교통물류연구사업

20TLRP-B134119-04

2세부 운송차량 및 추진시스템 기술개발 (별권보고서)

2021. 12. 31.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국기계연구원
공동연구기관 / ㈜성신알에스티
공동연구기관 / 이경산전(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

별권보고서(2세부)

보안등급
일반[√], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	교통물류연구사업
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	-
공고번호	-	총괄연구개발 식별번호		20TLRP-B134108-04
		연구개발과제번호		20TLRP-B134119-04

국가과학기술표준분류						
	EI1001 (물류운송기술)	50%	EI0608 (철도차량기술)	50%		

총괄연구개발명	국문	인터모달 자동화물운송시스템 기술개발
	영문	A Technology Development on Automated Intermodal Freight Transport System
연구개발과제명	국문	운송차량 및 추진시스템 기술개발
	영문	Technology for a new type wagon and propulsion system

협동연구기관	기관명	한국기계연구원	사업자등록번호	314-82-02693
	주소	(34103) 대전시 유성구 가정북로 156	법인등록번호	194222-0000031

협동연구책임자	성명		한형석	직위	책임연구원
	연락처	직장전화	042-868-7814	휴대전화	010-2659-4465
		전자우편	hshan@kimm.re.kr	국가연구자번호	1010 1513

연구개발기간	전체		2017. 06. 27. - 2021. 12. 31. (4년 6개월)
	1단계	1년차	2017. 06. 27. - 2017. 12. 31. (0년 6개월)
		2년차	2018. 01. 01. - 2019. 06. 30. (1년 6개월)
	2단계	3년차	2019. 07. 01. - 2020. 03. 31. (0년 9개월)
		4년차	2020. 04. 01. - 2021. 12. 31. (1년 9개월)

연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
					지방자치단체		기타					
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계		5,790,000	178,400	1,605,600	-	-	-	-	5,968,400	1,605,600	7,574,000	-
1단계	1년차	200,000	6,700	60,300	-	-	-	-	206,700	60,300	267,000	-
	2년차	1,482,000	55,200	496,800	-	-	-	-	1,537,200	496,800	2,034,000	-
2단계	3년차	1,639,000	54,700	492,300	-	-	-	-	1,693,700	492,300	2,186,000	-
	4년차	2,469,000	61,800	556,200	-	-	-	-	2,530,800	556,200	3,087,000	-

연구기관	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구개발기관	한국기계연구원	한형석	책임연구원	010-2659-4465	hshan@kimm.re.kr	공동	정부출연연
	㈜성신알에스티	장병희	전무이사	010-7375-7747	bhjang@ssrst.com	수요	중소기업
	이경산전㈜	이을재	대표이사	010-3776-4318	euljae@e-kyoung.com	수요	중소기업
위탁연구개발기관	부산대학교 산학협력단	안창선	부교수	010-9113-5188	sunahn@pusan.ac.kr	위탁	대학
	충남대학교 산학협력단	조한욱	부교수	010-4067-3513	hwcho@cnu.ac.kr	위탁	대학

연구개발담당자 실무담당자	성명		정성호	직위	선임연구원
	연락처	직장전화	042-868-7197	휴대전화	010-3830-0027
		전자우편	sungho@kimm.re.kr	국가연구자번호	1108 8920

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021 년 12 월 31 일

연구책임자: 한 형 석 (인)

