬롯, PCI 7슬롯<br>- 네트워크 : 10 /100 Based-T |

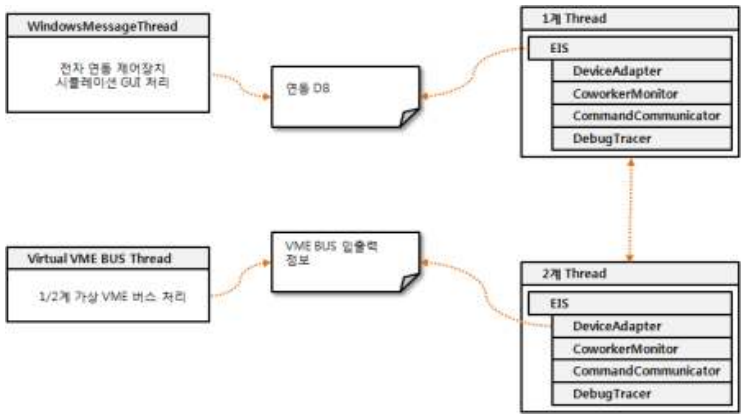
○ 소프트웨어 설계 및 구현

지상 시뮬레이터장치는 EIS시뮬레이터, 표시제어부, I/O시뮬레이터, 열차제어 시뮬레이터의 4가지로 구성되어져있다. 외부와의 인터페이스는 지상인터페이스장치를 통해 422통신방식을 Ethernet 방식으로 변경하여 스위치허브를 통해 이루어지고 있다.




<그림 2-3-5-54> 지상시뮬레이터장치 인터페이스 구성

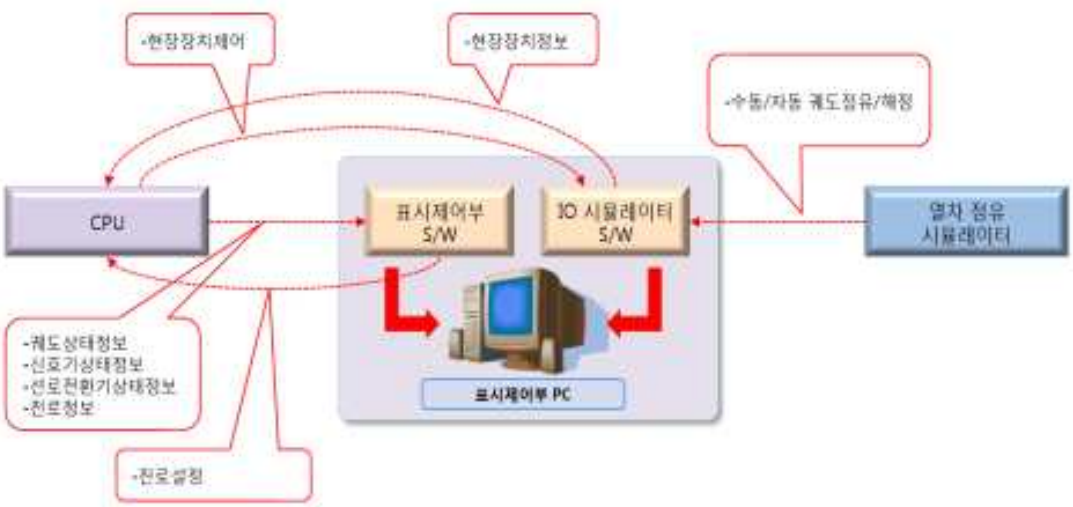
○ EIS 시뮬레이터




<그림 2-3-5-55> 소프트웨어 프로세스 구성도

- 연동 DB를 파일로 Read하여 가상의 ROM Data로 구성하고 1/2계를 동시에 시뮬레이션 할 수 있도록 프로세스 들을 생성하여 동작을 시뮬레이션 한다.
- 가상 시스템 Thread는 전자연동의 시작점인 EIS 태스크를 가상의 시스템으로 쓰레드 단위로 생성한다. 1/2계 시스템을 2개의 독립된 Thread로 생성하여 1/2계의 동작상태를 모니터링 할 수 있도록 한다.
- Virtual VME Bus Thread는 가상의 VME 버스를 구성하여 1계의 READ/WRITE 및 2계의 READ/WRITE 메모리 정보를 바탕으로 신호기와 같이 출력에 대한 입력이 발생할 수 있도록 WRITE 메모리를 모니터링하여 변경사항에 대해서 READ 메모리를 변경시킨다.

○ 표시제어부



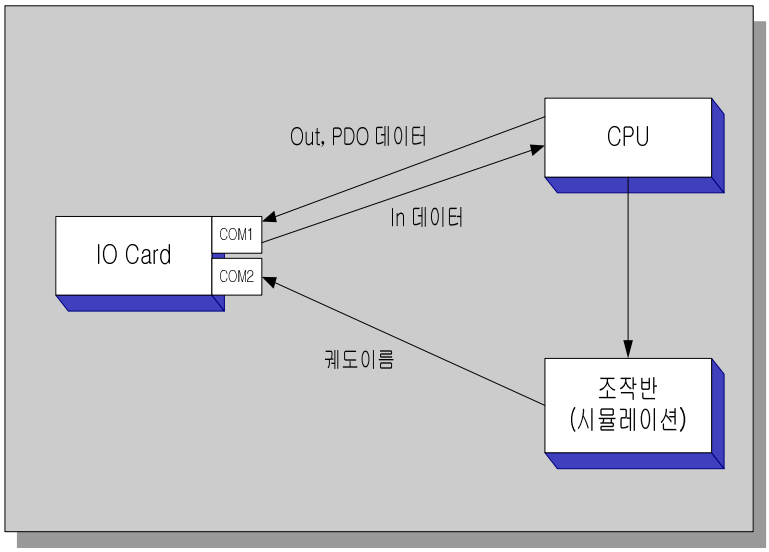

<그림 2-3-5-56> 표시제어부 시스템 구성도



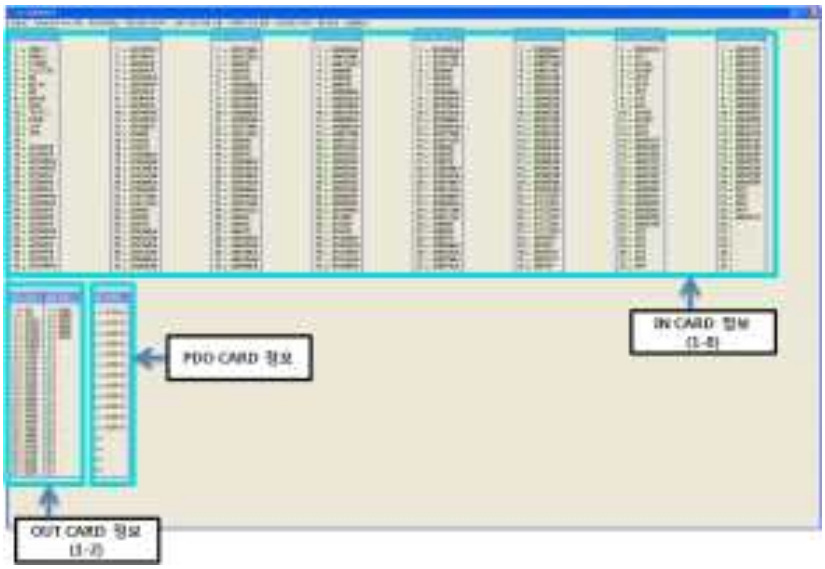

<그림 2-3-5-57> 표시제어부 기본화면

- 지상시뮬레이터장치에서 표시제어부 S/W는 IO시뮬레이터 S/W와 함께 표시제어부 PC에 설치된다.
- 표시제어부 S/W는 연동논리부 CPU로 진로설정요구 및 시설물 설정정보를 전송한다.
- 연동논리부 CPU는 진로구성 결과를 표시제어부 S/W로 전송한다.
- 표시제어부 화면은 역명, 역상태 정보, 메뉴바, 시간, 메시지로 구성된다.

○ I/O시뮬레이터




<그림 2-3-5-58> I/O시뮬레이터 구성도

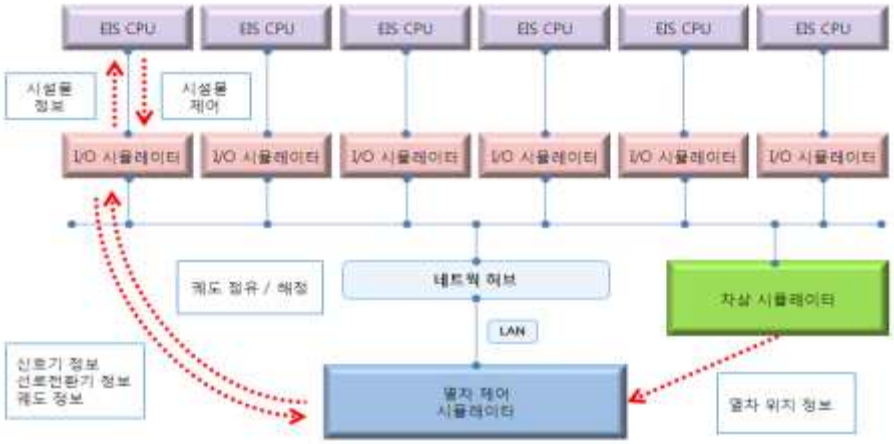



<그림 2-3-5-59> I/O시뮬레이터 기본화면

- I/O Card 시뮬레이터는 CPU에서 Out Card 와 PDO Card 정보를 수신하고 이에 대해 In Card 정보를 송신한다.
- I/O Card에서 조작반으로 데이터를 수신하면 해당궤도를 On 또는 Off 하여 이에 해당하는 IO Card 데이터를 CPU에 송신한다.
- 마우스로 Card의 포트를 클릭하여 In Card의 정보가 바뀌면 이에 대한 정보를 CPU에 송신한다.

· I/O 시뮬레이터는 IN CARD 정보, OUT CARD 정보, PDO CARD 정보로 구성되어 있으며, 각 상태별로 ON/OFF 정보를 확인할 수 있다.
· I/O 시뮬레이터는 가상의 계전기 정보를 생성하여 연동논리부의 진로구성에 필요한 계전기 정보를 생성한다.

○ 열차제어 시뮬레이터

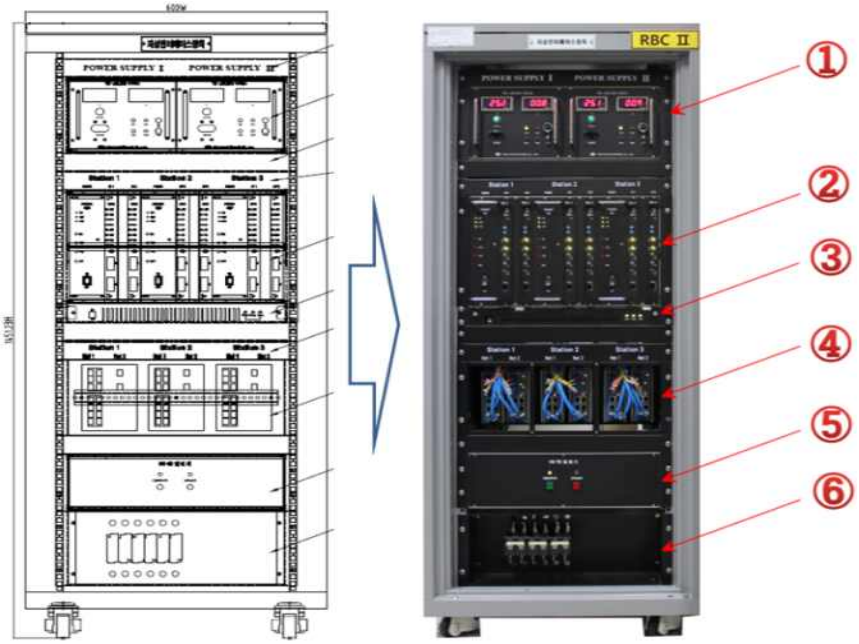



<그림 2-3-5-60> 열차제어 시뮬레이터 S/W 인터페이스 구성도

· 차상시뮬레이터로부터 열차 위치를 수신하여 열차가 위치한 거리값을 사용하여 지상 시뮬레이터와 맵핑된 궤도회로명칭을 검색한다. 검색이 완료되면 I/O 시뮬레이터로 궤도회로의 점유/해정 정보를 전송한다.
· I/O 시뮬레이터와 TCP/IP LAN 통신으로 연결되며 I/O 시뮬레이터는 TCP Server 모드, 열차제어 시뮬레이터는 TCP Client 모드로 동작한다.
· 차상 시뮬레이터와 TCP/IP LAN 통신으로 연결되며 차상 시뮬레이터는 TCP Server 모드, 열차제어 시뮬레이터는 TCP Client 모드로 동작한다.
· I/O 시뮬레이터와 EIS CPU는 RS422 통신방식을 사용한다.

㉮ 지상인터페이스장치 설계 및 제작

○ 하드웨어 설계 및 제작



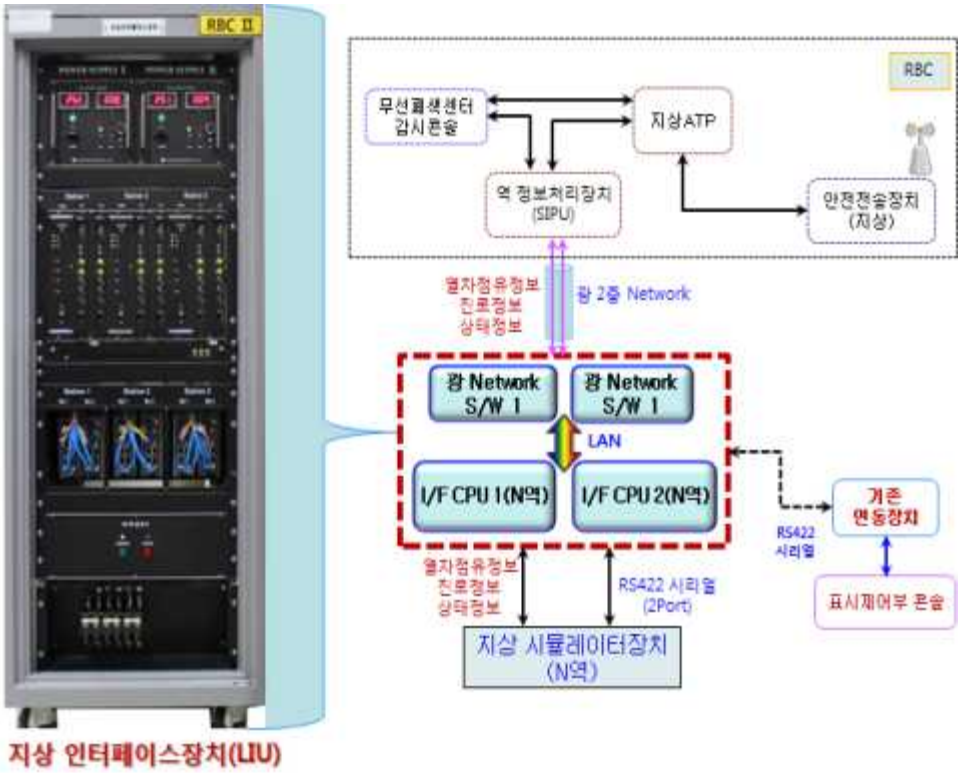

<그림 2-3-5-61> 지상인터페이스장치 설계도 및 시제품

<표 2-3-5-27> 지상인터페이스장치 제작 사양

| NO. | 명칭 | 세부설명 |
|---|---|---|
| ① | DC전원공급장치 | - 입력전압 : AC 220V, 60Hz 단상<br>- 정격출력 : DC 24V / 20A |
| ② | 제어부 | - RBC-IF : STM32F103RC CPU 사용<br>- POWER : 입력 AC220V. 출력 DC +9V/3.2V, ±15V |
| ③ | 냉각팬 | - 시스템 냉각용 팬3개 장착<br>- 동작전압 : DC24V<br>- 개별팬 동작표시등 |
| ④ | 광 네트워크 스위치 | - 광통신 링네트워크 구성<br>- 광 2포트, 랜 6포트<br>- 동작전원 : DC24V |
| ⑤ | 통신 절체기 | - 시뮬레이터 통신 절체용<br>- 통신회선 2채널(RS-422)절체<br>- 전면 동작 라인 표시 |
| ⑥ | 전원 차단기 | - AC 220V 5A 2개<br>- DC 24V 20A 1개 |

○ 소프트웨어 설계 및 구현

○ 전자연동장치 Software 모듈 구현

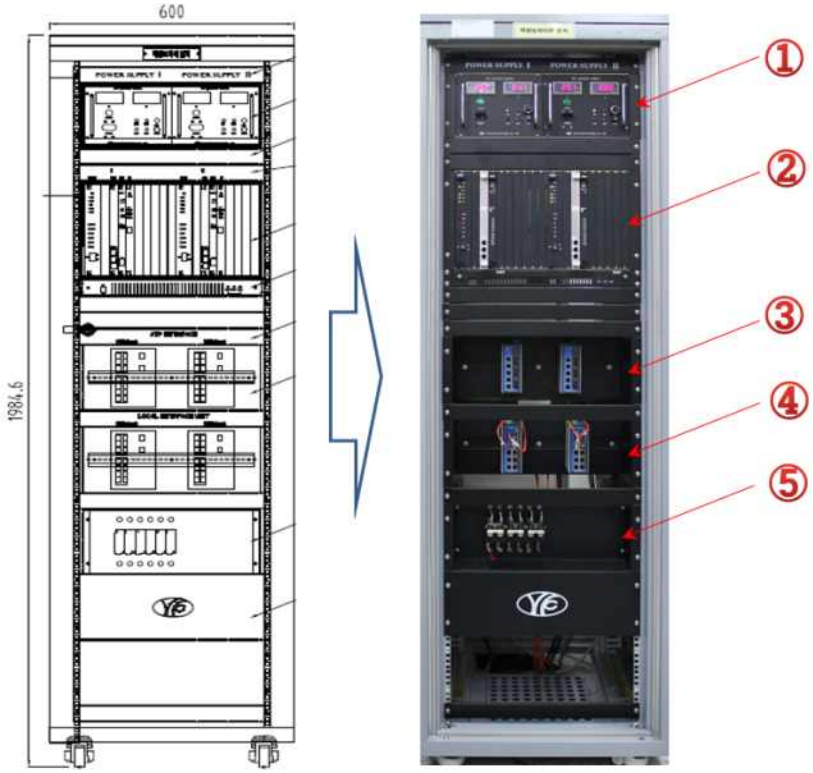



<그림 2-3-5-62> 지상인터페이스장치 물리적 인터페이스 구성

- 지상시뮬레이터장치 및 전자연동장치와의 통신 무결성을 위하여 수신데이터에 대한 응답을 수행한다.
- 전자연동장치 통신에는 RS422 1개 채널을 할당하고 지상시뮬레이터장치와의 통신은 RS422 2개 채널을 할당하며 추후에 기능 확장시 예비포트를 통신에 활용한다.
- 지상인터페이스장치와 전자연동장치, 지상시뮬레이터장치와의 인터페이스 프로토콜 구조는 아래와 같고 CRC32(2BYTE)로 프로토콜에 대한 데이터 유효성을 검증을 한다.
- 지상 인터페이스장치와 역 정보처리장치간에는 Ethernet(Lan)통신으로 인터페이스가 이루어진다.
- TCP/IP 기반으로 각장치간 할당된 IP로 데이터를 전송하며IP는 201~250까지 50개를 할당한다.

㉮ 역정보처리장치 및 역정보처리콘솔 설계 및 제작

○ 하드웨어 설계 및 제작



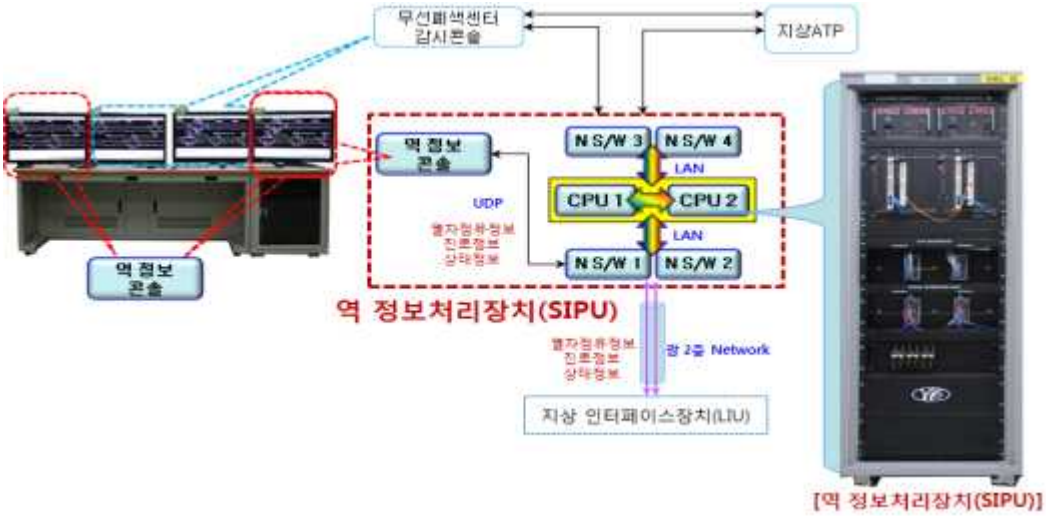

<그림 2-3-5-63> 역정보처리장치 설계도 및 시제품

<표 2-3-5-28> 역정보처리장치 제작 사양

| NO. | 명칭 | 세부내용 |
|---|---|---|
| ① | DC전원공급장치 | - 입력전압 : AC 220V, 60Hz 단상<br>- 정격출력 : DC 24V / 20A<br>※ 부하 분담 방식의 2중계 구성 |
| ② | 제어부 | - CPU : PPC 32BIT 400MhZ<br>- POWER : 입력 DC24V, 출력 +5V, ±12<br>- COM : 1, 2계 설정 및 계간 감시<br>- IF : 계간 통신용<br>※ 2중계 구성 |
| ③ | 광네트위크스위치 | - 광통신 링네트워크 구성<br>- 광 2포트, 랜 6포트<br>- 동작전원 : DC24V<br>- 용도 : 지상 ATP 연결용 |
| ④ | 광네트위크스위치 | - 광통신 링네트워크 구성<br>- 광 2포트, 랜 6포트<br>- 동작전원 : DC24V<br>- 용도 : 지상 인터페이스장치 연결용 |
| ⑤ | 전원차단기 | - AC 220V 5A 2개<br>- DC 24V 20A 1개 |

○ 소프트웨어 설계 및 구현

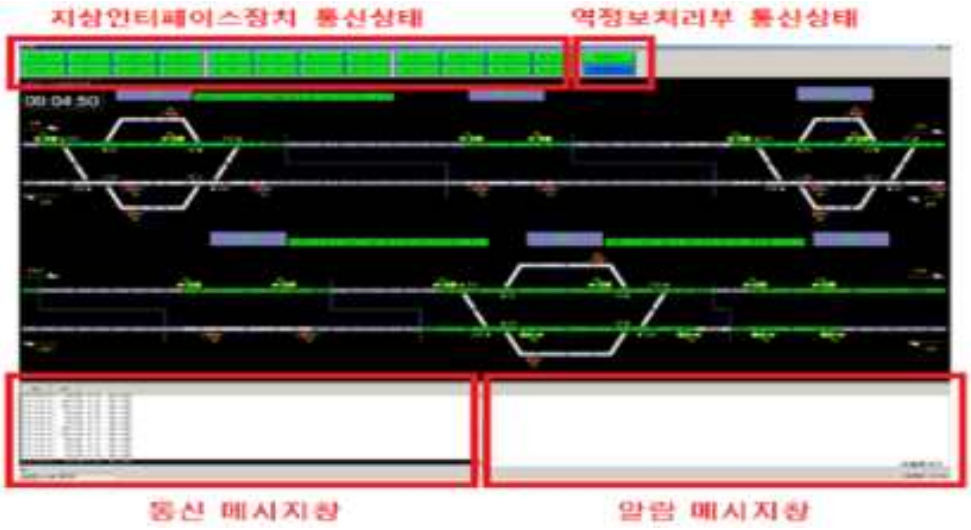
○ 물리적 인터페이스 구성




<그림 2-3-5-64> 역정보처리장치 물리적 인터페이스 구성

- 역 정보처리장치는 지상인터페이스장치로부터 UDP(User Datagram Protocol) 유니캐스트 방식을 이용하여 개별 역정보(궤도, 신호기, 선로전환기, 진로, 열차번호)를 수신한다.
- 지상인터페이스장치로부터 수신된 역 정보(궤도, 신호기, 선로전환기, 진로, 열차번호)를 지상ATP에 적합한 프로토콜로 데이터를 재조합하고, 에러검증을 위한 코드를 삽입하며, 지상 ATP에서 역구분을 할 수 있도록 코드를 삽입한다. 이 때 통신은 UDP 멀티캐스트 방식을 사용하고, ERTMS/ETCS Subset 026에 준하여 전송한다.
- 무선폐색 감시콘솔은 역정보처리장치로부터 UDP 멀티캐스트 방식을 사용하여 궤도, 신호기, 선로전환기, 열차진로, 열차번호, 역 상태정보 인터페이스장치 상태정보를 수신한다. 통신은 Local CTC 프로토콜을 사용한다.

○ 화면 구성

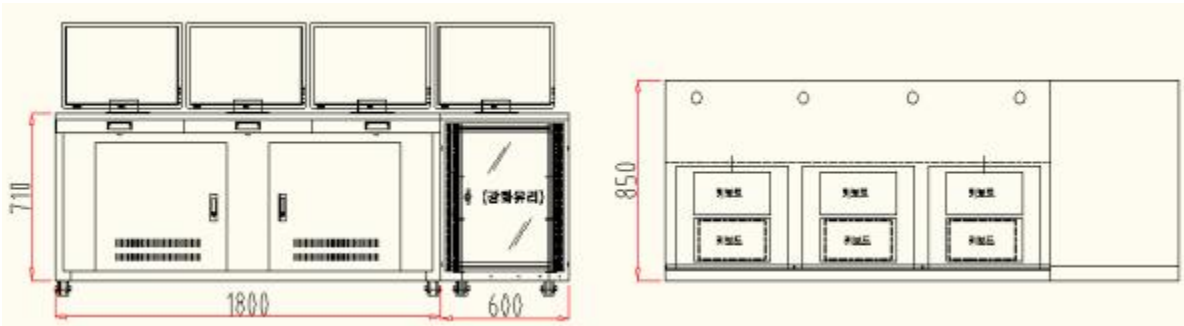



<그림 2-3-5-65> 역 정보처리장치 화면 구성

- 각역의 수집된 데이터들은 표출하며, 지상인터페이스장치와의 LAN 통신상태 표시 , 역정보처리장치의 계간 통신상태 표시를 표시한다.
- 각역의 수집된 데이터 상태 화면 표시 및 장치별 통신장애 메시지/취급 및 장애 메시지 표시등으로 구성된다.

㈐ 무선폐색감시콘솔 설계 및 제작

○ 하드웨어 설계 및 제작




<그림 2-3-5-66> 무선폐색센터 감시콘솔 설계도



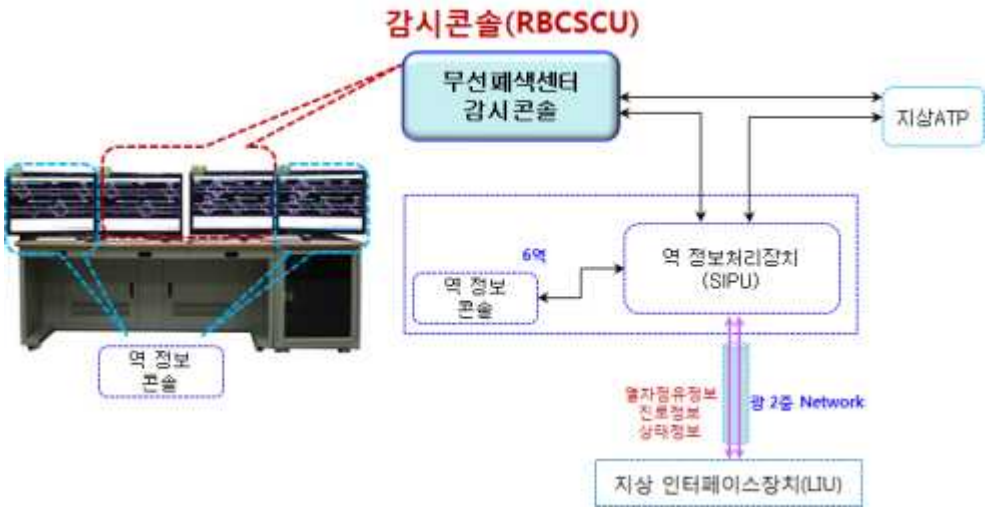

<그림 2-3-5-67> 무선폐색센터 감시콘솔

<표 2-3-5-29> 무선폐색센터 감시콘솔 제작 사양

| No. | 명칭 | | 세부설명 및 기능 |
|---|---|---|---|
| ① | 모니터 | [1][4] | - 역 정보처리 화면처리(Zone1)<br>- 30인치 16:10 2560*1600 |
| | | [2][3] | - 무선폐색센터 화면처리(Zone1)<br>- 30인치 16:10 2560*1600 |
| ② | 콘솔 | | - 역 정보처리 및 무선폐색센터<br>감시용 산업용컴퓨터 수용<br>- CPU : Dual core 2.0GHz<br>- 디스크 및 메모리 : 80GB / 2GB<br>- 운영체제 : Window XP<br>- I/O 슬롯 : ISA 3슬롯, PCI 7슬롯<br>- 네트워크 : 10 /100 Based-T |

○ 소프트웨어 설계 및 구현

○ 물리적 인터페이스 구성




<그림 2-3-5-68> 무선폐색 감시콘솔의 물리적 인터페이스 구성

· 무선폐색센터 감시콘솔은 역 정보처리장치로부터 UDP 멀티캐스트 방식을 사용하여 궤도, 신호기, 선로전환기, 열차진로, 열차번호, 역 상태정보 인터페이스장치 상태정보를 수신한다. 통신은 Local CTC 프로토콜을 사용한다.
· RBC내의 지상 ATP장치에서는 무선폐색센터 감시콘솔의 LAN1를 이용하여 데이터를 전송한다.
· 무선폐색센터 감시콘솔에서 지상ATP로 전송되는 데이터는 아래와 같으며 통신 프로토콜은 DDS Tool을 활용한다.

<표 2-3-5-30> 무선폐색 감시콘솔→지상ATP 전송 데이터

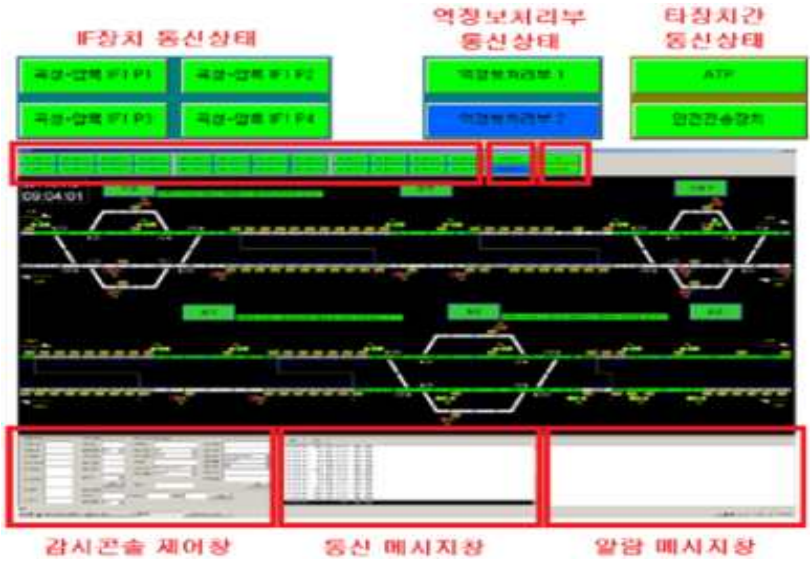
| No. | 전송 데이터 |
|---|---|
| 1 | 임시 속도 제한 설정/해제 |
| 2 | 열차 비상 정지 명령/해제 |
| 3 | 방호 구역 설정/해제 |
| 4 | 열차 Text 메시지 |
| 5 | Master Clock |

· 지상 ATP 장치에서 무선폐색센터 감시콘솔로 전송되는 데이터는 아래와 같으며 통신 프로토콜은 DDS Tool을 활용한다.

<표 2-3-5-31> 지상ATP→무선폐색 감시콘솔 전송 데이터

| No. | 전송 데이터 |
|---|---|
| 1 | 열차 위치 정보(LRBG 및 LRBG로부터의 거리로 정의) |
| 2 | 열차 운영 모드 정보 |
| 3 | 열차 운영 레벨 정보. |
| 4 | 열차 상태 정보(고장 유무) |
| 5 | 열차 이동권한(MA) 정보 |
| 6 | 열차 번호 |
| 7 | 열차 제어 대수 |

○ 화면 구성




<그림 2-3-5-69> 무선폐색센터 감시콘솔 화면 구성

- 무선폐색센터 감시콘솔은 역 정보처리장치로부터 궤도, 신호기, 선로전환기, 열차진로, 열차번호, 역 상태정보, 인터페이스장치 상태정보 등을 표시한다.
- 무선폐색센터 감시콘솔은 지상ATP로부터 열차 위치정보, 열차번호, 열차 제어 대수 정보들을 표시하고 속도제한, 방호구역, 열차 Text 메시지, 비상정지 정보를 송신할 수 있는 버튼 메뉴로 구성된다.

㉮ 차상시뮬레이터 및 DMI 구축 및 구현

차상시뮬레이터는 시뮬레이션 중에 발생하는 모든 로그 데이터를 내부 데이터베이스에 저장한다. 데이터베이스에 저장된 로그는 시뮬레이션 동작 중에 발생하는 차상 시뮬레이터의 성능적인 부분과 시뮬레이터에 설정된 각각의 장치별로 세분화되어 데이터베이스에 저장 된다. 또한 차상 시뮬레이터 내부 데이터베이스에 저장된 모든 자료는 XML를 포함한 일반 문서로 저장될 수 있으며, AMPQ 프로토콜 또는 웹 서비스를 사용하여 외부 장비 및 단위 통합 시험을 지원한다.

○ 하드웨어 구축

차상시뮬레이터는 다음 그림과 구성되어 지상시뮬레이터장치의 열차제어시뮬레이터, 차상 안전전송모듈과 인터페이스 되고 별도의 DMI 화면을 통해서 동작을 검증한다.



<그림 2-3-5-70> 차상 시뮬레이터 운용을 위한 장비 구축 사진

○ 소프트웨어 동작

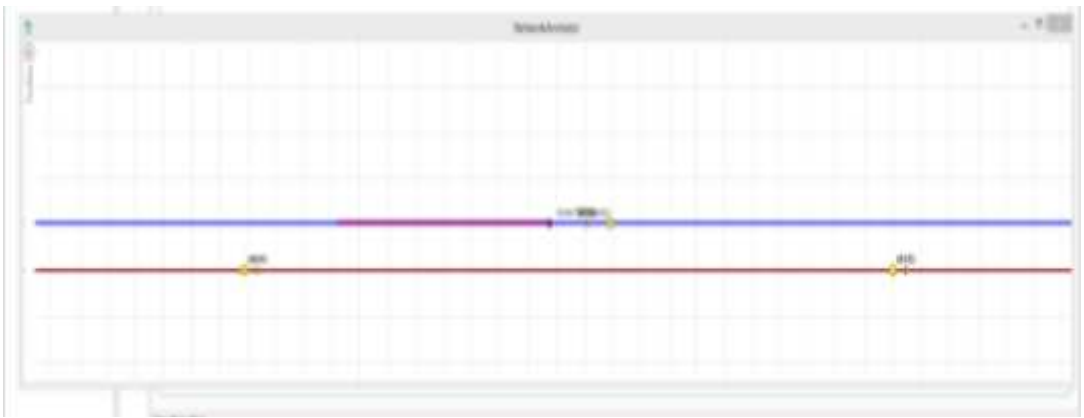
- 차상시뮬레이터의 로딩 창에서 'OK'버튼을 누르면 다음 그림과 같이 DMI화면을 생성해주는 Test Sequence Debugger(이하 TSD)프로그램이 실행된다.
- 열차가 출발하기 위해서 실제 열차에서 차량이 출발할 때 입력하는 열차 정보, 운전자 정보, 레벨의 상태 등의 데이터를 입력한다.
- DMI 화면의 번호 메뉴를 이용하여 Driver ID를 입력한다. Driver ID는 4자리의 임의의 번호를 입력해 주며. 입력 후 회색박스의 Driver ID가 정확하게 입력되었는지 확인하고 확인이 되었으면 Driver ID가 입력된 회색박스를 클릭한다.
- DMI 화면의 Level 창을 사용하여 현재 출발지의 Level을 입력하다. 해당 시나리오는 Level 1에서 시작하므로 Level 1을 클릭 후 회색 바탕의 박스에 Level 1이 정확히 표기를 확인한 후 회색 박스의 Level 1을 클릭 한다.
- 해당 열차의 TILT 정보를 입력한다. 해당 시나리오의 TILT는 TILT5를 사용하며, TILT5 정보 입력을 확인 후 회색 박스의 "YES" 버튼을 클릭 한다. (TILT5는 DMI에 기본적으로 설정되어 있다)
- 해당 열차에 입력된 모든 정보를 확인하는 화면이다. 현재 입력한 정보가 일치하다면 회색 박스의 "YES"를 클릭한다.
- 해당 열차의 운행 번호 정보를 입력한다. 해당 시나리오는 기본 정보인 '1110'을 입력 후 회색 박스에 '1110'을 확인한다. 정확하게 '1110'이 입력되었다면 '1110'이 입력된 회색 박스를 클릭한다.



