철도기술연구사업

R&D-12PRTD-C056172-03

# 고속철도 차상 전기검측시스템 자동화진단 기술개발 최종보고서

2014. 10.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국철도공사
공동연구기관 / 투아이시스㈜
㈜테크빌
㈜씨그널정보통신
㈜휴니드테크놀러지스
위탁연구기관 / 단국대학교
㈜아이티베인

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

# 제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "고속철도 차상 전기검측시스템 자동화진단 기술개발"의 최종보고서로 제출합니다.

2014. 10.


■ 주관연구기관명 : 한국철도공사
주관연구책임자 : 이병곤 (차장)
참 여 연 구 원 : 장광훈 (처장)
" : 반극동 (처장)
" : 박용범 (부장)
" : 최창현 (부장)
" : 박영식 (부장)
" : 김철환 (부장)
" : 윤임수 (부장)
" : 조철희 (부장)
" : 이시빈 (부장)
" : 홍현표 (차장)
" : 최재식 (차장)
" : 김범곤 (차장)
" : 이헌수 (차장)
" : 권성일 (차장)
" : 김상진 (차장)
" : 서정호 (차장)
" : 장문성 (차장)
" : 이영희 (차장)
" : 이태훈 (과장)
" : 신영인 (과장)
" : 신현목 (과장)
" : 유인식 (과장)
" : 이현주 (주임)

■ 공동연구기관명 : 투아이시스㈜
공동연구책임자 : 박종국 (대표)
참 여 연 구 원 : 양일동 (부사장)
" : 김정연 (부장)
" : 장순만 (과장)

■ 공동연구기관명 : ㈜테크빌
공동연구책임자 : 이영수 (연구소장)
참 여 연 구 원 : 황인광 (상무)
" : 엄재영 (차장)

참 여 연 구 원 : 유욱상 (차장)
〃 : 김연근 (과장)
〃 : 이동진 (과장)
〃 : 최진호 (대리)

■ 공동연구기관명 : ㈜씨그널정보통신
공동연구책임자 : 이재홍 (상무)
참 여 연 구 원 : 김대연 (부장)
〃 : 김태환 (부장)
〃 : 한정석 (차장)
〃 : 하태우 (대리)

■ 공동연구기관명 : ㈜휴니드테크놀러지스
공동연구책임자 : 이기우 (수석)
참 여 연 구 원 : 양철모 (수석)
〃 : 박상현 (선임)
〃 : 서보필 (선임)
〃 : 남덕희 (주임)

■ 위탁연구기관명 : 단국대학교
위탁연구책임자 : 남현도 (교수)
참 여 연 구 원 : 오성남 (박사)
〃 : 박경원 (석사)

■ 위탁연구기관명 : ㈜아이티베인
위탁연구책임자 : 이현우 (이사)
참 여 연 구 원 : 양상민 (박사)
〃 : 이충한 (과장)

# 보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>12PRTD-C056172-03</td><td>해 당 단 계<br>연 구 기 간</td><td>2010.12.15.<br>~2014.6.14</td><td>단계구분</td><td>최종보고서</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">고속철도 차상 전기검측시스템 자동화진단 기술개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>이병곤</td><td>총연구기간<br>참 여<br>연구원수</td><td>총 : 49명<br>내부 : 명<br>외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 3,524,500천원<br>기업 : 1,174,836천원<br>총계 : 4,699,336천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및<br>소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도공사 연구원</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">투아이시스㈜, ㈜테크빌,<br>㈜씨그널정보통신, ㈜휴니드테크놀러지스</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위탁연구</td><td colspan="5">연구기관명 : 단국대학교 연구책임자 : 남현도</td></tr>
<tr><td colspan="5">연구기관명 : 아이티베인㈜ 연구책임자 : 이현우</td></tr>
<tr><td colspan="4">요 약</td><td>보고서<br>면수</td><td>387</td></tr>
<tr><td colspan="6">철도선진국인 프랑스, 일본 등에서는 시설물을 자동으로 검측하는 장비를 탑재한 고속 종합검측차량을 운용함으로써 효율적인 시설물 유지보수를 시행함에 따라,<br><br>본 연구과제는 운행속도 350km/h 이상 속도에서 전기(전차선/신호/무선통신) 시설물을 열차에서 자동으로 검측하는 장비 개발과 검측된 데이터의 자동화 운영 및 이상(불량) 데이터의 실시간 전송시스템을 구축하는 것을 목적으로 한다.<br><br>이러한 차상 검측시스템의 국산화 개발을 통해 철도운영기관의 검측장비 확대·운용으로 저비용 고효율의 유지보수가 가능케 되며 국내 검측시장의 수입품 대체 및 향후 국외 수출에도 크게 기여할 것으로 기대한다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어<br>(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">고속철도, 전기설비, 검측시스템, 자동화진단, 영상처리</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">High-speed railway, Electrical equipment,<br>Inspection system, Automatic classification, Image processing</td></tr>
</table>

# 요 약 문

## Ⅰ. 제목: 고속철도 차상 전기검측시스템 자동화 진단기술 개발

## Ⅱ. 연구개발과제 개요

전기설비 검측은 산업선 전철 개통 이후 1976년 오스트리아에서 전철시험차를 처음으로 도입하여 전차선 높이 등을 검측하였으며 2004년 고속철도 개통을 계기로 이탈리아에서 종합검측차(ROGER-1000K)를 도입하여 전기설비를 검측하고 있다.

또한 고속철도 개통을 위한 시설물의 품질을 확인하기 위해 2003년 영업용 고속차량인 KTX-36호에 차량, 시설, 전기 검측설비를 탑재하여 검측을 시행하였으나, 검측장비가 모니터링 수준이며 검측된 데이터가 부정확 하는 등 핵심설비들이 외국에서 고가(高價)로 수입되어 운용됨에 따라 검측장비 운영상의 많은 문제점을 가지고 있었다.

철도선진국인 프랑스, 일본 등에서는 오래전부터 시설물의 예방유지보수를 위한 검측시스템 개발을 연구한 결과, 실시간 자동화 진단기능을 갖춘 고속검측차량(프랑스 IRIS 320, 일본 East i)을 개발・운용함으로써 효율적이며 신뢰성 있는 시설물 유지보수를 시행하고 있다.

우리나라도 전기시설물의 현재 상태만을 점검하여 보수하는 사후보수에서 고속열차의 영업 속도에서 설비의 정상기능 유무를 차상에서 실시간으로 자동진단하며 전송 할 수 있는 시스템이 필요하며, 또한 자동진단으로 데이터베이스(DB)에 의한 상태변화와 추이 분석이 가능한 최적의 예방유지보수 검측시스템이 필요하다.

정부는 전국을 고속 KTX망으로 연결하여 최대 1시간 3O분으로 일상 통근시간대를 추진하며 거대지역 간 연결을 통해 실질적인 균형발전 및 저탄소 녹색성장을 견인하는 “KTX 고속철도망 구축전략(‘10.9.1)”을 발표하여 국가경쟁력 강화를 위해 철도중심의 교통체계를 구현하고자 노력하고 있다.

KTX망 구축의 핵심설비인 전기철도의 중요성이 더욱 대두됨에 따라 차상에서 데이터 수집, 처리, 전송 및 진단의 전 과정을 자동화하는 전기설비 검측시스템 자동화진단 기술 개발은 방대한 철도 전기시설물을 신속하며 효율성 있게 유지 보수하여 장애사고를 사전에 방지하는 등 열차의 안전운행과 유지보수 과학화에 기여하게 될 것이다.

철도시설물의 안전 진단에 대한 시스템은 국내외 수요가 급증하고 있으나, 고속철도 핵심기술 및 시스템 엔지니어링 등은 외국에 의존하고 있는 부분이 많다. 따라서 본 과제는 프랑스, 일본 등 철도선진국에서 운용중인 고속 종합검측차 개발을 위해 전기분야(전차선, 무선통신, 신호) 검측장치 개발 및 검측된 데이터의 자동화운영・실시간 전송(이상 데이터) 시스템 개발을 목표로 하고 있다.

우리나라는 세계에서 4번째로 고속철도를 운영하는 외형적 성장에도 불구하고 시설물 검측분야에서 기술적으로 낙후되어 있음에 따라 검측장치는 대부분 수입에 의존하고 있다. 따라서 **본 연구개발을 통해 시설물 자동 검측시스템을 독자적으로 개발함으로서 유지보수 고도화 기틀 및 향후 국내외 시장진출에도 크게 기여**할 것이라고 기대한다.

## Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

본 과제는 총 4차년으로 수행되었으며 1차년도는 국내외 기술조사 및 시스템 설계, 2차년도는 시제품 제작 및 단품시험, 3차년도는 개발품 제작 및 공인시험, 4차년도는 개발품의 현차시험 및 보완으로 진행되었다.

현차시험의 경우 고속차량(HEMU-430X, KTX-36호), 종합검측차(ROGER-1000K) 등 운용 가능한 차량을 동원하여 검측장비의 목표대비 성능 점검을 충실히 수행하였다.

본 과제의 1~4차년도의 연구수행 내용 및 결과는 다음과 같다.

| 연차 | | 수행내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|
| 1차년도 | **시스템 엔지니어링** | ▪ 국내외 기술조사<br>▪ 고속선 궤도회로 특성 분석 | ▪ 국내외 기술조사 및 사용자 요구사항 분석(보고서)<br>▪ 검측차 운영기술 현황 분석(보고서)<br>▪ 궤도회로 시뮬레이션 요구사항 분석<br>▪ 궤도회로 모델링 및 시뮬레이션 기술 동향 조사 |
| | **전차선로 차상 검측장치** | ▪ 시스템 상세설계<br>▪ 시제품 제작(1개 품목) | ▪ 시제품 상세설계<br>- 전차선 높이/편위 측정 S/W<br>- 아크 검출기 및 고속 모니터링 장치<br>- 집전상태 모니터링 운용 S/W<br>- 팬터그래프 접촉력 측정장치<br>- 고속영상처리용 이미지처리기<br>- 전차선로 시설물 결함분석 운용S/W<br>▪ 시제품 제작<br>- 전차선 높이/편위 검측용 비전시스템 |
| | **궤도회로 차상 검측장치** | ▪ 시스템 상세설계<br>▪ 시뮬레이터 제작 | ▪ 검측장치에 대한 사용자 요구사항 분석<br>▪ 국내외 검측장치 조사 및 분석<br>▪ 전체 시스템 구성도 및 상세 물량 산정<br>▪ 제작도면 설계<br>▪ 검측장치별 검측 요구사양 설정<br>▪ 검측 정밀도 및 정보 산정<br>▪ 환경 조건 및 적용 규격<br>▪ 설치 조건 및 공간 정의<br>▪ 검측장치별 기능 정의<br>▪ 내부 및 외부 인터페이스 정의<br>▪ 송수신 메시지 프로토콜 및 포맷 정의<br>▪ 유지보수 활용을 위한 검측 체계 정의<br>▪ 연속정보 시뮬레이터 H/W 제작 |
| | **무선통신 차상 검측장치** | ▪ 무선통신 검측방안 분석 및 시스템 구축방안 도출<br>▪ 계측기 인터페이스 및 시스템 아키텍처 개념 설계 | ▪ 차상검측 기술조사 및 정보수집<br>▪ 무선통신 전파전계강도 개념 설계<br>- 시스템 아키텍처(H/W, S/W) 개념 설계<br>- 운영시나리오 개념 설계서 |
| | **자동화운영 기술개발** | ▪ 국내외 업무분석·요구사항 분석 및 시스템 개념설계<br>▪ 자동화진단 업무분석·요구사항 분석시스템 개념설계 | ▪ 실시간 전송시스템 개념 설계서<br>▪ 자동화진단 운영시스템 개념 설계서 |

| 연차 | | 수행내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|
| 2차년도 | 시스템 엔지니어링 | ▪ 차상검측장치 기술동향 조사<br>▪ 분야별 상세설계서 검토<br>▪ 고속선 궤도회로 단락전류 특성분석<br>▪ 궤도회로 알고리즘 시뮬레이션 개발 및 검증 | ▪ 기술동향 분석 및 조사(보고서)<br>- 철도선진국 검측시스템의 기술 및 운용설비 조사<br>▪ 분야별 상세설계서 검토 및 확인<br>▪ 궤도회로 알고리즘 시뮬레이션 개발 및 검증<br>▪ 고속선 궤도회로 단락전류 특성 검측<br>- 고속선 구간(신탄진~오송)구간 검측 |
| | 전차선로 차상 검측장치 | ▪ 상세설계(1건)<br>▪ 시제품 개발(3건)<br>▪ 시제품 성능평가(1건)<br>▪ 시제품 성능검증 및 보완사항 도출(3건) | ▪상세설계(전차선로 열화상 검측장치)<br>- 전차선로 열화상 검측장치 설계<br>①열화상 응답속도 개선을 위한 열화상 센서 및 비디오엔진 분석설계<br>▪ 시제품 개발(3건)<br>- 전차선 영상 검측시스템<br>① 감도: < 1μW/cm2<br>② 필터대역: 206~226nm<br>③ 응답성: ~200kHz<br>- 전차선 과하중지점 검측시스템<br>① 집전판 변위측정을 통한 접촉력측정<br>② 측정범위(N): 0~500, 측정속도(hz):100<br>③ 측정정밀도(%): 20%<br>- 전차선로 이미지 분석시스템<br>① 고속카메라를 이용한 시설물 영상취득<br>② 밝기 분포도가 고른 집광조명 제작<br>③ 집광랜즈: Array Lens + 실린더랜즈, 광원: 30W 레이저<br>④ 객체검지율: 드롭퍼(70%), 균압선(50%)<br>▪ 시제품 성능평가( 1건)<br>- 전차선 동적 높이/편위 검측시스템<br>① 정밀도: ±5mm, 측정속도: 100hz<br>② 측정범위(mm): 1000~2100 /±350<br>▪ 시제품 성능검증 및 보완사항 도출<br>- 전차선 동적 높이/편위 검측시스템<br>① 태양광 차단을 위한 필터최적화 랜즈개발<br>② 주간특성개선및 전차선별(강체선) 측정<br>- 전차선 과하중지점 검측시스템<br>① 접촉식(스트레인게이지)방식과 비교시험 접촉식과 비접촉식간 오차분석<br>- 전차선로 이미지 분석시스템<br>① GPU 병렬프로세싱을 통한 고속이미지 프로세싱을 기술 적용 |

| 연차 | | 수행내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|
| 2차년도 | 궤도회로 차상 검측장치 | ▪ 시제품 개발(5건)<br>▪ 시뮬레이터 제작(3건) | ▪ 시제품 개발 및 제작(5건)<br>- 연속정보, 불연속정보, 보상콘덴서, ETCS 발리스 정보 검측장치 및 종합처리장치<br>▪ 시뮬레이터 개발 및 제작 : 연속정보, 불연속정보 및 ETCS 발리스정보<br>▪ 검측장치별 상세 기능 정의<br>▪ 소프트웨어 상세 설계<br>▪ 운영자 화면 설계 및 심볼 정의<br>▪ 검측장비별 하드웨어 상세 설계<br>▪ 검측장치별 시험절차서 및 시험성적서 작성<br>▪ 검측장치별 단위시험 |
| | 무선통신 차상 검측장치 | ▪ 상세설계 1건<br>▪ 시제품 산출물 4건 | ▪ 상세설계 1건<br>- 무선통신검측시스템<br>① 검측데이터 샘플링을 통한 산출물 단위시험<br>▪ 연구논문 1건<br>- 자동화진단을위한고속철도무선통신검측시스템개발연구<br>▪ 소프트웨어 등록 1건<br>- 자동화진단을위한고속철도무선통신검측시스템<br>▪ 시제품 산출물 4건<br>- 전계강도 및 주파수 검측기술<br>① 검측데이터 샘플링을 통한 산출물 단위시험성적서<br>- 핸드오버 및 불요파 검측기술<br>② 검측데이터 샘플링을 통한 산출물 단위시험성적서<br>- 데이터 에러율(BER) 검측기술<br>③ 검측데이터 샘플링을 통한 산출물 단위시험성적서<br>- 통합서버 및 시뮬레이터 기술개발 |
| | 자동화운영 기술개발 | ◦ 시제품 2건 | ◦ 자동화진단 운영시스템 시제품<br>◦ 실시간 전송시스템 시제품 |
| 3차년도 | 시스템 엔지니어링 | ◦ 시제품 성능검증 자체 평가<br>◦ 시제품 신뢰도 분석(RAM)<br>◦ 제품 홍보회 개최 | ▪ 시제품 성능검증 평가<br>- 코레일 내부전문가에 의한 시제품 평가<br>▪ 시제품 신뢰도 분석(RAM)<br>- 시스템 개념수립 과정의 산출물을 바탕으로 BOM을 작성하고 이를 근거로 PBS 작성<br>- 분야별 PBS 각 항목별 신뢰도 예측<br>▪ 코레일 기술대전 및 부산철도물류전(BEXCO) 참가 |

| 연차 | | 수행내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|
| 3<br>차<br>년<br>도 | 전차선로<br>차상<br>검측장치 | ▪ 개발품 제작 및 시험(5건)<br>▪ 시스템 종합인터페이스 | **1.개발품 제작(5건)**<br>**1-1. 전차선 동적 높이/편위 검측시스템**<br>1) 목표: 개발품 성능 안정화 및 공인시험<br>2) 결과<br>▪ 측정범위(㎜) : 높이:4800~5400, 편위 : ±350<br>▪ 정밀도(㎜) : ±5<br>▪ 측정속도(hz) : 200<br>3) 차량진동 장치(추가)<br>▪ 측정범위(㎜) : 궤간(1425~1455㎜), 롤링(±3° )<br>▪ 정밀도 : 궤간(±0.3㎜) 롤링(±0.02° )<br>▪ 측정속도 : 100Hz<br>**1-2. 전차선 영상 검측시스템 개발**<br>1) 목표 : 개발품 제작 및 자체시험 검증<br>2) 결과<br>▪ 아크검출대역(㎚) : 220~225, 323~329<br>▪ 검출시간(㎲) : 10<br>▪ 아크검출 감도 : 10%미만(팬터작동범위)<br>▪ 성능검증을 위한 테스트베드 구축<br>**1-3. 전차선 과하중지점 검측시스템**<br>1) 목표 : 개발품 제작 및 공인시험<br>2) 결과<br>▪ 측정범위(N) : 0 ~ 500<br>▪ 접촉력 오차(%) : 10%<br>▪ 집전품질 분석<br>**1-4. 전차선로 이미지 분석시스템**<br>1) 목표 : 시설물인식율 확장 및 집광조명보완<br>2) 결과<br>▪ 측정범위(㎜) : 4800~8000<br>▪ 시설물분해능 : 2㎟<br>▪ 검출율 : 드롭퍼(90%), 균압선(90%), 연결금구(80%)<br>**1-5. 전차선로 열화상 검측시스템**<br>1) 목표 : 전차선로 과열부위및 접촉불량부위 검지<br>2) 결과<br>▪ 측정범위(° C) : -20~150<br>▪ 측정오차(° C) : ±2<br>▪ 이상온도 검출율(%) : 90<br>**2. 시스템 종합인터페이스**<br>▪ 개발품간 인터페이스성능 확인<br>▪ 통합 소프트웨어 운용환경 제공<br>**3. 개발품 성능평가**<br>▪ 단위모듈시험 및 종합시험<br>▪ 공인시험<br>**4. 특허출원** |

| 연차 | | 수행내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|
| 3차년도 | **궤도회로 차상 검측장치** | ▪ 개발품 제작 및 시험(5건)<br>▪ 시뮬레이터 제작(1건)<br>▪ 시스템 종합인터페이스 | ▪ 현차설치용 개발품 제작 및 시험(5건)<br>- 연속정보, 불연속정보, 보상콘덴서, ETCS 발리스정보 검측장치 및 종합처리장치<br>- 시스템 연계 종합시험<br>▪ 보상콘덴서 테스트 베드 제작<br>▪ 공인기관 환경시험 : 고온시험 등 14개 항목<br>▪ 현장시험 : 연속 및 불연속정보 검측장치<br>▪ 현차시험 : 보상콘덴서 검측장치<br>▪ 시험절차서 및 성적서 작성 |
| | **무선통신 차상 검측장치** | ▪ 개발품 제작 및 시험(4건)<br>▪ 시스템 종합인터페이스 | ▪ 개발품 제작<br>① 전계강도 및 주파수 검측개발<br>- 단위시험 성적서 및 350Km/h속도에서 검측<br>→전계강도 및 주파수 검측장치<br>② 핸드오버 및 불요파 검측개발<br>- 단위시험 성적서 및 350Km/h속도에서 검측<br>→핸드오버 및 불요파 검측장치<br>③ 데이터 에러율 검측개발<br>- 단위시험 성적서 및 350Km/h속도에서 검측<br>→데이터 에러율 검측개발<br>④ 통합서버인터페이스 및 시뮬레이터 개발<br>- 인터페이스 단위시험 성적서 및 GUI구성<br>→통합서버 인터페이스, GUI 및 시뮬레이터 개발<br>▪ 특허출원, 논문, S/W등록<br>① 자동화 진단을 위한 무선통신 차상검측시스템<br>- 출원번호 10-2013-0069866<br>② '13.6월 통신학회 논물발표<br>- 핸드오버 기술이 적용된 자동화 진단을 위한 고속철도 무선통신 검측 시스템 개발에 관한 연구<br>③ S/W등록<br>- 고속철도 무선통신 검측시스템<br>▪ RAM<br>- PBS&BOM(무선통신 차상검측시스템)<br>- 무선통신 차상검측시스템 신뢰성 분석 보고서<br>▪ 개발품 성능평가<br>- '13.8.26. Korail 입회 성능검증 |
| | **자동화운영 기술개발** | ▪ 개발품 제작 및 시험(2건)<br>▪ 시스템 종합인터페이스 | ▪ 실시간 전송시스템<br>- 개발품 1건<br>- 논문 1건<br>- SW등록 1건<br>▪ 자동화진단 운영시스템<br>- 개발품 1건<br>- 논문 1건<br>- SW등록 1건<br>▪ 개발품 성능평가<br>- 개발품 사용자 평가 실시<br>- 고속선(KTX-36호, HEMU-430X) 환경에서의 실시간 전송시스템 성능평가 실시 |

| 연차 | | 수행내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|
| 4차년도 | 시스템 엔지니어링 | ▪ 검측시스템 현차설치 및 시험<br>▪ 최종목표 달성 자체 점검<br>▪ 기술사업화 및 홍보계획 수립 | ▪ 분야별 검측장치 현차설치 및 성능검증<br>- KTX-36호 및 HEMU-430X, ROGER-1000K 활용<br>- 통합시스템 구축 및 실시간 전송 등 점검<br>▪ 기술사업화 및 제품 홍보회 개최(9월 중)<br>-(홍보)철도운영기관 담당자 초빙, 판매 홍보<br>-(사업화)'14년 하반기: 기술실시계약 체결(예정) |
| | 전차선로 차상 검측장치 | ▪ 개발품 보완<br>▪ 현차설치 및 시운전<br>▪ 현차시험 성적서(5부)<br>▪ 기술이전: 매뉴얼(5부)<br>▪ 연구논문 : 1건<br>▪ 특허등록 : 1건 | **1. 개발품 보완**<br>1) 장치별 사용자 인터페이스보완<br>2) 검측데이터 사용자 분석기능 추가<br>**2. 5개 개발품 현차 설치 및 시운전**<br>1) 시운전 방안 수립<br>• HEMU-430X 및 KTX-36호 차량 선정 및 주행정보(타코메타)연계<br>• 검측장치별 차탑기구 제작 및 차탑/차상 설치<br>2) 시험절차서 현차 시험<br>• 전차선 높이/편위 검측장치(2014.03~2014.04)<br>- HEMU-430X 설치시험<br>- 고속선(@300km/h) 전차선 높이편위 검측<br>- 검측범위 및 검측속도(200Hz) 검증<br>• 전차선 영상 검측장치(2014.03~2014.06)<br>- HEMU-430X, KTX-36호 설치시험<br>- 아크/전류/전압 검측 및 전기적 충격위치분석<br>- 집전상태 및 충격위치 모니터링<br>- 전차선로 이선 분석<br>• 전차선 과하중지점 검측장치(2014.03~2014.06)<br>- HEMU-430X, KTX-36호 설치시험<br>- 과하중지점(팬터그래프 충격가속도지점) 검측<br>• 시설물 이미지 분석장치(2013.07~2014.04)<br>- HEMU-430X 설치시험<br>- 전차선로 시설물 영상취득 및 결함분석<br>• 전차선로 열화상 검측(2014.03~2014.04)<br>- HEMU-430X 설치시험<br>- 전차선로 시설물 온도 검측<br>3) 종합 기능시험<br>• 개발품별 현차시험 성적서(5부)<br>**3. 기술이전 : 매뉴얼 작성**<br>• 개발품별 매뉴얼 작성(5부)<br>**4. 연구논문**<br>• 전차선로 시설물 변형검사 시스템 개발<br>- 한국철도학회(춘계)<br>**5. 특허출원**<br>• 진동보정을 통한 전차선검측시스템 및 검측방법 (등록번호: 10-1371531)<br>**6. 사업화**<br>• 전차선 검측시스템<br>- 철도공사(궤도검측차 납품, 매출액 4.3억원) |

| 연차 | | 연구 내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|
| 4차년도 | **궤도회로 차상 검측장치** | 1) 개발품 보완<br>2) 현차설치 및 기능시험 : 3건<br>3) 시험성적서 : 4건<br>4) 소프트웨어 등록 : 1건<br>5) 매뉴얼 : 1건<br>6) 연구논문 : 1건 | 1) 개발품 보완<br>① 현차설치 및 시험을 고려한 개발품 H/W 보완 : 검측장치 랙<br>② 검측화면 보완 : 실시간 검측화면, REPLAY 화면 및 보고서<br>2) 현차설치 및 기능시험 : 3건<br>① 현차설치<br>▪ 연속 및 불연속정보 검측장치 : KTX-36호<br>▪ ETCS 발리스 검측장치: 종합검측차<br>② 현차시험<br>▪ 연속정보 검측장치 : 경부고속선(광명-부산) 총 10회<br>▪ 불연속정보 검측장치 : 경부고속선(광명-부산) 총 10회<br>▪ ETCS 발리스 검측장치 : 경부선(대전-부산) 총 4회<br>③ 자동화운영시스템 : 실시간 인터페이스 시험<br>3) 시험성적서 : 4건<br>▪ 연속정보 검측장치<br>▪ 불연속정보 검측장치<br>▪ 보상콘덴서 검측장치<br>▪ ETCS 발리스 검측장치<br>4) 소프트웨어 등록<br>▪ 종합처리장치 데이터 컴퓨터 S/W<br>5) 매뉴얼<br>▪ 운영 매뉴얼<br>6) 연구논문<br>▪ 고속철도 궤도회로 차상검측시스템 시험에 관한 연구 |
| | **무선통신 차상 검측장치** | 1)시험성적서 4건<br>2)연구논문 1건<br>3)소프트웨어 등록 1건<br>4)개발품 4건<br>5)메뉴얼 1건 | 1)시험성적서 4건<br>㉠ 전계강도 및 주파수 시험 성적서<br>㉡ 핸드오버 및 불요파 시험 성적서<br>㉢ 데이터 에러율 시험 성적서<br>㉣ 통합서버 시험 성적서<br>2)연구논문 1건<br>㉠ 고속철도 무선통신 검측모듈 개발에 관한 연구<br>3)소프트웨어 등록 1건<br>㉠ 고속철도 무선통신 차상검측시스템<br>4)개발품 산출물 4건<br>㉠ 전계강도 및 주파수 검측기술<br>▪ 현차 종합 시험을 통한 개발품<br>㉡ 핸드오버 및 불요파 검측기술<br>▪ 현차 종합 시험을 통한 개발품<br>㉢ 데이터 에러율(BER) 검측기술<br>▪ 현차 종합 시험을 통한 개발품<br>㉣ 통합서버 및 시뮬레이터 기술개발<br>▪ 현차 종합 시험을 통한 개발품<br>5) 메뉴얼<br>㉠ 열차무선 검측 프로그램 운용자 메뉴얼 |

| 연차 | | 연구 내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|
| 4<br>차<br>년<br>도 | 자동화운영<br>및<br>실시간전송<br>시스템 | 1) 운영서버 구축 : 1건<br>2) 개발품 성능평가 : 2건<br>3) 소프트웨어 등록 : 2건<br>4) 논문발표 : 2건 | 1) 운영서버 구축 (1건)<br>▪ Database 서버 구축<br>▪ Application 서버 구축<br>▪ Real-Time 서버 구축<br>2) 개발품 성능평가 (2건)<br>① 실시간 전송시스템 성능평가<br>▪ 성능시험 통신망 환경 : 3G/LTE 통신망<br>▪ 성능시험 구간 : 경부선 고속선 구간<br>(KTX-36호, HEMU-430X)<br>▪ 성능시험 결과 : 데이터 수신율 100%<br>/ 데이터변형률 : 0%<br>② 자동화진단 운영시스템 성능평가<br>▪ 시스템 통합 운영 테스트<br>▪ 현업 요구사항 수렴 및 보완<br>3) 현차시험<br>▪ 전차선/신호/무선통신 차상 통합 인터페이스 현차시험 (KTX-36호)<br>▪ 실시간 전송시스템/자동화진단 운영시스템 통합 연동 현차시험 (KTX-36호, 지상서버)<br>4) 시스템 안정화 및 요구사항 추가반영<br>▪ 실시간 전송시스템 안정화<br>▪ 자동화진단 운영시스템 안정화<br>▪ 시설물 상태추이 분석기능 추가 개발 및 반영<br>5) 운영매뉴얼 작성 (2건)<br>① 실시간 전송시스템 운영자 매뉴얼 작성<br>② 자동화진단 운영시스템 운영자 매뉴얼 작성<br>6) 소프트웨어 등록 (2건)<br>① 고속선 차상검측 이상데이터 실시간 전송시스템 (Ver 2.0)<br>② 고속선 차상검측 자동화진단 운영시스템 (Ver 2.0)<br>7) 논문발표 (2건)<br>① 고속철도 전기분야 실시간 이상데이터 전송시스템 개발에 관한 연구 (한국철도학회)<br>② 고속철도 전기분야 검측데이터 추이분석 엔진 개발 (한국철도학회) |

## Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

본 연구는 350㎞/h에서 전기(전차선, 무선통신, 신호) 시설물을 자동으로 검측하는 장치 개발과 검측된 데이터의 자동화운영 및 실시간 전송시스템 구축을 목표로 추진하였으며 연구개발 과정은 “국내·외기술조사-개념·상세설계-시제품 제작-개발품 제작-현차시험”순으로 진행되었다.

최종 연구성과로는 당초 연구목표인 전차선, 무선통신, 신호 검측장치 및 자동화운영시스템을 개발하였으며 적용실적으로는 철도공사 및 신분당선주식회사에 전차선 높이/편위검측장치(3대)와 보상콘덴서 검측장치(1대)를 판매하였으며 ’14년 3/4분기에 전차선 시설물 변형 검측장치 1대를 고속선 구간에 판매 할 계획이다.

## Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

최종 연구목표 달성을 위해 개발된 전차선, 신호, 무선통신 검측장비를 300㎞/h로 운행하는 고속열차(KTX-36호) 및 차세대 고속열차(HEMU-430X)에 개발된 검측장치를 탑재하여 고속에서의 검측 및 데이터 실시간 전송 등을 확인하였으며 검측장치 효과로는 아래와 같이 기존 국외에서 수입된 제품과 비교하여 우리나라 R&D 개발품의 차별성을 제시하였다.

| 구 분 | 연구목표 | 달성도(%) | 기존 국외제품과 차별성(효과) |
|---|---|---|---|
| 1.전차선로 검측장치 | 높이/편위 검측 | 100 | •국산화 (해외 도입품과 동등 성능)<br>•국내 시설물 DB와 연계 및 GPS 맵을 활용한 검측위치 분석 |
| | 영상(아크) 검측 | 100 | •전차선로 이선위치(아크발생위치) 분석<br>•아크 지속시간에 따른 알람발생 |
| | 과하중지점 검측 | 100 | •카메라 영상에 의한 비접촉식 방식<br>•팬터그래프와 전차선간 과하중지점 검측 및 충격위치 분석<br>•팬터 변형 없이 상업 영업차량에 설치운용 |
| | 이미지 변형 검측 | 100 | •전차선로 시설물 영상수집 및 시설물 결함 분석<br>•기존 도보순회방식을 탈피한 새로운 유지보수 기법 제시 |
| | 열화상 검측 | 100 | •전차선로 시설물 온도검측 및 과열부위 검출 국산화<br>•전차선로 유지보수진단을 위한 타 검측장치와 운용 연계. |
| 2.궤도회로 검측장치 | 연속정보 검측 | 100 | •아날로그 및 디지털 정보를 단일 보드에서 처리: 정보전송의 동기화가 이루어져 검측 정확성 향상(검측장치의 디지털화)<br>•상용 DAQ를 사용하지 않음 : 구조의 Compact화<br>•종합처리장치와의 인터페이스: 고속의 LAN 통신에 의한 정보처리의 고속화 및 통신 품질 향상<br>•연속정보 주파수 처리 : 단일 보드에 의해 4개의 주파수를 일괄 처리 |
| | 불연속정보 검측 | 100 | |
| | 보상콘덴서 검측 | 100 | •보상콘덴서 검측을 위한 장치의 국산화: 수신보드, 처리보드 및 신호증폭기 |
| | ETCS발리스 검측 | 100 | •ETCS 발리스 검측을 위한 장치의 국산화: 수신보드, 처리보드 및 전력파전송보드 |
| 3.무신통신 검측장치 | 전계강도 및 주파수 검측 | 100 | •실시간 핸드오버 정보를 전계강도 및 주파수 검측에 적용 실제 전파환경에 대한 검측<br>•핸드오버 정보를 사용자GUI 현시를 통하여 망의 상태변화 데이터 베이스 관리 제공(고시 제 2013-17호) |
| | 핸드오버 및 불요파 검측 | 100 | •불요파 검측을 통하여 열차무선 자원관리<br>•무선설비 규칙 제3조 적용(ITU-T SM.1045)<br>•터미널의 실제 핸드오버를 이용한 계측기 제어 및 검측 데이터에 적용 |
| | 데이터 에러율(BER) 검측 | 100 | •데이터 채널 검측 통하여 열차무선 데이터 채널 품질관리<br>•DAQ4(-95dBm) 4%<br>•100개의 FIFO(First In First Out) 버퍼를 사용하여 복호화 결과를 DATA 버퍼에 재우며 잘못 복호화된 Bit 비율을 퍼센트 계산하여 산정 |

| 구 분 | 연구목표 | 달성도(%) | 수입품과 차별성(효과) |
|---|---|---|---|
| 4.자동화 운영기술개발 | 실시간 전송시스템 구축 | 100 | •검측데이터를 통한 시설물 상태평가 기술<br>•이상데이터 추출을 통한 데이터 평가기술<br>•시설물 상태추이 분석<br>•추이분석 핵심 엔진 구현<br>•수학적 모델을 기반으로 한 추이분석 기능 |
| | 자동화 진단 운영시스템 | 100 | •전차선/신호/무선통신 검측장비와의 차상 인터페이스<br>•상용 무선통신망을 통한 이상데이터 실시간 전송기능<br>•지상 사용자에게 실시간 알람 발생기능 |

## Ⅵ. 연구성과 활용계획

본 연구개발품은 국외에서 도입된 제품의 동등이상의 성능을 보유하고 있으며 국외 도입품 대비 60% 정도로 저렴하다. 또한 단품의 콤팩트 타입으로 개발되어 고속, 일반철도, 도시철도, 경전철 용도별 및 철도운영기관별 구매예산에 적합하도록 개발되었다.

따라서 본 개발품은 철도운영기관에서 현재 운용중인 국외 검측장치 수요가 발생했을 때 대체가 가능하며 향후 철도운영기관에서 유지보수 효율화 등에 따라 많은 검측장치 수요가 발생할 것으로 예상함에 따라 본 연구개발을 통해 개발된 성과물을 지속적으로 홍보하여 국내 내수시장 80% 이상 확보 및 동남아, 중국 등에도 판매를 촉진할 계획이다.

본 과제 R&D 성과물(검측장비) 판매 실적(2013~2014년)

| NO | 분 야 | 판매기관 | 구매비용 (단위: 억원) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 외자품 | 국산품 | 절감 |
| 1 | 전차선 높이/편위 검측장치(80㎞/h) | 코레일 | 2.4 | 1.80 | 0.60 |
| 2 | 전차선 높이/편위 검측장치(80㎞/h) | 신분당선㈜ | 2.4 | 1.87 | 0.53 |
| 3 | 전차선 높이/편위 검측장치(140㎞/h) | 코레일 | 8.0 | 4.30 | 3.70 |
| 4 | 보상콘덴서 검측장치 | 코레일 | 3.5 | 1.29 | 2.21 |
| | 합 계 | | 16.3 | 9.26 | 7.04 |

# Summary

## I. Subject : Development of Automatic Diagnosis for In-cab Electric Inspection System of HSR(High Speed Railway)

## Ⅱ. Purpose and necessary of development project

My country introduced and operated the electric test car from Austria in 1976 after opening the electric car on the industrial line. We introduced the conventional inspection car from Italy(MerMec社) in 2004 through the occasion of the opening of HSR, inspected the catenary, track circuit and etc. but the data inspected is incorrect and has lots of problems such as the limit of the operational maintenance.

Also, In order to check out the quality of the electric facilities for the preparation of HSR opening, KTX-36 , which is a HSR for service, has been equipped with the rolling stock, track, electricity and etc. The cord device during the installation of system has not been localized and has consumed a lot of time to analyze the data inspected and had difficulties applying to the maintainability department actually.

The electric facilities on high speed line has to secure the normal function of the facilities at all times as a core element for operating the HSR, has to establish the system to monitor the state of electric system at 24 hours, find the barriers & notify and process the real-time procedure to judge. Accordingly, the equipment failure carried out on the present high speed line or the inspection method after the regular maintenance must be quickly converted as the concept of maintainability in advance as possible as it can.

The data & measures collected from the electric system on the high speed line is valuable ones gotten from a variety of maintenance & failure occurrence and it can predict the future failure & error through the past and present status of each electric system of HSR based on it.

This means the maintainable system by the post-processing can be converted into the maintainable system for the prevention and improve the safety from the HSR and the reliability from the customers to prevent the failure & accident in advance.

The technology development of the automatic diagnosis for the in-cab electric inspection system of HSR is playing a role of the automation of the whole procedure for collecting the data, processing, transporting & the diagnosis and is responsible for the automation system without the most human powers and can process the maintainable jobs related to them at the real-time.

Accordingly, it can improve the efficiency of the maintainable system by recognizing the facility which can cause the failure & accident of the vast rail facilities in advance and can ultimately improve the characteristics of the high speed, the reliability of dense safety operation & economy largely.

## Ⅲ. Contents & Ranges of Research Development

○ Development of in-cab inspection system for catenary

○ Development of in-cab inspection system for track circuit

○ Development of in-cab inspection system for wireless radio

○ Development of automation diagnosis technology for the electric system

## Ⅳ. Result of Research Development

This research project can implement the real-time maintainable system with the innovative and progressive function by installing on the inspection car applied to in the future.

Also, It can detect the real-time failure elements in advance about the field equipment by operating the inspection car and make it possible to prevent by predicting the LCC(Life Cycle Cost) of facilities in the future.

(1) In-cab inspection system for catenary

- If In-cab inspection system for catenary is developed, it can secure the product and expand the application field through the demonstration & sales activities(consulting the purchaser), participation in the domestic & foreign fair, each PR media(Internet, booklet related to PR and etc) and confirm the enough technology, economic competition by taking part in the world market with the operation technology of HSR.

(2) In-cab inspection system for wireless radio

- In-cab inspection system is planning to apply to the field by installing on the HSR and operate directly on the in-cab of all the domestic rolling stocks as well as the HSR by commercializing this. In addition, it is planning to make it awarded as a HSR by transferring the technology into the corporations which participate in the bid of the international high speed trains.

(3) In-cab inspection system for track circuit

- It can realize the conditional maintainable system which can differentiate from the existing inspection system and make it possible to establish the progressively maintainable system equipping the only inspection car of HSR scheduled for adoption in the near future.
- With the superior solution as an in-cab inspection system for HSR, it can execute the import substitution approaching as an aggressive marketing in the market of the domestic subways, light rails.
- In conjunction with the integrated information system, it can make it possible to establish the integrated maintainability through the cross interface.

(4) Automation diagnosis & real-time transmitting system

- Operating system of automation diagnosis is going to be operated in the field installing in the department of the maintainability for high speed line and is planning to prepare for the base of the preventive maintenance introducing the operation system improved at a level up.
- real time transmitting system is going to be operated in the field installing in the two spots between in-cab(HSR) and ground(Present department), is planning to make it possible to expand them to all the industrial fields needed to the real-time radio as well as the general rail field by designing/installing as a independent system.

(5) Common Field

- We are planning to secure the quality and price competition against the abroad system by establishing the integrated operation system for the domestic environment accumulating the operation know-how and save the foreign currency and the abroad dependancy, proceed to the field of the general line, subway, light rail through merchandising.

# 목 차


**제1장 연구개발 과제 개요 ····· 1**

1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1

1. 개요 ····· 1

2. 연구개발 최종 목표 ····· 4

2절 연구개발 정의, 범위 및 특징 ····· 6

1. 연구개발 목표 ····· 6

2. 전차선로 차상검측시스템 ····· 7

3. 궤도회로 차상검측시스템 ····· 10

4. 무선통신 차상검측시스템 ····· 13

5. 자동화 운영시스템 ····· 16

3절 국내외 기술개발 현황 ····· 17

1. 국내기술 및 산업동향 ····· 17

2. 국외기술 및 산업동향 ····· 30

4절 연구개발 결과의 우수성 및 차별성 ····· 45

1. 전차선로 차상검측시스템 ····· 45

2. 궤도회로 차상검측시스템 ····· 47

3. 무선통신 차상검측시스템 ····· 51

4. 자동화 운영시스템 ····· 53

**제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 55**

1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 55

1. SWOT 분석 ····· 55

2. 연구개발 추진체계 ····· 56

2절 연구수행 과정 및 내용 ····· 59

1. 전차선로 차상검측시스템 ····· 59

2. 궤도회로 차상검측시스템 ····· 100

3. 무선통신 차상검측시스템 ····· 131

4. 자동화 운영시스템 ····· 150

5. 궤도회로 시뮬레이션 알고리즘 개발 ····· 217

6. 차상 전기검측시스템 RAM 분석 ····· 265

3절 연구수행 결과 및 결과의 검증 방법 ····· 297

1. 전차선로 차상검측시스템 ····· 298

2. 궤도회로 차상검측시스템 ····· 315

3. 무선통신 차상검측시스템 ····· 329

4. 자동화 운영시스템 ····· 338

**제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 345**

1절 연구성과 및 핵심요소 기술 ····· 345

1. 전차선로 차상검측시스템 ····· 345
2. 궤도회로 차상검측시스템 ····· 348
3. 무선통신 차상검측시스템 ····· 351
4. 자동화 운영시스템 ····· 354
5. 신뢰성 분석 ····· 355
2절 주요 연구성과 ····· 358
1. 수상내역 ····· 358
2. 특허성과 (출원 7건, 등록 2건) ····· 358
3. S/W 등록(20건) ····· 359
4. 국내·외 학술대회 게재 및 발표 ····· 360
5. 홍보회 ····· 362
6. 기술적 성과 ····· 363
3절 기술실시 및 적용사례 ····· 365
1. 전차선로 차상검측시스템 ····· 365
2. 궤도회로 차상검측시스템 ····· 365
4절 개발성과와 국내외 시장전망 ····· 366
1. 전차선로 차상검측시스템 ····· 366
2. 궤도회로 차상검측시스템 ····· 367
3. 무선통신 차상검측시스템 ····· 367
4. 자동화 운영시스템 ····· 368

**제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 369**
1절 연구목표 최종목표 달성도 ····· 369
1. 전차선로 차상검측시스템 ····· 370
2. 궤도회로 차상검측시스템 ····· 371
3. 무선통신 차상검측시스템 ····· 372
4. 자동화 운영시스템 ····· 373
2절 연구개발 성과의 효과분석 ····· 374
1. 기술적 효과 ····· 374
2. 경제적 효과 ····· 375
3. 정책적 효과 ····· 377

**제5장 연구성과의 활용 ····· 379**
1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 379
1. 기술실시 계획 ····· 379
2. 판매계획 ····· 379
3. 타(他)연구와의 연계 ····· 380
4. 향후 보완계획 ····· 381

**제6장 참고문헌 ····· 383**

# 표 차례

표 1 전차선로 차상검측시스템 연구개발 범위 ····· 8
표 2 국내외 전차선분야 검측장치 대비 본 과제목표 ····· 9
표 3 궤도회로 차상검측시스템 연구개발 범위 ····· 12
표 4 국내외 신호분야 검측장치 대비 본 과제목표 ····· 13
표 5 열차무선 차상검측시스템 연구개발 범위 ····· 14
표 6 국내외 열차무선분야 검측장치 대비 본 과제목표 ····· 15
표 7 자동화 운영시스템 개발범위 ····· 17
표 8 국내외 자동화 운영시스템 대비 본 과제목표 ····· 17
표 9 국내 전차선로 차상검측시스템 검측항목 ····· 20
표 10 전차선 측정장치 사양 ····· 20
표 11 전차선 측정장치 사양(ROGER-1000K) ····· 21
표 12 전차선 측정장치 사양(KTX-36호) ····· 22
표 13 접촉력 및 충격가속도 측정 시스템 사양 ····· 23
표 14 관련 분야의 기술수준 ····· 28
표 15 관련 기술 분야의 인프라 수준 ····· 28
표 16 국외 검측전용차량 현황 ····· 30
표 17 해외 고속검측차량 전차선로 검측항목 ····· 31
표 18 IRIS 320 전차선로 시설물 검측시스템 ····· 32
표 19 IRIS 320의 신호분야 검측용 안테나 위치 ····· 38
표 20 전차선로 차상검측시스템의 차별성 비교 ····· 45
표 21 궤도회로 차상검측시스템의 차별성 비교 ····· 47
표 22 열차무선 차상검측시스템의 차별성 비교 ····· 51
표 23 열차무선 차상검측시스템의 우수성 ····· 51
표 24 열차무선 차상검측시스템의 우수성 ····· 52
표 25 자동화 운영시스템의 차별성 비교 ····· 54
표 26 SWOT 분석을 통한 전략방향 ····· 55
표 27 전차선로 차상검측시스템 구성품 기능 ····· 59
표 28 전차선로 차상검측시스템 연구수행 과정 및 내용 ····· 60
표 29 전차선분야 검측 관련 운영기관 및 제작사 조사 ····· 60
표 30 전차선로 차상검측시스템 목표사양 ····· 61
표 31 전차선로 차상검측시스템 설계내역 ····· 61
표 32 전차선로 차상검측시스템 개발품 ····· 62
표 33 전차선로 차상검측시스템 시험 환경 구축 내용 ····· 63
표 34 전차선로 차상검측시스템의 성능검증을 위한 시험절차 ····· 64
표 35 전차선 높이편위 검측사양 ····· 65
표 36 차량진동 보정장치 사양 ····· 65
표 37 전차선 높이편위 검측시스템 현차설치 내역 ····· 67
표 38 전차선 높이편위 검측장치 현차시험 항목 ····· 68

표 39 전차선 높이편위 검측장치 현차시험 결과 ····· 69
표 40 전차선 높이편위 검측데이터 ····· 70
표 41 전차선 높이편위 현차시험 화면 ····· 71
표 42 전차선 영상검측시스템 개발품 사양 ····· 72
표 43 전차선 영상검측장치 현차설치 내역(HEMU-430X, KTX-36호) ····· 74
표 44 전차선 영상검측장치 현차시험 항목 ····· 74
표 45 전차선로 영상검측장치 현차시험 결과 ····· 75
표 46 전차선로 영상검측장치 현차시험 화면 ····· 75
표 47 과하중지점 검측장치와 접촉력 검측장치 차이점 ····· 78
표 48 전차선로 과하중지점 검측장치 개발품 사양 ····· 78
표 49 전차선로 과하중지점 검측장치 현차설치 내역(HEMU-430X, KTX-36호) ····· 80
표 50 전차선로 과하중지점 검측장치 현차시험 항목 ····· 82
표 51 전차선로 과하중지점 검측장치 현차시험 결과 ····· 82
표 52 전차선로 과하중지점 검측장치 현차시험 화면 ····· 83
표 53 전차선로 이미지 분석시스템 개발품 사양 ····· 85
표 54 검사대상 시설물 검사항목 ····· 85
표 55 시설물 변형검사 알고리즘 ····· 88
표 56 전차선로 이미지 분석장치 현차설치 내역(HEMU-430X) ····· 89
표 57 전차선로 이미지 분석장치 현차시험 항목 ····· 90
표 58 전차선로 이미지 분석장치 현차시험 결과 ····· 91
표 59 전차선로 시설물 이미지 분석장치 1차 현장평가 ····· 92
표 60 전차선로 시설물 이미지 분석장치 2차 성능평가 ····· 94
표 61 전차선로 열화상 검측장치 개발품 사양 ····· 96
표 62 전차선로 열화상 검측장치 현차설치 내역(HEMU-430X, KTX-36호) ····· 97
표 63 전차선로 열화상 검측장치 현차시험 항목 ····· 98
표 64 전차선로 열화상 검측장치 현차시험 결과 ····· 98
표 65 전차선로 열화상 검측장치 현차시험 내용 ····· 99
표 66 궤도회로 차상검측시스템 연구수행 과정 및 내용 ····· 101
표 67 신호분야 검측 관련 운영기관 및 제작사 조사 ····· 102
표 68 궤도회로 차상검측시스템 목표 사양 ····· 102
표 69 궤도회로 차상검측시스템 모의시험 환경 구축 내용 ····· 104
표 70 궤도회로 차상검측시스템의 성능검증을 위한 시험 절차 ····· 105
표 71 고속철도 ATC 연속정보 검측장치 사양 ····· 106
표 72 고속철도 ATC 연속정보 검측장치 현차설치 내역 ····· 108
표 73 연속정보 검측장치 현차시험 항목 ····· 109
표 74 연속정보 검측장치 현차시험 결과 ····· 109
표 75 연속정보 검측 및 복조 파형 ····· 110
표 76 연속정보 검측 레벨 및 메시지의 표시 내용 ····· 111
표 77 고속철도 ATC 불연속정보 검측장치 사양 ····· 112
표 78 고속철도 ATC 불연속정보 검측장치 현차설치 내역 ····· 114
표 79 불연속정보 검측장치 현차시험 항목 ····· 115

표 80 불연속정보 검측장치 현차시험 결과 ····· 116
표 81 불연속정보 검측 및 복조 파형 ····· 117
표 82 불연속정보 검측 레벨 및 메시지의 표시 내용 ····· 118
표 83 고속선 보상콘덴서 검측장치 사양 ····· 119
표 84 고속철도 보상콘덴서 검측장치 현차설치 내역 ····· 121
표 85 보상콘덴서 검측장치 현차시험 항목 ····· 123
표 86 보상콘덴서 검측장치 현차시험 결과 ····· 123
표 87 보상콘덴서 검측 파형 ····· 124
표 88 보상콘덴서 검측 레벨 표시 ····· 124
표 89 일반철도 ETCS 발리스 검측장치 사양 ····· 126
표 90 일반철도 ETCS 발리스 검측장치 현차설치 내역 ····· 127
표 91 ETCS 발리스 검측장치 현차시험 항목 ····· 129
표 92 ETCS 발리스 검측장치 현차시험 결과 ····· 129
표 93 ETCS 발리스 검측 레벨 표시 ····· 130
표 94 열차무선 차상검측시스템 연구수행 과정 및 내용 ····· 132
표 95 열차무선 검측 관련 운영기관 및 제작사 조사 ····· 133
표 96 열차무선 차상검측시스템 목표 사양 ····· 133
표 97 경부 1단계 측정주파수 ····· 134
표 98 경부 2단계 측정주파수 ····· 135
표 99 수신임계강도 기준 ····· 136
표 100 열차무선 검측장치 설계 기준 ····· 137
표 101 열차무선 차상검측시스템 개발품 제작 내용 ····· 139
표 102 열차무선 차상검측시스템 모의시험 환경 구축 내용 ····· 140
표 103 열차무선 차상검측시스템의 성능검증을 위한 시험 절차 ····· 141
표 104 전계강도 및 주파수 검측장치 사양 ····· 143
표 105 핸드오버 및 불요파 검측장치 사양 ····· 145
표 106 데이터 에러율 검측장치 사양 ····· 147
표 107 통합서버 및 시뮬레이터 사양 ····· 150
표 108 자동화 운영시스템 연구수행 과정 및 내용 ····· 150
표 109 자동화 운영시스템 개발품 내역 ····· 153
표 110 자동화진단 운영시스템 주요 모듈 ····· 154
표 111 주요 방문일정 ····· 155
표 112 자동화 운영시스템의 주요 역할 ····· 158
표 113 지상 운영 시스템 - 기준정보 관리모듈 ····· 167
표 114 지상 운영 시스템 - 검측데이터 관리모듈 ····· 167
표 115 지상 운영 시스템 - 검측데이터 분석모듈 ····· 168
표 116 지상 운영 시스템 - 실시간 알람모듈 ····· 169
표 117 자동화진단 운영시스템 H/W 구성 ····· 170
표 118 기준정보 관리모듈 기능 ····· 171
표 119 검측데이터 관리모듈 기능 ····· 171
표 120 검측데이터 분석모듈 ····· 172

표 121 자동화진단 운영시스템 주요 모듈 ····· 175
표 122 추이분석 검증대상 ····· 186
표 123 국내 검측시스템 비교 ····· 188
표 124 국외 검측시스템 비교 ····· 188
표 125 실시간 전송시스템 기능 리스트 ····· 192
표 126 실시간 전송 인터페이스 대상목록 ····· 194
표 127 실시간 전송 인터페이스 Link Layer ····· 195
표 128 실시간 전송시스템 모듈 구성 ····· 198
표 129 위치정보 방송시스템 기능리스트 ····· 203
표 130 위치정보 방송시스템 인터페이스 Link Layer ····· 204
표 131 위치정보 방송시스템 인터페이스 Data Field 정의 ····· 204
표 132 위치정보 방송시스템 인터페이스 데이터 항목 상세 정의 ····· 204
표 133 실시간 전송시스템 현차시험 계획 ····· 206
표 134 차상 인터페이스 통신 프로토콜 ····· 207
표 135 차상 인터페이스 단위시험 항목 ····· 208
표 136 KTX-36호 지상 인터페이스 현차시험 ····· 208
표 137 HEMU-430X 지상 인터페이스 현차시험 ····· 209
표 138 전차선 분야 인터페이스 대상목록 ····· 209
표 139 전차선 분야 차상 인터페이스 현차시험 현황 ····· 209
표 140 전차선 분야 차상 인터페이스 현차시험 결과 ····· 210
표 141 신호 분야 인터페이스 대상목록 ····· 210
표 142 신호 분야 차상 인터페이스 현차시험 현황 ····· 210
표 143 신호 분야 차상 인터페이스 현차시험 결과 ····· 211
표 144 무선통신 분야 인터페이스 대상목록 ····· 211
표 145 무선통신 분야 차상 인터페이스 현차시험 현황 ····· 212
표 146 무선통신 분야 차상 인터페이스 현차시험 결과 ····· 212
표 147 데이터베이스 구축 현황 ····· 214
표 148 자동화진단 운영시스템 지상서버 목록 및 사양 ····· 215
표 149 궤도회로 주파수의 종류 ····· 218
표 150 궤도회로 등가회로의 변수 및 정의 ····· 222
표 151 경부고속선 토공구간의 선로정수 평균값 ····· 229
표 152 경부고속선 교량구간의 선로정수 평균값 ····· 229
표 153 경부고속선 터널구간의 선로정수 평균값 ····· 229
표 154 토공구간의 선로정수 평균값 ····· 236
표 155 터널구간의 선로정수 평균값 ····· 236
표 156 장상터널 및 광명역 구간의 선로정수 평균값 ····· 250
표 157 주요 파라미터 ····· 255
표 158 현장측정 결과(문곡터널 측정치) ····· 256
표 159 현장측정 결과(금강2교 측정치) ····· 257
표 160 현장측정 결과(궁현1교 인근 측정치) ····· 258
표 161 현장측정 결과(갑천교 인근 측정치) ····· 259

표 162 문곡터널 분석 ····· 260
표 163 금강2교 분석 ····· 260
표 164 토공구간 분석 ····· 261
표 165 아이템 구성 및 신뢰도 계산식 ····· 268
표 166 전차선로 차상검측시스템의 PBS ····· 271
표 167 전차선로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과 ····· 273
표 168 전철전력설비 유지보수 점검주기 ····· 275
표 169 전차선 높이/편위 검측시스템의 신뢰성 분석 결과 ····· 276
표 170 전차선 영상 검측시스템의 신뢰성 분석 결과 ····· 278
표 171 전차선 과하중 지점 검측 장치의 신뢰성 분석 결과 ····· 279
표 172 전차선로 이미지 분석시스템의 신뢰성 분석 결과 ····· 281
표 173 전차선로 열화상 검측시스템의 신뢰성 분석 결과 ····· 283
표 174 궤도회로 차상검측시스템의 PBS ····· 283
표 175 궤도회로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과 ····· 284
표 176 신호제어설비 유지보수 점검주기 ····· 286
표 177 연속정보 검측장치의 신뢰성 분석 결과 ····· 286
표 178 불연속정보 검측장치의 신뢰성 분석 결과 ····· 287
표 179 ETCS 발리스 검측장치의 신뢰성 분석 결과 ····· 288
표 180 보상콘덴서 검측장치의 신뢰성 분석 결과 ····· 289
표 181 종합처리장치의 신뢰성 분석 결과 ····· 290
표 182 무선통신 차상검측시스템의 PBS ····· 290
표 183 무선통신 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과 ····· 291
표 184 정보통신설비 유지보수 점검주기 ····· 292
표 185 전계강도 및 주파수 검측장치의 신뢰성 분석 결과 ····· 292
표 186 핸드오버 및 불요파 검측장치의 신뢰성 분석 결과 ····· 293
표 187 데이터 에러율 검측장치의 신뢰성 분석 결과 ····· 294
표 188 전차선로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과 ····· 295
표 189 궤도회로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과 ····· 295
표 190 무선통신 차상검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과 ····· 296
표 191 차상 전기검측시스템 연구개발 최종목표 ····· 297
표 192 전차선로 차상검측시스템 개발 내역 ····· 298
표 193 전차선로 차상검측시스템 시제품 및 개발품 제작 내역 ····· 299
표 194 전차선로 차상검측시스템 시험 환경 구축 내용 ····· 300
표 195 전차선로 차상검측시스템의 성능검증을 위한 시험절차 ····· 301
표 196 개발품 성능 검증 방법 ····· 301
표 197 정밀도 측정시험 절차 ····· 302
표 198 정밀도 시험 데이터 ····· 302
표 199 전차선 높이편위 검측시스템 정밀도 시험결과 ····· 302
표 200 아크검출 시험절차 ····· 304
표 201 아크검출 성능시험 내용 ····· 305
표 202 아크검출센서 시험 결과 ····· 306

표 203 접촉력 정밀도 시험절차 ····· 306
표 204 정밀도 시험 내용 ····· 307
표 205 접촉력 정밀도 측정결과 ····· 307
표 206 전차선로 이미지 분석장치 현장평가 결과 ····· 308
표 207 열화상 정밀도 시험절차 ····· 308
표 208 정밀도 시험 결과 ····· 309
표 209 전자파 적합성 시험 ····· 310
표 210 진동시험 규격 ····· 310
표 211 온도 및 습도 시험 (방수) ····· 311
표 212 온도 및 습도 시험 (온도) ····· 311
표 213 전차선로 차상검측시스템 현차시험 내역 ····· 312
표 214 전차선로 차상검측시스템 현차설치 내역 ····· 313
표 215 전차선로 차상검측시스템 현차시험 결과 ····· 314
표 216 궤도회로 차상검측시스템 개발품 제작 내역 ····· 315
표 217 궤도회로 차상검측시스템 연구수행 결과 ····· 316
표 218 궤도회로 차상검측시스템의 환경시험 내역 ····· 319
표 219 궤도회로 차상검측시스템 환경시험 항목 및 관련규격 ····· 319
표 220 보상콘덴서 검측장치 환경시험 결과 ····· 320
표 221 궤도회로 차상검측시스템 RACK 2 환경시험 결과 ····· 322
표 222 현장 정적시험을 통한 궤도회로 차상검측시스템 검증 ····· 324
표 223 궤도회로 차상검측시스템 현장시험 내역 ····· 324
표 224 연속 및 불연속검측장치 고속시험선 현장시험 결과 ····· 325
표 225 연속 및 불연속검측장치 영업구간 현장시험 구성품 ····· 326
표 226 연속 및 불연속정보 검측장치 영업구간 정적시험 결과(화면) ····· 327
표 227 연속 및 불연속정보 검측장치 영업구간 정적시험 결과 ····· 327
표 228 궤도회로 차상검측시스템 현차설치 내역 ····· 328
표 229 궤도회로 차상검측시스템 현차시험 내역 ····· 328
표 230 궤도회로 차상검측시스템 현차시험 결과 ····· 329
표 231 열차무선 차상검측시스템 연구수행 결과 ····· 330
표 232 전계강도 및 주파수 검측장치 시험결과 ····· 331
표 233 핸드오버 및 불요파 검측장치 시험결과 ····· 331
표 234 데이터 에러율 검측장치 시험결과 ····· 332
표 235 통합서버 및 인터페이스 시험결과 ····· 332
표 236 열차무선 차상검측시스템 현장시험 내역 ····· 333
표 237 열차무선 차상검측시스템 고속시험선 정적시험 결과 ····· 334
표 238 열차무선 차상검측시스템 고속시험선 동적시험 결과 ····· 335
표 239 열차무선 차상검측시스템 현차시험 내역 ····· 336
표 240 열차무선 차상검측시스템 현차설치 내역 ····· 336
표 241 열차무선 차상검측시스템 현차시험 결과 ····· 337
표 242 자동화 운영시스템 연구수행 결과 ····· 338
표 243 차상 인터페이스 단위시험 항목 ····· 339

표 244 분야별 차상 인터페이스 단위테스트 진행 일정 ····· 340
표 245 통합시험을 통한 자동화 운영시스템 검증 ····· 340
표 246 차상 인터페이스 통합시험 결과 ····· 341
표 247 현차시험을 통한 자동화 운영시스템 검증 ····· 342
표 248 자동화 운영시스템 현차시험 내역 ····· 342
표 249 자동화 운영시스템 현차시험 결과 ····· 343
표 250 전차선로 차상검측시스템 확보기술 ····· 347
표 251 궤도회로 차상검측시스템 확보기술 ····· 350
표 252 열차무선 차상검측시스템 확보기술 ····· 353
표 253 궤도회로 차상검측시스템의 신뢰성 분석 결과 ····· 356
표 254 전차선로 차상검측시스템의 신뢰성 분석 결과 ····· 357
표 255 무선통신 차상검측시스템의 신뢰성 분석 결과 ····· 357
표 256 검측차량 부분 국내외 시장규모 전망 ····· 366
표 257 전차선로 차상검측시스템 최종목표 달성도 ····· 370
표 258 궤도회로 차상검측시스템 최종목표 달성도 ····· 371
표 259 열차무선 차상검측시스템 최종목표 달성도 ····· 372
표 260 자동화 운영시스템 최종목표 달성도 ····· 374

# 그림 차례

그림 1 연구개발 필요성 ····· 2
그림 2 연구개발 최종 목표 ····· 4
그림 3 이상 데이터의 실시간 전송을 위한 차상검측시스템 개념도 ····· 5
그림 4 전차선로 검측시스템 구성 ····· 8
그림 5 유지보수 활용을 위한 전차선분야 차상검측시스템 체계 ····· 9
그림 6 궤도회로 차상검측시스템 검측 종류 ····· 11
그림 7 유지보수 활용을 위한 신호분야 검측시스템 체계 ····· 12
그림 8 유지보수 활용을 위한 열차무선 차상검측시스템 체계 ····· 15
그림 9 전철시험차 1호 ····· 18
그림 10 전철시험차 장비 수리(외국 기술자) ····· 18
그림 11 코레일 종합검측차(ROGER-1000K) ····· 19
그림 12 서울메트로 종합검측차(ROGER-600) ····· 19
그림 13 차탑 전차선 측정장치 구조 ····· 20
그림 14 전차선 측정장치(ROGER-1000K) ····· 21
그림 15 차탑 아크 검측장치(좌) 전차선 모니터링 장비(우) ····· 22
그림 16 팬터 접촉력 및 충격가속도 측정시스템 개요도 ····· 22
그림 17 KTX-36호 신호검측장치의 구성도 ····· 24
그림 18 종합검측차의 신호분야 검측장치 구성도 ····· 25
그림 19 KTX-36호 열차무선 검측장치(Voice/Data)의 구성도 ····· 26
그림 20 KTX-36호 열차무선 검측장치 ····· 26
그림 21 ROGER-1000K 열차무선 검측장치 구성도 ····· 27
그림 22 ROGER-1000K 열차무선 검측장치 ····· 27
그림 23 KTX-36호 지붕 위 검측장치 및 모니터 화면 ····· 29
그림 24 종합검측차 외/내관 ····· 29
그림 25 전차선 동특성 측정시스템 ····· 32
그림 26 실시간 시설물 이미지 수집(좌), Off-Line 전차선로 시설물 분석(우) ····· 33
그림 27 이탈리아 검측차(Archimede) ····· 33
그림 28 Archimede 전차선 검측시스템 사양 ····· 34
그림 29 Roser2000 집전장치 동특성 측정시스템 S/W ····· 34
그림 30 LSI System ····· 35
그림 31 east-i 전차선로 시설물 검측시스템 구성 ····· 35
그림 32 전차선로 시설물 결함 분석 ····· 36
그림 33 IRIS 320 검측체계 ····· 36
그림 34 IRIS 320의 신호분야 검측장치 구성도 ····· 38
그림 35 GSM-R 열차무선 블록도 ····· 39
그림 36 IRIS 320 ····· 40
그림 37 IRIS 320 데이터 처리 흐름도 ····· 41
그림 38 차량 내부 인터페이스 시스템 ····· 42
그림 39 RAMSYS 전차선 관리화면 ····· 43

그림 40 MOWIS 검측그래프 현시화면 ····· 44
그림 41 KTX-36호 신호분야 차상검측시스템 인터페이스 구성 ····· 48
그림 42 신호분야 검측 레벨 및 데이터 처리의 비교 ····· 49
그림 43 처리보드 블록도(2개의 CPU 적용) ····· 49
그림 44 KTX-36호 연속 및 불연속정보 처리 ····· 50
그림 45 연속정보 수신보드 블록도 ····· 50
그림 46 불연속정보 수신보드 블록도 ····· 50
그림 47 전차선로 차상검측시스템 구성 ····· 59
그림 48 시스템 구성도 ····· 64
그림 49 차탑장치(上), 차저장치(下) ····· 64
그림 50 전차선 마킹 레이저프로파일 추출 (서브픽셀적용) ····· 66
그림 51 전차선 측정 보정항목 ····· 66
그림 52 레일 측정점 ····· 67
그림 53 좌/우측 레일 프로파일 ····· 67
그림 54 전차선 높이편위 검측장치 현차설치도(HEMU-430X) ····· 68
그림 55 전차선 높이편위 검측장치 설치(HEMU-430X) ····· 68
그림 56 시스템 구성도 ····· 72
그림 57 전차선 영상검측장치 ····· 72
그림 58 하드웨어 구성 ····· 73
그림 59 전차선 영상검측장치 현차설치도(HEMU-430X) ····· 73
그림 60 전차선 영상검측장치 설치(HEMU-430X) ····· 74
그림 61 전차선 영상검측장치 설치(KTX-36호) ····· 74
그림 62 시스템 구성도 ····· 78
그림 63 과하중지점 검측장치 ····· 78
그림 64 전차선 과하중지점 검측장치에 의한 팬터변위량 측정 ····· 79
그림 65 비접촉식 접촉력 측정 알고리즘 ····· 79
그림 66 전차선 과하중지점 검측장치 (HEMU-430X) ····· 81
그림 67 전차선 과하중지점 검측장치 설치(KTX-36호) ····· 81
그림 68 팬터그래프 마커부착 ····· 81
그림 69 시스템 구성 ····· 84
그림 70 검사대상 시설물 현장사진 ····· 85
그림 71 HEMU-430X 시운전구간 시설물 취득 이미지 ····· 86
그림 72 고속선 구간 시설물 1mm 등간격 스캔영상 (@300km/h) ····· 87
그림 73 전차선로 이미지 분석장치 현차 설치도(HEMU-430X) ····· 89
그림 74 전차선로 이미지 분석장치 설치(HEMU-430X) ····· 89
그림 75 시스템 구성도 ····· 96
그림 76 열화상 검측장치 ····· 96
그림 77 전차선로 열화상 검측장치 현차설치도(HEMU-430X) ····· 97
그림 78 전차선로 열화상 검측장치 설치(HEMU-430X) ····· 98
그림 79 궤도회로 차상검측시스템 구성도 및 기능 ····· 100
그림 80 신호분야 검측체계도 ····· 100

그림 81 궤도회로 차상검측시스템 개발품 RACK 제작 ····· 103
그림 82 궤도회로 차상검측시스템 모의시험 환경 ····· 103
그림 83 고속철도 ATC 연속정보 전송 체계도 ····· 105
그림 84 고속철도 ATC 연속정보 검측장치(개발품) 구성 ····· 107
그림 85 연속정보 검측장치 현차설치도(KTX-36호) ····· 108
그림 86 연속정보 검측장치 설치 사진 ····· 108
그림 87 고속철도 ATC 불연속정보 전송 체계도 ····· 111
그림 88 고속철도 ATC 불연속정보 검측장치(개발품) 구성 ····· 114
그림 89 불연속정보 검측장치 현차설치도(KTX-36호) ····· 115
그림 90 불연속정보 검측장치 설치 사진 ····· 115
그림 91 고속철도 보상콘덴서 개념도 ····· 118
그림 92 보상콘덴서 검측장치의 접속도 ····· 119
그림 93 고속철도 보상콘덴서 검측장치(개발품) 구성 ····· 120
그림 94 보상콘덴서 검측장치 현차설치도(KTX-36호) ····· 121
그림 95 보상콘덴서 검측장치 설치 사진 ····· 121
그림 96 보상콘덴서 검측장치 부속품의 설치 위치 ····· 122
그림 97 보상콘덴서 TX 및 RX 루프 설치 사진 ····· 122
그림 98 보상콘덴서 신호증폭기 설치 사진 ····· 122
그림 99 ETCS 발리스 전송 개념도 ····· 125
그림 100 일반철도 ETCS 발리스 검측장치(개발품) 구성 ····· 127
그림 101 ETCS 발리스 검측장치 현차 설치도(종합검측차) ····· 128
그림 102 유로발리스 안테나 설치 사진(종합검측차) ····· 128
그림 103 ETCS 발리스 검측장치 설치 사진 ····· 128
그림 104 열차무선 차상검측시스템 구성 및 기능도 ····· 131
그림 105 열차무선 검측체계도 ····· 132
그림 106 열차무선 차상검측시스템 개발품 ····· 138
그림 107 열차무선 차상검측시스템 테스트 베드 ····· 139
그림 108 전계강도 및 주파수 검측장치 블록도 ····· 142
그림 109 전계강도 및 주파수 검측장치 GUI 표시 ····· 142
그림 110 핸드오버 및 불요파 검측장치 블록도 ····· 143
그림 111 핸드오버 절차 ····· 144
그림 112 제2008-26호 제88조 적용한 불요파 검측 ····· 144
그림 113 핸드오버 및 불요파 검측화면 ····· 145
그림 114 데이터 에러율 검측장치 블록도 ····· 146
그림 115 데이터 에러율 검측 GUI ····· 146
그림 116 통합서버 로직 구성 ····· 147
그림 117 통합서버 GUI 구성 ····· 148
그림 118 시뮬레이션 및 분석 환경 제공 ····· 149
그림 119 시뮬레이션 및 분석 환경 제공 ····· 149
그림 120 자동화 운영시스템 최종 연구목표 ····· 151
그림 121 MERMEC社의 상태평가 기능 ····· 152

그림 122 자동화 운영시스템 전체 개념도 ····· 153
그림 123 자동화진단 운영시스템 구성 ····· 154
그림 124 자동화 운영시스템 전체 개념도 ····· 158
그림 125 자동화진단 운영시스템 개념도 ····· 159
그림 126 자동화진단 운영시스템 S/W 아키텍처 ····· 160
그림 127 S/W 단위시스템 아키텍처 - APP Server ····· 161
그림 128 S/W 단위시스템 아키텍처 - RTA Server ····· 162
그림 129 S/W 단위시스템 아키텍처 - DB Server ····· 162
그림 130 S/W 단위시스템 아키텍처 - User APP ····· 163
그림 131 S/W Diagram - App Server ····· 164
그림 132 S/W Diagram - RTA Server ····· 164
그림 133 S/W Diagram - DB Server ····· 165
그림 134 S/W Diagram - User App ····· 165
그림 135 자동화진단 운영시스템 기능 구조도 ····· 166
그림 136 실시간 알람모듈 ····· 168
그림 137 자동화진단 운영시스템 H/W 아키텍처 ····· 169
그림 138 상세설계서-SW기능구조도 ····· 172
그림 139 사용자 UI 상세설계 ····· 173
그림 140 테이블 상세 설계서 ····· 173
그림 141 시제품 메뉴 구조도 ····· 174
그림 142 시제품 개발화면 ····· 174
그림 143 자동화진단 운영시스템 런처 화면 ····· 176
그림 144 기준정보 관리모듈 주요화면 ····· 176
그림 145 검측데이터 관리모듈 주요화면 ····· 177
그림 146 통계/분석 모듈 주요화면 ····· 178
그림 147 검측그래프 모듈주요화면 ····· 179
그림 148 자동화진단 적용 프로세스 ····· 180
그림 149 추이 분석 엔진 flow chart ····· 181
그림 150 단일 모델별 분석 흐름도 ····· 182
그림 151 추이분석 엔진 적용 모델 ····· 183
그림 152 추이분석 엔진 구조 ····· 183
그림 153 사용자 GUI 구성화면 ····· 184
그림 154 추이분석 시뮬레이션 ····· 185
그림 155 추이분석 엔진 결과 검증절차 ····· 185
그림 156 추이분석 엔진 검증 과정 ····· 186
그림 157 자동화 운영시스템 전체 개념도 ····· 187
그림 158 실시간 전송시스템 연결흐름 ····· 187
그림 159 실시간 전송시스템 구성도 ····· 189
그림 160 실시간 전송시스템 모듈 구성 ····· 191
그림 161 실시간 전송시스템 모듈별 주요 기능 ····· 192
그림 162 실시간 송신 모듈 ····· 193

그림 163 실시간 수신 모듈 ····· 193
그림 164 실시간 클라이언트 모듈-알람메세지 팝업화면(자동화진단 운영시스템內) ····· 194
그림 165 실시간 이상데이터 인터페이스 규약 ····· 195
그림 166 실시간 전송시스템 모듈 구성 ····· 196
그림 167 실시간 송신 모듈 ····· 196
그림 168 실시간 수신 모듈 ····· 197
그림 169 실시간 클라이언트 모듈 ····· 197
그림 170 실시간 송신 모듈 - 메인 화면 ····· 199
그림 171 실시간 송신 모듈 - 데이터전송 로그 화면 ····· 199
그림 172 실시간 송신 모듈 - 환경설정 화면 ····· 200
그림 173 실시간 수신 모듈 - 메인 화면 ····· 200
그림 174 실시간 수신 모듈 - 환경설정 화면 ····· 201
그림 175 실시간 클라이언트 모듈 - 알람 메시지 ····· 202
그림 176 실시간 클라이언트 모듈 - 실시간 데이터 조회 ····· 202
그림 177 위치정보 방송 시스템 메인화면 ····· 204
그림 178 차상 위치정보 방송 시스템 환경설정 화면 ····· 205
그림 179 실시간 전송시스템 현차시험 구성도 ····· 206
그림 180 실시간 전송시스템 차상서버 ····· 206
그림 181 실시간 전송시스템 무선통신 모뎀 ····· 207
그림 182 실시간 전송시스템 지상서버 ····· 207
그림 183 전차선 분야 차상 인터페이스 현차시험 ····· 209
그림 184 신호 분야 차상 인터페이스 현차시험 ····· 211
그림 185 무선통신 분야 차상 인터페이스 현차시험 ····· 212
그림 186 자동화진단 운영시스템 서버 구성 ····· 215
그림 187 실시간 전송시스템 차상 서버 구성 ····· 216
그림 188 실시간 전송시스템 무선통신장치 ····· 216
그림 189 KTX 차상 검측 시스템 ····· 217
그림 190 UM71C 궤도회로 블록 다이어그램 ····· 217
그림 191 F1 동조 유니트 ····· 219
그림 192 F2 동조유니트 ····· 219
그림 193 무절연 궤도회로 경계 ····· 219
그림 194 무절연접속부의 회로도 ····· 220
그림 195 필터의 역할을 수행하는 무절연접속부의 등가회로 ····· 220
그림 196 궤도회로의 등가회로 ····· 221
그림 197 궤도회로 정보전송의 원리 ····· 227
그림 198 연속정보안테나 정보취득 원리 ····· 227
그림 199 단락전류 레벨 생성원리 ····· 228
그림 200 전송선로에서 파동의 발생 ····· 228
그림 201 특성임피던스의 변화 곡선 ····· 230
그림 202 단락전류(Icc) 패턴의 변화 ····· 230
그림 203 보상에 따른 단락전류(Icc)의 비교 ····· 231

그림 204 토공구간 주파수별 단락전류 패턴의 변화 ····· 231
그림 205 교량구간 주파수별 단락전류 패턴의 변화 ····· 232
그림 206 터널구간 주파수별 단락전류 패턴의 변화 ····· 232
그림 207 단락전류의 최소 한계와 최대 한계 값 ····· 233
그림 208 궤도회로의 전기적 절연구간과 전송라인 구분 ····· 234
그림 209 TC2402 궤도회로의 등가회로 ····· 235
그림 210 TC2402 궤도회로의 구간별 거리 ····· 235
그림 211 인터페이스 화면 ····· 236
그림 212 개소별 파라미터 ····· 237
그림 213 시뮬레이션 및 데이터 분석 ····· 237
그림 214 파라미터 설정 ····· 238
그림 215 스마트 컨트롤 ····· 238
그림 216 데이터베이스 파일정보 및 데이터 파일 ····· 239
그림 217 데이터베이스 모니터링 ····· 239
그림 218 인터페이스 구성화면 ····· 239
그림 219 무결함 ····· 242
그림 220 전 구간 보상콘덴서 0㎌ ····· 242
그림 221 전 구간 보상콘덴서 10㎌ ····· 242
그림 222 전 구간 보상콘덴서 20㎌ ····· 242
그림 223 전 구간 보상콘덴서 22㎌ ····· 243
그림 224 전 구간 보상콘덴서 25㎌ ····· 243
그림 225 전 구간 보상콘덴서 30㎌ ····· 243
그림 226 C23지점 보상콘덴서 누락시 ····· 244
그림 227 C17지점 보상콘덴서 누락시 ····· 244
그림 228 C6지점 보상콘덴서 누락시 ····· 244
그림 229 C1지점 보상콘덴서 누락시 ····· 244
그림 230 C1, C2지점 보상콘덴서 누락시 ····· 245
그림 231 C1, C10지점 보상콘덴서 누락시 ····· 245
그림 232 C10, C11지점 보상콘덴서 누락시 ····· 245
그림 233 C10, C23지점 보상콘덴서 누락시 ····· 245
그림 234 C22, C23지점 보상콘덴서 누락시 ····· 246
그림 235 C1, C2, C3지점 보상콘덴서 누락시 ····· 246
그림 236 C1, C10, C23지점 보상콘덴서 누락시 ····· 246
그림 237 C4, C9, C16지점 보상콘덴서 누락시 ····· 246
그림 238 DB 누락시 ····· 247
그림 239 전송전압 0V ····· 247
그림 240 전송전압 1V ····· 247
그림 241 전송전압 2.5V ····· 247
그림 242 전송전압 3V ····· 248
그림 243 전송전압 4V ····· 248
그림 244 500Hz ····· 248

그림 245 1000Hz ····· 249
그림 246 1500Hz ····· 249
그림 247 2000Hz ····· 249
그림 248 3000Hz ····· 249
그림 249 3500Hz ····· 249
그림 250 C10 지점 보상콘덴서 누락시 단락전류 파형 ····· 250
그림 251 C11, C10, C9 지점 보상콘덴서 누락시 단락전류 파형 ····· 251
그림 252 C10 지점 보상콘덴서 누락시 단락전류 파형 ····· 251
그림 253 C11, C10, C9 지점 보상콘덴서 누락시 단락전류 파형 ····· 252
그림 254 사전회의 모습 ····· 252
그림 255 안전교육 모습 ····· 252
그림 256 단락전류 현장측정 방법 ····· 253
그림 257 단락전류(Icc) 측정모습 ····· 253
그림 258 단락봉과 휴대용계측기(VS4K) ····· 253
그림 259 문곡터널 구간 관구도 ····· 253
그림 260 금강2교 구간 관구도 ····· 254
그림 261 궁현1교 부근 토공구간 관구도 ····· 254
그림 262 갑천교 인근 분기부 구간 관구도 ····· 255
그림 263 장상터널 TC0627, 주파수 2040Hz, 콘덴서20개, 1365m ····· 261
그림 264 장상터널 TC0627궤도 시뮬레이션 결과 ····· 262
그림 265 장상터널 TC0630A, 주파수2400Hz, 콘덴서 9개, 680m ····· 262
그림 266 장상터널 TC0630A궤도 시뮬레이션 결과 ····· 262
그림 267 장상터널 TC0638B, 주파수 3120Hz, 콘덴서 6개, 696m ····· 263
그림 268 장상터널 TC0638B궤도 시뮬레이션 결과 ····· 263
그림 269 수신측 9번 콘덴서 접속불량(케이블 절손), 주파수 2400Hz ····· 264
그림 270 그림115에 대한 시뮬레이션 결과 ····· 264
그림 271 전차선 높이/편위 검측시스템 RBD ····· 275
그림 272 전차선 동적 높이/편위 측정장치에 대한 RBD ····· 275
그림 273 전차선 측정데이터 수집장치에 대한 RBD ····· 276
그림 274 전차선 영상 검측시스템에 대한 RBD ····· 277
그림 275 집전상태 고속 모니터링장치에 대한 RBD ····· 277
그림 276 전차선로 집전상태 데이터 수집장치에 대한 RBD ····· 277
그림 277 전차선 과하중지점 검측시스템에 대한 RBD ····· 279
그림 278 전차선 과하중지점 측정장치에 대한 RBD ····· 279
그림 279 과하중 측정 모니터링 수집/분석장치에 대한 RBD ····· 279
그림 280 전차선로 이미지 분석시스템에 대한 RBD ····· 280
그림 281 전차선로 시설물 측정장치에 대한 RBD ····· 281
그림 282 전차선로 시설물 결함분석장치에 대한 RBD ····· 281
그림 283 전차선로 열화상 검측시스템 RBD ····· 282
그림 284 전차선로 열화상 측정장치 RBD ····· 282
그림 285 전차선로 열화상 수집/분석장치에 대한 RBD ····· 282

그림 286 연속정보 검측장치에 대한 RBD ····· 286
그림 287 불연속정보 검측장치에 대한 RBD ····· 287
그림 288 ETCS 발리스 검측장치에 대한 RBD ····· 288
그림 289 보상콘덴서 검측장치에 대한 RBD ····· 289
그림 290 종합처리장치에 대한 RBD ····· 290
그림 291 전계강도 및 주파수 검측장치에 대한 RBD ····· 292
그림 292 핸드오버 및 불요파 검측장치에 대한 RBD ····· 293
그림 293 데이터 에러율 검측장치에 대한 RBD ····· 294
그림 294 3차원 거리측정기 정밀도 비교시험 ····· 302
그림 295 정밀도 시험 성적서 ····· 303
그림 296 공인기관 환경시험 성적서 ····· 311
그림 297 HEMU-430X: 검측장치 설치위치 ····· 312
그림 298 KTX-36호: 검측장치 설치위치 ····· 312
그림 299 신호분야 모의시험 환경 구성 ····· 317
그림 300 보상콘덴서 검측장치 환경시험(방사성 및 전자파 전도 내성) ····· 321
그림 301 보상콘덴서 검측장치 환경시험(정전기 및 진동 내구) ····· 321
그림 302 공인기관 환경시험 성적서(보상콘덴서 검측장치) ····· 321
그림 303 RACK 2 환경시험(방사성 및 전자파 방사) ····· 323
그림 304 RACK 2 환경시험(고온 및 저온) ····· 323
그림 305 공인기관 환경시험 성적서(RACK 2) ····· 323
그림 306 연속 및 불연속정보 검측장치 시험선 현장시험 ····· 324
그림 307 영업구간 현장시험 관내도 ····· 326
그림 308 연속 및 불연속정보 검측장치 영업구간 현장시험 ····· 327
그림 309 열차무선 분야 모의시험 환경 구성 ····· 331
그림 310 열차무선 차상검측시스템 정적시험 ····· 333
그림 311 열차무선 차상검측시스템 동적시험 ····· 334
그림 312 단위시험 HW 구성 ····· 339
그림 313 디블러링 알고리즘 ····· 381

# 제1장 연구개발 과제 개요

## 1절 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 개요

세계 각국은 국내외 장거리를 편리하고 빠르게 연결할 수 있는 교통 네트워크를 위해 고속열차를 통한 고속화를 추진하고 있으며, 우리나라도 고속화를 통한 속도경쟁력 강화를 위해 기존선 경춘선, 전라선 등을 고속화 개량하였으며 '15년 호남고속철도 및 '17년 개통 예정인 원주-강릉 고속철도 구축 등 철도교통의 속도향상을 위해 적극 노력하고 있다.

고속화를 뒷받침하기 위해서 고속열차만큼 효율적이며 신뢰성 있는 시설물 유지보수 방법이 필요하며, 이러한 효율적인 유지보수를 위해서 철도공사는 인력에 의존한 점검·측정 업무와 현장설비 등을 전산화, 자동화하여 전기철도 확충으로 증가하는 전기설비를 보다 과학적으로 관리하여 장애·사고를 예방하기 위해 전기설비 기술지원시스템을 구축하였다.

전기시설물 유지보수는 설비별 점검시기와 환경여건 등을 고려하여 시설물이 정상기능을 유지 할 수 있도록 하여야 하며, 점검결과 기능이 저하된 설비는 정상기능을 발휘 할 수 있도록 조치하여야 한다. 아울러 보유하고 있는 장비와 인력을 효율적으로 사용할 수 있도록 유지보수계획을 종합적으로 세워야 한다.

효율적인 유지보수를 위해서는 시설물의 현재 상태만을 진단하는 기존의 유지보수시스템을 대체할 시스템이 필요하다. 즉 기존의 철도운영기관들이 시행하고 있는 유지보수시스템은 인력에 의한 전기시설물의 현재 상태를 진단하여 그 값이 관리기준을 초과하면 보수하는 사후 보수 개념이었다.

이러한 사후 보수로는 전기철도 설비의 대폭적인 증가에 따라 방대한 시설물을 보수하기에는 비용적인 측면과 인력운용상 한계상황에 직면하게 되었다. 따라서 전기시설물의 상태변화 추이를 항상 모니터링하고 문제점을 자동 분석하여 전체적인 계획에 의해 유지보수를 수행하는 사전 예방 유지보수시스템이 절대적으로 필요하다.

예방유지보수 개념에서 가장 중요한 것은 신뢰성 있게 전기시설물의 상태변화를 예측하고, 계획을 수립하는 것이다. 최적의 작업계획 수립은 기술적, 경제적으로 매우 복잡한 상호관계를 가지고 있으며 방대한 양의 기술적, 경제적 데이터와 폭넓은 기술, 그리고 많은 유지보수의 경험적 지식이 필요하다. 그러므로 언제, 어디서, 어떻게 작업할 것인지를 결정하고, 최소의 비용으로 최적의 자원 배분을 결정하고자 하는 문제를 풀기 위해서는 방대한 Database나 최적화 S/W 등의 정보화기술(IT: Information Technology) 접목이 반드시 필요하다.

우리나라에서는 산업선 전철 개통 후 1976년 오스트리아에서 전철시험차를 도입하였다. 2004년 고속철도 개통을 계기로 이탈리아(MERMEC社)에서 종합검측차를 도입하여 전차선로, 궤도회로 등을 검측하고 있으나 기능 확장이나 고장에 따른 보수 시 많은 비용을 지불하는 등 운용상의 적잖은 문제점을 가지고 있다.

또한 고속철도 개통준비를 위한 전기시설물 품질을 확인하기 위해 영업용 고속차량인 KTX-36호에 차량, 궤도, 전기 등 검측장비를 설치하였다. 시스템 구축시 핵심장비는 국산화하지 못했으며, 검측 데이터의 분석에도 수동으로 데이터를 분석하는 등 유지보수 소속에서 검측데이터를 활용하는데 많은 어려움이 있다.

고속선 전기시설물은 고속열차가 운행하기 위한 핵심요인으로서 설비의 정상기능이 항상 확보되어야 하며 전기시스템의 상태를 24시간 감시하고 장애요소를 발견 및 통보하여 판단하는 과정을 실시간으로 처리할 수 있는 시스템을 구축하여야 한다.

따라서 기존 철도에서 시행되고 있는 설비 불량 시나 일정 주기에 의한 사후 점검방식은 자동화 진단 및 실시간 데이터 전송에 의한 예방 유지보수 방법으로 전환이 필요하다. 철도운영기관에서의 전기설비 유지보수에서 수집된 데이터 및 조치사항 등의 이력은 실제 현장에서 다양한 보수 및 장애발생을 통하여 얻어진 귀중한 데이터이며 이를 기초로 하여 고속철도 각종 전기시스템의 과거, 현재 상태를 통하여 미래의 장애 및 고장을 예측할 수 있다.

이는 사후처리에 따른 유지보수 시스템을 사전예방 개념의 시스템으로 전환하는 것으로 장애 및 사고를 미연에 방지하여 고속철도의 안전성과 고객의 신뢰를 높일 수 있다.




그림 1 연구개발 필요성

고속철도 차상 전기검측시스템 자동화 진단 기술개발은 유지보수 업무에 필요한 데이터 수집, 처리, 전송 및 진단의 전 과정을 자동화함으로써 유지보수 대부분을 인력이 아닌 자동화시스템이 담당하며 다양한 변수로 주어지는 정보의 수집, 처리, 전송 및 진단 관련 유지보수 업무를 계속 실시간으로 처리할 수 있다.

이에 따라 방대한 철도 시설들의 효과적인 관리 및 장애·사고의 발생우려가 있는 설비를 사전에 인지함으로써 유지관리 시스템의 효율성을 향상시킬 수 있으며, 이는 궁극적으로 고속철도의 고속, 고밀도 안전운영의 신뢰성 및 경제성을 크게 개선할 수 있다.

본 과제의 기술적, 경제적·산업적 및 사회적 측면에서의 연구개발 중요성은 다음과 같다.

○ 기술적 측면

우리나라도 고속화로 인해 전기설비의 전기적, 기계적 불안요소가 급증하고 있다. 현재 검측장치를 영업용 고속차량에 설치하여 설비상태를 모니터링하고 있지만 핵심기술의 국산화는 아직 미진한 실정이다. 유지보수 범위가 광범위하여 설비 결함 장애가 발생하면 동일설비에 대한 특별 점검을 시행하여 동일한 장애 발생을 방지하고 있다. 따라서 언제 어떻게 발생될지 모르는 장애상황에 실시간 대응하기 위해서는 검측차량을 통하여 설비를 실시간으로 상태를 진단하고 감시하여 실시간으로 유지보수를 실행해야 한다.

국내 검측장비 연구개발 동향은 무선통신 및 신호분야는 철도시장의 수요가 적어 연구개발을 준비 중이며 전차선분야는 한국철도기술연구원에서 카메라 등을 이용하여 전차선의 높이를 검측 하는 장비와 시설물 동적 검증을 위해 아크 검측 등의 연구가 수행되었으나 철도운영기관에서 필요한 상용화 제품은 개발되지 않아 철도 선진국처럼 효율적인 유지보수를 위한 연구개발이 시급한 실정이다.

향후 고속철도 차상 전기검측시스템은 유사 분야의 원격 자동화 유지관리 시스템 기술에도 파생되어 적극적으로 활용될 수 있다.

○ 경제적・산업적 측면

고속선 전차선로를 대상으로 열차의 고속운행에 따른 영향 분석에 대하여 국내에서 연구를 수행한 바 없으나 프랑스에서는 고속선 전차선로 보호를 위한 고속선 지상 상태감시 시스템을 기구축하여 운영 중에 있으며 프랑스, 독일 등이 연합하여 새로운 연구과제인 Europac project를 추진하여 고속선 전차선로의 사고 예방을 위한 지상 상태진단 기술연구를 수행하였다.

프랑스 철도청(SNCF)에서 운영하고 있는 IRIS 320, 동일본 철도회사의 east i 등의 검측차량 등은 비정상 데이터의 검출기능과 유지관리 관리서버와의 온라인 연계에 의한 장애 분류 및 진단 기능을 수행하고 있다.

현재 우리나라는 고속철도 종합검측 차량(ROGER-1000K)과 KTX-36호의 차상검측 시스템은 프랑스의 IRIS 320과 일본의 east i처럼 실시간 자동화 진단 기능을 갖추고 있지 않다. 또한 선진국 기술 개방과 이전이 불가함에 따라, 검측 데이터를 활용한 장애 분석 및 사전예방 시스템을 구축하기 위해서는 자체 개발이 불가피한 실정이다.

우리나라는 2004. 4월 고속철도 개통 후 만 10년 이상을 고속철도를 성공적으로 운영하고 있으나 이는 고속선 유지보수 소속에서 많은 인력을 투입하여 지속적으로 유지보수에 전념하고 있기에 가능하였다. 그러나 향후에는 차상 자동 검측시스템 등 철도선진국에서 운용중인 검측시스템을 자체적으로 개발하여 많은 인력에 의한 유지보수 점검은 지양되어야 할 것으로 사료된다.

경제적 비용측면에서 사전 예방 유지보수시 매우 적은 비용으로 동일한 유지보수 효과를 볼 수 있어 효율적인 고속철을 운영할 수 있도록 하며, 인력에 의존하지 않음으로 인력의 미숙에 따른 장애 발생 감지, 판단 및 통보의 미숙으로 인한 장애 및 사고 발생을 크게 줄일 수 있으며, 안정적인 품질의 고속선 유지보수 서비스를 제공할 수 있다.

○ 사회적 측면

고속선 전기시스템의 유지보수에 따른 핵심적인 기술 및 자료는 우리나라의 고속철도 기술 도입국인 프랑스에서 조차 접근이 허용되지 않으며 해외의 고속철도 전기 시스템의 유지관리 기술의 동향은 자동화 시스템으로 발전하는 추세이므로 국내 기술에 의한 자동화된 유지보수 시스템의 개발, 구축 및 운영은 이에 따른 전문인력 배양, 현장 운영을 위한 귀중한 자료 및 기술을 자체 확보함으로 이에 대한 자립과 함께 해외 진출에 유리한 발판을 마련하는데 가장 중요한 요인이다.

국내 철도산업이 이러한 변화에 적응하기 위해서는 저비용으로 고수준의 서비스를 제공할 수 있는 경쟁력을 갖추어야 하며, 이를 위해서는 기술개발을 통한 철도시설의 유지비용 절감이 중요한 과제가 되었다.

현재, 유지보수 인력에 의한 집단적인 보수방법은 인력, 시간손실 및 보수점검의 비효율, 비과학적인 관리방식으로써 변화가 필요하며, 철도 유지보수 운영의 선진화 관리체계 구축과 체계적인 철도 시설물 유지보수를 위하여 각종 시설물의 자동측정과 측정결과에 대한 Database화 및 통합관리 할 수 있는 개발의 필요성이 요구되고 있다.

## 2. 연구개발 최종 목표

○ 운행속도 350km/h에서 전차선로, 궤도회로, 무선통신 설비의 정상기능 유무를 **차상에서 검측 및 자동 진단할 수 있는 검측설비 국산화 개발**과 검측된 데이터 중 **긴급(알람) 데이터는 유지보수 소속으로 실시간 전송**하는 것을 최종 목표로 하고 있다.

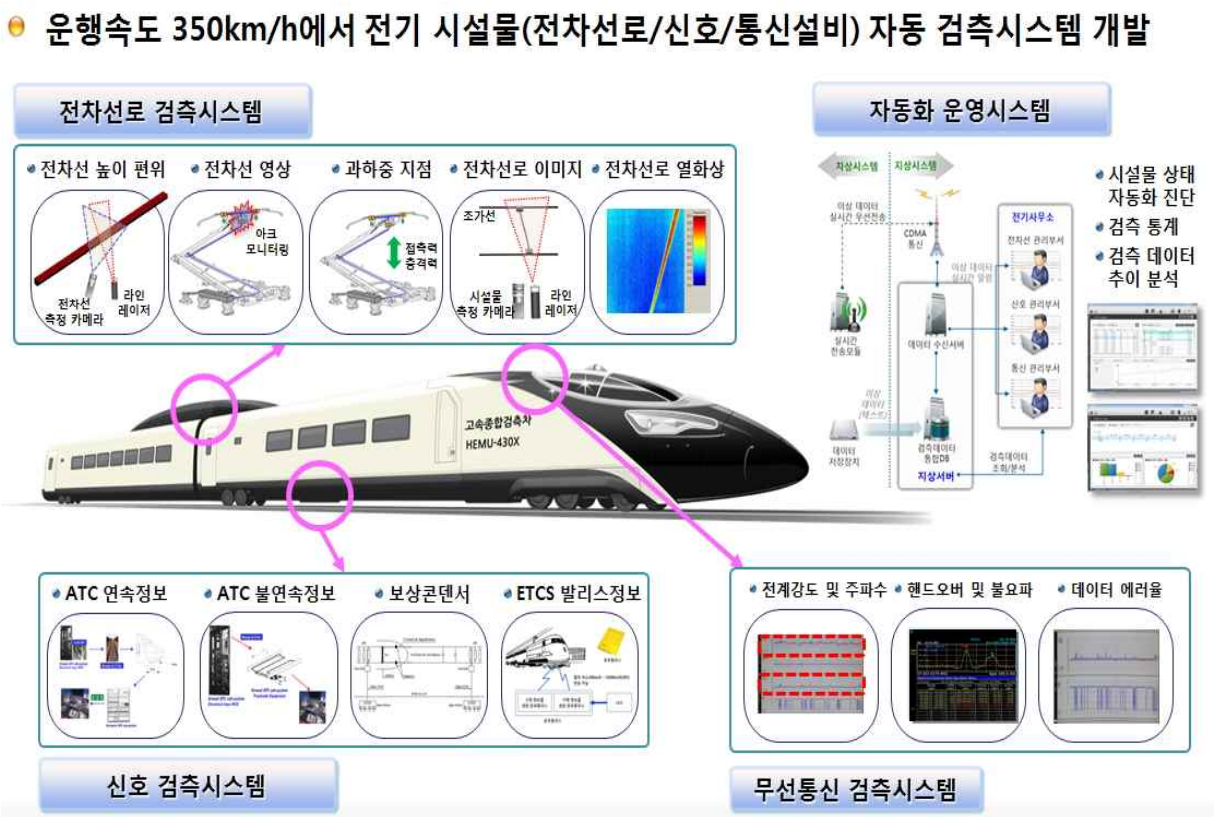



그림 2 연구개발 최종 목표

○ 분야별 차상검측시스템은 검측된 정보를 분석하여 설정된 기준 값을 벗어날 경우 알람 및 이벤트를 발생

○ 알람 및 이벤트는 상용 통신망을 이용하여 차상에서 지상으로 실시간 전송되며, 해당 정보는 유지보수 소속으로 전달할 수 있는 시스템 구축을 목표

○ 향후 검측시스템은 타(他)차량 및 고속종합차량에 탑재가 가능하며 영업차량의 운행시간에 제한 없이 시설물의 상태를 실시간 검측하고 자동화 진단함

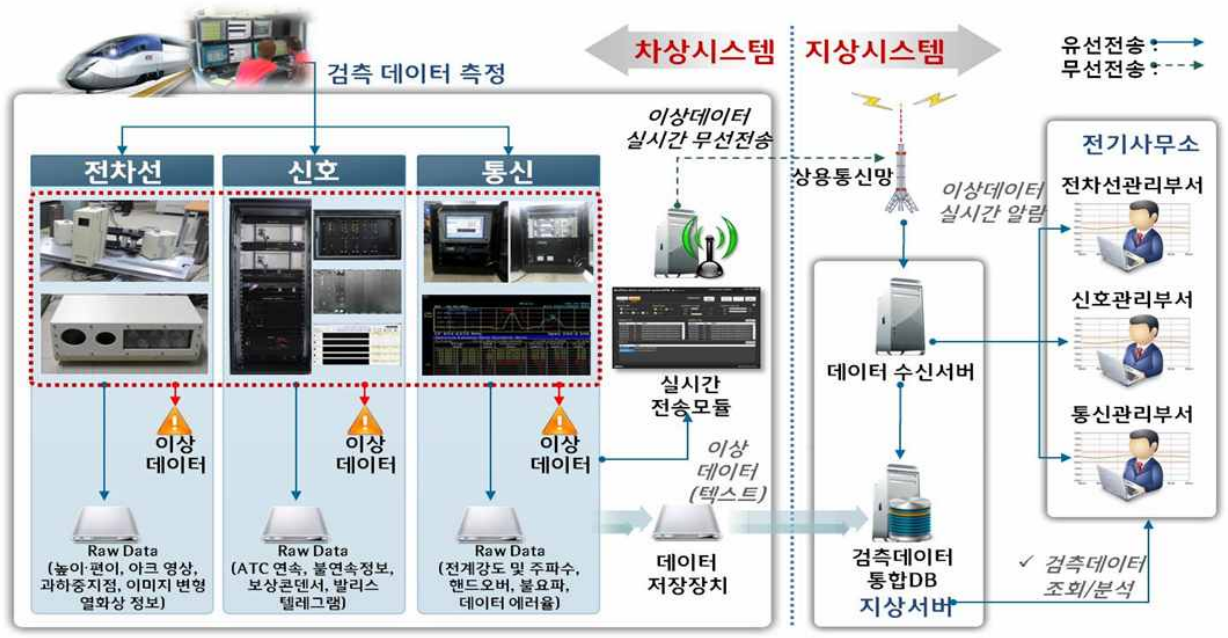



그림 3 이상 데이터의 실시간 전송을 위한 차상검측시스템 개념도

# 2절 연구개발 정의, 범위 및 특징

## 1. 연구개발 목표

| 구 분 | 목표(항목) | 상세항목 | 사양 및 설명 |
|---|---|---|---|
| 전차선로 차상 검측시스템 | 높이/편위 검측 | 정밀도(mm) | 높이:±5, 편위:±5 |
| | | 측정영역(mm) | 높이:4800~5400, 편위:-350~+350 |
| | 영상(아크) 검측 | 아크검출시간(ms) | 0.1 ms |
| | | 아크지점분석오차 | ±10m(미터) |
| | 과하중지점 검측 | 접촉력 샘플링속도 | 2 khz |
| | | 충격지점분석오차 | ±1m(미터) |
| | | 접촉력 측정오차 | ±10% |
| | 이미지 변형 검측 | 균압선 검출률 | 60% |
| | | 드롭퍼 검출률 | 70% |
| | | 연결금구 | 60% |
| | 열화상 검측 | 이상온도 검출률 | 90% |
| | | 온도 측정범위(℃) | -20℃ ~ +150℃ |
| | | 온도 측정오차(℃) | ±2℃ |
| | | 샘플링 영역(m) | 2m |
| 궤도회로 차상 검측시스템 | 연속정보 검측 | 메시지 | 28bit를 3.2sec이내 검지 |
| | | 레벨 | 유/무 |
| | 불연속정보 검측 | 메시지 | 80bit (service 8bits, 메시지A 28bits, 메시지B 28bits, Redundancy 16bits) 검지 |
| | | 레벨 | 125khz 주파수 레벨 검지 |
| | 보상콘덴서 검측 | 전류 레벨 | 유/무 |
| | ETCS발리스 검측 | Telepowering Frequency | 27.096MHz ~ 27.115MHz |
| | | Data Frequency | 4.24MHz |
| | | Total telegram length | 1023bits or 341bits |
| | | Data rate | 564.48Kbits/s |
| | 종합처리장치 | 신호분야 검측장치와의 인터페이스 | 100ms 주기로 정보전송 |
| | | 운영화면 표시 및 조작 | 검측정보를 화면에 표시 및 사용자 조작 인터페이스 지원 |
| 무신통신 차상 검측시스템 | 전계강도 및 주파수 검측 | 주파수 검측 | 800MHz 대역내의 사용주파수 기준 |
| | | 전계강도(RSSI)검측 | DAQ4(-95dBm이상) |
| | | 주파수 파형의 형태 | Spectrum Analyzer |
| | 핸드오버 및 불요파 검측 | 주파수 핸드오버 구간 정의 | 주파수 분석 및 Spectrum Analyzer |
| | | 불요파 검측 | Bandwidth 25khz와 Guard Band 검측 |
| | 데이터 에러율(BER) 검측 | RSID & Frequency | 열차무선설비의 정보와 주파수 검측 |
| | | BER | 검측구간 기준레벨 적용 맵핑기술 |
| | 통합서버 인터페이스 및 시뮬레이터기술 | 실시간 검측데이터의 Database 구현 | 주파수, RSID, BER, 핸드오버 검측데이터 관리기술 |
| | | 검측정보의 화면표시 및 실시간 Event 자동화 전송 | 실시간 검측데이터의 Law데이터 비교분석으로 Error를 관리 및 음영 구간, 페이팅 구간, 장비불량등 관리 기술 |
| | | DB 구현의 시뮬레이터 | DB 데이터의 비교분석 |
| 자동화 운영시스템 | 실시간 전송시스템 구축 | 기준정보관리 모듈 | 기준정보관리 |
| | | 실시간 전송모듈 | 전차선/신호/통신 이상 검측데이터 실시간 전송 모듈 |
| | | 사용자 알람 모듈 | 이상검측데이터 사용자 알람 |
| | 자동화 진단 운영시스템 | 기준정보관리 모듈 | 기준정보관리 |
| | | 검측데이터관리 모듈 | 전차선/신호/통신 검측데이터관리 |
| | | 검측데이터분석 모듈 | 전차선/신호/통신 검측데이터 조회 및 분석 |

## 2. 전차선로 차상검측시스템

### 가. 연구개발 정의

전기철도 구간 확대 및 고속화로 인한 전차선로 시설물의 위험요소 증가추세로 인하여 철도 유지보수 운영에 대한 선진관리체계 구축 및 철도시설물의 자동화진단 기술에 대한 필요성이 요구되고 있는 실정이다.

전차선로는 전기차량의 집전장치와 접촉하기 위한 “전차선”과 전차선을 지지하기 위한 “시설물(조가선, 드롭퍼, 균압선 등)”로 구성된다. 전차선로는 전기철도 시설규정에 따라 시공되어야 하며 최적의 상태로 유지해야 한다. 이를 위해 기존 인력중심의 유지보수체계를 지양하고 자동화 검측설비에 의한 유지보수체제 확립과 열차 안전운행 및 장애, 탈선사고를 사전에 방지할 수 있는 예방유지보수체계 구축이 필요하다.

철도 선진국의 경우 시설물 유지보수를 위해 19세기 말부터 간단한 검측차가 실용화되기 시작하였고, 우리나라는 1976년 오스트리아 PLASSER & THEURER사로부터 전차선 검측차 1대, 간이 검측장치 등을 도입 운용하여 왔으며, 고속철도 개통을 계기로 종합검측차(2004년 이탈리아 MERMEC 사로부터 도입)를 도입하여 고속카메라에 의한 비 접촉식 방식으로 전차선을 측정하고 있다.

그러나 이러한 도입장비의 핵심기술의 인프라 수준은 철도선진국에 의존하고 있으며 국내 환경에 적합한 전차선로 시설물의 자동화진단 기능이 부족하여 운영상 많은 문제점을 안고 있다. 또한 이러한 고가의 도입장비는 해당 검측차량 외에 다른 차량에는 설치 적용하기 매우 어려운 구조이다.

본 과제의 전차선로 차상검측시스템은 검측차량의 종류에 관계없이 설치가 가능하며 국내 환경에 적합한 전차선로 시설물에 대한 결함(변형, 파손)을 자동으로 진단하여 열차의 안전운행 및 장애사고를 사전에 방지하고 철도 전차선로 유지보수를 원활히 수행할 수 있는 필수시스템이다.

또한 본 과제로 개발되는 검측시스템을 고속차량에 탑재하여 영업차량의 운행시간에 제한없이 24시간 시설물의 상태를 실시간 검측하고 자동화 진단함으로써, 열차 운행종료 후 야간에 시행하는 검측에 비해 유지보수의 효율성과 즉시성을 보장하여 열차의 안전운행 및 장애사고 방지에 크게 기여할 것으로 기대한다.

### 나. 연구개발 범위 및 특징

전차선로 차상검측시스템의 요소기술로는 “전차선 기하학적 구조검측”과 “집전장치와 전차선간 충격지점 검측”, 그리고 “전차선로 시설물 상태진단” 등을 포함한다.

“전차선 기하학적 구조측정”은 고속카메라와 라인레이저로 구성된 머신비전을 통해 전차선의 높이, 편위를 검측하여 전차선의 기하학적 구조 결함을 분석한다.

“집전장치(팬터그래프)와 전차선로간에 기계적 충격지점 검측”은 카메라를 이용하여 팬터그래프 순간 변위량 및 가속도를 측정하여 전차선로의 기계적 충격지점을 분석하며, 팬터그래프 이선 시 발생되는 아크측정을 통해 전기적 충격지점을 분석한다.

“전차선로 시설물 상태진단”은 고속카메라와 집광조명으로 구성된 머신비전을 통해 전차선로 시설물 이미지를 수집한 후, 시설물(조가선, 드롭퍼, 연결금구)의 이상 유무를 분석한다.




그림 4 전차선로 검측시스템 구성

표 1 전차선로 차상검측시스템 연구개발 범위

| 검측 항목 | 세부 항목 | 세부 검측사항 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 전차선<br>높이/편위<br>검측장치 | 350km/h 고속열차<br>주행시 전차선<br>높이/편위 측정 | • 차량속도(km/h): 최대 350<br>• 측정범위<br>- 높이(mm): 4800~5400<br>- 편위(mm): ±350<br>• 정밀도(mm): ±5<br>• 측정속도(hz): 200 | |
| 전차선 영상<br>검측장치 | 팬터그래프 이선 시<br>아크발생 개소검측 및<br>아크발생 모니터링 | ▪ 아크검출<br>- 검출파장: 220~225nm<br>- 검출시간: 100㎲<br>- 아크지점분석오차: ±10m<br>▪ 전압/전류측정<br>▪ 판토모니터링: 60f/s | |
| 전차선<br>과하중지점<br>검측장치 | 팬터그래프와 전차선간<br>과하중지점 검측 및<br>충격지점 분석 | ▪ 과하중지점(충격지점)검측<br>▪ 충격지점 분석오차: ±1m<br>▪ 접촉력오차: ±20% | • 2차년도 카메라를 이용한 비접촉식 전차선로 과하중지점 검측으로 변경<br>• 유지보수 관점에서 전차선로상에 기계적인 충격지점 검측 |
| 전차선로<br>이미지<br>분석장치 | 고해상도 전차선로<br>시설물 이미지 취득 및<br>시설물 결함 분석 | ▪ 측정범위: 4800~8000mm<br>▪ 시설물분해능: 1mm<br>▪ 검출률: 드롭퍼(90%),<br>균압선(90%), 연결금구(80%) | |
| 열화상검측<br>장치 | 전차선로 이상온도 검측 | - 측정범위(℃) -20~150<br>- 측정오차(℃): ±2<br>- 이상온도 검출률(%): 90 | • 2차년도 신규추가 |

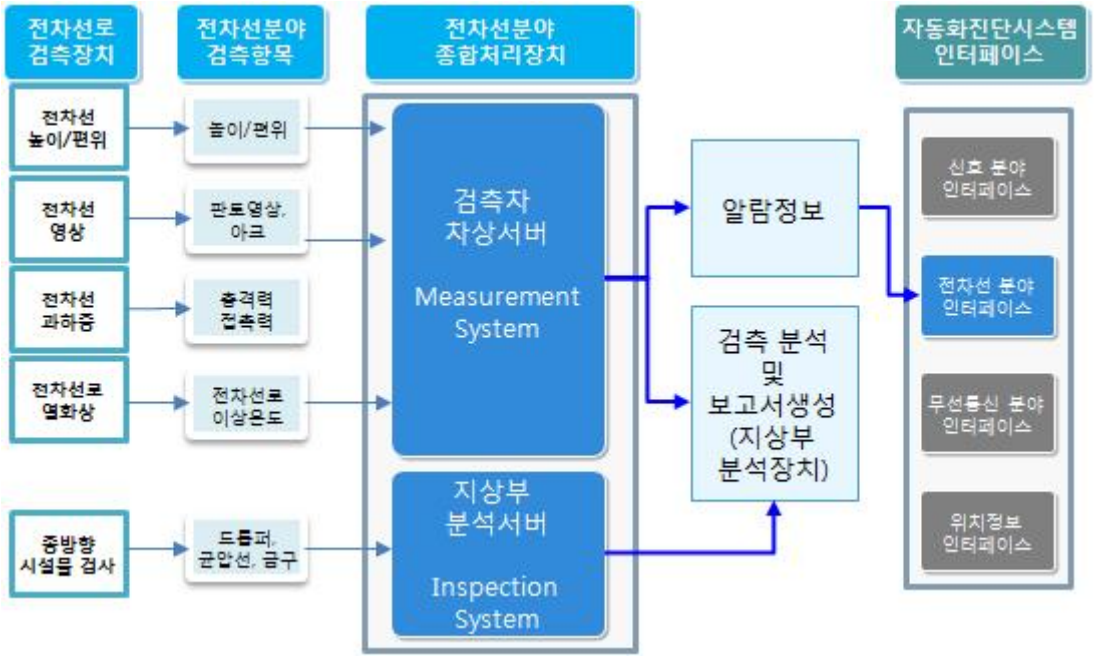



그림 5 유지보수 활용을 위한 전차선분야 차상검측시스템 체계

국내외 검측장치 및 본 과제의 목표의 상세 내역은 다음 표와 같다.

표 2 국내외 전차선분야 검측장치 대비 본 과제목표

| 전차선 분야 | | 국내 검측차량(속도) | | | 과제목표 | 국외 검측차량 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 검측 대상 | 전차선로 차상검측 시스템 구분 | KTX-36호 (300) | 전철 시험차 (120) | 종합 검측차 (170) | R&D 검측 (350) | IRIS 320 (320) | east i (270) |
| 전차선 | Overhead Line Geometry[1)] | X | 도입 | 도입 | 국산화 | O | O |
| | Contact Wire Wear[2)] | X | 도입 | 도입 | X | X | O |
| | Contact Wire Thermal Scan[3)] | X | X | X | X | O | O |
| 접촉력 | Contact Force Measurement[4)] | 국산품 | X | X | 국산화 | O | O |
| 아크 | Arc Measurement[5)] | 국산품 | X | X | 국산화 | O | O |
| | Current-Voltage[6)] | 국산품 | X | X | 국산화 | O | O |
| 모니터링 | Pantograph Monitoring[7)] | 국산품 | X | X | 국산화 | O | O |
| 시설물 상태진단 | LSI[8)] | X | X | X | 국산화 | O | X |
| | TSI[9)] | X | X | X | X | O | X |
| | Pole Detection | X | 국산품 | X | X | X | X |
| 실시간 검측 자동진단 기능 | | X | X | X | 국산화 | O | O |
| 위험데이터 전송 기능 | | X | X | X | 국산화 | O | O |

1) Overhead Line Geometry : 전차선 높이/편위 검측시스템.
2) Contact Wire Wear : 전차선 마모 검측시스템.
3) Contact Wire Thermal Scan : 전차선 열화상 검측시스템
4) Contact Force Measurement : 전차선-집전장치간 역학적 변위량 검측 시스템
5) Arc Measurement : 전차선-집전장치간 아크측정 시스템
6) Current-Voltage Measurement : 전차선-집전장치간 전압/전류 측정시스템
7) Pantograph Monitoring : 전차선-집전장치 간 모니터링 시스템
8) LSI(Longitudinal Structure Inspection): 드롭퍼, 조가선의 파손 및 단선 검지를 위한 비전 검측시스템 [실시간 공정부-시설물 영상 수집, 후공정부-시설물 영상이미지 결함분석]
9) TSI(Transverser Structure Inspection) : 가동브라켓 구성요소의 결함 검지를 위한 비전 검측시스템 [실시간 공정부-시설물 영상 수집, 후공정부-시설물 영상이미지 결함분석]

## 3. 궤도회로 차상검측시스템

### 가. 연구개발 정의

국내 고속선에 적용된 ATC(Automatic Train Control) 장치는 지상에서 열차 운전에 필요한 각종 정보(연속, 불연속)를 궤도회로 및 루프를 통해 차상으로 전송함으로써, 열차를 제어하며 열차의 안전 운행을 보장한다. 또한 유럽 철도 표준인 ERTMS/ETCS(European Rail Traffic Management System/European Train Control System) Level 1은 일반선(경부선, 호남선, 경춘선 등)에 도입하고 있으며, 차상신호방식의 ATP(Automatic Train Protection)로 열차제어시스템(TCS : Train Control System)을 구성하고 있다.

ETCS Level 1은 지상에 설치하는 선로변 전자장치(LEU : Lineside Electronic Unit)와 유로 발리스(고정 및 가변 유로 발리스)에 의해 선로 정보와 지상 신호기 정보를 차상으로 전송하며, 차상에 설치된 EVC(European Vehicle Computer)는 정적 속도 프로파일(Static Speed Profile) 및 동적 속도 프로파일(Dynamic Speed Profile)을 생성하여 해당 폐색구간에서 허용된 최고 속도에 대한 열차의 현재 속도를 감시한다.

이와 같이, 열차를 제어하는 시스템은 속도 향상과 더불어 보다 진보되고 안전한 선로변 장치들을 적용하고 있지만, 이러한 장치들을 정상적인 상태로 유지 및 관리하기 위한 검측설비의 구축은 미흡한 실정이다. 그러므로 열차의 안전한 운행을 지속적으로 보장하기 위해서는 지상에 설치된 장치들에 대한 유지보수 및 이들을 실시간으로 검측하고 고장에 대한 진단 및 예측이 가능한 새로운 검측 시스템의 개발이 필수적이다.

일반적으로 연속정보 및 불연속정보는 지상의 신호기계실에서 그 신호의 송신 레벨을 검측 할 수 있고, 보상 콘덴서의 이상 유무 및 ETCS 발리스의 동작 상태는 지상에서 검측 할 수 없다. 열차에 신호설비의 검측시스템을 설치하여 주행 중에 그 레벨을 측정하면, 신호설비의 정적인 상태가 아니라 동적인 상태를 KP(거리) 기준으로 측정 가능하다.

### 나. 연구개발 범위 및 특징

궤도회로 차상 검측시스템은 고속철도의 경우 350km/h 또는 일반철도의 경우 180km/h 이상 운행속도에서 궤도회로의 정상 기능 유무를 차상에서 실시간으로 진단할 수 있는 검측설비를 개발하며, 검측된 데이터는 향상된 유지보수를 위하여 “자동화 운영시스템”에게 실시간(이벤트 및 알람 정보) 또는 오프라인(원시 데이터)으로 전송한다.

궤도회로 차상 검측시스템은 고속철도 ATC 연속, ATC 불연속정보 및 보상 콘덴서 레벨을 검측하며 일반철도의 ETCS 발리스 검측을 포함하며, 이를 위해 검측시스템은 연속정보 검측장치, 불연속정보 검측장치, 보상콘덴서 검측장치 및 ETCS 발리스 검측장치로 구성한다.

연속정보 검측장치는 고속철도 TVM430 지상설비에 의해 전송되는 열차 속도제어와 관련한 궤도회로의 ATC 연속정보를 차상에서 수신 및 분석하며, 연속정보의 이상 유무를 검측 할 수 있는 기능을 제공한다. 연속정보 검측장치는 수신된 레벨 및 메시지를 정의된 정밀도 및 샘플링율에 따라 주기적으로 검측한다. 검측한 레벨 및 메시지는 단일 메시지 프레임으로 통합하여 종합처리장치의 데이터 컴퓨터로 전송함으로써, 해당 위치에서의 레벨과 메시지를 동기화시켜 화면에 표시하고 사용자로 하여금 정확한 판단을 할 수 있는 기능을 제공한다.

불연속정보 검측장치는 고속철도 TVM430의 사구간, 교량, 터널 위치 등의 정보를 차상에서 수신 및 분석하며, 불연속정보의 이상 유무를 검측 할 수 있는 기능을 제공한다. 불연속정보 검측장치는 수신된 레벨 및 메시지를 정의된 정밀도 및 샘플링율에 따라 주기적으로 검측한다.

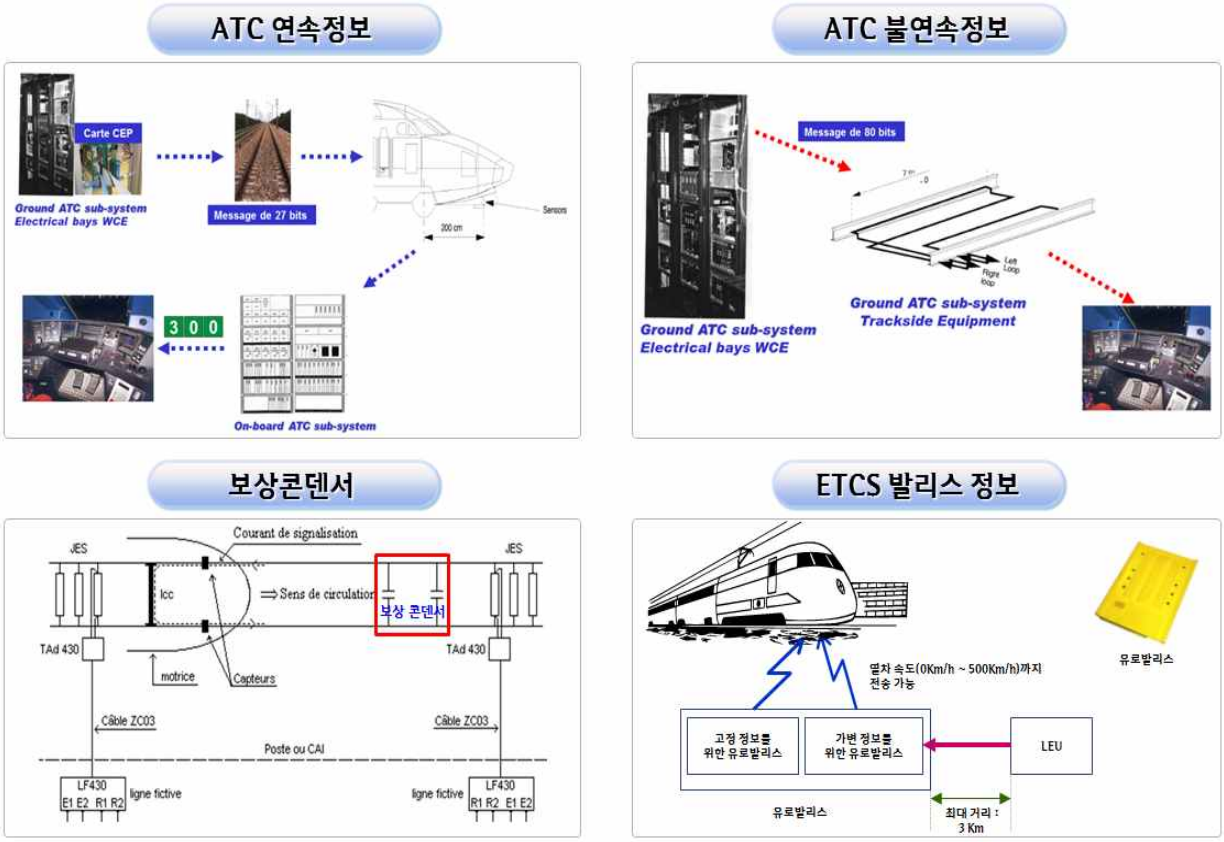



그림 6 궤도회로 차상검측시스템 검측 종류

보상콘덴서 검측장치는 궤도회로를 통한 연속정보의 장거리 전송을 위해 레일에 일정 간격으로 설치된 보상 콘덴서의 이상 유무를 검측 할 수 있는 기능을 가진다. 보상 콘덴서 검측장치는 차량 하부에 TX 루프와 RX 루프를 설치하여 지상에 설치된 보상 콘덴서를 검측한다.

ETCS 발리스 검측장치는 ERTMS/ETCS LEVEL 1 ATP를 구현하기 위해 지상에 설치된 발리스 (고정 및 가변)로부터 전송되는 정보를 수신 및 분석하며, 발리스 정보의 정상 수신 유무를 검측 하는 기능을 가진다.

표 3 궤도회로 차상검측시스템 연구개발 범위

| 검측 항목 | 세부 항목 | 세부 검측사항 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 고속선 | 연속 정보 | 메시지 및 신호레벨 검측<br>28Bit를 3.2sec 이내 검지 | |
| | 불연속 정보 | 메시지 및 신호레벨 검측<br>80Bit 검지 | |
| | 보상콘덴서<br>(레벨) | 신호레벨 검측에 따른 보상<br>콘덴서 유무 확인 | 대상설비의<br>신호 레벨을 측정함 |
| 일반선<br>(ETCS ATP) | ETCS 발리스<br>(고정/가변) | Telegram 유무 : 4.234MHz<br>(유효 범위 : ±282.64khz) | 유럽 표준<br>요구사양(SRS) 준수 |
| 종합처리<br>장치 | 신호분야 검측장치와의<br>인터페이스 | 100ms 주기로 정보 전송 | |
| | 운영화면 표시 및 조작 | 검측정보를 화면에 표시 및<br>사용자 조작 인터페이스 지원 | |
| | 검측 데이터에 대한<br>DB 구축 | 신호분야 검측 데이터 각각을<br>데이터베이스로 구현 | |

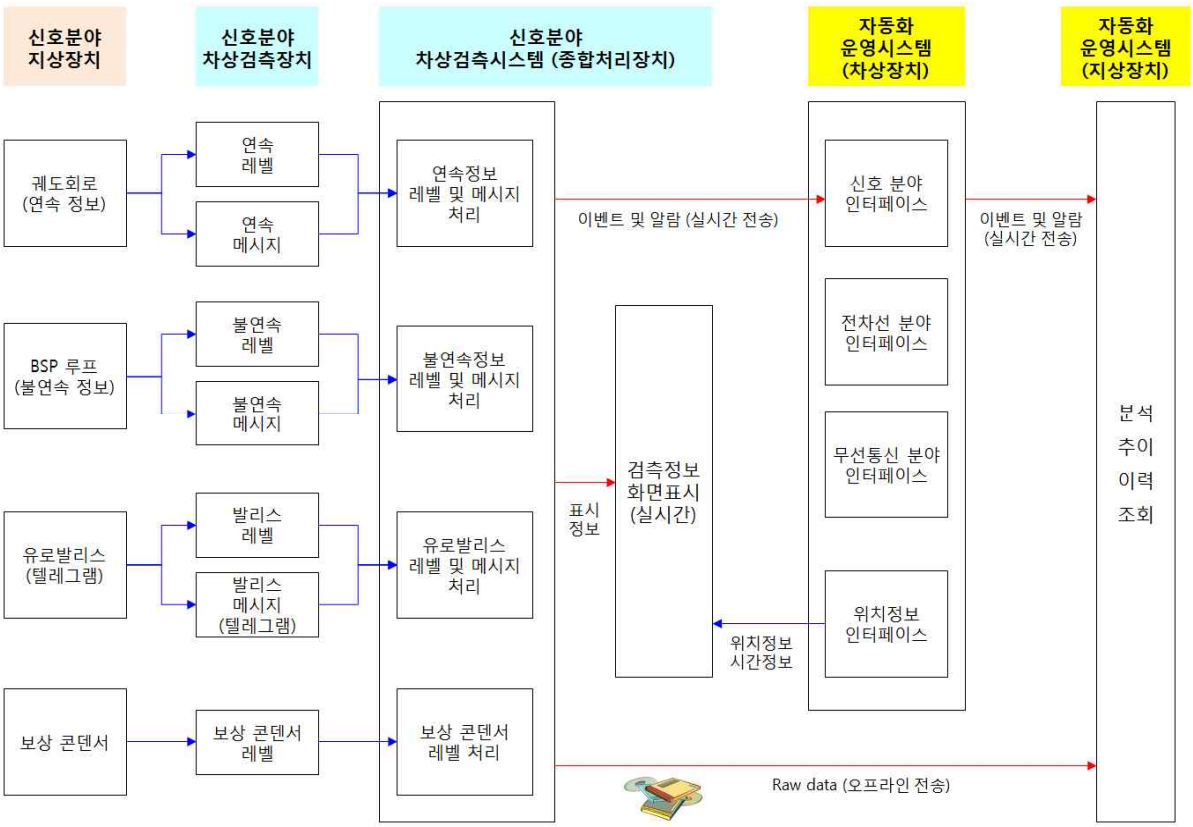



그림 7 유지보수 활용을 위한 신호분야 검측시스템 체계

국내외 검측장치 및 본 과제의 목표의 상세 내역은 다음 표와 같다.

표 4 국내외 신호분야 검측장치 대비 본 과제목표

| 궤도회로 분야 | | 국내 검측차량(속도) | | | 과제목표 | 국외 검측차량(속도) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 운행노선 | 궤도회로<br>차상검측시스템 구분 | KTX<br>-36호<br>(300) | 전철<br>시험차<br>(120) | 종합<br>검측차<br>(170) | R&D<br>검측<br>(350) | IRIS 320<br>(320) | east i<br>(270) |
| 고속철도 | 연속 정보 | ○ | × | 도입 | 국산화 | ○ | ○ |
| | 불연속 정보 | ○ | × | 도입 | 국산화 | ○ | ○ |
| | 보상 콘덴서 | 도입 | × | × | 국산화 | ○ | × |
| | 귀선 전류 | 도입 | × | × | × | ○ | ○ |
| 일반철도 | ETCS 발리스 | × | × | × | 국산화 | ○ | × |
| | 건널목 제어장치 | × | × | × | × | × | ○ |
| | ATS | ○ | × | 도입 | × | × | ○ |
| | 열차번호 검지장치 | × | × | × | × | × | ○ |

## 4. 무선통신 차상검측시스템

### 가. 연구개발 정의

국내 고속철도 무선통신 검측시스템은 기술표준에 따라 APCO-P25(북미)와 TETRA(유럽) 방식이 혼용되어 운영 중에 있다. 무선통신 검측시스템을 국내 환경에 맞도록 설계, 개발하여 안정적인 열차운행과 유지보수 등의 업무에 효율성 및 일관성을 제공하기 위한 시스템으로 외부요인에 의한 간접 및 장비의 특성저하, 노후화 또는 불량 등의 요인으로부터 철도 시설물 규정에 따라 항상 최적의 상태로 유지 관리해야 할 필요성이 있다. 철도 시설물을 항상 최적의 상태로 유지하기 위한 데이터베이스를 구축하고 과거와 현재의 무선통신 환경변화를 비교 분석 할 수 있으며, 철도 시설물에 대한 전파환경 관리도 가능하다. 고속열차 무선환경에서 서비스 중인 통신 방식에 대해 전파환경을 측정하여 시설물의 이상 유무 및 양질의 서비스 제공을 위한 전파환경에 대한 기준을 제공하며, 철도 시설물 전파환경의 핸드오버를 검측시스템에 적용하여 서비스 전파환경의 변화를 실시간 검측 효율적인 예방 유지보수를 지원한다. 본 연구 개발품은 열차무선 무선통신 검측에 대하여 최적화 되어 있으며, 국내 유일한 350km/h이상의 속도에서 열차무선 검측 환경을 제공한다.

향후 고속선은 호남선 및 수서-평택구간 등으로 확대 계획 추진 중에 있으며 확대되는 고속선과 열차의 신속, 정확, 안정성의 장점으로 인해 이용객수는 증가 추세에 있고 차량의 고속화 및 운행 횟수 증가로 인한 시설물의 유지보수 시간은 점차 줄어들고 있는 추세이다.

이러한 열차운행 추세에 열차의 고속 이동은 짧은 시간에 여러 기지국 및 중계국을 고속 이동하며, 핸드오버 과정을 거치게 되며 차상의 열차무선 설비에 안정적인 고속열차 무선환경의 제공을 위해 지상 설비에 대한 지속적인 검측과 유지보수가 선행되어야한다.

또한 고속 이동환경에 맞는 효율적이고 정확한 유지보수 데이터를 제공할 수 있는 새로운 검측 시스템의 개발이 필요하여 기존 검측 방식(전계강도 및 주파수, 데이터 에러율)을 분석 후 350km/h 이상의 속도에서 핸드오버를 고려한 검측 방법에 대해  연구개발을 진행하였다.

## 나. 연구개발 범위 및 특징

열차무선 차상 검측시스템은 350km/h 이상 운행속도에서 실시간 핸드오버를 검측 데이터에 적용하여 열차무선의 전파환경을 실시간으로 진단할 수 있는 검측설비를 개발하며, 검측된 데이터는 향상된 유지보수를 위하여 “자동화 운영시스템”에게 실시간(이벤트 및 알람 정보) 또는 오프라인(원시 데이터)으로 전송한다.

열차무선 차상 검측시스템은 고속선 전파환경인 APCO-25 표준의 경부1단계 구간과 TETRA표준의 경부2단계 구간의 전파환경을 검측하며, 이를 위해 전계강도 및 주파수 검측장치, 핸드오버 및 불요파 검측장치, 데이터 에러율 검측장치, 통합서버로 구성한다.

전계강도 및 주파수 검측장치는 실시간 핸드오버 정보를 이용하여 위치 및 실제 전파환경에 맞는 열차무선 전계강도 레벨 및 주파수 환경을 검측하여 차상에서 수신 분석하며, 이상유무를 검측할 수 있는 기능을 제공한다.

핸드오버 및 불요파 검측장치는 350km/h이상의 속도에서 실시간 핸드오버 정보를 검측하여 실제 전파환경 측정 데이터에 적용하며, 지상 시스템에 대한 정보를 터미널에서 취득 실시간 망에 대한 정보를 업데이트 한다. 무선설비규칙의 전파법 및 ITU-T 기준을 적용한 불요파 검측은 한국철도공사 열차무선망에 대한 전파환경 자원관리를 할 수 있는 데이터를 제공하며, 불요파로 인해 열차무선 서비스에 영향을 줄 수 있는 사항에 대하여 사전 유지보수 데이터를 제공한다.

데이터 에러율 검측장치는 열차무선에서 사용하는 데이터 채널에 대한 에러율을 검측함으로 해서 데이터 채널을 사용하는 차량제어 및 차량 고장정보 전송 서비스에 유지보수 데이터를 제공한다.

통합서버는 전계강도 및 주파수 검측장치, 핸드오버 및 불요파 검측장치, 데이터 에러율 검측장치를 통합 관리 제어 하며, 취합된 검측정보를 가공 및 GUI에 표출, 분석, 실시간 전송을 제어한다.

표 5 열차무선 차상검측시스템 연구개발 범위

| 검측 항목 | 세부 항목 | 세부 검측사항 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | RSSI(dBm)<br>고시 제 2013-17호 | -95dBm<br>지정주파수의 ±1.5 X $10^{-10}$ | |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | 전파경로손실 설계<br>수신기 수신임계강도 | 무선설비규칙 제3조<br>ITU-T SM.1045 | |
| 데이터 에러율 검측장치 | 전파경로손실 설계<br>DAQ 4 | DAQ4 4% | |
| 통합서버 인터페이스 및 시뮬레이터 개발 | 포트서버 및<br>인터페이스 장치 | 검측단위별<br>인터페이스 관리 및<br>시뮬레이터 | |

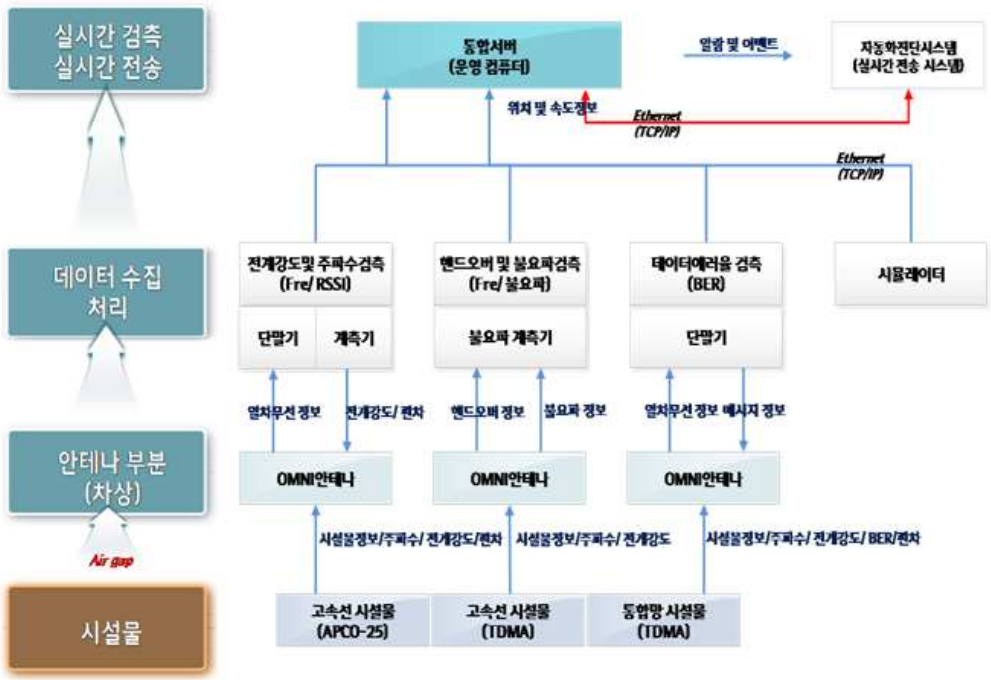



그림 8 유지보수 활용을 위한 열차무선 차상검측시스템 체계

국내외 검측장치 및 본 과제의 목표의 상세 내역은 다음 표와 같다.

표 6 국내외 열차무선분야 검측장치 대비 본 과제목표

| 열차무선 분야 | | 국내 검측차량(속도) | | 과제목표 | 국외 검측차량(속도) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 검측대상 | 시스템 구분 | KTX-36호 | 종합 검측차 | R&D 검측 | IRIS 320 | east i |
| 검측속도 | (단위: km/h) | 300 | 160 | 350 | 320 | 270 |
| 검측항목 | 어플리케이션 인터페이스 | × | × | ○ | × | × |
| | 전파전계강도 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 기지국 식별 | ○ | × | ○ | ○ | ○ |
| | 데이터 에러율 | ○ | × | ○ | × | × |
| | 불요파 검측 | × | × | ○ | × | × |
| | GUI 통합 SW | ○ | × | ○ | × | × |
| | 커버리지 측정 | ○ | × | ○ | ○ | ○ |
| | HAND OVER 검측 | × | × | ○ | ○ | ○ |
| 실시간 검측 자동화 진단기능 | GUI | ○ | ○ | ○ | × | × |
| | 전계강도수치화 | ○ | ○ | ○ | × | × |
| | 통계분석 SW | ○ | × | ○ | × | × |
| | 위험데이터 전송 | × | × | ○ | × | × |

## 5. 자동화 운영시스템

### 가. 연구개발 정의

‘자동화 운영시스템’은 전차선, 신호, 무선통신분야의 차상 검측장치에서 수집한 모든 데이터를 통합 관리하며 이를 통계적 기법을 이용하여 분석해 유지보수 담당자에게 필요한 데이터를 제공한다.

운영 시스템은 차상의 전차선/신호/무선통신 각각의 검측 시스템에서 저장된 데이터를 자동화 운영시스템에서 정의한 표준화된 포맷의 데이터로 변환하여 통합된 검측데이터로 저장한다.

시스템은 저장된 데이터에 고유한 아이디를 부여하여 이를 지속적으로 관리해 데이터를 축적시키고, 누적된 데이터들은 유지보수업무 담당자에게 분석된 정보를 제공하기 위해 다양한 통계분석 기법을 활용하여 가공한다.

저장된 데이터와 분석된 결과에 대한 데이터는 모두 그래프의 형태로 사용자에게 제공된다. 사용자에게 텍스트형태로 제공되는 데이터보다 직관적으로 인식하고 분석할 수 있도록 해 유지보수 업무의 효율성을 높일 수 있도록 한다.

차상에서 전기시설물 검측할 때 발생한 이상데이터는 실시간으로 지상 사용자에게 전달하고 알람을 발생시켜 이상 구간과 시설물에 대해 현장 유지보수 담당자에게 전달해 즉각적인 조치가 이루어지도록 한다. 이를 통해 열차 운행의 안전성을 확보하도록 한다.

차상에서 발생한 검측데이터는 표준화된 포맷으로 통합 데이터베이스에 누적된다. 누적된 데이터를 기반으로 다양한 통계적 기법을 활용하여 시설물의 상태를 진단하며 상태변화의 추이를 분석해 유지보수 담당자에게 정보를 제공한다. 이를 기반으로 사후 유지보수 체계에서 사전 유지보수 체계로 전환하기 위한 기반 시스템을 구축 가능하도록 한다.

### 나. 연구개발 범위 및 특징

‘자동화 운영시스템’은 차상 검측데이터를 모두 통합하여 관리하는 기능을 수행해야 한다. 이를 위해서는 전차선/신호/무선통신 검측데이터의 형태를 분석하고 가장 적합한 포맷으로 변환하며 이를 데이터베이스에서 처리 가능하도록 해야 한다.

누적된 데이터를 통계기법을 사용해 활용하기 위해서 검측 하는 시설물의 형태와 속성, 특성을 인지해야 하며 검측데이터의 형태를 사전에 파악하여 가장 적절한 분석 기법을 적용할 수 있어야 한다.

차상에서 발생한 실시간 이상데이터를 지상으로 전송하기 위해서 차상에 설치되어 있는 각각의 검측장비와 사전에 정의한 인터페이스 규약에 따라 통신이 가능해야 한다. 또한 이를 동시에 취합하고 처리할 수 있는 시스템이 구축되어야 하며 이를 지상으로 전송하기 위한 무선통신 기술을 확보해야 한다.

표 7 자동화 운영시스템 개발범위

| 구 분 | 목표(항목) | 상세항목 | 사양 및 설명 |
|---|---|---|---|
| 고속철도 전기시스템 자동화진단 기술 개발 | 자동화진단 운영시스템 구축 | 기준정보관리 모듈 | 기준정보관리 |
| | | 검측데이터관리 모듈 | 검측데이터 등록 및 통합 관리 |
| | | 통계/분석 모듈 | 검측결과의 통계/분석 |
| | | 검측그래프 모듈 | 검측데이터 시각화 |
| | | 추이분석 모듈 | 시설물 상태추이 분석 |
| | 실시간 전송시스템 구축 | 기준정보관리 모듈 | 기준정보관리 |
| | | 실시간 전송모듈 | 이상 검측데이터 실시간 전송 모듈 |
| | | 사용자 알람 모듈 | 이상검측데이터 사용자 알람 |
| | 통합 데이터베이스 구축 | 검측데이터 통합 데이터베이스 | 검측데이터 통합 관리 |
| | | 운영서버 구축 | 자동화 운영시스템 운영서버 구축 |

국내외 검측장치 및 본 과제 목표의 상세 내역은 다음 표와 같다.

표 8 국내외 자동화 운영시스템 대비 본 과제목표

| 자동화진단 분야 | | 국내 검측차량(속도) | | | **R&D 과제** |
|---|---|---|---|---|---|
| 검측대상 | 시스템 구분 | KTX-36호 | 전철 시험차 | 종합 검측차 | **차상전기검측시스템 자동화진단기술** |
| 검측항목 | 위험데이터 전송 | X | X | X | O |
| | 예측진단 | X | X | X | O |
| | 검측데이터 변화추이 | X | X | X | O |
| 데이터 관리 | 검측데이터 시각화 | O | X | O | O |
| | 데이터 통합 관리 | X | X | X | O |

# 3절 국내외 기술개발 현황

## 1. 국내기술 및 산업동향

우리나라는 고속선에 검측차량을 운행하고 있으나, 실시간 자동화 진단기능은 갖추지 않고 차상검측데이터를 수동으로 분석하고 결함개소를 수동으로 진단하고 있다. 고속철도 운행을 위한 고속선 및 전기 시스템의 인프라 구축시 적용환경(궤도특성, 주파수특성, 전력시스템과 면역성 등)에 따른 요인을 바탕으로 하는 최적의 유지보수 시스템 구축을 위한 연구를 수행하는 것이다.

고속철도 유지보수를 위한 기술 가운데 일부 기술에 대하여는 국산화가 진행 중이나, 핵심 관련기술수준 및 관련기술의 인프라 수준은 아직 미진한 형태이며, 자동화 진단을 위한 기초 연구를 수행중이다.

향후 다양한 패턴의 검측 데이터와 검측 전문가의 경험을 바탕으로 패턴인식 진단기법의 원리를 적용시켜 결함이 있는 데이터와 결함이 없는 데이터를 분류하고 외부 모델링 작업에

의한 결함의 위치를 정확히 판단할 수 있는 자동화 진단 시스템을 개발하여 차상검측을 이용한 전기시스템 유지보수의 최적 운용이 필요한 상황이다.

국내의 전차선로 유지보수는 인력작업에 의함으로 시설물 유지보수비중이 가장 크며, 그 중에서도 인건비가 차지하는 비중이 가장 크다. 또한 작업계획의 수립에 있어서도 현장 작업자의 경험에 의존하는 경향이 많았다. 따라서 유지보수의 경험을 개인이 보유하게 되어 업무의 연속성이 부족하고, 구역별 유지관리 수준의 차이도 존재하고 있다.

1973년 산업선에 전기철도가 개통된 후 1976년 오스트리아에서 최초로 전철시험차를 도입하여 검측을 시행했으며, 1996년 오스트리아에서 디젤동력차량을 구입한 후 2003년부터 전차선 검측설비를 탑재하여 현재까지 검측을 시행하고 있다. 또한 2004년 고속철도 개통을 계기로 이탈리아에서 종합검측차(ROGER-1000K)와 영업용차량인 KTX-36호를 일부 개조하여 고속열차 운행구간의 시설물을 검측하였다.

전철시험차는 독립된 디젤동력차량으로 2004년 이탈리아(테크노감마)에서 도입된 전차선 검측설비를 탑재하여 최고 120㎞/h의 속도로 운행하면서 전차선의 높이, 편위, 마모를 측정하고 있으나 제작사로부터 검측설비 핵심기술이 이전 되지 않아, 제작사 기술진에 의해 프로그램 수정 및 장비 수리에 많은 비용을 지불하는 등 운용상의 적잖은 문제를 가지고 있다.



그림 9 전철시험차 1호



그림 10 전철시험차 장비 수리(외국 기술자)

종합검측차(ROGER-1000K)는 2004년 한국철도시설공단에서 구매하여 2005년 12월 한국철도공사에 가인계한 검측차량으로 독립된 견인동력(디젤엔진)으로 최고속도 170km/h, 운행속도 160km/h로 선로를 운행하며 전기(전차선, 무선통신, 궤도회로) 및 시설(궤도)분야의 검측을 시행한다.

차량과 전차선 및 궤도검측장비는 이탈리아(MERMEC)에서 도입되었으며 무선통신은 미국(MOTOROLA)에서 신호 검측설비는 국내(LS산전)에서 구축하여 운행하고 있다.

종합검측차량(ROGER-1000K)은 고속선 구간을 월 1회 검측하고 있으나, 검측 전용프로그램이 차상에만 설치되어 있어 운행 종료 후 그래프 등의 검측결과가 종이(paper) 형태로 출력되어 지상(유지보수 사업소)에서 데이터를 분석하는데 어려움이 있으며, 전차선 마모 측정값의 오류가 발생하는 BLACK WIRE[10] 현상으로 유지보수 데이터의 신뢰성이 저하되었다.

10) 전차선로 건설 및 교체한 후 사용되지 않은 전차선(홈붙이형) 마모 측정에 오류가 생기는 현상



그림 11 코레일 종합검측차(ROGER-1000K)



그림 12 서울메트로 종합검측차(ROGER-600)

KTX-36호는 앞서 언급한바와 같이 2004년 고속철도 시설물 품질을 확인하기 위해 차량, 궤도, 전기분야 검측장비를 탑재하고 300㎞/h의 속도로 운행하면서 검측을 시행했으나 단순한 모니터링 수준으로 유지보수 소속에서 검측데이터를 활용하는데 불충분하다.

국내에서 운행 중인 검측차량은 프랑스 등 철도 선진국과 같이 전기시설물의 상태와 특성을 실시간 측정하고 자동 전송하는 기능이 없어 시설물의 정상기능을 신속하게 유지하는데 어려움이 많다. 따라서 현재 철도운영기관에서 시행되고 있는 일정 주기에 의한 사후 점검방식에서 실시간 자동 검측시스템의 의한 사전 예방유지보수 개념으로 전환하는 것이 시급히 요구된다.

## 가. 전차선로 분야 검측시스템

국내 철도 시설물 유지보수를 위한 전차선로 차상검측 시스템의 기술 중에 일부 기술은 국산화가 진행 중이나, 핵심기술 수준은 철도 선진국에 의존하고 있는 형태이다. 국내에는 이탈리아(Tecnogamma社, MERMEC社)에서 도입된 전철시험차, 종합검측차에서 전차선 기하학적 구조인 높이, 편위, 마모를 측정하고 있으나, 검측차 속도가 170km/h미만에서의 정적인 전차선의 높이/편위/마모만을 측정하고 있어 고속선 300km/h 고속운행구간에서의 동적인 전차선의 기하학적 변화 등을 예측하기 어렵다.

또한 KTX-36호에서는 집전장치와 전차선간의 동특성을 측정하기 위한 접촉력/충격가속도 측정시스템과 아크 모니터링 시스템을 운용하고 있으나, 제작사의 자체 평가기준에 따라 접촉력과 아크를 평가하고 있어 신뢰성이 부족하다.

전차선로 시설물 상태진단을 위한 검측시스템은 국내에는 아직 구축되지 않고 있어 야간에 전차선로 단전 후 유지보수차를 타고 작업자가 시설물을 점검하거나 고속열차가 운행하는 주간에도 점검주기에 따라 작업자가 망원경 등을 이용하여 육안점검으로 시설물 상태를 진단하고 있다. 현재 전차선로 시설물 상태진단은 현장 작업자의 경험에 의존하는 경향이 많고 유지보수의 경험이 쌓인 자료를 개인이 보유하게 되어 업무의 연속성이 부족하고, 구역별 유지관리 수준의 차이도 존재하고 있다.

국내에 도입에 현재 운용중인 전차선로 분야 검측시스템은 다음과 같다.

표 9 국내 전차선로 차상검측시스템 검측항목

| 구분 | 전철시험차 | | 종합검측차 | | KTX-36호 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 속도 | 110km/h | | 170 km/h | | 300km/h | |
| 차량 구성 | 1량: 전차선 측정<br>- 높이, 편위, 마모<br>- 정밀도: ±5mm<br>- 영역카메라 적용 | | 1량: 전차선 측정<br>- 높이, 편위, 마모<br>- 정밀도: ±5mm<br>- 라인카메라 적용 | | -1호: 접촉력&아크측정치<br>-18호: 아크측정 | |
| 측정 구간 | 일반선 구간 측정 | | 고속선 구간 측정 | | 고속선 구간 측정 | |
| 검측 항목 | 전차선높이/편위(정적) | ○ | 전차선높이/편위(정적) | ○ | 전차선 높이/편위 | × |
| | 전차선 마모 | ○ | 전차선 마모 | ○ | 전차선 마모 | × |
| | 전차선 열화상 | × | 전차선 열화상 | × | 전차선 열화상 | × |
| | 접촉력 | × | 접촉력 | × | 접촉력 | ○ |
| | 아크 | × | 아크 | × | 아크 | ○ |
| | 전압/전류 | × | 전압/전류 | × | 전압/전류 | ○ |
| | 팬터그래프 모니터링 | × | 팬터그래프 모니터링 | × | 팬터그래프 모니터링 | ○ |
| | 시설물진단(LSI, TSI) | × | 시설물진단(LSI, TSI) | × | 시설물진단(LSI, TSI) | × |
| | 실시간 자동화진단 | × | 실시간 자동화진단 | × | 실시간 자동화진단 | × |
| | 위험데이터 전송 | × | 위험데이터 전송 | × | 위험데이터 전송 | × |

### (1) 전철시험차(이탈리아-테크노감마)

전철시험차는 차탑에 영역카메라와 라인레이저와 반사경등으로 구성된 전차선 측정장치를 탑재하고 있으며, 기본 검측사양은 다음과 같다.

표 10 전차선 측정장치 사양

| 검측 항목 | 사양 |
|---|---|
| 검측차량 속도 | 110 km/h |
| 측정항목 | 정적 높이/편위/마모 |
| 측정범위 | 높이: 4700mm ~ 5700mm / 편위: ±400mm |
| 측정 정밀도 | 높이: ±5mm / 편위: ±5mm / 마모: ±0.1mm |

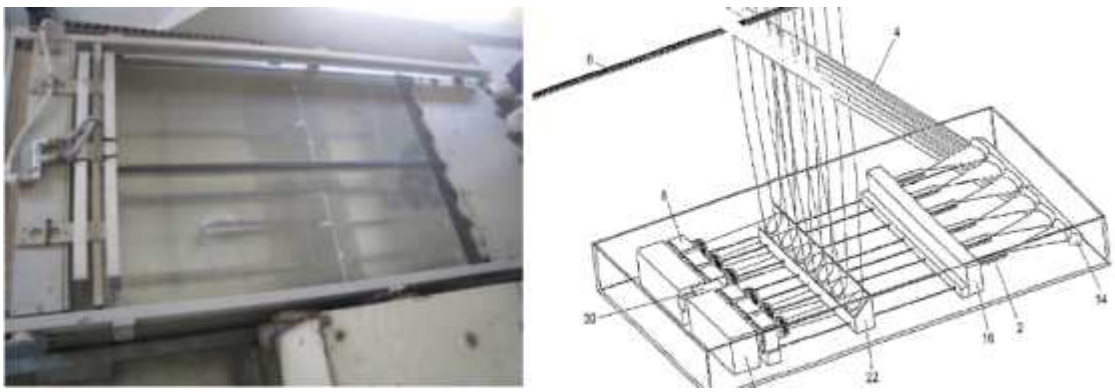


그림 13 차탑 전차선 측정장치 구조

### (2) 종합검측차(이탈리아-MERMEC社)

2004년 도입된 종합검측차는 독립된 디젤엔진으로 최고속도 170km/h, 운행속도 160km/h에서 정적인 전차선 높이/편위/마모 검측을 수행하나, 300km/h 이상에서 동적인 전차선의 기하학적 변화량은 검측할 수 없다. 종합검측차는 고속선 구간을 월 1회 검측하고 있으나, 검측 전용프로그램이 차상에만 설치되어 있어 운행 종료 후 그래프 등의 검측결과가 종이(paper) 형태로 출력되어 지상(유지보수 사업소)에서 데이터를 분석하는데 어려움이 있다.

종합검측차(ROGER-1000K)는 차탑에 레이저와 라인카메라로 구성된 전차선 측정장치를 탑재하고 있으며, 라인카메라와 레이저간에 기하학적 구성에 대한 삼각측정기법을 적용하여 전차선 높이 편위를 측정한다. 전차선 측정장치의 사양은 다음과 같다.

표 11 전차선 측정장치 사양(ROGER-1000K)

| 검측 항목 | 검측사양 |
|---|---|
| 운행최고 속도 | 170 km/h(160㎞/h) |
| 측정항목 | 정적 높이/편위/마모 |
| 측정범위 | 높이: 4200mm ~ 5700mm / 편위: ±400mm |
| 측정 정밀도 | 높이: ±5mm / 편위: ±5mm / 마모: ±0.1mm |

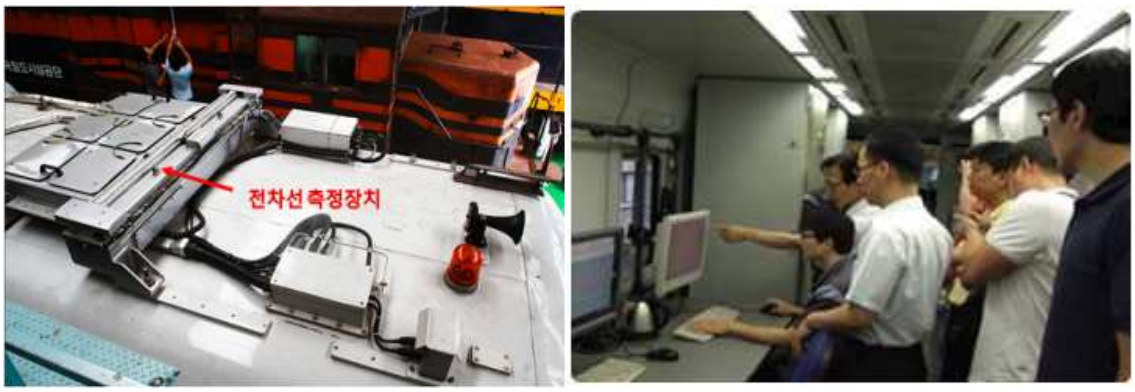



그림 14 전차선 측정장치(ROGER-1000K)

### (3) KTX-36호

현재 KTX-36호에서는 집전장치와 전차선간의 동특성을 측정하기 위한 접촉력/충격가속도 측정시스템과 아크 모니터링 시스템을 운용하고 있으나, 제작사의 자체 평가기준에 따라 접촉력과 아크를 평가하고 있어, 국제 표준규격[EN50317]에서 제시한 평가기준 기준에 비해 신뢰성이 부족하며 실시간 자동화진단이 어렵다.




