15RTRP-B065498-03

고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발 최종보고서

2018

국토교통부

국토과학기술진흥원

Development of Technology for the Localization and Performance Improvement of High Speed Rail Turnout

R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )

철도기술연구사업 최종보고서

R&D / 15RTRP-B065498-03

고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발 최종보고서

2018. 10.

연 구 단 총괄 / 한국철도기술연구원

[1세부]주관연구기관 / 한국철도기술연구원

공동연구기관 / 한국철도시설공단

공동연구기관 / 삼표레일웨이㈜

공동연구기관 / ㈜제이케이에스

[2세부]주관연구기관 / ㈜비츠로시스

공동연구기관 / ㈜제이브이지

공동연구기관 / 한국철도공사

공동연구기관 / 서울과학기술대학교산학협력단

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

보고서 요약서

Ⅰ. 연구단

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>15RTRP-B065498-03</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2015.12.1. ~ 2018.6.30.</td><td>단계구분</td><td>(해당단계) 1/ (총 단 계) 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">철도기술연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">1세부: 고속철도용 분기기 국산화 기술개발 및 성능평가
2세부: 고속철도용 분기기 관리운영시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 만 철</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 85 명</td><td>해당단계 연구개발비 (천원)</td><td>정부:700,000
기업:234,000
정부 외:
계:934,000</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 85 명</td><td>총 연구개발비 (천원)</td><td>정부:4,630,000
기업:1,418,037
정부 외:
계:6,048,037</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">한국철도기술연구원 첨단궤도토목본부</td><td colspan="2">연구기관명: 김만철</td></tr>
<tr><td>[1세부]주관연구
공동연구</td><td colspan="3">연구기관명: 한국철도기술연구원
한국철도시설공단
삼표레일웨이㈜
㈜제이케이에스</td><td colspan="2">연구기관명: 김만철
윤성순
황광하
김남전</td></tr>
<tr><td>[2세부]주관연구
공동연구</td><td colspan="3">연구기관명: ㈜비츠로시스
㈜제이브이지
한국철도공사
서울과학기술대학교산학협력단</td><td colspan="2">연구기관명: 김영석
황안규
백인철
이종우</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
</table>

Ⅱ. 1세부

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>15RTRP-B065498-03</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2015.12.1. ~ 2018.6.30.</td><td>단계구분</td><td>(해당단계) 1/ (총 단 계) 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">철도기술연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">고속철도용 분기기 국산화 기술개발 및 성능평가</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 만 철</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 40 명
내부: 3 명
외부: 37 명</td><td>해당단계 연구개발비 (천원)</td><td>정부:478,000
기업:160,000
정부 외:
계:638,000</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 40 명
내부: 3 명
외부: 37 명</td><td>총 연구개발비 (천원)</td><td>정부:3,426,000
기업:1,013,337
정부 외:
계:4,439,337</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">한국철도기술연구원 첨단궤도토목본부</td><td colspan="2">연구기관명: 김만철</td></tr>
<tr><td>공동연구</td><td colspan="3">연구기관명: 한국철도시설공단
삼표레일웨이㈜
㈜제이케이에스</td><td colspan="2">연구기관명: 윤성순
황광하
김남전</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">○ 분기기/차량 I/F를 고려한 고속철도용 분기기 해석 Tool Kit 개발 및 최적 설계변수 도출
- 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 FAKOP 도출
- 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 텅레일 단면 도출
○ 분기기/선로전환기 I/F를 고려한 선로전환기 해석 Tool Kit 개발
○ 고속철도용 분기기 국산화 기술 개발
- 텅레일 단면 형상 설계 및 분석
- 텅레일 생산설비 구축 및 시제품 제작
○ 고속철도용 분기기 성능 개량 기술 개발
- 포인트부 개량
- 크로싱부 개량
- 기타 개량
○ 고속철도용 분기기 시제품 실내 및 현장 성능평가
- 고속철도용 분기기 시제품 제작(F18.5)
- 고속분기기 실내 성능평가
- 고속분기기 현장 설치시험
- 고속분기기 현장 성능평가
○ 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 국산화 기술 개발
○ 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 및 성능평가
- 유압식 쇄정실린더 시제품 제작
- 유압식 쇄정실린더 실내 성능평가</td><td colspan="2">보고서면수: 144페이지</td></tr>
</table>

연구의 목적 및 내용	○ 고속철도용 분기기 운영 안전성 향상을 위한 분기기 국산화 및 성능 개량 기술 개발
연구개발성과	○ 분기기/차량 I/F를 고려한 고속철도용 분기기 해석 Tool Kit 개발 및 최적 설계 변수 도출 - 고속철도용 분기기 차량동력학 해석 Tool Kit 개발 • 고속철도용 분기기 차량동력학 선형해석 Tool Kit 개발 • 고속철도용 분기기 차량동력학 단면해석 Tool Kit 개발 • 고속철도용 분기기 차량동력학 하부강성 Tool Kit 개발 - 고속철도용 분기기 최적 설계변수 도출 • FAKOP 효용성 검증 • 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 FAKOP 도출 • 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 텅레일 단면 도출 ○ 분기기/선로전환기 I/F를 고려한 선로전환기 해석 Tool Kit 개발 - 전기식 선로전환기 성능 요구사항 - 전기식 선로전환기 동력 전달 매커니즘 해석 Tool Kit 개발 ○ 고속철도용 분기기 국산화 기술 개발 - 텅레일 단면 형상 설계 및 분석 - 텅레일 생산설비 구축 및 시제품 제작 ○ 고속철도용 분기기 성능 개량 기술 개발 - 포인트부 개량 - 크로싱부 개량 - 기타 개량 ○ 고속철도용 분기기 시제품 실내 및 현장 성능평가 - 고속철도용 분기기 시제품 제작(F18.5) - 고속분기기 실내 성능평가 - 고속분기기 현장 설치시험 - 고속분기기 현장 성능평가 ○ 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 국산화 기술 개발 ○ 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 및 성능평가 - 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 - 유압식 쇄정실린더 실내 성능평가
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 실용화 기반구축 - 한국철도시설공단 “철도시설물성능검증” 인증서 획득을 통한 실용화 기반 구축(‘18년 5월 중) - 개발 텅레일(60E1A1 K) 한국철도시설공단 “표준규격서” 등록(‘18년 6월 중) ○ 기술이전 추진 - 분야 : 분기기 설계기술 및 텅레일 - 기술이전기업 : 삼표레일웨이㈜ ○ 활용계획 - 고속철도(238틀) 및 기존선, 도시철도 분기기(약 12,000틀) 유지보수 교체 : 19,428억 - 신규고속철도 건설(제3차 국가철도망구축계획) : 2,230억 - 고유 Brand 고속분기기 기술개발을 통한 해외 시장 진출 : 약 2.8조

핵심어 (5개 이내)	고속철도	분기기	텅레일	선로전환기	성능검증

Ⅲ. 2세부

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>15RTRP-B065498-03</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2015.12.1. ~
2017.6.30.</td><td>단계구분</td><td>(해당단계) 1/
(총 단 계) 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">철도기술연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">고속철도용 분기기 관리운영시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 영 석</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 45 명
내부: 21 명
외부: 24 명</td><td>해당단계
연구개발비
(천원)</td><td>정부:222,000
기업: 74,000
정부 외:
계:296,000</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 45 명
내부: 21 명
외부: 24 명</td><td>총 연구개발비
(천원)</td><td>정부:1,204,000
기업: 404,700
정부 외:
계:1,608,700</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">(주)비츠로시스 연구소</td><td colspan="2">연구기관명: 김영석</td></tr>
<tr><td>공동연구</td><td colspan="3">연구기관명: ㈜제이브이지
한국철도공사
서울과학기술대학교산학협력단</td><td colspan="2">연구기관명: 황안규
백인철
이종우</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">○ 센서 시스템 설치 위치 및 검측 시스템 요구 명세 및 센서 수 최소화 방안 1차 도출

○ 분기기 관리 운영 Virtual 시스템 완성

○ 탐색용 센서 및 SCM 모듈 구성, 치공구 개발

○ 관리 운영 시스템 DB 모듈 설계 및 데이터 획득

○ 단말기 MMI 모듈 설계

○ 의사 결정 시스템 이론 조사 및 설계

○ 분기기 관리 운영 시스템 1차 현장 부설 및 시운전</td><td colspan="2">보고서면수: 98페이지</td></tr>
</table>

연구의 목적 및 내용	○ 경부고속철도 2단계 구간에서 수입 고속분기기의 장애 발생 사례와 같이 분기기와 신호시스템과의 Interface 절차 및 관련 기술 부족 시 조기 대처에 어려움이 많으며, 노하우 축적과 기술개발에 한계 봉착 ○ 상기와 같이 고속철도 운영 안정화 및 국가적인 철도 경쟁력 확보를 위해서는 고속분기기 설계 원천 기술 관련 기술 개발이 요구되며, 이를 위해서 고속분기기의 국산화 및 성능 개량 기술 개발 필요 ○ 또한, 고속분기기의 안정적인 운영을 위해 결함, 장애 예방, 최적 상태를 유지하기 위한 상시 모니터링 및 집중 관리 시스템 구축 필요
연구개발성과	○ 분기기 관리 운영 시스템 측정인자 도출 및 적용센서 최적화 ○ 분기기 관리 운영 시스템 표준화 및 성능평가 자료 생성 ○ 분기기 관리 운영 시스템 센서 설치용 치공구 개발 ○ 분기기 관리 운영 시스템용 DB 모듈 및 MMI 화면 개발 ○ 의사결정 시스템 S/W 모듈화 및 적용 ○ 1,2차 현장 부설 및 시운전
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 전국의 선로 전환기는 코레일 8,078대, 서울도시철도 525대, 서울메트로 491대, 부산교통공사 404대, 대구도시철도 247대, 인천메트로 110대, 대전도시철도 96대등 전국의 고속・일반・도시철도에 1만232대의 선로전환기(분기기)가 설치되어 있으며, 선로전환기의 중요도가 높은 곳, 무인화가 가속화되는 소규모 역, 고속 철도 등에 활용이 가능 ○ 세계적으로도 철도의 무인화가 가속되고 있고, 세계철도연맹(UIC)에서도 분기기 검지시스템을 구축하기 위한 연구가 진행되고 있어, 이로 인하여 전 세계적으로 분기기 시스템 모니터링 시스템이 확대될 예상 ○ 통신혁명으로 인하여 모든 분야에서 SMART화가 급속하게 진행되고 있고, 철도 모든 분야역시 SMART화가 활발하게 진행되고 있다. 따라서 분기기 시스템 모니터링 시스템 개발이 효율면에서 시기상 적절하다. 이 시스템은 현재 및 미래의 시스템으로 철도수출 분야 에 첨단기술로서, 철도시스템 수출에 일조할 수 있다.

핵심어 (5개 이내)	분기기	선로전환기	센싱	검측	SCADA

15RTRP-B065498-03

고속철도용 분기기 국산화 기술개발 및 성능평가 최종보고서

2018

국토교통부

국토과학기술진흥원

Development and performance evaluation of localization technology of high speed rail Turnout

R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )

철도기술연구사업 최종보고서

R&D / 15RTRP-B065498-03

고속철도용 분기기 국산화 기술개발 및 성능평가 최종보고서

2018. 09.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

공동연구기관 / 한국철도시설공단

공동연구기관 / 삼표레일웨이㈜

공동연구기관 / ㈜제이케이에스

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'고속철도용 분기기 국산화 기술개발 및 성능평가'(연구개발 기간 : 2013.05.31 ~ 2018.06.30.) 과제의 최종보고서 5부를 제출합니다.

2018. 09. .

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원 (대표자) 나 희 승 (인)
공동연구기관명 : 한국철도시설공단 (대표자) 김 상 균
삼표레일웨이㈜ (대표자) 강 기 동
㈜제이케이에스 (대표자) 전 승 배

주관연구기관책임자 : 한국철도기술연구원 김 만 철
공동연구기관책임자 : 한국철도시설공단 윤 성 순
삼표레일웨이㈜ 황 광 하
㈜제이케이에스 김 남 전

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>15RTRP-B065498-03</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td colspan="2">2015.12.01 ~
2018.06.30</td><td>단계구분</td><td>(해당단계) 1/
(총 단 계) 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="5">철도기술연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="5">고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="5">고속철도용 분기기 국산화 기술개발 및 성능평가</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 만 철</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 40 명
내부: 3 명
외부: 37 명</td><td>해당단계
연구개발비
(천원)</td><td>정부: 478,000
기업: 160,000
정부 외:
계: 638,000</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 40 명
내부: 3 명
외부: 37 명</td><td>총 연구개발비
(천원)</td><td>정부: 3,426,000
기업: 1,013,337
정부 외:
계: 4,439,337</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">한국철도기술연구원 첨단궤도토목본부</td><td colspan="2">연구기관명: 김만철</td></tr>
<tr><td>공동연구</td><td colspan="3">연구기관명: 한국철도시설공단
삼표레일웨이㈜
㈜제이케이에스</td><td colspan="2">연구기관명: 윤성순
황광하
김남전</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

○ 분기기/차량 I/F를 고려한 고속철도용 분기기 해석 Tool Kit 개발 및 최적 설계변수 도출
- 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 FAKOP 도출
- 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 텅레일 단면 도출
○ 분기기/선로전환기 I/F를 고려한 선로전환기 해석 Tool Kit 개발
○ 고속철도용 분기기 국산화 기술 개발
- 텅레일 단면 형상 설계 및 분석
- 텅레일 생산설비 구축 및 시제품 제작
○ 고속철도용 분기기 성능 개량 기술 개발
- 포인트부 개량
- 크로싱부 개량
- 기타 개량
○ 고속철도용 분기기 시제품 실내 및 현장 성능평가
- 고속철도용 분기기 시제품 제작(F18.5)
- 고속분기기 실내 성능평가
- 고속분기기 현장 설치시험
- 고속분기기 현장 성능평가
○ 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 국산화 기술 개발
○ 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 및 성능평가
- 유압식 쇄정실린더 시제품 제작
- 유압식 쇄정실린더 실내 성능평가</td><td colspan="3">보고서면수: 144페이지</td></tr>
</table>

〈 요약문 〉

연구의 목적 및 내용	○ 고속철도용 분기기 운영 안전성 향상을 위한 분기기 국산화 및 성능 개량 기술 개발
연구개발성과	○ 분기기/차량 I/F를 고려한 고속철도용 분기기 해석 Tool Kit 개발 및 최적 설계 변수 도출 - 고속철도용 분기기 차량동력학 해석 Tool Kit 개발 • 고속철도용 분기기 차량동력학 선형해석 Tool Kit 개발 • 고속철도용 분기기 차량동력학 단면해석 Tool Kit 개발 • 고속철도용 분기기 차량동력학 하부강성 Tool Kit 개발 - 고속철도용 분기기 최적 설계변수 도출 • FAKOP 효용성 검증 • 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 FAKOP 도출 • 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 텅레일 단면 도출 ○ 분기기/선로전환기 I/F를 고려한 선로전환기 해석 Tool Kit 개발 - 전기식 선로전환기 성능 요구사항 - 전기식 선로전환기 동력 전달 매커니즘 해석 Tool Kit 개발 ○ 고속철도용 분기기 국산화 기술 개발 - 텅레일 단면 형상 설계 및 분석 - 텅레일 생산설비 구축 및 시제품 제작 ○ 고속철도용 분기기 성능 개량 기술 개발 - 포인트부 개량 - 크로싱부 개량 - 기타 개량 ○ 고속철도용 분기기 시제품 실내 및 현장 성능평가 - 고속철도용 분기기 시제품 제작(F18.5) - 고속분기기 실내 성능평가 - 고속분기기 현장 설치시험 - 고속분기기 현장 성능평가 ○ 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 국산화 기술 개발 ○ 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 및 성능평가 - 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 - 유압식 쇄정실린더 실내 성능평가
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 실용화 기반구축 - 한국철도시설공단 “철도시설물성능검증” 인증서 획득을 통한 실용화 기반 구축(‘18년 5월 중) - 개발 텅레일(60E1A1 K) 한국철도시설공단 “표준규격서” 등록(‘18년 6월 중) ○ 기술이전 추진 - 분야 : 분기기 설계기술 및 텅레일 - 기술이전기업 : 삼표레일웨이㈜ ○ 활용계획 - 고속철도(238틀) 및 기존선, 도시철도 분기기(약 12,000틀) 유지보수 교체 : 19,428억 - 신규고속철도 건설(제3차 국가철도망구축계획) : 2,230억 - 고유 Brand 고속분기기 기술개발을 통한 해외 시장 진출 : 약 2.8조

핵심어 (5개 이내)	고속철도	분기기	텅레일	선로전환기	성능검증

〈 SUMMARY 〉

<table>
<tr><td>Purpose & Contents</td><td colspan="5">○ Localizing turnout production and developing performance improvement technologies to enhance operational safety of the high speed railway turnout</td></tr>
<tr><td>Results</td><td colspan="5">○ Develop a tool kit and draw out optimized design factor for interpreting high speed railway (HSR) turnout including turnout and vehicle I/F consideration
– Develop a tool kit that interprets vehicle dynamics of the HSR turnout
• Develop a tool kit that interprets geometry of the HSR turnout's vehicle dynamics
• Develop a tool kit that interprets section of the HSR turnout's vehicle dynamics
• Develop a tool kit that interprets lower stiffness of the HSR turnout's vehicle dynamics
– Draw out the optimized design factor for the HSR turnout
• Verify the usefulness of the FAKOP
• Draw out the optimized FAKOP for the Korean HSR rolling stock
• Derive the tongue rail section that is suitable for the Korean HSR rolling stock
○ Develop a tool kit that interprets turnout/point machine I/F considered point machine
– Performance requirement for the electrified point machine
– Develop a tool kit that interprets power transmission mechanism for the electrified point machine
○ Develop technology to Koreanize the HSR turnout
– Design and analyze form section of the tongue rail
– Establish tongue rail production facility and manufacture the prototype
○ Develop technology to improve the performance of the HSR turnout
– Improve the point part
– Improve the crossing part
– Improve others
○ Performance test for the HSR turnout prototype (indoor/outdoor)
– Manufacture the HSR turnout prototype (F18.5)
– Performance analysis of the HSR turnout (indoor)
– Installation inspection of the HSR turnout at the site
– Performance analysis of the HSR turnout at the site
○ Develop technology to Koreanize hydraulic-type locking cylinder for the HSR turnout
○ Manufacture and conduct a performance test for the prototype of the hydraulic-type locking cylinder for the HSR turnout
– Manufacture the prototype of the hydraulic-type locking cylinder for the HSR turnout
– Conduct indoor performance test for the hydraulic-type locking cylinder for the HSR turnout</td></tr>
<tr><td>Expected Contribution</td><td colspan="5">○ Establish a base for the commercialization
– Obtain “Performance certification for the railway structures“ from the Korea Rail Network Authority to establish a base for the commercialization (May 2018)
– Register developed tongue rail (60E1A1 K) to the “Standard“ of the Korea Rail Network Authority (June 2018)
○ Carry forward a technology transfer
– Area : Turnout design technology & tongue rail
– Transfer to : Sampyo Railway Co., Ltd.
○ Applicable plan
– Maintenance replacement for the HSR (238 EA) and conventional railway, turnouts for the MRT (approx. 12,000 EA) : 19,428 billion won
– Construct new HSR (3rd National Railway Establishment Plan) : 2,720 billion won
– Expand to the overseas market through develop its own branded HSR turnout : approx. 2.8 trillion won</td></tr>
<tr><td>Keywords</td><td>High Speed Railway</td><td>Turnout</td><td>Tongue Rail</td><td>Switching Machine</td><td>Performance Evaluation</td></tr>
</table>

〈 주요 용어 설명 〉

용 어	설 명
FAKOP	독일어 Fahrkinematische Optimierung의 약자로 궤도간격 간최적화
KGO	영문 Kinematic Gauge Optimization의 약자로 동적 궤간최적화
VCC	프랑스어 Verrou Carter Coussinet의 약자로 포인트 잠금장치
VPM	프랑스어 Verrou Pointe Mobile의 약자로 크로싱 잠금장치
기본 레일 (stock rail)	텅레일과 밀착하는 주행 레일 (일반 레일 사용)
텅레일 (tongue rail)	후단 단조부는 리드 레일과 연결되며, 첨단부분은 가늘게 가공하여 차량의 주행경로를 결정하는 가동레일 (비대칭 특수레일을 가공함)
스위치 각 (switch angle)	스위치가 닫혀 있는 상태에서 텅레일의 첨단과 기본레일의 궤간 선들 사이의 각. 곡선 분기기의 경우, 스위치 첨단부의 궤간 선은 첨단부에서 텅레일의 접선임
스위치 동정 (throw of switch)	텅레일의 첨단부에서 개방거리(개구값)로써 표준 치수 115㎜임 저번수의 표준 치수 145㎜임(F8 ~ 15)
플렌지웨이 (Flange way)	텅레일과 기본레일이 분리된 상태에서 차륜의 플렌지가 안전하게 통과하기 위해 확보되어야할 치수로써 58㎜이상임.
후단 벌림량 (heel divergence)	스위치 고정부에서 기본레일의 궤간선으로 부터 텅레일의 궤간 선까지의 최단 거리. 이는 스위치 고정부에서의 텅레일과 기본레일 사이의 거리에 텅레일 두부의 넓이를 더한 수치임.
미끄럼 상판 (slide chairs)	미끄럼 상판은 텅레일 저부에 설치되어 텅레일의 원활한 횡방향 이동을 도움. 마찰력의 증가는 전환력을 상승하게 하므로 도유를 하여 마찰력을 저감시킨다. (무도유롤러상판 적용시 도유하지 않음)
궤간격간 (spacing bars)	텅레일 사이의 정확한 거리를 유지시키기 위하여 브라킷을 이용하여 텅레일에 단단히 고정시킨 철제판

〈 목 차 〉

제1장. 연구개발과제의 개요 ····· 1

1절. 연구개발 목적 ····· 1

2절. 연구개발의 필요성 ····· 3

3절. 연구개발 범위 ····· 4

1. 연구개발 목표 ····· 4

2. 연구개발 내용 ····· 4

제2장. 국내외 기술 개발 현황 ····· 5

1절. 국외 고속분기기 기술 개발 현황 ····· 5

1. 프랑스 ····· 6

2. 독일 ····· 7

2절. 국내 고속분기기 기술 개발 현황 ····· 9

제3장. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 11

1절. 분기기/차량 I/F를 고려한 고속철도용 분기기 해석 Tool Kit 개발 및 최적 설계변수 도출 ····· 11

1. 고속분기기 선형해석 Tool Kit 개발 ····· 11

2. 고속분기기 선형 최적 설계변수 도출 ····· 18

2절. 고속분기기 국산화 기술 개발 ····· 27

1. 텅레일 단면 형상 설계 및 분석 ····· 27

2. 텅레일 생산설비 구축 및 시제품 제작 ····· 30

3절. 고속분기기 성능개량 기술개발 ····· 36

1. 포인트부 개량 ····· 36

2. 크로싱부 개량 ····· 37

3. 기타 개량 ····· 42

4절. 고속분기기 실내 및 현장 성능평가 ····· 45

1. KR 성능검증 ····· 45

2. 고속분기기 조립체 시험 평가 ····· 47

3. 고속분기기 현장 설치시험 ····· 50
4. 고속분기기 현장 성능평가 ····· 55
5절. 국산 콘크리트궤도용 고속분기기 특징 및 자갈도상 적용 방안 ··· 77
1. 국산 콘크리트용 고속분기기 특징 ····· 77
2. 국산 콘크리트궤도용 고속분기기 자갈도상 적용 방안 ····· 80
3. 추가 연구개발 필요 사항 ····· 81
6절. 분기기/선로전환기 I/F를 고려한 선로전환기 해석 Tool Kit 개발 · 82
1. 전기식 선로전환기 성능 요구사항 ····· 82
2. 유압식 선로전환기 성능 요구사항 ····· 86
3. 선로전환기 동력 전달 메커니즘 해석 Tool Kit 개발 ····· 91
7절. 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 국산화 기술 개발 ····· 100
1. 개발 개요 ····· 100
2. 개발 목표 ····· 100
3. 유압식 쇄정실린더 장애 조사 및 대응 기술 검토 ····· 101
4. 유압식 선로전환기 개선사항 도출 ····· 102
8절. 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 및 성능평가 ····· 105
1. 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 ····· 105
2. 유압식 쇄정실린더 실내 성능평가 ····· 115

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 125

1절. 목표 달성도 ····· 125
1. 1차년도 목표 달성도 ····· 125
2. 2차년도 목표 달성도 ····· 127
3. 3차년도 목표 달성도 ····· 129
2절. 관련 분야 기여도 ····· 132

제5장. 연구개발성과의 활용계획 ····· 133

제6장. 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 134

제7장. 연구개발성과의 보안 등급 ····· 135

제8장. 국가과학기술정보시스템에 등록한 연구시설·장비현황 ····· 136

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ···· 137

1. 연구실 안전 관리 ····· 137
2. 실험실 안전 관리 ····· 137
3. 현장 설치시험 안전 관리 ····· 137

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 138

제11장. 기타사항(언론 및 홍보, 기술세미나) ····· 142

제12장. 참고문헌 ····· 144

〈 표 목 차 〉

표 1-1-1 경부고속철도 2단계(동대구-부산) 외국산 분기기 수입 비용(단위 : 백만원) ·····1

표 2-1-1 고속분기기 국가별 분기 속도 ·····5
표 2-2-1 국내 콘크리트 궤도용 고속분기기 현황 ·····9

표 3-1-1 첫 번째 플랜지 접촉 거동 특성 비교 ·····20
표 3-1-2 텅레일 접촉각 ·····26
표 3-1-3 노즈레일 접촉각 ·····26
표 3-2-1 대표 텅레일 단면 ·····27
표 3-2-2 개발 텅레일의 차별성 ·····30
표 3-2-3 60E1A1 K 텅레일 제작 과정 ·····32
표 3-2-4 시압연 추진 현황 ·····32
표 3-2-5 국산 60E1A1 K 텅레일 개발비용 ·····33
표 3-3-1 개량형 크로싱 구조 ·····37
표 3-3-2 윙레일 개량 전·후 단면 ·····38
표 3-3-3 개량전·후 크로싱후단 변위·응력 비교 ·····39
표 3-3-4 Q클립 공인기관 성능시험결과 ·····43
표 3-4-1 개량수준 ·····45
표 3-4-2 KR성능검증 결과 요약 ·····47
표 3-4-3 공인기관 조립시험 결과 ·····48
표 3-4-4 포인트교체 궤도작업 공정 ·····51
표 3-4-5 포인트교체 신호작업 공정 ·····51
표 3-4-6 포인트부 교체작업 순서(반스위치 교체) ·····52
표 3-4-7 크로싱부 궤도작업 공정 ·····53
표 3-4-8 크로싱부 신호작업 공정 ·····53
표 3-4-9 크로싱부 교체작업 순서 ·····54
표 3-4-10 부설시 장애점 및 유의사항 ·····55
표 3-4-11 일반검측 합격기준 ·····56
표 3-4-12 전환력검측 합격기준 ·····56
표 3-4-13 정밀검측 합격기준 ·····57
표 3-4-14 모니터링 일정 계획 ·····57
표 3-4-15 차상시험 상세 ·····58
표 3-4-16 지상시험 상세 ·····59
표 3-4-17 시험일시, 시험속도, 시험차량 및 시험횟수 ·····60
표 3-4-18 차상시험 합격기준 ·····61
표 3-4-19 지상시험 합격기준 ·····61
표 3-4-20 모니터링 결과 ·····62
표 3-4-21 통과선 측정결과(300km/h) ·····63
표 3-4-22 분기선 측정결과(90km/h) ·····68

표 3-4-23 지상시험 결과 ·····75
표 3-5-1 국산 콘크리트용 고속분기기 특징 ·····77
표 3-5-2 국산화 항목 가격 비교 ·····79
표 3-5-3 자갈도상용 및 콘크리트도상용 고속분기기 비교 ·····80
표 3-6-1 전달 메커니즘 구성 간류의 종류 및 용도 ·····82
표 3-6-2 접속간과 유동방지간의 절연체 성능기준 ·····83
표 3-6-3 첨단부 유압식 선로전환기 기본 사양 ·····88
표 3-6-4 첨단부 선로전환장치 기본 요구사항 ·····88
표 3-6-5 첨단부 선로전환장치 주요 구성요소의 기능 ·····89
표 3-6-6 첨단부 선단 및 중앙쇄정장치의 기본 요구사항 ·····89
표 3-6-7 크로싱부 유압식 선로전환기 기본 사양 ·····90
표 3-6-8 크로싱부 쇄정장치 기본 사양 ·····90
표 3-6-9 첨단부 선단 및 중앙쇄정장치의 기본 요구사항 ·····99
표 3-6-10 크로싱부 쇄정장치 기본 사양 ·····99
표 3-7-1 첨단부선단 및 크로싱부 쇄정실린더 개발목표 사양 ·····101
표 3-8-1 주요부품 제작기준 ·····114
표 3-8-2 사용재료의 자재사양서 ·····115

〈 그 림 목 차 〉

그림 1-2-1 고속철도 분기기 관련 기술 ·····3
그림 1-2-2 경부고속철도 2단계 선로분기기 장애 사례 ·····3

그림 2-1-1 국외 고속분기기 ·····5
그림 2-1-2 원곡선과 3차 포물선을 사용한 선형 설계 기술 ·····6
그림 2-1-3 다물체 동역학을 통한 분기기 차량 거동 분석 ·····6
그림 2-1-4 클로소이드완화곡선을 사용한 선형 설계 기술 ·····7
그림 2-1-5 FAKOP 기술을 이용한 다이나믹 선형 설계 기술 ·····8

그림 3-1-1 분기기의 분기선 구성도 ·····11
그림 3-1-2 분기기 선형 설계 매개변수(A, B, F) ·····11
그림 3-1-3 3차포물선 완화곡선 산정 알고리즘 ·····12
그림 3-1-4 완화곡선을 고려한 분기선 선형 산정 Tool Kit ·····13
그림 3-1-5 분기기 선형 산정 Tool Kit 작동 순서 ·····13
그림 3-1-6 위치별 텅레일 단면(예) ·····14
그림 3-1-7 가공경로에 따른 분기기 단면 산정 알고리즘 ·····14
그림 3-1-8 분기기 레일 단면 산정 Tool Kit(1st Step) ·····15
그림 3-1-9 분기기 레일 단면 산정 Tool Kit(2nd Step) ·····15
그림 3-1-10 VI-RAIL FlexTrack 해석 모델링 구조 ·····16
그림 3-1-11 VI-RAIL FlexTrack 일반 궤도 모델링 ·····16
그림 3-1-12 VI-RAIL과 개발 해석 Tool Kit 분기기 모델링 비교 ·····17
그림 3-1-13 분기기 하부강성 산정 Tool Kit ·····17
그림 3-1-14 분기기 위치별 하부강성(예) ·····17
그림 3-1-15 VI-RAIL을 이용한 KTX 차량 모델링 ·····18
그림 3-1-16 분기기 스위칭 구간 차륜-레일 접촉 ·····18
그림 3-1-17 KTX 차륜 단면 모델링 ·····18
그림 3-1-18 포인트부 레일 단면 모델링 ·····18
그림 3-1-19 분기기 포인트 첨단 접촉점 ·····18
그림 3-1-20 국내 고속철도용 분기기 ·····19
그림 3-1-21 BWG 고속철도용 분기기 ·····19
그림 3-1-22 BWG 고속철도용 분기기 FAKOP ·····19
그림 3-1-23 분기기 FAKOP 산정 Tool Kit ·····19
그림 3-1-24 VI-RAIL FAKOP 및 레일 단면 모델링 ·····20
그림 3-1-25 첫 번째 플랜지 접촉 거동 특성 비교 ·····20
그림 3-1-26 FAKOP 해석(안) ·····21
그림 3-1-27 FAKOP에 따른 통과선 해석결과(350km/h) ·····21
그림 3-1-28 FAKOP에 따른 분기선 해석결과(100km/h) ·····22
그림 3-1-29 KTX와 ICE 차륜 특성 비교 ·····22
그림 3-1-30 FAKOP 최적(안) 10mm 적용에 따른 효과 ·····23

그림 3-1-31 텅레일 두부 단면 해석(안) ·····23
그림 3-1-32 텅레일 두부 단면에 따른 통과선 해석결과(350km/h, 공격각 0.015° ≤ 기준값 1°) ·····24
그림 3-1-33 텅레일 두부 단면에 따른 분기선 해석결과(100km/h, 공격각 0.14° ≤ 기준값 1°) ·····24
그림 3-1-34 국산 텅레일 60E1A1 K) 장점 ·····24
그림 3-1-35 F18.5 선형 다이아 그램(분기속도 : 100 km/h) ·····25
그림 3-2-1 모델링 및 Hertz Contact 조건 ·····28
그림 3-2-2 구조해석 결과(응력 분포) ·····28
그림 3-2-3 60E1A1 K 제작 롤 및 Pass 구성 ·····31
그림 3-2-4 국산 60E1A1 K 텅레일 제작 공정 ·····33
그림 3-2-5 국산 60E1A1 K 텅레일 검사 성적서 ·····33
그림 3-2-6 국산 60E1A1 K 텅레일 단조 테스트 ·····34
그림 3-2-7 국산 60E1A1 K 텅레일 가공 테스트 ·····34
그림 3-2-8 포인트부 조립 테스트 ·····35
그림 3-2-9 크로싱부 조립 테스트 ·····35
그림 3-3-1 포인트부 개량 설계도(FAKOP 10mm 적용) ·····36
그림 3-3-2 스페이싱바 개량 전 · 후 비교 ·····36
그림 3-3-3 개량형 크로싱후단 단면도 ·····37
그림 3-3-4 자석볼트, 너트 사진 ·····40
그림 3-3-5 300만회 자체피로시험 ·····40
그림 3-3-6 공인기관 진동시험 ·····40
그림 3-3-7 융커시험 전경 ·····40
그림 3-3-8 융커시험 결과 ·····41
그림 3-3-9 풀림방지 너트 현장 시험 ·····41
그림 3-3-10 Q클립 변위 및 응력 비교 ·····42
그림 3-3-11 SKL12, USK2 → Q클립 대체 사진 ·····42
그림 3-3-12 Q클립 공인기관 성능시험 사진 ·····43
그림 3-3-13 힐부패드 적용 위치 ·····44
그림 3-3-14 힐부 패드 개량 전 · 후 비교 ·····44
그림 3-3-15 코일형 히팅장치 개선 전 · 후 비교 ·····44
그림 3-4-1 KR성능검증 절차 ····· 46
그림 3-4-2 일반검사 ·····48
그림 3-4-3 포인트부 검사 ·····49
그림 3-4-4 크로싱부 검사 ·····49
그림 3-4-5 현장 인공위성 사진 ·····50
그림 3-4-6 현장 고속분기기 전경 ·····50
그림 3-4-7 정읍역 배선도 ·····50
그림 3-4-8 포인트부 교체범위 ·····51
그림 3-4-9 크로싱부 교체범위 ·····53
그림 3-4-10 지상시험 센서 설치 위치 ·····58

그림 3-4-11 차세대고속열차(HEMU) ·····60
그림 3-4-12 차세대고속열차(HEMU) 대차 및 차체가속도 센서 ·····60
그림 3-4-13 1-1차 HEMU 하행(배향) 통과선 300km/h(익산→정읍) ·····64
그림 3-4-14 1-1차 HEMU 하행(배향) 통과선 300km/h Estimated Maximum Value(익산→정읍) ·····64
그림 3-4-15 1-5차 HEMU 상행(대향) 통과선 300km/h(익산←정읍) ·····65
그림 3-5-16 1-5차 HEMU 상행(대향) 통과선 300km/h Estimated Maximum Value(익산←정읍) ·····65
그림 3-4-17 2-1차 HEMU 하행(배향) 통과선 300km/h(익산→정읍) ·····66
그림 3-4-18 2-1차 HEMU 하행(배향) 통과선 300km/h Estimated Maximum Value(익산→정읍) ·····66
그림 3-4-19 1-1차 및 2-1차 차체 횡가속도 가속도 비교(익산→정읍) ·····67
그림 3-4-20 1-2차 HEMU 하행(배향) 분기선 90km/h(익산→정읍) ·····69
그림 3-4-21 1-2차 HEMU 상행(대향) 분기선 90km/h(익산←정읍) ·····69
그림 3-4-22 1-3차 HEMU 하행(배향) 분기선 90km/h(익산→정읍) ·····70
그림 3-4-23 1-3차 HEMU 상행(대향) 분기선 90km/h(익산←정읍) ·····70
그림 3-4-24 1-4차 HEMU 하행(배향) 분기선 90km/h(익산→정읍) ·····71
그림 3-4-25 1-4차 HEMU 상행(대향) 분기선 90km/h(익산←정읍) ·····71
그림 3-4-26 1-2~4차 HEMU 하행(배향) 분기선 90km/h Estimated Maximum Value(익산→정읍) ·····72
그림 3-4-27 1-2~4차 HEMU 상행(대향) 분기선 90km/h Estimated Maximum Value(익산←정읍) ·····72
그림 3-4-28 하행(익산 → 정읍) 통과선측 주행(배향)시 기존 및 국산 분기기 차체 횡가속도(1Hz Low Pass Filter) 비교 ·····73
그림 3-4-29 상행(익산 ← 정읍) 통과선측 주행(대향)시 기존 및 국산 분기기 차체 횡가속도(1Hz Low Pass Filter) 비교 ·····73
그림 3-4-30 하행(익산 → 정읍) 분기선측 주행(배향)시 기존 및 국산 분기기 차체 횡가속도(6Hz Low Pass Filter) 비교 ·····74
그림 3-4-31 상행(익산 ← 정읍) 분기선측 주행(대향)시 기존 및 국산 분기기 차체 횡가속도(6Hz Low Pass Filter) 비교 ·····74
그림 3-4-32 현장 부설 상태 ·····75
그림 3-4-33 통과선측 틈새확인(0.3mm) ·····76
그림 3-4-34 분기선측 틈새확인(0.5mm) ·····76
그림 3-4-35 틈새보정용 패드 ·····76
그림 3-4-36 #26 레일수직변위 재측정 결과 ·····76
그림 3-4-35 틈새보정용 패드 ·····76
그림 3-5-1 국산 SKL15 피로시험 파손 사례 ·····81
그림 3-6-1 F18.5 첨단부 동력전달 메커니즘(사진) ·····82
그림 3-6-2 F18.5 첨단부 동력전달 메커니즘(도면) ·····84
그림 3-6-3 F18.5 크로싱부 동력전달 메커니즘(도면) ·····85
그림 3-6-4 F18.5 유압식 선로전환기 첨단부(좌) 및 크로싱부(우) 구성도 ·····86

그림 3-6-5 유압식 선로전환기 제어 및 감시 구조 ····· 86
그림 3-6-6 유압식 선로전환기 유압회로 구성 현황 (우축 → 좌측 전환 시) ····· 87
그림 3-6-7 전기식 선로전환기 동력전달 모델(MSC.ADAMS) ····· 91
그림 3-6-8 전기식 선로전환 메커니즘 모델 구성 ····· 91
그림 3-6-9 레버 및 VCC 시스템 입력 ····· 92
그림 3-6-10 L자형 및 I자형 링크 입력 ····· 92
그림 3-6-11 거리 구속(링크) 입력 ····· 92
그림 3-6-12 텅레일 유연체 제원 입력(자동생성 후 개별적 입력 가능) ····· 93
그림 3-6-13 레일-침목 간 마찰력 제원 입력(롤러 영력 입력) ····· 93
그림 3-6-14 유압식 선로전환기 동력전달 모델(MSC.ADAMS) ····· 93
그림 3-6-15 텅레일용 유압실린더 모델링 ····· 94
그림 3-6-16 노즈 레일용 유압실린더 모델링 ····· 94
그림 3-6-17 레버 구동력 ····· 95
그림 3-6-18 위치별 레일-침목 간 마찰력 ····· 95
그림 3-6-19 침목 위치별 텅레일 굽힘 모멘트 ····· 95
그림 3-6-20 링크 회전 운동 ····· 96
그림 3-6-21 좌측 레일 PUSH ····· 96
그림 3-6-22 좌측 레일 PULL ····· 96
그림 3-6-23 텅레일 첨단/중간/후미 굽힘 모멘트 ····· 97
그림 3-6-24 텅레일 첨단/중간/후미 굽힘 각도 ····· 97
그림 3-6-25 위치별 레일-침목 간 마찰력 ····· 97
그림 3-6-26 모터 구동력 ····· 98
그림 3-6-27 위치별 레일-침목 간 마찰력 ····· 98
그림 3-6-28 좌측 레일 PUSH 실린더별 전환력 ····· 98
그림 3-6-29 우측 레일 PULL 실린더별 전환력 ····· 99
그림 3-7-1 첨단부 선로전환기 ····· 100
그림 3-7-2 크로싱부 선로전환기 ····· 100
그림 3-7-3 첨단부 쇄정실린더 ····· 101
그림 3-7-4 크로싱부 쇄정실린더 ····· 101
그림 3-7-5 쇄정치크 형상 개선 ····· 103
그림 3-7-6 쇄정로드 형상 개선 ····· 103
그림 3-7-7 유압식 선로전환기 작동유 청정장치 개념도 ····· 104
그림 3-7-8 유압식 선로전환기 작동유 히팅장치 개념도 ····· 104
그림 3-8-1 첨단부 쇄정실린더 작동유 주입 ····· 105
그림 3-8-2 외측쇄정튜브 해정 및 내측 쇄정튜브 록킹 ····· 105
그림 3-8-3 쇄정로드 및 내측 쇄정튜브 이동 ····· 106
그림 3-8-4 텅밀착부가 기본레일에 접촉된 상태 ····· 106
그림 3-8-5 외측 쇄정튜브가 쇄정된 상태 ····· 106
그림 3-8-6 첨단부 선단 쇄정실린더 모델링 ····· 107
그림 3-8-7 첨단부 선단 쇄정실린더 단면도 ····· 107
그림 3-8-8 피스톤 로드 단면도 ····· 107

그림 3-8-9 피스톤 로드 내부의 릴리프 밸브 단면도 ·····108
그림 3-8-10 피스톤 로드 내부의 토핑 밸브 단면도 ·····108
그림 3-8-11 압력조절 밸브 단면도 ·····108
그림 3-8-12 압력조절밸브의 유압 회로도 ·····109
그림 3-8-13 텅밀착부 단면도 ·····109
그림 3-8-14 쇄정로드, 쇄정튜브, 쇄정피스의 모양 ·····110
그림 3-8-15 크로싱부 쇄정실린더 작동유 주입 ·····110
그림 3-8-16 외측 쇄정튜브 해정 및 내측 쇄정튜브 로킹 상태 ·····110
그림 3-8-17 외측 쇄정튜브가 쇄정된 상태 ·····111
그림 3-8-18 크로싱부 선단 쇄정실린더 모델링 ·····111
그림 3-8-19 크로싱부 쇄정실린더 단면도 ·····111
그림 3-8-20 피스톤 로드 단면도 ·····112
그림 3-8-21 쇄정스위치부 ·····112
그림 3-8-22 쇄정상태 표시부 ·····113
그림 3-8-23 쇄정로드, 쇄정피스, 쇄정튜브의 모양 ·····113
그림 3-8-24 첨단부 쇄정실린더 성능시험기 모습 ·····116
그림 3-8-25 첨단부 쇄정실린더 성능시험기에 장착된 센서 ·····116
그림 3-8-26 크로싱부 쇄정실린더 성능시험기 모습 ·····116
그림 3-8-27 크로싱부 쇄정실린더 성능시험기에 장착된 센서 ·····116
그림 3-8-28 첨단부 쇄정실린더 우측 쇄정력 평가 결과(예) ·····117
그림 3-8-29 첨단부 쇄정실린더 좌측 쇄정력 평가 결과(예) ·····118
그림 3-8-30 첨단부 쇄정실린더 작동압력시험 결과(예) ·····119
그림 3-8-31 크로싱부 쇄정실린더 작동압력시험 결과(예) ·····120
그림 3-8-32 진동내구시험 준비_백색페인트도포(좌), 진동내구시험기조립(우) ·····120
그림 3-8-33 첨단부 쇄정실린더가 진동내구시험기에 조립된 모습 ·····121
그림 3-8-34 크로싱부 쇄정실린더가 진동내구시험기에 조립된 모습 ·····121
그림 3-8-35 온도처리를 위한 환경쳄버의 쇄정실린더 모습 ·····122
그림 3-8-36 첨단부 쇄정실린더 온도처리후 쇄정력을 시험하는 모습 ·····122
그림 3-8-37 크로싱부 쇄정실린더 온도처리후 쇄정력을 시험하는 모습 ·····122
그림 3-8-38 크로싱부 쇄정실린더 방수내구시험하는 모습 ·····123
그림 3-8-39 첨단부 쇄정실린더 방수내구시험하는 모습 ·····123
그림 3-8-40 첨단부 및 크로싱부 쇄정실린더 작동내구시험하는 모습 ·····123
그림 3-8-41 쇄정실린더 작동내구시험 중인 제어계측기의 모습 ·····124

제1장. 연구개발과제의 개요

1절. 연구개발 목적

○ **고속철도용 분기기 고유 브랜드 개발을 통한 국내 고속철도용 분기기 기술적 한계 극복 및 고속철도 안전성 확보**

- 독자적 설계 역량 부족으로 국외 주요 용품 및 시스템 수입 적용
- 단순 수입, 부설에 따라 장애발생시 조기 대처 능력 부족으로 차량 지연, 승객 불편 및 불안감 증가(예 : 경부고속철도 2단계 고속분기기)
- 장애발생시 즉각적인 원인분석 및 조치를 위한 상시 모니터링 및 관리 시스템 부재
- 상기의 기술적 한계 극복 및 고속철도 안전성 확보를 위해서는 고속철도용 분기기 시스템 및 관리 운영 시스템 핵심 기술 개발을 기반으로 분기기 국산화 및 성능 개량을 통한 고속철도용 분기기 고유 브랜드 개발

○ **기술 종속국에서 탈피하고 독자적인 기술력 확보를 통해 국내 철도시장 진입장벽 구축 및 국외 고속철도시장 능동적 대처 기반 확보**

- 친환경성, 정시성 및 안전성에 대한 대국민 인식 개선으로 교통수단 중심으로 철도교통 위상 강화로 고속철도 시장 확대
- 국가별 속도경쟁 가속화(프랑스 575km/h, 중국 486km/h, 일본 443km/h) 및 국내 고속철도차량 개발(HEMU 430, HEMU 500X 기획과제)에 대응하는 궤도 인프라 개발 필요
- 국내 수입 대체 효과 : 유지보수 시장 약 71.4억원/년, 신규시장 약 1,470억원 예상
  · 국내 고속철도 분기기 시장 규모는 약 238틀로 20년 주기 100% 교체 고려 시 약 71.4억원/년 유지보수 시장 예상
  · KTX건설의 경우 2단계 구간(대구~부산)에서는 고속철도 분기기의 95%를 수입에 의존하여 약 510억원의 외화 유출사례 발생

표 1-1-1 경부고속철도 2단계(동대구-부산) 외국산 분기기 수입 비용(단위 : 백만원)

구 분	F18.5(29틀)		F46(8틀)	
	단 가	금 액	단 가	금 액
분기기	736	21,344	1,330	10,640
신호전장품	241	6,989	241	1,928
운반비등	234	6,787	423	3,384
소 계	1,102	35,120	1,994	15,952
총 계	51,072			

· 3차 국가철도망구축계획(2016년 6월 27일)에 따라 현재 200km/h 이상 고속철도 368.5km와 고속화철도 260km 연장을 각각 2025년까지 각각 680.5km(△312km)와 2,466km(△2,206km)까지 확대하기 위한 신규사업 총예산 약 44조 6,313억원)의 0.5% 규모를 분기기 시장으로 산정시 약 2,230억원 신규 시장 예상

- 해외 수출 효과 : 약 2조8천억원의 규모 분기기 시장 예상

  · 2014년 이후 350km이상 전세계 고속철도 건설계획은 약 14,000km이상으로 호남고속철도 182km의 총공사비 7조6,000억원(km당 단가 약 400억원)에 대한 분기기 부설비용 350억원(총공사비 대비 0.5%) 고려 시 약 2조8천억원의 규모를 분기기 시장 예상

2절. 연구개발의 필요성

○ 고속철도용 분기기는 차량, 궤도, 노반, 신호시스템을 포함하는 융합 기술로, 고속철도시스템의 안전성과 직접적으로 연계된 중요 기술임



그림 1-2-1 고속철도 분기기 관련 기술

○ 경부고속철도 1단계 구간 자갈도상궤도용 고속분기기는 프랑스 Vossloh-Cogifer社로부터 제작기술을 도입하여 국내에서 제작하고 고속분기기 핵심 구성품인 텅레일 및 노즈레일용 레일은 수입하여 부설한 것이며, 경부고속철도 2단계 구간 콘크리트 궤도용 고속분기기는 독일 BWG社로부터 VAEE社의 유압식 선로전환기와 함께 전량 수입 부설한 것으로, 동적 선형설계 등 설계기술 및 구성품의 국산화가 미흡하여 국외 기술에 종속되어 있기 때문에, 장애 발생 시 조기 대처능력이 부족하고 고유 브랜드 고속분기기 개발을 통한 독자적인 해외진출이 불가능한 상황임



그림 1-2-2 경부고속철도 2단계 선로분기기 장애 사례

○ 따라서 장애에 대한 조기 대처로 고속철도 운영 안정성을 확보하고 국제경쟁력 확보를 위해서는 현재 국내 고속분기기 취약 기술인 동적 선형설계 등 핵심 설계기술, 구성품 국산화 및 개발된 고속분기기의 성능검증을 통한 고유 브랜드 고속분기기의 개발이 필요

3절. 연구개발 범위

1. 연구개발 목표

○ **고속철도용 분기기 운영 안전성 향상을 위한 분기기 국산화 및 성능 개량 기술 개발**

- 분기선 선형 : 승차감(Jerk) ≤ 1.73m/s^3(70<V≤170km/h), 주행안전성(공격각) ≤ 1°
- 텅레일 생산설비(롤, 유도설비 구축) 및 고유 단면 개발 : 주행안전성(접촉각) ≥ 40°
- 고속분기기용 유압식 선로전환기 쇄정실린더 국산화
- 고속철도용 분기기 성능평가 및 Test-Bed 구축
- 한국철도시설공단 성능검증 인증서

2. 연구개발 내용

○ **분기기/차량 I/F를 고려한 고속철도용 분기기 해석 Tool Kit 개발 및 최적 설계변수 도출**

- 고속철도용 분기기 차량동력학 해석 Tool Kit 개발
  - · 고속철도용 분기기 차량동력학 선형해석 Tool Kit 개발
  - · 고속철도용 분기기 차량동력학 단면해석 Tool Kit 개발
  - · 고속철도용 분기기 차량동력학 하부강성 Tool Kit 개발
- 고속철도용 분기기 최적 설계변수 도출
  - · FAKOP 효용성 검증
  - · 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 FAKOP 도출
  - · 국내 고속철도 차량에 적합한 최적 텅레일 단면 도출

○ **분기기/선로전환기 I/F를 고려한 선로전환기 해석 Tool Kit 개발**

- 전기식 선로전환기 성능 요구사항
- 전기식 선로전환기 동력 전달 매커니즘 해석 Tool Kit 개발

○ **고속철도용 분기기 국산화 기술 개발**

- 텅레일 단면 형상 설계 및 분석
- 텅레일 생산설비 구축 및 시제품 제작

○ **고속철도용 분기기 성능 개량 기술 개발**

- 포인트부 개량
- 크로싱부 개량
- 기타 개량

○ **고속철도용 분기기 시제품 실내 및 현장 성능평가**

- 고속철도용 분기기 시제품 제작(F18.5)
- 고속분기기 실내 성능평가
- 고속분기기 현장 설치시험
- 고속분기기 현장 성능평가

○ **고속분기기용 유압식 쇄정실린더 국산화 기술 개발**

○ **고속분기기용 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 및 성능평가**

- 유압식 쇄정실린더 시제품 제작
- 유압식 쇄정실린더 실내 성능평가

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1절. 국외 고속분기기 기술개발 현황

○ 철도 선진국인 프랑스, 독일, 일본 등은 고속분기기에 대한 지속적인 연구개발을 통하여 분기기 안전성 향상과 차량과 레일간의 인터페이스 및 주행속도 증가에 따른 사행동 시뮬레이션과 궤도 상호 응답특성을 예측할 수 있는 수준까지 발전하였음

○ 이를 기반으로 글로벌 세계 경제체제 속에서 철도에 대한 영향력을 확장하여 국내 및 중국 등 글로벌 시장에 고속분기기를 포함한 유관 기술을 수출하고 있음

표 2-1-1 고속분기기 국가별 분기 속도

구 분	분기번호	분기 선형 형식	분기속도(km/hr)	비고
프랑스	F15	원곡선	80	측선에서 사용
	F46	원곡선+3차포물선	160	고속선의 건넘선에서 사용
	F65	원곡선+3차포물선	220	타방향 고속선으로의 분기시 사용
독 일	F37	완화+원곡선+완화	160	고속선의 건늠선에서 사용
	F46	완화+원곡선+완화	220	타방향 고속선으로의 분기시 사용
일 본	F18	원곡선	70	본선/부본선 분기시 사용

프랑스 고속분기기	독일 고속분기기
	
	

그림 2-1-1 국외 고속분기기

1. 프랑스

○ 분기기 설계 및 제작 전문업체로 세계적으로 유명한 프랑스의 Vossloh-Cogifer사는 분기기 상의 고속열차 주행을 위한 여러 형식의 고속분기기를 자체적으로 설계・제작하고 있는데, 고속분기기의 수십 m의 긴 텅레일을 생산할 수 있는 기술과 설비를 가지고 있을 뿐만 아니라 복잡한 형상의 크로싱 크래들(crossing cradle)을 직접 설계・제작할 수 있는 기술을 보유하고 있음

○ 한편, 고속분기기에는 저속분기기와는 달리 내구성과 저항력이 강한 PC 분기침목을 사용하고 있는데, 프랑스의 ABETONG사는 PC 분기침목을 포함한 PC 침목생산 전문업체로서, 각 침목마다 레일과의 체결을 위한 베이스플레이트 인서트 홀을 정밀하게 산정하여 설계・제작하는 PC분기 침목설계의 핵심기술을 확보하고 있음

○ 차량/분기기와의 상호작용 해석기술은 차량이 분기기를 통과할 시에 분기기 각 구간 즉, 포인트부, 리드부, 그리고 크로싱부에 발생하는 응력, 진동, 가속도 등의 해석을 통한 차량과 분기기간의 인터페이스 동역학적 해석을 통하여 차량이 분기기를 통과하면서 분기기에 어떤 영향을 미치는지 분석함으로써 차량이 안전하게 운행될 수 있는지, 어떤 부분에 어떤 결함을 야기하는지 자체 검토할 수 있음. 이를 토대 분기기 설계 구조를 변경하거나 분기기 재료를 강화시켜 완벽한 분기기가 설계・제작됨. 프랑스의 Vossloh-Cogifer사에서 시행하고 있는 차량/분기기 동역학 시뮬레이션은 분기기상 차량 통과 시 차량과 고속분기기와의 상호작용 해석기술을 자체적으로 확보하여 분기기 설계 시에 반영함으로써, 안전하고 정밀한 분기기와 텅레일, 노스레일 쇄정장치 및 밀착검지장치 등을 설계・제작하고 있음

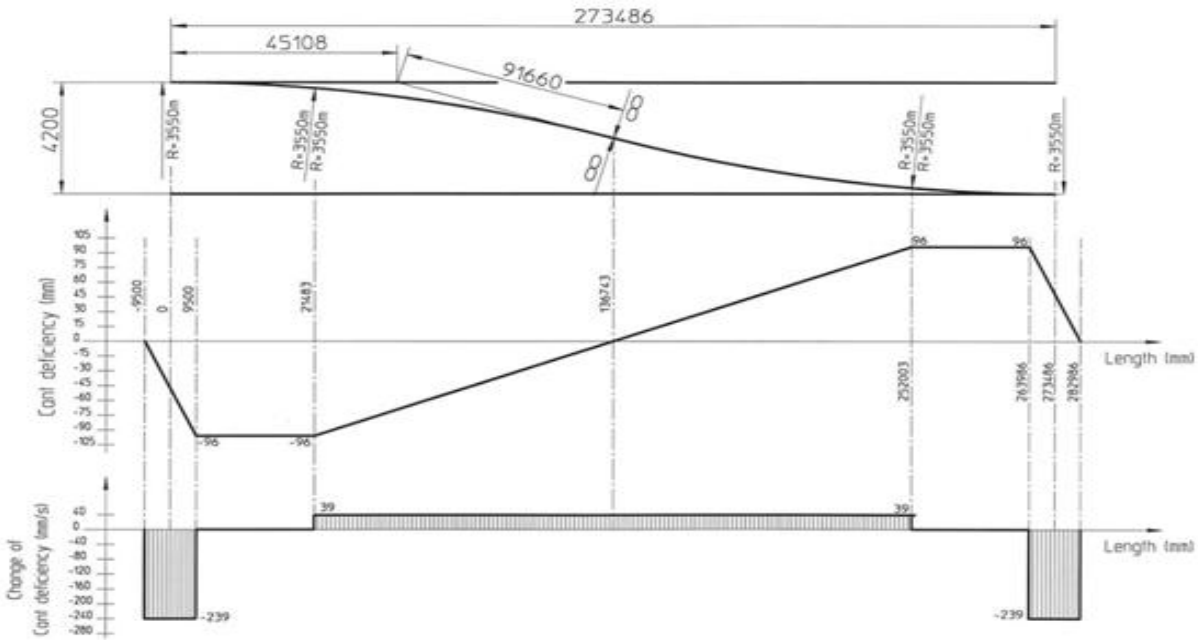


그림 2-1-2 원곡선과 3차 포물선을 사용한 선형 설계 기술

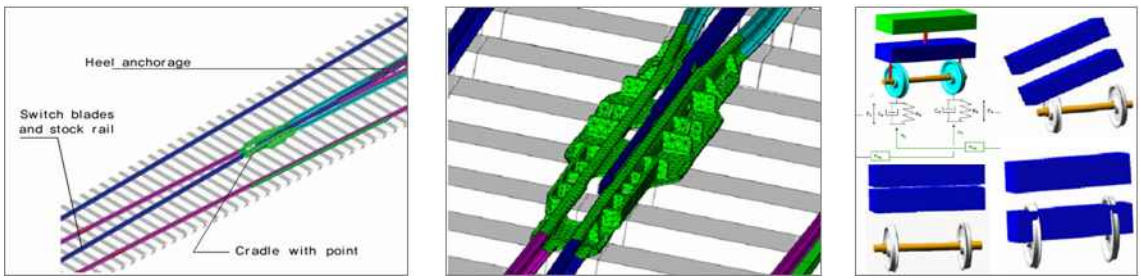


그림 2-1-3 다물체 동역학을 통한 분기기 차량 거동 분석

2. 독일

○ 대표적인 분기기 기업인 BWG는 독자적인 선형 개발과 체결시스템, 분기기 구성품 안전성 향상 제품을 개발하여 사용하고 있음. 특히 콘크리트 궤도용 고속분기기 개발을 리드함으로써 전세계 시장을 선점하여 콘크리트 도상분기기 분야에서 기술적 절대 우위를 차지하고 있음. 이러한 실적을 기반으로 대만, 중국, 한국 콘크리트궤도용 고속분기기를 납품하였고 슬래브패널을 적용한 분기기시스템 등 다양한 궤도시스템에 사용가능한 분기기 개발을 진행중임

○ 분기선측 클로소이드 완화곡선

- BWG 고속 분기기는 분기기 시점부에서 기하학적인 요소의 클로소이드 구간을 갖도록 설계되었음. 시점부의 휨을 크게 갖도록 설계된 클로소이드 구간은 차량이 분기궤도에 진입할 때 열차의 횡 흔들림을 최소화하고 있음. 이는 승차감을 향상시킬 뿐만 아니라 상당한 충격력을 저감시켜 주며 또한, 작은 단면적으로 인해 최소 응력에만 저항할 수 있는 포인트부의 마모를 상당히 감소시켜줌

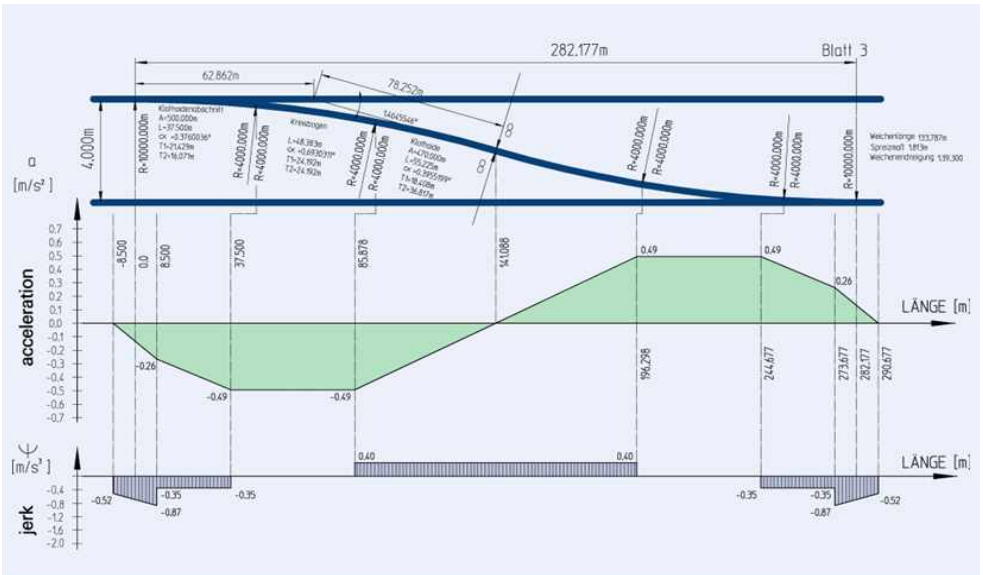


그림 2-1-4 클로소이드완화곡선을 사용한 선형 설계 기술

○ FAKOP(FAhrKante OPtimierung, 동적 궤간 최적화)

- 차륜답면이 테이퍼형상으로 되어 있는 것은 주행의 안정성이란 측면에서 보면 아주 좋으나 이러한 테이퍼형상 차륜의 문제점은 윤축이 한쪽으로 쏠렸다가 반대쪽으로 쏠리는 현상의 반복으로 인해 열차가 꾸불꾸불 전진하는 사행동이 일어나기 쉬운 문제점이 있음. 이 때문에 차체도 횡방향으로 흔들려 요잉(Yawing), 롤링(Rolling) 현상이 나타나게 되고 차륜의 플랜지가 레일과 충돌하게 되어 마모 또는 파손되거나 심지어는 탈선하는 경우도 있음
- 차량에는 롤링이나 요잉 등의 고유의 진동이 있고, 이것이 헌팅에 의한 진동과 주파수가 일치되면 공진(Resonance)을 일으키고, 대차가 불안정 해져서 주행 안정성 및 승차감을 저하시킴
- 이러한 사행동을 저감시키기 위한 동역학적 방법으로 분기기 구간에서 궤간을 확대시켜 최적화시킨 Switching System은 분기기 진입 시 분기기의 기능 향상 및 운영의 안전성을 증가시킬 수 있으며, 텅레일 형상(첨단 두께 보강)은 포인트 전단에 있는 텅레일이 측면으로 심하게 충돌하지 않게 함으로서 레일의 마모를 줄이며 사행동 파장을 길게 하여 차량 주행 안정성을 높일 수 있음
- BWG 분기기에서 동역학적으로 최적화된 Switching System은 직선궤도뿐 아니라 분기궤도에 있는 분기기 진입 시 분기기의 기능 향상 및 운행의 안전성을 증가시킴. FAKOP의 형상은 포인트 전

단에 있는 텅레일이 측면으로 심하게 충돌하지 않게 함으로서 레일의 마모를 줄이며 표준설계와 비교하여 두껍게 설계하여 사용 수명을 연장시킴

- FAKOP 형상은 차륜 형상, 허용되는 궤간 등과 같이 규정된 제반 조건을 고려하여 차륜/레일 시스템의 운행조건과 일체화시킴

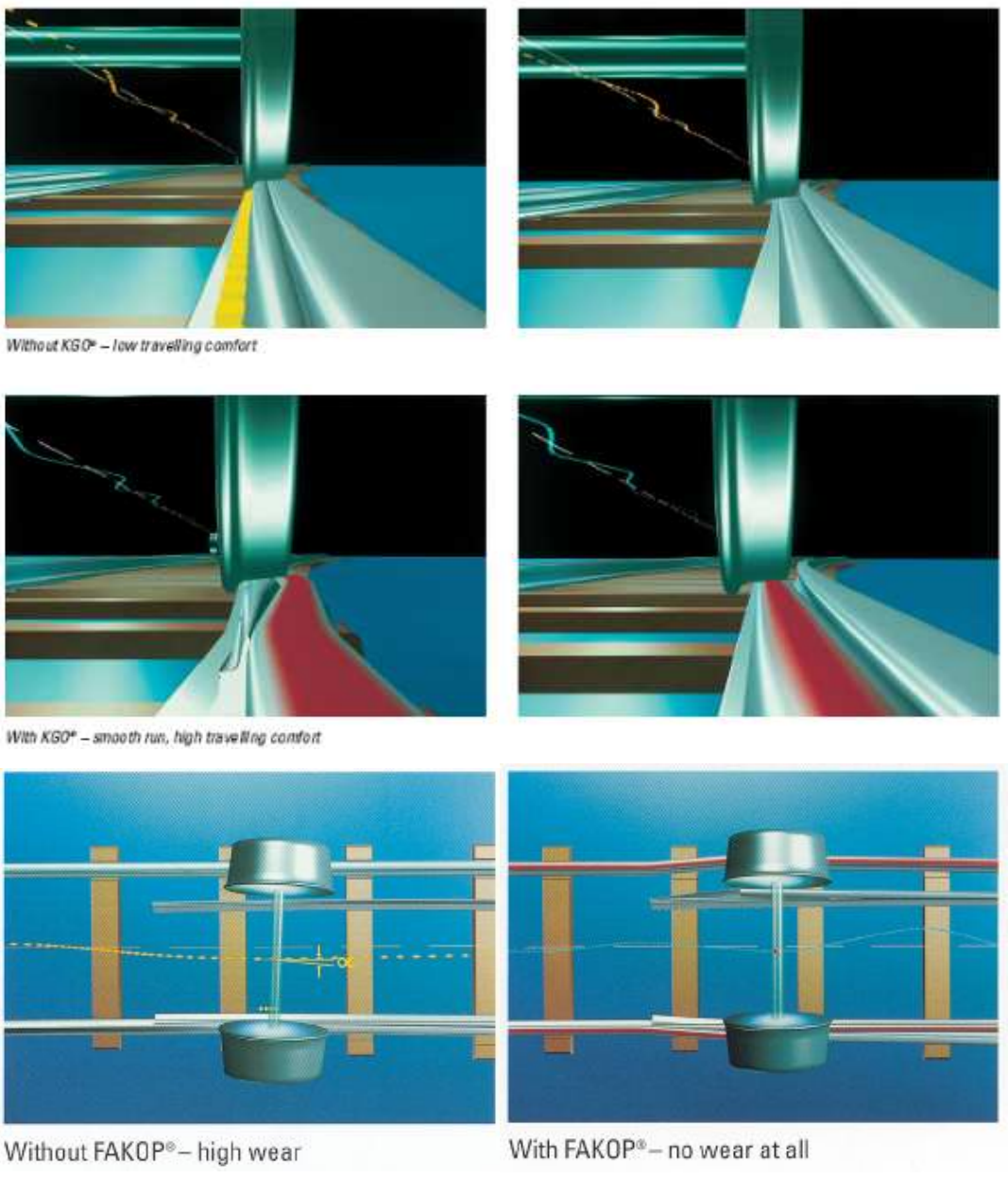


그림 2-1-5 FAKOP 기술을 이용한 다이나믹 선형 설계 기술

2절. 국내 고속분기기 기술개발 현황

○ 현재 국내 고속철도는 2015년 4월 호남고속철도, 2016년 8월 수도권 고속철도 개통을 하여, 총 고속철도 연장은 660km에 달하고 있으며, KTX의 년 간 수송량은 2009년 37,477천명에서 2014년 56,917천명으로 5년 새 52%가 급성장하였음

○ 이러한 증가 추세는 신속성과 정시성, 안전성이 고객의 Needs를 충족하기 때문인 것으로 해석할 수 있음. 이러한 고속철도의 급격한 수요 증가에 부응코자 정부는 고속철도 차량 증편과 일반철도의 고속화를 추진하고 있으며, 초고속 열차 HEMU500X개발과 궤도인프라 개발에 연구력을 집중하고 있음

○ 철도차량의 속도 향상은 차량개발 뿐만 아니라 이를 지지할 수 있는 하부구조(Infra Structure)의 개발이 동시에 이루어져야 함. 차량과 궤도의 원활한 인터페이스만이 고속철도의 휠과 레일간의 동역학적 주행 안전을 담보할 수 있음. 궤도분야의 3대 취약개소는 곡선부, 이음매부, 분기부이며, 이 중 분기기는 궤도의 핵심이라고 불릴 만큼 매우 정교하고, 복잡한 구조를 가진다. 전기 신호시설이 결합되어 차량 방향전환이라는 한 가지 목적으로 작동되므로 각 구성품 간의 결합과 조립체로서의 조합 성능은 매우 중요하다고 할 수 있음

표 2-2-1 국내 콘크리트 궤도용 고속분기기 현황

항목	호남고속, 수도권	경부고속2단계(독일 BWG)
포인트부		
크로싱부		
텅레일 종류	60E1A4(UIC60D) (금번 개발한 60BK로 대체가능)	60E1A1(UIC60B) (금번 개발한 60BK로 대체가능)
방향 전환 시스템	포인트, 크로싱 MJ81선로전환기 각 1대 + 철관링크 장치	Hydro star ZV, HB 1Unit, multi cylinder
전환력	400kg이하	설계사 제시값(640kg이하)
벌림량	115㎜	120㎜
소재	레일강(R260)	레일강(R350HT)

○ 고속철도 분기기는 총 302틀이 국내에 적용되어 있으며 F18.5번 이상 고번수는 202틀이며 그 중 F18.5번이 142틀로써 약 70%를 차지하고 있다. 이러한 고속철도용 분기기는 고속1단계 자갈도상

의 경우 프랑스 코지퍼(Cogifer)에서 기술도입이 이루어졌으며, 고속2단계 콘도상분기기는 독일 BWG하이드로스타 분기기가 적용되었다. 그 중 2틀은 “고속분기기 국산화 정부 방침”에따라 고속1단계 분기기를 체결장치만 콘도상용으로 개량시킨 “MJ81선로전환기형 고속분기기” F18.5번을 시험부설 하여 KR의 “철도시설 성능검증”을 통해 2010년 적합판정을 받아 호남고속철도와 수도권 고속철도에 사용되었음

○ 현재 국내 고속철도용 분기기 기술은 설계 및 제작 기술이 100%국산화 수준에 도달하였다. 그러나 핵심 부품부분인 체결클립과 텅레일(60E1A1(UIC60B), 60E1A4(UIC60D) 고속1, 호남, 수도권)은 100% 수입에 의존하고 있는 실정임

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1절. 분기기/차량 I/F를 고려한 고속철도용 분기기 해석 Tool Kit 개발 및 최적 설계변수 도출

1. 고속철도용 분기기 차량동력학 해석 Tool Kit 개발

가. 필요성

○ 차량 동력학 프로그램들 중 궤도의 Flexibility 고려가 가능한 VI-RAIL은 다물체 동역학 범용 소프트웨어인 ADAMS를 기반으로 하고 있음

○ 다물체 동역학 범용 소프트웨어인 ADAMS만 하더라도 전문가가 아니면 다루기가 쉽지 않은데, 철도차량에 국한되어 매우 전문화된 VI-RAIL은 철도차량 전문 지식과 다물체 동역학에 대한 이해를 요구하는 프로그램일 뿐만 아니라, 분기기 모델링 기능이 없기 때문에 VI-RAIL을 사용하여 분기기 시스템에 대한 주행 안정성 해석을 하는 경우에는 일반 궤도를 모델링하는 것에 비해 상당히 많은 모델링 작업 시간을 필요로 함

○ 분기기 모델링 작업은 선형, 기본레일 및 텅레일 단면, 하부강성 세 부분으로 크게 구분할 수 있으며, 설계 최적 변수 도출을 위한 매개변수 해석을 효율적으로 수행하기 위해서는 분기기 해석 Tool Kit 개발을 통한 모델링 자동화가 필요함

나. 고속철도용 분기기 차량동력학 선형해석 Tool Kit 개발

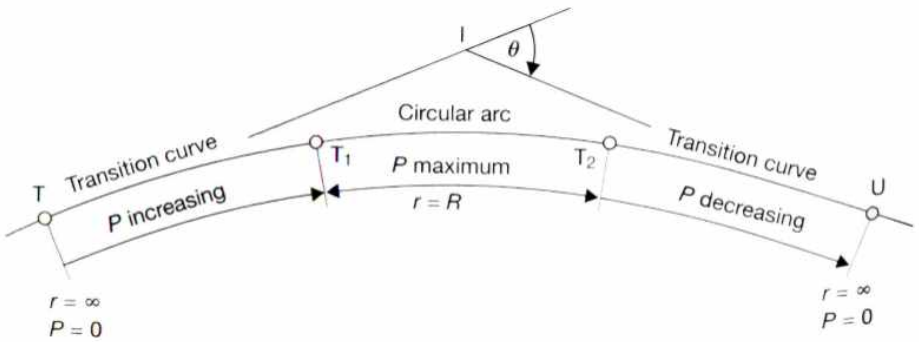
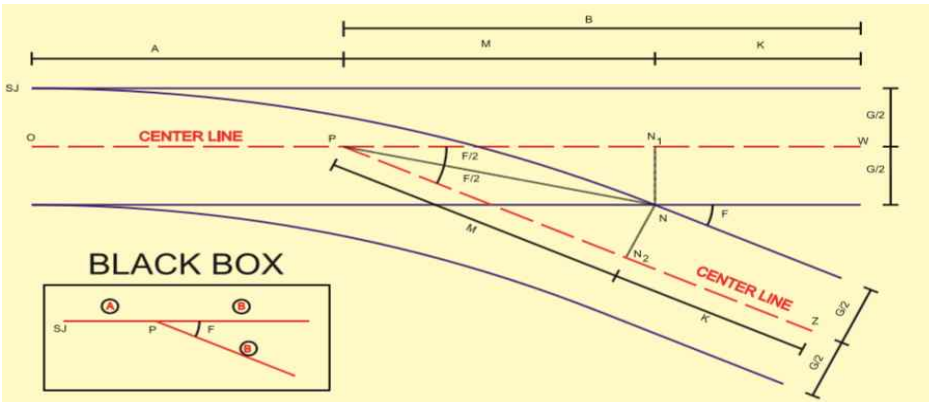


그림 3-1-1 분기기의 분기선 구성도



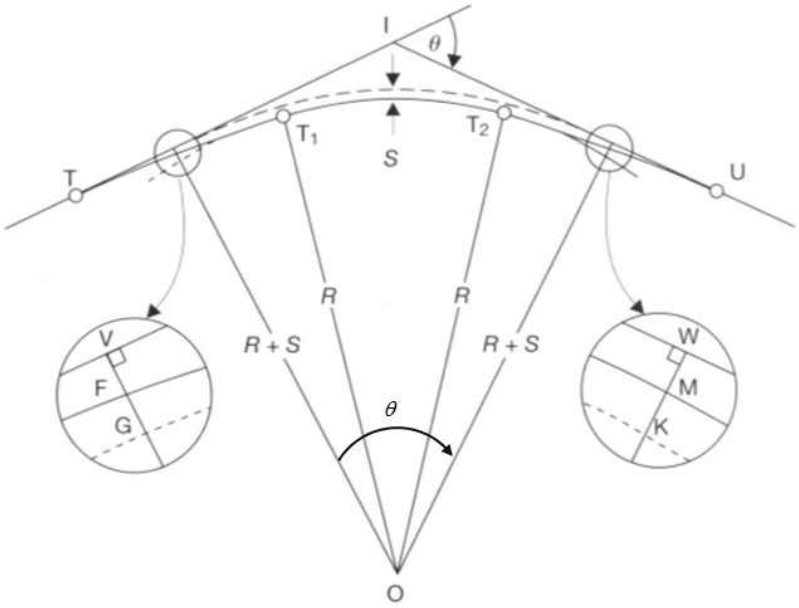
$$\tan F/2 = \frac{N_1 N}{P N_1} = \frac{G/2}{M}, \qquad M = G/2 \cot F/2$$

그림 3-1-2 분기기 선형 설계 매개변수(A, B, F)

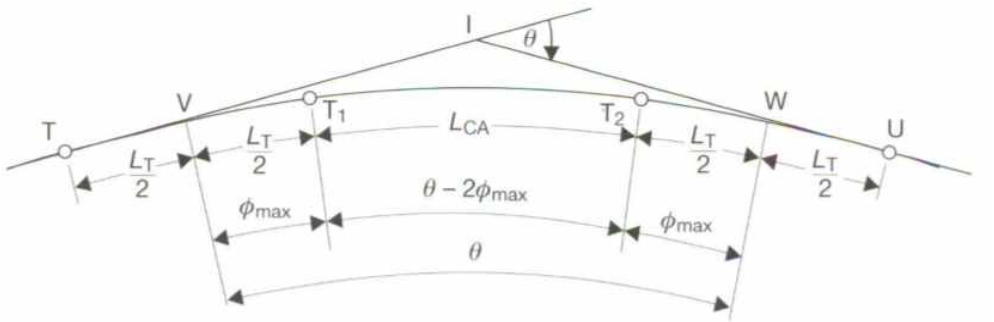
○ 분기기 선형은 일반적으로 그림 3-1-1과 같이 완화곡선부-원곡선부-완화곡선부로 구성되고 있음

○ 분기기 선형에 대한 매개변수는 그림 3-1-2에서와 같이 A, B, F를 정의할 수 있음

○ 분기기 선형에 3차포물선 완화곡선부 추가에 따른 이정량과(Shift) 이에 따른 완화곡선부 및 원곡선부 길이를 고려한 분기선측 선형 산정 알고리즘 개발



(a) 완화곡선부에 따른 이정량(Shift, S)



(b) 완화곡선부 및 원곡선부 길이

그림 3-1-3 3차포물선 완화곡선 산정 알고리즘

○ 분기기 선형 산정을 위한 Tool Kit은 사용자 인터페이스로 Excel Worksheet를 사용하고 프로그래밍 언어로는 Excel에 기본 탑재된 VBA를 사용함. 이는 Excel/VBA는 RAD(Rapid Application Development) 환경으로는 최고라 할 수 있음

○ 개발된 선형 산정 Tool Kit의 주요 기능 및 해석과정은 다음과 같음

- 분기기 선형 파라미터 입력(곡선반경, 이론교점 위치, 크로싱 각 등)
- 스위칭부, 리드부, 크로싱부
- 침목별 위치, 곡률, 캔트량 입력 가능
- VI-Rail 해석 및 결과 Plot 자동화

○ S/W 등록 : 고속분기기 선형 차량동역학 해석 Tool Kit 프로그램(C-2014-010712호, 실적증빙자료-01)

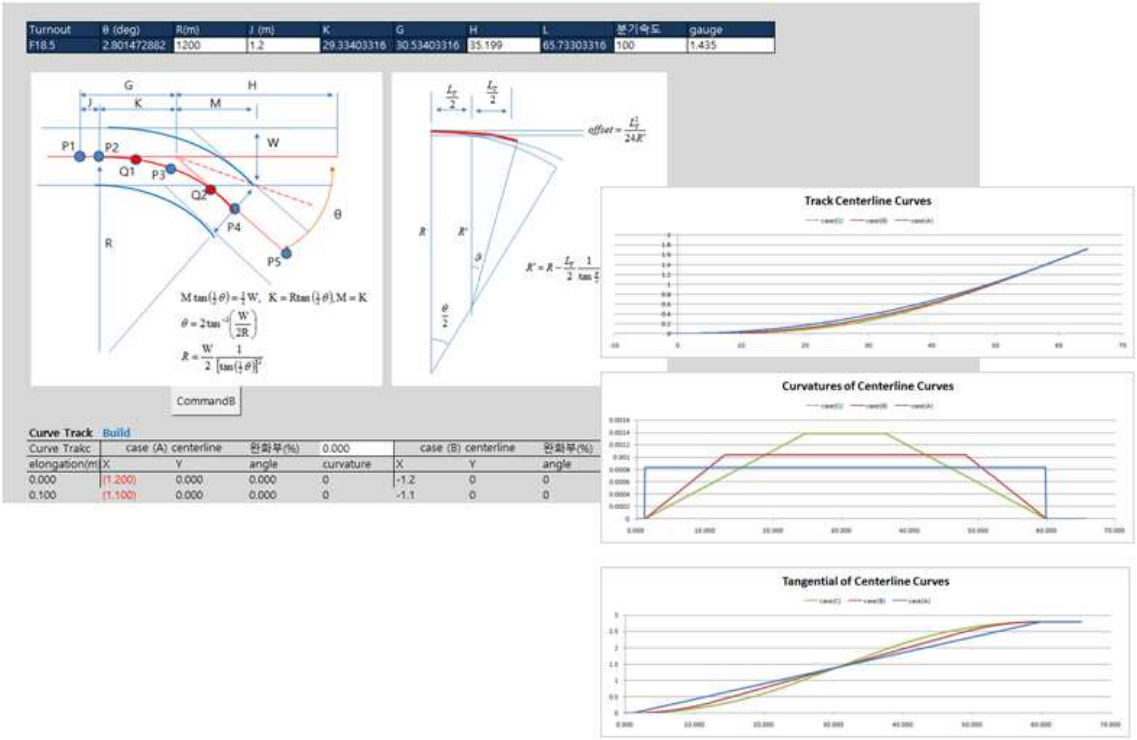
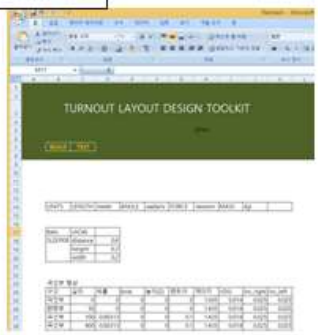
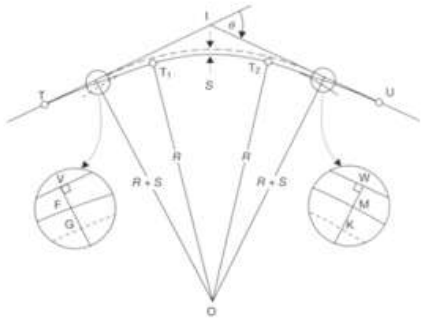


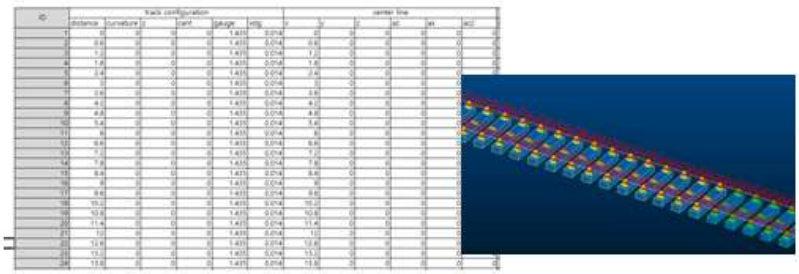
그림 3-1-4 완화곡선을 고려한 분기선 선형 산정 Tool Kit

1단계 분기기 선형 입력





2단계 침목별 선형 입력



3단계 VI-RAIL SOLVER 해석

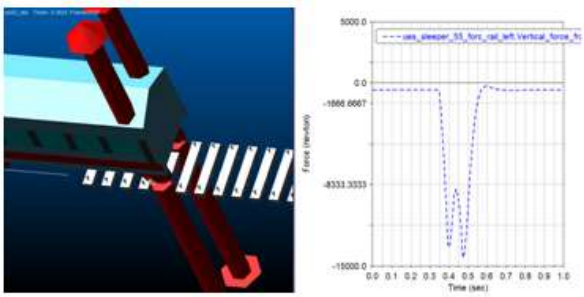


그림 3-1-5 분기기 선형 산정 Tool Kit 작동 순서

다. 고속철도용 분기기 차량동력학 단면해석 Tool Kit 개발

○ VI-RAIL에서 분기기 모델링은 기본레일과 텅레일이 조합된 3차원 단면 형상들로 표현되어야 함. 또한 레일 단면 형상들은 Wheel-Rail 접촉력 계산에 사용되는 매우 중요한 모델링 요소이기 때문에 매우 세밀하게 입력되어야 함. 아래의 그림은 위치별 텅레일 단면 프로파일 예를 보여주고 있음

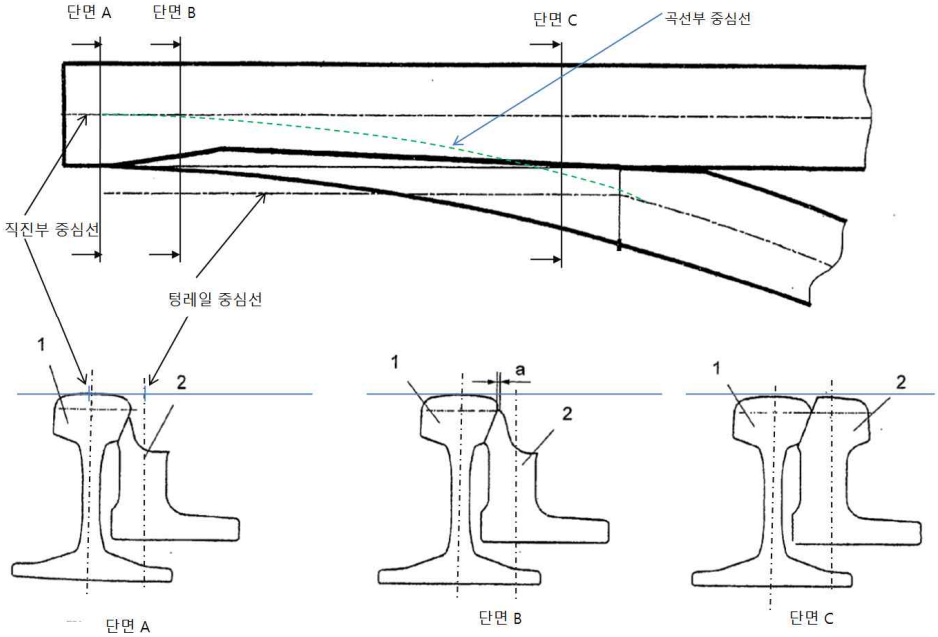


그림 3-1-6 위치별 텅레일 단면(예)

○ 일정한 가공 전 텅레일 단면과 가공 툴 단면은 기준점에 대해 가공경로 관계식을 활용하여 분기기 단면 생성 알고리즘 개발

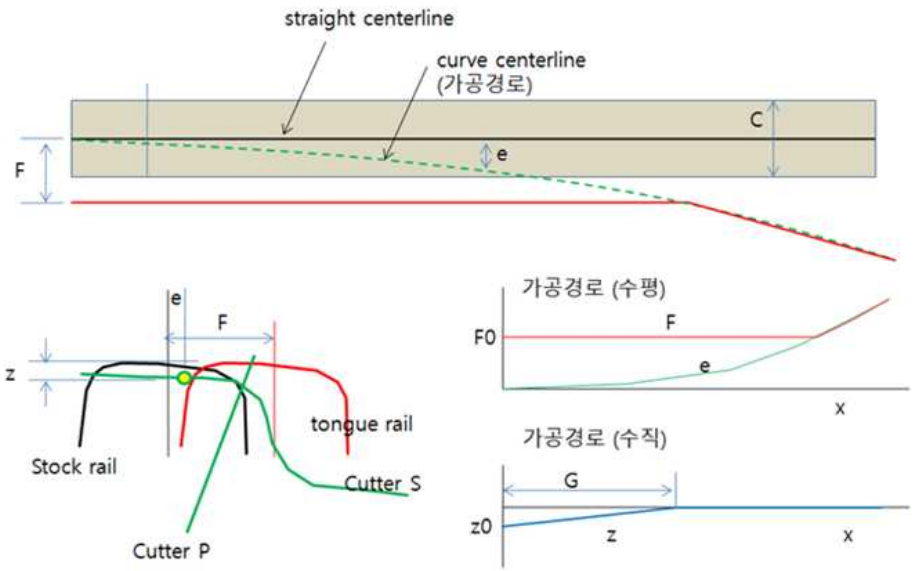


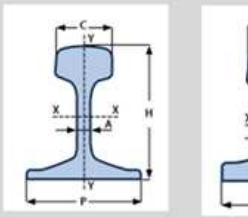
그림 3-1-7 가공경로에 따른 분기기 단면 산정 알고리즘

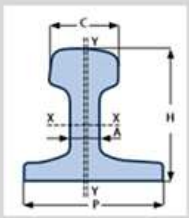
○ 기본레일과 텅레일 단면 치수를 입력하면 아래의 그림에서와 같이 점으로 구성된 텅레일 단면이 생성되고, 분기기 선형 파라미터. 텅레일 및 가공단면 관련 매개변수를 입력하면 분기기 텅레일 단면이 조밀하게 형성됨

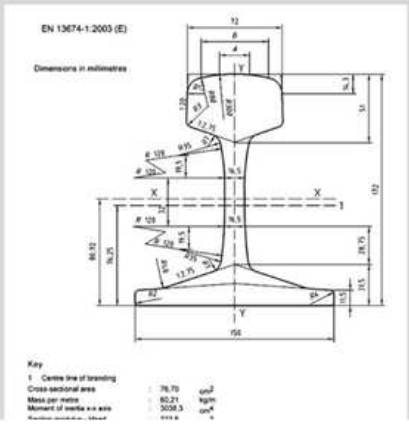
○ S/W 등록 : 고속분기기 단면 차량동역학 해석 Tool Kit 프로그램(C-2014-010713호, 실적증빙자료

-02)

Rail Profile	Equivalent Profile name	section weight kg/m	Rail height mm(H)	Head width mm (C)	web thickness mm(A)	Foot Width mm(P)	Moment of interia Ixx cm^4	Momment of Iyy cm^4
6.00E+02	UIC60	60.21	172	72	16.5	150	3038.3	512.3
60.E1A4	60D	69.83	142	71.91	32.5	150	2025.8	764.4



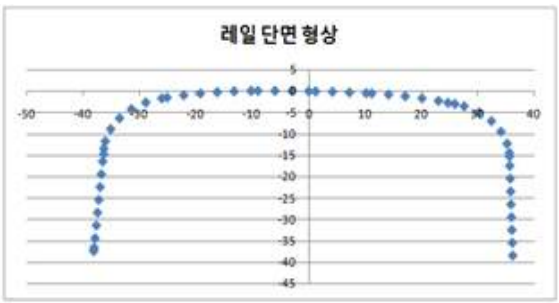


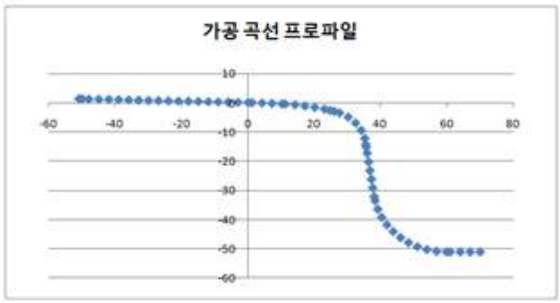


Head Dimensions

입력	값	단위	설명
A	20.456	mm	
B	52.053	mm	
C	72	mm	
R1	300	mm	
R2	80	mm	
R3	13	mm	
z1	51	mm	

(a) 기본 단면 생성 입력 환경



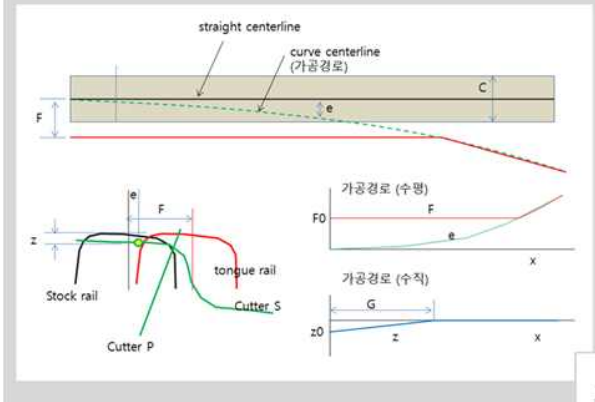


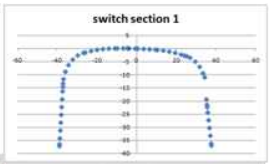
(b) 생성된 기본 단면 프로파일과 가공곡선 프로파일

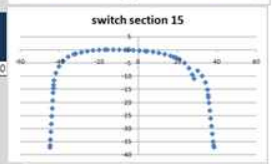
그림 3-1-8 분기기 레일 단면 산정 Tool Kit(1st Step)

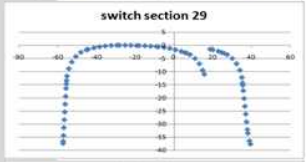
Turnout	θ (deg)	R(m)	J (m)	K	G	H	L	분기속도	gauge	transition
F18.5	2.8006361	1200	1.2	29.342807	30.542807	35.199	65.741807	100	1.435	0

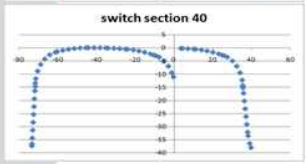
F0(mm)	C(mm)	z0(mm)	zG(mm)	Tongue0(m	Tonguel.
55	72	7.5	6000	1000	15000











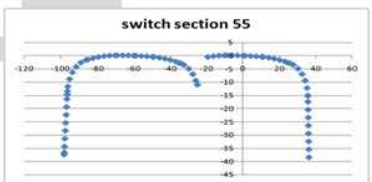


그림 3-1-9 분기기 레일 단면 산정 Tool Kit(2nd Step)

라. 고속철도용 분기기 차량동력학 하부강성 Tool Kit 개발

○ VI-RAIL에서 레일 변형에 따른 접촉점 및 접촉력의 크기 변화를 고려하기 위해 레일 변형을 고려하기 위해 FlexTrack 모듈을 제공. FlexTrack 모듈을 통한 차량동력학 해석을 위해서는 레일 포함 하부강성 즉, 레일, 패드 및 도상 강성과 침목 관성력 등이 고려된 모델링 필요

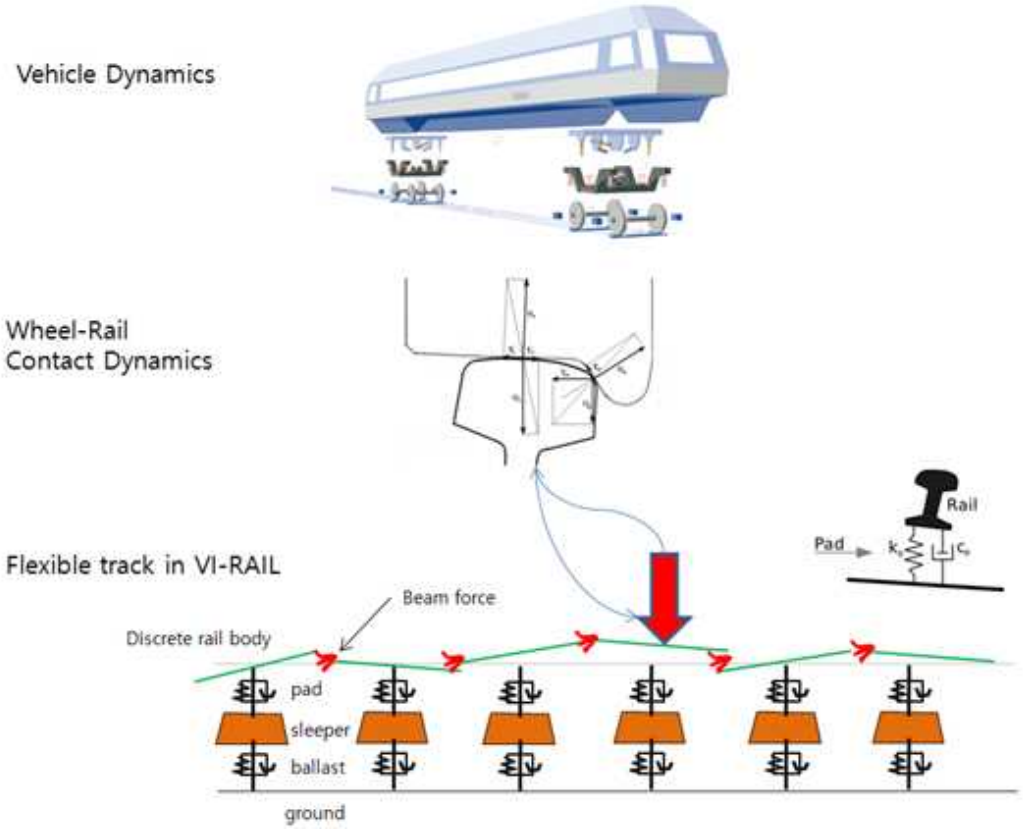


그림 3-1-10 VI-RAIL FlexTrack 해석 모델링 구조

○ VI-RAIL은 FlexTrack은 일반 궤도를 대상으로 하기 때문에 침목별 레일, 패드 및 도상 강성과 침목간 거리가 모두 일정한 경우만 모델링을 제공. 다만 각 침목별로 레일, 패드 및 도상 강성과 침목간 거리를 수작업을 통해 입력할 수 있는 방법은 제공됨

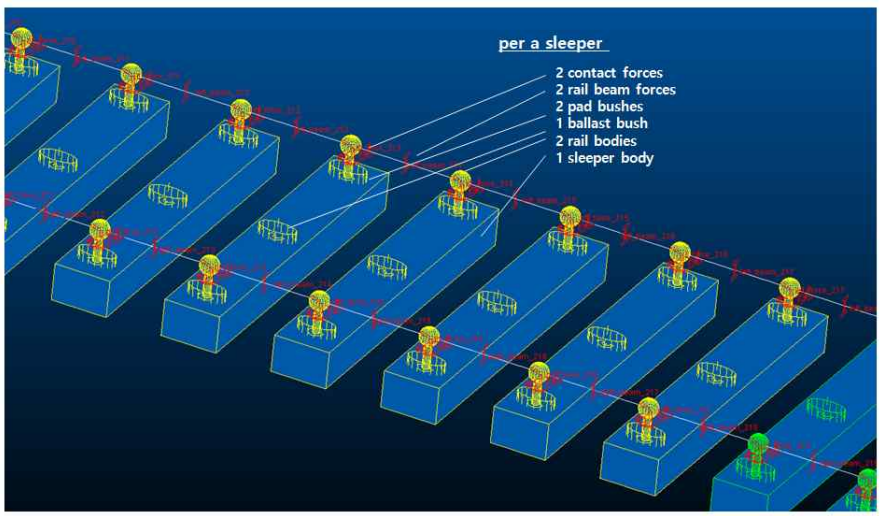
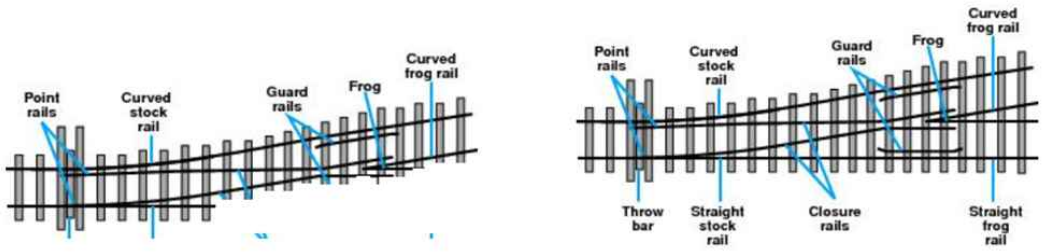


그림 3-1-11 VI-RAIL FlexTrack 일반 궤도 모델링

○ 이중 궤도(통과선과 분기선) 모델링은 분기기 하부강성을 파악하기 위해서 필수적이나, VI-RAIL

FlexTrack에서는 이중 궤도 모델링을 지원하지 않음. 개발 해석 Tool Kit은 아래의 그림과 같이 이중 궤도 모델링이 가능



(a) VI-RAIL **(b) 개발 해석 Tool Kit**

그림 3-1-12 VI-RAIL과 개발 해석 Tool Kit 분기기 모델링 비교

○ 분기기 하부강성 해석 Tool Kit은 아래의 그림과 같이 침목별로 레일, 패드 및 도상 강성과 침목 간 거리 입력을 통해 통과선과 분기선의 궤도 하부강성을 동시에 처리하여 모델링이 수행됨

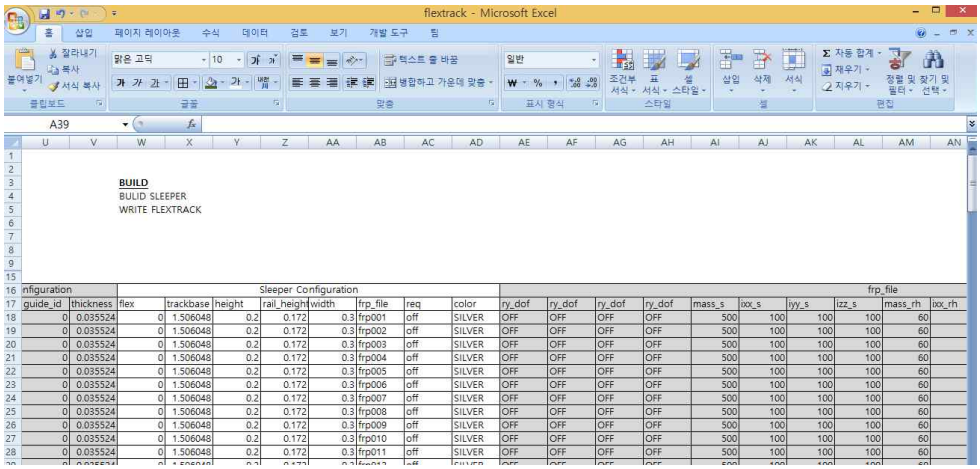


그림 3-1-13 분기기 하부강성 산정 Tool Kit

○ 따라서 아래의 그림과 같이 분기기 전체의 궤도 하부강성을 보다 정밀하게 묘사할 수 있음. 본 과제에서 개발한 하부강성 Tool Kit에서는 분기선으로 차량이 주행하는 경우 통과선 궤도를 추가적으로 모델링 해주고, 통과선으로 차량이 주행하는 경우는 분기선 궤도를 추가적으로 모델링해줌

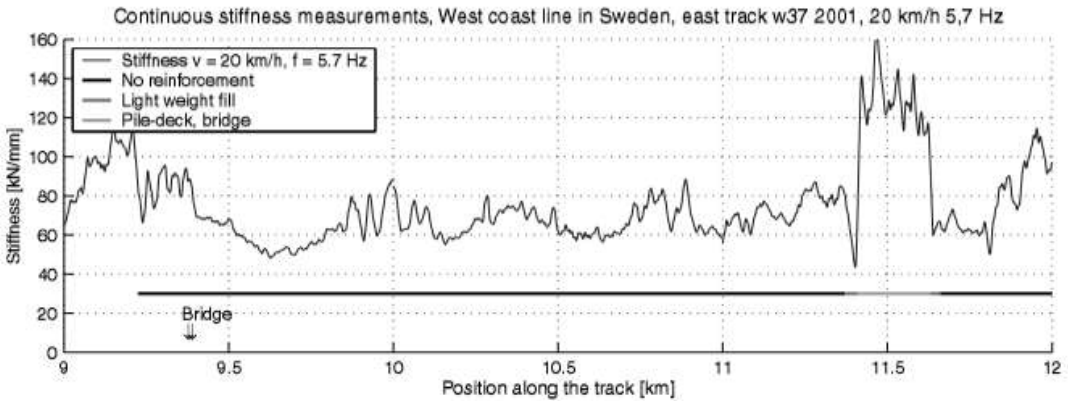


그림 3-1-14 분기기 위치별 하부강성(예)