<그림 2-3-5-71> 열차 출발 대기 상태

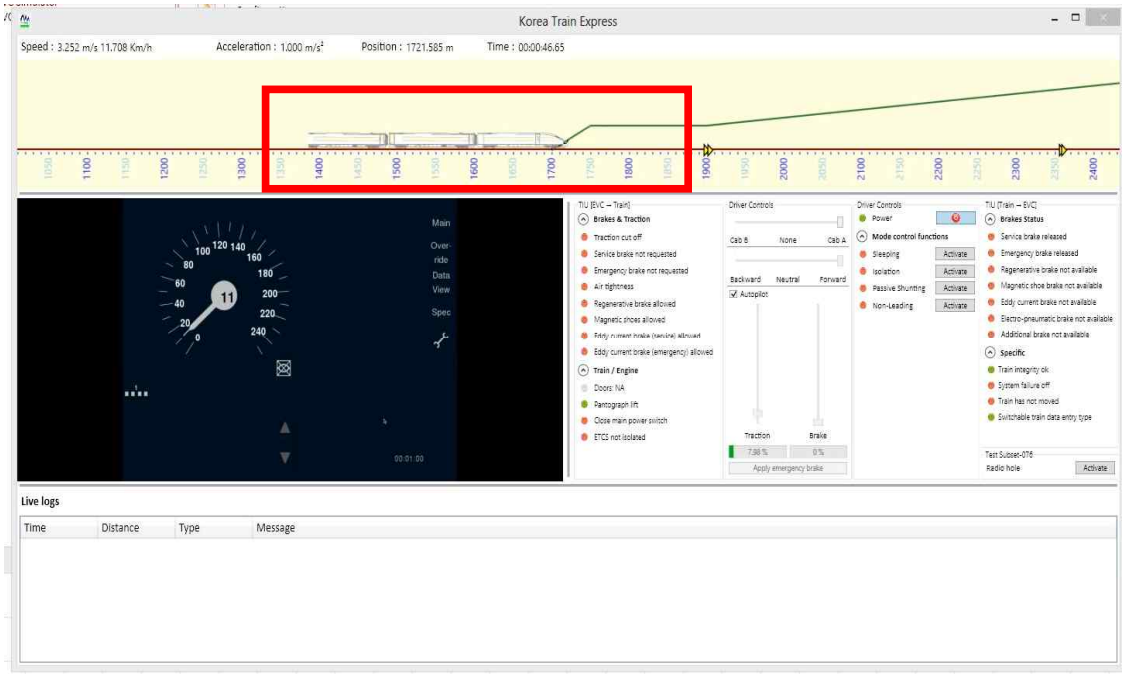
· 위와 같이 모든 열차 및 Level 정보를 입력하면 해당 시나리오의 열차는 출발 할 수 있다. 비록 시나리오라고 표현하지만 실제 열차의 출발 과정과 모든 방법이 동일하다.

· DMI를 사용하여 열차의 기본 정보입력을 끝냈으면 차량을 진행 시켜야 한다. 즉 열차의 차상 시뮬레이터의 Accel 및 Break 기능을 이용해야 한다. 열차의 기본 정보가 입력되면 차상 시뮬레이터의 Accel 및 Break기능이 활성화 된다. 하지만 우리는 시나리오 작성 시 Speed Profile 기능을 사용하여 시나리오 내 열차의 속도를 미리 설정해 두었다. 미리 설정된 Accel 및 Break 기능을 자동으로 할 수 있게 설정하는 버튼이 바로 'Auto Pilot' 기능이다. 'Auto Pilot'박스를 체크하여 활성화 시키면 Speed에 맞게 Accel 및 Break가 자동으로 동작한다.



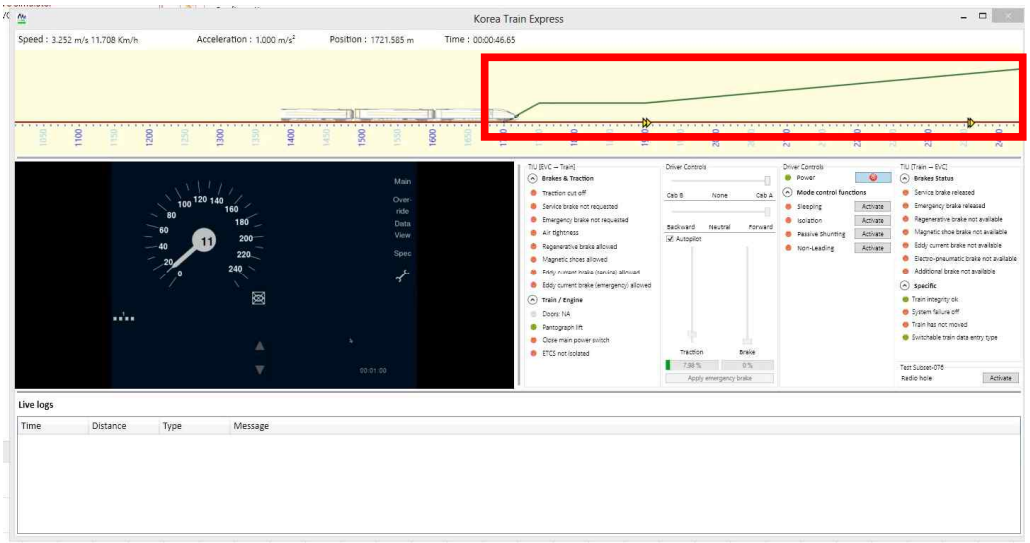
<그림 2-3-5-72> 열차 운행 정도

· 열차가 출발하게 되면 위와 같이 열차의 움직임을 확인 할 수 있는 화면을 차상시뮬레이터 모니터 화면에서 볼 수 있다. 파란색 선은 열차가 갈 수 있는 경로, 빨간색 선은 열차가 갈 수 없는 경로, 보라색 선은 현재 열차의 위치를 나타낸다.



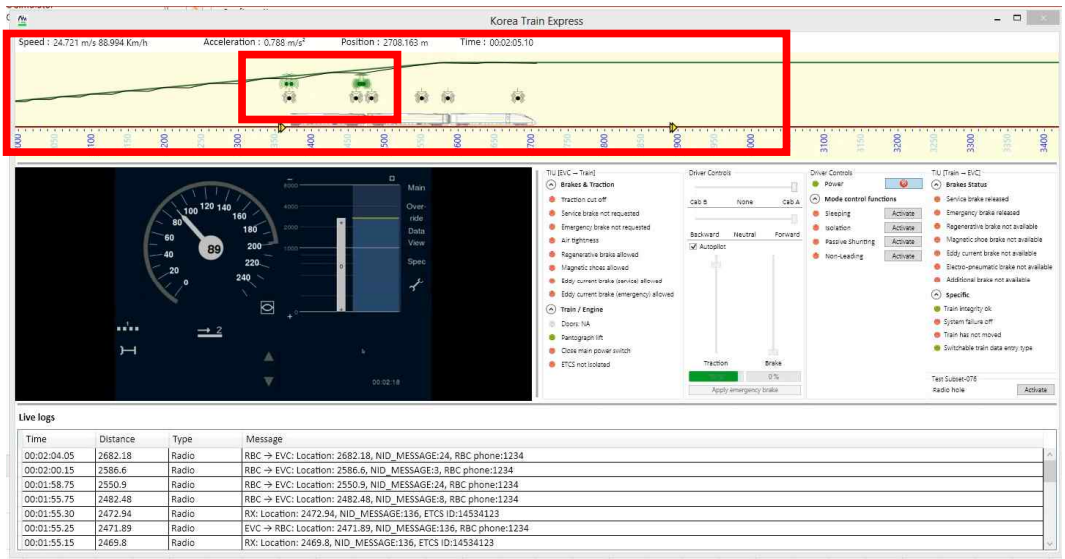

<그림 2-3-5-73>. 출발 화면

- 위 그림에서 빨간색 박스안의 가상으로 만들어진 열차의 움직임을 참고하면 열차의 출발하는 과정과 열차 진행을 확인 할 수 있다.
- 해당 DMI 화면에서도 열차의 움직임을 확인 할 수 있다. 위 DMI에서는 현재 진행 중인 열차의 속도, RBC 연결확인 구배 및 이동권한(MA)을 확인 할 수 있다.



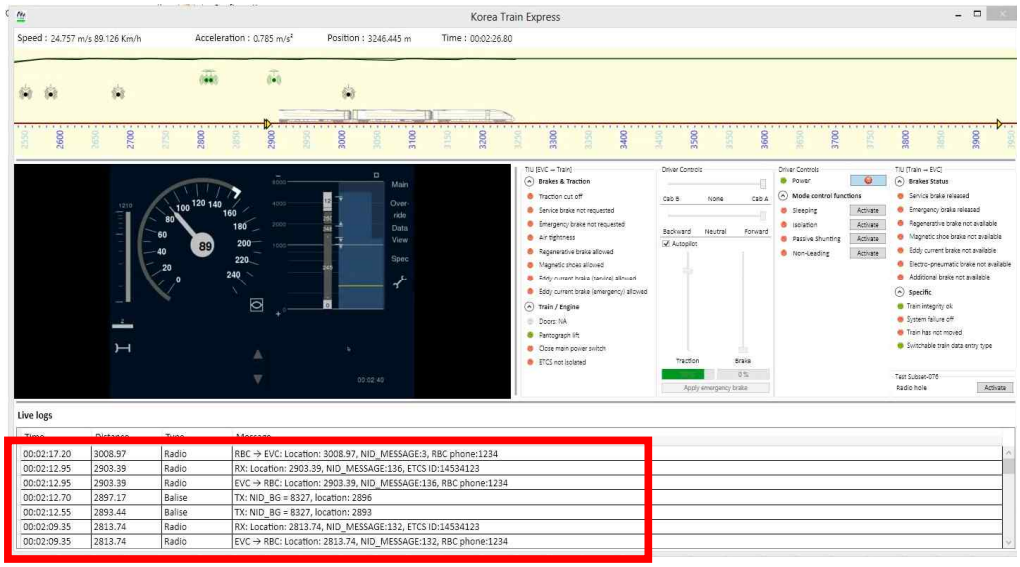

<그림 2-3-5-74> 열차의 속도 정보 그래프

- 지상용 차상시뮬레이터를 동작 시키면 위 그림과 같이 가상열차의 속도를 그래프 형태로 확인 할 수 있다. 해당 그래프는 Scenario내의 저장된 Speed Profile에 기초하여 설정 되며, Speed Profile 내의 정보를 변경하면 위 그림의 그래프도 변화한다. 속도 그래프는 초록색이며, 상승곡선은 속도의 증가를 나타내고 하강 곡선은 속도의 감속을 나타낸다.



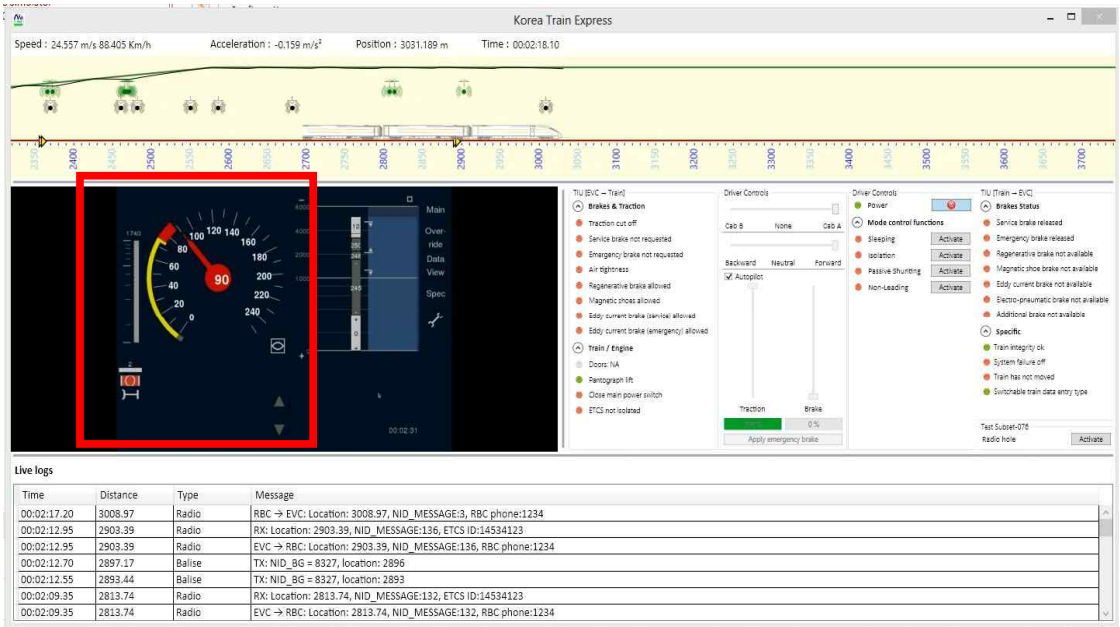

<그림 2-3-5-75> RBC의 메시지 교환 화면

· Level 2에서 열차가 이동하려면 Radio Block Center 로부터 Movement Authority를 받아야 한다. 위 그림의 속도그래프 하단과 같이 초록색과 검정색 아이콘이 있다. 초록색 아이콘은 지상용 차상시뮬레이터가 RBC로 송신하는 데이터의 정보, 검정색 아이콘은 RBC가 지상용 차상시뮬레이터로 데이터를 송신하는 데이터의 정보이다. 위의 초록색과 검정색 아이콘을 통해서 RBC와 지상용 차상시뮬레이터의 상태를 확인 할 수 있다.




<그림 2-3-5-76> RBC와 DMI의 메시지 교환 정보

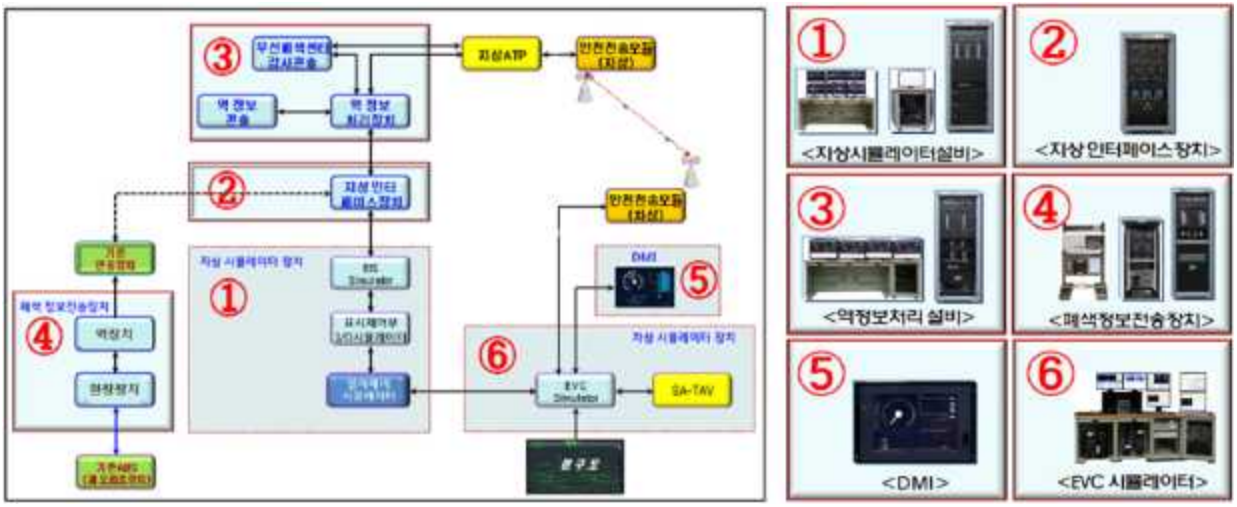
· 지상용 차상시뮬레이터의 하단 Log 창에서도 RBC 데이터 정보를 확인 할 수 있다. 이 창에서는 RBC의 데이터 정보 외 DMI의 EB 정보 및 Start of Mission 정보 같은 특수한 이벤트도 기록된다.




<그림 2-3-5-77> Emergence Brake 화면

· 위 그림과 같이 DMI 화면의 EB 정보를 확인 할 수 있다. 지상용 차상시뮬레이터에 표시되는 DMI정보는 실제 DMI에 표시되는 DMI정보와 동일하다.

④ 지상인터페이스시스템의 장치별 기능 및 동작 설명




<그림 2-3-5-78> 지상인터페이스시스템 통합시험실 구성도(예)

㉮ 폐색정보전송장치

○ 역장치

- 대기 2중계로 구성되어 상호감시하며, 사용계 장애 발생시 자동으로 대기계로 절체되어 열차운행에 영향을 주지 않는다.
- 링 네트워크 스위치 2중계로 구성되어 있으며 한 개의 네트워크 스위치의 장애 발생시 자동으로 회선이 절체되어 열차운행에 지장을 주지 않는다.
- 전자연동장치와의 폐색정보는 폐색정보 출력 계전기로 접점으로 전송한다.
- 링 네트워크 광통신을 통해 현장의 폐색정보(궤도점유정보, 상태정보)는 광통신을 통해 입력 받는다.
- 최대 제어할 수 있는 폐색장치 개수는 최대 64개 이다.
- 전자연동 장치와 통신인터페이스 및 입/출력모듈을 내장한다.

○ 통합형 현장장치

- 대기 2중계로 구성되어 있어 사용계에 이상이 발생해도 열차운행에 지장을 주지 않고 자동으로 대기계로 절체된다.
- 링 네트워크 광통신을 통해 현장의 정보(궤도점유정보, 상태정보)를 역 장치로 전송한다.
- 상태표시 모듈이 장착되어 있어 운용상태, 신호현시 및 궤도정보 등을 표시한다.
- 궤도회로 2중 입력 (CPU 1계, 2계간 비교)은 사용계에서 정보를 전송한다.
- 충분한 대역폭(10MBps이상)을 갖는 광통신 링 네트워크망을 구축하여 다양한 정보를 동시에 전송하고 신호현시 정보전송이 가능하다.
- 통합형태의 기구함으로 제작되어 현장의 다양한 기능이 가능하다.

○ 분리형 현장장치

- 기존 주파수 방식의 ABS와 동일한 전원부 2중계로 구성되어 있어 사용계에 이상이 발생해도 열차운행에 지장을 주지 않고 자동으로 대기계로 절체된다.
- 2중의 개별 입력을 통해 궤도점유 정보를 입력받는다.
- 링 네트워크 광통신을 통해 현장의 정보(궤도점유정보, 상태정보)를 역 장치로 전송한다.
- 충분한 대역폭(10MBps이상)을 갖는 광통신 링 네트워크망을 구축하여 다양한 정보를 동시에 전송한다.
- 기존 ABS의 주파수 전송부의 크기와 동일 및 기능을 수용하여 1:1 교체가 가능하다.

㈏ 지상시뮬레이터장치

○ 표시제어부

표시제어부는 각 역의 열차 운전취급이 가능하도록 운전취급자의 기능을 수행하며, 또한 각역의 진로제어 및 연동제어를 한다. 시험실 시험을 위한 12개역을 구성하였으며, 하나의 모니터에는 2개역의 운전취급을 할 수 있다. 전라선 곡성 ~ 여수간 12개역을 6대의 모니터에 구성하였다. ETCS-L2의 지상 인터페이스 시험을 위한 각각의 역에 대한 시뮬레이션과 EIS Simulator 및 열차제어 Simulator와 연동처리가 가능하도록 구축하였다.

○ EIS Simulator부

현재 국내 전자연동장치의 연동논리부 기능을 수용하여 단일계로 ETCS-L2의 통합시험이 가능하도록 구축하였다. 표시제어부에서 제어 명령에 의한 진로제어 및 열차점유정보를 처리하며, 각각의 신호기상태, 선로전환기상태 등의 현장장치의 기능을 구현하여 처리한다. 1개의 CPU에서는 2개역을 처리하며, 1영역의 6개역 수용하도록 제어부를 구성하였다. 또한 현재 사용중인 동일한 CPU를 사용하여 향후 ETCS-L2로 구축 시 적용이 용이한 구조 및 인터페이스가 이루어지도록 설계하였다.

○ I/O Simulator 및 표시제어부

I/O Simulator 및 표시제어부는 산업용 PC로 구축하였으며, 현재 국내 전자연동장치에 사용되는 동일 기종의 PC를 사용였다. EIS Simulator부 및 표시제어부와 통신으로 인터페이스하며 운전취급자에 의한 제어명령을 수행하며, 현장장치가 없으므로 가상의 I/O를 생성하는 기능을 가지고 있다. 1대의 PC에는 2개역을 수용하여 제어 및 가상의 I/O를 생성하여 ETCS-L2의 통합시험이 가능하도록 구축하였다.

○ 열차제어 Simulator부

열차제어 Simulator부는 통합시험을 위한 열차의 진행제어를 담당하며, 통합시험을 위한 전라선 12개역을 동시에 제어한다. 또한 차상 시뮬레이터와 연동하여 테스트 시나리오에 의한 열차제어가 가능하도록 I/O Simulator 및 표시제어부와 인터페이스 한다.

㉰ 지상인터페이스장치

지상 인터페이스장치(LIU)는 지상 각 역의 열차점유 정보 , 진로설정 정보, 신호기 정보, 선로전환기 정보 등의 연동장치 정보를 해당 Zone의 역 정보처리장치(SIPU)는 전송하고 지상 ATP에서 열차의 이동권한(MA : Movement Authority)을 형성할 수 있도록 하는 정보를 제공하는 기능을 한다.

현재 사용 중인 전자연동장치의 통신 인터페이스는 물리적으로는 RS-422 직렬통신 방식을 사용하며, 무선폐색센터(RBC)의 역 정보처리장치와의 통신 인터페이스는 ETHERNET 방식의 TCP/IP 통신을 사용하며 논리적으로도 통신포맷이 상이하다. 이들 상호간의 통신을 위해서는 통신방식 및 프로토콜의 변환이 필요하므로, 인터페이스 변환 모듈을 지상 인터페이스장치에 장착하여 역 정보처리장치와 전자연동장치(지상 시뮬레이터)의 상호호환성을 구현하는 역할을 한다.

㉱ 역정보처리장치 및 역정보처리콘솔

○ 역정보 콘솔부

역 정보 콘솔부는 각 역의 역 정보(열차점유정보, 진로정보, 상태정보) 감시하는 기능를 한다. 시험실 시험을 위한 12개역을 구성하였으며, 하나의 모니터에는 6개역을 감시하며, 전라선 곡성 ~ 여수간 12개역을 2개의 영역으로 구분하여 2대의 모니터에 의한 ETCS-L2의 통합시험을 위한 각각의 역에 대한 모니터링이 가능하도록 구축하였다.

○ 역정보처리장치 제어랙

역정보처리장치의 제어부는 2중계로 구성하여 각역의 정보를 처리하여 지상 ATP 및 역 정보 콘솔 및 무선폐색센터 감시콘솔로 정보를 전송하며, 외부와의 통신은 각각 2중계로 구성하여 ETCS-L2의 통합시험이 가능하도록 구축하였다. 지상인터페이스장치로부터 받은 데이터를 ATP장치 통신 데이터로 컨버팅한다.

- 데이터 포맷 변경, RS422 → ETHERNET
- 데이터 프로토콜 변경, 전자연동장치 프로토콜 → 지상ATP 프로토콜
- 통신데이터에 역구분 코드 추가

㉲ 무선폐색감시콘솔

무선폐색센터 감시콘솔은 무선폐색센터(RBC)내의 역정보 처리 장치로부터 궤도, 신호기, 선로전환기, 열차진로, 열차번호, 역 상태정보, 인터페이스장치 상태정보 등을 수신한다. 그리고 지상ATP 장치로부터 열차 위치 정보, 열차 운영 모드 정보, 열차 운영 레벨 정보, 열차 상태 정보, 열차 이동권한(MA) 정보, 열차 번호, 열차

제어 대수 정보들을 수신하고 임시 속도 제한 설정 및 해제, 열차 비상 정지 명령 및 해제, 방호구역 설정 및 해제, 열차 Text 메시지, Master Clock 정보를 송신한다. 무선폐색센터 감시콘솔과 역정보 처리 장치는 Local CTC 프로토콜을 사용하여 통신하고, 무선폐색센터 감시콘솔과 지상ATP 장치는 DDS 프로토콜을 사용하여 통신을 한다. 무선폐색센터 감시콘솔은 RBC 내의 역정보 처리 장치, 지상ATP와의 통신을 통해 차상으로 전송되는 MA 등의 여러 정보들을 감시하고 모니터링하는 역할을 하며 RBC당 1개가 설치된다.

### ⑤ 지상인터페이스시스템 안전성 검증

#### ㉮ 공인기관 시험을 통한 H/W 안전성 검증

지상인터페이스시스템의 지상인터페이스장치를 대상으로 공인기관 시험을 통하여 저온 및 고온 환경에서 제품의 성능 및 기능의 이상 유무를 확인하였다. 저온 및 고온에서의 동작 시험 결과는 다음과 같다.

<표 2-3-5-32> 지상인터페이스장치 온도시험 결과(저온)

| 구분 | | 확인 시간 | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 확인사항 | 사료 | 시험 전 | 0℃ | 시험 후 | |
| 외 관 | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| LED | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| RS-232C 통신 | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |

<표 2-3-5-33> 지상인터페이스장치 온도시험 결과(고온)

| 구분 | | 확인 시간 | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 확인사항 | 사료 | 시험 전 | 55℃ | 시험 후 | |
| 외 관 | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| LED | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| RS-232C 통신 | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |



<그림 2-3-5-79> 지상인터페이스장치 온도시험 장면

지상인터페이스시스템의 핵심 장치라 할 수 있는 지상 인터페이스장치를 대상으로 공인기관 시험을 통해 하드웨어 성능 검증을 수행하였다. 공인기관 시험 항목은 EMI/EMC 전자파 적합성 시험으로 적용 규격은 다음 표와 같다.

<표 2-3-5-34> 공인기관 시험(EMI/EMC)에 적용된 규격

| No. | Standard | Contents |
|---|---|---|
| 1 | KSC IEC 61000-4-2 | 전기 내성시험 |
| 2 | KSC IEC 61000-4-3 | 방사 전기자기장 내성시험 |
| 3 | KSC IEC 61000-4-4 | 전기적 과도현상 내성시험 |
| 4 | KSC IEC 61000-4-5 | 서지 내성시험 |
| 5 | KSC IEC 61000-4-6 | 전기자기장 전도 내성시험 |

시험 결과는 다음 표와 같이 전자파 장해 허용 기준에 적합하게 판정되었고 전파 보호 기준에 적합하게 판정되었다.

<표 2-3-5-35> 전자파 장해 허용 기준 결과

| Emission | Port | Class | Limits and Test methods | 시험 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 전자파전도시험 | AC Power | A | KS C CISPR 11 | 적 합 |
| 전자파방사시험 | Enclosure | A | KS C CISPR 11 | 적 합 |

<표 2-3-5-36> 전자파 보호 기준 결과

| Immunity | Ports | | Limits and Test methods | 성능평가 기준 | Result/ Criteria |
|---|---|---|---|---|---|
| 정전기방전 내구성시험 | Enclosure | ±2 kV, ±4 kV (Contact) ±2 kV, ±4 kV, ±8 kV (Air) | KS C IEC 61000-4-2 | A | 적합 / A |
| 방사고주파 전자계내성시험 | Frequency Range [Enclosure] | 80 MHz ~ 1000 MHz [10 V/m] | KS C IEC 61000-4-3 | A | 적합 / A |
| 전기적 과도현상 내구성시험 | AC Input | ±4 kV | KS C IEC 61000-4-4 | A | 적합 / A |
| 서지내성시험 | AC Input | Line - Line : ±2 kV Line - PE : ±4 kV | KS C IEC 61000-4-5 | A | 적합 / A |
| 고주파 전자계유도 전도방해 내성시험 | AC Input | 10V | KS C IEC 61000-4-6 | A | 적합 / A |
| | Frequency Range | 0.15 MHz ~ 80 MHz | | A | 적합 / A |



<그림 2-3-5-80> 방사고주파전자계 내성시험 장면

㉯ 소프트웨어 검증용 툴(CodeScrollTM)을 이용한 지상인터페이스장치 S/W 안전성 검증

지상 인터페이스장치의 S/W 기능 안전성의 검증을 위하여 Code Inspector Tool을 사용하여 정적 분석을 수행하였다. 검증에 적용된 규칙은 IEC 62279, IEC 61508 S/W 코딩규칙을 적용하였다. 지상 인터페이스장치 RBC-IF 모듈의 S/W 분석에 사용되는 코딩 규칙은 IEC 62279, IEC 61508 코딩 규칙을 적용하며, MISRA-2004은 철도 시스템 S/W 개발환경에 적합하지 않으므로 해당규칙은 적용하지 않는다. 또한, S/W 분석 수행 범위는 본 과업의 기능과 관련된 S/W로 제한하며, S/W 개발을 위한 Library 코드에서 발생되는 분석 오류는 고려하지 않는다. RBC-IF 모듈의 임베디드 S/W 분석은 소스 코드 개발 이후에 S/W 테스트 단계에 수행되며, S/W 단위 및 통합 시험, 성능 시험을 수행한 후에 S/W 정적 분석 Tool을 이용하여 수행하였다. S/W 분석 수행 결과는 Code Inspector Tool에서 리포트로 생성된

다. 또한 S/W 분석 결과를 토대로 규칙에 위배된 사항을 분석하여 높은 심각도를 가지는 위배 규칙을 제거하기 위하여 2차례 걸쳐 코드 수정을 수행하였다.

소프트웨어 1차, 2차, 3차 분석 결과, 규칙별 위배 비율 및 심각도별 위배 비율은 다음과 같다.

S/W 분석 결과를 토대로 심각도가 높은 규칙을 위배한 사항을 중점으로 수정한 결과 최종 S/W 소스코드에서는 심각도가 '높음' 등급 이상의 규칙을 위배한 사항을 제거 하였다. 또한 S/W 코딩 규칙 위배수도 S/W 분석을 수행하기 이전의 10% 수준으로 제거 되었다.

<표 2-3-5-37> S/W 분석 회차별 S/W 코딩 규칙 위배 수(최종 결과)

| 심각도 | 위배수(1차) | 위배수(2차) | 위배수(3차) |
|---|---|---|---|
| 매우높음 | 3 | 0 | 0 |
| 높음 | 36 | 33 | 0 |
| 낮음 | 1,223 | 1,169 | 159 |
| 매우낮음 | 1,553 | 1,470 | 265 |
| 총계 | 3,877 | 2,672 | 424 |

㉰ 지상인터페이스시스템 합동 연동검사

연동검사 일시 : 2013년 8월 14일 09:00~17:30

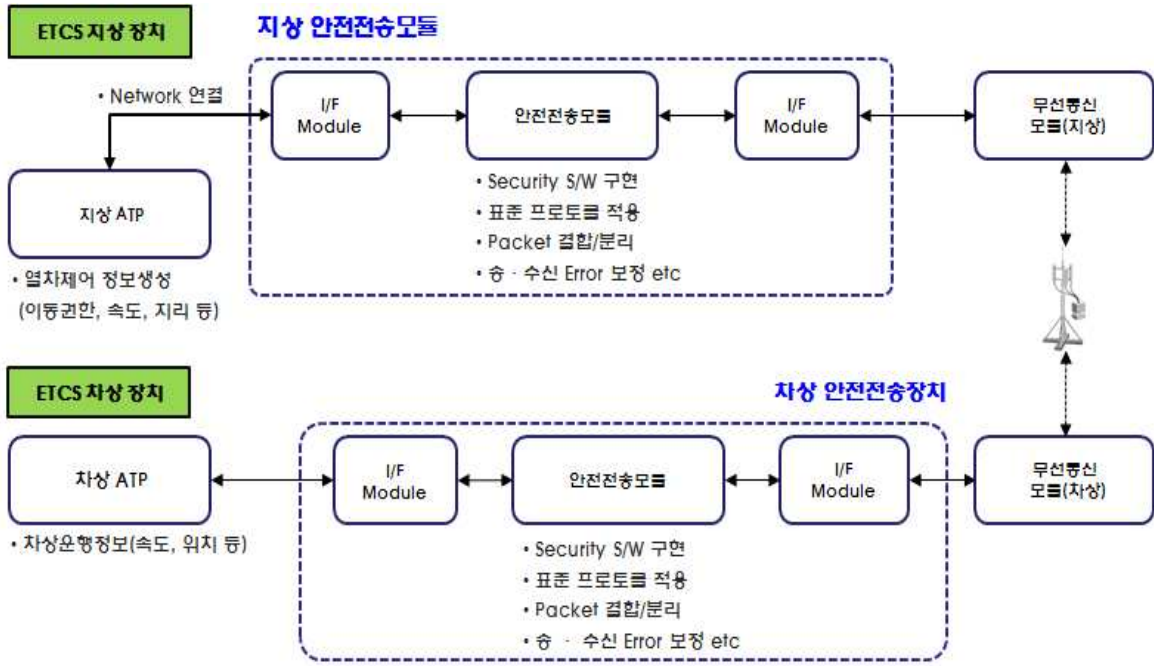
연동검사 장소 : 유경제어(주) 통합 실험실

연동검사 결과 : 전라선 12개역을 대상으로 위의 항목들에 대한 연동검사를 합동으로 수행하였다. 합동 연동검사 결과 모든 시험 항목에 대해 적합으로 판정되었다.

### (4) 안전전송모듈

#### (가) 안전전송모듈 개요

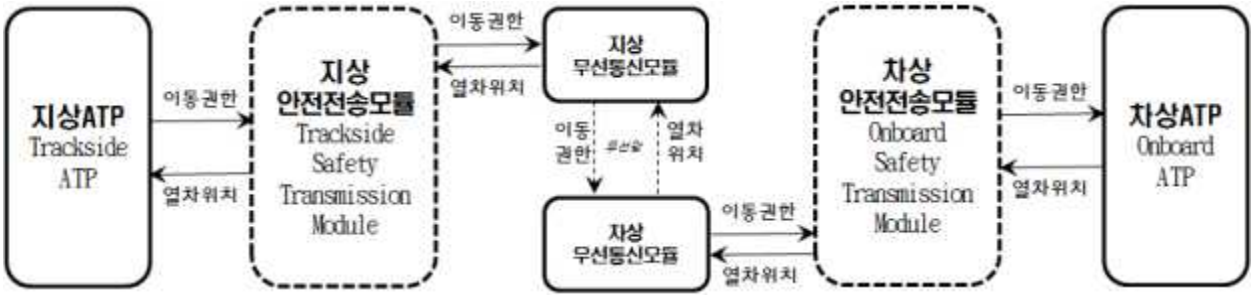
안전전송모듈은 ERTMS/ETCS Level 2에서 지상-차상 간 전송되는 정보에 대하여 안전성을 확보하기 위한 목적으로 운영된다. 안전전송모듈은 지상과 차상으로 구분되며 지상 모듈은 무선폐색센터(RBC)에서 생성된 이동권한 정보를, 차상 모듈은 차량의 위치, 차량번호 등 열차운행과 관련된 정보를 전송하고 검증하는 역할을 수행한다.




<그림 2-3-5-81> 안전전송모듈 기능 구성

안전전송모듈은 지상/차상 ATP와 무선통신장치 간에 위치하며, 지상 혹은 차상에서 생성된 열차 운행 및 제어 정보를 임의 가공하거나 변경하지 않고 사전 약속된 방식 즉, 암호화 방식(3DES), 통신 절차(프로토콜) 등을 통하여 메시지를 검증하기 위한 역할을 수행한다.

(나) 안전전송모듈 요구사항




<그림 2-3-5-82> 지상/차상 안전전송모듈 개념도

- 지상 안전전송모듈은 지상의 무선폐색센터 내에 위치하여 지상ATP 랙에 장착되어야하고 차상 안전전송모듈은 차상에 위치하여 차상ATP 랙에 장착되어야한다.
- 지상 안전전송모듈은 지상ATP 및 지상 무선통신모듈과 연계되어 이동권한 및 열차위치 정보를 송·수신해야 한다.
- 차상 안전전송모듈은 차상ATP 및 차상 무선통신모듈과 연계되어 이동권한 및 열차위치 정보를 송·수신해야 한다.
- 지상 안전전송모듈은 지상ATP로부터 수신된 정보를 암호화하여 차상 안전전송모듈로 송신해야 한다.
- 차상 안전전송모듈은 지상 안전전송모듈로부터 수신된 암호화 정보를 복호화하여 차상ATP로 송신해야한다.
- 지상 및 차상 안전전송모듈은 외부의 온도 및 전자파로부터 내구성을 지녀야 하며 차상 안전전송모듈은 외부로부터 가해지는 진동으로부터 내구성을 지녀야 한다.

(다) 안전전송모듈 설계 및 제작

① 하드웨어 설계 및 제작

㉮ 지상 안전전송모듈 설계 및 제작

지상 안전전송모듈은 지상 ATP와 직접적으로 연계되며, 지상 ATP로의 입력 및 출력되는 모든 정보는 안전전송모듈을 통하여 전송되어진다. 이에 지상 안전전송모듈은 19“ Rack 규격으로 설계되어 지상 ATP Rack에 장착되는 형태로 제작되었다. 또한 철도시스템에서 요구하는 이중화 지원을 위하여 Master 및 Slave 개념을 도입하여 시스템이 운영되도록 하였다. 각 모듈의 구성은 Power, CPU, HUB 그리고 ICM으로 구성되었으며, 공통 Bus로 연결되어 있다.




<그림 2-3-5-83> 안전전송모듈 전면부 구성

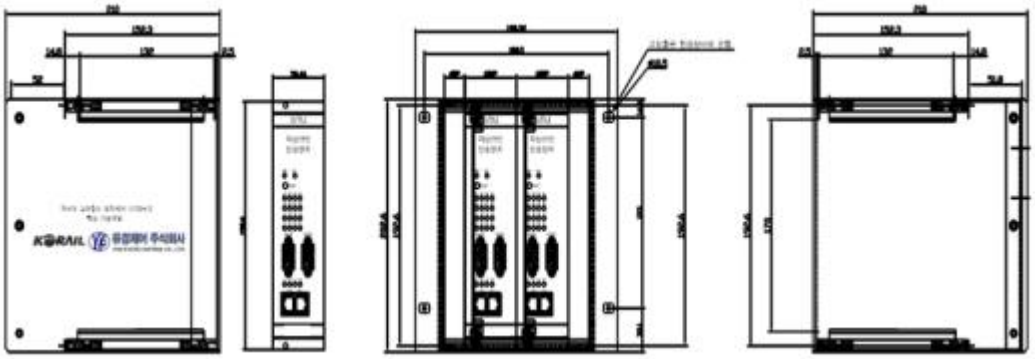
안전전송모듈 내 단위 모듈의 배치는 좌측으로부터 Power, CPU, HUB 그리고 ICM 모듈이 하나의 Set 개념으로 배치되어 있다. 2중화를 고려하여 반대 방향으로부터 동일한 구조로 예비 모듈이 구성되어 있으며, 제작된 지상 안전전송모듈은 다음과 같다.



