3cm

R&D/
15RTRP
-B070555
-03

4cm

도시형자기부상철도 분기기 최적화 및 5way 분기기 개발 최종보고서
(견고딕)

3cm

2017
(견고딕)

Construction & Transportation R&D Report

(견고딕
25p)

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

철도기술사업 최종보고서(견고딕 13p)

3cm

0.5cm

R&D/
15RTRP-B070555-03

2.5cm

9cm

(견고딕31p)

5cm

‘도시형자기부상철도 분기기 최적화 및 5-way 분기기 개발’

최종보고서

(0.1cm)

2017. 07. 14.

0.15cm

(견고딕15p)

주관연구기관 / (주)대명엔지니어링
공동연구기관 / 한국기계연구원

(견고딕 15.5p)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

(견고딕 20p)

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘도시형자기부상철도 분기기 최적화 및 5-way 분기기 개발’ (연구개발 기간 : 2013.12 .27 ~ 2017. 04.26) 과제의 최종보고서 6부를 제출합니다.

2017. 07. 14.

주관연구기관명 : ㈜대명엔지니어링 관리인 손 양 선 (인)

참 여 기 관 명 : 한국기계연구원 박 천 홍 (인)

주관연구기관책임자 : 황 종 균

참여연구기관책임자 : 이 종 민

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15RTRP-B070555-03	해당 단계 연구 기간	2013. 12. 27~ 2017. 04. 26	단계구분	4/4
연구사업명	중사업명	철도기술연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	도시형자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술개발			
	세부과제명	도시형자기부상철도 분기기 최적화 및 5-way 분기기 개발			
연구책임자	황 종 균	해당단계 참여 연구원 수	총: 15 명 내부: 15 명 외부: - 명	해당단계 연구개발비	정부:315,000 천원 기업:105,600 천원 계:420,600천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 33 명 내부: 33 명 외부: - 명	총 연구개발비	정부:2,700,000 천원 기업:911,629천원 계:3,611,629 천원
연구기관명 및 소속 부서명	㈜대명엔지니어링 / 기술연구소			참여기업명 한국기계연구원	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약				보고서 면수	

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	○ 5방향 분기기 테스트베드(공장내 설치) 내 성능검증 - 테스트베드 내 5방향 분기기 성능시험을 통한 성능검증 ○ 차량 고장시 비상대피선로용 트레버스 분기기 적용방안 개발 - 비상대피선로 적용 트레버스 분기기 적정성 입증을 위한 상세설계 - 트레버스 분기기 성능시험절차서 및 유지관리지침서 작성 - 차량과 트레버스 분기기 동적상호관계를 고려한 동특성해석 수행
연구개발성과	○ 5방향 분기기 테스트베드(공장내 설치) 내 성능검증 수행 - 테스트베드 내 5방향 분기기 성능시험을 통한 성능검증 수행 • 거더 구조물별 고유진동수 측정 • 분기기 모드별 동작속도 측정 • 반복정밀도 및 소음 측정 등 수행 • 연속동작시험에 의한 동작 신뢰성 및 안전성 검증 • 구동모터 고장시 수동동작시간 측정 중 • 장경간거더의 열변형 측정 중 ○ 차량 고장시 비상대피선로용 트레버스 분기기 적용방안 개발 - 비상대피선로 적용 트레버스 분기기 적정성 입증을 위한 상세설계 수행 • 트레버스분기기 상세설계 도면 개발 • 상세설계 결과 반영 트레버스분기기 설계도서 보완 • 트레버스분기기 상세설계 결과 적용 비상대피선 구축 영상자료 개발 중 - 트레버스 분기기 성능시험절차서 및 유지관리지침서 작성 중 - 차량과 트레버스 분기기 동적상호관계를 고려한 동특성해석 수행 중
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 활용 계획 - 무부하상태 5방향 분기기의 성능시험 수행으로 5방향 분기기에 대한 성능을 검증함으로써 상용화시에 적용가능성 확보 - 비상대피선으로 활용 가능한 트레버스분기기의 상세설계를 완료함으로 상용화시에 적용 가능성 확보 ○ 기대 효과 - 자기부상열차용 비상대피선으로 활용 가능한 트레버스분기기 기술을 세계 최초로 개발함으로써 기술적 우위 확보와 향후 자기부상열차의 해외진출시 경제적으로 매출 증가 - 자기부상열차의 상용화시 도심지에 비상대피선으로 트레버스분기기를 적용함으로써 타방식 대비 적은 공간점유율과 구축비용 확보

핵심어 (5개 이내)	5방향 분기기	비상대피	유지관리 지침서	성능시험	트레버스 분기기

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	○ Verification of performance in a 5-way switch test bed (factory installed) - Verification of Performance by Performance Test of 5-way switch in Test Bed ○ Developed a method of applying the traverse switch for emergency evacuation line in the event of a vehicle failure - Detailed design for proving the suitability of the traverse switch applied as emergency evacuation line - Preparation of performance test procedure and maintenance manual - Dynamic characteristics analysis considering dynamic correlation of vehicle and traverse switch
Results	○ Verification of performance in a 5-way switch test bed (factory installed) - Verification of Performance by Performance Test of 5-way switch in Test Bed • Natural frequency measurement by girder structure • Operation speed measurement by switch mode • Performing repetitive precision and noise measurement • Verification of operation reliability and safety by continuous operation test • Measuring manual operation time when drive motor malfunctions • Measuring thermal deformation of long span girder ○ Developed a method of applying the traverse switch for emergency evacuation line in the event of a vehicle failure - Detailed design for proving the suitability of the traverse switch applied as emergency evacuation line • Development of detailed design drawing of traverse switch • Complementing the traverse switch design drawing by reflecting detailed design results • Development of image materials for emergency evacuation line by application of detailed design in traverse switch - Preparation of performance test procedure and maintenance manual - Dynamic characteristics analysis considering dynamic correlation of vehicle and traverse switch
Expected Contribution	○ Application plan - Ensuring applicability in commercialization by verifying the performance of the 5-way switch by carrying out the performance test of the zero-load state - Ensuring applicability in commercialization by completing the detailed design of the traverse switch used as an emergency evacuation line ○ Expected effect - By developing the technology of traverse switch that can be used as an emergency evacuation line for the first time in the world, thus Securing technological superiority and economic expansion of sales of maglev train - Low space occupancy and construction cost compared to other systems by a applying traverse switch as an emergency evacuation line in the downtown area

Keywords	5 way Switch	Emergency Evacuation	Maintenance Manual	Performance Test	Traverse Switch

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 3
3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 4
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 91
5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 93
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 93
7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 93
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ····· 93
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 94
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 95
11. 기타 사항 ····· 96
12. 참고 문헌 ····· 97

〈 CONTENTS 〉

1. Of research and development tasks ····· 1
2. Status of domestic and overseas technology development ····· 3
3. Research performance and achievements ····· 4
4. Achievement of goal and contribution to related field ····· 91
5. Utilization of R&D achievements ····· 93
6. Overseas scientific technology collection ····· 93
7. Achievement of R&D achievement ····· 93
8. Status of research and equipment registered in National Science and Technology Comprehensive Information System ····· 93
9. Safety measures in laboratories by R&D tasks ····· 94
10. Representative research achievements of R&D tasks ····· 95
11. Etc ····· 96
12. References ····· 97

제 1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

가. 신규로 개발할 5방향 다지형 분기기는 자기부상열차용으로는 전세계적에서 최초로 개발되는 제품으로, 5방향 분기기의 상업화시에 필요한 제작/설치/성능검증에 적용될 규격서, 설계사양서, 성능시험절차서 등을 마련할 계획임

나. 신규로 개발될 5방향 분기기를 시험선 등에 적용하여 열차와의 인터페이스 및 동특성 검증을 수행함으로 상용노선에의 적용성을 입증해야 하므로, 본 과제에서는 사전에 무부하상태에서 5방향 분기기에 대한 동작 정확성 확인 및 연속동작시험을 통한 안전성 확보를 통한 성능검증을 완료할 계획임

다. 도시형 자기부상열차 고장시 가장 빠른 시간내에 고장 차량을 비상대피선로로 이동시켜 전체 시스템의 운용시간 손실을 최소화하는 방안이 필요하며, 이를 위하여 기존 관절식 분기기보다 경제성과 공간 점유율 등에서 뚜렷한 장점을 갖는 트레버스분기기를 활용한 비상대피선 구축방안을 마련할 계획임

2. 연구개발의 필요성

가. 신규로 개발될 5방향 다지형 분기기의 상용화 노선에의 적용을 위해서는 제작/설치/성능검증에 적용될 규격서, 설계사양서, 성능시험절차서 등의 마련이 필요함

나. 신규로 개발될 5방향 분기기의 무부하상태에서의 성능검증을 위하여 5방향 분기기에 대한 동작 정확성 확인 및 연속동작시험을 통한 안전성 확보가 필요함

다. 비상대피선 구축시 타방식에 비하여 구축비용과 공간 점유율 측면에서 장점을 갖는 트레버스분기기를 활용하여 정거장 내에서 자기부상열차용 비상대피선을 구축하는 방안 마련이 필요함

3. 연구개발 범위

가. 분기기 거더구조물 최적화 설계

1) 분기기 경량화로 인한 비용절감 효과

2) 분기 속도 및 제어반 이중화 / 위치검지센서 개선 적용

3) 5방향 분기기용 거더구조물 최적화를 위한 해석기술 개발

나. 5방향 다지형 분기기 개발

1) 5방향 분기기 성능시험

2) 5방향 분기기 유지보수 매뉴얼 작성

3) 5방향 분기기용 규격서 및 설계서 개발

4) 5방향 분기기용 제작사양 및 설치시방서 개발

5) 5방향 분기기용 무부하상태 성능시험절차서 개발

6) 무부하상태 5방향 분기기 성능시험을 통한 성능입증

다. 차량고장시 비상대피선로용 분기기와 트레버스분기기 적용 방안 개발

1) 기존 관절식 분기기를 활용한 차량의 비상대피선로 이동 방안 개발

2) 차량을 적재하고 비상대피선로로 이동이 가능한 트레버스 분기기 적용방안 및 상세설계 개발

제 2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 기술 개발 현황

가. 2016년도 초에 개통된 인천공항 자기부상철도에 관절식으로 도시형 자기부상열차 실용화사업에서 개발된 2방향과 3방향, 2방향+2방향 건넘선, 2방향+3방향 건넘선, 시저스분기기 등이 운영되고 있음

나. 관절식 분기기에 대한 안전성과 신뢰성 향상을 위하여 위치검지센서와 쇄정장치 등의 보완 및 개선연구를 지속적으로 수행하고 있음

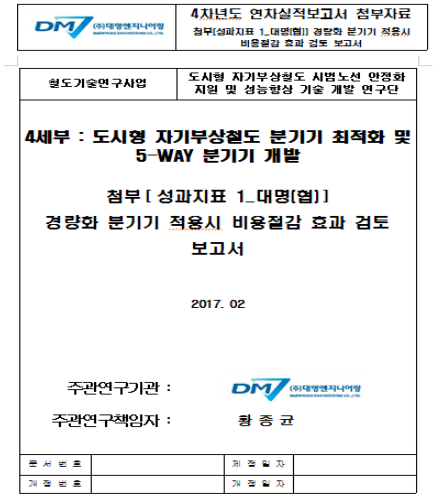
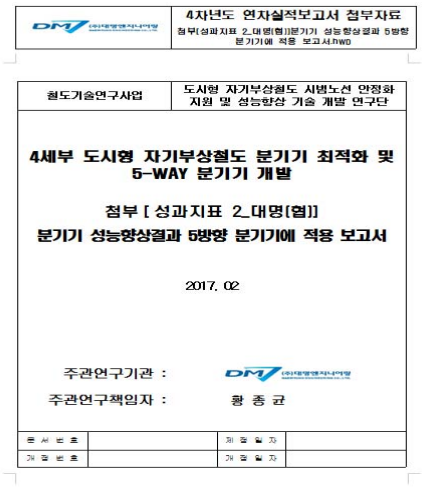
2. 국외 기술 개발 현황

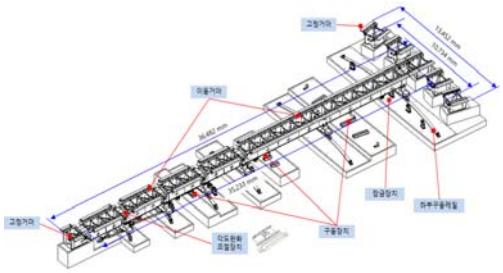
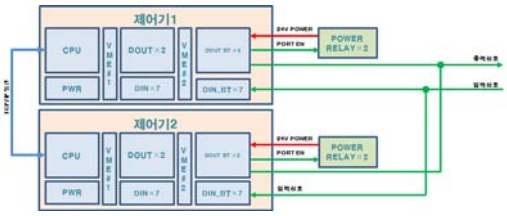
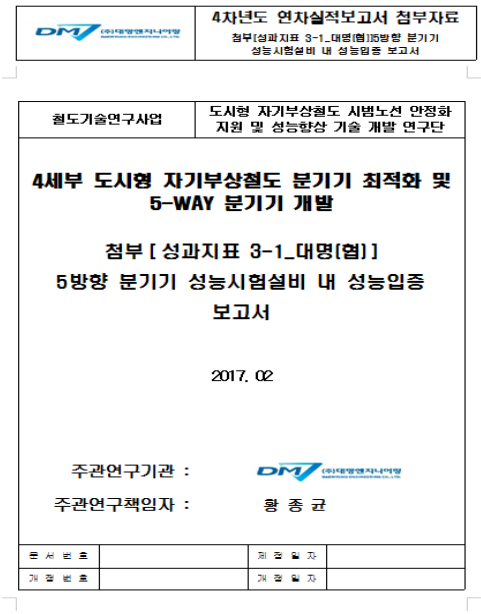
가. 일본은 나고야에 동부구릉선을 2005년에 개통하여 리니모라는 명칭으로 운영을 하고 있으며, 다수의 관절식 분기기가 적용되어 있음

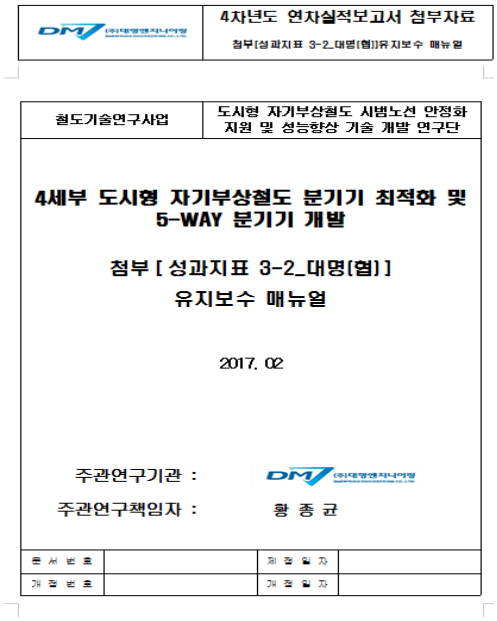
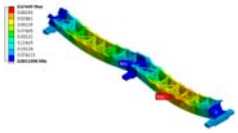
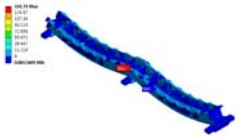
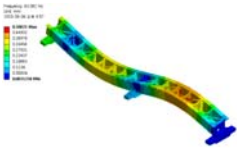
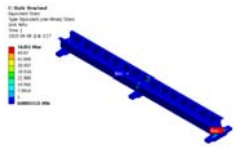
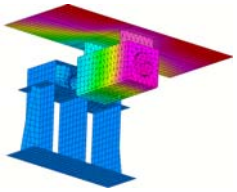
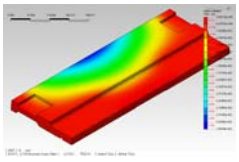
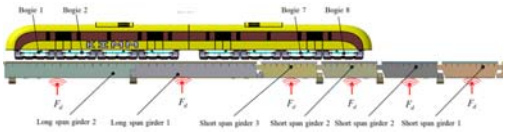
나. 2016년도에 중국 창사에 도시형 자기부상열차가 개통되었으며 관절식 분기기가 다수 운영되고 있음

다. 그 외에도 러시아와 이란, 말레이시아, 베트남, 코스타리카 등지에서 도시형 자기부상열차의 도입을 검토하고 있으며, 자기부상열차시스템 구축시 관절식 분기기 구비는 필수적임

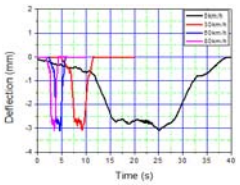
라. 일본과 중국 등에서 개발된 자기부상열차의 분기기는 우리나라와 동일하게 관절식을 활용하고 있으나, 조차시스템에 적용 가능한 5방향 분기기나 비상대피선으로 활용 가능한 트레버스분기기의 개발은 이루어지지 않고 있음

세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
[성과목표 4-1] 기존 분기기 성능향상 결과 5방향 분기기 적용	[성과지표 1] 경량화 분기기 적용 시 비용절감 효과 검토	■ 경량화 분기기 적용 시 비용절감 효과 검토 보고서 1건  4차년도 연차실적보고서 첨부자료 첨부(성과지표 1_대명(협)) 경량화 분기기 적용시 비용절감 효과 검토 보고서 철도기술연구사업 / 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술 개발 연구단 4세부 : 도시형 자기부상철도 분기기 최적화 및 5-WAY 분기기 개발 첨부 [성과지표 1_대명(협)] 경량화 분기기 적용시 비용절감 효과 검도 보고서 2017. 02 주관연구기관 : 주관연구책임자 : 황 종 균 - 거더 높이 10%이상 축소 - 거더 중량 10%이상 축소 - 재료비 및 제작 원가 절감
	[성과지표 2] 분기기 성능향상 결과 5방향 분기기에 적용	■ 분기기 성능향상 결과 5방향 분기기 적용 보고서 1건  4차년도 연차실적보고서 첨부자료 첨부(성과지표 2_대명(협))분기기 성능향상결과 5방향 분기기에 적용 보고서.hwp 철도기술연구사업 / 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술 개발 연구단 4세부 도시형 자기부상철도 분기기 최적화 및 5-WAY 분기기 개발 첨부 [성과지표 2_대명(협)] 분기기 성능향상결과 5방향 분기기에 적용 보고서 2017. 02 주관연구기관 : 주관연구책임자 : 황 종 균 ■ 5방향 분기기 분기 속도 개선 결과 :분기시간 15초 이내 -1구간 이동 : 15초 -2구간 이동 : 22.5초(15초+7.5초) -3구간 이동 : 30초(15초+7.5초+7.5초) -4구간 이동(풀스팬) : 37.5초(15초+7.5초+7.5초+7.5초) ■ 5방향 분기기 제어반 이중화 : 제어기 1,2의 모든 입/출력이 공통 단자로 연결. 모든 입력 신호는 제어기 1,2로 동시에 입력됨.

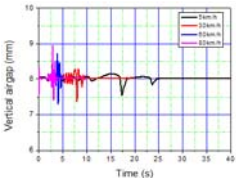
세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
		 5방향 분기기 성능시험설비  제어기 2중화 구성도 ■ 위치검지센서 개선적용 시험결과 : 총개수 : 78개에서 20개로 감소
[성과목표 4-2] 5방향 분기기 성능시험설비(공장 내 설치) 내 성능입증 및 보완	[성과지표 3] 5방향 분기기 성능시험설비 내 성능입증결과 -5방향 분기기 내구성 검증 -5방향 분기기 시운전 -성능시험설비 내 5방향 분기기 보완 -5방향 분기기 유지보수 매뉴얼 최종본 마련 결과	■ 5방향 분기기 성능시험설비 내 성능입증 보고서 1건  4차년도 연차실적보고서 첨부자료 첨부(성과지표 3-1_대명(협))5방향 분기기 성능시험설비 내 성능입증 보고서 철도기술연구사업 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술 개발 연구단 4세부 도시형 자기부상철도 분기기 최적화 및 5-WAY 분기기 개발 첨부 [성과지표 3-1_대명(협)] 5방향 분기기 성능시험설비 내 성능입증 보고서 2017. 02 주관연구기관 : 주관연구책임자 : 황 종 균

세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
		■ 5방향 분기기 유지보수 매뉴얼 1건  4차년도 연차실적보고서 첨부자료 첨부[성과지표 3-2_대명(협)]유지보수 매뉴얼 철도기술연구사업 / 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술 개발 연구단 4세부 도시형 자기부상철도 분기기 최적화 및 5-WAY 분기기 개발 첨부 [성과지표 3-2_대명(협)] 유지보수 매뉴얼 2017. 02 주관연구기관 : 주관연구책임자 : 황 종 균 문 서 번 호 / 제 정 일 자 개 정 번 호 / 개 정 일 자
	[성과지표 4] 무부하상태 5방향 분기기 성능시험	■ 5방향 분기기 거더구조물 구조/모달해석 결과보고서 1건  처짐 해석  응력 해석  공진 해석  열변형 해석  잠금장치용 대항브라켓 해석  각도완화장치 구조해석 ■ 직선 설정 5방향 분기기 내 차량 통과시 동적상호관계를 고려한 동특성해석 결과보고서 1건  직선 설정시 동해석모델 개발

세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과

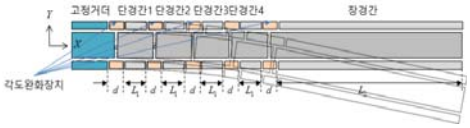


열차 주행속도별 장경간거더의 처짐 해석

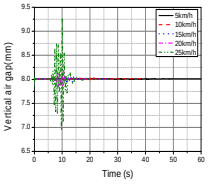


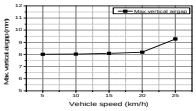
열차 주행속도별 대차의 부상공극 변동 해석

■ 곡선 설정 5방향 분기기 내 차량 통과시 동적상호관계를 고려한 동특성해석 결과 보고서 1건

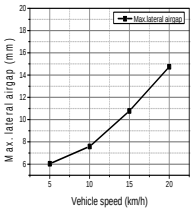


곡선 설정시 동해석모델 개발

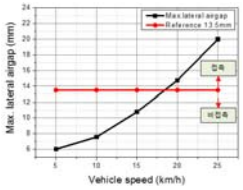




열차 주행속도별 대차의 부상공극 변동 해석 결과

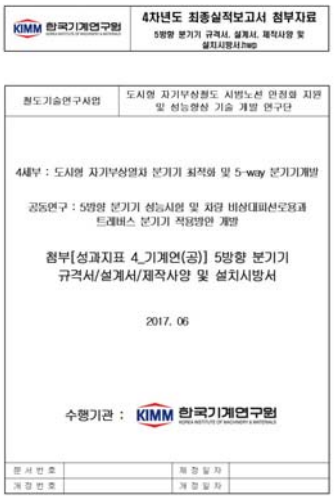


열차 주행속도별 대차의 횡방향공극 변동 해석



곡선 설정 분기기 최대 통과속도 분석 결과

■ 5방향 분기기 규격서/설계서/제작사양 및 설치시방서 문서 1건


4차년도 최종실적보고서 첨부자료

5방향 분기기 규격서, 설계서, 제작사양 및 설치시방서.hwp

첨도기술연구사업 | 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술 개발 연구단

4세부 : 도시형 자기부상열차 분기기 최적화 및 5-way 분기기개발

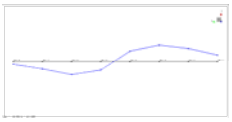
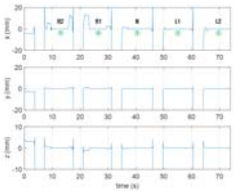
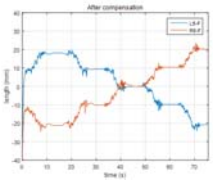
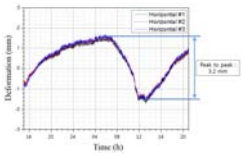
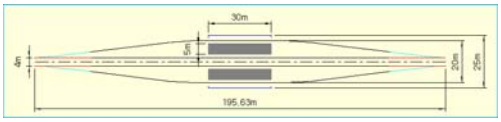
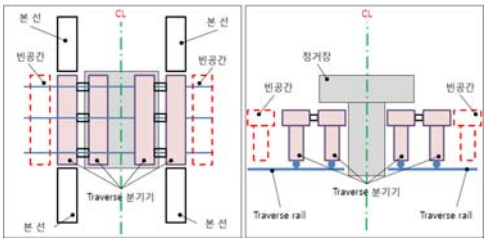
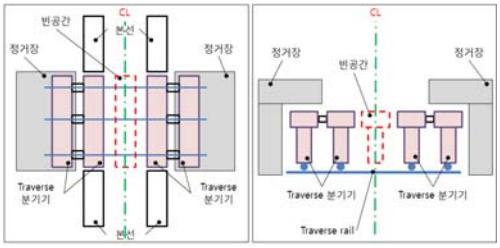
공동연구 : 5방향 분기기 성능시험 및 차량 비상대피선로용과 트랜버스 분기기 적용방안 개발

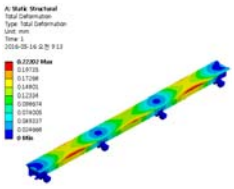
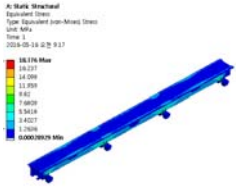
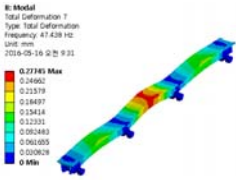
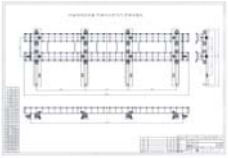
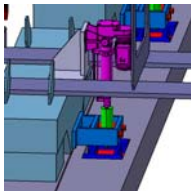
첨부[성과지표 4_기계연(공)] 5방향 분기기 규격서/설계서/제작사양 및 설치시방서

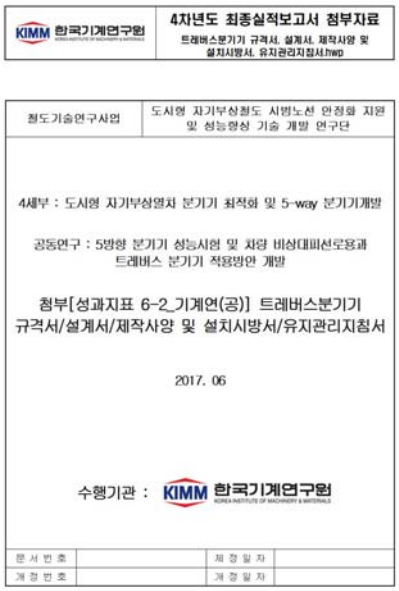
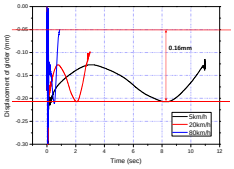
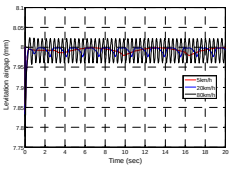
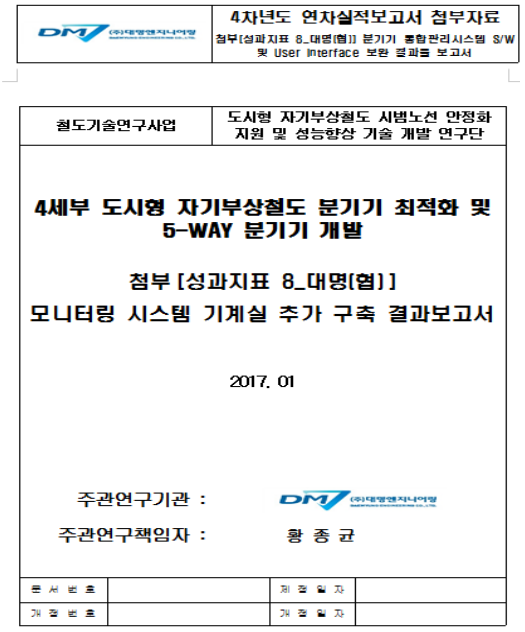
2017. 06

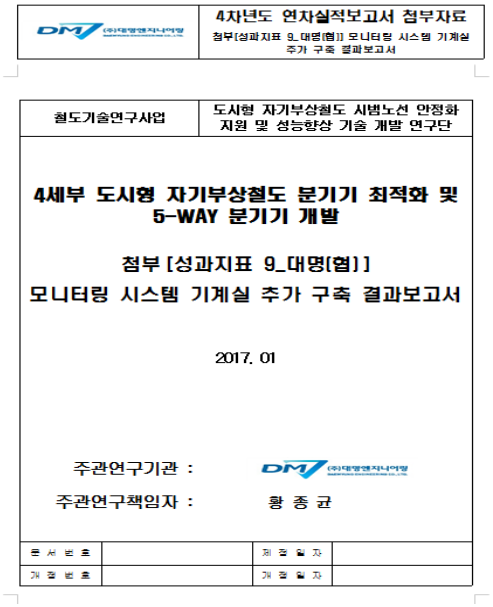
수행기관 : KIMM 한국기계연구원

문서번호		제정일자	
개정번호		개정일자	

세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
		■ [성과지표 4_기계연(공)] 무부하상태 5방향 분기기 성능시험절차서 및 성능시험 수행 결과보고서 1건  장경간거더 모드형상  선형정밀도 측정 보정결과  각도완화장치 간격변화량 측정 파워실린더 동작소음 측정결과 분기기 고장시 수동동작시험결과  장경간거더 길이방향 열변형 측정결과
[성과목표 4-3] 차량 고장시 비상대피선로용 트레버스분기기 적용 방안 개발	[성과지표 5] 비상대피선 적용 트레버스분기기 상세설계 개발	■ 관절식분기기와 트레버스분기기를 활용한 비상대피선 구축 방안 결과보고서 1건  2방향 분기기 적용 비상대피선 구축방안  트레버스분기기 활용 섬식정거장용 비상대피선 구축 방안  트레버스분기기 활용 상대식정거장용 비상대피선 구축 방안

세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
		■ [성과지표 5_기계연(공)] 트레버스분기기 설계 결과보고서 1건  트레버스분기기 처짐해석결과  트레버스분기기 응력해석결과 트레버스분기기 열변형해석결과  트레버스분기기 모달해석결과 트레버스분기기 전체조립도(3D)  트레버스분기기 전체조립도(2D) 트레버스분기기 구동장치 설계결과  트레버스분기기 쇄정장치 설계결과
	[성과지표 6] 트레버스분기기 성능시험절차서 및 유지관리지침서 최종본 개발	■ [성과지표 6-1_기계연(공)] 무부하상태와 차량 주행시 트레버스분기기 성능시험절차서 문서 1건 KIMM 한국기계연구원 | 4차년도 최종실적보고서 첨부자료 무부하상태와 차량 주행시 트레버스분기기 성능시험절차서.hwp 철도기술연구사업 | 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술 개발 연구단 4세부 : 도시형 자기부상열차 분기기 최적화 및 5-way 분기기개발 공동연구 : 5방향 분기기 성능시험 및 차량 비상대피선운용과 트레버스 분기기 적용방안 개발 첨부[성과지표 6-1_기계연(공)] 무부하상태와 차량 주행시 트레버스분기기 성능시험절차서 2017. 06 수행기관 : KIMM 한국기계연구원 문서번호 | 제정일자 개정번호 | 개정일자

세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
		■ [성과지표 6-2_기계연(공)] 트레버스분기기 규격서/설계서/제작사양 및 설치시방서/유지관리지침서 문서 1건  KIMM 한국기계연구원 | 4차년도 최종실적보고서 첨부자료 트레버스분기기 규격서, 설계서, 제작사양 및 설치시방서, 유지관리지침서.hwp 철도기술연구사업 | 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술 개발 연구단 4세부 : 도시형 자기부상열차 분기기 최적화 및 5-way 분기기개발 공동연구 : 5방향 분기기 성능시험 및 차량 비상대피선운용과 트레버스 분기기 적용방안 개발 첨부[성과지표 6-2_기계연(공)] 트레버스분기기 규격서/설계서/제작사양 및 설치시방서/유지관리지침서 2017. 06 수행기관 : KIMM 한국기계연구원 문서번호 | 제정일자 개정번호 | 개정일자
	[성과지표 7] 차량과 트레버스분기기 사이의 동특성해석결과를 반영한 트레버스분기기 최적설계	■ [성과지표 7_기계연(공)] 트레버스분기기 내 차량 통과시 동적상호관계를 고려한 동특성해석 결과보고서 1건  트레버스분기기 내 열차 주행시 거더 처짐 해석결과  트레버스분기기 내 열차 주행시 대차 부상공극 변동결과
[성과목표 4-4] 인천공항 자기부상철도 분기기 신뢰성 향상 및 통합관리시스템 개선	[성과지표 8] 분기기 통합관리시스템 S/W 및 USER Interface 보완	■ 분기기 통합관리시스템 S/W 및 user Interface 보완 보고서 1건  DMT | 4차년도 연차실적보고서 첨부자료 첨부[성과지표 8_대명(협)] 분기기 통합관리시스템 S/W 및 User Interface 보완 결과물 보고서 철도기술연구사업 | 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술 개발 연구단 4세부 도시형 자기부상철도 분기기 최적화 및 5-WAY 분기기 개발 첨부 [성과지표 8_대명(협)] 모니터링 시스템 기계실 추가 구축 결과보고서 2017. 01 주관연구기관 : DMT 주관연구책임자 : 황 종 균 문서번호 | 제정일자 개정번호 | 개정일자

세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
		■ 시스템 구성도
	[성과지표 9] 모니터링 시스템 기계실 추가 구축	■ 모니터링 시스템 기계실 추가 구축 결과 보고서 1건  4차년도 연차실적보고서 첨부자료 첨부[성과지표 9_대명(협)] 모니터링 시스템 기계실 추가 구축 결과보고서 철도기술연구사업 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술 개발 연구단 4세부 도시형 자기부상철도 분기기 최적화 및 5-WAY 분기기 개발 첨부 [성과지표 9_대명(협)] 모니터링 시스템 기계실 추가 구축 결과보고서 2017. 01 주관연구기관 : 주관연구책임자 : 황 종 균 ■ 모니터링 시스템 기계실 추가 구축

1. 기존분기기 성능향상 결과 5방향 분기기 적용(대명엔지니어링)

1-1 경량화 분기기 적용시 비용절감 효과 검토(성과지표 1)

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
[성과지표 1] 경량화 분기기 적용시 비용절감 효과 검토	경량화 분기기 적용시 비용절감 효과 검토물 1건	경량화 분기기 적용시 비용절감 효과 검토물 1건	개발된 5방향 분기기 비용절감 검토물 확인

가. 기존 분기기 대비 경량화 분기기 비교

- 경량화 분기기는 기존 3방향 분기기의 거더 높이를 기존 1400㎜에서 1000㎜로 설계하여 거더의 높이를 줄였다.
- 경량화 분기기는 고정거더를 제외한 총 중량이 23.31톤으로 기존 3방향 분기기 총중량 26.49톤보다 총 중량이 약 10.4% 감소 되었다.
- 경량화 분기기는 기존 분기기의 거더 높이를 줄임으로서 장경간 거더의 처짐 방지를 위하여 이송대차를 장거더와 장거더 사이에 추가하였다.
- 경량화 분기기는 장경간 거더의 처짐 방지를 위하여 장경간 거더가 2개의 장거더로 구성되었다.