협동연구개발기관의 장: 박 상 진 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td colspan="2">과제고유번호</td><td colspan="2">총연구기간</td><td colspan="3">2017. 6. 27 ~2021. 12. 31</td></tr>
<tr><td>1차년도</td><td>17TLRP-B134119-01</td><td rowspan="2">1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="3">2017. 6. 27 ~2017. 7. 31</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>18TLRP-B134119-02</td><td>2차년도</td><td colspan="3">2018. 1. 1 ~2019. 6. 30</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>19TLRP-B134119-03</td><td rowspan="2">2단계</td><td>3차년도</td><td colspan="3">2019. 7. 1 ~2020. 3. 31</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>20TLRP-B134119-04</td><td>4차년도</td><td colspan="3">2020. 4. 1 ~2021. 12. 31</td></tr>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="6">교통물류연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>최상위 과제명</td><td colspan="5">인터모달 자동화물운송시스템 기술개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="5">운송차량 및 추진시스템 기술개발</td></tr>
<tr><td>연구책임자</td><td>한 형 석</td><td>총연구기간
참여
연구원수</td><td>총 : 31명
내부 : 31명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td colspan="2">정부 : 5,790,000천원
기업 : 1,784,000천원
계 : 7,574,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명/
소속부서명</td><td colspan="2">한국기계연구원
(기계시스템안전본부)</td><td>참여기업명</td><td colspan="3">㈜성신알에스티
이경산전(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 : -</td><td colspan="3">상대국연구기관명 : -</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td colspan="2">보고서면수</td><td>-</td></tr>
</table>

▪ (비전 및 목표) “선도적인 인터모달 자동화물운송시스템 기술개발을 위한 기술력 확보”을 비전으로 삼고, 자동화물운송시스템의 선도적인 기술을 개발하여 실대형 시연모형 구현을 위한 기술력 확보를 목표로 설정함

▪ 2세부에서는 회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 기술, 차량시스템 기술, 운송대차 추진 시스템, 차량용 전력변환장치, 운송대차 제동장치 기술개발을 목표로 단위과제를 실시함. 세부항목 별 진행사항은 아래와 같음.

- 회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 기술: 1단계 설계 평가에 의한 개선 설계, 주행안전성 분석, 시험기준/방법 개발, 테스트베드 시험계획 수립, 시제품 제작, 시험기준/방법 개발, 시험평가

- 차량시스템 기술: 완충장치/대차골조/대차회전롤러/차체/감속기/축상베어링/집전장치 개선 설계, 시험기준/방법 개발, 테스트베드 시험계획 수립, 시제품(기계) 제작, 시험기준/방법 개발, 시험평가

- 운송대차 추진 시스템: 추진전동기 개선 설계, 시험기준/방법 개발, 시험평가

- 차량용 전력변환장치: 제동 시나리오 설정, 제동 시나리오에 따른 전장품 개선 설계, 시험기준/방법 개발, 시험평가

- 운송대차 제동장치 기술: 제동시나리오에 맞춰 SW 및 HW 개선설계, 시험기준/방법 개발, 시험평가

색인어 (각 5개 이상)	한글	인터모달열차	운송대차	전력변환장치	유도전동기	자동화물수송
	영어	Intermodal Train	Transport Bogie	VVVF Inverter	Induction Motor	Automated Freight Transport