○ S/W 등록 : 고속분기기 하부강성 차량동역학 해석 Tool Kit 프로그램(C-2014-010711호, 실적증빙자료-03)

2. 고속분기기 선형 최적 설계변수 도출

가. VI-RAIL을 이용한 차량 및 Wheel-Rail Contact 모델링 일반

○ 차량 모델링 : ADAMS 기반 VI-RAIL을 이용한 KTX 동력차 다물체 동역학 모델링

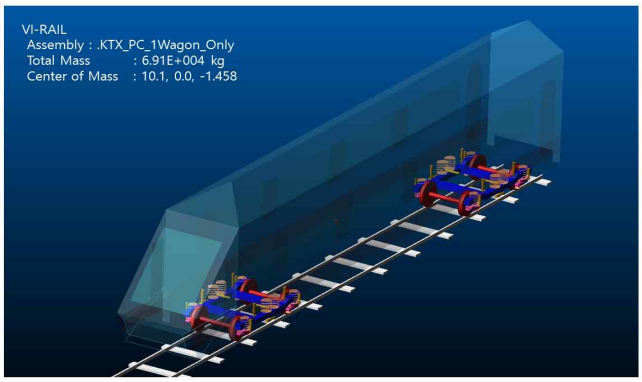


그림 3-1-15 VI-RAIL을 이용한 KTX 차량 모델링



그림 3-1-16 분기기 스위칭 구간 차륜-레일 접촉

○ Wheel-Rail Contact 모델링 : KTX 차륜 단면과 개발된 고속철도용 분기기 차량동력학 해석 Tool Kit을 이용하여 각 구간별로 기본레일과 텅레일이 합쳐진 형태의 단면으로 모델링

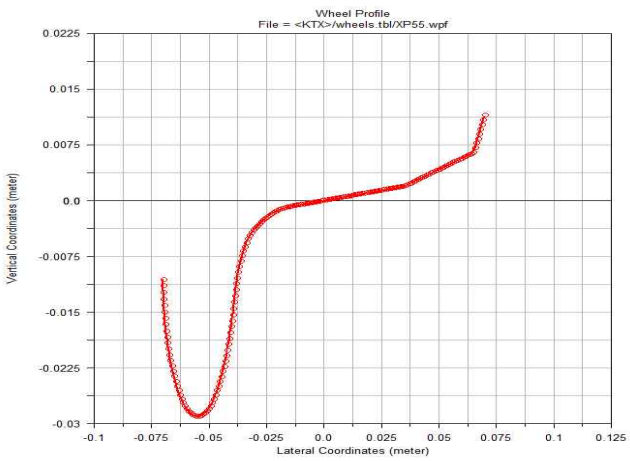


그림 3-1-17 KTX 차륜 단면 모델링

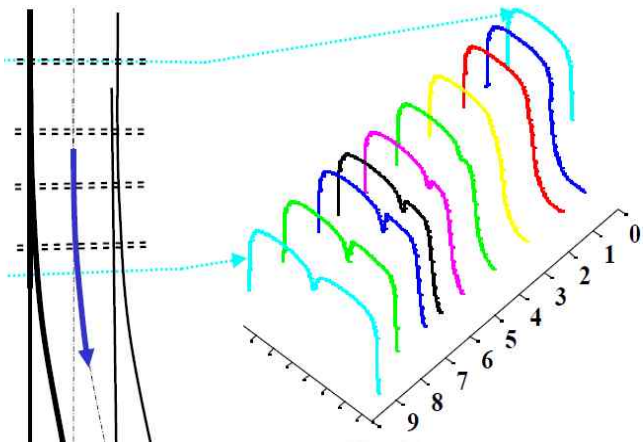
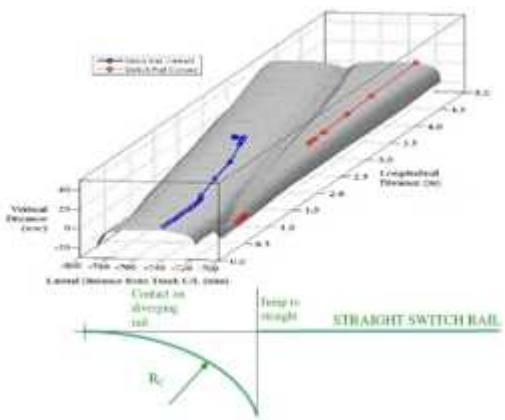


그림 3-1-18 포인트부 레일 단면 모델링

나. FAKOP 효용성 검증

○ FAKOP





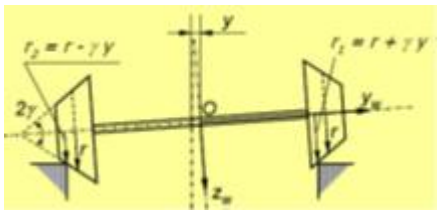


그림 3-1-19 분기기 포인트 첨단 접촉점

- 포인트 첨단에서 기본레일과 텅레일 높이차로 인해 Wheel-Rail 접촉점이 궤도 외측으로 형성됨. 즉 차륜의 곡선반경이 작은 쪽으로 접촉점이 형성되어 사행운동이 증폭됨. 따라서 사행운동 저감을 위해서는 접촉점이 외측으로 형성되는 조건을 고려한 기본레일의 궤간을 확대하는 것을 FAKOP(또는 KGO, Kinematic Gage Optimization)이라고 함

○ 국내 고속철도용 분기기는 아래의 그림과 같이 궤간 확대가 적용되어 있지 않으나, BWG 고속철도용 분기기는 아래의 그림과 같이 15mm의 궤간 확대(FAKOP)가 적용되어 있음



그림 3-1-20 국내 고속철도용 분기기



그림 3-1-21 BWG 고속철도용 분기기

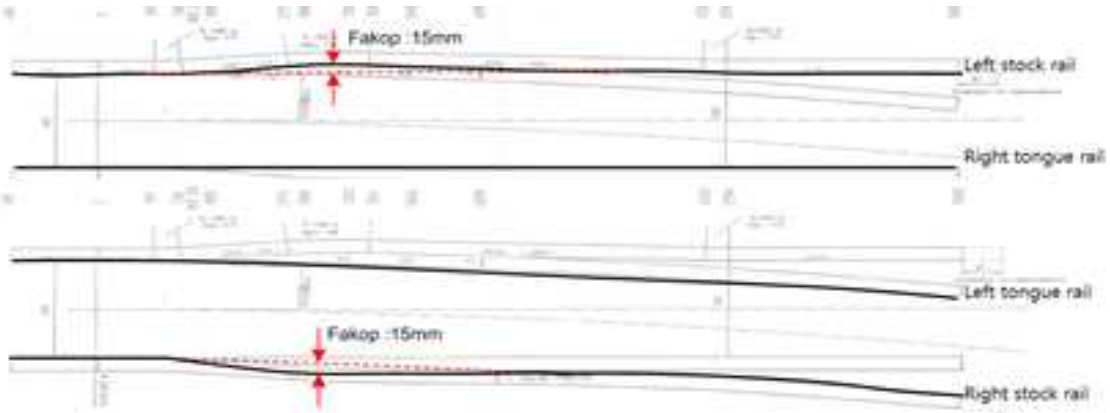
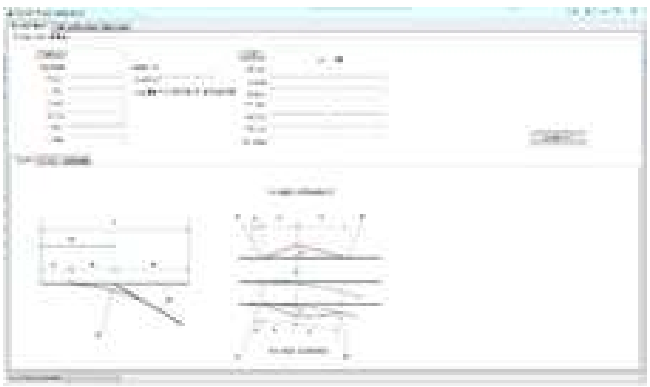
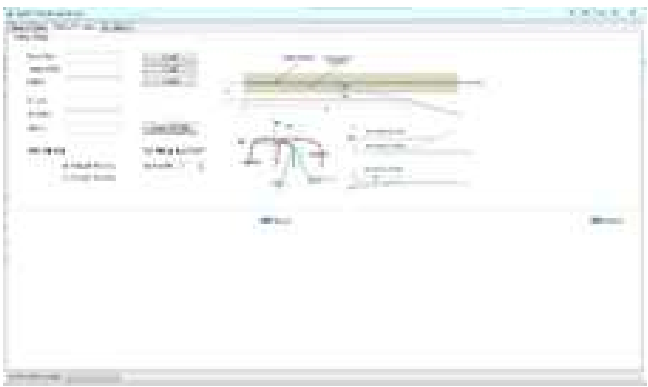


그림 3-1-22 BWG 고속철도용 분기기 FAKOP

○ 본 과제에서는 FAKOP 선형 모델링 자동화 Tool Kit을 개발하였으며, 이에 대한 입력창 및 Tool Kit에 의한 VI-RAIL 해석 모델링 예는 다음 그림과 같음

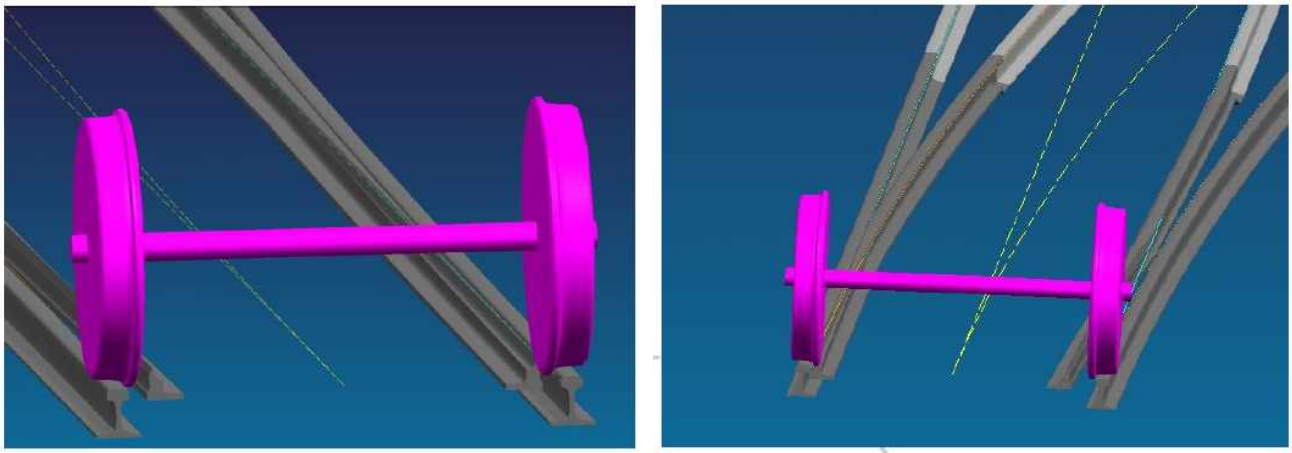


(a) FAKOP



(b) 레일 단면

그림 3-1-23 분기기 FAKOP 산정 Tool Kit



(a) 통과선 (b) 분기선

그림 3-1-24 VI-RAIL FAKOP 및 레일 단면 모델링

○ S/W 등록 : 고속분기기 궤간 최적화 선형 차량동역학 해석 툴킷 프로그램(C-2015-023690호, 실적증빙자료-04)

○ FAKOP 효과 : 첫 번째 플랜지 접촉 발생 위치 후방으로 이동, 접촉 속도 및 접촉력 감소에 따라 사행동 저감

- 해석 대상 차량 : KTX 동력차
- 해석 대상 분기기 : 경부고철 2단계 F18.5 분기기(BWG)
- FAKOP 해석(안) : SP1 - FAKOP 미적용, SP2 - FAKOP 적용(15mm)
- 해석결과

표 3-1-1 첫 번째 플랜지 접촉 거동 특성 비교

구 분	FAKOP 미적용	FAKOP 적용(15mm)	효과
발생위치(m)	38.9m	41.3	2.4m 후방으로 이동
접속속도(m/s)	0.17	0.085	1/2 감소
접촉력(kN)	1.83	1.34	1/4 감소

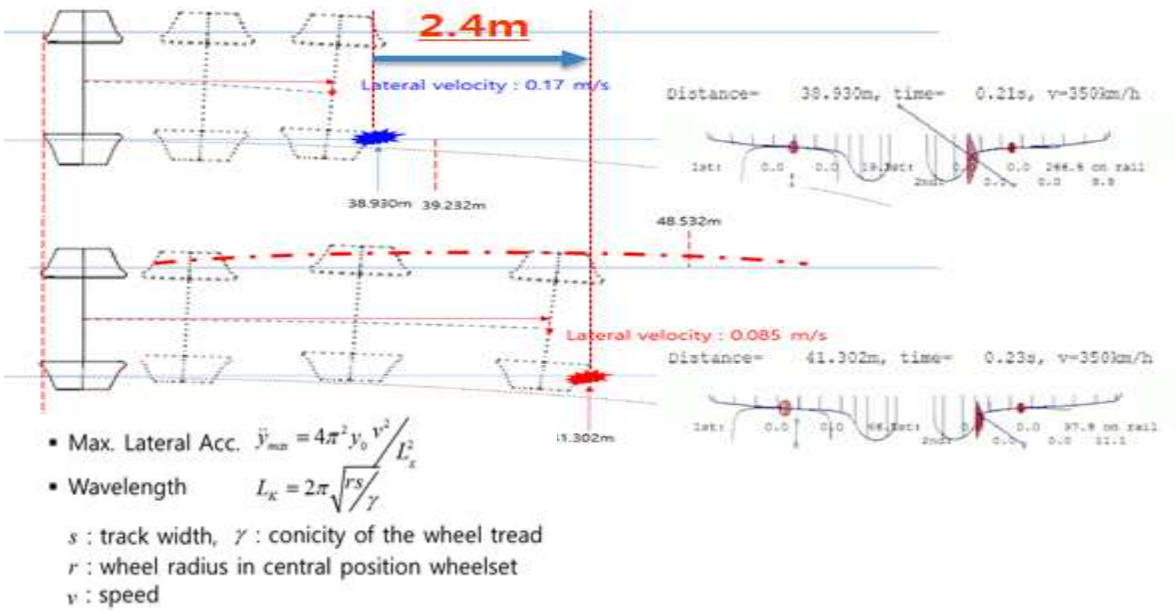


그림 3-1-25 첫 번째 플랜지 접촉 거동 특성 비교

다. 국내 고속철도 차량에 적합한 포인트부 최적 FAKOP 도출

○ VI-RAIL 차량동력학 해석

- 해석 대상 차량 : KTX 동력차
- 해석 대상 분기기 : F18.5(통과속도 350km/h, 분기속도 100km/h)
  · 기본레일 단면 : 60E1
  · 텅레일 단면 : 60E1A1
- FAKOP 해석(안) : SP1 - 15m, SP2 - 10m, SP3 - 5mm

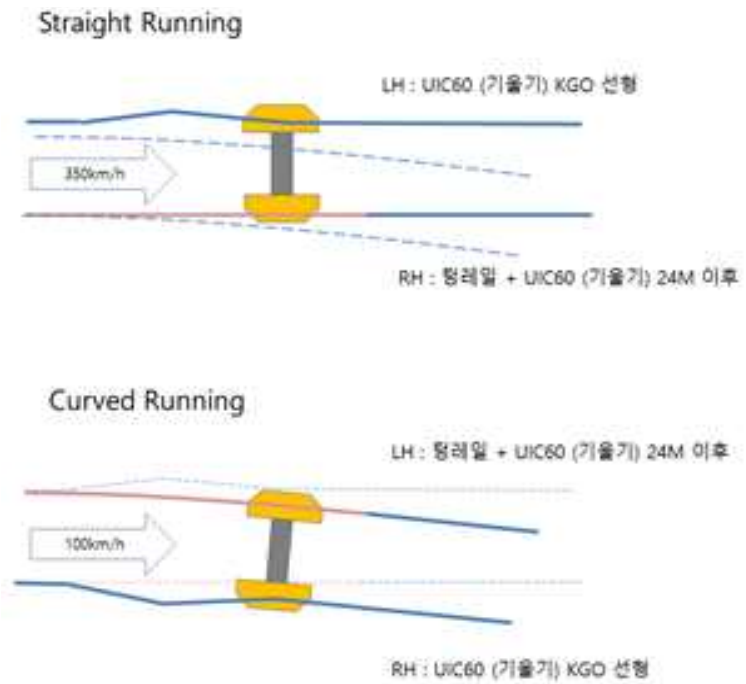


그림 3-1-26 FAKOP 해석(안)

○ 해석 결과 및 최적 FAKOP 도출

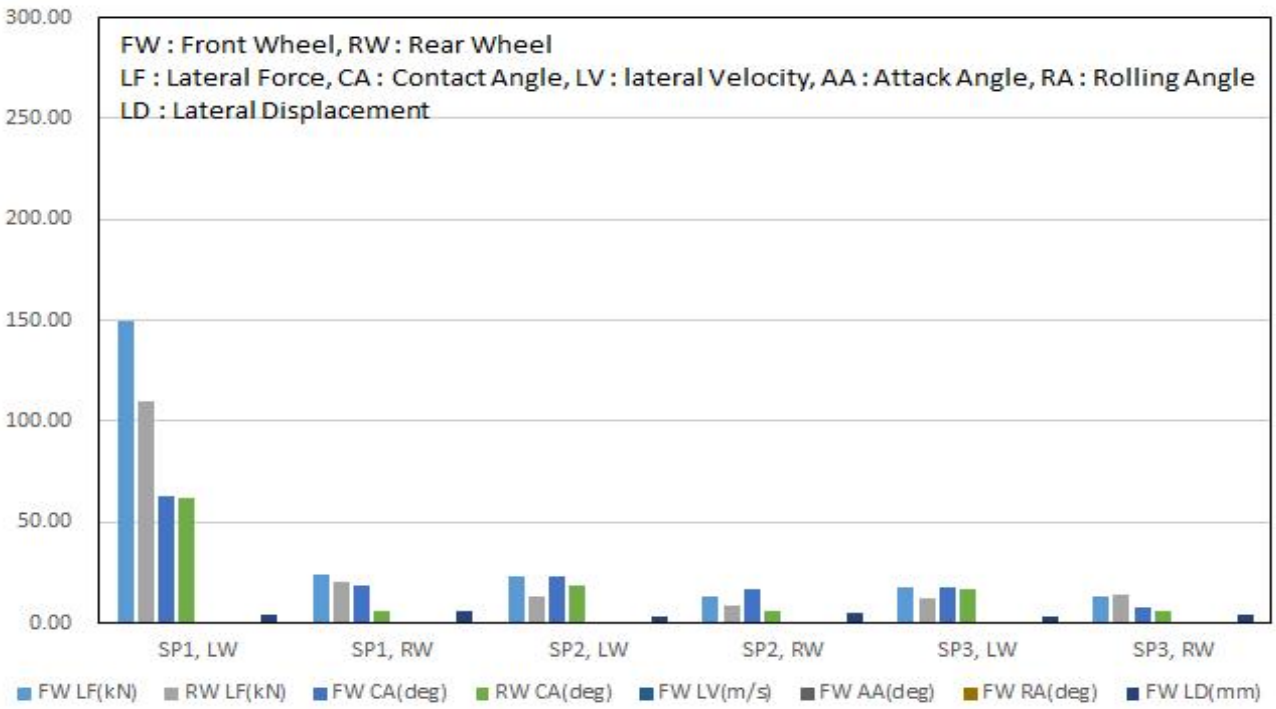


그림 3-1-27 FAKOP에 따른 통과선 해석결과(350km/h)

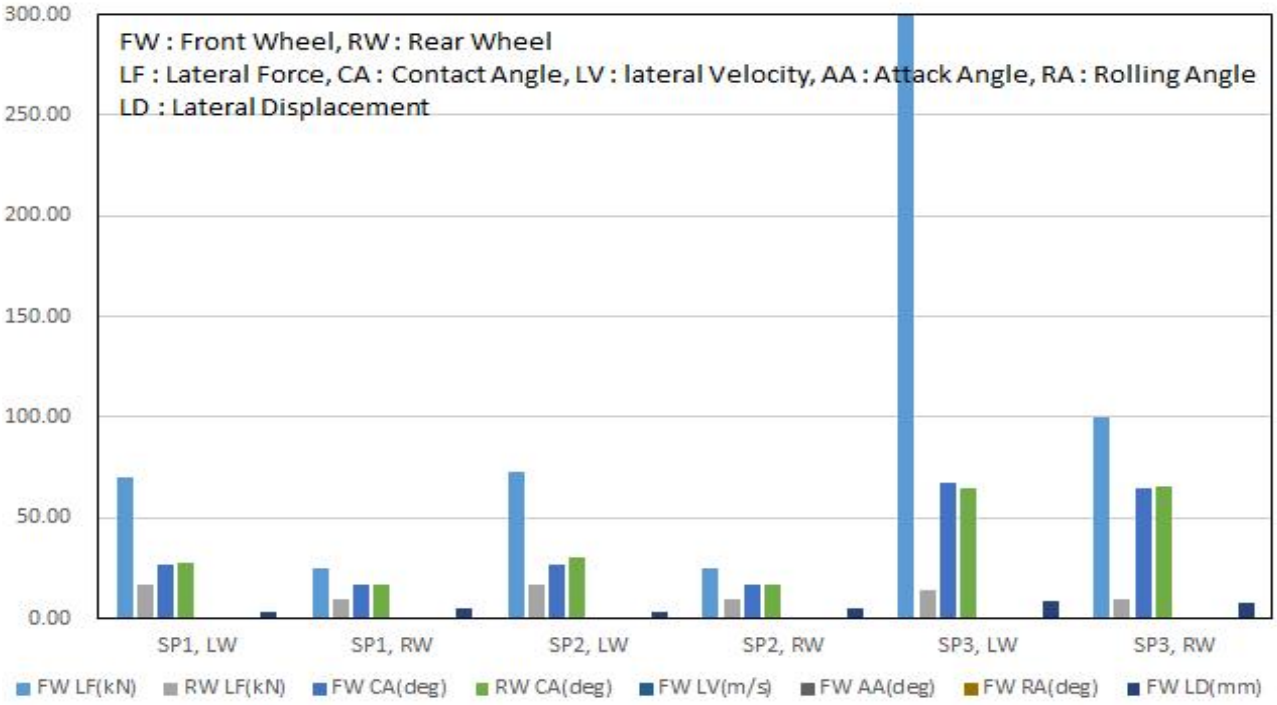


그림 3-1-28 FAKOP에 따른 분기선 해석결과(100km/h)

- FAKOP 10mm를 적용한 SP2 조건이 통과선 및 분기선 주행시 가장 안정적인 주행특성을 보이기 때문에 국내 고속철도 차량에 적합한 포인트부 최적 FAKOP을 10mm로 선정

○ 최적 FAKOP에 대한 KTX 및 ICE 차륜 특성 비교 : KTX의 Flange Gauge가 ICE에 비해 4mm가 적기 때문에 BWG 분기기 FAKOP 15mm에서 10mm로 감소된 FAKOP 최적(안)은 적정함

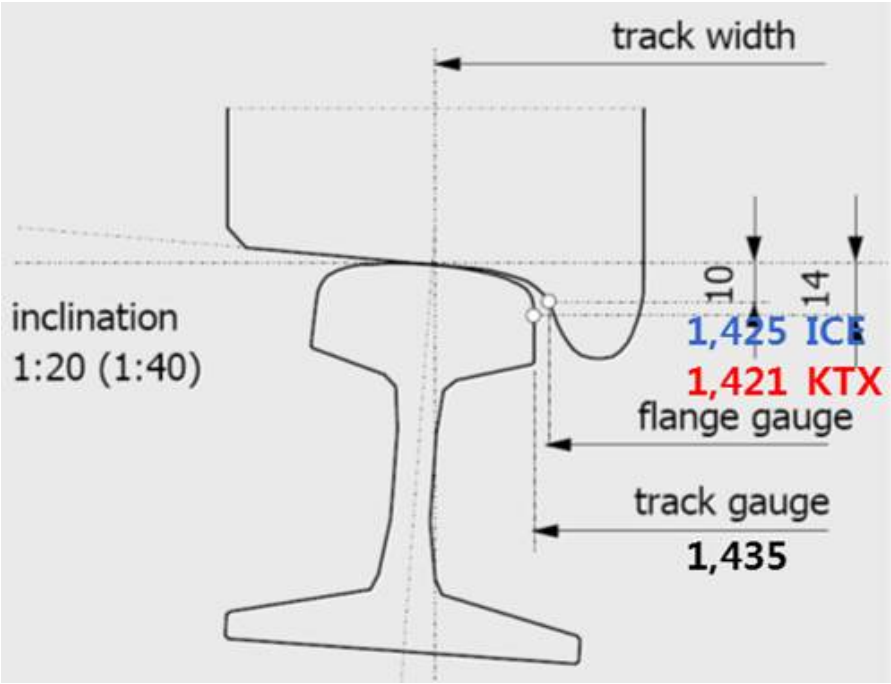


그림 3-1-29 KTX와 ICE 차륜 특성 비교

○ FAKOP 최적(안) 10mm 적용에 따른 효과 : 텅레일 두께 증가 가능에 따라 텅레일 내마모성 향상

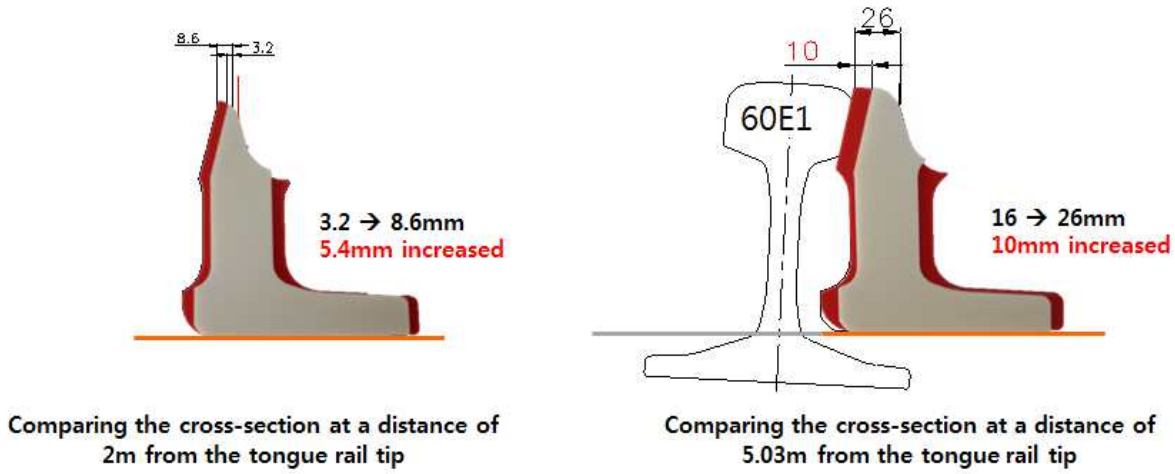


그림 3-1-30 FAKOP 최적(안) 10mm 적용에 따른 효과

라. 국내 고속철도 차량에 적합한 포인트부 최적 텅레일 단면 도출

○ VI-RAIL 차량동력학 해석

- 해석 대상 차량 : KTX 동력차
- 해석 대상 분기기 : F18.5(통과속도 350km/h, 분기속도 100km/h)
  · 기본레일 단면 : 60E1
  · FAKOP : 10mm
- 텅레일 두부 단면 해석조건 : SP1 - 60E1A1, SP2 - 60E1A4, SP3 - 60E2A2

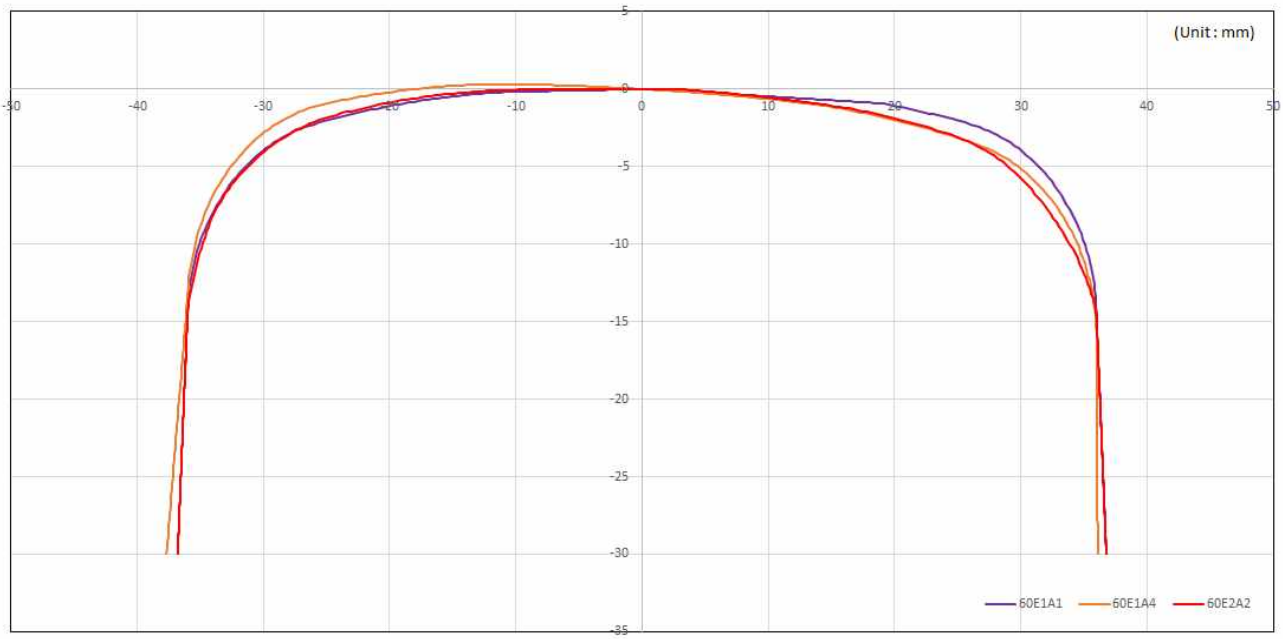


그림 3-1-31 텅레일 두부 단면 해석(안)

○ 해석 결과 및 최적 텅레일 두부 단면 도출

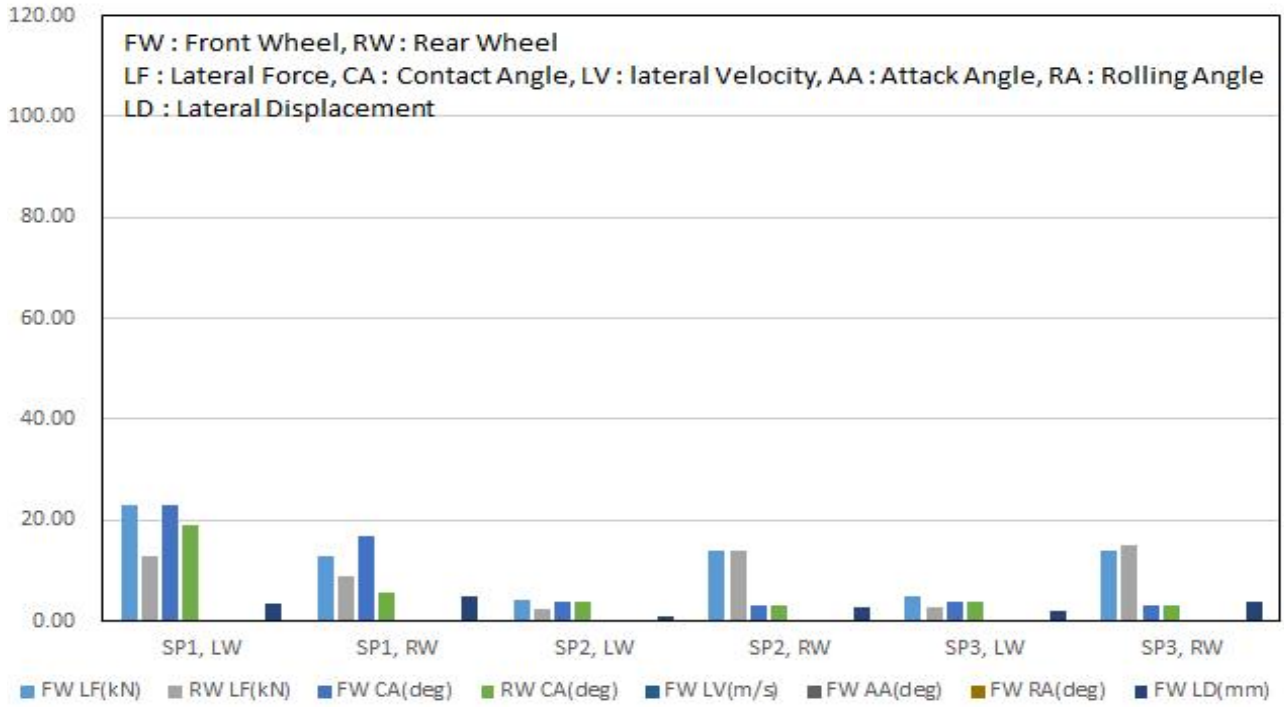


그림 3-1-32 텅레일 두부 단면에 따른 통과선 해석결과(350km/h, 공격각 0.015° ≤ 기준값 1°)

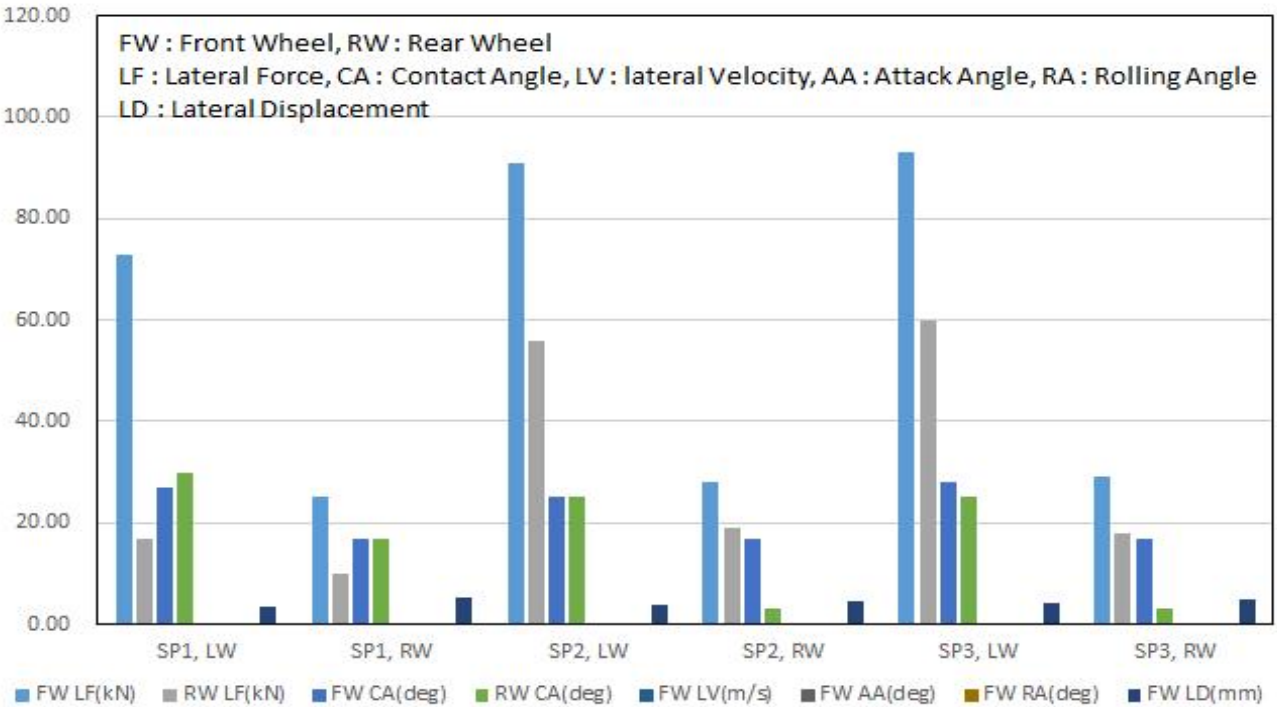


그림 3-1-33 텅레일 두부 단면에 따른 분기선 해석결과(100km/h, 공격각 0.14° ≤ 기준값 1°)

- 60E1A4를 적용한 SP2 조건이 통과선 및 분기선 주행시 가장 안정적인 주행특성을 보이기 때문에 국내 고속철도 차량에 적합한 텅레일 두부 최적 단면을 60E1A4로 선정

○ **국산 텅레일 최적 단면(60E1A1 K)** 도출

- **두부** : 60E1A4
- **복부 및 저부** : 60E1A1

○ 국산 텅레일 최적 단면(60E1A1 K) **장점**

- 국내에 적용된 모든 고속철도용 분기기(경부고속철도 1단계 및 2단계, 호남, 수서)에 호환 가능
- 구조적 안정성 및 사용성 강화
  · 단면2차모멘트 : I_x 2,025 → 2,081cm^4(2.8% 증가), I_y 764 → 730cm^4(4.6% 감소)
  · 단위중량 : 70 → 77.5kg/m(11% 증가)

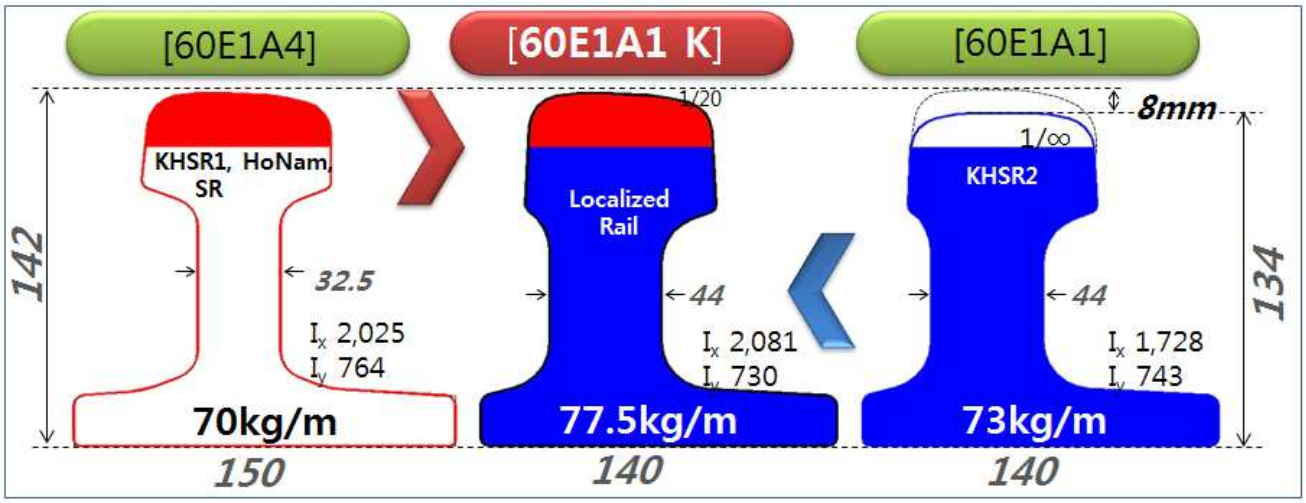


그림 3-1-34 국산 텅레일(60E1A1 K) 장점

마. 분기기 선형 검토

○ F18.5 분기기 Jerk(횡가속도 급변화량) : 0.95m/s^3 ≤ 기준값 1.73m/s^3(70<V≤170km/h)

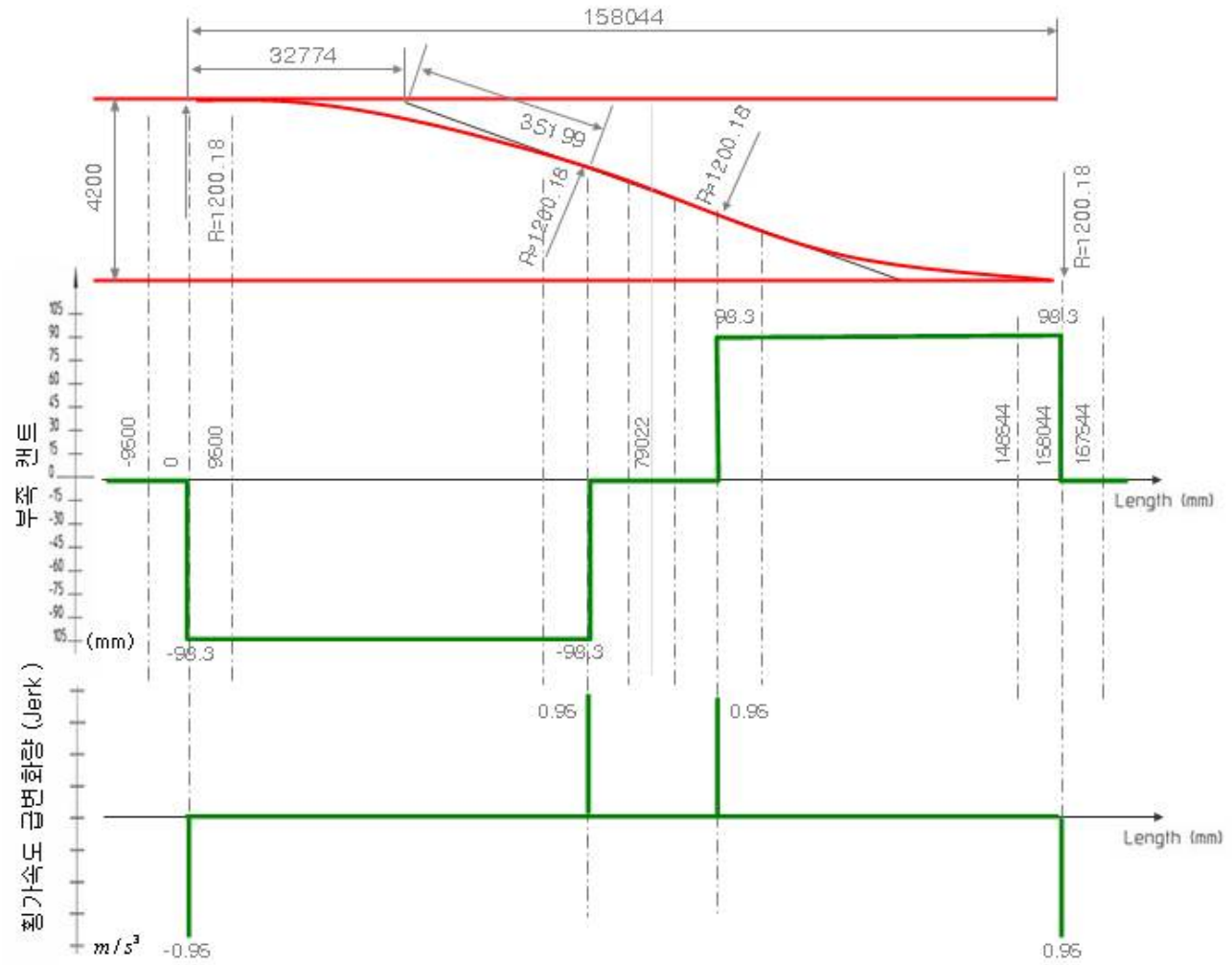


그림 3-1-35 F18.5 선형 다이아 그램(분기속도 : 100 km/h)

바. 국산 텅레일 단면(60E1A1 K) 접촉값 검토

○ 최소 텅레일 접촉각 66.5° ≥ 기준값 40°

○ 최소 노즈레일 접촉각 69.4° ≥ 기준값 40°

표 3-1-2 텅레일 접촉각

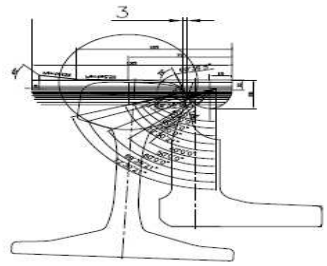
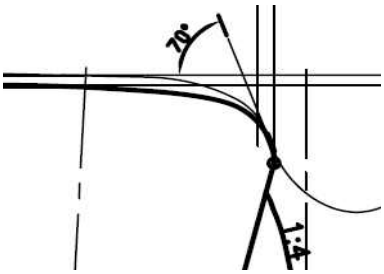
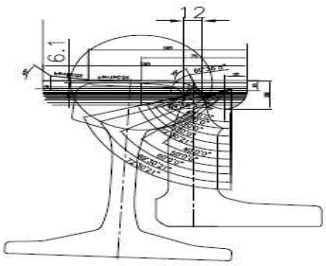
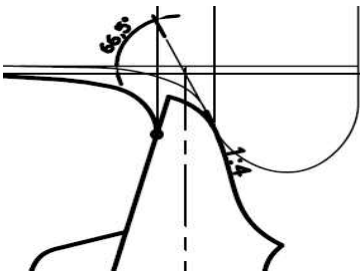
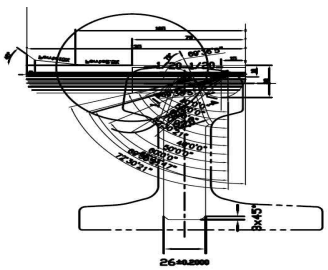
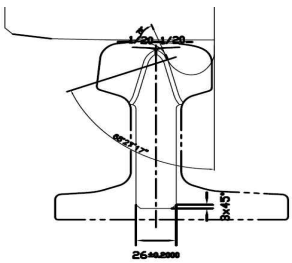
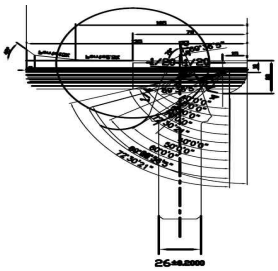
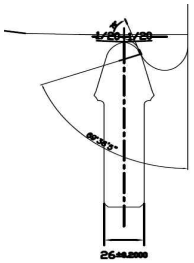
접선작성	접선각	기준치	결과치
		≥ 40°	70°
		≥ 40°	66.5°

표 3-1-3 노즈레일 접촉각

접선작성	접선각	기준치	결과치
		≥ 40°	68.3°
		≥ 40°	69.4°

2절. 고속분기기 국산화 기술 개발

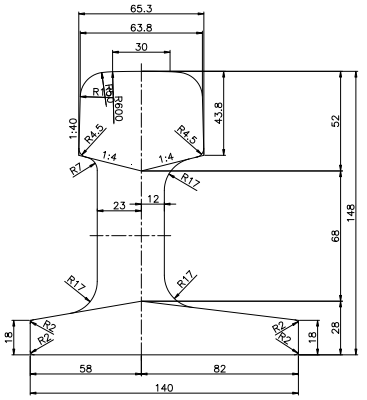
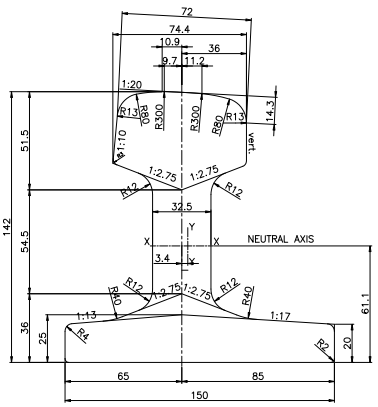
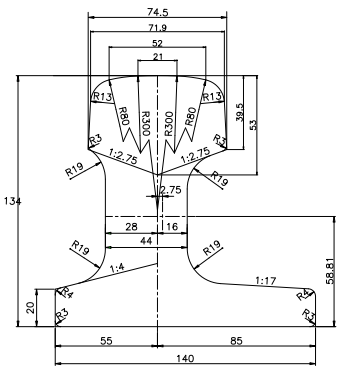
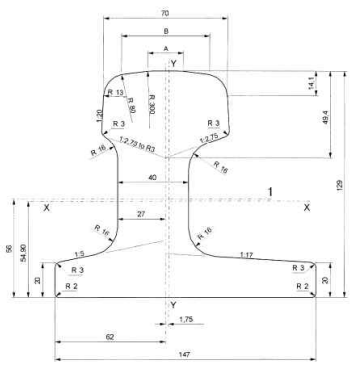
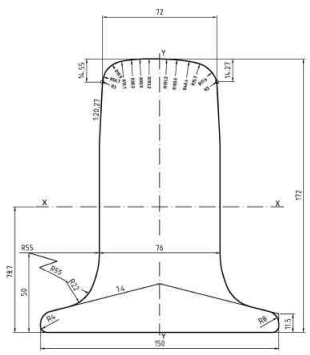
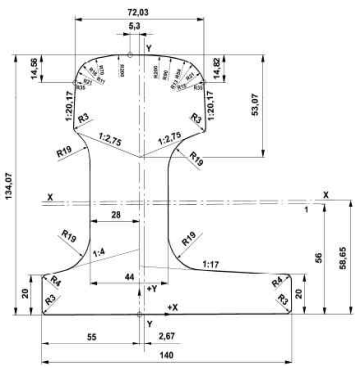
1. 텅레일 단면 형상 설계 및 분석

가. 텅레일 종류

○ 국내에서 사용되는 텅레일은 국철용 70S와 고속철도용 60E1A1(UIC60B), 60E1A4(UIC60D)레일이 특수레일로 분류되어 주로 사용되고 있으며, 해외의 경우는 자국의 실정에 맞도록 텅레일을 개발하여 사용하고 있음

○ 특수 레일에 대한 규격으로는 “EN 13674-2 Railway applications —Track — Part 2: Switch and crossing rails used in conjunction with Vignole railway rails 46 kg/m and above “에 전 세계적으로 사용되는 약 65종의 텅레일의 단면도와 소재에 대해 정의 되어 있는 것을 확인하였음. 국내에서 사용하는 텅레일과 해외에서 사용되는 주요 단면의 형상과 수직 및 수평 단면2차모멘트, 분기기의 길이와 곡선 텅레일 등 국내 사용되는 고속분기기 스펙을 아래 표에 표기

표 3-2-1 대표 텅레일 단면

구분	국내 사례		
	70S	60E1A4(UIC60D)	60E1A1(UIC60B)
단면 형상 특성			
	WEIGHT PER LINER METER: M = 69.5 kg/m SECTION AREA: S = 8853.5 mm² CENTER OF MASS: Xg = 5.3 mm, Yg = 62.2 mm MOMENT OF INERTIA: Ix = 2120 cm⁴, Iy = 637.5 cm⁴ SECTION MODULUS: Zx = 254 cm³, Zy = 340.8 cm³	WEIGHT PER LINER METER: M = 69.82 kg/m SECTION AREA: S = 8895 mm² CENTER OF MASS: Xg = 3.4 mm, Yg = 61.10 mm MOMENT OF INERTIA: Ix = 2025.6 cm⁴, Iy = 764.3 cm⁴ SECTION MODULUS: Zx = 250.4 cm³, Zy = 93.6 cm³	WEIGHT PER LINER METER: M = 73 kg/m SECTION AREA: S = 9300 mm² CENTER OF MASS: Xg = 2.75 mm, Yg = 58.81 mm MOMENT OF INERTIA: Ix = 1728 cm⁴, Iy = 743.5 cm⁴ SECTION MODULUS: Zx = 128.7 cm³, Zy = 90.4 cm³
구분	해외 사례		
	54E1A1(UIC54)	60E2F1	60E2A2
단면 형상 특성			
	Section Area : 87.8cm² Weight per meter : 68.95kg/m Moment of Inertia(I_x) : 767.6cm⁴ Moment of Inertia(I_y) : 1,540cm⁴	Section Area : 141.45cm² Weight per meter : 111kg/m Moment of Inertia(I_x) : 990.0cm⁴ Moment of Inertia(I_y) : 3,717cm⁴	Section Area : 92.71cm² Weight per meter : 73.8kg/m Moment of Inertia(I_x) : 739.6cm⁴ Moment of Inertia(I_y) : 1,715cm⁴

나. 텅레일 단면 형상 설계

○ 텅레일은 차륜 접촉 특성과 제작시 가공성, 단조시 가공성을 복합적으로 평가하여 국산 텅레일 단면을 설계

○ 텅레일과 노즈레일은 일반레일과 용접할 수 있도록 단면을 변화시키는 단조(Forge) 공정이 반드시 필요하며, 단면 성형에서 가장 중요한 단위 길이당 부피는 수월한 작업성을 유지하도록 복부를 대칭화 하고 두부폭은 일반레일과 동등하게 설계

○ 텅레일 단면으로 복부 및 저부는 안정적이고 단조가공성이 우수한 60E1A1(UIC60B) 단면 특성을, 레일 두부는 차륜 접촉성이 우수한 60E1A4(UIC60D)를 결합하여 최종안을 제시

○ 단면2차모멘트는 I_x 2,081cm^4, I_y 730cm^{4}으로써 기존 고속분기기용 텅레일 60E1A4(UIC60D, I_x 2,025cm^4, I_y 764cm^4)와 비교시 안전과 가장 밀접한 수직 강성은 약 3% 상승하였고, 전환력에 영향을 주는 횡강성은 약 5% 감소하여 사용상에는 더 우수한 것으로 평가됨

○ Hertz Contact 조건에 의한 단면 계산

- 차륜내면간 거리가 가장 크고 궤간 축소시 발생할 수 있는 Wheel-Rail 2점 접촉을 Hertz Contact 조건으로 적용하여 접촉응력 구조해석을 수행하였으며 그 결과를 아래의 그림에 나타내었음

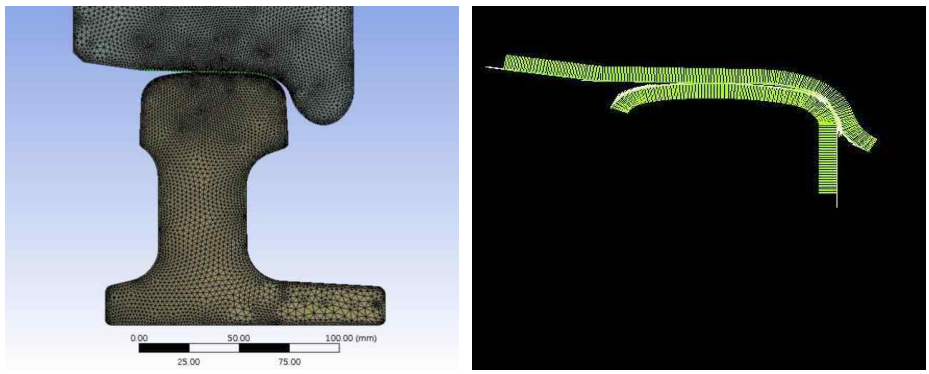
구 분	접촉 단면 형상
절점생성 및 접촉면 조건	

그림 3-2-1 모델링 및 Hertz Contact 조건

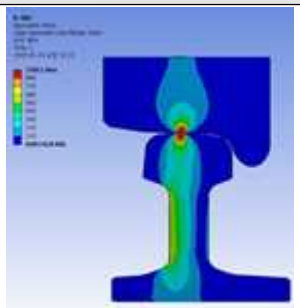
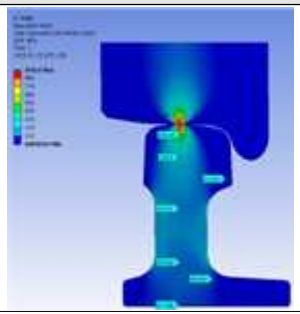
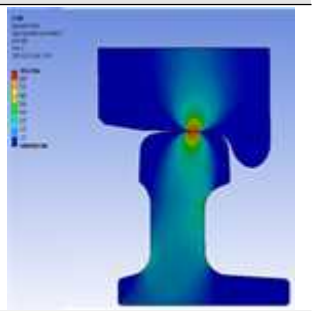
구 분	60E1A4(UIC60D)	60E1A1 K(개발 단면)	60E1A1(UIC60B)
해석 결과			
저부응력	130MPa	106MPa	113MPa

그림 3-2-2 구조해석 결과(응력 분포)

- 그림에서 보는 바와 같이 개발 단면은 텅레일의 중앙에서 차륜 접촉이 발생하고, 응력이 좌우 균일하게 분포하며 접촉점을 제외한 전 영역에 낮게 분포하는 우수한 특징을 보이고 있음

- 기존 60E1A4(UIC60D)의 경우는 중앙에서 약 13mm 외측에 접촉이 발생하고 있으며 이에 따라 복부와 저부에 비대칭으로 고응력이 분포하고 있음을 알 수 있음

- 텅레일은 원활한 전환을 위해 첨단을 매우 날카롭게 가공하기 때문에 수직강성이 원형대비 60% 수준으로 낮아지므로 차륜과 접촉하는 두부상면 설계와 더불어 저부와 복부의 설계 또한 매우 중요한 설계인자임
- 금번 개발되는 텅레일은 기존 텅레일과의 호환성을 유지하면서도 차량과의 접촉성과 제작성을 고려하여 저부 비대칭, 복부대칭, 두부 비대칭형 구조이며 접촉면 전영역에서 다양한 크기의 곡률로 설계하였음
- 접촉면 해석결과 개발품은 정중앙에서 접촉이 발생하여 두부와 복부에 좌우 대칭의 고른 응력 분포를 보이고 있으며, 저부에 발생하는 평균 응력은 기존 레일보다 낮은 것으로 나타나 텅레일의 내구성 측면에서 기존 텅레일보다 우수한 것을 확인할 수 있음

다. 텅레일 재료 선정

○ 분기기에 사용되는 특수레일 형상과 소재는 “EN 13674-2 Railway applications —Track — Rail — Part 2: Switch and crossing rails used in conjunction with Vignole railway rails 46 kg/m and above” 규정에 상세히 기록되어 있음

○ 국철용 70S는 이 규격과 정확히 일치하지 않으나 R320Cr에 부합하며, 고속1단계 및 호남고속분기기용 텅레일 60E1A4(UIC60D)는 R260, 경부고속 2단계 수입 분기기의 텅레일 60E1A1(UIC60B)는 R350HT 등급으로 분류할 수 있음

○ 현재 60E1A4(UIC60D)는 비열처리로 사용되고 있는 반면 60E1A1(UIC60B)는 열처리된 텅레일을 사용하고 있으며, 도상이 안정적인 콘크리트궤도에 비하여 자갈도상의 경우는 사용 환경이 가혹하기 때문에 연신율이 높아 레일파단에 비교적 더 안전한 비열처리 텅레일을 사용하고 있음

○ 금번 국산화 텅레일은 다양한 활용도를 가질 수 있도록 소재와 단면, 가공법의 개선 등이 주요 연구사항이며, 다방면의 검토를 거쳐 강도와 인성이 좋은 인장강도 880MPa인 R260급의 소재를 사용하기로 확정하였음. 이 근거는 “KRS TR0001(14R)의 3.1 재료” 를 기준으로 하였음

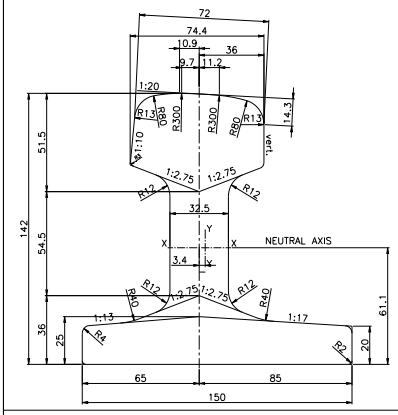
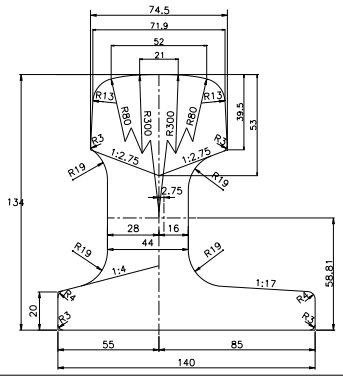
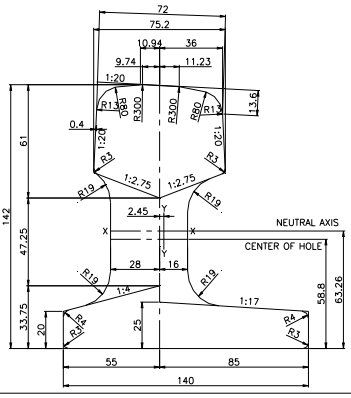
○ 제작공차 또한 KRS TR0001(14R)의 3.1재료-3.2.2. 60E1레일에 따르기로 하였으며, 이는 기존 국내 생산중인 70S나 60kg레일보다 제작정밀도가 훨씬 높은(60kg 높이 공차 +1.0 , -0.5, 60E1 ±0.6mm) 수준으로써 향후 해외 진출시 높은 기술장벽을 뛰어넘기 위한 기술경쟁력을 갖추고자 하였음

라. 개발 텅레일의 우수성

○ 전 세계적으로 사용되는 텅레일은 비대칭레일로 다양한 종류가 사용되지만 고속분기기용으로는 주로 UIC60B(60E1A1)와 UIC60D(60E1A4)가 가장 많이 사용되고 있음. 국내에도 이 두 가지가 모두 사용되고 있으므로 텅레일 국산화에 있어서 어떤 텅레일을 대상으로 할 것인지에 대해 깊이 숙고하였음

○ 결정된 최종 단면은 이 두 레일에 모두 사용 가능하도록 세계 유일의 고유한 단면을 가지도록 하였으며, 이러한 차별성은 국내의 고속분기기의 텅레일 소재의 국내 자급과 해외 진출시 2가지 사양에 대응 가능함으로써 높은 가격 경쟁력과 수급안전성을 확보하여 기술 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단됨

표 3-2-2 개발 텅레일의 차별성

구분	60E1A4(UIC60D)	60E1A1(UIC60B)	60BK(개발품)
단면 형상			
	WEIGHT PER LINER METER: M = 69.82 kg/m SECTION AREA: S = 8895 mm² CENTER OF MASS: Xg = 3.4 mm, Yg = 61.10 mm MOMENT OF INERTIA: Ix = 2025.6 cm⁴, Iy = 764.3 cm⁴ SECTION MODULUS: Zx = 250.4 cm³, Zy = 93.6 cm³	WEIGHT PER LINER METER: M = 73 kg/m SECTION AREA: S = 9300 mm² CENTER OF MASS: Xg = 2.75 mm, Yg = 58.81 mm MOMENT OF INERTIA: Ix = 1728 cm⁴, Iy = 743.5 cm⁴ SECTION MODULUS: Zx = 128.7 cm³, Zy = 90.4 cm³	WEIGHT PER LINER METER: M = 77.47 kg/m SECTION AREA: S = 9869 mm² CENTER OF MASS: Xg = 2.45 mm, Yg = 63.26 mm MOMENT OF INERTIA: Ix = 2081.0 cm⁴, Iy = 730.0 cm⁴ SECTION MODULUS: Zx = 259.4 cm³, Zy = 93.1 cm³
생산 회사	수입	수입	국산화 완료
	Arcelor Mittal(에스파냐), V/C(프랑스)	VOEST ALPINE(독일)	HYUNDAE-STEEL 현대제철(한국)
특징	- 두정면 1/20구배 적용 - 차량 주행성, 안전성우수	- 60D대비 높이가 8㎜낮아 하부상판 안전설계에 유리	- 다목적 성(Two track) 60D와 60B에 사용 가능 (타 텅레일과 최대 차별성)
적용처	경부고속 1단계, 호남고속, 수도권 고속, 경강선	경부고속 2단계, 전라선BTL (신리-익산)	호남고속 정읍역 시험부설 (좌측 적용처 모두 적용가능)

2. 텅레일 생산설비 구축 및 시제품 제작

가. 압연롤 제작

○ 국내에서 레일제작 방식은 일반레일과 같이 두부와 하부가 좌우 대칭일 경우 유니버셜 롤압연방식을, 70S 텅레일과 같이 두부 대칭과 하부 비대칭인 경우는 공형(칼리바) 롤압연방식을 사용함

○ 개발 텅레일은 일반구간과 동일한 레일 경사(1/20)을 두부에 적용하여 차량 주행성을 향상시킨 결과 두부 및 하부 비대칭 형상을 가짐

○ 따라서 개발 텅레일 제작을 위해서는 일반적인 유니버셜 또는 공형(칼리바) 롤압연방식의 개선이 필요함

○ 개선 대책 검토결과 공형(칼리바) 롤압연방식은 공형(칼리바) 롤의 테이퍼 구배를(+) 방향으로 형성할 수 없어 개발 텅레일 제작이 불가능한 것으로 확인되었으나, 유니버셜 롤압연방식은 수직롤 측면에 수평 롤을 적용할 경우 비대칭 경사단면 압연이 가능한 것으로 확인되어, 개발 텅레일 제작에 수직롤 측면에 수평 롤을 적용한 비대칭 유니버셜 롤압연방식으로 확정함

○ 그러나 상기의 비대칭 유니버셜 롤압연방식의 경우 복부의 압연량이 깊지 않은(단이 적다고 표현함) 단점이 있어, 이의 해소를 위해 상당한 시간을 투입하여 이송 Pass를 줄여 복부 압연을 줄이고 측면 압력을 높이는 압연 제작법을 구상하였으며, 이에 대한 시뮬레이션을 통해 그 가능성을 확인하여 제작 협의에 이르게 되었음

○ 두부 및 하부 비대칭 레일의 비대칭 유니버셜 롤압연방식 적용은 국내 최초로 초기에는 시행착오가 예상되었지만 신속하게 진행할 것을 협의하고 롤설계 및 제작을 진행(시뮬레이션 자료는 현대제철의 대외비로 보고서에 싣지 않음)

○ 롤의 직경은 약 최대 3m로, 금번 텅레일 제작을 위해서 상, 하, 좌, 우, 엣지 등을 포함하여 총 9개의 롤을 제작하였음

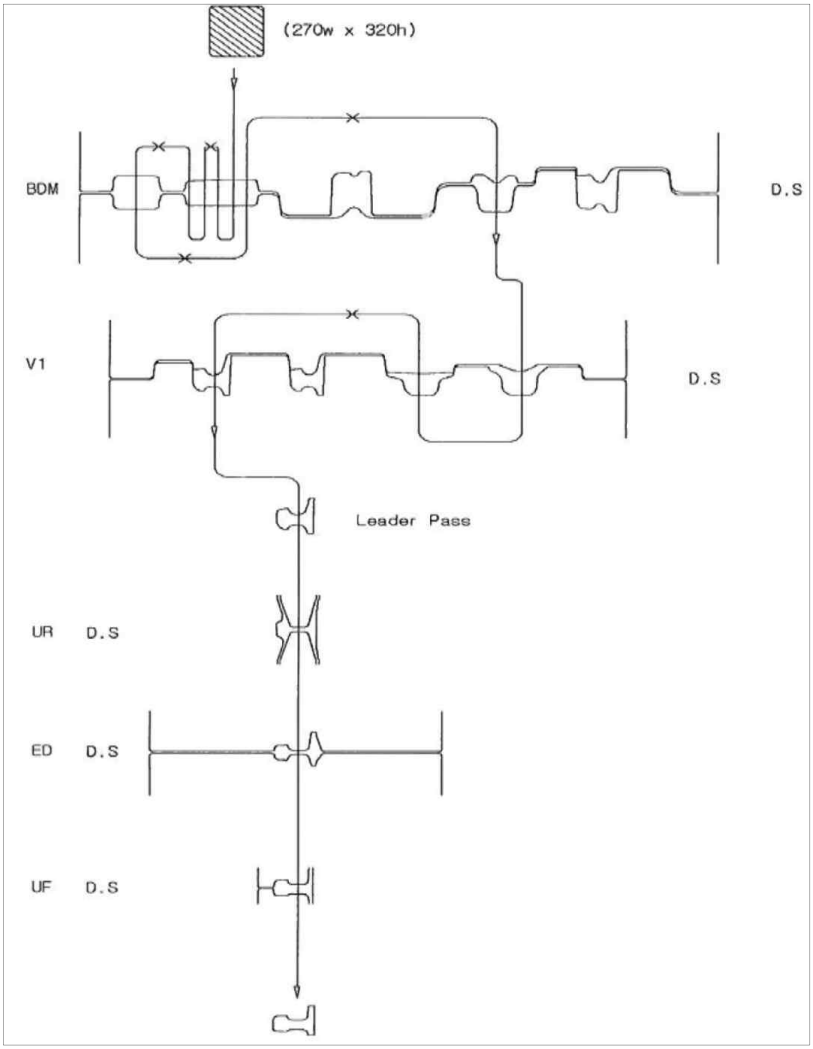
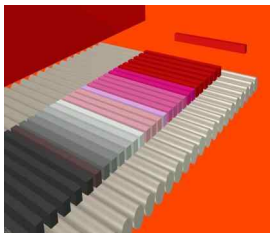
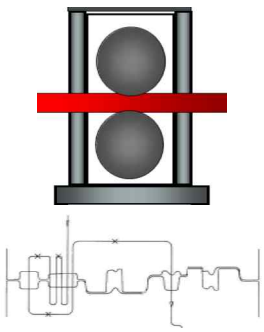
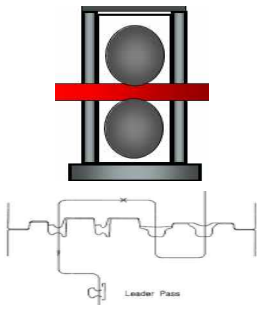
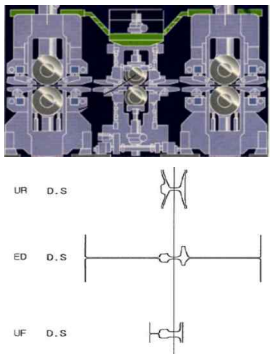
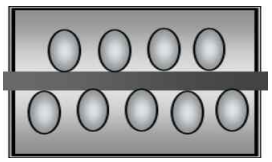
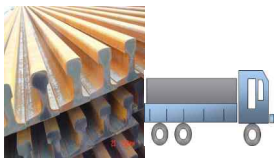


그림 3-2-3 60E1A1 K 제작 롤 및 Pass 구성

표 3-2-3 60E1A1 K 텅레일 제작 과정

① 가열로	② 조압연(BDM)	③ 중간압연(IM)	④ 사상 압연(RTM)
 열처리 1,200~1,250℃			 60BK-유니버셜롤
⑤ 냉각 평상	**⑥ 교정기**	**⑦ 절단 및 검사**	**⑧ 보관, 출하**
 80℃이하 냉각대기	 수직, 수평 교정기	 길이별 절단, 정밀검사	 화차, 트럭운송

나. 텅레일 시압연

○ 2015년 10월 현대제철과 텅레일 개발협약 후 롤설계 및 롤제작을 하여 2016년 02월 1차 시압연을 시작하여 2016년 4월 4차 시압연에서 성공을 거두었으며, 치수, 화학성분, 기계적 성질 검사결과 모두 적합하였음

표 3-2-4 시압연 추진 현황

일자	제 목	내 용	비고	
'15.10.13	협약 완료	개발협의서 상호 조인	현대제철	 [4차 시압연 회의(현대제철)]
'16.02.20	1차 시압연	시압연 실패	실패	
03.22	2차 시압연	시압연 실패	실패	
04.08	3차 시압연	시압연 성공, 형상 불량	부적합	
04.12	10m 2본 입고	단조테스트용 레일입고	오송공장	
04.20	중도금 지급	중도금 지급(8.05억)	현대제철	
04.26	4차 시압연	시압연 성공	성공	 [4차 시압연 텅레일 단면]
05.02	재료시험신청	공인기관 재료시험 신청	화시원	
05.13	성적서 접수	재료시험 성적서 접수	합격	
05.23	텅레일 입고	25m 8본 오송공장 입고	가공진행	
06.末	잔금 지급	개발완료, 지급(3.22억)	롤소유 롤보완	

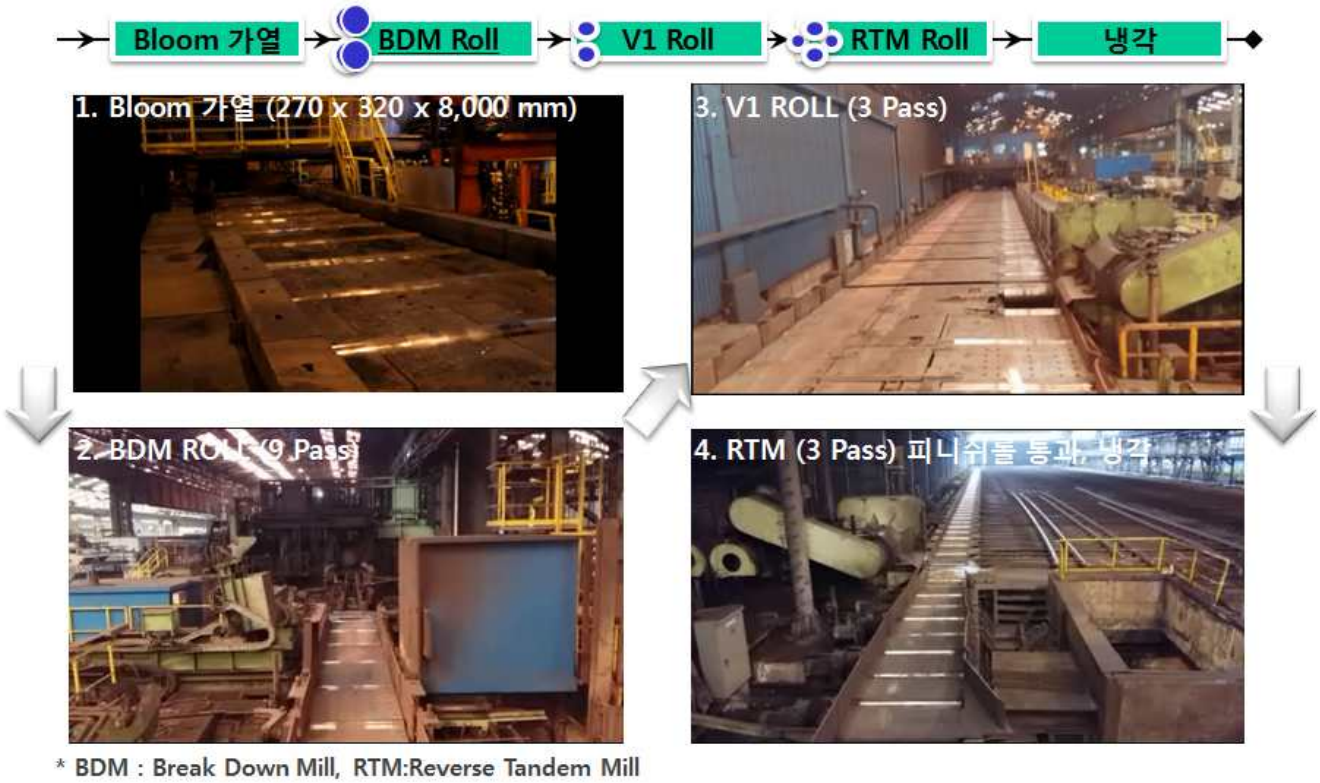


그림 3-2-4 국산 60E1A1 K 텅레일 제작 공정



그림 3-2-5 국산 60E1A1 K 텅레일 검사 성적서

표 3-2-5 국산 60E1A1 K 텅레일 개발비용

구 분	Roll	유도설비	교정기롤러	시압연 및 기타	비고
내 역	롤 13개	BD,V1, RTM	수직1,수평1	5회, 525톤 (7톤 75본)	
비 용	6.28 (39%)	3.05 (19%)	2.92 (18.1%)	3.85 (23.9%)	
총 액	16.1억(100%)				VAT 별도
	1차 착수금: 4.83	2차 중도금: 8.05	3차 잔금: 3.22		

다. 텅레일 단조

○ 텅레일은 분기기에만 사용되는 특수레일로 텅레일 끝단을 일반구간과 동일한 형상(60E1)으로 변경시켜주는 단조 공정이 반드시 필요함. 여러 번의 단조 테스트를 거쳐 60E1A1 K → 60E1으로 형상을 변경시키는 작업을 완료하게 되었음

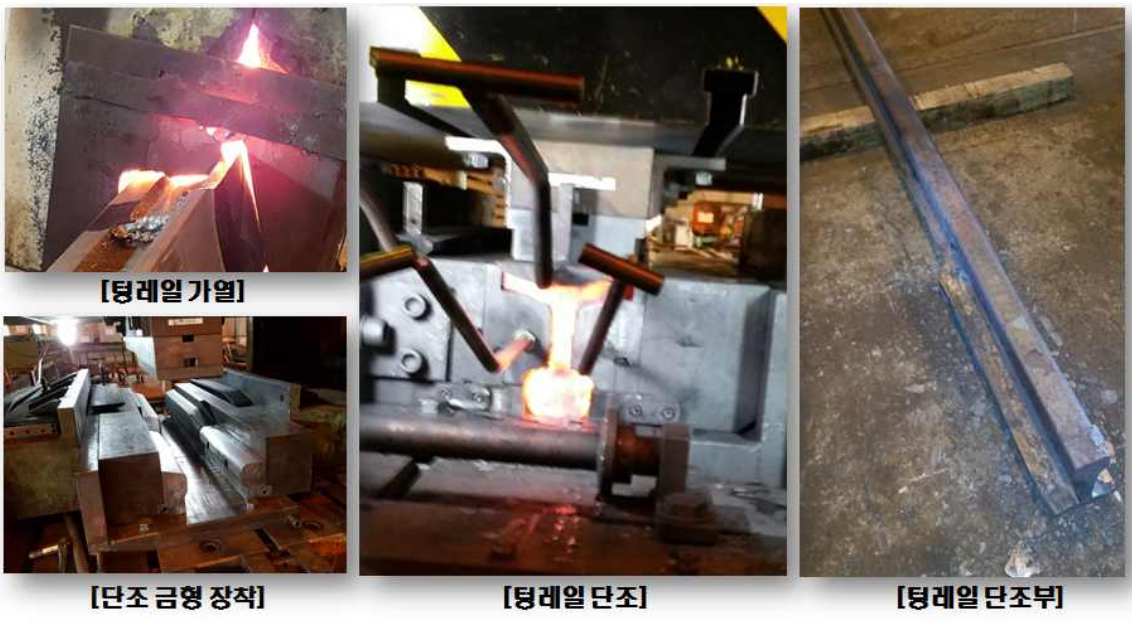


그림 3-2-6 국산 60E1A1 K 텅레일 단조 테스트

라. 텅레일 가공 및 조립

○ 텅레일 가공

- 단조테스트를 완료한 텅레일을 가공하기 위하여 신규 커터를 제작하였으며, 가공테스트를 거쳐 설계치수와 일치함을 확인



그림 3-2-7 국산 60E1A1 K 텅레일 가공 테스트

○ 텅레일 조립

- 60E1A1 K는 기존 60E1A1(UIC60D) 대비 복부 두께가 11.5mm 두껍기 때문에 기존 VCC와 호환성 확보를 위해 복부를 가공하고 텅레일 조립테스트를 진행하여 이상 없음을 확인함(실적증빙자료 -28)



그림 3-2-8 포인트부 조립 테스트



그림 3-2-9 크로싱부 조립 테스트

3절. 고속분기기 성능개량 기술개발

1. 포인트부 개량

가. 선형개량

○ 본 과제에서는 고속분기기 선형을 개량하고자 차량 동역학 해석을 통하여 FAKOP 10mm가 최적의 선형임을 검증하여 설계에 반영하였음(참조 : FAKOP 선형 모델링 및 차량주행 동역학 해석 제3장 1절)

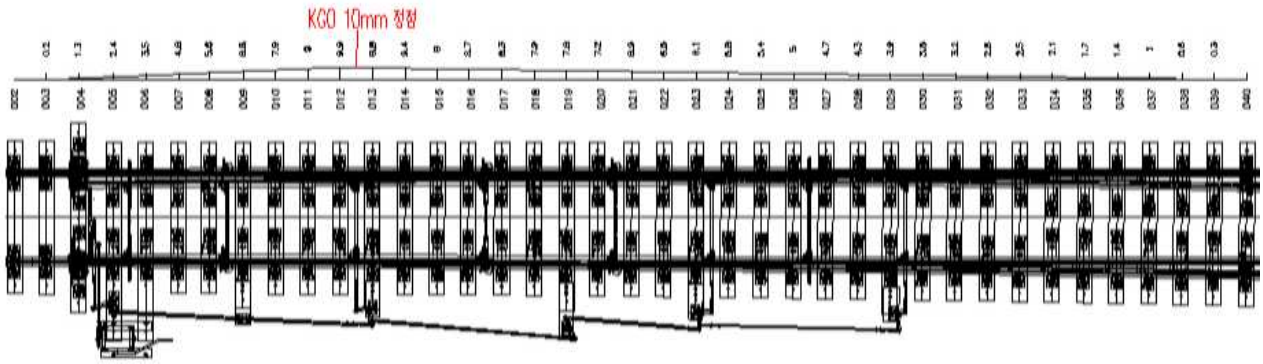


그림 3-3-1 포인트부 개량 설계도(FAKOP 10mm 적용)

나. 스페이싱바 개량

○ 스페이싱바는 분기기의 직, 곡선 텅레일을 연결 하는 간류장치로 고속용은 좌, 우 양측 VCC의 C암을 연결함. 아래의 그림과 같이 개량 기존에는 스페이싱바가 비대칭 형상이므로 현장 여건에 맞추어 전철기가 직, 곡선측 어느 한쪽으로 이동시 스페이싱바도 해체하여 짧은 쪽을 전철기 쪽으로 향하도록 재조립하였으나, 금번 개량품에서는 작업자의 편이성 증대를 위해 스페이싱바의 중간에 전철기와 연결되는 브라켓을 이동시켜 대칭으로 설계하여 전철기가 어느 위치에 설치되더라도 해체, 조립 없이 사용할 수 있도록 개량하였음

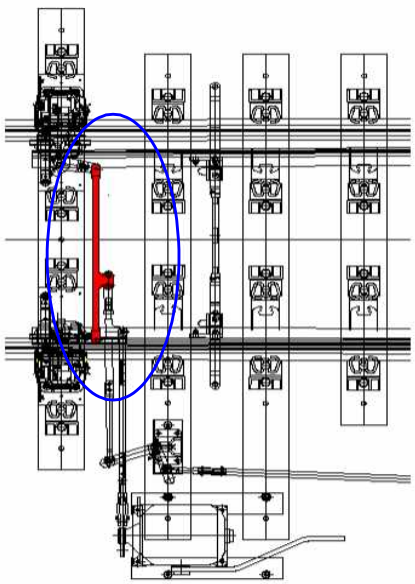
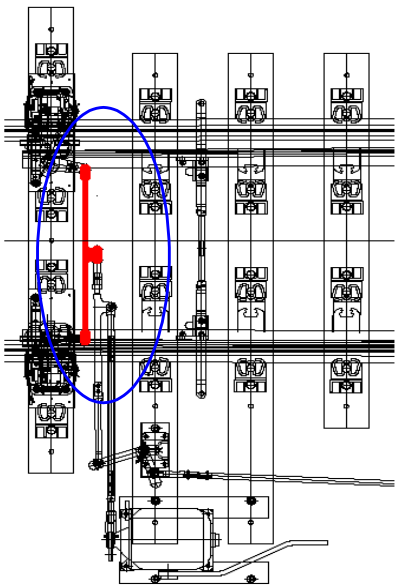
개량 전(비대칭)	개량 후(대칭)	비고
		해체, 조립성 향상

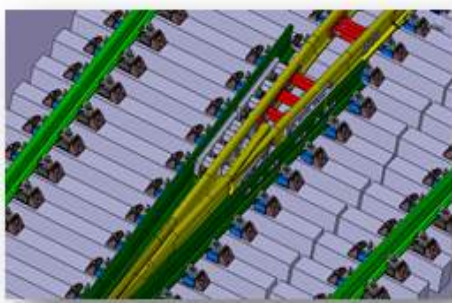
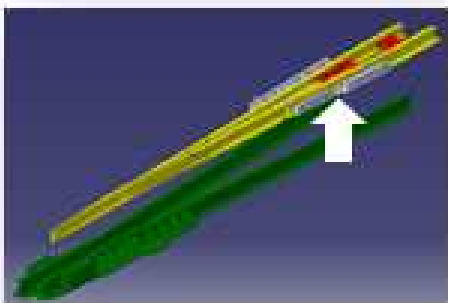
그림 3-3-2 스페이싱바 개량 전·후 비교

2. 크로싱부 개량

가. 상하 분리형 크로싱

○ 유지보수성 향상을 위해 다양한 구조에 대한 아이디어를 수렴하여 윙레일 가공형 구조로 최종안을 채택하였음. 이 구조는 해외에서 전시된 사례가 있는 제품이기도 하나 이를 더 개량한 제품이라고 할 수 있음. 상하분리가 가능토록하기 위해 아래의 표 우측 사진처럼 윙레일 두부를 복부라인과 일치되게 가공을 하였고, 간격재와 윙레일 사이에 15mm 철판을 삽입하여 윙레일 궤도 조정이 가능토록 하였다. 아래의 표의 사진들은 유지보수시 크로싱 노즈를 상하분리하여 교체하는 컨셉을 보여주고 있음

표 3-3-1 개량형 크로싱 구조

구 분	크로싱 후단 구조	후단 구조 상세	비고
형 상			
특징	노즈레일의 상하분리 가능구조	- 윙레일의 두부안쪽을 복부두 께와 같이 가공하여 간격 재가 위로 빠지는 구조	
개량품			

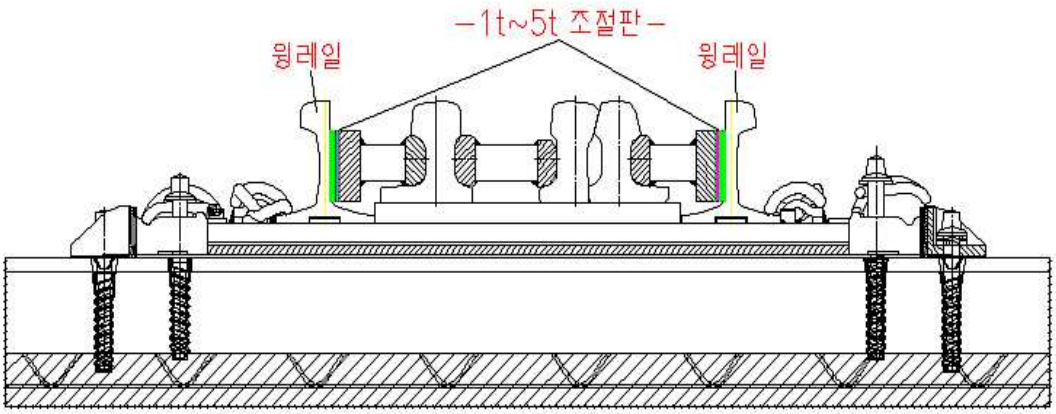
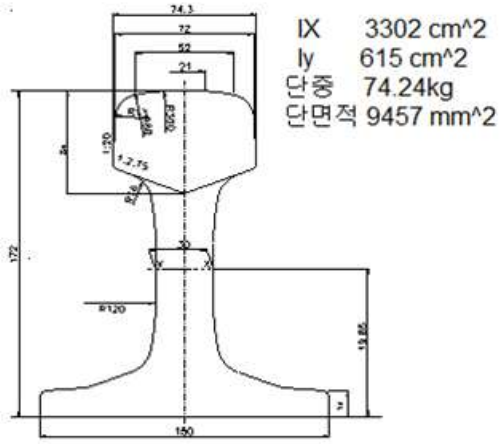
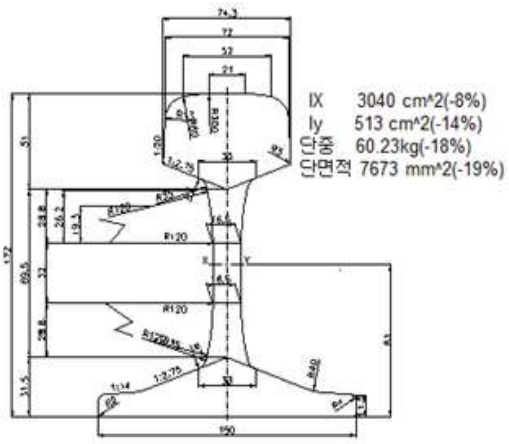


그림 3-3-3 개량형 크로싱후단 단면도

나. 윙레일

표 3-3-2 윙레일 개량 전·후 단면

개량 전(60E1T2-A74)	개량 후(60E1-UIC60)	비고
		
수입	국산품(현대제철)	

○ 위의 표에서와 같이 기존 고속분기기에는 크로싱부 윙레일에만 사용되는 특수레일(A74)을 수입하여 사용하고 있음

○ 윙레일은 차량통과시 수직하중을 받지 않고, 분기기 후단 장대레일에서 발생하는 축력을 전달하는 역할을 하며, 윙레일은 소요량이 많지 않아 전량 유럽에서 수입하여 항상 공장에 재고를 준비해 놓아야 함

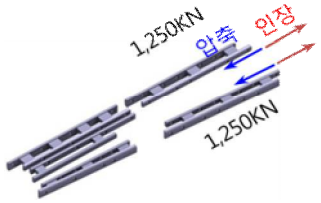
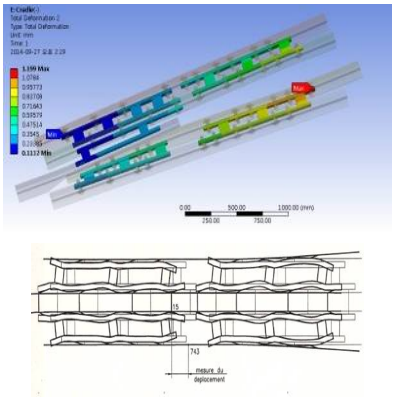
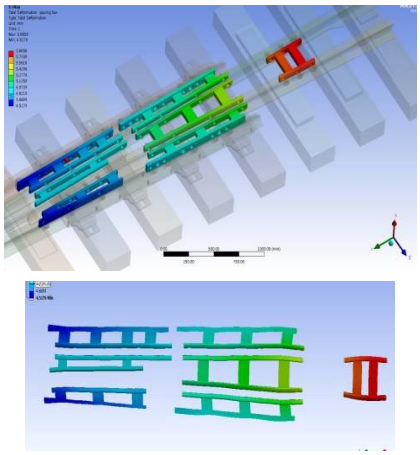
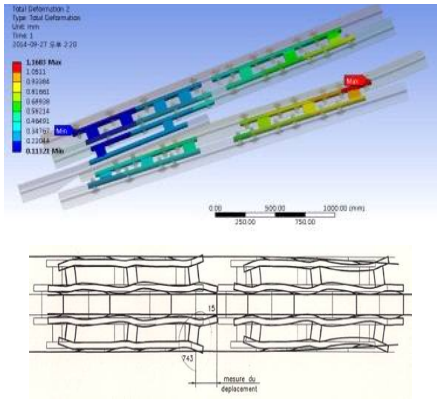
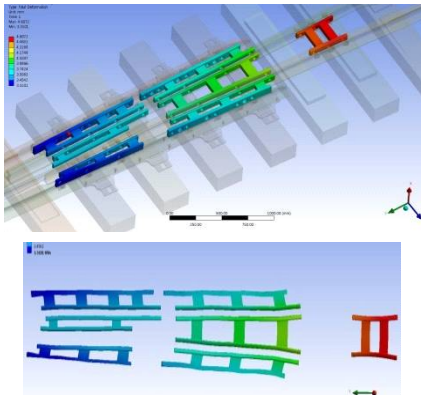
○ 국철에서는 60kg 노즈가동 분기기의 크로싱 윙레일에 60kg 레일을 사용하여 2008년부터 현재까지 중고속화 구간에 적용되어 있고, 윙레일에서 이상이 발견된 적은 없었음

○ 본 과제에서는 국내 생산레일인 60E1레일을 적용하였고, 60E1레일이 A74 레일에 비해 횡강성이 약 15% 정도 작기 때문에 축력을 고려한 간격재와 일체형상판을 적용하여 장대레일 축력에 이상이 없도록 설계반영 하였음

다. 크로싱부 축력보완

○ 윙레일 변경에 따른 크로싱부 축력을 보강하기위해 포인트레일과 신축레일 사이에 간격재 2 set를 추가하였고, 일체형 상판과 윙레일을 고정핀으로 연결하여 크로싱 후단부침목 4정에 대하여 일체화 시켰음. 장대레일 축력발생시 침목 4정에서 동시에 힘을 받아 윙레일에서 일부 감소한 횡강성을 충분히 보강해 준다는 것을 구조계산을 통해 확인하였음

표 3-3-3 개량전·후 크로싱후단 변위·응력 비교

구 분	개 량 전	개 량 후	평 가
간격재 형상			궤간기준 (횡방향 +3, −2㎜)
변위량 (압축력)	 프랑스. Cogifer제공계산서		
	종방향 1.2㎜(횡 +0.23㎜)	종방향 1.3㎜(횡 +0.31㎜)	안전
변위량 (인장력)			
	종방향 1.1 ㎜(횡 +0.21㎜)	종방향 1.2㎜(횡 +0.22㎜)	안전

○ 상기 구조계산 결과에서와 같이 개량후 간격재의 변위가 안전하다는 것을 확인할 수 있었으며. 윙레일에서 약해진 강성을 충분히 보완해 주는 것으로 나타났음

라. 풀림방지 너트 개량(하드락 → 자석너트)

○ 2014년 1월초 김천구미역에서 개통후 10년 정도 된 자갈도상용 F26 고속분기기에서 너트부 절손에 의해 너트가 크래들 접촉면으로 떨어져 밀착불량 발생에 의해 신호장애가 발생 되었는데, 이 사고로 KTX가 1시간정도 지연되었음. 분석결과 수명을 다한 볼트의 피로파괴로 밝혀졌고, 방지대책으로 국내에서 개발한 특허품인 자석너트로 교체작업을 실시하여 현재까지 신호장애 없이 사용중이여서, 금번 국산고속분기기에 적용하게 되었음



그림 3-3-4 자석볼트, 너트 사진

○ 상기의 자석너트 적용시 위에서 검토한 신호장애가 해결되는지 확인하기 위하여 자체 피로시험을 실시하였고, 풀림방지의 기능을 하는지 확인하기 위하여 공인기관 시험을 진행하였음(2015년 10월 22일) 볼트가 절단된 상태를 가정하여 300만회 자체 피로시험을 진행한 결과 자석너트는 회전이나 이동이 전혀 없었고, NASS 3350에 기준한 공인기관 진동시험에서도 전혀 풀리지 않아 기준을 만족하였음



그림 3-3-5 300만회 자체피로시험



그림 3-3-6 공인기관 진동시험

○ 또한, 독일에서 풀림방지 너트시험 기준으로 사용하고 있는 DIN65151 Aerospace series - Dynamic testing of the characteristics of fasteners under transverse loading conditions(vibration test)를 기본으로 시험(융커시험)을 진행하여 자석너트가 성능이 제일 우수한 것으로 확인되었음

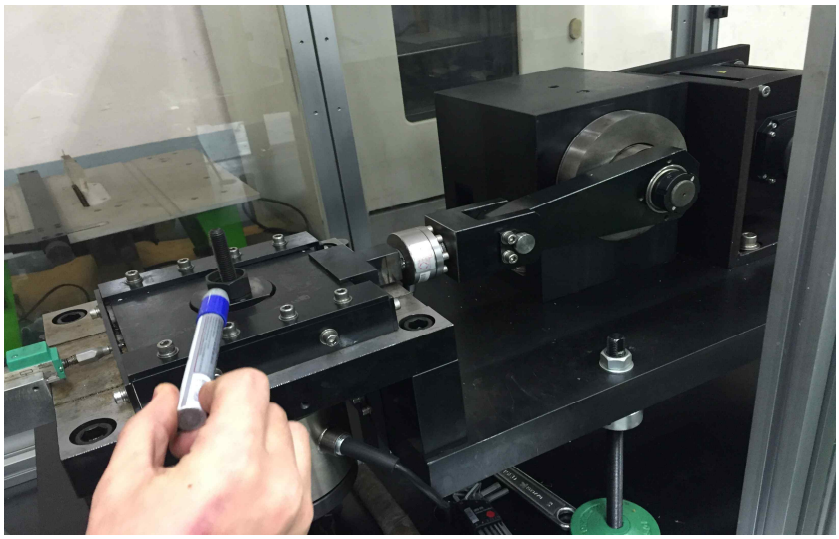


그림 3-3-7 융커시험 전경

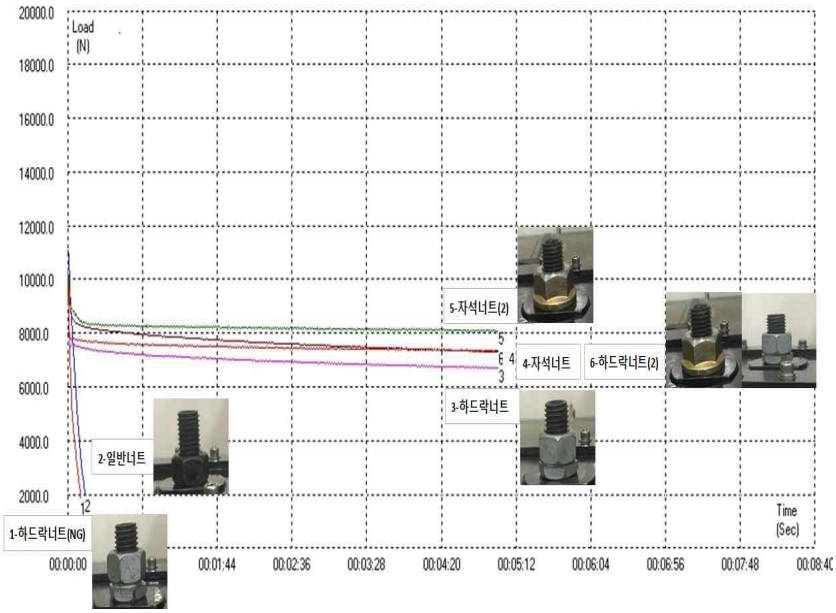


그림 3-3-8 융커시험 결과

○ 현장 고속분기기 부착성 시험

- 시험기간 : 2018년 7월 12일(부착) ~ 7월 20일(확인)
- 시험장소 : 호남고속 정읍역 P6710호(국산 고속철도용 분기기 현장 시험부설 개소)
- 시험방법 : 국산 고속철도용 분기기 노즈가동크로싱 주행 레일에 자석너트(4개) 부착 후 8일간, 너트 탈락여부를 모니터링 실시(KTX 68회/일×8일=544회 통과)
- 시험 목적 : 자석너트 풀림이나 볼트 절손시 신호장애 발생에 대한 사전 검증

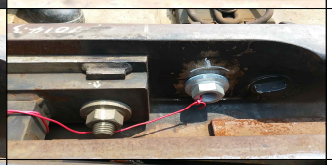
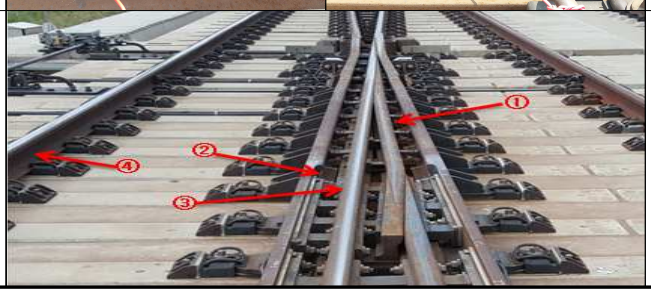
위치	부착 직후	8일 경과 후	확인 결과	비 고
①			탈락 없음 (이상없음)	짧은 노스레일
②			탈락 없음 (이상없음)	윙레일
③			탈락 없음 (이상없음)	간격재
④			탈락 없음 (이상없음)	60E1 레일
부착 위치			–	–

그림 3-3-9 풀림방지 너트 현장 시험

- 시험 결과 : 자석너트 탈락 미발생(Korail 정읍고속시설사무소 직원 입회). 따라서, 자석너트는 풀림방지 기능이 우수하고, 볼트나 너트의 풀림이나 파손시에도 체결부에 부착되어 있으므로 탈락으로 인한 전환장애(신호장애)를 방지 할 수 있을 것으로 기대됨

3. 기타 개량

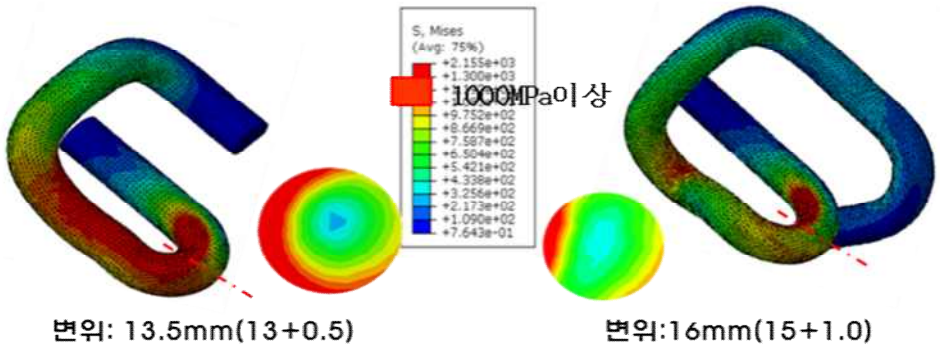
가. 체결구 국산화

○ 기존 고속분기기에는 힐부 협소한 구간에 사용되는 SKL12, USK2 체결구를 전량 수입하여 적용하였는데, 이번 과제에서는 국산화 체결구를 적용하기 위하여 삼표레일웨이㈜ 에서 개발하여 품질인증 완료한 체결구인 Q클립을 적용하였음

○ 체결구를 콘크리트 도상에 적용하기 위해서는 허용 진폭 ±1mm를 만족해야 함. 기존 e클립보다 2배 이상 피로 진폭을 강화하기 위해 클립 직경, 프런트아치, 리어아치 반경, 지점간 거리에 따른 체결력과 피로진폭 등의 설계변수를 선정하였으며, 또한 설계변수간의 상관관계 등을 구조해석을 통해 Parameter Study를 수행하였음

○ 직경을 줄여 표면을 따라 발생하는 비틀림 응력을 감소시켰으며, 빅아치를 적용하여 주파손 영역의 응력을 감소시키도록 하였음. 또한 꼬리효과(Toe Effect)를 유발토록 엔드토우를 창의설계하여 체결력과 상향력을 강화하도록 하였음

○ 클립의 직경은 17mm, 소재는 Si-Mn 계열의 스프링강 SPS7을 사용하였음



(a) E클립 (b) Q클립

그림 3-3-10 Q클립 변위 및 응력 비교

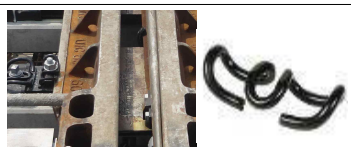
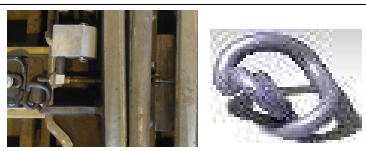
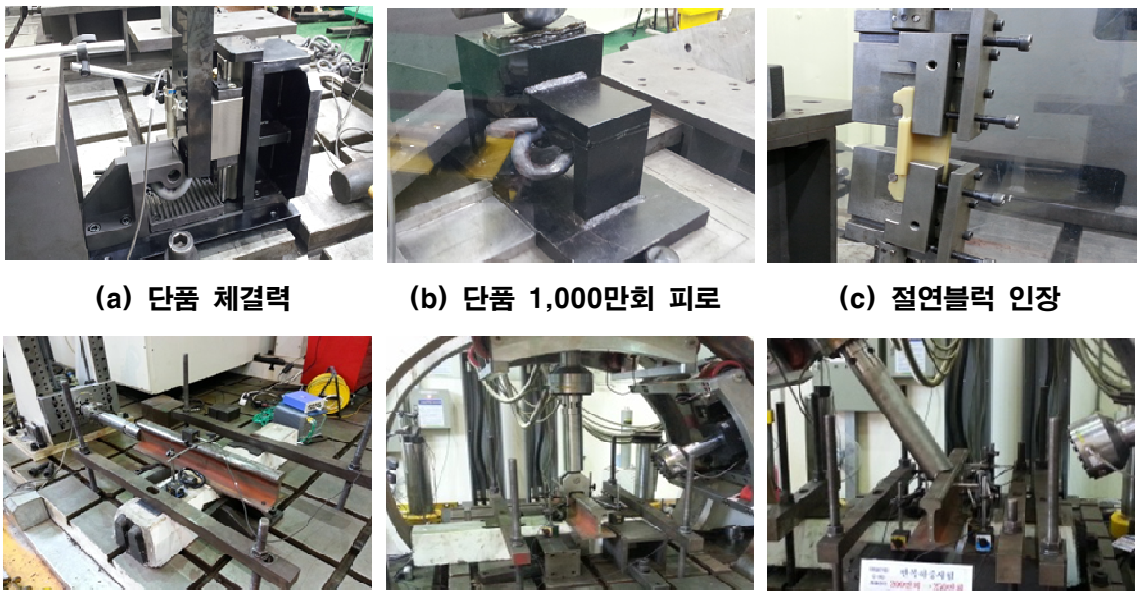
	개량전	개량후
리드부, 크로싱부 전 · 후단	 <SKL12>	 <Q클립>
크래들	 <SKL12>	 <Q클립>
리드부, 크로싱부 전단 좁은 구간	 <USK2>	 <Q클립>

