19RTRP
-C136506
-03

도시철도 선로(터널) 시설물 자율점검 분석시스템 개발 최종보고서

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제( ○ ) / 공개( ○ ), 비공개( )발간등록번호( ○ )
철도기술연구사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 19RTRP-C136506-03

# 도시철도 선로(터널) 시설물 자율점검 분석시스템 개발

## 최종보고서

2020. 03. 31.

주관연구기관 / 투아이시스(주)
공동연구기관 / 서울교통공사
공동연구기관 / 에스엠인스트루먼트(주)
위탁연구기관 / 중앙대학교

**국토교통부**
국토교통과학기술진흥원

# 제 출 문

국토교통부 장관 (국토교통과학기술진흥원장) 귀하

‘도시철도 선로(터널) 시설물 자율점검 분석시스템 개발’(연구개발 기간 : 2017.9.29 ~ 2019. 12.31) 과제의 최종보고서 9부를 제출합니다.

2020. 3. 13.

주관연구기관명 : 투아이시스㈜ (대표자) 박 종 국 (인)
공동연구기관명 : 서울교통공사 (대표자) 최 정 균 (인)
공동연구기관명 : 에스엠인스투루먼트㈜ (대표자) 송 기 찬 (인)

주관연구기관책임자: 박 종 국
공동연구기관책임자: 강 봉 완
공동연구기관책임자: 송 기 찬

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

# 보고서 요약서

| 과제 고유 번호 | 19RTRP-C136506-03 | 해당 단계 연구 기간 | 2017.9.29. ~2019.12.31 | 단계구분 | 3차년도/최종 |
|---|---|---|---|---|---|
| 연구사업명 | 중사업명 | | | | |
| | 세부사업명 | 철도기술연구사업 | | | |
| 연구과제명 | 대과제명 | 도시철도 선로(터널) 시설물 자율점검 분석시스템 | | | |
| | 세부과제명 | 도시철도 선로(터널) 시설물 자율점검 분석시스템 개발 | | | |
| 연구책임자 | 박 종 국 | 해당단계 참여연구원 수 | 총: 50명 | 해당단계 연구비 | 정부:619,600천원<br>민간:206,533천원<br>계:826,133천원 |
| | | 총 연구기간 참여연구원 수 | 총: 50명 | 총 연구비 | 정부:2,050,000천원<br>민간:683,334천원<br>계:2,733,334천원 |
| 연구기관명 및 소속 부서명 | 투아이시스㈜ | | | 공동연구기관: 서울교통공사<br>공동연구기관: 에스엠인스투루먼트㈜<br>위탁연구기관: 중앙대학교 | |
| 국제공동연구 | 상대국명:해당없음 | | | 상대국 연구기관명:해당없음 | |
| 위탁연구 | 연구기관명:중앙대학교 | | | 연구책임자: 백준기 | |

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

| 연구개발성과의 보안등급 및 사유 | 일반/일반과제 |
|---|---|

9대 성과 등록·기탁번호

| 구분 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시설·장비 | 기술요약 정보 | 소프트웨어 | 화합물 | 생명자원 | | 신품종 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | 정보 | 실물 |
| 등록·기탁 번호 | | | | | | | | | | | |

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

| 요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) | 보고서 면수 |
|---|---|

# 요약문

| | |
|---|---|
| 연구의<br>목적 및 내용 | 최고속도 100km/h 영업열차를 통한 도시철도 선로(터널)내 안전설비의 상태정보를 자동 으로 계측하고 분석함으로서 유지보수업무를 과학화하고 철도 운영기관의 유지보수 안전 관리체계를 개선할 수 있는 “도시철도 선로(터널) 시설물 자율점검 분석시스템” 개발 |
| 연구개발성과 | **1. 사업화(2건)**<br>- 2019년 12월 : 대만 국영철도(TRA社)- 종합검측시스템 수주・계약 (140억)<br>- 2018년 10월 : 서울교통공사(2호선) - 선로시설 검측시스템 납품<br><br>**2. 논문 게재 및 발표 (SCI:2건, 비SCI:1, 학술지:1건)**<br>- Illuminant-invariant stereo matching using cost volume and confidence-based disparity refinement/2019-09-27/Journal of the Optical Society of America A/(Vol.36/number 10)/SCI(E)학술지<br>- Intelligent Image-Based Railway Inspection System Using Deep Learning-Based Object Detection and Weber Contrast-Based Image Comparison/2019-10-31/Sensors(Vol.19)/SCI(E)학술지<br>- 전동차 탑재형 ATC(Automatic Train Control) 측정기 측정데이터 분석/2019-10-01/한국철도학회논문집/(VOL.22,No.10)/국내<br><br>**3. 특허출원(5건)**<br>- 전차선로 지하시설물 검측시스템/2018.09.07/10-2018-0107334/국내<br>- 도시철도 전차선로 마모 및 결함 검측시스템/2018.11.28/10-2018-0149783/국내<br>- Random Forest기반 객체검출 및 스테레오 매칭 기법을 이용한 도시철도 시설물 결함 검측 시스템 및 장치/2018-12-03/10-2018-0153904/국내<br>- 딥러닝을이용한시설물결함검측장치및그방법/2019.12.06/10-2019-0161867/국내<br>- ATC 지상신호 자율점검 시스템 및 방법/2018.09.28/10-2018-0116518/국내<br><br>**4. 소프트웨어 등록(9건)**<br>- STEDEF 궤도 시설물 검사 SW/2019-10-31/C-2019-033709/한국저작권위원회<br>- 도시철도 집전장치 발열검지 SW/2019-10-31/C-2019-033710/한국저작권위원회<br>- 강체선로 판토자세 검측 SW/2019-10-31/C-2019-033711/한국저작권위원회<br>- 선로시설 영상검측 SW/2019-10-31/C-2019-033712/한국저작권위원회<br>- 강체 전차선 마모 검측 SW/2019-10-31/C-2019-033713/한국저작권위원회<br>- 궤도 분기기 검측 SW/2019-10-31/C-2019-033714/한국저작권위원회<br>- 도시철도 강체설비 검사 기술/2019-11-05/C-2019-034144/한국저작권위원회<br>- 지상신호 검측 프로그램/2019-11-06/C-2019-034383/한국저작권위원회<br>- 전차선로 시설 이상온도 검출 S/W/2019-10-31/C-2020/한국저작권위원회 |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | ■ 활용계획<br>- 도시철도 7호선 운행노선을 대상으로 과제 성과물인 “지하철 시설물 자율점검 시스템”에 대한 기술이전을 실시하여, 향후 도시철도 시설물에 대한 종합검측 솔루션을 완성과 시설물 유지보수 프로세스에 업무를 표준화를 위한 플랫폼 개발<br>■ 기대효과<br>- 도시철도 및 철도 시설물 종합진단 및 유지보수 표준화를 위한 플랫폼 확대<br>- 해외시장 진출 및 점유율 확보 및 지속 가능한 수익모델 창출<br>- 도시철도 시설물 유지보수 효율화 및 검측시스템 운용 자동화를 통한 유지보수 프로세스 개선 |

| 국문핵심어<br>(5개 이내) | 철도시설물 | 결함검측 | 자율점검 | 유지보수 | 자동화 |
|---|---|---|---|---|---|

# 〈 목 차 〉


**1. 연구개발과제의 개요 ····· 1**

가. 연구개발 목적 ····· 1

나. 연구개발 필요성 ····· 1

다. 연구개발 범위 ····· 3

**2. 연구수행내용 및 성과 ····· 4**

가. 최종성과 목표 및 성과지표 ····· 4

(1) 연구개발 성과물 유형 ····· 4

(2) 성과목표 및 성과지표 ····· 4

나. 연구계획 및 성과 ····· 5

(1) 연구개발 추진전략 및 방법 ····· 5

(2) 연구개발 추진체계 ····· 8

(3) 연차별 추진 일정 ····· 9

(4) 연차별 수행 내용 ····· 11

(5) 연구성과 도출 과정 ····· 13

다. 연구수행 내용 ····· 16

(1) 개요 ····· 16

(2) 강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 (투아이시스-주관) ····· 26

(3) 강체 설비 검사 알고리즘 개발 (중앙대학교-위탁) ····· 35

(4) 지하부 제형 강체전차선 마모 검측장치 ····· 56

(5) STEDEF 궤도 시설물 검사장치 ····· 71

(6) 궤도 분기기 검측장치 (투아이시스) ····· 87

(7) 동적 판토자세 검측장치(투아이시스) ····· 102

(8) 지하부 집전설비 발열검지 알고리즘(S/W) 개발(에스엠인스트루먼트(주)) ····· 118

(9) 지상 ATC용 열차검지신호 및 차상신호 검지장치 기술개발(서울교통공사) ····· 128

라. 공인기관 환경시험 내역 ····· 144

(1) 공인기관 환경시험 내역 ····· 144

(2) 공인기관 환경시험 성적서 ····· 144

(3) 온도시험 ····· 145

(4) 진동시험 ····· 146

(5) 방수 시험 ····· 147

(6) 전자파 적합성 시험(EMI/EMC) ····· 148

마. 연구결과 ····· 149

(1) 성과 목표에 대한 자체 평가 ····· 149

(2) 기술적 성과 ····· 150

바. 전시 및 홍보 ····· 156

(1) Asia Pacific Rail 2019 홍콩 전시회 참가 ····· 156

(2) 홍콩 EMSD & MTR 社』서울교통공사 방문 (검측시스템 홍보) ····· 157

**3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····158**
가. 기관별 성과목표 및 목표달성도 ····158
(1) 주간기관(투아이시스) ····158
(2) 공동기관(서울교통공사) ····159
(3) 공동기관(에스엠 인스트루먼트) ····159
(4) 위탁기관(중앙대학교) ····159
나. 연차별 성과목표 및 목표달성도 ····160
(1) 1차년도 ····160
(2) 2차년도 ····161
(3) 3차년도 ····162
(4) 단위 평가항목 및 달성도 ····163
다. 정량적 연구성과 목표 및 달성도 ····164
라. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····165
(1) 사업화 2건 / 특허출원 5건 / 논문게재 3건 / S/W 등록 9건 ····165
마. 경제적 성과 ····166
(1) 해외 매출 (사업화) ····166
(2) 국내 매출 ····167
바. 관련 분야 기여도 ····168
(1) 기술 이전 및 사업화 ····168
(2) 기술적 측면 ····169
(3) 경제·산업적 측면 ····169

**4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····170**
가. 연구개발 성과 활용 ····170
나. 사업화 추진 방안 ····171
(1) 기술의 활용성 ····171
(2) 사업화 모델 및 실용화 계획 ····171
(3) 사업화 전망 (수요처 수요계획) ····172
(4) 사업화 생산 계획 ····173

붙임. 참고 문헌 ····173

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

# 1. 연구개발과제의 개요

## 가. 연구개발 목적

○ 도시철도 터널 구조물들은 열차의 정시운행을 보장하고 열차운행의 안전을 확보하는 핵심적인 요소이므로, 점검주기와 환경여건 등을 고려하여 설비가 정상기능을 유지할 수 있도록 유지보수 계획을 종합적으로 수립하여 관리하여야 함.[1]

○ 고속철도의 일부 설비는 검측차를 이용하여 차상점검을 진행 중에 있으나, 도시철도 선로(터널)시설물에 대한 자율점검을 위한 시설물 자동화 진단 기술은 아직 초기단계에 있음.

○ 국가 R&D로 KTX 고속선 구간에 시설물(전차선로, 궤도, 신호)을 검측하기 위한 연구가 진행 중에 있으나, 도시철도 구간에 시설물은 고속선 구간의 시설물(전차선로)과 상이하여 도시철도 구간의 강체 전차선로(T-BAR) 및 궤도 설비의 상태를 검측할 수 있는 기술이 필요함.

○ 이에 따라 도시철도에 맞는 다양한 패턴의 검측 데이터 분류 및 분석과정을 통해 결함설비에 대한 원인을 규명하고 결함의 위치를 정확히 판단할 수 있는 도시철도 자율점검 시스템을 개발하여 도시철도 시설물의 효과적인 관리 및 장애·사고 발생우려가 있는 설비를 사전에 인지함으로서 유지관리 시스템의 효율성과 안전성을 개선시킬 수 있음.

## 나. 연구개발 필요성

(1) 국내 현황

○ 도시구간을 운행하는 전국 대부분의 도시철도는 열차 운행 외 유효공간이 없는 지하 터널구조로 설계되었고, 일일 약 20시간 정도 영업열차를 운행함에 따라 점검 및 유지보수 시간의 절대적 부족으로 많은 보수인력이 필요한 실정임.

○ 지하 터널구간 건설은 막대한 예산소요로 열차운행을 위한 최소한의 구조물만 건설함으로서 협소한 작업공간, 유지보수자의 작업구간 이동의 어려움, 불안전한 점검/측정자세로 안전사고 발생우려 등으로 양질의 정밀 측정데이터 확보가 매우 어려운 실정임

○ 영업열차 운행종료 후 신체리듬 상 가장 취약시간대(01:30 ~ 04:30) 시설물 전수 점검이 이루어져야 함으로, 작업능률 저하 및 계측데이터의 편차 범위가 확대되는 요인으로 작용하여 시설물의 정확한 추세관리에 어려움이 있음.

○ 점검/측정 과정에서 불량요소가 발견될 경우 곧바로 정비가 이루어짐에 따라 영업열차 운행개시 전까지 임시정비 및 익일 재정비하는 경우가 다수 발행하여 비효율적임

○ 검사 데이터가 일회성으로 사용되고 추세분석을 위해서는 별도 인력작업이 이루어져야 하는 실정이며, 같은 호선이라도 관리 구간별로 동일한 데이터 확보가 어려워 검사 데이터를 바탕으로 추세분석을 통한 과학적인 터널 내 열차 안전운행 설비 관리가 불가한 실정임.




그림 1 지하철 터널구간 시설물 유지보수 현황

(2) 연구 개발 필요성

○ 도시철도 시설물 증가(선로확장)로 차량 가용성은 증가하고 있는 실정이어서 많은 수의 시설물을 신속하고 정확하게 점검할 수 있는 효율성이 필요한 시점임.

○ 도시철도 운영기관에서는 시설물에 대한 신속하고 정확한 정밀진단을 통해 지하철 운행에 안정성을 확보하기 위한 고정밀 검측기술이 요구되고 있음.

○ 국가 철도망의 구축 및 노선의 다양화에 발맞추어 다양한 위험관리에 신속하고 적절하게 대응할 수 있도록 강화된 안전대책 및 관련 정책을 준비해야하며, 첨단기술을 기반으로 한 안전시스템의 도입과 더불어 제도 및 기술 부분을 철도 분야에도 적극적으로 받아들일 필요가 있음.

○ 국내 철도망 확대 및 고속화로 차량 가용성이 증가하고 있어, 방대한 전기철도 차량에 대한 신속·정확하게 관리하기 위한 예방진단 기술이 요구되고 있음.[2]

표 8 제7차 국가교통 안전 기본 계획(2012~2016)

| |
|---|
| ㉠ 안전한 철도 교통인프라 구축<br>㉡ 철도차량의 예방정비 체계 구축<br>㉢ 안전관리체계 구축 및 고도화<br>■철도운영자의 안전관리·정비체계 등의 구축여부를 검증하는 철도 운영자 안전승인 제도 도입('14)<br>■ 철도사고 예방 기술개발 및 종합시험선로 구축(~'15) |

## 다. 연구개발 범위

○ 최근 고도화된 머신비전 기술과 ICT 기술을 적용하여, 열차 주행 중에 도시철도 터널 시설물 상태정보를 자동으로 검측/분석하여, 도시철도 운영기관의 유지보수 안전관리 체계를 개선할 수 있는“도시철도 선로(터널) 시설물 자율점검 분석 시스템” 개발

표 9 연구개발 범위

| 항목 | 연구범위 |
|---|---|
| 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 | • ‘지하부 강체 전차선로 변형’ 검사모듈 개발<br>• ‘지하부 제형 강체전차선 마모’ 검측모듈 개발<br>• ‘STEDEF 궤도 시설물’ 검사모듈 개발<br>• ‘궤도 분기기’ 검측모듈 개발<br>• ‘동적 판토자세’ 검측모듈 개발 |
| ATC 지상신호 검측 기술개발 | • ‘지상 ATC용 열차검지신호 및 차상신호’ 검지장치 기술개발 |
| 도시철도 강체설비 분석 기술개발 | • ‘강체설비’ 검사 알고리즘 개발 |
| 도시철도 집전장치 발열검지 분석기술 개발 | • ‘지하부 집전설비’ 발열검지 알고리즘 개발 |




그림 2 연구개발 개요 및 범위

# 2. 연구수행내용 및 성과

## 가. 최종성과 목표 및 성과지표

(1) 연구개발 성과물 유형

| 연번 | 기관 | 핵심성과물 | 성과유형 | 핵심성과 개요 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 투아이시스 | 강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 | 장비・장치 | • T-BAR 강체 전차선로, 지지시설물 변형 및 탈락 상태 검사 |
| 2 | 투아이시스 | 지하부 제형 강체 전차선 마모 검측장치 | 장비・장치 | • 제형전차선(T-BAR)의 마모 검측 |
| 3 | 투아이시스 | STEDEF 궤도 시설물 검사장치 | 장비・장치 | • STEDEF(방진) 궤도에 대한 침목 및 체결구 손상(이탈) 상태 검사 |
| 4 | 투아이시스 | 궤도분기기 검측장치 | 장비・장치 | • 궤도분기부(크로싱, 가드레일) 백게이지 및 플랜지웨이 폭 검측 |
| 5 | 투아이시스 | 동적 판토자세 검측 장치 | 장비・장치 | • 팬터그래프 충격발생 지점 및 시설물 이상온도(열화상) 검측 |
| 6 | 서울교통공사 | 지상 ATC용 열차검지신호 및 차상신호 검지장치 | 장비・장치 | • 연속/불연속 신호(차상주파수 및 열차검지주파수)검지 및 지상 전류레벨 측정 |
| 7 | 중앙대학교 (위탁) | 강체설비 검사 알고리즘 | 소프트웨어 | • 강체전차선로 및 지지시설물 탈락 및 변형을 분석 알고리즘 개발 |
| 8 | 에스엠인스트루먼트 | 지하부 집전설비 발열검지 알고리즘 | 소프트웨어 | • 팬터그래프 습판체 및 전전설비에 대한 발열을 검지하는 알고리즘 개발 |

(2) 성과목표 및 성과지표

| 성과목표 | | 성과지표 | | 성과검증 기준 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 목표치 | 측정방법 | 검증 방법 |
| 1 | 시스템 엔지니어링 | ① | 국내외 기술조사 | 1 | 기술조사보고서 | 보고서 |
| | | ② | 시제품 성능검증 | 1 | 시제품 성능검증 보고서 | 보고서 |
| | | ③ | 개발품 성능검증 | 1 | 개발품 성능검증 보고서 | 보고서 |
| | | ④ | 현차시험 종합검증 | 1 | 현차시험 종합검증 보고서 | 보고서 |
| 2 | 강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 | ① | 시스템 설계 | 1 | 시스템 설계서 | 보고서 |
| | | ② | 시제품 제작 | 1 | 단위시험 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| | | ③ | 현차 설치 및 시운전 | 1 | 시운전 절차서 및 성적서 | 보고서 |

| 성과목표 | | 성과지표 | | 성과검증 기준 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 목표치 | 측정방법 | 검증 방법 |
| 3 | 지하부 제형 강체 전차선 마모 검측장치 | ① | 시스템 설계 | 1 | 시스템 설계서 | 보고서 |
| | | ② | 시제품 제작 | 1 | 단위시험 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| | | ③ | 현차 설치 및 시운전 | 1 | 시운전 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| 4 | STEDEF 궤도 시설물 검사장치 | ① | 시스템 설계 | 1 | 시스템 설계서 | 보고서 |
| | | ② | 시제품 제작 | 1 | 단위시험 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| | | ③ | 현차 설치 및 시운전 | 1 | 시운전 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| 5 | 궤도분기기 검측장치 | ① | 시스템 설계 | 1 | 시스템 설계서 | 보고서 |
| | | ② | 시제품 제작 | 1 | 단위시험 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| | | ③ | 현차 설치 및 시운전 | 1 | 시운전 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| 6 | 동적 판토자세 검측 장치 | ① | 시스템 설계 | 1 | 시스템 설계서 | 보고서 |
| | | ② | 시제품 제작 | 1 | 단위시험 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| | | ③ | 현차 설치 및 시운전 | 1 | 시운전 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| 7 | 지상 ATC용 열차검지신호 및 차상신호 검지장치 | ① | 시스템 설계 | 1 | 시스템 설계서 | 보고서 |
| | | ② | 시제품 제작 | 1 | 단위시험 절차서 및 성적서 | 보고서 |
| | | ③ | 현차 설치 및 시운전 | 1 | 시운전 절차서 및 성적서 | 보고서 |

# 나. 연구계획 및 성과

(1) 연구개발 추진전략 및 방법

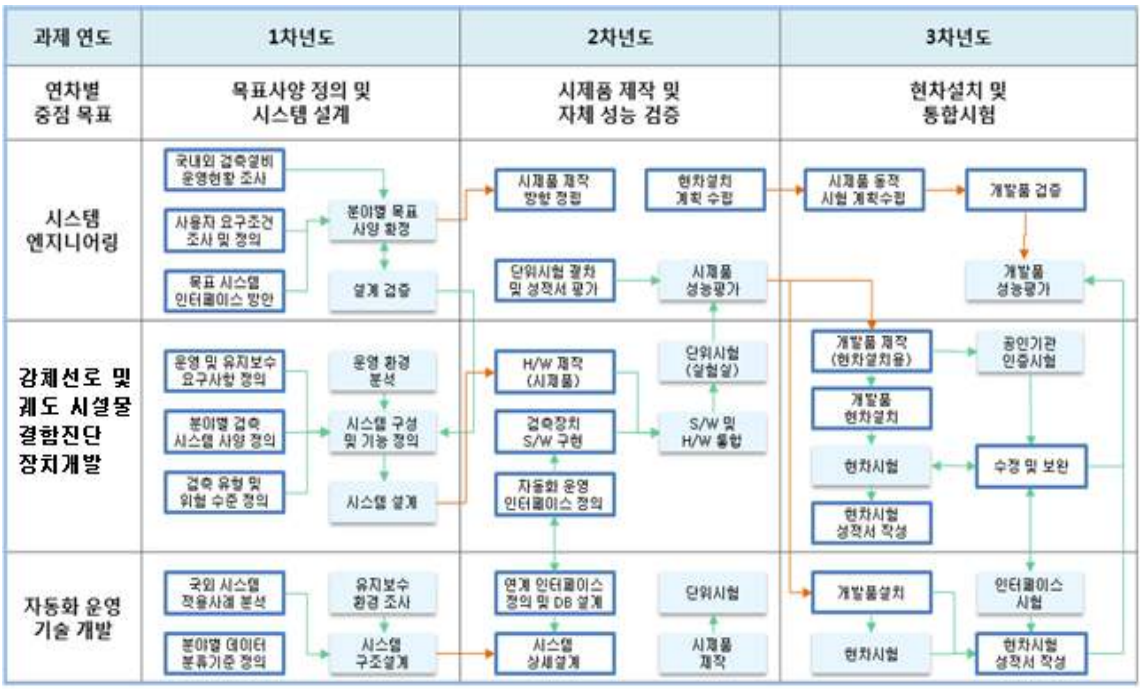
(가) 단계별 추진전략

○ 본 연구를 위해 1차년도에는 국내외 기술사례조사, 검측시스템 사양결정, 기본설계 및 상세설계를 진행 및 1차년도 하반기에는 프로토타입을 제작하여 기본 설계안을 검증한다. 2차년도에는 본격적으로 시제품 제작을 진행하고 검측모듈별 단위시험을 수행한다. 또한 3차년도 상반기에는 조립 및 검증, 형식시험을 거쳐 현차 설치 및 시운전 시험을 진행하여 과제를 완료한다.

표 10 단계별 추진 전략

| 추진단계 | 실용화 전략 | 수행 방법 | 목표성과 |
|---|---|---|---|
| 1단계 (~2018.01) | 시스템 사양 적합성 검토 | • 수요처와 유기적 협조체제구축<br>• 시스템 사양도출 및 설계<br>• 서울교통공사 유지보수 담당자 의견수렴<br>• 현장 맞춤형 시스템 연구개발에 반영 | 사양서 |
| | 시스템 설계 | ▪ 검측장치별 상세설계서<br>▪ 시스템 구성품 선정 | 설계서 |
| 2단계 (~2018.12) | 시제품 제작 | • 도시철도 설비 결함 자동 검지요소 기술개발<br>• 기존 국가연구 개발 사업으로 확보한 철도 시설물(전차선로 및 궤도) 검측 기술과 사업화 경험을 토대로 관련 요소기술 개발 | 시제품 |
| | 시제품 단위 성능검증 | • 모듈별 단위성능 시험<br>• 테스트베드 시험선로에서 현장시험(트롤리 활용) | 시험성적서 |
| | 현차설치 검증 | ▪ 동적시험을 위한 시운전 방안 수립<br>▪ 시제품(프로토타입) 현차설치 검증<br>▪ 종합 시험절차서 작성 | 종합 시험절차서 |
| 3단계 (~2019.12) | 시제품 보완 | ▪ 검측장치별 시제품 보완 | 시제품 |
| | 공인인증시험 | ▪ 공인인증기관을 통한 검측장치별 공인인증시험 (검측장치 내환경성 및 운용 안전성) | 공인 시험성적서 |
| | 보완 시제품 현차설치 | ▪ 보완 시제품 현차설치 | |
| | 시운전 및 성능검증 | • 유관기관의 성능평가 및 현장 적용성 평가수행 | 시제품평가 및 검증 |
| | 개발품홍보 | • 세계철도 박람회(Innotrans) 전시/홍보 | 시제품전시 |
| 4단계 (2020년~ 이후) | 품질인증 철도 인프라 결함 진단 기술 융합 및 확대 | • 연구성과 활용(기술이전)<br>• 추가연구 및 사업화 추진<br>• 철도 및 도시철도 유관기관 시연회<br>• 철도시설물 종합적인 위험분석 및 예측 예방 유지보수 기술 제공 | 품질인증, 철도인프라 통합솔루션 |

(나) 연구개발 추진 방법




(다) 연구개발 성과물의 성능 및 신뢰성 검증 추진방안

① 현차 시험을 통한 성능 및 신뢰성 검증

㉮ 1차년도 :

- 현장조사 테스트베드(7호선) 시설물 종류 및 시제품 설치를 위한 차량 구조 분석
- 시제품 상세설계
- 시험차량 선정(전동차 1편성)

㉯ 2차년도 :

- 시제품 및 시뮬레이터 제작과 단위모듈 시험

㉰ 3차년도 :

- 현차 시운전 시험 및 시제품 성능 및 장치 내구에 대한 문제점 도출 및 보완 적용
- 시제품 성능 평가(현장 변형모의 및 현장 검증 수행)

② 철도 안전법 검토: 철도안전관리체계 검토

㉮ 철도 차량 개량 및 개조

- 철도차량을 최초 제작 당시와 다르게 부품, 구성품 또는 차량성능 등을 개량 및 변경하는 행위를 말하며, 개조 시에는 차량의 근본적인 구조 변경을 하지 않는 범위에서 개조하고 철도차량의 안전성을 확인하는 절차를 수립, 실행 및 유지하도록 규정됨.

㉯ 안전성 확인 절차

- 철도운영자와 개조를 수행한 기관을 제외한 제3의 전문기관을 통해 확인하는 절차와 같이 전문성 및 객관성이 충분히 보장된 절차

㉰ 철도차량을 개조하고자 하는 경우 상기 사항을 반영한 서울교통공사 내규나 사규 등을 마련

③ 연구개발 성과물 성능 검증 및 평가

㉮ 도시철도 운영사(서울교통공사)에서 제시하는 각 시험 규격에 의한 각 연구개발 성과물의 모듈별 성능 시험 진행

㉯ 내환경시험(진동/방수/온도시험) 및 전자파 적합성 시험(EMI & EMS)을 통한 모듈별 공인인증기관의 신뢰성 검증

④ 현차시험 및 검증 절차

㉮ 시험선로(7호선) 상에 검사 대상 시설물에 대한 변형 모의 후, 열차 운행 중 검측장치가 변형시설물의 상태 변형에 대한 검지를 할 수 있는지 시험한다. 시설물에 대한 변형 모의가 어려울 경우에는 본 검측모듈에서 산출한 시설물 알람데이터를 기준으로 현장에서 비교 검증한다.

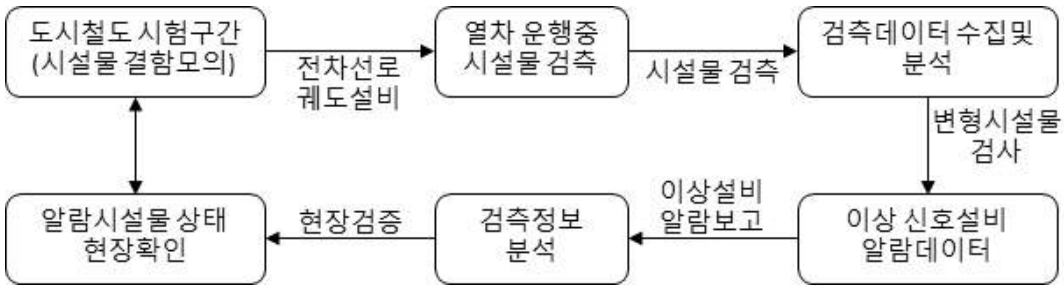



그림 4 검측모듈에 대한 현장시험 검증

㉯ 검측대상별 시험 구간 및 데이터 수집

■ 검측차량 : 7호선 전동차 754편성

■ 시운전 구간 : 7호선 전구간(부평구청 ↔ 장암)

■ 시험평가 구간

| 검측대상 | 시험 평가 구간 | 시험방법 |
|---|---|---|
| 강체전차선로<br>시설물 변형검사장치 | • 내방 ~ 반포<br>• 부평구청 ~ 굴포천 | 시설물 변형모의를 통한<br>변형검사 성능 검증 |
| 지하부 제형<br>강체전차선<br>마모 검측장치 | • 내방 ~ 청담역 | 검측데이터<br>현장 정밀도 비교 검증 |
| STEDEF 궤도<br>시설물 검사장치 | • 내방~청담역 | 시설물 변형모의를 통한<br>변형검사 성능 검증 |
| 궤도분기기<br>검측장치 | • 내방~청담역 | 검측데이터<br>현장 정밀도 비교 검증 |
| 동적 판토 자세<br>검측장치 | • 7호선 전구간 | 기간별 검측데이터<br>재현성 비교 검증 |
| 지하부 집전설비<br>발열검지 장치 | • 7호선 전구간 | 기간별 검측데이터<br>재현성 비교 검증 |
| 지상 ATC용<br>열차검지신호 및<br>차상 신호검지장치 | • 7호선 전구간 | 기간별 검측데이터<br>재현성 비교 검증 |

### (2) 연구개발 추진체계

| 연구개발과제 | |
|---|---|
| 과제명 | 도시철도 선로(터널) 시설물 자율점검 분석시스템 |

| 총 참 여 연 구 원 |
|---|
| 주관연구책임자<br>(박종국)외50명 |

| 기 관 별 참 여 현 황 | | | |
|---|---|---|---|
| 구 분 | 기관수 | 인원수 | 총인원 수 |
| 산 업 계 | 2 | 18 | 51 |
| 국공립(연) | 1 | 19 | |
| 출 연 (연) | 1 | 14 | |
| 기 타 | | 51 | |

| 주 관 연 구 기 관 | 공 동 연 구 기 관 | 공 동 연 구 기 관 | 위 탁 연 구 기 관 |
|---|---|---|---|
| 투아이시스㈜ | 서울교통공사 | 에스엠인스트루먼트 | 중앙대학교 |
| **참 여 연 구 원** | **참 여 연 구 원** | **참 여 연 구 원** | **참 여 연 구 원** |
| 주관연구책임자<br>박종국 외 15명 | 공동연구책임자<br>강봉완 외 18명 | 공동연구책임자<br>송기찬 외 1명 | 위탁연구책임자<br>(백준기)외 13명 |
| 책임급 4명, 선임급 3명,<br>원급 8명 | 책임급 3명, 선임급 5명,<br>원급 10명 | 책임급 2명 | 책임급 2명, 선임급 4명,<br>원급 7명 |
| **담당연구개발내용** | **담당연구개발내용** | **담당연구개발내용** | **담당연구개발내용** |
| 도시철도 차상시설물 검측모듈<br>기술개발(6종) | ATC 지상신호 검측모듈 개발<br>현차시험을위한 관련법규 검토<br>전동차 탑재 현차시험 지원 | 지하부 집전설비 발열검지<br>알고리즘 개발 | 강체설비 검사<br>알고리즘 개발 |

### (3) 연차별 추진 일정

**1차년도**

| 일련번호 | 연구내용 | 월별 추진 일정 | | | | | | | | | 연구개발비 (단위:천원) | 책임자 (연구수행기관) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | | | | | | |
| 1 | 도시철도 운영기관 요구사항 및 기술조사 | ■ | ■ | ■ | | | | | | | 100,000 | 박종국 (투아이시스) |
| 2 | 검측모듈 사양 확정 | | | ■ | ■ | ■ | | | | | 300,000 | |
| 3 | 검측모듈 상세설계 (5종) | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| 4 | 프로토타입 설계 | | | | ■ | ■ | | | | | 390,270 | |
| 5 | 검측모듈 설치차량 선정 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | 5,000 | 강봉완 (서울교통공사) |
| 6 | 관련법규 검토 (철도안전법) | ■ | ■ | ■ | | | | | | | 5,000 | |
| 7 | 시스템 설계 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | 20,000 | |
| 8 | 국내외 기술 조사 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | 5,400 | 송기찬 (에스엠인스트루먼 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | 트) |
| 9 | S/W 알고리즘 설계 | | | | | ■ | ■ | | | | | 21,000 | | |
| 10 | 국내외 기술현황 조사 | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | 5,000 | 백준기 (중앙대) | |
| 11 | 유지보수 실태 및 알고리즘 적용 검토 | | | ■ | ■ | | | | | | | 5,000 | | |
| 12 | S/W 알고리즘 설계(영상처리, 학습) | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | 80,000 | | |

## 2차년도

| 일련번호 | 연구내용 | 월별 추진 일정 | | | | | | | | | | | | 연구개발비 (단위:천원) | 연구수행기관 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | |
| 1 | 설계보완 및 시제품(5종) 제작 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | 678,000 | 박종국 (투아이시스) |
| 2 | 검측모듈 단위시험 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | 94,700 | |
| 3 | 종합 통합시험 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | 97,800 | |
| 4 | 현차설치 종합시험 방안수립 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | 26,700 | |
| 5 | 시제품(프로토타입) 현장검증 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| 6 | 안전관리체계 재승인 요청 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | - | 강봉완 (서울교통공사) |
| 7 | 지상 ATC용 열차검지 신호검측 시제품 제작 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | 150,000 | |
| 8 | 검측모듈 단위시험 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | 25,000 | |
| 9 | 시운전 방안 수립 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | 25,000 | |
| 10 | 집전설비 발열검지 알고리즘 S/W 개발 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | 72,000 | 송기찬 (에스엠인스트루먼트) |
| 11 | 알고리즘 성능 평가 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | 8,000 | |
| 12 | 터널강체선로 변형분석 S/W 개발 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | 180,000 | 백준기 (중앙대) |
| 13 | S/W 단위시험 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | 50,000 | |

## 3차년도

| 일련번호 | 연구내용 | 월별 추진 일정 | | | | | | | | | | | | 연구개발비 (단위:천원) | 연구수행기관 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 1 | 시제품 보완 | ■ | ■ | | | | | | | | | | | 396,000 | 박종국 (투아이시스) |
| 2 | 성능 검증 및 평가 (공인기관) | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 3 | 검측모듈(5종) 현차 설치 | | | | ■ | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 시험 및 시운전 | | | | | | | | | | | | | 267,200 | |
| 5 | 시험결과 분석<br>(성능검증/현장평가) | | | | | | | | | | | | | 118,800 | |
| 6 | 현차설치 | | | | | | | | | | | | | 40,000 | 강봉완<br>(서울교통공사) |
| 7 | ATC 지상신호<br>검측 및 성능검증 | | | | | | | | | | | | | 40,000 | |
| 8 | 구매 규격 확립 | | | | | | | | | | | | | - | |
| 9 | 지하부 설비 발열검지<br>알고리즘 기능검증 | | | | | | | | | | | | | 14,000 | 송기찬<br>(에스엠인스트루먼트) |
| 10 | 매뉴얼 작성 | | | | | | | | | | | | | 6,000 | |
| 11 | 분석 S/W 기능시험 | | | | | | | | | | | | | 110,000 | 백준기<br>(중앙대) |
| 12 | 시운전 영상수집 및<br>알고리즘 평가 | | | | | | | | | | | | | 117,000 | |
| 13 | 분석 S/W<br>운용 매뉴얼 | | | | | | | | | | | | | 3,000 | |

### (4) 연차별 수행 내용

| 구분 (연도) | 세부 과제명 | 세부 연구 목표 | 연구개발 수행 내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 1차년도 (2017) | 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 | ■ 도시철도 운영기관 요구사항 | ■ 시스템 요구사양 적합성 검토<br>■ 시스템 사양 확정 | 사양서 |
| | | ■ 영업 차량 선정 및 관련 법규 검토 | ■ 검측모듈 설치 차량 선정<br>■ 철도안전관리(철도안전법) 검토 | 검토서 |
| | | ■ 지하부 강체 전차선로 변형검사<br>- 상세설계서 | ■ 터널시설물 세부 검사대상<br>■ H/W 단위 구성 설계 | 설계서 |
| | | ■ 지하부 제형 전차선 마모검측<br>- 상세설계서 | ■ 제형 전차선 검측대상 확정<br>■ H/W 단위 구성 설계<br>■ T-Bar 전차선 시료 설계 | 설계서 |
| | | ■ STEDEF 궤도 시설물 검사<br>- 상세설계서 | ■ 궤도검사대상 정의<br>■ 검사장치 구성설계 | 설계서 |
| | | ■ 궤도 분기기 검측<br>- 상세설계서 | ■ 궤도분기기 검측대상<br>■ H/W 단위 구성 설계 | 설계서 |
| | | ■ 동적 판토자세 검측<br>- 상세설계서 | ■ 장치 사양 확정 및 상세설계<br>■ H/W 단위 구성 설계 | 설계서 |
| | ATC 지상신호 검측 기술개발 | ■ 지상 ATC용 열차검지신호 검측<br>- 상세설계서 | ■ 장치 사양서<br>■ 상세설계서 및 도면 설계 | 설계서 |
| | 도시철도 강체설비 분석 기술개발 | ■ 강체설비 검사 알고리즘 개발<br>- 변형분석 알고리즘 설계 | ■ 변형검사 알고리즘 설계<br>-기계 학습 및 패턴인식 설계 | 설계서 |
| | 도시철도 집전장치 발열검지 분석기술 개발 | ■ 집전설비 발열검지 알고리즘<br>- 열상검사 알고리즘 설계 | ■ 열상검사 알고리즘 설계<br>- 습판체 인식 및 팬터자세(Roll) | 설계서 |
| 2차 연도 (2018) | 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 | ■ 지하부 강체 전차선로 변형검사<br>- 시제품 제작 및 단위시험<br>- 현차설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 강체전차선로 검사 장치 제작<br>■ 검측장치별 단위 성능시험<br>■ 동적시험을 위한 시험절차서 작성 | 시제품 제작<br>단위시험 성적서 |
| | | ■ 지하부 제형전차선 마모검측<br>- 시제품 제작 및 단위시험<br>- 현차설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 마모 검측장치 제작<br>■ 소프트웨어 설계 및 구현<br>■ 단위 성능시험(정밀도) | 시제품 제작<br>단위시험 성적서 |
| | | ■ STEDEF 궤도 시설물 검사<br>- 시제품 제작 및 단위시험<br>- 현차설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 궤도 시설물 검사장치 제작<br>■ 소프트웨어 설계 및 구현<br>■ 테스트베드 또는 현장시험 | 시제품 제작<br>단위시험 성적서 |
| | | ■ 궤도 분기기 검측<br>- 시제품 제작 및 단위시험<br>- 현차설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 궤도분기기 검측장치 제작<br>■ 소프트웨어 설계 및 구현<br>■ 테스트베드 또는 현장시험 | 시제품 제작<br>단위시험 성적서 |
| | | ■ 동적 판토자세 검측<br>- 시제품 제작 및 단위시험<br>- 현차설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 판토자세 검측장치 제작<br>■ 소프트웨어 설계 및 구현<br>■ 가진기 시험(가속도, 정밀도) | 시제품 제작<br>단위시험 성적서 |
| | ATC 지상신호 검측 기술개발 | ■ 지상 ATC용 열차검지신호 검측<br>- 시제품 제작 및 단위시험<br>- 시험 및 시운전 방안 수립 | ■ 장치별 제작도면 및 검측장치제작<br>■ 시스템 소프트웨어 설계 및 구현<br>■ 검측장치별 단위 성능시험 | 시제품 제작<br>단위시험 성적서 |
| | 도시철도 집전장치 발열검지 분석기술 개발 | ■ 지하부 집전설비 발열검지 알고리즘<br>- 열상검사 알고리즘 구현 | ■ 열화상 이미지 분석(습판체, 절연설비)<br>■ 검지 알고리즘 선정 및 평가 | S/W 개발<br>기능시험 성적서 |
| | 도시철도 강체설비 분석 기술개발 | ■ 강체설비 검사 알고리즘 개발<br>- 변형분석 알고리즘 구현 | ■ 강체설비 영상 트레이닝<br>■ 검사 알고리즘 선정 및 평가 | S/W 개발<br>기능시험 성적서 |

| 구분<br>(연도) | 세부 과제명 | 세부 연구 목표 | 연구개발 수행 내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 3차 연도<br>(2019년) | 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 | ■ 지하부 강체 전차선로 변형 검사<br>- 시제품 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증 | 현차시험 및 성적서 |
| | | ■ 지하부 제형전차선 마모 검측<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 높이,편위,마모 정밀도 | 현차시험 및 성적서 |
| | | ■ STEDEF 궤도 시설물 검사<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 볼트,체결구 변형모의 및 결함인식률 산정 | 현차시험 및 성적서 |
| | | ■ 궤도 분기기 검측<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 분기기 검측 정밀도 | 현차시험 및 성적서 |
| | | ■ 동적 판토자세 검측<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>■ 검측장치 운용 매뉴얼 작성 | 현차시험 및 성적서 |
| | ATC 지상신호 검측 기술개발 | ■ 지상 ATC용 열차검지신호 검측<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증 | 보고서 1식 |
| | | ■『도시철도 선로(터널)시설물 자율점검 분석시스템』현차시험 및 시운전 지원 | ■ 동적시험을 위한 시운전 방안수립<br>■ 성능평가및현장 적용성 평가 수행 | 보고서 1식 |
| | 검측장치 규격서 | ■ 구매 규격 확립 | ■ 구매 규격 검토 및 확정 (구매 규격서) | 규격서 |
| | 도시철도 강체설비 분석 기술개발 | ■ 강체설비 검사 알고리즘<br>- 시운전 및 알고리즘 검증<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 시설물 변형 인식률(%) 평가 | 현차시험 및 성적서 |
| | 도시철도 집전장치 발열검지 분석기술 개발 | ■ 지하부 집전설비 발열검지 알고리즘<br>- 시운전 및 알고리즘 검증<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 습판체 온도측정 및 알람 검출<br>- 집전설비 온도측정 및 알람 검출 | 현차시험 및 성적서 |

(5) 연구성과 도출 과정

(가) 기술세미나 및 공정회의(당해년도)

| 기술세미나<br>및 공정회의 | 내 용 |
|---|---|
| 기술 세미나 및<br>공정회의(1월) | ▪ 장소: 서울교통공사 사당별관 제2회의실<br>▪ 참석기관: 투아이시스㈜, 서울교통공사<br>▪ 회의내용<br>- 연구개발 내용 및 추진 현황<br>- 현차 설치 검토 및 이슈사항<br>- ATC 지상신호 검측장비 개발현황<br>- 검측시스템 본선 시운전 전력 품질분석 |
| 기술 세미나 및<br>공정회의(2월) | ▪ 장소: 서울교통공사 도시철도연구원 회의실<br>▪ 참석기관: 서울교통공사, 투아이시스㈜<br>● 회의목적: 국가 R&D SFM 과제 관련 기능실(전기실, 변전소) 주요 설비에 대한 검측대상 및 센싱 방법 등에 대한 상세 협의<br>● 회의내용<br>- 검측모듈 보완사항 논의<br>- 차상 서버PC 호환성 문제로 운영체제 변경 후 이슈사항<br>- 차량위치정보용 타코미터 차축 연결핀(커플링) 변경 사양 선정<br>- ATC 지상신호 저장/분석 및 프로그램 디버깅 논의<br>● 2019. 춘계 한국철도학회 참가관련 협의<br>- 연구개발 홍보를 위한 전시부스 운영(안) 협의<br>- 모형, 브로슈어, 동영상 등을 통한 과제 성과물 홍보 협의<br>- 전시부스 신청 및 비용 처리 협의(4/24限) |
| 개발성과 달성 및<br>자료수집을 위한 해외<br>벤치마킹(3월) | ▪ 출장목적 : 개발성과 목표 달성 및 개발시스템 논문발표 및 홍보<br>▪ 기간 : '19.3.17 ~ 3.23<br>▪ 내용 : 홍콩 Asia Pacific Rail 2019 논문발표 및 홍보<br>도큐전철 차량기지 방문 및 자율점검 검측시스템 벤치마킹 |
| 알고리즘 완성도<br>향상을 위한<br>교육(4월, 9월) | ▪ 참석목적 : ATC 알고리즘(소프트웨어) 개발<br>▪ 교육기간<br>- 1차교육(중급) : '19.4.24 ~ 4.26.<br>- 2차교육(초급) : '19.9.18 ~ 9.20. |
| 연구성과 홍보 및<br>벤치마킹을 위한<br>한국철도학회<br>학술대회 참가(5월) | ▪ 학술대회 : 한국철도학회 2019 춘계 학술대회<br>▪ 일시 및 장소: '19.5.23~5.24, 여수엑스포컨벤션센터<br>▪ 논문발표 : 도시철도 영업열차 활용 선로시설물 자동검측시스템 표준화에 관한 연구(저자 : 정연포외 3명) |
| 기술 세미나 및<br>공정회의(6월) | ▪ 장소: 서울교통공사 인재개발원 401호<br>▪ 참석기관: 서울교통공사, 투아이시스㈜, 중앙대학교<br>▪ 회의목적: 연구 진행사항 공유<br>- 측정 단위 변경을 위한 시험 진행<br>- LTE 장치 전동차 내 장착<br>- 운행 중 LTE 데이터 송수신 상태점검<br>- 데이터 모니터링 프로그램 개발 |

<table>
<tr><th>기술세미나<br>및 공정회의</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td>철도 신호기술 분야<br>워크샵 참석<br>(8월)</td><td>▪ 목적 :ATC검측시스템 개발관련 철도신호기술분야 동향파악 및<br>관련자료 습득을 위한 워크숍 참석<br>▪ 일시 : 2019.08.28.(수)<br>▪ 장소 : 한국철도시설공단 회의실 3층(대전광역시 소재)</td></tr>
<tr><td>기술 세미나 및<br>공정회의(9월)</td><td>▪ 장소: 인덕원 뜰안채 (세미나실)<br>● 참석기관: 서울교통공사, 투아이시스㈜, 중앙대학교<br>● 회의목적: 연구 진행사항 공유<br>- 연구성과(양적지표) 공유 : 논문게재, 특허출원<br>- ATC개발현황 공유</td></tr>
<tr><td>ATC지상신호<br>검측개발관련 설명회<br>및 시연회 개최<br>(10월)</td><td>▪ 목적 : ATC 검측시스템 개발건에 대한 현장 실무자를 대상으로 한<br>설명회 및 시연회를 통한 유지보수 지원 및 기술전수<br>▪ 세부내용
<table>
<tr><th>일시 및 장소</th><th>참석인원</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>‘19.10.15<br>신호2사업소</td><td>20명<br>(7호선 조책임자)</td><td>-ATC검측시스템 개발개요<br>-실측데이터 분석결과 설명</td></tr>
<tr><td>‘19.10.22<br>신호2사업소</td><td>22명<br>(5~8호선 관리소장)</td><td>-ATC검측시스템 개발 공유<br>-실시간 데이터취득 시연회</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

(나) 시운전 및 성능보완(3차년도-당해년도)

| 검측장치 보완 및<br>검교정 내역 | 내 용 |
|---|---|
| 2019. 01. 18.<br>~ 01. 29. | ● 장소 : 서울교통공사 천왕차량기지 검수고<br>● 현차설치 보완 작업내용(검측장치 셋팅)<br>- 검측장치 외부 이물질 방지대책 보완(실링 교체)<br>- 시설물변형 검사장치 레이져 반사 방지막 추가 설치<br>- 판토충격 검사장치 마커 부착<br>- 시설물변형 검사장치 레이져 제어접점 보완<br>- T-bar 지지금구 검사장치 초점 및 조리개 조정<br>- 스위칭허브 제품 교체 및 테스트<br>- 타코미터 신호 확인 및 보완 필요<br>- 검측이미지 스토리지 저장 구성 및 보완 필요 |
| 2019. 02. 08. | ● 장소: 서울교통공사 천왕차량기지<br>● 작업내용<br>- 타코미터 차축 연결핀 절손발생으로 원인분석 및 보완<br>- 차축진동 영향으로 인한 타코미터 커넥터 풀림 발생 및 보완 |
| 2019. 02. 27. | ● 장소: 서울교통공사 도봉차량기지<br>● 작업내용<br>- 분석PC 데이터 저장장치(SSD) 증설 및 렌카드 교체설치<br>- 궤도 검사장치 레일두부 카메라 초점 설정 변경 |

| 검측장치 보완 및 검교정 내역 | 내 용 |
|---|---|
| 2019. 03. 11 | • 장소: 서울교통공사 도봉차량기지<br>• 작업내용<br>- 도봉차량기지 전삭고 활용, 타코미터 연결 커플러 점검<br>- 타코미터 연결 커플러 결속 부분 편심 측정(약 0.17㎜ 편심)<br>- 타코미터 연결축 몸체 부분 편심 측정(약 0.1㎜ 편심) |
| 2019. 04. 10.<br>~ 04. 16. | • 일자 : 2019. 04. 10.(수), 04. 16.(화)<br>• 장소 : 서울교통공사 천왕차량기지 검수고<br>• 작업내용<br>- 급전선로 열화상 카메라 탈거 후, 재장착<br>- 마모검측 카메라 케이블 점검 및 재연결<br>- 고정볼트 풀림 확인 및 보호유리 청소 |
| 2019. 05. 08. | • 장 소: 서울교통공사 천왕차량기지 검수고<br>• 작업내용<br>- 애자촬영용 조명 제어 불량 원인 분석<br>- SMPS 사양 150W-24V(현재) → 350W-24V(교체)<br>- 열화상 카메라 셋팅 및 통신상태 확인(양호)<br>• 검측장치 분석PC 장애 발생으로 전동차(754편성)에서 회수 및 조치 |
| 2019. 05. 15. | • 장소: 서울교통공사 천왕차량기지 검수고<br>• 작업내용<br>• 애자조명모듈의 SMPS(전원공급장치) 교체 및 기능 확인<br>- 검측시스템 분석서버 보완 설치 및 시스템 인터페이스 확인<br>- 메인보드 사우스브릿지 과열에 따른 프레임그래버 위치 변경<br>- 렌카드 및 프레임그래버 과열 방지를 위한 냉각팬 용량 증설 |
| 2019. 06. 05. | • 장소: 서울교통공사 천왕차량기지 검수고<br>• 작업내용<br>- 열차 가·감속 시 간헐적으로 영상 촬영 불량현상 발생<br>( PLC 교체 후 시스템 인터페이스 점검)<br>- 열화상 카메라 각도 조정<br>- 상부 카메라 등 검측모듈 청소 및 점검 |
| 2019. 10. 02. | • 장소: 서울교통공사 천왕차량기지 검수고<br>• 작업내용<br>- 상부 카메라 등 검측모듈 청소 및 점검<br>- 서버 PC 작동상태 점검 (불량 조치) |
| 2019. 10. 16. | • 장소: 서울교통공사 천왕차량기지 검수고<br>• 작업내용<br>- 탈거한 서버 용량증대 후 장착 (SSD 슬롯 2개 추가)<br>- 객실 하드디스크(4ea) SSD로 전수 교체 |

# 다. 연구수행 내용

(1) 개요

최고속도 100km/h 영업열차를 통한 도시철도 선로(터널)내 안전설비의 상태정보를 자동으로 계측하고 분석함으로서 유지보수업무를 과학화하고 철도 운영기관의 유지보수 안전 관리체계를 개선하는 “도시철도 선로(터널) 시설물 자율점검 분석시스템” 개발

(가) 시스템 구성

도시철도 시설물 상태 검측장치(5종)와 지상신호 검측장치(1종)을 영업차량에 설치하고, 검측데이터 수집・분석을 통합서버로 구성됨.

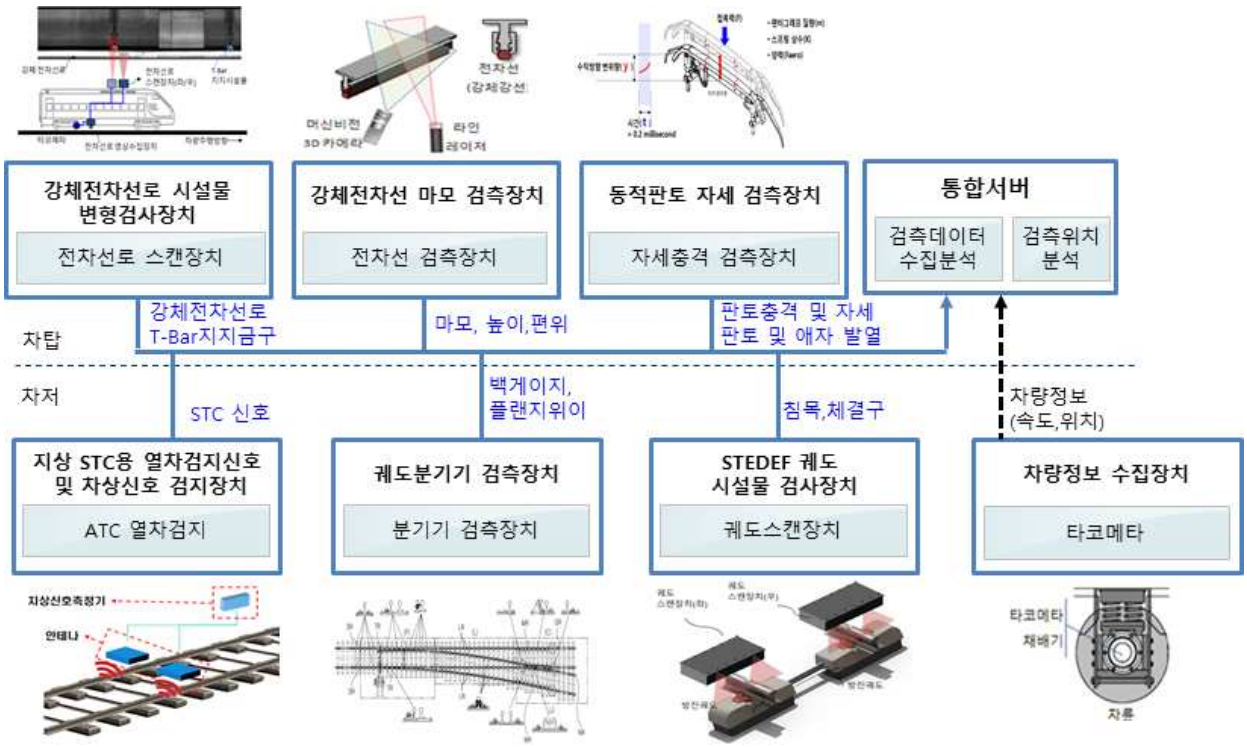



그림 5 시스템 구성도

○ 도시철도 시설물 상태 검측 모듈
- ‘지하부 강체 전차선로 변형’ 검사모듈 개발
- ‘지하부 제형 강체전차선 마모’ 검측모듈 개발
- ‘STEDEF 궤도 시설물’ 검사모듈 개발
- ‘궤도 분기기’ 검측모듈 개발
- ‘동적 판토자세’ 검측모듈 개발

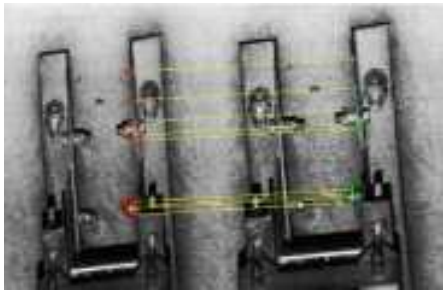
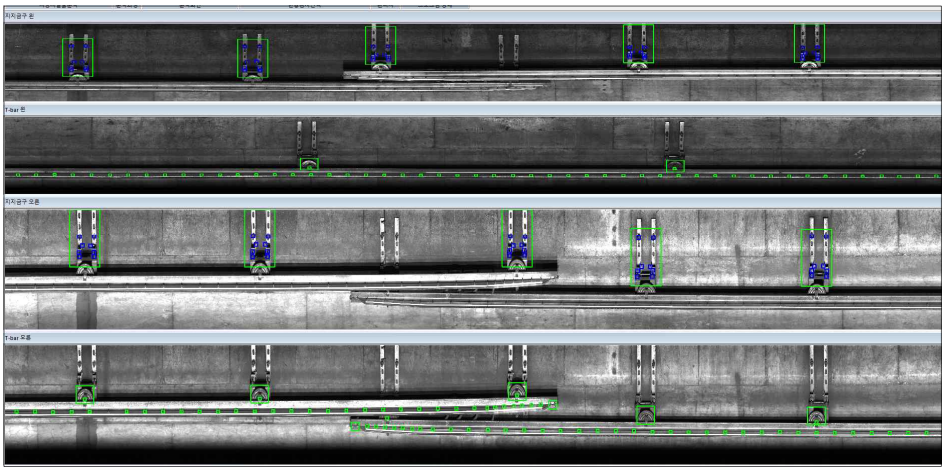
○ ATC 지상신호 검측 기술개발
- ‘지상 ATC용 열차검지신호 및 차상신호’ 검지장치 기술개발

(나) 핵심 성과물별 세부 설명

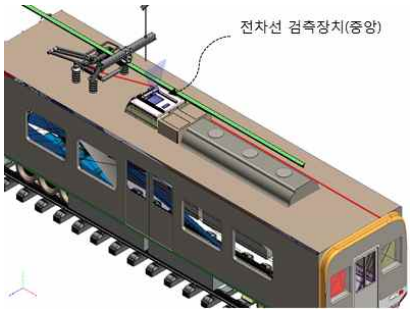
① 지하부 강체 전차선로 변형 검사 장치 개발(투아이시스)

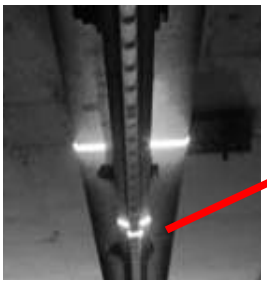
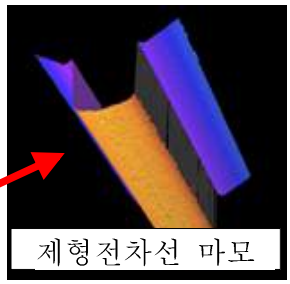
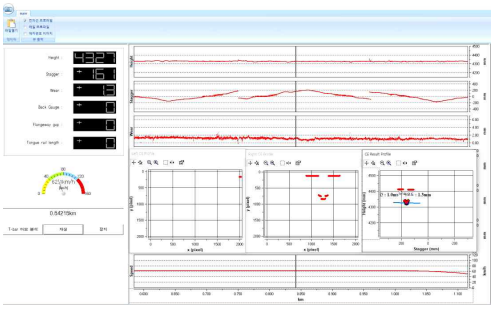
<table>
<tr><td>구분</td><td colspan="7">설명</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="7">열차주행 상태에서 지하부 강체 전차선로 시설물을 카메라를 이용하여 스캔한 후,<br>강체전차선로 및 지지시설물의 변형 및 탈락 유무를 자동으로 검사하는 장치</td></tr>
<tr><td>장치<br>개요도</td><td colspan="7"> 
</td></tr>
<tr><td>측정원리</td><td colspan="7">▪ 고해상도 라인스캔 카메라 및 라인조명장치에 의한 터널 시설물 영상 스캔<br>▪ 열차 주행중 차륜이동거리(타코신호)를 분석하여 일정간격에 카메라 트리거 신호를 생성하여 시설물 영상을 스캔하는 방식<br>▪ 산학연 협력을 통해 시설물 변형검사를 위한 고도화 알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="7"><table>
<tr><td>구분</td><td>장치 사양</td></tr>
<tr><td>차량속도</td><td>최고 100km/h</td></tr>
<tr><td>촬영범위</td><td>강체전차선로 및 T-BAR 지지시설물</td></tr>
<tr><td>검측간격</td><td>0.8㎜이내의 동일 간격으로 시설물 영상 파노라마 스캔</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>성과물</td><td colspan="7">▪ 전동차 차탑 좌측/우측 설치<br> 
<br>▪ 강체전차선로 시설 영상스캔(0.8㎜ 간격)<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- 강체 전차선로 시설 스캔 카메라 : 4대<br>- 집광 라인조명 : 2식</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵<br>심<br>성<br>과</td><td rowspan="2">양적<br>성과</td><td rowspan="2">1 ~ 3<br>차년도</td><td>특허</td><td>SCI논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적<br>성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">시스템 설계서(1건)</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">시제품(1건), 시제품 설치(1건)</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">종합시험 결과서(1건)</td></tr>
</table>

② 강체설비 검사 알고리즘 개발 (중앙대학교-위탁)

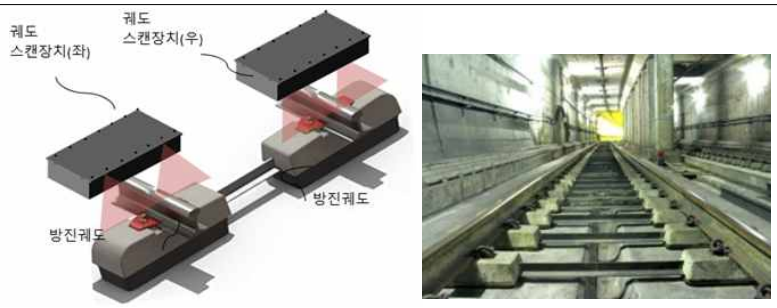
<table>
<tr><td>구분</td><td colspan="7">설명</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="7">열차주행 상태에서 강체전차선로 및 지지시설물의 변형 및 탈락 등 변형상태를 자동으로 검지하는 영상처리 알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td>장치<br>개요도</td><td colspan="7">  </td></tr>
<tr><td>검사방식</td><td colspan="7">▪ 이미지 프로세싱을 통한 시설물 변형 검사방식(Image Inspection)<br>- 시설물 인식: 시설물 학습 및 분류(Classification), 패턴인식<br>▪ 시설물 결함 자동 판정 수행</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="7"><table><tr><td>검사설비</td><td>검사대상 및 판정기준</td></tr><tr><td>T-Bar<br>전차선로</td><td>- 검사대상 : 롱이어볼트 이탈, 전차선취부상태<br>- 판정기준 : 50㎟ 이상 변형 검지</td></tr><tr><td>T-Bar 지지<br>시설물</td><td>- 검사대상 : 지지철물 볼트·안전핀 취부상태/탈락,<br>건넘선 장치 변형, 애자파손, 흐름방지장치 턴버클 이완<br>- 판정기준: 50㎟ 이상 변형 검지</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>성과물</td><td colspan="7">▪ 강체 시설물 변형검사 소프트웨어<br>  <br>▪ 강체전차선로 시설(T-Bar, 지지금구) 분석<br>- 시설물 인식 : 기계학습(딥러닝)<br>- 인식률 : 95% 이상( 변형검출 : 85% 이상)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵<br>심<br>성<br>과</td><td rowspan="2">양적<br>성과</td><td>1 ~ 3<br>차년도</td><td>특허</td><td>SCI논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적<br>성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">설계서(1건)</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">분석 S/W(1건)</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">종합시험 결과서(1건)</td></tr>
</table>

③ 지하부 제형 강체전차선 마모 검측장치(투아이시스)

<table>
<tr><th>구분</th><th>설 명</th></tr>
<tr><td>목적</td><td>열차주행 상태에서 T-BAR 제형 전차선의 마모 및 기하학적 변형(높이,편위)을 측정하여 전차선에 교체주기를 파악하기 위함</td></tr>
<tr><td>장치<br>개요도</td><td> 

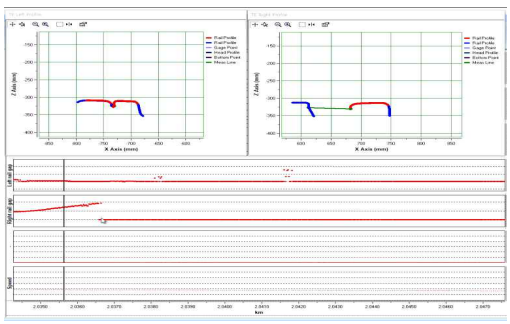


</td></tr>
<tr><td>측정원리</td><td>▪ 카메라와 레이저를 이용한 비접촉식 제형 전차선 마모 검측<br>▪ 라인레이저를 이용하여 제형전차선 단면 형상을 마킹하고, 카메라에서 촬영된 전차선 단면 형상을 분석하여 제형 전차선에 마모(잔존직경)를 검측함.</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td>
<table>
<tr><th>항목</th><th>사양</th></tr>
<tr><td>검측 대상</td><td>제형전차선 마모 및 중첩(AS/EX)구간 전차선 상호간격</td></tr>
<tr><td>검측 범위</td><td>높이: 4200~±4400㎜ 이내 (@강체전차선 높이 : 4300㎜)<br>편위: ±250㎜ 이내</td></tr>
<tr><td>검측 속도</td><td>400Hz</td></tr>
<tr><td>장치 정밀도</td><td>높이/편위 : ±5㎜ 이내<br>마모 : ±0.4㎜ 이내</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>성과물</td><td>  <br>▪ 전동차 차탑 중앙 설치(1대)<br>▪ 전차선 마모 검측 (50㎜ 간격)<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- 전차선 마모 측정카메라 : 2대<br>  <br>▪ 전차선 마모 검측 S/W<br>- 전차선 높이, 편위, 마모 검측<br>- 차량 주행정보 표시(속도, 거리)<br>- 마모정밀도 : ±0.4㎜</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵<br>심<br>성<br>과</td><td rowspan="2">양적<br>성과</td><td rowspan="2">1 ~ 3<br>차년도</td><td>특허</td><td>SCI논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적<br>성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">시스템 설계서(1건)</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">시제품(1건), 시제품 설치(1건)</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">종합시험 결과서(1건)</td></tr>
</table>

④ STEDEF 궤도 시설물 검사장치(투아이시스)

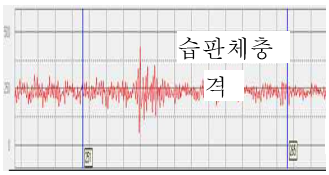
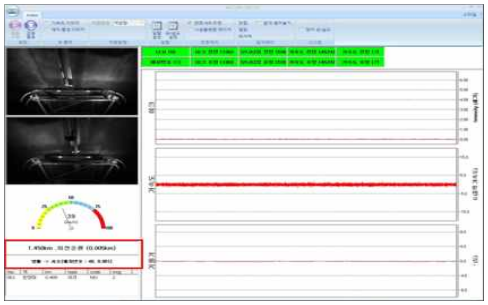
<table>
<tr><td>구분</td><td>설명</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>열차주행 상태에서 STEDEF 궤도의 이음매판(체결상태), 체결구(크립, 나사), 패드의 절손여부와 STEDEF 콘크리트 균열 및 파손을 검사하는 궤도 시설물 변형 진단기술개발</td></tr>
<tr><td>장치<br>개요도</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>측정원리</td><td>▪ 고해상도 라인스캔 카메라에 의한 STEDEF(방진) 궤도 영상 스캔<br>▪ 이미지 프로세싱을 통한 시설물 변형 검사방식(Image Inspection)<br>- 시설물 인식: 이음매, 체결구, 패드 학습 및 분류(Classification), 패턴인식<br>▪ 시설물 결함 판정 수행</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td>
<table>
<tr><td>검사설비</td><td>검사대상 및 판정기준</td></tr>
<tr><td>STEDEF<br>체결구</td><td>- 검사대상 : 이음매, 레일크립, 패드 탈락<br>- 판정기준 : 탈락 유무</td></tr>
<tr><td>STEDEF<br>침목</td><td>- 검사대상 : 침목 균열 및 파손<br>- 판정기준 : 300㎟ 이상 변형 검지</td></tr>
<tr><td>검측간격</td><td>- 0.8㎜이내의 동일 간격으로 시설물 영상 파노라마 스캔</td></tr>
<tr><td>변형검사 인지율</td><td>- 80% 이상</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>성과물</td><td>  <br>▪ 전동차 하부 좌측/우측 설치<br>▪ STEDEF 궤도(체결구, 침목) 스캔<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- STEDEF 궤도 스캔 카메라 : 2대<br>- STEDEF 라인 조명 : 4식<br>  <br>▪ STEDEF 시설물 변형검사 S/W<br>▪ 체결구 및 침목 결함 분석<br>- 시설물 인식 : 기계학습(딥러닝)<br>- 시설물 변형분석 알고리즘<br>- 인식률 : 98% 이상</td></tr>
<tr><td>핵<br>심<br>성<br>과</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">양적<br>성과</td><td rowspan="2">1 ~ 3<br>차년도</td><td>특허</td><td>SCI논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적<br>성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">시스템 설계서(1건)</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">시제품(1건), 시제품 설치(1건)</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">종합시험 결과서(1건)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

⑤ 궤도 분기기 검측장치(투아이시스)

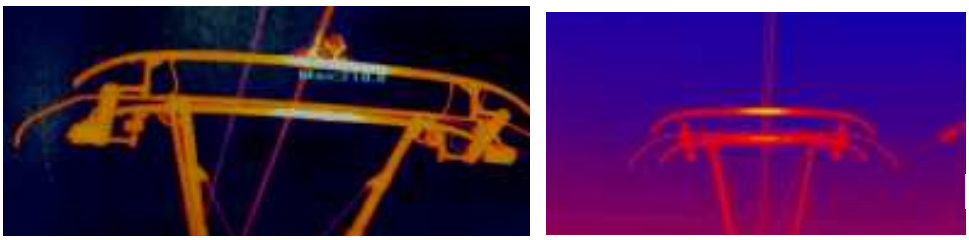
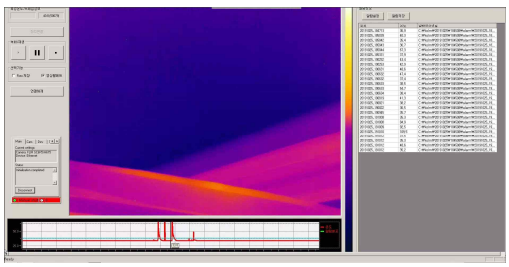
<table>
<tr><td>구분</td><td>설명</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>열차주행 상태에서 궤도분기부(크로싱, 가드레일)의 백게이지 및 플랜지웨이 폭을 측정하고 상태정보를 지속적으로 관리함으로써 분기기 사고를 미연에 방지한다.</td></tr>
<tr><td>장치<br>개요도</td><td> 


</td></tr>
<tr><td>측정원리</td><td>▪ 카메라와 레이저를 이용한 비접촉식 궤도분기기 검측모듈 개발<br>▪ 라인레이저를 이용하여 궤도분기기 단면 형상을 마킹하고, 카메라에서 촬영된 레일 단면형상으로 분석하여 궤도 분기기의 상태를 검측함</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td><table>
<tr><td>항목</td><td>사양</td></tr>
<tr><td>검측 대상</td><td>크로싱 백게이지, 가드레일 플랜지웨이 폭 검측</td></tr>
<tr><td>검측속도</td><td>2㎑ (분기기 스캔간격 7㎜이내, @50km/h)</td></tr>
<tr><td>장치 정밀도</td><td>정밀도 : ±2㎜ 이내</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>성과물</td><td>  <br>▪ 전동차 하부 좌측/우측 설치<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- 분기부 카메라 : 4대<br>- 분기부 촬영용 라인레이저 : 4식<br>  <br>▪ 궤도 분기기 검측 소프트웨어<br>▪ 분기부 단면 형상 분석<br>- 플랜지웨이 폭 및 가드레일 측정<br>- 측정 정밀도 : ±2㎜</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵<br>심<br>성<br>과</td><td rowspan="2">양적<br>성과</td><td rowspan="2">1 ~ 3<br>차년도</td><td>특허</td><td>SCI논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">질적<br>성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">시스템 설계서(1건)</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">시제품(1건)</td></tr>
<tr><td></td><td>3차년도</td><td colspan="5">시제품 설치(1건), 종합시험 결과서(1건)</td></tr>
</table>

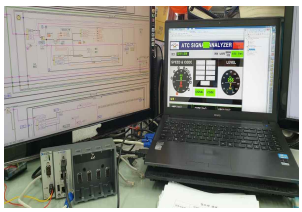
⑥ 동적 판토자세 검측장치(투아이시스)