목 차

제1장 연구의 개요 ····· 3

제1절. 연구의 배경 및 필요성 ····· 3

1. 연구개발의 개요 ····· 3

제2절. 연구개발의 목표 및 내용 ····· 15

1. 연구개발의 목표 ····· 15

2. 연구추진 체계 및 전략 ····· 24

제3절. 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 39

1. 수행 내용 요약 ····· 39

2. 연구개발 수행계획 대비 수행내용 ····· 47

제2장 국내외 연구개발 기술동향 조사분석 ····· 53

제1절. 국내 운송차량 기술동향 사례 조사 분석 ····· 53

1. 기술동향 ····· 53

2. 주요 연구개발 기술 ····· 53

제2절. 해외 운송차량 연구개발 기술동향 사례 조사 분석 ····· 60

1. 기술동향 ····· 60

2. 주요 연구개발 기술 ····· 60

제3절. 국내외 컨테이너 및 컨테이너 트레일러 기술조사 분석 ····· 72

1. 컨테이너의 분류 ····· 72

2. 컨테이너 트레일러의 분류 ····· 73

3. 우리나라 컨테이너 트레일러 관련 법규 ····· 74

4. 해외 트레일러 관련 정책 동향 ····· 75

5. 우리나라 콤비트레일러 관련 주요 개발기관 및 기업 현황 ····· 80

제3장 운송차량 및 추진시스템 정의 ····· 85

제1절. 차량시스템 기술요구사항 정의 ····· 85

1. 개요 ····· 85

2. 차량시스템 기술요구사항 정의 ····· 85

제2절. 열차 및 차량시스템 주요장치 기술사양 정의 ····· 94

1. 개요 ····· 94

2. 열차 편성 구성 및 제원 ····· 94

3. 차체 구성 ····· 94

4. 회전정렬 연결용 호이스트 설치 방안 ····· 95

5. 대차 ····· 95

6. 제동장치 ····· 98

7. 전기장치 ····· 100

제4장 운송차량시스템 기술개발 상세내용 ····· 109
제1절. 개요 ····· 109
1. 개요 ····· 109
2. 운송차량시스템 기술개발 ····· 110
제2절. 회전정렬형 차량시스템 메커니즘 기술개발 ····· 111
1. 회전정렬 연결용 호이스트 개발개념 ····· 111
2. 회전정렬 차량의 천이구간 및 정거장 주행거동 검토 ····· 112
3. 천이구간 및 정거장 주행 거동 안전성 분석 ····· 113
4. 테스트 베드용 차량제작 및 이송 ····· 127
5. 차량 회전정렬 메커니즘 검증 이력 ····· 132
제3절. 컨테이너-운송차량 인터페이스 기술개발 ····· 134
1. 개요 ····· 134
2. 차체의 설계 및 제작 ····· 134
3. 차체 구조 강도해석 ····· 140
4. 차체 하중시험 결과 ····· 145
제4절. 회전정렬 대차 및 완충시스템 기술개발 ····· 149
1. 개발개념 ····· 149
2. 회전정렬 대차 설계 및 제작 ····· 149
3. 센터 피봇트 ····· 152
4. 안내륜 및 가이드레일 기본설계 ····· 153
5. 대차 구조 강도 해석 ····· 154
6. 대차 하중시험 결과 ····· 162
제5절. 대차용 동력전달장치 메커니즘 기술개발 ····· 166
1. 유도전동기 설계 사양 ····· 166
2. 동력전달장치 개발개념 ····· 166
3. 설계 및 제작 ····· 167
제6절. 대차 완충장치 및 휠 어셈블리 기술개발 ····· 169
1. 개발개념 ····· 169
2. 설계 및 제작 ····· 169
제7절. 대차-연결용 고장력 호이스트 기술개발 ····· 171
1. 개요 ····· 171
2. 차량용 연결장치 사례 조사 ····· 171
3. 대차-연결용 호이스트 설계 및 제작 ····· 174
4. 대차-연결용 호이스트 기술개발 적합성 검토 ····· 178
제8절. 회전정렬 대차 집전장치 기술개발 ····· 180
1. 집전장치 개발개념 ····· 180
2. 대차 집전장치 설계 및 제품조립 ····· 180
제9절. 운송대차 추진시스템 기술개발 ····· 182