그림 3-3-11 SKL12, USK2 → Q클립 대체 사진

○ 체결시스템 개발을 위해 “KRS TR 0014-13R레일체결장치“에 의거 패드 단품 정적 수직강성, 클립 단품 체결력, 단품피로(기준 500만회+추가시험), 조립체 정적강성, 조립체 피로시험(300만회), 체결력, 종저항력 시험을 수차례 수행하여 안정적인 품질과 성능을 확인하였으며, 이후 “철도 용품 품질인증’ 을 추진하여 랜덤 샘플링을 통한 조립체 실내 공인 시험을 실시하였으며 아래의 표의 시험 결과와 같이 모든 항목에서 기준을 만족하였음



(a) 단품 체결력 (b) 단품 1,000만회 피로 (c) 절연블럭 인장

(d) 종저항력 (e) 체결력 (f) 피로

그림 3-3-12 Q클립 공인기관 성능시험 사진

표 3-3-4 Q클립 공인기관 성능시험결과

시험 항목	설계 기준	시험결과		변화율 기준(%)	시험 결과(%)	평가
		피로 전	피로 후			
종저항력(kn)	7이상	18.88	18.99	20	0.54	합격
초기체결력(kn)	설계사 제시값	18.80	16.57	20	11.87	합격
정적강성(kN/mm)	설계사 제시값	67.22	68.51	25	1.92	합격
전기저항 (kΩ)	5이상	23.82		-	-	합격
부식시험	원활한 체결	원활하게 체결됨		-	-	합격

나. 힐부 패드 모듈화

○ 분기기에서 힐부는 리드부, 크로싱 전 · 후단부로 3군데에서 형성되며, 이러한 힐부는 두 개의 레일이 형성되어 있어 공간이 좁아 일반상판으로 체결이 되지 않고, 콘도상에서는 아래 그림에서와 같이 일체화된 꺾여있는 상판이 사용됨

○ 이러한 이유로 힐부에는 여러 종류의 탄성패드, 상판패드가 사용되고 있는데, F18.5번 기준으로 했을 때 29종류의 힐부패드가 사용되고 있고, 분기기 번수별로 종류가 다르기 때문에 F8 ~ F46에 사용되는 힐부패드의 종류는 약 150종류가 사용되어 너무 많은 종류로 인해 예비품관리, 품질관리

에 많은 어려움이 있음

○ 이번 과제에서는 힐부패드를 2종류로 간소화하여 모든 분기기의 힐부에 공용으로 사용할 수 있도록 창의 개량하였음

○ 힐부패드를 짧게 설계하면 한쪽만 스파이크로 고정되기 때문에 빠지거나 회전하는 문제가 발생하게 되므로 아래의 그림과 같이 상판하부에 ∅12 홀을 추가하고, 절연패드에 돌기를 형성하여 상판 홀에 고정되도록 하여 회전을 방지하도록 하였음

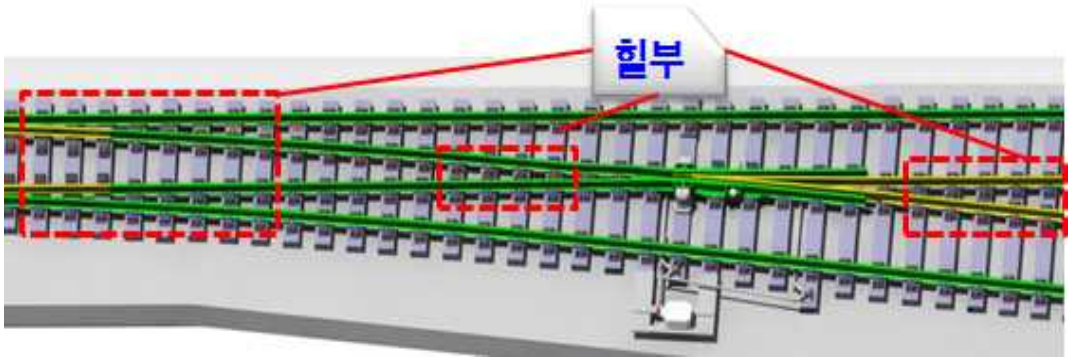


그림 3-3-13 힐부패드 적용 위치

개량 전	개량 후	비고
		
일체형 힐상판 패드(29종)	분리형 패드(2종)	

그림 3-3-14 힐부 패드 개량 전·후 비교

다. VCC, VPM 코일형 히팅장치 개량

○ 현재의 코일형 히팅장치는 아래사진과 같이 히팅장치 체결볼트(M6)가 프레임에 가려져 있어서 프레임을 완전히 해체해야만 교체가 가능함

○ 프레임을 해체하기 위해서는 VCC상판과 체결된 볼트, 기본레일과 체결된 볼트를 모두 해체해야만 하는 어려움이 있었음. 이러한 현장에서의 불편함을 개선하기 위하여 아래 우측사진과 같이 상면 볼트 3개만 해체하면 히팅장치를 옆으로 뺄 수 있는 구조로 변경하여 현장에서 교체 및 유지보수성을 향상시켰음

개량전 코일형 히팅장치	개량후 코일형 히팅장치	비고
		
히팅 교체시 프레임 해체 필요	히팅 교체시 볼트만 해체후 교체가능	

그림 3-3-15 코일형 히팅장치 개선 전·후 비교

4절. 고속분기기 실내 및 현장 성능평가

1. KR 성능검증

가. 성능시험 개요

○ 국내 철도용품의 상용화를 위한 성능인증 제도는 한국철도시설공단의 “철도시설성능검증”과 한국철도기술연구원의 “형식승인” 제도가 있음. 금번 고속분기기는 “형식승인 대상품목”이 아니므로 한국철도시설공단의 “철도시설성능검증” 제도를 이용하여 성능인증을 추진하였음(‘16.05.16)

○ 1차 “국산고속분기기의 기술적합성” 평가 심의 적합판정(‘16.06.17)과 “조립체 시험 계획 적정성” 평가 심의 적합 판정(‘16.09.02)후 시험계획에 의거하여 조립체에 대한 공인성능시험(한국철도기술연구원 철도안전 인증연구소)을 실시하였고(’ 16.10.11), 밀착, 장애검지, 전환력, 선형, 궤간 등 심의 의결된 계획에 따라 엄격하고, 정밀하게 검사하였으며 전 항목 이상 없음을 확인하여, 2차 “조립체 시험 적정성” 평가 심의 적합 판정(‘16.11.22) 결과에 따라 최종 현장 설치시험을 진행

○ “현장 설치시험 계획 적정성” 평가 심의 적합 판정(‘16.11.22) 후, 시험부설(호남고속선 정읍역 #6710 F18.5 분기기, ’ 17.05.16~18) 및 모니터링(’ 17.05~ ‘18.03), 현차주행 성능시험(’ 17.05.28)을 통해 3차 “현장 설치시험 적정성” 평가 심의 조건부 적합 판정(’ 18.06.26)을 받았으며, 조건부 적합 심의 의견에 대한 조치결과를 제출하여 심의 위원 최종 승인(‘18.08.23) 후 성능검증을 완료 하였고, 현재 후속조치(인수인계) 진행중

나. 개량 범위와 수준

○ 금번 성능검증 신청 항목은 ‘철도시설성능검증지침’ 제37조의 R0, R1 개량에 해당됨

표 3-4-1 개량수준

구 분	개량수준	금번 성능검증 신청내용	비 고
선 형	R0 (단순개량)	포인트부 궤간 10mm확장 (FAKOP)	
텅레일 또는 가동노즈	R1 (중요개량)	60E1A1 K 국산텅레일 적용, 상하분리형 크로싱구조 적용	
체결장치	R0 (단순개량)	힐부 Q클립체결장치 적용	
기타재료	R0 (단순개량)	자석볼트, 너트 적용 좌,우 호환형 스페이싱바 적용	

* 철도설계지침 및 편람-궤도재료설계(KR C-14060) 별표5 기준
* R0(단순개량) : 하중을 전달하는 요소, 철도시설의 기능에 영향을 주지 않는 구성품이 변경된 경우
* R1(중요개량) : 구성품의 기능 또는 기능을 발휘하는 구조적 원리의 변경을 동반하는 주요 구성품의 형상 또는 치수, 규격 등이 변경된 경우

다. KR 성능검증 절차

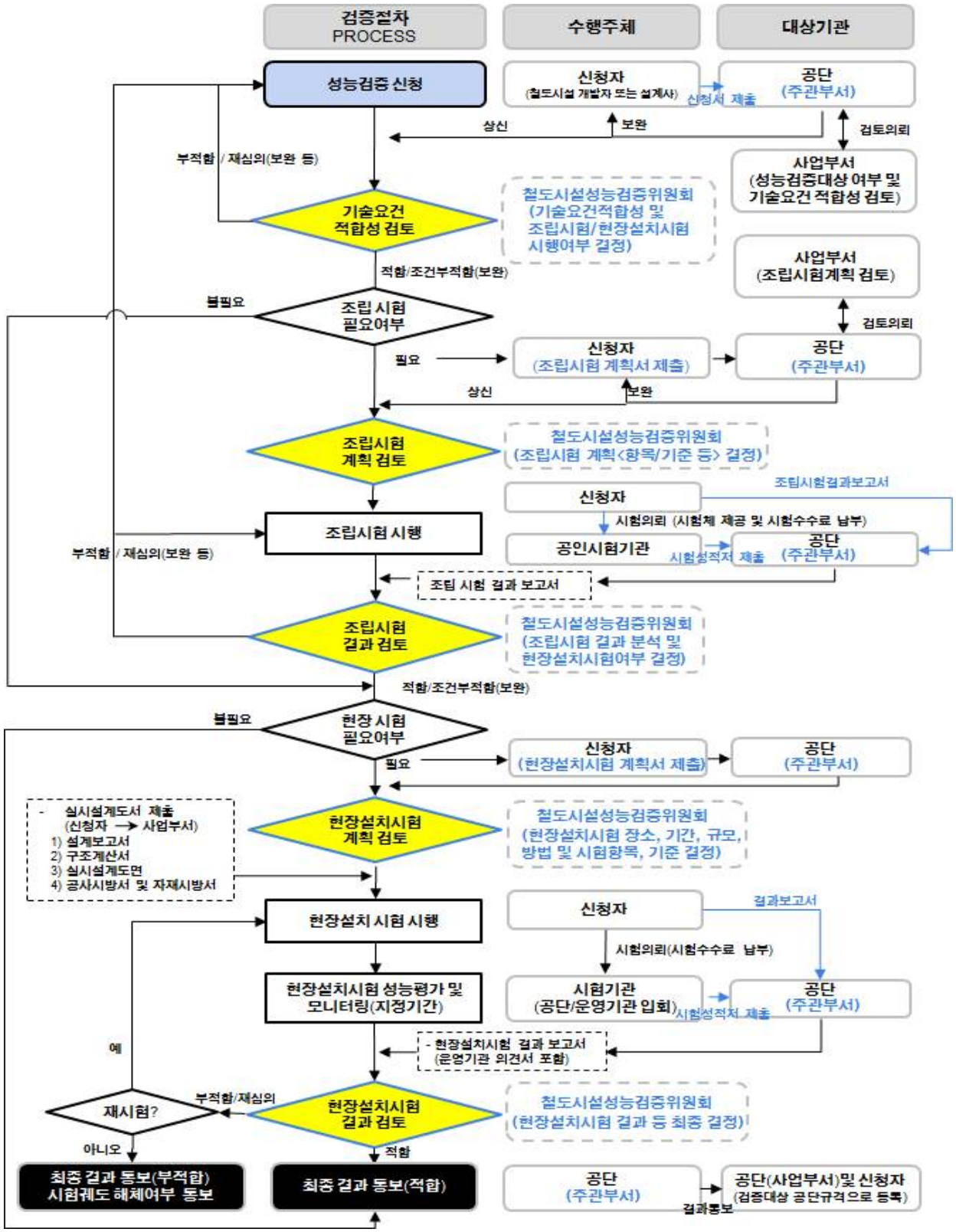


그림 3-4-1 KR성능검증 절차

라. KR 성능검증 결과

표 3-4-2 KR성능검증 결과 요약

단계	심의 명	심의일자 및 장소	심의 사진	심의 결과	비고
1차	기술요건 적합성 평가 심의	'16.06.17 대전		조건부 적합 (조립시험 필요)	
2차	조립체 시험 계획 적정성 평가 심의	'16.09.02 오송		조건부 적합 (검사항목 상세화)	
3차	조립체 시험 결과 평가 심의	'16.11.22 대전		적합 현장시험 필요	
4차	시험부설 계획 적정성 평가 심의	'16.11.22 대전		조건부 적합	
5차	현장 설치시험 결과 평가 심의	'18.06.26 정읍		조건부 적합 (현차주행 성능시험 결과에 대한 신뢰도 확인 필요)	

○ 5차 심의 조건부 적합 판정 심의 의견 "현차주행 성능시험 결과에 대한 신뢰도 확인 필요"에 대해 현차주행 성능시험을 추가 실시하여('18.07.16), ' 17.05.28에 실시한 현차주행 성능시험 결과의 신뢰도를 확인하였으며, 그 외 심의 의견에 대한 조치계획을 수립하여 심의 위원 최종 승인('18.08.23) 후 성능검증을 완료 하였고, 현재 후속조치(인수인계) 진행중

2. 고속분기기 조립체 시험 평가

○ 콘크리트궤도용 국산고속분기기는 2010년 12월 성능검증 완료된 시스템300W 레일체결시스템을 동일하게 적용하였으며, 중요개량 사항인 국산텅레일(60E1A1 K)적용, 포인트부 선형개량(FAKOP 10mm), 크로싱부 구조개량이 반영된 고속분기기 F18.5 포인트와 노즈가동크로싱부 시제품 조립체에 대한 공인기관 입회 시험을 실시하였음

○ 조립시험 항목은 2016년 9월 2일 "조립체 시험 계획 적정성" 평가 심의시 의결된 항목에 근거하였으며, 적용기준은 공단 성능검증 시 활용되는 "KRSA-T-2009-1001 노즈가동분기기", "KRC-14060 궤도재료설계"에 근거하였음

○ 공인시험 기관은 한국철도기술연구원 철도안전인증연구소에서 삼표레일웨이㈜ 오송공장에 입회시험으로 진행하였음

○ 일반검사(궤간, 고저, 수평, 방향 등) 및 포인트부, 크로싱부 검사를 실시하였고, 검사 결과 전 항

목 모두 기준에 적합한 것으로 판정되었음(실적증빙자료-28)

표 3-4-3 공인기관 조립체 시험 결과

No.	시험 항목	시험 항목 상세	검사 규정	시험 기준	비 고
1	일반 검사	궤간,고저,수평,방향,침목 간격틀림,육안검사	공단표준규격 KRSA-T-2009-1001-R2 (노즈가동분기기)	궤간, 고저, 수평, 방향: ±2㎜ 침목간격: ±10㎜ 육안검사: 결함이 없을 것	기준 만족
2	포인트부 검사	치수검사: 직각틀림외 8항 성능검사:장애물검지시험, 밀착,전환력시험	치수검사 KRSA-T-2009-1001-R2 성능검사 KR C-14060 (궤도재료설계)	직각틀림:±2㎜외	기준 만족
3	크로싱부 검사	치수검사: 스파이크체결력 외 12항 성능검사:장애물검지시험, 밀착,전환력시험	〃	스파이크 체결력: 250Nm± 10%외	기준 만족



그림 3-4-2 일반검사

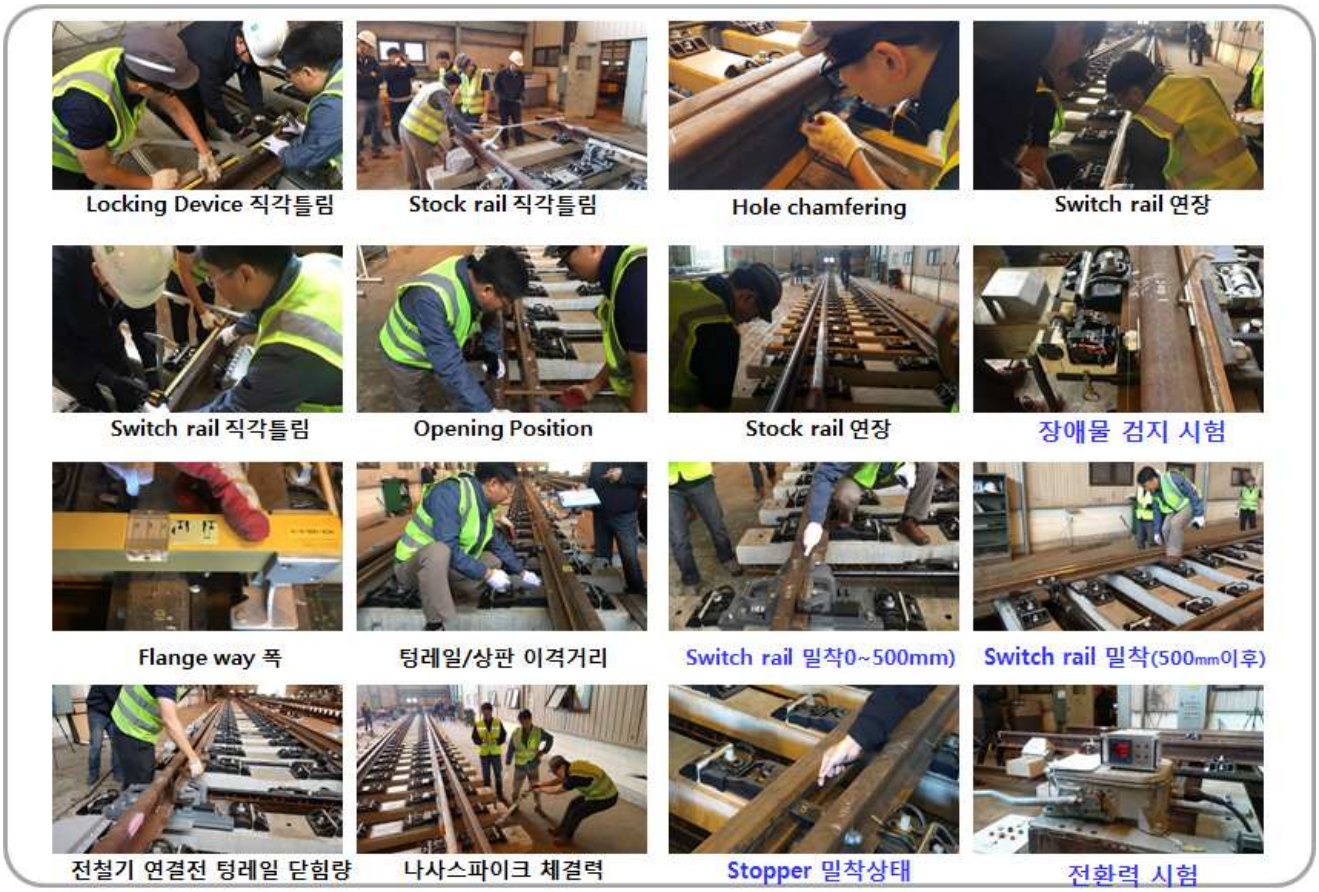


그림 3-4-3 포인트부 검사

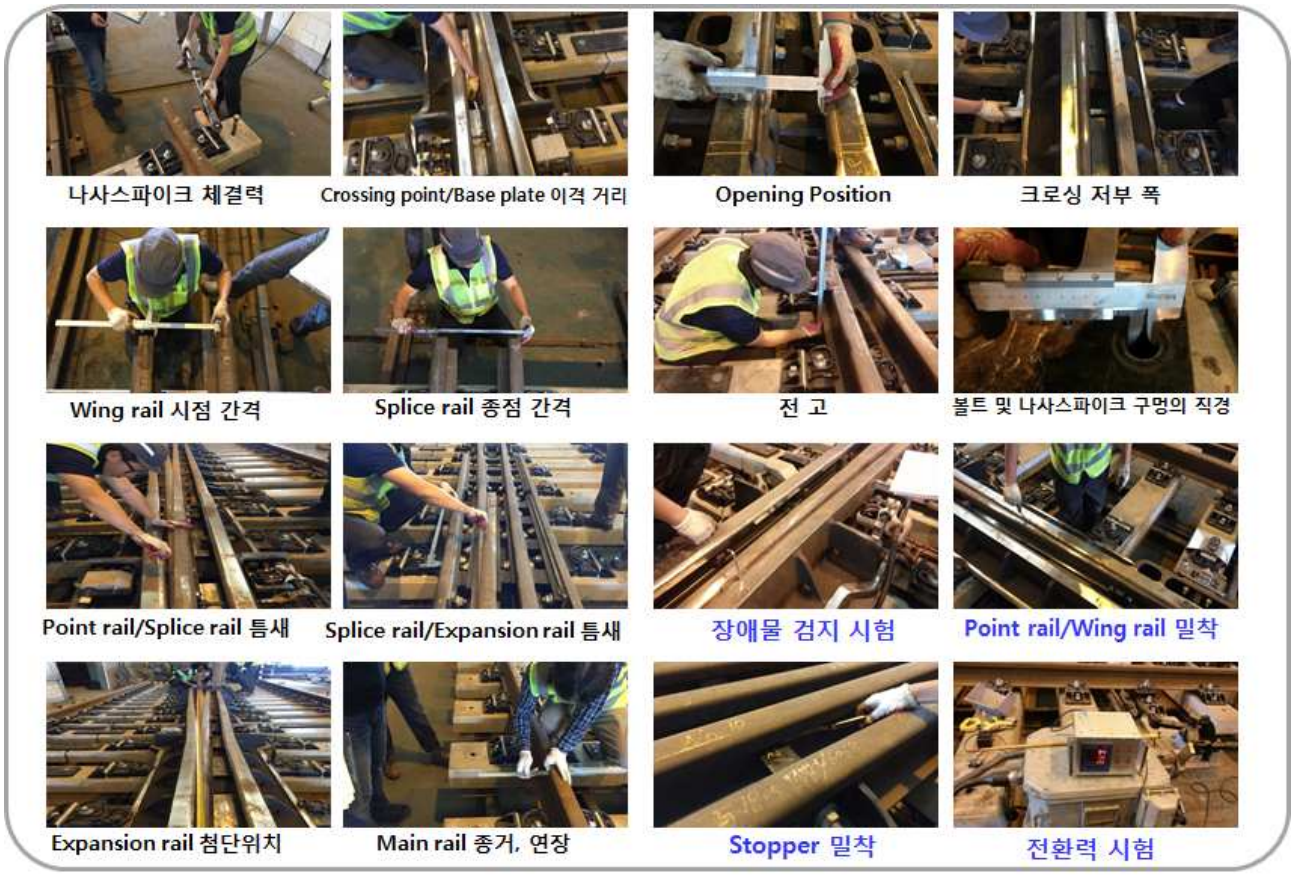


그림 3-4-4 크로싱부 검사

3. 고속분기기 현장 설치시험

가. 부설 위치

○ 연구 과제 추진과정에서 현장 설치시험을 위해 선정된 정읍역 북방 P6710 건넘선 분기기를 방문 확인하였으며, 작업차량 접근과 분기기 운송방안, 작업자 안전을 위해 주변차도 및 철도운송방안, 대피로에 대하여 사전 조사 분석하여 KORAIL과 협의를 통해 최종 적합지로 확정하였음

- 장　　소 : 호남고속철도 정읍역 북방 1km P6710　F18.5 좌분기기
  (전라북도 정읍시 농소동 지하 관통로 근방)
- 현장접근 : 정읍역 구내 장대레일 인상선에서 화차로 자재 및 공구, 장비 운송



그림 3-4-5 현장 인공위성 사진



그림 3-4-6 현장 고속분기기 전경

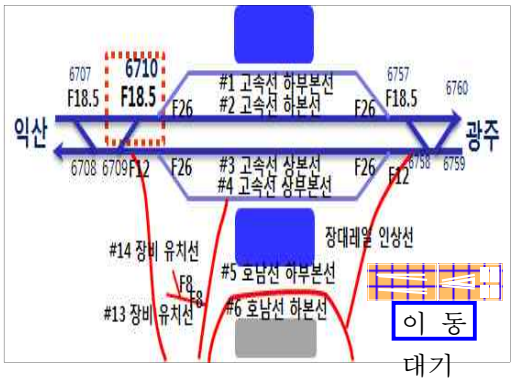


그림 3-4-7 정읍역 배선도

나. 부설 공정

(1) 포인트부 교체 : 2017년 5월 17일(수) ~ 18일(목)



그림 3-4-8 포인트부 교체범위

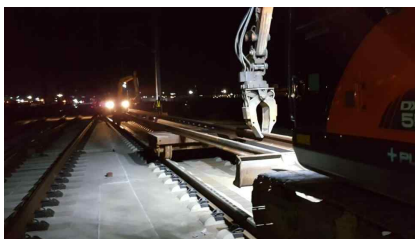
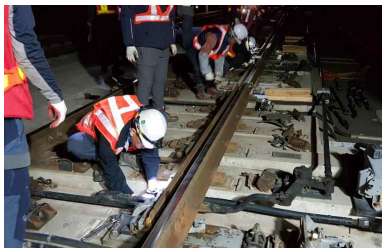
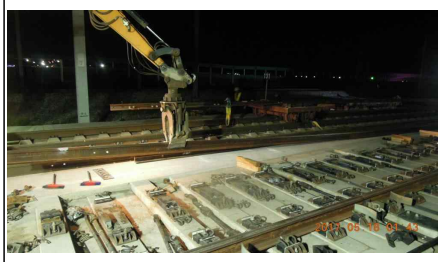
표 3-4-4 포인트교체 궤도작업 공정

No	작업내용	시간	합계	비고
포인트 작업 2,3일차	차단 승인	00:20 ~ 00:30	10분	운행안전관리자 (양승열)
	단전 승인	00:30 ~ 00:40	10분	전기안전관리자 (김영갑)
	트로리 궤도진입	00:40 ~ 01:00	20분	선로변→상선궤도 (백호로 이동)
	공구 이동 및 작업준비	00:40 ~ 01:00	20분	
	레일절단, 부품해체	01:00 ~ 01:30	30분	3개소 절단
	자재상차 및 자재이동			트로리 상차후 상선이동
	해체부품 제거, 정리	01:30 ~ 01:50	20분	레일류, 부품류
	체결장치 교체, 신규레일 위치셋팅	01:50 ~ 02:20	30분	25m 연선줄로 직선측 방향 확인
	상판류 체결 및 궤간점검	02:20 ~ 03:20	60분	
	레일 용접	02:20 ~ 04:00	100분	3개소
	발생품 상차 및 이동,적재			트로리 상차후 이동, 선로변 적재
	키볼트 체결(P6709,10)	03:40 ~ 04:00	20분	포인트 6ea,크로싱 4ea
	주변정리 후 철수	04:00 ~ 04:20	20분	정리

표 3-4-5 포인트교체 신호작업 공정

No	작업내용	시간	합계	비고
포인트 작업 2,3일차	신호 부품해체	01:00 ~ 01:30	30분	전철기,VCC,디텍터, 철관장치,밀착검지기,히팅장치
	해체부품 제거, 정리	01:30 ~ 02:20	50분	신호 부품류
	신호부품 체결	02:20 ~ 03:20	60분	
	본드선 설치	03:20 ~ 03:40	20분	기본레일
	밀착,쇄정맞춤, 전철기작동 테스트	03:40 ~ 04:00	20분	
	주변정리 후 철수	04:00 ~ 04:20	20분	

표 3-4-6 포인트부 교체작업 순서(반스위치 교체)

		
오송→정읍역 자재운반	→ 자재 하차	→ 자재 적재(선로변)
		
→ 레일 절단(3곳)	→ 자재 이동	→ 부품 해체(궤도,신호)
		
→ 레일 철거(기본레일, 텅레일)	→ 체결장치 교체	→ 신규레일 위치 셋팅
		
→ 부품 조립(궤도,신호)	→ 용접 유간 맞춤	→ 레일 용접(3개소)
		
→ 궤간 점검	→ 키볼트 체결(임시개통)	→ 주변 정리후 철수

* 1일차 자재운반 및 적재, 2일차 직선측 반스위치교체. 3일차 곡선측 반스위치 교체 작업

(2) 크로싱부 교체 : 2017년 5월 19일(금)

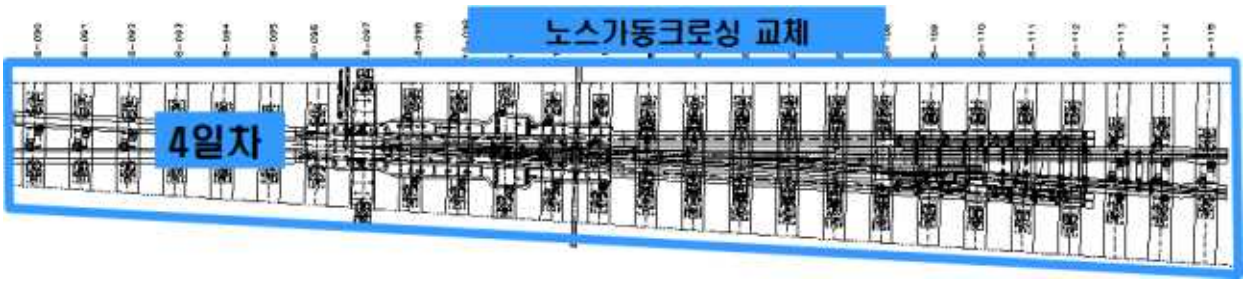


그림 3-4-9 크로싱부 교체범위

표 3-4-7 크로싱부 궤도작업 공정

No	작업내용	시간	합계	비고
크로싱 교체 4일차	차단 승인	00:20 ~ 00:30	10분	운행안전관리자 (양승열)
	단전 승인	00:30 ~ 00:40	10분	전기안전관리자 (김영갑)
	트로리 궤도진입	00:40 ~ 01:00	20분	선로변→상선궤도 (백호로 이동)
	공구이동 및 작업준비	00:40 ~ 01:00	20분	하선 철조망입구→현장
	레일절단, 부품해체	01:00 ~ 01:40	40분	4개소 절단
	자재상차 및 자재이동			트로리 상차후 상선이동
	해체부품 제거,정리	01:40 ~ 02:00	20분	
	크로싱 위치 셋팅, 상판류,부품류 체결	02:00 ~ 02:30	30분	
	레일 용접	02:20 ~ 04:00	100분	4개소
	발생품 상차 및 이동,적재			트로리 상차후 이동, 선로변 적재
	키볼트 체결(P6710)	03:40 ~ 04:00	20분	크로싱 2ea
	주변정리 후 철수	04:00 ~ 04:20	20분	

표 3-4-8 크로싱부 신호작업 공정

No	작업내용	시간	합계	비고
크로싱 교체 4일차	본드선분리, 키볼트 해체	01:00 ~ 01:30	30분	크로싱부
	신호부품 해체	01:30 ~ 02:00	30분	전철기,VPM,철관장치,밀착 검지기,히팅장치
	신호 부품류 제거	02:00 ~ 02:30	30분	
	신호 부품류 체결, 본드선 설치	02:30 ~ 03:00	30분	
	밀착,쇄정맞춤, 전철기작동 테스트	03:00 ~ 04:00	60분	
	주변정리 후 철수	04:00 ~ 04:20	20분	

표 3-4-9 크로싱부 교체작업 순서

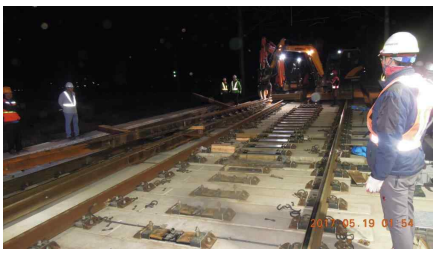
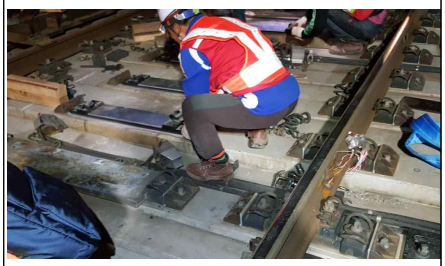
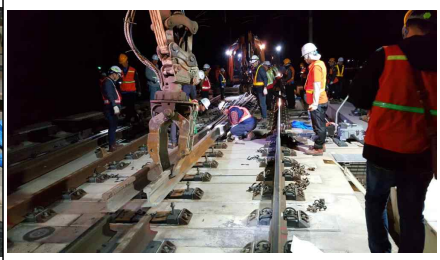
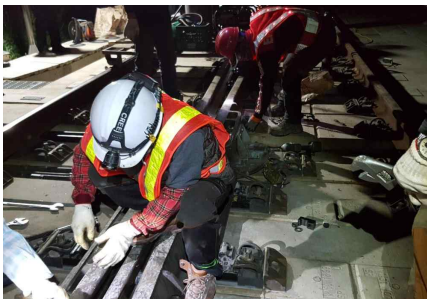
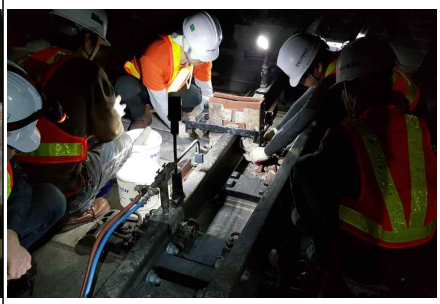
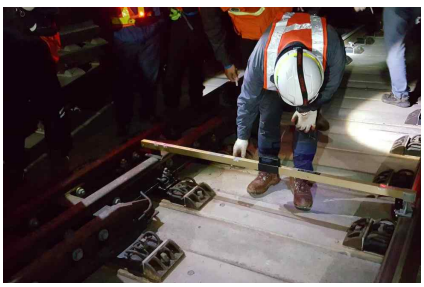
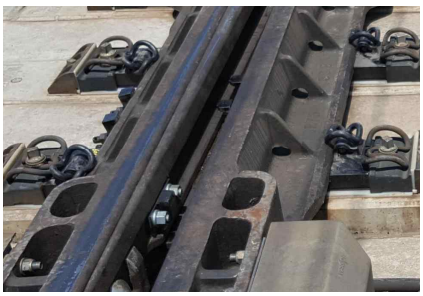
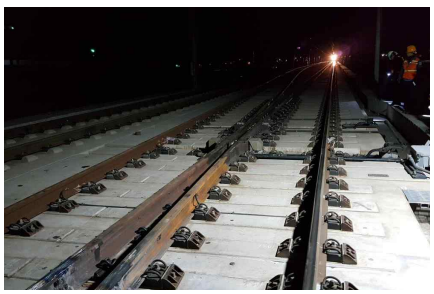
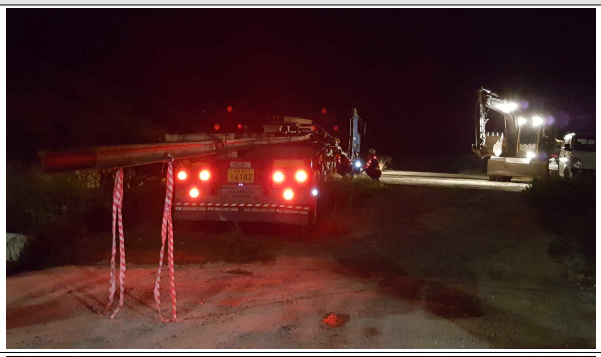
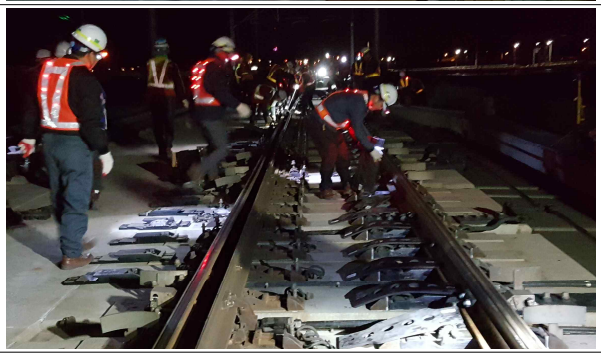
		
→ 레일 절단(4곳)	→ 자재 이동	→ 부품 해체(궤도,신호)
		
→ 레일 철거(크로싱 일체)	→ 체결장치 교체	→ 신규 크로싱 위치 셋팅
		
→ 부품 조립(궤도,신호)	→ 용접 유간 맞춤	→ 레일 용접(4개소)
		
→ 궤간 점검	→ 키볼트 체결	→ 주변 정리후 철수

표 3-4-10 부설시 장애점 및 유의사항

No	항 목	내 용	
1	자재이동		자재반입시 이동경로에 급경사가 있어 운송차가 올라가지 못함 → 백호가 뒤에서 밀어서 올라감 **사전 자재반입 경로 확인 철저 필요**
2	스페이싱바		기존 분기기 스페이싱바 볼트가 풀리지 않아 6개를 절단하였음 **사전 기존 분기기 운영 상태 확인 철저 필요**
3	재료배열		작업자들이 콘크리트도상 분기기 조립 경험이 없음 → 분기기 제작서 기술지원자 3명이 재료 배열하였음 **사전 작업자 교육 철저 필요**
4	레일용접		기존 분기기를 개발 분기기로 교체시 노반 처짐에 따른 레일 단차 발생 **사전 기존 분기기 운영 상태 확인 철저 필요** 용접시간 부족으로 작업 종료시간 지연 **사전 공정별 작업시간 확인 철저 필요**

4. 고속분기기 현장 성능평가

가. 모니터링

○ 본 연구과제의 주요 국산화 및 성능개량 항목을 고려한 관련 규격 검토를 통해서 모니터링 항목 및 방법을 육안 검사, 일반 검측, 전환력 검측과 정밀 검측으로 그룹화 하여 확정하였음

(1) 육안 검사

○ 궤도틀림, 체결장치 상태, 레일 마모상태(텅레일, 노즈레일), 상판류 이상 유무, 침목 균열이나 파손, 철관장치, 조절간 이상 유무, 전철기 이상 유무, 크로싱 이상 유무 확인

(2) 일반 검측

표 3-4-11 일반검측 합격기준

항 목			합 격 기 준	
(1) 궤간(1,435 mm)			≤ -3mm, ≤ +5mm[2]	
(2) 밀착도	포인트부 텅레일과 기본레일 사이의 유격		VCC : ≤ ±0.5mm[1] 그외 : ≤ ±1.0mm[1]	
	크로싱부 노즈레일과 망간크레들 사이의 유격		VCC : ≤ ±0.5mm[1] 그외 : ≤ ±1.0mm[1]	
(3) 멈춤쇠 밀착도			≤ 1.0mm[1]	
(4) 플랜지웨이			≥ 58mm[1]	
(5) 열림량(115 mm)			≤ ±2.0mm[1]	
(6) 기본레일마모	수직마모(텅레일 가공부 외 구간)		≤ 13.0mm[2]	
	횡마모	텅레일첨단±10mm 구간	J > 3mm[2](J : #1 측정기 기준점에서 측정기와 기본레일 사이 유격)	
		텅레일첨단±10mm 외 구간	≤ 13.0mm[2]	
(7) 텅레일 마모(비가공부)	수직마모		≤ 13.0mm[2]	(6) 기본레일 마모기준준용
	횡마모		≤ 13.0mm[2]	
(8) 텅레일 마모 (가공부)	텅레일과 기본레일 사이의 수직마모차		≤ 4.0mm[2]	
	횡마모		#2 측정기와 텅레일이 기준점 위에서 접촉하는 경우[2]	
	이빠짐		#2 측정기와 텅레일이 기준점 아래에서 접촉하고 이빠짐 길이 ≤ 200mm[2]	
(9) 노즈가동크로싱 저부 이격거리			≤ 2mm[1]	

(3) 전환력 검측

표 3-4-12 전환력검측 합격기준

항 목	합 격 기 준
전환시간	3 ≤ 전환시간(sec) ≤ 4
전환력	≤ 400kgf
기타사항(작동음)	이상소음 미발생

1) 한국철도 시설공단 표준규격서 노즈가동분기기: KRSA-T-2009-1001-R2

2) 선로유지관리지침(2015.03.19.)

(4) 정밀 검측

표 3-4-13 정밀검측 합격기준

항 목		합 격 기 준(mm)
(1) 궤도틀림	궤 간(1,435)	≥ - 3, ≤ + 5
	수 평	≥ - 3, ≤ + 3
	평면성	≥ - 3, ≤ + 3
	면(고저)	≥ - 10, ≤ + 10
	줄(방향)	≥ - 7, ≤ + 7

(5) 모니터링 일정 계획

○ 모니터링 중요 시기인 준공직후, 혹서기와 혹한기에 대해 운영기관 및 공인시험기관 입회시험을 계획함

표 3-4-14 모니터링 일정 계획

기 간			육안 검사	일반 검측	전환력 시험	정밀검측 (트랙마스타)	입회시험	비고
월		회차						
‘17년	5월	1	○	○	○	○	○	성능검증 모니터링 기간
	6월	2	○	○				
		3	○	○	○			
	7월	4	○	○				
		5	○	○	○			
	8월 (혹서기)	6	○	○	○	○	○	
		7	○	○				
	9월	8	○	○	○			
	10월	9	○	○	○			
	11월	10	○	○	○			
	12월	11	○	○	○			
‘18년	1월 (혹한기)	12	○	○	○	○	○	
		13	○	○				
	2월	14	○	○	○			
	3월	15	○	○	○			
	4~6월	16	○	○				모니터링 추가기간
	7~9월	17	○	○				
	10~12월	18	○	○				
‘19년	1~3월	19	○	○				

* 상기 모니터링 세부일정은 ‘17년 5월 시험시공 기준이며 운영기관과 협의 결과에 따라 조정 가능. 또한, 부설후 1개월은 주2회, 7개월~10개월은 월1회 육안검사 추가 시행

나. 현차주행 성능시험

(1) 차상시험

표 3-4-15 차상시험 상세

가속도 센서설치 위치(번호) 및 센서 용량(수량)			차단주파수(Hz)	비고
대차	횡방향($\ddot{y}_s^+$)	±10g(1개)	≥ 10	
차체	횡방향($\ddot{y}_s^*$)	±2g(1개)	≥ 6	
	수직방향($\ddot{z}_s^*$)	±2g(1개)	≥ 4	
계		3		

(2) 지상시험

○ 본 연구과제의 주요 국산화 및 성능개량 항목(텅레일 국산화, KGO 적용 및 힐상판 탄성패드) 및 취약부(노즈 첨단)를 중심으로 항목 및 센서배치 위치 선정

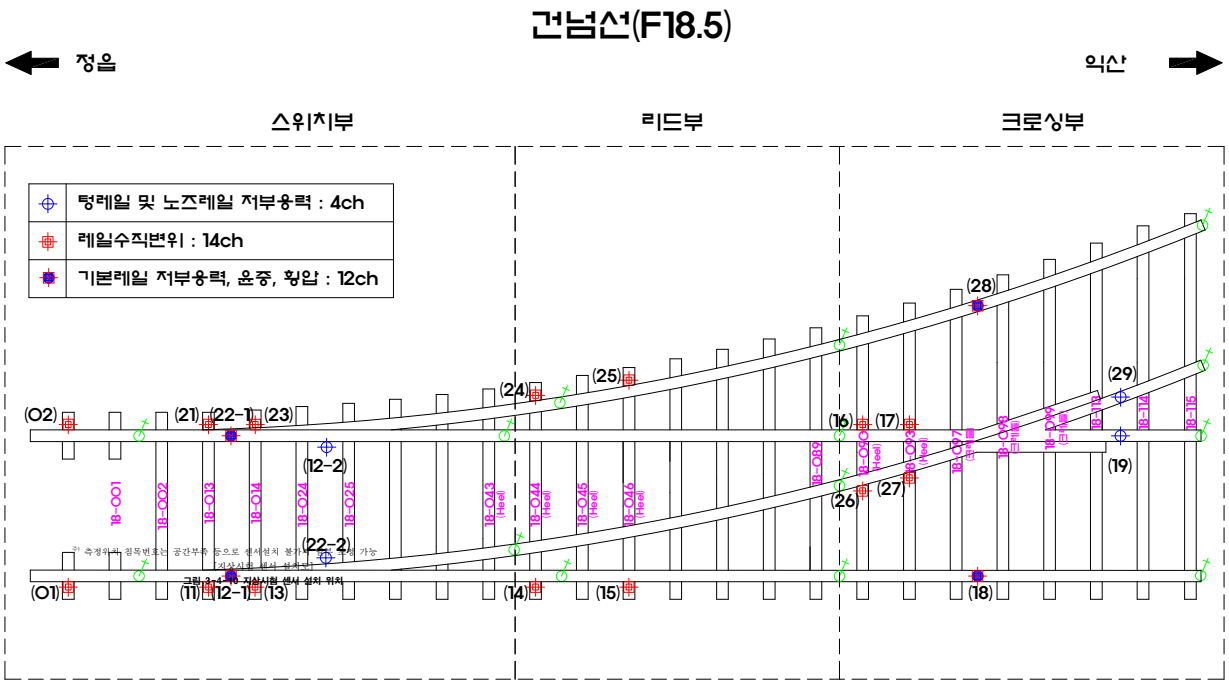


표 3-4-16 지상시험 상세

센서 번호	측 정 대 상		침목번호 (18-)	저부 응력	윤중	횡압	레일 수직 변위	계	비고	
(01)			000				1	1	일반구간 (Reference)	
(02)			000				1	1		
소계							2	2		
(11)	스위치부	기본레일	013				1	1	KGO 최대위치	통과선
(13)			014				1	1		
(12-1)	스위치부	기본레일	013~014	1	1	1		3		
(12-2)	스위치부	텅레일	024~025	1				1	국산 텅레일	
(14)	리드부	기본레일 리드레일	044				1	1	힐상판 탄성패드 개량부	
(15)			046				1	1		
(16)	크로싱부	리드레일	090				1	1		
(17)			093				1	1		
(18)	크로싱부	기본레일	097~098	1	1	1		3	노즈 첨단	
(19)	크로싱부	노즈레일	113-114	1				1	국산 노즈레일	
소 계				4	2	2	6	14	-	
(21)	스위치부	기본레일	013				1	1	KGO 최대위치	분기선
(23)			014				1	1		
(22-1)	스위치부	기본레일	013~014	1	1	1		3		
(22-2)	스위치부	텅레일	024~025	1				1	국산 텅레일	
(24)	리드부	기본레일 리드레일	044				1	1	힐상판 탄성패드 개량부	
(25)			046				1	1		
(26)	크로싱부	리드레일	090				1	1		
(27)			093				1	1		
(28)	크로싱부	기본레일	097~098	1	1	1		3	노즈 첨단	
(29)	크로싱부	노즈레일	113-114	1				1	국산 노즈레일	
소 계				4	2	2	6	14	-	
계				8	4	4	14	30	-	

(3) 시험현황

○ 관련규격

- 시험기간(횟수) : 공단 철도시설 성능검증 지침 제31조(현장 설치시험 기간) ③항
  현차 주행 성능시험은 시공 직후 최초 1회 실시하고, 모니터링 단계에서 필요시(검증 대상구간의 현저한 이상 발생 등) 추가 시험을 실시하여야 함
- 시험속도 : 공단 철도시설 성능검증 지침 제34조(현장 설치시험 속도) ①항
  현장 설치시험은 해당 설비의 특성 상 현차 주행시험을 통해 성능 확인이 필요한 경우 현차 주행시험 속도는 해당 철도의 운행속도로 실시하는 것을 원칙으로 하며 시험구간 선정 시 이를 고려하여야 함

○ 시험일시, 시험속도, 시험차량 및 시험횟수

표 3-4-17 시험일시, 시험속도, 시험차량 및 시험횟수

No	시험일시	운행선로	시험속도 (km/h)	시험차량 및 시험횟수	
				차상시험	지상시험
1	'17/05/28(일)	통과선	300	· HEMU : 왕복 1회	· HEMU : 왕복 1회 · KTX-호남 등 : 하행 4회
		분기선	90	· HEMU : 왕복 3회	· HEMU : 왕복 3회
2	'18/07/16(월)	통과선	300	· HEMU : 하행 1회	-

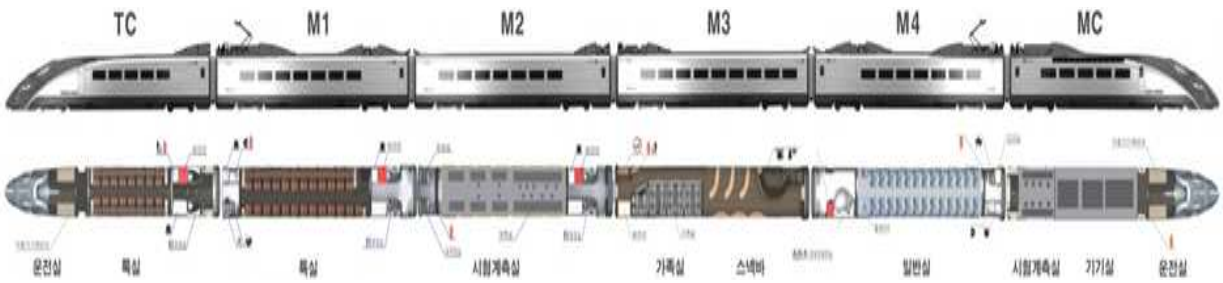


그림 3-4-11 차세대고속열차(HEMU)



(a) 대차가속도계



(b) 차체가속도계



(c) 차세대고속열차(HEMU)

그림 3-4-12 차세대고속열차(HEMU) 대차 및 차체가속도 센서

(4) 합격기준

○ 관련규격 : “공단 철도시설 성능검증 지침 KR C 14060 궤도재료 설계 별표 4 현장 설치시험 항목 및 기준 2. 현차주행 성능시험-분기기” 합격기준 준용(1.3.2 참조)

- 차상시험

표 3-4-18 차상시험 합격기준

구 분		차단주파수(Hz)	합격기준(m/sec^2)
대차(2nd Bogie) 가속도	횡방향($\ddot{y}_s^+$)	≥ 10	≤ 12-Mb/5[(1)]
차체(TC) 가속도	횡방향($\ddot{y}_s^*$)	≥ 6	≤ 3[(2)]
	수직방향($\ddot{z}_s^*$)	≥ 4	≤ 3[(2)]

(1) Mb = 7 : 대차 질량(ton)

(2) 주행안전성에 대한 한계값으로 승차감 한계값은 2.5m/sec^{2}임

- 지상시험

표 3-4-19 지상시험 합격기준

센서번호	항 목		기호	단위	합격기준
(12-1, 18) (22-1, 28)	횡압		Y	kN	≤ 40
(12-1, 18) (22-1, 28)	윤중	최대치	Q	kN	≤ 200
		최소치			≥ 35
(12-1, 18) (22-1, 28)	탈선비		Y/Q	-	≤ 0.8
(01, 11, 13, 14, 15, 16, 17) (02, 21, 23, 24, 25, 26, 27)	레일 수직변위		y_r	mm	분기기 주요 위치별 급격한 변화 없을 것 (설계값 ± 25%)
(12-1, 12-2, 18, 19) (22-1, 22-2, 28, 29)	레일 응력(전진폭)		σ_r	MPa	≤ 130

(6) 시험 결과

○ 모니터링 결과(실적증빙자료-30)

표 3-4-20 모니터링 결과

기 간			회차	육안 검사	일반 검측	전환력 시험	정밀검측 (트랙마스타)	입회시험	평 가
일정									
‘17년	5월 26일		1	○	○	○	○	○	OK
	6월	9일	2	○	○				OK
		23일	3	○	○	○			OK
	7월	13일	4	○	○				OK
		27일	5	○	○	○			OK
	8월	11일	6	○	○	○	○	○	OK
		30일	7	○	○				OK
	9월 27일		8	○	○	○			OK
	10월 25일		9	○	○	○			OK
	11월 29일		10	○	○	○			OK
	12월 26일		11	○	○	○			OK
‘18년	1월	18일	12	○	○	○	○	○	OK
		31일	13	○	○				OK
	2월 26일		14	○	○	○			OK
	3월 28일		15	○	○	○			OK

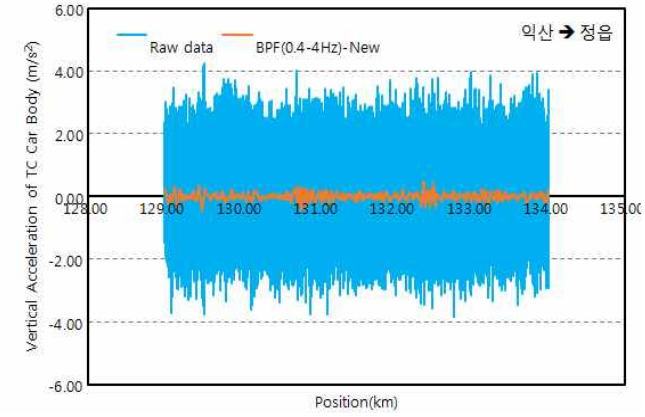
○ 차상시험 결과(실적증빙자료-30, 31)

- 통과선 측정결과(300km/h)

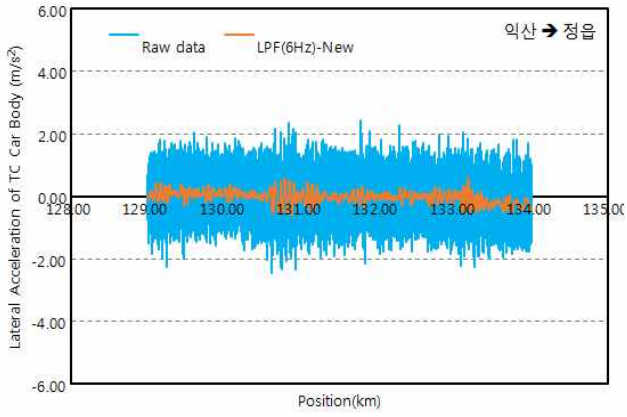
표 3-4-21 통과선 측정결과(300km/h)

측 정 번 호		1-1차 하행(배향), 1-5차 상행(대향), 2-1차 하행(배향)						주행최고 속도	300 km/h			
주 행 선 로		통과선										
측 정 구 간		호남고속철도 정읍역 #6710 F18.5 좌분기기 (분석구간 : 131k049~130k970)										
분석항목		시험결과(m/s^2)										
		최대값 (Maximum Value)			실효치 (Root Mean Square)			추정최대값 (Estimated Maximum Value)				
		1-1차 하행 (배향)	2-1차 하행 (배향)	1-5차 상행 (대향)	1-1차 하행 (배향)	2-1차 하행 (배향)	1-5차 상행 (대향)	기준	1-1차 하행 (배향)	2-1차 하행 (배향)	1-5차 상행 (대향)	평가
차체 상하 진동	Sec.1	0.299	0.418	0.383	0.168	0.274	0.290	3	0.571	0.650	0.505	OK
	Sec.2	0.412	0.331	0.376	0.310	0.274	0.298					
	Sec.3	0.138	0.289	0.390	0.104	0.136	0.305					
	Sec.4	0.254	0.083	0.268	0.120	0.064	0.142					
차체 좌우 진동	Sec.1	0.588	0.417	0.125	0.359	0.318	0.073	3	0.822	0.971	0.658	OK
	Sec.2	0.448	0.509	0.382	0.321	0.367	0.190					
	Sec.3	0.628	0.626	0.381	0.395	0.368	0.231					
	Sec.4	0.657	0.765	0.393	0.416	0.487	0.322					
대차 좌우 진동	Sec.1	2.215	1.810	3.265	1.081	1.124	1.485	10.72	3.038	3.825	5.528	OK
	Sec.2	1.905	2.836	1.731	1.099	1.706	1.161					
	Sec.3	2.559	1.937	3.857	1.221	0.911	1.495					
	Sec.4	1.747	2.856	1.601	1.004	1.315	0.458					
비고												

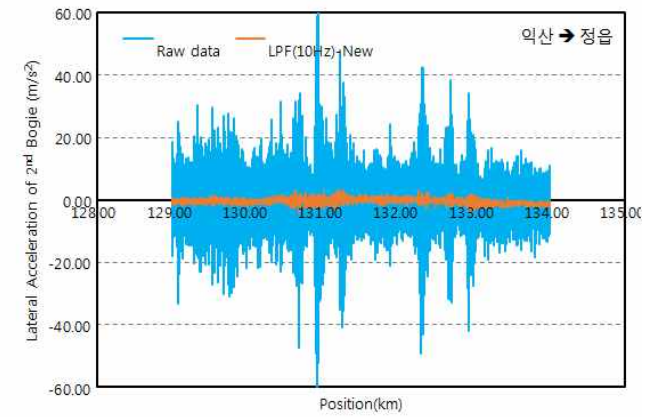
- 추정최대값(Estimated Maximum Value) 산정 분석방법(데이터 처리방법 : UIC518 기준 적용)
  - · 분석대상 구간(130k970~131k050) Data 추출
  - · 분석대상 구간을 20m 길이로 분할(4개 Section)
    - ① Section 1 : 130k970 ~ 130k990(크로싱)
    - ② Section 2 : 130k990 ~ 131k010
    - ③ Section 3 : 131k010 ~ 131k030
    - ④ Section 4 : 131k030 ~ 131k050(포인트)
  - · 각 Section에 대한 0.15%와 99.85% 값 중 최대값 추출(Max)
  - · 각 Section에 대한 최대값(Max)의 평균(Mean)과 표준편차(S_d) 계산
  - · 각 평균(Mean)과 표준편차(Sd)에 대한 Estimated maximum value 계산 : X_{max} = Mean + $3S_d$



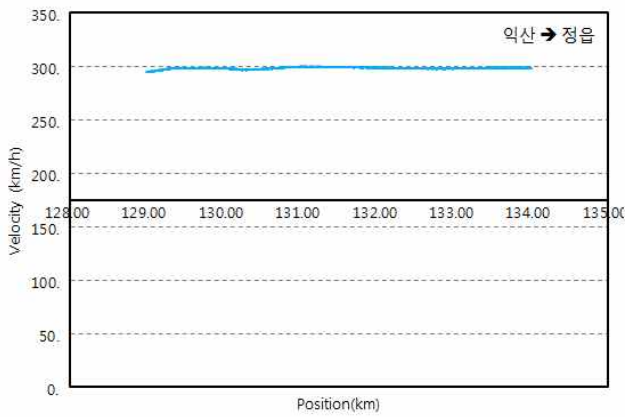
(a) 차체 수직가속도



(b) 차체 횡가속도

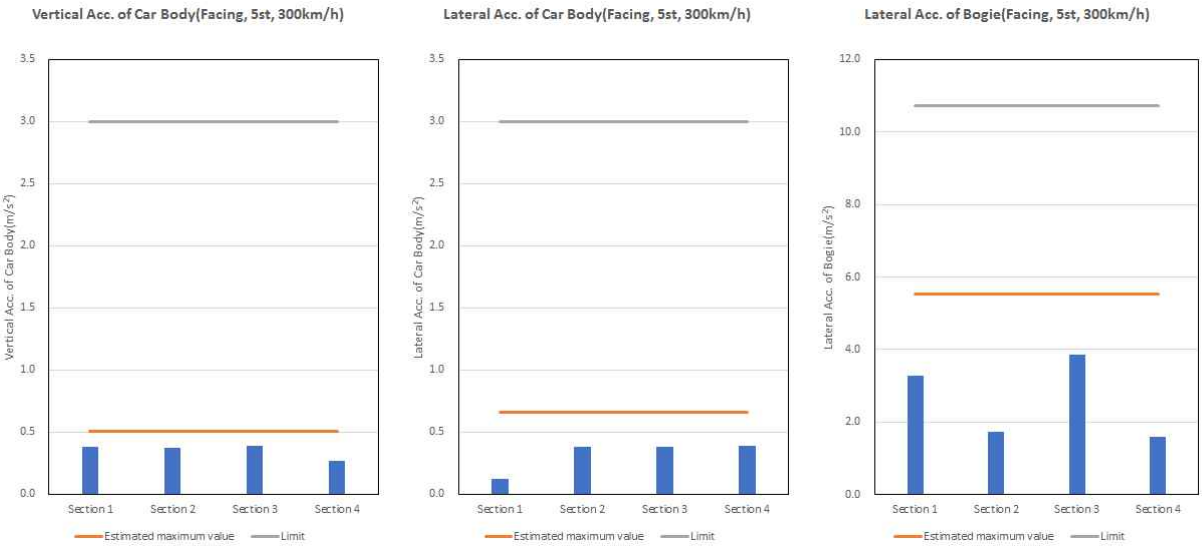


(c) 대차 횡가속도



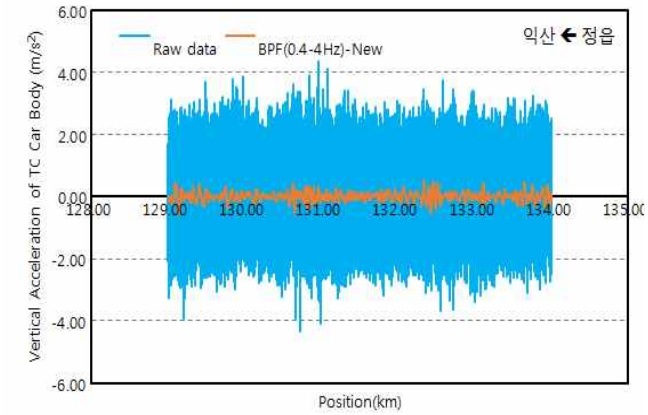
(d) 주행속도

그림 3-4-13 1-1차 HEMU 하행(배향) 통과선 300km/h(익산→정읍)

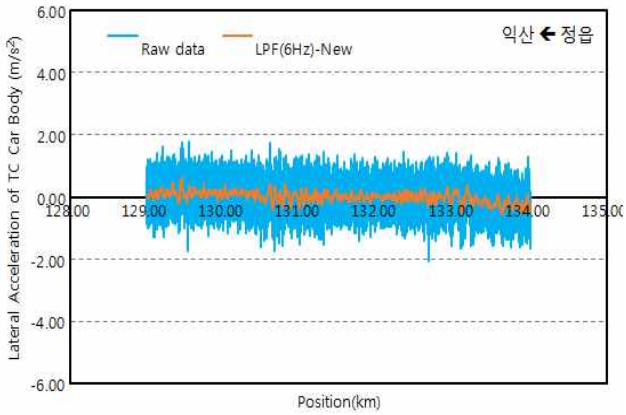


(a) 차체 수직가속도 (b) 차체 횡가속도 (c) 대차 횡가속도

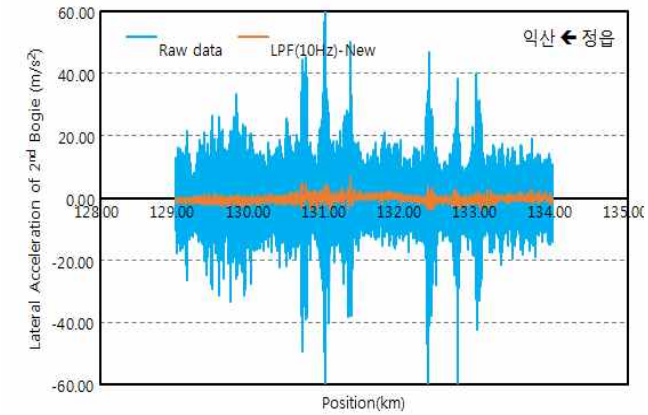
그림 3-4-14 1-1차 HEMU 하행(배향) 통과선 300km/h Estimated Maximum Value(익산→정읍)



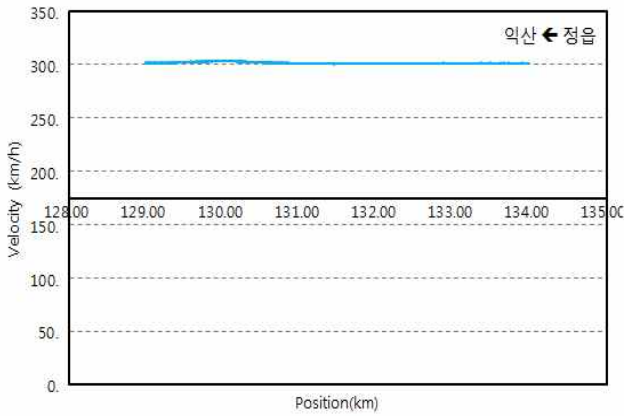
(a) 차체 수직가속도



(b) 차체 횡가속도

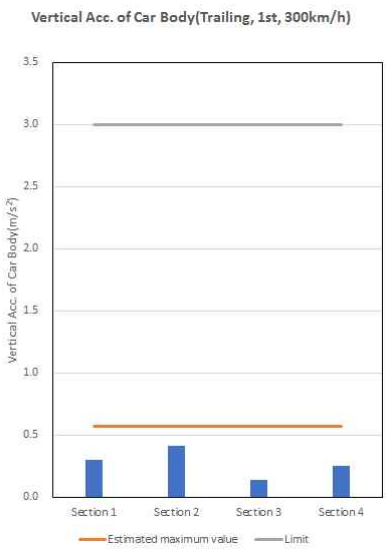


(c) 대차 횡가속도

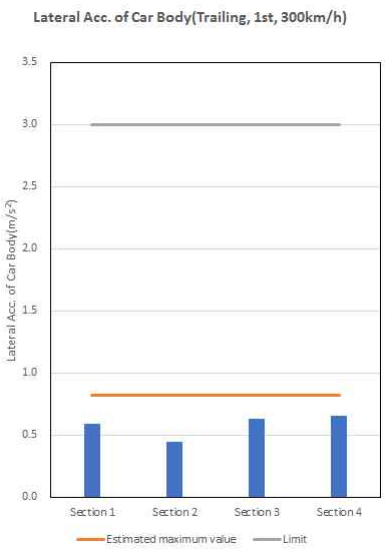


(d) 주행속도

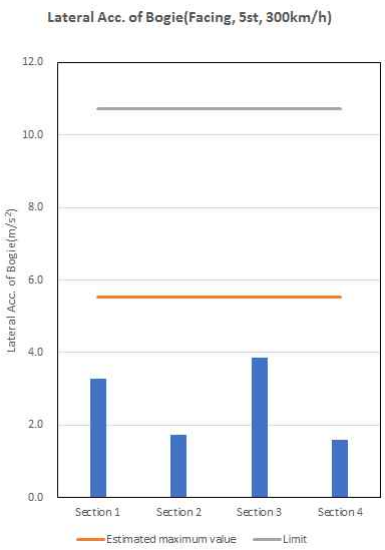
그림 3-4-15 1-5차 HEMU 상행(대향) 통과선 300km/h(익산←정읍)



(a) 차체 수직가속도

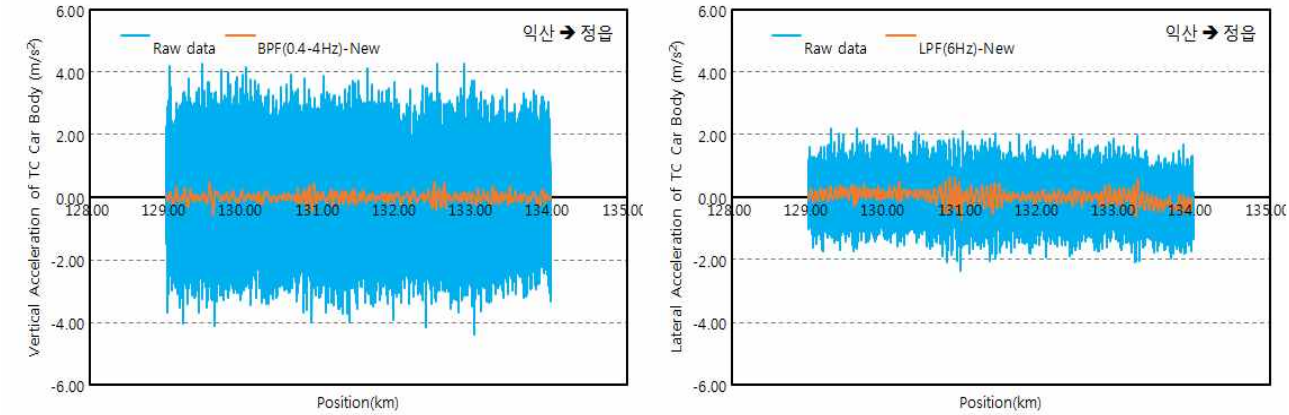


(b) 차체 횡가속도



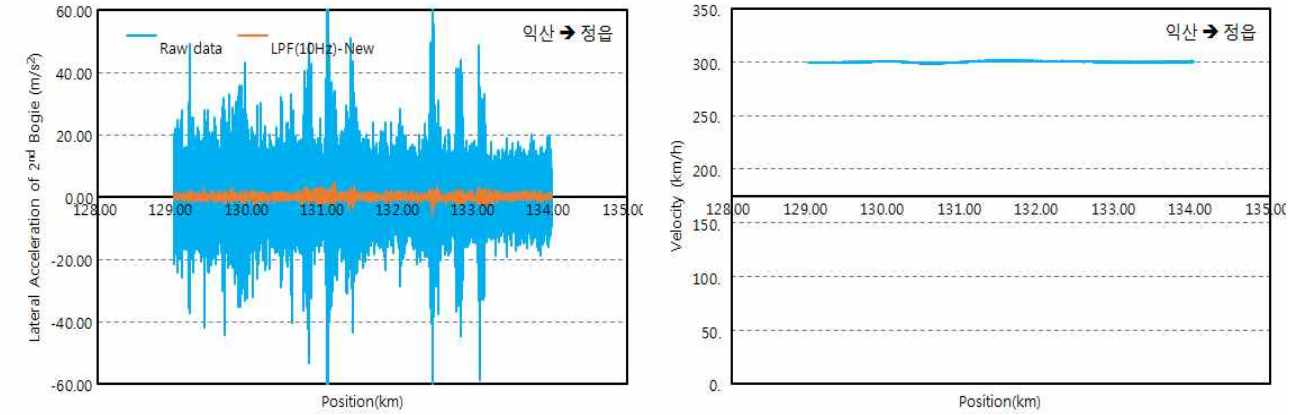
(c) 대차 횡가속도

그림 3-4-16 1-5차 HEMU 상행(대향) 통과선 300km/h Estimated Maximum Value(익산←정읍)



(a) 차체 수직가속도

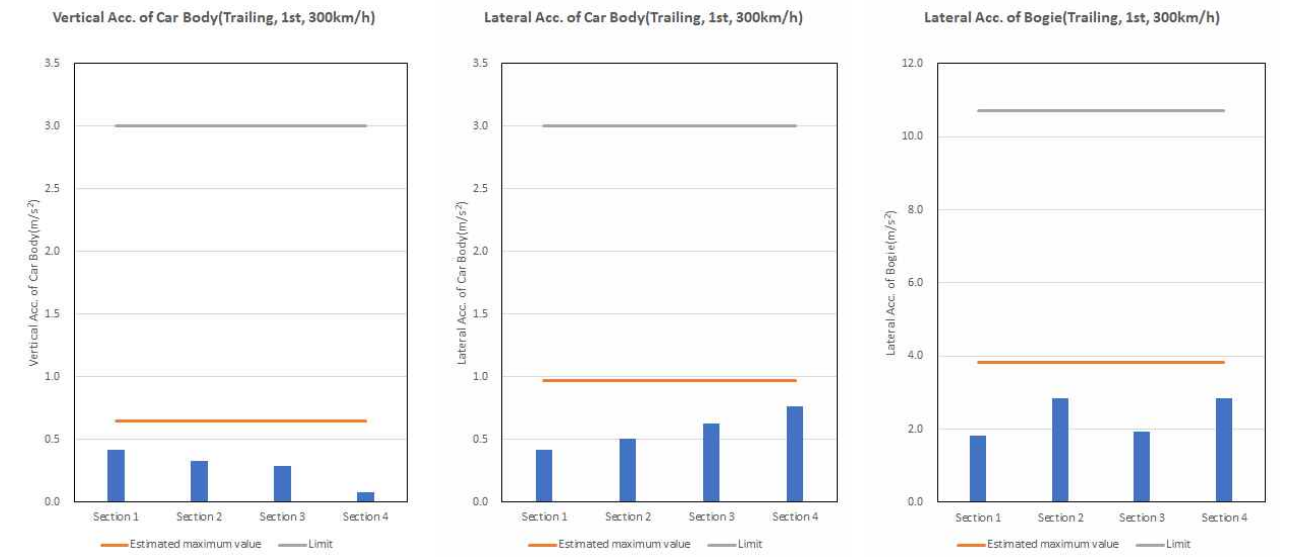
(b) 차체 횡가속도



(c) 대차 횡가속도

(d) 주행속도

그림 3-4-17 2-1차 HEMU 하행(배향) 통과선 300km/h(익산→정읍)



(a) 차체 수직가속도

(b) 차체 횡가속도

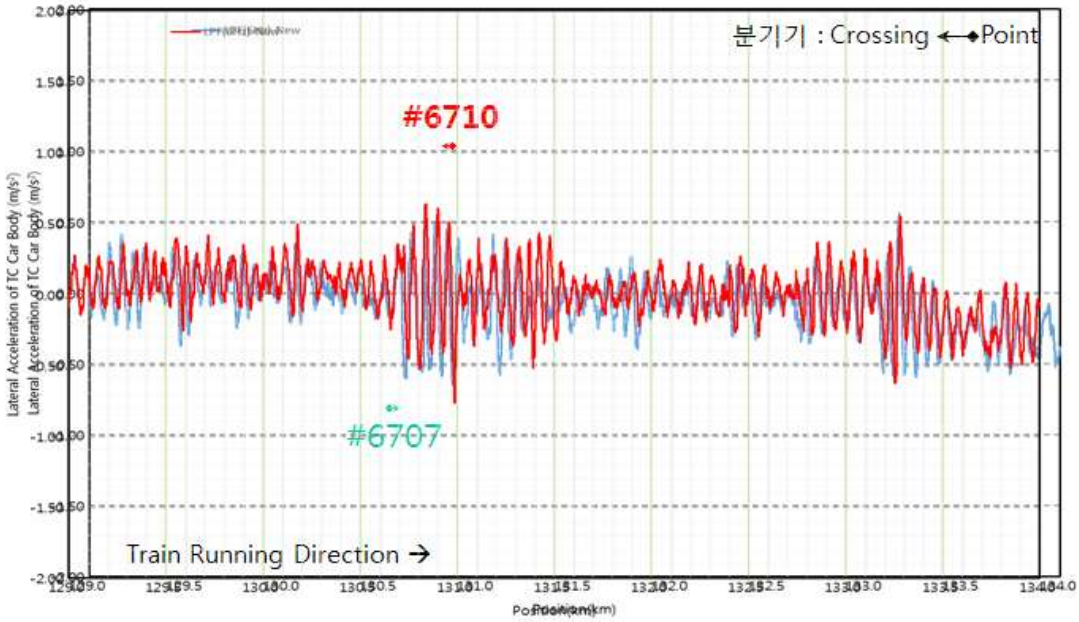
(c) 대차 횡가속도

그림 3-4-18 2-1차 HEMU 하행(배향) 통과선 300km/h Estimated Maximum Value(익산→정읍)

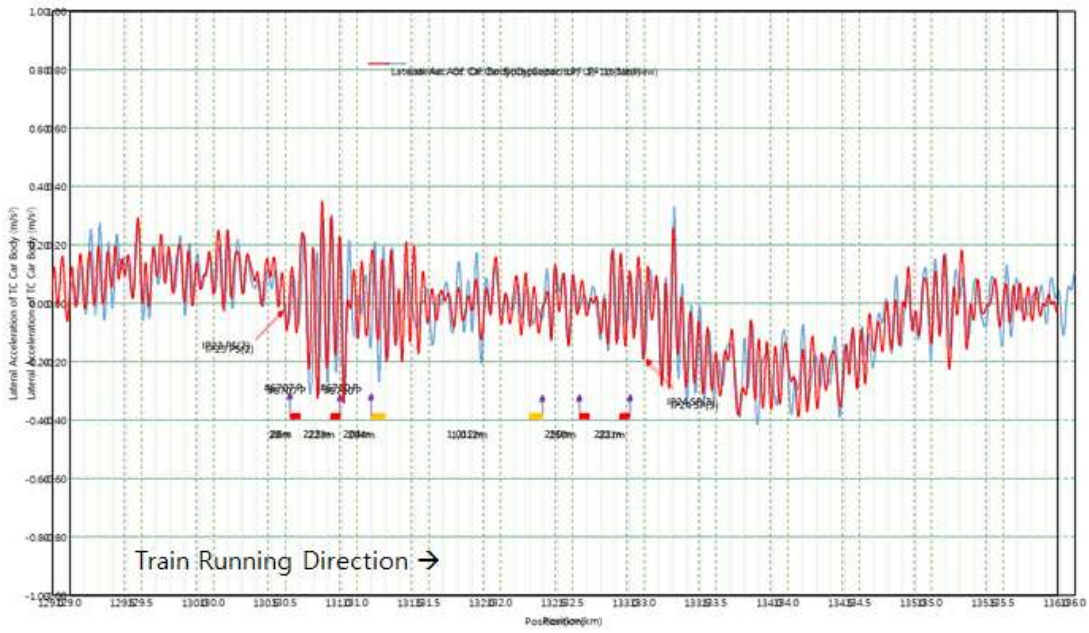
- 현차주행 성능시험 신뢰도 검증

· 5차 현장 설치시험 결과 평가 심의(‘18.06.26) 의견에 따라 국산 분기기 부설 후 ’ 17.05.28에 실시한 현차주행 성능시험 결과의 신뢰도 검증을 위해 ‘18.07.16에 현차주행 성능시험을 추가 실시

· 차체 횡가속도 비교 검토결과 아래의 그림과 같이 Phase 및 Peak가 매우 유사하여 재현성이 확보되어 신뢰도가 확인됨



(a) 6Hz Low Pass Filter



(b) 1Hz Low Pass Filter

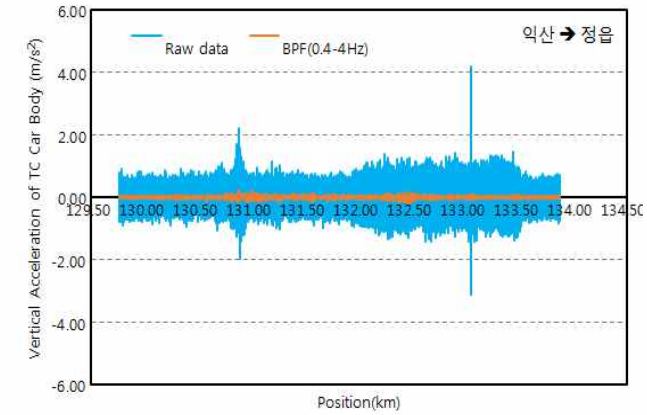
그림 3-4-19 1-1차 및 2-1차 차체 횡가속도 가속도 비교(익산→정읍)

- 분기선 측정결과(90km/h)

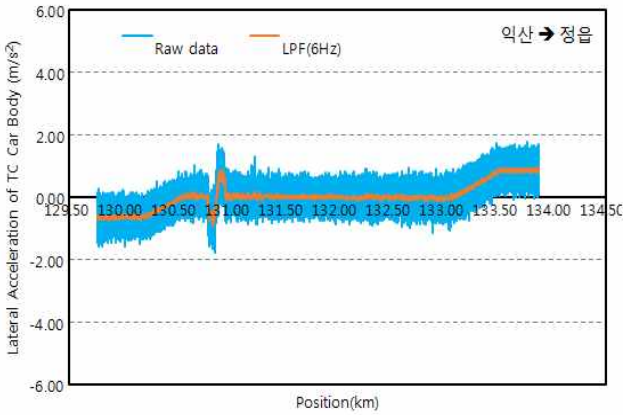
표 3-4-22 분기선 측정결과(90km/h)

측 정 번 호		1-2차 하행(배향)·상행(대향) 1-3차 하행(배향)·상행(대향) 1-4차 하행(배향)·상행(대향)				주행최고 속도	90 km/h		
주 행 선 로		분기선							
측 정 구 간		호남고속철도 정읍역 #6710 F18.5 좌분기기 (분석구간 : 분기선중 가상완화곡선부를 제외한 원곡선 구간)							
분석항목		시험결과(m/s^2)							
		최대값 (Maximum Value)		실효치 (Root Mean Square)		추정최대값 (Estimated Maximum Value)			
		하행(배향)	상행(대향)	하행(배향)	상행(대향)	기준	하행(배향)	상행(대향)	평가
차체 상하 진동	1-2차	0.113	0.115	0.061	0.058	3	0.115	0.133	OK
	1-3차	0.112	0.126	0.057	0.051				
	1-4차	0.112	0.117	0.058	0.061				
차체 좌우 진동	1-2차	0.909	0.951	0.673	0.680	3	0.946	1.063	OK
	1-3차	0.896	0.852	0.663	0.677				
	1-4차	0.865	0.955	0.664	0.684				
대차 좌우 진동	1-2차	2.024	3.979	0.712	1.237	10.72	2.389	5.506	OK
	1-3차	2.213	4.814	0.786	1.509				
	1-4차	2.184	4.570	0.792	1.225				
비고									

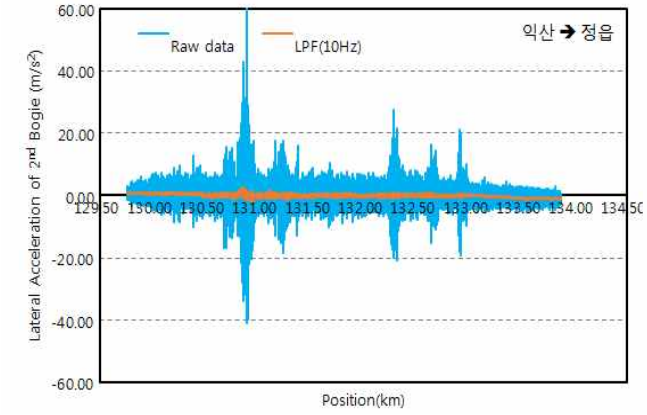
- 추정최대값(Estimated Maximum Value) 산정 분석방법(데이터 처리방법 : UIC518 기준 적용)
  - · 분석대상 구간(분기선중 가상완화곡선부를 제외한 원곡선) Data 추출
  - · 각 분석대상 구간에 대한 0.15%와 99.85% 값 중 최대값 추출(Max)
  - · 각 분석대상 구간에 대한 최대값(Max)의 평균(Mean)과 표준편차(S_d) 계산
  - · 각 평균(Mean)과 표준편차(S_d)에 대한 Estimated maximum value 계산 : $Xmax = Mean + 3S_d$



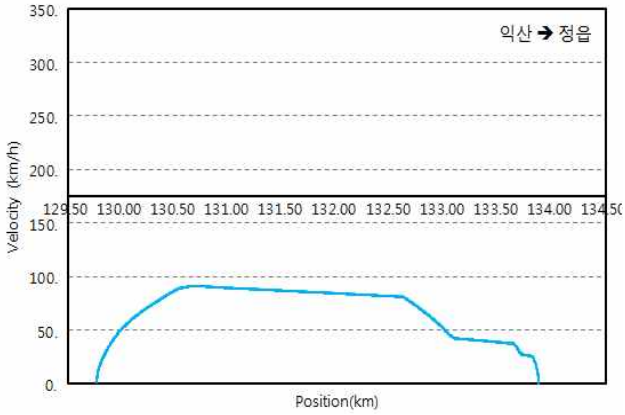
(a) 차체 수직가속도



(b) 차체 횡가속도

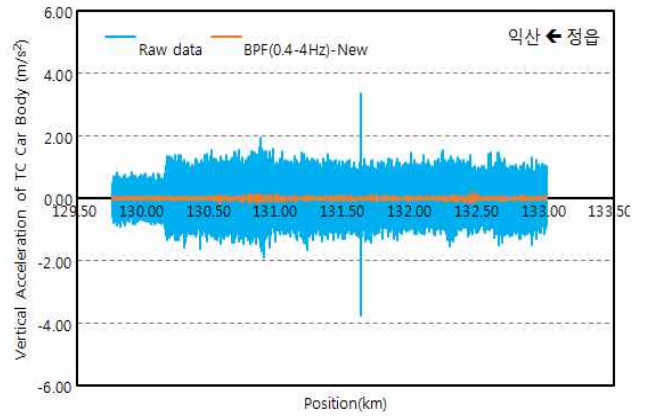


(c) 대차 횡가속도

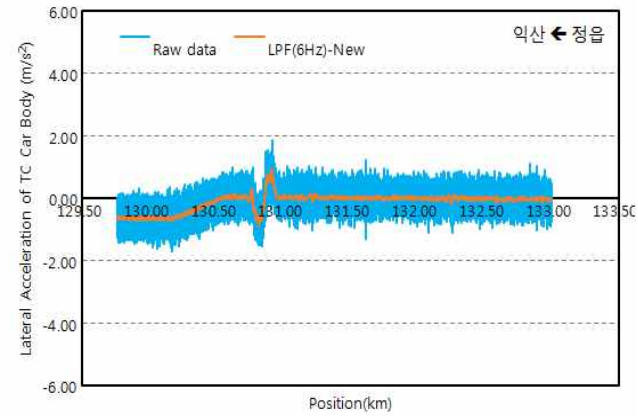


(d) 주행속도

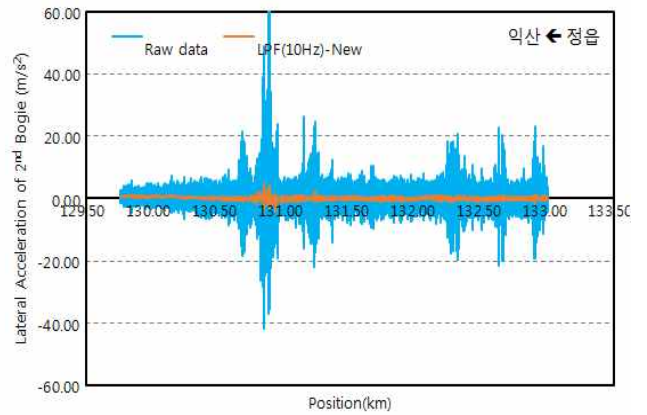
그림 3-4-20 1-2차 HEMU 하행(배향) 분기선 90km/h(익산→정읍)



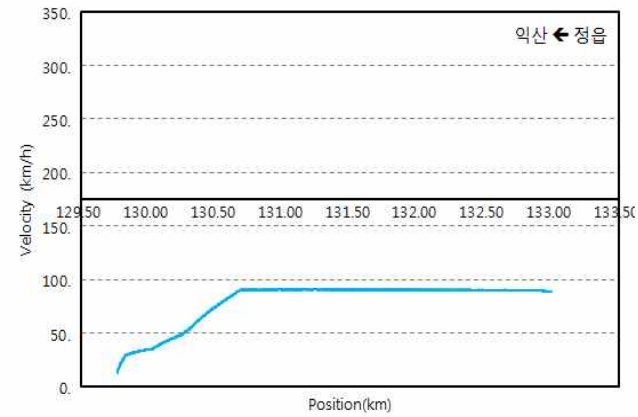
(a) 차체 수직가속도



(b) 차체 횡가속도

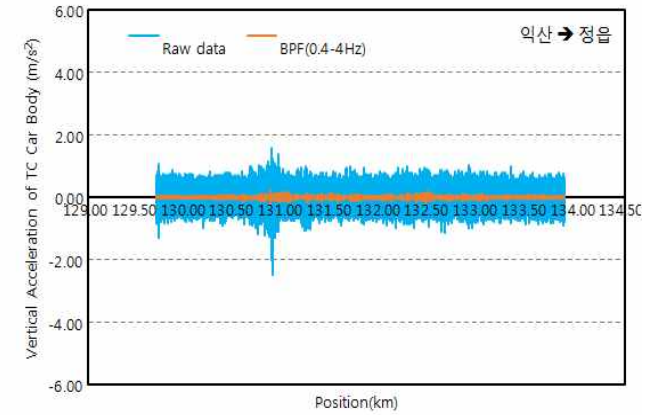


(c) 대차 횡가속도

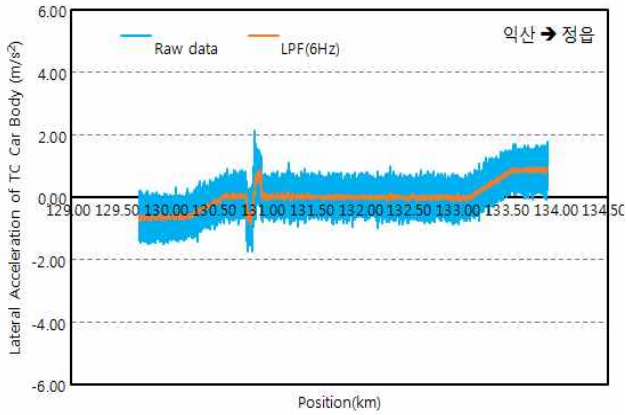


(d) 주행속도

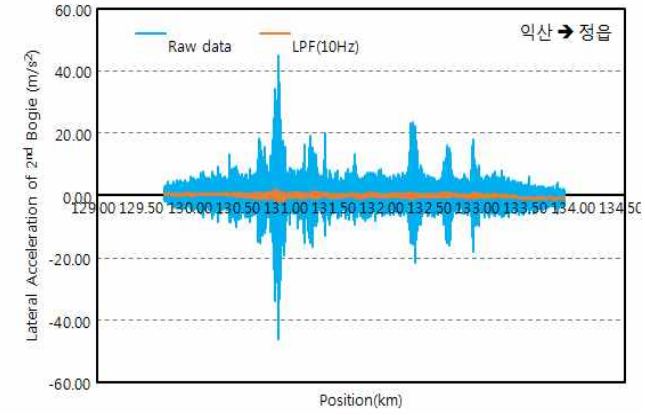
그림 3-4-21 1-2차 HEMU 상행(대향) 분기선 90km/h(익산←정읍)



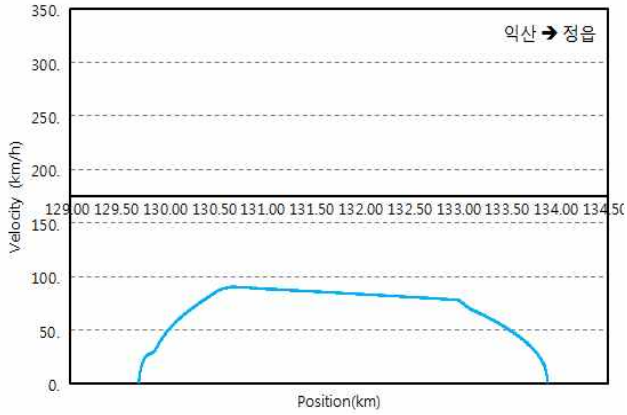
(a) 차체 수직가속도



(b) 차체 횡가속도

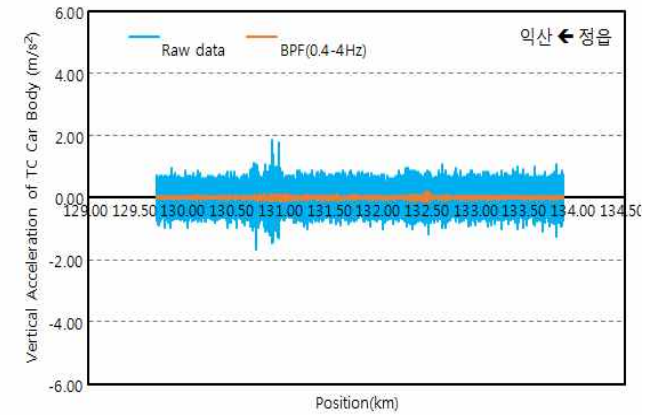


(c) 대차 횡가속도

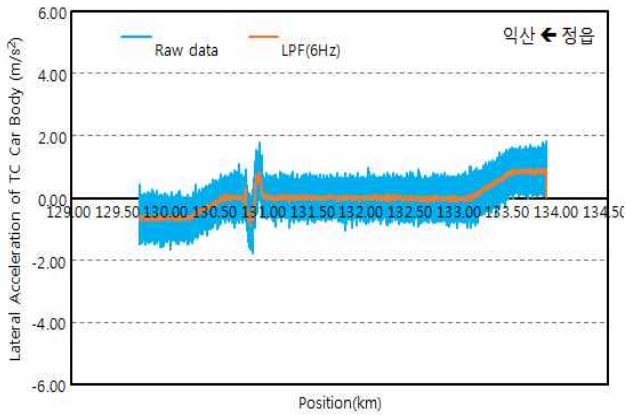


(d) 주행속도

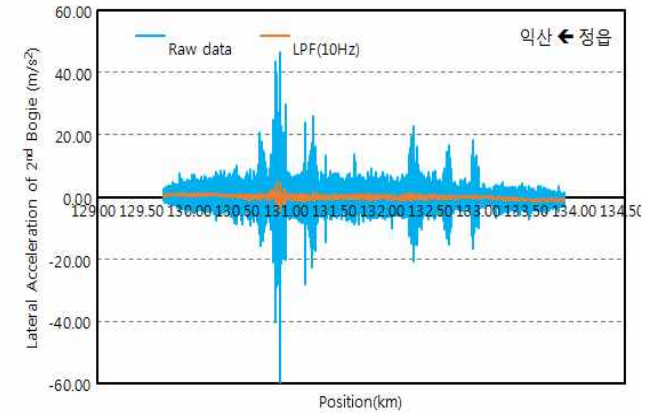
그림 3-4-22 1-3차 HEMU 하행(배향) 분기선 90km/h(익산→정읍)



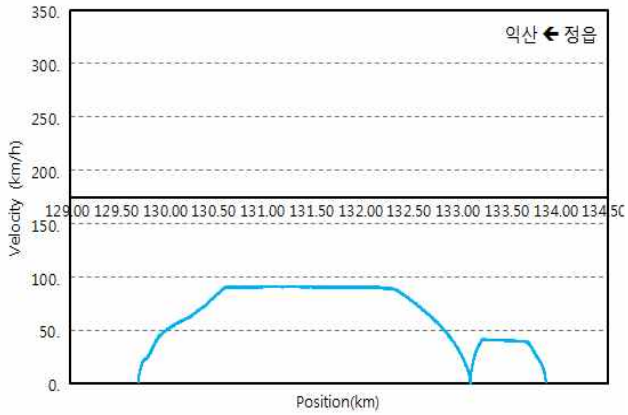
(a) 차체 수직가속도



(b) 차체 횡가속도

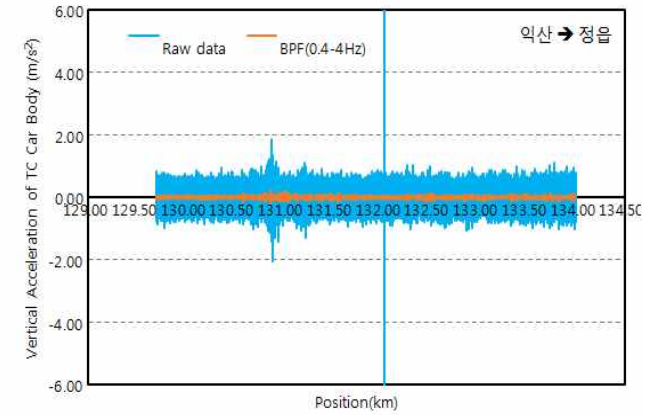


(c) 대차 횡가속도

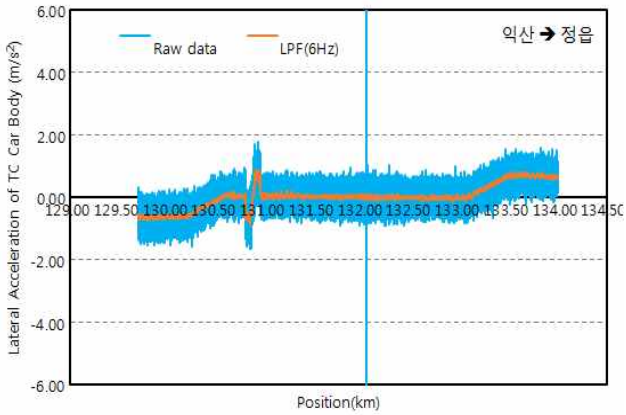


(d) 주행속도

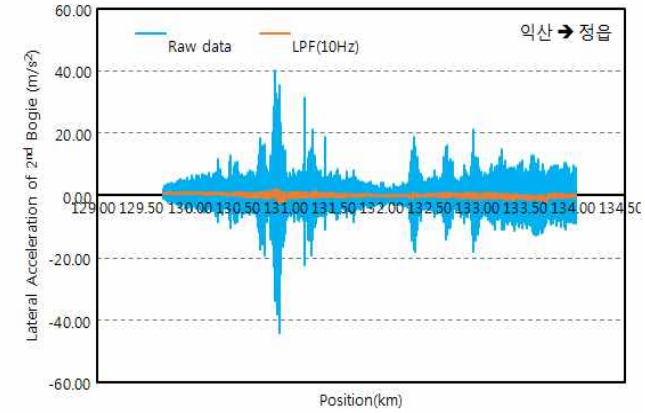
그림 3-4-23 1-3차 HEMU 상행(대향) 분기선 90km/h(익산←정읍)



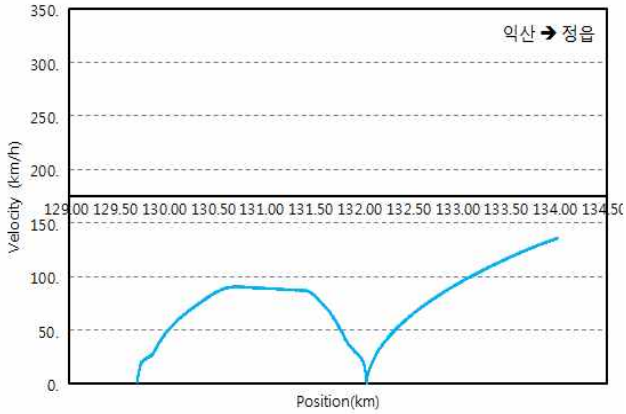
(a) 차체 수직가속도



(b) 차체 횡가속도

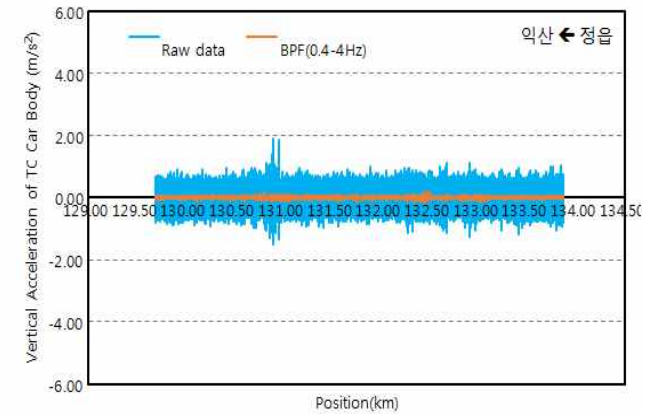


(c) 대차 횡가속도

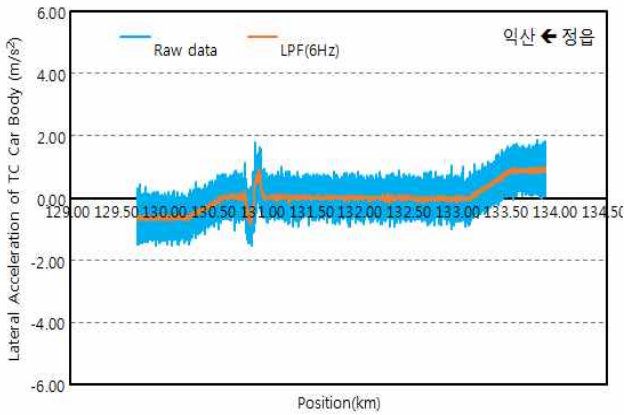


(d) 주행속도

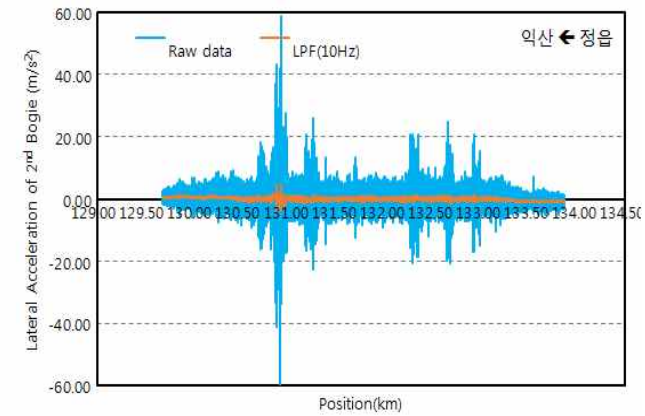
그림 3-4-24 1-4차 HEMU 하행(배향) 분기선 90km/h(익산→정읍)



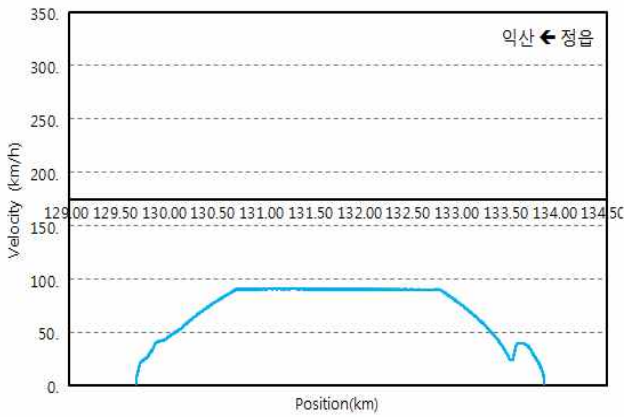
(a) 차체 수직가속도



(b) 차체 횡가속도

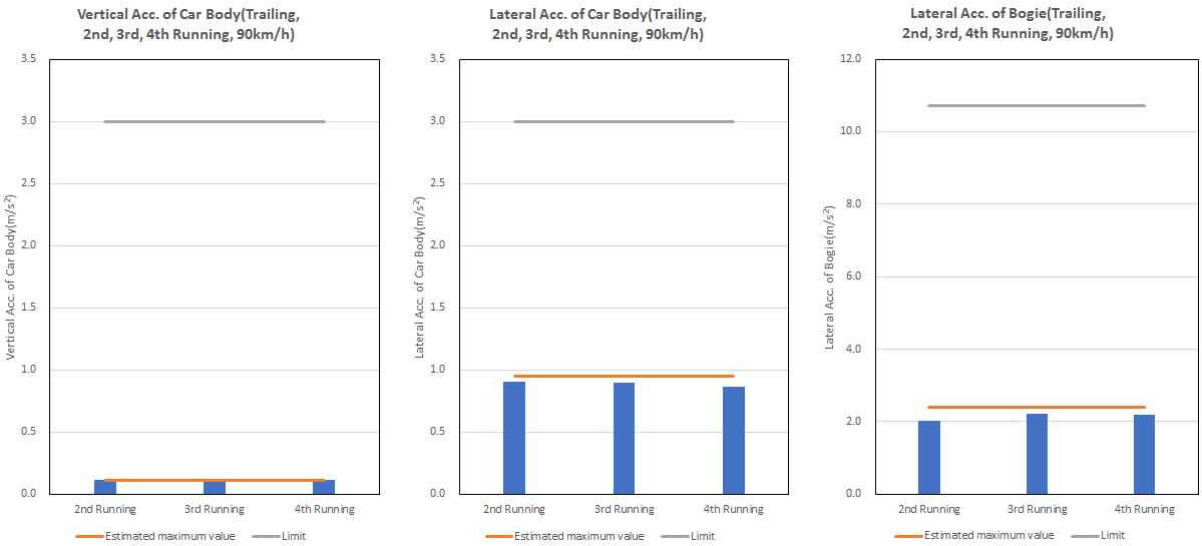


(c) 대차 횡가속도



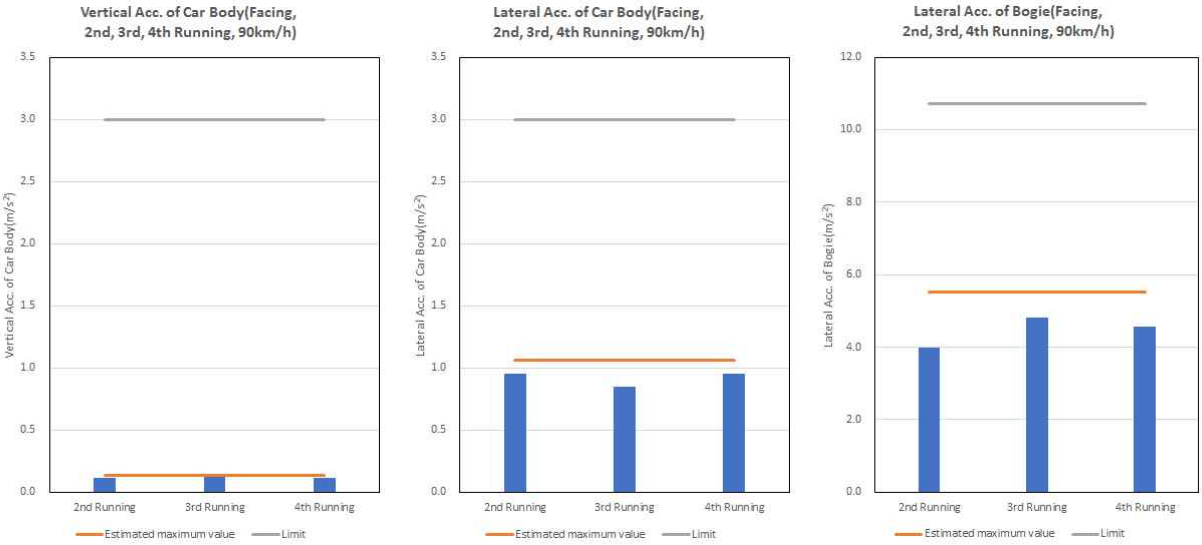
(d) 주행속도

그림 3-4-25 1-4차 HEMU 상행(대향) 분기선 90km/h(익산←정읍)