구분	기존 분기기	경량화 분기기	개선 효과
전장	끝단 고정거더 포함 29,893mm	좌동	
이동거더수량	장경간거더 1개소, 단경간거더 2개소	장경간거더 1개소(장거더 2개구조), 단경간거더 2개소	
고정거더수량	시작단거더 1개소, 끝단거더 3개소	좌동	
거더 높이	1,400mm	1,000mm	중량감소
거더 총중량	약 29.63톤 (고정거더, 레일제외)	약 23.68톤 (고정거더, 레일제외)	약 20.1% 감소
굴절각도	거더간 2.3°	좌동	
구동장치	구동모터 1개소	좌동	
각도완화장치	6개소	좌동	
이송대차	3개소	4개소	1개소 추가 (장거더 처짐 방지)

<기존분기기 대비 경량화분기기 비교>

나. 기존분기기 대비 제조원가 비교

(1) 기존분기기 대비 거더 중량 비교

- 분기기 본체 거더구조물의 중량을 기존 3방향 분기기와 경량화 분기기를 비교 하였다.
- 경량화 분기기의 본체 거더구조물 중량이 기존 분기기 대비 약 20% 감소 함으로써 원소재 구입비 및 용접/제관작업비, 기계가공비 등에서 절감 효과를 이뤘다.

구분	품 명	수량	기존분기기	경량화 분기기	감소율
1	시작단 고정거더	1	1.589톤	1.314톤	17.31%
2	단경간 회전거더(1)	1	3.958톤	3.195톤	19.28%
3	단경간 회전거더(2)	1	4.290톤	3,488톤	19.86%
4	장경간 회전거더(1)	1	15.729톤	6.325톤	21.66%
5	장경간 회전거더(2)	1		5.997톤	
6	끝단 고정거더	3	4.068톤 (1.356톤*3)	3.408톤 (1.136톤*3)	16.22%
합 계			29.634톤	23.677톤	20.10%

<3방향 분기기 본체 거더구조물 중량 비교>

(2) 기존 분기기 대비 제조원가 절감 효과

- 재료비는 거더 본체에 대하여는 20% 정도의 절감효과가 있고 장경간 거더에 이송대차 추가등으로 기계부 전체적으로 약 13% 정도의 절감효과가 있으나 전원공급선의 간섭 배제를 위한 일부구간 보완 등과 하부 구동부 구조물 미변경 등에 의하여 전체적으로는 10% 정도 효과를 달성 할 수 있었다.

구분	품 명	수량	단위 중량	총 중량	비 고
1	이송대차	1	981 kg	981 kg	
2	하부구동롤러	1	208 kg	208 kg	
3	파워실린더 스페이스	3	29 kg	87 kg	
4	잠금장치 스페이스	3	46 kg	138 kg	
합 계				1.414 kg	

<경량화 분기기 이송대차 추가로 인한 중량 증가>

- 장경간 거더의 높이를 1,400㎜에서 1,000㎜ 로 최적화 하면서 장경간 거더의 처짐 방지를 위하여 장경간 거더에 이송대차를 추가하였으며 추가로 인한 추가분은 약1.4톤 이다.
- 이송대차 추가를 고려한 분기기의 중량은 기존대비 약 12.8%의 경량화를 달성하였다.

구분	품 명	기존분기기	경량화 분기기	감소율
1	거더 부	29.634톤	23.677톤	20.10%
2	이송대차 부	2.514톤 (0.838톤*3조)	4.357톤 (981톤*4조+하부구동롤러 등)	4.11톤 증가
합 계		32.148톤	28.034톤	12.80%

<3방향 분기기 본체 기계부 중량 비교>

- 공장 제작비 원가점감 부분은 거더본체 구조의 중량이 감소하는 문제로 용접부 감소와 후처리비용 감소, 소모자재 감소 등으로 변경되지 않은 서포트구조를 제외하고도 중량이 감소가 이루어진 부분에서 10% 정도의 제작비 절감 효과를 달성할 수 있었다.

구분	품 명	수량	개선전 (기준)	개선후	감소율
1	재료비 원가 절감	1	100	90	10%
2	공장 제작비원가 절감	1	100	90	10%
3	현장 설치비 절감	1	100	90	10%
산출근거 : 중량을 계산하여 제작비/설치비 사용에 따른 절감효과를 적용					

<원가절감 연구에 대한 결과>

1-2 분기기 성능향상결과 5방향 분기기에 적용(성과지표 2)

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
[성과지표 2] 분기기 성능향상결과 5방향 분기기에 적용	분기속도 / 제어반 이중화 / 위치검지센서 개선적용 결과물 1건	분기속도 / 제어반 이중화 / 위치검지센서 개선적용 결과물 1건	개발된 분기기 개선 효과 만족 검증

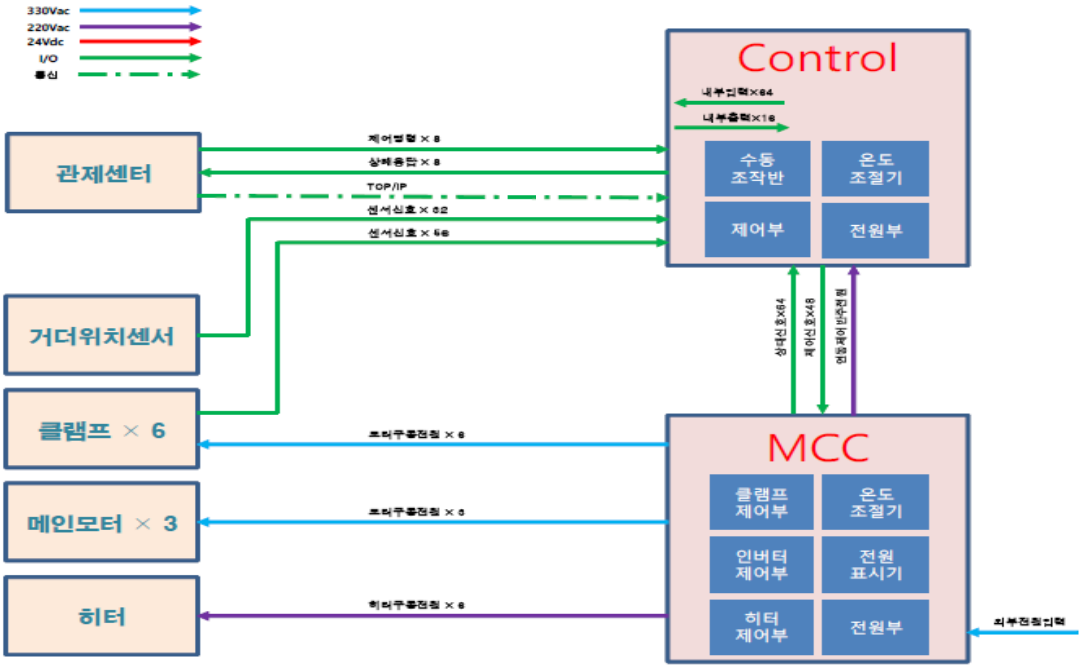
가. 5방향 분기기 제어반 설계

(1) 분기기 제어반 개선사항 적용

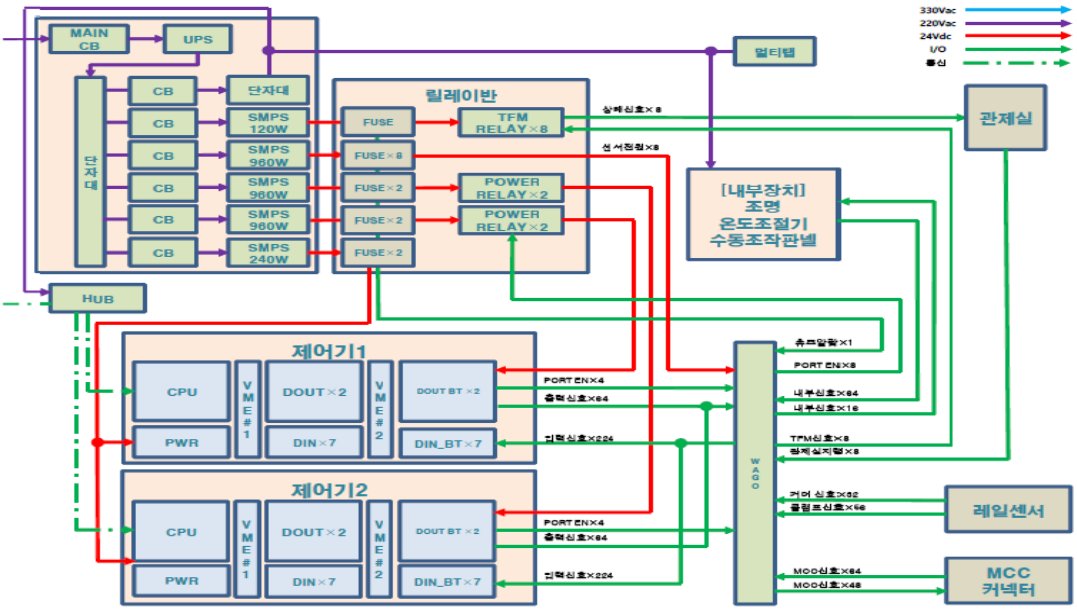
<table>
<tr><th>NO.</th><th colspan="2">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td>문제점</td><td>• 연동논리부 고장시 연동제어반 제어 불가
- 원격/수동조작반 제어 불가
• 완전 수동(인원투입) 모드로 분기기 전환</td></tr>
<tr><td>개선
내용</td><td>• 연동논리부 이중화
- CPU, I/O 전체 이중화로 연동논리부 마스터 고장시 슬레이브로 동작</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>문제점</td><td>• 우천 시 연동제어반 및 MCC반 점검 불가</td></tr>
<tr><td>개선
내용</td><td>• 연동제어반 및 MCC반 내부 구조 변경
- 내부 도어를 통해 공간적 분리 및 내부 도어 OPEN 방식 변경
<table>
<tr><td>1</td><td colspan="2">각 파트별 내부도어 설치</td></tr>
<tr><td>2</td><td>도어 OPEN 방식</td><td>아래서 위로 열리는 방식
- 자동차 트렁크 방식</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td>문제점</td><td>• 판넬 PC 시안성 불량에 대한 대책 필요</td></tr>
<tr><td>개선
내용</td><td>• 현장 로깅저장 및 시스템 셋팅 방식 변경
- 판넬 PC 생략후 모든 정보 신호기계실로 전송</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td>문제점</td><td>• 원격 ON/OFF기능 검토를 통한 히터 동작 방안 변경 검토</td></tr>
<tr><td>개선
내용</td><td>• 설치장소 및 여건에 따라 히터제어를 관제실제어, 자동제어, 수동제어를 구분 할 수 있도록 설계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td>문제점</td><td>• 외부 진동에 취약한 터미널 블럭 나사형 사용</td></tr>
<tr><td>개선
내용</td><td>• 외부 진동에 강한 터미널 블록 와고형으로 교체</td></tr>
</table>

NO.	내용	
6	문제점	• 마그네트 부속 교체시간 단축을 위한 대책 필요
	개선 내용	• 마그네트 고장시 와고단자에서 케이블 해체후, 케이블 작업이 되어있는 마그네트를 와고단자에 바로 연결하여 교체할수 있도록 방식 변경
7	문제점	• 마그네트 내구성 보완을 위한 마그네트 사양 검토 필요
	개선내용	• 내구성 및 구매 편의성, 비용을 고려하여 선정 • 유지보수메뉴얼에 고장주기 명시후 고장주깅 따른 예방정비가 효과적으로 판단 되어 비싼 외산 제품 사용 불필요
8	문제점	• 도면함 제작 및 유지관리 책자 보관함 비치
	개선내용	• 제어반 제작시 도면보관함 제작
9	문제점	• 여름 판넬 내부 온도 관련 상승 대책
	개선내용	• 일반적으로 내부 공기순환 팬설치, 히터 설치예정 • 내부 부품은 철도에서는 통상 85℃용으로 사용

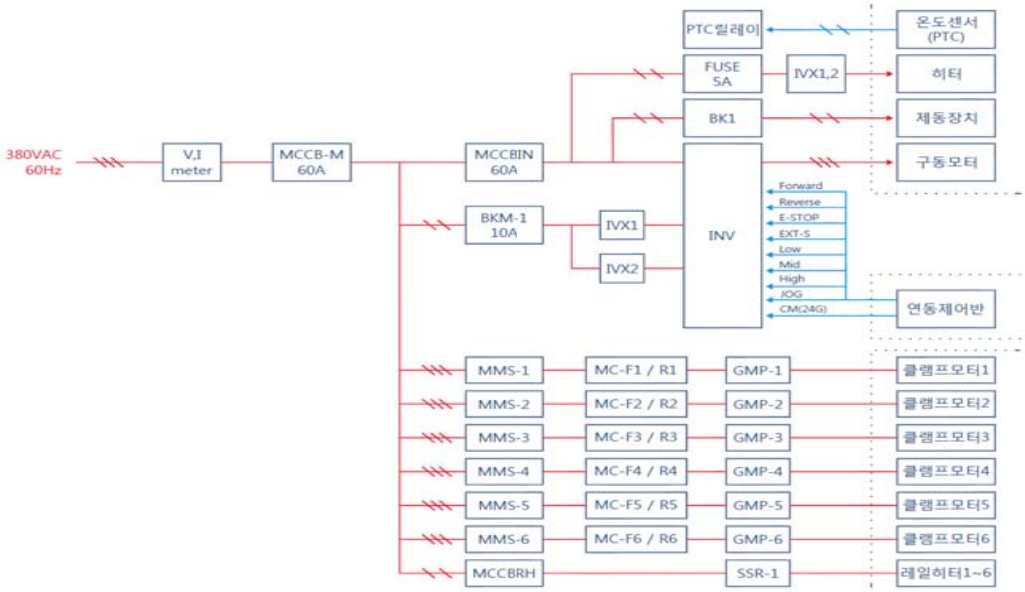
(2) 시스템 전체 구성도

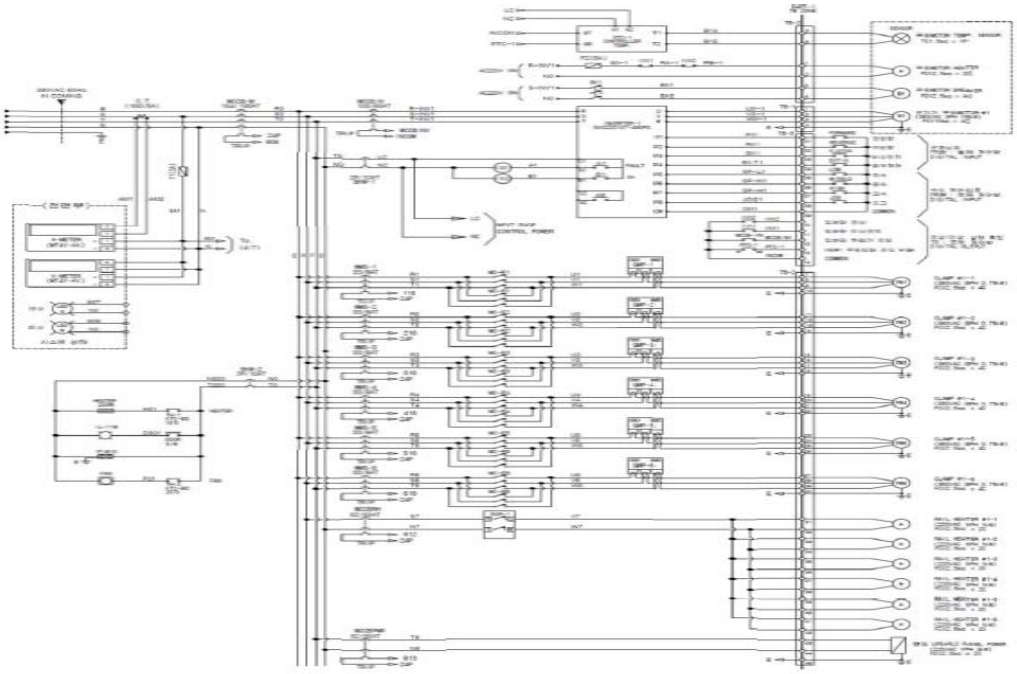


< 분기기 제어반 전체 구성도>



<연동 제어반 블록도>


380VAC
60Hz
V.I
meter
MCCB-M
60A
MCCBIN
60A
BKM-1
10A
IVX1
IVX2
PTC릴레이
FUSE
5A
IVX1,2
BK1
INV
Forward
Reverse
E-STOP
EXT-S
Low
Mid
High
JOG
CM(24G)
온도센서
(PTC)
히터
제동장치
구동모터
연동제어반
MMS-1
MMS-2
MMS-3
MMS-4
MMS-5
MMS-6
MCCBRH
MC-F1 / R1
MC-F2 / R2
MC-F3 / R3
MC-F4 / R4
MC-F5 / R5
MC-F6 / R6
GMP-1
GMP-2
GMP-3
GMP-4
GMP-5
GMP-6
SSR-1
클램프모터1
클램프모터2
클램프모터3
클램프모터4
클램프모터5
클램프모터6
레일히터1~6

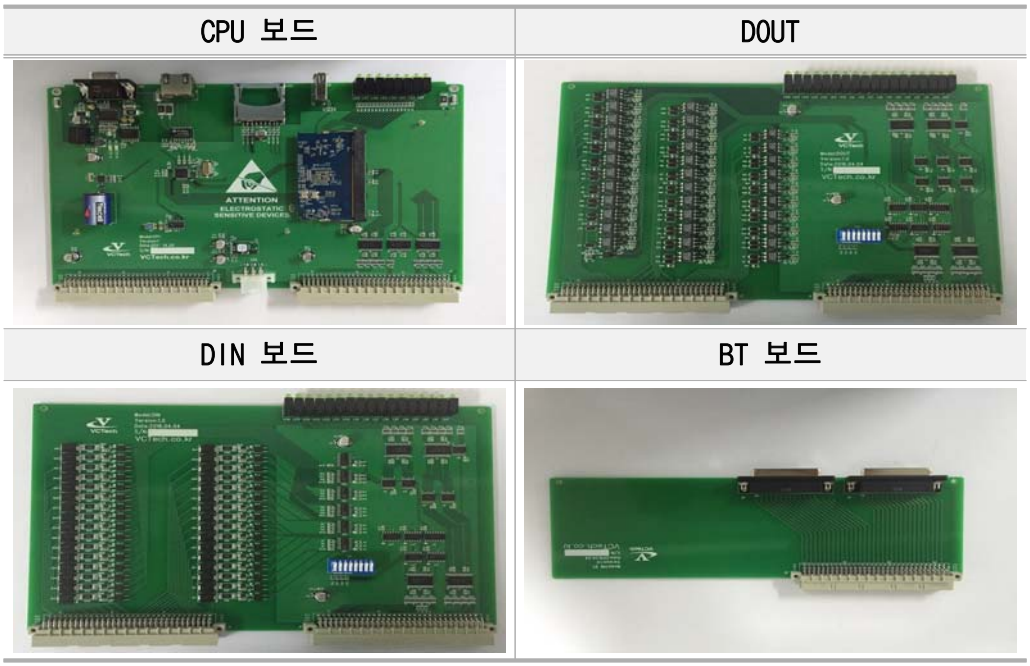


<MCC 제어반 블록도>

(3) 분기기 제어반 상세 설계 및 제작

<분기기 제어반 상세설계 및 제작>

(4) 제어반 논리부 제작



<연동제어반 논리부 제작>

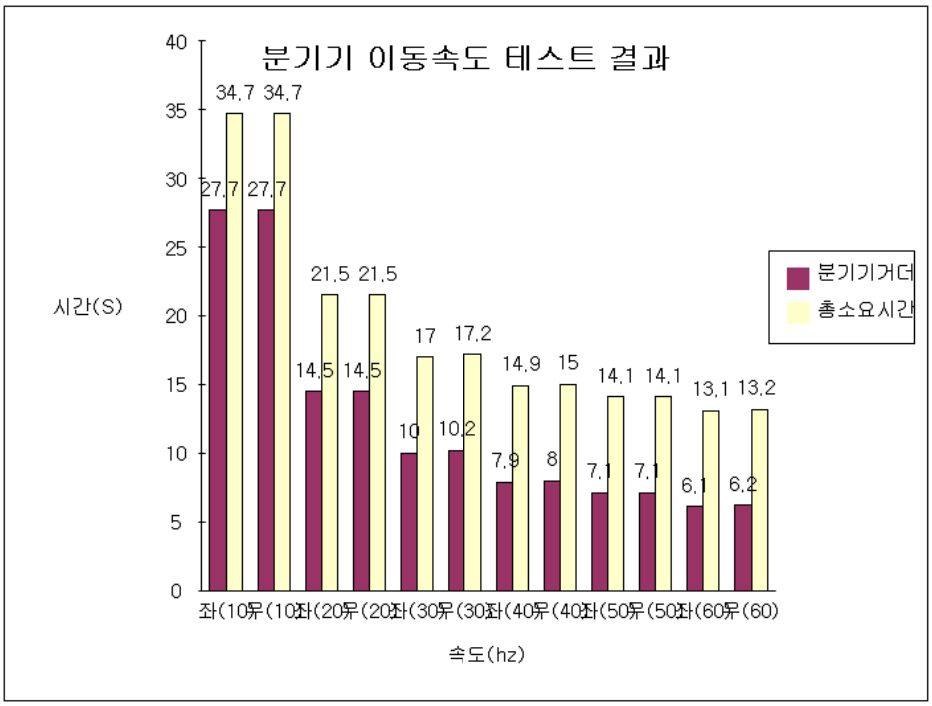
- 제어반의 성능 검사를 실시 한다.
- 치수검사, 기능검사, CPU 보드검사, DOUT 보드 검사, 온습도 검사, 방수 검사를 실행하여 안전성 및 성능 검증을 확인 한다.

(5) 분기기 성능향상 결과 5방향 분기기 적용

가. 5방향 분기기 성능시험설비 보완 작업을 실행한다.

- 리미트 센서 위치 수정
- 파워실린더 수정작업
- 스토퍼 설치
- 감속기 모터 수정작업

나. 5방향 분기기 분기속도 개선 결과



<분기기 이동속도 테스트에 따른 분기기 거더 이동시간 및 총소요시간 그래프>

- 모드별 동작 시간
  - 1구간 이동 : 15초
  - 2구간 이동 : 22.5초(15초+7 .5초)
  - 3구간 이동 : 30초(15초+7 .5초+7.5초)
  - 4구간 이동(풀스팬) : 37.5초(15초+7 .5초+7.5초+7.5초)

(다) 위치 검지센서 개선 적용

- 총 개수 78개에서 27개로 감소 되었다.
- 위치 검지 센서의 감소로 인하여 알람 발생 회수가 감소 하였다.

<table>
<tr><th>5방향
분기기</th><th colspan="2">단경
거더1</th><th colspan="2">단경
거더2</th><th colspan="2">단경
거더3</th><th colspan="2">단경
거더3</th><th colspan="2">장경
거더1</th><th colspan="2">장경
거더2</th><th colspan="2">끝단
거더</th><th>합계</th></tr>
<tr><td>거더위치
확인센서</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">5</td><td colspan="2"></td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">클램프 쇄정
확인센서</td><td>UN LOCK</td><td>LOCK</td><td>UN LOCK</td><td>LOCK</td><td>UN LOCK</td><td>LOCK</td><td>UN LOCK</td><td>LOCK</td><td>UN LOCK</td><td>LOCK</td><td>UN LOCK</td><td>LOCK</td><td>UN LOCK</td><td>LOCK</td><td rowspan="2">12</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>클램프 동작
한계센서</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td>0</td></tr>
<tr><td>분기기 전환 중
위치확인센서</td><td colspan="2">4</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td>4</td></tr>
<tr><td>모터전환 완료
확인센서</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">-</td><td>2</td></tr>
<tr><td>거더 파괴
확인센서</td><td></td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td></td><td>4</td></tr>
<tr><td colspan="15">합계</td><td>27</td></tr>
</table>

<개선 설계 5방향 분기기 센서 개수>

2. 5방향 분기기 성능 시험설비 내 성능 입증

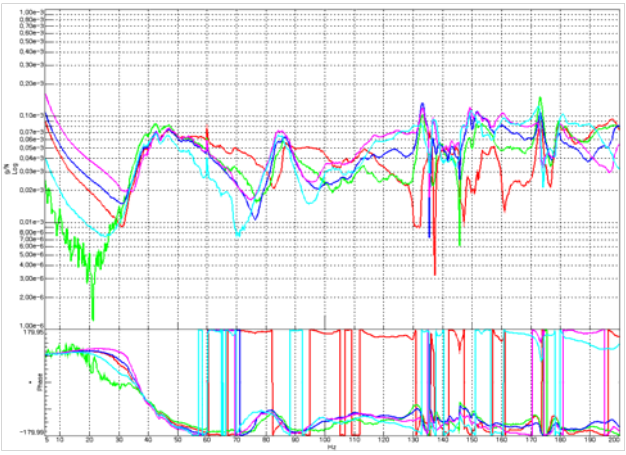
2-1 5방향분기기 성능시험설비내 성능 입증결과물 및 유지보수 매뉴얼(성과지표 3)

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
[성과지표 3] 5방향 분기기 성능시험설비 내 성능입증 결과물 및 유지보수 매뉴얼	성능입증결과물 1건, 유지보수 매뉴얼 1건	성능입증결과물 1건, 유지보수 매뉴얼 1건	개발된 5방향 분기기 성능시험결과의 판정기준 만족

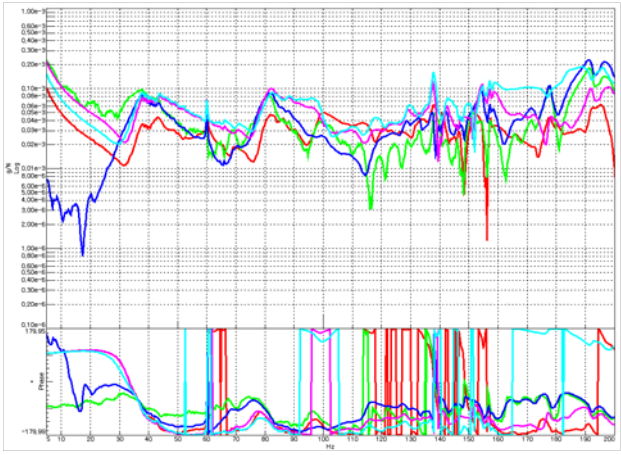
가. 5방향 분기기 성능 시험설비 내 성능 입증

(1) 거더 구조물별 고유 진동수 측정

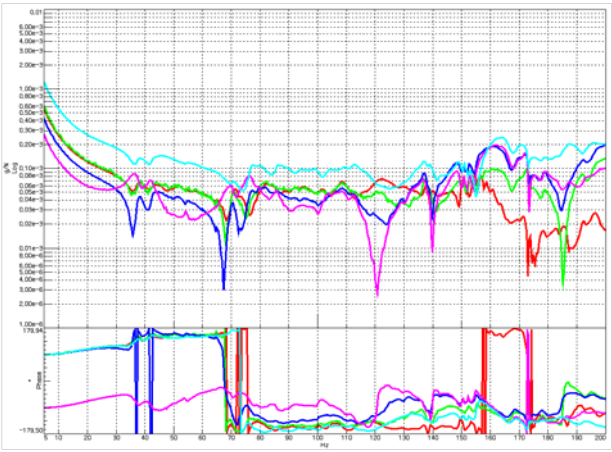
- 가속도 센서를 부착하여 고유 진동수를 측정한다. 각각의 거더 구조물은 부상제어 주파수와 유리되어 있어야 한다. 장경간 거더의 경우 부상제어 주파수와 10hz 이상 차이가 있어야 한다.



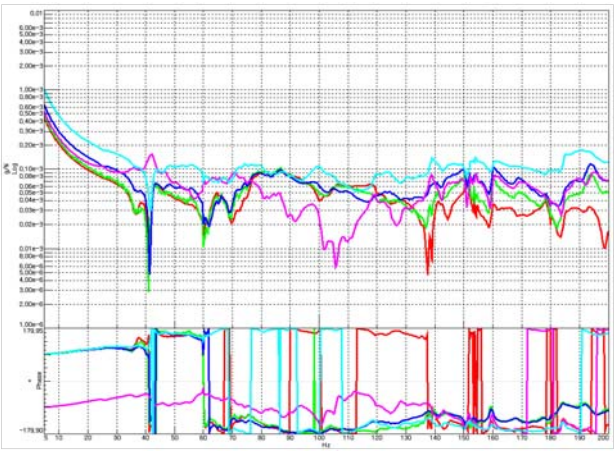
<단경간 거더 #1의 고유 진동수 측정결과>



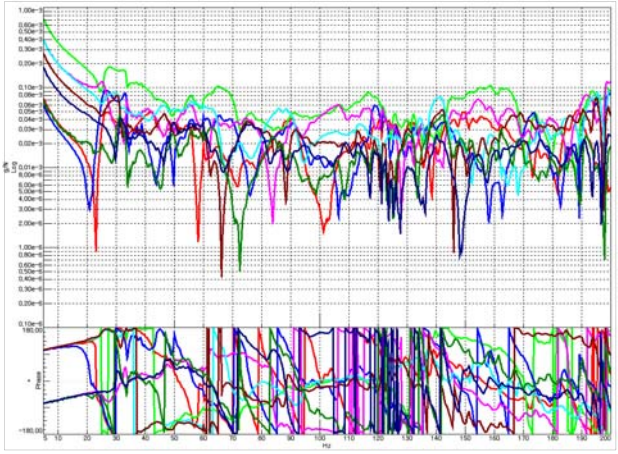
<단경간 거더 #2의 고유 진동수 측정결과>



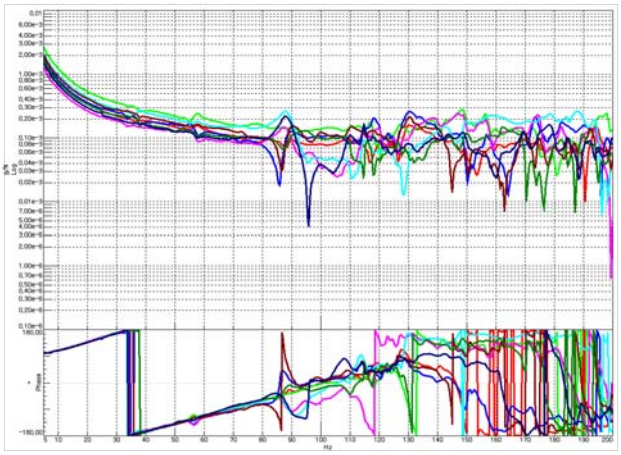
<단경간 거더 #3의 고유 진동수 측정결과>



<단경간 거더 #4의 고유 진동수 측정결과>



<장경간 거더의 굽힘 고유진동수 측정결과>



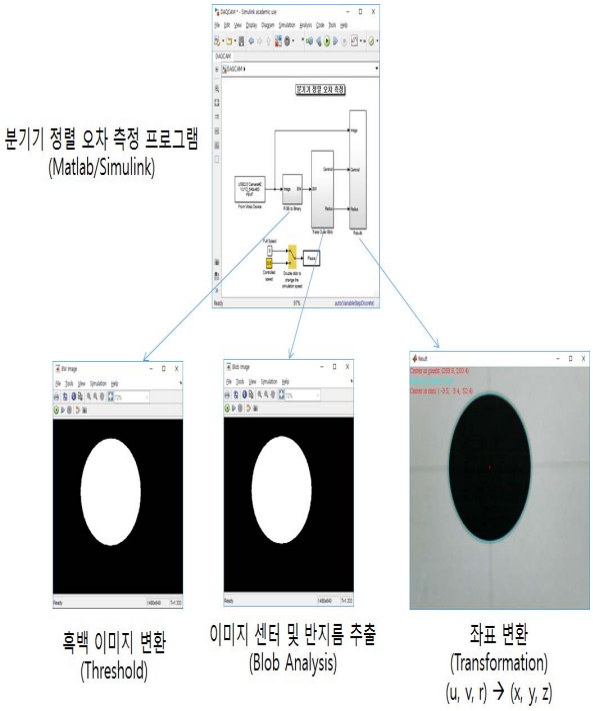
<장경간거더의 비틀림 고유진동수 측정결과>

(2) 5방향 분기기 제어반 제작 및 시험

- 제어반 외함제작를 제작한다.
- 제어반 논리부 제작한다.
- 제어반 성능 시험을 실행한다.
  - 외관 및 도장 : 구조 사의 손상이나 결함이 없어야 한다.
  - 부품 취부 : 조립상태에 이상이 없어야 한다.
  - 전선 및 터미널 : 실별표시가 도면에 적합해야 한다.
  - 명판 : 명판의 내용 및 상태가 이상 없어야 한다.
- 기능검사를 실행한다.
  - 전원 검사 : 테스터기를 사용해 각 전원간 SHOT 발생 여부 확인한다.
  - CPU 보드 검사 : 육안검사, 전원검사, 통신기능 검사, I/O 기능 검사를 한다.
  - DOUT 보드 검사 : 육안검사, 전원검사, 포트시험을 실행한다.
  - 온/습도 검사 : KS R 9192 규격에 따라 확인한다.
  - 방수 시험 : KS R 9189 규격에 따라 확인한다.
  - 절연저항 시험 : KS R 9193 규격에 따라 확인 한다.
  - 내전압 시험 : KS R 9193 규격에 따라 확인 한다.
- 분기기 모드별 동작 속도테스트를 실행한다.
  - 1구간 이동 : 15초
  - 2구간 이동 : 22.5초(15초+7 .5초)
  - 3구간 이동 : 30초(15초+7 .5초+7.5초)
  - 4구간 이동(풀스팬) : 37.5초(15초+7 .5초+7.5초+7.5초)

(3) 반복 동작시 선형 정밀도 측정

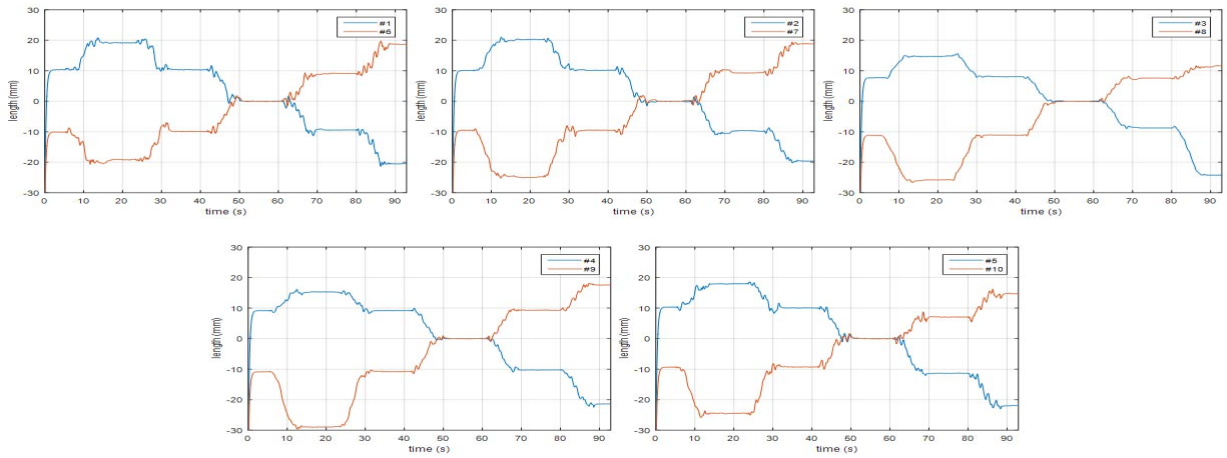
- 5방향 분기기 반복 동작시 선형 정밀도를 카메라를 이용하여 측정 하도록 한다.