1. 개요 ····· 182
2. 유도전동기 기술조사/분석 ····· 183
3. 추진용 유도전동기 기술개발 ····· 192
4. 유도전동기의 검사 및 성능시험 자료 ····· 207
제10절. 차량용 전력변환장치 기술개발 ····· 210
1. 개요 ····· 210
2. 차량용 추진제어장치 기술개발 ····· 215
3. 보조전원장치 기술개발 ····· 240
4. 차량전기 및 열차제어시스템 기술개발 ····· 254
5. 검사 및 성능시험 ····· 266
6. 테스트베드 운영을 위한 추가 실시사항 ····· 275
제11절. 운송대차 제동장치 기술개발 ····· 287
1. 제동시스템 기술요구사항 정의 ····· 287
2. 인터모달 차량의 제동성능 계산 ····· 288
3. 제동장치 설계 및 제작 ····· 294
4. 제동제어 사양서 ····· 300
5. 공압장치 설계 ····· 305
제5장 시험평가 기술 ····· 313
제1절. 시험평가 기술 개요 ····· 313
1. 검증의 필요성 ····· 313
2. 검증의 목표 ····· 313
3. 검증을 위한 방법론 ····· 313
제2절. 시험항목 선정 ····· 315
1. 개요 ····· 315
2. 구성품 시험 ····· 316
3. 완성차 시험 ····· 321
4. 본선 시운전 시험 ····· 323
제3절. Test-Bed 시험절차서 ····· 325
1. Test-Bed 시험의 필요성 ····· 325
2. Test-Bed의 구축 ····· 325
3. Test-Bed 시험절차서 ····· 326
제4절. 시험평가 결과 ····· 333
1. 구성품 시험결과 ····· 333
2. 완성차 시험결과 ····· 340
3. 테스트베드 운송차량 성능시험 보고 ····· 344
참고문헌 ····· 367

- 도로운송의 대안으로 대두되는 철도운송의 경우 신규 철도인프라 투자 시 투자비용의 과다, 하역을 위한 별도의 작업선 운용, 철도하역단계 추가에 따른 물류비 증대, 선로용량의 한계와 여객우선의 철도정책 등으로 인해 도로운송을 전면 대체하는 것은 불가능
- 전 세계적으로도 운영비용과 온실가스를 획기적으로 절감할 수 있고, 정시성이나 안전성을 확보할 수 있는 새로운 개념의 친환경 무인자동 화물운송시스템 개발에 대한 관심과 투자는 꾸준히 늘고 있는 실정이며, 아직 상용화된 사례가 없으나 조만간 상용화를 눈앞에 두고 있음
- 이와 같은 물류분야의 신기술을 우리나라에 적용하기 위해서는 적용 대상지역에 대한 고려, 대상화물의 종류 및 규모, 투자주체 등 비즈니스 모델을 함께 고려하면서 국가산업단지와 공·항만을 연계하는 새로운 개념의 자동운송시스템 도입을 통해 사회적비용을 절감하려는 화물운송의 패러다임에 대한 인식전환이 필요

(2) 기술개발의 필요성

(가) 기술적 측면

□ **화물수송 속도, 용량 및 화물수송량의 지속적인 증대**

○ 기술의 진전으로 화물수송 속도 및 용량 증대로 항공기, 화차, 선박 등 화물운송수단의 속도와 용량은 점차 고속화, 대형화 되고 있음

○ 우리나라의 철도차량의 속도 향상은 2003년까지 새마을 열차가 최고운행속도 150km/h로 상업운행 하였으나, 2004년 KTX가 경부고속철도에 도입되면서 최고운행속도 300km/h로 상업운행을 하고 있다.

○ 화차의 경우는 1990년 말까지 최고속도 90km/h 운영하였으나, 2004년에 경부고속철도가 개통되면서 기존의 경부철도에는 화차의 운영 비중을 높이고, 속도도 120km/h로 향상하여 상업운행을 하고 있다.

□ **무인화 및 자동화 기술의 진전으로 보안·안전성 향상**

○ 2001년 발생한 9·11테러로 인해 전 세계적으로 국제기준 제정(ISO 28000) 등 물류보안에 대한 관심이 높아지면서 관련 기술에 대한 요구 수준도 높아졌음

○ 철도는 기존의 신호시스템 ATS를 사용하였으나, 자동운전을 위해 ATC, ATP에 의한 ATO(자동운전시스템)이 도입되었다. ATC/ATO 자동운전시스템은 대구지하철, 대전지하철, 광주지하철, 인천지하철, 부산지하철, 서울메트로 등에 도입되었으며, 부산4호선, 의정부 경전철, 용인경전철, 인천 2호선, 우이신설경전철 등은 무인자동운전으로 운행하고 있고, 경전철 및 지하철에 도입이 증가하는 추세에 있다.