<그림 2-3-5-84> 안전전송모듈 시작품 형태

㈏ 차상 안전전송모듈 설계 및 제작

차상 안전전송모듈은 지상 안전전송모듈과 동일한 목적 즉, 지상으로부터 전송된 정보 및 차상에서 생성하여 지상으로 전송하고자하는 정보에 대한 안전성을 확보하기 위한 목적으로 설계 및 제작되었다. 차상 안전전송모듈의 하드웨어는 기능적으로 주처리부, 메모리부, 외부 인터페이스부 그리고 전원부 및 상태표시부로 구분된다. 차상 안전전송모듈은 현재 운행 열차 내 장착 및 인터페이스에 대한 정의 등 실질적인 연계 방안에 대하여 논의하기에는 어려운 점이 많다. 이에 향후 차상 내 적용을 고려하여 기존 열차 내 운영 중인 차상 컴퓨터 및 통신장치에 대한 검토와 일반적인 차상 장치에 대한 요구사항을 고려하여 설계 및 제작하였다.



<그림 2-3-5-85> 차상 안전전송모듈 설계도면

차상 안전전송모듈의 기구는 차상 환경을 고려하여 보다 견고하고, 차량의 흔들림에 내구성을 갖는 Rack 형태로 제작하였다.



<그림 2-3-5-86> 차상 안전전송모듈 외형

## ② 소프트웨어 설계 및 구현

### ㉮ 안전전송모듈 S/W 설계

안전전송모듈의 소프트웨어 구성은 데이터 입/출력 모듈과 데이터 가공 모듈로 구분된다.

○ 소프트웨어 구성

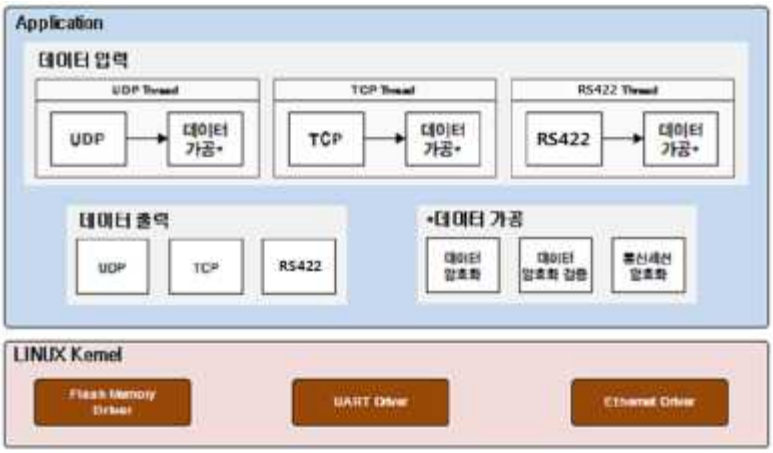
안전전송모듈 소프트웨어는 외부 입력 장치(차상 ATP, 지상 ATP, 안전전송모듈)로부터 입력된 열차 정보데이터, 열차 제어데이터 등을 3DES 암호화 알고리즘을 사용하여 안전하게 외부 출력 장치(차상 ATP, 지상 ATP, 안전전송모듈)로 전송하는 기능을 제공한다. 안전전송모듈 시스템의 구조는 다음과 같다.




<그림 2-3-5-87> 안전전송 시스템 S/W 계층구조

㉯ 안전전송모듈 S/W 구현

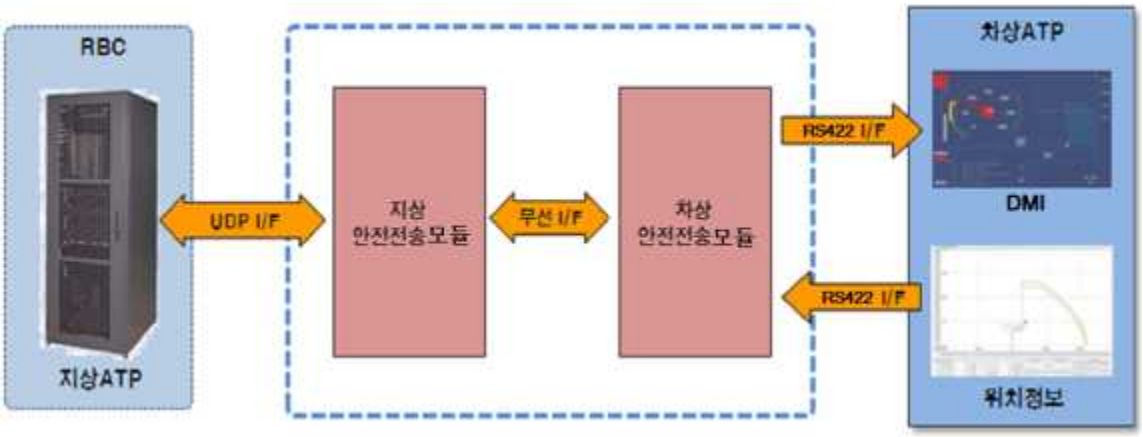
안전전송모듈 S/W 계층은 Application, OS Kernel 부분으로 나뉘며, Application은 데이터 입력, 데이터 가공, 데이터 출력부로 구분된다.




<그림 2-3-5-88> Layered Architecture

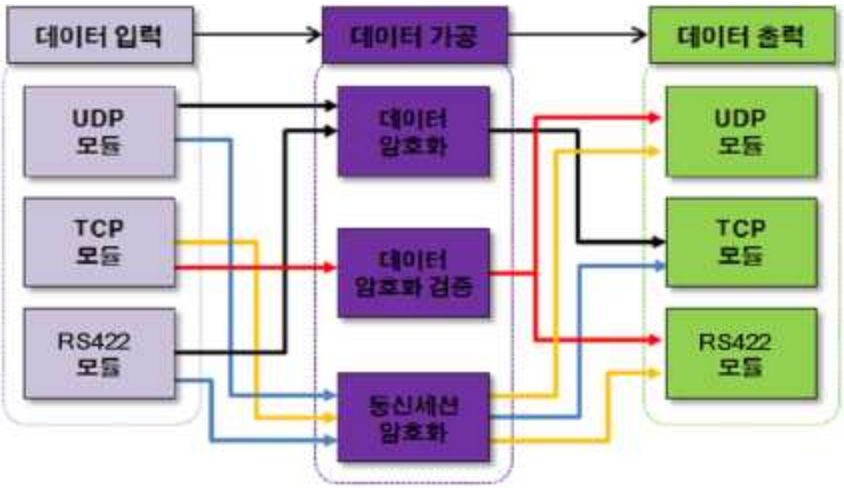
## (라) 안전전송모듈 기능

안전전송모듈은 열차제어 및 데이터의 안전한 전송을 위하여 3DES 암호화 알고리즘을 이용하여 신뢰성과 안전성을 확보하는 장치이다. 안전전송모듈에는 열차 제어 정보를 지상 ATP에서 무선통신구간을 통하여 차상ATP로 전송하는 지상안전전송모듈과 열차 정보를 차상ATP에서 무선통신구간을 통하여 지상ATP로 전송하는 차상 안전전송모듈이 있다. 안전전송모듈의 시스템 구조는 기능적으로 데이터 입력, 가공, 출력으로 구성되며, 물리적으로는 지상/차상 안전전송모듈이 존재한다.




<그림 2-3-5-89> 안전전송모듈 시스템 다이어그램

안전전송모듈 기능 구조를 세분화 된 블록 다이어그램 형태는 아래와 같다.



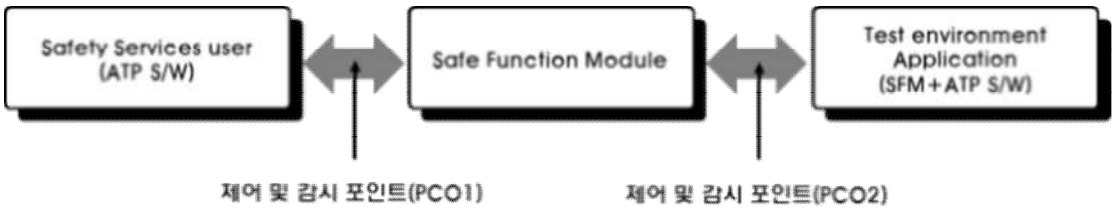

<그림 2-3-5-90> 안전전송모듈 소프트웨어 기능 블록 다이어그램

### (마) 안전성 검증

ERTMS/ETCS L2에서 안전전송모듈에 대한 안전성은 Subset 092에 잘 설명되어 있다. 안전전송모듈의 기능과 해당 기능에 대한 시험 내용이 명기되어 있어 해당 규격을 준수하도록 시험을 수행하였다.

#### ① 안전전송모듈 자체 기능 시험

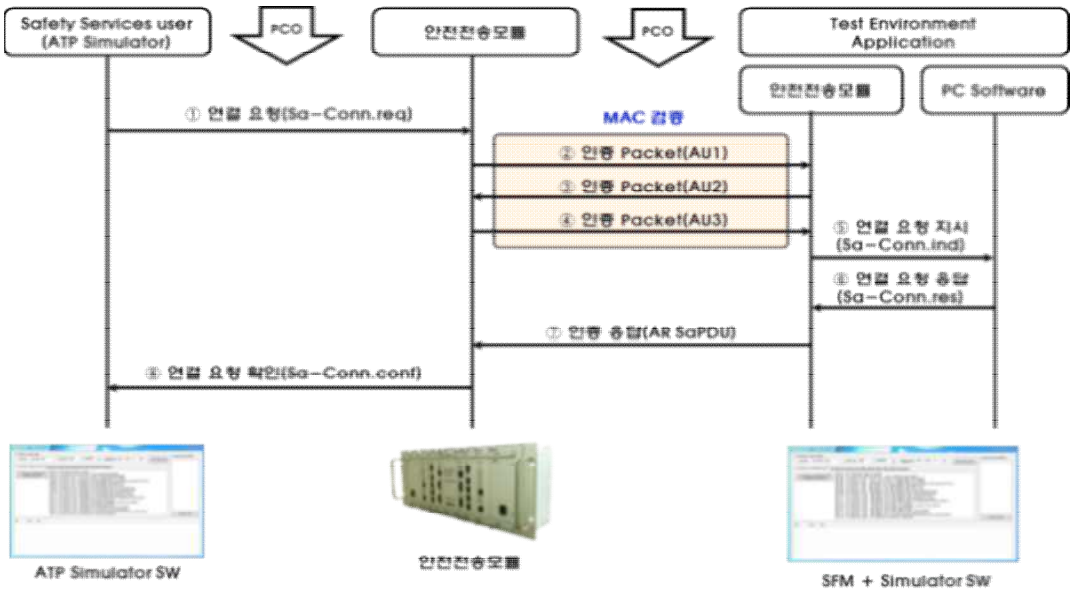
검증 대상인 안전전송모듈을 중심으로 ATP 역할을 수행하기 위한 Safety Services user와 상대편 안전전송모듈과 ATP 기능을 가진 검증용 S/W로 시험 환경을 구성하였다. 각 장치 혹은 S/W 간에 제어 및 감시 포인트(PCO)을 통하여 저장되는 로그는 향후 안전전송모듈 기능 및 동작의 정확성을 판단하기 위한 자료로 활용된다.




<그림 2-3-5-91> Test case 시험 시스템 구성

Test case 별 시험을 위하여 시험 시스템 구성에서 “Safety Service user"와 "Test environment Application" 기능을 제공하는 별도의 검증용 S/W를 개발하여 적용하였다. 개발된 S/W는 직접적으로 안전전송모듈과 통신하며, 해당 통신에 대한 로그를 남길 수 있도록 설계 구현되었다. 또한 화면의 Tap를 이용하여 Connection, Data transfer, Disconnection 그룹 내 포함되어 있는 test case 별 선택 및 전송이 가능하도록 구현되어 있다.

안전전송모듈의 기능을 검증하기 위하여 개발된 검증용 소프트웨어와의 모의시험에 대한 시스템 구성 및 절차를 간략하게 살펴보면 다음과 같다. 시험은 테스트 케이스 1번을 기준으로 정의하였고, PCO(Point of control and observation)를 통하여 데이터 로그를 저장하였다. ATP Simulator에서 전송된 연결요청(Sa-Conn.req) 명령에 대하여 안전전송모듈과 Test Environment Application는 상호간의 인증 단계(MAC)를 거치게 된다. 이후 Test Environment Application 내부적으로 연결요청 지시(Sa-Conn.ind), 연결요청응답(Sa-Conn.res)를 거쳐 연결 요청에 대한 인증응답(AR SaPDU)을 안전전송모듈로 전송한다. 안전전송모듈은 ATP Simulator에게 연결요청확인(Sa-Conn.conf) 명령을 회신함으로서 시험에 대한 절차가 완료한다. 데이터 로그는 모든 절차에 대한 정보가 저장된다.




<그림 2-3-5-92> 시험 시스템 구성 및 절차도

이와 같은 방식으로 테스트케이스 1번부터 46번까지 시험을 진행하고, 개별 케이스별로 저장된 로그 데이터를 분석하였다. 로그는 정의된 절차에 의해 정상적으로 정보가 전송되고, 전송된 정보의 프로토콜 구조가 정확한지 여부를 기준으로 성공 판정을 위한 기준으로 하였다.

## ② 공인기관 시험

### ㉮ 지상 안전전송모듈

지상 안전전송모듈을 대상으로 공인기관 시험을 통하여 저온 및 고온 환경에서 제품의 성능 및 기능의 이상 유무를 확인하였다. 저온 및 고온에서의 동작 시험 결과는 다음과 같다.

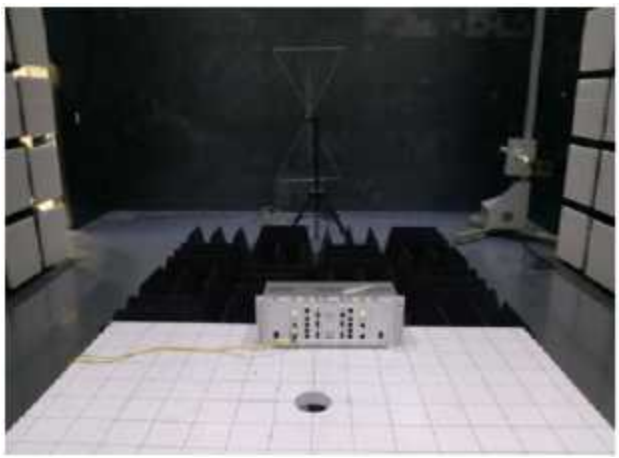
<표 2-3-5-38> 지상 안전전송모듈 온도시험 결과(저온)

| 구분 | | 확인 시간 | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 확인사항 | 사료 | 시험 전 | 0℃ | 시험 후 | |
| 외 관 | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| LED | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| Ethernet을 이용한 Monitoring | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |

<표 2-3-5-39> 지상 안전전송모듈 온도시험 결과(고온)

| 구분 | | 확인 시간 | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 확인사항 | 사료 | 시험 전 | 55℃ | 시험 후 | |
| 외 관 | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| LED | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| Ethernet을 이용한 Monitoring | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |

지상 안전전송모듈의 안정적인 운영을 검증 및 시험하기 위하여 공인기관을 통한 전자파 시험을 수행하였다. 전자파 시험 항목은 KS C IEC61000-4-2-6 내구성 시험을 수행하였고 시험 장면 및 시험 결과는 다음과 같다.




<그림 2-3-5-93> 지상 안전전송모듈 전자파시험 장면

㈏ 차상 안전전송모듈

지상 안전전송모듈을 대상으로 공인기관 시험을 통하여 저온 및 고온 환경에서 제품의 성능 및 기능의 이상 유무를 확인하였다. 저온 및 고온에서의 동작 시험 결과는 다음과 같다.

<표 2-3-5-40> 차상 안전전송모듈 온도시험 결과(저온)

| 구분 | | 확인 시간 | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 확인사항 | 사료 | 시험 전 | -20℃ | 시험 후 | |
| 외 관 | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| LED | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| Ethernet을 이용한 Monitoring | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |

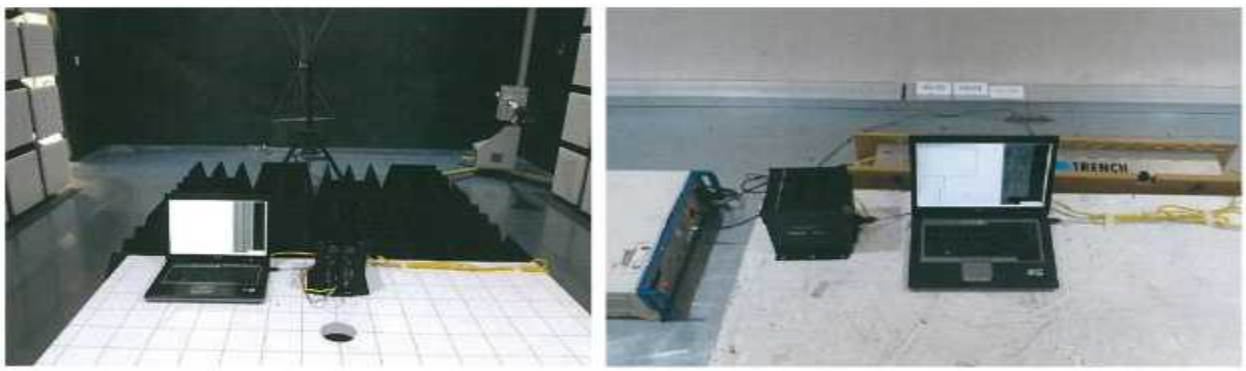
<표 2-3-5-41> 차상 안전전송모듈 온도시험 결과(고온)

| 구분 | | 확인 시간 | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 확인사항 | 사료 | 시험 전 | 60℃ | 시험 후 | |
| 외 관 | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| LED | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |
| Ethernet을 이용한 Monitoring | #1 | 정상 | 정상 | 정상 | 이상없음 |



<그림 2-3-5-94> 차상 안전전송모듈 온도 시험 장면

차상 안전전송모듈의 안정적인 운영을 검증 및 시험하기 위하여 공인기관을 통한 전자파 시험을 수행하였다. 신뢰성 시험 항목은 지상 안전전송모듈과 동일한 기준인 KS C IEC61000-4-2~6 내구성 시험을 수행하였다. 차상 안전전송모듈 또한 지상 안전전송모듈과 동일하게 5가지 시험기준에 만족하였고, 해당 시험장면 및 시험성적서는 다음과 같다.



<그림 2-3-5-95> 차상 안전전송모듈 전자파 시험 장면

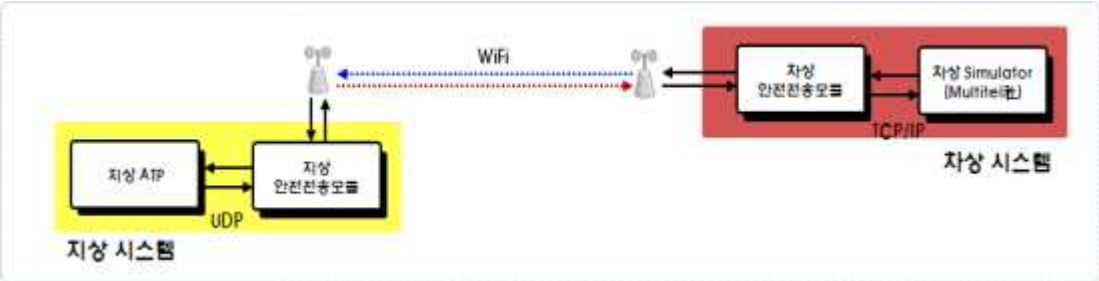
차상 안전전송모듈은 온도 및 전자파 시험 항목 외에 열차에 직접적으로 탑재되는 장치임에 따라 차량 환경을 고려한 진동 시험도 함께 진행을 하였다. 진동 시험 기준은 국내외 열차 부품 진동 규격인 “KS C IEC61373″를 기준으로 하였다. 해당 시험 기준은 1종 차체 설치품(B 등급 : 차체 직접 설치된 기기함 내붕에 설치되는 부품)으로 선정하였고, 시항항목으로는 기능 랜덤시험, 모의 장기 수명시험, 충격 시험으로 구성되어 있다. 시험 장면 및 시험결과는 다음과 같다.



<그림 2-3-5-96> 차상 안전전송모듈 진동 시험 장면

### ③ 안전전송모듈 통합 실험실 시험

통합 시스템에 대한 연계 시험은 안전전송모듈을 중심으로 지상의 경우 지상 ATP와 그리고 차상의 경우 차상 Simulator를 통하여 정보 연계 시험을 진행하였다. 지상 ATP와 지상 안전전송모듈은 UDP 통신을 기반으로 정보를 연계하고, 차상 Simulator는 TCP/IP를 통하여 정보를 연계하였다(3차년도).




<그림 2-3-5-97> 지상-차상 시스템 구성

㉮ 지상 ATP ↔ 안전전송모듈 단위 연계 시험

지상 ATP 장치와 지상 안전전송모듈 간 단위 시험은 차상 시스템을 배제하고 별도로 개발된 검증용 S/W를 통하여 시험을 진행하였다(당해연도 연구목표가 차상 Simulator와의 연계시험이고, Simulator에서는 다양한 응용 시험이 어렵기 때문). 지상 ATP와 지상 안전전송모듈은 기본적으로 UDP 통신을 통하여 정보를 교환하고, 검증용 S/W와의 TCP/IP로 연결된다. 검증용 S/W는 개념적으로 차상 안전전송모듈과 차상 ATP의 일부 기능을 제공한다.

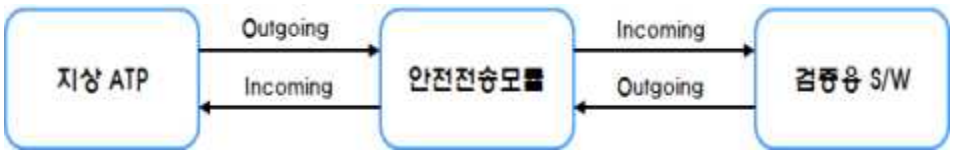



<그림 2-3-5-98> 지상 ATP-안전전송모듈 단위시험 시스템 구성

지상 ATP와 안전전송모듈 간 단위 시험은 지상-차상 간 송수신되는 메시지 내용 보다는 송수신되는 데이터 형식의 정확성(프로토콜) 및 절차 등을 중심으로 진행되었다. 이는 안전전송모듈 자체가 지상-차상 간 정보 송수신을 위한 채널이지 별도로 메시지를 분석하여 가공하여 처리하는 모듈이 아니기 때문이다. 단위 시험의 주요 항목은 Subset 092-2의 Test case 항목을 중심으로 지상 ATP 및 안전전송모듈의 정확한 동작에 대한 시험을 진행한다.

Subset 092-2의 Test case에는 모두 46가지의 시험 시퀀스가 정의되어 있다. 앞서 언급했던 시험 시스템 구성을 기준으로 통신 세션을 관리하고 데이터를 송수신하는 절차에 대한 시험을 진행한다. 단, Test case 중 지상 ATP와 관련이 없는 시험 항목은 본 단위 시험에서 제외하였다.

Test case는 모두 5가지의 그룹으로 형성되어 있고, 최초 연결과 관련된 2개의 그룹과 데이터 전송에 1개 그룹 그리고 연결 해제와 관련하여 2개의 그룹으로 구성된다. Test case 명령의 흐름은 안전전송모듈을 중심으로 명령의 시작하는 주체가 “outgoing”이고, 수신하는 장치(혹은 S/W)가 “Incoming”를 의미한다.




<그림 2-3-5-99> Test case 명령 흐름

지상 ATP-안전전송모듈 단위 시험 결과 모든 항목을 만족시켰다.

㉯ 차상 Simulator ↔ 안전전송모듈 단위 연계 시험

차상 Simulator와 차상 안전전송모듈 간의 단위 시험은 지상 ATP 장치처럼 Subset

092-2의 test case처럼 정상 동작과 비 정상적인 동작을 구분하여 연계 시험하는 것이 현실적으로 불가능하다(Simulator는 정상동작만 지원). 이에 차상 Simulator와 차상 안전전송모듈이 Subset 037의 통신 프로토콜을 준수했다는 전제하에 정상적인 통신이 이루진다면 이를 단위 연계 시험의 결과로서 가름하고자 한다. 단위 시험 구성도는 차상 안전전송모듈과 차상 Simulator간에는 TCP/IP 통신으로 정보를 연계한다. 이는 차상 Simulator가 PC 기반으로 운영됨에 따른 조치이며, 향후 차상 ATP 장치가 4차년도에 도입될 경우 실질적인 정보 연계방식을 고려하여 RS-422 통신으로 진행할 계획이다.




<그림 2-3-5-100> 차상 Simulator - 안전전송모듈 단위시험 시스템 구성

차상 Simulator와 안전전송모듈 그리고 지상 ATP 장치와의 정보가 정상적으로 연계됨에 따라 차상 Simulator와 차상 안전전송모듈 간의 단위 시험 또한 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

㉰ 차상 ATP↔ 안전전송모듈 단위 연계 시험

차상ATP와의 인터페이스 성능을 검증은 UNISIG Subset-037 사양 기준으로 안전연결 요청 및 응답에 관한 통신채널의 설정, 데이터 전송 및 수신에 관한 데이터 송·수신, 안전해제 요청 및 수신에 관한 통신세션의 종료의 단계로서 수행되었다. 인터페이스 수행결과 모든 항목이 시험 기준에 만족하였다.



<그림 2-3-5-101> 차상ATP내 차상 안전전송모듈 장착 사진

(2) 실용화 연계기술 연구

(가) 무선폐색센터(RBC) 및 철도관제시스템

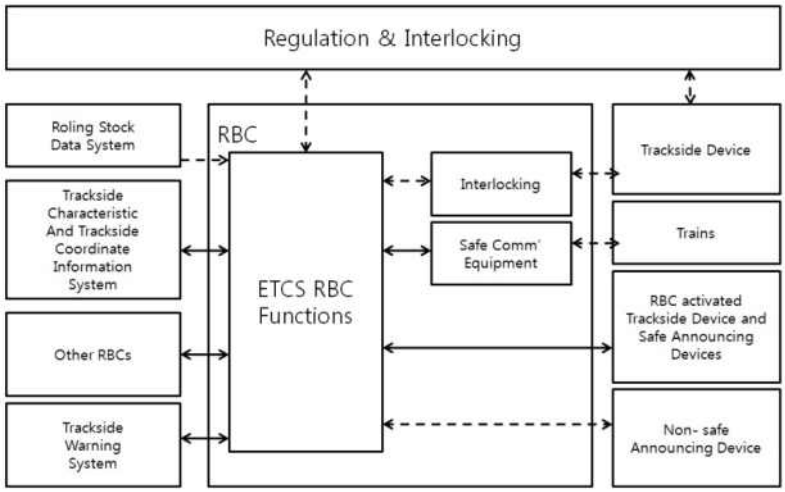
① 무선폐색센터(RBC)

무선폐색센터(RBC)는 바이탈 시스템으로써 열차의 이동 권한 생성 및 열차 방호를 위한 정적 속도 프로파일 생성 등의 역할을 한다. 또한 무선폐색센터는 안전정보 전송 장치를 통해 차상 장치와 인터페이스하고 네트워크를 통해 연동장치와 인터페이스 하여 열차를 방호하고 현장의 정보를 종합하여 사령설비인 ATS설비로 정보를 제공하거나 ATS를 통한 제어를 수신한다.

- 무선폐색센터(RBC)의 기능

기존의 전통적인 방법의 신호 시스템이 궤도에 설치된 신호기 기반의 이라면 ETCS Level 2의 신호 시스템은 무선기반의 신호시스템 이다. 무선폐색센터는 네트워크를 통해 차상 시스템으로 이동권한을 보낸다.

무선으로 전송되는 데이터는 이동권한뿐만 아니라 영구 속도 제어, 임시속도제어, 구배 등의 정보를 함께 포함 하고 있다. 또한 무선폐색센터는 역과 역사이의 구간에서는 자체적으로 열차의 이동권한과 방호를 진행하고 역 구내에서는 연동장치와 유기적으로 협력하여 열차의 이동권한을 생성한다.




<그림 2-3-5-102> 무선폐색센터(RBC)와 인터페이스 장치

② 철도관제시스템

철도관제시스템은 전국의 일반철도와 고속철도 열차 운행관리를 하나의 관제실 내에 통합하여 열차 운전 통제 및 감시업무의 일관성, 효율성, 적시성을 기하고, 지휘계통을 최적화함으로써 인력 및 설비 유지관리 비용구조를 개선하고 이례적인 상황 발생 시 신속한 대처로 열차 지연을 최소화하여, 열차 안전운행을 확보할 수 있도록 한다.

철도관제시스템은 운영 관제실, 신호 컴퓨터실, 상황실과 전원실로 구성이 된다.

(나) 무선폐색센터(RBC) 및 철도관제시스템 구성기술 연구

① 해외 운영사례

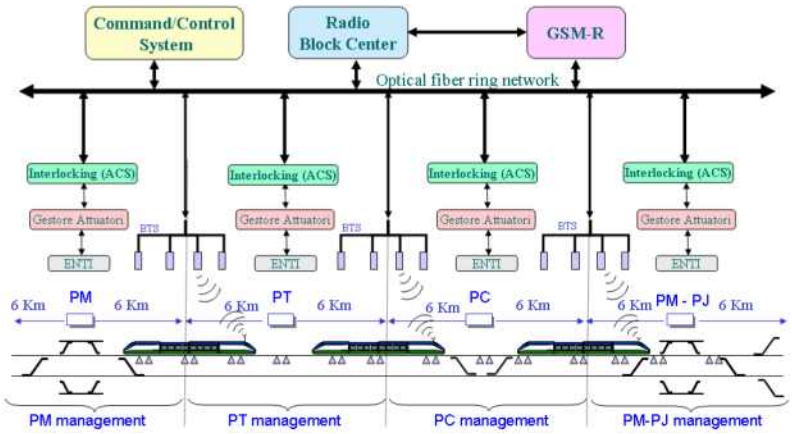
ERTMS/ETCS 개발 당시, 유럽 내 통일화된 통신규격인 GSM를 활용하여 무선(GSM-R)에 의한 열차제어시스템으로 Level 2~3가 개발되었으며, 현재 유럽 각국의 주요 도시를 연결하는 노선에 적용되고 있다.

유럽의 운영 현황에서 보는 것과 같이 주요 노선에는 이미 ERTMS/ETCS 열차제어시스템이 설치되어 운영 중에 있으며, 자료에 열거된 대부분의 노선은 이웃 국가를 연결하는 주요 노선이기 때문에 국가 간 철도노선의 연결과 고속열차의 운행을 위해 ERTMS/ ETCS가 설치되었음을 알 수 있다.

기존선 열차제어시스템의 Re-signalling과 ATP 열차제어시스템 간의 상호호환성을 목표로 개발된 ERTMS/ETCS는 기존의 신호시스템 위에 중첩되어 설치되는 경우, 유일한 열차제어시스템으로 ERTMS/ETCS를 설치하는 경우가 있다. 현재 대부분의 ETCS 노선은 Level 1, Level 2, Level 1+2(전체구간을 나누어 L1와 L2를 레벨전환으로 운영) 그리고 Level 1과 2가 동시에 설치된 경우로 분류되며, 노선의 운영 목적에 따라 시스템을 선정하여 운영되고 있다.

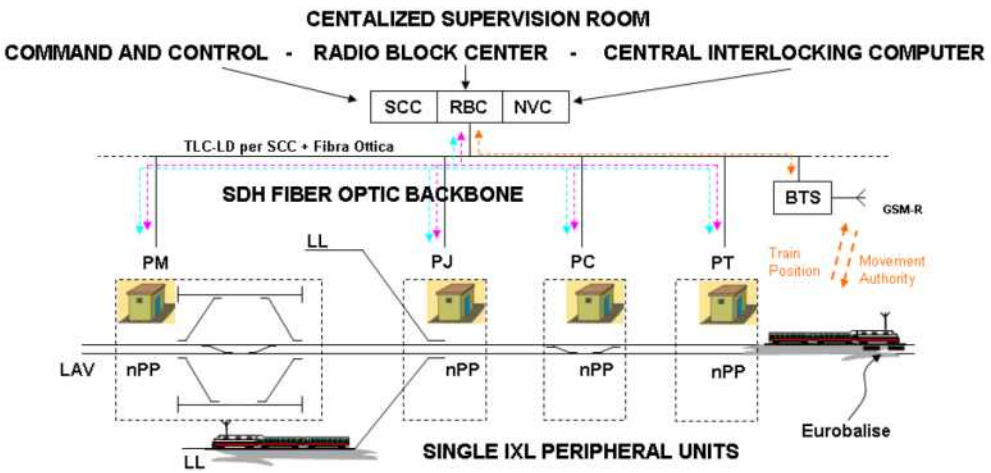
ETCS Level 2를 운영하고 있는 이탈리아에서는 아래 그림에서와 같이 시스템을 구성하여 운영하고 있다. RBC는 선구를 운행하는 열차의 점유 정보, 역사 내부

및 폐색구간의 건넘선 선로전환기 전환 상태정보를 각 역사에 위치한 전자연동장치로부터 전달 받게 된다. 현장에서 입수된 현장정보를 기초로 하여 RBC는 열차를 제어하는 제어정보를 생성하고 GSM-R 네트워크를 통하여 열차의 차상장치에 전달하게 된다. 열차는 지상의 RBC로부터 전달 받은 이동권한 정보 및 운행속도 정보를 받아 운행하게 된다. RBC는 운행 선구에 이례사항이 발생한 경우 열차에 제어정보를 전달하여, 서행운전 또는 비상정지를 시켜 열차의 안전성을 확보할 수 있다.




<그림 2-3-5-103> Roma - Napoli High/Speed Signalling System Architecture

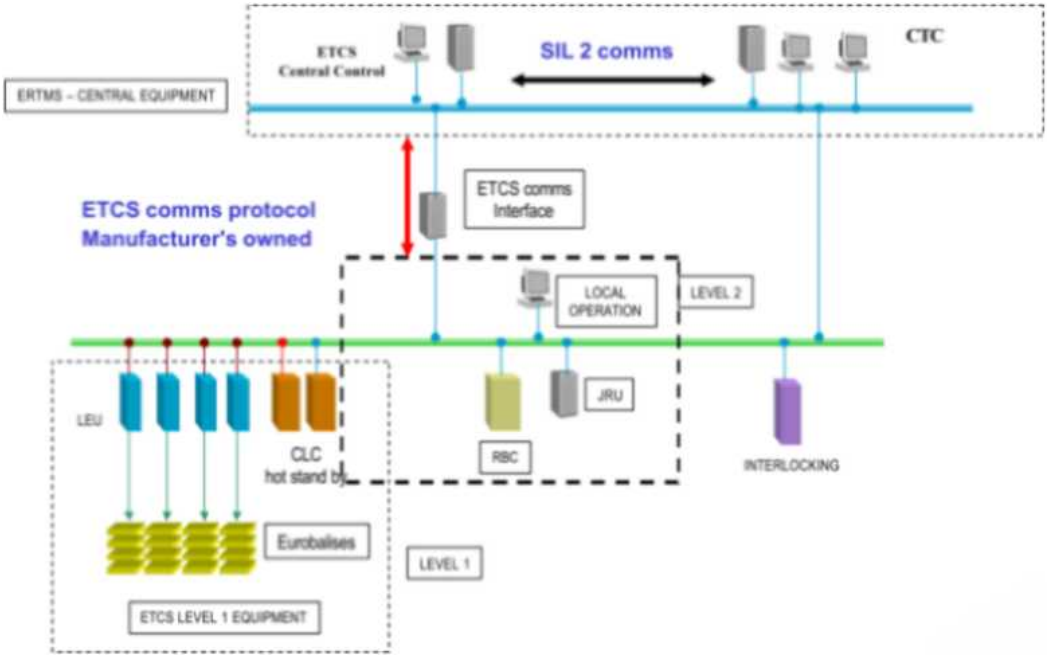
아래의 그림에서 보는 것과 같이 이탈리아 고속선인 Milano-Bologna-Firenze 노선에서는 집중화된 열차감시가 가능하도록 열차제어(SCC)와 ETCS Level 2 레벨 운영을 위한 RBC, 그리고 집중형 전자연동장치를 한곳으로 집중하여 운영의 효율성을 나타내고 있다.




<그림 2-3-5-104> 이탈리아 Milano-Bologna-Firenze 고속선 구성도(집중형 RBC)

다음은 RBC가 ETCS L2 운영 노선의 신호기계실에 설치된 구성도를 볼 수 있다. RBC 기계실에는 RBC, JRU 및 Local Operation Console이 위치하게 되며, 관제시스템에는 ETCS Central Console이 위치하여, 감시 및 제어가 가능하게 구성되

어 있다.




<그림 2-3-5-105> RBC 기계실이 현장에 설치된 경우(분산형 RBC)

② 국내 적용방안

국내에서는 도시철도를 제외한 모든 철도에 대하여 모니터링이 가능하도록 철도교통관제센터를 운영 중에 있다. 철도운영의 효율성을 높이기 위하여 운영권역에 따라 분리되어 운영되었던 지역관제를 통합한 것으로, 세계적으로도 한 나라의 철도운영을 한곳에서 모니터링 할 수 있는 나라는 찾기가 쉽지 않다.

기존 일반철도의 철도신호시스템은 차상과 지상간의 통신은 주로 음성이 주를 이루었으나, 현재 개발 중인 ETCS L2 시스템은 차상과 지상의 데이터 통신이 가능한 철도신호시스템으로 운영될 예정이다. 따라서 ETCS L2 설치 노선과 철도교통관제센터 사이의 인터페이스를 통하여 열차의 운영정보와 열차의 제어가 가능한 구조가 되도록 설계되어야 한다.

㉮ RBC 배치 방안 검토

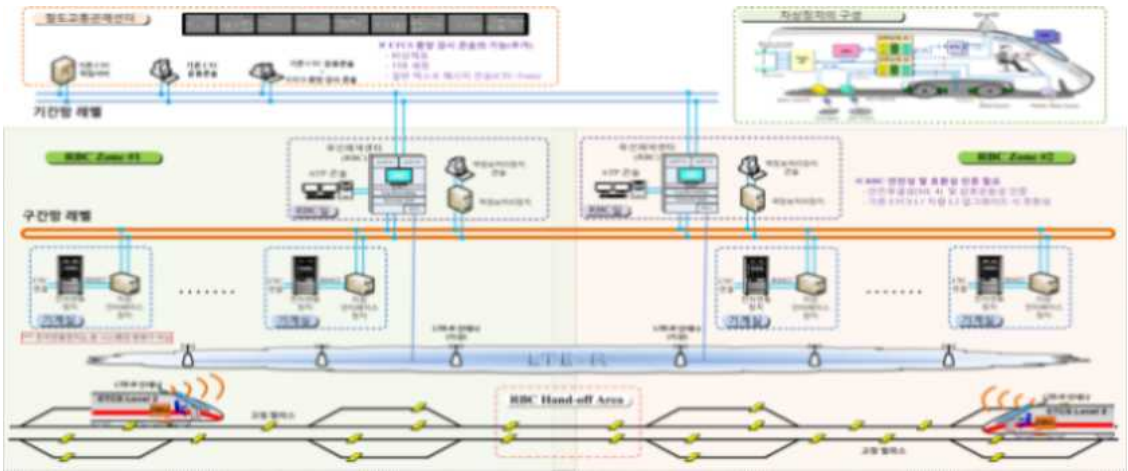
ETCS L2의 주요 설비인 무선폐색센터(RBC)는 약 70~80[km] 범위 내의 선로에 있는 열차를 제어할 수 있는 성능을 가지고 있다. 따라서 각 연동역의 기계실에 위치하지 않으며, 관제시스템이 있는 곳에 집중형으로 배치하거나 약 70~80[km]마다 RBC를 배치하여 분산형으로 운영하게 된다.