(a) 차체 수직가속도 (b) 차체 횡가속도 (c) 대차 횡가속도

그림 3-4-26 1-2~4차 HEMU 하행(배향) 분기선 90km/h Estimated Maximum Value(익산→정읍)



(a) 차체 수직가속도 (b) 차체 횡가속도 (c) 대차 횡가속도

그림 3-4-27 1-2~4차 HEMU 상행(대향) 분기선 90km/h Estimated Maximum Value(익산←정읍)

- 기존 및 국산 분기기 성능비교

· 기존 고속분기기와 본 연구과제를 통해 개발된 국산 분기기의 성능비교를 위해 국산 분기기 현장 설치시험을 위한 기존 분기기 교체작업 이전에 기존 분기기에 대해 현차주행 성능시험을 국산 분기기와 동일한 방법으로 실시(일시 : '17.04.21, 시험차량 : HEMU, 주행속도 및 횟수 : 통과선 - 300km/h, 왕복 1회, 분기선 - 90km/h, 왕복 3회)

· 하행(익산 → 정읍) 통과선측 주행의 경우 분기기(P6710)를 배향으로 진입하게 되며, 기존 분기기 및 국산 분기기 모두 요구기준을 만족하여 안전한 것으로 분석되었으나, 기존 분기기에 비해 국산 분기기 통과시 진동이 크게 나타남. 이는 국산 분기기 통과 이전 토공구간에서부터 차체 횡가속도가 증폭되어 국산 분기기를 통과하였기 때문임. 따라서 국산 분기기의 성능과는 무관한 것으로 판단됨

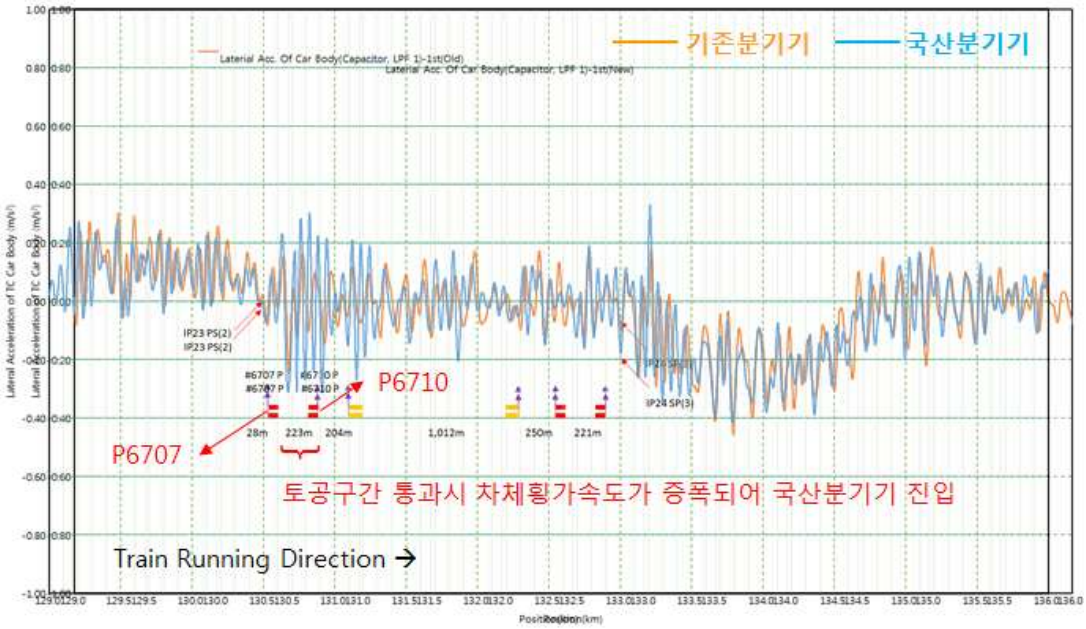


그림 3-4-28 하행(익산 → 정읍) 통과선측 주행(배향)시 기존 및 국산 분기기 차체 횡가속도(1Hz Low Pass Filter) 비교

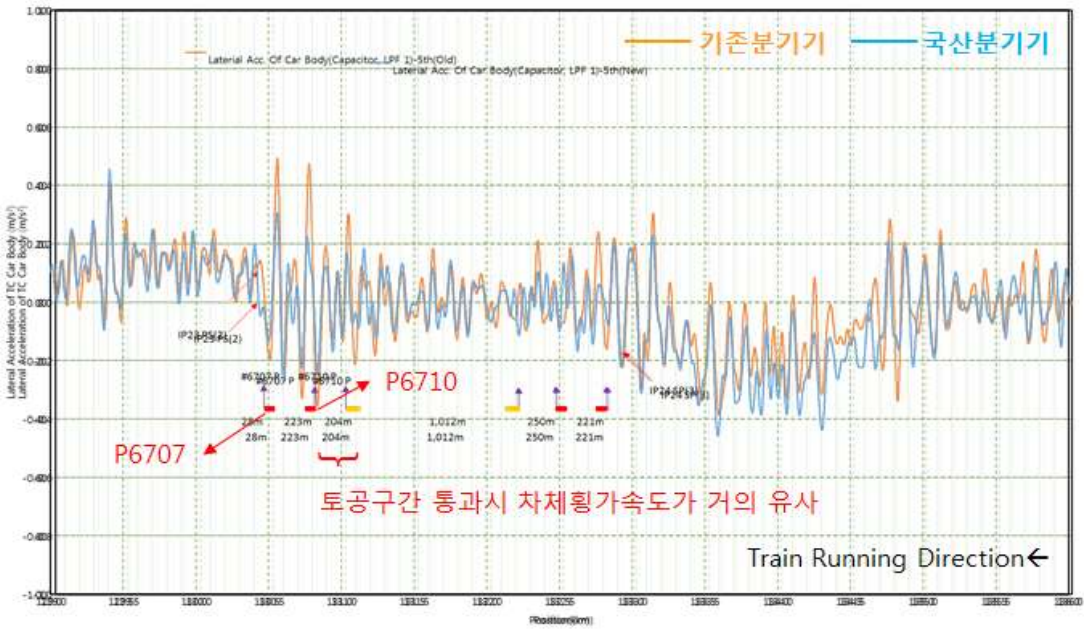


그림 3-4-29 상행(익산 ← 정읍) 통과선측 주행(대향)시 기존 및 국산 분기기 차체 횡가속도(1Hz Low Pass Filter) 비교

· 상행(익산 ← 정읍) 통과선측 주행의 경우 분기기(P6710)를 대향으로 진입하게 되며, 국산 분기기 및 이후 토공구간 통과시 차체 횡가속도가 기존 분기기에 비해 작게 나타남. 이는 분기기 진입 이전 토공구간에서 차체 횡가속도가 유사하게 나타났기 때문에, 국산 분기기 포인트부 FAKOP 적용에 따른 개선 효과로 판단됨

· 하행(익산 → 정읍) 배향 및 상행(익산 ← 정읍) 대향으로 분기기(P6710)를 분기선측으로 통과하는 경우에는 기존 및 국산 분기기의 차체 횡가속도가 거의 유사함. 즉 국산 분기기 포인트부 FAKOP 적용에 따른 개선 효과가 통과선측 주행과 같이 나타나지 않음. 그러나 FAKOP 10mm 적용에 따른 텅레일 두께가 최대 10mm 증가시켰기 때문에 텅레일 마모에 대한 유지보수 주기 증가 효과가 기대됨

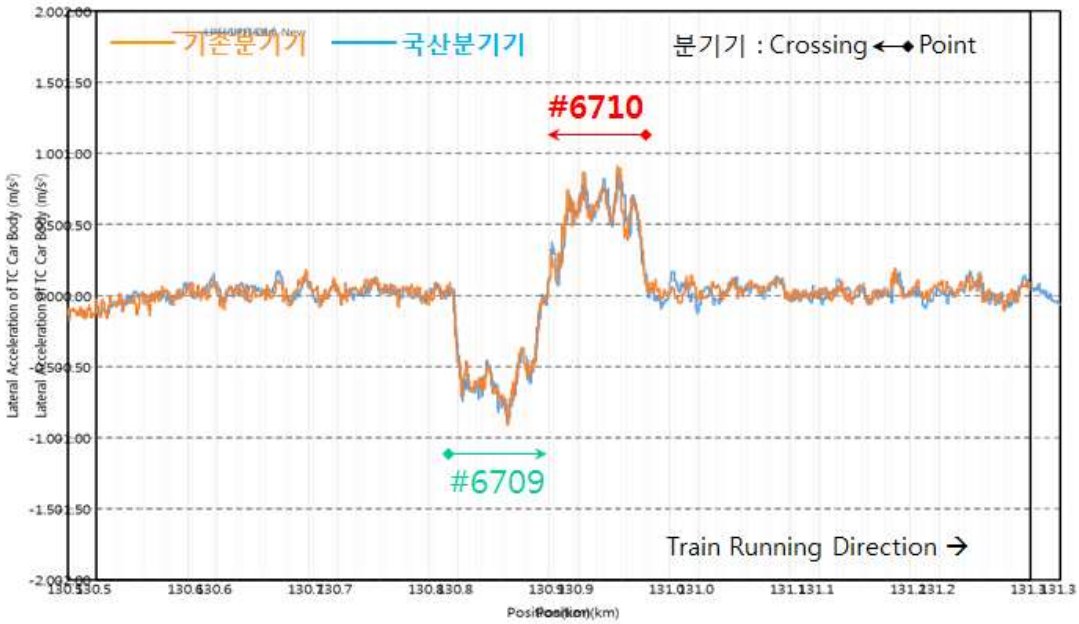


그림 3-4-30 하행(익산 → 정읍) 분기선측 주행(배향)시 기존 및 국산 분기기 차체 횡가속도(6Hz Low Pass Filter) 비교

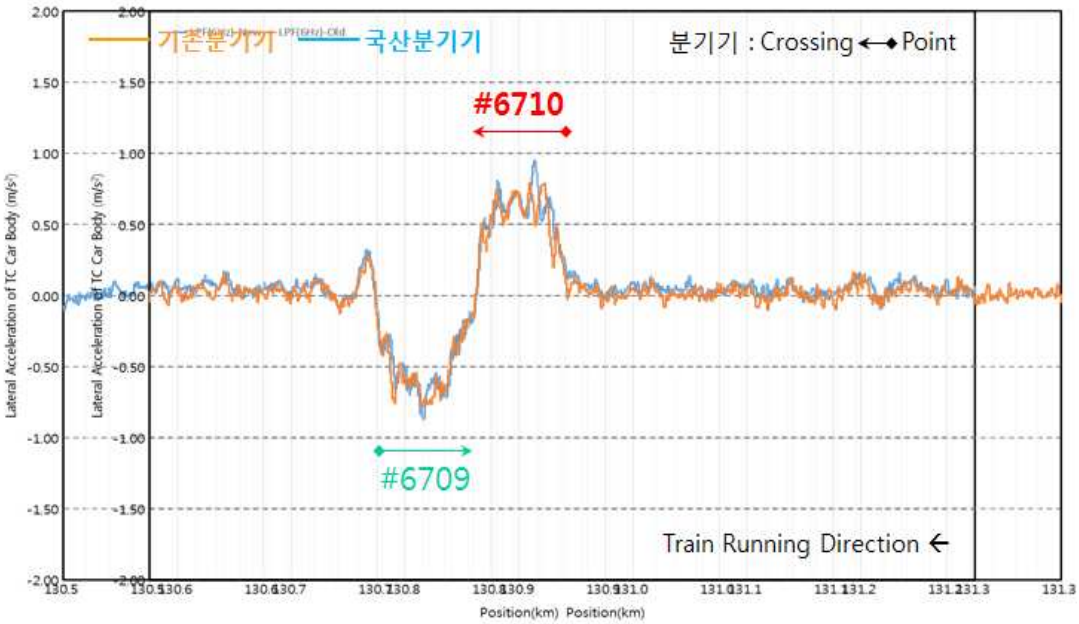


그림 3-4-31 상행(익산 ← 정읍) 분기선측 주행(대향)시 기존 및 국산 분기기 차체 횡가속도(6Hz Low Pass Filter) 비교

○ 지상시험 결과(실적증빙자료-30)

표 3-4-23 지상시험 결과

측정항목			기준	최대/최소 측정값	평가	비고
윤중(kN)	최대		≤ 200	100.45	OK	통 과 선 (운행속도 : 300 km/h)
	최소		≥ 35	38.05		
횡압(kN)			≤ 40	23.15	OK	
탈선계수			≤ 0.8	0.41	OK	
레일수직 변위(mm)	HEMU[1]	최대	≤ 1.25	1.20(#02[2] 제외)	OK	
		최소	≥ 0.75	0.78(#02[2] 제외)		
	KTX, SRT[1]	최대	≤ 1.50	1.47(#02[2] 제외)		
		최소	≥ 0.90	0.91(#02[2] 제외)		
레일저부응력(MPa)			≤130	52.80 (텅레일 : 36.85, 노즈레일 : 43.26)	OK	
윤중(kN)	최대		≤ 200	85.45	OK	분 기 선 (운행속도 : 90 km/h)
	최소		≥ 35	39.47		
횡압(kN)			≤ 40	38.65	OK	
탈선계수			≤ 0.8	0.76	OK	
레일수직 변위(mm)	HEMU[1]	최대	≤ 1.25	1.24(#26[3] 제외)	OK	
		최소	≥ 0.75	0.82(#26[3] 제외)		
레일저부응력(MPa)			≤130	55.22 (텅레일 : 41.70, 노즈레일 : 17.38)	OK	

1) EMU 축중 : 15ton, KTX, SRT 축중 : 17ton
2) 측정위치 #02 : 분기기 포인트부 전단 일반구간에서 Reference용으로 측정한 Data로 본 성능검증 범위에 포함되지 않음(HEMU : 1.25 ≤ #02 레일수직변위 ≤ 1.53, KTX 및 SRT : 1.63 ≤ #02 레일수직변위 ≤ 1.78)
3) 측정위치 #26 : 레일 수직변위(HEMU : 1.41 ≤ #26 레일 수직변위 ≤ 1.63) 기준 초과 원인 및 조치 결과 아래 참조

○ 분기선 레일수직변위 기준초과(#26)에 대한 설명

- 원인 분석 : 현장 확인결과 부설시 침목이 1° 정도(3mm 단차발생) 기울여져 TCL층이 타설되어 탄성패드가 침목과 전체 면접촉이 되지 않고, 1/3정도만 접촉되어 탄성패드와 침목사이에 틈새(통과선측 : 0.3mm, 분기선측 : 0.5mm)가 발생되어 레일수직처짐 기준 초과발생

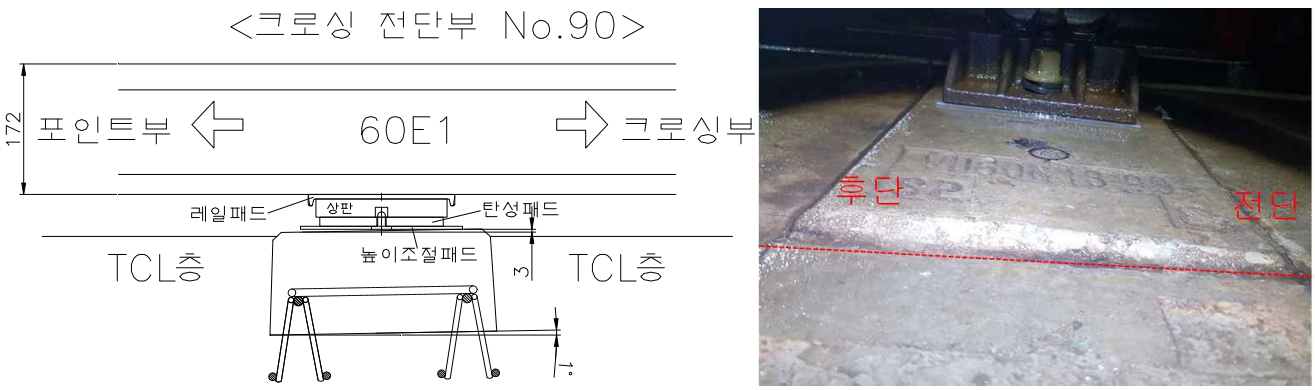


그림 3-4-32 현장 부설 상태



그림 3-4-33 통과선측 틈새확인(0.3mm)



그림 3-4-34 분기선측 틈새확인(0.5mm)

- 해결 방안 : 틈새를 보정하는 특수 패드를 제작하여 탄성패드가 면접촉 하도록 변경

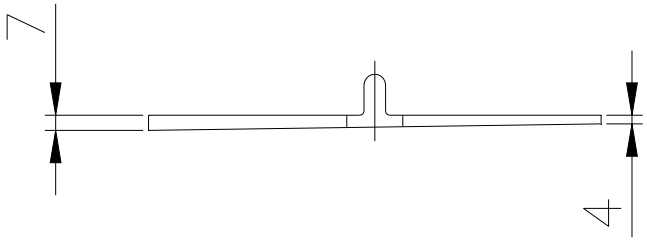
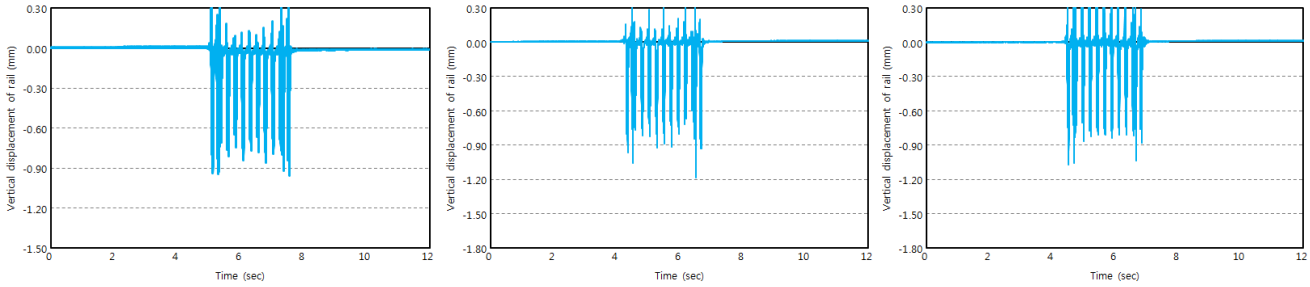


그림 3-4-35 틈새보정용 패드

- 틈새보정용 패드로 틈새 보정 후 레일처짐 확인을 위해 '18년 02월 26일 통과차량에 대해서 재측정 실시(도중 건넘선으로 분기선 차량운행이 불가하여 통과선으로 차량 주행시 확인함)



(a) 1회(SRT) : 0.96mm (b) 2회(KTX-산천) : 1.19mm (c) 3회(SRT) : 1.07mm

그림 3-4-36 #26 레일수직변위 재측정 결과

- 재측정 결과 분석 : 통과선측에서 재측정한 결과 틈새보정용 패드 삽입전 · 후 0.31mm(1.38mm → 1.07mm) 처짐량이 감소된 것을 확인하였고, 분기선에서도 틈새보정 후 재측정하면 0.5mm정도 감소될 것으로 예상되어(1.63mm → 1.13mm) 기준에 적합할 것으로 판단됨

5절. 국산 콘크리트궤도용 고속분기기 특징 및 자갈도상 적용 방안

1. 국산 콘크리트용 고속분기기 특징

○ 국산 콘크리트궤도용 고속분기기는 국산화와 유지보수성 및 성능향상을 위해 개량을 추진하였으며, 이에 따른 특징은 다음 표와 같음

표 3-5-1 국산 콘크리트용 고속분기기 특징

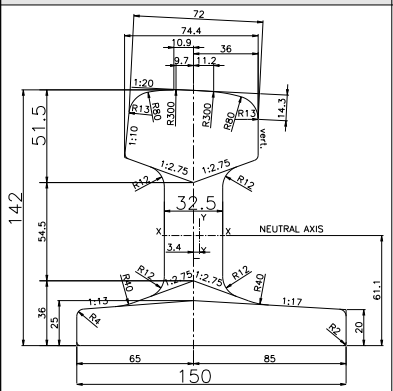
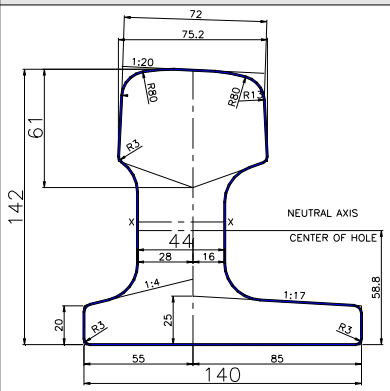
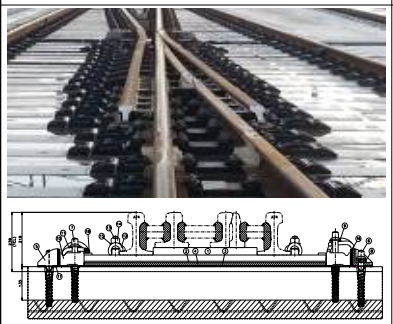
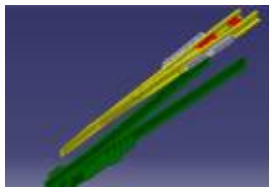
항 목	현재(개량 전 MJ81형)	신청 궤도 구조(개량 후)	개량 구조 특징
텅레일 국산화	 <60E1A4(UIC60D), 70kg/m>	 <60E1A1 K, 78kg/m>	**KTX 최적 단면 텅레일 및 노즈레일 국산화** · 국내 모든 고속선에 적용 가능 하도록 호환성 확보(경부고속1·2단계, 호남고속, 수도권고속, 원강선) · 횡방향 횡강성 증가 및 중량화로 구조안전성 향상 · 저부폭 감소로 히팅장치 등 전장품 설치 편리성 향상
포인트 선형개량	 <궤간최적화(FAKOP) 미적용>	 <FAKOP(10mm) 적용>	**포인트 궤간최적화(FAKOP) 기법 적용을 통한 주행안전성 및 유지보수성 향상** · 경부고속2단계 BWG FAKOP 기술 KTX에 최적화 개량 · 주행안전성(사행동 주기 증가 및 충격량 감소) 향상 · 텅레일 두께 보강에 따른 마모 유지보수 주기 증가
크로싱 구조개량	 <후방분리, A74 윙레일>	 <상하분리, 60E1 윙레일>	**노즈레일 국산화 및 상·하 분리 구조화를 통한 유지보수성** 
힐부 체결장치 국산화	 <SKL12 : 리드부, 크로싱부>	 <Q클립>	**국산 클립 적용으로 체결장치 국산화 (SKL12, USK2 → Q클립)**
	 <SKL12 : 크래들>	 <Q클립>	
	 <USK2 : 리드부, 크로싱부>	 <Q클립>	

표 3-5-1 국산 콘크리트용 고속분기기 특징(계속)

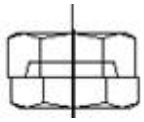
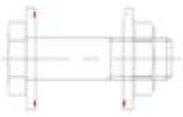
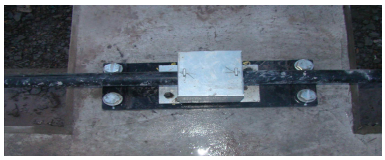
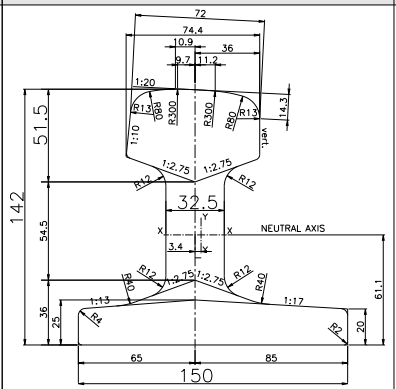
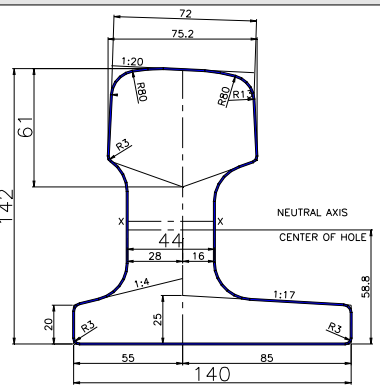
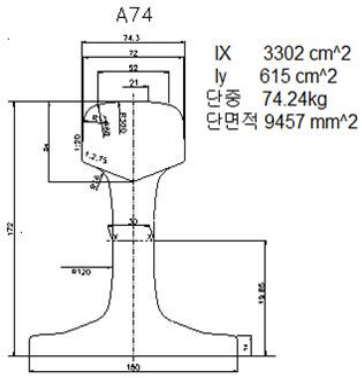
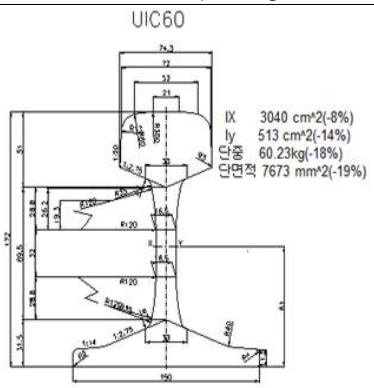
항 목	현재(개량 전 MJ81형)	신청 궤도 구조(개량 후)	개량 구조 특징
힐부 패드 모듈화			**패드 모듈화를 통한 유지보수성 향상** · 패드 종류감소(150종→2종) · 유지보수성 향상
풀림방지 자석볼트, 너트	  <하드락>	  <풀림방지 자석볼트, 너트>	**국산 자석볼트, 너트 적용** · 풀림방지기능 우수 · 신호장애 방지
VCC,VPM 히팅장치 개량	 <프레임 매립형>	 <서랍 모듈형>	**히팅장치 현장 교체 용이성 향상**
스페이싱바 개량	 <비대칭형>	 <대칭형>	**대칭형으로 유지보수성 향상**
	 <비조절형>	 <조절형>	**조절형으로 유지보수성 향상**
철관장치 가이드 베어링 개량	 <좌우이동 고정형>	 <좌우이동 가능형>	**파이프 좌우이동 가능 (전환력 상승 제어)**

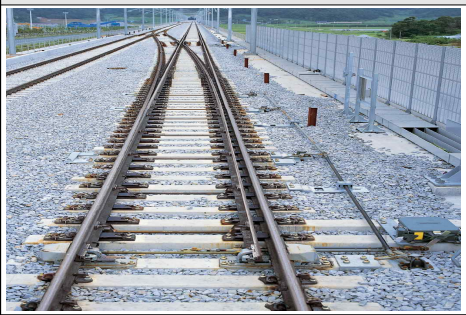
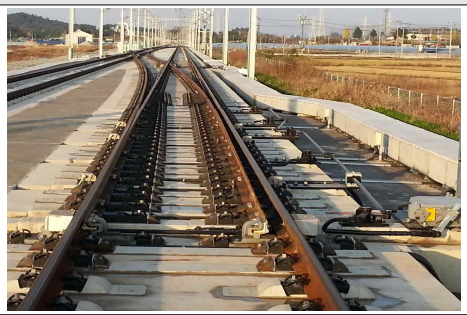
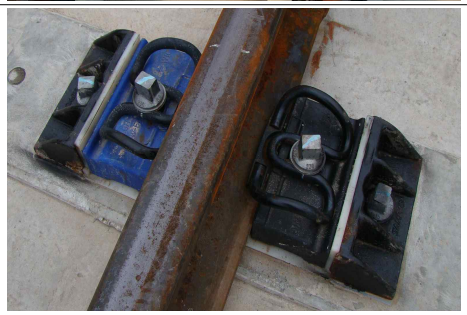
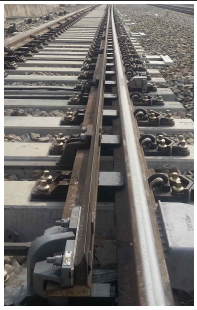
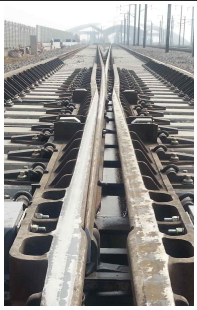
표 3-5-2 국산화 항목 가격 비교

항 목	해외 수입품	가격	개발품	가격	비 교
텅레일 국산화	 <60E1A4(UIC60D), 70kg/m>	2,054/kg	 <60E1A1 K, 78kg/m>	1,529/kg	26%↓
윙레일 국산화		2,020/kg		1,529/kg	24%↓
힐부 체결장치 국산화	 <SKL 12>	5,200/ea	  <Q클립>	2,300/ea	56%↓

2. 국산 콘크리트궤도용 고속분기기 자갈도상 적용 방안

○ 국산 콘크리트궤도용 고속분기기의 자갈도상 적용 방안 검토를 위해 자갈도상용과 콘크리트도상용 고속분기기를 비교

표 3-5-3 자갈도상용 및 콘크리트도상용 고속분기기 비교

항 목	자갈도상	콘크리트도상	비 고
부설사진			
체결장치	 <E2007 체결장치>	 <시스템300W>	콘크리트도상용 고속분기기로 개발시 도상 강성 특성을 고려하여 고탄성 체결장치 적용
밀착검지장치	 <뽈베(수입품)>	 <이중계형(세화)>	국산화 적용 (자갈도상 적용중. 예 : 경부고속선/SR 연결선 남산IEC 분기기)
잠금장치 히팅	 <외측삽입형, U형 히팅코일>	 <내장형, M형 히팅코일>	히팅성능 개량 (내장형 자갈도상 적용 가능)
텅레일	  - 포인트부 - - 크로싱부 - <안티리프팅 미적용 >	  - 포인트부 - - 크로싱부 - <안티리프팅 적용>	안티리프트 적용 (텅레일 및 노즈레일 부상 방지를 통한 안전성을 향상시킨 것으로 자갈도상 적용 가능)

○ 콘크리트도상용 고속분기기는 자갈도상용 고속분기기를 기반으로 하고 있으며, 콘크리트도상용 고속분기기 개발시 도상의 탄성 특성만을 고려하여 고탄성 체결장치를 적용하였고, 그 외 선형, 레일, 철관장치, 쇄정장치, 밀착검지기 등은 동일함. 다만 일부 구성품들은 국산화 및 성능개량을 목적으로 콘크리트도상용 고속분기기에 적용됨

○ 따라서 국산 콘크리트궤도용 고속분기기는 텅레일 국산화 및 포인트 선형 개량, 크로싱 구조개량 등과 관련된 것으로 자갈도상에 그대로 적용 가능함

3. 추가 연구개발 필요 사항

가. SKL15 텐션클램프 국산화

○ ‘16년01월 국산화 제작하여 치수검사는 적합하였으나, 피로시험시 파손발생으로 개발 실패, 향후 원인분석 후 국산화 개발 필요

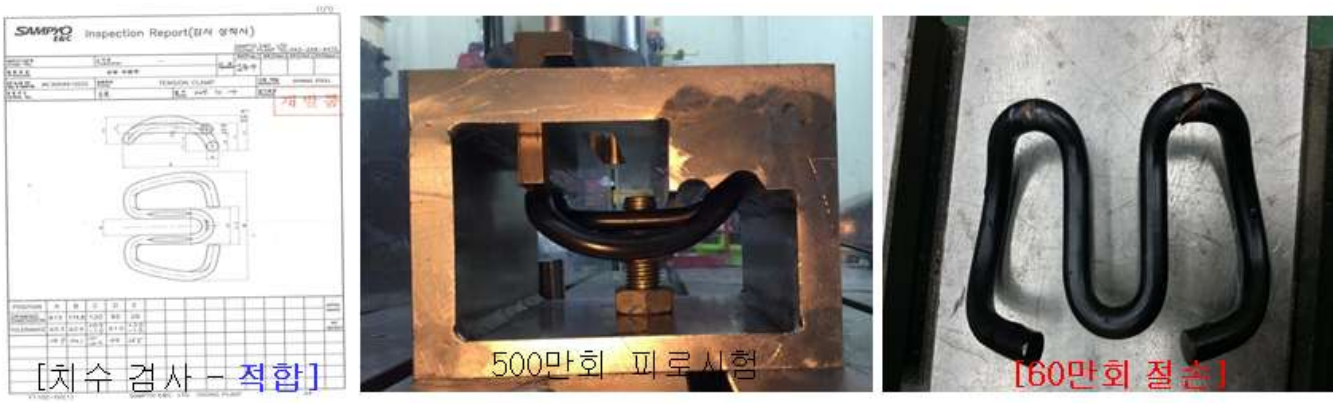


그림 3-5-1 국산 SKL15 피로시험 파손 사례

나. 전번수 도면 설계 및 시제품 제작

○ F18.5 콘크리트도상용 분기기만 제작하여 시험부설 완료하였으며, 향후 자갈도상과 콘크리트도상 전번수(F8~F46) 도면 설계 후 시제품 제작하여 조립검사 시행 필요

6절. 분기기/선로전환기 I/F를 고려한 선로전환기 해석 Tool Kit 개발

1. 전기식 선로전환기 성능 요구사항

가. 전기식 선로전환기 전달 메커니즘 구성요소

○ 첨단부와 크로싱부에 각각 1개식 선로전환기를 사용하는 전기식 선로전환기는 레일(텅레일 또는 가동노즈레일) 전환에 요구되는 선로전환기의 전환력을 레일(텅레일 또는 가동노즈레일)에 전달하기 위해 연결간을 활용

○ 동력전달 연결간은 크게 동력 전달과정에 따라 첨단간, 접속간, 선로전환기 쇄정간, 선로전환기 동작간, 밀착조절간, 연결간 그리고 유동방지간으로 구성



그림 3-6-1 F18.5 첨단부 동력전달 메커니즘(사진)

○ 전달 메커니즘을 구성하는 각 간류의 사용용도는 다음 표와 같음

표 3-6-1 전달 메커니즘 구성 간류의 종류 및 용도

종 별	용 도	비 고
첨단간	텅레일 앞부분 연결	절연체 및 기억쇠 포함
접속간	첨단간과 선로전환기 쇄정간 연결	절연체포함
선로전환기 쇄정간	접속간과 동작간 연결	
선로전환기 동작간	쇄정간과 밀착조절간 연결	
밀착조절간	선로전환기 동작간과 연결간 연결	너트풀림방지장치 포함
연결간	텅레일의 간격을 고정해주는 장치	
유동방지간	깔판과 기본레일간 연결	깔판(취부판)포함

- 첨단간 : 최초 선로전환기의 전환력이 전달되어 텅레일 첨단이 전환되도록 텅레일 첨단부분 좌/우를 연결
- 접속간 : 첨단간과 선로전환기 쇄정간을 연결하여 선로전환기의 전환력을 첨단부를 거쳐 선로전환기 쇄정간에 전달하게 함
- 선로전환기 쇄정간 : 텅레일의 첨단의 전환운동에 의해 전환력을 선로전환기 동작간으로 연결하는 최초 전달링크

- 선로전환기 동작간 : 쇄정간의 링크운동에 따라 발생된 전환운동을 링크구조에 의해 직선과 회전운동으로 바꾸어 텅레일 후부의 연결간 위치에 전환력과 변위를 전달하는 장치
- 밀착조절간 : 선로전환기 동작간과 연결간을 연결하여 선로전환기 전환기 텅레일을 전환하고 밀착시키고 접속간 연결로 선로전환기의 전환에 의해 발생된 전환력이 쇄정간을 전환하게 하도록 함
- 연결간 : 텅레일의 길이에 따라 설치 개수가 설정되어 텅레일의 중간부위에 좌/우 텅레일을 일정간격으로 고정해주는 첨단간과 같은 역할을 수행함

나. 전기식 선로전환기 전달 메커니즘 성능기준

○ 철관장치의 기타 구조 및 성능조건

표 3-6-2 접속간과 유동방지간의 절연체 성능기준

시험항목	조건 및 처리	단 위	성 능		
			절 연 판	절연원통	유동방지간 절연편
흡 수 율	24시간 침수	%	3이하	1이하	3이하
체적저항율	흡수율시험 후	MΩ·cm	15이상	15이상	15이상
인장강도	상온상습	N/㎟	49이상	59이상	29.4이상
	24시간침수 후				
	60℃가열 후				
	-30℃냉각 후				
신 장 율	상온상습	%	220이상	40이상	220이상
	24시간침수 후		240이상	40이상	240이상
신 장 율	60℃가열 후		210이상	60이상	210이상
	-30℃냉각 후		150이상	20이상	150이상
압축강도	상온상습	N/㎟	343이상	343이상	343이상
	60℃가열 후				
	-30℃냉각 후				
압 축 율	60℃가열 후	%	50 ~ 65	40 ~ 60	50 ~ 65
	-30℃냉각 후				
경 도	HR M			70 ~ 90	
	HR R		60 ~ 90		60 ~ 90

- 연결간 및 첨단간에 의한 좌,우 레일간의 단락을 방지하기 위하여 연결간과 첨단간이 레일에 접속되는 부분에 절연체를 설치하여야 함
- 나사산의 모양 및 기준치수는 KS B 0203에 의하되 쉽게 풀리지 않아야 하며 열차진도에 의해 너트가 풀리지 않아야 함
- 각종 간류의 기계적 성질은 KS D 3503 에 적합하여야 함
- 겉모양은 흠, 결함부위가 없이 미려하고 견고하여야 하며 어떠한 경우에도 용접부위가 있어서는 안됨
- 연결간 및 첨단간의 절연체는 표면이 매끈하여야 하며 수지의 과다로 인한 밀림이나 요철, 기포, 갈라짐, 섬유의 부풀음, 벗겨짐, 비틀림 등의 결점이 없고 적층 간격이 수평을 유지하여야 함

○ 접속간 및 유동방지간의 절연체 성능은 절연부품과 시험 환경조건에 대하여 각각 구별된 기준을

제시하며, 온도변화와 침수 조건에 따라 변동되는 재질의 특성을 반영

○ 전달 메커니즘을 구성하는 간류의 환경조건은 -30 ~ +70℃에서 정상적으로 작동되어야 하며 화학성분 시험, 물리적 성능시험 및 절연저항 및 절연내력시험을 만족하여야 함

- 화학성분 시험 : KS D 3503
- 물리적 성능시험
  · 성능시험은 본 규격 위에서 언급한 성능기준에 만족하여야 함
  · 간류의 기계적 성질시험은 KS D 0001에 따름
  · 연결간 및 첨단간의 절연체는 KRS SG0032-06(절연체이음매판)에 따름
  · 접속간 및 유동방지간의 절연체는 궤조절연수지에 따름
- 절연저항 및 절연내력 시험
  · 절연저항은 조립되어 있는 상태에서 간류 절연체의 양쪽 도체간 DC500V 절연저항계로 측정하여 500MΩ이상의 절연저항이 있어야 함
  · 절연내력은 간류 절연체의 양쪽 도체간에 AC 3,000V/10㎃ 이상을 인가하여 1분 이상 견디어야 함

다. 전기식 선로전환기 전달 메커니즘의 기구적 동력전달 경로

○ 첨단부 전달 메커니즘의 기구적 동력전달 경로

- F18.5의 경우 4개의 철관장치와 3개의 밀착검지기를 배치하며, F46의 경우는 6개의 철관장치를 배치
- 텅레일의 첨단에서 2번째 및 3번째 침목인 5번과 6번 침목의 선로변 끝단에 선로전환기를 설치
- 선로전환기의 요구 동정은 전달 메커니즘의 기구적 특성을 고려하여 경부1단계에 부설된 분기기에 대해서는 204mm를 선정
- 선로전환기의 전환을 시작으로 선로전환기의 전환력은 첨단위치의 텅레일로 전달되어지며 이를 통해 텅레일의 전환이 시작
- 전달된 전환력은 텅레일 선단부 좌/우을 연결한 첨단간에 전달되어지며 다시 이 전환력은 접속간을 통해 선로전환기의 쇄정간으로 전달되어 텅레일 후반부의 전환에 필요한 전환력을 전달
- 선로전환기 동작간은 연결간이 설치되어 있는 위치에서 텅레일의 전환 동정을 고려하여 링크구조로 연결되어 있으며 각 연결간의 위치에서는 요구되는 동정을 밀착조절간을 통해 연결간에 전달
- F18.5의 경우는 연결간이 3개 설치되어 있으며 각각의 동정은 두 번째가 92.9mm, 세번째가 70.9mm 그리고 마지막이 39.9mm로 선정

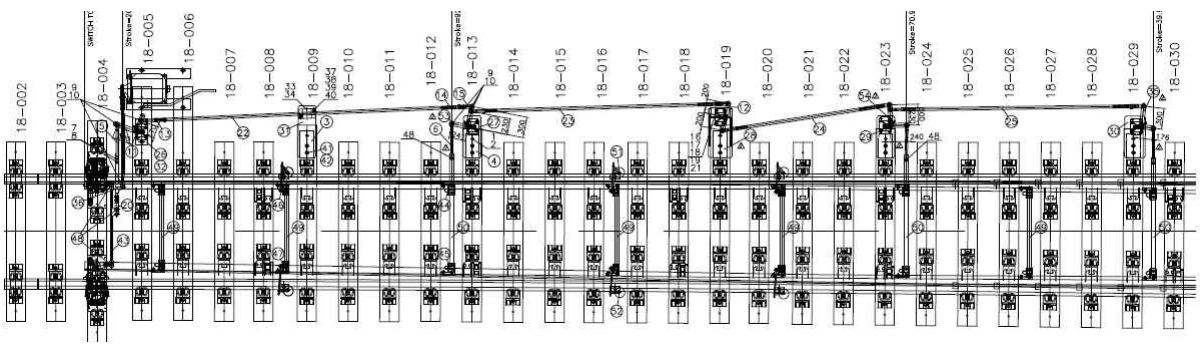


그림 3-6-2 F18.5 첨단부 동력전달 메커니즘(도면)

- F18.5의 경우는 12번과 13번 침목 사이에 2번째 연결간이 위치되어지며, 세 번째와 네 번째는 각각 23번과 24번 침목사이 그리고 29번과 30번 사이에 위치
- 연결간의 위치를 고려하여 밀착을 확인하는 밀착검지기와 연결봉은 그림에서 보여주는 바와 같이 첫 번째와 두 번째 사이에 1개소 그리고 두 번째와 세 번째 사이에 2개소를 설치한다. 그리고 세 번째와 마지막 사이에는 밀착검지기가 없는 연결봉을 추가로 설치
- F46의 경우는 첨단간을 포함해 6개의 전환력 전달 포인트을 형성하고 있으며 4개의 밀착검지기를 1번부터 5번사이에 각 1개씩 배치
- 5번과 6번은 다른 간격에 비해 연결간을 근접하게 설치함으로써 텅레일의 고정부인 후반영역에 전환력을 크게 요구하는 부분을 보충하였다. 3번과 4번 연결간의 거리는 다른 연결간의 간격에 비해 크며 사이에 밀착검지기 연결봉과 F18.5의 3번과 4번 사이에 위치한 밀착검지기가 없는 연결봉을 설치

○ 크로싱부 전달 메커니즘의 기구적 동력전달 경로
- F18.5는 3개의 전환력을 전달하는 연결간이 설치되어 있으며 2번째 연결간에 가까운 위치에 밀착검지기를 1개소 설치
- F46의 경우는 4개의 전환력 전달 연결간을 4개소 설치하였으며 1번과 2번 그리고 3번 사이에 각각 1개소씩 2개소 설치

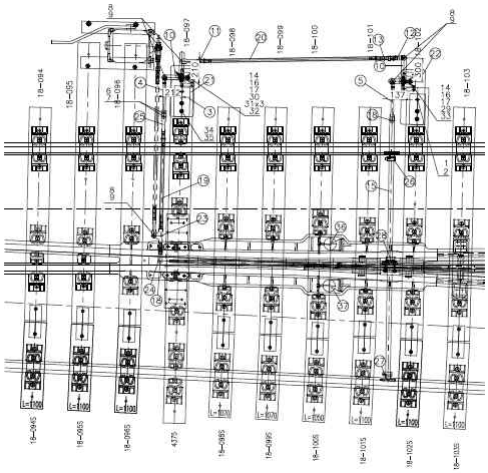


그림 3-6-3 F18.5 크로싱부 동력전달 메커니즘(도면)

2. 유압식 선로전환기 성능 요구사항

가. 유압식 선로전환기 구성요소 개요

○ 유압식 선로전환기는 첨단부의 경우는 크게 첨단부 선로전환장치, 선단쇄정장치, 중앙쇄정장치, 연결로드 그리고 밀착검지기로 구분

○ 크로싱부는 크로싱부 선로전환장치, 선단쇄정장치, 중앙쇄정장치 그리고 밀착검지기로 구분

○ 선로전환기함, 축압기, 함체, 보호덮게, 유압연결 호스 및 파이프로 구성

○ F18.5에 대한 첨단부와 크로싱부의 선로전환기 및 밀착검지기 구성도는 그림과 같이 첨단부에 1개의 선단쇄정장치와 2개의 중앙쇄정실린더를 배치하고 쇄정장치 사이에 2 sets의 밀착검지기와 마지막 쇄정장치 후반에 1 set의 밀착검지기를 설치

○ 크로싱부는 밀착검지기 1 set를 포함한 1개의 선단쇄정장치와 1개의 중앙쇄정실린더를 설치

○ F46의 경우는 첨단부에 6개의 쇄정실린더와 6 sets의 밀착검지기를 설치하여 크로싱부는 3개의 쇄정실린더를 배치

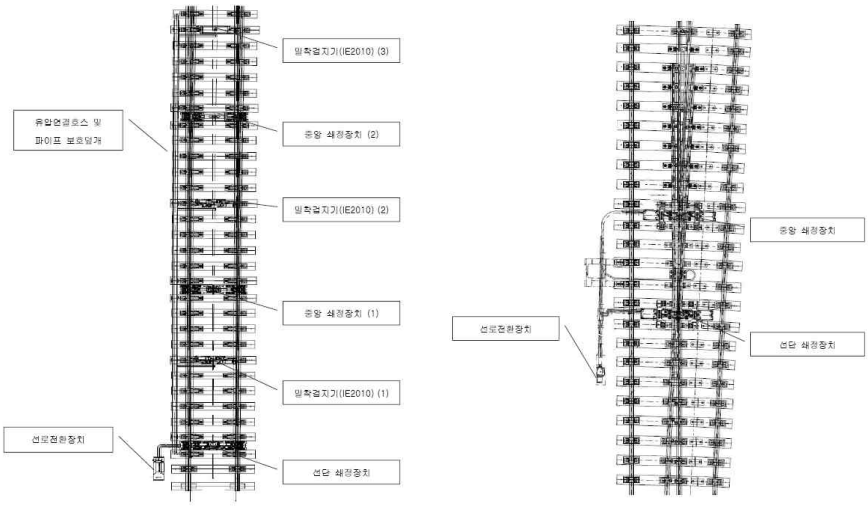


그림 3-6-4 F18.5 유압식 선로전환기 첨단부(좌) 및 크로싱부(우) 구성도

나. 유압식 선로전환기 인터페이스

○ 유압식 선로전환기 시스템은 유압으로 분기기의 동작, 전환, 쇄정 및 감시하는 시스템이다. 첨단부 및 크로싱부의 제어와 쇄정 및 밀착 감시는 그림에서 보여주는 제어 및 감시구조를 통해 수행

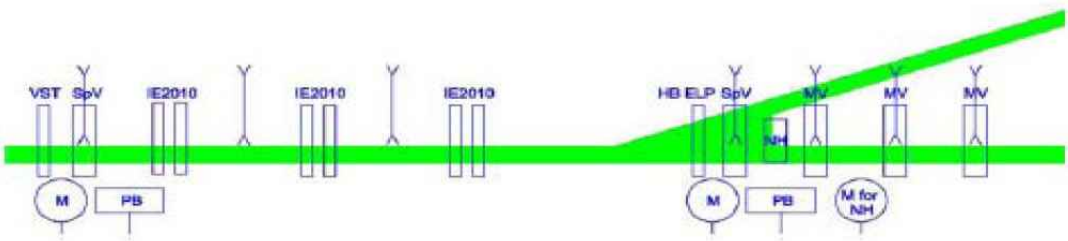


그림 3-6-5 유압식 선로전환기 제어 및 감시 구조

○ TFM 큐피클은 유압식 선로전환기 장비에 감지회로 구성을 위해 24VDC 기준전압을 인가한다. 이 전압은 쇄정장치와 밀착검지기의 의해서 쇄정과 밀착 검지 정보를 확인여 TFM 큐피틀의 두 개의 검지 계전기(PLKR과 PRKR)에 전달되어 연동장치가 선로전환기의 정보를 확인

○ 첨단부와 크로싱부에 대한 검지 인터페이스 과정

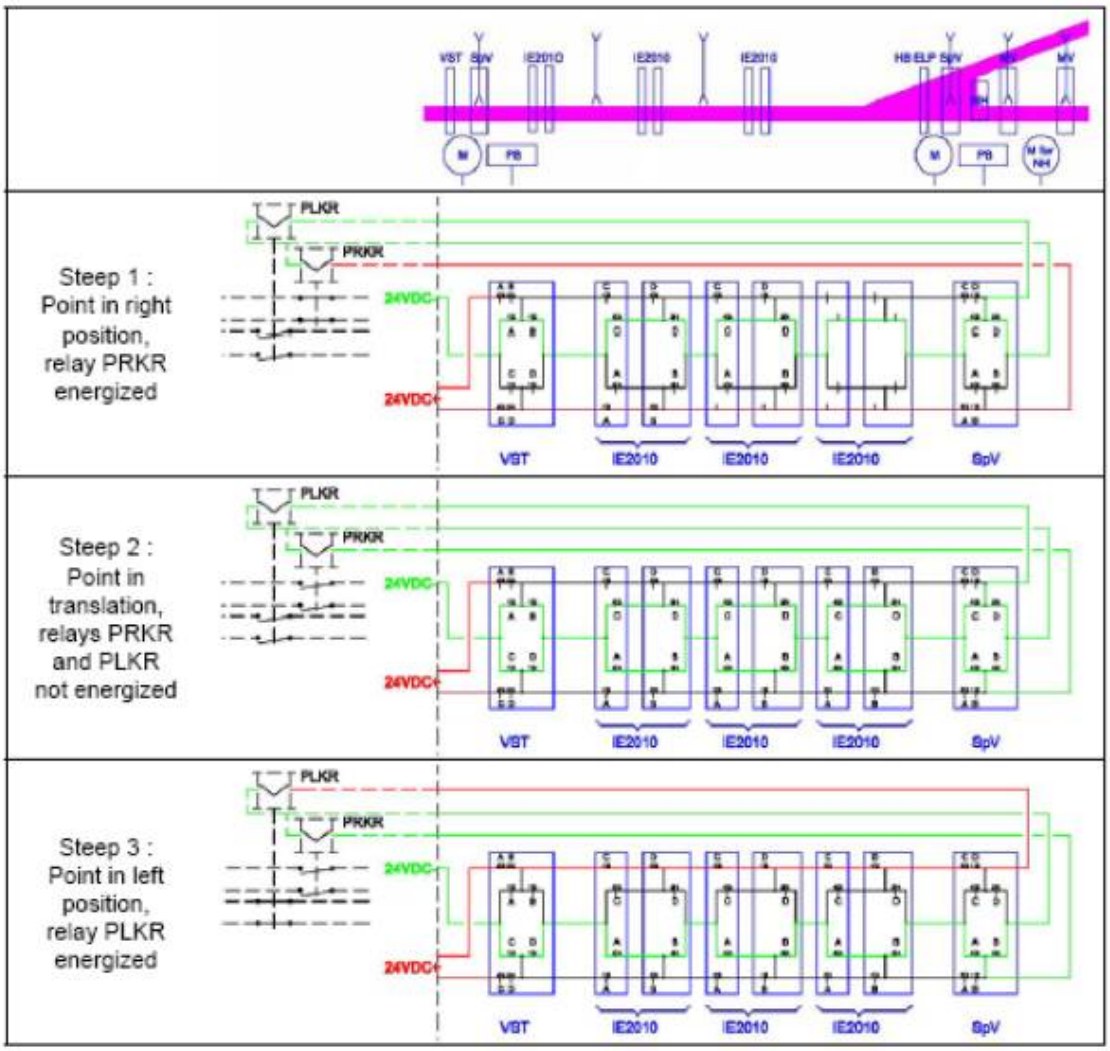


그림 3-6-6 유압식 선로전환기 유압회로 구성 현황(우축 → 좌측 전환 시)

다. 첨단부 선로전환기 사양 및 기능

○ 첨단부 선로전환기의 기본 요구사항

표 3-6-3 첨단부 유압식 선로전환기 기본 사양

특성	특성값
쇄정장치 수	2 ~ 12 세트
선로전환기 동정	72 mm ~ 118 mm
전환력(전체 시스템)	5,000 N ~ 30,000 N
쇄정장치당 전환력	3,500 N ~ 6,500 N
쇄정력	100,000 N 이상
전환 시간	평균 5.4 초
첨단레일 밀착력	2,000 N ~ 2,500 N
동적 압력	최대 160 bar
정적 압력	1 ~ 3 bar(20 ℃에서 2 bar)
유압 시스템의 기름 용량	5 ~ 30 리터
구동 모터의 작동 전압	3상 380 VAC
선로전환기함(PB)과의 I/F	비동기식 모터용3-wire, 제어 회로용4-wire
제어회로용 전압	AC15(230V/3A), DC13(110V/1A)
방진/방수 시험	IP65, EN60529
검사 및 시험	prEN50125-3 온도, 진동, 충격에 따름

표 3-6-4 첨단부 선로전환장치 기본 요구사항

특성	특성값
동작 압력	최대 160 bar
펌프 유속	약 8 리터/분
사전 인장 작업 압력(20 ℃에서)	약 2.0 bar
축압기 체적	2.8 리터
기름 형태	Aeroshell Fluid41
공칭 모터 전력	1.1 kW
공칭 모터 전류	3.7/6.4 A
공칭 속도	1,380 rpm
운전 모드	2초 ~ 1분

○ 첨단부에 쇄정장치의 구동을 위해 설치되는 1개의 선로전환장치는 설치되는 쇄정실린더의 개수에 따라 축압기의 체적이 변경

○ 선로전환장치는 유압회로를 구성하여 정위/반위 방향에 대한 쇄정실린더에 유압을 제공하며, 압력 제어에 필요한 각종 스위치를 포함하여 수동조작을 위한 장치 그리고 폐유압 회로에 대한 온도에 따른 체적변화를 보상하는 축압기를 포함한다. 아래의 표에 주요 구성요소의 기능을 정리하였음

표 3-6-5 첨단부 선로전환장치 주요 구성요소의 기능

주요 구성요소	기능
압력계 확인창	축압기의 압력을 시각적으로 확인 가능함. * 압력계는 항상 선로전환기 내 유압오일의 정적 압력을 표시함
오일 팬	누출 가능성이 있는 오일을 흡수함
압력제어스위치	오일의 압력이 설정된 값 이하로 하락되었을 때 조절회로를 차단함
강압밸브	장치 내에서 발생하는 최대 가능 압력을 정의함 모든 설정 선로전환기의 최대 가능 전환력을 제한함
스로틀밸브	최저 유량이 저장됨 설정동작 이후 또는 온도변화로 인해 압력 차이에 대한 압력을 보상함

○ 첨단부 선단 및 중앙쇄정장치의 기본 요구사항

표 3-6-6 첨단부 선단 및 중앙쇄정장치의 기본 요구사항

특성	특성값
피스톤 직경	75 mm
피스톤 로드 직경	40 mm
피스톤 동정	160 mm 이하
텅레일과 고정레일 간격(넓은쪽)	120 mm 이하
텅레일과 고정레일 간격(밀착된 쪽)	23 ~ 25 mm
쇄정장치당 최소 부하	100 kN
텅레일에 가해지는 사전 인장력	약 2,500 N
쇄정장치당 전환력	3,500 ~ 6,500 N

라. 크로싱부 선로전환기 사양 및 기능

○ 선로전환장치는 첨단부와 크로싱부가 크게 차이가 없으며 단지 쇄정장치의 수가 적은 크로싱부에서는 비교적 작은 축압기 용량을 요구

○ 크로싱부 쇄정장치의 경우는 양단의 텅레일을 전환하는 첨단부와 다르게 중앙에 위치한 1개의 노즈레일을 양 측면의 윙레일로 좌/우로 전환 및 밀착하는 특성에 따라 다른 형태

표 3-6-7 크로싱부 유압식 선로전환기 기본 사양

특성	특성값
쇄정장치 수	최대 4개
선로전환기 동정	120 mm 이하
피스톤 동정	134 mm 이하
쇄정장치당 전환력	5,000 N ~ 10,000 N
쇄정력	100,000 N 이상
전환 시간	평균 5.4 초
동적 압력	최대 100 bar
정적 압력	1 ~ 3 bar(20 ℃에서 2 bar)
유압 시스템의 기름 용량	3 ~ 10 리터
구동 모터의 작동 전압	3상 380 VAC
선로전환기함(PB)과의 I/F	비동기식 모터용3-wire, 제어 회로용4-wire
제어회로용 전압	AC15(230V/3A), DC13(110V/1A)
방진/방수 시험	IP65, EN60529
검사 및 시험	prEN50125-3 온도, 진동, 충격에 따름

표 3-6-8 크로싱부 쇄정장치 기본 사양

특성	특성값
피스톤 로드 직경	외경(70 mm), 내경(40 mm)
쇄정로드 직경	40 mm
피스톤 동정	134 mm 이하
가동 크로싱 개방	120 mm 이하
쇄정 턱	개방조건(16 mm), 쇄정조건(20 mm)
레일 밀착력	최대 2,000 N

3. 선로전환기 동력 전달 메커니즘 해석 Tool Kit 개발

가. 선로전환기 동력전달 메커니즘 모델링

○ 전기식 선로전환기 동력전달 메커니즘 모델링 Tool Kit

- 동력전달 해석을 위해 ADAMS을 이용해 수행된 모델링

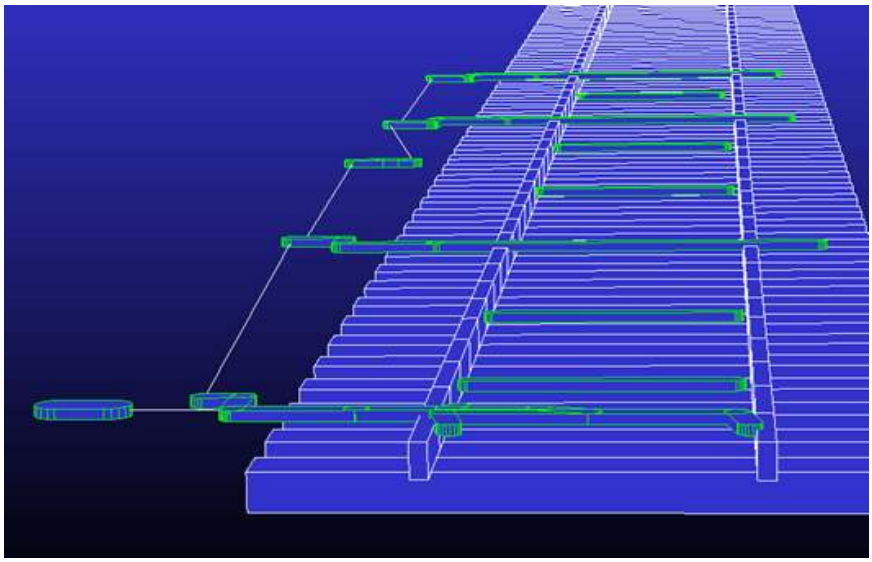


그림 3-6-7 전기식 선로전환기 동력전달 모델(MSC.ADAMS)

- 유연체 텅레일 및 노즈레일(multiple beam forces)
- 침목-레일 간 마찰력(롤러 유무 고려)
- 전기식 선로 전환 메커니즘(레버, L자형 링크, I자형 링크, VCC 시스템)

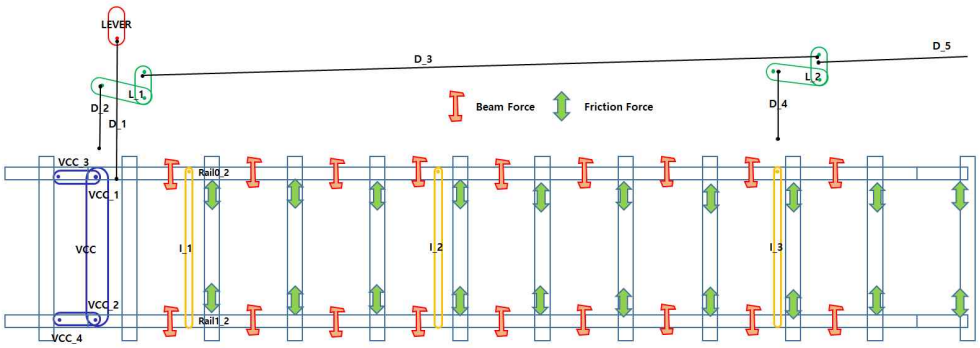
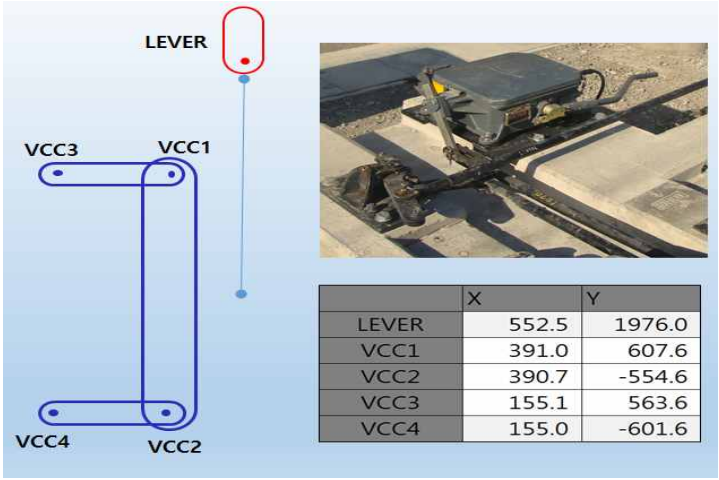


그림 3-6-8 전기식 선로전환 메커니즘 모델 구성

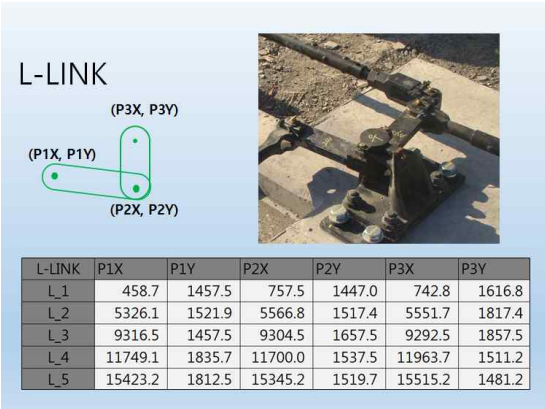
- 동력전달 모델링 툴킷 프로그램(엑셀)은 레버 및 VCC 시스템의 설치위치와 단순화 시킨 링크 구조의 형상을 입력할 수 있도록 구성



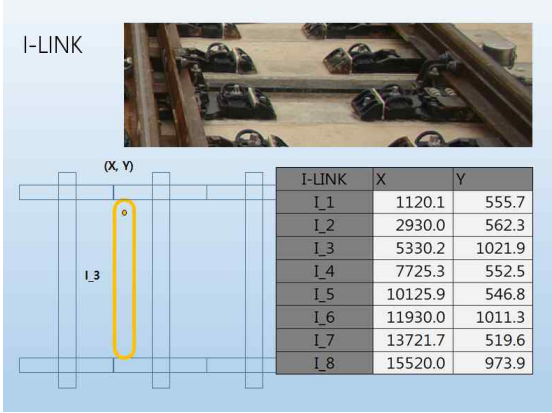
	X	Y
LEVER	552.5	1976.0
VCC1	391.0	607.6
VCC2	390.7	-554.6
VCC3	155.1	563.6
VCC4	155.0	-601.6

그림 3-6-9 레버 및 VCC 시스템 입력

- 전환력 전달 메커니즘을 구성하는 모든 링크 구조체의 위치와 각 링크의 길이를 임의로 변경하여 입력할 수 있도록 입력 툴킷을 구성함

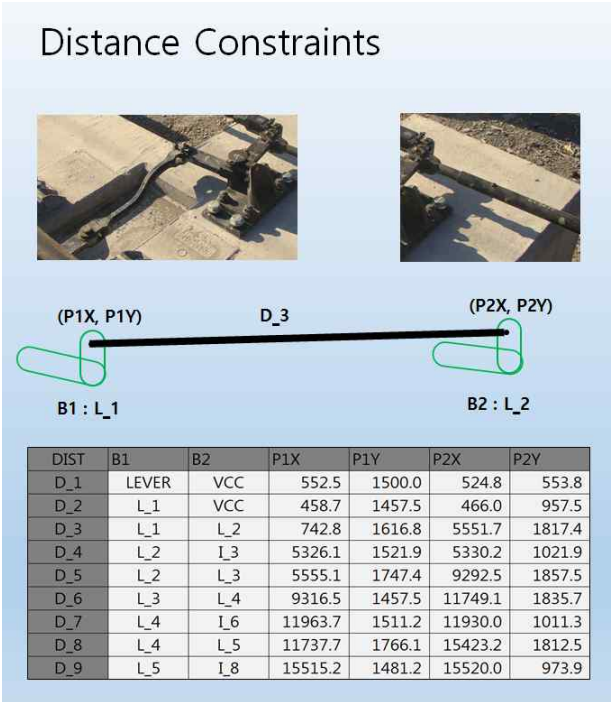


L-LINK	P1X	P1Y	P2X	P2Y	P3X	P3Y
L_1	458.7	1457.5	757.5	1447.0	742.8	1616.8
L_2	5326.1	1521.9	5566.8	1517.4	5551.7	1817.4
L_3	9316.5	1457.5	9304.5	1657.5	9292.5	1857.5
L_4	11749.1	1835.7	11700.0	1537.5	11963.7	1511.2
L_5	15423.2	1812.5	15345.2	1519.7	15515.2	1481.2



I-LINK	X	Y
I_1	1120.1	555.7
I_2	2930.0	562.3
I_3	5330.2	1021.9
I_4	7725.3	552.5
I_5	10125.9	546.8
I_6	11930.0	1011.3
I_7	13721.7	519.6
I_8	15520.0	973.9

그림 3-6-10 L자형 및 I자형 링크 입력



DIST	B1	B2	P1X	P1Y	P2X	P2Y
D_1	LEVER	VCC	552.5	1500.0	524.8	553.8
D_2	L_1	VCC	458.7	1457.5	466.0	957.5
D_3	L_1	L_2	742.8	1616.8	5551.7	1817.4
D_4	L_2	I_3	5326.1	1521.9	5330.2	1021.9
D_5	L_2	L_3	5555.1	1747.4	9292.5	1857.5
D_6	L_3	L_4	9316.5	1457.5	11749.1	1835.7
D_7	L_4	I_6	11963.7	1511.2	11930.0	1011.3
D_8	L_4	L_5	11737.7	1766.1	15423.2	1812.5
D_9	L_5	I_8	15515.2	1481.2	15520.0	973.9

그림 3-6-11 거리 구속(링크) 입력

- 텅레일의 형상 및 유연체의 물질적 특성을 임의로 변경할 수 있는 입력 툴킷을 구성함으로써 텅

레일의 형상과 재질의 물리적 특성에 대한 전환력을 평가 할 수 있도록 함

- 분기기와 선로전환기의 I/F를 고려하여 분석하기 위하여 텅레일과 침목과의 마찰부위에 대한 마찰력을 입력 인자로 구성함. 롤러의 설치 위치와 개수를 입력 인자로 포함함으로써 롤러에 의한 전환력 변화특성을 검토하고자 함

UIC60 대비 mass, stiffness (%)
(침목별 입력 가능)

NO	xcoord	ycoord	zcoord	Mass(%)	Stiffness(%)	mu_1	mu_2	mu_L
1	0	600	0	100	100	0.1	0.2	40
2	600	600	0	100	100	0.1	0.2	40
3	1200	600	0	100	100	0.1	0.2	40
4	1800	600	0	100	100	0.1	0.2	40
5	2400	600	0	100	100	0.1	0.2	40
~	~	~	~	~	~	~	~	~
36	21000	600	0	100	100	0.1	0.2	40
37	21600	600	0	100	100	0.1	0.2	40
38	22200	600	0	100	100	0.1	0.2	40
39	22800	600	0	100	100	0.1	0.2	40
40	23400	600	0	100	100	0.1	0.2	40

그림 3-6-12 텅레일 유연체 제원 입력(자동생성 후 개별적 입력 가능)

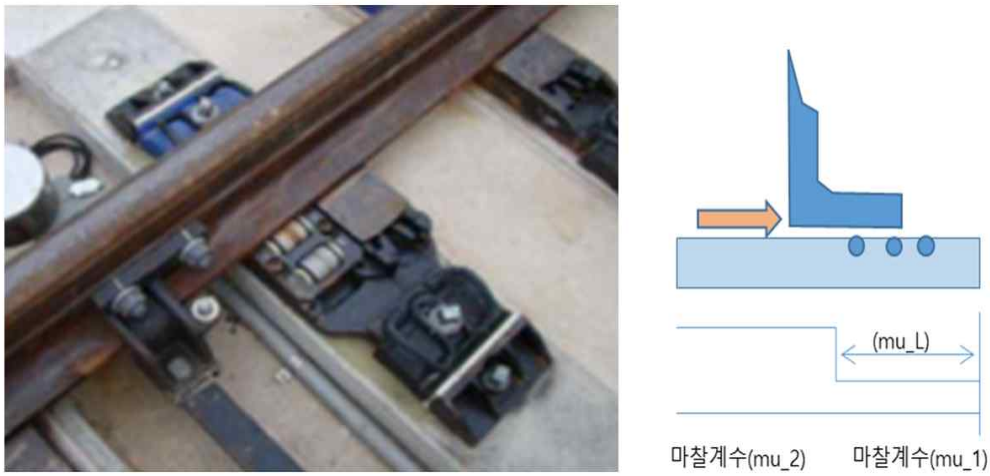


그림 3-6-13 레일-침목 간 마찰력 제원 입력(롤러 영력 입력)

○ 유압식 선로전환기 동력전달 메커니즘 모델링 Tool Kit

- 동력전달 해석을 위해 ADAMS을 이용해 수행된 모델링

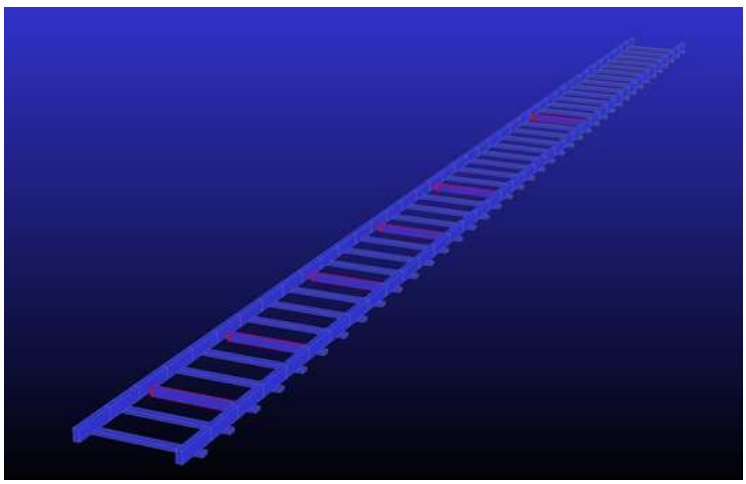
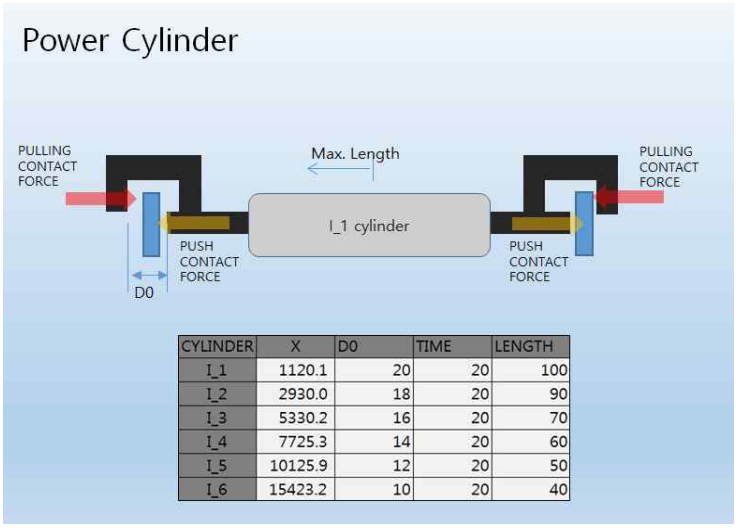


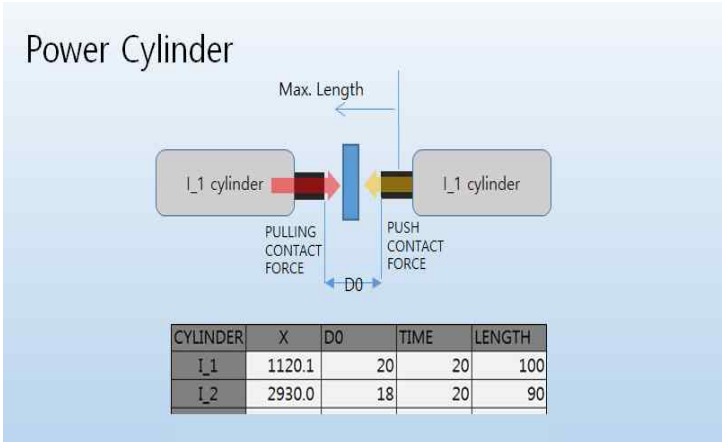
그림 3-6-14 유압식 선로전환기 동력전달 모델(MSC.ADAMS)

- 유연체 텅레일 및 노즈레일(multiple beam forces)
- 침목-레일 간 마찰력(롤러 유무 고려)
- 유압 실린더의 모델을 단순화하여 작용력 전달구조와 변위로 구성
- 유압실린더 모델링은 텅레일을 밀어주는 경우 텅레일의 저부에서 접촉력을 유지하면서 전환력을 전달하며, 당겨주는 경우 텅레일의 상부에서 걸림쇠의 형상으로 접촉력을 유지하면서 전환력을 전달
- 유압식 선로전환기는 직렬 및 병렬회로의 유압 전달 특성을 고려하여 작용시점과 작동시간을 반영하기 위하여 시간을 입력인자로 추가



CYLINDER	X	D0	TIME	LENGTH
I_1	1120.1	20	20	100
I_2	2930.0	18	20	90
I_3	5330.2	16	20	70
I_4	7725.3	14	20	60
I_5	10125.9	12	20	50
I_6	15423.2	10	20	40

그림 3-6-15 텅레일용 유압실린더 모델링



CYLINDER	X	D0	TIME	LENGTH
I_1	1120.1	20	20	100
I_2	2930.0	18	20	90

그림 3-6-16 노즈 레일용 유압실린더 모델링

○ S/W 등록 : 고속분기기 텅레일 전환력 동역학 모델링 툴킷 프로그램(C-2015-023691호, 실적증빙자료-05)

나. 동역학 해석을 통한 전환력 분석

○ 포인트부 전기식 선로전환기

- 텅레일의 선단에 위치한 전환장치로부터 전환력을 전달받아 첨단부의 레버 수직운동을 통해 각 L-link와 I-link에 의한 전달 메커니즘에 따라 4개의 텅레일을 구속하는 전환로드로 전환력을 전달
- 4개의 전환로드의 위치와 L-link와 I-link 사이의 전달로드의 길이에 따라 전환력이 변화되는 특성을 얻어낼 수 있음

- 레버 구동력



그림 3-6-17 레버 구동력

- 위치별 레일-침목 간 마찰력 분포

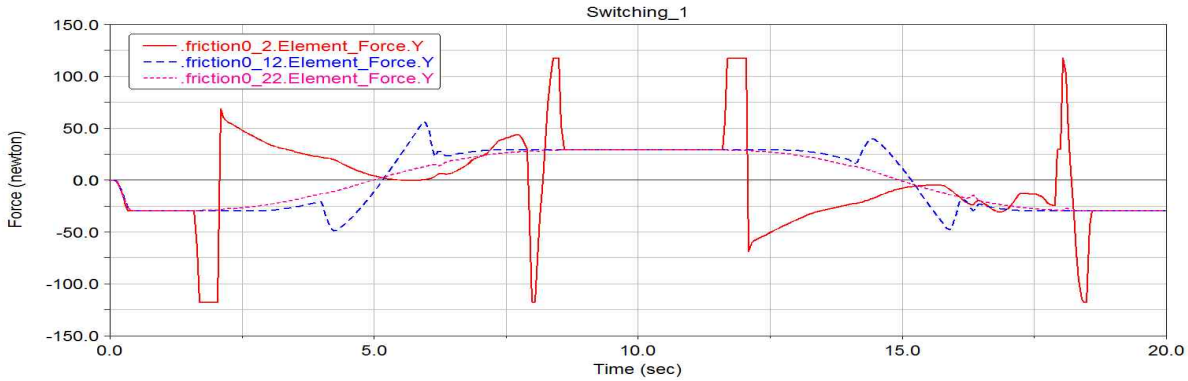


그림 3-6-18 위치별 레일-침목 간 마찰력

- 침목 위치별 텅레일 굽힘 모멘트 분포

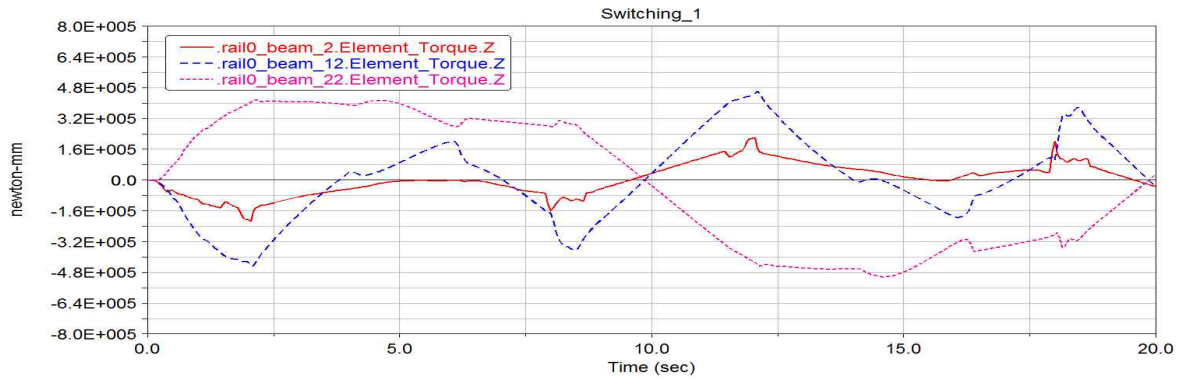


그림 3-6-19 침목 위치별 텅레일 굽힘 모멘트

- VCC 포인트 쇄정장치 운동

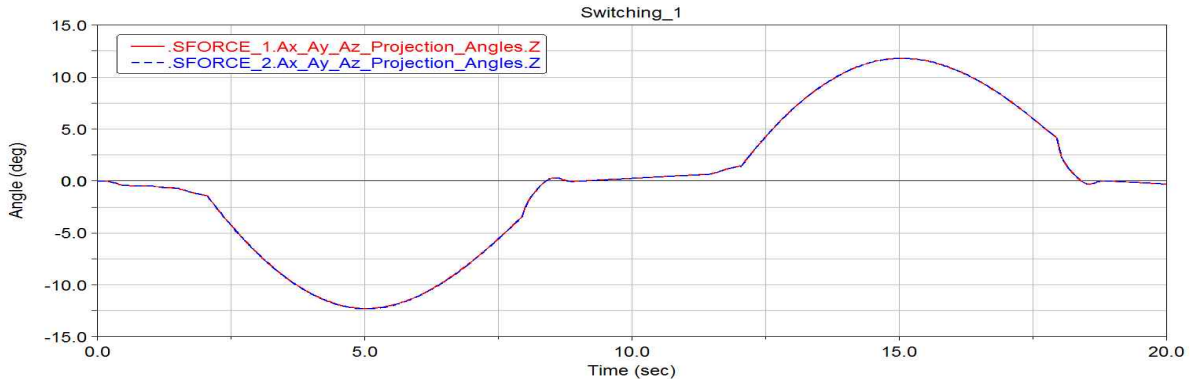


그림 3-6-20 링크 회전 운동

○ 포인트부 유압식 선로전환기

- 유압 실린더 모델링 기법 : 유압 실린더를 모델링 하는 방법은 2가지 방법이 있다. 첫 번째는 유압 실린더 압력을 입력하여 실린더를 움직이는 방법이고, 두 번째는 실린더 운동을 시간 함수로 입력하는 방법
- 첫 번째 압력을 이용하는 방법은 실제 실린더 압력을 이용하므로 실제 시스템과 유사하게 실린더 운동이 작동하지 않는 현상 등을 묘사할 수 있다. 두 번째 시간 함수를 사용하는 방법은 원하는 실린더 운동을 입력한 후 이러한 운동에 필요한 구동력을 파악하는데 사용
- 각 실린더별 전환력

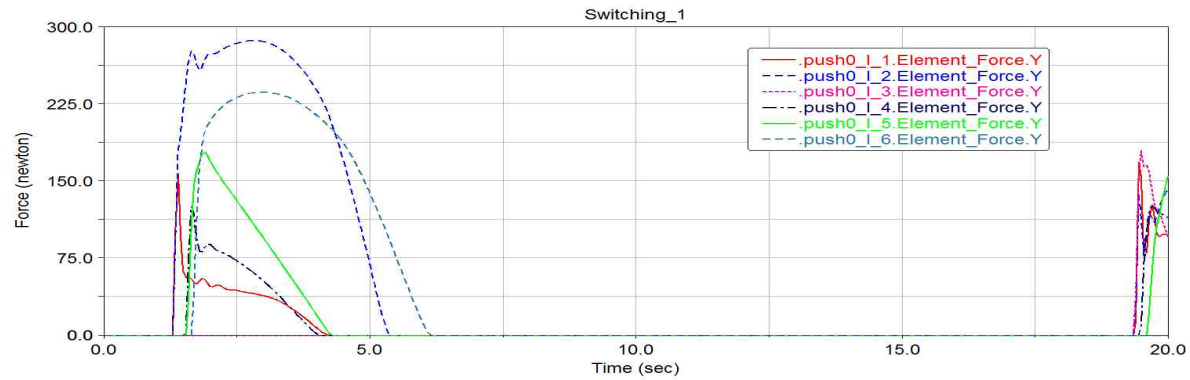


그림 3-6-21 좌측 레일 PUSH

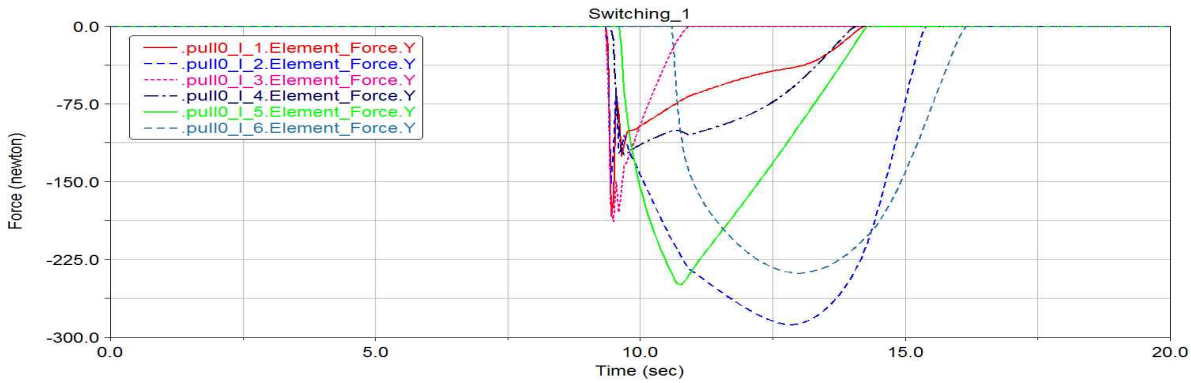


그림 3-6-22 좌측 레일 PULL

- 위치별 텅레일 굽힘 모멘트 및 각도

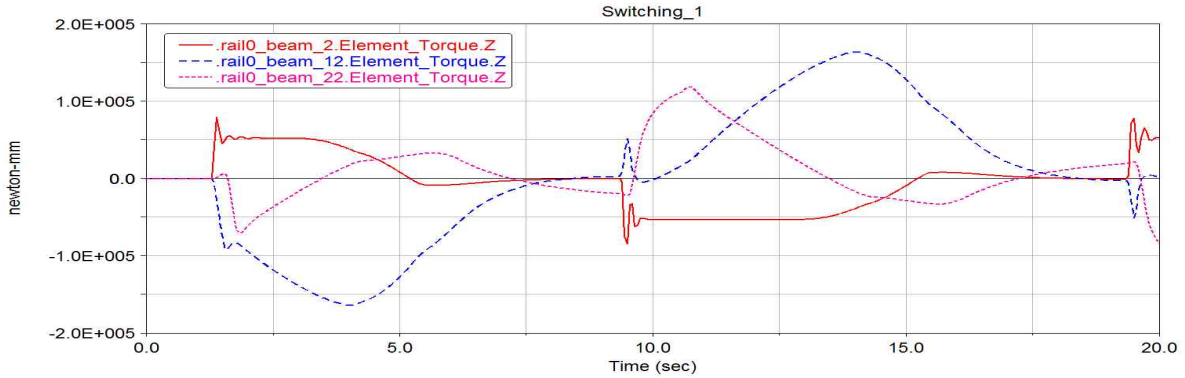


그림 3-6-23 텅레일 첨단/중간/후미 굽힘 모멘트

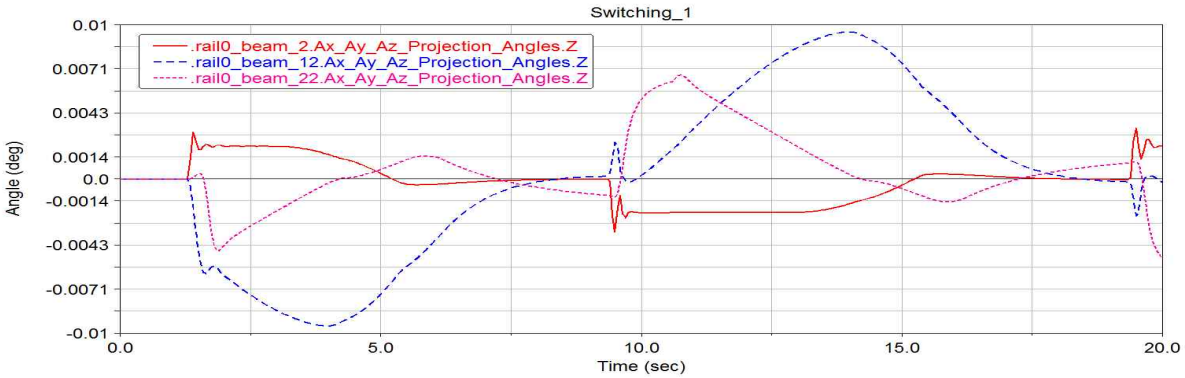


그림 3-6-24 텅레일 첨단/중간/후미 굽힘 각도

- 위치별 레일-침목 간 마찰력

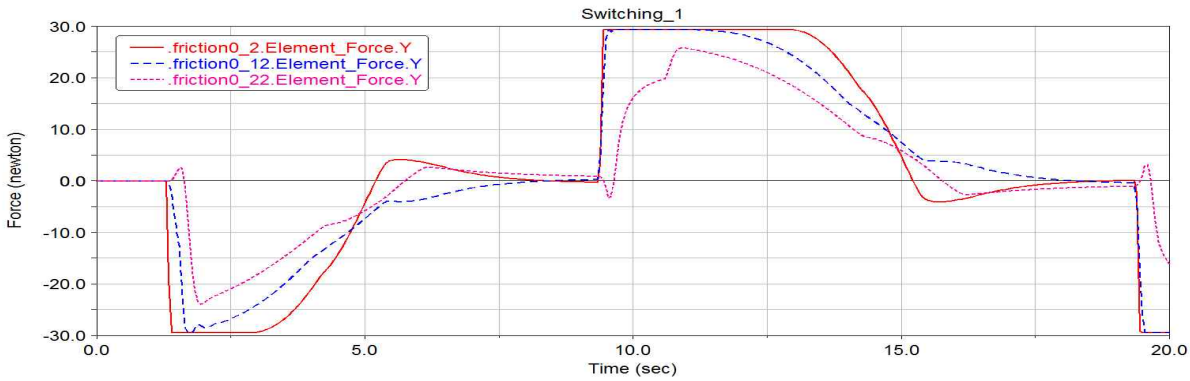


그림 3-6-25 위치별 레일-침목 간 마찰력

- 유압식 선로전환기 전환력 : 전체적인 전환력은 텅레일이 롤러에 올라타기 전까지 증가하고 롤러를 올라탄 후에는 감소하는 형태를 보이고 있음. 최대 전환력은 2번 실린더에서 나타나고 있으며 다소 텅레일의 벤딩에 의한 영향력을 보여주고 있음. 6번의 실린더의 텅레일의 고정부와 가장 가까운 곳으로 이또한 벤딩에 의한 영향력을 보여주며 큰 전환력을 보여주고 있음.
- 유압식 선로전환기 마찰력 고려사항 : 유압식에서는 레일을 구속하지 않고 밀거나 당기는 방식을 사용하기 때문에 마찰력이 증가할 개연성이 있다. 특히 당기는 위치가 텅레일 상단이기 때문에 비틀림을 유발하고 이는 마찰력을 증대

○ 크로싱부 전기식 선로전환기

- 노즈레일의 선단에 위치한 전환장치로부터 전환력을 전달받아 첨단부의 레버 수직운동을 통해 각 L-link와 I-link에 의한 전달 메커니즘에 따라 2개의 텅레일을 구속하는 전환로드로 전환력을 전달
- 2개의 전환로드의 위치와 L-link와 I-link 사이의 전달로드의 길이에 따라 전환력이 변화되는 특성을 얻어낼수 있음
- 모터 구동력

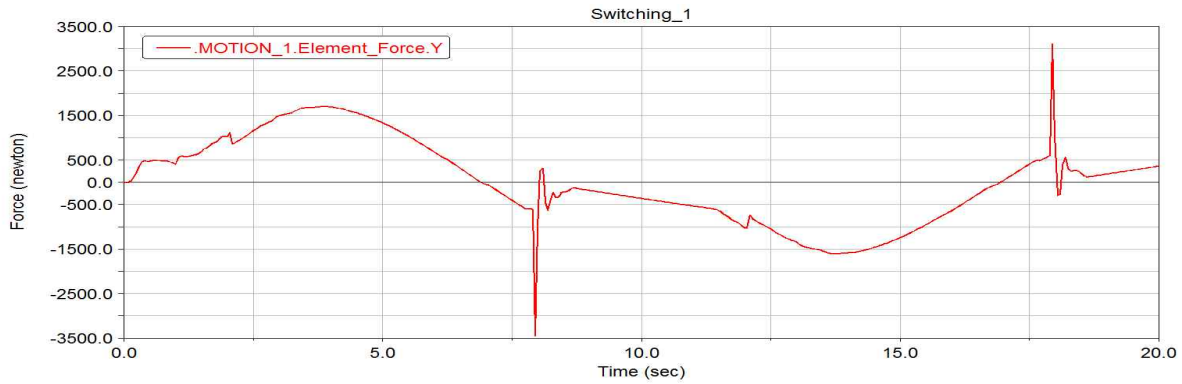


그림 3-6-26 모터 구동력

- 위치별 레일-침목 간 마찰력 분포

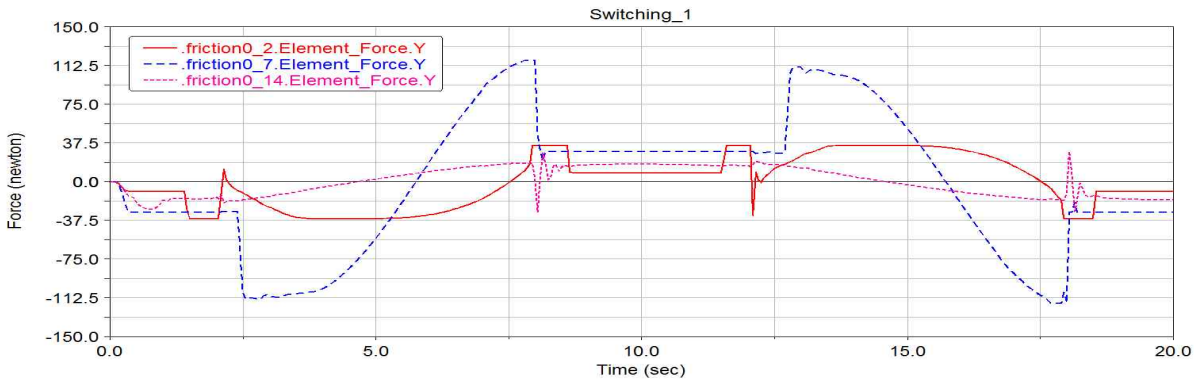


그림 3-6-27 위치별 레일-침목 간 마찰력

○ 크로싱부 유압식 선로전환기

- 노즈레일의 첨단부와 중간부분에 2개의 유압실린더가 위치하고 있음
- 2개의 유압실린더의 위치에 따라 전환력이 변화되는 특성

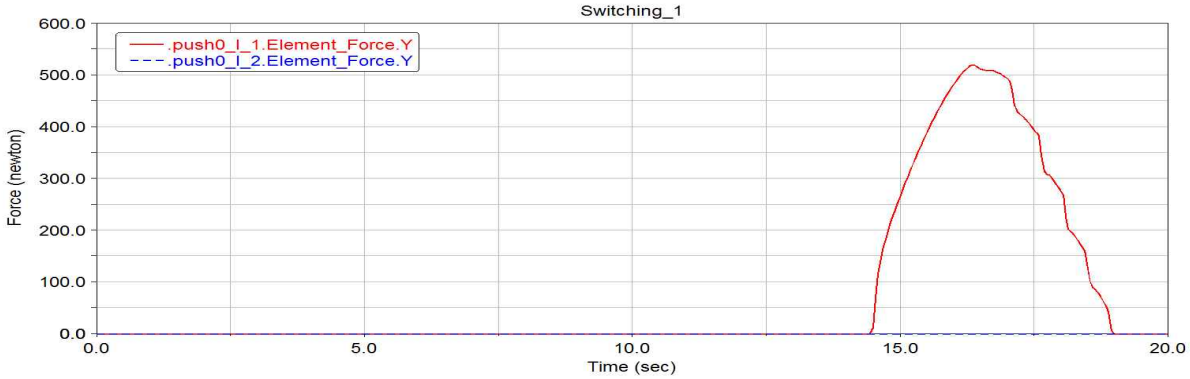


그림 3-6-28 좌측 레일 PUSH 실린더별 전환력

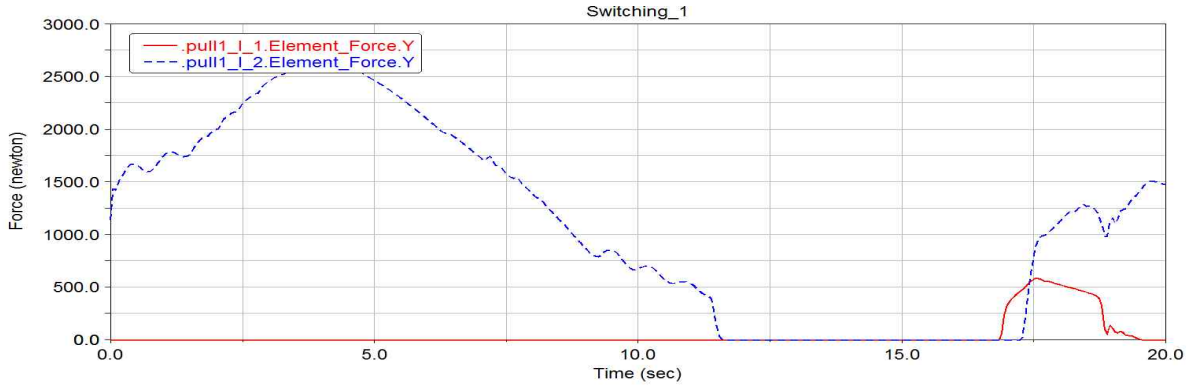


그림 3-6-29 우측 레일 PULL 실린더별 전환력

○ 전기식 선로전환기 사양 도출

- 기존 전기식 선로전환기 동력전달 메커니즘 사양에 대한 국산화 텅레일(60E1A1 K)과 노즈레일의 형상을 고려한 동력전달 메커니즘 해석결과 전환력과 링크의 모멘트가 제한 조건에 만족됨을 확인함

○ 유압식 선로전환기 사양 도출

- 국산화 텅레일(60E1A1 K)과 노즈레일의 형상을 고려한 전환력 해석결과 전환력 제한 조건에 만족됨을 확인함
- 쇄정실린더 사양 제시

표 3-6-9 첨단부 선단 및 중앙쇄정장치의 기본 요구사항

특성	특성값
피스톤 직경	75 mm
피스톤 로드 직경	40 mm
피스톤 동정	160 mm 이하
텅레일과 고정레일 간격(넓은쪽)	120 mm 이하
텅레일과 고정레일 간격(밀착된 쪽)	23 ~ 25 mm
쇄정장치당 최소 부하	100 kN
텅레일에 가해지는 사전 인장력	약 2,500 N
쇄정장치당 전환력	3,500 ~ 6,500 N

표 3-6-10 크로싱부 쇄정장치 기본 사양

특성	특성값
피스톤 로드 직경	외경(70 mm), 내경(40 mm)
쇄정로드 직경	40 mm
피스톤 동정	134 mm 이하
가동 크로싱 개방	120 mm 이하
쇄정 턱	개방조건(16 mm), 쇄정조건(20 mm)
레일 밀착력	최대 2,000 N

7절. 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 국산화 기술 개발

1. 개발 개요

○ 경부고속철도 2단계구간의 선로전환기는 오스트리아 Hydrostar사 제품을 도입하여 사용 중에 있음. 그러나 장애발생시 대응이 늦고 그 때마다 국외업체에 의존해야하는 점을 탈피하기 위해 국산화를 목표로 본 과제를 국가사업으로 추진하게 됨

○ 경부고속철도에 기 적용중인 제품과의 호환성을 고려하여 오스트리아 Hydrostar사 제품을 벤치마킹하여 국산화개발 방안을 설정하고, 이에 따른 시제품을 설계하고 제작하였으며, 제작된 시제품의 성능을 평가하기 위한 시험 장치를 설계하고 제작함

○ 성능검증은 쇄정실린더의 작동기능검증과 환경내구검증을 수행함. 작동기능검증 항목으로는 피스톤직경, 피스톤로드직경, 피스톤행정, 전환력, 쇄정력 등이다. 환경내구검증 항목으로는 진동 내구성, 온도내구성, 방수내구성, 작동내구성 등을 검증함

○ 작동기능검증을 위해서는 유압식선로전환기 쇄정실린더를 위한 맞춤형 특수시험장치가 필요하나 국내에 적정시험처가 없었다. 따라서 자체 설계 제작한 시험장치로 검증하였으며, 실린더에 사용된 재료는 한국화학융합시험연구원(KTR)에 의뢰하여 평가하였고, 환경내구검증으로 진동내구시험은 자동차부품연구원(KATECH), 온도내구시험은 군산대학교 기술혁신센터(KATIC), 방수내구시험과 작동내구시험은 한국건설생활환경연구원(KCL)에 의뢰하여 검증함

○ 현장부설 검증을 위해 시제품을 제작하였으며, 시제품으로는 첨단부 쇄정실린더 1세트와 크로싱부 쇄정실린더 1세트를 제작함

2. 개발 목표

○ 경부고속철도 2단계구간에 부설된 오스트리아 Hydrostar사 제품과의 호환성을 고려하여, 개발 대상품의 사양은 아래의 그림들에 나타낸 기 부설된 제품 사양을 벤치마킹하여 개발목표를 수립



그림 3-7-1 첨단부 선로전환기



그림 3-7-2 크로싱부 선로전환기

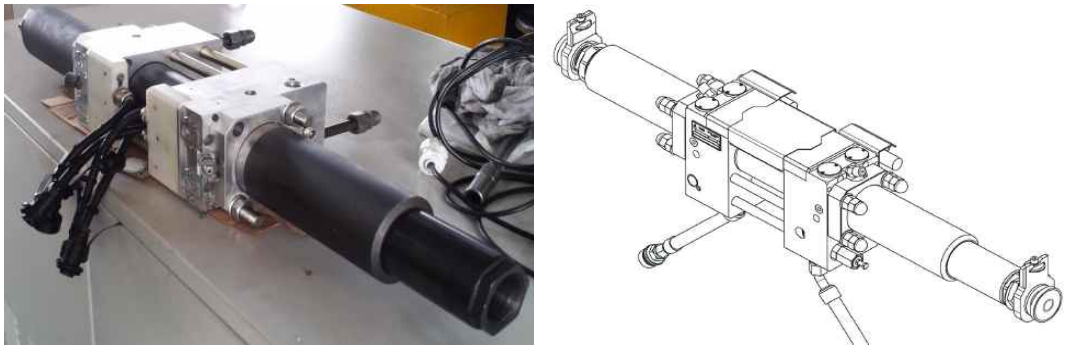


그림 3-7-3 첨단부 쇄정실린더

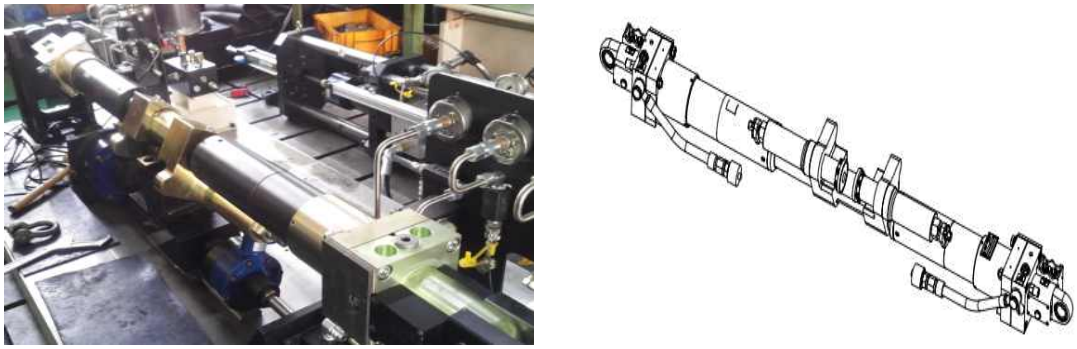


그림 3-7-4 크로싱부 쇄정실린더

표 3-7-1 첨단부선단 및 크로싱부 쇄정실린더 개발목표 사양

구분	항목	첨단부선단 쇄정실린더	크로싱부 쇄정실린더
제원	피스톤 직경	75 mm	70 mm
	피스톤로드 직경	40 mm	40 mm
성능	피스톤행정(튜브내측)	최대 160 mm	최대 134 mm
	피스톤행정(외관행정)	최대 140 mm	최대 134 mm
	전환력	3.5 - 6.5 kN	5.0 - 10.0 kN
	쇄정력	최대 100 kN	최대 100 kN