선형	Error_min(mm)			Error_max(mm)			Error_peak-to-paek(mm)		
	횡방향	수직방향	길이방향	횡방향	수직방향	길이방향	횡방향	수직방향	길이방향
R2	-0.1619	-0.0264	-0.3586	0.1312	0.0330	0.4411	0.2930	0.0594	0.7998
R1	-0.0616	-0.0393	-0.2741	0.1249	0.0505	0.2647	0.1865	0.0898	0.5389
N	-0.0365	-0.0437	-0.1626	0.0450	0.0436	0.2741	0.0815	0.0873	0.4367
L1	-0.0353	-0.0389	-0.1658	0.0405	0.0431	0.2881	0.0758	0.0820	0.4539
L2	-0.1088	-0.0346	-0.2952	0.1934	0.0410	0.3501	0.3022	0.0756	0.6453

< 5방향 분기기 반복 동작시 선형정밀도 측정 결과>

(4) 분기기 동작시 각도완화 장치의 공극 간격 측정



<5방향 분기기 동작시 각도완화장치 사이의 간격 측정 결과>

(5) 연속 동작 시험에 의한 동작 신뢰성 및 안전성 검증

▪ 연속 동작 시험

- 1일 2,500회 총 55,000 여회 시행하였다.
- 55,000 여회 시행중 오동작 1회 발생: 클램프 1번 전진센서 알람 발생
- 파워 실린더 기어 상태 확인.
- 5만여회 동작 후 파워 실린더 내부 기어 마모 흔적이나 파손 상태 없음 확인
- 계절변화에 따른 온도변화로 인한 5방향 분기기 열변형과 열응력 해석을 기존 분기기에 대비하여 검토 수행한 결과 해석상 안전하다는 것을 확인 할 수 있었음.
- 온도 변화에 따른 리미트 센서 미감지 문제를 해결하기 위하여 온도 변화에 상관없이 센서가 감지 할 수 있는 구조로 리미트 센서 브라켓 구조를 보완 완료하였고 기존 근접 센서 구조에서 도그를 사용하는 구조로 보완하여 안전성 향상
- 과제 완료 후 5년간 유지기간중 각 계절별로 5만회 씩 연속동작 시험을 실행하여 온도에 따른 안전성 및 내구성 검증을 할 예정임.
- 예정 일정 2017년 10월 5만회(가을), 2018년 4월 5만회(봄), 2018년 08월 5만회(여름)

5만회 동작 시험 전　　5만회 동작 시험 후

<연속 동작 시험 결과>

(6) 동절기 장애 등을 고려한 테스트 베드 필요 시험 제시

- 5방향 분기기 구동 레일에 눈이 쌓였을 경우 동작 테스트
  - 반복적 동작하였을 경우 빙결에 의한 위치제어가 되는지 확인 필요.
- 리미트 스위치 동작 테스트
  - 파워실린더 연속으로 동작하여 리미트 스위치의 동작성 확인
- 동절기 수동동작 테스트
  - 동절기에 장애 발생 시 수동 조작이 원활한지 확인하는 테스트 진행 필요.
- 열팽창 측정
  - 동절기 뿐만 아니라 계절 변화에 따른 열팽창 변화 측정
  - 계절 온도 변화에 따른 열팽창 변화를 측정한 데이터를 바탕으로 예방 점검 가능

나. 유지보수 매뉴얼 작성

(1) 분기기 기본 구조 및 구성 형태

- 분기기는 2 way, 3 way, 2-2 way, 2-3 way, 시저스 분기기 로 나눠져 있다.

(2) 분기기 구성별 기능

- 시작단 고정거더 : 분기구간의 기준이 되며 분선과 분기구간을 연결하는 역할이다.
- 단경간 회전 거더 : 부상레일을 부착하여 철도의 부상 시 지지하는 기능을 한다.
- 장경간 회전 거더 : 부상레일을 부착하여 철도의 부상 시 지지하는 기능을 한다.
- 끝단연결장치 : 분기기 형태를 구성하는 프레임으로서 부상레일을 부착하여 철도의 부상 시 지지하는 기능을 한다.
- 직선부, 중앙부, 중앙 연결단 고정거더 : 분기구간의 기준이 되며 본선과 분기구간을 연결하는 역할을 한다.
- 턴테이블 : 시저스 타입에만 적용되며 중앙점을 지준으로 좌/우로 회전하여 굴절된 거더의 사이에 위치한다.

(3) 분기기 점검항목 및 주기

- 분기기의 유지관리를 위하여 일상, 주기, 월간, 분기 단위로 점검 하여야 한다.
  - 일상점검 : 매일 열차 운행전, 열차 운행후 점검 한다.
  - 주간점검 : 매주 점검 하도록 한다.
  - 월간점검 : 매월 점검 하도록 한다.
  - 분기점검 : 분기마다 점검 하도록 한다.
- 예비품 : 주요 예비품은 유지보수 시 시간단축을 위한 필수적인 부품이므로 유지보수를 위하여 수명 및 구입기간 등을 고려하여 확보하도록 한다.

(4) 5방향 분기기 고장시 수동취급 설명

	파워 실린더 구동 모터 커버를 분리 시킨다. (모든 파워실린더 동시 적용)
	파워 실린더 구동모터 수동조작 레버를 조립한다.
 	파워 실린더 구동모터 하부의 브레이크를 손으로 밀고 수동조작 레버를 회전시켜 파워 실린더가 후진 스위치에 닿을 때 까지 후진 시킨다.

	메인 구동 모터 커버를 분해 하고 수동조작 레버를 조립한다.
	3인 1조로 구성하여 이동하려고 하는 구간까지 수동조작 레버를 회전시켜 이동시킨다. 이동 완료 되면 수동조작 레버를 제거 하고 커버를 덮는다.
	파워 실린더 브레이크 레버를 당긴 상태에서 수동조작 레버를 회전시켜 전진 스위치가 동작하도록 한다.
	파워 실린더 수동조작 레버를 제거 하고 커버를 덮도록 한다. (모든 파워실린더 동시 적용)

3. 5방향 분기기 성능시험 및 차량 비상대피선로용과 트레버스분기기 적용방안 개발(한국기계연구원)

3-1. 5방향 분기기 성능시험 수행 ⇨ 성과지표 4

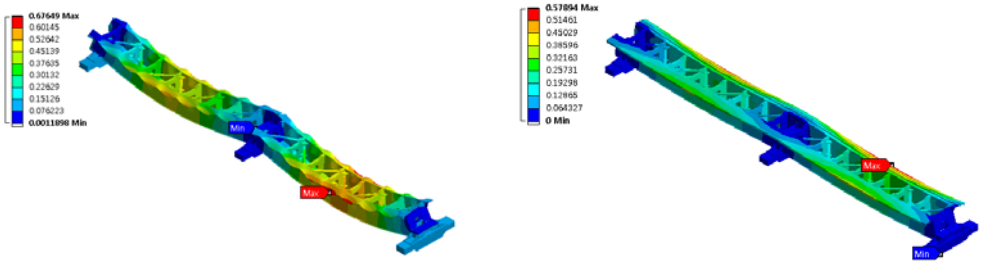
질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
[성과지표 4] 무부하상태 5방향 분기기 성능시험	성능시험결과 1건	성능시험결과 1건	개발된 5방향 분기기 성능시험결과의 판정기준 만족 여부 검증

가. 5방향 분기기 거더구조물 및 구성품에 대한 해석 수행

(1) 5방향 분기기 거더구조물 구조 및 모달, 열변형 해석 수행

○ 5방향 분기기 거더구조물 자체와 거더구조물에 부상레일이 조립되었을 경우의 최종 상세설계에 대한 해석모델을 개발하였다.

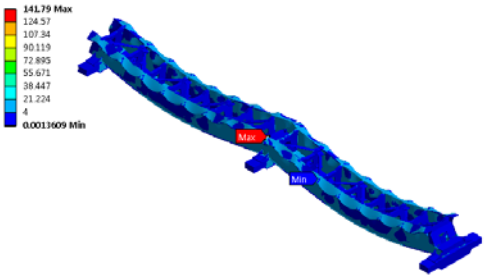
○ 장경간거더 자체와 부상레일이 조립된 경우에 대하여 구조물의 처짐해석을 수행하였다. 부상레일이 없는 경우에는 부상레일 체결부에서 0.67㎜의 처짐이 발생하였고, 부상레일이 있는 경우에는 부상레일 끝단에서 0.5㎜의 처짐이 발생하였다.



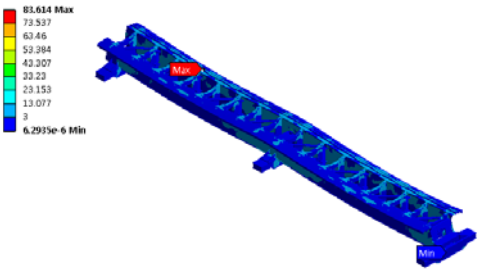
거더구조물에 대한 처짐해석 결과　　부상레일 조립시 처짐해석 결과

< 5방향 분기기 거더구조물과 부상레일 조립시의 처짐해석 결과 >

○ 장경간거더 자체와 부상레일이 조립된 경우의 최종 상세설계 해석모델에 대하여 5방향 분기기 구조물에 작용하는 응력해석을 수행하였다. 부상레일이 없는 경우와 있는 경우 모두 거더 상면과 부상레일 체결부에서 최대응력이 발생하였고, 레일이 없는 경우는 141.79MPa, 부상레일이 있는 경우는 83.61MPa로 구조적으로 안전함을 확인하였다.



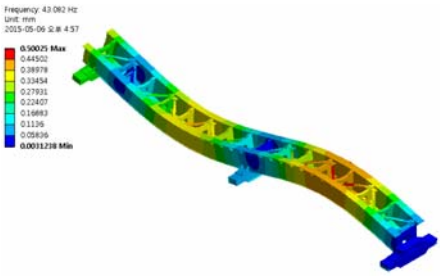
거더구조물에 대한 응력해석 결과



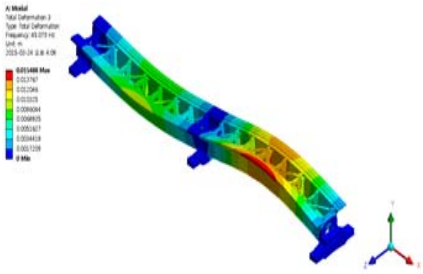
부상레일 조립시 응력해석 결과

< 5방향 분기기 거더구조물과 부상레일 조립시의 응력해석 결과 >

○ 장경간거더 자체와 부상레일이 조립된 경우의 최종 상세설계 해석모델에 대하여 모달해석을 수행하였다. 1차 굽힘모드는 부상레일이 없는 경우와 부상레일이 있는 경우 모두 지지점 사이의 거리가 긴 구간에서 발생하였으며, 레일이 없는 경우는 43.1Hz, 부상레일이 있는 경우는 45.0Hz로 제어주파수와는 유리되어 공진 발생 가능성이 없음을 확인하였다.



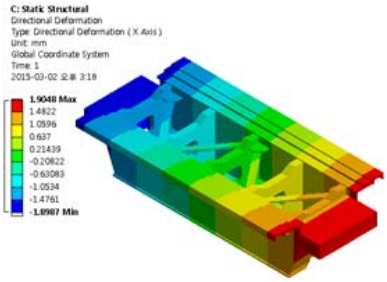
거더구조물에 대한 모드해석 결과



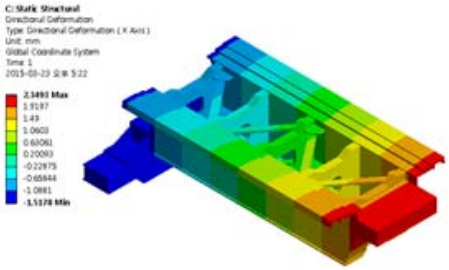
부상레일 조립시 모드해석 결과

< 5방향 분기기 거더구조물과 부상레일 조립시의 모드해석 결과 >

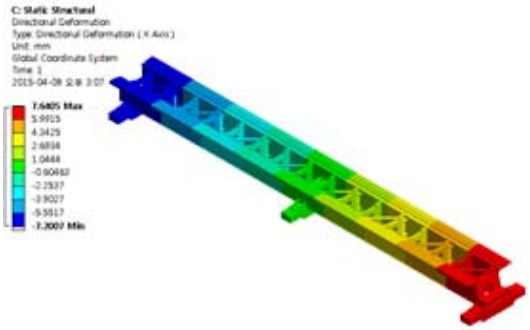
○ 부상레일이 조립된 경우의 최종 상세설계 해석모델에 대하여 열변형해석을 수행하였다. 1번 단경간거더에서는 3.79㎜의 열변형이 발생하였고, 형상이 동일한 2~4번 단경간거더에서는 3.85㎜의 열변형이 발생하였으며, 장경간거더에서는 14.84㎜의 열변형이 발생하였다. 5방향 분기기에서 열에 의한 전체 변형량은 30.18㎜로 해석되었다.



1번 단경간거더의 열변형해석 결과



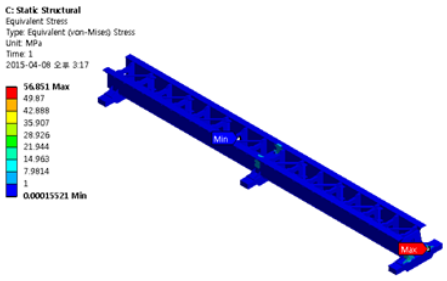
2~4번 단경간거더의 열변형해석 결과



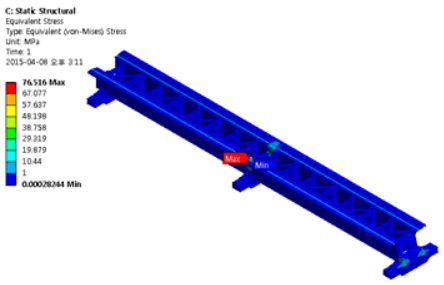
장경간거더에 대한 열변형해석 결과

< 5방향 분기기 거더구조물에 대한 열변형해석 결과 >

○ 장경간거더 자체와 부상레일이 조립된 경우의 최종 상세설계 해석모델에 대하여 5방향 분기기 구조물에 작용하는 열응력해석을 수행하였다. 부상레일이 없는 경우와 있는 경우 모두 거더 끝부분에서 최대 열응력이 발생하였으며, 레일이 없는 경우는 56.85MPa, 부상레일이 있는 경우는 76.51MPa로 구조적으로 안전함을 확인하였다.



거더구조물에 대한 열응력해석 결과



부상레일 조립시 열응력해석 결과

< 5방향 분기기 거더구조물과 부상레일 조립시의 열응력해석 결과 >

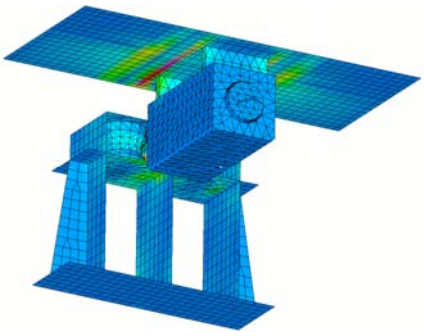
○ 기존 분기기와 5방향 분기기의 구조적 특성에 대한 검토를 수행하였고, 결과를 아래 표에 정리하였다.

< 기존 분기기와 5방향 분기기의 구조적 특성 검토 수행 결과 >

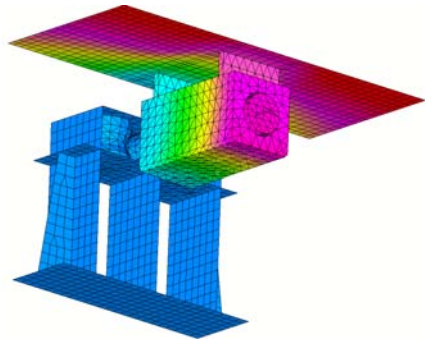
	최대응력		최대처짐		1st Bending mode		열변형과 열응력	
	기존	5방향	기존	5방향	기존	5방향	열변형	열응력
단경간 1번	22.5Mpa	41.5Mpa	0.08㎜	0.19㎜	140.6Hz	102.8Hz	3.79㎜	87.13MPa
단경간 2~4번	22.4Mpa	34.2Mpa	0.12㎜	0.21㎜	110.0Hz	115.3Hz	3.85㎜	68.67MPa
장경간	69.9Mpa	83.6Mpa	3.48㎜	0.57㎜	17.5Hz	45.0Hz	14.84㎜	76.5MPa

(2) 5방향 분기기 잠금장치에 대한 구조해석 수행

○ 5방향 분기기 잠금장치용 가이드와 지상브라켓에 대한 구조해석을 수행하였다. 응력해석 결과 거더에 설치된 부분에서 65MPa의 응력이 발생하여 구조적으로 안전함을 알 수 있었다. 처짐의 경우에도 거더에 설치된 부분에서 최대 0.76㎜의 구조물 변형이 발생하였다.



잠금장치에 대한 응력해석 결과

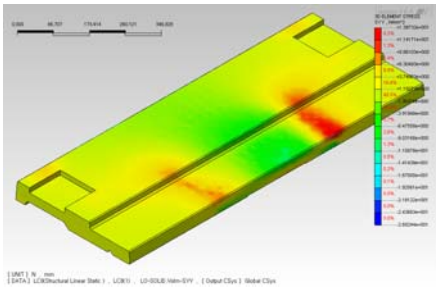


잠금장치에 대한 처짐해석 결과

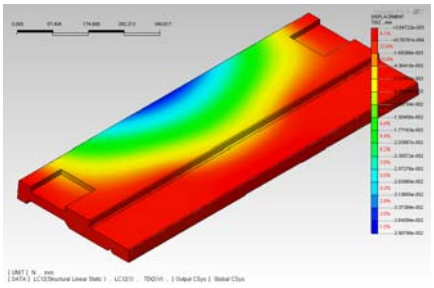
< 5방향 분기기 잠금장치에 대한 응력과 변형 해석결과 >

(3) 5방향 분기기 각도완화장치에 대한 구조해석 수행

○ 5방향 분기기용 각도완화장치와 각도완화장치가 설치되는 인접한 고정 부상레일에 대한 응력과 처짐해석을 수행하였다. 각도완화장치에서는 139MPa의 최대응력과 0.039㎜의 최대처짐이 발생하였고, 각도완화장치가 설치되는 인접한 고정 부상레일에서는 11.4MPa의 응력과 0.10㎜의 변형이 발생하여 구조적으로 안전함을 확인하였다.

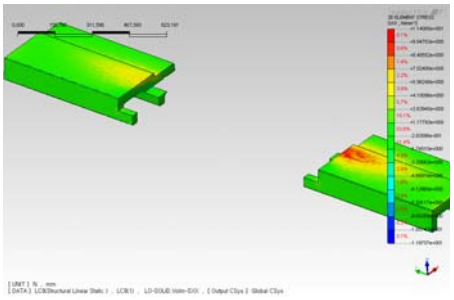


각도완화장치에 대한 응력해석 결과

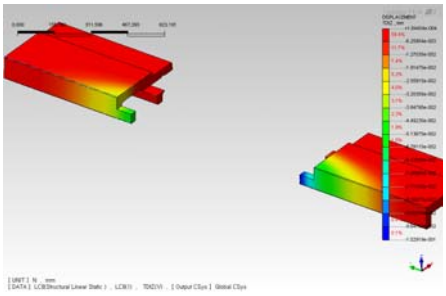


각도완화장치에 대한 처짐해석 결과

< 5방향 분기기 각도완화장치에 대한 응력과 변형 해석결과 >



각도완화장치 인근 고정 부상레일 응력해석 결과



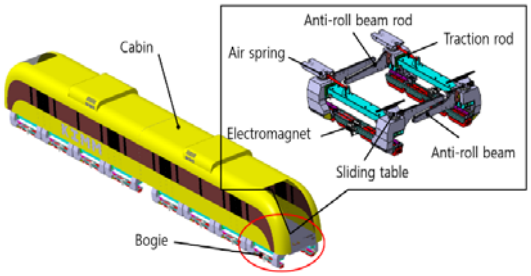
각도완화장치 인근 고정 부상레일 처짐해석 결과

< 5방향 분기기 각도완화장치 인근 고정 부상레일에 대한 응력과 변형 해석결과 >

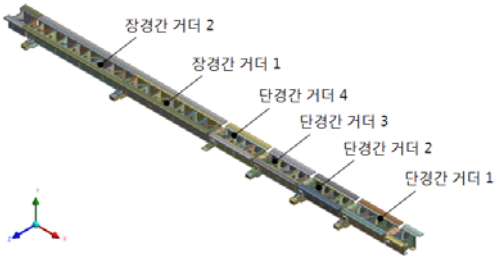
나. 5방향 분기기 내 열차 통과시 동특성해석 수행

(1) 5방향 분기기가 직선으로 설정시 동특성해석 결과

○ 다물체 동역학 기반의 자기부상열차 모델과 5방향 분기기에 대한 해석모델을 개발하였다.



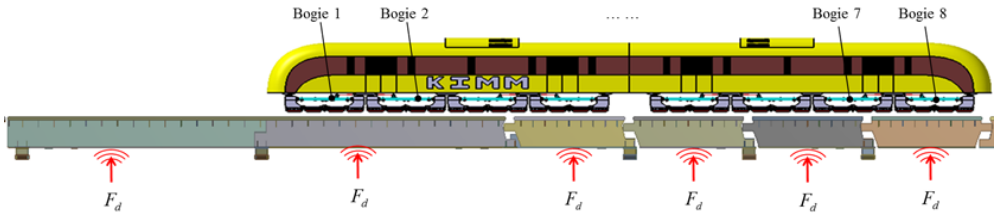
다물체동역학 기반 자기부상열차 모델



다물체동역학 기반 5방향 분기기 모델

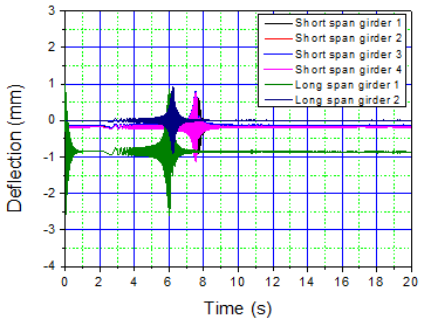
< 다물체 동역학 기반 자기부상열차와 5방향 분기기 해석모델 >

○ 차량이 5방향 분기기 단경간거더에 위치시 정지부상 상태에서의 공진해석 수행을 위하여 차량/5방향 분기기 공진해석 모델을 개발하였다.

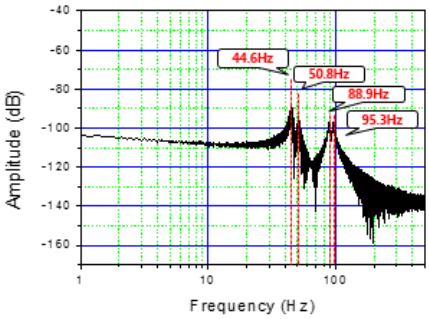


< 차량이 5방향 분기기 단경간거더 위치시 정지부상상태에서의 공진해석 모델 >

○ 차량이 5방향 분기기 단경간거더에 위치했을 때 정지부상시 5방향 분기기 거더의 처짐에 대한 FFT를 수행한 결과 단경간거더에서의 최대처짐은 0.02㎜가 발생하였고 진폭은 2㎜가 발생하였다. 장경간거더에서는 최대처짐이 0.8㎜, 진폭은 3㎜가 발생하였다.



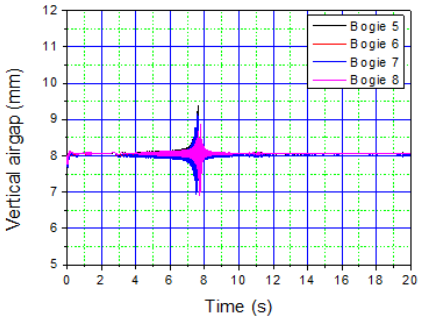
거더의 최대처짐 해석 결과



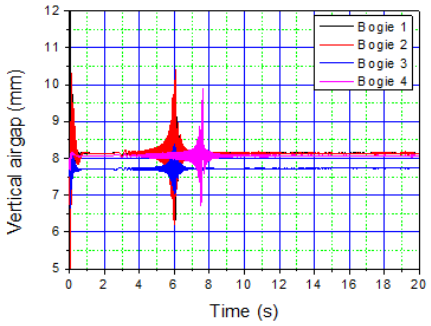
거더 처짐의 FFT 분석 결과

< 단경간거더 위치 정지부상시 5방향 분기기 거더의 처짐과 FFT 분석 결과 >

○ 차량이 5방향 분기기 단경간거더에 위치했을 때 정지부상시 차량의 부상공극 변화를 해석한 결과 장경간거더에 위치한 대차 1~3의 부상공극은 8±1.6㎜ 이내, 단경간거더에 위치한 대차 4~8의 부상공극은 8±1.2㎜ 이내로 안정함을 확인하였다.



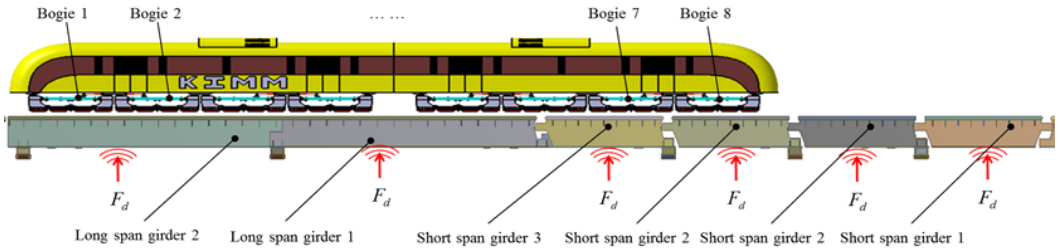
대차 1~4의 부상공극 변동 해석 결과



대차 5~8의 부상공극 변동 해석 결과

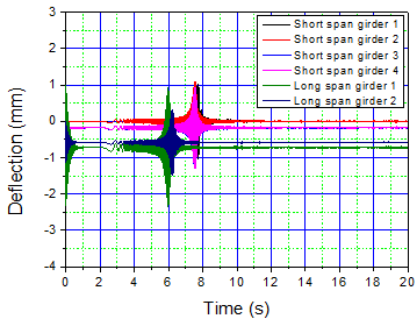
< 정지부상시 5방향 분기기 거더의 처짐과 FFT 분석 결과 >

○ 차량이 5방향 분기기 장경간거더에 위치시 정지부상 상태에서의 공진해석 수행을 위하여 차량/5방향 분기기 공진해석 모델을 개발하였다.

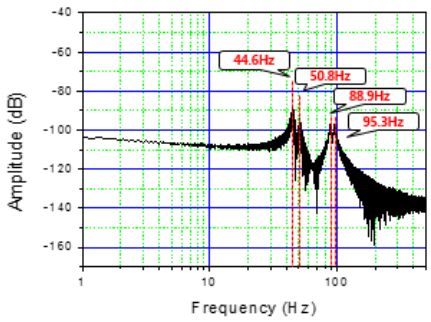


< 차량이 5방향 분기기 장경간거더 위치시 정지부상상태에서의 공진해석 모델 >

○ 차량이 5방향 분기기 장경간거더에 위치했을 때 정지부상시 5방향 분기기 거더의 처짐에 대한 FFT를 수행한 결과 단경간거더에서의 최대처짐은 0.02㎜가 발생하였고 진폭은 2㎜가 발생하였다. 장경간거더에서는 최대처짐이 0.8㎜, 진폭은 3㎜가 발생하였다.



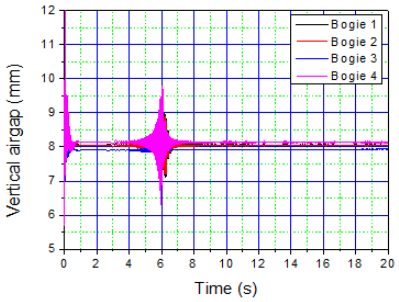
거더의 최대처짐 해석 결과



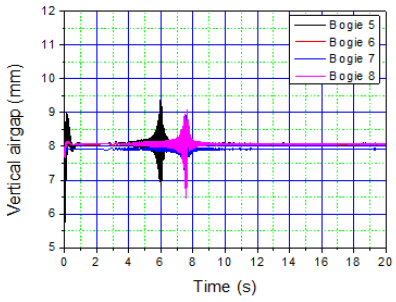
거더 처짐의 FFT 분석 결과

< 장경간거더 위치 정지부상시 5방향 분기기 거더의 처짐과 FFT 분석 결과 >

○ 차량이 5방향 분기기 장경간거더에 위치했을 때 정지부상시 차량의 부상공극 변화를 해석한 결과 장경간거더에 위치한 대차 1~6의 부상공극은 8±1.8㎜ 이내, 단경간거더에 위치한 대차 7~8의 부상공극은 8±1.5㎜ 이내로 안정함을 확인하였다.



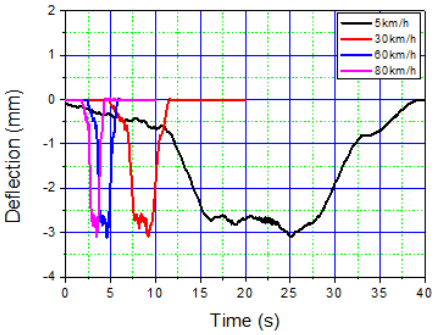
대차 1~6의 부상공극 변동 해석 결과



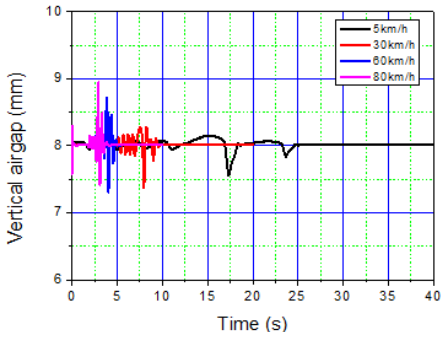
대차 7~8의 부상공극 변동 해석 결과

< 장경간거더 위치 정지부상시 5방향 분기기 거더의 처짐과 FFT 분석 결과 >

○ 5방향 분기기가 직선으로 설정시 열차 주행속도에 따른 거더의 처짐과 부상공극의 변동 해석을 수행하였다. 열차 주행속도에 따른 거더의 처짐은 속도의 증가에 영향을 받지 않지만 부상공극은 속도의 증가에 따라 변동폭이 커짐을 확인하였다. 80km/h에서 장경간거더의 최대처짐은 3.2㎜, 부상공극의 변동은 8±0.9㎜ 이내로 발생하여 부상안정성 측면에서 안전함을 확인하였다.



속도별 분기기 처짐 해석결과

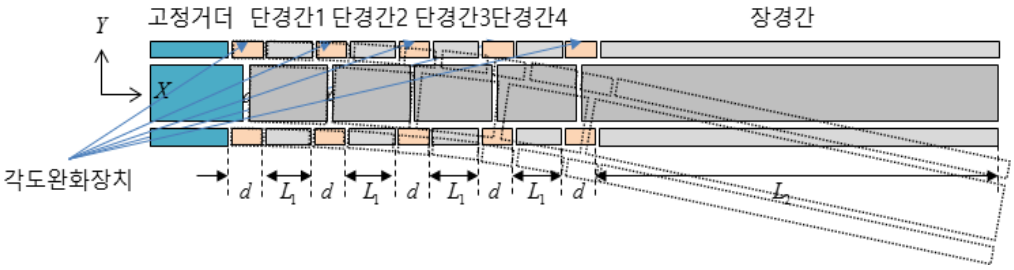


속도별 대차 1의 부상공극 변동 해석결과

< 열차 주행속도에 따른 거더의 처짐과 부상공극의 변동 해석을 수행 결과 >

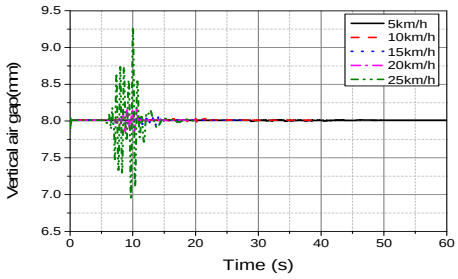
다. 5방향 분기기가 곡선으로 설정시 동특성해석 결과

○ 5방향 분기기가 곡선으로 설정되어 있을 경우에 대하여 분기기 해석모델을 개발하였다.