<table>
<tr><td>구분</td><td>설명</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>열차주행시 팬터그래프 습판체에 충격 검측 및 습판체의 동적 자세(Roll)을 검측하고, 판토 및 집전 설비별 이상 온도을 측정하여 전차선로 상에 충격 발생 지점을 검지한다.</td></tr>
<tr><td>장치<br>개요도</td><td>   </td></tr>
<tr><td>측정원리</td><td>▪ 카메라와 레이저 마킹(또는 코디드타겟)을 이용한 비접촉식 판토 습판체의 충격검측 모듈<br>▪ 카메라를 이용하여 팬터그래프 습판체의 상/하 거동(변위량,가속도)을 측정하며 팬터그래프 충격발생 지점을 관리함.</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td>
<table>
<tr><td>항 목</td><td>사양</td></tr>
<tr><td>검측대상</td><td>- 팬터그래프 습판체 상/하 충격량 검측(비접촉식)<br>- 팬터그래프 습판체 동적자세(Rolling) 검측</td></tr>
<tr><td>검측범위</td><td>- 가속도: 0~30G</td></tr>
<tr><td>검측속도</td><td>- 가속도 : 400Hz</td></tr>
<tr><td>장치 정밀도</td><td>- 가속도 : ±2G 이내</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>성과물</td><td>  <br>▪ 전동차 차탑 중앙설치<br>▪ 판토 충격가속도 검측<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- 판토 측정용 카메라 : 2대<br>- 집광 라인조명 : 2식<br>  <br>▪ 팬터그래프 충격 검측 소프트웨어<br>- 판토 충격가속도 및 기울기 측정<br>- 차량 주행정보 표시(속도, 거리)<br>- 충격 가속도 측정정밀도 : ±2G<br>- 판토 기울기 : ±1°</td></tr>
<tr><td>핵심성과</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">양적 성과</td><td rowspan="2">1 ~ 3 차년도</td><td>특허</td><td>SCI논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적 성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">시스템 설계서(1건)</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">시제품(1건)</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">시제품 설치(1건), 종합시험 결과서(1건)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

⑦ 지하부 집전설비 발열검지 알고리즘 개발 (에스엠인스트루먼트-공동)

<table>
<tr><td>구분</td><td colspan="6">설명</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="6">열차주행중에 전기적 충격 및 이상온도로 인한 팬터그래프 습판체 및 전전설비에 대한 발열을 검지하는 알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td>장치<br>개요도</td><td colspan="6">  </td></tr>
<tr><td>검사방식</td><td colspan="6">▪ 이미지 프로세싱을 통한 열상 검사(Image Inspection)<br>- 팬터그래프 습판체 및 집전설비 인식 알고리즘 개발<br>▪ 팬터그래프 및 집전 설비별 이상 온도 알람</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6"><table><tr><td>검사설비</td><td>검사대상 및 판정기준</td></tr><tr><td>검사대상</td><td>- 검사대상 : 팬터그래프 및 집전설비(애자, 강체전차선)<br>- 알람 판정기준 : 설비별 제한온도(임계치) 이상시 알람 검출</td></tr><tr><td>검측속도</td><td>- 열화상 온도 : 30 frame/sec</td></tr><tr><td>검측정밀도</td><td>- 열화상 온도: ±2℃이내</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>성과물</td><td colspan="6">  <br>▪ 열화상 카메라 : 1대<br>  <br>▪ 판토 및 집전설비(T-Bar) 이상온도 검측</td></tr>
<tr><td rowspan="5">핵<br>심<br>성<br>과</td><td rowspan="2">양적<br>성과</td><td rowspan="2">1 ~ 3<br>차년도</td><td>특허</td><td>SCI논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td rowspan="3">질적<br>성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">설계서(1건)</td></tr><tr><td>2차년도</td><td colspan="5">분석 S/W(1건)</td></tr><tr><td>3차년도</td><td colspan="5">종합시험 결과서(1건)</td></tr></table>

⑧ ATC 지상신호 검측장치 개발 (서울교통공사-공동)

<table>
<tr><td>구분</td><td>설명</td></tr>
<tr><td>정의</td><td>도시철도 열차의 신호제어는 ATC/ATO방식을 주로 도입하여 운행중에 있으며(일부 호선 및 운영기관마다 일부 상이함) 신호기계실에서 레일로 주파수 신호를 전송하면 차상의 픽업코일 안테나를 통해 속도코드(Code Rate)와 출입문 열림 신호(ODL)등을 수신하고 제어하는 장치로 ATC 차상신호와 열차검지 신호를 측정하는 검측장치</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>▪ 전동차 운행 중 수집된 신호 분석을 통해 운행구간의 신호 변화상태와 불연속 신호(무신호 및 순간무신호) 발생 신호 분석을 통해 고장예측 구간 등을 사전에 진단하고, 열차의 안전운행을 위한 열차신호의 안정적인 상태유지<br>▪ 순간무신호 등 이례상황 발생시 신속한 유지보수가 가능하도록 이벤트 발생 위치를 기록</td></tr>
<tr><td>장치<br>개요도</td><td>   </td></tr>
<tr><td>검측방식</td><td>▪ Pick up 코일 안테나로 주파수형태로 수신되는 차상신호 및 열차검지신호 감지<br>▪ 초당 10만개의 데이터를 수집하고, 열차운행과 관련된 주파수, 크기 등을 분석<br>▪ 아날로그 신호를 16비트 디지털 신호로 변환하여 열차신호분석<br>▪ 이동거리를 계산할 수 있는 장치와 통신하여 거리 계산 알고리즘에 적용<br>▪ 전동차 컴퓨터장치와 통신하여 열차운행 정보 수신하여 알고리즘에 활용<br>▪ ATC 차상신호 및 열차검지 신호의 이상유무 판단<br>▪ 무신호나 이상신호 발생시 신속한 조치가 가능하도록 정확한 위치를 제공</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td>
<table>
<tr><td>측정항목</td><td>기준</td></tr>
<tr><td>전류/전압레벨 검지</td><td>기준치 ±10% 이내</td></tr>
<tr><td>열차검지용 주파수</td><td>중심주파수 ±2% 이내</td></tr>
<tr><td>차상반송 주파수</td><td>중심주파수 ±2% 이내</td></tr>
<tr><td>Coderate 주파수</td><td>중심주파수 ±2% 이내</td></tr>
<tr><td>무신호 및 순간무신호 검지</td><td>최소전압 이하 1.67초 유지시</td></tr>
<tr><td>궤도번호 기록</td><td>이동거리 기준으로 update</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>성과물</td><td>   </td></tr>
<tr><td>핵심성과</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">양적 성과</td><td rowspan="2">1 ~ 3 차년도</td><td>특허</td><td>SCI논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적 성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">시스템설계서(1건)</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">시제품(1건)</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">시제품 설치(1건), 종합시험 결과서(1건)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

(다) 연차별 개발 내역

| 구분 | 연차 | 강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 | 지하부 제형강체 전차선 마모 검측장치 | STEDEF 궤도시설물 검사장치 | 궤도분기기 검측장치 | 동적 판토자세 검측 장치 | 지상 ATC용 열차검지 신호 및 차상신호 검지장치 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 완료 여부 | 완료 여부 | 완료 여부 | 완료 여부 | 완료 여부 | 완료 여부 |
| 시스템 사양정의 | 1차년도 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 |
| 상세 설계 | 1차년도 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 |
| 시제품 제작 | 2차년도 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 |
| 정적시험 | 2차년도 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 |
| 개발품 제작 | 2차년도 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 |
| 공인기관 환경시험 | 2차년도 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 | 완료 |
| 시운전 시험 동적시험 (현차시험) | 3차년도 | 완료 (7호선) | 완료 (7호선) | 완료 (7호선) | 완료 (7호선) | 완료 (7호선) | 완료 (7호선) |

(라) 최종 목표사양

| 검측장치 | 평가 항목 | 최종 목표 (3차년도) | 비고 |
|---|---|---|---|
| 강체 전차선로 시설물 변형검사 | 시설물 스캔간격 | 0.8㎜미만 | |
| | 시설물 영상 분해능 | 0.8㎜미만 | |
| | 변형 검출률 | 85% | |
| 강체전차선 마모 검측장치 | 마모 정밀도 | 0.4㎜ | 50㎜간격 |
| | 높이 정밀도 | ±5㎜ | |
| | 편위 정밀도 | ±5㎜ | |
| 동적 판토자세 검측장치 | 판토충격 가속도 측정범위 | 0 ~ 30G | 5㎑ |
| | 판토충격 가속도 정밀도 | ±2G 이내 | |
| | 판토자세 측정범위 | ±20° | |
| | 판토자세 정밀도 | ±2° | |
| STEDEF 궤도 시설물 검사장치 | 체결구 변형검사 인식률 (클립, 나사, 패드) | 85% | |
| | 침목 인식률 (균열 및 파손) | 균열(폭1㎜ 이상) 파손(300㎟ 이상) | |
| 궤도 분기기 검측장치 | 분기기 검측간격 | 50㎜ | |
| | 크로싱 백게이지 | ±2㎜ | |
| | 가드레일 플랜지웨이 폭 | ±2㎜ | |
| | 텅레일 밀착간격 검측정밀도 | ±2㎜ | |
| 지하부 집전설비 발열검지 장치 | 온도 측정 범위 | -20 ~ +150℃ | |
| | 온도 정밀도 | ±2℃ | |
| 지상 ATC용 열차검지 신호 및 차상신호 검지장치 | 전류/전압레벨 검지 | 기준치 ±10% 이내 | |
| | 열차검지용 주파수 | 중심주파수 ±2% 이내 | |
| | 차상반송 주파수 | 중심주파수 ±2% 이내 | |
| | Coderate 주파수 | 중심주파수 ±2% 이내 | |
| | 무신호 및 순간무신호 검지 | 최소전압 이하 1.67초 유지시 | |
| | 궤도번호 기록 | 이동거리 기준으로 update | |

(2) 강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 (투아이시스-주관)

(가) 개요

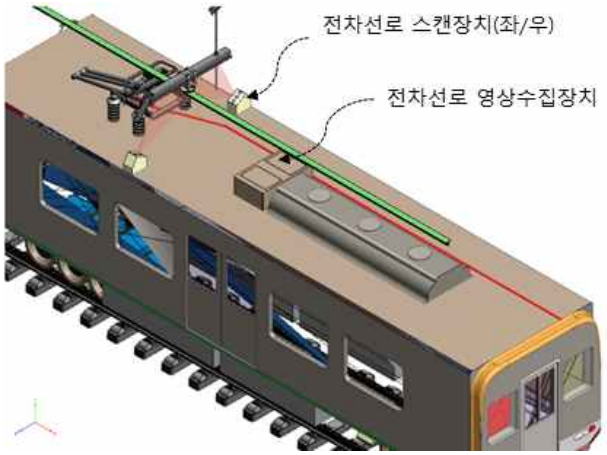
전동차 주행 상태에서 지하부 강체 전차선로 시설물 영상을 수집하는 장치 개발

① 검측방식

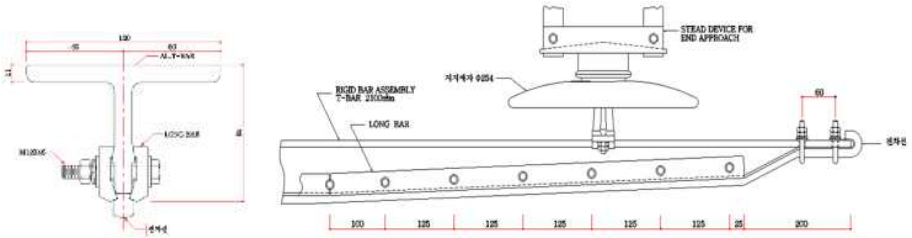
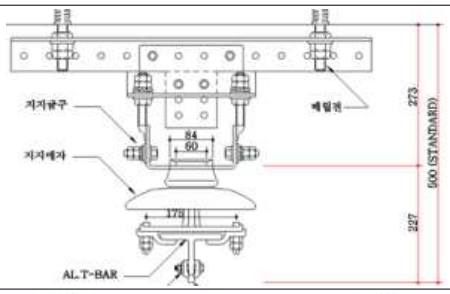
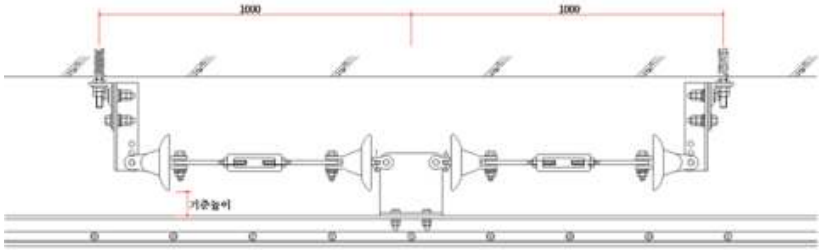
○ 차량 주행중 카메라를 이용한 시설물 영상 스캔(0.8mm 간격)

○ 차량정보(속도,거리) 분석을 통한 시설물 스캔 간격 제어

○ 영상처리를 이용한 시설물 변형 상태 검사 (중앙대학교-위탁)




② 시설물 영상수집 대상

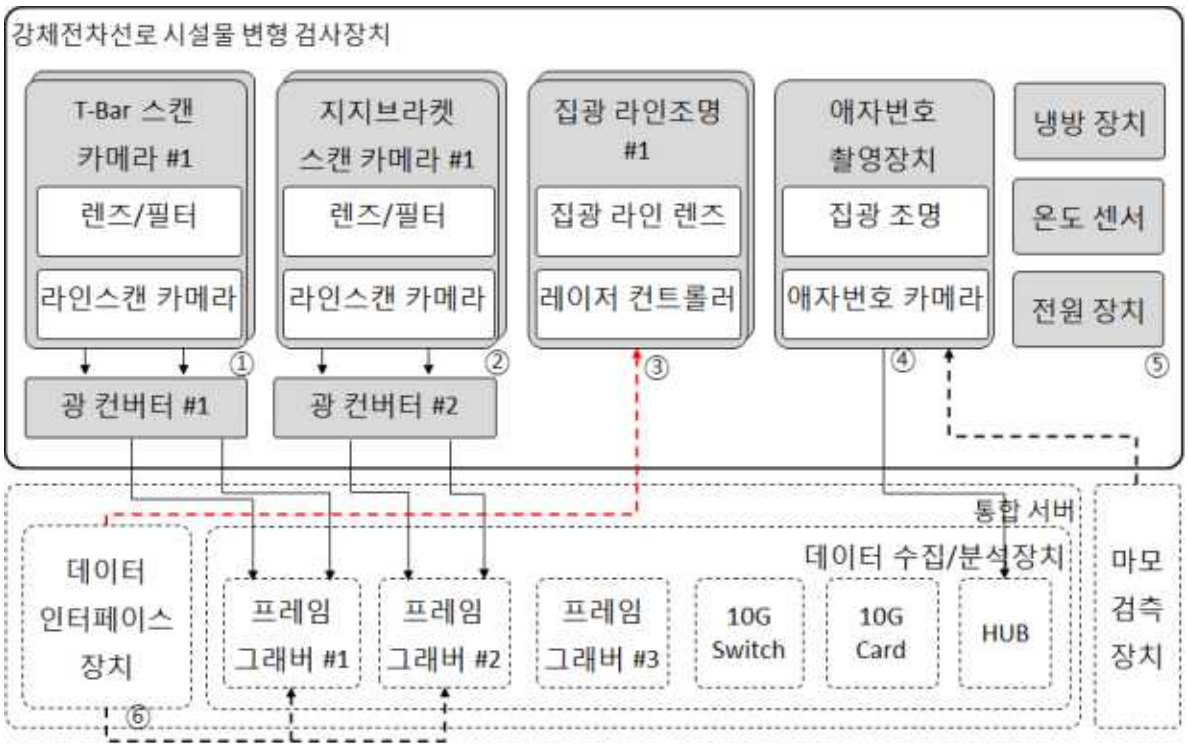
| 영상수집 대상 | 시설물 도면 |
|---|---|
| T-Bar<br>(롱이어<br>엔드어프로치) |  |
| T-Bar<br>지지시설물<br>(애자, 지지금구) |  |
| 흐름방지장치 |  |

③ 목표 성능

| 구분 | 장치 사양 |
|---|---|
| 차량속도 | ▪ 최고 100km/h |
| 촬영범위 | ▪ 강체전차선로 및 T-BAR 지지시설물 |
| 검측간격 | ▪ 0.8㎜이내의 동일 간격으로 시설물 영상 파노라마 스캔 |

(나) 장치 구성 설계

① 장치 구성도




① T-Bar 시설물 영상 전송( 최대 34kHz )
② 지지브라켓 시설물 영상 전송( 최대 34kHz )
③ 조명 ON/OFF 신호( 접점 타입 )
④ 애자번호 영상 전송
⑤ 애자인지 트리거( 최대 5.5Hz )
⑥ 등간격 촬영 신호 ( 0.8mm )

그림 9. 강체전차선로 시설물 변형 검사장치 구성도

② 장치구성 물량

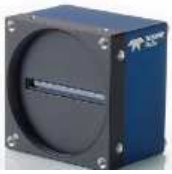
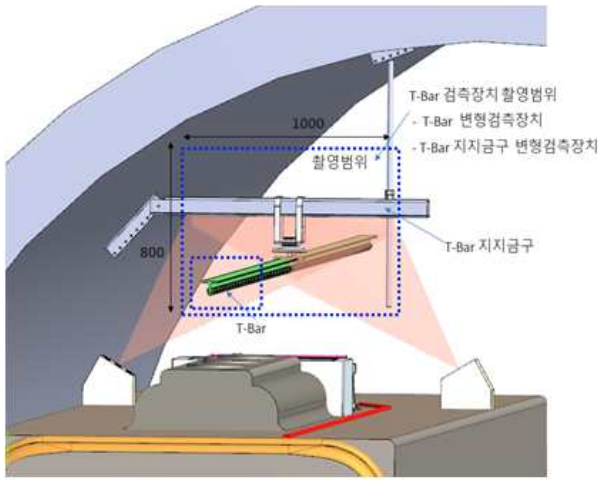
| 구성 | 세부 내역 | 수량 | 구성품 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 전차선로 스캔장치 | 전차선로 촬영 카메라 (T-Bar 및 지지브래킷) | 4EA | ▪ 해상도 : 4096 x 2line<br>▪ 인터페이스 : CamLink<br>▪ 전원 : DC 12V / 11W<br>▪ 랜즈 F/L : 35㎜(F-Mount)<br>▪ 필터 : 775 ~ 840㎚ |  |
| | 조명 랜즈 | 1식 | ▪ 라인 폭(Width) : 7㎜(@2m)<br>▪ 초점거리: 2m<br>▪ 화각 : 60° |  |
| | 조명 모듈 및 컨트롤러 | 2EA | ▪ 조명 출력 : 30W<br>▪ 파장대 : 808㎚ ±5㎚<br>▪ 전원 : AC220V / 150W |  |
| 애자번호 촬영장치 | 애자번호 카메라 | 1EA | ▪ 해상도 : 1920 x 1200<br>▪ 인터페이스 : GigE<br>▪ 전원 : DC 12V / 3.5W<br>▪ 랜즈 F/L : 8.5㎜ (58°) |  |
| | 조명장치 | 1식 | ▪ 타입 : COB LED<br>▪ 파워 : 600W x 6EA | |
| 위치정보 인식장치 (공용장비) | 타코메타 | 1식 | ▪ 차량정보(속도,이동거리) 검측용 | |
| 선로영상수집 분석장치 (공용장비) | 산업용 서버 | 1식 | ▪ 장치제어 및 궤도 영상 수집 | |
| | 카메라 I/F장치 | 2EA | ▪ 인터페이스 : Camlink<br>▪ Pixel Clock : 66MHz<br>▪ I/O Interface : GPIO, RS-232<br>▪ Fiber: Multimode |  |
| | KVM | 1식 | ▪ 키보드, 마우스, 모니터 | |
| | UPS | 2EA | ▪ 무정전 전원장치(공동 사용) | |
| | 타코인터페이스 | 1EA | ▪ 타코메타 인터페이스(공용 사용) | |
| | SSD | 6EA | ▪ 전차선로 영상 저장용 스토리지 | |
| | 트리거제어기 | 1 | ▪ 카메라 트리거 신호 생성 | |

표 29 검측장치 구성 물량표

③ 선로시설물 촬영 범위

○ T-Bar 및 T-Bar 지지브라켓 영상 취득을 위한 화각 구성은 강체전차선로 시설물 변형 검사장치를 차탑 좌/우에 설치하고, 종방향으로 구성되어 있는 시설물을 촬영하기 위해 4대의 카메라로 운영하며 화각 구성은 다음과 같다.




| 항목 | 구성 사양 |
|---|---|
| 촬영 범위 | ▌T-Bar 지지금구 좌측 및 우측면 촬영 |
| | ▌카메라 FOV : 1000㎜(가로)×1000㎜(세로) |
| 해 상 도 | ▌가로(시설물 스캔간격): 0.8㎜/pixel 이내 |
| | ▌세로(픽셀해상도): 0.8㎜/pixel 이내 |

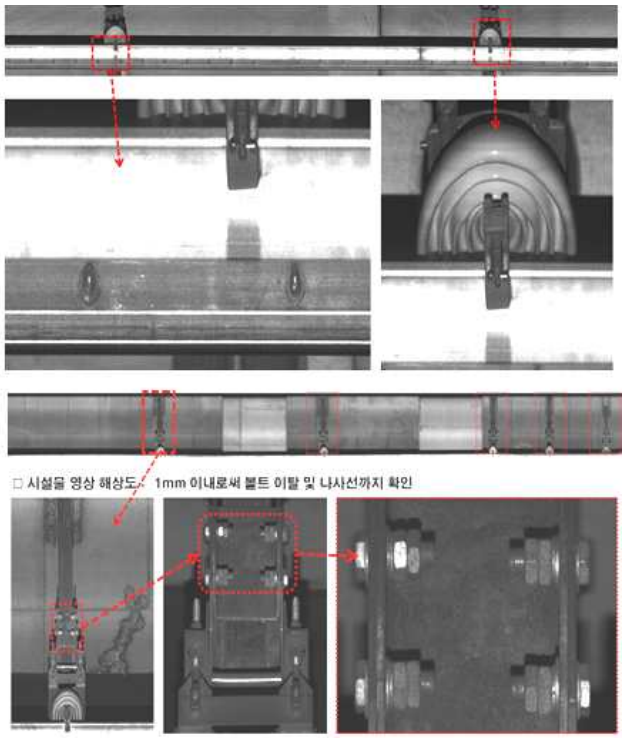



그림 10 강체 전차선로 시설물 변형검사장치 촬영 범위 및 대상

○ 도시철도 T-Bar 및 지지브라켓을 촬영하기 위한 카메라 화각 구성은 다음과 같다.

- 검측장치가 설치되는 차량의 높이 : 3,630㎜
- FOV (화각) : 973mm
- 초점의 최소거리 : 826mm
- 초점의 최대거리 : 1,197mm

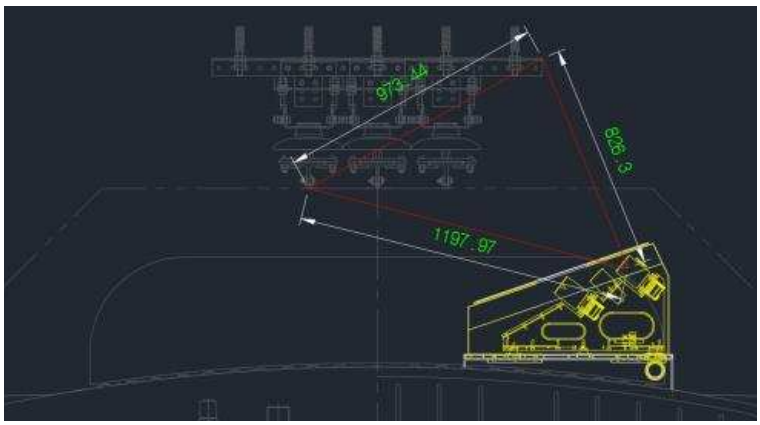
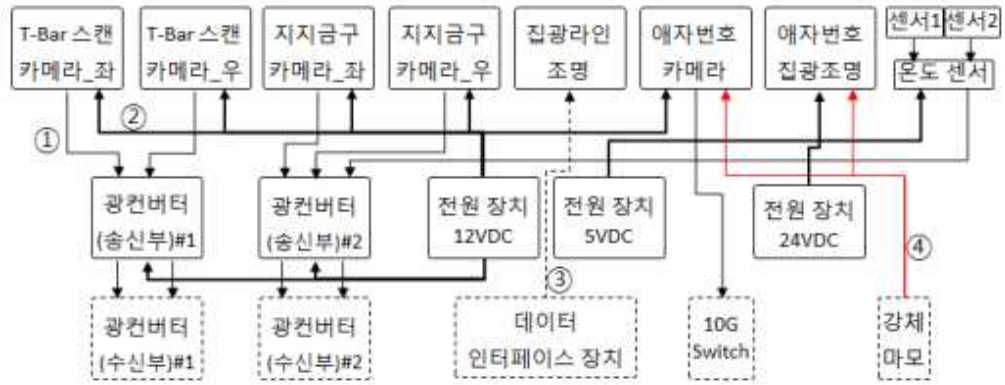



그림 11 강체 전차선로 시설물 변형검사장치 화각 구성

④ 장치 인터페이스




① 데이터 송수신 ( Camlink, GigE, RS-232 )
② 동작 전원
③ 조명 ON/OFF 제어(이동시 ON, 정차 시 OFF)

그림 12. 강체전차선 시설물 변형 검사 구성도

(다) 시제품 제작

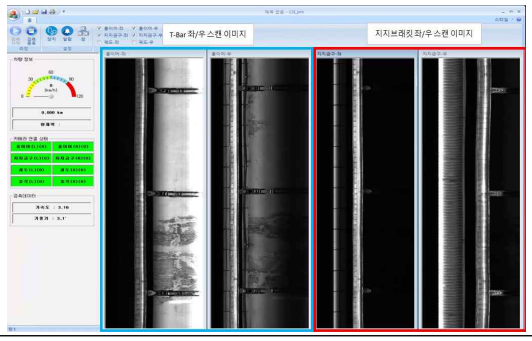
| 시제품 사진 | 설 명 |
|---|---|
|   | ▪ 장치 사양 |

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| 촬영범위 | ▪ T-Bar 지지금구 좌측/우측 촬영 |
| 픽셀 해상도 | ▪ 0.8㎜/pixel |
| 스캔간격 | ▪ 0.8㎜이내 동일간격 스캔(@100㎞/h) |

▪ 주요 구성품

| 세부 내역 | 수량 | 구성품 사양 |
|---|---|---|
| 카메라 모듈 | 4EA | ▪ 해상도 : 4096 x 2line<br>▪ 인터페이스 : CamLink<br>▪ 필터 : 775 ~ 840㎚ |
| 조명 모듈 | 1식 | ▪ 라인 폭(Width) : 7㎜(@2m)<br>▪ 화각 : 60° |
| 컨트롤러 | 2EA | ▪ 조명 출력 : 30W<br>▪ 파장대 : 808㎚ ±5㎚ |

(라) 현차 설치

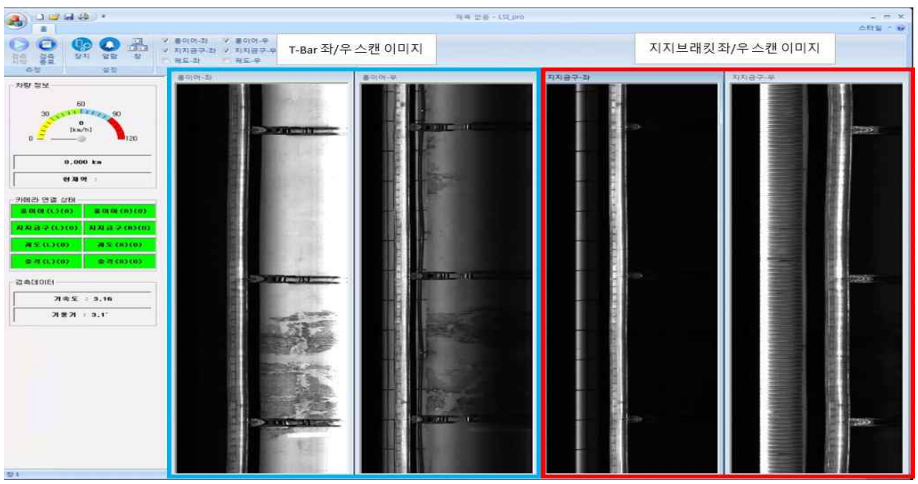
| 강체전차선로 시설물 변형 검사장치 | |
|---|---|
| ▪ 전동차 차탑 좌측/우측 설치<br>▪ 대상 차량 : 7호선 - 7054편성<br>▪ 설치기간 : 2018.11.13. ~ 2018.11.23.<br>  | ▪ 강체전차선로 시설물(T-Bar, 지지금구) 영상수집 및 저장<br>  |

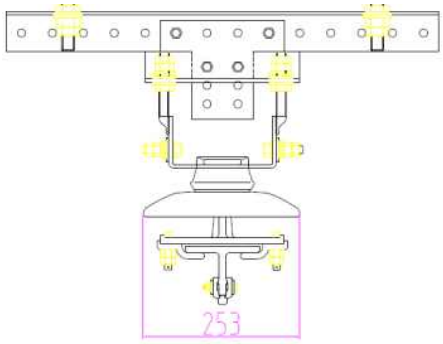
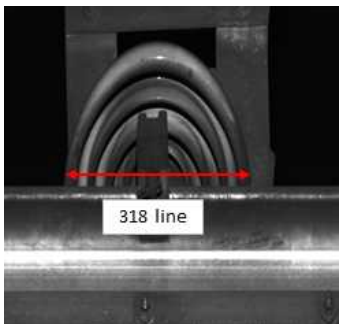
(마) 현차 시운전 및 성능시험 (7호선)

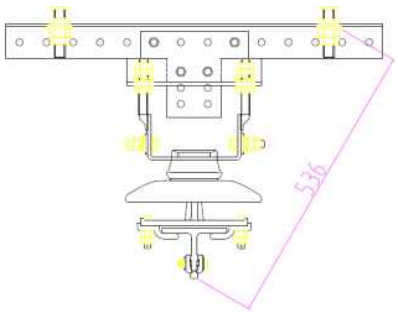
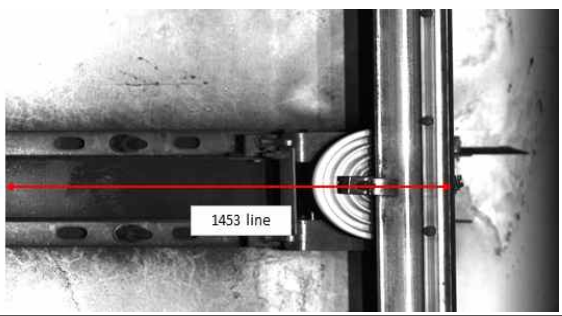
① 시험 항목

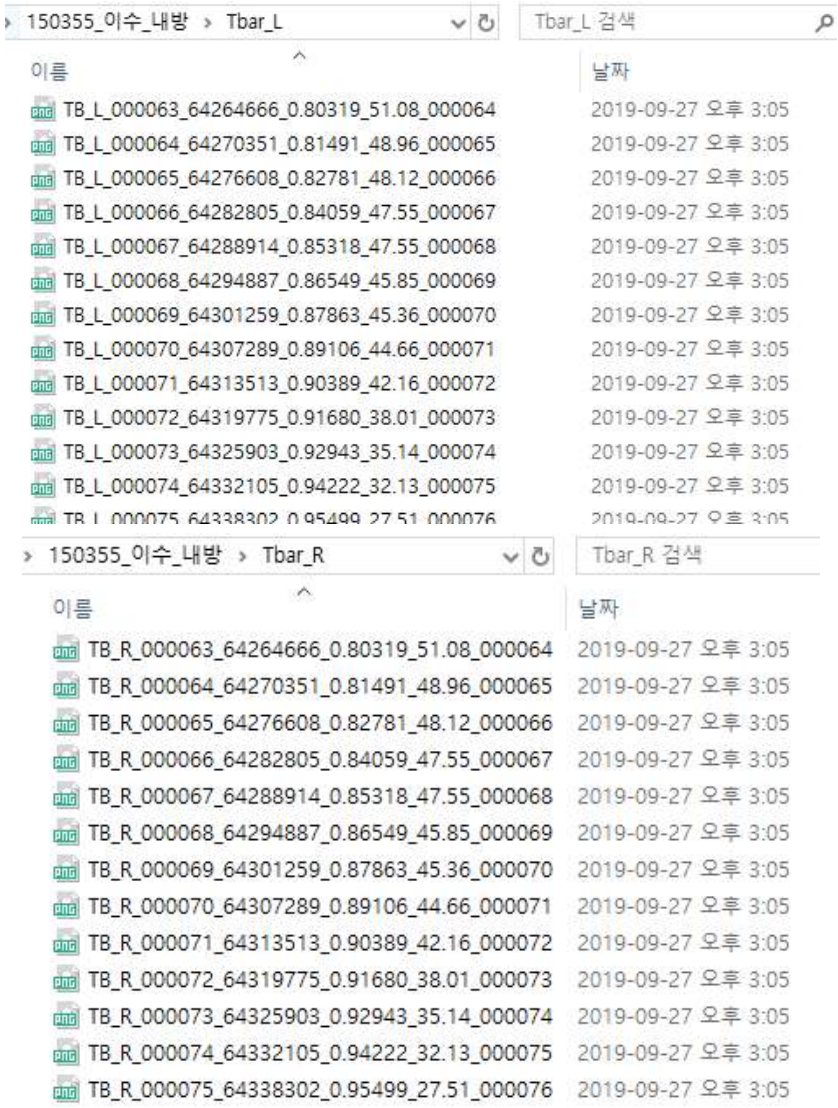
| 검측항목 | 세부 항목 | 내 용 | 차량속도 |
|---|---|---|---|
| 강체 전차선로 시설물 영상 수집 | 취득 이미지 현시 | 시설물 영상 표출 확인 | 0~ 100km/h |
| | 0.8mm 이내 간격으로 영상 취득 | 취득영상에서 기준도면과 스캔 횟수비교 (기준거리/취득 픽셀값 차) | |
| | 0.8 이내 분해능으로 영상 취득 | 취득영상에서 기준도면과 수직 분해능 비교(기준거리/취득 픽셀값 차) | |
| | 취득 이미지 저장 | 시설물 별 취득 이미지 저장 확인 | |

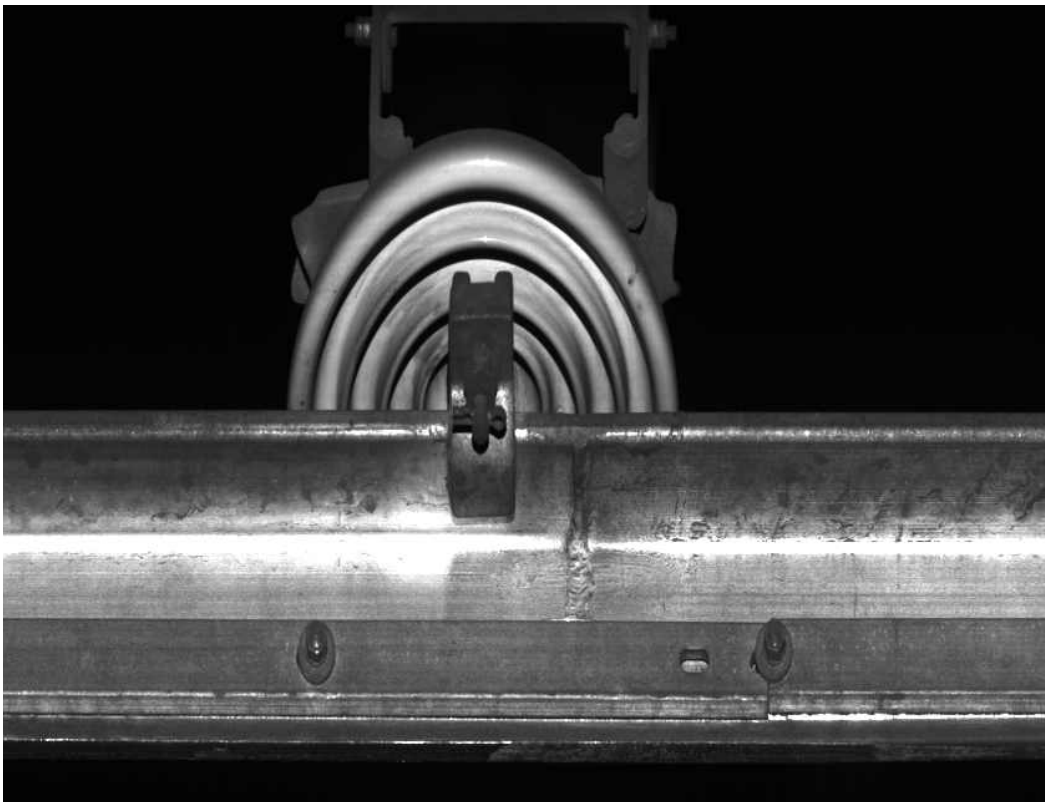
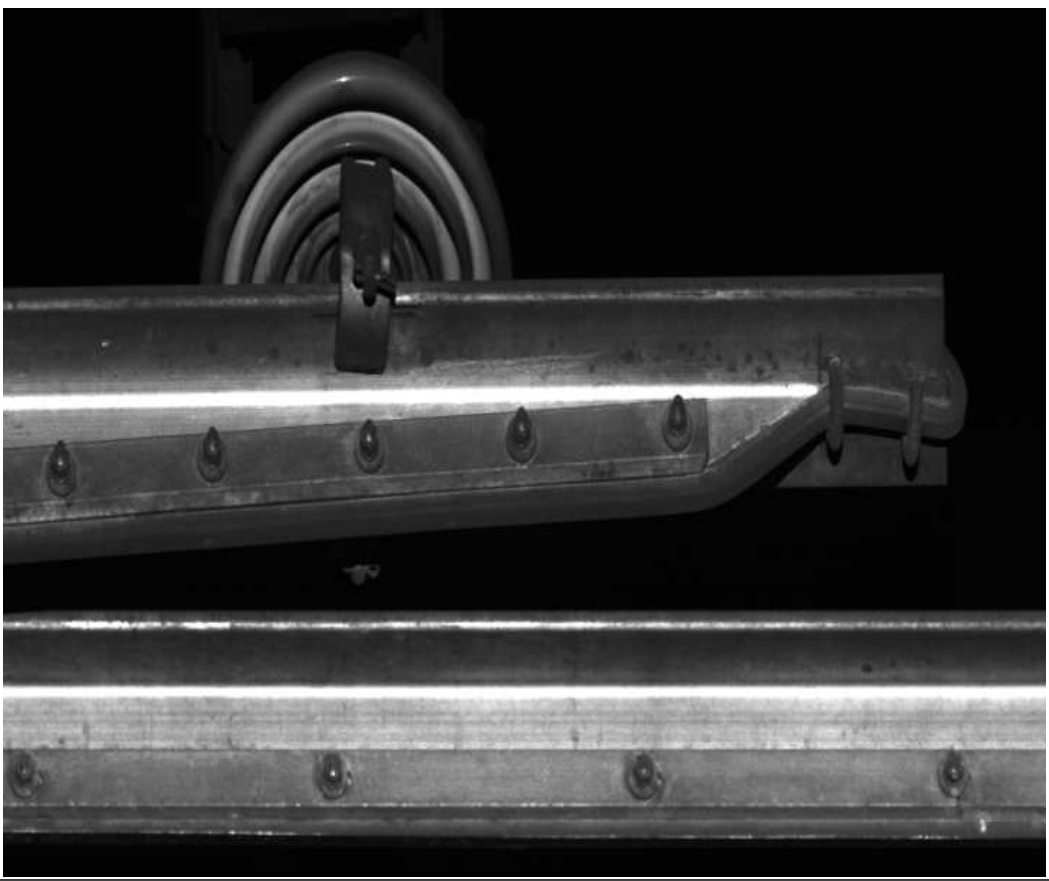
② 현차 시험 결과 (성능시험 점검표)

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 성능 평가 시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>ASA-01-01</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 전구간 (전동차 754편성)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-01</td><td colspan="3">강체전차선로 시설물 변형 검사장치 시설물 영상수집 성능</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-01-01</td><td colspan="3">강체 전차선로 시설물 취득 이미지 현시</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.22.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">• T-Bar 스캔 이미지 현시<br>• 지지브래킷 스캔 이미지 현시
<table>
<tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">취득 이미지 현시 및 확인</td><td>T-Bar 스캔 이미지 현시</td><td>T-Bar 스캔 이미지 현시 확인</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>지지브래킷 스캔 이미지 현시</td><td>지지브래킷 스캔 이미지 현시 확인</td><td>정상</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• T_Bar 및 지지브래킷 스캔 영상 현시<br>• 차량 주행정보 현시<br> 
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 성능 평가 시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>ASA-01-02</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 전구간 (전동차 754편성)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-01</td><td colspan="3">강체전차선로 시설물 변형 검사장치 시설물 영상수집 성능</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-01-02</td><td colspan="3">기준도면과 시설물 영상 스캔 횟수비교</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.22.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">• 취득영상에서 기준도면과 스캔 횟수비교 (시설물길이/영상스캔횟수)<br><table><tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험결과</th></tr><tr><td>시설물 영상 수집 성능</td><td>0.8㎜ 이내 간격 영상 취득</td><td>0.8㎜ 이내 간격 영상 취득 확인</td><td>정상</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 기준 시설물(애자) 폭(Width) : 253㎜<br>• 시설물 스캔 간격 : 253㎜ / 318 line (@ 0.79㎜/line)<br>  <br>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">강체 전차선로 시설물 변형 검사장치성능 평가 시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>ASA-01-03</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 전구간 (전동차 754편성)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-01</td><td colspan="3">강체전차선로 시설물 변형 검사장치 시설물 영상수집 성능</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-01-03</td><td colspan="3">취득영상에서 기준도면과 수직 분해능 비교</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.22.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">• 취득영상에서 기준도면과 수직 분해능 비교<br><table><tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험결과</th></tr><tr><td>시설물 영상 수집 성능</td><td>0.8㎜ 이내 수직 분해능 영상 취득</td><td>0.8㎜ 이내 수직 분해능 영상 취득 확인</td><td>정상</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 기준 시설물(T-Bar ~ 지지브라켓) 높이 : 536㎜<br>• 시설물 픽셀해상도 : 536㎜ / 1453 pixle (@ 0.36㎜/pixel)<br>  <br>  </td></tr>
</table>

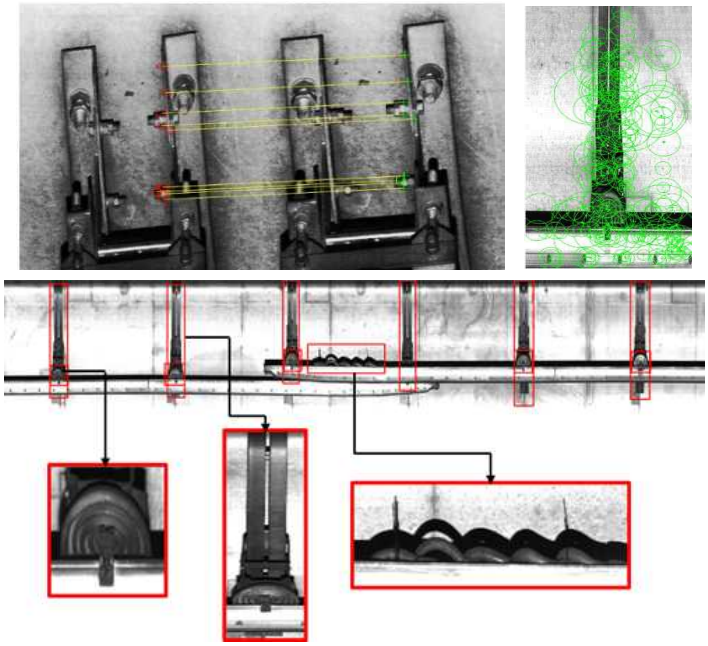
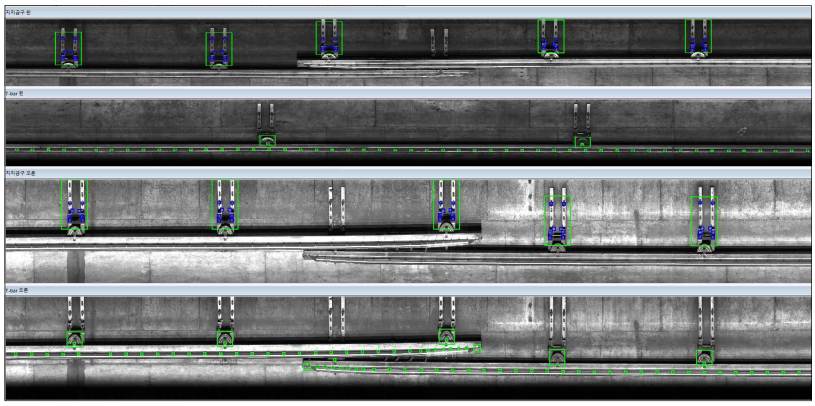
<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 성능 평가 시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>ASA-04</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 전구간 (전동차 754편성)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-01</td><td colspan="3">강체전차선로 시설물 변형 검사장치 시설물 영상수집 성능</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-01-04</td><td colspan="3">시설물 별 취득 이미지 저장 확인</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.22.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">• 시설물 별 취득 이미지 저장 확인
<table>
<tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험결과</th></tr>
<tr><td>시설물 영상 저장</td><td>영상 손실 없이 이미지 저장</td><td>영상 손실 없이 이미지 저장 확인</td><td>정상</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 이수 - 내방 역간 거리 : 1㎞<br>• 취득 이미지 개수 : 78장<br>• 취득이미지 높이 : 16384 line<br>• 시설물 스캔 간격 : 0.79 ㎜/line<br>• 취득 이미지 개수 : 78 Frame (@16384 line/frame) = 1.009582㎞<br> 
</td></tr>
</table>

| 시험 명 | 강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 성능 평가 시험 | 성능평가 항목번호 | ASA-01-04 |
|---|---|---|---|
| 첨부자료 | • 선로시설물 영상 수집 상태 확인   | | |

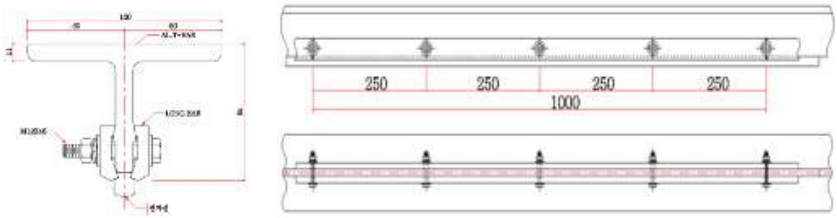
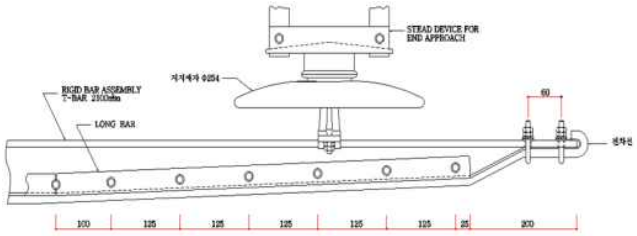
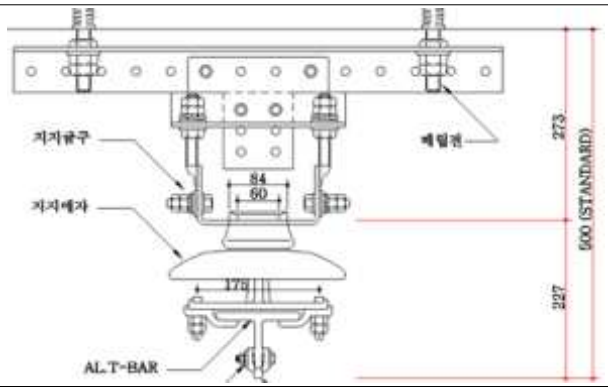
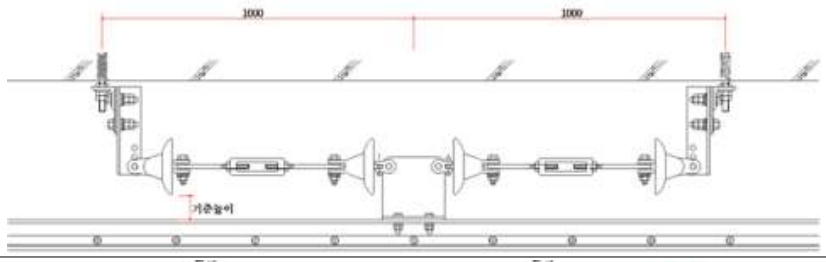
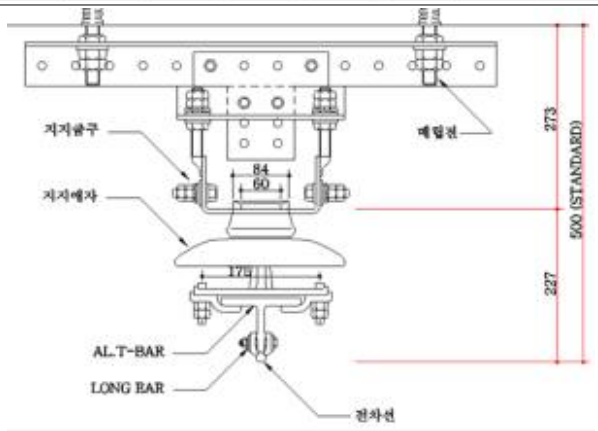
(3) 강체 설비 검사 알고리즘 개발 (중앙대학교-위탁)

(가) 개요

열차주행 상태에서 강체전차선로 및 지지시설물의 변형 및 탈락 등 변형상태를 자동으로 검지하는 영상처리 알고리즘 개발

<table>
<tr><th>구분</th><th>기술 개요</th></tr>
<tr><td>시설물<br>인식</td><td>• 기계학습 및 영상처리를 이용한 시설물 객체 인식<br>  </td></tr>
<tr><td>시설물<br>변형검사</td><td>• 영상처리를 이용한 시설물 변형 분석 및 검출<br>  </td></tr>
<tr><td>검사성능<br>(목표사양)</td><td>
<table>
<tr><th>검사설비</th><th>검사대상 및 판정기준</th></tr>
<tr><td>T-Bar<br>전차선로</td><td>▪ 검사대상 : 롱이어볼트 이탈, 전차선취부상태<br>▪ 판정기준 : 50㎟ 이상 변형 검지</td></tr>
<tr><td>T-Bar 지지<br>시설물</td><td>▪ 검사대상 : 지지철물 볼트·안전핀 취부상태/탈락,<br>건넘선 장치 변형, 애자파손, 흐름방지장치 턴버클 이완<br>▪ 판정기준: 50㎟ 이상 변형 검지</td></tr>
<tr><td>인식률</td><td>▪ 90% 이상</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

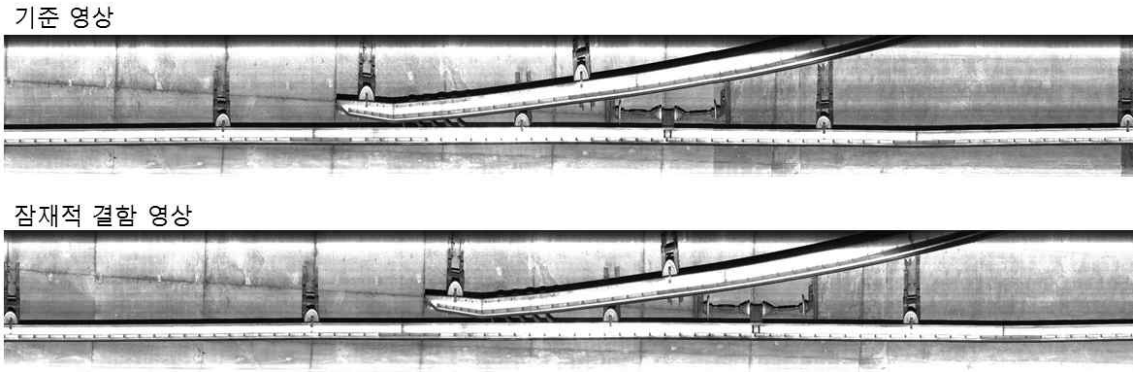
(나) 검사 대상 시설물 정의

| 검사대상 | 시설물 도면 |
|---|---|
| 강체전차선로<br>롱이어볼트<br>및 너트류 |  |
| 엔드어프로치<br>롱이어 볼트 및<br>너트, 훅크볼트 |  |
| 지지금구 볼트 및<br>너트 이탈, 안전핀<br>애자파손<br>흐름방지장치<br>턴버클 이완 |  |
| 흐름방지장치<br>볼트/ 너트<br>턴버클 이완<br>현수애자 |  |
| 지지금구<br>볼트/너트<br>안전핀 |  |

(다) 변형검사 알고리즘 내용

① 영상 재구성

○ 차량의 흔들림에 의한 카메라의 미세한 각도 변화, 차량 운행 속도 차이 등 다양한 요인에 의해 같은 구간 내 동일 시설물들은 두 비교 영상에서 서로 다른 위치에 존재함에 따라 변형 감지가 어려움




○ 이러한 문제를 해결하기 위해, 아래 설계도와 같이 촬영된 두 영상을 적절히 가공하는 영상 재구성 과정을 수행함

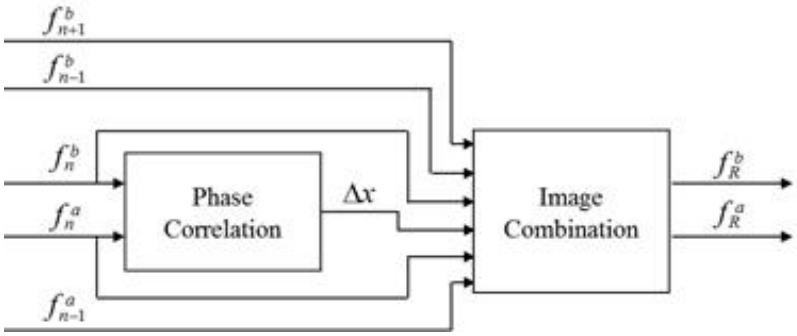



그림 16 영상 재구성 모듈 알고리즘

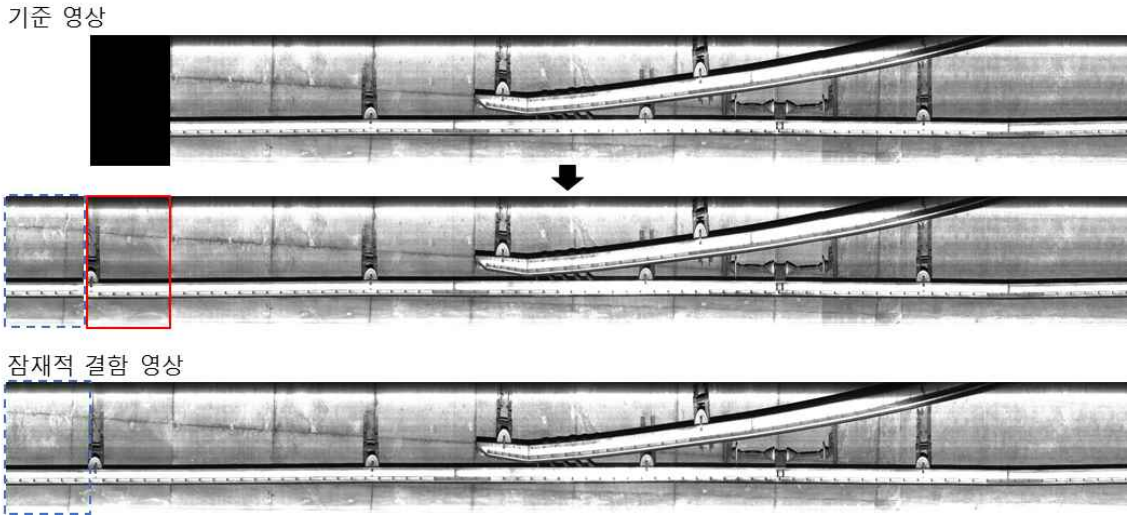
㉮ phase correlation 기반 영상 정합

○ 영상 재구성 과정 중 phase correlation은 두 영상을 정합하는 알고리즘으로, 영상 내 시설물의 위치를 대략적으로 정렬하는 역할을 수행함

○ 이때 phase correlation 알고리즘은 두 비교할 영상을 주파수 공간의 신호로 변환한 후, 화소 간 곱셈으로 연산되는 correlation 연산을 활용함으로써, 크기가 큰 영상에서도 빠른 속도로 두 영상 간의 전역적 움직임을 추정할 수 있음

㉯ 영상 합성 및 재구성

○ 영상 내 시설물의 일부가 잘리거나 시설물 중 정렬할 대상이 없어지는 문제를 해결하기 위해 이전 혹은 다음 구간에서 촬영된 영상에서 일부분을 가져와 합성하여 영상을 재구성




② 딥러닝 기술을 이용한 시설물 검출

○ 촬영된 영상 내 시설물은 극히 일부분이기 때문에 전체 영상 범위에서 두 영상을 비교할 경우 많은 연산량 및 시간을 요구하는 문제가 발생함

○ 객체 기술을 이용하여 시설물의 종류를 파악함으로써 배경을 제외한 주요 강체설비 시설물 영역을 검사하는 것을 목적으로 함

○ 기존의 기계학습 방법들은 검출해야 할 시설물의 크기가 고정되어 있으며 제한된 특징들을 활용하여 학습해야 하므로, 다양한 크기 및 특징을 가진 시설물을 검출하는데 어려움이 있음

○ 본 기술에서는 딥러닝 기반의 객체 검출 기법을 이용하여 시설물을 검출함. 딥러닝 기반 객체 검출을 위해서는 영상 비율이 1:1에 근접해야 하므로, 시설물 검출 이전에 영상 분할 과정을 수행.

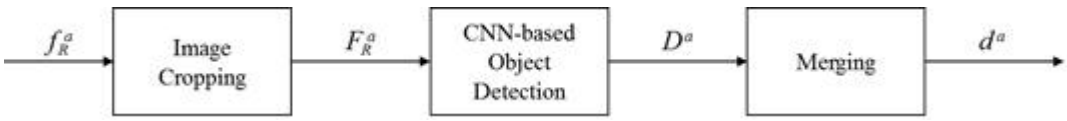



그림 18 딥러닝 기반 객체 검출 모듈 알고리즘

㉮ 영상 분할 과정

○ 일부 시설물들이 분할 과정에서 잘리는 문제를 해결하기 위해 인접 공간에서 분할된 영상들이 각각 1/4 정도의 영역을 공유할 수 있도록 영상을 분할함

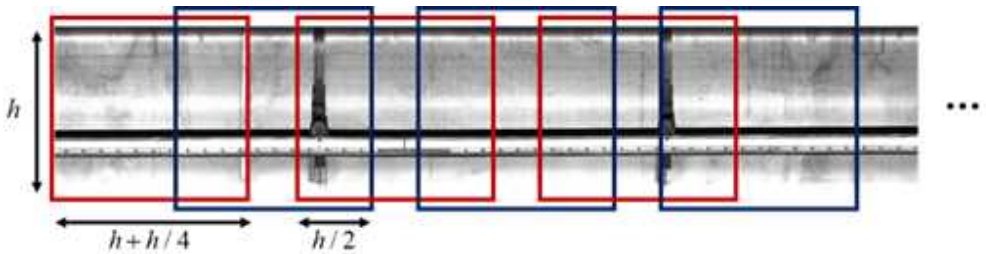



그림 19 영상 분할 과정

㉰ 딥러닝 기반 객체 검출

○ 현재 촬영된 변형검사 대상 영상으로부터 딥러닝 기반의 객체 검출 기술을 활용하여 시설물을 검출함

○ 기존 딥러닝 기반 객체 검출 방법 중 single-shot multibox detector (SSD)를 이용한 시설물 검출은 one stage 형태의 network 구조로 설계되어 빠른 객체 검출 성능을 보이나, 상대적으로 크기가 작은 객체는 크기가 큰 객체보다 얕은 학습이 진행되므로 정확도가 다소 떨어짐

○ SSD에서 성능이 개선된 deconvolutional SSD (DSSD)는 위의 작은 객체 검출에 대한 정확도를 개선하였으나, network 층이 깊어짐으로 인해 검출 속도가 저하되는 문제가 있음

○ 본 과제에서는 DSSD의 높은 정확도와 기존 SSD 방법의 빠른 속도를 동시에 만족하기 위해 DSSD network 구조를 수정하여 사용함

○ 시설물의 검출 정확도를 보다 개선하기 위해 기존 학습 모델을 auto-encoder 기반의 모델로 수정하여, 좀 더 깊은 network 모델에서 검출이 가능한 구조로 수정. 이 때 각 feature channel의 개수를 줄임으로써 학습 모델의 깊이가 깊어질수록 검출 속도가 느려지는 문제를 개선함. 시설물 검출은 현재 촬영 중인 결함 대상 영상에서 진행하여, 동일 구간 영상의 중복 검출을 피함

○ 딥러닝 학습을 위해 7호선 운행노선 중 2.4㎞ 샘플구간에 설비된 시설물 영상을 대상으로 회전 및 크기변환, 밝기변환 등의 영상변환 과정을 통해 약 25,000장(300㎞분량)에 영상을 가공 생성하였으며, 상기 영상을 이용하여 batch 32, learning rate 0.01의 파라미터를 적용하여 약 200,000번 반복학습을 수행함

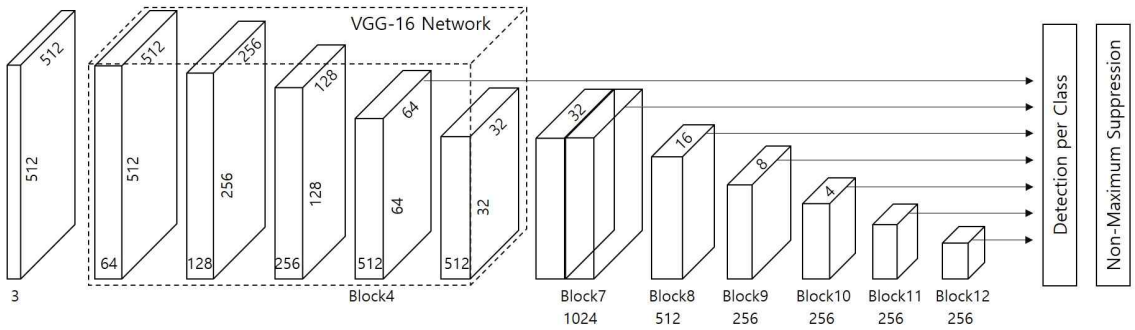



그림 20 기존 학습 모델

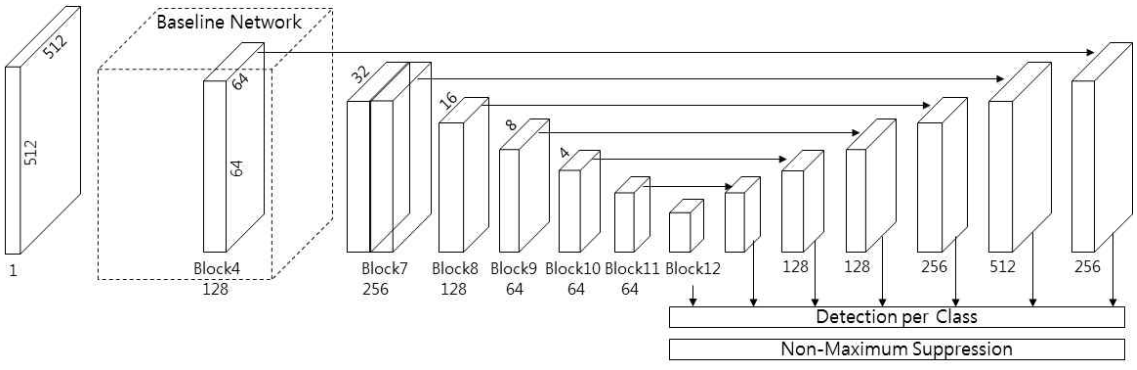



그림 21 본 과제에 적용된 학습 모델

㉰ 검출 객체 합성

○ 각 분할된 영상에서 검출된 객체의 위치 및 크기 정보를 본래 영상의 크기에 맞추기 위한 과정을 수행

○동일 시설물의 중복 검출을 피하기 위해 non-maximum suppression 과정을 수행함



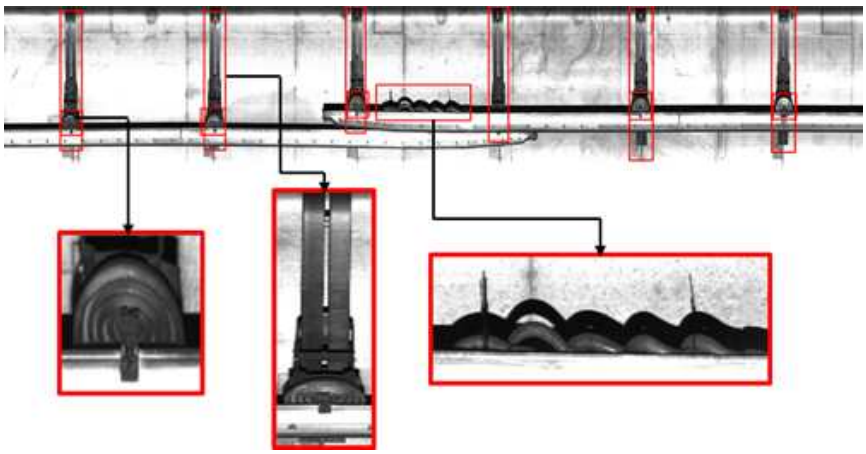
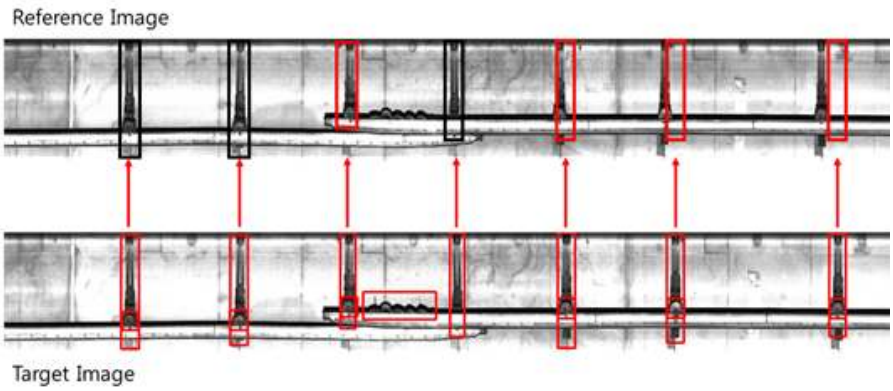



그림 23 객체 검출 결과

③ 검출 시설물의 정렬

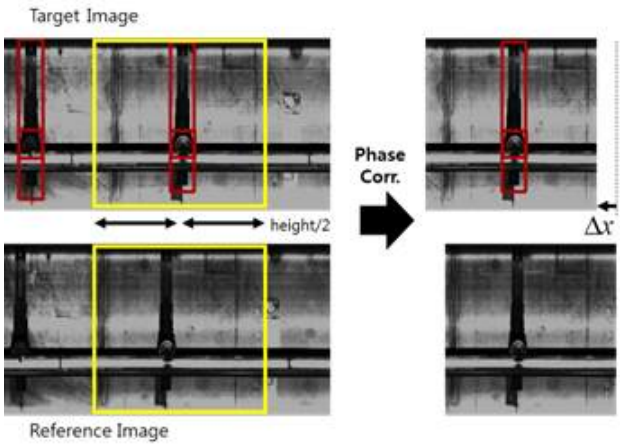
○ 본 시스템에서는 비교할 영상 중 하나만 이용하여 객체 검출을 수행하므로, 두 영상에서 동일 시설물을 인지하기 위한 알고리즘이 필요함

○ 두 영상은 다른 시간대에서 다른 열차 속도, 차량 떨림 등에 의해 촬영되므로, 시설물의 위치가 동일한 형태로 촬영되기 어려움




○ 변형검사 대상 영상으로부터 검출된 시설물의 위치를 변형이 없는 기준 영상에 적용

○ Phase correlation 알고리즘을 객체 각각에 적용하여 시설물의 위치를 정확하게 정렬




④ 결함 검측 및 목록화

○ 검출된 시설물 영역 쌍에서 영상 비교 알고리즘을 이용하여 시설물의 변형 및 손상을 검측

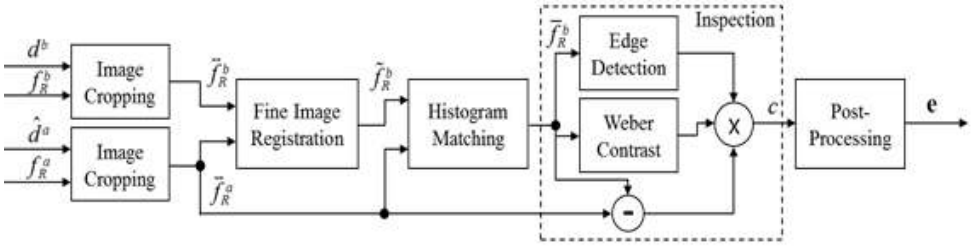



그림 26 결함 검측 모듈 알고리즘

㉮ 영상 세부 정합

○ 차량 떨림 등 외부 요인에 의해 발생된 두 영상의 모양 변화를 잡기 위한 세부 정합을 수행

○ 1차 세부 정합: 두 영상 간의 특징 추출 및 기하학적 변환 방법을 이용하여 homography 기반 전역적 정합을 수행함

○ 2차 세부 정합: 비교할 두 영상으로부터 optical flow를 계산한 후, 지역적인 움직임 관계를 이용하여 영상 warping을 통한 시설물 모양을 정합

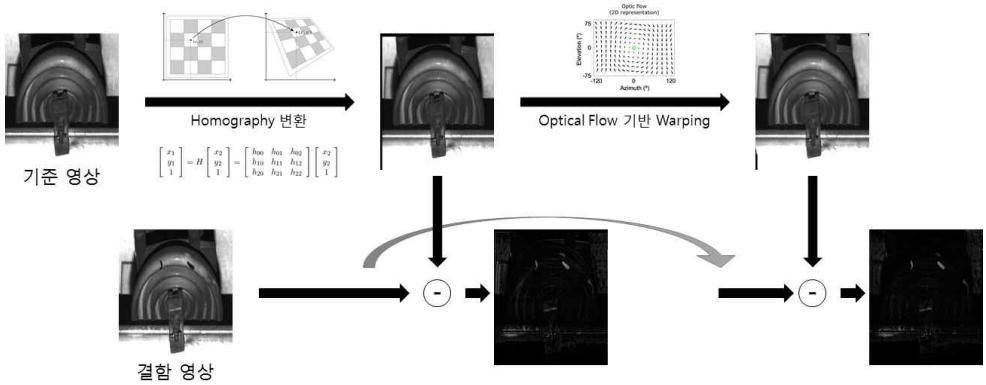



그림 27 영상 세부 정합 과정

㉰ 히스토그램 기반 밝기 매칭

○ 두 영상 간의 밝기 차이를 보정하기 위하여 Histogram matching 알고리즘을 이용한 두 영상 간의 밝기 매칭을 수행

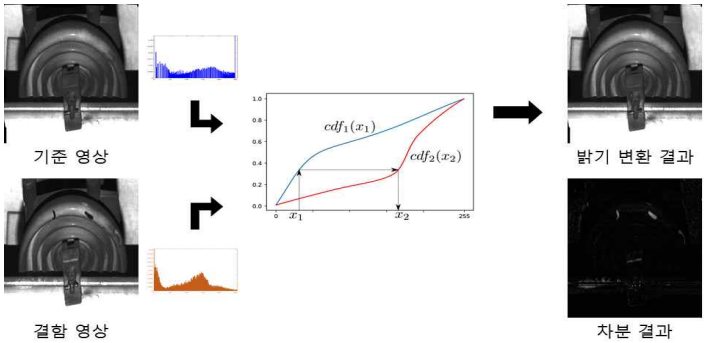



그림 28 두 영상의 밝기 매칭 과정

㉱ 비교할 두 영상의 시지각 반응 원리에 기반한 영상 차분

○ 차분 영상과 시설물 edge의 inverse 영상을 곱한 후, 적응적 임계치를 적용하여 결함 검측

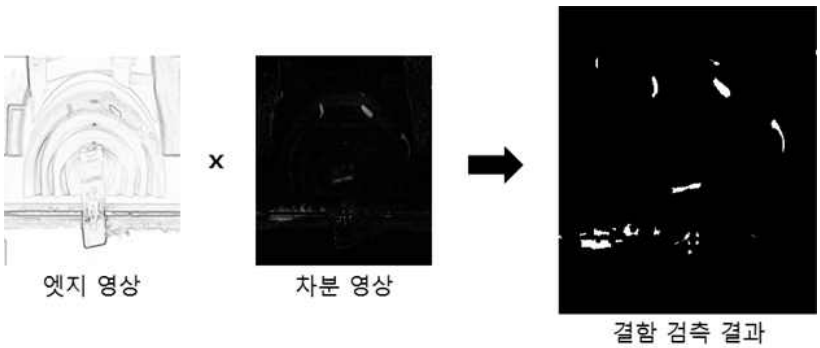



그림 29 결함 검측 결과 도출 과정

**Adaptive Thresholding**

$$T = \text{thr2} + \text{thr} \times i(x,y)^{1.25}$$

thr2 = (histogram matching 밝기차)$^{1.1}$x1.5 + (원본 밝기차)

$\text{thr} = \text{thr2} \times 3$

$i(x,y)$ : 픽셀 (x,y)에서의 밝기 값

그림 30 결함 검출을 위한 적응적 임계치 계산 방식

㉲ 비교할 두 영상의 시지각 반응 원리에 기반한 영상 차분

○ 도시철도 터널 천장과 운행차량 간 거리가 매우 짧기 때문에 초점범위를 확보하면서 변형검사를 수행하기 위해서는 4대의 카메라가 필요함

○ 4대의 카메라에서 촬영된 영상을 효율적으로 검사하기 위한 병렬처리 기법을 적용한 알고리즘을 개발

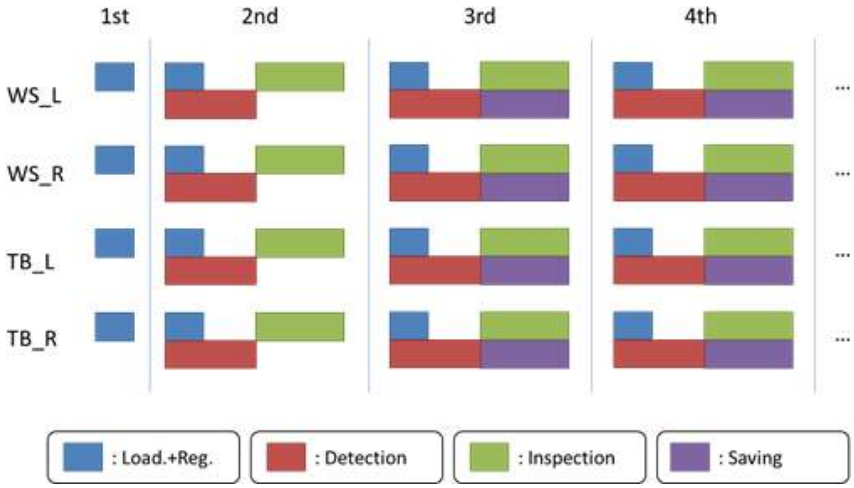
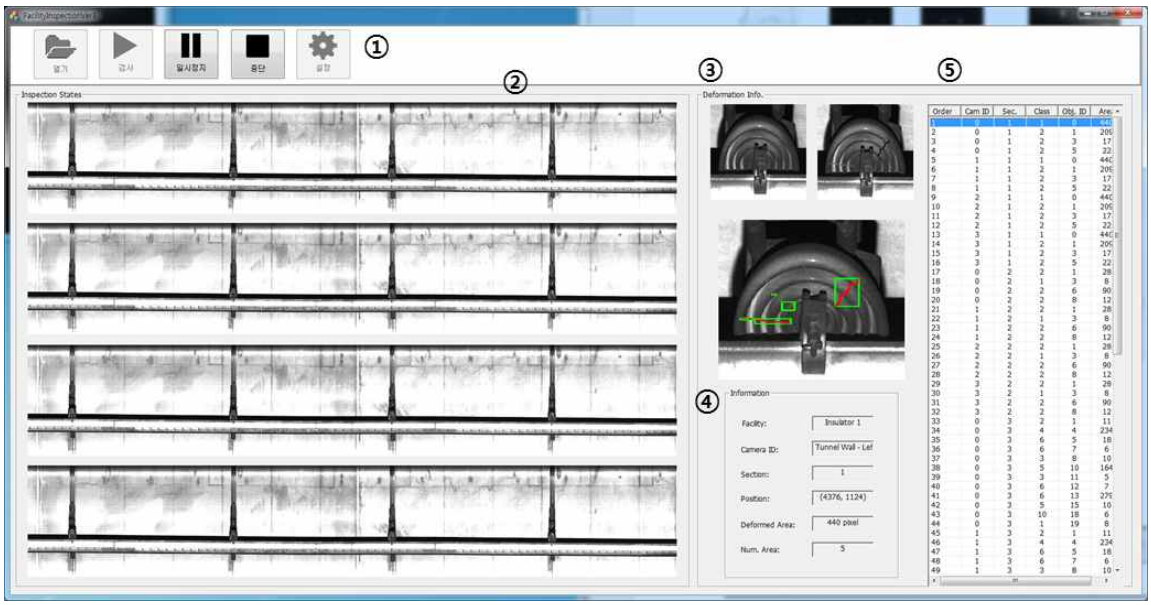



그림 31 변형분석 시스템 병렬처리

(라) 변형 검사 알고리즘 인터페이스

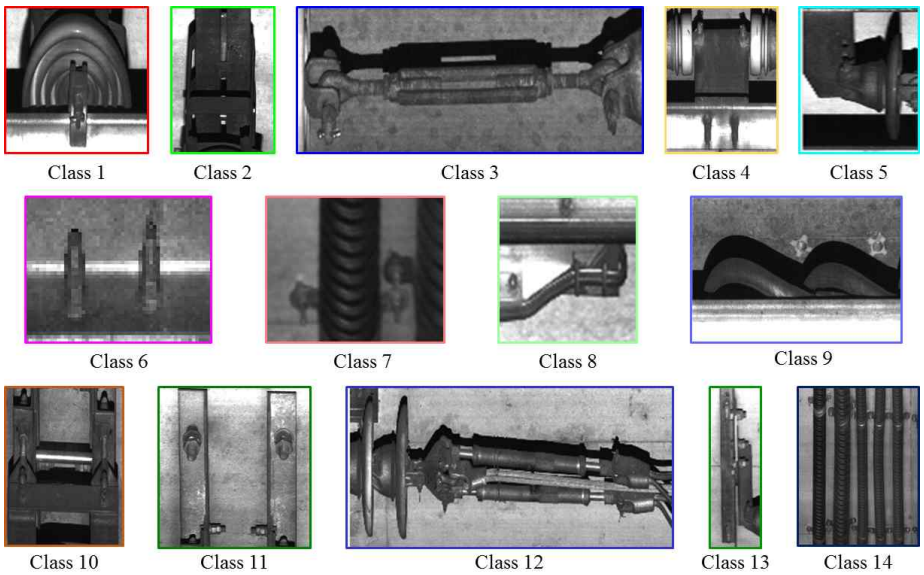



① 버튼: 검사 수행에 필요한 기능 탑재
② 시설물 검사 수행 화면: 시설물 변형 검측 수행 시 영상 및 시설물 검출 결과 출력
③ 결함 영상 화면: 검출된 변형 구간을 영상으로 제공
④ 결함 정보 화면: 변형 시설물의 정보를 텍스트 형태로 제공
⑤ 결함 리스트: 변형 시설물 정보를 목록으로 저장

(마) 시설물 검출 성능 시험

① 시험내용

○ 검사할 대상 시설물의 종류를 딥러닝 기반 학습을 진행




○ 기준영상과 미리 모의된 구간에서 취득된 검사대상 영상 간의 비교를 통한 모의 시설물의 변형을 검측

○ 아래와 같이 정의된 시설물에 대한 검출 정확도를 측정

$$\frac{\text{시설물 정검출 수}}{\text{전체 시설물 수}} \times 100\ (\%)$$

○ 목표 정확도: 90% 이상

○ 정의된 시설물에 대한 검출 정확도를 mean accuracy precision(mAP)로 측정

○ 목표 정확도: 90% 이상

② 시험결과

㉮ 학습 모델의 손실 정도

○ 학습 시 검출 객체 손실값과 배경 분리 손실값을 포함하는 전체 손실값(total loss)이 학습을 반복적으로 수행할 때마다 줄어두는 것을 확인.