- 작동성능은 피스톤행정, 전환력, 쇄정력을 검증함
- 쇄정력 검증은 Hydrostar사 규정 HYS-Locking Mechanism-KRen-Rev00 00을 참고하여, 50 kN 부하 10회 반복 시 그리고 75 kN 부하 3회 반복 시 그리고 100 kN 부하 3회 반복 시험 시 무사고 여부를 기준으로 삼음

3. 유압식 쇄정실린더 장애 조사 및 대응 기술 검토

○ 첨단부 쇄정실린더 장애는 쇄정실린더의 누유, 태핏 불량 및 텅밀착부 등의 장애로 조사하였으며, 각각의 장애에 대한 대응기술을 검토함

- 첨단부 쇄정실린더 누유 장애는 실린더 측면의 누유 확인창에 100% 작동유가 채워지지 않았으면 누유로 판단하고 5 cm 초과 시에는 쇄정실린더를 교체하고 Setting & Locking unit를 교체하여 조치
- 유압실린더가 완전쇄정이 되면 측면의 쇄정 태핏에 붉은 선이 나타나고, 쇄정이 불완전하면 쇄정 태핏의 붉은 선이 사라진다. 이때는 실린더의 스트로크(동정)를 확인하고, 선로전환장치의 드로틀 밸브를 조정
- 선로전환기 전환시험시 정위 불일치가 발생하면 선단실린더가 해정이 안되고 반위상태의 태핏이 표시됨. 이 경우 좌우밀착시 첨단실린더의 텅레일 부착물과 텅레일 사이의 상대적인 동작을 점검

하고, 연결로드와 텅레일을 연결하는 간격을 측정. 본 장애는 연결로드의 조정문제로 장애가 발생되고 이는 쇄정실린더 텅밀착부에 이물질이 끼어서 조정허용 오차를 벗어나는 불량으로 첨단부 쇄정실린더의 텅밀착부 교체로 해소

○ 크로싱부 쇄정실린더 장애

- 크로싱부 쇄정실린더의 장애 유형은 쇄정실린더 누유, 스위치불량, 해정 불량, 압축피스 파손 및 전환력 부족 등으로 조사하였으며, 각각의 장애에 대한 대응기술을 검토함
- 크로싱부 쇄정실린더 누유 장애의 경우 유압시스템 내에 공기가 존재하면 쇄정실린더 씰링에 큰 영향을 준다는 것이 확인됨. 실링 손상은 캐비테이션에 의한 것으로 Zeltweg이 확인함
- 크로싱부 쇄정실린더 스위치 불량의 경우 동작위치가 중첩구간을 불충분하게 설정하여 스위치 지연이 발생함. 이 경우 크로싱부 쇄정실린더를 교체하여 해소함
- 크로싱부 쇄정실린더 해정 불량의 경우 전환시험 시 불일치 발생으로 원인 조사 결과 쇄정턱의 sharp edge로 인해 마찰력이 커지고 해정작용이 원활하지 못해서 round edge로 처리하여 해소
- 크로싱부 쇄정실린더 압축피스 파손의 경우 압축스프링의 와전압축으로 초기부하가 실린더 내로 전달되었고, 따라서 절연과 압축피스 슬리브가 접촉되고 절연마모가 증가됨에 따라 추가적으로 압축피스 금속부분의 반경 내에 반발력이 증가되었다. 압축피스의 설계변경으로 해소
- 크로싱부 쇄정실린더 전환력 부족의 경우 전환시험 시 불일치 발생하거나 크로싱 전환도중 멈춤 현상이 발생. 이 경우 유압회로를 병렬방식에서 직렬방식으로 변경하고 분기기 선형 변경 또는 스터드 간격조정으로 해소

4. 유압식 선로전환기 개선사항 도출

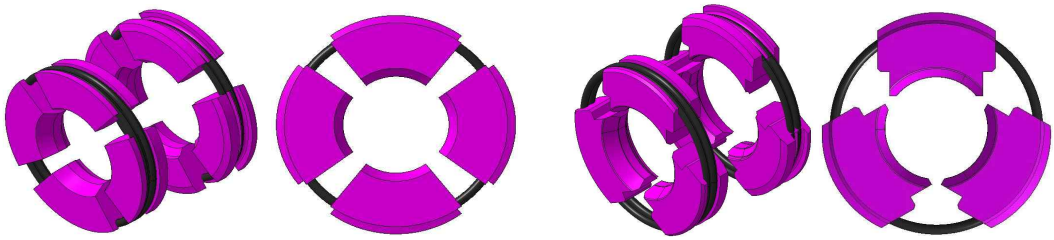
가. 유압식 선로전환기 쇄정장치 개선사항

○ 쇄정실린더 쇄정장치 장애 분석

- 유압식 선로 전환기 쇄정장치의 주요 기능인 이중쇄정 시스템의 쇄정 시 전환이 이루어지지 못하는 쇄정치크와 쇄정로드 쇄정슬리브 부위에 위치하지 못하고 쇄정로드에 편기울림 억지끼움 현상으로 인하여 원활한 쇄정장치 시스템 메카니즘 구동이 이루어지지 않음
- 기계적 오류가 발생되는 현시점에서 쇄정치크의 구동 메카니즘 즉, 기계적 구동방식의 오류 및 문제점을 분석 및 보완작업을 통하여 설계변경 및 개선사항을 도출 필요
- 선단(중앙) 쇄정장치의 쇄정치크 내면과 쇄정 실린더 외면의 형상 및 접촉구간이 동일하다는 사항과는 다른게 상이한 부분을 설계변경을 통하여 보다 안정적인 메카니즘을 적용하여 안정적인 구동방식을 도모

○ 쇄정 치크의 형상 개선 및 개수 변경

- 쇄정로드 구동시에도 쇄정치크의 조임/풀림 구동시 횡방향 이격 현상에 대한 미작동에 대한 오류사항을 감안하여 기존의 테이퍼 슬라이딩 면접촉 방식이 아닌 상/하면 및 좌/우측 접촉면 슬라이딩 방식을 적용하여 안정적인 구동 메카니즘 방식으로 설계변경 및 개선사항을 도모

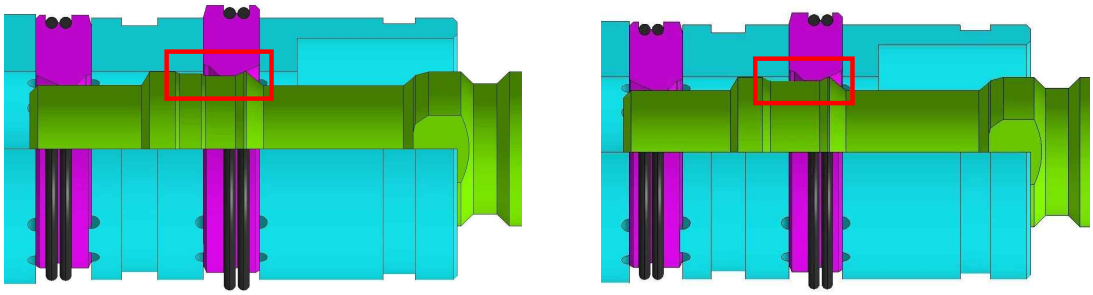


(a) 기존 형상 (b) 변경 형상

그림 3-7-5 쇄정치크 형상 개선

○ 쇄정로드 유지보수성 향상을 위한 형상 개선

- 쇄정실린더의 쇄정치크 안착부의 외면 프로파일 형상을 아래 그림과 같이 단순화 작업을 통하여 불필요한 가공에 의한 가공시간 단축 및 정밀 선반가공성 향상을 확보하며 프로파일 외측면의 모서리 부분에 대한 마모저감 효과를 고려한 형상으로 변경하여 유지보수성 및 가공성을 향상하여 원가절감 및 국산화 개발을 위한 기반을 도모



(a) 기존 형상 (b) 변경 형상

그림 3-7-6 쇄정로드 형상 개선

나. 유압식 선로전환기 작동유 관련 개선사항 도출

○ 유압식 선로전환기 작동유압 감시장치

- 선로전환기 작동유 관로 압력이 기준치 이하로 내려가 있으면 목표하는 전환력을 발휘하지 못하고, 따라서 선로전환이 완전하게 이루어지지 못함으로써 철도 사고로 이어질 수 있다. 본 발명은 선로전환기 관로상의 작동유 유압을 지속적으로 감지하여, 유압이 일정 수준 이하로 될 경우 사전에 이를 관리자에게 알려서 사고를 예방하도록 해 주는 장치

○ 유압식 선로전환기 작동유 청정장치

- 유압식선로전환기의 작동유 청정장치로 유압식 선로전환기는 유압발생장치와 유압실린더로 구성되며 유압식선로전환기의 유압회로는 사용조건상 직력 또는 별렬식 폐회로로 구성
- 유압회로 내부에는 유압 작동유를 통과시킴으로써 큰 힘을 전달하며, 유압회로의 연결부나 실린더 작동부 등에서 작동유가 오염되면 이를 깨끗하게 처리하여 사용하는 장치가 함께 구비되어야 폐회로로 구성된 유압식 선로전환기의 유압장치로서 성능이 유지되고 장기간 고장없이 사용이 가능
- 폐회로로 구성된 유압발생장치의 양쪽 유압 토출부에 필터를 설치함으로써 이러한 목적을 구현

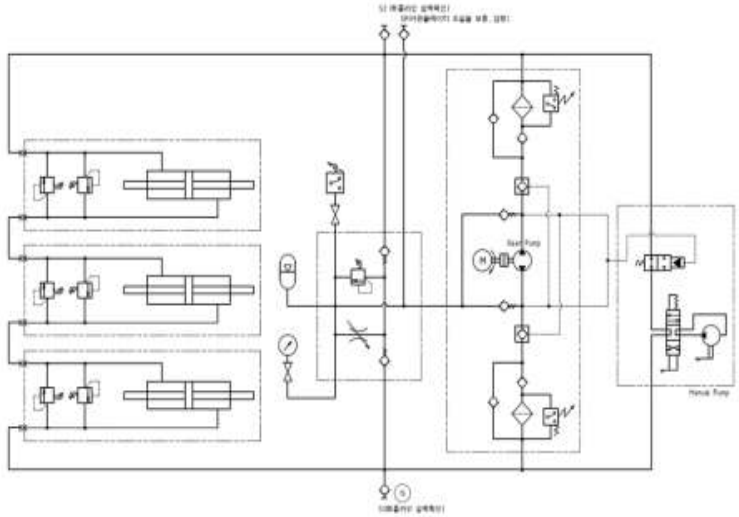


그림 3-7-7 유압식 선로전환기 작동유 청정장치 개념도

○ 유압식 선로전환기 작동유 히팅장치

- 유압라인에 사용되는 작동유는 온도에 따라 점도가 변하는 물질로 되어 있으며, 온도가 올라가면 점도는 낮아지고 온도가 내려가면 점도는 급격히 상승
- 겨울철에는 영하로 내려가므로 작동유의 점도가 급격히 상승하여 유압 실린더의 이송속도가 느려지게 되고, 따라서 선로전환 속도도 느려질 수밖에 없다. 본 발명은 이러한 현상을 방지하기 위해 동절기에 유압 작동유의 점도 상승을 방지하기 위해 모든 작동유가 거쳐가는 길목인 드라이빙 유닛에 설치된 유압 매니폴드 블록의 하단에 전기적 히팅장치를 부착하여 일정 온도 이하로 작동유의 온도가 하락하면 전기적 히팅을 함으로써 온도하락으로 인한 선로전환기의 속도하락 및 관련 기능 저하를 방지

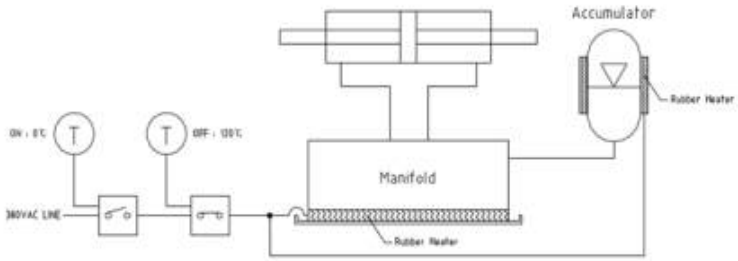


그림 3-7-8 유압식 선로전환기 작동유 히팅장치 개념도

○ 유압식 선로전환기 작동유 압력감지 장치

- 유압식 선로전환기의 시스템 이상 유무를 실시간 모니터링 함으로써 유압식선로전환기의 안전감시기능을 강화
- 현장에서 유압시스템의 이상 유무를 바로 확인이 가능하게 되고, 또 이상 확인시 신속히 대처할 수 있어서 열차운행의 안전을 제고

8절. 고속분기기용 유압식 쇄정실린더 시제품 제작 및 성능평가

1. 유압식 쇄정실린더 시제품 제작

가. 첨단부 선단 쇄정실린더 쇄정메커니즘 분석

- 아래의 그림에서와 같이 첨단부 쇄정실린더에 유압 작동유가 주입되면, 쇄정로드가 좌측에서 우측으로 이동을 시작함

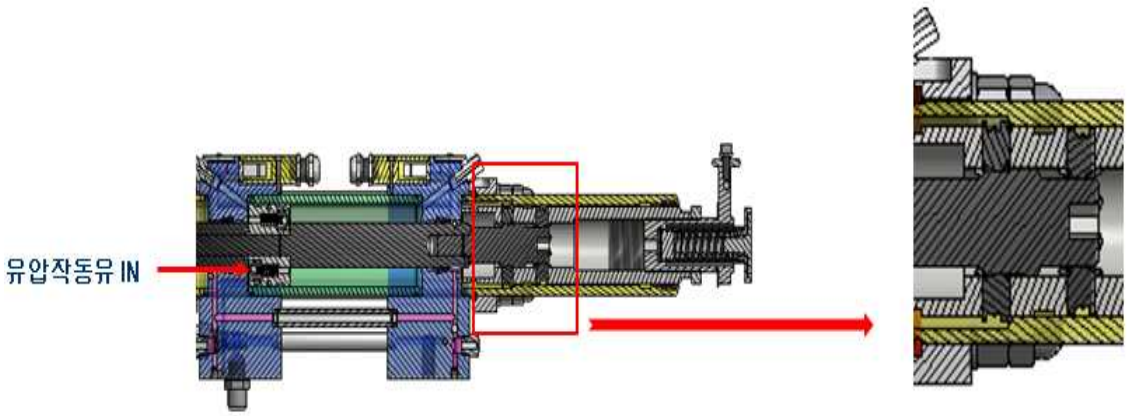


그림 3-8-1 첨단부 쇄정실린더 작동유 주입

- 쇄정로드가 일정 위치에 도달하면 쇄정피스가 쇄정로드에 새겨진 홈을 따라 축중심 쪽으로 이동함으로써 외측 쇄정튜브가 해정됨
- 이 때 쇄정피스는 아래의 그림에서와 같이 코일스프링에 의해 항상 축중심 쪽으로 힘을 받고 있는 상태이며, 쇄정피스의 쇄정로드 축중심으로의 이동은 외측 쇠정튜브의 해정과 동시에 내측 쇄정튜브를 로킹시키는 결과를 가져 옴

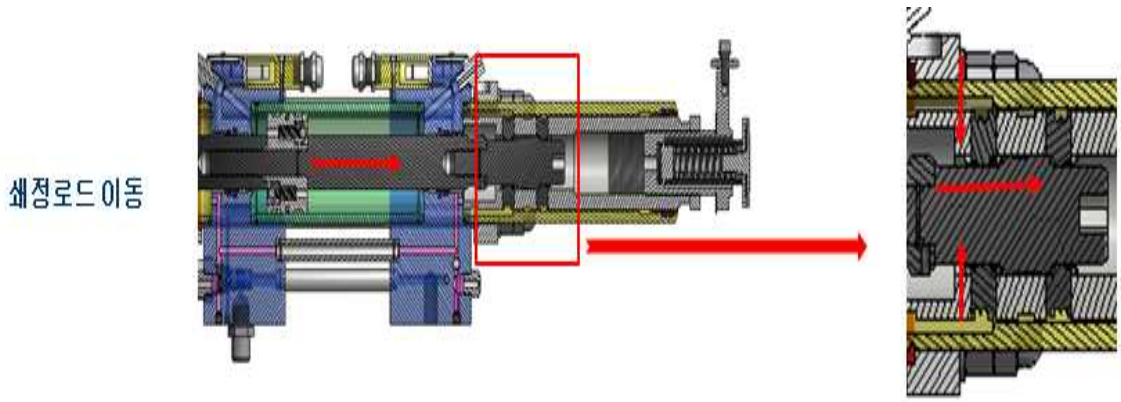


그림 3-8-2 외측쇄정튜브 해정 및 내측 쇄정튜브 록킹

- 내측 쇄정튜브의 로킹으로 쇄정로드와 내측 쇄정피스가 우측으로 아래의 그림에서와 같이 이동하기 시작함

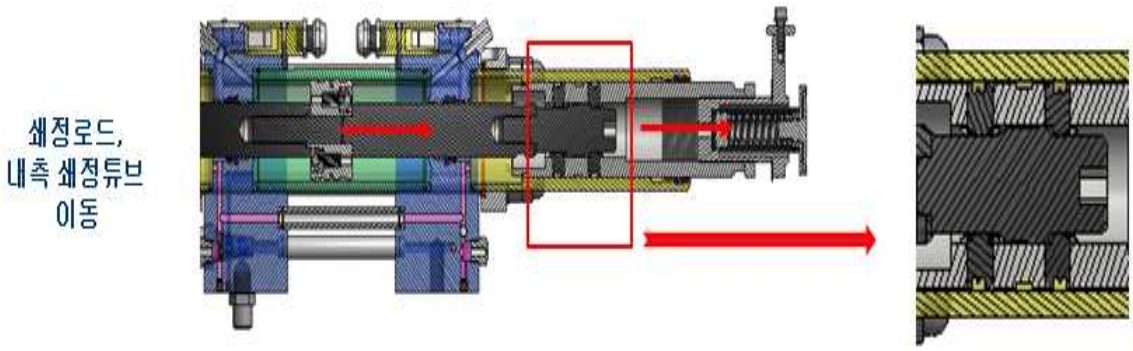


그림 3-8-3 쇄정로드 및 내측 쇄정튜브 이동

- 내측 쇄정튜브 끝단의 텅밀착부가 기본레일에 접촉하면 내측 쇄정튜브는 우측으로 움직임을 멈추지만 쇄정로드는 유압에 의해 계속 아래의 그림에서와 같이 우측으로 이동함

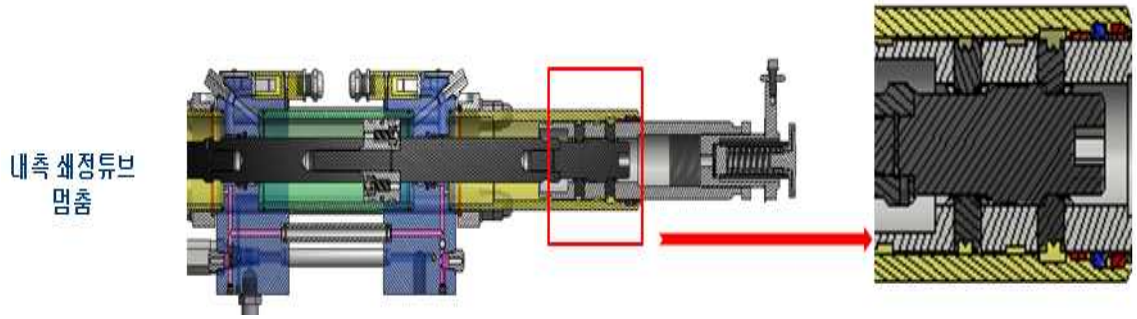


그림 3-8-4 텅밀착부가 기본레일에 접촉된 상태

- 내측 쇄정튜브가 멈추면, 이 때 우측 쇄정피스는 쇄정로드의 경사면을 따라 외측으로 움직이면서 외경이 확장되어 외측 쇄정튜브를 쇄정시킴으로써 첨단부 쇄정실린더의 쇄정이 이루어짐

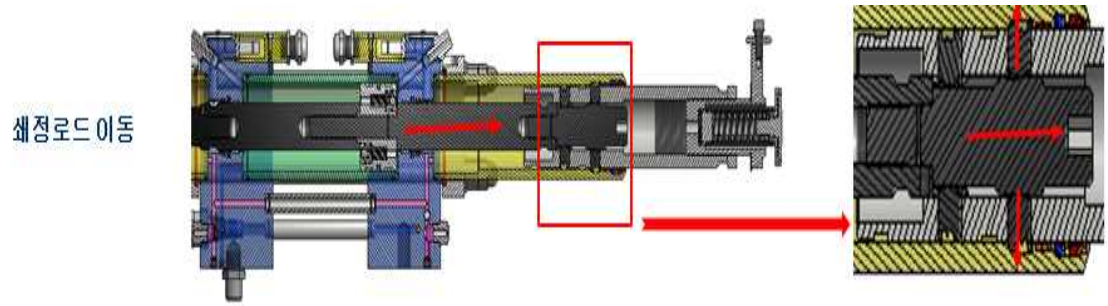


그림 3-8-5 외측 쇄정튜브가 쇄정된 상태

나. 첨단부 선단 쇄정실린더 구조설계 및 제작

- 외형 및 내형의 치수는 경부고속철 2단계구간에 부설된 오스트리아 Hydrostar사 제품과의 호환성을 고려하여 개발품의 사양은 기 부설된 제품과 동일하게 벤치마킹함

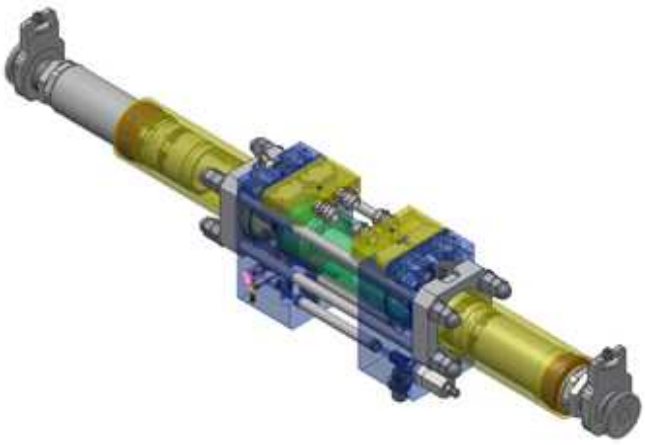


그림 3-8-6 첨단부 선단 쇄정실린더 모델링

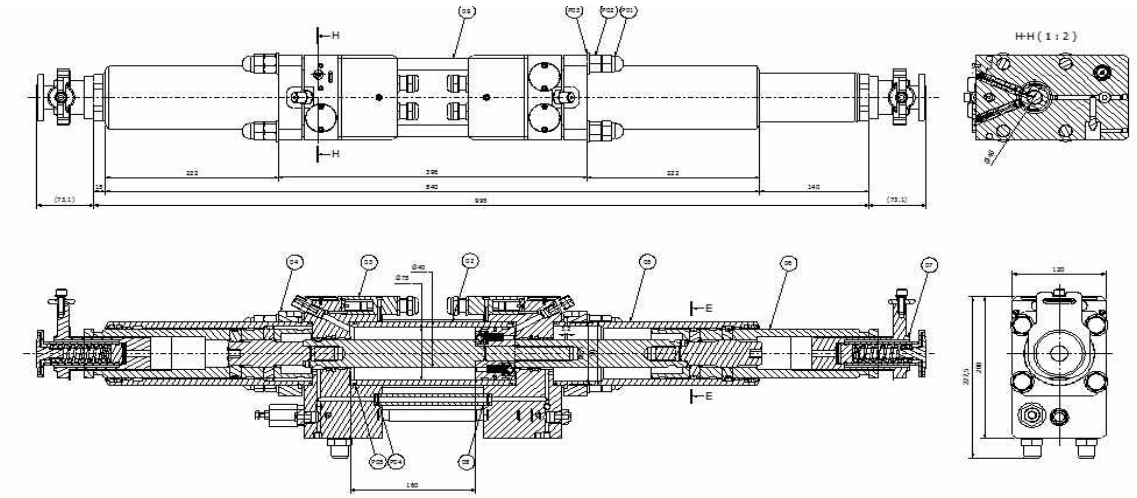


그림 3-8-7 첨단부 선단 쇄정실린더 단면도

- 피스톤로드는 실린더 튜브 내측에 위치하여, 튜브내측에 전달되는 압력을 힘으로 전환하여 텅레일을 좌우로 이송시키는 역할을 함
- 재질은 고강성을 가진 SCM440을 선정하였고, 선반가공전 조질처리(HRC 25~30)를 실시함
- 이후 팩킹과 웨어링 마찰부는 고주파 열처리(HRC 55~60 깊이1~1.5mm)를 실시함
- 열처리후 허용범위내의 치수를 맞추기 위해 1차 연삭가공 이후 경도 확보를 위하여 두께 22㎛의 경질크롬도금 처리하고 도금 후 최종치수를 맞추기 위해 재연마 처리함

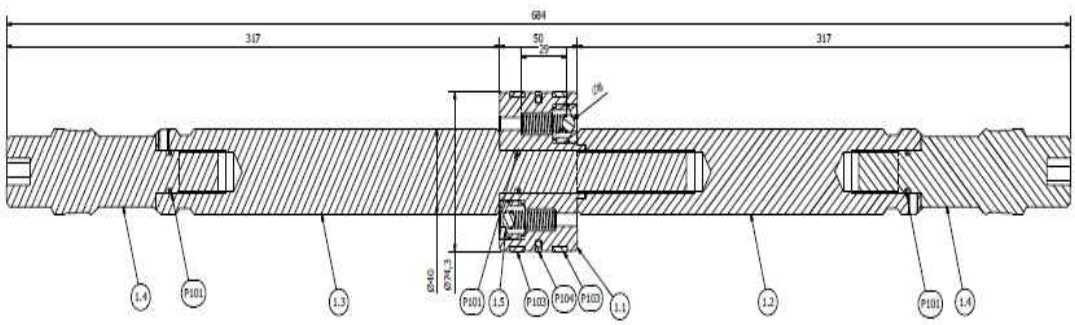


그림 3-8-8 피스톤 로드 단면도

- 피스톤 내부의 릴리프 밸브는 일정압력 도달 시 챔버 내부의 좌우측을 연결시켜 실린더 내부에 과도한 압력이 발생하는 것을 방지하거나, 실린더가 낼 수 있는 최대힘을 제한시키는 역할을 함

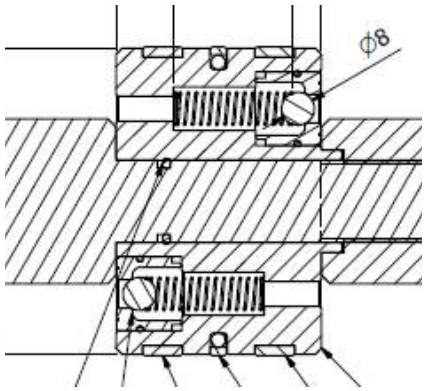


그림 3-8-9 피스톤 로드 내부의 릴리프 밸브 단면도

- 피스톤 내부의 토핑 밸브는 릴리프 밸브와 동일하게 피스톤 내부에 위치한 토핑밸브는 피스톤의 최종 위치에서 챔버 내부의 좌우측을 연결시켜 최종위치에서도 챔버 내부에 잔압이 남지 않게 하는 역할을 함

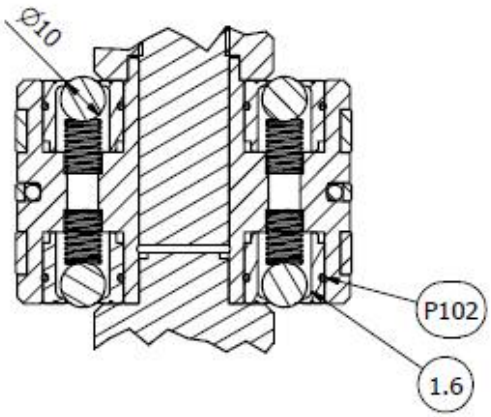


그림 3-8-10 피스톤 로드 내부의 토핑 밸브 단면도

- 압력조절밸브는 자체적으로 압력평형을 조절하고 설정한 압력에 따라 과부하의 경우 유압회로를 폐쇄하는 기능을 하며, 사전에 전환력 조절을 가능하게 해 줌

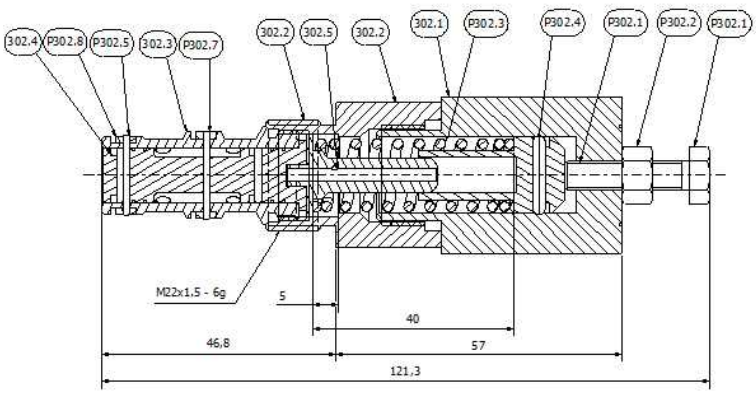


그림 3-8-11 압력조절 밸브 단면도

- 압력조절밸브의 원리에 대해 첨언하면, 각 챔버의 밸브는 반대편 챔버 라인에 파일롯트 라인으로 연결되어 있으며, 파일롯트의 압력(B챔버의 압력)이 압력조절밸브에서 설정한 압력보다 높아지면

압력조절밸브의 유로가 막히게 되며, 이는 더 이상 A챔버로 유량이 공급되지 못함을 의미함

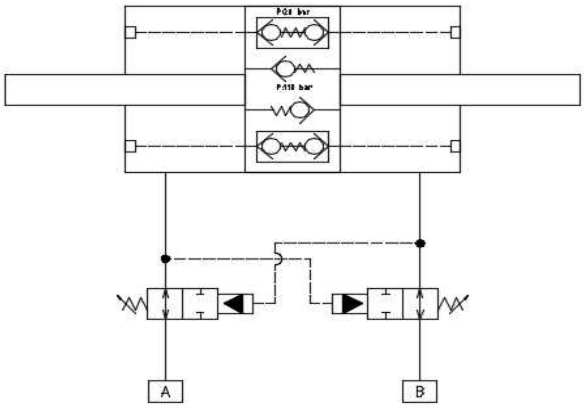


그림 3-8-12 압력조절밸브의 유압 회로도

- 텅밀착부는 텅레일이 이동한 최종위치에서 스프링을 사용하여 기본레일에 밀착력을 생성하는 역할을 함(2.0 ~ 2.5kN)

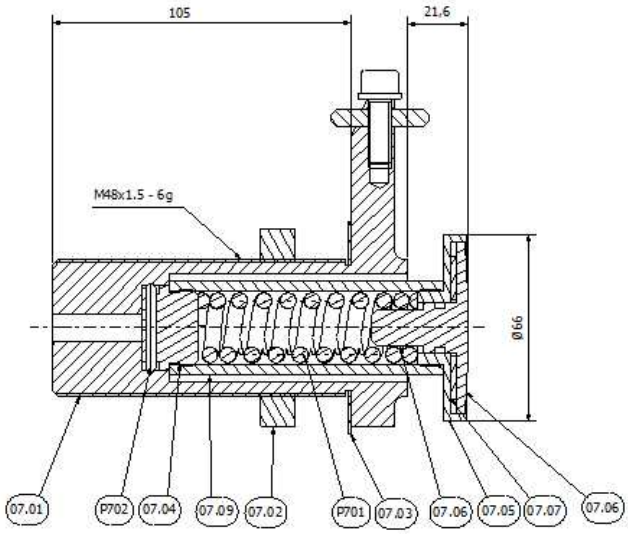


그림 3-8-13 텅밀착부 단면도

- 쇄정로드, 쇄정피스, 쇄정튜브는 쇄정실린더의 주요 마찰부로서 원활한 쇄정과 해정을 위해서는 마찰되는 부분의 형상이 매우 중요함
- 또한 쇄정이후 큰 하중을 받게 되고, 반복적으로 마찰이 일어나는 부분이므로 재질선정이 매우 중요함
- 피스톤로드와 쇄정피스, 튜브의 형상을 쇄정을 발생시키는 핵심부품으로 벤치마킹 모델을 3차원 측정 후 역설계 함
- 쇄정로드는 고강성을 가진 SCM440 선정, 일반적인 선반으로 가공이 불가하기 때문에 NC선반을 이용하여 가공하였으며, 형상이 복잡하여 연마작업이 불가하기 때문에 변형이 가장적은 질화열처리(HRC 56~60)로 설계함
- 쇄정피스 재질은 SCM415를 적용하였다. 일반적인 선반과 밀링으로 가공이 불가능하기 때문에 NC선반을 이용하여 외측형상을 가공하고, 와이어가공으로 4등분 하였으며 이후 쇄정튜브와 마찰면은 연마작업을 하고, 가공 후 열처리는 변형이 가장 적은 질화열처리(HRC56~60)로 설계함

- 쇄정튜브는 SCM420를 적용하였으며 선반 가공후 침탄 열처리(HRC 56~60) 연마작업으로 최종 치수맞춤 작업 설계함.
- 아래의 그림에서는 본 실린더에 적용된 쇄정로드, 쇄정튜브, 쇄정피스의 3D 모델을 보여주고 있음

쇄정로드	쇄정튜브	쇄정피스
		
		

그림 3-8-14 쇄정로드, 쇄정튜브, 쇄정피스의 모양

다. 크로싱부 쇄정실린더 쇄정메커니즘 분석

- 크로싱부 쇄정실린더의 우측 실린더에 유압 작동유가 주입되면 쇄정로드가 좌측방향으로 이동함

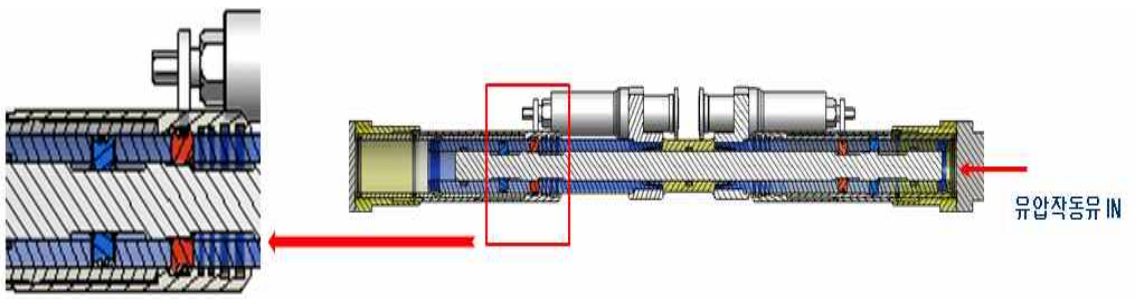


그림 3-8-15 크로싱부 쇄정실린더 작동유 주입

- 쇄정로드의 홈이 쇄정피스 위치에 오면 쇄정피스가 수축함으로써 외측 쇄정튜브는 해정되고 내측 쇄정튜브는 로킹됨

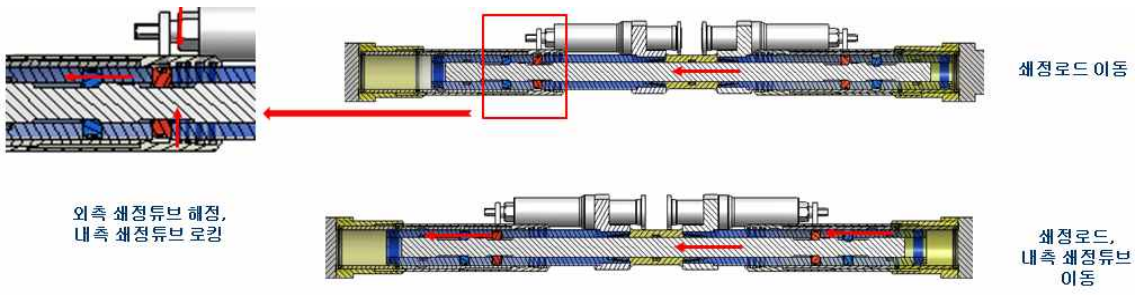


그림 3-8-16 외측 쇄정튜브 해정 및 내측 쇄정튜브 로킹 상태

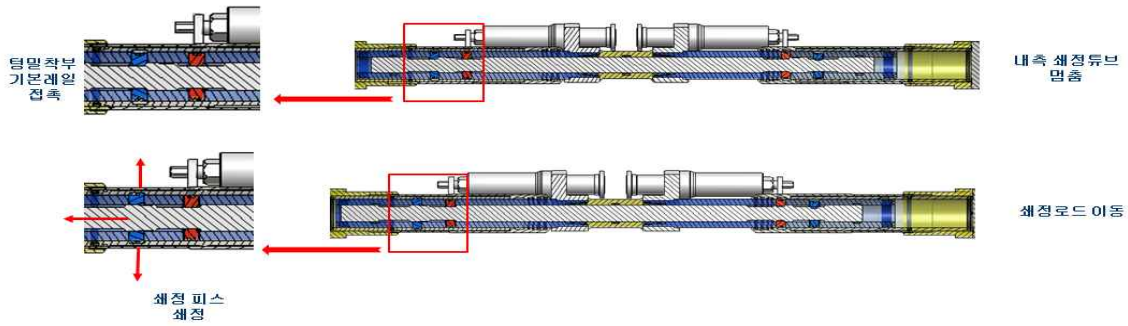


그림 3-8-17 외측 쇄정튜브가 쇄정된 상태

- 내측 쇄정튜브 끝단의 텅밀착부가 기본레일에 접촉하면 내측 쇄정튜브는 움직임을 멈추나 쇄정로드는 유압에 의해 계속 좌측으로 이동하고, 쇄정피스는 쇄정로드의 경사면을 따라 외측으로 움직이면서 외경이 확장되어 외측 쇄정튜브를 쇄정시킴

라. 크로싱부 쇄정실린더 구조설계 및 제작

- 외형 및 내형의 치수는 경부고속철 2단계구간에 부설된 오스트리아 하이드로스타사 제품과의 호환성을 고려하여 개발 대상품의 사양은 기 부설된 제품과 동일하게 벤치마킹함

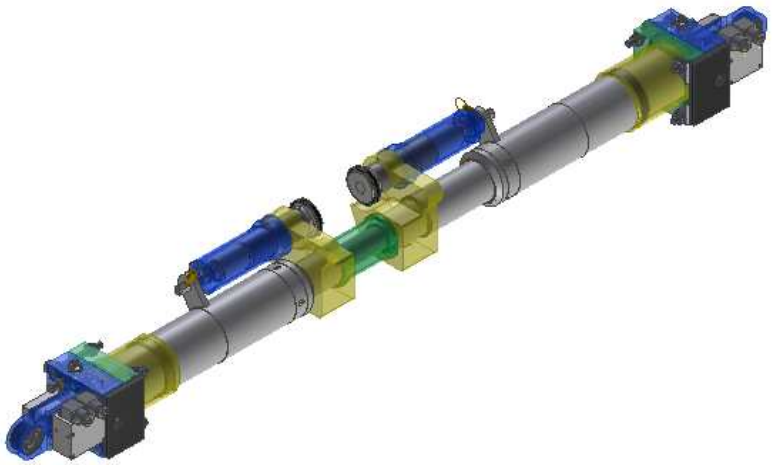


그림 3-8-18 크로싱부 선단 쇄정실린더 모델링

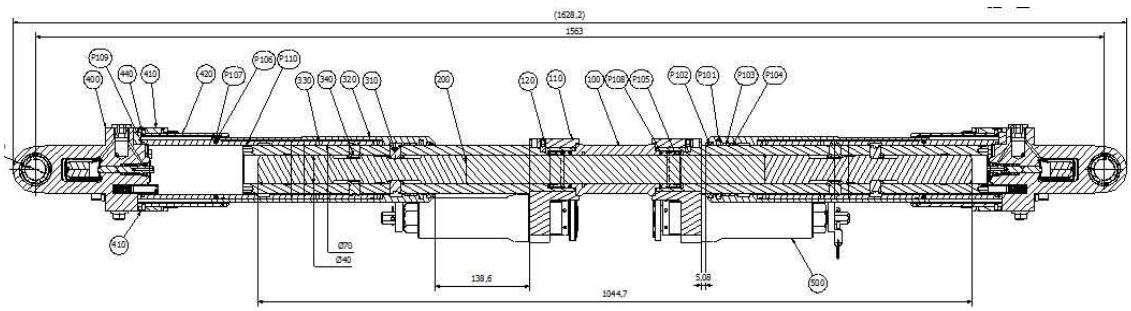


그림 3-8-19 크로싱부 쇄정실린더 단면도

- 피스톤로드는 실린더 튜브 내측에 위치하여, 튜브내측에 전달되는 압력을 힘으로 전환하여 텅레일을 좌우로 이송시키는 역할을 함
- 재질은 고강성을 가진 SCM440을 선정하였고, 선반가공전 조질처리(HRC 25 ~ 30)를 실시하였으며, 이후 팩킹과 웨어링 마찰부는 고주파 열처리(HRC 55 ~ 60 깊이 1.0 ~ 1.5mm)를 실시하고 열처리

후 허용범위내의 치수를 맞추기 위해 1차연삭가공, 이후 경도확보를 위하여 두께 22㎛의 경질크롬도금 처리하고, 도금 후 최종치수를 맞추기 위해 재연마로 설계함

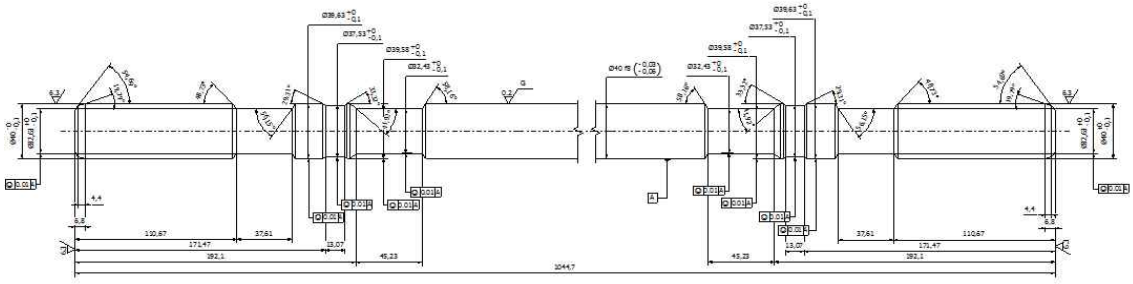


그림 3-8-20 피스톤 로드 단면도

- 쇄정스위치는 실린더 내부에서 기계적인 쇄정이 완료되었을 때 전기적인 신호를 발생하여 주는 장치로 기본적인 구조는 피스톤로드와 쇠정튜브의 쇄정위치가 일치했을 때 쇄정로드는 쇄정스위치에 연결된 커넥팅 핀을 누를 수 있게 되고, 이 핀이 눌러지게 되면 스냅 스위치는 개방되어 전기적인 신호를 발생할 수 있도록 설계
- 커넥팅 핀은 챔버 내부의 작동유가 누유되지 않도록 팩킹과 잘 맞아야 하고, 또한 스위치를 작동시킬 수 있도록 축방향으로 원활이 이동해야 하며, 또한 태핏과 구배각을 가지고 마찰운동을 해야 하므로 고정도, 고강성, 고조도가 요구되는 부품임
- 이를 위해 SCM440을 선정, 선반가공전 조질처리(HRC 25 ~ 30)를 실시하고 이후 팩킹과 마찰부는 고주파 열처리(HRC 55 ~ 60 깊이1.0 ~ 1.5 mm)를 실시하고, 열처리후 허용범위내의 치수를 맞추고 쇄정태핏과 마찰되는 면의 원활한 작동을 위하여 연마작업을 하도록 설계

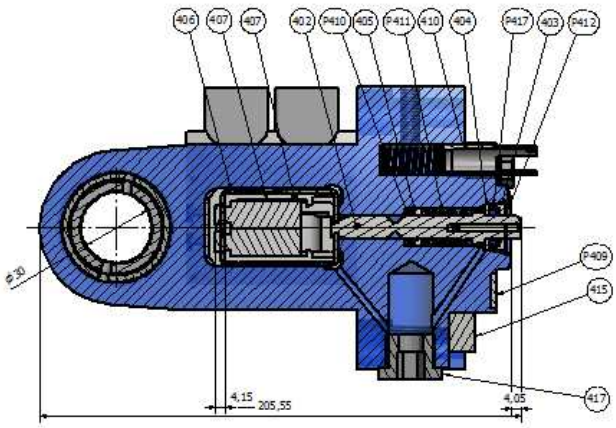


그림 3-8-21 쇄정스위치부

- 쇄정상태 표시창은 쇄정여부를 알리는 신호로서 쇄정로드가 끝단의 위치에 오게 되면 쇄정스위치에 연결된 커넥팅 핀을 바깥쪽으로 밀게 되며, 이때 커넥팅핀의 구배각에 의해 태핏이 위쪽으로 돌출하게 되고 이를 통해 어느 쪽의 시스템이 쇄정되었는지를 시각적으로 확인하는 구조

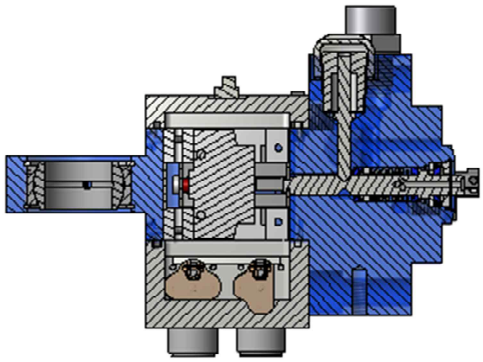


그림 3-8-22 쇄정상태 표시부

- 쇄정로드, 쇄정피스, 쇄정튜브는 쇄정실린ㄷ의 주요 마찰부위로서 원활한 쇄정과 해정작업을 위해서는 서로 마찰되는 부분의 형상이 매우 중요하며, 또한 쇄정이후 큰 하중을 받게 되고, 반복적으로 마찰이 일어나는 부분이므로 재질선정이 매우 중요함
- 피스톤로드와 쇄정피스, 튜브의 형상은 쇄정을 발생시키는 핵심부품으로 벤치마킹 모델을 3차원 측정한 후 역설계 함
- 쇄정로드는 고강성을 가진 SCM440 선정, 일반적인 선반으로 가공이 불가하므로 NC선반을 이용하여 가공하고, 형상 때문에 연마작업이 불가하므로 변형이 가장적은 질화열처리(HRC 56 ~6 0)를 실시하도록 설계
- 쇄정피스는 SCM415 선정, 일반적인 선반과 밀링으로 가공이 불가하기때문에 NC선반을 이용하여 외측형상을 가공하고, 와이어가공으로 4등분 하였으며 이후 쇄정튜브와 마찰되는 면은 연마작업을 하고 변형이 가장적은 질화열처리(HRC 56 ~ 60)를 실시하도록 설계
- 쇄정튜브는 SCM420 선정, 선반 가공후 침탄 열처리(HRC 56 ~ 60) 연마작업으로 최종 치수맞춤 작업 설계

쇄정로드	쇄정튜브	쇄정피스
		
		

그림 3-8-23 쇄정로드, 쇄정피스, 쇄정튜브의 모양

마. 쇄정실린더 재료

- 적용 재질 규격은 KS D 3711-82(KS) 과 KS D 3503-98(KS)을 준용하였으며, 적용범위는 유압식 선로전환기 첨단부 선단 쇄정실린더 제작에 대하여 적용

- 쇄정실린더의 주요부품으로는 피스톤로드, 쇄정로드, 내측 및 외측 쇄정튜브, 쇄정피스 등임
- 쇄정실린더의 제작 기준은 다음 표에 정리하였으며, 제작 허용오차는 제작도면에 명기함

표 3-8-1 주요부품 제작기준

구 분	제작 기준	비고
피스톤 로드	QT 및 고주파 열처리	
쇄정 로드	QT 및 질화 열처리	
외측 쇄정튜브	QT 및 질화 열처리	
내측 쇄정튜브	침탄 열처리	
쇄정 피스	QT 및 질화 열처리	

- 피스톤 로드는 다른 부품들과 기계적 마찰이 없는 피스톤의 재질은 SS41을, 유압실과 마찰이 있는 피스톤 로드의 재질은 SCM440을 적용함. SCM440은 QUENCHING, TEMPERING 열처리 작업하여 소재경도 HRC 25 ~ 30 유지
- 1차선반가공후 로드표면에 고주파 열처리 후 표면 경도는 HRC 55 ~ 60, 열처리 깊이는 1.0 ~ 1.5mm를 유지
- 이후 열처리 부위를 연삭하여 치수를 맞춘후 로드 표면을 22마이크로미터의 두께로 경질크롬 도금하고, 도금완료 후 폴리싱 작업하여 마무리

- 쇄정로드는 쇄정피스와 기계적 마찰이 수반되므로 SCM440으로 선정
- SCM440은 QUENCHING, TEMPERING 열처리 작업하여 소재경도 HRC25 ~ 30 유지
- 쇄정 및 해정을 위한 프로파일 형상을 가지므로 CNC 선반을 이용하여 가공
- 이후 질화열처리 후 표면 경도는 HRC 55 ~ 60, 열처리 깊이는 0.5 ~ 0.7mm를 유지
- 가공 완료 후 방청을 위한 인산염 표면처리

- 외측 쇄정튜브는 쇄정피스와 기계적 마찰이 예상되는 부위이므로 재질은 SCM440으로 선정
- SCM440은 QUENCHING, TEMPERING 열처리 작업하여 소재경도 HRC 25 ~ 30 유지
- 실링 목적의 팩킹과 센터링 목적의 웨어링이 설치되는 홈가공 공정이 많으므로 선반 가공시 흔들림과 센터맞춤작업에 주의
- 질화열처리 후 표면 경도는 HRC 55 ~ 60, 열처리 깊이는 0.5 ~ 0.7mm를 유지하고, 가공 후 방청을 위한 인산염 표면처리하는 공정으로 설계

- 내측 쇄정튜브는 쇄정피스와 기계적 마찰과 유압실과 마찰이 예상되므로 내측 쇄정튜브의 재질은 SCM440으로 선정
- 밀링가공 및 선반가공 후 침탄열처리 작업 후 표면 경도는 HRC 55 ~ 60, 열처리 깊이는 0.8mm를 유지
- 침탄열처리 작업시 나사 부위는 방탄작업하여 열처리 되는 것을 방지
- 이후 열처리 부위를 연삭하여 최종 치수를 맞추고 가공 완료후 방청을 위한 인산염 표면처리를 실시하는 공정으로 설계

- 쇄정피스는 내측쇄정튜브, 외측쇄정튜브와 기계적 마찰이 예상되는 부위이므로 재질은 SCM440으로 선정
- SCM440은 QUENCHING, TEMPERING 열처리 작업하여 소재경도 HRC 25 ~ 30 유지
- 쇄정 및 해정을 위한 프로파일 형상을 가지므로 CNC 선반을 이용하여 가공하고 와이어 컷팅 가공으로 4등분 후 질화열처리 작업 후 표면 경도는 HRC 55 ~ 60, 열처리 깊이는 0.5 ~ 0.7mm를 유지해야 하고 가공 완료 후 방청을 위한 인산염 표면처리를 실시하는 공정으로 설계

바. 쇄정실린더 적용재료의 기계적 성질과 검증(실적증빙자료-34)

- 쇄정실린더에 사용된 재료는 SS41과 SCM440이며, 이들의 제작공정 및 경도는 아래 표에 나타냄

표 3-8-2 사용재료의 자재사양서

구분	제작 공정	재질	Mill Sheet	화학성분/경도	공인시험기관
피스톤 로드	QT 및 고주파열처리	SS400	KS D 3503-98	화학성분	한국화학융합시험연구원
		SCM440	KS D 3711082	HRC 55~60	
쇄정 로드	QT 및 질화 열처리	SCM440	KS D 3711082	HRC 55~60	
외측 쇄정튜브	QT 및 질화 열처리	SCM440	KS D 3711082	HRC 55~60	
내측 쇄정튜브	침탄 열처리	SCM440	KS D 3711082	HRC 55~60	
쇄정 피스	QT 및 질화 열처리	SCM440	KS D 3711082	HRC 55~60	

- 재료의 기계적 성질 검증을 위해 SS41과 SCM440의 각각의 제작공정과 열처리를 거친 재료의 시편을 채취하여 한국화학융합시험연구원(KTR)에 의뢰하여 검증함
- 그 결과 사용재료 모두 KS 규격을 만족함을 확인

2. 유압식 쇄정실린더 실내 성능평가

가. 쇄정실린더 작동성능 및 내구성능 시험기 설계 및 제작

- 유압식 쇄정실린더의 작동성능과 내구성능을 평가할 수 있는 측정기를 설계 제작함
- 실린더의 기초성능인 전환력, 스트로크, 쇄정력, 작동압력의 측정이 가능하도록 설계하였으며, 이를 위해 전환력은 로드셀, 스트로크는 변위센서, 작동압력은 압력센서를 사용하여 계측하고 실시간으로 데이터를 PC에 저장하는 시스템을 설계 및 제작함
- 첨단부와 크로싱부의 쇄정실린더의 기계적 구조 및 작동 메커니즘이 다르므로 각각의 실린더에 적합하도록 2종류의 시험기를 설계 제작함

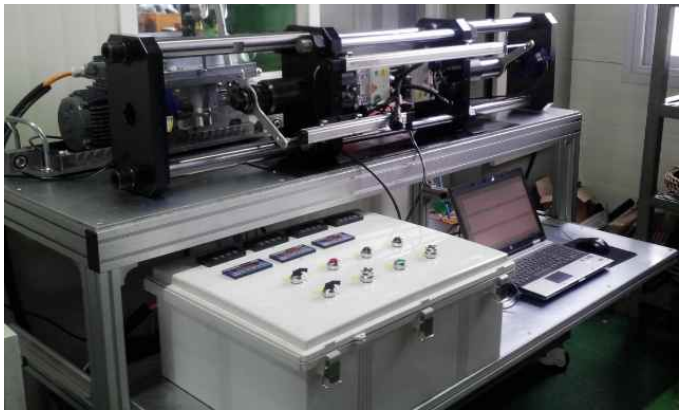


그림 3-8-24 첨단부 쇄정실린더 성능시험기 모습

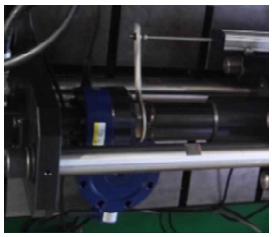
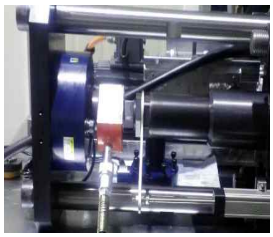
전환력	스트로크	작동압력	쇄정력
			

그림 3-8-25 첨단부 쇄정실린더 성능시험기에 장착된 센서



그림 3-8-26 크로싱부 쇄정실린더 성능시험기 모습

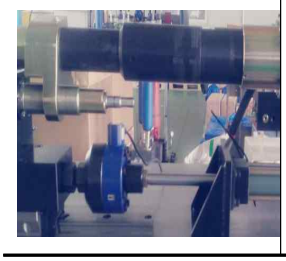
전환력	스트로크	작동압력	쇄정력
			

그림 3-8-27 크로싱부 쇄정실린더 성능시험기에 장착된 센서

- 쇄정실린던의 쇄정력 평가는 Hydrostar사 평가규정을 따랐으며, 50kN 부하 10회 반복시험, 75kN

부하 3회 반복 그리고 100kN 부하 3회 반복 시험시 무사고 여부를 기준으로 적용

- 아래의 그림은 첨단부 쇄정실린더의 우측 쇄정력 테스트 결과(유지시간 10초)이며, 테스트 후 작동에 이상이 없었음

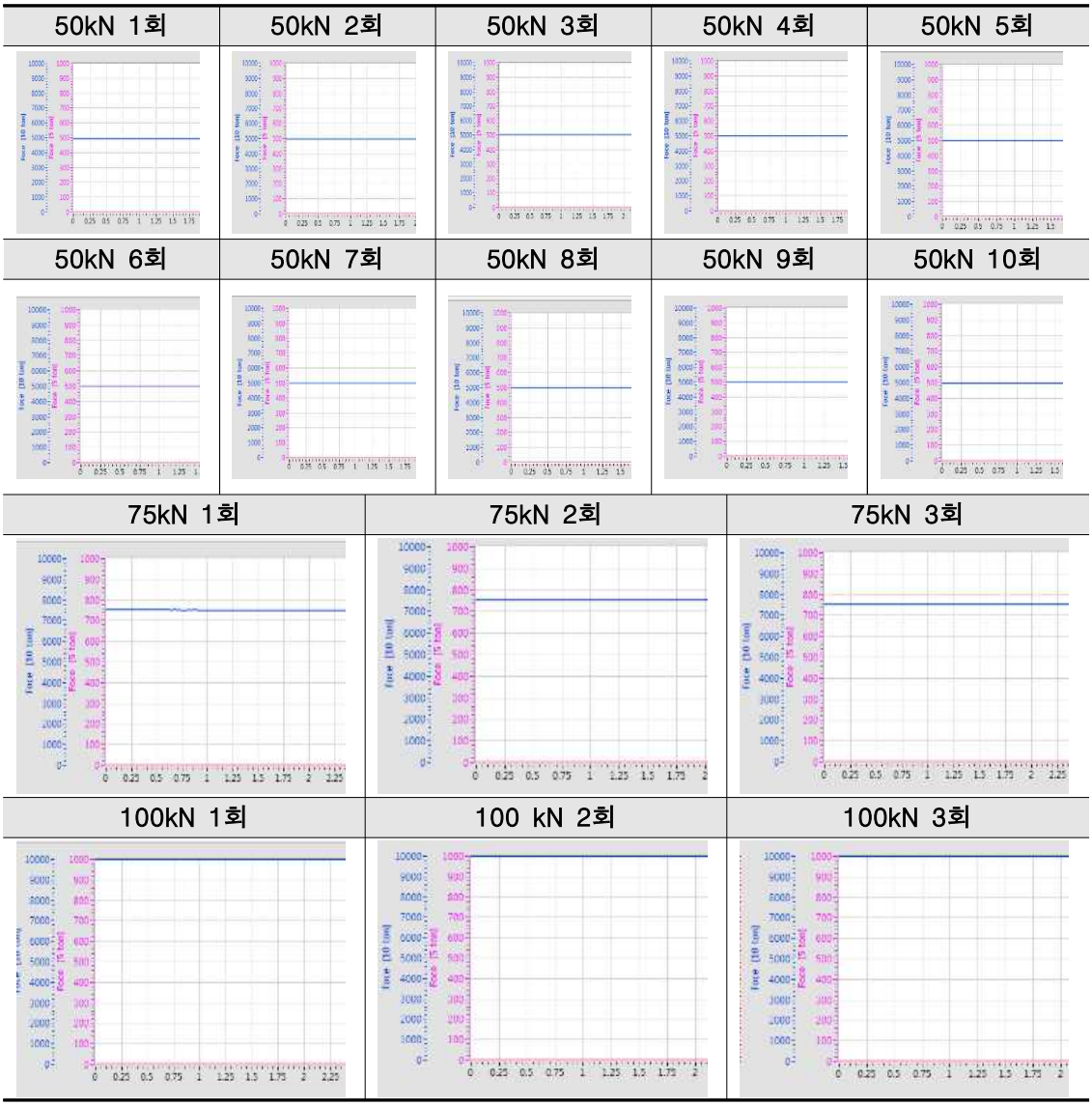


그림 3-8-28 첨단부 쇄정실린더 우측 쇄정력 평가 결과(예)

- 첨단부쇄정실린더의 좌측 쇄정력 테스트 결과(유지시간 10초)이며, 테스트 후 작동에 이상이 없음

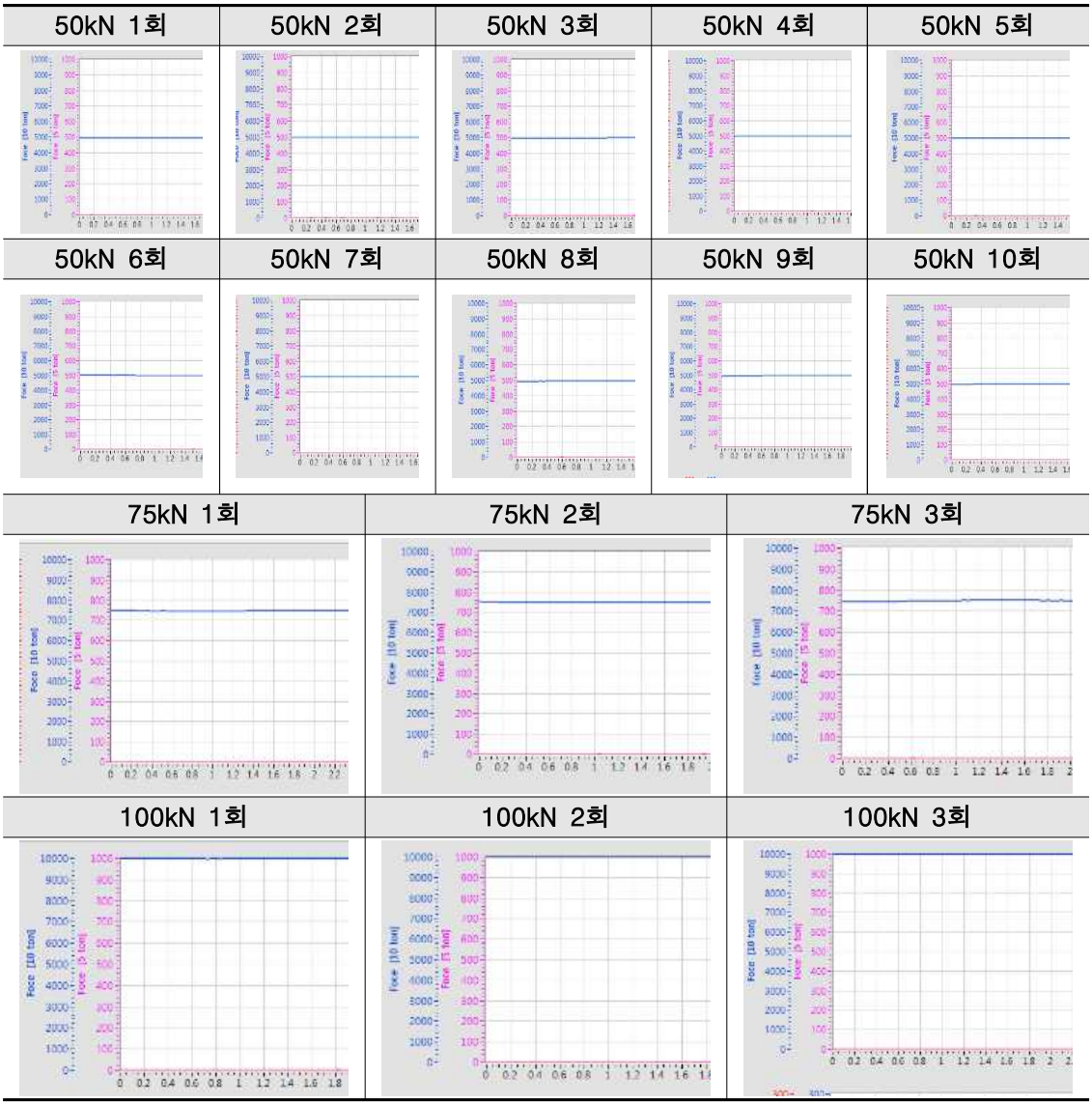
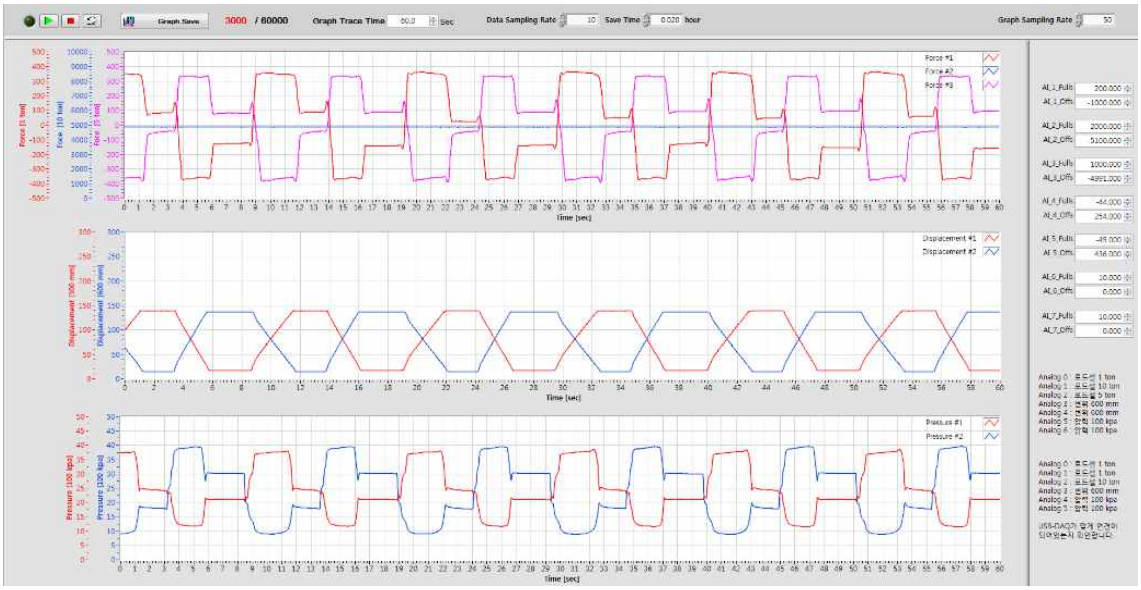


그림 3-8-29 첨단부 쇄정실린더 좌측 쇄정력 평가 결과(예)

- 부하 테스트의 경우 선로저항을 고려하여 좌우 실린더에 각각 370kg$_f$ 저항력을 걸어준 상태에서 주며 테스트 실시함
- 370kg$_f$ 전환력 발생시 37 ~ 40bar 정도의 압력이 필요함을 확인함



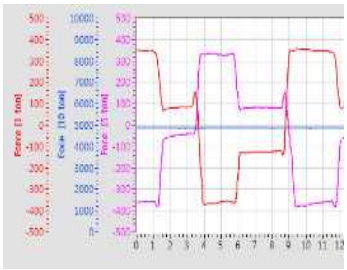
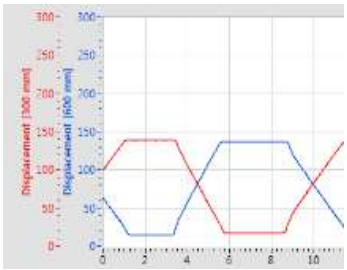
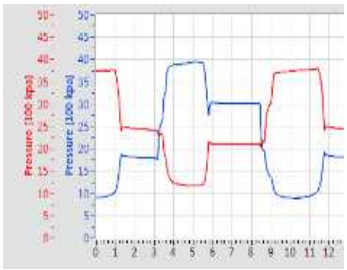
전환력	스트로크	작동 압력
		

그림 3-8-30 첨단부 쇄정실린더 작동압력시험 결과(예)

- 크로싱부 쇄정력 평가기준은 첨단부 쇄정실린더의 경우와 마찬가지로 좌측, 우측 각 50kN 부하 10회 반복, 75kN 부하 3회 반복, 100kN 부하를 주면서 3회 반복 시험함
- 다음 그래프는 첨단부쇄정실린더의 우측 쇄정력 테스트 결과(유지시간 60초)이며, 테스트 후 작동에 이상이 없었음
- 크로싱부 쇄정실린더 부하테스트는 좌우 각각 1,020kg$_f$의 선로저항을 걸어주며 테스트 하였으며 그 결과는 아래의 그림에 예시함

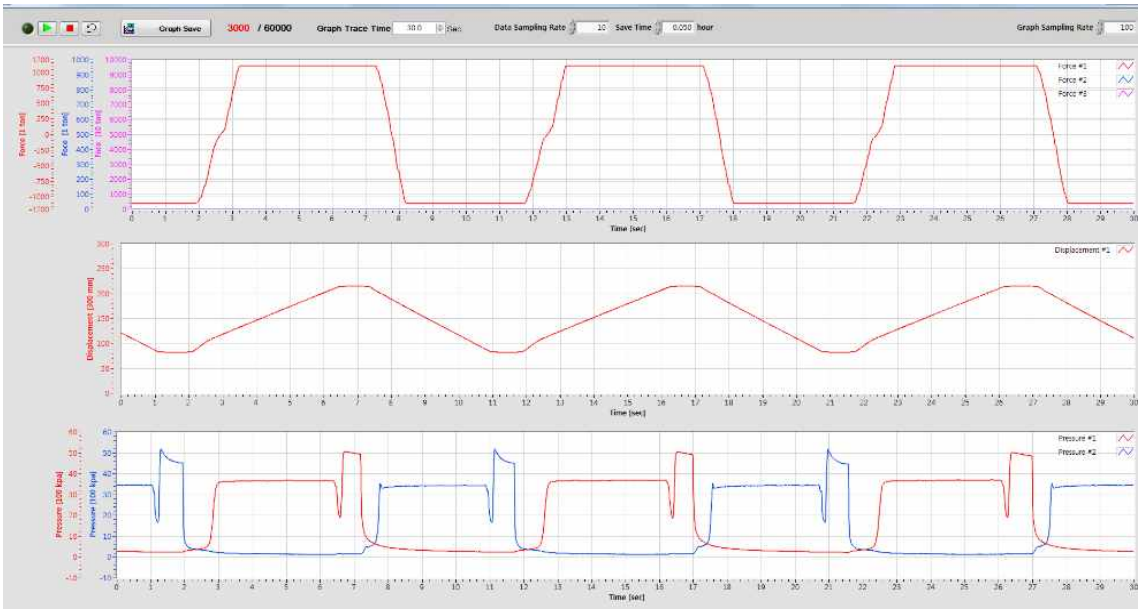


그림 3-8-31 크로싱부 쇄정실린더 작동압력시험 결과(예)

나. 진동내구성능 평가(실적증빙자료-35)

- 시험규격은 KS R 9186을 적용
- 지그 포함 실린더 중량이 첨단부 실린더가 250 kg, 크로싱부 실린더가 525 kg에 달하여 대용량 가진기(20톤)와 1.5 m × 1.5 m 이상의 Test Bed를 구비한 자동차부품연구원(KATEC) 시험기 활용
- 1차 시험은 군산대 KATIC시험기를 활용하여 시험을 진행하였으나 시험기의 용량 미달로 시험초기에 시험기가 멈춰서 더 이상 시험을 진행할 수 없게 되어, 2차로 KATEC 시험기를 사용하여 평가
- 따라서 시험용 지그 수정 및 재시험으로 일정이 지연된 점이 있었음
- KATEC 시험결과 2종류의 쇄정실린더 모두 외관상 크랙이나 파손 및 누유 등의 이상현상이 없었으며, KS R 9186에 의거한 가진 후 각각의 쇄정실린더의 작동시험 결과 이상없이 작동하였음



그림 3-8-32 진동내구시험 준비_백색페인트도포(좌), 진동내구시험기조립(우)

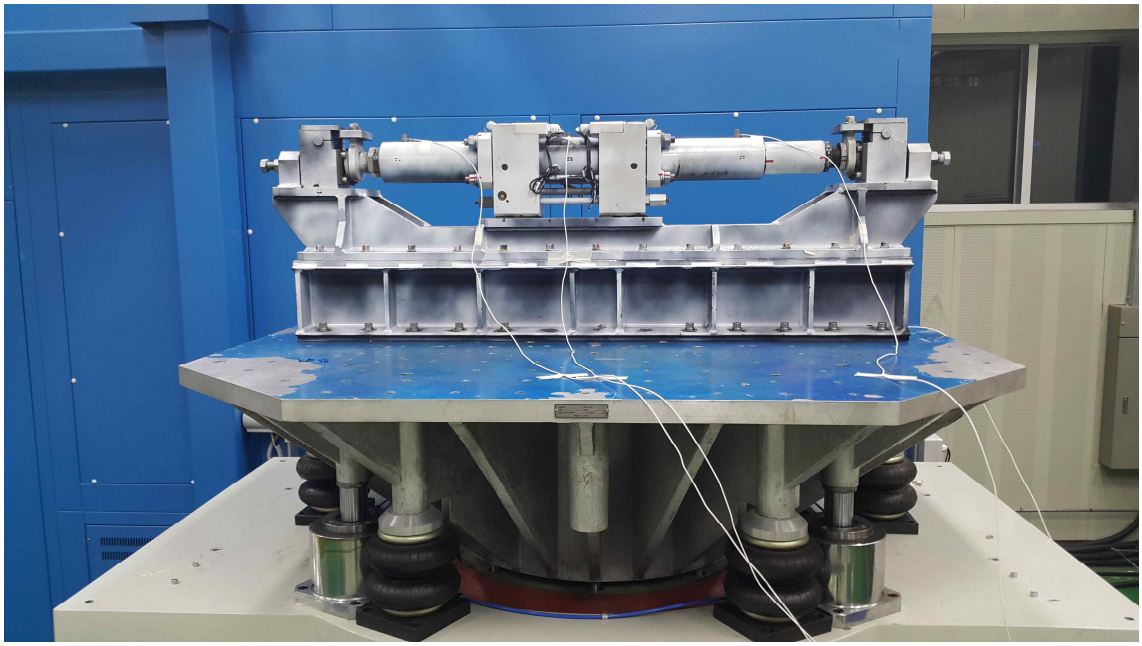


그림 3-8-33 첨단부 쇄정실린더가 진동내구시험기에 조립된 모습



그림 3-8-34 크로싱부 쇄정실린더가 진동내구시험기에 조립된 모습

다. 온도내구성능 평가(실적증빙자료-36)

- 쇄정실린더는 선로상에 노출되어 혹서기와 혹한기의 온도조건 하에서도 정상적인 작동을 보증하여야 하므로 이러한 환경조건에 견디는 시험의 일환으로 쇄정실린더의 온도시험을 실시함
- 쇄정실린더의 온도시험은 IEC 60068-2-1 저온검사 규격과 IEC 60068-2-2 고온검사 규격에 의거하여 실시하였으며, 시험처는 공인시험기관인 군산대학교 기술혁신센터(KATIC)에 의뢰하여 입회시험으로 진행함
- 저온시험의 경우 쇄정실린더를 -35℃에서 16시간 방치시킨 후 정상작동 여부를 확인하였고, 고온시험의 경우 70℃에서 16시간 방치시킨 후 정상작동여부를 확인함
- 그 결과 2 종류의 쇄정실린더 모두 각각 고온 및 저온 처리 후 작동시험결과 정상 작동함을 확인함



그림 3-8-35 온도처리를 위한 환경쳄버의 쇄정실린더 모습



그림 3-8-36 첨단부 쇄정실린더 온도처리후 쇄정력을 시험하는 모습

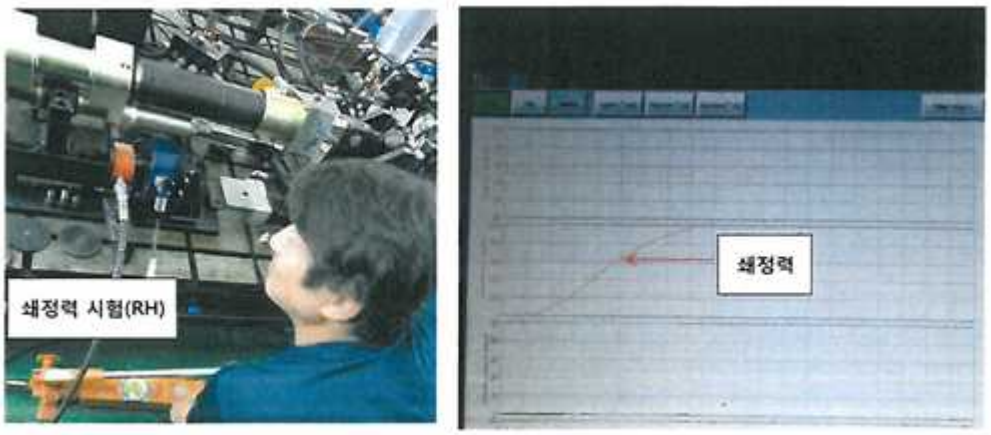


그림 3-8-37 크로싱부 쇄정실린더 온도처리후 쇄정력을 시험하는 모습

라. 방수내구성능 평가(실적증빙자료-37)

- 쇄정실린더는 선로상에 노출되어 하절기 폭우에도 정상작동 해야 하므로 KS R 9145 규격과 KS C IEC 60529 규격을 적용하여 방수시험을 실시함
- 검증평가에 IPx5 방수등급을 적용하였으며, 이는 모든 방향에서 물분사 호스 노즐직경 6.3mm, 노즐 거리 2.5~3m에서 12.5L/min ± 5%유량에서 3분 이상 노출시키는 조건이며, 쇄정실린더에 이와 같은 조건의 살수를 시킨 후 정상작동여부로 검증함
- 시험은 공인시험기관인 한국건설생활환경시험연구원(KCL)의 입회시험방식으로 실시함
- 시험결과 살수 후 쇄정실린더가 이상 없이 정상 작동함을 확인함



그림 3-8-38 크로싱부 쇄정실린더 방수내구시험하는 모습



그림 3-8-39 첨단부 쇄정실린더 방수내구시험하는 모습

마. 작동내구성능 평가(실적증빙자료-38)

- 유압식 선로전환기 쇄정실린더는 한국철도표준규격이 아직 마련되지 않았으므로, 본 과제에서는 유압식쇄정실린더와 동일 기능을 수행하면서 모터구동방식을 채택한 전동식선로전환기에 적용 중인 MJ81 모델의 검증규격인 KRS SG 0026-12(R)의 작동내구시험규격을 적용하여 전환횟수 20만회 전환 정상작동을 목표로 설정함
- 평가시험은 공인시험기관인 한국건설생활환경시험연구원(KCL)의 입회시험방식으로 실시하였으며, 20만회 이상 없이 정상작동함을 확인함

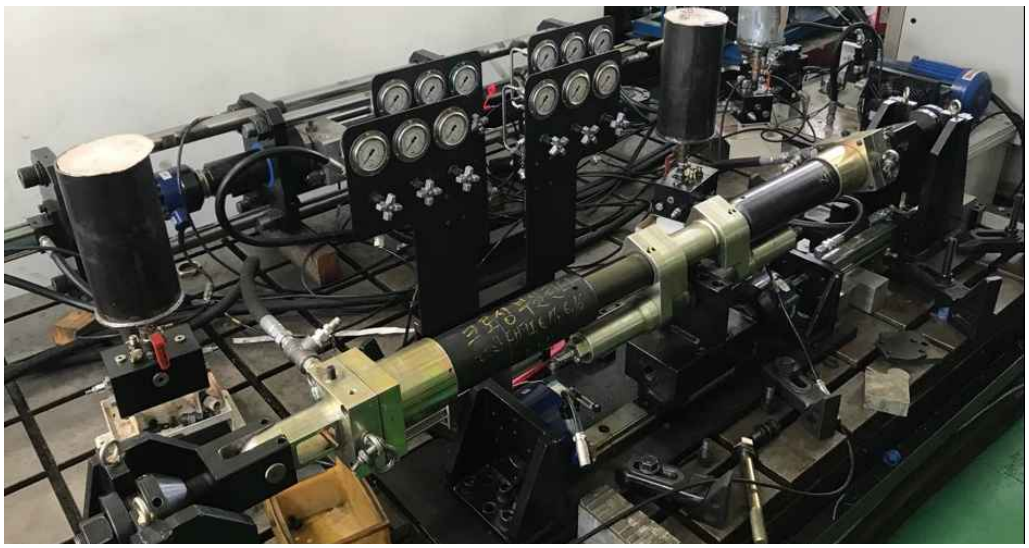


그림 3-8-40 첨단부 및 크로싱부 쇄정실린더 작동내구시험하는 모습



그림 3-8-41 쇄정실린더 작동내구시험 중인 제어계측기의 모습

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1절. 목표 달성도

1. 1차년도 목표 달성도

목 표	달 성 도(%)	내 용
▪ 고속분기기 차량동력학 해석 기술 개발 및 검증 · 선형 · 단면 · 하부강성 ▪ 차량동력학 해석 Tool kit 개발 및 S/W 등록 3건	100	▪ 고속분기기 곡선부 선형 설계 이론 조사 및 분석 ▪ 고속분기기 단면 가공 방법 이론 조사 및 분석 ▪ 고속분기기 하부강성 모델링 방법 이론 조사 및 분석 ▪ 고속분기기 선형 차량동력학 해석 Tool kit 개발 및 검증 ▪ 고속분기기 단면 차량동력학 해석 Tool kit 개발 및 검증 ▪ 고속분기기 하부강성 차량동력학 해석 Tool kit 개발 및 검증 * 차량동력학 해석 Tool kit 개발 및 S/W 등록 3건
▪ 고속분기기용 선로전환기(전기식, 유압식) 해석 기술 개발 및 검증 · 전기식 선로전환기 전환력 매커니즘 · 선로전환기(전기식, 유압식) 성능(전환력, 내구성) 요구 사항 도출 · 전기식 선로전환기 동력 장치 및 밀착 검지기 성능 사양 정립 ▪ 전기식 선로전환기 전환력 매커니즘 요구사항 도출 : 1건 ▪ 선로전환기(전기식, 유압식) 성능(전환력, 내구성) 요구 사항 도출 2건 ▪ 전기식 선로전환기 동력 장치 및 밀착 검지기 성능 사양 정립 : 2건	100	▪ 고속분기기용 전기식 선로전환기 첨단부 전달 메커니즘 요구사항 도출 ▪ 고속용 전기식 선로전환기 성능 요구사항 도출 ▪ 유압식 선로전환기 첨단부 및 크로싱부 성능 기본요구사항 도출 ▪ 전기식 선로전환기 동력장치 기계부 및 전기부 설계 기준 제시 ▪ 전기식 선로전환기 기계식 밀착검지기 설계 기준 제시 * 유압식 선로전환기 성능평가 성과 국외발표 : 1건 * 전기식 선로전환기 전환력 매커니즘 요구사항 도출 : 1건 * 선로전환기(전기식, 유압식) 성능(전환력, 내구성) 요구 사항 도출 2건 * 전기식 선로전환기 동력 장치 및 밀착 검지기 성능 사양 정립 : 2건
▪ 분기기 국산화 기술 개발 · 텅레일 현황 · 텅레일 단면 형상 설계, 분석 · 체결시스템 조사 분석 · 분기기용 체결시스템 개량방안 정립 및 설계	100	▪ 텅레일 종류 및 EN규격 특수레일 분석 ▪ 단면 형상 설계 및 컨텍 조건적용 구조계산 ▪ 단면 설계(허용응력 130㎫이하,Ix,y만족) ▪ 체결시스템 국내, 외 사례 조사 ▪ 체결시스템 설계 이론 분석 ▪ 분기기용 체결장치 기준 조사 ▪ 현 체결시스템의 분석 및 개량 설계 ▪ 텅레일 단면 설계 : 특허2건, 논문 1건 * 텅레일 구조계산서, 설계도: 1건 * 체결장치 개량 제작도:1건
▪ 분기기 성능 개량 기술 개발 · 전기식 선로전환기 전환력 전달장치 · 동력장치	100	▪ 연축기 분석 및 마그네틱클러치설계 1건 ▪ 철관장치 조절기능 강화 스퀘어 설계 1건 ▪ 쇄정장치, 쇄정검지기 개량설계 1건 ▪ 유지보수성 강화 노즈가동크로싱 설계 1건

· 쇄정장치, 쇄정검지기 개량, 개발품간 인터페이스 검토 · 노즈가동 크래들 · 롤러상판 · 히팅장치 설계 · 접착절연 및 이음매판 설계		▪ 커버강화, 조절기능강화 롤러상판 설계 1건 ▪ 좌,우 공용화 히팅장치 설계 1건 ▪ 고강성화 접착절연 및 이음매판 설계 1건 * 특허4, 접착절연레일 논문 1건
▪ 궤도 품질 고정밀도를 위한 도상 설계 및 시공 기술 개발 · 궤도 품질 고정밀도 설계 및 시공 기술 개발	100	▪ 고정밀 부설공법 사례 조사 ▪ 패널(PreCAST)적용성 검토 설계 1건 ▪ 기본 패널 컨셉 3D풀모델 1건 * 개발안 도상 설계서 : 1건
▪ 유압식 선로전환기 국산화 방안 정립 · 샘플분석 개선점 도출 · 개발방안 설정 보고서 · 단품설계, 제작	70	▪ 샘플분석 개선점 도출 : 개선점 3건 도출 ▪ 개발방안설정 : 성능목표확인, 개선점 적용, 출원특허기술적용, 단품시험 성능기준 적용 ▪ 단품설계제작 : 단품 성능기준 확보 * 개선점 특허 출원 : 4건 * 시제품 제작 3건

2. 2차년도 목표 달성도

목 표	달성도(%)	내 용
▪ 차량동력학 개발 해석 Tool Kit검증 · 요구조건 수립 및 검증 · 현장 계측 Data와 비교 검증	100	▪ 현장계측 · 측정구간 : 호남고속철도 131km(정읍역) 부근 상선(T2) · 측정개소 : #6709(T2, 배향, F18.5) · 측정차량 : KTX(최대속도 300km/h) 및 HEMU(최대속도. 370km/h) 시운전 시험열차 · 고속분기기 구조적 안전성 및 진동내구성 검토 ▪ 차량동력학 개발 해석 Tool Kit검증 · 모델링 결과 출력 기능 추가 및 검증 · 현장계측결과와 비교를 통한 해석결과 적정성 검증
▪ 분기기/차량 I/F를 고려한 고속분기기 설계 기술 개발 및 현장부설용 시제품 분기기 주요 설계요소 정립 · 선형 · 텅레일 단면 ▪ 현장부설용 시제품 성능 목표 · Jerk≤1.73m/s^3(F18.5 100km/h) · 공격각≤1.0° · 접촉각≥40.°	100	▪ 현장부설용 시제품 최적 FAKOP 및 텅레일 단면 정립 · 최적 FAKOP 선형 : 10mm · 최적 텅레일 단면 : 60E1A4 ▪ 현장부설용 시제품 성능 · Jerk : 0.95m/s^3(F18.5 100km/h) · 공격각 : 최대 0.14° · 접촉각 : 최소 66.5° ▪ 발표 1편, S/W 등록 2편
▪ 분기기/선로전환기 I/F를 고려한 고속분기기용 선로전환기(전기식, 유압식) 설계 기술 개발 · 선로전환기 전환력 전달 매커니즘 · 유압식 선로전환기 쇄정 실린더	100	▪ 전기식 선로전환기 전환 메커니즘 전환력 해석 프로그램 개발 · 전환 메커니즘 모델링 및 해석프로그램 검증 · 메커니즘 형상 설계에 따른 전환력 해석 ▪ 유압식 선로전환기 전환력 해석 프로그램 개발 및 쇄정장치 개선(안) 검증 · 분기기 I/F 가변형 유압식 선로전환기 전환력 해석 프로그램 개발 · 유지보수성과 진동내구성 향상을 위한 쇄정장치 개선(안) 해석 검증 ▪ 발표 1편
▪ 고속분기기 성능 평가(현차시험, 모니터링) 절차서 정립 및 성능 평가 · 고속분기기 현장 성능 평가(현차시험, 모니터링) 절차서 정립 · 고속분기기 현장 부설시험 계획 수립	100	▪ 국내, 외 관련 분기기 성능 평가 기준 분석을 통한 현차시험 및 모니터링 절차서 정립 ▪ 호남고속선 및 원주~강릉 구간 Test-Bed 검토
▪ 고속분기기 국산화 기술 개발 · 텅레일 생산설비(롤, 유도설비) 구축 및 시제품 제작	50	▪ 텅레일 단면형상 설계 및 재료 선정 ▪ 텅레일 단면 구조적 안전성 검증 ▪ 국산 텅레일 경제성 및 적용성 향상 방안 검토 ▪ 텅레일 생산설비 구축을 위한 제작사(현대제철)와 개발협약 체결 ▪ 발표 1, 디자인 출원 1건
▪ 고속분기기용 유압식 선로전환기 쇄정 실린더 국산화 기술개발 · 첨단부 선단 쇄정실린더 사양 정립/시제품 설계 및 제작 · 크로싱부 쇄정실린더 사양 정립/시제품 설계 및 제작 · 전환 횟수를 알 수 있는 카운터 장착	100	▪ 첨단부 선단 쇄정실린더 사양 정립 : 1건 ▪ 첨단부 선단 쇄정실린더 시제품 설계 및 제작 : 1건 ▪ 크로싱부 쇄정실린더 사양 정립 : 1건 ▪ 크로싱부 쇄정실린더 시제품 설계 및 제작 : 1건 ▪ 전환 횟수를 알 수 있는 카운터 장착 : 2건 ▪ 발표 1, 출원 4건

▪ 고속분기기 성능개량품 3D모델링을 통한 간섭검토 및 구조 안전성 검토 · 포인트부 성능 개량(선형개량을 통한 텅레일 강도 및 주행성능 향상)	100	▪ FAKOP을 고려한 국산화 분기기 F18.5 제작도 설계 ▪ 포인트부 스피이싱바 및 텅레일 가공형상 개량방안 정립 ▪ 가동노즈 크로싱 개량방안(상하 분리형) 정립 ▪ 포인트부, 크로싱부 3D 모델링을 통한 간섭 검토 ▪ 포인트부, 크로싱부 구조적 안전성 검토 ▪ 접착절연레일 개량방안 정립 ▪ 성능시험(자석너트, 접착절연레일) ▪ 발표 1, 특허출원 2건, 등록 1건

3. 3차년도 목표 달성도

목 표	달성도(%)	내 용
▪ 고속분기기 선형/단면 설계 성능검증 · 선형 성능검증 · 단면 성능검증	100	▪ 고속분기기 선형/단면 설계 성능검증을 위한 공인기관 성능시험 실시(차상시험) ◦ 통과선 : HEMU, 300km/h · 차체상하가속도(m/s^2): 최대 0.651(기준 ≤ 3.00) · 차체좌우가속도(m/s^2): 최대 0.971(기준 ≤ 3.00) · 대차좌우가속도(m/s^2): 최대 5.528(기준 ≤ 10.7) ◦ 분기선 : HEMU, 90km/h · 차체상하가속도(m/s^2): 최대 0.133(기준 ≤ 3.00) · 차체좌우가속도(m/s^2): 최대 1.063(기준 ≤ 3.00) · 대차좌우가속도(m/s^2): 최대 5.506(기준 ≤ 10.7) ◦ **UIC518 차량주행안전성 기준 100% 만족** ▪ KR 기술적합성(1차) 통과 및 현장설치시험(3차) 조건부 통과 → 조치결과 심의위원 싸인 후 공단 통보 완료('18.08.21) → 공단 조치결과 완료 통보('18.08.23) (보고서-59, 64쪽, 실적증빙자료-27, 30~33, 39)
▪ 전기식 선로전환기 동력 전달 메커니즘 설계 성능검증	100	▪ 전기식 선로전환기 동력전달 메커니즘 현장시험 ◦ **링크 및 연결관의 설계 사양 현장 성능시험 100% 만족** · 전환시간(t, sec): 3 ≤ t ≤ 4(기준 3 ≤ t ≤ 4) · 전환력(kg_f): 371(기준 ≤ 400) (보고서-52, 58쪽, 실적증빙자료-30)
▪ 국내 유압식 선로전환기 쇄정실린더 설계 성능검증	100	▪ 국내 유압식 선로전환기 쇄정실린더 사양 결정 및 성능시험 실시(전환력, 쇄정력, 자재성능검증) ◦ 전환력(kN) · 첨단부 4.80(기준 3.5 ~ 6.50) · 크로싱 10.0(기준 5.0 ~ 10.0) ◦ 쇄정력(kN) · 첨단부: 100(기준 ≤ 100) · 크로싱: 100(기준 ≤ 100) ◦ **자재 공인성능검증결과 기준 100% 만족** (보고서-110~115쪽, 실적증빙자료-34, 37)
▪ 분기기 국산화 기술 개발  <공단 조치결과 완료 통보 공문 ('18.08.23) : 실적증빙자료-39>	100 (8건)	▪ 텅레일 및 노즈레일 시제품 현장부설 ▪ 공인기관 성능시험 실시(모니터링 및 지상시험) ◦ 모니터링(플로우, 차륜 접촉면) : **4건** · 텅레일 플로우(이빠짐): 없음 · 노즈레일 플로우(이빠짐): 없음 · 텅레일 차륜 접촉면(마모): 없음 · 노즈레일 차륜 접촉면(마모): 없음 ◦ 통과선 : HEMU, KTX-호남, 300km/h : **2건** · 텅레일 응력(MPa): 최대 36.85(기준 ≤ 130) · 노즈레일 응력(MPa): 최대 43.26(기준 ≤ 130) ◦ 분기선 : HEMU, 90km/h : **2건** · 텅레일 응력(MPa): 최대 41.70(기준 ≤ 130) · 노즈레일 응력(MPa): 최대 17.38(기준 ≤ 130) ▪ KR 기술적합성(1차) 통과 및 현차설치시험(3차) 조건부 통과 → 조치결과 심의위원 싸인 후 공단 통보 완료('18.08.21) → 공단 조치결과 완료 통보('18.08.23) (보고서-58, 71쪽, 실적증빙자료-27, 30, 32~33, 39)

▪ 분기기 성능 개량 기술 개발	100 (12건)	▪ 포인트부 및 노즈가동 크로싱 시제품 현장부설 ▪ 공인기관 성능시험 실시(모니터링 및 지상시험) ◦ 모니터링(유지보수성) 13회 실시 : **1건** · 정밀검측(트랙마스타): 만족 ◦ 통과선(HEMU, KTX-호남, 300km/h) : **6건** · 처짐(mm) HEMU : 0.78 ~ 1.20(기준 0.75 ~ 1.25) KTX : 0.91 ~ 1.47(기준 0.90 ~ 1.50) · 응력(MPa): 최대 52.80(기준 ≤ 130) · 윤중(kN) : 38.05 ~ 100.45(기준 35 ~ 200) · 횡압(kN) : 최대 23.15(기준 ≤ 40) · 탈선계수 : 최대 0.41(기준 ≤ 0.8) ◦ 분기선(HEMU, 90km/h) : **5건** · 처짐(mm) 0.82 ~ 1.24(기준 0.75 ~ 1.25 : HEMU) · 응력(MPa) : 최대 55.22(기준 ≤ 130) · 윤중(kN) : 39.47 ~ 85.45(기준 35 ~ 200) · 횡압(kN) : 최대 38.65(기준 ≤ 40) · 탈선계수 : 최대 0.76(기준 ≤ 0.8) ▪ KR 기술적합성(1차) 통과 및 현차설치시험(3차) 조건부 통과 → 조치결과 심의위원 싸인 후 공단 통보 완료('18.08.21) → 공단 조치결과 완료 통보('18.08.23) (보고서-58, 71쪽, 실적증빙자료-27, 30, 32~33, 39)
▪ 유압식 선로전환기 쇄정실린더 현장검증 및 개선사항 도출	90 (개선사항 도출 : 6건, 내구성검증 : 8건, 현장검증 : 준비중)	▪ 개선사항 도출 : 6건 · 쇄정 치크 형상 개선 및 개수 변경(4개 → 3개) · 유압식 쇄정실린더 쇄정로드 형상 개선 · 유압식 선로전환기 작동유압 감시방법 개선 · 유압식 선로전환기 작동유 청정방법 개선 · 유압식 선로전환기 작동유 히팅방법 개선 · 유압식 선로전환기 작동유 압력감지 장치 개선 ▪ 제작도 작성 및 시제품 제작 : 2건 · 첨단부 유압식 쇄정실린더 · 크로싱부 유압식 쇄정실린더 ▪ 내구성 공인성능시험 : 8건 · 첨단부 유압식 쇄정실린더(진동, 온도, 방수, 작동) · 크로싱부 유압식 쇄정실린더(진동, 온도, 방수, 작동) (보고서-97~99, 115~119, 실적증빙자료-21~22, 35~38)
▪ 성능검증용 시제품 제작 및 실내성능 평가	100 (3건)	▪ 텅레일 제작설비 구축 및 텅레일 시제품 제작 ▪ 포인트 및 크로싱부 제작도 작성 : 1건 ▪ 포인트 및 크로싱부 시제품 제작 : 2건 ▪ 포인트 및 크로싱부 공인기관 조립 성능시험 실시 · 궤도틀림, 침목간격, 장애물검지시험, 전환력 시험 등 조립 성능시험 기준 만족 ▪ KR 조립시험(2차) 통과 (보고서-32~35, 실적증빙자료-18~20, 28~29)

핵심성과 (level1)	단위성과 (level2)	양적 성과목표	양적 성과목표 달성실적	실적증빙자료 번호
분기기/차량 I/F를 고려한 분기기 설계 기술	고속분기기 선형/단면 설계 성능검증	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 4 건 시제품 : 건 S/W : 건	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 2 건 시제품 : 건 S/W : 건	23, 24
분기기/선로전환기 I/F를 고려한 분기기 설계 기술	전기식 선로전환기 동력 전달 메커니즘 설계 성능검증	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 2 건 시제품 : 건 S/W : 건	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건	
	국내 유압식 선로전환기 쇄정실린더 설계 성능검증			
고속 철도용 분기기 국산화 및 성능 향상 기술 개발	분기기 국산화 기술 개발	특허 : 출원 건 등록 1 건 논문 : 1 건 시제품 : 건 S/W : 건	특허 : 출원 건 등록 2 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건	12, 15 26(기술기사)
	분기기 성능 개량 기술 개발	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 논문 : 1 건 시제품 : 건 S/W : 건	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건	17 13, 16 25(발표우수논문)
	유압식 선로전환기 쇄정실린더 현장검증 및 개선사항 도출	특허 : 출원 1 건 등록 4 건 논문 : 건 시제품 : 0 건 S/W : 건	특허 : 출원 5 건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 2 건 S/W : 건	7, 8, 9, 10, 11 21, 22
	성능검증용 시제품 제작 및 실내성능 평가	특허 : 출원 건 등록 1 건 논문 : 건 시제품 : 2 건 S/W : 건	특허 : 출원 건 등록 1 건 논문 : 건 시제품 : 3 건 S/W : 건	14 18, 19, 20
합 계		특허 : 출원 2 건 등록 7 건 논문 : 8 건 시제품 : 2 건 S/W : 건 총 : 19 건	특허 : 출원 6 건 등록 5 건 논문 : 2 건 시제품 : 5 건 S/W : 건 총 : 18 건	

2절. 관련분야 기여도

기술명	기존기술	기술내용(독창성)	관련분야 기여도
분기기/차량 I/F를 고려한 분기기 설계 기술 개발	단순 수입 적용	▪ 분기기 모델링 자동화를 위한 다물체 동역학용 분기기 툴킷 개발	▪ 국외 기술종속에서 탈피 ▪ 국내 철도차량에 최적의 고속분기기 설계 Parameters 정립 가능(분기기 텅레일 단면, 선형 등)
분기기 국산화 기술 개발	텅레일 수입 적용	▪ 국내 고속철도 차량에 최적의 텅레일 단면 및 제작설비 개발 ▪ 국내 모든 고속분기기에 호환성 확보(경부고속1단계, 경부고속2단계 등)	▪ 국외 기술종속에서 탈피 ▪ 국내 고유 브랜드 고속분기기 개발 가능
분기기 성능 개량 기술 개발	단순 수입 적용	▪ 국내 고속철도 차량에 최적의 FAKOP 결정 ▪ 유지보수성을 고려한 크로싱부 및 윙레일 구조, 풀림방지너트, 특수 체결구 개선	▪ 국외 기술종속에서 탈피 ▪ 국내 고유 브랜드 고속분기기 개발 가능 ▪ 유지보수성 향상
유압식 쇄정실린더 국산화 기술 개발	단순 수입 적용	▪ 유압식 쇄정실린더 설계 및 제작기술 확보	▪ 국외 기술종속에서 탈피 ▪ 유지보수성 향상

제5장. 연구개발성과의 활용계획

실용화 기반 구축

○ 한국철도시설공단 “철도시설물성능검증” 인증서 획득(‘18년 8월 末)을 통한 실용화 기반 구축

○ 개발 텅레일(60E1A1 K) 한국철도시설공단 “표준규격서” 등록(‘18년 10월 중)

기술이전 추진

○ 성공적 연구성과 도출을 통하여 분 과제에 참여기업으로 참여하고 있는 국내 기업에 기술 이전 추진 예정

분 야	기술이전 기업
분기기(설계기술 및 텅레일)	삼표레일웨이㈜

활용계획

○ 고속철도 및 기존선, 도시철도 분기기 유지보수 교체

- 고속철도(경부1, 2단계, 호남 및 수도권) : 고속분기기 238틀 20년 주기 100% 교체 : 약 71.4억/년(평균 단가로 F26 분기기 단가 6억원을 적용)

<국내 고속분기기 부설현황>

품명	분기기 수량(Sets)	제작사
경부고속1단계	100	삼표
경부고속2단계	37 (삼표 2 Sets 포함)	BWG
호남고속	53	삼표
수도권고속	48	삼표
총 계	238	

- 기존선 및 지하철 : 약 12,000틀 30년 주기 100% 교체 : 약 600억/년(평균 단가로 1.5억 적용)
- 수요처: 한국철도시설공단, 코레일, 서울도시철도 등

○ ‘25년까지 200km/h 이상 신규 고속화 철도 건설(제3차 국가철도망구축계획) : 2,230억(=44.6조×0.5%)

- 고속철도 : 368.5km → 680.5km(△312km)
- 고속화 철도 : 260km → 2,466km(△2,206km)
- 신규사업 총 사업비 : 약 44조 6,313억원

<국내 고속분기기 부설비용>

노선	총건설비 (조, ①)	연장 (km)	건설단가 (억/km)	분기기수량 (Sets)	분기기비용 (억, ②)	비고(%) (②/①)
호남고속	7.6	182	418	53	350	0.5

○ 고유 Brand 고속분기기 기술개발을 통한 해외 시장 진출 : 약 2.8조(=14,000km×400억×0.5%)

- 2014년 이후 350km이상 전세계 고속철도 건설계획은 약 14,000km 이상[1]으로 총 공사비 약 560조 예상

1) High-Speed Rail Global Market Trends - SCI/VERKEHR Cologne 2011,

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 해외 기준

분기기 설계 및 성능검증 관련 자료	발행기관	발행연도
EN 13232, Railway applications - Track - Switches and crossings	European Committee for Standardization (European Commission)	
- Part 1 : Definitions		2003
- Part 2 : Requirements for Geometric Design		2011
- Part 3 : Requirements for Wheel/Rail Interaction		2011
- Part 4 : Requirements for Actuation, Locking and Detection		2011
- Part 5 : Switches		2011
- Part 6 : Fixed common and obtuse crossings		2011
- Part 7 : Crossings with moveable parts		2011
- Part 8 : Expansion devices		2011
- Part 9 : Layouts		2011
EN 13674, Railway applications - Track - Rail	European Committee for Standardization (European Commission)	
- Part 1 : Vignole railway rails 46 kg/m and above		2011
- Part 2 : Switch and crossing rails used in conjunction with Vignole railway rails 46 kg/m and above		2006
EN 13803, Track alignment design parameters-Track gauges 1435 mm and wider	European Committee for Standardization (European Commission)	2017

제7장. 연구개발성과의 보안등급

- 일반등급

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

- 해당사항 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1. 연구실 안전 관리

○ 본 연구를 수행함에 있어 연구진 및 연구실의 안전에 대한 사항을 항상 유의하며 연구를 수행

○ 연구진에 실내외 실험 참가 시에 재해에 대하여 안전 교육 실시

○ 연구실은 항상 쾌적한 환경을 유지할 수 있도록 정기적인 점검 수행

○ 겨울철 난방에 의한 사고가 발생하지 않도록 주의를 기울임

2. 실험실 안전 관리

○ 실험실 안전 교육 · 훈련 실시

- 교육대상 : 실험실 활동 종사자
- 교육구분
  · 정기교육 : 교내 상시 연구 활동 종사자 대상으로 연 1 ~ 2회 집합교육 실시
  · 자체교육 : 실험실 책임자가 실험 전 안전교육 실시
- 교육내용
  · 연구실험실 내 안전 예방대책, 소방, 응급처치, 실험실 안전점검 등
  · 실시 : 매년 1회 시행

3. 현장 설치시험 안전 관리

○ 시험시공 기간중 안전사고 등 상해사고 발생에 대비한 안전조치 계획 수립



○ 실험계획 및 진행사항 사전 숙지

○ 장비사용에 따른 주의사항 및 대형장비 작업반경 숙지

○ 실험계획 및 진행사항 사전 숙지

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

실적 증빙 자료 번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 출원·등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	S/W	고속분기기 선형 차량동역학 해석 Tool Kit 프로그램	철도연	개발자	대한민국		2014.05.13	단독	
2	S/W	고속분기기 단면 차량동역학 해석 Tool Kit 프로그램	철도연	개발자	대한민국		2014.05.13	단독	
3	S/W	고속분기기 하부강성 차량동역학 해석 Tool Kit 프로그램	철도연	개발자	대한민국		2014.05.13	단독	
4	S/W	고속분기기 궤간 최적화 선형 차량동역학 해석 Tool Kit 프로그램	철도연	개발자	대한민국		2015.09.30	단독	
5	S/W	고속분기기 텅레일 전환력 동역학 모델링 Tool Kit 프로그램	철도연	개발자	대한민국		2015.10.06	단독	
6	특허 출원	레일 접착 절연 이음매장치	삼표	개발자	대한민국		2014.12.31	단독	
7	특허 출원	유압식 선로전환기 작동유압 감시방법	JKS	개발자	대한민국		2015.12.07	단독	
8	특허 출원	유압식 선로전환기 작동유 여과방법	JKS	개발자	대한민국		2016.03.02	단독	
9	특허 출원	유압식 선로전환기 작동유압 제어방법	JKS	개발자	대한민국		2015.12.07	단독	
10	특허 출원	유압식 선로전환기 작동유압 제어시스템 및 제어방법	JKS	개발자	대한민국		2016.03.02	단독	

실적 증빙 자료 번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 출원·등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
11	특허 출원	선로전환기 유압식 쇄정 실린더의 내구성 시험장치	철도연 JKS	개발자	대한민국		2018.07.24	단독	
12	특허 등록	레일 체결장치	삼표	개발자	대한민국		2015.11.26	단독	
13	특허 등록	전자식 클러치를 포함하는 선로전환기	삼표	개발자	대한민국		2015.11.02	단독	
14	특허 등록	모듈형 레일 히팅장치	삼표	개발자	대한민국		2016.07.14	단독	
15	디자인 등록	철도차량용 레일	철도연 삼표	개발자	대한민국		2016.08.02	단독	
16	특허 등록	레일분기기의 상하분리형 크로싱 구조	삼표	개발자	대한민국		2018.07.03	단독	
17	특허 출원	철도 분기기의 레일패드 어레이	삼표	개발자	대한민국		2017.03.03	단독	
18	시제품 제작	국산 텅레일 (60E1A1 K)	삼표	개발자	대한민국		2016.04.26	단독	
19	시제품 제작	국산고속분기기 포인트부	삼표	개발자	대한민국		2016.07.26	단독	
20	시제품 제작	국산고속분기기 크로싱부	삼표	개발자	대한민국		2016.07.26	단독	
21	시제품 제작	유압식선로전환기 첨단부 선단 쇄정실린더	JKS	개발자	대한민국		2018.03.31	단독	
22	시제품 제작	유압식선로전환기 크로싱부 쇄정실린더	JKS	개발자	대한민국		2018.03.31	단독	
23	논문	도시철도 운영환경에서 파상마모에 의한 레일체결장치 클립의 진동 특성	철도연	저자	한국철도 학회 논문집 (제19권 제4호)		2016.09	단독	
24	논문	자갈도상 궤도 구성품에 따른 궤도 침하 특성에 대한 실험적 연구	철도연	저자	한국철도 학회 논문집 (제19권 제4호)		2016.09	단독	

실적 증빙 자료 번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 출원·등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	논문	Development of Technology for Localization and Performance Improvement of High Speed Rail(HSR) Turnout	철도연 삼표	저자	ART		2016.10.20	단독	
25	논문	국산 고속분기기 노스가동크로싱 축력 설계에 관한 연구	삼표	저자	2016한국 철도 학회 추계학술 대회		2016.05.19	단독	우수논문 발표상
	논문	현장타설 콘크리트궤도 시공 중 초기균열 저감을 위한 연구	철도연	저자	2017한국 철도 학회 춘계학술 대회		2017.05.18	단독	
	논문	콘크리트 궤도용 국산 고속분기기 시험부설 및 성능시험 평가	철도연 삼표	저자	2017한국 철도 학회 추계학술 대회		2017.10.19	단독	
26	기술 기사	고속철도용 분기기 국산화	철도연 삼표	저자	한국 강구조학회 기술기사		2018.08.31	단독	
27	공문	국산고속분기기 기술적합성 심의결과 공문	철도연 삼표	저자			2016.06.21	단독	
28	공인 시험 성적서	국산고속분기기 조립시험체 공인시험성적서	철도연 삼표	개발자			2016.10.28	단독	
29	공문	국산고속분기기 조립시험 심의결과 공문	철도연 삼표	저자			2016.11.24	단독	
30	공인 시험 성적서	국산고속분기기 #18.5 분기기 운행선 현장설치시험 공인시험 성적서(1차)	철도연 삼표	개발자			2018.04.30	단독	
31	공인 시험 성적서	국산고속분기기 #18.5 분기기 운행선 현장설치시험 공인시험 성적서(2차)	철도연 삼표	개발자			2018.08.01	단독	
32	공문	국산고속분기기 현장설치시험 심의결과 공문	철도연 삼표	저자			2018.06.28	단독	

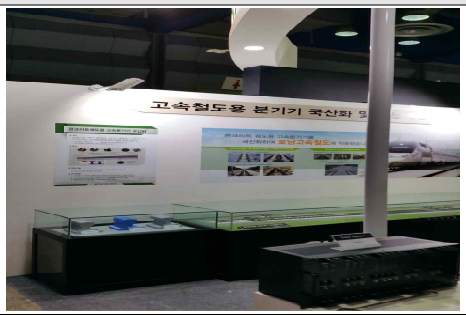
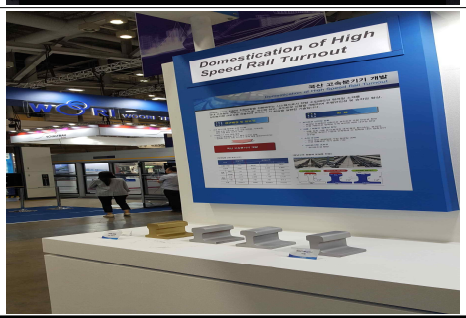
실적 증빙 자료 번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 출원·등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
32	공문	국산고속분기기 현장설치시험 심의의견 조치결과	철도연 삼표	저자			2018.08.13	단독	
34	재료 및 실내 시험 및 검증	유압식 선로전환기 쇄정실린더 공인시험성적서	JKS	개발자			2018.04.10	단독	

제11장. 기타사항

1. 언론홍보 : 2건

언론기관	일자	주요내용	언론홍보자료
뉴스원	2017.08.14	철도공단, 시속 350km 고속주행 핵심기술 현장검증	 철도공단, 시속 350㎞ 고속주행 핵심기술을 현장검증 news1
이데일리	2017.08.14	철도공단, 350km/h 주행 핵심기술 분기기 현장검증	 철도공단, 350km/h 주행 핵심기술 분기기 현장검증 이데일리

2. 전시홍보 : 3건

전시회명	전시기간	진시품목	전시사진
2016 국토교통 기술대전	2016.05.25 ~ 2016.05.27	텅레일 3종 분기기 모형	
2017 국토교통 기술대전	2017.05.24 ~ 2017.05.26	텅레일 4종 분기기 모형	
2017 부산 국제철도 기술사업전	2017.06.14 ~ 2017.06.17	텅레일 4종	

3. 기술세미나 : 2건

기술세미나명	일자	발표제목	기술세미나사진
2016 철도학회 궤도기술세미나	2016.08.18	- 고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 연구단 개요 - 고속철도용 분기기 국산화 및 성능 향상 기술 개발 현황 - 국산고속분기기 F18.5 시제품 품평회	
2016 철도학회 추계학술대회 특별세션	2016.10.20	- 고속철도용 분기기 국산화 및 성능향상 기술개발	

제12장. 참고 문헌

[1] R. Farabet(2000), “ Rail/Wheel compatibility“, SNCF-I interoffice memoranda TB00/08/03

[2] EN 13674-2(2006) Railway applications - Track - Rail - Part 2: Switch and crossing rails used in conjunction with Vignole railway rails 46 kg/m and above

[3] 김청균(2004) 레일-휠의 접촉면 경사도에 따른 응력-변위량의 거동 특성에 과한 연구, 한국철도학회 논문집 제7권 제3호, pp.186-192

[4] Roya Sadat Ashofteh(2014) Stress analysis in the elastic-plastic analysis of railway wheels, IJR, Vol.7, pp1-7

[5] 이우철(Lee Woo Chul)외 3명(2006) 장대레일의 축력 예측에 대한 연구, 한국철도학회 2006년도 춘계학술대회논문집, page(s): 55-60

[6] 최진유(Choi Jin Yu)외 3명(2006) 현장계측을 통한 교량상 분기기 축력 분석에관한 연구, 한국철도학회 2006년도 추계학술대회논문집, page(s): 1-4

[6] 김인재(Kim In-Jae)외 3명(2007) 교량 상 분기기 축력 및 변위해석, 한국철도학회 2007년도 춘계학술대회논문집, page(s): 17-22

[7] 최진유(Choi Jin-Yu)외 4명(2008) 교량신축과 분기기의 이격거리에 따른 교량상 분기기축력특성 연구, 한국철도학회 2008년도 추계학술대회논문집, page(s): 1050-1055

[8] 최일윤(Il-Yoon Choi)외 2명(2009) 장대레일 부가축력 및 변위 특성, 한국철도학회 2009년도 추계학술대회논문집, page(s): 1955-1963

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

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

발간등록번호
11-1613000-001987-01

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )
철도기술연구사업 최종보고서

R&D / 15RTRP-B065490

고속철도용 분기기 관리운영 시스템 개발 최종보고서

(고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발 2세부 과제)

2017. 10. 16.