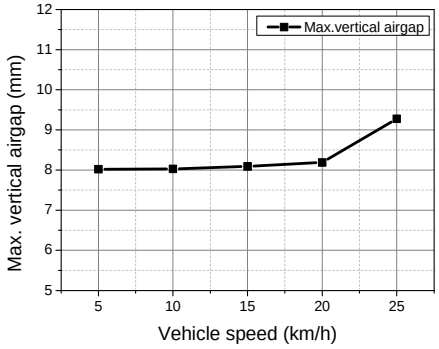


< 곡선으로 설정된 5방향 분기기 동특성해석 모델 >

○ 곡선으로 설정된 5방향 분기기에 열차가 통과시 주행속도별 대차의 부상공극 변화를 해석하였고, 통과속도 증가시 부상공극의 변화량이 커짐을 확인하였으며, 최대 주행가능속도인 25km/h에서 8±1.4㎜ 발생함을 확인하였다.



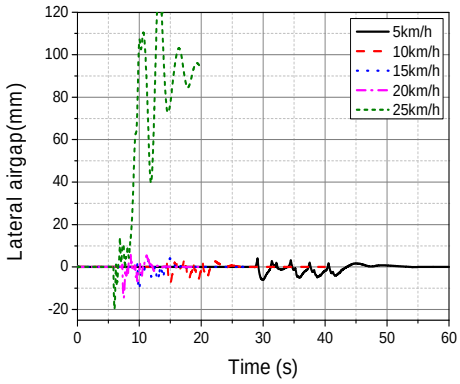
대차의 부상공극 변동 해석결과



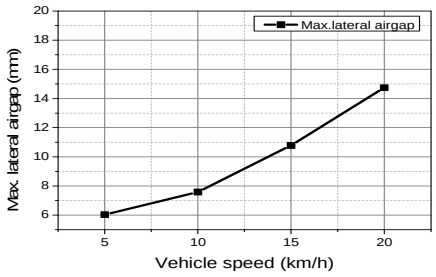
속도별 최대 부상공극 변화량 해석결과

< 분기기 곡선 설정시 열차 주행속도에 따른 대차의 부상공극 변동 해석결과 >

○ 곡선으로 설정된 5방향 분기기에 열차가 통과시 주행속도별 횡방향공극 변동을 해석하였다. 열차의 통과속도 증가시 횡방향공극의 변화량이 커짐을 확인할 수 있었고 20km/h에서는 횡방향공극이 15㎜ 변화되었고, 25km/h에서는 발산되는 것으로 해석되었다.



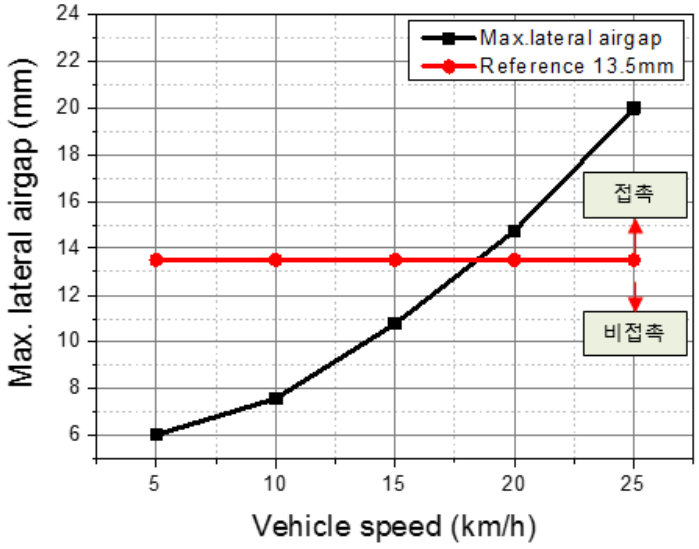
대차의 횡방향공극 변동 해석결과



속도별 최대 횡방향공극 변화량 해석결과

< 분기기 곡선 설정시 열차 주행속도에 따른 대차의 횡방향공극 변동 해석결과 >

○ 곡선으로 설정된 5방향 분기기에 열차의 통과시 최대 통과속도를 해석하여 열차가 18㎞/h 이상으로 주행시 대차의 스키드와 부상레일 사이에 간섭이 발생할 가능성이 높음을 확인하였다.



< 분기기 곡선 설정시 횡공극변동 분석을 통한 열차 최대주행속도 해석결과 >

라. 5방향 분기기용 사양서류 작성

(1) 분기기 분기기 규격서 작성

○ 5방향 분기기에 적용되는 구성품을 정의하였다. 5방향 분기기는 시작단 고정거더와 끝단 고정거더, 단경간 이동거더 #1~#4, 장경간 이동거더, 구동장치, 이송장치, 잠금장치, 끝단연결장치, 각도완화장치 등으로 구성되어 있다.

○ 5방향 분기기에 적용되는 구성품들의 기능을 정의하였다.

- 시작단 & 끝단 고정거더 : 이동거더의 초기와 끝단부 설치위치 및 레벨 조정과 본선과의 연결에 활용

- 이동거더 : 장경간거더의 회전에 의하여 단경간거더들이 정해진 선형에 맞도록 이동하는 기능 수행
- 잠금장치 : 분기기의 미소선형을 조정하고 차량 통과시 진동 발생 방지기능을 갖음
- 구동장치 : 장경간거더에 2개의 구동모터와 감속기, 캠바 등이 적용됨. 단경간거더 3번에 1개의 구동모터와 감속기, 캠바 등이 적용됨. 단경간거더 1번과 2번은 링크구조로 다른 거더들의 회전에 종속되도록 구성됨
- 이송장치 : 구동장치의 동작시 분기기 거더를 직접적으로 이동시키는 대차와 롤러로 구성됨
- 끝단연결장치 : 유지관리시 끝단에서의 선형 조정에 활용됨
- 각도완화장치 : 거더 굴절각의 절반각을 이루도록 링크를 적용함으로 차량이 곡선구간 통과시 대차와 분기기 구조물과의 간섭을 줄여주는 역할을 수행함
- 제어반 : 분기기를 리모트, 현장자동, 현장수동으로 동작시킬 수 있는 제어반으로 분기기 운용 및 점검시에 활용함

(2) 5방향 분기기 설계서 작성

○ 각도완화장치에 대한 형상 검토 수행

○ 구동용 감속모터의 용량과 감속비, 감속기 구동출력 검토

○ 잠금장치의 소요동력 검토

○ 이동거더 설계기준(안) 마련

- #1~#4 단경간 이동거더 : 길이 4.2m, 거더 연결부에 힌지와 선형베어링 적용
- 장경간 이동거더 : 장경간거더를 2개로 분리, 연결부 고정형 힌지 처리, 이송대차 3개소 설치로 처짐과 응력 및 고유진동수 측면에서 구조적 안전성 향상

○ 구동장치와 이송장치에 대한 설계기준(안) 마련

- 장경간거더 구동장치 : 장경간거더 끝단에 감속모터 설치, 감속모터에 감속기 연결, 감속기에 크랭크 암 연결, 크랭크 암이 캠 가이드를 따라 움직이며 장경간거더를 이동시키는 방식
- 단경간거더 구동장치 : 단경간거더 3번에 감속모터와 감속기, 캠바 적용. 단경간거더 4번은 장경간거더와 단경간거더 3번의 운동에 종속되어 이동되도록 구성. 단경간거더 1번과 2번은 지상에 설치된 링크를 사용하여 다른 거더들이 이동시 종속되어 움직이도록 구성
- 이송장치는 거더 하부에 부착된 이송대차와 이송대차 내부에 설치된 이송롤러, 이송롤러의 경로가 되는 이송레일로 구성, 이송롤러는 곡선운동을 수행하는데 적합하도록 구성, 이송레일 하부에는 동절기 결빙 방지를 위하여 열선 설치

○ 각도완화장치 설계기준(안) 마련

- 거더와 거더 사이의 굴절부에서 거더 굴절각의 절반각만 움직이도록 기어 접촉형 링크구조를 갖는 부상레일 설치
- 각도완화장치의 길이는 차량 대차의 횡방향변위가 급격하게 발생하지 않는 길이 선정

○ 잠금장치 설계기준(안) 마련

- 거더의 이동동작이 완료되면 정확한 선형 확정 및 차량 주행시 진동 발생 방지를 위하여 잠금장치 적용
- 잠금장치는 파워실린더와 파이롯 핀, 핀 가이드, 대향 브라켓 및 브라켓 내 핀 접촉용 롤러 등으로 구성
- 잠금장치는 각각의 거더를 고정시켜줄 수 있는 구조 및 수량이 적용되어야 함
- 끝단연결장치부 끝단에 이음매구간에서의 부상레일 선형을 맞추기 위한 잠금장치 별도 적용
- 장경간거더에 적용되는 2개의 거더 연결부에 분기기의 이동 종료 후 지상과 체결되는 별도의 잠금장치 적용

(3) 5방향 분기기 제작사양서 작성

○ 기계제작에 대한 일반사항 정의

- KS와 SSPC, ISO, AISC, ANSI, AWS, IEC, JIS, ASTM 등 분기기 제작에 적용되는 규격 명시
- 재료에 대한 요구조건 정의 및 강재와 주철품, 압연강, 구조용강, 탄소강, 스테인레스강 등 분기기 제작에 사용되는 재질과 규정 정의
- 부식방지와 용접부, 가공품 모서리 처리 등 마감작업 정의
- 도장의 환경조건 정의 및 환경조건에 따른 표면처리, 하도, 중도, 상도의 페인트 종류 정의. 샌드브라스팅과 방청작업, 현장제작품에 대한 표면처리방법, 조립 철제 시설물의 도장, 설치 후 현장도장, 전기도금 품목의 덧칠하기 등의 방법 정의
- 전동기의 시험방법 및 저압용과 고압용, 단상전동기의 형식, 사용전원, 절연, 차단과 보호방식, 정격속도 등을 정의
- 감속기 적용 대상품과 밀폐방법 정의
- 현장조작반 외함의 재질 및 도어의 형식, 조작반 내의 조작스위치 사양과 지시램프 등 정의
- 윤활과 안전, 포장, 운전 등의 일반사항 정의

○ 5방향 분기기 기계설치의 일반요구사항 정의

- 기초에 앵커 매설방법과 고정거더와 이송레일 등의 대상체 정의
- 거더구조물과 이송대차, 전동기/감속기, 잠금장치, 센서, 각도완화장치, 끝단연결장치, 끝단선형결정장치 등의 기계류 설치 및 조립방법 정의
- 그라우팅과 배선방법 정의
- 시운전 절차 성능검사 방법 정의

○ 5방향 분기기에 대한 특별사양 정의

- 앵커볼트의 선정 및 앵커볼트의 그라우팅이나 구조물 내 매설방법 정의
- 레벨 설정의 기준 및 부상레일과 이송레일의 레벨 설정법 정의. 레벨 조정을 위한 높이조절방법 정의
- 볼트 종류별 조임토크 정의
- 동절기 이송레일 등의 결빙방지를 위한 동결방지히터 사양 및 설치방법 정의

- 전차선 관련 구성품 및 기능 정의

5방향 분기기 설치시방서 작성

○ 제작품의 검사 및 운반, 보관 방법 정의

- 제품 인수시 확인 사항과 명판과의 일치성 확인방법 정의
- 인양장치 유무에 따른 인양방법 및 중량물 인양방법 예방
- 제품의 보관방법 정의

○ 설치방법 정의

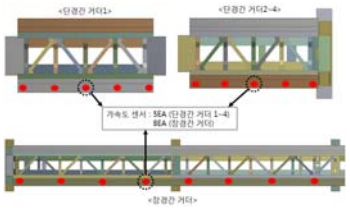
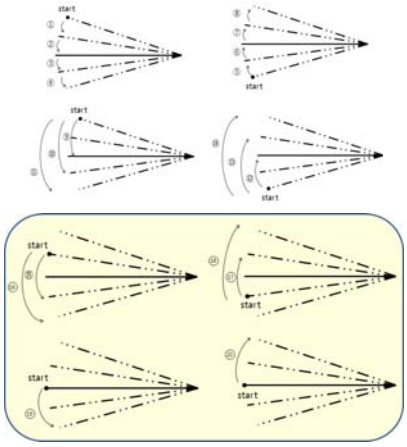
- 기초공사와 앵커볼트 매립방법 및 정밀도 정의
- 무수축 그라우팅을 실시하는 잠금장치 베이스 설치와 구동전동기 및 감속기 설치방법 정의
- 섹센으로 구분된 장경간거더의 조립법 및 조립치수 정의
- 부상레일과 추진레일의 설치방법 및 설치정밀도 정의
- 각도완화장치와 잠금장치, 구동전동기, 감속기 등의 설치방법과 설치시 유의사항, 설치정밀도 정의

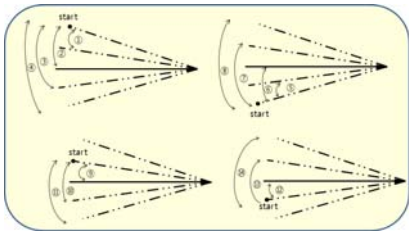
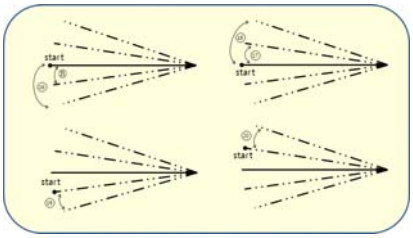
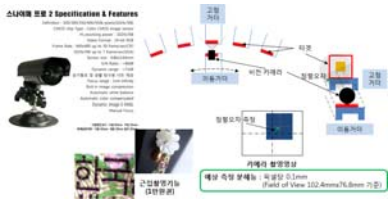
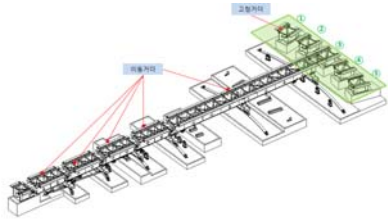
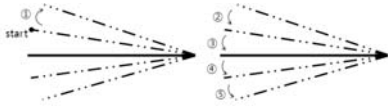
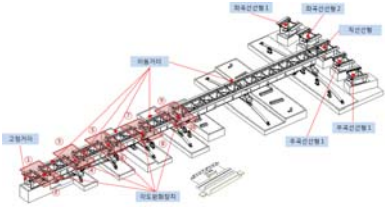
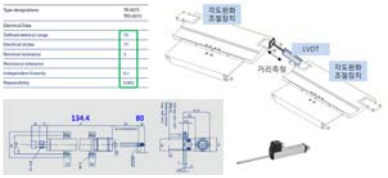
마. 5방향 분기기 성능시험 수행

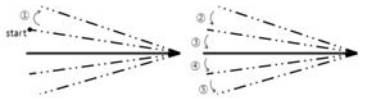
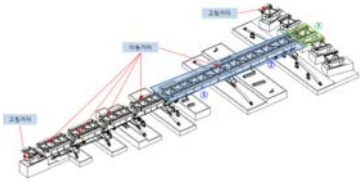
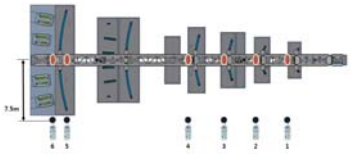
(1) 분기기 분기기 성능시험절차서 작성

○ 무부하상태 5방향 분기기 성능시험을 위한 시험항목 및 방법, 판정기준, 기록지 양식을 개발함

< 5방향 분기기 성능시험 항목 및 측정항목, 측정방법 >

순번	시험항목	측정항목	측정방법
1	거더구조물 고유진동수 측정	1) 단경간 1번 고유진동수 2) 단경간 2번 고유진동수 3) 단경간 3번 고유진동수 4) 단경간 4번 고유진동수 5) 장경간거더 고유진동수	-가속도센서 부착위치 
2	모드별 동작시간 측정	1) 인접한 경로 이동시 8cases 2) 2개의 경로 일시에 이동시 6cases 3) 3개의 경로 일시에 이동시 4cases 4) 4개의 경로 일시에 이동시 2cases	-모드별 동작시간 측정 이동경로 

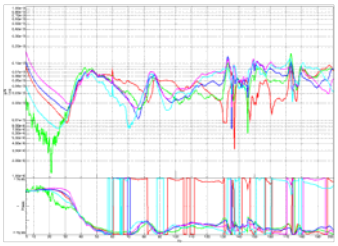
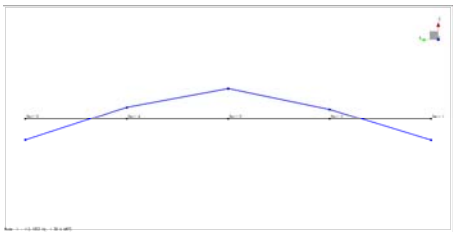
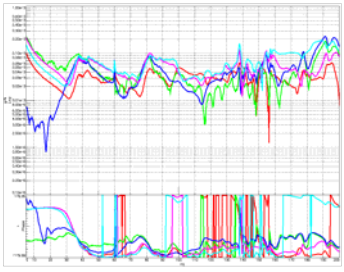
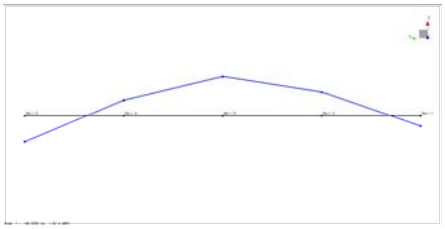
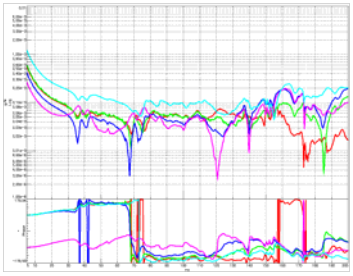
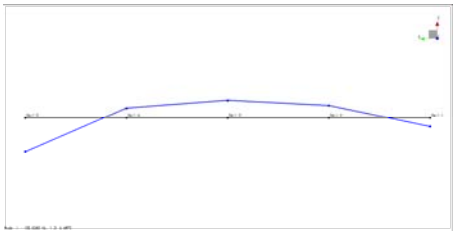
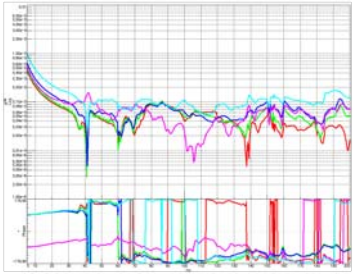
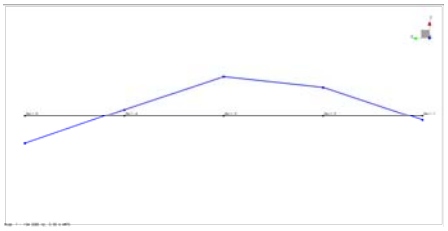
순번	시험항목	측정항목	측정방법
3	모드별 복원성 확인	1) 인접한 경로 이동시 8cases 2) 2개의 경로 일시에 이동시 6cases 3) 3개의 경로 일시에 이동시 4cases 4) 4개의 경로 일시에 이동시 2cases	-모드별 복원성 확인 이동경로  
4	반복동작시 선형정밀도 측정	이동경로에 따라 5 csaes	-비전카메라 활용 선형정밀도 측정방법  -선형정밀도 측정위치  -선형정밀도 측정 이동경로 
5	분기기 동작시 각도완화장치의 공극간격 측정	5방향 분기기에 설치된 각도완화장치 10개소	-각도완화장치 공극간격 측정위치  -각도완화장치 공극간격 측정방법  -각도완화장치 공극간격 측정 이동경로

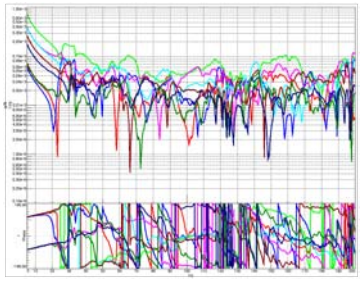
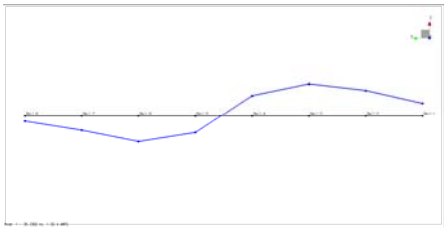
순번	시험항목	측정항목	측정방법
			
6	장경간거더의 길이방향과 수직방향 열변형량 측정	1) 길이방향 열변형량 : 장경간거더 끝단 1개소 2) 수직방향 열변형량 : 장경간거더 최대처짐 발생구간 2개소	-거더의 열팽창량 측정위치  -계절별로 LVDT 활용
7	동작시 소음측정	잠금장치 동작시 파워실린더에서의 발생 소음	-포터블 소음측정계 활용 -분기기 동작시 파워실린더에서 발생하는 소음 측정 -소음 측정위치 
8	모터 고장시 수동동작 동작시간 측정	1) 구동모터 3개소 2) 잠금장치용 파워실린더 5개소 3) 끝단연결장치 선형결정용 파워실린더 1개소 4) 구동모터와 잠금장치용 파워실린더+끝단연결장치 선형결정용 파워실린더 고장의 경우 조합 총 21cases 5) 잠금장치용 파워실린더와 끝단연결장치 선형결정용 파워실린더만 고장시 6case	-구동용 모터 고장시 3case와 6case인 쇄정장치용 모터 고장시의 조합인 21case와 쇄정장치용 파워실린더만 고장시 6case의 조합인 27cases -1구간과 2구간, 3구간, 4구간 각각에 대한 수동동작
9	연속동작시험	5방향 분기기 5만회 무결점 연속동작	5방향 분기기 5만회 무결점 연속동작

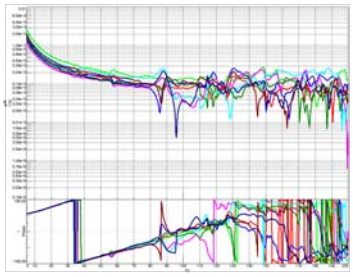
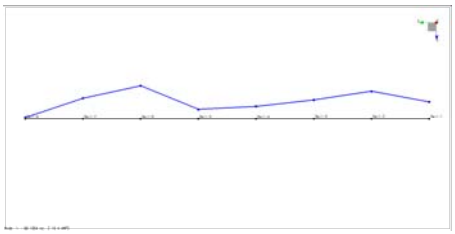
(2) 5방향 분기기 성능시험 결과

< 5방향 분기기 성능시험 결과 >

순번	시험항목	시험결과
1	거더구조물 고유진동수 측정	- 1번 단경간거더 고유진동수 - 2번 단경간거더 고유진동수

순번	시험항목	시험결과
		 1번 단경간거더 FRF  1번 단경간거더 Mode 형상 (주파수 : 113.19Hz)  2번 단경간거더 FRF  2번 단경간거더 Mode 형상 (주파수 : 196.88Hz) - 3번 단경간거더 고유진동수  3번 단경간거더 FRF  3번 단경간거더 Mode 형상 (주파수 : 199.63Hz) - 4번 단경간거더 고유진동수  4번 단경간거더 FRF  4번 단경간거더 Mode 형상 (주파수 : 194.01Hz) - 장경간거더 굽힘 고유진동수

<table>
<tr><th>순번</th><th>시험항목</th><th>시험결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>

장경간거더 굽힘 모드 FRF

장경간거더 굽힘 Mode 형상
(굽힘 주파수 : 35.23Hz)

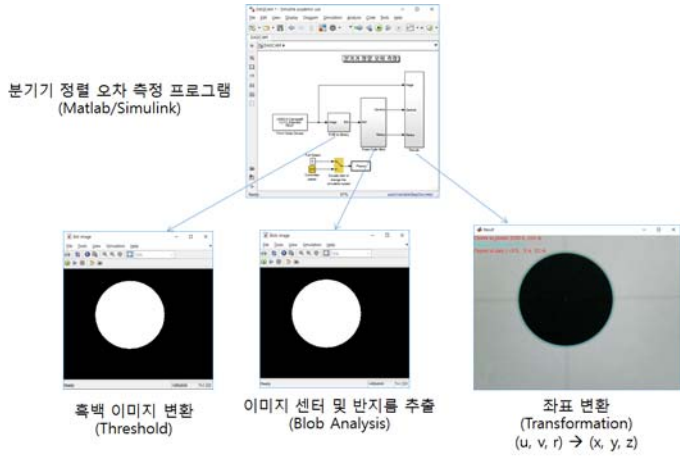
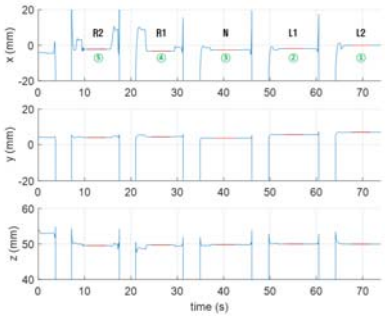
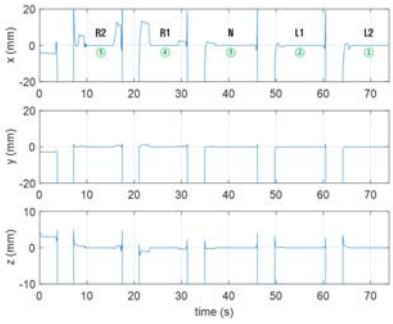
- 장경간거더 비틀림 고유진동수

장경간거더 비틀림 모드 FRF

장경간거더 비틀림 Mode 형상
(비틀림 주파수 : 88.11Hz)
</td></tr>
<tr><td>2</td><td>모드별
동작시간 측정</td><td>
- 모드별 동작시간 20회 측정 결과 ⇨ 합격
• 1구간 : 15.0초 이내, • 2구간 : 22.5초 이내
• 3구간 : 30.0초 이내, • 4구간 : 37.5초 이내

< 모드별 동작시간 측정결과 >
<table>
<tr><th>모드번호</th><th>이동경로</th><th>최대값</th><th>최소값</th><th>평균값</th></tr>
<tr><td>1</td><td>R2→R1(1구간)</td><td>14.30</td><td>14.10</td><td>14.22</td></tr>
<tr><td>2</td><td>R1→N(1구간)</td><td>14.60</td><td>13.93</td><td>14.15</td></tr>
<tr><td>3</td><td>N→L1(1구간)</td><td>13.48</td><td>13.34</td><td>13.43</td></tr>
<tr><td>4</td><td>L1→L2(1구간)</td><td>13.87</td><td>13.62</td><td>13.76</td></tr>
<tr><td>5</td><td>L2→L1(1구간)</td><td>14.60</td><td>14.17</td><td>14.45</td></tr>
<tr><td>6</td><td>L1→N(1구간)</td><td>14.80</td><td>13.78</td><td>14.05</td></tr>
<tr><td>7</td><td>N→R1(1구간)</td><td>14.90</td><td>13.92</td><td>14.26</td></tr>
<tr><td>8</td><td>R1→R2(1구간)</td><td>14.80</td><td>13.92</td><td>14.27</td></tr>
<tr><td>9</td><td>R2→N(2구간)</td><td>21.53</td><td>21.37</td><td>21.46</td></tr>
<tr><td>10</td><td>R2→L1(3구간)</td><td>28.80</td><td>27.79</td><td>28.00</td></tr>
<tr><td>11</td><td>R2→L2(4구간)</td><td>35.50</td><td>34.90</td><td>35.08</td></tr>
<tr><td>12</td><td>L2→N(2구간)</td><td>21.60</td><td>21.32</td><td>21.42</td></tr>
<tr><td>13</td><td>L2→R1(3구간)</td><td>28.90</td><td>28.10</td><td>28.36</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>순번</th><th>시험항목</th><th>시험결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td>14</td><td>L2→R2(4구간)</td><td>35.64</td><td>35.24</td><td>35.41</td></tr>
<tr><td>15</td><td>R1→L1(2구간)</td><td>21.90</td><td>20.65</td><td>21.17</td></tr>
<tr><td>16</td><td>R1→L2(3구간)</td><td>28.80</td><td>27.82</td><td>28.10</td></tr>
<tr><td>17</td><td>L1→R1(2구간)</td><td>21.99</td><td>21.11</td><td>21.43</td></tr>
<tr><td>18</td><td>L1→R2(3구간)</td><td>28.33</td><td>28.20</td><td>28.27</td></tr>
<tr><td>19</td><td>N→L2(2구간)</td><td>20.65</td><td>20.43</td><td>20.54</td></tr>
<tr><td>20</td><td>N→R2(2구간)</td><td>21.50</td><td>21.10</td><td>21.23</td></tr>
</table>
- 실용화를 위한 객관성을 확보하기 위하여 공인시험기관인 KTL에 시험을 의뢰하여 보다 정확하고 객관적인 공인 시험성적서 확보 예정
</td></tr>
<tr><td>3</td><td>모드별 복원성 확인</td><td>
- 모드별 복원성 20회 확인 결과 ⇨ 합격

< 모드별 복원성 확인결과 >

<table>
<tr><th>모드번호</th><th>이동경로</th><th>이상 유무</th></tr>
<tr><td>1</td><td>R2→R1(1구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>2</td><td>R1→N(1구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>3</td><td>N→L1(1구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>4</td><td>L1→L2(1구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>5</td><td>L2→L1(1구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>6</td><td>L1→N(1구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>7</td><td>N→R1(1구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>8</td><td>R1→R2(1구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>9</td><td>R2→N(2구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>10</td><td>R2→L1(3구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>11</td><td>R2→L2(4구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>12</td><td>L2→N(2구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>13</td><td>L2→R1(3구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>14</td><td>L2→R2(4구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>15</td><td>R1→L1(2구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>16</td><td>R1→L2(3구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>17</td><td>L1→R1(2구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>18</td><td>L1→R2(3구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>19</td><td>N→L2(2구간)</td><td>정상</td></tr>
<tr><td>20</td><td>N→R2(2구간)</td><td>정상</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

순번	시험항목	시험결과
4	반복동작시 선형정밀도 측정	- 선형정밀도 측정 모니터링시스템 개발 현황  **< 반복동작시 선형정밀성 측정방법 개발 개념 >** - 선형정밀도 측정 현황 선형정밀도 측정을 위한 끝단 고정단 타켓 설치 현황 비전카메라와 타켓을 이용한 분기기 선형정밀도 측정현황 - 비전카메라 활용 선형정밀도 측정결과 • 수직방향 단차 : 상대단차 1㎜ 이내 • 횡방향 단차 : 상대단차 1㎜ 이내  선형정밀도 측정 결과  선형정밀도 보정 결과 **< 반복동작시 선형정밀성 측정 및 보정 결과 >**

<table>
<tr><th>순번</th><th>시험항목</th><th>시험결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>

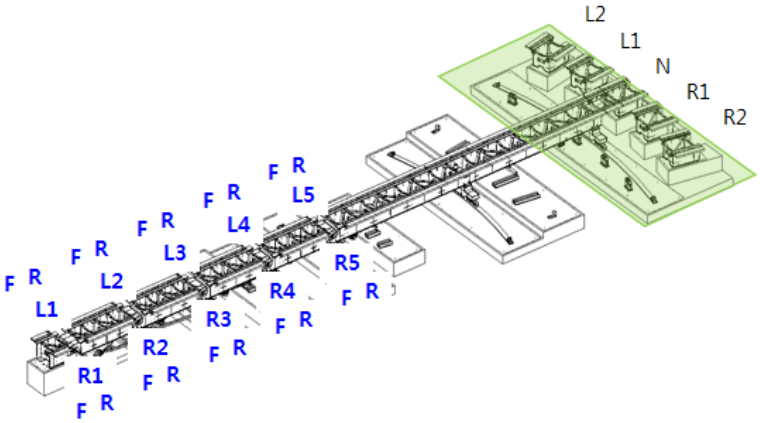
< 반복동작시 선형정밀성 측정 결과 >

<table>
<tr><th rowspan="2">선형</th><th colspan="3">단차max(mm)</th></tr>
<tr><th>횡방향</th><th>수직방향</th><th>길이방향</th></tr>
<tr><td>R2</td><td>0.1619</td><td>0.0330</td><td>0.4411</td></tr>
<tr><td>R1</td><td>0.1249</td><td>0.0505</td><td>0.2741</td></tr>
<tr><td>N</td><td>0.0450</td><td>0.0437</td><td>0.2741</td></tr>
<tr><td>L1</td><td>0.0405</td><td>0.0431</td><td>0.2881</td></tr>
<tr><td>L2</td><td>0.1934</td><td>0.0410</td><td>0.3501</td></tr>
<tr><td>판정</td><td>합격</td><td>합격</td><td>-</td></tr>
</table>

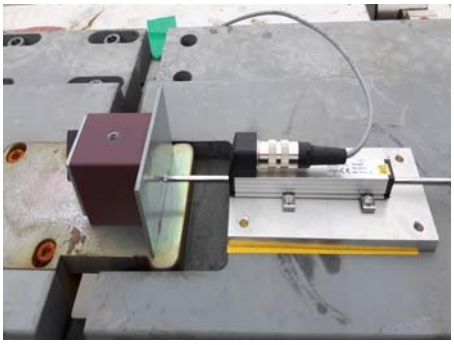
- 선형별 50회 반복 측정결과 횡방향과 수직방향 모두 상대단차 한계인 1mm를 만족

</td></tr>
<tr><td>5</td><td>분기기 동작시 각도완화장치의 공극간격 측정</td><td>

- 각도완화장치 공극간격 측정용 LVDT 설치 현황



< 각도완화장치 간격변화 측정위치 >

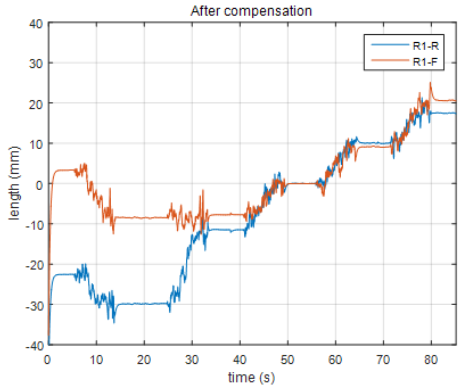


< 각도완화장치 간격변화측정용 LVDT 설치 >

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

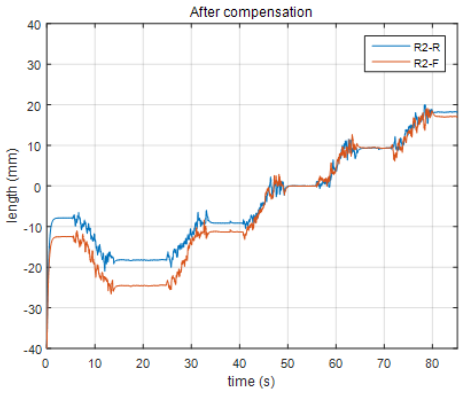
순번	시험항목	시험결과

- 우측 설치 각도완화장치 전후의 공극간격 50회 측정 결과
  - 시작단과 단경간거더 #1 사이 우측 각도완화장치의 전후 공극간격변화량 측정 결과