㉯ 객체 검출 정확도

| 시설물 분류 | 시설물 수량 | 시설물 검출 수량 | 정검출 수량 | 시설물 인식율 |
|---|---|---|---|---|
| 롱이어볼트/너트 | 2984 | 3009 | 2969 | 99.50 % |
| 엔드어프로치 훅크볼트 | 16 | 15 | 15 | 93.75 % |
| Tbar 지지애자 | 357 | 370 | 354 | 99.16 % |
| 지지금구 시설물 | 502 | 734 | 474 | 94.42 % |
| 흐름방지장치 | 16 | 15 | 14 | 87.50 % |
| 합계 | **3875** | **4143** | **3826** | **98.74 %** |

○ 롱이어볼트/너트 이외 시설물 인식율: 96.18%

○ 지지애자 및 지지금구 시설물 인식율: 96.39%

(바) 결함 검측 성능

① 시험 내용 (부록: 도시철도 강체설비 변형 시스템 참고)

○ 이후 촬영된 영상들에서 시설물 특성에 맞는 20㎟ 이상의 결함을 모의

○ 강체설비 변형 검사 알고리즘을 통해 시설물의 각 모의된 결함 영역 중 10% 이상, 10㎟ 이상 영역이 표시될 경우의 인지된 결함 영역 개수를 파악

○ 목표 정확도: 85% 이상 (애자 및 지지금구 볼트/너트 시설물 정확도: 95%)

② 시험 결과

○ 50㎟ 이상 결함 인지율

| 시설물 분류 | 모의 시설물 수 | 모의 결함 수 | 결함 정검출 시설물 수 | 결함 정검출 결함 수 | 시설물 단위결함 인지율 | 개별 단위 결함인지율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 롱이어볼트/너트 | 22 | 22 | 21 | 21 | 100% | 100% |
| 훅크볼트 탈락 | 5 | 5 | 5 | 5 | 100% | 100% |
| 지지애자 파손 | 9 | 35 | 9 | 30 | 100% | 85.71% |
| 지지금구 볼트이탈 | 8 | 12 | 8 | 12 | 100% | 97.14% |
| 턴버클 이완 | 6 | 6 | 6 | 6 | 100% | 100% |
| 현수애자 파손 | 7 | 10 | 6 | 9 | 85.71% | 90% |
| 합계 | **57** | **90** | **55** | **83** | **96.49%** | **92.22%** |

○ 300㎟ 이상 결함 인지율 (애자 및 지지금구 볼트/너트)

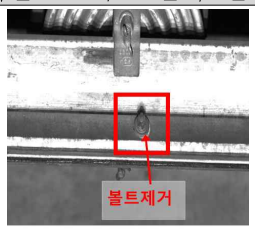
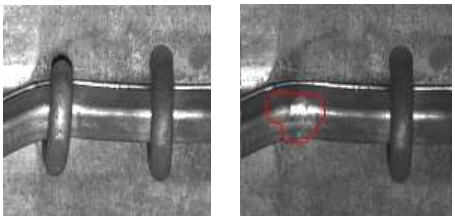
| 구분 | 총 모의결함 수 | 정검출 수 | 결함인지율 |
|---|---|---|---|
| 합계 | 42 | 40 | 95.24% |

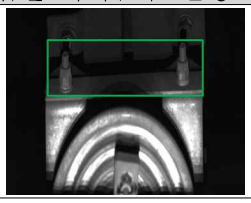
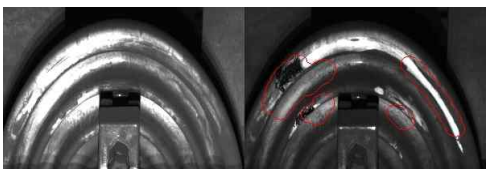
(사) 현차 시운전 및 성능시험 (7호선)

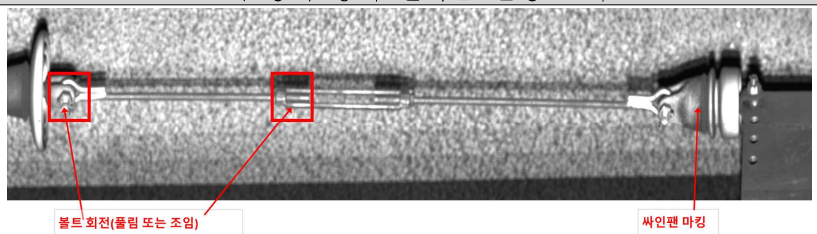
① 성능검증 시험 절차

| 강체전차선로 변형모의 | ⇒ | 데이터 프로세싱 | ⇒ | 평가표 작성 |
|---|---|---|---|---|
| · 일시 : 2019년 12월 10일<br>· 내용 : 강체전차선로시설 변형모의(7호선)<br>- 상선: 내방~반포<br>- 하선: 부평구청~굴포천 | | · 일시 : 2019년 12월06일 ~ 12월 20일<br>· 변형모의 전 영상 수집<br>· 변형모의 후 시험구간에 대한 3회이상에 변형분석 | | · 일시 : 2019년 12월 20일<br>· 내용<br>- 성능 검증 시험 평가<br>- 점검표(ITC) 작성 |

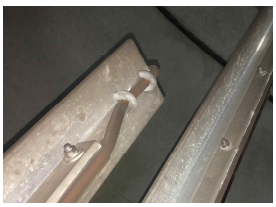
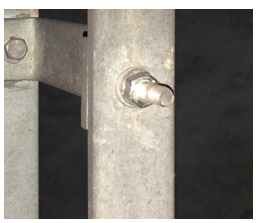
② 강체 전차선로 시설물 변형 모의 절차

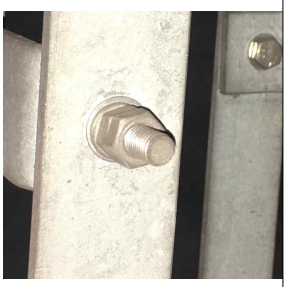
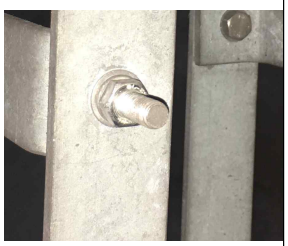
| 구분 | 롱이어볼트·너트 탈락 변형모의 | 엔드어프로치 변형모의 |
|---|---|---|
| 변형 대상 설비 |  |  |
| 변형방법 | • T-Bar 롱이어 볼트 및 너트 제거 | • 엔드어프로치 롱이어 볼트 및 너트,<br>• 엔드어프로치 훅크 볼트 제거 |
| 변형개수 | 변형구분 / 변형개수 / 트랙방향<br>볼트제거 / 10 / 상선, 하선 | 변형구분 / 변형개수 / 트랙방향<br>훅크볼트제거 / 10 / 상선, 하선 |

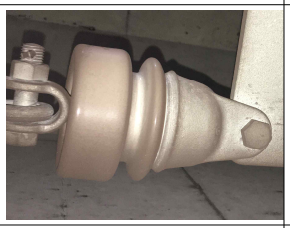
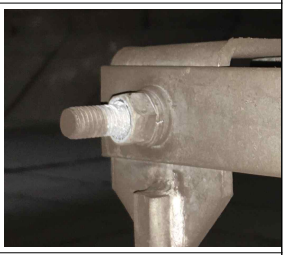
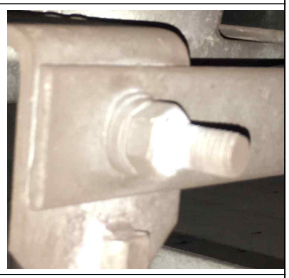
| 구분 | 매립전 지지금구 변형모의 | 애자 변형모의 |
|---|---|---|
| 변형 대상 설비 |  |  |
| 변형방법 | • 매립전 볼트·너트 제거 또는 마킹 | • 애자 안전핀 회전(조임 또는 풀림)<br>• 애자 날개 싸인펜 마킹 |
| 변형개수 | 변형구분 / 변형개수 / 트랙방향<br>하단볼트제거 / 20 / 상선, 하선 | 변형구분 / 변형개수 / 트랙방향<br>애자 마킹 / 20 / 상선, 하선 |

| 구분 | 흐름방지 장치 턴버클 변형 모의 |
|---|---|
| 변형 대상 설비 |  |
| 변형방법 | • 흐름방지장치 턴버클 이완(풀림 or 조임)<br>• 애자 날개 싸인펜 마킹 |
| 변형개수 | 변형구분 / 변형개수 / 트랙방향<br>턴버클이완 / 10 / 상선, 하선<br>애자 마킹 / 10 / 상선, 하선<br>턴버클 안전핀 / 20 / 상선, 하선 |

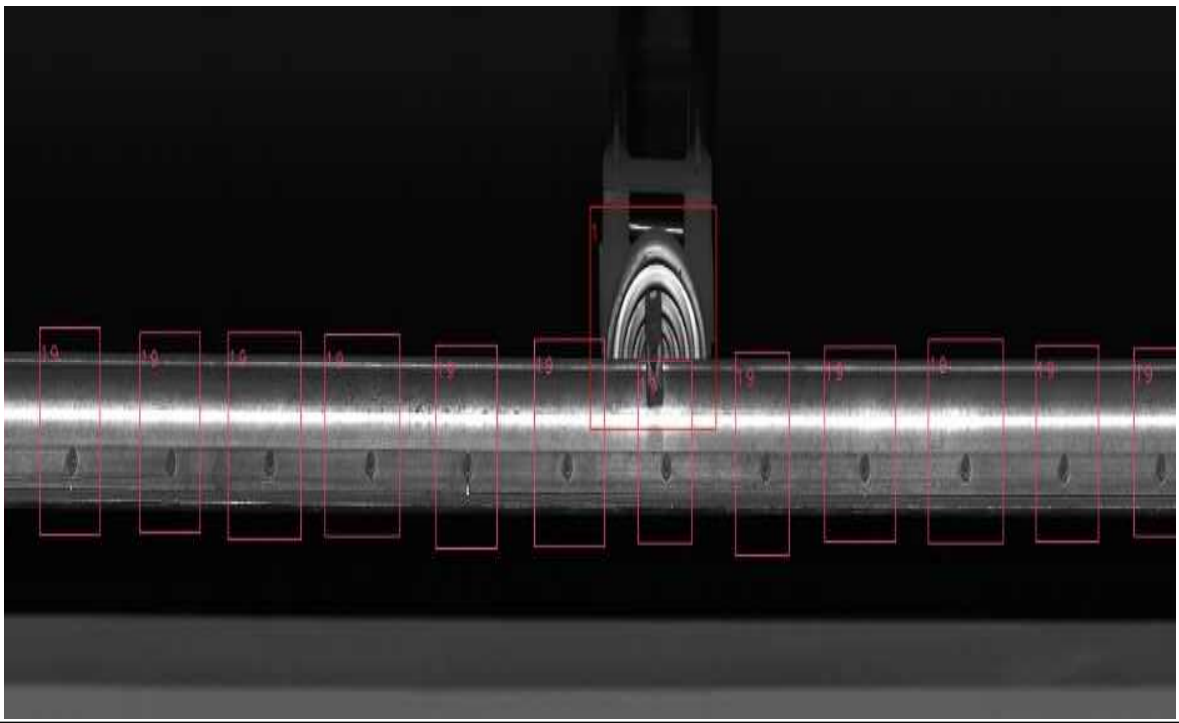
③ 강체 전차선로 시설물 현장 변형모의

| 위치 | KP | 애자 번호 | 구분 | | 모의변형전 | 모의변형후 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 연번 | 내용 | | |
| 부평구청 - 굴포천 | 58k 180 | 171 | 1 | 앤드어프로치 훅크볼트 제거 |  |  |
| | | | 2 | 지지애자 변형 |  |  |
| | 58k 140 | 162-163 | 3 | 흐름방지장치 턴버클 이완 |  |  |
| | | | 4 | 흐름방지장치 현수애자 변형 |  |  |
| | | | 5 | 롱이어 볼트 & 너트 탈락 |  |  |
| | | | 6 | 지지금구 너트 제거 |  |  |
| | | | 8 | 지지금구 너트 제거 |  |  |
| | | | 9 | 지지애자 변형 |  |  |

| 위치 | KP | 애자 번호 | 구분 | | 모의변형전 | 모의변형후 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 연번 | 내용 | | |
| 부평구청 - 굴포천 | 57k 880 | 110-111 | 10 | 흐름방지장치 턴버클 이완 |  |  |
| | | | 11 | 흐름방지장치 현수애자 변형 |  |  |
| | | | 12 | 롱이어 볼트 & 너트 탈락 |  |  |
| | | | 13 | 지지금구 너트 제거 |  |  |
| | | | 14 | 지지금구 너트 제거 |  |  |
| | | | 15 | 지지애자 변형 |  |  |

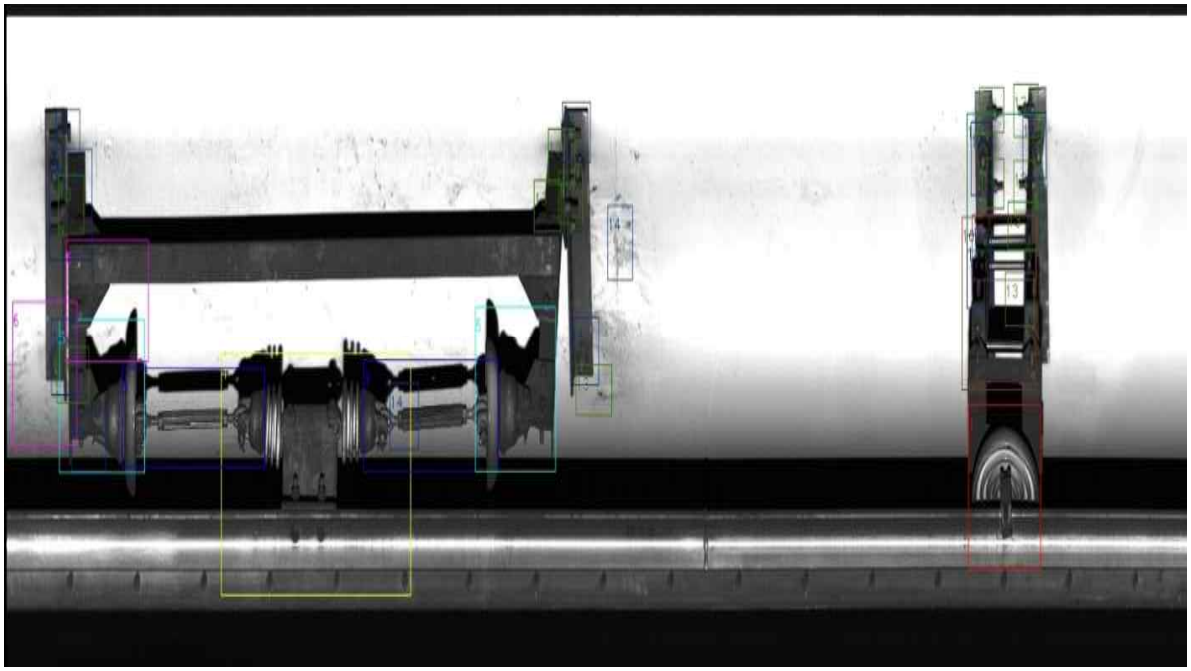
| 위치 | KP | 애자 번호 | 구분 | | 모의변형전 | 모의변형후 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 연번 | 내용 | | |
| 부평구청 – 굴포천 | 57k 690 | 65 | 16 | 지지애자 변형 |  |  |
| | 57k 680 | 65 | 17 | 흐름방지장치 턴버클 이완 |  |  |
| | | | 18 | 흐름방지장치 현수애자 변형 |  |  |
| | 57k 670 | 65 | 19 | 롱이어 볼트 & 너트 탈락 |  |  |
| | | | 20 | 지지금구 너트 제거 |  |  |
| | | | 21 | 지지금구 너트 제거 |  |  |
| | | | 22 | 지지애자 변형 |  |  |

④ 성능검증 시험결과

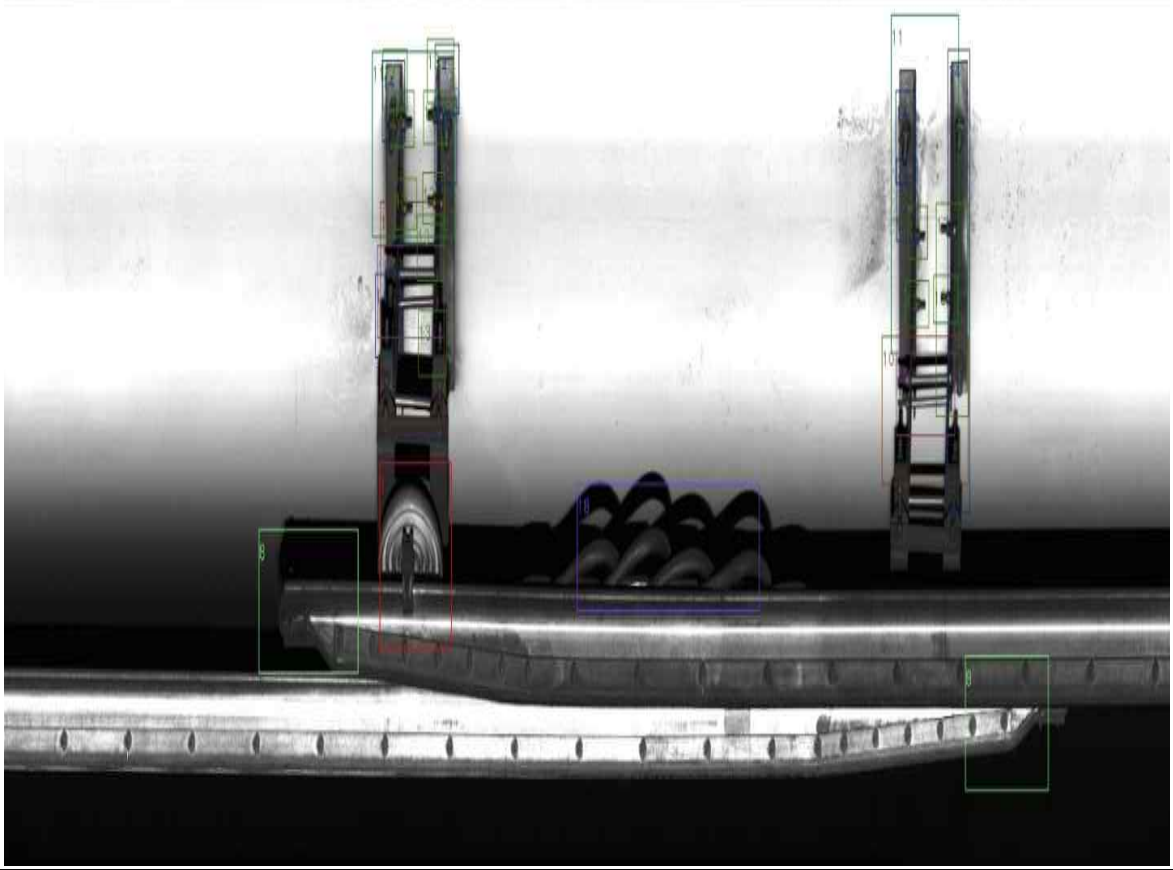
<table>
<tr><td>시험 명</td><td>강체설비 시설물 인식 검사</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-01-02-01</td></tr>
<tr><td>시험 구간</td><td colspan="3">7호선 변형모의 구간 (이수-반포)</td></tr>
<tr><td>시험 방법</td><td colspan="3">• 평가 구간 내 임의의 영상을 선택하여 딥러닝 기반 시설물 검출 모듈을 수행<br>• 시설물 인식률(%) 측정<br>$\frac{\text{시설물 정검출 수}}{\text{전체 시설물 수}} \times 100\ (\%)$</td></tr>
<tr><td>시험 기준</td><td colspan="3">전체 시설물 인식률(%) 90% 이상</td></tr>
<tr><td>시설물 검출<br>시험결과</td><td colspan="3">• 롱이어볼트/너트 이외 시설물 인식률(%): 96.18 %<br>• 지지애자 및 지지금구 시설물 인식률(%): 96.39 %
<table>
<tr><th>시설물 분류</th><th>시설물<br>수량</th><th>시설물<br>검출수량</th><th>검출<br>수량</th><th>시설물<br>인식률</th><th>기준치<br>(%)</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>롱이어볼트/너트</td><td>2984</td><td>3009</td><td>2969</td><td>99.50 %</td><td>90%이상</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>엔드어프로치<br>훅크볼트</td><td>16</td><td>15</td><td>15</td><td>93.75 %</td><td>90%이상</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>Tbar 지지애자</td><td>357</td><td>370</td><td>354</td><td>99.16 %</td><td>90%이상</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>지지금구 시설물</td><td>502</td><td>734</td><td>474</td><td>94.42 %</td><td>90%이상</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>흐름방지장치</td><td>16</td><td>15</td><td>14</td><td>87.50 %</td><td>90%이상</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>3875</td><td>4143</td><td>3826</td><td>98.74 %</td><td>90%이상</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td colspan="4">시험결과 분석 화면</td></tr>
<tr><td colspan="4">• Tbar 시설물 인식 화면<br>  </td></tr>
</table>

| 시험 명 | 강체설비 시설물 인식 검사 | 성능평가 항목번호 | ASA-01-02-01 |
|---|---|---|---|

• 흐름방지장치 시설물 인식



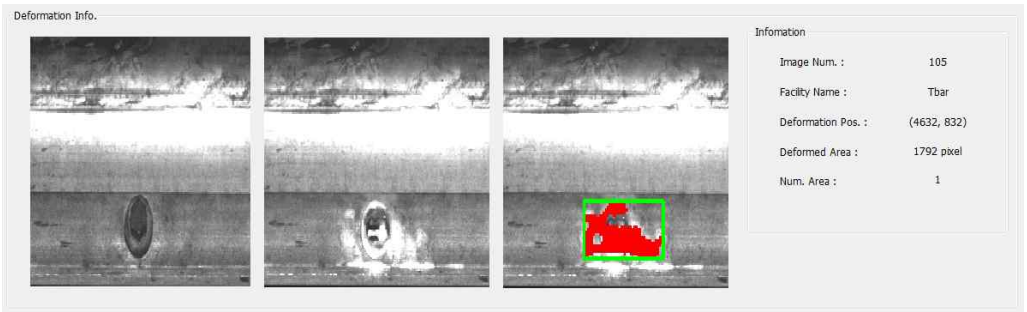
• 엔드어프로치 구간 시설물 인식



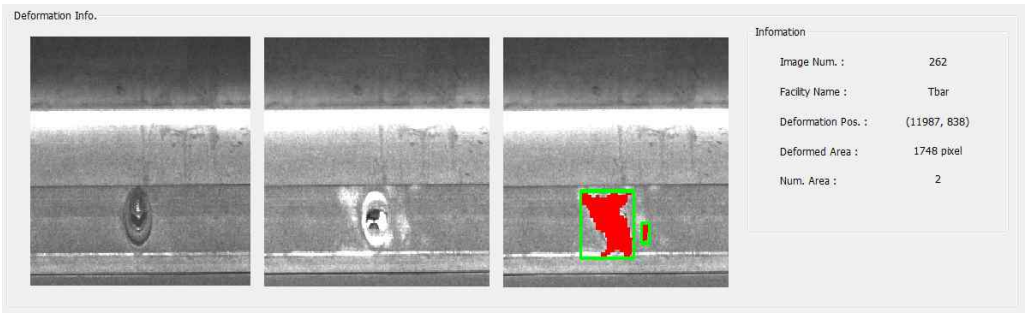
<table>
<tr><td>시험 명</td><td>강체설비 시설물 인식 검사</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-01-02-02</td></tr>
<tr><td>시험 구간</td><td colspan="3">7호선 변형모의 구간 (이수-내방-고속터미널-반포)</td></tr>
<tr><td>시험 방법</td><td colspan="3">• 기준영상과 미리 모의된 구간에서 취득된 검사대상 영상 간의 비교를 통한 모의 시설물의 변형을 검사<br>• 시설물 대비 결함 인지률(%)<br>- 전체 시설물 검측 기준<br>$\frac{50mm^2\ 이상\ 결함인지된\ 시설물\ 수}{모의\ 시설물\ 수} \times 100\ (\%)$<br>- 모의 결함 대비 인지률(%) 기준<br>$\frac{50mm^2\ 이상\ 결함인지된\ 시설물\ 내\ 검출된\ 결함\ 수}{모의\ 결함\ 개수} \times 100\ (\%)$</td></tr>
<tr><td>시험 기준</td><td colspan="3">• 목표 성능 기준<br>- 전체 시설물 결함 인지률(%) : 80% 이상<br>- 지지애자 및 지지금구 시설물 결함 인지률(%) : 95% 이상<br>• 자체 기준<br>- 전체 시설물 결함 인지률(%) : 90% 이상</td></tr>
<tr><td>시설물 검출<br>시험결과</td><td colspan="3">• 50mm2이상 결함 인지률(%)<br>- 결함 정검출수: 118 / 전체 검출수: 360
<table>
<tr><th>시설물 분류</th><th>모의<br>시설물 수</th><th>모의<br>결함 수</th><th>결함<br>정검출<br>시설물 수</th><th>결함<br>정검출<br>결함수</th><th>시설물<br>단위결함<br>인지률</th><th>개별<br>단위결함<br>인지률</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>롱이어볼트/ 너트</td><td>22</td><td>22</td><td>21</td><td>21</td><td>100%</td><td>100%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>훅크볼트 탈락</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>100%</td><td>100%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>Tbar 지지애자 파손</td><td>9</td><td>35</td><td>9</td><td>30</td><td>100%</td><td>85.71%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>지지금구 볼트이탈</td><td>8</td><td>12</td><td>8</td><td>12</td><td>100%</td><td>97.14%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>턴버클 이완</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>100%</td><td>100%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>현수애자 파손</td><td>7</td><td>10</td><td>6</td><td>9</td><td>85.71%</td><td>90%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>57</td><td>90</td><td>55</td><td>83</td><td>96.4%</td><td>92.2%</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>시험결과<br>분석</td><td colspan="3">① 애자 및 지지금구 볼트/너트 대상 200㎟이상 결함 인지률
<table>
<tr><th>구분</th><th>총 모의결함 수</th><th>정검출 수</th><th>결함인지률</th><th>목표성능(%)</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>합계</td><td>51</td><td>49</td><td>96.08%</td><td>80%이상</td><td>적합</td></tr>
</table>
② 애자 및 지지금구 볼트/너트 대상 300㎟이상 결함 인지률
<table>
<tr><th>구분</th><th>총 모의결함 수</th><th>정검출 수</th><th>결함인지률</th><th>목표성능(%)</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>합계</td><td>42</td><td>40</td><td>95.24%</td><td>80%이상</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td>강체설비 시설물 인식 검사</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-01-02-02</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">③ 검사시간<br>1) 구간당 모듈별 소요시간
<table>
<tr><th>구분</th><th>전체시간</th><th>영상 loading<br>+ 재구성</th><th>시설물 검출<br>+ 정렬</th><th>변형분석</th><th>결함 목록화</th></tr>
<tr><td>시간 (sec)</td><td>4.1608 sec</td><td>2.526</td><td>2.627</td><td>0.699</td><td>0.581</td></tr>
</table>
2) 검사 소요/예상 시간
<table>
<tr><th>구분</th><th>전체시간</th><th>영상개수</th><th>구간당<br>소요시간</th><th>1km당<br>예상시간</th><th>55.7km<br>예상시간</th></tr>
<tr><td>소요시간</td><td>1314.807 sec</td><td>316장</td><td>4.1608 sec</td><td>5.2907 min</td><td>4.9115 h</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td colspan="4">시험 화면</td></tr>
</table>

○ 롱이어볼트/너트

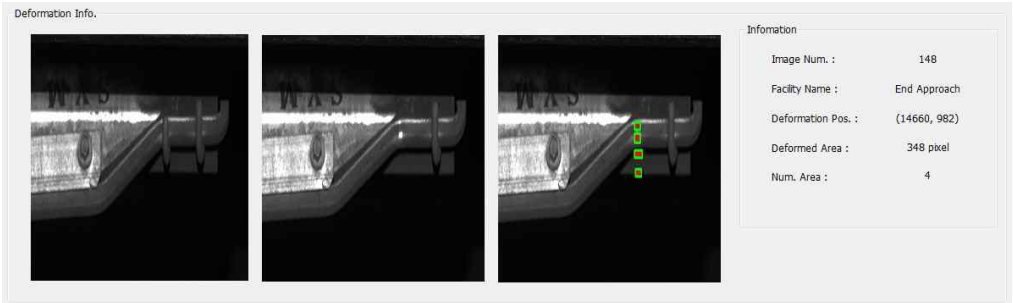



내방-고속터미널 구간 롱이어볼트 탈락




고속터미널-반포 구간 롱이어너트 탈락

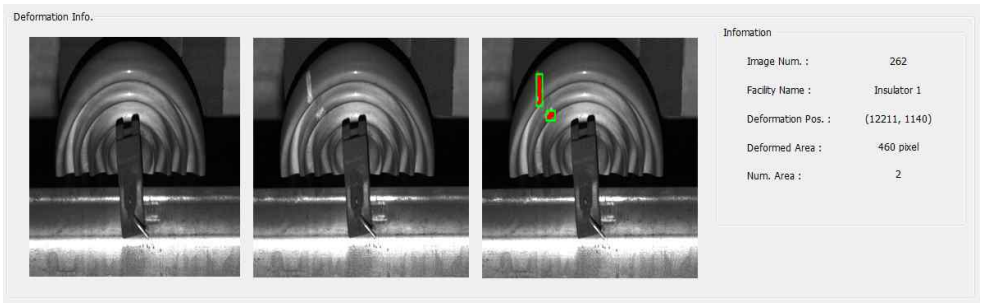
○ 훅크볼트 탈락



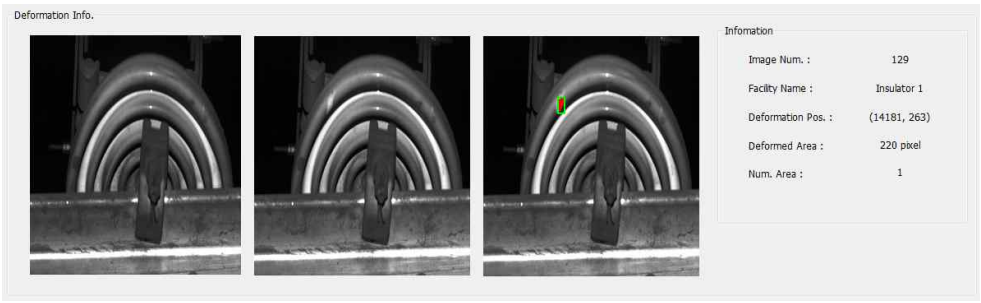

내방-고속터미널 구간 훅크볼트 탈락

| 시험 명 | 강체설비 시설물 인식 검사 | 성능평가 항목번호 | ASA-01-02-02 |
|---|---|---|---|

○ Tbar 지지애자 파손

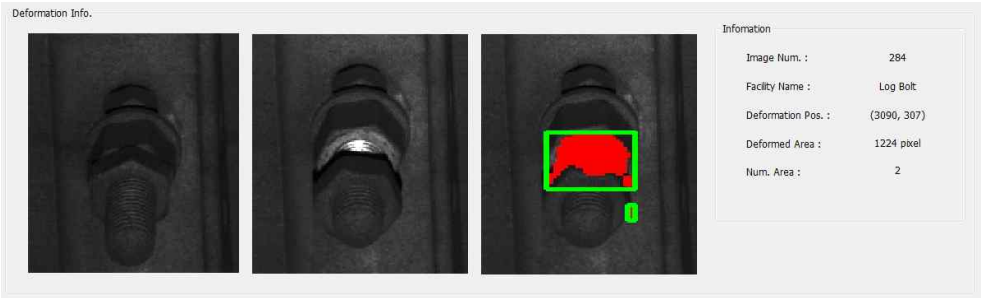



고속터미널-반포 구간 지지애자 파손 모의



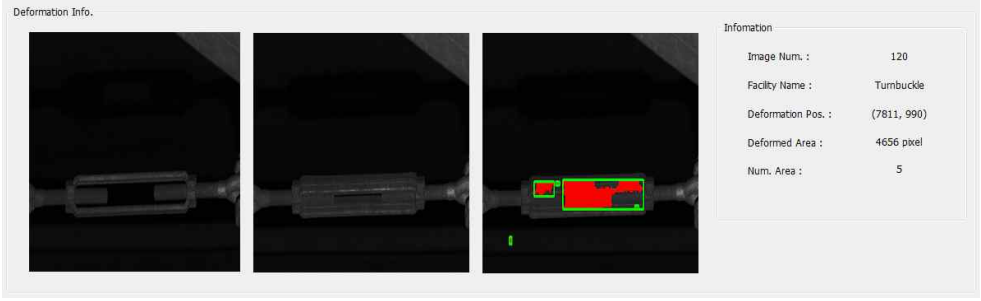

내방-고속터미널 구간 지지애자 파손 모의

○ 지지금구 볼트이탈




고속터미널-반포 구간 지지금구 볼트이탈 모의

○ 턴버클 이완




내방-고속터미널 구간 흐름방지장치 턴버클 이완 모의

<table>
<tr><td>시험 명</td><td>강체설비 시설물 인식 검사</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-01-02-02</td></tr>
<tr><td>Test 구간</td><td colspan="3">7호선 변형모의 구간 (이수-내방-고속터미널-반포)</td></tr>
<tr><td>Test 방법</td><td colspan="3">• 기준영상과 미리 모의된 구간에서 취득된 검사대상 영상 간의 비교를 통한 모의 시설물의 변형을 검측<br>• 시설물 대비 결함 인지율<br>- 전체 시설물 검측 기준<br>$\frac{50mm^2\ 이상\ 결함인지된\ 시설물\ 수}{모의\ 시설물\ 수} \times 100\ (\%)$<br>- 모의 결함 대비 인지율 기준<br>$\frac{50mm^2\ 이상\ 결함인지된\ 시설물\ 내\ 검출된\ 결함\ 수}{모의\ 결함\ 개수} \times 100\ (\%)$</td></tr>
<tr><td>Test 기준</td><td colspan="3">• 목표 성능 기준<br>- 전체 시설물 결함 인지률 : 80% 이상<br>- 지지애자 및 지지금구 시설물 결함 인지률 : 95% 이상<br>• 자체 기준<br>- 전체 시설물 결함 인지율 90% 이상</td></tr>
<tr><td>시설물 검출<br>시험결과</td><td colspan="3">• 50mm2이상 결함 인지율<br>- 결함 정검출수: 86 / 전체 검출수: 780
<table>
<tr><th>시설물 분류</th><th>모의<br>시설물 수</th><th>모의<br>결함 수</th><th>결함<br>정검출<br>시설물 수</th><th>결함<br>정검출<br>결함수</th><th>시설물<br>단위결함<br>인지율</th><th>개별<br>단위결함<br>인지율</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>롱이어볼트/너트</td><td>22</td><td>22</td><td>21</td><td>21</td><td>95.45%</td><td>95.45%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>안전핀</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>100%</td><td>100%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>T바 지지애자 파손</td><td>9</td><td>30</td><td>9</td><td>24</td><td>100%</td><td>80.00%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>지지금구 볼트이탈</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>100%</td><td>97.14%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>턴버클 이완</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>100%</td><td>100%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>현수애자 파손</td><td>7</td><td>10</td><td>6</td><td>7</td><td>85.71%</td><td>70%</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>48</td><td>72</td><td>46</td><td>62</td><td>95.83%</td><td>86.11%</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>시험결과<br>분석</td><td colspan="3">① 애자 및 지지금구 볼트/너트 대상 200㎟이상 결함 인지율
<table>
<tr><th>구분</th><th>총 모의결함 수</th><th>정검출 수</th><th>결함인지율</th><th>목표성능(%)</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>합계</td><td>22</td><td>21</td><td>95.45%</td><td>80%이상</td><td>적합</td></tr>
</table>
② 애자 및 지지금구 볼트/너트 대상 300㎟이상 결함 인지율
<table>
<tr><th>구분</th><th>총 모의결함 수</th><th>정검출 수</th><th>결함인지율</th><th>목표성능(%)</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>합계</td><td>28</td><td>29</td><td>96.55%</td><td>80%이상</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

| 시험 명 | 강체설비 시설물 인식 검사 | 성능평가 항목번호 | ASA-01-02-02 |
|---|---|---|---|

③ 검사시간

1) 구간당 모듈별 소요시간

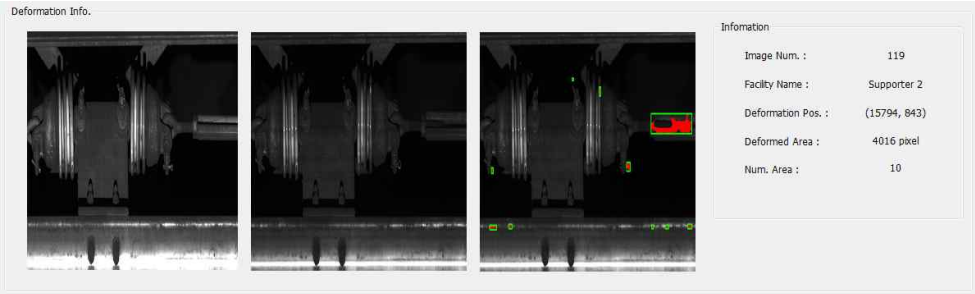
| 구분 | 전체시간 | 영상 loading + 재구성 | 시설물 검출 + 정렬 | 변형분석 | 결함 목록화 |
|---|---|---|---|---|---|
| 시간 (sec) | 4.2632 | 2.561 | 2.650 | 0.730 | 0.628 |

2) 검사 소요/예상 시간

| 구분 | 전체시간 | 영상개수 | 구간당 소요시간 | 1km당 예상시간 | 55.7km 예상시간 |
|---|---|---|---|---|---|
| 소요시간 | 1330.126 sec | 312장 | 4.2632 sec | 5.4210 min | 5.0325 h |

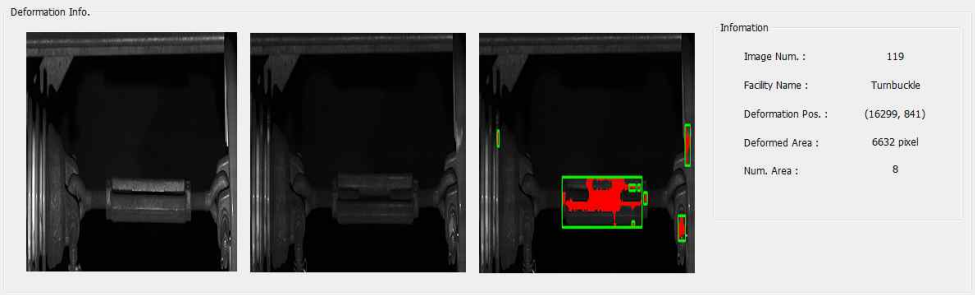
시험 화면

○ 안전핀



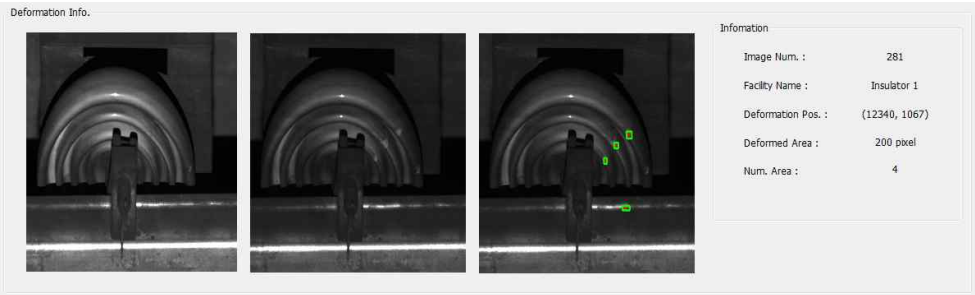

<내방-고속터미널 구간 안전핀 변형>

○ 턴버클 이완




<내방-고속터미널 구간 턴버클 이완 모의>

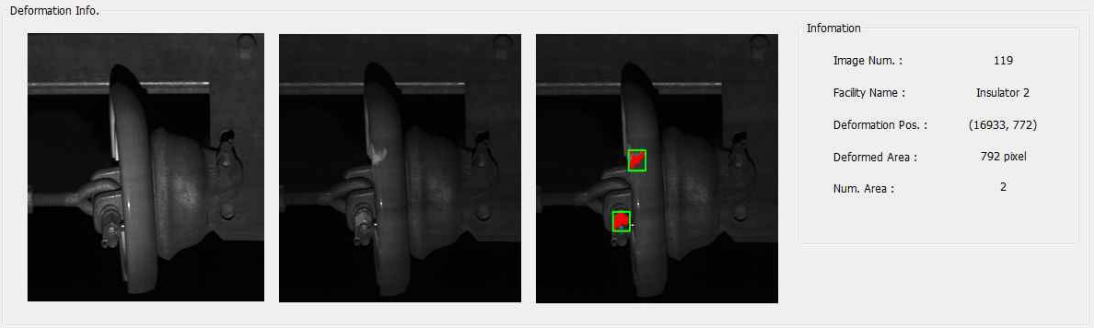
○ Tbar 지지애자 파손




<고속터미널-반포 구간 지지애자 파손 모의>

| 시험 명 | 강체설비 시설물 인식 검사 | 성능평가 항목번호 | ASA-01-02-02 |
|---|---|---|---|

○ 현수애자 파손 및 지지금구 너트손상




<내방-고속터미널 구간 현수애자 파손 및 너트손상 모의>

(아) 연구수행에 따른 개선 및 고도화방향

① 시설물 오검출

○ 설명: 시설물 오검출에 따른 변형 검사 수행

○ 개선방향: 시설물 상태 변화(오염, 세척 등)에 따른 기간별 학습 데이터 다양화



그림 40 시설물 오검출 예시

② 시설물 변형 오인식

○ 설명: 시설물 밝기 변화에 의한 오인식

○ 개선방안: 영상의 밝기, stripe noise, 시야각 변화에 따른 인식률 향상을 위해 강인한 변형 검출 알고리즘의 일부 개선이 필요함.

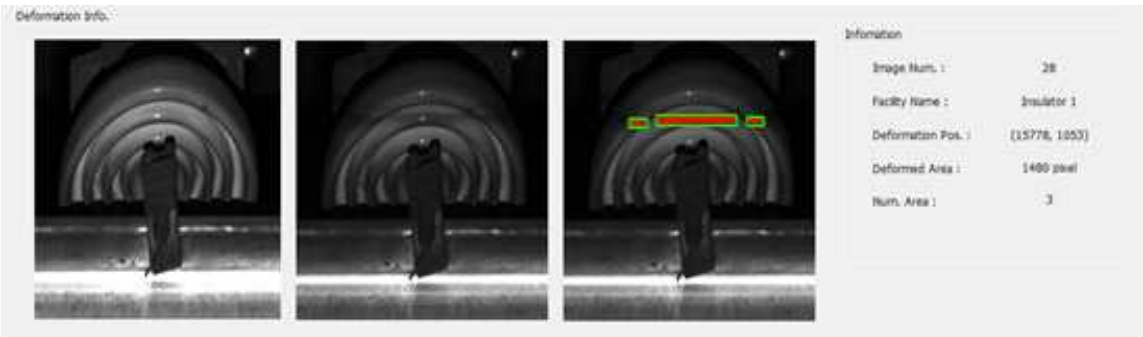



그림 41 Stripe Noise 발생 예시




그림 42 밝기 차에 따른 변형 오인식 예시

③ 결함 검사 속도

○ 설명: 실시간 시설물 변형분석을 위한 검사 속도 개선

○ 개선방안

- 주요 시설물별 실시간 검사 대상 시설물 우선순위 선정 및 분류
- 시설물 검출 및 변형 검사 모듈의 고도화 및 최적화에 대한 지속적인 연구 수행
- 변형검사 서버 성능 개선: 연산장치(CPU)의 최대 clock 수(GHz), core 수 등에 따라 이미지 한 장 당(13m 구간) 0.5~1초 가량 속도 개선 효과를 보임을 확인함

### (4) 지하부 제형 강체전차선 마모 검측장치

(가) 개요

○ 열차주행 상태에서 T-BAR 제형 전차선의 마모 및 기하학적 변형(높이,편위)을 측정

① 검측방식

○ 카메라와 레이저를 이용한 T-Bar 단면 형상 분석




그림 43 강체 전차선 마모 검측장치 설치 구성

② 검사 대상

| 전차선 타입 | 사진 |
|---|---|
| 강체 전차선, 제형 170㎟ |  |

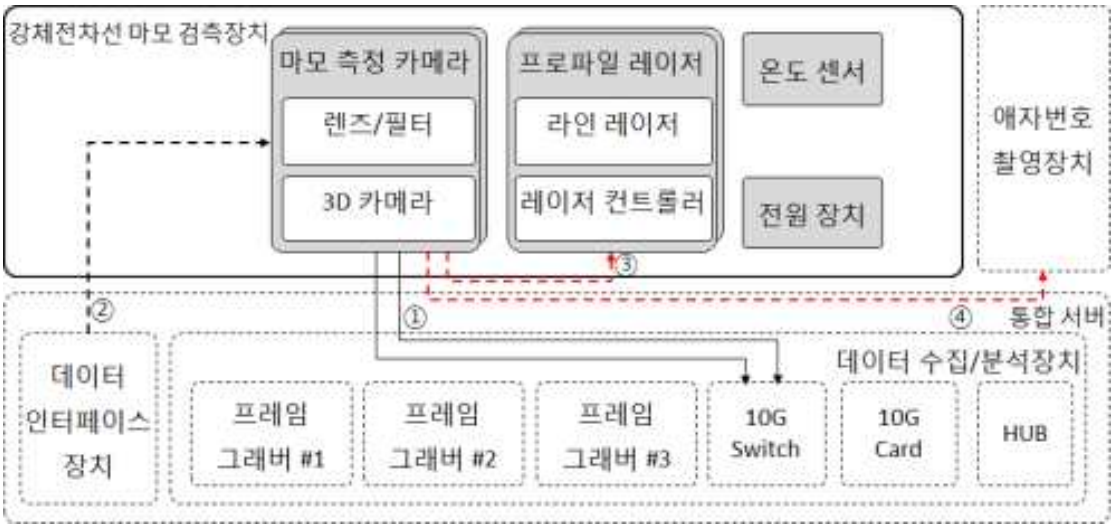
표 55 강체 전차선 타입

③ 목표 성능

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| 검측 대상 | ▪ 제형 전차선 |
| 검측 범위 | ▪ 높이: 4200㎜ ~ ±4400㎜ 이내 (@강체전차선 높이:4300㎜)<br>▪ 편위: ±250㎜ 이내 |
| 검측 속도 | ▪ 400Hz |
| 장치 정밀도 | ▪ 마모 : ±0.4㎜ 이내, 높이/편위 : ±5㎜ 이내 |

(나) 장치 구성 설계

① 장치 구성도




① 강체 전차선(T-Bar) 프로파일 데이터( 최대 555Hz )
② 등간격 트리거 신호 ( 50mm - ISO_IN0 )
③ 레이저 모듈레이션 ( Flash output port - ISO_OUT0 )

그림 44. 강체전차선 마모 검측장치 구성도

② 장치구성 물량

| 구성 | 세부 내역 | 수량 | 구성품 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 강체<br>전차선<br>마모<br>검측장치 | T-Bar<br>마모 카메라 | 2 | ▪ 해상도 : 2048 x 2048<br>▪ 카메라 픽셀 해상도 : 0.12㎜<br>▪ 인터페이스 : GigE<br>▪ 랜즈 F/L : 25㎜(C-Mount)<br>▪ 필터 : 775 ~ 840㎚ |  |
| | 라인 레이저 | 1식 | ▪ 라인 폭(Width) : 1㎜(@1m)<br>▪ 초점거리: 1m<br>▪ 조명 출력 : 2W<br>▪ 화각 : 60° |  |
| | 조명 모듈 및<br>컨트롤러 | 2 | ▪ Modulation : 10㎑(최고)<br>▪ 전원 :+12V / 3.5 |  |
| 선로영상수집<br>분석장치<br>(공용장비) | 산업용 서버 | 1식 | ▪ 장치제어 및 궤도 영상 수집 | |
| | KVM | 1식 | ▪ 키보드, 마우스, 모니터 | |
| | UPS | 2EA | ▪ 무정전 전원장치(공동 사용) | |
| | 타코인터페이스 | 1EA | ▪ 타코메타 인터페이스(공용 사용) | |
| | SSD | 6EA | ▪ 전차선로 영상 저장용 스토리지 | |
| | 트리거제어기 | 1EA | ▪ 카메라 트리거 신호 생성 | |

표 56 마모 검측장치 구성 물량표

③ 강체 전차선 검측 범위

○ 강체전차선 마모검측을 위해 검측장치를 차량 상부 중앙에 설치
○ 라인 레이저를 이용하여 T-Bar 전차선에 단면 형상을 마킹

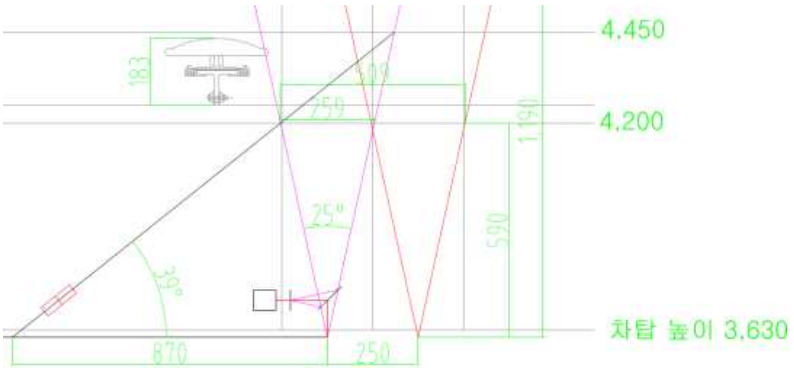
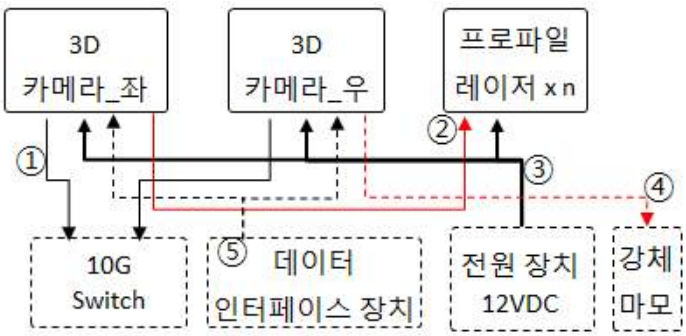



그림 45. 마모 카메라 구성

④ 장치 인터페이스




① 데이터 송수신 (GigE)
② 레이저 모듈레이션( 0.5kHz )
③ 동작 전원 (시설물 변형의 카메라 전원장치 공용 사용)

그림 46. 강체전차선 마모 검측 구성도

(다) 시제품 제작

<table>
<tr><th>시제품 사진</th><th>설 명</th></tr>
<tr><td>▪ 강체 전차선 마모 검측장치<br>  </td><td>▪ 장치 사양<br><table><tr><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>검측대상</td><td>▪ 강체 전차선(T-Bar) 마모</td></tr><tr><td>정밀도</td><td>▪ 마모 정밀도 : ±0.4㎜</td></tr><tr><td>검측속도</td><td>▪ 400Hz</td></tr></table>▪ 주요 구성품<br><table><tr><th>세부 내역</th><th>수량</th><th>구성품 사양</th></tr><tr><td>T-Bar<br>마모 카메라</td><td>2EA</td><td>▪ 해상도 : 2048 x 2048<br>▪ 카메라 픽셀 해상도 : 0.12㎜<br>▪ 인터페이스 : GigE<br>▪ 렌즈 F/L : 25㎜(C-Mount)</td></tr><tr><td>라인 레이저</td><td>1식</td><td>▪ 라인 폭(Width) : 1㎜(@1m)<br>▪ 조명 출력 : 2W<br>▪ 화각 : 60°</td></tr></table></td></tr>
</table>

(라) 강체 전차선 검측 알고리즘

○ 전차선 마모 측정방법은 카메라와 레이저를 이용하여 전차선 단면형상(프로파일)을 분석하여 T-Bar 전차선에 마모량을 측정함.

○ 전차선 프로파일은 전차선 표면에 마킹된 레이저 무게중심(Peck Detection)를 추출함.

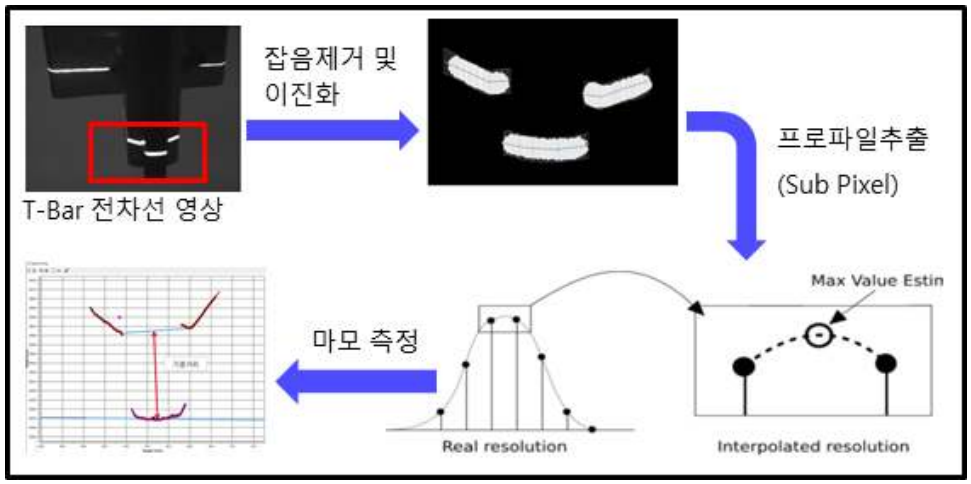


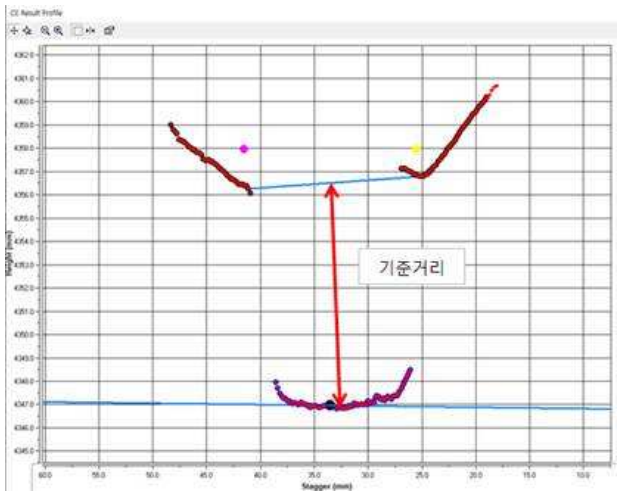

그림 47 전차선 마모 검측 알고리즘

○ 전차선 프로파일은 카메라 랜즈 왜곡(Distortion) 파라메타에 대한 보정함.




그림 48 랜즈 왜곡 보정

○ 전차선 프로파일에서 T-Bar 롱이어와 전차선 간에 거리를 측정함.



(마) 강체 전차선 정밀도 시험 (정적시험)

① 시험 환경 구축 및 시험 방법

○ 전차선 이송장비는 전차선 시료들을 취부한 후, 검측범위 내에서 전차선을 이송시키기 위한 장비이다.

○ 전차선 이송장비 거치대에 강체전차선 검측장치를 부착한다.

○ 전차선 이송장비에 전차선 시료를 부착한 후, 전차선 이송장비로 검측 범위에 임의 위치에 전차선을 이송한 후, 검측장치에서 전차선을 검측 한다.

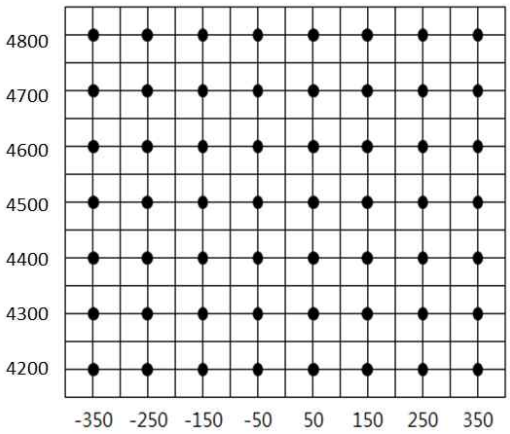



그림 49 전차선 이송위치 위치

○ 전차선 이송위치와 검측장치 측정값 간에 측정 오차를 비교하여 정밀도를 산출한다.