국내 철도운영 환경을 고려하여 효과적인 RBC 배치 방안의 장·단점 비교는 다음과 같다.

<표 2-3-5-42> RBC 배치 구조에 따른 장·단점 비교

| | RBC 집중형 구조<br>(관제시스템과 같은 곳에 위치) | RBC 분산형 구조<br>(현장 노선의 RBC 기계실에 위치) |
|---|---|---|
| 장점 | ▪ 집중 배치에 따른 유지보수 및 관리 수월<br>▪ 전 노선에 대한 감시를 통한 부분 통제 가능 | ▪ 이례상황 발생 시 구간 제어를 통한 부분 운영 가능<br>▪ RBC 설비 분산 배치에 따른 공간 확보 유연<br>▪ 현장 상황 대응에 의한 로컬 운전 취급 용이 |
| 약점 | ▪ 현장 - 집중형 RBC 설비 간 통신불능 시 전 노선 운영 중단<br>▪ RBC 설비 배치에 따른 공간 확보 필요<br>▪ 설비와 로컬 콘솔 분리에 따른 로컬 운용의 어려움 발생 | ▪ 분산 배치에 따른 유지보수 및 관리 불편<br>▪ 로컬 콘솔에 의한 L2 전 구간 제어 및 감시 불가<br>▪ 분산된 RBC 기계실 시설 투자비 증가 |

국내 철도운영환경을 고려한 RBC 배치 방안은 아래 그림과 같으며, 제어권역 내 위치한 역사에 신규로 RBC 기계실을 설치하여 분산형으로 운영하는 방안을 제시한다.



<그림 2-3-5-106> ETCS-L2 RBC 및 철도관제시스템 구성도(안)

ETCS L2 RBC 및 철도관제시스템 구성 설비는 다음과 같다.

- RBC 실
  · 무선폐색센터(RBC) 랙
  ☞ ATP 1계, 2계
  ☞ ATP 모니터링 콘솔
  ☞ Log Recording
  ☞ Network Hub
  ☞ 안전전송모듈(STU)
  · 지상인터페이스 장치 랙
  · 역정보처리장치 랙
  · 역정보처리장치 콘솔

- 신호기계실
· 전자연동장치
· 지상인터페이스장치
· 철도관제시스템 내부
· ETCS 중앙 감시 콘솔(기존 CTC 운영콘솔에 S/W 업그레이드 적용)

㉯ 현장 RBC 기계실 배치 일반사항

현장에 설치되는 RBC 기계실은 일반 신호기계실과 동일한 설치 기준으로 설치되어야 하며, RBC 제어 권역 내 존재하는 역사 중 하나를 선택하여 일반 신호기계실과 별도로 분리하여 건설하여 운영하도록 한다.

<표 2-3-5-43> RBC 기계실 설비 물량 및 수량

| 설비명 | 규격 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 지상인터페이스장치랙 | 19인치 랙 | 1 ea | |
| 역정보처리장치랙 | 19인치 랙 | 1 ea | |
| 역정보처리장치콘솔 | 제어콘솔탁 | 1 ea | IPC, 모니터, 마우스 및 키보드 |
| 무선폐색센터랙 | 19인치 랙 | 1 ea | |

㉰ RBC 설치에 따른 전원장치 검토

신호설비에 공급되는 전원이 불안정하여 갑작스러운 배전선로 정전이나 전원공급장치에 문제가 발생될 경우 ETCS L2 시스템으로 열차운행이 불가능하게 될 것이므로 반드시 상용전원과 예비전원으로 2중계화(고배선 2중계)한다. 전원공급원이 정상적으로 동작하는 경우에는 상용전원을 사용하고 상용전원의 정전이나 고장 또는 저전압 상황이 발생될 시는 자동절체기(ATS)에 의해 예비전원으로 자동절체 되도록 구성하며 사용전원이 복구되면 자동으로 원래 상태로 환원되는 구조로 설비를 구축하여야 한다.

그리고 전원배전반의 화재 시 방재장치가 없어 설비자체가 전소된 후 진화되므로 사전에 2차 피해가 되지 않도록 전원배전반 내부에 화재 시 설비 보호를 위하여 자동소화장치를 설치하여 화재의 피해를 최소화 한다.

전원설비의 구성은 전원 입력 측의 전원을 수전하는 입력 측 수전반, 자동절환스위치(ATS)반, 자동전압조정(AVR)장치, 무정전전원장치, 축전지반, 출력부하측의 신호배전반으로 구성한다.

㉱ RBC에 의한 열차 감시 및 제어

무선에 의해 차상-지상 간 통신이 가능한 열차제어시스템인 ETCS L2는 ETCS에서 정의하는 패킷에 의해 지상 RBC의 제어정보를 차상 EVC로, 차상 EVC의 상태정보를 지상 RBC로 전송하게 된다.

무선폐색센터(RBC)는 제어 범위 내에 있는 열차의 운행 정보를 모니터링 할 수 있으며, 해당 열차를 선택하여 제어 정보를 차상에 전달 또는 해당 구역을 선택하여 운행속도를 제어 할 수 있다.

지상에서 차상으로 전달하는 제어정보와 차상에서 지상으로 전달하는 운행 정보는 다음의 ETCS 메시지(ERTMS/ETCS Subset-026 SRS Chap.8)에서 정의하는 것과 같다.

<표 2-3-5-44> Track to Train radio message

| Mes. Id. | Message Name | Type | Invariant |
|---|---|---|---|
| 2 | SR Authorization | N | No |
| 3 | Movement Authority | N | No |
| 6 | Recognition of exit from TRIP mode | N | No |
| 8 | Acknowledgement of Train Data | N | No |
| 9 | Request to Shorten MA | N | No |
| 15 | Conditional Emergency Stop | E or N | No |
| 16 | Unconditional Emergency Stop | E or N | No |
| 18 | Revocation of Emergency Stop | N | No |
| 24 | General message | N | No |
| 27 | SH Refused | N | No |
| 28 | SH Authorized | N | No |
| 33 | MA with Shifted Location Reference | N | No |
| 34 | Track Ahead Free Request | N | No |
| 37 | In-fill MA | N | No |
| 40 | Train Rejected | N | No |
| 32 | Configuration Determination | N | Yes |
| 38 | Initiation of a communication session | N | Yes |
| 39 | Acknowledgement of termination of a communication session | N | Yes |
| 41 | Train Accepted | N | No |
| | | | |
| 43 | SoM position report confirmed by RBC | N | No |
| 45 | Assignment of coordinate system | N | No |

<표 2-3-5-45> Train to Track radio messages

| Mes. Id. | Message Name | Type | Invariant |
|---|---|---|---|
| 129 | Validated Train Data | N | No |
| 130 | Request for Shunting | N | No |
| 132 | MA Request | N | No |
| 136 | Train Position Report | N | No |
| 137 | Request to shorten MA is granted | N | No |
| 138 | Request to shorten MA is rejected | N | No |
| 146 | Acknowledgement | N | No |
| 147 | Acknowledgement of Emergency Stop | N | No |
| 149 | Track Ahead Free Granted | N | No |
| 150 | End of Mission | N | No |
| | | | |
| 153 | Radio in-fill request | N | No |
| 154 | No compatible version | N | Yes |
| 155 | Initiation of a communication session | N | Yes |
| 156 | Termination of a communication session | N | Yes |
| 157 | SoM Position Report | N | No |
| | | | |
| 159 | Session Established | N | No |

위에 제시된 메시지는 차상-지상 간 약속된 메시지이며, 특정 패킷을 이용한 차상-지상 간 데이터 전송은 다음과 같다.

<표 2-3-5-46> 차상-지상 간 제어 및 상태보고용 패킷리스트

| 전송 패킷 / 전송 방향 | 패킷 리스트 및 사용 목적 |
|---|---|
| **차상 -> 지상 (상태정보 보고)** | ▪ Packer Number 0: Position Report<br>▪ Packet Number 4: Error reporting |
| **지상 -> 차상 (열차제어 정보)** | ▪ Packer Number 65: Temporary Speed Restriction<br>▪ Packet Number 66: Temporary Speed Restriction Revocation<br>▪ Packet Number 72: Packet for sending plain text messages<br>▪ Packet Number 76: Packet for sending fixed text messages |

열차의 상태정보를 지상 RBC로 전달에 사용하는 Packet 0(Position Report)는 다음의 표와 같이 구성되어 있으며, 전송되는 정보를 통하여 열차운행 속도, 열차운행 방향, 열차운행 모드, 열차운행 레벨을 확인할 수 있다.

㉮ 열차 운행정보의 감시

차상-지상 간 무선통신에 의하여 열차운행정보의 감시는 이루어진다. 국내에 도입된 열차제어시스템 중에 차상-지상 간 무선통신에 의해 열차운행정보의 감시가 가능한 시스템은 CBTC, 국가 R&D과제로 개발이 완료된 KRTCS가 있으며, 추

가적으로 ETCS L2시스템이 있다.

ETCS Level 2 핵심기술 개발이 완료되어 국내 철도관제시스템과 인터페이스를 통하여 열차운행정보의 감시가 될 경우를 고려하여, 국내에 도입된 열차운행 정보 감시에 대한 사례분석을 수행하였다.

㉮ ETCS L2 적용 시 열차운행정보 감시

ETCS Level 2에서는 무선에 의해 지상의 RBC와 열차가 통신을 하게 된다. 앞서 검토된 CBTC, KRTCS와는 좀 차이가 있지만, ETCS 차상장치가 지상의 RBC로 열차의 운행정보를 보고하고, 지상의 RBC에서는 열차에 제어 정보를 전달하거나, 텍스트 메시지 정보의 전달이 가능하도록 설계되어 있다.




<그림 2-3-5-107> ETCS Level 2 열차 상태 정보

위 그림은 차상의 운전상태를 지상 모니터링 콘솔에서 표시 되도록 구현된 창이다. ETCS Level 2 열차 상태 정보 창은 다음과 같은 열차 상태 정보를 표시한다.

- 열차 상태 정보(패킷 0: 위치 보고)

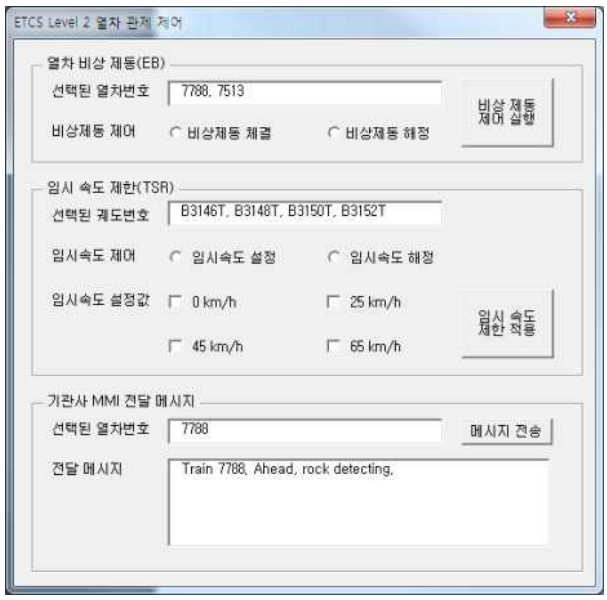
· 현재속도(km/h), 운전모드, 운전방향, 운전레벨

열차 상태 정보(패킷 0: 위치 보고)의 경우 창에 해당 정보가 입력되어 표시되며, 선로상의 LRBG를 통과 할 때 지상의 RBC로 보고가 되며 해당 정보의 업데이트가 된다.

- 열차 에러 상태 정보(패킷 4: 에러 보고)

· 발리스 에러 상태, 무선(Radio) 에러 상태, 기타(etc) 에러 상태

열차 에러 상태 정보(패킷 4: 에러 보고)의 경우 콘솔 모니터링 요원이 에러 발생 원인에 대한 파악이 용이하도록 해당 에러 원인 버튼이 주황색으로 활성화된다.




<그림 2-3-5-108> ETCS Level 2 열차 관제 제어 정보

위에 언급된 그림은 지상 모니터링 콘솔에서 차상에 전달되는 제어 정보를 나타낸다. 해당 창에 제어 정보를 입력하여 차상에 제어 정보를 전송하게 되며, 열차 비상 제동(EB), 임시속도 제한(TSR), 기관사 MMI 전달 메시지의 전송이 가능하다.

ETCS Level 2 열차 관제 제어 창은 다음과 같은 제어가 가능하다.

- 열차 비상 제동
- 임시 속도 제한(TSR)
- 기관사 MMI 전달 메시지

## (다) 무선통신기술 적용방안 연구

### ① 철도무선 운용현황에 대한 검토

철도산업은 유럽을 중심으로 미국이 선도하고 있으며 철도 기술의 수준은 각 국가의 지리학적 특성(영토의 넓이, 주변국과의 지리적 연결 상태)에 따라 철도의 유용한 정도와 비례하여 발달했다고 할 수 있다. 현 시점에서 열차제어용 무선통신 기술로는 유럽의 GSM-R, 미국의 PTC, 일본의 ATACS가 있는데 GSM-R이 세계적으로 가장 널리 사용되고 있다.

㉮ 해외 운용현황

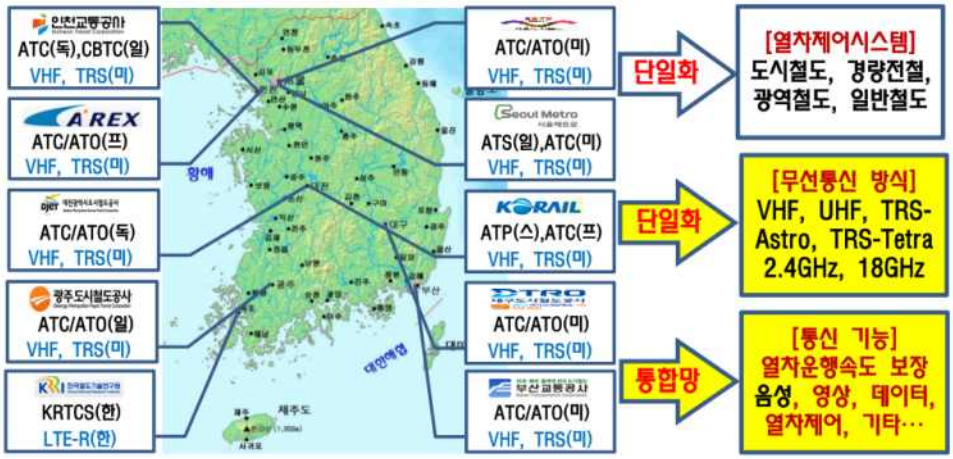
<표 2-3-5-47> 해외 철도무선통신 사용 현황

| 구분 | 제어방식 | 통신방식 | 주파수 | 주요내용 |
|---|---|---|---|---|
| 유럽 | ETCS Level 2 | GSM-R | 800 [Mhz] | ▪ 2015년까지 핵심 노선에 GSM-R이 의무 구축(기존 망 업그레이드 포함)될 예정이며, 2020년까지 40,000 [㎞]에 도입될 전망<br>▪ 영국: RSSB가 LTE-R 도입을 2020년으로 전망하며, 멀티기술 도입을 제안<br>▪ 스페인: LTE-R에 대한 개발협력 추진<br>▪ 프랑스: GSM-R 구축에 PPP 방식 활용 |
| 중국 | CTCS-3 | GSM-R | 900 [Mhz] | ▪ 2002년 CTCS 개발을 시작하고 GSM-R을 무선통신기술로 채택<br>▪ 2005년 GSM-R을 화웨이 장비를 통해 대진철도에 처음구축 운영<br>▪ 장비업자를 중심으로 고속철도에서의 LTE 기술 도입이 검토 중 |
| 인도 | ETCS Level 2 | GSM-R | 900 [Mhz] | ▪ One Indian One ATC 정책에 의해 2020년까지 GSM-R로 통합이 예상됨 |
| 대만 | D-ATC (유선) | TETRA | 400 [Mhz] | ▪ TETRA로 철도무선망을 구축한 최초의 사례<br>▪ 이동통신사인 청화텔레콤이 고속철도에서의 LTE 운영을 시험 검증 |
| 일본 | ATACS | 별도 | 400 [Mhz] | ▪ 011년부터 동일본철도에 의해 도시형 철도에 적용되어 운행 시작<br>▪ 개발부터 기본 기능 운행까지 약 17년의 시간이 소요됨 |
| 사우디 | ETCS Level 2 | GSM-R | - | ▪ 총 2,400 [㎞]에 달하는 North South Railway 프로젝트에 GSM-R 방식 채택 |
| 미국 | PTC | 별도 | 200 [Mhz] | ▪ 2015년까지 의무도입이 법제화되었으나 기술검증 등으로 지연 예상<br>▪ 캘리포니아 고속철도 프로젝트는 다양한 기술 방식 및 주파수 후보군을 검토한 후 GSM-R에 기반한 ETCS Level 2를 선정하여 700 [㎒] 대역 확보를 추진 |
| 브라질 | ETCS Level 2 | GSM_R | - | ▪ GSM-R에 기반한 ETCS Level 2를 고속철도에 도입하기로 결정하였으며 구체적인 주파수 확보 활동은 확인된 바 없음 |

㉯국내 운용현황

현재 국내의 경우 운영기관별로 상이한 열차제어시스템을 사용하고 있으며, 이에 따라 통신방식 또한 다양화되어 있다. 또한 대부분의 통신현황은 기관사와 관제사 또는 현장유지보수요원관의 무선통신을 위해 사용되며, 열차제어에 사용되는 경우는 극히 일부분에 지나지 않는다.

최근 국내 도시철도에 도입이 되고 있는 CBTC가 그 예이며, 무선에 의해 열차의 위치보고와 열차제어정보가 차상과 지상사이에 송수신된다. CBTC의 경우 ISM 밴드의 2.4[GHz]대역을 사용하고 있어 해킹과 DDOS 공격에 대한 위험성이 잠재되어 있다.




<그림 2-3-5-109> 국내 철도 신호/통신 시스템의 현황

국내의 경우 열차제어에 사용되는 통신대역이 없는 가운데 국외에서는 이동통신 환경의 변화로 2세대 통신방식인(GSM)에서 4세대 통신방식인(LTE)로 변경을 추진하고 있다. 철도 무선망으로 4G 등 광대역 기술을 적용할 경우 기존 음성 및 열차제어 기능뿐만 아니라, 고객 편의를 위한 다양한 서비스가 가능하다는 장점이 있어 최근 유럽을 중심으로 GSM-R 이후 차세대 철도 무선망에 대한 논의가 시작되었다. 또한 일부 국가에서는 4G  이동통신 기술을 이용한 철도 무선망 연구가 진행되고 있다. 현재 우리나라의 경우 철도용 무선통신은 음성통신용으로 국한되어 있을 뿐만 아니라, 통신 방식도 동일 노선 내에서 VHF, TRS 등 다양한 방식이 사용되고 있어 구간별로 단말기를 변경해야 하는 등 운영상의 비효율성이 존재하고 있다. 이에 우리나라는 국토해양부 등 관련 부처를 중심으로 광대역 이동통신 기술을 활용한 철도용 무선망 구축을 추진하고 있는데, 이와 같은 무선망을 통해 이미 유럽 등에서 운용 중에 있는 무선열차제어뿐만 아니라 음성, 영상, 데이터 등의 통합 서비스가 가능하다.

그러나 국제적으로 아직까지는 주파수 대역을 포함한 차세대 철도 무선망에 대한 논의가 활발하지 않은 상태이며, 국내에서 철도 무선망용 주파수를 선정하는 것은 다소 부담이 따르는 상황이다. 즉, 신규 주파수 대역 선정 시 규모의 경제를 고려해 국제 공통대역으로 선정하는 것이 바람직하나, GSM-R 이후 차세대 철도 무선망에 대한 논의가 현재 UIC에서 사용자의 요구사항을 논의하는 단계에 있으며, 기술방식도 일부 장비업체 등을 중심으로 LTE 방식의 철도적용 연구가 이루어지고 있어 아직은 초기 단계에 머무르고  있다고 할 수 있다.

따라서 국내 주파수 대역 선정 시 원활한 장비수급, 해외 시장 확대 및 망운용 편의성 등의 측면에 대한 종합적인 고려가 필요하며, 특히 전파특성, 표준대역 여부, 철도망 표준대역 선정 가능성, 회수재배치 등과 같은 확보 가능성에 대한 검토가 필요하다.

## ② ERTMS/ETCS L2 텔레그램 최적화 방안

### ㉮ 텔레그램 최적화 개요

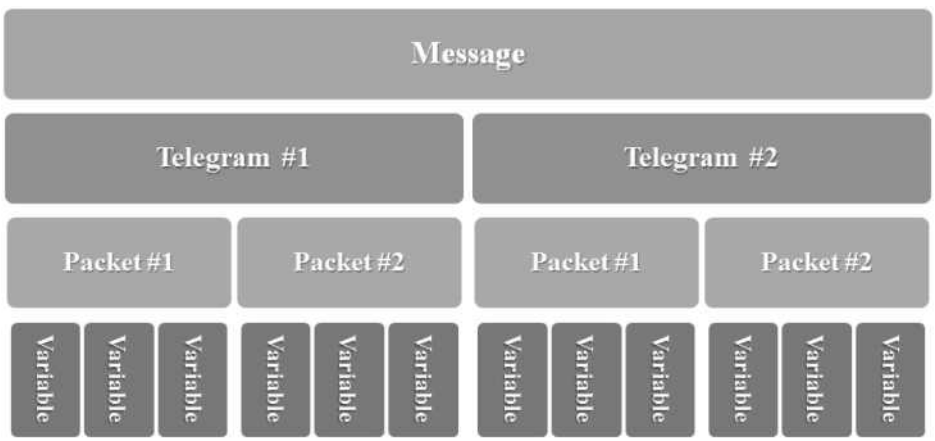
일찍이 유럽에서는 열차사고를 방지하고자 ATP 시스템을 개발하여 열차를 방호하여 왔으며, 근래에는 여러 ATP 시스템간의 상호운용성(Interoperability)을 목표로 유럽형열차제어시스템(ERTMS/ETCS)을 표준화하게 되었다. 이미 유럽 내 도시 간 열차제어시스템에서 ERTMS/ETCS가 많은 점유율을 확보하고 있으며, 국내에서도 경부·호남선을 시작으로, 경춘선, 전라선에 ETCS Level 1 시스템이 도입되어 영업운행 중에 있다. 유럽의 경우 이동통신 초기 단계부터 유럽 내 통신방식을 통일화하여 GSM방식을 사용하여 왔다. ERTMS에서는 이점을 착안하여 ETCS Level 2~3에서 무선에 의한 열차제어방식으로 GSM-R을 사용하고 있다. 하지만 초기에 제정된 GSM-R 스펙을 이용한 열차제어시스템 용량은 이미 포화 상태이며, 현재 Level 2를 운영하고 있는 유럽의 운영기관에서는 다른 통신방식으로의 전환을 계획하고 있지만, 여러 현실적인 문제로 인하여 그 진행이 지지부진한 실정이다.

본 연구에서는 국내에서 운영중인 경춘·전라선의 ETCS Level 1 텔레그램을 분석하여 향후 국내에 적용될 ETCS Level 2 텔레그램을 최적화하는 방안을 검토한다.

### ㉯ ETCS 시스템 구성 및 텔레그램 구조

- ETCS 텔레그램의 구성

ERTMS/ETCS에서는 1개의 발리스가 차상에 전송되는 데이터를 텔레그램(Telegram)으로 정의 한다. 발리스는 1~8개를 하나의 그룹으로 구성하여 설치되며, 각각의 발리스에서 전송된 텔레그램들이 하나의 메시지(Message)로 결합되어 차상에 전달된다. 아래 그림은 ERTMS/ETCS Subset-026 SRS에서 정의하는 발리스 그룹의 메시지 구조를 나타낸다.



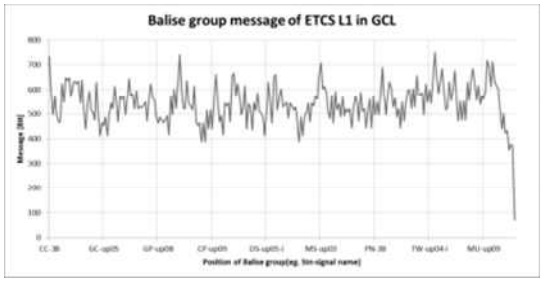

<그림 2-3-5-110> Structure of Message in ERTMS/ETCS

ERTMS/ETCS 운전모드 중 가장 안전성이 높으며 열차의 상태감시가 최고 상태인 모드를 완전감시(Full Supervision)모드로 정의하고 있다. 열차가 완전감시 모드로 운행하기 위해서는 지상에서 Packet #5(Linking), Pakcet# 12(Level 1 MA), Packet# 21(Gradient Profile), Packet# 27(International Static Speed Profile)이 차상으로 전송되어야 한다. 이 4가지 패킷을 FS모드 운행에 필요한 필수 패킷으로 정의할 수 있다.

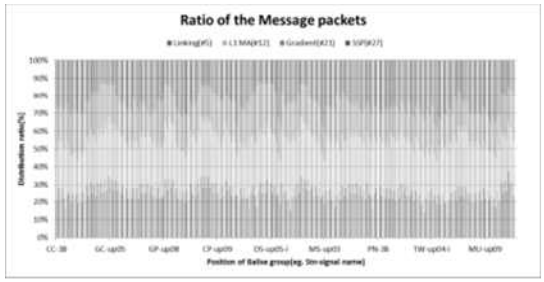
㉰ ETCS Level 1 텔레그램 분석 및 최적화

- 경춘선 ETCS L1 텔레그램 분석

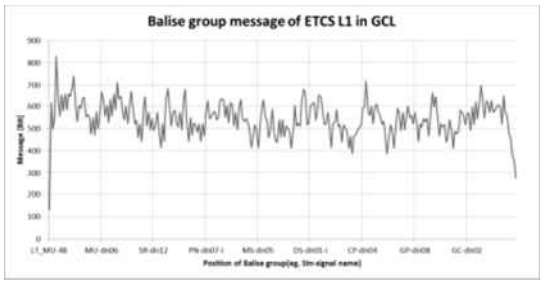
경춘선을 운행하는 ITX-청춘열차는 망우역을 출발하여 춘천역(하행기준)에 도착 하기 전까지 269개의 발리스그룹을 통과하게 되며, 상행열차는 257개의 발리스그룹을 통과하게 된다. 경춘선 전구간에 대한 텔레그램 분석은 통과 신호기의 최고 현시인 G현시(일부 구간은 커플링을 통하여 G + 1 section, G + 2 section)를 기준으로 검토되었다. 아래 그림은 차상에 전달되는 발리스 그룹별 메시지 용량과 FS모드로 운행시 전송되는 필수 패킷에 대한 비율을 나타낸 자료이다.



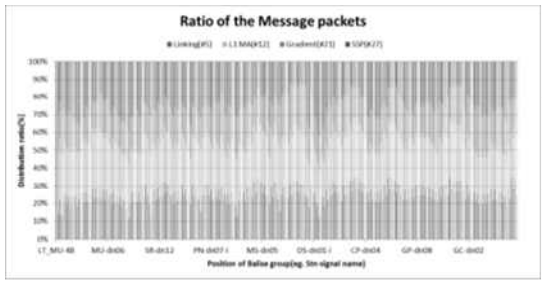

(a) Message capacity(Up direction)




(b) Packet ratio in Message(Up direction)




(a) Message capacity(Down direction)



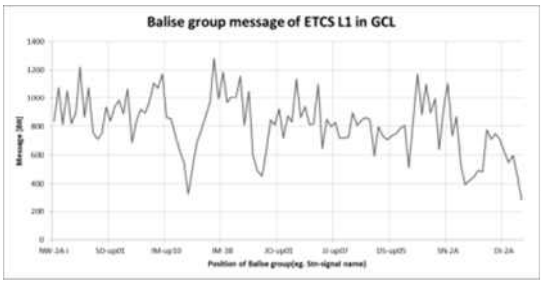

(b) Packet ratio in Message(Down direction)

<그림 2-3-5-111> Message capacity(a) and Packet ratio(b) in Gyeong-chun Line

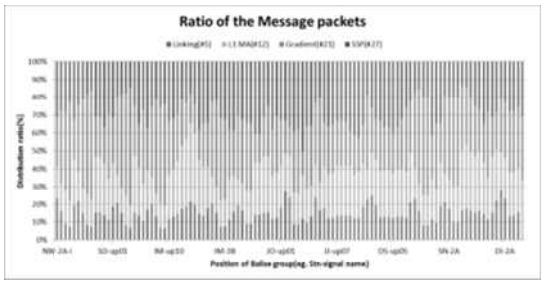
경춘선의 경우 본선에 있는 모든 신호기(구내폐색 신호기 제외)에 인필발리스 그룹이 존재하여, 5번 링킹 패킷이 전라선의 링킹 패킷과 비교하여 좀 더 큰 용량을 갖고 있다. 또한 폐색구간의 길이가 조밀하여, 전라선 대비 적은 메시지 용량으로 분석되었다.

- 전라선 ETCS L1 텔레그램 분석

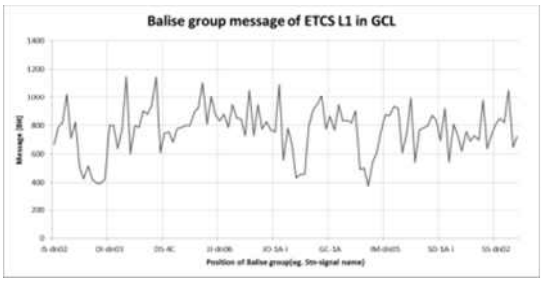
전라선 익산~남원 구간의 열차는 상행기준 109개의 발리스 그룹, 하행기준 110개의 발리스 그룹을 통과하게 된다. 경춘선 망우~춘천구간과 비슷한 80[km]구간이지만, 폐색분할이 더 길게 되었고, 폐색구간에서 인필발리스 그룹의 설치 차이로 인하여 발리스 그룹의 수량에서 ½정도 차이가 난다. 인필발리스 그룹의 존재 유무는 링킹패킷(5#)의 데이터 양에 영향이 있음을 확인하였다. 전라선 폐색길이는 경춘선에 비해 상대적으로 길기 때문에, 선로정보가 더 많이 포함되어 상대적으로 전체 메시지 용량이 큼을 확인할 수 있었다.



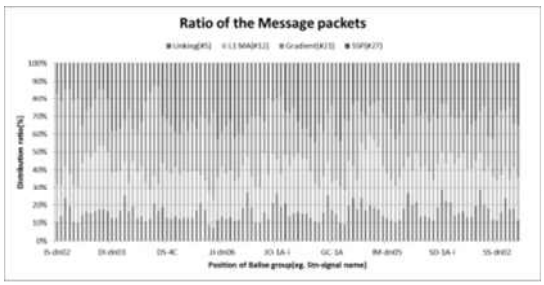

(a) Message capacity(Up direction)




(b) Packet ratio in Message(Up direction)




(a) Message capacity(Down direction)




(b) Packet ratio in Message(Down direction)

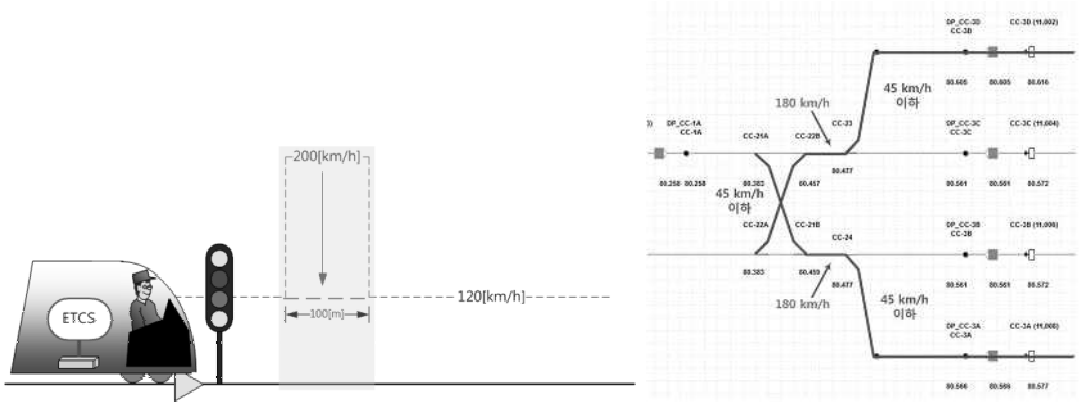
<그림 2-3-5-112> Message capacity(a) and Packet ratio(b) in Jeol-la Line

텔레그램을 구성하는 4개 필수 패킷과 운영상에 부가적으로 적용되는 패킷에 대한 검토를 수행하였다. 필수 패킷 중 5, 12번 패킷은 패킷 내부의 구조가 정형화되어 있어, 그 용량을 축소하는 것이 불가하다. 또한 5, 12번 패킷의 수정 시 안전성에 큰 위해 요소로 작용 될 수 있으며, 이동권한의 수정은 운행속도와 운행시간에 영향이 발생 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 21번(구배정보프로파일), 27번(정적속도프로파일) 패킷에 대한 최적화 방안을 연구하였다.

- 텔레그램 최적화 방안

· 정적속도제한 튜닝(SSP Tuning)

정적속도제한 튜닝은 열차의 가·감속 특성을 고려하여, 해당 구간의 제한속도를 준수하여 운행이 불가한 개소에 대한 속도제한의 평준화를 의미한다.




(a) SSP Tuning in Main line (b) SSP Tuning in Station

<그림 2-3-5-113>Algorithms of Telegram Optimization(1)

· 구배정보 튜닝(Gradient Tuning)

제동거리 내에 존재하는 구배정보에 대한 분포를 검토하여, 구배정보에 대한 간략화를 수행하여 구배정보 패킷에 대한 최적화를 적용한다.

㉮ 텔레그램 최적화 방안에 대한 결론

본 연구에서는 향후 국내에 적용될 예정인 ETCS Level 2 시스템과 관련하여 텔레그램 최적화 방안을 제시하였다. 최적화된 텔레그램은 효과적인 텔레그램 데이터 생성 및 처리가 기대되며, 지상 RBC(Radio Block Center)에서는 열차제어용량의 향상을, 차상에서는 이동권한 확장과 같은 부가기능에 최적화로 발생된 나머지 데이터 용량을 부여하거나 기타 용도로 사용 할 수 있을 것으로 예상된다.

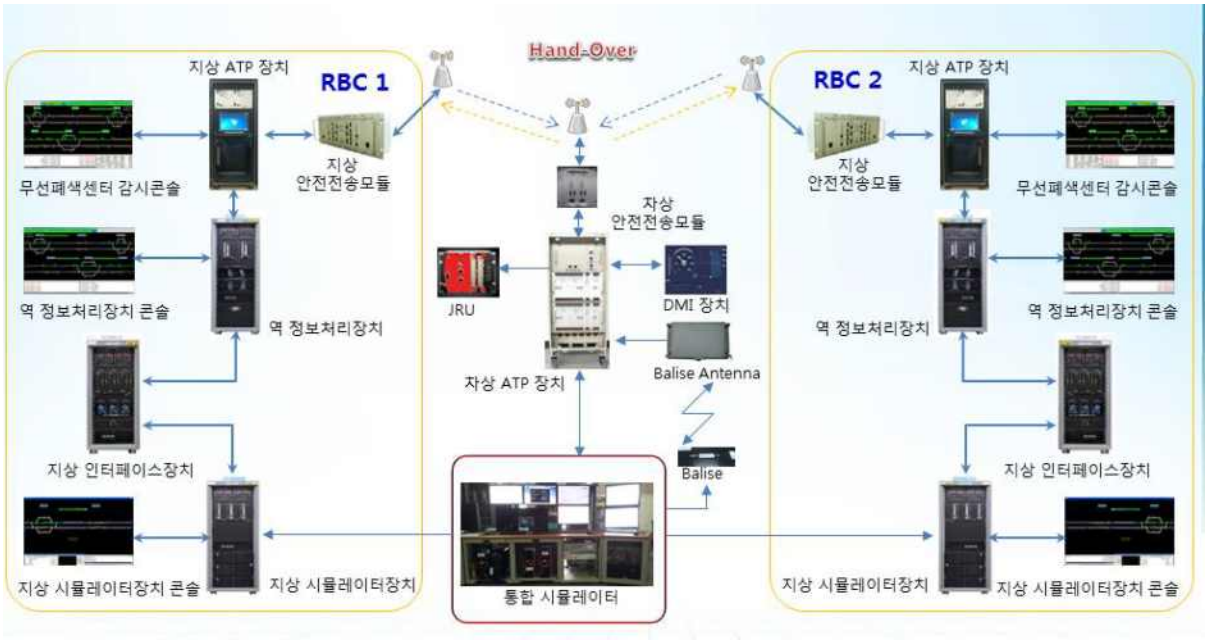
앞 절에서 언급된 텔레그램 최적화 알고리즘은 정적속도제한(SSP) 패킷, 구배정보 패킷에 대한 최적화와 User Packet(#44) 적용 범위의 재검토로 요약된다. 최적화 알고리즘 적용으로 인한 ETCS의 안전성 저하를 사전에 식별하기 위해 텔레그램 검증 프로세스(Telegram Validation Process)를 통한 안전성 검증을 수행하고, 운영기관과의 충분한 협의를 통하여 적용되어야 할 것으로 생각된다.

(5) 유럽표준 고속철도 열차제어 상호호환성 검증 및 엔지니어링

(가) 차상-지상 통합시험

① 통합시험 방법론

ETCS Level 2 시스템에서 지상 신호설비와 차상 ATP 장치의 성능을 검증하기 위해, 유럽 표준에서 제시하는 SubSet 076 Test Plan을 적용하여 통합시험을 진행하였다. 시험 환경 내에서 검증을 위해 선별된 Test Case의 실행을 위해 작성된 시험 절차에 의해 결과가 수행되는지 유무를 판단하여 시스템 성능을 검증한다. 시험절차는 ERTMS/ETCCS Level 2 시스템의 성능 검증을 위한 모든 Test Case 및 시스템 요구사항(SRS)를 선별하여 시험 절차서가 작성되었다. 시험은 지상 ATP 장치와 차상 ATP 장치의 메시지를 송수신하고 차상 ATP의 DMI를 통해 결과를 확인 한다.