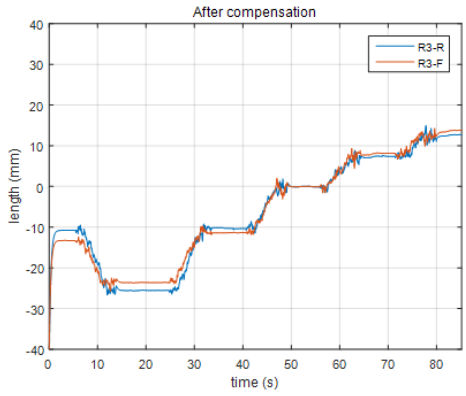
선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	23.878	14.050
L1	12.012	7.063
N	0.853	-0.849
R1	-7.233	-12.008
R2	-8.477	-29.820

  - 단경간거더 #1과 #2 사이 우측 각도완화장치의 전후 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	17.107	18.070
L1	9.661	9.105
N	0.141	-0.098
R1	-10.457	-9.998
R2	-24.576	-18.145

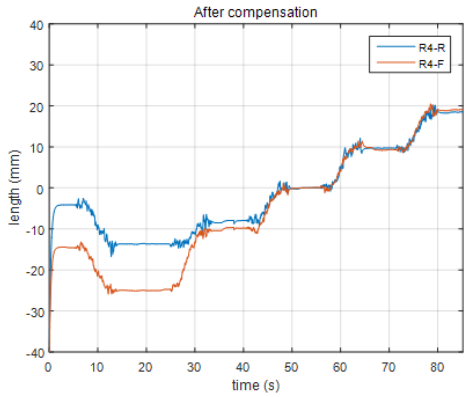
  - 단경간거더 #2와 #3 사이 우측 각도완화장치의 전후 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	13.534	12.609
L1	8.664	6.737
N	0.991	-1.085
R1	-9.815	-11.925
R2	-23.655	-25.535

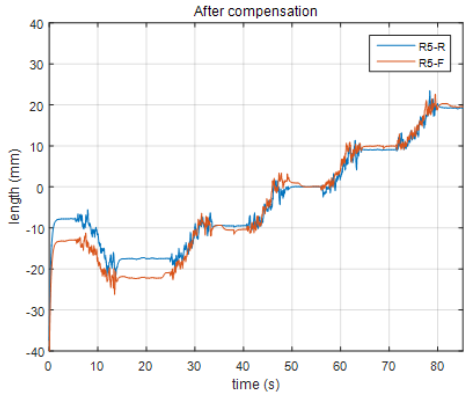
순번	시험항목	시험결과

• 단경간거더 #3과 #4 사이 우측 각도완화장치의 전후 공극간격변화량 측정결과



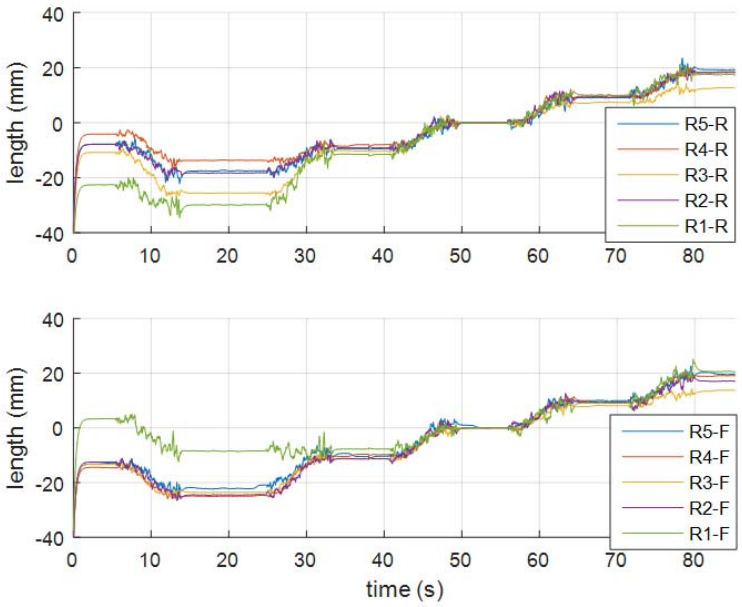
선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	19.066	18.269
L1	9.332	9.601
N	-0.061	0.122
R1	-9.736	-7.932
R2	-25.078	-13.714

• 단경간거더 #4와 장경간거더 사이 우측 각도완화장치 전후 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	19.089	19.037
L1	10.153	9.043
N	-0.111	0.132
R1	-10.446	-9.468
R2	-21.925	-17.250

• 우측 설치 각도완화장치 전후의 공극간격 변화 그래프와 50회 측정 편차



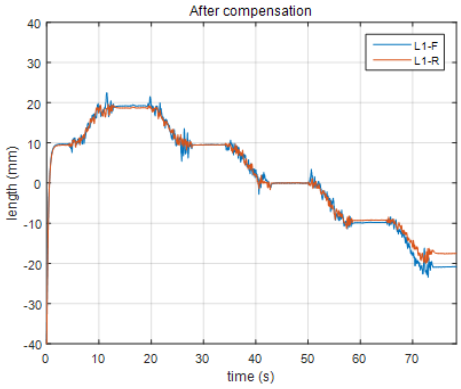
< 우측 설치 각도완화장치 전후의 공극간격변화 측정결과 >

순번	시험항목	시험결과

< 우측 설치 각도완화장치 전후의 공극간격변화 50회 측정시 최대편차 >

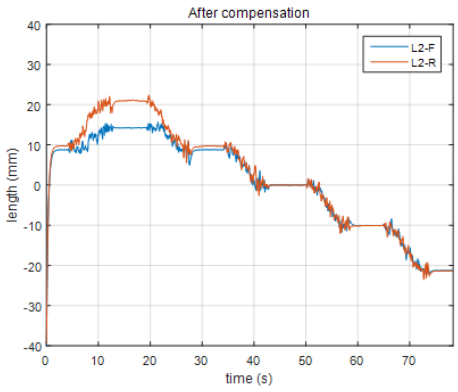
측정위치	각도완화장치 우측 전방					각도완화장치 우측 후방				
고정-단경간1	4.083	5.383	2.912	1.804	1.306	4.317	5.728	2.772	1.827	1.195
단경간 1-단경간2	0.293	0.436	0.340	1.108	0.116	0.247	0.394	0.289	1.059	0.285
단경간2-단경간3	0.376	1.513	2.297	2.525	0.228	0.275	1.594	2.327	2.565	0.241
단경간3-단경간4	0.107	0.601	0.184	0.208	0.269	0.258	0.213	0.362	0.234	0.213
단경간4-장경간	0.588	0.275	0.660	0.424	0.607	0.381	0.237	0.543	0.314	0.584

- 좌측 설치 각도완화장치 전후의 공극간격 50회 측정 결과
  - 시작단과 단경간거더 #1 사이 좌측 각도완화장치의 전후 공극간격변화량 측정 결과



선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	-21.001	-17.378
L1	-10.551	-8.475
N	-0.322	0.486
R1	9.545	9.717
R2	19.228	18.873

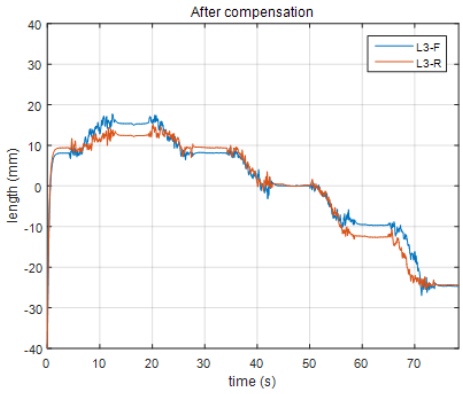
  - 단경간거더 #1과 #2 사이 좌측 각도완화장치의 전후 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	-21.264	-21.451
L1	-10.107	-10.034
N	-0.026	0.148
R1	8.826	9.784
R2	14.307	21.185

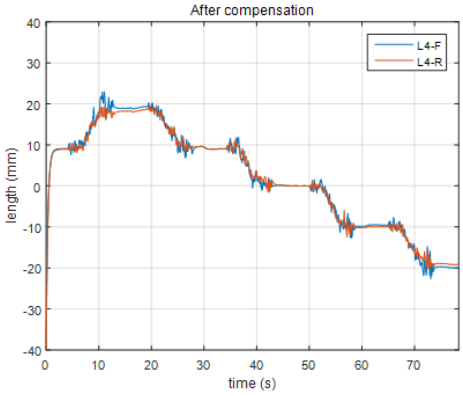
순번	시험항목	시험결과

• 단경간거더 #2와 #3 사이 좌측 각도완화장치의 전후 공극간격변화량 측정결과



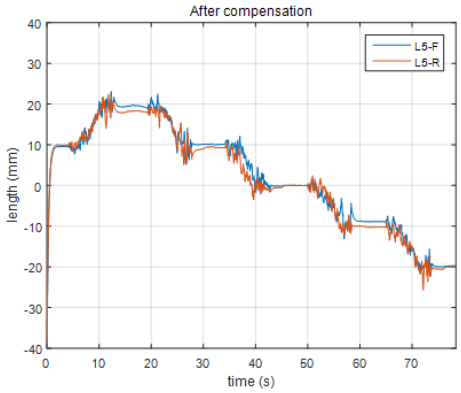
선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	-24.609	-24.351
L1	-10.492	-11.865
N	-0.190	0.135
R1	8.837	8.664
R2	15.808	12.232

• 단경간거더 #3과 #4 사이 좌측 각도완화장치의 전후 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	-19.499	-19.856
L1	-9.623	-9.826
N	-0.210	0.227
R1	8.578	9.417
R2	18.596	19.326

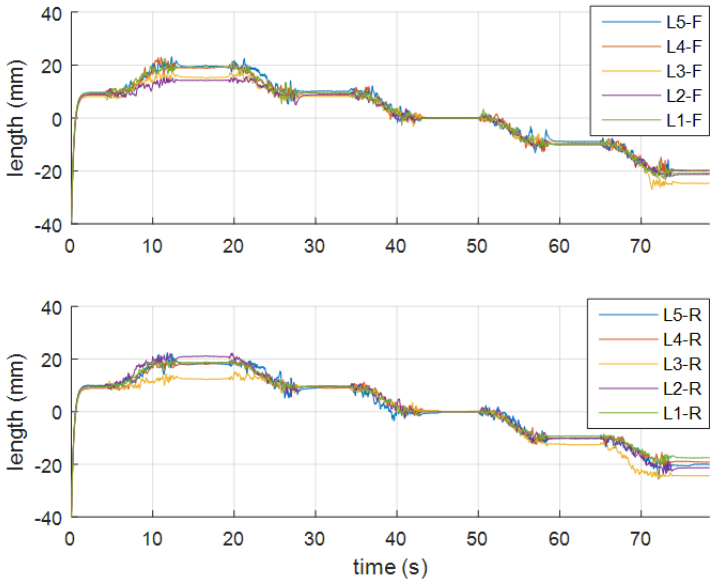
• 단경간거더 #4와 장경간거더 사이 좌측 각도완화장치 전후 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	전방	후방
L2	-19.899	-19.956
L1	-9.855	-9.278
N	-0.154	0.337
R1	9.613	10.228
R2	19.237	18.709

순번	시험항목	시험결과

• 좌측 설치 각도완화장치 전후의 공극간격 변화 그래프와 50회 측정 편차

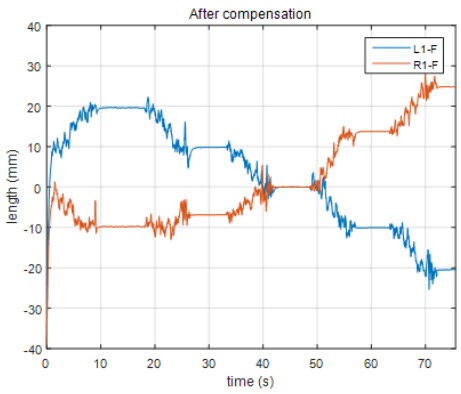


< 좌측 설치 각도완화장치 전후의 공극간격변화 측정결과 >

< 좌측 설치 각도완화장치 전후의 공극간격변화 50회 측정시 최대편차 >

측정위치	각도완화장치 좌측 전방					각도완화장치 좌측 후방				
고정-단경간1	0.539	1.682	1.197	0.534	0.454	0.519	1.543	1.221	0.442	0.403
단경간 1-단경간2	1.405	2.019	0.780	0.208	0.178	1.455	1.968	0.796	0.196	0.318
단경간2-단경간3	0.189	3.727	2.323	1.715	1.321	0.138	3.701	2.331	1.709	1.319
단경간3-단경간4	2.072	1.919	2.409	2.924	3.914	1.920	1.668	2.374	2.812	3.675
단경간4-장경간	0.406	2.663	2.937	2.367	3.654	0.680	2.723	3.124	2.050	3.693

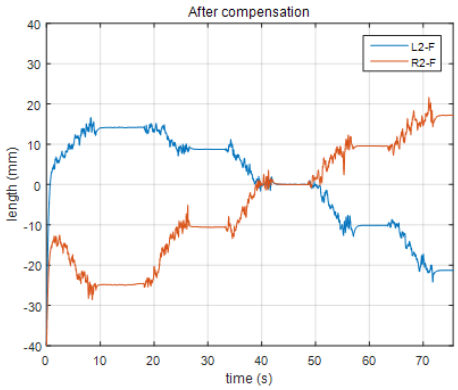
- 좌우 설치 각도완화장치 전방의 공극간격 50회 측정 결과
  • 시작단과 단경간거더 #1 사이 좌우 각도완화장치의 전방 공극간격변화량 측정 결과



선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 전방	우측 전방
L2	-20.604	25.027
L1	-10.240	14.564
N	-0.077	0.967
R1	9.829	-6.259
R2	19.713	-9.119

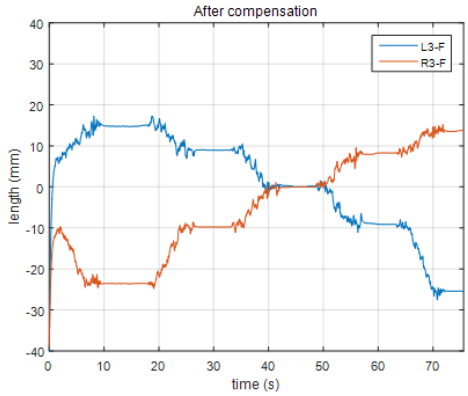
순번	시험항목	시험결과

• 단경간거더 #1과 #2 사이 좌우 각도완화장치의 전방 공극간격변화량 측정결과



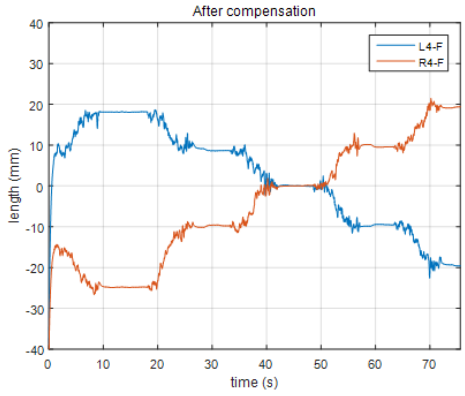
선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 전방	우측 전방
L2	-21.322	17.295
L1	-10.188	9.602
N	-0.155	0.074
R1	8.674	-10.533
R2	14.221	-24.809

• 단경간거더 #2와 #3 사이 좌우 각도완화장치의 전방 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 전방	우측 전방
L2	-25.418	13.878
L1	-9.319	8.751
N	-0.541	0.806
R1	8.136	-10.105
R2	14.967	-23.592

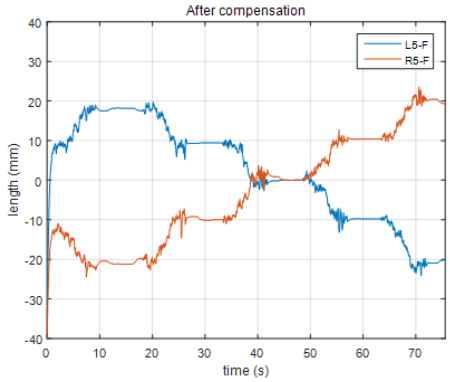
• 단경간거더 #3과 #4 사이 좌우 각도완화장치의 전방 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 전방	우측 전방
L2	-18.949	19.548
L1	-9.460	9.751
N	-0.023	0.417
R1	8.645	-9.325
R2	18.511	-24.696

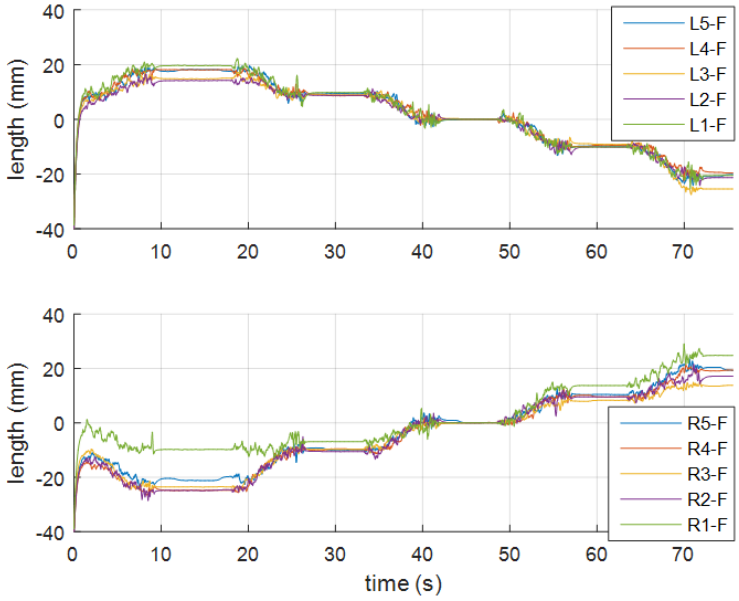
순번	시험항목	시험결과

• 단경간거더 #4와 장경간거더 사이 좌우 각도완화장치 전방 공극간격변화량 측정 결과



선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 전방	우측 전방
L2	-20.437	19.537
L1	-10.616	10.499
N	-1.737	0.109
R1	8.509	-10.129
R2	19.093	-21.158

• 좌우 설치 각도완화장치 전방의 공극간격 변화 그래프와 50회 측정 편차



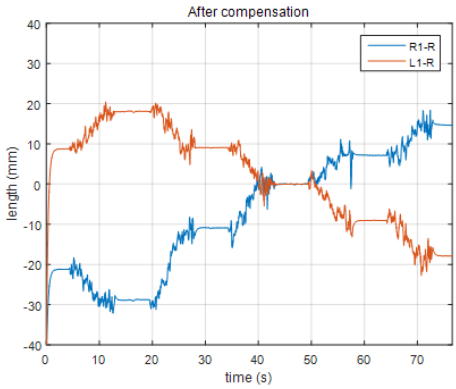
< 좌우 설치 각도완화장치 전방의 공극간격변화 측정결과 >

< 좌우 설치 각도완화장치 전방의 공극간격변화 50회 측정시 최대편차 >

측정위치	각도완화장치 좌측 전방					각도완화장치 우측 전방				
고정-단경간1	0.648	1.084	1.462	0.885	0.639	0.736	3.259	4.588	4.283	3.025
단경간 1-단경간2	1.154	1.131	0.917	0.721	0.264	1.530	0.663	0.286	0.464	0.376
단경간2-단경간3	0.184	1.698	1.975	1.916	0.978	0.795	1.348	1.905	2.152	0.254
단경간3-단경간4	3.052	2.699	2.350	2.784	3.765	0.931	1.073	1.164	1.022	0.926
단경간4-장경간	1.057	2.681	2.930	2.794	3.298	0.754	0.338	0.321	0.244	1.041

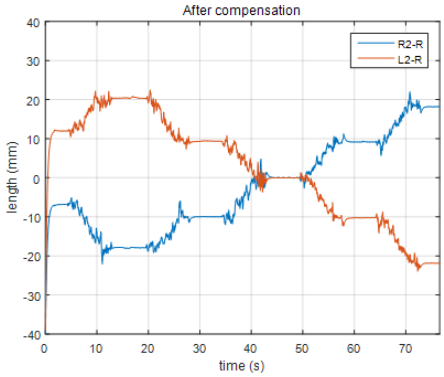
순번	시험항목	시험결과

- 좌우 설치 각도완화장치 후방의 공극간격 50회 측정 결과
  - 시작단과 단경간거더 #1 사이 좌우 각도완화장치의 후방 공극간격변화량 측정 결과



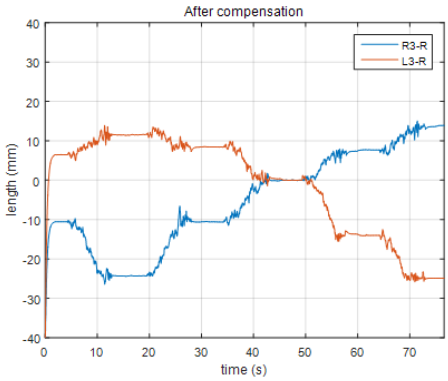
선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 후방	우측 후방
L2	-17.887	14.078
L1	-8.754	6.047
N	0.232	-0.637
R1	9.118	-11.719
R2	17.983	-28.810

  - 단경간거더 #1과 #2 사이 좌우 각도완화장치의 후방 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 후방	우측 후방
L2	-21.570	18.272
L1	-10.124	9.231
N	-0.028	0.096
R1	9.453	-9.805
R2	20.545	-17.674

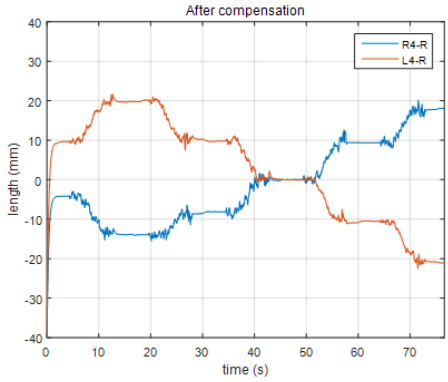
  - 단경간거더 #2와 #3 사이 좌우 각도완화장치의 후방 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 후방	우측 후방
L2	-24.747	13.885
L1	-14.186	7.796
N	0.127	-0.138
R1	8.921	-10.757
R2	11.947	-24.323

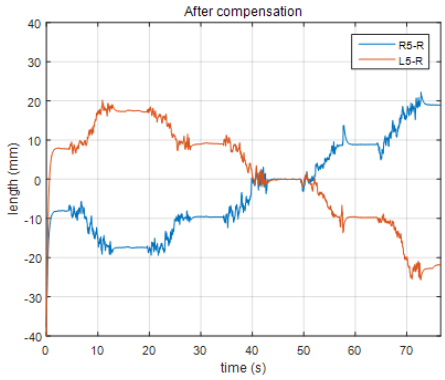
순번	시험항목	시험결과

• 단경간거더 #3과 #4 사이 좌우 각도완화장치의 후방 공극간격변화량 측정결과



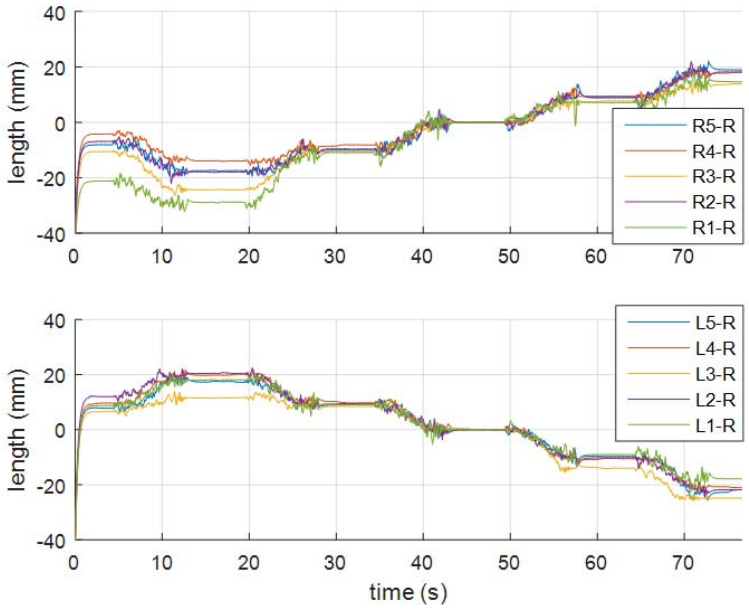
선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 후방	우측 후방
L2	-19.820	18.067
L1	-9.402	9.395
N	0.634	0.173
R1	9.933	-7.978
R2	19.583	-13.842

• 단경간거더 #4와 장경간거더 사이 좌우 각도완화장치 후방 공극간격변화량 측정결과



선형	평균값(단위:mm)	
	좌측 후방	우측 후방
L2	-21.479	19.000
L1	-11.448	8.967
N	-1.300	0.041
R1	8.281	-9.567
R2	17.362	-17.415

• 좌우 설치 각도완화장치 후방의 공극간격 변화 그래프와 50회 측정 편차



< 좌우 설치 각도완화장치 후방의 공극간격변화 측정결과 >

<table>
<tr><th>순번</th><th>시험항목</th><th>시험결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>

< 좌우 설치 각도완화장치 후방의 공극간격변화 50회 측정시 최대편차 >

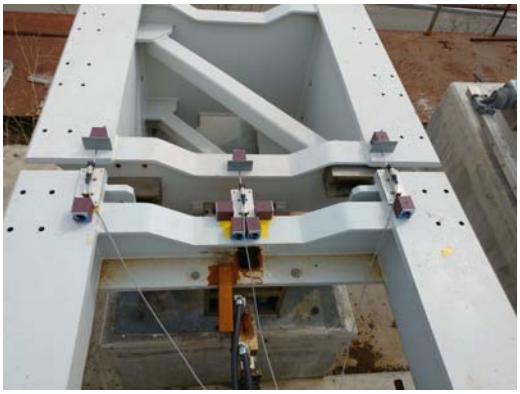
<table>
<tr><th>측정위치</th><th colspan="5">각도완화장치 좌측 전방</th><th colspan="5">각도완화장치 우측 전방</th></tr>
<tr><td>고정-단경간1</td><td>0.790</td><td>1.103</td><td>1.517</td><td>0.704</td><td>0.943</td><td>0.918</td><td>3.103</td><td>5.560</td><td>3.392</td><td>2.913</td></tr>
<tr><td>단경간 1-단경간2</td><td>0.691</td><td>0.749</td><td>0.380</td><td>0.162</td><td>0.346</td><td>0.449</td><td>0.276</td><td>0.342</td><td>0.297</td><td>0.560</td></tr>
<tr><td>단경간2-단경간3</td><td>0.228</td><td>1.071</td><td>0.595</td><td>1.047</td><td>0.721</td><td>0.315</td><td>1.205</td><td>2.327</td><td>1.911</td><td>0.332</td></tr>
<tr><td>단경간3-단경간4</td><td>2.242</td><td>1.960</td><td>1.654</td><td>1.718</td><td>2.778</td><td>0.204</td><td>0.272</td><td>0.616</td><td>0.352</td><td>0.220</td></tr>
<tr><td>단경간4-장경간</td><td>0.749</td><td>2.080</td><td>2.754</td><td>3.184</td><td>2.383</td><td>0.442</td><td>0.452</td><td>0.368</td><td>0.251</td><td>0.274</td></tr>
</table>

- 5방향 분기기 동작시 각도완화장치 공극변화 측정 판정 결과
  - 각도완화장치 공극변화량의 대칭성이 미확보됨
  - 시작단 고정거더와 단경간 #1 사이의 각도완화장치의 간격조정 오류로 끼임 현상이 발생하여 최대편차가 크게 나타나므로 반복성 확보가 부족함
  - 단경간거더 4번에 구동용 모터 미적용으로 거더의 운동궤적이 단경간거더 3번과 장경간거더에 종속되어 각도완화장치의 원활한 복원이 이루어지지 않고 있음
  - 각도완화장치의 초기 간격 재조정과 구동모터 동기화에 의한 동일궤적 생성이 필요함

</td></tr>
<tr><td>6</td><td>장경간거더의
길이방향과
수직방향
열변형량 측정</td><td>

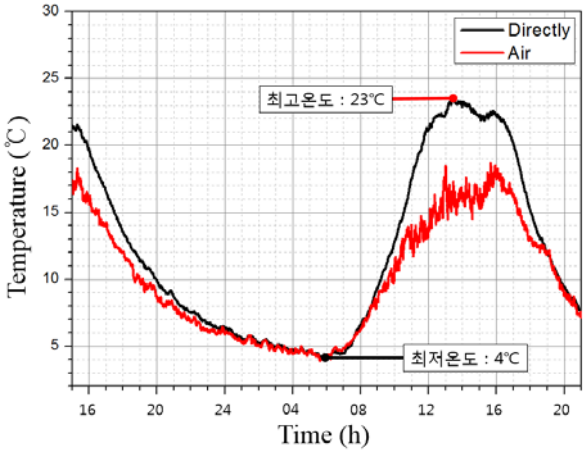
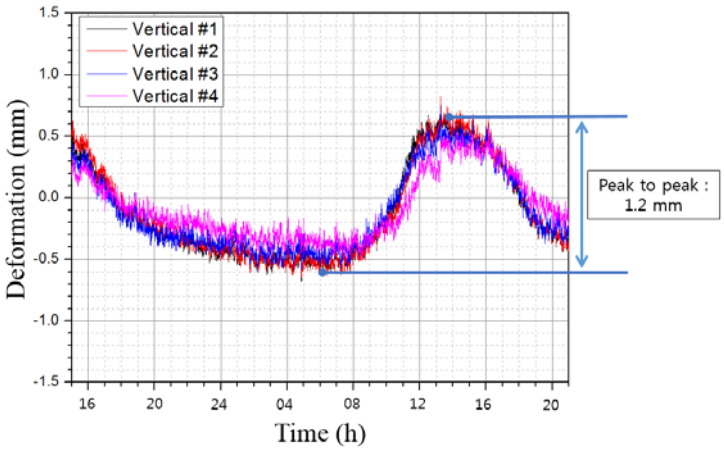
-장경간거더의 열변형량 측정방법

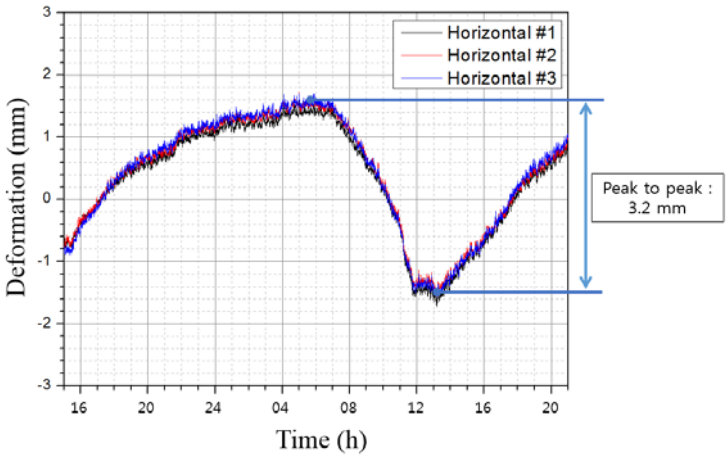
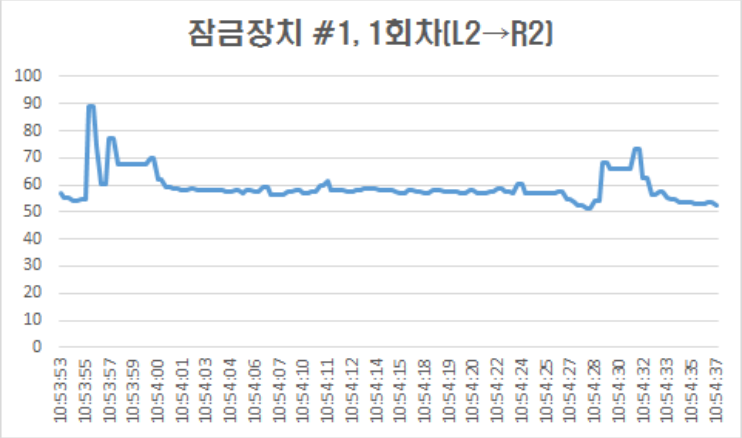
< 장경간거더 수직방향 열변형량 측정방법 >



< 장경간거더 길이방향 열변형량 측정방법 >

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

순번	시험항목	시험결과
		 < 장경간거더 열변형량 측정시 계측방법 > - 장경간거더 강재 구조물 표면온도와 대기온도 측정 결과 • 대기온도보다 강재구조물의 표면온도가 높게 나타남 ⇨ 최고 : 약 23℃, 최저 : 약 4℃, 온도차는 약 19℃  < 거더 강재구조물 표면과 대기 온도 측정결과 > - 5방향 분기기 거더구조물 수직방향 열변형 측정 결과 • 수직방향 열변형량 : peak-to-peak 1.2mm  < 장경간거더의 수직방향 열변형 측정결과 >

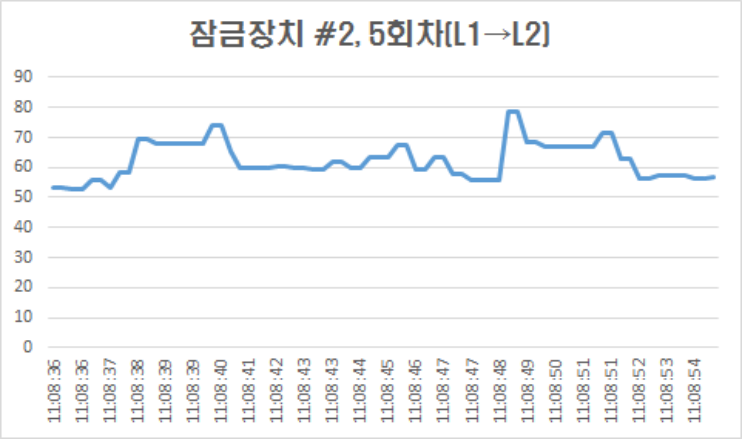
순번	시험항목	시험결과
		- 5방향 분기기 거더구조물 길이방향 열변형 측정 결과 • 길이방향 열변형량 : peak-to-peak 3.2mm • 선팽창계수 $\alpha = \frac{\Delta l}{\Delta T \times L} = \frac{3.2}{19 \times 18{,}500} = 9.1 \times 10^{-6} / ^{\circ} C$ • 강재의 선팽창계수 $\alpha = 11 \times 10^{-6} / ^{\circ} C$ 이므로 실험결과와 약 82.8%의 일치성을 갖음  **< 장경간거더의 길이방향 열변형 측정결과 >**
7	동작시 소음측정	- 분기기 동작시 잠금장치용 파워실린더에서 발생하는 소음 측정 현황 **< 파워실린더 소음측정 현황 >** - 분기기 동작시 잠금장치용 파워실린더에서 발생하는 소음 3회 측정 결과 • 잠금장치 #1 발생 소음 