그림 15 차탑 아크 검측장치(좌) 전차선 모니터링 장비(우)

표 12 전차선 측정장치 사양(KTX-36호)

| 분 야 | 항목 | 사양 |
|---|---|---|
| 아크 모니터링 시스템 | 아크검출대역(nm) | 220~320 |
| | 아크검출시간(ms) | 0.5 |
| | 실시간 자동화 | 없음 |
| | 이선율 평가 | 자체기준 |
| 접촉력/충격가속도 측정시스템 | 샘플링속도(khz) | 2 |
| | 실시간 자동화 | 없음 |
| | 집전품질 평가 | 자체기준 |

KTX-36호 팬터그래프 접촉력·충격가속도 측정시스템은 시설물의 사용기간 경과 및 고속열차 운행횟수 증가에 따라 발생하는 전차선의 변화상태를 팬터그래프 사이에 작용하는 접촉상태와 기계적인 충격을 물리적이고 체계적인 데이터로 감지하여 안전성을 검증하기 위한 검측시스템 구축하였다.

측정된 데이터를 열차 내에 설치되어있는 검측용PC에 송수신함에 있어 25[kV] 가압 부분과 검측시스템간의 충분한 절연상태를 유지할 수 있도록 텔레메트리를 이용한 무선 LAN방식을 적용하여 검측데이터를 전달하는 시스템을 적용하였다.

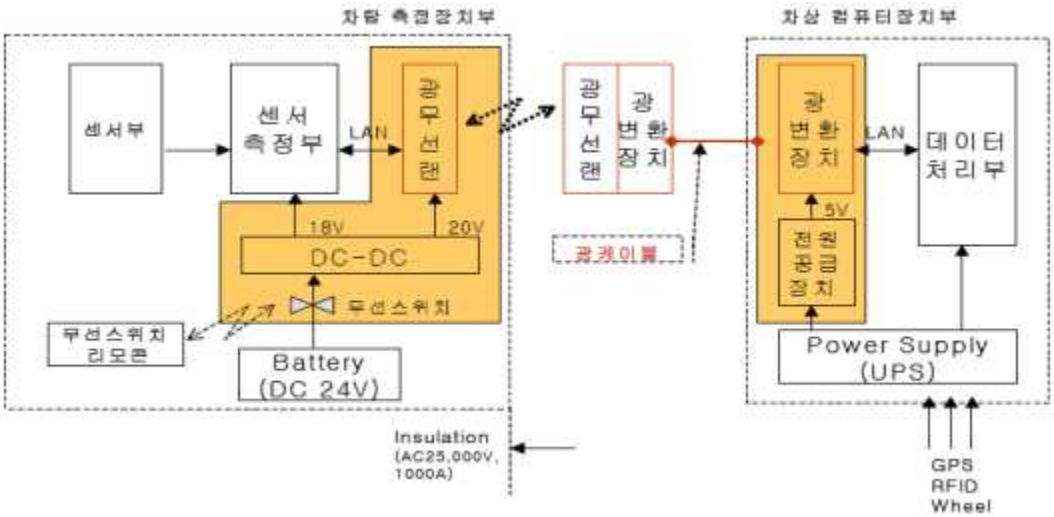



그림 16 팬터 접촉력 및 충격가속도 측정시스템 개요도

접촉력 측정에는 물리적으로 작용하는 힘을 측정하기 위한 스트레인게이지(Strain Gauge)를 사용하였고, 충격가속도 측정에는 1축(상하 움직임) 가속도 센서를 적용 하였다.

표 13 접촉력 및 충격가속도 측정 시스템 사양

| 구분 | 내용 | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 측정범위 | 접촉력 | 0~500[N] | BCM사, 반도체Type |
| | 충격가속도 | 0~20[G] | 일본KYOWA 사 |
| 온도조건 | 동작온도 | -15~+50[℃] | |
| | 보관온도 | -20~+60[℃] | |
| 기구사양 | 접촉력 | 4×7×0.5[㎜] | |
| | 충격가속도 | 15×14×14[㎜] | |

그러나 시설물 검측이 모니터링 수준이며 종합검측차(ROGER-1000K)와 같이 실시간 자동 진단 및 전송 기능이 없어 유지보수 소속에 적용하는데 적잖은 어려움이 있다.

## 나. 궤도회로 분야 검측시스템

국내에서 궤도회로에 대한 차상 검측시스템은 고속선 신호 검측을 위해 영업차량인 KTX-36호를 활용하고 있으며, 검측 전용차량은 종합검측차(ROGER-1000K)가 도입되어 운용중이다.

KTX-36호에 설치된 신호 관련 검측 항목은 ATC 연속정보 메시지 및 레벨, ATC 불연속 정보 메시지 및 레벨, 보상콘덴서 이상 유무, ATS 지상자 주파수 및 응동 시간 등으로 구성되어 있다.

차량 외부에 설치되는 설비와 차량 내부에 설치되는 설비로 분류되며, 차량 외부에 설치되는 설비의 온도 한계는 -30℃~70℃의 조건을, 차량 내부에 설치되는 장비는 0℃~50℃ 온도 조건을 만족하도록 사양이 제시되어 있으며, 관련 설비에 대한 진동 조건은 KTX 차량 특성 및 300km/h에 견딜 수 있는 조건으로 구성되어 있다.

ATC 검측설비(연속정보 검측장치, 불연속정보 검측장치)와 ATS 검측설비는 차량의 양 끝단에 설치되며 양방향에 대하여 각각의 안테나 입력을 수신하여 총괄 제어장치(또는 Data logging 장치)에서 정보를 처리하는 구조로 그림과 같이 구성된다.

불연속정보 검측장치는 왼쪽 및 오른쪽 안테나에 전원을 공급하고 수신된 불연속 PSK 신호를 처리하여 메시지를 복원한 후, 직렬 통신으로 총괄제어 컴퓨터에 관련 정보를 전송한다.

보상 콘덴서 검측장치는 디지털화된 ATC 연속레벨 값의 변화를 데이터 처리 과정을 통해 해당 궤도 회로의 이상 유무를 확인한 후, 검측 운영자에 의해 레벨그래프를 기준으로 보상 콘덴서의 이상을 확인한다. ATS 검측장치는 측정한 ATS 응동 주파수와 응동 시간을 네트워크 통신으로 총괄제어 컴퓨터로 전송한다.

총괄제어 컴퓨터는 차량의 속도 정보, 위치 정보와 함께 측정한 모든 정보를 자체 데이터베이스에 저장함과 동시에 표시장치로 관련 정보를 운영자에게 표시, 검색, 및 인쇄할 수 있도

록 하며, 데이터 로깅 장치는 차량의 속도 정보, 위치 정보와 함께 측정한 모든 정보를 자체의 데이터베이스에 저장하고 운영자가 데이터 검색 및 백업을 할 수 있도록 구성되어 있다.

검측장치의 내부/외부의 정보 흐름에 따라 관련 기능을 실현하며, 각각의 기능별 장치에서 측정한 정보는 총괄제어장치에서 연산 및 저장하며 운영자 표시장치에 표시한다.

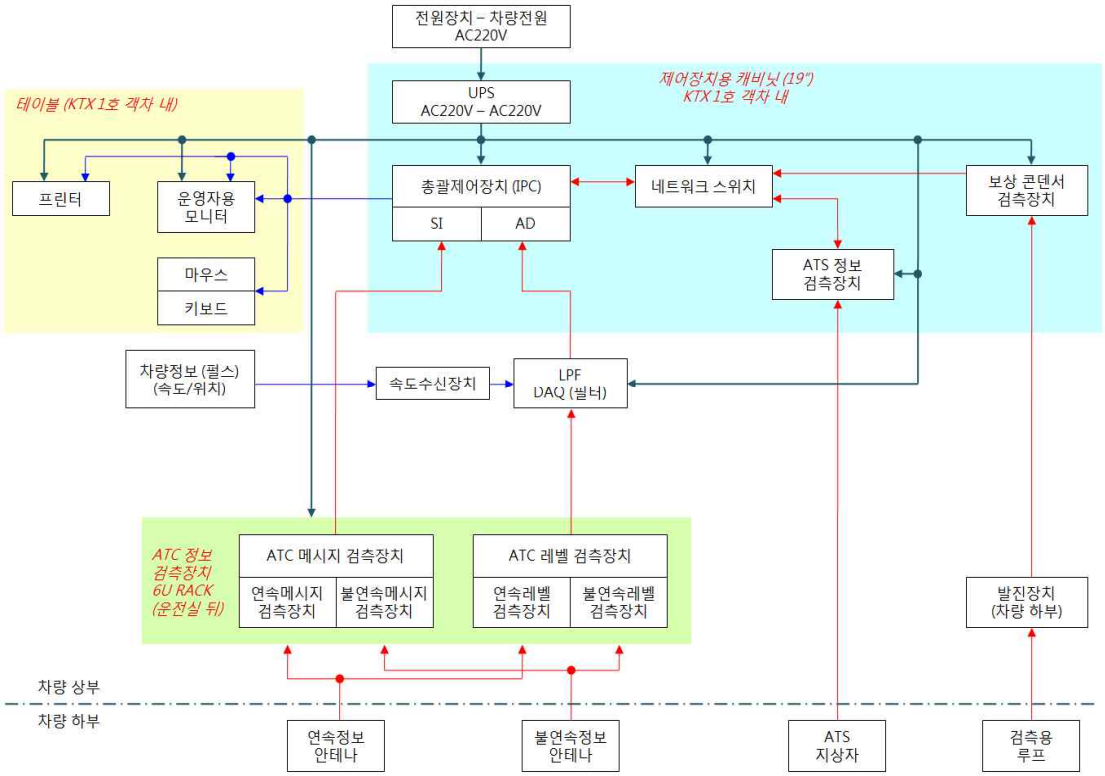



그림 17 KTX-36호 신호검측장치의 구성도

신호검측장치에 있어서 총괄제어장치는 지상에서 전송된 연속 정보 메시지와 레벨, 불연속 정보의 메시지와 레벨, 궤도 구간의 이상 여부, ATS 상태를 측정하고 차량의 속도 정보, 위치 정보, 시간 정보와 함께 자체의 데이터베이스에 저장하며 운영자 표시장치를 통해 위의 정보를 운영자에게 표시 및 검색할 수 있도록 하는 장치를 의미한다.

종합검측차(ROGER-1000K)는 전차선, 궤도, 통신 및 신호설비에 대한 검측설비를 보유하고 있으며, 차량은 이탈리아 MERMEC에서 도입하였으며 전차선과 궤도분야는 MERMEC 제품, 통신은 미국의 MOTOROLA의 검측장치, 신호 검측설비는 LS산전에서 구축하였다.

ROGER-1000K의 운행 최고속도는 160km/h이다.

신호분야 검측장치는 다음과 같다.

- ATC 연속정보 및 레벨
- ATC 불연속정보 및 레벨
- ATS 주파수 및 응동 시간(기존선 구간)

ATC 연속 및 불연속정보 안테나는 차량의 양방향 운행을 고려하여 차량의 양쪽에 설치되어 있으며, 이에 따라 각 검측장치도 2 set가 설치되어 있다. ATS 검측장치는 1 set로 구성되어 있다. 검측장치에 의해 검측된 정보는 총괄제어장치로 전송되며, 총괄제어장치는 열차의 위치 및 속도, 시간정보를 위해 차량장치와 인터페이스를 구성한다.

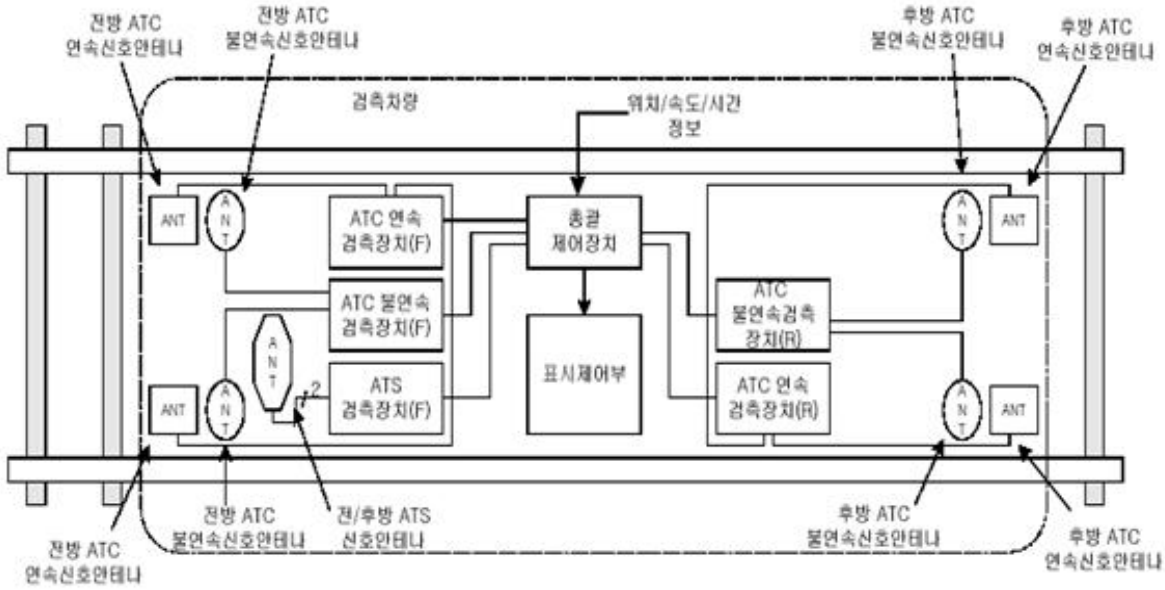



그림 18 종합검측차의 신호분야 검측장치 구성도

## 다. 무선통신 분야 검측시스템

국내에서 열차무선에 대한 차상 검측시스템은 고속선 열차무선검측을 위해 영업차량인 KTX-36호를 활용하고 있으며, 검측 전용차량은 종합검측차(ROGER-1000K)가 도입되어 운용중이다.

KTX-36호에 설치된 열차무선 관련 검측 항목은 전계강도 및 주파수, 데이터 에러율에 대한 이상 유무 등으로 구성되어 있으며, 300km/h의 속도에서 검측데이터 위치 관리를 위하여 기본적으로 타코미터 정보를 이용하여 위치를 관리하고, GPS좌표를 이용하여 위치에 대한 자동 보정이 이루어진다.

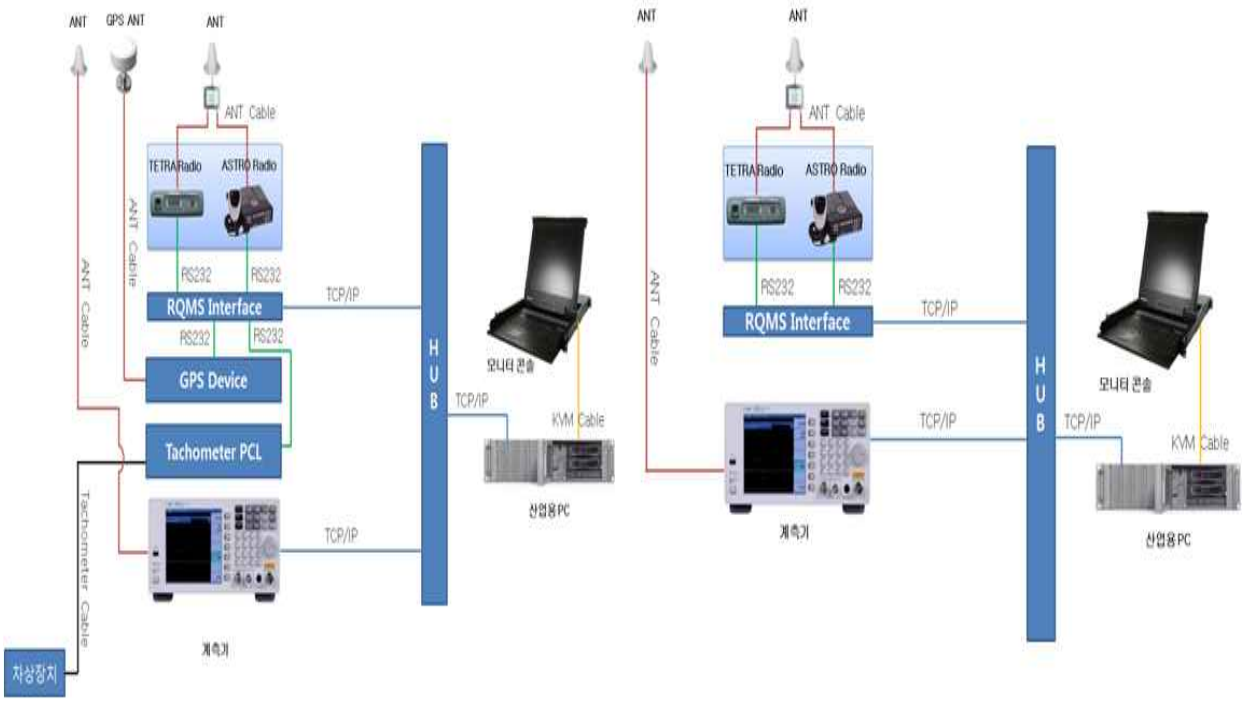



그림 19 KTX-36호 열차무선 검측장치(Voice/Data)의 구성도

열차무선 지상망에서 송신되는 전파에 대한 분석을 위하여 차상의 차탑에 설치된 안테나를 통해 터미널 및 계측기로 수신된 전파를 분석하여 전계강도 레벨과 주파수 분석을 GUI상에 표출 이벤트에 대한 내용을 운용자과 관리할 수 있도록 GUI에 현시하며, 분석환경을 제공한다.

위의 그림 좌측 Voice 검측장치의 통합서버에 데이터 검측장치를 포함한 모든 원시 데이터가 저장되며, 타코미터와 GPS를 이용하여 위치정보를 관리한다. 전계강도 및 주파수, BER 등의 검측정보를 데이터베이스 되어있는 핸드오버 정보와 매칭 시켜 측정결과를 원시 데이터화 하여 데이터베이스에 기록 저장하기 때문에 장비의 노후화나 불량으로 인한 커버리지 변화 시 이에 대한 정보역시 실시간 일치화 되지 못하는 문제점을 가지고 있다.



그림 20 KTX-36호 열차무선 검측장치

종합검측차(ROGER-1000K)는 전차선, 궤도, 통신 및 신호설비에 대한 검측설비를 보유하고 있으며, 차량은 이탈리아 MERMEC에서 도입하였으며, 차탑의 안테나와 공중선 통합서버를 통하여 열차무선을 분석한다.

ROGER-1000K의 운행 최고속도는 160km/h이다.

열차무선 검측장치는 다음과 같다.

- 전계강도 검측
- 주파수 검측
- 데이터베이스를 이용한 시설물정보

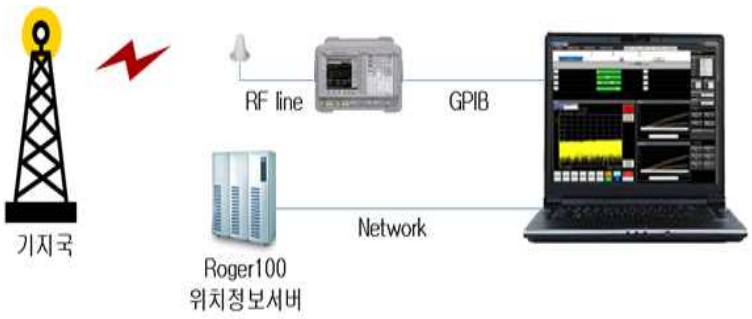



그림 21 ROGER-1000K 열차무선 검측장치 구성도

차탑의 안테나를 통해 수신되는 열차무선 전파환경 정보는 계측기로 수신되고 계측기의 전파환경 분석 자료는 서버로 전송 서버의 데이터베이스 정보로 매칭된 원시 데이터는 사용자 GUI에 그래프와 수치로 표현된다.

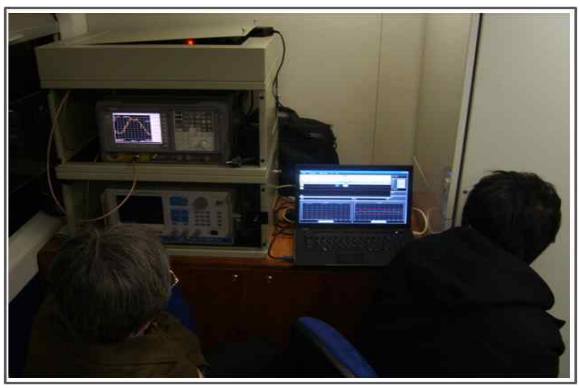


그림 22 ROGER-1000K 열차무선 검측장치

## 라. 자동화 운영시스템

국내에서 운행 중인 검측차량은 프랑스 등 철도선진국과 같이 전기시설물의 상태와 특성을 실시간 측정하고 자동 전송하는 기능이 없어 시설물의 정상기능을 유지하는데 어려움이 있으며 측정된 값이 관리기준을 초과하면 보수작업을 시행하는 사후보수 개념의 관련 작업만이 가능하다.

고속철도 유지보수 기술 가운데 일부 기술에 대하여는 국산화가 진행 중이나, 핵심 기술수준 및 인프라 수준은 아직 부족한 상태이며, 자동화 진단을 위한 기초연구를 수행 중이다. 향후 다양한 패턴의 검측 데이터와 검측 전문가의 경험을 바탕으로 패턴인식 진단기법의 원리를 적용시켜 결함이 있는 데이터와 결함이 없는 데이터를 분류하고 외부 모델링 작업에 의한 결함의 위치를 정확히 판단할 수 있는 자동화 진단 시스템을 개발하여 차상검측을 이용한 전기시스템 유지보수의 최적 운용이 필요한 상황이다.

국내의 전차선로 유지보수는 인력작업에 의함으로 타 분야 중 인건비가 차지하는 비중이 가장 크다. 또한 작업계획의 수립에 있어서도 현장 작업자의 주관적인 경험에 의존하는 경향이 많았다. 따라서 유지보수의 경험을 개인이 보유하여 업무의 연속성이 부족하고, 구역별 유지관리 수준의 차이도 존재하고 있다.

표 14 관련 분야의 기술수준

| 기 술 명 | 기술수준 (%) | 전문인력 보유 정도(%) | 인프라 구축 정도(%) |
|---|---|---|---|
| 자동화 진단기술 | 30 | 30 | 40 |
| 데이터 전송처리 | 70 | 50 | 50 |

표 15 관련 기술 분야의 인프라 수준

| 기 술 명 | 인력보유 정도 | 자금지원 수준 | 연구개발시스템 (설비, 장비, 체제 등) | 기타 고려사항 |
|---|---|---|---|---|
| 자동화 진단기술 | 30 | 10 | 결함데이터 분석을 위한 모델링 수행 완료 | 결함패턴 분류화 |
| 데이터 전송처리 | 50 | 10 | -Data Acquisition<br>-DAQ system | 실시간 전송 |

### (1) 전철시험차

전철시험차는 차탑에 영역카메라와 라인레이저와 반사경등으로 구성된 전차선 측정장치를 탑재하고 있으며 전차선 높이/편위/마모를 측정한다. 시스템은 이탈리아의 테크노감마社에서 도입하여 운행 중이다.

검측 운행 중 검측데이터를 모니터링 할 수 있으며 검측된 데이터는 이동식 저장장치를 통해 사무실로 이동하여 전용 프로그램을 통해 다시 모니터링 할 수 있는 기능을 가지고 있다. 사후 분석 기능은 없으며 검측데이터 파일은 시스템 고유 형태로 저장하여 타 시스템에서는 접근이 불가능하다.

### (2) KTX-36호

KTX-36호에는 전차선, 신호, 통신에 대한 검측이 가능하나 실시간 모니터링만 가능하며 사후분석은 지원하지 않는다. 검측데이터 파일 역시 고유의 포맷으로 저장한다. 운행 중인 영업차량의 객실을 개조하여 전기, 시설분야에 대한 검측작업을 수행한다. KTX-36호의 가장 큰 특징은 실제 영업운행과 동시에 검측작업을 수행하므로 실제 고속선 운영 환경과 동일한 조건에서 검측을 수행한다는 것이다.



그림 23 KTX-36호 지붕 위 검측장치 및 모니터 화면

### (3) 종합검측차(ROGER-1000K)

이탈리아의 MERMEC社에서 도입한 종합검측차는 궤도, 전차선, 신호, 통신에 대한 모든 검측장비를 탑재하여 운행 중이다. 160km/h의 운행속도로 이동하며 검측을 수행하게 된다. 차량에 검측 장비들을 통합 탑재하여 다양한 데이터를 모니터링하고 수집한다.

실시간으로 검측하면서 데이터를 수집하며 이상데이터에 대한 기본적 리포트를 제공한다. 검측데이터는 다른 시스템과 동일하게 고유 형식으로 저장하여 타 시스템에서는 접근이 불가능하다. 때문에 수집된 데이터에 대한 활용도가 미비하고 다른 방법의 데이터 분석이 불가능한 단점을 가지고 있다.



그림 24 종합검측차 외/내관

## 2. 국외기술 및 산업동향

철도 시설유지보수의 세계적인 기술개발 추세는 IT기술을 접목한 자동화의 적용으로 볼 수 있으며, 특히 인력작업이 집중적으로 투입되었던 전차선 분야의 유지보수에 자동화 시스템과 정보화 기술의 확산 등으로 유지보수 고도화가 진행되고 있다. 전차선로 유지보수의 큰 변화는 수동공구 및 단순 장비 등을 사용한 인력 의존형 작업방법에서 검측설비 등의 자동화에 의한 소규모 인력으로 유지보수가 가능함으로 관리 및 점검 위주의 사전 예방보수가 가능하게 되었다.

또한 Database와 IT기술의 도입으로 유지보수 숙련자의 오랜 경험에 의한 주관적인 판단보다는 시스템에 의한 기준 설정으로 유지보수의 객관화 및 보편화가 이루어졌으며 이러한 일련의 과정이 시스템적으로 연계하여 전체 유지보수 비용 절감이 가능하게 되었다.

국외 검측시스템은 오래전부터 분야별로 단순 장비에 의해 인력에 의해 진단했던 방법을 IT를 접목한 자동화 검측장비를 개발하여 종합검측차에 탑재하여 운용하고 있다.

프랑스에서는 IRIS 320, 일본 east i는 시설물의 예방 유지보수를 위한 실시간 자동화 진단 기능을 갖춘 고속검측차량으로써, 최신 IT기술이 적용된 차상검측시스템을 구축하여 운용하고 있다. 이러한 검측차량에 설치된 차상검측시스템은 고속에서 분야별 데이터의 상태진단 등을 실시간 측정하고, 실시간 자동화 진단을 위해 차량 내에 탑재된 데이터서버 상에서 복잡한 분석과정을 거쳐 정확한 유지보수 데이터를 생성한다.

또한 이탈리아 검측차 ROGER 시리즈는 자동화진단과 위험데이터 전송은 되지 않으나 우리나라에서 사용하는 검측장비의 대부분이 이탈리아(머멕, 테크노감마) 제품을 사용하고 있는 것을 감안하면 검측장비의 정밀도와 신뢰도는 세계 최고 수준이다.

표 16 국외 검측전용차량 현황

| 제품명 | ROGER 2000, ITALY | east i, Japan | IRIS 320, France |
|---|---|---|---|
| 운영 사진 |  |  |  |
| 속도 | 250km/h | 270 km/h | 320km/h |
| 차량 구성 | -1호: 운전, 멀티미디어실<br>-2호: 전차선, 통신측정<br>-3호: 궤도, 주행항목측정<br>-4,5호: 수화물, 보조시스템<br>-6호: 기관차, 선로순회<br>(선로순회, 비디오검사, 위치정보 등 탑재) | -1호: 전차선・신호・통신<br>-2호: 궤도관련측정<br>-7호: 첨승자용<br>-2,6차: 측정팬터그래프<br>-3,5차: 가선상태 감시용 관측돔 탑재 | -검측차 4대, 기관차 2대<br>-VIP손님 및 회의실차 1대<br>-승무원 및 작업인원차 1대<br>(전기, 기계예비품 저장)<br>-업무용차 2대로 구성.<br>(조리부, 샤워실, 침실, 등) |

검측데이터는 운행구간에 따라 다르나 검측 1회 측정 시 생성된 데이터가 수백 기가바이트로 용량이 매우 커서 이동식저장장치 등 물리적인 카트리지를 통해 지상서버로 전달하고, 긴급하고 중요한 시설물 결함 데이터는 측정위치정보와 함께 실시간 지상으로 전송한다.

최종적으로는 현장 유지보수 작업자에 측정결과를 확인하기 위한 소프트웨어를 제공함으로 유지보수 일정들을 간결화하고 보편화시켜 생산성을 향상시키고 있으며 개발된 시스템은 지속적으로 업그레이드 시켜 더욱 향상된 시스템을 구축하려 노력하고 있다.

## 가. 전차선로 분야 검측시스템

철도 시설유지보수의 세계적인 기술개발 추세는 자동화 적용으로 볼 수 있으며, 특히 인력이 많이 투입되었던 전차선로 유지보수 작업에 기계화 작업의 고도화, 정보화기술의 확산 등이 이루어지고 있다.

전차선로 유지보수작업경향의 세계적인 변화로는 우선 장비작업이 확대 및 고도화되어 인력작업의 패턴이 현장작업에서 관리 및 점검 위주로 바뀌고 있다.

또한 Database와 IT기술의 도입으로 유지보수작업 Know-how의 객관화 및 보편화가 이루어지고 이러한 일련의 과정이 시스템적으로 연계하여 전체 유지보수 비용의 절감이 가능하게 한다.

전차선분야의 대표적인 주요 생산업체는 프랑스 CYBERNETIX社, 이탈리아 MERMEC社, TECNOGAMMA社가 있으며 이들 중 이탈리아의 MERMEC社는 CYBERNETIX社와 TECNOGAMMA社 등을 인수하여 검측시장의 최고 기업으로 부상하였다.

표 17 해외 고속검측차량 전차선로 검측항목

| 제품명 | ROGER 2000, ITALY | | east i, Japan | | IRIS 320, France | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 운영 사진 |  | |  | |  | |
| 속도 | 250km/h | | 270 km/h | | 320km/h | |
| 검측 항목 | 전차선 높이/편위 | ○ | 전차선 높이/편위 | ○ | 전차선 높이/편위 | ○ |
| | 전차선 마모 | ○ | 전차선 마모 | ○ | 전차선 마모 | × |
| | 전차선 열화상 | ○ | 전차선 열화상 | ○ | 전차선 열화상 | ○ |
| | 접촉력 | ○ | 접촉력 | ○ | 접촉력 | ○ |
| | 이선율 | ○ | 이선율 | ○ | 이선율 | ○ |
| | 전압/전류 | ○ | 전압/전류 | ○ | 전압/전류 | ○ |
| | 팬터그래프 모니터링 | ○ | 팬터그래프 모니터링 | ○ | 팬터그래프 모니터링 | ○ |
| | 시설물진단(LSI, TSI) | ○ | 시설물진단(LSI, TSI) | × | 시설물진단(LSI, TSI) | ○ |
| | 실시간 자동화진단 | × | 실시간 자동화진단 | ○ | 실시간 자동화진단 | ○ |
| | 위험데이터 전송 | × | 위험데이터 전송 | ○ | 위험데이터 전송 | ○ |

### (1) 프랑스(IRIS 320)

IRIS 320은 최대 320km/h 속도로 전차선로 시설물 검측 및 자동화 진단기능을 갖춘 고속열차로써, 다음과 같은 검측시스템이 구축되어 있다.

#### (가) 전차선로 동특성 측정시스템

IRIS 320은 고속카메라에서 획득한 이미지를 분석하여 전차선의 동적 높이/편위를 측정하고, 팬터그래프 상에 다수의 센서를 부착하여 전차선과 팬터그래프간 집전상태 및 아크를 측정한다.

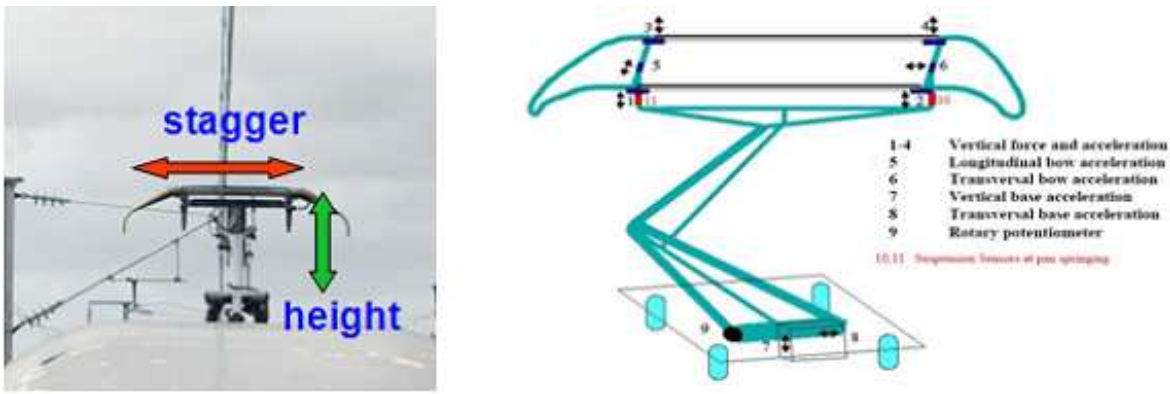



그림 25 전차선 동특성 측정시스템

#### (나) 전차선로 시설물 측정시스템

고해상도 카메라에서 촬영된 전차선로 시설물(드롭퍼, 조가선, 가동브라켓) 구성요소들을 이미지 프로세싱을 통해 인식하고 결함을 검출한다.

표 18 IRIS 320 전차선로 시설물 검측시스템

| 검측기능 | 설 명 | 비고 |
|---|---|---|
| LSI [11] | 차탑에 설치된 라인카메라로부터 등간격의 이미지를 실시간 수집하여 저장하고, off-line 상에서 이미지 프로세싱을 통해 드롭퍼, 조가선의 파손여부를 분석한다 |  |
| TSI [12] | 전주인식 레이더를 통해 구조물을 인식하고, 차탑에 설치된 고해상도 영역카메라로부터 이미지를 실시간 수집하여 저장하고, off-line 상에서 가동브라켓 구성요소의 결함 검지한다 |  |

TSI와 LSI는 대용량 이미지 처리시간 및 저장용량의 한계로 처리과정을 다음과 같은 on-line과 off-line으로 구분하여 운용하고 있다.

11) LSI(Longitudinal Structure Inspection) : 드롭퍼, 조가선의 파손 및 단선 검지를 위한 비전 검측시스템
12) TSI(Transverser Structure Inspection) : 가동브라켓 구성요소의 결함 검지를 위한 비전 검측시스템

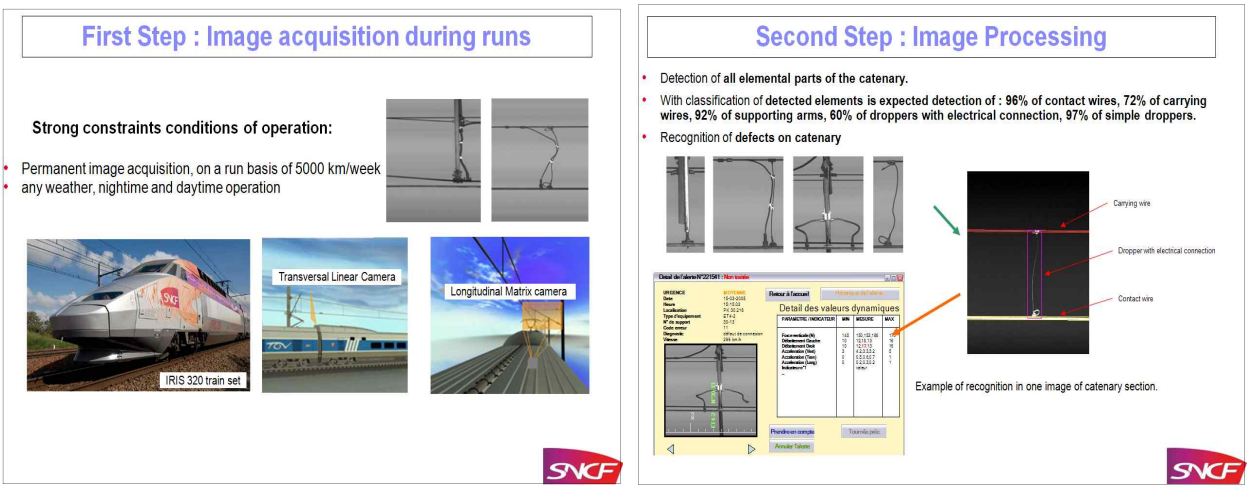



그림 26 실시간 시설물 이미지 수집(좌), Off-Line 전차선로 시설물 분석(우)

### (2) 이탈리아 (Archimede, MERMEC)

Archimede는 최대 220km/h 속도로 전차선로 시설물 검측 기능을 갖춘 고속열차로써, 실시간 정적 전차선 높이/편위/마모, 동적전차선 높이/편위, 집전장치와 전차선간 동특성, 아크, 전압/전류 측정이 가능하고, off-line상에서 검측데이터를 분석한다.

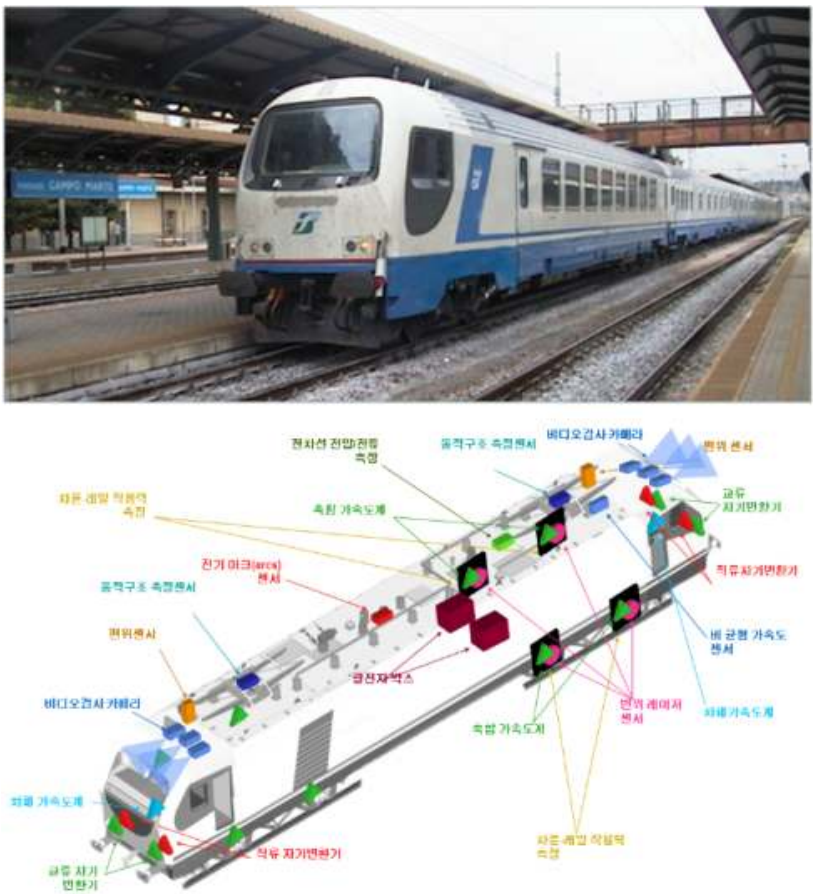
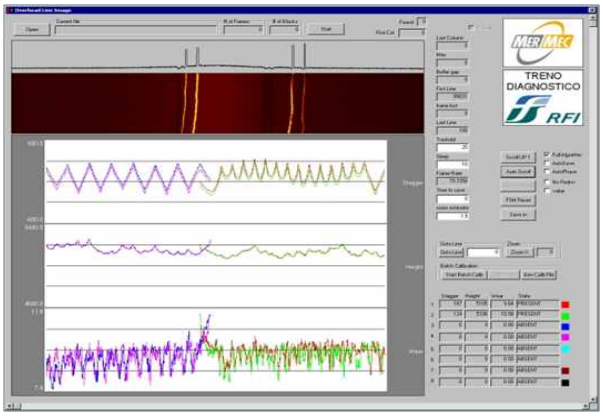


그림 27 이탈리아 검측차(Archimede)

### (가) 전차선 검측 시스템

전차선 검측시스템은 차탑 라인스캔 카메라에서 획득한 전차선 이미지를 분석하여 정적인 전차선의 높이/편위/마모를 측정하고 한계치를 초과한 검측데이터는 실시간 알람처리가 가능하다.



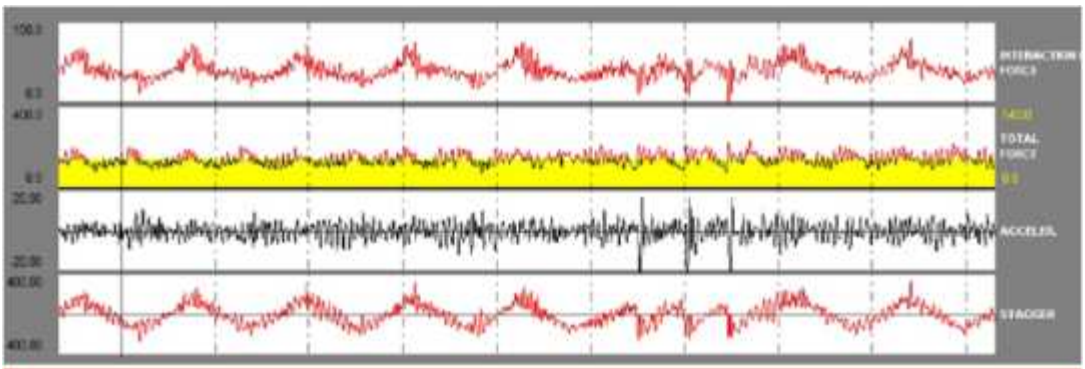

| Parameters Measured | Accuracy |
|---|---|
| Wire Stagger | Up to ± 10 mm |
| Wire Height | Up to ± 10 mm |
| Wire Wear | Up to ± 0.2 mm |
| **Features** | **Details** |
| Number of detected wires | Up to 8 |
| Sampling distance | Standard 20 mm<br>Customizable to Client's needs |
| Measuring Speed | From 0 to 360 km/h |



그림 28 Archimede 전차선 검측시스템 사양

### (나) 집전장치 동특성 측정시스템

팬터그래프와 전차선간 상호작용을 측정하기 위한 검측시스템으로 팬터그래프-전차선간 접촉력과 가속도, 접촉 전차선 편위를 측정한다.




| Parameter | Meas. Range | Resolution | Accuracy |
|---|---|---|---|
| Contact pressure on the pantograph | 0 ~ 200 N | 1 N | Better than 1% |
| Pantograph pan vertical accelerations (hard points and impacts) | ± 100 g | 1 g | Better than 1% |

그림 29 Roser2000 집전장치 동특성 측정시스템 S/W

### (다) LSI(Longitudinal Structure Inspection)

고속 라인스캔카메라를 통해 드롭퍼, 조가선, 연결금구의 전차선로 구조물 이미지를 실시간 수집하고, off-line상에서 이미지프로세싱을 통해 구조물의 결함을 검지한다.

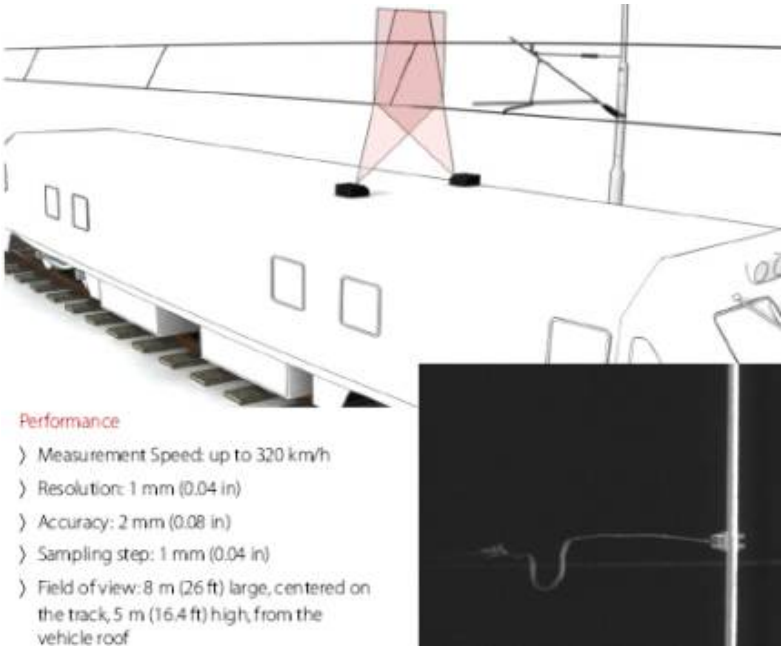



그림 30 LSI System

### (3) 일본 (east i)

east i는 최대 270km/h 속도로 전차선로 시설물 검측 및 자동화 진단기능을 갖춘 고속열차로써, 팬터그래프의 집전상태 감시 및 전차선 높이/편위/마모를 실시간 측정하여 비정상 데이터를 온라인으로 연결된 중앙사령실 서버로 전송한다.




그림 31 east i 전차선로 시설물 검측시스템 구성

### (4) 독일 (bvSys)

bySys는 시속 120km/h의 속도에서 라인 스캔 카메라와 고해상도 영역카메라를 차탑에 설치하여 시설물 이미지를 실시간 수집하며, 후처리 과정에서 결함여부를 판단하는 검측 시스템을 개발 운용 중에 있다.

on-line에서 수집된 시설물 이미지는 off-line 상에서 이미지프로세싱을 거쳐 드롭퍼, 균압선, 조가선, 애자, 연결금구 등의 구조물 결함을 검사한다.

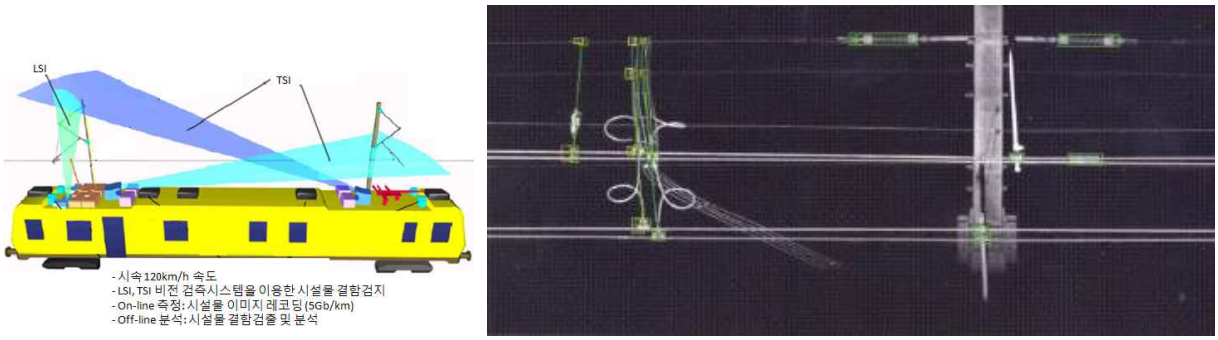



그림 32 전차선로 시설물 결함 분석

## 나. 궤도회로 분야 검측시스템

프랑스는 검측 전용차량인 IRIS 320을 운영하고 있으며, 고속 구간에서의 철도 인프라를 모니터링하고 측정하는 것은 SNCF가 이루고자 하는 야심찬 업무영역이며 해당 프로젝트를 성공적으로 이끌기 위하여, 프로젝트의 설계, 제조 및 통합 시스템을 연구하는데 전념한 회사 내 엔지니어들의 전문적인 기술을 활용하였다. IRIS 320은 최고 속도 320km/h 주행으로 기존선을 포함하여 고속선 구간에서 검측을 수행하며 영업 열차 사이에 투입할 수 있는 장점을 가지고 있다.

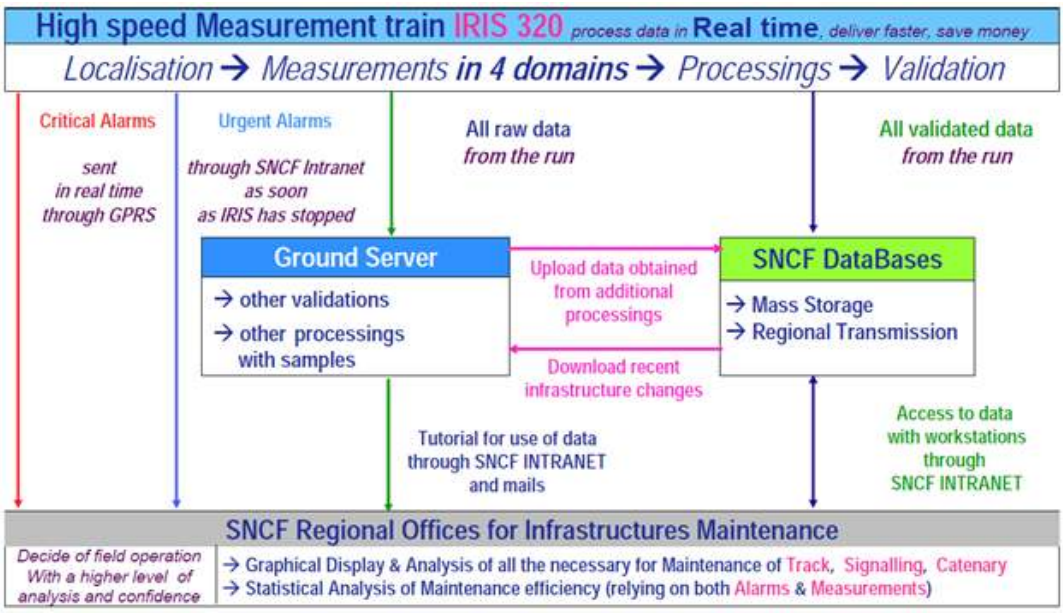



그림 33 IRIS 320 검측체계

IRIS 320과 부속 장치들은 SNCF 엔지니어들에 의해 사양이 정해지고 설계 및 제작되었다. 초창기부터 엔지니어들의 참여 덕분으로, 현재 SNCF는 검측 시스템을 완벽하게 통제할 수 있으며 전문가 평가와 연구는 열차 내에서 모두 완성될 수 있다.

SNCF의 고속철도 전용 검측차량인 IRIS 320은 궤도, 전차선, 신호 및 통신 시스템을 점검하기 위해 2006년 6월21일부터 운영하기 시작하였다. 검측된 데이터는 정상, 긴급 또는 위험으로 분류하여 20년간 보관이 가능한 국가 서버에 저장하기 위해 GRPS(General Packet Radio Service)를 이용하여 전송된다.

검측 데이터들은 차상에서 전송, 분석 및 확인되며, 위치정보시스템(Localization System)은 ±5m의 오차를 가지고 결함이 발견된 위치를 제공한다. 두 개의 창문이 달린 구조물이 IRIS 320의 지붕 윗면에 설치되어 있으며, Observation points의 역할을 수행한다. 전문가들은 이 창문을 통하여 catenary와 전력공급 상태를 지켜 볼 수 있다.

IRIS 320의 정보시스템은 모든 데이터 입력과 출력 그리고 선택된 사진들을 데이터베이스 안에서 선택하고 맞춘다. 따라서 생산된 정보는 매우 중요하고 긴급한 건에 대하여 거의 실시간으로 지상으로 전송된다. 60~100 기가바이트의 모든 데이터가 매일 만들어지며 물리적인 매체(카트리지)를 통하여 지상서버로 전송된다.

서버의 웅장한 구조는 실시간 데이터 수집 모듈과 데이터베이스 모듈 그리고 12개의 워크스테이션을 포함한다. 고도의 데이터 전송률의 광섬유 네트워크는 계측시스템과의 인터페이스를 보장하고 차내에 장착된 전문가용 워크스테이션의 풍부한 application을 제공해 준다.

또한 시스템의 강력한 계산 용량이 가능하다.

- 실시간 데이터의 수집 : 실시간 데이터베이스 안에서 각각의 측정요소 시스템에 의해 정확한 위치 구분과 함께 결함을 발견하는 데이터
- 기초 데이터의 검증과 alert handing : GPRS를 통한 데이터 전송이 실시간으로 진행
- 현재 실행중인 데이터와 구 데이터간의 그래픽적인 비교

IRIS 320 정보시스템은 중요하고 긴급한 데이터를 Maintenance regional units로 직접 전송한다. 모든 데이터는 두 개의 ground server를 통하여 전송된다. 첫 번째 서버는 측정의 신뢰성을 제어하고 부수적인 maintenance 분석 데이터를 제공한다. 80 테라바이트 용량의 두 번째 서버는 20년 동안의 데이터 저장 실행을 담당하고 maintenance experts workstations에서 보내진 on-demand 데이터 요구사항에 응답한다.

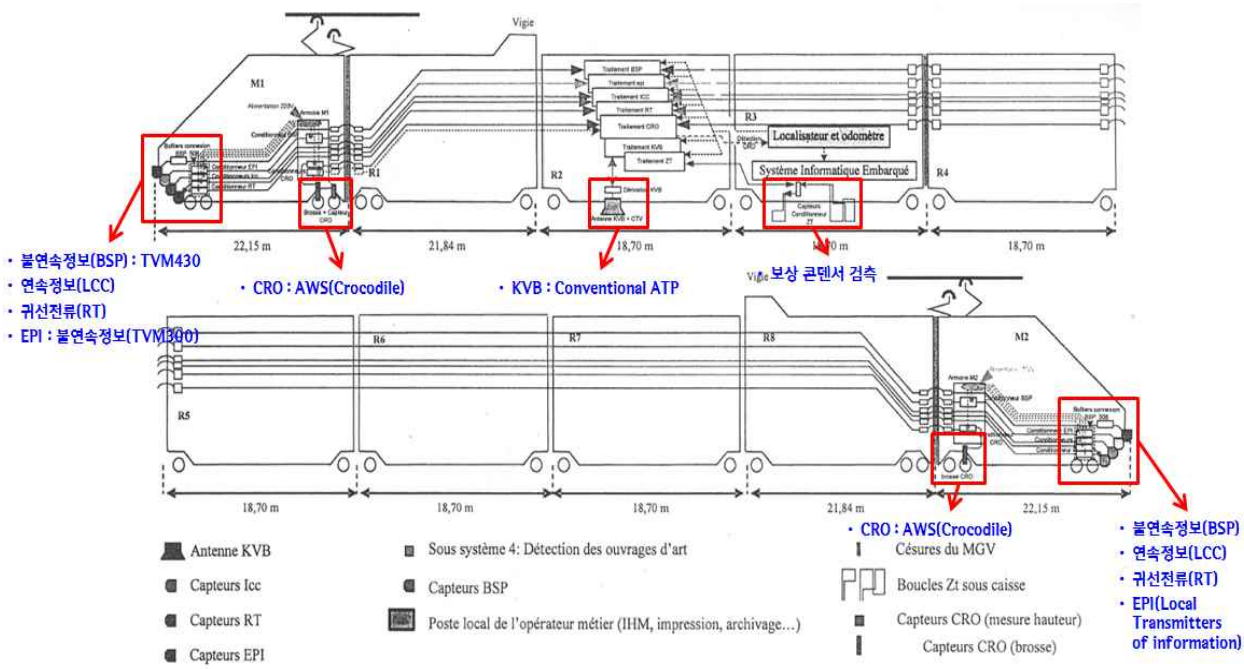



그림 34 IRIS 320의 신호분야 검측장치 구성도

IRIS 320의 신호분야 검측 종류는 다음과 같다.

- KVB : Conventional ATP(speed monitoring by beacon)
- Icc : short circuit current
- BSP : phase lock loop
- Zt : transverse impedance
- Rt : return of traction current
- EPI : local transmitters of information
- CRO : contact ramp
- ERTMS : Effective 2008

IRIS 320의 신호분야 검측용 위한 안테나의 설치 내역은 다음과 같다.

표 19 IRIS 320의 신호분야 검측용 안테나 위치

| 안테나(또는 픽업 코일) | | 동력차 (M1) | 객차 (R2) | 객차 (R3) | 동력차 (M2) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Icc | Short circuit current | ○ | | | ○ | TVM430 연속정보 |
| BSP | Phase lock loop | ○ | | | ○ | TVM430 불연속정보 |
| Zt | Transverse impedance | | | ○ | | 보상콘덴서 |
| EPI | Local transmitters of information | ○ | | | ○ | TVM300 연속정보 |
| Rt | Return traction current | ○ | | | ○ | 귀선전류 |
| KVB | Conventional ATP | | ○ | | | |
| CRO | Contact ramp | ○ | | | ○ | 재래선 AWS |

## 다. 무선통신 분야 검측시스템

유럽의 열차무선 통신방식의 표준 GSM-R은 GSM기술에 기반을 두고 있고, 이 표준은 단일 통신 플랫폼을 사용하는 정보처리 상호호환성을 달성하는 목적과 함께 다양한 유럽 철도 업체들 사이에서 10년 이상의 공동연구 결과로 나타났다. GSM-R은 새로운 유럽 철도 교통관리 시스템(ERTMS)표준의 일부이고 높은 수준의 안정성과 함께 더 높은 차량 속도와 교통량을 가능하게 하고 기관사에게 직접적으로 신호처리 정보를 전달한다.

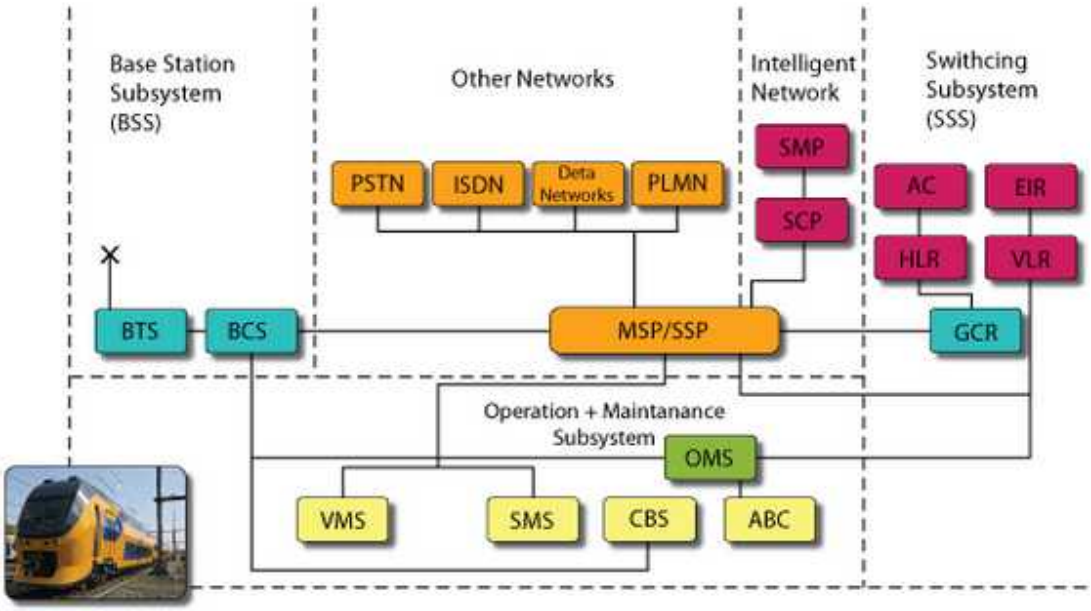



그림 35 GSM-R 열차무선 블록도

GSM-R 네트워크의 구조는 BTS라는 기지국 이 열차와 음성 및 데이터 통신을 하며 BCS의 중앙 교환 장비가 외부 네트워크와 인터페이스 되어 국내 및 국경 간 철도 네트워크를 제공하고 다양한 열차무선 서비스를 제공한다.

프랑스에스는 IRIS 320은 시설물의 예방 유지보수를 위한 실시간 자동화 진단기능을 갖춘 고속검측차량으로써, 최신 IT기술이 적용된 차상검측시스템을 구축하여 운용하고 있다. 이러한 검측차량에 설치된 차상검측시스템은 고속에서 분야별 데이터의 상태진단 등을 실시간 측정하고, 실시간 자동화 진단을 위해 차량 내에 탑재된 데이터서버 상에서 복잡한 분석과정을 거쳐 정확한 유지보수 데이터를 생성한다.

지상 서버는 차상 검측 장치로부터 수신한 데이터 (Urgent alarms 및Raw data)에 대한 추가적인 확인 및 처리를 수행하며, 추가적인 처리로부터 얻은 데이터는 SNCF Database로 upload하고, 데이터의 활용을 위해 SNCF Intranet 및 Mail를 통해 SNCF 지역 사무소로 전송한다.

## 라. 자동화 운영시스템

### (1) IRIS 320 (프랑스)

프랑스 철도청(SNCF)은 320km/h 속도에서 궤도, 전차선, 신호 및 통신시스템을 점검하기 위해 IRIS 320이라는 검측차를 2006년 6월 21일부터 운영하기 시작하였다. 자동화에 의한 정확한 검측은 유지보수 운영의 효율성 향상에 도움을 주며 예방유지보수를 주목적으로 한다. IRIS 320은 매주 3,500~5,000km 또는 매년 200,000km 검측하고, 매분기의 일주일가량은 차량과 검측시스템의 유지보수를 한다.

검측된 데이터는 정상, 긴급 또는 위험과 같이 분류하여 80TByte 용량과 20년의 보관 가능한 국가 서버에 저장하기 위해 GPRS(General Packet Radio Service)를 이용하여 전송된다. IRIS- 320 검측시스템에서 IT 하드웨어는 측정 센서에 연결된 6개의 보조서버와 데이터 전송속도 4Mb/sec로 광케이블 20km의 근거리통신망(LAN)으로 연결된 12개의 워크스테이션으로 구성되어 있다.




그림 36 IRIS 320

IRIS 320을 통해 검측된 자료는 수준별로 분류하며, Critical alarms은 GPRS (General Packet Radio Service)를 통해 SNCF 지역 사무소로 전송된다. IRIS 320은 측정된 데이터를 실시간으로 처리하며 열차의 위치 정보 (또는 측정)를 결합하여 지상의 서버 전송하여 SNCF 데이터베이스에 저장한다. 측정된 데이터는 다음과 같이 분류하여 처리한다.

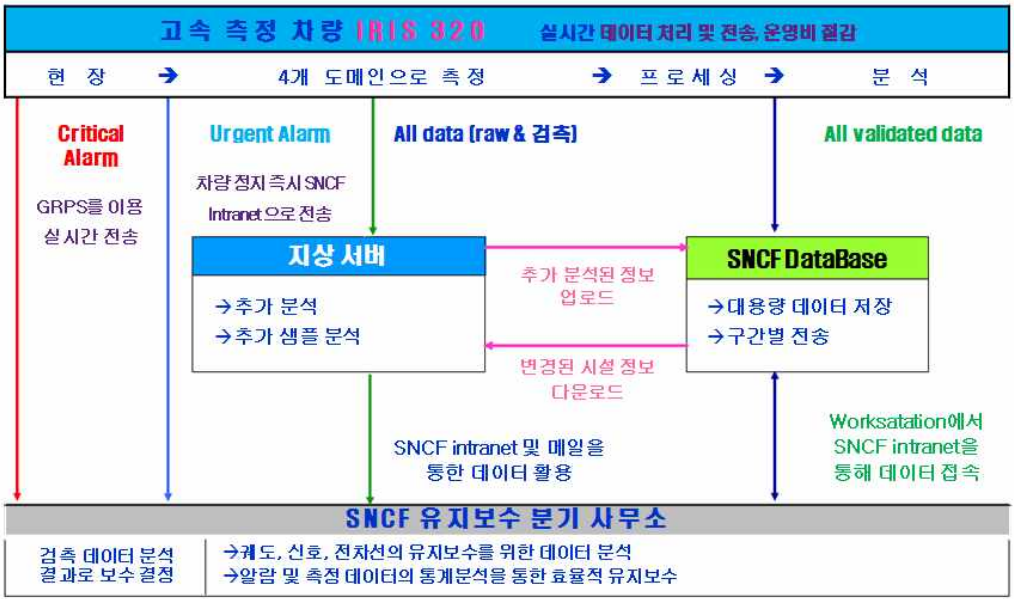



그림 37 IRIS 320 데이터 처리 흐름도

- Critical Alarms : GPRS를 통해 실시간으로 SNCF 지역 사무소 (SNCF Regional Offices)로 전송
- Urgent Alarms : IRIS가 정차하면 즉시 SNCF Intranet를 통하여 지상 서버 (Ground Server)로 전송하여 확인 및 샘플과 함께 그 밖의 처리를 수행
- All raw data from the run : 주행 중에 수집된 원시 데이터는 지상 서버로 전송
- All validated data from the run : 주행 중에 확인된 모든 데이터는 SNCF 데이터베이스에 저장하며, 각 지역 사무소의 워크스테이션은 SNCF Intranet를 통해 해당 데이터를 접속 할 수 있음

지상 서버는 차상 검측 장치로부터 수신한 데이터 (Urgent alarms 및Raw data)에 대한 추가적인 확인 및 처리를 수행하며, 추가적인 처리로부터 얻은 데이터는 SNCF 데이터베이스로 업로드하고, 데이터의 활용을 위해 SNCF Intranet 및 메일을 통해 SNCF 지역 사무소로 전송한다.

SNCF 데이터베이스는 대용량의 데이터를 저장 및 관리하며, Infrastructure에 변경이 발생하면 변경 정보를 지상 서버로 다운로드 한다. SNCF 지역 사무소는 Infrastructure에 대한 유지보수 업무를 담당하며 궤도, 신호 및 전차선의 유지보수를 위해 필요한 모든 정보의 그래픽 표시와 분석 그리고 유지보수 효율성을 위한 통계적 분석을 수행한다.

다음과 같은 4 종류의 검측장치를 보유하고 있으며, 각 검측장치는 위치정보 장치 (Localization Equipments)와 상호 인터페이스 되며, 위치정보 장치는 지형 데이터(Topographic data)와 연계된다.

- Track (궤도)
- Signalling (신호)
- Catenary (전차선)
- Telecommunications (통신)

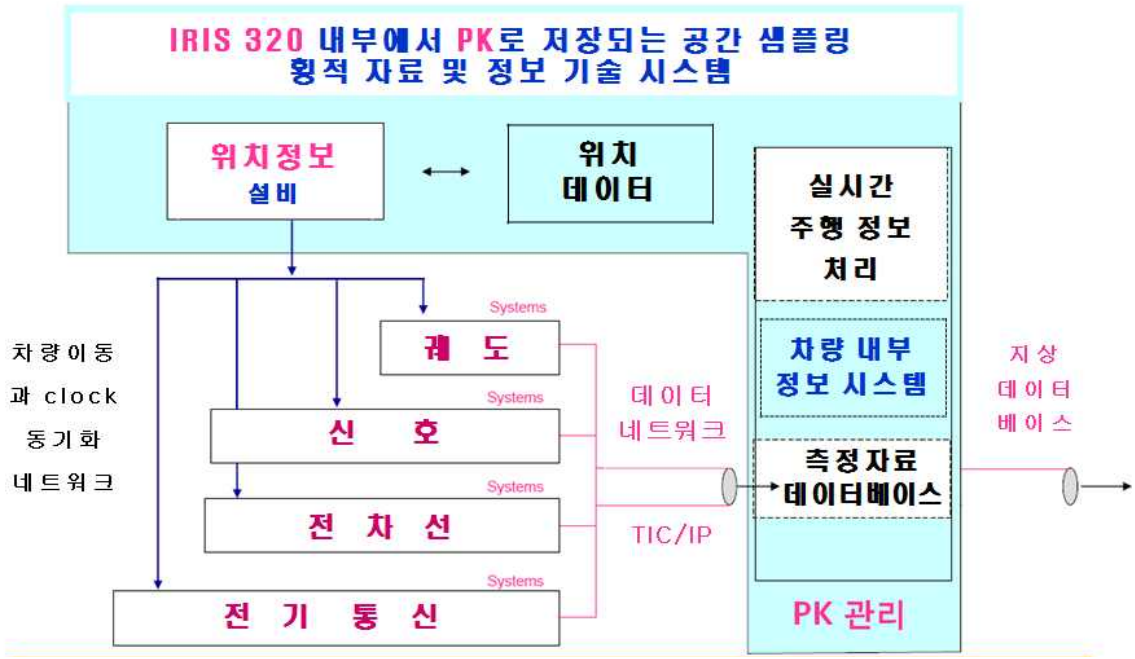



그림 38 차량 내부 인터페이스 시스템

열차의 운영자들은 측정장치로부터 제공되는 계산된 데이터와 원시 데이터에 의해 그려진 곡선 그래프를 실시간으로 확인하여야 한다. 운영자들은 열차가 주행하는 동안 위치측정 (Localization)을 통제하며, 샘플을 기반으로 보완적인 처리를 시작하며 데이터베이스를 구축한다.

### (2) east i(일본)

JR 동일본 철도회사에서는 최신기술을 이용한 신칸센 열차의 안전을 확보하기 위하여 모든 선로와 전기시설물을 점검하기 위한 특별한 검측차량 east i를 개발 하였다. east i는 JR 동일본의 east i를 Inspection(검사), Intelligence(지성), Integrate(통합)의 첫 자를 따서 붙여졌으며, 노선 및 기능에 따라 다음과 같은 검측 열차로 구분한다.

- E926형 열차 (east i) : 신칸센 구간용
- E491계 열차 (east i-E) : 재래선 전철화 구간용
- E193계 열차 (east i-D) : 재래선 비전철화 구간용

운행 중에 어떠한 비정상 데이터가 검측 되면 동시에 신칸센 중앙사령실로 정보가 전송되며, 전송된 정보는 온라인으로 연결된 서버와 연결되어 분류화 작업이 완료된 후에 분석결과를 유지보수 소속의 단말기로 전송되므로 실시간 자동화 진단이 가능해짐에 따라 유지보수의 최적운용이 가능하게 되었다.

### (3) RAMSYS (이탈리아)

MERMEC사는 전 세계 11개 운용회사에 9개 고속 검측차량을 제공하고 있으며 2008년 도입된 서울메트로 종합검측차(ROGER-600)와 철도공사에서 사용하고 있는 종합검측차(ROGER-1000K), 전철시험차(1~4호)의 검측장비 대부분이 MERMEC사에서 도입되어 사용하고 있다. MERMEC사는 상위 10개 세계 철도네트워크에 자사기술을 60% 정도 적용하고 있는 것으로 분석된다. 전 세계에 500개 진단시스템을 판매 하였고 40개국에 125사와 고객관계를 갖고 있으며 400 RAMSYS 사용자 라이선스를 판매하였다.

RAMSYS는 M&R 계획 및 제어를 지원하는 유지보수(예를 들면 자산, 결함, 측정, 활동 등)에 기반을 두어 철도 기반시설 및 철도차량의 상태에 관련된 모든 데이터를 관리하는, 유일무이하고도 통합된 소프트웨어 플랫폼이다. M&R(Maintenance&Renewal) 분야의 경우 방대한 엔지니어링 데이터를 다루어야 하므로 회계 중심의 ERP(SAP)와의 별도의 시스템으로서 RAMSYS를 운영 중에 있다. 저장된 통합 DB로부터 데이터 분석 및 불량 발견을 위해 8명의 기술자가 종합분석센터(Diagnostic Centre of RFI)에 상근하고 있으며 매월 1TByte 정도의 데이터가 종합분석센터 중앙 서버에 추가로 업로드 되고 있다.

RAMSYS는 양이 어느 정도이든, 모든 종류의 데이터를 철도 자산 상태에 관한 귀중한 정보로 통합하고 처리할 수 있는 능력을 가지고 있으며, 수정 활동보다는 유지보수에 기초한 상태로 변경할 수 있도록 도움을 준다. 이러한 점이 바로 기반시설과 열차의 효율, 이용성, 신뢰도 및 안전성을 증가시키며, 철도의 유지보수에 드는 예산을 통제할 수 있게 된다.

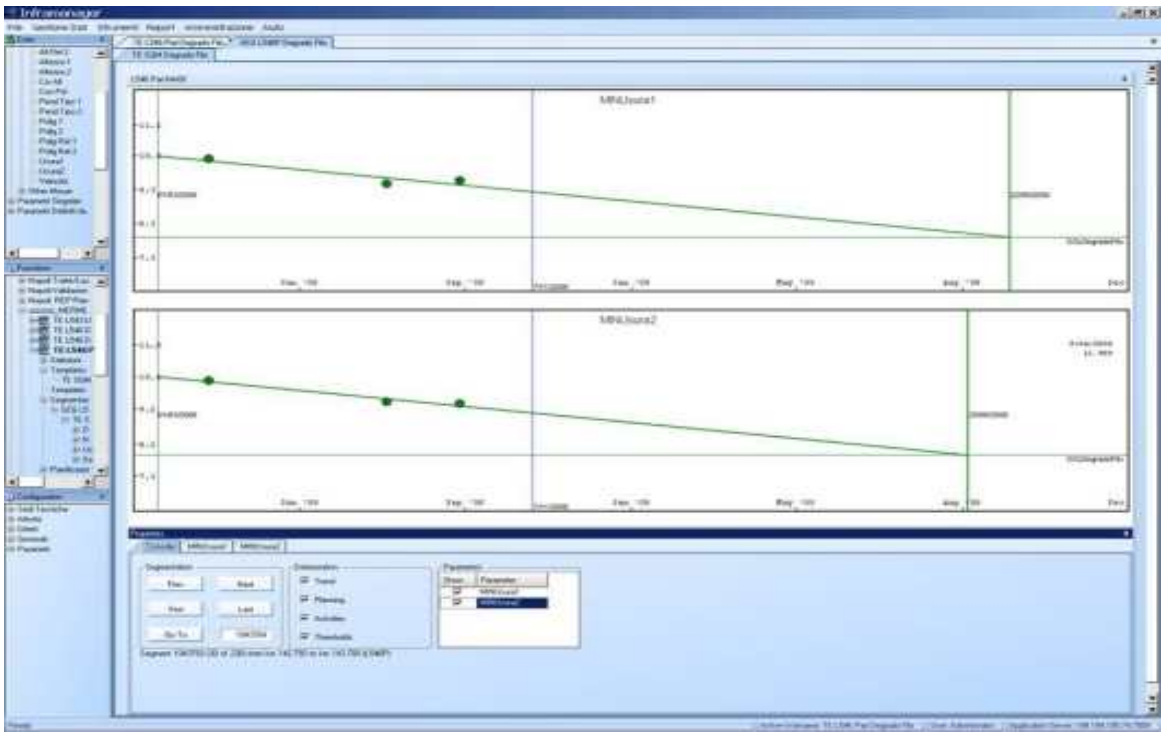


그림 39 RAMSYS 전차선 관리화면

### (4) MOWIS (미국)

미국의 FRA(Federal Railroad Administration)의 주관 하에 ZETA-TECH社 에서 개발한 MOWIS는 철도시스템의 궤도 시설 분야에 적용하고 사용 중이다.

MOWIS 소프트웨어 패키지 프로그램은 시스템 맵(map), 궤도차트, 궤도구성품 상세 데이터, 구성품 결함 이력, 계획과 보수이력, 궤도구성품 결함과 레일수명 예측을 보여 주는 모듈로 되어 있다.

MOWIS 데이터베이스는 궤도부설 데이터와 보수이력 데이터를 포함하여 궤도구성품의 상세한 부분을 묘사할 수 있다. 이 데이터베이스는 다양한 유지보수관련 종사자들에 의해 궤도구성품의 기록과 궤도의 모든 조건이 거의 실시간으로 갱신된다.

MOWIS는 유지보수계획을 위한 궤도상태 예측과 예산을 고려한 레일교환의 수명을 예측할 수 있다. MOWIS의 일반적인 데이터베이스에 대하여는 모든 사용자들에게 접근이 가능하게 해 놓았다.

궤도구성품의 결함이나 레일결함 등을 선택할 경우 그래픽으로 정보를 제공하는데 이를 시스템 맵(map)이라 한다. 각 역구간 궤도 상태에 대한 사진 파일을 포함한 데이터에 대한 직접적인 접근이 가능하다.

데이터베이스 내의 데이터를 기초로 한 궤도차트로의 접근이 용이하다. 원하는 역이나 세그먼트(segment)를 클릭할 경우 추가적인 데이터를 볼 수 있다.

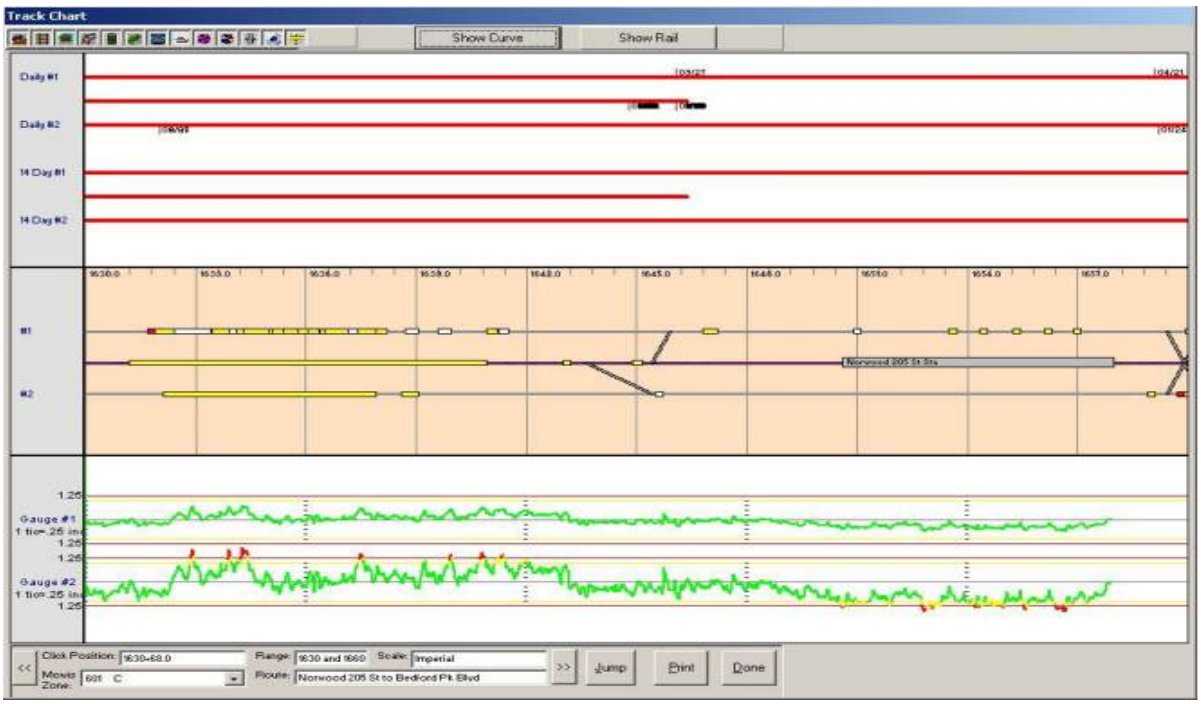



그림 40 MOWIS 검측그래프 현시화면

# 4절 연구개발 결과의 우수성 및 차별성

## 1. 전차선로 차상검측시스템

표 20 전차선로 차상검측시스템의 차별성 비교

| 연구 목표 | 기존 기술 | R&D 과제 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | | • 최고 속도 : 350km/h |
| 전차선 높이/편위 검측장치 | • 해외도입(ROGER-1000K, 전철시험차)<br>• 검측차 속도: 최고 160km/h<br>• 핵심기술의 인프라 수준은 기술선진국에 의존적임 (장비 노후화로 인한 검측시스템 오류 및 유지보수비용 증가)<br>• 검측데이터에 대한 분석기능이 없으며, 검측치 출력을 통한 현장 배포<br>• 검측장치 설치를 위한 전용검측차가 필요함 | • 국산화 (해외 도입품과 동등 성능)<br>• 검측속도: 최고 350km/h<br>• 핵심기술 국산화 및 관련 기술 확대적용 가능(기하적적 구조변형 검측)<br>• 차량 진동, 롤링, 궤간측정을 통한 전차선 높이/편위 보정 기술 확보<br>• 국내 환경에 적합한 검측데이터 분석기능 제공(국내 시설물DB와 연계 및 GPS맵을 활용한 검측위치 분석)<br>• 작업자 스마트폰과 연계한 전철주별 검측위치 및 검측값 확인<br>• Map를 이용한 검측위치 확인<br>• 검측장치 소형화로 차량종류에 상관없이 설치 가능(기존 검측장치 크기 1/10 수준임)<br>• 국내 모든 전차선(Catenary, R-Bar, T-Bar) 측정 |
| 전차선 영상 검측장치 | • 전차선로 건설에 따른 집전성능인증<br>• 전차선로 구간에 이선율(NQ)분석 | • 전차선로 이선발생 위치 검측<br>• 아크크기(지속시간)에 따른 알람발생<br>• 전차선로 시설물 DB와 연계한 전기적 충격위치 분석 및 현장유지보수 위치제공<br>• 자동화 진단서버와 연계 |

| 연구 목표 | 기존 기술 | R&D 과제 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | | • 최고 속도 : 350km/h |
| 전차선 과하중 지점 검측장치 | • 팬터그래프에 접촉력 센서(스트레인게이지, 로드셀, 가속도)를 직접 설치하는 접촉식 방식<br>• 전차선로 건설에 따른 집전성능인증 분석용도<br>• 접촉력 센서부착을 위해 팬터그래프 변형이 필요함 (접촉력 측정을 위한 전용 팬터그래프가 필요함)<br>• 센서설치로 팬터그래프 무게증가로 팬터그래프 압상력 조정필요<br>• 차탑 25,000V 고전압 환경에서 센서 설치로 전기적 절연이 필요함 | • 전차선로 유지보수 용도로써 비접촉식 방식에 팬터그래프 충격발생위치 검측<br>• 팬터그래프에 부착된 마커의 순간변위량 및 가속도를 카메라로 측정하여 전차선로 과하중지점 및 충격위치 검측<br>• 전차선로 시설물 DB와 연계하여 충격 발생지점분석<br>• 팬터그래프 상에 마커(스티커)부착으로 팬터그래프 변형이 필요 없으며, 일반 상업 영업차량에 설치 가능함<br>• 고주파필터를 이용한 전차선로 충격지점 분석 |
| 전차선로 이미지 분석장치 | • 국내 운용사례 없음<br>• 도보순회를 통한 전차선로시설물 점검<br>• 작업자 육안에 의한 시설물 점검 | • 기존 도보순회방식을 탈피한 새로운 유지보수기법 제시<br>• 350km/h에서 1mm 등간격에 전차선로 시설물 이미지 취득<br>• 태양광등의 주변광원을 차단하여 주/야간 동일한 품질에 전차선로 시설물 이미지 취득<br>• 350km/h 속도에 1mm 간격에 선명한 이미지취득을 위해 고출력 집광조명 개발 (@ 10㎲미만에 카메라 노출시간을 고려)<br>• 초당 400mb 시설물 영상 고속저장<br>• 영상처리(패턴매칭, 신경망)을 통한 전차선로 시설물 분석<br>• 전차선로 시설물 이미지 분류 및 DB화 (검사대상 시설물 구분 및 인식)<br>• 검사대상시설물 변형 및 파손을 검지<br>• 전차선로 시설물 영상수집 및 시설물 결함 분석 |
| 전차선로 열화상 | • 없음 (@300k/h) | • 전차선로 시설물 온도검측 및 과열부위 검출<br>• 전차선로 열화상 온도데이터 모니터링 및 저장<br>• 주변 온도 색상보다 높은 이상 온도구간에 알람발생<br>• 전차선로 유지보수진단을 위한 타 검측장치와 운용 연계 |

## 2. 궤도회로 차상검측시스템

표 21 궤도회로 차상검측시스템의 차별성 비교

| 연구 목표 | 기존 기술<br>(KTX-36호 검측시스템) | R&D 과제 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | • 최고 속도 : 300km/h | • 최고 속도 : 350km/h |
| 검측 정밀도 | • 연속/불연속 및 보상콘덴서 검측장치 : 2~3m | • 연속/불연속 및 보상콘덴서 검측장치 : 0.5m<br>• ETCS 발리스 검측장치 : 0.05m |
| 정보의 Sampling Rate | • 연속/불연속 및 보상콘덴서 검측장치 : 10ms | • 연속/불연속 및 보상콘덴서 검측장치 : 4.5ms<br>• ETCS 발리스 검측장치 : 1ms |
| 자동화 운영 기술 | • 없음 | • 이벤트 및 알람 정보의 실시간 전송<br>• 검측 정보에 대한 분석 기능 (Off-line에 의한 지상에서의 분석) |
| 연속정보 및 불연속정보 검측장치 | • 아날로그 처리와 디지털 처리의 이원화 구조 : 정보전송의 시간차 발생<br>• 아날로그 처리결과는 상용 DAQ를 사용하여 종합처리장치와 인터페이스<br>• 종합처리장치와의 인터페이스 : Serial 통신 | • 아날로그 및 디지털 정보를 단일 보드에서 처리 : 정보전송의 동기화가 이루어져 검측 정확성 향상 (검측장치의 디지털화)<br>• 상용 DAQ를 사용하지 않음 : 구조의 Compact화<br>• 종합처리장치와의 인터페이스 : 고속의 LAN 통신에 의한 정보처리의 고속화 및 통신 품질 향상<br>• 연속정보 주파수 처리 : 단일 보드에 의해 4개의 주파수를 일괄 처리 |
| 보상 콘덴서 검측장치 | • 도입품 | • 보상콘덴서 검측을 위한 장치의 국산화 : 수신보드, 처리보드 및 신호증폭기 |
| ETCS 발리스 검측장치 | • 없음 | • ETCS 발리스 검측을 위한 장치의 국산화 : 수신보드, 처리보드 및 전력파전송보드 |
| 종합처리장치 | • 단일 컴퓨터에 의한 처리<br>• 연계 시스템 : 없음 | • 데이터 인터페이스와 운영 S/W를 분리하여 구성 : 정보처리의 고속화 및 확장성 향상<br>• 자동화 운영시스템과의 연계를 통한 각종 검측정보의 인터페이스 |

### 가. 검측 속도

본 과제의 개발품은 검측속도를 기존 300km/h에서 350km/h로 향상하였으며, 향후 고속열차의 속도가 증가함에 따라 설계속도는 400km/h로 설정하여 개발하였다. 열차의 속도가 400km/h 이상일 경우는 소프트웨어 및 일부 하드웨어의 수정으로 적용 가능하다.

## 나. 시스템 구성

기존 검측시스템은 검측정보 수신 및 처리를 위해 상용 DAQ를 사용하여 복잡한 구성을 가지며, 특히 연속 및 불연속정보 검측장치는 레벨과 메시지를 각각 분리하여 처리한다.

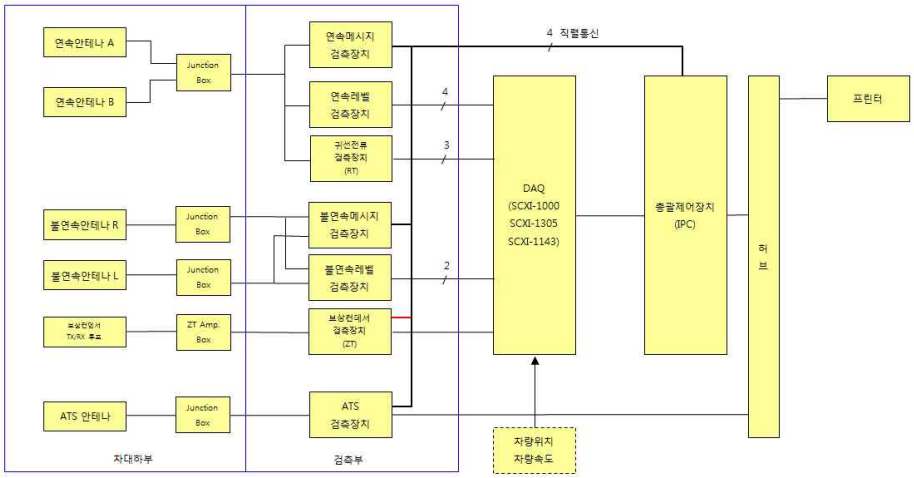



그림 41 KTX-36호 신호분야 차상검측시스템 인터페이스 구성

본 과제 차상검측시스템의 모든 장치들은 순수 국내 기술로 개발되었으며, 검측정보의 수신 및 처리는 상용 DAQ를 사용하지 않는 구성을 가진다. 검측정보를 수신하는 수신보드들은 지상설비의 특성에 따라 각각 적합한 회로로 설계하였지만, 검측정보를 처리하는 처리보드는 모든 검측장치에서 공통으로 적용할 수 있도록 하드웨어를 단일화 하였다.

처리보드는 공통 하드웨어 기반을 가지고, 검측정보를 처리하는 응용 프로그램은 각각의 검측 기능에 적합하도록 구현하였으며, 응용 프로그램은 처리보드의 Flash 메모리에 다운로드하여 동작할 수 있도록 제작하였다.

## 다. 내부 및 외부 인터페이스

기존 검측시스템은 검측장치와 총괄제어장치(본 과제의 종합처리장치와 동일한 기능)의 인터페이스를 위해 2가지 방법(Serial과 LAN)을 사용하는 구성을 가지며, 특히 동력차에 설치하는 검측장치 랙과 검측실에 설치하는 총괄제어장치의 인터페이스는 Serial(RS-232C)로 구성되어 있다. 동력차의 검측장치 랙과 검측실의 총괄제어장치 사이의 거리는 약 30m 정도 이격되어 있어, serial 통신으로 인터페이스를 할 경우 차량 특성상 외부로터의 노이즈 및 고조파 영향에 쉽게 노출된다.

본 과제의 검측장치 랙과 종합처리장치간 인터페이스는 LAN(Category 7 cable 사용) 통신을 사용하므로 고품질, 고신뢰의 데이터 통신이 가능하며 차량에서 발생하는 외부로부터의 간섭을 최소화할 수 있다.

### 라. 검측 데이터 처리

본 과제의 검측장치들은 검측된 레벨과 메시지를 하나의 단일 보드에서 동시에 처리하는 구조를 가지며, 이를 통하여 검측 레벨과 메시지의 동기화를 구현하였다. 기존 검측장치는 레벨과 메시지를 각각 다른 보드에서 처리하여 총괄제어장치로 전송하므로 검측 레벨과 메시지의 동기화를 정확하게 맞출 수 없는 구조이다.

본 과제의 검측보드는 레벨(아날로그 정보)과 메시지(디지털 정보)를 동시에 검측하며, 단일 검측보드에 2개의 정보를 동시에 처리하기 위해 2개의 CPU(DSP 및 ARM Processor)를 적용하였다. 검측보드는 검측된 레벨과 메시지를 동기화하여 하나의 메시지 프레임으로 취합하여 종합처리장치로 실시간 전송한다.

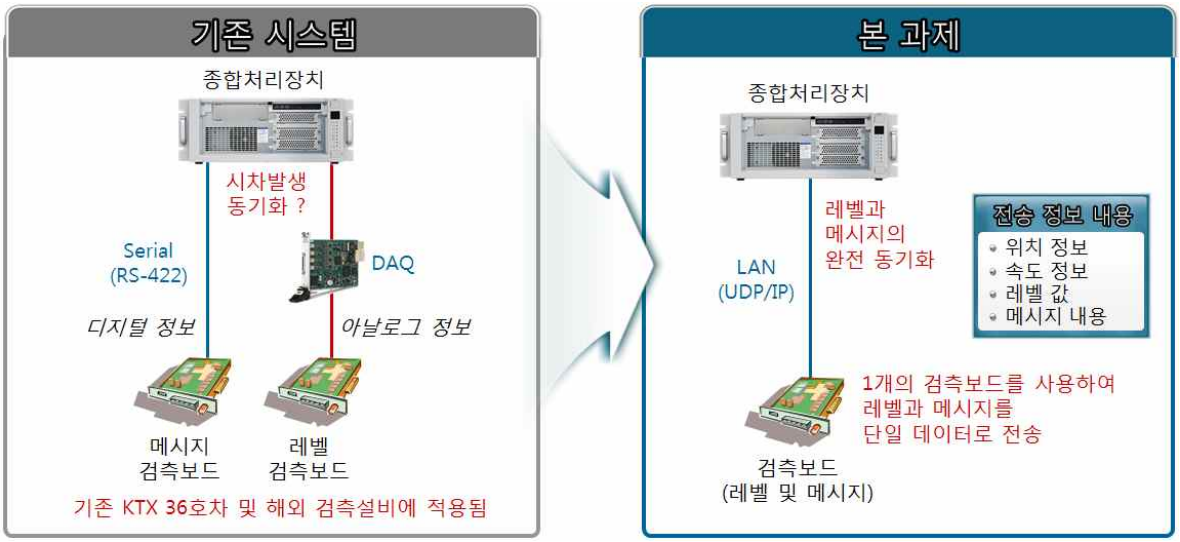



그림 42 신호분야 검측 레벨 및 데이터 처리의 비교

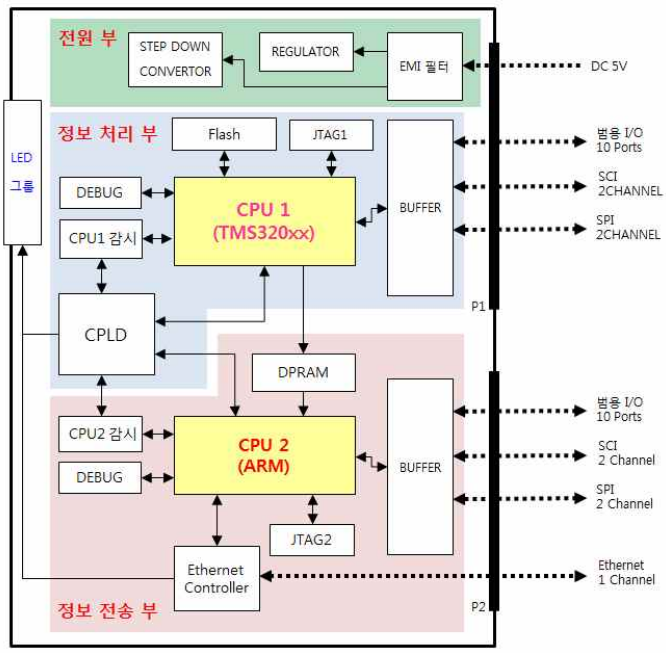



그림 43 처리보드 블록도(2개의 CPU 적용)

## 마. 연속 및 불연속정보 처리

기존 검측시스템은 연속 및 불연속정보 처리를 위해 상용 DAQ를 적용하였으며, 연속정보의 경우 4가지 주파수(2040Hz, 2400Hz, 2760Hz, 3120Hz)를 각각 처리하며, 불연속정보의 경우 2개의 레벨(좌측 및 우측)을 각각 처리하는 구성을 가지고 있다.

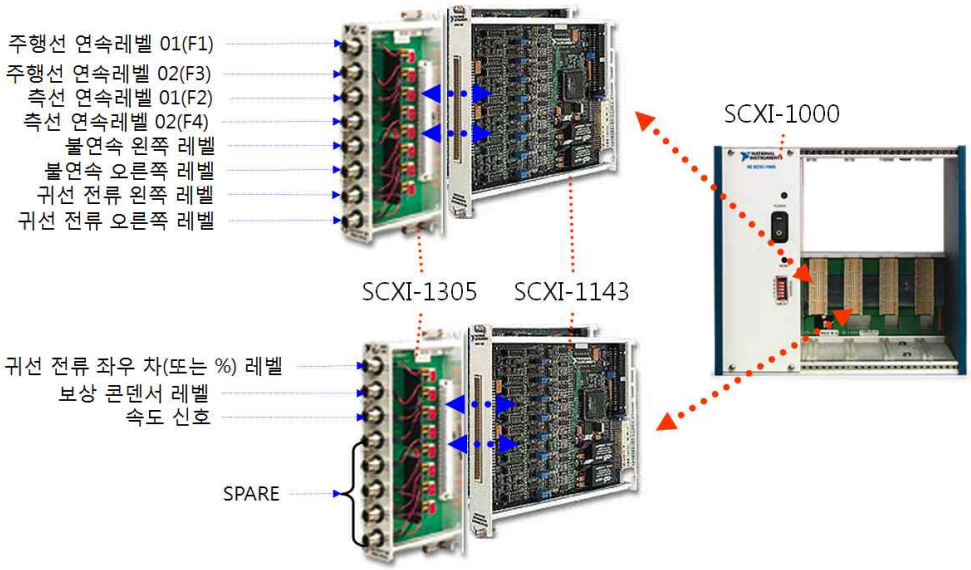



그림 44 KTX-36호 연속 및 불연속정보 처리

본 과제의 연속정보 검측장치 수신보드는 입력되는 4개의 주파수를 단일 보드에 의해 수신 및 처리하는 구조를 가지며, 불연속정보 검측장치 수신보드는 좌/우측 레벨을 단일 보드로 통합하여 처리한다. 그러므로 검측정보의 고속 처리 및 유지보수의 용이함을 제공한다.

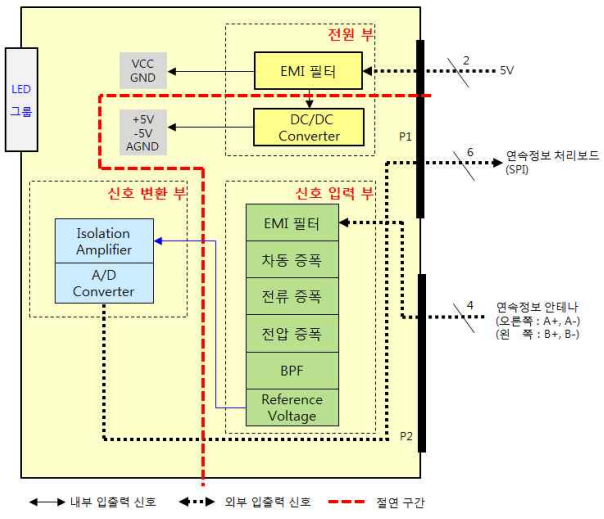



그림 45 연속정보 수신보드 블록도

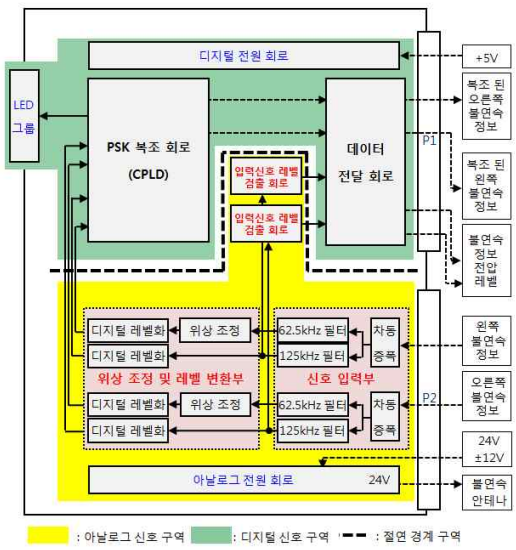



그림 46 불연속정보 수신보드 블록도

## 3. 무선통신 차상검측시스템

표 22 열차무선 차상검측시스템의 차별성 비교

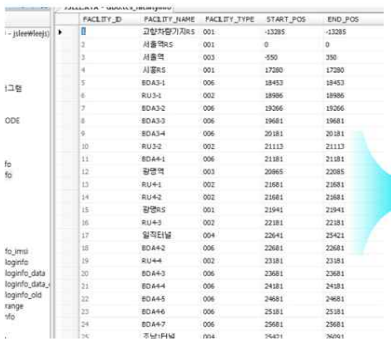
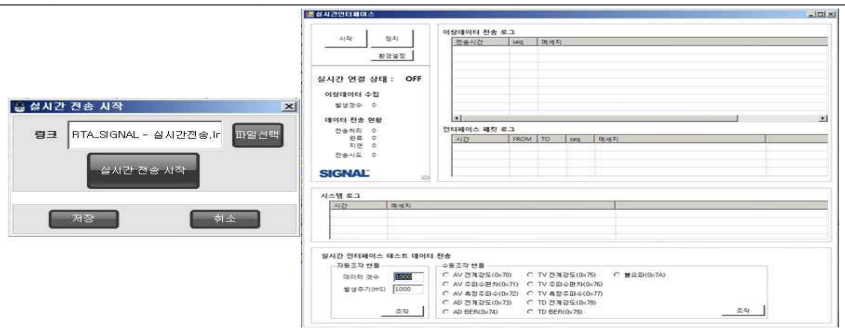
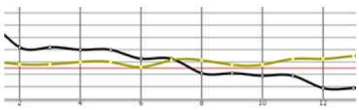
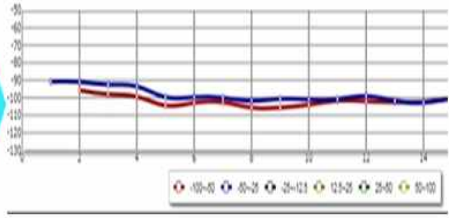
| 연구 목표 | 기존 기술<br>(KTX-36호 검측시스템) | R&D 과제 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | • 최고 속도 : 300km/h | • 최고 속도 : 350km/h |
| 검측 정밀도 | • 데이터베이스 기준 검측 | • 실시간 망의 변화를 검측 |
| 정보의 Sampling Rate | • 데이터베이스 기준 검측으로 인한 핸드오버 구간 초당 8회 검측 | • 기존시스템 초당8회 검측 부하로 인해 실시간 핸드오버 검측 기술 적용<br>• 진행방향 전계강도 기준 -4dB 감소지점 핸드오버 |
| 자동화 운영 기술 | • 없음 | • 이벤트 및 알람 정보의 실시간 전송<br>• 검측 정보에 대한 분석 기능 (Off-line에 의한 지상에서의 분석) |

표 23 열차무선 차상검측시스템의 우수성

| 연구 목표 | 기존 기술<br>(KTX-36호 검측시스템) | R&D 과제 |
|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | • 데이터베이스를 통한 전계강도 및 주파수 검측 | • 실시간 핸드오버 정보를 전계강도 및 주파수 검측에 적용 실제 전파환경에 대한 검측<br>• 핸드오버 정보를 사용자GUI 현시를 통하여 망의 상태변화 데이터베이스 관리 제공<br>• 고시 제 2013-17호 |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | • 없음 | • 불요파 검측을 통하여 열차무선 자원관리<br>• 무선설비 규칙 제3조 적용<br>• ITU-T[13] SM.1045<br>• 터미널의 실제 핸드오버를 이용한 계측기 제어 및 검측 데이터에 적용 |
| 데이터 에러율(BER) 검측장치 | • 데이터베이스의 정보에 따른 데이터 채널 에러율 검측<br>• 전파환경의 환경변화 대응 : 없음 | • 데이터 채널 검측 통하여 열차무선 데이터 채널 품질관리<br>• DAQ4(-95dBm) 4%<br>• 100개의 FIFO(First In First Out) 버퍼를 사용하여 복호화 결과를 DATA 버퍼에 채우며 잘못 복호화된 Bit 비율을 퍼센트 계산하여 산정 |
| 통합서버 인터페이스 및 시뮬레이터 | • Voice와 Data의 분리된 컴퓨터에 의한 처리<br>• 연계 시스템 : 없음 | • 데이터 인터페이스와 운영 S/W를 단일 서버에서 처리하여 유지 보수 및 운용성 향상<br>• 자동화 운영시스템과의 연계를 통한 각종 검측정보의 인터페이스<br>• GPS 정보를 이용한 지도 데이터로 검측데이터 출출 기능을 제공하여 서울~부산간 열차무선 상황을 명확히 표시 |

13) ITU-T : Telecommunication Standardization Sector

표 24 열차무선 차상검측시스템의 우수성

| 연구 목표 | R&D 과제 |
|---|---|
| 검측정밀도 |  <br>검측채널 / 인접채널<br>LAId(d) RSSI MER LAId_1(d) Channel_1 RSSI_1<br>1202 -86 5 1201 2075 -79<br>1202 -86 6 1201 2075 -78<br>1202 -87 7 1201 2075 -78<br>1202 -87 8 1201 2075 -77<br>1202 -87 8 1201 2075 -78<br>1202 -87 6 1201 2075 -78<br>1202 -89 7 1201 2075 -1<br>1202 -89 1 -999 -999 -999<br>-999 -999 -999 -999 -999 -999<br>-999 -999 -999 -999 -999 -999<br>1201 -79 1 -999 -999 -999<br>1201 -78 3 1202 2128 -93<br>1201 -77 3 1202 2128 -93<br>1201 -77 4 1202 2128 -93<br>1201 -77 6 1202 2128 -92<br>1201 -77 6 1202 2128 -92<br>1201 -78 5 1202 2128 -92<br>1201 -78 4 1202 2128 -91<br>핸드오버 구간<br>• 기존 Data Base 기준 전파환경을 검측하였던 시스템을 보완하여 본 과제에서는 실시간 열차무선 전파환경변화를 검측한다. |
| 자동화 운용 기술 |  <br>실시간 전송 시작<br>링크 RTA_SIGNAL - 실시간전송.lr 파일선택<br>실시간 전송 시작<br>계정 취소<br>SIGNAL<br>• 본 과제에서는 효율적인 유지보수 체제 지원을 위하여 검측시 열차무선 검측장치의 중요 이상 유무 및 지상시설물의 이상을 실시간 상용 망을 사용하여 지상 분석 시스템으로 전송한다. |
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | LAId(d) RSSI MER LAId_1(d) Channel_1 RSSI_1<br>1202 -86 5 1201 2075 -79<br>1202 -86 6 1201 2075 -78<br>1202 -87 7 1201 2075 -78<br>1202 -87 8 1201 2075 -77<br>1202 -87 8 1201 2075 -78<br>1202 -87 6 1201 2075 -78<br>1202 -89 7 1201 2075 -1<br>1202 -89 1 -999 -999 -999<br>-999 -999 -999 -999 -999 -999<br>-999 -999 -999 -999 -999 -999<br>1201 -79 1 -999 -999 -999<br>1201 -78 3 1202 2128 -93<br>1201 -77 3 1202 2128 -93<br>1201 -77 4 1202 2128 -93<br>1201 -77 6 1202 2128 -92<br>1201 -77 6 1202 2128 -92<br>1201 -78 5 1202 2128 -92<br>1201 -78 4 1202 2128 -91<br>  <br>• 본 R&D 과제에서는 실시간 핸드오버 정보를 전계강도 및 주파수 검측에 적용하여 실제 전파 환경 변화를 검측하였고, 축적된 데이터는 장비의 노후화 및 이상동작을 분석 관리를 가능하게 하여 최적의 열차무선 서비스 환경을 제공한다. |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 |  <br>Limit Check PASS<br>CF 853.4375 MHz Span 200.0 kHz<br>Spectrum Emission Mask Standard: None<br>  <br>• R&D 과제에서는 열차무선 장애 유형 및 서비스 영향 요소를 분석하여 기존 검측 시스템에 없던 불요파에 대한 검측 항목을 추가 하였으며, 불요파 분석을 통하여 최적의 열차무선 자원관리를 가능하게 하였다. |

## 4. 자동화 운영시스템

본 과제에서는 순수 국내 기술로 철도공사 현업 검측 및 유지보수 담당자와의 긴밀한 협조를 통해 국내의 철도 운영상황에 적용이 용이한 시스템을 설계 및 개발했다.

### 가. 자동화진단 운영 기술

자동화진단 운영 기술을 통해 유지보수 담당자에게 전문적인 다양한 정보를 제공해 유지보수관련 의사결정을 내리는데 유용한 정보를 제공하도록 했다. 본 과제의 결과물에는 지속적으로 누적된 데이터를 통계/분석 기법을 활용해 검측결과에 대한 다양한 리포트를 출력할 수 있으며 통합된 시설물 관리를 통해 기준정보를 공유해 관리의 편의성을 높이도록 했다.

또한 시설물 상태추이 분석기능을 구현해 시설물의 상태 변화를 관찰 가능하도록 해 사후 유지보수 체계에서 사전 유지보수 체계로 전환하기 위한 기초를 마련할 수 있도록 했다.

### 나. 실시간 전송 기술

본 과제에서 개발한 실시간 전송 기술은 차상에서 발생한 이상데이터를 실시간으로 지상으로 전송하여 지상 유지보수 담당자가 이상 구간에 대해 즉각적인 확인 및 조치가 가능하도록 해 철도 안전에 크게 기여할 수 있도록 했다. 또한 실시간 전송시스템에 구현된 데이터 송/수신 기능을 다양한 통신 방식에 대응 가능하도록 설계 및 구현해 타 산업분야에도 쉽게 적용 가능하도록 했다.

### 다. 통합 데이터베이스 구축

통합 데이터베이스 구축을 통해 검측데이터를 다양한 방면에 활용 가능하도록 했다. 국내에서 운영하던 기존 검측시스템은 각 시스템의 독자적인 데이터 포맷을 사용하도록 구현되어 있다. 본 과제에서는 전차선/신호/무선통신에서 검측한 데이터를 표준화된 포맷으로 변환하여 범용 DBMS(Database Management System)에 통합 저장하고 관리하여 이기종간의 시스템에서도 다양한 방면으로 사용 가능하도록 했다.

본 과제와 기존 기술과의 차별성은 다음 표와 같다.

표 25 자동화 운영시스템의 차별성 비교

| 연구 목표 | 기존 기술<br>(KTX-36호, 종합검측차) | R&D 과제 |
|---|---|---|
| 자동화 운영 기술 | • 없음 | • 검측데이터를 통한 시설물 상태평가 기술<br>• 이상데이터 추출을 통한 데이터 평가기술<br>• 시설물 상태추이 분석<br>• 추이분석 핵심 엔진 구현<br>• 수학적 모델을 기반으로 한 추이분석 기능<br>• 통계/분석 기법을 활용한 검측데이터 활용<br>• 검측그래프의 다양한 시각화 기술 |
| 실시간 전송시스템 | • 없음 | • 전차선/신호/무선통신 검측장비와의 차상 인터페이스<br>• 상용 무선통신망을 통한 이상데이터 실시간 전송<br>• 대용량 트래픽 처리 기술<br>• 송/수신 데이터 필터일 기술<br>• 지상 사용자에게 실시간 알람 발생기능 |
| 통합 데이터베이스 구축 | • 개별 검측파일을 개인PC에 관리<br>• 누적데이터 처리기술 없음 | • 대용량 데이터 처리기술<br>• 검측데이터 통합 관리기술<br>• 누적 데이터의 효율적 분석<br>• 데이터 표준화 기술 |

# 제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

## 1절 연구수행 전략 및 방법론

### 1. SWOT 분석

표 26 SWOT 분석을 통한 전략방향

| SWOT 분석을 통한 전략방향 도출 | O(기회) | T(위협) |
|---|---|---|
| | - 고속철도 운영의 확산이<br>- 자동화 유지관리 기술의 자력 확보 및 인력확보<br>- 해외시장 진출<br>- 검측데이터 결함진단 경험 | - 국내 기술력 취약<br>- 안전성확보를 위한 자동화 진단시스템 확보시급<br>- 불충분한 장애처리 및 반복사고 유발 가능성 높음 |
| S(강점) | SO 전략 | ST 전략 |
| - 첨단 IT기술의 확보<br>- 고속철도 운영과 유지보수의 경험 확보<br>- 기존 인프라 활용 개선 가능 | - 풍부한 고속철도 운영경험으로 자동화 유지관리 기술개발<br>- 코레일의 대외신인도를 활용하여 해외시장 진출 | - 기술개발 역할분담<br>- 국내 IT기술의 강점을 통해 고객이 원하는 시스템 제공 |
| W(약점) | WO 전략 | WT 전략 |
| - 기술자료 부족<br>- 해외 기술 자료 접근한계<br>- 유지보수 업무의 과중<br>- 핵심요소기술, 전문인력 부족 | - 산학연 유기적인 기술개발 추진체계 구축<br>- 운영 중 취득한 검측데이터 DB 바탕으로 효율적인 기술개발 | - 적용사례 확보 및 안전성 확보 등을 위하여 개발 후 적극 활용<br>- 운용 효율성 극대를 위한 시스템 기술 개발 |

본 과제의 추진을 위한 SWOT 분석은 다음과 같다.

○ 시장 특징

철도 선진국에 의해 주도적으로 진행되고 있으며, 독자적 운영기술 개발로 설비의 자동화 진단 및 예방유지보수 체제로 운영되고 있다. 향후 미국 및 중남미, 아시아 지역의 고속철도 건설계획에 따라 유지보수비용의 절감을 위한 풍부한 잠재 수요시장이 존재하고 있다.

○ 기술 특징

유지보수와 관련된 기술은 고속철도 운영현장의 고유특성이 반영된 기술로써 외부로부터의 접근이 어려우며 경험적 데이터베이스를 바탕으로 결함의 자동화 진단이 가능하다.

○ 기회 요인

고속철도 운영의 확산기로 자동화 유지관리 기술 개발의 최적기이며 관련 기술의 자력확보 및 인력 확보 기회이다. 또한 고속철도 기술의 해외진출에 선도적인 강점을 확보 할 수 있고 개발기술결과를 전기철도에 응용할 수 있는 기반 마련이 가능하다.

○ 위협 요인

고속철도 및 일반철도의 고속화 정책에 따라 철도 안전체계에 따른 안전성 확보를 위한 자동화 통합 유지 관리 시스템의 확보가 시급하다. 철도망 전기 시설의 방대함에 따라 장애 데이터 수집, 분석, 판단 업무가 과중하여 불충분한 장애처리 및 반복되는 사고 유발 가능성이 높아진다.

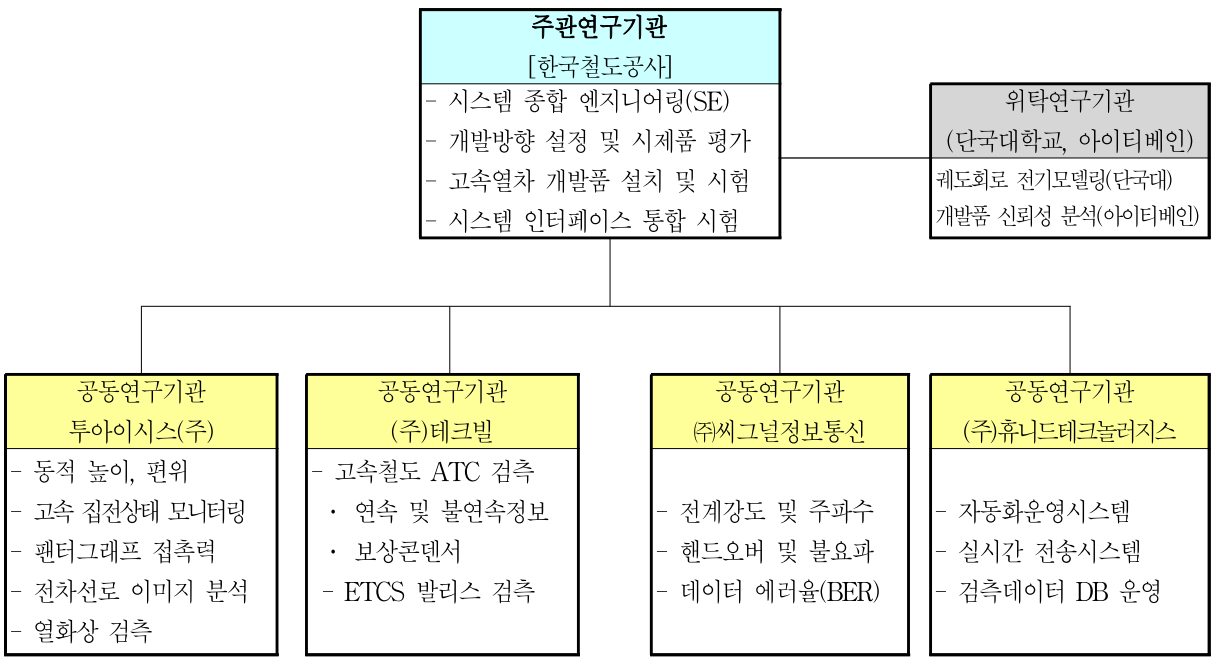
○ 강점 요인

고속철도 기술도입과 운영에 따른 경험 축적이 있고 기존의 유지관리를 위한 기본 인프라를 이용하여 개선 및 보완 할 수 있고 기존 인프라를 최대한 이용할 수 있으므로 경제적인 손실을 최소화 할 수 있다. 사후수습 개념에서 사전 유지보수 개념으로 전환됨에 따라 사고예방 및 장애처리 신속성, 경제성이 제고되고 검측 데이터베이스를 기반으로 자동화 진단 시스템에 의한 사전예방 개념의 고급 유지 관리 기술, 인력 확보 및 해외 진출에 강점으로 작용할 수 있다. 전철화 확장 정책(2015년 75%)에 따라 본 기술의 응용 범위는 계속 확장될 것으로 예상된다.

○ 약점 요인

프랑스, 일본 등 고속철도 운영국가로 부터 자동화 유지관리 기술 도입 및 접근은 극히 어려움이 있고, 선진국의 고속철도 유지관리 기술은 이미 자동화기법을 도입하여 운용 중이다. 철도망 확대에 따라 방대한 전기시설물의 장애데이터 수집량의 증가, 분석, 판단 업무가 과중하여 인력에 의한 실시간 진단이 어려워 불충분한 장애처리로 반복되는 사고유발 가능성이 높아진다. 고속철도 선진화 및 수출을 위하여 국내의 경우 제반 핵심 요소 기술, 전문인력이 부족하고 이에 대한 기술개발 로드맵이 부족하다.

## 2. 연구개발 추진체계



차상 검측시스템 개발을 위해 연구개발 추진체계로는 산·학·연 전문 연구 인력이 참여하는 조직으로 구성하였으며, 1차년도에는 국내외 검측장치 사례조사, 검측시스템 목표사양 결정 및 시스템 설계를 진행하였다. 2차년도에는 시제품 제작 및 단위시험, 3차년도에는 현차 설치를 위한 개발품 제작 및 환경시험을 완료하였으며, 4차년도는 현차 설치 및 시험과 검측시스템 보완을 추진하였다.

| 구 분 | 주관연구기관<br>(한국철도공사) | 공동연구기관<br>(투아이시스) | 공동연구기관<br>(테크빌) |
|---|---|---|---|
| 1차년도<br>(2010) | ○ 시스템엔지니어링<br>○ 사용자 요구사항 분석<br>○ 국내외 차상검측 기술 조사 및 정보 수집<br>○ 검측시스템 개발 요구사양 연구 및 승인<br>○ 시스템 인터페이스 상세사양 연구<br>○ 데이터 검측 및 분류 기준 연구 | ○ 전차선로 차상 검측시스템 국내외 적용사례 조사<br>○ 사용자 요구조건 분석<br>○ 시스템 개발사양 결정<br>○ 상세설계 작성<br>○ 시스템 구성품 선정<br>○ 시험용장치/지그 설계 | ○ 요구사항 도출<br>○ 국내외 검측장치 조사 및 분석<br>○ 시스템 설계 : 시스템 구성, 하드웨어 및 소프트웨어 기능 설계, 인터페이스 정의, 모의시험 환경 설계 |
| 2차년도<br>(2011) | ○ 시스템엔지니어링<br>○ 시스템 통합 요구사양 승인<br>○ 고속차량 시제품 동적 시험 계획 수립<br>○ 검측데이터 실시간 진단 기준값 정의<br>○ 분야별 개발시스템 상세설계 검토 및 확인 | ○ 시험용장치 제작<br>○ 시뮬레이션 S/W 개발.<br>○ 시험설비구간에서 시험용장치 성능검증 및 보완 사항도출<br>○ 상세설계 수정보완 및 시스템간 인터페이스 확정<br>○ 전차선 높이, 편위 고속측정 알고리듬 개발<br>○ 시설물 결함검출 알고리즘 개발 | ○ 상세설계<br>○ 시제품 제작 및 구현<br>○ 단위시험<br>○ 차상 검측장치 성능 시험을 위한 모의시험 장치 제작 : 연속, 불연속 및 ETCS 발리스 시뮬레이터 |
| 3차년도<br>(2012) | ○ 시스템 엔지니어링<br>○ 분야별 검측시스템 신뢰도 분석(RAM)<br>○ 시험 및 시운전 계획 수립<br>○ 고속차량 장착 방안 수립<br>○ 시제품 성능검증 평가 | ○ 전차선로 검측시스템 조립<br>○ 검측시스템 성능검증/보완<br>○ 검측시스템 현차설치<br>○ 검측시스템 시운전/성능 검증 및 평가 | ○ 차상검측시스템 개발품 제작<br>○ 단위 시험 및 통합시험<br>○ 모의시험 장치를 통한 기능 및 성능 안정화<br>○ 공인기관 환경 시험<br>○ 시험 및 시운전 방안 수립 |
| 4차년도<br>(2013) | ○ 시스템 엔지니어링<br>○ 현차설치 및 시운전<br>○ 검측시스템 개발품 평가<br>○ 시험결과 분석 개선<br>○ 사용자 매뉴얼 승인<br>○ 통합시스템 성능 개선 및 안정화 연구 | ○ 시스템 운용 매뉴얼 작성<br>○ 운용자 교육<br>○ 시스템 운영지원<br>○ 완료보고서 작성 및 평가 | ○ 적용대상 차량 설치 및 현차시험 : KTX-36호차 및 종합검측차<br>○ 시운전 완료 및 각종 매뉴얼 작성 |

| 구 분 | 공동연구기관<br>(씨그널정보통신) | 공동연구기관<br>(휴니드테크놀러지스) | 위탁연구기관<br>(단국대학교, 아이티베인) |
|---|---|---|---|
| 1차년도<br>(2010) | ○ 사용자 요구사항 분석<br>○ 국내외 차상검측 기술 조사 및 정보 수집<br>○ 무선통신 검측시스템 개발 요구사양 연구<br>○ 무선통신 검측시스템 H/W, S/W 개념 설계 | ○ 사용자 요구사항 분석<br>○ 국내외 차상검측 기술조사 및 정보 수집<br>○ 자동화진단 알고리듬 기초 연구<br>○ 시스템(S/W, H/W) 구성 방안 연구<br>○ 패턴 인식을 위한 검측데이터 모델링<br>○ 검측데이터 인터페이스 방안 검토 | ○ 궤도회로 전기모델링 연구<br>○ 궤도회로 시뮬레이션 특성 분석<br><br>(단국대학교) |
| 2차년도<br>(2011) | ○ 전파전계강도 분석용 시제품 제작<br>· 전계강도 및 주파수<br>· 핸드오버 및 불요파<br>· 데이터에러율(BER)<br>○ 시제품 시험 및 검증 | ○ 시제품 기능시험<br>○ DB스키마 설계 및 구축<br>○ 자동화진단 예측 알고리듬 상세설계<br>○ 장애분류 데이터 실시간 전송 모듈 설계<br>○ 시제품 모듈 테스트 및 검증 | ○ 궤도회로 전기모델링 구현<br>○ 궤도회로 시뮬레이션 시스템 검증<br><br>(단국대학교) |
| 3차년도<br>(2012) | ○ 차상검측시스템 조립 및 검증 형식시험<br>○ 검측기능 및 형식 적합성 연구<br>○ 초기 현차시험<br>○ 시스템 설치 및 테스트 (HEMU-430, KTX-36호) | ○ 시스템 통합<br>○ 시제품 적용 테스트<br>○ 실시간 정송 현차시험 | ○ 검측장치별 신뢰도 분석<br>○ Failure rate 및 MTBF 산정<br><br>(㈜아이티베인) |
| 4차년도<br>(2013) | ○ 시험결과 분석 및 개선<br>○ 운용 지침/매뉴얼 작성<br>○ 시험 및 시운전<br>○ 현차시험 및 최종시험<br>○ 운영자 교육 및 지원 | ○ 시스템 운용 매뉴얼 작성<br>○ 운용자 교육<br>○ 시스템 운영지원<br>○ 완료보고서 작성 및 평가 | - |

# 2절 연구수행 과정 및 내용

## 1. 전차선로 차상검측시스템

### 가. 개요

전차선로 차상 검측시스템은 “동적 높이/편위 검측장치, 영상검측장치, 과하중지점 검측장치, 이미지 분석장치, 열화상 검측장치 등 총 5가지 장치로 이루어진다.

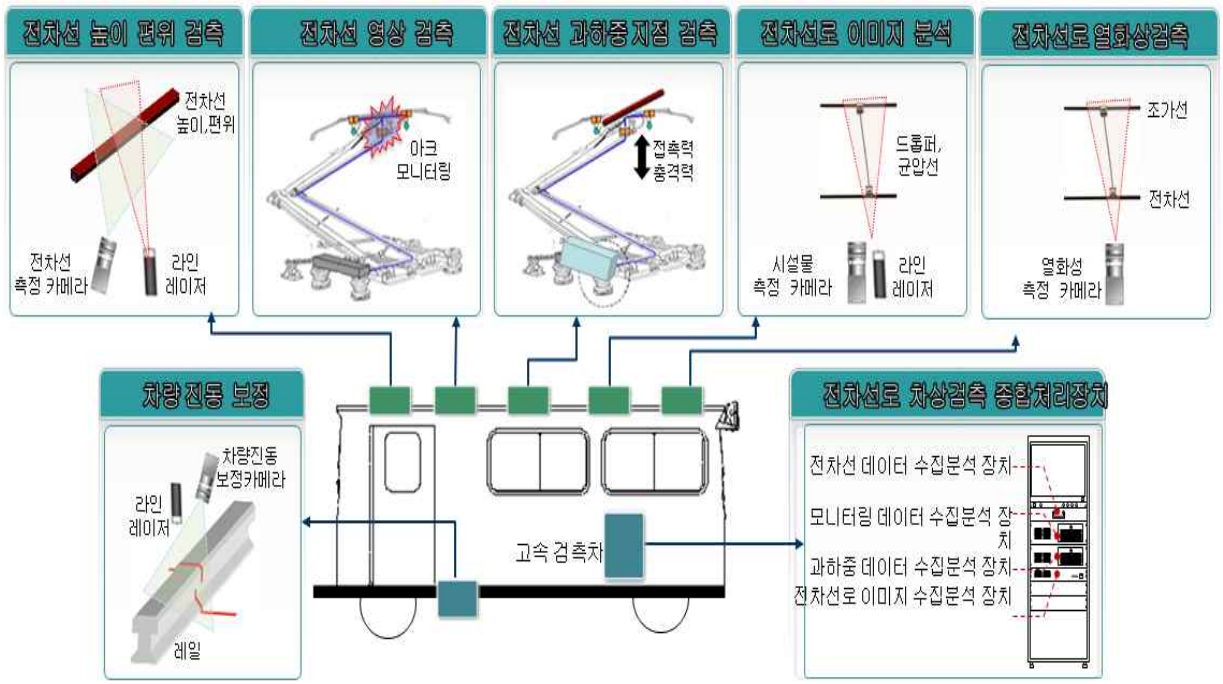



그림 47 전차선로 차상검측시스템 구성

전차선로 차상검측시스템의 구성품별 기능은 다음과 같다.

표 27 전차선로 차상검측시스템 구성품 기능

| 장치명 | 설 명 |
|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측장치 | 전차선 높이 및 편위 측정 |
| 전차선 영상 검측 장치 | 팬터그래프 이선 시 아크발생 개소검측 및 아크발생 모니터링 |
| 전차선 과하중지점 검측장치 | 팬터그래프와 전차선간 과하중지점 검측 및 충격지점 분석 |
| 전차선로 이미지 분석장치 | 전차선로 시설물 이미지 취득 및 시설물 결함 분석 |
| 전차선로 열화상 검측장치 | 전차선로 이상 온도 검측 |

전차선로 차상검측시스템의 연구수행 과정 및 내용은 다음과 같다

표 28 전차선로 차상검측시스템 연구수행 과정 및 내용

| 구 분 | | 연차 | 연구 내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 기술 조사 및 목표사양 정의 | | 1차년도 | • 국내외 검측시스템 조사 및 분석<br>• 요구사항 조사 및 분석<br>• 전문가 세미나<br>• 검측장치별 목표 사양 정의 | 국내 : KTX-36호, 전철시험차, ROGER-1000K<br>국외 : IRIS 320, EurailScout, IPM, MERMEC 등 |
| 시스템 상세설계 | | 2차년도 | • 검측장치별 상세 설계<br>• S/W 설계 | |
| 시제품 제작 | | 2차년도 | • 검측장치 시제품 제작 및 단위시험<br>• 시뮬레이터 및 테스트 베드 제작 | 시험환경 구축 |
| 개발품 제작 | | 3차년도 | • 검측장치 개발품(현차 설치용) 제작<br>• 단위시험 | |
| 시험 | 정적 시험 | 3차년도 | • 공인기관 성능시험<br>• 테스트베드 성능검증 | 공인시험기관,<br>테스트베드(Lab) |
| | 환경 시험 | 3차년도 | • 공인기관 환경 시험 | 내환경성 |
| | 현차 시험 | 4차년도 | • 현차설치(HEMU-430X, KTX-36호)<br>• 열차주행에 의한 동적시험(300km/h) | HEMU-430X<br>KTX-36호 18호차 |

### (1) 기술 조사 및 목표사양 정의

철도선진국에서 운용중인 고속철도 차상 전기검측시스템 원천기술 및 최신 기술동향 조사를 위해 국내외 검측 운영기관 및 제조사를 방문하여 기술 조사를 실시하였다.

표 29 전차선분야 검측 관련 운영기관 및 제작사 조사

| 구 분 | 운영 기관(검측차 명) | 조사 내역 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 국내 | 한국철도공사(KTX-36호) | 전차선로 아크/접촉력 검측설비 | |
| | 한국철도공사(전철시험차, Tecnogamma) | 전차선 높이편위마모 검측설비 | |
| | 한국철도공사(ROGER-1000K: MERMEC社) | 전차선 높이편위마모 검측설비 | |
| 국외 | SNCF社 (RIS 320) | 검측설비 및 운영 시스템 | 프랑스 |
| | MERMEC社 (Archemede) | 전차선 종합검측장치 기술조사 | 이탈리아 |
| | EurailScout社, IPM社 | 전차선, 시설물 이미지분석기술 | 독일 |

전차선로 검측시스템의 목표사양은 다음과 같다.

표 30 전차선로 차상검측시스템 목표사양

| 검측장치 | 내용 | 목표 사양 | 목표성능<br>설정근거 |
|---|---|---|---|
| 전차선<br>높이/편위<br>검측장치 | 350km/h 고속열차 주행시<br>전차선 높이/편위 측정 | ● 차량속도(km): 최대 350<br>● 측정범위<br>- 높이(mm): 4800~5400<br>- 편위(mm): ±350<br>● 정밀도(mm): ±5<br>● 측정속도(Hz): 200 | 전기시설물<br>유지보수 규정<br><br>전철전력설비<br>유지보수 세칙 |
| 전차선<br>영상<br>검측장치 | 팬터그래프 이선시 아크발생<br>개소검측 및 아크발생 모니터링 | ● 아크검출<br>- 검출파장: 220~225nm<br>- 검출시간: 100㎲<br>- 아크지점분석오차: ±10m<br>● 전압/전류측정<br>● 판토모니터링: 60f/s | 아크검출<br>[EN50317] |
| 전차선<br>과하중지점<br>검측장치 | 팬터그래프와 전차선간<br>과하중지점 검측 및<br>충격지점 분석 | ● 과하중지점(충격지점)검측<br>● 충격지점 분석오차: ±1m<br>● 접촉력오차: ±20% | 접촉력<br>[EN50119] |
| 전차선로<br>이미지<br>분석장치 | 고해상도 전차선로 시설물<br>이미지 취득 및 시설물 결함<br>분석 | ● 측정범위: 4800~8000mm<br>● 시설물분해능: 1mm<br>● 검출률: 드롭퍼(90%),<br>균압선(90%), 금구(80%) | 프랑스 검측장비<br>기준 [IRIS 320] |
| 전차선로<br>열화상<br>검측장치 | 전차선로 이상온도 검측 | - 측정범위(℃) -20~150<br>- 측정오차(℃): ±2<br>- 이상온도 검출률(%): 90 | 프랑스 검측장비<br>기준 [IRIS 320] |

### (2) 시스템 상세 설계

상세 설계는 개발하기 위한 각 검측장치에 대한 구체적인 기능 설계 및 회로 설계와 소프트웨어 구성 및 기능, 프로세스별 데이터 흐름 등을 포함한다.

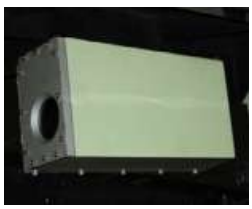
표 31 전차선로 차상검측시스템 설계내역

| 설계 내역 | 설명 |
|---|---|
| 시스템 구성 | 시스템 구성도 |
| 하드웨어 개념 설계 | H/W 구성요소 설계 |
| 소프트웨어 개념 설계 | S/W 기능 정의 |
| 운영화면 설계 | 표시화면 및 MMI |
| 내부 및 외부 인터페이스 설계 | 통신 프로토콜 및 데이터 정의 |
| 장치별 외함 설계 | 측정장치 도면 |
| 모의시험 환경 설계 | 전차선로 테스트베드, 아크 테스트베드, 과하중테스트베드 |

### (3) 시제품 및 개발품 제작

전차선로 차상검측시스템에 대한 시제품 및 개발품 제작과 검측장치별 테스트베드를 구축하여 단위시험을 수행하였으며, 개발품은 현차설치 및 시험을 목표로 한다.

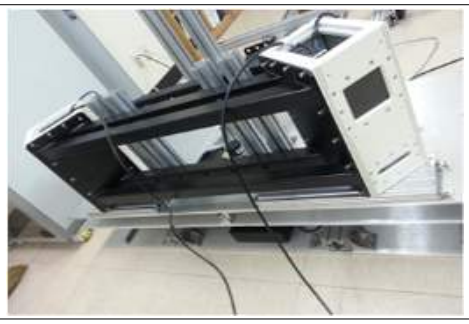
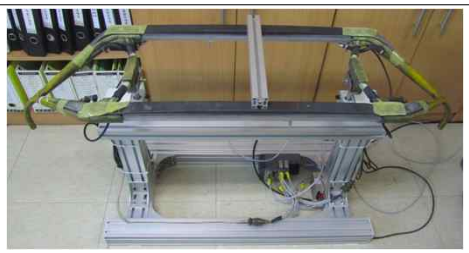
표 32 전차선로 차상검측시스템 개발품

| 장치명 | 제작내용 | 설명 |
|---|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측장치 |  | • 고속카메라와 라인레이저, 태양광 차단필터 등으로 구성<br>• 전차선 높이편위 검측(200Hz)<br>• 검측장치 소형화로 차량종류에 상관없이 설치 가능<br>• 차량 진동, 롤링, 궤간측정을 통한 전차선 높이/편위 보정 |
| 전차선 영상검측 장치 |  | • 팬터그래프 이선시 아크검출 및 전기적 충격지점 분석<br>• 집전상태를 고속 모니터링(60 f/s)<br>• 아크데이터 및 차량의 부하전류를 수집/분석 |
| 전차선 과하중지점 검측장치 |  | • 카메라를 이용한 비접촉식 전차선로 충격위치 측정<br>• 팬터그래프 충격위치 검측<br>• 팬터그래프 25,000V 고압환경과 전기적으로 완전히 절연<br>• 비접촉식으로 팬터그래프 종류에 상관없이 설치 가능 |
| 전차선로 이미지 분석장치 |  | • 고해상도 카메라를 이용하여 전차선로 시설물(드롭퍼, 균압선 등)의 영상 취득<br>• 영상처리 기반기술을 이용하여 전차선로 시설물 (드롭퍼, 균압선 등)의 변형 및 파손 분석 |
| 전차선로 열화상 검측장치 |  | • 전차선로 온도 측정<br>• 전차선로 발열부위와 주변 물체간의 온도색상을 구분하여 접촉불량부위 검측 |

### (가) 정적시험 환경 구축 내역

검측장치별 정적시험을 위한 테스트베드를 구축하여, 각 장치별 단위시험에 활용하였다.

표 33 전차선로 차상검측시스템 시험 환경 구축 내용

<table>
<tr><th>장치명</th><th>제작 내용</th><th>상세 기능</th></tr>
<tr><td rowspan="2">전차선<br>높이/편위<br>검측장치<br>테스트<br>베드</td><td>  </td><td>• 전차선 높이편위 시험용 테스트베드<br><table><tr><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>측정방식</td><td>X/Y 축 고정밀<br>스테이지 방식</td></tr><tr><td>위치정밀도</td><td>0.1 mm</td></tr><tr><td>동작범위</td><td>높이: 1500mm, 편위: ±500mm</td></tr><tr><td>이송속도</td><td>높이방향: 1.5m/s, 편위: 2.5m/s</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>  </td><td>• 차량 진동, 롤링 시험용 테스트베드<br><table><tr><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>측정방식</td><td>X, Y, Θ(회전)축<br>고정밀 스테이지</td></tr><tr><td>x, y<br>위치정밀도</td><td>0.1mm</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>전차선<br>영상<br>검측장치<br>테스트<br>베드</td><td>  </td><td>• 아크 응답속도, 최소검출감도 시험<br>• 아크검출각도, 아크파장대역을 시험<br><table><tr><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>아크광원</td><td>UV 파장대역 아크광원<br>(듀토리움 램프 광원)</td></tr><tr><td>초퍼</td><td>아크센서의 반응성을 시험하기 조리개</td></tr><tr><td>아크검출기</td><td>아크센서 & 헤드</td></tr><tr><td>오실로스코프</td><td>아크검출기 출력 측정</td></tr><tr><td>모노크로메타</td><td>아크광원에서 원하는<br>파장대역만 선택적으로 출력</td></tr><tr><td>스펙트로메타</td><td>광원의 파장 스펙트럼을 측정</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>전차선<br>과하중<br>지점<br>검측장치<br>테스트<br>베드</td><td>  </td><td>• 보우 4개 지점에 스트레인 게이지를 부착 (Full bridge방식, 접촉식 접촉력 측정)<br>• 비접촉식과 접촉식 방식간 접촉력과 비교</td></tr>
<tr><td>전차선로<br>이미지<br>분석장치<br>테스트<br>베드</td><td>  </td><td>• 전차선로(전차선, 조가선, 드롭퍼, 균압선) 및 가동브라켓(I형, O형) 설비<br>• 전차선로 이미지분석장치 시설물 결함모의</td></tr>
</table>

### (나) 시험

전차선로 차상검측시스템의 기능 및 성능 검증을 위해 3단계로 구분하여 시험을 수행하였다.

표 34 전차선로 차상검측시스템의 성능검증을 위한 시험절차

| 구분 | 상세 내역 | 비 고 |
|---|---|---|
| 정적시험 | • 테스트베드 성능검증<br>• 공인기관 성능검증 |  |
| 환경 시험 | • 내환경성 공인시험<br>• 전자파, 진동, 충격, 방수, 온습도 |  |
| 현차시험 | • 현차설치 (HEMU-430X, KTX-36호)<br>• 열차주행에 의한 동적시험 |  |

## 나. 전차선 높이/편위 검측장치

### (1) 개요

전차선 높이/편위 검측을 위한 검측시스템은 전차선 높이편위 측정장치(차탑장치), 데이터 수집장치(차상장치), 차량진동보정장치(차저장치)로 구성된다.

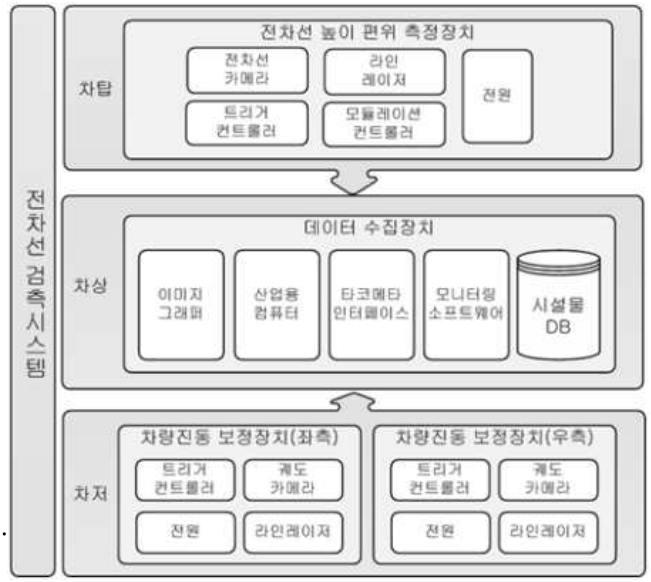



그림 48 시스템 구성도



그림 49 차탑장치(上), 차저장치(下)

### (2) 검측장치 사양

표 35 전차선 높이편위 검측사양

| 구분 | | 상세규격 |
|---|---|---|
| 측정 대상 | | 전차선 높이, 편위 |
| 검측속도 | | 350km/h |
| 측정 범위 | 높이 | 4800mm ~ 5400mm |
| | 편위 | -350mm ~ +350mm |
| 측정 정밀도 | 높이 | ±5mm |
| | 편위 | ±5mm |
| 측정속도 | | 200 Hz |

표 36 차량진동 보정장치 사양

| 구분 | | 상세규격 |
|---|---|---|
| 측정 대상 | | 롤링, 궤간 |
| 측정 범위 | 궤간 | 1425mm~1455mm |
| | 롤링 | ±3° |
| 측정 정밀도 | 궤간 | ±0.3mm |
| | 롤링 | ±0.01° |
| 측정속도(Hz) | | 100 Hz |

### (3) 검측장치 구성 및 기능

#### (가) 전차선 높이편위 측정장치(차탑장치)

전차선 높이편위 측정장치의 주요구성은 전차선 마킹을 위한 808nm 파장대 라인레이저와 해상도 2048 x 2048 픽셀의 전차선 측정 카메라, 태양광등과 같은 외부광원을 제거하기 위한 필터로 구성되며, 차륜 타코메타 펄스를 입력받아 등간격의 카메라 트리거신호를 제어하기 위한 트리거컨트롤러와 레이저 사용 안전성을 위한 모듈레이션컨트롤러를 추가로 구성하였다.

아래 그림과 같이 카메라에서 촬영된 영상에서 라인레이저에 의해 마킹된 전차선 프로파일 데이터를 추출한 후, 전차선 표면에서 산란되는 레이저광원 영향을 제거하기 위해 모폴로지와 서브픽셀을 적용하여 전차선 프로파일 데이터를 정밀하게 추출하였다. 전차선 프로파일 데이터는 카메라와 레이저간 기하학적 구성에 따른 삼각법을 적용하여 전차선 높이와 편위를 계산하였다.

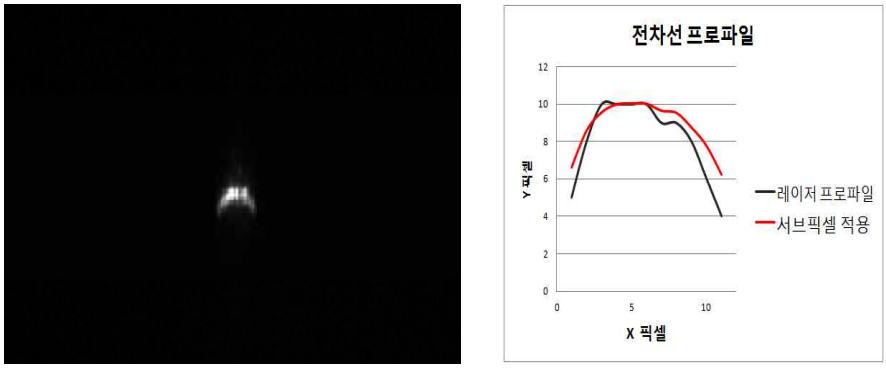



그림 50 전차선 마킹 레이저프로파일 추출 (서브픽셀적용)

### (나) 차량진동 보정장치(차저장치)

검측차 진동 및 롤링 등의 영향으로 인하여 전차선 높이와 편위 검측시 오차를 발생시키게 되므로 이를 보상하기 위한 차량진동보정장치를 추가로 개발하였다.

차량진동 보정장치는 검측차 하부 좌/우에 설치되며, 레일두부상에 레이저 마킹을 위한 라인레이저와 해상도 2048 x 2048 픽셀의 궤도측정용 카메라 등으로 구성되며 전차선 측정카메라와 촬영시점을 동기화하기 위한 트리거 컨트롤러로 구성된다.

차량진동 보정장치는 레일의 형상을 측정한 후, 레일두부상에 측정점을 기준으로 운행 중인 검측차량의 롤링 및 진동 궤간 등을 실시간으로 측정하며 전차선 높이/편위 데이터를 보정한다.

전차선 높이/편위 보정항목은 다음과 같다.

- 진동측정: 검측차 상/하 진동에 따라 전차선 높이 측정값을 보정
- 롤링측정: 검측차 롤링에 따라 전차선 편위 측정값을 보정
- 궤간측정: 검측차 좌/우로 치우침에 따라 궤간중심으로부터 전차선 편위보정

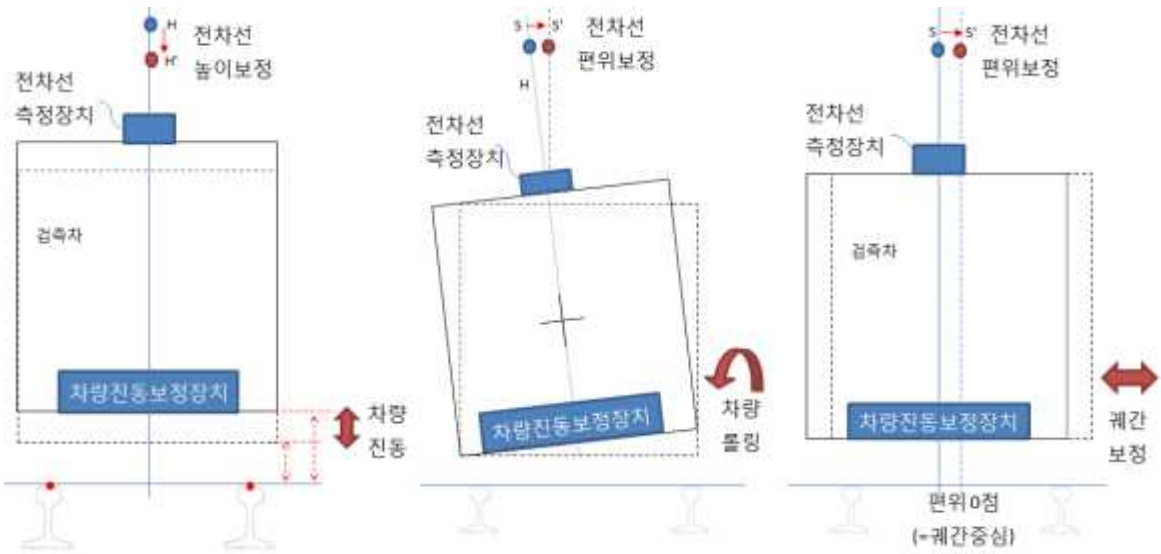



그림 51 전차선 측정 보정항목

차량진동보정장치에서 차량진동 보정을 위한 과정은 좌/우측 레일영상에서 레일프로파일 추출과 기하학적으로 왜곡된 레일프로파일에 대한 좌표변환을 수행한 후, 레일두부 프로파일의 측정점(P1, P2, P3)을 검출하고, 삼각법에 의해 3차원 거리값(x, y, z)을 계산하였다. 좌/우 레일의 측정점으로부터 검측차 롤링 및 진동, 궤간을 실시간 계산하여 전차선 높이/편위 보정에 반영하였다.

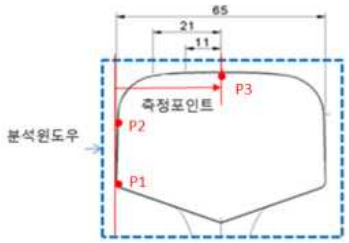



그림 52 레일 측정점

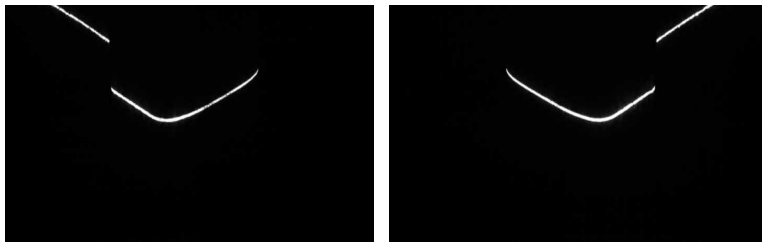


그림 53 좌/우측 레일 프로파일

### (4) 현차설치 및 시험결과

#### (가) 현차설치

전차선 높이편위 검측장치의 현차시험을 위한 구성 및 물량은 다음 표와 같다.

표 37 전차선 높이편위 검측시스템 현차설치 내역

| 장치명 | 품 명 | 규격 | 단위 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 전차선 높이편위 장치(차탑) | 영상수집장치 | 카메라, 광학계, 필터 | 식 | 1 | 차탑 기구 실장 |
| | 레이저 장치 | 808nm | 식 | 1 | |
| | 트리거동기화 | TTL 보드 | 식 | 1 | |
| 데이터 수집장치 (차상) | 이미지그래버 | Type: Full mode | 개 | 1 | RACK 실장 |
| | 산업용 컴퓨터 | i7, 2.8GHz | 개 | 1 | |
| | 운영 모니터 | 24” LED | 개 | 1 | |
| | KVM 스위치 | 모니터, 키보드 스위치 | 개 | 1 | |
| | 스위치 허브 | LAN | 개 | 1 | |
| | UPS | 정전보상 시간: 30분 | 개 | 1 | |
| 측위장치(차저) | 비접촉식 | 2mm 단위 펄스생성 | 개 | 1 | |

전차선 높이편위 검측장치는 현차설치 대상 차량으로 300km/h 고속주행이 가능한 HEMU-430X에서 수행하였다. 검측장치와 데이터 수집장치를 각각 차탑과 차상에 설치하였으며, 차량하부에 측위장치로 비접촉식 타코메타를 설치하여 차량 운행정보를 수집하였다.

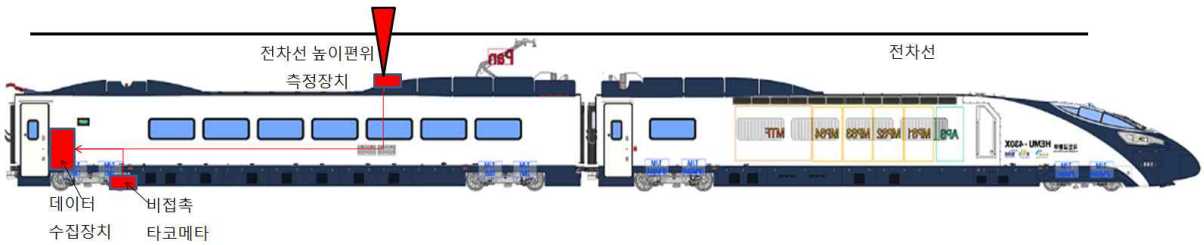



그림 54 전차선 높이편위 검측장치 현차설치도(HEMU-430X)




그림 55 전차선 높이편위 검측장치 설치(HEMU-430X)

### (나) 현차시험

현차시험은 0~300km/h 주행시 전차선 높이편위 검측장치의 검측범위 및 검측속도, 주/야간 검측이 정상적으로 수행되는지 확인한다. 장치기능 확인은 데이터수집장치의 운영모니터와 검측그래프 출력을 통해 확인하였다.

표 38 전차선 높이편위 검측장치 현차시험 항목

| 검측 항목 | 세부 항목 | 내 용 | 설치 대상 | 검측 속도 |
|---|---|---|---|---|
| 전차선 높이・편위 | 고속선 전차선 높이 | 시험구간 높이: 4800~5400mm | HEMU -430X (4차년도) | 300km/h |
| | 고속선 전차선 편위 | 시험구간 편위: 350~350mm | | |
| | 전차선 검측속도 | 200Hz | | |
| | 주행정보 연계 | 타코메타, GPS 검측위치 | | |
| | 일반선 전차선 높이 | 시험구간 높이: 4800~6000mm | 모터카 (3차년도) | 120km/h |
| | 일반선 전차선 편위 | 시험구간 편위: 350~350mm | | |
| | 강체강선 높이 | 시험구간 높이: 4600~4800mm | 모터카 (3차년도) | 30km/h |
| | 강체강선 편위 | 시험구간 편위: 250~250mm | | |

표 39 전차선 높이편위 검측장치 현차시험 결과

<table>
<tr><td>시험 일자</td><td>2014. 3. 07. ~ 4. 11.</td><td>결 과</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>시험 항목</td><td colspan="3">전차선 높이편위 측정</td></tr>
<tr><td>시험 구간</td><td colspan="3">광명-부산(하행)</td></tr>
<tr><td>시험 내용</td><td colspan="3">경부고속철도 구간 전차선 높이편위 측정 (@300km/h)</td></tr>
<tr><td>시험 방법</td><td colspan="3">전차선 높이편위 측정장치에서 측정된 전차선 높이/편위 검측데이터 그래프 현시 및 검측위치 정보확인</td></tr>
<tr><td>판단 기준 및 결과</td><td colspan="3">① 전차선 높이/편위 검측 범위 검증<br>② 전차선 측정속도: 200Hz (카메라 트리거간격(50cm@300km))<br>③ 전차선 높이편위 현차시험 성능대비표
<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>시험 목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험 결과</th></tr>
<tr><td colspan="2">측정 대상</td><td>전차선 높이, 편위</td><td>전차선 높이, 편위 현시</td><td>정상</td></tr>
<tr><td rowspan="2">측정 범위 (mm)</td><td>높이</td><td>4800mm ~ 5400mm</td><td>4800mm ~ 5400mm</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>편위</td><td>-350mm ~ +350mm</td><td>-350mm ~ +350mm</td><td>정상</td></tr>
<tr><td colspan="2">측정속도(Hz)</td><td>200 Hz</td><td>230 Hz</td><td>정상</td></tr>
</table>
※전차선 높이편위 측정 정밀도는 공인기관 시험성적서 제출</td></tr>
</table>

표 40 전차선 높이편위 검측데이터

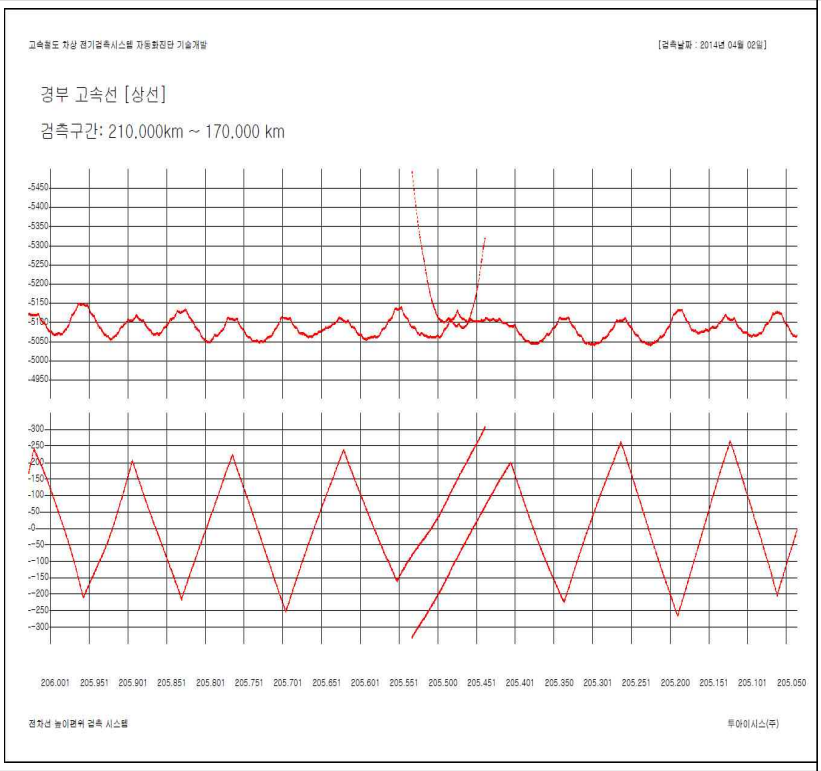
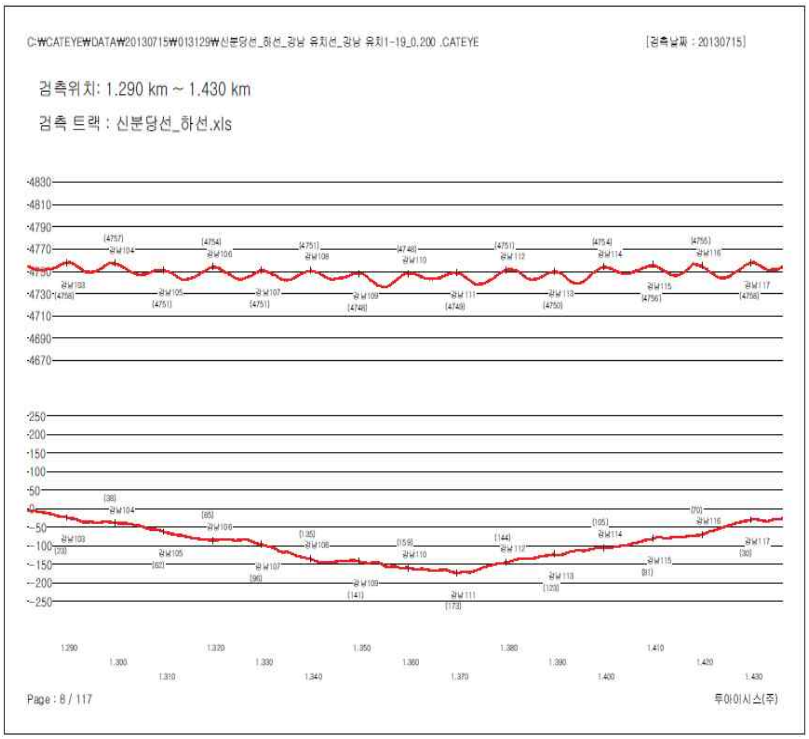
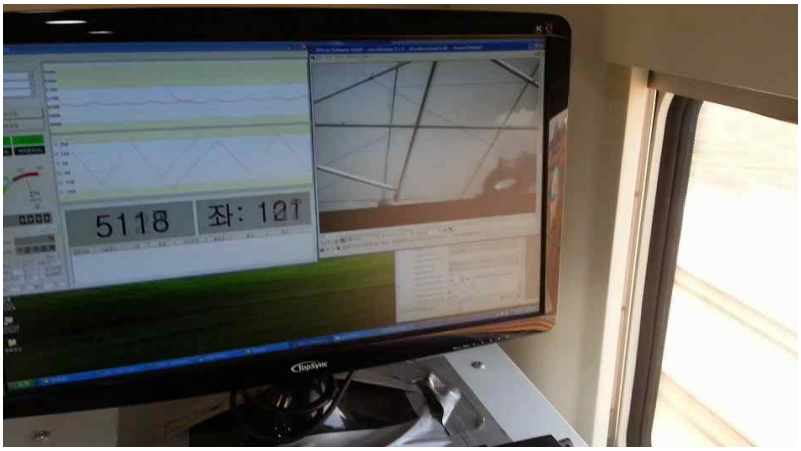
| 구 분 | 검측 그래프 | 설 명 |
|---|---|---|
| 전차선 높이편위 검측 그래프 (지상부) |  | • 열차속도: 300km/h<br>• 검측구간 -경부고속선 (광명-부산) |
| 전차선 높이편위 검측 그래프 (지하부) |  | • 검측구간 -지하구간 (R-Bar) |

표 41 전차선 높이편위 현차시험 화면

| 구 분 | 현차시험 내용 | 설 명 |
|---|---|---|
| 검측<br>S/W |  | • 검측구간<br>-경부고속선<br>(광명-부산)<br><br>• 열차속도:<br>300km/h |
| 분석<br>기능1 |  | • 검측데이터와<br>GPS맵 연동<br><br>• 분석구간<br>-경부선<br>(일반선) |
| 분석<br>기능2 |  | • 스마트폰에서<br>검측결과 확인<br><br>• 검측(전철주)<br>위치별<br>전차선 높이<br>편위 측정값<br>확인 |

## 다. 전차선 영상 검측장치

### (1) 개요

전차선 영상검측장치는 검측차 차탑에 설치되어 팬터그래프 이선시 발생하는 아크를 검출하고, 집전상태를 고속 모니터링하기 위한 장치로써, 차탑에 아크검출기와 모니터링 카메라로 구성되며 차상에서 측정한 아크데이터 및 차량의 부하전류를 수집/분석한다.