<그림 2-3-5-114> 차상-지상 통합 시험 구성도

② 통합 시험 방안

실제적인 차상 ATP 장치와 지상 ATP 장치의 통합시험을 수행하기 위하여 ETCS Test Bench 솔루션을 가진 회사의 통합 시험 지원 도구를 바탕으로 차상 ATP 장치의 시험 Test Case를 생성하여 해당 시나리오대로 차상 ATP 장치의 동작 상태를 기록하여 분석 및 검증 Tool을 활용하여 Subset-076 준수 여부를 측정한다.

- 통합 시뮬레이터 MRL(MultiRailLab)

MRL은 지상-차상간의 시험을 위한 필수 시뮬레이터로 발리스 정보를 생성하며

EVC의 차량과 운전자 역할을 한다. MRL 시뮬레이터는 소프트웨어와 하드웨어로 구성되어 있으며 시험 시나리오를 적용 할수 있고 연동장치와 선로변장치 시뮬레이터와 연동된다. 연동장치 및 선로변장치 시뮬레이터는 실험실에서 시험하기 위한 환경을 제공하기 위하여 궤도회로, 신호기, 선로전환기의 역할과 함께 이를 관리하는 연동장치의 역할을 대신하도록 구성되어 있다.

㉮ Test Case 생성

시험 항목을 바탕으로 Test Case를 생성하여, 시험 시나리오인 시험 시퀀스(Test Sequence)를 작성한다. 시험 시퀀스(Test Sequence)는 RBC의 지상 ATP 장치가 차상으로 명령 및 상태 정보를 송수신 여부를 점검하기 위한 시험 기준이 된다. 또한 차상 ATP 장치가 지상 ATP 장치로의 명령 전송을 확인하고 발리스의 위치 정보를 수신 후 지상 ATP 송수신 메시지를 점검하기 위한 시험 기준이 된다.

㉯ MRL 시험 시나리오 컨트롤러(Scenario Controller)

차상 장치와 연동된 시나리오 컨트롤러(Scenario Controller)를 통하여 지상 및 차상과 송수신 메시지를 확인하며, 발리스의 정보를 수신하여 차상 ATP에 전송한다.

㉰ 데이터 기록

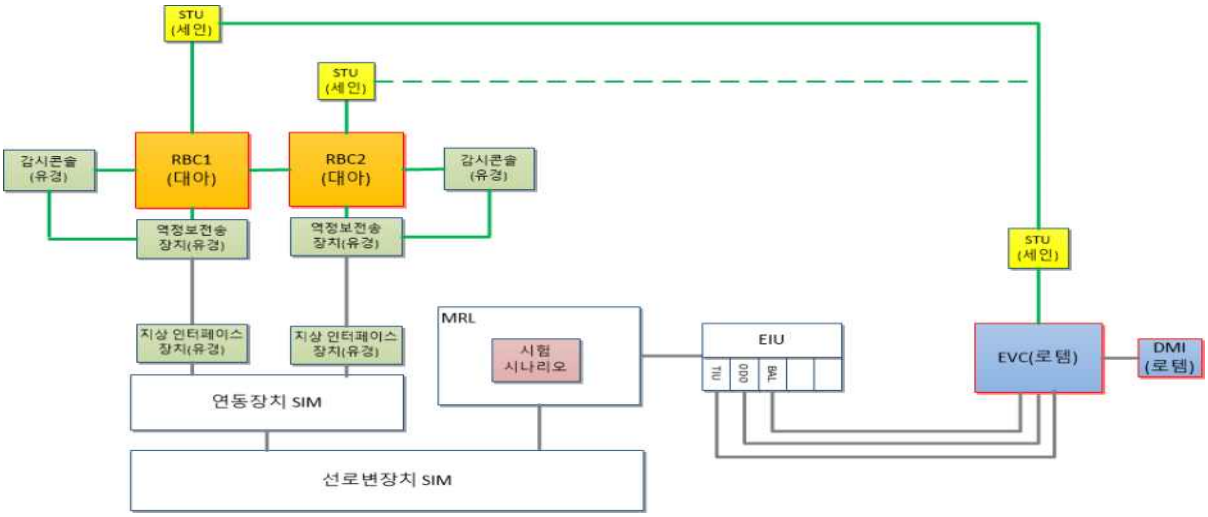
지상 및 차상과의 메시지 및 로그 데이터를 기록하여 Test Case와 비교하기 위한 자료를 각 시스템에 저장한다.

㉱ Test Case 결과 및 분석

각 장치별 데이터 로그를 바탕으로 시험 결과를 분석 및 Subset-076에 근거하여 작성된 Test Scenario 준수 여부를 검사 및 분석하여 최종 시험결과 보고서를 산출한다.

상기에서 제시한 시험 방안으로 차상 ATP 장치와 지상 ATP간 시험하기 위하여 아래와 같은 Tool을 사용하여 시험 및 측정을 지원한다.

③ 통합 시험 블록도




<그림 2-3-5-115> 통합 시험 인터페이스도

차상 ATP 장치는 호환 모듈인 지상 및 차상 안전전송장치를 통하여 지상 ATP 장치에서 생성된 MA정보 및 제어명령을 수신받는다. 수신된 정보를 바탕으로 차상 ATP 장치는 JRU에 기록파일을 전송하고 기관사에게 정보를 현시하기 위하여 DMI와 인터페이스한다. 또한 시뮬레이터를 통하여 Train I/O, 모의 속도신호, 발리스 신호를 수신한다. 지상 ATP 장치는 현장설비 정보 및 CTC 정보를 수신하기 위하여 역 정보처리 장치와 인터페이스 한다. 지상 ATP 장치는 역정보처리장치와 차상장치와 인터페이스하여 수신된 정보를 바탕으로 감시화면에 정보를 표시하며, 운영상 필요한 정보를 감시콘솔을 통하여 수신하여 인터페이스 한다. 역 정보처리 장치는 지상인터페이스 장치를 통하여 시나리오 환경을 조성하는 시뮬레이터 장치와  인터페이스 한다.

④ 통합 시험 절차

- 차상 ATP 장치가 지상 ATP 장치로의 전송 인터페이스 사항
- 차상 ATP 장치가 통합시뮬레이터로의 전송 인터페이스 사항
- 통합시뮬레이터가 차상 ATP 장치로의 전송 인터페이스 사항
- 지상 ATP 장치가 차상 ATP 장치 전송 인터페이스 사항
- 역정보처리부 장치와의 인터페이스 사항
- 지상 ATP 장치가 감시콘솔로 전송 인터페이스 사항
- 감시콘솔이 지상 ATP 장치로 전송 인터페이스 사항
- 지상 ATP 장치와 안전전송장치 인터페이스 사항
- 지상 ATP 장치 통합 기능시험 사전조치 사항
- 차상 ATP 장치 통합 기능시험 사전조치 사항

⑤ 통합 시험 방법

㉮ Test Sequence 생성

모든 시험항목을 시험하기 위해 하나의 Test Sequence를 생성하여 시험을 할수 없다. 시험 시나리오인 Test Sequence를 Test Case를 바탕으로 작성하여 시험 기준을 제시한다. 이러한 Test Case는 시험 종류가 되는 Feature의 하위 항목이 되며, 단계별로 구분하여 시험을 수행하게 된다.

Test Sequence는 아래와 같은 항목으로 구성된다.

- 단계 : Test하는 단계를 구분하기 위하여 표시하며, Event가 발생할 때마다 하나의 Step으로 구분된다. 또한, Step에 따른 발리스의 텔레그램 및 RBC의 메시지가 제시된다.
- 이전 : 시험 환경에서의 이전 단계의 ERTMS/ETCS Level 및 차상 운행 모드를 표시한다.
- 이벤트 설명 : 각 시험 Step별 시험 환경 및 조건 등을 설명한다.
- I/O : 각 Step별로 해당 항목이 인터페이스 설비에 입력(I: Input) 및 출력(O: Output)되는지에 대한 항목을 표시한다.
- 인터페이스 : 시험 항목별로 인터페이스 되는 설비를 표시한다.
- 주석 : 각 시험에 대한 주석이다.
- 다음 : 시험 환경에서 각 단계별 시험 후의 ERTMS/ETCS Level 및 차상 운행 모드를 표시한다. 이 항목은 시험 환경의 다음 단계의 시험의 레벨과 모드로 다음 열에서의 Previous 항목과 일치한다.
- 시험 결과 : 시험 후 결과를 표시한다.

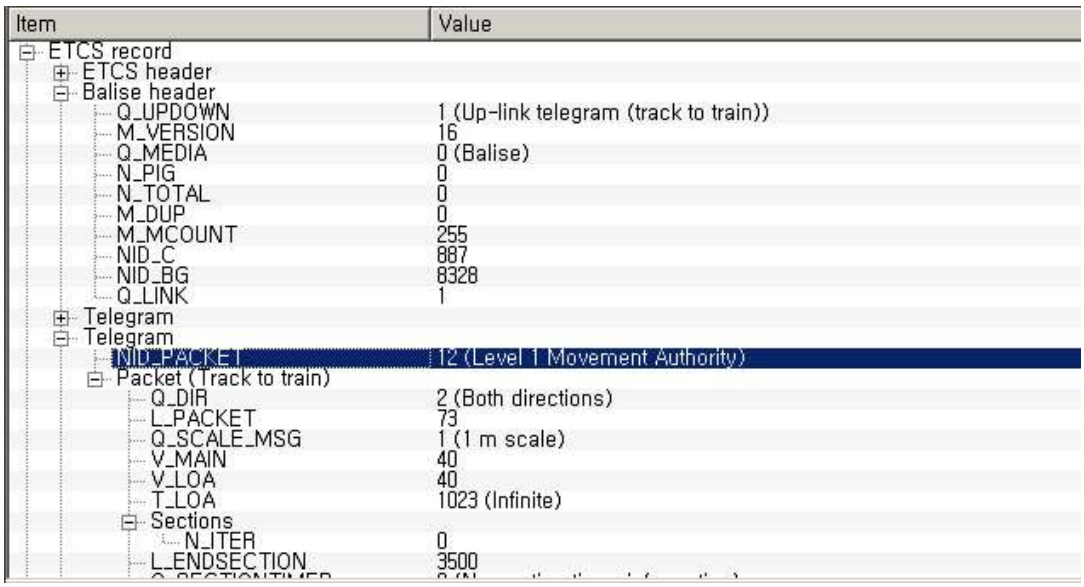
각 Step은 시험항목에 대응하여, Test Sequence가 생성된다. Test Sequence는 다음 절인 통합시험 절차서를 참고한다.

㉯ DMI 분석

차상 ATP DMI를 통해 실시간으로 변화하는 영상을 캡쳐하여 확인한다. 각 DMI에 표시되는 Text 및 속도와 구배 , Track Condition 모드 표시 확인을 통하여 차상 ATP의 동작을 확인한다.

㉰ LOG 분석

차상 ATP의 JRU에 기록 된 로그 파일을 분석하여 확인한다.




<그림 2-3-5-116> LOG 분석

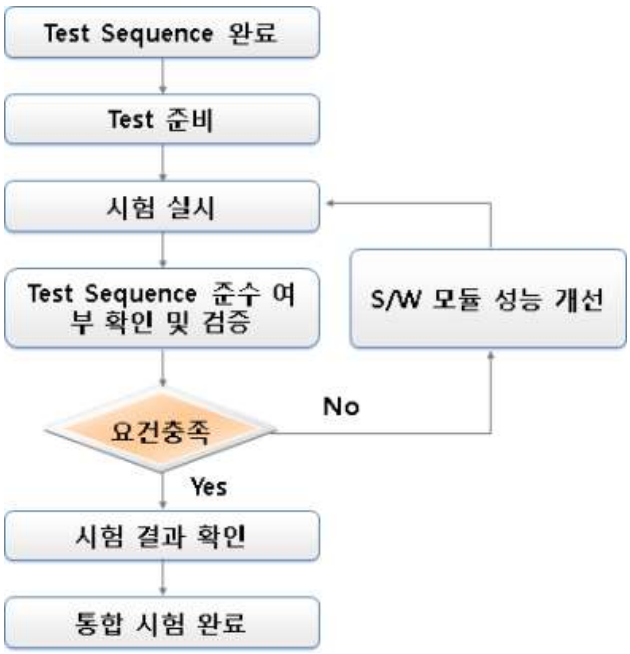
- ETCS Header : 열차의 상태
- Balise Header : 수신된 발리스의 정보
- Telegram : 수신된 텔레그램의 데이터 확인

㉮ 수동 검증

Test Sequence의 Test Case 항목들을 확인 하기 위하여 각 장치별 수집 된 로그와 DMI 표시 정보를 통한 수동 검증을 실시한다. Test Case를 Check List로 작성하여 동작 상태를 확인한다.

- 통합 시험 횟수

각 시험은 Test Case별로 수행하기에는 차상 시뮬레이터에게 하나의 조건만 주는 것은 힘들기 때문에, Test Case를 모아서 시나리오대로 작성된 Test Sequence를 기반으로 시험을 수행한다. 그래서 시험은 아래와 같은 순서로 시험되며 수행 횟수와는 상관없이 시행된다.




<그림 2-3-5-117> 통합 시험 수행

Test Sequence에 따라, 기능이 구현되는지 여부에 따라 시험을 수행하며, 준수 여부를 확인하여 요구조건을 충족할 때까지, S/W 모듈 성능 개선을 수행하고 재시험을 수행하여 통합 시험을 완료한다.

㈐ 통합 시험 결과 분석 및 조치 방법

- 통합 시험 결과 기록 및 저장

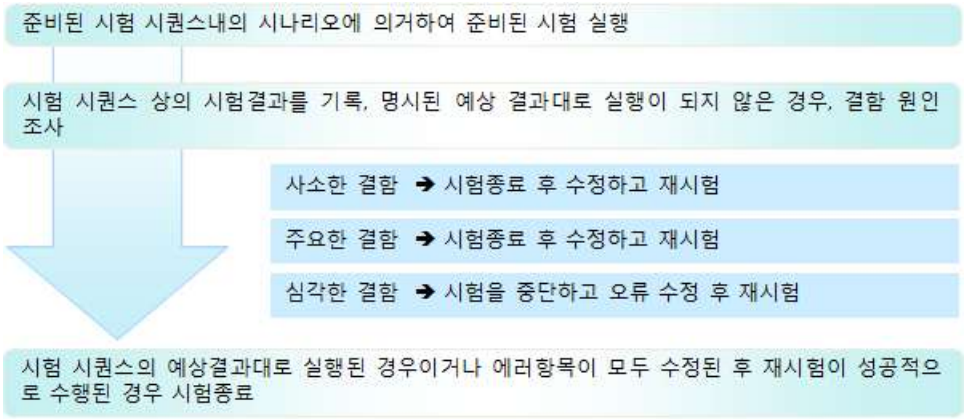
차상 ATP 장치의 JRU와 DMI 표시 장치와 Subset-076-6-3의 Test Sequence와 비교하여 시험 결과를 확인하고 최종 시험 결과 보고서를 작성한다. 시험 결과는 한글 문서 파일(.hwp)로 결과물로 작성한다. 시험 완료할 때마다, 시험결과를 출력하여 보관한다.

- 통합 시험 결과 시험 후 조치 방법

기록된 Test Sequence에 대해 대응되는 결과와 선 정의된 기준을 비교하여 단계별로 분석한다. 각 시나리오에 대한 기준은 검증 단계 이전에 정의되어야 한다. 수동검증을 통하여 시험결과를 분석 및 처리한다.

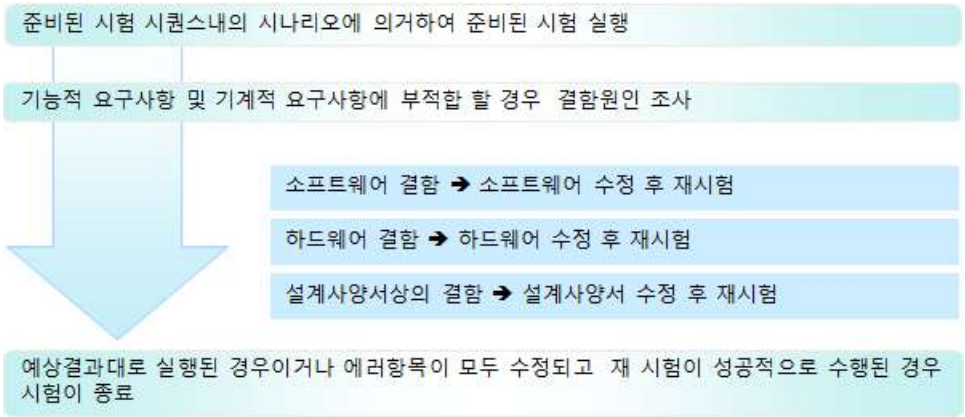
최초는 수동 검증을 통하여 단계별로 수행 여부를 검사하여, 소프트웨어 성능개선을 병행한다. 시험 시퀀스에 대한 단계별 검증이 완료되면, 최종적으로 처음 단계에서부터 최종단계가지 재시험을 수행하여 최종 검증을 수행하여 확인한다. 결함의 치명도 및 원인에 따라 분류하여 시험 후 결과를 처리한다.

○ 결함의 치명도에 따른 시험 처리방법은 아래의 그림과 같다.




<그림 2-3-5-118> 결함 치명도에 따른 시험 처리방법

○ 결함 원인에 따른 시험 처리방법은 아래의 그림과 같다.




<그림 2-3-5-119> 결함 원인에 따른 시험 처리방법

Test Sequence에 따라, 기능이 구현되는지 여부에 따라 시험을 수행하며, 준수 여부를 확인하여 요구조건을 충족할 때까지, S/W 모듈 성능 개선을 수행하고 재시험을 수행하여 통합 시험을 완료한다.

ETCS-L2 기반의 차/지상 시스템의 기능을 시험하기 위한 시험절차는 아래와 같다.

▷ 통합시험절차 - 1

- 시작상태는 Level 0이며 SB 모드로 시작된다.
- DMI화면에 Driver ID를 입력한다.
- DMI화면에 ETCS Level 1으로 레벨을 변경한 후 Train Data를 입력한다.

▷ 통합시험절차 - 2

- 지상 ATP 장치 (#1)와 감시콘솔은 역 정보처리 장치로부터 궤도점유 정보(B4263T)를 수신한다.
- Level 1 상태에서 차상 ATP 장치는 Level 1 Movement Authority를 포함하는 정보를 BG 8328로부터 수신한다. 이동권한, 구배 프로파일 및 속도 프로파일을 수신하여 열차는 SR 모드에서 FS 모드로 변경된다.
- 열차가 이동함에따라 지상 ATP 장치(#1)와 감시콘솔은 역 정보처리 장치로부터 궤도점유 정보(B4265T)를 수신한다.
- 차상 ATP 장치는 BG 8339d에 포함된 패킷 42:Session Management를 통하여 지상 ATP 장치 (#1)과의 통신 연결을 시도한다.
- 차상 ATP 장치는 통신을 게시하기 위하여 메시지 155:Initiation of a communication session을 지상 ATP 장치(#1)로 전송한다.
- 지상 ATP 장치는 차상 ATP 장치로부터 수신한 메시지(155)에 대한 Ack로 메시지 32 : Configuration Determination을 전송한다.
- 차상 ATP 장치는 메시지(32)를 수신 후 메시지 159:Session established을 전송한다.
- 차상 ATP 장치와 지상 ATP 장치 (#1)와의 통신이 연결된다.
- 차상 ATP 장치는 메시지(129)를 통하여 열차 데이터를 전송하며 지상 ATP 장치 (#1)는 메시지(8)을 통하여 Ack를 한다.
- 지상 ATP 장치는 메시지(24)를 통하여 레벨 2로의 레벨 전환을 명령한다.

▷ 통합시험절차 - 3

- 열차가 이동함에따라 지상 ATP 장치(#1)와 감시콘솔은 역 정보처리 장치로부터 궤도점유정보(XT,2T)를 수신한다.
- 지상 ATP 장치(#1)는 메시지 24:General Message를 통하여 MA request Parameter를 전송한다
- 차상 ATP 장치는 메시지 132 MA request를 통하여 지상 ATP 장치(#1)에게 이동권한을 요청한다.
- 지상ATP 장치(#1)은 현재 열차 위치에 따라 메시지 3:Movement Authority를 전송한다.
- DMI에는 열차가 Level 2로 변경되었음을 표시한다.
- 열차가 발리스(BG 8327d)를 지나감에 따라 열차 위치보고를 지상 ATP 장치(#1)로 전송한다.
- 열차가 이동함에 따라 역 정보처리 장치로부터 지상 ATP 장치(#1)와 감시콘솔은 궤도점유 정보(BT)를 수신한다.

▷ 통합시험절차 - 4

- 열차는 메시지 132:MA request를 통하여 이동권한을 지상 ATP 장치(#1)로 요청한다.

- 이동권한 요청에 따라 지상 ATP 장치(#1)은 현재 열차 위치에 따라 차상 ATP 장치로 메시지 3:Movement Authority를 전송한다.
- DMI에 새로운 Movement Authority에 대한 이동권한이 표시된다.
- 차상 ATP 장치는 열차가 BG 8326을 지나면 위치보고를 하며, 위치보고에 따라 지상 ATP 장치(#1)은 감시콘솔로 위치를 업데이트한다.
- 지상 ATP 장치(#1)는 열차 위치를 감시콘솔에 업데이트한다.
- 열차가 이동함에 따라 지상 ATP 장치(#1)과 감시콘솔을 역 정보처리 장치로부터 은 궤도점유 정보(B4269T)를 수신한다.

▷ 통합시험절차 - 5

- 차상 ATP 장치는 메시지 132:MA request를 전송하여 지상 ATP 장치(#1)에게 이동권한을 요청한다.
- 이동권한 요청에 따라 지상 ATP 장치(#1)은 현재 열차 위치에 따라 차상 ATP 장치로 메시지 3:Movement Authority를 전송한다.
- DMI에 새로운 Movement Authority에 대한 이동권한이 표시된다.
- 차상 ATP 장치는 열차가 발리스(BG 8325d)를 지나감에 따라 열차 위치를 지상 ATP 장치(#1)로 전송한다.
- 발리스(BG 8325d)텔레그램에는 RBC/RBC Handover위한 패킷 131:RBC Transition order가 포함되어 있다.
- 지상 ATP 장치(#1)은 감시콘솔로 Train Topic을 전송한다.
- 열차가 이동함에 따라 지상 ATP 장치(#1)와 감시콘솔은 역 정보처리 장치로부터 은 궤도점유 정보(B4271T)를 수신한다.
- 차상 ATP 장치는 메시지 132:MA request를 전송하여 지상 ATP 장치(#1)에게 이동권한을 요청한다.
- 이동권한 요청에 따라 지상 ATP 장치(#1)은 현재 열차 위치에 따라 차상 ATP 장치로 메시지 3:Movement Authority를 전송한다.
- DMI에 새로운 Movement Authority에 대한 이동권한이 표시된다.

▷ 통합시험절차 - 6

- 열차가 발리스(BG 8324d)를 지나간다. 발리스(BG 8324d)텔레그램에는 RBC/RBC Handover위한 패킷131:RBC Transition order가 포함되어 있다.
- 차상 ATP 장치는 열차 최대 안전 전방이 RBC 경계지점을 지나갔다는 것을 지상 ATP 장치(#1)로 전송한다
- 지상 ATP 장치(#1)은 감시콘솔로 Train Topic을 전송한다.
- 지상 ATP 장치(#1)와 감시콘솔은 역 정보처리 장치로부터 궤도점유 정보(B4273T)를 수신한다.
- 지상 ATP 장치(#1)는 메시지 24:General Message에 패킷 42:Session Management에 변수Q_RBC=0(Termination Communication session)을 차상 ATP장치로 전송한다.

- 차상 ATP 장치는 메시지 156 :Termination of communication session을 통하여 지상 ATP 장치(#1) 로 통신 세션 종료를 요청한다.
- 지상 ATP 장치(#1)은 메시지 39:Acknowledgment of termination of acommunication session 의해 통신 세션을 종료되는 것을 차상ATP에게 전송한다.
- 차상 ATP 장치는 지상 ATP 장치(#2)와 통신연결 절차를 수행한다.
- 지상 ATP 장치(#2)는 메시지 24:General Message를 통하여 MA request Parameter를 전송한다
- 차상 ATP 장치는 메시지 132 MA request를 통하여 지상 ATP 장치(#2)에게 이동권한을 요청한다.
- 지상ATP 장치(#2)은 현재 열차 위치에 따라 메시지 3:Movement Authority를 전송한다.
- DMI에 새로운 Movement Authority에 대한 이동권한이 표시된다.

▷ 통합시험절차 - 7

- 열차가 발리스(BG 8323d)를 지나감에따라 차상 ATP 장치는 지상 ATP 장치(#2)에게 열차 위치를 전송한다.
- 지상 ATP 장치(#2)은 감시콘솔로 Train Topic을 전송한다.
- 지상 ATP 장치(#2)와 감시콘솔은 역 정보처리 장치로부터 궤도점유 정보 (B4275T)를 수신한다.
- 지상 ATP 장치(#12)은 메시지24:General Message에 포함된 66: Track Condition을 통하여 차상 ATP 장치로Track Condition을 전송한다.
- Track Condition이 DMI에 표시된다.
- 차상 ATP 장치는 메시지 132 MA request를 통하여 지상 ATP 장치(#2)에게 이동권한을 요청한다.
- 지상ATP 장치(#2)은 현재 열차 위치에 따라 메시지 3:Movement Authority를 전송한다.
- DMI에 새로운 Movement Authority에 대한 이동권한이 표시된다.
- 열차가 발리스(BG 8322d)를 지나감에 따라 차상 ATP 장치는 지상 ATP 장치(#2)에게 열차 위치를 전송한다.
- 지상 ATP 장치(#2)은 감시콘솔로 Train Topic을 전송한다.
- 지상 ATP 장치(#2)와 감시콘솔은 역 정보처리 장치로부터 궤도점유 정보 (B4277T)를 수신한다.
- Track Condition이 DMI에 표시되고 실행된다.
- 차상 ATP 장치는 메시지 132 MA request를 통하여 지상 ATP 장치(#2)에게 이동권한을 요청한다.
- 지상ATP 장치(#2)은 현재 열차 위치에 따라 메시지 3:Movement Authority를 전송한다.
- DMI에 새로운 Movement Authority에 대한 이동권한이 표시된다.

▷ 통합시험절차 - 8

- 열차가 발리스(BG 8321d)를 지나감에 따라 차상 ATP 장치는 지상 ATP 장치(#2)에게 열차 위치를 전송한다.
- 지상 ATP 장치(#2)은 감시콘솔로 Train Topic을 전송한다.
- 지상 ATP 장치(#2)와 감시콘솔은 역 정보처리 장치로부터 궤도점유 정보(B4277T)를 수신한다.
- 차상 ATP 장치는 메시지 132 MA request를 통하여 지상 ATP 장치(#2)에게 이동권한을 요청한다.
- 지상ATP 장치(#2)은 현재 열차 위치에 따라 메시지 3:Movement Authority를 전송한다.
- 메시지3:Movement Authority에는 SH모드에 대한 80: Mode Profile 이 포함되어 있다
- DMI에 새로운 Movement Authority에 대한 이동권한이 표시된다.
- SH 모드 변경에 대한 Ack 요청을 DMI를 통하여 기관사에게 요청한다.
- 차상 ATP 장치는 메시지 130: Request for Shunting 를 지상 ATP 장치(#2)로 전송한다.
- 지상 ATP 장치 (#2)는 차상 ATP 장치로 메시지 28 : SH Authoerised 를 통하여 SH모드로의 전환을 승인한다.
- SH 모드로 변경됨에 따라 차상ATP 장치는 메시지 136:Train Position Report를 지상 ATP 장치(#2)로 전송한다.

▷ 통합시험절차 - 9

- 차상 ATP 장치는 메시지 EOM을 실행하기 메시지 150: End of Mission 을 지상 ATP 장치(#2)로 전송한다.
- 지상 ATP 장치(#2)는 메시지 24:General Message에 패킷 42:Session Management에 변수Q_RBC=0(Termination Communication session)을 차상 ATP장치로 전송한다.
- 차상 ATP 장치는 메시지 156 :Termination of communication session을 통하여 지상 ATP 장치(#2) 로 통신 세션 종료를 요청한다.
- 지상 ATP 장치(#2)은 메시지 39:Acknowledgment of termination of acommunication session 의해 통신 세션을 종료되는 것을 차상ATP에게 전송한다.
- SH상태에서 기관사는 DMI를 통하여 "Exit of shunting mode"를 선택한다.
- SB상태로 전환된다.
- DMI화면에 ETCS Level 2으로 레벨을 변경한 후 Radio Network ID, RBC ID, RBC 전화번호를 입력한다.

▷ 통합시험절차 - 10

- 차상 ATP 장치는 통신을 게시하기 위하여 메시지 155:Initiation of a communication session을 지상ATP 장치(#1)로 전송한다.
- 지상 ATP 장치는 차상 ATP 장치로부터 수신한 메시지(155)에 대한 Ack로 메시지 32 : Configuration Determination을 전송한다.
- 차상 ATP 장치는 메시지(32)를 수신 후 메시지 159:Session established을 전송한다.
- 차상 ATP 장치와 지상 ATP 장치 (#1)와의 통신이 연결된다.
- 차상 ATP 장치는 메시지(129)를 통하여 열차 데이터를전송하며 지상 ATP 장치 (#1)는 메시지(8)을 통하여 Ack를 한다.
- 지상 ATP 장치(#1)는 메시지 24:General Message를 통하여MA request Parameter를 전송한다.
- 기관사는DMI를 통하여 "Start"를 선택한다
- 차상 ATP 장치는 메시지 132 MA request를 통하여 지상 ATP 장치(#1)에게 이동권한을 요청한다.
- 지상ATP 장치(#1)은 현재 열차 위치에 따라 메시지3:Movement Authority를 전송한다

통합시험 절차에 의한 시험결과는 다음과 같다.

ETCS-L2 기반의 차/지상 시스템의 통합 기능시험 주요내항은 아래와 같다.

| 번호 | 시험 항목 | 판정 | 시험결과 |
|---|---|---|---|
| Feature 258 : ERTMS/ETCS 레벨 검증 및 입력<br>Test Case 3 : ERTMS/ETCS Level 데이터의 상태가 무효할 때 SB 모드에 SoM 절차 내에서 이것을 검증하기 전에 기존 ERTMS/ETCS 레벨 데이터를 수정하기 전에 기관사에게 허용한다. | | |  |
| 8 | 기관사는 ERTMS/ETCS 레벨 데이터를 수정한다 (즉, 새로운 유효 데이터를 입력한다). | 적합 | |

| 번호 | 시험 항목 | 판정 | 시험결과 |
|---|---|---|---|
| Feature 258 : ERTMS/ETCS 레벨 검증 및 입력<br>Test Case 3 : ERTMS/ETCS Level 데이터의 상태가 무효할 때 SB 모드에 SoM 절차 내에서 이것을 검증하기 전에 기존 ERTMS/ETCS 레벨 데이터를 수정하기 전에 기관사에게 허용한다. | | |  |
| 9 | 새로운 ERTMS/ETCS 레벨 데이터가 DMI 상에 표시된다. 차상 장치는 기관사에게 이것을 확인하도록 허용한다. | 적합 | |

| 번호 | 시험 항목 | 판정 | 시험결과 |
|---|---|---|---|
| Feature 262 : 기관사에 의해 SoM 의 개시<br>Test Case 3 : 기관사는 “시작”을 SB 또는 PT 모드 및 ERTMS Level 1 의 SoM 절차 내에서 선택한다 | | |  |
| 17 | SR 모드로 운행에 대한 Ack 요청이 DMI 에 표시된다. | 적합 | |

| 번호 | 시험 항목 | 판정 | 시험결과 |
|---|---|---|---|
| Feature 551 : MA 와 Track 설명이 가용하고 모드 프로파일이 어떠한 특정 모드가 요구되지 않는다.<br>Test Case 2 : 열차는 OS 모드에 있으며, 새로운 MA, SSP 및 구배 프로파일을 차상이 수신한다. 시스템은 즉시 FS 모드로 전환된다. | | |  |
| 22 | 차상 장치는 FS 모드로 전환된다. 기관사는 DMI 를 통하여 FS 모드로의 전환을 인지한다. | 적합 | |

| 번호 | 시험 항목 | 판정 | 시험결과 |
|---|---|---|---|
| Feature 385 : RBC 로부터 레벨 전환 L1/L2 의 표시를 알림<br>Test Case 1 : RBC 로부터 레벨 전환 알림 L1/L2 에 대한 정보를 수신하고 기관사에게 알린다. | | |  |
| 46 | 레벨 2 의 알림 이 표시된다. | 적합 | |
| 번호 | 시험 항목 | 판정 | 시험결과 |
| Feature 348 : 단지 최신 수신된 레벨 전환 알림만 실행<br>Test Case 4 : 입환 지역 내의 레벨 변경 지역에 지상은 책임 RBC 와의 연결 명령을 지시하지 않는다. | | |  |
| 47 | 열차가 레벨 2 가 표시된다. | 적합 | |
| 번호 | 시험 항목 | 판정 | 시험결과 |
| Feature 278: Air tightness requested or not<br>Test Case 1: 차상장치는 Air tightness 요구가 이루어지는 이루어지는 구간의 정보를 수신한다. 차상장치는 기관사에게 Air tightness 요구되는 구간이 포함된 프로파일을 표시한다. | | |  |
| 88 | 공조흡입구 폐쇄 알림이 표시됨 | 적합 | |
| 번호 | 시험 항목 | 판정 | 시험결과 |
| Feature 203 : 과속으로 인한 상용제동 체결<br>Test Case 1: 속도한계 지점에서 과속으로 인한 상용제동 체결 | | |  |
| 130 | 상용제동이 체결이 표시된다 | 적합 | |
| 번호 | 시험 항목 | 판정 | 시험결과 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Feature 518 : 'Shunting 모드'를 기관사에 표시<br>Test Case 1 : 차상설비가 'Shunting 모드'일 때, 'Shunting'을 표시 | | |  |
| 102 | SH Mode 가 기관사에게 표시된다. | 적합 | |

(나) 현장검증

① 폐색정보전송장치 부설시험 개요

ETCS Level 2 시스템에서 폐색정보전송장치는 궤도회로를 기반으로 한 열차의 점유정보를 생성하여 전자연동장치에 전송하는 장치로서 3차년도에 개발한 폐색정보전송장치는 통합실험실 시험을 통하여 그 기능을 검증하였다. 또한 이를 바탕으로 실제 현장에서 안정적으로 동작하는지를 확인하기 위하여 4차년도에는 현장부설시험을 실시하였다. 2013년 11월 5~6일 부설시험을 위한 1차 현장조사를 시작으로 2차 현장조사, 2014년 3월 현장설치를 후 2014년 4월 17~18일 1차 현장점검에서 2014년 10월 17일 10차까지 현장점검을 실시하였다.

전라선 덕양-여천 구간에 상선 2대, 하선 2대의 폐색정보전송장치 현장장치(분리형)을 별도의 기구함에 설치하였고, 여천역 신호기계실에 역장치와 감시콘솔을 설치하였다. 또한 폐색정보전송장치 현장장치와 역장치는 광 2중 링 네트워크로 통신망을 구성하였다.

㉮ 폐색정보전송장치 부설시험 상세내용

· 폐색정보전송장치 현장장치 설치




폐색정보전송장치 현장장치 및 기구함 설치

· 폐색정보전송장치 역장치 및 감시콘솔 설치

| | |
|---|---|
|  |  |
| 폐색정보전송장치 역장치 설치 | 폐색정보전송장치 감시콘솔 설치 |

㉯ 폐색정보전송장치 부설시험 결과분석

○ 결과분석 방법

- 폐색정보전송장치와 전자연동장치 및 TLDS의 점유 및 복구 횟수 비교

폐색정보전송장치의 기능인 열차 점유정보의 전송을 확인하기 위하여 폐색정보전송장치의 로그와 전자연동장치 및 TLDS의 로그를 분석하여 부설시험 해당 궤도에 대해 점유된 횟수와 복구된 횟수를 비교한다. 각 점유 및 복구의 횟수가 일치여부를 가지고 폐색정보전송장치의 기능을 검증한다.

- 폐색정보전송장치와 전자연동장치 및 TLDS의 점유 및 복구 시간 비교

광통신을 사용하는 폐색정보전송장치와 기존의 전자연동장치 및 TLDS와의 전송속도를 비교하기 위하여 폐색정보전송장치와 전자연동장치 및 TLDS의 점유 및 복구 시간 차이를 비교한다. 시간 차이는 부설시험 구간의 각 궤도(B4336T, B4337T, B4338T, B4339T)의 각 장치의 점유 시간 차이, 복구 시간 차이의 평균값을 사용하며 다음과 같이 계산한다.

$$\text{시간차이} = \text{폐색정보전송장치 점유 및 복구시간} - \text{전자연동장치/}TLDS\text{ 점유 및 복구시간}(s)$$

만약 시간 차이가 양수(+)이면 전자연동장치 및 TLDS의 전송속도가 더 빠르고, 음수(-)이면 폐색정보전송장치의 전송속도가 더 빠르다고 할 수 있다. 단, 시간차이의 비교 분석은 점유 및 복구 횟수 비교와는 달리 시간차이의 오차를 줄이기 위해 6월 27일(금)에 수행했던 폐색정보전송장치 감시콘솔에 GPS를 설치한 4차 현장점검 데이터부터 유의성을 가진다.

또한 GPS 모듈을 설치하여 30분마다 GPS로부터 수신한 시간과 동기화하여 부설시험을 진행하였으나, 기존 전자연동장치의 소프트웨어는 24시간마다 시간을 동기화하기 때문에 각기 로그에 저장되는 시간차이가 발생하였다. 같은 시점에 전자연동장치 및 TLDS 시간이 폐색정보전송장치 감시콘솔 시간보다 2초가 빠른 것으로

확인되었다. 따라서 공정한 비교를 위해 전자연동장치 및 TLDS 시간에 2초를 더하여 비교 분석을 수행한다.

○ 분석 결과

- 폐색정보전송장치와 전자연동장치 및 TLDS의 점유 및 복구 횟수 비교

부설시험 해당 궤도에 대하여 궤도 점유 및 복구 횟수를 비교 분석한 결과 폐색정보전송장치는 점유 횟수에서 B4337T는 총 262회, B4339T는 총 262회, B4336T 총 257회, B4338T 총 257회로 전자연동장치 및 TLDS와 모두 일치하였고, 복구 횟수에서도 B4337T는 총 262회, B4339T는 총 262회, B4336T 총 257회, B4338T 총 257회로 전자연동장치 및 TLDS와 모두 일치하였다.