□ **정부 친환경 자동화 분야 R&D 투자의 확대**

○ 2014년도 국토부에서는 국토교통 R&D의 중점 추진방향의 하나로 ICT 및 과학기술의 융복합화 촉진을 선정하고 SOC 자동화 기술 개발을 추진

- ICT와 건설·교통산업 간 융합화 기술개발 지원을 통해 산업의 소프트파워를 강화하고 미래 신성장 동력화 및 선도형 기술을 개발

○ 교통물류 연구사업 내 친환경 분야 투자 가시화

- 공해 없는 청정교통 분야를 설정하여 '20년까지 수송부문 온실가스 BAU 대비 34% 감축을 목표로 하고 있으므로, 도로분야 수송점유율 및 화물차 온실가스 배출량을 고려할 때 화물운송에 대한 획기적 기술혁신이 반드시 필요한 실정

(나) 경제·산업적 측면

□ **에너지 목표관리제 등 정부환경시책 추진으로 인한 물류기업의 부담증가**

○ 「저탄소 녹색성장 기본법」 제42조, 제43조, 제44조, 제45조, 제46조에서는 에너지 목표관리제에 대한 내용을 언급하고 있음

- 기후변화대응 및 에너지 목표관리, 온실가스 감축, 온실가스 배출량 및 에너지 사용량 등의 보고, 온실가스 종합정보관리 체 구축, 총량제한 배출권 거래제 도입 등

○ 국가 온실가스 배출량의 약 70%를 산업부문, 건물/교통, 폐기물 등에서 온실가스 및 에너지를 관리해야 하며, 교통부문에서는 운송업체 보유 이동 배출원(차량, 항공기, 선박 등)과 건물을 대상으로 하며, 이 중 온실가스 배출량 및 에너지 소비량이 기준 이상인 업체 또는 사업장은 관리업체로 지정되어 관리 받게 됨

□ **화물차 유류비가 운송부문의 비용 중 가장 높은 비중 차지**

○ 세계 원유시장의 과잉공급으로 국제유가가 최근 약세를 거듭하고 있음에도 불구하고, 여전히 화물차 유류비는 운송 과정상 발생하는 물류비용 중 가장 높은 비중을 차지

- 2014년 영업용 도로화물수송비는 31조 7,364억 원으로 전년 대비 1.04% 감소하였으나, 2001년 이후 연평균 5.15%(실질기준) 증가함

□ **기존 육상 대량수송수단의 경쟁력 확보 한계**

○ 국토교통부에서는 도로에서 철도·연안해운으로 전환하는 화물에 대해 화주·운송사업자와 협약을 체결하고, 실적에 따라 보조금을 지급하고 있으나 큰 전환에는 한계

- 보조금 지급을 위하여 컨테이너, 철강, 양회 등의 화물을 대상으로 사업자를 공모하고 협약기관(공사·조합)에서 심사 평가단의 심사를 거쳐 협약사업자를 선정

- 장기적 전환교통 활성화를 위한 시설투자 비용지원 대폭적인 간접지원을 확대 필요

○ 장기 전환교통 보조금뿐만 아니라 컨테이너 2단 적재 열차 도입, 연안화물선 항만시설 사용료 감면 등 기존 대량수송수단에 대한 획기적인 경쟁력 제고 노력이 필요

(다) 사회·문화적 측면

□ **4차 산업시대를 앞두고 사회 전반에 걸친 분야별 기술 융합에 대한 관심증가**

○ 3융합(Convergence)은 IT용어로서 흔히 통신망의 융합, 서비스의 융합, 기업의 융합 등 세 분야에서 국한된 개념으로 사용되었으나, 최근 기술 분야에서 기존 기술의 한