순번	시험항목	시험결과

(단위:dB)

이동경로	회수			
	1	2	3	평균
L2→R2	89.20	73.70	75.80	79.57
R2→R1	74.20	74.30	78.10	75.53
R1→N	79.20	73.70	73.20	75.37
N→L1	78.10	78.20	73.90	76.73
L1→L2	76.00	77.30	73.40	75.57

• 잠금장치 #2 발생 소음

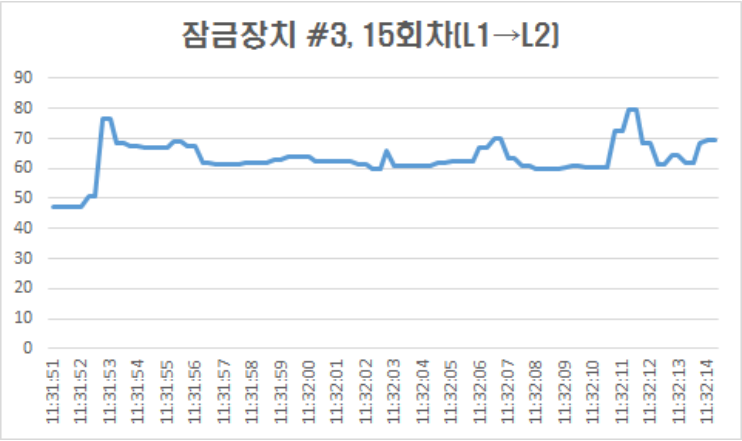


(단위:dB)

이동경로	회수			
	1	2	3	평균
L2→R2	73.60	75.90	74.50	74.67
R2→R1	76.00	75.20	75.80	75.67
R1→N	75.10	73.00	77.10	75.07
N→L1	78.70	73.20	72.10	74.67
L1→L2	79.40	75.10	76.70	77.07

순번	시험항목	시험결과

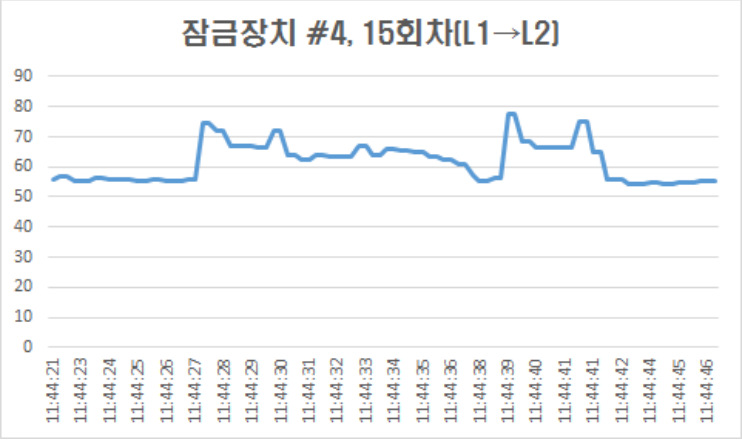
• 잠금장치 #3 발생 소음



(단위 : dB)

이동경로	회수			
	1	2	3	평균
L2→R2	75.30	75.40	73.50	74.73
R2→R1	75.70	75.80	76.70	76.07
R1→N	70.70	70.30	70.10	70.37
N→L1	73.30	70.90	76.50	73.57
L1→L2	78.00	77.80	79.70	78.50

• 잠금장치 #4 발생 소음

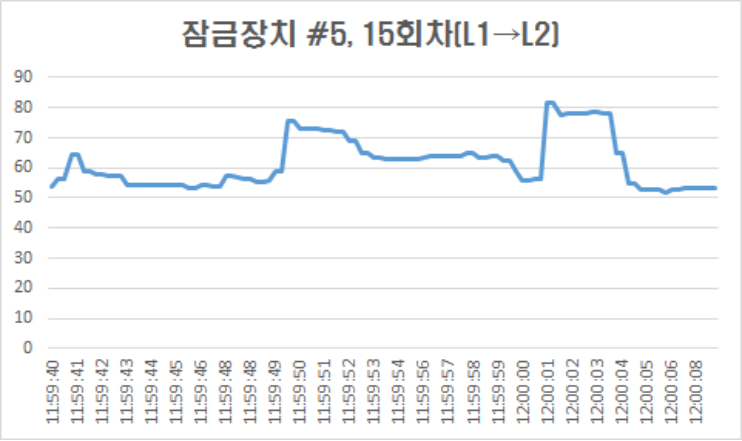


순번	시험항목	시험결과

(단위:dB)

이동경로	회수			
	1	2	3	평균
L2→R2	77.10	70.10	72.10	73.10
R2→R1	70.60	75.30	74.80	73.57
R1→N	68.30	68.80	72.30	69.80
N→L1	75.10	69.90	73.70	72.90
L1→L2	74.30	76.50	77.70	76.17

• 잠금장치 #5 발생 소음

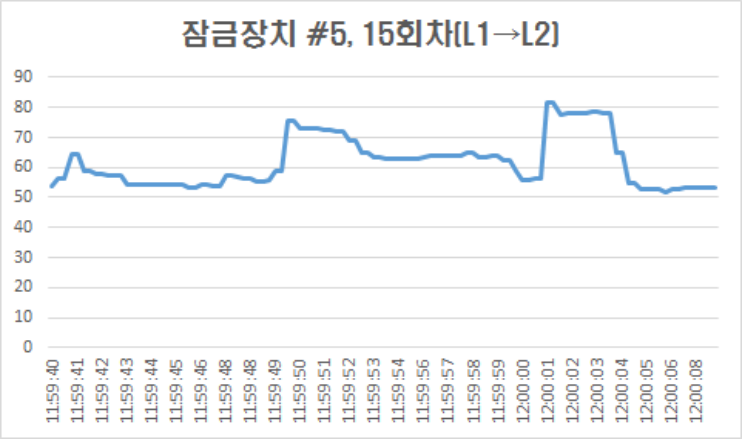


(단위:dB)

이동경로	회수			
	1	2	3	평균
L2→R2	80.00	80.30	80.50	80.27
R2→R1	74.50	70.30	73.20	72.67
R1→N	73.10	75.90	76.30	75.10
N→L1	77.50	76.90	78.90	77.77
L1→L2	80.70	82.30	81.80	81.60

<table>
<tr><th>순번</th><th>시험항목</th><th>시험결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>

• 잠금장치 #6 발생 소음

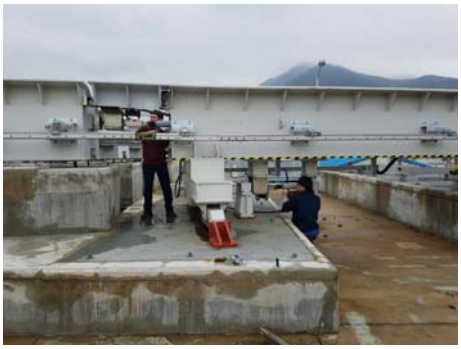


(단위:dB)

<table>
<tr><th rowspan="2">이동경로</th><th colspan="4">회수</th></tr>
<tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>평균</th></tr>
<tr><td>L2→R2</td><td>84.20</td><td>81.70</td><td>82.90</td><td>82.93</td></tr>
<tr><td>R2→R1</td><td>70.30</td><td>72.30</td><td>71.70</td><td>71.43</td></tr>
<tr><td>R1→N</td><td>75.40</td><td>70.30</td><td>74.30</td><td>73.33</td></tr>
<tr><td>N→L1</td><td>78.10</td><td>77.00</td><td>76.50</td><td>77.20</td></tr>
<tr><td>L1→L2</td><td>81.50</td><td>84.50</td><td>-</td><td>83.00</td></tr>
</table>

</td></tr>
<tr><td>8</td><td>모터 고장시
수동동작
동작시간 측정</td><td>

- 구동용 모터 고장시 수동동작시험 수행 현황



쇄정용 파워실린더 수동동작 현황

이송용 메인모터 수동동작 현황

- 수동조작 동작시간 측정 시험 조건
  • 쇄정장치용 Power Cylinder 6개 모두 고장
  • 이송용 메인모터 최소 1개 이상 고장
  • 동작모드 : 1구간, 2구간, 3구간, 4구간

- 수동조작 동작시간 측정 시험 기준
  • 1구간 : 15분, 2구간 : 22분, 3구간 : 29분, 4구간 : 36분

- 수동조작 동작시간 측정 시험 결과
  • 1구간 : 11분 32초
  • 2구간 : 13분 58초

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

순번	시험항목	시험결과
		• 3구간 : 26분 38초 • 4구간 : 35분 11초 ⇨ 파워실린더 해체 시간 : 3분 14초 ⇨ 파워실린더 체결 시간 : 2분 44초 ⇨ 작업자 이동시간 : 40초 ⇨ 이송용 메인모터 동작시간 • 1구간 : 4분 54초 • 2구간 : 7분 20초 • 3구간 : 20분 00초 • 4구간 : 28분 33초 - 수동조작 동작시간 측정 시험 결과 기준치를 만족함을 확인함 - 수동조작 동작시간의 단축을 위하여 전용 회전공구의 개발을 통하여 수동동작 시간 단축이 필요함. • 작업자가 핸들을 사용하여 수동으로 구동모터를 회전시킴에 따라 일정한 속도로 구동이 불가하고, 이동 구간이 길어질수록 작업자의 인력이 떨어짐에 따라서 수동동작 시간이 증가함. • 이에 균일한 속도로 일정하게 회전시킬수 있는 전동 공구를 개발하여 수동조작 동작시간을 단축할 예정 • 수동공구는 성인 평균의 힘 180 N x 회전레버 반경 0.15 m = 27 Nm 이상의 힘을 갖는 무선 전동 드릴 또는 임팩트를 이용하여 회전용 브라켓을 제작하여 무선 전동 드릴 또는 임팩트에 결합하여 사용계획 . •1구간 : 4분 54초 → 3분 40초(74.82% 향상) •2구간 : 4분 54초 → 7분 20초(동일) •3구간 : 4분 54초 → 10분 40초(53.33% 향상) •4구간 : 28분 33초 → 14분 50초(51.95% 향상)
9	연속동작시험	- 16/11/07~27에 주관기관인 <대명엔지니어링>에 의하여 53,352회 수행 - 오동작 1회 발생 • 현상 : 클램프 #1 응답 없음 발생 • 클램프 #1 전진센서가 동작 상태였고 체결부위 등에 이상 발생 없음 • 클램프 #1의 전진지령 후, 설정시간 4초 이내에 클램프 #1 전진센서가 동작하여야 하나, 4초이내에 클램프 #1 전진센서가 동작하지 않아 알람이 발생한 것으로 판단됨 - 연속동작 시험을 KTL 에 시험을 의뢰하여 공인 시험성적서 확보 예정

3-2. 차량 고장시 비상대피선로용 분기기 적용 방안 개발 ⇨ 성과지표 5~6

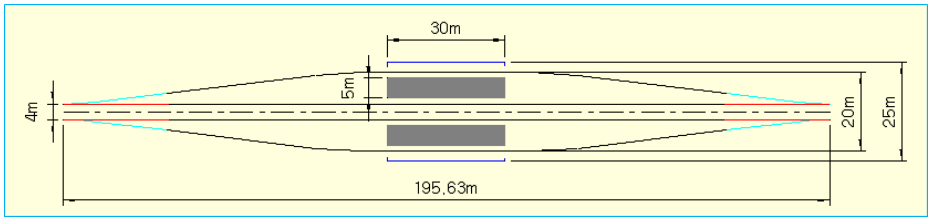
질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
[성과지표 5] 비상대피선 적용 트레버스분기기 상세설계 개발	상세설계결과 1건	상세설계결과 1건	개발된 5방향 분기기 성능시험결과의 판정기준 만족 여부 검증
[성과지표 6] 트레버스 분기기 성능시험절차서 및 유지관리지침서 최종본 개발	성능시험절차서 1건 유지관리지침서 1건	성능시험절차서 1건 유지관리지침서 1건	트레버스분기기의 성능시험과 유지관리에 적용 가능한 절차서 및 지침서 마련 여부

가. 비상대피선 적용 트레버스 분기기 상세설계 개발

(1) 관절식분기기 활용 비상대피선 구축 방안

○ 2방향 관절식 분기기를 적용하여 비상대피선을 구축하는 3가지 방안을 제시하였다.

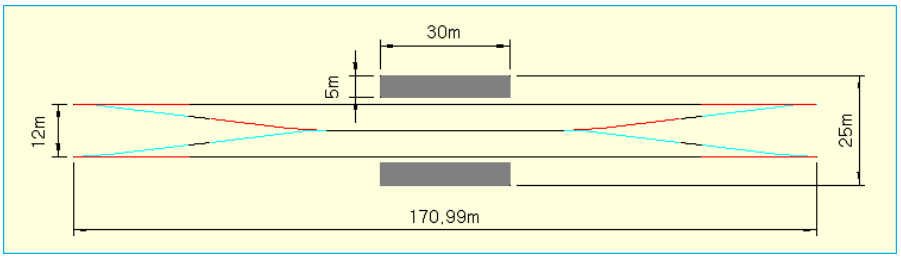
○ 2방향 관절식 분기기 적용 비상대피선 구축방안 1안



< 2방향 분기기 적용 비상대피선 구축방안 1안 >

- 형상 : 2방향 관절식분기기 4틀을 적용하여 상대식정거장의 플랫폼 외부로 비상대피선이나 급행 통과시 완행 교체선을 설치하여 정거장 형태가 쌍섬식 구조를 갖도록 함
- 정거장 형태 : 상대식정거장(길이 30m × 폭 25m)
- 선로중심사이의 거리 : 본선 4m, 비상대피선 or 완행교체선 구간 20m
- 전체길이 : 차량과 승강장과의 간섭을 피하기 위하여 승강장 전후단에 12.5m의 직선구간을 적용하여 195.63m 점유

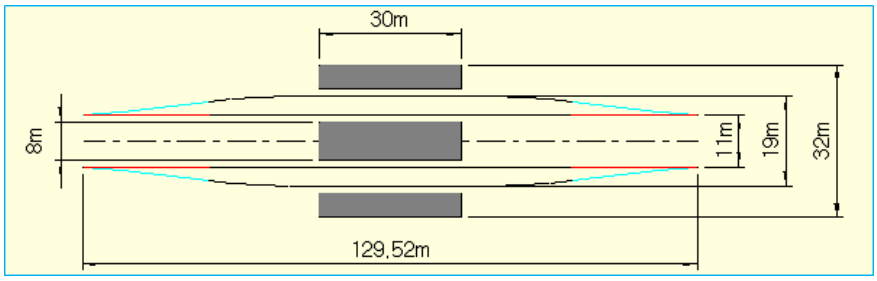
○ 2방향 관절식 분기기 적용 비상대피선 구축방안 2안



< 2방향 분기기 적용 비상대피선 구축방안 2안 >

- 형상 : 2방향 관절식분기기 4틀과 3방향 이동거리를 갖는 2방향 분기기 2틀을 적용하여 상대식정거장의 플랫폼 내부에 비상대피선을 설치하는 방식으로 비상대피선로나 차량기지 인출입선으로 활용이 가능한 구조를 갖도록 함
- 정거장 형태 : 상대식정거장(길이 30m × 폭 25m)
- 선로중심사이의 거리 : 본선 12m, 본선과 비상대피선 사이 6m
- 전체길이 : 차량과 승강장과의 간섭을 피하기 위하여 승강장 전후단에 12.5m의 직선구간과 본선과 평행한 직선과 6.9° 기울어진 차량기지 진출입선의 연결을 위하여 100mR 곡선구간을 적용하여 171m 점유

○ 2방향 관절식 분기기 적용 비상대피선 구축방안 3안



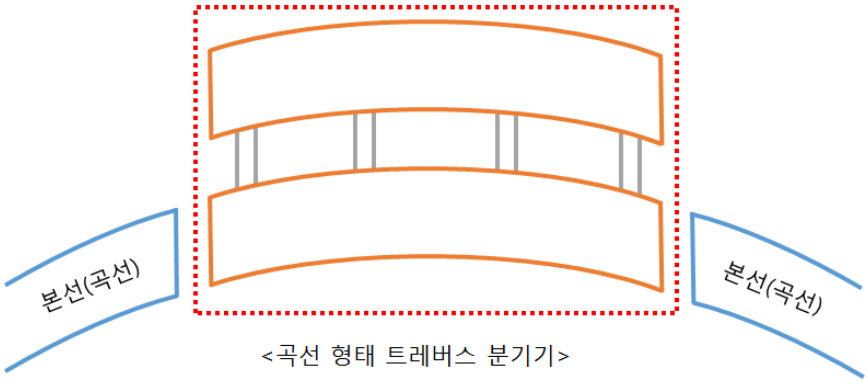
< 2방향 분기기 적용 비상대피선 구축방안 3안 >

- 형상 : 2방향 관절식분기기 4틀을 적용하여 본선의 외측편으로 비상대피선이나 급행 통과시 완행 교체선을 설치하는 구조이나, 비상대피선이나 급행 통과시 완행 교체선 외측으로 탑승자나 작업자를 위한 별도의 플랫폼이 필요한 구조를 갖도록 함
- 정거장 형태 : 상대식정거장(길이 30m × 폭 32m)
- 선로중심사이의 거리 : 본선 12m, 비상대피선 19m
- 전체길이 : 차량과 승강장과의 간섭을 피하기 위하여 승강장 전후단에 12.5m의 직선구간과 본선과 평행한 직선과 6.9° 기울어진 차량기지 진출입선의 연결을 위하여 100mR 곡선구간을 적용하여 129.5m 점유

(2) 트레버스분기기 활용 비상대피선 구축 방안

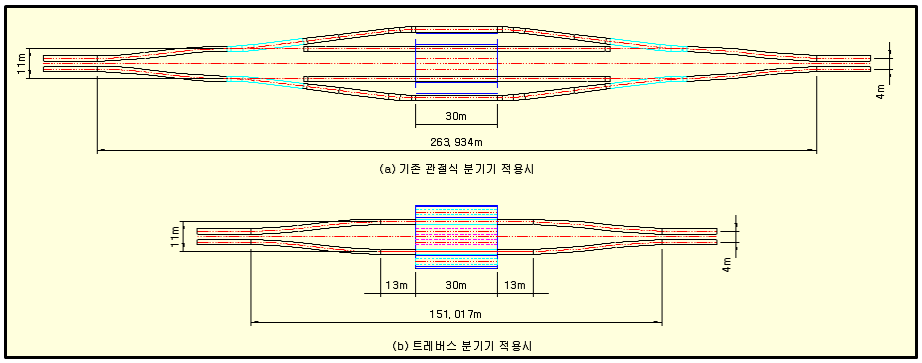
○ 트레버스분기기의 장점

- 트레버스분기기 활용시 직선구간 형태의 정거장뿐만 아니라 곡선구간 형태의 정거장에도 적용이 가능하므로 구조적인 제한을 갖고 있지 않음
  - 관절식분기기를 곡선구간 형태의 정거장에 적용시에는 선형 생성이 상대적으로 어렵고 정거장의 폭이 길어지게 됨

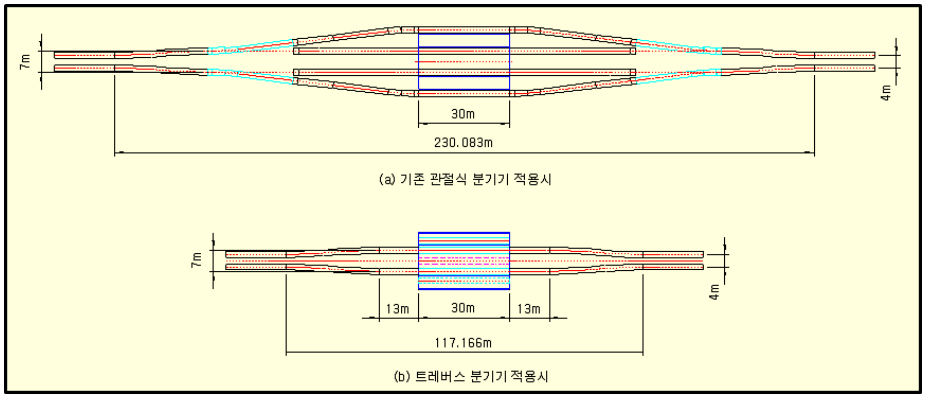


< 곡선구간에 적용한 트레버스분기기 예시 >

- 트레버스분기기 활용시 관절식 분기기를 활용하는 것에 비하여 다음과 같은 운영측면의 장점이 있음
  - 트레버스분기기는 구조가 단순하므로 관절식분기기에 비하여 고장 발생 가능성이 현격히 낮아짐
  - 트레버스분기기에 고장이 발생하더라도 정거장 내나 바로 인접 위치에 설치가 되므로 현장작업자의 접근이 용이함
  - 점검이나 고장 대처시 작업환경이 양호하므로 관절식분기기에 비하여 짧은 시간내에 조치가 가능함
  - 종착역에서 정거장과 인접한 위치에 설치한다면 비상대피선 기능과 상선에서 하선으로의 열차의 진행방향 변경 역할의 수행이 가능함
- 비상대피선을 구축할 때 트레버스분기기를 활용하게 되면 관절식 분기기를 활용하는 것에 비하여 약 50% 이상의 비용절감을 구현할 수 있을 것으로 예상됨



< 섬식정거장 내 트레버스분기기 활용 비상대피선 적용 선형 >



< 상대식정거장 내 트레버스분기기 활용 비상대피선 적용 선형 >

  - 관절식분기기를 활용하여 비상대피선을 구축하면 트레버스분기기를 활용하여 비상대피선을 구축하는 것보다 전체적으로 약 110m의 길이가 더 필요함
  - 관절식분기기를 활용하여 비상대피선을 구축하면 4틀의 2방향 분기기가 필요하며, 트레버스분기기를 활용하면 2거더/틀로 구성된 2틀의 트레버스분기기가 필요함
  - 트레버스분기기는 정거장 내 구조물을 사용하여 구축되지만, 관절식분기기는 분기기를 설치하기 위한 별도의 토목구조물이 필요함

- 관절식분기기를 활용하여 비상대피선을 구축하면 관절식분기기를 통하여 비상대피선 공간으로 진행해야 하므로 상선과 하선에 각각 별도의 진출입선이 필요하며, 단선 기준으로 약 200m의 길이가 더 필요함
- 비상대피선 구축시 트레버스분기기와 관절식분기기를 적용했을 때의 비용을 비교하면 아래의 표와 같음

< 비상대피선 구축시 트레버스분기기와 관절식분기기의 비용 비교 >

항 목	트레버스	관절식
분기기 구축비용	50억	60억
선로 구축비용	270억	570억
분기기용 토목구조물 구축비용	-	60억
합 계	320억	690억

○ 트레버스분기기의 활용방안은 다음과 같다.

- 열차에 고장이 발생하면 노선에서의 정상적인 열차 운행을 위하여 고장차량을 비상대피시켜야 하며, 이때를 위하여 4~5개의 정거장마다 고장차량의 비상대피를 위한 대피선의 구비가 반드시 필요하며, 이때 트레버스분기기를 활용하는 것이 효과적임

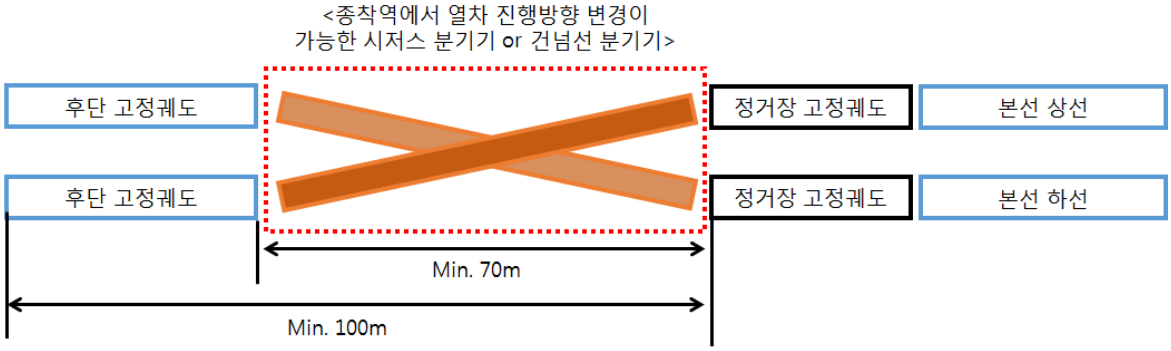
< 섬식정거장 내 트레버스분기기 활용 비상대피선 적용 이미지 >

< 상대식정거장 내 트레버스분기기 활용 비상대피선 적용 이미지 >

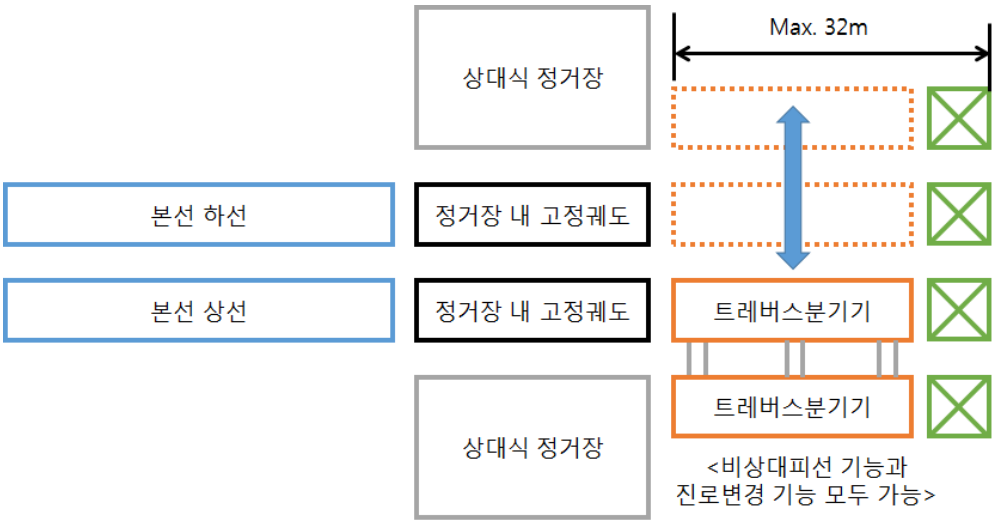
- 노선이 확장되어 광역교통수단으로 활용될 때 급행열차가 운행될 수도 있으며, 이때 완행열차가 급행열차의 통과를 위하여 대피할 필요가 있음. 이럴 경우 정

거장에 트레버스분기기 시스템을 구축해 놓으면 급행열차의 무정차 통과가 가능해짐

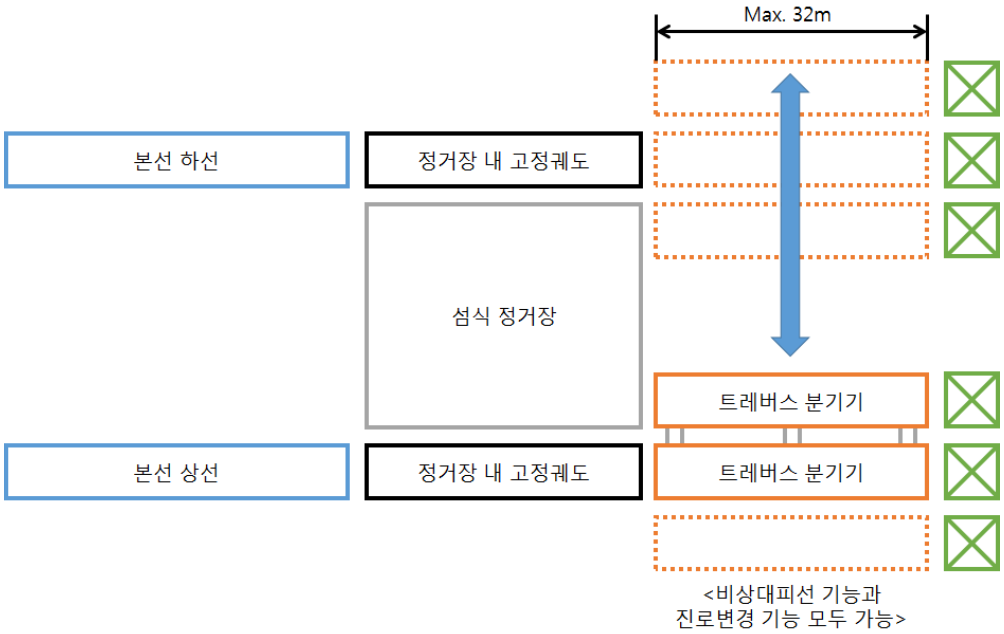
- 대피선이 구비되어 있다면 주박차량의 주박 위치로도 사용 가능하므로 이른 시간의 첫차와 늦은 시간의 막차 운행이 가능해 짐. 그러나 대피선이 존재치 않는다면 새벽 첫차 운행시 모든 차량들이 차량기지로부터 출발해야 하므로 30분 정도의 시간차가 발생하게 됨
- 열차의 종착역에서 열차의 진행방향을 상선에서 하선으로 변경하려면 관절식분기기를 활용한 건넘선이나 시저스의 적용이 필요함. 그러나 관절식분기기를 사용하게 되면 공간점유와 구축비용이 증가하게 됨. 그러므로 정거장에 인접한 후단에 트레버스분기기를 적용하여 열차진행경로 변경과 비상대피선으로의 활용이 가능함



< 관절식분기기 적용시 종착역에서 열차 진행방향 변경시스템 예시 >



< 트레버스분기기 적용시 상대식정거장인 종착역에서 열차 진행방향 변경시스템 예시 >



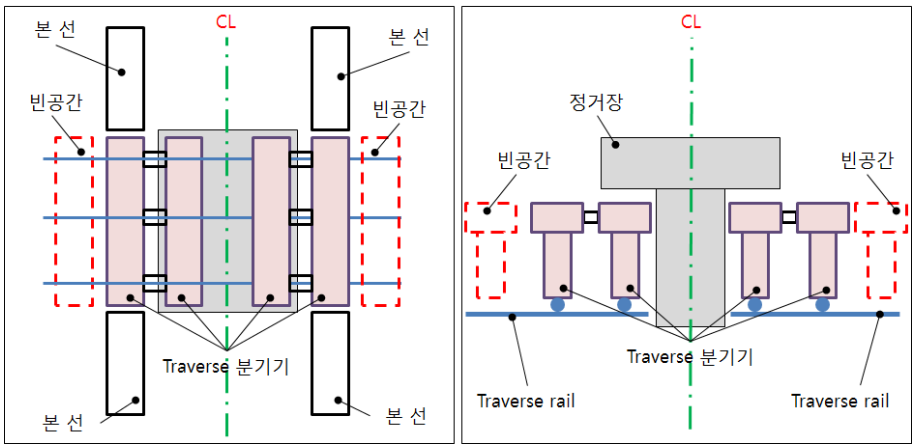
< 트레버스분기기 적용시 섬식정거장인 종착역에서 열차 진행방향 변경시스템 예시 >

○ 트레버스분기기 설계시 고려사항은 다음과 같다.

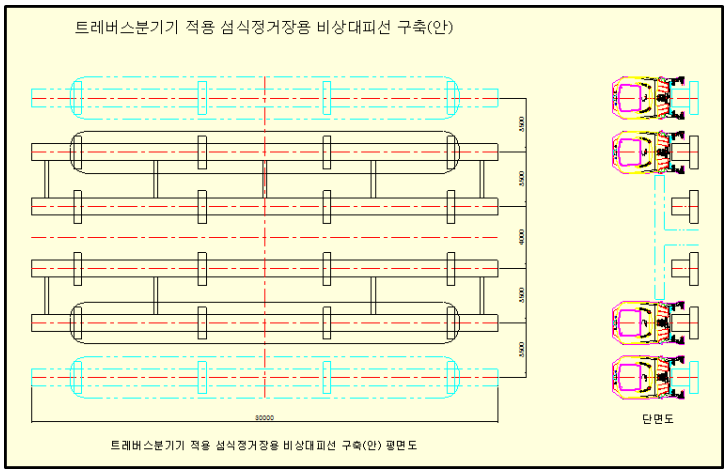
- 트레버스분기기용 거더구조물은 열차가 무정차로 통과하거나 정차를 하여 승객의 승하차가 이루어져야 하므로 열차와 승객의 자중을 충분히 감당할 수 있는 강도를 갖추어야 함
- 트레버스분기기가 동작시 거더의 열변형에 의한 고정궤도와의 간섭이 발생하지 않아야 하므로 거더 구조물에 대한 열변형해석이 필요함
- 열차가 정거장에 정차하여 승객의 승하차시 열차가 정지부상상태를 유지하고 있어야 하므로 공진 발생이 발생하지 않아야 함
- 열차가 정차하지 않고 통과시 70km/h의 주행속도까지 가능해야 하므로 최대주행속도에서 부상안정성이 유지됨을 검증할 수 있는 차량-분기기 사이의 동특성해석이 필요함
- 랙/피니언 방식을 활용하여 2개의 거더로 구성된 트레버스분기기를 이송시킬 수 있는 용량의 구동용 감속전동기가 적용되어야 함
- 트레버스분기기의 동작시 이송을 수행할 이송롤러와 이송레일의 적용이 필요함
- 트레버스분기기의 동작시 위치제어를 수행할 수 있는 센서시스템 적용이 필요하며 안전성을 위하여 리미트스위치 등의 기계식 접촉센서의 선정이 필요함
- 트레버스분기기의 이송동작 완료시 미세선형조정을 위하여 거더를 미소량 움직일 수 있는 쇄정장치가 적용되어야 함
- 트레버스분기기용 쇄정장치의 지상대항체가 필요하며, 우수에 의한 빗물고임현상이나 동절기의 결빙을 방지하기 위하여 배수관 마련이나 히팅 등의 동결방지대책이 마련되어야 함
- 트레버스분기기의 동작시 전차선 사이의 간섭이나 구조물과의 간섭현상을 원천적으로 제거해 줄 기구장치의 적용이 필요함

○ 트레버스분기기를 활용한 섬식정거장과 상대식정거장에 대한 비상대피선 구축 개념을 마련하였다.