<표 2-3-5-48> 폐색정보전송장치와 전자연동장치 및 TLDS의 점유 및 복구 횟수 비교

| 분석 데이터 | 항목 | 궤도명 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B4337T | | B4339T | | B4336T | | B4338T | |
| | | 전자연동장치 | 폐색정보전송장치 | 전자연동장치 | 폐색정보전송장치 | TLDS | 폐색정보전송장치 | 전자연동장치 | 폐색정보전송장치 |
| 2차 현장점검 2014.4.29.(화) | 점유(회) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| | 복구(회) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 2차 현장점검 2014.5.2.(금) | 점유(회) | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| | 복구(회) | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 2차 현장점검 2014.5.13.(화) | 점유(회) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| | 복구(회) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 3차 현장점검 2014.6.12.(목) | 점유(회) | 10 | 10 | 10 | 10 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| | 복구(회) | 10 | 10 | 10 | 10 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 4차 현장점검 2014.7.11.(금) | 점유(회) | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| | 복구(회) | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 5차 현장점검 2014.7.24.(목) | 점유(회) | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| | 복구(회) | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 6차 현장점검 2014.8.7.(목) | 점유(회) | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| | 복구(회) | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 7차 현장점검 2014.8.21.(목) | 점유(회) | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| | 복구(회) | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 8차 현장점검 2014.8.27.(수) | 점유(회) | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| | 복구(회) | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 9차 현장점검 | 점유(회) | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2014.9.18.(목) | 복구(회) | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 10차 현장점검<br>2014.10.16.(화) | 점유(회) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| | 복구(회) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 총 계 | 점유(회) | 262 | 262 | 262 | 262 | 257 | 257 | 257 | 257 |
| | 복구(회) | 262 | 262 | 262 | 262 | 257 | 257 | 257 | 257 |

㈐ 결론 및 향후 과제

ETCS Level 2 시스템에서 궤도회로를 기반으로 한 열차의 점유정보를 생성하여 전자연동장치에 전송하는 폐색정보전송장치에 대하여 현장에서 안정적으로 동작하는지를 확인하기 위하여 현장 부설시험을 실시하였다.

총 10회의 현장점검을 통하여 여천역에 설치되어 있는 기존 전자연동장치 및 TLDS와의 비교를 통해 폐색정보전송장치의 기능을 확인하였고, 그 결과는 다음과 같다.

부설시험 해당 궤도에 대하여 궤도 점유 및 복구 횟수를 비교 분석한 결과 폐색정보전송장치는 점유 횟수에서 B4337T는 총 262회, B4339T는 총 262회, B4336T 총 257회, B4338T 총 257회로 전자연동장치 및 TLDS와 모두 일치하였고, 복구 횟수에서도 B4337T는 총 262회, B4339T는 총 262회, B4336T 총 257회, B4338T 총 257회로 전자연동장치 및 TLDS와 모두 일치하였다.

또한, 부설시험 해당 궤도에 대하여 폐색정보전송장치와 전자연동장치 및 TLDS의 궤도 점유 및 복구 시간의 차이를 분석한 결과 GPS 설치 후 데이터에 대해서 폐색정보전송장치의 점유 및 복구 시간이 B4337T는 0.60초, B4339T는 0.54초, B4336T는 4.03초, B4338T는 1.32초, 모든 궤도 평균은 1.62초 전자연동장치 및 TLDS보다 빠른 것으로 나타났다.

마지막으로 부설시험 기간 중 혹서기에 해당하는 7, 8월의 5번의 현장점검(4~8차)을 진행하였고, 그 결과 폐색정보전송장치는 부설시험 해당궤도(B4336T, B4337T, B4338T, B4339)에 대하여 점유 각 127회, 복구 각 127회로 전자연동장치 및 TLDS와 점유 및 복구의 횟수가 모두 일치하였다. 또한, 662.2mm의 월 강수량을 기록한 8월의 장마기간에도 3번의 현장점검(6~8차)에서도 폐색정보전송장치와 전자연동장치 및 TLDS의 점유 및 복구 횟수가 모두 일치하였다.

위와 같이 폐색정보전송장치는 고유의 기능은 열차 점유정보 전송의 기능을 완벽하게 수행하였고, 혹서기와 장마 기간에도 안정적으로 동작함을 확인할 수 있었다. 또한 속도면에서도 기존의 ABS 및 TLDS 보다 빠름을 확인할 수 있었다.

향후 과제가 종료된 후에도 혹한기 테스트를 위해 부설시험을 계속 진행하여 폐색정보전송장치의 기능을 검증할 계획이다.

## (다) ETCS Level 2 엔지니어링

- 공정회의 개최 : 9회

▪ 2014. 1. 16. : 연구기관별 연구실적 및 연구계획 발표와 차상-지상 간 통합시험 기본계획 수립

▪ 2014. 2. 13. : 차상 ATP 장치 제작 및 안전성 검증 추진현황 점검, 통합시험 진행 현황 공유, 6월 본 시험을 위한 기관별 현안사항 도출 및 협의, 연구추진 관련 협조요청

▪ 2014. 3. 6. ~ 2014. 3. 7.(2일) : ETCS 시스템 상호호환성 검증을 위한 지/차상 통합시험 시나리오 작성방안 도출

▪ 2014. 4. 10. : 연구기관별 연구실적 및 연구계획 발표와 ETCS Level 2 후속연구과제 기본계획(안) 토의

▪ 2014 5. 20. : 연구기관별 연구실적 및 연구계획 발표와 차상 ATP 장치 시제품 개발 현황 확인

▪ 2014. 6. 18. : 연구과제 공정현황 및 4차년도 연구성과 중간점검, 실용화를 위한 향후 연구계획 토의

▪ 2014. 8. 18. : 후속연구과제 기본계획(안) 토의, 과제 진도점검 및 추진현황 확인, 통합 실험실 현장실사(진흥원)

▪ 2014. 9. 23. : 치상-지상 통합시험 진행현황 및 최종 연구성과 점검, 연구발표회 준비 및 최종보고서 작성 등 협의

▪ 2014. 10. 24. : 최종평가 대비 최종 연구실적 점검 및 기술적 연구내용 보완

## 나. 연구수행 결과의 검증방법

| 목표 | 상세 항목 | 사양 및 설명 | 결과물 | 검증 방법 | 산출물 |
|---|---|---|---|---|---|
| ETCS Level 2 무선폐색센터↔기존 지상 신호설비 간 인터페이스 기술 개발 | 역간 폐색정보전송장치 및 역 구내 RBC인터페이스 시스템 | ▪ 폐색정보전송장치<br>-역간 궤도점유 및 고장정보, 장애정보 입출력처리<br>-전자연동장치로의 역간 궤도정보 전송<br>-광통신을 이용한 이중화 통신 처리<br>▪ RBC인터페이스시스템<br>-전자연동장치와의 2채널 통신(RS-422)<br>-각 역의 지상 데이터를 지상 ATP로 전송<br>-지상 정보 상태 확인 및 통합 감시 | 폐색정보전송장치 및 지상인터페이스시스템 | ▪ 단위시스템 시험실 검증시험<br>▪ 통합시스템 시험실 검증시험<br>▪ 현장실증시험(폐색정보전송장치) | 사양서 및 매뉴얼, 시험성적서, 현장시험보고서 |
| ETCS Level 2 지상장치↔ETCS Level 2 차상장치 간 안전전송 기술 개발 | 지상 안전전송 기술 및 차상 안전전송 기술 | ▪ ATP와 무선통신모듈 간의 인터페이스 지원<br>▪ 지상-차상 간 통신망 관리(세션 연결/해제 등)<br>▪ Security(Triple DES) S/W 적용<br>▪ ETCS 표준 프로토콜 적용(Subset 037)<br>▪ 송·수신 데이터의 신뢰성 및 무결설 검증 | 지상안전전송모듈 및 차상안전전송모듈 | ▪ 단위시스템 시험실 검증시험<br>▪ 통합시스템 시험실 검증시험 | 사양서 및 매뉴얼, 시험성적서 |
| 지상인터페 | ▪ 상세설계 | ▪ 상세설계 | 시제품 | 보고서 및 시연 | ▪ 지상인터페 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 이스장치 설계 및 제작 | ▪ 하드웨어 제작 및 소프트웨어 구현 | -연동장치 입력정보의 통합처리 기술 설계(호남선 고막원역)<br>-통합된 입력 정보를 RBC로 전송하기 위한 이동권한 제어설계<br>▪ 하드웨어 제작 및 소프트웨어 구현<br>-지상시뮬레이터장치와 RBC 간 인터페이스 시제품 제작 및 시연<br>-시험구간(호남선 고막원역) 소프트웨어 구현 | 보고서<br>시험계획서 | | 이스장치 시스템 설계서 |
| 지상인터페이스시스템 구축 | ▪ 하드웨어 설계 및 제작<br>▪ 소프트웨어 설계 및 구현 | ▪ 하드웨어 설계 및 제작<br>-지상인터페이스장치 및 지상시뮬레이터장치 하드웨어 상세 설계 및 제작<br>-지상인터페이스장치 외부 공인기관의 환경 시험(KSR9156)<br>-지상시뮬레이터장치 :철도용품표준규격(철도6330-3256라)에 의거한 제작 및 시험<br>-폐색정보전송장치 하드웨어 설계<br>▪ 소프트웨어 설계 및 구현<br>-지상인터페이스장치 소프트웨어 설계 및 구현<br>-지상시뮬레이터장치 소프트웨어 설계 및 구현 | 시제품<br>도면<br>보고서<br>시험성적서 | 보고서 및 시험성적서 | ▪ 지상인터페이스시스템 하드웨어 설계서<br>▪ 지상인터페이스시스템 소프트웨어 설계서<br>▪ 폐색정보전송장치 시스템 설계서<br>▪ 지상인터페이스장치 환경시험성적서<br>▪ 지상시뮬레이터장치 연동시험결과서(호남선) |
| 지상인터페이스시스템 시스템 통합 및 연계 시험 | ▪ 하드웨어 및 소프트웨어 성능 개선<br>▪ 통합시스템에 대한 시험실 시험 | ▪ 하드웨어 및 소프트웨어 성능 개선<br>-통합시험실 구성을 위한 하드웨어 보완 및 소프트웨어 성능개선<br>-지상인터페이스장치 EMI/EMC 전자파 인증 시험(공인인증시험기관)<br>-지상인터페이스장치 CodeScroll에 의한 S/W 결함률 검증<br>-전라선 12역 선형 화면처리(소프트웨어 화면 보완)<br>-폐색정보전송장치 하드웨어 제작 및 소프트웨어 구현<br>▪ 통합시스템에 대한 시험실 시험<br>-차상시뮬레이터(EVC 시뮬레이터) 및 DMI 구축<br>-국내 전자연동장치 규격(KRS SG 0015-06R)에 의한 합동 연동 검사<br>-차상시뮬레이터를 활용한 열차 이동권한(MA) 확인 및 시험 | 시제품<br>도면<br>보고서<br>시험성적서 | 보고서 및 시험성적서 | ▪ 폐색정보전송장치 사양서<br>▪ 지상시뮬레이터장치 사양서<br>▪ 지상인터페이스장치 사양서<br>▪ 역정보처리장치 사양서<br>▪ 무선폐색감시콘솔 사양서<br>▪ 차상시뮬레이터 사양서<br>▪ DMI 사양서<br>▪ 지상인터페이스장치 소프트웨어 결함률 검증보고서<br>▪ 지상인터페이스장치 전자파 시험성적서<br>▪ 지상인터페이스시스템 합동연동검사서 |
| 지상-차상 시스템 통합 | ▪ 지상 ATP 시스템 최적화<br>▪ 지상-차상시스템 통합 시험 | ▪ 지상 ATP 시스템 최적화<br>-차상ATP 연계를 고려한 지상ATP 소프트웨어 최적화<br>▪ 지상-차상시스템 통합 시험<br>-지상ATP-차상ATP 시험절차서 및 시험결과 | 시제품<br>보고서 | 보고서 | ▪ 지상ATP 소프트웨어 최적화 보고서<br>▪ 지상ATP-차상ATP 시험절차서<br>▪ 지상ATP-차상ATP 시험결과서 |
| 실용화 연계기술 | ▪ RBC 및 관제시스템구 | ▪ 무선폐색센터(RBC) 및 관제시스템 구성기술 연구 | 보고서 | 보고서 | ▪ RBC 및 관제시스템 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 연구 | 성기술 연구 | ▪무선통신기술 적용방안 연구 | | | 구성기술 연구 보고서 |
| 지상인터페이스 시스템 성능검증 | ▪폐색정보전송장치 현장 실증시험<br>▪차상ATP↔안전전송모듈 성능시험 | ▪폐색정보전송장치 현장 실증시험<br>-폐색정보전송장치 현장시험(성능시험) 및 결과분석<br>-현장시험 결과를 반영한 시제품 성능개선<br>▪차상ATP↔안전전송모듈 성능시험<br>-차상ATP장치↔차상 안전전송모듈 성능시험 | 시제품<br>보고서 | 보고서 | ▪폐색정보전송장치 현장시험보고서<br>▪현장시험 결과를 반영한 폐색정보전송장치 성능개선 보고서<br>▪차상ATP장치↔차상 안전전송모듈 성능시험 보고서 |
| ETCS 시스템 검증 및 통합시험 지원 | ▪ETCS 검증장비 운용 및 성능시험 지원 | ▪지상↔차상시스템 연계를 위한 인터페이스 기술지원<br>▪ETCS 검증장비 운용 및 성능시험 지원 | 보고서 | 보고서 | ▪ETCS 검증장비 운용 및 통합시험 지원 보고서 |
| 안전전송모듈 설계 및 제작 | ▪암/복호화 분석 및 설계<br>▪지상 안전전송모듈하드웨어 제작 | ▪암/복호화 분석 및 설계<br>-기존 암/복호화 알고리즘 및 국내외 사례 분석<br>-안전전송모듈 암호화 알고리즘 선정<br>-암/복호화 절차 설계<br>▪지상 안전전송모듈하드웨어 제작<br>-지상 안전전송모듈 H/W 상세 설계 및 제작(이중화 구조, 다양한 인터페이스 지원) | 보고서<br>시제품<br>시연 | 보고서 및 시연 | ▪안전전송장치 암_복호화 알고리즘 분석 및 설계서 |
| 안전전송모듈 제작 및 성능검증 | ▪안전전송모듈 하드웨어 제작 및 소프트웨어 구현<br>▪지상-차상간 안전전송모듈 인터페이스 설계/구현 | ▪안전전송모듈 하드웨어 제작 및 소프트웨어 구현<br>-차상 안전전송모듈 H/W 상세 설계 및 제작<br>-지상 안전전송모듈 H/W 기능 보완 및 제작<br>-안전전송모듈 외부 환경시험(KSR9156)<br>-안전전송모듈 기능 모듈별 S/W 설계 및 구현<br>-암호화 알고리즘(3DES) S/W 구현<br>▪지상-차상간 안전전송모듈 인터페이스 설계/구현<br>-안전전송모듈 외부 인터페이스 프로토콜 설계(Subset 037 기준 준수)<br>-지상-차상 간 인터페이스 규격 검증용 S/W 개발 | 보고서<br>시제품<br>시험성적서<br>동영상 | 보고서<br>시험성적서<br>시연 | ▪지상 안전전송모듈 환경시험 성적서<br>▪차상 안전전송모듈 환경시험 성적서<br>▪안전전송모듈 인터페이스 규격서 |
| 안전전송모듈 통합 및 연계시험 | ▪안전전송모듈 하드웨어 및 소프트웨어 성능개선<br>▪통합 시스템에 대한실험실 시험 | ▪안전전송모듈 하드웨어 및 소프트웨어 성능개선<br>-지상/차상 안전전송모듈 하드웨어 성능개선<br>-지상안전전송모듈 전자파시험<br>-차상안전전송모듈 진동시험<br>-안전전송모듈 외부 환경시험(KSR9156)<br>-지상/차상 안전전송모듈 소프트웨어 성능개선<br>-Subset 092-2 Test Case 적합성 여부(42항목) 검증<br>▪통합 시스템에 대한 실험실 | 보고서<br>시제품<br>시험성적서<br>동영상 | 보고서<br>시험성적서<br>시연 | ▪안전전송모듈 사양서<br>▪지상 안전전송모듈 전자파시험 성적서<br>▪차상 안전전송모듈 전자파시험 성적서<br>▪차상 안전전송모듈 진동시험 성적서<br>▪Subset 092-1 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 시험<br>-단위 시스템 별 연계 시험<br>-시험 절차서의 시험 항목별 적합성 여부 검증 | | | 안전전송모듈 유효 적합성 분석서<br>▪ Subset 092-2 안전전송모듈 Test _Case 분석 및 결과서<br>▪ 지상 ATP-안전전송모듈 단위 시험보고서 |
| 무선폐색센터(RBC) 핵심기술 개발 | 지상 ATP 제작 및 성능검증 | ▪ 무선폐색센터(RBC)와 차상 시뮬레이터를 이용하여 성능검증 실행 | 지상ATP | ▪ Subset-026(SRS) 준수 검증<br>▪ Subset-076(Test Case) 적합성 검증<br>- Test Sequence 076-6-3 6번<br>▪ 통합시험 : 지상ATP-차상 시뮬레이터이용 | 통합시험절차서 및 시험결과서 |

# 제3장 최종 연구성과 및 적용실적

## 제1절 최종 연구성과

### 1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발

본 세부과제의 연구분야는 연구사업 총괄 및 인터페이스, 연구성과 홍보 및 확산, 연구성과품 종합평가 및 분석, 테스트베드 구축 및 실행, 테스트베드 DB개발 및 운영환경 구축 등으로 구성되어 있다.

연구사업 총괄 및 인터페이스 분야에서는 월간 공정회의를 14회 개최함으로써 당초 성과지표인 6회 보다 2배이상 초과 달성하였으며, 연구성과의 질적 제고를 위하여 공정회의 결과에 대한 철저한 피드백을 수행하였다. 또한 총10회의 연구현장 점검을 통하여 테스트베드 구축일정에 부합되도록 인프라 현장측정 일정을 관리하였다. 이 외에도 년차별 연구내용의 적합성 검토와 년차별 평가위원 주요 의견에 대한 반영사항 확인을 위하여 세부과제별 RFP 대비 년차별 연구내용을 검토, 보완하였다.

연구성과 홍보 및 확산 분야에서는 홈페이지 기능개선, 특히 Research Community 활성화, 연구단 뉴스레터 발송, 홍보 동영상 및 선로영상 제작, 홍보책자 발간, 학회 학술대회 전시부스 설치, 운영 등 다양한 활동을 통하여 연구성과를 적극 홍보하고, 연구진의 정보공유에도 기여토록 하였다. 또한 워크숍 개최, 2014 구조물진단유지관리공학회 특별세션 개최, 철도교통 사업화 유망 R&D 기술설명회 성과발표, 한국철도기술지 기술기사 게재, 한국공학한림원의 '2014년 대한민국을 빛낸 산업기술성과 27'로 선정되고 기술성과 확산 및 언론홍보 등을 통하여 연구성과의 확산에 노력하였다.

연구성과품 종합평가 및 분석 분야에서는 각 세부분야별 성능시험절차서를 작성함으로써 개발품의 완성도를 높이고, 성능평가 결과의 질적수준을 제고토록 하였다. 또한 속도 제약요인을 분석하고, 해소대책을 검토함으로서 연구성과품 적용에 대한 증속가능성을 분석하였다.

테스트베드 구축 및 실행 분야에서는 호남고속철도 건설일정과 연계하여 테스트베드 13개소 구축, 인프라 성능시험을 완료하였다. 테스트베드 현장부설과 인프라 측정과 관련하여 분야별로 16회의 지원을 하였으며, 인프라 성능시험 시 안전대책을 수립하여 시행하였다.

테스트베드 DB개발 및 운영환경 구축 분야에서는 테스트베드 통합 모니터링 시스템 개발, 통합 UI 웹프로그램 개발, 테스트베드 통합 DB 개발, 통합 모니터링 H/W시스템 테스트베드 적용, 통합 DB 및 통합UI 시스템 테스트베드 적용과 이의 적합성을 검증하였다.

<표 3-1-1-1> 연구분야별 최종성과

| 연구분야 | | 최종 연구성과 |
|---|---|---|
| 연구사업 총괄 및 인터페이스 | 세부과제별 진도관리 및 인터페이스 체계 구축 | - 월간 공정회의 14회 개최<br>- 연구현장 점검 및 현안사항 협의 10회<br>- 총괄 및 세부과제별 연구내용 적합성 검토 1회 |
| | 세부과제간 정보공유 체계 강화 | - 홈페이지 Research Community 활성화<br>- 뉴스레터 발송 13건 |
| 연구성과 홍보 및 확산 | 연구성과 홍보 | - 홍보동영상, 선로영상 제작 2건<br>- 연구단 로고 스티커, 연구현장 설명판넬 제작<br>- 연구단 홍보책자 (영문리플렛, 성과집) 발간<br>- 한국방재학회 전시부스 설치, 운영<br>- 철도수송박람회(Innotrans 2014, 베를린) 참가 |
| | 연구성과 발표 | - 한국철도기술 특집기사 5건 기고<br>- 한국구조물진단학회 14 봄학술대회 특별세션 연구성과 발표<br>- 철도교통 사업화 유망R&D 기술설명회 연구성과 발표<br>- 첨단 고속철도 인프라 미래전략 워크숍 |
| 연구성과품 종합평가 및 분석 | 연구성과품 적용성 검토 | - 연구성과품 적용, 속도 증속가능성 분석<br>- 운영속도별 TPS 분석 |
| | 연구성과품 실용화 기반 검토 | - Test-bed 적용을 위한 연구성과 적정성 분석<br>- 실용화 전략 및 기반수립 |
| 테스트베드 구축 및 실행 | 테스트베드 구축 실행 | - 호남고속철도 건설공정과 연계하여 테스트베드 구축<br>• 방음벽 상단장치(1), 흡음블럭(1), 소음예측모델(3), 궤도(2), 노반(3), 교량(2), 미기압파(1), 전차선로 지상(1), 차상(1) |
| | 기술분야별 테스트베드 구축 지원 | - 환경소음저감장치 설치 및 응용 지원 여부<br>- 선로구축물 분야 모니터링시스템 구축 지원 여부<br>- 전차선로 시스템 설치 지원 여부 |
| | 모니터링시스템 DB관리방안 수립 | - 모니터링시스템 및 DB 관리 방안 제시 여부 |
| 테스트베드 DB 개발 및 | 통합DB 및 통합UI 시스템 테스트베드 적용 | - 통합 UI 웹프로그램 개발<br>- 테스트베드 통합 DB 개발<br>- 통합 DB 및 통합UI 시스템 테스트베드 적용 |

| 연구분야 | | 최종 연구성과 |
|---|---|---|
| 운영환경 구축 | 통합 모니터링 H/W 시스템 테스트베드 적용 | - 테스트베드 통합 모니터링 시스템 개발<br>- 통합 모니터링 H/W시스템 테스트베드 적용<br>- 통합DB 개발 및 운영환경 구축 결과 검증 |

## 2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발

<표 3-1-2-1> 환경소음 분야 최종 연구성과

| 연구분야 | 최종 연구성과 |
|---|---|
| 방음벽 상단장치<br>현장적용 성능평가 | ① 400km/h 고속철도 테스트 베드 구간에 슬라브 도상용 흡음블럭 부설<br>▪ 호남고철 T/B STA. 116k480~880, L=400m(13.10.29~12.09)<br>② 방음벽 상단장치 설치 전/후 음향성능평가<br>▪ 상단장치 설치 전 음향성능평가(14.11.5~6)<br>▪ 상단장치 설치 후 음향성능평가(14.12.18)<br>▪ 소음저감성능 3.5dB 확보<br>③ 방음벽 상단장치 상단장치 설치후 소음측정<br>▪ KTX-호남 운행시 상단장치 설치 후 소음측정(14.04.23~24, 230~275km/h 11회 운행)<br>▪ 측정 및 평가방법 자문회의(14.06.20)<br>▪ HEMU-430X 운행시 상단장치 설치 후 소음측정(14.08.28, 57~290km/h 10회 운행)<br>▪ HEMU-430X 운행시 상단장치 설치 후 소음 및 열차풍 측정(14.12.03, 310km/h 1회 운행, 열차풍 30.1Pa)<br>▪ HEMU-430X 운행시 상단장치 설치 후 소음측정(14.12.12, 250~370km/h 5회 운행)<br>④ 상단장치 설치/미설치 구간 동시측정을 위한 상단장치 부분 철거(15.01.15~18)<br>▪ STA. 116k480~640, L=160m(HEMU-430X 1편성 150m)<br>⑤ 상단장치 설치/미설치 구간 동시측정 성능평가<br>▪ HEMU-430X 운행시 상단장치 설치/미설치 구간 동시 소음 및 열차풍 측정(15.01.23, 170~386km/h 8회 운행, 소음저감성능 3.9dB(A) 확보, 열차풍 205.1Pa )<br>▪ HEMU-430X 운행시 상단장치 설치/미설치 구간 동시 소음 및 열차풍 측정(15.02.01, 386~387km/h 2회 운행, 소음저감성능 4.0dB(A) 확보, 열차풍 599.7Pa)<br>▪ HEMU-430X 운행시 상단장치 설치/미설치 구간 동시 소음측정(15.02.15, 177~383km/h 3회 운행, 소음저감성능 3.5dB(A) 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 상단장치 설치/미설치 구간 동시 소음측정(15.03.08, 399~414km/h 2회 운행, 소음저감성능 4.3dB(A) 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 상단장치 설치/미설치 구간 동시 소음측정(15.03.15, 400~401km/h 2회 운행, 소음저감성능 3.2dB(A) 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 상단장치 설치/미설치 구간 동시 소음측정결과 367~414km/h 운행시 평균 소음저감량 3.9dB(A) 확보 |
| 고속철도<br>소음예측모델 개발 | ① 테스트 베드 TDR 측정<br>▪ 개활지구간 현장측정(14.01.07, 14.01.15)<br>▪ 방음벽구간 현장측정(14.01.28) |

| 연구분야 | 최종 연구성과 |
|---|---|
| | ▪ 개활지구간 2차 현장측정(14.03.07)<br>② 고속철도 소음예측모델 성능평가를 위한 현장측정 |
| | ▪ HEMU-430X 운행시 개활지구간 현장측정(14.08.28, 220~295km/h 6회 운행, 측정치와 오차범위 3dB 이내 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 개활지구간 현장측정(15.01.23, 170~396km/h 8회 운행, 측정치와 오차범위 3dB 이내 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 개활지구간 현장측정(15.02.01, 170~394km/h 5회 운행, 측정치와 오차범위 3dB 이내 확보)<br>▪ KTX호남 운행시 방음벽구간 현장측정(14.04.23, 232~270km/h 2회 운행, 측정치와 오차범위 3dB 이내 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 방음벽구간 현장측정(15.01.23, 170~396km/h 8회 운행, 측정치와 오차범위 3dB 이내 확보)<br>▪ KTX호남 운행시 교량구간 현장측정(14.04.23, 232~270km/h 2회 운행, 측정치와 오차범위 3dB 이내 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 교량구간 현장측정(15.01.23, 170~396km/h 8회 운행, 측정치와 오차범위 3dB 이내 확보)<br>▪ KTX호남 및 HEMU-430X 운행시 개활지, 방음벽 및 교량구간의 측정치와 예측치 비교 결과 오차범위 3dB(A) 이내 성능 확보<br>▪ 철도 전동소음원 강도 해석 프로그램 PRINT-R 등록 (C-2015-001699, 15.01.28) |
| 고속철도 소음저감효과 시뮬레이션 기술 확보 | ① 시간이력 소음예측 알고리즘 보완 수정<br>② 소음원 측정 및 분석 알고리즘, 프로그램 보완 수정<br>③ 고속철도 소음예측 프로그램 모듈(소음저감효과 시뮬레이션)사양확정 및 제작 발주(14.04)<br>④ 소음원 계산 프로그램 알고리즘 관련 공정회의(14.05.12)<br>⑤ 고속철도 소음저감효과 시뮬레이션 프로그램 모듈 제작 (14.07.31)<br>⑥ 소음도저감효과 시뮬레이션 프로그램 등록 신청(14.11.28)<br>⑦ 소음도저감효과 시뮬레이션 프로그램 등록 (C-2014-034077, 14.12.29)<br>⑧ 차량의 저소음화 구조 변경에 따른 음압예측(예측과 측정치 오차 범위 1.0dB 이내)<br>⑨ 방음벽 설치에 따른 소음저감효과 예측 및 측정치와 비교 (오차 범위 3.0dB 이내)<br>⑩ 흡음블럭 설치에 따른 소음저감효과 예측 및 측정치와 비교(오차 범위 1.0dB 이내) |
| 슬라브 도상용 흡음블럭 개발 | ① 400km/h 고속철도 테스트 베드 구간에 슬라브 도상용 흡음블럭 부설<br>▪ 현장부설용 흡음블럭 양산 완료 및 양생, 큐빙<br>▪ 현장조사 및 현장감리단과 부설관련 협의<br>▪ 현장부설 시공업체 선정<br>▪ 시공계획서 및 시방서 최종 보완<br>▪ 호남고속철도 STA.109K500~900 구간에 현장부설 실시 |

| 연구분야 | 최종 연구성과 |
|---|---|
| | ② 흡음블럭 부설/미부설 구간의 소음측정 및 평가<br>▪ HEMU-430X 운행시 흡음블럭 부설/미부설 구간 동시 소음측정(15.01.23, 350~390km/h 2회 운행, 소음저감성능 평균 3.0dB(A) 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 흡음블럭 부설/미부설 구간 동시 소음측정(15.02.01, 172~394km/h 5회 운행, 소음저감성능 평균 3.0dB(A) 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 흡음블럭 부설/미부설 구간 동시 소음측정(15.03.08, 378~404km/h 2회 운행, 소음저감성능 평균 3.0dB(A) 확보)<br>▪ HEMU-430X 운행시 흡음블럭 부설/미부설 구간 동시 소음측정(15.03.15, 212~378km/h 5회 운행, 소음저감성능 평균 3.0dB(A) 확보)<br>▪ HEMU-430X 172~404km/h로 상선 운행(마이크로폰 이격거리 선로중앙 5m)시 평균소음저감량 3.0dB(A) 확보<br>▪ HEMU-430X 172~404km/h로 하선 운행(마이크로폰 이격거리 선로중앙 8.9m)시 평균소음저감량 4.3dB(A) 확보<br>③ 설치 후 안전성 및 내구성 등에 대한 점검<br>▪ 습윤상태와 건조상태의 흡음블럭 흡음성능 비교 검토<br>▪ 부설된 흡음블럭이 실제 열차 및 시설물들과의 간섭여부 점검(14.08.13, 14.10.17, 15.01.15)<br>▪ 흡음블럭 부설 후 열차운행 및 시간경과에 따른 흡음블럭의 움직임 여부 점검(14.08.13, 14.10.17, 15.01.15)<br>▪ 흡음블럭 부설 후 열차운행 및 외기노출에 따른 흡음블럭의 내구성능 변화 여부 점검 |

## 3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구

<표 3-1-3-1> 선로구축분야 최종연구성과

| 분야 | | 최종연구성과 |
|---|---|---|
| Test-Bed 구간 선로구축물 거동평가 모니터링 시스템 구축•운영 및 설계기준(안) 검토 | Test-Bed 구간 선로구축물 거동평가 모니터링 시스템 구축•운영 | • 호남고속선 테스트베드구간 11개소 구축,운영관리<br>- 연구현장 일제점검 14건<br>- 구축시 안전관리교육 및 투입 89건, 안전관리자 4인<br>- 구축 및 시험협의 실시 8건<br>- 증속시 작업,안전관리 협의 요청공문 23건<br>- 시험계획공문 요청발송 3건 |
| | 세부과제 진도관리 및 선로구축물 기준(안) 검토 | • 세부과제 진도관리 및 선로구축물 기준(안) 검토<br>- 자체 공정회의 2회<br>- 사전기술검토 4개분야<br>- 개발기준 8건에 대한 사전기술검토<br>- 기술검토 협의 3건<br>- 기술자문회의 4건 |
| 선로구축물 Test-Bed구간 증속거동 분석 및 400km/h급 설계지침(안) 개발 | 400km/h 주행 파라미터별 속도상관성 분석 | • Test-Bed 모니터링, 현장시험 측정데이터 분석,해석,실내시험 분석결과를 고려한 선로구축물(궤도,노반,교량,미기압파) 예측경향 및 여유도 분석<br>- 해석수행(TPS,궤도,노반,교량동적해석)<br>- 실내시험(실대형시험,PCL,캠플레이트 17종)<br>- 현장시험(증속시험 293건 통계분석,미기압파 2개소 현장측정시행)<br>- 속도-선로구축물 거동특성(응력,변위,침하) 상관 및 예측챠트 제시 |
| | 400km/h 궤도, 노반,교량 설계기준(안) 제시 | • 선로구축물 설계기준(안)제시<br>- 사전기술검토: 4개분야 궤도 285개, 노반분야 182개, 교량분야 113개, 미기압파 분야 21개 상세항목정의 검토실시<br>- KR C-08070 교량구조 적정설계 변위, KR C-14030, 표준동적하중 충격계수편, KR C-04 미기압파 기준제안 |
| 선로구축물(궤도,교량) 거동평가 모니터링 시스템구축 및 성능평가 | 본선 Test-Bed 구간의 선로구축물 성능평가 및 검증 | • 궤도, 교량 모니터링 시스템 및 시험측정데이터 구축<br>- 궤도 직선구간(109K231), 궤도 원곡선구간(98K815), 교량 PSC-BOX교(119k102), 교량 소수주형교(118k577)<br>- 인프라 시험 측정데이터구축(궤도 60ch×24회/ 교량 21ch×24회 데이터구축) |

| 분야 | | 최종연구성과 |
|---|---|---|
| | | - 교량단부 콘크리트궤도 설계기준정립<br>- KR C-08090 교량단부 콘크리트궤도 사용성 검토를 위한 동적작용 충격계수 산정 |
| | 분기기 성능평가 및 측정데이터구축 | • 분기기측정시스템 현장구축 및 시험수행<br>-정읍역 고속분기기 F26 #6713(131K940) 구축<br>-총 8회 시험측정실시(44ch×24회) |
| 선로구축물(노반) 거동평가 모니터링 시스템 구축 및 성능평가 | Test-Bed 구간 선로구축물(노반) 측정데이터구축 | • 노반 모니터링 시스템 및 시험측정데이터 구축<br>- 표준노반(109K231), 연약지반(110K000), 교대접속노반(120k650)의 모니터링 시스템 구축<br>- 인프라 시험 측정데이터구축(노반 99ch×24회 데이터 구축) |
| | 침하분석 및 침하관리 기준(안) 개발 | • 테스트베드 구간 침하 DB화<br>- 원지반:221개소, 지표:178개소<br>- 침하 분석 잔류침하량 평가(노반정보관리프로그램)<br>- 원지반:221개소<br>• 노반침하(한계침하속도) 기준(안)제시 |
| 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 최적 설계 및 설계기준(안) 개발 | 동적증가계수와 궤도 및 노반단면 설계의 상관성 분석 | • 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 핵심설계요소의 특성변화 분석을 위한 분석<br>- 충격계수 증가설계하중고려 TCL응력분석<br>- TCL 및 토공노반 변화분석<br>- 사용성검토 분석<br>- 현장 매립센서의 궤도TCL의 동적거동 분석 및 표면 게이지 균열분석 |
| | 열차속도증속을 고려한 궤도/노반 최적 설계(안) 도출 | • 토노반 콘크리트구조 최적설계단면(안)제시<br>- 신규단면제안(TCL축소단면)<br>- 토노반 콘크리트구조 최적설계단면(안)제시<br>- KR C-14040 콘크리트궤도 요구 조건<br>- KR C-14040 콘크리트궤도 구성품 요소 |

## 4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발

<표 3-1-4-1> 전차선로분야 최종연구성과

| 분야 | | 최종연구성과 |
|---|---|---|
| 상세설계 기술개발 | 드로퍼 간격, 이도 확정 등 400km/h 전차선로 설계안 확정 및 개선 | - 독창적인 400km/h급 전차선로를 설계안 제시 및 현장시험을 통한 적합성 확인<br>- 보완된 기본도를 포함한 토털 One Set 기본도(상세설계 도서) 제시 |
| 전차선로 부품 내구성 평가기술 개발 및 DB 구축 | 기존 전차선 대비 개발 전차선의 마모 성능 비교를 위한 시험 및 데이터 구축 | - 개발 전차선에 대한 내마모 성능 확인 |
| | 드로퍼 피로시험 및 200만회 반복하중에 견디는 내피로하중 데이터 구축 | - 개발 부품에 대한 장기 신뢰성 검증 및 시공기술 활용을 위한 부품특성 확인 |
| 전기적 결함탐지 장치 | 온도 및 UV탐지를 통한 전차선로 전기적 결함탐지 시스템 목표 성능 달성(15m 이상/ 0.1℃) | - 코로나 15m에서 측정값 100이상, 20m에서 측정값 80이상 달성<br>- 정량적 성능 목표인 최소온도분해능0.1K를 만족하는 0.07K달성 |
| 장력/전류파형 실시간 모니터링 시스템 | 장력 실시간 모니터링 초도품 실용성 확인(표준장력 34kN 에서 3% 이상 저하되는 것을 실시간 모니터링) | - 현장적용을 통해 표준장력34kN 에서 3% 이내로 정상동작 여부를 실시간 모니터링 성공 |
| | 전류파형 실시간 모니터링 초도품 실용성 확인 | - 개발품 현장 적용을 통해 전류 파형분석을 통한 지상부 집전성능 상태 모니터링 성공 |
| 종합 집전성능 평가 | 집전 성능 목표 성능 달성(이선율1% 이하, 접촉 유지 정도를 나타내는 접촉력의 최소값 0 이상)(@400km/h) | - 최고속도 400 km/h에서 목표인 이선율 1% 이하 만족 입증<br>- 최고속도 400km/h에서 목표인 통계적 최소 접촉력 0 이상 만족 입증 |
| 전차선로 안정성 평가 | 전차선로 안정성 목표 성능 달성(≤200㎜, 제시여부)(@400km/h) | - 400km/h급 전차선로 지상부 측정기준 만족(압상량, 변형율, 드로퍼 작용력) → 400km/h급 전차선로 성능 확인 |

## 5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발

<표 3-1-5-1> 열차제어분야 최종연구성과

| 분야 | | 최종연구성과 |
|---|---|---|
| 유럽표준 고속철도 열차제어 상호호환성 검증 엔지니어링 기술개발 | ETCS-L2 핵심장치 통합 및 성능시험 | - 유럽표준(Subset 076) 분석을 통한 차상-지상 통합시험 절차서 작성<br>- 시험 절차서의 시험 항목별 적합성 확인 |
| | ETCS-L2 엔지니어링 | - ETCS-L2 과제 통합 및 엔지니어링을 위한 월별 공정관리 9회 시행<br>- '한국철도기술' 기술지 게제, 각종 워크숍 발표 등 홍보 실적 5건 |
| 유럽표준 고속철도 열차제어 차상핵심기술개발 | 차상ATP 장치 S/W 개발 | - S/W 구조 사양서(EVCU, SDOU) 분석 및 상세 설계 완료<br>- S/W 구현 및 소스코드 검증 완료<br>- 시뮬레이터 설계 및 제작 완료 |
| | 차상ATP 장치 시제품 기능검증 | - ATP 장치 단위시험 완료<br>- 전자파, 온/습도, 진동/충격 환경시험 완료<br>- ATP↔JRU, DMI, SDOU 인터페이스 검증 완료<br>- 소프트웨어 연계 시험 보고서 작성<br>- 차상 ATP장치 통합 시험절차서 작성<br>- 차상 ATP장치 통합 시험결과 보고서 작성 |
| | 단계별 안전성(SIL) 검증 | - 시스템 개념 평가 보고서 작성<br>- 차상ATP장치 구조 사양서 작성<br>- 소프트웨어 구조 및 설계 Verification Report<br>- 컴포넌트 설계 Verification Report<br>- RAM 분석보고서 작성<br>- 부품(Component) FMEA 분석보고서 작성<br>- FTA 분석보고서 작성 |
| 유럽표준 고속철도 열차제어 인터페이스 기술개발 | 지상-차상 시스템 통합 | - 차상ATP 연계를 고려한 지상ATP 소프트웨어 최적화 완료<br>- 지상ATP-차상ATP 시험절차서 및 시험결과서 작성 |
| | 실용화 연계기술 연구 | - 무선폐색센터(RBC) 및 관제시스템 구성기술 방안 수립<br>- 무선통신기술 적용방안 수립 |
| | 지상인터페이스 시스템 성능검증 | - 폐색정보전송장치 현장시험(성능시험) 및 결과분석<br>- 현장시험 결과를 반영한 시제품 성능개선 완료<br>- 차상ATP장치↔안전전송모듈 성능시험 완료 |

| 분야 | | 최종연구성과 |
|---|---|---|
| | ETCS 시스템 검증 및 통합시험 지원 | - 지상↔차상시스템 연계를 위한 인터페이스 기술지원 시행<br>- ETCS 검증장비 운용을 통한 시험지원 시행 |

## 제2절 기술 실시 및 적용사례

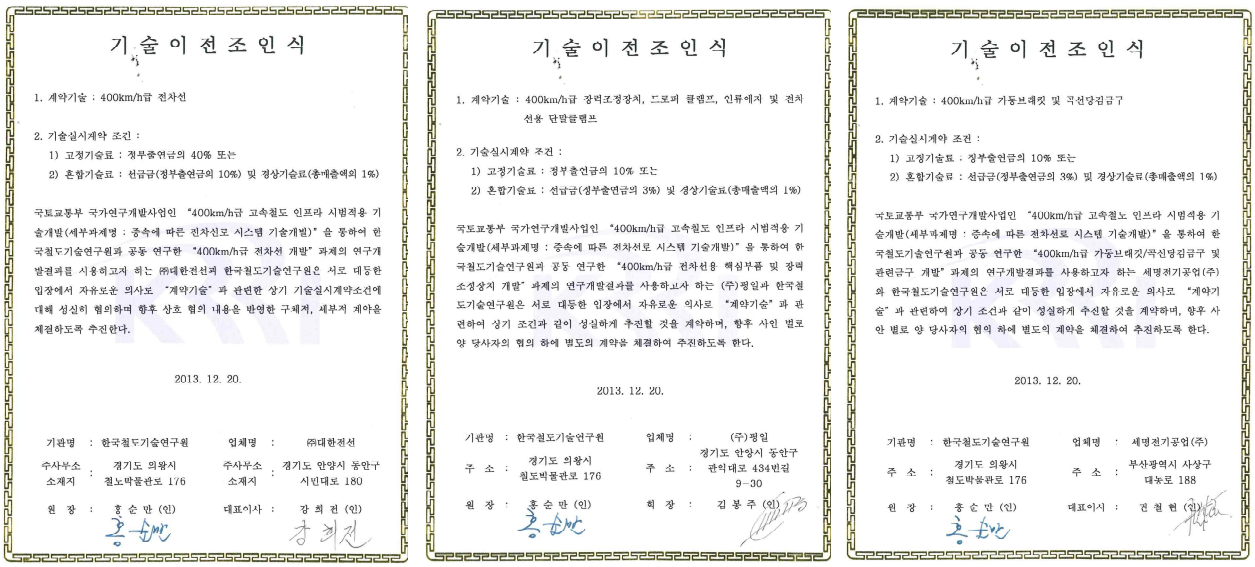
본 과제에서 개발된 400km/h급 고속철도 인프라 핵심 성과품은 호남고속철도 테스트베드 구간에 시범 적용되어 단기적 성능평가를 완료하였다. 이를 다시 요약하면 다음과 같다.