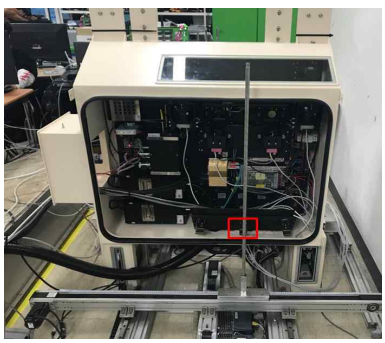
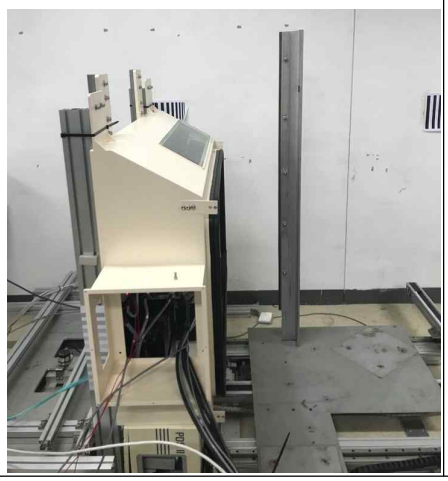
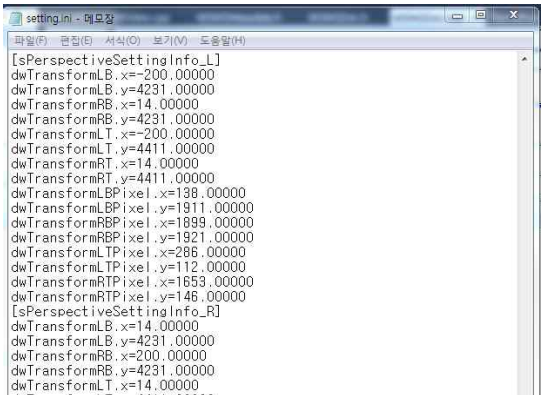
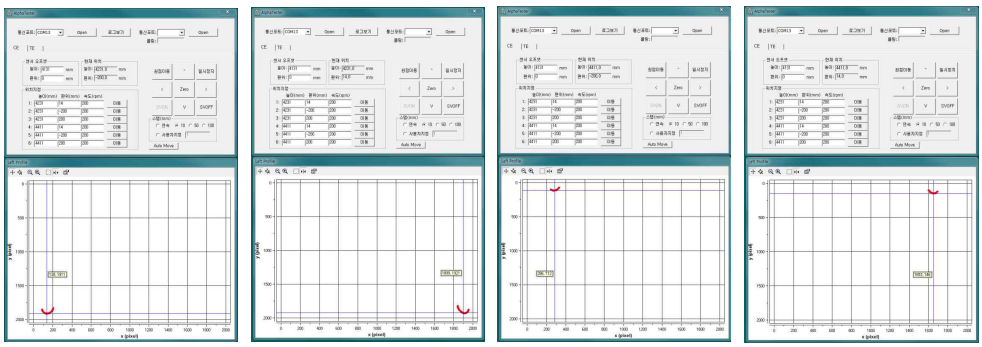
<table>
<tr><th>장치명</th><th>제작내용</th><th>주요 구성 설명</th></tr>
<tr><td>전차선<br>이송장비</td><td>  </td><td>• X/Y축 고정밀 이동용 스테이지<br>• 위치정밀도 : ±0.1㎜<br>• 전차선 높이방향 이송범위: ± 400㎜<br>• 전차선 편위방향 이송범위: ± 350㎜<br>• 전차선 이송속도: 1.5m/s</td></tr>
<tr><td>강체<br>전차선<br>검측장치<br>(시제품)</td><td>  </td><td>
<table>
<tr><th>항목</th><th>사양</th></tr>
<tr><td>검측<br>대상</td><td>제형전차선 마모 및 높이,편위</td></tr>
<tr><td>검측<br>범위</td><td>• 높이: 4200~±4400㎜ 이내<br>• 편위: ±250㎜ 이내</td></tr>
<tr><td>검측<br>속도</td><td>• 400Hz</td></tr>
<tr><td>장치<br>정밀도</td><td>• 높이/편위 : ±5㎜ 이내<br>• 마모 : ±0.4㎜ 이내</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

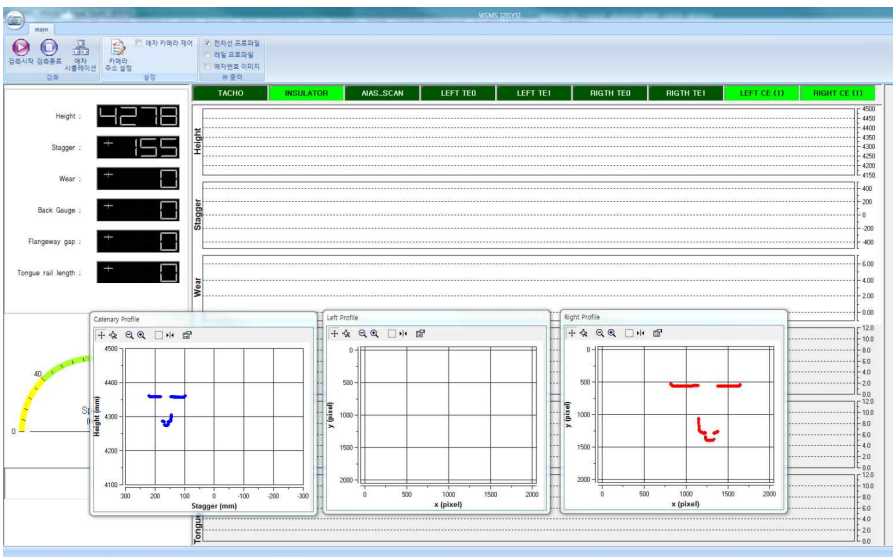
표 58 시험환경 구축

② 정밀도 시험 내용

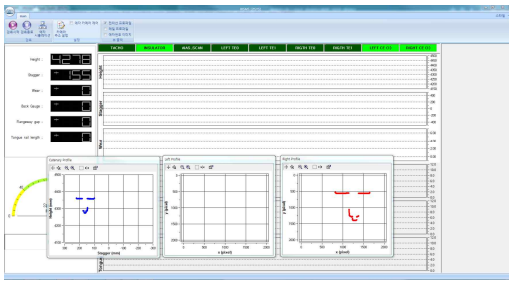
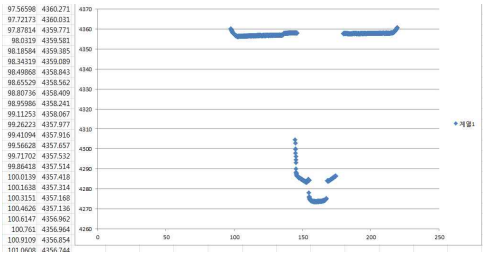
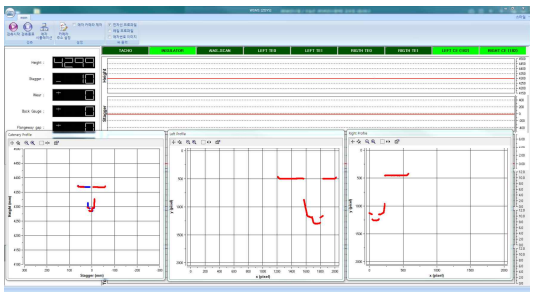
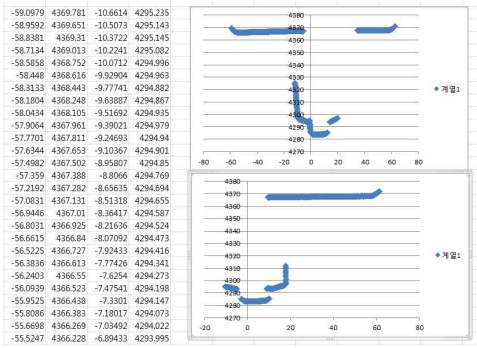
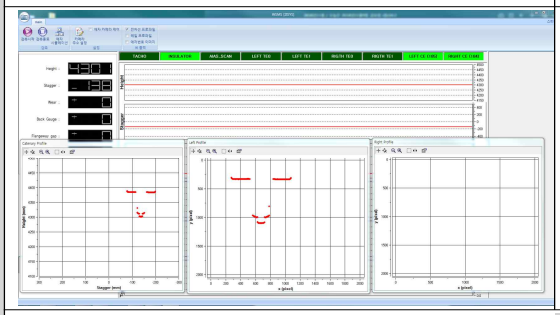
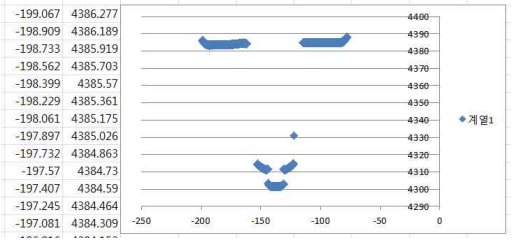
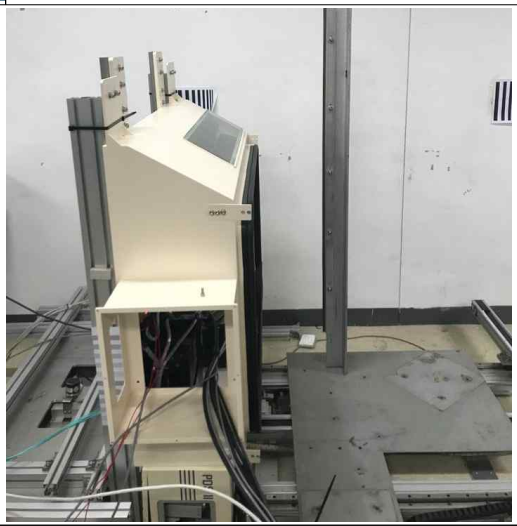
㉮ 검측장치 검교정

<table>
<tr><th>구분</th><th>시험 사진</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>검측<br>장치<br>검교정</td><td>▪ 강체전차선 검측장치<br>▪ 강체전차선 측정<br>  </td><td>▪ 카메라 및 랜즈디스토션 파라메타 측정<br>▪ 설정정보<br>- perspective transformation information<br> 
</td></tr>
<tr><td>검교정<br>수행</td><td>- 검교정 화면<br>  </td><td></td></tr>
</table>

㉯ 강체 전차선 측정 정밀도 시험화면



㉰ 전차선 정밀도 시험 화면 및 RAW 데이터

| 구분 | 측정 화면 | 강체전차선 RAW 데이터 |
|---|---|---|
| 정밀도 시험 |  |  |
| |  |  |
| |  |  |
| |  |  |

③ 정밀도 시험 결과

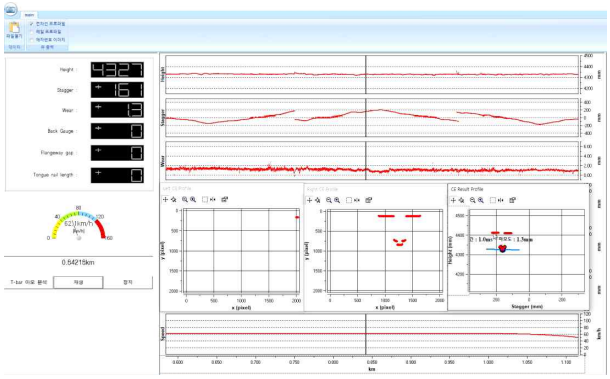
㉮ 전차선 높이편위 정밀도 시험결과

| 기준값 | | 장치 측정값 | | 높이 정밀도 | | 편위정밀도 | | 시험결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 기준높이 (㎜) | 기준편위 (㎜) | 측정높이 (㎜) | 측정편위 (㎜) | 목표사양 (㎜) | 높이오차 (㎜) | 목표사양 (㎜) | 편위오차 (㎜) | |
| 4231 | -200 | 4231 | -199 | ±5 | 0 | ±5 | 1 | 적합 |
| | -100 | 4231 | -100 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 0 | 4231 | 0 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 100 | 4230 | 100 | ±5 | -1 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 200 | 4231 | 200 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| 4301 | -200 | 4301 | -199 | ±5 | 0 | ±5 | 1 | 적합 |
| | -100 | 4301 | -100 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 0 | 4301 | 0 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 100 | 4300 | 100 | ±5 | -1 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 200 | 4301 | 200 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| 4361 | -200 | 4361 | -200 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | -100 | 4361 | -100 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 0 | 4361 | 0 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 100 | 4361 | 100 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 200 | 4361 | 200 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| 4411 | -200 | 4411 | -200 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | -100 | 4411 | -101 | ±5 | 0 | ±5 | -1 | 적합 |
| | 0 | 4411 | -1 | ±5 | 0 | ±5 | -1 | 적합 |
| | 100 | 4411 | 100 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |
| | 200 | 4411 | 200 | ±5 | 0 | ±5 | 0 | 적합 |

㉯ 전차선 마모 정밀도 시험결과

| 전차선 마모 시료 | 장치 측정값 | 마모 정밀도 | | 시험결과 |
|---|---|---|---|---|
| 기준 마모도(㎜) | 측정 결과(㎜) | 목표사양(㎜) | 오차(㎜) | |
| 5.2 | 5.09 | ±0.4 | -0.11 | 적합 |
| 6.2 | 6.24 | ±0.4 | 0.04 | 적합 |
| 7.1 | 6.83 | ±0.4 | -0.27 | 적합 |
| 8.0 | 8.02 | ±0.4 | 0.02 | 적합 |
| 9.2 | 9.05 | ±0.4 | 0.15 | 적합 |
| 10.3 | 10.06 | ±0.4 | -0.24 | 적합 |
| 11.2 | 11.10 | ±0.4 | -0.10 | 적합 |
| 12.0 | 11.91 | ±0.4 | -0.09 | 적합 |

(바) 현차 설치

| 강체전차선 마모 검측장치 | |
|---|---|
|  |  |
| ▪ 전동차 차탑 중앙 설치<br>▪ 대상 차량 : 7호선 - 7054편성<br>▪ 설치기간 : 2018.11.13. ~ 2018.11.23. | ▪ 전차선 마모 검측 S/W<br>- 전차선 높이, 편위, 마모 검측<br>- 마모정밀도 : ±0.4㎜ |

(사) 현차 시운전 및 성능시험 (7호선)

① 성능검증 시험 절차

| 강체 전차선 마모 현장 계측 | ⇒ | 데이터 프로세싱 | ⇒ | 평가표 작성 |
|---|---|---|---|---|
| · 일시 : 2019년 12월 10일<br>· 내용 : 강체전차선 마모도 수공구 계측<br>· 7호선(상선:내방~청담역) | | · 일시 : 2019년 12월10일 ~ 12월 20일<br>· 동일 시험구간에 대한 3회 이상에 검측 | | · 일시 : 2019년 12월 20일<br>· 내용<br>- 성능검증 시험 평가<br>- 점검표(ITC) 평가 |

② 강체 전차선 마모 현장 계측 (마모 검측기-수공구 계측기)
- 전차선 마모 3회 계측 (검측장치 측정값 정밀도 비교용)

| 구분 | 위치(KP) | 마모1 | 마모2 | 마모3 | 편위/높이 계측값(비고) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 29K95 (435) | 9.5 | 9.3 | 9.5 | 좌 : 5㎜, 4287㎜ |
| 2 | 29K875 (418) | 10.06 | 10.07 | 10.07 | 우 : 70㎜, 4295㎜ (EX) |
| | | 9.48 | 9.49 | 9.48 | |
| 3 | 29K755 (391-392) | 9.93 | 9.95 | 9.96 | |
| 4 | 29K635 (364) | 9.36 | 9.34 | 9.35 | 10㎜, 4290㎜(EX) |
| | | 10.11 | 10.11 | 10.11 | |
| 5 | 29k505 (335-336) | 9.73 | 9.74 | 9.73 | 185㎜, 4280㎜ |
| 6 | 29.385 (311) | 10.12 | 10.11 | 10.11 | 우 90㎜, 4278㎜(EX) |
| | | 9.41 | 9.44 | 9.46 | |
| 7 | (192-193) | 8.60 | 8.62 | 8.61 | 좌 85㎜, 4265㎜(EX) |
| | | 10.03 | 10.06 | 10.05 | |
| 8 | 27k889 (185) | 9.47 | 9.50 | 9.49 | 좌 40㎜, 4270㎜ |
| 9 | 27K785 (165) | 9.38 | 9.36 | 9.35 | 우 110㎜, 4264㎜ |
| 10 | (146) | 10.01 | 10.02 | 10.0 | |

표 65 전차선 마모 현장 실측값(수공구)



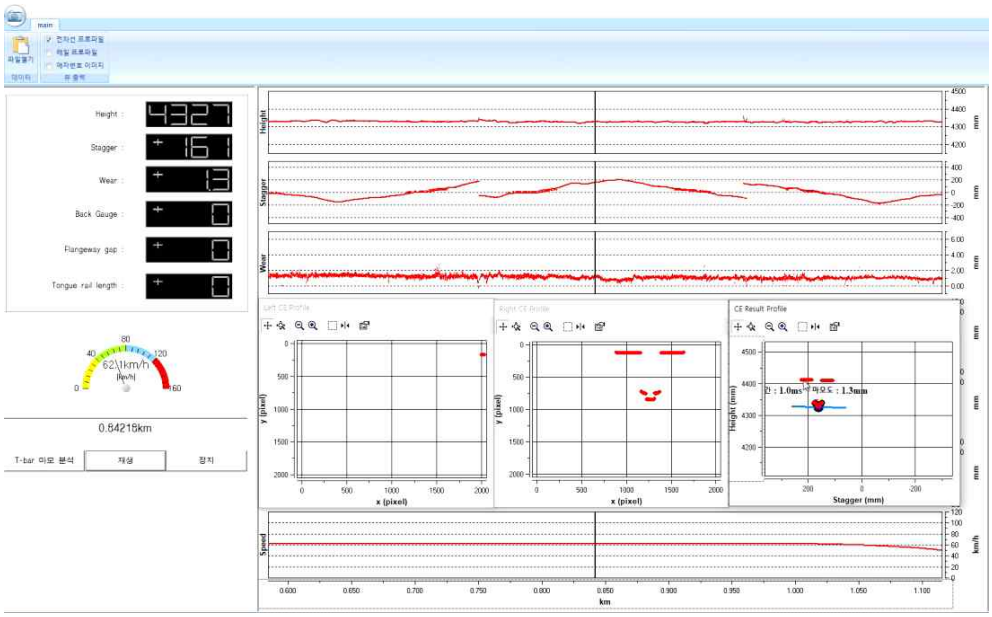
그림 52 마모 검측기에 의한 전차선 마모 계측

③ 시험 항목

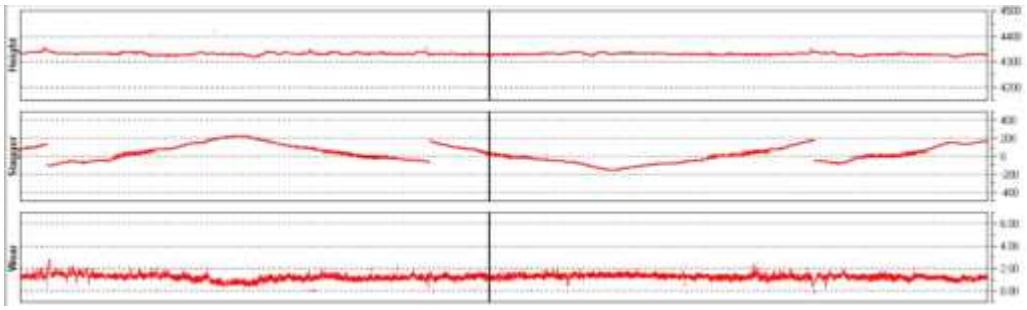
| 검측항목 | 세부 항목 | 내 용 | 차량속도 |
|---|---|---|---|
| 강체전차선 마모검측 | 검측 데이터 현시 | 검측 데이터 표시 및 그래프 확인 | 0~ 100km/h |
| | 강체 전차선 높이/편위,마모 측정 | 강체전차선 높이, 편위, 마모 검측 및 분석 결과 확인 | |

④ 시험 결과 (성능시험 점검표)

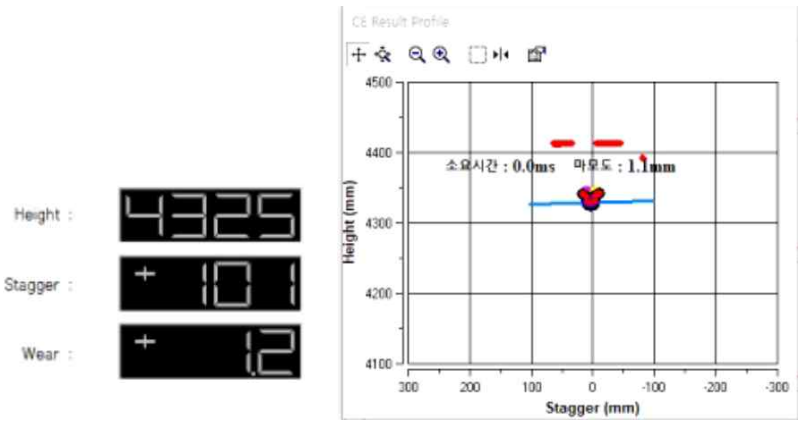
<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">강체 전차선 마모 검측장치 성능평가시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>ASA-02-01</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 전구간</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T02</td><td colspan="3">검측데이터 현시</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T02-1</td><td colspan="3">검측 데이터 표시 및 그래프 확인</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.24. ~ 2019.11.30.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">• 검측 S/W 구동상태 및 검측데이터 출력 확인<br>• 전차선 높이, 편위, 마모 검측 검측 상태 표시
<table>
<tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr>
<tr><td rowspan="2">전차선검측</td><td>검측데이터 표시</td><td>전차선 검측 그래프 표시<br>차량 주행 정보 표시</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>전차선 높이편위<br>전차선 마모</td><td>전차선 높이/편위 그래프 표시<br>전차선 마모 그래프 표시</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 전차선 검측 S/W<br>- 전차선 높이, 편위, 마모 검측 그래프 표시<br>- 차량 주행정보 표시(속도, 거리)</td></tr>
</table>

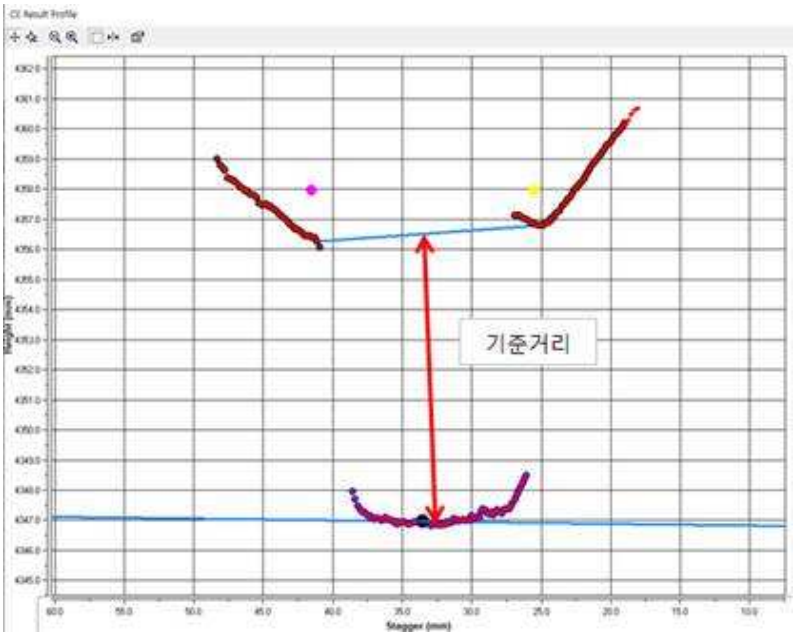
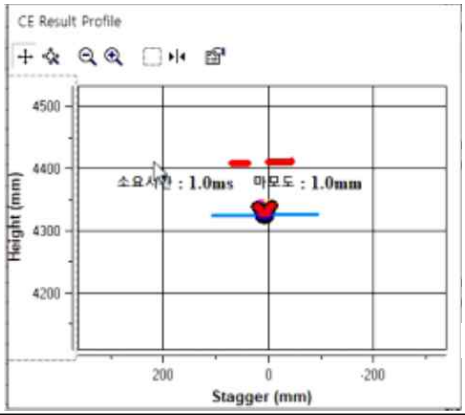
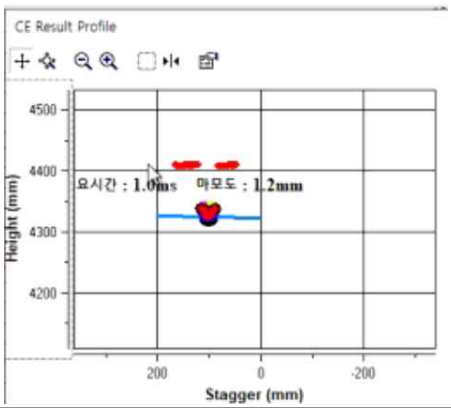


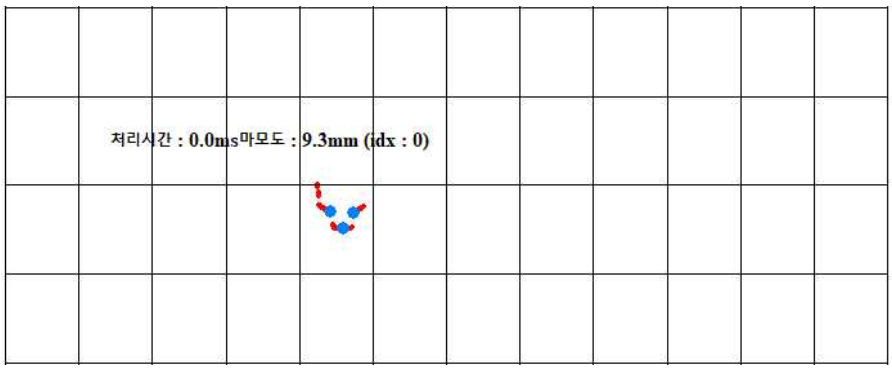

• 강체 전차선 높이, 편위, 마모 검측 그래프

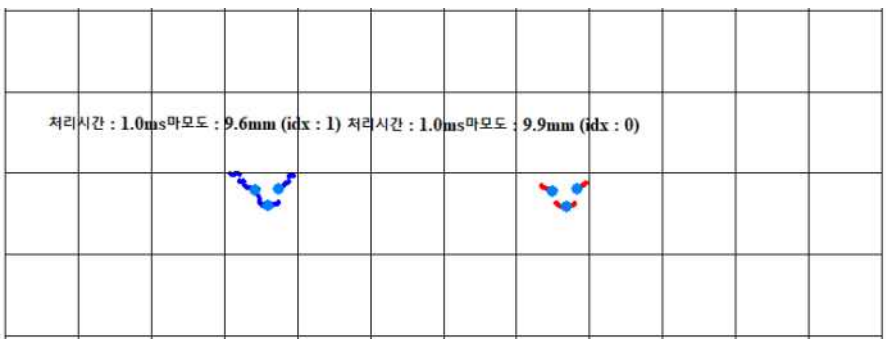



• 강체 전차선 높이, 편위, 마모 검측 데이터 현시



<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">강체 전차선 마모 검측장치<br>성능평가시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-02-02</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 전구간</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T02</td><td colspan="3">강체 전차선 높이/편위,마모 측정 상태 분석</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T01-2</td><td colspan="3">강체전차선 높이, 편위, 마모 검측 및 분석 결과 확인</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.24. ~ 2019.11.30.</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">• 전차선 높이, 편위, 마모 검측 검측 상태 표시
<table>
<tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>전차선<br>검측</td><td>전차선 높이편위<br>전차선 마모</td><td>전차선 높이/편위 그래프 표시<br>전차선 마모 그래프 표시</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 강체 전차선 단면 형상 정보<br>• 전차선 마모량 : 전차선과 롱이어 상단부까지에 측정거리(기준거리)로 산출<br> 
<br>• 강체 전차선 높이, 편위, 마모 검측 분석 화면<br> 
<br> 
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">강체 전차선 마모 검측장치<br>성능평가시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-02-03</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 정밀도 현장검증 구간(내방~청담역)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T02</td><td colspan="3">강체 전차선 높이/편위,마모 정밀도 현장검증</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T02-3</td><td colspan="3">강체전차선 높이, 편위, 마모 검측장치 정밀도 비교(현장검증)</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.12.10</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">• 전차선 높이, 편위, 마모 검측데이터와 현장 계측값간 정밀도 비교<br>- 전차선 높이 및 마모 정밀도 : ±0.4㎜<br>• 현장 검증 구간 : 7호선 내방～청담역<br>• 정밀도 비교 결과<br>
<table>
<tr><td rowspan="2">목표<br>사양</td><td colspan="10">전차선 마모 정밀도 비교 결과 (현장 검증)</td></tr>
<tr><td>#1</td><td>#2</td><td>#3</td><td>#4</td><td>#5</td><td>#6</td><td>#7</td><td>#8</td><td>#9</td><td>#10</td></tr>
<tr><td>435<br>(29k955)</td><td>418<br>(29k875)</td><td>391-392<br>(29k755)</td><td>364-365<br>(29k635)</td><td>335-336<br>(29k505)</td><td>311<br>(29k385)</td><td>192-293<br>(27k910)</td><td>185<br>(27k880)</td><td>165<br>(27k785)</td><td>146<br>(27k700)</td></tr>
<tr><td>수동<br>계측치</td><td>9.55</td><td>10.06/<br>9.48</td><td>9.93</td><td>9.36/<br>10.11</td><td>9.73</td><td>10.11/<br>9.45</td><td>10.0</td><td>9.47</td><td>9.36</td><td>8.86</td></tr>
<tr><td>검측장치<br>측정값</td><td>9.30</td><td>9.90/<br>9.60</td><td>9.60</td><td>9.30/<br>10.20</td><td>9.90</td><td>9.90/<br>9.70</td><td>9.60</td><td>9.50</td><td>9.60</td><td>9.20</td></tr>
<tr><td>목표<br>정밀도</td><td>±0.4</td><td>±0.4</td><td>±0.4</td><td>±0.4</td><td>±0.4</td><td>±0.4</td><td>±0.4</td><td>±0.4</td><td>±0.4</td><td>±0.4</td></tr>
<tr><td>오차</td><td>0.17</td><td>0.17/<br>-0.12</td><td>0.35</td><td>0.05/<br>-0.09</td><td>-0.17</td><td>0.21/<br>-0.25</td><td>0.4</td><td>-0.01</td><td>-0.24</td><td>-0.34</td></tr>
<tr><td>판정</td><td>적합</td><td>적합</td><td>적합</td><td>적합</td><td>적합</td><td>적합</td><td>적합</td><td>적합</td><td>적합</td><td>적합</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 검측위치(#1) : 435 (29k955)<br> 

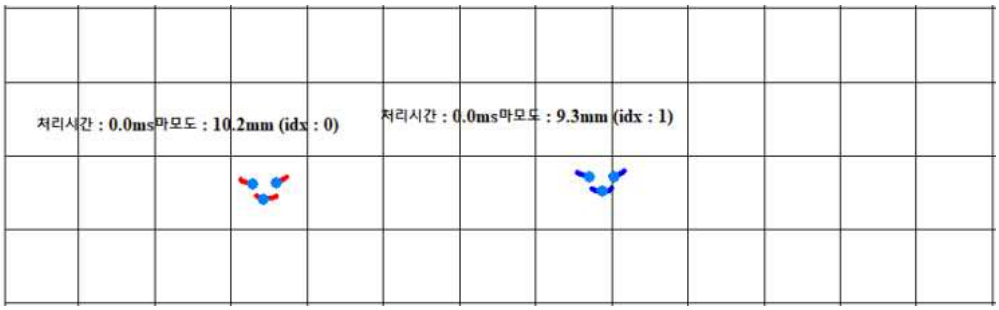
<br>• 검측위치(#2) : 418 (29k875)<br> 
</td></tr>
</table>

첨부자료

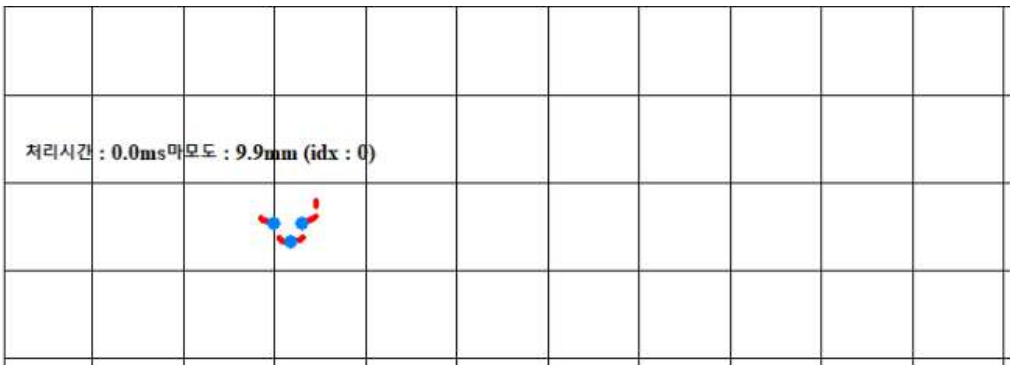
• 검측위치(#3) : 391-392 (29k755)



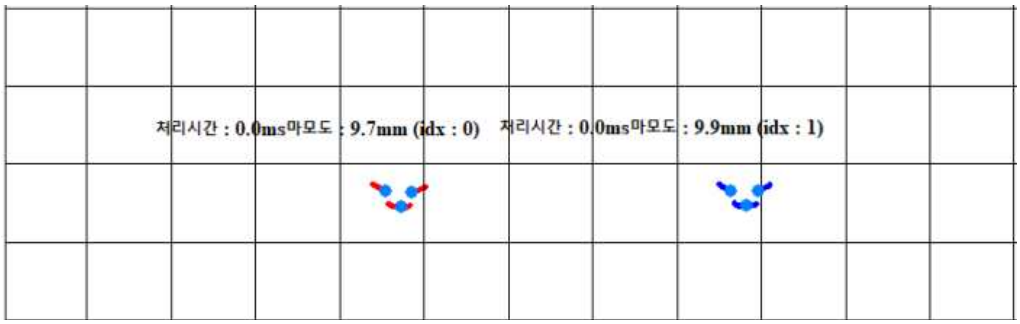

• 검측위치(#4) : 364-365 (29k635)




• 검측위치(#5) : 335 (29k505)

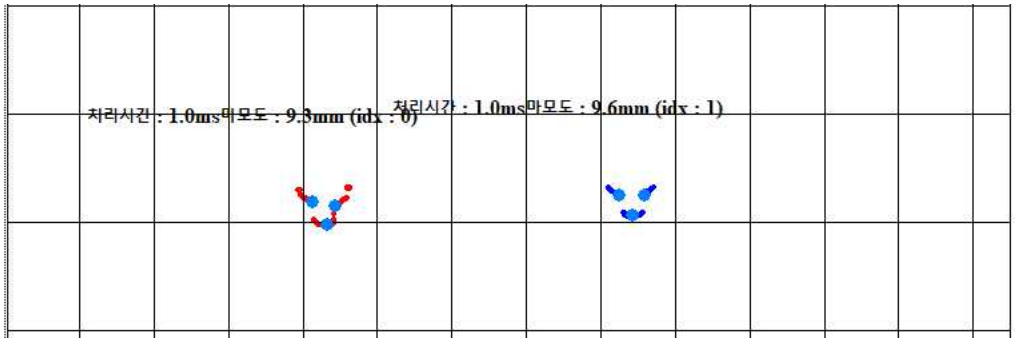



• 검측위치(#6) : 311 (29k385)

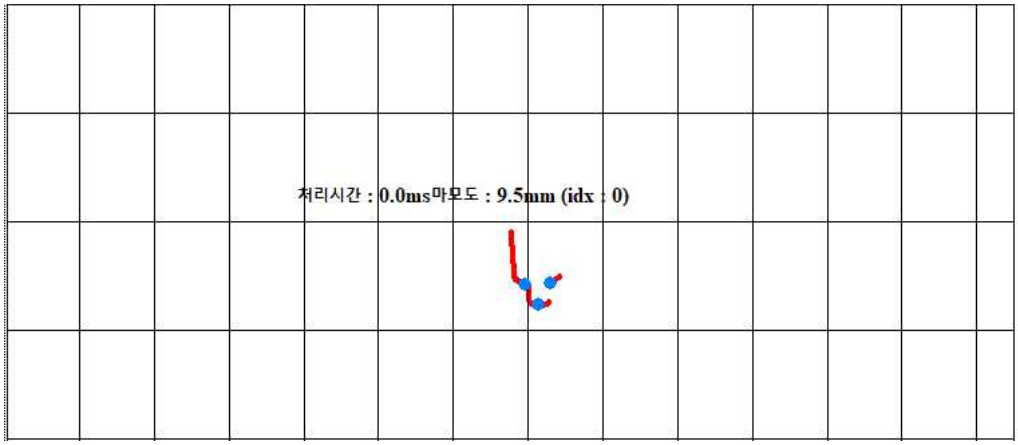


첨부자료

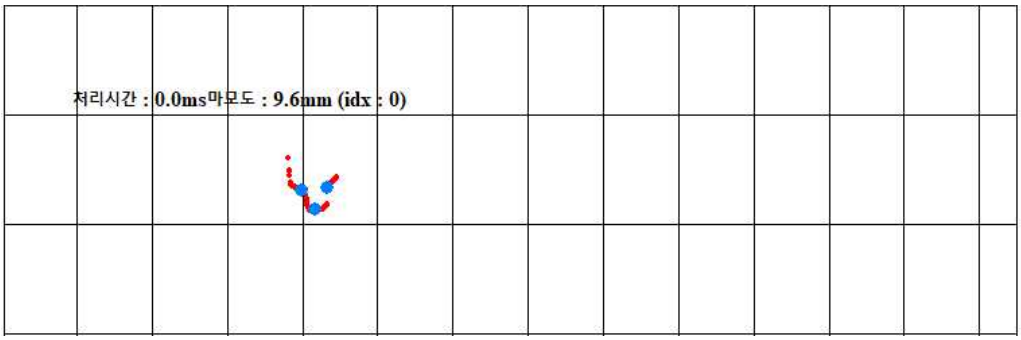
• 검측위치(#7) : 192 (27k910)



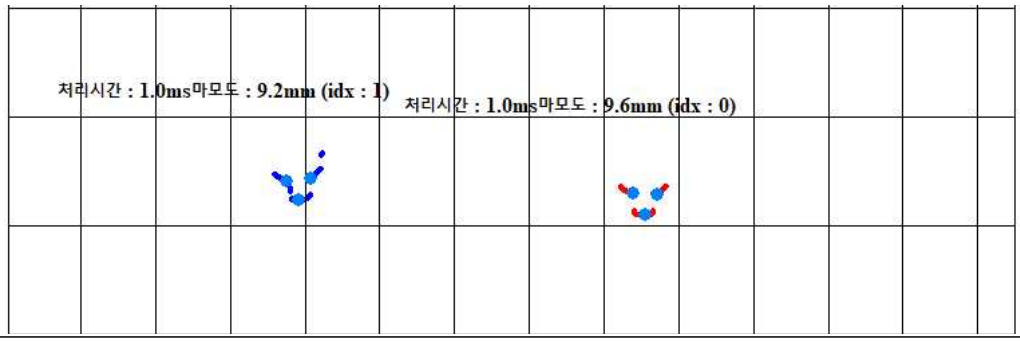

• 검측위치(#8) : 185 (27k880)




• 검측위치(#9) : 165 (27k785)




• 검측위치(#10) : 146 (27k700)



(5) STEDEF 궤도 시설물 검사장치

(가) 개요

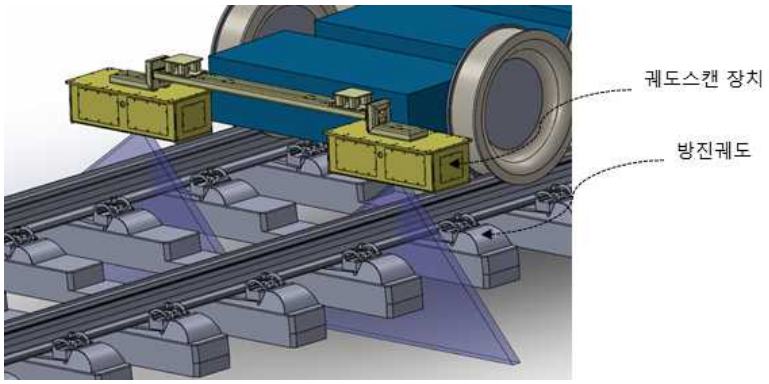
"STEDEF 궤도 체결구 손상 검사"는 고해상도 라인스캔 카메라에 의한 STEDEF(방진) 궤도 영상 스캔 후 이미지 프로세싱을 통한 시설물 변형 검사방식(Image Inspection)으로 이음매판(체결상태), 체결구(크립, 나사), 패드의 절손여부를 검사하기 위한 장치이다.

① 검측방식

○ 고해상도 라인스캔 카메라에 의한 STEDEF(방진) 궤도 영상 스캔

○ 영상처리를 이용한 체결구 침목 시설물 변형 상태 검사

○ 체결장치 인식: 이음매, 체결구, 패드 학습 및 분류(Classification), 패턴인식




② 검사대상

○ 검사 대상 : STEDEF(방진) 궤도의 침목균열 및 체결구 검사

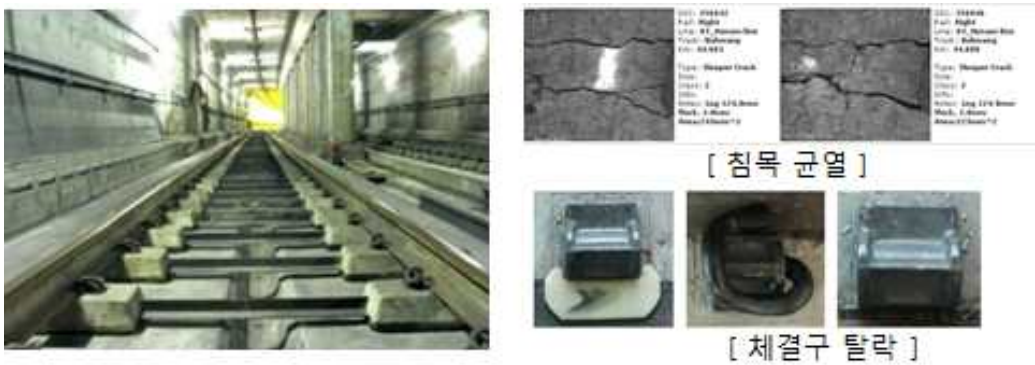


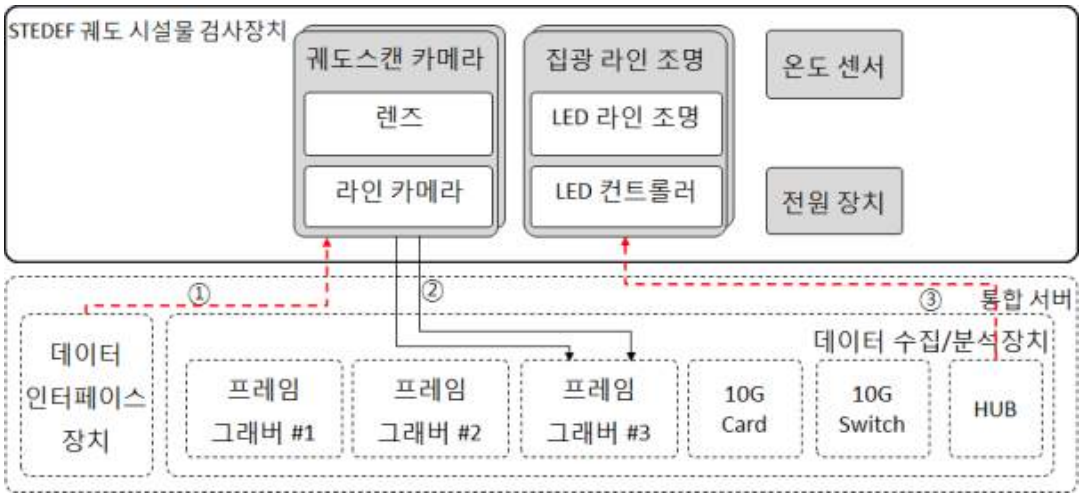

그림 56. 침목 균열 및 체결구 검사

③ 목표 성능

| 검사설비 | 검사대상 및 판정기준 |
|---|---|
| STEDEF 체결구 | ▪ 검사대상 : 이음매, 레일크립, 패드 탈락<br>▪ 판정기준 : 탈락 유무 |
| STEDEF 침목 | ▪ 검사대상 : 침목 균열 및 파손<br>▪ 판정기준 : 300㎟ 이상 변형 검지 |
| 검측간격 | ▪ 0.8㎜이내의 동일 간격으로 시설물 영상 파노라마 스캔 |
| 변형검사 인지율 | ▪ 80% 이상 |

(나) 장치 구성 설계

① 장치 구성도




① 등간격 촬영 신호 ( 0.8mm )
② 시설물 영상 전송( 최대 34kHz )
③ 조명 ON/OFF 신호

그림 57. STEDEF 궤도 시설물 검사장치 구성도

② 검사장치 구성 설명

○ STEDEF 궤도 검사를 위해 검사장치를 차량 하부 좌측/우측에 설치
○ 카메라를 이용한 STEDEF 궤도 영상 스캔
○ 차량 주행 정보(속도,거리) 분석을 통한 궤도 영상 스캔 간격 제어 (0.8mm 간격)
○ 영상처리를 이용한 체결구 침목 시설물 변형 상태 검사

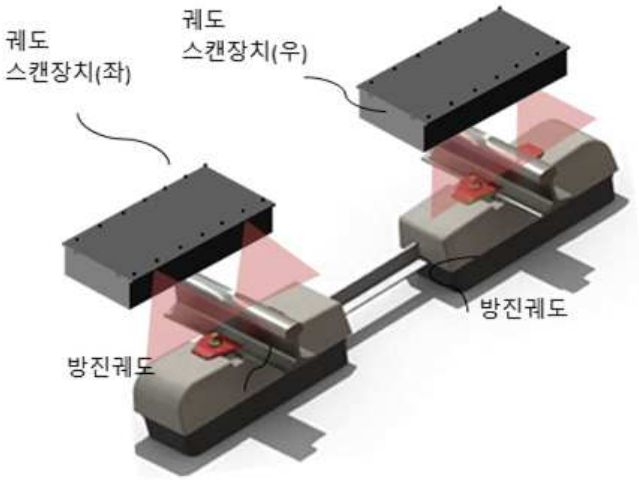
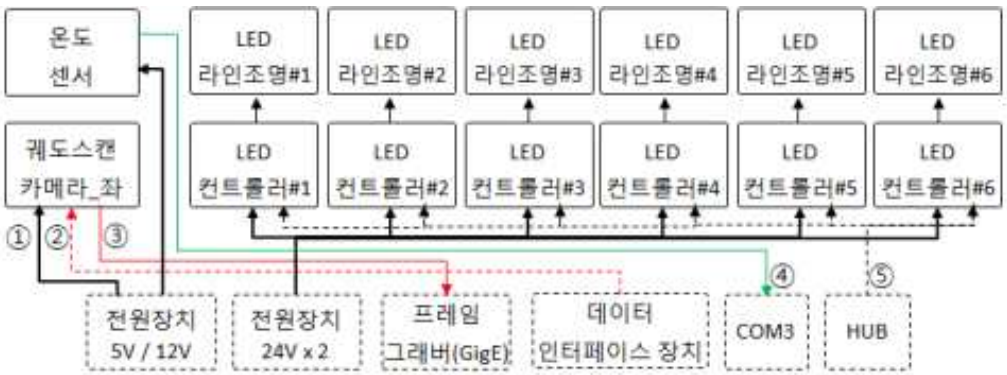



그림 58 STEDEF 궤도 시설물 검측장치 구성

③ 장치구성 물량

| 구성 | 세부 내역 | 수량 | 구성품 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| STEDEF 궤도 시설물 검사장치 | STEDEF 카메라 | 2 | ▪ 해상도 : 2048 x 2line<br>▪ 인터페이스 : GigE<br>▪ 전원 : DC 12V / 9W<br>▪ 랜즈 F/L : 25㎜ (M42) |  |
| | 조명 랜즈 | 1식 | ▪ 파장대 : White<br>▪ 밝기 : Max 2915kLux<br>▪ 전원 : 24V |  |
| 위치정보 인식장치 (공용장비) | 타코메타 | 1 | ▪ 차량정보(속도,이동거리) 검측용 | |
| 선로영상수집 분석장치 (공용장비) | 산업용 서버 | 1식 | ▪ 장치제어 및 궤도 영상 수집 | |
| | KVM | 1식 | ▪ 키보드, 마우스, 모니터 | |
| | UPS | 2EA | ▪ 무정전 전원장치(공동 사용) | |
| | 타코인터페이스 | 1EA | ▪ 타코메타 인터페이스(공용 사용) | |
| | SSD | 6EA | ▪ 전차선로 영상 저장용 스토리지 | |
| | 트리거제어기 | 1 | ▪ 카메라 트리거 신호 생성 | |

④ 장치 인터페이스




① 전원 공급(카메라 및 온도센서, 조명 컨트롤러)
② 외부 트리거 ( 0.8mm 등간격, Max 34kHz )
③ 궤도 영상 전송 ( GigE, 좌/우 모듈 2Port 사용 )
④ 온도 센서 전송 ( RS-232 )
⑤ 조명 ON/OFF 및 밝기 제어 ( Ethernet )

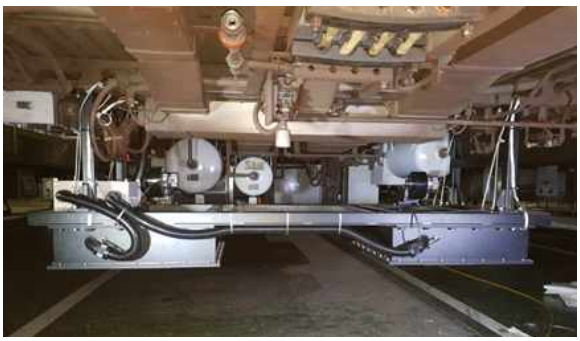
그림 59. STEDEF 궤도 전체 구성도

(다) 시제품 제작

| 시제품 사진 | 설 명 |
|---|---|
|  <br>  | ▪ 장치 사양<br><br>항목 / 사양<br>검사대상 : STEDEF 방진궤도 체결구, 침목<br>해상도 : 0.8㎜/pixel<br>스캔간격 : 0.8㎜이내 동일간격 스캔(@100㎞/h)<br><br>▪ 주요 구성품<br><br>세부 내역 / 수량 / 구성품 사양<br>STEDEF 카메라 / 2 / ▪ 해상도 : 2048 x 2line ▪ 인터페이스 : GigE ▪ 전원 : DC 12V / 9W ▪ 랜즈 F/L : 25㎜ (M42)<br>조명 랜즈 / 1식 / ▪ 파장대 : White ▪ 밝기 : Max 2915kLux ▪ 전원 : 24V |

(라) 현차 설치

STEDEF 궤도 시설물 검사장치



▪ 전동차 하부 좌측/우측 설치
▪ 대상 차량 : 7호선 - 7054편성
▪ 설치기간 : 2018.11.13. ~ 2018.11.23.




▪ STEDEF 시설물 변형검사 소프트웨어
▪ 체결구 및 침목 결함 분석
- 시설물 인식 : 기계학습(딥러닝)
- 인식률 : 98% 이상

(마) STEDEF 궤도 검사 알고리즘

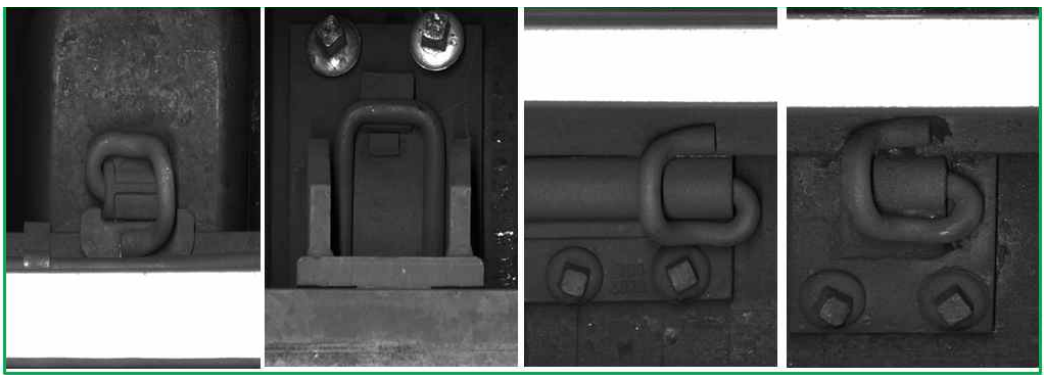
궤도 시설물 인식을 위한 딥러닝 방법은 CNN(Convolutional Neural Networks) 기반에 데이터 학습을 수행하였으며, 데이터 라벨링을 위한 스크립터를 사용하여 학습 시간을 개선하였다.

- data set : 운행노선중 2㎞ 구간에 해당하는 시설물 샘플구간(체결구 4종)
- batch size : 2
- learning rate : 0.0005
- weight prior : 0.00001
- seed random : 84
- iteration number : 2,400

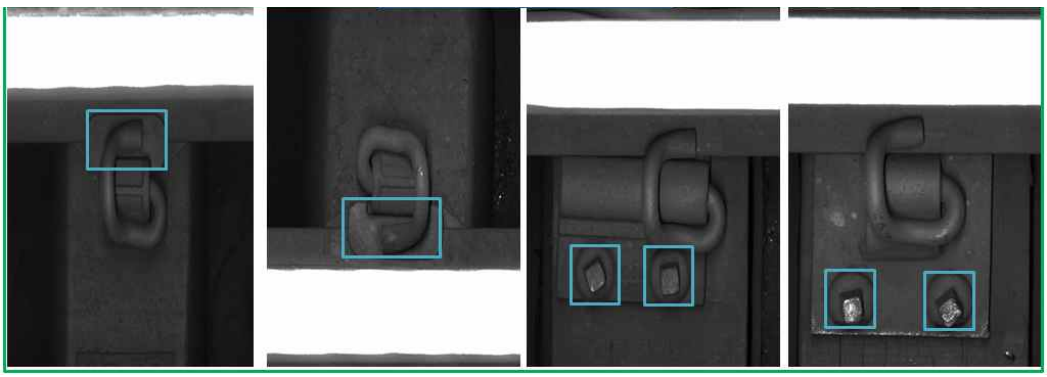
① 궤도 시설물 데이터 셋 정의

㉮ 방진(STEDEF) 궤도 시설물 분류

○ 체결구 종류 분류(4종)

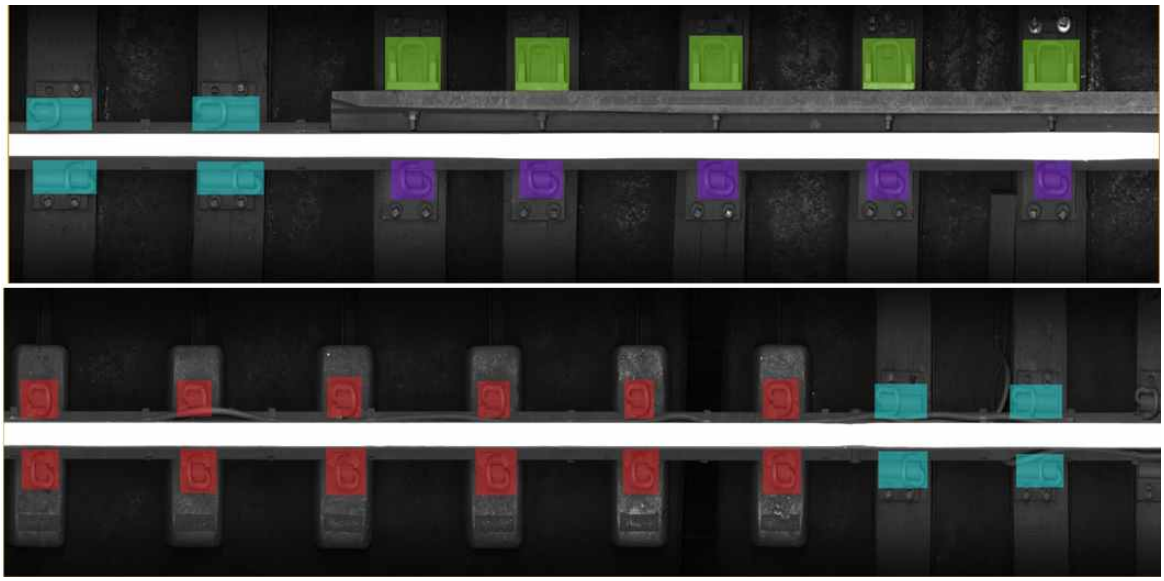


○ 체결 나사 및 패드 분류

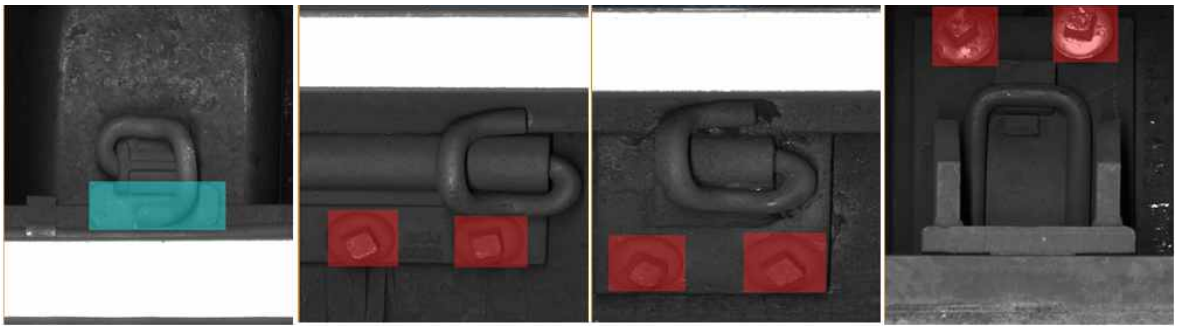


㉯ 데이터 셋 생성을 위한 시설물 위치 등록

○ 체결구 종류별 위치 등록



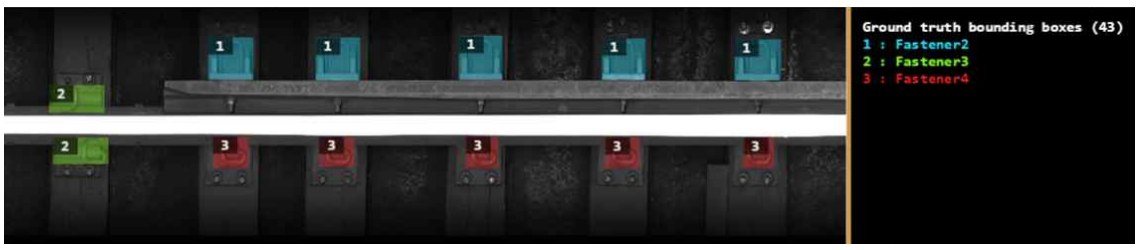
○ 체결 나사 및 패드 위치 등록

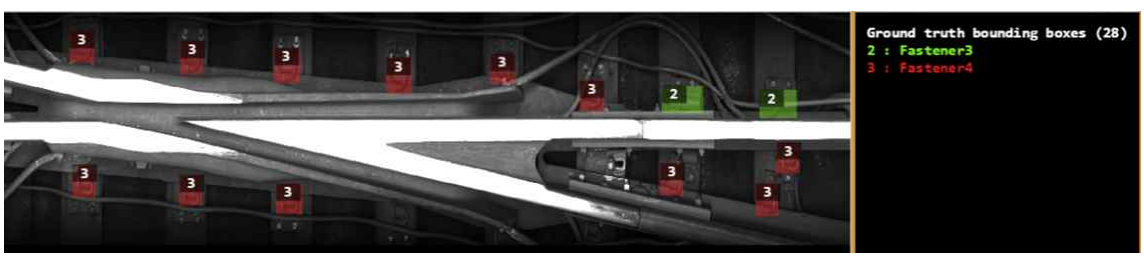


② 궤도 시설물 데이터 셋 정의

○ 등록된 궤도 시설물에 위치 정보를 토대로 학습하기 위한 데이터 셋을 생성

○ 체결구 데이터 셋 정의



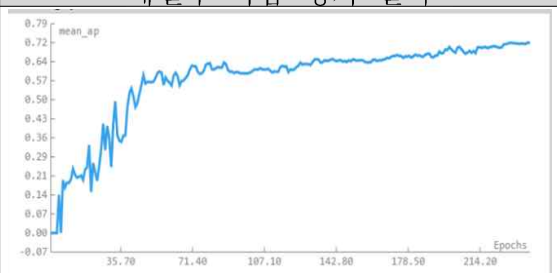
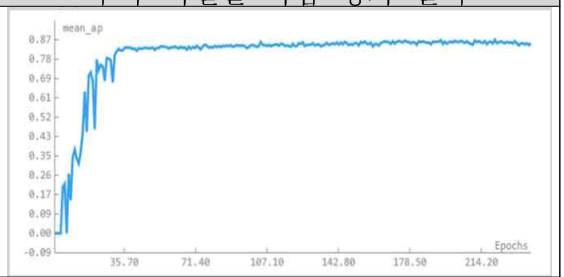
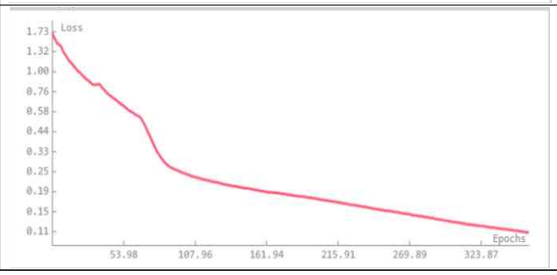
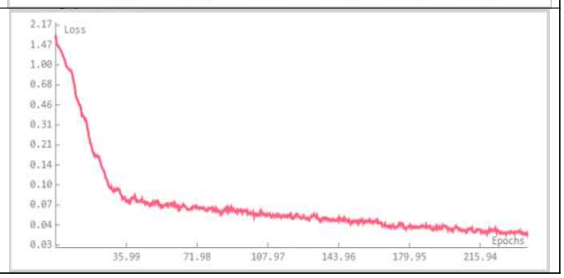
③ 딥러링 학습 수행

시설물 데이터 셋에 대한 학습을 수행하며, 에러율을 줄이기 위한 학습 파라미터 조정.

㉮ 체결구 및 부속시설물(나사, 패드) 학습 파라메터 설정

| 체결구 학습 파라메터 | | | 부속시설물 학습 파라메터 | |
|---|---|---|---|---|
| train_dl_model | | | train_dl_model | |
| Train status: | | | Train status: | |
| Epoch | 에러율 및 학습 진행 현황 | 239.9 of 240 | Epoch | 239.9 of 24 |
| Loss | | 0.1062 | Loss | 0.0348 |
| Time elapsed | | 23m 5s | Time elapsed | 1h 36m 20s |
| Time left | | 0s | Time left | 1s |
| Evaluation: | | | Evaluation: | |
| Measure | 평가 결과 | mean_ap | Measure | mean_ap |
| Best value | | 0.715 | Best value | 0.867 |
| Best epoch | | 238.0 | Best epoch | 221.0 |
| Model parameters: | | | Model parameters: | |
| 'learning_rate' | | 0.000050 | 'learning_rate' | 0.000050 |
| 'batch_size' | | 2 | 'batch_size' | 3 |
| 'momentum' | 딥러닝 모델 파라미터 | 0.990000 | 'momentum' | 0.990000 |
| 'weight_prior' | | 0.000010 | 'weight_prior' | 0.000010 |
| 'image_dimensions' | | [2048,512,1] | 'image_dimensions' | [496,704,1] |

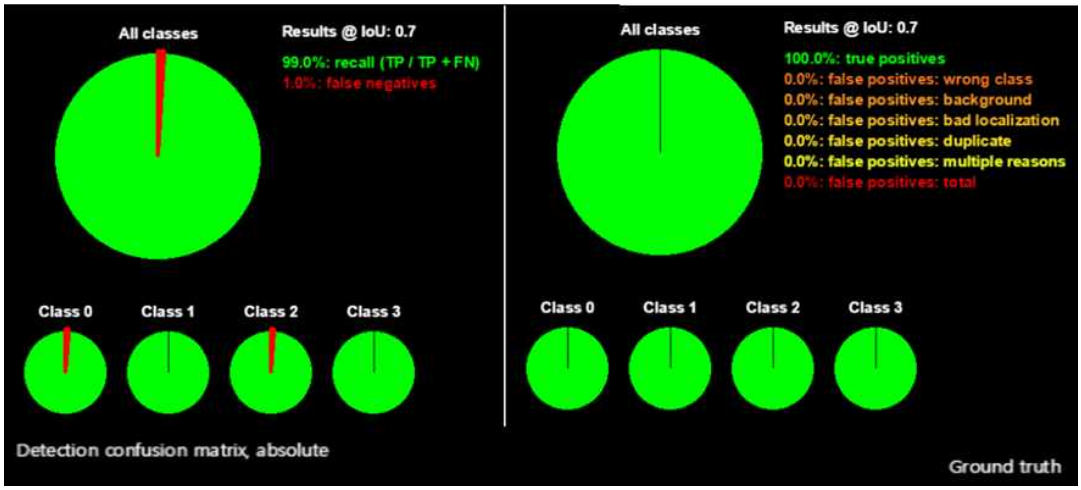
㉯ 체결구 학습 결과

| 구분 | 체결구 학습 평가 결과 | 부속 시설물 학습 평가 결과 |
|---|---|---|
| 평가 결과 |  |  |
| 에러 결과 |  |  |

④ 학습 평가

○ 시설물 학습 평가는 인식 정답(ground truth)을 통해 학습 성능 평가함

○ 오인식(위치 틀림, 다른 시설물 인식)등에 학습 결과를 평가하여 재학습 수행

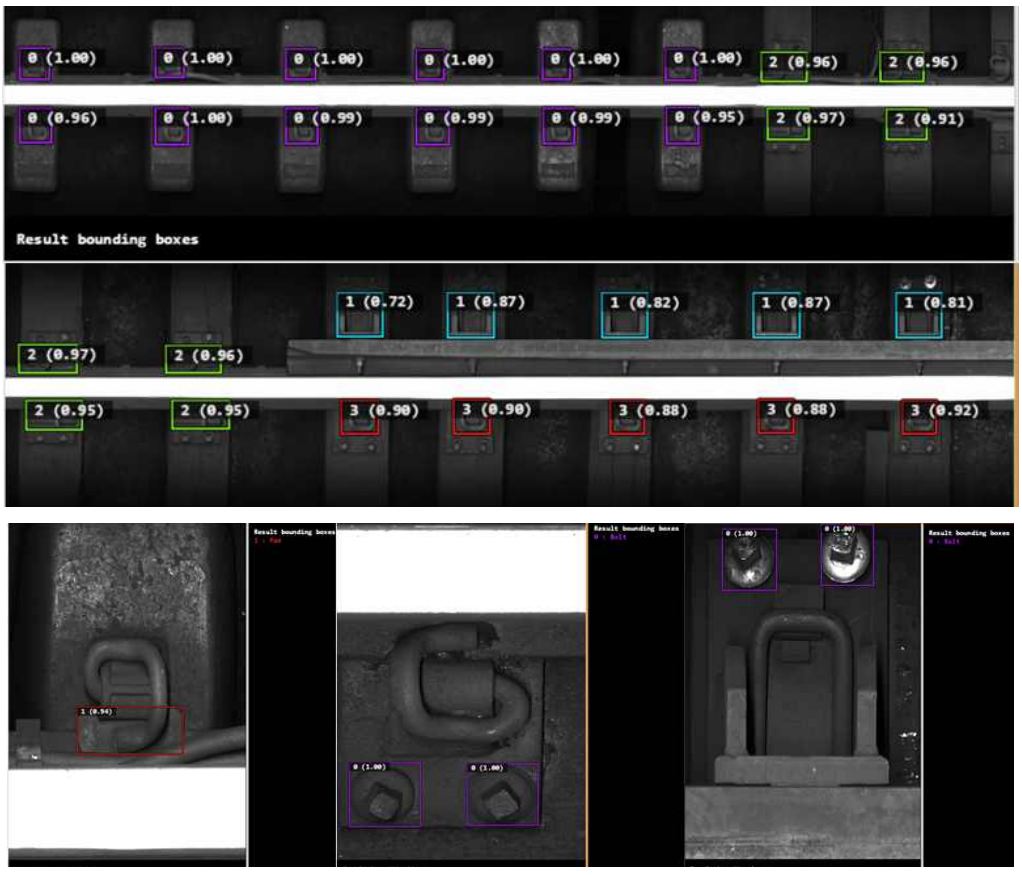



| | class_0 | class_1 | class_2 | class_3 | FP bg | FP loc | FP dup | FP mult |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| class_0 | 74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| class_1 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| class_2 | 0 | 0 | 83 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| class_3 | 0 | 0 | 0 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| FN | 1 | 0 | 1 | 0 | | | | |

⑤ 시설물 추론

○ 학습결과를 토대로 궤도 영상 내에서 인식하고자 하는 시설물 위치를 추론

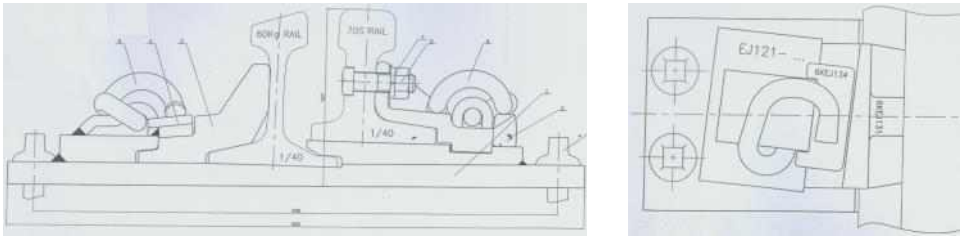
○ 추론 신뢰률에 대해 임계치를 설정하여 원하는 결과값이 나올 경우 시설물 인식



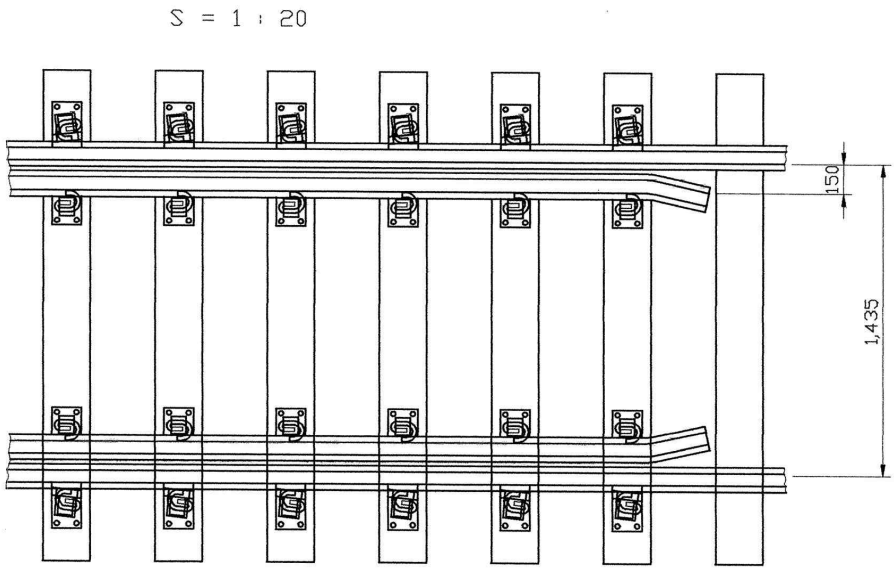
(바) 현차 시운전 및 성능시험

① STEDEF 궤도 시설물 변형 검사 기준

㉮ 체결구(크립, 나사), 패드 이탈 검사

| 구분 | 검사 기준 설명 |
|---|---|
| 검사영역 |  |
| 검사대상 | 크립 및 나사, 패드 변형 |
| 검사기준 | 크립 및 나사, 패드 탈락 유무 |
| 상태처리 | 이탈 발생 체결구 알람처리 |

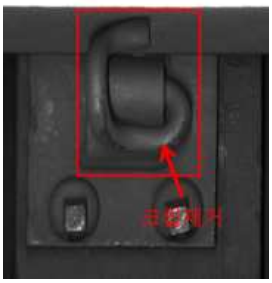
㉯ 콘크리트 균열 및 파손 검사

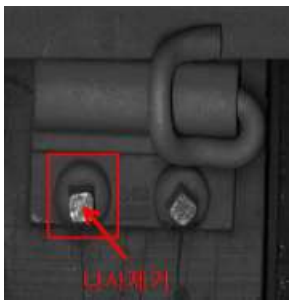
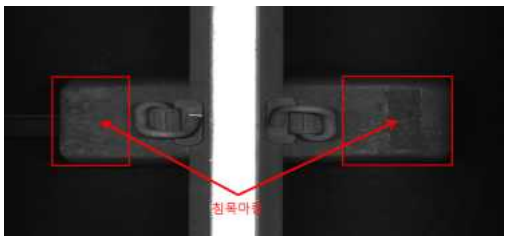
| 구분 | 검사 기준 설명 |
|---|---|
| 검사영역 |  |
| 검사대상 | 침목 변형 |
| 검사기준 | 침목 균열 및 파손 유무 |
| 상태처리 | 균열 및 파손 발생 침목 알람처리 |

② 성능검증 시험 절차

| 방진궤도 변형모의<br>(7호선 상선, 현장) | ⇒ | 데이터 프로세싱<br>(차상서버 및<br>지상분석서버) | ⇒ | 평가표 작성<br>(지상분석서버 설치장소) |
|---|---|---|---|---|
| ・일시 : 2019년 12월 10일<br>・내용 : STEDEF 궤도 시설물 변형모의<br>・7호선(상선:내방~청담역) | | ・일시 : 2019년 12월06일 ~ 12월 20일<br>・변형모의 전 영상 수집<br>・변형모의 후 시험구간에 대한 3회이상에 변형분석 | | ・일시 : 2019년 12월 20일<br>・내용<br>- 성능검증 시험 평가<br>- 점검표(ITC) 평가 |

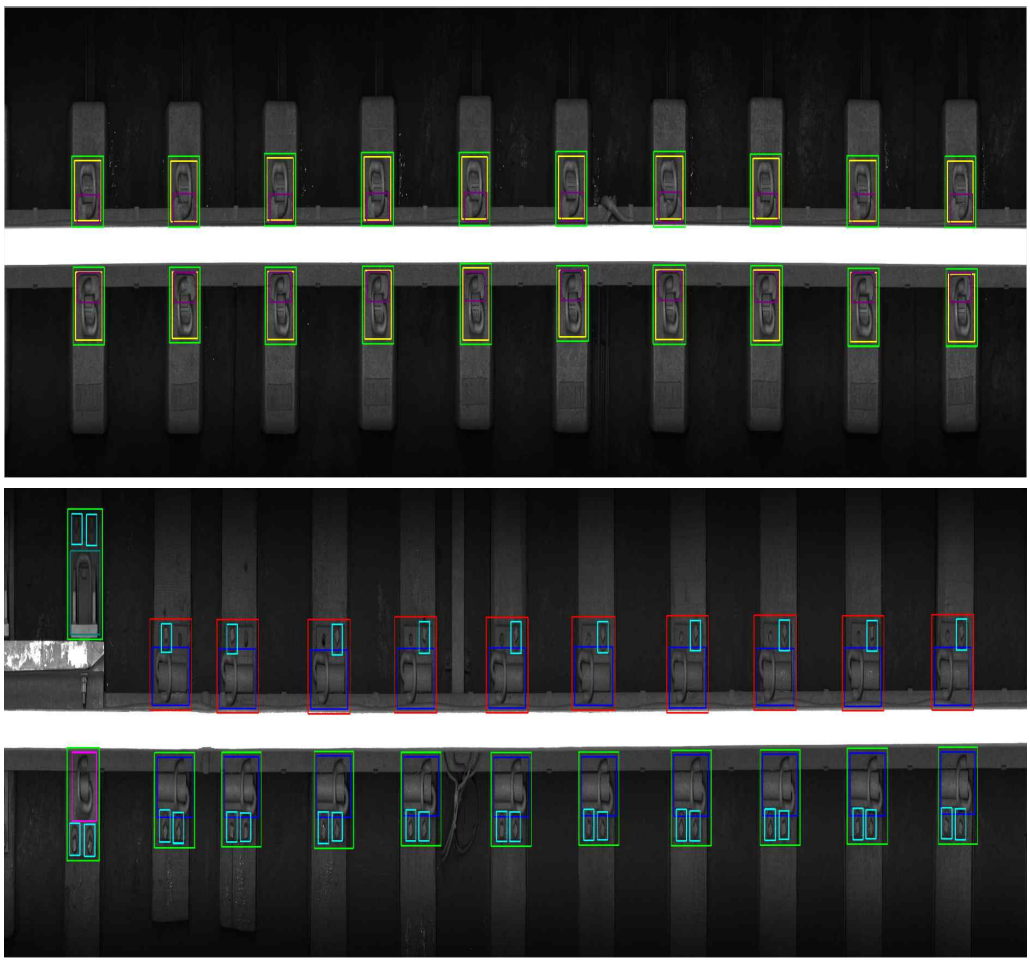
③ STEDEF 궤도 시설물 변형 모의 절차

| 구분 | 체결구 클립 변형 모의 | 체결구 패드 변형 모의 |
|---|---|---|
| 변형 대상 설비 |  |  |
| 변형방법 | ・체결구 클립 제거 및 씨트지 부착 | ・체결구 패드 제거 또는 회전 |
| 변형개수 | 변형구분 / 변형개수 / 트랙방향<br>클립 제거 / 8 / 상선, 하선 | 변형구분 / 변형개수 / 트랙방향<br>패드 제거 / 8 / 상선, 하선 |

| 구분 | 체결구 나사 변형 모의 | 침목 균열 변형 모의 |
|---|---|---|
| 변형 대상 설비 |  |  |
| 변형방법 | ・STEDEF 체결구 나사 제거 | ・STEDEF 침목 균열 및 파손 모의 |
| 변형개수 | 변형구분 / 변형개수 / 트랙방향<br>나사 제거 / 3 / 상선, 하선 | 변형구분 / 변형개수 / 트랙방향<br>침목 마킹 / 20 / 상선, 하선 |

④ 성능검증 시험결과

열차 운행중에 STEDEF 궤도 영상을 수집한 후, 궤도 시설물 인식 및 결합분석 결과에 대한 시험 결과는 다음과 같다.