- 트레버스 활용 섬식정거장용 비상대피선 구축 방안

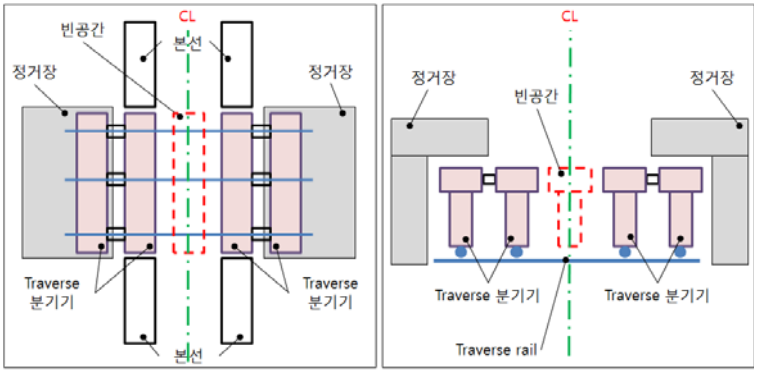


< 트레버스 활용 섬식정거장 비상대피선 구축 개념 >

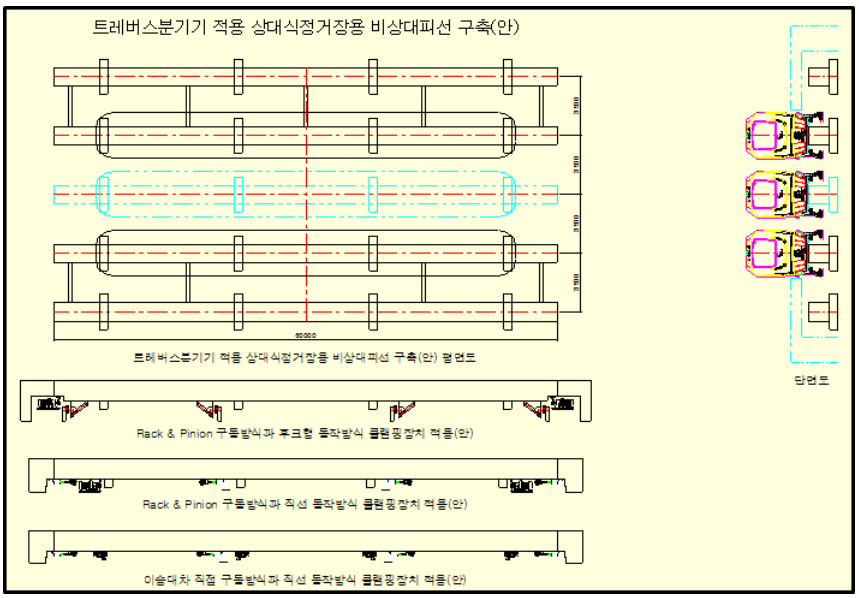


< 트레버스 활용 섬식정거장 비상대피선 구축 방안 >

- 트레버스 활용 상대식정거장용 비상대피선 구축 방안



< 상대식정거장 내 트레버스분기기 활용 비상대피선 구축 개념 >

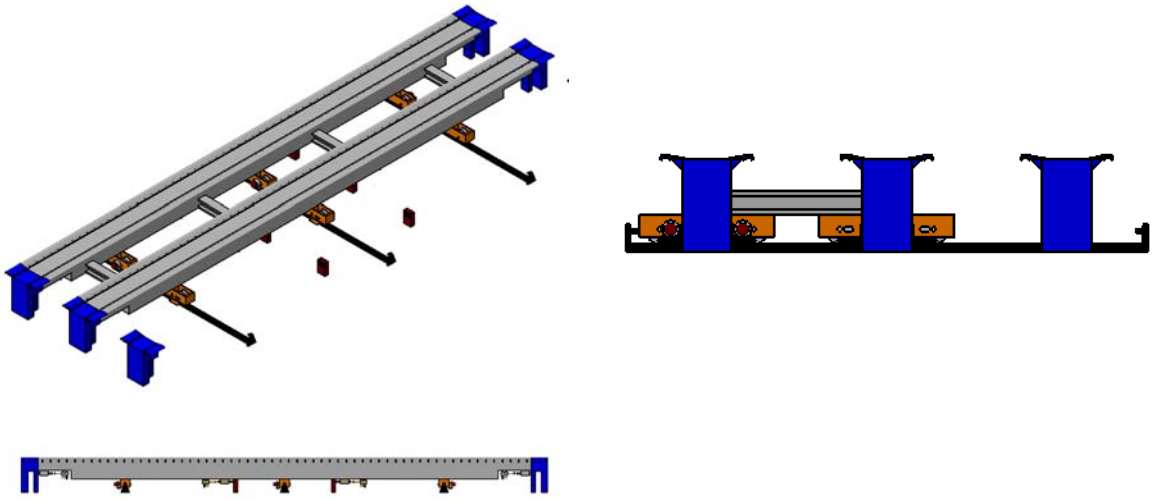


< 상대식정거장 내 트레버스분기기 활용 비상대피선 구축 방안 >

(3) 트레버스분기기 개념설계 결과

○ 트레버스분기기를 활용하여 고장차량용 비상대피선과 급행차량 무정차 통과시 완행차량의 피난을 위한 대피선 기능을 수행토록 구성하였다.

○ 트레버스분기기 개념설계 1안 수행 결과

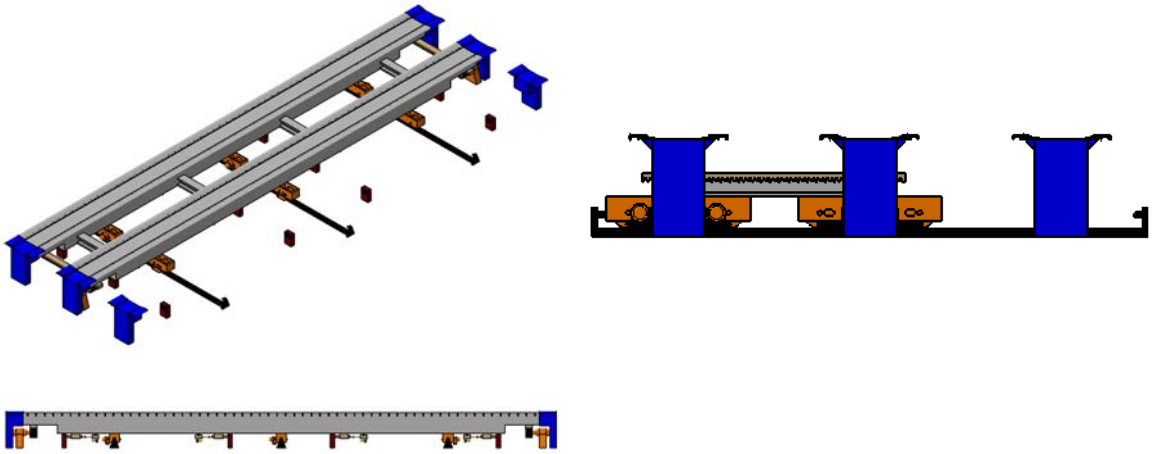


< 이송대차 직접 구동방식 트레버스분기기 개념설계 1안 >

- 2개의 일체화된 자기부상열차용 강재거더 적용
- 구동은 이송대차에 부착된 감속모터 6개 이용
- 감속모터 축에 스퍼어기어 압입 후 이송롤러의 축에 설치된 스퍼어기어와 접촉하여 구동

- 파워실린더와 리니어가이드, 파이로트 핀, 지상대향 롤러 등을 사용한 잠금장치 4개소 적용
- 이동거리 4m

○ 트레버스분기기 개념설계 2안 수행 결과

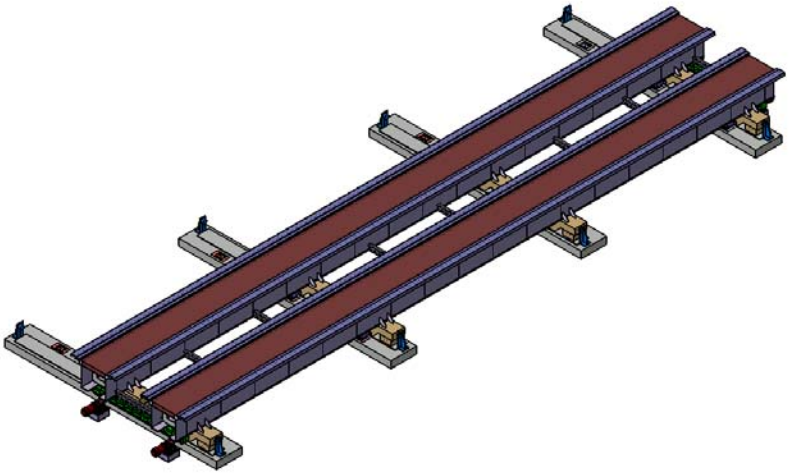


< 랙&피니언 활용 거더 구동방식 트레버스분기기 개념설계 2안 >

- 2개의 일체화된 자기부상열차용 강재거더 적용
- 구동은 지상 이동거더 양끝 하부에 설치된 감속모터 2대에 랙&피니언 구동방식 적용
- 파워실린더와 리니어가이드, 파이로트 핀, 지상대향 롤러 등을 사용한 잠금장치 4개소 적용
- 이동거리 4m

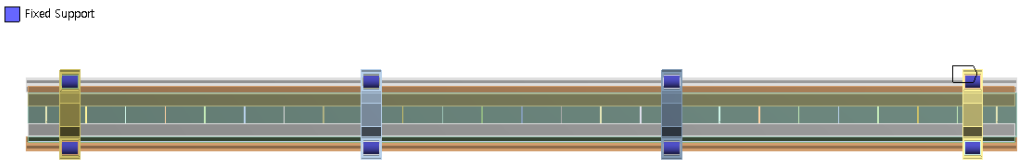
(4) 트레버스분기기 거더구조물에 대한 구조와 모달해석 수행 결과

○ 비상대피선용 트레버스분기기 거더구조물의 구조 및 모달해석에 적용할 모델을 개발하였다.

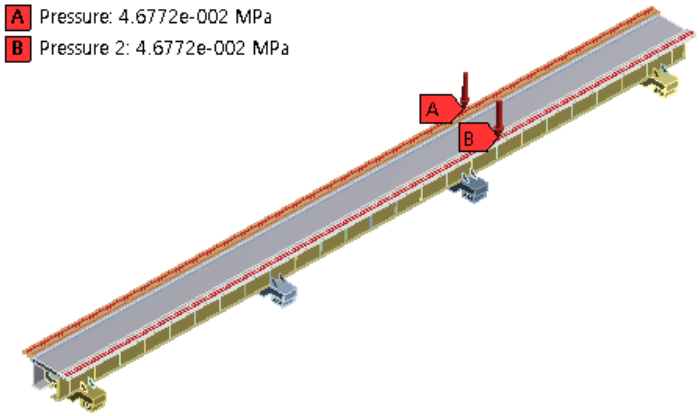


< 구조/모달해석에 적용된 비상대피선용 트레버스분기기 모델 >

○ 비상대피선용 트레버스분기기 거더구조물 구조해석 모델에 구속조건과 하중조건을 적용하였다.

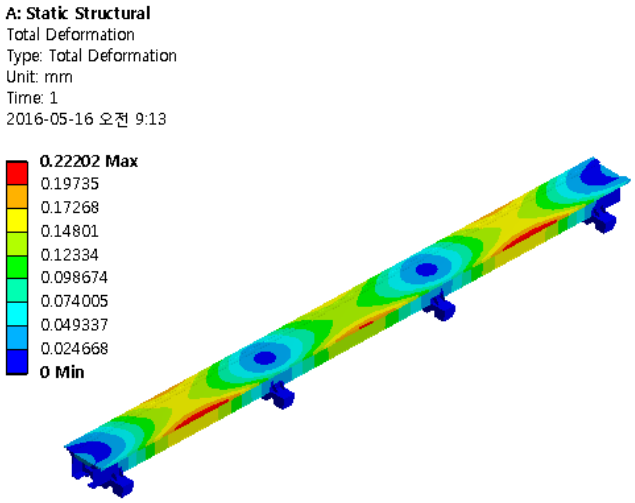


< 트레버스분기기 거더구조물 구조해석 모델에 적용된 구속조건 >



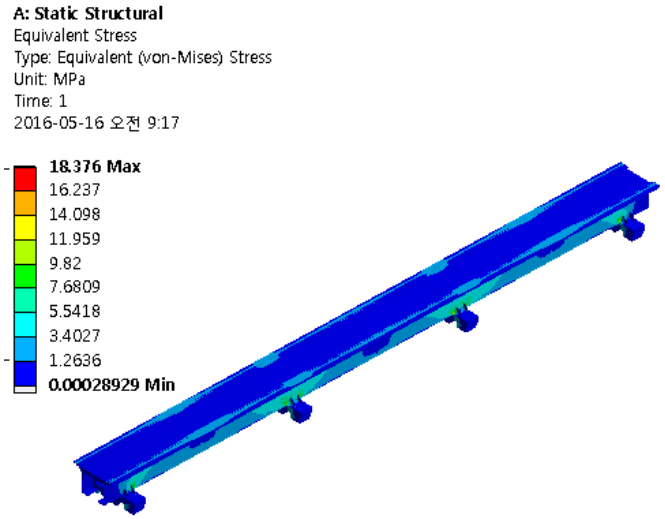
< 트레버스분기기 거더구조물 구조해석 모델에 적용된 하중조건 >

○ 비상대피선용 트레버스분기기 거더구조물에 대한 처짐해석 결과 부상레일과 거더의 접합면에서 최대 0.22㎜의 처짐이 발생하였다.



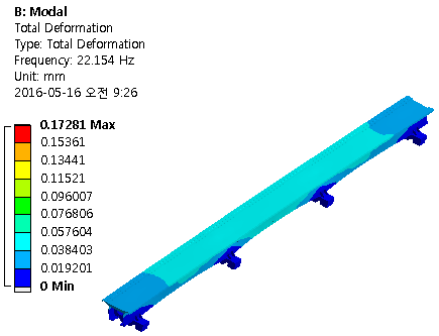
< 트레버스분기기 거더구조물 처짐해석 결과 >

○ 비상대피선용 트레버스분기기 거더구조물에 대한 응력해석 결과 부상레일과 거더의 접합면에서 최대 18MPa 수준의 응력 집중이 발생하였으나 재질의 항복응력의 10% 수준으로 구조적으로 안전함을 확인하였다.

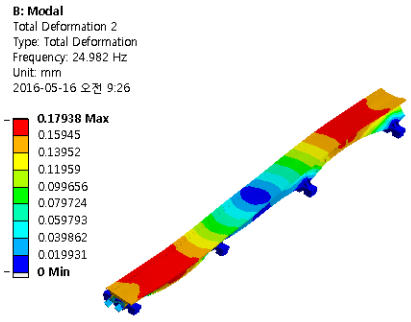


< 트레버스분기기 거더구조물 응력해석 결과 >

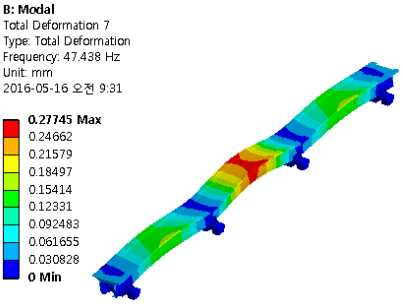
○ 비상대피선용 트레버스분기기 거더구조물에 대한 모드해석을 수행하였으며, 해석 결과 1차 굽힘모드가 47.43Hz로 제어주파수와 유리되어 있으므로 공진발생 가능성이 없는 것으로 판명되었다.



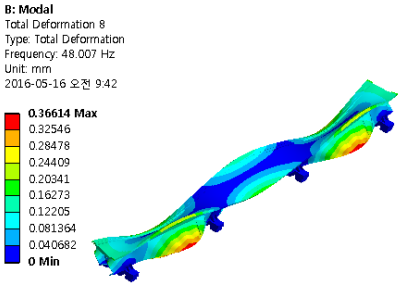
1st lateral : 22.15Hz



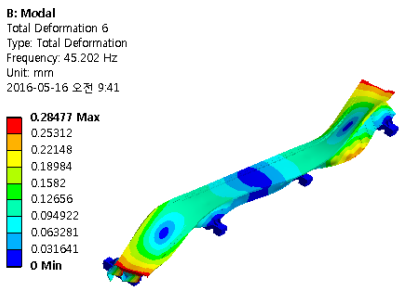
2nd lateral : 24.98Hz



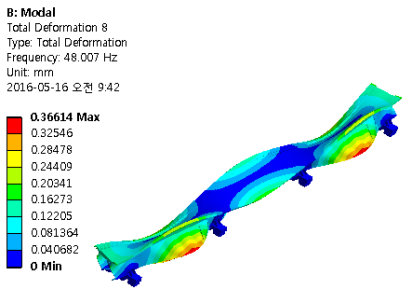
1st bending : 47.43Hz



2nd bending : 66.71Hz



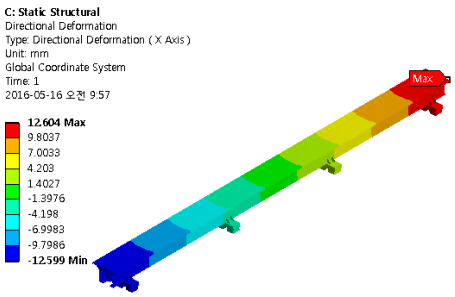
1st torsion : 45.20Hz



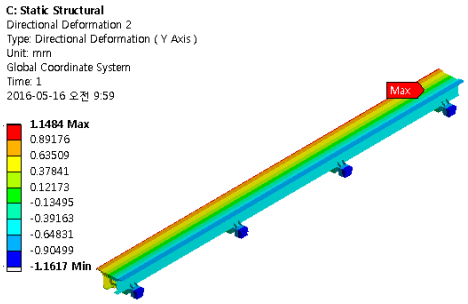
2nd torsion : 48.00Hz

< 트레버스분기기 거더구조물에 대한 모달해석 결과 >

○ 비상대피선용 트레버스분기기 거더구조물에 대한 열변형해석을 수행하였으며, 해석 결과 길이방향으로 최대 24.6mm, 수직방향으로 최대 2.3mm 변형되는 것으로 해석되었다.



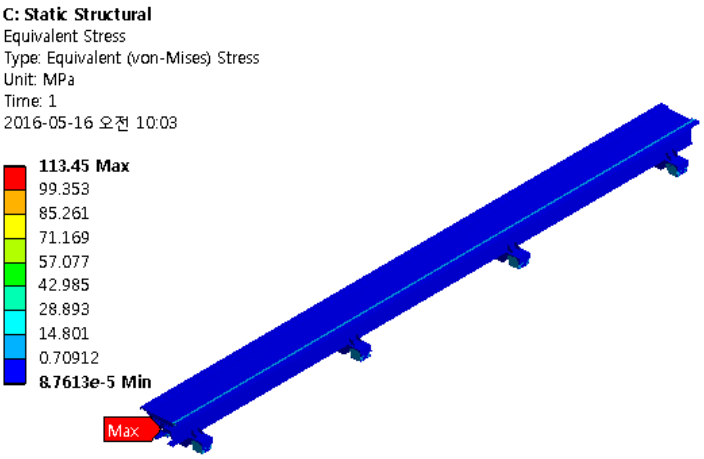
길이방향 열변형 해석결과



수직방향 열변형 해석결과

< 트레버스분기기 거더구조물에 대한 열변형해석 결과 >

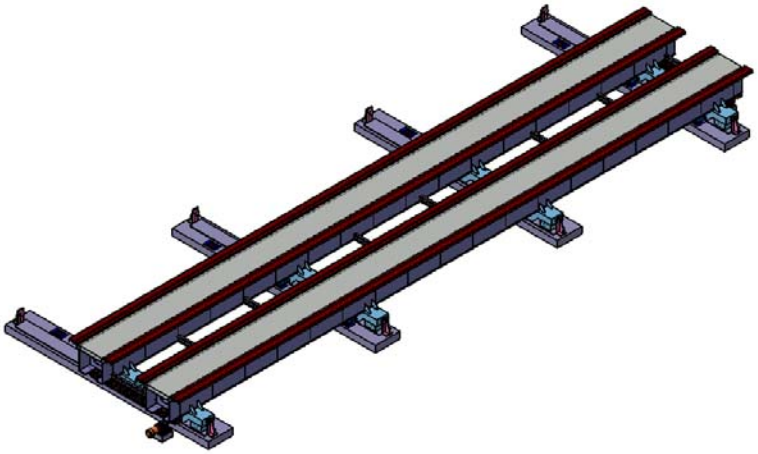
○ 비상대피선용 트레버스분기기 거더구조물에 대한 열응력해석을 수행하였으며, 해석 결과 거더와 이송대차 연결부에서 항복응력의 40% 수준인 113.45MPa이 발생하여 구조적으로 안전함을 확인하였다.



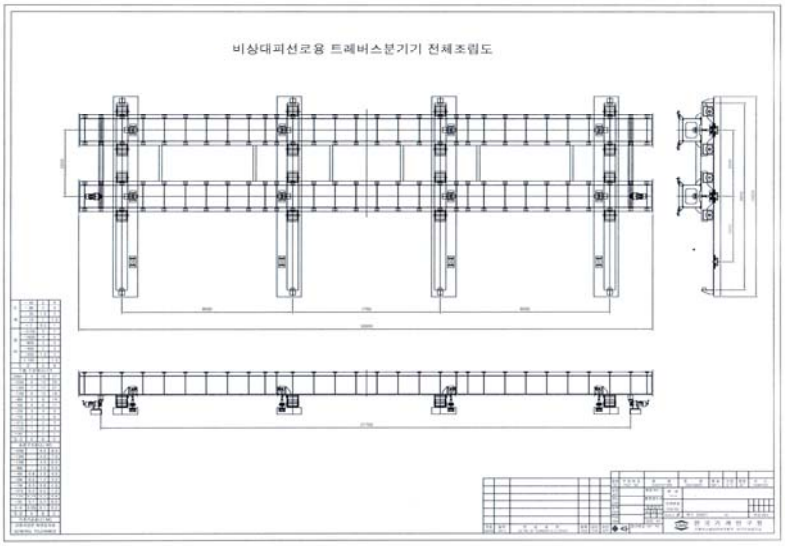
< 트레버스분기기 거더구조물에 대한 열응력해석 결과 >

(5) 비상대피선로용 트레버스분기기 상세설계 수행 결과

○ 비상대피선용 트레버스분기기 전체조립도

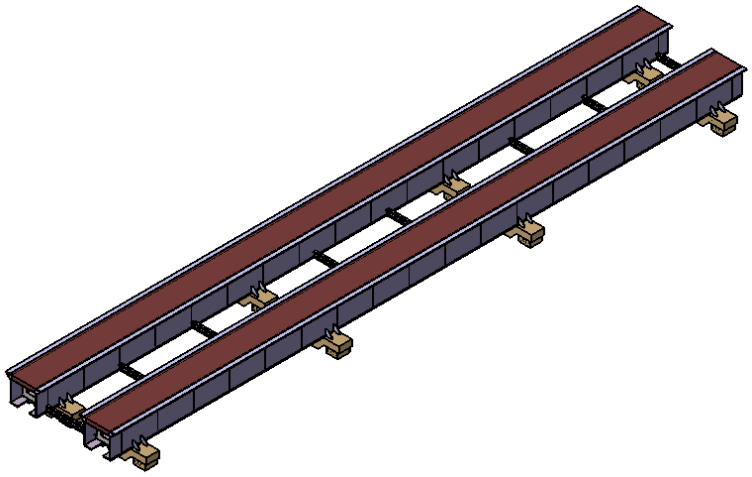


< 트레버스분기기 상세설계 3D 전체조립도 >



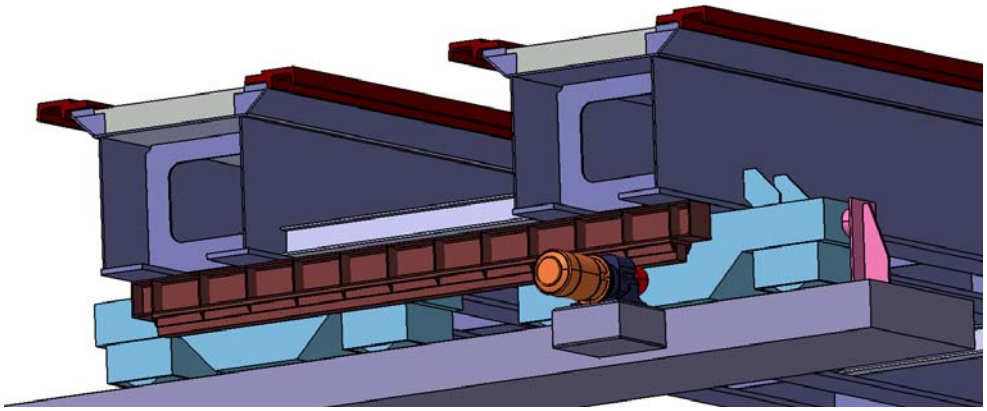
< 트레버스분기기 상세설계 2D 전체조립도 >

○ 비상대피선용 트레버스분기기 거더와 이송대차 조립도



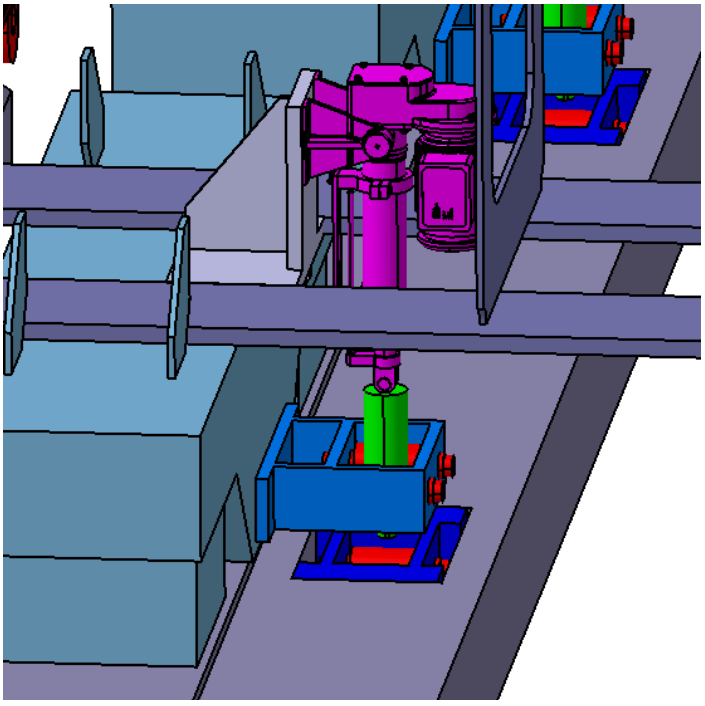
< 비상대피선용 트레버스분기기 거더와 이송대차 조립도 상세설계 결과 >

○ 비상대피선용 트레버스분기기 구동장치 조립도



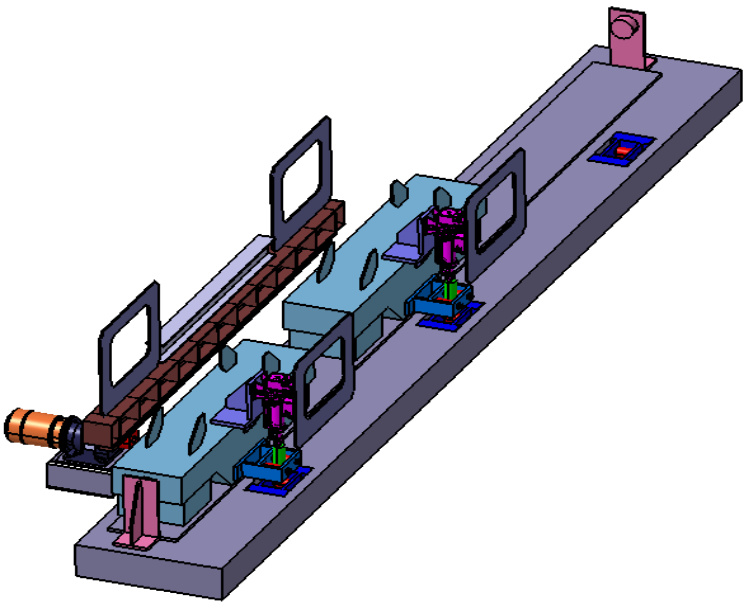
< 비상대피선용 트레버스분기기 구동장치 조립도 상세설계 결과 >

○ 비상대피선용 트레버스분기기 쇄정장치 조립도



< 비상대피선용 트레버스분기기 쇄정장치 조립도 상세설계 결과 >

○ 비상대피선용 트레버스분기기 이송레일과 쇄정장치 대항체, 스톱퍼 조립도



< 비상대피선용 트레버스분기기 쇄정장치 대항체와 스톱퍼 조립도 상세설계 결과 >

나. 트레버스 분기기 성능시험절차서 및 유지관리지침서 최종본 개발

(1) 무부하상태에서 트레버스분기기의 성능시험절차서 개발 결과

○ 무부하상태에서 트레버스분기기의 성능시험을 위한 시험항목과 판정기준, 기록지 양식을 아래 표와 같이 개발하였다.

< 무부하상태 트레버스분기기에 대한 성능시험 항목과 측정항목 >

순번	시험항목	측정항목
1	거더구조물 고유진동수 측정	트레버스분기기용 거더의 고유진동수 측정
2	동작시간 측정 및 복원성 확인	1) 좌측에서 우측으로 이동시의 동작시간 2) 우측에서 좌측으로 이동시의 동작시간
3	반복동작시 선형정밀도 측정	1) 양끝 단차부에서의 수직방향 틀림 측정 2) 양끝 단차부에서의 횡방향 틀림 측정
4	장경간거더의 길이방향과 수직방향 열변형량 측정	1) 길이방향 열변형량 : 장경간거더 끝단 1개소 2) 수직방향 열변형량 : 장경간거더 최대처짐 발생구간 2개소
5	동작시 소음측정	트레버스분기기 동작시 구동장치와 잠금장치에서 발생하는 소음 측정
6	모터 고장시 수동동작 동작시간 측정	1) 구동모터 2개소 2) 잠금장치용 파워실린더 4개소 3) 구동모터와 잠금장치용 파워실린더 고장의 경우 조합 4cases 4) 잠금장치용 파워실린더만 고장시 4case
7	연속동작시험	트레버스분기기 1만회 무결점 연속동작

(2) 열차 주행상태에서 트레버스분기기의 성능시험절차서 개발 결과

○ 열차 주행상태에서 트레버스분기기의 성능시험을 위한 시험항목과 판정기준, 기록지 양식을 아래 표와 같이 개발하였다.