협동연구기관 / ㈜비츠로시스
공동연구기관 / ㈜제이브이지
공동연구기관 / 한국철도공사
공동연구기관 /서울과학기술대학교 산학협력단

국토교통부
(전문기관)
국토교통과학기술진흥원

철도기술연구사업 R&D Report

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'고속철도용 분기기 관리운영시스템 개발 ('고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발'연구단 2세부과제)'(연구개발 기간 : 2013. 5. 31 ~ 2017. 6.30) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017 . 10 . 16 .

협동연구기관명 : (주)비츠로시스 (대표자) 김형진,이상호 (인)
공동연구기관명 : (주)제이브이지 (대표자) 박형옥,이하용 (인)
공동연구기관명 : 한국철도공사 (대표자) 홍 순 만 (인)
공동연구기관명 : 서울과학기술대학교 산학협력단 (대표자) 박 익 근 (인)

협동연구기관책임자: 김영석
공동연구기관책임자: 황안규
공동연구기관책임자: 백인철
공동연구기관책임자: 이종우

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>13RTRP-B065493-01</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2013.05.31. ~ 2017.06.30</td><td>단계구분</td><td>최종보고서</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술연구개발사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">철도기술연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">고속철도용 분기기 관리운영시스템 개발(2세부과제)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김영석</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 45 명
내부: 21 명
외부: 24 명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부:470,000천원
기업:160,000천원
계:630,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 45 명
내부: 21 명
외부: 24 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:990,000천원
기업:370,000천원
계:1,327,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">(주)비츠로시스/연구소</td><td colspan="2">참여기업명
㈜제이브이지, 한국철도공사, 서울과학기술대학교 산학협력단</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)</td><td colspan="2">보고서 면수</td></tr>
</table>

○ 경부고속철도 2단계 구간에서 수입 고속분기기의 장애 발생 사례와 같이 분기기와 신호시스템과의 Interface 절차 및 관련 기술 부족 시 조기 대처에 어려움이 많으며, 노하우 축적과 기술개발에 한계 봉착.

○ 상기와 같이 고속철도 운영 안정화 및 국가적인 철도 경쟁력 확보를 위해서는 고속분기기 설계 원천 기술 관련 기술 개발이 요구되며, 이를 위해서 고속분기기의 국산화 및 성능 개량 기술 개발 필요.

○ 또한, 고속분기기의 안정적인 운영을 위해 결함, 장애 예방, 최적 상태를 유지하기 위한 상시 모니터링 및 집중 관리 시스템 구축 필요

○ 고속철도용 분기기 관리 운영시스템 개발을 위해 다음과 같이 진행하였음
- 센서 시스템 설치 위치 및 검측 시스템 요구 명세 및 센서 수 최소화 방안 1차 도출
- 분기기 관리 운영 Virtual 시스템 완성
- 탐색용 센서 및 SCM 모듈 구성, 치공구 개발
- 관리 운영 시스템 DB 모듈 설계 및 데이터 획득
- 단말기 MMI 모듈 설계
- 의사 결정 시스템 이론 조사 및 설계
- 분기기 관리 운영 시스템 1차 현장 부설 및 시운전

○ 기술적으로는 분기기 시스템의 상태를 판단할 수 있는 검지항목을 도출하고, 도출된 항목의 측정을 위한 센서의 선정기술, 가혹한 상태에서 센서가 정상적인 동작할 수 있도록 하는 고도의 센서관리 기술, 측정된 데이터를 진단할 수 있는 의사결정 시스템, 원격에서 대용량 데이터를 획득 하는 기술 등이 기술적 성과이다.

연구의 목적 및 내용	• 경부고속철도 2단계 구간에서 수입 고속분기기의 장애 발생 사례와 같이 분기기와 신호시스템과의 Interface 절차 및 관련 기술 부족 시 조기 대처에 어려움이 많으며, 노하우 축적과 기술개발에 한계 봉착. • 상기와 같이 고속철도 운영 안정화 및 국가적인 철도 경쟁력 확보를 위해서는 고속분기기 설계 원천 기술 관련 기술 개발이 요구되며, 이를 위해서 고속분기기의 국산화 및 성능 개량 기술 개발 필요. • 또한, 고속분기기의 안정적인 운영을 위해 결함, 장애 예방, 최적 상태를 유지하기 위한 상시 모니터링 및 집중 관리 시스템 구축 필요
연구개발성과	• 분기기 관리 운영 시스템 측정인자 도출 및 적용센서 최적화 • 분기기 관리 운영 시스템 표준화 및 성능평가 자료 생성 • 분기기 관리 운영 시스템 센서 설치용 치공구 개발 • 분기기 관리 운영 시스템용 DB 모듈 및 MMI 화면 개발 • 의사결정 시스템 S/W 모듈화 및 적용 • 1,2차 현장 부설 및 시운전
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 전국의 선로 전환기는 코레일 8,078대, 서울도시철도 525대, 서울메트로 491대, 부산교통공사 404대, 대구도시철도 247대, 인천메트로 110대, 대전도시철도 96대등 전국의 고속·일반·도시철도에 1만232대의 선로전환기(분기기)가 설치되어 있으며, 선로전환기의 중요도가 높은 곳, 무인화가 가속화되는 소규모 역, 고속 철도 등에 활용이 가능 • 세계적으로도 철도의 무인화가 가속되고 있고, 세계철도연맹(UIC)에서도 분기기 검지시스템을 구축하기 위한 연구가 진행되고 있어, 이로 인하여 전 세계적으로 분기기 시스템 모니터링 시스템이 확대될 예상 • 통신혁명으로 인하여 모든 분야에서 SMART화가 급속하게 진행되고 있고, 철도 모든 분야역시 SMART화가 활발하게 진행되고 있다. 따라서 분기기 시스템 모니터링 시스템 개발이 효율면에서 시기상 적절하다. 이 시스템은 현재 및 미래의 시스템으로 철도수출 분야 에 첨단기술로서, 철도시스템 수출에 일조할 수 있다.

핵심어 (5개 이내)	분기기	선로전환기	센싱	검측	SCADA

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	• Requirement for fundamental technologies for turnout systems in the second stage in Seoul-Busan HSR line for the troubles taking frequently arising caused from insufficient interface technologies between signal system and turnout system • Needs for Fundamental technologies for high line turnout systems for domestically producing and enhancing the turnout systems • Requiring monitoring systems for status of high speed turnout systems for keeping stable states of high line turnout systems free from fault, error and failures
Results	• Identifying monitoring parameters and optimizing the sensors related to the paraemeters • Developing standard monitoring systems and producing system evaluation data for turnout systems • Development of fixture and jig system for sensors • Development of DB and MMI system for Turnout monitoring systems • Development of Decision making and system S/W modulization for Turnout monitoring systems • Installation of monitoring systems in revenue lines and operation
Expected Contribution	• Application to the turnout systems which are under operating which the 1,0232 turnout systems are under operating nationalwide. • Application to unmanned stations to survey the turnout systems • Acceleration of unmanned stations worldwide and UIC is studying for monitoring for turnout systems, finally, turnout monitoring systems shall be adopted rapidly • All domain of industries become to smart systems on the courtesy of communication system revolution and railways also meet the smart tendency. • The monitoring systems as a future systems shall become a part of the smart systems and the development meets right time. It contribute to railway industry export the it is same environment for railway.

Keywords	turnout	point machine	sensing	monitoring	SCADA

〈 Contents 〉

1. Introduction to the project ····· 7
2. Status of art for the technology development in domestic and world ·· 10
3. Result and Achievement of the project ····· 17
4. Achievement and Contribution to the industries related ····· 86
5. Application plan for the development results ····· 89
6. Science technologies acquired from oversea ····· 90
7. Security degree of the project results ····· 91
8. Facilities and Equipments enrolled to National Science technologies total DB systems ····· 92
9. The Safety counter measure for the project processing ····· 93
10. Representative results for the project ····· 95
11. Miscellaneous ····· 96
12. reference ····· 97

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 7
2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 10
3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 17
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 86
5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 89
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 90
7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 91
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ····· 92
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 93
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 95
11. 기타 사항 ····· 96
12. 참고 문헌 ····· 97
13. 성과활용계획서 ····· 98

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

가. 경부고속철도 2단계 구간에서 수입 고속분기기의 장애 발생 사례와 같이 분기기와 신호시스템과의 Interface 절차 및 관련 기술 부족 시 조기 대처에 어려움이 많으며, 노하우 축적과 기술개발의 한계에 봉착했다.

나. 고속철도 운영 안정화 및 국가적인 철도 경쟁력 확보를 위해서는 고속분기기 설계 원천 기술 관련 기술 개발이 요구되며, 이를 위해서 고속분기기의 국산화 및 성능 개량 기술 개발 이 필요하다.

다. 고속분기기의 안정적인 운영을 위해 결함, 장애 예방, 최적 상태를 유지하기 위한 상시 모니터링 및 집중 관리 시스템 구축이 필요하다.

2. 연구개발의 필요성

가. 연구개발 개요

(1) 분기기는 열차를 한 궤도에서 다른 궤도로 전환하기 위해 궤도상에 설치한 설비로서 포인트, 리드, 크로싱, 선로전환기 및 부수 시스템으로 구성되어 있다. 특히 고속철도용 분기기는 차량, 궤도, 노반, 신호시스템을 포함하는 융합 기술로, 고속철도시스템의 안전성과 직접적으로 연계된 중요 기술이다.

(2) 분기기에서 불일치, 도중전환, 밀착불량 등은 사고를 직접적으로 일으킬 수 있다. 특히 시속 300㎞이상의 고속으로 운행하는 고속철도에서 분기기(선로전환기)의 결함은 대형 참사로 이어질 가능성이 매우 높다.



[그림 1-1] 분기기의 포인트와 선로전환기

(3) 그동안 선로는 급곡선부의 선형개량, 목침목구간의 PC침목 사용, 레일의 이음매를 없애는 장대화, 분기기 탄성화 등으로 시설을 개량하여 시설관련 사고건수는 매년 감소하였지만, 아직도 사고발생 잠재요인이 많고 특히, 분기부에서의 사고는 대형사고의 위험성을 내포할 뿐만 아니라 인접선의 열차운행에 영향을 주는 경우가 대부분으로 인적·물적 피해가 커 열차지연에 따른 사회적 손실도 큰 실정이다.

(4) 분기기의 안전성을 확보하기 위해서는 분기기에 감시 장치를 설치하여 관련된 정보를 지속적으로 축적하여 유지보수의 지능화를 통하여, 불일치, 도중전환, 밀착불량 등과 같은 사고에 관련된 고장을 사전 인지하여 조치하고, 고장을 방지하여 열차정지등의 장애를 발생하지 않도록 하고, 향후 신규 분기기 설치에 적용할 필요가 있다.

(가) 고속철도용 분기기는 차량, 궤도, 노반, 신호시스템을 포함하는 융합 기술로, 고속철도시스템의 안전성과 직접적으로 연계된 중요 기술이다.



[그림 1-2] 고속철도 분기기 관련 기술

(나) 경부고속철도 1단계 구간 자갈도상궤도용 고속분기기는 프랑스 Vossloh-Cogifer社로부터 제작기술을 도입하여 국내에서 제작하고 고속분기기 핵심 구성품인 텅레일 및 노즈레일용 소재 등은 수입하여 부설한 것이며, 경부고속철도 2단계 구간 콘크리트 궤도용 고속분기기는 독일 BWG社로부터 VAEE社의 유압식 선로전환기와 함께 전량 수입 부설한 것으로 장애 발생 시 조기 대처능력이 부족한 상황이다.

(다) 따라서 고속분기기의 안정적인 운영을 위해 결함, 장애 예방, 최적 상태를 유지하기 위한 상시 모니터링 및 집중 관리 시스템 구축 필요하다.

나. 연구개발의 중요성

분기기 시스템 모니터링 장치는 철도 시스템의 필수 구성요소로서, 장애 발생 시에 열차운전에 직접적인 영향을 미치는 분기기 시스템의 관리를 위한 정성·정량적 물리량을 도출하여 상태를 정확하게 진단 및 판단함으로서 적기에 유지보수를 할 수 있으며, 분기기 시스템의 정확한 상태진단은 철도 시스템의 운용 효율을 향상 시키며, 고장을 예측할 수 있고, 유지보수 비용을 최적화 할 수 있다.

(1) 기술적 측면

국내외 분기기 시스템을 조사하여 문제가 있는 기존 분기기 시스템의 기술적인 부분을 해석함으로서 철도의 사고 방지 및 고장예방으로 철도 운용 효율을 향상시킬 수 있다. 또한 분기기 데이터 관리 시스템 구축을 통해 업무의 현장성과 실시간 업무처리가 가능하도록 하며 향후 국내외 분기기 시스템 개발 시에 시스템의 안전성을 높일 수 있다.

(2) 경제/산업적 측면

현재 국외 철도선진국인 프랑스, 독일, 일본에서는 분기기 시스템에서 장애나 사고 발생률이 국내보다 적다. 국내에서도 분기기 관리 시스템에 대한 기준을 적립함으로써 보다 안전한 분기기 시스템 기술을 확보할 수 있다. 이를 통해 열차의 안전 운행을 확보하고, 고객서비스의 만족도를 높일 수 있으며 열차 지연이나 장애 및 사고를 감소시킴으로써 국가 예산을 절감할 수 있다. 또한 국내 철도기술에 대한 경쟁력을 높일 수 있다.

(3) 활용방안

분기기 시스템의 실시간 모니터링 장치 개발은 고속철도의 분기기 시스템의 상시 감시가 가능하도록 하며 또한 기존 철도의 과부하 분기기 시스템 감시 및 나아가 무인역 분기기 시스템 감시로의 적용도 가능하다. 또한 향후 분기기시스템 설계에 활용이 가능하다.

다. 타산업 연계 및 국제협력 가능성

분기기 시스템의 모니터링 시스템은 스마트 시스템의 한 종류로서, 다른 스마트 시스템에서

개발된 시스템 구조를 활용할 수 있고, 또한 반대로 분기기 시스템의 모니터링 시스템에서 개발된 구조를 타 산업 시스템에 활용할 수 있으며, 스마트 시스템의 구성의 일부인 SCADA 시스템의 표준화를 타 산업 부분과 상호 공유할 수 있다. 분기기 시스템의 동적 data 분야는 외국의 동적 data 측정결과와 상호 비교 기준안 설정 등을 통하여 상호 연동할 수 있으므로 국제 표준 등의 협력을 추진할 수 있다.

3. 연구개발 범위

가. 관리운영시스템 분야

(1) 분기기 시스템의 특성을 규명하는 분야는 오랜 기간 동안 연구되어 왔으나 명확하게 분기기의 특성을 규명한 연구는 최근에 발표되었음. 열차가 분기기를 통과할 때 발생하는 동적 거동에 의해서 분기기 시스템의 열화를 가속화 함

(2) 분기기의 열화는 분기기 형상변형과 마모 등이 발생하고, 궁극적으로 열차운행이 불가능한 상태가 됨. 열화현상을 규명하기 위해서 분기기 시스템의 열화를 촉진시키는 인자를 규명하고, 그 인자를 최적으로 측정할 수 있는 방법을 도출하여야 하며, 이는 본 과제의 핵심 중 하나임. 인자 도출은 분기기 설계기술에 관련된 사항으로 분기기 설계 및 제작 분야와 밀접한 연계를 필요로 함

(3) PES, 데이터 통신 분야의 경우는 상당히 발달되어 동영상을 양방향 실시간으로 전송할 수 있는 수준까지 도달하여, 정보통신 분야의 기술은 완숙단계에 있음

(4) 데이터 획득 분야는 센서, 센서 설치를 위한 치공구, 센서의 동작과 동작 값을 획득 하는 SCM(Sensor Control Module) 구성되어 있음. 센서의 선택은 규명된 인자의 검측방법에 의해서 결정되며, 또 하나의 중요한 인자는 운용환경임

(5) 센서의 운용환경은 센서의 수명을 결정하는 중요한 요소 중 하나임. 센서가 주어진 환경에서 동작할 수 있는 성능가지고 있으면 커다란 문제가 되지 않지만, 센서가 환경 성능을 만족하지 못하면, 만족하도록 환경을 만들어 주어야 함. 이러한 환경을 조성하는 방법은 구체적으로 제시된 것이 없어 장기간의 연구와 실험이 필요함

(6) 센서로 부터의 데이터의 수집, 전송, 저장 및 현시는 현재의 기술로서 충분히 구현할 수 있음. 데이터 전송과 저장을 위한 네트웍의 구성과 설치는 공간적으로 넓어 상당한 비용이 필요함

(7) 수집된 데이터를 의사결정 시스템은 본 과제의 핵심과제 중 하나로서, 분기기 시스템의 열화상태를 진단. 의사 결정 시스템을 개발하기 위해서는 분기기 시스템의 상태에 대한 장기간의 측정 데이터 누적과 측정 데이터와 물리적 현상 발생과 일치시켜야 함. 의사결정 시스템 소프트웨어 개발은 장시간이 필요함

(8) DB와 MMI 시스템은 수집데이터의 저장과 사용자의 필요에 따라 현시를 하는 것임. 수집데이터 저장의 최적화는 장기간 측정된 데이터의 분석결과에 따라 결정됨. MMI는 의사결정 시스템의 완성과 측정 데이터와 물리적 현상 발생 결과의 해석에 따라서 결정되므로, 여러 번의 수정에 의해서 얻어질 수 있음

(9) 모니터링 시스템을 인터페이스를 결정하기 위해서는 표준화 작업이 선행되어야 하며, 표준화 작업 후에는 시스템의 가용성과 유지보수성이 증가함

1절. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

1. 국가 연구개발사업 유사연구 실적

가. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

[표 2-1] 국내에서 수행된 철도제어 시스템 개발과제

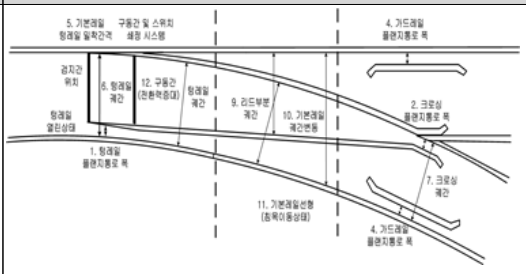
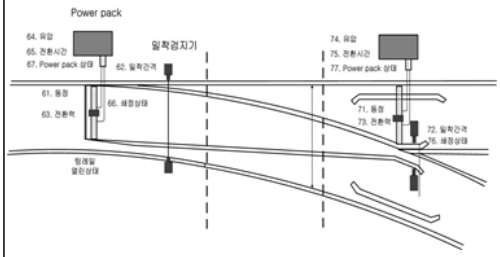
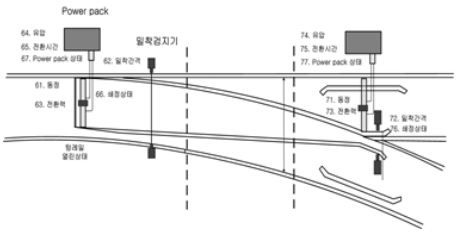
사업명	연구과제명	예산 (백만원)	비 고
중소기업상용화 기술개발	선로전환시스템	230	2010.05.01~ 20011.04.03
건설교통연구 기획사업	고속철도용 국산분기기 설계기술 개발기획	100	2012.04.13.~ 2012.09.12
미래철도기술 개발사업	분기기 관리운영시스템 개발 기획연구	70	2011.08.03~ 2011.12.02
한국철도 기술연구원 연구운영비지원	고속철도분기기 및 강체전차선로 설계 핵심원천기술개발	700	2012.01.01~ 2014.12.31

나. 분기기 관리운영시스템 연구개발 결과의 차별성

[표 2-2] 분기기 관리운영시스템 연구개발 결과의 차별성

항목	분기기 관리운영시스템	SURVAIG® NG	로드마스타
제조사	당과제 연구기관	Vossloh Cogifer	VAE
특징	동적거동 분석, 윤중, 횡압의 지속적 모니터링을 통한 분기기 전체의 형상변위 모니터링 및 진단	자체 제작된 절연 CT와 진단 모듈을 이용하여 선로전환기의 전기적 특성 분석 및 이상상태 판단.	유압 센서와 CT를 적용하여 유압식 선로전환기의 상태를 점검 및 이상상태 판단.
가격	5천만원		1억5천만원
수용포인트	총 55포인트	총 32포인트	총 13포인트
감시범위	분기기 전체	선로전환기	선로전환기
대상 설비	전기식/유압식 선로전환기 모두에 적용가능	전기식	유압식
유지보수성	현장 클라이언트는 모듈화 타입으로 해당 고장 모듈만 교체 가능.(유지보수성 확보)	Measuring Machine 부분이 버스 형태로 되어 있고 다양한 포인트 수용이 가능하나 유지보수 측면에서는 관리가 어려움	모듈러 타입으로 해장 고장 모듈만 교체가능
표준 제품 연계성	표준화 작업을 통해 케이블, 콘넥터등의 하드웨어 인터페이스를 통일화 함으로써 타사 제품 연계시에도 대응 가능하도록 함	비 표준화 타입으로 타사 제품 적용 불가	모듈러 타입이기는 하나 비 표준화로 타사 제품 연계 불가

[표 2-3] 연구개발과제의 차별화

구분	본 연구 개발품	기존 제품(선로전환시스템)
범위	 [분기기 동적상태 감시]  [선로전환기 동적상태 감시] • 분기기 및 선로전환기 시스템 모니터링 시스템 개발 • 분기기 및 선로전환기의 모니터링을 위한 핵심인자 도출 • 분기기 및 선로전환기의 센서설치 치공구 개발 • 분기기 및 선로전환기 관리 운영시스템 개발	 [선로전환기 밀착검지 감시] • 선로전환기 개발 • 선로전환기 운영중 안전감시 시스템 개발
차별화	• 기존제품에서 수행된 기초연구 사항은 본 연구 개발품에 일부 적용할 수 있음 기존제품은 선로전환기에 한정된 것으로 전류, 전압 및 밀착검지 여부를 감시하는 것임 • 본 연구 개발품은 분기기 시스템 전체의 모니터링 시스템으로 센서 선정, 설치 및 운용에 관련된 것으로 기존제품은 본 연구 개발품의 극히 일부분에 지나지 않음 • 본 연구 개발품은 분기기 시스템의 동적 운용상태를 감시하여 분기기 시스템의 종합적인 상태를 검지하는 시스템임	

[표 2-4] 연구개발과제의 차별화

구분	본 연구	기존 연구 (고속철도용 국산분기기 설계기술 개발계획)
범위	• 분기기 및 선로전환기 시스템의 모니터링 시스템 개발 • 분기기 및 선로전환기의 모니터링을 위한 핵심인자 도출 • 분기기 및 선로전환기의 센서 설치 치공구 개발 • 분기기 및 선로전환기 관리 운영 시스템 개발	• 분기기 설계기술을 기획연구
차별화	• 기존 연구는 분기기 시스템 자체 개발을 하는 것으로 본 연구와 직접적인 관련이 없음	

[표 2-5] 연구개발과제의 차별화

구분	본 연구	기존 연구 (분기기 관리 운영 시스템개발기획연구)
범위	• 분기기 및 선로전환기 시스템의 모니터링 시스템 개발 • 분기기 및 선로전환기의 모니터링을 위한 핵심인자 도출 • 분기기 및 선로전환기의 센서 설치 치공구 개발 • 분기기 및 선로전환기 관리 운영 시스템 개발	• 분기기 모니터링 시스템 개발 기획연구
차별화	• 기존연구는 본 과제를 위한 연구기획	

나. 연구개발과제의 차별화 방안

본 과제의 일부가 “선로전환시스템” 선로전환기의 상태진단의 측정분야가 중복이 되나, 본 과제의 연구범위와 비교할 때 중복부분은 10% 미만으로 사료되므로 거의 중복성이 없음

2절. 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

외국의 분기기 모니터링 시스템은 이태리 철도공사(RFI) R. V. Liccadello에 의해서 분기기의 동적거동에 대해서 연구를 하여 분기기의 동적거동 특성을 규명하였으며, 영국에서는 분기기의 공격각과 충격력과 관련된 내용을 발표하였다.
Innotrack에서는 분기기 모니터링 시스템을 집중적으로 분석하여, 분기기 시스템 모니터링 시스템의 기본 안을 도출하였다.

1. 국내외 관련 기술 특허 동향

가. 국외기술현황

(1) Micro electronic 및 통신의 발달로 산업 전 분야에 자동화가 급속하게 진행되고 있으며, 자동화를 위한 검측 시스템이 개발되고 있음

(2) 이러한 시스템을 SMART 시스템이라고 하여 교량, 철도, 수자원 등 많은 분야에 응용되고 있고, 철도에도 지능화된 검측 시스템이 고속철도 및 일반철도에 운용이 확대되고 있음

(3) 분기기 검측 시스템은 독일 Siemens에서는 “Point Diagnostic System SIDIS W”를 개발하였으며, Vossloh에서는 “SURVAIC NG” 시스템을 개발하여 상용화 하였으나 기능은 제한적임

나. 국내기술현황

(1) UIC의 궤도분과에서 분기기 검측시스템을 개발하기위한 연구활동을 수행하였음

(2) 한국철도공사에서는 선로전환기의 접점을 이용하여 분기기의 상태를 검지하고 있음

(3) 철도 전력설비 관련하여서는 GIS CB의 이상 유무를 판단하는 원격진단시스템이 도입되어 운영되고 있음

[표 2-5] 개발 및 구입 모듈 등에 대한 기술평가(선진국대비)

대분류	중분류	소분류	개발 여부	국내 기술 개발 가능 여부	관련분야 기술수준			관련분야 인프라 수준			
					기술 수준	전문 인력 보유 정도	인프라 구축 정도	인력 보유 정도	자금 지원 정도	연구 시설 인프라	기타
SE	사업 관리		개발		80%	80%	80%	80%	80%	80%	
	SE	수집 Data Decision Making 모듈	개발	○	70%	90%	80%	70%	80%	80%	
	표준화	프로토콜 표준화	개발	○	50%	50%	60%	60%	60%	70%	
		현장장치 표준화	개발	○	50%	50%	50%	60%	60%	70%	
	RAM/LCC	RAM 및 LCC	개발	○	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
검측 장치	분기기 검측시스템	센서	구입		50%	50%	50%	50%	50%	50%	
		SCM	구입		70%	70%	70%	70%	80%	70%	
		센서용 치공구	개발	○	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
	선로전환기 검측시스템	센서	구입		50%	50%	50%	50%	50%	50%	
		SCM	구입		60%	60%	60%	70%	70%	70%	
		센서용 치공구	개발	○	60%	60%	60%	60%	60%	60%	

다. 특허현황

(1) 국내

[표 2-6] 국내 특허현황

출원번호	특허명	비교
1020080137875	선로전환기의 감시 시스템 및 감시 방법 MONITORING SYSTEM FOR POINT MACHINE AND METHODS THEREOF	중복성 없음
1020060100274	선로전환기의 밀착 감시시스템 및 그 방법 System for monitoring close adhesion of point machineand method thereof	중복성 없음
1020010038223	감시제어 및 데이터취득 시스템의 데이터 전송 프로토콜변환기를 이용한 동작 상태 테스트 장치 및 그 방법 APPARATUS FOR TESTING RUNNING STATUS OF SCADA SYSTEMAND METHOD THEREFOR	중복성 없음
1020040103950	ＭＯＤＢＵＳ호환 프로토콜과ＳＣＡＤＡ／ＨＭＩ／ＭＭＩ호환 툴을 이용한 무정전전원장치의 원격감시통제 방법 Multiple UPS Remote Monitering and Management MethodBy MODBUS Compatible Protocol and SCADA/HMI/MMICompatible Tool	중복성 없음

(2) 국외

[표 2-7] 국외 특허 현황

출원번호	특허명	비교
10555550 (미국)	선로 전환기 드라이브의 원격 감시를 위한 장치 Device for the remote monitoring of railway switch drives	중복성 없음
13272188 (미국)	철도 장치의 작동 기능을 모니터링하기 위한 시스템 SYSTEM FOR MONITORING OPERATING FUNCTIONS OF RAILWAY DEVICES	중복성 없음
07356303 (미국)	선로 전환기 또는 열차 건널목의 상황을 결정하기 위한 장치 Device for determining the condition of railway switches or railway crossings	중복성 없음
08825756 (미국)	감시 제어와 데이터 수집 시스템 확인 단계에 사용되는 지능형 전자 장치를 구성하기 위한 방법과 장치 Method and apparatus for configuring an intelligent electronic device for use in supervisory control and data acquisition system verification	중복성 없음
09826578 (미국)	감시 제어와 데이터 수집 (SCADA) 시스템을 위한 커뮤니케이션을 위한 시스템과 방법 System and method for communication for a supervisory control and data acquisition (SCADA) system	중복성 없음

2. 국내외 시장분석 및 산업동향

2011년 6월 코레일 8,078대, 서울도시철도 525대, 서울메트로 491대, 부산교통공사 404대, 대구도시철도 247대, 인천메트로 110대, 대전도시철도 96대 등 전국의 고속·일반·도시철도에 1만232대의 선로전환기(분기기)가 설치되어 있다.

이 분기기 시스템 중의 부하가 큰 시스템에 모니터링 시스템을 설치하여 집중적으로 관리할 것으로 예측된다.

국내의 철도는 거점 역을 중심으로 승객과 화물 수요가 발생하고 있으며, 기존의 소규모 역은 수송수요가 감소되어 급속히 무인 역화 되어가고 있는 상태이다. 무인역의 핵심 중의 하나는 분기기 시스템 모니터링 시스템이므로, 무인 역화 가속 되면 될수록 수요는 증가할 것으로 예상된다.

국외 상업제품으로는 Vossloh 스위치 관리 시스템 “SURVAIG NG/SYS MUL”와 Siemens Switch monitoring system 이 있다.

3. 종합결론

분기기 시스템 모니터링 시스템은 분기기 시스템의 물리량 및 측정점 선정, 센서 기술, 센서 설치기술 및 관리, 데이터 획득, 전송, 저장 및 처리 기술 및 정보전송 인프라 기술 등이 복합되어 있다. 국내·외적으로 철도의 고속화는 소규모 역의 무인화를 가속화하고, 도시철도의 수송 분담률이 높아질수록 높은 신뢰성 분기기 시스템 필요로 하고, 시스템이 노후화가 진행될 수록 분기기 시스템 모니터링 시스템의 수요는 증가할 것으로 예측된다.

가. 강점(Strong)

PES(Programmable Electronic System), 센서, Digital 통신, 통신설비의 발전에 의해서 SMART 설비의 영역이 급속도로 확대할 수 있는 기반이 조성되어 있고, 수송시장에서 철도의 경쟁력을 확보하기 위해서 고속화, 집중화에 의해서 모니터링 시스템의 응용분야가 확대되고 있다.

나. 약점(Weak)

PES 시스템과 센서 시스템은 가혹환경에서 고장이 발생할 개연성 높으므로, 시스템 설치 후 잦은 고장은 시스템의 신뢰성을 저하 시킬 수 있다.

다. 기회(Opportunity)

분기기 관리운영 모니터링 시스템의 시장이 태동단계에 있고, 이 시스템에 의해서 철도운영 원가를 절감할 수 있는 시스템으로서 철도운영자들은 적극적으로 도입할 수 가능성이 높다.

라. 위협(Threat)

분기기 관리운영 모니터링 시스템이 시장이 확대될 때에 해외 메이저 경쟁업체가 생산에 참여할 수 있다.

1절. 1차년도 연구 수행 내용 및 성과

1. 1차년도 연구 결과 요약

가. 센서 시스템 설치 위치 및 검측 시스템 요구 명세 및 센서 수 최소화 방안 1차 도출
나. 분기기 관리 운영 Virtual 시스템 완성
다. 탐색용 센서 및 SCM 모듈 구성, 치공구 개발
라. 관리 운용 시스템 DB 모듈 설계 및 데이터 획득
마. 단말기 MMI 모듈 설계
바. 의사 결정 시스템 이론 조사 및 설계
사. 분기기 관리 운영 시스템 1차 현장 부설(황간역) 및 시운전

2. 1차년도 연구 주요 내용

가. 분기기 관리운영시스템 측정인자 도출 및 적용센서 최적화

(1) 센서 시스템 요구 명세 도출

S&C(Switch and Crossing) 모니터링 시스템 구축의 목적은 LCC(Life-Cycle Cost)를 감소시키는 것이다. 정기 유지보수는 LCC의 약 50%를 차지하며, 고정 주기에 따라 수행된다. 그리고 유지보수 되지 않은 부품은 사용하지 않는 것이 안전하며, 이는 정기 유지보수에서 필요 이상의 비용이 쓰인다는 것을 의미한다. 또한 기술자들은 현장 작업으로 선로변의 위험원에 노출되어 있다.

이에 S&C 모니터링 시스템에 대한 분석을 통해 일반적인 요구사항과 LCC 감소하는 최적화 변수를 확인하여 소모 요소의 영향을 줄이는 방안을 검토하여, 일반적인 요구사항을 도출하였다.

[상세내용은 별지 1.1.1 참조]

(2) 탐색용 센서 설치 방안 도출

분기기는 포인트, 리드 및 크로싱의 3부분으로 나누어 지는데 열차가 운행하는데 있어서 분기기에 적용되는 발생 외력 분석을 통해 작용하는 힘에 대한 현상을 확인할 수 있다.

분기기와 선로전환기의 고장분석 및 상태 측정방법을 분석하여 측정하기 위한 인자를 도출하였다.

■ 분기기 측정인자
- 윤중
- 횡압
- 레일 수직변위
- 레일 응력
- 진동
- 충격력
- 궤간

■ 선로전환기 측정인자
- 동정
- 전환력
- 밀착간격
- 좌대진동
- 전압/전류

[상세내용은 별지 1.1.2 참조]

(3) 분기기 관리 운영 Virtual 시스템 제작

분기기 모형에 센서 설치를 통해 분기기의 상태를 진단하고 선정된 센서에 대한 검증을 실험 하기 Virtual 시스템(Prototype)을 제작 하였다.

[상세내용은 별지 1.1.3 참조]

(4) 의사 결정 시스템 이론 조사 및 설계

의사 결정 시스템 구축을 위해서는 장애 진단을 위한 방법이 있다. 이는 모델을 이용한 방법과 정성적 모델을 이용한 방법, 그리고 프로세스 이력을 이용한 방법이 있다. 이러한 방법들에 대한 이론 조사를 통해 분기기 관리운영시스템의 고장진단에 대한 의사 결정 시스템을 설계한다.

[상세내용은 별지 1.1.4 참조]

나. 분기기 관리운영시스템 표준화 및 성능형가 자료 생성

(1) 장치별 분류 및 SCADA 프로토콜 조사

분기기 관리운영시스템의 구성은 크게 측정인자를 센싱하기 위한 센서와 센서의 데이터를 취득하기 위한 SCM 그리고 마이크로 프로세스를 기반으로 하는 시스템인 RTU로 분류 할 수 있다.

SCADA 통신과 특별히 프로세스 제어을 하기 위해서 설계된 2개의 중요 프로토콜이 있다. IEC 60870은 전기 시스템과 제어정보를 통신하기 위해서 정의되었다. 특히 part-5는 SCADA 환경에 적당하도록 OSI reference Model를 재 정의하였다. IEC60870-5와 부록은 물리적, 링크 및 응용층에 대해서 정의를 하였다.

[상세내용은 별지 1.2.1 참조]

(2) 센서 및 SCM등 구조 분석

분기기 관리운영시스템 구축을 위해 선정된 측정인자를 센싱하기 위한 센서 및 데이터 취득을 위한 SCM의 구조를 분석하여 어떻게 동작되며, 설치는 어떻게 하여야 할지 분석하였다.

[상세내용은 별지 1.2.2 참조]

다. 탐색용 센서 설치 및 데이터 획득

(1) 센서 구성안 도출

분기기와 선로전환기에 각각 선정된 측정인자를 분석하여 사용 센서 및 설치 위치를 검토하였다.

[상세내용은 별지 1.3.1 참조]

(2) 센서 설치 및 데이터 수집

분기기 관리 운영시스템의 센서 설치 및 데이터 수집을 위해 우선 황간역의 일반선 분기기에 설치하기 위한 현장 부설 계획을 철도공사에 제출하였다.

[상세내용은 별지 1.3.2 참조]

(3) 탐색용 센서 치공구 제작

분기기 및 선로전환기의 선정된 측정 인자 중 LVDT나 가속도계를 이용하는 인자는 치공구를 통해 레일에 설치가 가능하다. 측정인자 도출에 따른 인자별 치공구 및 설치방법을 개발, 제작하였다.

[상세내용은 별지 1.3.3 참조]

라. 탐색용 SCM 구축

분기기 관리 운영시스템 구축을 위해서는 센서와 SCM, 그리고 RTU의 I/F 고려하여야 한다. 특히 제한된 현장에 시스템 구축을 위한 통신 방법은 유무선을 고려하여 SCM을 구축하였다. [상세내용은 별지 1.4 참조]

마. 관리 운용 시스템용 DB 모듈 및 단말기 MM 모듈 개발, RTU 구축

(1) 관리 운용 시스템 DB 모듈 설계 및 데이터 획득

분기기의 성능유지를 위해서 지속적인 유지보수가 필요하다. 유지보수의 목표는 최소의 비용으로 최대의 분기기 성능을 확보하는 것이다. 분기기의 상태와 운용 조건을 정확하게 파악하기 위해서 분기기관련 데이터를 지속적으로 수집, 분석하는 것이 필요하다.
[상세내용은 별지 1.5.1 참조]

(2) 단말기 MMI 모듈 설계

현장에 설치된 센서로부터 취득된 신호를 모니터링 하고 분석하기 위한 프로그램이다.
[상세내용은 별지 1.5.2 참조]

(3) 탐색용 RTU 구축

탐색용 시스템 구축시 현장 함체에 설치되어 하부로는 센서 신호를 SCM으로부터 취득하고 상위로는 단말기 MMI 모듈에 연계된다.
[상세내용은 별지 1.5.3 참조]

2절. 2차년도 연구 수행 내용 및 성과

1. 2차년도 연구 결과 요약

가. 축소형 센서 시스템 설치 위치 및 검측 시스템 요구 명세 및 센서 수 최소화 방안 1차 도출 완료 (총 11인자)
나. 의사결정 지원시스템 용 판단값 설정 및 파단모듈제작완료
다. 표준 SCADA 프로토콜 선정 및 프로파일 작성 완료
라. RAM활동을 통한 시스템 고장분석평가
마. 축소형 센서시스템 용 치공구 제작 완료
바. 관리운영시스템용 DB Prototype 개발 및 단말기 MMI Prototype 개발 및 축소형 RTU 구축완료
사. 분기기 관리 운영 시스템 2차 현장 부설 완료(KTX 울산역)
아. 총 11인자에 대한 55포인트 현장부설
자. 상기 연구결과 관련 총 11건 보고서 작성 완료

2. 2차년도 주요 연구 내용

가. 분기기 관리운영시스템 측정인자 도출 및 적용센서 최적화

(1) 센서 시스템 요구 명세 도출

S&C(Switch and Crossing) 모니터링 시스템 구축의 목적은 분기기 시스템을 원격에서 모니터링하여 분기기 시스템의 이상을 검지하는 것이다. 분기기의 이상 상태를 검지하기 위해서 궤간이상 변동 7곳, 레일진동 2곳 , 실린더 진동 2곳, 레일응력 1곳, 윤중 2곳, 횡압 2, 실린더 전환력 측정 인자를 도출하였고 데이터 취득을 제안하였다.
궤간 1번, 2번, 3번 4번 대체적으로 데이터 취득이 잘되고 있고, 궤간 5, 6, 7은 잡음에 많

이 발생하고 있다. 레일진동 및 실린더 진동은 데이터 취득이 원활하며, 고속주행 시에 검지할 수 있도록 설치한 윤중 1번 횡압 1번 데이터 취득이 원활하다. 저속운행 차량을 위한 윤중2, 횡압2도 데이터 취득이 원활하다. 동정밀착 첨단 2번 및 크로싱부 동정밀착 3번에서 밀착 지연현상을 발견하였다.

전환력을 측정하기 위해서 strain guage를 사용했으나, 만족할 만한 데이터 취득이 불가능하였다.

[상세내용은 별지 2.1.1 참조]

(2) 축소형 센서 최적화 및 설치 방안 도출

분기기는 포인트, 리드 및 크로싱의 3부분으로 나누어 지는데 열차가 운행하는데 있어서 분기기에 적용되는 발생 외력 분석을 통해 작용하는 힘에 대한 현상을 확인할 수 있다.

분기기와 선로전환기의 고장분석 및 상태 측정방법을 분석하여 측정하기 위한 인자를 도출하였다.

전환력을 제외한 모든 센서에서 데이터 취득이 원활하였다.

■ 분기기 측정인자
- 윤중
- 횡압
- 레일 수직변위
- 레일 응력
- 진동
- 충격력
- 궤간

■ 선로전환기 측정인자
- 동정
- 밀착간격
- 전압/전류

[상세내용은 별지 2.1.2 참조]

(3) 의사결정지원시스템용 판단값 설정 및 판단모듈 제작

분기기에 얻은 데이터를 처리하기 위해서 low pass filter, Wavelet 처리 및 Wigner-Ville time-frequency 표현을 통하여 의사결정 지원시스템을 위한 데이터 분석을 시도하였다.

[상세내용은 별지 2.1.3 참조]

나. 분기기 관리운영시스템 표준화 및 성능형가 자료 생성

(1) SCADA 장치 표준화 개발

분기기 관리운영시스템의 구성은 크게 측정인자를 센싱하기 위한 센서와 센서의 데이터를 취득하기 위한 SCM 그리고 마이크로 프로세스를 기반으로 하는 시스템인 RTU로 분류 할 수 있다.

SCADA 통신과 특별히 프로세스 제어을 하기 위해서 설계된 2개의 중요 프로토콜이 있다. IEC 60870은 전기 시스템과 제어정보를 통신하기 위해서 정의되었다. 특히 part-5는 SCADA 환경에 적당하도록 OSI reference Model를 재 정의하였다. IEC60870-5와 부록은 물리적, 링크 및 응용층에 대해서 정의를 하였다. 또한 최근 유틸리티 국제 프로토코로 부각되고 있는 IEC 61850에 대하여 분석하였으며 산업 설비에서 가장 많이 쓰고 검증된 Modbus 프로토콜을 검토하였다. 이를 기반으로 상호 비교를 통해 현장부설지의 통신상황을 고려하여 표준 프로토콜을 제안하였다.

[상세내용은 별지 2.2.1 참조]

(2) 시스템 고장 분석 평가, 운용비용 산정모델 개발

분기기 관리운영시스템의 RAM 활동을 수행하기 위해서 시스템 모델링을 수행하였으며, 고장률을 산정하여 신뢰성을 평가 이론을 구축하였다.

분기기 관리 운영시스템의 LCC 분석을 위해 시스템의 BOM을 구축하였으며, 생애주기별 비용분석을 수행하였다.

[상세내용은 별지 2.2.2 참조]

다. 축소형 치공구 개발

(1) 축소형 Prototype용 센서별 치공구 제작

KTX 울산역에 분기기에 센서를 안정적으로 설치하기위한 센서별 치공구를 제작하였다. 본 내용은 2차년도 축소형 센서 설치 및 데이터 획득을 위한 축소형 치공구 제작에 관한 내용과 설계도를 첨부하였다.

[상세내용은 별지 2.3.1 참조]

(2) 축소형 센서시스템 현장부설

분기기 관리 운영시스템의 센서 설치 및 데이터 수집을 위해 우선 신경주역 사업소와 실무자회의를 거쳐 센서 및 측정인자에 대한 논의를 하였으며, KTX 울산역의 고속선 분기기에 고속철도 관리 운영시스템을 현장 부설하였다.

[상세내용은 별지 2.3.2 참조]

라. 탐색용 SCM 구축

분기기 관리 운영시스템 구축을 위해서는 센서와 SCM, 그리고 RTU의 I/F 고려하여야 한다. 특히 제한된 현장에 시스템 구축을 위한 통신 방법은 유무선을 고려하여 SCM을 구축하였다.

[상세내용은 별지 2.4 참조]

마. 관리 운용 시스템용 DB 모듈 및 단말기 MM 모듈 개발, RTU 구축

(1) 관리 운용 시스템 DB Prototype 개발

분기기의 성능유지를 위해서 지속적인 유지보수가 필요하다. 유지보수의 목표는 최소의 비용으로 최대의 분기기 성능을 확보하는 것이다. 분기기의 상태와 운용조건을 정확하게 파악하기 위해서 분기기관련 데이터를 지속적으로 수집, 분석하는 것이 필요하다.

[상세내용은 별지 2.5.1 참조]

(2) 단말기 MMI Prototype

현장에 설치된 센서로부터 취득된 신호를 모니터링 하고 분석하기 위한 MMI 프로그램이다. MMI는 실시간 감시화면, 과거이력 데이터 조회, 각 센서별 설정, 시스템 설정으로 구성되어 있다.

[상세내용은 별지 2.5.2 참조]

(3) 축소형 RTU 구축

시스템 구축시 현장 함체에 설치되어 하부로는 센서 신호를 SCM으로부터 취득하고 상위로는 단말기 MMI 모듈에 연계된다.

[상세내용은 별지 2.5.3 참조]

3절 3차년도 연구 수행 내용 및 성과

1. 3차년도 연구결과 요약

가. 평가용 센서 시스템 설치 위치 및 검측 시스템 요구 명세 및 센서 수 최소화 방안 1차 도출 완료 (총 7인자)
나. 의사결정 지원시스템 용 판단값 설정 및 판단모듈제작완료
다. 표준 SCADA 프로토콜 선정 및 프로파일 작성 완료
라. RAM활동을 통한 시스템 고장분석평가
마. 평가용 센서시스템용 치공구 제작 완료
바. 관리운영시스템용 DB 개발
사. 의사결정알고리즘 탑재 단말기 MMI개발
아. 평가용 RTU 구축완료
자. 분기기 관리 운영 시스템 테스트베드 현장 치공구 업그레이드 실시(KTX 울산역)
차. 총 7인자에 대한 55포인트 현장부설

2. 3차년도 주요 연구 성과

가. 분기기 관리운영시스템 측정인자 도출 및 적용센서 최적화

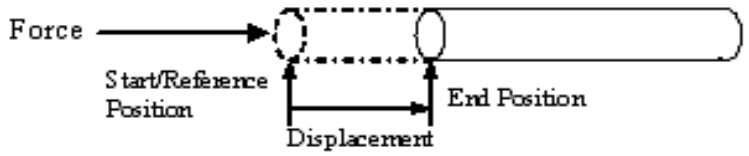
(1) 최종센서 시스템 요구 명세 도출
(가) 분기기 모니터링 시스템 센서
시스템에 설치된 센서의 종류는 [표 3-2]에 나타냈다.

[표 3-2] 시스템에 설치된 센서의 종류

번호	측정물리량	센서 종류	설치부분
1	변위	LVDT	침목-레일
2	충격량	진동센서	레일
3	온도	Thermocouple	레일

(나) LVDT(Linear Variable Differential Transformers)

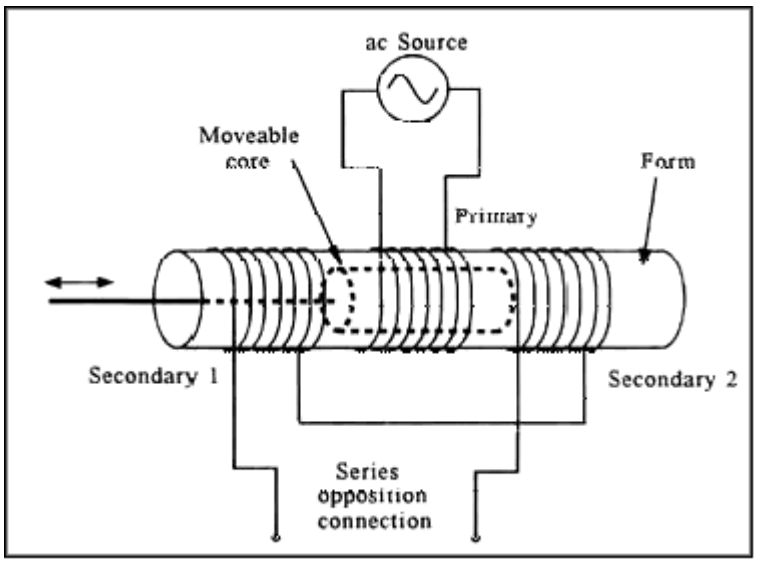
- 선형변위 측정
선형변위는 하나의 축상에서 한 방향으로 이동이다. 위치 혹은 선형이동 센서는 어떤 물체가 기준 점에서 이동한 거리를 나타내는 출력신호를 발생시키는 장치이다. 변위 측정은 운동방향을 나타낸다.



[그림 3-1] Linear Displacement Measurement
선형 변위는 mm로 나타내며, 변위를 양수 혹은 음수로 나타난다.

- 선형 가변 차동변압기
선형 가변 차동 변압기 (LVDT : Linear Variable Differential Transformers)를 변위 측정에 사용한다. 아래의 그림에서 본 것과 같이, LVDT는 코일뭉치와 코어로 구성되

어 있다. 코일뭉치는 고정된 상태로 조립되며, 코어는 위치를 측정할 수 있도록 되어 있다. 코일뭉치는 3개 부분으로 구성되어 있으며, 튜브형태로 되어 있다. 자장 투과체인 코어는 튜브 중심 축에서 자유롭게 움직일 수 있다. 일차 코일에 AC를 인가하여 자장을 발생시키고, 자장을 코아를 통하여 2차 코일에 전달되어 전압을 유기한다.



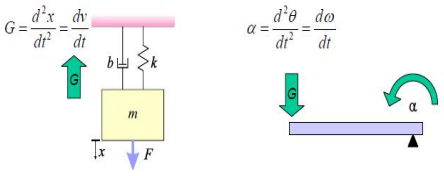
[그림 3-2] General LVDT Assembly

LVDT 변환기의 주요 장점은 다른 형태의 변위 변환기보다 견고함에 있다. 검지 부분이 직접적인 접촉이 없어, 마모가 없다.

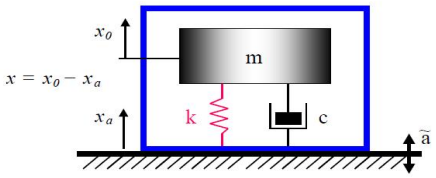
장치는 자기결합에 의존하기 때문에, LVDT는 무한대 해상도를 갖을 수 있다. 따라서 변위 가장 작은 부분은 적절한 신호 처리 하드웨어를 사용함으로써 검지할 수 있다. 변환기의 해상도는 데이터 획득 시스템의 변위에 의해서 결정된다.

(다) 가속도 센서

가속도 센서는 측정 대상에 따라 크게 선형 가속도센서와 각 가속도센서로 나눌 수 있으며, 원리 면에서는 모두 동일하다고 할 수 있다. 일반적으로 가속도센서라 함은 선형 가속도센서를 나타낸다. 감지 방식에 따라서는 크게 변위형(displacement type)과 공진형(resonant type)으로 구분할 수 있다.



[그림 3-3] 선형 가속도와 각 가속도



[그림 3-4] 변위형 가속도센서 구성도

(라) 센서 검토

센서를 검토한 결과 대부분 passive 소자이다. 반면에 strain gauge 같은 경우는 일회용으로서 접착제로 레일에 부착을 하기 때문에 수명이 길지 못하다. 스트레인 게이지를 제외한 다른 센서들은 설치오류에 의해서 발생된 고장을 제외하고는 현재까지 고장이 발생하지 않고 있다. 즉 위치선정이 잘못되어 레일과 상호 간섭을 발생하여, 측정위치를 수정하여 설치한 후에 고장이 발생된 경우는 없다.

[표 3-3] 분기기 모니터링 시스템의 센서 종류

번호	측정물리량	센서 종류	설치부분	센서종류
1	변위	LVDT	침목-레일	passive
2	충격량	진동센서	레일	passive
3	온도	Thermocouple	레일	passive

[상세내용은 별지 3.1.1 참조]

(2) 최종센서 최적화 방안 및 오류대책 도출

(가) 자갈도상 분기기

자갈 도상 분기기의 경우 궤간 및 레일 수직 변위를 측정하기 위해서는 고정점이 필요하다. 자갈도상에 LVDT를 설치하기 위해서는 다음과 같은 작업이 필요하다.



[그림 3-5] 자갈도상에서의 고정점 설치 작업

[그림 3-5]와 같이 작업을 한 후에 레일의 거동을 측정할 수 있다. 그러나 자갈도상은 매 6개월마다 자갈다짐 작업을 하여야 하므로 장기적으로 LVDT와 같은 센서를 설치할 수 없다.

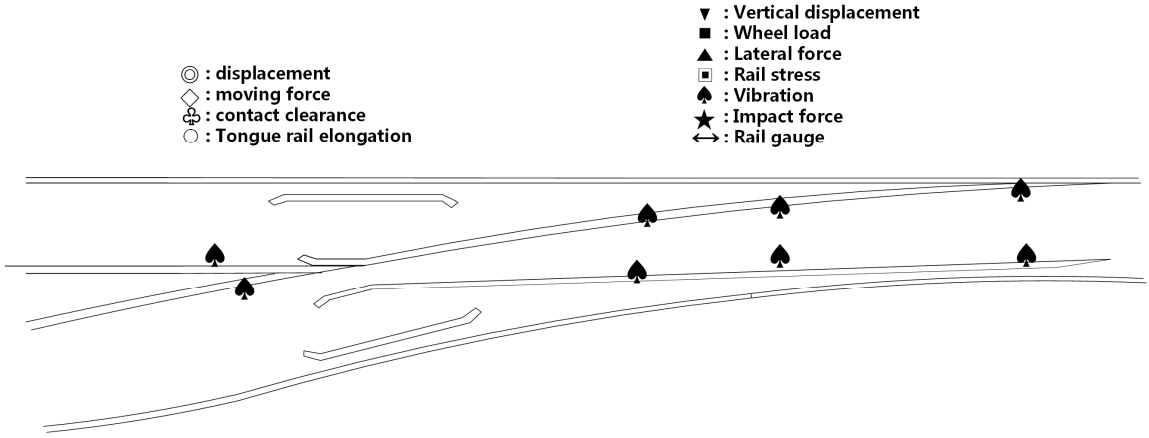
레일의 윤중과 횡압을 측정하기 위해서 strain gauge를 설치할 수 있다. 그러나 대부분의 strain gauge는 1회용 혹은 단기간용이다. 레일의 진동을 측정하는 가속도계는 상대적으로 자갈다짐과 같은 작업에 오랫동안 설치할 수 있다.

결론적으로 자갈도상의 분기기 감시를 위해서 센서를 설치하기 위해서는 분기기 부분을 콘크리트화 하던지 혹은 가속도계를 이용해서 분기기 시스템 특성 변화 추이를 감시할 수 있다.

[표 3-4] 자갈도상 센서 설치 방안

구분	센서명	센서형식	측정항목	적용여부
분기기	변위계	LVDT	궤간	×
			레일수직변위	×
		와이어식 변위계	동정,밀착간격	×
	가속도계	MEMS	레일 진동	○
			좌대 진동	○
	변형율계	스트레인게이지	전환력,충격력 레일응력 윤중.횡압	×
계				

아래 그림에서 진동센서 설치 방안을 나타내었다.



[그림 3-6] 자갈도상에서 진동센서 설치 방안

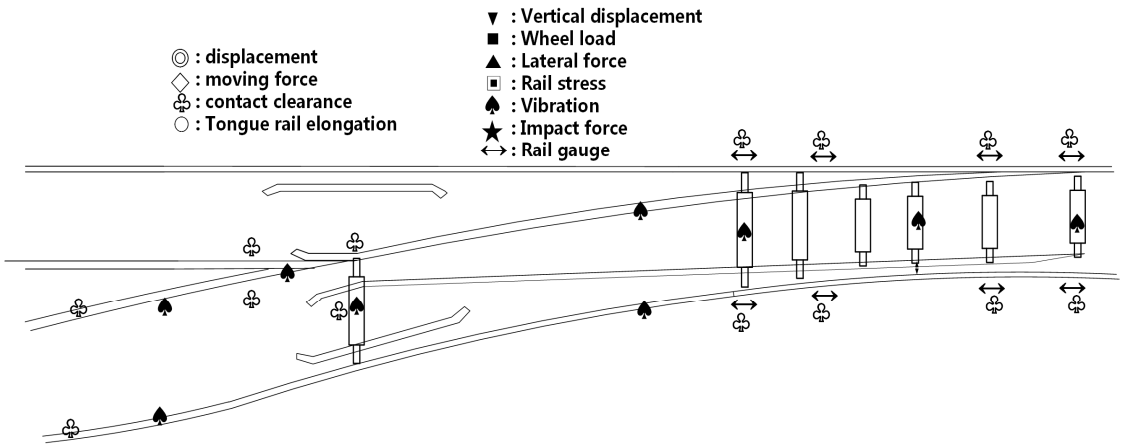
진동센서 설치부분은 상대적으로 취약한 가동부분에 설치하여 분기기의 변화 추이를 알 수 있다.

(나) 콘트리트 도상 분기기

콘크리트 도상의 분기기에서는 콘크리트 도상에 레일 거동센서를 설치하기 때문에 레일 거동을 상대적으로 정확하게 측정할 수 있다. 따라서 센서의 내구성에 따라 측정기간이 정해진다.

[표 3-5] 콘크리트 도상 센서 설치 방안

구분	센서명	센서형식	측정항목	채용여부	근거
분기기	변위계	LVDT	텅레일 신축변위	×	분기기 성능과 직접적인 관련이 없음
			동정/밀착검지	○	전환특성을 규명할 수 있으며, 밀착정도를 규명할 수 있음
			레일횡변위	○	레일의 횡 변위를 측정하는 것으로 분기기 특성을 규명함
			궤간	**○**	**레일의 궤간을 측정하는 것으로 분기기 특성을 규명함**
			레일수직변위	×	측정방법이 불분명함
	가속도계	MEMS	레일 진동	○	Impulse response 특성을 나타내므로 분기기 특성 규명이 가능함
			실린더 진동	○	Impulse response 특성을 나타내므로 분기기 특성 규명이 가능함
	변형율계	스트레인 게이지	전환력	×	구조상 측정이 불가능함
			레일응력	×	센서 특성이 1회용임
			윤중.횡압	×	센서 특성이 1회용임



[그림 3-7] 콘크리트 도상에서 센서 설치 방안

(다) 분기기 유지관리 항목 검토

■ **현재 한국철도공사 유지보수 점검 현황**

고속철도 분기기의 경우 일반점검은 월1회 이상, 정밀점검은 년1회 이상 주기적으로 시행하도록 되어있음(선로유지관리지침 제181조 분기기점검)

- **1일 점검량: 일반점검 2틀, 정밀점검 1틀(야간차단)**
- **년간 절감액 : 238(틀)*270(천원)*2인*12개월 = 약 15억 절감가능**
  (한국철도공사 일급여액 약 270천원, 2015년 4급 21호봉 기준)

■ 유지관리 항목검토

'선로유지관리지침' 분기기 점검은 분기기의 상태를 파악하기 위해 정적상태에서의 궤간, 수평, 면 맞춤, 줄 맞춤 등을 측정하는 것으로, 본 연구에서 개발한 분기기 관리 운영시스템과 목적은 같으나 방법이 다름

■ 현재 시행중인 인력 분기기 검측항목은 열차 통과시 안전확보를 위해 정적인 상태에서의 값을 측정하여 관리하는 방식이나, 본 과제의 개발품은 열차 통과시 분기기의 동적 거동을 변위계, 가속도계를 이용하여 계측값 측정 후 상태를 판단하는 방식으로, 현재 인력 검측 항목을 자동화 하는 시스템이 아님

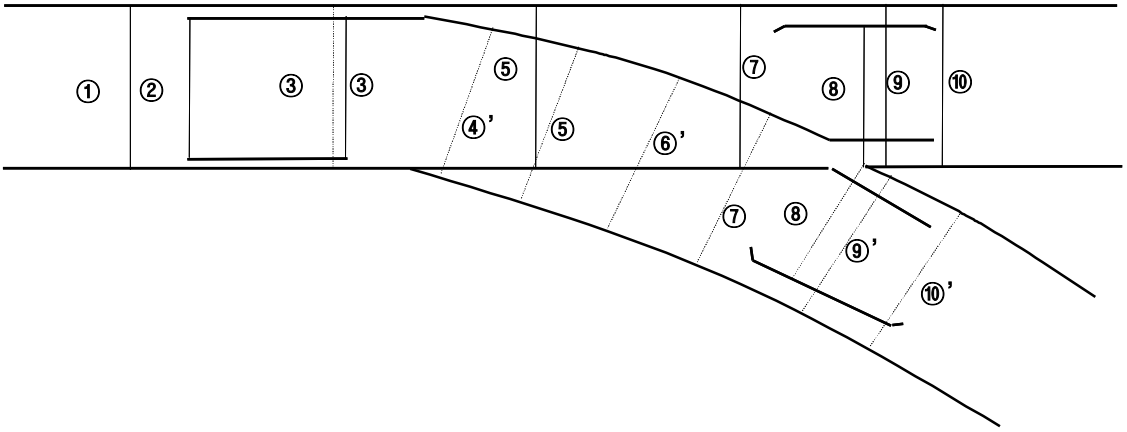
- 분기기 관리운영시스템의 레일 횡변위량 측정 값을 이용하여 간접적으로 궤간 측정 가능하며 간접적으로 관리할 수 있도록 시스템 보완

- 분기기 유지관리 항목을 측정하는 장비는 RPG와 같은 자동화 측정 장비가 이미 개발되어 있음

■ 선로유지관리지침 분기기 점검항목

분기기틀림점검 : 본 점검은 다음에 의하여 시행하며, 측정치의 틀림량이 보수한도를 초과하였는가를 점검하여야 한다.

- 측정위치



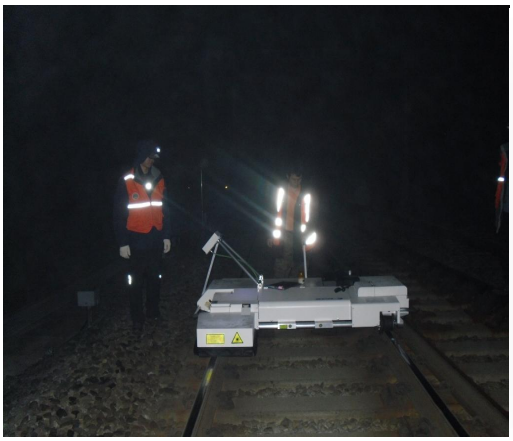
[그림 3-8] 측정위치

▪ **측정종별**

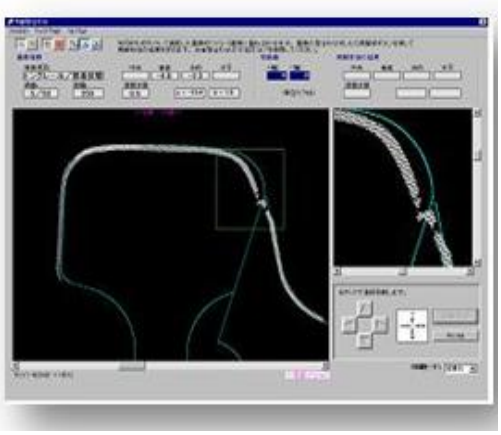
[표 3-6] 측정종별

위 치		기호	궤간	수평	면맞춤	줄맞춤	백게이지
포인트부	이 음 매	①	○	○			
	첨 단	②	○	○	○	○	
	힐이음매	③③'	○	○			
리드부	곡선 1/4	④'	○			○	
	직,곡선 1/2	⑤⑤'	○	○	○	○	
	곡선 3/4	⑥'	○			○	
크로싱부	전 단	⑦⑦'	○	○			
	스와가드레일	⑧⑧'					○
	노 스 부	⑨⑨'		○	○	○	
	후 단	⑩⑩'	○	○			

■ **분기기 검측기(SPG, Switch Profile Gauge)**



[그림 3-9]분기기 검사장비(SPG)검측



[그림 3-9]분기기 검측 결과 레일 마모 측정

▪ **주요기능 : 텅레일 및 노스부의 마모도 및 궤도틀림 등 수치 측정**

■ **분기기 유지보수 관련 경제적 효과**

- ㅇ **개발품을 사용할 경우 반복적, 주기적 점검에서 탈피하여 분기기 상태에 이상 징후가 발생할 경우 즉시 점검 및 조치 할 수 있는 유지보수체계 수립 가능 (인건비 약 15억원 절감 가능)**

- ㅇ **특히 고속선의 경우 차단시간(주·야간)을 제외하고는 선로 점검이 불가하여 개발품을 활용할 경우 실시간으로 상태를 파악할 수 있어 분기기 관련 사고예방 가능**

(라) 센서 최적화 방안 결론

센서 최적화는 자갈도상 혹은 콘크리트 도상의 특성이 다르므로 센서 설치 종류가 달라진다.

변위 센서는 고정점이 있어야만 정확한 측정이 가능하다. 자갈도상의 경우 고정점 확보가 어렵다. 따라서 현재로는 변위 센서는 콘크리트 도상에만 적용이 가능하다.

진동센서는 분기기의 특성 파악이 가능하다. 차량의 휠이 분기기에 impulse response를 가하는 효과가 있다. 따라서 진동센서는 자갈도상과 콘크리트 도상에도 사용이 가능하며, 분기기 특성 규명이 가능하다.

(마) 수요처 요구사항 반영

본 과제는 분기기의 동적 및 정적 상태를 진단하는 것으로, 과도한 센서의 설치는 진단 시스템의 운용 신뢰성을 저하시키므로, 최종적으로 가장 적은 센서로 가장 효율적인 진단을 할수 있는 변위센서 및 진동센서로 최적화를 진행하였다.

기술적으로 보았을 때 커스터마이징이 가능하여 상용화 후 운영기관의 요구사항에 따라 시스템 구축이 가능하다.

[상세내용은 별지 3.1.2 참조]

(3) 의사결정 판단 값 설정 및 모듈 최적화

의사결정 시스템은 센서에서 획득한 내용은 변위데이터와 진동데이터 2가지로 분류할 수 있다.

변위데이터는 수치로 나타내기 때문에 Gaussian 분포를 이용하여 정상 비정상 여부를 판단할 수 있다. 변위는 현재까지 분기기가 정상적으로 관리 유지되어 있기 때문 정상적인 값만을 획득하고 있는 상태이다. 분기기 시스템의 변위는 차량의 휠에 의해서 인가되며, 휠이 사행동을 하기 때문에 일정하게 나타나지 않고 분포를 갖게되며, 일정한 분산을 가지고 있다.

진동 데이터는 low pass filtering을 한 후에 200Hz까지 power spectral로 나타내어 형태인식을 인공신경망을 이용하여 수행하였다. 인공 신경망에 입력은 갯수 trial and error 방식으로 하여 가장 적은 입력 14개로 결정되었다. 출력 결과는 “0”과 “1”로 나타냈으며, 정상인 상태를 “0”이 되도록 학습하였다. 학습된 인공신경망을 이용하여 정상적으로 동작하는 분기기에서 획득한 진동정보를 인공신경망에 인식을 시켰을 때 “0”에 가까운 확률이 80%이상의 일치성을 나타냈다.

[상세내용은 별지 3.1.3 참조]

나. 분기기 관리운영시스템 표준화 및 성능평가 자료 생성

(1) SCADA 장치 표준화 및 상용화

분기기 관리운영시스템의 구성은 크게 측정인자를 센싱하기 위한 센서와 센서의 데이터를 취득하기 위한 SCM 그리고 마이크로 프로세스를 기반으로 하는 시스템인 RTU로 분류 할 수 있다.

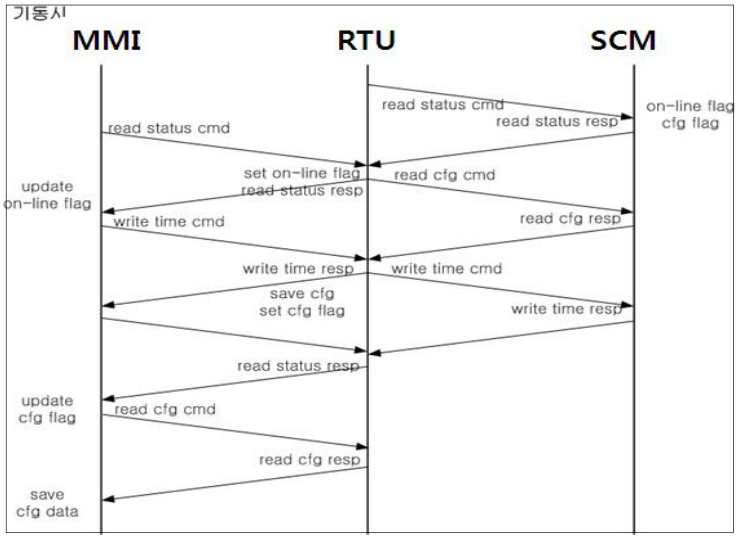
SCADA 통신과 특별히 프로세스 제어을 하기 위해서 설계된 2개의 중요 프로토콜이 있다. IEC 60870은 전기 시스템과 제어정보를 통신하기 위해서 정의되었다. 특히 part-5는 SCADA 환경에 적당하도록 OSI reference Model를 재 정의하였다. IEC60870-5와 부록은 물리적, 링크 및 응용층에 대해서 정의를 하였다. 또한 최근 유틸리티 국제 프로토콜로 부각되고 있는 IEC 61850에 대하여 분석하였으며 산업 설비에서 가장 많이 쓰고 검증된 Modbus 프로토콜을 검토하였다. 이를 기반으로 상호 비교를 통해 현장부설지의 통신상황을 고려하여 표준 프로토콜을 제안하였으며, 현장부설지에서 표준프로토콜로 제안한 Modbus를 반영하여 구성하였다.

(가) 표준 프로토콜 비교표

[표 3-6] 표준 프로토콜 항목 비교

항목	DNP	HDLC	UCA(IEC-61850)	MODBUS
프로토콜 목적	분산형 네트워크에 적용	시리얼 기반에서 고속통신용	산업설비용 프로토콜	산업용 RTU등과 센터간 통신
프로토콜 특징	- 시리얼 통신 및 이더넷 통신에 모두 적용 가능하나 하나의 packet에250byte 전송이 최대 - OSI 7 layer중 4개의 layer를 채용한 간결한 방식 - 하위 이벤트 발생시 상위에서의 요청이 없어도 바로 전송 가능	시리얼 기반에서 다수의 장비와 고속 통신 가능 근거리의 장비간 통신 브로드캐스팅 가능 전용칩사용시 데이터 오류감소 OSI 7 layer 중 2개의 layer 사용	이더넷기반의 객체 지향적 프로토콜 유럽과 미주 중심의 국제 표준 지능형 장비의 다양한 정보 교환 가능 기기별 기능에 대한 신규 추가 가능	시리얼 통신을 기반을 하나 간결한 프레임으로 인해 이더넷에서도 많이 사용 OSI 7 layer 중 2개의 layer 사용 폴링방식으로 신속한 이벤트 전송은 어렵다.
적용 사례	한국전력공사 급전센터와 전국 변전소간 철도공사 센터와 전국 변전소간	한국전력공사 변전소내RTU 간 통신	한국전력공사 변전소 내 HMI와 IED간 철도공사 스마트급전제어	철도공사 원격진단 현장 단말과 변전소 Gateway간.
장점	제어등 중요한 이벤트를 실행함에 있어서 유리 시리얼 통신임에도 프레임 제어를 실행	신속한 정보 교환 시각동기를 통한 장비간 동기화 가능	대용량 정보교환 가능 다른 제조사간 호환성 확보	구현이 매우 용이함. 대부분의 PLC장비에 탑재되어 있음 열악한 통신환경하에서 효율적 무선 모듈 탑재에 효율성 높음
단점	대용량 데이터 전송에 부적합	장거리 전송 불가.	프로토콜 운영에 많은 리소스 필요 간결한 단말장치 적용 난점	신속제어에 한계

(나) 통신 시퀀스



[그림 3-8] 통신 시퀀스

(다) 통신 프로토콜 프레임

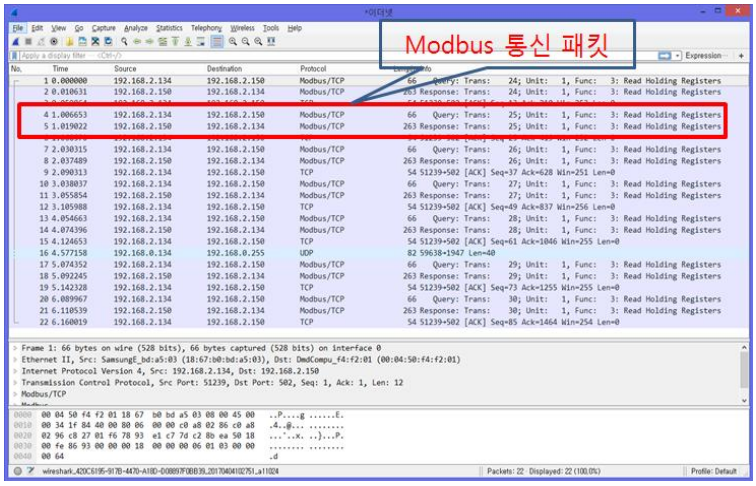
[표 3-7] 통신 프로토콜 프레임

통신방식	TCP/IP
프로토콜	MODBUS/TCP 확장
읽기 명령	Class0 Command - Read multiple registers (FC3)
쓰기 명령	Class0 Command - Write multiple registers (FC 16)

(라) SCADA 프로토콜 표준화 반영

최종적으로 Modbus over TCP/IP를 적용하는 것으로 결론을 도출하여, 현장에 반영하여

운영 시험을 실시하였으며, RTU와 MMI간의 Modbus TCP/IP 통신을 WireShark 프로그램을 통하여 프로토콜 표준화 반영을 확인 할 수 있었다.



[그림 3-9] SCADA 프로토콜 표준화

[상세내용은 별지 3.2.1 참조]

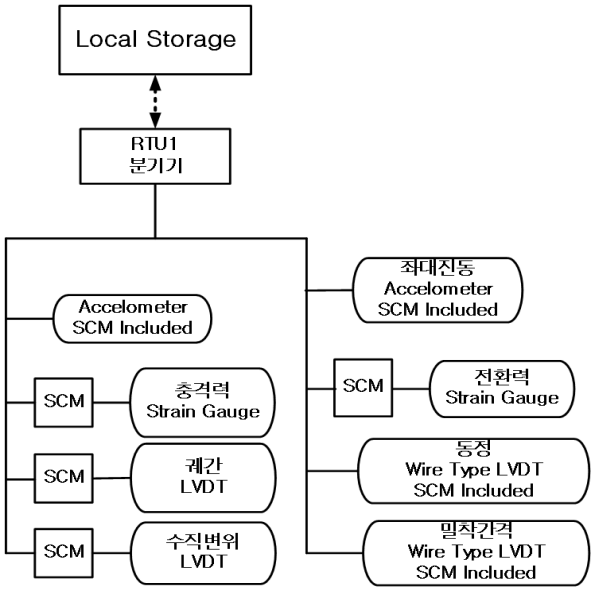
(2) 최종 RAM 평가 및 LCC 산정 결과 도출

(가) 분기기 검측장치 RAM 예측

■ 검측장치의 구성도

▪ 전체 구성도

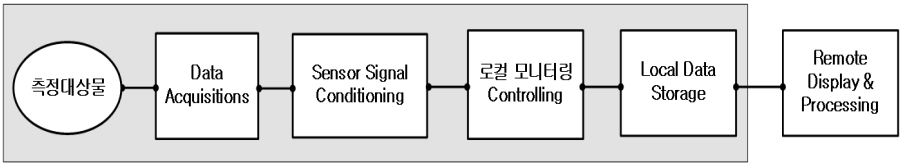
분기기 검측시스템은 아래의 그림과 같이 구성되어 있다. 분기기에는 Accelerometer, LVDT 등이 설치되어 분기기의 동적거동을 측정하고 있다.



[그림3-10] 분기기 시스템 모니터링 시스템 구성

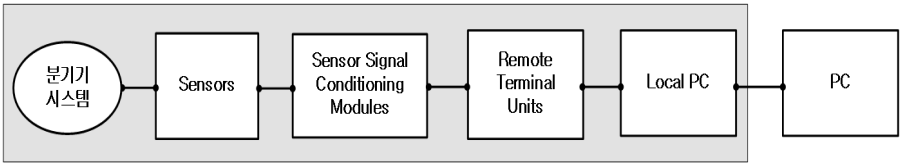
▪ 시스템 동작도

이 시스템의 동작도는 아래의 그림과 같다. 회색으로 표시된 부분은 분기기가 설치된 현장에서 동작되는 시스템 들이다.



[그림 3-11] 데이터 획득, 현시 및 processing

데이터를 획득, 저장 및 처리를 위해서는 아래의 그림과 같은 시스템들로 구성되어 있으며, 회색으로 나타낸 부분은 분기기 현장에 설치되어 운용되고 있는 시스템 들이다.분기기 시스템에 설치된 센서들은 전체 구성 그림 에 대략적으로 나타낸 것처럼, LVDT들와 accelerometer 들이다.



[그림 3-12] 데이터 획득을 위한 시스템 구성

- LVDT 동작도

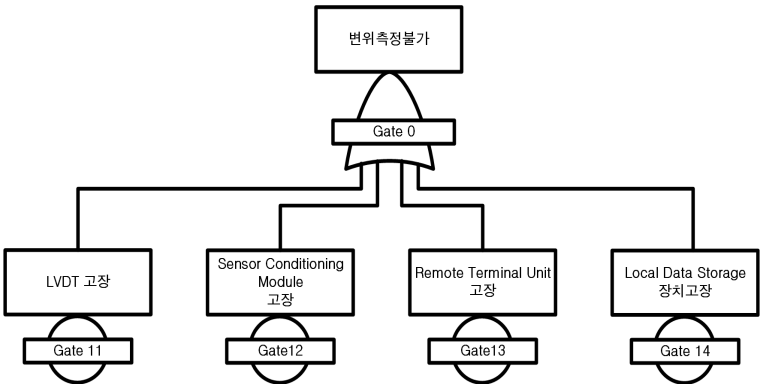
  LVDT 동작도는 아래의 그림과 같다. 선로전환기에 의해서 분기기가 동작되거나 혹은 차량이 분기기가 통과할 때 LVDT는 분기기의 변위를 측정하게 된다. LVDT에서 측정된 데이터는 SCM을 통하여 RTU를 통하여 Local data storage 장치에 저장되고, 저장된 데이터는 원격에 있는 PC에서 Data processing을 통하여 분기기의 정상여부를 판단한다. 따라서 LVDT가 변위를 측정하여 실제적으로 판단에 필요한 정보를 제공하는 단계는 아래의 그림과 같이 직렬로 구성된다.



[그림 3-13] LVDT 동작도

- LVDT 고장목

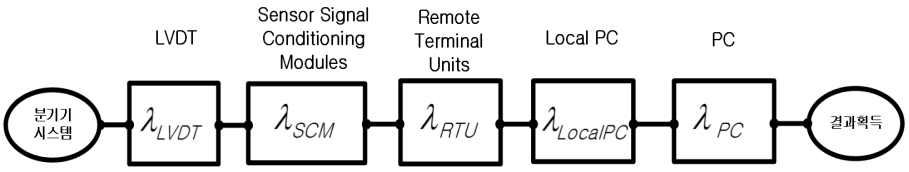
  분기기의 변위를 측정하는 LVDT 시스템은 위의 그림과 같이 직렬로 구성되어 있다. 따라서 고장이 발생하는 고장목은 OR 게이트가 된다.



[그림3-14] LVDT 고장목

- LVDT 신뢰성 블록도

  LVDT의 신뢰도는 각 시스템의 신뢰도에 따른다. 신뢰도는 각 시스템의 고장률에 의해서 결정된다. 아래의 그림에는 분석용 PC가 포함되어 있다. 결과획득을 위해서는 PC가 반드시 포함되어야 한다. 그러나 통상 LVDT의 신뢰도를 평가하기 위해서는 PC는 제외한다.



[그림 3-15] LVDT 신뢰성 블록도

- LVDT 고장률 및 계산식

  LVDT 고장률은 분석용 PC를 포함하지 않는다.

[표 3-8] LVDT 기능 고장률

구분	LVDT	Sensor Conditioning Module	Remote Terminal Unit	Local PC
변위측정	λ_{LVDT}	λ_{SCM}	λ_{RTU}	$\lambda_{LocalPC}$

$$\lambda_{LVDTD} = \lambda_{LVDT} + \lambda_{SCM} + \lambda_{RTU} + \lambda_{LocalPC}$$

$$R_{LVDTD}(t) = \exp(-(\lambda_{LVDT} + \lambda_{SCM} + \lambda_{RTU} + \lambda_{LocalPC})t)$$

- LVDT 유지보수율 및 계산식

  LVDT 유지보수율은 분석용 PC를 포함하지 않는다.

[표 3-9] LVDT 기능 유지보수율

구분	LVDT	Sensor Conditioning Module	Remote Terminal Unit	Local PC
변위측정	μ_{LVDT}	μ_{SCM}	μ_{RTU}	$\mu_{LocalPC}$

$$\frac{\lambda_s}{\mu_s} = \frac{(\lambda_{LVDT}+\mu_{LVDT})(\lambda_{SCM}+\mu_{SCM})(\lambda_{RTU}+\mu_{RTU})(\lambda_{LocalPC}+\mu_{LocalPC})}{\mu_{LVDT}\,\mu_{SCM}\,\mu_{RTU}\,\mu_{LocalPC}}$$

$$\mu_s = \frac{\mu_{LVDT}\,\mu_{SCM}\,\mu_{RTU}\,\mu_{LocalPC}}{\lambda_s(\lambda_{LVDT}+\mu_{LVDT})(\lambda_{SCM}+\mu_{SCM})(\lambda_{RTU}+\mu_{RTU})(\lambda_{LocalPC}+\mu_{LocalPC})}$$

따라서, 평균 수리시간 r_{LVDT} 은 식 아래와 같다.

$$r_{LVDT} = \frac{(\lambda_{LVDT}+\mu_{LVDT})(\lambda_{SCM}+\mu_{SCM})(\lambda_{RTU}+\mu_{RTU})(\lambda_{LocalPC}+\mu_{LocalPC})}{\lambda_{LVDTD}\,\mu_{LVDT}\,\mu_{SCM}\,\mu_{RTU}\,\mu_{LocalPC}}$$

- LVDT 가용율 및 계산식

  LVDT 가용율은 분석용 PC를 포함하지 않는다.

[표3-10] LVDT 기능 가용률

구분	LVDT	Sensor Conditioning Module	Remote Terminal Unit	Local PC
변위측정	A_{LVDT}	A_{SCM}	A_{RTU}	$A_{LocalPC}$

시스템의 비가용도는 식 다음과 같다.

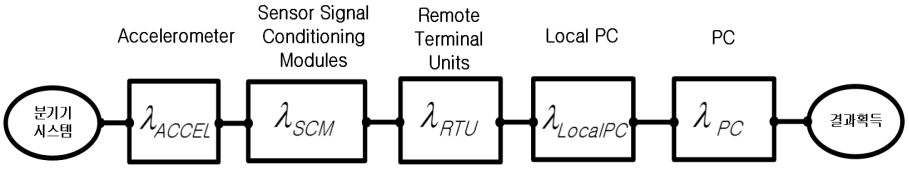
$$U_{LVDT} \cong \lambda_s r_s = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i r_i$$

가용도는 식 다음과 같다.

$$A_{LVDT} = 1 - A_{LVDT}$$

- Accelerometer 동작도

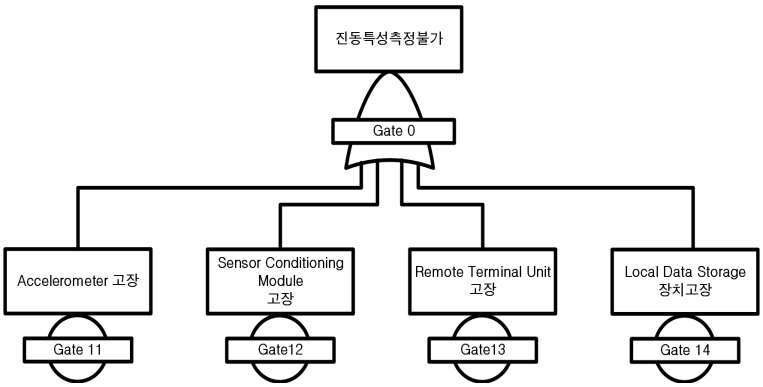
  Accelerometers 동작도는 아래의 그림과 같다. 선로전환기에 의해서 분기기가 동작되거나 혹은 차량이 분기기가 통과할 때 Accelerometers는 분기기의 변위를 측정하게 된다. Accelerometers에서 측정된 데이터는 SCM을 통하여 RTU를 통하여 Local data storage 장치에 저장되고, 저장된 데이터는 원격에 있는 PC에서 Data processing을 통하여 분기기의 정상여부를 판단한다. 따라서 Accelerometers가 변위를 측정하여 실제적으로 판단에 필요한 정보를 제공하는 단계는 아래의 그림과 같이 직렬로 구성된다.



[그림 3-15] LVDT 동작도

- Accelerometer 고장목

  분기기의 변위를 측정하는 Accelerometers 시스템은 아래의 그림과 같이 직렬로 구성되어 있다. 따라서 고장이 발생하는 고장목은 OR 게이트가 된다.

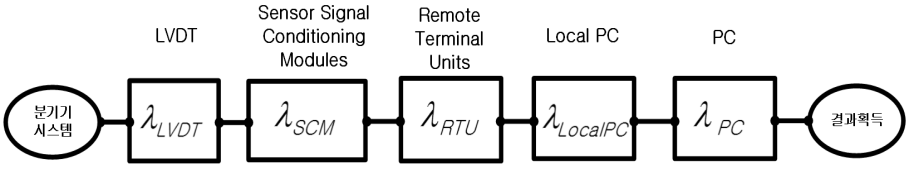


[그림3-16] Accelerometer 고장목

- Accelerometer 신뢰성 블록도

  Accelerometers의 신뢰도는 각 시스템의 신뢰도에 따른다. 신뢰도는 각 시스템의 고장률에 의해서 결정된다. 아래의 그림에는 분석용 PC가 포함되어 있다. 결과획득을

위해서는 PC가 반드시 포함되어야 한다. 그러나 통상 Accelerometers의 신뢰도를 평가하기 위해서는 PC는 제외한다.



[그림3-17] LVDT 신뢰성 블록도

- Accelerometer 고장률 및 계산식
  Accelerometers 고장률은 분석용 PC를 포함하지 않는다.

[표 3-11] Accelerometers 기능 고장률

구분	Accelerometers	Sensor Conditioning Module	Remote Terminal Unit	Local PC
변위측정	λ_{ACCEL}	λ_{SCM}	λ_{RTU}	$\lambda_{LocalPC}$

$$\lambda_{ACCELD} = \lambda_{ACCEL} + \lambda_{SCM} + \lambda_{RTU} + \lambda_{LocalPC}$$

$$R_{LVDTD}(t) = \exp(-(\lambda_{LVDT} + \lambda_{SCM} + \lambda_{RTU} + \lambda_{LocalPC})t)$$

- Accelerometer 유지보수율 및 계산식
  Accelerometers 유지보수율은 분석용 PC를 포함하지 않는다.

[표 3-12] Accelerometers 기능 유지보수율

구분	Accelerometers	Sensor Conditioning Module	Remote Terminal Unit	Local PC
변위측정	μ_{ACCEL}	μ_{SCM}	μ_{RTU}	$\mu_{LocalPC}$

$$\frac{\lambda_s}{\mu_s} = \frac{(\lambda_{ACCEL} + \mu_{ACCEL})(\lambda_{SCM} + \mu_{SCM})(\lambda_{RTU} + \mu_{RTU})(\lambda_{LocalPC} + \mu_{LocalPC})}{\mu_{ACCEL}\,\mu_{SCM}\,\mu_{RTU}\,\mu_{LocalPC}}$$

$$\mu_s = \frac{\mu_{ACCEL}\,\mu_{SCM}\,\mu_{RTU}\,\mu_{LocalPC}}{\lambda_s(\lambda_{ACCEL} + \mu_{ACCEL})(\lambda_{SCM} + \mu_{SCM})(\lambda_{RTU} + \mu_{RTU})(\lambda_{LocalPC} + \mu_{LocalPC})}$$

따라서 평균 수리시간 r_{ACCELD}은 다음과 같다.

$$r_{ACCELD} = \frac{(\lambda_{ACCEL} + \mu_{ACCEL})(\lambda_{SCM} + \mu_{SCM})(\lambda_{RTU} + \mu_{RTU})(\lambda_{LocalPC} + \mu_{LocalPC})}{\lambda_s\,\mu_{ACCEL}\,\mu_{SCM}\,\mu_{RTU}\,\mu_{LocalPC}}$$

- Accelerometer 가용률 및 계산식
  Accelerometers 가용율은 분석용 PC를 포함하지 않는다.

[표 3-13] Accelerometers 기능 가용률

구분	Accelerometers	Sensor Conditioning Module	Remote Terminal Unit	Local PC
변위측정	A_{ACCEL}	A_{SCM}	A_{RTU}	$A_{LocalPC}$

시스템의 비가용도는 식 다음과 같다.

$$U_{ACCEL} \cong \lambda_s r_s = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i r_i$$

가용도는 식 다음과 같다.

$$A_{ACCEL} = 1 - U_{ACCEL}$$

■ 현장적용 시스템 RAM 계산

▪ 현장별 고장수량(울산역)

[표 3-14] 현장별 고장수량

구분	측정항목	측정센서	설치위치	센서 수량	고장유무		고장수량
					유	무	
첨단부	텅레일 신축변위	LVDT	첨단부/텅레일	6		◎	-
	동정/밀착검지	LVDT	첨단부/텅레일	8		◎	-
	궤간 변위	LVDT	주레일	8		◎	-
	레일수직변위	LVDT	주레일	1		◎	-
	레일진동	가속도계	주레일	2	◎		1
	실린더 진동	가속도계	실린더	2		◎	-
	전환력	변형율계	실린더	6	◎		6
	레일응력	변형율계	주레일	1	◎		1
크로싱부	동정/밀착감지	LVDT	크로싱부	6		◎	-
	레일진동	가속도계	주레일	2	◎		1
	실린더 진동	가속도계	실린더	1		◎	-
	전환력	변형율계	실린더	2	◎		2
	윤중	변형율계	주레일	2	◎		2
	횡압	변형율계	주레일	2	◎		2
계				49	-	-	15

▪ 센서별 고장수량(울산역)

[표 3-15] 센서별 고장수량

구분	측정항목	측정센서	설치위치	사용기간	고장수량
첨단부	레일진동	가속도계	주레일	6개월	1
	전환력	변형율계	실린더	측정불가	6
	레일응력	변형율계	주레일	6개월	1
크로싱부	레일진동	가속도계	주레일	1년	1
	전환력	변형율계	실린더	측정불가	2
	윤중	변형율계	주레일	6개월	2
	횡압	변형율계	주레일	6개월	2
계					15

▪ 센서별 고장수량(울산역)

[표 3-16] 센서별 고장수량

구분	센서명	센서수량	고장센서수량	백분율(%)	비 고
분기기	변위계	29	18	62	
	가속도계	7	1	14	
	변형율계	13	13	100	
계		49	32	65	

▪ 측정 불량 원인 및 개선방안(울산역)

[표 3-17] 측정 불량 원인 및 개선방안

구분	측정항목	측정센서	원인	개선방안
첨단부	레일진동	가속도계	가속도센서의 측정용량 부족으로 인해 파손	가속도센의 측정용량을 100G에서 500G로 교체
	전환력	변형율계	실린더 구조상 압력계외 측정 불가	추후 검토필요
	레일응력	변형율계	내구성 부족으로 인해 유지관리용으로 사용불가	장기적으로 사용할수 있는 센서 개발 필요
크로싱부	레일진동	가속도계	가속도센서의 측정용량 부족으로 인해 파손	가속도센의 측정용량을 100G에서 500G로 교체
	전환력	변형율계	실린더 구조상 압력계외 측정 불가	추후 검토필요
	윤중	변형율계	내구성 부족으로 인해 유지관리용으로 사용불가	장기적으로 사용할수 있는 센서 개발 필요
	횡압	변형율계	내구성 부족으로 인해 유지관리용으로 사용불가	//

▪ 고장센서 백분율

[표 3-18] 고장센서 백분율

구분	센서명	센서수량	고장센서수량	백분율(%)	비 고
분기기	변위계	29	18	62	
	가속도계	7	1	14	
	변형율계	13	13	100	
계		49	32	65	

▪ **치공구 고도화 작업**

○ **일시 : 2016년 9월 26일 ~ 2016년 9월 30일(주야간차단시간)**

○ **장소 : 울산역 분기기 P8448호**

○ **내용 : LVDT 6개 교체, 진동센서 3개 추가, 센서 철거(최적화 센서 제외분)**





▪ **치공구 고도화후 고장수량(2016.10 ~ 2017.06)**

[표 3-19] 고도화 후 고장수량

구분	센서명	센서수량	고장센서수량	백분율(%)	비 고
분기기	변위계	10	0	0	
	가속도계	10	1	10	1년이상 사용후 고장
계		20	1	5	

▪ **치공구 고도화후 RAM평가**

치공구 고도화후 약 6개월 이상 현장운영 하였으며, 그 결과 가속도센서에서 고장이 발생하였으나, 1년이상 사용후 고장난 센서였음.