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">STEDEF 궤도에 대한 체결구 손상 검사 성능평가시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>ASA-03-01</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 변형모의 구간 (내방~청담)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T03</td><td colspan="3">결함 분석 및 결과 확인</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T03-1</td><td colspan="3">클립, 나사, 패드 탈락 여부 분석</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.09.23. 2019.10.22.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">• 체결구 인식 및 결함 분석
<table>
<tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>체결구 인식</td><td>체결구 인식확인</td><td>선로영상에서 체결구 인식 유무 확인.</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 클립, 나사, 패드 인식 상태 확인<br>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">STEDEF 궤도에 대한 체결구 손상 검사 성능평가시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>AIAS-03-02</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 변형모의 구간 (내방~청담)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T03</td><td colspan="3">결함 분석 및 결과 확인</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T03-2</td><td colspan="3">클립, 나사, 패드 인식률(%) 산출</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.09.23. 2019.10.22.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">• 시험구간 : 7호선 상선 (내방 - 청담)<br>• 시운전 횟수별 체결장치(체결구, 나사, 패드 등) 인식률(%) 산출<br><br>① 체결구 인식률(%) 산출 결과</td></tr>
</table>

| 구분 | 확인 내용 | 판정 기준 | 판정 |
|---|---|---|---|
| 체결구 인식률 (%) | 내방 - 고속터미널 | 인식률(%) = 85%이상<br><br>※인식률 산정기준: = (시설개수 / 인식수) × 100 | 적합 |

| 검측일 | 체결구 총개수 | 체결구 인식수 | 오인식 수 | 인식률 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 09.23 | 7013 | 6951 | 3 | 99.07 |
| 10.22 | 7055 | 6989 | 4 | 99.00 |

고속터미널 - 반포

| 검측일 | 체결구 총개수 | 체결구 인식수 | 오인식 수 | 인식률 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 09.23 | 2886 | 2826 | 0 | 97.92 |
| 10.22 | 2907 | 2848 | 0 | 97.97 |

반포 - 논현

| 검측일 | 체결구 총개수 | 체결구 인식수 | 오인식 수 | 인식률 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 09.23 | 2677 | 2648 | 0 | 98.92 |
| 10.22 | 2696 | 2668 | 0 | 98.96 |

논현 - 학동

| 검측일 | 체결구 총개수 | 체결구 인식수 | 오인식 수 | 인식률 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 09.23 | 3162 | 3120 | 0 | 98.67 |
| 10.22 | 3158 | 3119 | 0 | 98.76 |

학동 - 강남구청

| 검측일 | 체결구 총개수 | 체결구 인식수 | 오인식 수 | 인식률 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 09.23 | 2848 | 2802 | 0 | 98.38 |
| 10.22 | 2847 | 2815 | 0 | 98.88 |

강남구청 - 청담

| 검측일 | 체결구 총개수 | 체결구 인식수 | 오인식 수 | 인식률 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 09.23 | 3508 | 3476 | 6 | 98.92 |
| 10.22 | 3537 | 3501 | 9 | 98.73 |

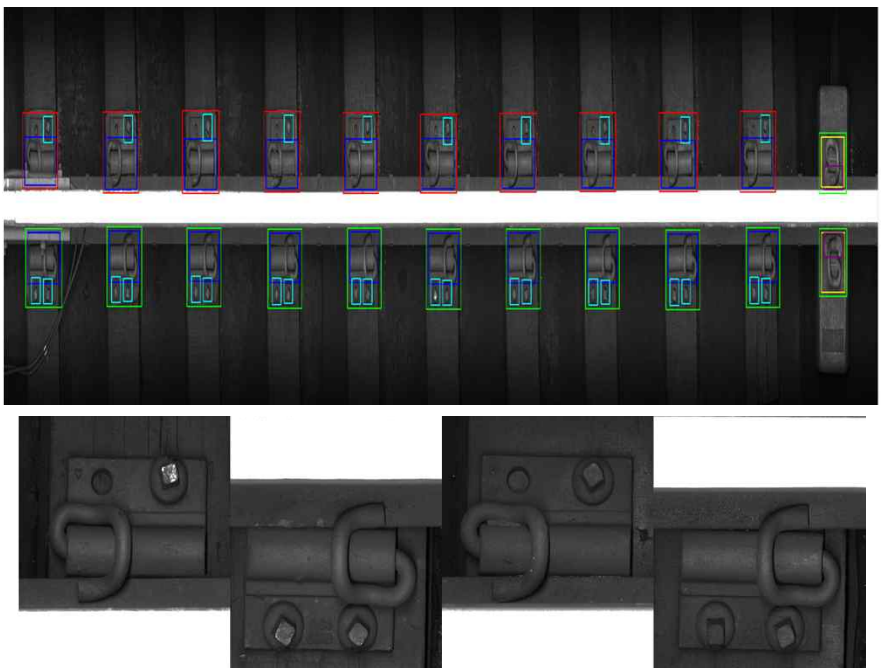
확인 내용 및 판정 기준

**② 나사 인식률(%) 산출 결과**

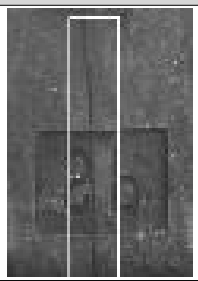
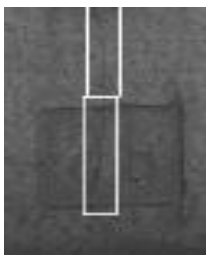
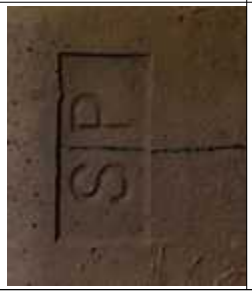
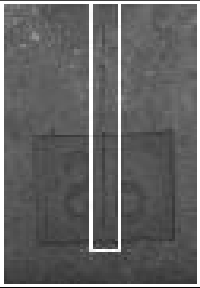
| 구분 | 확인 내용 | 판정 기준 | 판정 |
|---|---|---|---|
| 나사 인식률 (%) | 내방 - 고속터미널<br>검측일 / 나사 총개수 / 나사 인식수 / 오인식 수 / 인식률 (%)<br>09.23 / 589 / 579 / 0 / 98.30<br>10.22 / 589 / 583 / 0 / 98.98<br>강남구청 - 청담<br>검측일 / 나사 총개수 / 나사 인식수 / 오인식 수 / 인식률 (%)<br>09.23 / 199 / 184 / 6 / 92.46<br>10.22 / 199 / 193 / 9 / 96.98 | 인식률(%) = 85%이상<br>※인식률 산정기준: = (시설개수 / 인식수) × 100 | 적합 |

**③ 패드 인식률(%) 산출 결과**

| 구분 | 확인 내용 | 판정 기준 | 판정 |
|---|---|---|---|
| 패드 인식률 (%) | 내방 - 고속터미널<br>검측일 / 패드 총개수 / 패드 인식수 / 오인식 수 / 인식률 (%)<br>09.23 / 6668 / 6603 / 1 / 99.01<br>10.22 / 6705 / 6631 / 5 / 98.82<br>고속터미널 - 반포<br>검측일 / 패드 총개수 / 패드 인식수 / 오인식 수 / 인식률 (%)<br>09.23 / 2886 / 2800 / 0 / 97.02<br>10.22 / 2907 / 2818 / 0 / 96.90<br>반포 - 논현<br>검측일 / 패드 총개수 / 패드 인식수 / 오인식 수 / 인식률 (%)<br>09.23 / 2677 / 2639 / 0 / 98.58<br>10.22 / 2696 / 2664 / 0 / 98.81<br>논현 - 학동<br>검측일 / 패드 총개수 / 패드 인식수 / 오인식 수 / 인식률 (%)<br>09.23 / 3162 / 3116 / 0 / 98.54<br>10.22 / 3158 / 3114 / 0 / 98.61<br>학동 - 강남구청<br>검측일 / 패드 총개수 / 패드 인식수 / 오인식 수 / 인식률 (%)<br>09.23 / 2848 / 2796 / 0 / 98.17<br>10.22 / 2847 / 2814 / 0 / 98.84<br>강남구청 - 청담<br>검측일 / 패드 총개수 / 패드 인식수 / 오인식 수 / 인식률 (%)<br>09.23 / 3392 / 3357 / 0 / 98.97<br>10.22 / 3419 / 3381 / 2 / 98.83 | 인식률(%) = 85%이상<br>※인식률 산정기준: = (시설개수 / 인식수) × 100 | 적합 |

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">STEDEF 궤도에 대한 체결구 손상 검사 성능평가시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>AIAS-03-03</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T03</td><td colspan="3">결함 분석 및 결과 확인</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T03-2</td><td colspan="3">나사 결함 인식률(%) 산출</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.09.23. 2019.10.22.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">
④ 체결나사 인식률(%) 산출 결과
<table>
<tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>체결 나사 인식률 (%)</td><td>
내방 - 고속터미널
<table>
<tr><th>검측일</th><th>결함 총개수 (결함검사 시스템)</th><th>결함 총개수 (육안검사)</th><th>결함 오인식수</th><th>결함 인식률 (%)</th></tr>
<tr><td>09.23</td><td>75</td><td>72</td><td>3</td><td>100</td></tr>
<tr><td>10.22</td><td>76</td><td>72</td><td>4</td><td>100</td></tr>
</table>
강남구청 - 청담
<table>
<tr><th>검측일</th><th>결함 총개수 (결함검사 시스템)</th><th>결함 총개수 (육안검사)</th><th>결함 오인식수</th><th>결함 인식률 (%)</th></tr>
<tr><td>09.23</td><td>34</td><td>34</td><td>1</td><td>97.06</td></tr>
<tr><td>10.22</td><td>35</td><td>34</td><td>2</td><td>97.06</td></tr>
</table>
</td><td>인식률(%)<br>= 85%이상<br><br>※인식률 산정기준:<br>= (시설개수 / 인식수) × 100</td><td>적합</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 체결장치 인식 시험 화면<br>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">STEDEF 궤도에 대한 체결구 손상 검사 성능평가시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>ASA-03-04</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 변형모의 구간 (내방~청담)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T03</td><td colspan="3">STEDEF 체결구 모의 변형에 대한 변형검사률 산출</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T03-4</td><td colspan="3">변형검사률(%) 산출</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.12.10.~ 2019.12.22.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">① STEDEF 궤도 체결장치 모의 변형에 대한 검사결과<br>• 시험구간 : 7호선 상선(이수 - 반포), 하선(굴포천 - 부평구청)<br>• 시운전 횟수별 체결장치(체결구, 나사, 패드 등) 변형 검출률(%) 산출
<table>
<tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>검출률 (%)</td><td>
이수 - 반포
<table>
<tr><th>검측일</th><th>결함 인식수</th><th>결함모의 개수</th><th>결함 오인식수</th><th>결함 검출률(%)</th></tr>
<tr><td>09.23</td><td>75</td><td>72</td><td>3</td><td>100</td></tr>
<tr><td>10.22</td><td>76</td><td>72</td><td>4</td><td>100</td></tr>
</table>
굴포천 - 부평구청
<table>
<tr><th>검측일</th><th>결함 인식수</th><th>결함모의 개수</th><th>결함 오인식수</th><th>결함 검출률(%)</th></tr>
<tr><td>09.23</td><td>34</td><td>34</td><td>1</td><td>97.06</td></tr>
<tr><td>10.22</td><td>35</td><td>34</td><td>2</td><td>97.06</td></tr>
</table>
</td><td>변형 검출률(%) = 85%이상<br><br>※검출률 산정기준:<br>= (결함모의개수/ 결함인식수) × 100</td><td>적합</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 검측구간별 결함검사 내용 첨부
<table>
<tr><th>위치</th><th>모의 변형 시설물</th><th>현장 변형 모의 사진</th><th>결함 검사 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">이수 - 반포(상선)</td><td>패드</td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>클립</td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>클립</td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">STEDEF 궤도에 대한 체결구 손상 검사 성능평가시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>ASA-03-05</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 변형모의 구간 (내방~청담)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T03</td><td colspan="3">STEDEF 침목 모의 변형에 대한 변형검사률 산출</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T03-5</td><td colspan="3">변형검사률(%) 산출</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.12.10.~ 2019.12.22.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">① STEDEF 침목균열에 대한 변형검사 결과<br>• 시험구간 : 7호선 상선 (이수 - 반포)으로 선정<br>• 시운전 횟수별 침목 균열에 대한 변형 검출률(%) 산출<br><table><tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr><tr><td>검출률 (%)</td><td><table><tr><th colspan="4">이수 - 반포</th></tr><tr><th>검측일</th><th>결함 인식수</th><th>결함모의 개수</th><th>결함 검출률(%)</th></tr><tr><td>12.19</td><td>20</td><td>18</td><td>90</td></tr></table></td><td>변형 검출률(%) = 85%이상<br><br>※검출률 산정기준:<br>= (결함모의개수/ 결함인식수) × 100</td><td>적합</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 검측구간별 결함검사 내용 첨부<br><table><tr><th>위치</th><th>모의 변형 시설물</th><th>현장 변형 모의 사진</th><th>결함 검사 결과</th></tr><tr><td rowspan="3">이수 - 반포(상선)</td><td>침목 균열</td><td>  </td><td>  </td></tr><tr><td>침목 균열</td><td>  </td><td>  </td></tr><tr><td>침목 균열</td><td>  </td><td>  </td></tr></table></td></tr>
</table>

(사) 연구수행에 따른 개선 및 고도화방향

① STEDEF 궤도 상태 검측의 확장 가능성

○ 본 과제는 도시철도 5~8호선에 궤도 시설물인 STEDEF 궤도에 상태 검측을 수행하였으며, 체결장치에 이탈 및 파손, 형태변형 등에 상태 검측이 가능하다.

○ STEDEF 궤도는 서울지하철(5~8호선)과 대구, 부산 지하철 등에 설비되어 있으며, 도시철도 및 철도 운용 노선별 다양한 종류에 콘크리트 도상(직결궤도, LTV궤도, KNR 궤도 등) 및 자갈도상을 사용하고 있으며, 여러 체결장치(e-clip, Vossloh clip, Fast clip 등)들로 구성됨.

○ 궤도 상태 진단 모듈에 실용화 확대를 위해서는 도시철도 노선별 궤도시설물에 대한 다양한 학습데이터를 생성이 필요하며, 또한 터널구간 외에 토공구간에서 발생하는 외부환경 영향(태양광, 우천, 이물질)을 효율적으로 제거하기 위한 “3D Surface Inspection” 기술 등이 접목된 강인한 변형검출 알고리즘의 적용이 필요할 것으로 판단됨



그림 73 3D Surface Inspection (depth map)

② 실용화 확대 범위

○ 궤도시설물 상태 검측 모듈의 실용화 확대범위는 국내 모든 종류에 궤도 시설물을 대상으로 한다.

| STEDEF 궤도 | KNR 궤도 | 콘크리트 도상 |
|---|---|---|
| - 운용노선 :<br>서울 5~8호선, 대구, 부산<br>  | - 운용노선 :<br>분당선, 일산선, 4호선(일부)<br>  | - 운용노선 :<br>경부고속선, 호남고속선<br>  |
| 직결궤도 | LVT 궤도 | 자갈도상 |
| - 운용노선 :<br>인천지하철 1호선<br>  | - 운용기관 :<br>인천지하철 1호선<br>  | - 운용기관 :<br>일반철도, 경부고속선(일부)<br>  |

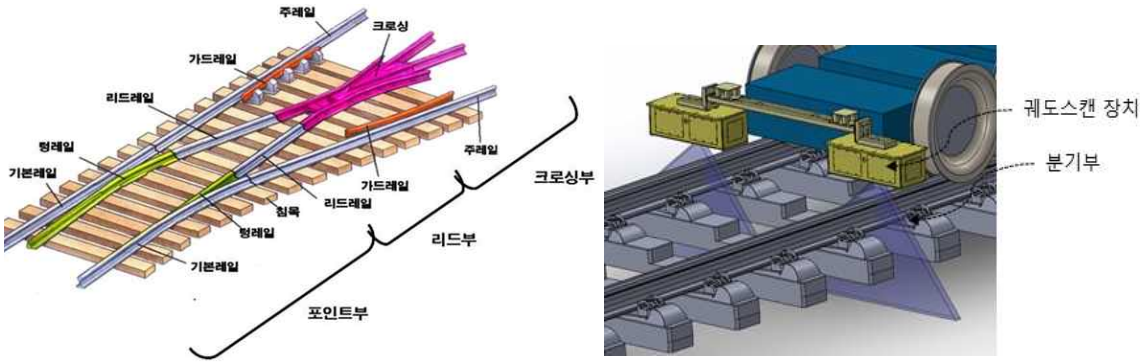
### (6) 궤도 분기기 검측장치 (투아이시스)

(가) 개요

○ 열차주행 상태에서 궤도분기부(크로싱, 가드레일)의 백게이지 및 플랜지웨이 폭 측정함

① 검측방식

○ 라인레이저를 이용하여 궤도분기기 단면 형상을 마킹한 후, 카메라에서 단면 형상을 촬영하여 분기부에 크로싱 백게이지 및 플랜지웨이 폭을 측정함




② 검측 대상

○ 분기부 크로싱 백게이지 및 가드레일 플랜지웨이 폭

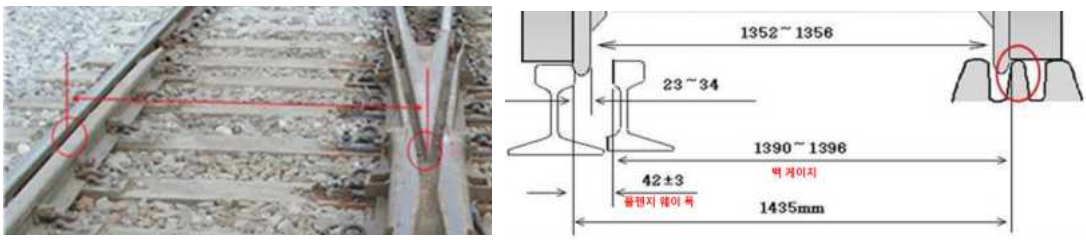



그림 75 분기부 검측 대상(플랜지웨이 폭, 백게이지)

③ 목표 성능

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| 검측 대상 | ▪ 크로싱 백게이지, 가드레일 플랜지웨이 폭 검측 |
| 검측속도 | ▪ 2㎑ (분기기 스캔간격 7㎜이내, @50km/h) |
| 장치 정밀도 | ▪ 정밀도 : ±2㎜ 이내 |

(나) 장치 구성 설계

① 장치 구성도

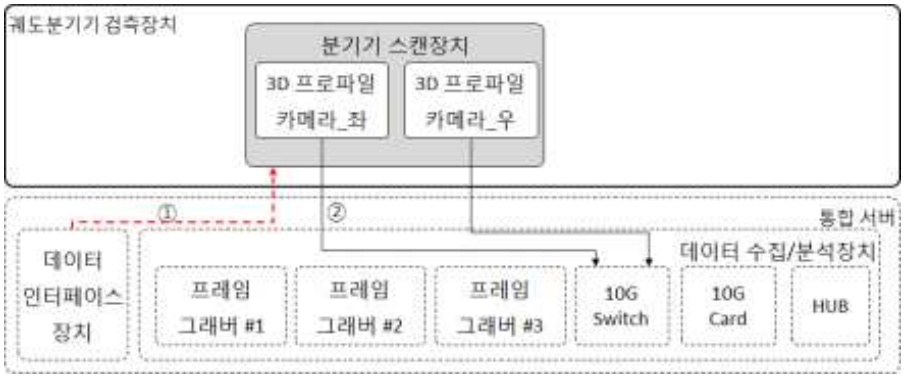



그림 76. 궤도분기기 검측장치 구성도

② 장치구성 물량

| 구성 | 세부 내역 | 수량 | 구성품 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 분기기 스캔장치 | 분기부 카메라 | 4 | ▪ Data Point : 1,280 profile<br>▪ 분해능: 0.04mm<br>▪ 인터페이스 : GigE |  |
| 선로영상수집 분석장치 (공용장비) | 산업용 서버 | 1식 | ▪ 장치제어 및 궤도 영상 수집 | |
| | KVM | 1식 | ▪ 키보드, 마우스, 모니터 | |
| | UPS | 2EA | ▪ 무정전 전원장치(공동 사용) | |
| | 타코인터페이스 | 1EA | ▪ 타코메타 인터페이스(공용 사용) | |
| | SSD | 6EA | ▪ 전차선로 영상 저장용 스토리지 | |
| | 트리거제어기 | 1 | ▪ 카메라 트리거 신호 생성 | |

표 97 검측장치 구성 물량표

③ 분기부 검측 범위

○ 궤도 분기기의 측정항목인 플렌지 웨이 폭, 백게이지, 텅레일 밀착간격을 측정하기 위한 카메라 모듈의 구성은 다음과 같다.

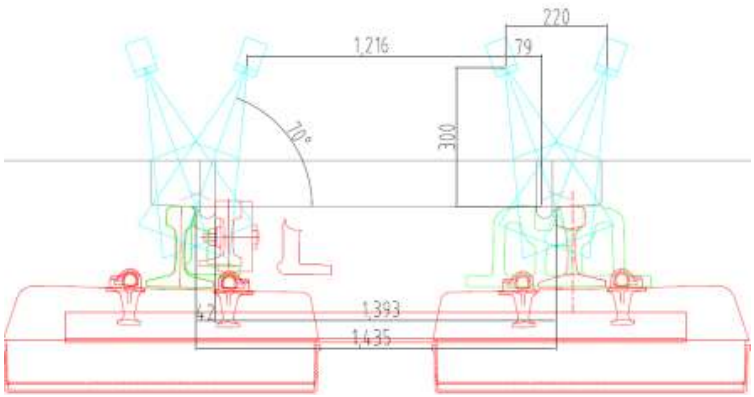



그림 77 분기부 카메라 화각 구성

(다) 시제품 제작

<table>
<tr><th>시제품 사진</th><th>설 명</th></tr>
<tr><td>  <br>▪ 분기부 카메라 : 4대</td><td>▪ 장치 사양<br><table><tr><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>검사대상</td><td>▪ 분기부(가드레일 및 플랜지웨이)</td></tr><tr><td>정밀도</td><td>▪ ±2㎜</td></tr><tr><td>검측속도</td><td>▪ 2㎑</td></tr></table>▪ 주요 구성품<br><table><tr><th>세부 내역</th><th>수량</th><th>구성품 사양</th></tr><tr><td>분기부<br>카메라</td><td>4</td><td>▪ Data Point : 1,280 profile<br>▪ 분해능: 0.04mm<br>▪ 인터페이스 : GigE</td></tr></table></td></tr>
</table>

(라) 분기부 검측 알고리즘

① 좌표계 검교정

○ 카메라 좌표계를 월드좌표계로 변환(월드 좌표계 매핑)

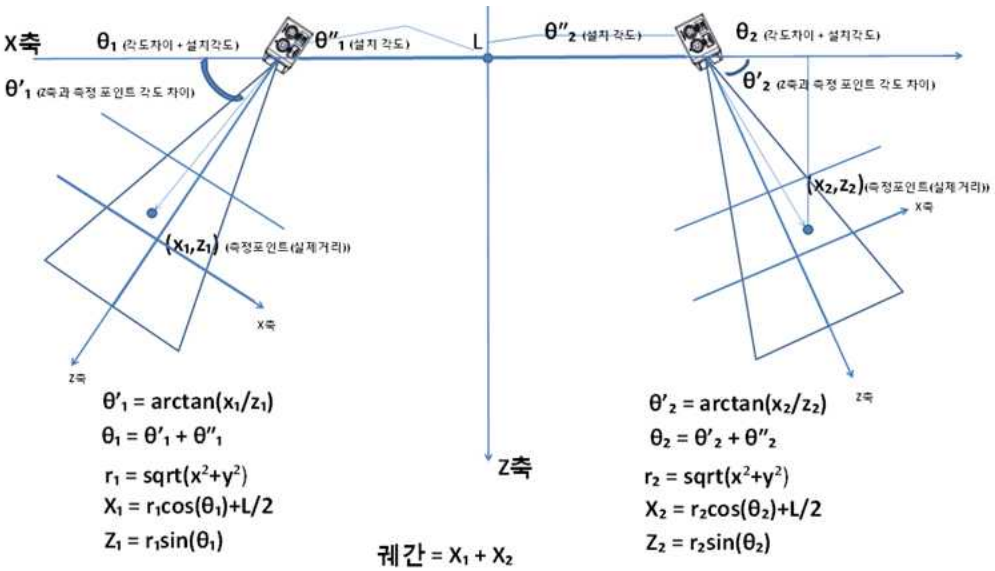



그림 78. 월드 좌표계 변환

○ 좌측/우측 레일 단면 형상 생성(레일 Full Profile 생성)

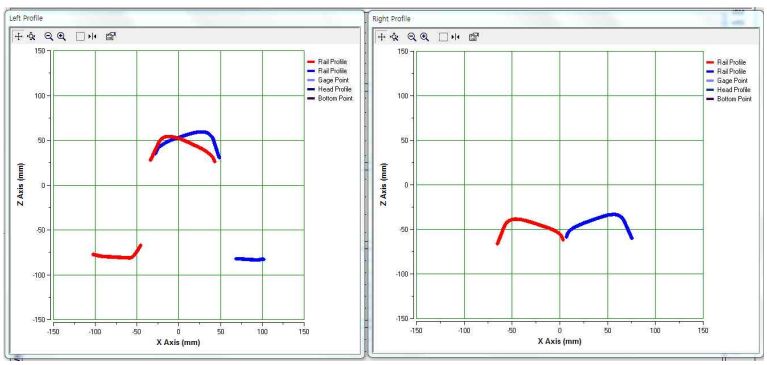



그림 79 좌표변환 이전

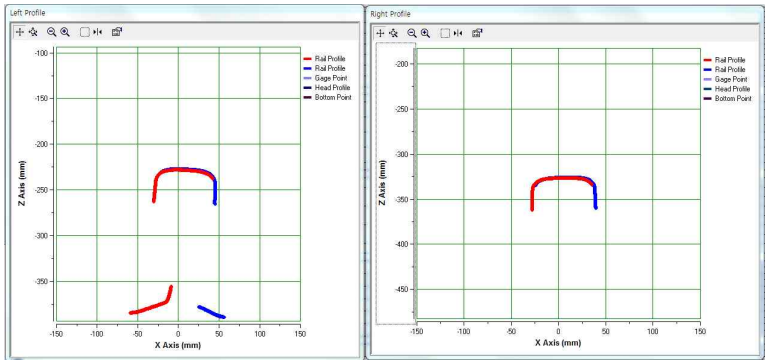



그림 80 좌표변환 이후 매칭 결과(Full Profile)

② 레일 매칭 알고리즘

㉮ 표준 레일 시료(UIC60, KS60, 50N) 시료



그림 81. 표준 레일 시료

㉯ 표준 레일에 대한 프로파일(Profile) 생성

○ 레일 표준 프로파일은 레일 도면의 직선, 호의 정보를 입력하여 0.1mm 간격의 표준 레일 프로파일을 생성함.

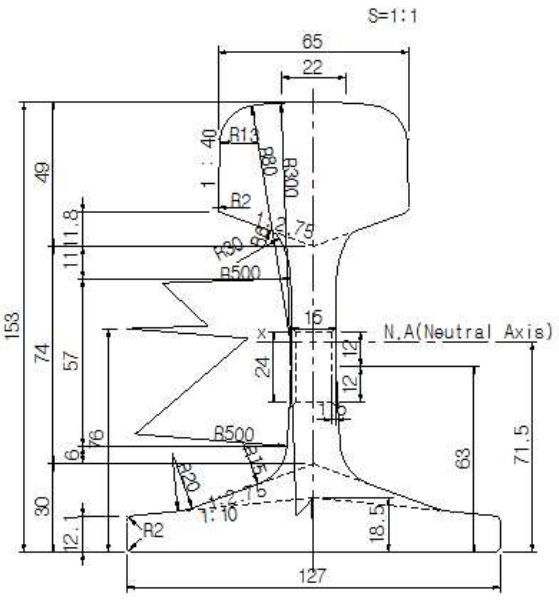



그림 82. 50N CTR1116 도면

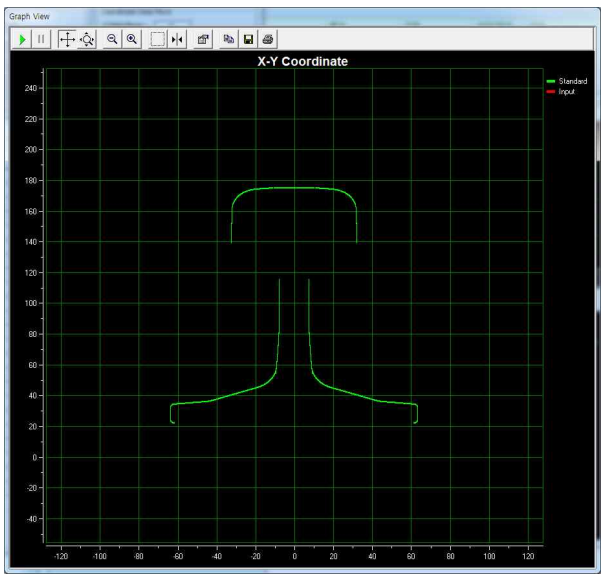



그림 83. 0.1mm 간격 도면 표준 프로파일

○ 표준 레일 시료(UIC60, KS60, 50N)에 대한 표준 프로파일 데이터 생성

Line Information

| No. | 시작점 X | 시작점 Y | 끝점 X | 끝점 Y |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -63.5 | 24.021 | -63.5 | 32.361 |
| 2 | -61.699 | 34.3511 | -46.1123 | 35.9097 |
| 3 | -41.2675 | 37.0146 | -18.9272 | 45.1383 |
| 4 | -32.3981 | 139.2531 | -31.8463 | 161.3244 |
| 5 | 31.8462 | 161.3244 | 32.398 | 139.2531 |
| 6 | 18.9272 | 45.1383 | 41.2674 | 37.0146 |
| 7 | 46.1122 | 35.9097 | 61.699 | 34.3511 |
| 8 | 63.5 | 32.361 | 63.5 | 24.021 |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | |
| 20 | | | | |
| 21 | | | | |
| 22 | | | | |

Arc Information

| No. | 시작 각도 | 전체 각도 | 중심점 X | 중심점 Y | 반지름 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 180 | 90 | -61.5 | 24.021 | 2 |
| 2 | 96 | 84 | -61.5 | 32.361 | 2 |
| 3 | 276 | 14 | -48.1024 | 55.8105 | 20 |
| 4 | 290 | 65 | -24.0534 | 59.2352 | 15 |
| 5 | 355 | 7 | -507.5 | 98.021 | 500 |
| 6 | 99 | 80 | -18.8504 | 160.9995 | 13 |
| 7 | 92 | 7 | -8.0667 | 94.873 | 80 |
| 8 | 90 | 2 | 0 | -124.979 | 300 |
| 9 | 88 | 2 | 0 | -124.979 | 300 |
| 10 | 81 | 7 | 8.0666 | 94.873 | 80 |
| 11 | 1 | 80 | 18.8503 | 160.9995 | 13 |
| 12 | 178 | 7 | 507.5 | 98.021 | 500 |
| 13 | 185 | 65 | 24.0533 | 59.2352 | 15 |
| 14 | 250 | 14 | 48.1023 | 55.8105 | 20 |
| 15 | 0 | 84 | 61.5 | 32.361 | 2 |
| 16 | 270 | 90 | 61.5 | 24.021 | 2 |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 21 | | | | | |
| 22 | | | | | |

Profile Data Interval : 0.1

Load Data

그림 84. 도면에서 추출한 선, 호 정보

㉰ 레일 프로파일 매칭 알고리즘

○ 레일 프로파일 매칭은 '도면 표준 프로파일"을 기준으로 취득된 프로파일에 레일 헤드와 레일 목에 대한 매칭을 수행함.

○ 레일 프로파일 매칭 알고리즘은 ICP(Iterative Closest Point)를 적용함.

○ 레일 표준 프로파일과 취득 프로파일 간에 가장 가까운 점(Key Point)를 검색하고, 표준 프로파일 데이터를 기반으로 이동 및 회전시켜 매칭 수행함.

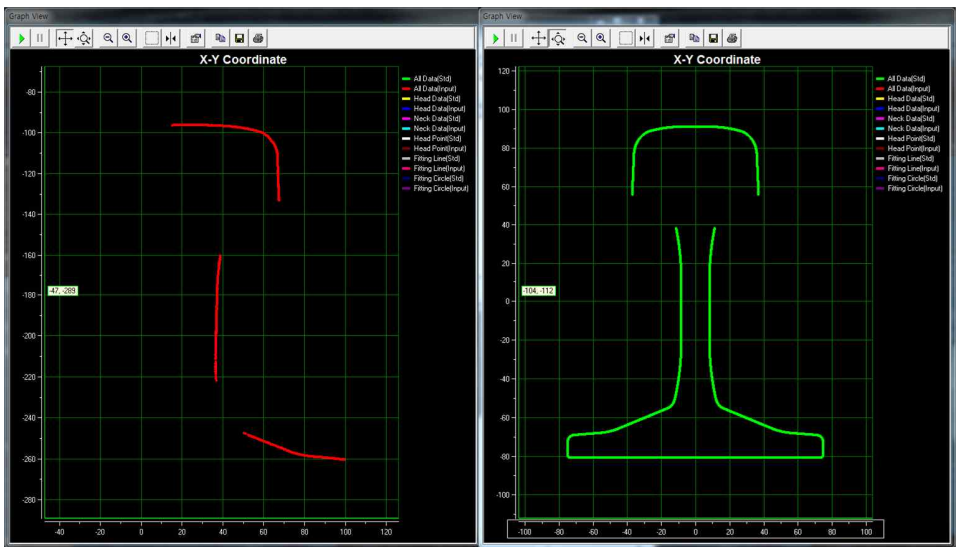



그림 85. 취득 프로파일(좌), 도면 표준 프로파일(우)

(마) 레일 매칭 정밀도 시험

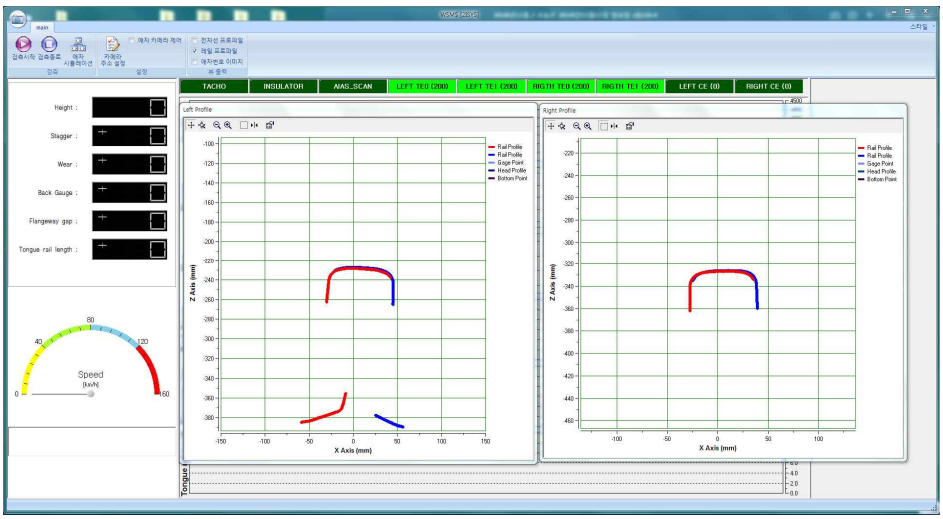
① 시험 환경



그림 86 레일 매칭 시험 사진

② 레일 Profile 측정점(Key-Point) 매칭

○ 도면의 각도 및 프로파일 매칭 결과



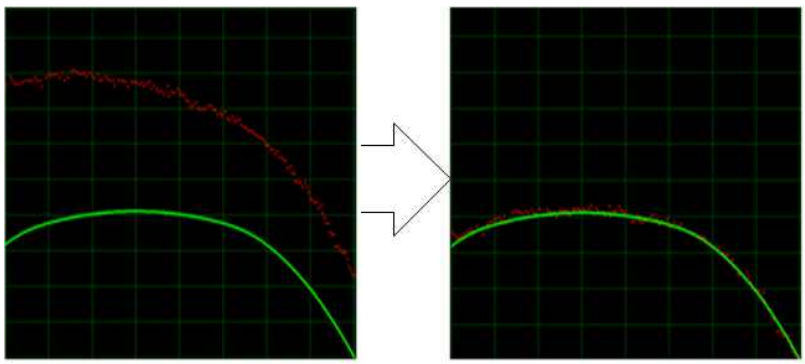



그림 88 ICP 데이터 매칭 결과

③ 레일 단면 형상(Profile) 매칭 오차 분석

○ 레일의 위치 및 자세를 변경하면서, 총 30회 프로파일 취득 및 매칭을 수행함.

○ ICP 레일 프로파일 매칭 화면

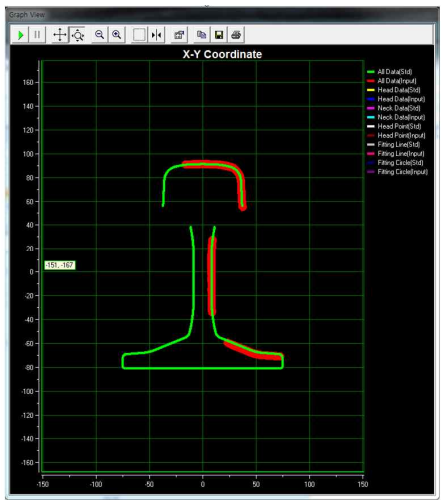


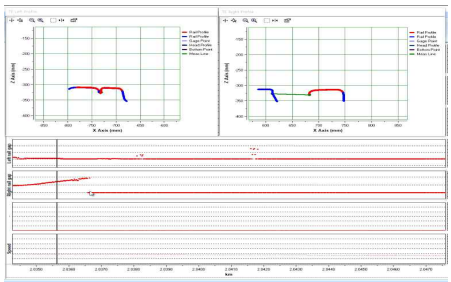

그림 89. ICP 레일 프로파일 매칭

○ 레일 프로파일 매칭 결과

| 레일 모델 | 구분 | 결과 |
|---|---|---|
| UIC60_CTR1102 | 평균 | 0.09559 ㎜ |
| | 데이터 수 | 324.6 개 |
| | 표준편차 | 0.09047 ㎜ |
| | 신뢰도 95%구간 (-) | 0.08575 ㎜ |
| | 신뢰도 95%구간 (+) | 0.10543 ㎜ |
| KS60_CTR1117 | 평균 | 0.11215 ㎜ |
| | 데이터 수 | 260.3 개 |
| | 표준편차 | 0.090795 ㎜ |
| | 신뢰도 95%구간 (-) | 0.101121 ㎜ |
| | 신뢰도 95%구간 (+) | 0.123189 ㎜ |
| 50N_CTR1116 | 평균 | 0.093010 ㎜ |
| | 데이터 수 | 309.2 개 |
| | 표준편차 | 0.084095 ㎜ |
| | 신뢰도 95%구간 (-) | 0.084095 ㎜ |
| | 신뢰도 95%구간 (+) | 0.101920 ㎜ |

표 99 레일 프로파일의 매칭 결과

(바) 현차 설치

| 궤도 분기기 검측장치 | |
|---|---|
| ▪ 전동차 하부 좌측/우측 설치 | ▪ 궤도 분기기 검측 소프트웨어 |
|  |  |

(사) 현차 시운전 및 성능시험 (7호선)

① 성능검증 시험 절차

| 분기부<br>현장 계측 | ⇒ | 데이터 프로세싱 | ⇒ | 평가표 작성 |
|---|---|---|---|---|
| · 일시 : 2019년 12월 10일<br>· 내용 : 분기기 계측<br>- 크로싱 백게이지<br>- 가드레일 플랜지웨이 폭<br>· 7호선(상선:내방~반포) | | · 일시 : 2019년 12월06일<br>~ 12월 20일<br>· 동일 시험구간에 대한<br>3회 이상에 검측 | | · 일시 : 2019년 12월 20일<br>· 내용<br>- 성능검증 시험 평가<br>- 점검표(ITC) 평가 |

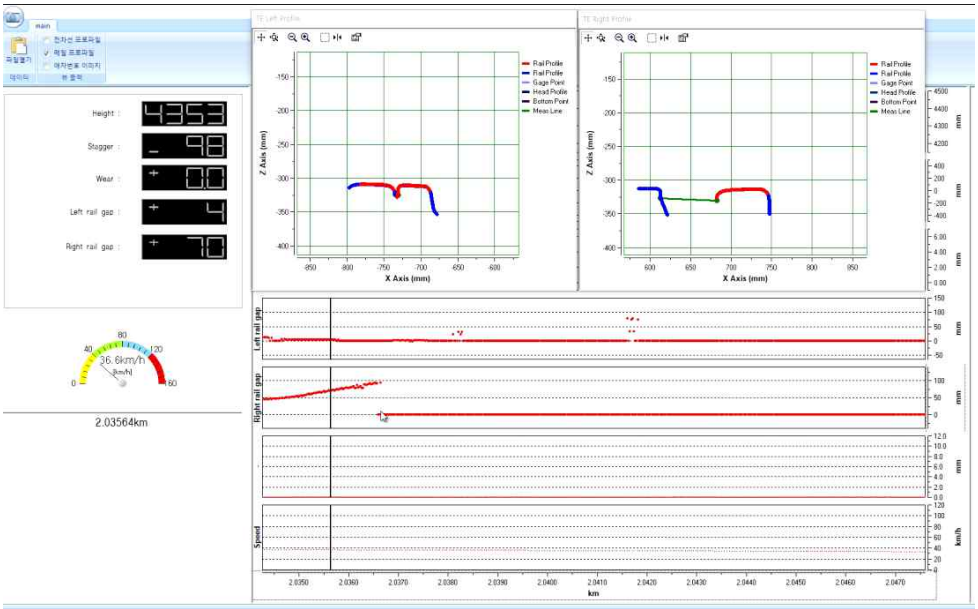
② 분기부 백게이지 및 플랜지웨이 폭 현장 계측
- 검측장치 측정값과 정밀도 비교

| 구분 | 분기기<br>위치(KP) | 계측항목 | 계측값 | 현장사진 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 103B #8<br>(30.0) | 백게이지 | 1392 |  |
| | | 플랜지웨이 폭 | 45 | |
| 2 | 102B #10<br>(30.7) | 백게이지 | 1392 |  |
| | | 플랜지웨이 폭 | 43 | |
| 3 | 101A #7<br>(30.7) | 백게이지 | 1392 |  |
| | | 플랜지웨이 폭 | 45 | |
| 4 | 102A<br>(30.85) | 백게이지 | 1390 |  |
| | | 플랜지웨이 폭 | 45 | |
| 5 | 101B #10<br>(30.85) | 백게이지 | 1392 |  |
| | | 플랜지웨이 폭 | 45 | |

③ 시험 항목

| 검측항목 | 세부 항목 | 내 용 | 차량속도 |
|---|---|---|---|
| 궤도분기기 검측 | 검측 데이터 현시 | 분기부 검측 데이터 및 그래프 확인 | 0~ 100km/h |
| | 가드레일 플랜지웨이 폭 검측 | 가드레일 플랜지웨이 폭 측정값 표시 및 분석 결과 확인 | |
| | 크로싱 백게이지 검측 | 크로싱 백게이지 측정값 표시 및 분석 결과 확인 | |
| | 텅레일 밀착간격 검측 | 텅레일 밀착간격 측정값 표시 및 분석 결과 확인 | |

④ 현차시험 결과

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">궤도분기기 검측장치 성능평가시험</td><td>성능평가 항목번호</td><td>ASA-04-01</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T04</td><td colspan="3">궤도분기부 검측 데이터 표시 및 분석결과 확인</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T04-1</td><td colspan="3">분기부 검측 데이터(그래프 및 분기부 형상) 현시</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.25. ~ 2019.11.30.</td></tr>
<tr><td>확인 내용 및 판정 기준</td><td colspan="4">• 분기부 검측상태 표시 여부 확인
<table>
<tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>분기부 검측데이터</td><td>분기부 검측데이터 확인</td><td>분기부 단면형상 정보 표시<br>분기부 측정 그래프 현시</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 분기부 검측 S/W<br>- 분기부 단면 형상 출력 및 측정 그래프 표시<br>- 차량 주행정보 표시(속도, 거리)<br>  </td></tr>
</table>

| 시험 명 | 궤도분기기 검측장치 성능평가시험 | 성능평가 항목번호 | ASA-04-01 |
|---|---|---|---|
| 시험 장소 | 7호선 | | |
| 측정 항목 | T04 | 궤도분기부 검측 데이터 표시 및 분석결과 확인 | |
| 상세 항목 | T04-5 | 분기부 프로파일 데이터 저장 | |
| 시험 일시 | 2019.10.25. ~ 2019.11.30. | | |

확인 내용 및 판정 기준

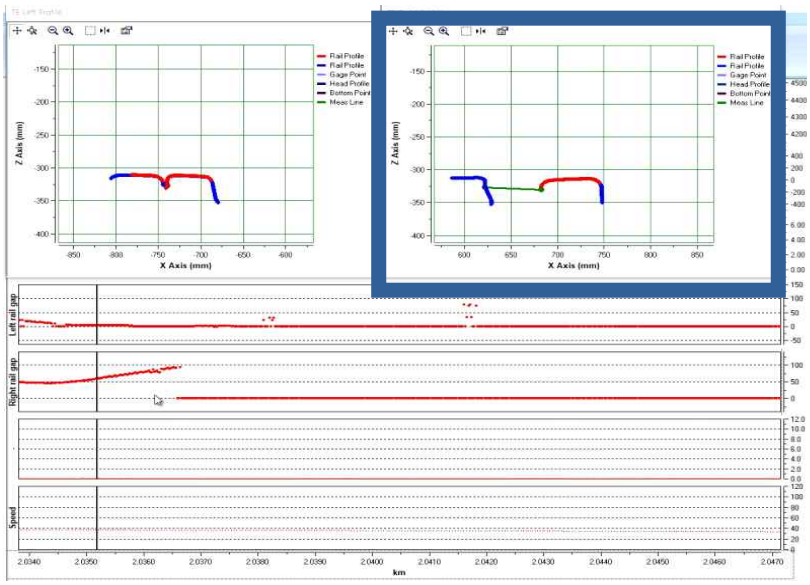
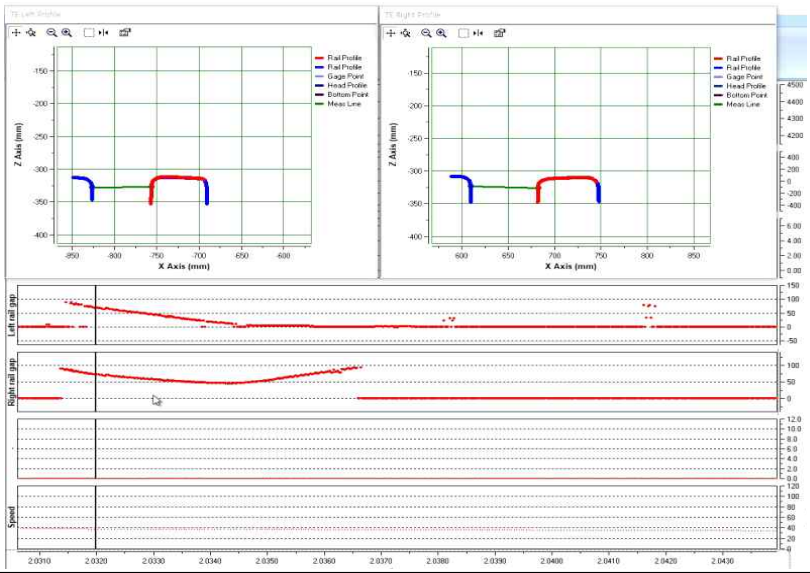
• 분기부 프로파일 데이터 저장 확인

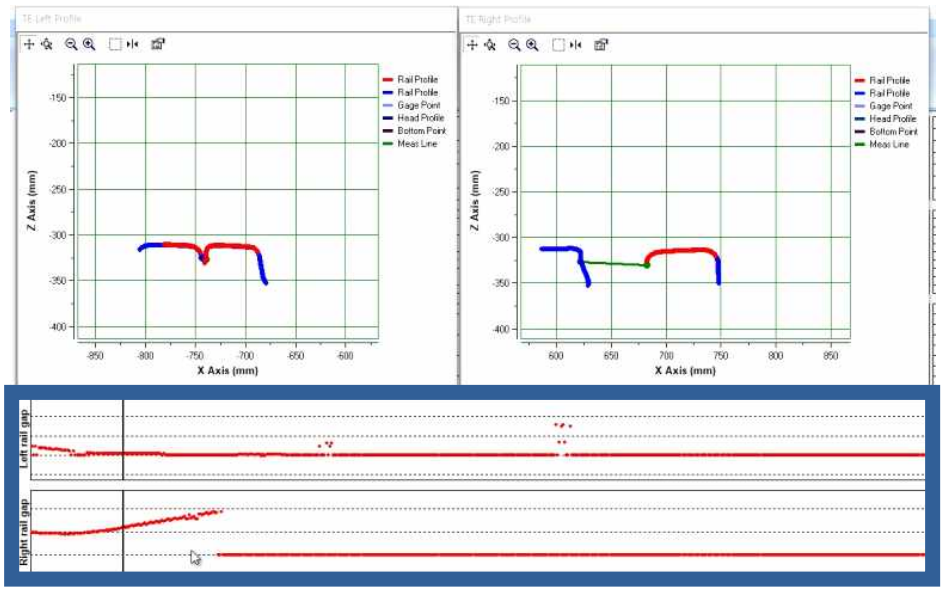
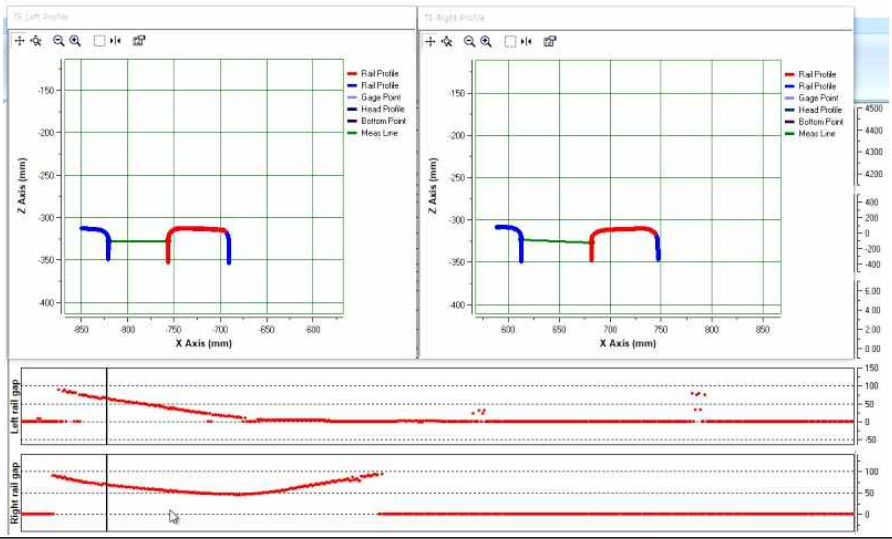
| 구분 | 확인 내용 | 판정 기준 | 판정 |
|---|---|---|---|
| 분기부데이터 | 분기부 데이터저장 | 분기부 형상 데이터 파일 저장 | 적합 |

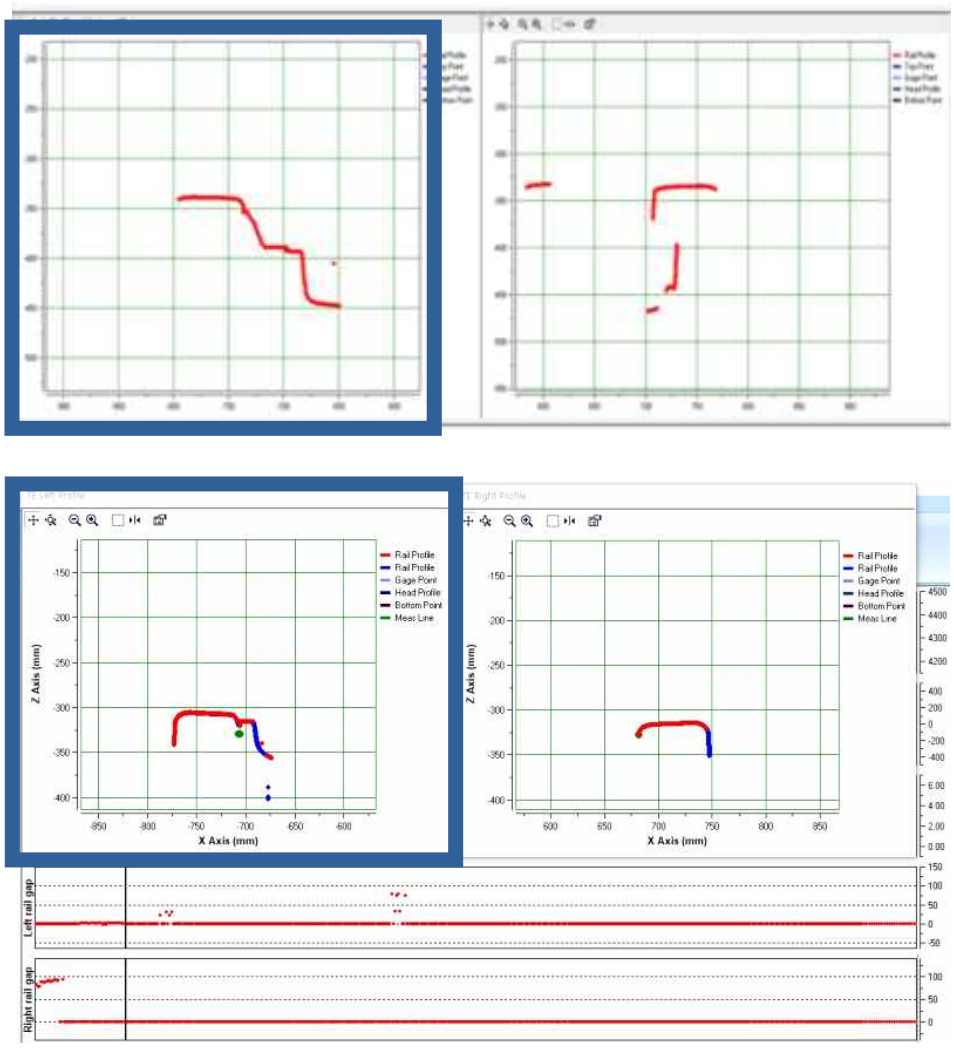
첨부자료

• 분기기 Profile Raw 데이터

| No. | DATA1 | | | | No. | DATA1 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | left | | right | | | left | | right | |
| | x | y | x | y | | x | y | x | y |
| 1 | -794.727 | -340.87 | 702.3154 | -467.862 | | - 중간 데이터 생략 - | | | |
| 2 | -795.017 | -341.398 | 702.5177 | -467.825 | | | | | |
| 3 | -794.523 | -341.144 | 702.6944 | -467.763 | 2013 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 4 | -794.021 | -340.88 | 702.8808 | -467.71 | 2014 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 5 | -793.525 | -340.623 | 703.048 | -467.638 | 2015 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 6 | -793.092 | -340.429 | 703.2534 | -467.605 | 2016 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 7 | -792.677 | -340.253 | 703.4652 | -467.578 | 2017 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 8 | -792.285 | -340.1 | 703.6515 | -467.525 | 2018 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 9 | -791.907 | -339.962 | 703.8633 | -467.498 | 2019 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 10 | -791.541 | -339.835 | 704.0496 | -467.445 | 2020 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 11 | -791.222 | -339.754 | 704.2296 | -467.386 | 2021 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 12 | -790.888 | -339.659 | 704.4063 | -467.324 | 2022 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 13 | -790.539 | -339.55 | 704.5704 | -467.249 | 2023 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 14 | -790.225 | -339.475 | 704.779 | -467.218 | 2024 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 15 | -789.929 | -339.418 | 704.9844 | -467.185 | 2025 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 16 | -789.659 | -339.386 | 705.1739 | -467.135 | 2026 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 17 | -789.386 | -339.352 | 705.3507 | -467.073 | 2027 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 18 | -789.113 | -339.318 | 705.5338 | -467.017 | 2028 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 19 | -788.851 | -339.295 | 705.7074 | -466.952 | 2029 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 20 | -788.578 | -339.261 | 705.8778 | -466.883 | 2030 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 21 | -788.302 | -339.224 | 706.061 | -466.827 | 2031 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 22 | -788.017 | -339.178 | 706.2568 | -466.784 | 2032 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 23 | -787.779 | -339.179 | 706.4654 | -466.754 | 2033 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 24 | -787.532 | -339.171 | 706.6581 | -466.707 | 2034 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 25 | -787.261 | -339.14 | 706.8349 | -466.645 | 2035 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 26 | -787.026 | -339.143 | 706.9894 | -466.561 | 2036 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 27 | -786.767 | -339.124 | 707.1344 | -466.467 | 2037 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 28 | -786.491 | -339.087 | 707.292 | -466.385 | 2038 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 29 | -786.253 | -339.087 | 707.4625 | -466.317 | 2039 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 30 | -786.029 | -339.102 | 707.6615 | -466.277 | 2040 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 31 | -785.805 | -339.118 | 707.8256 | -466.202 | 2041 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |
| 32 | -785.512 | -339.063 | 707.9928 | -466.13 | 2042 | -648.659 | -447.904 | 768.7237 | -338.049 |

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">궤도분기기 검측장치<br>성능평가시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-04-02</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T04</td><td colspan="3">궤도분기부 검측 데이터 표시 및 분석결과 확인</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T04-2</td><td colspan="3">가드레일 플랜지웨이 폭 검측</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.25. ~ 2019.11.30.</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">• 분기부 플랜지웨이 검측 확인<br>(※ 플랜지웨이(flange way) 차륜이 통과할 수 있는 통로)
<table>
<tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>플랜지웨이<br>폭 검측</td><td>가드레일 플랜지웨이<br>폭 측정</td><td>플랜지웨어 형상 측정 및 표시</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 플랜지웨이 측정 화면<br>- 가드레일의 플랜지웨이 폭<br>  <br>- 본레일과 리드레일 간격 측정<br>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">궤도분기기 검측장치<br>성능평가시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-4-03</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T04</td><td colspan="3">궤도분기부 검측 데이터 표시 및 분석결과 확인</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T04-3</td><td colspan="3">크로싱 백게이지 검측</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.25. ~ 2019.11.30.</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">• 크로싱 백게이지 검측 확인<br>(※ 백게이지(back gauge) 크로싱의 노스레일과 가드레일의 플랜지웨이 간의 간격을 말하며 노스레일 선단의 원호부와 답면과의 접점에서 측정한 거리)
<table>
<tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>백게이지<br>검측</td><td>백게이지<br>측정상태 확인</td><td>백게이지 형상 측정 및 표시</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 백게이지 검측 화면<br> 
<br>- 본레일과 리드레일 간격 측정<br> 
</td></tr>
</table>

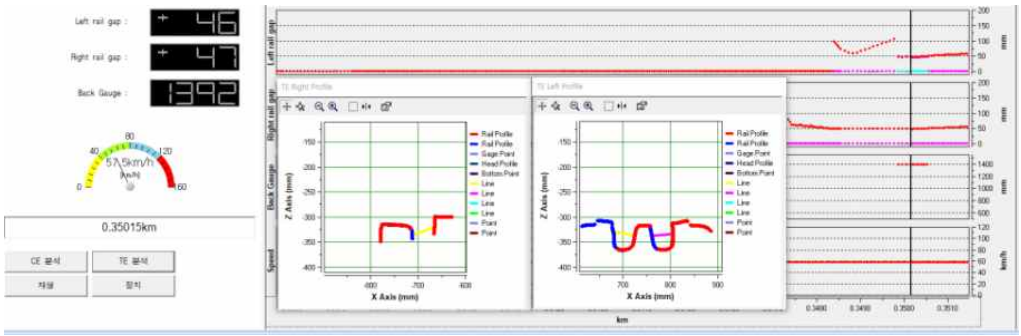
<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">궤도분기기 검측장치<br>성능평가시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-4-04</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T04</td><td colspan="3">궤도분기부 검측 데이터 표시 및 분석결과 확인</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T04-4</td><td colspan="3">텅레일 밀착간격 검측</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.25. ~ 2019.11.30.</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">• 텅레일 밀착간격 검측 상태 표시 여부 확인
<table>
<tr><th>구분</th><th>확인 내용</th><th>판정 기준</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>텅레일<br>검측</td><td>텅레일<br>측정상태 확인</td><td>텅레일 형상 측정 및 표시</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 텅레일 검측화면<br>- 좌측그래프는 기본레일과 텅레일이 밀착되어 있는 형태이고<br>- 우측은 기본레일 프로파일 형태임.<br> 
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">궤도분기기 검측장치<br>성능평가시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-04-05</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 현장검증 구간 (내방-반포)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>T04</td><td colspan="3">궤도분기부 검측 데이터 표시 및 분석결과 확인</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>T04-6</td><td colspan="3">분기부 검측장치 정밀도 비교</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.12.10</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">• 분기부 검측데이터와 현장 계측값간 정밀도 비교<br>- 분기기(크로싱백게이지 및 가드레일 플랜지웨이 폭) 검측정밀도 : ±2㎜<br>• 7호선 내방~부평구청(상선) 수동 계측값 기록한다.<br>• 검측장치 검측결과를 기록한다.</td></tr>
</table>

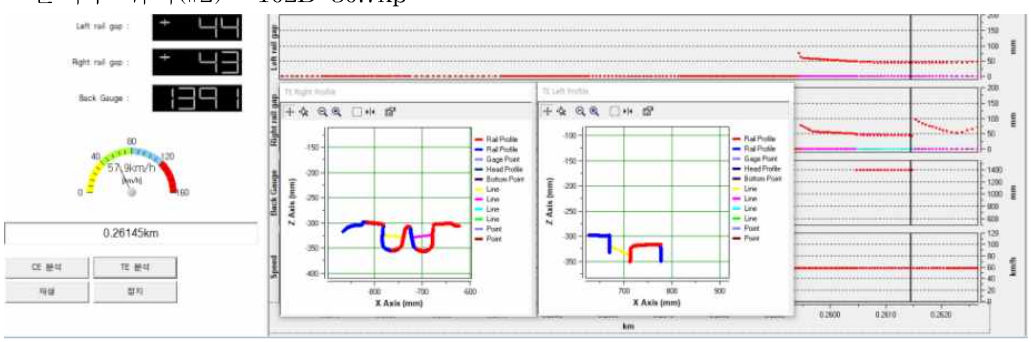
| 검측 항목 | 검측지점 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 순번 | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | 판정 |
| | ID | 103B | 102B | 101A | 102A | 101B | |
| | 킬로정 | 30.0 | 30.7 | 30.7 | 30.85 | 30.85 | |
| 크로싱 백게이지 (㎜) | 수동계측 | 1392 | 1392 | 1392 | 1390 | 1392 | 적합 |
| | 장치측정값 | 1392 | 1391 | 1390 | 1391 | 1390 | |
| | 검측오차 | 0 | -1 | -2 | +1 | -2 | |
| | 목표정밀도 | ±2 | ±2 | ±2 | ±2 | ±2 | |
| 가드레일 플랜지 웨이 폭 (㎜) | 수동계측 | 45 | 43 | 45 | 45 | 45 | 적합 |
| | 장치측정값 | 47 | 44 | 45 | 47 | 45 | |
| | 검측오차 | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | |
| | 목표정밀도 | ±2 | ±2 | ±2 | ±2 | ±2 | |

첨부자료

• 분기부 위치(#1) : 103B-30kp

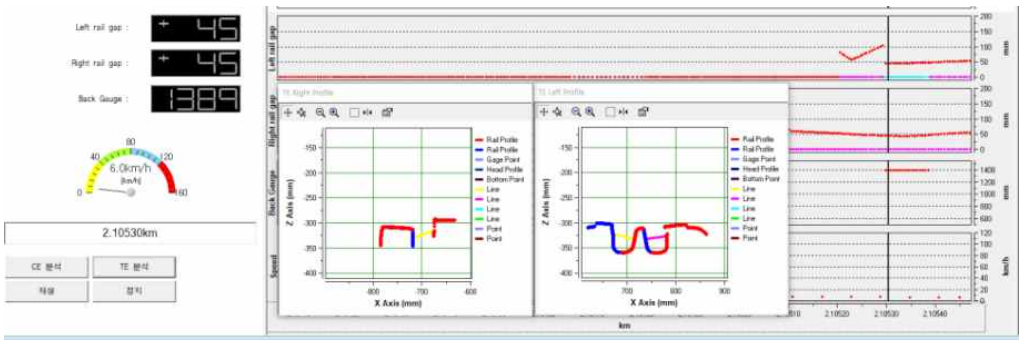



• 분기부 위치(#2) : 102B-30.7kp

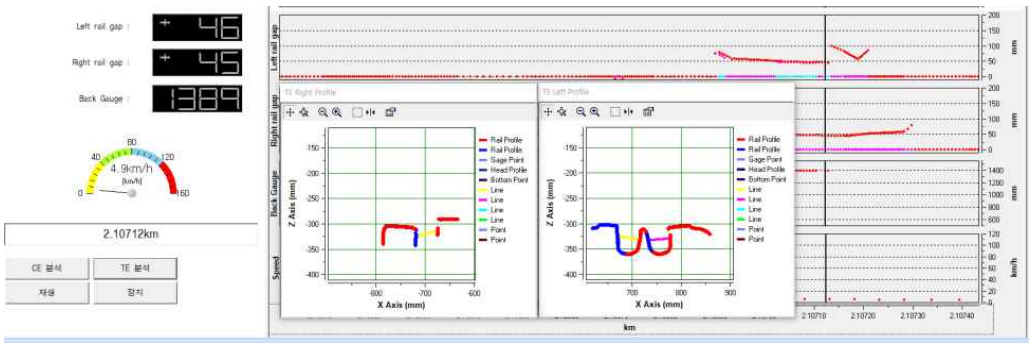


첨부자료

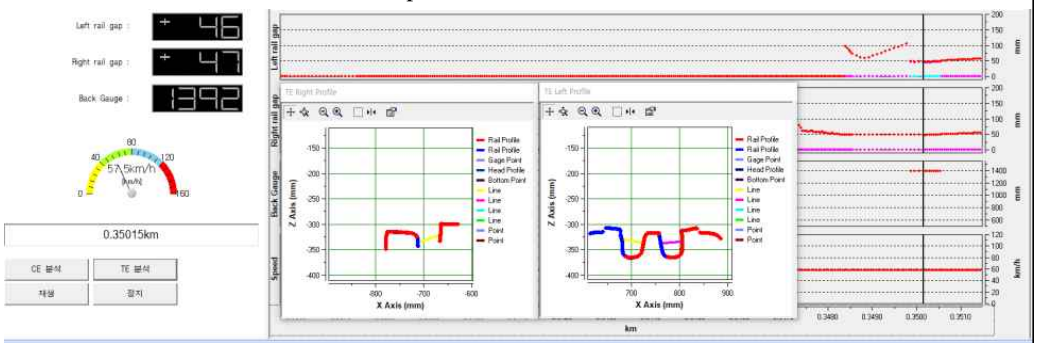
• 분기부 위치(#3) : 101A-30.7kp




• 분기부 위치(#4) : 102A-30.85kp




• 분기부 위치(#5) : 101B-30.85kp



(7) 동적 판토자세 검측장치(투아이시스)

(가) 개요

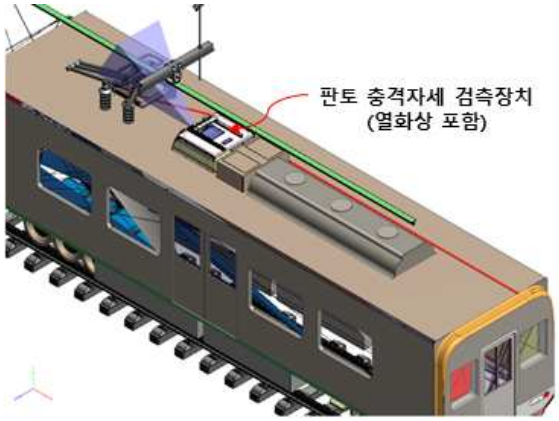
○ 열차주행시 팬터그래프 습판체에 충격을 검측 및 습판체의 동적 자세(Roll)을 검측하고, 판토 및 집전 설비별 이상 온도을 측정하여 전차선로 상에 충격 발생 지점을 검지함

① 검측방식

○ 팬터그래프 습판체에 부착된 마커를 카메라에서 촬영하여 인식함

○ 팬터그래프 습판체에 부착된 마커에 인식하여 상/하 변위량 및 가속도 검측함

○ 팬터그래프 습판체에 부착된 마커에 인식하여 좌/우 습판체 각도(Roll) 검측함




② 검측 대상

○ 검사 대상 : 팬터그래프에 충격 가속도 및 자세(Roll) 검측

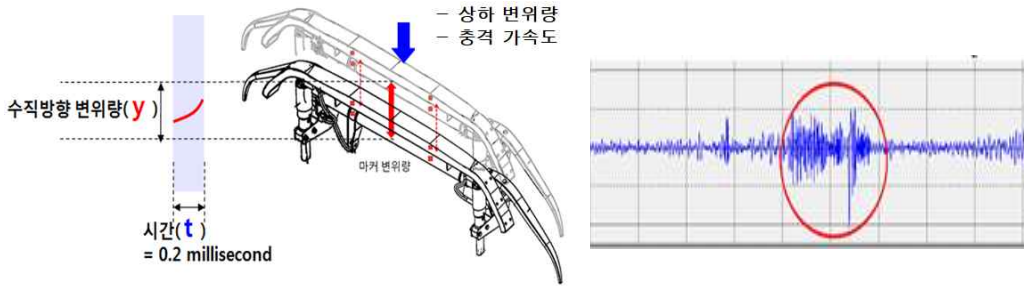



그림 94 팬터그래프 충격가속도 검측

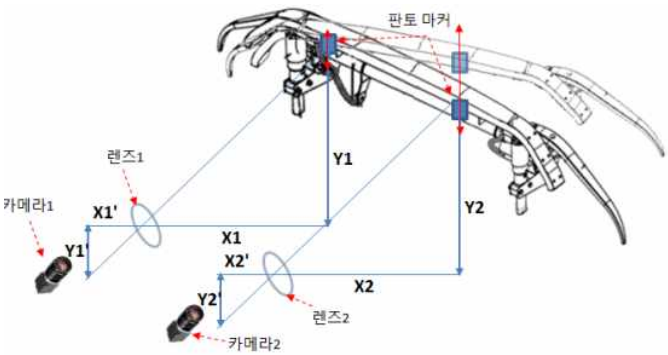



그림 95. 팬터그래프 기울기 검측

③ 목표 성능

| 항 목 | 사양 |
|---|---|
| 검측대상 | ▪ 팬터그래프 습판체 상/하 충격가속도 검측(비접촉식)<br>▪ 팬터그래프 습판체 동적자세(Roll) 검측 |
| 검측범위 | ▪ 가속도: 0 ~ 30G<br>▪ 각도(Roll) : -20° ~ 20° |
| 검측속도 | ▪ 400Hz |
| 장치 정밀도 | ▪ 가속도 : ±2G 이내<br>▪ 각도(Roll) : ±2° |

(나) 장치 구성 설계

① 장치 구성도

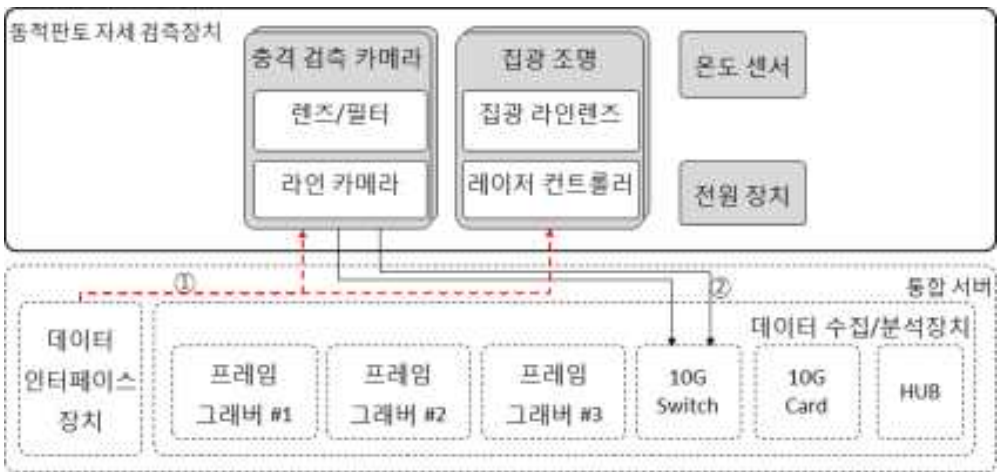



그림 96. 동적판토 자세 검측장치 구성도

② 장치구성 물량

| 구성 | 세부 내역 | 수량 | 구성품 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 동적판토 자세 검측장치 | 충격검측 카메라 | 4EA | ▪ 해상도 : 12288 x 1line<br>▪ 인터페이스 : GigE<br>▪ 랜즈 F/L : 135㎜(F-Mount)<br>▪ 필터 : 775 ~ 840㎚ |  |
| | 조명 랜즈 | 1식 | ▪ 라인 폭(Width) : 30㎜(@2m)<br>▪ 초점거리: 2m<br>▪ 화각 : 20° |  |
| | 조명 모듈 및 컨트롤러 | 2EA | ▪ 조명 출력 : 30W<br>▪ 파장대 : 808㎚ ±5㎚<br>▪ 전원 : AC220V / 150W |  |
| 선로영상수집 분석장치 (공용장비) | 산업용 서버 | 1식 | ▪ 장치제어 및 궤도 영상 수집 | |
| | KVM | 1식 | ▪ 키보드, 마우스, 모니터 | |
| | UPS | 2EA | ▪ 무정전 전원장치(공동 사용) | |
| | 타코인터페이스 | 1EA | ▪ 타코메타 인터페이스(공용 사용) | |
| | SSD | 6EA | ▪ 전차선로 영상 저장용 스토리지 | |
| | 트리거제어기 | 1 | ▪ 카메라 트리거 신호 생성 | |

표 113 검측장치 구성 물량표

③ 장치 구성 설명

○ 팬터그래프에 집전 상태를 측정하기 위해 습판체에 타겟 부착
○ 판토그래프 집전판에 부착된 IR 타겟를 카메라에서 인식하여 판토 충격 및 자세 검측



그림 97 팬터그래프 습판체에 IR 타겟 부착

○ 라인 카메라를 이용한 팬터그래프 습판체에 상하 충격가속도 및 자세 검측.
○ 팬터그래프 상/하 변위량 측정 속도 : 5㎑ (@ 라인카메라 Grab 속도)
○ 카메라 해상도(판토수직변위량/픽셀해상도) = 642 / 12288 = 0.053 ㎜/pixel

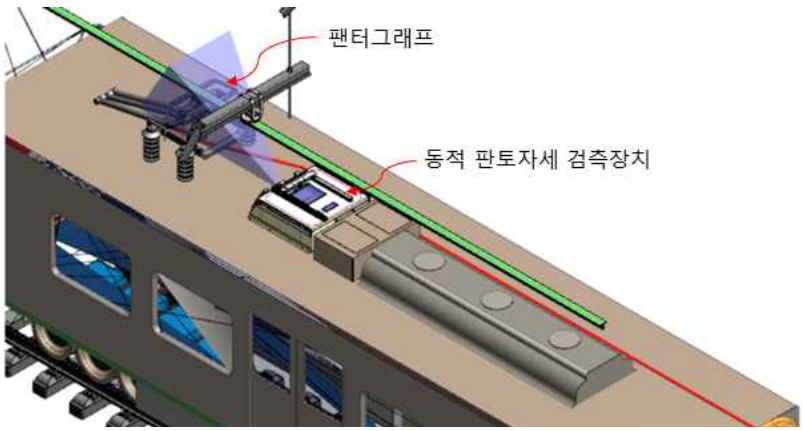



그림 98 동적 판토 자세 검측장치 설치 구성

(다) 팬터그래프 충격 및 자세 검측 알고리즘

① 팬터그래프에 부착된 IR 마커에 순간 변위량 측정

○ 전차선과에 접촉으로 팬터그래프는 상-하 방향으로 거동하므로, 카메라 촬영 영상에서 팬터그래프에 부착된 IR 타겟을 관심영역으로 지정하여 고속으로 인식함.
○ 팬터그래프에 충격가속도 측정은 IR 마커의 상/하 변위량을 측정함.
○ 카메라 속도는 5㎑로 고속 샘플링하여 IR 타겟에 순간 변위량 및 가속도를 측정함.
○ IR 타겟과 카메라 간에 기하학적 설치 구성을 이용하여 팬터그래프에 상/하 수직 변위량을 측정함

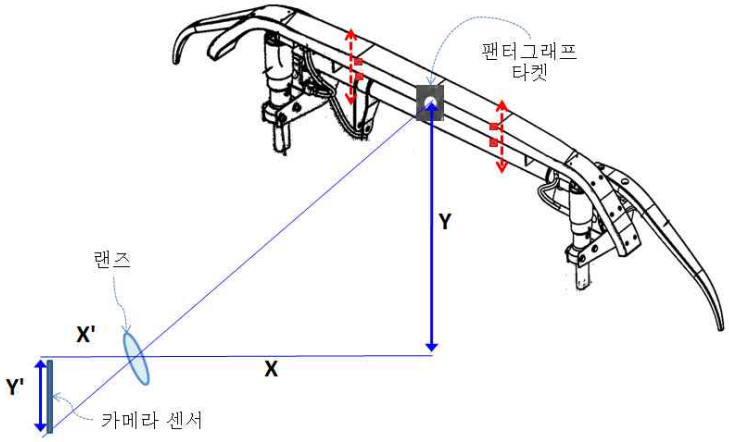



그림 99 카메라와 팬터그래프 간에 설치 구성

○ 기하학적 종횡비(원근변환)를 이용하여 팬터그래프 타겟의 수직 변위량(Y)을 계산

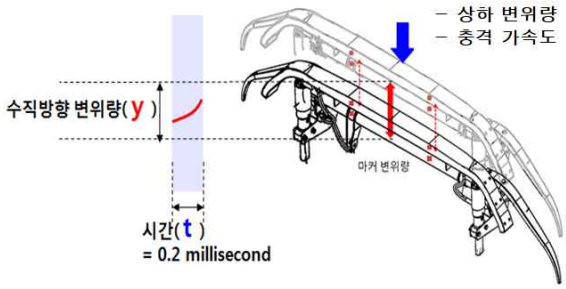
$$Y = X \times \frac{Y'}{X'}$$

- X : 카메라 랜즈로부터 팬터그래프까지 거리(Working Distance)
- Y : 팬터그래프 마커의 수직 거동 위치
- X‘ : 카메라 랜즈로부터 카메라 CCD 센서까지 초점거리(Focal Length)
- Y‘ : 카메라 센서 상에 촬영된 팬터그래프 타겟의 픽셀 위치

② 팬터그래프 충격 가속도 계산

○ 팬터그래프 순간 가속도 측정은 IR 타겟의 상하 변위량을 미분하여 산출함.