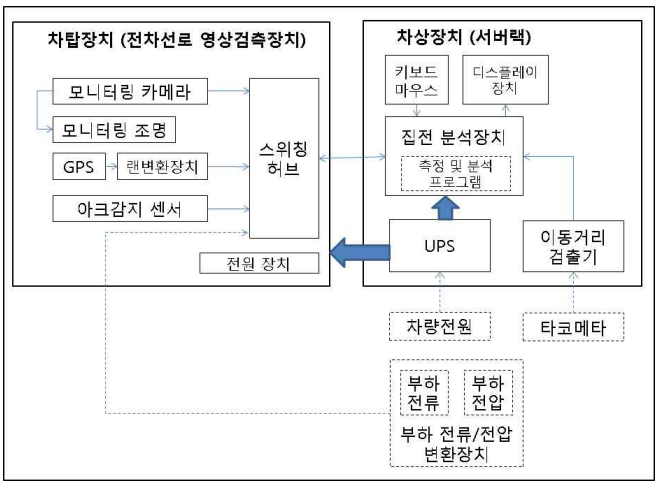



그림 56 시스템 구성도



그림 57 전차선 영상검측장치

### (2) 검측장치 사양

표 42 전차선 영상검측시스템 개발품 사양

| 구분 | 상세규격 |
|---|---|
| 측정대상 | 아크, 전류, 전압, 영상모니터링 |
| 아크검출방식 | 광학식 이선검출 방식 |
| 아크검출파장 | 200~226 |
| 최소아크검출시간 | 100 (㎲) |
| 아크감도 | 10%미만 (팬터그래프 동작범위) |
| 영상모니터링 | 60 f/s |
| 충격위치 분석 | Arc 지속시간, 전압/전류, NQ분석 |

### (3) 검측장치 구성 및 기능

#### (가) 전차선로 영상검측장치(차탑장치)

검측차 차탑에 설치하여 주행 중 팬터그래프의 집전거동 상태를 고속으로 측정하기 위한 장치이다. 주요 장치구성은 팬터그래프 집전거동을 고속 모니터링하기 위한 “고속카메라”, 태양광 간섭을 최소화하기 위한 “광학필터”, 고속카메라의 광원으로 사용될 고출력 “LED 조명”, 아크검출을 위한 “아크검출기” 등으로 구성된다.

아크검출기는 광학식 이선검출 방식으로 아크로부터 발생하는 광파장 중에서 220-225nm의 파장을 선택적으로 검출하기 위한 광학필터와, 10㎲의 고속응답 특성을 만족하는 광증배관(PMT)과, 특정파장에 반응하는 형광창, 광을 전송하기 위한 광섬유 등으로 구성된다.

(나) 전차선로 집전분석장치(차상장치-서버랙)

검측차 차상 서버랙 내에 설치되며, 팬터그래프 집전상태 실시간 모니터링 및 저장하고, 아크검출기로부터 Arc 측정데이터(Duration)와 차량의 부하전류를 실시간 수집/저장한다. 또한 측정된 Arc데이터와 측정위치 정보(킬로정, 속도)를 연결하여 실시간 자동화진단서버에 전송한다.

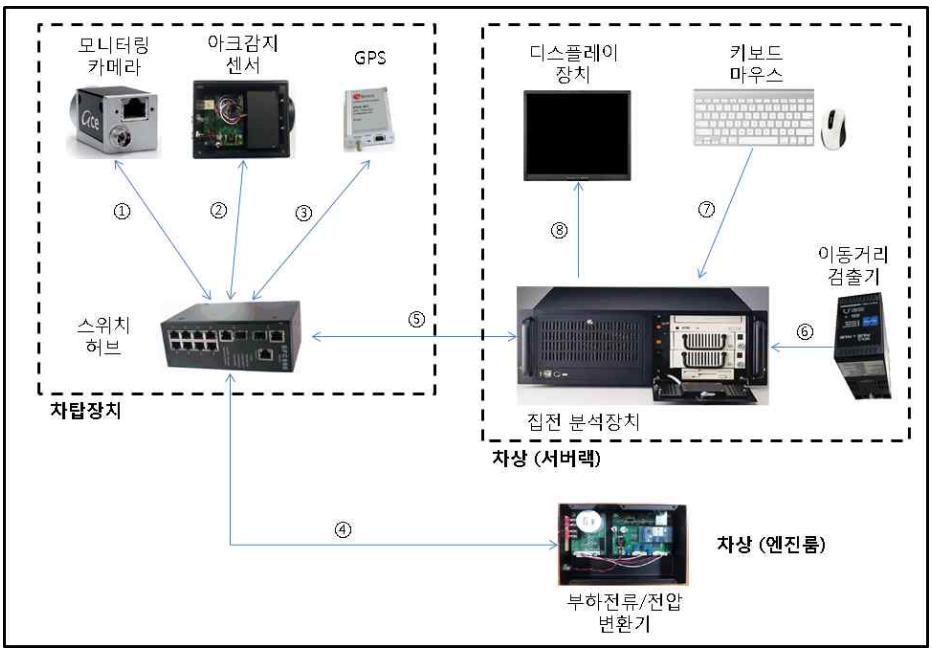



그림 58 하드웨어 구성

(4) 현차설치 및 시험결과

(가) 현차설치

전차선 영상검측 검측장치의 현차시험을 위한 구성 및 물량은 다음 표와 같다.

전차선 영상검측 검측장치는 현차설치 대상 차량으로 300km/h 이상 고속주행이 가능한 HEMU-430X와 KTX-36호에서 수행하였다. 검측장치와 데이터 수집장치를 각각 차탑과 차상에 설치하였으며, 차량하부에 측위장치로 비접촉식 타코메타를 설치하여 차량 운행정보를 수집하였다.

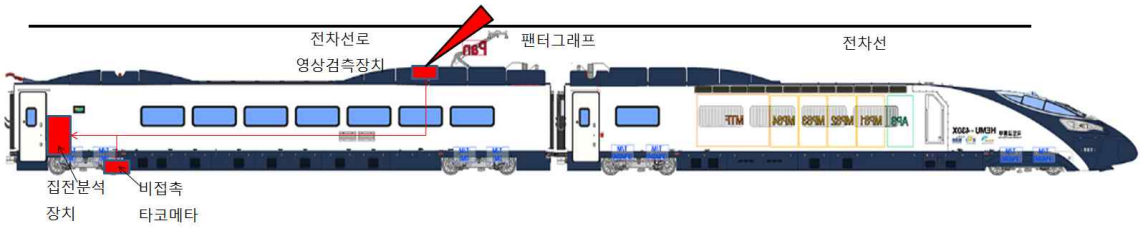



그림 59 전차선 영상검측장치 현차설치도(HEMU-430X)

표 43 전차선 영상검측장치 현차설치 내역(HEMU-430X, KTX-36호)

| 장치명 | 품 명 | 규격 | 단위 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 전차선로 영상검측장치 (차탑) | 모니터링 카메라 | 60f/s | 개 | 1 | 차탑 기구 실장 |
| | 조명 | LED | 개 | 1 | |
| | GPS | | 개 | 1 | |
| | 랜변환장치 | | 개 | 1 | |
| | 아크감지 센서 | 광학식 이선검출 | 식 | 1 | |
| 집전분석장치 (차상) | 이미지그래버 | Type: Full mode | 개 | 1 | RACK 실장 |
| | 산업용 컴퓨터 | i7, 2.8GHz | 개 | 1 | |
| | 부하전류/전압변환기 | 24" LED | 개 | 1 | |
| | KVM 스위치 | 모니터, 키보드 | 개 | 1 | |
| | 이동거리 검출기 | PLC | 개 | 1 | |
| | UPS | 정전보상 시간: 30분 | 개 | 1 | |
| 측위장치(차저) | 비접촉식 | 2mm 단위 펄스생성 | 개 | 1 | |




그림 60 전차선 영상검측장치 설치(HEMU-430X)



그림 61 전차선 영상검측장치 설치(KTX-36호)

### (나) 현차시험

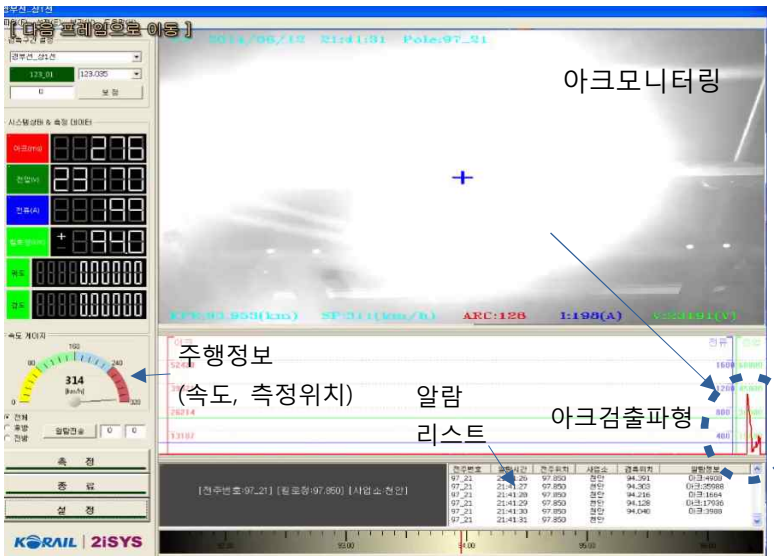
표 44 전차선 영상검측장치 현차시험 항목

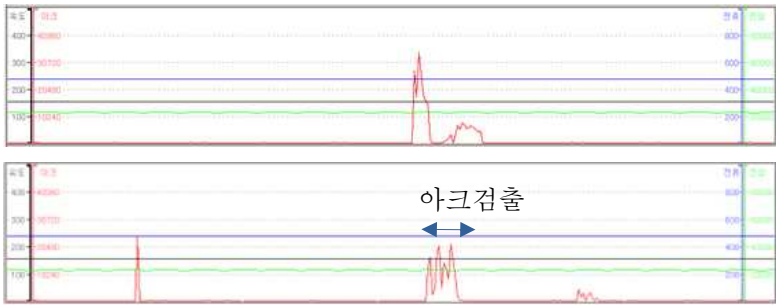
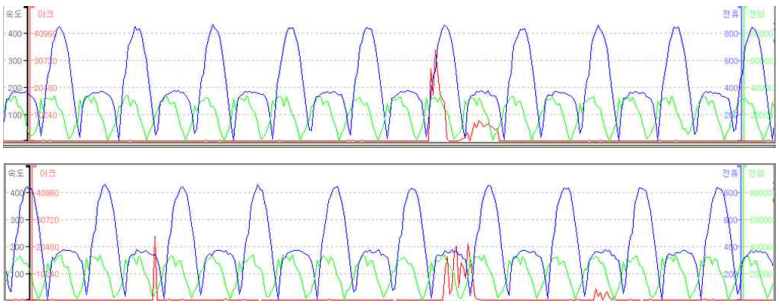
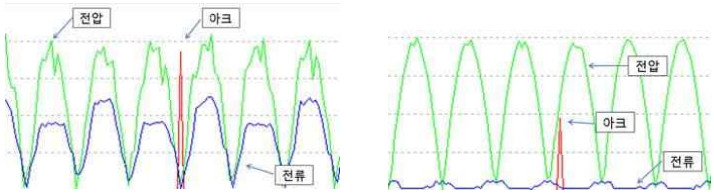
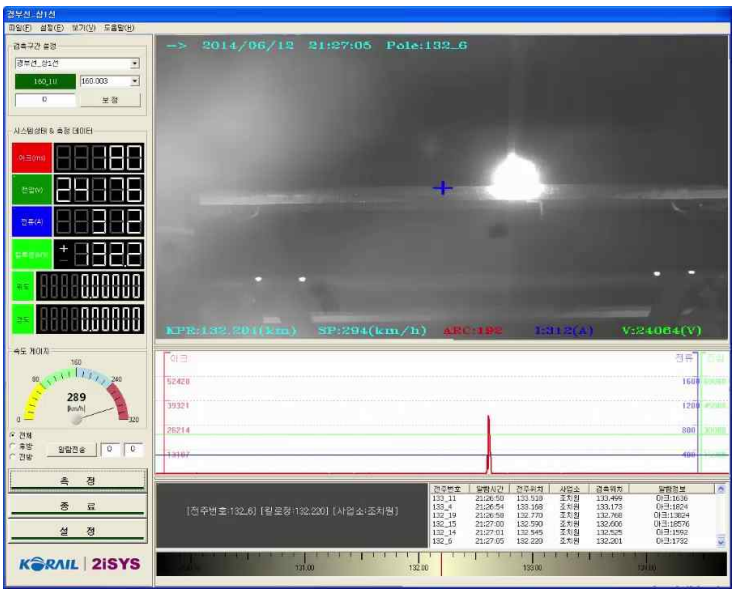
| 검측 항목 | 세부 항목 | 내 용 | 설치 대상 | 검측속도 |
|---|---|---|---|---|
| 아크, 전류, 전압, 영상모니터링 | 아크발생 검측 | 아크지속시간 및 발생위치 검측 | HEMU-430X & KTX-36호 | 300km/h |
| | 전류/전압 검측 | 차량 부하전류 검측 | | |
| | 영상모니터링 | 집전영상모니터링 및 저장 | | |
| | 주행정보 연계 | 운행정보(킬로정, 속도) | | |
| | 자동화진단서버 I/F | 실시간 알람전송(아크>5ms시) | | |

표 45 전차선로 영상검측장치 현차시험 결과

<table>
<tr><td>시험 일자</td><td>2014. 3. 07. ~ 4. 11. (HEMU-430X)<br>2014. 3. 07. ~ 4. 11. (KTX-36호)</td><td>결 과</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>시험 항목</td><td colspan="3">전차선로 아크측정 및 영상 모니터링</td></tr>
<tr><td>시험 구간</td><td colspan="3">광명-부산(하행)</td></tr>
<tr><td>시험 내용</td><td colspan="3">경부고속철도 전차선로구간에서 아크, 부하전류/전압 검측, 집전영상 모니터링</td></tr>
<tr><td>시험 방법</td><td colspan="3">전차선로 영상검측장치에서 아크 검출시 아크그래프 현시 및 집전모니터링 영상확인<br>전류, 전압, 그래프 현시 및 자동화진단서버로 알람데이터 전송여부 확인</td></tr>
<tr><td>판단 기준 및 결과</td><td colspan="3">① 아크검출 그래프 현시 및 아크 지속시간(Duration) 표시<br>② 팬터그래프 집전영상 모니터링 확인<br>③ 열차 전류/전압 측정 및 그래프 현시<br>④ 전차선 영상검측장치 현차시험 성능대비표
<table>
<tr><th>구분</th><th>시험 목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">검측데이터 현시 및 확인</td><td>• 아크 검측 상태</td><td>• 아크검출 그래프 확인<br>• 아크 지속시간 현시<br>• 이선시 모니터링 영상확인</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>• 부하전류 및 전압 검측<br>- 전류측정범위: 0~615(A)<br>- 전압측정범위: 0~26000(V)</td><td>• 전류/전압 검측그래프확인</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>• 영상 모니터링</td><td>• 60f/s 영상저장 및 확인</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>검측데이터 분석</td><td>• 아크발생개소 분석<br>• 이선율(NQ) 분석</td><td>• 아크발생개소 확인<br>• 검측구간별 이선율 분석</td><td>정상</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

표 46 전차선로 영상검측장치 현차시험 화면

| 구 분 | 현차시험 내용 | 설 명 |
|---|---|---|
| 아크 모니터링 |  | • 열차속도: 300km/h<br>• 검측구간 -경부고속선 (광명-부산) |

<table>
<tr><th>구 분</th><th>현차시험 내용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>아크검출<br>그래프</td><td> 
</td><td>● 아크검출표시<br>– 지속시간<br><br>● 전압전류<br>표시(RMS)</td></tr>
<tr><td>아크,<br>전류/전압<br>그래프<br>분석<br>(순시치)</td><td>  <br>● 아크는 순시치 전류가 0일 때 아크는 소멸.<br> 
<br>● 전류와 전압이 제로크로싱 하는 지점에서 광학식 이선 발생<br>● 전류가 거의 흐르지 않는 지점에서 광학식 이선 발생</td><td>● 아크발생분석<br>● 전압(녹색)<br>● 전류(파랑)</td></tr>
<tr><td>아크발생<br>개소<br>분석</td><td> 
<br>
<table>
<tr><th>전주번호</th><th>발람시간</th><th>전주위치</th><th>사업소</th><th>검측위치</th><th>발람정보</th></tr>
<tr><td>133_11</td><td>21:26:50</td><td>133.518</td><td>조치원</td><td>133.499</td><td>아크:1636</td></tr>
<tr><td>133_4</td><td>21:26:54</td><td>133.168</td><td>조치원</td><td>133.173</td><td>아크:1824</td></tr>
<tr><td>132_19</td><td>21:26:58</td><td>132.770</td><td>조치원</td><td>132.768</td><td>아크:13824</td></tr>
<tr><td>132_15</td><td>21:27:00</td><td>132.590</td><td>조치원</td><td>132.606</td><td>아크:18576</td></tr>
<tr><td>132_14</td><td>21:27:01</td><td>132.545</td><td>조치원</td><td>132.525</td><td>아크:1592</td></tr>
<tr><td>132_6</td><td>21:27:05</td><td>132.220</td><td>조치원</td><td>132.201</td><td>아크:1732</td></tr>
</table></td><td>● 아크발생개소<br>리스트</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>구 분</th><th>현차시험 내용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>이선율<br>(NQ)</td><td>• 시험구간 이선율 분석<br><table><tr><th>시작역</th><th>종료역</th><th>시작위치<br>(km)</th><th>종료위치<br>(km)</th><th>이선율<br>(%)</th></tr><tr><td>울산</td><td>신경주</td><td>372,1</td><td>342.1</td><td>0.061</td></tr><tr><td>동대구</td><td>대전</td><td>293.1</td><td>159.8</td><td>0.065</td></tr><tr><td>대전</td><td>오송</td><td>159.8</td><td>124.6</td><td>0.047</td></tr></table>• 이선율 분석기준<br>$$NQ = \frac{\sum t_{\mathrm{arc}}}{t_{total}} \times 100$$<br>(* tarc : 5ms 이상 아크지속시간, * ttotal : 측정시간)<br>• 이선율 평가 기준표<br><table><tr><th>항목</th><th>AC1</th><th>AC2</th><th>AC3</th><th>AC4</th></tr><tr><td>속도(v)</td><td>v<160</td><td>160<v<220</td><td>220<v<250</td><td>v<250</td></tr><tr><td>이선율(NQ)</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.2</td></tr><tr><td>지속시간(ms)</td><td>5></td><td>5></td><td>5></td><td>5></td></tr></table></td><td>• 검측차량, 검측환경(대기 온/습도, 계절별)에 따라 이선율(%)에 차이가 있음</td></tr>
</table>

## 라. 전차선 과하중지점 검측장치

### (1) 개요

전차선 과하중 검측지점 검측장치는 전기 차량의 주행시 발생하는 팬터그래프와 전차선간 접촉시 작용하는 과하중지점을 카메라를 이용한 비접촉식 방식으로 실시간 측정하여 전차선로의 기계적인 충격지점을 분석하기 위한 장치이다.

스트레인게이지(Strain Gauge), 로드셀(Load Cell), 가속도 센서를 팬터그래프 상에 직접 취부하여 접촉력을 측정하는 접촉식 방식과 달리, 본 측정장치는 접촉력 센서부착을 위해 팬터그래프에 변형을 가할 필요가 없어 팬터그래프 종류에 상관없이 범용적으로 적용할 수 있다.

또한 차탑 25,000V 고전압 환경에서 별도의 전기적 절연장치를 구성할 필요없이 설치가 간편하다는 장점이 있다. 단점으로는 팬터그래프 상에 스트레인게이지, 로드셀, 가속도 센서를 직접 취부하여 접촉력을 측정하는 방식에 비해 정밀도가 공진주파수 영역에서 다소 떨어진다.

본 측정장치의 개발목적은 유지보수 관점에서 팬터그래프 충격위치를 검지하기 위한 장치로써, 이미 운용중인 접촉력 센서 부착방식에 접촉력 검측장치와는 시스템 구성 및 팬터그래프에 작용하는 힘에 대한 분석 방식이 다소 상이하다.

표 47 과하중지점 검측장치와 접촉력 검측장치 차이점

| 구분 | 전차선 과하중지점 검측장치 | 전차선로 접촉력 검측장치 |
|---|---|---|
| 측정 대상 | 과하중지점 (충격지점) | 전차선로 접촉력 |
| 측정 방식 | 비접촉식 방식<br>(카메라를 이용한 팬터그래프<br>순간변위 및 가속도 측정) | 접촉식 방식<br>(팬터그래프 상에 접촉력 측정을<br>위한 센서 취부) |
| 검측 정보 | 팬터그래프 순간변위량, 가속도 | 접촉력 |
| 분석 정보 | 전차선로 충격지점 분석<br>(충격지점 분석→ 고주파필터 적용) | 전차선로 집전성능 분석<br>(∑(Fmean -3σ >0) |
| 운용 목적 | 전차선로 유지보수 전용으로<br>팬터그래프 충격발생위치 검지 | 전체 검측구간에 대한<br>집전성능 평가(%) |

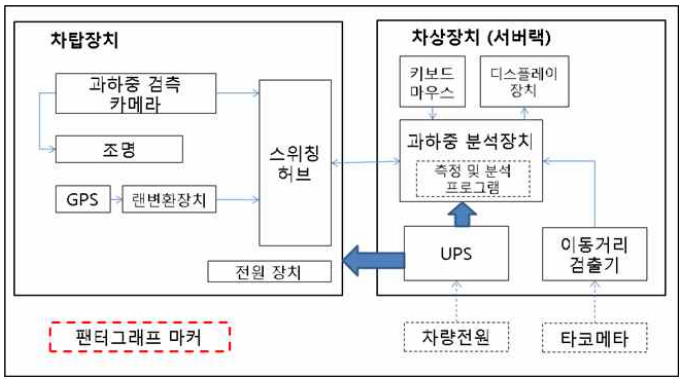



그림 62 시스템 구성도



그림 63 과하중지점 검측장치

## (2) 검측장치 사양

표 48 전차선로 과하중지점 검측장치 개발품 사양

| 구분 | | 개발품 사양 |
|---|---|---|
| 측정대상 | | 전차선로 과하중지점 및 충격가속도 검측 |
| 측정방식 | | 카메라를 이용한 비접촉식 전차선로 과하중 검측 |
| 변위 측정 정밀도 | | < 1mm |
| 접촉력 비교정밀도<br>(가진기-로드셀 비교) | | 8.12% (접촉력 진폭-중간값차) |
| 측정 화각 | 높이 | 5000~5400mm |
| | 편위 | ± 300mm |
| 샘플링 | | <200Hz |
| 분석기능 | | 전차선로 과하중 충격지점 분석 |

### (3) 검측장치 구성 및 기능

전차선 과하중 검측시스템 구성은 “전차선 과하중 검측장치(차탑장치)”와 “과하중분석장치(차상장치)”로 구성된다.

#### (가) 과하중 검측장치(차탑장치)

과하중 검측장치는 팬터그래프와 전차선간 집전상태에서 팬터그래프 집전판에 부착된 타겟의 위치변화를 카메라를 이용하여 200Hz 속도로 촬영하며, 태양광과 아크광 등의 외부광원을 차단하기 위해 광학필터(IR영역)을 사용한다.

#### (나) 과하중 분석장치(차상장치)

과하중 분석장치는 촬영영상에서 팬터그래프에 부착된 타겟의 순간변위량과 가속도를 측정하여 팬터그래프와 전차선간 과하중(접촉력)과 충격가속도를 표출한다.

#### (다) 비접촉식 과하중 측정 방식

카메라를 이용한 비접촉식 과하중지점 검측을 위해 팬터그래프의 동적 변화량을 매우 정밀하게 측정하기 위해 팬터그래프 집전판 측면과 고정프레임에 각각 타겟을 부착한 후, 카메라로 촬영한 타겟의 패턴을 인식하여 팬터그래프의 변위량을 서브픽셀 단위(1mm미만)까지 측정하였다.

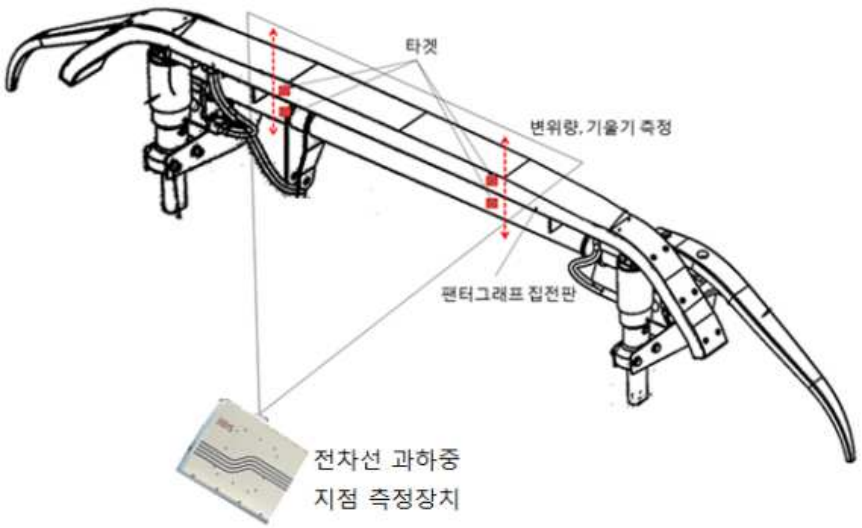



그림 64 전차선 과하중지점 검측장치에 의한 팬터 변위량 측정

#### (라) 비접촉식 접촉력 측정 알고리즘

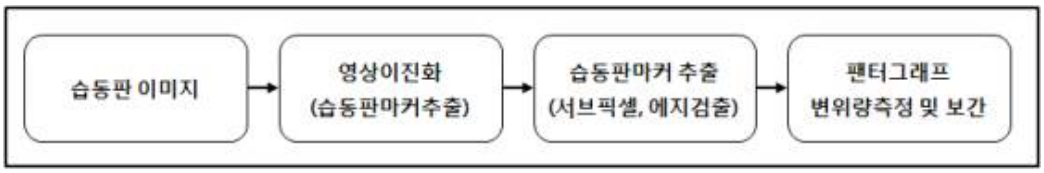



그림 65 비접촉식 접촉력 측정 알고리즘

① 습동판 이미지 수집 및 영상이진화 단계

카메라를 통해 팬터그래프의 습동판 영상을 취득한다. 카메라의 파셔스캔 기능을 이용하여 타겟이 부착된 영역만을 선택적으로 촬영하여 200Hz 속도로 영상을 수집한다.

② 습동판 마커추출(패턴매칭) 단계

팬터그래프 상에 부착된 타켓은 패턴매칭을 이용하여 정규화 상관계수가 최대가 되는 픽셀 위치를 추출한 후, 서브픽셀을 적용하여 0.3mm단위의 정밀도를 가지고 팬터그래프의 순간변위량 및 가속도를 측정한다.

③ 팬터그래프 순간변위량 및 가속도 계산

팬터그래프의 과하중검측은 팬터그래프에 가해지는 압상력과 관성력 양력 3가지 힘의 합으로 구할 수 있으며, 이 중 압상력과 관성력은 팬터그래프 습동판에 부착된 타겟의 순간 변위량과 가속도를 분석하여 다음과 같이 계산하였다 .

$$Fc = (k \bullet y) + (m \bullet \frac{d^2y}{dt^2}) + Fa \quad \text{..... 식(1)}$$

■ Fc는 팬터그래프 과하중(N)

■ y는 타겟의 순간 변위량(mm)

■ k는 변위량 Gain (가진주파수가 저주파 성분일 때 결정)

■ d2y/dt2는 순간가속도

■ m은 가속도 Gain (가진주파수가 고주파 성분일 때 결정)

■ Fa는 양력(N): 열차 주행속도로부터 팬터그래프에 작용하는 양력

### (4) 현차설치 및 시험결과

전차선 과하중지점 검측장치의 현차시험을 위한 구성 및 물량은 다음 표와 같다.

표 49 전차선로 과하중지점 검측장치 현차설치 내역(HEMU-430X, KTX-36호)

| 장치명 | 품 명 | 규격 | 단위 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 과하중지점검측장치(차탑) | 과하중지점 장치 | IR 카메라 및 광학계 | 식 | 1 | 차탑 기구 실장 |
| | 팬터습동면 마커 | IR 반사판 | 개 | 1 | |
| 집전분석장치(차상) | 이미지그래버 | Type: Full mode | 개 | 1 | RACK 실장 |
| | 산업용 컴퓨터 | i7, 2.8GHz | 개 | 1 | |
| | KVM 스위치 | 모니터, 키보드 | 개 | 1 | |
| | 이동거리 검출기 | PLC | 개 | 1 | |
| | UPS | 정전보상 시간: 30분 | 개 | 1 | |
| 측위장치(차저) | 비접촉식 | 2mm 단위 펄스생성 | 개 | 1 | |

전차선 과하중 검측장치는 현차설치 대상 차량으로 300km/h 이상 고속주행이 가능한 HEMU-430X와 KTX-36호에서 수행하였다. 카메라를 이용한 비접촉식 전차선로 과하중지점 검측을 위해 팬터그래프 습동판 측면에 마크(IR)를 부착하여 팬터그래프의 순간변위량 및 가속도를 검측하여 전차선로에 충격위치를 검지하였다.

### (가) 현차설치

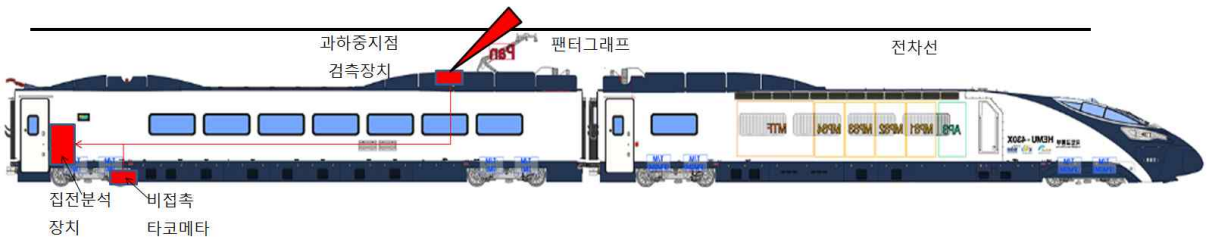



그림 66 전차선 과하중지점 검측장치 (HEMU-430X)



그림 67 전차선 과하중지점 검측장치 설치(KTX-36호)

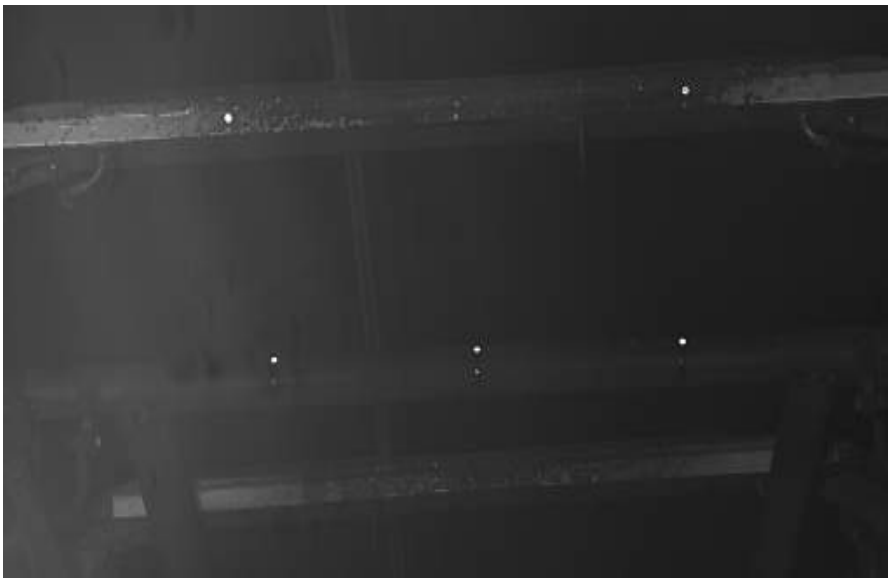


그림 68 팬터그래프 마커부착

### (나) 현차시험

표 50 전차선로 과하중지점 검측장치 현차시험 항목

| 검측항목 | 세부 항목 | 내 용 | 설치대상 | 속도 |
|---|---|---|---|---|
| 전차선로 과하중 검측 | 과하중지점 검측 | 팬터그래프 과하중 검측그래프확인 | HEMU-430X & KTX-36호 | 300km/h |
| | 충격 가속도 검측 | 비접촉식 충격위치 분석 | | |
| | 주행정보 연계 | 운행정보(킬로정, 속도) | | |
| | 자동화진단서버 I/F | 과하중 충격위치 실시간 알람발생 | | |

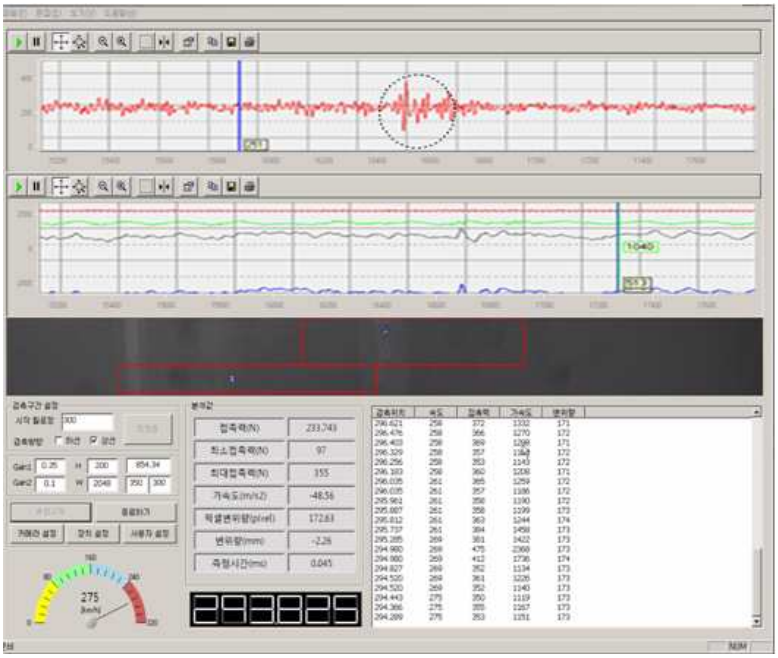
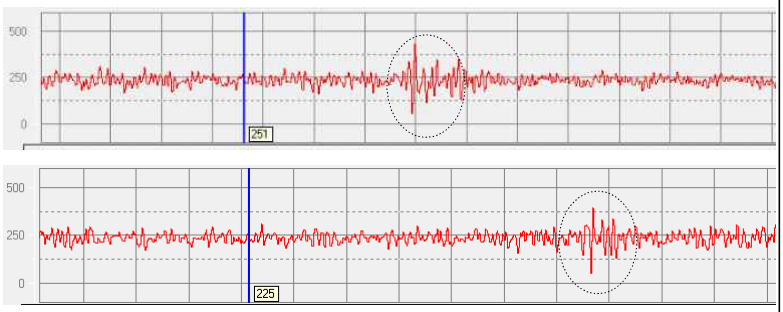
표 51 전차선로 과하중지점 검측장치 현차시험 결과

| 시험 일자 | 2014. 3. 07. ~ 4. 11. (HEMU-430X)<br>2014. 3. 07. ~ 4. 11. (KTX-36호) | 결 과 | 정상 |
|---|---|---|---|
| 시험 항목 | 전차선로 과하중지점 검측 | | |
| 시험 구간 | 광명-부산(하행) | | |
| 시험 내용 | 경부고속철도 전차선로구간에서 과하중, 충격가속도 검측 | | |
| 시험 방법 | 전차선로 과하중검측장치에서 과하중지점 및 충격가속도 그래프 현시 및 모니터링 영상확인<br>과하중지점 자동화진단서버로 알람데이터 전송여부 확인 | | |
| 판단 기준 및 결과 | ① 팬터그래프와 전차선간 과하중지점 검측 및 과하중 그래프 현시<br>② 팬터그래프 충격가속도 검측<br>③ 전차선 과하중지점 검측장치 현차시험 성능대비표 | | |

표 1 전차선 과하중지점 검측장치 현차시험 결과

| 구분 | | 시험목표 | 현차시험 결과 | 시험 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 검측데이터 현시 및 확인 | | 과하중 검측 상태 | 과하중 검측그래프 확인 | 정상 |
| | | 충격가속도 검측 상태 | 충격지점 확인 | 정상 |
| 측정 범위 (고속선) | 높이 | 5000 ~ 5300mm | 5000 ~ 5300mm (카메라 ROI 설정) | 정상 |
| | 편위 | -350mm ~ +350mm | -350mm ~ +350mm | 정상 |

표 52 전차선로 과하중지점 검측장치 현차시험 화면

| 구 분 | 현차시험 내용 | 비 고 |
|---|---|---|
| 과하중 검측 모니터링 영상 |  | • 팬터그래프 순간 변위량 및 가속도 검측<br>• 팬터그래프 마커 관심영역 설정(파셔스캔)<br>• 과하중지점 리스트 표시 |
| 과하중 검측 그래프 |  | • 과하중 충격위치 파형검출 |
| 과하중 지점 리스트 |  <br>검측위치 속도 접촉력 가속도 변위량<br>296.621 258 372 1332 171<br>295.887 261 358 1199 173<br>295.285 269 381 1422 173<br>294.980 269 475 2368 173<br>294.443 275 350 1119 173<br>294.366 275 355 1167 173<br>294.299 275 353 1151 173 | • 과하중지점 발생위치 |
| 과하중 지점 분석 S/W |  | • 과하중 검측그래프 현시 |

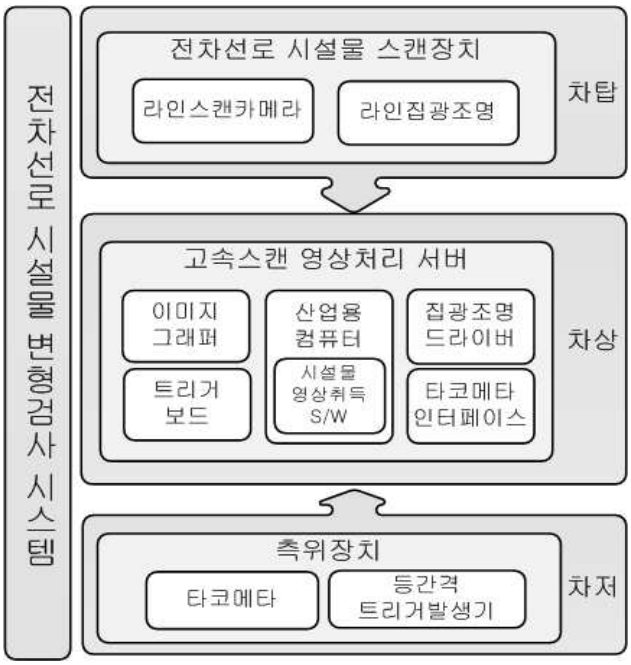
## 마. 전차선로 시설물 이미지분석장치

### (1) 개요

전기철도 차량의 고속화 및 운행횟수 증가 등으로 인한 전차선로 위험요소는 현재 증가하는 추세에 있다. 국내에는 전차선로 시설물들의 변형과 파손을 감시하기 위해 작업자들이 도보순회를 통한 육안점검을 수행하고 있으나, 안전사고 위험과 방대한 시설물들을 정밀 점검하기에는 어려운 점이 있다.

전차선로 시설물 이미지 분석장치는 전차선로상에 균압선/드롭퍼 이미지를 획득한 후, 이미지 분석과정을 통해 시설물(균압선/드롭퍼) 단선 및 가닥단선과 연결금구 파손 등의 시설물 결함을 검지한다.

전차선로 시설물 이미지 분석시스템은 전차선로 시설물 스캔장치와 고속스캔 영상처리서버, 고속시설물 영상 분석장치로 구성된다.




시스템 구성



고속 스캔영상처리서버(차상)



전차선로시설물 스캔장치(차탑)





측위장치(차저)

그림 69 시스템 구성

### (2) 검측장치 사양

표 53 전차선로 이미지 분석시스템 개발품 사양

| 구분 | | 개발품 성능 |
|---|---|---|
| 검측차 속도 | | 350km/h |
| 측정대상 | | 드롭퍼, 균압선, 연결금구 |
| 검출률 (%) | 드롭퍼 | 90% |
| | 균압선 | 90% |
| | 연결금구 | 80% |
| 시설물 픽셀 분해능 | | 1mm$^2$ |

전차선로 시설물 변형검사 시스템의 시설물검사 항목 및 기준은 다음과 같다.

표 54 검사대상 시설물 검사항목

| 검사대상 시설물 | 검사항목 | 검사기준 | 검사상태 |
|---|---|---|---|
| 드롭퍼 | 단선 | 드롭퍼 연결상태 점검 | 연결 또는 단선 |
| | 늘어짐 | 드롭퍼 늘어짐 상태 점검 | 늘어짐율(%) |
| | 수직 위치변화 | 드롭퍼 수직 상태 점검 | 드롭퍼 이상위치 |
| | 금구탈락 | 드롭퍼금구 및 클램프 탈락점검 | 금구 탈락 여부 |
| 연결금구 | 금구탈락 | 드롭퍼금구 및 클램프 탈락점검 | 금구 탈락 여부 |
| 균압선 | 단선 | 균압선 연결상태 점검 | 연결 또는 단선 |
| | 균압선 조정위치 | 분배균압선 조정위치 점검 | 분배균압선 이상위치 |

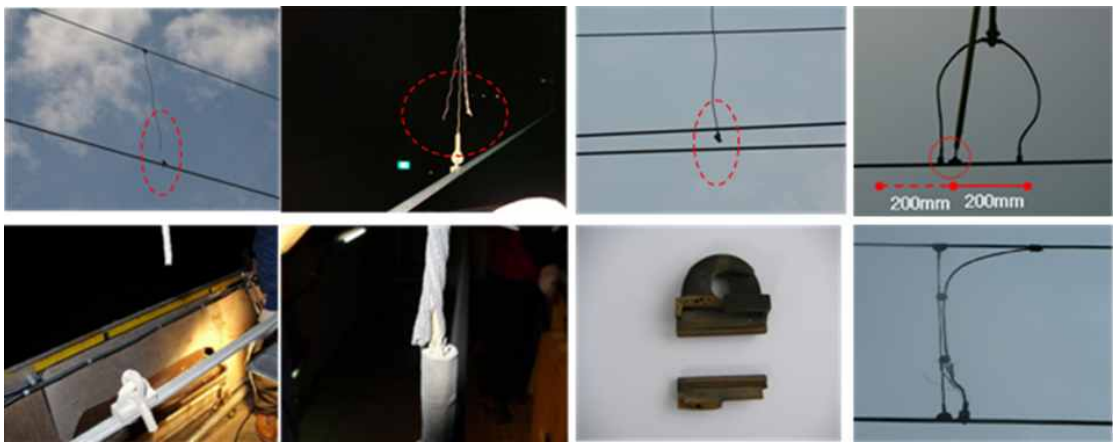



그림 70 검사대상 시설물 현장사진

### (3) 검측장치 구성 및 기능

#### (가) 전차선로 시설물 스캔장치(차탑장치)

전차선로 시설물 스캔장치의 주요구성은 300km/h로 주행하는 고속열차에서 전차선로 이미지를 1mm 등간격으로 촬영하기 위한 라인스캔 카메라와 10㎲의 카메라 노출(exposure)시간을 고려하여 고출력 레이저를 이용한 집광 라인조명등으로 구성된다.

- 라인스캔 카메라는 100khz까지 영상수집이 가능하며 IR 파장대에 밴드패스필터를 통해 태양광 및 주변광 영향을 제거함으로써 주간/야간 구분 없이 동일한 품질에 전차선로 시설물 이미지를 취득한다.
- 라인 집광조명은 시설물 영상취득을 위한 IR 파장대에 레이저 광원으로써, 별도에 집광 렌즈를 설계/제작하여 20㎜폭 라인조명을 형성한 뒤, 라인스캔 카메라와 광축을 일치시켰다.
- 전차선로 시설물 이미지취득은 피사계 심도(1000~4400mm)가 매우 크므로, 일반적인 광학계로는 선명한 시설물 이미지 획득이 어렵다. 이에 따라 본 과제에서는 피사계 심도범위 내에서 광원의 밝기 분포를 일정하게 만들어 주기 위해 집광렌즈를 별도로 제작하여 고출력 라인조명에 마운트 하였다.

#### (나) 고속스캔 영상처리 서버(차상장치)

고속스캔 영상처리 서버는 검측차 차상에 설치되며 전차선로 영상데이터를 수집한다. 전차선로 시설물을 300km/h에서 1mm단위로 취득할 경우, 초당 316mb로 생성되는 대용량 시설물 이미지는 SSD를 병렬로 구성하여 저장하였다.

- 서울<->부산간(400km*2) 검측시 3TB 시설물 이미지데이터 생성

아래 시설물 이미지는 KTX-36호와 HEMU-430X에 탑재하여 300㎞/h 속도에서 1mm 등간격으로 취득한 이미지로써, 전차선로 시설물의 볼트류까지 육안으로  확인할 수 있을 정도의 선명도를 얻어냈다.

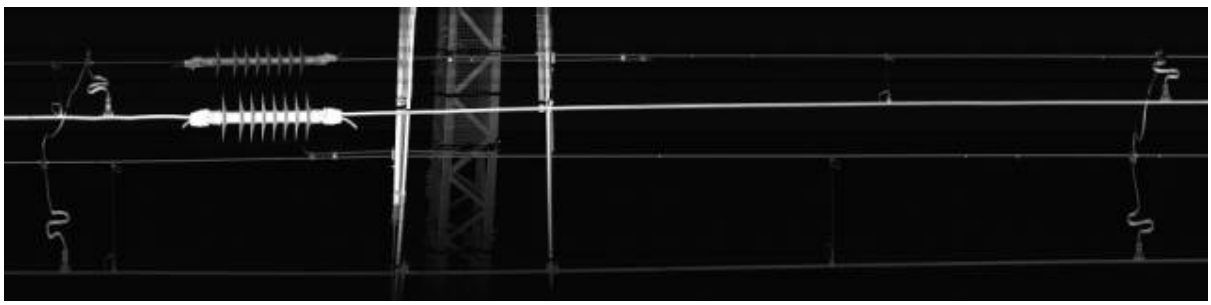


그림 71 HEMU-430X 시운전구간 시설물 취득 이미지

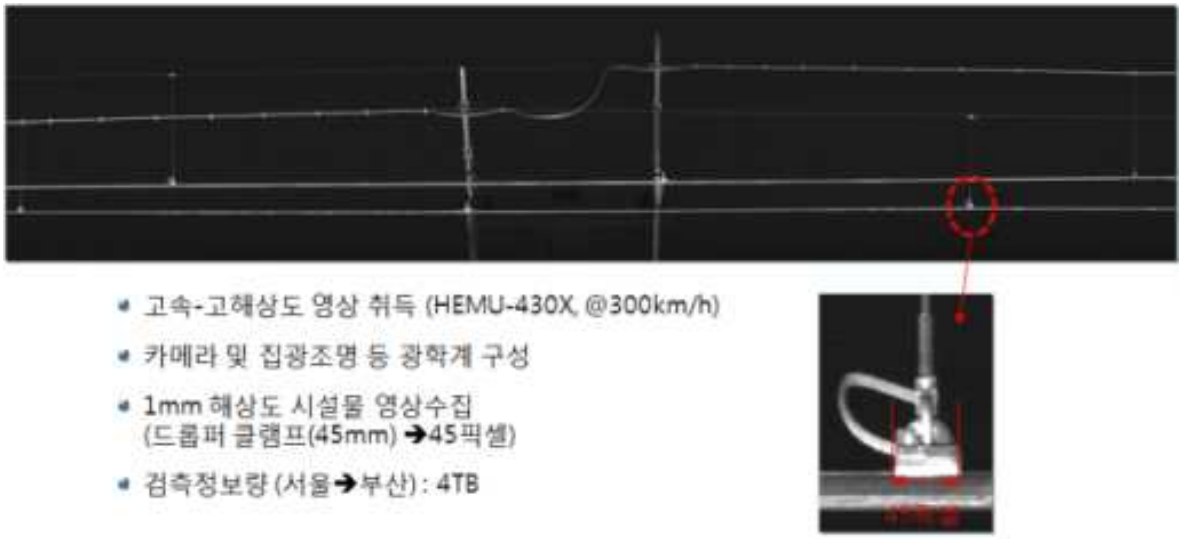



그림 72 고속선 구간 시설물 1mm 등간격 스캔영상 (@300km/h)

### (다) 측위장치(차저장치)

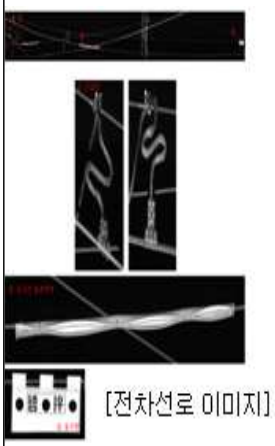
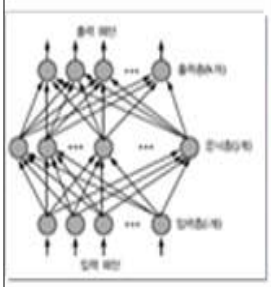
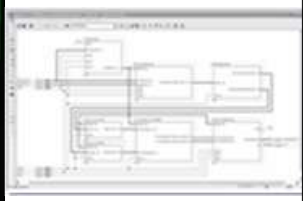
HEMU-430X 차저에 비접촉식 타코메타를 설치하여 타코메타 신호를 채배한 후, 1mm 등간격의 카메라 트리거신호를 생성하여 시설물 이미지 획득하였다.

### (라) 시설물 분석 영상처리

전차선로 이미지상에 시설물 금구류 인식은 템플릿 매칭(Template Matching)을 적용하여 정규화 상관관계 및 상관계수 알고리즘 등을 적용하여 유사도가 최대가 되는 위치를 검출하였으며 검출 Object는 각도변화에 민감하게 반응하므로 Shape Matching 알고리즘을 추가로 적용하였다.

조가선 및 드롭퍼 단선의 경우 모폴로지(Morphology), 경계선 검출(Edge detection)과 경계선 연결(Edge Lining), 라인프로젝션 기법 등을 적용하여 검출하였다. 또한 시설물 이미지 분석을 위한 영상처리시간을 최적화를 위해 이미지 가로와 세로방향으로 프로젝션 수행한 후, 시설물 대상영역에 대한 관심영역(ROI)을 설정하여 분석하였다.

표 55 시설물 변형검사 알고리즘

| 1. 이미지 취득 | 2. 알고리즘 적용 | 3. 데이터처리 | 4. 결과표출 |
|---|---|---|---|
| ▪ 이미지균일도 (자연광제거)<br>▪ 시설물 DB 구축 | ▪ 알고리즘 선정<br>▪ 결함데이터 확보<br>▪ 엔진개발 | ▪ 불필요 데이터 제거<br>▪ H/W 활용 | ▪ 사용자요구 반영 |
| ▪ 고해상도카메라<br>▪ 집광조명<br>▪ 해상도: <1mm<br>  <br>[전차선로 이미지] | ▪ 시설물 구성요소 인식(패턴매칭)<br>▪ 특징추출, 결함판정 (신경망)<br>  <br>  | ▪ 병렬 프로세스<br>▪ FPGA, GPU<br>▪ Windowing<br>▪ Jump Search<br>  | ▪ 결함분석보고서<br>  |

### (4) 현차설치 및 시험결과

전차선로 시설물 변형검사 시스템은 차세대 고속열차 HEMU-430X에 설치하여 현차시험을 수행하였으며, 부산<->광명간 고속선과 일반선 구간을 대상으로 전차선로 시설물 이미지를 취득하고, 영상처리 과정을 통해 시설물 인식 및 변형 검사를 수행하였다.

본 연구 장비는 0~300km/h 주행속도에서 1㎜ 등간격(초당83khz)로 영상을 수집하였으며 검측범위는 4800~7800㎜ 높이에 설비된 조가선, 드롭퍼, 균압선을 대상으로 하였다.

(가) 현차설치

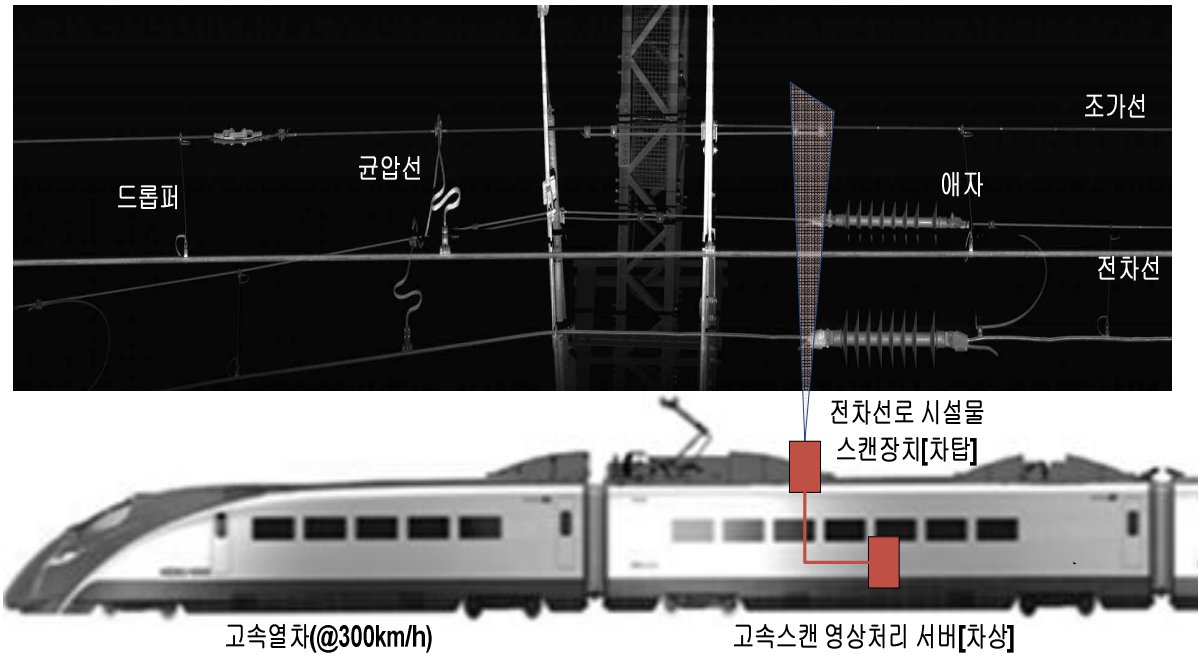



그림 73 전차선로 이미지 분석장치 현차 설치도(HEMU-430X)

표 56 전차선로 이미지 분석장치 현차설치 내역(HEMU-430X)

| 장치명 | 품 명 | 규격 | 단위 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 시설물스캔 장치(차탑) | 이미지수집장치 | FULL Type, 4096Line | 식 | 1 | 차탑 기구 실장 |
| | 집광 라인 조명 | 808nm, 빔폭(20mm) | 식 | 1 | |
| 고속스캔 영상처리서버 (차상) | 이미지그래버 | Type: Full mode | 개 | 1 | RACK 실장 |
| | 산업용 컴퓨터 | i7, 2.8GHz | 개 | 1 | |
| | 저장스토리지 | SSD 병렬구성 | 개 | 1 | |
| | KVM 스위치 | 모니터, 키보드 | 개 | 1 | |
| | 이동거리 검출기 | PLC | 개 | 1 | |
| | UPS | 정전보상 시간: 30분 | 개 | 1 | |
| 측위장치(차저) | 비접촉식 | 1mm 단위 펄스생성 | 개 | 1 | |



그림 74 전차선로 이미지 분석장치 설치(HEMU-430X)

### (나) 현차시험

표 57 전차선로 이미지 분석장치 현차시험 항목

| 검측 항목 | 세부 항목 | | 내 용 | 설치 대상 | 검측속도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 전차선로 시설물 영상수집 | 시설물 수집단위 | | 1mm 등간격 영상수집 | HEMU - 430X | 300km/h |
| | 시설물 영상수집범위 | | 높이: 4800~7800mm | | |
| | | | 편위: ±350mm | | |
| | 시설물 영상저장 | | 초당 316mb저장 | | |
| | 영상모니터링 | | 집전영상모니터링 및 저장 | | |
| | 주행정보 연계 | | 운행정보(킬로정, 속도) | | |
| 전차선로 시설물 영상분석 | 검사대상 시설물인식 | | 드롭퍼, 균압선, 연결금구 | 사무실 | - |
| | 결함 분석 | 드롭퍼 | 드롭퍼 연결 상태점검 | | |
| | | | 드롭퍼 늘어짐 상태점검 | | |
| | | | 드롭퍼 수직 상태 점검 | | |
| | | | 드롭퍼금구 및 클램프 탈락점검 | | |
| | | 균압선 | 균압선 연결상태 점검 | | |
| | | | 분배균압선 조정위치 점검 | | |
| | | 연결금구 | 드롭퍼금구 및 클램프 탈락점검 | | |

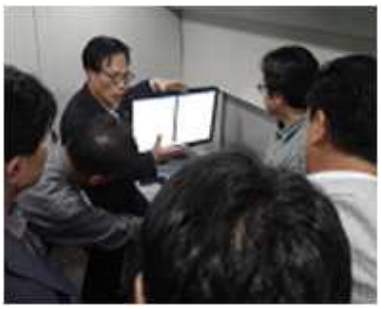
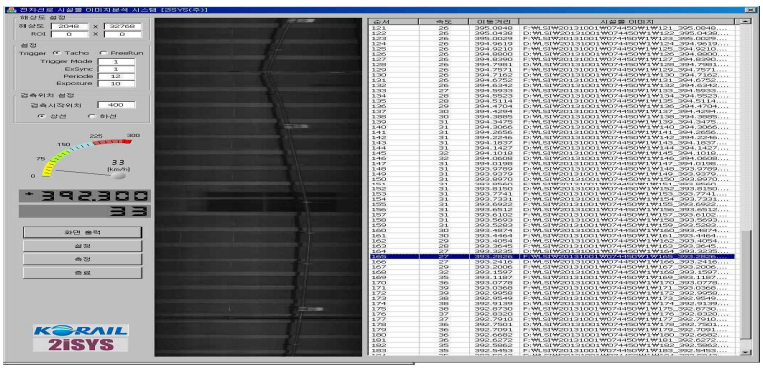
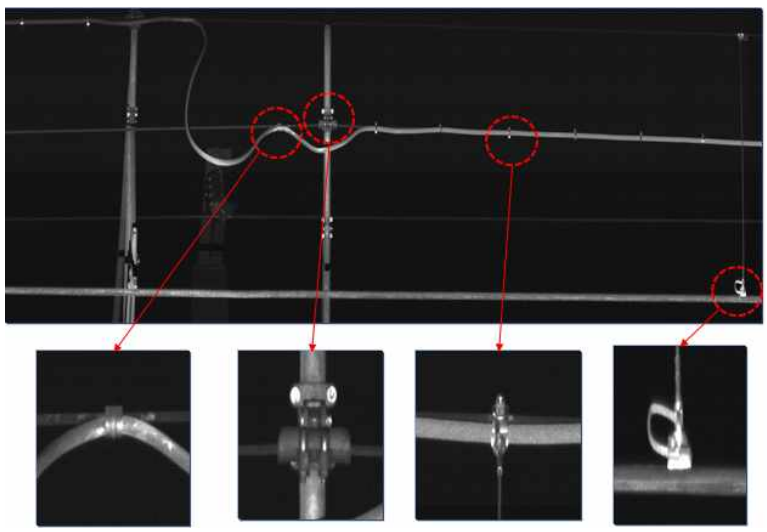
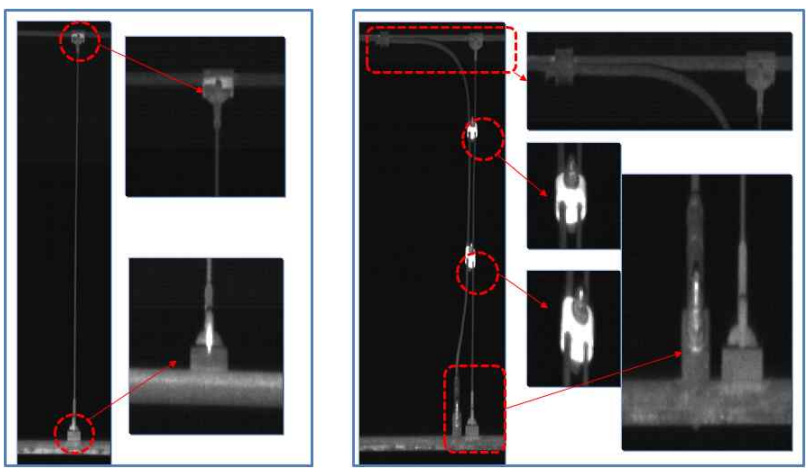
※ 전차선로 시설물 분석시스템 시험

- 신뢰성 확보를 위해 전차선로 변형 후 검측시스템 성능확보 추가 시험('14.11월)

표 58 전차선로 이미지 분석장치 현차시험 결과

<table>
<tr><td>시험 일자</td><td>2013년 07월 ~ 2014년 04월</td><td>결 과</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>시험 항목</td><td colspan="3">전차선로 시설물 이미지 분석</td></tr>
<tr><td>시험 구간</td><td colspan="3">광명-부산(하행)</td></tr>
<tr><td>시험 내용</td><td colspan="3">전차선로 시설물 이미지 수집 및 분석대상 시설물 인식 및 결함분석 확인</td></tr>
<tr><td>시험 방법</td><td colspan="3">① 평가위원구성: 전철전력 전문가 및 검측분야 전문가, 영상처리전문가 참여<br>② 1차 현장평가: 평가위원 HEMU-430X 첨승 및 전차선로 이미지분석장치 주행시험<br>- 0~300km/h에서 시설물 이미지 취득상태 확인<br>③ 2차 성능평가: 경부고속선 시험구간에 대한 시설물 분석상태 검증<br>- 분석대상 시설물(드롭퍼, 균압선, 연결금구) 인식검증<br>- 시설물 결함분석 검증(단선, 금구이탈, 위치변화 등)</td></tr>
<tr><td>판단 기준 및 결과</td><td colspan="3">① 1차 현장평가: 전차선로 현장평가 검사 확인<br><table><tr><th>구분</th><th>검사항목</th><th>검사기준</th><th>검사상태</th><th>시험 결과</th></tr><tr><td rowspan="4">현장 주행 시험</td><td>0~300km/h 주행</td><td>주행속도 점검</td><td>0~300km/h</td><td>정상</td></tr><tr><td>시설물이미지 수집상태</td><td>1mm 등간격 시설물영상 수집상태 점검</td><td>시설물스캔횟수 검사</td><td>정상</td></tr><tr><td rowspan="2">시설물이미지 저장 상태</td><td rowspan="2">초당 316mb 시설물 이미지 저장상태 확인</td><td>SSD병렬</td><td>정상</td></tr><tr><td>이미지저장확인</td><td>정상</td></tr></table><br>② 2차 성능평가: 전차선로 검사대상 시설물 인식 및 결함분석 상태 확인<br><table><tr><th>검사대상 시설물</th><th>검사항목</th><th>검사기준</th><th>검사상태</th><th>시험 결과</th></tr><tr><td rowspan="4">드롭퍼</td><td>단선</td><td>드롭퍼 연결상태 점검</td><td>연결 또는 단선표시</td><td>정상</td></tr><tr><td>늘어짐</td><td>드롭퍼 늘어짐 점검</td><td>늘어짐율(%)표시</td><td>정상</td></tr><tr><td>수직 위치변화</td><td>드롭퍼 수직상태 점검</td><td>드롭퍼 이상위치 표시</td><td>정상</td></tr><tr><td>금구탈락</td><td>드롭퍼금구 및 클램프 탈락점검</td><td>금구탈락 표시</td><td>정상</td></tr><tr><td>연결금구</td><td>금구탈락</td><td>드롭퍼금구 및 클램프 탈락점검</td><td>금구탈락 표시</td><td>정상</td></tr><tr><td rowspan="2">균압선</td><td>단선</td><td>균압선 연결상태 점검</td><td>연결 또는 단선 표시</td><td>정상</td></tr><tr><td>균압선위치</td><td>균압선 조정위치 점검</td><td>균압선이상위치표시</td><td>정상</td></tr></table></td></tr>
</table>

표 59 전차선로 시설물 이미지 분석장치 1차 현장평가

| 구 분 | 시험내용 | 설 명 |
|---|---|---|
| 현장평가 수행<br><br>(HEMU-430X 첨승) |   | • 평 가 위 원 구 성<br>-전철전력 분야전문가<br>-검측분야 전문가<br>-영상처리 분야 전문가 |
| 전차선로 시설물 영상수집 S/W 운용화면 |  | • 검측구간<br>-경부고속선 (부산-광명)<br>• 열차속도: 0~300km/h |
| 시설물 수집영상1<br><br>(고속선 구간) |  | • 열차속도: 300km/h수집<br><br>• 주간측정 (태양광제거)<br><br>• 시설물영상<br>- 연결금구<br>- 이미지품질 (볼트류 확인) |
| 시설물 수집영상2<br><br>(고속선 구간) |  | • 시설물영상<br>- 균압선<br>- 드롭퍼 |

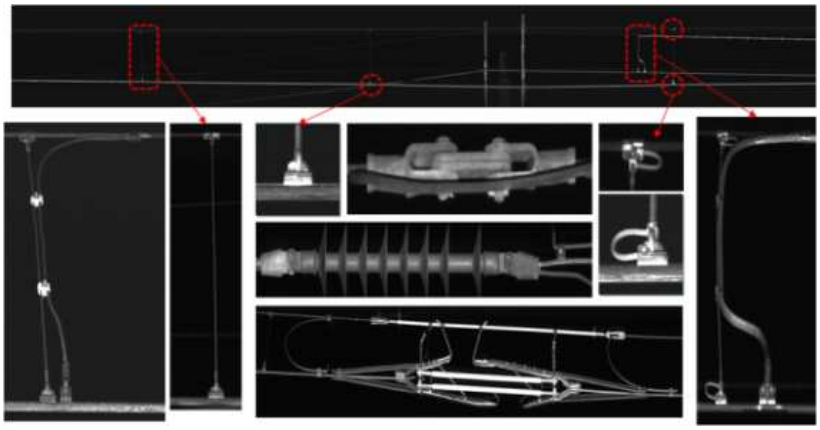
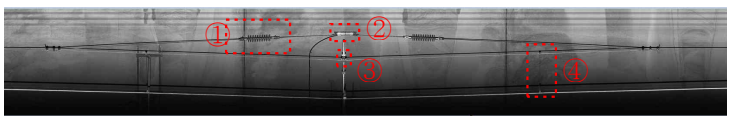
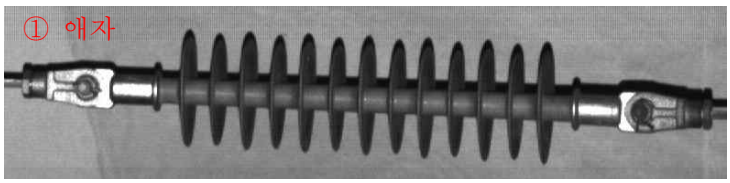
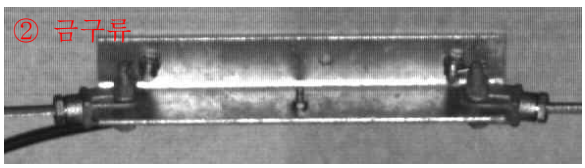
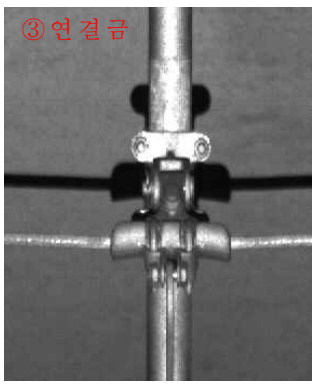
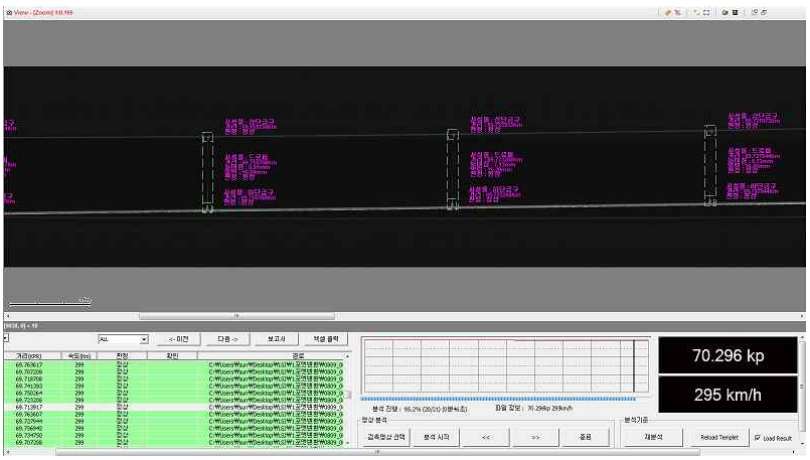
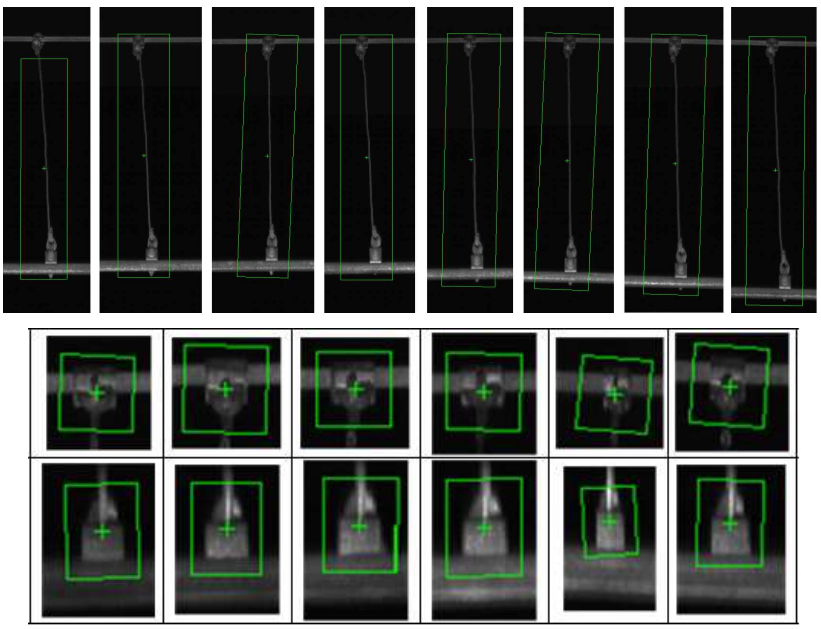
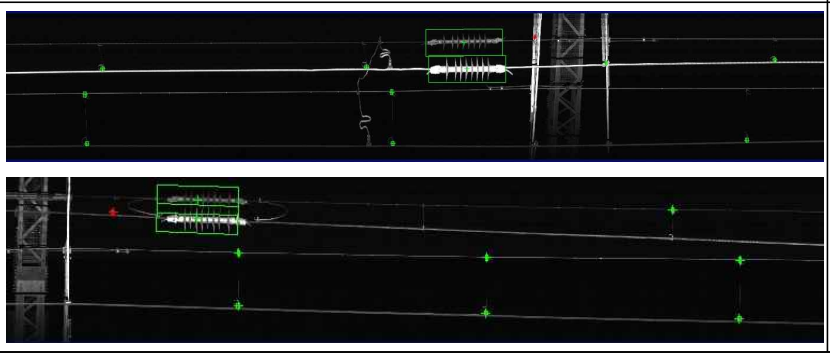
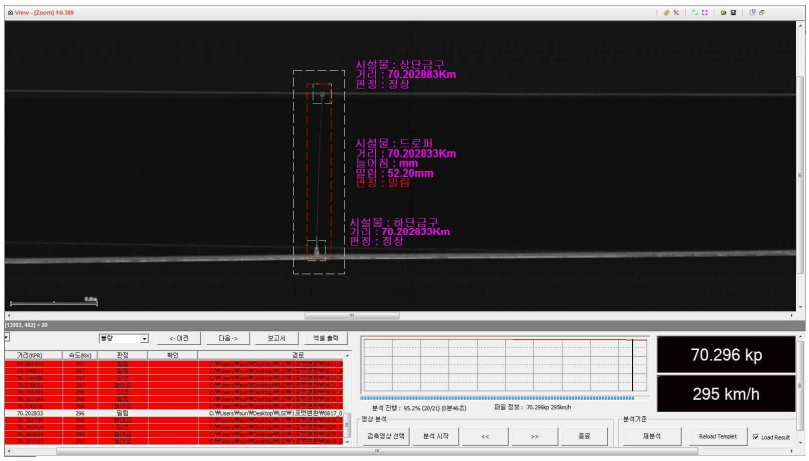
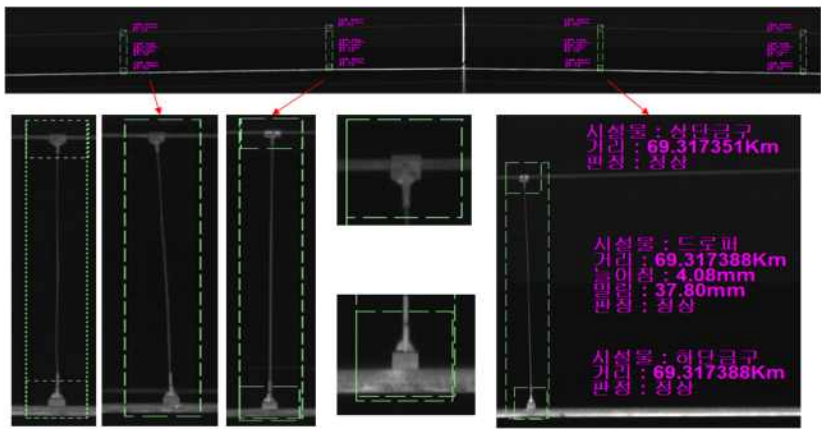
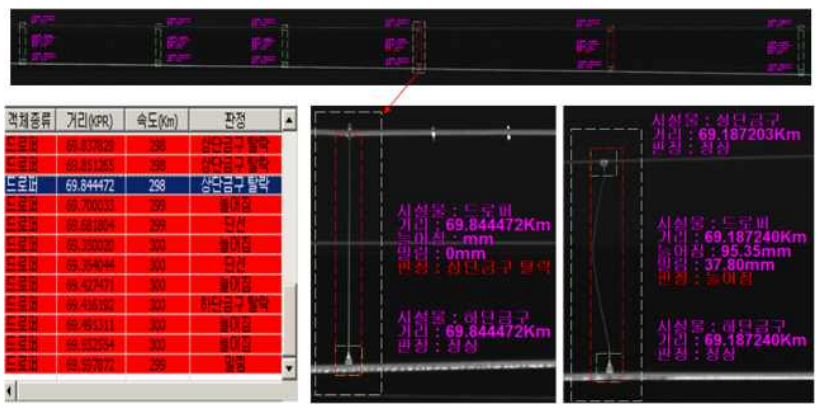
| 구 분 | 시험내용 | 설 명 |
|---|---|---|
| 시설물 스캔영상2<br><br>(일반선 구간) |  | ● 시설물영상<br>- 균압선<br>- 드롭퍼<br>- 애자<br>- 애자형섹션 |
| 시설물 스캔영상3<br><br>(일반선 구간) |  <br><br>  <br> | ● 시설물영상<br>- 표지판<br>- 조가선커버 |
| 시설물 스캔영상4<br><br>(터널 구간) |  <br><br>  <br><br>  <br><br>  <br><br>  <br> | ● 시설물영상<br>- 터널구간<br>- 애자<br>- 금구류<br>- 연결금구 |

표 60 전차선로 시설물 이미지 분석장치 2차 성능평가

| 구 분 | 시험내용 | 설 명 |
|---|---|---|
| 성능평가 |  | ● 평가위원: 검사시설물 인식 및 결함분석결과 확인 |
| 시설물 분석 S/W 화면 |  | ● 시설물인식<br>● 시설물별 클래스분류<br>● 시설물정보 출력<br>● 분석GUI 시설물 확대/축소 등 |
| 시설물 인식 1 |  | ● 시설물인식<br>- 드롭퍼<br>- 연결금구 |
| 시설물 인식 2 |  | ● 시설물인식<br>- 애자 |

| 구 분 | 시험내용 | 설 명 |
|---|---|---|
| 시설물<br>결합분석<br>화면 |  | ● 시설물<br>불량개소<br>확인 |
| 결함분석<br>시설물1 |  | ● 시설물분석<br>내용표시<br>- 드롭퍼<br>- 연결금구 |
| 시설물<br>결함<br>분석2 |  | ● 금구밀림<br>● 단선검지<br>● 드롭퍼<br>늘어짐 |
| 결합분석<br>리스트 |  | ● 시설물결함<br>정보 표출<br>-결함위치<br>-결함종류<br>-판정기준 |

## 바. 전차선로 열화상 검측장치

### (1) 개요

전차선로 열화상 검측장치는 열화상 카메라를 사용하여 전차선로 시설물(조가선, 전차선)의 발열부위와 주변 물체 간에 온도색상을 측정함으로써 접촉불량부위(시공불량, 손상, 오염)의 발열상태를 진단하기 위한 시스템이다.

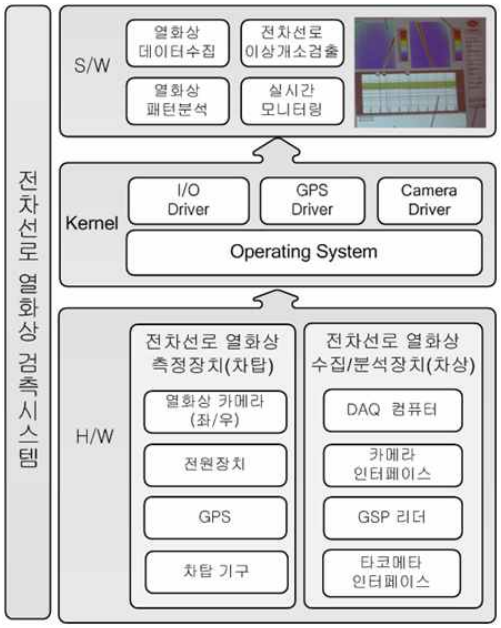



그림 75 시스템 구성도



그림 76 열화상 검측장치

### (2) 검측장치 사양

표 61 전차선로 열화상 검측장치 개발품 사양

| 구분 | 최종목표사양<br>(해외검측장치 기준 IRIS 320) |
|---|---|
| 측정 대상 | 조가선, 전차선 |
| 온도 측정범위 | -20°C ~ 150°C |
| 측정오차 | ±2°C |
| 이상온도 검출률 | 90% |

### (3) 검측장치 구성 및 기능

전차선로 열화상 검측시스템의 주요 구성은 전차선로의 열화상 이미지를 촬영하는 “전차선로 열화상 측정장치”와 검측차 차상에서 측정시스템을 운용하기 위한 데이터 수집장치로 구성된다.

### (가) 전차선로 열화상 측정장치(차탑장치)

발열부위와 주변 물체간의 온도색상을 구분하여 접촉불량부위의 발열상태를 진단하기 위한 시스템으로써, 주요 장치구성은 IR 센서가 내장된 열화상카메라로 구성되며, 측정된 온도데이터를 Gigabit Ethernet를 통해 차상장치로 전송한다.

검측차 고속주행상태에서 전차선로시설물에 대한 열화상을 촬영하기 위해서는 매우 짧은 노출시간과 외부트리거 입력이 필요하므로 본 R&D 용으로는 냉각식이 적합하나 수억원을 호가하는 구입 비용문제로 인해 비냉각식 모델을 선정하였다.

### (나) 열화상 데이터 수집장치(차상장치)

전차선로 열화상 온도 데이터를 실시간 모니터링 및 저장하고, 주변온도 색상보다 높은 이상온도 구간에서 대한 알람정보를 추출하여 실시간 자동화진단 서버로 전송한다.

## (4) 현차설치 및 시험결과

### (가) 현차설치

전차선로 열화상 검측장치의 현차시험을 위한 구성 및 물량은 다음 표와 같다.

표 62 전차선로 열화상 검측장치 현차설치 내역(HEMU-430X, KTX-36호)

| 장치명 | 품 명 | 규격 | 단위 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 전차선로열화상 측정장치 (차탑) | 열화상검측모듈 | 640x480, 60f/s | 식 | 1 | 차탑 기구 실장 |
| | 줌&팬&틸드 | | 식 | 1 | |
| 열화상데이터 수집분석장치 (차상) | 산업용 컴퓨터 | i7, 2.8GHz | 개 | 1 | RACK 실장 |
| | 운영 모니터 | 24" LED | 개 | 1 | |
| | KVM 스위치 | 모니터, 키보드스위치 | 개 | 1 | |
| | 스위치 허브 | LAN | 개 | 1 | |
| | UPS | 정전보상 시간: 30분 | 개 | 1 | |

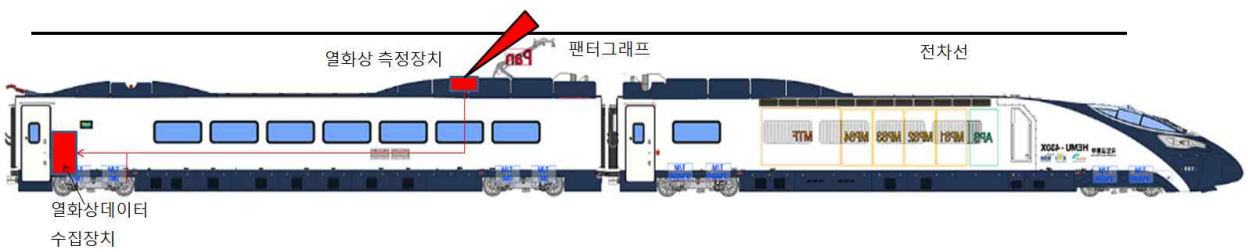



그림 77 전차선로 열화상 검측장치 현차설치도(HEMU-430X)



그림 78 전차선로 열화상 검측장치 설치(HEMU-430X)

### (나) 현차시험

표 63 전차선로 열화상 검측장치 현차시험 항목

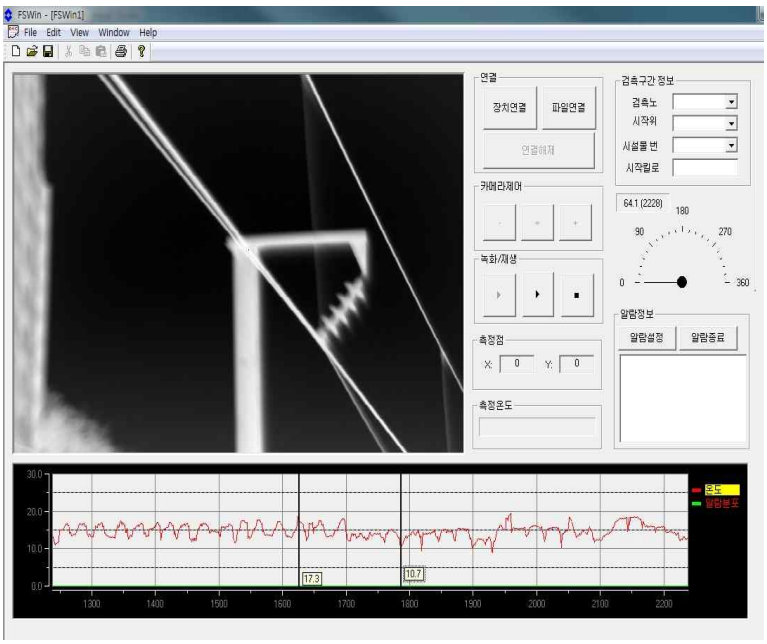
| 검측 항목 | 세부 항목 | 내 용 | 설치 대상 | 검측속도 |
|---|---|---|---|---|
| 전차선로 온도검측 | 전차선로 열화상검측 | 전차선로 온도데이터 수집<br>전차선로 이상온도(과열부위) 검출 | HEMU-430X | 300km/h |
| | 주행기록 모니터링 | 열화상 온도데이터 저장<br>주행위치 저장 | | |
| | 자동화진단서버 I/F | 이상부위 온도데이터 자동화 진단서버로 전송 | | |

표 64 전차선로 열화상 검측장치 현차시험 결과

| 시험 일자 | 2014. 3. 07. ~ 4. 11. (HEMU-430X) | 결 과 | 정상 |
|---|---|---|---|
| 시험 항목 | 전차선로 열화상 검측 | | |
| 시험 구간 | 광명-부산(하행) | | |
| 시험 내용 | 경부고속철도 전차선로구간에서 전차선로 열화상 검측 | | |
| 시험 방법 | 전차선로 영상검측장치에서 전차선로 열화상 그래프 현시 및 이상온도구간 검출 | | |
| 판단 기준 및 결과 | ① 전차선로 열화상 데이터 수집 및 시설물 온도그래프 표시<br>② 전차선로 이상온도(과열) 부위 검출<br>(전차선로 발열부위와 주변 물체간의 온도색상을 구분하여 접촉불량부위 검측)<br>③ 전차선로 열화상 검측장치 현차시험 성능대비표 | | |

| 구분 | 시험 목표 | 현차시험 결과 | 결과 |
|---|---|---|---|
| 검측데이터 현시 및 확인 | • 전차선로 시설물 온도검측 | • 열화상 온도 그래프 확인 | 정상 |
| | • 열화상 모니터링 영상확인 | • 60f/s 영상저장 및 확인 | 정상 |
| 데이터분석 | • 과열부위 검출 | • 알람데이터 실시간 전송 | 정상 |

표 65 전차선로 열화상 검측장치 현차시험 내용

| 구 분 | 시험내용 | 비 고 |
|---|---|---|
| 열화상 검측 S/W |  | • 시설물열화상 모니터링 및 저장<br>• 시설물 온도 표시 |

| 구 분 | 시험내용 (테스트베드상에서 수행) | 비 고 |
|---|---|---|
| 열화상 검측 S/W |  | • 전차선로 과열부위 검출<br>• 알람표시 |

## 2. 궤도회로 차상검측시스템

### 가. 개요

궤도회로 차상검측시스템은 열차의 고속주행에 의해 실시간으로 지상에 설치된 고속철도의 ATC 연속정보, 불연속정보, 보상콘덴서 및 일반철도의 ETCS 발리스를 검측 하는 기능을 가진다. 전체 시스템 구성은 연속정보 검측장치, 불연속정보 검측장치, 보상콘덴서 검측장치, ETCS 발리스 검측장치 및 종합처리장치(운영 컴퓨터 및 데이터 컴퓨터)로 이루어진다.

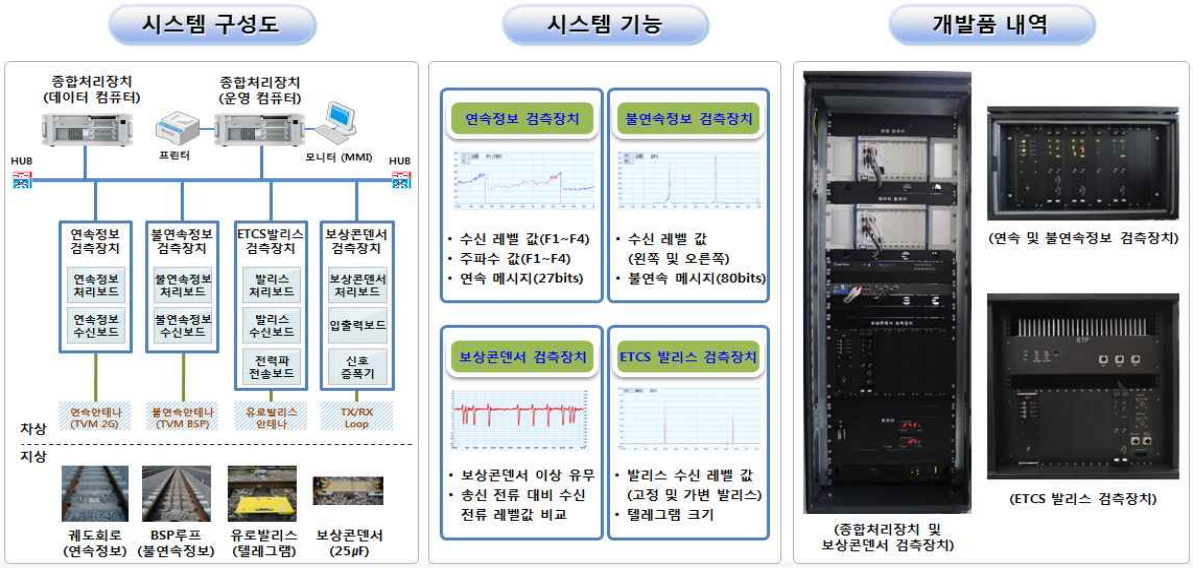



그림 79 궤도회로 차상검측시스템 구성도 및 기능

궤도회로 차상검측시스템의 구성품별 기능은 다음과 같다.

- 연속정보 검측장치 : 고속철도 ATC 연속정보의 레벨 검측 및 메시지 추출
- 불연속정보 검측장치 : 고속철도 ATC 불연속정보의 레벨 검측 및 메시지 추출
- 보상콘덴서 검측장치 : 고속철도 보상콘덴서 수신 레벨 검측
- ETCS 발리스 검측장치 : 일반철도 ETCS 발리스 정보의 레벨 검측
- 종합처리장치 : 검측 데이터 표시 및 관리

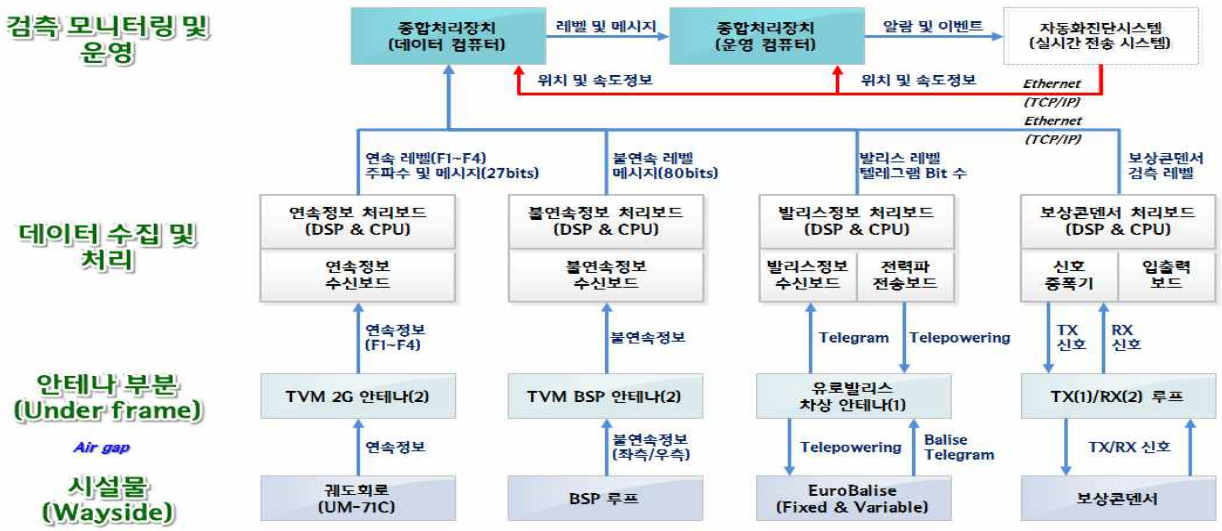



그림 80 신호분야 검측체계도

궤도회로 차상검측시스템은 검측장치 RACK1과 RACK2로 구분하여 설치하며 RACK1은 동력 객차, RACK2는 동력차에 각각 설치한다. 연속정보와 불연속정보 안테나는 동력차의 첫 번째 차축 전방에 위치하며, 보상콘덴서 TX LOOP 및 RX LOOP는 동력객차에 위치하며, 유로발리스 안테나는 동력차의 첫 번째 차축 후방에 위치하도록 설치한다. 동력차에 설치하는 검측장치는 DC100V를 전원으로 사용하며, 동력객차에 설치하는 검측장치는 AC220V를 전원으로 사용한다.

궤도회로 차상검측시스템의 연구수행 과정 및 내용은 다음과 같다.

표 66 궤도회로 차상검측시스템 연구수행 과정 및 내용

| 구 분 | | 연차 | 연구 내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 기술 조사 및 목표사양 정의 | | 1차년도 | • 국내외 검측시스템 조사 및 분석<br>• 요구사항 조사 및 분석<br>• 검측장치별 목표 사양 정의 : 검측 정밀도 및 샘플링율, 정보량 산정 | 국내 : KTX-36호, 종합검측차(ROGER-1000K)<br>국외 : IRIS 320, SENECA 등 |
| 시스템 설계 | | 1차년도 | • 시스템 레벨의 설계 | |
| 상세 설계 | | 2차년도 | • 검측장치별 상세 설계<br>• 운영화면 설계 | |
| 시제품 제작 | | 2차년도 | • 검측장치 시제품 제작 및 단위시험<br>• 시뮬레이터 및 테스트 베드 제작 | |
| 개발품 제작 | | 3차년도 | • 검측장치 개발품(현차 설치용) 제작 및 단위시험 | |
| 시험 | 실험실 시험 | 3차년도 | • 모의시험 환경을 활용한 자체 시험 | 시뮬레이터 |
| | 환경 시험 | 3차년도 | • 공인기관 환경 시험 | 한국 SGS |
| | 정적 시험 | 3차년도 | • 고속철도 시험선 정적 시험<br>• 고속철도 영업구간 정적 시험 | 시험 역 : 고속철도 오송역 |
| | 현차 시험 | 4차년도 | • 검측장치 현차 설치 및 동적 시험 | KTX-36호 동력차 및 18호차 종합검측차(ROGER-1000K) |

### (1) 기술 조사 및 목표사양 정의

궤도회로 차상검측시스템의 완성도 높은 설계 및 제작을 위해, 국내외 검측 관련 운영기관 및 제조사를 방문하여 기술 조사를 실시하였다.

표 67 신호분야 검측 관련 운영기관 및 제작사 조사

| 구 분 | 운영 기관(검측차 명) | 조사 내역 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 국내 | 한국철도공사 : KTX-36호, 종합검측차 | 검측설비 | |
| | 서울메트로 : ROGER-600 | 검측설비 | |
| 국외 | SNCF : IRIS 320 | 검측설비 및 운영 시스템 | 프랑스 |
| | 테크노 감마, MERMEC | 검측설비 | 이탈리아 |
| | bvSys, DTK | 검측설비 | 독일 |
| | Railtool | ETCS 발리스 | 스위스 |

궤도회로 검측시스템의 목표사양은 열차의 초당 이동거리를 111.1m(일반철도 발리스의 경우는 50m)로 선정한다.

표 68 궤도회로 차상검측시스템 목표 사양

| 검측 항목 | 검측 속도 | 정밀도 | 샘플링율 | 1회 정보량 (단위 : byte) | 초당 정보량 (단위 : byte) |
|---|---|---|---|---|---|
| 연속정보 | 350km/h | 0.5m | 4.5ms | 30 | 6.7K |
| 불연속정보 | 350km/h | 0.5m | 4.5ms | 17 | 3.78K |
| 보상콘덴서 | 350km/h | 0.5m | 4.5ms | 8 | 1.8K |
| ETCS 발리스 | 180km/h | 0.05m | 1ms | 최대 136 | 136K |

### (2) 시스템 설계

궤도회로 차상검측시스템에 대한 시스템 설계 내역은 다음과 같다.

- 시스템 구성 : 시스템 구성도, 구축 물량 산정
- 하드웨어 개념 설계 : H/W 구성, 기능 등
- 소프트웨어 개념 설계 : S/W 기능별 정의
- 운영화면 설계 : 표시화면 및 MMI
- 내부 및 외부 인터페이스 설계 : 통신 프로토콜 및 데이터 정의
- 모의시험 환경 설계 : 연속, 불연속, 보상콘덴서 및 ETCS 발리스 시뮬레이터 정의

### (3) 상세 설계

상세 설계는 개발하기 위한 각 검측장치에 대한 구체적인 기능 설계 및 회로 설계를 의미하며, 종합처리장치는 상세한 소프트웨어 구성 및 기능, 데이터베이스 구성, 프로세스별 데이터 흐름 등을 포함한다.

### (4) 시제품 및 개발품 제작

궤도회로 차상검측시스템에 대한 시제품 및 개발품을 제작하였으며, 개발품은 현차설치 및 시험을 목표로 한다.




그림 81 궤도회로 차상검측시스템 개발품 RACK 제작

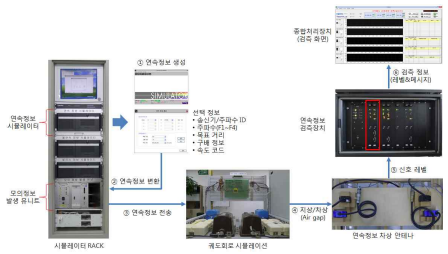
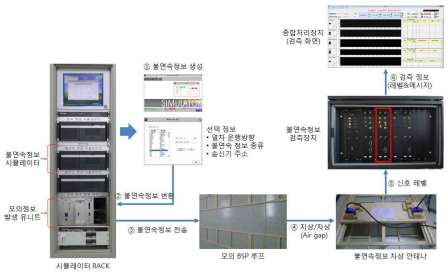
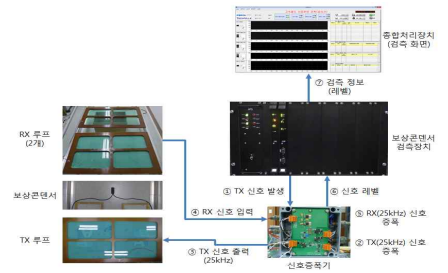
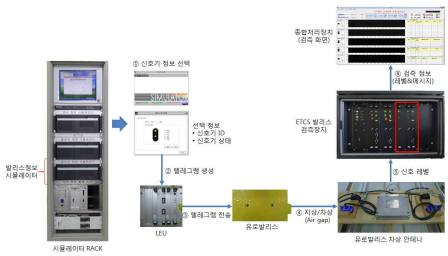
검측장치별 모의시험을 위한 시뮬레이터 및 테스트 베드를 구축하여, 각 장치별 단위시험에 활용하였다.




그림 82 궤도회로 차상검측시스템 모의시험 환경

모의시험 환경의 제작 내역은 다음과 같다.

표 69 궤도회로 차상검측시스템 모의시험 환경 구축 내용

| 장치명 | 제작 내용 | 상세 기능 |
|---|---|---|
| 연속정보 시뮬레이터 |  | • 연속정보 생성<br>• 선택 정보 : 송신기/주파수 ID, 주파수(F1/F2/F3/F4), 목표거리, 구배정보 및 속도코드<br>• 연속정보의 변환 및 전송 : 고속철도 ATC TVM430과 동일한 프로토콜 적용 |
| 불연속정보 시뮬레이터 |  | • 불연속정보 생성<br>• 선택 정보 : 열차 운행방향(정상/반대), 불연속 정보 종류, 송신기 주소<br>• 불연속정보의 변환 및 전송 : 고속철도 ATC TVM430과 동일한 프로토콜 적용 |
| 보상콘덴서 테스트 베드 |  | • UIC 표준 규격의 모의 레일 제작<br>• 보상콘덴서 : 용량 = 25㎌(경부고속철도 보상콘덴서와 동일 제품) |
| ETCS 발리스 시뮬레이터 |  | • 신호기 정보 선택(신호기 ID 및 상태)<br>• 신호기 상태정보를 텔레그램으로 변환<br>• 텔레그램을 유로발리스로 전송<br>• 텔레그램 입력 및 저장<br>• 텔레그램을 차상으로 전송 |

### (5) 시험

궤도회로 차상검측시스템의 기능 및 성능 검증을 위해 4단계로 구분하여 시험을 수행하였다.

- LAB시험 : 시뮬레이터와 테스트 베드를 활용한 자체 시험
- 환경 시험 : 공인기관 시험(시험 성적서 획득)
- 정적시험 : 고속철도 영업구간에서의 현장시험
- 현차시험 : 현차 설치 및 열차 주행에 의한 동적시험

표 70 궤도회로 차상검측시스템의 성능검증을 위한 시험 절차

| 구분 | 상세 내역 | 비 고 |
|---|---|---|
| LAB 시험 | • 시뮬레이터 및 테스트베드를 활용한 자체 시험<br>• 연속 및 불연속정보 : 기계실 및 현장과 동일한 설비 구성<br>• 발리스 정보 : 현장과 동일한 시험 설비 구성<br>• 보상콘덴서 : UIC 규격의 모의 레일 활용 |  (궤도회로 시뮬레이터)  (LEU : 발리스 시험용) |
| 환경 시험 | • 검측장치에 대한 공인기관 환경 시험<br>• 전자파 적합성 외 13개 항목 : 인증 완료 |  (시험 성적서) |
| 정적시험<br>(현장시험) | • 1단계 : 고속철도 교육 설비를 이용한 시험선 시험<br>• 2단계 : 고속철도 영업구간에서의 정적시험 ⇨ 열차상간에 차단명령으로 시행(구로 통합관제센터 및 오송전기사무소 지원) |  (오송 시험선 현장시험)  (영업구간 현장시험) |
| 동적시험<br>(현차시험) | • 연속, 불연속 및 보상콘덴서 검측장치 : KTX-36호 설치 및 현차시험 완료<br>• ETCS 발리스 검측장치 : 종합검측차 설치 및 현차시험 완료 |  (RACK 1 현차설치 : 18호 객차)  (RACK 2 현차설치 : 동력차) |

## 나. 연속정보 검측장치

### (1) 개요

고속철도 ATC 연속정보는 UM71C 궤도회로를 통하여 차상으로 전송되며, 차량에 설치되는 연속정보 검측장치는 연속정보 안테나를 통하여 수신된 연속정보를 검측한다. 연속정보 검측장치는 진행 방향의 궤도를 통해서 전송되는 ATC 지상장치 신호인 열차검지 주파수(25.68Hz)와 27개의 VLF(Very Low Frequency)의 조합으로 변조된 주파수 신호를 검지하여, 그 신호 레벨과 메시지 내용을 추출하는 기능을 가진다.

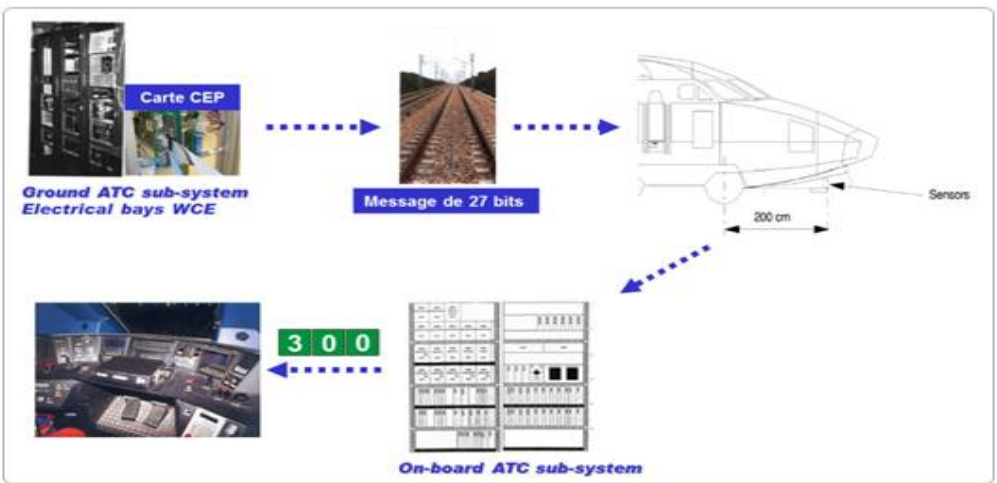



그림 83 고속철도 ATC 연속정보 전송 체계도

연속정보 검측장치는 검측된 레벨과 메시지를 하나의 메시지 프레임으로 취합하여 정의된 프로토콜을 사용하여 종합처리장치로 전송하며, 종합처리장치는 운영자 모니터에 검측정보를 실시간으로 표시한다.

### (2) 검측장치 사양

본 연구에서 연속정보 검측장치는 연속정보 안테나, 연속정보 처리보드 및 연속정보 수신보드로 구성하였으며, 열차의 최고 속도인 400km/h로 통과 시, 0.5m마다 연속정보와 연속레벨을 추출하기 위하여 4.5ms 주기로 정보를 추출할 수 있도록 사양을 정의하였다.

표 71 고속철도 ATC 연속정보 검측장치 사양

| 항 목 | 상세 규격 | 비 고 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | 350km/h(설계 속도는 400km/h) | 초당 이동거리 : 111.1m/s |
| 검측 항목 | 연속정보 레벨 및 메시지(28bits) | |
| 측정 전류값 | 최소 350mArms 이상 | 고속철도 ATC Signalling current는 800mArms를 유용한 최소 전류로 규정 |
| 검측 정밀도 | 0.5m | |
| 샘플링율 | 4.5ms | |
| 1회 생성 정보량 | 30bytes | 레벨 및 메시지 포함 |
| 초당 전송 정보량 | 6.7Kbytes | 레벨 및 메시지 포함 |
| 동작 온도 | -40℃ ~ +70℃ | |

연속정보 검측장치는 Sampling Frequency를 30khz로 128번 데이터를 취득하고, 수집된 데이터를 분석하기 위해 열차검지 주파수, 27개의 VLF 및 연속 레벨을 추출하는 주기가 약 4.27ms가 되도록 구현하였다.

### (3) 검측 정밀도 및 정보량 산정

열차의 최고 속도를 400 km/h (설계상 최대 속도)로 가정할 경우, 열차는 초당 111.1m를 이동한다. (1m 이동에 걸리는 시간 = 1/111.1s/m = 9x10-3s/m=9ms)

연속정보 검측장치는 검측 정보에 대한 거리 단위의 레벨 측정 resolution 목표를 0.5m로 산정하면, 신호 레벨의 sampling rate는 4.5ms (0.5/111.1s/m = 4.5ms)가 되도록 설계하였다.

종합처리장치의 데이터 컴퓨터에게 1회 전송하는 연속정보 데이터양은 38byte이며, 연속정보에 대한 sampling rate가 4.5ms일 경우 초당 데이터 컴퓨터에 전송하는 양은 6.7KB(38byte/4.5ms ≒ 8.5Kbyte/sec)로 산정된다.

### (4) 검측장치 구성 및 기능

연속정보 검측장치의 처리보드와 수신보드는 불연속정보 검측장치 및 ETCS 발리스 검측장치와 함께 RACK2(6U 서브랙)에 실장되며, 연속정보 안테나는 차량의 하부에 2개가 설치된다.

연속정보 처리보드는 지상 궤도회로를 통하여 전송되는 연속정보를 수신하기 위하여 연속정보 수신보드와 인터페이스를 구성하며, 수신된 연속정보는 수신 레벨 값 및 메시지로 추출되며, 해당 정보를 하나의 패킷으로 포맷하여 종합처리장치로 전송된다.

- 연속정보 수신보드로부터 연속정보 신호(디지털)를 수신
- 수신 신호의 전압 레벨(실효 값) 및 메시지(좌측 및 우측의 조합)의 추출
- 생성된 메시지 및 레벨(F1~F4)을 종합처리장치로 전송(TCP/IP 프로토콜)

연속정보 수신보드는 연속정보 안테나를 통하여 수신한 연속정보 신호를 증폭, 노이즈 제거 및 A/D 변환기를 거쳐 디지털 신호로 변환하여 연속정보 처리보드로 전송하는 기능을 가진다.

- 연속정보 신호(아날로그)의 수신 및 증폭
- 노이즈 제거
- 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환 및 처리보드로 전송

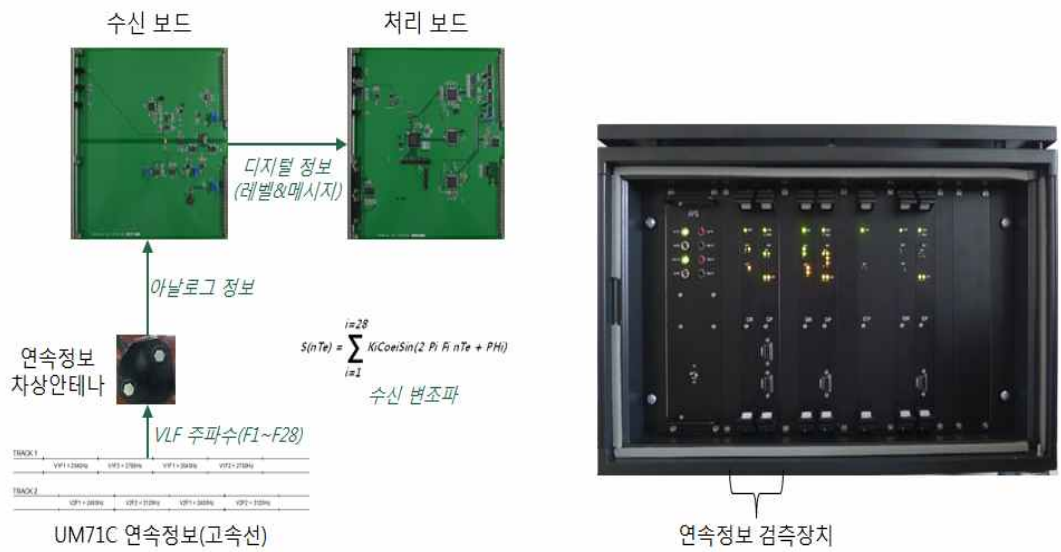



그림 84 고속철도 ATC 연속정보 검측장치(개발품) 구성

### (5) 현차설치 및 시험결과

#### (가) 현차설치

연속정보 검측장치의 현차시험을 위한 구성 및 물량은 다음 표와 같으며, 종합처리장치는 18호 객차, 연속정보 검측장치는 동력차에 각각 설치한다.

연속정보 검측장치에 의해 검측된 정보(레벨 및 메시지)는 종합처리장치(데이터 및 운영 컴퓨터)로 전송되며, 지정된 데이터베이스에 저장 및 운영 모니터에 실시간 표시된다. 연속정보 검측장치는 연속정보 안테나(TVM 2G)와 케이블 거리를 최소화하기 위해 동력차에 설치하며, 종합처리장치 랙(RACK 1)은 검측실(18호 객차)에 위치하며, 운영 모니터와 컬러 프린터는 종합처리장치 랙에 인접하여 설치한다.

연속정보 검측장치와 종합처리장치 사이의 통신은 Ethernet(TCP/IP 통신) 방식으로 접속되며, 케이블의 길이는 100m를 초과하지 않는다.

연속정보 검측장치의 현차 설치도는 다음 그림과 같다.

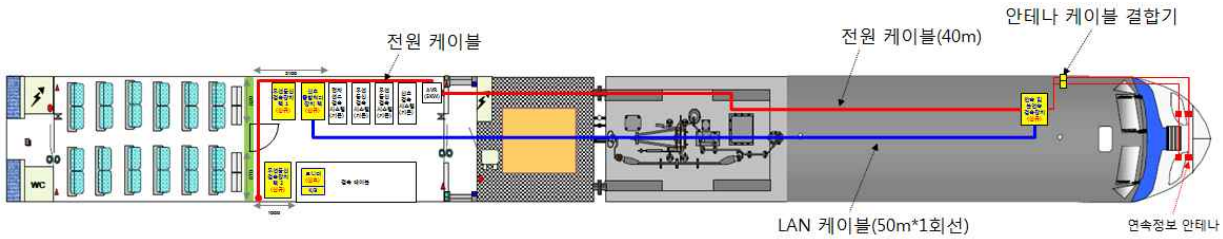



그림 85 연속정보 검측장치 현차설치도(KTX-36호)

표 72 고속철도 ATC 연속정보 검측장치 현차설치 내역

| 장치명 | 품 명 | 규격 | 단위 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 종합처리장치 | 운영 컴퓨터 | 산업용 컴퓨터 : NI | 개 | 1 | RACK 1 실장 |
| | 데이터 컴퓨터 | 산업용 컴퓨터 : NI | 개 | 1 | |
| | 운영 모니터 | 24” LED | 개 | 1 | |
| | KVM | | 개 | 1 | |
| | 스위치 허브 | | 개 | 1 | |
| | UPS | 정전보상 시간 : 30분 | 개 | 1 | |
| 연속정보 검측장치 | 연속정보 처리보드 | 4HP | 개 | 1 | RACK 2 실장 |
| | 연속정보 수신보드 | 4HP | 개 | 1 | |
| | 전원 모듈 | AC 220V | 개 | 1 | |
| | 연속정보 안테나 | TVM 2G | 개 | 2 | |



그림 86 연속정보 검측장치 설치 사진

### (나) 현차시험

현차시험은 안테나에 의해 수신된 연속정보(레벨 및 메시지)가 연속정보 검측장치에 의해 정확히 복조하고 처리하는지를 확인한다. 검측 정보의 확인은 종합처리장치의 운영 모니터를 통하여 이루어진다.

표 73 연속정보 검측장치 현차시험 항목

| 검측 항목 | 세부 항목 | 내 용 | 설치 대상 | 검측 속도 |
|---|---|---|---|---|
| 고속철도 ATC 연속정보 | 연속정보 레벨 | F1(2040Hz), F3(2760Hz)<br>F2(2400Hz), F4(3120Hz) | KTX-36호차<br>(동력차) | 300km/h |
| | 연속정보 메시지 | 구배 정보 : 4bits<br>목표 거리 : 6bits<br>속도 코드 : 8bits<br>선로 정보 : 3bits<br>코드 오류검사 : 6bits | | |

연속정보 검측장치에 대한 시험 내역은 다음 표와 같다.

표 74 연속정보 검측장치 현차시험 결과

| 시험 일자 | 2014. 4. 11. ~ 6. 30. | 결 과 | 정상 |
|---|---|---|---|
| 시험 항목 | ATC 연속정보 수신 레벨 및 메시지 측정 | | |
| 시험 구간 | 광명-부산(하행) | | |
| 시험 내용 | 경부고속철도 구간의 주행으로 연속정보 레벨의 검측, 처리 및 표시 | | |
| 시험 방법 | 궤도회로를 통하여 지상으로부터 수신되는 연속정보 레벨 및 메시지가 운영자 모니터에 표시되는지 확인 | | |

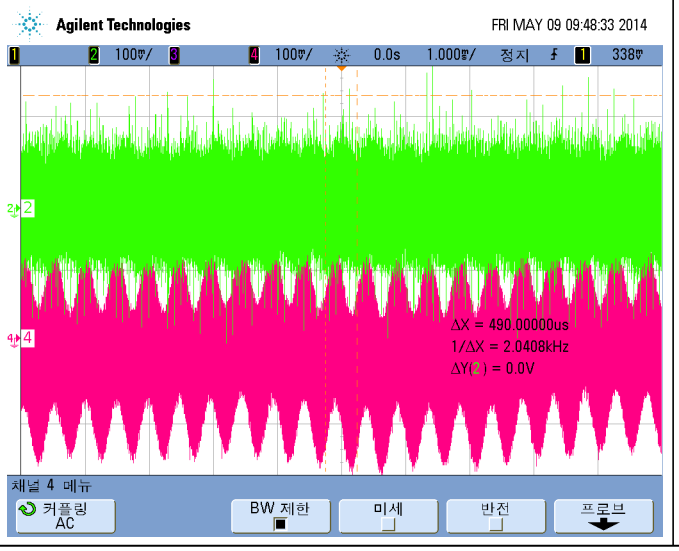
판단 기준 및 결과

① 연속정보 검측장치에 의한 수신 레벨 및 메시지 처리
② 종합처리장치 모니터에 표시 : 연속정보 레벨 그래프 및 메시지
③ 주파수 별 그래프 표시 확인

| 일시 | 그래프 표시 | 검측기준(F1) | 검측기준(F3) | 메시지 | 시험 결과 |
|---|---|---|---|---|---|
| 4/11 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |
| 4/17 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |
| 4/22 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |
| 4/24 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |
| 5/9 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |
| 5/28 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |
| 6/9 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |
| 6/11 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |
| 6/13 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |
| 6/19 | F1 및 F3 레벨 | 2000~2130Hz | 2720~2850Hz | 27bits | OK |

현차시험에 의해 연속정보 안테나(좌/우측)로부터 수신한 파형 및 연속정보 검측장치의 수신보드 내부 처리에 대한 파형은 다음과 같다.

표 75 연속정보 검측 및 복조 파형

| 구 분 | 검측 파형 | 설 명 |
|---|---|---|
| 2760Hz |  | ▪ 경부고속선 하행(서울-부산)<br>▪ 연속정보 안테나로부터 2760Hz 수신 파형 |
| 2760Hz |  | ▪ 경부고속선 하행(서울-부산)<br>▪ 연속정보 안테나로부터 2760Hz 수신 : 녹색<br>▪ 연속정보 검측장치 수신보드의 A/D 컨버터의 입력 파형 : 적색 |

연속정보 레벨 및 메시지는 종합처리장치의 운영 모니터에 실시간 표시되며, 현차시험을 통하여 검측된 표시 내용은 다음 그림과 같으며, 아래 그래프에서 연속(주행선) 및 연속(반대선)을 참고한다.

연속정보 검측장치는 수신된 레벨에 이상이 있을 경우, 해당 정보에 대한 알람을 발생하여 자동화 운영시스템으로 전송하며, 이벤트의 내용은 다음과 같다.

- 열차 위치, 열차 속도, 궤도 ID
- 연속정보 메시지 에러 : 수신 메시지의 checksum 오류

표 76 연속정보 검측 레벨 및 메시지의 표시 내용

| 구 분 | 종합처리장치 표시 내용 | 설 명 |
|---|---|---|
| 연속정보 레벨 및 메시지 표시 |  | • 경부고속선 하행(서울-부산)<br>• 열차 속도 : 297.77km/h<br>• 검측 위치 : KP 219.034 |
| 알람 및 이벤트 전송 내용 |  | • 경부고속선 하행(서울-부산)<br>• 열차 속도 : 300.15km/h<br>• 검측 위치 : KP 217.671 |

## 다. 불연속정보 검측장치

### (1) 개요

고속철도 ATC 불연속정보는 지상에 설치는 BSP 루프를 통하여 차상으로 전송되며, 차량에 설치되는 불연속정보 검측장치는 불연속정보 안테나(TVM BSP)를 통하여 수신된 불연속정보를 검측한다.

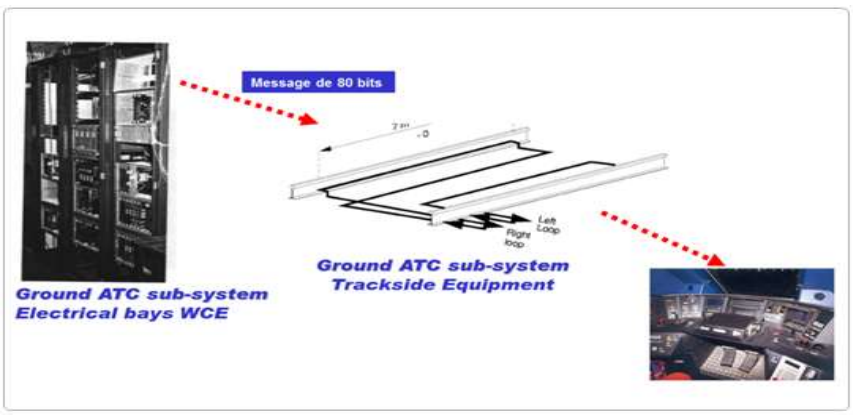



그림 87 고속철도 ATC 불연속정보 전송 체계도

지상에 설치된 각 BSP 루프는 125khz 반송 주파수 (carrier frequency)와 62.5khz의 기준 주파수 (reference frequency)를 사용한다. 전송 허용 오차 (transmission tolerance)는 4/10000이다. 차상장치에 의한 수신은 1/1000 이하의 반송 주파수와 기준 주파수의 허용 오차로 이루어지며, 반송 주파수와 기준 주파수 사이의 상대적 위상 편이 (relative phase shift)는 ±15도를 보장하여야 한다.

구형 신호(square signal)는 루프 내에서 전송되며, 루프 내에서 전송되는 최소 전류는 750mA peak-to-peak이다. 불연속정보 검측장치는 검측된 레벨과 메시지를 하나의 메시지 프레임으로 취합하여 정의된 프로토콜을 사용하여 종합처리장치로 전송하며 종합처리장치는 운영자 모니터에 검측정보를 실시간으로 표시한다.

### (2) 검측장치 사양

불연속정보 검측장치는 지상 BSP 루프로부터 불연속 신호를 수신하기 위한 불연속정보 안테나, 불연속정보 처리보드 및 불연속정보 수신보드로 구성된다.

검측장치는 열차가 최고 속도인 400km/h로 통과 시, 0.5m마다 불연속 정보와 레벨을 추출하기 위하여 4.5ms 주기를 가지고 샘플링 할 수 있는 사양으로 정의하였다.

표 77 고속철도 ATC 불연속정보 검측장치 사양

| 항 목 | 상세 규격 | 비 고 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | 350km/h(설계 속도는 400km/h) | 초당 이동거리 : 111.1m/s |
| 검측 항목 | 불연속정보 레벨 및 메시지(80bits) | |
| 측정 전류값 | 최소 350mA 이상 | 고속철도 ATC 불연속정보의 루프 내에서 전송되는 최소전류는 750mA peak-to-peak로 규정 |
| 검측 정밀도 | 0.5m | |
| 샘플링 율 | 4.5ms | |
| 1회 생성 정보량 | 17bytes | 레벨 및 메시지 포함 |
| 초당 전송 정보량 | 3.78Kbytes | 레벨 및 메시지 포함 |
| 동작 온도 | -40℃ ~ +70℃ | |

### (3) 검측 정밀도 및 정보량 산정

열차의 최고 속도를 400 km/h (설계상 최대 속도)로 가정할 경우, 열차는 초당 111.1m를 이동한다. (1m 이동에 걸리는 시간 = 1/111.1s/m = 9x10-3s/m=9ms) 불연속정보 검측장치는 검측 정보에 대한 거리 단위의 레벨 측정 resolution 목표를 0.5m (최소 4.5m 길이를 가진 BSP 루프에 대해 적어도 8회 이상의 샘플링)로 산정하면, 신호 레벨의 sampling rate는 4.5ms (0.5/111.1s/m = 4.5ms)가 되도록 정의한다.

종합처리장치의 데이터 컴퓨터에게 1회 전송하는 불연속정보 데이터양은 17byte이며, 불연속정보에 대한 sampling rate가 4.5ms일 경우 초당 데이터 컴퓨터에 전송하는 양은 3.78KB (17byte/4.5ms ≒ 3.78Kbyte/sec)로 산정된다.

### (4) 검측장치 구성 및 기능

불연속정보 검측장치의 처리보드와 수신보드는 연속정보 검측장치 및 ETCS 발리스 검측장치와 함께 RACK2(6U 서브랙)에 실장되며, 불연속정보 안테나는 차량의 하부에 좌/우측에 1개씩 설치된다.

불연속정보 처리보드는 지상 BSP 루프를 통하여 전송되는 불연속정보를 수신하기 위하여 불연속정보 수신보드와 인터페이스를 구성하며, 수신된 불연속정보는 수신 레벨 값 및 메시지로 추출되며, 해당 정보를 하나의 패킷으로 포맷하여 종합처리장치로 전송된다.

불연속정보 처리보드는 연속정보 검측장치에서 사용하는 처리보드와 동일한 하드웨어로 개발하였으며 DSP와 CPU에 적용되는 Firmware는 다르게 구현되었다.

- 불연속정보 수신보드로부터 불연속정보 신호(디지털)를 수신
- 수신 신호의 전압 레벨(실효 값) 및 메시지(좌측 및 우측의 조합)의 추출 : 메시지 동기화에 의해 33동기 비트가 일치할 때 80bits 메시지 구성
- 생성된 메시지(80bits) 및 레벨을 종합처리장치로 전송(TCP/IP 프로토콜)

불연속정보 수신보드는 불연속정보 안테나를 통하여 수신한 불연속정보 신호의 증폭, 노이즈 제거, 복조 및 A/D 변환기를 거쳐 디지털 신호로 변환하여 불연속정보 처리보드로 전송하는 기능을 가진다.

- 불연속 안테나로 전원 공급
- 불연속 정보 수신 및 복조
- 노이즈 제거 및 증폭
- 복조된 불연속 데이터 및 신호를 처리보드로 전송




그림 88 고속철도 ATC 불연속정보 검측장치(개발품) 구성

### (5) 현차설치 및 시험

#### (가) 현차설치

불연속정보 검측장치의 현차시험을 위한 구성 및 물량은 다음 표와 같으며, 종합처리장치는 18호 객차, 불연속정보 검측장치는 동력차에 각각 설치한다.

불연속정보 검측장치에 의해 검측된 정보(레벨 및 메시지)는 종합처리장치(데이터 및 운영 컴퓨터)로 전송되며, 지정된 데이터베이스에 저장 및 운영 모니터에 실시간 표시된다. 불연속정보 검측장치는 불연속정보 안테나(TVM BSP)와 케이블 거리를 최소화하기 위해 동력차에 설치하며, 종합처리장치 랙(RACK 1)은 검측실(18호 객차)에 위치하며, 운영 모니터와 컬러 프린터는 종합처리장치 랙에 인접하여 설치한다.

불연속정보 검측장치와 종합처리장치 사이의 통신은 Ethernet(TCP/IP 통신) 방식으로 접속되며, 케이블의 길이는 100m를 초과하지 않는다.

표 78 고속철도 ATC 불연속정보 검측장치 현차설치 내역

| 장치명 | 품 명 | 규격 | 단위 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 종합처리장치 | 운영 컴퓨터 | 산업용 컴퓨터 : NI | 개 | 1 | RACK 1 실장 |
| | 데이터 컴퓨터 | 산업용 컴퓨터 : NI | 개 | 1 | |
| | 운영 모니터 | 24” LED | 개 | 1 | |
| | KVM | | 개 | 1 | |
| | 스위치 허브 | | 개 | 1 | |
| | UPS | 정전보상 시간 : 30분 | 개 | 1 | |
| 불연속정보 검측장치 | 불연속정보 처리보드 | 4HP | 개 | 1 | RACK 2 실장 |
| | 불연속정보 수신보드 | 4HP | 개 | 1 | |
| | 전원 모듈 | AC 220V | 개 | 1 | |
| | 불연속정보 안테나 | TVM BSP | 개 | 2 | |

불연속정보 검측장치의 현차설치도는 다음 그림과 같다.

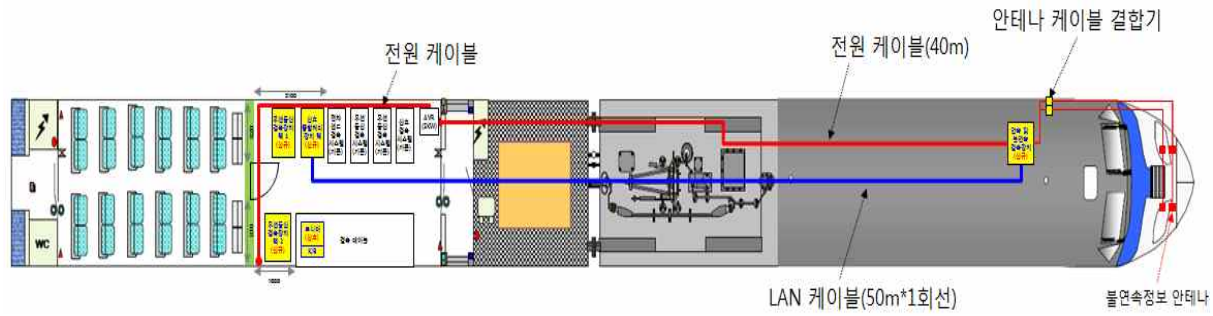



그림 89 불연속정보 검측장치 현차설치도(KTX-36호)



그림 90 불연속정보 검측장치 설치 사진

### (나) 현차시험

현차시험은 안테나에 의해 수신된 불연속정보(레벨 및 메시지)가 불연속정보 검측장치에 의해 정확히 복조하고 처리하는지를 확인한다. 검측 정보의 확인은 종합처리장치의 운영 모니터를 통하여 이루어진다.

표 79 불연속정보 검측장치 현차시험 항목

| 검측 항목 | 세부 항목 | 내 용 | 설치 대상 | 검측 속도 |
|---|---|---|---|---|
| 고속철도 ATC 불연속정보 | 불연속정보 레벨 | 우측 레벨<br>좌측 레벨 | KTX-36호차 (동력차) | 300km/h |
| | 불연속정보 메시지 | 서비스 코드 : 3bits<br>정주행 방향 정보 : 28bits<br>역주행 방향 정보 : 28bits<br>에러 검출 코드 : 16bits | | |

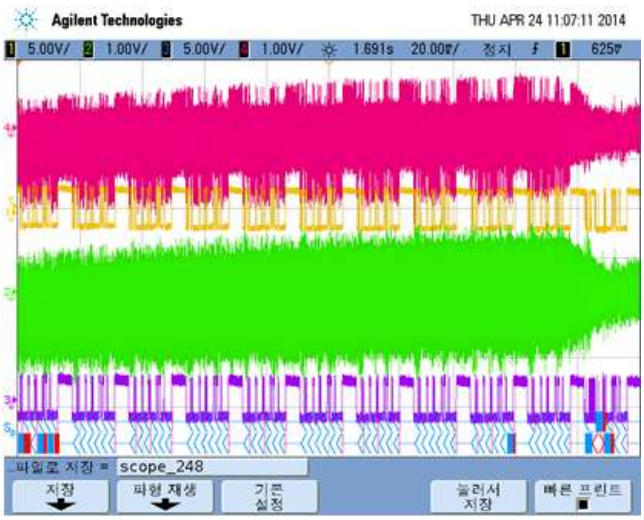
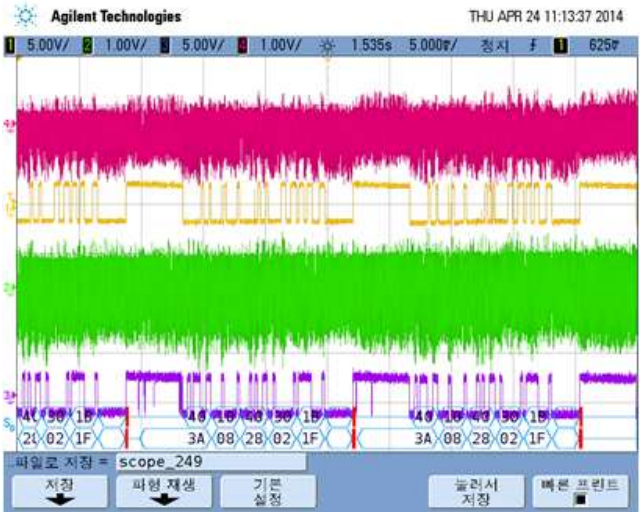
불연속정보 검측장치에 대한 시험 내역은 다음 표와 같다.

표 80 불연속정보 검측장치 현차시험 결과

<table>
<tr><td>시험 일자</td><td colspan="2">2014. 4. 11. ~ 6. 30.</td><td>결 과</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>시험 항목</td><td colspan="4">ATC 불연속정보 수신 레벨 및 메시지 측정</td></tr>
<tr><td>시험 구간</td><td colspan="4">광명-부산(하행)</td></tr>
<tr><td>시험 내용</td><td colspan="4">경부고속철도 구간의 주행으로 불연속정보 레벨의 검측, 처리 및 표시</td></tr>
<tr><td>시험 방법</td><td colspan="4">BSP 루프를 통하여 지상으로부터 수신되는 불연속정보 레벨이 운영자 모니터에 표시되는지 확인</td></tr>
<tr><td>판단 기준 및 결과</td><td colspan="4">① 불연속정보 검측장치에 의한 수신 레벨 처리<br>② 종합처리장치 모니터에 표시 : 불연속정보 레벨 그래프<br>③ 좌측 및 우측 레벨 그래프 표시 확인
<table>
<tr><th>일시</th><th>그래프 표시</th><th>우측 레벨</th><th>좌측 레벨</th><th>메시지</th><th>시험 결과</th></tr>
<tr><td>4/11</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>4/17</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>4/22</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>4/24</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>5/9</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>5/28</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>6/9</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>6/11</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>6/13</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>6/19</td><td>좌/우측 레벨</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>0 ~ 1750mV</td><td>80bits</td><td>OK</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

불연속정보 안테나(좌/우측)로부터 수신한 파형 및 불연속정보 검측장치의 수신보드 내부 처리에 대한 파형은 다음과 같다.

표 81 불연속정보 검측 및 복조 파형

| 구 분 | 검측 파형 | 설 명 |
|---|---|---|
| 저속 주행 |  | • 경부고속선 하행 (서울-부산)<br>• 불연속정보 안테나로부터 수신된 파형 및 복조된 내용<br>① 적색 : 왼쪽 수신 파형<br>② 황색 : 왼쪽 복조 파형<br>③ 녹색 : 오른쪽 수신 파형<br>④ 보라 : 오른쪽 복조 파형 |
| 고속 주행 |  | • 경부고속선 하행 (서울-부산)<br>• 불연속정보 안테나로부터 수신된 파형 및 복조된 내용<br>① 적색 : 왼쪽 수신 파형<br>② 황색 : 왼쪽 복조 파형<br>③ 녹색 : 오른쪽 수신 파형<br>④ 보라 : 오른쪽 복조 파형 |

불연속정보 레벨 및 메시지는 종합처리장치의 운영 모니터에 실시간 표시되며, 현차시험을 통하여 검측된 표시 내용은 다음 그림과 같다.

불연속정보 검측장치는 수신된 레벨에 이상이 있을 경우, 해당 정보에 대한 알람을 발생하여 자동화 운영시스템으로 전송하며, 이벤트의 내용은 다음과 같다.

- 열차 위치
- 열차 속도
- 불연속정보 메시지 에러 : 수신 메시지의 checksum 오류, 좌/우측 편차 50% 이상 발생

표 82 불연속정보 검측 레벨 및 메시지의 표시 내용

| 구 분 | 종합처리장치 표시 내용 | 설 명 |
|---|---|---|
| 불연속 정보 레벨 및 메시지 표시 |  | • 경부고속선 하행(서울-부산)<br>• 열차 속도 : 297.77km/h<br>• 검측 위치 : KP 219.034 |
| 알람 및 이벤트 전송 내용 |  | • 경부고속선 하행(서울-부산)<br>• 열차 속도 : 296.30km/h<br>• 검측 위치 : KP 219.664 |

## 라. 보상콘덴서 검측장치

### (1) 개요

보상콘덴서 검측장치는 UM71C 궤도회로를 통하여 전송되는 연속정보의 신호 감쇠를 보상하기 위해 궤도회로 레일에 60~80m 간격으로 설치된 보상콘덴서의 상태를 검측하기 위한 기능을 가진다.

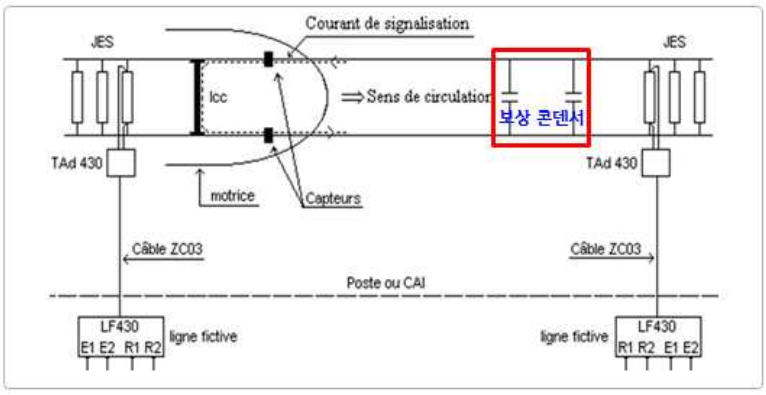



그림 91 고속철도 보상콘덴서 개념도

보상콘덴서 검측장치는 검측된 보상콘덴서 수신 레벨을 정의된 프로토콜을 사용하여 종합처리장치로 전송하며, 종합처리장치는 운영자 모니터에 검측정보를 실시간으로 표시한다.

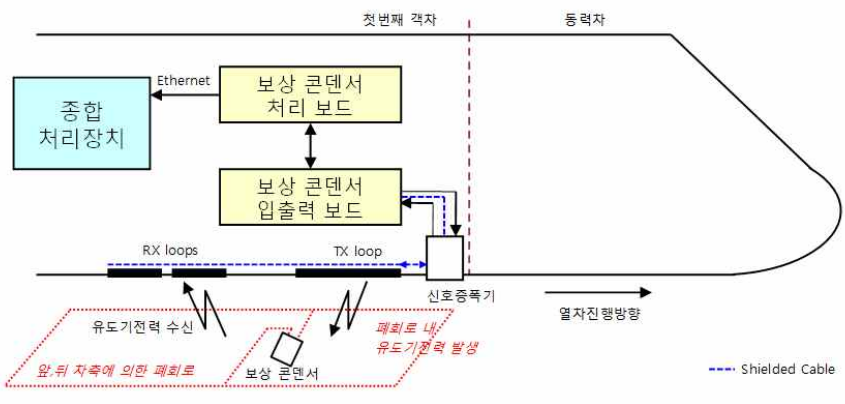



그림 92 보상콘덴서 검측장치의 접속도

### (2) 검측장치 사양

보상콘덴서 검측장치는 지상에 설치된 보상콘덴서의 이상 유무를 검측하기 위해 열차가 최고 속도인 400 km/h로 운행 시, 걸 단위의 레벨 측정 정밀도는 5m 그리고 샘플링율은 4.5ms로 구현하였다.

표 83 고속선 보상콘덴서 검측장치 사양

| 항 목 | 상세 규격 | 비 고 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | 350km/h(설계 속도는 400km/h) | 초당 이동거리 : 111.1m/s |
| 검측 항목 | 보상콘덴서 레벨 | 25khz 주파수 출력에 의한 입력 처리 (출력 레벨 : 25W) |
| 검측 정밀도 | 0.5m | |
| 샘플링 율 | 4.5ms | |
| 1회 생성 정보량 | 8bytes | 레벨 |
| 초당 전송 정보량 | 1.8Kbytes | 레벨 |
| 동작 온도 | -40℃ ~ +70℃ | |

### (3) 검측 정밀도 및 정보량 산정

보상 콘덴서 검측장치는 검측 정보에 대한 거리 단위의 레벨 측정 resolution 목표를 0.5m (보상 콘덴서 검측을 위한 폐회로 구성 : TX 루프와 RX 루프 사이의 거리는 약 5m이며, 적어도 10회 이상의 샘플링)로 산정하면, 신호 레벨의 sampling rate는 4.5ms (0.5/111.1s/m = 4.5ms)가 되도록 설계하였다.

종합처리장치의 데이터 컴퓨터에게 1회 전송하는 보상 콘덴서 데이터양은 8byte이며, 보상 콘덴서 정보에 대한 sampling rate가 4.5ms일 경우 초당 데이터 컴퓨터에 전송하는 양은 1.8KB (8byte/4.5ms = 1.8Kbyte/sec)로 산정된다.

### (4) 검측장치 구성 및 기능

보상콘덴서 검측장치의 처리보드와 수신보드는 서브 랙 형태로 RACK1에 실장되며, 신호증폭기는 차량의 측면에 설치하며 TX 루프(1개)와 RX 루프(2개)는 차량하부에 최소 5m 정도를 이격하여 설치한다.

보상콘덴서 처리보드는 다른 검측장치의 처리보드와 동일한 하드웨어로 이루어지며 보상콘덴서 입출력보드로부터 보상콘덴서 레벨을 수신하여 처리한다.

- 신호증폭기를 위한 TX 신호의 발생
- 보상콘덴서 입출력보드로부터 레벨 수신
- 종합처리장치와의 인터페이스 구성

보상콘덴서 입출력보드는 신호증폭기를 거쳐 TX 루프로 송신하는 신호와 RX 루프로부터 수신된 신호를 각각 D/A(Digital to Analog), A/D(Analog to Digital)로 변환하는 기능을 한다. 신호증폭기는 입출력보드에서 출력된 TX 신호를 증폭하여 TX 루프로 전송하고, RX 루프에서 수신한 낮은 전압의 신호를 증폭하여 입출력보드로 전송하는 기능을 가진다.

TX 루프와 RX 루프는 지상에 설치된 보상콘덴서를 검측하기 위해 유도기전력을 발생 및 수신하며, 각각 신호증폭기와 접속된다.




그림 93 고속철도 보상콘덴서 검측장치(개발품) 구성

### (5) 현차설치 및 시험

#### (가) 현차설치

보상콘덴서 검측장치의 현차시험을 위한 구성 및 물량은 다음 표와 같다. 종합처리장치는 18호 객차, 보상콘덴서 검측장치는 종합처리장치 RACK에 실장하며, TX 및 RX 루프는 18호 객차의 차량 하부에 설치한다.

표 84 고속철도 보상콘덴서 검측장치 현차설치 내역

| 장치명 | 품 명 | 규격 | 단위 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 보상콘덴서 검측장치 | 보상콘덴서 처리보드 | 4HP | 개 | 1 | RACK 1 실장 |
| | 보상콘덴서 입출력보드 | 4HP | 개 | 1 | |
| | 신호증폭기 | | 개 | 1 | |
| | TX 및 RX 루프 | | 개 | 3 | |

보상콘덴서 검측장치의 현차설치도는 다음 그림과 같다.

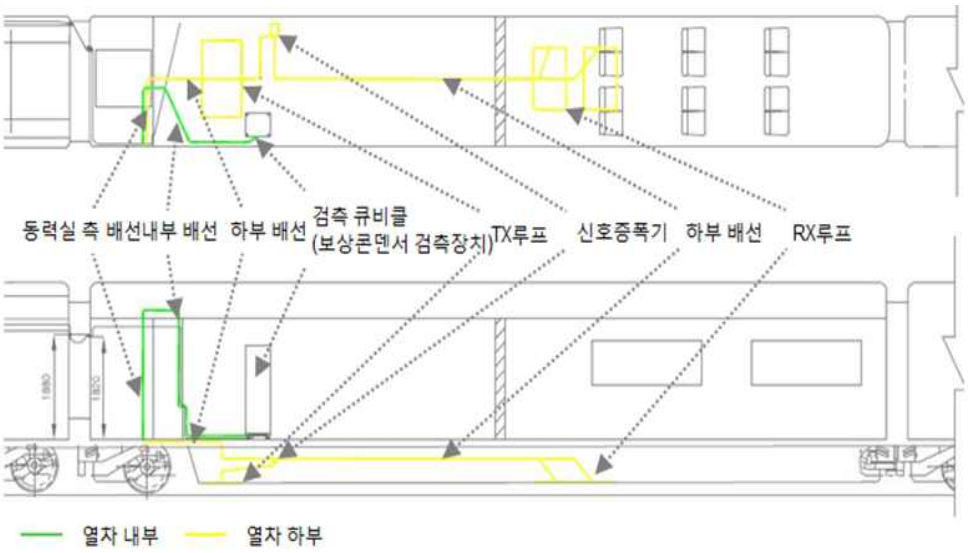



그림 94 보상콘덴서 검측장치 현차설치도(KTX-36호)



그림 95 보상콘덴서 검측장치 설치 사진

보상콘덴서 검측장치의 설치 위치는 다음 그림과 같다.

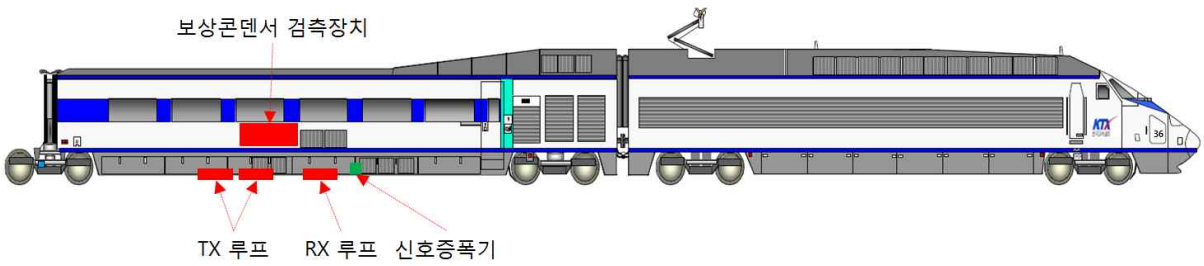



그림 96 보상콘덴서 검측장치 부속품의 설치 위치

보상콘덴서를 검측하기 위한 TX 루프 및 RX 루프는 KTX-36호의 18호 객차 차량하부에 설치하며, 설치 사진은 다음과 같다.



그림 97 보상콘덴서 TX 및 RX 루프 설치 사진

신호증폭기는 보상콘덴서 검측장치의 입출력보드와 가까운 거리에 위치할 수 있도록 열차 하단부에 설치하며, 열차 운행 중 외부 영향에 의한 파손이 없도록 고려한다.



그림 98 보상콘덴서 신호증폭기 설치 사진

### (나) 현차시험

현차시험은 루프에 의해 수신된 레벨이 보상콘덴서 검측장치에 의해 정확히 복조하고 처리하는지를 확인한다. 검측 정보의 확인은 종합처리장치의 운영 모니터를 통하여 이루어진다.

표 85 보상콘덴서 검측장치 현차시험 항목

| 검측 항목 | 세부 항목 | 내 용 | 설치 대상 | 검측 속도 |
|---|---|---|---|---|
| 고속철도 ATC 보상콘덴서 | 보상콘덴서 수신 레벨 | TX 루프에 의한 RX 루프 수신 레벨 | KTX-36호차 (18호 객차) | 300km/h |

보상콘덴서 검측장치에 대한 시험 내역은 다음 표와 같다.

표 86 보상콘덴서 검측장치 현차시험 결과

<table>
<tr><td>시험 일자</td><td colspan="3">2013. 4. 26. ~ 6. 4.</td><td>결 과</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>시험 항목</td><td colspan="5">보상콘덴서 레벨 측정</td></tr>
<tr><td>시험 구간</td><td colspan="5">광명-부산(왕복)</td></tr>
<tr><td>시험 내용</td><td colspan="5">경부고속철도 구간의 주행으로 보상콘덴서 레벨의 검측, 처리 및 표시</td></tr>
<tr><td>시험 방법</td><td colspan="5">보상콘덴서 검측장치의 TX 및 RX 루프에 의해 수신되는 보상콘덴서 레벨이 운영자 모니터에 표시되는지 확인</td></tr>
<tr><td>판단 기준 및 결과</td><td colspan="5">① 보상콘덴서 검측장치에 의한 수신 레벨 처리<br>② 종합처리장치 모니터에 표시 : 보상콘덴서 레벨 그래프
<table>
<tr><th rowspan="2">일시</th><th>기준 값</th><th>시험 값</th><th>기준 값</th><th>시험 값</th><th rowspan="2">시험 결과</th></tr>
<tr><th>TX 주파수</th><th>TX 주파수</th><th>RX 주파수</th><th>RX 주파수</th></tr>
<tr><td>4/26</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>4/29</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>5/1</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>5/2</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>5/3</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>6/4</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>25khz±5%</td><td>정상</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

보상콘덴서 레벨은 종합처리장치의 운영 모니터에 실시간 표시되며, 현차시험을 통하여 검측된 표시 내용은 다음 그림과 같다.

표 87 보상콘덴서 검측 파형

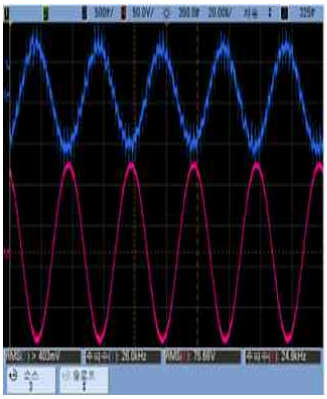
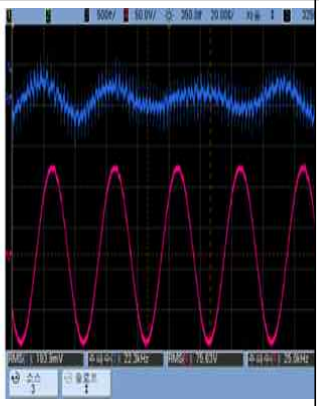
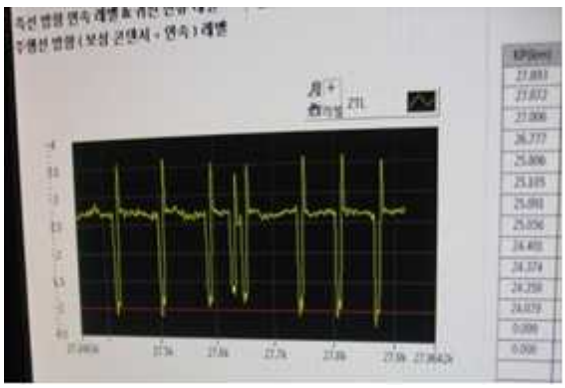
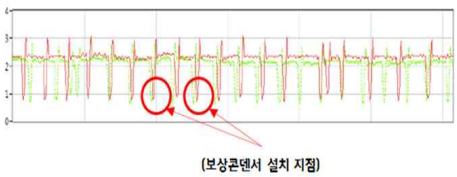
| 구 분 | 검측 파형 | 설 명 |
|---|---|---|
| 보상 콘덴서 레벨 검측 |  (보상콘덴서 없을 경우)  (보상콘덴서 있을 경우) | 보상콘덴서 유무에 따른 TX 및 RX 측정 파형 |

표 88 보상콘덴서 검측 레벨 표시

| 구 분 | 검측 파형 | 설 명 |
|---|---|---|
| 보상 콘덴서 레벨 표시 |   (보상콘덴서 설치 지점) | • 경부고속선 왕복<br>• 열차 속도 : 301.25km/h |

보상콘덴서 검측장치는 수신된 레벨에 이상이 있을 경우, 해당 정보에 대한 알람을 발생하여 자동화 운영시스템으로 전송하며, 이벤트의 내용은 다음과 같다.

- 열차 위치
- 열차 속도
- 궤도명
- 보상콘덴서 수량 에러

## 마. ETCS 발리스 검측장치

### (1) 개요

ETCS 발리스 검측장치는 일반철도의 신호장치인 유로발리스를 검측 하는 기능을 가지며, 수신된 텔레그램의 레벨 및 크기를 분석하여 관련 정보를 종합처리장치로 전송한다. 지상의 유로발리스는 무전원 방식을 사용하므로 열차가 통과함에 따라 차상에서 텔레파워링되는 신호(27.095MHz)에 의해 전력이 생성되고, 이때 자신이 가지고 있는 텔레그램을 차상으로 전송한다.

전송되는 Up-link 신호는 2개의 주파수로 구성되며, 0의 값을 위해 3.951MHz, 1의 값을 위해 4.416MHz를 사용한다. ETCS 발리스 검측장치는 유로발리스로부터 수신되는 2종류의 주파수를 이용하여 텔레그램의 크기를 추출하며, 검측된 레벨과 함께 메시지화하여 종합처리장치로 전송하며 종합처리장치는 검측정보를 운영자 모니터에 실시간으로 표시한다.

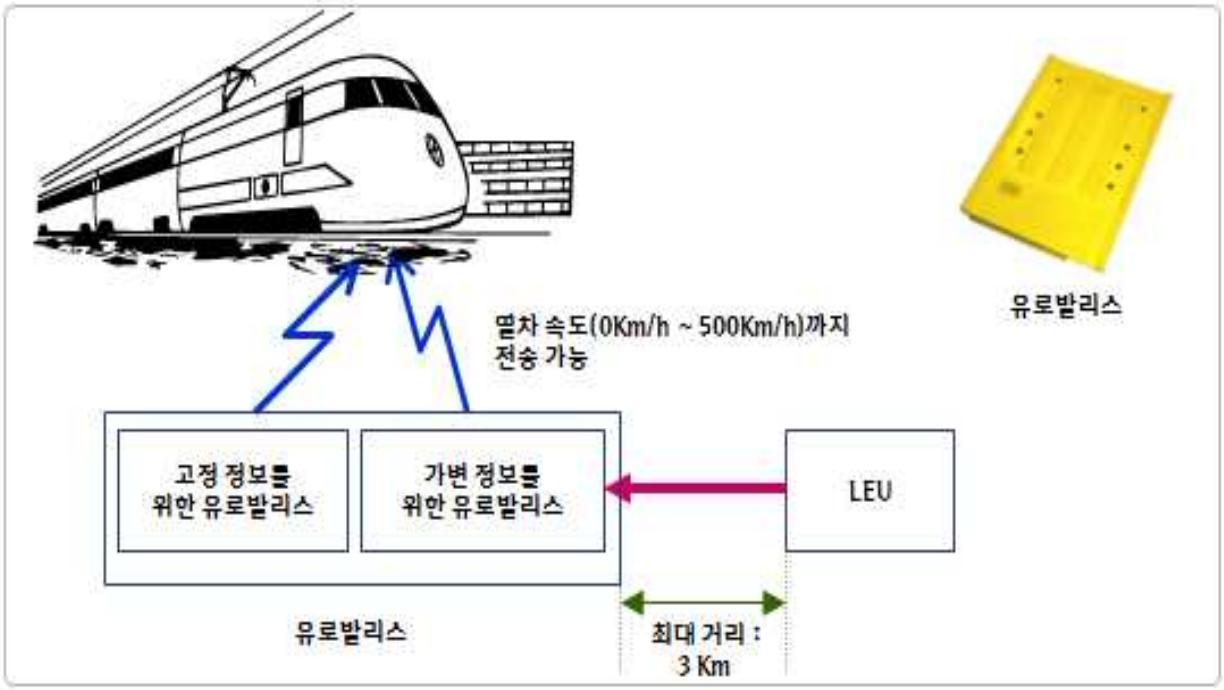



그림 99 ETCS 발리스 전송 개념도

### (2) 검측장치 사양

ETCS 발리스 검측장치는 유로발리스에 대한 텔레파워링을 위한 전력파전송보드, 텔레그램을 수신하기 위한 유로발리스 안테나와 수신보드, 그리고 정보처리를 위한 처리보드로 구성된다.

표 89 일반철도 ETCS 발리스 검측장치 사양

| 항 목 | 상세 규격 | 비 고 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | 180km/h | 초당 이동거리 : 50m/s |
| 검측 항목 | 유로발리스 텔레그램 | ERTMS/ETCS LEVEL 1 |
| 검측 정밀도 | 0.05m | |
| 샘플링 율 | 1ms | |
| 1회 생성 정보량 | 최대 136bytes | 레벨 및 텔레그램 크기 |
| 초당 전송 정보량 | 최대 136Kbytes | 레벨 및 텔레그램 크기 |
| 텔레파워링 신호 | 27.095MHz±5khz | |
| Data Frequency | 3.951MHz(Logical 0)<br>4.416MHz(logical 1) | 중심 주파수 : 4.416MHz±175khz |
| 동작 온도 | -40℃ ~ +70℃ | |

ETCS 발리스 검측장치는 고속선이 아닌 기존선 구간에서만 적용하므로 열차의 최소 속도를 180km/h로 가정할 경우 열차는 초당 50m를 이동하므로 약 40cm의 크기를 가진 유로발리스의 검측을 위해 검측 정밀도는 0.05m, 샘플링율은 1ms로 사양을 정의하였다.