6개월이상 운영하며 고장이 1개 발생하였으므로 신뢰성 $5X10^{-5}/h$ 만족하였으며, 센서 1개를 제외한 전체시스템은 6개월간 정상동작함, 이에 가용성 95%를 만족하였으며, 센서 유지보수시 야간 차단시간에 2시간 이내로 교체가능하므로 유지보수성도 만족하였다.

[표 3-18] 고장센서 백분율

RAM항목	목표	평가	판정
신뢰성	$5X10^{-5}/h$	6개월간 1개 센서 고장	만족
가용성	95%	센서 1개를 제외한 전체 시스템 정상동작	만족
유지보수성	2H	센서 교체시간 2시간 이내	만족

▪ **보완 전략**

치공구 고도화후 시스템 RAM평가가 만족함을 확인하였다. 그러나 이러한 RAM평가에 만족하지 않고 제품의 신뢰성, 가용성, 유지보수성을 좀 더 높이기 위하여 아래와 같이 보완을 추진할 계획이다.

- 현재 사용하는 센서보다 신뢰성, 가용성, 유지보수성이 높은 센서 조사 및 적용검토

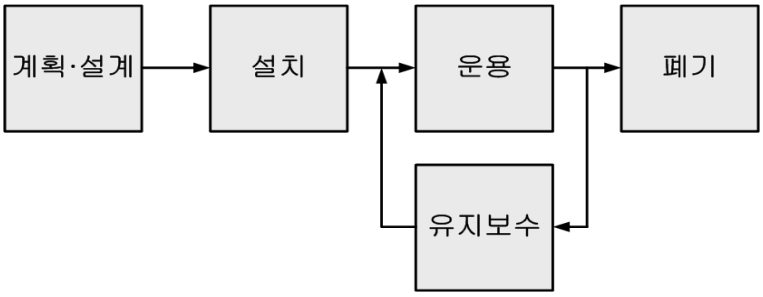
- 가용성, 유지보수성을 높이기 위하여 탈부착 시간을 단축하도록 치공구 지속적 개량

(나) LCC 산정 결과 도출

■ LCC 분석 이론

▪ 기본절차

분기기 모니터링 시스템은 시스템 목적에 맞추어 계획과 설계 단계를 거쳐 설치되며 이후 장기간에 걸쳐 이용되면서 유지관리 되고 노후화되고 기능이 없어지는 경우 해체 과정을 거친다. 따라서 분기기 모니터링 시스템에 관련된 경제성은 계획, 설계, 설치뿐 아니라 사용기간 동안의 유지관리 및 수리 비용, 철거 비용 등을 포함한 총 비용으로 평가할 필요가 있다. 이러한 필요성에 의해 제기된 비용 개념이 수명주기 비용(Life Cycle Coast, 이후 LCC)이다.



[그림 3-18] 분기기 모니터링 시스템의 수명주기 개념도

LCC는 제품의 생산 및 분기기 모니터링 시스템의 가격과 사용에 따라 수명이 지속되는데 걸리는 관리 비용과 폐기·처분 등에 필요한 경비 등 각 단계에서 발생하는 비용을 모두 합한 총 비용을 말한다. 즉 분기기 모니터링 시스템이나 제품 등의 계획, 설계에서부터 설치, 운용 및 유지관리 과정을 거쳐 수리, 수명에 따라 해체 처리까지를 분기기 모니터링 시스템의 생애로 정의하여 전체 기간에 필요한 비용을 의미하는 것으로 수명주기비용 또는 생애비용이라고도 하며 영문 약자를 사용하여 LCC라 한다. LCC는 일반적으로 건물에 적용되고 있으나 분기기 모니터링 시스템 등에도 적용할 수 있다. LCC는 분기기 모니터링 시스템의 수명주기 동안 발생하는 비용을 말한다. 운용비에서 광열비, 점검·보수·청소비 등 운용 및 유지관리 비용, 수리와 점검 비용, 해체 처리 비용과 세금 및 보험 비용까지를 포함한다. 분기기모니터링 시스템의 경우는 기획·설계비, 설치비, 운용 관리비, 폐기처분비 등 분기기 모니터링 시스템의 수명과 밀접한 관련을 갖는 모든 비용을 의미한다.

▪ LCC(수명기간 동안 총 비용의 합)
= (수명기간 동안 총 비용)
= 계획비 + 설계비 + 설치비 + 유지관리 비 + 폐기, 해체비

LCC를 구성하는 비용 항목을 크게 구분하면 다음과 같다.

▪ 계획·설계비 (Planning and design cost)

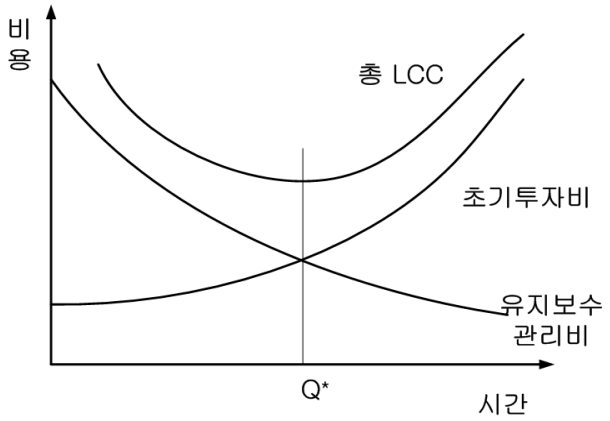
▪ 설치비 (Construction cost)

- 운용 및 유지관리비 (Operation and maintenance cost)
- 폐기처분(해체)비 (Disposal cost)
- 기능 비용 (Functional use cost)
- 기회손실 비용 (Denial of use cost)

이외에도 세금, 신용대부, 감가삼각비, 방범비용 등도 포함된다.
여기에서 기회손실 비용은 의사결정 결과로 발생한 시설물 이용의 지연, 생산시설의 경우 생산지연에 따라 발생하는 불필요한 비용 또는 수입의 손실분을 의미한다.
지금까지 우리나라의 경우 일반적으로 농업 수리시설의 비용을 고려할 때 초기의 건설비용 만을 고려하여 왔다. 그러나 실제 건설단계의 비용은 수리시설 분기기 모니터링 시스템 수명기간 동안 소요되는 전체 비용(LCC) 중 약 15~20%만을 차지하고 있다.
그러나 분기기 모니터링 시스템의 성능을 분석하기 위해서는 초기건설비인 초기 비용은 물론 에너지 비용, 보전 비용, 보수. 유지관리 비용 등의 사용 비용이 매우 중요하다. 예로 농업수리시설의 LCC 가운데 보전비, 수선비, 운용비 등 유지관리비의 경우 그 비율이 매우 커 경우에 따라서는 건설비용의 5~6배가 되는 경우도 발생하게 된다. 따라서 수명주기 비용의 절감을 위해서는 계획 · 설계 단계에서 모든 비용을 종합적으로 검토하는 것이 필요하다.

- LCC 분석 기법의 활용

LCC분석은 분기기 모니터링 시스템의 경우 설치, 운용, 유지보수, 폐기에 이르기까지 대상사업 전체 비용을 포괄적으로 포함시켜 분석함으로써 총 비용관점에서 가장 경제적인 대안을 마련하기 위한 일종의 경제성 평가기법을 의미한다. 즉 시설물 또는 설비시스템 등에 대하여경제적 수명 전반에 걸쳐 발생하는 제비용의 합 즉, 총 비용을 비교하기 편리한 일정한 시점으로 등가 환산한 가치를 말한다. LCC분석의 기본 개념은 그림 2와 같이 초기투자 비용과 운용비용의 합이 가장 적은 지점(Q*)을 선택하여 투자의 경제성을 높이 고자 하는 것이다.



[그림3-19] LCC분석에 의한 경제성 평가

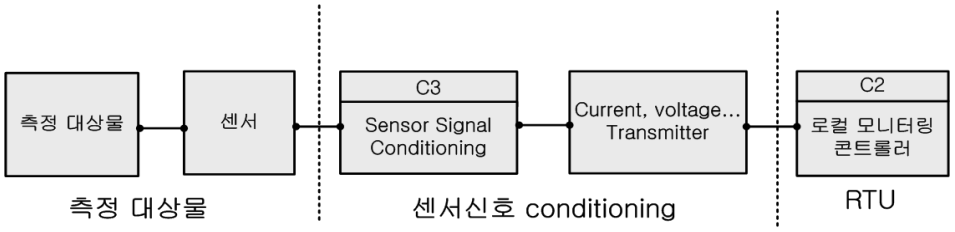
따라서 LCC분석은 대상이 되는 사업의 타당성 조사 및 설계단계부터 시설물의 유지관리 단계까지 전체 수명기간의 비용정보를 제공해주기 때문에 그림 3-2과 같이 사업 초기의 건설비용만이 아닌 수명기간 전체에 걸쳐 발생하는 비용을 근거로 평가하여 가장 경제적 인 대안선정에 기여하는 분석기 법으로 활용되고 있다. 근거로 평가하여 가장 경제적인 대안선정에 기여하는 분석기법으로 활용되고 있다.
LCC 분석 수행에 관련되는 절차상의 단계에는 다음 사항을 포함한다.

- 분석기간 동안의 대안설계 방안의 설정
- 공용기간과 시행시기의 결정

- 분기기 모니터링 시스템 관리기 관리비용 산정
- 사용자 비용 산정
- 비용지출 경향 흐름도 개발
- 순 현재가치의 계산
- 결과 분석
- 설계방안의 재평가

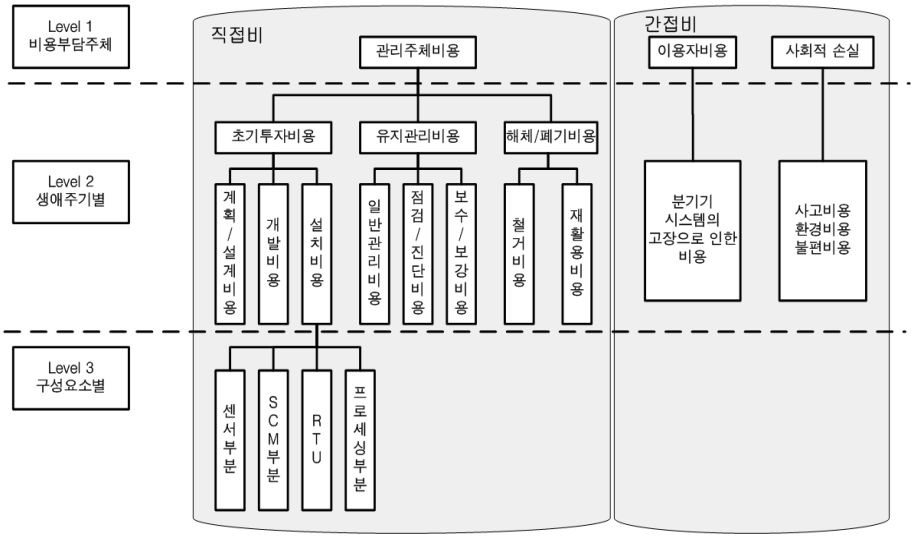
■ 분기기 검측시스템 적용

분기기 검측 시스템을 간략하게 나타내면 아래의 그림과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 3-20] 검측시스템 순서도

시스템의 구성은 치공구, 센서, 와이어, SCM, RTU 및 프로세서 등으로 구성되어있다. 분기기 검측 시스템의 LCC 비용을 분석하면, 아래의 그림과 같다.



[그림 3-21] 분기기 모니터링 시스템 생애주기 비용

분기기에 설치된 센서들의 경우는 환경에 따른 부품의 고유고장보다는 설치잘못에 의해서 고장에 대부분이었다. 진동과 변위에 적응되는 치공구를 변경한 이후에는 고장이 발생되지 않아, 현재로 LCC 평가가 불가능하였으며, 최종적으로 센서의 상태를 평가하여 결정하여야 한다.

[상세내용은 별지 3.2.2 참조]

다. 최종 치공구 개발

(1) 치공구 고도화 및 상품화

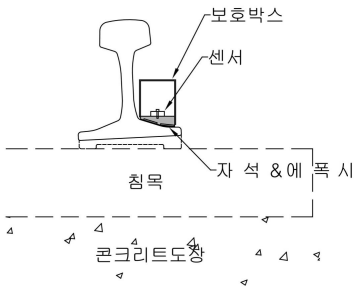
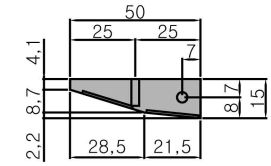
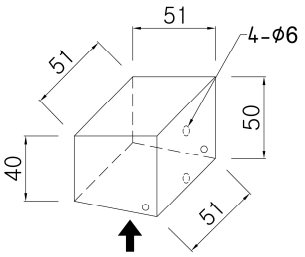
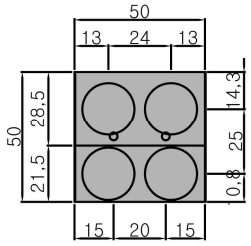
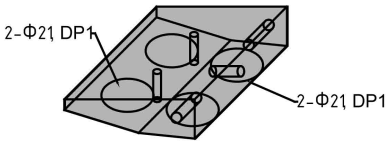
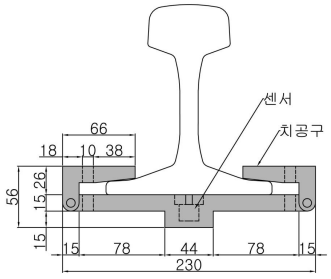
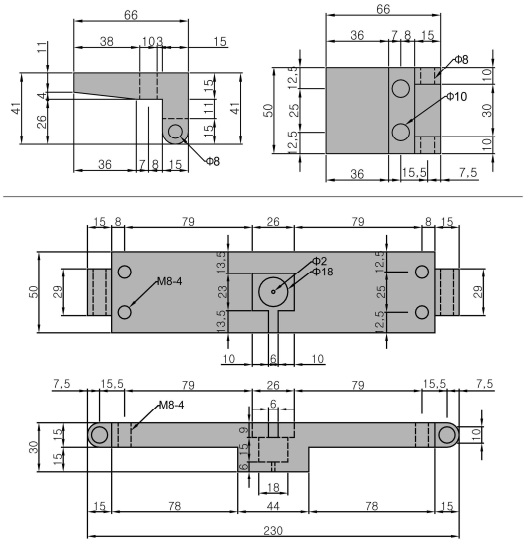
(가) 센서별 치공구 고도화 제작

KTX 울산역에 분기기에 센서를 안정적으로 설치하기 위한 센서별 치공구 고도화를 제작하였다. 본 내용은 3차년도 센서별 치공구 고도화 설치 및 데이터 획득을 위한 치공구 고도화제작에 관한 내용을 첨부하였다.

■ 레일 및 실린더 체결형 치공구

▪ 레일 체결형 치공구

[표 3-19] 레일 체결형 치공구

	개요도	상세도
개선전		
		
		
개선후		

▪ 진동센서를 설치하기 위한 치공구는 개요도와 같이 체결됨

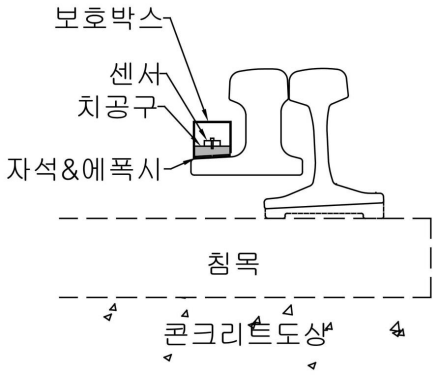
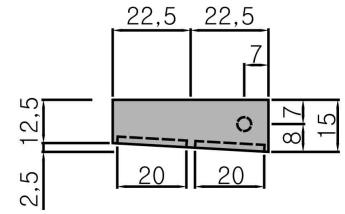
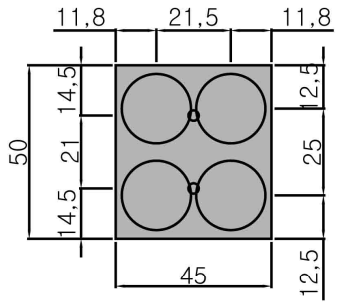
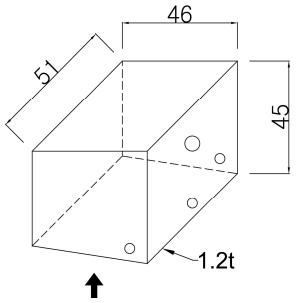
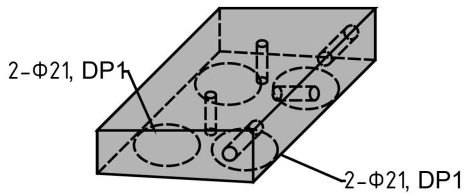
▪ 열차 운행에 있어서 센서 및 치공구의 보호를 위한 보호함도 필요

▪ 보호함의 상부는 뚜껑 형식으로 볼트를 이용하여 개폐가 가능하며 화살표 방향은 개방됨

▪ 센서와 레일의 비접촉으로 인한 값의 신뢰성 저하를 막기 위하여, 센서와 레일이 직접 접촉하는 형태로 치공구를 고도화

▪ 텅레일 체결형 치공구

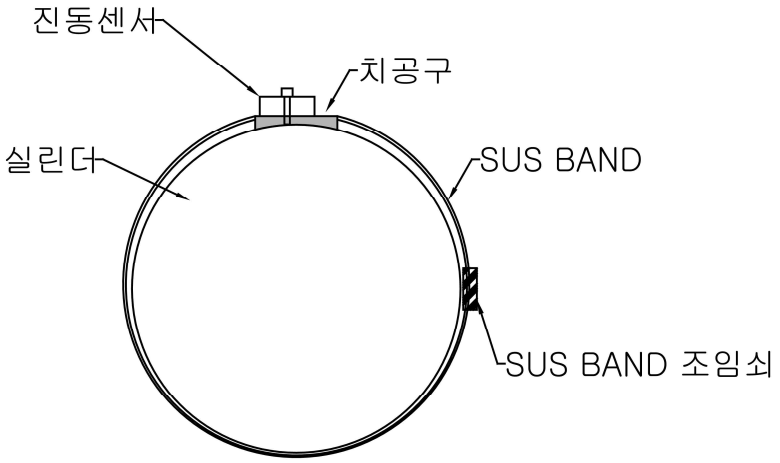
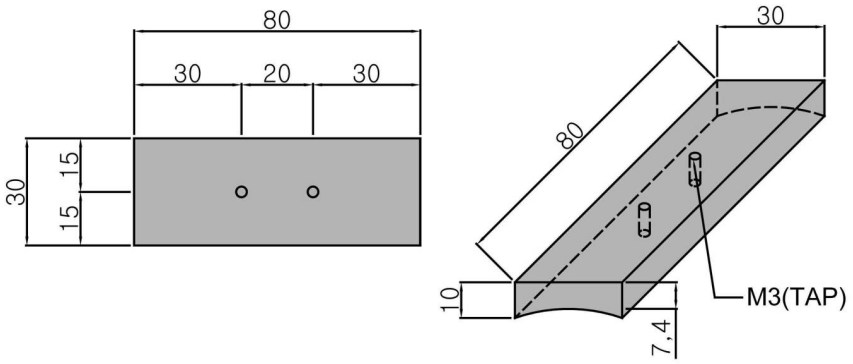
[표 3-20] 텅레일 체결형 치공구

개 요 도	상 세 도
	
보 호 박 스	
	

- 진동센서를 설치하기 위한 치공구는 개요도와 같이 텅레일에 체결됨
- 열차 운행에 있어서 센서 및 치공구의 보호를 위한 보호함도 필요
- 보호함의 상부는 뚜껑 형식으로 볼트를 이용하여 개폐가 가능하며 화살표 방향은 개방됨
- 텅레일 하부의 협소한 공간으로 인하여 텅레일 상부에 부착하는 방식으로 치공구의 고도화

▪ 실린더 체결형 치공구

[표 3-21] 실린더 체결형 치공구

개 요 도

상 세 도


▪ 진동센서를 설치하기 위한 치공구는 개요도와 같이 좌대에 체결됨
▪ 열차 운행에 있어서 실린더의 진동 측정을 목적으로 함
▪ 실린더와 치공구의 부착성을 높이기 위하여 치공구의 곡선화

▪ 치공구 형상

레일 체결형의 치공구 형상은 아래의 그림과 같이 고정형 치공구에 영구자석을 부착하여 체결하였다.



[그림 3-22] 레일 체결형



[그림 3-23] 실린더 체결형

진동 측정을 위한 치공구는 레일과 좌대 및 실린더에 아래의 그림과 같이 설치가 되며, 치공구의 상판에 가속도 센서가 고정된다.



[그림 3-24] 레일 체결형 치공구 부착상태



[그림 3-25] 텅레일 부착형 치공구 부착상태

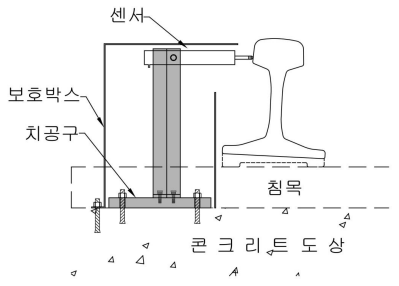
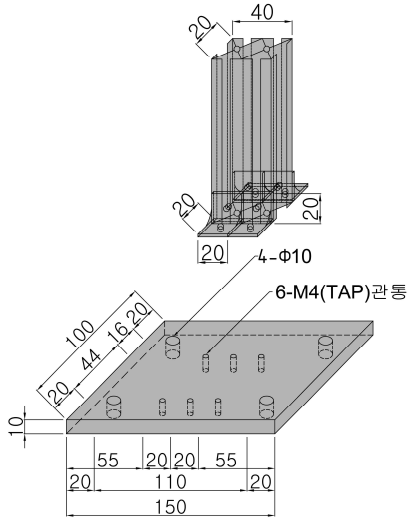
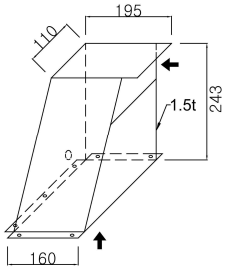
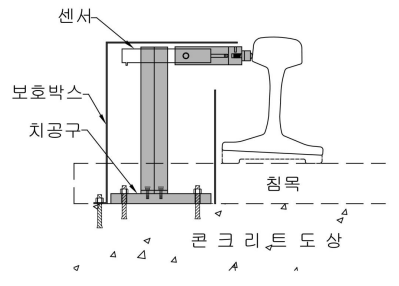
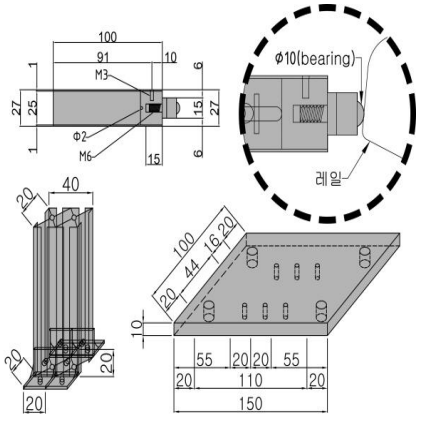
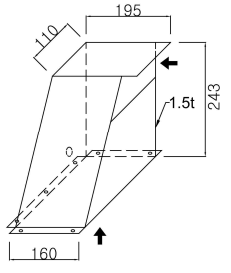


[그림 3-26] 실린더 체결형 치공구 부착상태

■ 도상 고정형 치공구

▪ 분기기 콘크리트 도상 고정형 치공구(울산역-궤간)

[표 3-22] 콘크리트 도상 고정형 치공구(궤간)

	개요도	상세도
개선전		
		
개선후		
		

▪ 콘크리트도상에 치공구를 고정하기 위하여 셋트앙카를 사용

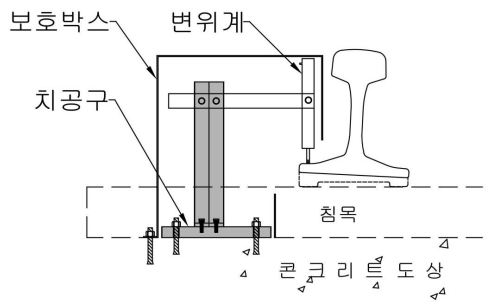
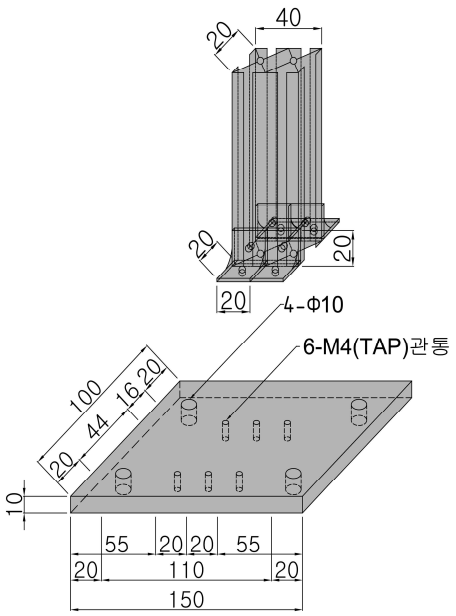
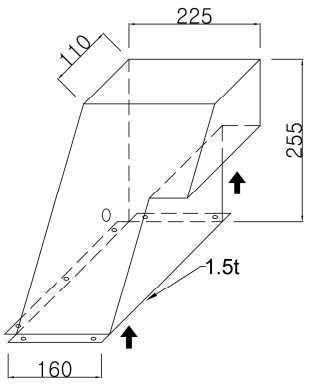
▪ 열차 운행에 있어서 센서 및 치공구의 보호를 위한 보호함도 필요

▪ 보호함의 상부는 뚜껑 형식으로 볼트를 이용하여 개폐가 가능

▪ 센서의 측정부를 보호하기 위하여 볼베어링 장치의 치공구로 고도화

▪ 분기기 콘크리트 도상 고정형 치공구(울산역-레일 수직변위)

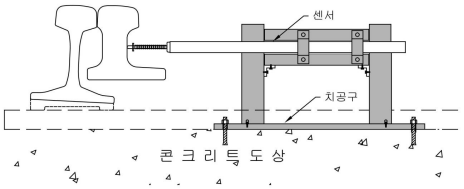
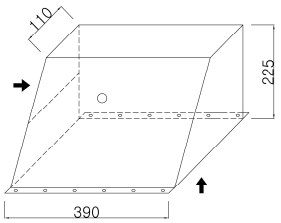
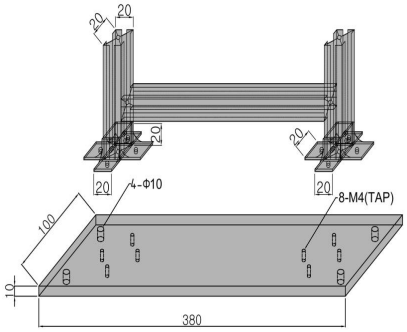
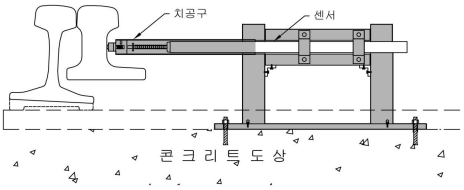
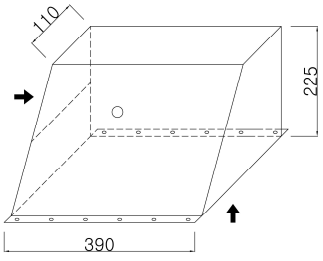
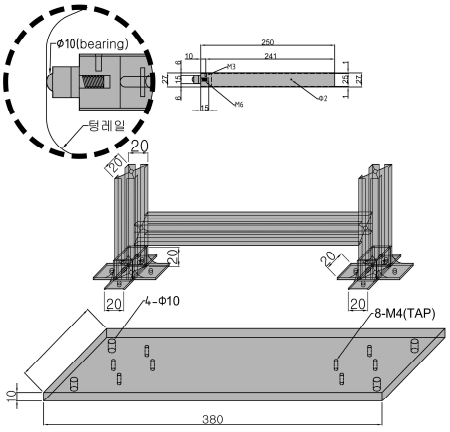
[표 3-23] 콘크리트 도상 고정형 치공구(레일 수직변위)

개 요 도	상 세 도
	
보 호 박 스	
	

▪ 콘크리트도상에 치공구를 고정하기 위하여 셋트앙카를 사용
▪ 열차 운행에 있어서 센서 및 치공구의 보호를 위한 보호함도 필요
▪ 보호함의 상부는 뚜껑 형식으로 볼트를 이용하여 개폐가 가능

▪ 분기기 콘크리트 도상 고정형 치공구(울산역-동정,밀착검지)

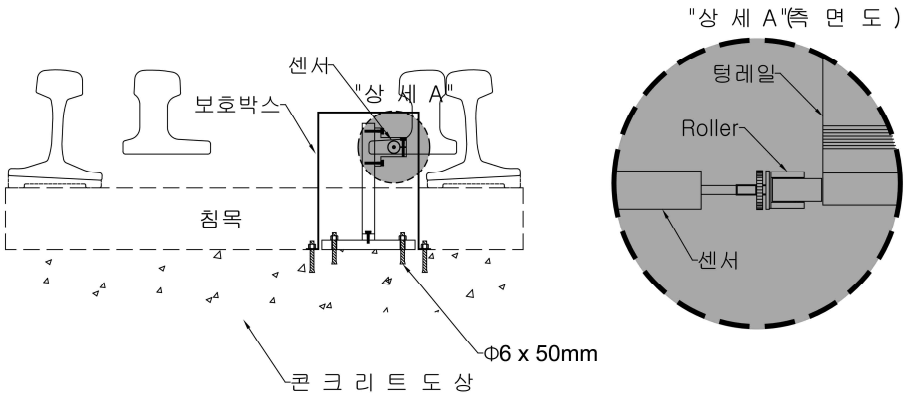
[표 3-24] 콘크리트 도상 고정형 치공구(동정,밀착검지)

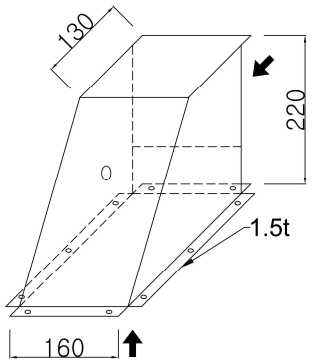
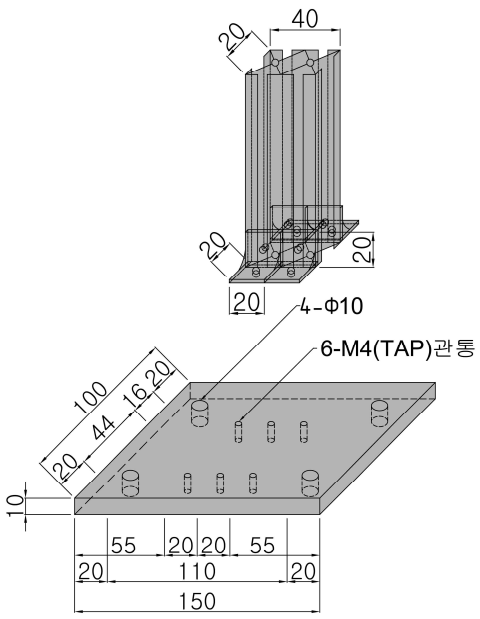
	개요도	상세도
개선전	 	
개선후	 	

▪ 콘크리트도상에 치공구를 고정하기 위하여 셋트앙카를 사용
▪ 열차 운행에 있어서 센서 및 치공구의 보호를 위한 보호함도 필요
▪ 보호함의 상부는 뚜껑 형식으로 볼트를 이용하여 개폐가 가능
▪ 센서의 측정부를 보호하기 위하여 볼베어링 장치의 치공구로 고도화

▪ 분기기 콘크리트 도상 고정형 치공구(울산역-텅레일신축)

[표 3-25] 콘크리트 도상 고정형 치공구(텅레일신축)

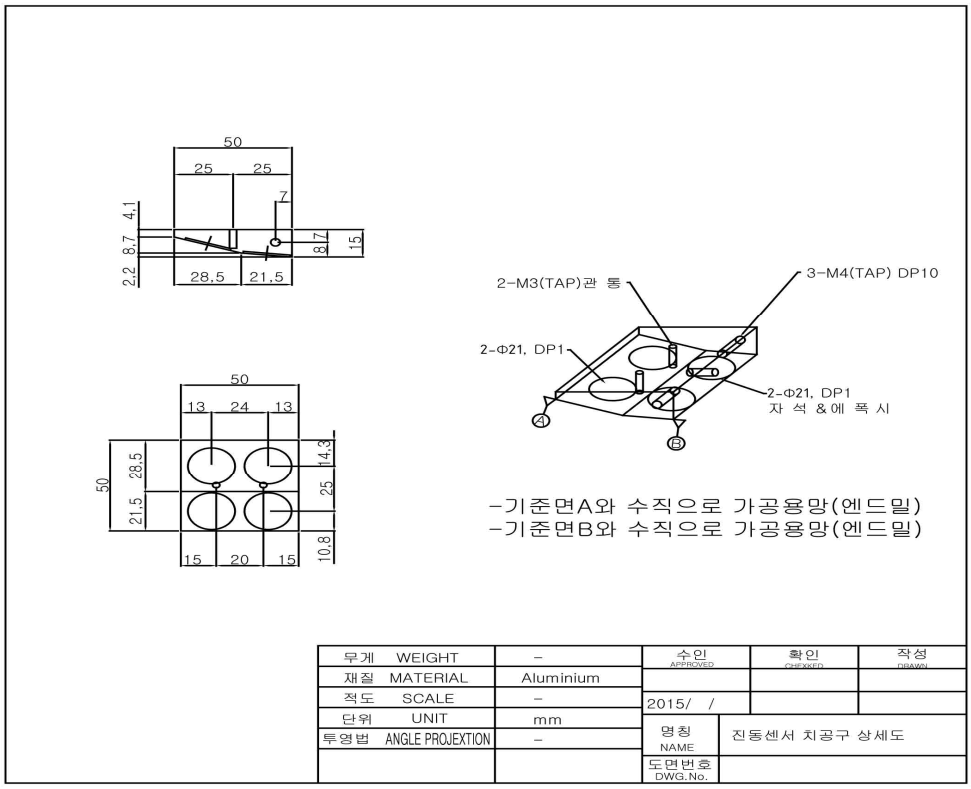
개 요 도


보 호 박 스	상세도
	

▪ 콘크리트도상에 치공구를 고정하기 위하여 셋트앙카를 사용
▪ 열차 운행에 있어서 센서 및 치공구의 보호를 위한 보호함도 필요
▪ 보호함의 상부는 뚜껑 형식으로 볼트를 이용하여 개폐가 가능
▪ 센서의 측정부를 보호하기 위하여 볼베어링 장치의 치공구로 고도화

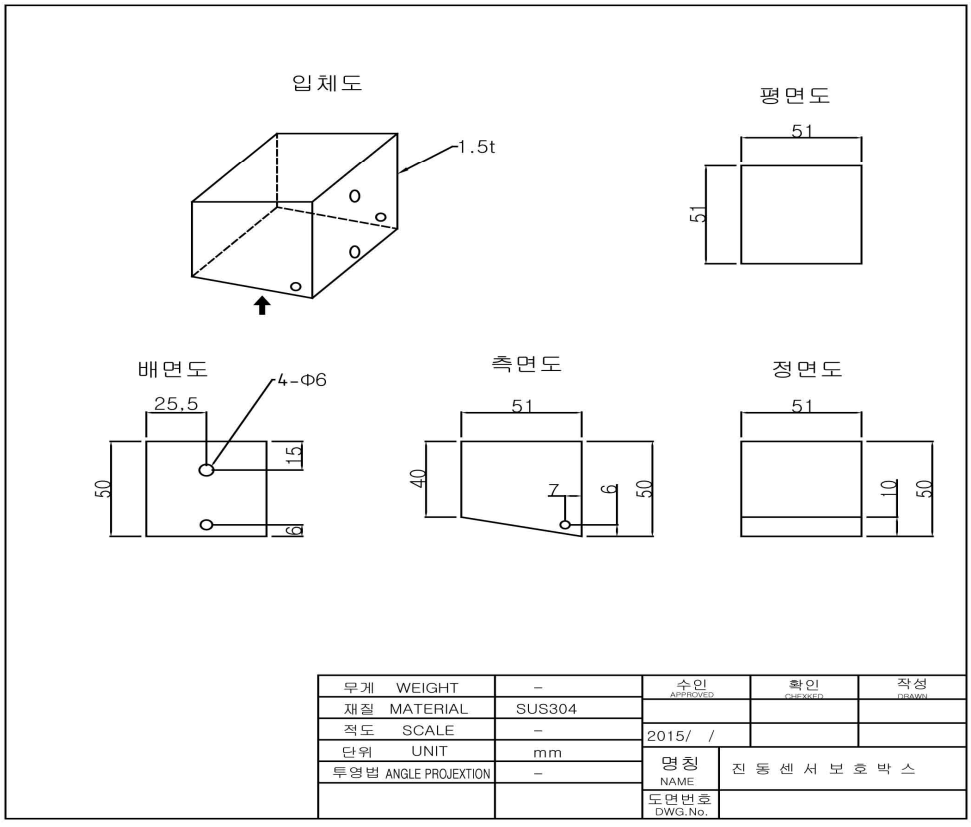
■ 치공구 및 센서 보호함 도면

▪ 레일 진동 치공구 도면



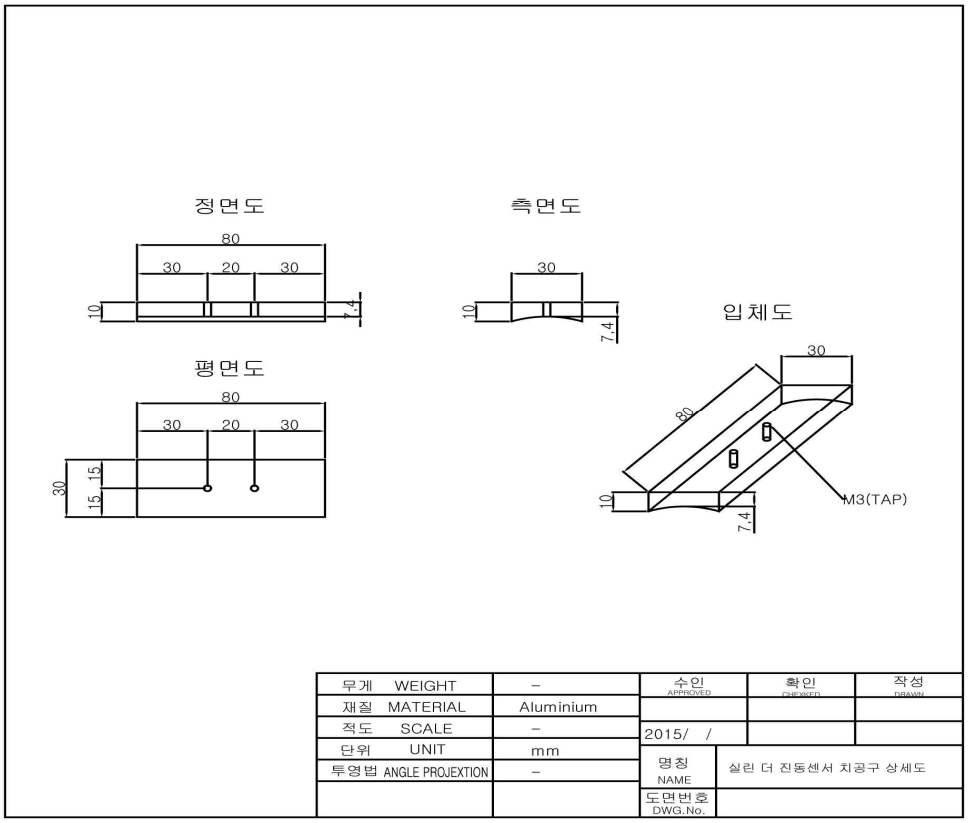
[그림 3-27] 레일 진동 치공구 도면

▪ 레일 진동 센서 보호함 도면



[그림 3-28] 레일 진동 센서 보호함 도면

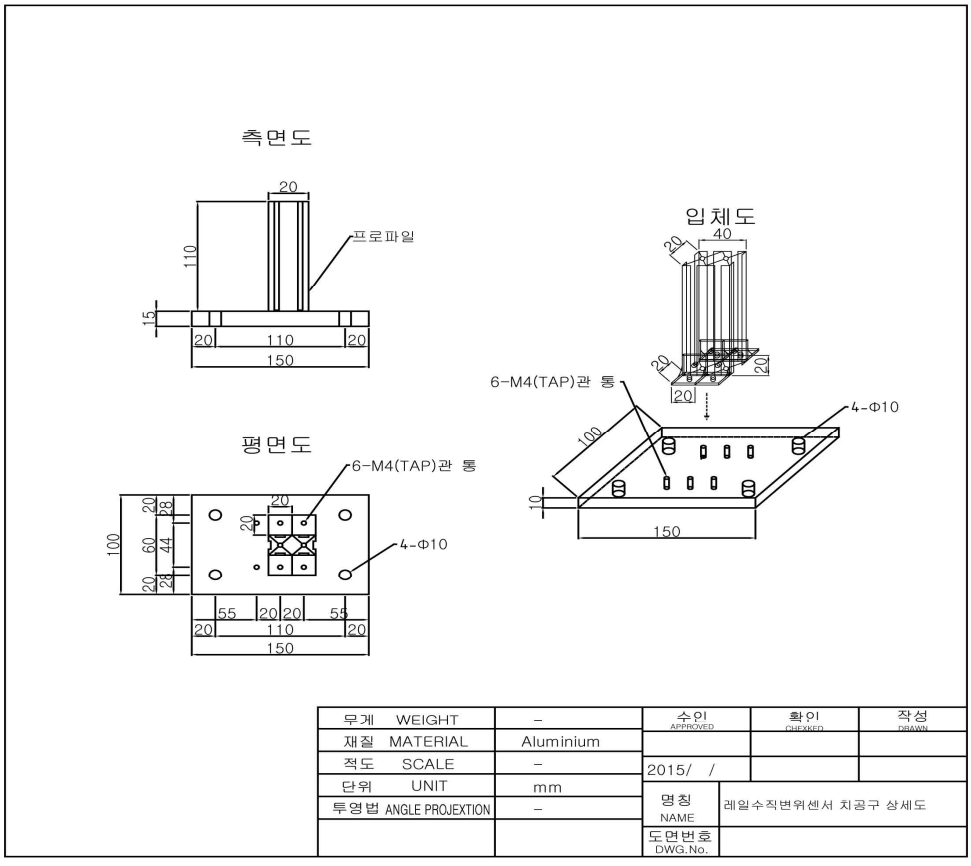
▪ 실린더 진동 치공구 도면



무게 WEIGHT	–	수인 APPROVED	확인 CHEXKED	작성 DRAWN
재질 MATERIAL	Aluminium			
적도 SCALE	–	2015/ /		
단위 UNIT	mm	명칭 NAME	실린 더 진동센서 치공구 상세도	
투영법 ANGLE PROJEXTION	–	도면번호 DWG.No.		

[그림 3-29] 실린더 진동 치공구 도면

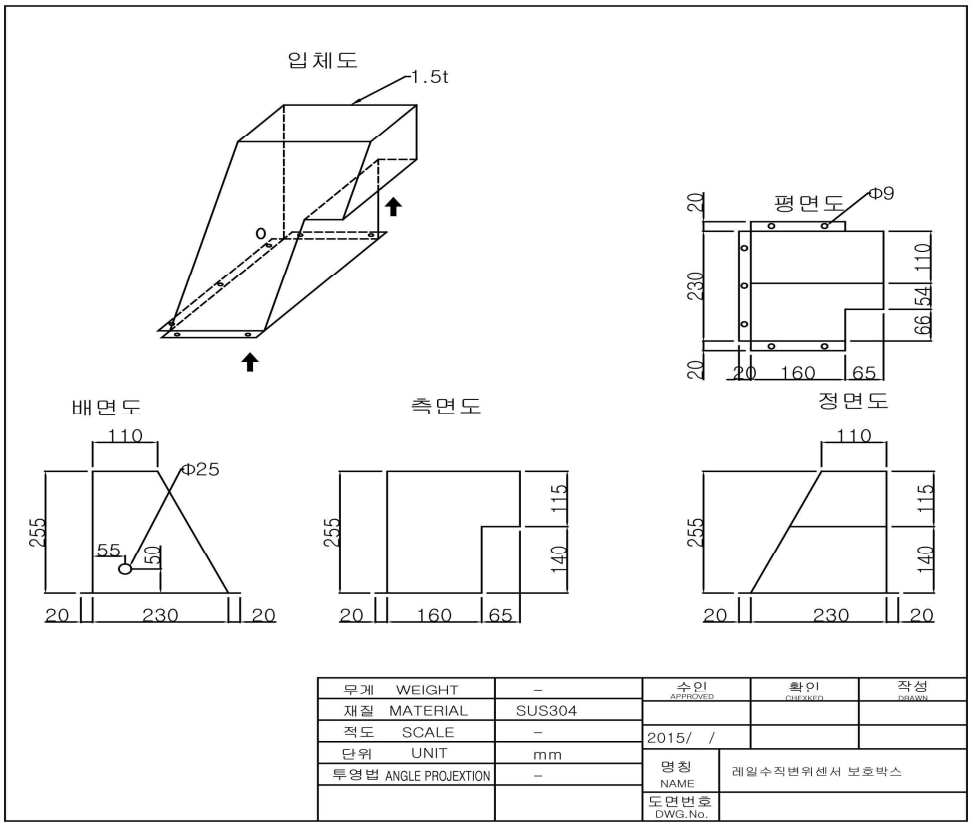
▪ 레일 수직 변위 치공구 도면



무게 WEIGHT	–	수인 APPROVED	확인 CHEXKED	작성 DRAWN
재질 MATERIAL	Aluminium			
적도 SCALE	–	2015/ /		
단위 UNIT	mm	명칭 NAME	레일수직변위센서 치공구 상세도	
투영법 ANGLE PROJEXTION	–	도면번호 DWG.No.		

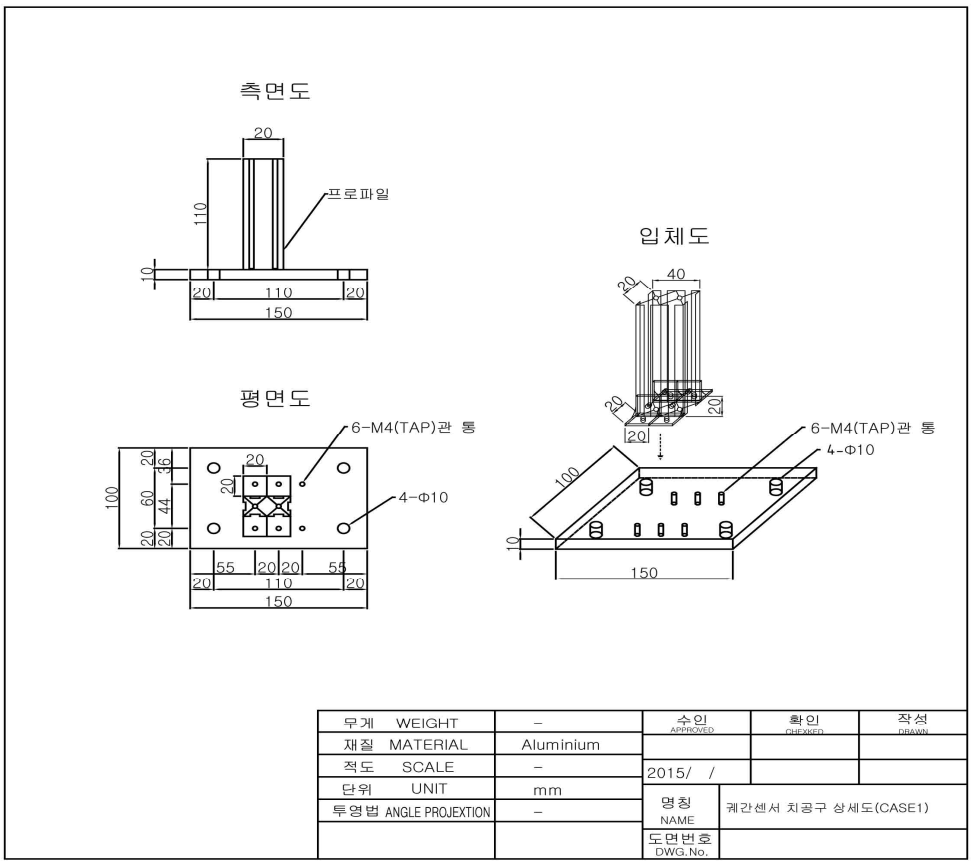
[그림 3-30] 레일 수직 변위 치공구 도면

▪ 레일 수직 변위 센서 보호함 도면



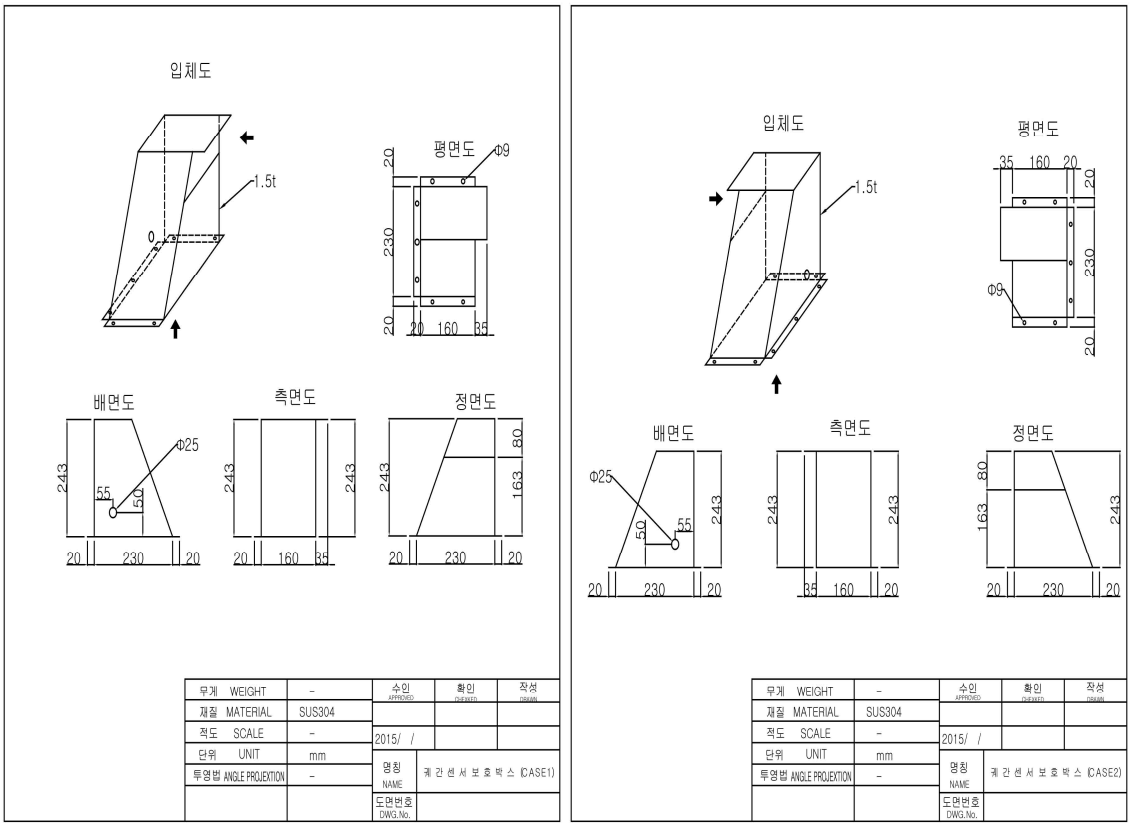
[그림 3-31] 레일 수직 변위 센서 보호함 도면

▪ 궤간 치공구 도면



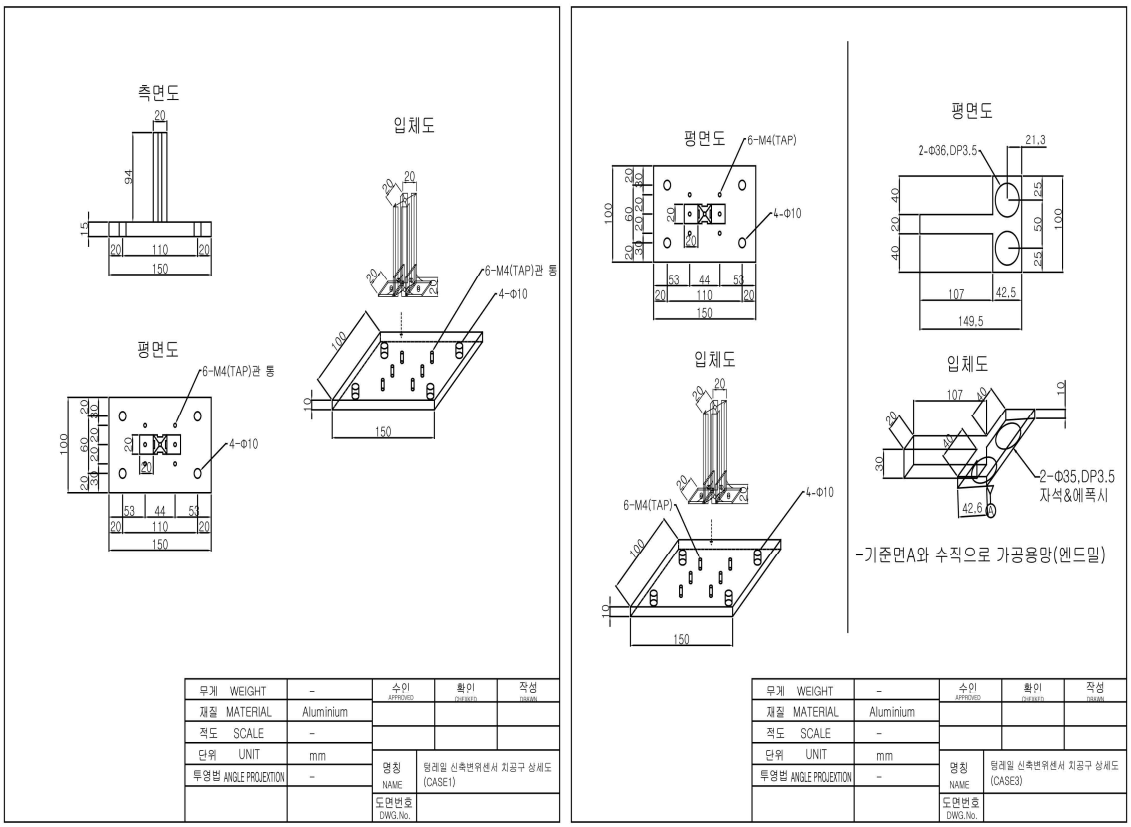
[그림 3-32] 궤간 치공구 도면

▪ 궤간 센서 보호함 도면



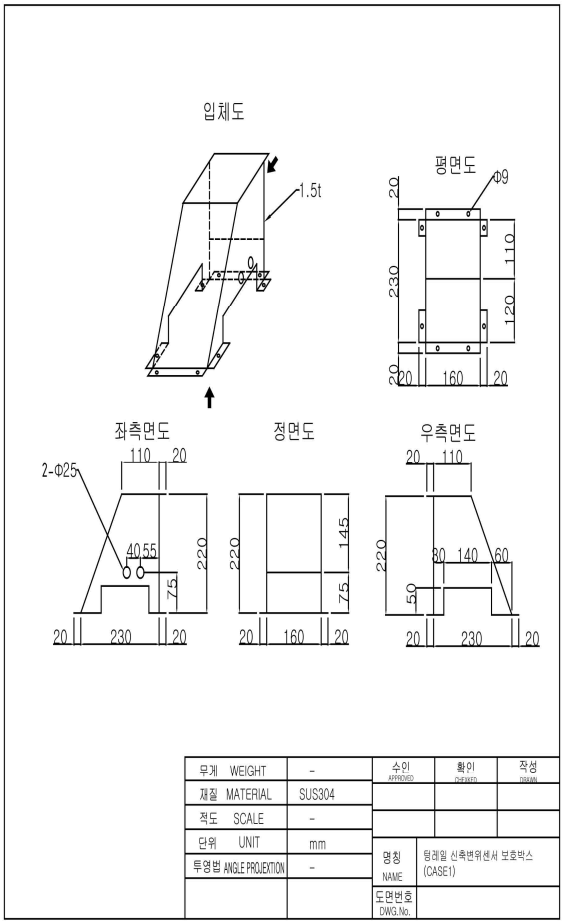
[그림 3-33] 궤간 센서 보호함 도면

▪ 텅레일 신축변위 치공구 도면

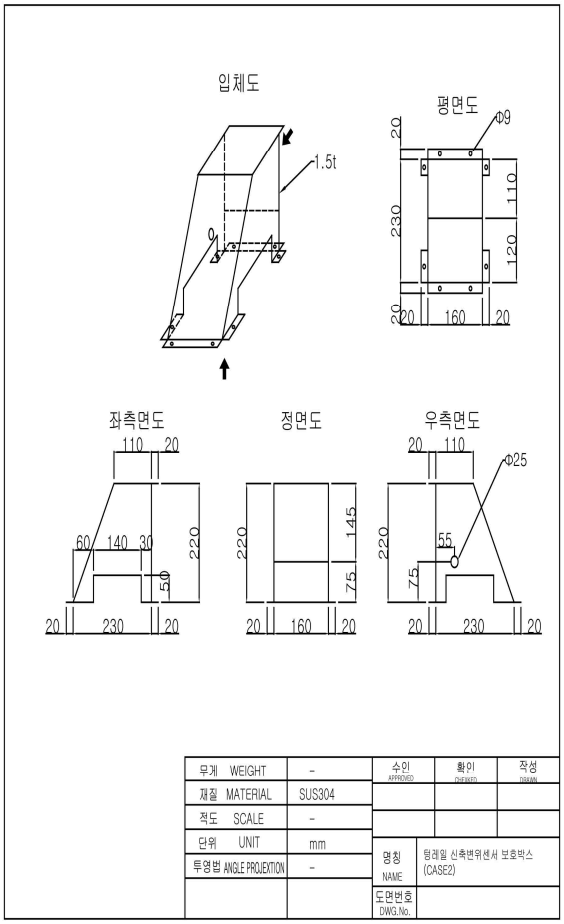


[그림 3-34] 텅레일 신축변위 치공구 도면

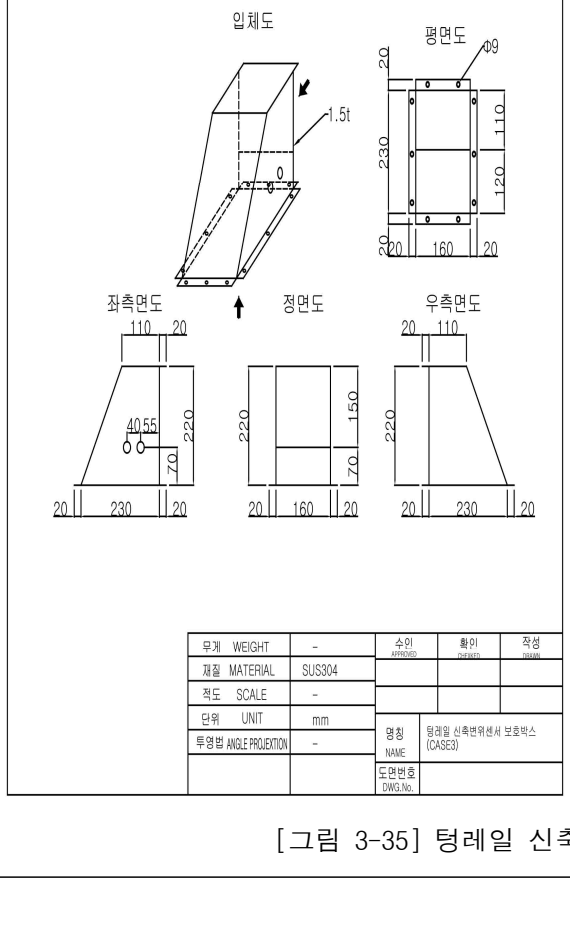
▪ 텅레일 신축변위 센서 보호함 도면



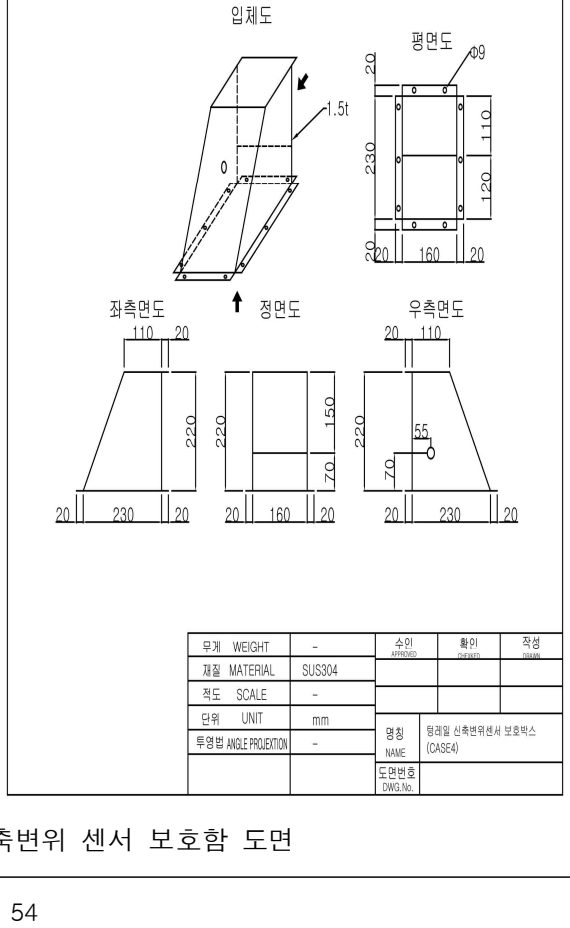
무게 WEIGHT	-	수인 APPROVED	확인 CHEKED	작성 DRAWN
재질 MATERIAL	SUS304			
적도 SCALE	-			
단위 UNIT	mm	명칭 NAME	텅레일 신축변위센서 보호박스 (CASE1)	
투영법 ANGLE PROJEXTION	-	도면번호 DWG.No.		



무게 WEIGHT	-	수인 APPROVED	확인 CHEKED	작성 DRAWN
재질 MATERIAL	SUS304			
적도 SCALE	-			
단위 UNIT	mm	명칭 NAME	텅레일 신축변위센서 보호박스 (CASE2)	
투영법 ANGLE PROJEXTION	-	도면번호 DWG.No.		



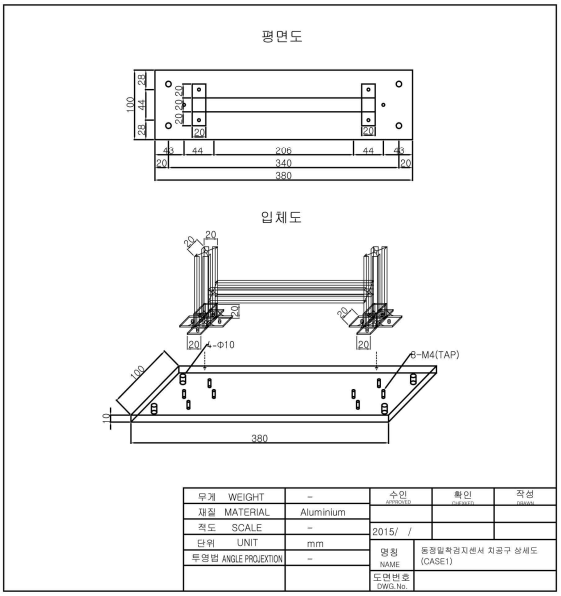
무게 WEIGHT	-	수인 APPROVED	확인 CHEKED	작성 DRAWN
재질 MATERIAL	SUS304			
적도 SCALE	-			
단위 UNIT	mm	명칭 NAME	텅레일 신축변위센서 보호박스 (CASE3)	
투영법 ANGLE PROJEXTION	-	도면번호 DWG.No.		

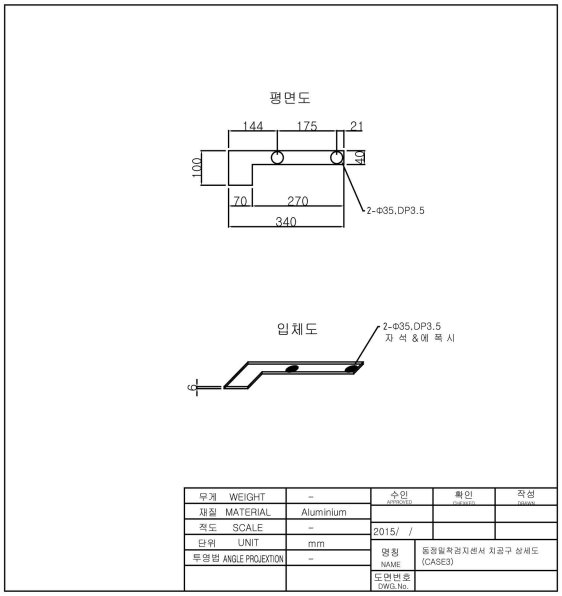


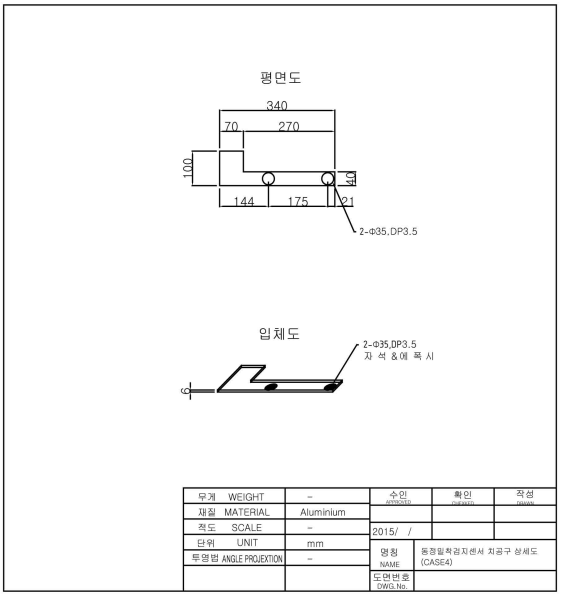
무게 WEIGHT	-	수인 APPROVED	확인 CHEKED	작성 DRAWN
재질 MATERIAL	SUS304			
적도 SCALE	-			
단위 UNIT	mm	명칭 NAME	텅레일 신축변위센서 보호박스 (CASE4)	
투영법 ANGLE PROJEXTION	-	도면번호 DWG.No.		

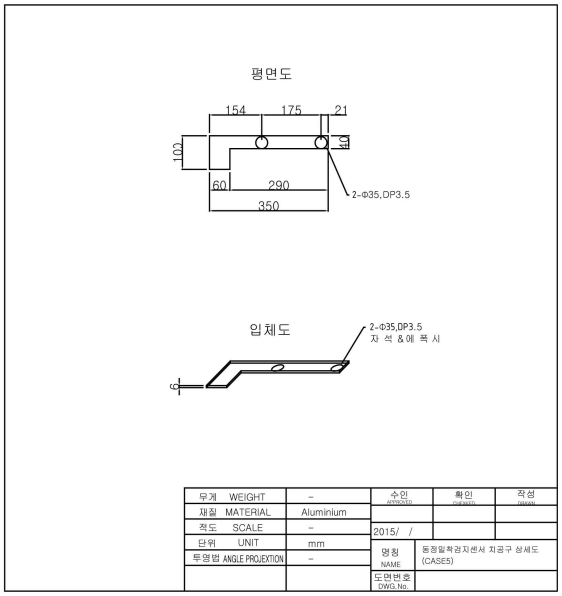
[그림 3-35] 텅레일 신축변위 센서 보호함 도면

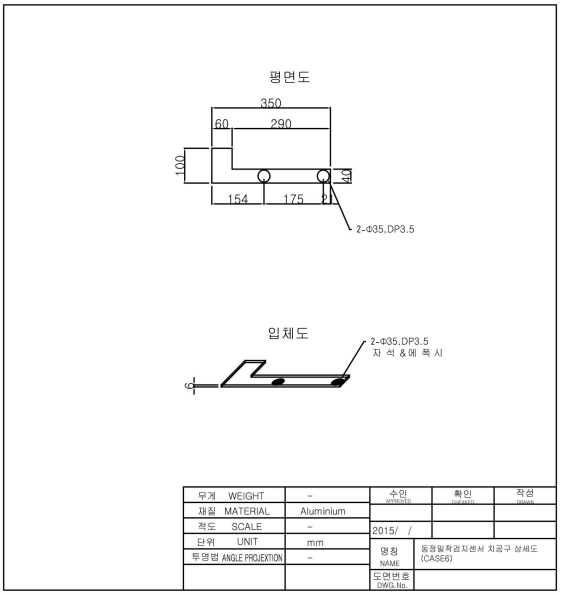
▪ 동정 밀착검지 치공구 도면





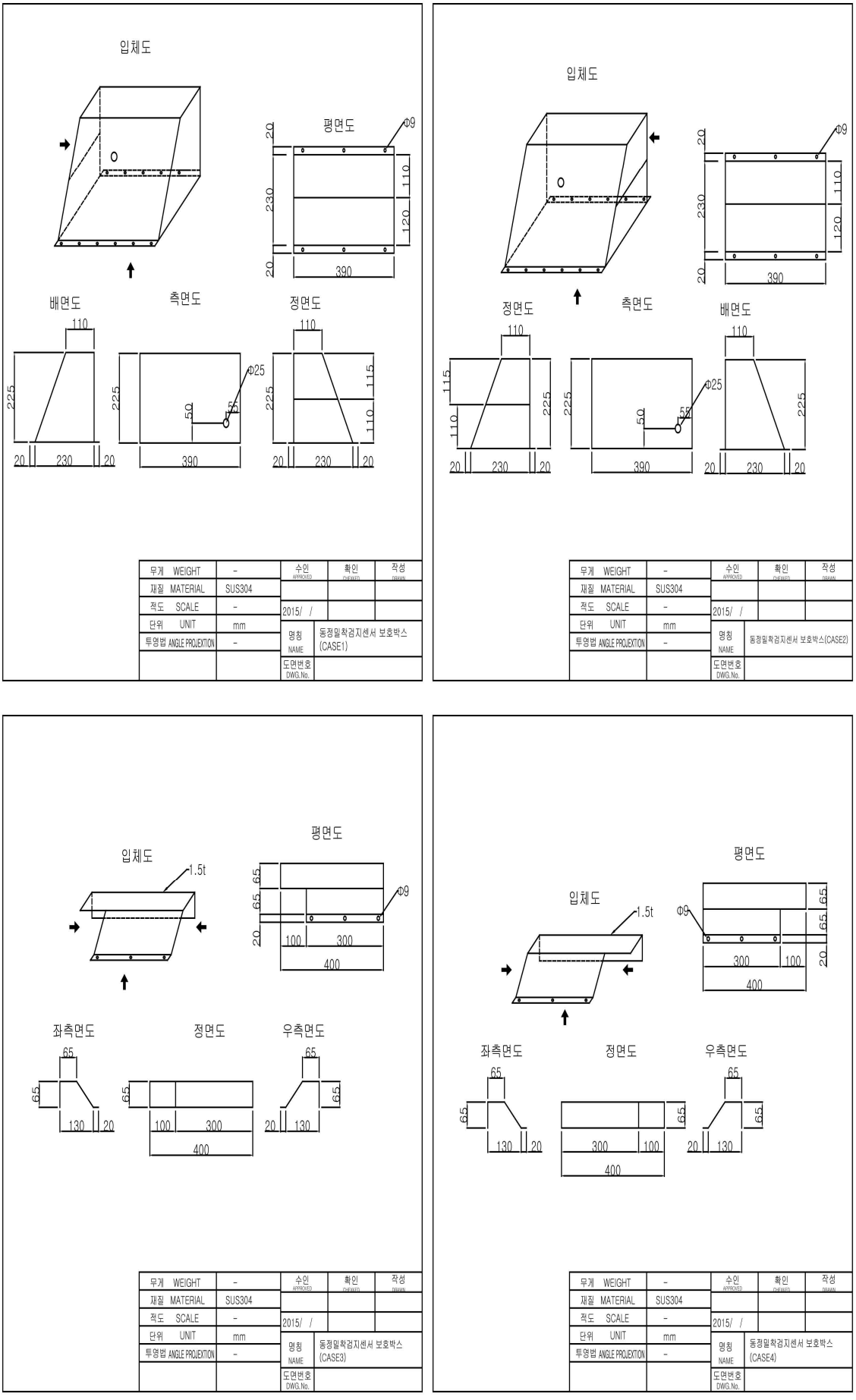






[그림 3-36] 동작 밀착검지 치공구 도면

▪ 동정 밀착검지 센서 보호함 도면



[그림 3-37] 동작 밀착검지 센서 보호함 도면

[상세내용은 별지3.3.1. 참조]

(나) 센서시스템 고도화 현장부설

분기기 관리 운영시스템의 센서 고도화 설치 및 데이터 수집을 위해 신경주역 사업소와 실무자회의를 거쳐 고도화를 위한 센서 및 측정인자에 대한 논의를 하였으며, KTX 울산역의 고속선 분기기에 고속철도 관리 운영시스템을 현장 부설하였다.

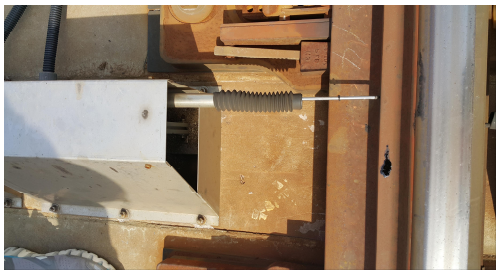
■ 텅레일 신축변위 현장개선

[표 3-26] 텅레일 신축변위 현장개선 전 후

개선 전	개선 후
	

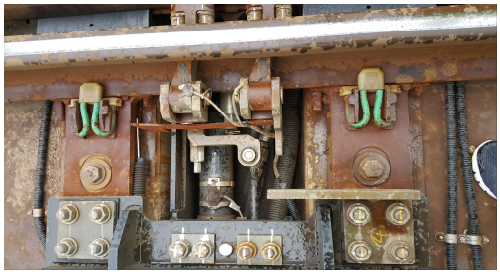
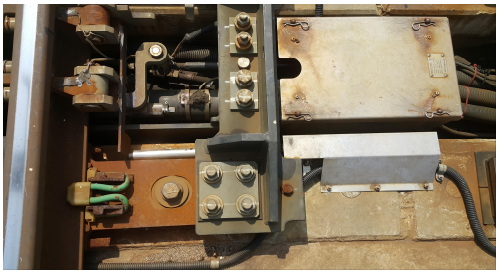
■ 동정/밀착검지 현장개선

[표 3-27] 동정/밀착검지 현장개선 전 후

개선 전	개선 후
	

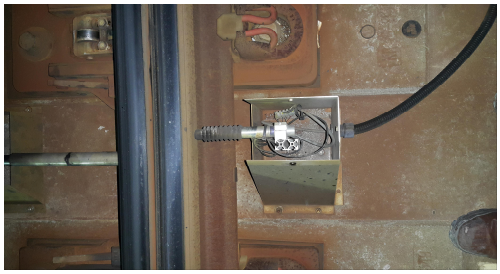
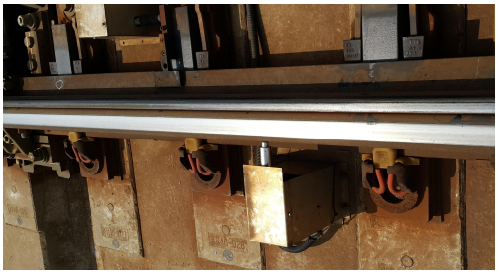
■ 동정/밀착검지 현장개선

[표 3-28] 동정/밀착검지 현장개선 전 후

개선 전	개선 후
	

■ 궤간센서 현장개선

[표 3-29] 궤간센서 현장개선 전 후

개선 전	개선 후
	

■ 레일가속도 현장개선

[표 3-30] 레일가속도 현장개선 전 후

개선 전	**개선 후**
	

[상세내용은 별지3.3.2. 참조]

(다) 치공구 공인인증 시험 시행

■ 가속도계 치공구

- 현재 치공구 관련 인증시험 규격 없음
- 최대한 유사한 IEC 62498-3 2010 4.13.1 vibration Table5 참고
- 주파수 & 가속도

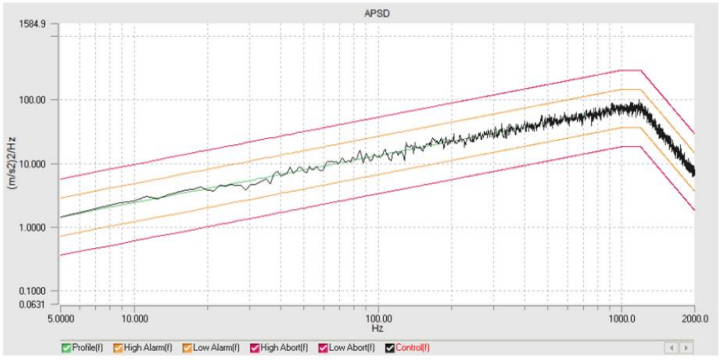
[표 3-34] 치공구 공인인증 시험 시행

<table>
<tr><th colspan="2">Vertical</th><th colspan="2">Transverse</th><th colspan="2">Longitudinal</th></tr>
<tr><th>Frequency (Hz)</th><th>Acceleration $(m/s^2)^2$ /Hz</th><th>Frequency (Hz)</th><th>Acceleration $(m/s^2)^2$ /Hz</th><th>Frequency (Hz)</th><th>Acceleration $(m/s^2)^2$ /Hz</th></tr>
<tr><td>5</td><td>1.478 48</td><td>5</td><td>0.816 027</td><td>5</td><td>0.514 516</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>73.923 8</td><td>900</td><td>9.792 33</td><td>2000</td><td>1.470 04</td></tr>
<tr><td>1200</td><td>73.923 8</td><td>2000</td><td>14.688 5</td><td colspan="2" rowspan="2">Total r.m.s=50m/s² r.m.s.</td></tr>
<tr><td>2000</td><td>7.392 38</td><td colspan="2" rowspan="2">Total r.m.s= 140 m/s² r.m.s.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Total r.m.s.= 280 m/s² r.m.s.</td></tr>
</table>

- 시험시간 : 총 1h 30 min (축당 30 min)

■ 시험결과 :

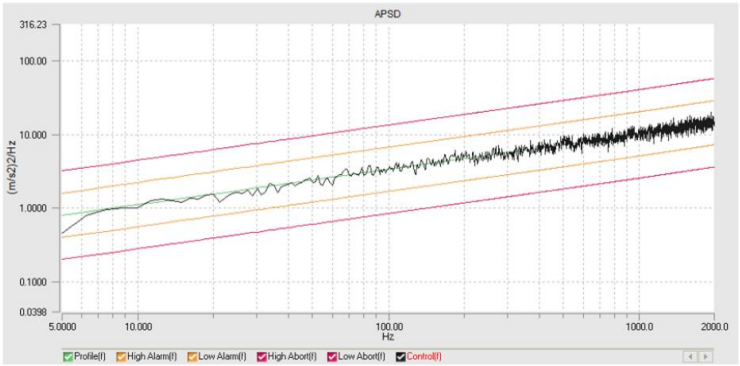
- Vertical



Current Level: 0.00 dB Demand RMS: 280.000 m/s2 Control RMS: 281.201 m/s2
Frame Time: 0.8000 (s) Lines: 1600 dF: 1.3 Hz
DOF: 120 Current Level Time: 00:30:00 Remaining Time: 00:00:00
Data was saved as a file at time: 2017-6-19 PM 04:15:43
Begin Time: 2017-6-19 PM 03:44:50
End Time: 2017-6-19 PM 04:15:42

[그림 3-100] Vertical

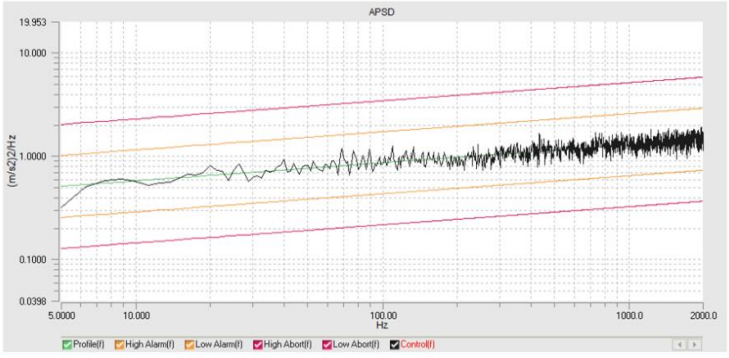
- Transverse



Current Level: 0.00 dB Demand RMS: 140.000 m/s2 Control RMS: 140.874 m/s2
Frame Time: 0.8000 (s) Lines: 1600 dF: 1.3 Hz
DOF: 120 Current Level Time: 00:30:00 Remaining Time: 00:00:00
Data was saved as a file at time: 2017-6-19 PM 04:59:02
Begin Time: 2017-6-19 PM 04:28:11
End Time: 2017-6-19 PM 04:58:51

[그림 3-101] Transverse

- Longitudinal



Current Level: 0.00 dB Demand RMS: 50.000 m/s2 Control RMS: 49.989 m/s2
Frame Time: 0.8000 (s) Lines: 1600 dF: 1.3 Hz
DOF: 120 Current Level Time: 00:30:00 Remaining Time: 00:00:00
Data was saved as a file at time: 2017-6-19 PM 05:43:43
Begin Time: 2017-6-19 PM 05:13:03
End Time: 2017-6-19 PM 05:43:38

[그림 3-102] Longitudinal

■ 레일 횡변위 치공구

- 현재 치공구 관련 인증시험 규격 없음
- 최대한 유사한 IEC 62498-3 2010 4.13.1 vibration Table5 참고
- 주파수 & 가속도

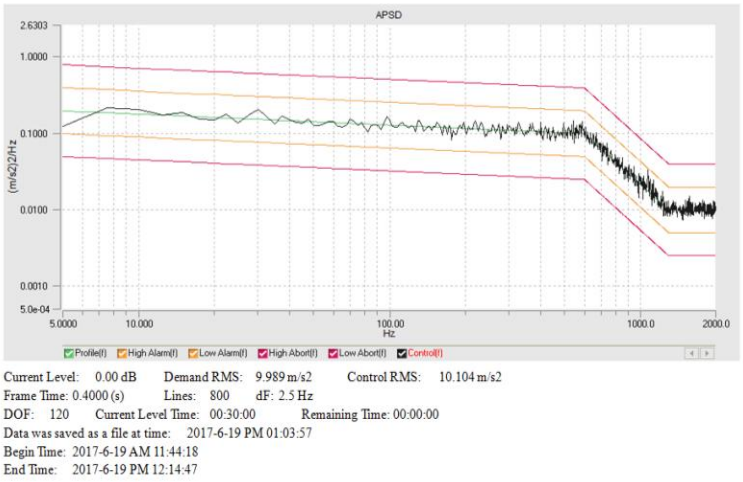
[표 3-35] 레일 황변위 치공구

Frequency (Hz)	Acceleration $(m/s^2)^2$ /Hz
5	0.2
600	0.1
1 300	0.01
2 000	0.01
Total r.m.s.= 9.98 m/s^2 r.m.s.	

- 시험시간 : 총 1h 30 min (축당 30 min)

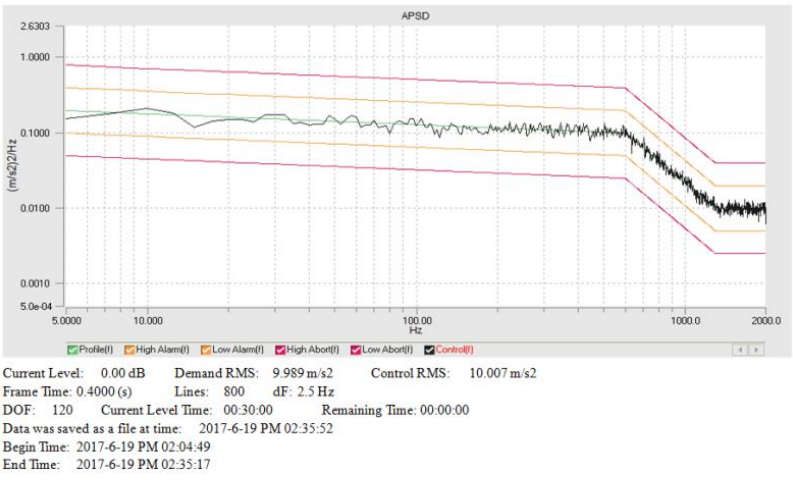
■ 시험결과 :

- 상하(Z축)



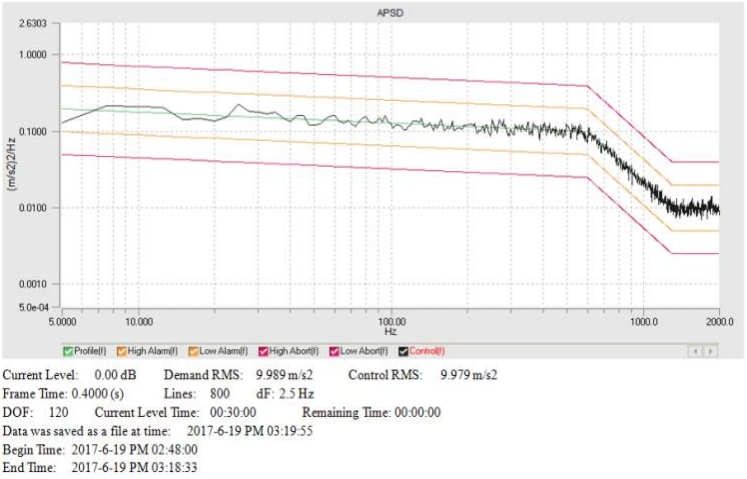
[그림 3-103] 상하(Z축)

- 전후(Y축)



[그림 3-104] 전후(Y축)

▪ 좌우(X축)



[그림 3-105] 좌우(X축)

[상세내용은 별지 3.3.3. 참조]

(라) 센서 시험성적서 첨부

■ 변위계 센서

▪ 본 과제에서 사용한 변위센서는 직접 제작한 센서가 아닌 상용센서를 사용하였다. 센서 구매시 해당 센서에 대한 시험성적서를 제공하고 있다. 그에 따라 센서의 측정값에 대한 신뢰도는 센서 제작업체에서 제출한 시험 성적서로 확인할 수 있다.



<< RDP CALIBRATION CERTIFICATE >>

Type ACT500A
Linear Range ±12.5mm(0.492125")
Sensitivity 54.87mV/V/mm(1.394mV/V/.001")
Linearity 0.32%
Serial N° 173020
Cal Temp 21 °C
with 5V(RMS) 5kHz
Calibrated by
Cal Load 100k
Energising Supply
UNCERTAINTY OF CALIBRATION: 6.2 microns.
This expanded uncertainty is with a level of confidence of approximately 95%

<< RDP CALIBRATION CERTIFICATE >>

Type ACT500A
Linear Range ±12.5mm(0.492125")
Sensitivity 53.88mV/V/mm(1.369mV/V/.001")
Linearity 0.30%
Serial N° 173021
Cal Temp 21 °C
with 5V(RMS) 5kHz
Calibrated by
Cal Load 100k
Energising Supply
UNCERTAINTY OF CALIBRATION: 6.2 microns.
This expanded uncertainty is with a level of confidence of approximately 95%

<< RDP CALIBRATION CERTIFICATE >>

Type ACT500A
Linear Range ±12.5mm(0.492125")
Sensitivity 53.74mV/V/mm(1.365mV/V/.001")
Linearity 0.30%
Serial N° 173022
Cal Temp 21 °C
with 5V(RMS) 5kHz
Calibrated by
Cal Load 100k
Energising Supply
UNCERTAINTY OF CALIBRATION: 6.2 microns.
This expanded uncertainty is with a level of confidence of approximately 95%

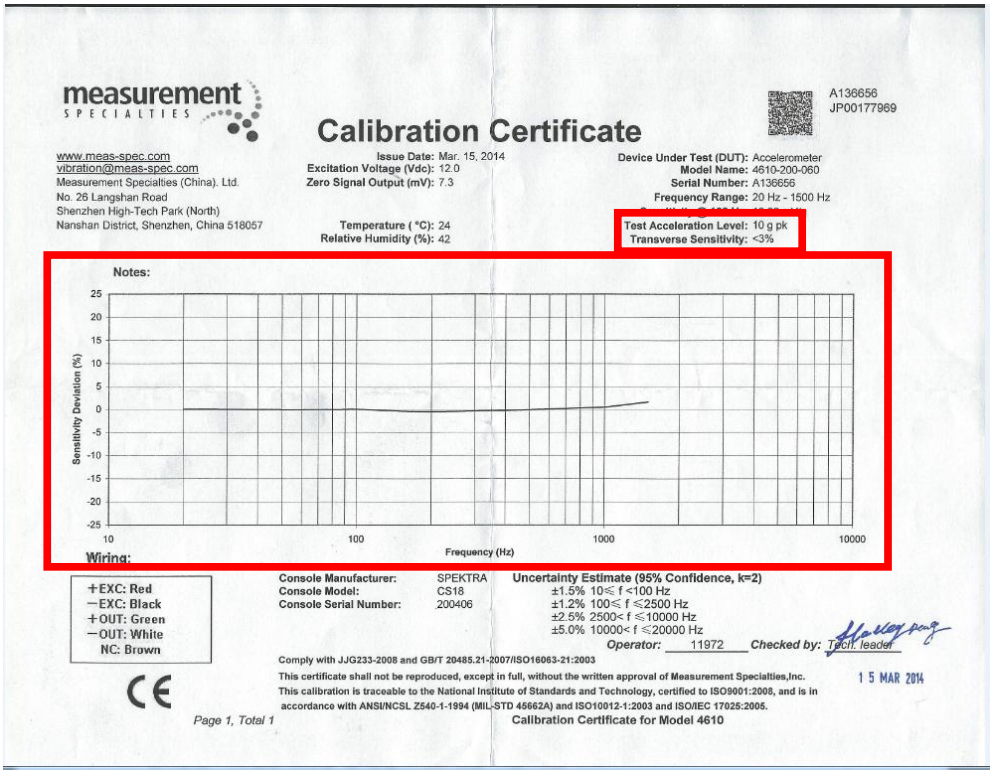
<< RDP CALIBRATION CERTIFICATE >>

Type ACT500A
Linear Range ±12.5mm(0.492125")
Sensitivity 54.27mV/V/mm(1.378mV/V/.001")
Linearity 0.33%
Serial N° 173023
Cal Temp 21 °C
with 5V(RMS) 5kHz
Calibrated by
Cal Load 100k
Energising Supply
UNCERTAINTY OF CALIBRATION: 6.2 microns.
This expanded uncertainty is with a level of confidence of approximately 95%

[그림 3-105] 변위센서 성적서1

■ 가속도계 센서

▪ 본 과제에서 사용한 가속도 센서는 직접 제작한 센서가 아닌 상용센서를 사용하였다. 센서 구매시 해당 센서에 대한 시험성적서를 제공하고 있다. 그에 따라 센서의 측정값에 대한 신뢰도는 센서 제작업체에서 제출한 시험 성적서로 확인할 수 있다.



[그림 3-108] 가속도센서 시험성적서

라. 관리운용 시스템용 DB모듈 및 단말기 MMI 모듈 개발, RTU 구축

(1) 관리 운용 시스템 DB 모듈 상용화

관리 운용 시스템에 필요한 DB를 구축하였다. 최대 25개의 분기기 지점을 수용 가능하도록 설계하였으며, 그에 따라 25개 클라이언트에 대한 DB 세팅 및 조회가 가능하도록 하였다. 상용화급 DB 설계보고서를 작성하였다.

(가) 최종 측정인자 도출

[표 3-31] 분기기 선로전환기 측정인자 도출

구분	측정인자	위치	포인트 수	비고
분기기	진동	첨단부,크로싱부	6	
	궤간	첨단부	4	레일 양단 측정 동정 · 밀착검지의 첨단부 측정 위치와 동일
	레일 수직 변위	첨단부	1	
선로전환기	텅레일신축	첨단부	2	레일 양단 측정
	동정 · 밀착검지	첨단부,크로싱부	3	레일 양단 측정 (첨단, 2, 5, 6)
	실린더 진동	첨단부,크로싱부	4(첨단부: 3, 크로싱부: 1)	
	온도	첨단부	3	대기,레일, 실린더

(나) DB 구성

각 DB Name 은 25개 Client 이름으로 한다.

[표 3-32] DB 구성

DB _Name	Entity	설 명
Ulsan_ST	DB_System_Config	시스템 설정 DB
	DB_Event	이벤트 DB
	DB_Hgs_Data	고속데이터 DB
	DB_Lws_Data	저속데이터 DB
Hwanggan_ST	DB_System_Config	시스템 설정 DB
	DB_Event	이벤트 DB
	DB_Hgs_Data	고속데이터 DB
	DB_Lws_Data	저속데이터 DB
...	DB_System_Config	시스템 설정 DB
	DB_Event	이벤트 DB
	DB_Hgs_Data	고속데이터 DB
	DB_Lws_Data	저속데이터 DB

(다) DB 속성

[표 3-33] DB 속성

Entity	Attribute	비 고
DB_System_Config	Attr_Sys_Cnfg_Net_ip_addr	Client RTU IP Address
	Attr_Sys_Cnfg_Net_port_num	Client RTU Port Number
	Attr_Sys_Cnfg_Tgr_h_chn_num	SCM Channel Number
	Attr_Sys_Cnfg_Tgr_h_chn_type	Channel Type Selection
	Attr_Sys_Cnfg_Tgr_h_chn_tvalue	SCM High Speed Threshold Value
	Attr_Sys_Cnfg_Tgr_l_chn_tvalue	SCM Low Speed Threshold Value
	Attr_Sys_Cnfg_Tgr_b_tgr	Sample Count before Trigger
	Attr_Sys_Cnfg_Tgr_a_tgr	Sample Count after Trigger
	Attr_Sys_Cnfg_Gnl_h_chn_srate	High Speed Sample Rate
	Attr_Sys_Cnfg_Gnl_l_chn_srate	Low Speed Sample Rate
DB_Event	Attr_Evt_ymd	경보발생 날짜
	Attr_Evt_time	경보발생 시간
	Attr_Evt_speed	경보발생 열차속도
	Attr_Evt_ch_name	경보발생 센서이름
	Attr_Evt_NN_value	경보발생 학습결과값
	Attr_Evt_alert_lv	경보발생 단계
	Attr_Evt_notice	비고
DB_Hgs_Data	Attr_Hgs_ymd	날짜
	Attr_Hgs_time	시간
	Attr_Hgs_A_rvlb_1_bfr	레일진동_진입전
	Attr_Hgs_A_rvlb_1_aft	레일진동_진입후
	Attr_Hgs_A_rvlb_1_NN	레일진동_학습결과
	Attr_Hgs_A_rvlb_1_Stats	레일진동_상태
	Attr_Hgs_A_rvlb_2_bfr	레일진동_진입전
	Attr_Hgs_A_rvlb_2_aft	레일진동_진입후
	Attr_Hgs_A_rvlb_2_NN	레일진동_학습결과
	Attr_Hgs_A_rvlb_2_Stats	레일진동_상태
	Attr_Hgs_A_rvlb_3_bfr	레일진동_진입전
	Attr_Hgs_A_rvlb_3_aft	레일진동_진입후
	Attr_Hgs_A_rvlb_3_NN	레일진동_학습결과
	Attr_Hgs_A_rvlb_3_Stats	레일진동_상태
	Attr_Hgs_A_rvlb_4_bfr	레일진동_진입전
	Attr_Hgs_A_rvlb_4_aft	레일진동_진입후

	Attr_Hgs_A_rvlb_4_NN	레일진동_학습결과
	Attr_Hgs_A_rvlb_4_Stats	레일진동_상태
	Attr_Hgs_B_rvlb_1_bfr	레일진동_진입전
	Attr_Hgs_B_rvlb_1_aft	레일진동_진입후
	Attr_Hgs_B_rvlb_1_NN	레일진동_학습결과
	Attr_Hgs_B_rvlb_1_Stats	레일진동_상태
	Attr_Hgs_B_rvlb_2_bfr	레일진동_진입전
	Attr_Hgs_B_rvlb_2_aft	레일진동_진입후
	Attr_Hgs_B_rvlb_2_NN	레일진동_학습결과
	Attr_Hgs_B_rvlb_2_Stats	레일진동_상태
	Attr_Hgs_A_cvlb_1_bfr	실린더진동_진입전
	Attr_Hgs_A_cvlb_1_aft	실린더진동_진입후
	Attr_Hgs_A_cvlb_1_NN	실린더진동_학습결과
	Attr_Hgs_A_cvlb_1_Stats	실린더진동_상태
	Attr_Hgs_A_cvlb_2_bfr	실린더진동_진입전
	Attr_Hgs_A_cvlb_2_aft	실린더진동_진입후
	Attr_Hgs_A_cvlb_2_NN	실린더진동_학습결과
	Attr_Hgs_A_cvlb_2_Stats	실린더진동_상태
	Attr_Hgs_B_cvlb_1_bfr	실린더진동_진입전
	Attr_Hgs_B_cvlb_1_aft	실린더진동_진입후
	Attr_Hgs_B_cvlb_1_NN	실린더진동_학습결과
	Attr_Hgs_B_cvlb_1_Stats	실린더진동_상태
	Attr_Hgs_vdspl_bfr	레일수직_진입전
	Attr_Hgs_vdspl_aft	레일수직_진입후
	Attr_Hgs_vdspl_NN	레일수직_학습결과
	Attr_Hgs_vdspl_Stats	레일수직_상태
DB_Lws_Data	Attr_Lws_trdspl_1_bfr	텅레일신축_진입전
	Attr_Lws_trdspl_1_NN	텅레일신축_학습결과
	Attr_Lws_trdspl_1_Stats	텅레일신축_상태
	Attr_Lws_trdspl_2_bfr	텅레일신축_진입전
	Attr_Lws_trdspl_2_NN	텅레일신축_학습결과
	Attr_Lws_trdspl_2_Stats	텅레일신축_상태
	Attr_Lws_trdspl_3_bfr	텅레일신축_진입전
	Attr_Lws_trdspl_3_NN	텅레일신축_학습결과
	Attr_Lws_trdspl_3_Stats	텅레일신축_상태
	Attr_Lws_trdspl_4_bfr	텅레일신축_진입전
	Attr_Lws_trdspl_4_NN	텅레일신축_학습결과
	Attr_Lws_trdspl_4_Stats	텅레일신축_상태
	Attr_Lws_trdspl_5_bfr	텅레일신축_진입전
	Attr_Lws_trdspl_5_NN	텅레일신축_학습결과
	Attr_Lws_trdspl_5_Stats	텅레일신축_상태
	Attr_Lws_trdspl_6_bfr	텅레일신축_진입전
	Attr_Lws_trdspl_6_NN	텅레일신축_학습결과
	Attr_Lws_trdspl_6_Stats	텅레일신축_상태
	Attr_A_Lws_gap_1_bfr	동정밀착_진입전
	Attr_A_Lws_gap_1_aft	동정밀착_진입후
	Attr_A_Lws_gap_1_disp	동정밀착_변위
	Attr_A_Lws_gap_1_time	동정밀착_이동시간
	Attr_A_Lws_gap_1_NN	동정밀착_학습결과
	Attr_A_Lws_gap_1_stats	동정밀착_상태
	Attr_A_Lws_gap_2_bfr	동정밀착_진입전
	Attr_A_Lws_gap_2_aft	동정밀착_진입후

	Attr_A_Lws_gap_2_disp	동정밀착_변위
	Attr_A_Lws_gap_2_time	동정밀착_이동시간
	Attr_A_Lws_gap_2_NN	동정밀착_학습결과
	Attr_A_Lws_gap_2_stats	동정밀착_상태
	Attr_A_Lws_gap_3_bfr	동정밀착_진입전
	Attr_A_Lws_gap_3_aft	동정밀착_진입후
	Attr_A_Lws_gap_3_disp	동정밀착_변위
	Attr_A_Lws_gap_3_time	동정밀착_이동시간
	Attr_A_Lws_gap_3_NN	동정밀착_학습결과
	Attr_A_Lws_gap_3_stats	동정밀착_상태
	Attr_A_Lws_gap_4_bfr	동정밀착_진입전
	Attr_A_Lws_gap_4_aft	동정밀착_진입후
	Attr_A_Lws_gap_4_disp	동정밀착_변위
	Attr_A_Lws_gap_4_time	동정밀착_이동시간
	Attr_A_Lws_gap_8_NN	동정밀착_학습결과
	Attr_A_Lws_gap_8_stats	동정밀착_상태
	Attr_B_Lws_gap_1_bfr	동정밀착_진입전
	Attr_B_Lws_gap_1_aft	동정밀착_진입후
	Attr_B_Lws_gap_1_disp	동정밀착_변위
	Attr_B_Lws_gap_1_time	동정밀착_이동시간
	Attr_B_Lws_gap_1_NN	동정밀착_학습결과
	Attr_B_Lws_gap_1_stats	동정밀착_상태
	Attr_B_Lws_gap_2_bfr	동정밀착_진입전
	Attr_B_Lws_gap_2_aft	동정밀착_진입후
	Attr_B_Lws_gap_2_disp	동정밀착_변위
	Attr_B_Lws_gap_2_time	동정밀착_이동시간
	Attr_B_Lws_gap_2_NN	동정밀착_학습결과
	Attr_B_Lws_gap_2_stats	동정밀착_상태
	Attr_B_Lws_gap_3_bfr	동정밀착_진입전
	Attr_B_Lws_gap_3_aft	동정밀착_진입후
	Attr_B_Lws_gap_3_disp	동정밀착_변위
	Attr_B_Lws_gap_3_time	동정밀착_이동시간
	Attr_B_Lws_gap_3_NN	동정밀착_학습결과
	Attr_B_Lws_gap_3_stats	동정밀착_상태
	Attr_Temp_val	온도

[상세내용은 별지 3.4.1. 참조]

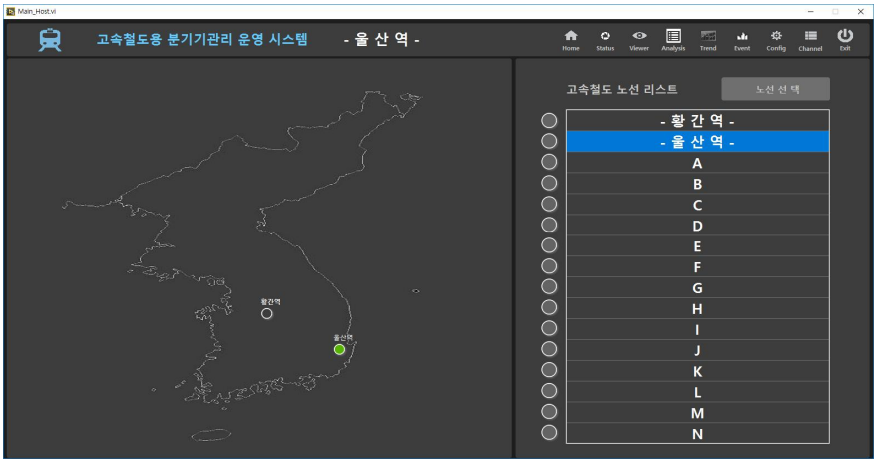
(2) 단말기 MMI 모듈 상용화

현장에 설치된 센서로부터 취득된 신호를 모니터링 하고 분석하기 위한 MMI 프로그램이다. MMI는 실시간 감시화면, 과거이력 데이터 조회, 각 센서별 설정, 시스템 설정으로 구성되어 있다. 여기에 의사결정 모듈 S/W를 탑재하여 분기기의 상태예측을 확인 할 수 있도록 구성하였고, 25개의 현장에 대한 감시가 가능하게 하여 지역센터 급의 MMI 모듈로 개발하였다.