$$\tau \frac{d}{dt} y(t) + y(t) = \tau \frac{d}{dt} x(t)$$



(라) 시제품 제작

<table>
<tr><th>시제품 사진</th><th>설 명</th></tr>
<tr><td>▪ 동적판토 자세 검측장치<br>  </td><td>▪ 장치 사양<br><table><tr><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>검측대상</td><td>▪ 패터그래프 충격 및 자세</td></tr><tr><td>정밀도</td><td>▪ 가속도 : ±2G 이내<br>▪ 각도(Roll) : ±1G 이내</td></tr><tr><td>검측속도</td><td>▪ 5㎑</td></tr></table>▪ 주요 구성품<br><table><tr><th>세부 내역</th><th>수량</th><th>구성품 사양</th></tr><tr><td>충격검측<br>카메라</td><td>4EA</td><td>▪ 해상도 : 12288 x 1line<br>▪ 인터페이스 : GigE<br>▪ 랜즈 F/L : 135㎜(F-Mount)<br>▪ 필터 : 775 ~ 840㎚</td></tr><tr><td>조명 랜즈</td><td>1식</td><td>▪ 라인 폭(Width) : 30㎜(@2m)<br>▪ 초점거리: 2m<br>▪ 화각 : 20°</td></tr></table></td></tr>
</table>

(마) 검측장치 정밀도 시험 (정적시험)

① 시험 환경

○ 충격 가속도 정밀도 시험 환경 : 가진기(진동수 : 0~30Hz)에 IR마커 부착

○ 충격 가속도 측정 정밀도 비교을 위한 접촉식 가속도 센서를 부착

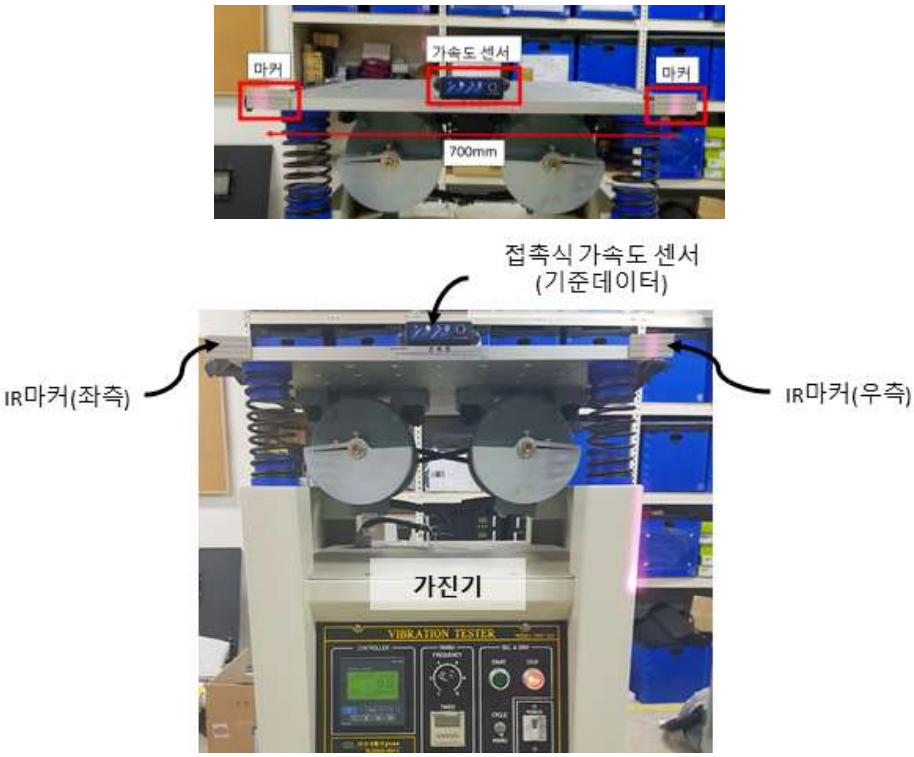
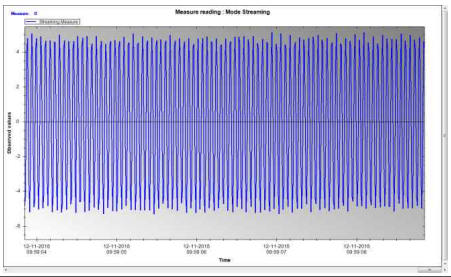
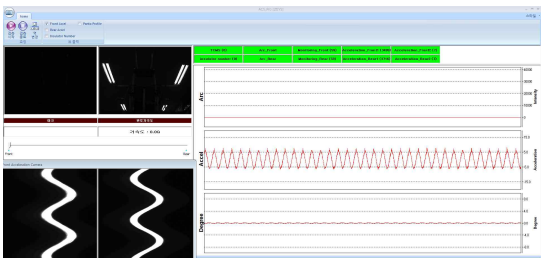
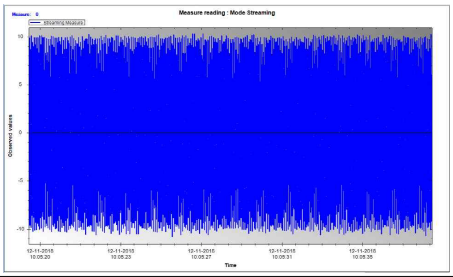
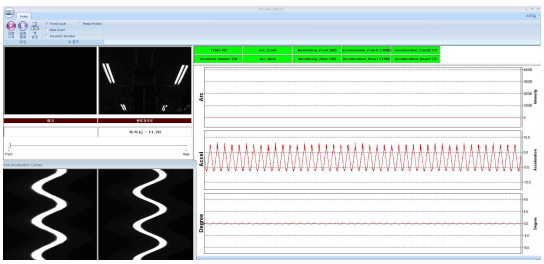
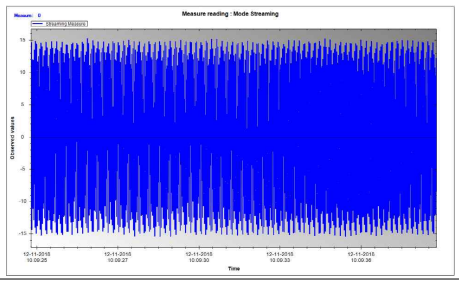
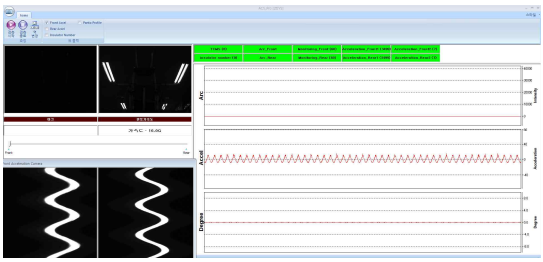
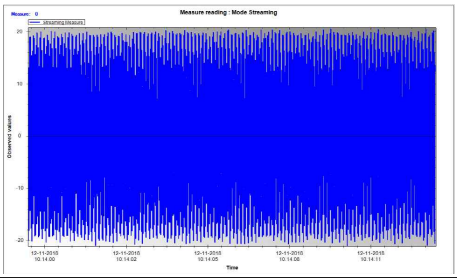
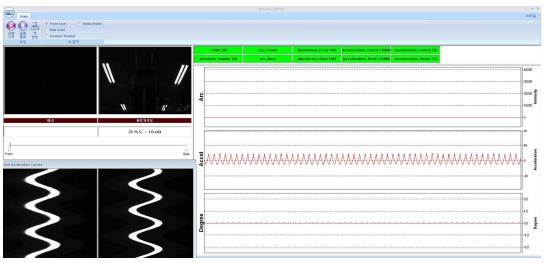
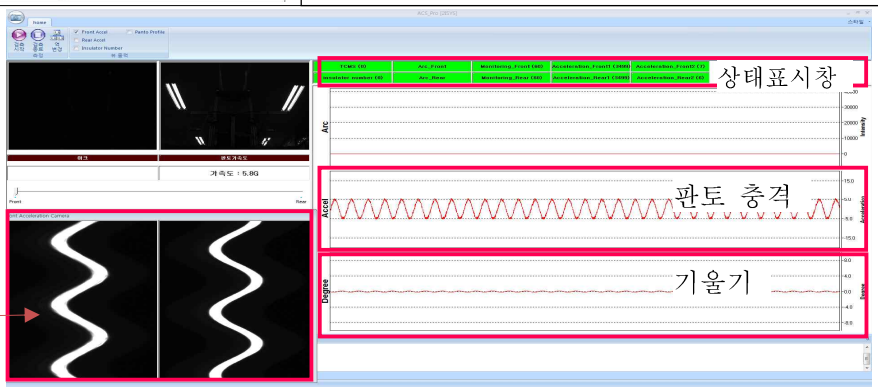



그림 101 가진기 시험환경 구성

② 충격 가속도 측정 정밀도 시험 내용

○ 가진속도에 따라 가속도 센서와 검측장치 간에 충격가속도 측정값을 상호 비교

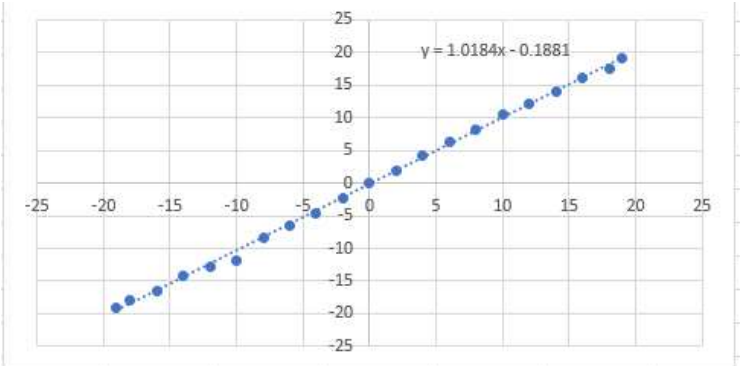
| 가속도 | 가속도 센서 측정값(기준값) | 검측장치 측정값 |
|---|---|---|
| 6G | ▪ 가속도 측정값 : 6G  | ▪ 가속도 측정값 : 5.8G  |
| 12G | ▪ 가속도 : 12G  | ▪ 가속도 : 11.7G  |
| 16G | ▪ 가속도 : 16G  | ▪ 가속도 : 16.8G  |
| 20G | ▪ 가속도 : 20G  | ▪ 가속도 : 19.8G  |
| 충격 가속도 시험 화면 | 팬터충격 카메라 영상  | 상태표시창 판토 충격 기울기 |

③ 충격 가속도 측정 정밀도 비교 시험 결과

<table>
<tr><th>시험항목</th><th>충격 가속도 정밀도 비교 시험 결과</th></tr>
<tr><td>충격<br>가속도</td><td>▪ 검측장치와 가속도센서 간에 충격가속도 측정값 상호 비교
<table>
<tr><th>진동수<br>(Hz)</th><th>기준(센서)<br>가속도(G)</th><th>검측장치<br>가속도(G)</th><th>목표성능<br>사양(G)</th><th>측정오차<br>(G)</th><th>시험 결과</th></tr>
<tr><td>17</td><td>6</td><td>5.8</td><td>±2G</td><td>-0.2</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>19.7</td><td>8</td><td>8.0</td><td>±2G</td><td>0.0</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>22.4</td><td>10</td><td>9.8</td><td>±2G</td><td>-0.8</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>24.7</td><td>12</td><td>11.7</td><td>±2G</td><td>-0.3</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>25.9</td><td>14</td><td>13.7</td><td>±2G</td><td>-0.3</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>28.2</td><td>16</td><td>16.8</td><td>±2G</td><td>-0.2</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>30.1</td><td>18</td><td>18.2</td><td>±2G</td><td>+0.2</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>31.8</td><td>20</td><td>19.8</td><td>±2G</td><td>-0.2</td><td>적합</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

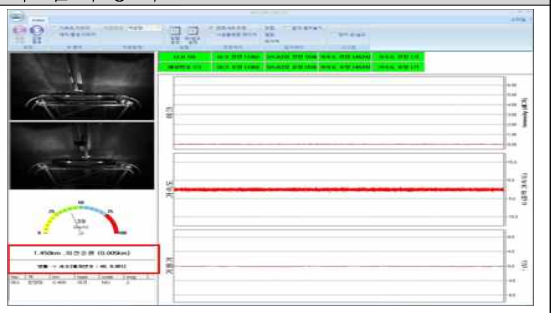
표 116 충격 가속도 정밀도 비교 시험

④ 기울기 정밀도 비교 시험 결과

<table>
<tr><th>시험항목</th><th>기울기 정밀도 비교 시험 결과</th></tr>
<tr><td>기울기</td><td>
<table>
<tr><th>기준 각도(°)</th><th>측정 각도(°)</th><th>목표<br>성능사양(°)</th><th>측정오차(°)</th><th>시험 결과</th></tr>
<tr><td>-18</td><td>-18.01</td><td>±2°</td><td>0.01</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>-16</td><td>-16.43</td><td>±2°</td><td>0.43</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>-14</td><td>-14.12</td><td>±2°</td><td>0.12</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>-12</td><td>-12.77</td><td>±2°</td><td>0.77</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>-10</td><td>-11.79</td><td>±2°</td><td>1.79</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>-8</td><td>-8.39</td><td>±2°</td><td>0.39</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>-6</td><td>-6.61</td><td>±2°</td><td>0.61</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>-4</td><td>-4.74</td><td>±2°</td><td>0.74</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>-2</td><td>-2.24</td><td>±2°</td><td>0.24</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>0</td><td>-0.01</td><td>±2°</td><td>0.01</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>2</td><td>1.98</td><td>±2°</td><td>0.02</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>4</td><td>4.13</td><td>±2°</td><td>-0.13</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>6</td><td>6.38</td><td>±2°</td><td>-0.38</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>8</td><td>8.25</td><td>±2°</td><td>-0.25</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>10</td><td>10.64</td><td>±2°</td><td>-0.64</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>12</td><td>12.05</td><td>±2°</td><td>-0.05</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>14</td><td>13.93</td><td>±2°</td><td>0.07</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>16</td><td>16.21</td><td>±2°</td><td>-0.21</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>18</td><td>17.57</td><td>±2°</td><td>0.43</td><td>적합</td></tr>
</table>


</td></tr>
</table>

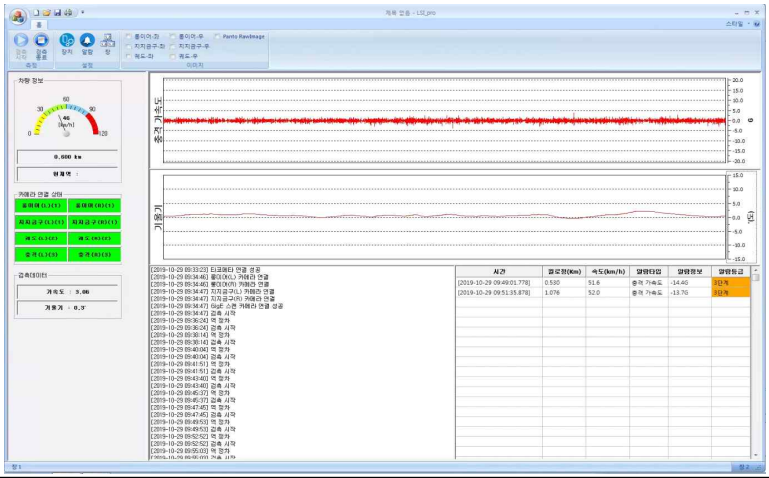
(바) 현차 설치

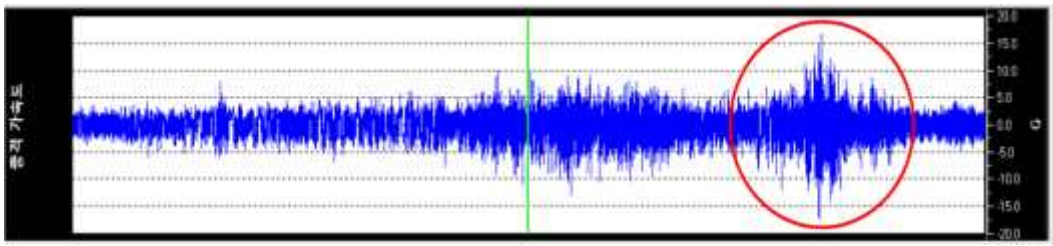
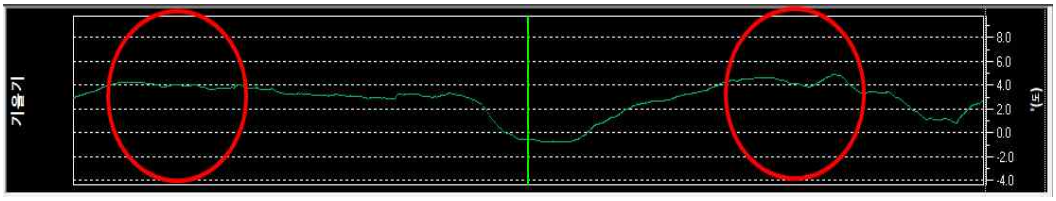
| 동적 판토 자세 검측장치 | |
|---|---|
|  <br>▪ 전동차 차탑 중앙 설치<br>▪ 대상 차량 : 7호선 - 7054편성<br>▪ 설치기간 : 2018.11.13. ~ 2018.11.23. |  <br>▪ 팬터그래프 충격 검측 소프트웨어<br>- 판토 충격가속도 및 기울기 측정<br>- 충격 가속도 측정정밀도 : ±2G<br>- 판토 기울기 : ±1° |

(사) 현차 시운전 시험결과 (7호선)

■ 검측차량 : 7호선 전동차 754편성

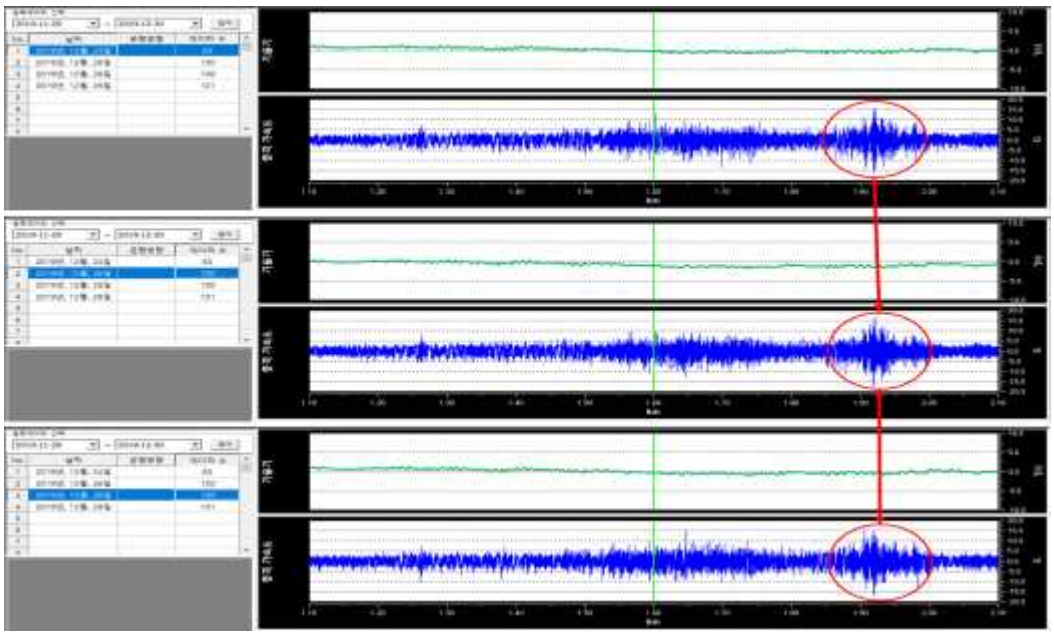
■ 시험구간 : 7호선 전구간(부평구청 → 장암)

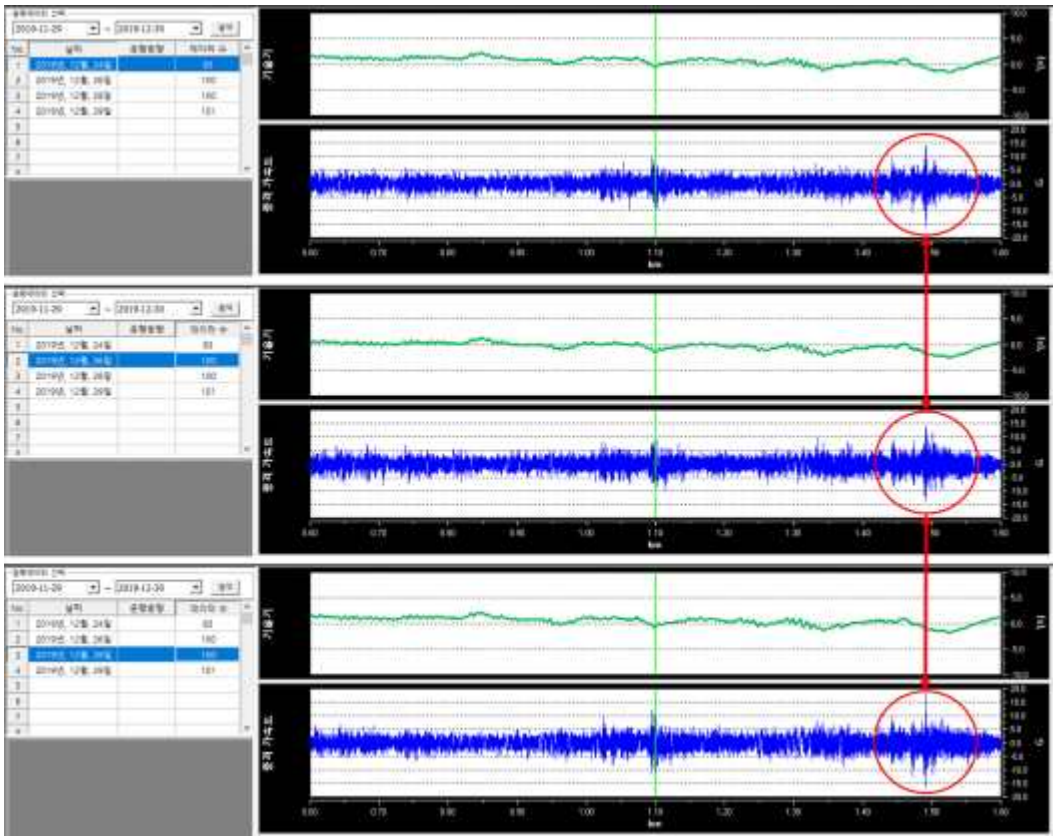
<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">동적판토자세 검측장치<br>성능 평가 시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-05-01-01</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선 (부평구청-장암)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-05-01</td><td colspan="3">검측 데이터 현시</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-05-01-01</td><td colspan="3">팬터그래프에 충격가속도 및 기울기 검측 그래프 현시</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.29.</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">• 팬터그래프 습판체 충격가속도(상/하 충격량) 그래프 현시<br>• 팬터그래프 습판체 동적자세(Rolling) 그래프 현시<br><table><tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험<br>결과</th></tr><tr><td rowspan="2">검측데이터<br>현시 및 확인</td><td>판토 충격가속도 표시</td><td>충격가속도 그래프 확인</td><td>정상</td></tr><tr><td>판토 기울기 표시</td><td>판토기울기 확인</td><td>정상</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 팬터그래프 충격 검측 S/W<br>- 팬터그래프 충격가속도 및 기울기 검측 그래프 표시<br>- 차량 주행정보 표시(속도, 거리)<br>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td>동적판토자세 검측장치<br>성능 평가 시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-05-01-02</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="3">7호선</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-05-01</td><td colspan="2">팬터그래프 충격 위치 검측</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-05-01-02</td><td colspan="2">팬터그래프에 충격가속도 및 기울기 알람리스트 표시</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="3">2019.10.29.</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="3">• 팬터그래프 충격가속도(상/하 충격량) 위치 분석<br><table><tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험결과</th></tr><tr><td>팬터그래프<br>충격위치 분석</td><td>충격가속도<br>충격위치 분석</td><td>충격 위치에 가속도<br>알람리스트 표시</td><td>정상</td></tr><tr><td>팬터그래프<br>충격위치 분석</td><td>기울기<br>충격위치 분석</td><td>충격 위치에 기울기<br>알람리스트 표시</td><td>정상</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="3">• 팬터그래프 충격 알람 데이터 표시(알람리스트)<br><table><tr><th>시간</th><th>킬로정(Km)</th><th>속도(km/h)</th><th>알람타입</th><th>알람정보</th><th>알람등급</th></tr><tr><td>[2019-10-29 09:49:01.778]</td><td>0.530</td><td>51.6</td><td>충격 가속도</td><td>-14.4G</td><td>3단계</td></tr><tr><td>[2019-10-29 09:51:35.878]</td><td>1.076</td><td>52.0</td><td>충격 가속도</td><td>-13.7G</td><td>3단계</td></tr></table>• 알람 리스트에 알람항목 선택시 충격 가속도 데이터 그래프 출력<br>  <br>• 충격 알람 위치 기울기 그래프<br><table><tr><th>시간</th><th>킬로정(Km)</th><th>속도(km/h)</th><th>알람타입</th><th>알람정보</th><th>알람등급</th></tr><tr><td>[2019-10-29 10:38:01.698]</td><td>0.981</td><td>28.4</td><td>기울기</td><td>3.0°</td><td>3단계</td></tr><tr><td>[2019-10-29 10:39:25.663]</td><td>0.213</td><td>50.0</td><td>기울기</td><td>3.0°</td><td>3단계</td></tr><tr><td>[2019-10-29 10:40:25.752]</td><td>1.337</td><td>63.5</td><td>기울기</td><td>-4.0°</td><td>3단계</td></tr></table>• 기울기 분석 SW 결과<br>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">동적판토자세 검측장치<br>성능 평가 시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-05-01-03</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-05-01</td><td colspan="3">차량 주행정보 검측</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-05-01-04</td><td colspan="3">차량 운행정보(킬로정, 속도) 현시</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.29.</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">• 검측 차량의 운행정보(킬로정, 속도) 표시<br><table><tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험결과</th></tr><tr><td>팬터그래프<br>충격위치 분석</td><td>차량 운행정보 표시</td><td>차량의 운행정보(킬로정,<br>속도) 표시</td><td>정상</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 차량 주행정보<br> 

• 알람발생 위치 및 차량 주행정보 연계<br><table><tr><th>시간</th><th>킬로정(Km)</th><th>속도(km/h)</th><th>알람타입</th><th>알람정보</th><th>알람등급</th></tr><tr><td>[2019-10-29 10:38:01.698]</td><td>0.981</td><td>28.4</td><td>기울기</td><td>3.0°</td><td>3단계</td></tr><tr><td>[2019-10-29 10:39:25.663]</td><td>0.213</td><td>50.0</td><td>기울기</td><td>3.0°</td><td>3단계</td></tr><tr><td>[2019-10-29 10:40:25.752]</td><td>1.337</td><td>63.5</td><td>기울기</td><td>-4.0°</td><td>3단계</td></tr><tr><td>[2019-10-29 10:42:25.452]</td><td>0.378</td><td>62.3</td><td>기울기</td><td>-3.0°</td><td>3단계</td></tr><tr><td>[2019-10-29 10:45:58.802]</td><td>0.420</td><td>66.7</td><td>기울기</td><td>-3.0°</td><td>3단계</td></tr></table></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td>동적판토자세 검측장치<br>성능 평가 시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-05-01-04</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="3">7호선</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-05-01</td><td colspan="2">팬터그래프 충격발생 위치 재현성 검증</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-05-01-03</td><td colspan="2">동일구간 충격위치 분석</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="3">2019.12.24. ~ 2019.12.28.</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="3">• 팬터그래프 충격 발생위치 재현성 검증한다.<br>• 동적판토 자세 검측장치는 기간별로 3회 검측결과에서 충격위치 비교하여 분석결과를 기록한다.<br>• 시험구간 충격발생위치 반복측정 결과 비교분석<br><table><tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험<br>결과</th></tr><tr><td>검측데이터<br>재현성</td><td>팬터그래프 충격발생위치<br>재현성 분석</td><td>충격발생 위치 분석</td><td>정상</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>첨부자료<br><br>(고속터미널<br>~<br>내방)</td><td colspan="3">• 동일구간 충격발생위치 비교 분석<br><br>• 동일검측구간 검측데이터 재현성 검증<br>• 팬터그래프 충격 발생 위치 : 고속터미널->내방 방면<br><table><tr><th>검측일자</th><th>발생위치</th><th>알람값</th></tr><tr><td>12월 24일</td><td>1.881 km</td><td>15.1 G</td></tr><tr><td>12월 26일</td><td>1.890 km</td><td>15.3 G</td></tr><tr><td>12월 28일</td><td>1.891 km</td><td>14.8 G</td></tr></table>• 동일구간 3회 검측그래프 비교<br>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>시험 명</td><td>동적판토자세 검측장치<br>성능 평가 시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-05-01-04</td></tr>
<tr><td>첨부자료<br><br>(광명사거리<br>~<br>천왕)</td><td colspan="3">
• 동일검측구간 검측데이터 재현성 검증<br><br>
• 팬터그래프 충격 발생 위치 : 광명사거리->천왕 방면
<table>
<tr><th>검측일자</th><th>발생위치</th><th>알람값</th></tr>
<tr><td>12월 24일</td><td>1.491 km</td><td>11.8 G</td></tr>
<tr><td>12월 26일</td><td>1.489 km</td><td>11.4 G</td></tr>
<tr><td>12월 28일</td><td>1.504 km</td><td>11.8 G</td></tr>
</table>
• 동일구간 3회 검측값 비교<br>
 <br>
• 팬터그래프 충격 위치 분석<br>
• 단위시간당 팬터그래프의 순간가속도 측정 데이터에서 팬터그래프 충격발생 위치 검지는 디지털 주파수 필터(High Pass Filter)를 사용하여 차단 주파수(Cut-Off-Frequency) 보다 낮은 주파수 영역의 신호를 제거하여 가속도 변화량이 크게 발생하는 위치를 분석함.
</td></tr>
</table>

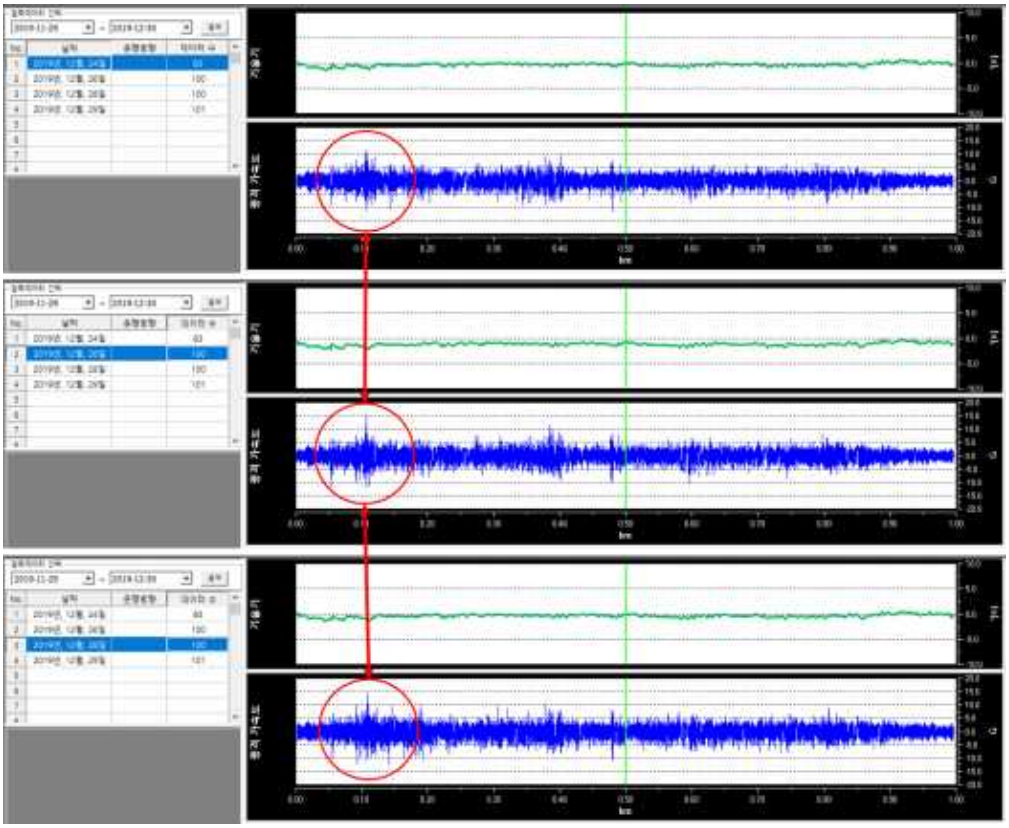
| 시험 명 | 동적판토자세 검측장치<br>성능 평가 시험 | 성능평가<br>항목번호 | ASA-05-01-04 |
|---|---|---|---|

첨부자료
(내방~이수)

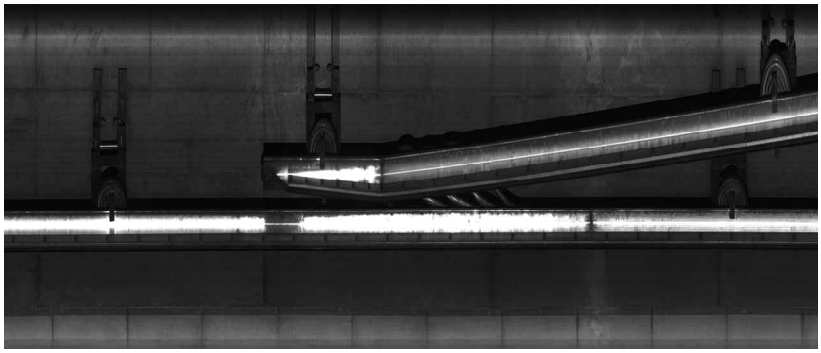
• 동일검측구간 검측데이터 재현성 검증
• 팬터그래프 충격 발생 위치 : 내방->이수 방면

| 검측일자 | 발생위치 | 알람값 |
|---|---|---|
| 12월 24일 | 0.112 km | 11.6 G |
| 12월 26일 | 0.110 km | 11.7 G |
| 12월 28일 | 0.124 km | 12.3 G |

• 동일구간 3회 검측그래프 비교



• 지하철 강체전차선로 충격 검지된 위치 : 중첩구간 또는 연결선 부근에서 발생



• 또한, 팬터그래프의 충격은 기관사의 운전습관에도 영향이 있는 것으로 사료됨.

| 시험 명 | 동적판토자세 검측장치<br>성능 평가 시험 | 성능평가<br>항목번호 | ASA-05-01-04 |
|---|---|---|---|

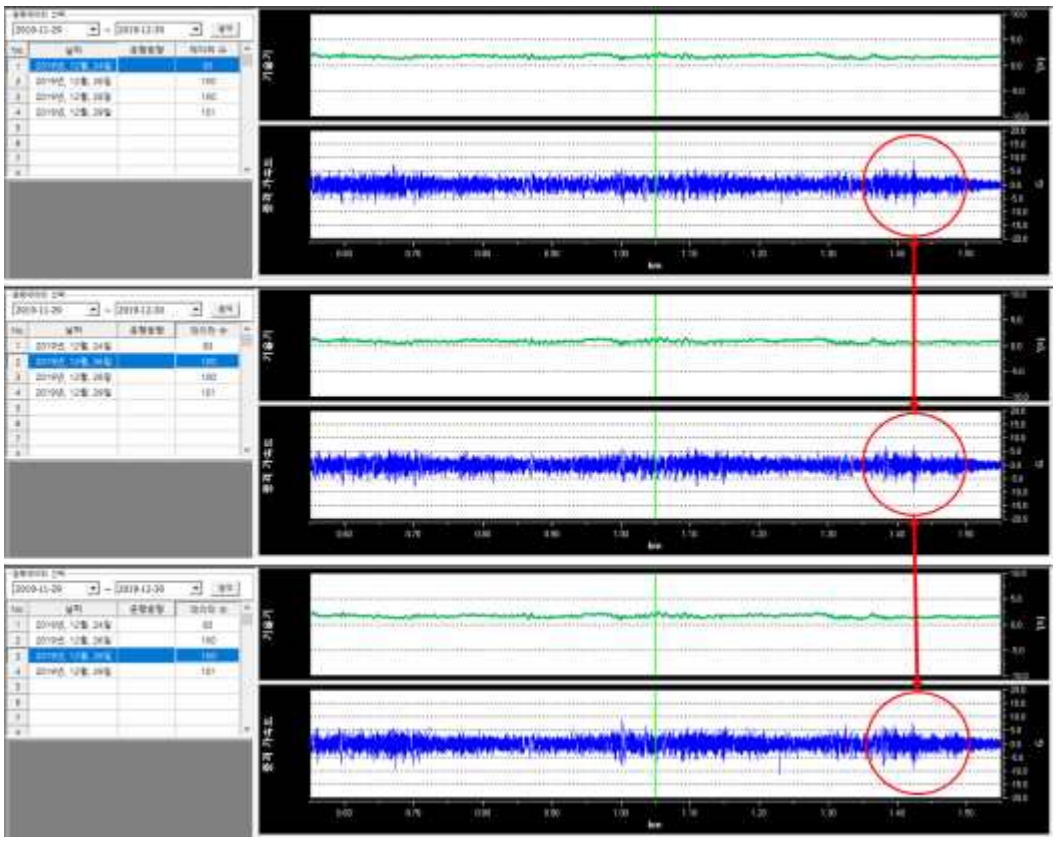
첨부자료

(도봉산
~
수락산)

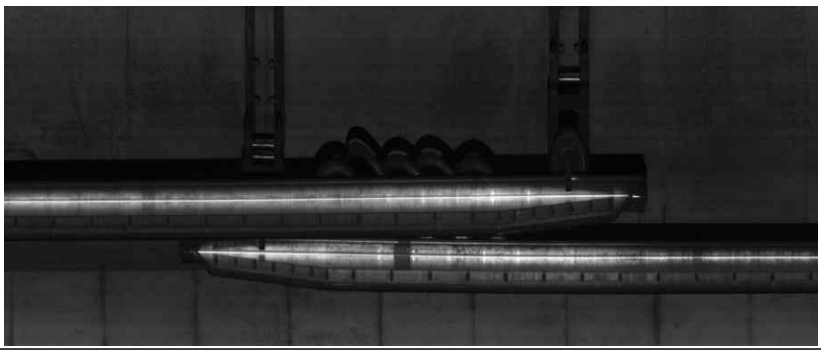
• 동일검측구간 검측데이터 재현성 검증
• 팬터그래프 충격 발생 위치 : 도봉산->수락산 방면

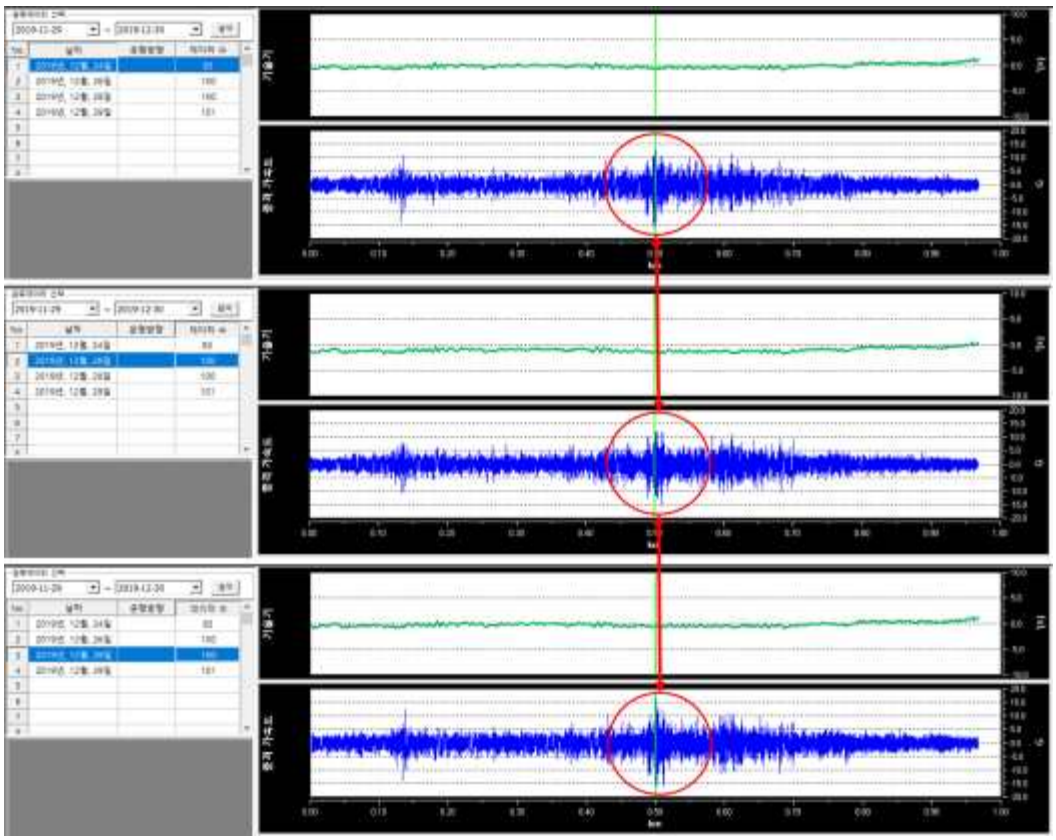
| 검측일자 | 발생위치 | 알람값 |
|---|---|---|
| 12월 24일 | 1.427 km | 14.1 G |
| 12월 26일 | 1.429 km | 13.9 G |
| 12월 28일 | 1.421 km | 14.2 G |

• 동일구간 3회 검측그래프 비교

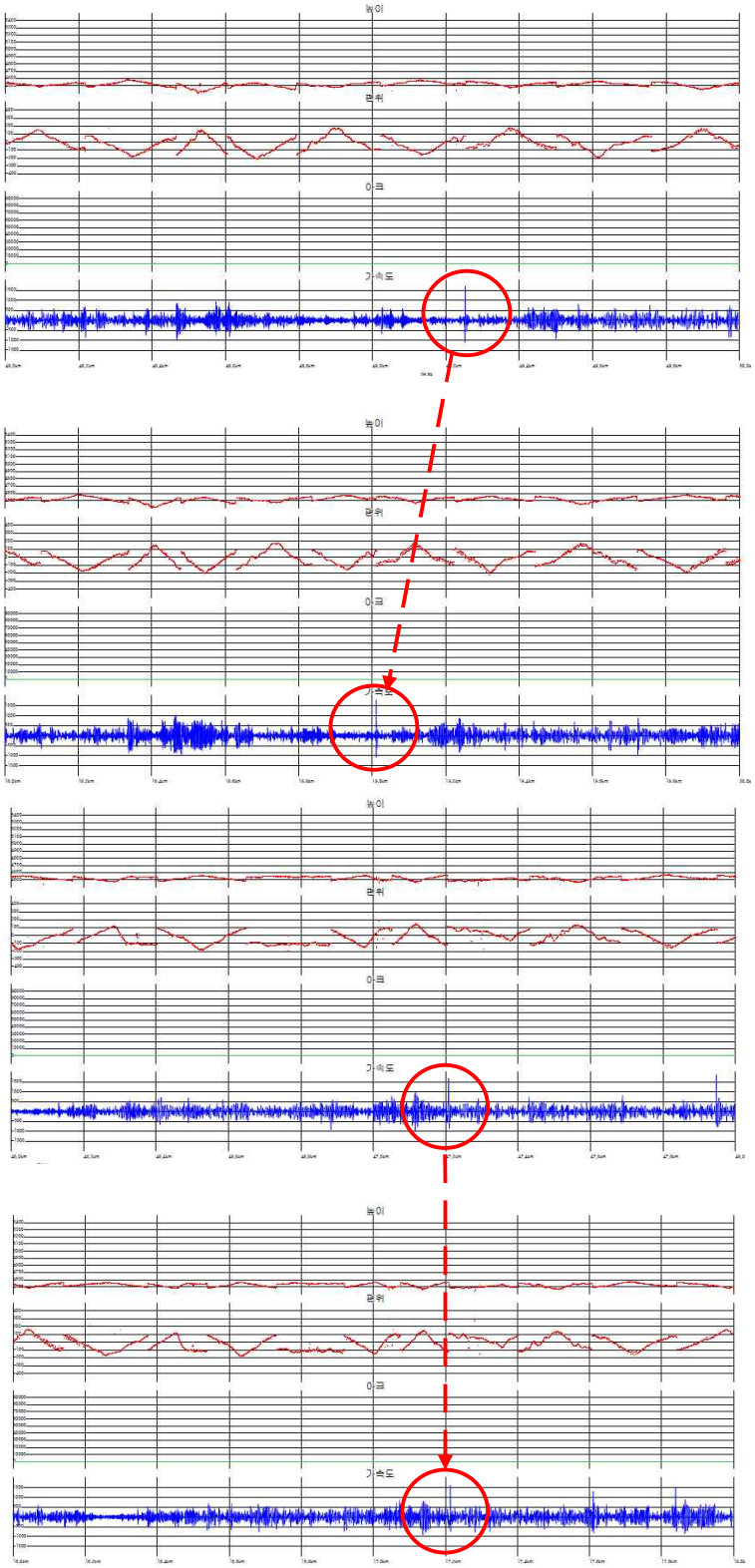


• 지하철 강체전차선로 충격 검지된 위치 : 중첩구간 또는 연결선 부근에서 발생



<table>
<tr><td>시험 명</td><td>동적판토자세 검측장치<br>성능 평가 시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-05-01-04</td></tr>
<tr><td>첨부자료<br><br>(이수<br>~<br>남성)</td><td colspan="3">• 동일검측구간 검측데이터 재현성 검증<br><br>• 팬터그래프 충격 발생 위치 : 이수->남성 방면<br><br><table><tr><th>검측일자</th><th>발생위치</th><th>알람값</th></tr><tr><td>12월 24일</td><td>0.495 km</td><td>-12.6 G</td></tr><tr><td>12월 26일</td><td>0.488 km</td><td>-11.7 G</td></tr><tr><td>12월 28일</td><td>0.489 km</td><td>-11.6 G</td></tr></table><br>• 동일구간 3회 검측그래프 비교<br>  </td></tr>
</table>

| 시험 명 | 동적판토자세 검측장치<br>성능 평가 시험 | 성능평가<br>항목번호 | ASA-05-01-05 |
|---|---|---|---|
| 첨부자료 | • 동일구간 충격발생위치 비교 분석(보고서 비교)<br>• 팬터그래프 충격이 발생한 위치와 강체 전차선 높이/편위 데이터와 비교 분석 | | |



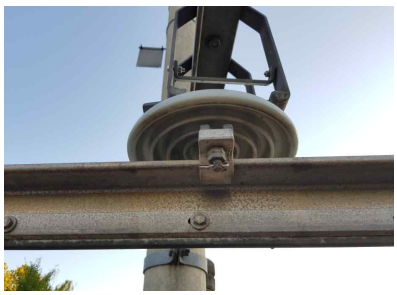
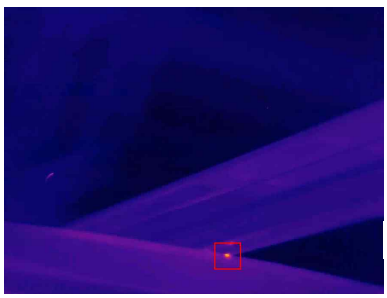
(8) 지하부 집전설비 발열검지 알고리즘(S/W) 개발(에스엠인스트루먼트(주))

(가) 개요

열차주행중에 전기적 충격 및 이상온도로 인한 팬터그래프 습판체 및 전전설비에 대한 발열을 검지하는 알고리즘 개발

① 검사 대상 정의

○ 팬터그래프 및 집전설비(애자, 강체전차선)

② 목표 성능

| 검사설비 | 검사대상 및 판정기준 |
|---|---|
| 검사대상 | ▪ 팬터그래프 및 집전설비(애자, 강체전차선)<br>▪ 알람 판정기준 : 설비별 제한온도(임계치) 이상시 알람 검출 |
| 검측속도 | ▪ 30 frame/sec |
| 검측정밀도 | ▪ 열화상 온도: ±2℃이내 |

(나) 장치 구성 설계

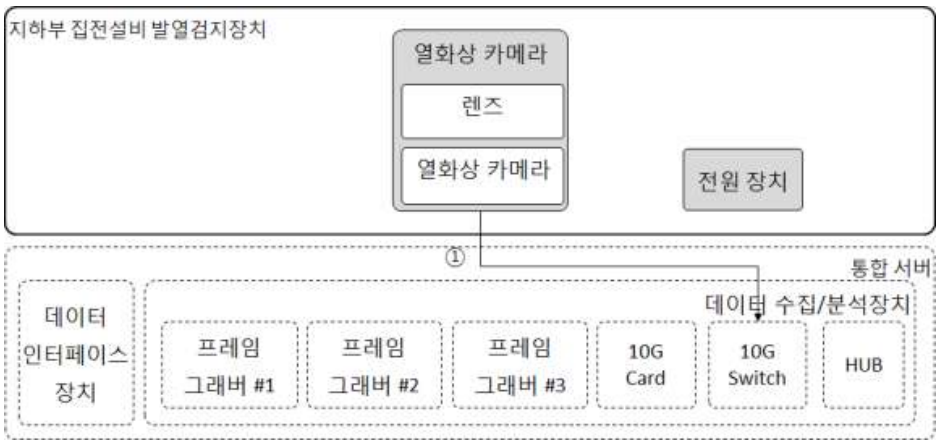



그림 110. 지하부 집전설비 발열검지장치 구성도

① 장치구성 물량

| 구성 | 세부 내역 | 수량 | 구성품 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 동적판토<br>자세<br>검측장치 | 전차선로<br>촬영 카메라<br>(T-Bar 및<br>지지브래킷) | 4EA | ▪ Detector : InSb<br>▪ Spectral Range : 3um ~ 5um<br>▪ Resolution : 640 x 480pixel<br>▪ 인터페이스 : GigE |  |
| 선로영상수집<br>분석장치<br>(공용장비) | 산업용 서버 | 1식 | ▪ 장치제어 및 궤도 영상 수집 | |
| | KVM | 1식 | ▪ 키보드, 마우스, 모니터 | |
| | UPS | 2EA | ▪ 무정전 전원장치(공동 사용) | |
| | 타코인터페이스 | 1EA | ▪ 타코메타 인터페이스(공용 사용) | |
| | SSD | 6EA | ▪ 전차선로 영상 저장용 스토리지 | |

표 134 검측장치 구성 물량표

② 열화상 카메라 촬영 범위

○ 열화상 카메라를 이용하여 집전설비 발열 검지.

○ 차량 상부 중앙에 집전설비 발열 검지장치 설치.

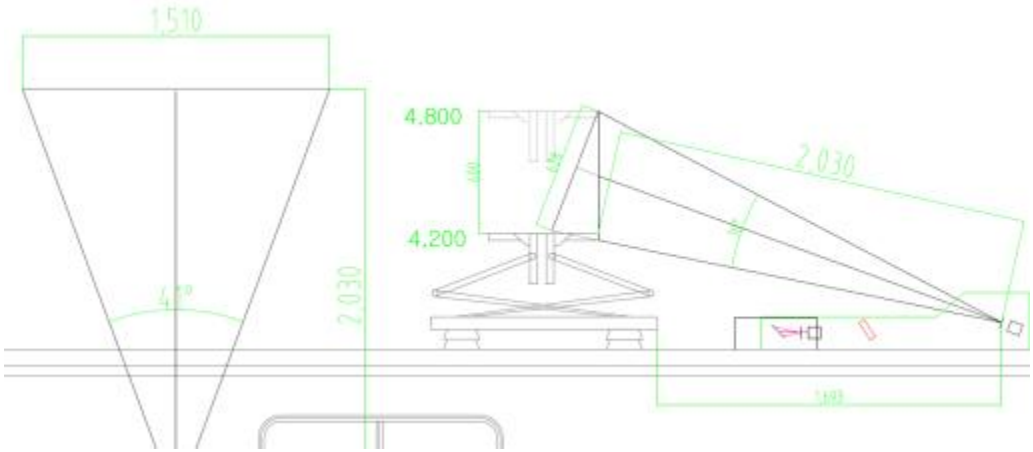



그림 111. 지하부 집전설비 발열 검지장치 화각

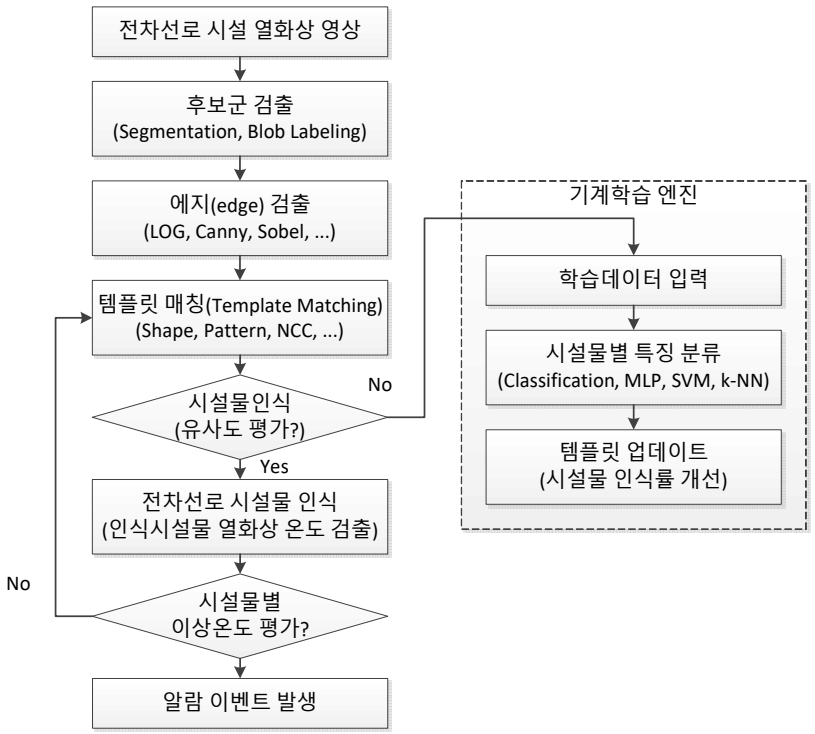
(다) 시제품 제작

| 시제품 사진 | 설 명 |
|---|---|
| ▪ 열화상 발영검지 장치<br>  | ▪ 장치 사양<br>항목 / 사양<br>검측대상 : ▪ 팬터그래프 및 집전설비 발열 검측<br>온도 정밀도 : ▪ ±1℃<br>검측속도 : ▪ 350Hz |

(라) 집전설비 이상온도 검측 알고리즘 내용

① 순서도

○ 전차선로 열화상 카메라는 적외선 검출센서를 사용하여 발열부위와 주변 물체간에 온도색상을 구분함으로써, 팬터그래프 온도 및 시설물 접촉 불량부위(시공불량, 손상, 오염)의 발열상태를 진단한다.



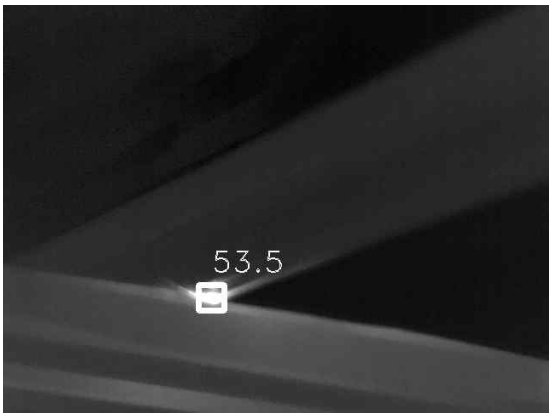

② 열화상 영상에서 관심 영역 검출 (배경제거)

○ 열화상 입력 영상으로부터 전차선로 시설물에 대한 후보군을 검출한다.

○ 에지검출 : 열화상 입력 영상으로부터 전차선로 시설물에 대한 윤곽선을 검출함.

③ 이상온도 측정

○ 입력 열화상 영상에서 팬터그래프 및 집전설비에 온도를 측정한다.



(마) 열화상 온도 정밀도 시험결과(정적시험)

① 시험 환경

○ 검측장치 열화상 온도 측정값과 접촉식 온도 센서 측정값과 비교

○ 온도 측정범위 : 전차선 온도를 -10℃ ~ 150℃까지 10℃ 단위로 조정한 후, 열화상검측장치, 접촉식 온도 센서 간에 온도 측정값을 비교함

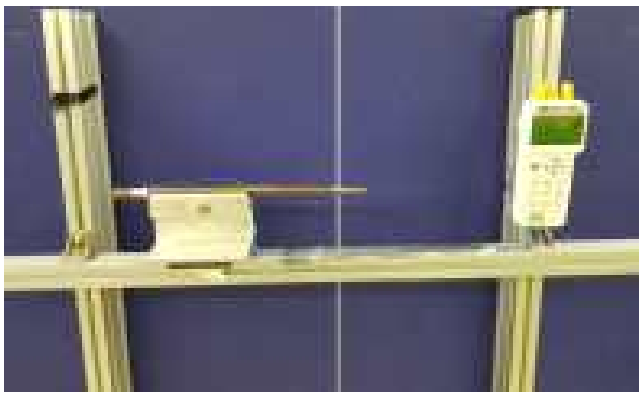
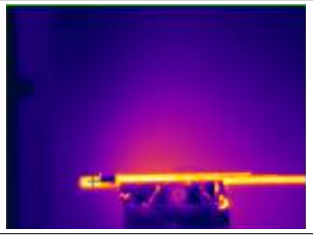


그림 114 열화상 온도 정밀도 시험

② 열화상 온도 정밀도 비교 시험 내용

| 온도센서 측정값 | | 검측장치 온도 측정값 | |
|---|---|---|---|
| -10.4℃ |  | -8.5 ℃ |  |
| 51.5℃ |  | 49.5 ℃ |  |
| 100.7℃ |  | 99.8 ℃ |  |
| 149.7℃ |  | 149.8 ℃ |  |

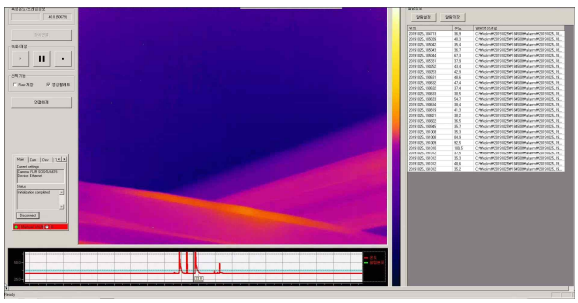
③ 열화상 온도 정밀도 비교 시험 결과

<table>
<tr><th>시험항목</th><th>온도 측정 정밀도 비교</th></tr>
<tr><td>측정온도<br>시험</td><td>▪ 접촉식 온도센서와 열화상 검측장치 간에 온도 측정값 비교
<table>
<tr><th>접촉식온도센서<br>측정값(℃)</th><th>검측장치<br>측정값(℃)</th><th>목표성능<br>기준(℃)</th><th>측정오차(℃)</th><th>판정</th></tr>
<tr><td>-10.4</td><td>-8.5</td><td>±2</td><td>-1.9</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>11.5</td><td>10</td><td>±2</td><td>1.5</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>19.2</td><td>21.2</td><td>±2</td><td>-2</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>30.1</td><td>29.8</td><td>±2</td><td>0.3</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>38.5</td><td>39.5</td><td>±2</td><td>-1</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>51.5</td><td>49.5</td><td>±2</td><td>2</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>60.5</td><td>60.4</td><td>±2</td><td>0.1</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>71.7</td><td>70.6</td><td>±2</td><td>1.1</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>79.8</td><td>81.2</td><td>±2</td><td>-1.4</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>89.8</td><td>90.3</td><td>±2</td><td>-0.5</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>100.7</td><td>99.8</td><td>±2</td><td>0.9</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>110.8</td><td>110.8</td><td>±2</td><td>0</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>121.8</td><td>119.8</td><td>±2</td><td>2</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>130.9</td><td>131</td><td>±2</td><td>-0.1</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>141.5</td><td>140</td><td>±2</td><td>1.5</td><td>적합</td></tr>
<tr><td>149.7</td><td>149.8</td><td>±2</td><td>-0.1</td><td>적합</td></tr>
</table>
▪ 온도 정밀도 비교 그래프


</td></tr>
</table>

표 137 열화상 온도 정밀도 시험결과

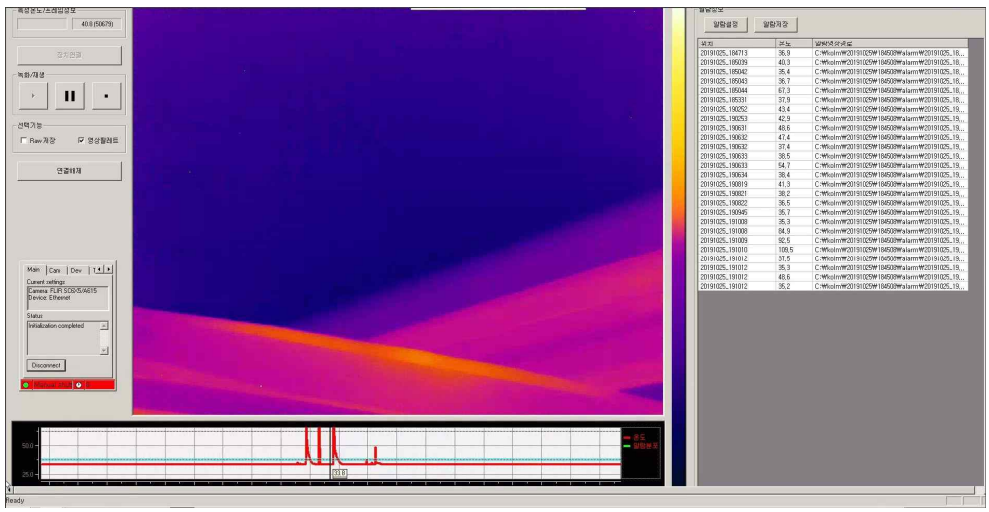
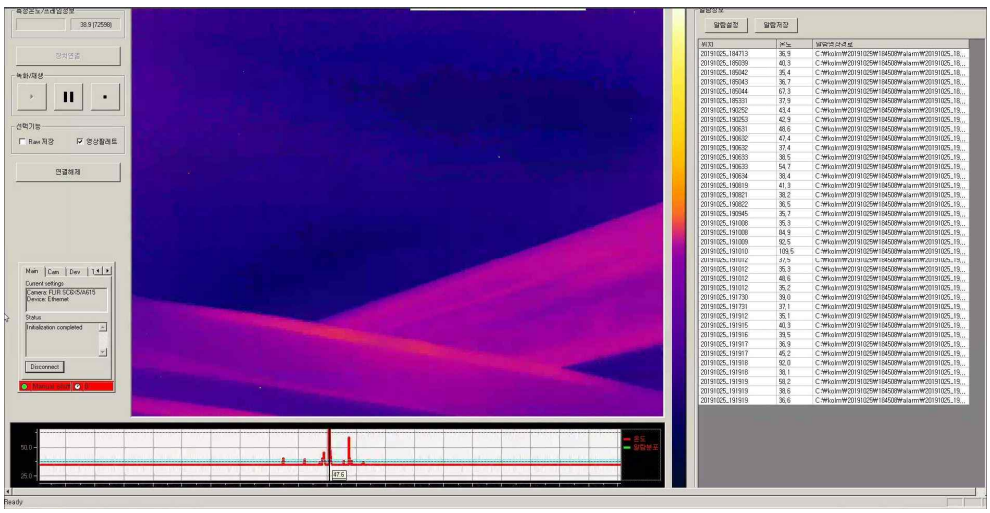
(바) 현차 설치

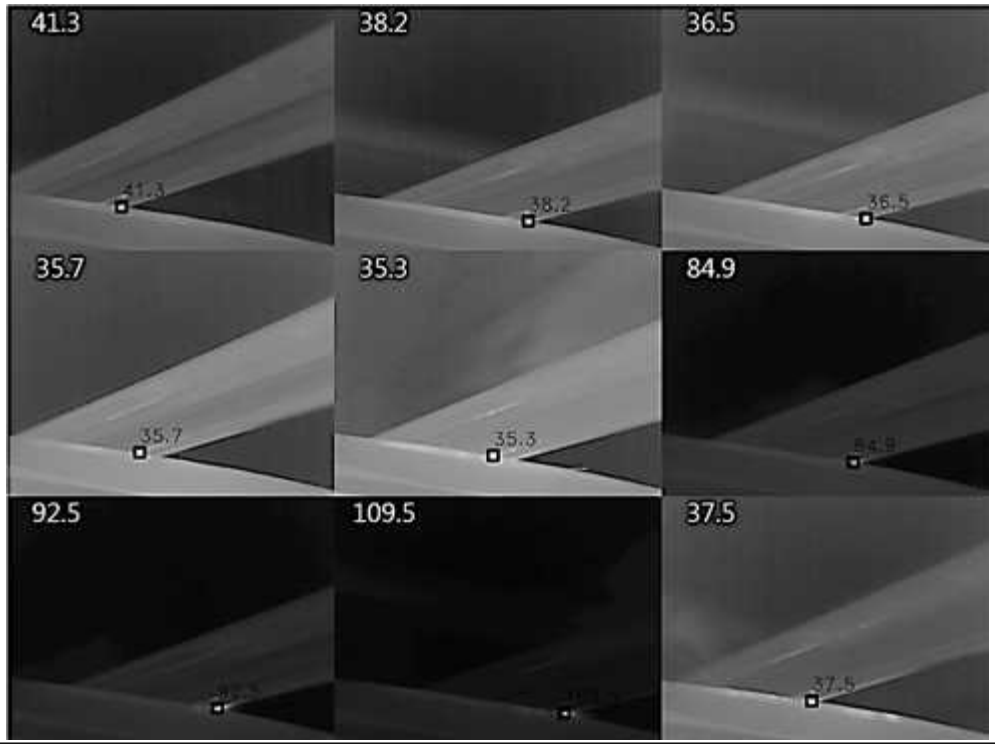
<table>
<tr><th colspan="2">지하부 집전설비 발열검지 장치</th></tr>
<tr><td>  <br>▪ 전동차 차탑 중앙 설치<br>▪ 대상 차량 : 7호선 - 7054편성<br>▪ 설치기간 : 2018.11.13. ~ 2018.11.23.</td><td>  <br>▪ 판토 및 집전설비 이상온도 검측 S/W<br>- 집전 설비에 이상온도 검출</td></tr>
</table>

(사) 현차 시운전 시험 (7호선)

■ 검측차량 : 7호선 전동차 754편성

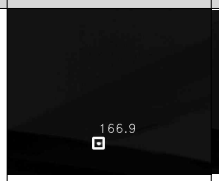
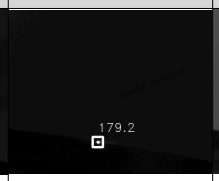
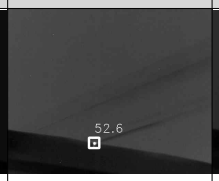
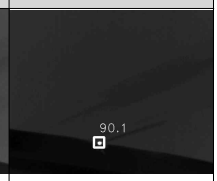
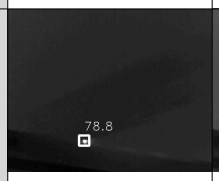
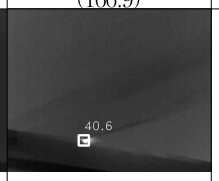
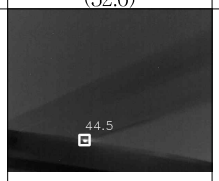
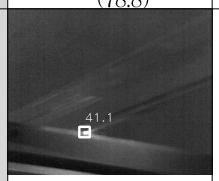
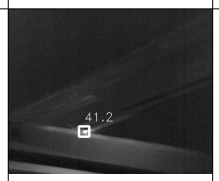
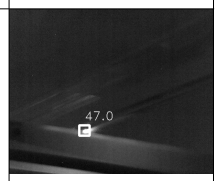
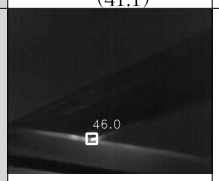
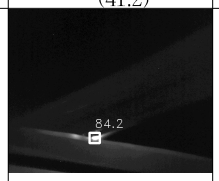
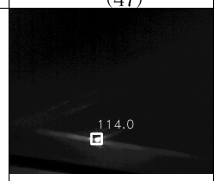
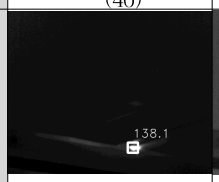
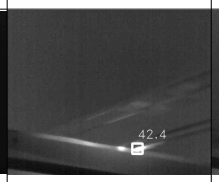
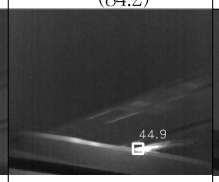
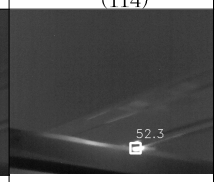
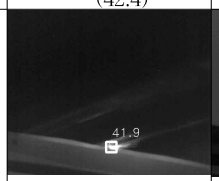
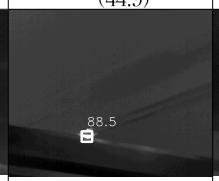
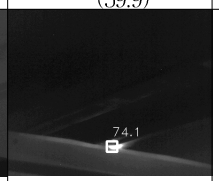
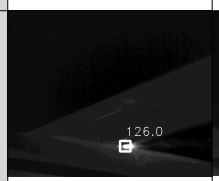
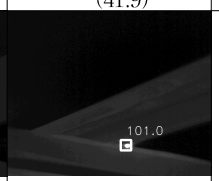
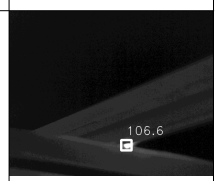
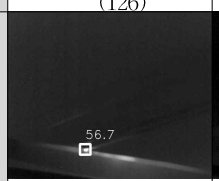
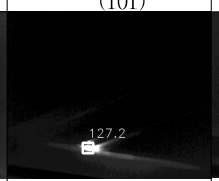
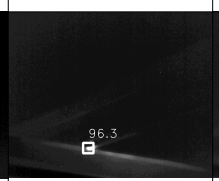
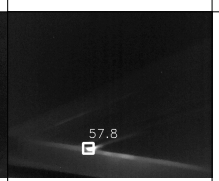
■ 시험구간 : 7호선 전구간(부평구청 → 장암)

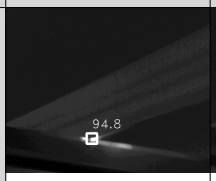
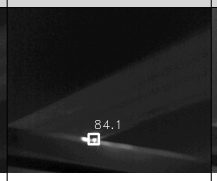
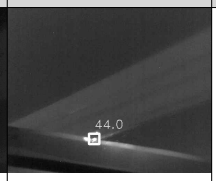
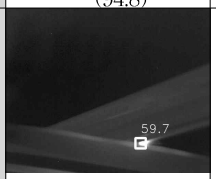
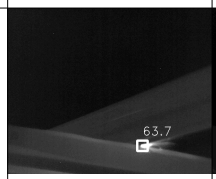
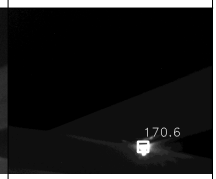
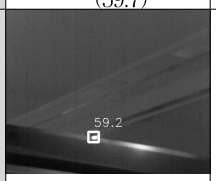
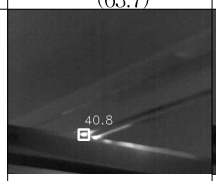
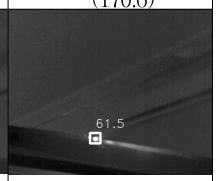
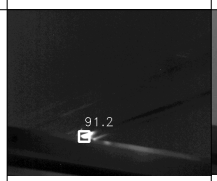
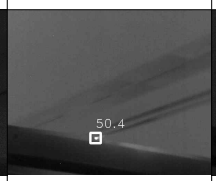
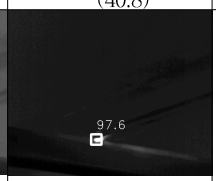
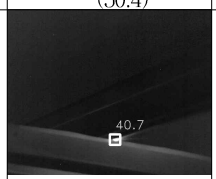
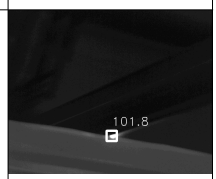
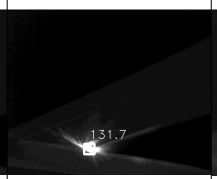
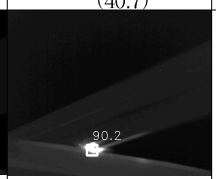
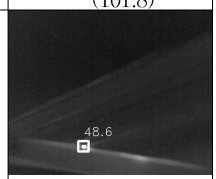
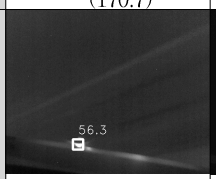
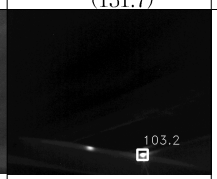
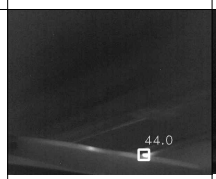
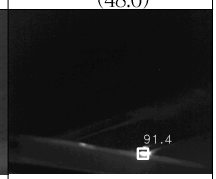
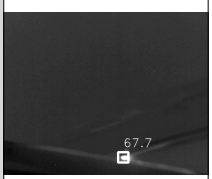
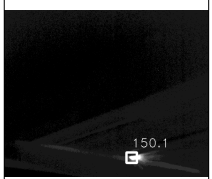
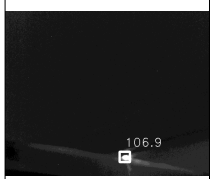
<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">지하부 집전설비<br>발열검지 장치<br>성능 평가 시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-05-02-01</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선(부평구청 - 장암)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-05-02</td><td colspan="3">온도 측정 및 데이터 수집</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-05-02-01</td><td colspan="3">팬터그래프 열화상 데이터 수집 및 온도 그래프 현시</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">2019.10.25.</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">- 팬터그래프 및 집전설비 열화상 영상 현시<br>- 팬터그래프 및 집전설비 온도 그래프 현시<br><table><tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험결과</th></tr><tr><td rowspan="2">온도 측정</td><td>열화상 영상 표시</td><td>열화상 수집 확인</td><td>정상</td></tr><tr><td>온도 그래프 표시</td><td>온도 그래프 확인</td><td>정상</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 열화상 온도 데이터 수집 및 온도 그래프 표시 확인<br>  <br>  </td></tr>
</table>

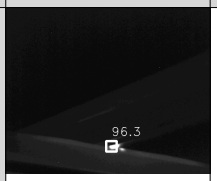
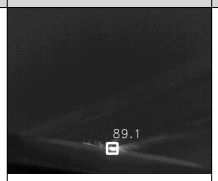
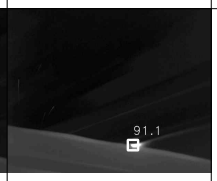
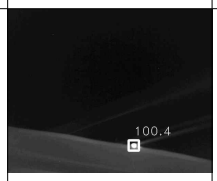
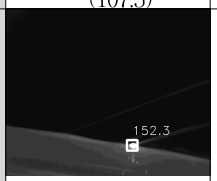
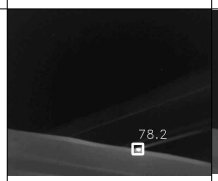
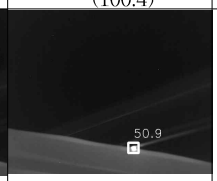
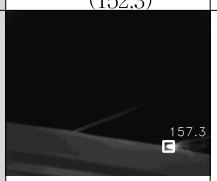
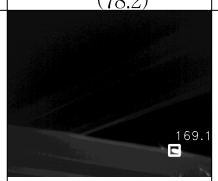
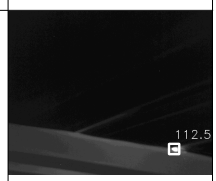
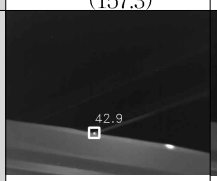
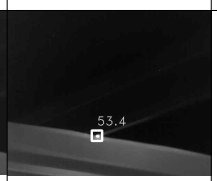
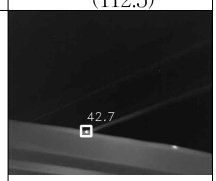
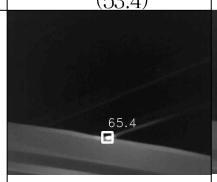
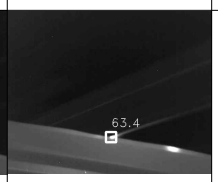
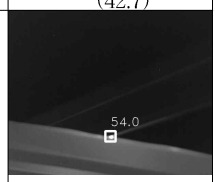
<table>
<tr><td>시험 명</td><td colspan="2">지하부 집전설비<br>발열검지 장치<br>성능 평가 시험</td><td>성능평가<br>항목번호</td><td>ASA-05-02-02</td></tr>
<tr><td>시험 장소</td><td colspan="4">7호선(부평구청 - 장암)</td></tr>
<tr><td>측정 항목</td><td>ASA-05-02</td><td colspan="3">이상 온도 구간 검지</td></tr>
<tr><td>상세 항목</td><td>ASA-05-02-02</td><td colspan="3">제한 온도(임계치) 이상시 알람 검출 동작 확인</td></tr>
<tr><td>시험 일시</td><td colspan="4">12.10.25 ~ 2020.01.02</td></tr>
<tr><td>확인 내용<br>및 판정<br>기준</td><td colspan="4">• 팬터그래프 및 집전설비 이상 온도 검지<br>• 팬터그래프 및 집전설비 열화상 알람 영상 저장<br><table><tr><th>구분</th><th>시험목표</th><th>현차시험 결과</th><th>시험결과</th></tr><tr><td rowspan="2">알람 검출</td><td>이상 온도 검지</td><td>임계치 이상온도 검지</td><td>정상</td></tr><tr><td>알람 영상 저장</td><td>이상온도 열화상 영상 저장</td><td>정상</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>첨부자료</td><td colspan="4">• 임계치 이상 알람 목록 표시<br>• 알람 열화상 영상 저장 (경로표시)<br><table><tr><th>위치</th><th>온도</th><th>알람열상경로</th></tr><tr><td>20191025_190634</td><td>38,4</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_190819</td><td>41,3</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_190821</td><td>38,2</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_190822</td><td>36,5</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_190945</td><td>35,7</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_191008</td><td>35,3</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_191008</td><td>84,9</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_191009</td><td>92,5</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_191010</td><td>109,5</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_191012</td><td>37,5</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr><tr><td>20191025_191012</td><td>35,3</td><td>C:₩kolm₩20191025₩184508₩alarm₩20191025_19...</td></tr></table>• 팬터그래프와 집전판 접촉부위 이상온도 영상 저장<br> 
</td></tr>
</table>

(아) 현차 시운전 시험결과 분석

○ 기간별 3회 이상에 이상온도 발생지점(알람)에 대한 재현성 비교 분석

| 역간구분 | 거리 (km) | 2019.12.24 | 2019.12.26 | 2019.12.28 | 2019.12.29 | 2020.01.02 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 장암 ~ 도봉산 | 0.569 -0.572 | |  (166.9) |  (179.9) |  (52.6) |  (90.1) |
| 도봉산 ~ 수락산 | 1.203 -1.204 |  (78.8) |  (40.6) | |  (44.5) | |
| 중계 ~ 하계 | 0.176 -0.178 |  (41.1) | |  (41.2) | |  (47) |
| 태릉입구 ~ 먹골 | 0.673 -0.674 |  (46) | |  (84.2) | |  (114) |
| | 0.698 -0.699 |  (138.1) |  (42.4) |  (44.9) |  (59.9) |  (52.3) |
| 중곡 ~ 군자 | 0.829 -0.834 | |  (41.9) |  (88.5) |  (74.1) | |
| 군자 ~ 어린이 대공원 | 0.543 -0.544 |  (126) |  (101) | | |  (106.6) |
| | 0.637 -0.638 |  (56.7) |  (127.2) |  (96.3) |  (57.8) | |

| 역간구분 | 거리 (km) | 2019.12.24 | 2019.12.26 | 2019.12.28 | 2019.12.29 | 2020.01.02 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.648 -0.65 |  (94.8) |  (84.1) |  (44) | | |
| 학동 ~ 논현 | 0.586 -0.588 |  (59.7) | | |  (63.7) |  (170.6) |
| | 0.632 -0.633 |  (59.2) | | |  (40.8) |  (61.5) |
| 논현 ~ 반포 | 0.629 -0.63 | |  (91.2) |  (50.4) |  (97.6) | |
| 상도 ~ 장승배기 | 0.556 -0.56 |  (100.6) | |  (40.7) | |  (101.8) |
| 보라매 ~ 신풍 | 1.188 -1.194 |  (170.7) |  (131.7) |  (90.2) | |  (48.6) |
| | 1.196 -1.2 |  (56.3) |  (103.2) | |  (44) |  (91.4) |
| 신풍 ~ 가산 디지털 단지 | 0.658 -0.662 |  (67.7) | |  (150.1) | |  (106.9) |

| 역간구분 | 거리 (km) | 2019.12.24 | 2019.12.26 | 2019.12.28 | 2019.12.29 | 2020.01.02 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1.122 -1.124 |  (96.3) | |  (89.1) | |  (60.3) |
| 철산 ~ 광명 사거리 | 0.757 -0.759 |  (107.5) |  (91.1) | |  (100.4) | |
| | 0.764 -0.767 |  (152.3) | |  (78.2) |  (50.9) | |
| | 1.401 -1.404 |  (157.3) | |  (169.1) | |  (112.5) |
| | 1.407 -1.411 |  (42.9) |  (53.4) | | |  (42.7) |
| | 1.424 -1.425 | |  (65.4) |  (63.4) | |  (54) |

(자) 연구수행에 따른 운용기관 활용성

○ 집전설비 발열검지 모듈은 팬터그래프 습판체와 전차선로 집전설비에 발열 온도 측정을 통해 시설물 접촉 불량부위(시공불량, 손상, 오염)에 발열상태 진단이 가능하며, 또한, 팬터그래프 이선시 발생하는 전기적 아크에 의한 발열 부위를 검지한다.