### (3) 검측 정밀도 및 정보량 산정

보상 콘덴서 검측장치는 검측 정보에 대한 거리 단위의 레벨 측정 resolution 목표를 0.5m (보상 콘덴서 검측을 위한 폐회로 구성 : TX 루프와 RX 루프 사이의 거리는 약 5m이며, 적어도 10회 이상의 샘플링)로 산정하면, 신호 레벨의 sampling rate는 4.5ms (0.5/111.1s/m = 4.5ms)가 되도록 설계하였다.

종합처리장치의 데이터 컴퓨터에게 1회 전송하는 보상 콘덴서 데이터양은 8byte이며, 보상 콘덴서 정보에 대한 sampling rate가 4.5ms일 경우 초당 데이터 컴퓨터에 전송하는 양은 1.8KB (8byte/4.5ms = 1.8Kbyte/sec)로 산정된다.

### (4) 검측장치 구성 및 기능

ETCS 발리스 검측장치는 RACK 2(6U 서브랙)에 실장되며, 유로발리스 차상 안테나는 차량의 하부에 설치된다. ETCS 발리스 처리보드는 다른 검측장치에서 사용하는 처리보드와 동일한 하드웨어로 개발하였으며 DSP와 CPU에 적용되는 Firmware는 다르게 구현되었다.

- 유로발리스 정보(텔레그램)의 복조
- 텔레그램의 유무 판단 및 크기 분석
- 생성된 정보를 종합처리장치로 전송

발리스 수신보드는 차량의 하부에 설치되는 유로발리스 차상 안테나(CAU : Compact Antenna Unit)를 통하여 지상으로부터 전송(Up-link 신호)되는 FSK 변조 신호를 수신하여 처리보드로 전송한다.

- 유로 발리스 정보의 수신

- 정보의 필터링 및 복조

전력파전송보드는 유로발리스에게 텔레파워링을 위한 전력파를 생성하여 유로발리스 차상안테나로 출력한다.

- 유로발리스용 전력파 생성 : 27.095MHz

- 전력파 제어 ON/OFF 처리




그림 100 일반철도 ETCS 발리스 검측장치(개발품) 구성

### (5) 현차설치 및 시험

#### (가) 현차설치

ETCS 발리스 검측장치의 현차시험을 위한 구성 및 물량은 다음 표와 같다. 종합처리장치는 18호 객차, ETCS 발리스 검측장치는 동력차에 설치하며, 유로발리스 차상안테나는 동력차의 차량 하부에 설치한다.

표 90 일반철도 ETCS 발리스 검측장치 현차설치 내역

| 장치명 | 품 명 | 규격 | 단위 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 종합처리장치 | 운영 컴퓨터 | 산업용 컴퓨터 : NI | 개 | 1 | |
| | 데이터 컴퓨터 | 산업용 컴퓨터 : NI | 개 | 1 | |
| | 운영 모니터 | 24” LED | 개 | 1 | |
| | 스위치 허브 | | 개 | 1 | |
| ETCS 발리스 검측장치 | ETCS 발리스 처리보드 | 4HP | 개 | 1 | RACK 2 실장 |
| | ETCS 발리스 수신보드 | 4HP | 개 | 1 | |
| | 전력파전송보드 | | 개 | 1 | |
| | 전원 장치 | AC 220V | 개 | 1 | |
| | 유로발리스 안테나 | CAU 2000 | 개 | 1 | |

ETCS 발리스 검측장치의 현차설치도는 다음 그림과 같다.

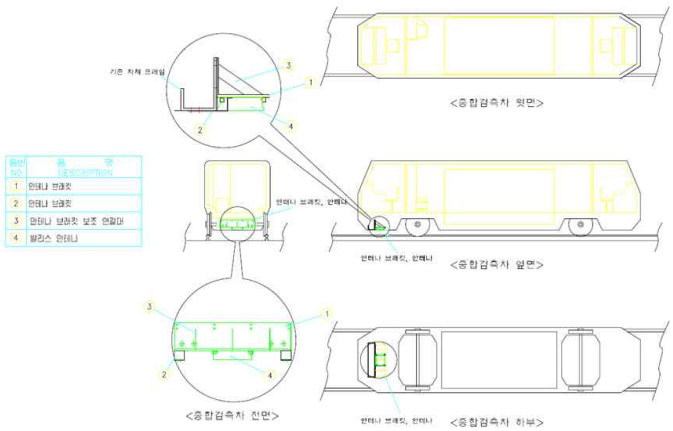



그림 101 ETCS 발리스 검측장치 현차 설치도(종합검측차)

유로발리스 정보 수신용 차상 안테나는 동력차의 첫 번째 차축의 후방에 RACK 2와 가까운 거리의 열차 하단부에 설치하며, 안테나와 ETCS 발리스 검측장치간의 거리는 최대 10m를 초과하지 않는다.




그림 102 유로발리스 안테나 설치 사진(종합검측차)

ETCS 발리스 검측장치는 RACK 2에 실장하여 종합검측차의 실내에 설치하며, 전원은 종합검측차 전원을 사용한다. ETCS 발리스 검측 정보를 표시하기 위한 종합처리장치는 종합검측차 실내에 위치한다.



그림 103 ETCS 발리스 검측장치 설치 사진

### (나) 현차시험

현차시험은 유로발리스 안테나에 의해 수신된 레벨이 ETCS 발리스 검측장치에 의해 정확히 복조하고 처리하는지를 확인한다. 검측 정보의 확인은 종합처리장치의 운영 모니터를 통하여 이루어진다.

표 91 ETCS 발리스 검측장치 현차시험 항목

| 검측 항목 | 세부 항목 | 내 용 | 설치 대상 | 검측 속도 |
|---|---|---|---|---|
| ETCS 발리스 | 텔레그램 수신 레벨 | 전력파전송보드의<br>텔레파워링에 의한 발리스<br>응동 레벨 | 종합검측차<br>(ROGER-1000K) | 160km/h |

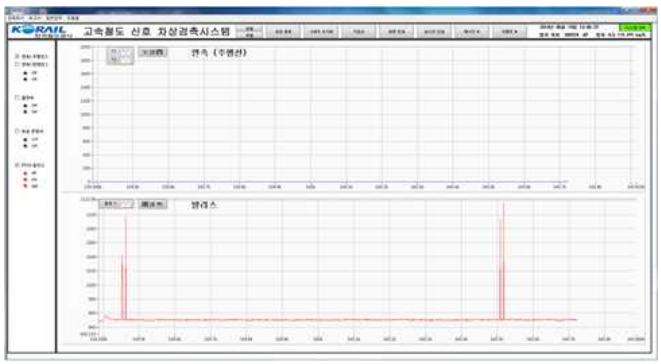
ETCS 발리스 검측장치에 대한 시험 내역은 다음 표와 같다.

표 92 ETCS 발리스 검측장치 현차시험 결과

<table>
<tr><td>시험 일자</td><td>2014. 6. 13. ~ 6. 19.</td><td>결 과</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>시험 항목</td><td colspan="3">일반철도 ETCS 발리스 레벨</td></tr>
<tr><td>시험 구간</td><td colspan="3">대전-지천(일반선) 왕복<br>대전-부산(일반선) 왕복</td></tr>
<tr><td>시험 내용</td><td colspan="3">일반철도 구간의 주행으로 발리스 정보 검측, 처리 및 표시</td></tr>
<tr><td>시험 방법</td><td colspan="3">유로발리스를 통하여 지상으로부터 수신되는 발리스 레벨이 운영자 모니터에 표시되는지 확인</td></tr>
<tr><td>판단 기준<br>및 결과</td><td colspan="3">① ETCS 발리스 검측장치에 의한 수신 텔레그램 처리<br>② 종합처리장치 모니터에 표시 : 발리스 정보 레벨 및 크기<br>③ 발리스 수신 레벨 및 텔레그램 크기 확인
<table>
<tr><th>일시</th><th>수신 레벨</th><th>텔레그램 크기</th><th>시험 결과</th></tr>
<tr><td>4/26</td><td>900 ~ 1100mV</td><td>최대 1023bits</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>4/29</td><td>900 ~ 1100mV</td><td>최대 1023bits</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>5/1</td><td>900 ~ 1100mV</td><td>최대 1023bits</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>5/2</td><td>900 ~ 1100mV</td><td>최대 1023bits</td><td>정상</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

ETCS 발리스 레벨은 종합처리장치의 운영 모니터에 실시간 표시되며, 현차시험을 통하여 검측된 표시 내용은 다음 그림과 같다.

표 93 ETCS 발리스 검측 레벨 표시

| 구 분 | 검측 파형 | 설 명 |
|---|---|---|
| ETCS 발리스 레벨 표시 및 처리 |  | • 일반선 구간(대전-지천, 대전-부산 왕복)<br>• 종합처리장치 표시 확인 |
| |  | |

## 3. 무선통신 차상검측시스템

### 가. 개요

고속철도 열차무선 검측장치는 열차운행의 핵심장치로서 열차 안테나로 수신되는 무선전파전계를 측정하여 불요파, 핸드오버 등 주파수 간섭이나 기지국 주파수 세기 등을 측정하여 열차무선통신의 이상 유무를 실시간으로 확인이 가능한 시스템이다.

열차무선 차상 검측시스템의 검측 항목별 기능은 다음과 같다.

- 전계강도 및 주파수 검측장치 : 열차무선 전파환경 전계강도 및 주파수 검측
- 핸드오버 및 불요파 검측장치 : 열차무선 전파환경 핸드오버 및 불요파 검측
- 데이터 에러율 검측장치 : 열차무선 전파환경 데이터 에러율 검측
- 통합서버 및 시뮬레이터 : 검측 데이터 표시 및 관리, 실시간전송

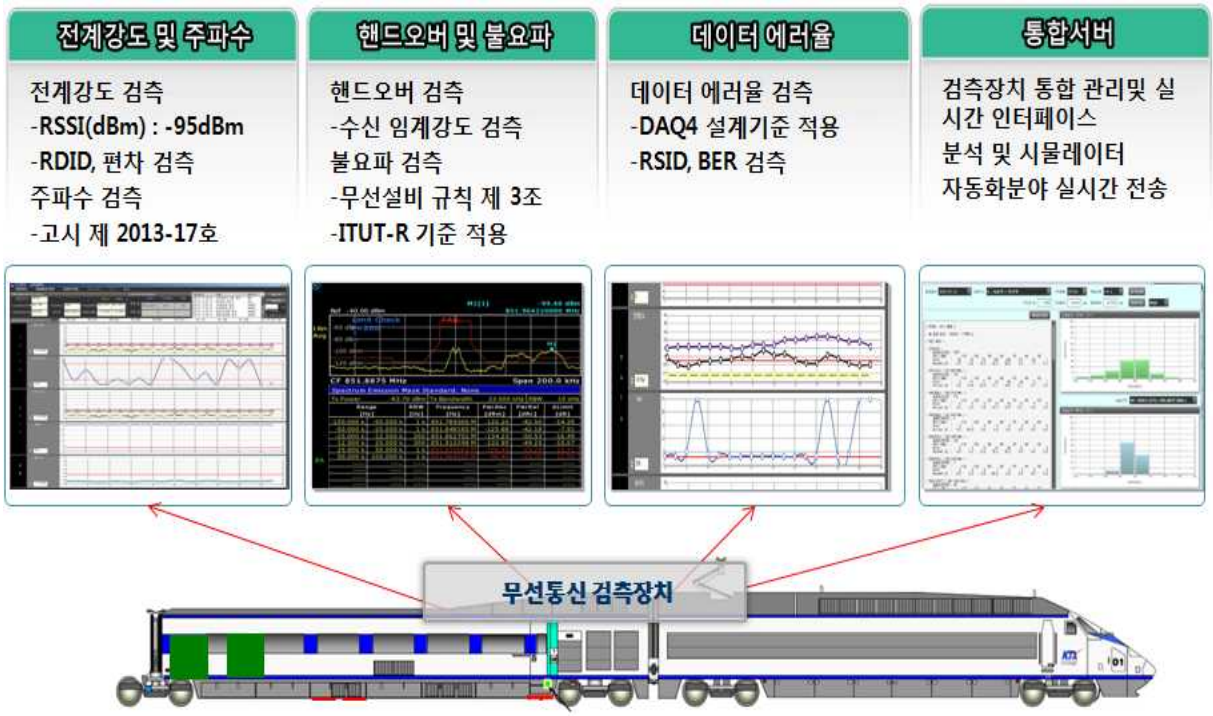



그림 104 열차무선 차상검측시스템 구성 및 기능도

열차무선 검측장치 개발목표는 초당 350km/h 이상의 속도에서 검측이며, 열차는 350km/h 이상의 속도로 이동시 약 90m/sec를 진행하며 초당 4회의 측정 데이터를 추출 및 저장하고 터미널에 수신되는 시스템 정보 또한 일초를 기준으로 통합서버에 실시간 저장된다.

GUI 및 통합서버 인터페이스는 수집된 검측 데이터를 통합서버에서 처리할 수 있도록 구성하였으며 측정 데이터의 정보를 통합서버의 처리절차에 따라 데이터베이스로 실시간 저장되며 검측 및 분석데이터는 사용자 환경에 맞도록 모니터를 통해 정보가 출력된다.

열차무선 검측시스템은 철도 인프라에서 서비스되는 전파를 수신하기 위한 공중선과 전계강도 및 주파수, 핸드오버 및 불요파, 데이터 에러율의 검측데이터가 인터페이스를 통하여 통합서버에서 실시간 검측데이터를 GUI에 현시하도록 구성하였다.

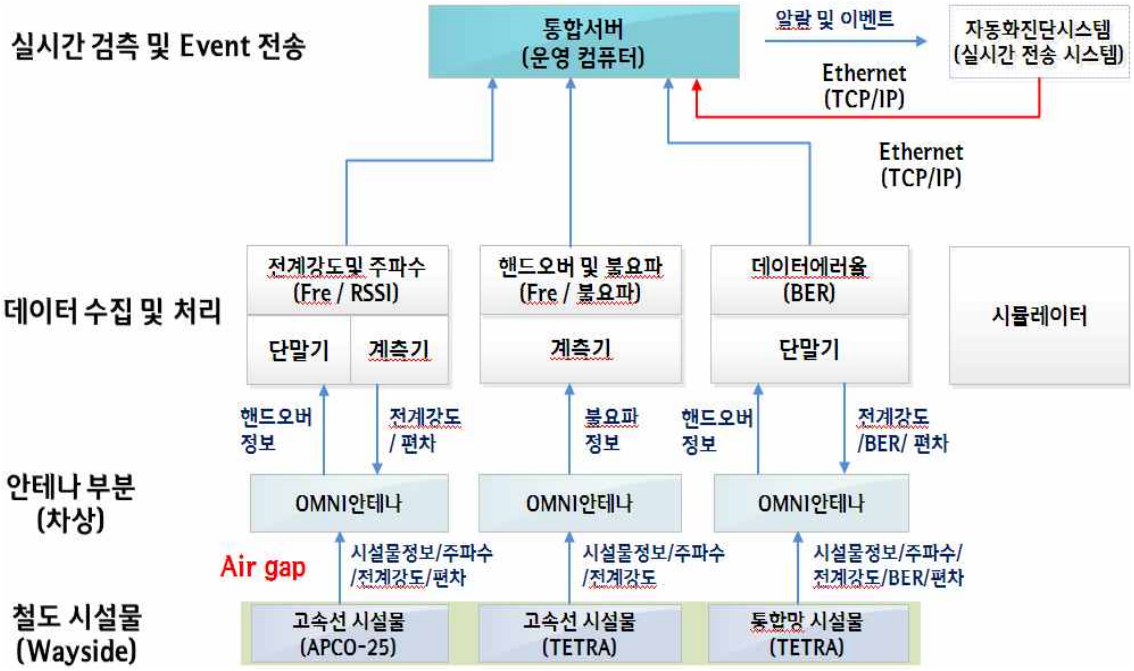



그림 105 열차무선 검측체계도

열차무선 차상검측시스템의 연구수행 과정 및 내용은 다음과 같다.

표 94 열차무선 차상검측시스템 연구수행 과정 및 내용

| 구 분 | | | 연구 내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 기술 조사 및 목표사양 정의 | | 1차년도 | • 국내외 검측시스템 조사 및 분석<br>• 요구사항 조사 및 분석<br>• 검측장치별 목표 사양 정의 : 검측 정밀도 및 샘플링율, 정보량 산정 | 국내 : KTX-36호, 종합검측차(ROGER-1000K)<br>국외 : IRIS 320(프랑스), east i (일본) |
| 시스템 설계 | | 1차년도 | • 시스템 레벨의 설계 | |
| 상세 설계 | | 2차년도 | • 검측장치별 상세 설계<br>• 운영화면 설계 | |
| 시제품 제작 | | 2차년도 | • 검측장치 시제품 제작 및 단위시험<br>• 시뮬레이터 및 테스트 베드 제작 | |
| 개발품 제작 | | 3차년도 | • 검측장치 개발품(현차 설치용) 제작 및 단위시험 | |
| 시험 | 실험실 시험 | 3차년도 | • 모의시험 환경을 활용한 자체 시험 | 시뮬레이터 |
| | 단위 시험 | 3차년도 | • 검측 단위 시험 | |
| | 정적/동적 시험 | 3차년도 | • 광명열차무선 제어센터 정적시험<br>• HEMU-430X, KTX-36호 | |
| | 현차 시험 | 4차년도 | • 검측장치 현차 설치 및 동적 시험 | KTX-36호 동력차 및 18호차 |

### (1) 기술 조사 및 목표사양 정의

열차무선 차상 검측시스템의 완성도 높은 설계 및 제작을 위해 국내외 운영기관 수차례 및 국외 제작사 등을 방문하여 핵심기술을 조사 및 분석하였다.

표 95 열차무선 검측 관련 운영기관 및 제작사 조사

| 구 분 | 운영 기관(검측차 명) | 조사 내역 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 국내 | 한국철도공사 : KTX-36호, ROGER-1000K<br>서울메트로 : ROGER-600 | 검측설비 | |
| 국외 | SNCF : IRIS 320 | 검측설비 및 운영 시스템 | 프랑스 |
| | 테크노 감마, MERMEC | 검측설비 | 이탈리아 |
| | east i | 검측설비 | 일본 |

열차무선 검측시스템의 목표사양은 350km/h 이상의 속도에서 실시간 핸드오버를 고려한 열차무선 전파환경 검측을 목표사양을 선정하였다.

표 96 열차무선 차상검측시스템 목표 사양

| 검측 항목 | 검측 속도 | 측정주파수 | 샘플링율 | 1회 정보량<br>(단위 : byte) | 초당 정보량<br>(단위 : byte) |
|---|---|---|---|---|---|
| 전계강도 및<br>주파수<br>검측장치 | 350km/h | 1CH(Voice)<br>1CH(Data) | 핸드오버 구간<br>초당 4회 | 211 | 247 |
| 핸드오버 및<br>불요파<br>검측장치 | 350km/h | 1CH | 핸드오버 구간<br>초당 4회<br>불요파 초당 1회 | 90 | 90 |
| 데이터 에러율<br>검측장치 | 350km/h | 1CH | 초당 1회 | 90 | 90 |
| 통합서버 | 350km/h | Real Time | 초당 정보갱신 | 391 | 427 |

① 열차무선 검측 주파수

경부 1단계의 ASTRO는 6개의 SUBSYSTEM으로 경부1단계를 구분하여 주파수를 재사용하여 주파수를 배치 사용하고 있으며, 경부 2단계의 TETRA의 주파수 배치는 동일 기지국에서는 10채널이상(250khz) 이격된 채널을 배정하고 인접중계국과는 채널(25khz)이상 이격하여 배정 사용되고 있다.

TRS System은 채널 1번에 할당된 제어채널의 제어 신호를 통해 호 제어가 이루어지고, 모든 이동국은 제어채널을 통해 MSO(Mobile Switching Office)에 채널 할당을 받는다.

표 97 경부 1단계 측정주파수

# ASTRO

| Subsys | 기지국 | Channel | 측정주파수 |
|---|---|---|---|
| Subsys1 | RS1고양기지 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 853.2375 |
| | RS2 서울 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS3 시흥 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS4 광명 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS5 장상 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS6 송라 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS7 왕림 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| Subsys2 | RS8 서봉 | CH1 | 851.8875 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS9 어연 | CH1 | 851.8875 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS10 고덕 | CH1 | 851.8875 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS11 팽성 | CH1 | 851.8875 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS12 용와 | CH1 | 851.8875 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS13 천안 | CH1 | 851.8875 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS14 고등 | CH1 | 851.8875 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS15 운주 | CH1 | 851.8875 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS16 상봉 | CH1 | 851.8875 |
| | | DBS | 852.8875 |

| Subsys | 기지국 | Channel | 측정주파수 |
|---|---|---|---|
| Subsys3 | RS17 비룡 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS18 문곡 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS19 시목 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS20 신탄진 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS21 대전 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.8875 |
| | RS22 도덕 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS23 지탄 | CH1 | 853.4375 |
| | | DBS | 852.9625 |
| Subsys4 | RS24 영동 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS25 화신1 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS26 화신5 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS27 황학 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS28 월곡 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS29 옥산 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS30 북삼2 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS31 석적 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS32 송정 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| | RS33 지천 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| Subsys5 | RS34 대구 | CH1 | 852.4625 |
| | | DBS | 852.9625 |
| Subsys6 | RS35 부산기지 | CH1 | 851.9625 |
| | | DBS | 853.7875 |

Seamless한 열차무선 서비스와 유지보수를 위하여 열차무선 검측 시스템은 TRS설계 주파수 배정과 제어채널의 중요성으로 350km/h의 이동속도에서 TRS 검측 주파수는 핸드오버를 고려한 제어채널 및 Data채널을 검측 주파수로 설계하였다.

표 98 경부 2단계 측정주파수

**TETRA**

| 기지국 | Channel | LAID | 측정주파수 |
|---|---|---|---|
| RS37 고모 | CH1 | 1201 | 851.8875 |
| RS38 영청 | CH1 | 1202 | 853.2125 |
| RS39 당리 | CH1 | 1203 | 853.3875 |
| RS40 신경주 | CH1 | 1204 | 851.0125 |
| RS41 활천 | CH1 | 1205 | 851.8875 |
| RS42 천전 | CH1 | 1206 | 853.2375 |
| RS43 울산 | CH1 | 1207 | 853.2125 |
| RS44 원효 | CH1 | 1208 | 851.9625 |
| RS45 용연 | CH1 | 1209 | 853.4375 |
| RS46 노포 | CH1 | 1210 | 852.1375 |
| RS47 금성 | CH1 | 1211 | 853.2375 |
| RS48 사직 | CH1 | 1212 | 853.4375 |
| RS49 부산차량기지 | CH1 | 1213 | 852.4625 |
| RS50 부산역 | CH1 | 1214 | 851.8875 |
| RS51 고양차량기지 | CH1 | 1215 | 851.8625 |
| RS52 창원 | CH1 | 1216 | 851.8875 |

② 열차무선 환경에 따른 전파경로손실 적용

경부고속철도는 무선망 설계를 위하여 전파경로손실에 대한 예측 모델 적용을 일반적인 이동통신의 전파손실예측 모델을 기반으로 한 전파전파 분석모델인 경로손실모델(하타모델)과 회절손실모델(Deygout 1994 Model)을 이용하였다.

이동통신 전파특성인 직접파와 지면 반사파 이외에도 지표파, 그리고 주변 장애물로 인한 부차적인 경로의 간섭파 존재하기 때문에 수신되는 신호는 모든 파들의 합성으로 나타나며 수신전력과 송신전력의 비는 아래와 같다.

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi l_d}\right)^2 \left|1 + \Gamma e^{j\triangle\Psi} + (1-\Gamma) A e^{j\triangle\Psi} + ...\right]$$

여기서,$P_r$:수신전력,$P_t$:송신전력,$l_d$:송수신거리,$\lambda$: 파장, $\Gamma$:반사계수, A:감쇠계수, $G_t$:송신안테나이득, $G_r$:수신안테나이득,$\Delta\Psi$:위상변화량

첫째 항은 직접파, 둘째 항은 지면 반사파, 그리고 셋째 항은 지표파 성분을 나타낸다.

이와 같은 변수들을 모두 고려한 계수를 K라고 할 때, 지면 반사계수 $\Gamma$은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다

$$\Gamma = \frac{\sin\Phi - K}{\sin\Phi + K}$$

송수신 안테나 이득을 1이라고 할 경우, 수신전력과 송신전력의 비는 다음과 같이 송수신 거리$l_d$의 4승에 비례하게 되면 경로손실지수는 4로 된다.

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{h_b h_m}{l_d^2} \right)^2$$

랜덤하게 변하는 철로면 반사계수의 크기는 송수신기간 거리가 멀어지면 균일분포 랜덤변수의 값을 가지게 된다. 만약 0일 경우 직접파만 존재하여 경로손실지수는 2가 되고, -1에 수렴할 경우 이동통신 환경과 유사하게 경로손실 지수는 4가 된다. 반사계수의 크기에 따라 수신 신호의 세기가 변하게 되며 경로손실 지수는 2에서 4사이의 값을 가지며 평균적으로 약 3이 된다.

열차무선 전파경로손실지수는 평균적으로 약 3이 되며, 위의 전파경로 손실지수 3으로 설계된 열차무선의 커버리지 변화를 열차무선의 실제 측정값과 비교하여 장비노후화나 불량으로부터 사전 예방 유지보수 체계를 제시하도록 하였다.

③ 수신 임계강도 기준

TETRA 시스템에서는 TETRA 음성 코덱에 적용하는 표준 전파전파 에러패턴은 최소 BER 4%를 적용한다. 디지털 음성시스템에서는 오디오 디코더 입력단에서 측정된 BER(Bit Error Rate)이 음성품질을 판단하는 기준이 된다. 따라서 TETRA 수신기에서의 수신 임계감도는 음성채널에서 복호되지 않는 상태에서 4%의 BER을 확보하기 위해 필요한 신호 입력 레벨로 정의한다. 고속철도 열차무선 시스템에 도입된 TETRA 시스템의 수신기 입력단의 수신감도 참조레벨은 아래의 표와 같다.

표 99 수신임계강도 기준

| Device | Static Condition | Dynamic Condition | Noise Factor |
|---|---|---|---|
| Base Station | -115dBm | -106dBm | 6.4dB |
| Mobile Station | -112dBm | -103dBm | 9.4dB |

열차무선은 일반적인 이동통신의 전파손실예측 모델을 기반으로 자유공간에서의 경로손실 수식을 적용 하여 설계되었으며, 자유공간 전파손실은 주파수 850MHz 거리 8.41km를 적용하였다.

자유공간 전파손실 [L(dB) =20log$\left(\frac{4\pi fd}{\lambda}\right)$ =32.44+ 20log(F)+20log(D)]

F : 850MHz, D : 8.41km

경부고속철도 1,2단계 구간에서의 열차무선시스템의 목표 커버리지는 선로 중심으로부터 좌, 우로 50m 이내에서 98% 이상의 통화신뢰성 및 DAQ 4.0 이상을 제공하도록 설정되었다. 디지털 음성시스템에서의 DAQ 4.0(-95dBm) 등급은 잡음과 왜곡이 거의 없고 음성이 쉽게 이해되는 상태를 나타내다.

④ 열차무선 검측장치 설계기준

열차무선 검측장치는 경부선 1단계 구간 ASTRO및 경부선 2단계구간 TETRA System의 위와 같은 설계기준을 적용하여 전계강도 및 주파수, BER(Bit Error Rate), 불요파 검측에 대한 검측 레벨을 산정 하였으며, 이벤트 표출 및 실시간 전송을 위한 기준을 정하였다.

표 100 열차무선 검측장치 설계 기준

| 연구개발품 | 상세항목 | 기준 |
|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | RSSI(dBm)<br>고시 제 2013-17호 | -95dBm<br>지정주파수의 ±1.5 X $10^{-10}$ |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | 전파경로손실 설계<br>수신기 수신임계강도 | 무선설비규칙 제3조<br>ITU-T SM.1045 |
| 데이터 에러율 검측장치 | 전파경로손실 설계<br>DAQ 4 | DAQ4<br>4% |
| 통합서버 인터페이스 및<br>시뮬레이터 개발 | 포트서버 및<br>인터페이스 장치 | 검측단위별<br>인터페이스 관리 및 시뮬레이터 |

⑤ 전계강도 및 주파수 정보

채널 1 제어채널 및 데이터 채널 검측과 실시간 핸드오버 적용한 전계강도 및 주파수 검출, 지정주파수의 ±1.5 X $10^{-10}$ 기준으로 하는 주파수 편차 검측으로 산정하였다.

⑥ 핸드오버 및 불요파 정보

제어채널에 대한 핸드오버 및 불요파 검측과 불요파 예외 데이터베이스 구축 및 무선설비 규칙 제3조, ITU-T SM.1045 기술 기준을 적용한 불요파 검측을 산정하였다.

⑦ 데이터 에러율 정보

데이터 채널에 서비스 되고 있는 Message를 터미널이 수신하여 100개의 FIFO(First In First Out)버퍼를 사용하여 복호화 결과 (0또는1)를 Data 버퍼에 채우며 잘못 복호화된 Bit 비율을 퍼센트 계산하여 설계기준인 DAQ4(-95dBm) 4% 산정하였다.

⑧ 통합서버

350Km/h속도에서 검측장치간 인터페이스 제공 및 실시간 원시데이터 처리, 이벤트에 대한 실시간 정송을 목표로 산정하였다.

### (2) 시스템 설계

열차무선 차상검측시스템에 대한 시스템 설계 내역은 다음과 같다.

- 시스템 구성 : 시스템 구성도, 구축 물량 산정
- 하드웨어 개념 설계 : H/W 구성, 기능 등
- 소프트웨어 개념 설계 : S/W 기능별 정의
- 운영화면 설계 : 표시화면 및 GUI
- 내부 및 외부 인터페이스 설계 : 통신 프로토콜 및 데이터 정의

### (3) 상세 설계

상세 설계는 개발하기 위한 각 검측장치에 대한 구체적인 기능 설계 및 사양 설계를 의미하며, 통합서버는 상세한 소프트웨어 구성 및 기능, 데이터베이스 구성, 프로세스별 데이터 흐름 등을 포함한다.

### (4) 시제품 및 개발품 제작

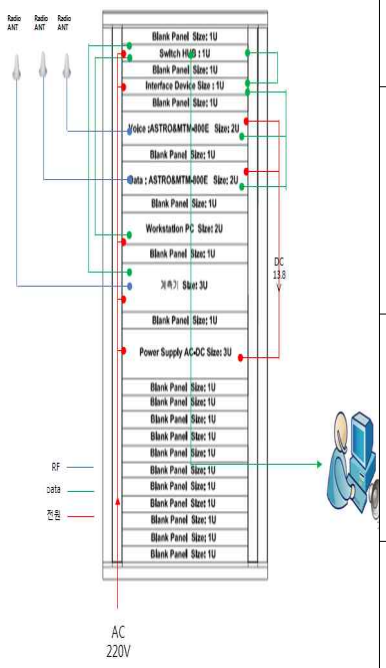
열차무선 차상검측시스템에 대한 시제품 및 개발품을 제작하였으며, 개발품은 현차설치 및 시험을 목표로 한다.




그림 106 열차무선 차상검측시스템 개발품

검측장치별 개발품 제작 내역은 다음과 같다.

표 101 열차무선 차상검측시스템 개발품 제작 내용

| 장치명 | 제작내용 | 제작 기능 |
|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 |  | • 제어채널 검측<br>• DAQ4(-95dBm) 검측 레벨 적용<br>• 실시간 핸드오버 고려한 전계강도 및 주파수 검측 |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | | • 제어채널 검측<br>• TCP/IP 제어를 위한 인터페이스<br>• 실시간 핸드오버 고려한 불요파 검측<br>• 핸드오버 검측을 위한 터미널 랙 설계 및 터미널 제어 |
| 데이터 에러율 | | • 데이터채널 검측<br>• TCP/IP 제어를 위한 Serial to TCP/IP 변환 인터페이스<br>• 실시간 핸드오버 고려한 데이터 채널 검측<br>• 이벤트의 실시간 전송 |
| 통합서버 | | • 검측장치간 인터페이스 제공<br>• 실시간 검측 원시 데이터 처리<br>• 검측장치 이상 유무 관리<br>• 데이터베이스 생성 및 관리 |

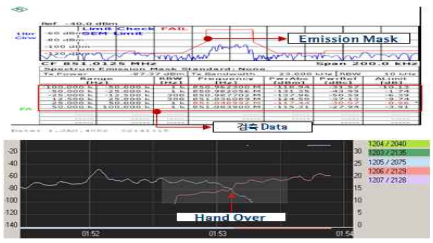
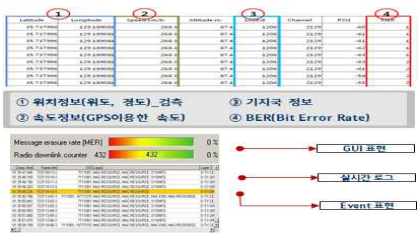
검측장치별 모의시험을 위한 시뮬레이터 및 테스트 베드를 구축하여, 각 장치별 단위시험에 활용하였다.




그림 107 열차무선 차상검측시스템 테스트 베드

테스트 베드 단위시험 내용은 다음과 같다.

표 102 열차무선 차상검측시스템 모의시험 환경 구축 내용

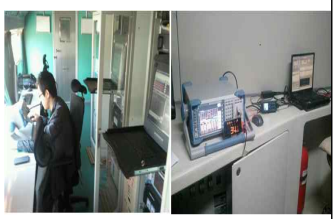
| 장치명 | 시험 내용 | 상세 기능 확인 |
|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 |  | • 측정범위 : 전계강도(RSSI), 주파수 편차 검측<br>• 검측기준(Level) : DAQ4(-95dBm)적용<br>• 지정주파수의 ±1.5 X $10^{-10}$ |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 |  | • 차량속도 : 350Km/h 이상<br>• 측정범위 : 핸드오버, 불요파 검측<br>• 검측기준(Level) : Bandwidth(25khz) X 2.5배<br>• 국내 고시 및 ITU-R SM.1045기준 적용 |
| 데이터 에러율 |  | • 차량속도 : 350Km/h 이상<br>• 측정범위 : RSID, 시설물정보, BER검측, 기지국정보<br>• 검측기준(Level) : ERSI EN300 392-2 적용<br>• DAQ4(-95dBm) 4% |
| 통합서버 |  | • 통합 GUI : 운용화면 표시 및 조작<br>• 장치관리, 실시간 검측데이터의 이상진단 및 정보분석을 통한 이상 데이터 실시간 전송<br>• Table관리, 로그관리, 측정관리, 시설물 정보 관리 |

### (5) 시험

열차무선 차상검측시스템의 기능 및 성능 검증을 위해 단계별 시험을 수행하였다.

- LAB시험 : 시뮬레이터와 테스트 베드를 활용한 자체 시험
- 정적/동적시험 : 고속철도 영업구간에서의 현장시험
- 현차시험 : 현차 설치 및 열차 주행에 의한 동적시험

표 103 열차무선 차상검측시스템의 성능검증을 위한 시험 절차

| 구분 | 상세 내역 | 비 고 |
|---|---|---|
| LAB 시험 | • 시뮬레이터 및 테스트베드를 활용한 자체 시험<br>• 전계강도 및 주파수 : 시험 기지국을 통한 검측구성<br>• 핸드오버 및 불요파 : 시험 기지국 통한 구성<br>• 데이터 에러율 : 시험 기지국 통한 구성 |  |
| 정적시험 | • 광명열차무선 제어센터 열차무선 환경 정적시험<br>• 1차, 2차 시험을 통한 검측 성능 시험 |  |
| 동적시험 | • 1차, 2차 : HEMU-430X 부산-동대구 350km, 420km 증속시험 첨승을 통한 열차무선 검측 시스템 성능검증<br>• 3차 KTX-36호 서울-부산 300km 영업구간 동적test |  |
| 현차종합시험 | • 고속철도 영업구간 서울-부산간 운행선로에서의 현장시험에 의한 열차무선 검측장치 검증<br>• KTX-36호 현차설치 전계강도 및 주파수 검측장치, 핸드오버 및 불요파검측장치, 데이터 에러율 검측장치 통합서버 |  |

## 나. 검측장치

### (1) 전계강도 및 주파수 검측장치

열차무선에서 서비스되는 전파는 차상에 설치된 안테나로 수신되고 수신된 RF 신호를 계측기를 통해 분석하여 종합처리장치로 전송할 수 있도록 구성하였으며 지상설비에서 방사되는 전파를 수신하기 위한 공중선과 수신신호를 분석하기 위한 계측기, 그리고 실시간 데이터 정보를 검측하기 위한 터미널, 측정 데이터의 실시간 처리와 분석을 위한 통합서버로 구성된다.

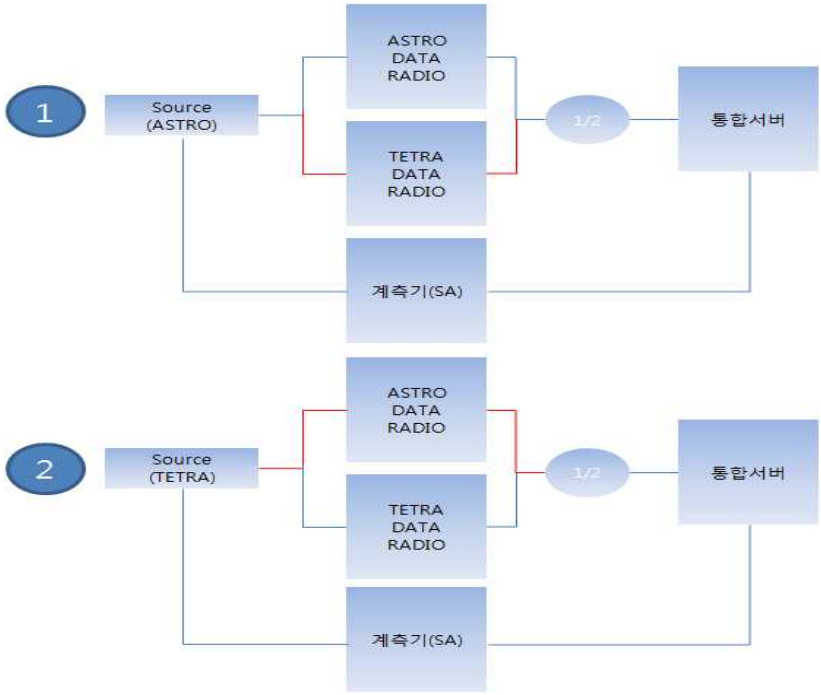



그림 108 전계강도 및 주파수 검측장치 블록도

전계강도 및 주파수 검측 장치는 위의 구성오로 1번은 ASTRO 구간에 대한 검측 2번은 TETRA구간에 대한 검측 구성을 나타낸다.

계측기를 통하여 실시간 검측되는 전계강도 및 주파수는 Raw Data에 실시간 핸드오버 정보를 매칭하여 DB 구성되며, 실시간 핸드오버 정보가 적용된 검측 데이터는 망의 유지보수 및 전파 환경 변화에 대한 정확한 Data의 DB화가 가능하다. 사용자 GUI는 실시간 핸드오버 정보를 측정 데이터에 적용하여 가로 시간 및 KPR 축과 세로 레벨축으로 하는 GUI를 구성하였다.

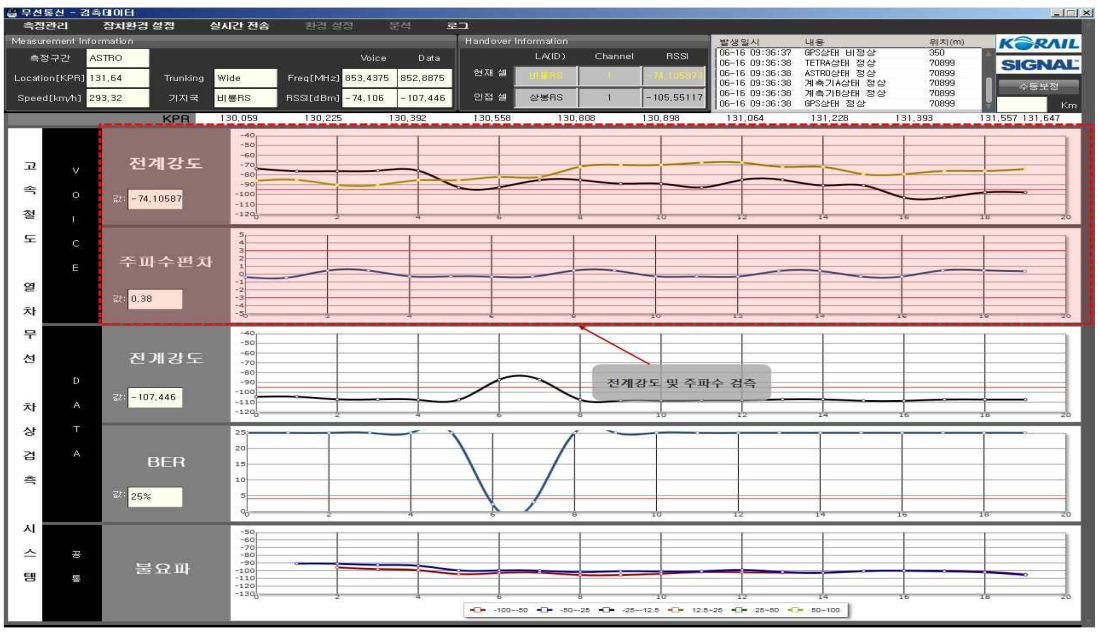



그림 109 전계강도 및 주파수 검측장치 GUI 표시

경부선 1단계 APCO-P25 구간 및 350Km/h이상 속도에서 전계강도 및 주파수 측정확인 및 DB구성을 확인하였으며, 경부선 2단계 TETRA 구간에서도 350Km/h이상 속도에서 전파환경을 측정 후 통합서버 처리를 통한 GUI 정보를 확인 검증하였다.

- 검측장치 사양

표 104 전계강도 및 주파수 검측장치 사양

| 항 목 | 상세 규격 | 비 고 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | 350km/h(설계 속도는 400km/h) | 초당 이동거리 : 111.1m/s |
| 검측 항목 | 전계강도 및 편차 | 경부 1, 2단계 구간 |
| 측정 RSSI | DAQ4(-95dBm) | |
| 주파수 편차 | 지정주파수의 ±1.5 X $10^{-10}$ | 고시 제 2013-17호 |
| 핸드오버 | 전파환경에 따른 실시간 핸드오버 | |
| 1회 생성 정보량 | 211bytes | |
| 초당 전송 정보량 | 247bytes | |
| MTBF | 13,518시간/ 7.41년 | |

### (2) 핸드오버 및 불요파 검측장치

핸드오버 및 불요파 검측은 열차무선 지상설비에서 방사되는 전파를 수신하기 위한 공중선과 수신신호를 분석하기 위한 계측기, 그리고 실시간 데이터 정보를 검측하기 위한 터미널, 측정 데이터의 실시간 처리와 분석을 위한 통합서버로 구성된다.

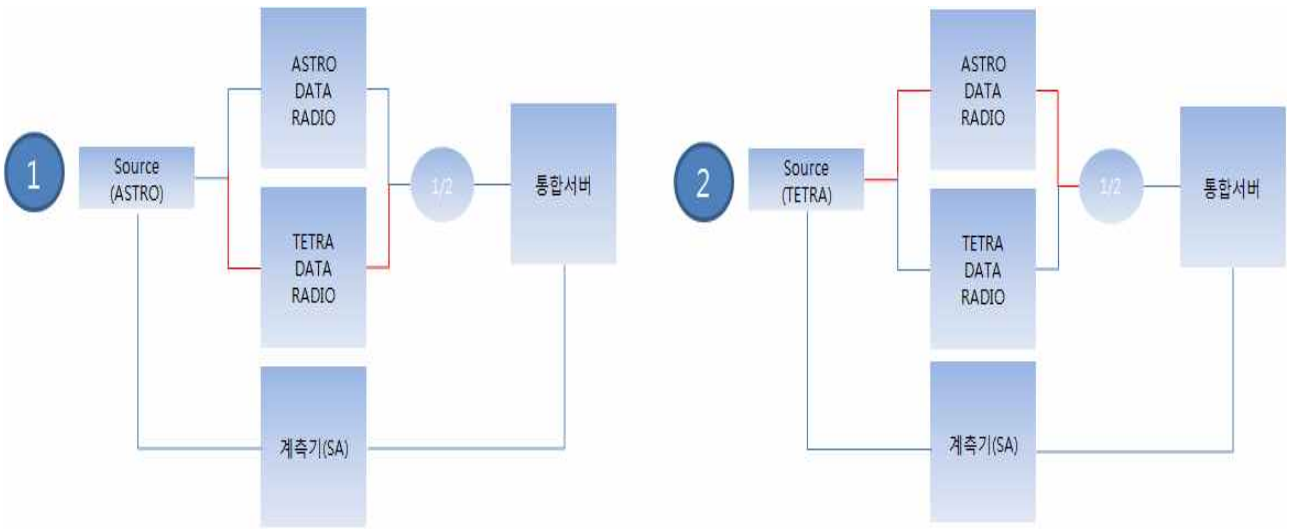



그림 110 핸드오버 및 불요파 검측장치 블록도

열차무선의 핸드오버 과정은 아래의 그림과 같이  최초 셀 선택 과정에서 RSSI(수신전계강도)가 높은 순서대로 정렬하여 그 중에서 가장 좋은 셀을 선택하여 등록하게 되고 기지국은 주변 셀 주파수 및 임계수준과 같은 핸드오버 결정을 위해 필요한 정보들을 송신한다. RSSI 값이 임계치인 Pt(A)이하로 떨어지면 2단계 셀 핸드오버 절차가 개시된다. 즉 “백그라운드 모니터링”이 이루어진다. 단말은 RSSI목록 및 채널, 기지국 정보를 갱신 유지한다. 단말은 2차 임계치인 Pt(B)에 이르면 핸드오버 과정을 최종 결정한다. 핸드오버에 소요되는 시간은 800msec 미만이다.

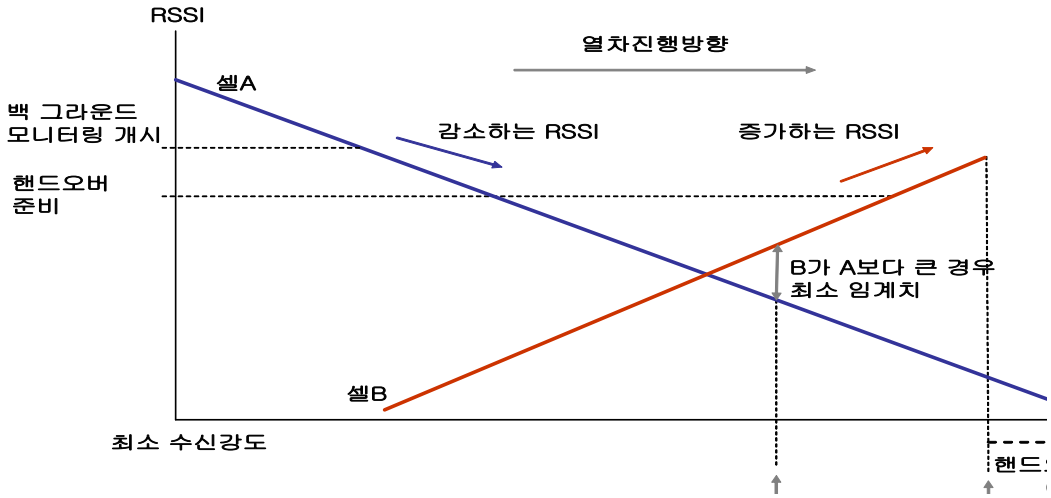



그림 111 핸드오버 절차

불요파 검측은 스펙트럼 분석을 통한 검측으로 통화에 가장 큰 영향을 미치는 제어채널을 검측하며 방송통신 위원회고시 제2008-26호 제88조(주파수공용통신 무선설비)를 따른다.

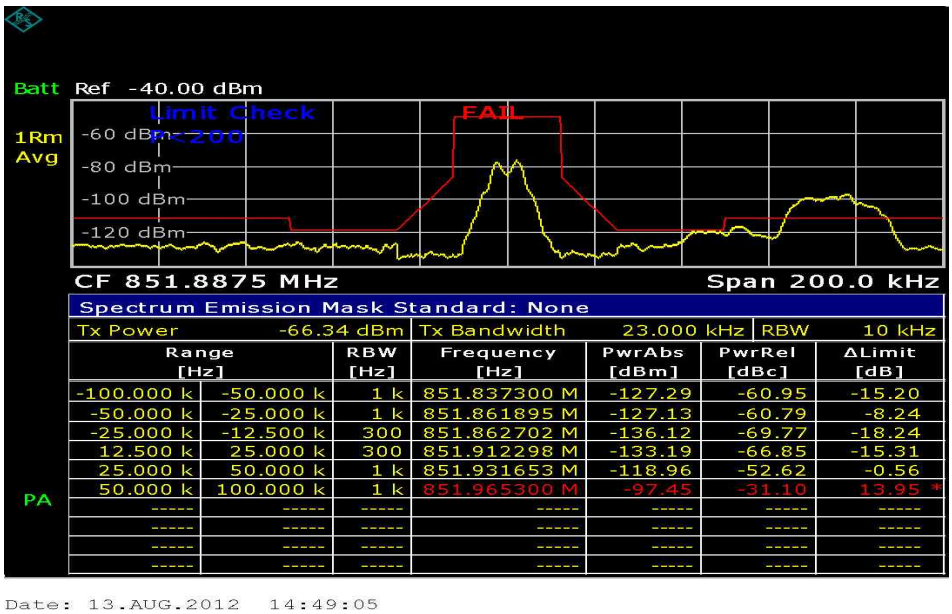



그림 112 제2008-26호 제88조 적용한 불요파 검측

위 그림은 방송통신 위원회 고시를 적용한 경부선1 단계 열차무선 불요파 측정 사진이며, 열차무선 대역이 아닌 851.9653MHz 주파수에서 약 -97dBm의 신호강도로 신호가 존재함을 확인할 수 있다.

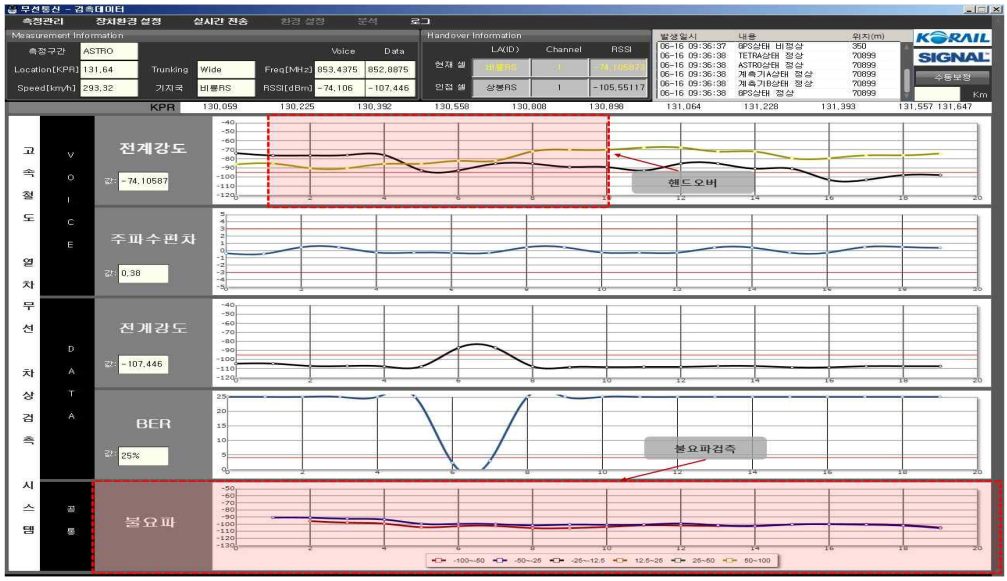



그림 113 핸드오버 및 불요파 검측화면

경부선 1단계APCO-25 구간 및 350Km/h이상 속도에서 핸드오버 및 불요파 검측확인 및 DB구성을 확인하였으며, 경부선 2단계 TETRA 구간에서도 350km/h이상 속도에서 전파환경을 측정 후 통합서버 처리를 통한 GUI 정보를 위의 그림과 같이 색으로 표현한 범례와 가로 시간축 세로 레벨축으로 구성하였다.

- 검측장치 사양

표 105 핸드오버 및 불요파 검측장치 사양

| 항 목 | 상세 규격 | 비 고 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | 350km/h(설계 속도는 400km/h) | 초당 이동거리 : 111.1m/s |
| 검측 항목 | 핸드오버 및 불요파 | 경부 1, 2단계 구간 |
| 핸드오버 | 전파환경에 따른 실시간(4dB지점) | |
| 불요파 | 제2008-26호 제88조, ITU-T SM.1045 | |
| 1회 생성 정보량 | 90bytes | |
| 초당 전송 정보량 | 907bytes | |
| MTBF | 30,000시간/MTBF : 16, 66년 | |

### (3) 데이터 에러율 검측장치

TETRA 음성 코덱에 적용하는 표준 전파전파 에러패턴은 BER 4%를 적용한다. 디지털 음성 및 데이터 시스템에서는 오디오 디코더 입력단에서 측정된 BER(Bit Error Rate)이 품질 판단의 기준이 된다.

데이터 에러율 검측은 열차무선 지상설비에서 방사되는 전파를 수신하기 위한 공중선과 수신신호의 에러를 분석하기 위한 계측기, 그리고 실시간 데이터 정보를 검측하기 위한 터미널, 측정 데이터의 실시간 처리와 분석을 위한 통합서버로 구성된다.

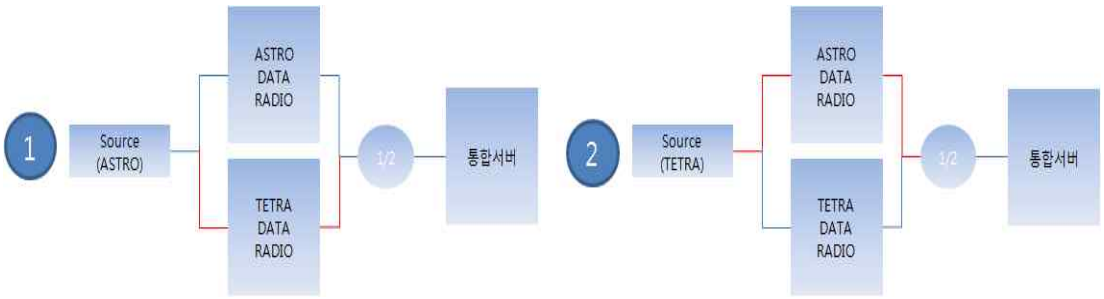



그림 114 데이터 에러율 검측장치 블록도

데이터 채널에 서비스 되고 있는 Message를 단말이 수신하여 100개의 FIFO(First In First Out)버퍼를 사용하여 복호화 결과 (0또는1)를 Data 버퍼에 채우며 잘못 복호화된 Bit 비율을 퍼센트 계산하여 GUI 표시하는 비트 에러율 검측기술에 실시간 핸드오버 정보를 적용하여 실시간 핸드오버가 적용된 DB를 구성한다.

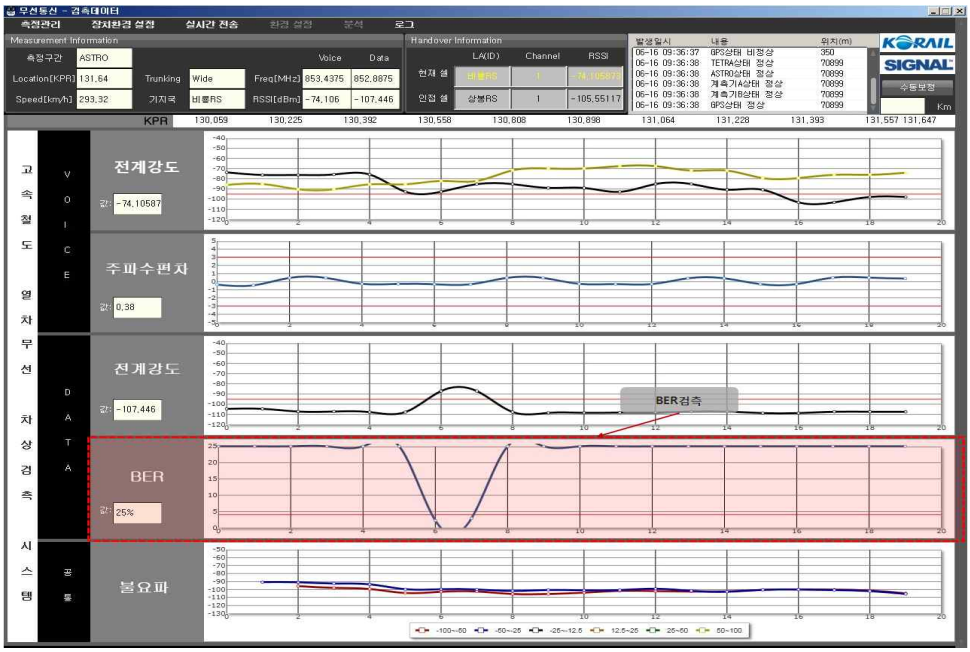



그림 115 데이터 에러율 검측 GUI

경부선 1단계 APCO-25 구간 및 350Km/h이상 속도에서 전계강도 및 주파수 측정확인 및 DB구성을 확인하였으며, 경부선 2단계 TETRA 구간에서도 350Km/h이상 속도에서 전파환경을 측정 후 통합서버 처리를 통한 GUI 정보를 확인 검증하였다.

- 검측장치 사양

표 106 데이터 에러율 검측장치 사양

| 항 목 | 상세 규격 | 비 고 |
|---|---|---|
| 검측 속도 | 350km/h(설계 속도는 400km/h) | 초당 이동거리 : 111.1m/s |
| 검측 항목 | 데이터 에러율 | 경부 1, 2단계 구간 데이터 채널 |
| 핸드오버 | 전파환경에 따른 실시간(4dB지점) | |
| BER | DAQ4(-95dBm) : 3.5% | |
| 1회 생성 정보량 | 90bytes | |
| 초당 전송 정보량 | 907bytes | |
| MTBF | 22,214시간/MTBF : 12, 17년 | |

### (4) 통합서버 인터페이스 및 시뮬레이터 장치

통합서버는 전계강도 및 주파수 검측장치, 핸드오버 및 불요파 검측장치, 데이터 에러율 검측장치에 대한 인터페이스를 가지며, 통합 DB 및 GUI 구현을 통해 통합 검측 환경을 제공한다. 또한 검측한 데이터에 대한 시뮬레이터를 통해 이상지점 및 검측환경에 대한 사후관리 처리가 가능하다.

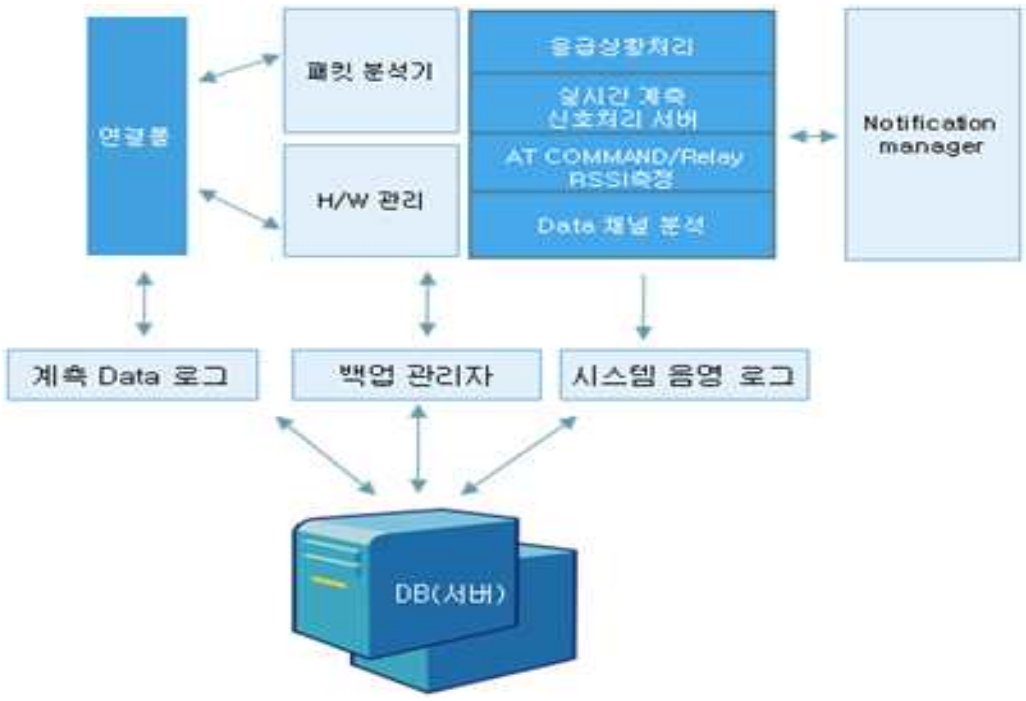



그림 116 통합서버 로직 구성

차상에서 실시간으로 검측되어지는 RF(Radio Frequency)부분을 통합서버의 정보분석을 통해 실시간으로 표출되며 데이터 분석을 통한 BS(Base Station)정보 및 주파수정보를 GUI로 출력한다.

GUI의 구성은 현재 열차의 실시간 위치 및 시설물 표현, 검측 주파수 및 전계강도 표현, 검측 구간 진행 상태, 전계강도 파형 분석 및 계측기 컨트롤, 검측 불요파, 데이터 에러율, 계측구간 정보, 장비상태 정보로 GUI를 구성하였다.

통합서버는 실시간 정보 전송을 위해, Raw Data로부터 Event Raw Data Table 생성을 하며, Event 발생 시 실시간 전송 서버로 Event Raw Data를 발송한다.

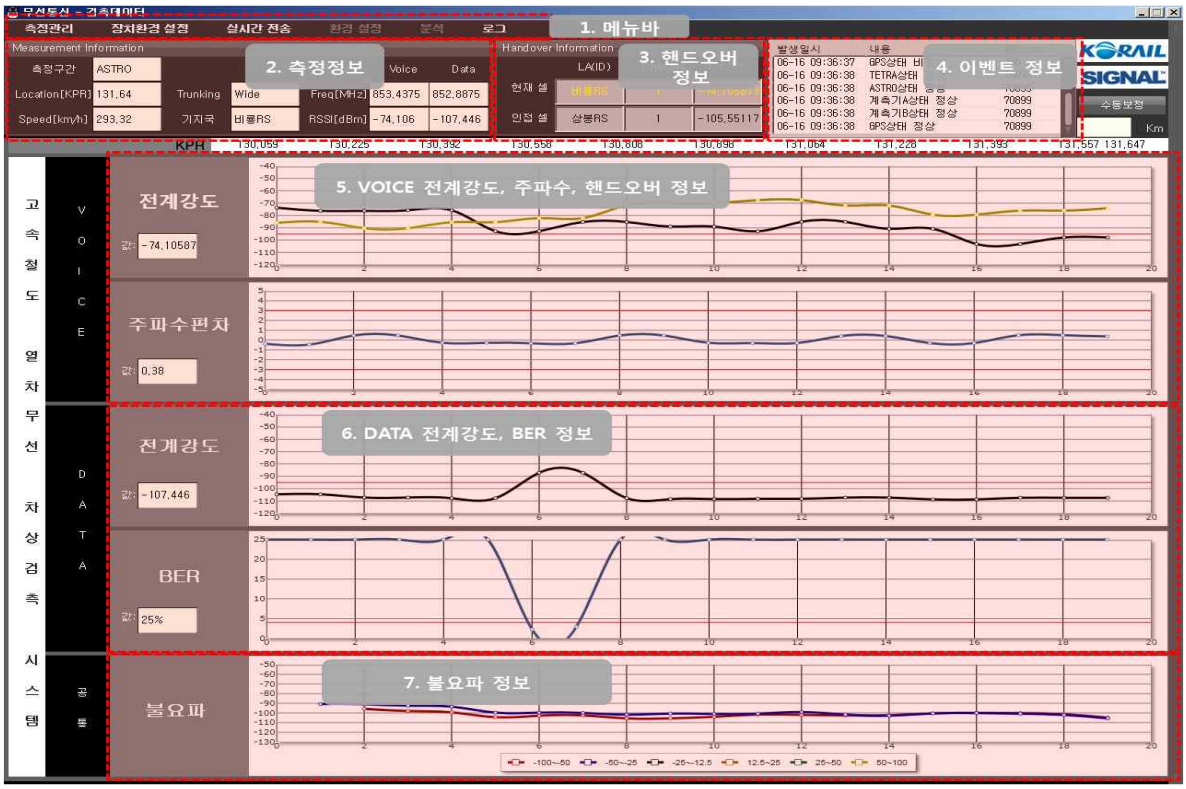



그림 117 통합서버 GUI 구성

① 메뉴바 : 측정관리, 장치환경설정, 실시간전송, 환경설정, 분석, 로그 구성
② 측정정보 : 현재 검측하고 있는 전파환경 및 시설물정보, 위치, 속도 정보를 제공
③ 핸드오버 정보 : 현재 열차무선 망에 대한 실시간 핸드오버정보를 현재 셀과 인접셀 정보로 제공
④ 이벤트정보 : 장비상태 및 검측상태를 발생일시, 내용 KPR점으로 정보제공
⑤ VOICE 전계강도, 주파수, 핸드오버정보 : 열차무선 Voice채널에 대한 수신전계강도, 주파수 편차, 핸드오버 정보를 선그래프 및 값으로 정보 제공
⑥ DATA 전계강도, BER정보제공 : 열차무선 Data 채널의 전계강도 및 측정 BER 정보를 선그래프 및 값으로 정보제공
⑦ 불요파 정보 : 열차무선 전파환경에 대한 불요파를 검측하여 범례와 색으로 불요파 측정정보 표시 및 가로측의 KPR값과 세로측의 레벨값으로 선그래프 정보 제공

통합서버는 열차무선 지상설비에서 서비스되는 전파를 수신하기 위한 공중선과 수신신호의 에러를 분석하기 위한 계측기, 그리고 실시간 데이터 정보를 검측하기 위한 터미널, 측정데이터의 실시간 처리와 분석을 위한 통합서버로 구성되어 실시간 측정한 전파환경을 GUI에 현시하며, 구성된 DB(Data Base)를 통하여 시뮬레이션 및 열차무선 전파환경에 대한 분석환경을 제공한다.



그림 118 시뮬레이션 및 분석 환경 제공

통합서버에서 제공하는 시뮬레이션은 검측된 Raw Data를 통하여 검측 구간 선택 및 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64배속재생 기능을 지원하며, 운용화 기관 의견을 반영하여 Data, Text, Excel, 위경도 값이 포함된 구글 어스용 파일로 Data 내보내기 기능을 지원한다.

| 색 구분 | RSSI ( Dbm ) |
|---|---|
| 녹색 | -84 이상 |
| 청색 | -84~ -94 |
| 노란색 | -94 ~ -104 |
| 적색 | -104 ~ - 120 |
| 백색 | -120 이하 |

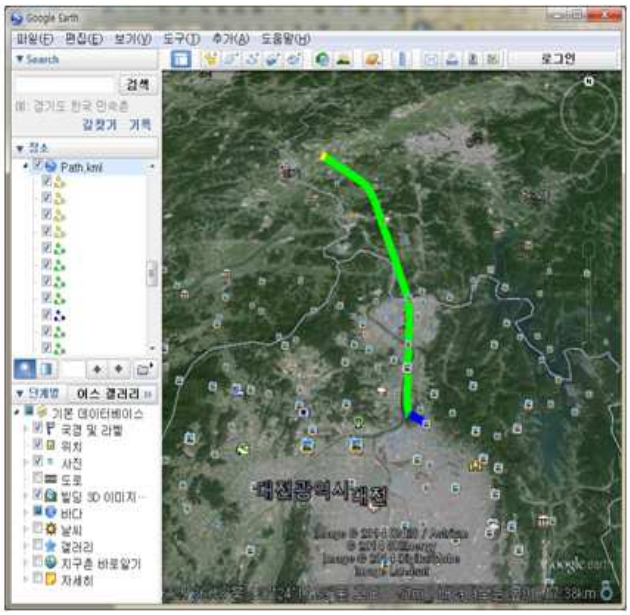


그림 119 시뮬레이션 및 분석 환경 제공

- 사양

표 107 통합서버 및 시뮬레이터 사양

| 항 목 | 상세 규격 | 비 고 |
|---|---|---|
| 인터페이스 | 350Km/h속도에서 검측장치간 인터페이스 제공 | |
| 처리량 | 350Km/h속도에서 실시간 검측 Raw 데이터 처리 | |
| | 350Km/h속도에서 실시간 검측 Raw 데이터 분석 | |
| 실시간 전송 | 이벤트에 대한 실시간 전송 | |
| 환경설정 및 검측장치관리 | 검측장치의 이상 유무 관리 | |
| 시뮬레이션 | 검측 데이터 시뮬레이션 기능제공 | |
| 분석 | 검측 데이터 분석기능 제공 | |

## 4. 자동화 운영시스템

### 가. 개요

자동화 운영시스템은 차상에서 검측한 데이터를 지상에서 통합 관리하고 분석하는 '자동화 진단 운영시스템'과 차상 검측시에 발생한 전차선, 신호, 무선통신 이상데이터를 취합하여 지상 운용자에게 실시간으로 전송해 실시간 알람을 발생시키는 '실시간 전송시스템'으로 구성되어 있다.

자동화 운영시스템의 연구수행 과정은 다음 표와 같이 진행한다.

표 108 자동화 운영시스템 연구수행 과정 및 내용

| 구 분 | | 연구 내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 기술 조사 및 목표사양 정의 | | • 국내외 검측시스템 조사 및 분석<br>• 요구사항 조사 및 분석<br>• 목표사양 정의 : 사용자 요구사항, 분야별 검측장치 파악 | 국내 : KTX-36호, 종합검측차(ROGER-1000K)<br>국외 : IRIS 320, SENECA 등 |
| 시스템 개념 | | • 시스템 개념 설계 수행 | 업무 프로세스 정의 |
| 상세 설계 | | • 시스템 상세설계 수행<br>• 운영화면 설계<br>• 데이터베이스 설계<br>• 시스템 아키텍처 설계 | |
| 시제품 제작 | | • 시제품 제작 및 단위시험 | 업무별 단위기능 위주의 개발 |
| 개발품 제작 | | • 개발품 제작 및 단위시험<br>• 운영서버 구축 | 현차 설치용 통합 시스템 제작 |
| 시험 | 단위 시험 | • 모의시험 환경을 활용한 자체 시험 | 단위기능 위주 시험 |
| | 통합 시험 | • 기관별 통합 테스트 수행 | 차상 모의환경 구축 |
| | 현차 시험 | • 검측장치 현차 설치 및 운영 시험 | KTX-36호 18호차 운영환경 구축을 통한 운영시험 |

국내외 시스템의 분석을 통하여 현재 운영 중인 시스템들의 한계를 파악하고 본 과제에서 적극적으로 반영할 기능들을 분석하여 본 연구과제에서 진행할 자동화 운영시스템의 연구 방향을 정립한다. 자동화 운영시스템의 최종 연구 목표는 다음 그림과 같다.

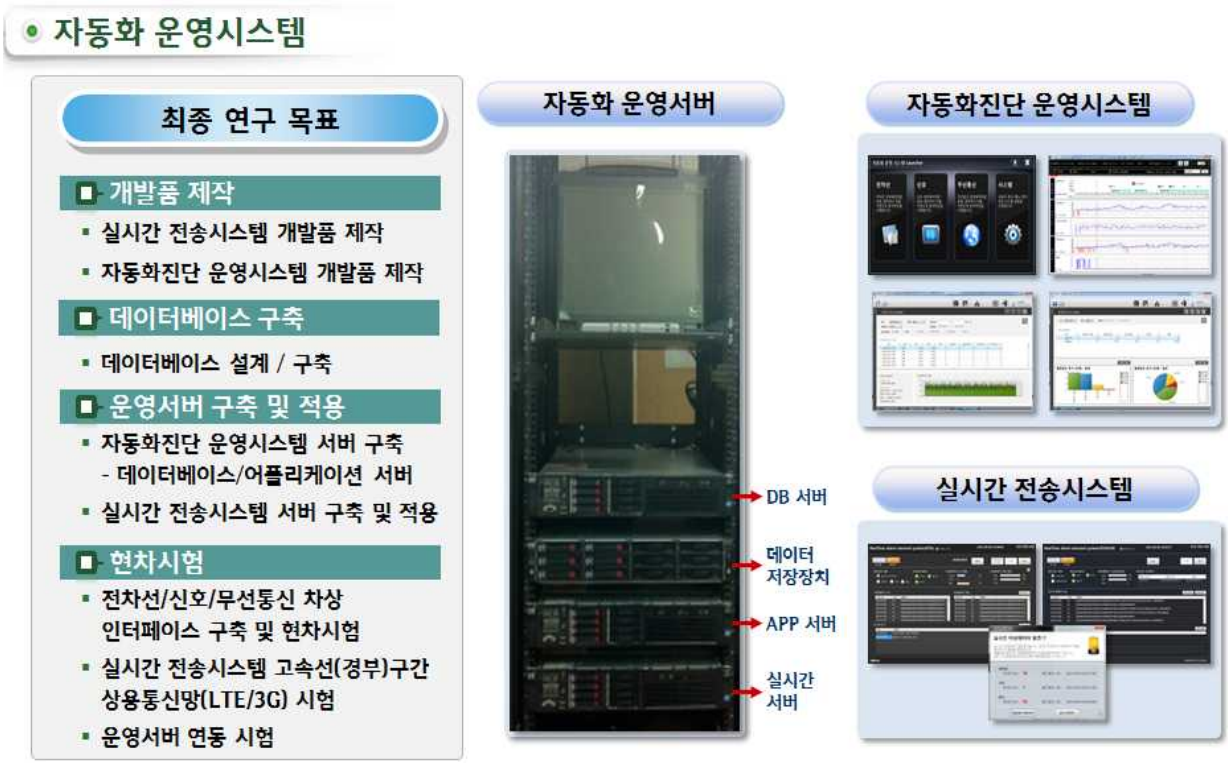



그림 120 자동화 운영시스템 최종 연구목표

### (1) 데이터 표준화 및 통합 관리

검측시스템에서 수집되는 검측 내용과는 별개로 검측된 데이터는 모두 각 시스템의 고유한 바이너리 형태의 파일형식을 취하고 있다. 각각의 검측된 데이터를 조회하기 위해서는 검측시스템을 제작한 업체에서 제공하는 고유의 뷰어 프로그램을 사용해야 하는데 이는 타 시스템에서 활용하기가 거의 불가능해 검측데이터의 활용도를 저하시키는 문제점을 보여주고 있다. 이번 과제에서는 전차선/신호/무선통신에서 검측된 데이터를 모두 공통된 형식으로 변환하여 통합 서버에 저장하여 관리한다. 이를 통해 사용자는 데이터 이동시의 손실이나 오류 없이 모두 동일한 데이터를 기반으로 업무를 수행할 수 있으며 표준화된 포맷을 이용하여 타 시스템과의 연동을 용이하게 하고 향후 도입할 시스템이나 추가 연구 시에 유연한 확장성을 보장받게 한다.

### (2) 검측데이터의 사후 분석

해외에서 운영 중인 시스템에 비해 국내에서 운영 중인 시스템은 검측시 발생한 데이터를 통한 사후분석을 지원하지 않는다. 검측 당시에 실시간 측정을 통해 불량개소를 찾는 기능은 공통적으로 수행하고 있지만 그 이후의 데이터 처리에 대해서는 기능이 전무한 실정이다.

프로그램 처리는 별도의 분석프로그램이 부족하여 사용자가 데이터를 엑셀로 전환 후 수

작업을 통해 분석하고 엑셀프로그램을 이용하여 패턴을 분석하는 등 사용자 개인의 분석에 전적으로 의존하고 있는 형태를 보인다.

또한 전용 뷰어에서도 다수의 검측데이터에 대한 뷰어기능을 제공하지 않아 이전 검측데이터와 현재 검측데이터 사이의 데이터 변화추이를 한눈에 보기 어려워 각 기능들의 상태추이를 분석하기 어려운 상황이다.

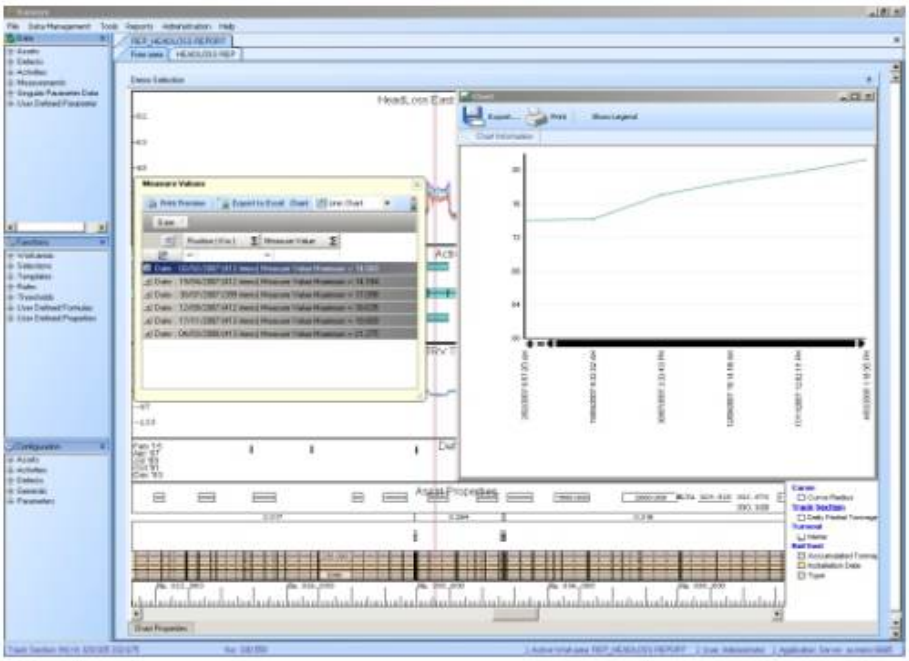


그림 121 MERMEC社의 상태평가 기능

### (3) 이상데이터의 실시간 전송

프랑스의 SNCF에서 운영 중인 IRIS 320의 경우 궤도, 전차선, 통신, 신호등 다양한 분야에서 방대한 양의 검측데이터를 수집하고 있었다. 검측차량이 운행하면서 다양한 데이터를 수집함과 동시에 실시간 자동화 진단을 수행하고 있다. 수집된 모든 검측데이터는 차량 정차시에 지상 서버로 전송하는데 이는 사후 분석 및 추가 정밀분석 작업을 지상에서 수행하기 위함이다.

한 가지 특징적인 것은 실시간 자동화 진단을 통해 추출된 Critical Alarms를 2세대 통신의 진화형인 GPRS 방식을 통해 실시간으로 지상의 SNCF 지역 사무소로 전송 한다는 것이다. 이는 자동화진단에서 검출된 이상 데이터를 지상으로 바로 송신할 필요성과 이를 유지보수 담당자가 바로 현장에서 확인 할 필요성을 나타내는 부분이다.

실시간 전송의 대상이 되는 데이터는 차상의 자동화 진단을 통해 검출된 이상데이터를 대상으로 한다. 검측된 전체 데이터를 전송하는 방식은 통신의 과도한 트래픽을 발생하게 되며 현실적으로도 현장의 유지보수 담당자에게는 불필요한 정보들이다. 보다 체계적인 데이터의 분석은 전체 검측이 종료된 후에 이루지는 것이 올바른 방향이다.

대신 자동화 진단을 통해 검출된 이상 데이터는 검출과 동시에 실시간으로 지상 운영자에게 전송하여 현장 담당자가 즉각적으로 확인 할 수 있도록 제공하는 것이 업무의 효율성을 위하여 보다 올바른 방향이다.

이를 통해 현장 작업자는 제공된 개소에 대한 현장파악을 우선으로 하여 열차의 안전운행에 위협을 가할 수 있는 요소들을 사전에 제거할 수 있도록 데이터를 제공한다.

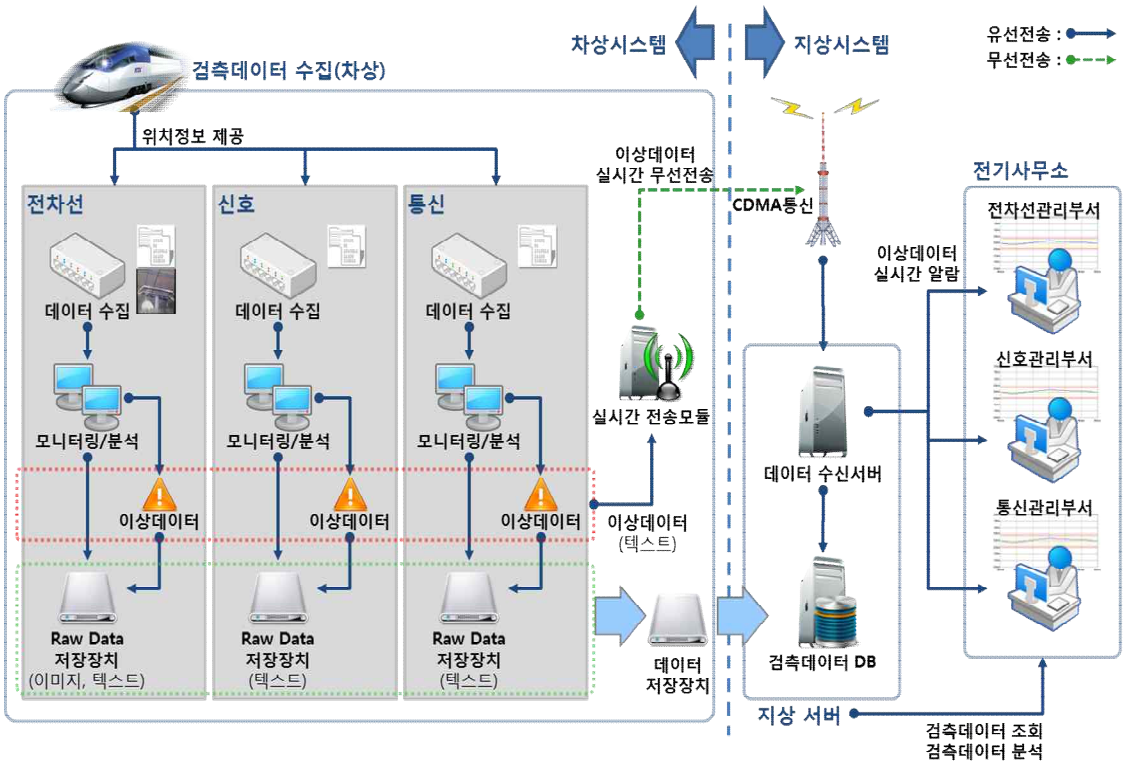



그림 122 자동화 운영시스템 전체 개념도

### (4) 개발품 내역

자동화 운영시스템의 개발품 내역은 다음과 같다.

표 109 자동화 운영시스템 개발품 내역

| 구 분 | 품 명 | 개발 분류 | 규 격 | 수량 | 단위 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 자동화진단 운영시스템 | 자동화진단 운영시스템 | 개발품 | | 1 | EA | S/W 개발품 |
| | APP Server | 상용품 | Server | 1 | EA | 랙 실장 |
| 실시간 전송시스템 | 실시간 전송시스템 | 개발품 | | 1 | EA | S/W 개발품 |
| | 차상 운영서버 | 상용품 | Server | 1 | EA | 랙 실장 |
| | 지상 실시간 수신서버 | 상용품 | Server | 1 | EA | 랙 실장 |
| 통합 데이터베이스 구축 | 통합 데이터베이스 | 개발품 | Database | 1 | EA | DB 구축 |
| | Database 서버 | 상용품 | | 1 | EA | 랙 실장 |
| | Database Storage | 상용품 | | 2 | EA | 랙 실장 |

## 나. 자동화진단 운영시스템

### (1) 개요

자동화진단 운영시스템은 차상에서 검측한 전차선, 신호, 무선통신 검측데이터를 지상의 통합 데이터베이스 서버에 표준화된 포맷으로 저장하여 이를 기반으로 고속선의 전기시설물에 대한 상태를 진단하고 추이를 분석해 사용자에게 유지보수 의사결정에 필요한 다양한 정보를 제공한다.




그림 123 자동화진단 운영시스템 구성

자동화진단 운영시스템은 지상 사용자를 위한 프로그램으로 전차선, 신호, 무선통신의 개별 단위로 구성되어 있으며 이를 통합 관리하기 위한 모듈로 구성된다. 자동화진단 운영시스템의 세부 모듈은 다음과 같이 구성되어 있다.

표 110 자동화진단 운영시스템 주요 모듈

| 모듈 | 주요기능 |
|---|---|
| 통합 관리모듈 | • 전차선, 신호, 무선통신 프로그램 제어<br>• 사용자 권한 관리<br>• 기타 시스템 관리 |
| 기준정보 관리모듈 | • 분석에 필요한 전기시설물 기준정보 관리<br>• 각종 코드성 데이터 관리 |

| | |
|---|---|
| 검측데이터 관리모듈 | • 차상 검측데이터 등록 및 관리<br>• 검측데이터 자동화 진단<br>• 자동화 진단 시뮬레이션 기능 |
| 검측데이터 통계/분석 | • 이상데이터 유형별 분석<br>• 이상데이터 기간별 분석<br>• 불량 원인 및 유형 분석 |
| 추이분석 모듈 | • 전기 시설물 단위 상태 추이분석<br>• 추이분석 시뮬레이션 기능 |
| 검측그래프 모듈 | • 차상 검측데이터 뷰어 기능<br>• 과거 이력 조회<br>• 이상데이터 등록 및 관리<br>• 데이터 다중 오버랩 기능 |

### (2) 기술조사

자동화 진단 기술개발 연구를 수행함에 있어 기술조사 단계의 주요 목표는 국내외 시스템 사례를 비교 분석하여 향후 국내 철도운영 시스템에서 사용하기 위한 검측시스템의 전체적인 개념을 정립하는데 있다. 이중 실시간 전송시스템과 자동화진단 운영시스템의 비교를 위해 국내외 총 5회의 일정으로 9곳의 기관을 방문하여 각각의 시스템을 관찰하고 분석하는 과정을 수행하였다.

이 외에 온오프라인을 통한 자료 수집과 현업 검측운영 담당자와의 미팅을 통해 국내외의 검측기술 동향을 수집하고 분석하여 자동화진단 운영시스템의 개념설계를 위한 기반지식을 습득하였다.

표 111 주요 방문일정

| 방문일 | 방문기관 | 방문 장소 | 분석시스템 |
|---|---|---|---|
| 2011.03.10.~<br>2011.03.11 | 한국철도공사 | 서울↔부산<br>왕복 | KTX-36호<br>- 실제 검측운행 참승<br>- 검측항목 및 검측장비 조사<br>- 검측업무 프로세스 분석 |
| 2011.05.24.~<br>2011.05.25 | 한국철도공사 | 대전↔금천<br>왕복 | 종합검측차(ROGER-1000K)<br>- 실제 검측운행 참승<br>- 검측항목 및 검측장비 조사<br>- 검측업무 프로세스 분석 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2011.06.08 | 한국철도공사 | 용산차량기지 | 전철시험차<br>- 현장 시운행 실시<br>- 검측항목 및 검측장비 조사<br>- 검측업무 프로세스 분석 |
| 2011.06.21 | 서울메트로 | 신정차량기지 | 종합검측차(ROGER-600)<br>- 차량 내부탑승 및 시스템 시연<br>- 검측항목 및 검측장비 조사<br>- 검측업무 프로세스 분석 |
| 2011.07.03.~<br>2011.07.12 | SNCF | 프랑스 | IRIS 320<br>- 검측시스템 유지보수 현황 조사<br>- 검측장비 조사 |
| | 테크노감마社 | 이탈리아 | 검측장비<br>- 제품분석 및 제작과정 조사 |
| | MERMEC社 | 이탈리아 | 검측장비<br>- 제작과정 및 연구동향 기술조사 |
| | 서일본철도 | 일본 | 전차선<br>- 신간선용 가선검측장치 기술조사<br>- 서일본철도 가선검측장치 기술조사 |
| | 동일본철도 | 일본 | east i 검측장비 조사 |

### (가) 국내 기술조사

○ 전철시험차

전철시험차는 차탑에 영역카메라와 라인레이저와 반사경등으로 구성된 전차선 측정장치를 탑재하고 있으며 전차선 높이/편위/마모를 측정한다. 시스템은 이탈리아의 테크노감마社에서 도입하여 운행 중이다.

검측 운행 중 검측데이터를 모니터링 할 수 있으며 검측된 데이터는 이동식 저장장치를 통해 사무실로 이동하여 전용 프로그램을 통해 다시 모니터링 할 수 있는 기능을 가지고 있다.

사후 분석 기능은 없으며 검측데이터 파일은 시스템 고유 형태로 저장하여 타 시스템에서는 접근이 불가능하다.

○ KTX-36호

KTX-36호에는 전차선, 신호, 통신에 대한 검측이 가능하다. 역시 실시간 모니터링만 가능하며 사후분석은 지원하지 않는다. 검측데이터 파일 역시 고유의 포맷으로 저장한다.

영업차량의 객실을 개조하여 전기, 시설분야에 대한 검측작업을 수행한다. KTX-36호의 가

장 큰 특징은 실제 영업운행과 동시에 검측작업을 수행하므로 실제 고속선 운영 환경과 동일한 조건에서 검측을 수행한다는 것이다.

○ 종합검측차(ROGER-1000K)

이탈리아의 MERMEC社에서 도입한 종합검측차는 궤도, 전차선, 신호, 통신에 대한 모든 검측장비를 탑재하여 운행 중이다. 160km/h의 운행속도로 이동하며 검측을 수행하게 된다. 차량에 검측 장비들을 통합 탑재하여 다양한 데이터를 모니터링하고 수집한다.

실시간으로 검측하면서 데이터를 수집하며 이상데이터에 대한 기본적 리포트를 제공한다. 검측데이터는 다른 시스템과 동이하게 고유 형식으로 저장하여 타 시스템에서는 접근이 불가능하다. 때문에 수집된 데이터에 대한 활용도가 미비하고 다른 방법의 데이터 분석이 불가능한 단점을 가지고 있다.

### (나) 기존 시스템 분석

자동화진단 운영시스템은 전차선/신호/통신의 검측을 전기시설물의 상태변화 추이를 모니터링하고 문제점을 분석하여 전체적인 유지보수계획을 수립하고 이를 바탕으로 최적화된 예방유지보수의 필요성에서 진행하였다.

이를 위해 현재 철도공사에서 운영 중인 전사시스템인 ERP(KOVIS)를 분석하여 자동화진단 운영시스템과의 연동 필요성을 검토하였다.

○ KOVIS와의 연계성

현업에서 실질적으로 이루어지고 있는 업무를 살펴보면 유지보수 업무를 위한 오더생성에 집중되어 있으며 장기적이고 체계적인 계획의 수립은 어려운 실정이다.

이번 연구과제에서는 사용자에게 검측된 데이터를 기반으로 현 이상개소의 발생 현황과 1차 분석을 통한 상태평가 데이터를 제공하여 유지보수 담당자가 업무계획 수립을 용이하게 하기 위한 기초 데이터를 제공하며 ERP와의 직접적인 연동은 포함하지 않는다.

그러나 직접적인 연계는 하지 않더라도 향후 개발 완료된 시스템을 철도공사에 적용하고 실제 운영하기 위해서는 기존 ERP와의 연계는 필수요소라 할 수 있다. 이를 시스템 설계에 반영하여 개방형 시스템으로 설계하여 향후 시스템 커스터마이징을 통해 타 시스템과의 연계가 용이하도록 설계에 반영한다.

### (3) 시스템 개념설계

#### (가) 운영 시나리오

차상검측 자동화 운영시스템의 주요 개념을 차상의 전차선/신호/통신 검측시스템에서 검측된 데이터를 통합DB에 저장하여 중앙에서 관리하며 이를 다수의 승인된 사용자에 의해 조회하고 분석하도록 데이터를 제공하도록 한다.

표 112 자동화 운영시스템의 주요 역할

| 실시간 전송시스템 | 자동화진단 운영시스템 |
|---|---|
| • 전차선/신호/통신 검측장비에서 전달받은 실시간 이상데이터 수집<br>• 수집된 이상데이터를 실시간전송시스템의 로컬 운영장치에 저장<br>• 저장과 동시에 무선통신망을 이용하여 지상 서버로 실시간 전달 | • 실시간으로 전송받은 이상데이터 수집<br>• 실시간 이상데이터를 사용자에게 알람메세지로 알림<br>• 검측 종료된 검측데이터를 공통된 포맷으로 변환<br>• 변환된 검측데이터를 중앙DB에 저장<br>• 검측데이터 뷰어 및 분석기능 구현 |

위 표는 자동화 운영시스템의 주요 기능을 나타내고 있다. 차상검측 자동화 운영시스템은 크게 차상에서 설치되고 운영하는 '실시간 전송시스템'과 지상에서 유지보수 담당자와 유관부서에서 사용자가 사용 할 '자동화진단 운영시스템'으로 나누어진다.

실시간 전송시스템은 각 검측시스템에서 전달받은 실시간 이상데이터의 수집과 저장, 지상으로의 실시간 송신을 전달한다. 자동화진단 운영시스템은 각 검측시스템에서 전달받은 검측된 로우데이터의 표준화 및 중앙DB에 저장하고 저장된 데이터를 기반으로 데이터 시각화 및 추이 분석 등의 기능을 수행하게 된다.

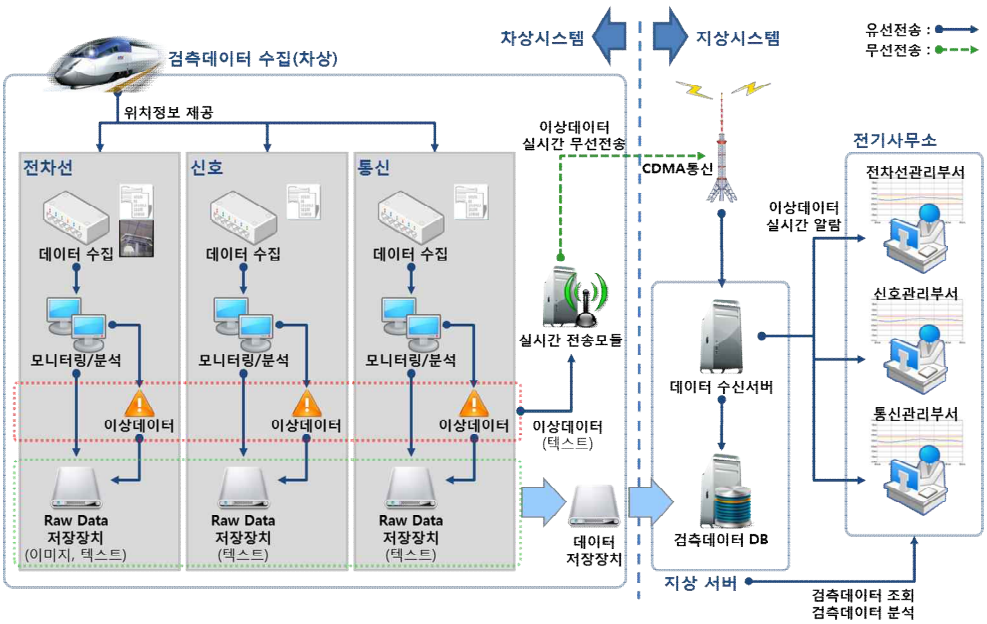



그림 124 자동화 운영시스템 전체 개념도

위 그림에서 회색 상자 안에 표시된 기능들은 각 전차선/신호/통신 검측 시스템에서 담당하게 된다. 전차선/신호/통신 각각의 차상 검측 시스템은 실시간 검측을 통해 해당 데이터를 각각의 별도 운영장치에서 처리하며 저장한다. 동시에 실시간 자동 진단기능을 수행하여 이상데이터로 판단된 데이터를 실시간 전송모듈로 전달하며 이를 차상에서 무선통신망을 이용하여 지상의 서버로 전송하게 된다. 지상에서는 이를 수신하여 사용자에게 전송하며, 검측데이터의 저장을 통해 각 관리부서와 유관부서에서 사용 가능하도록 한다.

자동화진단 운영시스템은 전차선/통신/신호 관리부서의 운영담당자나 다른 유관부서의 사용자가 사무실에서 개인 PC를 활용하여 운영하는 시스템을 명칭 한다.

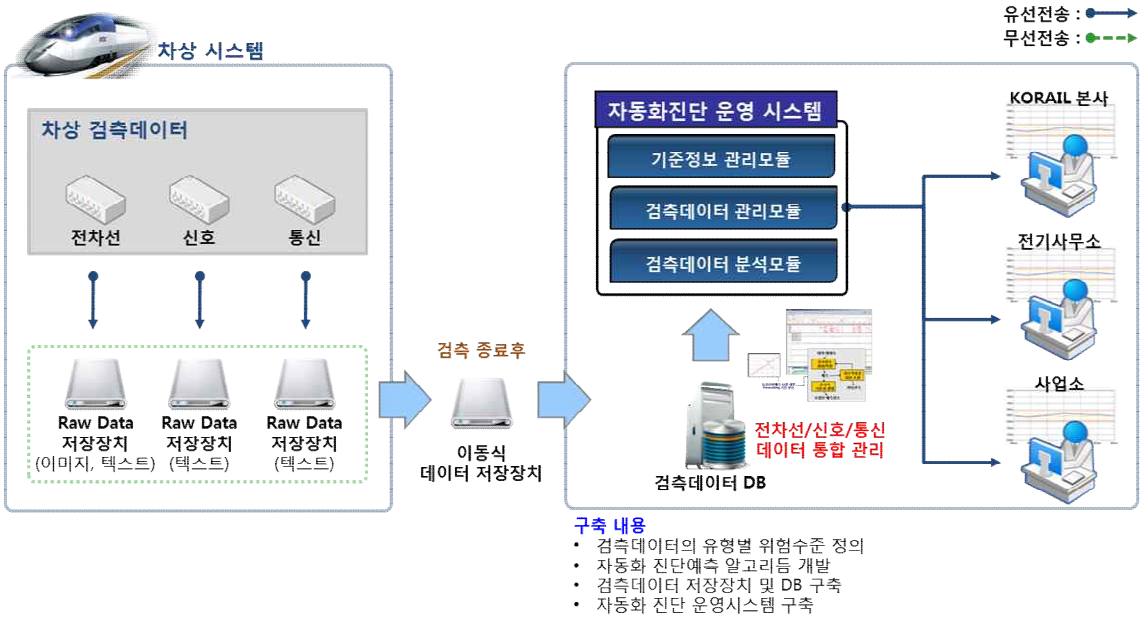



그림 125 자동화진단 운영시스템 개념도

위 그림은 자동화진단 운영시스템의 전체 개념도를 도식화 한 그림이다. 그림에서 나타난 바와 같이 전차선/신호/통신 각각의 검측 시스템에서는 검측된 모든 로우데이터를 각각의 운영장치에 별도로 보관하게 된다.

검측이 종료된 후에 사용자는 이 데이터를 별도의 이동식 저장장치로 옮겨 이동하여 자동화진단 운영시스템이 설치되어있는 장소로 이동한다. 검측된 로우데이터는 자동화진단 운영시스템에서 표준화된 동일 포맷의 데이터로 변환되며 이는 다시 통합된 검측데이터DB로 저장하게 된다. 이를 바탕으로 각 사무실에서 중앙 서버에 접속하여 모두 동일한 내용의 데이터를 확인할 수 있게 되고 사용자간에 불필요한 데이터 이동이 없어지며 원하는 데이터를 실시간으로 조회하고 분석할 수 있게 된다.

### (나) S/W 아키텍처

자동화진단 운영시스템은 지상에서 활용되는 시스템을 통칭하며 여러 단계의 소프트웨어로 구성된다. 사용자 프로그램까지 포함하여 총 4개의 독립적인 시스템을 유지하며 상호간의 정의된 인터페이스를 사용하여 데이터를 주고받게 된다.

각각의 시스템은 고유의 업무를 수행하도록 설계하며 각 업무에 특화된 소프트웨어를 갖게 된다. 이로 인해 시스템 운영시 특정작업에 의한 병목현상을 최소화 하여 사용자 대기시간을 최소화 하며 시스템 유지보수와 향후 기능 개선 시 보다 효율적인 작업이 이루어지도록 하였다.

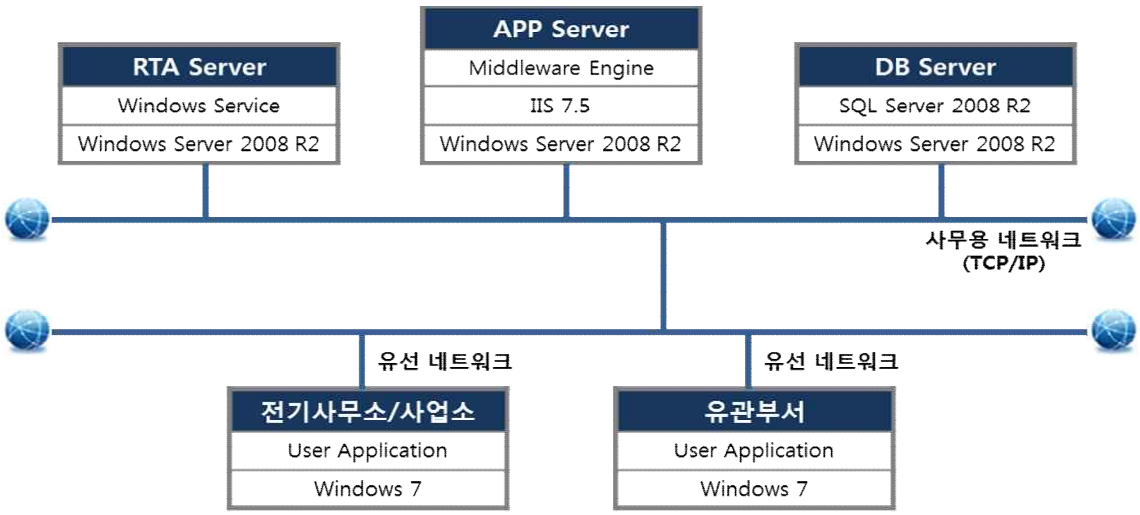



그림 126 자동화진단 운영시스템 S/W 아키텍처

위 그림은 자동화진 운영시스템의 S/W 아키텍처를 도식화한 그림이다. 위 그림에서 상단에 위치하는 세 개의 시스템은 본 과제를 진행하면서 신규로 도입될 시스템이며 모두 서버제품군을 이용하여 제품에 내장되어 있는 IIS 7.5를 활용하여 사용자와의 인터페이스를 수행한다.

### (다) S/W 단위시스템 아키텍처

S/W 아키텍처가 외부에서 바라보는 전체적인 구조를 설명하고 있다면 단위시스템 아키텍처는 각각 개별적인 S/W의 내부 구조와 외부 인터페이스에 대한 구조를 설명하고 있다. 이를 기반으로 시스템을 유지보수하는 전산 담당자와 개발자들의 내부 구조를 파악할 수 있도록 한다.

○ App Server (Application Server)

APP서버는 별도의 하드웨어에 독립적으로 설치되어 운영한다.

APP서버는 검측데이터를 저장하는 DB서버와 유지보수 운영자 및 관리자가 직접 사용하는 User App(User Application)의 중간에 물리적/논리적으로 위치한다.

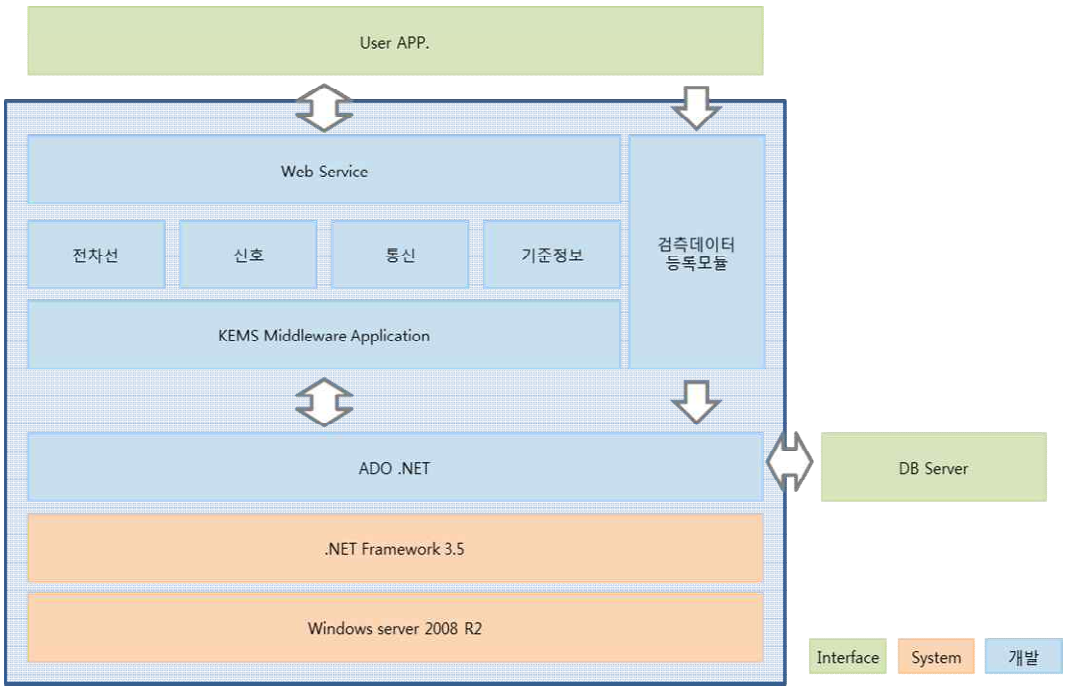



그림 127 S/W 단위시스템 아키텍처 - APP Server

APP서버는 2개의 시스템과 인터페이스를 수행하게 된다.

- User APP로부터 사용자의 요구기능을 수신 및 결과데이터를 전송
- User APP로부터 수신된 요구기능을 수행하기 위해 직접 DB서버에 접속하여 데이터 송수신

○ Web Service

웹서비스(Web Service)는 인터넷을 통한 네트워크상에, 단일 또는 다수의 비즈니스간 기존 애플리케이션 시스템을 표준화된 기술로서 결합시킴으로써, 모든 비즈니스를 가능하게 하는 기술이다. 즉 외부 시스템과의 인터페이스를 정의하기 위한 기술로서 이는 서로 다른 기종과의 인터페이스를 정의하여 공통된 프로토콜을 사용하여 통신하게 된다.

이를 사용하게 되면 차후 자동화진단 운영시스템을 완전히 다른 시스템과 인터페이스가 필요할 경우 최소한의 서버주소와 연결함수만 제공하면 되므로 모바일 환경으로의 확장이 매우 용이하다는 장점을 가지고 있다.

○ RTA Server (Real-Time Alarm Server)

차상에서 전차선/신호/통신 검측시스템에서 검측 중에 발생한 실시간 이상데이터는 차상에 설치되어 있는 실시간 전송시스템에 의해 지상으로 송신된다. 이 데이터를 수신하고 처리하는 서버를 RTA Server (Real-Time Alarm)라 명칭하고 시스템을 설계하였다.

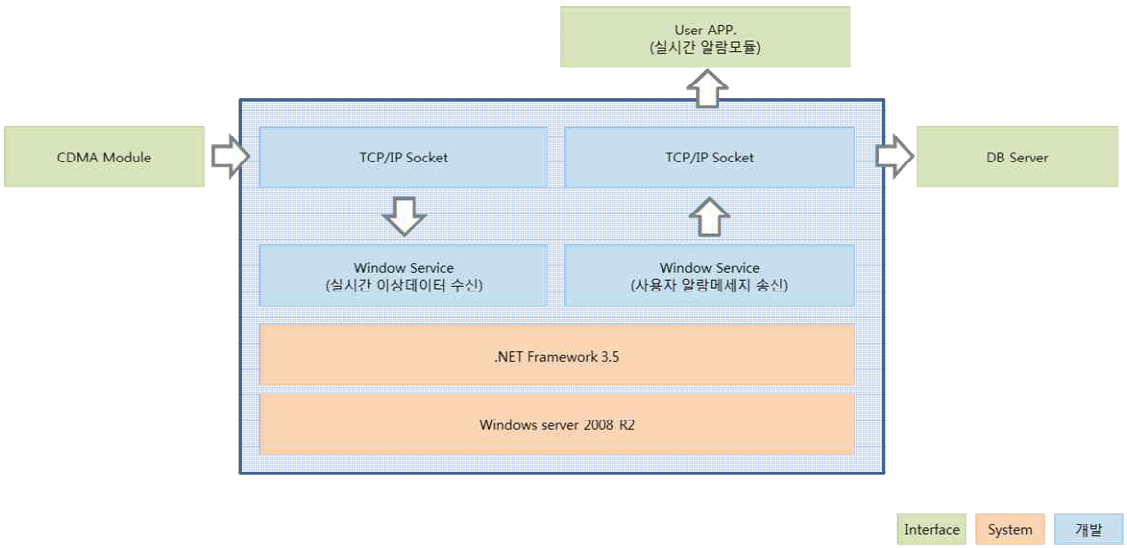



그림 128 S/W 단위시스템 아키텍처 - RTA Server

RTA서버는 3개의 시스템과 인터페이스를 수행한다.

- 상용 무선통신망(3G/LTE)로부터 실시간 이상데이터 수신
- 수신된 데이터를 DB서버에 저장
- 수신된 데이터를 User APP로 사용자에게 알람메세지 전송

○ DB Server (Database Server)

DB서버는 별도의 하드웨어에 독립적으로 설치되어 운영된다. 대용량의 검측데이터를 활용하기 위하여 상용화된 DBMS(Database Management System)을 사용한다. 이는 대용량의 데이터를 효율적이며 안정적인 운영이 가능하도록 해주며 데이터의 저장/검색/수정 시에 높은 성능과 안정적인 구동이 가능하게 해준다.

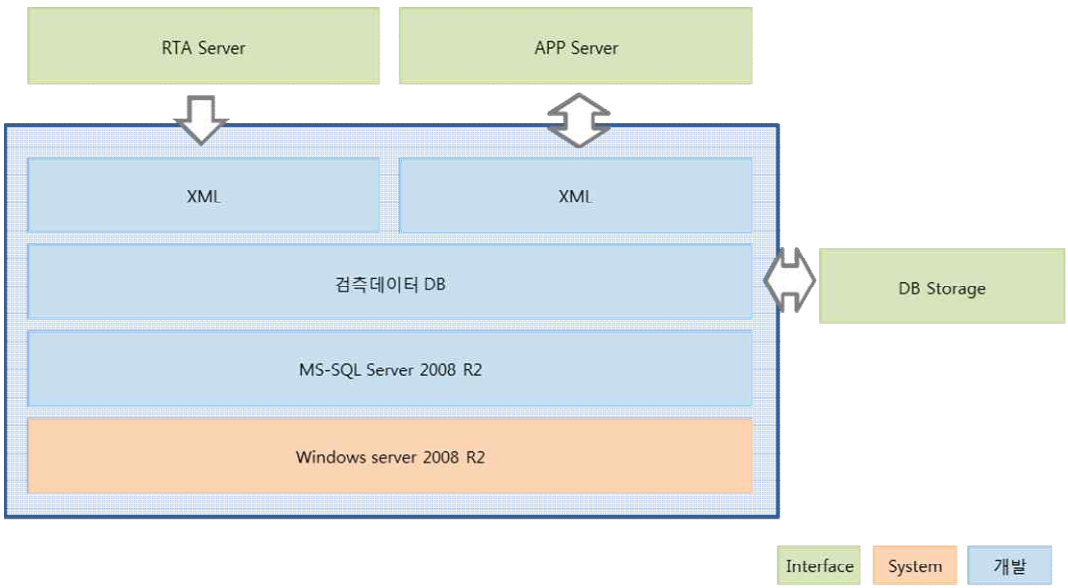



그림 129 S/W 단위시스템 아키텍처 - DB Server

DB 서버는 총 3개의 시스템과 인터페이스를 수행한다.

- RTA서버로부터 수신 받은 이상데이터의 저장.
- APP서버로부터의 데이터 수신과 요청에 의한 데이터의 송신
- 실제 데이터의 물리적 파일저장의 위한 DB Storage와의 데이터 송수신.

○ User APP(User Application)

User APP는 별도의 하드웨어를 특정하지 않는다.

자동화진단 운영시스템을 유지보수 담당자나 관리자가 사용하기 위해서는 별도의 UI(User Interface)화면으로 구성된 프로그램이 필요하다. 이 프로그램을 통해 검측데이터를 조회하고 분석하여 유지보수계획 수립을 위한 기본 데이터를 생성하게 된다. 해당 프로그램은 일반 사용자가 접하게 되는 본 과제의 최종 결과물이 될 것이다.

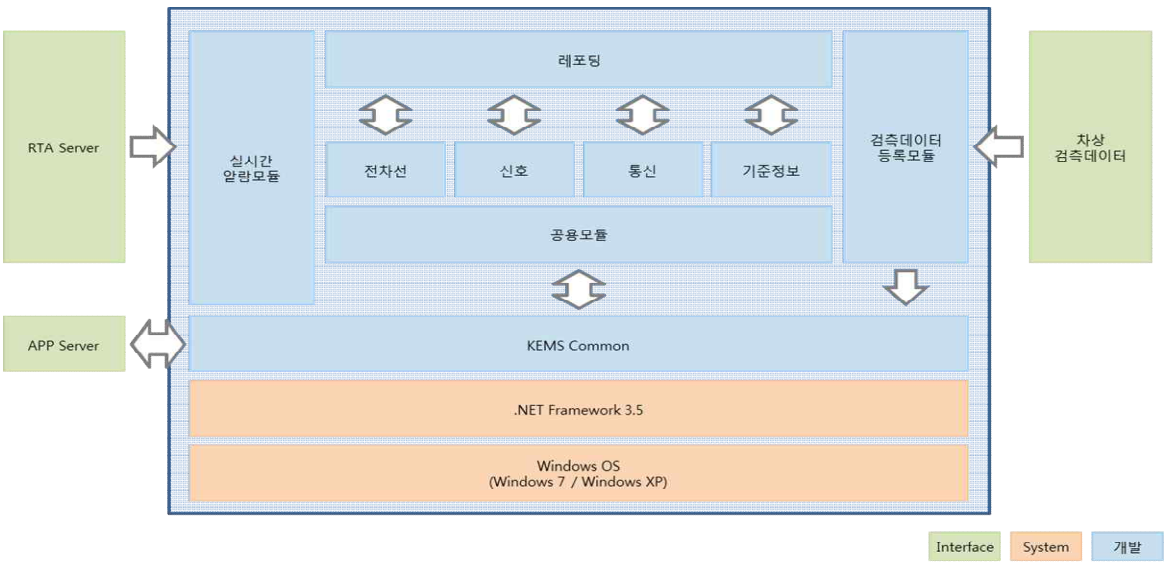



그림 130 S/W 단위시스템 아키텍처 - User APP

User APP는 총 3개의 시스템과 인터페이스를 수행하게 된다.

- RTA서버로부터 실시간 알람메세지 수신
- APP서버로 원하는 기능에 대한 명령을 전달하고 결과 데이터를 수신
- 차상에서 검측이 완료된 데이터를 DB서버로 등록하는 명령 송신

User APP는 주로 사용자에게 원하는 정보를 시각화 하는 기능을 제공하며 주요 분석 및 데이터 처리는 APP서버에서 담당하게 된다. 또한 사용자가 입력하는 각종 데이터들이 오류없이 등록되었는가를 확인하는 기능을 수행하게 된다.

### (라) S/W Diagram

자동화진단 운영시스템은 다수의 시스템으로 구성되어 있으며 상호간에 다양한 데이터의 인터페이스를 수행한다. 이를 위해 각각의 시스템 사이에 발생하는 S/W적 흐름에 대한 구조도를 작성하여 각 시스템간의 흐름도를 도식화하였다.

○ App Server

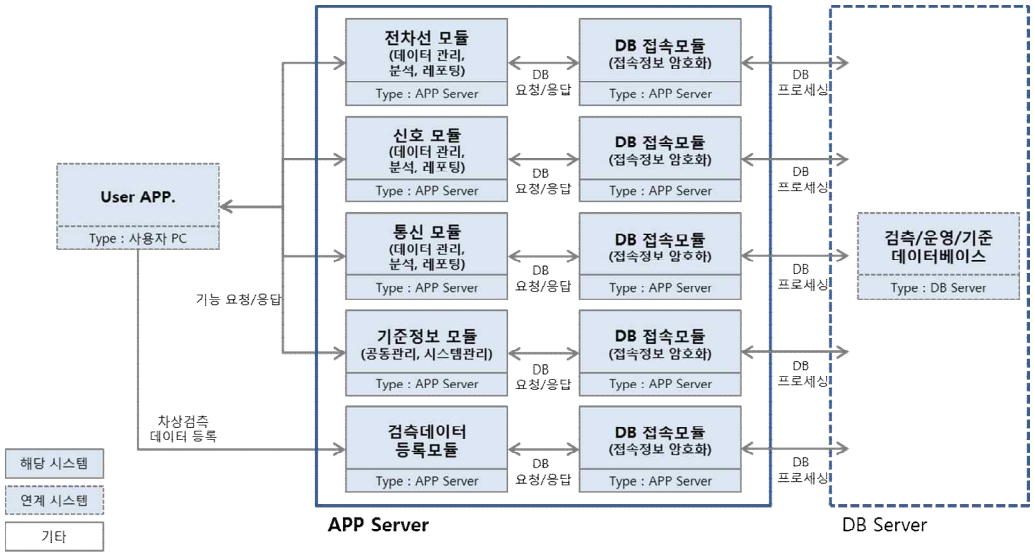



그림 131 S/W Diagram - App Server

APP 서버의 소프트웨어 흐름도를 도식화하였다.

APP서버는 사용자의 기능요청을 받아들인다. 이는 데이터의 단순 조회, 등록 기능을 포함하며 검측데이터 전체에 대한 1차 분석 기능도 포함한다. 데이터 등록도 같은 방식으로 사용자에게 요청받아 이루어진다. 전차선/신호/통신 각 분야별로 별도의 기능을 수행하도로고 구성하여 특정 프로세스로 인해 다른 기능의 수행이 방해받지 않도록 설계하였다.

○ RTA Server

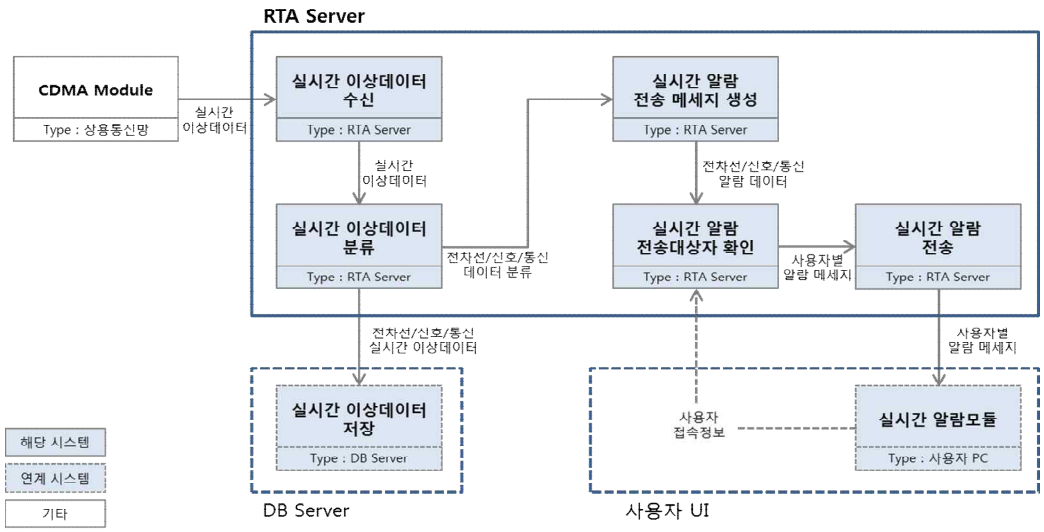



그림 132 S/W Diagram - RTA Server

RTA서버의 소프트웨어 흐름도를 도식화하였다.

수신된 실시간 이상데이터는 먼저 데이터의 분류작업을 수행하며 분류가 완료 되면 DB서버로 해당 데이터를 즉시 저장하도록 하였다. 이후 데이터를 가공하여 사용자가 인식할 수 있는 형태의 메시지로 가공하여 이를 사용자에게 전송한다.

○ DB Server

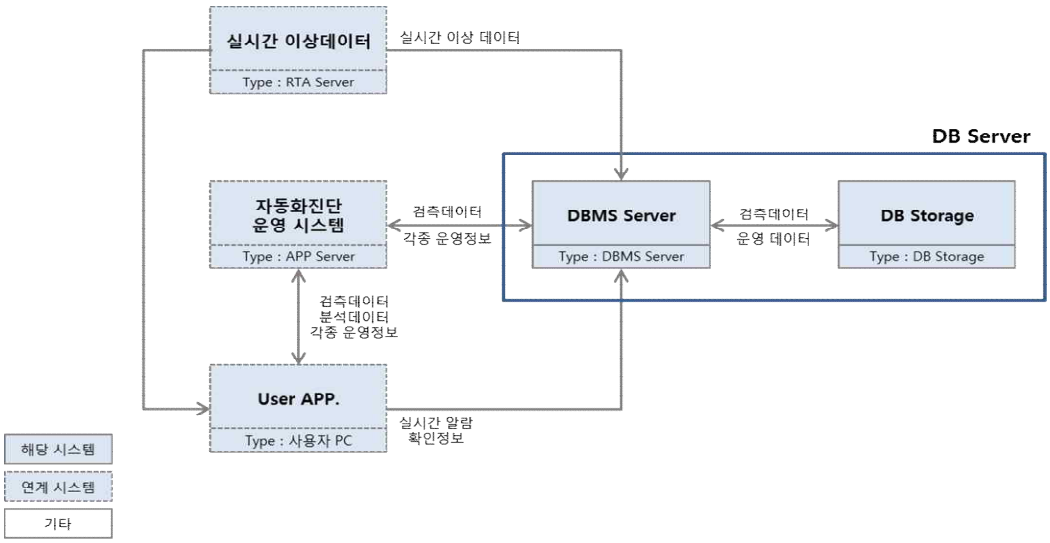



그림 133 S/W Diagram - DB Server

DB서버의 흐름도를 도식화하였다.

DB서버는 모든 검측데이터와 시스템 운영과 관련된 데이터를 저장하고 있으며 해당 데이터의 물리적 파일은 별도의 저장장치에 저장하도록 하였다. 이는 대용량 데이터의 효율적인 관리를 용이하게 하고 DB서버와 데이터 파일을 같은 위치에 둘 경우에 발생하는 성능저하를 방지하기 위함이다.

○ User APP

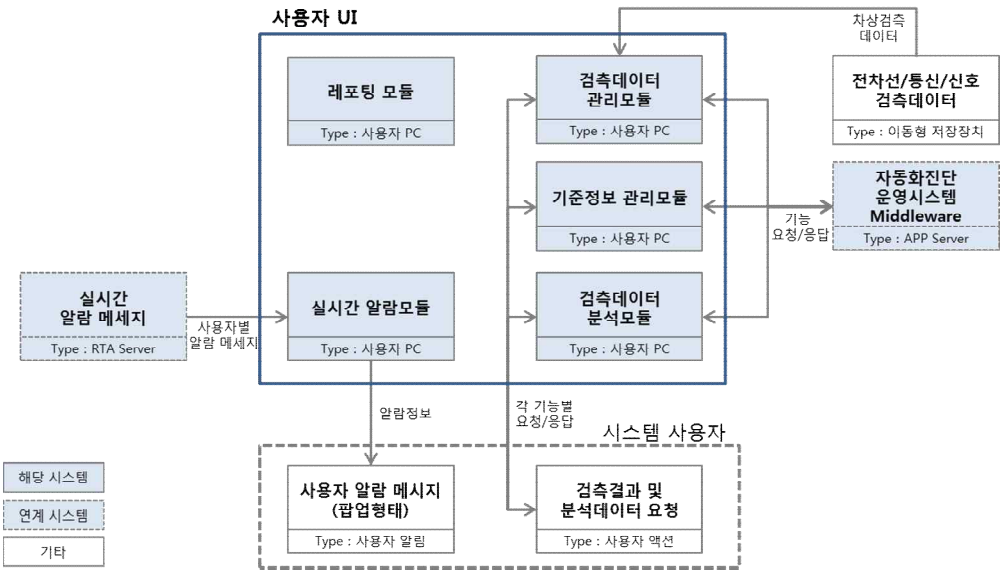



그림 134 S/W Diagram - User App

User APP의 흐름도를 도식화하였다.

User APP는 사용자와 시스템간의 직접적인 통로역할을 수행한다. 차상에서 송신한 실시간 이상데이터를 사용자에게 직접 전달하고 사용자는 시스템에 각종 기능을 요청하는 명령을 수행하게 된다. 또한 검측데이터의 등록도 같은 경로를 통해 이루어지게 된다.

### (마) 기능구조도

자동화진단 운영시스템은 현장 유지보수 담당자 및 현장 관리자가 사무실에서 전기시설의 현 상태를 파악하고 진단하기 위해 각자의 사무실에서 직접 사용하는 사용자 UI(User Interface)를 갖는 프로그램이다.

사무실에서 업무를 수행하는 사용자들은 시스템을 운영하기 위한 각종 기준정보들을 등록/관리 하고 차상에서 검측된 데이터를 등록/관리/분석하는 업무를 수행해야 한다. 또한 차상에서 실시간으로 전송되는 이상데이터의 정보도 수신 받아야 한다. 이를 위해 해당 기능을 수행하기 위한 별도의 프로그램이 필요하며 이를 '자동화진단 운영시스템'이라는 프로그램을 통해 활용하게 된다. 해당 시스템을 활용하고자 하는 사용자는 별도의 하드웨어 없이 개인이 사용하고 있는 PC에 최종적으로 제공된 설치프로그램으로 설치하여 시스템을 사용 가능하도록 설계하였다.

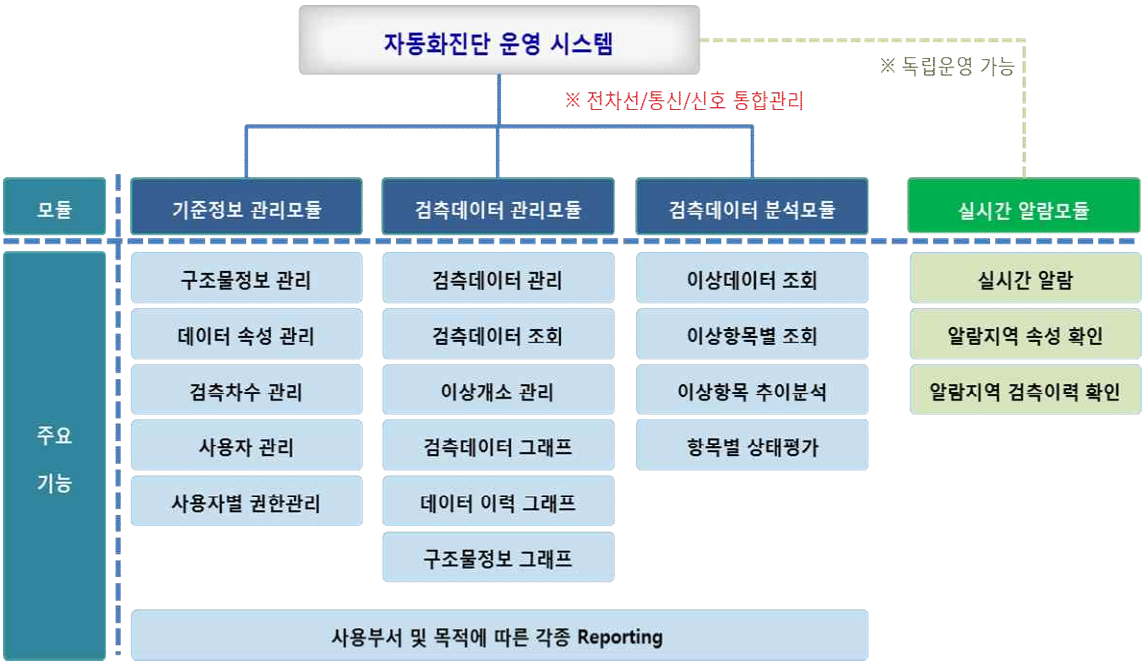



그림 135 자동화진단 운영시스템 기능 구조도

○ 기준정보 관리모듈

운영시스템에서 사용하는 각종 기준정보를 관리하고 이는 다른 모듈의 기준정보로 활용된다.

표 113 지상 운영 시스템 - 기준정보 관리모듈

| 단위기능 | 기능 설명 |
|---|---|
| 구조물정보 관리 | 전차선/신호/통신에서 활용하는 주요 시설물에 대한 기준정보를 등록하고 관리하며 이력관리는 하지 않는다 |
| 데이터 속성 관리 | 전차선/신호/통신에서 관리되는 각종 데이터의 속성과 기준값 등을 관리한다 |
| 검측차수 관리 | 차상검측이 1회 발생하는 시점에 대해 각각의 고유 아이디를 부여하며 이를 기준으로 데이터 조회와 각종 분석기능에 활용한다 |
| 사용자 관리 | 시스템을 사용하기 위한 사용자를 등록하고 이를 관리한다 |
| 사용자별 권한 관리 | 시스템의 보안성을 유지하기 위하여 개인 사용자별로 각 화면별 기능에 대한 권한을 별도 부여한다 |

○ 검측데이터 관리모듈

차상검측을 통해 수집한 데이터를 통합 DB에 등록하고 이를 관리하는 기능이다.

표 114 지상 운영 시스템 - 검측데이터 관리모듈

| 단위기능 | 기능 설명 |
|---|---|
| 검측데이터 관리 | 차상검측을 통해 수집한 데이터를 이동식 저장장치를 이용하여 사무실로 이동하고 이를 표준화 하여 DB에 등록하는 기능이다 |
| 검측데이터 조회 | 검측하여 등록된 모든 데이터에 대한 조회가 가능하며 이는 텍스트 기반으로 사용자에게 제공한다 |
| 이상개소 관리 | 차상에서 실시간으로 전송한 이상 데이터에 대한 정보를 조회하고 이를 텍스트 기반으로 제공한다 |
| 검측데이터 그래프 | 차상검측을 통해 수집한 데이터를 사용자가 인식하기 쉽도록 그래프 형태로 표현하는 기능이다 |
| 데이터 이력 그래프 | 다수의 검측데이터를 하나의 화면에서 조회하여 사용자가 데이터 변화추이를 눈으로 쉽게 비교 가능하도록 구현한 기능이다 |
| 구조물정보 그래프 | 검측데이터 그래프 화면과 연동하여 전차선/신호/통신에서 활용하는 주요 구조물에 대한 정보를 간략하게 보여준다 |

○ 검측데이터 분석모듈

등록된 검측데이터에 대한 1차 분석을 통해 사용자가 현재의 상태를 보다 용이하게 하는 기능이다. 데이터의 변화추이, 이상개소의 현황 등을 사용자에게 제공하여 유지보수계획 수립의 기초 데이터를 제공할 계획이다.

표 115 지상 운영 시스템 - 검측데이터 분석모듈

| 단위기능 | 기능 설명 |
|---|---|
| 이상데이터 조회 | 검측된 모든 데이터를 바탕으로 데이터 후처리 작업을 거쳐 사용자가 지정한 조건에 맞는 데이터를 제공한다 |
| 이상항목별 조회 | 차상에서 검측 되어 진단된 실시간 이상데이터를 항목별/수치별로 조회토록 한다 |
| 이상항목 추이분석 | 실시간 이상데이터의 추이를 분석하여 사용자에게 정보를 제공한다 |
| 항목별 상태평가 | 검측된 로우데이터를 통해 사용자가 지정한 조건으로 각각의 구간별로 상태점수를 평가한다 |

○ Reporting 기능

자동화진단 운영시스템을 사용하여 도출된 각종 데이터를 가공하여 사용자가 필요한 형태의 각종 리포트를 제공한다. 이를 통해 유지보수 담당자들이 엑셀파일 등을 이용하여 작업하던 항목을 줄여 유지보수계획에 보다 집중할 수 있는 환경을 제공한다.

○ 실시간 알람모듈

실시간 알람 모듈은 차상으로부터 수신한 실시간 이상 데이터를 사용자에게 메시지 팝업 형태로 알람 메시지를 제공하는 기능이다.

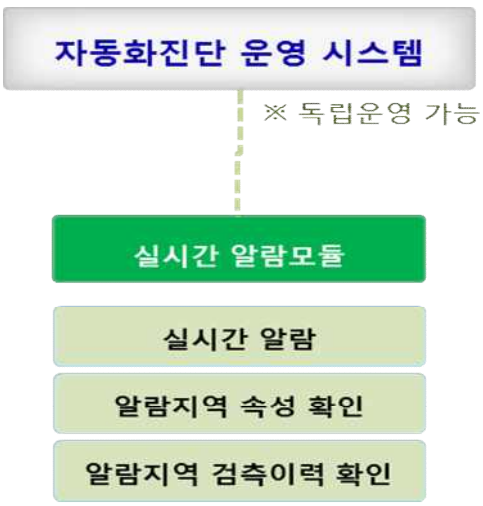



그림 136 실시간 알람모듈

실시간 알람 모듈은 자동화진단 운영시스템의 하위 모듈로 구분되지만 이를 독립적으로 운영 가능하도록 구성할 계획이다.

표 116 지상 운영 시스템 - 실시간 알람모듈

| 단위기능 | 기능 설명 |
|---|---|
| 실시간 알람 | 차상으로부터 수신한 실시간 데이터를 사용자에게 메시지팝업 형태로 보여준다 |
| 알람지역 속성확인 | 실시간 알람 팝업이 발생하면 사용자는 링크버튼을 통해 알람이 발생한 지역의 간략한 속성 정보를 조회할 수 있다 |
| 알람지역 검측이력 확인 | 알람이 발생한 지역에 대한 과거의 알람정보를 간략한 텍스트 정보로 제공한다 |

### (바) H/W 구성

자동화진단 운영시스템의 안정적인 운영과 효율성의 증대를 위해서 하드웨어의 구성을 설계하였다.

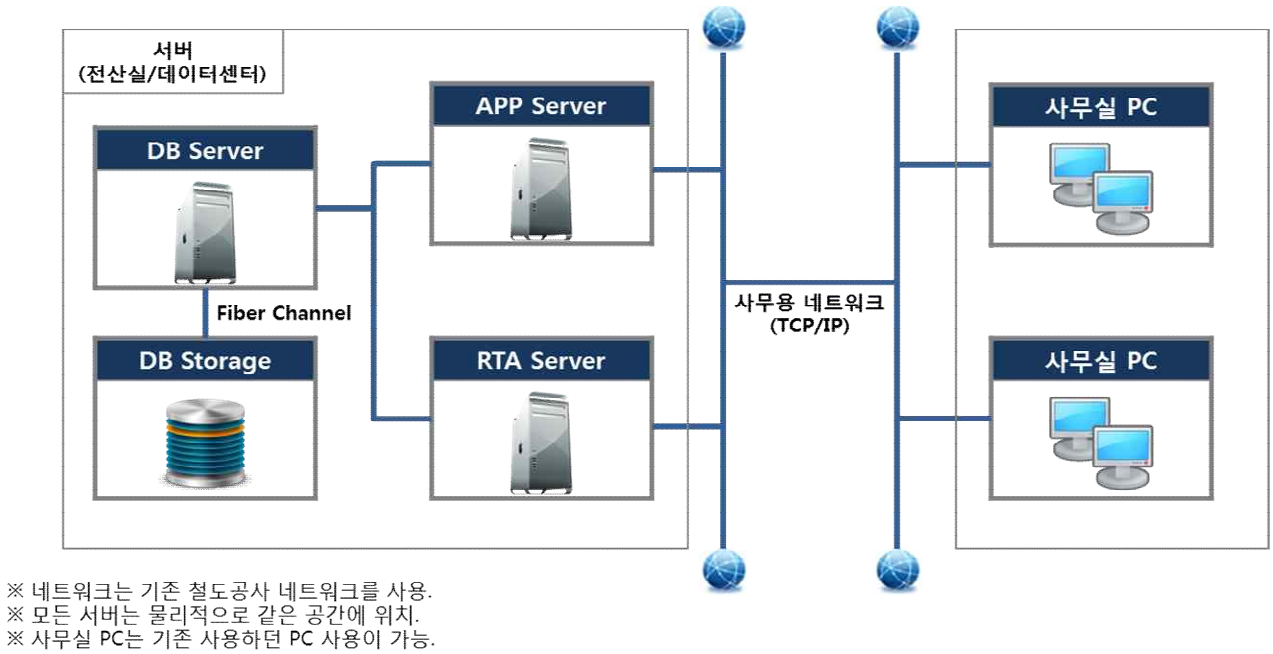



그림 137 자동화진단 운영시스템 H/W 아키텍처

자동화진단 운영시스템의 하드웨어는 총 4대의 서버로 설계하였다. 이중 3대는 시스템 운영에 실질적으로 작용하여 각종 업무를 수행하는 기능을 하며 1대는 검측데이터를 저장하기 위한 DB Storage로 구성하였다.

표 117 자동화진단 운영시스템 H/W 구성

| 서버 | 형태 | 수량 | 주요역할 |
|---|---|---|---|
| APP Server | 서버 | 1 EA | 각종 분석 및 상태평가 계산 수행<br>사용자 UI와 검측데이터 DB 서버와의 인터페이스 수행 |
| RTA Server | 서버 | 1 EA | 실시간 이상데이터 수신<br>수신된 데이터를 DB에 저장<br>수신된 데이터를 사용자에게 송신 |
| DB Server | 서버 | 1 EA | 검측데이터 관리<br>각종 운영데이터 관리 |
| DB Storage | 저장장치 | 1 EA | 검측데이터 저장<br>운영데이터 저장 |

○ APP Server (Application Server)
- S/W 영역의 APP서버와 1:1로 매핑이 되며 1대의 서버로 이루어진다.
- 타 시스템과는 일반 네트워크로 연결된다.

○ RTA Server (Real-Time Alarm Server)
- S/W 영역의 RTA서버와 1:1로 매핑이 되며 1대의 서버로 이루어진다.
- 타 시스템과는 일반 네트워크로 연결된다.

○ DB Server (Database management Server)
- S/W 영역의 DB서버와 1:1로 매핑이 되며 1대의 서버로 이루어진다.
- H/W 영역의 DB Storage와 직접 연결된다.
- 타 시스템과는 일반 네트워크로 연결된다.

○ DB Storage : Database Storage
- H/W 영역의 DB Server와만 연결되며 물리적 파일을 안정적으로 저장하는 역할을 수행한다.
- 타 시스템과는 연결되지 않는다.

#### (4) 시스템 상세설계

시스템 개념설계를 기반으로 실제 시스템을 개발을 위한 시스템 상세 설계를 수행했다. 상세설계에는 자동화진단 운영시스템에서 구현되는 각 모듈별 기능 정의와 실제 프로그램 개발을 위한 화면 설계를 수행했고, 시스템에서 사용하기 위한 데이터베이스 상세 설계를 수행했다.

##### (가) 모듈별 기능 정의

○ 기준정보 관리모듈

운영시스템에서 사용하는 각종 기준정보를 관리한다. 이 데이터는 다른 모듈의 기준정보로 활용된다.

표 118 기준정보 관리모듈 기능

| 단위기능 | 기능 설명 |
|---|---|
| 구조물정보 관리 | 전차선/신호/통신에서 활용하는 주요 시설물에 대한 기준정보를 등록하고 관리하며 이력관리는 하지 않는다 |
| 데이터 속성 관리 | 전차선/신호/통신에서 관리되는 각종 데이터의 속성과 기준값 등을 관리한다 |
| 검측차수 관리 | 차상검측이 1회 발생하는 시점에 대해 각각의 고유 아이디를 부여하며 이를 기준으로 데이터 조회와 각종 분석기능에 활용한다 |
| 사용자 관리 | 시스템을 사용하기 위한 사용자를 등록하고 이를 관리한다 |
| 사용자별 권한 관리 | 시스템의 보안성을 유지하기 위하여 개인 사용자별로 각 화면별 기능에 대한 권한을 별도 부여한다 |

○ 검측데이터 관리모듈

차상검측을 통해 수집한 데이터를 통합 DB에 등록하고 이를 관리하는 기능이다.

표 119 검측데이터 관리모듈 기능

| 단위기능 | 기능 설명 |
|---|---|
| 검측데이터 관리 | 차상검측을 통해 수집한 데이터를 이동식 저장장치를 이용하여 사무실로 이동하고 이를 표준화 하여 DB에 등록하는 기능이다 |
| 검측데이터 조회 | 검측하여 등록된 모든 데이터에 대한 조회가 가능하며 이는 텍스트 기반으로 사용자에게 제공한다 |
| 이상개소 관리 | 차상에서 실시간으로 전송한 이상 데이터에 대한 정보를 조회하고 이를 텍스트 기반으로 제공한다 |
| 검측데이터 그래프 | 차상검측을 통해 수집한 데이터를 사용자가 인식하기 쉽도록 그래프 형태로 표현하는 기능이다 |
| 데이터 이력 그래프 | 다수의 검측데이터를 하나의 화면에서 조회하여 사용자가 데이터 변화추이를 눈으로 쉽게 비교 가능하도록 구현한 기능이다 |
| 구조물정보 그래프 | 검측데이터 그래프 화면과 연동하여 전차선/신호/통신에서 활용하는 주요 구조물에 대한 정보를 간략하게 보여준다 |

○ 검측데이터 분석모듈

등록된 검측데이터에 대한 1차 분석을 통해 사용자가 현재의 상태를 보다 용이하게 하는 기능이다. 데이터의 변화추이, 이상개소의 현황 등을 사용자에게 제공하여 유지보수계획 수립의 기초 데이터를 제공할 계획이다.

표 120 검측데이터 분석모듈

| 단위기능 | 기능 설명 |
|---|---|
| 이상데이터 조회 | 검측된 모든 데이터를 바탕으로 데이터 후처리 작업을 거쳐 사용자가 지정한 조건에 맞는 데이터를 제공한다 |
| 이상항목별 조회 | 차상에서 검측 되어 진단된 실시간 이상데이터를 항목별/수치별로 조회토록 한다 |
| 이상항목 추이분석 | 실시간 이상데이터의 추이를 분석하여 사용자에게 정보를 제공한다 |
| 항목별 상태평가 | 검측된 로우데이터를 통해 사용자가 지정한 조건으로 각각의 구간별로 상태점수를 평가한다 |

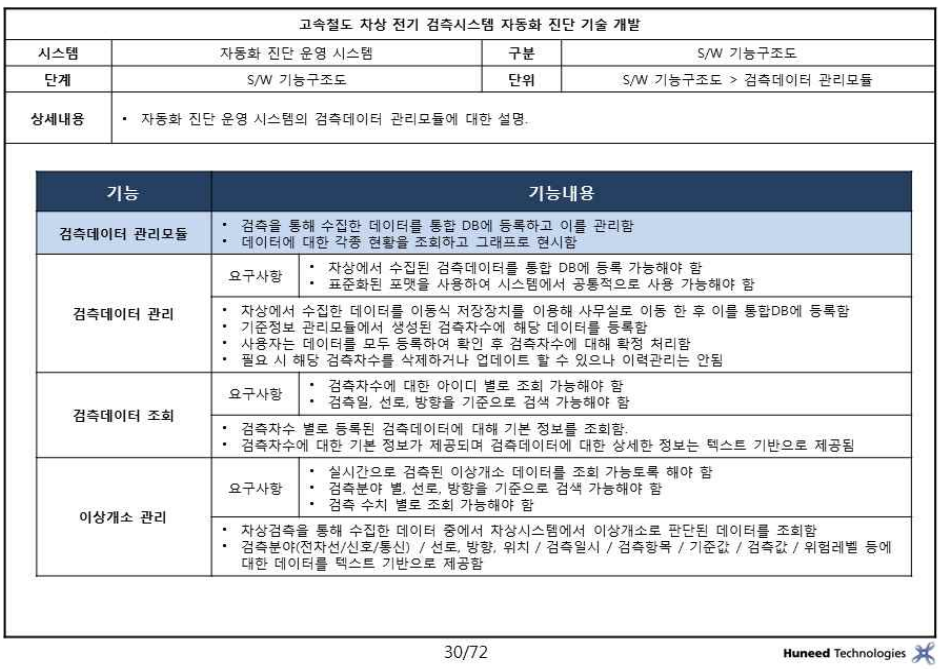
○ Reporting 기능

자동화진단 운영시스템을 사용하여 도출된 각종 데이터를 가공하여 사용자가 필요한 형태의 각종 리포트를 제공한다. 이를 통해 유지보수 담당자들이 엑셀파일 등을 이용하여 작업하던 항목을 줄여 유지보수계획에 보다 집중할 수 있는 환경을 제공한다.

### (나) 사용자 UI 상세설계

개념설계가 완료된 후 사용자 UI 상세설계를 진행했다. UI 상세설계는 시스템을 실제 개발하기 위한 가장 중요한 단계로 사용자가 최종적으로 대면하게 되는 시스템의 모습을 문서상으로 구현하는 단계이다.

UI 상세설계를 진행하기 위해 우선 사용자 요구사항을 분석하고 그에 따른 필요 기능을 기술하여 별도의 상세 설계서를 작성했다.



고속철도 차상 전기 검측시스템 자동화 진단 기술 개발

| 시스템 | 자동화 진단 운영 시스템 | 구분 | S/W 기능구조도 |
|---|---|---|---|
| 단계 | S/W 기능구조도 | 단위 | S/W 기능구조도 > 검측데이터 관리모듈 |
| 상세내용 | • 자동화 진단 운영 시스템의 검측데이터 관리모듈에 대한 설명. | | |

| 기능 | 기능내용 | |
|---|---|---|
| 검측데이터 관리모듈 | • 검측을 통해 수집한 데이터를 통합 DB에 등록하고 이를 관리함<br>• 데이터에 대한 각종 현황을 조회하고 그래프로 현시함 | |
| 검측데이터 관리 | 요구사항 | • 차상에서 수집된 검측데이터를 통합 DB에 등록 가능해야 함<br>• 표준화된 포맷을 사용하여 시스템에서 공통적으로 사용 가능해야 함 |
| | • 차상에서 수집한 데이터를 이동식 저장장치를 이용해 사무실로 이동 한 후 이를 통합DB에 등록함<br>• 기준정보 관리모듈에서 생성된 검측차수에 해당 데이터를 등록함<br>• 사용자는 데이터를 모두 등록하여 확인 후 검측차수에 대해 확정 처리함<br>• 필요 시 해당 검측차수를 삭제하거나 업데이트 할 수 있으나 이력관리는 안됨 | |
| 검측데이터 조회 | 요구사항 | • 검측차수에 대한 아이디 별로 조회 가능해야 함<br>• 검측일, 선로, 방향을 기준으로 검색 가능해야 함 |
| | • 검측차수 별로 등록된 검측데이터에 대해 기본 정보를 조회함.<br>• 검측차수에 대한 기본 정보가 제공되며 검측데이터에 대한 상세한 정보는 텍스트 기반으로 제공됨 | |
| 이상개소 관리 | 요구사항 | • 실시간으로 검측된 이상개소 데이터를 조회 가능토록 해야 함<br>• 검측분야 별, 선로, 방향을 기준으로 검색 가능해야 함<br>• 검측 수치 별로 조회 가능해야 함 |
| | • 차상검측을 통해 수집한 데이터 중에서 차상시스템에서 이상개소로 판단된 데이터를 조회함<br>• 검측분야(전차선/신호/통신) / 선로, 방향, 위치 / 검측일시 / 검측항목 / 기준값 / 검측값 / 위험레벨 등에 대한 데이터를 텍스트 기반으로 제공함 | |



그림 138 상세설계서-SW기능구조도

SW 기능구조도를 작성한 후에는 개별 기능단위로 화면 설계서를 작성했다. 화면설계가 완료된 후 화면 단위로 사용자가 입력해야 하는 항목에 대한 목록과 입력 형태, 입력 데이터 유형을 정리하고 입력내용에 따라 화면에 결과로 출력해야 하는 항목들을 정리하여 별도의 단위기능 프로세스에 대한 설계를 진행했다.

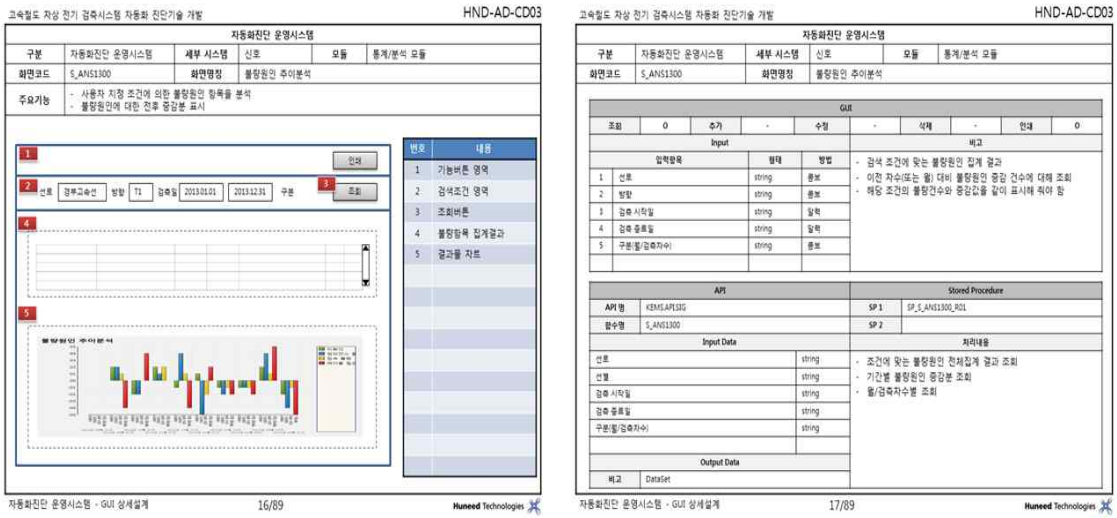



그림 139 사용자 UI 상세설계

### (다) 데이터베이스 상세설계

사용자 UI 상세설계가 마무리 되면 정의된 입출력 항목에 따라 필요한 데이터 항목이 정의된다. 이를 기반으로 데이터베이스 상세설계가 진행된다. 데이터베이스 상세 설계에는 테이블간의 상호 관계를 기술하는 테이블 스키마를 작성한 후 각 테이블별로 상세 내역을 기술하는 테이블 설계서를 작성한다.

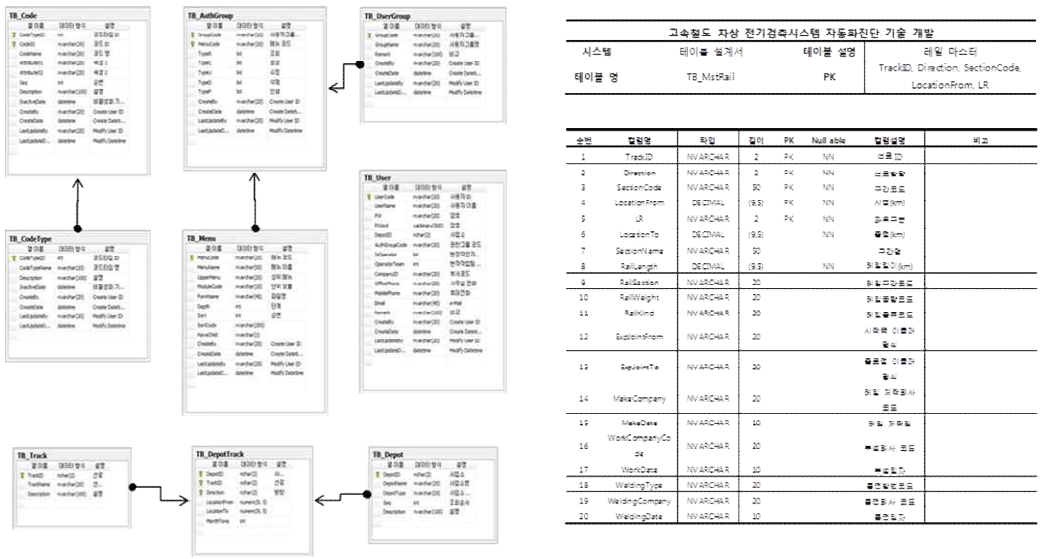



그림 140 테이블 상세 설계서

### (5) 시제품 제작

시스템 상세설계서를 기반으로 시제품을 제작했다. 시제품은 자동화진단 운영시스템이 구현하고자 하는 최종 목표에 대해 실제 시스템을 구현해 최초 요구하는 각 기능들이 원하는 수준에 맞게 정상적으로 구현이 가능한지 확인하는 역할을 수행한다.

시제품에 구성되는 프로그램의 메뉴 구조는 다음 그림과 같다.

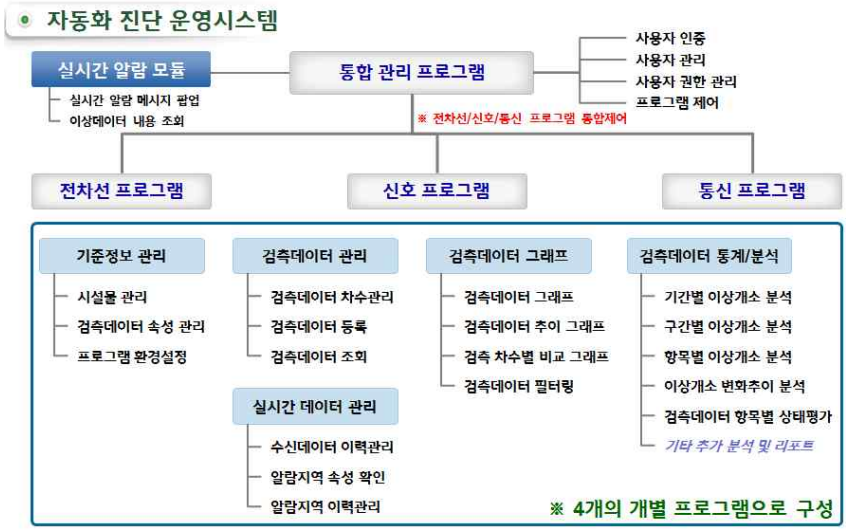



그림 141 시제품 메뉴 구조도

전차선/신호/무선통신 세 개의 분야에 대해 개별 프로그램으로 작성하고 이를 통합 제어하기 위한 상위 프로그램을 개발한다. 상위 프로그램에는 사용자 인증 및 권한 관리 기능을 구현해 통합 관리 프로그램을 세부 기능에 대한 접근이 이루어지도록 한다.

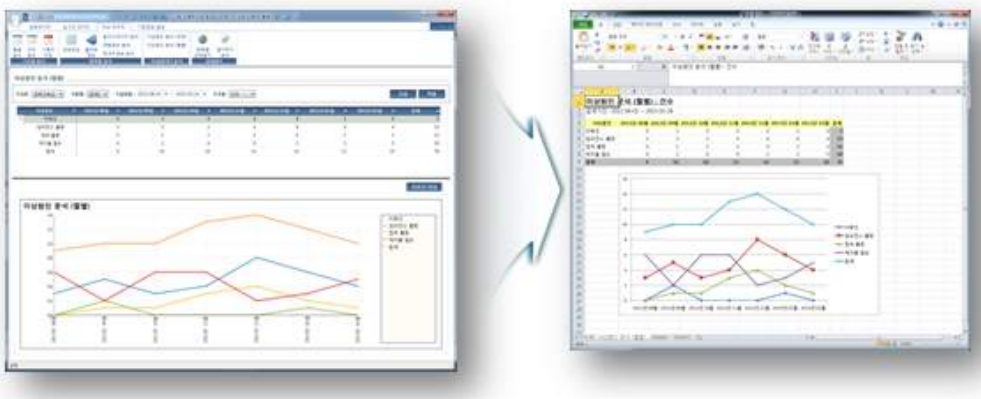


그림 142 시제품 개발화면

위 그림은 시제품 개발화면을 나타낸 그림이다. 시제품에는 사용자 요구사항이 1차적으로 반영되어 있으며 사용자는 이를 실제 사용 테스트를 진행해 사용 적합성을 판단하게 된다. 사용에 이상이 없다고 판단되면 시제품 개발에 사용된 단위기술들을 활용하여 실제 개발품 제작이 이루어지게 된다.

### (6) 개발품 제작

개발된 시제품을 기반으로 요구기능 구현이 가능함을 확인 한 후 실제 운영자가 최종적으로 시스템을 사용하기 위한 개발품 제작을 진행했다. 개발품 제작시에는 시제품 제작시 발생했던 다수의 버그를 수정했으며 실제 운영자가 사용해 본 후 요청한 기능 개선 항목을 반영했다.

#### (가) 시스템 모듈의 구성

본 시스템은 전차선, 신호, 무선통신 분야 모두 동일하게 5개의 모듈로 구성하고 세부 기능을 구현했다. 5개의 모듈은 시스템을 구현하고 있는 개별 기능의 속성에 따라 분류되었으며 각 모듈에는 다수의 기능을 구현하여 사용자가 원하는 기능을 수행할 수 있도록 했다. 시스템을 구성하고 있는 모듈의 구성은 다음 표와 같다.