< 열차 주행상태 트레버스분기기에 대한 성능시험 항목과 측정항목 >

순번	시험항목	측정항목
1	거더구조물의 처짐 측정	열차 주행속도별 거더구조물의 처짐 측정
2	거더구조물의 진동특성 측정	거더구조물에 가속도계를 부착하여 열차 주행속도별 거더의 진동특성 측정 및 분석
3	대차의 부상공극 변동 측정	열차 주행속도별 모든 대차의 부상공극 변동 측정

(3) 비상대피선로용 트레버스분기기 규격서

○ 자기부상열차용 트레버스분기기의 필요성

○ 거더와 구동장치, 이송레일, 스톱퍼, 쇄정장치, 전차선, 현장제어반의 구조 및 구성과 기능 및 요구사항 정의

(4) 비상대피선로용 트레버스분기기 설계서

○ 트레버스분기기 후단의 최소 직선거리(20m 이상) 제시

○ 랙/피니언 방식 트레버스분기기 구동용 전동기 용량(15HP 이상 2대) 계산

○ 거더와 레일, 이송장치, 쇄정장치, 이송레일 끝단 스톱퍼 등 트레버스분기기용 구성품의 설계기준 제시

(5) 비상대피선로용 트레버스분기기 제작사양 및 설치시방서

○ 규격과 재료 등 기계제작 일반사항 정의

○ 트레버스분기기 일반제작공차 정의

○ 거더의 용접과 기계가공, 부상/추진레일의 제작, 이송대차와 이송롤러의 제작, 쇄정장치의 제작, 전동기 사양, 현장조작반 사양 등 정의

○ 거더와 이송대차, 부상/추진레일, 전동기, 쇄정장치, 센서 등의 설치방법 정의

○ 배선과 시운전 방법, 시운전 검사기준 정의

○ 제작품 검사, 운반, 보관방법 등 정의

○ 설치장소 조건, 기초의 설치, 거더의 조립 및 설치, 잠금장치의 설치, 구동모터의 설치, 부상/추진레일의 설치방법 정의

○ 앵커볼트 설치방법, 부상/추진레일 레벨링작업 방법, 볼트 조임토크 등 특이사항 정의

(6) 비상대피선로용 트레버스분기기 유지관리지침서

○ 상시 유지관리 항목 정의

- 트레버스분기기 상부에 설치된 부상레일의 수직레벨 틀림
- 고정궤도와 연결부의 부상레일에 대한 수직/횡방향 단차
- 그리스 충진부와 오일 충진부, 외부 도포 등의 윤활 상태

○ 시운전 및 운전 방법 정의

- 트레버스분기기 보수 후 시운전 준비 사항 및 시운전 방법
- 시운전시 기동순서와 정지 방법
- 운전상태의 확인 방법

○ 수리 및 점검 방법

- 운전 중 점검 및 수리 방법 정의
- 3개월과 6개월 점검주기에 따른 점검항목 정의
- Overhaul 주기 관련 정의

○ 유지관리 방법 정의

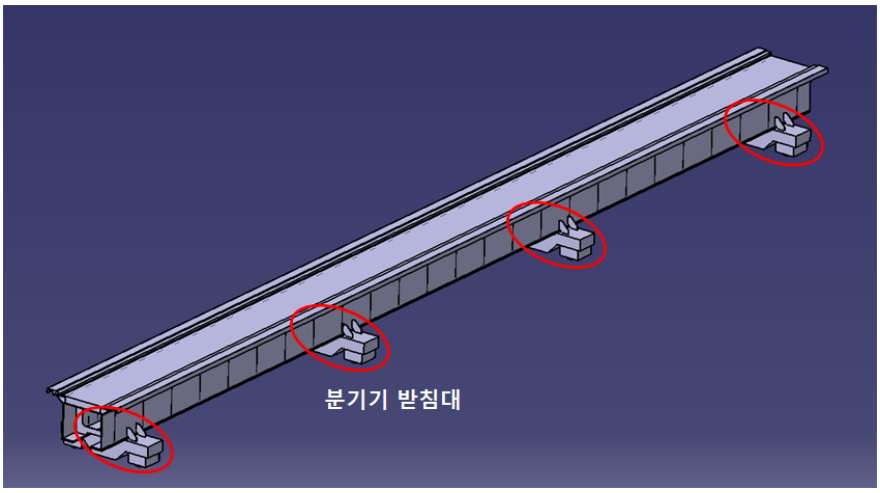
- 구동모터의 교체방법
- 잠금장치용 파워실린더의 교체방법
- 부상레일 교체방법
- 기계적 고장원인에 대한 대책 정의
- 예비품 수량 및 교체 예상주기 정의

3-3. 차량 고장시 비상대피선로용 분기기 적용 방안 개발 ⇨ 성과지표 7

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
[성과지표 7] 차량과 트레버스분기기 사이의 동특성해석결과를 반영한 트레버스분기기 최적설계	동특성해석결과 보고서 1건	동특성해석결과 보고서 1건	트레버스에 열차 통과시의 동특성을 고려한 설계 수행 여부

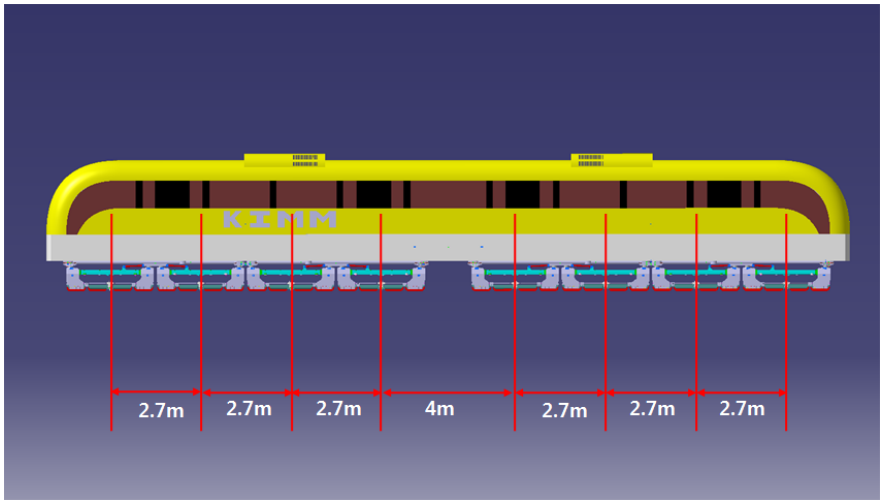
가. 자기부상열차의 주행속도에 따른 트레버스분기기 거더의 처짐 수치해석 결과

(1) 단순지지로 고려한 트레버스분기기의 제원



< 단순지지로 고려한 트레버스분기기의 제원 >

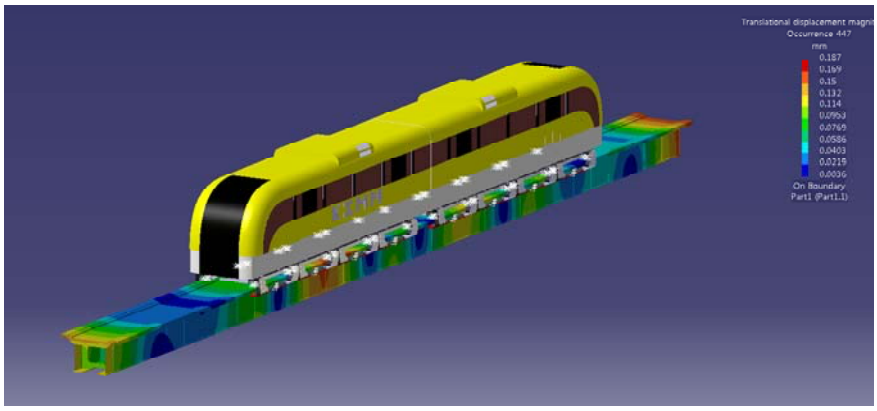
(2) 자기부상열차의 등가 집중하중에 대한 위치와 크기를 정의하였으며, 위치별로 26.3kN이 작용하는 것으로 가정하였다.



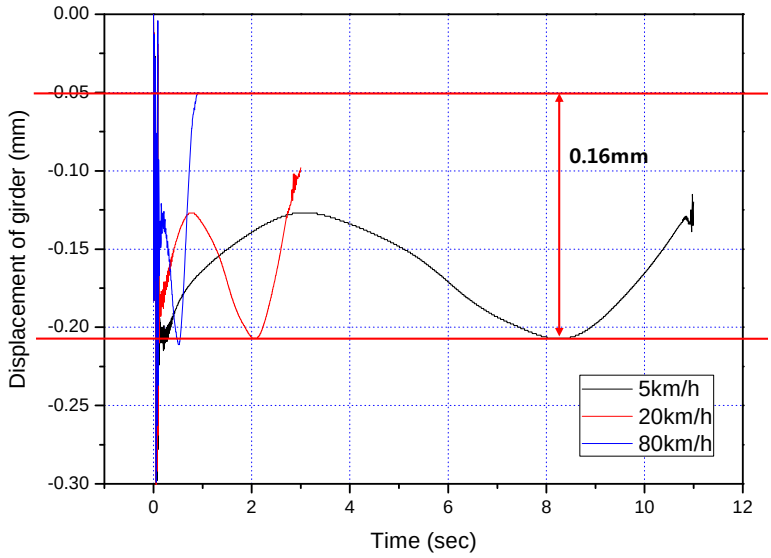
< 자기부상열차의 등가 집중하중 위치 및 크기 >

(3) 자기부상열차가 주행 중에 발생하는 분기기의 최대처짐은 거더 중앙에서 0.16㎜ 로 나타났으며, 전자석의 최대 변위는 0.25㎜ 로 나타났다. 따라서 부상공극의 변화는 분기기 통과 시에 0.09㎜가 발생하는 것으로 해석되었다. 자기부상열차가 80km/h까지 주행

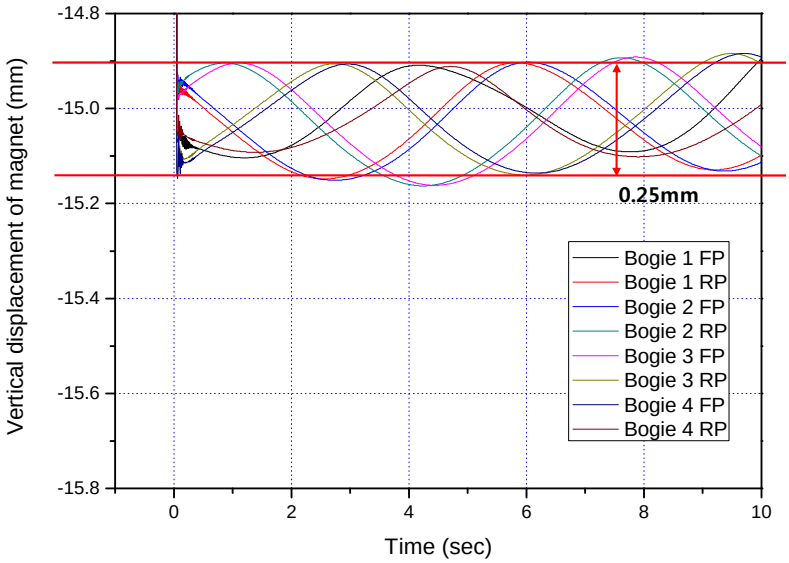
시 주행속도에 따른 거더의 처짐량은 일정하게 해석되었으므로, 거더의 처짐은 주행속도에 영향을 받지 않음을 알 수 있다.



< 자기부상열차 주행 중 발생하는 트레버스분기기 거더구조물의 처짐 결과 >



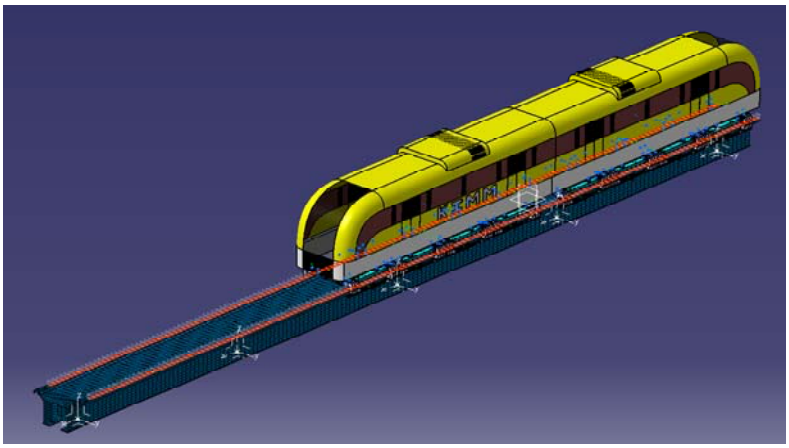
< 자기부상열차 주행 중 발생하는 트레버스분기기의 처짐 해석결과 >



< 자기부상열차 주행 중 발생하는 전자석의 수직방향 변위 해석결과 >

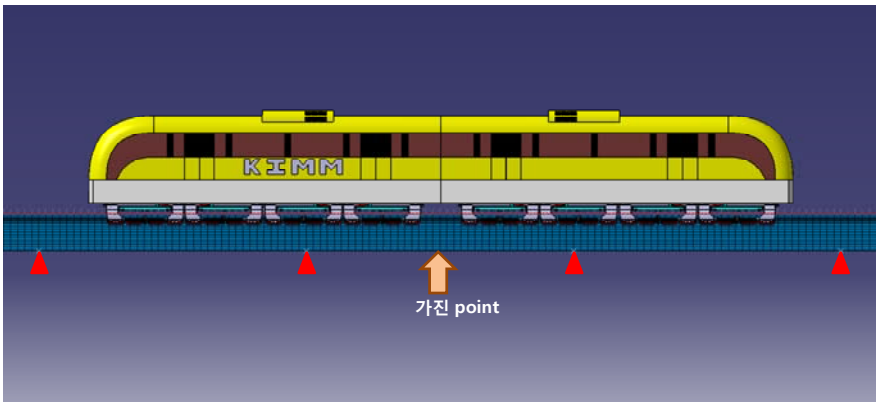
나. 자기부상열차 주행시 유연체 트레버스분기기 모델에 대한 부상공극 변동 해석결과

(1) 유연체 효과를 고려한 트레버스분기기 내 부상계 해석 모델은 아래 그림과 같다.

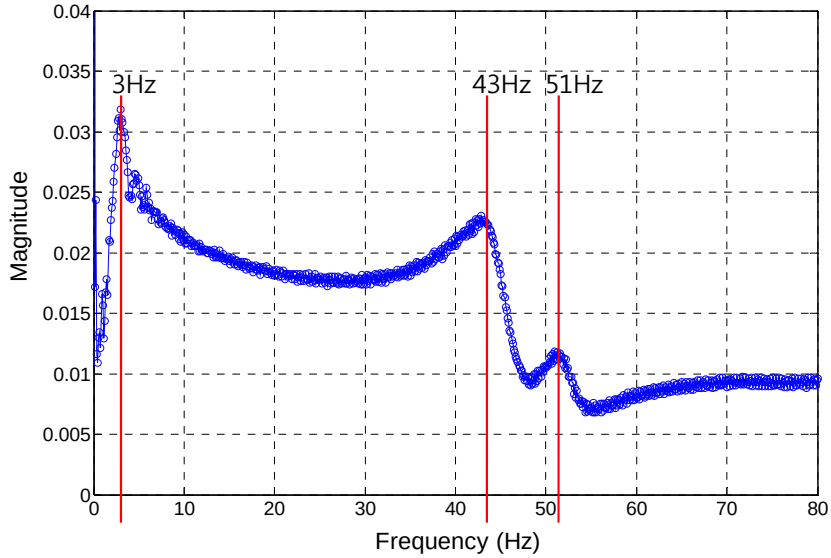


< 유연체 효과를 고려한 트레버스분기기 내 부상계 해석모델 개발 결과 >

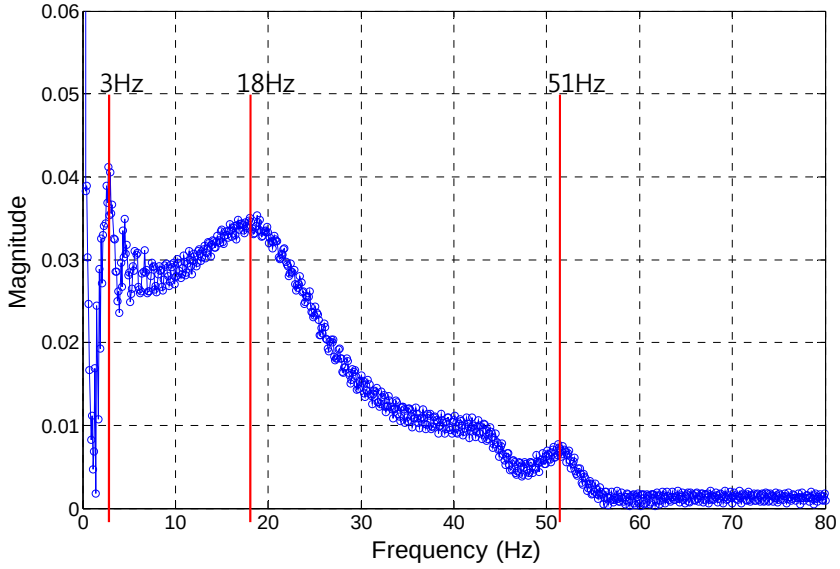
(2) 정지부상상태에서의 공진해석은 트레버스분기기의 중앙부에 사인함수의 가진을 인가하여 부상계의 주파수 응답함수를 구하였으며, 3Hz, 43Hz, 51Hz의 주파수 성분이 검출되었다. 분기기의 1차 굽힘모드는 43Hz이고, 2차 현가장치에서 검출된 주요 주파수 성분은 unsprung mass의 고유모드로 18Hz이다. 따라서, 분기기의 고유모드는 부상계와 2차 현가계의 고유모드와 분리되어 공진에 의한 위험은 없을 것으로 해석되었다.



< 유연체 효과 고려 트레버스분기기 모델의 공진해석을 위한 시뮬레이션 조건 >

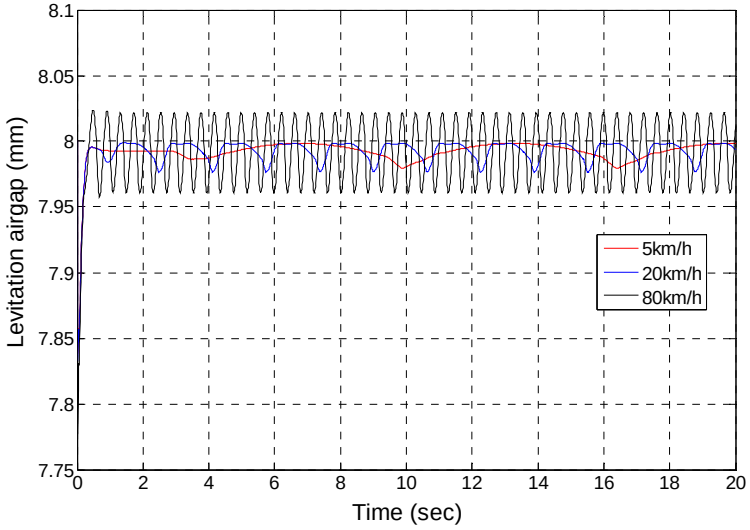


< 정지부상 시 부상계의 주파수 응답선도 >



< 정지부상 시 2차 현가계의 주파수 응답선도 >

(3) 유연체 효과를 고려한 트레버스분기기 내 열차 주행시 속도 대역별 부상공극 변화 해석 결과는 아래 그림과 같다.



< 유연체 효과 고려 트레버스분기기 모델 속도별 부상공극 해석결과 >

○ 5km/h로 열차가 트레버스분기기를 통과시 부상공극의 변화는 0.02㎜ 수준임

○ 트레버스분기기 내 최대 통과속도인 80km/h로 주행시 부상공극의 변화는 0.05㎜ 수준임

○ 열차의 주행속도가 증가할수록 부상공극의 변화량이 증가함을 알 수 있으나, 최대 부상공극 변화량이 정격공극인 8㎜의 0.63% 수준으로 부상계의 안정성이 만족하고, 부상계의 대역 폭이 20Hz로 고속에서도 공극의 변화를 잘 추종함을 알수 있음

4. 인천공항 자기부상철도 분기기 장애 검지 및 유지관리를 위한 실시간 모니터링 방안 연구

4-1 분기기 통합관리시스템 S/W 및 User Interface 보완(성과지표 8)

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
[성과지표 8] 분기기 통합관리시스템 S/W 및 User Interface 보완	분기기 통합관리시스템 S/W 및 User Interface 보완 결과물 1건	분기기 통합관리시스템 S/W 및 User Interface 보완 결과물 1건	분기기 통합관리 시스템 안정화

가. S/W 및 User Interface 보완 항목 및 보완 결과

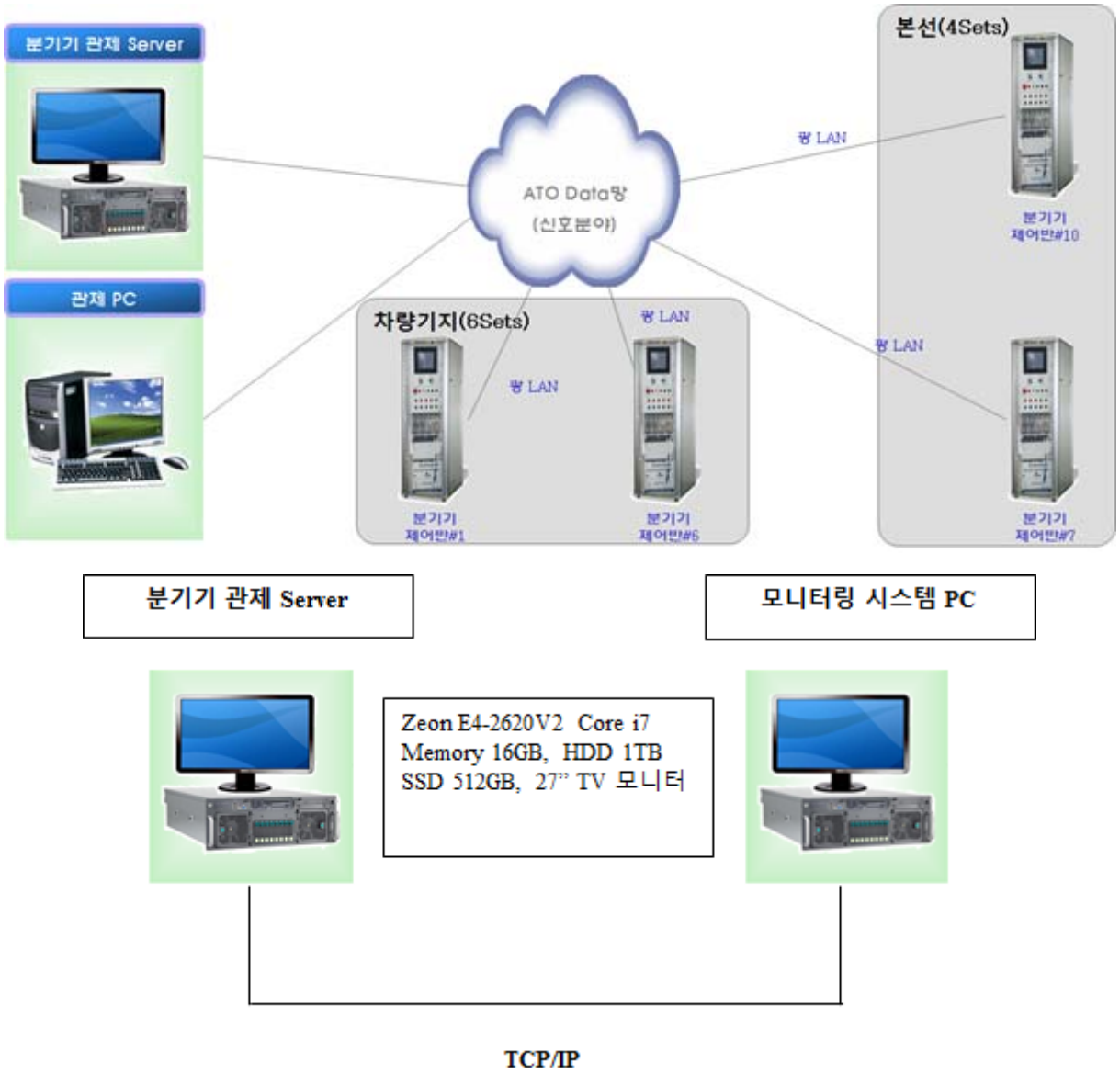
- 수동 모드에 의한 클램프 전진 및 후진 시 제어 반 메시지 문구 수정
  : “#1 클램프 리미트 도달!“에서 “#1클램프 락킹센서 도달!“로 수정 완료함.
- 연동 UPS MAIN MCCB TRIP 입력정보 없는 상황에서 CPU 출력이 나간 현상 로그 점검 수정필요함
  : 2016년 03월 11일 106역 53A/B 분기기 연동 UPS MAIN MCCB TRIP에 의한 비상정지가 발생하였음. 하지만 실제로는 비상정지발생 이전부터 #53 분기기 정류기 경보3 점등 중이였음. 현재 프로그램 업데이트 하여 상황 모니터링 중.
- R모드 상태에서의 고장만 표시 필요함.
  : A/S/M 모드는 점검 모드이므로 R 모드 상태에서의 고장 표시만 필요함.
  : 모드 상관없이 고장 분석하던 조건을 R모드(관제모드)일 경우에만 분석하도록 수정 완료함.
- 고장 항목은 다변화 필요함.
  : 원하는 항목 클릭하여 표출할 수 있도록 수정함.
  : 센서 동시검지, 거더센서 이상등 항목 추가 수정 완료함.
  : 기존에는 센서에 관련된 고장의 경우 센서고장으로 표출하였으나 이를 세분화 하여 표시함.
- 경고 메시지창 신설 필요함.
  : 분기기 비상정지시 사용하는 창 신설 완료함.
  : 경고 메시지 창에서 경고메시지 상세화를 통하여 어느 센서가 비정상 동작했는지 분기기 통합콘솔에서 관제사 등에 표출함.

4-2 모니터링 시스템 기계실 추가구축(성과지표 9)

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
[성과지표 9] 모니터링 시스템 기계실 추가 구축	모니터링 시스템 기계실 추가구축 보고서 1건	모니터링 시스템 기계실 추가구축 보고서 1건	분기기 통합관리 시스템 안정화

가. 모니터링 시스템 구성

- 모니터링 시스템 구성은 분기기 전체 서버와 관제 PC, 차량기지 및 본선의 분기기 제어반을 연결하여 신호를 주고 받고 있다.



<모니터링 시스템 환경 및 구성>

(나) 분기기 통합관리 시스템 모니터링 시스템 기계실 추가 구축 완료

- 화면은 로그인 화면과 메인화면으로 구성되어 있다.
- 분기기 관제 서버에서 현재 연결 상태를 보여주고 어떤 IP에서 시스템에 연결 했는지 보여주며, 기존에 연결되어 있던 시스템에 문제가 발생하여 연결이 해제 되었을 때 연결이 안되어 있음을 확인 할 수 있다.

<자기부상열차 분기기 통합시스템 로그인 화면>

(다) 분기기 모니터링 시스템 운영 개선 효과

- 분기기 고장 유무 실시간 표시 확인 가능
- 분기기 동작 및 장애 내역 확인 가능
- 장애 발생 시 어떤 분기기에서 어떤 원인에 의해서 장애가 발생했는지 확인 가능
- 장애 발생 시 원인 추적이 가능하여 대응시간 단축 가능
- 고장 통계 관리 구축으로 인하여 사전에 고장을 대비할 수 있음

제 4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
경량화 분기기 적용시 비용절감 효과 검토		100%	• 경량화 분기기 적용시 비용절감 효과 검토 수행 - 거더 높이 10% 이상 축소 완료 - 거더 중량 10% 이상 축소 완료 - 기존 분기기 대비 제조원가 절감 효과 확인.
분기기 성능향상 결과 5방향 분기기에 적용	3	100%	• 분기 속도 / 제어반 이중화 / 위치검지 센서 개선 적용 수행 - 분기 시간 15초 이내 완료 - 분기기 제어반 이중화 구축 완료 - 위치검지 센서 개선 적용 완료
5방향 분기기 성능 시험 설비 내 성능입증 결과	10	100%	• 5방향 분기기 성능설비 내 성능입증 수행 - 5방향 분기기 내구성 검증 완료(5만회 반복 시험) - 5방향 분기기 시운전 완료 - 성능시험설비 내 5방향 분기기 보완 완료 - 5방향 분기기 유지보수 매뉴얼 작성 완료
무부하상태 5방향 분기기 성능시험 결과	4	100%	• 무부하상태시 5방향 분기기 성능시험설비에 대한 성능시험 수행 - 5방향 분기기 거더구조물 고유진동수 측정 완료 - 5방향 분기기 모드별 동작시간 측정 완료 - 5방향 분기기 모드별 복원성 확인 완료 - 5방향 분기기 반복동작시 선형정밀도 측정 완료 - 5방향 분기기 동작시 각도완화장치의 공극간격변화 측정 완료 - 5방향 분기기 장경간거더의 길이방향과 수직방향 열변형량 측정 완료 - 5방향 분기기 동작시 쇄정장치 중 파워실린더에서 발생 소음 측정 완료 - 5방향 분기기 구동모터 고장시 수동동작 동작시간 측정 완료 - 5방향 분기기 5만회 연속동작시험 완료
비상대피선 적용 트레버스분기기 상세설계 개발	1.4	100%	• 비상대피선으로 활용 가능한 트레버스분기기 상세설계 수행 - 비상대피선용 트레버스분기기 전체조립도 상세설계 완료 - 비상대피선용 트레버스분기기 거더구조물 상세설계 완료 - 비상대피선용 트레버스분기기 구동장치 상세설계 완료 - 비상대피선용 트레버스분기기 이송대차와 롤러, 이송레일 상세설계 완료 - 비상대피선용 트레버스분기기 쇄정장치와 지상 대항체 상세설계 완료 - 비상대피선용 트레버스분기기 과주방지용 스톱퍼 상세설계 완료
트레버스분기기 성능시험 절차서 및 유지관리지침서 최종본 개발	0.8	100%	• 트레버스분기기 성능시험절차서 및 유지관리지침서 최종본 개발 - 무부하상태 비상대피선로용 트레버스분기기 성능시험절차서 개발 완료 - 비상대피선로용 트레버스분기기 내 열차 주행시 성능시험절차서 개발 완료 - 비상대피선로용 트레버스분기기 유지관리지침서 개발 완료
차량과 트레버스분기기 사이의 동특성해석결과를 반영한 트레버스분기기 최적설계	0.8	100%	• 트레버스분기기 내 열차 통과시 상호간의 동특성을 고려한 해석 수행 - 열차 통과시 비상대피선로용 트레버스분기기 거더구조물의 처짐 특성 해석 완료 - 비상대피선로용 트레버스분기기 열차 통과시 대차의 부상공극 변동 특성 해석 완료

인천공항 자기부상철도 분기기 통합관리시스템 S/W 및 User Interface 보완		100%	• 분기기 통합관리 시스템 S/W 및 User Interface 보완 - 수동 모드에 의한 클램프 전진 및 후진시 제어반 메시지 문구수정 - 연동 UPS MAIN MCCB TRIP 입력정보 없는 상황에서 CPU 출력이 나간 현상 로그 점검 후 수정 완료 - R모드 상태에서의 고장만 표시 필요 완료 - 고장 항목 다변화 수정 - 경고 메시지창 신설
인천공항 자기부상철도 모니터링 시스템 기계실 추가 구축		100%	• 모니터링 시스템 기계실 구축 완료 - 화면은 로그인 화면, 메인화면으로 구성 완료 - 분기기 관제 서버 연결 완료
합계	20점	100점 (%)	-

2. 관련 분야 기여도

1) 대명엔지니어링

○ 검수고 진입부에 5방향 분기기를 적용하면 3-3방향 분기기 적용 대비 34% 설치공간 축소가능

○ 20%의 제작비용의 감소가 가능

2) 한국기계연구원

○ 5방향 분기기의 상용화시 5방향 분기기의 성능을 입증할 수 있는 성능시험절차서 및 시험방법 개발

○ 자기부상열차시스템의 비상대피선로에 특화된 트레버스분기기 개념 및 상세설계 개발로 공간과 건설비 절감 가능

제 5장. 연구개발성과의 활용계획

1) 대명엔지니어링
○ 무부하상태 5방향 분기기의 성능시험 수행으로 5방향 분기기에 대한 성능을 검증함으로써 상용화시에 적용가능성 확보
2) 한국기계연구원
○ 비상대피선으로 활용 가능한 트레버스분기기의 상세설계를 완료함으로 상용화시에 적용 가능성 확보

제 6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

○ 일본은 나고야에 동부구릉선을 2005년에 개통하여 리니모라는 명칭으로 운영을 하고 있으며, 다수의 관절식 분기기가 적용되어 있음
○ 2016년도에 중국 창사에 도시형 자기부상열차가 개통되었으며, 관절식 분기기가 다수 운영되고 있음
○ 그 외에도 러시아와 이란, 말레이시아, 베트남, 코스타리카 등지에서 도시형 자기부상열차의 도입을 검토하고 있으며, 자기부상열차시스템 구축시 관절식 분기기 구비는 필수적임
○ 일본과 중국 등에서 개발된 자기부상열차의 분기기는 우리나라와 동일하게 관절식을 활용하고 있으나, 조차시스템에 적용 가능한 5방향 분기기나 비상대피선으로 활용 가능한 트레버스분기기의 개발은 이루어지지 않고 있음

제 7장. 연구개발성과의 보안등급

1) 대명엔지니어링
○ 일반과제
2) 한국기계연구원
○ 일반과제

제 8장. 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
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제 9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

해당 없음

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문 (3차년도)	강재 분기기의 진동을 고려한 자기부상열차 부상안정성 연구	KIMM		한국철도학회		2015.07	단독	비 SCI
2	논문 (3차년도)	자기부상열차의 부상안정성을 고려한 3방향 분기기의 설계 파라미터 연구	KIMM		한국철도학회		2016.05	단독	비 SCI
3	논문 (4차년도)	자기부상열차용 트레버스분기기 최적설계 연구	KIMM		한국철도학회		2017.01	단독	비SCI
4	논문 (4차년도)	자기부상열차 차량과 분기기 동적상호작용 시험평가	KIMM		한국산학기술학회		2017. 02	단독	비SCI
5	특허출원 (2차년도)	궤도분기기용 거더 및 5방향 궤도분기기용 장경간 거더	대명엔지니어링		국내		2015.05.18	단독	
6	특허출원 (2차년도)	트레버스방식을 이용한 자기부상열차용 대피선로의 분기기 장치 및 방법	KIMM		국내		2015.05.08	단독	
7	특허출원 (3차년도)	궤도 분기기	대명엔지니어링		국내		2016.05.12	단독	
8	특허출원 (3차년도)	보조 모터를 갖는 트레버스 방식 자기부상열차용 대피선로의 분기장치	KIMM		국내		2016.05.16	단독	
9	특허등록(4차년도)	궤도분기기용 거더 및 5방향 궤도분기기용 장경간 거더	대명엔지니어링		국내		2016.12.20	단독	
10	특허등록(4차년도)	트레버스방식을 이용한 자기부상열차용 대피선로의 분기기 장치 및 방법	KIMM		국내		2017.02.07		

제 11장. 기타 사항

해당 없음

[1] J.M. Lee (2011) A study on running stability for the urban maglev running over the segmented switch system, Ph.D Thesis, Chungnam National University.

[2] Y.H. Lee, C.H. Kim, J.W. Lim, H.S. Han, J.M. Lee (2015) Structual Characterization of the Long Span Girder According to Height Changes for Maglev 5-way Branching Switch, Proceedings of 2015 Autumn conference of the Korean Society for Railway, Yeosu, Korea, pp. 215-220.

[3] Y.H. Lee, J.B. Han, J.W. Lim, J.M. Lee (2016) Parametric Study on 3-way Design Considering Levitation Stability of Maglev Train, Journal of the Korean Society for Railway, 19(2), pp. 135-144.

[4] J.M. Lee, Y.H. Lee, J.B. Han, H.S. Han, C.H. Kim (2015) Design of the 5-way branching switch girder for the urban maglev, Proceedings of 2015 Spring conference of the Korean Society for Railway, Mokpo, Korea, pp. 667-672.

[5] J.B. Han, J.M. Lee, H.S. Han, S.S. Kim, S.J. Yang, K.J. Kim (2014) Study on running safety of EMS-Type maglev vehicle traveling over a switching system, Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol.38, pp. 1309-1315.

[6] J.H. Seong, D.S. Han, Y.C. Park (2016) Shape Optimization of a Hole for Water Jetting in a Spudcan for a Jack-up Rig, Trans. Korean Soc. Mech. Eng.A, Vol.40, No.4, pp. 337-342.

[7] I.K. Bang, D.H. Kang, D.S. Han, G.J. Han, K.H. Lee (2006) Shape Optimization for a Jaw Using Design of Experiments, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol.30, No.8, pp. 685-690.

[8] ANSYS, Inc., (2015) “ANSYS Workbench User Manual.”

[9] Y.H. Lee, J.M. Lee, J.W. Park (2016) Study on the Selection of Girder Height for the Traverse Weight for Maglev Train, Proceedings of 2016 Autumn conference of the Korean Society for Railway, Jeju, Korea

[10] J.M. Lee, C.H. Kim, Y.H. Lee (2016) Traverse Swotch Sectional Shape Designed for Urban Maglev Train, Proceedings of 2016 Autumn conference of the Korean Society for Railway, Jeju, Korea

[11] Michael L. Stein (2012) Interpolation of Spatial Data : Theory for Kriging, Springer, Chicago, USA, pp. 57-74.

[12] N. Alagumurthi, K. Palaniradia, V. Soundararajan (2006) Optimization of Grinding Process Through Design of Experiment-A Comparative Study, Materials and Manufacturing Processes, , 21 :19-21

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 철도연구개발사업의 연구보고서입니다.

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

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