계를 극복할 수 있는 방법으로 사회전반에 걸쳐 융합기술에 대한 관심이 증가 중

- 21세기 초반 정보화 사회에 정보와 지식이 융합되어 기술과 산업을 이끄는 사회를 일컫는 '지식정보화사회' 등 최근 '융합'개념은 현대사회 전반에 걸쳐 사용되고 있음

□ **빈번한 화물자동차운전자의 운송거부사태 발생과 안정적인 화물운송에 차질**

○ '화물운송 특수고용직 노동자연대(화물연대)'가 출범한 이후 2003년 5월 총파업으로 물류대란이 발생하였고, 2004년 화물자동차운송법 개정, 유류비 지원 등의 정책이 시행되었으나, 세계적인 경기불황과 과잉공급의 문제 등으로 2006년, 2008년, 2009년, 2010년 지속적으로 운송거부사태가 발생하여 막대한 경제적, 사회적 피해가 발생

□ **고속도로 화물차 교통사고 피해의 증가와 대책마련 시급**

○ 고속도로 화물자동차 사고발생 비율은 전체 차량의 25%로 승용차에 비해 낮으나, 사망자수 비율은 110명으로 전체 차량 사망자수의 약 46%를 차지하며, 사고 100건 사망자수는 화물차가 약 10.0명으로 다른 차종에 비해 매우 치명적

- 고속도로에서 화물자동차 사고는 화물자동차의 적재톤수, 적재 화물의 낙하 등으로 제2차, 제3차 피해가 발생

□ **화물차로 인한 도로파손의 증대와 도로유지 비용 부담 가중**

○ 포장 피로파괴는 수많은 작용하중에 의해서 발생하는 점진적인 파괴를 말하며, 피로파괴는 차량의 하중, 축하중의 배열, 타이어 압력, 타이어 수, 포장제의 두께, 노상강도, 교통량(하중반복횟수)에 의해 영향을 받음

- 화물차는 도로를 이용하는 차량 중 축하중이 다른 차량보다 월등히 높기 때문에 포장 파괴에 매우 큰 악영향을 미치며, 과적 화물차는 도로파손의 주범으로 지목

□ **온실가스 배출관리 등 기업의 사회적 책임 증가 분위기 확대**

○ 녹색물류체계 구축에 대한 기업의 인식 제고가 필요한 실정임

- 녹색물류산업 구분 및 세부영역 실태파악 부재 등 정부 정책 및 지원체계 지연과 기업의 준비가 부족함

- 친환경물류 전환 투자비용 부담 및 인식미흡으로 기업의 준비가 부족

- 차량별, 업체별, 주체별(화주, 다수의 협력사, 차주 포함)로 녹색물류활동 기반 기초자료(수송량, 에너지 사용량) 수집이 부실하여 관리가 미흡

○ 기업의 자발적 온실가스 감축 유도를 위한 법·제도가 필요한 상황임

- 생산중심 제조업기준이 아닌, 물류 여건을 반영한 단계별 추진방안의 제시 필요

- 사전적, 적극적, 예방적 환경관리 방안을 제시하고 이를 실천하여, 지속적인 환경개선과 기업물류활동의 가치 제고를 통한 경쟁력 확보를 유도해야 함

- 물류비용과 환경비용 관계에 대한 기존인식의 전환 필요성 제시

- 기업의 친환경 물류전략과 이미지 제고를 통한 기업물류 효율화 방안 제고

(라) 환경적 측면

□ 화물자동차 배출 온실가스의 증가와 정부의 감축노력 지속

○ 2013년 국내 온실가스 총배출량은 694.5백만 톤 CO2eq이며 수송부문 온실가스 배출량은 88.3백만 톤 CO2eq로 전체 12.71% 비중

- 온실가스 총 배출량 연평균 3.8%, 수송부문 4.0% 증가(1990~2013)