표 121 자동화진단 운영시스템 주요 모듈

| 모듈명 | 주요기능 |
|---|---|
| 검측데이터 관리모듈 | 차상 검측데이터 등록 및 관리<br>검측데이터 자동화진단 수행<br>각 전기 시설물별 검측데이터 추이변화 분석 |
| 통계/분석 모듈 | 이상데이터 월/년 단위 발생현황 분석<br>이상유형/발생원인 월/년 단위 집계 및 분석<br>사용자 정의에 의한 통계/분석 |
| 기준정보 관리모듈 | 시스템 기준정보 관리<br>전기시설물 기준정보 관리 |
| 검측그래프 모듈 | 검측데이터 그래프 뷰어기능 제공<br>이상데이터 등록 및 관리 기능<br>다양한 사용자 편의기능 제공 |
| 추이분석 모듈 | 시설물 상태추이 분석 및 조회<br>상태추이 시뮬레이션 수행<br>최적 모델 선정 및 모델별 추이변화 시각화 |

자동화진단 운영시스템은 전차선, 궤도회로, 무선통신 각각의 시스템을 별도로 구성하여 독립적으로 구동이 가능하도록 해 개별 시스템의 전문성을 향상할 수 있도록 했다. 또한 별도로 시스템을 통합 관리하는 시스템을 추가로 구성하여 시스템 자체의 유지보수 또한 용이하도록 구성했다. 자동화진단 운영시스템은 별도의 런처 프로그램을 사용한다.

사용자는 개인의 아이디와 암호를 입력하여 프로그램을 구동하게 되며 런처 프로그램은 사용자의 권한을 체크하여 구동 가능한 프로그램을 사용자에게 알려주고 사용자는 각자의 권한에 맞는 프로그램만을 사용하도록 허락된다.




그림 143 자동화진단 운영시스템 런처 화면

### (나) 기준정보 관리모듈

기준정보 관리모듈은 전차선, 궤도회로, 무선통신 각 분야의 시스템에서 사용할 기준정보를 관리하는 모듈이다. 실제 고속선을 구성하고 있는 다양한 전기시설물 중에서 시스템에서 직접적으로 사용하거나 사용자에게 참조정보를 제공하기 위한 시설물을 관리하기 위한 화면을 구현하며 각각의 시설물을 코드화 하고 DB화하여 시스템에서 필요한 정보를 제공하도록 한다. 각종 시설물에 대한 기준정보는 사용자의 필요에 따라 수정이 가능하도록 구성하였다.

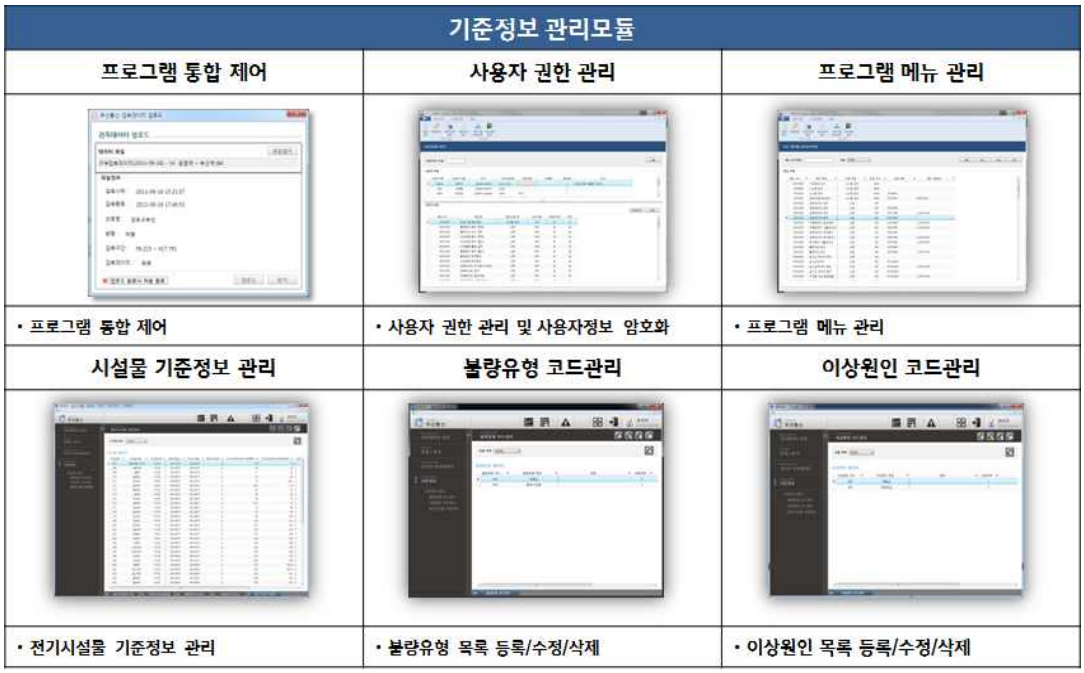



그림 144 기준정보 관리모듈 주요화면

- 전기시설물 기준정보 관리
- 시스템 사용을 위한 기준정보 관리
- 시스템 내부 코드 데이터 관리

### (다) 검측데이터 관리모듈

검측데이터 관리모듈은 전차선, 궤도회로, 무선통신 검측장치에서 수집한 검측데이터를 표준화된 포맷으로 변환하여 검측데이터 데이터베이스에 저장하는 역할을 수행한다. 개별 검측장치에서 수집한 검측데이터는 이동식 저장장치를 통해 사용자가 위치한 사무실로 옮겨지며 사용자는 검측데이터 관리시스템을 통해 데이터를 등록하게 된다.

시스템은 등록된 검측데이터에 고유한 배치아이디를 부여하며 검측 당시의 환경정보와 선로 및 선별, 검측구간의 시/종점 등 데이터 속성 정보에 대한 기본적인 정보를 등록하여 관리한다. 시스템은 등록된 데이터를 바탕으로 검측시에 추출된 이상데이터를 집계하여 저장하며 검측데이터를 자동으로 분석하여 이상이 의심되는 구간에 대한 정보를 사용자에게 알려준다. 자동화진단에 사용하는 각종 파라미터들은 별도의 화면을 구성해 사용자가 변경 가능하도록 구성해 별도의 시스템 수정이 필요하지 않도록 구성했다.

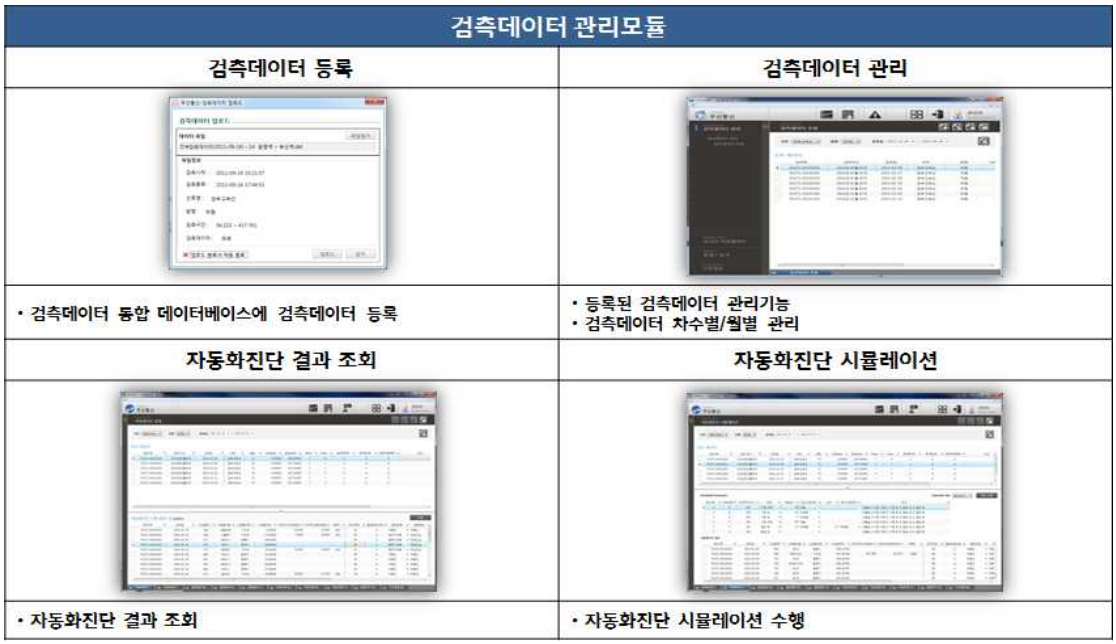



그림 145 검측데이터 관리모듈 주요화면

- 검측데이터 등록 및 삭제
- 검측데이터 차수 관리
- 검측데이터 자동화 진단 수행 및 시뮬레이션

### (라) 통계/분석 모듈

통계/분석모듈은 축적된 검측데이터를 다양한 통계적 기법을 통해 가공하여 사용자에게 제공해 유지보수 담당자가 현업 업무를 수행하는데 필요한 의사결정을 지원하도록 구성했다. 사용자가 확정한 이상데이터를 분석하여 텍스트 형태와 함께 다양한 시각화 도구를 제공하여 사용자가 현황을 용이하게 분석하도록 구현했다.

모든 개별 기능화면에서는 텍스트와 함께 데이터를 분석한 차트를 제공해 분석된 결과물을 사용자가 직관적으로 인식이 가능하도록 구현 하였으며 엑셀로 출력이 가능하도록 하여 다양한 분야에서 사용이 가능하도록 구현했다.




그림 146 통계/분석 모듈 주요화면

다수의 화면으로 구현되어 있는 통계/분석모듈 분류하면 다음과 같이 3가지 유형의 분석 기능으로 구성되어 있다.

- 불량원인 분석 : 불량이 발생한 원인에 대한 분석을 수행한다. 사용자가 지정한 기간에 발생한 불량원인을 분석하여 전체 기간, 월간, 검측 차수별로 집계하여 건수 집계와 각 원인에 대한 백분율(%) 분석을 사용자에게 제공한다. 또한 추이분석을 통해 전월 대비 증감현황을 분석하여 사용자에게 텍스트와 그래프 차트를 제공하도록 구현했다.
- 이상유형 분석 : 이상에 대한 발생유형을 구분하여 사용자에게 불량원인 분석과 동일한 형태의 분석 기능을 제공한다.
- 불량현황 분석 : 불량이 발생한 건수에 대해 다양한 형태의 현황분석 자료를 제공한다. 매년 1월부터 12월까지의 불량 현황을 분석하여 계절요인에 대한 현황 분석을 가능하도록 하였으며 교량, 터널, 역사, 일반 구조물 별로 불량 현황을 집계하여 사용자에게 제공한다.

### (마) 검측그래프 모듈

검측데이터 그래프모듈은 텍스트 기반으로 데이터베이스에 저장되어 있는 검측데이터를 그래프로 나타내 사용자에게 제공한다. 그래프로 표현된 검측데이터는 사용자가 직관적으로

인식할 수 있어 데이터 분석이 보다 용이하다. 시스템은 사용자가 선택한 텍스트 기반의 검측데이터를 그래프로 표현하여 화면에 표시해준다. 사용자가 이를 분석하여 이상이 발생한 구간에 대한 정보를 직관적으로 확인할 수 있으며 해당 실제 이상여부를 판단하여 등록할 수 있도록 개발했다.

아래 그림은 검측데이터 그래프모듈의 실행 화면이다. 화면에 표시할 정보의 양을 최대화하기 위해 메뉴 구성을 최소화 하였으며 많은 기능들을 팝업기능으로 처리했다. 또한 다양한 설정기능을 포함하여 사용자의 개성에 맞는 화면 구성을 가능하도록 구현했다.

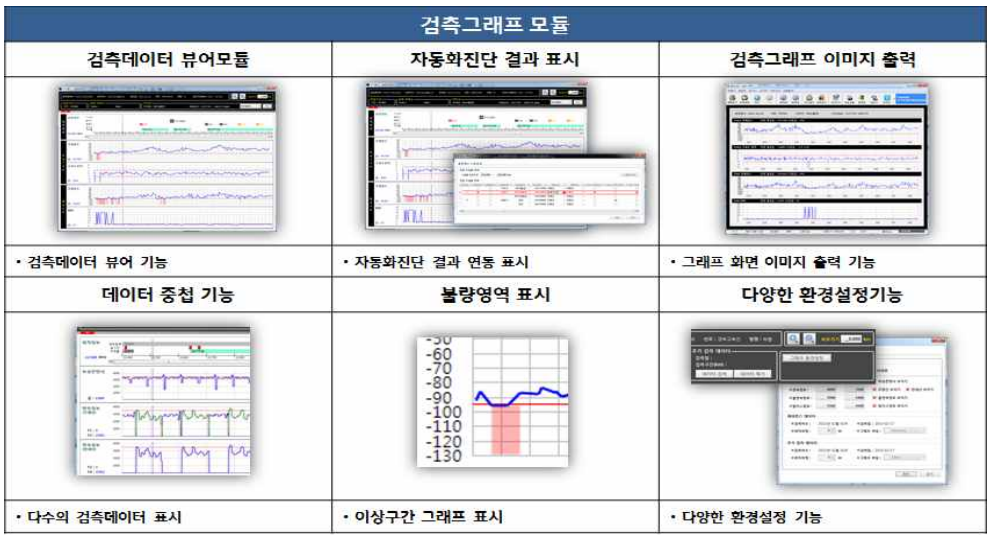



그림 147 검측그래프 모듈주요화면

검측데이터 그래프모듈의 화면은 3개의 영역으로 구분하여 사용자의 시인성을 높이고 기능 수행의 편의성을 높이도록 했다.

- 기능수행영역 : 검측데이터 조회 등의 메뉴 영역으로 구성되고 선택한 검측데이터의 기본정보를 표시한다. 주요 기능 버튼들이 구성되어 있으며 환경설정 기능을 통해 화면에 데이터의 기준 값을 설정하여 그래프에 표시해 준다. 또한 그래프 선택기능을 구현하여 사용자가 원하는 항목의 데이터만 선택하여 화면에 표시해 주는 기능을 구현했다.
- 기준정보 표시영역 : 검측한 데이터의 위치정보와 교량, 터널, 역사 등의 기본적인 구조물 정보를 그래프로 표시하도록 했다. 이상데이터가 발생한 구간은 별도로 표기하여 사용자가 한눈에 검측 현황을 파악할 수 있도록 하였으며 전차선, 궤도회로, 무선통신 분야별로 필요로 하는 시설물 정보를 표시하여 데이터 분석에 참고 자료로 활용 가능토록 했다.
- 데이터 표시영역 : 실제 검측된 데이터를 그래프로 표시해 주는 영역이다. 검측데이터를 그래프로 표시하였으며 해당 위치의 측정값은 별도 텍스트로 표시했다. 한 화면에 다수의 그래프를 동시에 표시가 가능하도록 하여 이전 검측데이터와 직접 비교가 가능해 데이터의 변화 추이를 파악하기 용이하도록 구현했다.

### (바) 자동화진단 알고리듬

자동화진단 알고리듬을 기반으로 차상 검측데이터를 활용하여 각 전기시설물의 상태를 진단하는 자동화진단 기능을 개발했다. 1차로 누적된 정상 데이터를 바탕으로 시설물 검측데이터의 변화를 분석하여 이상여부를 판단하는 알고리듬과 해당 검측데이터의 파형을 분석하는 알고리듬을 적용하여 데이터의 이상여부를 판단하게 된다. 이후 추가로 개발되는 진단 알고리듬을 순차적으로 적용하여 시설물의 이상여부를 판단하도록 시스템을 개발했다.

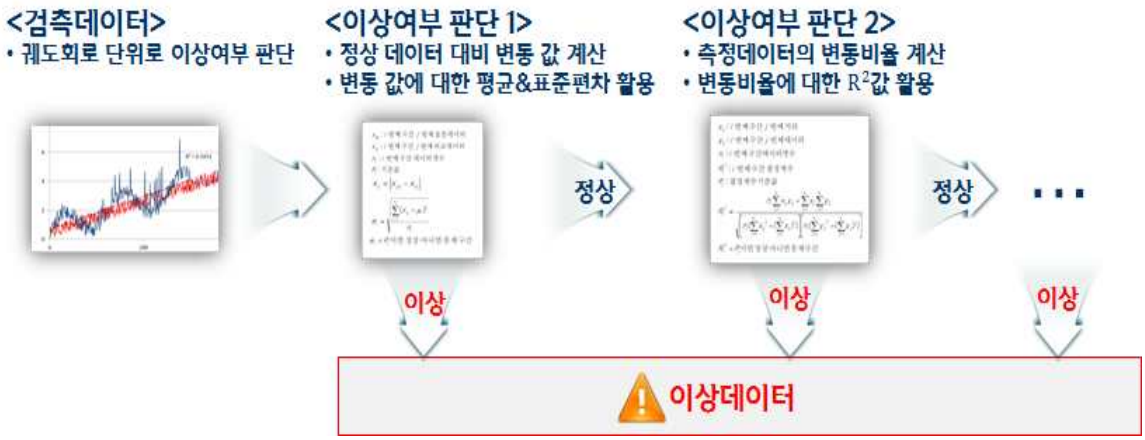



그림 148 자동화진단 적용 프로세스

개발된 자동화진단 알고리듬의 결과물을 기반으로 시설물 상태추이를 살펴볼 수 있는 기능을 추가하기 위해 화면설계를 진행했다. 시설물단위로 검측데이터를 평가한 데이터를 계속 누적하여 시간의 변화에 따른 시설물 상태의 추이를 그래프 형태로 사용자가 쉽게 알 수 있도록 화면에 표시해 준다.

## (7) 추이분석 엔진 개발

### (가) 추이분석 개념

검측을 통해 누적된 데이터는 현 상태의 진단을 위해 사용되는 단계를 넘어 사전 예방보수 형태로 전환하기 위해 다양하게 활용되어야 한다.

사전 예방보수로 전환하기 위한 사전 단계로써 과거의 누적된 데이터를 기반으로 다양한 분석 모델을 통해 시설물 상태의 변화 추이를 분석하기 위한 '고속철도 전기분야 검측데이터 추이분석 엔진'을 개발하였다.

개발된 분석 엔진은 '고속철도 전기분야 검측데이터 운영시스템'과 연동되어 사용자에게 개별 시설물에 대한 상태 추이 변화를 분석하고 결과를 제공해 예방보수 의사결정을 위한 기초적인 정보를 제공하게 된다.

### (나) 추이분석 프로세스

① 전체 흐름도

추이 분석 엔진이 호출되면 엔진에서 이용되는 각종 변수의 선언 및 초기화, 추이 분석이 필요한 데이터 읽기 등을 수행하는 '초기화 및 데이터 입력'이 실행된다. '데이터 정렬'에서는 입력된 데이터를 날짜순으로 정렬하고 그 후 2014-01-01과 같이 표현된 날짜를 데이터에 포함된 최소 날짜와의 차이로 변환한다.

각 세부 모듈 수행 결과로 해당 수식에 가장 적합한 파라미터들이 추정되고, 그 파라미터에 의해 수립된 예측식의 값과 실제 값들의 차이를 계량화한 수식 적합도가 산출된다.

세부 모듈 수행이 끝나면 각 세부 모듈들이 도출한 수식에 대한 결정계수(1에 가까울수록 적합)를 기준으로 가장 적합한 수식 선정을 '최적 회귀식 또는 예측식 선정'에서 수행하게 된다. 이러한 과정을 다음 그림에 도시했다.

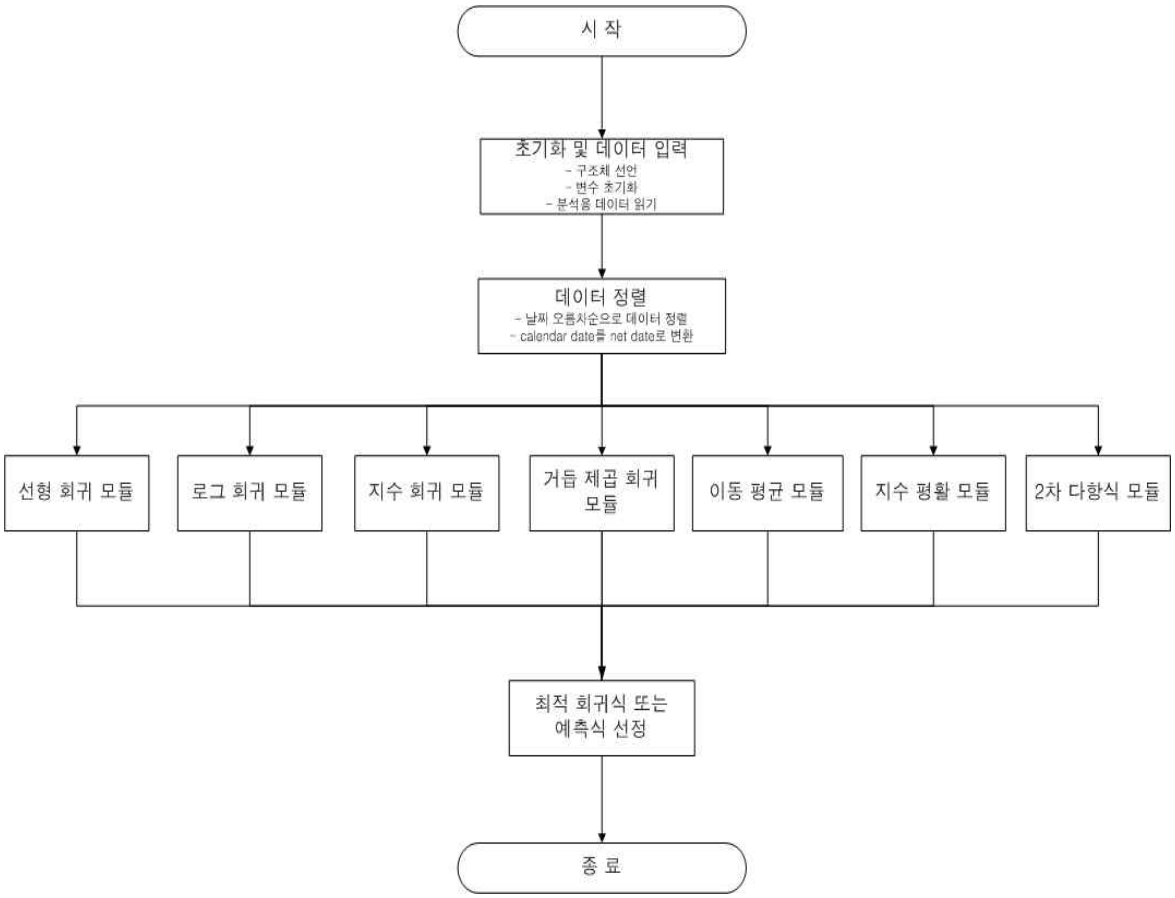



그림 149 추이 분석 엔진 flow chart

② 세부 모듈 구성 및 기능

세부 모듈은 선형 회귀, 로그 회귀, 지수 회귀, 거듭 제곱 회귀, 이동 평균, 지수 평활, 2차 다항식의 7개로 구성되어 있다. 각 세부 모듈에서는 '파라미터 추정'과 '이상 데이터 제거'가 반복적으로 수행된다. '파라미터 추정'에서는 입력된 데이터를 이용하여 세부 모듈별 수식에 적합한 파라미터를 추정한다.

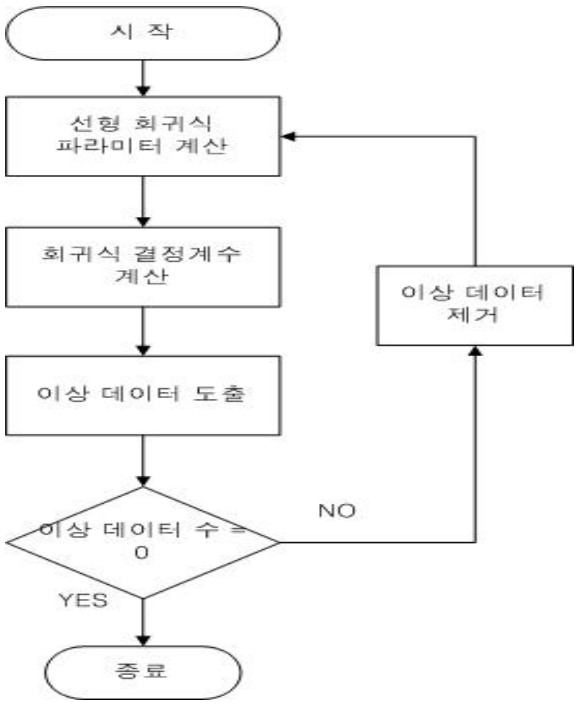



그림 150 단일 모델별 분석 흐름도

선형 회귀식에 필요한 파라미터(기울기 및 y 절편)를 추정한 후 회귀식의 적합도 계산을 위해 결정계수를 계산한다. 그 후 회귀식을 이용하여 설명하기 어려운 이상 데이터를 도출하고 이상 데이터가 발견될 경우 해당 데이터를 제거한 후 다시 회귀식 파라미터를 추정한다.

데이터가 등록되는 시점을 기준으로 과거에 누적된 모든 데이터를 대상으로 추이분석을 수행한다. 검측데이터가 지속적으로 누적됨에 따라 데이터 크기가 커져 연산 작업에 걸리는 시간이 증가하게 되는데 연산 작업 수행 시 발생하는 사용자 체감 대기시간을 감소시켜 사용자 편의성을 증대시킬 수 있다.

### (다) 분석모델의 정의

시설물의 상태추이에 영향을 주는 변수들은 시간의 흐름, 기온, 습도 등 시설물의 상태에 영향을 미치는 환경 변수들이 많다. 이러한 모든 환경 요인들을 모델에 적용하여 추이분석을 수행하는 것이 보다 정확한 추이모델을 추정 할 수 있으나 기존에 누적되어 있는 데이터에는 단순 시간 변수만이 기록되어 있어 본 연구에서는 시간만을 변수로 가정하여 추이분석을 수행했다.

추이분석에는 기본적으로 회귀분석(Regression Analysis)을 기본으로 분석모델을 선정하였다. 회귀분석이란 변수들 간의 관련성을 규명하기 위해 어떤 수학적 모형을 가정하고 이모형을 측정된 변수들의 자료로부터 추정하는 통계적 방법을 말한다. 분석모델은 총 7개의 모델을 선정하였으며 1차로 다섯 종류의 모델에 대해 개발을 완료 했다.

기본적인 다섯 개의 모델을 선택하여 추이분석 엔진을 통해 분석하도록 하였고 각 모델별로 별도의 모듈화를 통해 이후 신규 모델 추가가 용이하도록 시스템을 설계하였다. 아래 그림에는 이번 추이분석 엔진에 사용된 회귀모델과 개발 진행 사항을 나열했다.

**모델별 특성**

| 모델 | 수식 | 특징 |
|---|---|---|
| 1차 선형 | $y = ax + b$ | - 단순한 선형 데이터 집합과 함께 사용되는 가장 잘 맞는 직선<br>- 일반적으로 일정하게 증가하거나 감소하는 상태 |
| 2차 선형 | $y = ax^2 + bx + c$ | - 1차 선형회귀식의 직선과 달리 2차 곡선의 형태로 나타난다 |
| 지수 | $y = ae^{bx}$ | - 데이터가 음수나 0의 값을 가지면 사용할 수 없음<br>- 데이터 값이 아주 높은 비율로 증가하거나 감소할 때 유용한 곡선 |
| 로그 | $y = clnx + b$ | - 데이터의 변화율이 빠르게 증가, 감소한 후 일정한 값을 나타낼 때 사용<br>- 음수나 양수 값에 모두 사용될 수 있음 |
| 거듭제곱 | $y = ax^b$ | - 데이터가 음수나 0의 값을 가지면 사용할 수 없음<br>- 특정 비율로 증가하는 측정값을 비교하는 데이터 집합에 사용되는 곡선일 때 사용 |
| 이동평균 | $F_{t+1} = \frac{F_t + F_{t-1} + \cdots + F_{t-n+1}}{n}$ | - 과거의 극단적인 실측치에 크게 영향을 받으며, 자료의 불규칙 요인과 계절적 요인을 평활 한다 |
| 지수평활 | $F_{t+1} = F_t + \alpha(D_t - F_t)$<br>$(0 \le \alpha \le 1)$ | - 최근 실측치에 높은 가중치를 부여하고 과거자료를 이동할수록 그 가중치가 지수적으로 감소한다<br>- 현재기간까지의 수요량과 예측수요량의 평활화에 중점을 두고 있으며 미래의 추세는 고려하지 않는다 |

그림 151 추이분석 엔진 적용 모델

추이분석에 적용된 모델은 엔진 내부에서 별도의 모듈로 관리한다. 추후 모델의 추가적용을 용이하게 하기 위해 설계 단계에서부터 분석 모델에 대해 별도의 모듈로 관리하도록 했다.

### (라) 추이분석 엔진 개발

① 엔진 구성

추이분석 엔진의 개발은 검측데이터만을 대상으로 하지 않고 다양한 분야에 활용하기 위해 범용성을 높이도록 구현했다. 따라서 추이분석 엔진 자체로는 별도의 UI를 제공하지 않으며 분석 대상 데이터를 입력받아 연산 작업을 수행 한 후 분석 결과만을 제공한다. 시스템에서는 해당 결과를 전달받아 별도의 UI를 구성해 사용자에게 결과를 현시해 준다. 아래 그림은 추이분석 엔진의 구조를 표현한 그림이다.

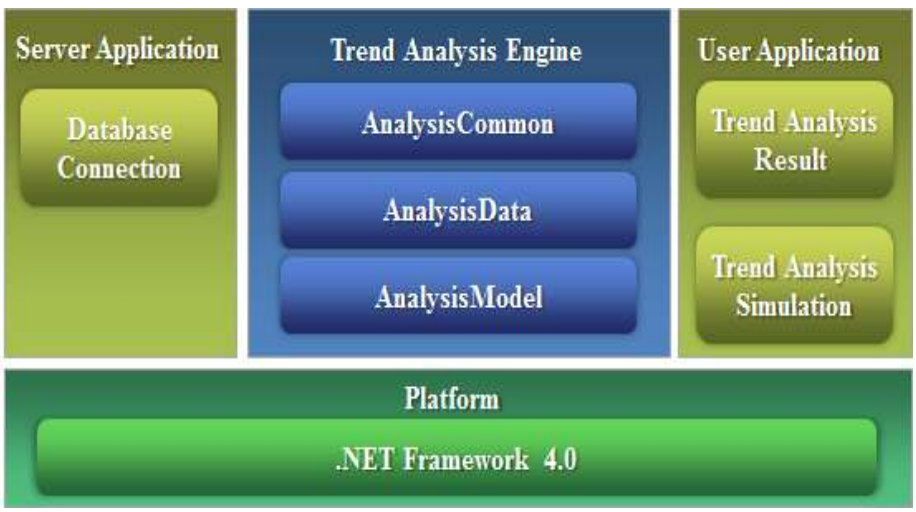



그림 152 추이분석 엔진 구조

- Analysis Common : 추이분석 엔진의 기본 항목 관리
- Analysis Data : 분석 대상 데이터의 관리
- Analysis Model : 분석 모델에 대한 정의와 연산로직 구성

② 사용자 GUI 구성

추이분석 엔진을 통해 도출된 결과물은 '자동화진단 운영시스템'의 별도 조회 화면에서 확인이 가능하도록 구성했다. 결과 화면에는 시설물 단위로 조회 가능하며 결과 화면에는 분석에 사용된 모든 추이분석 모델과 사용된 대푯값이 조회 가능하다. 또한 추이분석 엔진에서 계산된 최적의 모델을 사용자가 바로 확인 할 수 있도록 별도 색깔로 표시하였다. 최적 모델 외에도 계산된 모든 모델에 대해서는 분석 결과와 개별 모델에 대한 산점도와 추세선을 그래프로 제공해 사용자가 직관적으로 확인이 가능하도록 하였다.

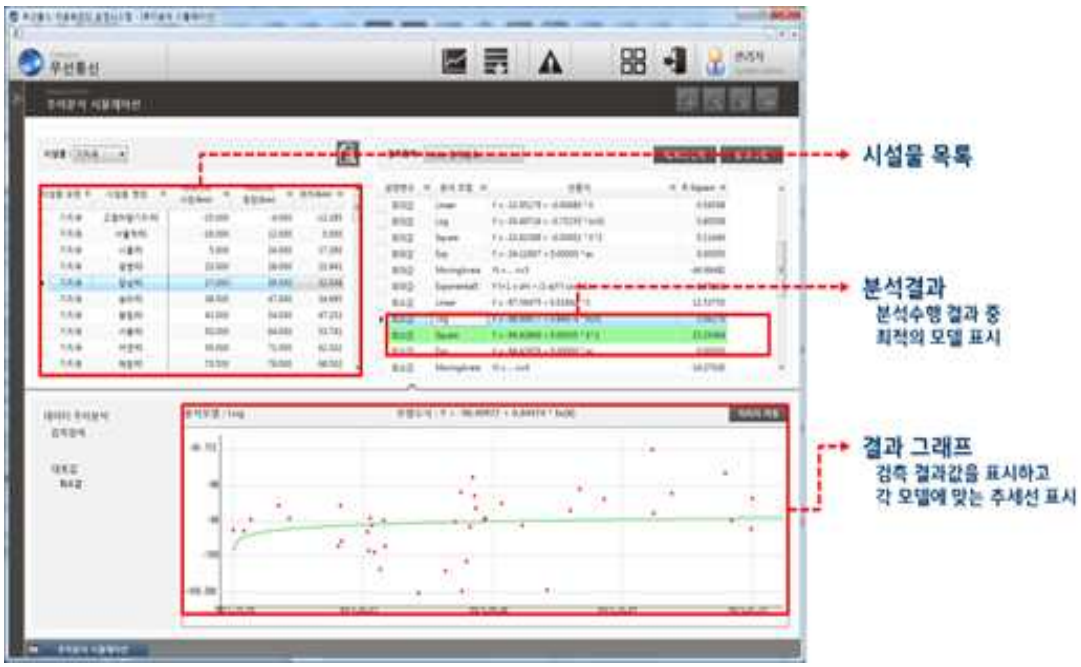



그림 153 사용자 GUI 구성화면

③ 결과 값의 비교

다수의 변수를 다양한 분석모델에 적용하여 나온 결과에 대해서는 각 모델간의 직접 비교가 불가능하기 때문에 이를 위해 결정계수를 사용한다. 결정계수는 시간의 흐름을 나타내는 독립변수 값과 검측 결과 치를 나타내는 반응변수 값 사이의 상관관계의 정도를 나타내는 상관계수(coefficient)를 제곱한 값이며 0부터 1까지의 값을 가진다. R2(R-Squared)로 표시하며 R2값이 1에 가까울수록 관측된 데이터와 추정된 모델식이 일치함을 나타내며 0에 가까울수록 상호 변수 간에 연관성이 없음을 나타낸다. 이 R2값을 통해 서로 다른 추정된 모델 식에 대한 적합도를 판별한다.

④ 추이분석 시뮬레이션

추이분석 엔진은 과거에 등록된 모든 데이터를 자동으로 참조하여 분석을 수행한다. 이에 따라 사용자 개입은 발생하지 않아 다양한 환경에서의 분석에 어려움을 겪을 수 있다.

이를 보완하기 위해 아래 그림과 같이 사용자가 분석대상 데이터와 대푯값을 직접 선택해 추이분석을 수행 할 수 있는 시뮬레이션 기능을 추가했다. 이를 활용하여 사용자는 월별 분석 또는 계절별 분석을 수행할 수 있어 보다 고도화된 분석을 수행 할 수 있다.

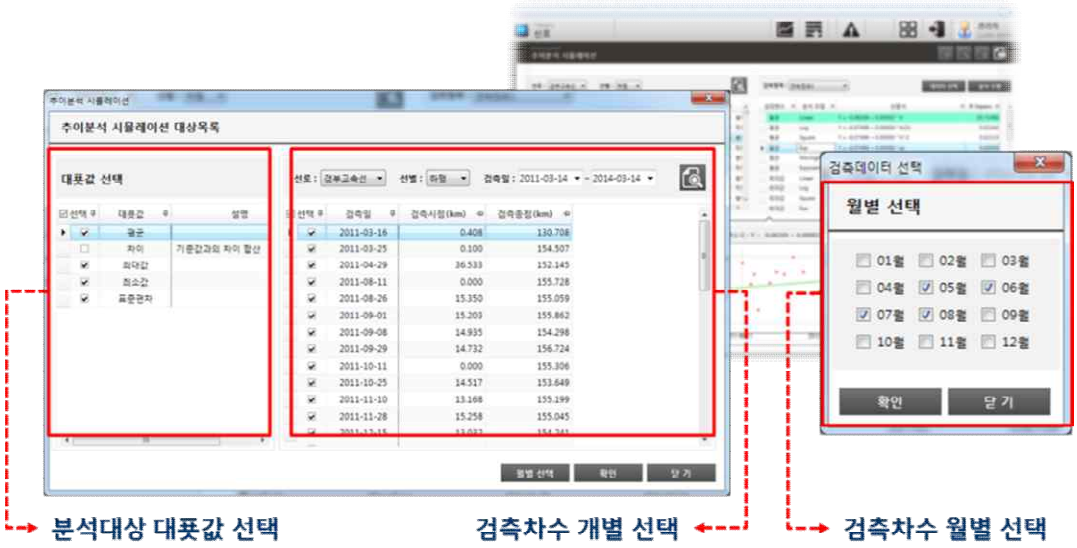



그림 154 추이분석 시뮬레이션

### (마) 추이분석 엔진 검증

개발된 추이분석 엔진의 정확성을 검증하기 위해 추이분석 엔진에서 계산한 결과와 타 프로그램에서 계산된 결과를 비교했다. 엑셀을 이용하여 결과 차트에 대한 정확성을 확인했고 R-Program을 이용하여 추이분석 엔진이 수행한 모델 수식에 대한 정확성을 확인했다.

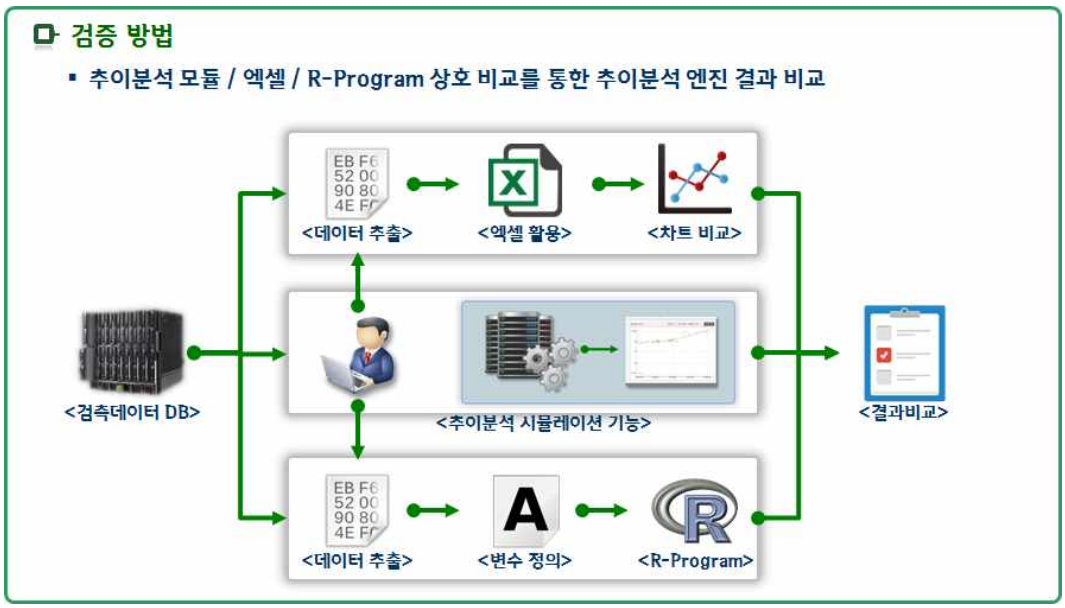



그림 155 추이분석 엔진 결과 검증절차

결과 비교를 위해 KTX-36호에서 검측한 무선통신 검측데이터를 활용했다. 서울에서 부산까지 경부고속선의 무선통신 기지국 측정 데이터의 샘플을 추출해 연산 결과를 검증하였고 아래 표와 같이 검증대상을 조합해 총 8개의 데이터 세트를 조합해 검증작업을 수행했다.

이를 통해 개발된 추이분석 엔진에 대한 정확도를 확인 가능했다.

표 122 추이분석 검증대상

| 검증대상 | Coverage(km) | 검측항목 | 대푯값 | 검측일 | 검측차수 |
|---|---|---|---|---|---|
| 광명 기지국 | 23~28 | Voice-전계강도<br>Data-전계강도 | 구간 평균<br>구간 최소값 | 2011.12.28.<br>~<br>2013.01.10. | 41회 |
| 울산기지국 | 357.392~373.342 | | | | 36회 |

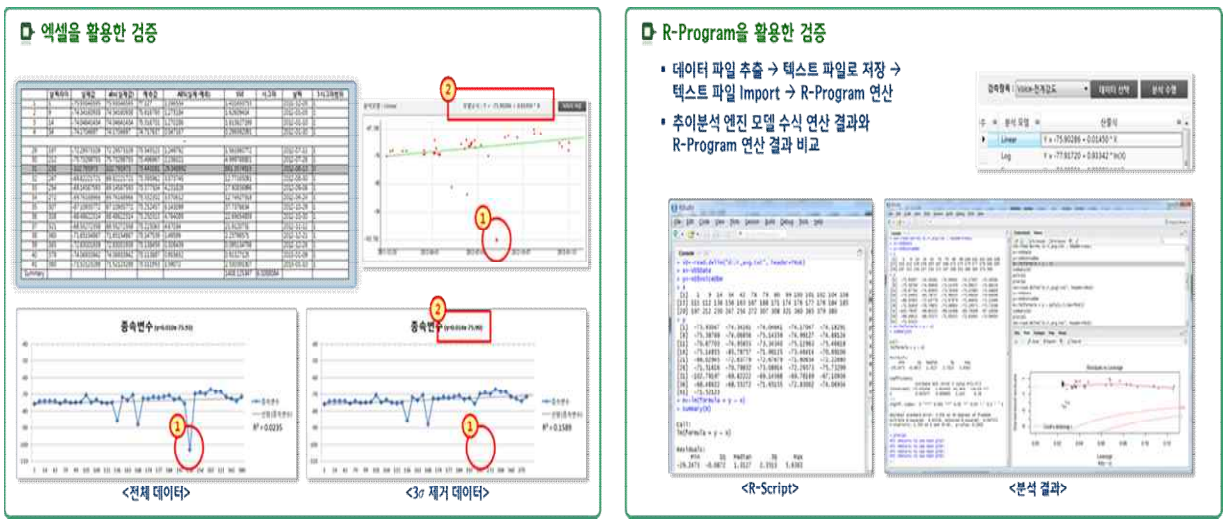



그림 156 추이분석 엔진 검증 과정

## 다. 실시간 전송시스템

### (1) 개요

본 연구를 통하여 개발된 실시간 전송시스템은 차상의 이상 검측데이터를 상용 무선통신망을 이용하여 지상의 관리서버로 전송하고 유관부서에 실시간 알람 메시지를 표시함으로써 신속한 조치를 수행할 수 있게 하는 시스템이다.

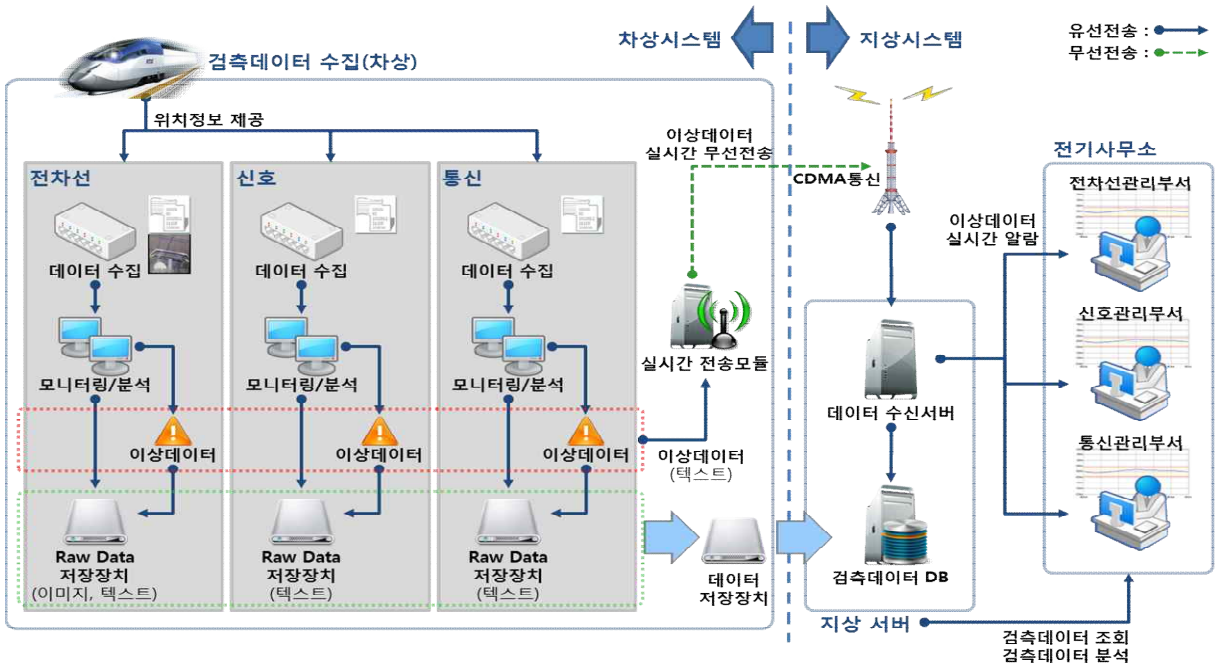



그림 157 자동화 운영시스템 전체 개념도

실시간 전송시스템은 크게 3개의 세부 모듈로 구성되며 각 모듈은 독립된 운영환경에 설치 운용되지만 유기적으로 연결되어 동작한다.

실시간 송신 모듈은 검측차 내에 설치된 실시간 차상서버에서 운영되며 실시간 이상데이터를 각 검측시스템으로부터 전달받아 무선통신망을 통하여 실시간 수신 모듈로 전달한다.

실시간 수신모듈은 지상의 실시간 수신서버에서 운영되며 차상의 실시간 송신모듈로부터 이상데이터를 수신하여 자동화 운영시스템 DB에 저장한다.

실시간 클라이언트 모듈은 검측데이터 관련 부서의 담당자 PC에 설치되어 운영되며 신규 실시간 이상데이터가 발견되면 즉시 이를 실시간 알람메세지 형태로 화면에 표출하여 담당자로 하여금 이에 대한 조치를 신속하게 취할 수 있도록 한다.

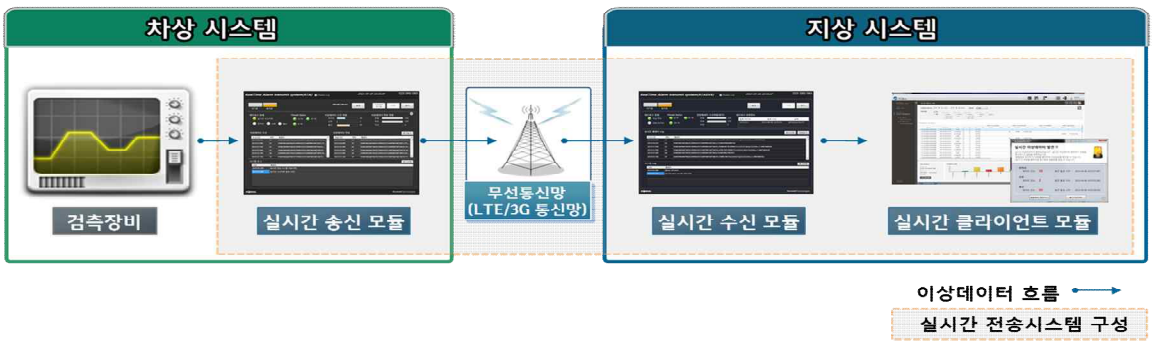



그림 158 실시간 전송시스템 연결흐름

(2) 기술조사

프랑스의 SNCF에서 운영 중인 IRIS 320의 경우 궤도, 전차선, 통신, 신호등 다양한 분야에서 방대한 양의 검측데이터를 수집하고 있었다. 검측차량이 운행하면서 다양한 데이터를 수집함과 동시에 실시간 자동화 진단을 수행하고 있다. 수집된 모든 검측데이터는 차량 정차시에 지상 서버로 전송하는데 이는 사후 분석 및 추가 정밀분석 작업을 지상에서 수행하기 위함이다.

한 가지 특징적인 것은 실시간 자동화 진단을 통해 추출된 Critical Alarms를 2세대 통신의 진화형인 GPRS 방식을 통해 실시간으로 지상의 SNCF 지역 사무소로 전송 한다는 것이다. 이는 자동화진단에서 검출된 이상 데이터를 지상으로 바로 송신할 필요성과 이를 유지보수 담당자가 바로 현장에서 확인 할 필요성을 나타내는 부분이다.

실시간 전송의 대상이 되는 데이터는 차상의 자동화 진단을 통해 검출된 이상데이터를 대상으로 한다. 검측된 전체 데이터를 전송하는 방식은 통신의 과도한 트래픽을 발생하게 되며 현실적으로도 현장의 유지보수 담당자에게는 불필요한 정보들이다. 보다 체계적인 데이터의 분석은 전체 검측이 종료된 후에 이루지는 것이 올바른 방향이다.

대신 자동화 진단을 통해 검출된 이상 데이터는 검출과 동시에 실시간으로 지상 운영자에게 전송하여 현장 담당자가 즉각적으로 확인 할 수 있도록 제공하는 것이 업무의 효율성을 위하여 보다 올바른 방향이다.

이를 통해 현장 작업자는 제공된 개소에 대한 현장파악을 우선으로 하여 열차의 안전운행에 위협을 가할 수 있는 요소들을 사전에 제거할 수 있도록 데이터를 제공한다.

표 123 국내 검측시스템 비교

| | KTX-36호 | ROGER-1000K (철도공사) | ROGER-600 (서울메트로) | 전철시험차 | **R&D 과제** |
|---|---|---|---|---|---|
| 데이터 형태 | 고유파일 | 고유파일 엑셀전환 | 고유파일 엑셀전환 | 고유파일 엑셀전환 | **표준포맷으로 변환** |
| 데이터 보관 | 개인 PC에 파일형태로 보관 | 개인 PC에 파일형태로 보관 | 공유 PC에 파일형태로 보관 | 개인 PC에 파일형태로 보관 | **통합 DB로 관리** |
| 데이터 뷰어 | 전용프로그램 | 전용프로그램 | 전용프로그램 | 전용프로그램 | **전용프로그램** |
| 실시간 전송 | × | × | × | × | ○ |

표 124 국외 검측시스템 비교

| | 프랑스 IRIS 320 | 일본 east i | 이탈리아 MERMEC社 | **R&D 과제** |
|---|---|---|---|---|
| 실시간 전송 | ○ | × | - | ○ |
| 데이터 추이분석 | ○ | × | ○ | ○ |
| 상태진단 평가 | - | × | ○ | ○ |
| 데이터 현시 | ○ | ○ | ○ | ○ |

### (3) 시스템 개념설계

실시간 전송시스템은 고속철도 350km/h이상 운행속도에서 전차선/신호/통신 설비에서 검측된 이상 데이터를 유지보수 소속으로 실시간으로 전송할 수 있는 시스템구축을 목표로 하고 있다.

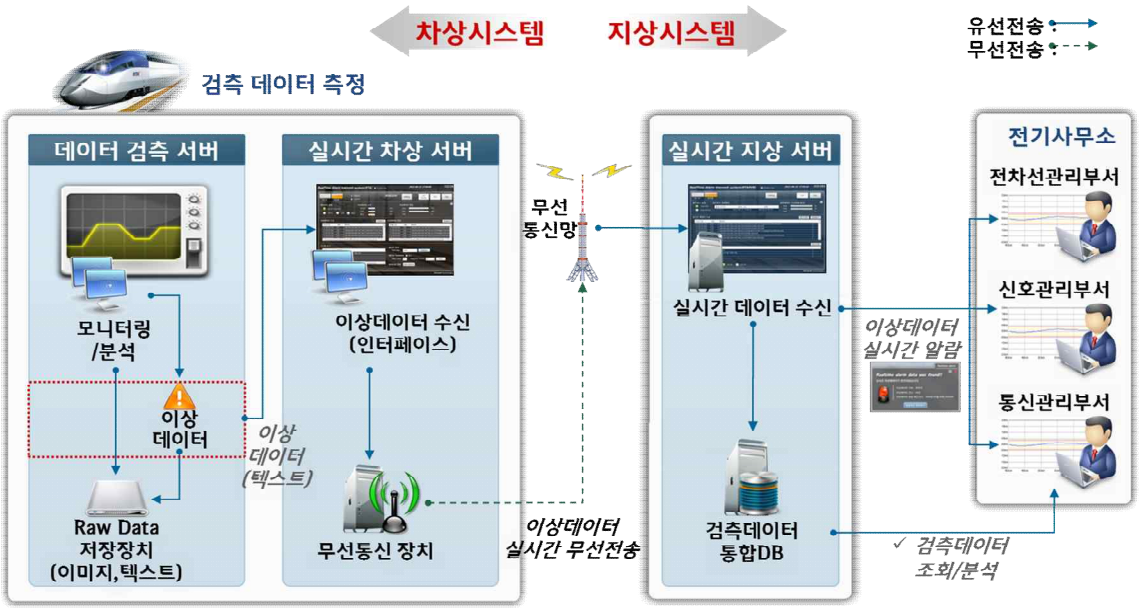



그림 159 실시간 전송시스템 구성도

위 그림은 실시간 전송시스템의 구성도를 나타낸 것이며 검측장치에서 검측도중 이상데이터가 발견되면 차상의 실시간 송신 서버로 전달하고 이는 지상의 실시간 수신서버로 전달되어 최종적으로 유관부서에 이상데이터 정보를 전달하는 역할을 담당하고 있다. 이 때 지상의 실시간 수신서버로 이상데이터를 전송할 때 상용 무선통신망을 이용하는 것이 본 시스템의 특징이라고 할 수 있다.

#### (가) 실시간 전송시스템 기능 정의 및 사항

완성도 높은 실시간 전송시스템 구축을 위해서 정의 및 요구되는 사항은 다음과 같다.

○ 검측데이터 유형별 위험수준 정의

각각의 검측데이터별로 한계값을 정의하기 위해 현업과 지속적인 협력과 꾸준한 시험 및 협의를 수행해야 한다. 이는 이상개소로 정의된 특정값 이상의 값은 물론이고 검측값 중 포함되어 있는 신호상의 노이즈 역시 필터링 대상이 되며, 이를 기준으로 검측 하는 데이터의 한계값을 정의하여 이상개소를 판정, 실시간으로 전송하는 기준으로 정의한다.

○ 검측데이터 및 실시간 이상데이터 관리

각 분야의 검측장치에서 수집된 검측데이터는 1차적으로 차량에 설치되어 있는 수집장치에 저장된다. 검측된 모든 데이터를 실시간으로 전송하는 것은 현실적으로 비용과 기술적인 면에서 상당한 무리가 따르므로 이상개소만을 필터링 해서 무선 네트워크를 사용하여 실시간으로 전송하게 된다. 전송된 이상개소는 사용자에게 실시간으로 알람을 발생시켜 즉각적인 조치를 취할 수 있도록 하며, 검측된 전체 데이터는 검측이 종료된 후 시스템에 일괄 등록하는 절차를 거치도록 한다.

○ 검측장치와 인터페이스 안정성

데이터 수집장치에서 실시간으로 제공되는 검측값을 받아 분석이 가능한 형태의 코드로 변환하는 데이터 가공모듈이 존재하는데 실시간으로 대량의 데이터가 입력되기 때문에 데이터 가공과정에서 지연이 발생하게 되면 시스템의 부하발생으로 인해 데이터가 정상적으로 처리되지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

따라서 고속으로 데이터를 가공할 수 있도록 하는 고속 데이터 가공(연산) 기술에 대한 검증이 필요하며, 데이터 수집장치로부터 입력되는 데이터에 대한 데이터 유실에 대한 검증도 병행해야 한다.

○ 실시간 이상 데이터 무선전송 안정성

무선전송의 특성상 환경에 의한 노이즈 및 데이터 손실을 최소화 하는 것이 시스템의 안정성 측면에서 매우 중요한 요소이지만 본 시스템에서는 무선 송수신 데이터 처리 모듈이 해당 분야이므로 송수신된 데이터에 대한 비교를 통해 데이터의 무결성 검증작업이 필요하다.

### (나) 무선통신장치

자동화진단 및 전송기술 개발범위에서 무선통신장치는 차상에서 감지된 이상데이터를 실시간으로 지상서버로 전송하는 역할을 담당한다. 별도의 데이터측정 및 분석 기능 등을 제공하는 것이 아닌 전송할 데이터를 안정적으로 지상서버로 전달하는 기능이 핵심이라고 할 수 있다.

본 연구과제에서는 이들 통신방식 중 한 가지 방식을 채택하여 시스템 설계 및 개발을 진행해야 하기에 다음과 같은 몇 가지 기준에 가장 부합되는 통신방식을 선정하였다.

- 고속이동 환경에서 안정적인 통신이 가능해야 한다.
- 표준화된 기술을 기반으로 시스템의 확장성 및 보수성이 확보되어야 한다.
- 시스템 개발을 위한 기술지원이 가능해야 한다.
- 통신망 운용에 따른 비용이 적절한 수준이어야 한다.
- 유사 연구사례를 통해 검증된 통신방식을 활용한다.

TRS 통신방식은 철도공사 자체 망을 이용할 수 있기 때문에 별도의 비용이 발생하지 않으며 보안성이 우수하고 유사시에서 안정적으로 사용이 가능하다는 장점이 있지만 데이터 전송 효율성이 떨어지고 데이터 통신을 위한 장비를 제작하기 위한 통신 프로토콜이 오픈되지 않아 데이터 통신을 위한 기술지원이 현실적으로 거의 불가능한 단점이 있다.

또한 국가 기간망과 혼선이 발생할 수 있다는 문제점이 발생하여 TRS 통신방식은 선정대상에서 제외되었다. 본과제의 2차년도 즈음에 이러한 기준을 가지고 앞에서 살펴본 통신방식을 비교한 결과 본 연구과제에 가장 적합한 통신방식으로 CDMA 통신 방식을 선정하였다.

하지만 과제를 진행하면서 국내 무선통신시장이 LTE 통신망을 상용화하기 시작하였으며 이후 시장의 무선통신 사업이 급격히 LTE 통신망으로 이동하게 됨에 따라 본 과제 역시 이러한 흐름을 따라서 LTE 통신망을 최종 통신 방식으로 변경하게 되었다.

### (4) 시스템 상세설계

실시간 전송시스템의 개념설계단계를 기본으로 하여 각 세부기능에 대한 상세 설계를 진행하였다.

#### (가) 기능구조도 설계

실시간 전송시스템은 크게 3가지 모듈로 구성된다. 차상에서 검측장비로부터 이상데이터를 수집, 지상으로 데이터를 전송하는 차상모듈(실시간 송신 모듈 / RTA)과 지상에서 실시간 전송데이터를 수신, 관리하는 지상모듈(실시간 수신 모듈 / RTASVR), 마지막으로 실시간 데이터가 존재할 경우 관리자에게 알람을 발생시키는 사용자알람모듈 (실시간 클라이언트 모듈 / RTACL)이다

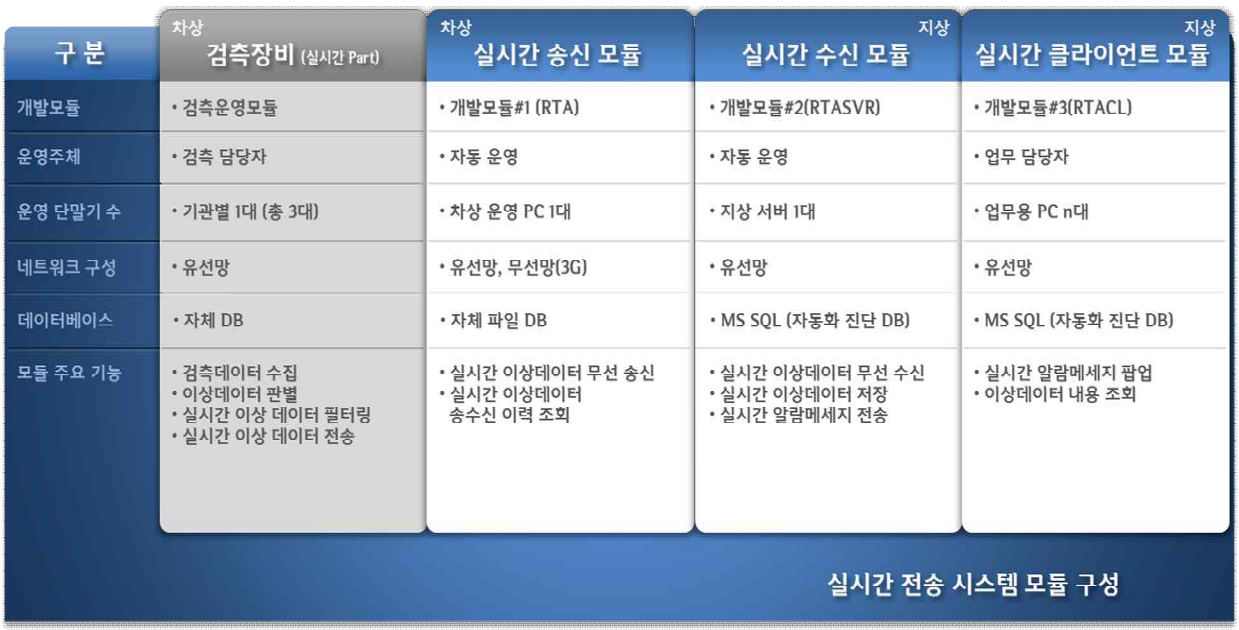



그림 160 실시간 전송시스템 모듈 구성

이렇게 구성된 각 모별 기능은 다음과 같다.

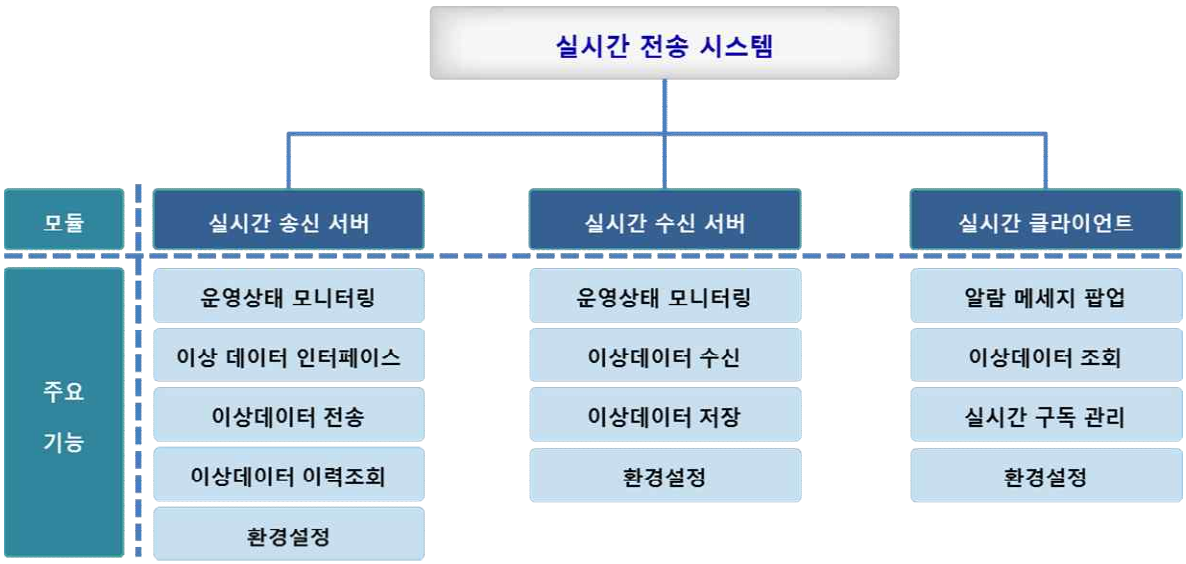



그림 161 실시간 전송시스템 모듈별 주요 기능

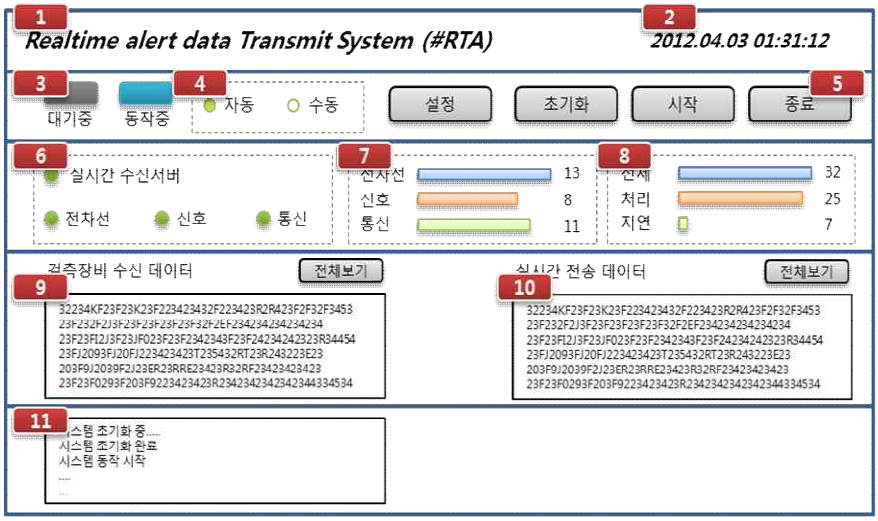
표 125 실시간 전송시스템 기능 리스트

| 모 듈 | 기능 리스트 |
|---|---|
| 실시간<br>송신 서버 | 운영상태 모니터링 (동작 상태)<br>실시간 이상 데이터 인터페이스 (with 검측장비)<br>실시간 이상 데이터 전송 (with 지상서버)<br>실시간 이상 데이터 이력 조회 / 출력<br>시스템 설정 기능 (실시간 송수신 연결정보 및 기타 설정 값) |
| 실시간<br>수신 서버 | 운영상태 모니터링 (동작 상태)<br>실시간 이상 데이터 수신 (with 차상서버)<br>실시간 이상 데이터 저장 (DB)<br>시스템 설정 기능 (실시간 송수신 연결정보 및 기타 설정 값) |
| 실시간<br>클라이언트 | 실시간 알람메세지 팝업<br>실시간 알람 내용 조회<br>실시간 알람메세지 수신자 관리<br>실시간 알람 메시지 수신 체크<br>시스템 설정 기능 (실시간 송수신 연결정보 및 기타 설정 값) |

### (나) GUI 설계

① 실시간 송신 모듈

실시간 송신 모듈의 메인화면 GUI 구성이다. 시스템 동작 기능버튼과 송수신 데이터 현황을 비롯하여 각종 통신연결 상태를 표시하는 디스플레이부로 구성되어 있다.

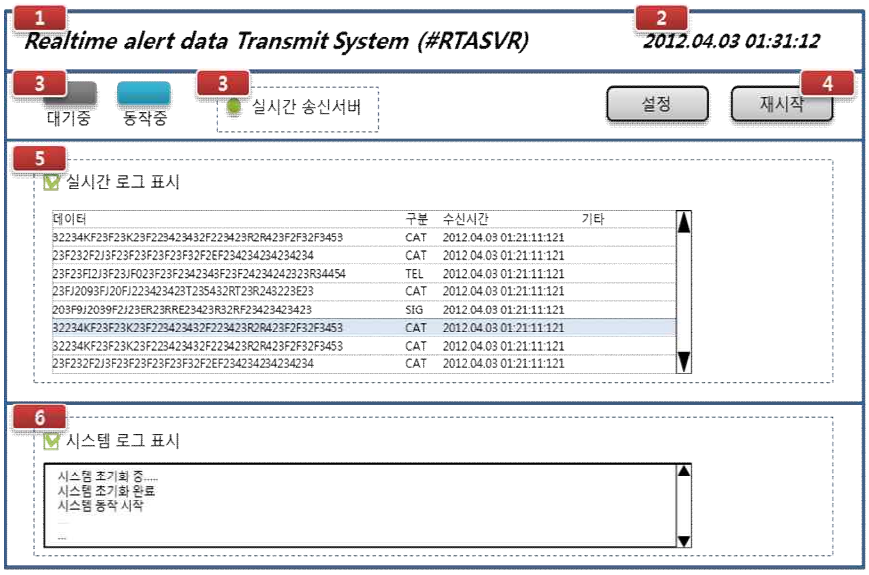



| 번호 | 내용 |
|---|---|
| 1 | 시스템 Title Bar |
| 2 | 현재시간 |
| 3 | 시스템 동작 상태 |
| 4 | 데이터 전송 모드 |
| 5 | 기능 버튼 |
| 6 | 네트워크 연결 상태 |
| 7 | 데이터 수신정보 |
| 8 | 데이터 처리정보 |
| 9 | 데이터 수신 로그 |
| 10 | 데이터 전송 로그 |
| 11 | 시스템 로그 |
| 12 | |
| 13 | |
| 14 | |
| 15 | |

그림 162 실시간 송신 모듈

② 실시간 수신 모듈

실시간 수신 모듈의 메인화면 GUI 구성이다. 시스템 동작 기능버튼과 수신 데이터 현황을 비롯하여 각종 통신연결 상태를 표시하는 디스플레이부로 구성되어 있다.



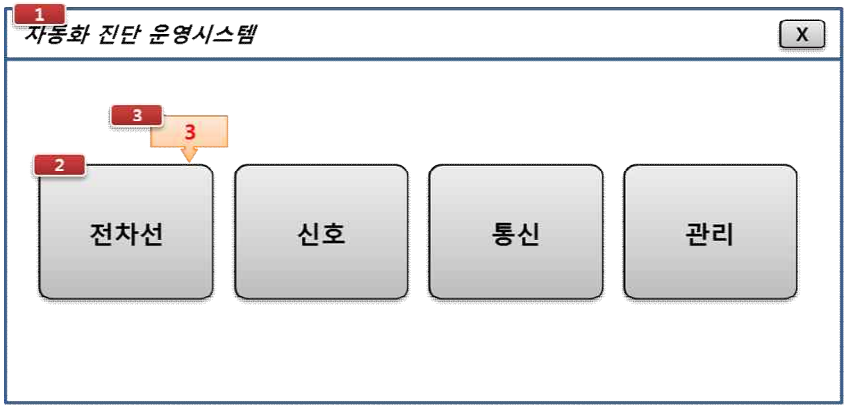

| 번호 | 내용 |
|---|---|
| 1 | 시스템 Title Bar |
| 2 | 현재시간 |
| 3 | 시스템 동작 상태 |
| 4 | 데이터 전송 모드 |
| 5 | 기능 버튼 |
| 6 | 네트워크 연결 상태 |
| 7 | 데이터 수신정보 |
| 8 | 데이터 처리정보 |
| 9 | 데이터 수신 로그 |
| 10 | 데이터 전송 로그 |
| 11 | 시스템 로그 |
| 12 | |
| 13 | |
| 14 | |
| 15 | |

그림 163 실시간 수신 모듈

③ 실시간 클라이언트 모듈

실시간 클라이언트는 모듈은 자동화진단 운영시스템 내에 모듈형태로 존재한다. 자동화진단 운영시스템에는 각 분야별 기능화면으로 진입할 수 있는 런처가 제공되는데 실시간 이상

데이터 발생 시 이를 통해 화면에 알람메세지를 팝업 하도록 구성하였다.




| 번호 | 내용 |
|---|---|
| 1 | 시스템 Title Bar |
| 2 | 관리프로그램 실행버튼 |
| 3 | 실시간 알람 건수 표시 |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |
| 11 | |
| 12 | |
| 13 | |
| 14 | |
| 15 | |

그림 164 실시간 클라이언트 모듈-알람메세지 팝업화면(자동화진단 운영시스템內)

### (다) 실시간 이상데이터 차상 인터페이스

실시간 송신 모듈은 각 검측장비에서 이상데이터를 수집하여 지상으로 전송하게 된다. 각 검측장비로부터 이상데이터를 수집하기 위해서는 각 장비와 인터페이스를 통해 데이터를 수신해야한다. 이를 위해 데이터통신을 위한 인터페이스 방법과 메시지 규약을 정의하였다.

① 인터페이스 대상정보

전차선/신호/무선통신 분야와 인터페이스 할 대상목록을 정의한다.

표 126 실시간 전송 인터페이스 대상목록

| 구분 | 검측항목 | |
|---|---|---|
| 전차선 | 전차선 동적 높이/편위 | 전차선 편위 |
| | | 전차선 높이 |
| | 전차선 영상검측 시스템 | 아크지속시간 / 전류 |
| | 전차선 과하중지점 검측시스템 | 접촉력 |
| | 전차선로 열화상 검측시스템 | 시설물 온도 |
| 신호 | 연속정보 | |
| | 불연속정보 | |
| | 보상콘덴서 | |
| | ETCS 발리스 정보 | |
| 무선통신 | ASTRO/TETRA Voice | 전계강도 |
| | | 주파수 편차 |
| | ASTRO/TETRA Data | 전계강도 |
| | | BER |
| | 불요파 | |

② 인터페이스 사양

표 127 실시간 전송 인터페이스 Link Layer

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 전송 방식 | Full Duplex |
| 통신 속도 | 10/100Mbps |
| 통신 방식 | TCP/IP |
| 접속 방식 | Server : 실시간 전송시스템 차상 운영장치<br>Client : 전차선/신호/무선통신 종합처리장치 |
| Socket Type | Socket Stream |
| 에러 검사 | CRC-16 (2 Bytes) |

③ 메시지 정의

**실시간 전송시스템 인터페이스 정의**

| 기관 | 분류 | Header [1B] | Body | | | | | | | | | | | Footer [2B] | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Seq. [1B] | Cnt. [1B] | MsgType [1B] | Data [0~250B] | | | | | | | | | |
| ZiSys | 동적 높이/편위 | 0x01 | Seq. [1B] | 0x22 | 0x10 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 전차선높이[4B] | | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 39B |
| | | 0x01 | " | 0x22 | 0x11 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 전차선편위[4B] | | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 39B |
| | 영상 검측(아크) | 0x01 | " | 0x26 | 0x12 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 지속시간[4B] | 전류[4B] | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 43B |
| | 과하중지점 검측 | 0x01 | " | 0x22 | 0x15 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 접촉력[4B] | | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 39B |
| | 전차선로 열화상 검측 | 0x01 | " | 0x22 | 0x17 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 온도[4B] | | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 39B |
| Techville | 연속정보 | 0x01 | " | 0x24 | 0x40 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 궤도명[2B] | Spare [4B] | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 41B |
| | 불연속정보 | 0x01 | " | 0x24 | 0x41 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 궤도명[2B] | Spare [4B] | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 41B |
| | 보상 콘덴서 | 0x01 | " | 0x24 | 0x42 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 궤도명[2B] | Spare [4B] | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 41B |
| | ETCS발리스정보 | 0x01 | " | 0x22 | 0x43 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | Spare [4B] | | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 39B |
| Signal | ASTRO Voice | 0x01 | " | 0x4B | 0x70 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 채널[1B] | 전계강도[4B] | 기지국[40B] | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 80B |
| | | 0x01 | " | 0x4B | 0x71 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 채널[1B] | 주파수편차[4B] | 기지국[40B] | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 80B |
| | ASTRO Data | 0x01 | " | 0x4A | 0x73 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 전계강도[4B] | | 기지국[40B] | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 79B |
| | | 0x01 | " | 0x4A | 0x74 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | BER[4B] | | 기지국[40B] | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 79B |
| | TETRA Voice | 0x01 | " | 0x4B | 0x75 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 채널[1B] | 전계강도[4B] | 기지국[40B] | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 80B |
| | | 0x01 | " | 0x4B | 0x76 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 채널[1B] | 주파수편차[4B] | 기지국[40B] | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 80B |
| | TETRA Data | 0x01 | " | 0x4A | 0x78 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 전계강도[4B] | | 기지국[40B] | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 79B |
| | | 0x01 | " | 0x4A | 0x79 | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | BER[4B] | | 기지국[40B] | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 79B |
| | 불요파 | 0x01 | " | 0x26 | 0x7A | 검측ID[8B] | RawID[4B] | 선로[4B] | 방향[4B] | 위치값[8B] | 전계강도[4B] | 측정주파수[4B] | | 에러코드[1B] | CRC-16 (Low,High) | 43B |
| 공통 | ACK | 0x01 | " | 0x01 | 0xA0 | | | | | | | | | | CRC-16 (Low,High) | 6B |
| | NACK | 0x01 | " | 0x01 | 0xA1 | | | | | | | | | | CRC-16 (Low,High) | 6B |
| | 상태Check요청 | 0x01 | " | 0x01 | 0xA2 | | | | | | | | | | CRC-16 (Low,High) | 6B |
| | 상태Check응답 | 0x01 | " | 0x01 | 0xA3 | | | | | | | | | | CRC-16 (Low,High) | 6B |

그림 165 실시간 이상데이터 인터페이스 규약

### (라) 실시간 이상데이터 지상 인터페이스

실시간 이상데이터를 지상의 실시간 수신 모듈로 전달하는 단계를 지상 인터페이스라 하며 이 때 사용하는 메시지 규약은 차상 인터페이스 방식과 동일하다. 단, 지상의 실시간 수신 모듈로 데이터를 전송하기 위한 통신방식으로 상용 무선통신망을 이용하기에 보안에 대한 문제가 야기될 수 있다. 메시지 프로토콜만 정확히 이해하면 제 3자에 의한 도감청이 얼마든지 가능하다는 것이다.

이러한 보안성 문제를 해결하기 위해 지상 인터페이스에서는 추가적으로 AES(Advanced Encryption Standard) 알고리듬을 이용해 전송데이터를 암호화 하여 전송하는 방식을 사용하고 있다.

### (5) 시제품 제작

#### (가) 시스템 구성

실시간 전송시스템은 상세설계 내용과 같이 3개 모듈로 구성되었다. 각 모듈은 별도의 프로그램 단위형태로 각각 다른 PC에서 동작하며 네트워크 통신을 통해 유기적으로 동작한다.




그림 166 실시간 전송시스템 모듈 구성

#### (나) 실시간 송신 모듈

실시간 송신 모듈은 검측차량의 실시간 차상서버에 탑재되어 운영된다. 각 분야의 검측시스템이 동작하기 전에 실시간 송신 모듈은 가동상태로 되어있어야 한다.

동작 버튼을 통해 시스템 동작을 제어할 수 있으며 상태표시 부에서는 각종 연결상태 및 데이터 수집 / 전송 상태를 표시한다. 검측장비로부터 수집되는 이상데이터와 무선 통신을 통해 전송되는 데이터정보도 같이 표시할 수 있다.

하단의 디버깅 도구는 개발단계에서 시스템 동작 파라미터를 변경할 수 있도록 하여 시스템 성능 개선을 위한 부분이다.

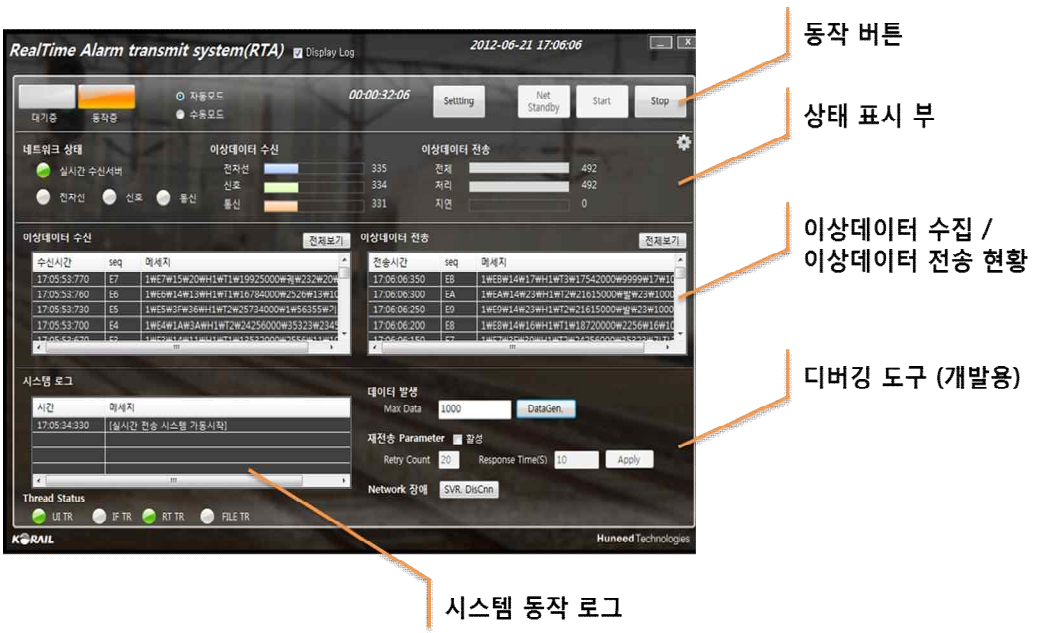



그림 167 실시간 송신 모듈

### (다) 실시간 수신 모듈

실시간 수신모듈은 지상의 실시간 지상서버에 탑재되어 운영된다. 차상의 실시간 송신 모듈에서 이상데이터를 전달받기 위해서는 실시간 수신모듈은 가동상태로 되어있어야 한다.

동작 버튼을 통해 시스템 동작을 제어할 수 있으며 상태표시 부에서는 각종 연결상태 및 이상데이터 수신 상태를 표시한다. 차상의 실시간 송신 서버로 부터 전송되는 데이터정보도 같이 표시할 수 있다. 하단의 시스템 동작 로그에서는 동작상태 정보를 표시한다.




그림 168 실시간 수신 모듈

### (라) 실시간 클라이언트 모듈

실시간 클라이언트 모듈은 자동화진단 운영시스템의 세부 모듈형태로 존재한다. 자동화진단 운영시스템 Launcher모듈에서 실시간 이상데이터가 감지되면 알람 메시지화면을 팝업 시킨다. 팝업 화면에는 이상 데이터 종류, 발생시간, 이상데이터 내용 등 정보를 표시한다. 이상데이터에 대한 상세화면은 하단의 버튼을 통해 조회할 수 있다.

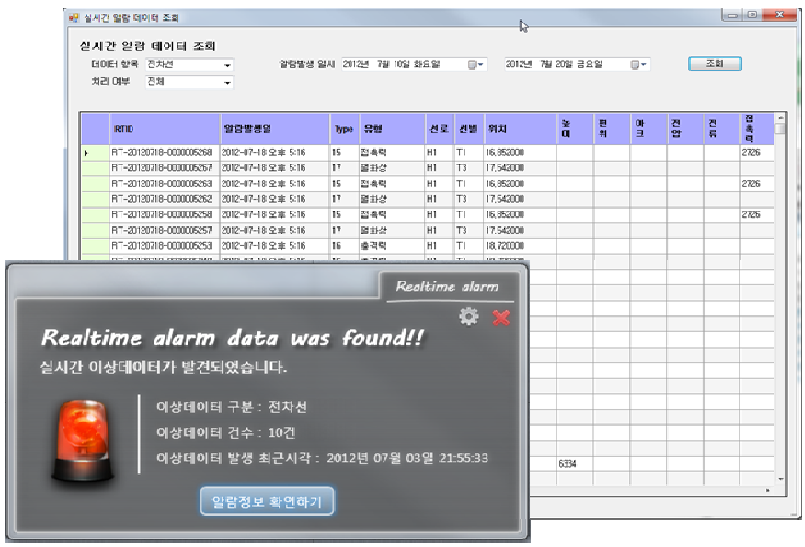



그림 169 실시간 클라이언트 모듈

### (6) 개발품 제작

#### (가) 시스템 구성

실시간 전송시스템의 시제품 제작내용을 바탕으로 시스템 성능개선, GUI 개선, 추가 기능 개발 및 사용자 의견 수렴 등을 통하여 개발품 제작을 수행하였다.

표 128 실시간 전송시스템 모듈 구성

| 모듈명 | 모듈 주요 화면 | 주요기능 |
|---|---|---|
| 실시간<br>송신 모듈<br>(RTA) |  | ▪ 검측장비 데이터 인터페이스<br>▪ 무선통신망을 이용한 데이터 전송<br>▪ 데이터 전송현황 모니터링<br>▪ 이상 데이터 수집 / 전송 Log 관리<br>▪ 전송 데이터 암호화 |
| 실시간<br>수신 모듈<br>(RTASVR) |  | ▪ 이상 데이터 수신<br>▪ 데이터 수신현황 모니터<br>▪ 이상 데이터 통합 데이터베이스 저장<br>▪ 수신 데이터 필터링 (중복제거)<br>▪ 수신 데이터 복호화 |
| 실시간<br>클라이언트 모듈<br>(RTACL) |  | ▪ 실시간 알람 메시지 표시<br>▪ 수신된 이상 데이터 조회<br>▪ 이상 데이터 수신 이력 관리<br>▪ 이상 데이터 구독 관리 |

#### (나) 실시간 송신 모듈

① 메인화면

실시간 송신 모듈의 메인 화면이다. 시제품 개발내용을 기반으로 사용자 편의기능 구현 및 처리성능 개선 등의 보완작업을 통해 개발품 제작이 진행되었다.

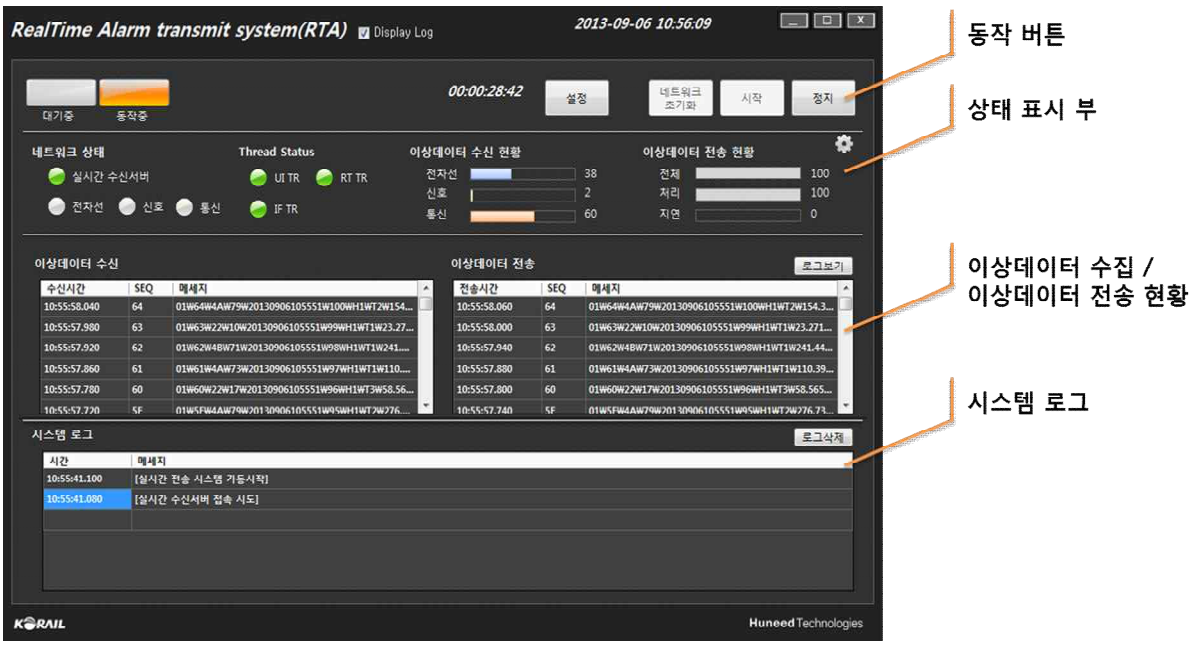



그림 170 실시간 송신 모듈 - 메인 화면

상단의 동작 버튼을 통해 시스템 동작을 제어할 수 있으며 상태표시 부에서는 각종 연결 상태 및 데이터 수집 / 전송 상태를 표시한다. 검측장비로부터 수집되는 이상데이터와 무선통신을 통해 전송되는 데이터정보도 같이 표시할 수 있다. 각 검측장치로부터 수신되는 이상데이터와 실시간 수신 모듈로 전송하는 이상데이터를 간단하게 확인할 수 있다.

② 데이터 전송 로그

차상의 실시간 송신 모듈에서 지상의 실시간 수신 모듈로 이상데이터를 전송한 결과를 표시한다. 고속 이동 중 상용 무선통신망을 이용하여 이상데이터를 전송하기 때문에 네트워크가 불안정한 경우 데이터 재전송이 이루어지며 이 화면에서 데이터 전송현황을 확인할 수 있다.

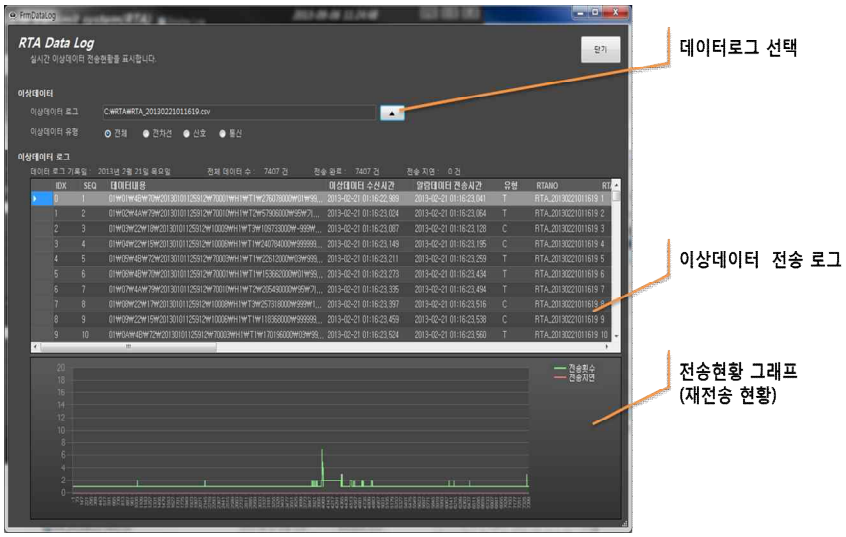



그림 171 실시간 송신 모듈 - 데이터전송 로그 화면

③ 환경설정

실시간 전송을 위한 각종 환경설정 화면이다. 각 검측분야의 검측장비 및 실시간 수신 모듈과 데이터통신을 위한 네트워크 정보 및 기타 시스템 동작과 관련 내용을 설정/관리한다.

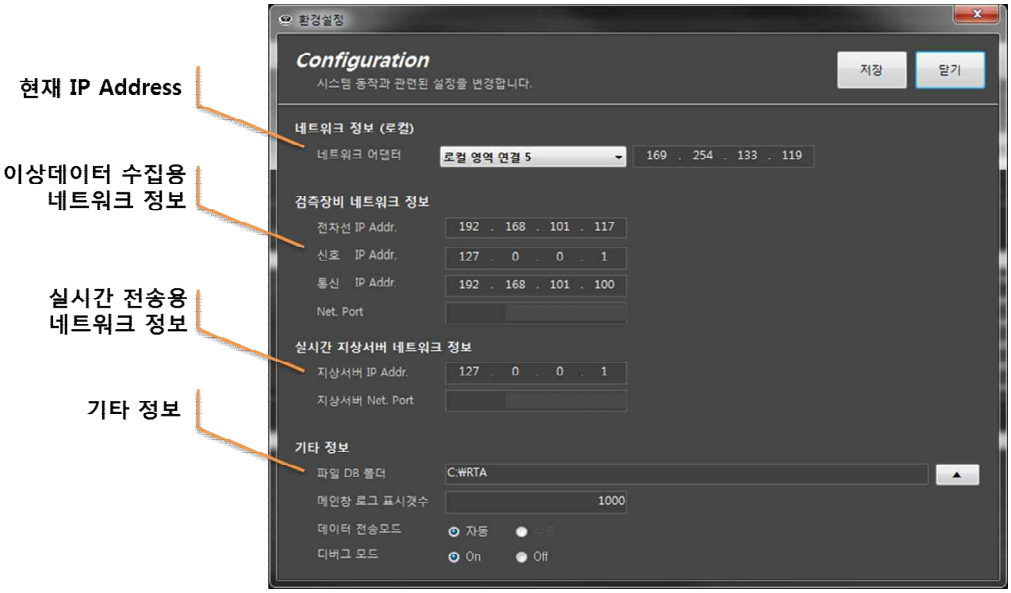



그림 172 실시간 송신 모듈 - 환경설정 화면

## (다) 실시간 수신 모듈

① 메인화면

실시간 수신 모듈의 메인 화면이다. 시제품 개발내용을 기반으로 사용자 편의기능 구현 및 처리성능 개선 등의 보완작업을 통해 개발품 제작이 진행되었다.




그림 173 실시간 수신 모듈 - 메인 화면

상단의 동작 버튼을 통해 시스템 동작을 제어할 수 있으며 상태표시 부에서는 실시간 송신 모듈과의 연결상태 및 네트워크 접속 상태 및 데이터수신현황을 표시한다. 또한 실시간 송신모듈로부터 전달된 이상데이터 정보와 시스템로그를 통해 시스템 동작 상태를 확인 할 수 있다.

② 환경설정

실시간 전송을 위한 각종 환경설정 화면이다. 실시간 송신 모듈과 데이터통신을 위한 네트워크 정보 및 자동화운영 시스템과 연동을 위한 App 서버 정보 및 데이터저장 관련 내용을 설정/관리한다.

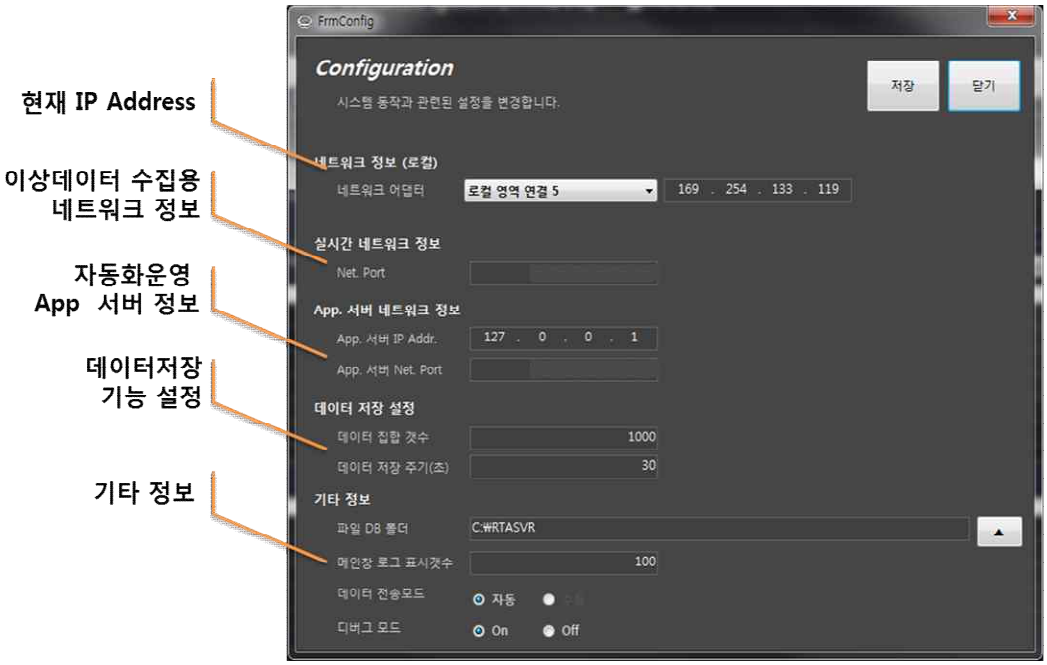



그림 174 실시간 수신 모듈 - 환경설정 화면

### (라) 실시간 클라이언트 모듈

실시간 클라이언트 모듈은 자동화진단 운영시스템의 기본 활성프로그램인 '자동화진단 운영시스템 Launcher'의 세부 모듈형태로 동작한다. 실시간 클라이언트 모듈은 현재 사용자 정보 (실시간 이상데이터 구독여부 및 관리 권한)를 기본으로 이상데이터를 감지하면 알람 메시지 창을 통해 사용자에게 통보하여 신속한 업무처리를 할 수 있도록 지원한다.

① 알람 메시지

실시간 이상데이터가 감지되면 사용자에게 이상데이터가 감지되었음을 통보한다. 이상데이터 개수와 발생시간 등을 간략히 표시한다. '알람정보 확인하기' 버튼을 클릭하여 자동화진단 운영시스템을 통해 이상데이터에 대한 상세정보를 확인 할 수 있다.




그림 175 실시간 클라이언트 모듈 - 알람 메시지

② 이상데이터 내용 확인

수신된 이상데이터에 대한 상세한 정보를 확인할 수 있다. 발생된 이상데이터에 대한 내용 및 현황을 검색기능을 통해 조회할 수 있으며 알람해제 기능을 통해 알람을 해제할 수 있다.

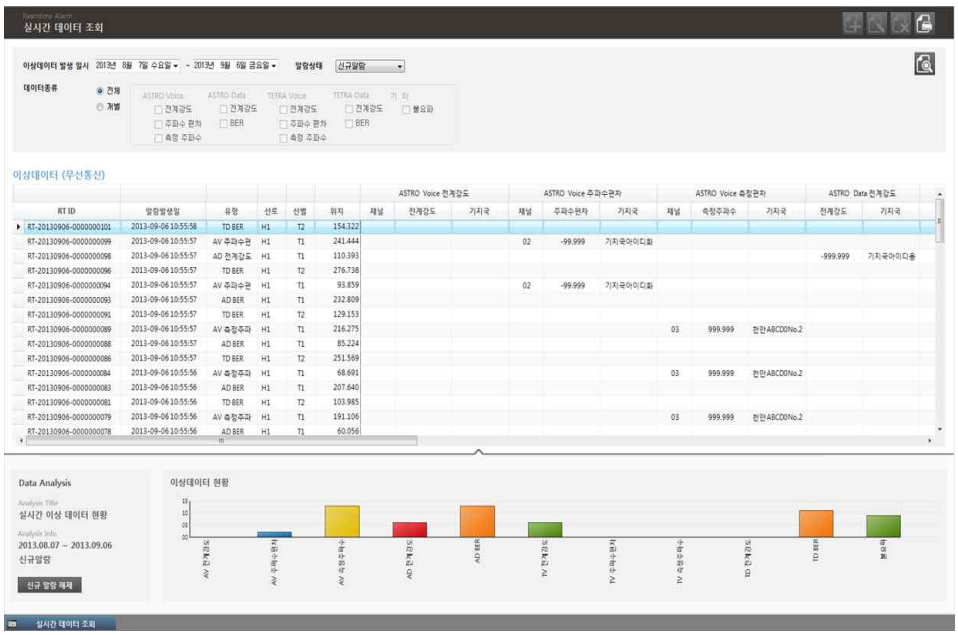



그림 176 실시간 클라이언트 모듈 - 실시간 데이터 조회

### (7) 차상 위치정보 방송 시스템 개발

성공적인 현차시험을 위해서 반드시 선결되어야 하는 항목 중 하나가 검측된 데이터에 대한 위치정보의 정확성 확보이다. 본 과제에서는 현차시험 대상 차량이 결정되면 해당 차량의 위치정보를 각 분야의 검측시스템이 공동으로 활용한다는 계획 하에 연구를 진행하였다.

연구과제가 진행되며 개발품 검증을 위한 현차시험이 필요한 단계가 되었지만 최초 예상되었던 현차시험을 위한 차량 섭외가 난항을 겪으며 최종적으로 KTX-36호를 현차시험 차량으로 선정하게 되었다.

KTX-36호가 현차시험 차량으로 선정됨에 따라 현차시험에서 제공될 것으로 예상되었던 위치정보 제공이 어렵게 되어 연구과제 자체적으로 이를 해결하기 위해서 KTX-36호에 설치되어있는 기존 시스템의 장치를 이용하여 위치정보를 공유하는 방향으로 업무를 정의하게 됨에 따라 차상 위치정보 방송시스템 개발을 진행하였다.

### (가) 시스템 개념설계

위치정보 방송 시스템은 KTX-36호에 설치되어 있는 기존 검측시스템의 타코미터와 GPS 장치의 정보를 이용하여 3개 분야 검측시스템이 공동으로 활용할 수 있는 위치정보를 제공하는 것이 목적이다.

○ 위치정보 산출 기준 및 위치정확도 기준

- 차량에 설치된 타코미터를 기본으로 위치를 계산한다.
- 각 역사 및 터널 등 일부 시설물 기준위치에 대한 GPS 위치좌표와 KP정보를 대조해 위치보정을 수행한다.
- 위치정보에 대한 정확도는 본 과제에서 논하지 않고 차후 종합검측차 개발 연구과제가 완료되면 해당 차량의 위치정보를 활용하여 본 과제 연구개발품을 활용하기로 한다.

### (나) 시스템 상세설계

위치정보 방송 시스템의 주요기능은 다음과 같다.

① 기능리스트

표 129 위치정보 방송시스템 기능리스트

| 모 듈 | 기능 리스트 |
|---|---|
| 위치정보 방송시스템 | 타코미터를 이용한 위치정보 생성<br>GPS를 이용한 위치보정기능<br>각 분야 검측시스템으로 위치정보 및 속도정보 제공<br>위치정보 시뮬레이터 기능 |

② 인터페이스 설계

차상에서 위치정보를 공유하기 위해 별도의 위치정보 인터페이스 설계를 진행하였다.

실시간 차상인터페이스 방식과 유사하게 네트워크 통신을 이용하되 1:N의 관계를 고려하여 UDP 방식의 통신방식을 사용하였다.

표 130 위치정보 방송시스템 인터페이스 Link Layer

| 구분 | 상세 내역 |
|---|---|
| 전송 방식 | Full Duplex |
| 통신 속도 | 10/100Mbps |
| 통신 방식 | UDP |
| 접속 방식 | Server : 실시간 전송시스템 차상 운영장치<br>Client : 전차선/신호/무선통신 종합처리장치 |
| Socket Type | Broadcast |

위치정보 방송 시스템에서 제공하는 정보는 현채위치 정보와 이동속도 정보이다. 이를 기준으로 전송데이터 항목과 데이터 유형 및 메시지 규약을 정의하였다.

표 131 위치정보 방송시스템 인터페이스 Data Field 정의

| 분류 | Body | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Data Field | | | |
| 데이터 항목 | 시작 구분자 | 현재위치 | 분할 구분자 | 이동속도 |

표 132 위치정보 방송시스템 인터페이스 데이터 항목 상세 정의

| 데이터 항목 | 데이터 타입 | 단위 | 데이터 범위 / 예 | 설명 |
|---|---|---|---|---|
| 시작 구분자 | string | - | @ | 데이터 시작 구분자 |
| 현재위치 | string | km | 123.241 | 현재위치 값 |
| 분할 구분자 | string | - | # | 데이터 분할 구분자 |
| 이동속도 | string | km/h | 302.015 | 이동속도 값 |

### (다) 개발품 제작

① 위치정보 방송시스템 메인 화면

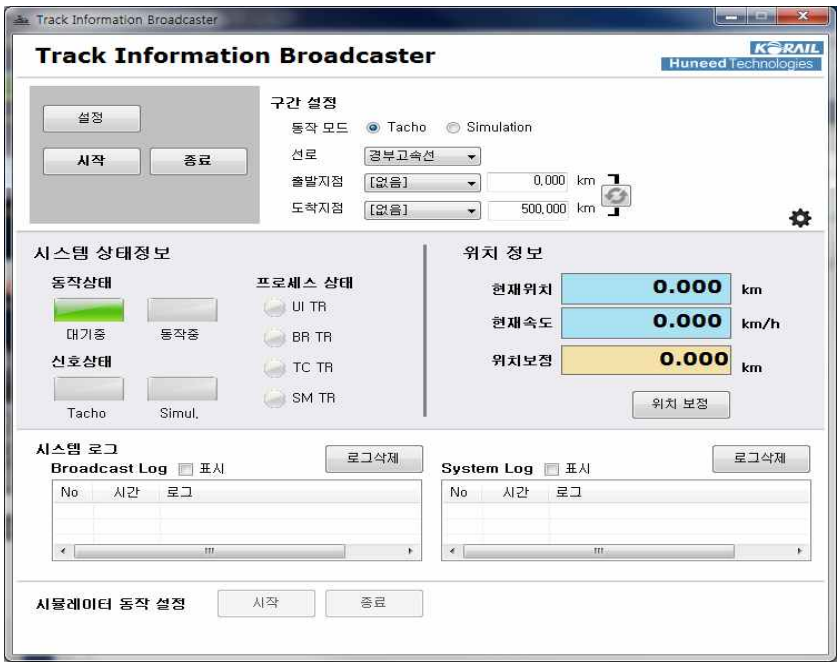



그림 177 위치정보 방송 시스템 메인화면

메인화면에서 검측구간에 대한 출발/도착지점을 지정하고 시작버튼을 클릭하면 차량이 이동하면서 누적된 타코미터를 기준으로 현재위치와 이동속도를 화면에 표시하며, 네트워크 통신규약에 따라 지속적으로 위치정보 및 이동속도를 브로드캐스트 한다.

GPS를 이용한 자동 위치보정 기능이 제공되며 필요에 따라 수동위치보정 기능을 통해 사용자가 위치보정을 직접 수행할 수 있다.

② 위치정보 방송시스템 환경설정 화면

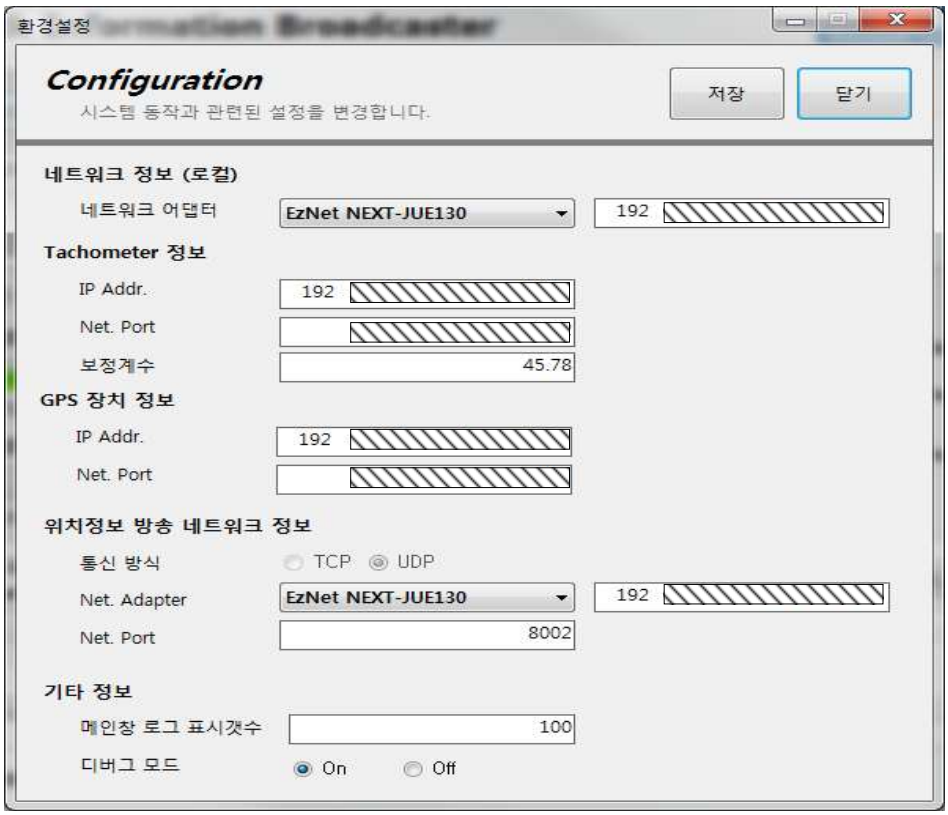



그림 178 차상 위치정보 방송 시스템 환경설정 화면

환경설정 화면을 통해 차량의 타코미터 및 GPS 장치와 연결설정을 변경할 수 있으며 위치정보 공유를 위한 네트워크 설정 값을 변경할 수 있다.

### (8) 현차설치 및 시험

#### (가) 현차설치

실시간 전송시스템에 대한 단위시험 및 통합시험은 본 연구과제 2~3차년도에 수행하였으며 4차년도에 현차시험 대상 차량인 KTX-36호를 이용하여 각 검측분야의 최종 검측시스템 개발품과의 현차시험을 진행하였다.

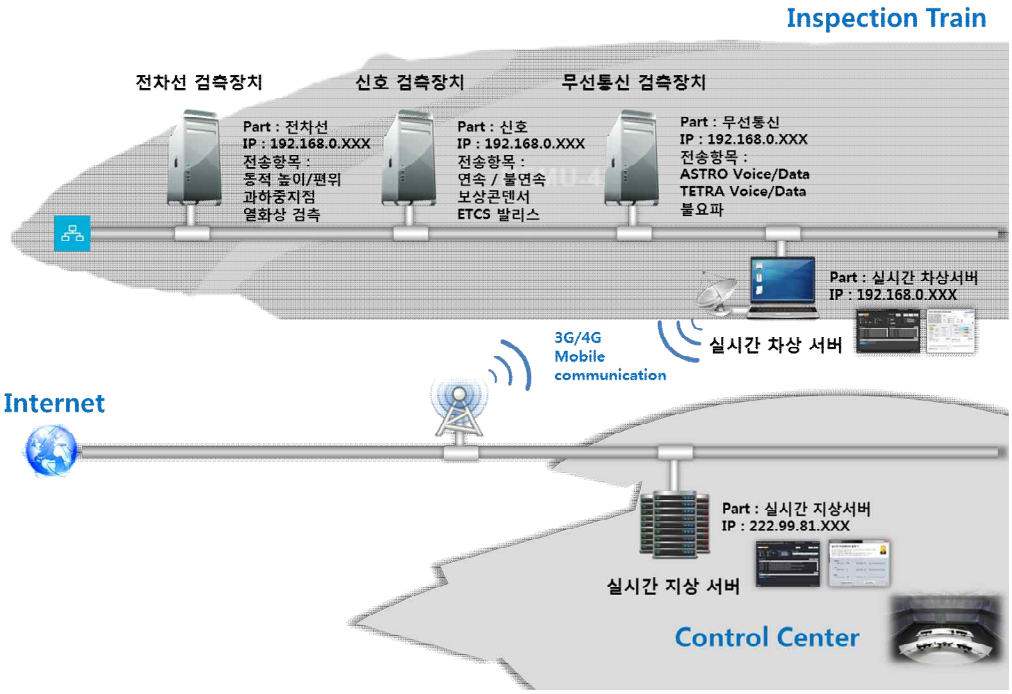



그림 179 실시간 전송시스템 현차시험 구성도

표 133 실시간 전송시스템 현차시험 계획

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 현차시험 차량 | KTX-36호 |
| 현차시험 기간 | 2014.03.04. ~ 2014.06.30 |
| 현차시험 수행인원 | 이기우 수석연구원<br>박상현 선임연구원<br>서보필 선임연구원 |
| 현차시험 내용 | 전차선 / 신호 / 무선통신분야 차상 인터페이스<br>실시간 전송시스템 지상 인터페이스<br>차상 위치정보 방송 시스템 |

○ 차상 서버



그림 180 실시간 전송시스템 차상서버

실시간 전송시스템의 차상서버는 기존 KTX-36호 기존 검측실 내 설치공간 및 전원용량 등의 문제를 고려하여 노트북으로 대체하여 현차시험을 진행하였다.

○ 무선통신모뎀



그림 181 실시간 전송시스템 무선통신 모뎀

4차년도 현차시험을 앞두고 실시간 전송시스템의 무선통신모뎀 장치를 선정하였으며, 현차시험 시 차상 서버역할을 담당하는 노트북과 함께 설치하여 현차시험을 진행하였다.

○ 지상 서버




그림 182 실시간 전송시스템 지상서버

실시간 전송시스템의 지상서버는 휴니드테크놀러지스 본사 전산실에 설치하였으며 외부에서 실시간 이상데이터 전송을 위한 IP 주소와, 포트번호를 이용하여 실시간 지상서버를 구축하였다.

표 134 차상 인터페이스 통신 프로토콜

| 구 분 | 통신포트 | 통신방식 |
|---|---|---|
| 실시간 이상데이터 인터페이스 | 8XXX | TCP |
| 차상 위치정보 인터페이스 | 8XXX | UDP |

○ 현차시험 차상 네트워크 구성

표 135 차상 인터페이스 단위시험 항목

| 구분 | 분야 | IP주소 | 용도 | SubnetMask |
|---|---|---|---|---|
| 실시간 전송시스템 차상네트워크 | 실시간 차상서버 | 192.168.0.XXX | 실시간 인터페이스 | 255.255.255.0 |
| | 전차선 시스템 | 192.168.0.XXX | 실시간 인터페이스 | |
| | | 192.168.0.XXX | 여분 | |
| | 신호시스템 | 192.168.0.XXX | 실시간 인터페이스 | |
| | | 192.168.0.XXX | 여분, 차상 위치정보 | |
| | 무선통신 시스템 | 192.168.0.XXX | 실시간 인터페이스 | |
| | | 192.168.0.XXX | 여분 | |

### (나) 현차시험

실시간 전송시스템은 검측시스템으로부터 이상데이터를 전달받아 이를 지상의 실시간 수신서버로 전달하고 사용자에게 실시간 알람메세지를 표시하는 시스템이다. 현차시험을 위해서는 각 분야의 검측시스템으로부터 실제 검측된 이상데이터를 전달받아야 하는데 검측차량의 전원 및 공간 문제로 인하여 현차시험은 3개 검측분야 동시에 수행하지 않고 1개 또는 2개 분야에 대해서만 동시에 진행하게 됨에 따라 각 분야의 현차시험 일정을 바탕으로 분야별로 현차시험을 진행하였다.

① 지상 인터페이스 현차시험

실시간 전송시스템은 고속으로 이동 중인 차상에서 상용 무선통신망을 이용하여 지상의 관리서버로 이상데이터를 전송한다. 이 때 상용 무선통신망을 이용하기 때문에 안정적인 시스템 운용을 위한 여러 조건 중 통신망의 안정성은 매우 중요한 요소라고 할 수 있다. 실시간 전송시스템에서 사용하는 무선통신망은 통신 속도가 빠르고 대용량 데이터 전송이 가능한 반면 음역지역 및 통신장애 등 불완전 요소가 존재하는 만큼 안정적인 시스템 운용이 가능하도록 하는 통신알고리듬이나 데이터 오류체크 기술 등이 정상적으로 작동하는지 검증이 필요하다.

따라서 무선 통신망이 불안정한 상황에서도 이상데이터를 안정적으로 전달하기 위한 별도의 데이터 처리 알고리듬을 적용하였으며 여러 차수에 걸친 현차시험을 통하여 데이터 전송성능 테스트를 수행하였다.

이때 실제 검측작업은 수행되지 않기 때문에 실시간 이상데이터 규약에 따라 가상의 이상데이터를 생성하여 전송데이터로 사용하였다.

표 136 KTX-36호 지상 인터페이스 현차시험

| 차수 | 테스트 차량 | 통신망 | 테스트 구간 | 최고속도 | 전송완료율 | 재전송율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | KTX-36호 | LTE | 광명 -> 부산 | 410km/h | 100% | 2.14% |
| 2 | | LTE | 부산 -> 광명 | 300km/h | 100% | 1.19% |

표 137 HEMU-430X 지상 인터페이스 현차시험

| 차수 | 테스트 차량 | 통신망 | 테스트 구간 | 최고속도 | 전송완료율 | 재전송율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | HEMU-430X | LTE | 울산 -> 고모 | 410km/h | 100% | 6.46% |
| 2 | | LTE | 고모 -> 울산 | 300km/h | 100% | 10.34% |
| 3 | | 3G | 울산 -> 고모 | 412km/h | 100% | 30.38% |
| 4 | | 3G | 고모 -> 울산 | 300km/h | 100% | 26.11% |

위 표에서 '전송완료율'은 전송한 데이터 건수 대비 수신된 데이터 건수를 의미하며 '재전송율'은 데이터 수신확인이 이루어지지 않아 재전송 처리된 데이터 건수를 전체 전송대상 데이터 건수를 의미한다. 데이터 재전송 로직은 차상에서 지상으로 데이터를 전송하고 지상으로부터 전송 데이터에 대한 수신확인을 하게 되어있는데 기준 응답한계시간을 초과할 경우 데이터가 정상적으로 전송되지 않은 것으로 간주하고 해당 데이터를 재전송 처리하게 된다.

테스트 결과 무선 통신망 품질환경에 따른 데이터 재전송 비율에 차이가 있지만, 전송한 모든 데이터는 정상적으로 전달되는 것을 확인할 수 있었다.

② 전차선 분야 차상 인터페이스

○ 현차시험 대상 데이터

표 138 전차선 분야 인터페이스 대상목록

| 구분 | 검측항목 | |
|---|---|---|
| 전차선 | 전차선 동적 높이/편위 | 전차선 편위 |
| | | 전차선 높이 |
| | 전차선 영상검측 시스템 | 아크지속시간 / 전류 |
| | 전차선 과하중지점 검측시스템 | 접촉력 |
| | 전차선로 열화상 검측시스템 | 시설물 온도 |

○ 현차시험 현황

표 139 전차선 분야 차상 인터페이스 현차시험 현황

| 차수 | 날짜 | 기능테스트결과 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 2014.06.12 | 20개 점검 항목 중 20개 점검완료 | 전체 기능 테스트 완료 |

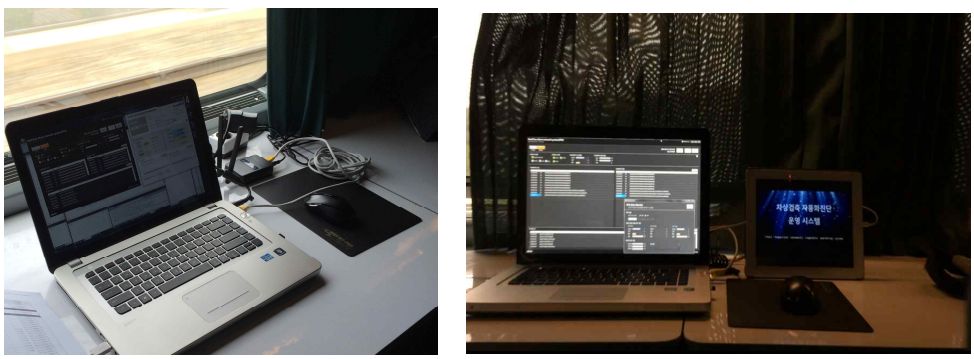


그림 183 전차선 분야 차상 인터페이스 현차시험

○ 현차시험 최종 결과

현차시험 결과 전체 점검항목에 대한 기능점검을 완료하였으며 실제 검측된 이상데이터에 대한 실시간 전송 및 사용자 알람메세지 표시 기능 또한 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

표 140 전차선 분야 차상 인터페이스 현차시험 결과

| **현차시험 결과** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **시스템 명** | 실시간 전송시스템 | | | | **시험일자** | 2014.06.01~2014.06.12 | | |
| **시험 대상** | ☑ 전차선 ☐ 신호 ☐ 무선통신 ☐ 기타 | | | | **차량** | KTX-36호 | | |
| **시험 구간** | 광명-부산 | | | | **시험결과** | 정상 | | |
| **시험 내용** | 실시간 이상데이터 수집, 지상전송, 사용자 알람 발생처리 전체 프로세스 동작 확인 | | | | | | | |
| **실시간 이상데이터 전송 현황** | | | | | | | | |
| 시험일자 | 전차선 데이터 전송개수 | 신호 데이터 전송개수 | 무선통신 데이터 전송개수 | DB Log 저장개수 | DB 저장개수 (중복제거) | 데이터수신율 (수신/전송) | 데이터지연율 (지연/전송) | 수신실패 개수 |
| 6.12 | 6984 | 0 | 0 | 7489 | 6984 | 100% | 7.2% | 0 |
| **평가 및 의견** | | | | | | | | |
| [평가]<br>- 실시간 차상 인터페이스 **정상**<br>- 실시간 지상 인터페이스 기능 **양호**<br><br>[결론]<br>- **데이터 수신율 100 % / 데이터 지연율 7.2 %**<br>- 전차선 분야 실시간 인터페이스 전체 검증 완료 | | | | | | | | |

③ 신호 분야 차상 인터페이스

○ 현차시험 대상 데이터

표 141 신호 분야 인터페이스 대상목록

| 구분 | 검측항목 |
|---|---|
| 신 호 | 연속정보 |
| | 불연속정보 |
| | 보상콘덴서 |
| | ETCS 발리스 정보 |

○ 현차시험 현황

표 142 신호 분야 차상 인터페이스 현차시험 현황

| 차수 | 날짜 | 기능테스트결과 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 2014.05.09 | 20개 점검 항목 중 16개 점검완료 | 보완사항 도출, 시스템 보완 |
| 2 | 2014.05.14 | 20개 점검 항목 중 20개 점검완료 | 전체 기능 테스트 완료 |
| 3 | 2014.05.28 | 20개 점검 항목 중 20개 점검완료 | 전체 기능 테스트 완료 |

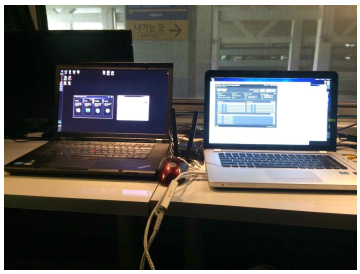



그림 184 신호 분야 차상 인터페이스 현차시험

○ 현차시험 최종 결과

현차시험 결과 전체 점검항목에 대한 기능점검을 완료하였으며 실제 검측된 이상데이터에 대한 실시간 전송 및 사용자 알람메세지 표시 기능 또한 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

표 143 신호 분야 차상 인터페이스 현차시험 결과

| **현차시험 결과** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **시스템 명** | 실시간 전송시스템 | | | | | **시험일자** | 2014.05.09~2014.05.28 | |
| **시험 대상** | ☐ 전차선 ☑ 신호 ☐ 무선통신 ☐ 기타 | | | | | **차량** | KTX-36호 | |
| **시험 구간** | 광명-부산 | | | | | **시험결과** | 정상 | |
| **시험 내용** | 실시간 이상데이터 수집, 지상전송, 사용자 알람 발생처리 전체 프로세스 동작 확인 | | | | | | | |
| **실시간 이상데이터 전송 현황** | | | | | | | | |
| 시험일자 | 전차선 데이터 전송개수 | 신호 데이터 전송개수 | 무선통신 데이터 전송개수 | DB Log 저장개수 | DB 저장개수 (중복제거) | 데이터수신율 (수신/전송) | 데이터지연율 (지연/전송) | 수신실패 개수 |
| 5.28 | 0 | 1587 | 0 | 1597 | 1587 | 100% | 0.6% | 0 |
| **평가 및 의견** | | | | | | | | |
| [평가]<br>- 위치정보 인터페이스 **정상**<br>- 실시간 차상 인터페이스 **정상**<br>- 실시간 지상 인터페이스 기능 **양호**<br><br>[결론]<br>- **데이터 수신율 100 % / 데이터 지연율 0.6 %**<br>- 신호 분야 실시간 인터페이스 전체 검증 완료 | | | | | | | | |

④ 무선통신 분야 차상 인터페이스

○ 현차시험 대상 데이터

표 144 무선통신 분야 인터페이스 대상목록

| 구분 | 검측항목 | |
|---|---|---|
| 무선통신 | ASTRO/TETRA Voice | 전계강도 |
| | | 주파수 편차 |
| | ASTRO/TETRA Data | 전계강도 |
| | | BER |
| | 불요파 | |

○ 현차시험 현황

표 145 무선통신 분야 차상 인터페이스 현차시험 현황

| 차수 | 날짜 | 기능테스트결과 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 2014.05.09 | 20개 점검 항목 중 17개 점검완료 | 보완사항 도출, 시스템 보완 |
| 2 | 2014.05.13 | 20개 점검 항목 중 17개 점검완료 | 보완사항 도출, 시스템 보완 |
| 3 | 2014.05.16 | 20개 점검 항목 중 17개 점검완료 | 보완사항 도출, 시스템 보완 |
| 4 | 2014.05.27 | 20개 점검 항목 중 20개 점검완료 | 전체 기능 테스트 완료 |

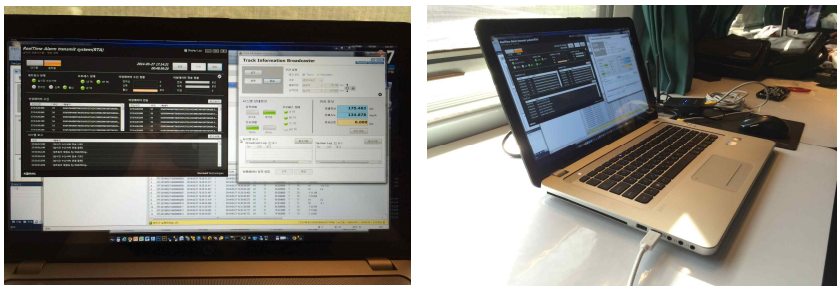


그림 185 무선통신 분야 차상 인터페이스 현차시험

○ 현차시험 최종 결과

현차시험 결과 전체 점검항목에 대한 기능점검을 완료하였으며 실제 검측된 이상데이터에 대한 실시간 전송 및 사용자 알람메세지 표시 기능 또한 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

표 146 무선통신 분야 차상 인터페이스 현차시험 결과

| **현차시험 결과** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **시스템 명** | 실시간 전송시스템 | | | | | **시험일자** | 2014.05.09~2014.05.27 | |
| **시험 대상** | ☐ 전차선 ☐ 신호 ☑ 무선통신 ☐ 기타 | | | | | **차량** | KTX-36호 | |
| **시험 구간** | 광명-부산 | | | | | **시험결과** | 정상 | |
| **시험 내용** | 실시간 이상데이터 수집, 지상전송, 사용자 알람 발생처리 전체 프로세스 동작 확인 | | | | | | | |
| **실시간 이상데이터 전송 현황** | | | | | | | | |
| 시험일자 | 전차선 데이터 전송개수 | 신호 데이터 전송개수 | 무선통신 데이터 전송개수 | DB Log 저장개수 | DB 저장개수 (중복제거) | 데이터수신율 (수신/전송) | 데이터지연율 (지연/전송) | 수신실패 개수 |
| 5.27 | 0 | 0 | 6286 | 6349 | 6286 | 100% | 1.0% | 0 |
| **평가 및 의견** | | | | | | | | |
| [평가]<br>- 위치정보 인터페이스 **정상**<br>- 실시간 차상 인터페이스 **정상**<br>- 실시간 지상 인터페이스 기능 **양호**<br><br>[결론]<br>- **데이터 수신율 100 % / 데이터 지연율 1.0 %**<br>- 무선통신 분야 실시간 인터페이스 전체 검증 완료 | | | | | | | | |

## 라. 통합 데이터베이스 구축

### (1) 개요

통합 데이터베이스 구축은 전차선/신호/무선통신 차상 검측 후에 발생하는 대용량의 검측 데이터를 효율적으로 관리하고 표준화된 포맷으로 변환하여 저장해 데이터 활용성을 높이고 추후 타 시스템과의 연계 가능성을 높이도록 하는데 주목적을 둔다.

### (2) 검측데이터 통합 데이터베이스 개념설계

자동화진단 운영시스템의 가장 핵심적인 역할은 차상에서 검측된 대용량 검측데이터의 안정적인 보관과 검색 및 분석 시에 빠른 응답을 제공하는 것이다.

사용자가 각종 데이터를 등록하고 분석하는데 일반적인 사용자 UI(User Interface)인 User App를 활용하게 된다. 이를 통해 각종 운영정보를 획득할 수 있으며 시스템에서 여러 가지 분석정보를 제공받게 된다. 하지만 이는 겉으로 드러나는 모습이며 실제 핵심적인 기능은 어디엔가 물리적으로 저장되어있는 검측데이터를 바탕으로 이루어지는 활동이다.

따라서 데이터를 안정적으로 저장하고 있어야 하며 오랜 기간 축적된 대용량의 검측데이터를 높은 응답속도로 제공해야 하는 대용량 검측 데이터베이스의 구축은 자동화진단 운영시스템의 핵심적인 역할이라 할 수 있다.

차상검측 자동화진단 운영시스템에서 사용할 DBMS는 Microsoft 社의 SQL Server 2008을 선택하였다. 기존 개별 검측장비에서 사용하는 파일시스템의 단점을 제거하고 데이터의 안정성과 상호 연계성을 고려, 동시에 최근 DBMS 운영의 트렌드를 고려하여 관계형 데이터베이스 운영시스템의 도입을 먼저 결정하였다.

### (3) 검측데이터 통합 데이터베이스 구축

자동화진단 운영시스템의 데이터베이스는 자동화진단 운영시스템을 구동하기 위한 시스템 데이터와 각 시스템에서 사용하기 위한 기준정보 데이터를 저장하고 관리한다. 시스템 데이터는 시스템을 구동하기 위한 사용자 데이터와 각 권한정보, 사용자 그룹 정보 등을 관리하며 사용자별로 설정한 각종 환경설정 정보를 관리한다. 기준정보 데이터는 전차선/궤도회로/무선통신 시스템에서 사용하는 각 시설물에 대한 정보들과 검측데이터의 속성 등을 관리하도록 하였다.

기준정보 데이터베이스를 구축함과 동시에 실제 운영상 발생하는 로그 데이터를 저장하는 데이터베이스를 구축했다.

이상 발생구간에 대한 정보를 기록해 이상 데이터를 지속적으로 축적하여 각종 통계/분석 모듈에 사용하도록 했다. 이를 기반으로 이상 발생에 대한 추이를 분석하고 예측 가능하도록 데이터를 축적할 수 있다.

표 147 데이터베이스 구축 현황

| 구분 | 기준정보 및 시스템 운용 | 자동화 운영시스템 | 검측데이터 운용 |
|---|---|---|---|
| 테이블 | 24건 | 41건 | 10건 |
| SP | 33건 | 123건 | 17건 |
| View | - | 1건 | - |
| Function | - | - | - |
| Trigger | - | - | - |

데이터베이스 구축에는 Function 및 Trigger 기능은 시스템 유지보수를 보다 용이하게 운영하기 위해 최대한 배제한 상태에서 작업을 수행했다.

### (4) 운영서버 구축

#### (가) 지상서버 구축

실시간 전송시스템과 자동화진단 운영시스템은 분리되어 운영되는 형태를 갖지만 실질적으로 유기된 하나의 큰 시스템으로 구성된다. 따라서 하드웨어 역시 자동화진단 운영시스템의 하드웨어 구성에  통합 운영되며 실시간 전송시스템의 일부 분야인 차상 인터페이스를 위한 하드웨어 구성이 존재한다.

자동화진단 운영시스템은 각 시스템의 주요 기능들을 지상의 서버에서 수행하도록 설계하였다. 이는 사용자 PC에서 구동되는 기능을 최소화 하여 보다 많은 사용자가 PC성능에 제한 없이 원활하게 시스템을 사용가능 하도록 하기 위함이다.

서버는 모두 동일한 서버랙에 마운트 하여 관리의 효율성을 높였으며 시스템의 안정적 구동을 위해 적정한 성능의 서버를 구매하여 서버를 구성하였다.

데이터베이스 서버는 자동화진단 운영시스템과 실시간 전송시스템에서 사용하는 모든 데이터를 저장하고 관리하는 기능을 수행한다. 어플리케이션 서버는 사용자 UI와 데이터베이스 서버와의 인터페이스를 수행하며 사용자가 요청하는 각종 분석과 상태평가에 대한 연산작업을 수행한다. 실시간 서버는 차상에서 전송한 이상데이터를 수신하여 사용자에게 전송하고 이를 데이터베이스에 저장한다.




그림 186 자동화진단 운영시스템 서버 구성

지상에서 운영하기 위한 서버의 상세 목록은 다음 표와 같다.

표 148 자동화진단 운영시스템 지상서버 목록 및 사양

| 구분 | HW1 | HW2 | HW3 |
|---|---|---|---|
| 용도 | DB Server | APP Server | RTA Server |
| CPU | Intel Xeon X5690(3.46GHz) x 2EA | Intel Xeon X5690(3.46GHz) x 2EA | Intel Xeon E5649(2.53GHz) X 1EA |
| Memory | 12GB | 12GB | 6GB |
| HDD | 300GB | 300GB | 300GB |
| OS | Win Svr Std 2008 R2 | Win Svr Std 2008 R2 | Win Svr Std 2008 R2 |
| 기타 | DB Storage 연결 | | |

### (나) 차상서버 구성

실시간 전송시스템 운영을 위해서 차상에서 전차선, 신호, 무선통신 검측시스템으로부터 네트워크 통신을 통해 실시간 이상데이터를 전달받아 지상의 실시간 수신서버로 전달하게 되는데 이를 위해 별도의 차상 하드웨어를 구성하였다.

네트워크 허브는 검측장비와 실시간 전송시스템 구축을 위한 단독 네트워크 구성을 위한 네트워크 장치이다. 실시간 송신 서버는 실시간 이상데이터 통신을 위한 서버로 검측장비로부터 이상데이터를 수신된 이상데이터를 지상의 실시간 서버로 전송하는 기능을 담당한다. 무전원공급장치(UPS)는 비상시 안정적인 전원공급 기능을 담당한다.




그림 187 실시간 전송시스템 차상 서버 구성

실시간 전송시스템에서 차상에서 지상으로 이상데이터 전송을 위한 통신방식으로 상용 무선통신망을 사용하게 되는데 이를 위해 별도의 통신장치가 구성되었다. 국내 통신 3사중에서 본 연구과제 특성에 가장 부합되는 조건의 통신사 및 단말기를 선정하여 구성하였다.




모델명 : ME-C71K
적용모듈 : Qualcomm
MDM9215 / WTR1605L / PM8018
통신방식 : LTE / DC-HSPA+ / HSPA+ / HSUPA
/ HSDPA / WCDMA
지원주파수 : FD-LTE : B5 850 / B3 1800
UMTS : B1 2100

그림 188 실시간 전송시스템 무선통신장치

## 5. 궤도회로 시뮬레이션 알고리즘 개발

### 가. 고속선 궤도회로의 구조 및 특징

#### (1) KTX-36호 차상검측 시스템

현재 영업운영 중인 KTX 36호에는 고속선 UM71C 궤도회로의 이상 유무를 검측하여 운영 및 유지보수의 효율화를 구현하고자 300km/h 속도에서 측정이 가능한 차상검측시스템이 구축되어 있다. 그림 189은 KTX 36호에 설치된 신호검측 시스템을 보인 것으로, 고속선 궤도회로의 상태를 모니터링 할 수 있는 기능을 갖고 있으며, 종합검측차(ROGER 1000K)에서 측정할 수 없는 귀선전류 불평형 레벨과 연속신호 측선레벨 검측이 가능하다.

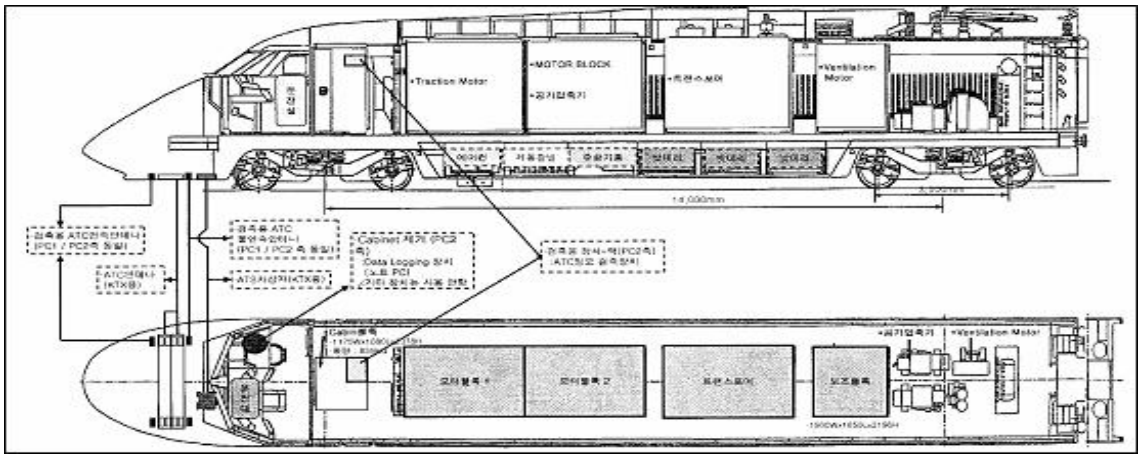



그림 189 KTX 차상 검측 시스템

#### (2) UM71C 궤도회로

프랑스 CSEE사에서 제작하여 국내 고속선에 설치된 UM71C 궤도회로는 비전철구간, AC전철구간, DC전철구간 등 모든 궤도구간에서 사용할 수 있는 ATC용 궤도회로로 궤도구간의 구분시에 무절연 방식을 채택하여 좀 더 기능적이고 열차의 진동을 방지할 수 있는 시스템으로 설계되어 있다. 궤도구간의 구분시에 사용되는 전기적 절연접속(Electrical Separation Joint)은 인접 궤도구간과의 중첩을 유도하여 열차검지를 연속적으로 한하며, 크게 실내설비와 선로변 설비로 구분된다.

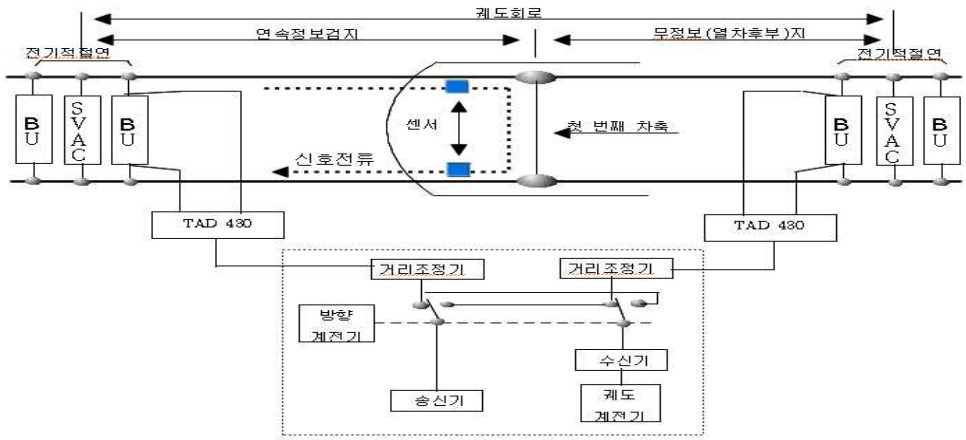



그림 190 UM71C 궤도회로 블록 다이어그램

### (3) 무절연 궤도회로

국내 고속선 궤도회로의 정보전송을 위한 반송주파수는 2040Hz, 2400Hz, 2760Hz, 3120Hz를 사용한다. 각 궤도구간마다 할당된 주파수의 신호를 25.68Hz의 신호와 FM 변조로 조합하여 항상 열차의 궤도점유 상황을 검지하며 열차가 궤도구간으로 진입하면 궤도주파수 신호가 수신부로 전달되지 않는 것을 이용하여 ATC 신호를 열차로 전송한다. 이때 ATC 신호는 0.88Hz~17.52Hz사이의 주파수를 0.64Hz간격으로 할당하여 27bits로 구성되며, 각 bits마다 할당된 주파수들을 합성하여 궤도주파수를 FM변조하여 레일쪽으로 송신한다. 이때 송신부는 각 궤도구간에서의 신호의 감쇠를 고려하여 신호를 증폭한 후 송신부측 JES로 전송하게 된다. 송신부에는 자체적으로 신호의 레벨을 검지함으로써 자기진단기능을 수행하여 오동작을 방지한다. 27bits의 ATC 신호는 열차의 속도, 그 궤도구간의 길이, 점유 중인 궤도구간에 할당된 코드 등의 정보로 구성되어 있다.

수신부는 ATC 신호는 검지하지 않고 열차의 유무만을 검지하게 되어 있으며 이에 따라서 FM변조된 궤도신호를 복조한 뒤 이를 증폭하고 이 신호를 전기적인 지연장치를 통과시켜 신호에 잡음이 포함되는 것을 방지한다.

UM71C 궤도회로의 또 다른 특징은 송수신부의 전환을 들 수 있다. 열차의 수신기가 열차의 신호안테나가 열차의 앞쪽에 부착되기 때문에 항상 수신부측으로부터 진입해야 한다. 이때 선로가 단선 구간일 때에는 양방향으로 운행하기 때문에 ATC신호를 열차측으로 전송하지 못하게 되지만 UM71C 궤도회로는 송수신부와 JES측을 연결할 때 방향계전기를 사용하여 송수신부를 전환할 수 있다. 따라서 단선 구간에서도 ATC 신호를 열차로 전송할 수 있다. 또한 레일의 신호감쇠를 보상하기 위하여 일정한 간격마다 커패시터를 설치하며 이로써 궤도신호의 감쇠 보상뿐만 아니라 전차선전류의 평형을 유지하여 노이즈의 영향을 줄여준다.

우리나라 고속선에서 사용 중인 UM71C 궤도회로는 표 5과 같이 반송주파수를 교대로 사용하고 있다.

표 149 궤도회로 주파수의 종류

| 궤도 / 주파수 | 하선(T1) | 상선(T2) |
|---|---|---|
| F1 | 2040Hz | 2400Hz |
| F2 | 2760Hz | 3120Hz |

F1 동조유니트에서 주파수 F1의 공진회로는 C1 값을 가진 커패시터로서 동작한다. 그림 191와 같이 실제로는 Sva가 존재할 수 있도록 하기 위해 C′1가 된다. 주파수 F2에서는 이 주파수로 돌아온 직렬 자기용량 공진회로에 의해 단락 기능을 한다.

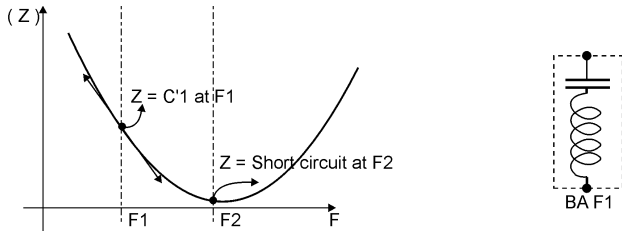



그림 191 F1 동조 유니트

F2 동조유니트에서 주파수 F1에서는 인덕터로서 가동되는 공진 회로로 단락 기능을 한다. 커패시터는 이 주파수에서 용량성의 임피던스 C2를 수행하기 위해 여기에 병렬로 연결된다. 그림 192과 같이 실제로는 공심유도자가 존재할 수 있도록 하기 위해 C′2가 된다.

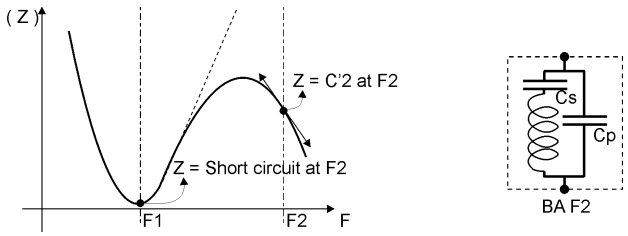



그림 192 F2 동조유니트

동조 유니트의 구성은 공심유도자의 인덕턴스 값을 허용하므로 비전철구간에서도 공심유도자를 설치할 수 있다.

다음 그림 193는 인접한 두 개의 무절연 궤도회로 경계부에서의 전압변화를 나타낸 것이다.

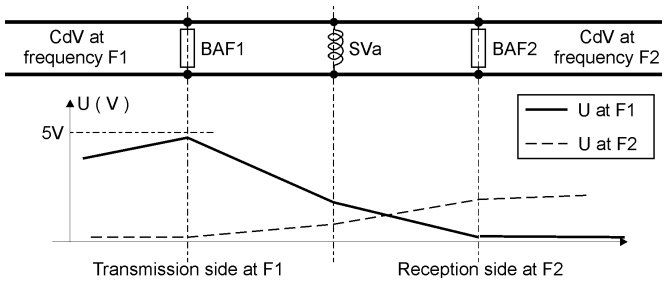



그림 193 무절연 궤도회로 경계

무절연 AF 궤도회로는 궤도구간을 전기적으로 구분한다. 이를 위하여 무절연접속부를 사용한다. 무절연접속부는 궤도구간의 전기적인 구분을 위하여 일종의 LC공진회로로서 동작한다. 2개의 동조유니트(Tunning Unit)와 그 사이의 공심인덕터(Air Core Inductor)로 구성되어 있다. 두 개의 동조유니트는 각각 직렬공진회로와 병렬공진회로로 작용한다. 따라서 인접한 궤도구간의 궤도신호는 무절연접속부에서 서로 중첩되므로 열차검지의 연속성을 보장받을 수 있다. 그림 194는 무절연접속부를 나타낸 것이다.

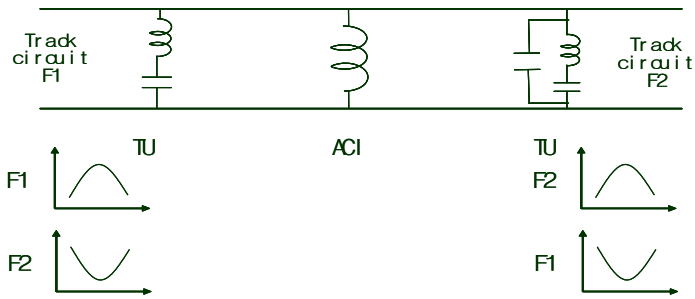



그림 194 무절연접속부의 회로도

그림 194에서 무절연접속부는 인접한 궤도회로의 궤도주파수 F1에 대하여 직렬공진 동조유니트는 극점으로 동작하고, 병렬공진 동조유니트는 영점으로 동작하는 공진회로가 된다. 그리고 반대편 궤도회로의 궤도주파수 F2에 대하여 병렬공진 동조유니트가 극점으로 동작하고, 직렬공진 동조유니트는 영점으로 동작한다. 따라서 주파수 F1의 궤도신호는 직렬공진 동조유니트에는 전류가 거의 흐르지 않고 병렬공진 동조유니트와 공심인덕터를 거쳐 귀환한다. 마찬가지로 주파수 F2의 궤도신호는 병렬공진 동조유니트에는 전류가 거의 흐르지 않고 직렬공진 동조유니트와 공심인덕터를 거쳐 귀환한다.

그림 195는 공진회로의 기능을 하는 무절연접속부의 전기적 등가회로를 나타낸 것이다.

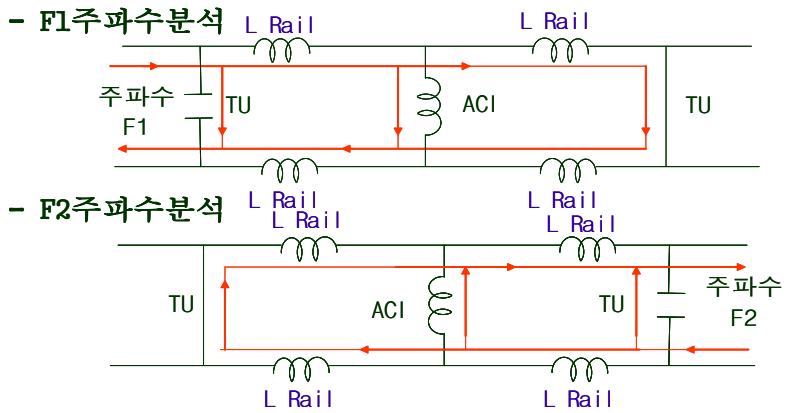



그림 195 필터의 역할을 수행하는 무절연접속부의 등가회로

## 나. 고속선 궤도회로의 전송선로 개념

### (1) 궤도회로의 전기적인 특성

전기회로의 한 부분이 되는 궤도레일은 신호의 전송을 위한 매체로서의 역할을 담당하고 있다. 통신을 위한 매체로서의 기능을 수행하는 궤도 레일의 전기적 특성들을 선로정수라고 하며, 이 선로정수를 전기적으로 해석하기 위하여 궤도레일을 모델링하는 일은 궤도회로를 설계하는데 있어서 아주 중요한다. 본 연구에서는 궤도 레일의 전기적 특성의 해석을 위한 모델링의 방법으로서 전송선로 이론을 이용한 4단자망 해석법을 사용하였다.

그러나 일반적인 전력전송이나 통신을 위한 전송매체와는 달리 궤도 레일은 독특한 선로정수 특성을 가지고 있다. 이렇게 일반 통신매체와 특성이 다른 이유는 궤도레일이 누설특성을 지닌 도체이면서, 대지위에 직접 설치되어 있는 매체라는 것이다. 이것은 대지가 완전한

절연체로서의 역할을 다하지 못하며, 또한 환경에 의하여 도전성 등과 같은 특성이 변화하기 때문이다.

특히 우리나라 고속선에 설치된 궤도레일은 터널, 토공, 교량 등 구간별로 큰 차이를 보이고 있다. 프랑스의 경우 거의 대부분의 구간이 토공구간이므로 선로정수를 계산하고 이용할 경우에도 토공구간에 대한 선로정수만 적용하여 사용하고 있다.

그리고 궤도회로에서 궤도신호는 주파수를 가지며 이 주파수는 표피효과 등으로 인하여 궤도레일의 선로정수에 영향을 끼치게 되고, 또한 귀선전류는 고전류이며 이것의 고조파는 주위의 전기적인 환경에 영향을 끼치기 때문이다. 실제로 궤도회로의 불평형으로 인한 귀선전류의 영향으로 연속레벨 즉 단락전류(Icc) 레벨이 크게 변화됨을 검측과 분석을 통해 우리는 확인하였다.

신호를 전송함에 있어 궤도레일을 통하여 전송하기 때문에 신호는 송신부에서 수신부로 전달되는 동안 궤도 레일위에서 상당한 감쇠가 일어나게 되며, 이에 대한 보상이 이루어져야 한다. 이러한 신호의 감쇠를 보상하기 위해 60~80m간격으로 보상콘덴서가 설치되어 있는 것이다.

그러나 통신선로는 비교적 누설컨덕턴스가 적어서 손실이 적은 반면에 궤도레일은 누설컨덕턴스 성분이 커서 누설이 크며, 대지의 특성에 따라 선로정수의 특성에 영향을 끼친다는 특징을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 누설컨덕턴스 성분을 포함한 누설이 큰 전송선로의 해석을 4단자망을 이용하여 수행하였다.

### (2) 궤도회로의 선로정수 및 등가회로

궤도회로의 전송선로는 분포정수회로상의 4단자 등가회로로 구성이 가능하다. 이는 선로와 평행한 부분에는 저항성분과 인덕턴스 성분 즉 R과 L이 존재하며, 선로와 수직한 부분에는 누설컨덕턴스 G와 커패시턴스 성분인 C값이 존재하게 된다. 이것을 등가회로로 구성하면 다음 그림 196와 같이 나타낼 수 있다.

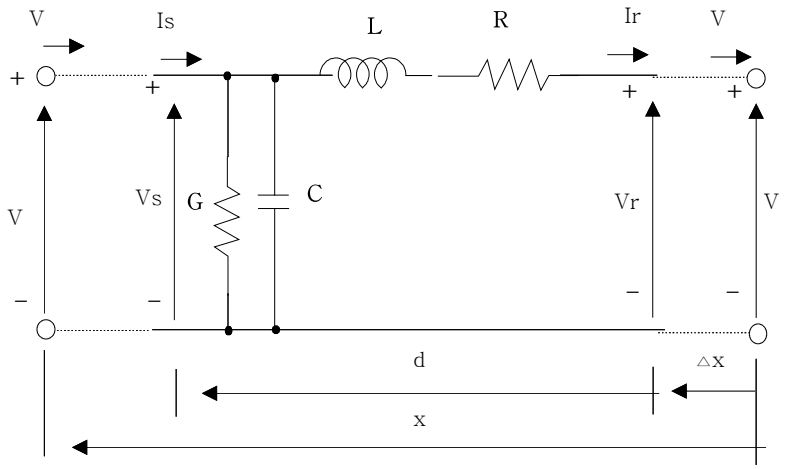



그림 196 궤도회로의 등가회로

표 150 궤도회로 등가회로의 변수 및 정의

| 변수 | 정의 |
|---|---|
| x | 레일의 길이 |
| $V(x)$ | 레일의 길이 x에서의 상전압 |
| $I(x)$ | 레일의 길이 x에서의 상전류 |
| $Z = R + jwL$ | 단위 길이당 직렬 임피던스 |
| $Y = G + jwC$ | 단위 길이당 누설 어드미턴스 |
| $Vs = V(d)$ | 송신부측의 전압 |
| $Vr = V(0)$ | 수신부측의 전압 |
| $Is = I(d)$ | 송신부측의 전류 |
| $Ir = I(0)$ | 수신부측의 전류 |
| d | 궤도구간의 길이 |

단위 길이당 직렬 임피던스로 인해 일어나는 전압 강하는

$$\overline{V}(x+\Delta x) = \overline{V}(x) + \overline{Z} = \Delta x \bar{I}(x)$$

이다. 전압과 전류는 거리 x와 시간 t의 함수이므로 이것을 정리하여 미분 방정식을 세우면 다음과 같다.

$$\frac{d\overline{V}(x)}{dx} = \overline{Z}\bar{I}(x) \qquad (3\text{-}1)$$

단위길이 당 누설 어드미턴스로 인한 전류의 변화는

$$\bar{I}(x+\Delta x) = \bar{I}(x) + \overline{Y}\Delta x\,\overline{V}(x+\Delta x)$$

이다. 이것을 정리하여 미분 방정식을 세우면 다음과 같다.

$$\frac{d\bar{I}(x)}{dx} = \overline{Y}\overline{V}(x) \qquad (3\text{-}2)$$

식(3-1)과 식(3-2)를 x에 관하여 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{d^2\overline{V}(x)}{dx^2} = \overline{Z}\frac{d\bar{I}(x)}{dx} \qquad (3\text{-}3)$$

$$\frac{d^2\bar{I}(x)}{dx^2} = \overline{Y}\frac{d\overline{V}(x)}{dx} \qquad (3\text{-}4)$$

식(3-2)를 식(3-3)에 대입하고, 식(3-1)을 식(3-4)에 대입하면 2차 연립미분 방정식이 만들어 진다.

$$\frac{d^2\overline{V}(x)}{dx^2} = \overline{Z}\overline{Y}\overline{V}(x) \qquad (3\text{-}5)$$

$$\frac{d^2\bar{I}(x)}{dx^2} = \bar{Z}\bar{Y}\bar{I}(x) \tag{3-6}$$

여기서, 전파정수(Propagation Constant)를 정의하면 다음과 같다.

$$\bar{\theta} = \sqrt{\bar{Z}\bar{Y}} = \alpha + j\beta \tag{3-7}$$

여기서, α 는 감쇠정수, β는 위상정수이다.

식(3-5)와 식(3-6)의 미분 방정식을 연립하여 풀면 식(3-5)는 다음과 같다.

$$\bar{V}(x) = \overline{V^+}e^{\bar{\theta}x} + \overline{V^-}e^{-\bar{\theta}x} \tag{3-8}$$

식(3-8)을 식(3-1)에 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{\bar{Z}}{\bar{\theta}}\bar{I}(x) = \overline{V^+}e^{\bar{\theta}x} - \overline{V^-}e^{-\bar{\theta}x} \tag{3-9}$$

여기서, 특성임피던스(Characteristic Impedance) $\overline{Zc}$를 다음과 같이 정의한다.

$$\overline{Zc} = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}} \tag{3-10}$$

식(3-9)에서 계수$\frac{\bar{Z}}{\bar{\theta}}$는

$$\frac{\bar{Z}}{\bar{\theta}} = \frac{\bar{Z}}{\sqrt{\bar{Z}\bar{Y}}} = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}} = \overline{Zc} \tag{3-9}$$

가 된다. 따라서 식(3-9)는

$$\overline{ZcI}(x) = \overline{V^+}e^{\bar{\theta}x} - \overline{V^-}e^{-\bar{\theta}x} \tag{3-11}$$

이다.

식(3-8)과 식(3-11)에 초기값 x=0을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\bar{V}(x) = \left(\frac{e^{\bar{\theta}x} + e^{-\bar{\theta}x}}{2}\right)\overline{Vr} + \left(\frac{e^{\bar{\theta}x} - e^{-\bar{\theta}x}}{2}\right)\overline{ZcIr} \tag{3-12}$$

$$\overline{ZcI}(x) = \left(\frac{e^{\bar{\theta}x} - e^{-\bar{\theta}x}}{2}\right)\overline{Vr} + \left(\frac{e^{\bar{\theta}x} + e^{-\bar{\theta}x}}{2}\right)\overline{ZcIr} \tag{3-13}$$

식(3-12)와 식(3-13)을 Hyperbolic 함수로 변환하여 정리하면 다음과 같다.

$$\overline{Vs} = \cosh\bar{\theta}d\,\overline{Vr} + \overline{Zc}sinh\bar{\theta}d\,\overline{Ir} \tag{3-14}$$

$$\overline{Is} = \frac{1}{\overline{Zc}}sinh\bar{\theta}d\,\overline{Vr} + \cosh\bar{\theta}d\,\overline{Ir} \tag{3-15}$$

식(3-14)와 식(3-15)를 레일의 전송 기초방정식이라고 한다.

### (3) 선로정수의 특성 해석

#### (가) 선로정수 측정법

레일의 전송 기초방정식으로부터 궤도레일의 선로정수를 측정하는 방법은 수신단 쪽을 단락시킨 후 송신단 쪽에서 측정하여 구한 단락임피던스와 수신단 쪽을 개방시킨 후 송신단 쪽에서 측정하여 구한 개방 임피던스로부터 특성 임피던스와 전파정수의 식을 이용하여 레일의 임피던스 $\overline{Z}$ 와 누설 어드미턴스 $\overline{Y}$를 계산하였다.