<표 3-2-1-1> 연구성과품 테스트베드 적용 현황

| 분야 | 항 목 | | 설치위치 | 적용 목적 |
|---|---|---|---|---|
| 테스트베드 구축 및 인터페이스 | 인프라 통합DB 모니터링시스템 | | 한국철도기술연구원 5동 309호 통합상황실 | 테스트베드 인프라 실시간 모니터링 현장계측데이터 DB구축 |
| 환경소음 | 방음벽 상단장치 | 소음측정 | STA.113k620 (설치 전)<br>STA.116k620 (설치 후) | 방음벽 상단장치 저감성능 |
| | | 열차풍 측정 | STA.116k680 (설치 후) | 열차풍에 의한 구조안전성 |
| | 흡음 블록 | 개활지 구간 | (설치 전 위치 협의 중)<br>STA.109k700 (설치 후) | 소음 저감성능 |
| | 소음 예측 모델 | 개활지 구간 | STA.109k700 | 소음 예측 모델 검증 |
| | | 방음벽 구간 | STA.107k400 | |
| | 기여도 분석 | | STA.104k600 | 기여도 분석 시스템 검증 |
| 선로 구축물 | 궤도 | 완화곡선 | STA.98k416 | 선형별 충격계수 |
| | | 원곡선 | STA.98k815 | |
| | | 직선 | STA.109k231 | |
| | 노반 | 표준토공 | STA.109k231 | 탄성, 잔류침하, 노반압력 진동속도, 가속도, 배수 |
| | | 연약지반 | STA.110k000 | 잔류침하, 소성침하 |
| | | 접속부 | STA.120k650 | 강성 차이에 따른 하중변화, 접속슬래브 변형 |
| | 교량 | Extradosed교 | STA.65k388 | 동적변위분석 시스템 |
| | | 소수주형교 | STA.118k577 | 동적변위, 단부 사용성 |
| | | PSC BOX교 | STA.119k102 | 동적변위, 단부 사용성 |
| 전차선 | 차상 | 집전성능시험 | 전차선과 팬터그래프간 접촉력 | 차상 |
| | | | 전차선과 팬터그래프간 이선아크 | 차상 |
| | 지상 | 동적특성시험 | 선로 최고속도에서 전차선 동적상호작용 | 최고속도 1개소 (KP113) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 전차선로 이상상태 모니터링 | 최고속도 1개소 (KP113) |
| | | | 장력상태 실시간 모니터링 | 최고속도 2개소 (KP104) |
| | | 정적특성시험 | 전차선로 결함탐지 | 주요구간 |

전차선 분야의 개발품은 참여기업에 총 3건의 기술이 이전되었으며, 호남고속철도 테스트베드에 실용화하여 총 54억원의 매출이 발생하였다.



기 술 이 전 조 인 식

1. 계약기술 : 400km/h급 전차선

2. 기술실시계약 조건 :
1) 고정기술료 : 정부출연금의 40% 또는
2) 혼합기술료 : 선급금(정부출연금의 10%) 및 경상기술료(총매출액의 1%)

국토교통부 국가연구개발사업인 "400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발(세부과제명 : 중속에 따른 전차선로 시스템 기술개발)" 을 통하여 한국철도기술연구원과 공동 연구한 "400km/h급 전차선 개발" 과제의 연구개발결과를 사용하고자 하는 ㈜대한전선과 한국철도기술연구원은 서로 대등한 입장에서 자유로운 의사로 "계약기술" 과 관련한 상기 기술실시계약조건에 대해 성실히 협의하며 향후 상호 협의 내용을 반영한 구체적, 세부적 계약을 체결하도록 추진한다.

2013. 12. 20.

기관명 : 한국철도기술연구원 / 업체명 : ㈜대한전선
주사무소 소재지 : 경기도 의왕시 철도박물관로 176 / 주사무소 소재지 : 경기도 안양시 동안구 시민대로 180
원 장 : 홍 순 만 (인) / 대표이사 : 강 희 전 (인)

기 술 이 전 조 인 식

1. 계약기술 : 400km/h급 장력조정장치, 드로퍼 클램프, 인류애지 및 전차선용 단말클램프

2. 기술실시계약 조건 :
1) 고정기술료 : 정부출연금의 10% 또는
2) 혼합기술료 : 선급금(정부출연금의 3%) 및 경상기술료(총매출액의 1%)

국토교통부 국가연구개발사업인 "400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발(세부과제명 : 중속에 따른 전차선로 시스템 기술개발)" 을 통하여 한국철도기술연구원과 공동 연구한 "400km/h급 전차선용 핵심부품 및 장력조정장치 개발" 과제의 연구개발결과를 사용하고자 하는 (주)정일과 한국철도기술연구원은 서로 대등한 입장에서 자유로운 의사로 "계약기술" 과 관련하여 상기 조건과 같이 성실하게 추진할 것을 계약하며, 향후 사안 별로 양 당사자의 협의 하에 별도의 계약을 체결하여 추진하도록 한다.

2013. 12. 20.

기관명 : 한국철도기술연구원 / 업체명 : (주)정일
주 소 : 경기도 의왕시 철도박물관로 176 / 주 소 : 경기도 안양시 동안구 관악대로 434번길 9-30
원 장 : 홍 순 만 (인) / 회 장 : 김 봉 주 (인)

기 술 이 전 조 인 식

1. 계약기술 : 400km/h급 가동브래킷 및 곡선당김금구

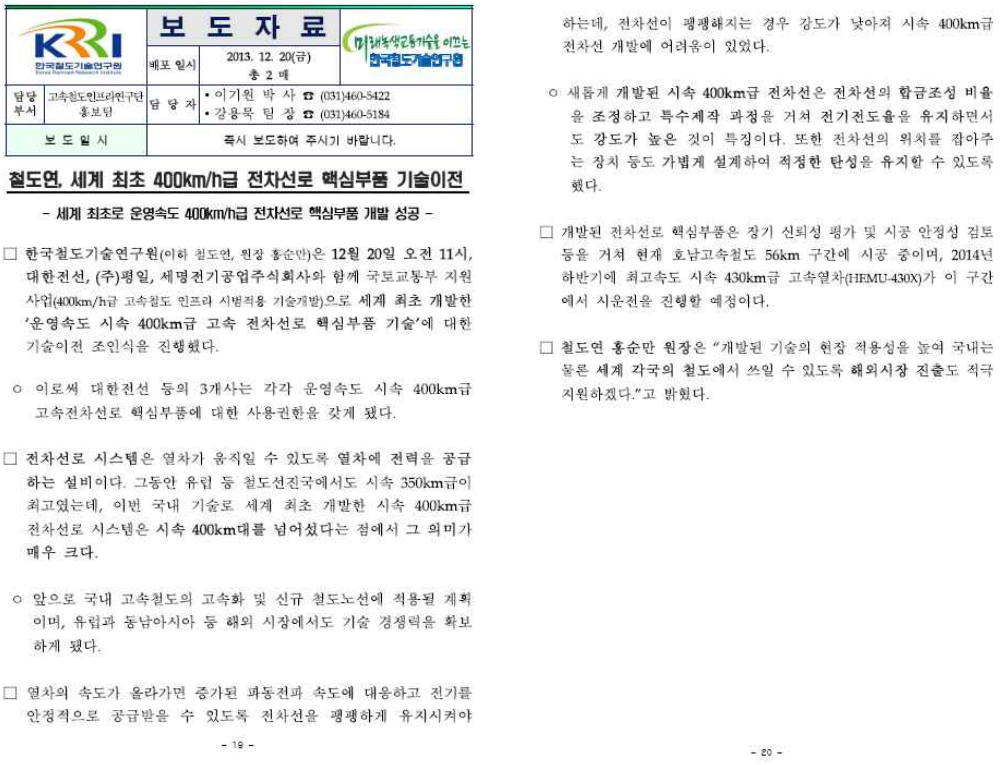
2. 기술실시계약 조건 :
1) 고정기술료 : 정부출연금의 10% 또는
2) 혼합기술료 : 선급금(정부출연금의 3%) 및 경상기술료(총매출액의 1%)

국토교통부 국가연구개발사업인 "400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발(세부과제명 : 중속에 따른 전차선로 시스템 기술개발)" 을 통하여 한국철도기술연구원과 공동 연구한 "400km/h급 가동브래킷/곡선당김금구 및 관련금구 개발" 과제의 연구개발결과를 사용하고자 하는 세명전기공업(주)와 한국철도기술연구원은 서로 대등한 입장에서 자유로운 의사로 "계약기술" 과 관련하여 상기 조건과 같이 성실하게 추진할 것을 계약하며, 향후 사안 별로 양 당사자의 협의 하에 별도의 계약을 체결하여 추진하도록 한다.

2013. 12. 20.

기관명 : 한국철도기술연구원 / 업체명 : 세명전기공업(주)
주 소 : 경기도 의왕시 철도박물관로 176 / 주 소 : 부산광역시 사상구 대동로 188
원 장 : 홍 순 만 (인) / 대표이사 : 권 철 현 (인)

<그림 3-2-1-1> 기술이전 관련 협약서



보 도 자 료

| 배포 일시 | 2013. 12. 20(금) 총 2 매 |
|---|---|
| 담당 부서 / 고속철도인프라연구단 홍보팀 | 담 당 자 • 이기원 박 사 ☎ (031)460-5422 • 강용묵 팀 장 ☎ (031)460-5184 |
| 보 도 일 시 | 즉시 보도하여 주시기 바랍니다. |

**철도연, 세계 최초 400km/h급 전차선로 핵심부품 기술이전**

**- 세계 최초로 운영속도 400km/h급 전차선로 핵심부품 개발 성공 -**

□ 한국철도기술연구원(이하 철도연, 원장 홍순만)은 **12월 20일 오전 11시**, 대한전선, (주)평일, 세명전기공업주식회사와 함께 국토교통부 지원 사업(400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발)으로 **세계 최초 개발한 '운영속도 시속 400km급 고속 전차선로 핵심부품 기술'**에 대한 기술이전 조인식을 진행했다.

○ 이로써 대한전선 등의 3개사는 각각 운영속도 시속 400km급 고속전차선로 핵심부품에 대한 사용권한을 갖게 됐다.

□ 전차선로 시스템은 열차가 움직일 수 있도록 열차에 전력을 공급하는 설비이다. 그동안 유럽 등 철도선진국에서도 시속 350km급이 최고였는데, 이번 국내 기술로 세계 최초 개발한 시속 400km급 전차선로 시스템은 **시속 400km대를 넘어섰다**는 점에서 그 의미가 매우 크다.

○ 앞으로 국내 고속철도의 고속화 및 신규 철도노선에 적용될 계획이며, 유럽과 동남아시아 등 해외 시장에서도 기술 경쟁력을 확보하게 됐다.

□ 열차의 속도가 올라가면 증가된 파동전파 속도에 대응하고 전기를 안정적으로 공급받을 수 있도록 전차선을 팽팽하게 유지시켜야 하는데, 전차선이 팽팽해지는 경우 강도가 낮아져 시속 400km급 전차선 개발에 어려움이 있었다.

○ 새롭게 개발된 **시속 400km급 전차선은 전차선의 합금조성 비율을 조정하고 특수제작 과정을 거쳐 전기전도율을 유지하면서도 강도가 높은 것이 특징이다.** 또한 전차선의 위치를 잡아주는 장치 등도 가볍게 설계하여 **적정한 탄성을 유지할 수 있도록** 했다.

□ 개발된 전차선로 핵심부품은 장기 신뢰성 평가 및 시공 안정성 검토 등을 거쳐 현재 호남고속철도 56km 구간에 시공 중이며, 2014년 하반기에 최고속도 시속 430km급 고속열차(HEMU-430X)가 이 구간에서 시운전을 진행할 예정이다.

□ 철도연 **홍순만 원장**은 "개발된 기술의 현장 적용성을 높여 국내는 물론 세계 각국의 철도에서 쓰일 수 있도록 **해외시장 진출**도 적극 지원하겠다."고 밝혔다.

<그림 3-2-1-2> 기술이전 관련 보도자료

# 제3절 기술개발 성과의 국내외 시장전망

## 1. 국외 시장전망[1)]

세계 철도시장 규모는 2009년 약 1,310억 유로이며, 연평균 4.1%로 성장하여 2015년 약 1,670억 유로가 될 것으로 전망된다. 특히 2012년 말 기준으로 운용속도 200km/h 이상 고속철도 노선은 전 세계적으로 21,482km에 달하는 것으로 파악되며, 운용속도 350km/h 이상의 고속선은 2022년까지 3,115km 건설될 것으로 예상된다.

세계 철도시장은 철도인프라(Infrastructure), 시스템기술(Systems Technology), 철도차량(Rolling Stock) 분야로 구분할 수 있으며, 2009년 기준으로 철도차량(57%), 철도인프라(32%), 시스템기술(11%)의 비중을 보이고 있다.

세계 철도인프라 시장규모는 2009년 약 420억 유로이며, 2015년에는 약 530억 유로에 이를 것으로 예상된다. 여기서 2009년 기준 선로구축물 분야의 비중은 86%, 전차선 분야의 비중은 14%를 차지한다.

1) HSR Global Market Trends SCI Verkehr, World rail market study status quo and outlook 2020, UNIFE, 2010

선로구축물 분야의 시장규모는 2009년 약 367억 유로이며 연평균 성장률 3.5%로 성장하여 2015년에는 약 453억 유로가 될 것으로 예상된다. 여기서 신규/개량 시장 규모는 2009년 약 141억 유로이며, 연평균 3.4%의 성장률로 2015년 약 172억 유로가 될 것으로 전망된다. 유지/관리 시장규모는 2009년 약 226억 유로이며, 연평균 3.7%의 성장률로 2015년 약 281억 유로로 시장 확대가 예상된다. 특히 2007-2009년 궤도시스템의 전체시장 규모는 28억 유로이며, 2015-2016년에는 12억 유로가 될 것으로 예상된다.

전차선 분야의 시장규모는 2009년 61억 유로이며, 연평균 4.8% 성장률로 2015년 약 81억 유로 규모로 예측된다. 이중에서 신규/개량 시장의 규모는 2009년 약 35억 유로이며, 연평균 5.6%의 성장률로 확대되어 2015년 약 49억 유로에 이를 것으로 전망된다. 유지/관리 시장규모는 2009년 약 26억 유로이며, 연평균 성장률 3.8%로 확대되어 2015년 약 33억 유로가 될 것으로 전망된다. 특히 고속철도 전차선 분야의 2007-2009년 시장 규모는 16억 유로이며, 2015-2016년에는 7억 유로가 될 것으로 예상된다.

철도 시스템 기술의 시장규모는 2009년 기준 약 147억 유로이며, 연평균 3.5%로 성장하여 2015년에는 약 181억 유로가 될 것으로 전망된다. 세계 시스템기술 시장은 신호/제어 시장과 여객정보기술 시장으로 구성되며, 2009년 기준 신호/제어 시장 비중은 86%, 여객정보기술 비중은 14%를 차지하였다. 신호/제어 시장규모는 2009년 127억 유로이며, 연평균 3.4% 성장률로 2015년 약 156억 유로 규모로 성장이 예측된다. 이중에서 신규/개량 시장의 규모는 2009년 61억 유로이며, 연평균 4%의 성장률로 2015년에는 약 77억 유로로 시장이 확대될 것으로 분석되며, 유지/관리 시장의 규모는 2009년 66억 유로이며, 연평균 3%의 성장률로 2015년에는 약 79억 유로로 시장이 확대될 것으로 분석된다. 2007-2009년 고속철도 신호/제어 시장규모는 8억 유로이며, 2015-2016년에는 10억 유로로 성장이 예상된다.

## 2. 국내 시장전망

제2차 국가철도망 구축계획(2011-2020년)기간 동안 국내 철도시설 확충에 총 88조원이 소요될 전망이며, 부문별 투자규모는 고속철도가 16조원, 일반철도 46조원, 광역철도 26조원에 이를 전망이다. 또한 기존 시설의 노후화에 따라 신규시장 보다는 유지관리 분문의 시장이 큰 폭으로 성장할 것으로 예상된다.

본 과제에서 개발된 방음벽 상장장치와 도상용 흡음블럭은 신규로 건설되는 고속선 뿐만 아니라, 환경소음 저감, 도시미관 개선, 승객의 조망권 확보 등을 위해서 현재 고속철도에 설치된 방음벽의 높이를 저감하기 위해서 사용 가능하다. 또한 우수한 소음저감 성능으로 인해 400km/h 이하의 250~300km/h 대역에서도 사용이 가능하다. 또한 경부1단계(자갈궤도)와 달리, 경부2단계와 호남고속철도는 콘크리트 궤도로 건설되고 향후 계획된 신규고속선도 콘크리트 궤도로 건설될 예정임에 따라

소음저감을 위한 관련 제품의 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

상기와 같이 국내에서 고속철도에 대한 투자가 꾸준히 이루어짐에 따라 관련 선로구축물 시장도 확대될 것으로 전망된다. 특히, 선로구축물 노후화에 따른 유지보수 시장은 큰 폭으로 확대될 것으로 예상되며, 본 과제에서 선로구축물 모니터링 기술은 유효한 수단이 될 것이다. 400km/h급 선로구축물 설계기준은 향후 증속에 따른 신설 구간에 확대 적용될 것이다.

본 과제에서 개발된 400km/h급 전차선로는 개발품의 우수성과 신뢰성이 증명될 경우, 호남고속철도 2단계(광주~목포) 구간 97.8km에 설치될 것으로 예상된다. 호남고속철도 테스트베드 구간 56km를 포함하여 총 길이 153.8km에 대한 시장규모는 약 125억원으로 추정된다. 400km/h급 전차선 핵심부품은 높은 장력으로 인하여 전철주 간격을 넓힘으로써 전체 공사비를 절감할 수 있어 400km/h이하의 기존 철도 시장에도 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

국내 고속철도 신호제어 시장규모는 2017년 179억 9천만원에서 2026년에는 170억 6천만원으로 예상되며, 이중에서 유지보수 시장 규모는 2017년 93억 5천만원에서 2026년에는 88억 7천만원으로 예상된다.

# 제4장 연구목표 달성 및 효과

## 제1절 연구개발 최종목표 달성도

### 1. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발

<표 4-1-1-1> 세부연구 목표별 달성내용 (1세부)

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%)<br>(달성/목표) |
|---|---|---|---|
| 연구사업 총괄 및 인터페이스 | 세부과제별 진도관리 및 인터페이스 체계 | - 월간 공정회의 14회 개최<br>- 연구현장 점검 및 현안사항 협의 10회<br>- 총괄 및 세부과제별 연구내용 적합성 검토 1회 | 416%<br>(25회/6회) |
| | 세부과제간 정보공유 체계 | - 홈페이지 Research Community 활성화<br>- 뉴스레터 발송 13건 | 200%<br>(2건/1건) |
| 연구성과 홍보 및 확산 | 연구성과 홍보 | - 홍보동영상, 선로영상 제작 2건<br>- 연구단 로고 스티커, 연구현장 설명판넬 제작<br>- 연구단 홍보책자 (영문리플렛, 성과집) 발간<br>- 한국방재학회 전시부스 설치, 운영<br>- 철도수송박람회(Innotrans 2014, 베를린) 참가 | 250%<br>(5건/2건) |
| | 연구성과 발표 | - 한국철도기술 특집기사 5건 기고<br>- 한국구조물진단학회 14 봄학술대회 특별세션 연구성과 발표<br>- 철도교통 사업화 유망R&D 기술설명회 연구성과 발표<br>- 첨단 고속철도 인프라 미래전략 워크숍 | 200%<br>(4건/2건) |
| 연구성과품 종합평가 및 분석 | 연구성과품 적용성 검토 | - 연구성과품 적용, 속도 증속가능성 분석<br>- 운영속도별 TPS 분석 | 100%<br>(1건/1건) |
| | 연구성과품 실용화 기반 | - Test-bed 적용을 위한 연구성과 적정성 분석<br>- 실용화 전략 및 기반수립 | 100%<br>(1건/1건) |
| 테스트베드 구축 및 실행 | 테스트베드 구축 실행 | - 호남고속철도 건설공정과 연계하여 테스트베드 구축<br>• 방음벽 상단장치(1), 흡음블럭(1), 소음예측모델(3), 궤도(2), 노반(3), 교량(2), 미기압파(1), 전차선로 지상(1), 차상(1) | 100%<br>(1건/1건) |
| | 기술분야별 테스트베드 구축 지원 | - 환경소음저감장치 설치 및 응용 지원 여부<br>- 선로구축물 분야 모니터링시스템 구축 지원 여부<br>- 전차선로 시스템 설치 지원 여부 | 100%<br>(1건/1건) |
| | 모니터링시스템 DB관리방안 수립 | - 모니터링시스템 및 DB 관리 방안 제시 여부 | 100%<br>(1건/1건) |
| 테스트베드 DB 개발 및 운영환경 구축 | 통합DB 및 통합UI 시스템 테스트베드 적용 | - 통합 UI 웹프로그램 개발<br>- 테스트베드 통합 DB 개발<br>- 통합 DB 및 UI 시스템 테스트베드 적용 | 100%<br>(1건/1건) |
| | 통합 모니터링 | - 테스트베드 통합 모니터링 시스템 개발 | 100% |

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%)<br>(달성/목표) |
|---|---|---|---|
| | H/W 시스템<br>테스트베드 적용 | - 통합 모니터링 H/W시스템 테스트베드 적용<br>- 통합DB 개발 및 운영환경 구축 결과 검증 | (1건/1건) |

## 2. 고속철도 400km/h 운행을 위한 환경소음 저감 핵심기술 개발

<표 4-1-2-1> 세부연구 목표별 달성내용 (2세부)

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|
| 상단소음<br>저감장치의<br>현장적용<br>성능평가 | 현장소음저감<br>성능 3dB(A)<br>이상 | - 방음벽 상단장치 테스트 베드 현장부설 완료<br>• 호남고철 STA. 116k480~880, L=400m<br>- 방음벽 상단장치 음향성능평가<br>• 소음저감성능 3.5dB 확보<br>- HEMU-430X 증속시 방음벽 상단장치 소음저감성능평가<br>• 상단장치 설치/미설치 구간 동시측정 5회<br>• HEMU-430X 367~414km/h 운행시 평균 소음저감량 3.9dB(A) 확보 | 100% |
| 고속철도<br>예측설계<br>기술<br>인터페이스<br>완료 | 환경소음<br>핵심저감장치<br>예측모델용<br>데이터 제공 | - 상단장치 설치 전/후 음향성능평가 결과<br>- 상단장치 소음저감 성능평가 결과<br>- 흡음블럭 소음저감 성능평가 결과 | 100% |
| 고속철도<br>소음예측<br>모델 개발 | 개발<br>소음예측모델<br>정확도 오차범위<br>3dB 이내 | - 테스트 베드 TDR 측정결과<br>• 개활지 3회, 방음벽 구간 1회<br>- 현장 소음측정결과와 예측결과의 비교<br>• 개활지 3회, 방음벽 및 교량 구간 2회 현장소음 측정<br>• HEMU-430X 속도별 측정값과 예측값과 비교결과 총합소음도 오차범위 3dB 이내<br>- 철도 전동소음원 강도해석 프로그램 PRINT-R 등록(C-2015-001699) | 100% |
| 고속철도<br>소음저감<br>시뮬레이션<br>기술 확보 | 소음원 특성<br>변화에 따른<br>수음지<br>소음저감예측<br>성능 3건이상 | - 차량의 저소음과 구조 변경에 따른 음압 예측 및 측정치와 비교(측정결과와 오차 1.0dB)<br>- 방음벽 설치에 따른 소음저감효과 예측 및 측정치와 비교(측정결과와 오차 3.0dB) | 100% |

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|
| | | - 흡음블럭 설치에 따른 소음저감효과 예측 및 측정치와 비교(측정결과와 오차 1.0dB)<br>- 철도소음도 시뮬레이션 프로그램 등록(C-2014-034077) | |
| 슬라브 도상용 흡음블럭 현장부설 | 현장소음저감 성능 3dB(A) 이상 | - 흡음블럭 테스트 베드 현장부설 완료<br>• 호남고철 STA. 109k500~900, L=400m<br>- HEMU-430X 증속시 흡음블럭 소음저감성능평가<br>• 흡음블럭 설치/미설치 구간 동시측정 4회<br>• HEMU-430X 172~404km/h로 상선 운행(마이크로폰 이격거리 선로중앙 5m)시 평균소음저감량 3.0dB(A) 확보<br>• HEMU-430X 172~404km/h로 하선 운행(마이크로폰 이격거리 선로중앙 8.9m)시 평균소음저감량 4.3dB(A) 확보 | 100% |
| | 설치후 안정성 및 내구성 관련 점검결과 이상없음 | - 설치 후 안정성 및 내구성 등에 대한 점검<br>- 습윤상태와 건조상태의 흡음블럭 흡음성능 비교 검토<br>• 부설된 흡음블럭이 실제 열차 및 시설물들과의 간섭여부 점검 3회<br>• 흡음블럭 부설 후 열차운행 및 시간경과에 따른 흡음블럭의 움직임 여부 점검 3회<br>• 흡음블럭 부설 후 열차운행 및 외기노출에 따른 흡음블럭의 내구성능 변화 여부 점검 | 100% |

## 3. 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구

<표 4-1-3-1> 세부연구 목표별 달성내용 (3세부)

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|
| Test-Bed 구간 선로구축물 거동평가 모니터링 시스템 구축•운영 및 설계기준 (안)검토 | Test-Bed 구간 선로구축물 거동평가 모니터링 시스템 구축•운영 | - 호남고속선 테스트베드구간 11개소 구축, 운영관리실시<br>- 연구현장 일제점검 14건<br>- 구축시 안전관리교육 및 투입 89건, 안전관리자 4인<br>- 구축 및 시험협의 실시 8건<br>- 증속시 작업,안전관리 협의 요청공문 23건<br>- 시험계획공문 요청발송 3건 | 100% |
| | 세부과제 진도관리 및 선로구축물 기준(안) 검토 | - 자체 공정회의 2회<br>- 사전기술검토 4개분야<br>- 개발기준 8건에 대한 사전기술검토<br>- 기술검토 협의 3건<br>- 기술자문회의 4건 | 100% |
| 선로구축물 Test-Bed구간 증속거동 분석 및 400km/h급 설계지침(안) 개발 | 400km/h 주행 파라미터별 속도상관성 분석 | - Test-Bed 모니터링, 현장시험 측정데이터 분석, 해석,실내시험 분석결과를 고려한 선로구축물(궤도,노반,교량,미기압파) 예측경향 및 여유도 분석<br>• 해석수행(TPS,궤도,노반,교량동적해석)<br>• 실내시험(실대형시험,PCL,캠플레이트 17종)<br>• 현장시험(증속시험 293건 통계분석,미기압파 2개소 현장측정시행)<br>- 속도-선로구축물 거동특성(응력,변위,침하) 상관 및 예측챠트 제시 | 100% |
| | 400km/h 궤도, 노반, 교량 설계기준(안) 제시 | - 선로구축물 설계기준(안)제시<br>• 사전기술검토: 4개분야 궤도 285개, 노반분야 182개, 교량분야 113개, 미기압파 분야 21개 상세항목정의 검토실시<br>• KR C-08070 교량구조 적정설계 변위, KR C-14030, 표준동적하중 충격계수편, KR C-04 미기압파 기준제안 | 100% |

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|
| 선로구축물(궤도,교량) 거동평가 모니터링 시스템구축 및 성능평가 | 본선 Test-Bed 구간의 선로구축물 성능평가 및 검증 | - 궤도, 교량 모니터링 시스템 및 시험측정데이터 구축<br>• 궤도 직선구간(109K231), 궤도 원곡선구간(98K815), 교량 PSC-BOX교(119k102), 교량 소수주형교(118k577)<br>• 인프라 시험 측정데이터구축(궤도 60ch×24회/ 교량 21ch×24회 데이터구축)<br>- 교량단부 콘크리트궤도 설계기준정립<br>• KR C-08090 교량단부 콘크리트궤도 사용성 검토를 위한 동적작용 충격계수 산정 | 100% |
| | 분기기 성능평가 및 측정데이터구축 | - 분기기측정시스템 현장구축 및 시험수행<br>• 정읍역 고속분기기 F26 #6713(131K940) 구<br>• 총 8회 시험측정실시(44ch×24회) | 100% |
| 선로구축물(노반) 거동평가 모니터링 시스템 구축 및 성능평가 | Test-Bed 구간 선로구축물(노반) 측정 데이터구축 | - 노반 모니터링 시스템 및 시험측정데이터 구축<br>• 표준노반(109K231), 연약지반(110K000), 교대접속노반(120k650)의 모니터링 시스템 구축<br>• 인프라 시험 측정데이터구축(노반 99ch×24회 데이터구축) | 100% |
| | 침하분석 및 침하관리 기준(안)개발 | - 테스트베드 구간 침하 DB화<br>• 원지반:221개소, 지표:178개소<br>• 침하 분석 잔류침하량 평가(노반정보관리 프로그램)<br>• 원지반:221개소<br>- 노반침하(한계침하속도) 기준(안)제시 | 100% |
| 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 최적설계 및 설계기준(안) 개발 | 동적증가계수와 궤도 및 노반단면 설계의 상관성 분석 | - 열차속도증가에 따른 궤도/노반의 핵심설계요소의 특성변화 분석을 위한 분석<br>• 충격계수 증가설계하중고려 TCL응력분석<br>• TCL 및 토공노반 변화분석<br>• 사용성검토 분석<br>- 현장 매립센서의 궤도TCL의 동적거동 분석 및 표면게이지 균열분석 | 100% |
| | 열차속도증속을 고려한 | - 토노반 콘크리트구조 최적설계단면(안)제시<br>• 신규단면제안(TCL축소단면) | 100% |

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|
| | 궤도/노반 최적설계(안) 도출 | • 토노반 콘크리트구조 최적설계단면(안)제시<br>• KR C-14040 콘크리트궤도 요구 조건<br>• KR C-14040 콘크리트궤도 구성품 요소 | |

## 4. 증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발

<표 4-1-4-1> 세부연구 목표별 달성내용 (4세부)

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|
| 상세설계 기술개발 | 드로퍼 간격, 이도 확정 등 400km/h 전차선로 설계안 확정 및 개선 | - 독창적인 400km/h급 전차선로를 설계안 제시 및 현장시험을 통한 적합성 확인<br>- 보완된 기본도를 포함한 토털 One Set 기본도(상세설계 도서) 제시 | 100% |
| 전차선로 부품 내구성 평가기술 개발 및 DB 구축 | 기존 전차선 대비 개발 전차선의 마모 성능 비교를 위한 시험 및 데이터 구축 | - 개발 전차선에 대한 내마모 성능 확인 | 100% |
| | 드로퍼 피로시험 및 200만회 반복하중에 견디는 내피로하중 데이터 구축 | - 개발 부품에 대한 장기 신뢰성 검증 및 시공기술 활용을 위한 부품 특성 확인 | 100% |
| 전기적 결함탐지 장치 | 온도 및 UV탐지를 통한 전차선로 전기적 결함탐지 시스템 목표 성능 달성 (15m 이상/ 0.1℃) | - 코로나 15m에서 측정값 100이상, 20m에서 측정값 80이상 달성<br>- 정량적 성능 목표인 최소온도분해능0.1K를 만족하는 0.07K달성 | 100% |
| 장력 /전류파형 실시간 모니터링 시스템 | 장력 실시간 모니터링 초도품 실용성 확인(표준장력 34kN 에서 3% 이상 저하되는 것을 실시간 모니터링) | - 현장적용을 통해 표준장력34kN 에서 3% 이내로 정상동작 여부를 실시간 모니터링 성공 | 100% |
| | 전류파형 실시간 모니터링 초도품 실용성 확인 | - 개발품 현장 적용을 통해 전류 파형분석을 통한 지상부 집전성능 상태 모니터링 성공 | 100% |
| 종합 집전성능 평가 | 집전 성능 목표 성능 달성 (이선율1% 이하, 접촉 유지 정도를 나타내는 접촉력의 최소값 0 이상) (@400km/h) | - 최고속도 400 km/h에서 목표인 이선율 1% 이하 만족 입증<br>- 최고속도 400km/h에서 목표인 통계적 최소 접촉력 0 이상 만족 입증 | 100% |
| 전차선로 안정성 평가 | 전차선로 안정성 목표 성능 달성(≤200㎜, 제시여부) (@400km/h) | - 400km/h급 전차선로 지상부 측정기준 만족(압상량, 변형율, 드로퍼 작용력) → 400km/h급 전차선로 성능 확인 | 100% |

## 5. 차세대 고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술 개발

<표 4-1-5-1> 세부연구 목표별 달성내용 (5세부>

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|
| 유럽표준 고속철도 열차제어 상호호환성 검증 엔지니어링 기술개발 | ETCS-L2 핵심장치 통합 및 성능시험 | - 유럽표준(Subset 076) 분석을 통한 차상-지상 통합시험 절차서 작성<br>- 시험 절차서의 시험 항목별 적합성 확인 | 100% |
| | ETCS-L2 엔지니어링 | - ETCS-L2 과제 통합 및 엔지니어링을 위한 월별 공정관리 9회 시행<br>- '한국철도기술' 기술지 게제, 각종 워크숍 발표 등 홍보 실적 5건 | 100% |
| 유럽표준 고속철도 열차제어 차상핵심기술개발 | 차상ATP 장치 S/W 개발 | - S/W 구조 사양서(EVCU, SDOU) 분석 및 상세 설계 완료<br>- S/W 구현 및 소스코드 검증 완료<br>- 시뮬레이터 설계 및 제작 완료 | 100% |
| | 차상ATP 장치 시제품 기능검증 | - ATP 장치 단위시험 완료<br>- 전자파, 온/습도, 진동/충격 환경시험 완료<br>- ATP↔JRU, DMI, SDOU 인터페이스 검증 완료<br>- 소프트웨어 연계 시험 보고서 작성<br>- 차상 ATP장치 통합 시험절차서 작성<br>- 차상 ATP장치 통합 시험결과 보고서 작성 | 100% |
| | 단계별 안전성(SIL) 검증 | - 시스템 개념 평가 보고서 작성<br>- 차상ATP장치 구조 사양서 작성<br>- 소프트웨어 구조 및 설계 Verification Report<br>- 컴포넌트 설계 Verification Report<br>- RAM 분석보고서 작성<br>- 부품(Component) FMEA 분석보고서 작성<br>- FTA 분석보고서 작성 | 100% |
| 유럽표준 고속철도 열차제어 인터페이스 기술개발 | 지상-차상 시스템 통합 | - 차상ATP 연계를 고려한 지상ATP 소프트웨어 최적화 완료<br>- 지상ATP-차상ATP 시험절차서 및 시험결과서 작성 | 100% |
| | 실용화 연계기술 연구 | - 무선폐색센터(RBC) 및 관제시스템 구성기술 방안 수립<br>- 무선통신기술 적용방안 수립 | 100% |

| 세부연구목표 | | 달성내용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|
| | 지상인터페이스 시스템 성능검증 | - 폐색정보전송장치 현장시험(성능시험) 및 결과분석<br>- 현장시험 결과를 반영한 시제품 성능개선 완료<br>- 차상ATP장치↔안전전송모듈 성능시험 완료 | 100% |
| | ETCS 시스템 검증 및 통합시험 지원 | - 지상↔차상시스템 연계를 위한 인터페이스 기술지원 시행<br>- ETCS 검증장비 운용을 통한 시험지원 시행 | 100% |

# 제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

## 1. 테스트베드 구축 및 인터페이스 분야

고속철도 인프라는 다양한 요소로 구성되어 있으며, 고속철도의 안전운행, 환경, 사회적 비용 측면에서 매우 중요하다. 테스트베드와 모니터링 시스템은 2~4세부 연구성과품의 성능평가를 통해 실용화가 가능하도록 지원하는 역할을 수행한다. 400km/h급 증속실험을 통하여 테스트베드에 구축된 분야별 현장 성능측정 데이터와 설계기준 등 기타 성과물들이 도출되었다. 이러한 현장 측정 데이터 및 성과물들은 400km/h급 속도대역에서의 성과물로써 향후 증속에 중요한 자료로 활용될 것이다. 또한 향후 장기적인 모니터링을 통하여 관련 인프라의 신뢰성 및 안정성 확보 외에도 효율적인 유지보수 관련 기술개발 등에 폭넓게 활용할 수 있다.