(가) MMI 화면

■ 상용화급 MMI 메인화면

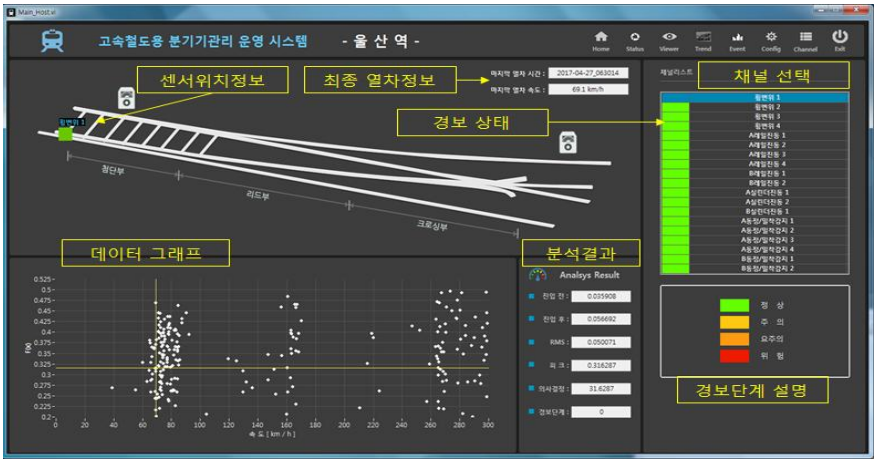
- 최대 25개 클라이언트 상태를 화면에 표시한다.
- 해당 노선을 선택하면 각 센서들의 상세정보를 볼 수 있다.
- 경보가 발생한 노선에는 적색램프가 점등 된다.



[그림 3-50] 상용화급 MMI 화면

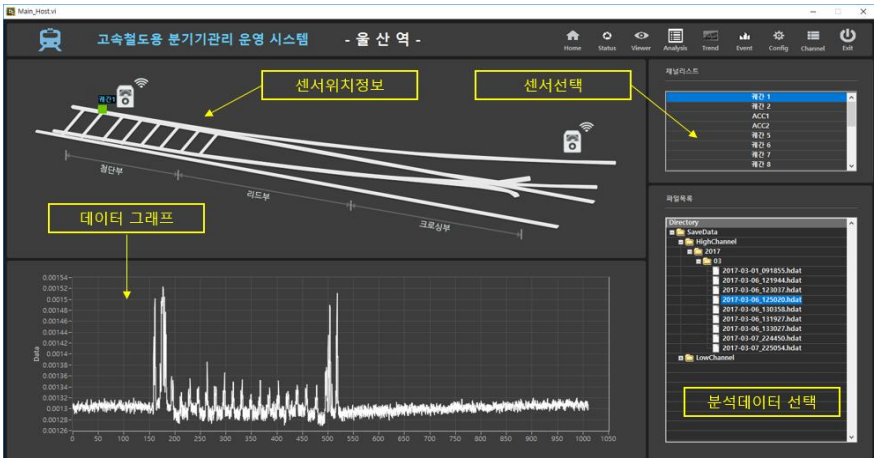
(나) 분기기 상태정보 화면

채널별 경보단계에 따라 경보상태에 색깔을 표시한다.



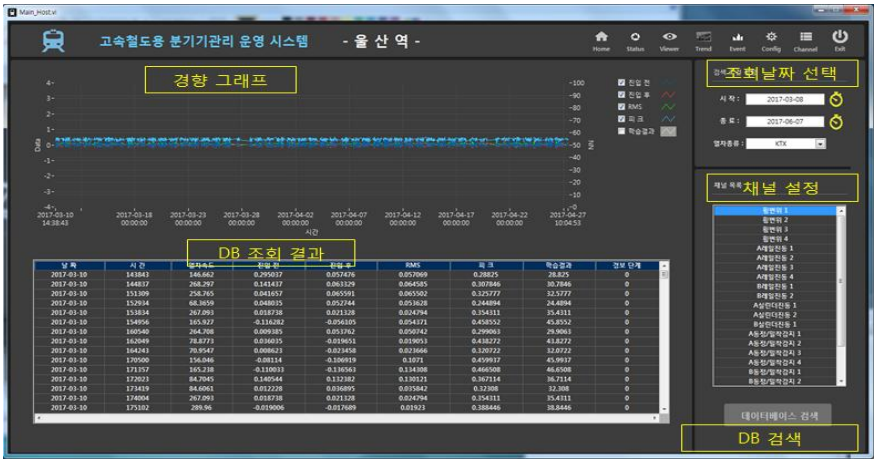
[그림 3-51] 상태정보 화면

(다) 과거 데이터 확인 화면



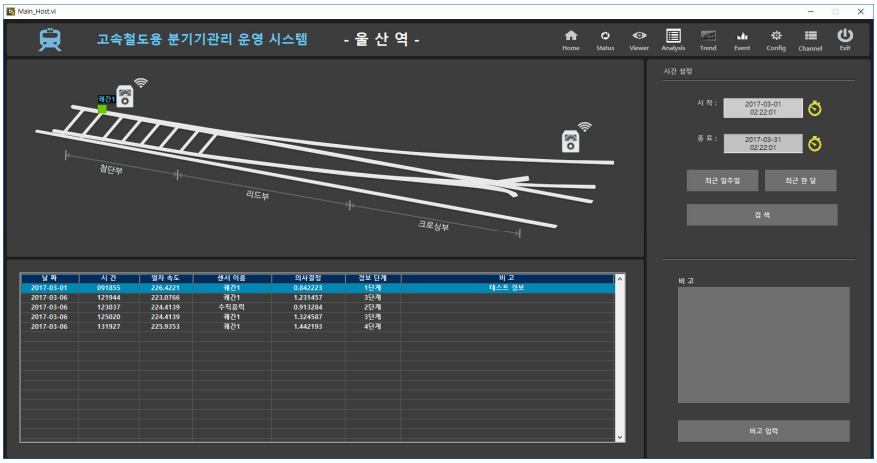
[그림 3-52] 과거 상태정보 확인 화면

(라) 데이터 경향 화면



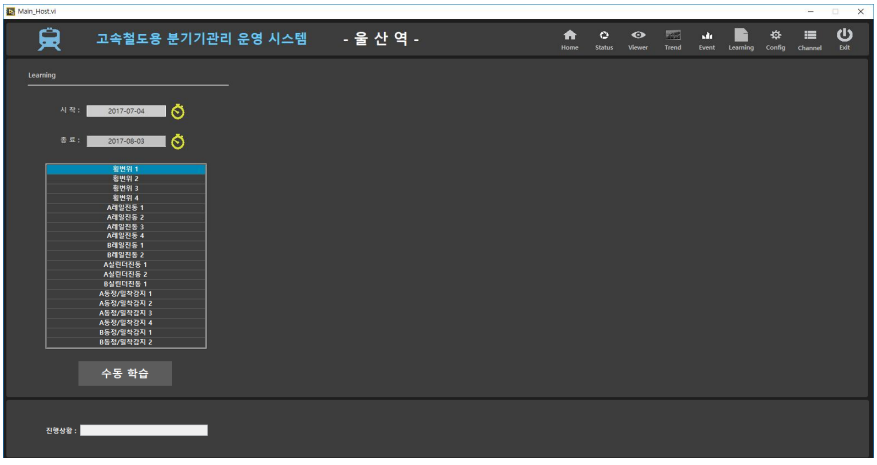
[그림 3-53] 데이터 경향 화면

(마) 유지보수 및 경보이력 관리 화면



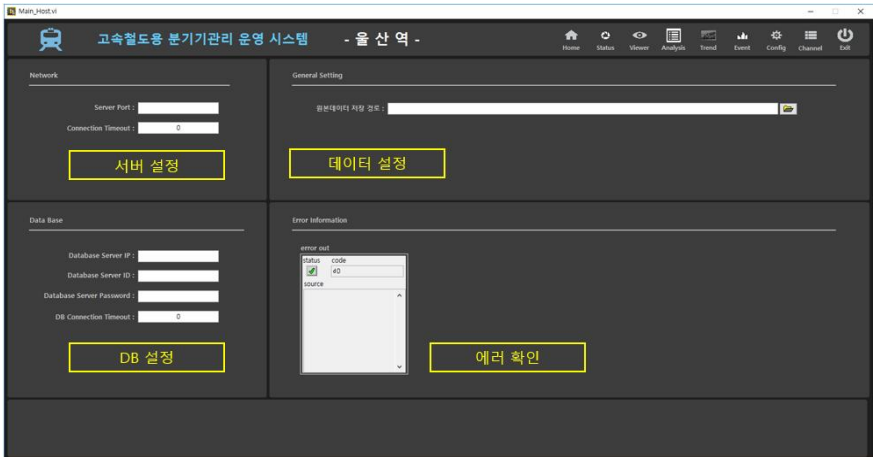
[그림 3-54] 유지보수 및 경보 이력 관리 화면

(바) 학습 화면



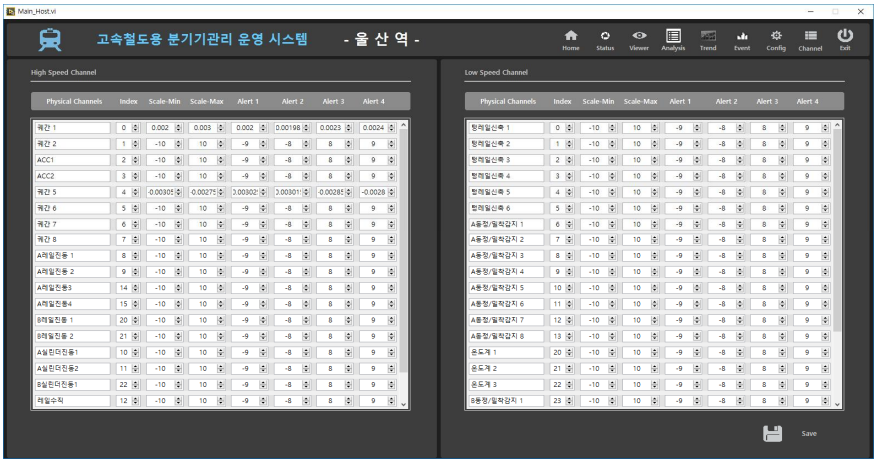
[그림 3-55] 학습화면

(사) 환경설정 화면



[그림 3-56] 환경설정 화면

(아) 경보 설정

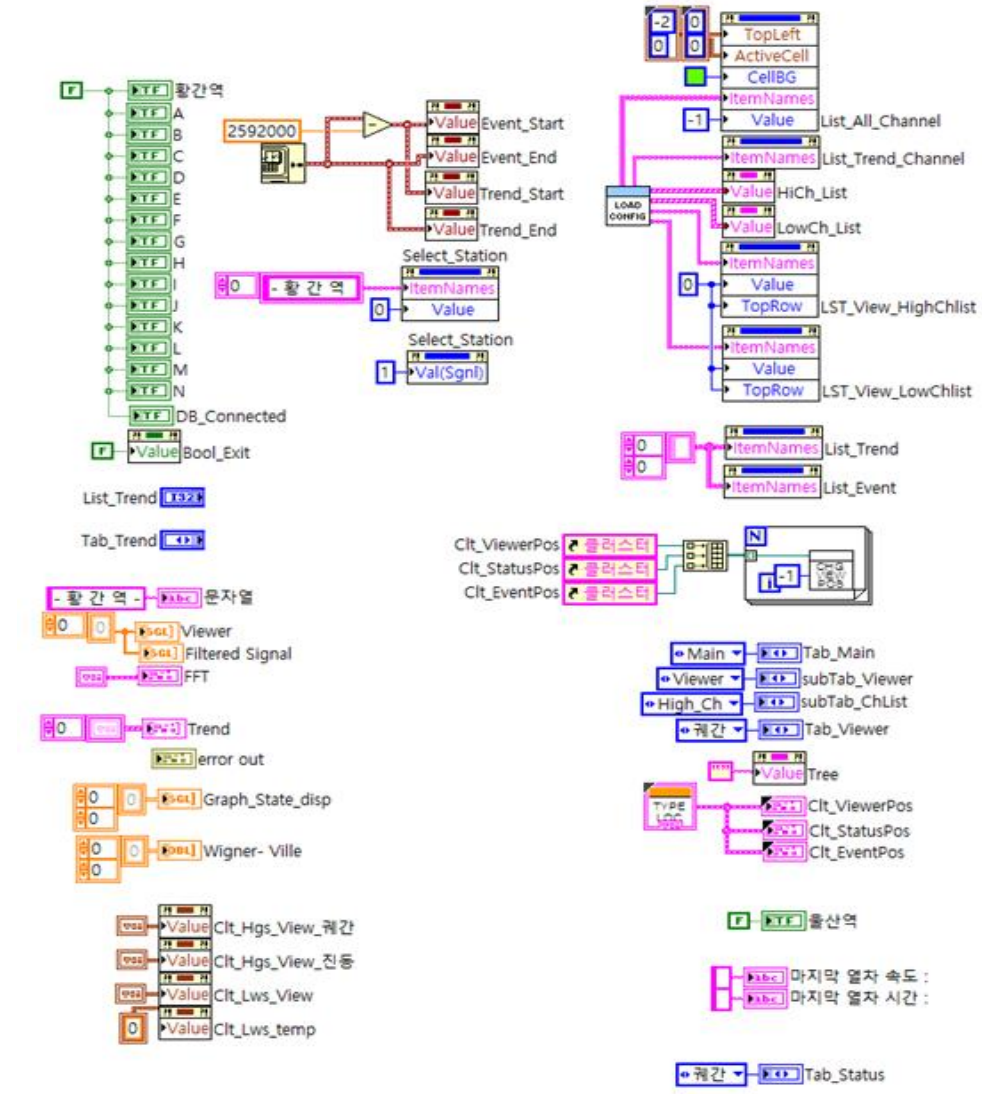


[그림 3-57] 경보설정

■ MMI 소스코드

■ Initialize

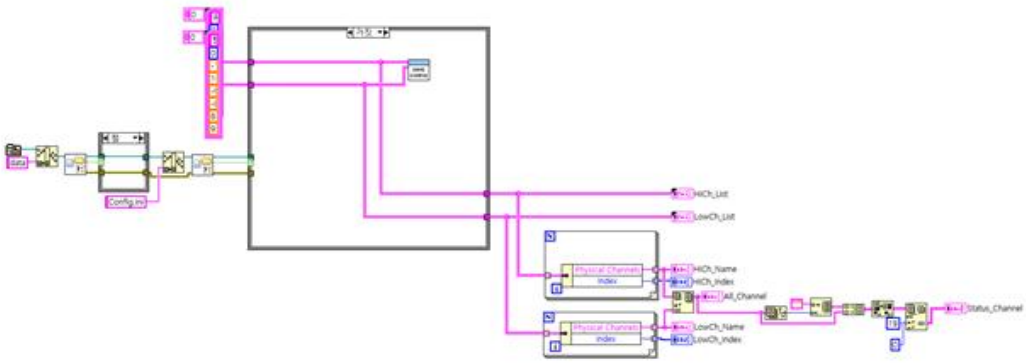
▪ 프로그램 초기화



[그림 3-58] Initialize

■ Load Config

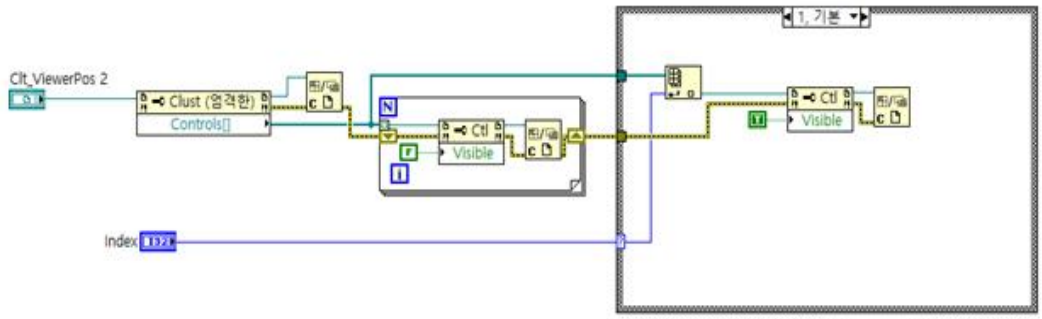
▪ 저장된 파라미터 호출



[그림 3-59] Load Config

■ Check Sensor Position

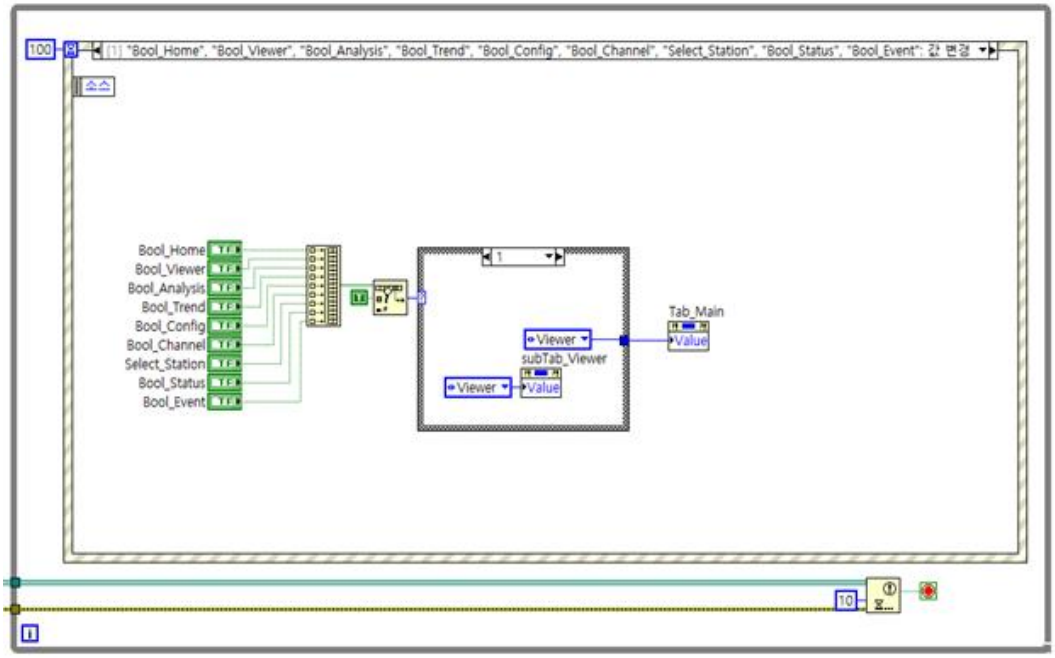
▪ 센서 위치 표시



[그림 3-60] Check Sensor Position

■ 메뉴버튼 이벤트

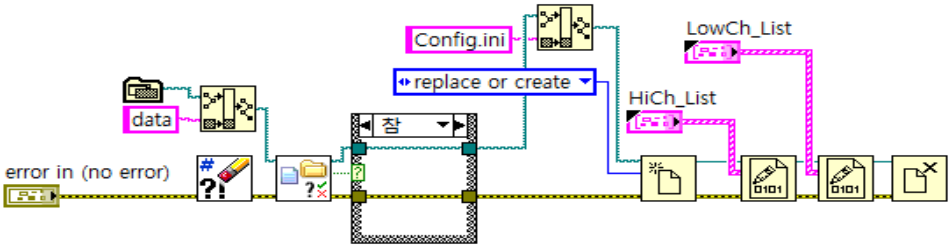
▪ 메뉴버튼 클릭 시, 화면이동 이벤트



[그림 3-61] 메뉴버튼 이벤트

■ Save Config

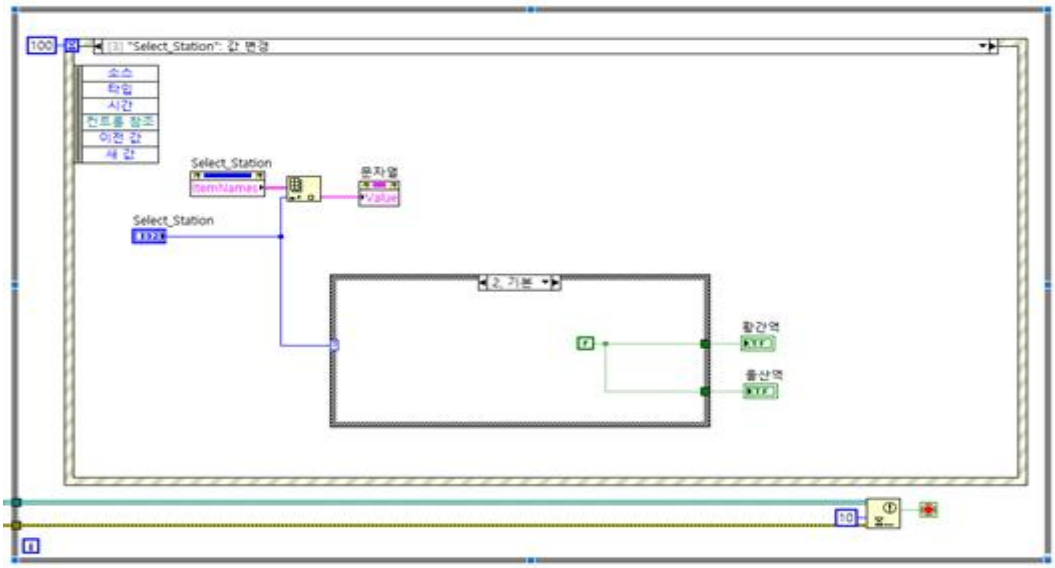
▪ 설정정보 저장



[그림 3-62] Save Config

■ Select Station

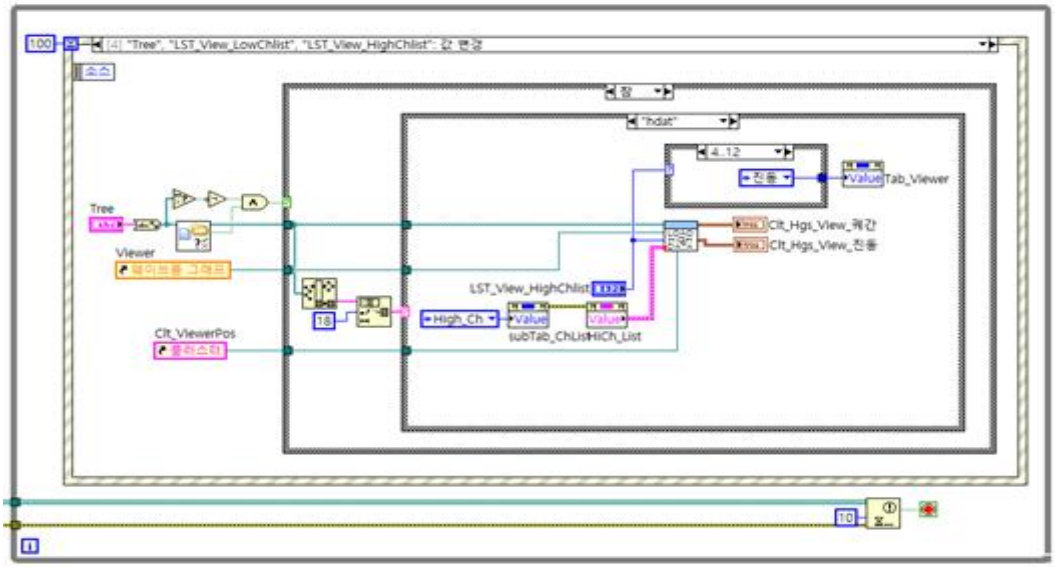
▪ Station 버튼 클릭 시, 역 위치를 화면에 표시



[그림 3-63] Select Station

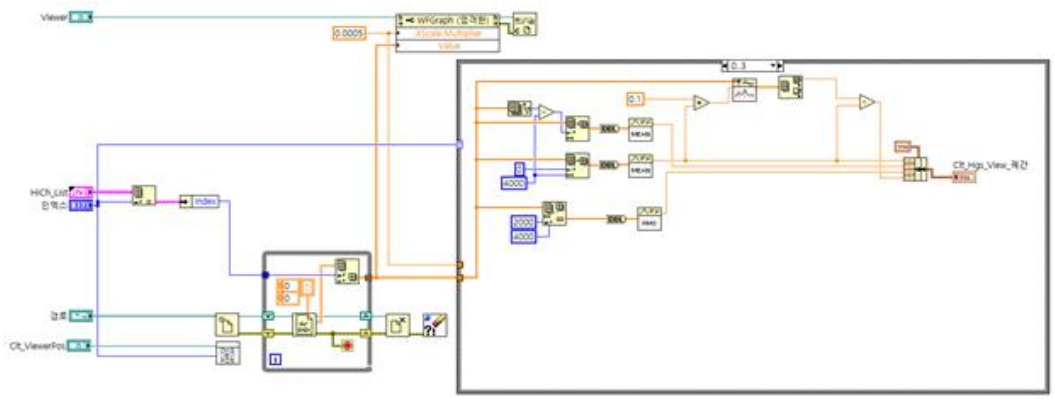
■ 데이터 선택

▪ 데이터 선택 시, 화면에 데이터 표시



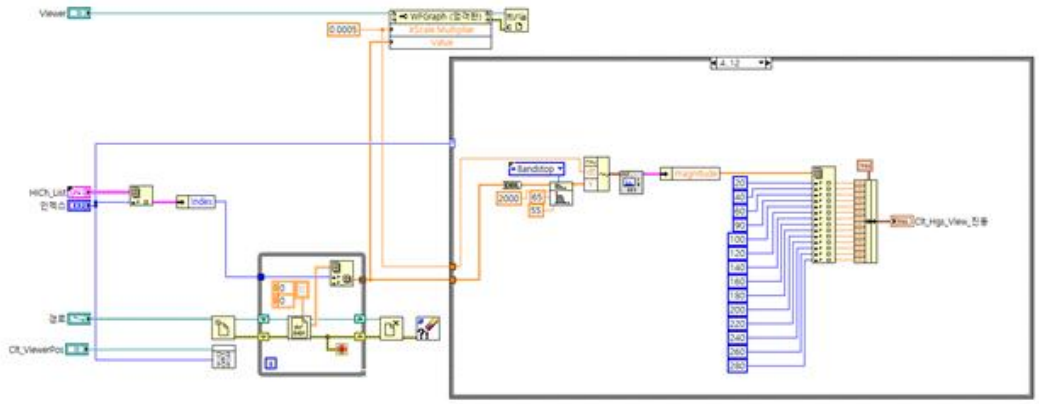
[그림 3-64] 데이터 선택

■ 횡변위 데이터 표시



[그림 3-65] 횡변위 데이터 표시

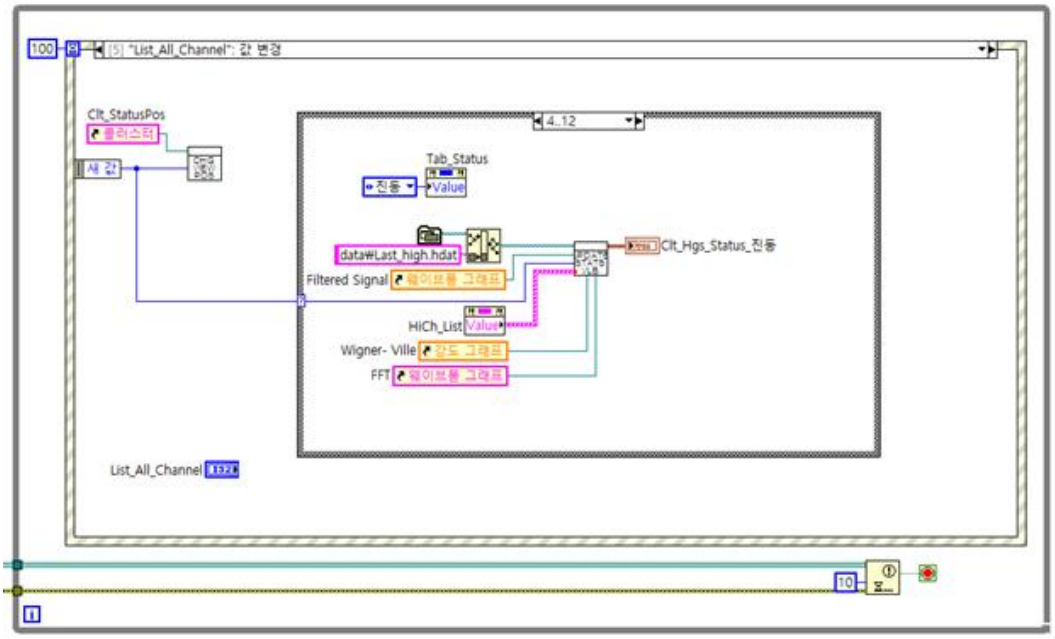
■ 진동 데이터 표시



[그림 3-66] 진동 데이터 표시

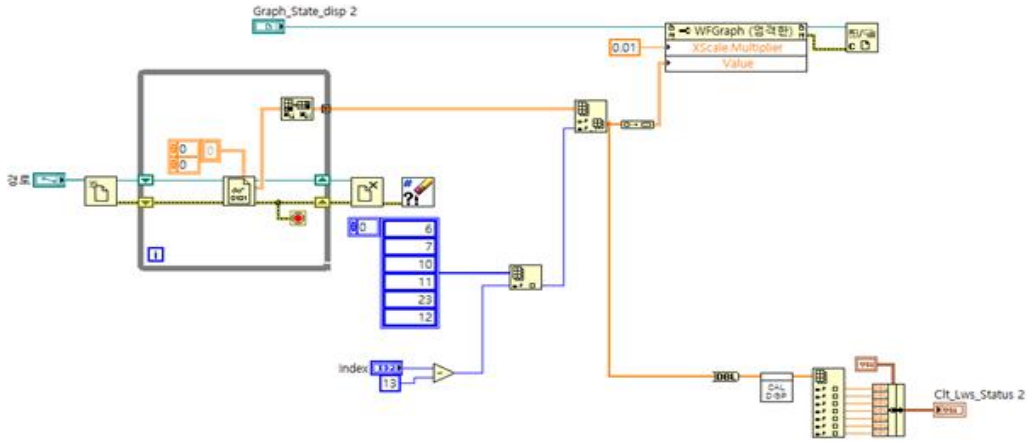
■ 채널선택 버튼

▪ 채널리스트 값 변경 시, 이벤트



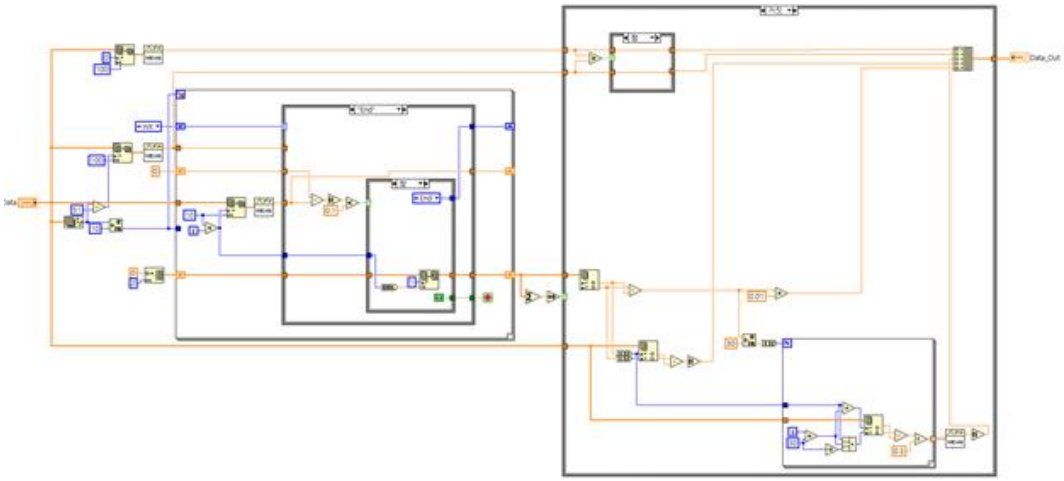
[그림 3-67] 채널선택 버튼

■ 횡변위 채널 선택 시, 화면 업데이트



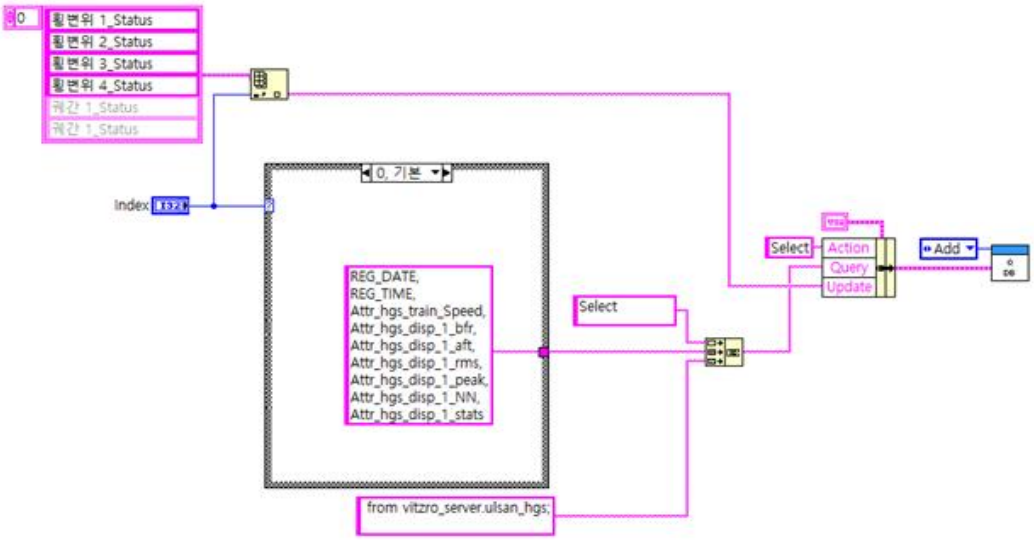
[그림 3-68] 횡변위 채널 선택 시, 화면 업데이트

■ 횡변위 알고리즘 계산



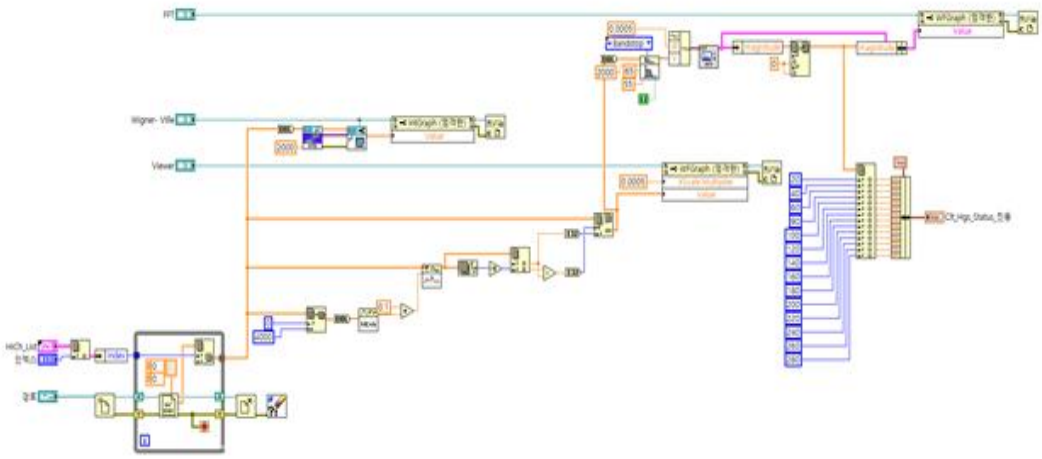
[그림 3-69] 횡변위 알고리즘 계산

■ 횡변위 데이터를 데이터베이스 조회



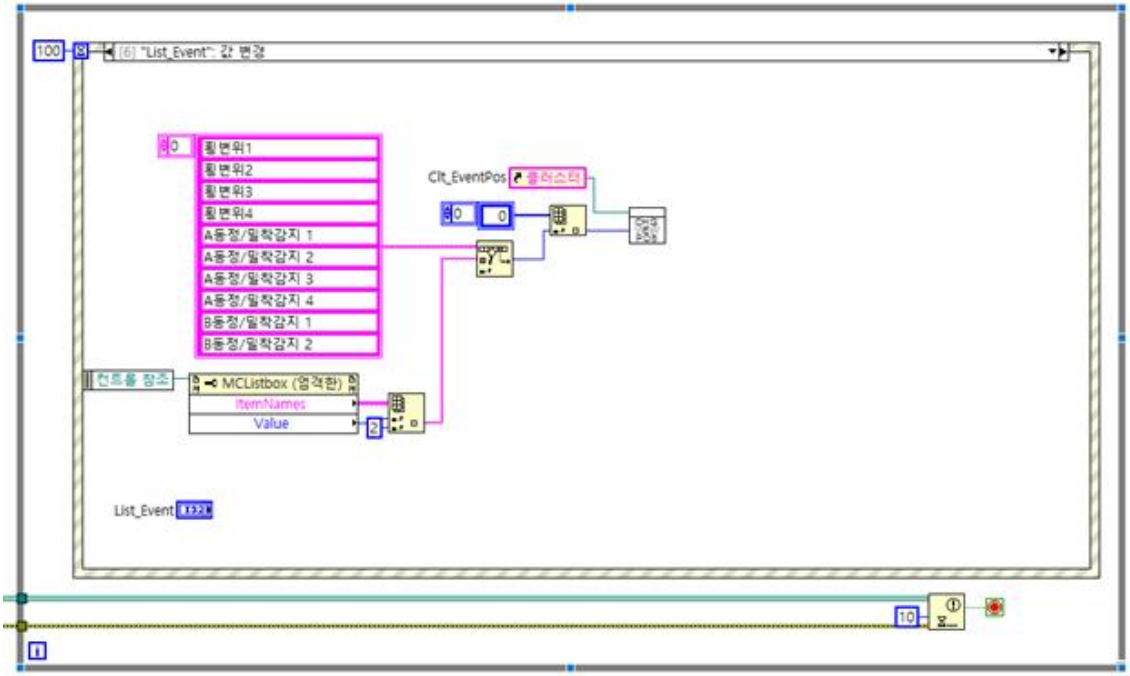
[그림 3-70] 횡변위 데이터를 데이터베이스 조회

■ 진동 데이터 화면 업데이트



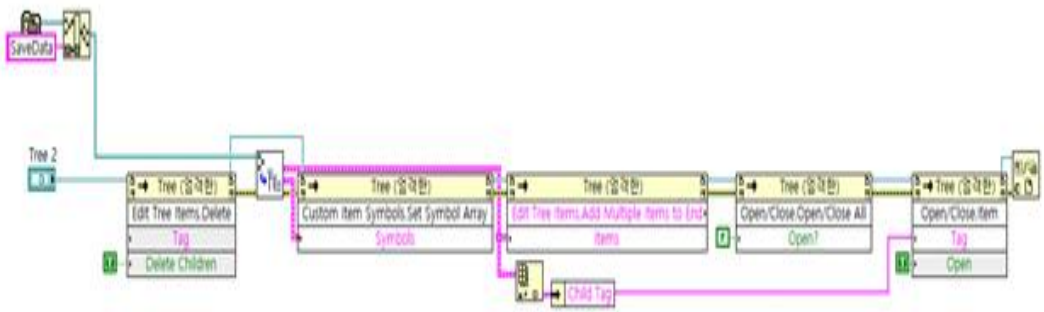
[그림 3-71] 진동 데이터 화면

■ 이벤트 화면에서 데이터 선택 시, 화면 업데이트



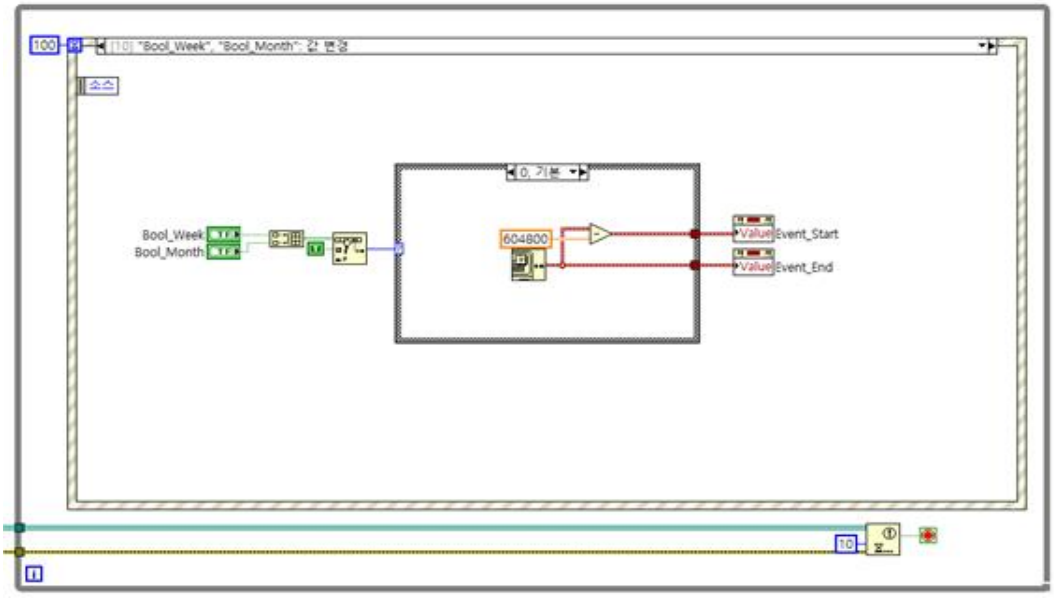
[그림 3-72] 이벤트 화면에서 데이터 선택 시, 화면 업데이트

■ 데이터 목록 트리 업데이트



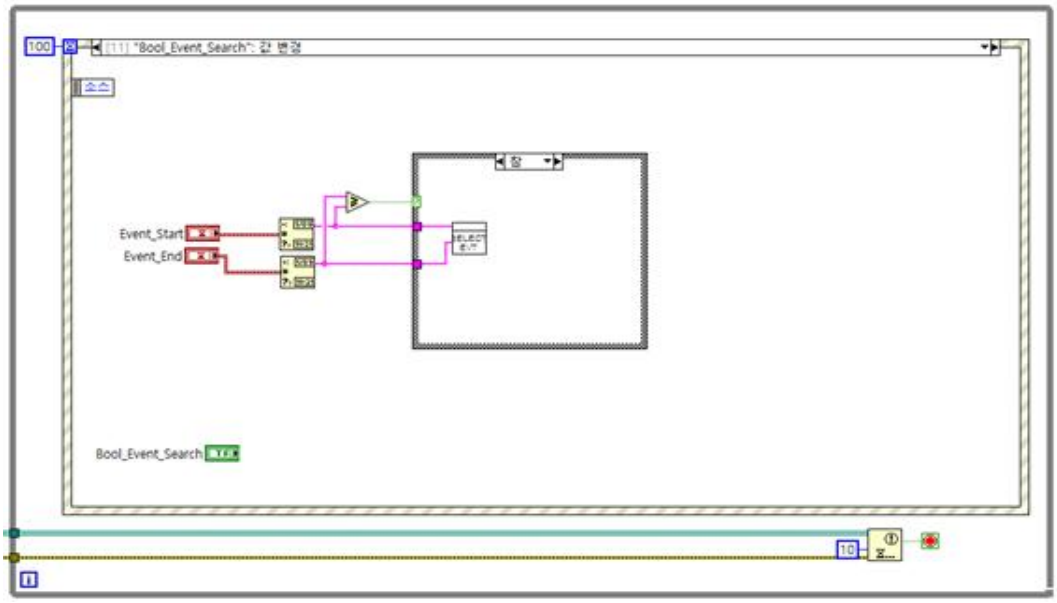
[그림 3-73] 데이터 목록 트리 업데이트

■ 시간 설정



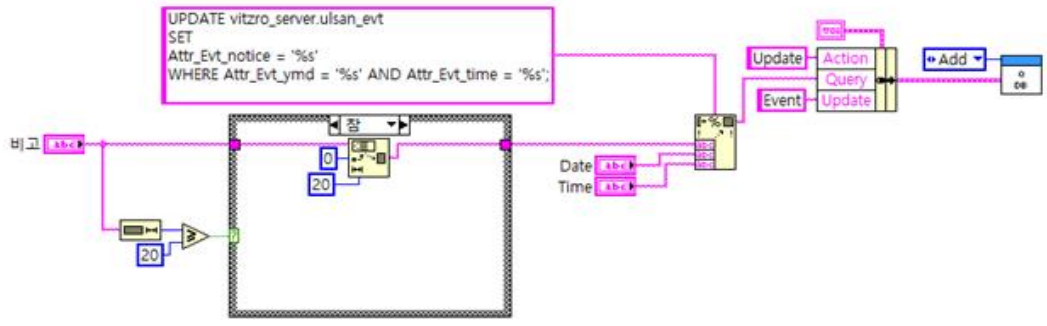
[그림 3-74] 시간 설정

■ 이벤트 검색



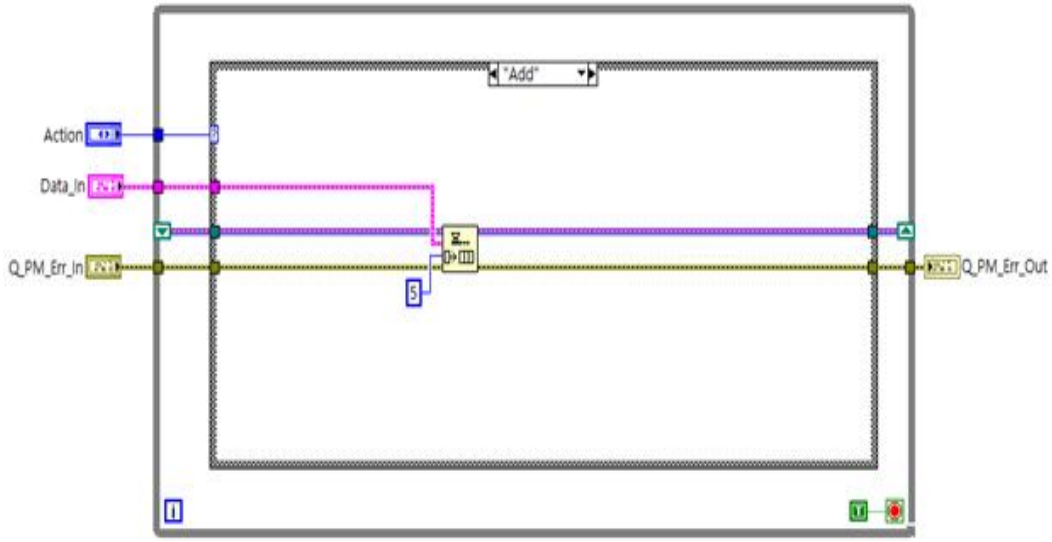
[그림 3-75] 이벤트 검색

■ 이벤트 데이터베이스 조회



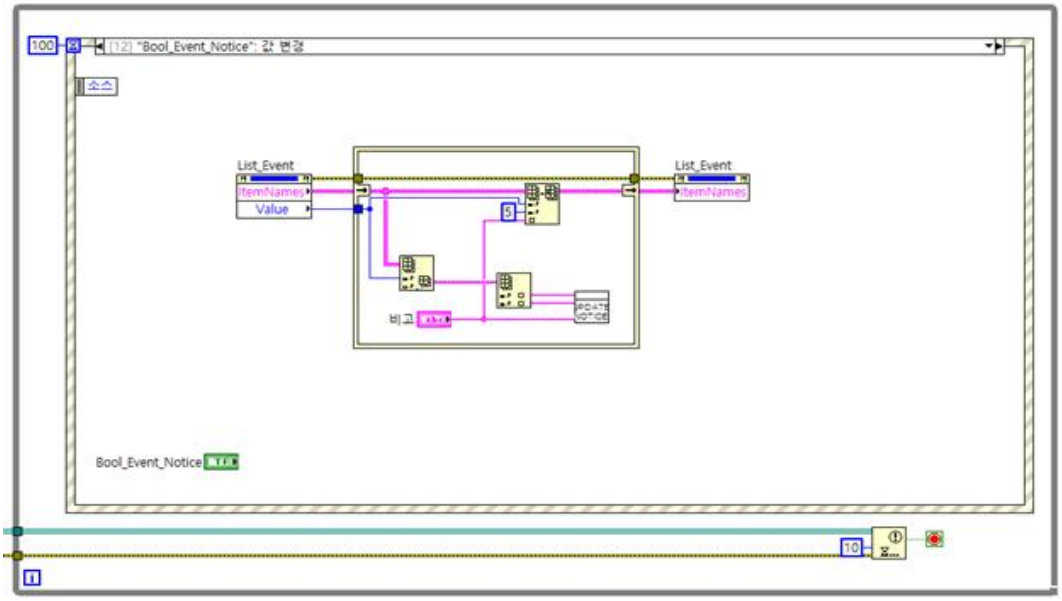
[그림 3-76] 이벤트 데이터베이스 조회

■ 데이터베이스 쿼리 Queue



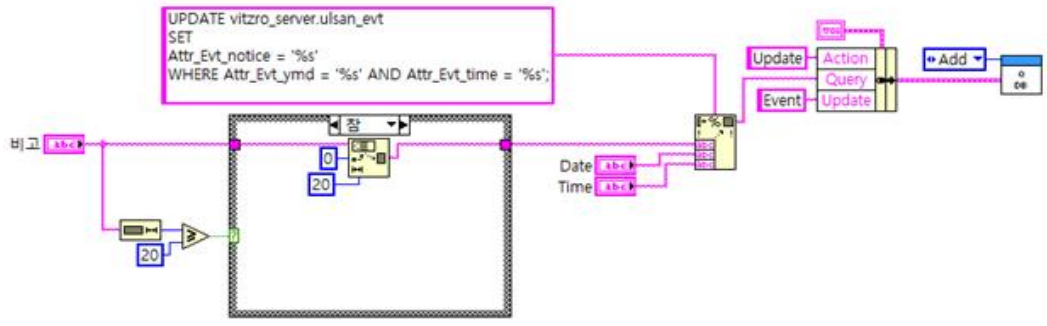
[그림 3-77] 데이터베이스 쿼리 Queue

■ Event Notice



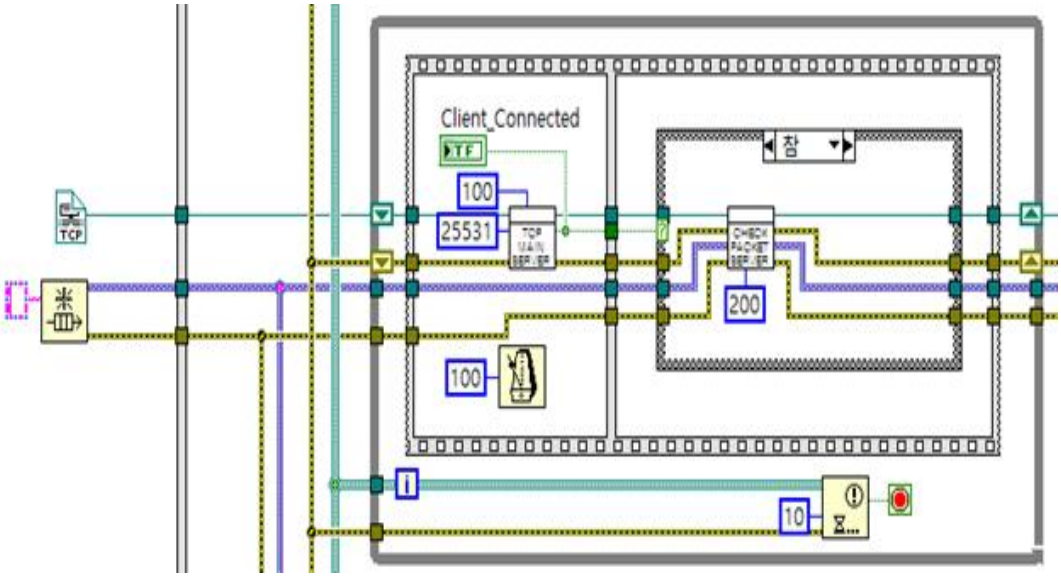
[그림 3-78] Event Notice

■ Update Evnet Database



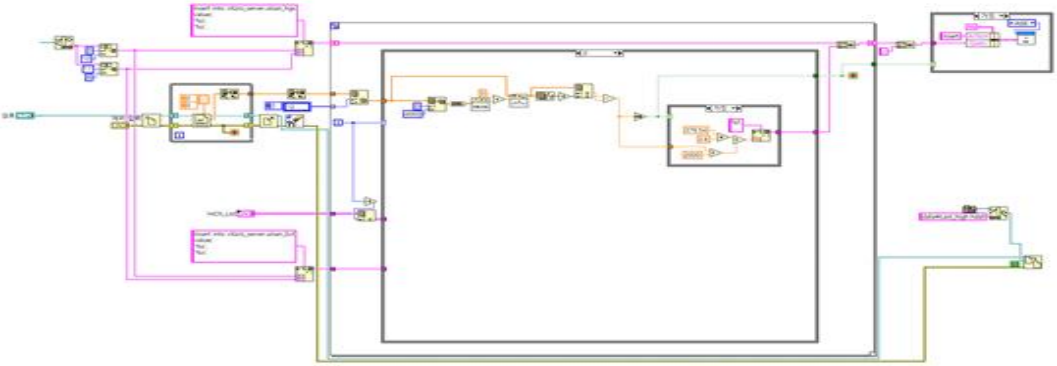
[그림 3-79] Update Evnet Database

■ TCP/IP Server Comm



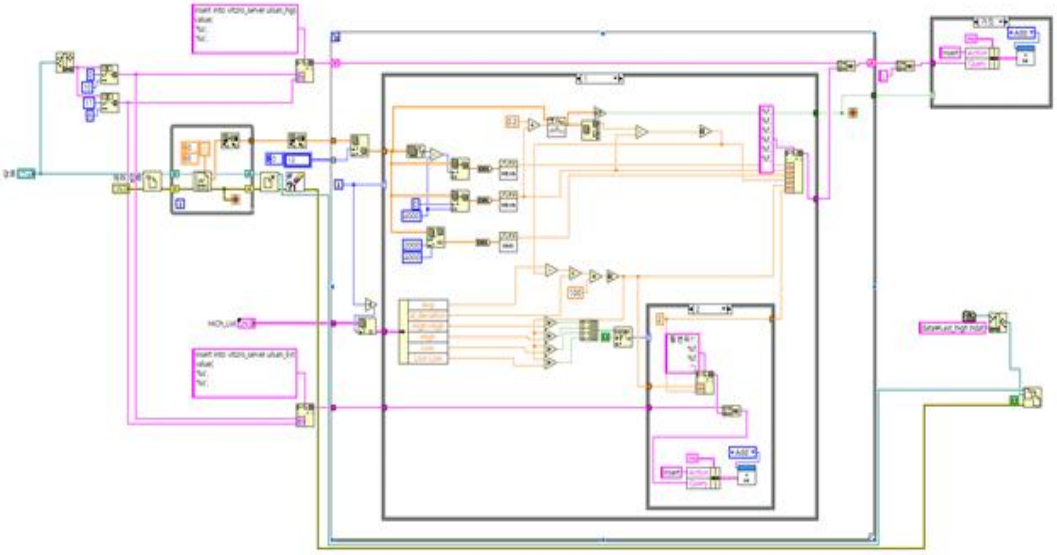
[그림 3-80] TCP/IP Server Comm

■ 열차속도, 시간데이터 데이터베이스에 입력하는 쿼리



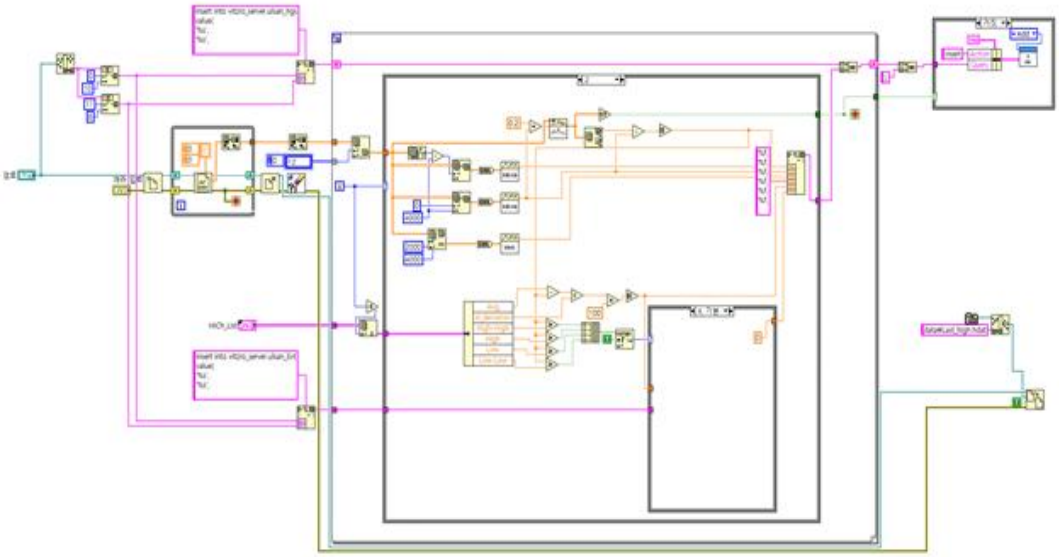
[그림 3-81] 열차속도, 시간데이터 데이터베이스에 입력하는 쿼리

■ 횡변위 데이터를 데이터베이스에 입력하는 쿼리



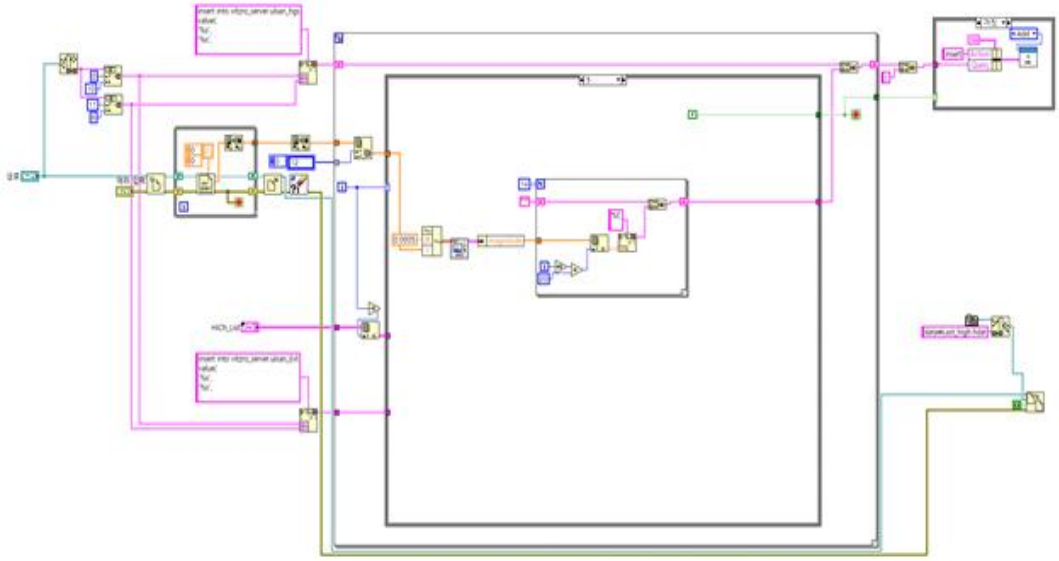
[그림 3-82] 횡변위 데이터를 데이터베이스에 쿼리

■ 진동데이터를 데이터베이스에 입력하는 쿼리



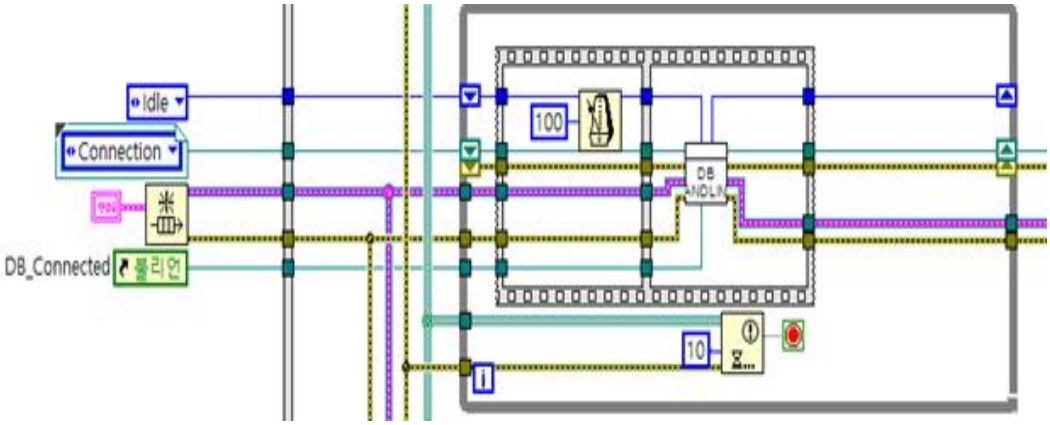
[그림 3-83] 진동데이터를 데이터베이스에 입력하는 쿼리

■ 기타 데이터를 데이터베이스에 입력하는 쿼리



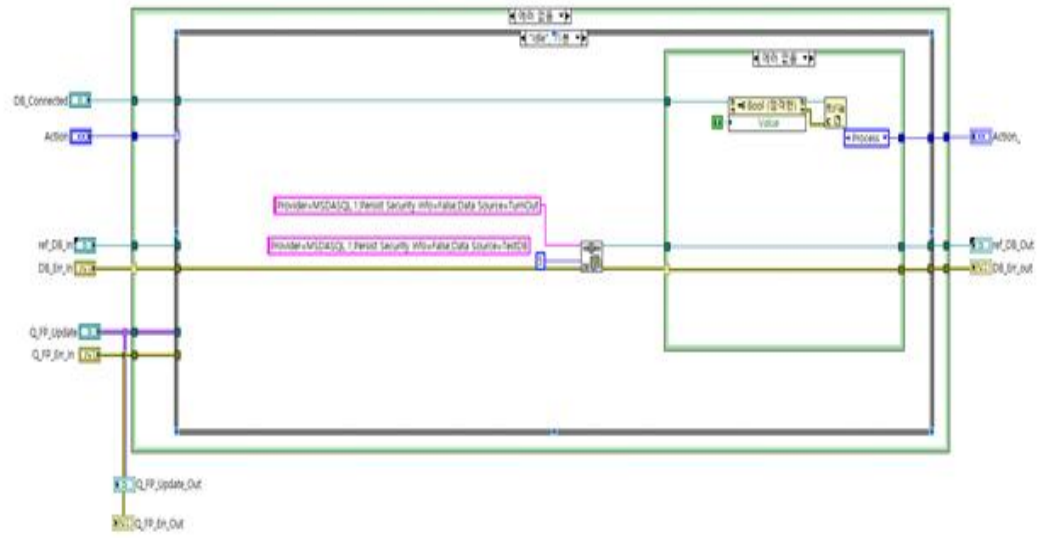
[그림 3-84] 기타 데이터를 데이터베이스에 입력하는 쿼리

■ Database Handle



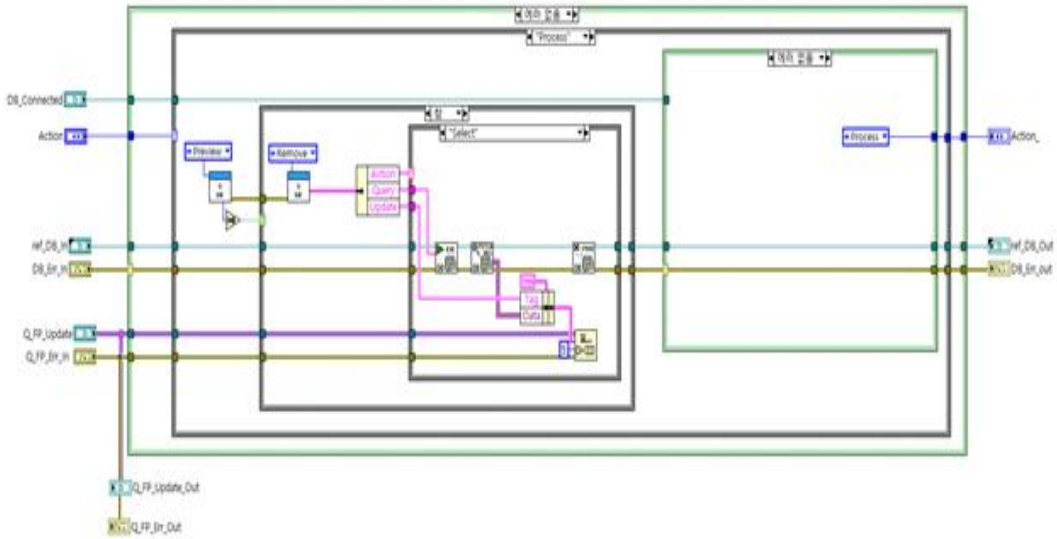
[그림 3-85] Database Handle

■ Database Connect



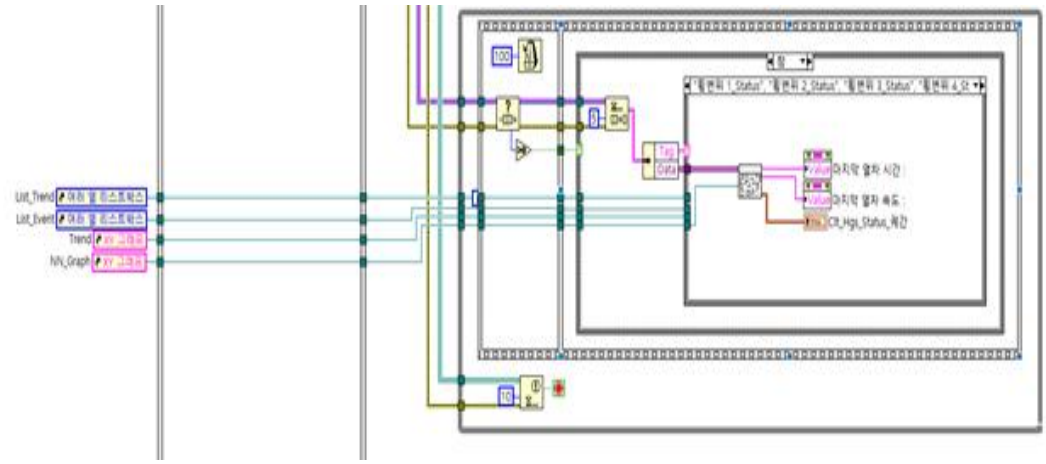
[그림 3-86] Database Connect

■ Database Update



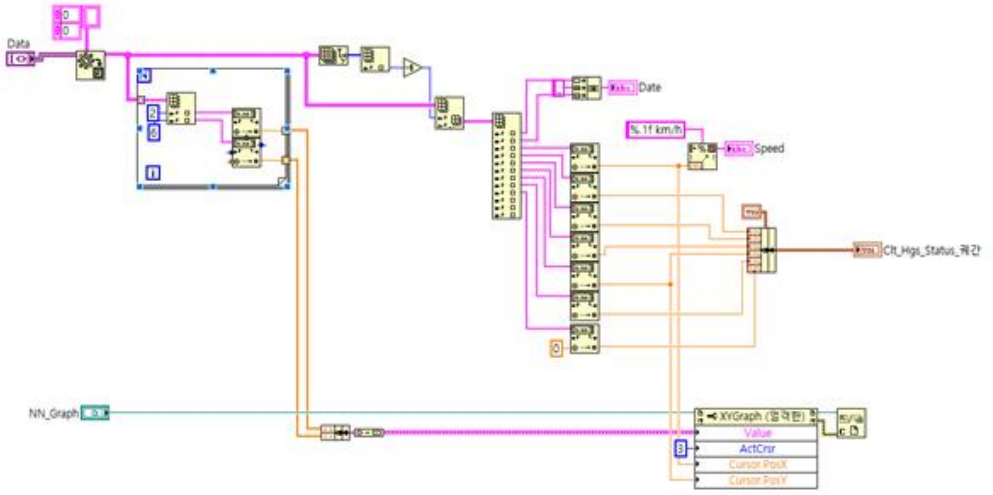
[그림 3-87] Database Update

■ Update Front Panel



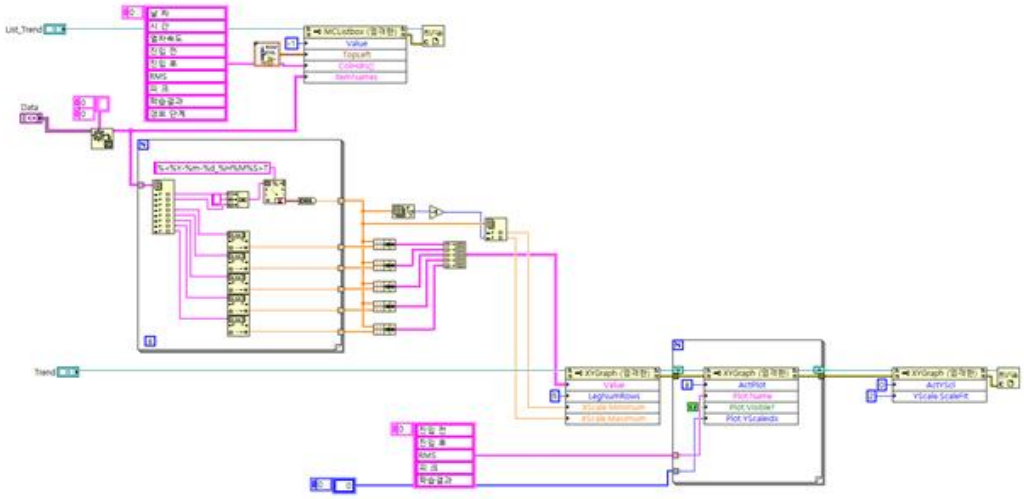
[그림 3-88] Update Front Panel

■ 진동데이터 업데이트



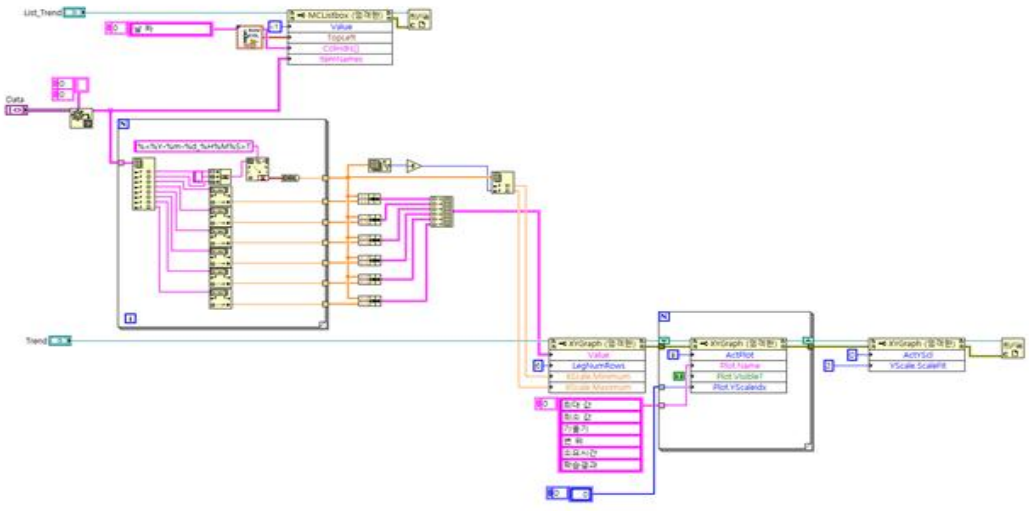
[그림 3-89] 진동데이터 업데이트

■ 횡변위데이터 업데이트



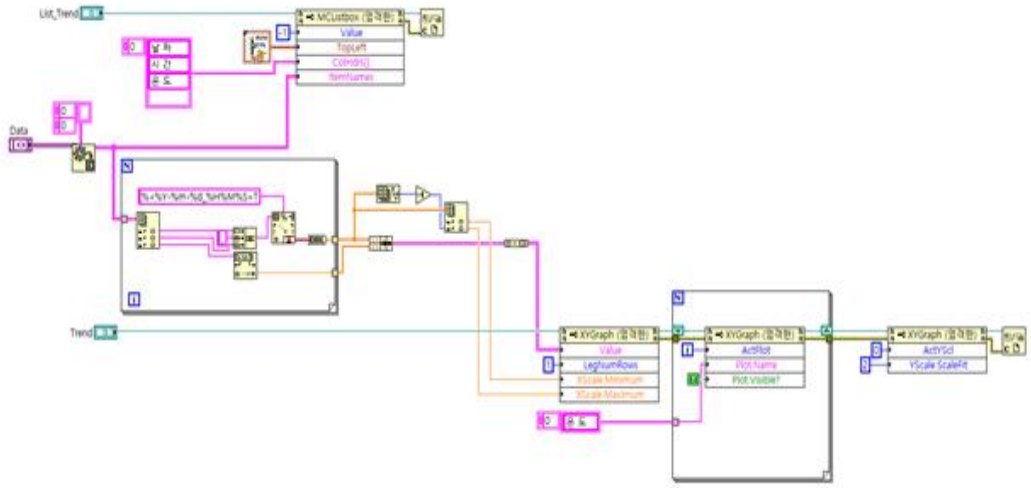
[그림 3-90] 횡변위데이터 업데이트

■ 동정밀착 데이터 업데이트



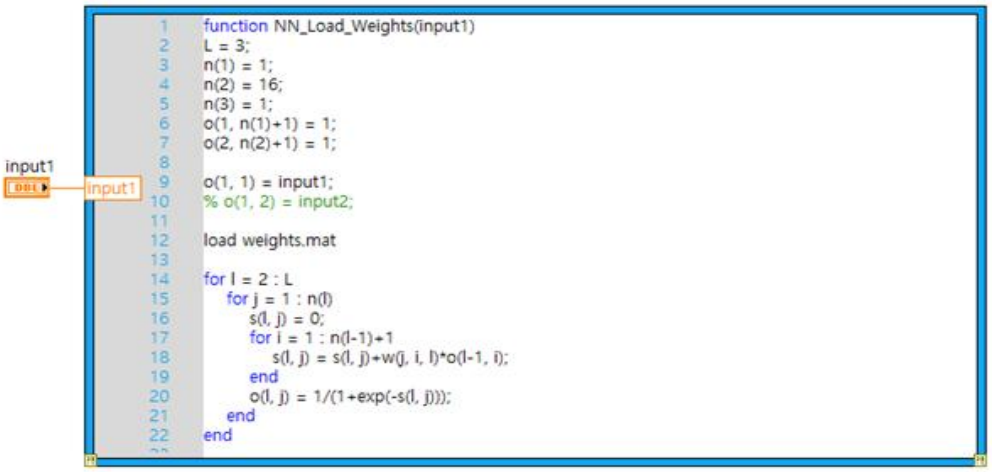
[그림 3-91] 동정밀착 데이터 업데이트

■ 온도 데이터 업데이트



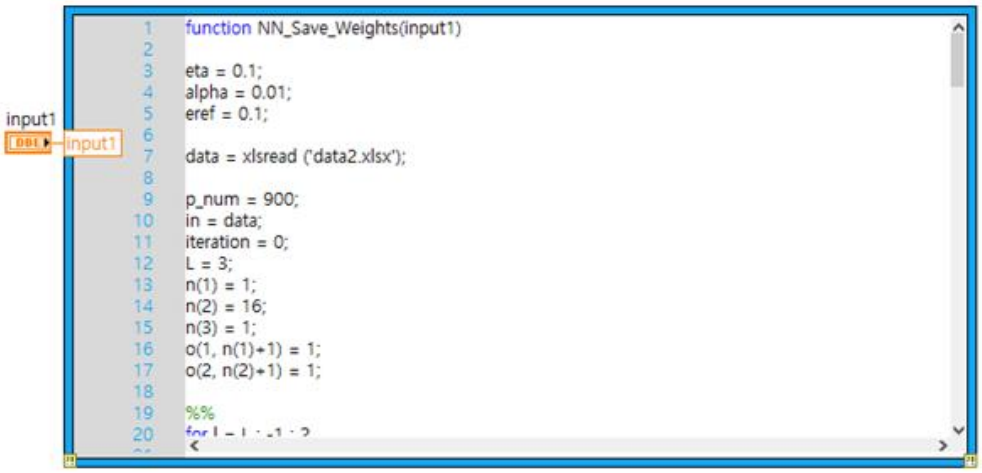
[그림 3-92]온도 데이터 업데이트

■ Load Learning Data



[그림 3-93] Load Learning Data

■ Save Learning Data



[그림 3-94] Save Learning Data

(자) 고속철도용 분기기 관리운영 시스템 프로그램 등록



제 C-2017-023433 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	고속철도용 분기기 관리운영시스템
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 비츠로시스 서울특별시 성동구 성덕정길
4. 생년월일(법인등록번호)	110111-0657275
5. 창작연월일	2017년05월30일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2017년09월27일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 비츠로시스, 창작 : 2017.05.30

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2017년 09월 28일

한국저작권위원회

(차)신경주역 시설사무소 품평회 개최

■ 일시 : 2017년 6월 9일(금) 11시

■ 장소 : 신경주역 시설사무소

■ 내용 : 울산역 분기기 설치 운영 보고 및 의견 청취 및 수렴





[상세내용은 별지 3.4.2 참조]

(3) 최종 RTU 구축

(가) 최종 RTU

RTU는 시스템 구축시 현장 함체에 설치되어 하부로는 센서 신호를 SCM으로부터 취득하고 상위로는 단말기 MMI 모듈에 연계된다. 최종 RTU는 축소형 RTU 구축에 사용한 산업용 PC를 사용하여 구축하였다.

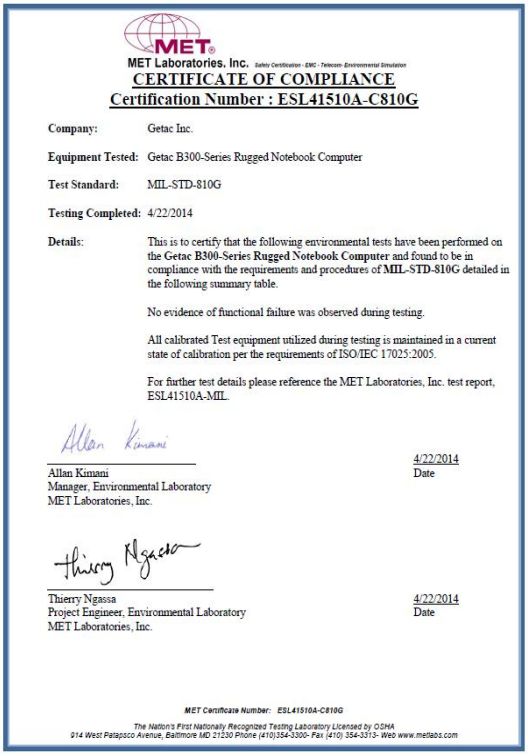


[그림 3-95] RTU 제품

(나) 환경인증

해당 RTU는 환경 내구성에 대한 인증인 MIL-STD-810G 및 MIL-STD-461F 인증을 획득한 제품으로 온도 -30~60℃, 보관온도 -50~70℃, 0~95% 상대 습도에서 결로 방지 등을 보장한다.

- MIL-STD-810G 인증



MET Laboratories, Inc. Safety Certification · EMC · Telecom · Environmental Simulation

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

Certification Number : ESL41510A-C810G

Company: Getac Inc.

Equipment Tested: Getac B300-Series Rugged Notebook Computer

Test Standard: MIL-STD-810G

Testing Completed: 4/22/2014

Details: This is to certify that the following environmental tests have been performed on the **Getac B300-Series Rugged Notebook Computer** and found to be in compliance with the requirements and procedures of **MIL-STD-810G** detailed in the following summary table.

No evidence of functional failure was observed during testing.

All calibrated Test equipment utilized during testing is maintained in a current state of calibration per the requirements of ISO/IEC 17025:2005.

For further test details please reference the MET Laboratories, Inc. test report, ESL41510A-MIL.

Allan Kimani
Manager, Environmental Laboratory
MET Laboratories, Inc.
4/22/2014
Date

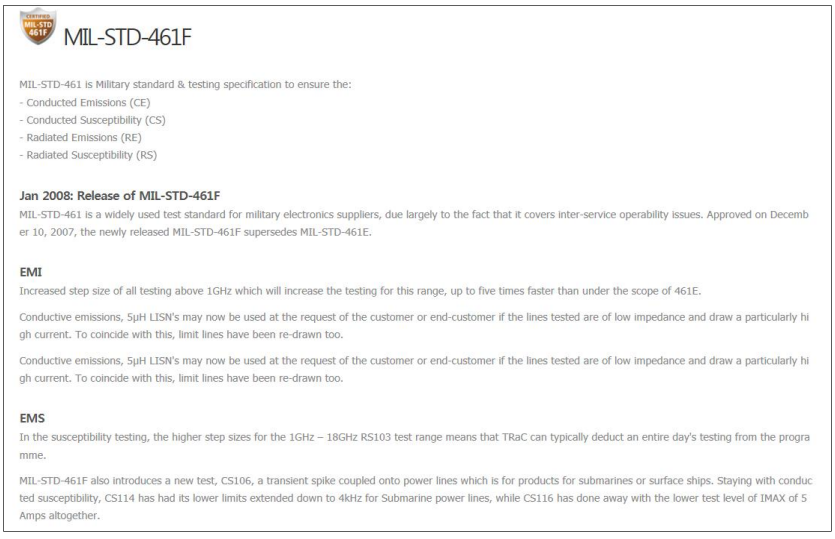
Thierry Ngassa
Project Engineer, Environmental Laboratory
MET Laboratories, Inc.
4/22/2014
Date

MET Certificate Number: ESL41510A-C810G

The Nation's First Nationally Recognized Testing Laboratory Licensed by OSHA
914 West Patapsco Avenue, Baltimore MD 21230 Phone (410)354-3300- Fax (410) 354-3313- Web www.metlabs.com

[그림 3-96] MIL-STD-810G 인증

- MIL-STD-461F 인증



MIL-STD-461F

MIL-STD-461 is Military standard & testing specification to ensure the:
- Conducted Emissions (CE)
- Conducted Susceptibility (CS)
- Radiated Emissions (RE)
- Radiated Susceptibility (RS)

Jan 2008: Release of MIL-STD-461F

MIL-STD-461 is a widely used test standard for military electronics suppliers, due largely to the fact that it covers inter-service operability issues. Approved on December 10, 2007, the newly released MIL-STD-461F supersedes MIL-STD-461E.

EMI

Increased step size of all testing above 1GHz which will increase the testing for this range, up to five times faster than under the scope of 461E.

Conductive emissions, 5µH LISN's may now be used at the request of the customer or end-customer if the lines tested are of low impedance and draw a particularly high current. To coincide with this, limit lines have been re-drawn too.

Conductive emissions, 5µH LISN's may now be used at the request of the customer or end-customer if the lines tested are of low impedance and draw a particularly high current. To coincide with this, limit lines have been re-drawn too.

EMS

In the susceptibility testing, the higher step sizes for the 1GHz – 18GHz RS103 test range means that TRaC can typically deduct an entire day's testing from the programme.

MIL-STD-461F also introduces a new test, CS106, a transient spike coupled onto power lines which is for products for submarines or surface ships. Staying with conducted susceptibility, CS114 has had its lower limits extended down to 4kHz for Submarine power lines, while CS116 has done away with the lower test level of IMAX of 5 Amps altogether.

[그림 3-97] MIL-STD-461F 인증

[상세내용은 별지 3.4.3. 참조]

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1절. 목표 달성도

1. 1차년도 목표달성도

[표 4-1] 1차년도 목표달성도

목 표		달 성 도 (%)	내 용
▪ 분기기 관리운영시스템 측정인자 도출 및 적용센서 최적화	▪ 센서 시스템 요구 명세 도출	100	▪ 탐색용 요구명세서 도출: 최종 측정항목 도출. 명세화 완료 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 탐색형 센서 설치 방안 도출	100	▪ 탐색용 센서 특성 검토 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 분기기 관리 운영 Virtual 시스템 제작	100	▪ Virtual 시스템 구축 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 의사 결정 시스템 이론 조사 및 설계	100	▪ 탐색용 의사결정 시스템 알고리즘 조사 ▪ 보고서 1건 작성
▪ 분기기 관리운영시스템 표준화 및 성능평가 자료 생성	▪ 장치별 분류 및 SCADA 프로토콜 조사	100	▪ 탐색용 프로토콜 검토 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 센서 및 SCM 등 구조 분석, 원가 산정	100	▪ 탐색용 센서 종류 및 규격 검토 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 센서 구성안 도출	100	▪ 탐색용 센서 선정 : 총 12측정인자, 31포인트 도출 ▪ 보고서 1건 작성
▪ 탐색용 센서 설치 및 데이터 획득	▪ 센서 설치 및 데이터 수집	100	▪ 현장에 센서 설치 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 탐색용 센서 치공구 제작	100	▪ 탐색용 센서관련 치공구 종류 조사 : 황간역 부설시 치공구 적용 ▪ 보고서 1건 작성
▪ 탐색용 SCM 구축	▪ RTU I/F 구축(전기식)	100	▪ 탐색용 시스템 구축 : 외함 2EA 제작, 외함간 무선통신 구현 (5.8GHz) ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 센서 연동 I/F 구축	100	
	▪ 무선 송수신 Prototype 구축	100	
▪ 관리 운용 시스템용 DB 모듈 및 단말기 MM 모듈 개발, RTU 구축	▪ 관리 운용 시스템 DB 모듈 설계 및 데이터 획득	100	▪ 탐색용 데이터 획득 및 DB 설계 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 단말기 MMI 모듈 설계	80	▪ 탐색용 MMI 기본안 설계 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 탐색용 RTU 구축	100	▪ 시험성적서 보유 제품 적용하여 구축 ▪ 보고서 1건 작성

2. 2차년도 목표달성도

[표 4-2] 2차년도 목표달성도

목 표		달 성 도 (%)	내 용
분기기 관리운영시스템 측정인자 도출 및 적용센서 최적화	▪ 축소형 센서 시스템 요구 명세 도출 적정성	100	▪ 축소형 요구명세서 도출 : 측정항목 도출. 명세화 완료 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 축소형 센서 최적화 방안 도출 및 2차년도 현장부설 적용	100	▪ 센서규격 및 운용환경 검토 완료 ▪ 2차년도 현장부설 적용 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 의사결정 판단 값 설정 및 판단모듈 제작	100	▪ 의사결정 판단모듈 설계 및 구현 ▪ 보고서 1건 작성
분기기 관리운영시스템 표준화 및 성능평가 자료 생성	▪ 축소형 SCADA 장치 표준화 개발 적정성	100	▪ 축소형 표준화 프로토콜 제안 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 축소형 시스템 고장 분석 평가, 운용비용 산정 모델 개발	100	▪ 축소형 시스템 고장 분석 평가 진행 ▪ 보고서 1건 작성
축소형 치공구 개발	▪ 축소형 prototype용 센서별 치공구 제작	100	▪ 치공구 제작 완료 ▪ 차년도 현장부설 적용완료 ▪ 보고서 1건 작성
축소형 SCM 개발	▪ 데이터 무선 송수신장치 개발	100	▪ 축소형 시스템 구축 : 외함 2EA 제작, 광대역 무선통신 모듈 제작 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ I/F 연계모듈 개발	100	
	▪ 데이터처리모듈 개발	100	
관리 운용 시스템용 DB 모듈 및 단말기 MMI 모듈 개발, RTU 구축	▪ 관리 운용 시스템 DB Prototype 개발	100	▪ 축소형 DB 설계 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 단말기 MMI Prototype 개발	100	▪ 축소형 MMI 구축 ▪ 보고서 1건 작성
	▪ 축소형 RTU 구축	100	▪ 시험성적서 보유 제품 적용하여 구축 ▪ 보고서 1건 작성

3. 3차년도 목표달성도

[표 4-3] 3차년도 목표달성도

목 표		달 성 도 (%)	내 용
분기기 관리운영시스템 측정인자 도출 및 적용센서 최적화	최종 센서 시스템 요구 명세 도출	100	▪ 검측 시스템의 구축에 관련된 5개분야의 요구명세를 도출하였음 ▪ 보고서 1건 작성
	최종 센서 최적화 방안 및 오류 대책 도출	100	▪ 자갈도상은 진동센서만 가능하고, 콘크리트 궤도에는 진동 및 변위센서의 가능한 것으로 판명되었음 ▪ 보고서 1건 작성
	의사결정 판단 값 설정 및 모듈 최적화	100	▪ 통계적 모델과 인공신경망을 이용하여 획득된 데이터를 정상 및 비정상 여부를 판단할 수 있는 알고리즘을 도출하였음 ▪ 보고서 1건 작성
분기기 관리운영시스템 표준화 및 성능평가 자료 생성	SCADA 장치 표준화 및 상용화	100	▪ SCADA 표준화 프로토콜 제안 및 반영 ▪ 보고서 1건 작성
	최종 RAM 평가 및 LCC 산정 결과 도출	100	▪ LVDT와 Accelermeter에 대한 RAM을 평가하였으며, LCC대한 이론도출 ▪ 보고서 1건 작성
최종 치공구 개발	치공구 고도화, 상품화	100	▪ 치공구 고도화 설계 ▪ 치공구 고도화 제작 완료 ▪ 3차년도 현장부설 적용완료 ▪ 보고서 1건 작성
관리 운용 시스템용 DB 모듈 및 단말기 MMI 모듈 개발, RTU 구축	관리 운용 시스템 DB 모듈 상용화	100	▪ 관리운용 시스템 상용화 DB 설계 ▪ 보고서 1건 작성
	단말기 MMI 모듈 상용화	100	▪ 단말기 MMI 모듈 상용화 구축 ▪ 보고서 1건 작성
	최종 RTU 구축	100	▪ 온습도 시험성적서 보유 제품 적용하여 구축 ▪ 보고서 1건 작성

제5장. 연구개발성과의 활용계획

[표 5-1] 연구개발성과의 활용계획

활용분야 및 활용방안	• 전국의 선로 전환기는 코레일 8,078대, 서울도시철도 525대, 서울메트로 491대, 부산교통공사 404대, 대구도시철도 247대, 인천메트로 110대, 대전도시철도 96대등 전국의 고속·일반·도시철도에 1만232대의 선로전환기(분기기)가 설치되어 있으며, 선로전환기의 중요도가 높은 곳, 무인화가 가속화되는 소규모 역, 고속 철도 등에 활용이 가능 • 세계적으로도 철도의 무인화가 가속되고 있고, 세계철도연맹(UIC)에서도 분기기 검지시스템을 구축하기 위한 연구가 진행되고 있어, 이로 인하여 전 세계적으로 분기기 시스템 모니터링 시스템이 확대될 예상 • 통신혁명으로 인하여 모든 분야에서 SMART화가 급속하게 진행되고 있고, 철도 모든 분야역시 SMART화가 활발하게 진행되고 있다. 따라서 분기기 시스템 모니터링 시스템 개발이 효율면에서 시기상 적절하다. 이 시스템은 현재 및 미래의 시스템으로 철도수출 분야 에 첨단기술로서, 철도시스템 수출에 일조할 수 있다.
기업화	• 고속철도의 분기기의 1틀 가격은 20억으로서, 이 시스템의 가격을 10분 1로 책정할 경우 2억에 해당되며, 이 금액은 분기기 운용에 필요한 비용을 절감할 수 있어 활용할 확률이 매우 높음 • 목표 시장 : 당 과제의 과업을 달성하여 고속 뿐 아니라 일반선까지 경제적이면서도 신뢰성 있는 관리 운영시스템 구축이 가능해짐 • 1만232대 x 5,000만원(목표판매가)/개소 = 5천1백억, 10년주기 교체시 년 510억 시장 (10년 내용연수 근거: 철도공단 회계기준 시행세칙中 철도 신호제어 시스템 내용연수 10년, 철도정보통신 영상감시시스템 내용연수 6년. 본 개발품은 정보통신과 현장 센서 시스템이 결합되어 있음.) • 예상 수요처: 코레일, 서울도시철도, 서울메트로, 부산교통공사, 대구 도시철도, 인천메트로, 대전 도시철도 등 • 시장 진입 방안 2018년: 코레일 국철 및 고속선 선적용 2020년: 서울메트로, 도시철도등 5대광역도시 전철 시스템 시장 확대 2021년 : 경전철 시장 진입 • 국내 철도운영기관 홍보방안 설명회 개최 및 국내 전시회 참여 • 국외 철도운영기관 홍보계획 당사 협력업체인 Alstom과 협조하여 해외 철도 시장 설명회 진행 • Innotrans 해외 철도전시회 홍보계획 과제 성과물 및 상용화 결과물 전시회 참여 • 자체 기술화 자체 상용급 MMI 개발 및 의사결정지원 모듈 개발 및 상용화
추가연구	
기술이전 계획	

본 과제에서 개발하는 LVDT와 Accelerometers이용한 분기기 진단 시스템은 전 세계적으로 처음 시도하는 과제로서 외국에 특이한 기술은 없음.

본 과제를 수행을 하면서 얻은 정보는 철도차량이 분기기 통과속도를 결정할 때 충격 각을 예측할 수 있는 곳의 선두 휠셋에 의해서 발생되는 충격략은 다음과 같은 식에 의해서 구할 수 있다.

$$P = \alpha v \sqrt{k m_u}$$

단,

P : 바깥레일에 작용하는 최대 충격력
α : 플랜지와 리드레일이 만나는 점에서의 진입각도이며, 진입각도는 스위치 진입각도보다 큼
v : 차량진입속도
k : 충격점에서 궤도의 횡방향 강성
m_u: 차량의 하질량(Unsprung mass)

강성 k는 충격점에서 레일두부에 횡방향의 값이며, αV의 변수의 곱은 BR 스위치에서 0.1로 거의 일정하며, 승차감을 유지하기 위하여 도출된 값이다. 정량화된 값을 얻은 것이 하나의 성과이다.

1절. 보안등급의 분류

[표 7-1] 보안등급 분류

보안	일반
	O

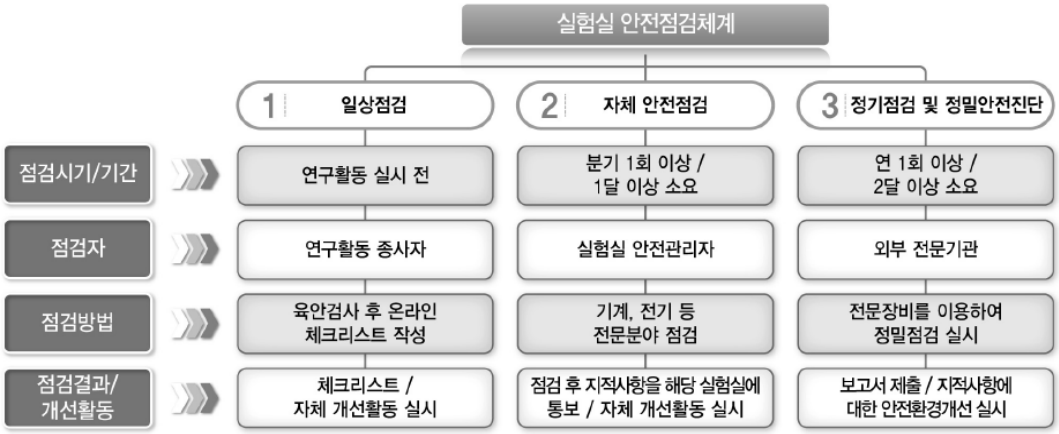
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비현황

[표 8-1] 연구시설 · 장비현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

1절. 연구실 안전 점검 체계 및 실시

1. 실험실 안전 점검 체계



[그림 9-1] 실험실 안전 점검 체계

2절. 실험실 안전점검

1. 실험실 일상 점검
   가. 연구 활동 시작 전 각 실험실 책임자가 육안으로 장비 및 시설을 매일 점검

2. 실험실 정기 점검
   가. 내용 : 과학기술분야 실험실의 일반안전, 산업위생, 전기안전, 소방안전 등의 전문분야 점검

   나. 실시 : 매월 각 실험실을 주기적으로 점검

3. 실험실 정기점검
   가. 실시 : 매년 1회 이상 외부 전문기관에 의뢰하여 실시 후 중대결함이 발견될 경우, 교육과학기술부에 보고

4. 관리위험등급의 지정
   가. A 등급 : 가연성가스, 인화성 시약, 유해화학물질, 다량의 폐액배출, 독극물, 생물 및 동물, 방사성 동위원소, 위험성이 높은 기계장비가 설치된 실험실

   나. B 등급 : 일반시약, 소규모 인화성 시약, 불연성가스, 소량의 폐수발생실험실

   다. C 등급 : 이화학실험을 수행하지 않는 전기, 설계, 컴퓨터 관련 실험실

3절. 교육 훈련

1. 개요 : 실험실의 안전을 확보하고 종사자의 건강을 보호하여 실험 및 연구활동에 기여하고, 또한 연구실 안전환경조성에 관한 법률에 의거하여 실험실의 환경안전교육이 의무화됨에 따라 이공계열 대학원생 및 관련자 전원은 환경안전교육을 의무적으로 수강
2. 교육대상 : 연구소 전직원
3. 교육실시 : 반기별 3시간 온라인 및 집체교육 실시

4절. 건강 검진

1. 개요 : 인체에 치명적인 위험물질 및 바이러스 등에 노출될 위험성이 있는 연구활동 종사자의 건강을 보호함
2. 대상 : 산업안전보건법 시행령 제29조에 따른 유해물질 및 같은 법 시행규칙 별표 12의2에 다른 유해인자를 취급하는 연구활동 종사자에 대하여 일반건강검진과 특수건강검진을 실시
3. 건강검진 실시 : 매년 1회 연구소 전직원 한양대학교병원 방문건강검진으로 일반 건강검진 및 월 1회 건강상담 실시

5절. 보험 가입 현황

당사 산업안전보건법에 의거 산재보험 가입

6절. 추가 이행 실적

[표 9-1] 추가 이행 실적

가. 실험실 안전환경 개선	안전관리 규정 부착 및 일상점검 실시
나. 실험실 소방설비 개선	실험실에 설치되어 있는 노후 소방시설을 개선하여 신속한 화재경보 및 소화활동 실시
다. 실험실 전기 안전관리	비접지형 콘센트 노후 분전반 교체 등
라. 실험실 화공 안전관리	물질안전보건자료(MSDS) 비치
마. 실험실 산업위생 안전관리	1. 개인용 보호장비 구매 2. 구급용구 구매 3. 국소배기장치 설치(소규모 납땜)

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 출원일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	레일 진동 측정 장치	㈜비츠로시스		대한민국		2017.03.10		
2	특허	레일 진동계 치공구	㈜비츠로시스		대한민국		2015.05.13		
3	논문	분기기 진단시스템 설계에 관한 연구	서울과학기술대학교	주저자	대한민국		2015.10		
4	논문	철도용 분기기 시스템 진단알고리즘에 대한 연구	서울과학기술대학교	주저자	대한민국		2014.7.16		
5	논문	철도용분기기 시스템 모니터링 위한 시스템 설계	서울과학기술대학교	주저자	대한민국		2014.7.16		
6	논문	고속철도 분기기 시스템 진단 시스템에 관한 연구(Ⅰ)	서울과학기술대학교	주저자	대한민국		2017.04.		
7	논문	고속철도 분기기 시스템 진단 시스템에 관한 연구(Ⅱ)	서울과학기술대학교	주저자	대한민국		2017.04.		

제12장. 참고 문헌

○ 일반

[1] Hao Bai et al. “A Generic Fault Detection and Diagnosis Approach for Railway Assets”, University of Birmingham UK

[2] Andres Ekberg et al. “Concluding Technical Report Railway Assets UIC”, www.innotrack.eu

[3] Siemens, "Point Dianostic System SIDIS W"

[4] Diego J. Pedregal et al. "RCM Predictive Maintenance of Railway System Based On Unobserved Component Models", Reliability Engineering and System Safety, 2004, 83, pp. 103-110

[5] RAIB, "Derailment At Grayrigg", Department for Transport UK, 2008

○ 선로전환기

[6] Fausto Pedro Garcia Marquez et al. “A Reliability Centered Approach to Remote Condition Monitoring : A Railway Point Case Study”, Reliability Engineering and System Safety, 2003, 80, pp. 33-40

[7] Christina Busisiwe Vilakazi, "Machine Condition Monitoring Using Artificial Intelligence", University of the Witwatersrand

[8] Vossloh, "Manual Utilisteur Systeme SURVAIG NG /SYS MUL"

[9] Subhash Chandra Panja et al. "Reliability Analysis of a 'Point and Point Machine' of the Indian Railway Signaling System", Quality and Reliability Engineering International 2007, 23, pp. 833-848

[10] Rene Quantschnigg, "HYDROSTAR Switch Operating System Main Track Application", Signal +DRAHT, 2004

[11] IEE, "Remote Monitoring of Point Based On Effective Power Dissipation", IEE, 1998

○ 분기기

[12] 한국철도공사, “고속철도선로정비지침”

[13] 삼표ENC, "PC 침목 신축이음매 장치 유지보수관리 지침서", 2005

[14] Autralian Rail Track Corporation LDT, "The Claw Lock Mechanism Installation On Turnouts"

[15] Hideaki YANAGAWA, "Use of Continuous Welded Rail Track With Turnouts", Railway Technology Avalanche, 2006, No.11 Jan. 1

[16] Warwick Allison, "In search of Perfect Points", IRSE, 2010

[17] Australian Goverment Publishing Service, "Railway Track Design - A Review Research Laboratories", 1980

○ SCADA

[18] David Bailey et al. "Practical SCADA for Industry", Elsevier

[19] Gordon Clarke, "Practical Modern SCADA Protocils : DNP3, 60870.5 and Related System", Elsevier, 2004

[20] IDC Technologies, "Practical Fieldbus, DeviceNet and Ethernet for Industry"

[21] National Communcation System, "Supervisory Control and Data Aquisition System", 2004

[22] Rockwell Automation, "SCADA System-Application Guide “

[성과점검기준표]

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표 (가중치)
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
2세부	A	분기기 관리운영 시스템 설계 기술 개발	A-1	분기기 관리운영시스템 측정인자 도출 및 적용센서 최적화	①	센서 시스템 요구 명세 도출 적정성	1건	최종 센서시스템 요구명세 도출 결과검토	보고서	15	서울과학기술대학교 한국철도공사	50	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 1 건 시제품 : 건 S/W : 건 (35)
					②	센서 최적화 방안 및 오류 대책 도출 적정성	1건	요구명세에 만족하는 센서 운용방안 도출 결과검토	보고서	15			
					③	의사결정 판단 값 설정 및 모듈 최적화 적정성	1건	의사결정 지원 시스템 S/W 개발 결과검토	보고서	15			
	B	분기기 관리운영 시스템 성능평가 기술 개발	B-1	분기기 관리운영시스템 표준화 및 성능평가 자료 생성	①	SCADA 장치 표준화 및 상용화 적정성	1건	표준화 제안 및 구현 반영 결과검토	보고서	10	서울과학기술대학교	35	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 1 건 시제품 : 건 S/W : 건 (35)
					②	RAM 평가 및 LCC 산정 적정성	1건	RAM 평가 및 LCC 평가를 이용한 시스템 적정구축 규명 결과검토	보고서	15			
	C	분기기 시스템의 상태를 평가하기 위한 검측 시스템 제작 기술 개발	C-1	최종 치공구 개발	①	치공구 고도화, 상품화 적정성	1식	사용시험 결과검토	사용시험성적서	15	비츠로시스 제이브이지	146	특허 : 출원 1 건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건 (30)
	D	분기기 관리 운용 시스템 제작 기술 개발	D-1	관리 운용 시스템용 DB 모듈 및 단말기 MMI 모듈 개발, RTU 구축	①	관리 운용 시스템 DB 모듈 상용화 적정성	1건	상용화 급 DB 구축 결과검토	DB 모듈	5	비츠로시스	110	
					②	단말기 MMI 모듈 상용화 적정성	1건	상용화급 MMI 모듈 구현 결과검토	MMI S/W	5			
					③	최종 RTU 구축 적정성	1건	상용화급 RTU 구축 결과검토	온도시험 성적서, 기능 성적서	5			
계										100		341	특허 : 출원 1 건 등록 건 논문 : 2 건 시제품 : 건 S/W : 건 (100)

[상세내용은 별지 3.5.1. 참조]

[상세내용은 별지 3.5.2. 참조]

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

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