○ 검측모듈에 팬&틸트 기능을 보완 적용하여, 터널 상부에 집전설비 및 급전 피더브렌치에 열화 및 불완전 접촉 등에 시설물별 진단 기능을 다양화하여 활용성을 높일 수 있다.

○ 따라서 시중에 아크검지장치와 집전설비 발열검지 모듈중 경제성이나 설치 용이성을 판단하여 운영기관에서 활용이 가능함

(9) 지상 ATC용 열차검지신호 및 차상신호 검지장치 기술개발(서울교통공사)

(가) 개요

○ 도시철도 열차의 신호제어는 ATC/ATO방식을 주로 도입하여 운행중에 있으며(일부 호선 및 운영기관마다 일부 상이함) 신호기계실에서 레일로 주파수 신호를 전송하면 차상의 픽업코일 안테나를 통해 속도코드(Code Rate)와 출입문 열림 신호(ODL)등을 수신하고 제어하는 장치로 ATC 차상신호와 열차검지 신호를 측정할수 있는 신호 검측장치
○ 전동차 운행 중 수집된 신호 분석을 통해 운행구간의 신호 변화상태와 불연속 신호(무신호 및 순간무신호) 발생 신호 분석을 통해 고장예측 구간 등을 사전에 진단하고, 열차의 안전운행을 위한 열차신호의 안정적인 상태유지

① 검측방식

○ Pick up 코일 안테나로 주파수형태로 수신되는 차상신호 및 열차검지신호 감지
○ 초당 10만개의 데이터를 수집하고, 열차운행과 관련된 주파수, 크기 등을 분석
  · 아날로그 신호를 16비트 디지털 신호로 변환하여 디지털 신호처리하여 열차신호분석
○ 이동거리를 계산할 수 있는 장치와 통신하여 거리 계산 알고리즘에 적용
○ 전동차 컴퓨터장치와 통신하여 열차운행 정보 수신하여 알고리즘에 활용
○ ATC 차상신호 및 열차검지 신호의 이상유무 판단
  · 무신호나 이상신호 발생시 신속한 조치가 가능하도록 정확한 위치를 제공




② 검측대상 및 판정기준

○ 검측대상

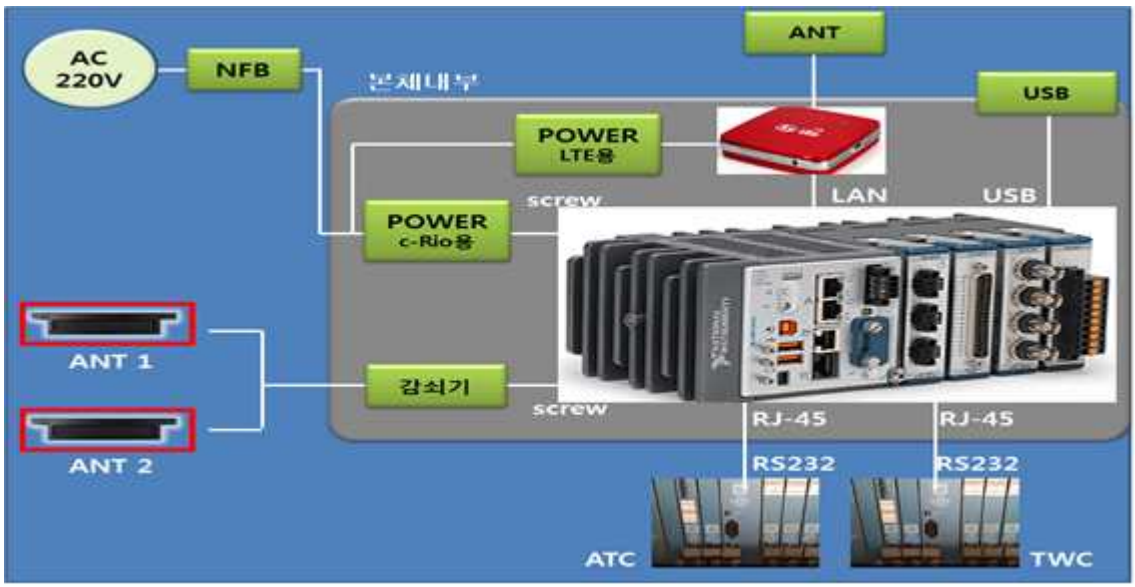
| 구분 | 검측대상 및 판정기준 |
|---|---|
| 검측<br>대상 | - 운행구간의 신호 변화 상태와 불연속 신호(무신호 및 순간무신호) 분석<br>- 알람판정기준 : 각 주파수별 레벨 값이상 시 알람검출 |
| 검측<br>방식 | - Pickup 코일 안테나로 주파수형태의 차상신호 및 열차검지신호 감지<br>- ATC 차상신호 및 열차검지 신호의 이상유무 판단 |

○ 검측항목 및 검측기준

| 검측 항목 | 검측 기준 | 비고 |
|---|---|---|
| 전류/전압레벨 검지 | 기준치 ±10%이내 | |
| 열차검지용 주파수 | 중심주파수 ±2% 이내 | |
| 차상반송 주파수 | 중심주파수 ±2% 이내 | |
| Code Rate 주파수 | 중심주파수 ±2% 이내 | |
| 무신호 및 순간무신호 검지 | 최소전압 이하 1.7초 유지시 | |
| 궤도번호 기록 | 이동거리 기준으로 update | |

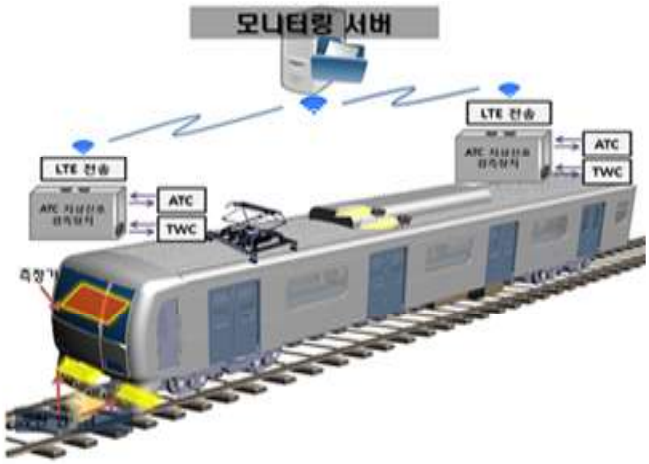
(나) ATC 신호 검측장치 구성

① 검측장치 구성도




② 검측 장치 구성 설명

■ ATC 차상신호와 열차검지 신호를 측정하는 신호 검측장치 2Set 설치



③ 검측장치 구성 물량

ATC 지상신호 검측시스템은 7호선 전동차 754편성에 장착되었고, 상선 및 하선신호를 측정하기 위해 전·후방 각각에 측정하도록 구축함.

| 구분 | 구성품 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|
| ATC 지상신호 검측 시스템 | 본체 외함 | 2세트 | - 전동차 전방(1세트), 후방(1세트)<br>- 차상 운전실내 설치 |
| | 본체 거치대(A'ssy) | 2세트 | |
| | ATC 안테나 | 4세트 | - 전동차 하부 전방(2개), 후방(2개)<br>- 차저부 설치 |
| | 안테나 거치대(A'ssy) | 4세트 | |
| | 안테나 케이블 조립체 | 4세트 | - 전동차 전방(2세트), 후방(2세트)<br>- 차상 운전실과 차저부 안테나간 연결 |
| | 케이블 | 4개 | - serial 케이블<br>차상 운전실내 설치 |

| 컨트롤러컴퓨터 (cRio-9031) | 통신모듈(NI-9215) | 통신모듈(NI-9870) |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 본체부 | 안테나 | 시리얼케이블 |
|  |  |  |

④ 모듈별 사양

㉮ 컨트롤러컴퓨터(cRio-9031) 사양

| 항목 | 구분 | 사양 |
|---|---|---|
| Processor | CPU | Intel Atom E3825 |
| | Number of cores | 2 |
| | CPU frequency | 1.33 GHz |
| | On-die L2 cache | 1 MB (shared) |
| Network/ Ethernet Port | Number of ports | 2 |
| | Network interface | 10Base-T, 100Base-TX, and 1000Base-T Ethernet |
| | Compatibility | IEEE 802.3 |
| | Communication rates | 10 Mbps, 100 Mbps, 1000 Mbps auto-negotiated |
| | Maximum cabling distance | 100 m/segment |

㉯ 통신모듈 주요사양

| 항목 | 구분 | 사양 |
|---|---|---|
| NI-9215 Input Characteristics | Number of channels | 4 analog input channels ADC resolution |
| | ADC resolution | 16 bits |
| | Type of ADC | Successive approximation register (SAR) |
| | Input range | ±10.0 V |
| NI-9870 RS232 Serial Port | Maximum baud rate | 115,200 bps |
| | Data bits | 5, 6, 7, 8 |
| | Stop bits | 1, 2 |
| | Parity | Odd, Even, Mark, Space |

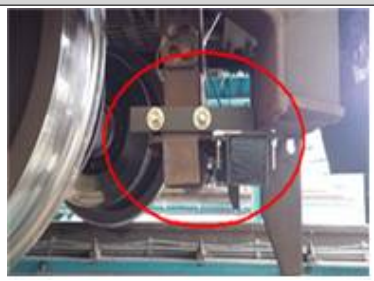
㉰ 안테나 주요사양

| 항목 | 구분 | 사양 |
|---|---|---|
| 안테나 | 크기 | 300㎜(W) x 50㎜(H) x 50㎜(D) |
| | 재질 | 안테나: PP(PE), 거치대: 철재 |
| | 코일 인덕턴스 | 800mH |
| | 케이블조립체 | KD3102A20-16PW, 3PIN |

(다) ATC 검측시스템 현차설치

① ATC 검측시스템 현차설치

■ 설치편성 : 7호선 754편성 전동차 전,후방
■ 설치기간 : '18.10 ~ '18.12.
■ 설치항목 : ATC 본체(통신모듈, 컨트롤러 컴퓨터 등), 안테나 1식, 안테나용 케이블
■ 참 여 자 : 강봉완,이상용,진승필,박상천,강주희,정연포

| 본체부설치(기관사실) | 본체부 | 본체부내 부속품설치 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 안테나(좌,우측 1식) | 안테나 | 신호분석 알고리즘 |
|  |  |  |

② ATC 검측시스템 보완

■ 일 자: 2019. 01. 18.(금) ~ 29.(화)
■ 장 소: 서울교통공사 천왕차량기지 검사고 및 유치선
■ 수행기관: 투아이시스㈜
■ 설치장소: 전동차 754편성(전, 후방)
■ 설치항목: ATC신호검지용 검측장치 1식(안테나부, 본체부)
■ ATC 신호레벨 측정
  - 결과: 0대와 100대 ATC 수신레벨 차이 발생에 따른 점검 및 보완작업
■ 본선시운전 데이터분석
  - 원인분석: 차저부 안테나부터 본체부까지 개소별 점검
  - 보완작업 결과: 컨넥터 재접속 및 감쇠기 제거 및 가변저항 설치
  - 작업결과: 0대와 100대 레벨 정상수신(레벨 값 조정: 800mv내외)
  - 수신레벨 안정화를 위한 케이블 등 보완작업 및 알고리즘 계속작업예정

(라) ATC 지상신호 검측용 알고리즘 개발

① ATC 지상신호 검측 프로그램

■ 개발기간 : '19.1월 ~ '19.12월

■ 개발내용 : 지상에서 수신되는 ATC신호를 측정하여 무신호(순간무신호) 등을 파악하여 고장개소를 조치 또는 유지보수 활용

■ 측정항목 : 열차검지신호, 차상신호, 현장전류값, 주파수, 열차운행위치, 속도코드 현시

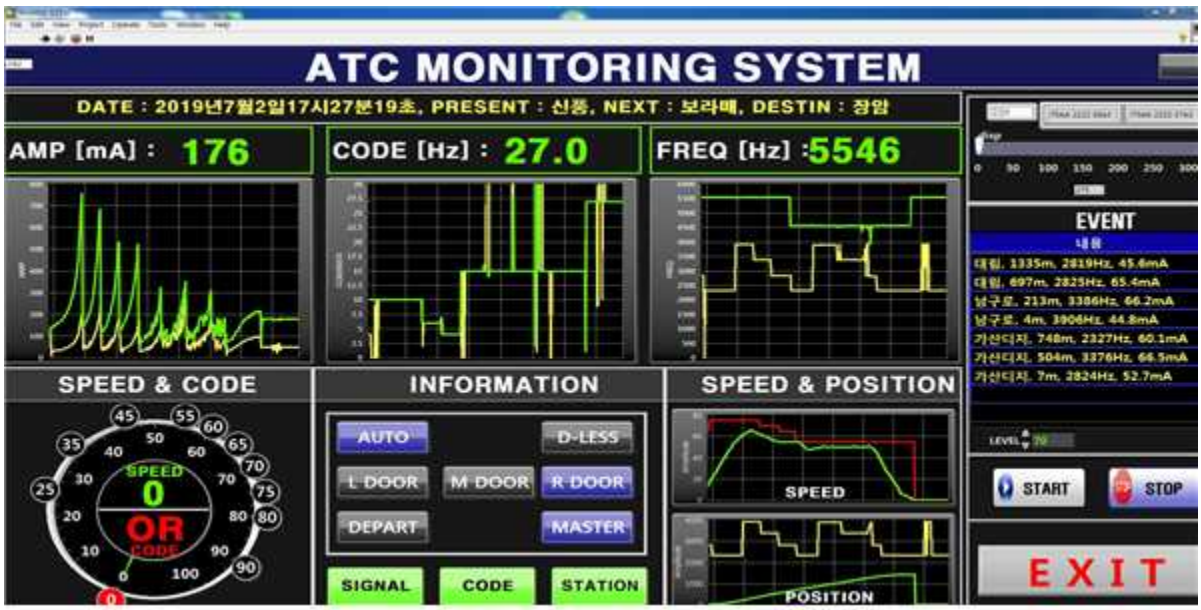



그림 118 ATC 지상신호 검측 프로그램

② 알고리즘 탑재용 실시간 ATC 지상신호 검측 및 분석

■ 분석방법 : 열차운행중 및 종료후 차량기지 등 데이터 수집분석

■ 주요 분석항목:

| 주요 분석항목 | 세부항목 |
|---|---|
| 열차 운행관련 정보 수집 | - 영업열차 운행시 ATO 등 운행정보 수집 (역정보,TWC정보, 고정속도, 출입문 열림/닫힘정보 등) |
| 무신호 (순간무신호) 구간 검지 | - 7호선 궤도회로의 주파수(열차검지 및 차상신호) 수집<br>- 주파수 분석을 통한 ATC 속도신호 저하구간 분석<br>- AC전압/전류 레벨분석으로 적정레벨 여부 판단 |
| 알고리즘 보완 | - 축적된 데이터분석으로 정밀도 향상을 위한 알고리즘 보완개발로 신뢰성 기반의 데이터 확보 |
| 유지보수 활용 | 검측데이터(주파수, 레벨)의 이상구간 분석으로 현장 유지보수에 적용 |

③ 데이터 실시간 분석

■ 주요 분석항목 :

- 현장 신호 데이터의 실시간 측정,분석 데이터의 신뢰성 향상 도모
- ATC 검측시스템 축적데이터 저장에 필요한 필요시 임시서버로 활용
- 측정데이터의 정밀도 향상을 위한 알고리즘 업그레이드 개발로 도시철도 영업운행 구간의 유지보수에 활용하고 장애를 사전 예방

| 데이터 실시간분석 장비 | 알고리즘 탑재후 | 시스템 초기설정 |
|---|---|---|
|  |  |  |

(마) 검측장치 단위시험

① 검측모듈 단위시험

㉮ 컨트롤러 컴퓨터(cRio-9031) software download & installation

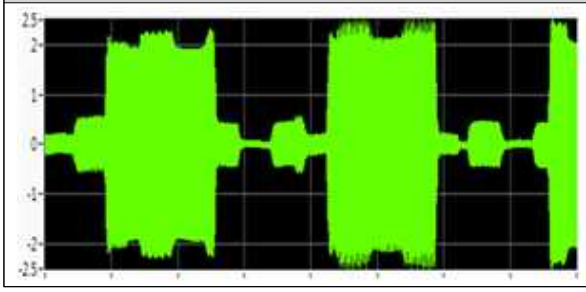
- Measurement & Automation Explorer 설치 후 NI cRio-9031 모듈에 개발 환경 구축을 위한 software 다운로드 및 프로그램 설치

㉯ 안테나 설치 및 시험장착

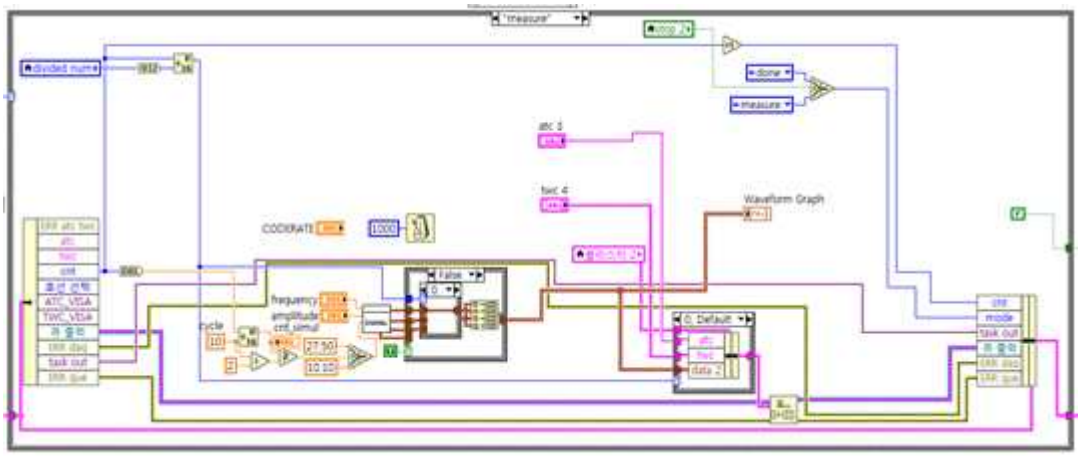
- 레일로부터 발생하는 ATC 데이터를 수신하기 위한 안테나를 아래 그림처럼 장착함

㉰ 시뮬레이션 데이터 생성

- 실제 현장에서 수집된 데이터를 바탕으로 시뮬레이션 신호를 생성하여 프로그램의 안정성을 향상

| real data from field 1 | real data from field 2 |
|---|---|
|  |  |

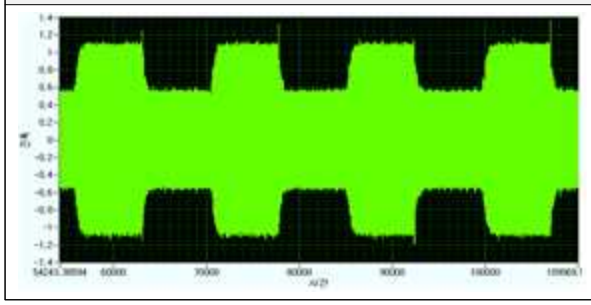
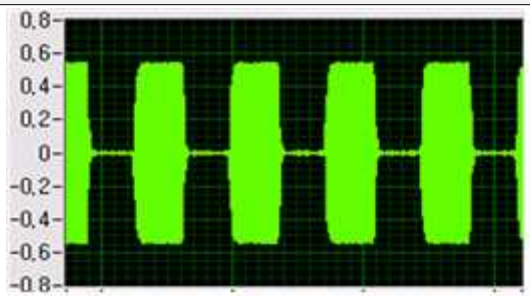
- simulation data 생성 프로그램 source



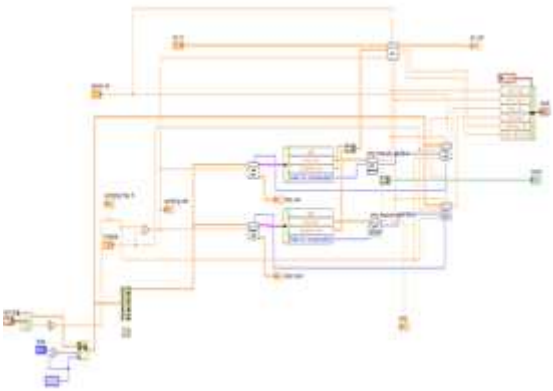
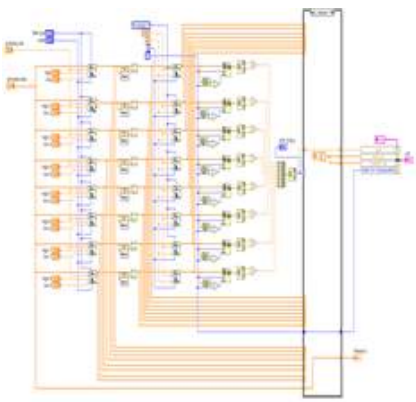
㉳ Digital Bandpass filter 알고리즘 개발 및 데이터 처리 최적화

- 기존 analog filter 대신 프로그램적으로 다루기 용이한 digital filter를 적용하여 케이스를 compact하게 개발이 가능함은 물론이고, 프로그램 수정 및 업그레이드가 쉬워짐
- 대용량 데이터의 알고리즘을 최적화하여 메모리 소모를 최소화하고 데이터 처리 속도도 빠르게 개선

㉴ digital filter 성능 시험

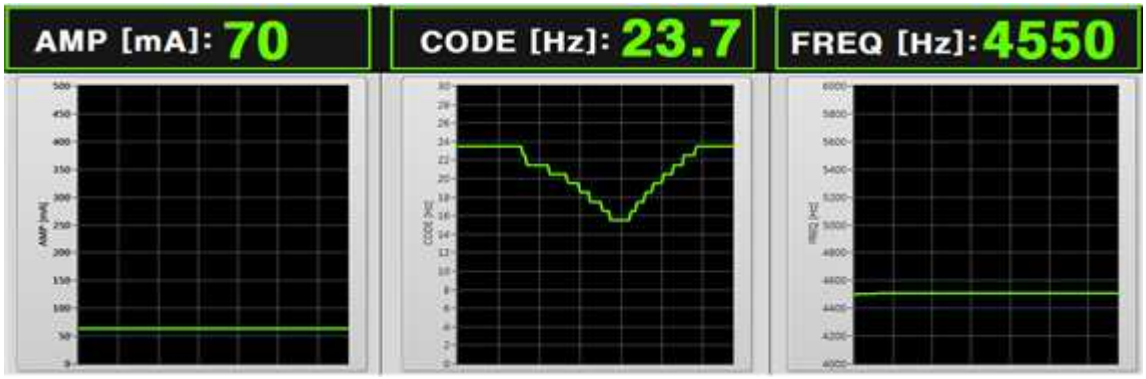
| digital filter 통과 전 | digital filter 통과 후 |
|---|---|
|  |  |

- digital filter 처리 알고리즘

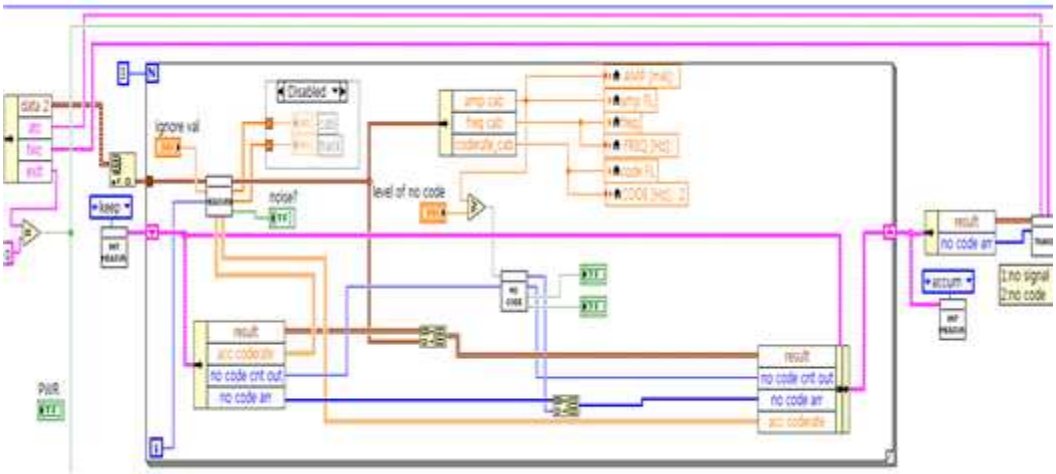
| digital filter 통과 전 | digital filter 통과 후 |
|---|---|
|  |  |

㉮ 분석데이터 수집

- ATC 신호를 처리해서 최종데이터를 출력하고 현시하는 시험 완료
- 최종데이터 그래프




- 데이터 처리 알고리즘 및 source



(바) 종합시험

① 하드웨어 시험(검사)

■ ATC지상신호 검측장비는 7호선 754편성 전동차에 설치

■ 하드웨어 부분은 본체부, 안테나부, 각종 케이블을 전동차 전후방에 설치

■ 제반검사(외관 및 구조검사, 설계 및 치수검사, 설치검사)를 실시

■ 검측장비의 부품검사와 성능시험 검사 진행

- 부속품 검사는 컨트롤러, 안테나 등 하드웨어 기능검사,
- 성능시험은 각각 장비의 동작시험 및 출력시험을 실시

■ 제반검사와 성능시험을 모두 만족한 정상적인 결과를 산출하였음.

㉮ 제반검사

| 제반검사 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 검사항목 | 검사내용 | 판정기준 | 검사방법 | 검사결과 | 비고 |
| 1 | 외관 및 구조검사 | 본체, 거치대 등 도장상태, 변형, 굴곡, 흠 등의 결함검사 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| | | 본체와 부품간의 조립상태 및 배열, 접속상태 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| | | 부식이 되기 쉬운 개소의 도금 또는 도장여부 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| 2 | 설계 및 치수검사 | 제작사양에 명시된 장비의 설계 적정여부 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| | | 제작사양에 명시된 장비의 치수 적정여부 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| 3 | 설치검사 | 본체 외함, 안테나, 안테나용 거치대 및 기타 부속자재의 설치 및 취부상태 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| | | 케이블의 동일규격 사용 및 적정 설치여부 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| | | 케이블의 고정상태 적정여부 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| | | 케이블 보호용 관로의 적정 설치 및 마감여부 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| | | 검측 장비의 설치상태 및 고정상태 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| | | 전원구성의 안전성 여부 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |
| | | 외부 돌출로 인한 타 장비의 지장여부 | 적합여부 | 육안검사 | 양호 | |

㉯ 부품검사 및 성능시험

| 검측장비 부품검사 및 성능시험 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 검사항목 | 검사내용 | 판정기준 | 검사방법 | 검사결과 | 비고 |
| 4 | 주요 부품검사 | ○ 검측장비의 동일 규격 여부<br>- 컨트롤러(cRIO-9031)장비<br>- 전압입력모듈(NI-9215) 장비<br>- 시리얼모듈(NI-9870) 장비 | 적합여부 | 시험검사 | 양호 | |
| | | ○ 안테나의 규격 및 코일 인덕턴스 등 제작사양의 적합 여부 | 적합여부 | 시험검사 | 양호 | |
| 5 | 장비 동작시험, 현장 성능 및 출력시험 | ○ 검측장비의 개별 작동여부 | 적합여부 | 시험검사 | 양호 | |
| | | ○ 차저부 안테나의 지상신호가 차상으로 정상 수신되는지 여부 | 적합여부 | 시험검사 | 양호 | |
| | | ○ 장비 규정값의 출력상태 확인 및 파형, 전압 등 적합여부 | 적합여부 | 시험검사 | 양호 | |
| | | ○ ATC 검측장비의 지상신호 정상 출력여부 | 적합여부 | 시험검사 | 양호 | |

(사) ATC 검측시스템 시운전 성능시험

■ 시험구간 : 7호선 영업열차 장암 ~ 부평구청 구간

■ 본선시운전 시험

- 시험일 : 2019.1월 22일
- 시험구간 : 천왕기지 → 부평구청 → 천왕기지
- 시험내용 : 754편성 설치완료후 성능확인 및 전동차 간섭여부 확인

■ 성능시험(754편성)

- 시험일 : 2019.1월 23일 ~ 12월
- 시험구간 : 7호선 전구간(장암 → 부평구청) 왕복
- 시험내용 : 영업열차를 통한 검측모듈 성능확인 시험
- 운행횟수(2019년) : 일일평균 417km(일 2~3회 왕복)

※ 검측시스템(전차선, 궤도시설물, 집전설비, 발열검지,동적판토자세 등) 병행 성능시험 진행

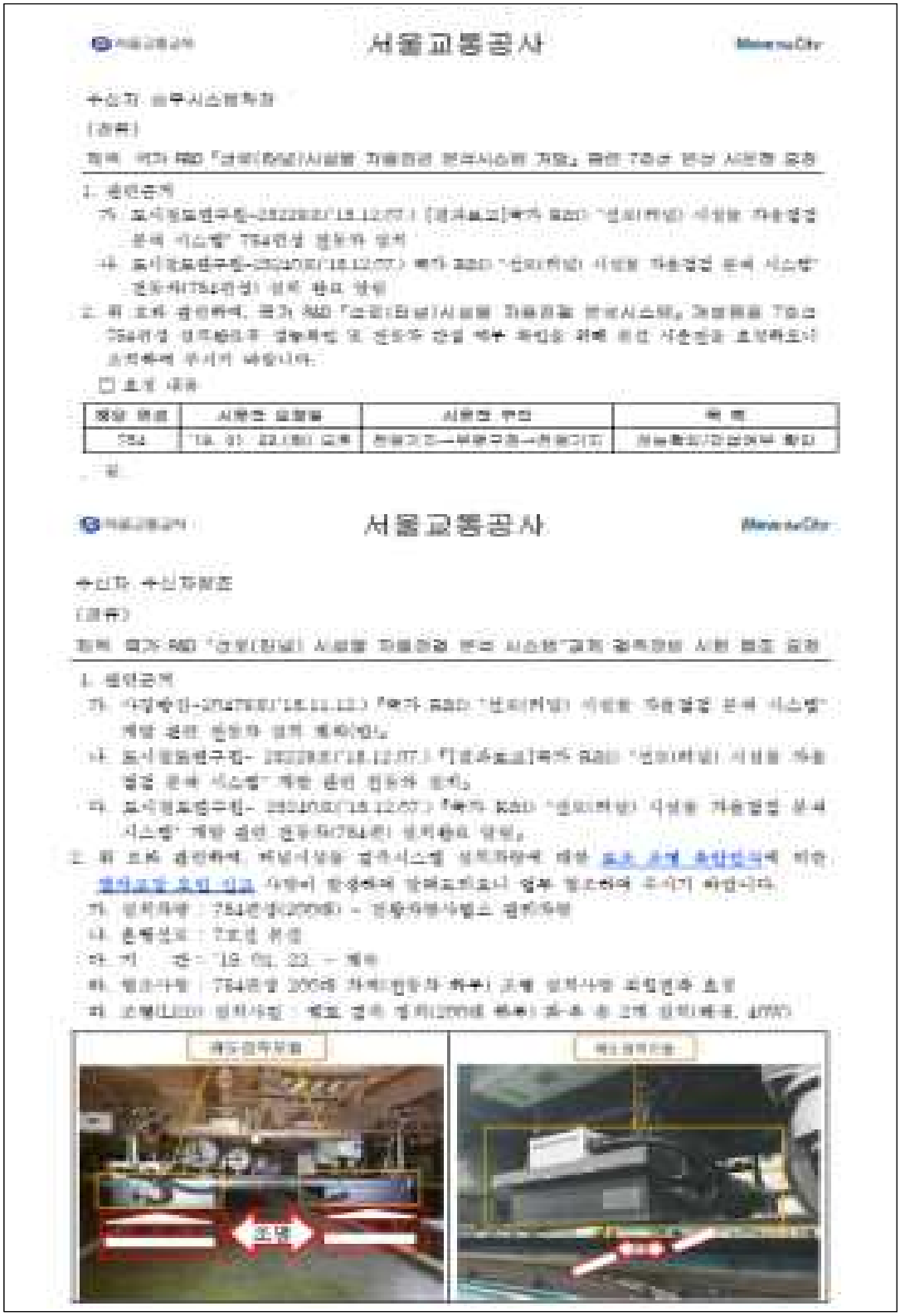
■ 실증시험

- 시험내용 : ATC 지상신호 데이터 분석 및 알고리즘 보완

■ 영업열차 운행중 취득한 데이터는 컨트롤러에 저장되고 자체 개발한 알고리즘으로 지상신호를 분석하여 현장의 무신호(순간무신호) 등 레벨 저하구간 등 기준 레벨값 이상 또는 이하 데이터를 확보하고 분석을 진행하였다.

■ 7호선 본선 운행 후, 차량기지 입고한 전동차에서 데이터를 백업하여 지상신호를 분석하고 있으며 신뢰성과 완성도 높은 알고리즘을 위해 지속적으로 수정보완을 수행하고 있다.

■ 성능시험 관련공문



서울교통공사

수신자 ㈜무시스템특장

(경유)

제목 여가 R&D 「교외(한남)시설물 자율점검 로봇시스템 개발」 용인 7호선 본선 시운전 요청

1. 관련근거

가. 도시철도연구원-2022호(’18.12.07.) 「공동연구」복가 제2호 “선외(하남) 시설물 자율점검 로봇 시스템” 754편성 설치 완료

나. 도시철도연구원-2023호(’18.12.07.) 복가 제2호 “선외(하남) 시설물 자율점검 로봇 시스템” 운동차(754편성) 설치 완료 알림

2. 위 호와 관련하여, 귀가 R&D 「교외(한남)시설물 자율점검 로봇시스템」 개발품을 7호선 754편성 설치완료후 성능확인 및 운동주 안전 예우 확인을 위해 용인 시운전을 요청하오니 조치하여 주시기 바랍니다.

□ 요청 내용

| 해당 편성 | 시운전 요청일 | 시운전 구간 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 754 | ’18. 01. 22.(월) 교육 | 한울고드름-부평구청-한울고드름 | 성능확인/안전여부 확인 |

끝.

서울교통공사

수신자 수신자참조

(경유)

제목 여가 R&D “선외(한남) 시설물 자율점검 로봇 시스템”개발 성능확인 시험 협조 요청

1. 관련근거

가. 사업협약-2014호(’18.11.12.) “복가 제2호 “선외(하남) 시설물 자율점검 로봇 시스템” 개발 공동 연구개발 협약 체결(안).

나. 도시철도연구원- 2022호(’18.12.07.) “공동연구”복가 제2호 “선외(하남) 시설물 자율점검 로봇 시스템” 개발 공동 연구개발 협약.

다. 도시철도연구원- 2023호(’18.12.07.) “복가 제2호 “선외(하남) 시설물 자율점검 로봇 시스템” 개발 공동 연구개발(754편) 설치완료 알림.

2. 위 호와 관련하여, 귀 시설물 점검시스템 성능검증에 대한 [illegible]에 따른 [illegible] 사항이 완성되어 알려드리오니 업무 참조하여 주시기 바랍니다.

가. 성능검증 : 754편성(2량) - 운동차량시험노선 성능검증

나. 운행방향 : 기호선 하선

다. 기 간 : ’18. 01. 22. ~ 계속

라. 검증차량 : 754편성 2량에 차체검증차 하부 고해상 성능시험 촬영장치 설치

마. 고해상도 성능시험 : 레일 결함 검출(2량에 하부) 촬영 및 고해상 성능시험 실시

① 시험결과

■ 서울교통공사 신호설비보수규정시행내규(제32조) AF궤도회로장치에서 정한 기준값을 근거로 주파수, 레벨 등을 알고리즘으로 구현하였고, 각 항목의 지상신호 측정가부, 대역폭의 설정, 수신값 변환처리 등을 적용하여 시험하였으며, 전 항목에서 양호한 결과를 도출하였다.

<table>
<tr><th>검측 항목</th><th>검측 기준</th><th>시험결과</th></tr>
<tr><td>전류레벨 검지</td><td>궤도회로의 수신측 경계시점에서 100㎃ 이상</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>열차검지용 주파수<br>(8종 주파수)</td><td>F1 : 2,100 ± 10.5Hz, F2 : 2,320 ± 11.6Hz<br>F3 : 2,580 ± 12.9Hz, F4 : 2,820 ± 14.1Hz<br>F5 : 3,100 ± 15.5Hz, F6 : 3,370 ± 16.8Hz<br>F7 : 3,660 ± 18.3Hz, F8 : 3,900 ± 19.5Hz</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>차상반송 주파수<br>(2종)</td><td>FL : 4,550 ± 22Hz, FH : 5,525 ± 27Hz</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>CodeRate 주파수<br>(8종)</td><td>
<table>
<tr><th>FL</th><th>FH</th><th>Code Rate</th></tr>
<tr><td>K-Down</td><td>K-Up</td><td>2.0 ± 5%</td></tr>
<tr><td>저속(Km/h)</td><td>고속(Km/h)</td><td></td></tr>
<tr><td>01</td><td>YD</td><td>3.0 ± 5%</td></tr>
<tr><td>25</td><td>65</td><td>4.5 ± 5%</td></tr>
<tr><td>35</td><td>70</td><td>6.83± 5%</td></tr>
<tr><td>45</td><td>75</td><td>10.1 ± 5%</td></tr>
<tr><td>55</td><td>80</td><td>15.3 ± 5%</td></tr>
<tr><td>60</td><td>90</td><td>21.5 ± 5%</td></tr>
<tr><td>좌측문 열림</td><td>우측문 열림</td><td>27.5 ± 5%</td></tr>
</table>
</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>무신호(순간무신호)<br>검지</td><td>최소전압 이하 1.7초 유지시<br>(전동차 신호레벨 수신기준)</td><td>양호</td></tr>
</table>

② 알고리즘의 주요 기능

① 주파수의 bandpass filter를 알고리즘으로 구현

② 수집(측정)된 데이터의 저장기능 및 LTE 전송기능

③ 저장 데이터(주파수)의 대역폭 설정

④ CAB 신호의 크기/주파수/CODERATE 분석 및 변환

⑤ 모니터링 시스템 구현

⑥ 초당 100,000 Samples 속도로 아날로그 신호측정

⑦ TRAIN DETECTION 신호의 크기/주파수/CODERATE 분석 및 변환

⑧ 전동차 ATC장치의 운행정보 프로토콜 분석

⑨ 전동차 TWC장치의 역정보 프로토콜 분석

③ 검측 S/W 화면 구성

■ ATC 지상신호 검측 S/W는 영업 운행중 측정된 데이터를 알고리즘으로 분석하고 유지보수자를 위한 모니터링 수행.

■ ATC 지상신호 검측 S/W을 통해 각종 데이터를 표시
- 열차의 실시간 위치파악,
- 레벨값 인지,
- 실시간 속도코드,
- 현재역 및 다음역정보,
- 열차 운행정보

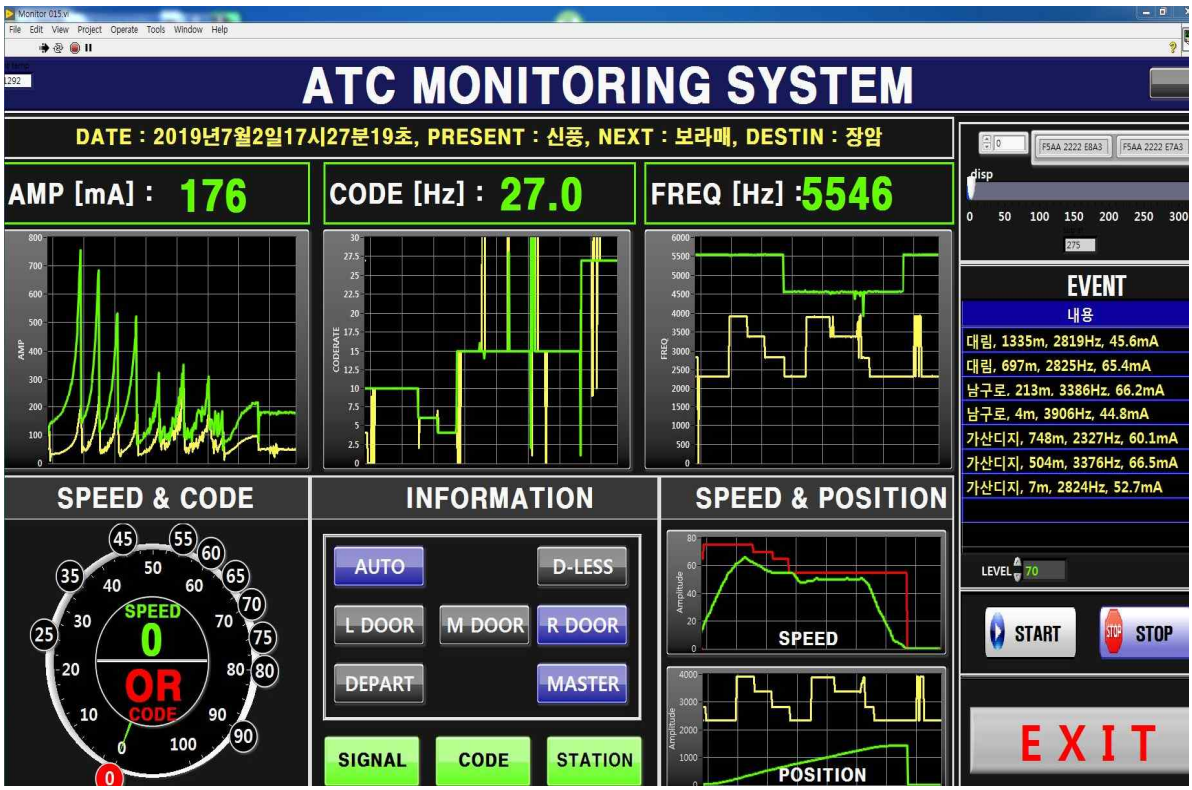
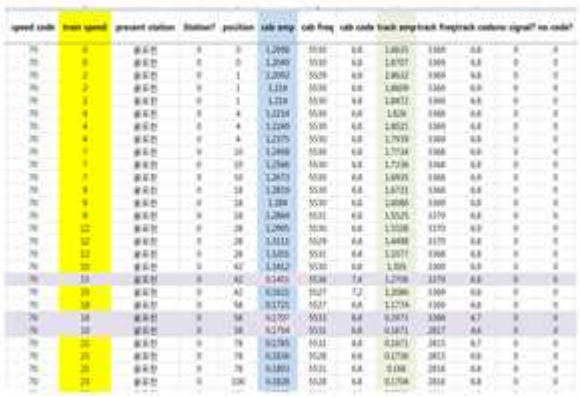



그림 124 ATC 지상신호 검측 S/W

④ 알고리즘을 통한 분석항목

역별 측정데이터 테이블 및 데이터 측정항목

**측정항목**



**DATA**

- 연변 / ATC 시간

- 전동차 정보

automatic driverless RDE LDE departure mdoor master berthed

- 운행정보

speed code 현재역 다음역 종착역 station position

- ATC 측정정보

station position

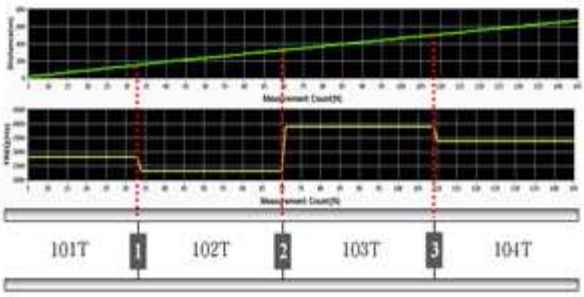
cab_amp freq code track_amp freq code no signal/no code (3 times/sec)

역별 거리데이터 측정값 비교분석 및 위치정보(무신호 궤도) 파악

| Item | Contents |
|---|---|
| Station Arrival | Save as 1 for arrival of train at station |
| Distance | Distance of train from station |

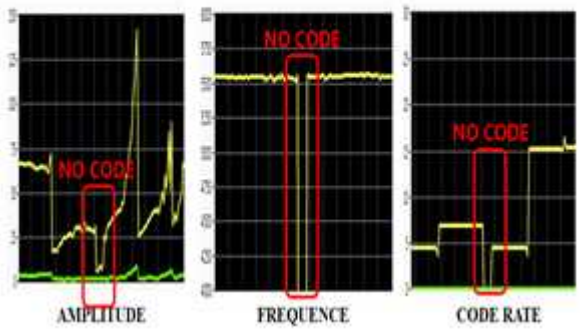
| | Distance | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 청담 | 강남 | 학동 | 논현 | 반포 | 고속 | 내방 | 이수 | 남성 |
| 실제거리 | 1109m | 897m | 995m | 845m | 916m | 2208m | 1041m | 1015m |
| 측정거리 | 1112m | 898m | 999m | 851m | 921m | 2213m | 1052m | 1016m |
| 차이 | 3m | 1m | 4m | 6m | 5m | 5m | 11m | 1m |

**위치정보**

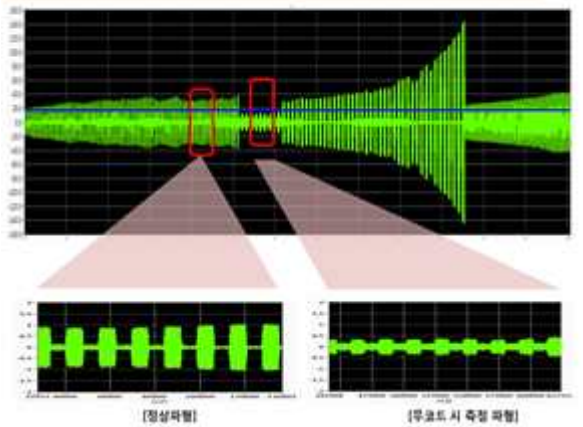



무신호구간 분석

**무코드 발생 구간 분석**




**무코드 발생 구간 분석**

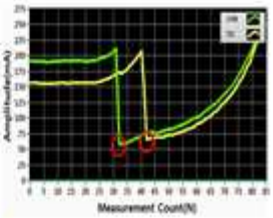


## 저속 및 고속일때의 데이터 취득분석

### 저속

Table 9. Saved Data of CAB & TD at low speed

| Speed [km/h] | CAB Amp[mA] | CAB Freq[Hz] | TD Amp[mA] | TD Freq[Hz] |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 211 | 4561 | 169 | 2824 |
| 9 | 58 | 4568 | 173 | 2825 |
| 12 | 58 | 4571 | 171 | 2824 |
| 12 | 59 | 4566 | 174 | 2823 |
| 12 | 61 | 4565 | 178 | 2824 |
| 15 | 62 | 4560 | 184 | 2825 |
| 15 | 65 | 4568 | 187 | 2824 |
| 15 | 68 | 4564 | 194 | 2824 |
| 18 | 68 | 4575 | 196 | 2823 |
| 18 | 70 | 4559 | 207 | 2824 |
| 18 | 75 | 4563 | 152 | 2825 |
| 21 | 76 | 4566 | 65 | 2328 |
| 21 | 76 | 4567 | 68 | 2326 |




### 고속

Table 10. Saved Data of CAB & TD at high speed

| Speed [km/h] | CAB Amp[mA] | CAB Freq[Hz] | TD Amp[mA] | TD Freq[Hz] |
|---|---|---|---|---|
| 56 | 413 | 4568 | 267 | 2831 |
| 56 | 449 | 4568 | 282 | 2830 |
| 56 | 502 | 4569 | 332 | 2830 |
| 56 | 522 | 4569 | 333 | 2830 |
| 56 | 89 | 4578 | 365 | 2830 |
| 56 | 77 | 4568 | 88 | 2829 |
| 56 | 79 | 4564 | 54 | 2329 |
| 56 | 81 | 4567 | 57 | 2329 |
| 56 | 83 | 4565 | 59 | 2329 |
| 56 | 85 | 4568 | 62 | 2330 |

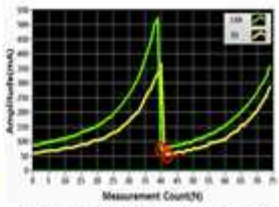
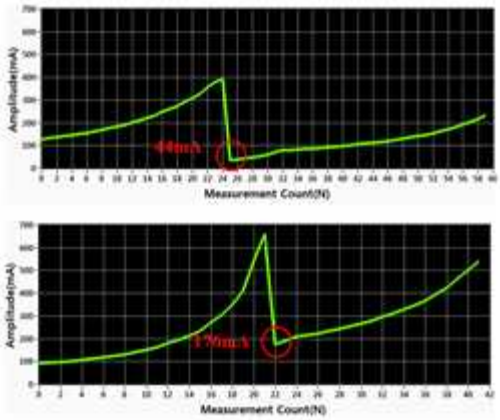


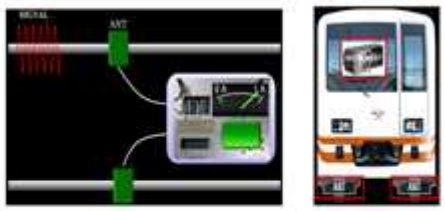

Fig. 9. Variation of CAB and Train direction amplitude at high speed

## 분석데이터 레벨점검 필요개소 및 데이터를 통한 교정 필요개소 비교

### 레벨 조정이 필요한 사례




### 교정




(a) Existing ATC Tester (b) Train-mounted ATC Instrument

Fig. 10. ATC Tester and Instrument

Table 11. Calibration Data of Train-mounted ATC Instrument

| | Calibrated Tester | ATC Instrument | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Before Calibration | Before Calibration | After Calibration |
| FL(435MHz) | 1227mA | 1.87V | 1146 | 1229 mA |
| FR(522.5Hz) | 849mA | 0.89V | 868 | 848 mA |

# 라. 공인기관 환경시험 내역

(1) 공인기관 환경시험 내역

| 구분 | 시험 항목 | 관련 규격 | 시험결과 |
|---|---|---|---|
| 전자파 적합성 (EMI/EMC) | 전도시험 | KS C CISPR 22:2011 | 적합 |
| | 방사 시험 | KS C CISPR 22:2011 | 적합 |
| | 정전기 방전 내구성시험 | KS C IEC 61000-4-2:2010 | 적합 |
| | 전기자기장 내성 시험 | KS C IEC 61000-4-3:2013 | 적합 |
| | 전기적 과도현상 내성시험 | KS C IEC 61000-4-4:2013 | 적합 |
| | 서지 내성시험 | KS C IEC 61000-4-5:2013 | 적합 |
| | 전기자기장 전도 내성 시험 | KS C IEC 61000-4-6:2010 | 적합 |
| | 전원주파수 자계 내성시험 | KS C IEC 61000-4-8:2010 | 적합 |
| | 전압변동 내성시험 | KS C IEC 61000-4-11:2008 | 적합 |
| 방수시험 | 방진보호 및 방수보호 시험 | KS C ICE 60529:2013 | 적합 |
| 온도시험 | 고온 및 저온 시험 | KS R 9156 | 적합 |
| | 온도 사이클 시험 | KS C IEC 60068-2-14 | 적합 |
| | 내한성 시험 | KS C IEC 60068-2-1 | 적합 |
| | 내열성 시험 | KS C IEC 60068-2-2 | 적합 |
| 진동시험 | 공진 및 진동시험 | KS R 9144:2014 | 적합 |
| | 진동 내구시험 | KS R 9144:2014 | 적합 |

(2) 공인기관 환경시험 성적서



시 험 성 적 서

주식회사 케이 이 에스
경기도 안양시 동안구 시민대로365번길 40, 3701 (관양동)
Tel : +82-31-425-6200
Fax : +82-31-424-0450
http://www.kes.co.kr

성적서 번호. : KES-RE-18T0263
페이지 1 of 24

1. 의 뢰 인
○ 기 관 명 : (사)한국철도차량엔지니어링
○ 주 소 : 경기도 수원시 장안구 서부로 2174 (천천동, 한국철도차량엔지니어링)

2. 시험대상품목
○ 제 품 명 : 선로시설검측시스템
○ 모 델 명 : 펜터그래프 충격지점 검측장치 & 아크영상 모니터링 장치, 조명컨트롤러함, 애자번호취득장치, 선로시설검측장치
○ 제 조 자 : 투아이시스㈜

3. 시험기간 : 2018년 09월 05일 ~ 2018년 09월 12일

4. 시험방법 : KS R 9156:2002, KS R 9144:2014, KS C IEC 60068-2-14:2014, KS C IEC 60529:2013

5. 시험결과 : 시험결과요약 참조

6. 시험성적서 용도 : 품질확인용
(공사번호 : CSSM25 서울교통공사 선로시설검측시스템 1식)

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

확인 | 시험자 성명 : 이 병 민 | 승인자 (시험책임자) 성명 : 이 병 일

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

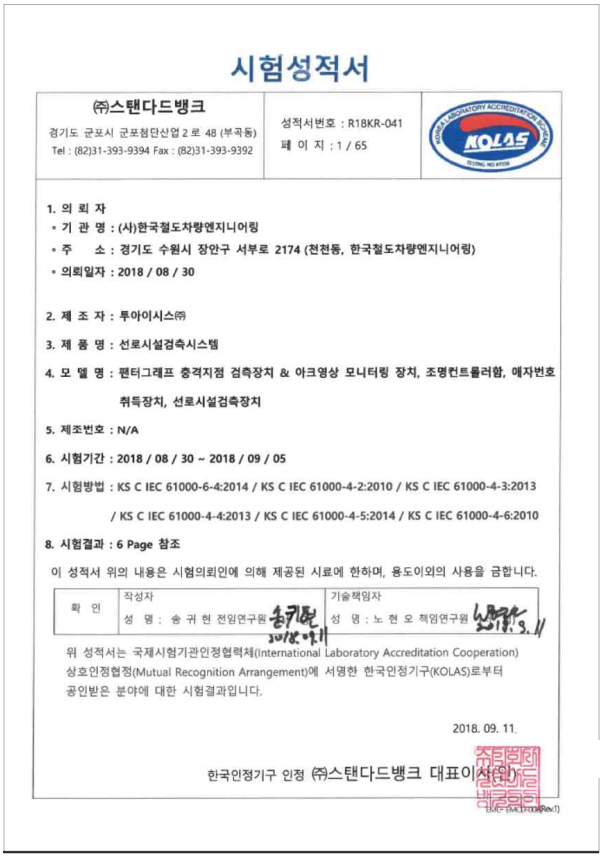
비 고:
이 성적서는 고객이 제공한 시료 및 시료 명에 대한 시험결과이며, 홍보,선전,광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 ㈜케이 이 에스의 승인 없이 복제 및 재발급 금지하며, 원본만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄물 및 스캔본은 결과치 참고용으로 사용 가능합니다.

2018 년 09 월 14 일

한국인정기구 인정 주식회사 케이 이 에스

이 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 부분 전체 및 복사를 할 수 없습니다.
이 시험성적서에 대한 진위여부 확인이 필요한 경우 shchoi@kes.co.kr로 연락 바랍니다.

KES-P-5101-11 Rev. 5 KES A4



시험성적서

㈜스탠다드뱅크
경기도 군포시 군포첨단산업2로 48 (부곡동)
Tel : (82)31-393-9394 Fax : (82)31-393-9392

성적서번호 : R18KR-041
페 이 지 : 1 / 65

1. 의 뢰 자
• 기 관 명 : (사)한국철도차량엔지니어링
• 주 소 : 경기도 수원시 장안구 서부로 2174 (천천동, 한국철도차량엔지니어링)
• 의뢰일자 : 2018 / 08 / 30

2. 제 조 자 : 투아이시스㈜

3. 제 품 명 : 선로시설검측시스템

4. 모 델 명 : 펜터그래프 충격지점 검측장치 & 아크영상 모니터링 장치, 조명컨트롤러함, 애자번호 취득장치, 선로시설검측장치

5. 제조번호 : N/A

6. 시험기간 : 2018 / 08 / 30 ~ 2018 / 09 / 05

7. 시험방법 : KS C IEC 61000-6-4:2014 / KS C IEC 61000-4-2:2010 / KS C IEC 61000-4-3:2013 / KS C IEC 61000-4-4:2013 / KS C IEC 61000-4-5:2014 / KS C IEC 61000-4-6:2010

8. 시험결과 : 6 Page 참조

이 성적서 위의 내용은 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도이외의 사용을 금합니다.

확 인 | 작성자 성 명 : 송 귀 현 전임연구원 | 기술책임자 성 명 : 노 현 오 책임연구원

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

2018. 09. 11.