테스트베드 구간의 현장모니터링은 환경소음, 선로구축물, 전차선로 분야 등으로 구성되어 있으며, 모니터링 위치는 각 분야의 연구방향에 맞게 테스트베드 전 구간에 걸쳐 산발적으로 구성되어 있다. 따라서 장기적인 운영 및 유지관리에 있어 계측데이터 손실, 표준화 등에 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 사전에 예방하고자 전 구간에 걸쳐 흩어져 있는 분야별 모니터링을 통합함으로써 연구 성과물의 모니터링 수행, 관리, 구축에서 효율성을 높일 수 있다. 국내 최초로 운영선구에 구축되는 테스트베드를 통하여 고속철도 인프라의 성능평가 및 관련 DB가 구축되고, 이를 효과적으로 활용함으로써 다양한 핵심기술의 개발과 상용화가 이루어질 전망이다.

## 2. 환경소음 분야

방음벽 상단장치의 경우 국내에서는 철도 전용으로 개발된 제품은 없으며, 일부 일반 철도 구간에 도로용 상단장치는 설치되어 있다. 상단장치의 현장 적용과 연구가 활발한 일본의 경우는 240km/h와 360km/h 속도에서 상단장치를 적용하여 평가한 결과 약 1.5~2.0dB의 소음저감 효과를 나타내었다. 본 연구에서 개발한 방음벽 상단장치는 속도 대역이 400km/h급으로 개발되었으며, 소음저감 성능은 국내 도로용 상단장치와 비교하여 3배 이상, 국외 제품대비 2배 이상의 소음저감 성능을 확보하였다.

국내의 철도소음예측모델은 300km/h까지 총합소음레벨만 예측이 가능하였다. 국외기술은 소음원 별 강도, 소음레벨, 주파수 특성, 음향 거칠기 등과 같이 다양한 인자에 대해서 300km/h까지 예측이 가능하다. 본 연구에서 개발한 소음예측모델은 400km/h까지 예측이 가능하며, 국외 기술에서 추가적으로 열차 주행시의 시간이력까지 예측이 가능하며, 국내의 철도 환경을 바탕으로 개발되어 측정과의 오차 범위도 3dB 이내의 신뢰성을 가지고 있다. 소음원 기여도 규명 기술은 기본적인 국내외 기술의 구현이 가능하며, 소음원 간의 기여도까지 산출이 가능한 장점을 가지고 있으며, 이러한 기여 산출의 기능은 저소음차량 개발에 반드시 필요한 기술이다.

흡음블럭의 경우 속도가 증속됨에 따라 도상에 작용하는 하중과 진동으로 인하

여 흡음블럭 운영 시 열차의 주행 안정성을 확보하기 위해 높은 내구성능이 요구된다. 본 연구에서 개발한 400km/h급 흡음블럭은 증속의 환경에서도 사용이 가능하도록 기존 및 국외 제품보다 내구성능이 증가되었다. 또한 국외 기술 대비 200Hz 이상에는 흡음성능이 우수하다.

## 3. 선로구축물 분야

국내에서는 단계별 증속시 시설물 검증을 위하여 일부 개소에서 선로구축물 모니터링을 수행하였다. 경부시험선(천안)에서 HSR-350열차, 경부고속선 2단계 구간의 HEMU 430X열차에 대하여 단계별 증속시험을 수행한 바 있다.

그러나 본 과제에서 수행한 선로구축물 모니터링은 시공단계부터 모니터링을 수행하고 11개소 동시측정을 수행하며, 장기간에 걸쳐 지속적인 시험데이터를 구축하여 실증적으로 검증한다는 측면에서 차별성이 있다. 본 선로구축물 모니터링 시스템은 시공 초기부터 열차 운행까지 자동화 운영이 가능토록 하여 단·중·장기적인 모니터링에 적합하며, 향후 호남선 테스트베드 구간뿐만 아니라 철도 시설물에 대하여 범용적으로 적용이 가능하다.

한국은 2004년 경부고속철도 개통이후, 10여년 동안의 운영경험을 가지고 있지만, 설계기준 분야에서는 지금도 국내의 특성을 반영하기 않고 국외기준을 적용하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 400km/h 속도대역에서의 모니터링을 통하여 국내 철도시스템의 특성을 반영하여 설계기준을 개발하였다. 본 연구결과를 바탕으로 기존 설계기준의 보완과 400km/h 속도대역에서의 독자적인 기술수준의 향상이 기대된다.

## 4. 전차선 분야

400km/h급 전차선은 34kN의 장력에 대응하며, 독일 N사의 합금 전차선에 비하여 IACS 70%인 높은 도전율을 확보하였으며, 공인기관 시험을 통하여 기존 국내외 전차선에 비하여 뛰어난 사양을 입증하였다. 가동브래킷 및 곡선당김금구는 국내의 경우 저속용 기존선 전차선로 부품류 개발에 국한되어 있으나 본 과제에서 개발한 제품은 400km/h급 전차선의 장력 증가에 따른 사양에 적합하도록 설계 및 제작되었다. 이 외에도 전차선 34kN의 장력에 대응할 수 있는 목표 사양에 적합하고, 설계 및 제작, 적합한 크기, 강도, 기존 설비와의 조화성을 확보할 수 있도록 장력조정장치 및 단말금구, 인류애자, 균압드로퍼 등 전차선 핵심부품을 개발하였다.

개발된 400km/h 급 전차선로는 중국, 독일, 스페인 등의 해외 전차선로에 비하여 구조가 단순한 Simple Catenary방식[2]을 채택하여, 시공 및 유지보수가 간편하다.

2) Simple Catenary는 중국, 독일, 스페인에서 채택하고 있는 Y-stitch Catenary에 비하여 보조조가선(Y-stitch)가 없어 시공 및 유지보수가 간편

### 5. 열차제어 분야

해외 기술에 의존적인 국내 철도신호제어시스템 분야에 대한 국산화를 통하여 기술 경쟁력 확보가 기대된다. 현재 국내의 경우 고속철도를 제외한 일반철도의 경우 ERTMS/ETCS Level 1 기반의 ATP 시스템으로 운영 중이며, 2000년 이후 고속열차를 포함한 열차제어 기술에 대한 표준화가 세계적인 추세임에 따라, 가장 대표적인 유럽고속철도 표준인 ERTMS/ETCS 기술 확보를 위한 기반을 마련하기 위해서는 표준화된 시스템 개발이 필요하다. 이에 본 연구를 통하여 개발된 기술은 세계 철도시장에 대한 사업 진출과 국내 철도 선진화(개량, ETCS Level 1 → ETCS Level 2) 사업 추진을 위하여 필요할 것으로 판단된다.

## 제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

### 1. 테스트베드 구축 및 인터페이스 분야

테스트베드 구축 및 인터페이스 분야의 직접적인 경제적 효과를 산정하는 것은 매우 어렵다. 그 보다는 환경소음, 선로구축물, 전차선, 열차제어 등 본 연구단 과제에 참여하는 세부 분야의 경제적 효과를 창출하는데 기여하는 역할을 한다고 할 수 있다. 테스트베드에서는 각 세부 분야의 핵심 연구 성과물에 대한 성능평가를 수행함으로서 성과물의 안전성과 신뢰성을 확보하는데 기여한다. 통합DB 및 모니터링 시스템은 테스트베드 내 여러 장소에 산재해 있는 핵심성과물에 대한 효율적인 통합 관리를 가능하게 하며, 장·단기 거동 파악을 통한 인프라 기술의 안전성과 신뢰성 확보에 기여하게 될 것이다.

### 2. 환경소음 분야

현재 운영중이거나 건설중인 고속철도에서 방음벽의 길이는 131.9km로 총 연장의 9~25%의 비중으로 설치되고 있다. 그러나 고속철도의 속도가 300km/h에서 400km/h로 증가되면 소음은 7dB(A) 증가하며, 이에 따른 방음벽의 설치높이는 5m에서 8m로 높아지고, 방음시설의 설치도 계속 증가할 것으로 예상된다. 본 연구에서 개발된 방음벽 상단장치는 신규로 건설되는 고속선 뿐만 아니라, 환경소음 저감, 도시미관 개선, 승객의 조망권 확보 등을 위해서 현재 고속철도에 설치된 방음벽의 높이를 저감하기 위해서도 사용 가능하다. 특히, 우수한 소음저감 성능으로 인해 400km/h 이하의 250~300km/h 대역에서도 사용 가능하다. 방음벽 상단장치는 일반 방음벽 대비 최소 8.2~18.4% 공사비 절감이 가능하다. 방음벽 연장 10km(255.5억)의 경우, 상단장치로 방음벽 높이를 2m 저감할 경우 21.1억원, 3m 저감할 경우 47.1억원의 예산 절감이 가능하다.

<표 4-3-2-1> 방음벽 상단장치 설치비용

| 구분 | | 방음벽(8m) | 방음벽(6m) + 상단장치 | 방음벽(5m) + 상단장치 |
|---|---|---|---|---|
| 구분 | 방음벽 | 10.22억원 | 8.46억원 | 7.42억원 |
| | 상단장치 | 없음 | 0.92억원 | 0.92억원 |
| 총공사비 (연장 400m) | | 10.22억원 | 9.38억원 (8.2%↓) | 8.34억원 (18.4%↓) |

방음벽 상단장치는 현재 운영 중인 고속철도 방음벽 구간 및 신규노선에 적용할 경우, 10%의 시장점유를 기준으로 매년 52.76억원의 매출을 목표로 하고 있다. 여기서 고속철도용 방음벽 상단장치의 단가는 40만원/m 으로 가정하였다.

<표 4-3-2-2> 방음벽 상당장치 예상 매출액

| 구분 | 방음벽 연장 | 점유율 목표 | 예상 매출액 |
|---|---|---|---|
| 경부고속철도 (1, 2단계) | 106.7km | 10% | 42.68억 |
| 호남고속철도 | 519.6km5 | 10% | 7.84억 |
| 수도권 고속철도 | 5.6km | 10% | 2.24억 |
| 합 계 | 131.9km | 10% | 52.76억 |

경부1단계(자갈궤도)와 달리, 경부2단계와 호남고속철도는 콘크리트 궤도로 건설되고 향후 계획된 신규 고속선도 콘크리트 궤도로 건설될 예정임에 따라 흡음블럭의 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 단선 1km 연장의 신선에서 레일 내·외측에 도상용 흡음블럭을 설치할 경우, 개발품의 총시공비는 3.6억원인데 비하여, 독일 bausteine-briest사 제품은 4.5억원으로 약 20%의 비용절감 효과가 기대된다. 또한 국내·외에서 400km/h급의 초고속용 제품은 개발된 바가 없으며, 국내 열차의 운행소음 특성이 반영되지 않아 적절한 소음저감 효과를 기대하기 어렵다.

<표 4-3-2-3> 도상용 흡음블럭의 설치비용 비교

| 구분 | | 독일 BB사 | 연구성과품 |
|---|---|---|---|
| 구분 | 자재비 | 3.7억 | 2.8억 |
| | 시공비(신설선) | 0.8억 | 0.8억 |
| 총공사비 (단선 1km 기준) | | 4.5억 | 3.6억 (20.0%↓) |

* 단선 1km, 레일 내·외측, 신설선 설치기준이며, 자재비는 물류비 포함

도상용 흡음블럭은 국내시장에서 100%의 시장점유를 목표로 하고 있으며, 호남 및 수도권 고속철도 구간에서 총 연장의 5%, 복선으로 설치할 경우에 111.7억원 매출이 기대된다.

<표 4-3-2-4> 도상용 흡음블럭 예상 매출액

| 구분 | 연장 | 점유율 목표 | 예상 매출액 |
|---|---|---|---|
| 호남고속철도 | 249.1km | 5% | 89.7억 |
| 수도권 고속철도 | 61.1km | 5% | 22.0억 |
| 합 계 | 310.2km | 5% | 111.7억 |

본 과제에서 개발된 방음벽 상단장치와 흡음블럭은 고속철도 운행시 발생하는 소음을 효과적으로 저감시킴으로써 소음으로 인한 민원발생을 최소화할 수 있으며, 관련 사회적 비용도 절감할 수 있다. 우수한 가격경쟁력과 성능을 확보함으로써 향후 해외시장 진출되 기대된다.

현재 고속철도 노선 건설 시 국외의 차량 재원이 반영된 국외의 소음예측모델로 국내의 환경소음을 예측하는 과정에서 발생하는 오류로 인하여 과대 방음시설 설계가 이루어지고 있다. 또한 기존에는 방음벽으로 모든 환경소음 기준을 만족하고자 노력하였다. 그러나 철도차량 상의 주요 소음원에 대한 정량적 분석과 시뮬레이션 결과를 차량설계 시 반영함으로써 방음벽으로 해결해야 하는 저감요구 정도를 낮추고, 결국 방음벽의 건설비용을 절감할 수 있다. 따라서 소음예측모델과 소음원 기여도 규명기술은 기존의 방음벽설계와 건설비용을 각각  20 % 정도 저감할 수 있을 것으로 예상된다.

## 3. 선로구축물 분야

본 연구에서 개발된 선로구축물 모니터링시스템과 400km/h급 설계기준(안)은 국내 철도의 속도향상(367km) 및 신규 고속선(153km) 건설에 활용 가능하다. 또한 세계적으로 고속철도 건설시장은 지속적으로 확대될 것으로 예상되며, 해외 고속철도 건설시장 진출시에도 활용 가능할 것으로 판단된다. 선로구축물 모니터링시스템은 경부2단계 기준으로 산정할 경우에 호남고속철도 개통전 시험과 400km/h 구간 단계별 증속시험에 활용함으로써 12억원의 예산 절감이 기대된다.

<표 4-3-3-1> 선로구축물 모니터링시스템 활용으로 인한 예산절감 효과

| 구분 | 절감효과 | 비고 |
|---|---|---|
| - 호남고속철도 개통전 시험 (본 연구의 측정장치 활용) | 4.0억 | 경부2단계 기준으로 추정 |
| - 400km/h 증속시험에 선로구축물 측정시스템 활용 | 8.0억 | 경부2단계 27회 시험: 8억원 (2012.8 ~ 2013.7) |

자체 개발한 선로구축물 모니터링시스템은 호남고속철도 테스트베드에서 노반 모니터링 5.7억원, 궤도 모니터링 2.6억원, 교량 모니터링 3.0억원 등 총 11.3억원의 수입대체효과가 기대된다.

<표 4-3-3-2> 선로구축물 모니터링시스템 수입대체 효과

| 구분 | 수입대체효과 | 비고 |
|---|---|---|
| - 시공단계 침하 및 노반 측정모니터링 시스템 | 5.7억 | 자체개발비 6.7억<br>해외업체 개발시 12.4억 추정 |
| - 궤도 모니터링 시스템 | 2.6억 | TB 2개소 적용 |
| - 교량 모니터링 시스템 | 3.0억 | TB 3개소 적용 |

또한 향후 3년간(2016~2018 3년간) 광섬유센서 기반의 궤도 모니터링 시스템의 해외수출로 인하여 약 19억원의 매출이 기대된다. 본 과제에서 개발된 설계지침 및 기준(안)은 단기적으로 신설 고속철도의 설계에 적용가능하고, 장기적으로는 기존선의 증속 및 신규 초고속선 신설시 적용이 가능하다. 400km/h급 최적 설계기준의 신규노선 적용시 최소 km당 90.7억원의 건설비 저감이 가능하다.

<표 4-3-3-3> 설계기준 적용으로 인한 건설비 저감효과

| 구 분 | 건설비 저감 | 비고 |
|---|---|---|
| 콘크리트 도상(TCL층) 두께 240→230mm | 1.9억/10km 저감 | |
| 상부노반 층두께 2.4→1.8m (25%↓) | 13.0억/10km 저감 | 허용토압 검증완료 전제 |
| 노반정보관리 프로그램 이용 (침하 DB 및 잔류침하 예측/관리) | 0.8억/년 저감 | |
| 터널입구 후드 적용으로 터널 내공단면적 20% 저감 | 30억/1km 저감 | |
| 400km/h급 자체기술 확보로 고속철도건설 컨설팅비용 수입대체 | 45억 수입대체 (호남고속선 기준) | 호남고속선 기준 컨설팅비는 총설계비(1,500억) 3% 수준 |

## 4. 전차선 분야

본 연구에서 개발된 400km/h급 전차선 핵심부품은 2020년까지 국내 전철화 및 속도향상 구간에 적용 가능하며, 400km/h급 뿐만 아니라, 그 이하의 속도대역에서도 수입품의 대체 적용이 가능하다.

<표 4-3-4-1> 국내외 400km/h급 전차선로시스템 시장 현황

| 구분 | | 거리 | 실용화 관련 목표 |
|---|---|---|---|
| 국내 | 속도 향상 | 367km | - 동서, 내륙, 수도권 250km/h 고속화 일부 적용 가능 |
| | 신규 고속선 | 153km | - 호남선 56km외 광주-목포 신규 계획노선 적용 가능 |
| 국외 | 신규 고속선 | 44,190km | - 세계시장의 1% 점유 목표 |
| 합 계 | | 44,710km | |

400km/h급 전차선로 핵심부품 7종은 호남고속철도 테스트베드 상·하행 56km 구간에 상용화 설치함으로써 54억원의 경제적 효과가 발생한 것으로 판단된다.

<표 4-3-4-2> 호남고속철도 테스트베드 적용으로 인한 경제적 효과

| 구분 | 경제적 효과 | 비고 |
|---|---|---|
| 전차선 | 24.4억 | 호남고속선 납품액 |
| 가동브래킷 및 곡선당김금구 | 14.6억 | 〃 〃 |
| 드로퍼 클램프, 인류금구, 장력조정장치 및 인류애자 | 15.8억 | 〃 〃 |

향후 국내·외 속도향상 구간이나 신규 고속선 구간에 적용할 경우 776억원의 매출이 기대된다.

<표 4-3-4-3> 전차선로 핵심부품 예상 매출액

| 구분 | | 예상 매출액 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 국내 | 속도향상 | 367km x 0.5억/km = 183억원 | |
| | 신규 고속선 | 153km x 1억/km = 153억원 | |
| 국외 신규 고속선 | | 44,190km x 1%(시장점유율) x 1억/km = 440억원 | |

또한 전차선로시스템 설계 및 성능검측시스템 자체 개발로 1000억원 이상의 비용절감이 기대된다.

<표 4-3-4-4> 전차선로 설계 및 성능검측시스템으로 인한 비용절감 효과

| 구분 | | 절감비용 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 전차선로 설계기술 | | 1,000억원 | 경부1단계 설계기술 도입 비용(프랑스 CEGELEC) |
| 전차선로 집전성능 인증 비용 | 이선율 | 50억 | 아크검출장치 3대 도입비용 (프랑스 SNCF) |
| | 접촉력 | 10억 | KTX산천 접촉력 시험 비용 (독일 Siemens) |
| | 압상량 | 5억 | 압상량검측장치 도입 비용 (일본 RTRI) |

44,190km(국외 신규노선)의 10%가 400km/h급으로 건설되고, 1km당 건설비 10억원, 총사업비 대비 설계비 비중 10%, 한국의 점유율을 10%로 가정하는 경우에 전차선로 설계기술 수출로 인하여 약 440억원의 매출이 예상된다.

44,190km x 10%(400kph 비중) x 10억/km x 10%(설계비 비중) x 10%(한국 점유율) = 440억원

이 외에도 400km/h급 고강도/고전도성 신 동합금 전차선 배합, 제조, 공정에 적용된 기술은 관련 부품 제작은 물론, 특수선에 적용되는 기능성 도체(비철금속분야)에도 활용 가능하다.

## 5. 열차제어 분야

현재 국내·외 철도시장이 꾸준히 확대 및 성장하고 있으며, 철도 열차제어분야 사업비가 차지하는 비중 또한 계속 높아지고 있다. 세계철도시장은 연간 약 17조 3천억원으로 매년 4.4%의 증가추세를 보이고 있으며, 국내 시장규모는 연간 약 600억원으로 세계시장의 약 0.35%를 차지하고 있다. 세계철도는 5대 메이저 업체가 신호시장의 70%를 점유하고 있으며, 철도신호시스템이 전체 사업비에서 차지하는 비율은 철도의 안전한 운행보장과 철도운영효율 향상을 지원하면서 기존3%대에서 10%로 높아지고 있는 실정이다.

본 과제를 통하여 개발되는 유럽표준 차세대 고속철도용 열차제어 핵심기술(ERTMS/ ETCS-L2)을 통하여 국내 시장에서 외국 의존도 및 고비용 문제를 해결함과 동시에, 유지보수 비용 절감 및 선로용량 증대 등의 운영 효율성 강화할 수 있다.

- 신호 시스템의 표준화를 통하여 노선 간 연계운행 시 상이한 시스템으로 인한 인프라 추가 구축 등 매몰비용 감소 및 운영 효율화 증대
  - 경부고속선과 공항철도(65km) 연계 운영 시 : 약 406억원 추가

▪ 무선방식 채택으로 인항 유지보수비용 대폭 절감

- 지상 신호방식(ATP, ATC) 대비 선로용량 2배, 유지보수비용 35% 절감(분당선 86억원/년 감소)

## 제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

철도시스템은 타 교통시스템과 비교해서 높은 수송능력과 온실가스 발생량이 적은 대표적인 저탄소 녹색성장을 지향하는 교통수단이다. 이로 인하여 최근 정부의 국가교통정책을 철도교통을 중심으로 하는 교통체계로 전환하고 있는 실정이다.

현재 선진국에서는 고속철도는 거대지역권(Mega-Region) 중심으로 대도시(Mega-City)를 유기적으로 연계하여 집적에 따른 규모의 경제를 추구하고 있다. 또한 거대지역권내 산업간 유기적 연계, 시너지효과 창출을 통한 경쟁력 강화를 위해 고속교통망 연결에 집중투자하고 있다. 또한 환경 보전과 에너지 효율성을 고려하여 고속철도망을 지속적 확충하는 교통정책을 기본 방향으로 설정하고 있다.

일본은 운영 중인 신간선 2,387km 이외에 1,173km를 추가 건설할 예정이며, 중국은 1.7만㎞ 고속철도망 건설하기 위하여 향후 3년간 360조원 투자를 목표로 하고 있다. 미국은 240km/h 이상의 11개 고속철도망 사업(총 연장 13,760km)을 확정한 바 있으며, 유럽은 2009년 5,764km의 고속철도망을 2020년 까지 21,180km로 확충할 계획이다. 우리나라도 '국가기간교통망계획', '제1차 지속가능 국가교통 물류발전 기본계획' 등에서 저탄소 녹색성장형 교통체계 구축, 철도 고속화 등을 주요 정책목표로 설정하고, 전국을 고속 KTX망으로 연결, 하나의 경제권으로 묶어 거대 지역간 경쟁력 확보를 위한 고속철도망 구축전략을 수립한 바 있다.

HSR Global Market Trends SCI Verkehr(2010)에 따르면 300~350km/h 속도대의 고속철도는 2009년 1,441km에서 2022년 3479km로 2.5배 이상 증가하고, 특히 350km/h~400km/h 속도대의 고속철도는 2018년 667km/h에서 2022년 3115km로 5배 가까이 증가할 것으로 예상하고 있다.

400km/h급 고속철도 인프라 기술은 세계 철도시장에서 기술과 가격 경쟁력을 확보하는데 매우 중요한 요소이다. 본 연구를 통하여 개발된 인프라 핵심기술은 국내 철도산업 활성화, 투자 효율성 제고, 해외진출 기술력 확보 등 국가 정책 수립을 위한 중요한 기반기술로 활용될 것이다.

# 제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

## 제1절 연구성과 향후 활용방안

### 1. 테스트베드 구축 및 인터페이스 기술개발 분야

본 세부과제는 타 세부과제에 대한 지원 및 총괄 인터페이스를 통해, ① 직·간접적으로 환경소음 저감장치, 선로구축물 설계기준, 전차선로시스템, ETCS-L2 열차제어시스템의 개발에 기여하였으며, ② 연구 성과품들의 현장부설을 통해 호남고속철도 400km/h Test-bed 건설 및 통합 모니터링 시스템의 구축 및 성능평가 검증을 완료하였다. 본 연구단 사업을 통해서 산출된 성과품들의 활용가능성을 살펴보면 다음과 같다.

<표 5-1-1-1> 성과품의 활용가능성

| 구 분 | 활용가능성 (실용화 및 상용화) |
|---|---|
| 400km/h 테스트베드 및 통합모니터링시스템 | - 통합모니터링시스템을 통한 계측 및 분석 등을 통해, 인프라 설계기준/사양/개선안 등을 국내 고속철도 건설정책 및 설계기준에 반영 가능<br>- 인프라 측면에서 영업속도의 향상에 기여함으로써, 국내 철도산업의 경영효율화에 기여할 것으로 기대 |
| 고속철도인프라 제품 (핵심부품 및 기술) | - 환경소음 저감장치<br>• 방음벽 상단장치 및 흡음블럭이 Test-bed 구간에 각 400m 설치되었으며 열차증속에 따른 성능평가 및 검증 후 철도시설공단 구매절차에 따라 상용화 추진 중<br>- 전차선로시스템<br>• 본 연구단 사업을 통해 개발된 400km/h 전차선을 호남고속철도 상·하행선 56km에 부설하여 상용화달성 및 국외인증추진 (매출 54억)<br>- 선로구축물 설계기준<br>• 400km/h급 최적 설계기준의 도출을 통해, 국내 고속철도 건설기준의 재정립에 기여<br>- 열차제어시스템<br>• 중장기적으로 현차시험 및 안전성 인증을 거쳐, 국내 영업노선에 실용화 가능할 것으로 판단 |

테스트베드 및 통합운영관리시스템은 개발품의 내구성과 신뢰성 평가을 위한 추가연구에 활용해야 할 필요가 있다. 핵심 개발품의 실용화를 위해서는 장기 거동에 대한 성능평가를 통하여 개발 품의 내구성과 신뢰도를 평가, 검증해야 할 필요가 있으며, 국내·외 실용화를 위해서는 각 국의 규격에 대한 인증을 통하여 상호 호환성 및 운전성 검증이 필요하다.

## 2. 환경소음 분야

방음벽 상단장치와 도상용 흡음블럭은 신규로 건설되는 고속철도 노선뿐만 아니라, 도시미관 개선, 조망권 확보를 위하여 현재 설치된 방음벽의 높이를 저감하기 위해서 활용 가능하다. 우수한 소음저감 성능으로 400km/h 이상의 속도대역 외에도 250-350km/h 속도대역으로 운행 중인 현재의 고속철도에도 활용 가능하다.

## 3. 선로구축물 분야

400km/h급 선로구축물 설계기준(안)은 국내 철도의 속도향상(367km) 및 신규 고속선(153km) 건설과 해외 고속철도 시장에 진출하는데 활용 가능하다. 호남고속철도 개통 전 시험 및 400km/h구간 단계별 증속시험에 활용함으로써 약 12억원의 비용이 절감되었으며, 400km/h급 최적 설계기준의 신규노선 적용시 약 90.7억원/km의 건설비 절감 기대된다.

## 4. 전차선 분야

개발된 기술은 시속 400km/h뿐 만 아니라 300, 350km/h급 고속철도에도 적용 가능하다. 향후 호남고속철도 2단계 구간(광주송정~목포)에서 고속신선이 건설되는 경우에 추가적인 상용화가 가능할 것으로 예상된다. 본 과제에서 개발된 전차선로 시스템의 해외 진출 가능성을 제고하기 위해서는 성능의 우수성 이외에도 경제성 확보에 노력을 기울여야 하며, 세계 시장에서 기준으로 통용되고 있는 국가간 상호 운전성 기준 만족 여부에 대한 검증이 필요하다. 400km/h급 고강도/고전도성 동합금 배합 및 제조공정에 적용된 기술은 관련 부품 제작과 특수선에 적용되는 기능성 도체(비철금속분야)에도 활용 가능하다.

## 5. 열차제어 분야

본 과제를 통하여 개발되는 유럽표준 차세대 고속철도용 열차제어 핵심기술(ERTMS/ ETCS-L2)을 통하여 국내 시장에서 외국 의존도 및 고비용 문제를 해결함과 동시에, 유지보수 비용 절감 및 선로용량 증대 등의 운영 효율성을 강화할 수

있다. 신호 시스템의 표준화를 통하여 노선 간 연계운행 시 상이한 시스템으로 인한 인프라 추가 구축 등 매몰비용 감소 및 운영 효율화 증대가 예상되며, 무선방식 채택으로 지상 신호방식(ATP, ATC) 대비 선로용량 3~30%, 유지보수비용 약 30%의 비용 절감 가능할 것으로 예상된다.

## 제2절 추가연구 필요성 등

- 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발('10.12～'15.3) 과제의 종료에 따라 고속철도 인프라 핵심기술은 장기적인 DB 구축 및 운영이 필요하므로 차량의 운행에 따른 지속적인 인프라 기술확보를 통하여 추가적인 실용화 연구, 차량의 주행에 따른 선로구축물의 장기모니터링 상호거동평가 및 분석을 통한 속도향상과 연계된 파라메터에 대한 신뢰성검증이 시급하다 또한 고속철도 인프라 핵심기술개발에 따른 성능평가, 통합 DB 구축으로 설계·운영 기준 및 정책에 활용하기 위해서 장기적인 인프라 안정화 및 신뢰성 데이터가 필요하다.

- 지금까지의 연구에서는 주로 개발된 제품의 단기적 거동에 대한 성능평가가 이루어졌으나, 개발된 인프라 핵심 성과품의 국내·외 시장 진출을 위해서는 인증을 통한 상호 검증 및 유지보수 최적화 등을 위한 연구가 필요하다. 이를 위해서는 호남고속철도 완공에 따른 시험차량과 기 구축된 선로구축물간의 인터페이스 검증 및 1단계 적용 연구성과품에 대하여 온도 및 계절변화에 따른 인프라 모니터링 장기성능 평가 등을 통한 안정성 및 신뢰성 확보가 필요하며 주요 추진해야 될 내용은 다음과 같다.

  ○ 차량 단계별 주행속도에 따른 연구성과품 환경소음저감장치, 흠음블럭, 선로구축물 모니터링 측정을 위한 센서 및 측정장치 보완설치, 현장계측 수행 및 거동특성 분석
  ○ 측정 데이터 및 분석 결과를 통한 인프라/인터페이스 안정성 및 신뢰성 평가
  ○ 장기거동 평가를 위한 테스트베드 모니터링 시스템 기능 보완 및 개선
  (환경소음저감장치 장기내구성 및 성능평가, 곡선궤도의 거동, 장기노반침하거동, 교량 장기처짐 모니터링센서 등)
  ○ 차량주행에 따른 선로구축물 장기 모니터링 상호거동평가 및 분석
  ○ DB 관리 시스템 내 현장계측 데이터 분석 및 툴 보완

<표 5-2-1-1> 추가 연구내용

| 연구분야 | 추가 연구내용 |
|---|---|
| 테스트베드 및<br>인터페이스 기술 | - 테스트베드 및 통합DB 장기 구축, 운영<br>- 핵심 성과품의 내구성, 신뢰성 평가<br>- 국내·외 실용화 전략 수립 |
| 환경소음 | - 방음벽 상단장치, 도상용 흡음블럭 내구성 평가<br>- 도상용 흡음블럭 장기 유지보수 방안 연구<br>- 국내·외 인증 취득을 통한 실용화 연구 |
| 선로구축물 | - 선로구축물 장기거동 평가 연구<br>- 장기 거동에 따른 핵심 설계기준 도출<br>- 고속철도 선로구축물 내구성, 경제성, 환경성 평가에 따른 구조형상, 재료 개선 연구 |
| 전차선 | - 국제 상호 운전성 인증 연구<br>- 350km/h이하 속도대역에 대한 실용화 연구 |

# 참고문헌


1. 한국철도시설공단 (2011), 철도설계기준(노반편)
2. Research on Optimum Speed for High Speed Lines volume 1, UIC, 2012
3. EN 13803-1:2010(E), June 2010, Railway applications-Track-Track aligment design parameters-Track gauges 1435mm and wider
4. Ril 800.0110, Netzinfrastruktur Technik entwerfen; Linenführung
5. ENV 13803-1, Juillet 2003, Paramétres de comception du tracé de la voie-Ecartement 1435mm et plus large, Partie 1: Voie courante.
6. 해설 철도에 관한 기술기준(토목편)
7. KR-CODE 2012, 한국철도시설공단, 2012.12.5
8. 선로유지관리지침, 한국철도시설공단, 2012.12.31.
9. Richtlinie der DB821.2001
10. UIC779-1, Effect of the slipstream of passing trains on structures adjacent to the track, UIC
11. EN 50159-2, "Railway applications - Communication, signalling and processing systems -- Part 2: Safety related communication in open transmission systems", 2001
12. 철도건설 경쟁력 확보를 위한 제반연구, 한국철도시설공단, 2012.
13. Richtlinie 836, Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, 1999, DBNetz
14. EN 50159-1, "Railway applications - Communication, signalling and processing systems -- Part 1", 2001
15. UIC 719R Earthworks and track bed for railway lines, UIC, 2008
16. EN 1990:2002 Basis of structural design, CEN
17. UIC776-2 Design requirements for rail-bridges based on interaction phenomena between train, track and bridge, UIC June 2009
18. 철도 구조물 등 설계 표준·동해설-변위제한, 2006.2
19. EN1991-2:2003 Eurocode 1: Actions on structures-Part2: Traffic loads on bridges Annex C Dynamic factors 1+ϕ for Real Trains, CEN
20. 철도차량 안전기준에 관한 지침, 국토해양부 고시 제2010-637호
21. UIC779-11 Determination of railway tunnel cross-sectional areas on the basis of aerodynamic considerations.
22. 터널갱구 완충공 설치기준(안), 산악터널 설계시공 표준, 동해선 철도건설·운수시설 정비지원기구, 2008년4월
23. Modern Railway Track, Coenraad Esveld, 2001, MRT-Produntions
24. 국토교통부(2013), 철도의 건설기준에 관한 규정
25. 한국철도시설공단(2013), KR CODE
26. 한국철도시설공단(2013), 선로유지관리지침
27. 한국철도시설공단(2012), 고속철도 콘크리트궤도 유지보수기준 정립방안 연구

28. 한국철도시설공단(2012), 호남고속철도 실시설계 보고서
29. 한국철도시설공단(2012), 호남고속철도 실시설계 구조계산서
30. 한국철도시설공단(2008), 호남고속철도 유지관리지침서
31. 한국철도시설공단(2007), 레일표준규격 적용방안 검토
32. 한국철도시설공단(2002), 체결장치 성능시방서
33. 400km/h급 고속철도 테스트베드 구축 실행계획보고서, 2013.10, 국토교통부
34. 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 1차년도 보고서, 2011, 국토교통과학기술진흥원
35. 400km/h 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 2차년도 보고서, 2012, 국토교통과학기술진흥원
36. 400km/h 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 3차년도 보고서, 2013, 국토교통과학기술진흥원
37. UIC, “Compendium on ERTMS”, 2009, p90～p144, p169～p197
38. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-026-3, p7～p101
39. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-026-7, p5～p68
40. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-026-8, p6～p32
41. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-037, p6～p100
42. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-0, p1～p10
43. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-2, p4～p16
44. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-3, p4～p22
45. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-4-1, p6～p34
46. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-5-4
47. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-6-4
48. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-5-1
49. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-5-2
50. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-6-3
51. ERRI, "ERTMS/ETCS Subset-076-6-7, p9～p11
52. EN 50126, "Railway applications - The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)“, 1999
53. EN 50128, "Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems“, 2001
54. EN 50129, "Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling“, 2003