단락 임피던스와 개방임피던스를 구해보면 다음과 같다.

$$\overline{Zs} = \overline{Zc}tanh\overline{\theta}d \tag{3-16}$$

$$\overline{Zo} = \overline{Zc}coth\overline{\theta}d = \frac{\overline{Zc}}{\tanh\overline{\theta}d} \tag{3-17}$$

여기서,

$\overline{Zs}$ = 단락 임피던스, $\overline{Zo}$ = 개방 임피던스

이다. 이것을 이용하여 식(3-10)의 특성 임피던스는 다음과 같이 바뀐다.

$$\overline{Zc} = \sqrt{\overline{Zs}\overline{Zo}} \tag{3-18}$$

마찬가지로 식(3-7)의 전파정수를 단락 임피던스와 개방 임피던스로 나타내면 다음과 같다.

$$\overline{\theta}d = \tanh^{-1}\sqrt{\frac{\overline{Zs}}{\overline{Zo}}} \tag{3-19}$$

단위길이당 레일 임피던스와 단위 길이당 누설 어드미턴스를 특성 임피던스와 전파정수의 관점에서 보면

$$\overline{Z} = \overline{\theta Zc} \tag{3-20}$$

$$\overline{Y} = \frac{\overline{\theta}}{\overline{Zc}} \tag{3-21}$$

와 같이 된다. 따라서 각각의 정수들을 유도해 보면 다음과 같다.

$$\overline{R} = \overline{Z}cosh\phi_z \text{ : 레일 저항 [Ω/km]} \tag{3-22}$$

$$\overline{L} = \frac{\overline{Z}}{\omega}sin\phi_z \text{ : 레일 인덕턴스 [H/km]} \tag{3-23}$$

$$\overline{G} = \overline{Y}cos\phi_y \text{ : 누설 컨덕턴스[mho/km]} \tag{3-24}$$

$$R_b = \frac{1}{\overline{G}} \text{ : 누설 저항[Ω/km]} \tag{3-25}$$

$$\overline{C} = \frac{\overline{Y}}{\omega}sin\phi_y \text{ : 누설 커패시턴스 [F/km]} \tag{3-26}$$

### (4) 선로정수의 특성

선로정수들의 수치값은 실제 상황에서 측정하기가 쉽지 않다. 선로정수들이 레일의 종류, 노반의 특성(토공, 콘크리트교, 터널 등), 투자율, 도전율, 그리고 대지의 유전율과 도전율, 그리고 궤도의 구조 등에 의하여 영향을 받고 있기 때문이다. 또한 이 정수들은 주파수에 대하여 비선형적인 특성을 가지고 있다.

레일 임피던스는 내부 성분과 외부 성분으로 구성되어 있다. 내부 성분은 레일내부의 자속의 분포에 의하여 결정되고 외부 성분은 레일 도체 밖으로 나가는 자속에 의하여 발생한다. 내부 성분은 재질의 영향을 받는 대신에 외부 성분은 주로 레일 구조의 영향을 받는다. 레일 임피던스의 저항 성분은 주파수가 증가함에 따라 주파수의 제곱근에 비례하여 증가하지만 인덕턴스는 레일 내부자속의 감소로 인하여 감소한다. 이것은 표피효과로 인하여 자속밀도와 전류밀도의 분포가 변화하기 때문이다.

레일 임피던스와 비교해 볼 때 궤도 레일은 대지로 흘러가는 와류(Eddy Currents)와 전도전류(Coduction Currents)가 통과하는 일련의 도체들의 구조로도 볼 수 있다. 만약 이 도체들이 서로에 대해서나 절대 접지에 대해서 상대적으로 다른 전위를 갖는다면 전류가 흐르게 된다. 이 전류의 도전 성분으로 궤도신호의 손실이 발생되며 이것의 크기는 누설 어드미턴스의 컨덕턴스 성분과 관련이 있다. 사실 레일과 대지의 전도적(Conductive) 구조는 레일의 체결부에서 일어난다. 이 체결부는 침목 위에 설치된 레일을 도상자갈(Ballast)과 묶어주는 연결고리 역할을 하는 부분이다. 레일 사이의 누설 컨덕턴스는 대지의 도전율과도 관계가 있다.

대지는 유전율을 가지는데 이것은 레일과 레일 사이 그리고 레일과 대지 사이에 흐르는 변위전류의 크기를 결정해 준다. 전력 주파수와 가청주파수에서 레일 사이를 흐르는 용량성 전류는 전도전류보다 크기가 작다. 그러나 대전류가 흐르는 경우 누설 커패시턴스는 무시할 수 없으며 또한 특성 임피던스와 전파정수에 영향을 끼친다.

결국 누설 어드미턴스는 대지에 설치되어 있는 구조적인 특성으로 인하여 대지의 유전율과 도전율의 변화에 따른 영향을 받게 된다. 이것들은 지리적, 기후적인 영향 때문에 변화하므로 결국 누설 어드미턴스까지 영향을 끼치게 된다.

송신부에서 전송된 궤도신호는 레일을 거쳐 수신부 또는 열차로 전달되는 동안 감쇠가 일어난다. 이러한 감쇠는 선로정수 중에서 레일 저항과 누설 컨덕턴스로 인하여 발생하는 것이다. 레일의 선로정수는 주파수의 영향을 받으며 일반적으로 레일의 길이에 독립적이다.

레일의 직렬성분인 레일 임피던스는 표피효과의 영향을 받는다. 이 영향으로 인하여 레일 저항 성분은 주파수의 제곱근에 비례하여 증가하며, 레일 인덕턴스 성분은 레일 내부의 자속의 감소로 인하여 값이 감소한다. 병렬 성분인 누설 어드미턴스는 도상자갈의 투자율과 저항률이 주파수와 습도에 따라 변화한다. 즉 지리적, 환경적인 영향을 받는 것이다.

레일에서 발생하는 신호의 감쇠를 최소화시켜 주면 수신단에 수신되는 신호의 레벨이 올라가므로 동일한 수신 레벨을 비교했을 때 결국 궤도구간의 길이가 증가하는 효과를 얻을 수 있다. 송전단의 레일 사이에 송출된 전력은 레일의 전압강하나 자갈의 누설에 의하여 감쇠되면서 수전단에 도달한다.

그 감쇠의 정도는 궤도 회로의 종류와 상태, 사용하는 기기의 특성, 조정 상태 등에 의하여 차이가 나며 또한 변동된다. 예를 들면 도상이 비나 눈이 녹아 내려서 수분을 함유하면

누설 컨덕턴스가 증가하여 감쇠가 늘고, 궤도 계전기의 전압이 낮아진다. 그 반대로 건조하면 전압이 상승한다.

앞에서 언급한 것처럼 이러한 선로정수의 측정은 쉽지 않다. 실제 측정을 위해서는 토공구간, 터널구간, 교량구간을 각각 레일을 절단한 후에 개방/단락임피던스를 측정하고 다시 레일을 용접하는 방법으로 시행하여야 하는데, 현재 고속선에 열차가 운행 중인 상태에서 레일을 절단하고 다시 용접하기는 곤란하기 때문이다. 그래서 궤도회로의 특성임피던스와 전파정수를 구하기 위해 필요한 선로정수는 고속선 궤도회로 설치당시에 코레일과 한국고속철도건설공단이 측정한 평균값을 이용하였다. 이 측정값은 우리나라 궤도회로의 전기적 절연구간의 길이를 산정하기 위해 측정한 것으로서, 이 측정값을 이용하여 프랑스와 다른 전기적 절연구간의 길이가 산출된 것이다. 일반적으로 프랑스의 경우는 전기적 절연구간이 19.6m이지만 우리나라의 경우 토공과 터널의 경우 19.2m이고, 교량의 경우는 20.4m로 적정값이 산출되었다. 이는 우리나라의 토공, 터널, 교량의 선로정수 값이 프랑스와 다르기 때문에 우리나라의 특성에 맞는 궤도회로의 전기적 절연구간)의 길이가 산정된 것으로 볼 수 있다. 그러나 선로정수값에는 실제 환경적인 부분에 의한 영향 등은 반영시킬 수 없다.

## 다. 고속선 궤도회로의 단락전류 개념

차상검측시스템에서 통신선로는 비교적 누설 컨덕턴스가 적어서 손실이 적은 반면에 궤도레일은 누설컨덕턴스 성분이 커서 누설이 크며, 대지의 특성에 따라 선로정수의 특성에 영향을 끼친다는 특징을 가지고 있다. 고속선 궤도회로의 상태를 측정할 수 있는 항목은 여러 가지가 있는데, 연속레벨, 연속메시지, 불연속레벨, 불연속메시지, 귀선전류 레벨, 측선궤도회로 연속레벨, 보상커패시터 및 양극자블럭장치(DB), 동조유니트(BU)의 유무 등이다. 궤도회로 신호는 송신부에서 수신부로 전달되는 동안 상당한 감쇠가 일어나며, 이에 대한 보상을 위해 보상 커패시터가 60~80[m] 간격으로 설치되어 있다.  여기서 보상 커패시터 기능저하의 경우 정보전송이 불량하게 되므로 이에 대한 대책 및 진단이 중요하다.[3,4]

현재 고속선에 설치된 궤도회로는 CSEE사에 의해 개발된 UM71C궤도회로이다. 프랑스에서는 1980년대 이후로 지금까지도 계속해서 TVM 지상/차상시스템의 인터페이스 용도로 UM71C궤도회로를 사용하고 있으며, 그 안정성은 이미 전 세계적으로 설치되어 인정받고 있다. 이렇게 광범위하게 설치된 UM71C궤도회로는 차상검측을 통해 유지보수를 시행하고 있다. 실제 유지보수자가 일일이 현장을 돌아다니며 궤도회로의 상태를 점검하고 이상 유무를 확인하는 방법은 많은 유지보수 시간과 인력이 필요한 비효율적인 방법이므로 차상검측을 통한 유지보수는 반드시 이루어져야 하는 항목이다. 현재까지 UM71C궤도회로의 차상검측 방법은 프랑스 SNCF가 사용하고 있는 단락전류(Icc)의 활용 방법 외에는 다른 방법이 없는 것으로 밝혀지고 있다. 이것은 단락전류(Icc)가 지상/차상간의 데이터 전송 상태를 가장 잘 나타낼 수 있는 방법이기 때문이기도 하다.

### (1) 단락전류 발생 원리

궤도회로에서 단락전류(Icc)가 발생되는 원리를 알아보기 위해서는 궤도회로의 정보전송 원리를 이해하여야 한다. UM71C 궤도회로는 송신부에서 수신부 방향으로 차상에서 필요한 정보를 반송주파수에 포함시켜 레일을 통해 전송을 한다. 이때 고속열차가 궤도회로에 진입할 경우 해당구간의 정보를 TVM시스템을 통해 전송받게 되는데, 이것은 전방궤도회로 조건

에 따라 변화가 있는 연속적인 정보라고 해서 첫 번째 차축에 의해 단락되는 신호전류를 연속정보안테나가 취득하는 원리로 전송된다. 그림 197은 궤도회로의 정보전송 원리를 나타낸다.

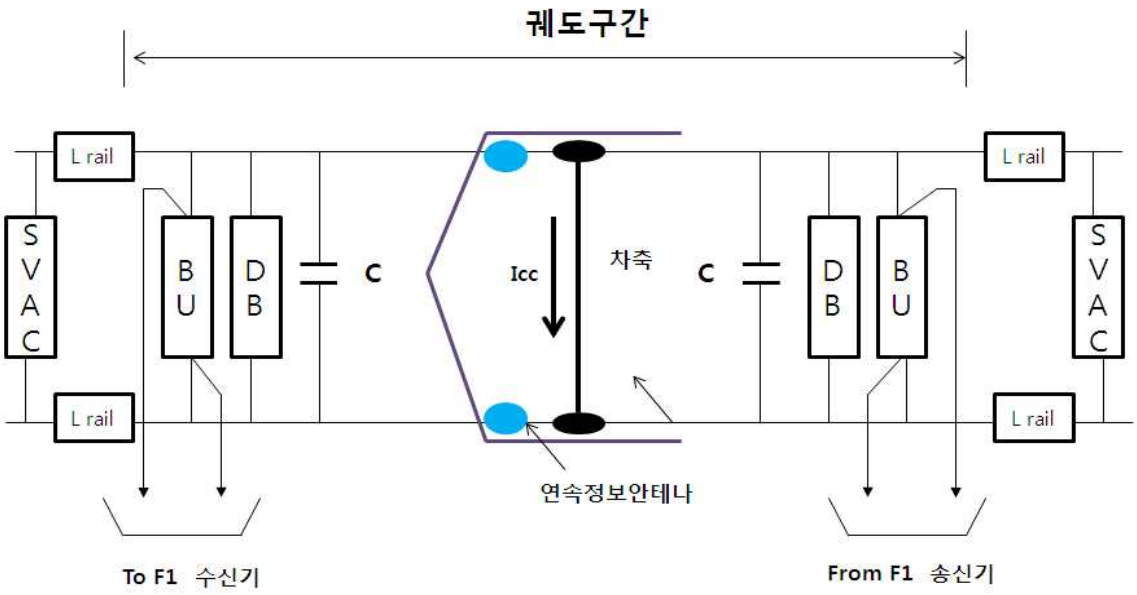



그림 197 궤도회로 정보전송의 원리

연속정보안테나에서 정보를 취득하는 것은 레일에 흐르는 신호전류의 방향에 따라 발생되는 자계의 세기를 유도코일에서 Pick up하는 방식으로 정보를 획득한다. 그림 198는 연속정보안테나의 정보취득 원리를 나타낸다.

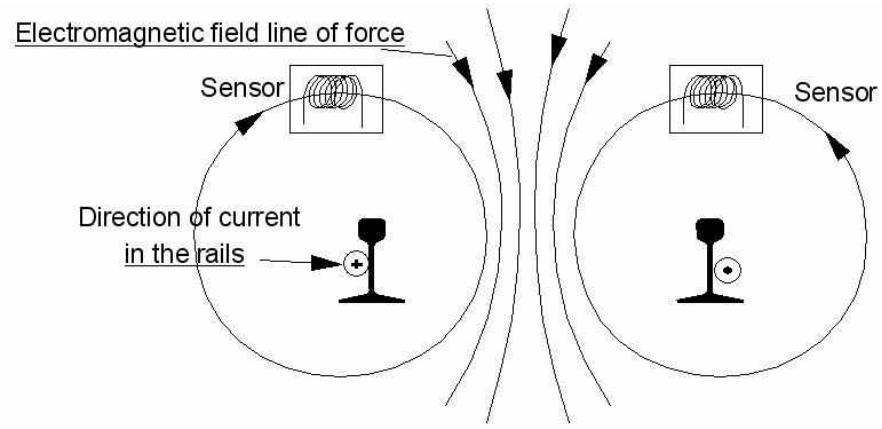



그림 198 연속정보안테나 정보취득 원리

이 연속정보안테나는 KTX의 경우 첫 번째 차축에서 2m 전방에 위치하며, 레일면에서의 높이는 약 30cm에 설치되어 진다. 이렇게 측정된 각각의 계측치는 검측차의 위치에 따른 유효전류 즉, 단락전류(Icc)를 나타낸다.

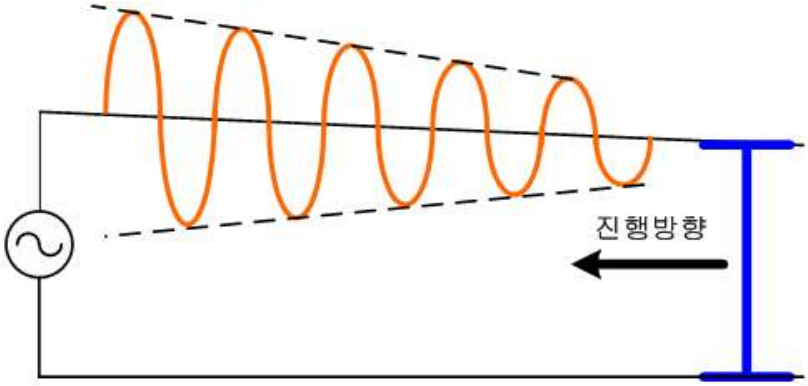



그림 199 단락전류 레벨 생성원리

그림 199은 단락전류 레벨 생성원리를 나타내는데, 전송선로 즉, 레일 송신부에 고주파 전원을 인가하면 전류파와 전압파는 계속 한쪽 방향으로 진행하는데 이와 같은 파동을 진행파라고 부른다. 이러한 진행파가 그 선로의 특성임피던스와 다른 부하 즉, 차축을 만나게 되면 부하임피던스에 의해 반사파가 발생하게 된다. 따라서 이 진행파와 반사파가 서로 간섭하여 동위상으로 만나는 곳에서 파동이 정지해 있는 것처럼 보이는 정재파 혹은 정상파가 발생한다. 이렇게 만들어진 정재파를 단락전류 파형이라고 부르며 단락전류 진폭의 최대치와 최대치, 최소치와 최소치간의 거리를 반파장주기(λ/2)라고 하며, 레일은 손실이 존재하는 전송선로이므로 송신부에서 수신부 방향으로 단락전류 진폭의 크기가 점차적으로 감소하게 된다. 그림 200은 전송선로에서 파동의 발생을 나타낸다.

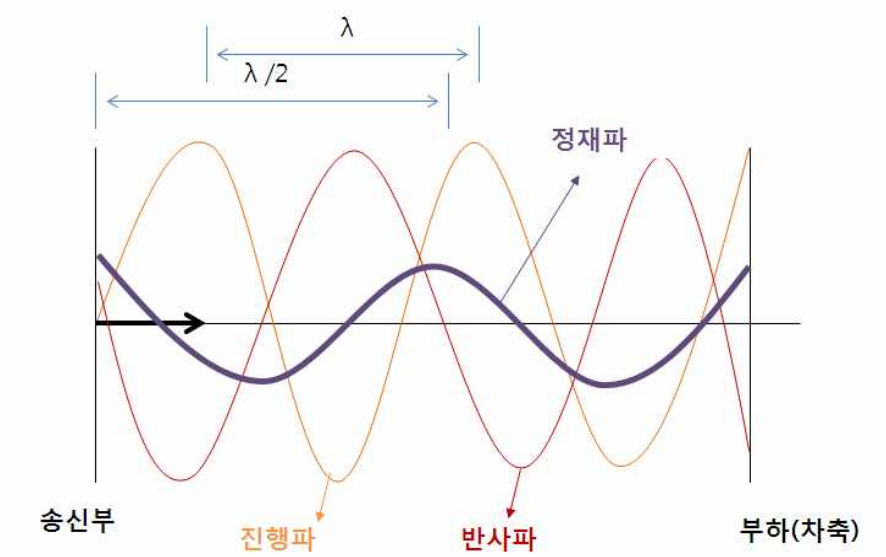



그림 200 전송선로에서 파동의 발생

선로상을 진행하는 전압이나 전류의 위상이 선로상에서 2π[rad]로 변화하는 사이의 거리를 파장(λ)이라 하므로 파장과 위상정수(β)와의 관계는 $2\pi = \beta\lambda$, 따라서 $\lambda/2 = \pi/\beta$로 나타낼 수 있다.

전송선로의 파동방정식에 의해 정확한 λ/2를 계산하기 위해서 토공, 교량, 터널구간에 대한 특성임피던스(Characteristic Impedance) $Z_c$와

$$Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}},\ Z_C = \sqrt{\frac{R+j2\pi fL}{G+j2\pi fC}} \qquad (3\text{-}27)$$

전파정수(Propagation Constant) $\theta = \sqrt{ZY} = \alpha + j\beta$를 구한다.

$$\theta = \sqrt{(R+j2\pi fL)(G+j2\pi fC)} = \alpha + j\beta \qquad (3\text{-}28)$$

여기에서 $f$는 반송주파수, $R$은 레일과 같은 방향의 저항, $L$은 레일과 같은 방향의 인덕턴스, $G$는 레일과 평행한 컨덕턴스, $C$는 레일과 평행한 커패시턴스 성분을 나타낸다. 계산을 위해 필요한 선로정수 값은 경부고속철도 궤도회로를 설치할 당시 전기적 절연구간(JES)의 길이를 정의하기 위해 측정된 구간별 선로정수 값을 이용하였다.

표 151 경부고속선 토공구간의 선로정수 평균값

| 구분 | $R$(mΩ/m) | $L$($\mu$H/m) | $G$($\mu$S/m) | $C$(nF/m) | $R_b$(Ω · km) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2040Hz | 1.315 | 1.312 | 0.248 | 0.282 | 4032 |
| 2400Hz | 1.456 | 1.305 | 0.276 | 0.280 | 3637 |
| 2760Hz | 1.688 | 1.300 | 0.304 | 0.279 | 3292 |
| 3120Hz | 1.852 | 1.296 | 0.332 | 0.278 | 3016 |

표 152 경부고속선 교량구간의 선로정수 평균값

| 구분 | $R$(mΩ/m) | $L$($\mu$H/m) | $G$($\mu$S/m) | $C$(nF/m) | $R_b$(Ω · km) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2040Hz | 1.589 | 1.225 | 0.141 | 0.281 | 7115 |
| 2400Hz | 1.769 | 1.215 | 0.164 | 0.280 | 6101 |
| 2760Hz | 1.939 | 1.206 | 0.188 | 0.280 | 5321 |
| 3120Hz | 2.106 | 1.200 | 0.212 | 0.279 | 4720 |

표 153 경부고속선 터널구간의 선로정수 평균값

| 구분 | $R$(mΩ/m) | $L$($\mu$H/m) | $G$($\mu$S/m) | $C$(nF/m) | $R_b$(Ω · km) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2040Hz | 1.327 | 1.288 | 443 | 18.74 | 2.26 |
| 2400Hz | 1.382 | 1.274 | 508 | 19.28 | 1.97 |
| 2760Hz | 1.486 | 1.265 | 536 | 17.36 | 1.87 |
| 3120Hz | 1.573 | 1.257 | 562 | 15.96 | 1.78 |

식(3-2)에서, 감쇠정수 α[neper/m] 와 위상정수β[rad/m]를 수치적으로 계산하여 산출하였다.

$$\alpha = \frac{1}{2}(R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}}) = \frac{1}{2}\sqrt{LC}(\frac{R}{L} + \frac{G}{C}) \text{ [neper/m]} \qquad (3\text{-}29)$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \text{ [rad/m]} \qquad (3\text{-}30)$$

### (2) 특성 임피던스의 변화

차상검측시스템에 의해 운행되는 운행km에 따라 임피던스의 변화를 추적하면 아래와 같은 곡선을 얻을 수 있다. 단락전류와 마찬가지로 특성임피던스의 변화상태도 첫 번째 차축과 송신측 JES간 거리에 따라 반파장주기(λ/2)로 변화됨을 알 수 있다. 이러한 임피던스의 변화를 뚜렷이 볼 수 있는 공간 주기성의 특성은 Icc곡선을 참조하면 쉽게 파악할 수 있다.

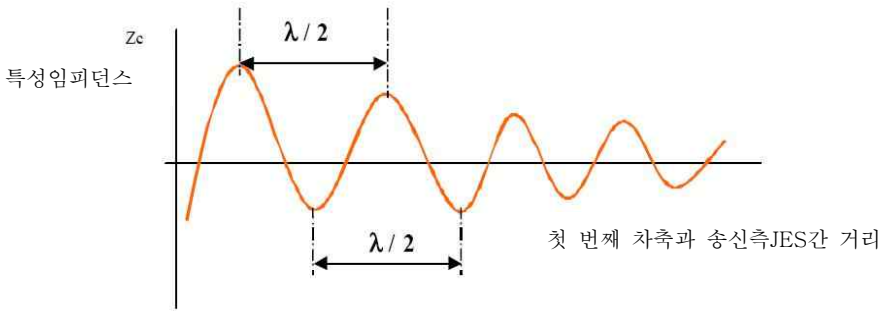



그림 201 특성임피던스의 변화 곡선

### (3) 단락전류 패턴의 변화

UM71C 궤도회로 단락전류(Icc) 값의 형태는 다음 그림 202와 같이 나타난다.

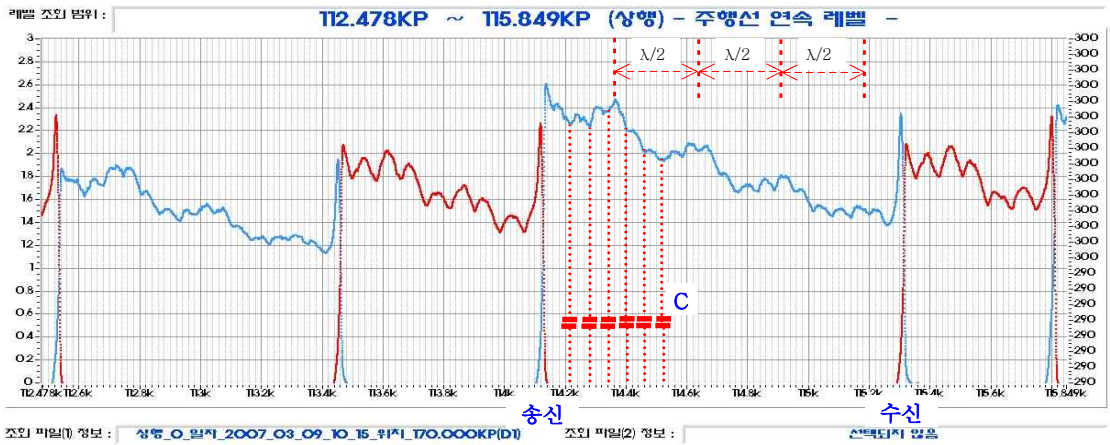



그림 202 단락전류(Icc) 패턴의 변화

단락전류의 최대치와 최대치간의 거리는 λ/2로 표현하며, 최소치와 최소치간의 거리도 λ/2로 표현이 가능하다. 또한, 단락전류의 일정간격으로 보상콘덴서의 기능에 의한 진폭이 발생된다. 수신측에 나타나는 전류의 큰 진폭은 차축이 수신측 동조유니트를 통과할 경우 발생되는 현상으로 보상이 잘 이루어진 경우 송신측의 단락전류 값과 유사하게 측정된다.

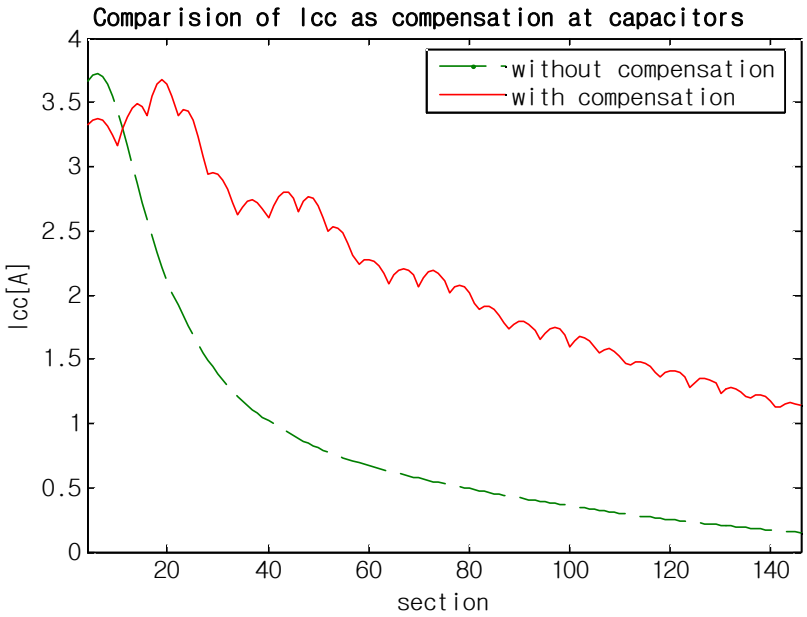



그림 203 보상에 따른 단락전류(Icc)의 비교

그림 203는 보상에 의한 단락전류의 상태를 비교한 것으로 점선의 경우는 보상이 전혀 이루어지지 않은 경우의 단락전류 파형이다. 보상콘덴서가 없는 경우 송신측에서 수신측까지 정상적인 정보전송이 이루어지지 않음을 단락전류 레벨의 변화로 알 수 있다.

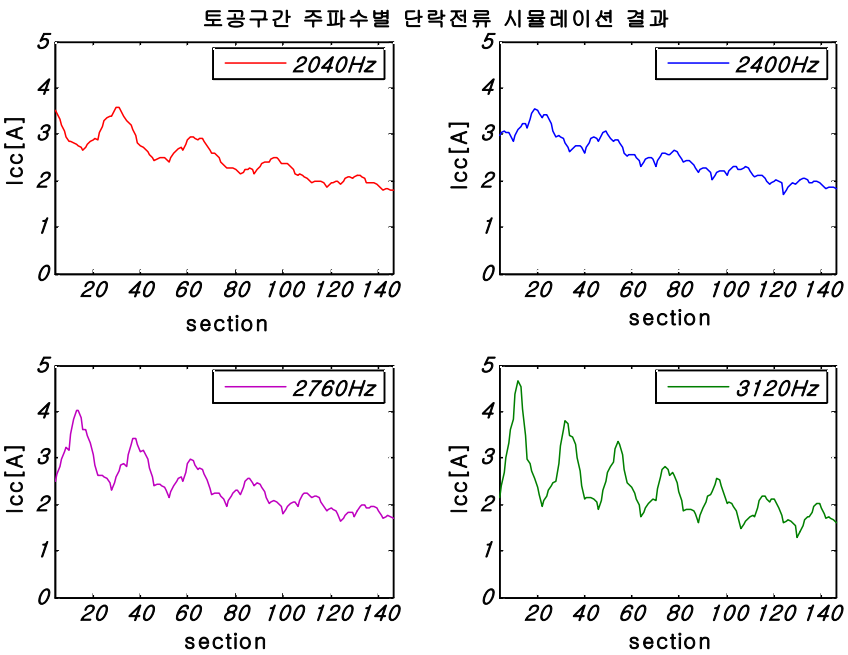



그림 204 토공구간 주파수별 단락전류 패턴의 변화

그림 204은 토공구간에서 주파수별 단락전류 패턴의 변화를 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행한 결과이며, 주파수가 증가 할수록 반파장주기(λ/2)는 짧아짐을 확인할 수 있다. 그림 205와 그림 206에서도 같은 패턴을 확인할 수 있다.

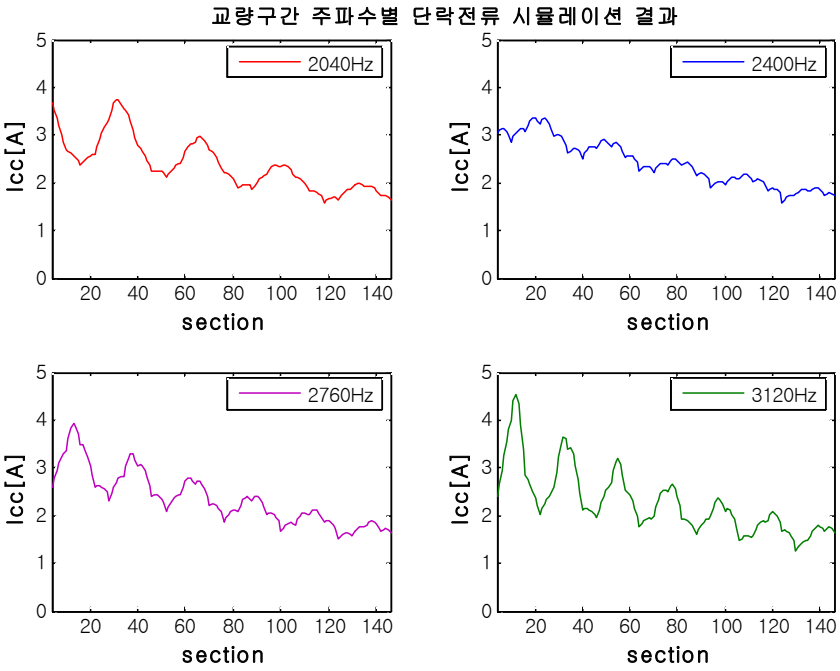



그림 205 교량구간 주파수별 단락전류 패턴의 변화

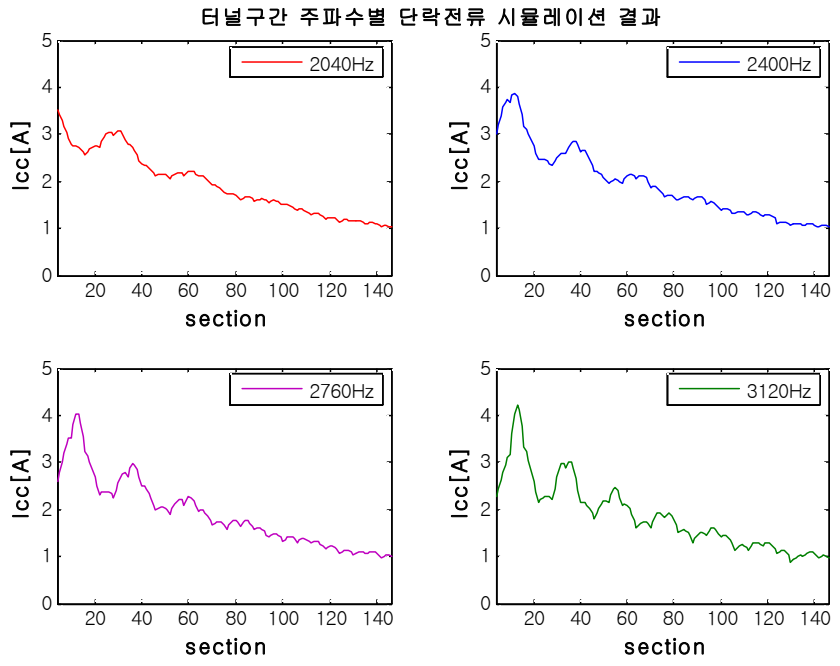



그림 206 터널구간 주파수별 단락전류 패턴의 변화

### (4) 단락전류의 제한수치

궤도회로의 단락전류를 분석하기 위해서는 시스템 제작시부터 고려된 다른 주파수에서의 간섭과 누설전류 최대치를 초과해서는 안 된다. 다음 그림 207는 차상에서 정보를 수신하는 데 있어서 영향을 미칠 수 있는 단락전류 최소 한계와 간섭 및 누설되는 전류의 최대 한계값을 나타낸다.




그림 207 단락전류의 최소 한계와 최대 한계 값

이와 같이 차상검측시스템에서 수집되는 데이터는 차축에 의한 단락임피던스 영향으로 발생되는 단락전류를 이용하여 전송선로상의 현장설비의 문제점을 진단할 수 있어야 한다. 특히 보상콘덴서의 기능저하, 귀선전류 레벨의 불평형 등은 단락전류에 미치는 영향이 크기 때문에 반드시 많은 검측데이터를 확보하여 고장시 유형을 데이터베이스화 하고, 문제가 있는 데이터가 수집되었을 경우 즉시 판단이 가능하도록 분석할 수 있는 분석기준이 필요하다.

그러나, 다양한 개소에서 다양한 유형의 검측데이터를 확보하는 데에는 많은 시간이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 궤도회로의 모델링을 통해 단락전류를 시뮬레이션 하였다. 단락전류 시뮬레이션은 궤도회로의 현장설비개소에 임의의 장애를 생성하여 단락전류의 변화상태를 확인할 수 있는 좋은 방법이다.

이렇게 단락전류 시뮬레이션 결과를 활용하기 위해서는 현장측정결과와 시뮬레이션 결과 차상검측결과가 모두 일치하여 객관적인 검증이 이루어진 이후에 가능하다. 그러므로 이러한 절차를 통해 객관적인 검증이 완료된 시뮬레이션 프로그램을 만들었다.

## 라. 고속선 궤도회로 모델링

### (1) 궤도회로의 정보전송

고속선의 궤도회로는 특별한 반송주파수를 이용하여 열차에 코드화된 연속정보데이터를 전송한다. 이러한 시스템은 기관사에게 안전구역 내에서 최고속도를 제시하며, 궤도회로의 송신기는 AC전류를 공급한다. 전송라인은 양쪽레일에 의해 구성되어지고, 수신기는 송신기와 반대쪽에 연결된다. 보내진 전류는 궤도의 유도성분 때문에 감쇠되어진다. 전기적인 조정과 전송레벨의 향상을 위해서 레일에는 일정한 간격으로 보상콘덴서가 설치되는데 콘덴서의 수량은 궤도회로의 주파수와 길이에 따라 달라진다. 우리나라의 경우 전체 4개의 반송주파수를 사용하는데 2040Hz와 2400Hz에서는 60m간격으로 설치되며, 2760Hz와 3120Hz에서는 80m간격으로 일정하게 설치된다.

열차가 진행하면서 첫 번째 차축 2m전방에 있는 연속정보안테나로부터 연속정보를 수신하고 차상검측데이터도 차축에 의해 수집되는 단락전류를 측정하여 검측데이터로 활용하고 있다.

우리는 우선 차상검측방법이 아닌 현장에서 측정 가능한 점검방법인 레일전압과 레일전류에 대한 모델링을 수행하였으며, 차상검측데이터로 활용할 수 있는 단락전류를 시뮬레이션하기 위해 궤도회로를 전송라인으로 생각하여 궤도회로의 전기적인 특성을 모델링하였다. 실제 차상검측데이터를 분석하기 위해 필요한 모델링은 단락전류에 대한 부분이므로 단락전류 계산을 위한 모델링을 집중적으로 수행하였으며, 여러 가지 결함이 있는 모델을 임의로 만들어 다양하게 시뮬레이션을 수행하였다.

모델링을 위한 궤도회로는 고속선 오송~천안아산간 TC2402를 선정하였으며, 궤도길이는 1,502m, 보상콘덴서의 수량은 23개이다. 궤도회로의 특성임피던스와 전파정수를 해당구간의 선로정수 평균값을 이용하여 계산하였으며, 차축에 의해 단락되어질 때 생성되는 송전측의 4단자망 P와 차축 후방의 4단자망 Q로 정의하여 모델링을 하였다.

### (2) 궤도회로의 등가 회로

TC2402 궤도회로 등가 4단자망의 계산은 전송라인의 분포정수회로와 일정한 간격의 보상콘덴서를 구간별 선로정수 값을 적용하여 수행하였고, 보상콘덴서의 값은 설치 당시와 약간의 저항 차이가 있지만 평균적으로 25$\mu$F으로 일정하다는 가정 하에 계산하였다. 변환행렬식은 전송라인 이론을 이용하여 추정하였다.

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j2\pi fL}{G + j2\pi fC}} \qquad (4\text{-}1)$$

$$\theta = \sqrt{(R + j2\pi fL)(G + j2\pi fC)} \qquad (4\text{-}2)$$

여기에서 $Z_c$는 전송라인의 선로정수값에 의한 특성임피던스이고, $\theta$는 전파정수를 나타낸다. $f$는 반송주파수, $R$은 레일과 같은 방향의 저항, $L$은 레일과 같은 방향의 인덕턴스, $G$는 레일과 평행한 컨덕턴스, $C$는 레일과 평행한 커패시턴스 성분을 나타낸다.

TC2402 궤도회로의 전기적인 특성에 대한 시뮬레이션을 수행하기 위해 궤도회로를 우선 전기적 절연구간과 전송라인으로 구분하였으며, 샘플구간에 대해 세부적으로 전송라인과 보상콘덴서로 구분하여 4단자 정수를 계산하였다. 궤도회로의 전기적 절연구간과 전송라인 구분은 그림 208과 같고, 샘플구간 내 전송라인에서의 등가회로는 그림 209와 같다.

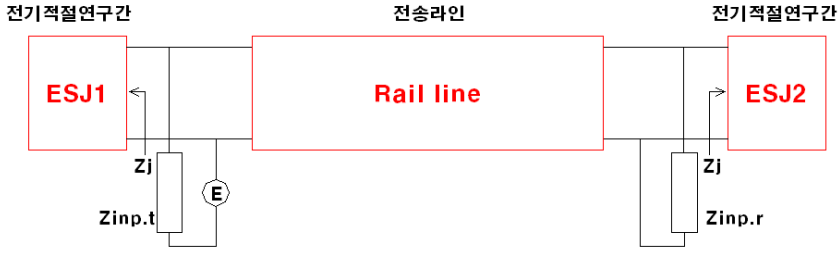



그림 208 궤도회로의 전기적 절연구간과 전송라인 구분

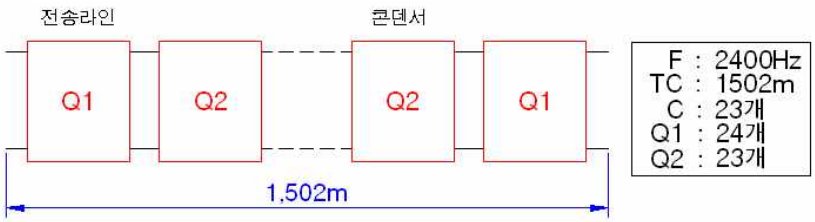



그림 209 TC2402 궤도회로의 등가회로

전송라인 $Q_1$과 보상콘덴서 $Q_2$는 전송라인 이론에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_1 = \begin{bmatrix} \cosh(\theta L) & -Z_c \sinh(\theta L) \\ -\frac{1}{Z_c} sinh(\theta L) & \cosh(\theta L) \end{bmatrix} \quad (4\text{-}3)$$

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j2\pi f \times 25\mu \mathrm{F} & 1 \end{bmatrix} \quad (4\text{-}4)$$

보상콘덴서 지점은 $C$ 값만을 적용하기 때문에 $Q_2$와 같은 식이 일정하게 사용되어 진다. 이와 같이 특성임피던스가 포함된 $Q_1$과 보상콘덴서가 포함된 $Q_2$의 곱에 의해 궤도회로의 등가회로는 구성되어진다.

### (3) 궤도회로의 선로 특성

그림 210은 TC2402 궤도회로의 지형특성에 대한 구간별 거리를 나타낸 것이고, 이것은 구간별 선로정수가 다르기 때문에 시뮬레이션 수행시 반영시켜야 할 파라미터 중 하나이다.

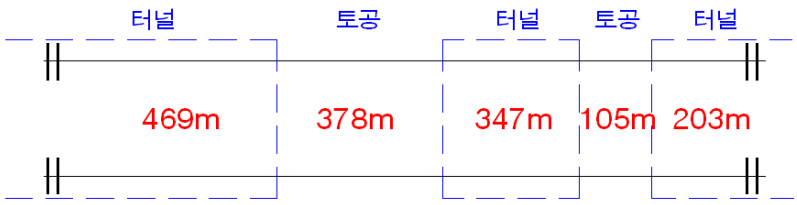



그림 210 TC2402 궤도회로의 구간별 거리

우리나라의 고속선은 지형 특성상 토공, 교량, 터널구간으로 구분되어 설치되었다. 따라서 구간별 궤도회로의 전기적인 특성요소 값들도 다르게 나타난다. 이러한 궤도회로의 전기적인 특성은 고속선이 설치될 당시에 측정한 데이터가 존재하여 그대로 적용시켜 모델링 기초자료로 사용할 수 있다. 연구 초기에는 프랑스 기준값을 적용시켜 선형보간법으로 국내 기준값을 산출하였으나 좀 더 정확한 모델링 수행을 위해 설치 당시의 데이터를 적용시켰다.

다음 표는 TC2402의 토공구간과 터널구간의 선로정수 평균값을 나타낸다. 이 선로정수 평균값은 고속선 궤도회로 시공당시 궤도회로 절연구간의 길이를 산정하기 위해 측정된 값을 참조한 것이므로, 여기에서 사용된 평균값은 궤도회로 모델링을 위한 충분한 신뢰도를 갖는다.

표 154 토공구간의 선로정수 평균값

| 구분 | $R$(mΩ/m) | $L$($\mu$H/m) | $G$($\mu$S/m) | $C$(nF/m) | $R_b$(Ω · km) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2400Hz | 1.456 | 1.305 | 0.276 | 0.280 | 3637 |

표 155 터널구간의 선로정수 평균값

| 구분 | $R$(mΩ/m) | $L$($\mu$H/m) | $G$($\mu$S/m) | $C$(nF/m) | $R_b$(Ω · km) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2400Hz | 1.382 | 1.274 | 508 | 19.28 | 1.97 |

## 마. 시뮬레이션 프로그램

### (1) 응용프로그램 기능

고속선 궤도회로의 전기적 특성과 모델링 연구를 통하여 설계한 궤도회로 시뮬레이션 알고리즘은 PC기반 응용프로그램의 핵심 요소이다. PC기반 인터페이스 프로그램은 현장이나 차상에서 실시간으로 데이터를 취득하고 분석하여 궤도회로의 상태를 자동으로 진단할 수 있는 것이 특징이다. 궤도회로를 구성하는 각종 파라미터 정보들은 국내 고속선의 설계 및 시공시 정해지거나 측정되어 데이터베이스화 되었다. 이러한 정보를 토대로 시뮬레이션에서 생성된 구간별 단락전류 데이터와 차상 측정치의 매칭을 통해 진단하는 응용프로그램을 개발했다.

응용프로그램의 기능은 다음과 같다.

- 궤도회로 구성 파라미터 입력 및 계산
- 궤도회로 단락전류 시뮬레이션
- 궤도회로 단락전류 시뮬레이션 파형 분석 및 고장 자동진단
- 단락전류 시뮬레이션 데이터 저장
- 단락전류 저장 데이터 로드
- 현장 또는 차상 측정 단락전류 데이터 로드
- 각종 로드 데이터 분석 및 자동 진단

### (2) 전체 화면 구성

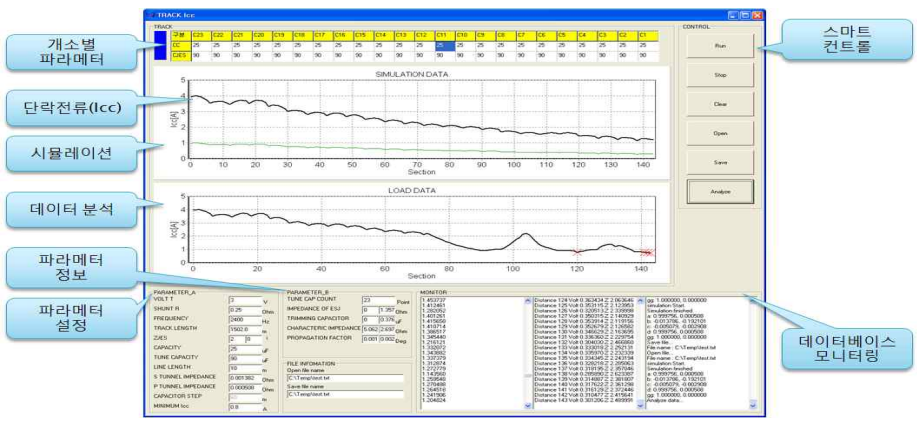



그림 211 인터페이스 화면

다음은 인터페이스 프로그램의 화면구성을 나타낸다. 프로그램 화면은 크게 입력, 출력, 선택 기능으로 나누어진다. 화면의 상부에는 개소별 상세 파라미터 입력 창이 있으며 중앙에는 시뮬레이션 파형을 디스플레이하는 창과 저장된 데이터를 디스플레이하는 창이 위치한다. 화면의 오른쪽에는 응용프로그램을 간단히 조작할 수 있는 스마트 컨트롤 창이 위치하고 하단에는 궤도회로 구성 파라미터 입력 창과 각종 데이터와 실행 상태를 나타내는 모니터링 창이 위치한다.

### (3) 상세 기능별 화면 구성

다음은 간단한 표형태의 입력창으로 개소별 파라미터를 설정한다. 궤도회로의 길이와 보상콘덴서의 간격에 따라 자동으로 보상콘덴서의 수와 용량이 설정되어 별도의 입력이 필요치 않다. 보상콘덴서(CC)와 등가 정전용량(CJES)은 개별적으로 설정이 가능하여 개소마다 별도의 파라미터를 입력하여 시뮬레이션 할 수 있다.

| 구분 | C23 | C22 | C21 | C20 | C19 | C18 | C17 | C16 | C15 | C14 | C13 | C12 | C11 | C10 | C9 | C8 | C7 | C6 | C5 | C4 | C3 | C2 | C1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CC | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| CJES | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |

그림 212 개소별 파라미터

다음은 인터페이스 프로그램의 디스플레이 화면을 나타낸다. 디스플레이 화면은 시뮬레이션 파형을 출력하는 화면과 저장된 데이터를 출력하는 화면으로 구성된다. 시뮬레이션 파형은 궤도회로 구성 파라미터를 사용하여 예상 단락전류를 모의할 수 있으며 CSEE에서 규정하는 TVM430의 정보전송을 위한 최소 단락전류를 설정하여 이상을 자동으로 진단할 수 있다. 또한 시뮬레이션 파형 데이터를 파일로 저장하는 기능도 있다. 이는 차상이나 현장 측정 데이터와 같은 형식의 데이터 파일로 저장되므로 다시 로드하여 파형을 그리고 분석 및 진단할 수 있는 다양한 방안으로 사용 가능하다. 다음 그림은 LOAD DATA의 단락전류가 최소 단락전류 800mA이하로 분석되어 자동으로 이상 유무를 진단한 결과를 나타내고 있다.

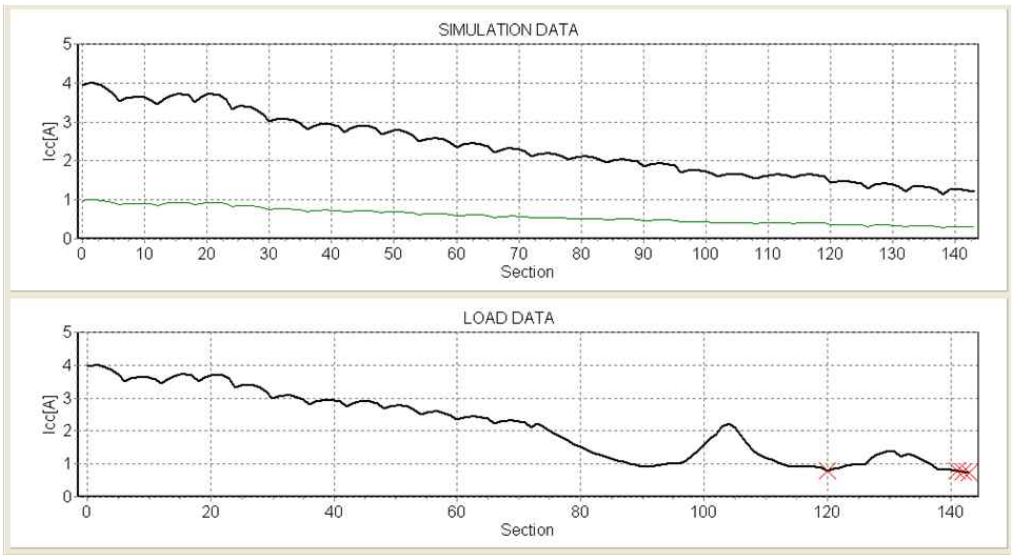



그림 213 시뮬레이션 및 데이터 분석

고속선 궤도회로를 구성하는 기본적인 파라미터는 다음 그림에서 보는 바와 같이 구성된다. PARAMETER A는 전송전압, 선로저항, 반송주파수, 보상콘덴서 등 입력용 파라미터이며 PARAMETER B는 PARAMETER A를 사용해 시뮬레이션 파형을 생성하는데 필요한 파라미터이다.

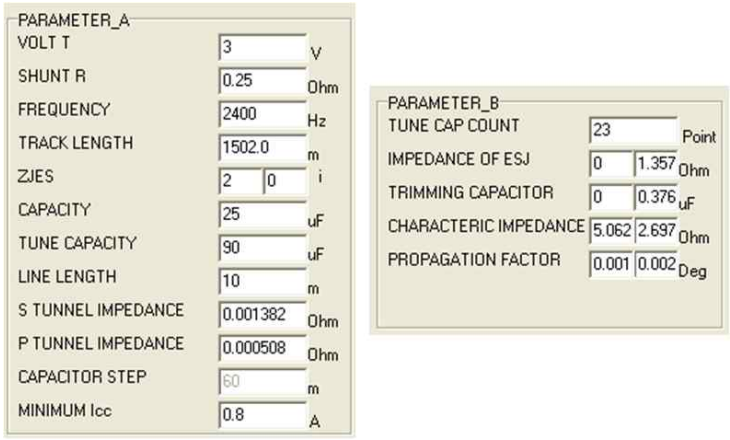



그림 214 파라미터 설정

응용프로그램은 간단한 인터페이스로 실행되는데 다음 그림은 인터페이스용 스마트 컨트롤을 나타낸다. 시뮬레이션의 실행 및 중지는 “Run” 버튼과 “Stop” 버튼을 사용하며 “Clear” 버튼은 시뮬레이션 파라미터와 디스플레이를 초기화시킨다. 그리고 ”Open″ 버튼은 데이터를 파일로 저장하는 기능으로, “Save” 버튼은 데이터 파일을 불러오는 기능으로 사용한다. 마지막으로 ″Analyze″ 버튼은 단락전류 파형을 분석하여 CSEE규정에 적합한가를 자동으로 판단하여 이상 유무를 진단한다.

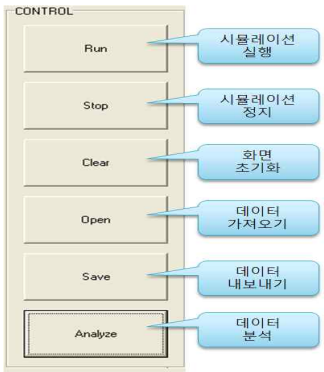



그림 215 스마트 컨트롤

본 프로그램에서 저장하거나 불러오는 데이터 파일은 특정 형식을 가지고 있다. 데이터 파일의 확장자는 “txt″이고 파일의 맨 첫줄은 ”Track Data″로 시작된다. 파일 정보는 다음 그림의 좌측에서 보는 바와 같이 확인 가능하다.

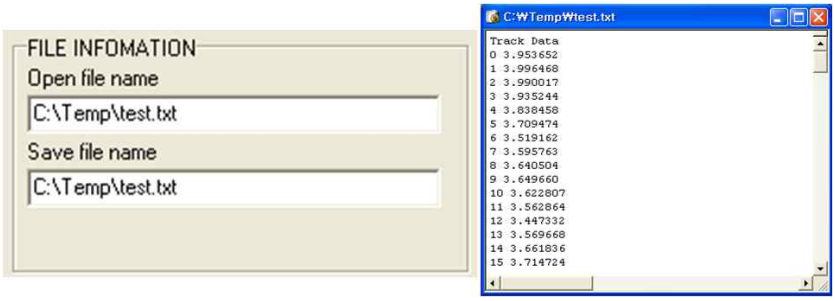



그림 216 데이터베이스 파일정보 및 데이터 파일

다음은 프로그램 상태를 모니터링하기 위한 모니터창이다. 좌측부터 단락전류 모니터, 기타 정보 모니터, 실행 목록 모니터로 구성된다. 모든 모니터 정보는 텍스트 형태로 프로그램을 종료하기 전까지 유지된다.




그림 217 데이터베이스 모니터링

### (4) 인터페이스 화면

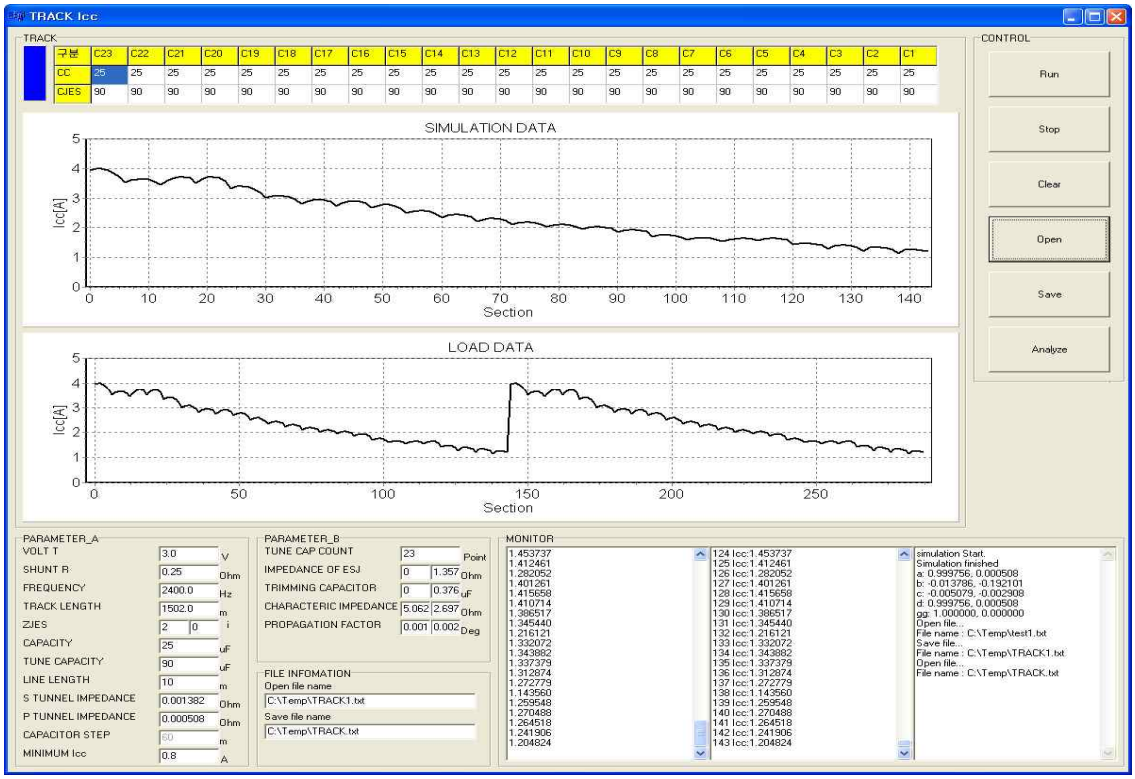



그림 218 인터페이스 구성화면

① 본프로그램의 특징: 단락전류의 이상 유무를 측정하거나 시뮬레이션 할 때 마다 c언어 기반의 프로그램으로 코딩하지 않고, 본프로그램의 입력란에 해당값을 입력하여 단락전류의 파형을 이미지화시켜 기존의 방법보다 쉽고 편하게 시뮬레이션 할 수 있게 함.

② 주요기능: 단락전류의 전류레벨이 최소 단락전류값 이하로 떨어지게 되면 이상 유무를 자동으로 표시해줌.

③ 사용방법

- track의 cc에서 보상커패시터 값을, cjes에는 등가 정전용량을 개별적으로 설정을 한다.

- parameter_a에 송전전압과 shunt 저항, 반송주파수, 궤도의 길이, zjes 값, 보상커패시터 값, 디스플레이 화면상에서 몇 미터 간격으로 측정할지 정할 수 있는 line length, 궤도의 보상커패시터 설치간격, 최소 단락전류 값을 입력한다.

- parameter_b에는 보상커패시터가 몇 개 있는지 표시되는 tune cap count가 있고, impedance of esj값과 trimming capacitor값이 표시되고, s tunnel impedance와 p tunnel impedance값을 입력한다.

- control의 run을 클릭하면 디스플레이의 simulation data에 입력 값에 해당하는 단락전류의 파형이 출력된다. stop은 시뮬레이션을 정지시키는 기능을 하고 clear는 디스플레이 화면을 초기화시키며, open은 데이터를 가져와서 디스플레이의 load data에 단락전류의 파형을 출력하며, save는 simulation data에 출력된 단락전류 파형의 값을 저장한다. analyze는 load data에 출력되어 있는 파형을 분석하여 minimum icc의 값보다 낮으면 빨간색의 x표가 표시되며 위험한 값이면 노란점으로 표시된다.

※ cc와 cjes 값을 입력하고, 해당 시뮬레이션 조건에 맞게 파라미터 값을 입력한 후 run을 클릭하여 simulation data에 파형이 표시되면 save를 클릭하여 해당값을 저장하고, open을 클릭하여 저장했던 값을 불러들여 analyze를 클릭하여 데이터를 분석한다.

## 바. 궤도회로 시뮬레이션 연구

본 연구는 단락전류 계산을 위한 궤도회로 모델링 결과를 이용하여 여러 가지 궤도회로의 결함을 찾아내기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 결함진단을 위한 시뮬레이션 수행은 차상검측 운영경험이 적은 우리나라의 경우에 다양한 패턴의 검측데이터를 시뮬레이션 할 수 있는 장점이 있다. 실제 차상검측을 통해 수집된 데이터는 다양한 패턴을 얻는데 많은 시간이 필요하다. 하지만 이러한 시뮬레이션 프로그램을 이용할 경우 많은 시간이 지나도 얻을 수 없는 다양한 패턴의 검측데이터를 모의할 수 있기 때문에 궤도회로의 결함을 진단하기 위해 유용하게 이용될 수 있다.

또한 결함진단을 위한 시뮬레이션 프로그램은 자동화 진단을 위해서도 반드시 필요하므로 다양한 패턴의 결함을 데이터베이스화 하여 검측과 동시에 결함을 분류하고 결함의 위치를 판별하는 데에도 사용되어 질 수 있다. 프랑스의 경우 이미 수년 전부터 자동화 진단에 관한 연구를 진행 중에 있는데 기본적으로 궤도회로의 단락전류를 모델링하여 고장패턴을 분류하고, 고장위치를 판별할 수 있는 시스템을 개발하고 있다.

### (1) 보상콘덴서 결함에 따른 시뮬레이션

시뮬레이션 프로그램을 이용하여 전 구간 보상콘덴서의 용량을 변경한 경우, 보상콘덴서 1개소에서 결함으로 인해 용량이 변경될 경우와 두 개 이상 또는 다수의 보상콘덴서에 결함이 있을 경우 등을 시뮬레이션 하여 단락전류 파형을 살펴보았다.

선로의 특성임피던스 값은 표 154의 선로 정수값을 사용하였고, CSEE에서 권장하는 2400Hz의 반송 주파수를 기준으로 시뮬레이션 하였다. 궤도회로의 총 길이는 1500m이고 보상콘덴서 간격을 60m기준으로 하여 총 23개소로 나누어 시뮬레이션 하였다. 보상콘덴서는 C1에서 C23까지 설정하였다.

### (2) 전 구간 보상콘덴서 용량 변경 시뮬레이션

보상콘덴서의 용량은 25㎌으로 정해져 있다. 보상콘덴서의 용량이 변경되었을 경우에 단락전류에 미치는 영향을 파악하였다. 보상콘덴서의 용량변경은 전 구간에 대해 동일한 조건으로 적용하였고, 보상콘덴서가 없는 것과 같은 0㎌, 그리고 10㎌, 20㎌으로 입력하였으며 프랑스에서 사용 중인 22㎌과 우리나라에서 사용 중인 보상콘덴서 용량25㎌에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 특성을 비교하기 위해 30㎌에 대해서도 시뮬레이션을 수행하였다.

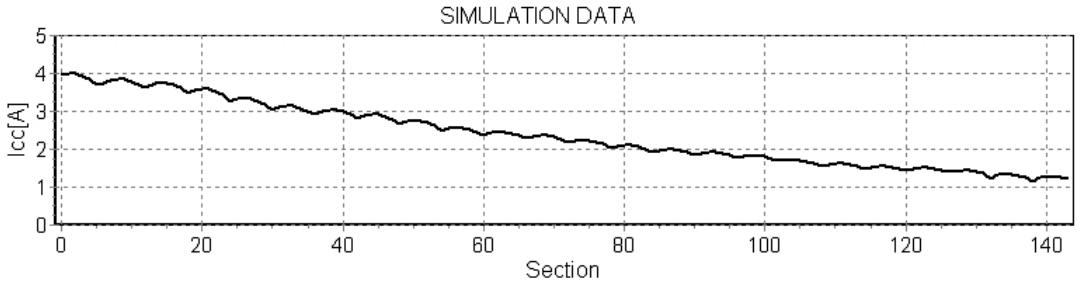



그림 219 무결함

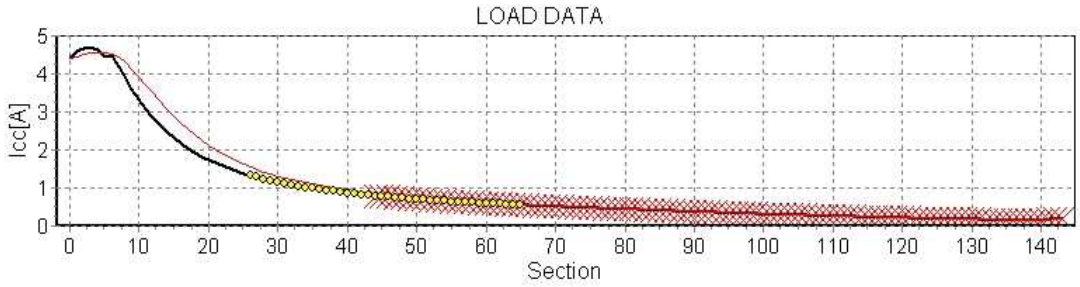



그림 220 전 구간 보상콘덴서 0$\mu$F

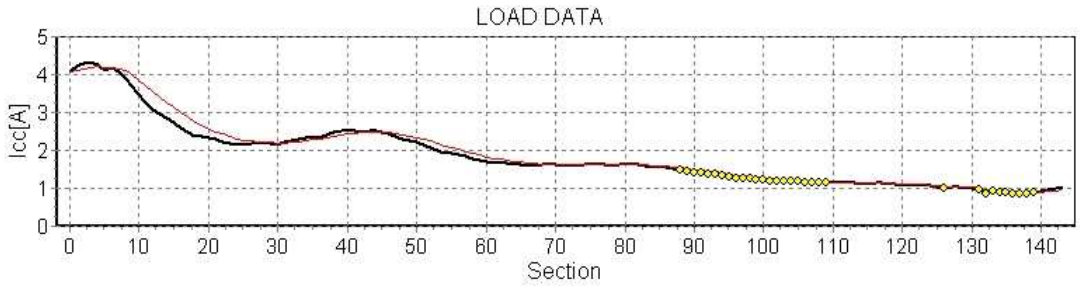



그림 221 전 구간 보상콘덴서 10$\mu$F

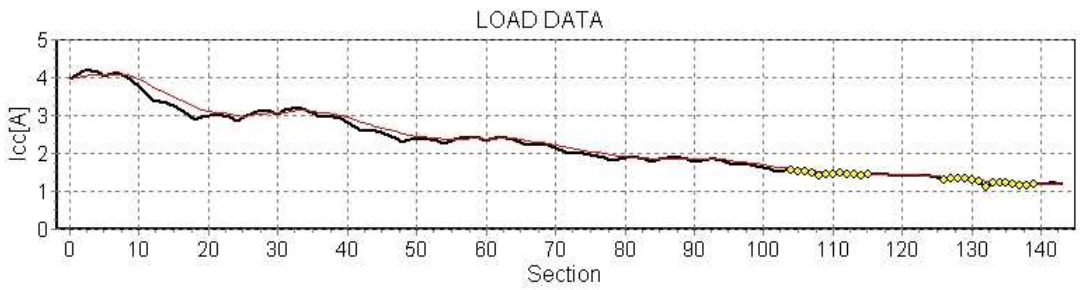



그림 222 전 구간 보상콘덴서 20$\mu$F

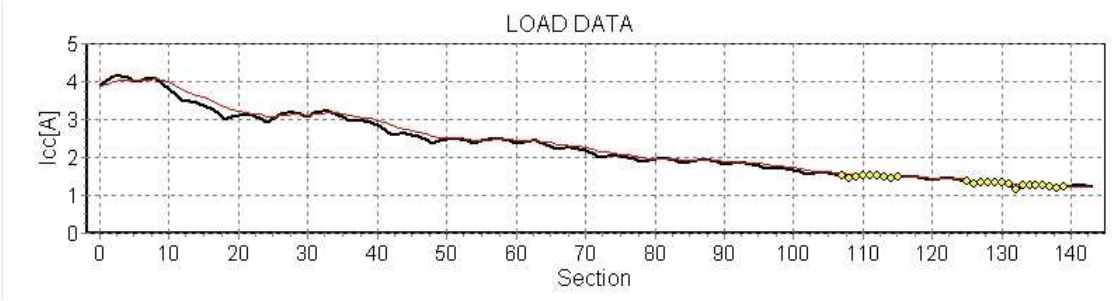



그림 223 전 구간 보상콘덴서 22㎌

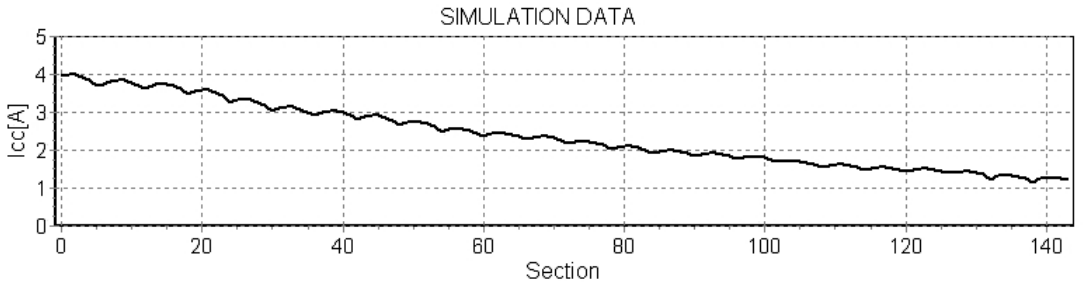



그림 224 전 구간 보상콘덴서 25㎌

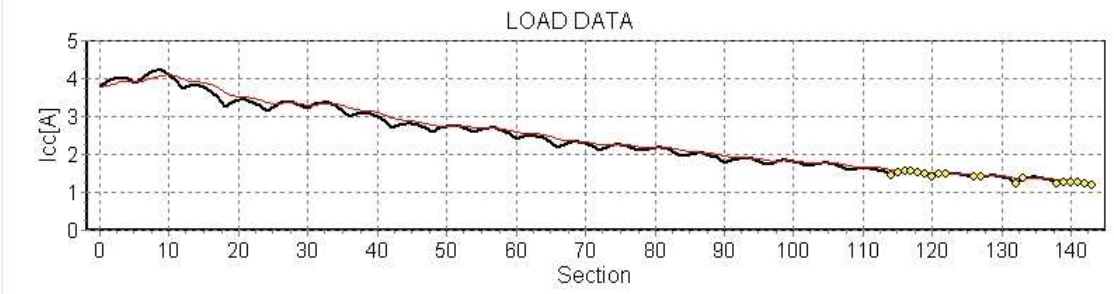



그림 225 전 구간 보상콘덴서 30㎌

전 구간 보상콘덴서에 대한 용량을 변경하면서 시뮬레이션 한 결과 약간의 용량변경은 전체 단락전류에는 큰 영향을 미치진 않았다. 전체적인 단락전류는 22㎌으로 시뮬레이션 했을 경우에는 25㎌로 했을 때와 거의 유사하게 측정되었고, 30㎌로 시뮬레이션 했을 경우에도 25㎌와 비슷하게 측정되지만 용량을 높여준 결과 단락전류의 보상이 더 많이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 20㎌로 시뮬레이션 했을 때에도 25㎌와는 큰 차이는 보이지 않았고, 10㎌로 시뮬레이션 했을 경우 단락전류가 급속히 감소해 이상이 나타날 수 있는 구간이 조금 더 높아졌다. 마지막으로 보상을 전혀 하지 않았을 경우에는 이상이 나타날 수 있는 구간이 매우 넓게 분포하고 400m 이후에는 고장구간으로 나타나고 있다.

### (3) 단일 보상콘덴서 용량 변경 시뮬레이션

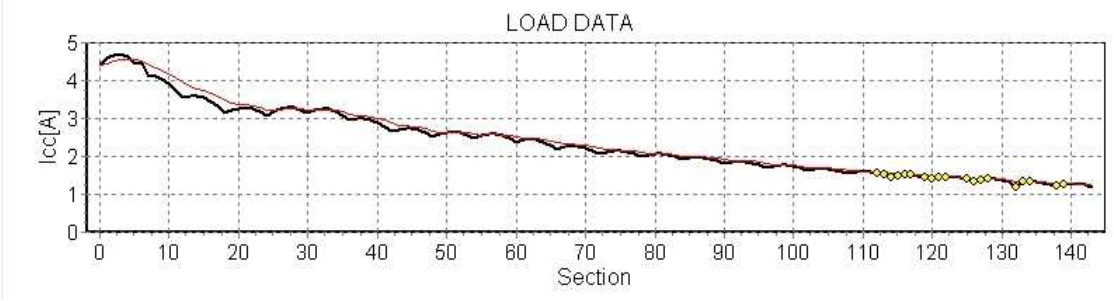



그림 226 C23지점 보상콘덴서 누락시

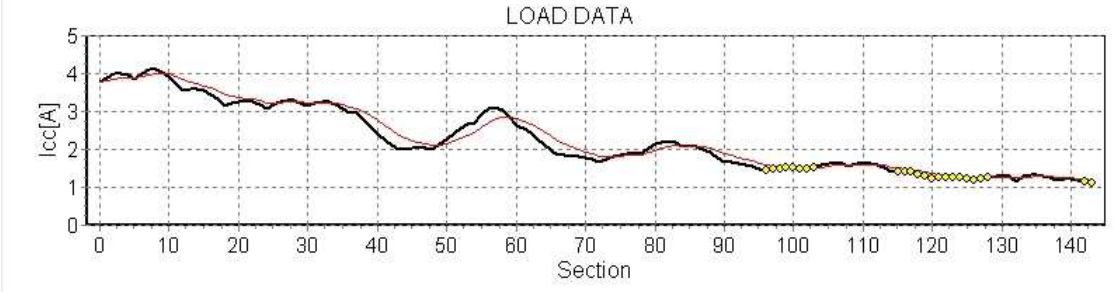



그림 227 C17지점 보상콘덴서 누락시

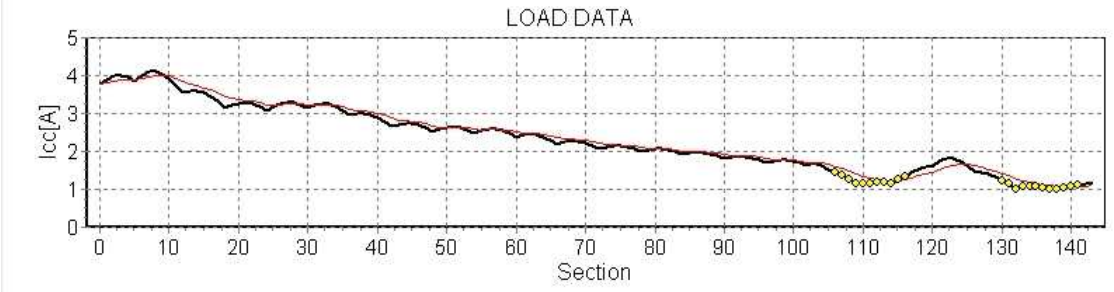



그림 228 C6지점 보상콘덴서 누락시

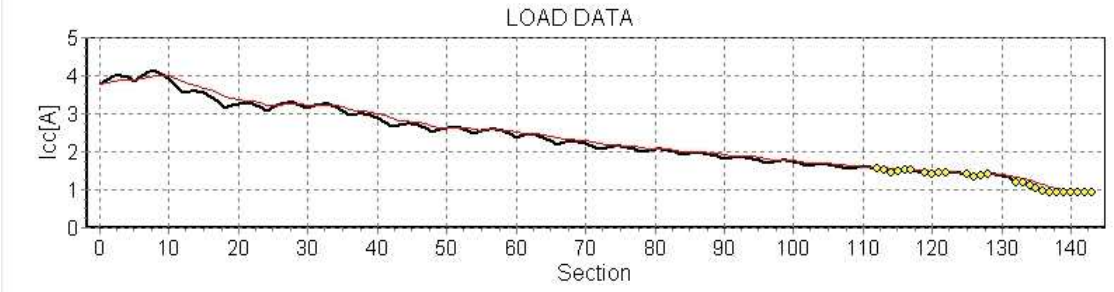



그림 229 C1지점 보상콘덴서 누락시

23개의 보상콘덴서 중 23번째, 17번째, 6번째, 첫 번째 보상콘덴서를 누락시키며 시뮬레이션을 하였다. 첫 번째 보상콘덴서와 마지막 보상콘덴서를 누락시켰을 경우에는 정상적인 파형과 큰 차이를 나타내지 않았다. C17지점과 C6지점의 보상콘덴서를 누락시켰을 경우에는 해당 누락구간부터 단락전류 파형이 이상을 보이고 C17지점과 C6지점 때문에 이상이 나타날 수 있는 구간이 생겨났다.

(4) 두개이상 보상콘덴서 용량 변경 시뮬레이션

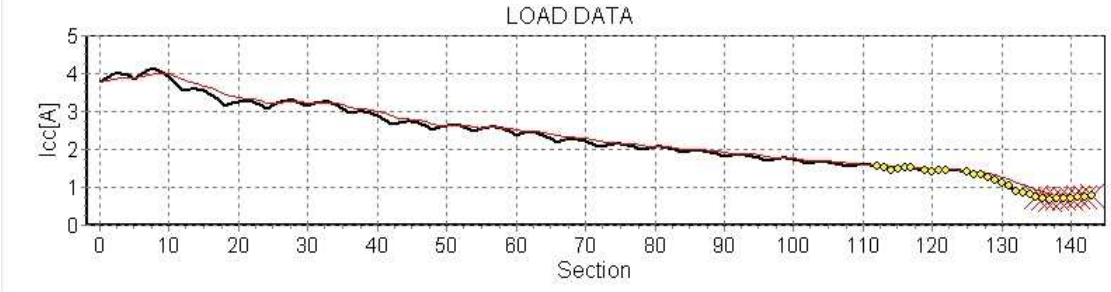



그림 230 C1, C2지점 보상콘덴서 누락시

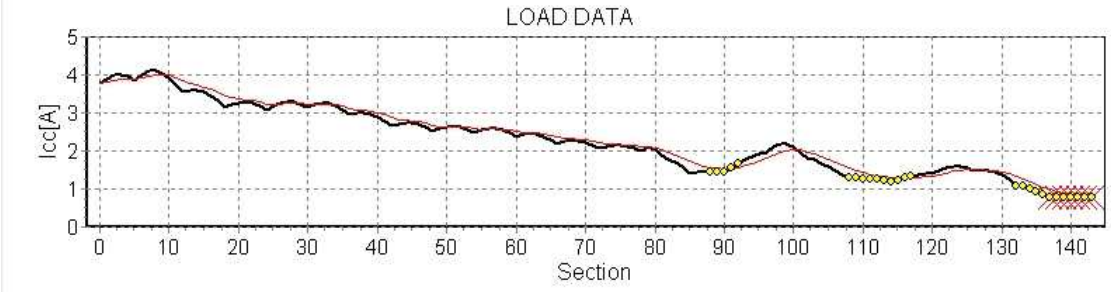



그림 231 C1, C10지점 보상콘덴서 누락시

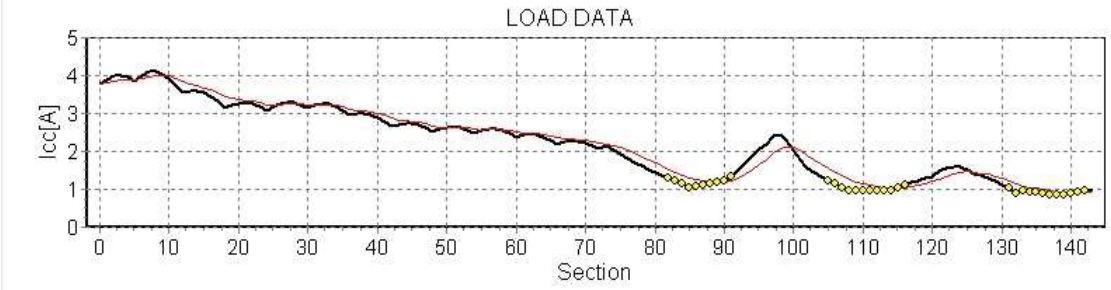



그림 232 C10, C11지점 보상콘덴서 누락시

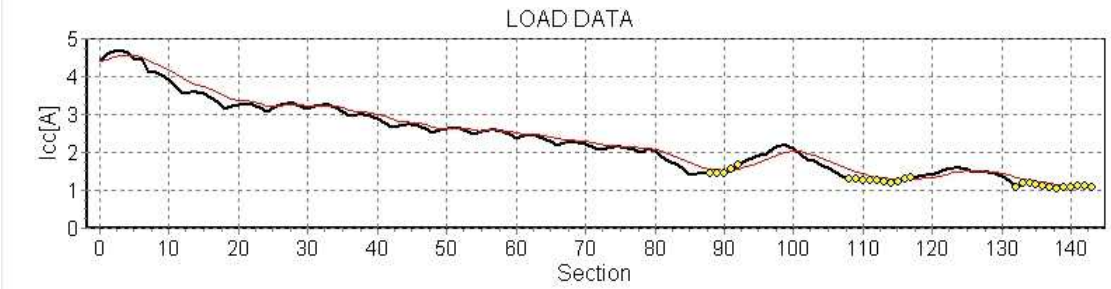



그림 233 C10, C23지점 보상콘덴서 누락시

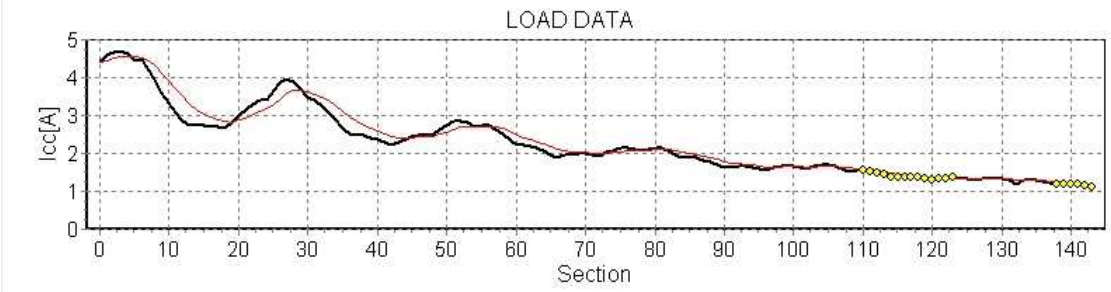



그림 234 C22, C23지점 보상콘덴서 누락시

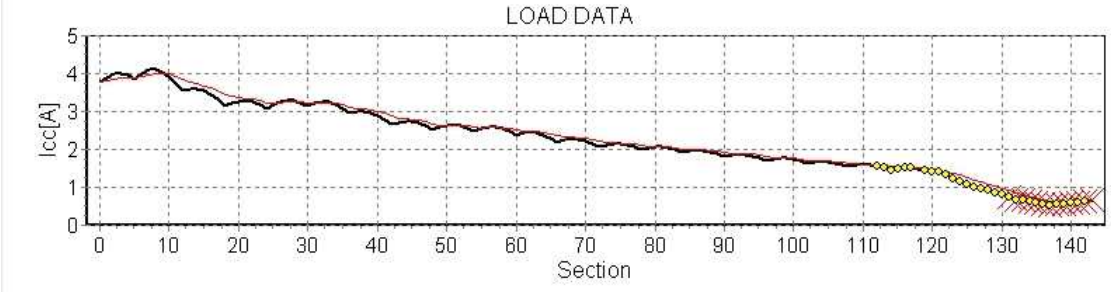



그림 235 C1, C2, C3지점 보상콘덴서 누락시

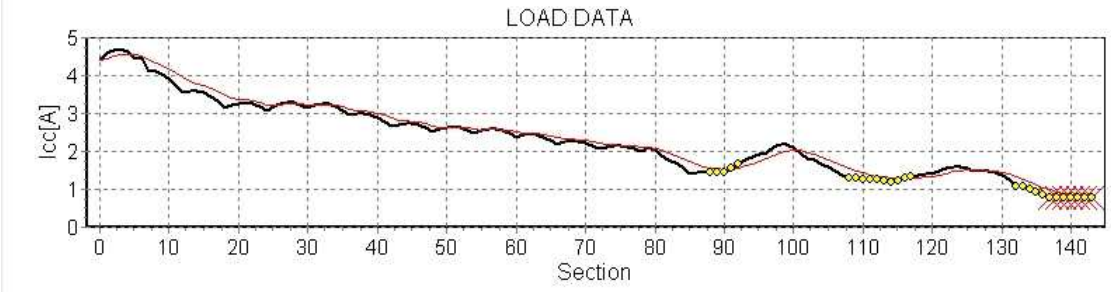



그림 236 C1, C10, C23지점 보상콘덴서 누락시

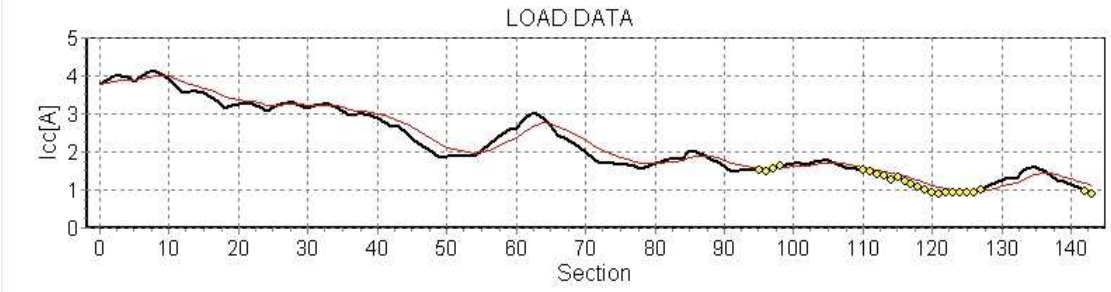



그림 237 C4, C9, C16지점 보상콘덴서 누락시

위 그림들은 두 개 혹은 세 개의 보상콘덴서를 누락시키고 시뮬레이션 하였다. 한 개의 보상콘덴서가 누락되었을 경우에는 이상이 나타날 수 있는 구간이 조금 보였을 뿐 전체적인 단락전류 파형에는 큰 문제가 없었지만 두 개가 고장 났을 경우부터는 단락전류 파형도 정상적인파형에 비해 구부러짐이 심해졌고 고장구간도 뒷부분에서 나타났다.

### (5) DB 결함에 따른 시뮬레이션

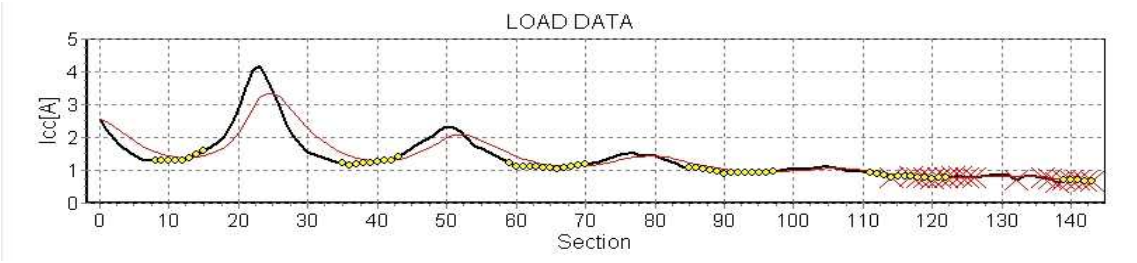



그림 238 DB 누락시

DB누락시 시뮬레이션 했을 경우 전 구간에 걸쳐 이상이 생길 수 있는 구간이 나타났고 고장구간도 나타났다. 파형의 구부러짐도 심해졌기 때문에 DB의 누락시나 이상이 생겼을 경우에는 보상콘덴서 고장에 비해서 확연히 틀림을 알 수 있다.

### (6) 전송전압 결함에 따른 시뮬레이션

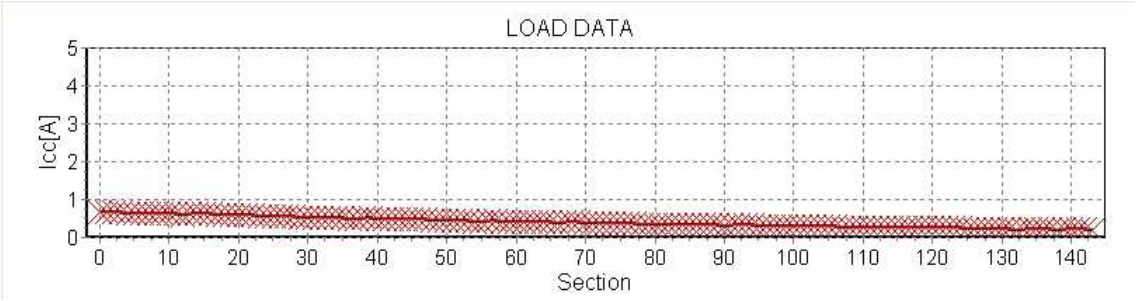



그림 239 전송전압 0V

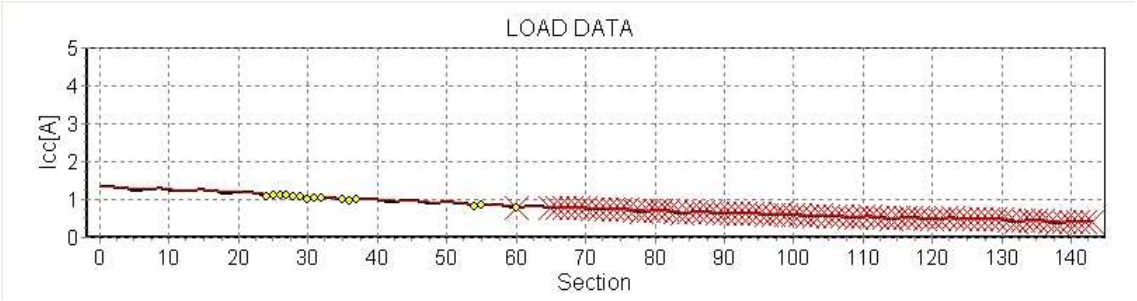



그림 240 전송전압 1V

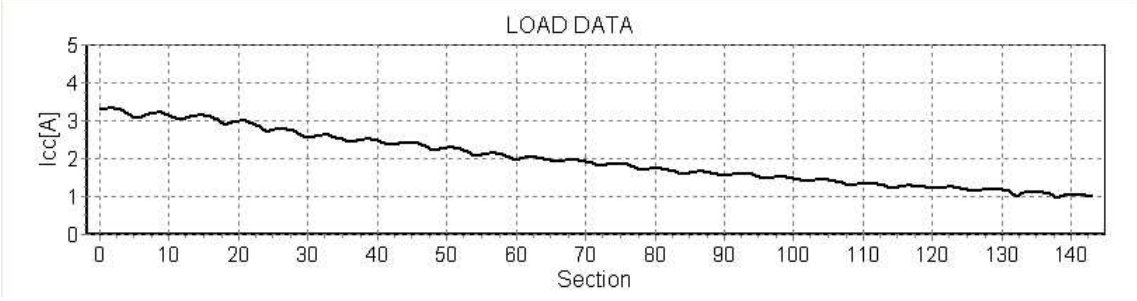



그림 241 전송전압 2.5V

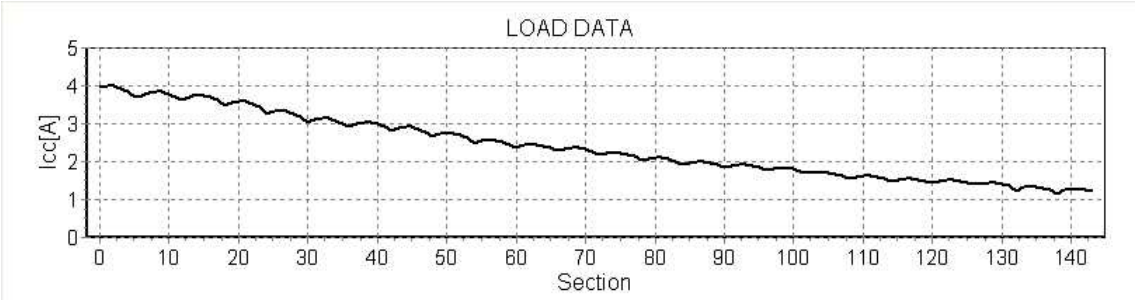



그림 242 전송전압 3V

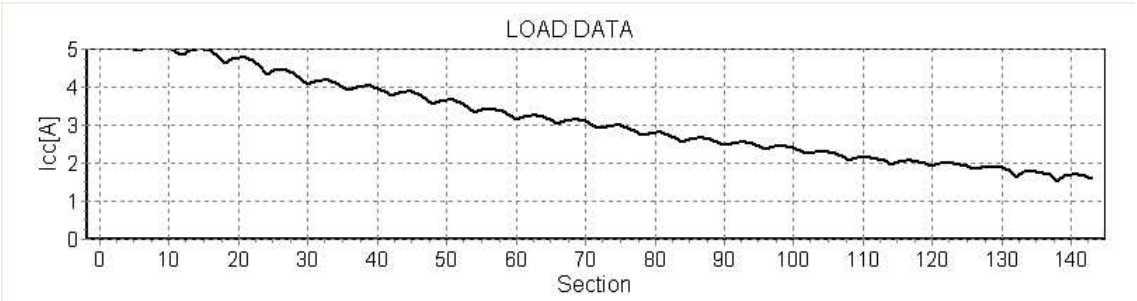



그림 243 전송전압 4V

현재 전송전압 기준인 2.5V보다 작은 1V와 큰 3V, 4V 그리고 전압을 인가하지 않은 oV로 시뮬레이션 하였다. 위 시뮬레이션 결과에 보면 전송전압이 높아짐에 따라 단락전류 크기도 높아짐을 알 수 있다. 전송전압 기준인 2.5V보다 낮은 1V로 시뮬레이션 했을 경우 이상이 생길 수 있는 구간과 고장구간이 나타나는 것을 알 수 있다.

### (7) 반송주파수 결함에 따른 시뮬레이션

반송주파수는 500Hz, 1000Hz, 1500Hz, 2000Hz, 3000Hz, 3500Hz로 바꾸면서 시뮬레이션 하였다.

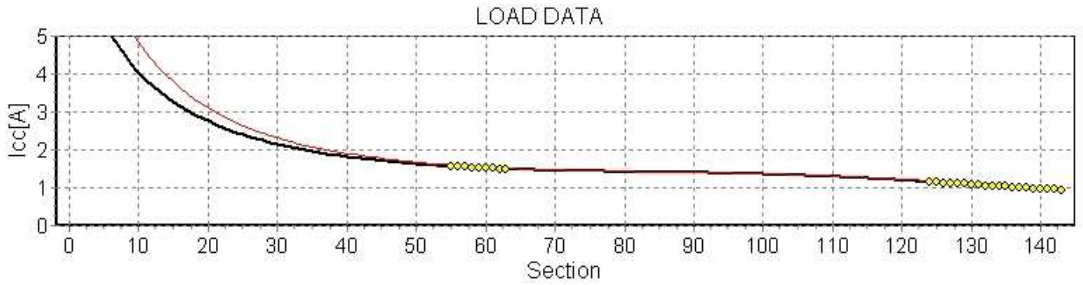



그림 244 500Hz

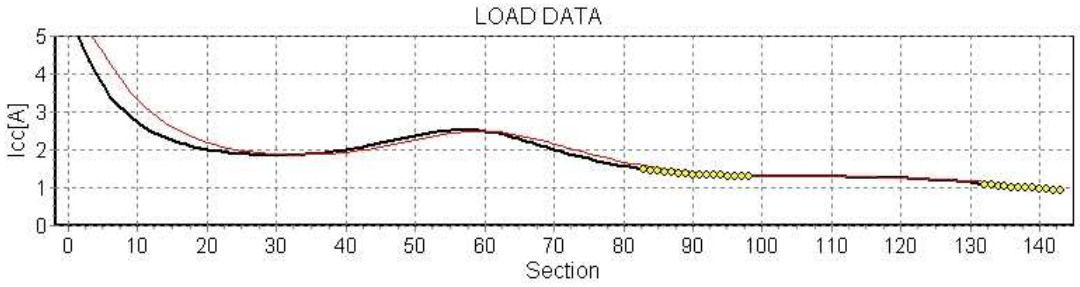



그림 245 1000Hz

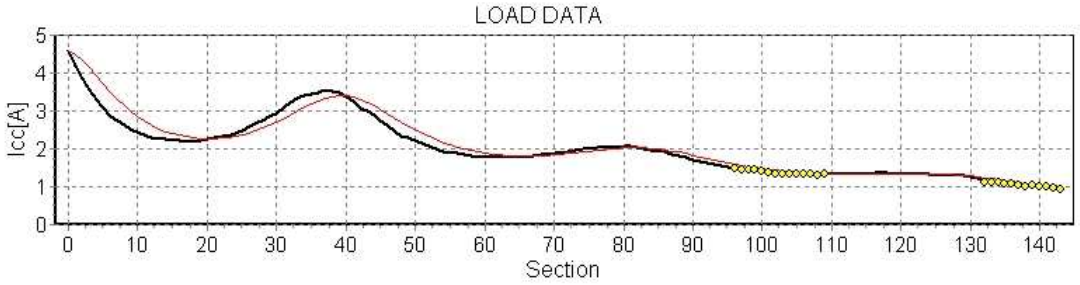



그림 246 1500Hz

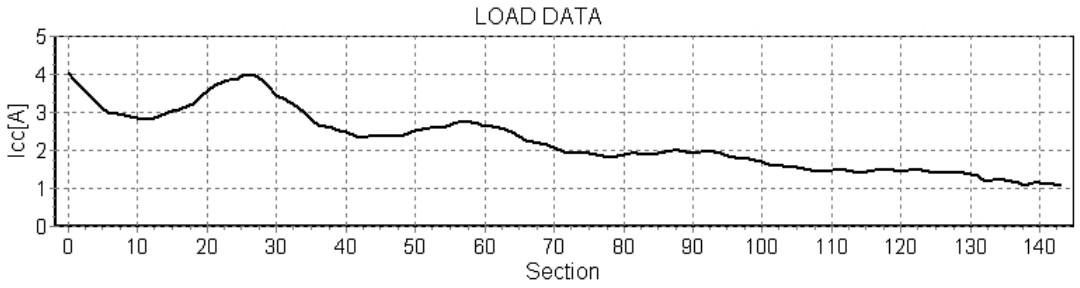



그림 247 2000Hz

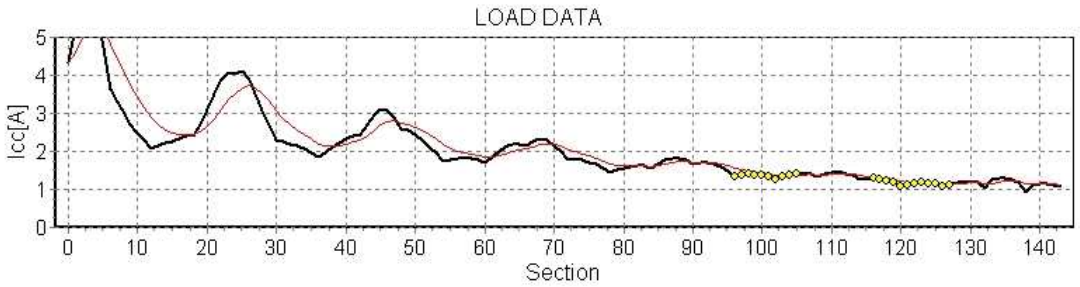



그림 248 3000Hz

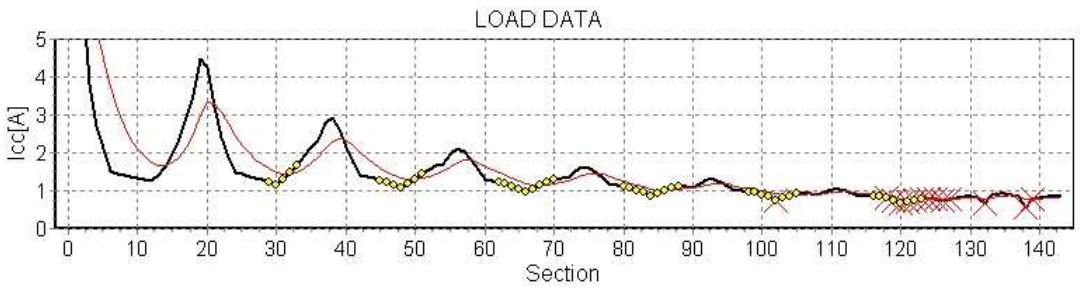



그림 249 3500Hz

반송주파수의 결함이 있을 경우 나타나는 단락전류 파형을 시뮬레이션 하였다. 기준전압인 2000~3000Hz를 벗어나면 단락전류의 파장변화가 크게 일어나는 것을 알 수 있다. 특히 3500Hz에서는 고장구간도 발생하였다.

### (8) 장상 터널 및 광명역 구간 시뮬레이션

시뮬레이션 프로그램을 이용한 결함데이터의 유형별 분석을 위해 궤도회로는 고속선의 광명역과 장상터널 구간을 선정하였으며, 궤도의 길이는 각각 1200m, 1500m이다. 궤도회로의 선로정수를 이용하여 단락전류의 파형을 시뮬레이션 하였으며 각 궤도회로의 C10, C11, C9 구간의 보상콘덴서를 단락시켜 단락전류에 미치는 영향을 비교하였다.

표 156 장상터널 및 광명역 구간의 선로정수 평균값

| 구 분 | $R$(mΩ/m) | $L$($\mu$H/m) | $G$($\mu$S/m) | $C$(nF/m) | $R_b$(Ω·km) |
|---|---|---|---|---|---|
| 장상터널 | 1.85 | 1.267 | 31.471 | 0.389 | 32 |
| 광명역 | 2.043 | 1.238 | 24.11562 | 0.3655 | 41.46 |

### (9) 장상터널 구간 보상콘덴서 결함 시뮬레이션

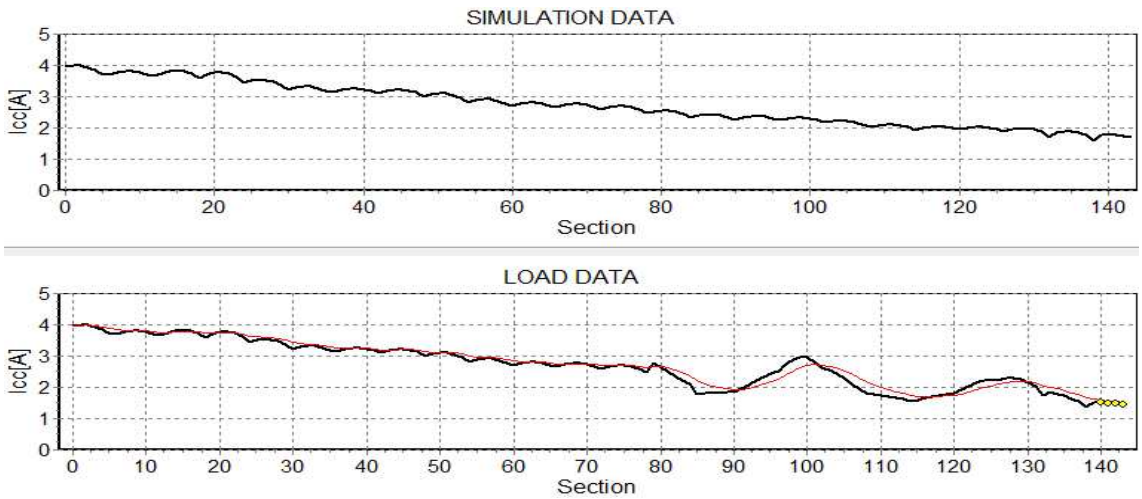



그림 250 C10 지점 보상콘덴서 누락시 단락전류 파형

그림 250는 장상터널에서 송신측 C10지점 보상콘덴서를 제거한 경우 나타나는 파형으로 제거지점에서 보상이 이루어지지 않아 단락전류의 파형이 흔들림을 알 수 있다.

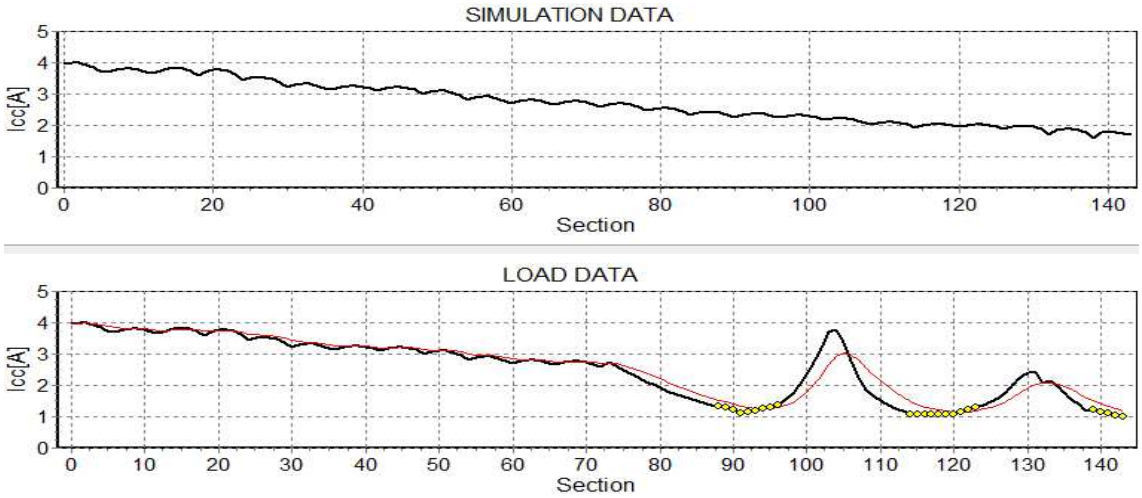



그림 251 C11, C10, C9 지점 보상콘덴서 누락시 단락전류 파형

그림 251은 C11, C10, C9 지점 보상콘덴서를 제거한 경우로 하나의 보상콘덴서 결함보다 파형이 더욱 크게 흔들리는 것을 알 수 있다.

### (10) 광명역 구간 보상콘덴서 결함 시뮬레이션

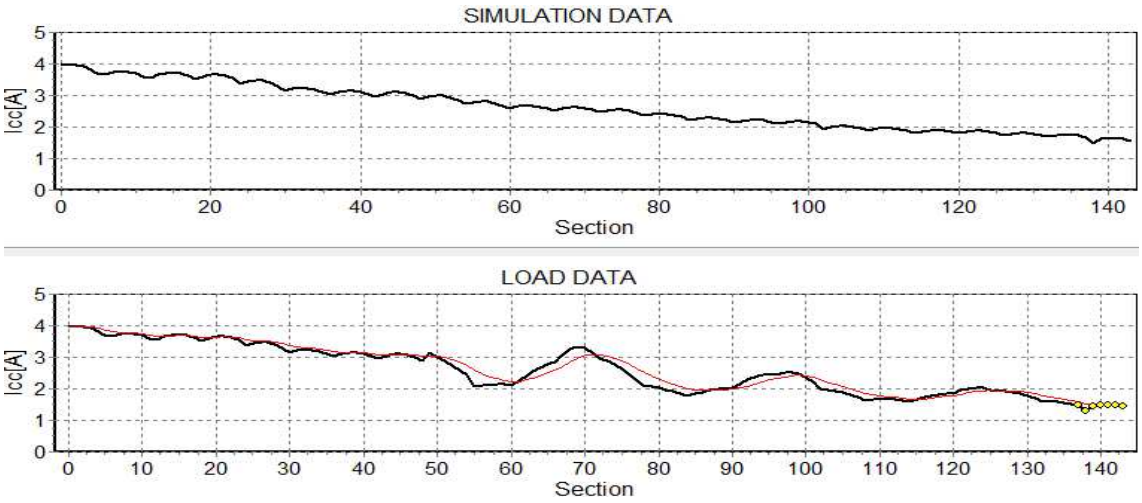



그림 252 C10 지점 보상콘덴서 누락시 단락전류 파형

그림 252는 광명역 궤도회로의 송신측 C10지점의 보상콘덴서를 제거시킨 단락전류의 파형으로 결함발생 이후에 단락전류의 파장이 변화가 있음을 알 수 있다.

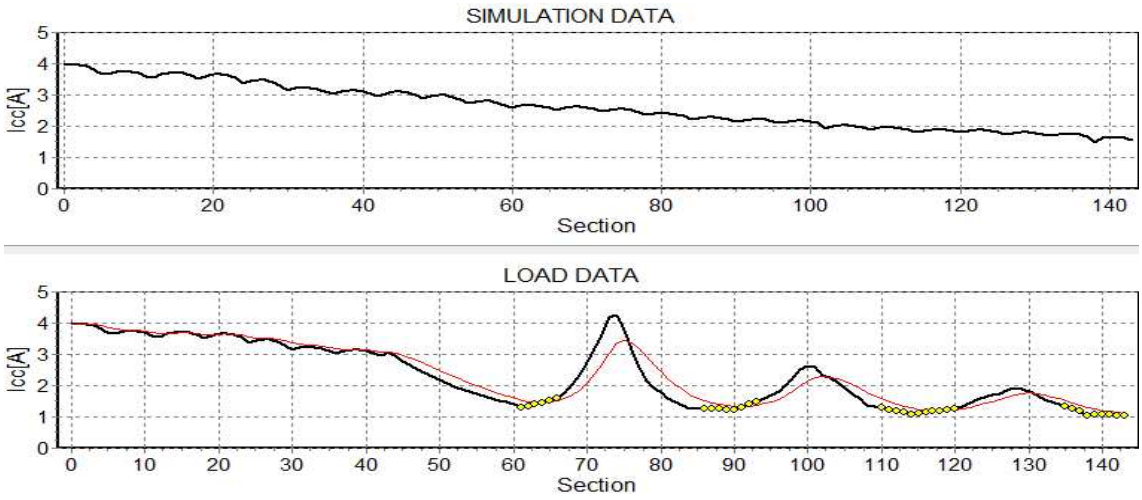



그림 253 C11, C10, C9 지점 보상콘덴서 누락시 단락전류 파형

송전전압은 3V, 주파수는 2400Hz, 단락저항은 0.25Ω으로 시뮬레이션을 하였고 커패시터 제거지점에서 단락전류의 파장이 발생하지 않아 정재파 파장의 주기가 흔들리는 것을 알 수 있다. 단락전류 파형의 노란점은 궤도회로의 커패시터가 고장상태이거나 고장직전의 위험한 상태를 알 수 있다.

## 사. 오송~신탄진간 궤도회로 현장 측정

고속선 오송~신탄진간 터널, 교량, 토공구간, 선로전환기를 포함한 궤도회로의 현장측정은 천안아산신호제어사업소의 협조로 궤도회로의 현장검측에 필요한 사항들을 사전 회의를 통해 결정하고, 안전교육을 거쳐 2012년 7월 31~ 8월 3일까지 현장측정을 시행하였다. 오송~신탄진간 궤도회로에 대한 단락전류 파형과 시뮬레이션 파형을 비교하기 위하여 현장 설비별 위치(DB, 보상콘덴서) 및 콘덴서 중간 지점에서 단락봉(Shunting Bar)을 설치하고, 휴대용 계측기(VS4K)를 사용하여 단락봉에 유도되는 전류를 측정하였다.

단락전류 측정시 단락봉의 저항은 0.25Ω이고, 시뮬레이션 수행시 동일하게 적용하였다.



그림 254 사전회의 모습



그림 255 안전교육 모습

현장검측을 시행할 궤도레일을 회로도로 나타낸 것으로 현장 측정시 단락봉의 위치를 이동시키면서 DB와 콘덴서 및 콘덴서 중간지점을 측정하였다.

### (1) 현장구성도면

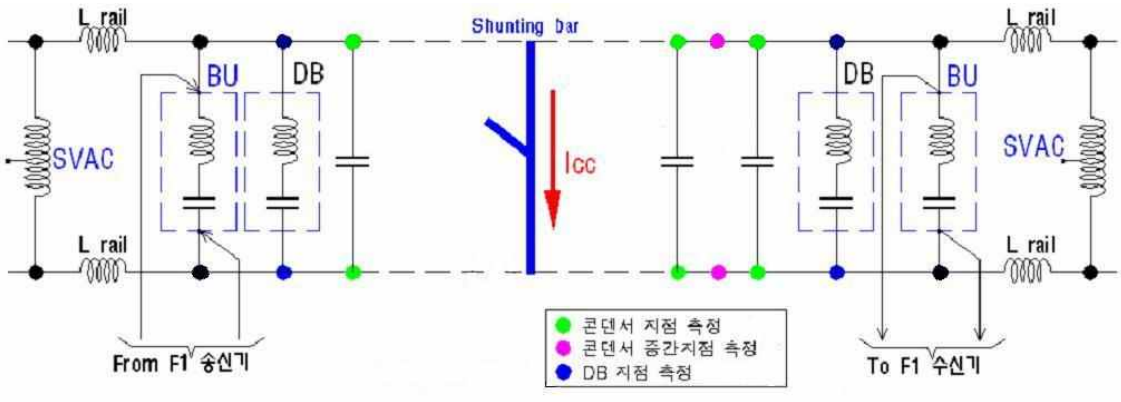



그림 256 단락전류 현장측정 방법



그림 257 단락전류(Icc) 측정모습



그림 258 단락봉과 휴대용계측기(VS4K)

### (2) 측정현황

① 측정일시 : 2012. 7. 31. 01:30 ~ 04:30

② 측정장소 : 오송~신탄진간 137.247~139K960(T1/T2)

T1 (TC2631B, TC2635A), T2 (TC2638, TC2644)

③ 측정장비 : VS4K, 단락봉

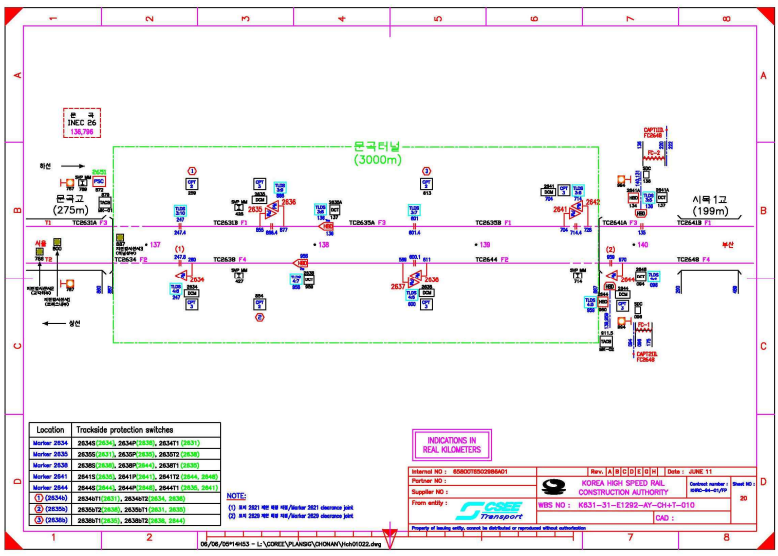



그림 259 문곡터널 구간 관구도

### (3) 측정현황

① 측정일시 : 2012. 8. 1. 01:30 ~ 04:30

② 측정장소 : 오송~신탄진간 143.815~146K209(T1/T2)

T1 (TC2657B, TC2661), T2 (TC2666B, TC2666A)

③ 측정장비 : VS4K, 단락봉

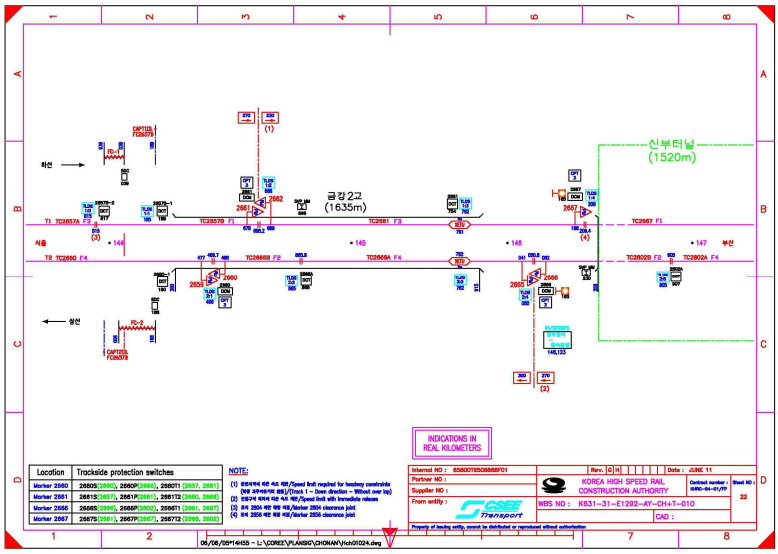



그림 260 금강2교 구간 관구도

### (4) 측정현황

① 측정일시 : 2012. 8. 2. 01:30~04:30

② 측정장소 : 오송~신탄진간 128.455~129K845(T1/T2)

T1 (TC2453B, TC2601A), T2 (TC2604A, TC2604B)

③ 측정장비 : VS4K, 단락봉

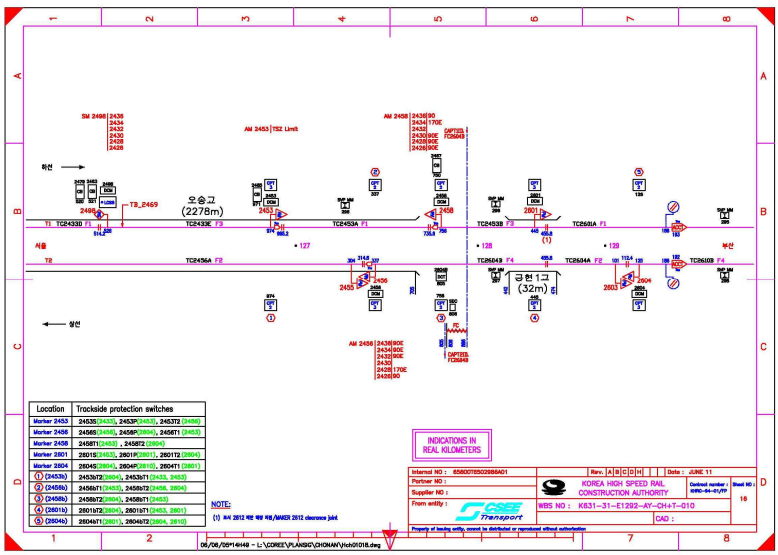



그림 261 궁현1교 부근 토공구간 관구도

### (5) 측정현황

① 측정일시 : 2012. 8. 3. 01:30 ~ 04:30

② 측정장소 : 신탄진간 148.062~148K735(T1/T2)

T1 (TC2803B), T2 (TC2856C, TC2856B)

③ 측정장비 : VS4K, 단락봉

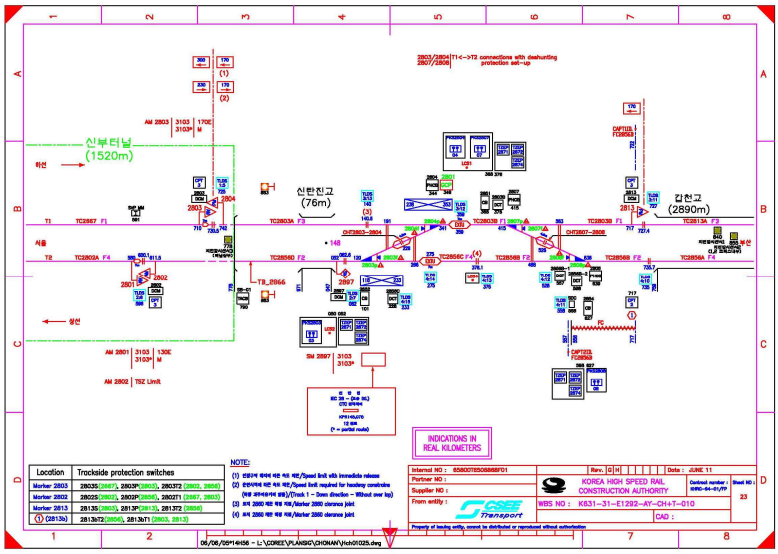



그림 262 갑천교 인근 분기부 구간 관구도

### (6) 단락전류 측정 결과

시뮬레이션 모델은 TC2402 모델이므로 주요 파라미터 상수에서 차이가 있을 수 있으며 주요 파라미터는 다음과 같다.

표 157 주요 파라미터

| 연번 | 변수명 | 값 |
|---|---|---|
| 1 | sending voltage | 3[V] |
| 2 | shunt resistor | 0.25[Ω] |
| 3 | Frequency | 2400[Hz] |
| 4 | Track Length | 1200[m] |
| 5 | Zjes | 1.6+j1.2[Ω] |
| 6 | Tuning Capacitor | 90[μF] |

아래 표의 데이터들은 현장에서 검측된 단락전류의 값들을 엑셀에서 나타낸 것으로 각 데이터들의 측정간격은 보상콘덴서 뿐만 아니라, 보상콘덴서의 사이에서도 측정을 하기 때문에 2040Hz와 2400Hz에서는 30m 간격으로 측정하였고, 2760Hz와 3120Hz에서는 40m 간격으로 측정하였다. 데이터의 양이 너무 적으면 시뮬레이션을 하여도 보상진폭을 확인하거나 변화를 판단할 수 없기 때문에 적어도 30 point 이상의 데이터를 확보하여야 시뮬레이션을 통하여 유의미한 값을 찾을 수 있다.

표 158 현장측정 결과(문곡터널 측정치)

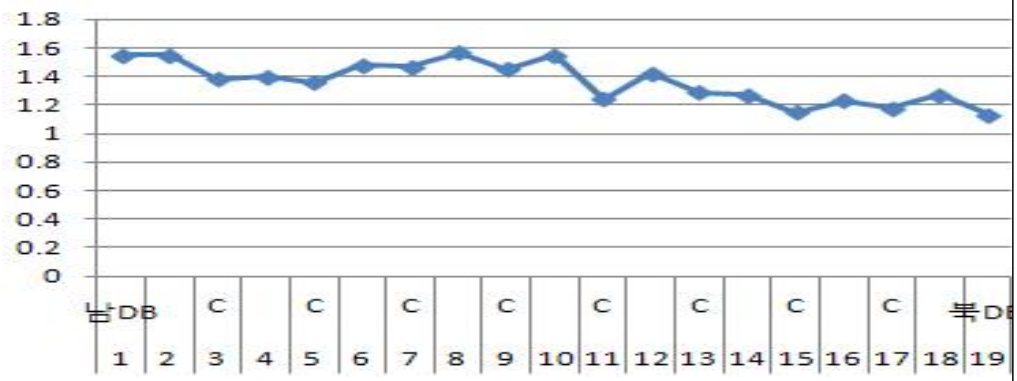
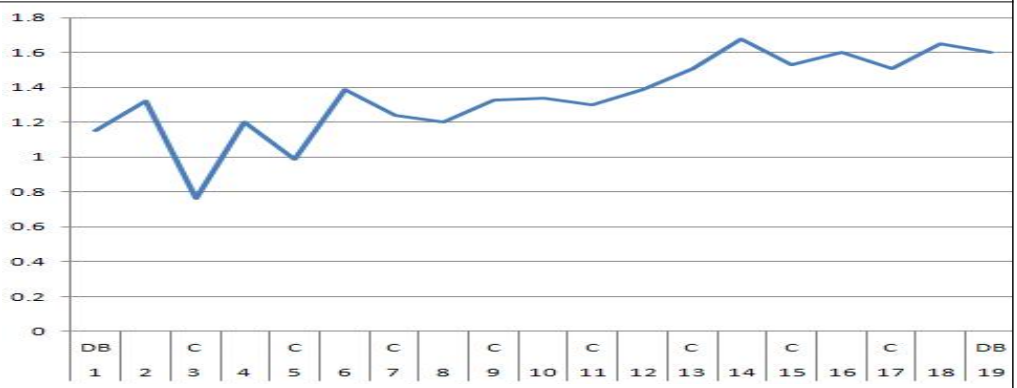
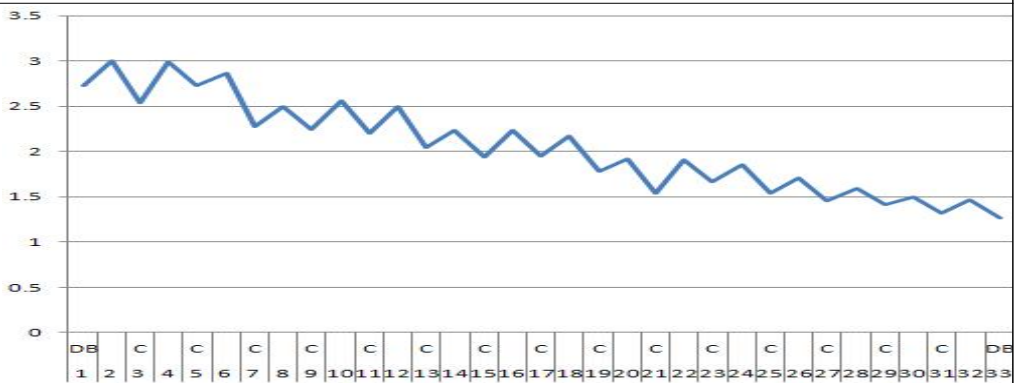
| 측정지점 | 문곡터널 |
|---|---|
| F1,<br>2040[Hz] |  <br>(하선, 19 point,8개)<br>선로명 : 2631B |
| F2,<br>2400[Hz] |  <br>(상선, 41 point,19개)<br>선로명 : 2644 |
| F3,<br>2760[Hz] |  <br>(하선, 19 point,8개)<br>선로명 : 2635A |
| F4,<br>3120[Hz] |  <br>(상선, 33 point,15개)<br>선로명 : 2638 |

표 159 현장측정 결과(금강2교 측정치)

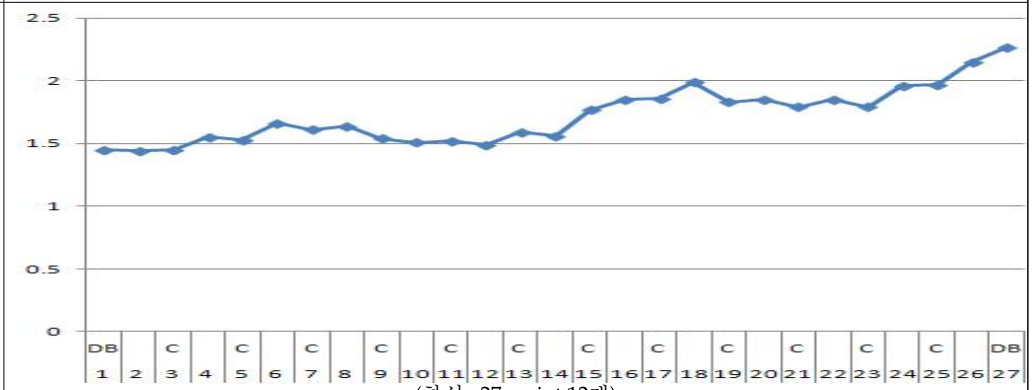
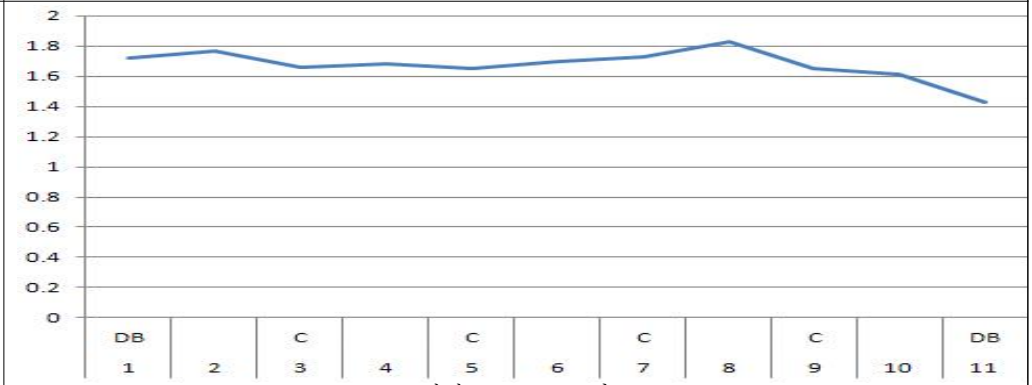
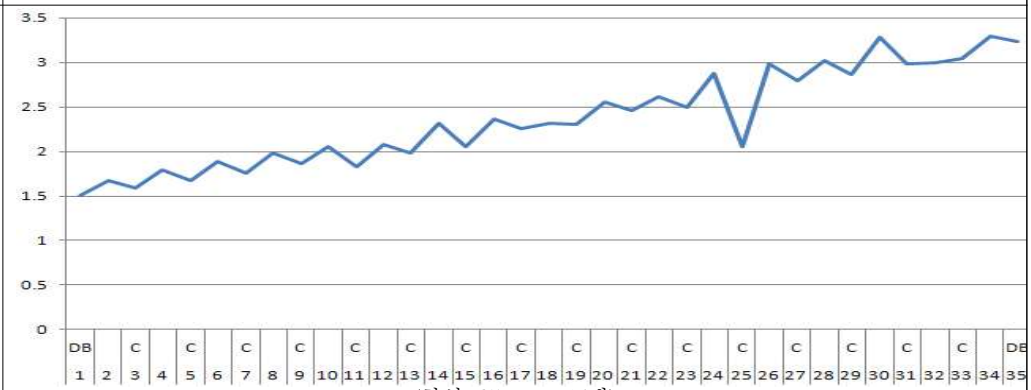
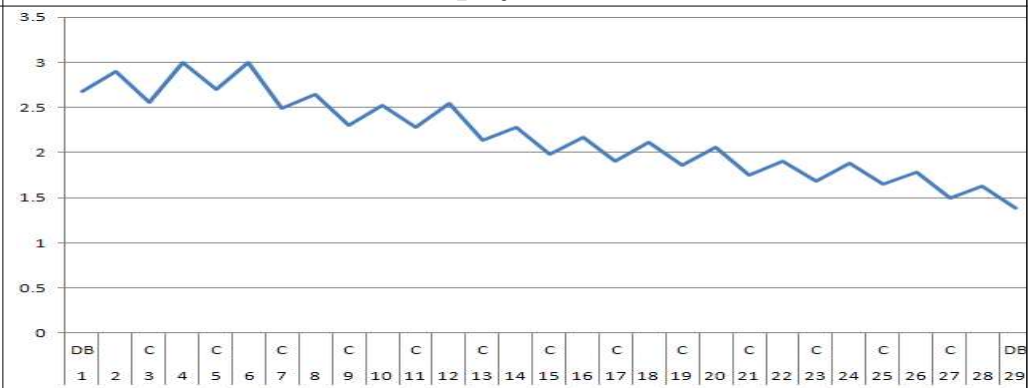
| 측정지점 | 금강2교 |
|---|---|
| F1,<br>2040[Hz] |  <br>(하선, 27 point,12개)<br>선로명 : 2657B |
| F2,<br>2400[Hz] |  <br>(상선, 11 point, 4개)<br>선로명 : 2666B |
| F3,<br>2760[Hz] |  <br>(하선, 35 point,16개)<br>선로명 : 2661 |
| F4,<br>3120[Hz] |  <br>(상선, 29 point,13개)<br>선로명 : 2666A |

표 160 현장측정 결과(궁현1교 인근 측정치)

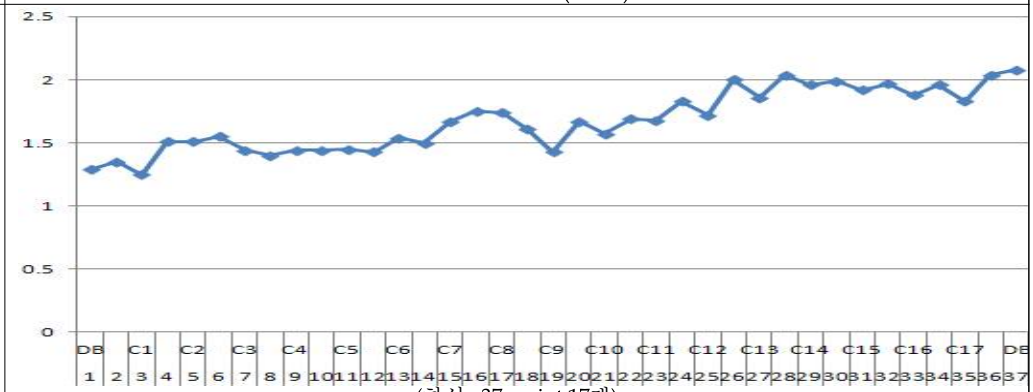
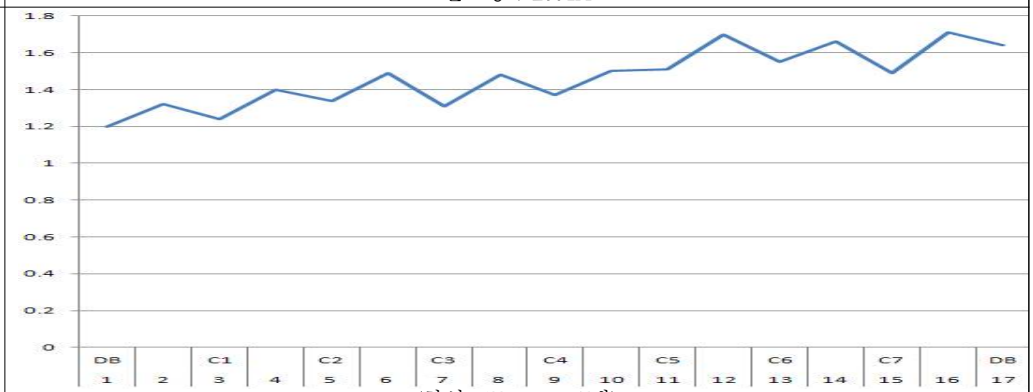
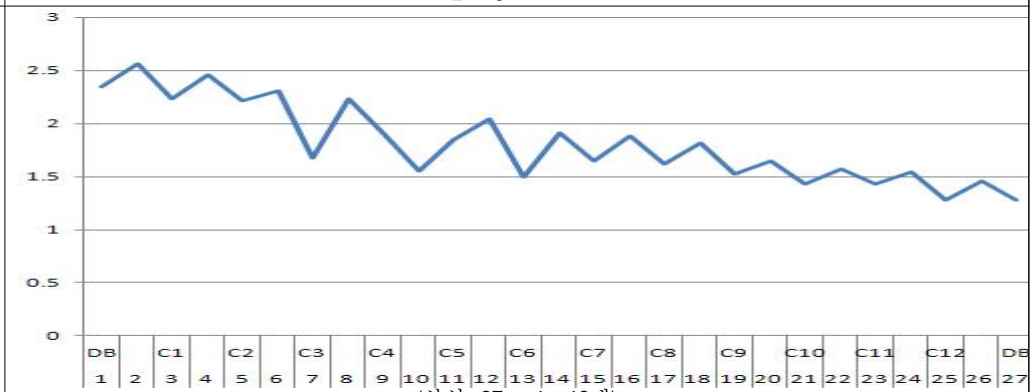
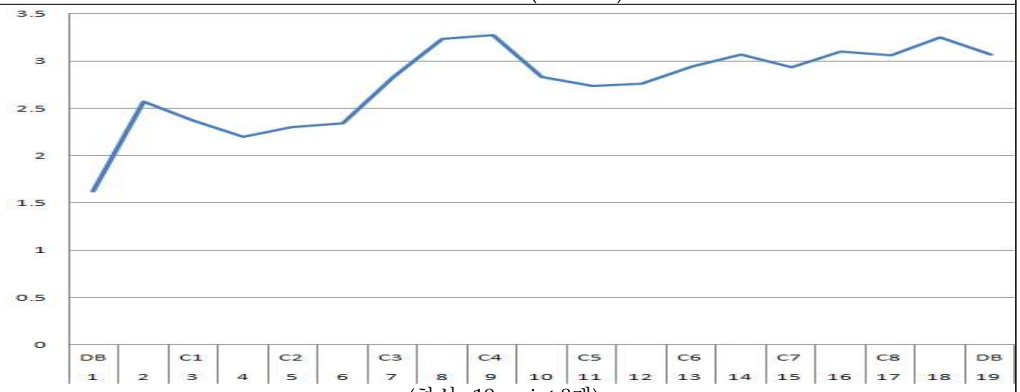
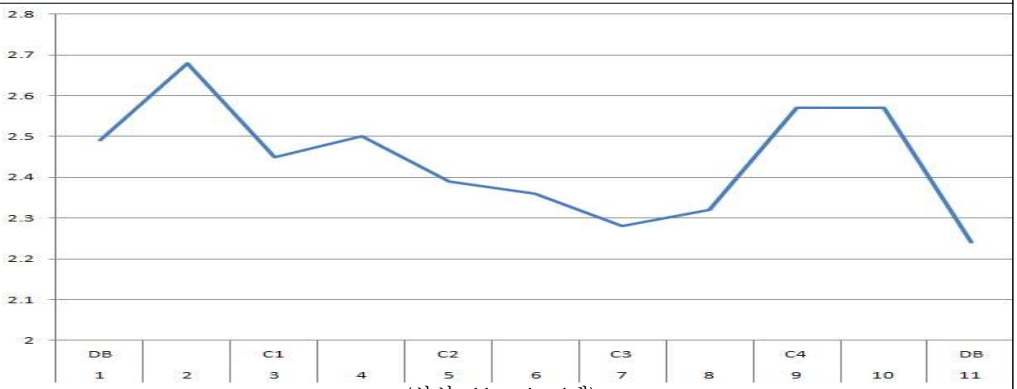
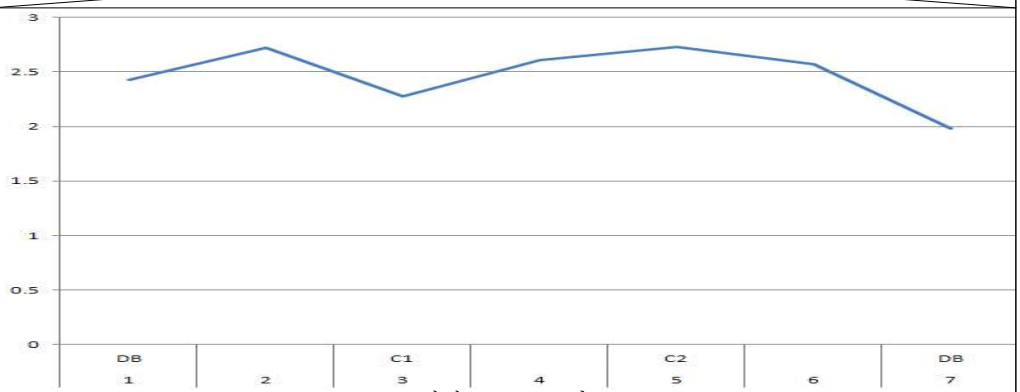
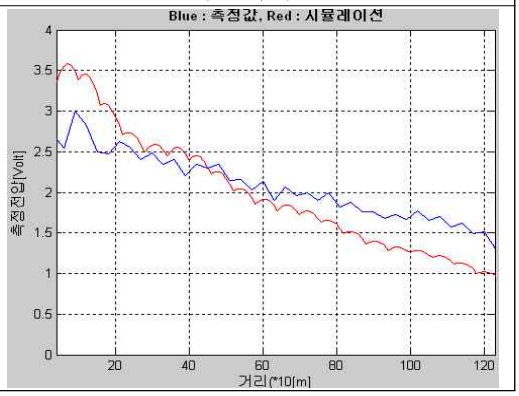
| 측정지점 | 궁현1교 인근(토공) |
|---|---|
| F1,<br>2040[Hz] |  <br>(하선, 37 point,17개)<br>선로명 : 2601A |
| F2,<br>2400[Hz] |  <br>(상선, 21 point, 9개)<br>선로명 : 2604A |
| F3,<br>2760[Hz] |  <br>(하선, 17 point, 7개)<br>선로명 : 2453B |
| F4,<br>3120[Hz] |  <br>(상선, 27 point,12개)<br>선로명 : 2604B |

표 161 현장측정 결과(갑천교 인근 측정치)

| 측정지점 | 갑천교 인근(분기점) |
|---|---|
| F1,<br>2040[Hz] |  <br>(하선, 19 point,8개)<br>선로명 : 2803B |
| F2,<br>2400[Hz] |  <br>(상선, 11 point,4개)<br>선로명 : 2856B |
| F3,<br>2760[Hz] | |
| F4,<br>3120[Hz] |  <br>(상선, 7 point,2개)<br>선로명 : 2456C |

### (7) 시뮬레이션과 측정 데이터와의 비교

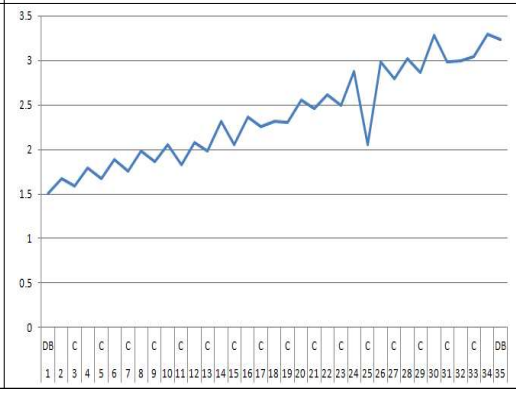
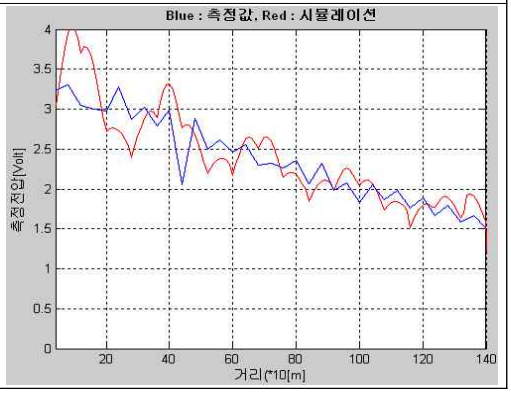
표 162 문곡터널 분석

| 문곡터널 | | |
|---|---|---|
| 측정지점 | 측정값 | 시뮬레이션 |
| 2400[Hz] |  |  |



위 표는 문곡터널에서 측정한 데이터와 매트랩 및 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 비교한 데이터로 2400Hz에서는 측정데이터와 시뮬레이션 데이터의 반파장 주기가 서로 비슷함을 알 수 있다.

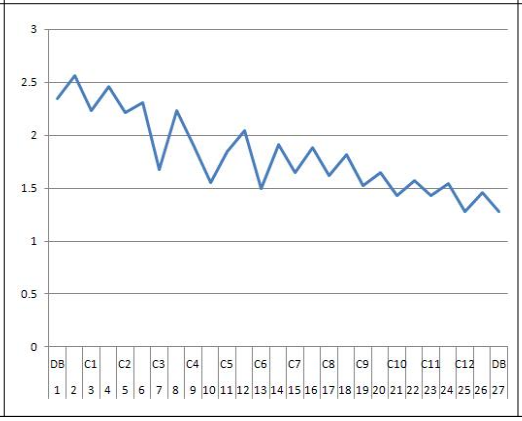
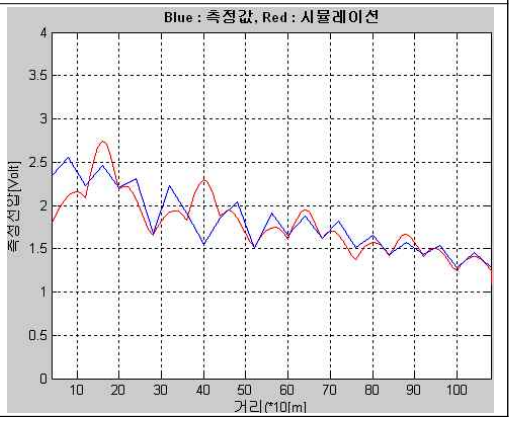
표 163 금강2교 분석

| 금강2교 | | |
|---|---|---|
| 측정지점 | 측정값 | 시뮬레이션 |
| 2760[Hz] |  |  |



위 표는 금강 2교에서 측정한 데이터와 매트랩 및 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 비교한 데이터로 2760Hz에서는 검측데이터와 매트랩 및 시뮬레이션 프로그램간에 보상 콘덴서의 기능저하로 인한 단락전류 레벨의 차이가 보이지만 단락전류 파형과 반파장 주기가 비슷함을 알 수 있다.

표 164 토공구간 분석

| 궁현1교 인근(토공) | | |
|---|---|---|
| 측정지점 | 측정값 | 시뮬레이션 |
| 3120[Hz] |  |  |



위 표는 궁현 1교 인근의 토공구간에서 측정한 데이터와 매트랩 및 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 비교한 데이터로 측정데이터와 시뮬레이션 데이터간의 차이가 확연히 보이는데 여러 가지 환경적인 요인이 있을 것으로 예상되지만, 해당구간의 정확한 선로 정수값을 알 수 없어 전체구간의 선로정수 평균값을 사용하여 이로 인한 것으로 분석되어진다.

본 연구에서 사용된 현장 측정 데이터는 고속선 궤도회로 결함진단을 위한 내부 모델링 연구를 위해 오송~신탄진간 궤도회로의 현장에서 측정된 데이터를 참고하였다.

### (8) 시뮬레이션과 차상검측 데이터와의 비교

다음은 KTX36호에서 검측한 광명역과 장상터널의 데이터 자료와 해당구간에 대한 시뮬레이션 결과이다. KTX36호에서 검측된 단락전류 파형과 시뮬레이션 파형을 비교하였다. 시뮬레이션 데이터와 측정데이터를 비교하여 두 데이터의 단락전류 레벨이 다를 수도 있지만 단락전류 파형의 패턴은 일치하고 있음을 확인하였다.




그림 263 장상터널 TC0627, 주파수 2040Hz, 콘덴서20개, 1365m

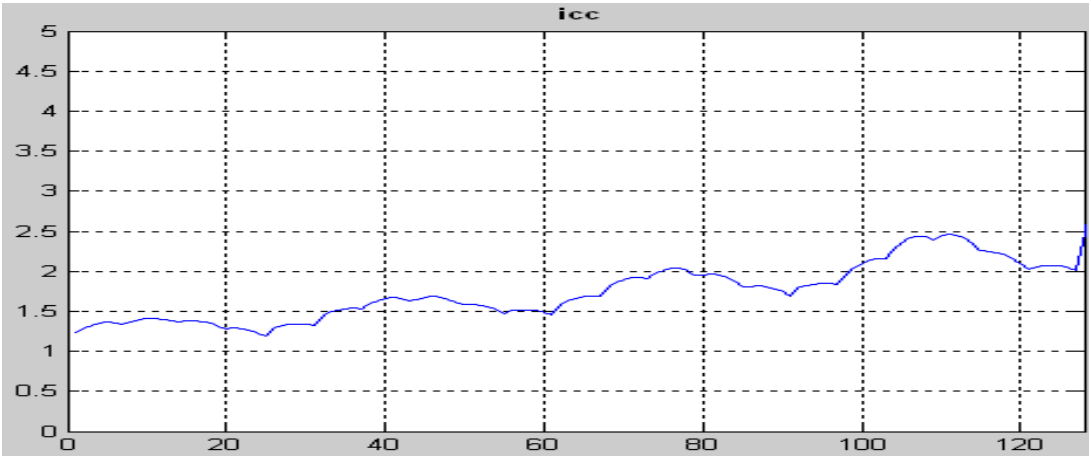



그림 264 장상터널 TC0627궤도 시뮬레이션 결과

장상터널 TC0627궤도회로의 차상검측 데이터와 시뮬레이션과의 단락전류 파형은 전체적으로 일치하고 있으며 반파장 주기와 단락전류 파형의 전체적인 패턴 또한 비슷함을 알 수 있다. 이는 앞의 궤도회로와는 달리 궤도의 길이가 충분히 길기 때문인 것으로 보인다.




그림 265 장상터널 TC0630A, 주파수2400Hz, 콘덴서 9개, 680m

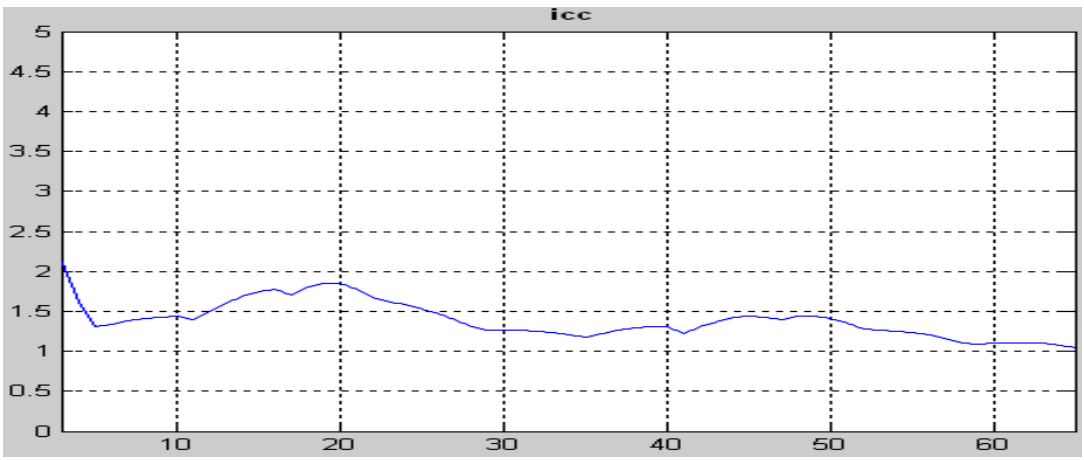



그림 266 장상터널 TC0630A궤도 시뮬레이션 결과

장상터널 TC0630A궤도의 차상검측 데이터와 시뮬레이션과의 단락전류 파형은 전체적으로 비슷함을 알 수 있고 파형의 전체적인 패턴이 비슷하게 나옴을 알 수 있다.



그림 267 장상터널 TC0638B, 주파수 3120Hz, 콘덴서 6개, 696m

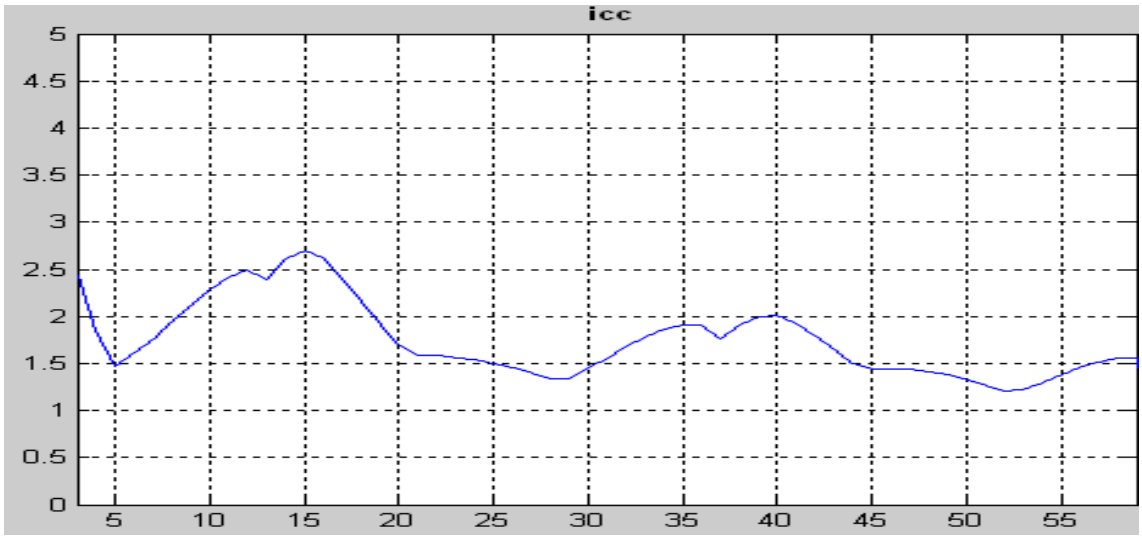



그림 268 장상터널 TC0638B궤도 시뮬레이션 결과

장상터널 TC0638B궤도회로의 차상검측 데이터와 시뮬레이션과의 단락전류 파형은 일치하지 않음을 확인할 수 있다. 앞의 장상터널 0630A궤도와 길이는 비슷하지만 파형에 대한 결과는 다르게 나오는 것을 볼 수 있는데 이는 궤도회로의 길이로 시뮬레이션 결과의 유의미한 값을 예상할 수 있는 것처럼 보상콘덴서의 수량도 시뮬레이션의 단락전류 패턴에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

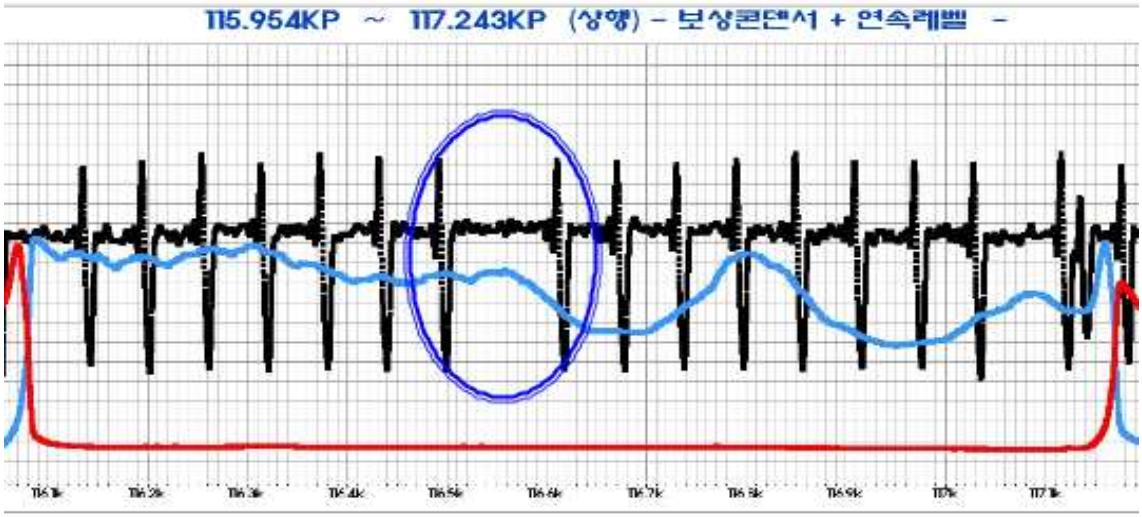



그림 269 수신측 9번 콘덴서 접속불량(케이블 절손), 주파수 2400Hz

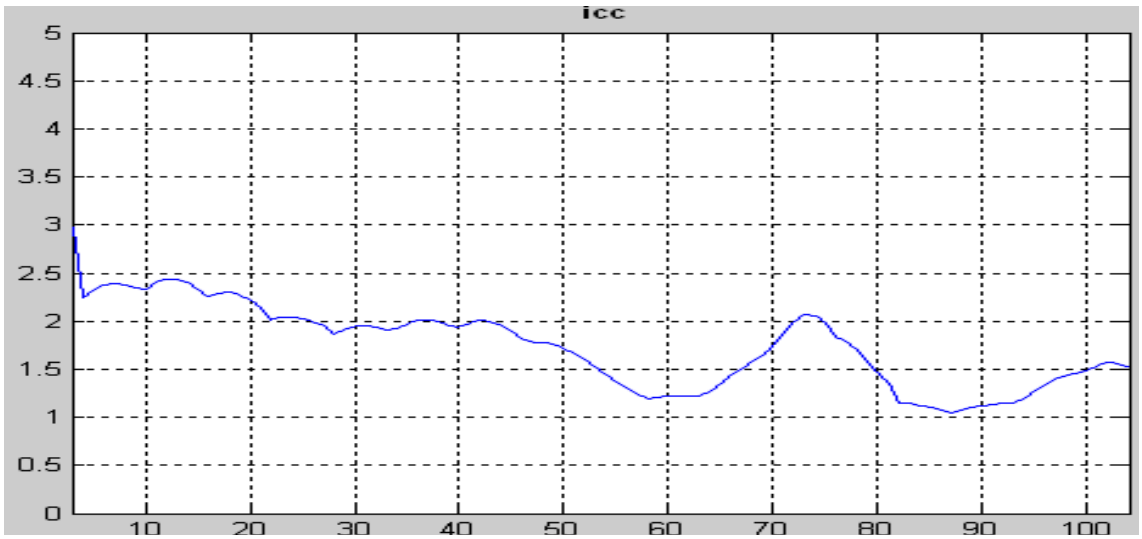



그림 270 그림115에 대한 시뮬레이션 결과

다음은 수신측에서 9번 콘덴서가 누락 되었을 때의 차상검측 데이터와 시뮬레이션과의 단락전류 파형을 비교한 것으로 총 궤도의 길이는 1Km이다. 궤도의 길이가 충분히 길며, 차상검측 데이터와 시뮬레이션의 단락전류 파형 및 패턴이 일치함을 확인할 수 있다.

## 아. 결론

본 연구를 통해 개발된 시뮬레이션 프로그램은 궤도회로의 현장설비 기능이 저하되었을 경우 사전에 예측이 가능하다. 궤도회로의 보상콘덴서의 유무 및 저항 증가, 절연불량 등에 따른 기능저하 상태 등을 정확히 판별할 수 있는 기준 설정에 활용하여 사전에 유지보수 할 수 있도록 차상검측 데이터의 활용지침 및 분석기준을 마련하는데 활용이 가능하다.

# 6. 차상 전기검측시스템 RAM 분석

## 가. 연구개발 방법

철도산업에서의 RAM업무는 대체적으로 국제규격인 EN 50126의 시스템 수명주기를 근거로 하여 각 단계별 관리 절차를 설명하고 각 단계별로 정리한 업무 내용에 근거하여 수행하였다.

본 연구에서는 고속철도 차상 전기 검측시스템에 대한 RAM 업무 중 신뢰도 분석의 과정으로서 RAM 요구사항에 관련된 신뢰도 목표값을 정리하고, 하부시스템의 신뢰도 값을 이용하여 시스템의 목표값을 산출하였다.

① PBS 구성

PBS(Product Breakdown Structure)는 고객사별로 요구하는 양식이 모두 다르나 대체적으로 전체 시스템에서 하부 시스템의 구성형태, 아이템명과 각 아이템에 대한 간략한 설명, 각 아이템의 기능설명, 각 차량별 아이템 수량, 아이템별 고장률과 이에 따르는 평균고장시간과 수량이 둘 이상일 경우 이들의 구성형태 등을 기술하였다.