한국인정기구 인정 ㈜스탠다드뱅크 대표이사

그림 125 공인기관 환경시험 성적서

(3) 온도시험

(가) KS C IEC 60068-2-14

○ -20℃~55℃의 온도변화의 사이클 수는 5주기로 하며, 저온과 고온의 방치시간은 각각 30분으로 진행

(나) KS R 9156 :

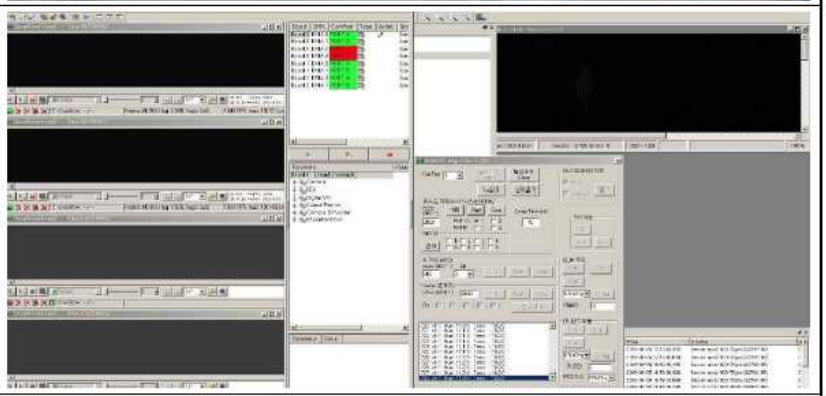
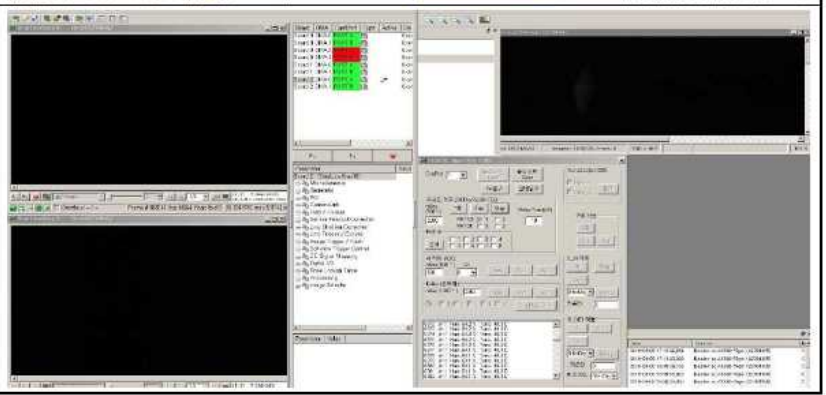
○ 고온시험 55℃로 1시간 유지, 성능 보증온도 40℃로 1시간 유지하여 성능검사 실시

(다) KS C IEC 60068-2-1

○ 내한성 시험으로 -33℃로 방치시간 2시간 유지하여 성능검사 실시

(라) KS C IEC 60068-2-2

○ 내열성 시험으로 55℃로 방시시간 2시간 유지하여 성능검사 실시

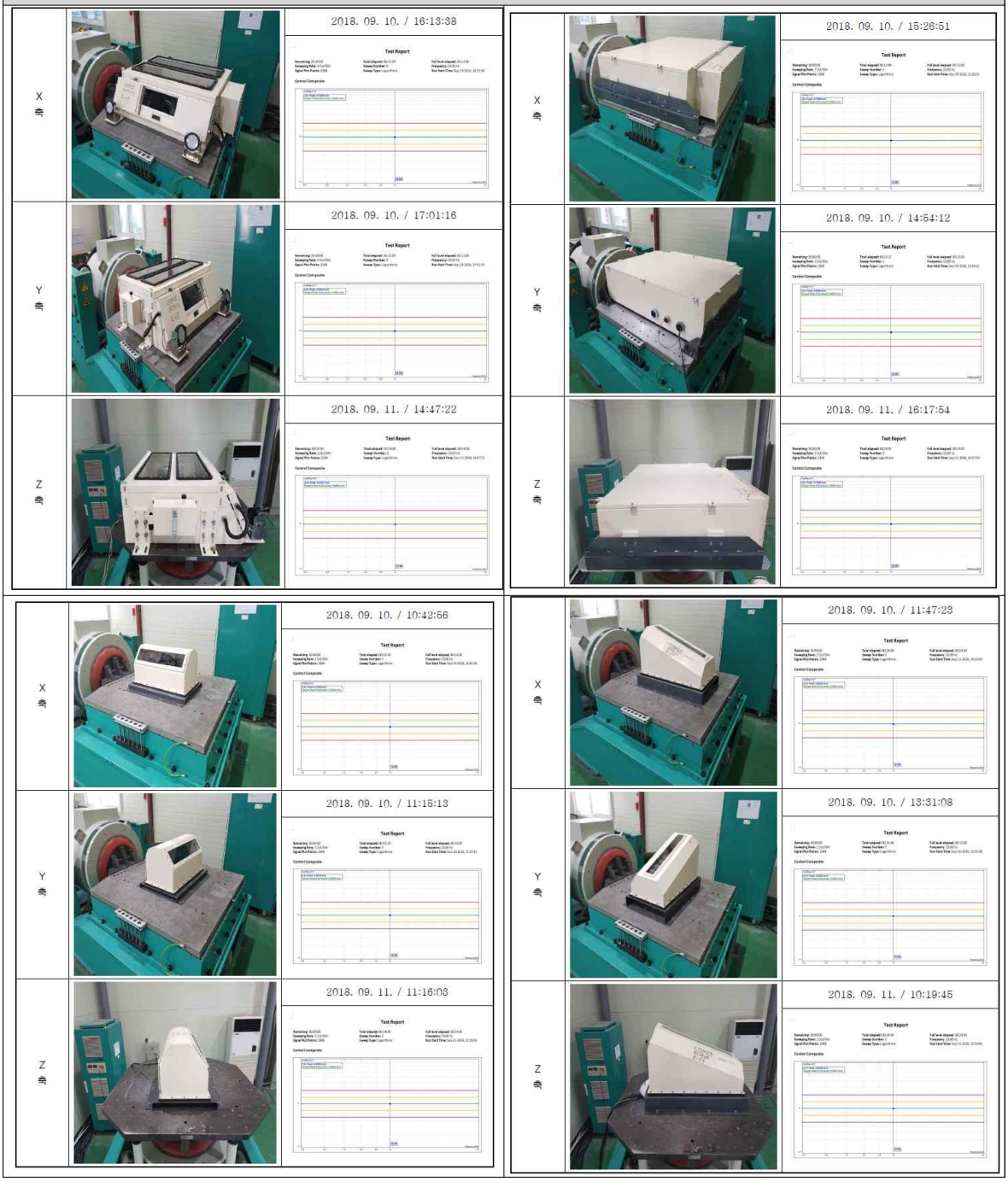
| 온도시험 | |
|---|---|
| 저온 고온 시험 사진 |  |
| 저온 성능 시 정상 동작 사진 |  |
| 고온 성능 시 정상 동작 사진 |  |

(4) 진동시험

(가) KS R 9144:2014 : 진동 내구시험 레벨

| 전후 (12 min) | | | 좌우 (12 min) | | | 상하 (24 min) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 주파수 (Hz) | 온진폭 (mm) | 가속도 온진폭 $m/s^2${G} | 주파수 (Hz) | 온진폭 (mm) | 가속도 온진폭 $m/s^2${G} | 주파수 (Hz) | 온진폭 (mm) | 가속도 온진폭 $m/s^2${G} |
| 10 | 5.0 | 19.6 {2.0} | 10 | 5.0 | 19.6 {2.0} | 10 | 5.0 | 19.6 {2.0} |

진동시험



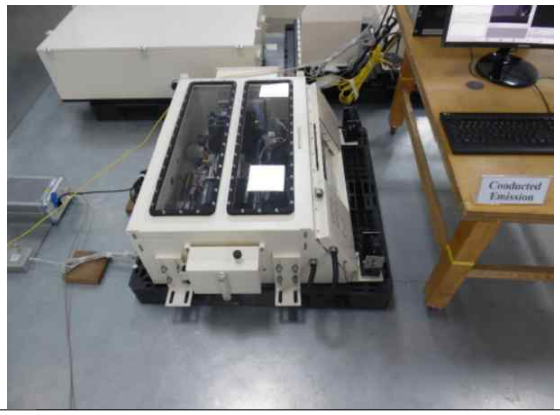
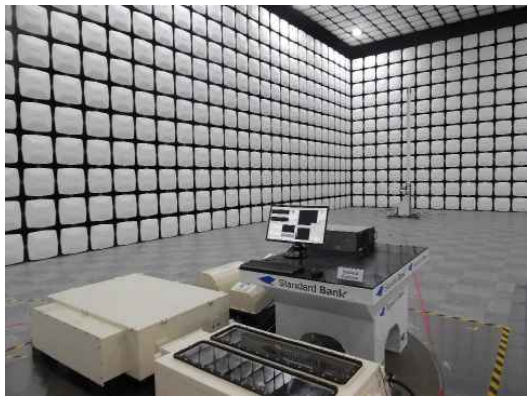
(5) 방수 시험

(가) KS C ICE 60529:2013

○ 외각의 방진 보호 및 방수보호 등급(IPX5)

| 방수 시험 |
| --- |
|  |

(6) 전자파 적합성 시험(EMI/EMC)

<table>
<tr><th colspan="2">진동시험 결과</th></tr>
<tr><td>▪ 전도성 방해 시험<br>  </td><td>▪ 방사성 방해 시험<br>  </td></tr>
<tr><td>▪ 정전기 방전 내성 시험<br>  </td><td>▪ 방사성 RF 전자기장 내성 시험<br>  </td></tr>
<tr><td>▪ 전기적 빠른 과도현상 내성시험<br>  </td><td>▪ 서지 내성 시험<br>  </td></tr>
</table>

# 마. 연구결과

(1) 성과 목표에 대한 자체 평가

| 성과 목표 | 자체 평가 |
|---|---|
| 시제품 설치보완 및 검교정 | ▪ 시제품 설치 검사 및 주요 부품 검사<br>▪ 검측장치 동작시험 (검측장치 개별 작동여부)<br>▪ 검측장치 검교정 및 보완 설치 |
| 현차 설치 및 시운전 | ▪ 영업운전 차량(7호선 754편성) 검측모듈 시험 및 시운전을 위한 제반사항을 지원하였으며, 연구가 원할히 진행 될 수 있도록 유관부서 적극 협조<br>▪ 우리공사 시설물 검측에 대한 요구사항 및 기준 수치가 적용되도록 Calibration 작업을 지속적으로 수행 반영함. |
| 검측장치 통합(종합)시험 | ▪ 시운전 보고서<br>▪ 검측장치 성능시험<br>▪ 검측장치 종합시험<br>▪ 검측장치 성능평가 절차 및 성적서 |
| 강체 전차선로 시설물 변형 검사장치 | ▪ 강체 전차선로 시설물 변형 검사 모듈의 성능 검증을 위해, 7호선 운행선로에 강체전차선 시설물에 변형을 모의한 후, 시설물 변형검사에 대한 성능시험을 실시함.<br>▪ 영업열차를 통한 반복적인 시험과 알고리즘 성능 개선을 통해 당초 목표를 달성하였다고 평가함. |
| 지하부 제형 강체 전차선 마모 검측장치 | ▪ 강체 전차선 마모 검측 모듈에 성능 검증은 정적시험을 통한 강체전차선 마모・높이・편위 검측 정밀도에 대한 성능 검증을 수행하였음.<br>▪ 현차 설치 후, 7호선 운행선로에서 검측장치와 현장 계측장치 간에 정밀도 비교 검증을 완료하여 당초 목표를 달성하였다고 평가함. |
| STEDEF 궤도 시설물 검사장치 | ▪ 궤도 시설물 검사장치는 시운전에서 수집된 궤도 체결구 및 볼트류 인식을 위한 학습을 수행하였음<br>▪ 궤도 체결구 및 침목 등에 시설물 검사에 대한 성능 검증을 위해, 7호선 운행선로에 변형을 모의하였으며, 시설물 변형검사에 성능 시험으로 체결장치 인식률 및 검출률을 평가・검증하여 당초 목표를 달성하였다고 평가함. |
| 궤도분기기 검측장치 | ▪ 궤도 분기기 검측 모듈에 성능 검증은 정적시험을 통한 분기부 레일에 매칭 정밀도에 대한 성능 검증을 수행하였음.<br>▪ 현차 설치 후, 7호선 운행선로에서 검측장치와 현장 계측장치 간에 정밀도 비교 검증을 완료하여 당초 목표를 달성하였다고 평가함. |
| 동적 판토자세 검측 장치 | ▪ 정적시험을 통한 판토 충격 가속도와 판토 기울기에 대한 측정 정밀도에 대한 성능검증을 수행함.<br>▪ 운행 구간에서 반복적인 시운전을 통해 검측데이터에 대한 재현성 및 반복성을 분석하여 검측 정밀도를 검증함으로써, 당초 목표를 달성하였다고 평가함. |
| 지상 ATC용 열차검지신호 및 차상신호 검측장비 기술개발 | ▪ ATC 지상신호 검측모듈의 성능 검증방법을 강구하기 위해 자체 개발한 분석프로그램을 통한 속도코드분석 등 성능시험을 실시함.<br>▪ 영업열차를 통한 ATC신호 데이터 수집과 주파수 및 레벨값 정밀분석, 모니터링시스템을 구현함으로써 검증을 완료하여 당초 목표를 달성하였다고 평가함. |

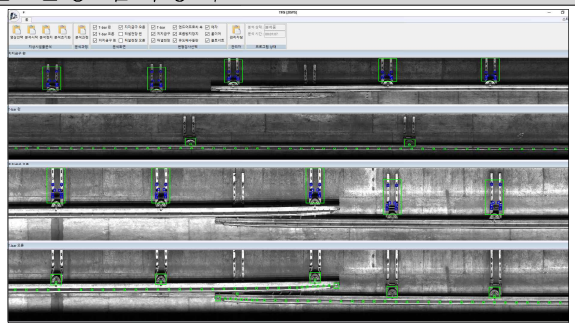
(2) 기술적 성과

(가) 연구 실적물

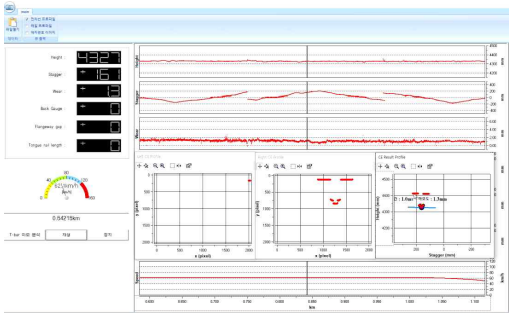
표 170 과제 성과물(검측장치) 설치

| 차량 | 7호선 - 754 편성 전동차 | |
|---|---|---|
| 구분 | 검측장치 설치 전 | 검측장치 설치 후 |
| 전차선 검측 장치 | ▪ 전동차 차탑(지붕) 설치 공간<br>  | ▪ 강체전차선로 시설물 변형검사장치<br>▪ 강체전차선 마모 검측장치<br>▪ 동적판토 자세 검측장치<br>  |
| 궤도 검측 장치 | ▪ 전동차 하부 설치 공간<br>  | ▪ STEDEF 궤도 시설물 검사장치<br>▪ 궤도 분기기 검측장치<br>  |
| 신호 검측 장치 | ▪ 전동차 전방 및 후방 설치 공간<br>  | ▪ ATC 검측장치<br>  |
| 검측 장치 운용 서버 | ▪ 전동차 하부 설치 공간<br>  | ▪ 검측장치 통합서버 및 UPS<br>▪ 검측데이터 저장장치<br>  |

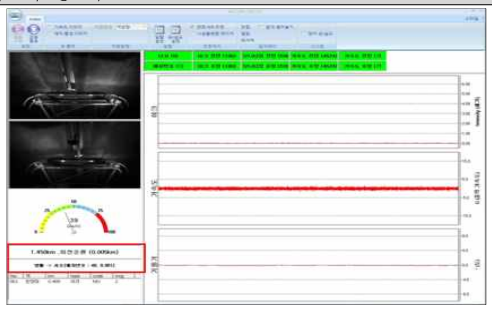
① 강체전차선로 시설물 변형검사 장치

| 강체전차선로 시설물 변형 검사장치 | |
|---|---|
|  |  |
| ▪ 전동차 차탑 좌측/우측 설치<br>▪ 강체전차선로 시설 영상스캔(0.8㎜ 간격)<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- 강체 전차선로 시설 스캔 카메라 : 4대<br>- 집광 라인조명 : 2식 | ▪ 강체 시설물 변형검사 소프트웨어<br>▪ 강체전차선로 시설(T-Bar, 지지금구) 분석<br>- 시설물 인식 : 기계학습(딥러닝)<br>- 시설물 변형분석 알고리즘<br>- 인식률 : 95% 이상( 변형검출 : 85% 이상) |

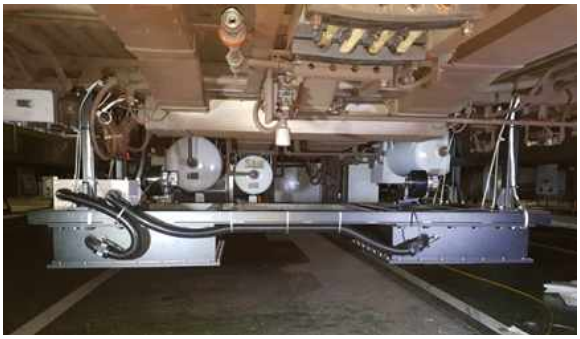
② 강체전차선 마모 검측장치

| 강체전차선 마모 검측장치 | |
|---|---|
|  |  |
| ▪ 전동차 차탑 중앙 설치(1대)<br>▪ 전차선 마모 검측 (50㎜ 간격)<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- 전차선 마모 측정카메라 : 2대 | ▪ 전차선 마모 검측 S/W<br>- 전차선 높이, 편위, 마모 검측<br>- 차량 주행정보 표시(속도, 거리)<br>- 마모정밀도 : ±0.4㎜ |

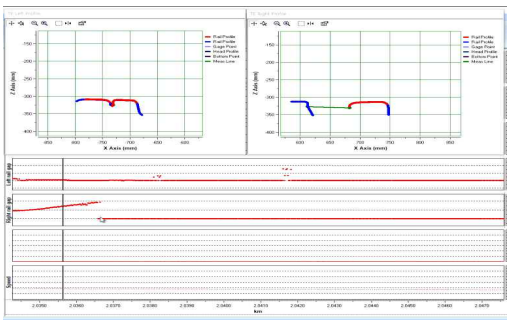
③ 동적판토 자세 검측장치

| 동적 판토 자세 검측장치 | |
|---|---|
|  |  |
| ▪ 전동차 차탑 중앙설치<br>▪ 카메라를 이용한 판토 충격가속도 검측<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- 판토 측정용 카메라 : 2대<br>- 집광 라인조명 : 2식 | ▪ 팬터그래프 충격 검측 소프트웨어<br>- 판토 충격가속도 및 기울기 측정<br>- 차량 주행정보 표시(속도, 거리)<br>- 충격 가속도 측정정밀도 : ±2G<br>- 판토 기울기 : ±1° |

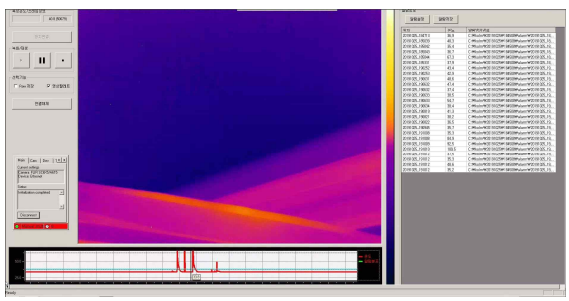
④ STEDEF 궤도 시설물 검사장치

| STEDEF 궤도 시설물 검사장치 | |
|---|---|
|  |  |
| ▪ 전동차 하부 좌측/우측 설치<br>▪ STEDEF 궤도(체결구, 침목) 영상 수집<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- STEDEF 궤도 스캔 카메라 : 2대<br>- STEDEF 촬영용 집광 라인 조명 : 4식 | ▪ STEDEF 시설물 변형검사 소프트웨어<br>▪ 체결구 및 침목 결함 분석<br>- 시설물 인식 : 기계학습(딥러닝)<br>- 시설물 변형분석 알고리즘<br>- 인식률 : 98% 이상 |

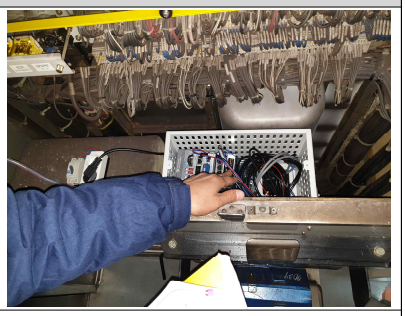
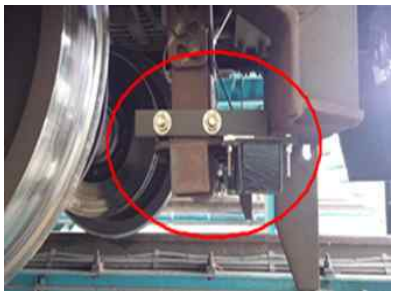
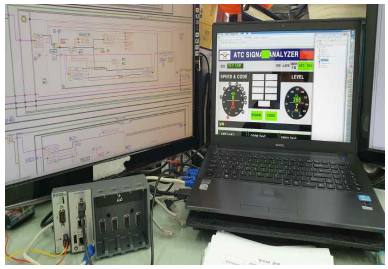
⑤ 궤도 분기기 검측장치

| 궤도 분기기 검측장치 | |
|---|---|
|  |  |
| ▪ 전동차 하부 좌측/우측 설치<br>▪ 검측장치 주요 구성모듈<br>- 분기부 카메라 : 4대<br>- 분기부 촬영용 라인레이저 : 4식 | ▪ 궤도 분기기 검측 소프트웨어<br>▪ 분기부 단면 형상 분석<br>- 플랜지웨이 폭 및 가드레일 측정<br>- 측정 정밀도 : ±2㎜ |

⑥ 지하부 집전설비 발열검지 장치

| 지하부 집전설비 발열검지 장치 | |
|---|---|
|  |  |
| ▪ 열화상 카메라 : 1대 | ▪ 판토 및 집전설비 이상온도 검측 |

⑦ ATC 검측장치

| ATC 검측장치 | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 본체부설치(기관사실) | 본체부 | 본체부내 부속품설치 |
|  |  |  |
| 안테나(좌,우측 1식) | 안테나 | 신호분석 알고리즘 |

⑧ 검측장치 통합서버 및 UPS

| 검측장치 통합서버 및 UPS | |
|---|---|
|  |  |
| ▪ 검측 데이터 수집 분석 장치 : 1식<br>▪ 위치정보 인터페이스 : 1식<br>▪ USP : 2대 | ▪ 차량 하부 설치<br>▪ 검측장치 제어 및 운용<br>▪ 검측데이터 수집 및 측정 |

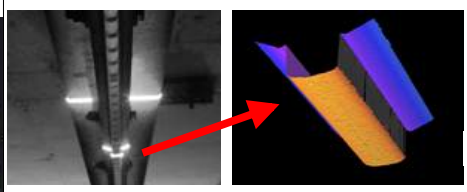
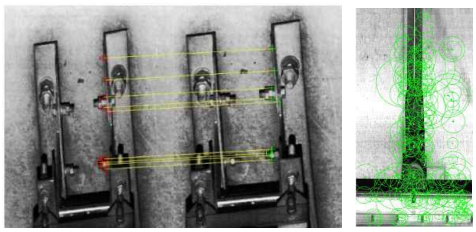
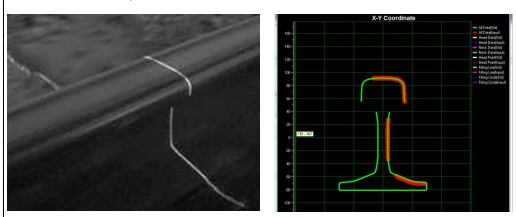
⑨ 위치정보 인식장치

| 위치정보 인식장치 | |
|---|---|
| ▪ 타코메타 설치 | ▪ 검측차 주행정보(속도, 거리) 측정 |
|  |  |

(나) 연구개발 결과의 우수성과 차별성

○ 기존 기술의 경우, 강체 전차선로 및 궤도설비에 대한 모니터링 동영상에서 사용자 육안 검사를 통해 시설물에 변형을 판단.
○ 본 과제는 도시철도 선로(터널) 시설물에 대한 변형검사를 위한 영상처리 및 기계학습과 3D 형상검측을 위한 머신비전 기술을 적용하여 시설물의 결함을 자동으로 진단함.

표 180 기존 기술과에 차별성

| 구분 | 기존 기술(국내) | 본 과제 |
|---|---|---|
| 검사방식 | • 시설물 동영상 촬영<br>• 시설물 모니터링 화면 육안검사 | • 시설물 형상 검측(Measurement)<br>• 시설물 표면검사(Surface Inspection) |
| 특징 | • 검측차량에 설치된 모니터링 카메라로 전차선,터널,궤도 시설물 동영상 촬영<br>• 사무소에서 시설물 동영상 재생을 통해 사용자가 육안으로 검사 수행<br>• 육안검사 과정에서 발견된 알람 시설물 정보를 레포트 저장 | • 영업열차를 이용하여 터널 설비(강체 전차선로, 터널시설, 궤도, 신호)를 검측<br>• 검측데이터 분석결과를 바탕으로 야간에 포인트 정비등 집중적 보수 수행<br>• 시설물 검측결과를 정량적 평가하고 수치화하여 제공 |
| 차별성 | • 강체전차선로 모니터링 동영상<br>- 모니터링 화면 육안검사<br>  <br>• 터널 벽면 모니터링 동영상<br>- 모니터링 화면 육안검사<br>  <br>• 궤도 모니터링 동영상<br>  | • 강체전차선 마모 형상 검측 기술<br>- 3D 카메라 및 레이저 적용<br>- 마모정밀도 : ±0.4㎜<br>  <br>• 강체전차선 및 시설물 변형 자동 검사<br>- 라인 카메라를 이용한 시설물 스캔<br>- 딥러닝 및 변형분석 영상처리 적용<br>- 시설물 볼트 및 애자 인식률 : 90%<br>  <br>• 궤도분기기 단면 형상 검측<br>- 3D 카메라 및 레인레이저 적용<br>- 크로싱, 플랜지웨이 정밀도 : ±2㎜<br>  |

| 구분 | 기존 기술(국내) | 본 과제 |
|---|---|---|
| | | • STEDEF 궤도시설 변형 자동 검사<br>- 라인 카메라를 이용한 시설물 스캔<br>- 딥러닝 및 변형분석 영상처리 적용<br>- 체결구 및 침목 인식: 98%<br>  |

# 바. 전시 및 홍보

(1) Asia Pacific Rail 2019 홍콩 전시회 참가

○ 기간: 2019년 3월 19일 ~ 20일
○ 장소: 홍콩
○ 전시 내용
- 선로시설 검측시스템
- “ASA(Autonomous Scanning Analysis system for Tunnel Facility)”
- 영업운행 차량에 설치하여 시설물의 결함 상태를 자동 검사 및 분석하는 시스템
- “ASA”는 머신 비전 및 ICT 기술이 접목되어 운영되는 시스템으로 터널 시설물을 스캔하여 결함 상태를 분석

○ 홍보 브로셔 및 검측시스템 동영상 전시









(2) 홍콩 EMSD & MTR 社』서울교통공사 방문 (검측시스템 홍보)

○ 일 시 : 2019.08.05.(월) 08:30 ~ 16:00
○ 장 소 : 서울교통공사 인재개발원 기술본부 회의실(5F) 및 운용실(6F)

① ASA(선로시설 검측시스템) 발표 (13:30 ~ 14:00)



② ASA 운용실 현황 소개 (14:00 ~ 14:30)




③ 비즈니스 미팅 (14:30 ~ 16:00)



# 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

## 가. 기관별 성과목표 및 목표달성도

(1) 주간기관(투아이시스)

| 구분 | 핵심성과 (level1) | | 단위성과 (level2) | | 질적 성과목표 | | | | 양적 성과목표 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 성과지표 | | 목표치 | 달성율(%) | 목표치/실적치 | 달성율(%) |
| 주관 | A | 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 | A-1 | 지하부 강체 전차선로 변형 검사모듈 | ① | 시스템 설계 | 1건 | 100% | 특허출원 : 2건/2건<br>개발품 : 5건/5건<br>S/W : 5건/5건 | 100% |
| | | | | | ② | 시제품 제작 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ③ | 현차설치 및 시운전 | 1건 | 100% | | |
| | | | A-2 | 지하부 제형 강체 전차선 마모 검측모듈 | ① | 시스템 설계 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ② | 시제품 제작 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ③ | 현차설치 및 시운전 | 1건 | 100% | | |
| | | | A-3 | STEDEF 궤도 시설물 검사모듈 | ① | 시스템 설계 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ② | 시제품 제작 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ③ | 현차설치 및 시운전 | 1건 | 100% | | |
| | | | A-4 | 궤도 분기기 검측모듈 | ① | 시스템 설계 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ② | 시제품 제작 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ③ | 현차설치 및 시운전 | 1건 | 100% | | |
| | | | A-5 | 동적 판토자세 검측모듈 | ① | 시스템 설계 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ② | 시제품 제작 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ③ | 현차설치 및 시운전 | 1건 | 100% | | |
| 계 | | | | | | | | | 특허출원 : 2건/2건<br>개발품 : 5건/5건<br>S/W : 5건/5건 | 100% |

(2) 공동기관(서울교통공사)

| 구분 | 핵심성과 (level1) | | 단위성과 (level2) | | 질적 성과목표 | | | | 양적 성과목표 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 성과지표 | | 목표치 | 달성율 (%) | 목표치/실적치 | 달성율 (%) |
| 공동 | B | ATC 지상 신호 검측 | B-1 | 지상 ATC용 열차검지신호 및 차상신호 검지장치 기술개발 | ① | 시스템설계 | 1건 | 100% | 특허출원 : 1건/1건<br>논문게재 : 1건/1건<br>개발품 : 1건/1건<br>S/W : 1건/1건 | 100% |
| | | | | | ② | 시제품제작 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ③ | 현장설치 및 신호 검측 | 1건 | 100% | | |
| 계 | | | | | | | | | 특허출원 : 1건/1건<br>논문게재 : 1건/1건<br>개발품 : 1건/1건<br>S/W : 1건/1건 | 100% |

(3) 공동기관(에스엠 인스트루먼트)

| 구분 | 핵심성과 (level1) | | 단위성과 (level2) | | 질적 성과목표 | | | | 양적 성과목표 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 성과지표 | | 목표치 | 달성율 (%) | 목표치/실적치 | 달성율 (%) |
| 공동 | C | 도시철도 집전장치 발열검지 분석기술 | C-1 | 지하부 집전설비 발열 검지 알고리즘 | ① | 검지 알고리즘 설계 | 1건 | 100% | S/W : 1건/1건 | 100% |
| | | | | | ② | 분석 S/W 개발 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ③ | 시운전 및 평가 | 1건 | 100% | | |
| 계 | | | | | | | | | S/W : 1건/1건 | 100% |

(4) 위탁기관(중앙대학교)

| 구분 | 핵심성과 (level1) | | 단위성과 (level2) | | 질적 성과목표 | | | | 양적 성과목표 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 성과지표 | | 목표치 | 달성율 (%) | 목표치/실적치 | 달성율 (%) |
| 공동 | D | 도시철도 강체설비 분석 | D-1 | 강체설비 검사 알고리즘 | ① | 변형검사 알고리즘 설계 | 1건 | 100% | 특허출원 : 2건/2건<br>논문게재 : 3건/3건<br>S/W : 1건/1건 | 100% |
| | | | | | ② | 실시간 변형검사 S/W 엔진개발 | 1건 | 100% | | |
| | | | | | ③ | 시운전 및 평가 | 1건 | 100% | | |
| 계 | | | | | | | | | 특허출원 : 2건/2건<br>논문게재 : 3건/3건<br>S/W : 1건/1건 | 100% |

# 나. 연차별 성과목표 및 목표달성도

(1) 1차년도

| 세부 과제명 | 세부 연구 목표 | 연구개발 수행 내용 | 연구 결과 | 목표 달성도 |
|---|---|---|---|---|
| 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 (주관-투아이시스) | 도시철도 운영기관 요구사항 | ■ 시스템 요구사양 적합성 검토<br>■ 시스템 사양 확정 | 사양서 | 100 |
| | 영업차량선정 및 관련법규검토 | ■ 검측모듈 설치 차량 선정<br>■ 철도안전관리(철도안전법) 검토 | 검토서 | 100 |
| | 지하부 강체 전차선로 변형검사 - 상세설계서 | ■ 터널시설물 세부 검사대상<br>■ H/W 단위 구성 설계 | 설계서 | 100 |
| | 지하부 제형 전차선 마모검측 - 상세설계서 | ■ 제형 전차선 검측대상 확정<br>■ H/W 단위 구성 설계<br>■ T-Bar 전차선 시료 설계 | 설계서 | 100 |
| | STEDEF 궤도 시설물 검사 - 상세설계서 | ■ 궤도검사대상 정의<br>■ 검사장치 구성설계 | 설계서 | 100 |
| | 궤도 분기기 검측 - 상세설계서 | ■ 궤도분기기 검측대상<br>■ H/W 단위 구성 설계 | 설계서 | 100 |
| | 동적 판토자세 검측 - 상세설계서 | ■ 장치 사양 확정 및 상세설계<br>■ H/W 단위 구성 설계 | 설계서 | 100 |
| ATC 지상신호 검측 기술개발 (공동-서울교통공사) | 지상 ATC용 열차검지신호 검측 - 상세설계서 | ■ 장치 사양서<br>■ 상세설계서 및 도면 설계 | 설계서 | 100 |
| 도시철도 집전장치 발열검지 분석기술 개발 (공동-에스엠 인스투루먼트) | 집전설비 발열검지 알고리즘 - 열상검사 알고리즘 설계 | ■ 열상검사 알고리즘 설계<br>- 습판체 인식 및 팬터자세(Roll) | 설계서 | 100 |
| 도시철도 강체설비 분석 기술개발 (위탁-중앙대학교) | 강체설비 검사 알고리즘 개발 - 변형분석 알고리즘 설계 | ■ 변형검사 알고리즘 설계<br>-기계 학습 및 패턴인식 설계 | 설계서 | 100 |

(2) 2차년도

| 세부 과제명 | 세부 연구 목표 | 연구개발 수행 내용 | 연구 결과 | 달성도 |
|---|---|---|---|---|
| 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 (주관-투아이시스) | 지하부 강체전차선로 변형검사<br>-시제품 제작 및 단위시험<br>-설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 강체전차선로 검사 장치 제작<br>■ 검측장치별 단위 성능시험<br>■ 동적시험을 위한 시험절차서 | 시제품 제작 단위시험 성적서 | 100 |
| | 지하부 제형전차선 마모검측<br>-시제품 제작 및 단위시험<br>-설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 마모 검측장치 제작<br>■ 소프트웨어 설계 및 구현<br>■ 단위 성능시험(정밀도) | 시제품 제작 단위시험 성적서 | 100 |
| | STEDEF 궤도 시설물 검사<br>-시제품 제작 및 단위시험<br>-설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 궤도 시설물 검사장치 제작<br>■ 소프트웨어 설계 및 구현<br>■ 테스트베드 또는 현장시험 | 시제품 제작 단위시험 성적서 | 100 |
| | 궤도 분기기 검측<br>-시제품 제작 및 단위시험<br>-설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 궤도분기기 검측장치 제작<br>■ 소프트웨어 설계 및 구현<br>■ 테스트베드 또는 현장시험 | 시제품 제작 단위시험 성적서 | 100 |
| | 동적 판토자세 검측<br>-시제품 제작 및 단위시험<br>-설치 및 시운전 방안 수립 | ■ 판토자세 검측장치 제작<br>■ 소프트웨어 설계 및 구현<br>■ 가진기 시험(가속도, 정밀도) | 시제품 제작 단위시험 성적서 | 100 |
| ATC 지상신호 검측 기술개발 (공동-서울교통공사) | 지상 ATC용 열차검지신호 검측<br>- 시제품 제작 및 단위시험<br>- 시험 및 시운전 방안 수립 | ■ 장치별 제작도면 및 장치제작<br>■ 시스템 소프트웨어 설계및구현<br>■ 검측장치별 단위 성능시험 | 시제품 제작 단위시험 성적서 | 100 |
| 도시철도 집전장치 발열검지 분석기술 개발 (공동-에스엠 인스투루먼트) | 지하부 집전설비 발열검지 알고리즘<br>- 열상검사 알고리즘 구현 | ■ 열화상 분석(습판체, 절연설비)<br>■ 검지 알고리즘 선정 및 평가 | S/W 개발 기능시험 성적서 | 100 |
| 도시철도 강체설비 분석 기술개발 (위탁-중앙대학교) | 강체설비 검사 알고리즘 개발<br>- 변형분석 알고리즘 구현 | ■ 강체설비 영상 트레이닝<br>■ 검사 알고리즘 선정 및 평가 | S/W 개발 기능시험 성적서 | |

(3) 3차년도

| 세부 과제명 | 세부 연구 목표 | 연구개발 수행 내용 | 연구 결과 | 달성도 |
|---|---|---|---|---|
| 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 (주관-투아이시스) | 지하부 강체 전차선로 변형 검사<br>- 시제품 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증 | 현차시험 및 성적서 | 100 |
| | 지하부 제형전차선 마모 검측<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 높이,편위,마모 정밀도 | 현차시험 및 성적서 | 100 |
| | STEDEF 궤도 시설물 검사<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 볼트,체결구 변형모의 및 결함인식률 산정 | 현차시험 및 성적서 | 100 |
| | 궤도 분기기 검측<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 분기기 검측 정밀도 | 현차시험 및 성적서 | 100 |
| | 동적 판토자세 검측<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>■ 검측장치 운용 매뉴얼 작성 | 현차시험 및 성적서 | 100 |
| ATC 지상신호 검측 기술개발 (공동-서울교통공사) | 지상 ATC용 열차검지신호 검측<br>- 시제품 현차 설치 및 시운전<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증 | 보고서 1식 | 100 |
| | 도시철도 선로(터널)시설물 자율점검 분석시스템<br>- 현차시험 및 시운전 지원 | ■ 동적시험을 위한 시운전 방안수립<br>■ 성능평가및현장 적용성 평가 수행 | 보고서 1식 | 100 |
| | 구매 규격 확립 | ■ 구매 규격 검토 및 확정 (구매 규격서) | 규격서 | 100 |
| 도시철도 집전장치 발열검지 분석기술 개발 (공동-에스엠 인스투루먼트) | 지하부 집전설비 발열검지 알고리즘<br>- 시운전 및 알고리즘 검증<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 습판체 온도측정 및 알람 검출<br>- 집전설비 온도측정 및 알람 검출 | 현차시험 및 성적서 | 100 |
| 도시철도 강체설비 분석 기술개발 (위탁-중앙대학교) | 강체설비 검사 알고리즘<br>- 시운전 및 알고리즘 검증<br>- 성능 및 신뢰성 검증 | ■ 시험결과 분석 및 보완<br>■ 검측시스템 시운전 검증<br>- 시설물 변형 인식률(%) 평가 | 현차시험 및 성적서 | 100 |

(4) 단위 평가항목 및 달성도

| 핵심성과 (level1) | | 단위성과 (level2) | | 평가항목 (주요성능) | | 단위 | 개발 목표치 및 달성도 | | | | | | 평가 방법 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1차년도 (2017년도) | | 2차년도 (2019년도) | | 3차년도 (2019년도) | | |
| | | | | | | | 개발목표 | 달성도 | 개발목표 | 달성도 | 개발목표 | 달성도 | |
| A | 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 (전기분야) | A-1 | 지하부 강체 전차선로 변형 검사모듈 | ① | 시설물 스캔간격 | ㎜ | 설계서 | 100% | 0.8 | 100% | 0.8 미만 | 100% | 현차시험 |
| | | | | ② | 시설물 영상 분해능 | ㎜ | | | 0.8 | 100% | 0.8 미만 | 100% | |
| | | A-2 | 지하부 제형 강체 전차선 마모 검측모듈 | ① | 마모 검측 정밀도 | ㎜ | 설계서 | 100% | ±0.6 | 100% | ±0.4 | 100% | 현차시험 |
| | | | | ② | 높이 검측 정밀도 | ㎜ | | | ±5 | 100% | ±5 | 100% | |
| | | | | ③ | 편위 검측 정밀도 | ㎜ | | | ±5 | 100% | ±5 | 100% | |
| | 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 (토목/궤도분야) | A-3 | STEDEF 궤도 시설물 검사모듈 | ① | 체결구 변형 (클립/나사/패드) 검출률 | % | 설계서 | 100% | 80 | 100% | 85% | 100% | 현차시험 |
| | | | | ② | 침목 변형 (균열 및 파손) 검출률 | ㎜ | | | 균열(폭1㎜이상) 파손(400㎟이상) | 100% | 균열(폭1㎜이상) 파손(300㎟이상) | 100% | |
| | | A-4 | 궤도 분기기 검측모듈 | ① | 분기기 검측간격 | ㎜ | 설계서 | 100% | 70 (검측속도:400Hz) | 100% | 50 (검측속도:550Hz) | 100% | 현차시험 |
| | | | | ② | 크로싱 백게이지 검측 정밀도 | ㎜ | | | ±3 | 100% | ±2 | 100% | |
| | | | | ③ | 플랜지웨이 폭 간격 검측 정밀도 | ㎜ | | | ±3 | 100% | ±2 | 100% | |
| | | | | ④ | 텅레일 밀착간격 검측 정밀도 | ㎜ | | | ±3 | 100% | ±2 | 100% | |
| | 도시철도 차상 시설물 검측모듈 기술개발 (차량분야) | A-5 | 동적 판토자세 검측모듈 | ① | 판토그래프 충격가속도 검측 정밀도 | g | 설계서 | 100% | ±3g 이내 | 100% | ±2g 이내 | 100% | 현차시험 |
| B | ATC 지상 신호 검측 | B-1 | 지상 ATC용 열차검지신호 및 차상신호 검지장치 기술개발 | ① | 전류/전압레벨 검지 | % | 설계서 | 100% | 기준치 ± 15% 이내 | 100% | 기준치 ± 10% 이내 | 100% | 현차시험 |
| | | | | ② | 열차검지용 주파수 | % | | | 중심주파수 ± 4% 이내 | 100% | 중심주파수 ± 2% 이내 | 100% | |
| | | | | ③ | 차상반송 주파수 | % | | | 중심주파수 ± 4% 이내 | 100% | 중심주파수 ± 2% 이내 | 100% | |
| | | | | ④ | CodeRate 주파수 | % | | | 중심주파수 ± 4% 이내 | 100% | 중심주파수 ± 2% 이내 | 100% | |
| | | | | ⑤ | 무신호 및 순간무신호 검지 | % | | | 최소전압 이하 3초 유지 시 | 100% | 최소전압 이하 1.67초 유지 시 | 100% | |
| C | 도시철도 강체설비 분석 | C-1 | 강체설비 검사 알고리즘 | ① | 변형 검출률 | % | 설계서 | 100% | 70% | 100% | 85% | 100% | 현차시험 |
| D | 도시철도 집전장치 발열검지 분석기술 | D-1 | 지하부 집전설비 발열 검지 알고리즘 | ① | 열화상 검측 정밀도 | ℃ | 설계서 | 100% | ±3℃ 이내 | 100% | ±2℃ 이내 | 100% | 현차시험 |

# 다. 정량적 연구성과 목표 및 달성도

| 구분 | | | 목표 | 수행 | 달성도(%) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 국외 논문 게재 | SCI | | 1건 | 2건 | 150% | |
| | 비SCI | | | | | |
| | 계 | | 2건 | 2건 | 100% | |
| 국내 논문 게재 | SCI | | 2건 | 2건 | 100% | |
| | 비SCI | | 2건 | 2건 | 100% | |
| | 계 | | 1건 | 1건 | 100% | |
| 특허 출원 | 국내 | | 5건 | 5건 | 100% | |
| | 국외 | | | | | |
| | 계 | | 5건 | 5건 | 100% | |
| 특허 등록 | 국내 | | | | | |
| | 국외 | | | | | |
| | 계 | | | | | |
| 인력 양성 | 석사 | | | | | |
| | 박사 | | | | | |
| | 계 | | | | | |
| 기술 이전 | 계약 건수 | | | | | |
| | 계약액 | | | | | |
| | 징수액 | | | | | |
| 국제 표준화 | 기고서 제출 | | | | | |
| | 기고서 채택 | | | | | |
| | 표준안 채택 | | | | | |
| 국내 표준화 | 기고서 제출 | | | | | |
| | 기고서 채택 | | | | | |
| | 표준안 채택 | | | | | |
| 등록·기탁 대상 성과물 | 보고서 원문 | | | | | |
| | 연구시설 · 장비 | | | | | |
| | 기술요약정보 | | | | | |
| | 생명자원 | 생명정보 | | | | |
| | | 생물자원 | | | | |
| | | 신품종 | | | | |
| | 소프트웨어 | | 9건 | 9건 | 100% | |
| | 화학물 | | | | | |
| 기타 | 시제품 | | 7건 | 7건 | 100% | |
| | 성과 홍보 | | | 1건 | 추가달성 | Asia Pacific Rail 2019 홍콩 전시회 |
| | 사업화(경제적성과) | | | 2건 | 추가달성 | 대만 철도운영기관(TRA) 교통공사(2호선) |
| | 일자리 창출 | | | 2건 | | 정규직채용 |

# 라. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

(1) 사업화 2건 / 특허출원 5건 / 논문게재 4건 / S/W 등록 9건

| 번호 | 구분 | 논문명/특허명/기타 | 소속 기관명 | 역할 | 논문 게재지/ 특허 등록 국가 | 논문 게재일 /특허 등록일 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 사업화 | 종합 검측시스템 | 투아이시스 | 계약 (140억) | 대만 국영철도 (TRA社) | 2019.12. |
| 2 | | 선로시설 검측시스템 | 투아이시스 | 납품 | 서울교통공사 (2호선) | 2018.10 |
| 3 | 특허 출원 | 전차선로 지하시설물 검측시스템 | 투아이시스 | 기술 개발 | 대한민국 | 2018.09 |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | 도시철도 전차선로 마모 및 결함 검측시스템 | 투아이시스 | 기술 개발 | 대한민국 | 2018.11 |
| 6 | | 시설물 결함 검측 방법 및 그 장치 | 투아이시스 중앙대학교 | 기술 개발 | 대한민국 | 2018.12 |
| 7 | | 딥러닝을 이용한 시설물 결함 검측 장치 및 그 방법 | 투아이시스 중앙대학교 | 기술 개발 | 대한민국 | 2019.12 |
| 8 | | ATC 지상신호 자율점검 시스템 및 방법 | 서울교통공사 | 기술 개발 | 대한민국 | 2018.09 |
| 9 | 논문 게제 | Illuminant-invariant stereo matching using cost volume and confidence-based disparity refinement | 중앙대학교 | 주저자 | **(SCI)** Journal of the Optical Society of America A | 2019.09. |
| 10 | | Intelligent Image-Based Railway Inspection System Using Deep Learning-Based Object Detection and Weber Contrast-Based Image Comparison | 중앙대학교 투아이시스 | 주저자 | **(SCI)** Sensors | 2019.10. |
| 11 | | 전동차 탑재형 ATC(Automatic Train Control) 측정기 측정데이터 분석 | 서울교통공사 | 주저자 | 한국철도학회 | 2019.10. |
| | | Vision-Based Railway Inspection System Using Multiple Object Detection and Image Registration | 중앙대학교 투아이시스 | 주저자 | IEIE (대한전자공학회) | 2018.12 |
| 12 | S/W 등록 | STEDEF 궤도 시설물 검사 SW | 투아이시스 | S/W 개발 | 한국저작권 위원회 | 2019.10. |
| 13 | | 도시철도 집전장치 발열검지 SW | 투아이시스 | S/W 개발 | 한국저작권 위원회 | 2019.10. |
| 14 | | 강체선로 판토자세 검측 SW | 투아이시스 | S/W 개발 | 한국저작권 위원회 | 2019.10. |
| 15 | | 선로시설 영상검측 SW | 투아이시스 | S/W 개발 | 한국저작권 위원회 | 2019.10. |
| 16 | | 강체 전차선 마모 검측 SW | 투아이시스 | S/W 개발 | 한국저작권 위원회 | 2019.10. |
| 17 | | 궤도 분기기 검측 SW | 투아이시스 | S/W 개발 | 한국저작권 위원회 | 2019.10. |
| 18 | | 도시철도 강체설비 검사 기술 | 중앙대학교 | S/W 개발 | 한국저작권 위원회 | 2019.11 |
| 19 | | 지상신호 검측 프로그램 | 서울교통공사 | S/W 개발 | 한국저작권 위원회 | 2019.101 |
| 20 | | 전차선로 시설 이상온도 검출 S/W | 에스엠 인스트루먼트 | S/W 개발 | 한국저작권 위원회 | 2019.10. |

# 마. 경제적 성과

(1) 해외 매출 (사업화)

**○ 대만 국영철도(TRA社)- 종합검측 시스템 수주・계약 (140억)**

○ 본 연구에서 수행한 도시철도 시설물 상태 검측을 위한 머신비전과 3D 검측, 영상처리 기술에 대한 해외(대만, 홍콩) 마켓 시장 확보.

**交通部臺灣鐵路管理局**
**招標、投標及簽約三用表格(2-2)**

**投標** (本欄由投標廠商填寫並簽署)

投標日期: 108 年 11 月 21 日

依照本案招標文件及其增修文件，投標廠商確認若本標(其他事項詳如附件)在報價有效期限內經本局同意接受，將就被接受之項目，依規定履行契約責任。

投標廠商名稱: 2iSYS Co., Ltd.

投標廠商統一編號: 123-81-87008

投標廠商地址: A-1501, GUNPO IT VALLEY, 17, Gosan-ro 148 beon-gil, Gunpo-City, Gyeonggi-Do, Republic of Korea

投標廠商負責人: 朴鍾國 Park Jong-Gook

台灣分公司
聯絡人: 江隆正
台灣分公司電話: 0932-155-532
台灣分公司地址: 新北市瑞芳區吉慶里瑞竹路7之5號五樓

電話: +82-31-360-7480 傳真: +82-31-629-7480 性騷擾防治申訴電話:

投標廠商簽章: 2iSYS Co., Ltd. 朴鍾國 Park Jong-Gook
投標廠商公司章及負責人章或有權簽署人簽名

如由有權簽署人簽名，請以正楷或打字填列其姓名及職稱

**簽約** (本欄由交通部臺灣鐵路管理局填寫並簽署後即完成簽約手續，不必再經得標廠商簽章)

科員陳紀全

簽約日期: 108 年 12 月 24 日

決標標的: 電車線高速檢查車2輛

(本案決標日期 108 年 12 月 19 日)

履約期限: 簽約日之次日起40天內，依本案規範提供各項文件送本局審核，自本局審查合格通知次日起第1批1輛於18個月內一次交車，第2批1輛於26個月內一次交車(詳本案備註條款)。

契約金額:

| | 拾億 | 億 | 仟萬 | 佰萬 | 拾萬 | 萬 | 仟 | 佰 | 拾 | 元 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 新台幣 | 零 | 零 | 零 | 零 | 零 | 零 | 零 | 零 | 零 | 零 | 整 |

註：投標文件所載總標價之文字與號碼不符時，以文字為準。如以文字為數次表示之總標價不一致時，以最低額為準。

交通部臺灣鐵路管理局
代表人：局長張政源

(2) 국내 매출

○ 서울교통공사(2호선) - 선로시설 검측시스템 납품

## 물품납품(판매) 실적증명서

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 계약명 | 선로시설 검측시스템 제작구매 설치(시운전기간 별도) | | | | | | |
| 신청인 | 업체명(상호) | 투아이시스주식회사 | | 대표자 | 박종국 | | |
| | 영업소재지 | 경기도 군포시 금정동 1-40 한림휴먼타워 902호 | | 전화번호 | 031-479-0715 | | |
| | 사업자번호 | 1238187008 | | 등록번호 | | | |
| | 증명서 용도 | 입찰참가용 | | 제출처 | Taiwan Railways Administration | | |
| | 사업의 종류 | 제조 | | | | | |
| | 공급자실적일 경우 | 제조업체명 : 투아이시스(주)<br>주소 : 경기도 군포시 고산로148번길17 군포IT밸리 A동 1501호 | | | ( 전화번호 : 031-360-7480)<br>( FAX번호 : 031-629-7480 ) | | |
| 계약 및 납품 내용 | 품명 | 선로시설 검측시스템 | | 실적구분 | 계약목적물과 동등이상물품 | | |
| | 규격 (품질, 성능 등) | | | | | | |
| | 계약번호 | 계약일자 | 납품일자 | 단위 | 수량 | 납품금액 | 비고 (조달계약번호) |
| | 4500050663 | 2018-04-04 | 2018-10-12 | | | 1,420,000,000 | 20180313C8300 |
| 증명서 발급기관 | 위 사실을 증명함<br>발급 2019 - 23309<br>발급일 : 2019년 04월 30일<br>서울교통공사 사장 서울교통공사 사장인 | | | | | | |
| | 주 소 : 서울시 성동구 천호대로 346 | | | | (전화번호 : 02-6311-9241 ~ 9248)<br>(FAX 번호 : 02-6311-4271) | | |
| | 계약부서 : 구매조달처-구매조달처 | | | 담당자 : 박지숙 | | | |

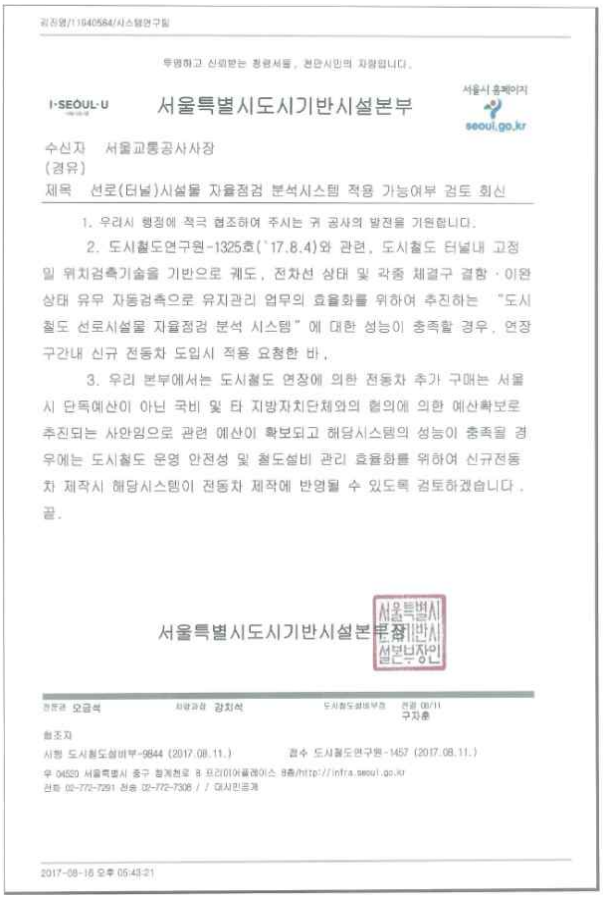
# 바. 관련 분야 기여도

(1) 기술 이전 및 사업화

○ 도시철도 7호선 운행노선을 대상으로 과제 성과물인 “지하철 시설물 자율점검시스템”에 대한 기술이전을 실시하여, 효율적인 도시철도 시설물 유지보수에 활용되도록 기여함.

○ 국가 연구개발 사업의 기술이전 · 사업화 활성화하고, 새로운 가치창출 및 경제성장, 고용창출에 기여함.

○ 실용화 사업화를 위한 운용기관(서울교통공사) 구매의향서



투명하고 신뢰받는 정부서울, 편안시민의 자랑입니다.

I-SEOUL-U 서울특별시도시기반시설본부 서울시 홈페이지 seoul.go.kr

수신자 서울교통공사사장
(경유)
제목 선로(터널)시설물 자율점검 분석시스템 적용 가능여부 검토 회신

1. 우리시 행정에 적극 협조하여 주시는 귀 공사의 발전을 기원합니다.

2. 도시철도연구원-1325호(`17.8.4)와 관련, 도시철도 터널내 고정밀 위치검측기술을 기반으로 궤도, 전차선 상태 및 각종 체결구 결함 · 이완 상태 유무 자동검측으로 유지관리 업무의 효율화를 위하여 추진하는 “도시철도 선로시설물 자율점검 분석 시스템” 에 대한 성능이 충족할 경우, 연장구간내 신규 전동차 도입시 적용 요청한 바,

3. 우리 본부에서는 도시철도 연장에 의한 전동차 추가 구매는 서울시 단독예산이 아닌 국비 및 타 지방자치단체와의 협의에 의한 예산확보로 추진되는 사안임으로 관련 예산이 확보되고 해당시스템의 성능이 충족될 경우에는 도시철도 운영 안전성 및 철도설비 관리 효율화를 위하여 신규전동차 제작시 해당시스템이 전동차 제작에 반영될 수 있도록 검토하겠습니다.

끝.

서울특별시도시기반시설본부장 서울특별시 도시기반시설본부장인

전결권자 오금석 차량과장 강희석 도시철도설비부장 전결 08/11 구자춘

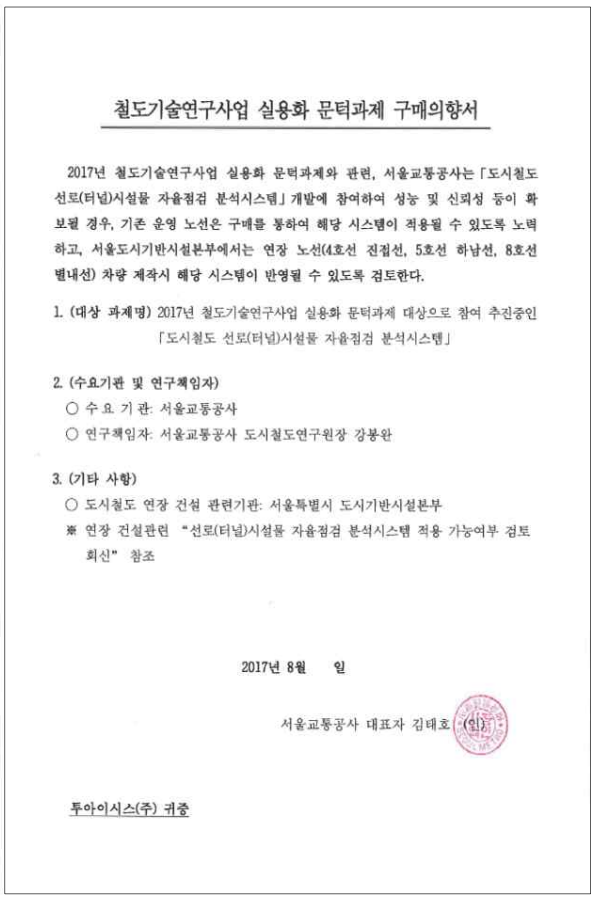
협조자

시행 도시철도설비부-9844 (2017.08.11.) 접수 도시철도연구원-1457 (2017.08.11.)

우 04523 서울특별시 중구 청계천로 8 프리미어플레이스 8층/http://infra.seoul.go.kr

전화 02-772-7291 전송 02-772-7308 / / 대시민공개

2017-08-16 오후 05:43:21



철도기술연구사업 실용화 문턱과제 구매의향서

2017년 철도기술연구사업 실용화 문턱과제와 관련, 서울교통공사는「도시철도 선로(터널)시설물 자율점검 분석시스템」개발에 참여하여 성능 및 신뢰성 등이 확보될 경우, 기존 운영 노선은 구매를 통하여 해당 시스템이 적용될 수 있도록 노력하고, 서울도시기반시설본부에서는 연장 노선(4호선 진접선, 5호선 하남선, 8호선 별내선) 차량 제작시 해당 시스템이 반영될 수 있도록 검토한다.

1. (대상 과제명) 2017년 철도기술연구사업 실용화 문턱과제 대상으로 참여 추진중인 「도시철도 선로(터널)시설물 자율점검 분석시스템」

2. (수요기관 및 연구책임자)
○ 수 요 기 관: 서울교통공사
○ 연구책임자: 서울교통공사 도시철도연구원장 강봉완

3. (기타 사항)
○ 도시철도 연장 건설 관련기관: 서울특별시 도시기반시설본부
※ 연장 건설관련 “선로(터널)시설물 자율점검 분석시스템 적용 가능여부 검토 회신” 참조

2017년 8월 일

서울교통공사 대표자 김태호 (인)

투아이시스(주) 귀중

(2) 기술적 측면

○ 환경보호정책으로 전기철도 확대 및 열차운행횟수 증가로 인한 도시철도 및 철도사고를 예방하기 위한 시설물 진단기술을 확보
○ 도시철도시설물 검측산업에 과학적 유지보수 기법을 적용하여 인력중심에서 자동화 설비에 의한 유지보수체제 확립
○ 도시철도 시설물 유지보수를 위한 영상처리 기술을 확립하여, 고가의 외산장비를 대체하고 외화절감 및 해외의존도 감소
○ 각종 진단장치와 관련된 산업용시스템의 설계 및 제작에 대한 전자, 소프트웨어, 자동제어 모니터링 설비업계의 기술수준 향상 기대
○ 자동화 및 실시간 검측데이터를 활용한 도시철도 시설물 검측시스템 구현으로 새로운 유지보수 체계 기틀 마련 및 독자적인 기술을 보유함으로 고부가가치 도시철도시스템 국내 및 국외 시장에 대한 기틀 마련

(3) 경제·산업적 측면

○ 도시철도 시설물의 유지보수 효율화를 위한 검측장비의 수요가 기하급수적으로 증가하고 있으나, 국내 기술개발 미비로 국외 개발 제품을 고비용을 지출하여 구매, 운용(최근 5년간 국외검측시스템 구매 현황 : 약 250억원)
○ 유지보수 비용은 감소하고 인력/예산 확보가 어려워 상태감시 기반의 유지보수 체계 확립 필요
○ 예방 유지보수 : 장애 조기 진단 및 조치에 따른 열차 지연 사고 방지
○ 유지보수비 절감 : 영업차량을 이용한 검측시스템이 도입되면 기존의 인력에 의한 순회점검 등의 일상적인 유지보수업무 대체 가능
○ 시설물 점검의 정확도 향상 : 인력에 의한 육안점검(주관적 판단)에서 자동검측장치에 의한 객관적 점검에 의해 시설물 점검의 95% 정확도 향상 효과
○ 검측장비 수리비 절감 가능 : 해외 검측장비 고장 시 조치 전까지 검측중단 및 과도한 수리비용 지출 사례 방지
○ 전문 인력 양성 효과 : 검측데이터 분석 및 현장 유지보수 적용을 위해서는 핵심 검측전문 인력양성의 불가피함

# 4. 연구개발성과의 활용 계획 등

## 가. 연구개발 성과 활용

○ 본 연구 과제에서는 열차 주행중에 도시철도 전차선·궤도·신호 분야 시설물에 대한 상태를 검측하기 위한 검측장치를 연구·개발하였다.

○ 효율적인 도시철도 시설물 유지관리 플랫폼 구축을 위해, 본 과제 성과물을 활용하여 선로시설 상태정보에 대한 “빅 데이터 종합 진단 기술”과 “유지보수에 표준화”에 대한 연구·개발을 수행할 수 있다.

○ “도시철도 시설물 유지보수 프로세스”에 업무 효율화와 무인검측을 통한 도시철도 전차선·궤도/토목·신호 분야 시설물 검측장치에 운용 효율화, 그리고 데이터 통합 진단 및 분석 기술의 고도화와 표준화를 포함한 “도시철도 시설물 유지관리 플랫폼”에 대한 연구에 활용될 수 있다.

| 선로시설 유지보수 종합 진단 플랫폼 | |
|---|---|
| 검측 업무 표준화 | ▪ 검측장치 운용 무인화와 일상검측 및 유지보수 점검이 가능한 “도시철도 시설물 상태 감시 플랫폼” 연구·개발<br>(자동검측->알람보고->유지보수) |
| 일상적인 시설물 상태 진단 및 유지보수 표준화 (시설물 일상점검) | ▪ 전차선·궤도·신호·토목분야 시설물에 상태를 종합 진단<br>- 전차선·궤도·신호·차량 분야별 시설물 상태 이력관리<br>- 현장 관리소별 시설물 분석결과 통계·분석(RAMS 연계)<br>▪ 도시철도 시설물 검측업무 및 유지 보수 작업 연계<br>- 당일 검측결과를 지역 관리소별 배포<br>(표준화된 Web 서비스를 이용한 검측결과 공유)<br>▪ 일상적인 시설물 상태 진단 및 유지보수 수행 |




그림 143 도시철도 시설물 유지관리 표준화 플랫폼

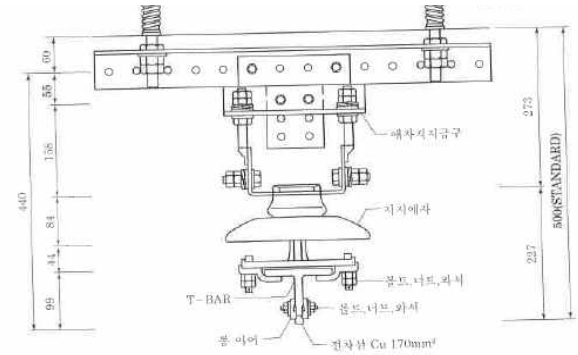
# 나. 검측대상 시설물에 대한 유지보수 기준 표준화

(1) 유지보수 표준화

○ 검측기간 및 시설물 상태별 검측데이터에 의한 표준화된 시설물 유지보수 기준 마련
○ 이를 위해 RAMS 연계를 통한 시설물 이상 데이터 관리하고, 시설물에 상태변화 추이를 분석하여 잔존 수명을 예측할 필요가 있음.
○ 또한, 각 지역 사무소별로 표준화된 시설물 유지보수 데이터를 제공하고, 이상 시설물에 현장 포인트 점검과 조치결과에 대한 피드백 등 선로시설 유지보수 절차에 대한 표준화가 필요함

(2) 검측 분야별 시설물 유지보수 관리 기준 및 교체 기준

(가) 강체전차선로 시설물 변형 검사

| 구 분 | 검측대상 | 규정 |
|---|---|---|
| 시설물 | 터널시설물<br>지지금구류 변형 |  |
| 검측항목 | ☑ 매립전<br>☑ 애자번호<br>☑ 흐름방지장치<br>☑ 지지금구류<br>☑ 애자<br>☑ 롱이어 | ○ 매립전 볼트, 너트 이완여부<br>○ 롱이어 취부, 이완 및 부식여부<br>○ 금구류이완 및손상유무<br>○ Al T-Bar 부식 및 누수에 의한 지장유무<br>○ 애자류의 균열 손상여부<br>○ 안전핀 체결상태 및 부식여부<br>○ 판정기준 : 50㎟ 이상에 변형 검지<br>○ 변형대상 시설물 특성 및 종류에 따라 결함크기 분류 |

(나) 지하부 제형 강체 전차선 마모 검측

| 구 분 | 검측대상 | 규정 |
|---|---|---|
| 검측항목 | ☑ 전차선 높이<br>☑ 전차선 편위<br>☑ 전차선 마모 | ※ 측정지점 : 지지점마다 측정(애자)<br>○ 전차선 높이(5~8호선) : 4,250㎜ 이상<br>○ 전차선 높이(1~4호선) : 4,750㎜ 이상<br>○ 전차선 편위 : ± 200㎜ (최대, ±250㎜)<br>○ 전차선 마모 : 잔존직경: 5㎜ 이하 |

(다) 지하부 집전설비 발열검지 개발

| 구 분 | 검측대상 | 규정 |
|---|---|---|
| 검측대상 | T-Bar 접속부 | ○ 지하부 급전선로<br>- 정,부급전선 열화 및 크리트 체결 상태<br>○ 이상온도 : 계절별 시설물 발열 온도를 고려하여 임계치 이상에 이상 온도를 검출 |
| 검측항목 | ☑ 급전선 접속부<br>☑ EX 접속부 | |

(라) 동적 판토자세 검측장치

| 구 분 | 검측대상 | 규정 |
|---|---|---|
| 검측대상 | 팬터그래프 동적거동 상태 | ○ 판토 충격가속도 : 10G 이상<br>○ 차량 운행속도별 충격 알람 임계치 분석 |
| 검측항목 | ☑ 판토 충격<br>☑ 판토 동적자세 | |

(마) STEDEF 궤도 시설물 검사장치

| 구 분 | 검측대상 | 규정 |
|---|---|---|
| 검측대상 | 레일(이음매),<br>침목, 체결구 | ○ 레일(신축,이음매)상태<br>- 표면훼손, 부식, 후로우, 이음매 유간<br>- 직마모, 편마모, 파상마모(계측)<br>※ 직마모 13mm, 편마모 15mm<br>○ 침목 상태 : 균열, 훼손 등<br>○ 체결구 및 볼트 : 훼손, 이완, 탈락 등<br>○ 도상 상태 : 균열, 파손 |
| 검측항목 | ☑ 레일(신축,이음매)상태<br>☑ 침목 상태<br>☑ 체결구 및 볼트 상태<br>☑ 도상 상태 | |

(바) 궤도분기기 검측장치

| 구 분 | 분기기 검사장치 | 규정 |
|---|---|---|
| 검측대상 | 분기부 검사 | ☑ 레일 상태<br>- 텅레일, 크로싱, 가드레일 훼손상태<br>- 백게이지, 후렌지웨이 간격<br>※ 백게이지 : 1,390~1,396mm<br>※ 후렌지웨이 폭 : 42±3mm |
| 검측항목 | ☑ 백게이지<br>☑ 후렌지웨이 | |

# 다. 사업화 추진 방안

## (1) 기술의 활용성

○ 본 연구과제에 사업화를 위하여, 도시철도 7호선 운행노선을 대상으로 과제 성과물인 “지하철 시설물 자율점검시스템”에 대한 기술이전을 실시한다.

○ 본 연구과제에 성과물을 토대로, 향후 도시철도 시설물에 대한 종합검측 솔루션(19종 표준모델)을 완성하여 도시철도 시설물 유지보수 프로세스에 업무를 표준화 함.

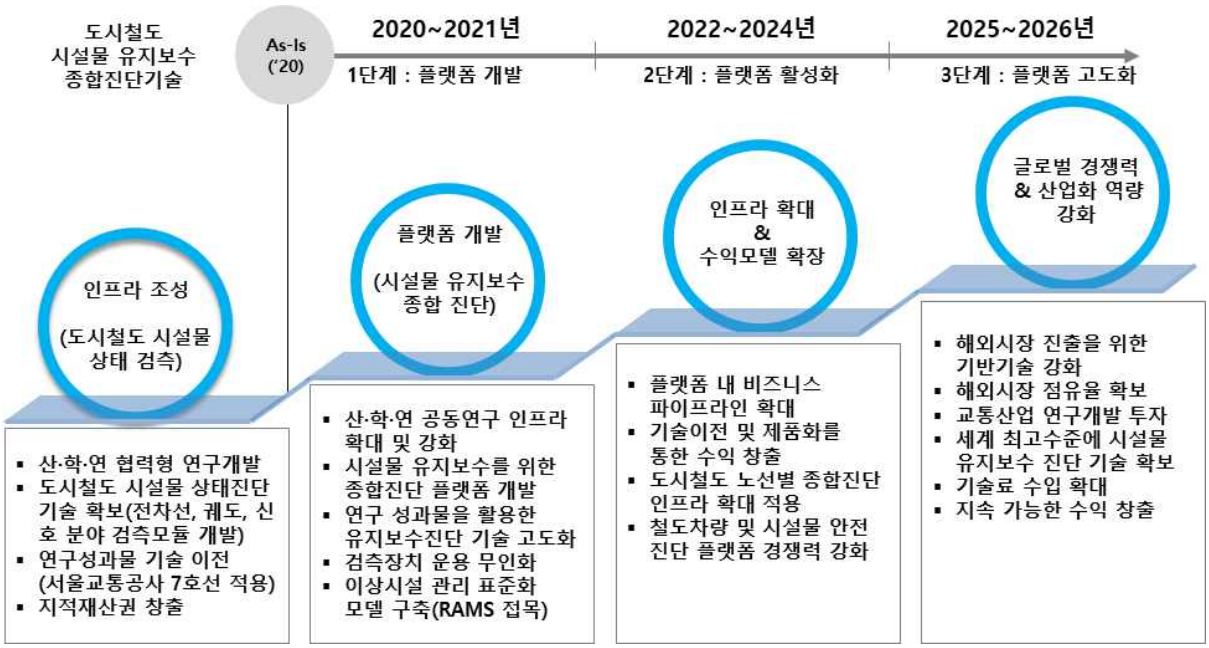
| 연구과제 성과물 기술이전 | 사업화 기술 적용 |
|---|---|
| ▪ 전기분야 시설물 검측모듈<br>- 지하부 강체 전차선로 변형 검사<br>- 지하부 제형전차선(T-Bar) 마모 검측<br>▪ 토목/궤도 분야 시설물 검측모듈<br>- STEDEF 궤도시설물(체결장치,침목) 검사<br>- 궤도분기기(크로싱,가드레일,이음매) 검측<br>▪ 차량분야 시설물 검측모듈<br>- 동적판토자세(습판체 충격 및 자세) 검측<br>▪ 신호분야 검측모듈<br>- ATC 지상신호(열차검지 및 차량속도신호) | ▪ 검측시스템 운용 자동화·무인화를 통한 도시철도 시설물 유지보수 프로세스 개선<br>▪ 시설물 상태 검측과 유지보수 점검을 연계 (“선로시설 유지보수 종합 진단 플랫폼 개발”)<br>▪ 도시철도 검측장치 표준모델 수립 및 종합검측 솔루션 완성<br>▪ 영업차량을 이용한 시설물 일상 점검 수행<br>▪ 도시철도 환경에 부착하는 시설물 상태정보 표준화하고, 분석결과를 지역 사무소별 공유 (RAMS 및 Web 서비스 표준화) |

## (2) 사업화 모델 및 실용화 계획

(가) 사업화 모델

○ 산·학·연 협력형 R&D연구개발을 통해 철도시설물 상태 검측 및 종합 진단 기술을 확보하고 연구 성과를 사업화하여 수익을 창출하는 비즈니스 모델임

○ 연구결과 창출된 사업화 아이템의 이술이전 및 제품화하여 수익을 확보하고, 이를 연구에 재 투자하여 지속적인 수익 창출을 달성하는 선순환 구조임



(나) 실용화 계획

○ 도시철도 시설물 상태 검측을 위한 표준모델 수립 및 종합검측 솔루션 완성

| 추진단계 | 실용화 전략 | 수행 방법 | 목표 |
|---|---|---|---|
| 1단계<br>(2020.04~<br>2021.12) | • 수요처와 유기적 협조체제 구축<br>- 실용화를 위한 연구성과 이전<br>- 운행노선 테스트베드 활용<br>• 도시철도 종합검측 솔루션 완성 | • (투아이시스) 연구성과물 기술 이전<br>- 영업차(7호선) 검측모듈 설치운용<br>• (서울교통공사) 7호선 운행노선에 대한 테스트베드 제공<br>• 시설물 무인화 검측모듈 개발<br>• 시설물 종합진단 및 유지보수 표준화를 위한 플랫폼 개발 | 연구성과<br>기술이전<br>및<br>운용기관<br>현장적용 |
| 2단계<br>(2022.01~<br>2024.12) | • 도시철도 노선별 확대 적용<br>• 철도 인프라 결함 진단 기술 융합 및 확대<br>• 신기술 인증또는 품질인증<br>• 개발품홍보 | • 서울교통공사 1~8호선 유지보수 표준화 플랫폼 확대(사업화)<br>• 유관기관 성능평가 및 현장 적용성 평가수행<br>• 철도및 도시철도 유관기관 시연회<br>• 세계철도 박람회(Innotrans) 홍보 | 사업화<br>및<br>품질인증 |
| 3단계<br>(2025.01~<br>이후) | • 철도 및 교통분야 인프라 결함 진단 기술 융합 및 확대 | • 해외시장 진출 및 점유율 확보<br>• 지속 가능한 수익모델 창출 및 교통산업 연구 투자 | 사업화<br>확대 |

○ 서울교통공사 『도시철도 선로시설물 검측시스템 표준모델』: 19종




- 서울교통공사가 2019년 6월 『도시철도 선로시설물 검측시스템 표준모델』 19종을 정립하였으며, 서울교통공사의 1~8호선중 지하부 선로에서 필요한 12~13종 모듈은 공통적으로 적용할 예정이며, 나머지 모듈은 지상부 선로에 필요하거나 후순위로 선정됨

- 서울교통공사에서는 『도시철도 선로시설물 검측시스템 표준모델』 도입을 추진하고 있으나 예산이 수반되어야 할 사항으로 예산이 배정될 경우 각 호선별 중요도에 따라 점차적으로 전호선으로 1~2편성 전동차에 장착할 예정임

### (3) 사업화 전망

(가) 국내 시장 규모

○ 국내 철도망 확대 및 고속화로 차량 가용성이 증가하고 있어, 방대한 전기철도 차량을 신속·정확하게 관리하기 위한 예방진단 기술이 지속적으로 요구됨

제7차 국가교통 안전 기본 계획(2012~2016), 발췌

■ 철도노선 확충에 따른 여객의 지속적인 증가
(열차 운행밀도 증가로 사고·장애시 처리 시간 부족)

■ 국가철도망 구축계획의 시설확장에 따라 철도여객은 매년 1~2%씩 증가

| 구분 | 2004 | 2011년 | | 2016년 |
|---|---|---|---|---|
| 역사수 | 1,073 | 1,156 | | 1,346 |
| 노선연장(km) | 3,797 | 4,148 | ⇨ | 5,018 |
| 노선수 | 61 | 92 | | 100 |
| 운영기관수 | 7 | 10 | | 15 |

| 기관명 | 노선 연장(km) | 관리노선 | 차량 수(량) | 보수 인력(명) | 보수 비용(억) |
|---|---|---|---|---|---|
| 한국철도공사 | 4,747 | 고속선, 일반선 | 18,292 | 5,182 | 8,167 |
| 서울교통공사 | 137.9 | 서울 1~4호선 | 1,944 | - | - |
| | 152 | 서울 5~8호선 | 1,561 | - | - |
| 부산교통공사 | 95.8 | 부산 1~3호선 | 878 | 468 | 205 |
| 대구도시철도공사 | 53.9 | 대구 1~2호선 | 384 | 253 | 60 |
| 인천교통공사 | 29.4 | 인천 1호선 | 272 | 92 | 28 |
| 광주도시철도공사 | 20.5 | 광주 1호선 | 92 | - | - |
| 대전도시철도공사 | 20.5 | 대전 1호선 | 84 | 62 | 15 |

출처: 철도운영 및 유지보수 효율화 기술개발 기획 최종보고서 (2013.11)

(나) 국내/국외 시장 전망

○ 본 사업화 대상기술에 대한 성능평가와 신뢰성을 확보한 후, 철도 및 도시철도 노선별로 확대 적용할 계획임.

<table>
<tr><th>구 분</th><th>현재의 시장규모(2020년)</th><th>예상 시장규모(2025년)</th></tr>
<tr><td>세계 시장규모</td><td>73,500억</td><td>83,790억</td></tr>
<tr><td>국내 시장규모</td><td>1,500억</td><td>1,710억</td></tr>
<tr><td>산출 근거</td><td colspan="2">• 국내 철도 시장 환경<br>- 철도운영기관(15개), 노선수(100개), 철도연장길이(5220㎞)<br>- 예상 시장규모 : “국가철도망 구축계획의 시설확장”에 따라 철도여객은 매년 2%씩 증가<br>• 검측시스템 단가 : 100억(전차선, 궤도, 신호, 통신분야)<br>- 해외 검측시스템(Mermec社 종합검측차) 단가 : 140억<br>• 국내 시장규모(2%) : 철도운영기관(15개) × 1식(100억, 추정가) = 약 1,500억<br>• 세계 시장규모 : 98%<br>- 년차별 사업화 예상 규모
<table>
<tr><th>구분</th><th>사업화 규모 (2025년)</th><th>예상 사업화 규모 (2030년)</th></tr>
<tr><td>세계</td><td>240억<br>(대만, 홍콩 사업화)</td><td>300억<br>(인도 사업화)</td></tr>
<tr><td>국내</td><td>300억<br>(국내시장규모: 20% 점유)</td><td>750억<br>(국내시장규모: 50% 점유)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

### (4) 사업화 생산 계획

① 수요처 수요계획

○ 도시철도 선로(터널) 자율점검 분석시스템의 성능 및 신뢰성 확보 시 서울교통공사에서 구매하여, 기존 운영노선 전동차에 탑재하고 과학적/효율적 터널시설물 관리예정

○ 또한, 서울특별시 도시기반시설본부 연장구간 차량 발주 시 도시철도 선로(터널) 자율점검 분석시스템이 구매 적용될 수 있도록 노력예정

② 실용화 가능성

○ 철도 및 도시철도 시설물에 대한 결함진단 기술의 노하우와 실용화 경험 축적

○ 철도 안전을 위한 운용기관의 요구와 철도시설물에 대한 결함진단 기술의 노하우 축척을 통한 개발품 실용화

| 구 분 | | ( 2019 )년<br>(개발종료 해당년) | ( 2021 )년<br>(개발종료 후 1년) | ( 2025 )년<br>(개발종료 후 2년) |
|---|---|---|---|---|
| 국내 | 시장점유율(%) | 2% | 10% | 20% |
| | 판매량(단위: 식 ) | 1식 | 1식 | |
| | 국내매출액(백만원) | 14억 | 100억 | 300억 |
| 해외 | 시장점유율(%) | 1% | | |
| | 판매량(단위: 식 ) | 1식 | | |
| | 해외매출액(백만$) | 140억 | 150억 | |

○ 실용화 사업화를 위한 운용기관(서울교통공사) 구매의향서

# 국토교통기술 사업화 지원사업 구매의향서

2020년 국토교통기술 사업화 지원사업 관련, 서울교통공사는「도시철도 선로(터널)시설물 자율점검 분석시스템」개발과제에 참여하였으며, 기 연구성과물의 성능 향상 및 보완 연구 완료이후 신뢰성 검증을 통해 기존 운영노선에 "서울교통공사 선로검측시스템 표준모델" 도입시 구매될 수 있도록 노력한다.

1. (대상 과제명) 2020년 국토교통기술 사업화 지원사업 대상으로 참여 추진중인 「도시철도 선로시설물 유지보수 업무효율화를 위한 종합진단기술 고도화 연구」

2. (수요기관 및 연구책임자)
   ○ 수 요 기 관: 서울교통공사
   ○ 연구책임자: 서울교통공사 도시철도연구원 김성담

2020년 2월 일

서울교통공사 대표자 최정균(사장직무대행) (인)

투아이시스(주) 귀중

## 붙임. 참고문헌

[1] 국토교통과학기술 진흥원(2015), 국토교통 R&D 동향조사 철도교통분야,
[2] 제7차 국가교통 안전 기본 계획(2012~2016), 발췌

| 발 간 등 록 번 호 |
| --- |
| 11-B552989-000237-01 |


주 의

1. 이 보고서는 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 철도기술연구 사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통과학기술진흥원부에서 시행한 철도기술연구 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.