② 신뢰성 예측

신뢰성 분석을 위해 사용되는 데이터의 형태는 제품의 사용 중에 발생된 고장데이터나 제품을 보증을 받기 위해 필요한 가속수명 혹은 시험 데이터, 그리고 제품을 설계하는 단계에서 사용되는 Prediction Data 로 구분된다. 앞의 두 가지 내용은 실제로 실험을 통해 획득하거나 현장데이터를 획득하는 형태이지만 Prediction을 위한 데이터는 제품의 실체가 없기 때문에 데이터 자체를 해당 제품에서 획득하기 불가능 하다. 따라서 설계 단계에서 제품의 신뢰성을 예측할 수 있는 방법은 유사 제품의 정보를 이용하거나 설계하고자 하는 제품의 부품별 신뢰성 데이터를 이용하여 계산하는 방법이 주로 사용된다.

신뢰성 예측을 위해서는 예측 방법에 따라 아래와 같은 기준서를 활용하였다.

| 방법 | 모델기준 | 특징 |
|---|---|---|
| 부품수 방법<br>(Part Count Method) | MIL-HDBK-217F<br>British Telecom<br>French CNET<br>Siemens | - 설계 초기단계<br>. 충분한 부품정보가 없을 때<br>. 신뢰성 설계시 |
| 부품 스트레스 분석<br>(Part Stress Analysis) | MIL-HDBK-217F<br>British Telecom<br>French CNET<br>Bellcore RPP | - 상세 설계단계<br>- 신뢰성 trade-offs 및<br>부품 선택 |

본 연구에서의 신뢰성 예측 방법은 가장 일반적으로 사용되는 MIL-HBDK-217F의 근거에 따라 아래와 같은 방법으로 분석한다.

MIL-HDBK-217F는 부품의 신뢰도에 영향을 주는 요인들을 고려하여 각종 전자부품에 대한 고장률 모델을 제시한 규격서이다. 미국 국방성에서 30여 년 동안 부품의 현장데이터를 수집하여 부품의 고장률을 산출하고, 부품의 고장률에 영향을 미치는 여러 가지 인자를 분석하여 부품의 고장률을 조정할 수 있는 모델을 개발한 것이다.

MIL-HDBK-217F는 2종류의 신뢰성 예측 방법 즉, 부품 수 방법(Parts Count Method)과 부품 스트레스 방법(Part Stress Method)을 제시하고 있다. 이 두 가지 방법의 공통적인 가정은 다음과 같다.

- 부품의 수명은 지수분포를 따르며
- 모든 부품은 직렬로 연결된 것으로 간주하고
- 각 부품은 통계적으로 독립이다.

부품 수 방법에서 유니트나 시스템의 예측 고장률($\lambda_p$)은

$$\lambda_p = \sum_i \lambda_{g_i} \pi_{Q_i}$$

로 산출하며, 이 때 $g_i$는 부품 i의 기본 고장률, $Q_i$는 그 부품의 품질계수(Quality Factor)이다. 고장률의 단위는 고장률의 단위는 고장/106시간 또는 고장/109시간을 보통 사용한다. 와 는 각 경우에 따라 규격서 에서 상세히 제공하고 있다.

부품 스트레스 방법(Part Stress Method)에서 부품 고장률에 대한 모델은 부품 수 방법과는 달리 부품마다 고려되는 계수가 여러 종류이며 각 계수에 대한 자세한 정보를 필요로 한다. 또한 이를 이용하여 MTBF를 계산하는 절차는 MTBF의 성질과 각 부품들의 분포를 지수분포로 가정하였기 때문에 아래 정의 및 성질을 이용하여

$$MTBF = E[T] = \int_{-\infty}^{\infty} t \cdot f(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} t \cdot \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

이므로 $MTBF = 1/\lambda_p$로 계산한다.

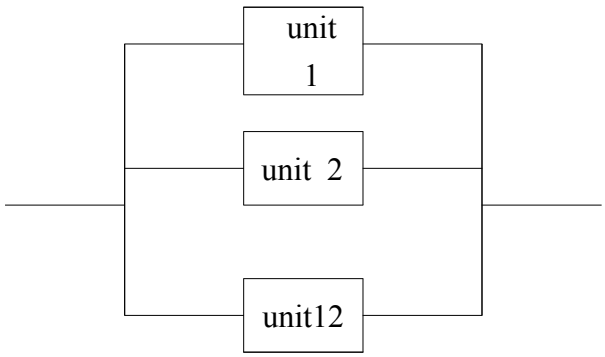
④ Reliability Block Diagram

시스템이나 기기를 분석할 경우 하드웨어나 기기를 기준으로 분석하는 것보다 기능별 블록으로 분석하는 것이 시스템의 전체 기능을 파악하는데 매우 유리하다. 시스템의 로직과 컴포넌트를 수학적으로 표시하는 일반적인 방법으로 신뢰성 블록도가 널리 사용되고 있다. RBD는 시스템의 functional block diagram 및 회로도에서 나타난 기능의 상관관계를 이용하여, 시스템의 전체 기능을 세분화된 기능으로 분리하고, 분리된 각각의 기능을 연결하여 표시함으로써 시스템의 Reliability를 향상하는 방법으로 시스템의 모든 기능들의 연관성을 나타내기 위해 시스템의 작동 순서에 따라 각 컴포넌트를 직/병렬 관계로 연결하여 신뢰성 블록도를 작성하고 정량적인 신뢰성 척도를 산출하는 방법이다.

PBS에서 정리된 아이템 구성 및 hierarchy를 세부 아이템 단위로 직병렬 관계를 구성하면 된다. 이를 이용한 신뢰도 함수는 다음과 같이 계산된다.

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdots R_n$$

또한 설비가 12개의 병렬로 구성된 하나의 Unit를 구성하고 있다면 이를 도식화 하면

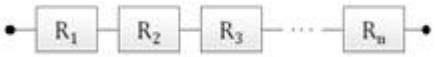
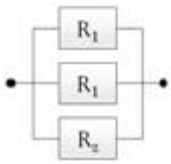
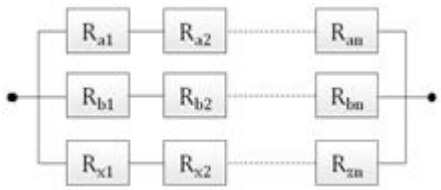
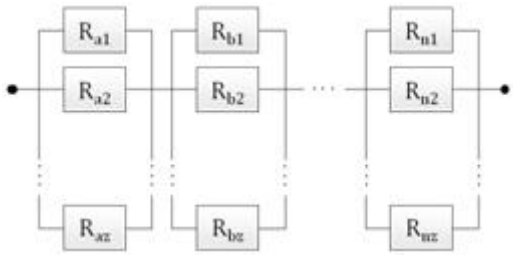
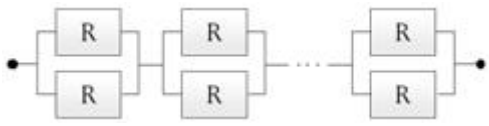



와 같이 정렬할 수 있고, 이를 이용하여 Unit에 대한 시스템 신뢰도 함수는 아래와 같은 식으로 계산한다.

$$R = (1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \cdots (1 - R_n)$$

이를 종합하여 기본적인 아이템구성 형태와 이에 따른 신뢰도 계산식을 정리하면 아래의 표와 같이 정리되고 이를 이용하여 전체 시스템의 신뢰도 블록선도 구성 및 신뢰도를 계산한다.

표 165 아이템 구성 및 신뢰도 계산식

| 기본적인 구성형태 | 시스템 신뢰도 계산 공식 $R_s$ |
|---|---|
| 1. 직렬구조<br>  <br> | A. 일반적인 형태<br>$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdots R_n$ |
| | B. $R_1 = R_2 = \cdots = R_n = R$ 인 경우<br>$R_s = R^n$ |
| 2. 병렬구조<br>  <br> | A. 일반적인 경우<br>$R_s = (1-R_1) \cdot (1-R_2) \cdots (1-R_n)$ |
| | B. $R_1 = R_2 = \cdots = R_n = R$ 인 경우<br>$R_s = 1-(1-R)^n$ |
| 3. 직/병렬이 혼합된 구조<br>  <br> | A. 일반적인 구조<br>$R_s = 1-\prod_{j=a}^{z}(1-R_{j1} \cdot R_{j2} \cdots R_{jn})$ |
| | B. 직렬구성의 신뢰도가 동일한 값일 경우<br>$R_s = 1-\prod_{j=a}^{z}(1-R_j^n)$ |
| | C. 모든 아이템의 신뢰도가 동일한 경우<br>$R_{aj} = R_{bj} = R_{zj} = R$ for $j=1$ to $n$<br>$R_s = 1-(1-R^n)^z$ |
| 4. **직병렬 구조가 혼합된 경우**<br>  <br> | A. 일반적인 경우<br>$R_s = \{1-(1-\mathrm{R}_{a1}) \cdots (1-\mathrm{R}_{az})\} \times \{1-(1-\mathrm{R}_{b1}) \cdots (1-\mathrm{R}_{bz})\} \times \cdots \{1-(1-\mathrm{R}_{n1}) \cdots (1-\mathrm{R}_{nz})\}$ |
| | B.<br>$R_{a1} = R_{a2} = \cdots = R_a$<br>$R_{b1} = R_{b2} = \cdots = R_b$<br>$\cdots$<br>$R_{n1} = R_{n2} = \cdots = R_n$<br>$R_s = (1-(1-R_a)^z) \cdot (1-(1-R_b)^z) \cdots (1-(1-R_n)^z)$ |
|  <br> | C. 모든 아이템의 신뢰도가 동일한 경우<br>$R_{aj} = R_{bj} = R_{zj} = R$<br>만약 $R = e^{-\lambda t}$<br>$R_s = (2e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-2\lambda t})^n$ |

## 나. Reliability Analysis Method

고속철도 차량의 전기 검측시스템에 대한 신뢰성 분석을 위해 MIL-HDBK-217F 등의 기준서를 적용하여 하드웨어의 부품단위 신뢰성을 예측하고, 그 결과를 토대로 MTBF 를 산출하여 정량적 신뢰성 분석을 수행한다. 또한 고속철도 차량의 전기 검측시스템의 각 구성 시스템에 대하여 RBD 를 구성하여 각 시스템별 MTBF 를 산출한다.

### (1) Product Breakdown Structure

고속철도 차량의 전기 검측시스템에 대하여 신뢰성 분석을 위해 먼저 각 시스템 별 계층 구조와 구성품 및 Board 단위의 LRU(Line Replaceable Unit)을 기초로 PBS(Product Breakdown Structure)를 결정한다.

PBS 는 고장 또는 이상 징후가 발생했을 때 현장에서 새로운 예비품으로 교체가 가능한 구성품 및 Board 등과 같은 LRU 단위로 구성되며, 이러한 분류체계를 기반으로 신뢰성 분석을 수행한다. PBS 는 시스템에 대한 하드웨어 구성 및 해당 하드웨어의 기능을 포함하고 있다.

### (2) Reliability Prediction

신뢰성 예측의 목적은 부품 단위의 고장률을 예측하여 단위 모듈에 대한 고장률(또는 MTBF)을 예측하기 위함이다. 고장률(또는 MTBF)은 실제로 현장에서 운용되는 동안 고장이 발생한 이력자료를 기반으로 통계적으로 추정하는 것이 원칙이지만, 고속철도 차량의 전기 검측시스템과 같이 운영 이력이 없는 신규 개발 시스템에 대해서는 고장자료를 획득하기가 불가능하다.

따라서 구성 부품의 명세서를 정리하여 이를 토대로 전자 부품류인 경우는 MIL-HDBK-217F, 기계 부품류의 경우는 NSWC-98/LE1 등과 같은 기준서를 적용하여 구성 부품에 대한 고장률을 산출하는 과정을 신뢰성 예측이라 한다. 즉, “과거의” 신뢰성 자료를 이용하여 “새로운” 부품의 신뢰성을 추정하는 것으로서 현장 자료에 근거한 실험식(Empirical Model)을 이용하되, 대상 부품의 유형(Type), 사용조건(Environment) 및 제조 과정에서의 품질(Quality)등 기준이 되는 부품과의 유사적 속성(Similar Attributes)을 판단하는 과정을 거친다.

신뢰성 예측을 수행하기 위해서는 먼저 구성 부품의 계층 구조 및 분해 수준을 결정하고 각 부품에 대한 상세 부품 명세서를 수집, 정리하며 동작 환경, 온도, 품질수준, 전기적 특성, 기계적 특성 및 기술적인 특성을 파악한 후 기준서를 적용하여 고장률을 예측한다.

고속철도 차량의 전기 검측시스템에 대하여 시중품인 경우는 기기 제조사에서 제공하는 자료 및 유사 제품의 자료 및 유사 제품의 자료를 검토 또는 필요시 재산출하였으며, 시중품에 대해 재산출이 필요한 경우에는 구성품을 모듈 단위로 구매하기 때문에 소자 부품 단위의 부품 명세서 정리가 불가능하여 MIL-HDBK-217F 에 기준한 부품 스트레스 방법(Part Stress Method)은 적용하지 않고 EPRD(Electronic Parts Reliability Data) 및 NPRD(Non-electronic Parts Reliability Data) 등의 Databook 을 활용하였다. 그리고 Board 등과 같은 자체 제작품

의 경우는 구성 부품의 명세서를 토대로 부품 제조사 자료, MIL-HDBK-217F 기준서 및 EPRD/NPRD 등의 Databook 을 활용하여 고장률을 산출하였다.

신뢰성 예측 시 다음의 3가지 가정을 적용하여 분석하였다.

- 부품의 수명은 지수 분포를 따른다. (고장률 일정)
- 한 모듈의 모든 부품은 직렬로 연결되어 있다.
- 각 부품은 통계적으로 독립이다.

### (3) Reliability Block Diagram

신뢰성블록도(RBD)는 기능블록도를 기준하여 아이템이 주어진 기능을 수행하기 위하여 정상적으로 동작하여야 하는 하드웨어 블록의 연결관계도를 나타낸다. 아래의 3가지 가정을 바탕으로 직렬과 병렬구조의 시스템에 대한 MTBF 산출 방법은 다음과 같다.

시스템은 n개의 부품으로 구성되어 있으며, 각 부품은 통계적으로 독립이다.

각 부품의 고장률을 $\lambda_i (i=1,2,\cdots,n)$라 하고, 각각의 $\lambda_i$는 일정하다. (지수분포 가정)

부품의 신뢰성 : $R_i(t)=e^{-\lambda_i t}$

① 직렬구조인 경우

$$R_S(t)=P\{\phi(X)=1\}=P(X_1 \cdots X_n=1)=P(X_1=1)\times\cdots\times P(X_n=1)$$
$$=R_1(t)\times\cdots\times R_n(t)=\prod_{i=1}^{n}R_i(t)=e^{-\left(\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\right)t}$$

$$MTBF_S=\int_0^\infty t\cdot f_S(t)dt=\int_0^\infty R_S(t)dt=\int_0^\infty e^{-\left(\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\right)t}dt=\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}=\frac{1}{\lambda_S}$$

② 병렬구조인 경우

$$R_S(t)=1-\left(1-R_1(t)\right)\times\left(1-R_2(t)\right)\times\cdots\times\left(1-R_n(t)\right)$$
$$=1-\prod_{i=1}^{n}\left(1-R_i(t)\right)=1-\prod_{i=1}^{n}\left(1-e^{-\lambda_i t}\right)$$

$$MTBF_S = \int_0^\infty t \cdot f_S(t)dt = \int_0^\infty R_S(t)dt = \int_0^\infty \left(1 - \prod_{i=1}^{n}\left(1 - e^{-\lambda_i t}\right)\right)dt$$

RBD를 이용하면 n개의 독립된 부품들로 구성된 시스템에 대한 MTBF를 산출할 수 있으며, 이를 통해 고속철도 차량의 전기 검측시스템의 각 시스템별 MTBF를 산출하였다.

## 다. Reliability Analysis Results

본 절에서는 고속철도 차량의 전기 검측시스템을 구성하고 있는 궤도회로, 전차선로 및 무선통신의 각 분야별 신뢰성 분석 결과를 기술하였다.

### (1) 전차선로 차상검측시스템

표 166은 전차선로 차상검측시스템에 대한 PBS를 나타내며, 표를 보면 알 수 있듯이 PBS는 시스템에 대한 하드웨어 구성 및 해당 하드웨어의 기능을 포함하고 있다.

표 166 전차선로 차상검측시스템의 PBS

| Id | Item Description | Q'ty | Function |
|---|---|---|---|
| 100000 | 전차선로 차상검측시스템 | | |
| 110000 | 전차선 높이/편위 검측시스템 | | |
| 111000 | 전차선 동적 높이/편위 측정장치 | | |
| 111100 | Camera | 1 | 전차선의 높이/편위 프로파일 측정 |
| 111200 | Lens | 1 | 카메라의 초점 확보 |
| 111300 | Filter | 1 | 태양광 노이즈 제거 |
| 111400 | Line Laser | 1 | 카메라의 조명 소스 |
| 111500 | SMPS | 1 | 각 장비에 대한 전원 공급 |
| 112000 | 차량보정 장치 | | |
| 112100 | Camera | 1 | 차량의 롤링 및 궤간의 프로파일 측정 |
| 112200 | Lens | 1 | 카메라의 초점 확보 |
| 112300 | Filter | 1 | 태양광 노이즈 제거 |
| 112400 | Line Laser | 1 | 카메라의 조명 소스 |
| 112500 | SMPS | 1 | 각 장비에 대한 전원 공급 |
| 120000 | 전차선 영상 검측시스템 | | |
| 121000 | 집전상태 고속 모니터링장치 | | |
| 121100 | Camera | 1 | 집전상태 모니터링 |
| 121200 | Lens | 1 | 카메라의 초점 확보 |
| 121300 | LED Lamp | 4 | 카메라 광량 확보 |
| 121400 | SMPS | 1 | 카메라 및 조명에 전원공급 |
| 121500 | Arc Sensor | 1 | 아크 측정 |
| 121600 | CT | 1 | 차량 전류 측정 |
| 121700 | PT | 1 | 차량 전압 측정 |
| 130000 | 전차선 과하중지점 검측시스템 | | |
| 131000 | 전차선 과하중지점 측정장치 | | |
| 131100 | Camera | 1 | 접촉력을 비접촉식으로 측정 |

| Id | Item Description | Q'ty | Function |
|---|---|---|---|
| 131200 | Lens | 1 | 카메라 초점 확보 |
| 131300 | Filter | 1 | 태양광 노이즈 제거 |
| 131400 | LED Lamp | 2 | 카메라의 조명 소스 |
| 131500 | SMPS | 1 | 카메라 및 라인레이저에 전원 공급 |
| 140000 | 전차선로 이미지 분석시스템 | | |
| 141000 | 전차선로 시설물 측정장치 | | |
| 141100 | Camera | 2 | 전차선 주변 시설물의 이미지 획득 |
| 141200 | Lens | 2 | 카메라의 초점 확보 |
| 141300 | Filter | 2 | 태양광 노이즈 제거 |
| 141400 | Line Laser | 2 | 카메라의 조명 소스 |
| 141500 | SMPS | 2 | 각 장비에 대한 전원 공급 |
| 150000 | 전차선로 열화상 검측시스템 | | |
| 151000 | 전차선로 열화상 측정장치 | | |
| 151100 | 열화상 카메라 | 1 | 전차선로의 발열부위를 측정 |
| 151200 | SMPS | 1 | 열화상 카메라에 대한 전원 공급 |
| 160000 | 전차선로 차상검측 종합처리장치 | | |
| 161000 | 전차선 측정데이터 수집장치 | | |
| 161100 | Embedded Computer | 1 | 높이/편위 추출 및 데이터 저장 |
| 161200 | Frame Grabber | 1 | 영상 데이터 입력 모듈 |
| 161300 | Trigger Board | 1 | 트리거(촬영 시점) 입력 모듈 |
| 161400 | Pulser Counter | 1 | 레이저 On/Off 제어 |
| 161500 | Level Converter | 1 | 트리거 신호레벨 제어 |
| 161600 | SMPS | 1 | 각 장비에 대한 전원 공급 |
| 162000 | 전차선로 집전상태 데이터 수집장치 | | |
| 162100 | Embedded Computer | 1 | 아크 및 모니터링 영상수집 및 저장 |
| 162200 | Analog Input Card | 1 | 아크센서, CT, PT 신호 디지털로 변환 |
| 162300 | SMPS | 1 | 각 장비에 대한 전원 공급 |
| 163000 | 과하중 측정 모니터링 수집/분석장치 | | |
| 163100 | Embedded Computer | 1 | 접촉력, 모니터링 영상수집 및 저장 |
| 163200 | Frame Grabber | 1 | 영상 데이터 입력 모듈 |
| 163300 | SMPS | 1 | 각 장비에 대한 전원 공급 |
| 164000 | 전차선로 시설물 결함분석장치 | | |
| 164100 | Embedded Computer | 2 | 시설물 영상수집 및 저장 |
| 164200 | Frame Grabber | 2 | 영상 데이터 입력 모듈 |
| 164300 | Trigger Board | 2 | 트리거(촬영 시점) 입력 모듈 |
| 164400 | SMPS | 2 | 각 장비에 대한 전원 공급 |
| 165000 | 전차선로 열화상 수집/분석장치 | | |
| 165100 | Embedded Computer | 1 | 열화상 데이터 표시 및 데이터 저장 |
| 165200 | SMPS | 1 | 산업용 컴퓨터 및 비접촉타코메타에 전원 공급 |
| 166000 | 측위 검지장치 | | |
| 166100 | 비접촉 타코메타 | 1 | 비 접촉식으로 차량의 속도를 측정 |

PBS를 토대로 전차선로 차상검측시스템에 대해 신뢰성을 예측하였으며, 표 167는 전차선로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과이다.

표 167 전차선로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과

| Id | Item Description | Q'ty | Failure Rate (Failures/hours) | MTBF (hours) | Data Sources |
|---|---|---|---|---|---|
| 100000 | 전차선로 차상검측시스템 | | | | |
| 110000 | 전차선 높이/편위 검측시스템 | | | | |
| 111000 | 전차선 동적 높이/편위 측정장치 | | | | |
| 111100 | Camera | 1 | 2.0487 | 488,122 | Manufacturer Data |
| 111200 | Lens | 1 | 0.0486 | 20,576,132 | NPRD-95 |
| 111300 | Filter | 1 | 0.2000 | 5,000,000 | NPRD-95 |
| 111400 | Line Laser | 1 | 3.1017 | 322,404 | EPRD-97 |
| 111500 | SMPS | 1 | 4.1771 | 239,400 | Manufacturer Data |
| 112000 | 차량보정 장치 | | | | |
| 112100 | Camera | 1 | 2.0487 | 488,122 | Manufacturer Data |
| 112200 | Lens | 1 | 0.0486 | 20,576,132 | NPRD-95 |
| 112300 | Filter | 1 | 0.2000 | 5,000,000 | NPRD-95 |
| 112400 | Line Laser | 1 | 3.1017 | 322,404 | EPRD-97 |
| 112500 | SMPS | 1 | 4.3860 | 228,000 | Manufacturer Data |
| 120000 | 전차선 영상 검측시스템 | | | | |
| 121000 | 집전상태 고속 모니터링장치 | | | | |
| 121100 | Camera | 1 | 2.2017 | 454,196 | Manufacturer Data |
| 121200 | Lens | 1 | 0.0486 | 20,576,132 | NPRD-95 |
| 121300 | LED Lamp | 4 | 5.0068 | 199,728 | Manufacturer Data |
| 121400 | SMPS | 1 | 3.7736 | 265,000 | Manufacturer Data |
| 121500 | Arc Sensor | 1 | 0.5899 | 1,695,203 | NPRD-95 |
| 121600 | CT | 1 | 0.3154 | 3,170,577 | NPRD-95 |
| 121700 | PT | 1 | 0.2670 | 3,745,318 | NPRD-95 |
| 130000 | 전차선 과하중지점 검측시스템 | | | | |
| 131000 | 전차선 과하중지점 측정장치 | | | | |
| 131100 | Camera | 1 | 2.2017 | 454,196 | Manufacturer Data |
| 131200 | Lens | 1 | 0.0486 | 20,576,132 | NPRD-95 |
| 131300 | Filter | 1 | 0.2000 | 5,000,000 | NPRD-95 |
| 131400 | LED Lamp | 2 | 5.0068 | 199,728 | Manufacturer Data |
| 131500 | SMPS | 1 | 4.1771 | 239,400 | Manufacturer Data |
| 140000 | 전차선로 이미지 분석시스템 | | | | |
| 141000 | 전차선로 시설물 측정장치 | | | | |
| 141100 | Camera | 2 | 2.2017 | 454,196 | Manufacturer Data |
| 141200 | Lens | 2 | 0.0486 | 20,576,132 | NPRD-95 |

| Id | Item Description | Q'ty | Failure Rate (Failures/hours) | MTBF (hours) | Data Sources |
|---|---|---|---|---|---|
| 141300 | Filter | 2 | 0.2000 | 5,000,000 | NPRD-95 |
| 141400 | Line Laser | 2 | 3.1017 | 322,404 | EPRD-97 |
| 141500 | SMPS | 2 | 4.3860 | 228,000 | Manufacturer Data |
| 150000 | 전차선로 열화상 검측시스템 | | | | |
| 151000 | 전차선로 열화상 측정장치 | | | | |
| 151100 | 열화상 카메라 | 1 | 2.2017 | 454,196 | Manufacturer Data |
| 151200 | SMPS | 1 | 4.3860 | 228,000 | Manufacturer Data |
| 160000 | 전차선로 차상검측 종합처리장치 | | | | |
| 161000 | 전차선 측정데이터 수집장치 | | | | |
| 161100 | Embedded Computer | 1 | 5.0281 | 198,882 | Manufacturer Data |
| 161200 | Frame Grabber | 1 | 1.9279 | 518,689 | Similar Product Data |
| 161300 | Trigger Board | 1 | 0.7414 | 1,348,711 | Reference Data |
| 161400 | Pulser Counter | 1 | 5.3321 | 187,543 | NPRD-95 |
| 161500 | Level Converter | 1 | 1.5903 | 628,817 | Manufacturer Data |
| 161600 | SMPS | 1 | 4.0984 | 244,000 | Manufacturer Data |
| 162000 | 전차선로 집전상태 데이터 수집장치 | | | | |
| 162100 | Embedded Computer | 1 | 5.0281 | 198,882 | Manufacturer Data |
| 162200 | Analog Input Card | 1 | 1.2889 | 775,832 | Similar Product Data |
| 162300 | SMPS | 1 | 4.0984 | 244,000 | Manufacturer Data |
| 163000 | 과하중 측정 모니터링 수집/분석장치 | | | | |
| 163100 | Embedded Computer | 1 | 5.0281 | 198,882 | Manufacturer Data |
| 163200 | Frame Grabber | 1 | 1.9279 | 518,689 | Similar Product Data |
| 163300 | SMPS | 1 | 4.0984 | 244,000 | Manufacturer Data |
| 164000 | 전차선로 시설물 결함분석장치 | | | | |
| 164100 | Embedded Computer | 2 | 5.0281 | 198,882 | Manufacturer Data |
| 164200 | Frame Grabber | 2 | 1.9279 | 518,689 | Similar Product Data |
| 164300 | Trigger Board | 2 | 0.7414 | 1,348,711 | Reference Data |
| 164400 | SMPS | 2 | 4.0984 | 244,000 | Manufacturer Data |
| 165000 | 전차선로 열화상 수집/분석장치 | | | | |
| 165100 | Embedded Computer | 1 | 5.0281 | 198,882 | Manufacturer Data |
| 165200 | SMPS | 1 | 4.0984 | 244,000 | Manufacturer Data |
| 166000 | 측위 검지장치 | | | | 공통 부분 |
| 166100 | 비접촉 타코메타 | 1 | 0.3000 | 3,333,333 | NPRD-95 |

전차선로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과를 RBD에 적용하여 각 장치별 MTBF를 산출하였으며, 신뢰성 분석 시 전차선로 차상검측시스템의 운영 특성을 고려하여 일일평균운행시간은 8시간으로 가정하여 분석하였다. 참고로 표 168은 '전철전력설비 유지보수 지침'(2012.08.01.)에 기술되어 있는 전철전력설비 관련 유지보수 점검주기이다.

표 168 전철전력설비 유지보수 점검주기

| 구 분 | | | 전차선 검측차 (높이/편위/마모) | | | 모니터링 검측차 (아크/동특성) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 종합 검측차 | 전철시험차 1호 | 전철시험차 2호,3호,4호 | |
| 일반 철도 | 전동열차 운행구간 | 지상 | - | 1월 1회 | - | |
| | | 지하 | - | 1년 1회 | - | |
| | 고속여객열차 운행구간 | | - | 6월 1회 | 3월 1회 | |
| | 기타선 | | - | 6월 1회 | 3월 1회 | |
| 고속여객열차 전용 운행구간 | | | 월 1회 | | | 1월 2회 |

① 전차선 높이/편위 검측시스템

전차선 높이/편위 검측시스템은 고속 주행 중에 전차선의 동적 높이/편위를 실시간으로 측정하기 위한 장치이며, 그림 271는 전차선 높이/편위 검측시스템에 대한 RBD이고, 그림 272와 그림 273은 하위 장치에 대한 RBD이다. 차량보정장치의 경우는 해당 장치의 기능 상실이 전차선 높이/편위 검측시스템의 기능 상실을 유발하는 직접적인 원인은 아니기 때문에 RBD 구성 시 제외하였다. 표 169는 전차선 높이/편위 검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

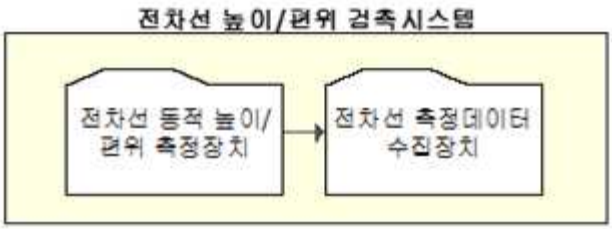



그림 271 전차선 높이/편위 검측시스템 RBD

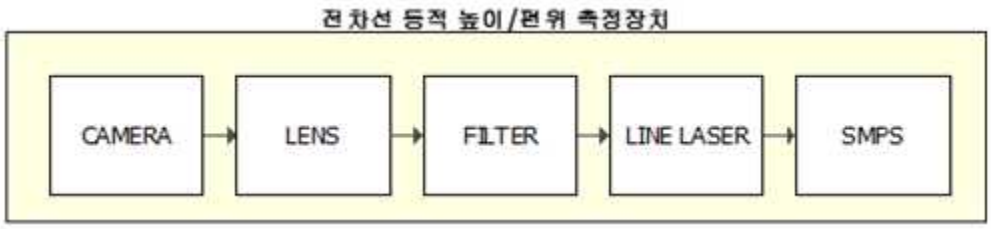



그림 272 전차선 동적 높이/편위 측정장치에 대한 RBD




그림 273 전차선 측정데이터 수집장치에 대한 RBD

표 169 전차선 높이/편위 검측시스템의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 111000 | 전차선 동적 높이/편위 측정장치 | 1 | 9.5807 | 104,377 |
| 111100 | Camera | 1 | 2.0487 | 488,122 |
| 111200 | Lens | 1 | 0.0486 | 20,576,132 |
| 111300 | Filter | 1 | 0.2000 | 5,000,000 |
| 111400 | Line Laser | 1 | 3.1017 | 322,404 |
| 111500 | SMPS | 1 | 4.1771 | 239,400 |
| 161000 | 전차선 측정데이터 수집장치 | 1 | 18.7272 | 53,398 |
| 161100 | Embedded Computer | 1 | 5.0281 | 198,882 |
| 161200 | Frame Grabber | 1 | 1.9279 | 518,689 |
| 161300 | Trigger Board | 1 | 0.7414 | 1,348,711 |
| 161400 | Pulser Counter | 1 | 5.3321 | 187,543 |
| 161500 | Level Converter | 1 | 1.5903 | 628,817 |
| 161600 | SMPS | 1 | 4.0984 | 244,000 |

| 전차선 높이/편위 검측시스템 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 28.3079 | 35,326 | 12.10 |

② 전차선 영상 검측시스템

전차선 영상 검측시스템은 주행시 팬터그래프의 집전거동 상태를 고속 모니터링하고 팬터그래프 집전시 발생하는 아크를 실시간으로 측정하기 위한 장치이며, 그림 274은 전차선 영상 검측시스템에 대한 RBD이고, 그림 275과 그림 276는 하위 장치에 대한 RBD이다. 집전상태 고속 모니터링 장치의 경우, LED LAMP의 광량이 충분하지 않더라도 카메라 렌즈 조리개를 개방하거나, 카메라에서 제공하는 기능 중에 Gain(밝기조정) 또는 카메라 셔터의 노출시간 (Exposure)을 조정하여 부족한 광량을 확보할 수 있기 때문에 LED LAMP는 병렬 관계로 구성한다. 표 170는 전차선 영상 검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

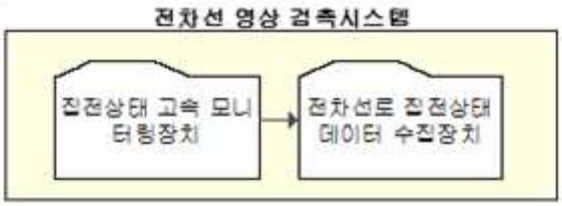



그림 274 전차선 영상 검측시스템에 대한 RBD

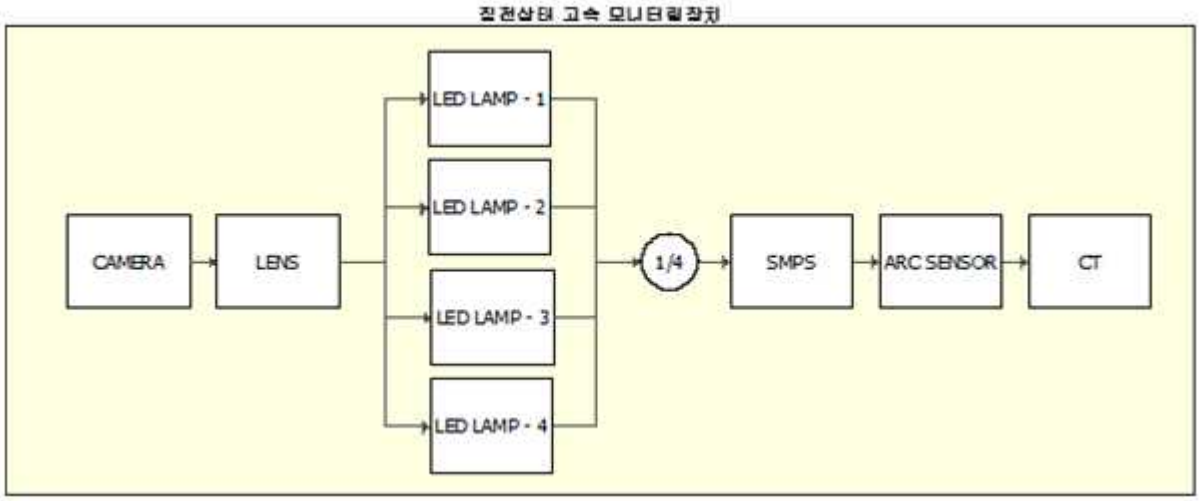



그림 275 집전상태 고속 모니터링장치에 대한 RBD

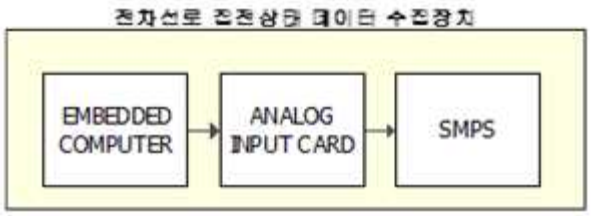



그림 276 전차선로 집전상태 데이터 수집장치에 대한 RBD

표 170 전차선 영상 검측시스템의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 121000 | 집전상태 고속 모니터링 장치 | 1 | 7.9314 | 126,080 |
| 121100 | Camera | 1 | 2.2017 | 454,196 |
| 121200 | Lens | 1 | 0.0486 | 20,576,132 |
| 121300 | LED Lamp | 4 | 5.0068 | 199,728 |
| 121400 | SMPS | 1 | 3.7736 | 265,000 |
| 121500 | Arc Sensor | 1 | 0.5899 | 1,695,203 |
| 121600 | CT | 1 | 0.3154 | 3,170,577 |
| 162000 | 전차선로 집전상태 데이터 수집장치 | 1 | 10.4204 | 95,966 |
| 162100 | Embedded Computer | 1 | 5.0281 | 198,882 |
| 162200 | Analog Input Card | 1 | 1.2889 | 775,832 |
| 162300 | SMPS | 1 | 4.0984 | 244,000 |

| 전차선 영상 검측시스템 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 17.7132 | 56,455 | 19.33 |

③ 전차선 과하중지점 검측시스템

전차선 과하중지점 검측시스템은 주행시 팬터그래프의 집전거동 상태를 고속 모니터링하고 팬터그래프 집전시 발생하는 아크를 실시간으로 측정하기 위한 장치이며, 그림 277은 전차선 과하중지점 검측시스템에 대한 RBD이고, 그림 278과 그림 279는 하위 장치에 대한 RBD이다. 전차선 과하중지점 측정장치의 경우, LED LAMP의 광량이 충분하지 않더라도 카메라 렌즈 조리개를 개방하거나, 카메라에서 제공하는 기능 중에 Gain(밝기조정) 또는 카메라 셔터의 노출시간 (Exposure)을 조정하여 부족한 광량을 확보할 수 있기 때문에 LED LAMP는 병렬 관계로 구성한다. 표 171은 전차선 과하중지점 검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

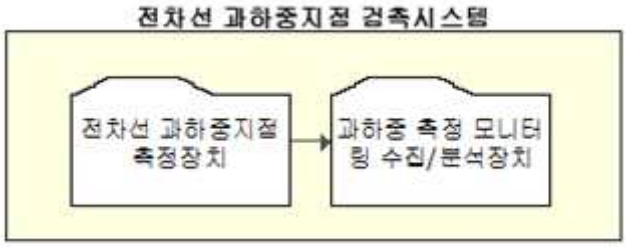



그림 277 전차선 과하중지점 검측시스템에 대한 RBD

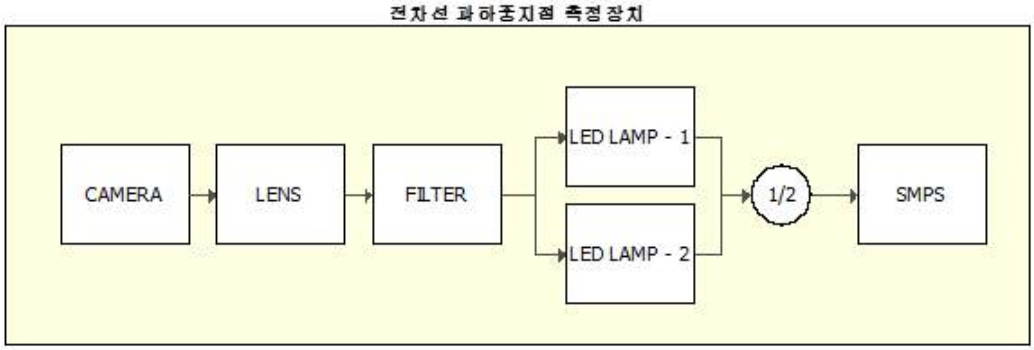



그림 278 전차선 과하중지점 측정장치에 대한 RBD

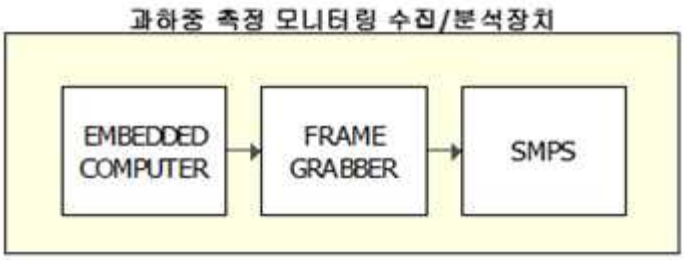



그림 279 과하중 측정 모니터링 수집/분석장치에 대한 RBD

표 171 전차선 과하중지점 검측 장치의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 131000 | 전차선 과하중지점 측정장치 | 1 | 7.8383 | 127,578 |
| 131100 | Camera | 1 | 2.2017 | 454,196 |
| 131200 | Lens | 1 | 0.0486 | 20,576,132 |
| 131300 | Filter | 1 | 0.2000 | 5,000,000 |
| 131400 | LED Lamp | 2 | 5.0068 | 199,728 |
| 131500 | SMPS | 1 | 4.1771 | 239,400 |

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 163000 | 과하중 측정 모니터링 수집/분석장치 | 1 | 11.0597 | 90,418 |
| 163100 | Embedded Computer | 1 | 5.0281 | 198,882 |
| 163200 | Frame Grabber | 1 | 1.9279 | 518,689 |
| 163300 | SMPS | 1 | 4.0984 | 244,000 |

| 전차선 과하중지점 검측시스템 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 19.2233 | 52,020 | 17.82 |

④ 전차선로 이미지 분석시스템

전차선로 이미지 분석시스템은 주행시 팬터그래프의 집전거동 상태를 고속 모니터링하고 팬터그래프 집전시 발생하는 아크를 실시간으로 측정하기 위한 장치이며, 그림 280은 전차선로 이미지 분석시스템에 대한 RBD이고, 그림 281와 그림 282는 하위 장치에 대한 RBD이다. 전차선로 이미지 분석시스템은 차량 좌측과 우측에 각각 1대씩 설치되며, 총 2대 중 어느 하나에서 장애가 발생한 경우, 좌측 또는 우측의 한쪽 면의 시설물만 측정이 불가능하고 반대편의 시설물은 정상적으로 측정이 가능하기 때문에 기능적인 측면에서 병렬 관계로 구성한다. 표 172은 전차선로 이미지 분석시스템에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

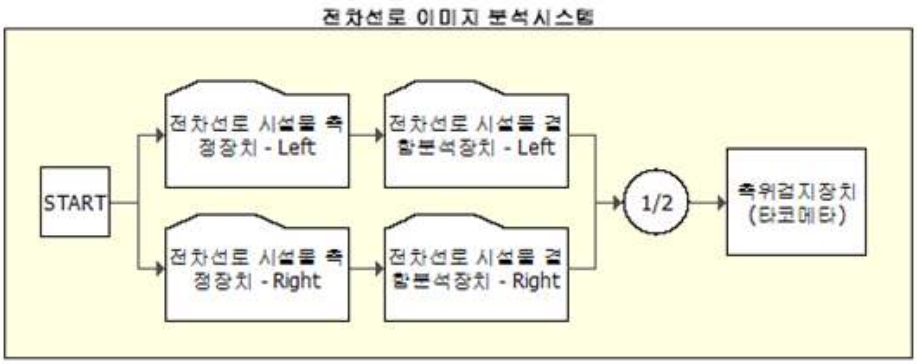



그림 280 전차선로 이미지 분석시스템에 대한 RBD

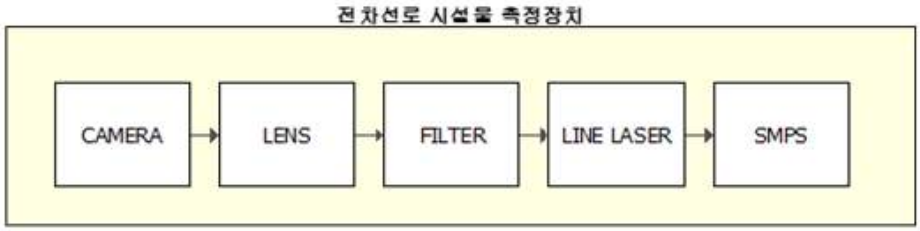



그림 281 전차선로 시설물 측정장치에 대한 RBD

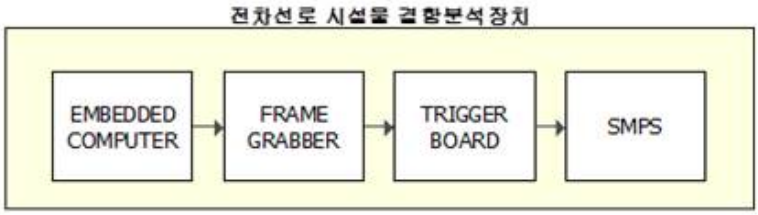



그림 282 전차선로 시설물 결함분석장치에 대한 RBD

표 172 전차선로 이미지 분석시스템의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 141000 | 전차선로 시설물 측정장치 | 2 | 9.9427 | 100,576 |
| 141100 | Camera | 1 | 2.2017 | 454,196 |
| 141200 | Lens | 1 | 0.0486 | 20,576,132 |
| 141300 | Filter | 1 | 0.2000 | 5,000,000 |
| 141400 | Line Laser | 1 | 3.1017 | 322,404 |
| 141500 | SMPS | 1 | 4.3860 | 228,000 |
| 164000 | 전차선로 시설물 결함분석장치 | 2 | 11.8015 | 84,735 |
| 164100 | Embedded Computer | 1 | 5.0281 | 198,882 |
| 164200 | Frame Grabber | 1 | 1.9279 | 518,689 |
| 164300 | Trigger Board | 1 | 0.7414 | 1,348,711 |
| 164400 | SMPS | 1 | 4.0984 | 244,000 |
| 166000 | 측위 검지장치 (비접촉 타코메타) | 1 | 0.3000 | 3,333,333 |

| 전차선로 이미지 분석시스템 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 14.7282 | 67,897 | 23.25 |

⑤ 전차선로 열화상 검측시스템

전차선로 열화상 검측시스템은 전차선로의 과열위치를 열화상을 이용한 영상으로 검측하기 위한 장치이며, 그림 283은 전차선로 열화상 검측시스템에 대한 RBD이고, 그림 284과 그림 285은 하위 장치에 대한 RBD이다. 표 173은 전차선로 열화상 검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

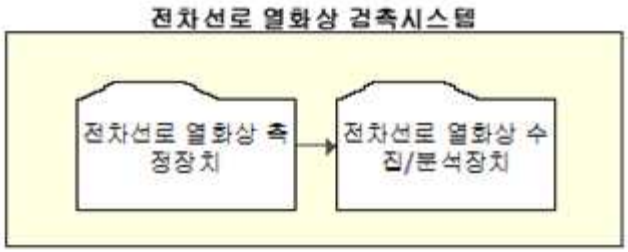



그림 283 전차선로 열화상 검측시스템 RBD

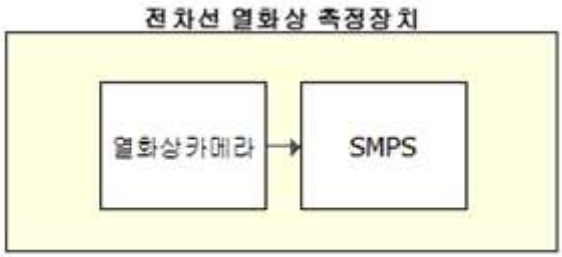



그림 284 전차선로 열화상 측정장치 RBD

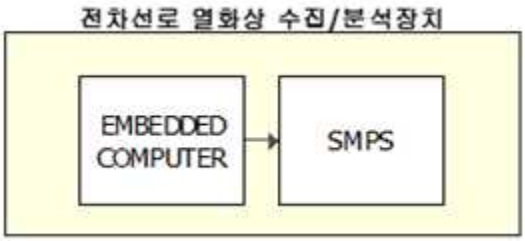



그림 285 전차선로 열화상 수집/분석장치에 대한 RBD

표 173 전차선로 열화상 검측시스템의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 151000 | 전차선로 열화상 측정장치 | 1 | 6.5908 | 151,726 |
| 151100 | 열화상 카메라 | 1 | 2.2017 | 454,196 |
| 151200 | SMPS | 1 | 4.3860 | 228,000 |
| 165000 | 전차선로 열화상 수집/분석장치 | 1 | 9.1308 | 109,519 |
| 165100 | Embedded Computer | 1 | 5.0281 | 198,882 |
| 165200 | SMPS | 1 | 4.0984 | 244,000 |

| 전차선로 열화상 검측시스템 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 15.7217 | 63,606 | 21.78 |

### (2) 궤도회로 차상검측시스템

표 174는 궤도회로 차상검측시스템에 대한 PBS를 나타내며, 표를 보면 알 수 있듯이 PBS는 시스템에 대한 하드웨어 구성 및 해당 하드웨어의 기능을 포함하고 있다.

표 174 궤도회로 차상검측시스템의 PBS

| Id | Item Description | Q'ty | Function |
|---|---|---|---|
| 100000 | 궤도회로 차상검측시스템 | | |
| 110000 | RACK 1 | | |
| 111000 | 종합처리장치 | | |
| 111100 | 운영 컴퓨터 | 1 | 검측정보(레벨 및 메시지)의 processing |
| 111200 | 데이터 컴퓨터 | 1 | 각 검측장치와의 data interface |
| 111300 | 모니터 | 1 | 검측정보의 display |
| 111400 | 스위칭 허브 | 1 | 차상검측시스템의 LAN interface 제공 |
| 111500 | 공유기(KVM) | 1 | 운영 컴퓨터와 데이터 컴퓨터에 대한 Mouse, K/B, Monitor 공유기 |
| 111600 | UPS | 1 | 정전 보상용 |
| 112000 | 보상콘덴서 검측장치 | | |
| 112100 | 처리보드 | 1 | 보상콘덴서 정보의 처리 및 데이터 컴퓨터 interface |
| 112200 | 입출력보드 | 1 | 보상콘덴서 레벨의 수신 및 증폭 |
| 112300 | 신호증폭기 | 1 | TX 루프에 대한 출력 주파수 및 전류 생성 |
| 112310 | 전원모듈 | 1 | 신호증폭기 전원 공급 |

| Id | Item Description | Q'ty | Function |
|---|---|---|---|
| 112320 | TX/RX 처리부 | 1 | TX/RX 신호 처리 |
| 112400 | 전원장치 | 1 | 보상콘덴서 검측장치의 각 보드에 대한 전원 공급 |
| 112500 | TX 루프 | 1 | 보상콘덴서 검측용 루프 (KTX 36호차 공급분과 동일 제품) |
| 112600 | RX 루프 | 2 | 보상콘덴서 검측용 루프 (KTX 36호차 공급분과 동일 제품) |
| 120000 | RACK 2 | | |
| 121000 | 연속정보 검측장치 | | |
| 121100 | 처리보드 | 1 | 연속정보의 처리 및 데이터 컴퓨터 interface |
| 121200 | 수신보드 | 1 | 연속정보의 수신 및 증폭 |
| 121300 | 연속정보 안테나(TVM 2G) | 2 | 연속정보 수신용 안테나 |
| 122000 | 불연속정보 검측장치 | | |
| 122100 | 처리보드 | 1 | 불연속정보의 처리 및 데이터 컴퓨터 interface |
| 122200 | 수신보드 | 1 | 불연속정보의 수신 및 증폭 |
| 122300 | 불연속정보 안테나(TVM BSP) | 2 | 불연속정보 수신용 안테나 |
| 123000 | ETCS 발리스 검측장치 | | |
| 123100 | 처리보드 | 1 | 발리스 정보의 처리 및 데이터 컴퓨터 interface |
| 123200 | 수신보드 | 1 | 발리스 정보의 수신 및 증폭 |
| 123300 | 전력파전송보드 | 1 | 27.095MHz의 전력파 생성 |
| 123400 | 유로발리스 안테나 | 1 | ETCS 발리스 정보 수신용 안테나 |
| 124000 | 전원모듈 | 1 | RACK 2에 실장된 각 보드에 대한 전원 공급 |

PBS를 토대로 궤도회로 차상검측시스템에 대해 신뢰성을 예측하였으며, 표 175은 궤도회로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과이다.

표 175 궤도회로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과

| Id | Item Description | Q'ty | Failure Rate (Failures/ hours) | MTBF (hours) | Data Sources |
|---|---|---|---|---|---|
| 100000 | 궤도회로 차상검측시스템 | | | | |
| 110000 | RACK 1 | | | | |
| 111000 | 종합처리장치 | | | | |
| 111100 | 운영 컴퓨터 | 1 | 5.4736 | 182,695 | Manufacturer Data |
| 111200 | 데이터 컴퓨터 | 1 | 5.4736 | 182,695 | Manufacturer Data |
| 111300 | 모니터 | 1 | 5.6338 | 177,500 | NPRD-95 |
| 111400 | 스위칭 허브 | 1 | 2.5392 | 393,828 | Manufacturer |

| Id | Item Description | Q'ty | Failure Rate (Failures/ hours) | MTBF (hours) | Data Sources |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Data |
| 111500 | 공유기(KVM) | 1 | 2.7917 | 358,205 | Similar Product Data |
| 111600 | UPS | 1 | 0.5708 | 1,751,927 | Manufacturer Data |
| 112000 | 보상콘덴서 검측장치 | | | | |
| 112100 | 처리보드 | 1 | 4.6937 | 213,052 | MIL-HDBK-217F |
| 112200 | 입출력보드 | 1 | 2.8471 | 351,235 | MIL-HDBK-217F |
| 112300 | 신호증폭기 | 1 | | | |
| 112310 | 전원모듈 | 1 | 0.9733 | 1,027,432 | NPRD-95 |
| 112320 | TX/RX 처리부 | 1 | 3.0913 | 323,488 | MIL-HDBK-217F |
| 112400 | 전원장치 | 1 | 0.9733 | 1,027,432 | NPRD-95 |
| 112500 | TX 루프 | 1 | 7.8359 | 127,618 | Manufacturer Data |
| 112600 | RX 루프 | 2 | 7.2351 | 138,215 | Manufacturer Data |
| 120000 | RACK 2 | | | | |
| 121000 | 연속정보 검측장치 | | | | |
| 121100 | 처리보드 | 1 | 4.6937 | 213,052 | MIL-HDBK-217F |
| 121200 | 수신보드 | 1 | 1.0542 | 948,587 | MIL-HDBK-217F |
| 121300 | 연속정보 안테나(TVM 2G) | 2 | 0.3600 | 2,777,778 | NPRD-95 |
| 122000 | 불연속정보 검측장치 | | | | |
| 122100 | 처리보드 | 1 | 4.6937 | 213,052 | MIL-HDBK-217F |
| 122200 | 수신보드 | 1 | 4.4994 | 222,252 | MIL-HDBK-217F |
| 122300 | 불연속정보 안테나(TVM BSP) | 2 | 0.3600 | 2,777,778 | NPRD-95 |
| 123000 | ETCS 발리스 검측장치 | | | | |
| 123100 | 처리보드 | 1 | 4.6937 | 213,052 | MIL-HDBK-217F |
| 123200 | 수신보드 | 1 | 1.3258 | 754,262 | MIL-HDBK-217F |
| 123300 | 전력파전송보드 | 1 | 3.2526 | 307,446 | MIL-HDBK-217F |
| 123400 | 유로발리스 안테나 | 1 | 0.3600 | 2,777,778 | NPRD-95 |
| 124000 | 전원모듈 | 1 | 0.9733 | 1,027,432 | NPRD-95 |

궤도회로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과를 RBD에 적용하여 각 장치별 MTBF를 산출하였으며, 신뢰성 분석 시 궤도회로 차상검측시스템의 운영 특성을 고려하여 일일평균운행시간은 12시간으로 가정하여 분석하였다. 참고로 표 176은 '신호제어설비 유지보수 지침'(2011.07.08.)에 기술되어 있는 신호제어설비 관련 유지보수 점검주기의 일부이다.

표 176 신호제어설비 유지보수 점검주기

| 구 분 | 점 검 항 목 | 점검주기 |
|---|---|---|
| 열차자동제어장치 | 각 장비의 LED 작동 상태 / LME의 키보드, 마우스, 모니터 상태 / 각 장비의 환풍기 상태 | 주 1회 |
| | LME의 메시지 저장 상태 / 절체 스위치 작동 상태 | 월 1회 |
| | 각 장치의 보드, 커넥터, 단자 접속 상태 | 반년 1회 |
| | ITL 루프 케이블의 위치 및 손상 여부 점검 / ITL 출력 전압 측정 / Tad125 내부 단자 상태 | 년 1회 |
| ATC 시험장치 (고속차량용 출발선 시험장치) | 키보드, 마우스, 모니터 상태 / 현장설비와 통신 상태 / 메시지 분석 /주파수 정확성 시험 / Fan 작동 상태 | 월 1회 |
| | 커넥터, 단자 접속 상태 / 전원장치 작동 상태 | 반년 1회 |
| | 루프케이블의 위치 및 손상여부 점검 | 년 1회 |

① 연속정보 검측장치

연속정보 검측장치는 궤도회로를 통하여 차상으로 전송되는 연속정보 및 레벨을 검측하기 위한 장치이며, 이에 대한 RBD은 그림 286와 같다. 표 177는 연속정보 검측장치에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

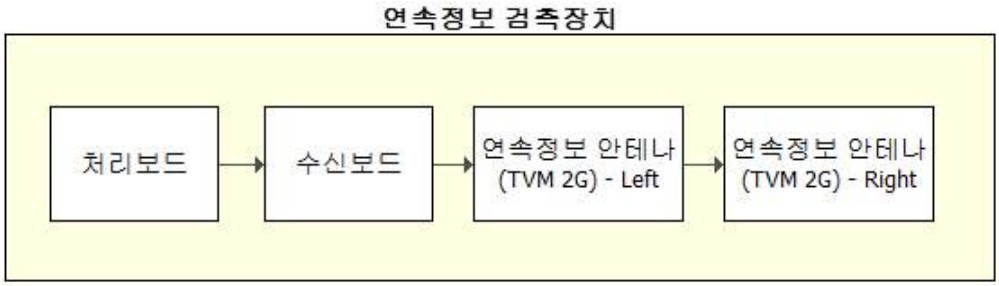



그림 286 연속정보 검측장치에 대한 RBD

표 177 연속정보 검측장치의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 121100 | 처리보드 | 1 | 4.6937 | 213,052 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 121200 | 수신보드 | 1 | 1.0542 | 948,587 |
| 121300 | 연속정보 안테나 (TVM 2G) | 2 | 0.3600 | 2,777,778 |

| 연속정보 검측장치 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 6.4710 | 154,536 | 35.28 |

② 불연속정보 검측장치

불연속정보 검측장치는 BSP 루프를 통하여 차상으로 전송되는 불연속정보 및 레벨을 검측하기 위한 장치이며, 이에 대한 RBD은 그림 287과 같다. 표 178은 불연속정보 검측장치에 대한 신뢰성 분석 결과이다.




그림 287 불연속정보 검측장치에 대한 RBD

표 178 불연속정보 검측장치의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 122100 | 처리보드 | 1 | 4.6937 | 213,052 |
| 122200 | 수신보드 | 1 | 4.4994 | 222,252 |
| 122300 | 연속정보 안테나 (TVM BSP) | 2 | 0.3600 | 2,777,778 |

| 불연속정보 검측장치 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 9.9179 | 100,828 | 23.02 |

③ ETCS 발리스 검측장치

ETCS 발리스 검측장치는 발리스를 통하여 차상으로 전송되는 텔레그램을 수신하여 종합처리장치로 전송하는 장치이며, 이에 대한 RBD은 그림 288과 같다. 표 179는 ETCS 발리스 검측장치에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

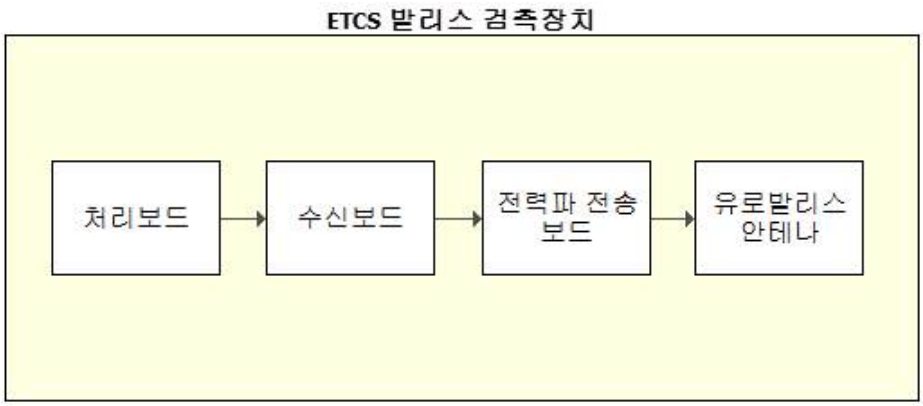



그림 288 ETCS 발리스 검측장치에 대한 RBD

표 179 ETCS 발리스 검측장치의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 123100 | 처리보드 | 1 | 4.6937 | 213,052 |
| 123200 | 수신보드 | 1 | 1.3258 | 754,262 |
| 123300 | 전력파전송보드 | 1 | 3.2526 | 307,446 |
| 123400 | 유로발리스 안테나 | 1 | 0.3600 | 2,777,778 |

| ETCS 발리스 검측장치 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 9.6367 | 103,770 | 23.69 |

④ 보상콘덴서 검측장치

보상콘덴서 검측장치는 연속정보 전송용인 UM71 궤도회로의 전송 신호의 감쇠를 보상하기 위해 궤도회로 레일에 60 - 80m 간격으로 설치된 보상 콘덴서의 상태 검측을 위한 장치이며, 이에 대한 RBD은 그림 289와 같다. RX 루프는 2개 중 어느 하나에서 장애가 발생하더라도 TX 루프와 함께 보상콘덴서 유무에 따른 폐회로 구성에 영향을 미치지 않기 때문에 병렬 관계로 구성한다. 표 180는 보상콘덴서 검측장치에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

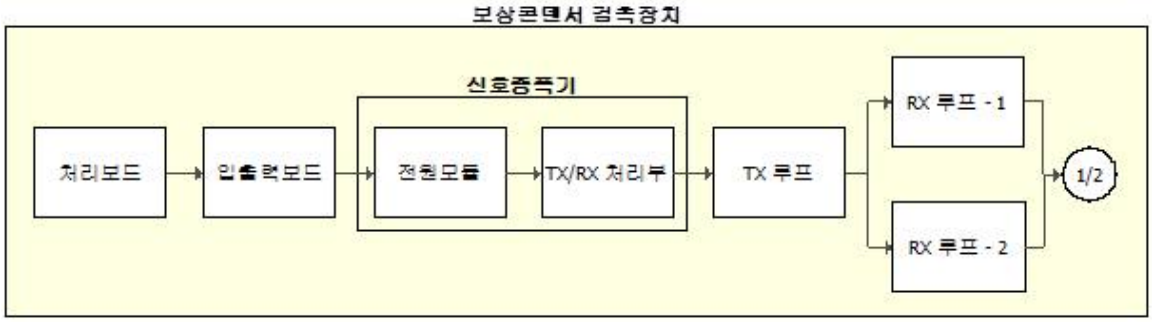



그림 289 보상콘덴서 검측장치에 대한 RBD

표 180 보상콘덴서 검측장치의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 112100 | 처리보드 | 1 | 4.6937 | 213,052 |
| 112200 | 입출력보드 | 1 | 2.8471 | 351,235 |
| 112300 | 신호증폭기 | 1 | 4.0646 | 246,027 |
| 112310 | 전원모듈 | 1 | 0.9733 | 1,027,432 |
| 112320 | TX/RX 처리부 | 1 | 3.0913 | 323,488 |
| 112500 | TX 루프 | 1 | 7.8359 | 127,618 |
| 112600 | RX 루프 | 1 | 7.2351 | 138,215 |

| 보상콘덴서 검측장치 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 22.9100 | 43,649 | 9.97 |

⑤ 종합처리장치

종합처리장치는 하부 시스템인 각 검측장치로부터 지상설비에 관련된 메시지 (연속정보, 불연속정보 및 ETCS 발리스 정보) 및 레벨 (연속, 불연속 및 ETCS 발리스)을 수신하여 처리하는 기능을 가지며, 보상 콘덴서의 이상 유무를 검측하기 위한 기능을 포함한 장치이며, 이에 대한 RBD은 그림 290과 같다. 종합처리장치의 구성품 중에서 모니터, 공유기(KVM) 및 UPS의 경우는 해당 장치의 기능 상실이 종합처리장치의 기능 상실을 유발하는 직접적인 원인은 아니기 때문에 RBD 구성 시 제외하였다. 표 181은 종합처리장치에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

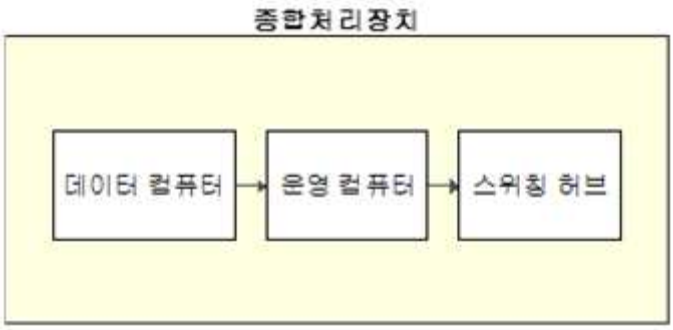



그림 290 종합처리장치에 대한 RBD

표 181 종합처리장치의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 111100 | 운영 컴퓨터 | 1 | 5.4736 | 182,695 |
| 111200 | 데이터 컴퓨터 | 1 | 5.4736 | 182,695 |
| 111400 | 스위칭 허브 | 1 | 2.5392 | 393,828 |

| 종합처리장치 검측장치 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 13.4928 | 74,113 | 16.92 |

### (3) 무선통신 차상검측시스템

표 182은 무선통신 차상검측시스템에 대한 PBS를 나타내며, 표를 보면 알 수 있듯이 PBS는 시스템에 대한 하드웨어 구성 및 해당 하드웨어의 기능을 포함하고 있다.

표 182 무선통신 차상검측시스템의 PBS

| ID | Item Description | Q'ty | Function |
|---|---|---|---|
| 100000 | 무선통신 차상 검측시스템 | 1 | |
| 110000 | ASTRO System | 1 | |
| 111000 | ASTRO VOICE RADIO | 1 | ASTRO VOICE System 접속을 통한 핸드오버 정보, 시스템 및 채널 정보 획득 (ZONE 정보, Subsystem 정보, BSID, 채널 정보 등) |
| 112000 | ASTRO DATA RADIO | 1 | ASTRO DATA System 접속을 통한 핸드오버 정보, BER 측정 및 채널 정보 획득 (ZONE 정보, BSID, 채널 정보, BER, 핸드오버 정보 등) |

| ID | Item Description | Q'ty | Function |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 120000 | TETRA System | 1 | |
| 121000 | TETRA VOICE RADIO | 1 | TETRA VOICE System 접속을 통한 핸드오버 정보, 시스템 및 채널 정보 획득 (ZONE 정보, Subsystem 정보, BSID, 채널 정보 등) |
| 122000 | TETRA DATA RADIO | 1 | TETRA DATA System 접속을 통한 핸드오버 정보, BER 측정 및 채널 정보 획득 (ZONE 정보, BSID, 채널 정보, BER, 핸드오버 정보 등) |
| 130000 | 계측기 1 | 1 | 전계강도 및 주파수 측정 (ASTRO/TETRA Voice, Data Channel) |
| 140000 | 계측기 2 | 1 | 불요파 측정 (ASTRO/TETRA) |

PBS를 토대로 무선통신 차상검측시스템에 대해 신뢰성을 예측하였으며, 표 183은 무선통신 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과이다.

표 183 무선통신 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) | Data Source |
|---|---|---|---|---|---|
| 100000 | 무선통신 차상 검측시스템 | 1 | | | |
| 110000 | ASTRO System | 1 | | | |
| 111000 | ASTRO VOICE RADIO | 1 | 18.8679 | 53,000 | Manufacturer Data |
| 112000 | ASTRO DATA RADIO | 1 | 23.2558 | 43,000 | Manufacturer Data |
| 120000 | TETRA System | 1 | | | |
| 121000 | TETRA VOICE RADIO | 1 | 21.7391 | 46,000 | Manufacturer Data |
| 122000 | TETRA DATA RADIO | 1 | 21.7391 | 46,000 | Manufacturer Data |
| 130000 | 계측기 1 | 1 | 33.3333 | 30,000 | Similar Piece Data (Agilent CSA Spectrum Analyzer) |
| 140000 | 계측기 2 | 1 | 33.3333 | 30,000 | Similar Piece Data (Agilent CSA Spectrum Analyzer) |

무선통신 차상검측시스템에 대한 신뢰성 예측 결과를 RBD에 적용하여 각 장치별 MTBF를 산출하였으며, 신뢰성 분석 시 무선통신 차상검측시스템의 운영 특성을 고려하여 일일평균운행시간은 5시간으로 가정하여 분석하였다. 참고로 표 184는 '정보통신설비 유지보수 지침'(2012.08.01.)에 기술되어 있는 정보통신설비 관련 유지보수 점검주기이다.

표 184 정보통신설비 유지보수 점검주기

| 구 분 | 점 검 주 기 | | |
|---|---|---|---|
| | 점 검 | 동 작 | 계 측 |
| 열차무선 (TRS-TETRA)<br>중앙제어설비 | 월 1회 | 반기 1회 | 년 1회<br>(S/W 포함) |
| 열차무선 (TRS-TETRA)<br>중계기지국장치 | 월 1회 | 반기 1회 | 년 1회 |
| 열차무선 (TRS-TETRA)<br>역용기지국 | - | - | 반기 1회 |
| 이동국 (TRS-TETRA)<br>(휴대국 포함) | - | - | 년 1회 |

① 전계강도 및 주파수 검측장치

전계강도 및 주파수 검측장치는 프로토콜 정보분석을 통해 수신전계강도 및 주파수를 검측하기 위한 장치이며, 그림 291는 전계강도 및 주파수 검측장치에 대한 RBD이다. 표 185은 전계강도 및 주파수 검측장치에 대한 신뢰성 분석 결과이다.




그림 291 전계강도 및 주파수 검측장치에 대한 RBD

표 185 전계강도 및 주파수 검측장치의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 111000 | ASTRO VOICE RADIO | 1 | 18.8679 | 53,000 |
| 121000 | TETRA VOICE RADIO | 1 | 21.7391 | 46,000 |
| 130000 | 계측기 1 | 1 | 33.3333 | 30,000 |

| 전계강도 및 주파수 검측장치 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 73.9758 | 13,518 | 7.41 |

② 핸드오버 및 불요파 검측장치

핸드오버 및 불요파 검측장치는 스펙트럼 분석을 통한 불요파 검측 및 핸드오버 구간 검측을 위한 장치이며, 그림 292는 핸드오버 및 불요파 검측장치에 대한 RBD이다. 표 186은 핸드오버 및 불요파 검측장치에 대한 신뢰성 분석 결과이다

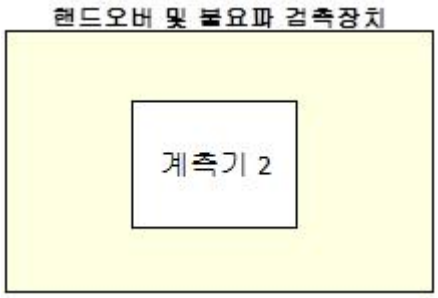



그림 292 핸드오버 및 불요파 검측장치에 대한 RBD

표 186 핸드오버 및 불요파 검측장치의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 140000 | 계측기 2 | 1 | 33.3333 | 30,000 |

| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 33.3333 | 30,000 | 16.44 |

③ 데이터 에러율 검측장치

데이터 에러율 검측장치는 프로토콜 정보를 연구/분석하여 터미널에서 수신되는 중계기지국 신호의 분석을 통해 RSID, 주파수, BER 등의 고속철도 무선환경에 대해 검측하기 위한 장치이며, 그림 293은 데이터 에러율 검측장치에 대한 RBD이다. 표 187는 데이터 에러율 검측장치에 대한 신뢰성 분석 결과이다.

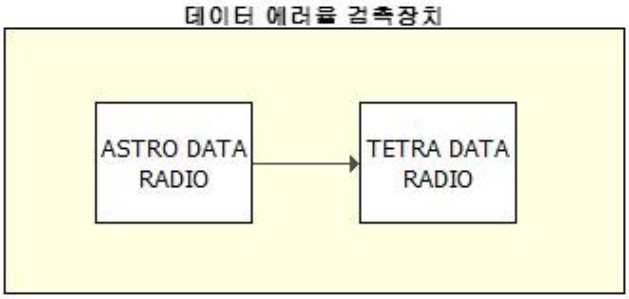



그림 293 데이터 에러율 검측장치에 대한 RBD

표 187 데이터 에러율 검측장치의 신뢰성 분석 결과

| ID | Item Description | Q'ty | Item Failure Rate (failures/$10^6$hr) | Item MTBF (hours) |
|---|---|---|---|---|
| 112000 | ASTRO DATA RADIO | 1 | 23.2558 | 43,000 |
| 122000 | TETRA DATA RADIO | 1 | 21.7391 | 46,000 |

| 데이터 에러율 검측장치 | | |
|---|---|---|
| Failure Rate (failures/$10^6$hr) | MTBF (hours) | MTBF (year) |
| 45.0165 | 22,214 | 12.17 |

## 라. 결론

고속철도 차량의 전기 검측시스템을 구성하고 있는 각 장치를 식별하고 각각의 장치에 대한 신뢰성을 예측하며 신뢰성블록도(Reliability Block Diagram, RBD)를 이용하여 각 장치별 평균고장시간 (Mean Time Between Failure, MTBF)을 산출하였다.

고속철도 차량의 전기 검측시스템에 대하여 시중품인 경우는 기기 제조사에서 제공하는 자료 및 유사 제품의 자료 및 유사 제품의 자료를 검토 또는 필요시 재산출하였으며, 시중품에 대해 재산출이 필요한 경우에는 구성품을 모듈 단위로 구매하기 때문에 소자 부품 단위의 부품 명세서 정리가 불가능하여 MIL-HDBK-217F에 기준한 부품 스트레스 방법(Part Stress Method)은 적용하지 않고 EPRD(Electronic Parts Reliability Data) 및 NPRD(Non-electronic Parts Reliability Data) 등의 Databook을 활용하였다. 그리고 Board 등과 같은 자체 제작품의 경우는 구성 부품의 명세서를 토대로 부품 제조사 자료, MIL-HDBK-217F 기준서 및 EPRD/NPRD 등의 Databook을 활용하여 고장률을 산출하였다.

고속철도 차량의 전기 검측시스템을 구성하고 있는 궤도회로, 전차선로 및 무선통신 차상검측시스템의 각 장치별 기능적 연관관계 및 다중성(Redundancy) 등을 확인하여 RBD을 기반으로 각 장치별 고장률 및 MTBF를 산출하였다.

기준서 및 Databook을 기준으로 신뢰성 예측을 통해 산출된 값은 실제 운영 환경 및 조건 등이 상이할 수 있기 때문에 실제 값과 차이가 있으며, 산출된 MTBF는 구성품의 어느 1개

부품의 고장이 전체 시스템의 고장이라는 가정 하에서 매우 보수적으로 산출되기 때문에 실제적인 고장률보다 높게 산출된다.

고속철도 차량의 전기 검측시스템 중에서 전차선로 차상검측시스템에 대한 각 장치별 신뢰성 분석 결과를 정리하면 표 188과 같다.

표 188 전차선로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과

| 구분 | Failure Rate (failures/$10^6$ hr) | MTBF (hours) | MTBF (years) |
|---|---|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측시스템 | 28.3079 | 35,326 | 12.10 |
| 전차선 영상 검측시스템 | 17.7132 | 56,455 | 19.33 |
| 전차선 과하중지점 검측시스템 | 19.2233 | 52,020 | 17.82 |
| 전차선로 이미지 분석시스템 | 14.7282 | 67,897 | 23.25 |
| 전차선로 열화상 검측시스템 | 15.7217 | 63,606 | 21.78 |

전차선 높이/편위 검측시스템의 MTBF가 타 시스템에 비해 상대적으로 낮게 산출된 것은 타 시스템보다 다수의 구성품으로 구성되어 있기 때문이며, 전체적으로 시중품에 대한 제조사 제공 데이터의 고장률 수치가 상대적으로 높은 것도 MTBF 산출 결과에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

고속철도 차량의 전기 검측시스템 중에서 궤도회로 차상검측시스템에 대한 각 장치별 신뢰성 분석 결과를 정리하면 표 189와 같다.

표 189 궤도회로 차상검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과

| 구분 | Failure Rate (failures/$10^6$ hr) | MTBF (hours) | MTBF (years) |
|---|---|---|---|
| 연속정보 검측장치 | 6.4710 | 154,536 | 35.28 |
| 불연속정보 검측장치 | 9.9179 | 100,828 | 23.02 |
| ETCS 발리스 검측장치 | 9.6367 | 103,770 | 23.69 |
| 보상콘덴서 검측장치 | 21.9951 | 45,465 | 10.38 |
| 종합처리장치 | 13.4928 | 74,113 | 16.92 |

보상콘덴서 검측장치와 종합처리장치의 MTBF가 타 장치에 비해 상대적으로 낮게 산출된 것은 해당 장치를 구성하고 있는 운영 컴퓨터, 데이터 컴퓨터, TX 루프 및 RX 루프와 같은

시중품에 대한 제조사 제공 데이터가 타 구성품에 비해 상대적으로 큰 고장률 수치를 나타내기 때문이다.

고속철도 차량의 전기 검측시스템 중에서 무선통신 차상검측시스템에 대한 각 장치별 신뢰성 분석 결과를 정리하면 표 190과 같다.

표 190 무선통신 차상검측시스템에 대한 신뢰성 분석 결과

| 구분 | Failure Rate (failures/$10^6$ hr) | MTBF (hours) | MTBF (years) |
|---|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | 73.9758 | 13,518 | 7.41 |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | 33.3333 | 30,000 | 16.44 |
| 데이터 에러율 검측장치 | 45.0165 | 22,214 | 12.17 |

무선통신 검측시스템의 각 장치별 MTBF가 타 시스템에 비해 상대적으로 낮게 산출된 것은 전체적으로 시중품에 대한 제조사 제공 데이터의 고장률 수치가 상대적으로 높은 것이 MTBF 산출 결과에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

고속철도 차량의 전기 검측시스템의 각 장치별 신뢰성 분석 결과는 실제 운영 자료를 배제한 것이므로 향후에 보다 신뢰할만한 근거 자료가 되기 위해서는 시스템을 운영하면서 발생되는 고장에 대한 이력자료를 기존에 예측한 결과에 지속적으로 반영하여 실질적으로 갱신하는 것이 필요하며, 또한 본 신뢰성 분석 및 시뮬레이션 결과를 토대로 향후 설계 개선 및 LCC(Life Cycle Cost) 분석 등을 수행하여 검측시스템의 신뢰성을 더욱 향상시킬 수 있는 방안을 모색하는 것도 필요하다. 이와 같은 활동의 결과물이 누적되면 앞으로 시스템의 신뢰성 및 기업의 대외 경쟁력은 물론 가치를 제고하는데 일조할 수 있을 것으로 기대한다.

# 3절 연구수행 결과 및 결과의 검증 방법

본 연구는 350㎞/h에서 전기(전차선, 무선통신, 신호) 시설물을 자동으로 검측 하는 장치 개발과 검측된 데이터의 자동화운영 및 실시간 전송시스템 구축을 목표로 추진되었다.

또한 최종 연구목표 달성을 위해 개발된 전차선, 신호, 무선통신 검측장비를 300㎞/h로 운행하는 고속열차(KTX-36호) 및 차세대 고속열차(HEMU-430X)에 검측장치를 탑재하여 고속에서의 시설물 검측 및 데이터 실시간 전송 등을 확인하였다.

표 191 차상 전기검측시스템 연구개발 최종목표

| 구 분 | NO | 목표(항목) | 상세항목 | 사양 및 설명 |
|---|---|---|---|---|
| 전차선로 차상 검측시스템 | 1 | 높이/편위 검측 | 정밀도(mm) | 높이: ±5, 편위: ±5 |
| | | | 측정영역(mm) | 높이: 4800~5400, 편위: -350~+350 |
| | 2 | 영상(아크) 검측 | 아크검출시간(ms) | 0.1 ms |
| | | | 아크지점분석오차 | ±10m(미터) |
| | 3 | 과하중지점 검측 | 접촉력 샘플링속도 | 2 khz |
| | | | 충격지점분석오차 | ±1m(미터) |
| | | | 접촉력 측정오차 | ±10% |
| | 4 | 이미지 변형 검측 | 균압선 검출률 | 60% |
| | | | 드롭퍼 검출률 | 70% |
| | | | 연결금구 | 60% |
| | 5 | 열화상 검측 | 이상온도 검출률 | 90% |
| | | | 온도 측정범위(°C) | -20°C ~ +150°C |
| | | | 온도 측정오차(°C) | ±2°C |
| | | | 샘플링 영역(m) | 2m |
| 궤도회로 차상 검측시스템 | 6 | 연속정보 검측 | 메시지 | 28bit를 3.2sec이내 검지 |
| | | | 레벨 | 유/무 |
| | 7 | 불연속정보 검측 | 메시지 | 80bit (service 8bits, 메시지A 28bits, 메시지B 28bits, Redundancy 16bits) 검지 |
| | | | 레벨 | 125khz 주파수 레벨 검지 |
| | 8 | 보상콘덴서 검측 | 전류 레벨 | 유/무 |
| | 9 | ETCS발리스 검측 | Telepowering Frequency | 27.096MHz ~ 27.115MHz |
| | | | Data Frequency | 4.24MHz |
| | | | Total telegram length | 1023bits or 341bits |
| | | | Data rate | 564.48Kbits/s |
| 무신통신 차상 검측시스템 | 10 | 전계강도 및 주파수 검측 | 주파수 검측 | 800MHz 대역내의 사용주파수 기준 |
| | | | 전계강도(RSSI)검측 | DAQ4(-95dBm이상) |
| | | | 주파수 파형의 형태 | Spectrum Analyzer |
| | 11 | 핸드오버 및 불요파 검측 | 주파수 핸드오버 구간 정의 | 주파수 분석 및 Spectrum Analyzer |
| | | | 불요파 검측 | Bandwidth 25khz와 Guard Band 검측 |
| | 12 | 데이터 에러율(BER) 검측 | RSID & Frequency | 열차무선설비의 정보와 주파수 검측 |
| | | | BER | 검측구간 기준레벨 적용 맵핑기술 |
| 자동화 운영시스템 | 13 | 실시간 전송시스템 | 기준정보관리 모듈 | 기준정보관리 |
| | | | 실시간 전송모듈 | 전차선/신호/통신 이상 검측데이터 실시간 전송 모듈 |
| | | | 사용자 알람 모듈 | 이상검측데이터 사용자 알람 |
| | 14 | 자동화 진단 운영시스템 | 기준정보관리 모듈 | 기준정보관리 |
| | | | 검측데이터관리 모듈 | 전차선/신호/통신 검측데이터관리 |
| | | | 검측데이터분석 모듈 | 전차선/신호/통신 검측데이터 조회 및 분석 |

## 1. 전차선로 차상검측시스템

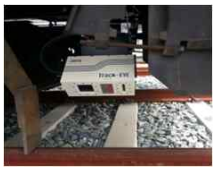
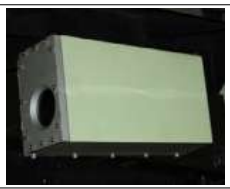
전차선로 차상검측시스템의 연구는 다음과 같은 단계를 통하여 검증을 수행하였다.

표 192 전차선로 차상검측시스템 개발 내역

| 구 분 | 전차선 높이편위 | | 영상검측 | | 과하중검측 | | 전차선로 이미지 분석 | | 전차선로 열화상검측 (2차년도 추가) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 연차 | 완료 여부 | 연차 | 완료 여부 | 연차 | 완료 여부 | 연차 | 완료 여부 | 연차 | 완료 여부 |
| 시스템 설계 및 제작도면 | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 | 2차 | 완료 |
| 상세설계 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 |
| 시제품 제작 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| 개발품 제작 (현차설치용) | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| 테스트베드 및 시험장비 구축 | 2차 | 완료 | 3차 | 완료 | 2차 | 완료 | 3차 | 영업노선활용 | 4차 | 영업노선 활용 |
| 정적시험 (& 성능검증) | 3차 | 완료 (정밀도 공인시험) | 3차 | 완료 (정밀도 시험장비 -Lab) | 3차 | 완료 (정밀도 공인시험) | 3차 | 완료 (전문가 현장수행 평가) | 4차 | 완료 (정밀도 -Lab시험) |
| 현차시험 | 3차 4차 | 완료 (HEMU -430X) | 4차 | 완료 (KTX -36호) | 4차 | 완료 (KTX -36호) | 3차 4차 | 완료 (HEMU -430X) | 4차 | 완료 (HEMU -430X) |

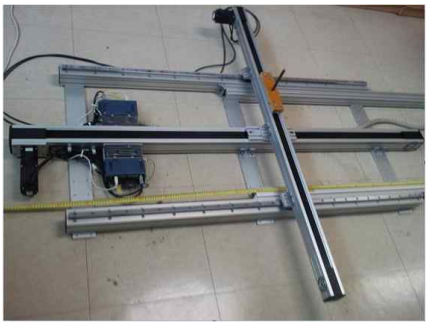
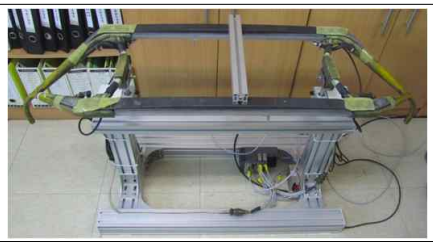
## 가. 검측장치별 개발품 제작 내역

표 193 전차선로 차상검측시스템 시제품 및 개발품 제작 내역

| 장치명 | 시제품 | 시제품 설명 | 개발품 | 개발품설명 |
|---|---|---|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측장치 |  | • 주요구성: 카메라, 레이저<br>• 전차선 저속 검측(50Hz)<br>• 야간검측용 (태양광영향)<br>• 모터카 현차시험 |  <br>  | • 고속카메라와 라인레이저, 태양광 차단필터 등으로 구성<br>• 주간/야간 검측<br>• 전차선 높이편위 검측(200Hz)<br>• 검측장치 소형화로 차량종류에 상관없이 설치 가능<br>• 차량 진동, 롤링, 궤간측정을 통한 전차선 높이/편위 보정 |
| 전차선 영상검측 장치 |  <br>  | • 주요구성: 아크센서,DAQ (UV-가시광식)<br>• 모니터링 카메라+조명 |  | • 팬터그래프 이선시 아크 검출 및 충격지점 분석<br>• 집전상태를 고속 모니터링<br>• 아크데이터 및 차량 부하전류를 수집/분석<br>• 과하중지점검측장치와 연계 (차탑 기구 통합 운용) |
| 전차선 과하중지점 검측장치 |  | • 주요구성: 카메라, 레이저 마크<br>• 비접촉식 변위량+가속도 검측 |  | • 카메라를 이용한 비접촉식 전차선로 충격위치 측정<br>• 팬터그래프 충격위치검측<br>• 고압환경과 전기적 완전절연<br>• 팬터종류에 상관없이 설치운용<br>• 전차선 영상검측장치와 연계 |
| 전차선로 이미지 분석장치 |  <br>  | • 주요구성: 카메라, 집광조명<br>• 전철시험차 현차설치/시험<br>• 주간만 운용 |  | • 고해상도 카메라를 이용하여 전차선로 시설물(드롭퍼, 균압선 등)의 영상 취득<br>• 주/야간 동일한 품질에 시설물 영상취득<br>• 영상처리 기반기술을 이용하여 전차선로 시설물 (드롭퍼, 균압선등)의 변형 및 파손 분석 |
| 전차선로 열화상 검측장치 |  | • 주요구성: 열화상 센서, 온도측정 |  | • 전차선로 온도측정<br>• 전차선로 발열부위와 주변 물체간의 온도색상을 구분하여 접촉불량부위 검측. |
| 데이터 수집장치 |  | | | • 주요구성: 분석 서버랙, 검측모듈별 데이터수집장치, GPU프로세서, 모니터링장치 등 |

검측장치별 정적시험을 위한 테스트베드를 구축하여, 각 장치별 단위시험에 활용하였다.

표 194 전차선로 차상검측시스템 시험 환경 구축 내용

<table>
<tr><th>장치명</th><th>제작 내용</th><th>상세 기능</th></tr>
<tr><td>전차선<br>높이/편위<br>검측장치<br><br>테스트<br>베드</td><td>  <br>  </td><td>• 전차선 높이편위 시험용 테스트베드<br><table><tr><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>측정방식</td><td>X/Y 축 고정밀<br>스테이지 방식</td></tr><tr><td>위치정밀도</td><td>0.1 mm</td></tr><tr><td>동작범위</td><td>높이: 1500mm, 편위: ±500mm</td></tr><tr><td>이송속도</td><td>높이방향: 1.5m/s, 편위: 2.5m/s</td></tr></table>• 차량 진동, 롤링 시험용 테스트베드<br><table><tr><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>측정방식</td><td>X, Y, Θ(회전)축<br>고정밀 스테이지</td></tr><tr><td>x, y<br>위치정밀도</td><td>0.1mm</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>전차선<br>영상<br>검측장치<br><br>테스트<br>베드</td><td>  </td><td>• 아크 응답속도, 최소검출감도 시험<br>• 아크검출각도, 아크파장대역을 시험<br><table><tr><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>아크광원</td><td>UV 파장대역 아크광원<br>(듀토리움 램프 광원)</td></tr><tr><td>초퍼</td><td>아크센서의 반응성을 시험하기 조리개</td></tr><tr><td>아크검출기</td><td>아크센서 & 헤드</td></tr><tr><td>오실로스코프</td><td>아크검출기 출력 측정</td></tr><tr><td>모노크로메타</td><td>아크광원에서 원하는<br>파장대역만 선택적으로 출력</td></tr><tr><td>스펙트로메타</td><td>광원의 파장 스펙트럼을 측정</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>전차선<br>과하중<br>지점<br>검측장치<br>테스트베드</td><td>  </td><td>• 보우 4개 지점에 스트레인 게이지를 부착 (Full bridge방식, 접촉식 접촉력 측정)<br>• 비접촉식과 접촉식 방식간 접촉력과 비교</td></tr>
<tr><td>전차선로<br>이미지<br>분석장치<br><br>테스트<br>베드</td><td>  </td><td>• 전차선로(전차선, 조가선, 드롭퍼, 균압선) 및 가동브라켓(I형, O형) 설비<br>• 전차선로 이미지분석장치 시설물 결함모의</td></tr>
</table>

## 나. 연구결과 검증방법

전차선로 차상검측시스템의 기능 및 성능 검증을 위해 3단계로 구분하여 시험을 수행하였다.

표 195 전차선로 차상검측시스템의 성능검증을 위한 시험절차

| 구분 | 상세 내역 | 비 고 |
|---|---|---|
| 정적시험 | • 테스트베드 성능검증<br>• 공인기관 성능검증 |  |
| 환경 시험 | • 내환경성 공인시험<br>• 전자파, 진동, 충격, 방수, 온습도 |  |
| 현차시험 | • 현차설치<br>(HEMU-430X, KTX-36호)<br>• 열차주행에 의한 동적시험 |  |

표 196 개발품 성능 검증 방법

| 개발품 | 목표사양 | 검증방법 |
|---|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측장치 | ▪ 높이측정범위(mm): 4800~5400<br>▪ 편위측정범위(mm): ±350<br>▪ 정밀도(mm): ±5<br>▪ 측정속도(hz): 200 | 1. 정적 시험<br>▪ 정밀도 테스트베드구축 및 단위모듈시험<br>▪ 정밀도 공인인증시험<br>2. 현차시험: HEMU-430X 설치 및 시험 |
| 전차선 영상 검측장치 | ▪ 아크검출<br>- 아크검출파장: 220~225<br>- 아크검출감도: 10%미만<br>- 검출시간(㎲): 100<br>▪ 전압/전류측정<br>▪ 판토습동면상태모니터링: 60f/s | 1. 정적시험<br>▪ 아크검출 시험장비구축 및 단위모듈시험<br>▪ 아크검출기(연구기자재)와 성능비교시험<br>2. 현차시험<br>▪ HEMU-430X(시험운행차량)설치/시험<br>▪ KTX-36호(영업차량)현차설치/시험 |
| 전차선 과하중 지점 검측장치 | ▪ 비접촉식 과하중검측<br>▪ 과하중 측정범위(N): 0~500<br>▪ 접촉력오차: ±20% | 1.정적시험 : 정밀도 공인시험<br>(가진기 접촉식 시험장비와 정밀도 비교)<br>2.현차시험<br>▪ HEMU-430X(시험운행차량)설치 및 시험<br>▪ KTX-36호(영업차량)현차설치/시험 |
| 전차선로 이미지 분석장치 | ▪ 측정범위: 4800 ~ 8000<br>▪ 시설물분해능: 1mm2(@300km/h)<br>▪ 검출률: 드롭퍼(90%),<br>균압선(90%), 금구(80%) | 1. 현장평가 수행<br>▪ 전철전력, 영상처리전문가 검증<br>2. 현차시험<br>▪ HEMU-430X 설치 및 시험 |
| 전차선로 열화상 검측장치 | ▪ 측정범위(℃) -20~150<br>▪ 측정오차(℃): ±2<br>▪ 이상온도검출률(%): 90 | 1.정적시험: 온도측정(범위, 오차)정밀도시험<br>2.현차시험: HEMU-430X설치/시험 |

### (1) 정적시험 결과

#### (가) 전차선 높이편위 측정장치

전차선 높이편위 정밀도 시험은 공인시험기관의 3차원 정밀측정기와 비교하였다.



그림 294 3차원 거리측정기 정밀도 비교시험

표 197 정밀도 측정시험 절차

| 시험항목 | 규 격 |
|---|---|
| 시험방법 | 시험인증센터 3차원 측정기와 정밀도 비교 |
| 측정범위 확인 | 높이: 1000~2100mm (차탑설치: 4800~5900mm)<br>편위: ±350mm |
| 측정정밀도 확인 | ±5mm |

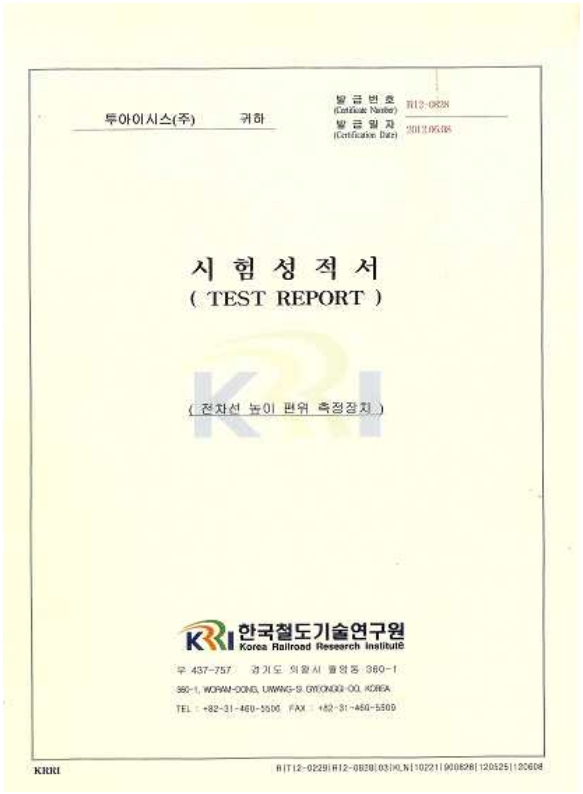
표 198 정밀도 시험 데이터

- 높이 측정오차(최대 3mm 이내), 편위 측정오차(최대 2mm 이내)

| | 높이 | 편위 | 높이 | 편위 | 높이 | 편위 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 시험장치 | 1000 | -300 | 1000 | 0 | 1000 | 300 |
| 개발품 | 1000 | -298 | 1000 | 0 | 998 | 299 |
| 시험장치 | 1500 | -350 | 1500 | 0 | 1500 | 350 |
| 개발품 | 1503 | -350 | 1499 | -1 | 1497 | 351 |
| 시험장치 | 2100 | -350 | 2100 | 0 | 2100 | -350 |
| 개발품 | 2100 | -350 | 2099 | -1 | 2098 | 350 |

표 199 전차선 높이편위 검측시스템 정밀도 시험결과

| 시험항목 | | 기준 | 시험결과 |
|---|---|---|---|
| 측정 대상 | | 전차선 높이, 편위 | 적합 |
| 측정 범위(mm) | 높이 | 4800mm ~ 5900mm | 적합 |
| | 편위 | -350mm ~ +350mm | 적합 |
| 측정 정밀도(mm) | 높이 | ±5mm | 적합 |
| | 편위 | ±5mm | 적합 |



투아이시스(주) 귀하

발 급 번 호 (Certificate Number) R12-0828
발 급 일 자 (Certification Date) 2012.05.08

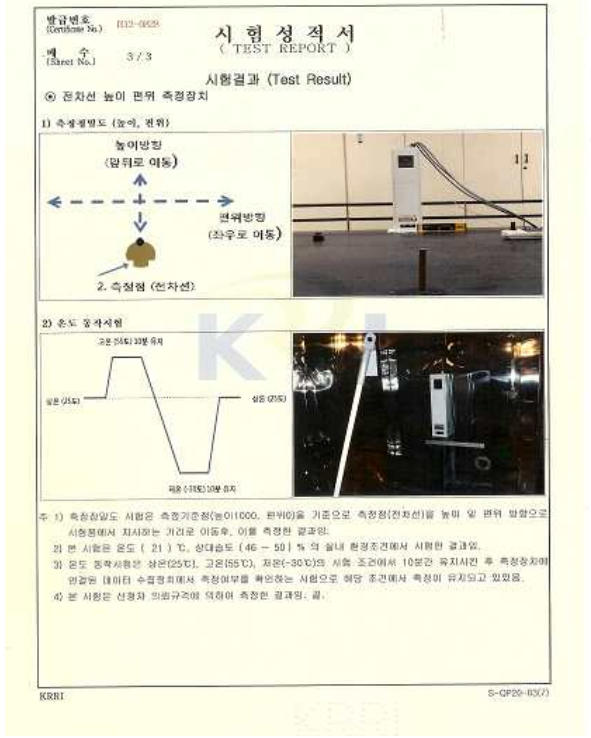
# 시 험 성 적 서
# ( TEST REPORT )

( 전차선 높이 편위 측정장치 )

한국철도기술연구원
Korea Railroad Research Institute

우 437-757 경기도 의왕시 월암동 360-1
360-1, WORAM-DONG, UIWANG-SI, GYEONGGI-DO, KOREA
TEL : +82-31-460-5506 FAX : +82-31-460-5509

KRRI



발급번호 (Certificate No.) R13-0828
매 수 (Sheet No.) 3 / 3

# 시 험 성 적 서
# ( TEST REPORT )

## 시험결과 (Test Result)

⊙ 전차선 높이 편위 측정장치

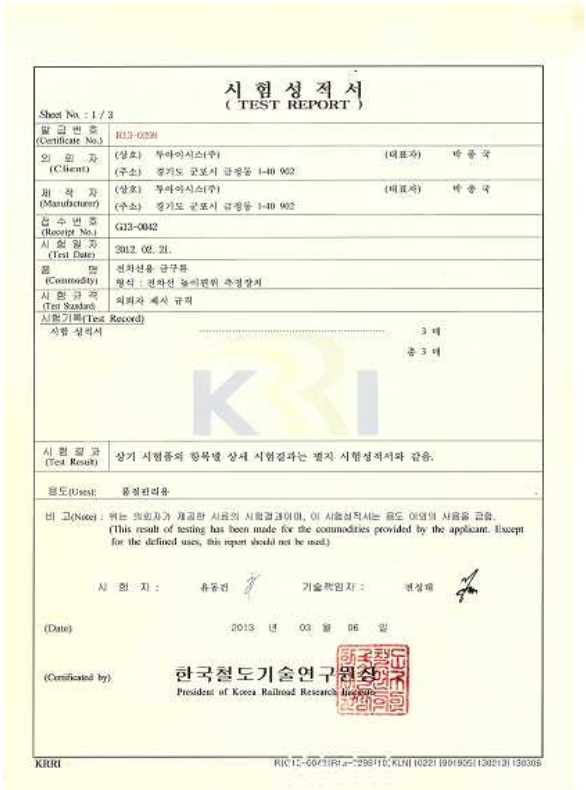
1) 측정정밀도 (높이, 편위)



2) 온도 동작시험

주 1) 측정정밀도 시험은 측정기준점(높이1000, 편위0)을 기준으로 측정점(전차선)을 높이 및 편위 방향으로 시험장에서 지시하는 거리로 이동후, 이를 측정한 결과임.
2) 본 시험은 온도 ( 21 ) ℃, 상대습도 ( 46 ~ 50 ) % 의 실내 환경조건에서 시험한 결과임.
3) 온도 동작시험은 상온(25℃), 고온(55℃), 저온(-30℃)의 시험 조건에서 10분간 유지시킨 후 측정장치에 인접한 데이터 수집장치에서 측정여부를 확인하는 시험으로 해당 조건에서 측정이 유지되고 있음.
4) 본 시험은 선정차 의뢰규격에 의하여 측정한 결과임. 끝.

KRRI S-QP20-03(7)



# 시 험 성 적 서
# ( TEST REPORT )

Sheet No. : 1 / 3

| | |
|---|---|
| 발 급 번 호 (Certificate No.) | R13-0238 |
| 의 뢰 자 (Client) | (상호) 투아이시스(주) (대표자) 박 종 국<br>(주소) 경기도 군포시 금정동 1-40 902 |
| 제 작 자 (Manufacturer) | (상호) 투아이시스(주) (대표자) 박 종 국<br>(주소) 경기도 군포시 금정동 1-40 902 |
| 접 수 번 호 (Receipt No.) | G13-0042 |
| 시 험 일 자 (Test Date) | 2012. 02. 21. |
| 품 명 (Commodity) | 전차선용 금구류<br>형식 : 전차선 높이편위 측정장치 |
| 시 험 규 격 (Test Standard) | 의뢰자 제시 규격 |
| 시험기록(Test Record) | |
| 시험 성적서 | ..... 3 매 |
| | 총 3 매 |
| 시 험 결 과 (Test Result) | 상기 시험품의 항목별 상세 시험결과는 별지 시험성적서와 같음. |
| 용도(Uses) | 품질관리용 |

비 고(Notes) : 위는 의뢰자가 제공한 시료의 시험결과이며, 이 시험성적서는 용도 이외의 사용을 금함.
(This result of testing has been made for the commodities provided by the applicant. Except for the defined uses, this report should not be used.)

시 험 자 : 유동건 기술책임자 : 권성태

(Date) 2013 년 03 월 06 일

(Certificated by) 한국철도기술연구원장
President of Korea Railroad Research Institute

KRRI



발급번호 (Certificate No.) R13-0238
매 수 (Sheet No.) 2 / 3

# 시 험 성 적 서
# ( TEST REPORT )

## 시험결과 (Test Result)

⊙ 전차선 높이 편위 측정장치

| 시 험 항 목 (Test List) | | 시 험 결 과 (Test Result) 측정장치 지시치 | 시 험 결 과 (Test Result) 측정결과 | 시 험 방 법 (Test Process) |
|---|---|---|---|---|
| 측정정밀도 (㎜) | 높이: 4500 | 4 498 | 4 500.00 | 의뢰자 제시 규격 |
| | 편위: 0 | 3 | 0.00 | |
| | 높이: 4500 | 4 501 | 4 500.27 | |
| | 편위: 400 | 399 | 399.38 | |
| | 높이: 4500 | 4 500 | 4 500.00 | |
| | 편위: -400 | -400 | -400.13 | |
| | 높이: 4900 | 4 899 | 4 900.15 | |
| | 편위: 0 | -1 | 0.21 | |
| | 높이: 4900 | 4 900 | 4 899.85 | |
| | 편위: 400 | 401 | 400.21 | |
| | 높이: 4900 | 4 902 | 4 899.90 | |
| | 편위: -400 | -400 | -400.24 | |
| | 높이: 5300 | 5 295 | 5 299.99 | |
| | 편위: 0 | -3 | 0.29 | |
| | 높이: 5300 | 5 301 | 5 300.04 | |
| | 편위: 400 | 401 | 399.61 | |
| | 높이: 5300 | 5 301 | 5 299.97 | |
| | 편위: -400 | -399 | -400.43 | |

KRRI S-QP20-03(7)

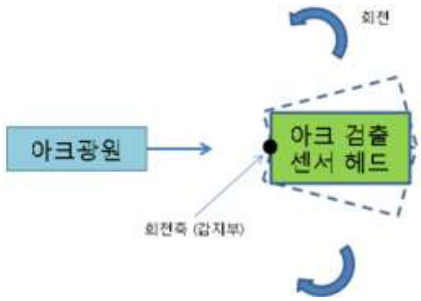
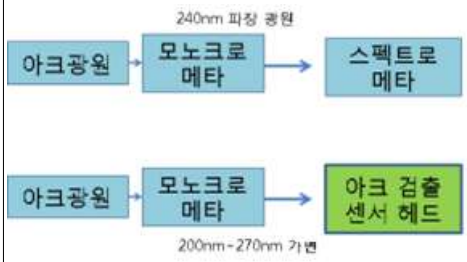
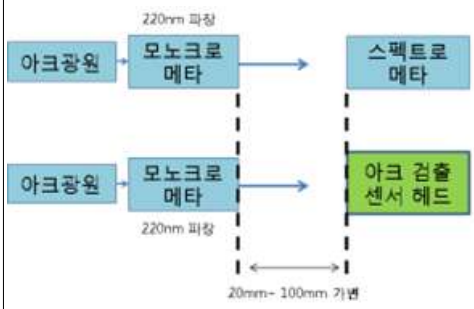
그림 295 정밀도 시험 성적서

### (나) 전차선 영상 검측장치

전차선 영상검측장치의 아크검출성능은 아크시험용 장비에서 수행하였다.

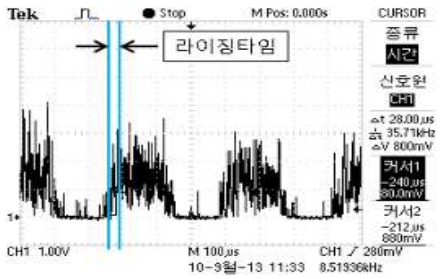
① 아크검출 시험절차

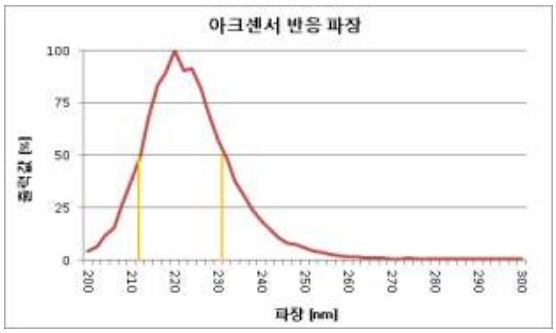
표 200 아크검출 시험절차

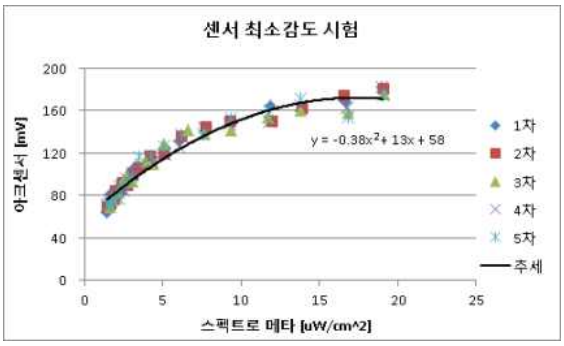
| 시험항목 | 시험 구성 | 시험절차 |
|---|---|---|
| 아크검출 화각시험 |  | • 아크광원(듀토리움 램프 광원)을 센서헤드부 방향(정방향, 0°)으로 설치한다<br>• 아크 광원을 켠 후, 아크센서 출력값을 측정한다<br>• 아크 센서 출력값 대비 90% 출력값을 계산한다<br>• 아크 센서헤드부를 회전시켜 90% 출력값이 나오는 지점의 각을 측정한다<br>• 90% 출력값이 나오는 두 지점의 각도를 센서의 화각으로 정의한다 |
| 아크검출 반응속도 |  | • 테스트베드에 아크광원과 센서헤드부 설치한다<br>• 쵸퍼를 가동시킨 후, 아크 광원에 대한 아크센서 출력을 측정한다<br>• 쵸퍼 회전속도를 1000Hz부터 300Hz까지 500Hz 단위로 변화시키며 출력 파형을 측정한다<br>• 측정한 파형에서 각각의 라이징타임을 비교한다 |
| 아크검출 반응파장 |  | • 모노크로메타를 통과해 출력되는 아크광원의 파장스펙트럼을 측정한다<br>• 모노크로 메타의 파장을 200nm부터 300nm까지 2nm단위로 변화시키며 아크검출 센서로 파장 피크값을 측정한다<br>• 아크 광원의 전체 파장을 스펙트로메타로 측정<br>• 시험에 사용한 아크 광원이 파장별로 세기가 일정치 않으므로, 파장별 가중치를 적용하여 아크검출센서 측정값을 1차 보정한다<br>• 모노크로메타를 통과한 파장이 펄스 파형이 아닌 가우시안 분포 파형으로 나오므로, 정확한 아크 검출센서의 반응 파장을 알기 위해 디컨볼류션 연산을 통해 2차 보정한다 |
| 아크검출 반응속도 |  | • 아크광원(220nm 파장)과 20mm 거리에 아크센서 헤드부 설치 후, 출력을 측정한다<br>• 동일 거리에서 스펙트로미터를 사용하여 아크 광원의 세기를 측정한다<br>• 아크 광원과 센서헤드부 거리를 20mm부터 100mm 까지 5mm 단위로 변화시키며, 아크센서와 스펙트로미터의 출력을 측정한다<br>• 아크 광원세기(스펙트로메타 측정값)와 아크검출센서 측정값간의 상관관계그래프로부터 추세선을 도출한다<br>• 최소검출감도 시험절차를 5회 반복 후, 최소검출감도를 산출한다 |

② 아크검출 시험내용

표 201 아크검출 성능시험 내용

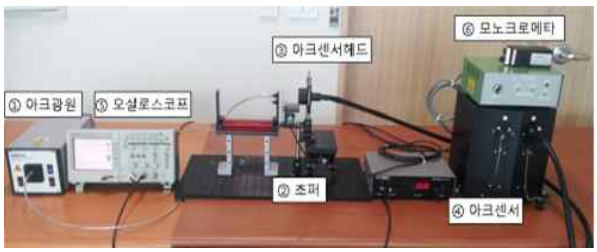
<table>
<tr><th>시험항목</th><th>설 명</th><th>출력 결과</th></tr>
<tr><td>아크검출<br>화각시험</td><td>• 아크 센서헤드부를 회전시키며,<br>아크센서 출력값 대비 90%<br>출력값 지점 화각 측정</td><td>
<table>
<tr><th>구분</th><th>센서<br>출력값<br>(정방향, 0°)</th><th>90% 출력값<br>(계산값)</th><th>90% 지점<br>각도<br>(측정값)</th></tr>
<tr><td>1차</td><td>3.0 [V]</td><td>2.7 [V]</td><td>+5°, -5°</td></tr>
<tr><td>2차</td><td>3.1 [v]</td><td>2.8 [V]</td><td>+5°, -5°</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>아크검출<br>반응속도</td><td>• 회전하는 초퍼를 통과해서 나온 아크광원을 아크검출센서로 측정해서 라이징타임을 분석한 결과 아크검출센서의 반응속도는 28us 이내임</td><td>


<table>
<tr><th>주파수[Hz]</th><th>라이징타임[us]</th></tr>
<tr><td>1000</td><td>80</td></tr>
<tr><td>1500</td><td>48</td></tr>
<tr><td>3000</td><td>28</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>아크검출<br>반응파장</td><td>• 아크광원을 모노크로메타를 사용하여 200nm부터 230nm까지 2nm 단위로 변화시키며 파장별 세기를 스펙트로메타로 측정한 결과임<br>• 아크검출 반응파장은 220nm 파장대역에서 Peak값이 나왔고, 반응 영역은 211nm ~ 230nm이다<br>(FWHM = 9nm)</td><td>


</td></tr>
<tr><td>아크검출<br>반응속도</td><td>• 아크의 최소 검출감도를 측정하기 위해 거리별 아크검출센서 출력과 스펙트로메타 측정값을 비교하였음<br>• 스펙트로메타에서 측정되는 최소 아크광원세기의 평균은 1.52[uW/cm2]임</td><td>


</td></tr>
</table>

표 202 아크검출센서 시험 결과

| No | 시험 항목 | 시험 결과 | 결과 | 정밀도 시험용 장비 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 센서 화각 | -5° ~ 5° 범위 | 적합 |  |
| 2 | 센서 반응속도 | 28us 이내 | 적합 | |
| 3 | 센서 반응파장 | 211~230nm | 적합 | |
| 4 | 센서 최소 검출감도 | 1.52uW/cm2 이하 | 적합 | |



### (다) 전차선 과하중지점 검측장치

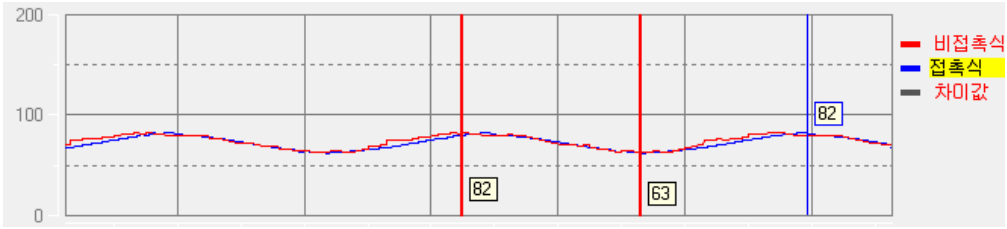
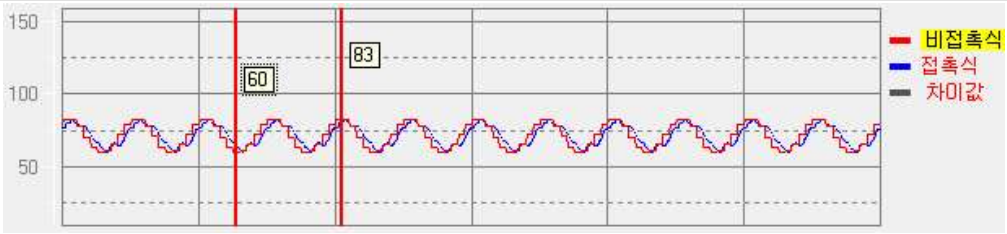
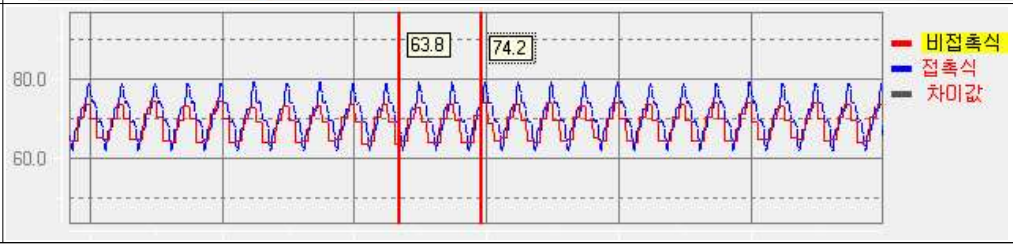
비접촉식 접촉식 측정방식에 대한 성능평가는 가진기에 설치된 로드쉘 측정값(가진접촉력)과 정밀도를 비교하는 방식으로 평가하였다.

- 팬터그래프와 접촉하는 가진기 선단에 부착된 로드셀의 계측값을 가진접촉력이라 한다.
- 팬터그래프 상에 마크를 부착한 후, 과하중검측장치는 진동하는 팬터그래프를 촬영하고 촬영된 영상으로부터 비 접촉식 접촉력을 계산한다.
- 비접촉식 접촉력과 가진접촉력 측정결과를 비교하여 정밀도 비교시험을 수행한다.

표 203 접촉력 정밀도 시험절차

| 시험항목 | 시험 구성 | 시험절차 |
|---|---|---|
| 과하중 (접촉력) 정밀도 시험<br><br>[철기연] |  <br>  | ① 판토그래프 높이는 1280, 1380 지점 (차량 지붕 높이 3800일 때 높이 5080, 5180 지점) 에 위치시킨다<br>② 판토그래프의 편위 0지점에 가진기를 위치시킨다<br>③ 가진기힘(압상력)을 70N, 140N, 진폭을 30%로 고정한다<br>④ 가진기 가진주파수를 0.5Hz~4Hz, 13Hz~20Hz까지 0.5 Hz 단위로, 4Hz~13Hz 까지 0.2 Hz 단위로 변화시키며 판토그래프를 진동 시킨다<br>⑤ 가진주파수가 변화할 때마다 비접촉식 접촉력 측정값과 로드셀 접촉력 측정값을 비교한다<br>⑥ 판토그래프의 편위 -250 지점과 250 지점으로 가진기를 위치시키고 ③~⑥번 과정을 반복한다<br>- 1Hz~2Hz 가진: 팬헤드 종방향 운동 모의시험<br>- 10Hz 가진 : 집전판 하부 스프링 모의시험<br>- 20Hz~50Hz 가진 : 집전판 자체 탄성 모의시험 |

표 204 정밀도 시험 내용

| 시험항목 | 접촉식 및 비접촉식 정밀도 비교 그래프 |
|---|---|
| 팬헤드 종방향 운동 모의시험 |  |
| 집전판 하부 스프링 모의시험 |  |
| 집전판 자체 탄성 모의시험 |  |

가진접촉력과 비접촉식 접촉력 간에 정밀도 산정 기준[EN50317]은 아래식과 같으며,

가진접촉력과 비접촉식 접촉력 진폭에 대한 중앙값을 기준으로 비교오차를 산출하였다.

접촉력 정밀도 판정기준은 팬터그래프 가진주파수가 0~10Hz 범위에서는 20%이내, 가진주파수가 0~20% 범위에서는 10%이내인 경우 만족한다.

$$\left[1-\frac{1}{(f_n-f_l)}\sum_{i=1}^{n-1}\left[(f_{i+1}-f_i)\left|1-\frac{F_{measured}}{F_{applied}}\right|\right]\right]\times 100\%$$

- $F_{applied}$는 팬터그래프에 가해진 힘 (최대 최소 진폭에 대한 중앙값(mean))
- $F_{measured}$는 측정된 힘 (최대 최소 진폭에 대한 중앙값(mean))
- $f_i$는 현재 주파수, $f_n$는 최대 주파수, $f_l$는 최소 주파수
- n은 주파수 단계

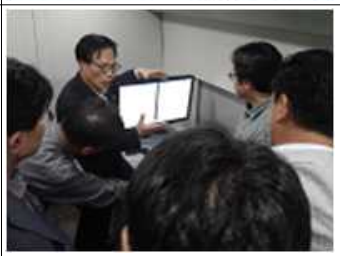
표 205 접촉력 정밀도 측정결과

| $F_{measured}$ $F_{applied}$, | 팬터그래프 높이(mm) | 가진힘(N) | 가진주파수 범위(Hz) | 정밀도 오차(%) | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|
| 중앙값 오차비교 | 1280 | 70 | 10 | 15.1 | 적합 |
| | | | 20 | 14.8 | 부적합 |
| | | 140 | 10 | 5.8 | 적합 |
| | | | 20 | 5.5 | 적합 |
| | 1380 | 70 | 10 | 2.2 | 적합 |
| | | | 20 | 2.6 | 적합 |
| | | 140 | 10 | 9.8 | 적합 |
| | | | 20 | 8.7 | 적합 |
| 정밀도 오차율 | | | | 8.12 | 적합 |

### (라) 전차선로 이미지 분석장치

전철전력·검측·영상처리 전문가 등으로 구성된 자체평가위원에 의해 현장평가를 수행하였다.

표 206 전차선로 이미지 분석장치 현장평가 결과

| 성능평가 단계 | | 평가 절차 | 판정 |
|---|---|---|---|
| 평가위원 구성 |  | • 전철전력분야 4인(코레일 전기기술단, 연구원)<br>• 검측분야 전문가 선정<br>- 한국철도기술연구원 전문가<br>- 한국철도시설공단 및 서울메트로 전문가<br>- 대학(대학원) 영상처리 전문가 | |
| 1차 현장평가 |  | • HEMU-430X 첨승<br>차상에 설치된 종합처리시스템 확인<br>• 차상 종합처리장치 주행시험<br>• 300km/h에서 시설물 이미지 취득 상태 확인<br>• 시험구간: 대전→광명 | 적합 |
| 2차 성능평가 |  | • 300km/h시험구간에서 시설물 영상 분해능 검증 (2mm 등간격 취득 여부)<br>• 시설물(드롭퍼, 균압선, 연결금구) 인식 검증<br>• 시설물 결함분석 검증(단선, 금구이탈, 위치변화) | 적합 |

### (마) 전차선로 열화상 검측장치

표 207 열화상 정밀도 시험절차

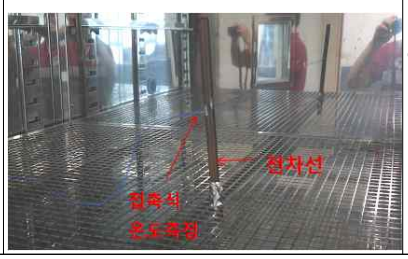
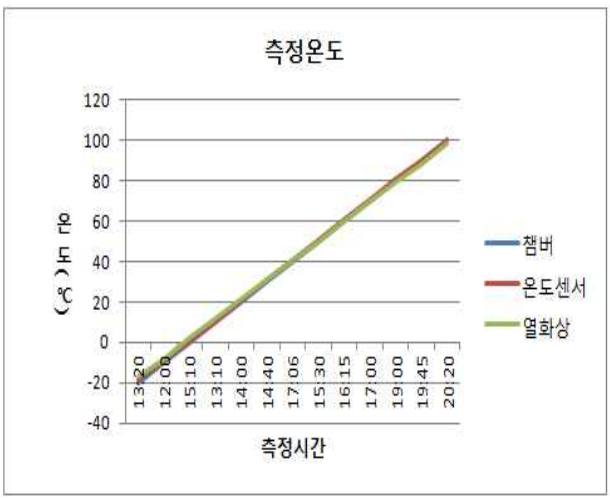
| 시험항목 | 시험 구성 | 시험절차 |
|---|---|---|
| 측정온도 시험 |  <br>  | ① 전차선로 열화상 검측장치의 열화상카메라는 챔버 안에 설치된 전차선 온도를 측정한다.<br>② 접촉식 온도센서를 통해 챔버 안에 설치된 전차선 온도를 측정한다.<br>③ 챔버온도를 -20 ~ 100℃ 까지 10℃ 단위로 조정한 후, 챔버동작 온도와 열화상검측장치, 접촉식온도센서 간에 전차선 온도측정값을 비교한다. |

표 208 정밀도 시험 결과

| 시험항목 | 정밀도 비교 |
|---|---|

측정온도 시험

| 측정 시간 | 측정온도(℃) | | | 온도 측정오차(℃) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 챔버 | 접촉식 온도센서 | 열화상 검측장치 | 챔버 | 접촉식 온도센서 |
| 13:20 | -20 | -18.7 | -17 | 3 | 1.7 |
| 12:00 | -10 | -9 | -8.2 | 1.8 | 0.8 |
| 15:10 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 13:10 | 10 | 10.1 | 11.9 | 1.9 | 1.8 |
| 14:00 | 20 | 21.1 | 21.9 | 1.9 | 0.8 |
| 14:40 | 30 | 30.4 | 30.5 | 0.5 | 0.1 |
| 17:06 | 40 | 40.8 | 40.9 | 0.9 | 0.1 |
| 15:30 | 50 | 51 | 49.9 | 0.1 | 1.1 |
| 16:15 | 60 | 60.8 | 59.7 | 0.3 | 1.1 |
| 17:00 | 70 | 70.4 | 68.6 | 1.4 | 1.8 |
| 19:00 | 80 | 80.8 | 78.9 | 1.9 | 1.1 |
| 19:45 | 90 | 89.8 | 88.2 | 1.6 | 1.8 |
| 20:20 | 100 | 99.6 | 98.3 | 1.3 | 1.7 |






### (2) 환경 시험 결과

표 209 전자파 적합성 시험

| 시험 항목 | 시험 기준 | 시험결과 |
|---|---|---|
| EMI/EMC | KS C CISPR 22<br>61000-4-2 [정전기(ESD)내성 시험]<br>61000-4-3 [방사 내성 시험]<br>61000-4-4 [전기적 빠른 과도신호 내성 시험]<br>61000-4-5 [서지내성(절연) 시험]<br>61000-4-6 [전도 내성시험]<br>61000-4-8 [상용 전원 주파수 자계내성 시험]<br>61000-4-11 [전압의 순단, 순시정전, 전압의 변동에 대한 내성시험] | 적합 |
| |  |  |

표 210 진동시험 규격

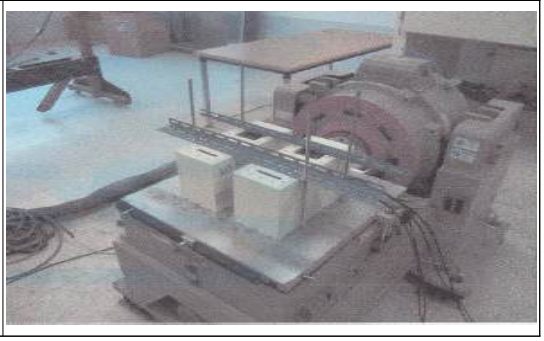
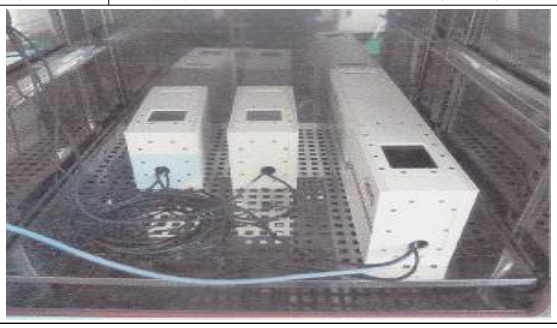
| 시험 항목 | 시험 기준 | 시험결과 |
|---|---|---|
| 진동시험 | 3종- 동력 전철기, 전기 쇄정기 등 침목위에 설치되는 기기의 내부 부품<br>KS R 9186 [철도신호 보안부품-진동시험] | 적합 |
| |  |  |

표 211 온도 및 습도 시험 (방수)

| 시험 항목 | 시험 기준 | 시험결과 |
|---|---|---|
| 방수시험 | KS R 9189 2종<br>(연직으로부터 60도 범위에 비바람 물보라를 받는 부품의 기능을 조사하는 시험) | 적합 |
| |  | |

표 212 온도 및 습도 시험 (온도)

| 시험 항목 | 시험 기준 | 설명 | 시험결과 |
|---|---|---|---|
| 온도시험 | KS R 9191 6종<br>[고온 및 저온시험 방법] | 고온(+60℃ ± 2℃),<br>저온(-30℃ ± 3℃)에서 2시간 방치 | 적합 |
| | KS R 9192 6종<br>[온도 사이클 시험 방법] | 부품의 질량이 15kg을 초과하는 부품에 대하여 -30℃ 및 +60℃에서 3시간 방치 | |
| |  | | |



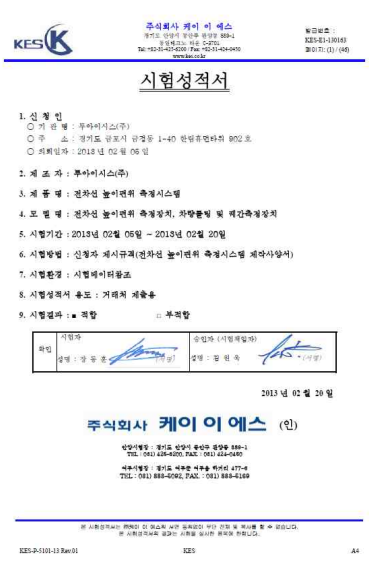







그림 296 공인기관 환경 시험 성적서

### (3) 현차시험 내역 및 결과

현차시험은 개발품의 기능 및 성능 검증을 위해 KTX-36호와 HEMU-430X를 활용하였다.




그림 297 HEMU-430X: 검측장치 설치위치

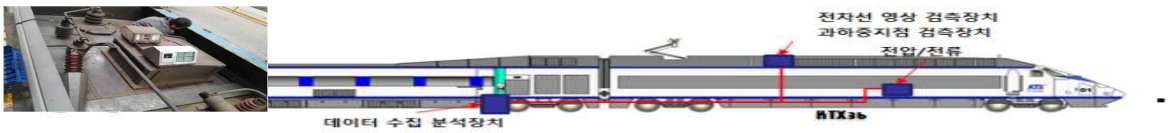



그림 298 KTX-36호: 검측장치 설치위치

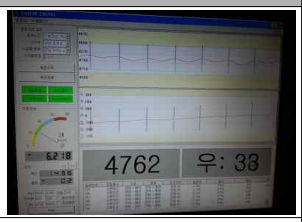
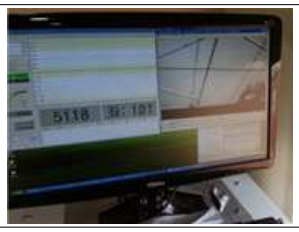
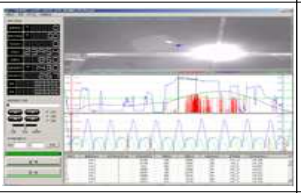
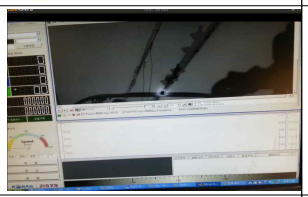
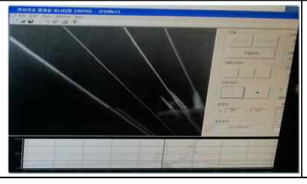
### (가) 현차시험 내역

표 213 전차선로 차상검측시스템 현차시험 내역

| 검측 항목 | 검측 속도 | 대상 차량 | 시험 내용 | 시험기간 |
|---|---|---|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측장치 | 300km/h | HEMU-430X (광명↔부산) | • 전차선 높이/편위 검측<br>• 검측범위 및 검측속도(200Hz) 검증<br>• 주행정보(속도, 킬로정) 연계 | 2014.03 ~ 2014.04 |
| 전차선 영상 검측장치 | 300km/h | | • 아크/전류/전압 및 아크발생위치검측<br>• 집전상태 모니터링(60f/s)<br>• 주행정보(속도, 킬로정) 연계 | |
| 전차선 과하중지점 검측장치 | 300km/h | | • 과하중위치 검측<br>• 팬터그래프 충격가속도 검측<br>• 주행정보(속도, 킬로정) 연계 | |
| 전차선로 이미지 분석장치 | 300km/h | | • 전차선로 시설물영상 취득(2mm간격) (타코메타 트리거 연동)<br>• 전차선로 시설물 인식 및 결함분석 | 2013.07 ~ 2014.04 |
| 전차선로 열화상검측 | 300km/h | | • 전차선로 시설물 온도<br>• 주행정보(속도, 킬로정) 연계 | 2014.03 ~2014.04 |
| 전차선 영상 검측장치 | 300km/h | KTX-36호 (광명↔부산) | • 아크/전류/전압 및 아크발생위치검측<br>• 집전상태 모니터링(60f/s)<br>• 주행정보(속도, 킬로정) 연계 | 2014.05 ~ 2014.06 |
| 전차선 과하중지점 검측장치 | 300km/h | | • 과하중위치 검측<br>• 팬터그래프 충격가속도 검측<br>• 주행정보(속도, 킬로정) 연계 | |

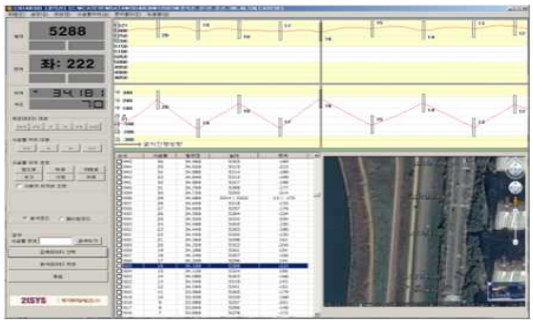
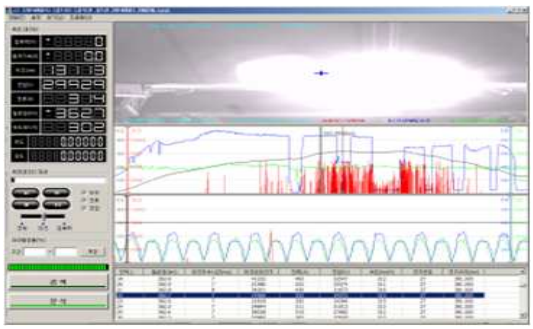
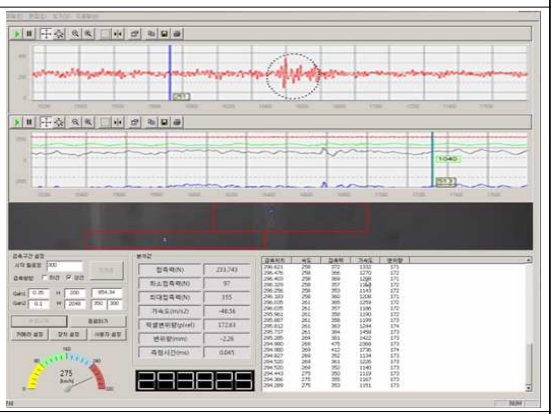
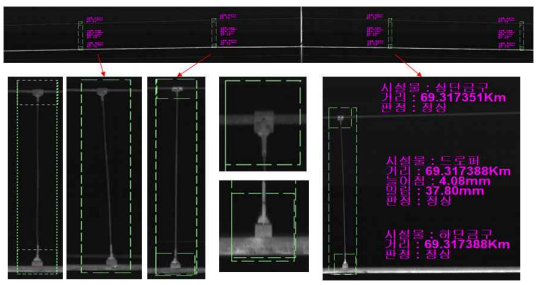
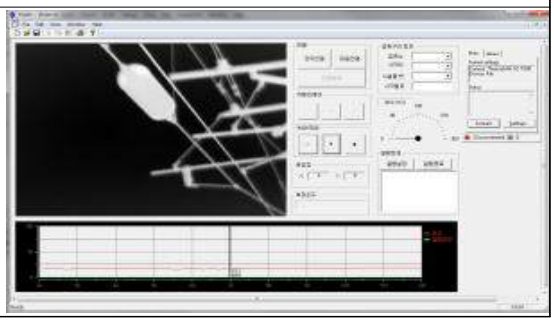
### (나) 현차설치 내역

표 214 전차선로 차상검측시스템 현차설치 내역

| 검측장치 | 설치 사진 | 시험 사진 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측장치 |  |  | 모터카설치 (강체강선) 측정높이: 4500~5400mm |
| |  |  | 모터카설치 (경전선구간) 측정높이: 5000~6000mm |
| |  |  | HEMU -430X 측정높이: 5800~5400mm |
| 전차선 영상 검측장치 |  |  | HEMU-430X |
| |  |  | KTX-36호 |
| 전차선 과하중 지점 검측장치 |  |  | KTX-36호 |
| 전차선로 이미지 분석장치 |  |  | HEMU-430X |
| 전차선로 열화상 검측장치 |  |  | HEMU-430X |

### (다) 현차시험 결과

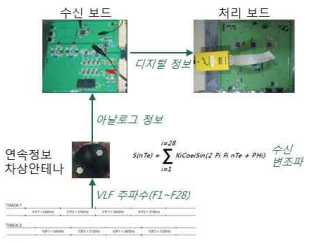
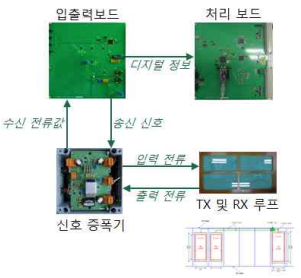
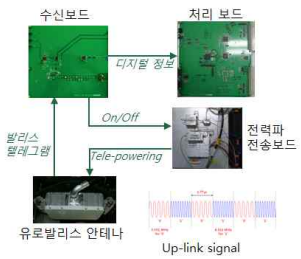
표 215 전차선로 차상검측시스템 현차시험 결과

| 장치 | 시험 항목 | 측정 결과 |
|---|---|---|
| 전차선<br>높이/편위<br>검측장치 | • 전차선 높이 측정: 4800~5400mm<br>• 전차선 편위 측정: -350~+350mm<br>• 전차선 검측속도 : 200Hz<br>• 주행정보(속도, 킬로정) 연계 |  |
| 전차선<br>영상<br>검측장치 | • 아크검출 및 지속시간 측정<br>• 전류/전압 측정 : 2khz<br>• 집전상태 모니터링 : 60f/s<br>• 아크발생지점 검측위치 연계 |  |
| 전차선<br>과하중<br>지점<br>검측장치 | • 과하중 검측 : 0~500N<br>• 충격가속도 검측<br>• 충격발생지점 검측위치 연계<br>• 주행정보 연계 |  |
| 전차선로<br>이미지<br>분석장치 | • 전차선로 시설물 1mm 등간격 이미지 취득 (@ 300km/h)<br>• 시설물 영상 분석<br>- 균압선 검출<br>- 드롭퍼 검출<br>- 연결금구 검출 |  |
| 전차선로<br>열화상<br>검측장치 | • 전차선로 이상온도 검출<br>• 온도 측정범위(℃) 확인<br>• 샘플링 영역(m) : 2m |  |

## 2. 궤도회로 차상검측시스템

검측장치별 개발품 제작 내역은 다음과 같다.

표 216 궤도회로 차상검측시스템 개발품 제작 내역

| 장치명 | 제작 내용 | 상세 기능 |
|---|---|---|
| 연속정보 검측장치 |  | • 궤도회로를 통한 연속정보의 수신 및 처리 (신호 전류 값 : 최소 800mArms 이상)<br>• 연속정보 차상 안테나 : 지상 연속정보의 수신<br>• 연속정보 수신보드 : 수신 정보의 잡음 제거, 증폭 (전류/전압) 및 A/D 변환<br>• 연속정보 처리 보드 : 레벨 및 메시지 추출 |
| 불연속정보 검측장치 |  | • BSP 루프를 통한 불연속정보의 수신 및 처리 (신호 전류 값 : 최소 750mA peak-to-peak)<br>• 불연속정보 차상 안테나 : 지상 불연속정보의 수신<br>• 불연속정보 수신보드 : 잡음 제거 및 신호 증폭<br>• 불연속정보 처리 보드 : 기준 주파수와 반송파 추출, 구형파 생성 |
| 보상콘덴서 검측장치 |  | • 지상에 설치된 보상 콘덴서의 이상 유무 검측<br>• TX 및 RX 루프 : 25khz 출력(100V, 0.025A) 및 전류 수신<br>• 보상콘덴서 입출력보드 : 전송 신호 변환 및 수신<br>• 신호 증폭기 : TX 및 RX 신호 증폭<br>• 보상콘덴서 처리보드 : TX 신호 생성, RX 신호 처리 |
| ETCS 발리스 검측장치 |  | • 유로발리스를 통한 ETCS L1 텔레그램의 수신 및 처리<br>• 유로발리스 차상 안테나 : 발리스 텔레그램의 수신<br>• 전력파전송보드 : Tele-powering(27.095MHz)<br>• 발리스정보 수신보드 : 수신 정보의 필터링 및 증폭<br>• 발리스정보 처리보드 : 텔레그램 복조 및 해독 |

궤도회로 차상검측시스템의 연구는 다음과 같은 단계를 통하여 검증을 수행하였다.

- 시스템 설계 및 상세설계 : 수요처 검토 및 자문회의를 통한 설계 검증
- 시제품 : 현장설비와 동일한 시뮬레이터를 활용한 검증, 공인기관 환경 시험 인증
- 개발품(현차설치용) : 고속철도 영업구간 정적시험 및 현차시험

표 217 궤도회로 차상검측시스템 연구수행 결과

| 구 분 | | 연속정보 검측장치 | | 불연속정보 검측장치 | | ETCS 발리스 검측장치 | | 보상콘덴서 검측장치 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 연차 | 완료여부 | 연차 | 완료여부 | 연차 | 완료여부 | 연차 | 완료여부 |
| 시스템 설계 및 제작도면 | | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 |
| 상세설계 | | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 |
| 시제품 제작 | | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 |
| 개발품 제작 (현차설치용) | | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| 시험절차서 및 시험성적서 | | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| 모의시험 환경 | | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| 시험 및 검증 | 단위 및 통합시험 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| | 현장시험 (정적시험) | 2차 3차 | 완료 : 3회 (시험선 및 영업노선) | 3차 | 완료 : 2회 (시험선 및 영업노선) | 3차 | Lab 시험 완료 (현장과 동일한 설비 이용) | 3차 | Lab 시험 완료 (현장과 동일한 설비 이용) |
| | 현차시험 (동적시험) | 4차 | 완료 (KTX-36호) | 4차 | 완료 (KTX-36호) | 4차 | 완료 (종합검측차) | 3차 | 완료 (KTX-36호) |
| 공인기관 환경 시험 | | 3차 | 완료 (한국SGS) | 3차 | 완료 (한국SGS) | 3차 | 완료 (한국SGS) | 3차 | 완료 (한국SGS) |
| | | 환경 시험 내역 : 고온시험, 저온시험, 전자파 적합성 등 총 14개 항목 | | | | | | | |

## 가. 1단계 : 시뮬레이터를 활용한 검증

### (1) 개요

궤도회로 차상검측시스템의 성능 검증을 위해, 각 장치와 관련된 시뮬레이터 및 테스트 베드를 구축하였으며 시뮬레이터는 검측 대상인 현장설비와 동일한 구성과 기능으로 제작하였다.

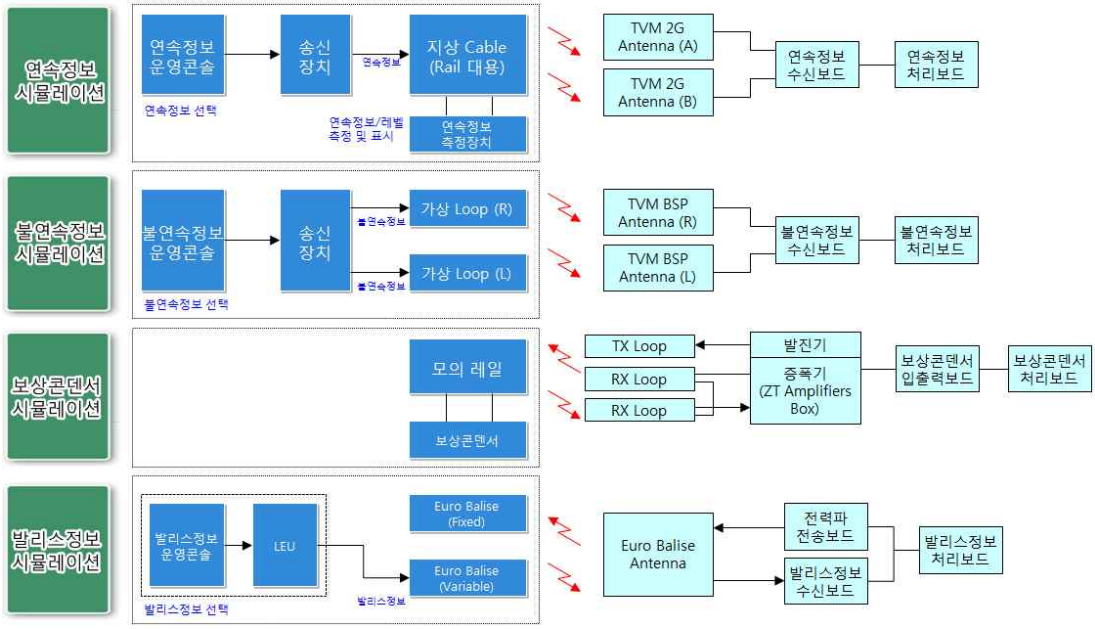



그림 299 신호분야 모의시험 환경 구성

### (2) 시험 결과

#### (가) 연속정보 검측장치

| 구 분 | | 연속정보 주파수 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | F1(2040Hz) | F2(2400Hz) | F3(2760Hz) | F4(3120Hz) |
| 허용 기준(주파수: Hz) | | 2000~2120 | 2360~2480 | 2720~2840 | 3080~3210 |
| 검측 주파수(Hz) | | 2012~2055 | 2383~2417 | 2751~2774 | 3110~3138 |
| 검측장치 수신 레벨(mA) | | 10~20 | 10~20 | 10~20 | 10~20 |
| 검측 표시 | 레벨(mV) | 300~1600 | 300~1600 | 300~1600 | 300~1600 |
| | 메시지(bit) | 28 | 28 | 28 | 28 |
| | | 속도코드(8bits) 목표거리(6bits) 구배정보(4bits) 선로정보(3bits) 코드 오류검사(6bits) 궤도점유(1bit) | | | |
| 처리 결과 | | 정상 | 정상 | 정상 | 정상 |

#### (나) 불연속정보 검측장치

| 구 분 | | 기준 주파수 | | 반송 주파수 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 좌측 | 우측 | 좌측 | 우측 |
| 허용 기준(주파수: khz) | | 62.5 | 62.5 | 125 | 125 |
| 허용 오차 | | 1/1000 | 1/1000 | 1/1000 | 1/1000 |
| 검측 주파수(khz) | | 62.5 | 62.5 | 125 | 125 |
| 검측 표시 | 레벨(mV) | 300~700 | 300~700 | - | - |
| | 메시지(bit) | 40 | 40 | - | - |
| 처리 결과 | | 정상 | 정상 | 정상 | 정상 |

(다) 보상콘덴서 검측장치

| 구 분 | | 출력 신호 (TX 루프) | 입력 신호 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | RX 루프(1) | RX 루프(2) |
| 허용 기준(주파수:khz) | | 25khz | 25khz | 25khz |
| 허용 오차 | | ±5% | ±5% | ±5% |
| 검측 표시 레벨(mV) | 보상콘덴서 있을 경우 | - | 400 ~ 600 | |
| | 보상콘덴서 없을 경우 | | 1400 ~ 1600 | |
| 처리 결과 | | 정상 | 정상 | 정상 |

(라) ETCS 발리스 검측장치

| 구 분 | | 텔레그램 수신 | | 텔레파워링 출력 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $f_L$ | $f_H$ | | |
| 허용 기준(주파수:MHz) | | 3.951 | 4.516 | 27.095MHz | |
| 허용 오차 | | ±175khz | ±175khz | - | |
| 검측 표시 | 레벨(mV) | 0 ~ 1500 | 0 ~ 1500 | - | |
| 처리 결과 | | 정상 | 정상 | 정상 | |

## 나. 2단계 : 공인기관 환경시험을 통한 검증

신호 검측장치 환경시험은 총 2회에 걸쳐 이루어졌으며, 1회째는 RACK 1(보상콘덴서 검측장치), 2회째는 RACK 2(연속정보, 불연속정보 및 ETCS 발리스 검측장치)에 대한 환경시험을 수행하였다.

공인 인증기관은 한국 SGS에서 시행했으며 공정성 및 정확한 환경 시험 기관으로서 검증, 검사, 시험 및 인증 서비스를 제공하며 세계 각지에 1,500개 이상의 사무소와 연구소를 운영하고 있다.

표 218 궤도회로 차상검측시스템의 환경 시험 내역

| 장치명 | 수 량 | 구성품 | 비 고 | 인증기관 |
|---|---|---|---|---|
| RACK 1 | 1 set | • 보상콘덴서 검측장치<br>• 신호증폭기<br>• TX 루프 및 RX 루프 | 전원장치 및<br>마더보드 포함 | 한국 SGS |
| RACK 2 | 1 set | • 연속정보 검측장치<br>• 불연속정보 검측장치<br>• ETCS 발리스 검측장치 | 전원장치 및<br>마더보드 포함 | |

환경 시험 항목 및 관련 규격은 다음과 같다.

표 219 궤도회로 차상검측시스템 환경 시험 항목 및 관련규격

| 시험 항목 | 관련 규격 | 내 역 |
|---|---|---|
| 저온 시험 | KS C 0220 | 온도 : -40℃ |
| 고온 시험 | KS C 0221 | 온도 : +70℃ |
| 온도 사이클링 시험 | KS C 0225 | 온도 : -40℃ ~ +70℃ |
| 온습도 시험 | KS C 0227:2001 | 온도 : 70℃, 습도 : 95% |
| 전도성 장해 측정 | EN50121-3-2:2006 | 대역폭 : 150khz ~ 30MHz |
| 방사성 장해 측정 | EN50121-3-2:2006 | 대역폭 : 30MHz ~ 1000MHz |
| 정전기 방전 내성시험 | EN50121-3-2:2006 | 인가전압 : 6kV(접촉), 8kV(기중) |
| 전자파 방사 내성시험 | EN50121-3-2:2006 | 80MHz ~ 1GHz - 20V/m<br>1.4GHz ~ 2.1GHz - 10V/m<br>2.1GHz ~ 2.5GHz - 5V/m |
| 전기적 과도현상 내성시험 | EN50121-3-2:2006 | 인가전압(전원 라인 : ±2kV, 신호 라인 : ±2kV) |
| 서지 내성시험 | EN50121-3-2:2006 | 인가전압 : ±1kV |
| 전자파 전도 내성시험 | EN50121-3-2:2006 | 주파수 범위 : 150khz ~ 80MHz |
| 전압 변동시험 | IEC 61000-4-11 | AC220V→AC180V→AC260V→AC220V |
| 공진 및 진동 기능시험 | KS R 9144:1992 | 상/하, 좌/우, 전/후 진동 |
| 진동 내구시험 | KS R 9144:1992 | |

### (1) 보상콘덴서 검측장치

보상콘덴서 검측장치는 서브랙에 실장하는 처리보드와 수신보드, 전원장치 그리고 별도로 설치하는 신호증폭기, TX 루프 및 RX 루프에 대한 환경시험을 가졌다.

표 220 보상콘덴서 검측장치 환경 시험 결과

| 시험 항목 | 상세 내역 | | 시험 결과 |
|---|---|---|---|
| 저온 시험 | 시험 온도 : -40℃<br>시험 시간 : 18시간 30분 | | 적합 |
| 고온 시험 | 시험 온도 : +70℃<br>시험 시간 : 21시간 20분 | | 적합 |
| 온도 사이클링 시험 | 시험 온도 : -40℃ ~ +70℃<br>시험 시간 : 60시간<br>시험주기 : 5주기(12h/cycle) | | 적합 |
| 온습도 시험 | 시험 온도 : 70℃, 시험 습도 : 95% | | 적합 |
| 전도성 장해 측정 | 측정 대역폭 : 150khz ~ 30MHz | | 적합 |
| 방사성 장해 측정 | 측정 대역폭 : 30MHz ~ 1000MHz | | 적합 |
| 정전기 방전 내성시험 | 인가전압 : 6kV(접촉), 8kV(기중) | | 적합 |
| 전자파 방사 내성시험 | 시험 대역 | 80MHz ~ 1GHz - 20V/m<br>1.4GHz ~ 2.1GHz - 10V/m<br>2.1GHz ~ 2.5GHz - 5V/m | 적합 |
| 전기적 과도현상 내성시험 | 인가전압 | 전원 라인 : ±2kV<br>신호 라인 : ±2kV | 적합 |
| 서지 내성시험 | 인가전압 : ±1kV(Line to Line), ±2kV(Line to GND),<br>인가 횟수 : 5회 | | 적합 |
| 전자파 전도 내성시험 | 주파수 범위 : 150khz ~ 80MHz | | 적합 |
| 전압 변동시험 | 시험 전압 : AC220V→AC180V→AC260V→AC220V<br>시험 횟수 : 10회, 인가 간격 : 100ms | | 적합 |
| 공진 및 진동 기능시험 | 검측장치 랙 | 상하(Z) : 7.71Hz | 적합 |
| | | 좌우(X) : 공진 없음 | |
| | | 전후(Y) : 공진 없음 | |
| | 신호 증폭기 | 상하(Z) : 공진 없음 | |
| | | 좌우(X) : 공진 없음 | |
| | | 전후(Y) : 공진 없음 | |
| | TX 루프 | 상하(Z) : 공진 없음 | |
| | | 좌우(X) : 공진 없음 | |
| | | 전후(Y) : 공진 없음 | |
| | RX 루프 | 상하(Z) : 공진 없음 | |
| | | 좌우(X) : 공진 없음 | |
| | | 전후(Y) : 공진 없음 | |
| 진동 내구시험 | 공진 있음 ⇨ 시험 시간 : 1시간<br>공진 없음 ⇨ 시험 시간 : 17시간 | | 적합 |

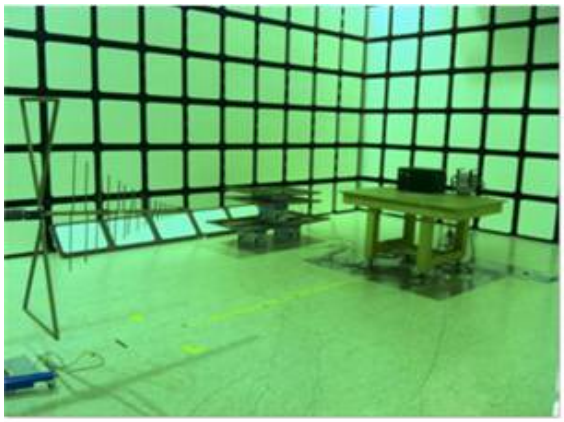



그림 300 보상콘덴서 검측장치 환경 시험(방사성 및 전자파 전도 내성)




그림 301 보상콘덴서 검측장치 환경 시험(정전기 및 진동 내구)



시 험 성 적 서

| | |
|---|---|
| 발 행 번 호 | SGS-R13-0495 |
| 의 뢰 기 관 | (주)태크빌 |
| 의 뢰 자 | (주)태크빌 |
| 회 사 주 소 | 경기도 안양시 동안구 관양동 799번지 안양메가밸리 506호 |
| 제 품 명 | 보상콘덴서 검측장치 |
| 모 델 명 | 검측핵, 검측용(신호) 증폭기, TX 루프, RX 루프 |
| 환 경 조 건 | (25 ± 5) ℃, (35 ± 10) % R.H. |
| 시 험 일 자 | 2013년 04월 12일 ~ 2013년 04월 15일 |
| 시험규격/방법 | KS C 0225: 2001 환경 시험 방법 (전기 · 전자) 온도 변화 시험 방법 |
| 시 험 결 과 | 개별 성적서 참조 |
| 측정 불확도 | N/A |
| 용 도 | 품질 평가용 |

이 성적서 위의 내용은 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도이외의 사용을 금합니다.

| | | |
|---|---|---|
| 확 인 | 시험자 성 명 : 전 기 환 (서명) | 승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 김 동 균 (서명) |

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

2013. 04. 16.

한국인정기구 인정 한국에스지에스(주) 기흥시험소 (인)

TQF-510-002(1)_ver3

시 험 성 적 서

| | |
|---|---|
| 발 행 번 호 | SGS-R13-0457 |
| 의 뢰 기 관 | (주)태크빌 |
| 의 뢰 자 | (주)태크빌 |
| 회 사 주 소 | 경기도 안양시 동안구 관양동 799번지 안양메가밸리 506호 |
| 제 품 명 | 보상콘덴서 검측장치 |
| 모 델 명 | 검측핵, 검측용(신호)증폭기, TX루프, RX루프 |
| 환 경 조 건 | 온도 (25 ± 5) ℃, 상대습도 (35 ± 5) % R.H. |
| 시 험 일 자 | 2013년 3월 27일 ~ 2013년 4월 9일 |
| 시험규격/방법 | KS C 0220: 1999 / KS C 0221: 1999<br>KS R 9144: 1992 철도차량 부품의 진동시험방법 (2종 B등) |
| 시 험 결 과 | 성적서 참조 |
| 측정 불확도 | N/A |
| 용 도 | 품질 평가용 |

이 성적서 위의 내용은 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도이외의 사용을 금합니다.

| | | |
|---|---|---|
| 확 인 | 시험자 성 명 : 전 기 환 | 승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 김 동 균 (서명) |

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

2013. 4. 11

한국인정기구 인정 한국에스지에스(주) 기흥시험소 (인)

TQF-510-002(1)_ver3

시 험 성 적 서

| | |
|---|---|
| 발 행 번 호 | SGS-R13-0495 |
| 의 뢰 기 관 | (주)태크빌 |
| 의 뢰 자 | (주)태크빌 |
| 회 사 주 소 | 경기도 안양시 동안구 관양동 799번지 안양메가밸리 506호 |
| 제 품 명 | 보상콘덴서 검측장치 |
| 모 델 명 | 검측핵, 검측용(신호) 증폭기, TX 루프, RX 루프 |
| 환 경 조 건 | (25 ± 5) ℃, (35 ± 10) % R.H. |
| 시 험 일 자 | 2013년 04월 12일 ~ 2013년 04월 15일 |
| 시험규격/방법 | KS C 0225: 2001 환경 시험 방법 (전기 · 전자) 온도 변화 시험 방법 |
| 시 험 결 과 | 개별 성적서 참조 |
| 측정 불확도 | N/A |
| 용 도 | 품질 평가용 |

이 성적서 위의 내용은 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도이외의 사용을 금합니다.

| | | |
|---|---|---|
| 확 인 | 시험자 성 명 : 전 기 환 (서명) | 승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 김 동 균 (서명) |

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

2013. 04. 16.

한국인정기구 인정 한국에스지에스(주) 기흥시험소 (인)

TQF-510-002(1)_ver3

그림 302 공인기관 환경 시험 성적서(보상콘덴서 검측장치)

### (2) 연속, 불연속정보 및 ETCS 발리스 검측장치

연속정보, 불연속정보 및 ETCS 발리스 검측장치는 하나의 랙에 실장하는 구조를 가지므로 환경시험은 RACK 단위로 시행하였다.

표 221 궤도회로 차상검측시스템 RACK 2 환경 시험 결과

| 시험 항목 | 상세 내역 | | 시험 결과 |
|---|---|---|---|
| 저온 시험 | 시험 온도 : -40℃<br>시험 시간 : 18시간 10분 | | 적합 |
| 고온 시험 | 시험 온도 : +70℃<br>시험 시간 : 21시간 20분 | | 적합 |
| 온도 사이클링 시험 | 시험 온도 : -40℃ ~ +70℃<br>시험 시간 : 60시간<br>시험주기 : 5주기(12h/cycle) | | 적합 |
| 온습도 시험 | 시험 온도 : 70℃, 시험 습도 : 95% | | 적합 |
| 전도성 장해 측정 | 측정 대역폭 : 150khz ~ 30MHz | | 적합 |
| 방사성 장해 측정 | 측정 대역폭 : 30MHz ~ 1000MHz | | 적합 |
| 정전기 방전 내성시험 | 인가전압 : 6kV(접촉), 8kV(기중) | | 적합 |
| 전자파 방사 내성시험 | 시험 대역 | 80MHz ~ 1GHz - 20V/m<br>1.4GHz ~ 2.1GHz - 10V/m<br>2.1GHz ~ 2.5GHz - 5V/m | 적합 |
| 전기적 과도현상 내성시험 | 인가전압 | 전원 라인 : ±2kV<br>신호 라인 : ±2kV | 적합 |
| 서지 내성시험 | 인가전압 : ±1kV(Line to Line), ±2kV(Line to GND), 인가 횟수 : 5회 | | 적합 |
| 전자파 전도 내성시험 | 주파수 범위 : 150khz ~ 80MHz | | 적합 |
| 전압 변동시험 | 시험 전압 : AC<br>220V→AC180V→AC260V→AC220V<br>시험 횟수 : 10회, 인가 간격 : 100ms | | 적합 |
| 공진 및 진동 기능시험 | 검측장치<br>랙 | 상하(Z) : 공진 없음 | 적합 |
| | | 좌우(X) : 30Hz | |
| | | 전후(Y) : 공진 없음 | |
| 진동 내구시험 | 공진 있음 ⇨ 시험 시간 : 30분<br>공진 없음 ⇨ 시험 시간 : 7시간 30분 | | 적합 |

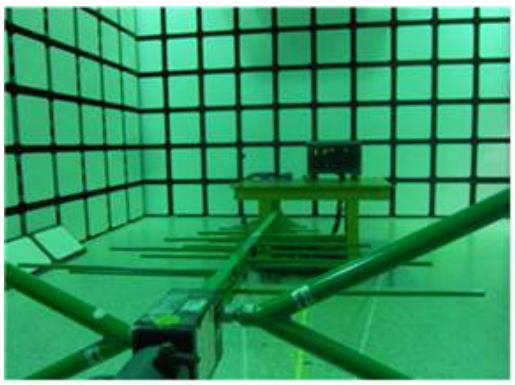



그림 303 RACK 2 환경 시험(방사성 및 전자파 방사)




그림 304 RACK 2 환경 시험(고온 및 저온)




그림 305 공인기관 환경 시험 성적서(RACK 2)

## 다. 3단계 : 현장 정적시험을 통한 검증

### (1) 개요

현장 정적시험은 고속철도 영업구간에 검측장치를 가설치하여 구로 통합관제센터의 관제사의 통제 하에 열차 상간에 시험을 실시하였다. 정적시험에 대한 입증은 고속철도 LME 콘솔의 로깅 결과와 검측장치에 의해 검측한 정보와 일치하는지를 비교하였다.

표 222 현장 정적시험을 통한 궤도회로 차상검측시스템 검증

| 장치 | 설치 내역 | 검증을 위한 장치 | 검증 방법 |
|---|---|---|---|
| 연속정보 검측장치 |  <br>- 설치 장소 : 오송역 관내 영업구간<br>- 구성품 : 연속 및 불연속정보 검측장치 1식 |  <br>(LME 콘솔)<br>- LME 콘솔은 차상으로 전송되는 연속 및 불연속정보를 실시간 표시 및 관리<br>- 오송역 기계실에 위치 | TC 2435A 궤도에 대한 검측장치의 처리결과와 LME 콘솔에서 로깅된 값을 비교 |
| 불연속정보 검측장치 | | | 2435A BSP에 대한 검측장치의 처리결과와 LME 콘솔에서 로깅된 값을 비교 |

현장시험은 궤도회로 차상검측시스템 개발품의 기능 및 성능검증을 위해 고속선 시험설비(오송역 교육설비)와 영업구간에서 실시하였으며, 시험 대상 및 장소, 내역은 다음과 같다.

표 223 궤도회로 차상검측시스템 현장시험 내역

| 시험 장치 | 차수 | 시험 장소 | 시험 일시 | 시험 내역 |
|---|---|---|---|---|
| 연속정보 검측장치 | 1차 | 교육설비 (오송역) | 2012.11.27(3차년도) | 연속정보 검측장치 수신보드 및 처리보드의 기능 및 성능 확인 |
| | 2차 | 영업구간 (오송역 관내) | 2013.03.20(3차년도) | |
| 불연속정보 검측장치 | 1차 | 교육설비 (오송역) | 2012.08.27(2차년도) | 불연속정보 검측장치 수신보드 및 처리보드의 기능 및 성능 확인 |
| | 2차 | 교육설비 (오송역) | 2012.10.11(2차년도) | |
| | 3차 | 영업구간 (오송역 관내) | 2013.03.20(3차년도) | |

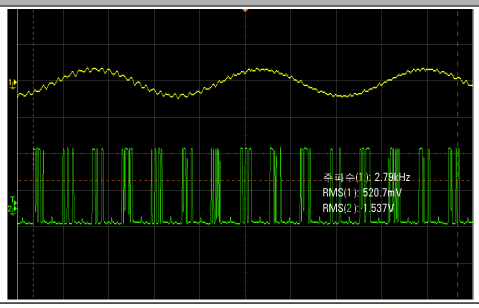
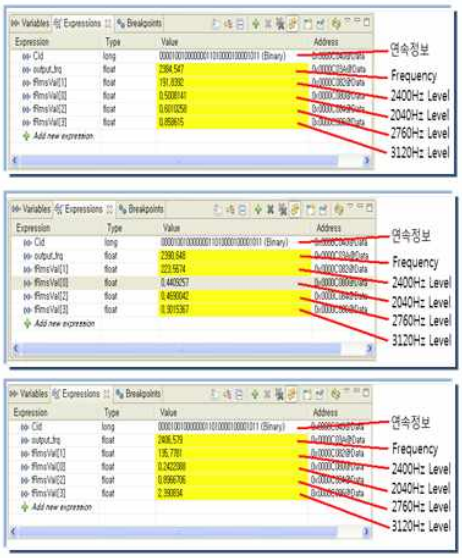
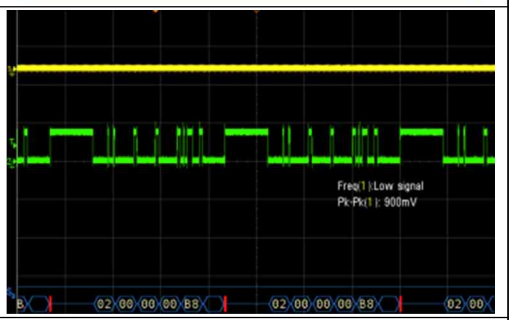
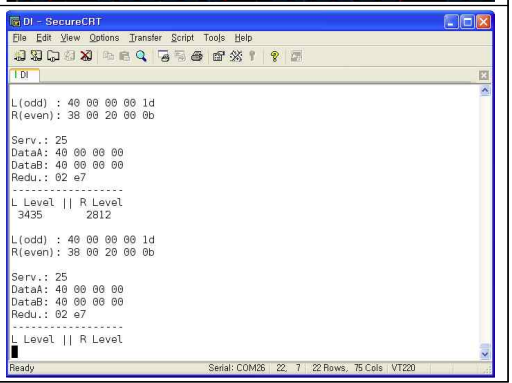
### (2) 고속시험선 구간 현장시험

연속정보 검측장치 및 불연속정보 검측장치에 대한 현장시험은 우선 고속철도 오송역 교육설비에서 실시하였으며, 시험선 구간에서의 연속정보와 불연속정보에 대한 검측, 메시지 추출 등의 기능을 검증하였다.




그림 306 연속 및 불연속정보 검측장치 시험선 현장시험

표 224 연속 및 불연속검측장치 고속시험선 현장시험 결과

| 장치 | 시험 항목 | 측정 결과 |
|---|---|---|
| 연속정보 검측장치 | 연속정보 안테나를 통한 신호 레벨 수신 |  |
| | 검측정보의 레벨 및 메시지 추출<br>• F1(2040Hz) 주파수 레벨<br>• F2(2400Hz) 주파수 레벨<br>• F3(2760Hz) 주파수 레벨<br>• F4(3120Hz) 주파수 레벨<br>• 연속정보 메시지 추출(28bits) |  |
| 불연속정보 검측장치 | 불연속정보 안테나를 통한 신호 레벨 수신 |  |
| | 검측정보의 레벨 및 메시지 추출<br>• 좌측 주파수 레벨<br>• 우측 주파수 레벨<br>• 좌/우측 불연속정보 메시지 추출(80bits) |  |

### (3) 고속선 영업구간 현장시험

시험선 구간에서의 현장시험에 의한 연속 및 불연속정보 검측장치의 기능 및 성능검증을 확인하였으며, 추가로 검측장치의 완전한 성능 검증을 위해 열차가 운행하는 고속철도 영업

구간에서의 현장시험을 시행하였다. 영업구간에서의 현장시험은 열차상간 차단명령으로 이루어졌으며 철도교통관제센터의 고속관제사 및 한국철도공사 오송 고속철도 전기사무소의 협조를 얻어 수행하였다.

- 시험 일시 : 2013.03.20.(AM 11:00 ~ PM12:30, 준비시간 포함)
- 시험 장소 : 오송 고속철도 전기사무소 관내 영업구간(TC 2435A 궤도 및 BSP)
- 시험 방법 : 지정된 영업구간 내에 시험 대상 장치를 가 설치하여 검측장치에 대한 기능 및 성능 확인
- 시험 내용

(연속정보 검측장치 : TC 2435A)

- 연속정보 레벨 검측
- 레벨로부터 연속정보 메시지 추출 결과 확인

(불연속정보 검측장치 : 2435A BSP)

- 불연속정보 레벨 검측
- 레벨로부터 불연속정보 메시지 추출 결과 확인

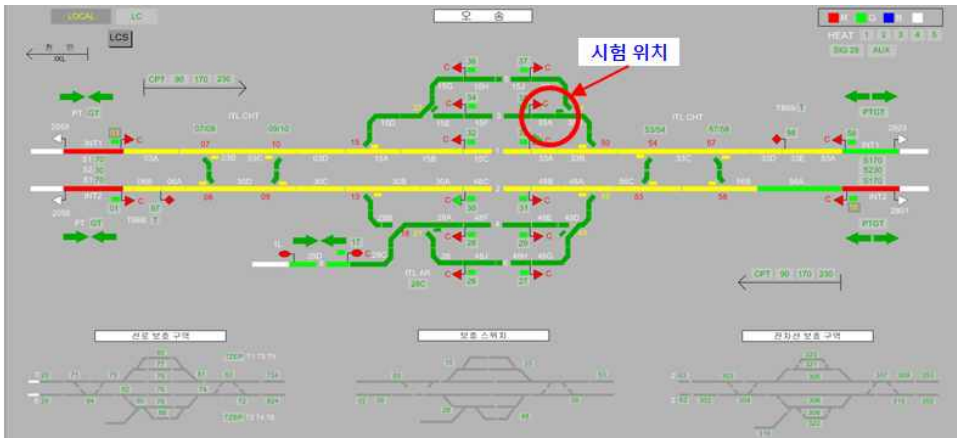



그림 307 영업구간 현장시험 관내도

표 225 연속 및 불연속검측장치 영업구간 현장시험 구성품

| 장치명 | 수 량 | 구성품 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 연속정보<br>검측장치 | 1 set | • 연속정보 처리보드 : 1개<br>• 연속정보 수신보드 : 1개<br>• 연속정보 안테나 : 2개 | (공통)<br>• 전원장치 : 1개<br>• 마더보드 : 1개<br>• 서브랙 : 1set |
| 불연속정보<br>검측장치 | 1 set | • 불연속정보 처리보드 : 1개<br>• 불연속정보 수신보드 : 1개<br>• 불연속정보 안테나 : 2개 | |



그림 308 연속 및 불연속정보 검측장치 영업구간 현장시험

연속 및 불연속정보 검측장치의 영업구간 현장시험 결과는 다음과 같으며, 시험결과의 검증은 오송역 기계실 LME(Local Maintenance Equipment)의 콘솔 화면 표시와 비교하여 확인하였다.

표 226 연속 및 불연속정보 검측장치 영업구간 정적시험 결과(화면)

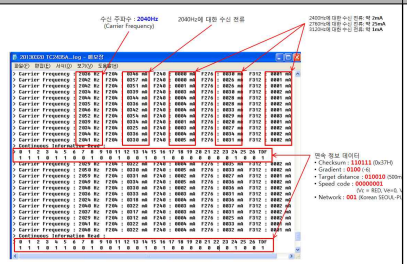
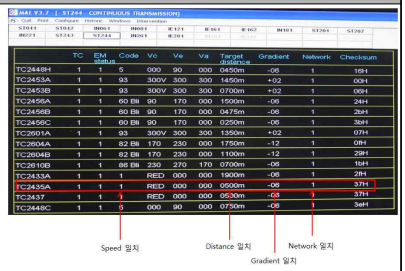
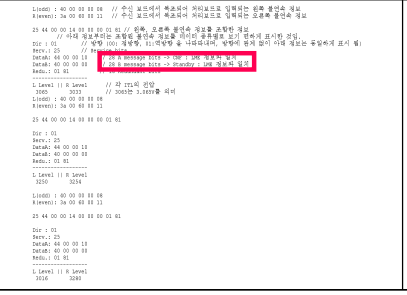
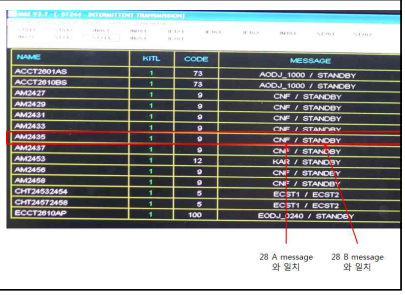
| 장치 | 검증 방법 | 검측장치 처리결과 | LME 콘솔 표시화면 |
|---|---|---|---|
| 연속정보 검측장치 | TC 2435A 궤도에 대한 검측장치의 처리결과와 LME 콘솔에서 로깅된 값을 비교 |  |  |
| 불연속정보 검측장치 | 2435A BSP에 대한 검측장치의 처리결과와 LME 콘솔에서 로깅된 값을 비교 |  |  |

표 227 연속 및 불연속정보 검측장치 영업구간 정적시험 결과

| 검측장치 | 항 목 | LME 콘솔 표시내용 | 처리결과 (검측장치) | 결 과 |
|---|---|---|---|---|
| 연속정보 검측장치 | Speed | RED | RED | 일치함 |
| | Target Distance | 500m | 500m | 일치함 |
| | Gradient | -6 | -6 | 일치함 |
| | Network | 1 | 1 | 일치함 |
| 불연속정보 검측장치 | 정방향 정보 | CNF | CNF | 일치함 |
| | 역방향 정보 | Standby | Standby | 일치함 |

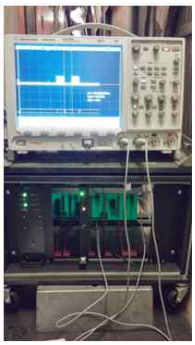
## 라. 4단계 : 현차시험을 통한 검증

### (1) 개요

4단계 현차시험은 궤도회로 차상검측시스템을 KTX-36호(최고속도 : 300km/h) 및 종합검측차(최고속도 : 180km/h)에 설치하여 주행에 의한 동적시험을 실시하였다.

### (2) 현차설치 내역

표 228 궤도회로 차상검측시스템 현차설치 내역

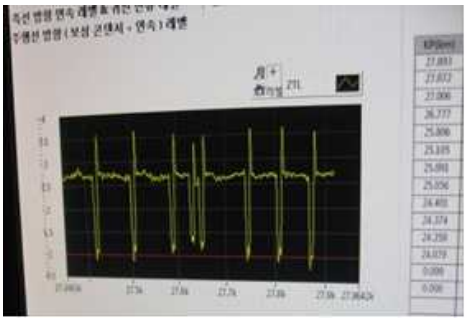
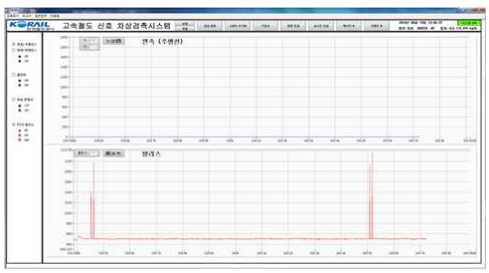
| 검측장치 | 설치 사진 | 시험 사진 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 연속정보 검측장치<br>불연속정보 검측장치 |  <br>  |  <br>  <br>  | KTX-36호 18호차 및 동력차(PC2) |
| 보상콘덴서 검측장치 |  |  | KTX-36호 18호차 |
| ETCS 발리스 검측장치 |  |  | 종합검측차 |

### (3) 현차시험 내역 및 결과

표 229 궤도회로 차상검측시스템 현차시험 내역

| 검측 항목 | 검측 속도 | 대상 차량 | 시험 내용 | 시험 기간 |
|---|---|---|---|---|
| 연속정보 | 300km/h | KTX-36호 | • 연속정보 레벨 검측(F1~F4 주파수)<br>• 연속정보 메시지(28bits) 검출<br>• 종합처리장치 표시 | 2014.04.11. ~ 2014.06.30. |
| 불연속정보 | 300km/h | | • 불연속정보 레벨 검측(좌/우측)<br>• 불연속정보 메시지(80bits) 검출<br>• 종합처리장치 표시 | |
| 보상콘덴서 | 300km/h | | • 보상콘덴서 레벨 검측(이상 유무)<br>• 종합처리장치 표시 | 2013.04.26. ~ 2013.06.04. |
| ETCS 발리스 | 160km/h | 종합검측차 | • 유로발리스 레벨 검측<br>• 텔레그램 크기 검출(최대 1023bits)<br>• 종합처리장치 표시 | 2014.06.13. ~ 2014.06.19. |

표 230 궤도회로 차상검측시스템 현차시험 결과

| 장치 | 시험 항목 | 측정 결과 |
|---|---|---|
| 연속정보<br>검측장치 | 연속정보 안테나를 통한 신호 레벨 수신<br>검측정보의 레벨 및 메시지 추출<br>• F1(2040Hz) 주파수 레벨<br>• F2(2400Hz) 주파수 레벨<br>• F3(2760Hz) 주파수 레벨<br>• F4(3120Hz) 주파수 레벨<br>• 연속정보 메시지 추출(28bits) |  |
| 불연속정보<br>검측장치 | 불연속정보 안테나를 통한 신호 레벨 수신<br>검측정보의 레벨 및 메시지 추출<br>• 좌측 주파수 레벨<br>• 우측 주파수 레벨<br>• 좌/우측 불연속정보 메시지 추출(80bits) |  |
| 보상콘덴서<br>검측장치 | TX 및 RX 루프에 의한 보상콘덴서 유무 측정<br>• TX 주파수 : 25khz<br>• RX 주파수 : 25khz |  |
| ETCS 발리스<br>검측장치 | 검측장치 텔레파워링에 의한 유로발리스의 텔레그램 전송 및 수신<br>• 텔레파워링 주파수 : 27.095MHz<br>• 데이터 주파수 : 3.951MHz 및 4.416MHz |  |

## 3. 무선통신 차상검측시스템

열차무선 차상검측시스템의 연구는 다음과 같은 단계를 통하여 검증을 수행하였다.

- 시스템 설계 및 상세설계 : 수요처 검토 및 자문회의를 통한 설계 검증
- 시제품 : 현장설비와 동일한 시뮬레이터를 활용한 검증
- 개발품(현차설치용) : 고속철도 영업구간 정적시험 및 현차시험
- 현차종합시험 : 고속철도 영업구간 현차설치 종합시험

표 231 열차무선 차상검측시스템 연구수행 결과

| 구 분 | | 전계강도 및 주파수 검측장치 | | 핸드오버 및 불요파 검측장치 | | 데이터 에러율 검측장치 | | 통합서버 및 시뮬레이터 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 연차 | 완료여부 | 연차 | 완료여부 | 연차 | 완료여부 | 연차 | 완료여부 |
| 시스템 설계 및 제작도면 | | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 |
| 상세설계 | | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 |
| 시제품 제작 | | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 |
| 개발품 제작 (현차설치용) | | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| 시험절차서 및 시험성적서 | | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| 시험 및 검증 | 단위 및 통합시험 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| | 정적 시험 동적 시험 | 2차 3차 | 완료 : 3회 (광명열차 무선제어 센터 및 영업노선) | 2차 3차 | 완료 : 3회 (광명열차 무선제어 센터 및 영업노선) | 2차 3차 | 완료 : 3회 (광명열차 무선제어 센터 및 영업노선) | 2차 3차 | 완료 : 3회 (광명열차 무선제어 센터 및 영업노선) |
| | 현차종합 시험 (동적시험) | 4차 | 완료 (KTX-36호) | 4차 | 완료 (KTX-36호) | 4차 | 완료 (종합검측차) | 4차 | 완료 (KTX-36호) |

## 가. 1단계 : 테스트 베드 검증

### (1) 개요

열차무선 차상검측시스템의 성능 검증을 위해, 각 검측장치의 단위시험 및 통합시험을 위하여 테스트 베드를 구축하였으며, 지상설비는 출력에 대한 더미 처리된 테스트 기지국을 이용하여 열차무선 전파환경과 동일한 주파수로 검측 대상인 현장설비와 동일한 구성과 기능으로 제작하였다.

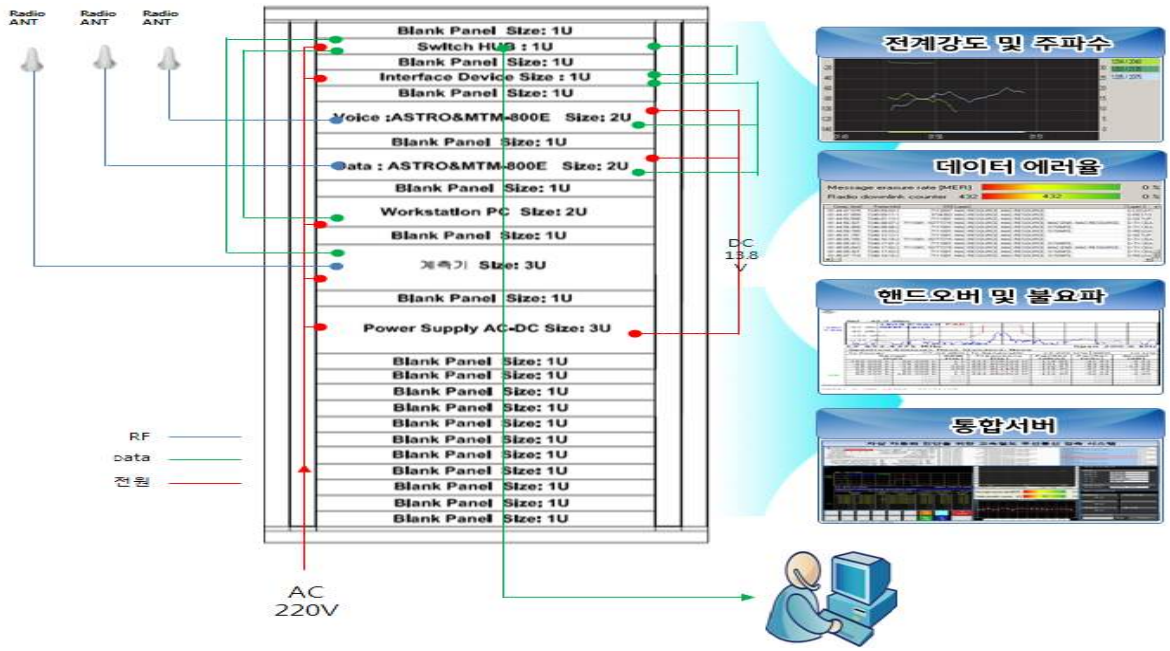



그림 309 열차무선 분야 모의시험 환경 구성

### (2) 시험결과

#### (가) 전계강도 및 주파수 검측장치

표 232 전계강도 및 주파수 검측장치 시험결과

| 구 분 | | 전계강도 및 주파수 검측장치 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 전계강도(RSSI) | | 주파수편차 | |
| 송신주파수(Hz) | | 851.8875 | | 851.8875 | |
| 측정 주파수(Hz) / 측정DATA(dBm) | | 851.8875 | -45 | 851.8875 | +0.012 |
| 검측 표시 | 레벨(dBm) | -45 | | +0.012 | |
| | 메시지(bit) | 주파수 | Cell 정보 | 시설물 정보 | 위치 |
| 처리 결과 | | 정상 | 정상 | 정상 | 정상 |

#### (나) 핸드오버 및 불요파 검측장치

표 233 핸드오버 및 불요파 검측장치 시험결과

| 구 분 | | 핸드오버 및 검측장치 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 핸드오버 | | 불요파 | |
| 송신주파수(Hz) | | 851.8875/852.4375 | | 851.8875 | |
| 측정 주파수(Hz) / 측정DATA(dBm) | | 851.8875<br>852.4375 | -45<br>-46 | 851.8875 | - |
| 검측 표시 | 레벨(dBm) | -45 | | - | |
| | 메시지(bit) | 주파수 | Cell 정보 | 시설물 정보 | 위치 |
| 처리 결과 | | 정상 | 정상 | 정상 | 정상 |

### (다) 데이터 에러율 검측장치

표 234 데이터 에러율 검측장치 시험결과

| 구 분 | | 데이터 에러율 및 검측장치 | |
|---|---|---|---|
| | | 에러율(TETRA) | |
| 송신주파수(Hz) | | 851.8875 | |
| 측정 주파수(Hz) / 측정DATA(dBm) | | 851.8875 | 0% |
| 검측 표시 | 레벨(dBm) | -45 | |
| | 메시지(bit) | 주파수 | Cell 정보 |
| 처리 결과 | | 정상 | 정상 |

### (라) 통합서버 및 인터페이스

표 235 통합서버 및 인터페이스 시험결과

| 구 분 | 통합서버 | | |
|---|---|---|---|
| | 검측장치 | | 측정 데이터 |
| 인터페이스 | 계측기 | 정상 | 정상 |
| | 터미널 | 정상 | |
| | 포트서버 | 정상 | |
| | 네트워크장치 | 정상 | |
| | GPS | 정상 | |
| DB 관리 | 검측 설계 DB | 정상 | 정상 |
| DB 연계 | 각 검측장치 | 정상 | 정상 |
| | 기록 | 정상 | 정상 |
| LOG관리 | 이벤트시 | 정상 | 정상 |
| 측정관리 | 검측장치 제어 | 정상 | 정상 |

## 나. 2단계 : 현장 정적 및 동적 시험을 통한 검증

### (1) 개요

열차무선 차 2단계에서는 현장 정적시험 및 동적시험을 통한 검증을 시행하였다. 현장 정적 시험은 고속철도 영업구간에 검측장치를 가 설치하여 검측 단위별 정적 시험을 시행 하였다.

현장 동적 시험은 HEMU-430X에서 증속 시험 시 2회 (350Km/h, 420Km/h) 첨승하여 검측 단위별 동적시험을 진행하여 검측정보와 설계가 일치함을 확인하였다.

표 236 열차무선 차상검측시스템 현장시험 내역

| 시험 장치 | 차수 | 시험 장소 | 시험 일시 | 시험 내역 |
|---|---|---|---|---|
| 정적시험 | 1차 | 광명열차무선제어센터 | 2013.06.20(3차년도) | 열차무선 검측장치의 열차무선 커버리지 내 검측 성능 확인 |
| | 2차 | 광명열차무선제어센터 | 2013.07.17(3차년도) | |
| 동적시험 | 1차 | HEMU-430X (부산-동대구 350Km/h 증속시험) | 2012.09.05(2차년도) | HEMU-430X 첨승 350Km/h 속도에서 전파환경 검측 |
| | 2차 | KTX-36호 (서울-부산 300Km/h) | 2012.05.13(3차년도) | KTX-36호 시설 협조를 통한 열차무선 전파환경 검측 |
| | 3차 | HEMU-430X(부산-동대구 405Km/h 증속시험) | 2013.02.20(3차년도) | HEMU-430X 첨승 405Km/h 속도에서 전파환경 검측 계측기 및 단말 운용 프로그램을 이용한 검측 |

### (2) 결과

#### (가) 정적시험

열차무선 검측장치에 대한 정적시험은 광명열차무선 제어센터에서 실시하였으며, 경부1단계 구간에서의 열차무선 전파환경에 대한 검측, 처리, 인터페이스 등의 기능을 검증하였다.



그림 310 열차무선 차상검측시스템 정적시험

표 237 열차무선 차상검측시스템 고속시험선 정적시험 결과

| 장치 | 시험 항목 | 측정 결과 |
|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | TEST 기지국을 통한 더미 처리 후 출력 및 환경 변경 진행 후 전파환경 TEST<br>• 측정주파수 852.8875MHz 검측<br>• RSSI 측정 : - 52dBm<br>• 편차 측정 : -0.021 |  |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | TEST 기지국을 통한 더미 처리 후 출력 및 환경 변경 진행 후 전파환경 TEST<br>• 정적 환경 불요파 검측<br>• Voice ch, Data ch검측<br>• 6개의 범위에 대한 검측<br>• MASK 기능 TEST<br>• DB 확인 |  <br>Spurious KPR_Start / Spurious KPR_END / Spurious BW_Start / Spurious BW_Start<br>131760 / 136466 / 839.0137 / 866.0137<br>131760 / 136466 / 840.8649 / 865.8649<br>308040 / 321924 / 840.6643 / 865.6643<br>308040 / 321924 / 840.7595 / 853.759<br>347157 / 351171 / 839.4813 / 864.4813<br>357364 / 365875 / 840.8165 / 865.8165 |
| 데이터 에러율 검측장치 | RS4(광명) 에러율 측정<br>• 측정주파수 852.8875MHz<br>• 채널정보, 시스템 등록정보 확인<br>• BER 확인 |  |
| 통합서버 | 검측장치 인터페이스 시험 및 DB처리, 수집, 기록 TEST<br>• DB 수집 확인<br>• 전계강도 측정제어 확인<br>• BER 측정 제어 확인 | 검측채널<br>Freq / RSSI / BER / BSID / SubID / SysID / Time<br>852.8875 / -89.45 / 2.5% / 4 / 1 / A1 / 19:21:41<br>852.8875 / -93.87 / 2.5% / 4 / 1 / A1 / 19:21:43<br>852.8875 / -95.35 / 2.7% / 4 / 1 / A1 / 19:21:46<br>852.8875 / -94.21 / 2.7% / 4 / 1 / A1 / 19:21:48<br>852.8875 / -94.25 / 2.5% / 4 / 1 / A1 / 19:21:50<br>851.9625 / -65.87 / 0% / 36 / 6 / A1 / 19:21:53<br>851.9625 / -62.21 / 0% / 36 / 6 / A1 / 19:21:56<br>851.9625 / -62.22 / 0% / 36 / 6 / A1 / 19:21:58<br>851.9625 / -62.11 / 0% / 36 / 6 / A1 / 19:22:01 |

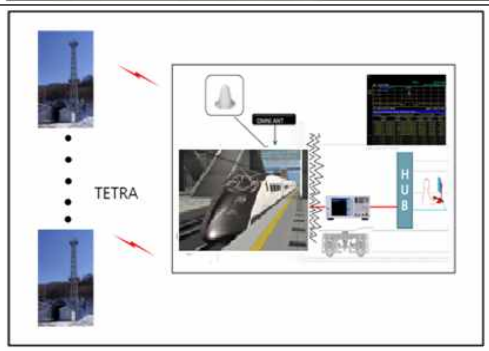
### (나) 동적시험

열차무선 검측장치에 대한 동적시험은 HEMU-430X, KTX-36호에서 실시하였으며, 경부 1,2단계 구간 개발품의 설계사양인 350Km/h 이상의 속도에서 열차무선 전파환경에 대한 검측, 처리, 인터페이스 등의 기능을 검증하였다.



그림 311 열차무선 차상검측시스템 동적시험

표 238 열차무선 차상검측시스템 고속시험선 동적시험 결과

| 장치 | 시험 항목 | 측정 결과 |
|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | HEMU-430X/KTX-36호<br>350Km/h이상의 속도에서 검측<br>• 측정범위 경부1,2단계 검측<br>• RSSI 측정 : 실시간 검측 확인<br>• 편차 측정 : 실시간 검측 확인 |  |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | HEMU-430X/KTX-36호<br>350Km/h이상의 속도에서 검측<br>• 350Km/h이상의 속도에서 불요파 검측 확인<br>• 350Km/h이상의 속도에서 핸드오버 검측 확인 및 검측 Data 적용 |  |
| 데이터 에러율 검측장치 | HEMU-430X/KTX-36호<br>350Km/h이상의 속도에서 검측<br>• 측정주파수 경부1,2단계 주파수<br>• BER 검측 경부 2단 4%이내 |  |
| 통합서버 | 검측장치 인터페이스 시험 및 DB처리, 수집, 기록 TEST<br>• 350Km/h DB 수집 확인<br>• 검측장치 측정제어 확인<br>• 검측장치 인터페이스 확인 |  |

## 다. 3단계 : 현차시험을 통한 검증

### (1) 개요

고속철도 영업구간인 서울~부산간 운행선로에서의 현장시험에 의한 열차무선 검측장치의 기능 및 성능검증을 확인 하는 현장종합시험은 한국철도공사 오송 고속철도 전기사무소의 협조를 통하여 수행하였으며, 영업구간에서 KTX-36호에 현차설치 후 전계강도 및 주파수, 핸드오버 및 불요파, 데이터 에러율, 통합서버의 검측 및 성능을 검증하였다.

표 239 열차무선 차상검측시스템 현차시험 내역

| 검측 항목 | 검측 속도 | 대상 차량 | 시험 내용 | 시험 기간 |
|---|---|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | 300km/h | KTX-36호 | • 시험 항목 참조 | 2014.04.11. ~ 2014.06.30 |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | | | | |
| 데이터 에러율 검측장치 | | | | |
| 통합서버 인터페이스 및 시뮬레이터 | | | | |

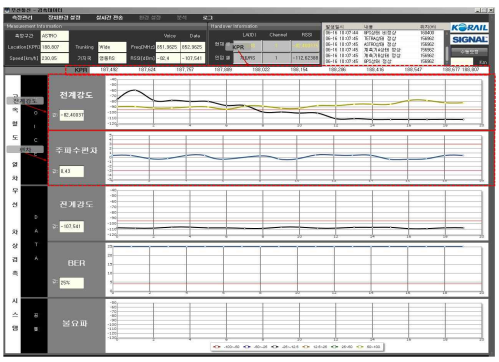
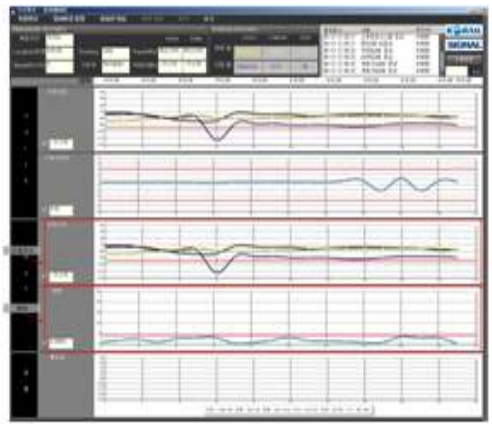
### (2) 현차설치 내역

표 240 열차무선 차상검측시스템 현차설치 내역

| 구분 | 내용 | 사진 |
|---|---|---|
| KTX-36호 | KTX-36 호 RACK A/B 설치 위치 |  |
| | KTX-36 호 RACK A/B 설치 |  |
| | KTX-36 호 RACK A/B 설치 후 전원 입전 및 전원 절체 시험 완료 |   |

### (3) 현차시험 내역 및 결과

표 241 열차무선 차상검측시스템 현차시험 결과

| 장치 | 시험 항목 | 측정 결과 |
|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | 300Km/h이상의 속도에서 전계강도 및 주파수 검측<br>• RSSI 레벨<br>• Freq[Hz]<br>• 핸드오버 정보<br>• DAQ4(-95dBm) |  |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | 300Km/h이상의 속도에서 핸드오버 및 불요파 검측<br>검측정보의 레벨 및 메시지 추출<br>• 핸드오버 정보 검측(현재셀, 인접셀)<br>• 불요파검측<br>• 국내고시 마스크 적용확인(6개의 구간 정보 획득) |  |
| 데이터 에러율 검측장치 | 300Km/h이상의 속도에서 핸드오버 및 불요파 검측<br>검측정보의 레벨 및 메시지 추출<br>• 데이터 에러율 검측<br>• 경부 1, 2단계 에러율 검측<br>• 검측정보 현시 |  |
| 통합서버 검측장치 | 검측장치 인터페이스 및 GUI, 실시간 전송 DB정보 등<br>• 공통정보 확인<br>• 측정정보<br>• 장치관리<br>• 실시간 전송<br>• 분석 |  |

## 4. 자동화 운영시스템

자동화 운영시스템의 연구는 다음과 같은 단계를 통하여 검증을 수행하였다.

- 시스템 설계 및 상세설계 : 현업 운영 대상자 검토 및 자문회의를 통한 설계 검증
- 시제품 : 현업 운영자를 대상으로 시제품 평가회 개최
- 개발품 : 고속철도 영업구간 현차시험 및 현업 운영자를 대상으로 평가 실시

표 242 자동화 운영시스템 연구수행 결과

| 구분 | | 실시간 전송시스템 | | 자동화진단 운영시스템 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 연차 | 완료여부 | 연차 | 완료여부 |
| 시스템 설계 | | 1차 | 완료 | 1차 | 완료 |
| 상세설계 | | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 |
| 시제품 제작 | | 2차 | 완료 | 2차 | 완료 |
| 개발품 제작 | | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| 시험 및 검증 | 단위 및 통합시험 | 3차 | 완료 | 3차 | 완료 |
| | 현장 시험 | 3차<br>4차 | 완료 | 3차<br>4차 | 완료 |
| | 현차시험 | 4차 | 완료 | 4차 | 완료 |

자동화 운영시스템은 다른 차상검측장치와 달리 정확한 수치로 성능평가가 이루어지지 않는다. 이는 시스템을 사용하는 운용자에 의해 평가받게 되는데 본 연구에서는 이를 위해 철도공사 오송전기사무소 현업 담당자를 수시로 만나 개발 진행 상황에 대해 협의하고 지속적으로 시스템에 적용하는 과정을 거쳤다.

### 가. 1단계 : 단위시험을 통한 검증

자동화 운영시스템의 성능 검증을 위해 1단계로 단위시험을 통해 시스템을 검증했다. 단위시험에서는 시스템에 구현된 개별 모듈과 화면 단위의 기능이 정상적으로 작동하는가를 시험했다.

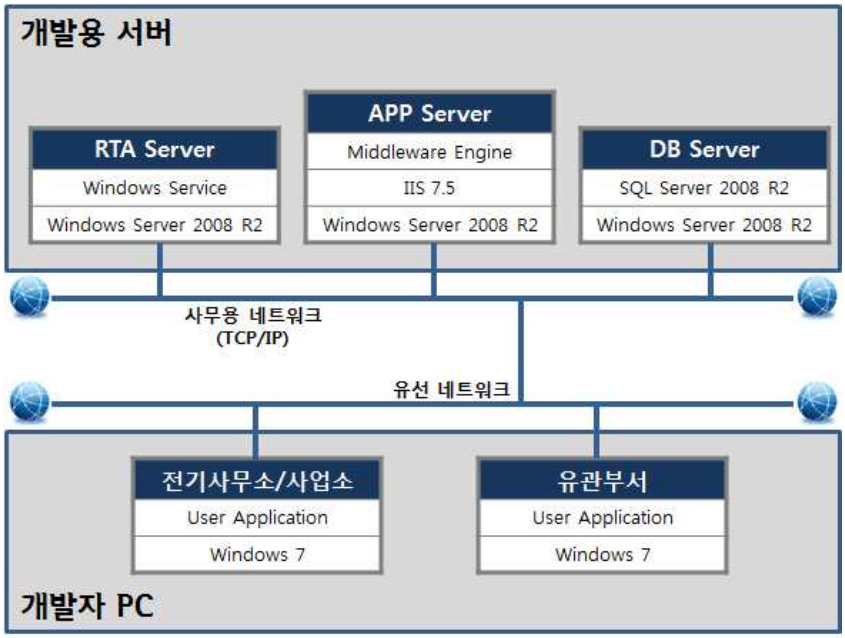



그림 312 단위시험 HW 구성

### (1) 차상 인터페이스 단위시험 (실험실)

각 분야의 검측시스템으로부터 정상적인 이상데이터 수신을 위한 차상인터페이스 단위시험을 수행하였다. 여기서 단위시험이란, 데이터 수신을 위한 안정적인 연결상태 유지, 데이터 전송 기능, 송수신 데이터 누락 여부 등 차상 인터페이스 수행을 위한 요구조건에 대한 기능 테스트를 말한다. 실험실 환경에서 이러한 기능 테스트를 통해 개발된 기능에 대한 검증작업을 수행하였다.

○ 단위시험 항목

표 243 차상 인터페이스 단위시험 항목

| 순번 | 구분 | 시 험 항 목 |
|---|---|---|
| 1 | 인터페이스 설계서 검토 | 정의된 인터페이스 규약을 근거하여 프로그램이 준비되었는가? (인터페이스 설계서검토, 적용 여부 확인) |
| 2 | 네트워크 연결 | 서버 <-> 클라이언트가 정상적으로 연결이 되는가? |
| 3 | 네트워크 연결상태 유지 | 네트워크 연결 후 클라이언트 -> 서버로 상태요청 메시지 전송하여 이에 대한 응답 메시지가 수신되는가? |
| 4 | | 네트워크 연결 후 서버 -> 클라이언트로 상태요청 메시지 전송하여 이에 대한 응답 메시지가 수신되는가? |
| 5 | | 클라이언트에서 서버와의 상태응답을 일정시간(인터페이스설계서기준 10초) 이상확인할 수 없을 경우 재연결 로직이 작동하는가? |
| 6 | 데이터 전송 테스트 | 전송된 메시지에 대한 CRC-16 체크는 정상적인가? (인터페이스 설계서 기준. CRC16, 2 Byte / Low, High) |
| 7 | | 검측종류별 1건의 데이터를 전송하여 해당 데이터가 정상적으로 수신되는가? |
| 8 | | 수신된 데이터에 대한 왜곡은 없는가? |
| 9 | 시스템 부하 테스트 | 전체 검측종류에 대해서 N개의 데이터를 전송하여 해당 데이터가 정상적으로 수신되는가? |
| 10 | | 데이터 전송 시각 데이터 전송 시도 시간간격을 실제 검측이 발생할 수 있는 최소시간 주기로 설정하여 전송할 경우 정상적으로 모든 데이터가 수신되는가? |

○ 단위시험 일정 및 결과

차상 인터페이스 단위시험 일정에 따라 각 분야별로 인터페이스 단위시험을 수행하였다.

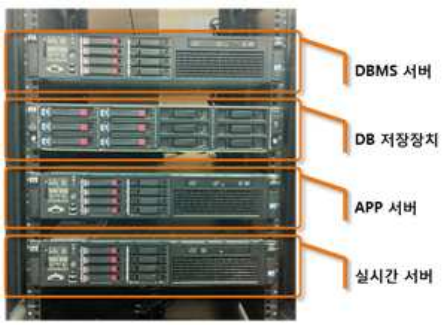
표 244 분야별 차상 인터페이스 단위테스트 진행 일정

| 분 야 | 단위시험 내용 | 일시 / 장소 |
|---|---|---|
| 신호 분야 | 인터페이스 설계서 공유, 검토 | 2012.10.24. / 온라인 |
| | 인터페이스 테스트 협의 | 2012.10.30. / 휴니드 |
| | 인터페이스 테스트 1차 | 2012.11.05. / 테크빌 |
| | 인터페이스 테스트 2차 | 2013.01.29. / 휴니드 |
| | 인터페이스 테스트 3차 | 2013.02.01. / 휴니드 |
| 전차선 분야 | 인터페이스 설계서 공유, 검토 | 2012.11.15. / 온라인 |
| | 인터페이스 테스트 협의 | 2012.12.10. / 투아이시스 |
| | 인터페이스 테스트 1차 | 2013.03.25. / 투아이시스 |
| | 인터페이스 테스트 2차 | 2013.04.01. / 투아이시스 |
| 무선통신 분야 | 인터페이스 설계서 공유, 검토 | 2012.11.15. / 온라인 |
| | 인터페이스 테스트 협의 | 2013.02.04. / 씨그널 |
| | 인터페이스 테스트 1차 | 2013.03.18. / 씨그널 |
| | 인터페이스 테스트 2차 | 2013.04.01. / 씨그널 |

## 나. 2단계 : 통합시험을 통한 검증

개발품 제작이 완료된 후 통합 시험을 통한 성능 검증을 수행했다. 통합시험은 모의 시스템 운영환경을 구축해 놓고 각 모듈간의 데이터 정합성과 타 시스템간의 인터페이스가 정상적으로 작동하는가를 시험했다.

표 245 통합시험을 통한 자동화 운영시스템 검증

| 장치 | 설치 내역 | 검증 방법 |
|---|---|---|
| 자동화진단 운영시스템<br>실시간 전송시스템 |  <br>- 설치장소 : 휴니드 실험실<br>- 구성 시스템 : 자동화진단 운영시스템, 실시간 전송시스템, 데이터베이스 서버 | - 모듈별 단위기능 작동여부 확인<br>- 데이터베이스를 통한 모듈 및 시스템간 연동 확인<br>- 시스템 자체 로그를 통한 연동 확인 |

### (1) 차상 인터페이스 통합시험(실험실)

분야별로 차상 인터페이스 단위시험을 완료한 후 3개 분야 통합시험을 진행하였다. 단위시험을 차상인터페이스를 위한 기능시험이라 한다면 통합시험은 기능시험과 동시에 시스템의 안정성 및 성능 보장을 위한 부하테스트를 포함한 시험을 뜻한다. 각 분야의 검측시스템과 실시간 송신모듈을 동시에 연결하여 부하테스트 및 안정성 테스트를 수행하였다.

○ 통합시험 시나리오

- 각 분야 검측시스템을 동시에 가동하여 실시간 송신모듈(차상)에 연결한다.
- 각 분야 검측시스템에서 가상의 이상데이터를 20ms/50ms/100ms 단위로 발생간격을 변경해가며 지속적으로 이상데이터를 생성하여 실시간 송신모듈로 전달한다.
- 실시간 송신 모듈에서 이상데이터를 전달받아 다시 이를 실시간 수신 모듈로 전달한다.
- 실시간 수신 모듈에서는 이상데이터를 전달받아 자동화 운영시스템 통합 DB로 저장한다.
- 신규 이상데이터가 통합 DB에서 검출되면 실시간 클라이언트 모듈을 통해 실시간 이상데이터 알람 메시지 창이 표시된다.
- 각 단계별로 기능 수행여부 및 데이터 전송/수신 건수 비교, 시스템 안정성 등을 모니터링하며 보완사항을 도출하여 시스템을 개선한다.
- 시스템 보완 및 개선 후 1~6단계를 재차 진행해가며 추가적인 보완사항이 없을 때까지 통합시험을 진행한다.

○ 통합시험 결과

총 10여 차례에 걸친 통합인터페이스 테스트를 수행하여 실시간 전송시스템에 대한 테스트를 수행하여 보완사항 도출하였으며 기능 및 안정성 개선작업을 수행하였다.

표 246 차상 인터페이스 통합시험 결과

| 구분 | 통합시험 진행 | 검증 방법 |
|---|---|---|
| 차상 인터페이스 통합시험 |  | - 전차선/신호/무선통신 검측시스템(시뮬레이터) 데이터 전송 테스트<br>- 데이터 전송로그 비교 분석<br>- 데이터 전송/수신 개수 비교 |

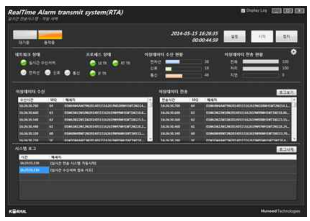
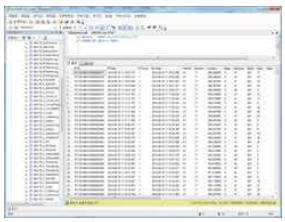
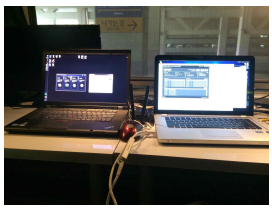
## 다. 3단계 : 현차시험을 통한 검증

### (1) 개요

현차시험에는 실제 운영 서버를 구축하고 KTX-36호를 활용한 실제 고속선 운영 환경에서의 시스템 검증을 수행했다. 지상 서버 차상 인터페이스를 실제로 구축하여 전차선/신호/무선통신의 현차시험과 연계하여 각 기관별 시스템과의 실시간인터페이스 등을 시험했다.

### (2) 현차설치 내역

표 247 현차시험을 통한 자동화 운영시스템 검증

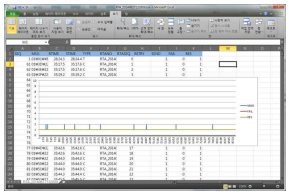
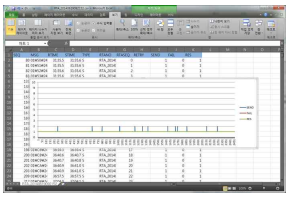
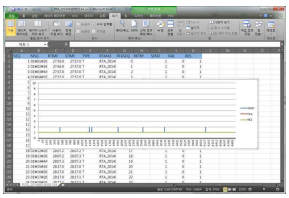
| 장치 | 설치 내역 | 검증 방법 |
|---|---|---|
| 자동화진단 운영시스템 |   (지상/차상 서버 구축) |  (시스템 로그)  (데이터베이스) - 시스템 로그파일 분석 - 데이터베이스 기록 분석 - 전차선/신호/무선통신 검측장치 전송 로그 분석 |
| 실시간 전송시스템 |   (차상 인터페이스/실시간 전송) | |

### (3) 현차시험 내역 및 결과

표 248 자동화 운영시스템 현차시험 내역

| 분야 | 검측 속도 | 대상 차량 | 시험 내용 | 시험 기간 |
|---|---|---|---|---|
| 전차선 | 300km/h | KTX-36호 | • 실시간 전송 차상 인터페이스<br>• 이상데이터 전송 / 수신<br>• 이상데이터 지상전송<br>• 이상데이터 사용자 알람표시 | 2014.03.04.<br>~<br>2014.06.30. |
| 신호 | 300km/h | | | |
| 무선통신 | 300km/h | | | |

표 249 자동화 운영시스템 현차시험 결과

| 분야 | 시험 항목 | 시험 결과 |
|---|---|---|
| 전차선 | 실시간 이상데이터 수신<br>• 전차선 동적 높이/편위<br>• 전차선 아크지속시간/전류<br>• 전차선 과하중 접촉력<br>• 열화상 시설물 온도<br>실시간 이상데이터 지상 전송<br>실시간 이상데이터 사용자 알람발생 |   |
| 신호 | 실시간 이상데이터 수신<br>• 연속정보<br>• 불연속정보<br>• 보상콘덴서<br>• ETCS 발리스 정보<br>실시간 이상데이터 지상 전송<br>실시간 이상데이터 사용자 알람발생 |   |
| 무선통신 | 실시간 이상데이터 수신<br>• ASTRO Voice 전계강도 /주파수 편차<br>• ASTRO Data 전계강도/BER<br>• TETRA Voice 전계강도 /주파수 편차<br>• TETRA Data 전계강도/BER<br>• 불요파<br>실시간 이상데이터 지상 전송<br>실시간 이상데이터 사용자 알람발생 |   |

# 제3장 최종 연구성과 및 적용실적

## 1절 연구성과 및 핵심요소 기술

### 1. 전차선로 차상검측시스템

기존선 고속화 등 전기철도 확충에 따른 방대한 전차선로 시설물에 대한 결함검사와 장애개소를 분석하기 위해 머신비전 및 영상처리 기반기술 등을 국산화하였으며, 국내환경에 적합한 전차선로 유지보수 자동화 검측환경을 제공한다.

#### 가. 전차선 높이편위 검측장치

| | |
|---|---|
| 정의 | 고속철도 전차선 높이/편위 검측 |
| 목적 | • 시속 0~350km/h에서 전차선 높이편위 검측을 수행하며, 검측 결과는 전철주 DB와 연계함으로써 전철주별 전차선 높이편위를 분석한다<br>• 검측장치 소형화로 차량종류(고속열차&작업차)에 상관없이 설치 및 운용이 가능하다 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h<br>• 측정범위<br>- 높이(mm): 4800~5400<br>- 편위(mm): ±350<br>• 정밀도(mm): ±5<br>• 측정속도(hz): 200 |
| 성과달성 확인방법 | • 정적시험 : 정밀도 공인인증 시험 및 테스트베드상에 정적성능 검증<br>• 동적시험 : 현차시험(HEMU-430X)에 의한 동적 성능 검증 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • 특허등록 : 2건<br>• S/W 등록 : 1건<br>• 논문 : 2건 |

#### 나. 전차선 영상검측장치

| | |
|---|---|
| 정의 | 고속철도 아크발생 개소검측 및 영상 모니터링 검측 |
| 목적 | • 팬터그래프 이선시 발생하는 아크검측을 통해 전차선로상에 전기적 충격지점을 분석하고, 집전상태를 고속 모니터링한다 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h<br>• 아크검출<br>- 검출파장: 220~225nm<br>- 검출시간: 100㎲<br>- 아크지점분석오차:±10m<br>• 전압/전류측정<br>• 판토모니터링: 60f/s |
| 성과달성 확인방법 | • 정적시험 : 아크시험장비를 통한 정적 성능 검증<br>• 동적시험 : 현차시험(HEMU-430X, KTX-36호)에 의한 동적 성능 검증 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • S/W 등록: 1건 |

## 다. 전차선 과하중지점 검측장치

| 정의 | 고속철도 전차선로 과하중지점 검측 |
|---|---|
| 목적 | • 유지보수 관점에서 팬터그래프에 과하중을 검측 하는 장치로써, 전차선로상에서 기계적인 충격지점을 카메라를 이용하여 비접촉식 방식으로 검측 한다<br>• 팬터그래프 집전판에 부착된 타겟의 순간변화량과 가속도를 측정하는 방식으로써 팬터그래프에 변형을 가할 필요가 없으며, 팬터그래프 종류에 상관없이 과하중지점을 검측한다 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h<br>• 과하중지점(충격지점)검측<br>• 충격지점 분석오차: ±1m<br>• 접촉력오차: ±20% |
| 성과달성 확인방법 | • 정적시험 : 정밀도 공인인증 시험 및 테스트베드상에 정적성능 검증<br>• 동적시험 : 현차시험(HEMU-430X, KTX-36호)에 의한 동적 성능 검증 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • 특허출원 : 1건<br>• S/W 등록 : 1건 |

## 라. 전차선로 이미지 분석장치

| 정의 | 고속철도 전차선로 시설물 이미지 취득 및 시설물 결함 분석 |
|---|---|
| 목적 | • 전차선로 이미지 분석장치는 전차선로 시설물(균압선, 드롭퍼, 금구) 이미지를 획득한 후, 영상처리 기반기술을 적용하여 시설물 변형 및 파손을 분석함으로써, 기존 작업자들의 도보순회방식을 탈피한 새로운 전차선로 시설물 유지보수 기법을 제시한다 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h<br>• 측정범위: 4800~8000mm<br>• 시설물분해능: 1mm<br>• 검출률: 드롭퍼(90%), 균압선(90%), 금구(80%) |
| 성과달성 확인방법 | • 전철전력 영상처리 전문가에 의한 현장평가 수행<br>• 동적시험 : 현차시험(HEMU-430X)에 의한 동적 성능 검증 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • 특허출원 : 1건<br>• S/W 등록 : 1건<br>• 논문 : 1건 |

## 마. 전차선로 열화상검측장치

| 정의 | 고속철도 전차선로 이상온도 검측 |
|---|---|
| 목적 | • 전차선로 시설물(조가선, 전차선)의 발열부위와 주변 물체 간에 온도색상을 측정함으로써, 전차선로 불량부위(시공불량, 손상, 오염)의 발열상태를 검측한다 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h<br>• 측정범위(℃) -20~150<br>• 측정오차(℃): ±2<br>• 이상온도 검출률(%): 90 |
| 성과달성 확인방법 | • 정적시험 : 온도측정 정밀도 시험<br>• 동적시험 : 현차시험(HEMU-430X)에 의한 동적 성능 검증 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • S/W 등록 : 1건 |

본 과제를 통하여 확보된 기술은 다음 표와 같다.

표 250 전차선로 차상검측시스템 확보기술

| 구 분 | 핵심기술 | 상세 내용 |
|---|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측장치 | 전차선 높이편위 검측기술 | • 카메라와 레이저로 구성된 프로파일 거리측정<br>• 검측장치 소형화로 차량종류(고속열차&작업차)에 상관없이 설치 및 운용이 가능 |
| | 차량진동보정 검측기술 | • 차량진동, 롤링 궤간 측정을 통한 전차선 높이와 편위 보정 |
| 전차선 영상 검측장치 | 전차선 아크 발생지점분석 | • 팬터그래프 이선 시 발생하는 아크 검측기술<br>• 아크발생개소 분석 및 영상 모니터링간 연계 기술 |
| 전차선 과하중지점 검측장치 | 비접촉식 전차선로 과하중지점 검측기술 | • 카메라를 이용한 비접촉식 전차선로 과하중위치 검측<br>- 팬터그래프에 부착된 마크의 순간변위량과 충격 가속도 검측을 통한 과하중지점 분석<br>- 팬터그래프 종류에 상관없이 설치 운용 |
| 전차선로 이미지 분석장치 | 전차선로 시설물 영상취득 | • 고속·고해상도 전차선로 시설물 영상 취득<br>• 집광렌즈 설계 및 제작기술<br>• 태양광 등의 외부 노이즈 제거(주간·야간검측) |
| | 전차선로 시설물 영상분석 | • 패턴매칭 및 신경망을 활용한 전차선로 시설물 인식 및 결함 분석 기술<br>• 대용량 시설물 이미지 처리 기술 |
| 열화상검측장치 | 열화상 검측기술 | • 전차선로 온도 측정 기술 |

## 2. 궤도회로 차상검측시스템

본 과제의 궤도회로 차상 검측시스템은 독자적인 설계 및 제품개발에 의한 핵심기술을 성취하였으며 선진 기술대비 동등 이상의 성능을 확보하였다. 국내의 기존 검측시스템은 국산화율이 60~70%인 반면에 본 과제의 검측시스템은 100%의 국산화율을 달성하였다.

### 가. 연속정보 검측장치

| 정의 | 고속철도 ATC 연속정보 레벨 및 메시지 검측 |
|---|---|
| 목적 | • UM71C 궤도회로를 통해 차상으로 전송되는 ATC 연속정보는 열차가 필요한 모든 정보를 포함하며, 열차는 연속정보로부터 연속적으로 속도 값을 추출하고 열차의 속도를 감시함<br>• 연속정보는 열차의 속도 제어를 위해 매우 중요하므로, 연속정보의 이상 유무를 검측 하는 것은 열차운행의 지속적인 안전성 및 정시성을 확보할 수 있음 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h<br>• 정밀도 : 0.5m<br>• 샘플링율 : 4.5ms |
| 성과달성 확인방법 | • 정적시험 : 고속 시험선 및 영업구간에서의 현장 정적시험을 통한 검증<br>• 동적시험 : 현차시험(KTX-36호)에 의한 동적인 성능 검증 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • 특허 : 1건<br>• S/W 등록 : 1건 |

### 나. 불연속정보 검측장치

| 정의 | 고속철도 ATC 불연속정보 레벨 및 메시지 검측 |
|---|---|
| 목적 | • 궤도에 병렬로 설치된 2개의 BSP 루프에 의해 차상으로 전송되는 불연속정보는 열차운행을 위한 다양한 정보가 포함되며, 열차는 불연속 정보의 종류에 따라 관련 기능을 수행함<br>• 불연속정보는 열차 운행을 위한 각종 정보가 포함하므로, 불연속정보의 이상 유무를 검측 하는 것은 열차운행의 지속적인 안전성 및 정시성을 확보할 수 있음 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h<br>• 정밀도 : 0.5m<br>• 샘플링율 : 4.5ms |
| 성과달성 확인방법 | • 정적시험 : 고속 시험선 및 영업구간에서의 현장 정적시험을 통한 검증<br>• 동적시험 : 현차시험(KTX-36호)에 의한 동적인 성능 검증 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • 논문 : 1건<br>• S/W 등록 : 1건 |

## 다. 보상콘덴서 검측장치

| 정의 | 고속철도 보상콘덴서 이상 유무 검측 |
|---|---|
| 목적 | • 보상콘덴서는 궤도회로의 연속정보를 장거리로 전송하기 위해 궤도에 일정한 간격(60~80m)으로 설치되어 있음<br>• 보상콘덴서는 궤도회로 길이의 연장, 궤도 회로에서 열차로의 완벽한 전송을 허용할 수 있는 강력한 레일의 신호전류 획득을 가능하게 하므로 보상콘덴서 이상 유무에 대한 검측은 열차운행의 지속적인 안전성 및 정시성을 확보할 수 있음 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h<br>• 정밀도 : 0.5m<br>• 샘플링율 : 4.5ms |
| 성과달성 확인방법 | • 정적시험 : 고속 시험선 및 영업구간에서의 현장 정적시험을 통한 검증<br>• 동적시험 : 현차시험(KTX-36호)에 의한 동적인 성능 검증 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • 논문 : 1건<br>• S/W 등록 : 1건 |

## 라. ETCS 발리스 검측장치

| 정의 | 일반철도 ETCS 발리스 레벨 검측 |
|---|---|
| 목적 | • 유럽형 열차제어시스템의 표준사양을 가지는 ETCS 발리스는 일반철도(경부선, 호남선, 경춘선 등)에 설치되어 지상에서 차상으로 발리스 정보(고정 및 가변)를 전송함<br>• 열차의 차상장치는 발리스 정보를 이용하여 ATP(Automatic Train Protection) 기능을 수행하므로, 발리스 정보에 대한 검측은 열차운행의 지속적인 안전성 및 정시성을 확보할 수 있음<br>• 특히 열차는 연속적으로 2개의 발리스 정보를 수신하지 못하면 비상제동이 체결되어 정지함 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 180km/h<br>• 정밀도 : 0.05m<br>• 샘플링율 : 1ms |
| 성과달성 확인방법 | • 정적시험 : 고속 시험선 및 영업구간에서의 현장 정적시험을 통한 검증<br>• 동적시험 : 현차시험(종합검측차)에 의한 동적인 성능 검증 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • 논문 : 1건<br>• S/W 등록 : 1건 |

본 과제를 통하여 검측장치별 확보된 기술은 다음 표와 같다.

표 251 궤도회로 차상검측시스템 확보기술

| 구 분 | 핵심 기술 | 상세 내용 |
|---|---|---|
| 연속정보 검측장치 | 궤도회로 주파수 수신 기술 | • 연속정보 신호 전송을 위한 F1(2020Hz), F2(2400Hz), F3(2760Hz), F4(3120Hz) 수신 레벨 검측 |
| | VLF 분리 기술 | • 궤도회로를 통하여 전송되는 VLF(Very Low Frequency)에 대한 수신 및 복조<br>• 합성된 F1~F27의 분리 및 정보화 : 각 전송 bit에 해당하는 27비트의 “0”과 “1”값을 결정하여 코드를 추출<br>• 고속철도 ATC 연속정보의 검출 : 목표거리 정보, 속도코드 정보(실행속도, 명령속도, 예고속도), 구배 정보 및 운행하는 선로 정보 |
| 불연속정보 검측장치 | 불연속 정보의 복조 및 데이터 합성 기술 | • PSK 방식으로 변조된 불연속 정보의 복조 : 반송 주파수 62.5khz, 기준 주파수 125khz<br>• 2개의 안테나를 통하여 수신한 불연속정보의 합성 : 총 88bits의 취합<br>• 정방향 진행 및 역방향 진행에 따른 실 데이터의 추출 : 80bits |
| 보상 콘덴서 검측장치 | 유도 기전력 입/출력 처리 기술 | • 지상의 보상콘덴서 검측을 위한 25khz의 주파수 신호 생성 및 루프로의 출력/입력<br>• TX/RX 루프에 의한 유도 기전력 발생 및 수신 |
| ETCS 발리스 검측장치 | Tele-powering 및 응동 기술 | • 무전원 장치인 유로발리스에 대한 Tele-powering<br>• 27.095MHz의 전력파 생성 및 전송 : ERTMS/ETCS Interface A4<br>• Up-link 신호 : 4.234MHz(중심 주파수) 수신 → 응동 시작 후 150$\mu$s 후 텔레그램 수신 |
| | ERTMS/ETCS 핵심 기술 | • ETCS Interface A1를 적용한 지상-차상간 텔레그램 전송 및 수신<br>• FFFIS(Form-Fit Functional Interface Specification)를 이용한 지상-차상간 인터페이스 |

특히 기존 검측장치는 지상으로부터 수신되는 검측정보를 처리하기 위해 상용제품(DAQ)를 적용하였지만, 본 과제의 모든 검측용 수신보드는 독자적으로 설계 및 개발된 제품을 적용하여 구축 및 유지보수 비용을 저감할 수 있다.

그리고 연속정보 검측장치의 경우 기존에는 4개의 주파수를 처리하기 위해 주파수별 처리를 분리하였지만, 본 과제의 검측장치는 하나의 보드를 사용하여 4개의 주파수를 일괄적으로 처리함에 따라 제품 구조의 컴팩트화 및 검측 정확성을 향상시켰다.

## 3. 무선통신 차상검측시스템

본 과제의 열차무선 검측장치는 현재의 검측시스템을 분석하여 검측 필요 요소를 추가 연구하였으며, 고속철도 열차무선 환경에서 서비스 중인 통신방식에 대해 전파환경을 측정하여 시설물의 이상 유무 및 양질의 서비스 제공을 위해 전파환경에 대한 기준을 제공하여 연구개발 중인 HEMU-430X에서 400Km/h 이상의 속도에서의 성공적인 단위시험과 영업 운행 중인 KTX-36호의 현차 설치 종합시험을 통하여 제품의 완성도를 높였다.

### 가. 전계강도 및 주파수 검측장치

| 정의 | 고속철도 열차무선 전파환경 전계강도 및 주파수 검측 |
|---|---|
| 목적 | • 지상 시설물의 장애 및 노후화 등으로 인해 실시간 변화하는 전파 환경을 검측함으로 해서 안정적인 열차운행과 유지보수 등에 효율성을 제공<br>• 300Km/h이상의 속도에서 실시간 핸드오버가 고려되어 설계된 지상 시설물의 이상 유무를 실시간 검측함으로 유지보수 체계 제공 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h, 초당 이동거리 : 111.1m/s<br>• 측정 수신전계강도 : DAQ4(-95dBm)<br>• 주파수 편차 : 지정주파수의 $\pm 1.5 \times 10^{-10}$ |
| 성과달성 확인방법 | • 정적 및 동적 시험 : 고속 영업구간에서의 현장 정적시험과 HEMU-430X, KTX-36호 현차시험에 의한 동적인 성능 검증을 통한 검증<br>• 현차 종합 시험 : 현차시험(KTX-36호)에 의한 통합적인 성능 검증 |

### 나. 핸드오버 및 불요파 검측장치

| 정의 | 고속철도 열차무선 전파환경 핸드오버 및 불요파 검측 |
|---|---|
| 목적 | • 열차무선 환경관리 및 최상의 서비스 품질 유지를 위한 불요파 검측을 통하여 최상의 열차무선 자원관리 제공<br>• 350Km/h이상의 속도에서 실시간 핸드오버가 고려되어 설계된 지상 시설물의 핸드오버를 검측함으로 해서 실시간 핸드오버가 고려된 전파환경 검측 제공 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h, 초당 이동거리 : 111.1m/s<br>• 검측기준 : 제2008-26호 제88조, ITU-T SM.1045<br>• 핸드오버 : 4 dB지점 |
| 성과달성 확인방법 | • 정적 및 동적 시험 : 고속 영업구간에서의 현장 정적시험과 HEMU-430X, KTX-36호 현차시험에 의한 동적인 성능 검증을 통한 검증<br>• 현차 종합 시험 : 현차시험(KTX-36호)에 의한 통합적인 성능 검증 |

## 다. 데이터 에러율 검측장치

| 정의 | 고속철도 열차무선 전파환경 데이터 에러율 검측 |
|---|---|
| 목적 | • 지상 시설물의 장애 및 노후화 등으로 인해 실시간 변화하는 전파 환경을 검측함으로 해서 안정적인 열차운행과 유지보수 등에 효율성을 제공<br>• 300Km/h이상의 속도에서 열차무선 데이터 채널의 데이터 에러율을 검측하여 지상 시설물의 이상 유무를 실시간 검측함으로 데이터 채널에 대한 유지보수 체계 제공 |
| 성능 목표 | • 검측 속도 : 350km/h, 초당 이동거리 : 111.1m/s<br>• 데이터 에러율 : DAQ4(-95dBm) |
| 성과달성 확인방법 | • 정적 및 동적 시험 : 고속 영업구간에서의 현장 정적시험과 HEMU-430X, KTX-36호 현차시험에 의한 동적인 성능 검증을 통한 검증<br>• 현차 종합 시험 : 현차시험(KTX-36호)에 의한 통합적인 성능 검증 |

## 라. 통합서버 및 시뮬레이터

| 정의 | 고속철도 열차무선 전파환경 통합서버 및 시뮬레이터 |
|---|---|
| 목적 | • 350Km/h이상의 속도에서 실시간 검측 Raw 데이터를 처리 분석하며, 검측 이벤트에 대하여 실시간 전송<br>• 지상 시설물의 장애 및 노후화 등으로 인해 실시간 변화하는 전파 환경을 검측함으로 해서 안정적인 열차운행과 유지보수 등에 효율성을 제공<br>• 검측장치의 이상 유무를 관리하여 최적의 상태에서 열차무선 검측환경을 제공하며, 검측데이터 시뮬레이션 기능 제공 및 검측 데이터 분석을 통하여 효율적인 유지보수 환경을 제공한다. |
| 성능 목표 | • 처리 속도 : 350km/h, 초당 이동거리 : 111.1m/s, 실시간 데이터 처리 |
| 성과달성 확인방법 | • 정적 및 동적 시험 : 고속 영업구간에서의 현장 정적시험과 HEMU-430X, KTX-36호 현차시험에 의한 동적인 성능 검증을 통한 검증<br>• 현차 종합 시험 : 현차시험(KTX-36호)에 의한 통합적인 성능 검증 |

## 마. 정량적 성과

| 성과 달성에 따른 정량적 성과 | • 논문 : 3 건<br>• 특허 : 1 건<br>• S/W 등록 : 3건 |
|---|---|

본 과제를 통하여 검측장치별 확보된 기술은 다음 표와 같다.

표 252 열차무선 차상검측시스템 확보기술

| 구 분 | 핵심 기술 | 상세 내용 |
|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | 300Km/h이상의 속도에서 실시간 핸드오버 적용 | 지상시스템의 핸드오버를 실제 전계강도 검측 데이터에 적용하여 전파한경 변화를 관리함 |
| | System 정보 검측데이터 적용 | 터미널의 망접속 및 망상태 정보를 검측 데이터에 적용하여 실시간 망정보를 관리 |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | 실시간 핸드오버 검측 | 300Km/h이상의 속도에서 실제 전파환경의 실시간 핸드오버 검측을 통한 망자원 상태 변화 검측 |
| | 불요파 검측 | 350Km/h이상의 속도에서 불요파 검측을 증명 ITUT-R, 국내고시의 전파법 기준의 열차무선 주파수 대역의 불요파 관리 기술 |
| 통합서버 | 검측 데이터 범례를 이용한 지도 데이터 현시 및 관리 | GPS 정보를 이용한 원시데이터 관리로 지도상에 범례를 이용한 검측데이터 현시로 서울~부산간 열차무선 상황을 명확히 표시 |

열차무선 검측 시스템은 실시간으로 전파환경을 검측하여 기존 환경 대비 무선통신의 환경변화를 통합서버로 분석이 가능하다. 분석된 데이터를 기준으로 철도 시설물별로 설정된 데이터대비 전파환경(저출력 or 불요파 등)을 분석하여 설정된 값의 허용오차를 초과 시에는 Event를 발생한다. Event는 실시간 전송시스템을 통해 해당 시설물 유지보수 담당자 or 관제센터에 발송이 가능하며, Event 포함 검측데이터는 통합서버에 데이터베이스화 되어 실시간으로 저장된다. 통합서버에 저장된 데이터베이스 자료는 담당자가 off-line으로 일자별 또는 특정날짜에 대한 평균값(주간, 월간 등)으로 분석이 가능하여 현장 시설물들에 대한 전파환경 변화에 따른 노후화 및 성능저하를 판단할 수 있으며 무선통신 설비들의 Life Cycle를 예측함으로써 예방 및 유지보수 구현이 가능하다.

## 4. 자동화 운영시스템

본 과제의 궤도회로 차상 검측시스템은 독창적인 설계 및 제품개발에 의한 핵심기술을 성취하였으며 선진 기술대비 동등 이상의 성능을 확보하였다. 국내의 기존 검측시스템에는 존재하지 않았던 통합 운영시스템을 자체 기술로 구축하여 100% 국산화율을 달성했다.

### 가. 자동화진단 운영시스템

| 정의 | 차상 전기검측데이터의 통합 관리 및 운용 |
|---|---|
| 목적 | • 차상 전기검측 데이터의 통합 및 관리<br>• 누적된 검측데이터를 기반으로 유지보수 담당자의 의사결정 지원 |
| 성능 목표 | • 시스템 통합 관리<br>• 기준정보 관리<br>• 검측데이터 관리<br>• 검측데이터 통계/분석<br>• 검측그래프 시각화<br>• 시설물 상태추이 분석 |
| 성과달성 확인방법 | • 단위시험 : 시스템의 개별 기능에 대한 단위 시험<br>• 통합시험 : 모듈간 데이터 정합성 및 연계 시험 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • S/W 등록 : 2건 |

### 나. 실시간 전송시스템

| 정의 | 차상 검측시 발생하는 실시간 이상데이터의 수집 및 지상 전송 |
|---|---|
| 목적 | • 차상의 각 검측장치에서 발생한 실시간 이상데이터 수집<br>• 실시간 이상데이터 지상 전송 및 사용자 알람 발생 |
| 성능 목표 | • 각 검측장치에 대한 차상 인터페이스 시스템 구축<br>• 실시간 이상데이터 수집 및 상용 통신망을 통한 지상 전송<br>• 지상 사용자에게 실시간 알람 발생 |
| 성과달성 확인방법 | • 단위시험 : 시스템의 개별 기능에 대한 단위 시험<br>• 통합시험 : 실험실 환경에서의 인터페이스 구축을 통한 통합 시험<br>• 현차시험 : KTX-36호 및 HEMU-430X 의 주행상태에서 실제 시스템 운영 테스트 |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | • S/W 등록 : 2건 |

### 다. 통합 데이터베이스 구축

| 정의 | 차상 검측데이터의 통합 관리 |
|---|---|
| 목적 | • 전차선/신호/무선통신 검측데이터의 통합 관리<br>• 표준화된 포맷으로 변환하여 데이터 활용성 증대 |
| 성능 목표 | • 검측데이터 통합 데이터베이스 구축<br>• 범용 DBMS를 통한 차후 활용성 증대 |
| 성과달성 확인방법 | • 단위시험 : 시스템의 개별 기능에 대한 단위 시험<br>• 통합시험 : 자동화진단 운영시스템과 실시간 전송시스템을 통한 시험 |

# 5. 신뢰성 분석

## 가. 자료검토 및 개념수립

### (1) IEC 61508 관련 자료검토

#### (가) IEC 61508 개요

- IEC 61508 : Functional Safety of Electrical/ Electronic/ Programmable Electronic Safety-related Systems(E/E/PES)
- E/E/PES의 정확한 동작이 필요한 EUC(Equipment Under Control) 제어시스템과 EUC 관련 제품의 기능 안전성에 관련하여 신뢰성 평가, 평가 절차 및 수행방법 등을 전반적으로 설명
- 기능 안전 시스템에 대한 요구사항 명세, 설계, 개발, 설치, 운영, 유지보수의 표준(규격)
- SIL(Safety Integrity Level) : Risk 정도에 따라 안전관련 시스템의 기능이 갖추어야 할 사항을 규정한 등급, IEC 61508에서는 SIL을 4등급으로 분류하고 각 레벨에 맞는 활동을 요구함

#### (나) IEC 61508 파생 규격

- IEC 62278, 62279, 62280, EN 50129 : 철도분야(Railway)
- IEC 62061 : 기계류(Machinery)
- IEC 61511 : 공장 계측제어설비 프로세스(Process Industry Sector)
- IEC 61513 : 원자력분야(Nuclear Industry)
- ISO 26262 : 자동차분야(Automotive)

### (2) IEC 61508 자료검토

#### (가) IEC 61000 개요

- IEC 61000 : Electromagnetic compatibility(EMC)
- 전자기적합성에 대한 표준(규격)

#### (나) Parts of IEC 61000

- Part 1 : 일반사항(General)
- Part 2 : 환경(Environment)
- Part 3 : 한계값(Limits)
- Part 4 : 시험 및 측정기술(Testing and Measurement Techniques)

## 나. 신뢰도 분석 결과

고속철도 차량의 전기 검측시스템을 구성하고 있는 각 장치를 식별하고 각각의 장치에 대한 신뢰성을 예측하며 신뢰성블록도(Reliability Block Diagram, RBD)를 이용하여 각 장치별 평균고장시간 (Mean Time Between Failure, MTBF)을 산출하였다.

고속철도 차량의 전기 검측시스템을 구성하고 있는 시중품 및 자체 제작품에 대하여 기기 제조사에서 제공하는 자료 및 유사 제품의 자료를 검토 또는 필요시 재산출하였으며, 재산출 시 MIL-HDBK-217F(Notice 2)를 기준으로 부품 스트레스 방법(Part Stress Method)을 적용하였고 EPRD(Electronic Parts Reliability Data) 및 NPRD(Non-electronic Parts Reliability Data) 등의 Databook을 활용하여 고장률을 산출하였다.

고속철도 차량의 전기 검측시스템을 구성하고 있는 궤도회로, 전차선로 및 무선통신 차상검측시스템의 각 장치별 기능적 연관관계 및 다중성(Redundancy) 등을 확인하여 RBD을 기반으로 각 장치별 고장률 및 MTBF를 산출하였다. 기준서 및 Databook을 기준으로 신뢰성 예측을 통해 산출된 값은 실제 운영 환경 및 조건 등이 상이할 수 있기 때문에 실제 값과 차이가 있으며, 산출된 MTBF는 구성품의 어느 1개 부품의 고장이 전체 시스템의 고장이라는 가정 하에서 매우 보수적으로 산출되기 때문에 실제적인 고장률보다 높게 산출된다.

다음 표는 궤도회로 차상검측시스템의 신뢰성 분석 결과이다. 보상콘덴서 검측장치와 종합처리장치의 MTBF가 타 장치에 비해 상대적으로 낮게 산출된 것은 해당 장치를 구성하고 있는 운영 컴퓨터, 데이터 컴퓨터, TX 루프 및 RX 루프와 같은 시중품에 대한 제조사 제공 데이터가 타 구성품에 비해 상대적으로 큰 고장률 수치를 나타내기 때문이다.

표 253 궤도회로 차상검측시스템의 신뢰성 분석 결과

| 구분 | Failure Rate (failures/106hr) | MTBF (hours) | MTBF (years) |
|---|---|---|---|
| 연속정보 검측장치 | 6.4710 | 154,536 | 35.28 |
| 불연속정보 검측장치 | 9.9179 | 100,828 | 23.02 |
| ETCS 발리스 검측장치 | 9.6367 | 103,770 | 23.69 |
| 보상콘덴서 검측장치 | 21.9951 | 45,465 | 10.38 |
| 종합처리장치 | 13.4928 | 74,113 | 16.92 |

다음 표는 전차선로 차상검측시스템의 신뢰성 분석 결과이다. 전차선 높이/편위 검측시스템의 MTBF가 타 시스템에 비해 상대적으로 낮게 산출된 것은 타 시스템보다 다수의 구성품으로 구성되어 있기 때문이며, 전체적으로 시중품에 대한 제조사 제공 데이터의 고장률 수치가 상대적으로 높은 것도 MTBF 산출 결과에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

표 254 전차선로 차상검측시스템의 신뢰성 분석 결과

| 구분 | Failure Rate (failures/106hr) | MTBF (hours) | MTBF (years) |
|---|---|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측시스템 | 28.3079 | 35,326 | 12.10 |
| 전차선 영상 검측시스템 | 17.7132 | 56,455 | 19.33 |
| 전차선 과하중지점 검측시스템 | 19.2233 | 52,020 | 17.82 |
| 전차선로 이미지 분석시스템 | 14.7282 | 67,897 | 23.25 |
| 전차선로 열화상 검측시스템 | 15.7217 | 63,606 | 21.78 |

다음 표는 무선통신 차상검측시스템의 신뢰성 분석 결과이다. 무선통신 검측시스템의 각 장치별 MTBF가 타 시스템에 비해 상대적으로 낮게 산출된 것은 전체적으로 시중품에 대한 제조사 제공 데이터의 고장률 수치가 상대적으로 높은 것이 MTBF 산출 결과에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

표 255 무선통신 차상검측시스템의 신뢰성 분석 결과

| 구분 | Failure Rate (failures/106hr) | MTBF (hours) | MTBF (years) |
|---|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | 73.9758 | 13,518 | 7.41 |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | 33.3333 | 30,000 | 16.44 |
| 데이터 에러율 검측장치 | 45.0165 | 22,214 | 12.17 |

고속철도 차량의 전기 검측시스템의 각 장치별 신뢰성 분석 결과는 실제 운영 자료를 배제한 것이므로 향후에 보다 신뢰할만한 근거 자료가 되기 위해서는 시스템을 운영하면서 발생되는 고장에 대한 이력자료를 기존에 예측한 결과에 지속적으로 반영하여 실질적으로 갱신하는 것이 필요하며, 이와 같은 활동의 결과물이 누적되면 앞으로 시스템의 신뢰성 및 기업의 대외 경쟁력은 물론 가치를 제고하는 데 일조할 수 있을 것으로 기대한다.

# 2절 주요 연구성과

## 1. 수상내역

- 2013. 08월 : 국토교통 R&D 우수성과 20선 선정(사업화유망기술)
- 2013. 12월 : 미래창조과학부장관상 수상







## 2. 특허성과 (출원 7건, 등록 2건)

| 출원된 특허의 경우 | | | | | 등록된 특허의 경우 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 출원 연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원 번호 | 등록 연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 | 등록 번호 |
| 2011 | 머신비전을 이용한 전차선 측정시스템 | 한국철도공사 | 대한민국 | 2011-0098275 | 2013 | 머신비전을 이용한전차선 측정시스템 | 한국철도공사 | 대한민국 | 10-1280243 |
| 2012 | 전차선로 결함검사시스템 | 한국철도공사 | 대한민국 | 10-2012-0097631 | | - 등록중 - | | | |
| 2013 | 진동 보정을 통한 전차선 검측시스템 및 검측방법 | 한국철도공사 | 대한민국 | 10-2013-0114095 | 2014 | 진동 보정을 통한 전차선 검측시스템 및 검측방법 | 한국철도공사 | 대한민국 | 10-1371531 |
| 2013 | Area카메라를 이용한 전차선로 접촉력 측정장치 | 한국철도공사 | 대한민국 | 10-2013-0114096 | | - 등록중 - | | | |
| 2013 | 고속철도 궤도회로 차상검측시스템 및 그 방법 | 한국철도공사 | 대한민국 | 10-2013-0104638 | | 〃 | | | |
| 2013 | 자동화 진단을 위한 무선통신 차상검측시스템 | 한국철도공사 | 대한민국 | 10-2013-0069866 | | 〃 | | | |
| 2013 | 전주번호 인식을 통한 위치검지시스템 | 한국철도공사 | 대한민국 | 10-2013-0114097 | | 〃 | | | |
| 합계(출원) : 7건 | | | | | 합계(등록) : 2건 | | | | |

## 3. S/W 등록(20건)

| 등록일 | 프로그램 제호 | 등록번호 | 저작자 | 등록기관 |
|---|---|---|---|---|
| 2012.08 | 종합처리장치 운영컴퓨터 소프트웨어 | C-2012-016784 | 한국철도공사<br>(주)테크빌 | 한국<br>저작권<br>위원회 |
| 2012.08 | 자동화 진단을 위한 고속철도<br>무선통신 검측 시스템 | C-2012-016785 | 한국철도공사<br>(주)씨그널정보통신 | |
| 2012.08 | 고속선 차상검측시스템 실시간<br>전송시스템 | C-2012-016781 | 한국철도공사<br>(주)휴니드테크놀러지스 | |
| 2012.08 | 단락전류 시뮬레이션 프로그램 | C-2012-016783 | 한국철도공사<br>단국대학교 | |
| 2012.08 | 과하중지점 검측시스템 | C-2012-016782 | 한국철도공사<br>투아이시스(주) | |
| 2013.09 | 전차선 높이, 편위 검측 소프트웨어 | C-2013-017886 | 한국철도공사<br>투아이시스(주) | |
| 2013.09 | 과하중지점 검측 소프트웨어 | C-2013-017888 | | |
| 2013.09 | 전차선로 이미지 분석 소프트웨어 | C-2013-017887 | | |
| 2013.09 | 연속정보 검측장치 소프트웨어 | C-2013-017879 | 한국철도공사<br>(주)테크빌 | |
| 2013.09 | 불연속정보 검측장치 소프트웨어 | C-2013-017880 | | |
| 2013.09 | 보상콘덴서 검측장치 소프트웨어 | C-2013-017881 | | |
| 2013.09 | ETCS 발리스 검측장치 소프트웨어 | C-2013-017882 | | |
| 2013.09 | 고속철도 무선통신 검측시스템 | C-2013-017883 | 한국철도공사<br>(주)씨그널정보통신 | |
| 2013.09 | 고속선 차상검측 자동화진단<br>운영시스템 | C-2013-017885 | 한국철도공사<br>(주)휴니드테크놀러지스 | |
| 2013.09 | 고속선 차상검측 이상데이터 실시간<br>전송시스템 | C-2013-017884 | | |
| 2014.05 | 종합처리장치 데이터컴퓨터<br>소프트웨어 | C-2014-012599 | 한국철도공사<br>(주)테크빌 | |
| 2014.05 | 고속철도 무선통신 차상검측시스템 | C-2014-012600 | 한국철도공사<br>(주)씨그널정보통신 | |
| 2014.05 | 전차선로 시설물 변형검사 시스템 | C-2014-012603 | 한국철도공사<br>투아이시스(주) | |
| 2014.05 | 고속선 차상검측 자동화진단<br>운영시스템 (Ver 2.0) | C-2014-012602 | 한국철도공사<br>(주)휴니드테크놀러지스 | |
| 2014.05 | 고속선 차상검측 이상데이터 실시간<br>전송시스템 (Ver 2.0) | C-2014-012601 | | |

## 4. 국내·외 학술대회 게재 및 발표

### 가. 국내 논문게재(1건)

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학회 | 국내외 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2012.9. | 궤도회로 모델링을 이용한 KTX궤도결함 진단 프로그램 개발 | 안동준 외 2명 | 한국조명·전기설비학회 | 국내 |

### 나. 국제 논문발표(2건)

| 발표일 | 논문제목 | 저자 | 학회 | 국내외 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2012.9. | Automatic diagnosis of KTX track circuit errors for on-board measuring systems | 안동준 외 4명 | 2012 ICEE | 국제 |
| 2012.9 | Research on Technology for the Detection of Defects in Contact Lines for High-speed Railways | 이병곤 외 4 | 2012 STECH | 국제 |

### 다. 국내 논문발표(22건)

| 발표일 | 논문제목 | 저자 | 학술대회명 | 국내외 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2011.10.20. | 실시간 자동화 진단을 위한 전차선 검측시스템 | 김정연 외 3명 | 한국철도학회 추계학술대회 | 국내 |
| 2011.07.20. | KTX 궤도 자동화 진단을 위한 결함 유형별 분석 | 남현도 외 4명 | 대한전기학회 | 국내 |
| 2011.07.20. | KTX 궤도회로 시뮬레이션 알고리즘 개발 | 남현도 외 4명 | 대한전기학회 | 국내 |
| 2012.07.12. | 궤도구간에 따른 궤도회로 모델링 및 단락전류 특성 분석 | 남현도 외 4명 | 대한전기학회 하계학술대회 | 국내 |
| 2012.04.28. | KTX 궤도회로 모델링을 이용한 궤도결함 진단 | 남현도 외 3명 | 정보 및 제어 심포지엄 | 국내 |
| 2012.06.21. | 고속철도 영상검측시스템 국산화 기술에 관한 연구 | 이병곤 외 5명 | 한국통신학회 | 국내 |
| 2012.05.18. | 고속철도 전기분야 검측데이터 관리시스템 개발 | 박상현 외3명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2012.05.18. | 자동화 진단을 위한 고속철도 신호설비의 검측시스템 | 이영수 외3명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2012.06.21. | 자동화진단을 위한 고속철도 무선통신 검측시스템 개발에 관한 연구 | 이재홍 외5명 | 한국통신학회 | 국내 |

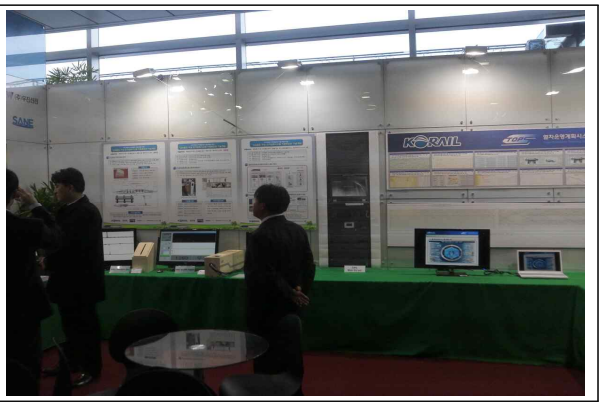
| 발표일 | 논문제목 | 저자 | 학술대회명 | 국내외 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2013.05.23. | 고속철도 전기 검측시스템 자동화진단에 관한 연구 | 이병곤 외 3명 | 한국통신학회 하계학술대회 | 국내 |
| 2013.05.23. | 진동보상을 통한 전차선 검측시스템 개발 | 김정연 외5명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2012.05.23. | 고속철도 전기분야 검측데이터 관리시스템 개발 | 박상현 외3명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2013.05.23. | 고속철도 전기분야 실시간 이상데이터 전송시스템 개발 | 서보필 외3명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2013.05.23. | 고속철도 신호설비 검측 및 종합처리장치 개발에 관한 연구 | 이영수 외3명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2013.06.20. | 핸드오버 기술이 적용된 자동화 진단을 위한 고속철도 무선통신 검측 시스템 개발에 관한 연구 | 이재홍 외7명 | 한국통신학회 하계학술대회 | 국내 |
| 2013.05.30. | 고속철도 차상 전기검측시스템 RAM수행방안 연구 | 이현우 외 2명 | 한국신뢰성학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2013.05.10. | 고속철도 차상 전기검측시스템 RAM수행방안 연구 | 이현우 외 2명 | 한국데이터정보과학회(춘계) | 국내 |
| 2014.01.17. | 고속철도 무선통신 검측모듈 개발에 관한 연구 | 이재홍 외7명 | 한국통신학회 동계학술대회 | 국내 |
| 2014.05.22. | 전차선로 시설물 변형검사 시스템 개발 | 김정연 외3명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2014.05.22. | 고속철도 전기분야 검측데이터 추이분석 엔진 개발 | 박상현 외4명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2014.05.22. | 고속철도 전기분야 실시간 이상데이터 전송시스템 개발에 관한 연구 | 서보필 외4명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2014.05.22. | 고속철도 궤도회로 차상검측시스템 시험에 관한 연구 | 이영수 외3명 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |

## 5. 홍보회

### 가. 2012 기술혁신페스티벌 참가

- 일자 및 장소 : '12.11.28.(수)~11.30.(금) / 한국철도공사(1,2층)
- 참석 : 국토부, 국토교통과학기술진흥원, 한국철도공단, 한국철도기술원 등
- 내용 : 시제품, 패널 전시(전차선 검측장치 및 자동화진단시스템)





### 나. 2013 부산국제철도 및 물류산업전 참가

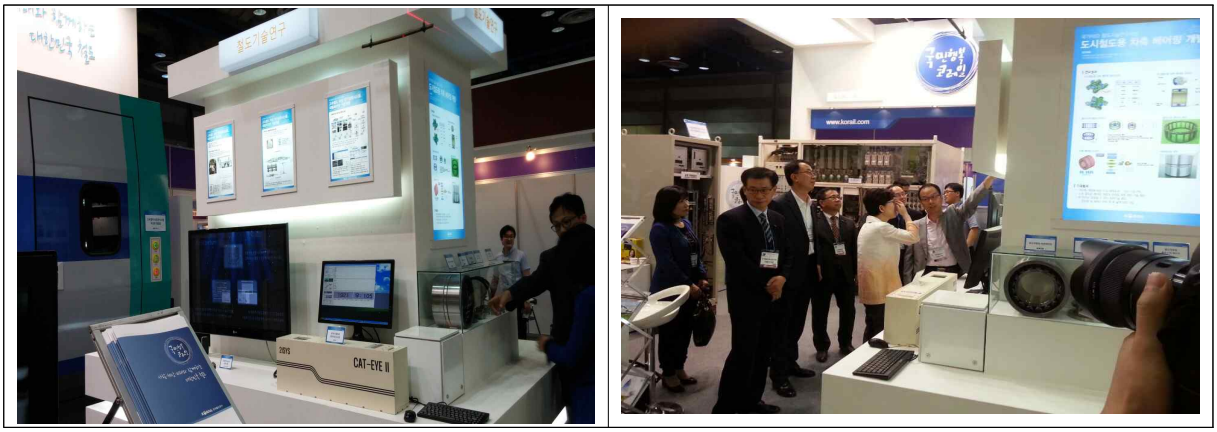
- 기간 및 장소 : '13.6.12.(수)~6.15.(토) / 부산벡스코
- 참석 : 국토부, 국토교통과학기술진흥원, 한국철도공단, 한국철도기술원 등
- 내용 : 시제품, 패널 전시(전차선 및 무선통신, 신호검측장치, 자동화진단시스템)






### 다. 2014 국토교통 기술대전 참가

- 기간 및 장소 : '14.5.21.(수)~5.23.(금) / COEX(Hall B)
- 참석 : 국토부, 국토교통과학기술진흥원, 한국철도공단, 한국철도기술원 등
- 내용 : 시제품, 패널 전시(전차선 및 무선통신, 신호검측장치, 자동화진단시스템)




## 6. 기술적 성과

### 가. 전차선로 차상검측시스템

| 구 분 | 확보된 기술 내용 | 목표치 | 달성치 | 결과물 |
|---|---|---|---|---|
| 전차선 높이/편위 검측장치 | • 카메라와 레이저를 이용한 프로파일 거리측정기술<br>• 차량 진동/롤링 보정 기술 (전차선 높이/편위 보정) | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 전차선 높이편위 시험용 X/Y 스테이지<br>• 차량 진동, 롤링 시험용 X/Y/Z 스테이지 | 1건 | 1건 | 테스트베드 |
| 전차선 영상 검측 장치 | • 아크검측 및 아크발생개소 분석 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 아크성능 검증용 시험장비 | 1건 | 1건 | 테스트베드 |
| 전차선 과하중지점 검측장치 | • 카메라를 이용한 비접촉식 전차선로 충격위치 검측 기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 팬터그래프 접촉력 시험장비 구축 | 1건 | 1건 | 테스트베드 |
| 전차선로 이미지 분석장치 | • 1mm등간격에 고해상도 시설물 영상취득 및 대용량 영상데이터 저장<br>• 전차선로 시설물 인식 및 결함분석 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 전차선로(가동브라켓, 전차선 , 조가선, 드롭퍼, 균압선) 시험설비 구축 | 1건 | 1건 | 테스트베드 |
| 전차선로 열화상 검측장치 | • 열화상을 이용한 전차선로 온도 측정기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 전차선로 시험설비 활용 | 1건 | 1건 | 시뮬레이터 |

## 나. 궤도회로 차상검측시스템

| 구 분 | 확보된 기술 내용 | 목표치 | 달성치 | 결과물 |
|---|---|---|---|---|
| 고속철도 ATC 연속정보 검측장치 | • 고속철도 궤도회로 주파수 검측 기술<br>• VLF(Very Low Frequency) 분리 기술<br>• 연속정보 메시지(27bits) 검출 및 디코딩 기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 궤도회로 시뮬레이터 기술 | 1건 | 1건 | 시뮬레이터 |
| 고속철도 ATC 불연속정보 검측장치 | • 고속철도 불연속 정보 검측 기술<br>• 불연속 정보의 복조 : 반송 주파수 및 기준 주파수<br>• 불연속정보 메시지(80bits) 검출, 합성 및 디코딩 기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 불연속정보 시뮬레이션 기술 | 1건 | 1건 | 시뮬레이터 |
| 보상콘덴서 검측장치 | • 25khz 주파수 신호 생성 및 출력<br>• TX/RX 루프에 의한 유도기전력 발생 및 수신 기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 보상콘덴서 시뮬레이션 기술 | 1건 | 1건 | 테스트 베드 |
| ETCS 발리스 검측장치 | • 무전원 장치인 유로발리스에 대한 텔레파워링 기술<br>• ERTMS/ETCS Interface A1 적용 기술<br>• FFFIS(Form-Fit Funational Interface Specification) 적용 기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 유로발리스 시뮬레이션 기술 | 1건 | 1건 | 시뮬레이터 |

## 다. 무선통신 차상검측시스템

| 구 분 | 확보된 기술 내용 | 목표치 | 달성치 | 결과물 |
|---|---|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | • 주파수 검측기술<br>• 전계강도 검측기술<br>• 실시간 핸드오버 적용한 전계강도 검측기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 주파수 편차 검측기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | • 핸드오버 검측 기술<br>• 350Km/h이상의 속도에서 실시간 핸드오버 검측데이터 적용 기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| | • 불요파 검측 기술<br>• 열차무선 주파수 환경 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| 데이터 에러율 검측장치 | • 열차무선 정보 획득 기술<br>• BER 검측기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| 통합서버 인터페이스 및 시뮬레이터 기술 | • 실시간 검측데이터의 데이터베이스 기술<br>• 검측정보의 화면표시 및 실시간 이벤트 자동화 전송<br>• 열차무선 검측 시뮬레이터 구현 | 1건 | 1건 | 개발품 |

### 라. 자동화 운영시스템

| 구 분 | 확보된 기술 내용 | 목표치 | 달성치 | 결과물 |
|---|---|---|---|---|
| 자동화진단 운영시스템 | • 대용량 검측데이터 관리 기술<br>• 검측데이터 자동화 진단 기술<br>• 검측데이터 추이 분석 기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |
| 실시간 전송시스템 | • 이상데이터 인터페이스 기술<br>• 이상데이터 무선전송 기술 | 1건 | 1건 | 개발품 |

## 3절 기술실시 및 적용사례

### 1. 전차선로 차상검측시스템

| 사업화명 | 사업화내용 | 사업화 업체 개요 | | | | 매출액 | 해당연도 매출액 | 매출액 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 업체명 | 대표자 | 종업원수 | 사업화형태 | | | |
| 전차선높이 편위자동 측정시스템 | 전차선높이편위 측정기납품 (신분당선) | 네오트 랜스 | 박태수 | 300 | 검측모듈 납품 | 187 | 2013년 | 187 |
| 〃 | 전차선 높이편위 측정기납품 (부산-신항선) | 철도 공사 | 최연혜 | 28,000 | 〃 | 180 | 2013년 | 367 |
| 〃 | 궤도검측차 (EM-140K) | 철도 공사 | 최연혜 | 28,000 | 〃 | 430 | 2014년 | 797 |

### 2. 궤도회로 차상검측시스템

| 사업화명 | 사업화내용 | 사업화 업체 개요 | | | | 매출액 | 해당연도 매출액 | 매출액 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 업체명 | 대표자 | 종업원수 | 사업화형태 | | | |
| 보상콘덴서 검측장치 | KTX-36호 보상콘덴서 검측장치 구축 | LS산전 | 구자균 | 3,200명 | 검측모듈 납품 | 129 | 129 ('13년) | 129 |

# 4절 개발성과와 국내외 시장전망

개발성과로는 연구목표인 전차선, 무선통신, 신호 검측장치 및 자동화 운영시스템을 개발하여 고속열차(KTX-36호, HEMU-430X)에서 현차시험을 추진하여 최종 목표를 달성하였으며 적용실적으로는 철도공사 및 신분당선주식회사에 전차선 높이/편위검측장치(3대)와 보상콘덴서 검측장치(1대)를 판매하였으며 '14년 4/4분기 전차선 시설물 변형검측장치(1대)를 철도운영기과에 판매 할 계획이다.

우리나라는 고속검측차량을 전량 수입하고 있는 상황이며, 국내 기술개발을 통한 국산화를 달성할 경우 수입대체 효과가 크며 지속적인 경쟁력 확보를 통해 해외수출로 연계가 가능하다.

세계에서 4번째로 고속철도를 운영하는 외형적 성장에도 불구하고 아직 기술적으로 낙후되어 있는 검측시스템 분야에서 국내의 보유기술과 관련 원천기술개발을 통하여 검측 자동화를 위한 시스템을 개발함으로서 열차의 고속화에 따라 그 중요성이 크다고 하겠다.

한국의 시장규모를 전 세계 시장의 2.5%로 가정하면 검측차량의 세계시장규모는 1.6조원 규모인 것으로 추정되며 세계철도연맹의 자료에 따르면 2010년 전 세계 고속철도의 운영구간은 13,414㎞로 한국은 전체의 2.5% 수준인 330㎞가 운영 중이다.

표 256 검측차량 부분 국내외 시장규모 전망

| 구 분 | 2010년 | 2014년 |
|---|---|---|
| 국내시장 | 390억원 | 503억원 |
| 세계시장 | 1.6조원 | 2.1조원 |

※ 출처: 고속화 인프라의 유지보수를 위한 고속종합검측차량기술 기획보고서('12년, KRRI)

전기 검측시스템의 분야별 시장 전망은 다음과 같다.

## 1. 전차선로 차상검측시스템

전차선로 차상 검측시스템 국내외 판매계획은 시연회 및 영업활동(구매자 상담 등), 국내외 박람회 참가, 각종 홍보매체(인터넷, 철도관련 홍보물 등)를 통하여 제품을 홍보하여 판로를 확보하고, 제품의 응용분야를 확대하여, 고속철도 운영기술과 함께 세계시장에 참여하기에 충분한 기술적, 경제적 경쟁력을 확보할 계획이다.

○ 양산 및 판로확보 계획

검측장비의 국내시장은 2010년 기준 약 390억원 정도이며, 철도선진국의 제작사인 이탈리아, 독일 등이 90%이상 점유하고 있으므로 본 R&D 연구개발품의 우수성과 가격 경쟁력을 적극 홍보하여 국내시장의 MARKET SHARE를 60%이상 확보한 이후 관련제품 해외 시장에 진출할 계획이다. 또한 제품의 응용분야를 확대하여 점증적으로 발전되어지는 경전철 사업 분야에도 진출할 계획이다.

○ 수입대체 및 해외수출

철도시설물 유지보수를 위한 영상처리 기술을 확보하여 고가의 외산장비를 대체하고 외화절감 및 해외 의존도 감소, 가격경쟁력 및 품질로 해외시장(중국, 유럽 등)에 판매할 계획이다.

## 2. 궤도회로 차상검측시스템

본 연구과제의 개발품은 연구개발과 동시에 실용화가 가능하며 일반철도 및 고속철도 등 검측차에 설치하여 보다 진보적이고 향상된 기능으로 실시간 유지보수 체계를 구현할 수 있다. 아울러 현장 설비들에 대한 실시간 장애사항을 검출할 수 있으며, 설비들의 Life Cycle를 예측함으로써 예방 유지보수 구현이 가능하다.

350㎞/h급 고속철도 궤도회로 차상검측시스템 개발을 통해 핵심기술을 국산화하여 검측기술의 해외 의존도를 탈피하며, 유로발리스 검측기능 구현 등으로 국외 검측시스템과 동등한 기술수준을 확보하게 됨에 따라 국내외 검측시장에 충분한 경쟁력을 갖추게 되었다.

본 연구과제에 의해 제작된 개발품은 공인기관 환경 시험, 현장 시험 및 현차시험을 통하여 기능 및 성능검증이 완료됨에 따라 검측장치별로 판매가 가능하다. 향후 도입이 예상되는 고속종합검측차에 우선 탑재가 가능하며, 본 과제를 통하여 확보한 검측기술을 이용하여 타 신호설비에 대한 검측 솔루션에 활용할 수 있다.

○ 예상되는 활용분야

- 가청 주파수를 사용하는 궤도회로의 검측 : 국철 및 도시철도 등
- Beacon 및 비표준의 발리스에 대한 검측 : 부산지하철 2호선 등
- Tag 또는 트랜스폰더의 레벨 및 정보 검측 : 경전철 분야
- 유전원 및 무전원 지상자의 레벨 검측 : 경전철 분야

## 3. 무선통신 차상검측시스템

국내 고속철도 무선통신 검측시스템은 기술표준에 따라 APCO-P25(북미)와 TETRA(유럽) 방식이 혼용되어 운영 중에 있다.

무선통신 검측시스템을 국내 환경에 맞도록 설계, 개발하여 안정적인 열차운행과 유지보수 등의 업무에 효율성 및 일관성을 제공하기 위한 시스템으로 외부요인에 의한 간접 및 장비의 특성저하, 노후화 또는 불량 등의 요인으로부터 철도 시설물 규정에 따라 항상 최적의 상태로 유지 관리해야 할 필요성이 있다.

철도 시설물을 항상 최적의 상태로 유지하기 위한 데이터베이스를 구축하고 과거와 현재의 무선통신 환경변화를 비교 분석 할 수 있다.

철도 시설물에 대한 전파환경 관리도 가능하다. 고속열차 무선환경에서 서비스 중인 통신방식에 대해 전파환경을 측정하여 시설물의 이상 유무 및 양질의 서비스 제공을 위한 전파환경에 대한 기준을 제공하며, 철도 시설물 전파환경의 핸드오버를 검측시스템에 적용하여 서비스 전파환경의 변화를 실시간 검측 효율적인 예방 유지보수를 지원한다. 본 연구 개발품

은 열차무선 무선통신 검측에 대하여 최적화 되어 있으며, 국내 유일한 350Km/h이상의 속도에서 열차무선 검측 환경을 제공한다.

○ 예상되는 활용분야

| 분 야 | 예상 수요처 | 검측장치명 | 예상 판매량 (백만원) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 통신 | 한국철도공사 | 열차무선 검측장치 | | |
| | 도시철도 | 지하철 무선환경 검측장치 | | |
| | 소방, 경찰, 한전 | TETRA환경 검측장치 | | |

## 4. 자동화 운영시스템

본 연구과제의 개발품은 실용화를 목적에 두고 개발되었으며 개발 단계에서부터 실제 사용자의 요구사항 및 의견이 반영되었다. 해외 선진 기술과 동등한 기술수준 확보하였으며 추이분석 기능, 실시간 유지보수 체계 등을 통하여 사후 유지보수 개념에서 예방 보수 개념으로의 전환이 가능하다.

본 연구과제에서 개발된 개발품은 현장의견 수렴 및 현차시험을 통하여 성능검증을 완료하여 사업화가 가능한 단계에 이르렀으며 유사한 사업 분야인 기존선 또는 도시철도 분야에서도 활용이 가능하다.

# 제4장 연구목표 달성 및 효과

## 1절 연구목표 최종목표 달성도

| 구 분 | 연구목표 | 상세항목 | 목표사양 | 달성도 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1.전차선로 검측장치 | 높이/편위 검측 | 정밀도(mm) | 높이: ±5, 편위: ±5 | 100 |
| | | 측정영역(mm) | 높이: 4800~5400, 편위: -350~+350 | 100 |
| | 영상(아크) 검측 | 아크검출시간(ms) | 0.1 ms | 100 |
| | | 아크지점분석오차 | ±10m(미터) | 100 |
| | 과하중지점 검측 | 접촉력 샘플링속도 | 2 khz | 100 |
| | | 충격지점분석오차 | ±1m(미터) | 100 |
| | | 접촉력 측정오차 | ±10% | 100 |
| | 이미지 변형 검측 | 균압선 검출률 | 60% | 100 |
| | | 드롭퍼 검출률 | 70% | 100 |
| | | 연결금구 | 60% | 100 |
| | 열화상 검측 | 이상온도 검출율 | 90% | 100 |
| | | 온도 측정범위(°C) | -20°C ~ +150°C | 100 |
| | | 온도 측정오차(°C) | ±2°C | 100 |
| | | 샘플링 영역(m) | 2m | 100 |
| 2.궤도회로 검측장치 | 연속정보 검측 | 메시지 | 28bit를 3.2sec이내 검지 | 100 |
| | | 레벨 | 유/무 | 100 |
| | 불연속정보 검측 | 메시지 | 80bit (service 8bits, 메시지A 28bits, 메시지B 28bits, Redundancy 16bits) 검지 | 100 |
| | | 레벨 | 125khz 주파수 레벨 검지 | 100 |
| | 보상콘덴서 검측 | 전류 레벨 | 유/무 | 100 |
| | ETCS발리스 검측 | Telepowering Frequency | 27.096MHz ~ 27.115MHz | 100 |
| | | Data Frequency | 4.24MHz | 100 |
| | | Total telegram length | 1023bits or 341bits | 100 |
| | | Data rate | 564.48Kbits/s | 100 |
| | 종합처리장치 | 신호분야 검측장치와의 인터페이스 | 100ms 주기로 정보전송 | 100 |
| | | 운영화면 표시 및 조작 | 검측정보를 화면에 표시 및 사용자 조작 인터페이스 지원 | 100 |
| | | 검측 데이터에 대한 데이터베이스 구축 | 신호분야 검측 데이터 각각을 DATABASE로 구현 | 100 |
| 3.무신통신 검측장치 | 전계강도 및 주파수 검측 | 주파수 검측 | 800MHz 대역내의 사용주파수 기준 | 100 |
| | | 전계강도(RSSI)검측 | DAQ4(-95dBm이상) | 100 |
| | | 주파수 파형의 형태 | Spectrum Analyzer | 100 |
| | 핸드오버 및 불요파 검측 | 주파수 핸드오버 구간 정의 | 주파수 분석 및 Spectrum Analyzer | 100 |
| | | 불요파 검측 | Bandwidth 25khz 와 Guard Band 검측 | 100 |
| | 데이터 에러율(BER) 검측 | RSID & Frequency | 열차무선설비의 정보 와 주파수 검측 | 100 |
| | | BER | 검측구간 기준레벨 적용 맵핑기술 | 100 |
| | 통합서버 인터페이스 및 시뮬레이터기술 | 실시간 검측데이터의 Database 구현 | 주파수, RSID, BER, 핸드오버 검측데이터 관리기술 | 100 |
| | | 검측정보의 화면표시 및 실시간 Event 자동화 전송 | 실시간 검측데이터의 Law데이터 비교분석으로 Error를 관리 및 음음구간, 페이팅구간, 장비불량등 관리 기술 | 100 |
| | | DB 구현의 시뮬레이터 | DB 데이터의 비교분석 | 100 |
| 4.자동화 운영기술개발 | 실시간 전송시스템 구축 | 기준정보관리 모듈 | 기준정보관리 | 100 |
| | | 실시간 전송모듈 | 전차선/신호/통신 이상 검측데이터 실시간 전송 모듈 | 100 |
| | | 사용자 알람 모듈 | 이상검측데이터 사용자 알람 | 100 |
| | 자동화 진단 운영시스템 | 기준정보관리 모듈 | 기준정보관리 | 100 |
| | | 검측데이터관리 모듈 | 전차선/신호/통신 검측데이터관리 | 100 |
| | | 검측데이터분석 모듈 | 전차선/신호/통신 검측데이터 조회 및 분석 | 100 |

## 1. 전차선로 차상검측시스템

전차선로 차상검측시스템 연구개발의 최종목표는 다음과 같다.

○ 고속철도(최고 속도 300km/h)을 주행하면서 전차선로 시설물 상태를 검측한다.

○ 전차선로 시설물 상태 검측은 “전차선 기하학적 구조 검측”과 “집전장치와 전차선로간에 전기적·기계적 충격지점 검측”, 그리고 “전차선로 시설물 상태진단” 등이 있다.

○ “전차선 기하학적 구조측정”은 고속카메라와 라인레이저로 구성된 머신비전을 통해 전차선 높이, 편위를 검측하여 구조적인 결함을 분석한다.

○ “집전장치와 전차선로간 기계적 충격지점 검측”은 카메라를 이용하여 팬터그래프의 순간 변위량 및 가속도를 측정하여 전차선로의 기계적 충격지점을 분석하며, “집전장치와 전차선로간에 전기적 충격지점 검측”은 팬터그래프 이선시 발생되는 아크측정을 통해 전기적 충격지점을 분석한다.

○ “전차선로 시설물 상태진단”은 고속카메라와 집광조명으로 구성된 머신비전을 통해 전차선로 시설물 이미지를 수집한 후, 대상시설물(조가선, 드롭퍼, 연결금구)의 결함을 분석한다.

표 257 전차선로 차상검측시스템 최종목표 달성도

| 목표 | 상세 항목 | 사양 및 설명 | 결과물 | 검증 방법 | 산출물 |
|---|---|---|---|---|---|
| 전차선 높이 편위 검측 | 전차선 높이/편위 측정 | • 차량속도: 350km/h<br>• 측정범위<br>- 높이(mm): 4800~5400<br>- 편위(mm): ±350<br>• 정밀도(mm): ±5<br>• 측정속도(hz): 200 | 전차선 높이/편위 검측장치 | ▪ 정적시험<br>-정밀도공인시험<br>▪ 현차시험<br>-HEMU-430X | 현차시험 시험성적서 매뉴얼 |
| 판토영상 및 아크발생 검측 | 아크발생 개소검측 및 모니터링 | ▪ 아크검출<br>-검출파장: 220~225nm<br>-검출시간: 100㎲<br>-아크지점분석오차: ±10m<br>▪ 전압/전류측정<br>▪ 판토모니터링: 60f/s | 전차선 영상 검측장치 | ▪ 정적시험<br>-아크검출시험<br>▪ 현차시험<br>-HEMU-430X<br>-KTX-36호 | 현차시험 시험성적서 매뉴얼 |
| 전차선 과하중 지점 검측 | 전차선간 과하중지점 검측 및 충격지점 분석 | ▪ 과하중지점 검측<br>▪ 충격지점오차: ±1m<br>▪ 접촉력오차: ±20% | 전차선 과하중 지점 검측장치 | ▪ .정적시험<br>-정밀도공인시험<br>▪ 현차시험<br>-HEMU-430X<br>-KTX-36호 | 현차시험 시험성적서 매뉴얼 |
| 전차선로 시설물 결함분석 | 전차선로 시설물 이미지 취득 및 결함 분석 | ▪ 측정범위: 4800~8000mm<br>▪ 시설물분해능: 1mm<br>▪ 검출률: 드롭퍼(90%), 균압선(90%), 금구80%) | 전차선로 이미지 분석장치 | ▪ 현차시험<br>-HEMU-430X<br>▪ 현장평가수행<br>-전철전력전문가<br>-영상처리전문가<br>-검측전문가입회 | 현차시험 시험성적서 매뉴얼 |

| 목표 | 상세 항목 | 사양 및 설명 | 결과물 | 검증 방법 | 산출물 |
|---|---|---|---|---|---|
| 전차선로 시설물 온도검측 | 전차선로 이상온도 검측 | -측정범위(℃) -20~150<br>-측정오차(℃): ±2<br>-이상온도검출(%): 90 | 전차선로 열화상 검측장치 | ▪ 정적시험<br>-정밀도시험<br>(온습도챔버, 시험 기자재 활용)<br>▪ 현차시험<br>-HEMU-430X | 현차시험 시험성적서 매뉴얼 |

## 2. 궤도회로 차상검측시스템

궤도회로 차상검측시스템 연구개발의 최종목표는 다음과 같다.

○ 고속철도(최고 속도 350km/h) 또는 일반철도(최고 속도 180km/h)을 주행하면서 신호분야 시설물의 상태를 실시간으로 검측 하는 검측장치를 개발함

○ 검측된 데이터의 자동진단 및 이상(불량) 데이터를 유지보수 소속에 실시간으로 전송할 수 있도록 알람 및 이벤트 정보를 자동화 운영시스템으로 전송함

○ 향후 검측시스템을 전용 고속종합차량에 탑재하여 영업차량의 운행시간에 제한 없이 신호분야 시설물의 상태를 실시간 검측할 수 있도록 구현함

표 258 궤도회로 차상검측시스템 최종목표 달성도

| 목표(항목) | 상세 항목 | 사양 및 설명 | 결과물 | 검증 방법 | 산출물 |
|---|---|---|---|---|---|
| 연속정보 검측 | 연속정보 메시지 | 28bit를 3.2sec이내 검지 | 연속정보 검측장치 | KTX-36호 현차시험 | 현차시험 시험성적서 |
| | 레벨 | 유/무 | | | |
| 불연속정보 검측 | 불연속정보 메시지 | 80bits 검지 | 불연속정보 검측장치 | KTX-36호 현차시험 | 현차시험 시험성적서 |
| | 레벨 | 125khz 주파수 레벨 검지 | | | |
| 보상 콘덴서 검측 | 전류 레벨 | 유/무 | 보상콘덴서 검측장치 | KTX-36호 현차시험 | 현차시험 시험성적서 |
| ETCS 발리스 검측 | 레벨 | 유/무 | ETCS 발리스 검측장치 | 종합검측차 현차시험 | 현차시험 시험성적서 |
| | 메시지 크기 | 최대 1023bits | | | |
| 종합처리 장치 | 신호분야 검측장치 인터페이스 | 100ms 주기로 정보 전송 | 종합 처리장치 | KTX-36호 현차시험 | 운영자 매뉴얼 |
| | 운영화면 표시 및 조작 | 검측정보를 화면에 표시 및 사용자 조작 인터페이스 | | | |
| | 자동화 운영시스템 인터페이스 | 이상 데이터의 실시간 전송 | | | |

궤도회로 차상검측시스템은 최종 연차의 주요 목표인 현차설치 및 시험을 통하여 기능 및 성능 검증을 달성하였다. 고속철도 ATC 연속 및 불연속정보, 보상콘덴서 검측장치는 KTX-36호(18호 객차 및 동력차)에 설치하여 목표 대비 성능 여부를 확인하였으며, 일반철도 ETCS 발리스 검측장치는 종합검측차(ROGER-1000K)에 설치하여 성능 여부를 확인하였다.

궤도회로 차상검측시스템의 종합처리장치는 자동화 운영시스템의 실시간 전송시스템(차상장치)로부터 열차의 위치 및 속도정보를 수신하여 검측정보를 처리하였으며, 검측된 정보의 이상 데이터는 실시간 전송시스템(차상장치)로 전송하여, 해당 정보가 자동화 운영시스템의 운영 화면에 표시하는지를 확인하였다.

## 3. 무선통신 차상검측시스템

열차무선 차상검측시스템 연구개발의 최종목표는 다음과 같다.

- 고속철도(최고 속도 350km/h)를 주행하면서 열차무선 전파환경을 자동으로 검사하는 검측장치를 개발함
- 열차무선 전파환경 분석을 위하여 전계강도 및 주파수, 핸드오버 및 불요파, 데이터 에러율을 검측함
- 검측된 데이터의 자동진단 및 이상(불량) 데이터를 유지보수 소속에 실시간으로 전송할 수 있도록 알람 및 이벤트 정보를 자동화 운영시스템으로 전송함
- 향후 검측시스템을 전용 고속종합차량에 탑재하여 영업차량의 운행시간에 제한 없이 열차무선 분야 시설물의 상태를 실시간 검측할 수 있도록 구현함

표 259 열차무선 차상검측시스템 최종목표 달성도

| 목표(항목) | 상세 항목 | 사양 및 설명 | 결과물 | 검증방법 | 산출물 |
|---|---|---|---|---|---|
| 전계강도 및 주파수 검측장치 | 전계강도검측(RSSI) | DAQ4(-95dBm) | 전계강도 및 주파수 검측장치 | KTX-36호 현차시험 | 현차시험 시험성적서 |
| | 주파수 편차 검측 | 지정주파수의 ±1.5 X $10^{-10}$ | | | |
| 핸드오버 및 불요파 검측장치 | 핸드오버 검측 | 전파경로손실 설계<br>수신기 수신임계강도 | 핸드오버 및 불요파 검측장치 | KTX-36호 현차시험 | 현차시험 시험성적서 |
| | 불요파 검측 | 무선설비 규칙 제3조<br>ITU-T SM.1045 | | | |
| 데이터 에러율 검측장치 | 데이터 에러율 검측 | DAQ4(3.5%) | 데이터 에러율 검측장치 | KTX-36호 현차시험 | 현차시험 시험성적서 |
| 통합서버 및 시뮬레이터 | 인터페이스 검측장치 관리 | 검측장치 인터페이스 및 환경관리 | 통합서버 및 시뮬레이터 | KTX-36호 현차시험 | 운영자 매뉴얼 |
| | 실시간 전송 | 이벤트에 대한 실시간 전송 | | | |
| | 시뮬레이터 | 검측 시뮬레이션 | | | |
| | 분석 | 검측데이터 분석기능 제공 | | | |

국내 고속철도 무선통신 시스템은 기술표준에 따라 APCO-P25(북미)와 TETRA(유럽) 방식이 혼용되어 운영 중에 있다. 무선통신 검측시스템을 국내 환경에 맞도록 설계, 개발하여 안정적인 열차운행과 유지보수 등에 효율성을 제공하기 위한 시스템으로 외부요인에 의한 간섭 및 장비의 특성저하, 노후화 등 불량 요인으로부터 철도 시설물 규정에 따라 항상 최적의 상태로 유지 관리해야 할 필요성이 있다. 철도 시설물을 항상 최적의 상태로 유지하기 위해 DB(데이터베이스)를 구축하고 과거와 현재의 무선통신 환경변화를 비교분석 할 수 있어야 하며 철도 시설물에 대한 전파환경 관리도 가능하여야 한다.

고속철도 검측시스템은 현재의 검측시스템을 분석하여 검측 필요 요소를 추가 연구하였으며, 고속철도 열차무선 환경에서 서비스 중인 통신방식에 대해 전파환경을 측정하여 시설물의 이상 유무 및 양질의 서비스 제공을 위한 전파환경에 대한 기준을 제공하여 연구개발 중인 HEMU-430X 에서 400Km/h이상의 속도에서의 성공적인 단위시험과 운행 중인 KTX-36호의 현차 설치 종합시험을 통하여 제품의 완성도를 높였다.

열차무선 차상검측시스템은 최종 연차의 주요 목표인 현차설치 및 시험을 통하여 기능 및 성능 검증을 달성하였다. 고속철도 전계강도 및 주파수 검측장치, 핸드오버 및 불요파 검측장치, 데이터 에러율 검측장치는 KTX-36호에 설치하여 목표 대비 성능 여부를 확인하였다.

열차무선 차상검측시스템의 통합서버는 자동화 운영시스템의 실시간 전송시스템(차상장치)로부터 열차의 위치 및 속도정보를 수신하여 실시간 검측정보에 위치정보를 맵핑하여 검측정보를 유효화 하였으며, 검측된 정보의 이상 데이터는 실시간 전송시스템(차상장치)로 전송하여, 해당 정보가 자동화 운영시스템의 운영 화면에 표시하는지를 확인하였다.

현재 열차의 계속되는 증속 요구와 짧아지는 배차간격으로 유지보수 시간은 줄어들고 있으며, 열차운행의 안정성은 더욱 강조되고 있다. 열차무선은 열차운행의 안정성, 유지보수 및 업무의 효율성을 증대시키기 위하여 장비의 특성저하, 노후화 또는 불량 등의 요인으로부터 항상 최적의 상태로 유지해야 할 필요성이 있다. 고속 이동하는 차상에 설치되는 본 개발품은 미래에 대한 대비와 효율적 예방 유지보수 지원을 위해 양질의 검측 서비스를 제공 할 수 있음을 증명 하였으며, 긴급 이벤트에 대한 지상으로의 실시간 전송 및 축적된 DB(Data Base)는 인프라의 특성저하, 노후화, 불량 등을 사전 점검할 수 있는 예방 유지보수 체계의 기초를 제공하였다.

## 4. 자동화 운영시스템

자동화 운영시스템 연구개발의 최종 목표는 다음과 같다.

- 전차선, 신호, 무선통신 차상 검측데이터를 기반으로 시설물 상태의 자동화 진단과 상태 추이를 분석하여 지상 운용자에게 유지보수 의사결정을 위한 정보 제공을 위한 '자동화진단 운영시스템'의 개발
- 고속철도(350km/h) 운영 상황에서 전차선, 신호, 무선통신 검측시에 발생한 실시간 이상 데이터를 수집하여 지상으로 전송해 지상 운용자에게 실시간 알람을 발생시키는 '실시간 전송시스템'의 개발
- 전차선, 신호, 무선통신의 차상 검측데이터를 표준화된 포맷으로 변경하여 통합 관리하는 '검측데이터 통합 데이터베이스'의 구축

표 260 자동화 운영시스템 최종목표 달성도

| 목표(항목) | 상세 항목 | 사양 및 설명 | 결과물 | 검증 방법 | 산출물 |
|---|---|---|---|---|---|
| 자동화진단 운영시스템 | 검측데이터 관리 | 검측데이터 등록 및 관리 | 자동화진단 운영시스템 S/W | 사용자 평가 | 운영자 매뉴얼 |
| | 검측데이터 통계/분석 | 이상데이터 분석<br>불량 원인 및 유형 분석 | | | |
| | 추이분석 | 전기 시설물 단위 상태 추이분석<br>추이분석 시뮬레이션 기능 | | | |
| | 검측그래프 뷰어 | 차상 검측데이터 뷰어<br>데이터 다중 오버랩 기능 | | | |
| 실시간 전송시스템 | 이상데이터 수집 | 검측장치로부터의 이상데이터 수신 | 실시간 전송시스템 S/W | KTX-36호 현차시험 | 현차시험 성적서 |
| | 이상데이터 무선 전송 | 상용 무선통신 이용한 데이터 전송 | | | |
| | 이상데이터 사용자 알람표시 | 신규 이상데이터 발생시 사용자 알람창 팝업 | | | |
| 검측데이터 통합 데이터 베이스 | 검측데이터 표준화 | 표준화된 검측데이터 포맷 정립 | 검측데이터 통합 DB | 시스템 구축 | 설계서 |
| | 대용량 데이터 관리 | 대용량 검측데이터 관리시스템 구축 | | | |

# 2절 연구개발 성과의 효과분석

철도선진국에서는 오래전부터 자동 검측장비를 개발하여 효율적인 유지보수를 시행하고 있었다. 우리나라도 2004년 고속철도 도입에 따른 효과적인 유지보수를 위해 종합검측차(ROGER-1000K)를 이탈리아에서 도입하여 운용하고 있으나 검측장비 고장 및 부품 교환 시에 많은 비용을 지불하는 등 운용상의 많은 문제점을 가지고 있었다.

이에 따라 국가R&D「고속철도 차상 전기 검측시스템 자동화진단 기술개발」과제를 통해 검측장비를 국산화함으로써 이제는 검측장비의 수입국이 아니라 국내·외에 판매가 가능한 독자적인 핵심기술을 확보하였으며 경제적인 부가가치도 창출하게 되었다.

## 1. 기술적 효과

○ IT기술인 비전머신을 이용한 철도시설물 유지보수의 선도적 입지 확보와 다양한 종류의 철도 유지보수용 비전 검측시스템 핵심 기술 확보

○ 환경보호정책으로 전기철도 확대 및 열차운행횟수 증가와 고속화로 인한 철도사고를 예방하기 위한 철도시설물 진단기술을 확보

○ 철도시설물 검측산업에 과학적 유지보수 기법을 적용하여 인력중심에서 자동화설비에

의한 유지보수 체제 확립

○ 철도시설물 유지보수를 위한 영상처리 기술을 확립하여, 고가의 외산장비를 대체하고 외화 절감 및 해외의존도 감소

○ 각종 진단장치와 관련된 산업용시스템의 설계 및 제작에 대한 전자, 소프트웨어, 자동제어 모니터링 설비업계의 기술수준 향상 기대

○ 고장진단 장치에 의한 사전예방 기술습득으로 타 정비분야에 파급효과

○ 자동화 및 실시간 검측데이터를 활용한 전기시스템 구현으로 새로운 유지보수 체계 기틀 마련 및 고부가가치의 철도시스템에 의한 국내·외 시장에 대한 기틀 마련

○ 고속철도 검측장치의 완전 국산화에 의한 제품 및 기술력 향상

○ 국내 자립기반의 기술 및 제품 확보를 통한 고속철도 유지보수 핵심기술 향상

○ 차상 검측데이터의 처리제어기법의 성능향상으로 인한 각종 자동제어 장치 등의 성능향상을 통해 자동제어 시스템업계의 기술향상에 기여

○ 자동화 및 실시간 검측데이터를 활용한 시스템 구현으로 RCM 등 새로운 유지보수 체계 기틀 마련

○ 이동통신기술 등의 적용으로 정보통신 기기업계 및 통신서비스업 등에 파급효과 기대

○ 첨단 통신장비에 대한 국산화 동기부여 및 시장제공을 통해 전자, 통신 설비업계의 기술향상에 기여

○ 각종 무선통신의 방식 및 송신기, 수신기 등의 기술습득으로 인한 통신기기 관련업계 파급효과 기대

○ 검측시스템 측정원리 및 신호처리시스템 개발 등 독자적 검측시스템 개발로 원천기술 확보

## 2. 경제적 효과

○ 국가R&D사업을 통한 전기 시설물 검측장비 개발로 국내 철도운영기관에 판매하여 **약 7억의 비용절감 효과**를 나타냄(외화 절약)

- 전차선 높이/편위 검측장치(판매처: 코레일, 신분당선주식회사)

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| <전차선 높이/편위 검측장치> | <차량진동 보정장치> | <데이터 수집장치(모니터링 s/w)> |

- 신호 보상콘덴서 검측장치(판매처: 코레일)

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| <보상콘덴서 검측장치 랙> | <신호증폭기> | <보상콘덴서 검측 화면> |

- 상용화 실적

| 해당 연도 | 명칭 | 내용 | 구매처 | 적용현장 | 매출액 | 상세내역 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2013 | 전차선 높이편위 검측장치 | 검측속도 80㎞/h에서 전차선 높이 편위를 자동 측정하는 장치 납품 | 신분당선 주식회사 | 신분당선 | 187 | 판매수량 : 187×1개<br>외자품 : 240<br>수입대체효과: 53<br>비용절감액: 53 |
| | | 검측속도 80㎞/h에서 전차선 높이 편위를 자동 측정하는 장치 납품 | 한국 철도공사 | 부산경남본부 부산-신항선 | 180 | 판매수량 : 180×1개<br>외자품 : 240<br>수입대체효과: 60<br>비용절감액: 60 |
| | 보상콘덴서 검측장치 | 검측속도 300㎞/h에서 자동으로 신호 보상콘덴서를 검측하는 장치 납품 | 한국철도 공사 | 오송전기 고속선 | 129 | 판매수량 : 129×1개<br>외자품 : 350<br>수입대체효과: 221<br>비용절감액: 221 |

| 해당 연도 | 명칭 | 내용 | 구매처 | 적용현장 | 매출액 | 상세내역 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2014 | 전차선 검측장치 | 검측속도 140㎞/h에서 전차선 높이 편위를 자동 측정하는 장치 납품 | 〃 | 오송전기 궤도검측차 (EM-140K) | 430 | 판매수량 : 430×1개<br>외자품 : 800<br>수입대체효과: 370<br>비용절감액: 370 |
| 합 계 | | | | | | 비용절감액 : 704 |

○ 시설물 순회점검을 전기 검측시스템으로 대체함으로써 보다 정밀하고 객관적인 점검이 가능하며 연간 33억원의 시설물 순회점검비 절감이 가능하다.

- 2,454㎞(전철거리)×1,321,710원(사원급)=33억원

○ 우리나라는 검측장비를 전량 수입하고 있으며 본 과제를 통해 검측장치를 독자적으로 개발함으로서 검측장치 국산화에 따른 연간 390억원의 수입대체가 가능하다.

[검측차량 부분 국내외 시장규모 전망]

| 구분 | 2010년 | 2015년 |
|---|---|---|
| 국내시장 | 390억원 규모 | 503억원 규모 |
| 세계시장 | 1.6조원 규모 | 2.1조원 규모 |

※ 출처: 고속화 인프라의 유지보수를 위한 고속종합검측차량 기술기획보고서 2012.3)

○ 시설물 자동 검측시스템 운용에 따른 사고장애 예방에 크게 기여할 것으로 보인다.

(단위 : 건수)

| 구 분 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 연평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 선로 및 급전장애 | 28 | 27 | 16 | 12 | 16 | 20 |

○ 검측차의 고가(高價) 구입 및 수리비용의 과다 지출과 검측중단 사례 방지(해외기술자의 국내출장 수리로 수리비 과다 지출 및 수리기간까지 검측 중단사례 발생)

○ 유지보수 비용은 감소하고 인력/예산 확보가 어려워 상태감시 기반의 유지보수 체계 확립이 필요 함
(전차선 검측체계 자동화만으로도 업무량 28% 감소, 업무효율 1.226 감소 효과, 철도공사)

○ 최적의 유지관리 기술을 도입하여 전기시설물 사용주기의 증대 및 안전사고를 미연에 방지함으로써 전기시설물의 안정성 향상 및 대국민 신뢰도 제고

○ 고속화 인프라의 증가로 늘어나는 유지보수 수요에 효과적으로 대응(유지보수비 절감)

- 호남고속철도 개통 및 원주~강릉선 개통 등 시설물 증가에도 효과적인 유지보수 가능

## 3. 정책적 효과

○ 박근혜 정부의 연구개발 투자 방향 기본 목표는 “과학기술을 통한 국민 삶의 질 향상과 창조경제 구현”임에 따라 시설물 검측장치를 통한 사전 예방유지보수를 시행하여 고속철도 안정적인 운행을 통해 국민 삶의 질을 향상시켰다.

○ 정부R&D 투자 효율성 제고 및 강소중소기업 육성을 위해 본 과제는 관련분야 4개의 중소기업이 적극 참여함으로서 경쟁력 있는 우수중소기업으로 발돋움(육성) 하였다.

○ 국토부의 녹색기술과 청정에너지로 신성장동력과 일자리 창출 정책 부응을 위해 본 과제를 시행함으로서 친환경적인 첨단 철도 교통수단의 운용에 기여하였다.

○ 국토부의 “국민안전 확보를 위한 교통시설 안전투자 강화”를 위해 본 과제를 시행함으로서

선로 및 급전장애 등 시설물 고장으로 인한 열차운행중단 예방에 기여하였다.

○ 정부는 도로위주에서 철도분야에 점차 투자를 확대 할 계획(제4차 국토종합계획 수정계획)임에 따라 철도의 효율적 운영을 위한 철도 R&D에 적극 투자하고 있으며 본 과제도 철도의 효율적 운영 R&D에 반영되어 추진되었다.

# 제5장 연구성과의 활용

## 1절 연구성과 향후 활용방안

### 1. 기술실시 계획

본 과제는 3차년도 연구 중에 검측장치 우수성을 인정받아 전차선(3조) 및 신호검측장치(1조) 성과물을 판매하였다.(국외제품 대비 가격 및 기술성능 우수)

아울러, 2014년 4/4분기에 한국철도공사에서 유지보수 효율화 등을 위해 전차선 검측장치 구매를 추진하고 있음에 따라 2014.까지 전문기관(성과활용실)과 기술실시 협약을 체결할 예정이다.

### 2. 판매계획

본 연구과제 성과물은 단품의 콤팩트 형식으로 개발되어 차종에 관계없이 설치가 가능하며 고속철도, 일반철도, 경전철 및 지상, 지하구간 등 여러 철도운영기관에 판매가 가능하도록 착수 때부터 의도적으로 개발하였다.

본 과제 연구 중인 3차년도에 코레일 및 신분당선주식회사에 총 4조의 전차선, 신호 검측장치가 판매되었으며 사업화 촉진을 위하여 '14.8월중 철도운영기관 담당자를 초빙하여 홍보회 개최 등을 통해 구매력을 한층 높일 계획이다.

또한 '17.5월부터 운행이 예상되는 고속 종합검측차에 구매를 통해 전기 검측장치를 설치함으로써 보다 진보적이고 향상된 기능을 보유하여 실시간 유지보수 체계를 구현할 수 있다. 아울러 현장 설비들에 대한 실시간 장애사항을 검출할 수 있으며, 설비들의 Life Cycle를 예측함으로써 예방 유지보수 구현이 가능하다.

○ 양산 및 판로확보 계획

검측차량의 국내시장은 2010년 기준 약 290억원이며, 전기분야 검측시스템의 경우 이탈리아 MERMEC社등이 90%이상 점유하고 있다. 본 R&D 연구 과제를 통해 개발된 성과물의 우수성과 가격 경쟁력을 적극 홍보하여 국내시장의 MARKET SHARE를 70%이상 확보한 이후 관련제품을 국외 시장에도 진출할 계획이다. 또한 제품의 응용분야를 확대하여 레이저, 고속카메라를 활용한 비전머신기술을 통해 인력에 의해 주관적으로 시행됐던 분야 및 차량・시설・전기의 인터페이스 분야 등 시설물 안전 검증에도 진출을 확대할 계획이다.

우리나라는 고속검측차량을 전량 수입하고 있는 상황에서 본 과제를 통해 전기분야 검측장치 국산화를 달성함에 따라 기존 전철시험차 등에 탑재된 국외 전차선 높이/편위 검측장치 등이 향후 대체가 가능하며 신호, 무선통신, 자동화운영분야도 국내 판매가 가능하다.

- 국외 도입품 가격대비 저렴, 동급이상 성능 확보

○ 수입대체 및 해외수출

본 R&D를 통해 확보된 전차선 비전머신기술을 철도시설물 유지보수에 적용하여 고가의 외산장비를 대체하고 외화절감 및 해외 의존도 감소, 가격경쟁력 및 품질로 해외시장(중국 등 아시아)에 판매할 계획이다.

**[전차선로 차상검측시스템]**

전차선로 차상검측시스템은 '14. 8월중에 국내 철도운영기관 전기분야 담당자를 상대로 홍보를 개최하여 우수성을 홍보 했으며 중국, 대만 등 동남아 철도시장에 시연회 및 영업활동(구매자 상담 등), 국내외 박람회 참가, 각종 홍보매체(인터넷, 철도관련 홍보물 등)를 통하여 제품을 홍보하여 판로를 확보하고, 제품의 응용분야를 확대하여, 고속철도 운영기술과 함께 세계시장에 참여하기에 충분한 기술적, 경제적 경쟁력을 확보할 계획이다.

**[무선통신 차상검측시스템]**

무선통신 검측시스템의 개발품은 국내 모든 열차에 적용하여 차상에서 직접적으로 운용할 수 있도록 할 계획이며 우리나라와 무선통신 환경이 유사한 국외에도 이 제품을 홍보하고 판매활동을 추진하며 특히, 중국 및 동남아 시장에 입찰하는 참여하는 기업과 컨소시엄을 구성하여 기술을 이전하며 한국형 고속차량이 수주될 수 있도록 할 계획이다.

**[신호 차상검측시스템 구축]**

350㎞/h급 고속철도 신호 차상검측시스템 개발을 통해 핵심기술을 국산화하여 검측기술의 해외 의존도를 탈피하며, 유로발리스 검측기능 구현 등으로 국외 검측시스템과 동등한 기술수준을 확보하게 됨에 따라 국내외 검측시장에 충분한 경쟁력을 갖추게 되었다.

**[자동화운영 및 실시간 전송시스템 구축]**

고속 검측차량 운행 중 검측 이상(불량)데이터의 실시간 전송 및 알람에 의한 신속한 대응이 가능하며, 전기분야 대용량 검측데이터(전차선/신호/무선통신)의 데이터베이스(DB)화에 의한 정확한 종합 검측이력관리가 가능하다

이에 따라 효율적인 유지보수가 가능해짐으로 수작업 업무 대폭 감소와 다양한 통계적기법 적용에 의한 유지보수시기 예측으로 예방보수 실현 가능하다.

## 3. 타(他)연구와의 연계

○ 전차선 마모 검측장치 기술개발(국가R&D 착수)

- 고해상도 카메라를 이용하여 전차선의 마모정도를 측정하여 전차선의 교체주기를 파악하기 위한 시스템으로 철도선진국에서는 필수검측 항목임

○ 전차선로 가동브라켓 변형검사장치 기술개발(국가R&D 착수)

- 검측차 운행 중에 고속카메라를 통해 전차선로 가동브라켓 이미지를 획득하고 파손 및 위치변화, 볼트 풀림 등을 검사하기 위한 장치

○ 전차선로 귀선전류의 불평형 측정장치 기술개발(국가R&D 착수)

- 열차 운행 시 변전소로 귀환되는 불평형 전류를 측정하여 열차제어시스템의 장애 방지에 기여할 수 있는 장치(프랑스 SNCF: 불평형율 좌/우 10% 미만 오차)

○ 일정 최적화 시스템 개발

- 측정된 이상데이터를 보수하기 위해 최적의 일정계획을 수립하는 일정 최적화 시스템으로 확장 가능

○ 이상 추이 예측 프로그램 개발

- 누적된 검측데이터를 기반으로 이상 추이를 예측하는 예측시스템으로 확장 가능

## 4. 향후 보완계획

○ 국가R&D '고속종합 검측시스템 기술개발' 과제 연계

- 신뢰성 확보를 위한 다양한 환경에서의 반복시험 및 수명시험 시행(기술 확보)

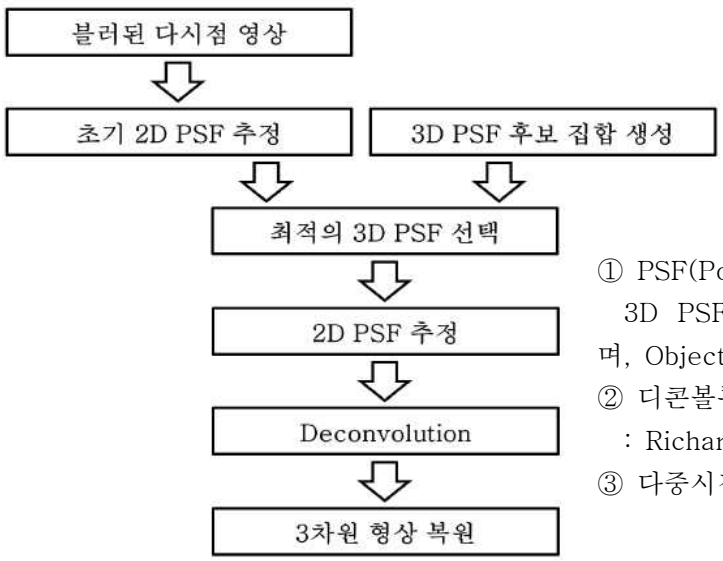
○ 전차선로 열화상검측장치 목표성능 보완

- 전차선로 열화상 검측장치 등에 사용되는 열화상 카메라는 냉각식과 비냉각식으로 구분된다. 냉각식의 경우 열화상 카메라 촬영 후 열화상 센서를 극저온으로 상태로 냉각시킴으로서 비냉각식에 비해 화질과 감도가 우수하며 높은 프레임속도를 지원한다.

- 검측차 고속주행상태에서 전차선로시설물에 대한 열화상을 촬영하기 위해서는 매우 짧은 노출시간과 외부트리거 입력이 필요하므로 본 R&D 용으로는 냉각식이 적합하나 수억원을 호가하는 구입비용문제로 인해 비냉각식 모델을 선정하였다.

• 비냉각식의 경우 열화상 카메라에 냉각기가 없어 카메라 노출시간이 길고 외부트리거를 지원하도록 되어 온도 정밀도가 떨어진다.

• 전차선로 열화상 검측장치에서는 고속주행 중 블러링된 시설물 열화상 영상을 대상으로 다음과 같은 디블러링 알고리즘을 적용하여 비냉각식 센서방식의 단점을 보안코자 한다.




① PSF(Point Spread Function) 추정
3D PSF는 "방향", "길이", "밀도" 성분을 추정하며, Object 윤곽의 밝기값의 변화 및 방향성을 추정
② 디콘볼루션(Deconvolution)
: Richardson-Lucy 기법 적용
③ 다중시점 영상간 기하학적 상관관계 분석

그림 313 디블러링 알고리즘

○ 실시간 전송시스템 보안성 강화

- 검측데이터 전송시 안정성 강화를 보완이 철저히 될 수 있도록 전송시스템 보완
- 무선통신기지국 성능 확보를 위해 무선통신사업자와 긴밀한 공조 시행

○ 무선통신검측장치(계측기) 검교정 시행

- 검측장치의 계측장치는 공인기관에 의뢰 주기적으로 검교정 시행

# 제6장 참고문헌


1. 강장규, 김재철, “가청주파수 궤도회로의 진단 및 시험 장비 개선에 대한 연구”, Journal of the Korean Institute of IIluminating and Electrical Installation Engineers (2010) 24(12) : 147~155, 2010.
2. KIM Yong-Kyu, BAEK Jong-Hyun, RYU Chang-Keun, “A Study on the track circuit characteristic in electrified classical line”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1397~1399, 2004.
3. N.Nedelchev, “Jointless track circuit length ”, IEE Proc, Electr. Power Appl, Vol. 146, Issue 1, p.69-74, January 1999.
4. Kim min-cheol, Jang Dong-Uk, Lee jang-moo, Han moon-seob, Heo nam-yeong, Shin myung-cheol “Study for an estimation of conducted noise between electric train and track circuit by analyzing harmonics” 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.2360~2362, 2005.
5. 김영태, “철도신호제어시스템”, 테크미디어, p40～46, 2006.
6. 한국철도표준규격, "KRS-SG-0038-07(R) 무절연가청주파수(AF)궤도회로", p1～2, p10～15, 2006.
7. 박기범, 박재영, 장문성, 임명섭, 김성환, “고속선 궤도회로(UM71-C)의 내부모델링에 관한 연구”, 2006년도 대한전기학과 하계학술대회 논문집, 2006.7.12~14.
8. F.BERTON, "Korea TGV Track Circuit UM71 60Hz Track Characterisation", 1999.
9. F.Fessant, P.Aknin, F.Vilette, M.Antoni. "Modelisation electrique circuit de voie, element systeme de transmission voie-machine des TGV", Revue 3EI n27.pp.46~52, 2001.
10. 박기범, 이태훈, 이기천, “고속선 궤도회로 결함진단을 위한 개선방안 연구”
11. 박기범, 이태훈, “고속선 궤도회로 결함진단을 위한 내부 모델링”
12. 박기범, 류상환, 김용규, “고속선 궤도회로 유지보수효율 향상을 위한 차상검측시스템에 관한 연구”
13. 경부고속철도 신호검측장비 기술교육매뉴얼, LG산전, 2004.01.
14. UM71C TVM궤도회로 단락전류(Icc) 검측자의 활용지침, SNCF, 2002.10.
15. Raymond A. DeCarlo, "Linear Circuit Analysis", OXFORD, 2005.2.24.
16. High Speed Measuring Car for Korea TGV, 1999.03, No K610.
17. H.McCleallan, "DSP first a multimedia approach", Prentice Hall, 1998.
18. 성순욱, “DSP를 이용한 고속철도 ATC 신호분석에 관한 연구”, 2001.
19. Track Circuit UM71 60Hz Concrete Slab Track Characterization.
20. Technical Data sheet - UM71C/TVM430 Track Circuit.
21. 이태훈, 박기범, 전용주, 류영태, “고전압 임펄스궤도회로의 동작특성 연구”
22. 김영태, “철도신호제어시스템”, 4판, 테크미디어, 2006.
23. “신호업무자료”, 한국철도공사, 2007.
24. 한국철도표준규격, “KRS SG 0031-06R 고전압임펄스궤도장치”, 2006.
25. 윤인모, 김민석, 고영환, 이종우, “궤도회로의 단자망 모델링 및 목침목 저항 특성 해석”, 한국철도학회논문집 제13권 제6호(2010년 12월) pp. 565-569.
26. M.S. Kim (2009) A Study on Coupling Coefficient between Rail and Reinforcing Bars in Concrete Slab Track, Journal of the Korean Society for Railway, 12(3), pp. 405-411.
27. S.C. Suh (2009) Review and Analysis in PF Track Circuit, Seoul Me tropolitan Rapid Transit Cooperation, pp. 5-8.
28. D.H. Lee (2005) Prevention of Splitting of Wood Sleepers and Its Reuse, Korea Forest

Research Institute, pp. 22-25.
29. R. Johm Hill (1993) Rail Track Distributed Transmission Line Impedance and Admittance: Theoretical Modeling and Experimental Results, IEEE Trans, 42(2), pp. 225-241.
30. K.B. Park (2006) A Internal Signal Modeling for a Defect Diagnosis of Track Circuit on HSL, in Proceedings of the 2006 Autumn Conference for Railway, Journal of the Korea Society of Railway, pp. 32-38.
31. S.A. Schelkunoff (1937) Transmission Theory of Plane Electromagnetic Waves, IRE, 25, pp. 1457-1492.
32. J.K. Um (2004) A Mathematical Model for the Track Circuit of the Korea High Speed Line, in Proceedings of the 2004 Spring Conference for Railway, Journal of the Korea Society of Railway, pp. 7-13.
33. W.H. Hayt (2002) Engineering Circuit Analysis, McGraw-Hill, Sixth Edition, pp. 621-635.
34. D.K. Cheng (2002) Fundamentals of Engineering Electromagnetics, Pearson Education, pp. 315-319.
35. M.S. Kim (2009) A Study on the Location of Compensation Capacitor and Capacitance in the Concrete Slab Track, in Proceedings of the 2009 Autumn Conference for Railway, Journal of the Korea Society of Railway, pp. 879-891.
36. W.H. Kwak (2006) A Study on the Improvement of Track Circuit Measurement Equipment for High Speed Line, in Proceedings of the 2006 Autumn Conference for Railway, Journal of the Korea Society of Railway, pp. 22-27.
37. James W. Nilsson (2007) Electric Circuits, Prentice Hall, pp.810-813.
38. K.B. Park (2007) A Study on the Improvement for a Defect Diagnosis of Track Circuit on HSL, in Proceedings of the 2007 Autumn Conference for Railway, Journal of the Korea Society of Railway, pp. 1656-1664.
38. Siemens (2005) Assembly for Track Circuit Measurement Test Track, pp. 63-70.
39. Seoul Metro (2009) Test Results for PF Track Circuit, pp. 5-6.
40. 한승진, 정용운, 천기하, 이기서, 박영수, 유광균, “궤도회로의 전기적 특성에 관한 연구”, 96 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1996.7.22~24.
41. Charles A. Gross, "Power System Analysis, John Wiley & Sons, 1986.
42. H. Yoshimura, S. Yoshikoshi, "Railway Signal", Japan Association of Signal Industries, 1983.
43. K. S. Lee, S. H. Yang, K. K. Yoo, "The Development of an Electric Interlocking System", Proceedings of the Korean-Germany International Workshop on New Transportation System, KAIST, Daejon, Korea, Oct.12~13.
44. Mohamed E. El-Hawary, Electric Power System, A Prentice-Hall Company, 1983.
45. O. S. Nock, Railway Signalling, A&C Black, London, 1980.
46. “철도 전철망 구축 기본 계획”, 한국개발연구원, 2003.
47. “호남선 전철화 타당성 조사 및 기본 계획”, 한국철도기술연구원, 2001.
48. 고속철도 연계 운행을 위한 시설정비사업 및 기존선 전철화 사업 관련 기술자문 보고서, 한국철도기술연구원, 2002.12.
49. 김용규, 백종현, 유창근, “차상신호 방식에서의 자동 폐색 시스템의 역할”, 대한전기학회 춘계학술대

회 논문집, pp.241~243, 2004.04.
50. O.S. NOCK (1980년), “Railway Signaling”, A&C Black, London.
51. H.Yoshimura, S.Yoshikoshi (1983), “RAILWAY SIGNAL”, JASI.
52. 정용운(1997), “Heaviside 조건을 이용한 레일보상에 관한 연구”, 광운대학교 제어계측공학과 석사 학위 논문.
53. 1, 2차년도 연구보고서, “열차운용 시뮬레이션 프로그램 개발에 관한 연구”, 한국철도기술연구원, 1996~1997.
54. G7사업 1단계 연구보고서, “전기신호시스템 엔지니어링 기술개발”, 한국철도기술연구원, 1999.
55. 이종우, 외, “차세대 고속철도 신호제어시스템의 실험 기본설계”, 한국철도학회 춘계학술회의, pp.315~321, 1999.
56. “ATS 보수지침서”, 사단법인 철도차량기술공사, 1979.
57. “속도조사식 ATS 차상장치(보수지침서)”, 철도청, 샬롬엔지니어링(주), 1993.
58. “ATS장치의 기능향상에 관한 연구”, 철도청, 한국철도기술연구원, 1997,1998
59. “ATS 장치”,교통공무원교육원, 직무전문과정 95-050-082, 1995
60. 조용기, 한재준외(2000년), “열차제어장치 개발”, 건설교통부, 과학기술부, 산업자원부.
61. 김영태(2003년), “신호제어 시스템”, 테크미디어.
62. 박재영, 홍원식, 전병록(2001년), “철도신호공학”, 동일출판사.
63. C.K.Alexander, M. N. O. Sadiku(2000년), “Fundamentals of Electric Circuits", McGraw-Hill.
64. 엄정규, 이왕희, 조용기, 유광균, “한국 고속전철 궤도회로의 수학적 모델링”
65. 엄정규, 조용기, 김치조, 한재문, “한국 고속철도에서의 열차검지 개선에 관한 연구”
66. CSTransport(1995), “UM71 Track circuit”
67. Eukorail(2004), “Corrective maintenance sheet, Train Control System”
68. Eukorail(2004), “Preventive Corrective maintenance sheet, Train Control System”
69. 김용규, 백종현외(2007), “고속선 신호설비 유지보수 기술자문 연구보고서” 한국철도공사.
70. 김용규, 백종현외(2006), “고속선 신호설비 안정화와 성능 개선을 위한 연구보고서” 한국철도공사.
71. 김용규, 백종현외(2005), “고속선 신호설비 안정화와 성능 개선을 위한 연구보고서” 한국철도공사.
72. 이태훈, 박기범(2006), “차상검측을 이용한 신호 시스템의 유지보수 최적운용방안” 한국철도시설공단
73. MERMEC社(2007.02), RAMSYS 프레젠테이션 자료.
74. MERMEC社(2006), RAMSYS Overview.
75. 한국철도공사(2007.06), 철도경영혁신 ERP사업 완료 보고회.
76. 이규성(2007), “국가통합무선망 구축에 따른 철도무선통신망 연계방안 연구”, 충남대학교.
77. 신석균(2006), “철도시스템 RCM 적용을 위한 신뢰성 및 안전성 분석 활동에 관한 연구”, 한국철도학회논문집 제9권 제6호.
78. 연구개발계획서 : 고속철도 궤도회로 차상검측시스템 기술개발 (2010년)

79. TVM 430 Onboard 시스템
(1) K631-316-E1261-AY+T001_E : TVM430 On board External Specification
(2) K631-316-E1261-AY+T002_D : On board TVM430 Internal Specification

(3) K631-316-E1261-AY+T003_F : On board TVM430-K Schematic Diagram

80. ERTMS/ETCS Document

(1) ERTMS/ETCS SRS (System Requirement Specification) 2.3.0

(2) SUBSET-036 v200 : FFFIS for Eurobalise - Interface B

(3) Form Fit Function Specification, Interface 'A', Eurobalise Transmission Sub-system

(4) Form Fit Function Specification, Interface 'C', Eurobalise Transmission Sub-system

(5) Form Fit Function Specification for Eurobalise Transmission Sub-system

(6) Form Fit Function Specification Coding Strategy

81. KTX 36호 검측 시스템 매뉴얼

(1) 운영자 매뉴얼

(2) 설치 시방서

## 주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 철도기술사업의 연구보고서 입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

# 고속철도 차상 전기검측시스템 자동화진단 기술개발 (철도기술연구사업)


◇ 저자명 주관연구기관 : 한국철도공사
공동연구기관 : 투아이시스㈜, ㈜테크빌, ㈜씨그널정보통신
㈜휴니드테크놀러지스
위탁연구기관 : 단국대학교, ㈜아이티베인

◇ 발행자 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원
◇ 발행일 2014년 11월
◇ 발행처 한국철도공사 연구원
대전광역시 중앙로 240 한국철도공사 12층
Tel. (042) 615-4711
◇ ISBN 979-11-85999-09-8