- 2025년 수송분야 온실가스 배출량은 100.5백만 톤 CO2eq/년으로 전망되며, 2013~2025년까지 연평균 1.08% 증가 전망

<표 1-1> 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량

(단위: 백만 톤 CO2eq)

구 분	1990	2000	2011	2012	2013	연평균 증가율(%)	전년대비 증가율(%)
에너지	241.3	410.4	594.1	597.3	606.2	4.09	1.49
- 에너지산업	47.8	134.9	264	268.5	274.7	7.90	2.31
- 제조업 및 건설업	76.5	129.8	182.6	180.1	182.1	3.84	1.11
- 수송	35.5	69.8	85	86.3	88.3	4.04	2.32
- 기타	76.4	73.3	58.3	58	56.6	-1.30	-2.41
- 탈루	5.1	2.7	4.1	4.4	4.6	-0.45	4.55
산업공정	20.4	49.8	51.8	51.5	52.6	4.20	2.14
농업	20.8	20.8	20.2	20.7	20.7	-0.02	0.00
LULUCF1)	-34.2	-58.9	-48.7	-44.8	-42.9	0.99	-4.24
폐기물	9.8	17.8	14.6	14.8	15.0	1.87	1.35
총배출량2)(LULUCF 제외)	292.3	498.8	680.6	684.3	694.5	3.83	1.49
순배출량2)(LULUCF 포함)	258.1	439.9	632	639.5	651.7	4.11	1.91

주: 1) LULUCF: 토지이용 변화 및 임업 분야
2) 총배출량은 LULUCF 제외, 순배출량은 LULUCF를 포함한 값
3) 국제벙커링은 국가 인벤토리 배출총량에서 제외
자료: 온실가스종합정보센터(2015), 「국가온실가스인벤토리보고서(NIR)」

<표 1-2> 분야별 온실가스 배출량 전망

(단위: 백만 톤 CO2eq)

구분	2013	2020	2025	연평균 증가율(%)	
				'13~ '20	'13~ '25
에너지	606.2	677.5	700.5	1.60	1.21
- 수송	88.3	95.4	100.5	1.11	1.08
- 기타	517.9	582.1	600.0	1.68	1.23
산업공정	52.6	68.7	72.8	3.89	2.75
농업	20.7	20.9	20.9	0.14	0.08
폐기물	15.0	15.4	15.5	0.38	0.27
총배출량	694.5	782.5	809.7	1.72	1.29

주: 에너지 항목 중 기타는 에너지산업, 제조업 및 건설업, 기타, 탈루를 합한 값임
자료: 관계부처 합동(2015), 「Post-2020 온실가스 감축목표 설정 추진계획」, 온실가스종합정보센터(2015), 「국가온실가스인벤토리보고서(NIR)」

□ **저탄소 교통수단(철도, 연안해운)으로의 운송수단 전환노력 증대**

○ 국토교통부에서는 '09년 11월 녹색교통 추진전략을 발표하였으며, 저탄소 교통수단인 철도와 연안해운 활성화를 위해 '철도·연안해운 위주의 녹색물류체계 구축' 전략을 제시

- 철도 전환 사업은 Modal Shift 촉진을 위한 보조금을 지원하고 Door-to-Door 서비스를 위한 복합일관수송체계를 강화함

- 연안해운 전환 사업은 화주·운송업체 등과 'Modal Shift 협약' 체결을 통해 대량교통수단의 수송 분담률을 증대하고, 내항선원 비과세 소득 확대 등을 통한 내항선원 확보 지원 및 연안선사와 화주 간 장기 운송계약 정착 유도를 추진하는 사업

  · 국가기간교통망 계획 및 철도망계획 등 철도전환량 변화 후(철도 수송분담률 6.4%→8.5%), 연안해운 전환량 변화(연안해운 수송분담률 18.9%→21.2%)에 따른 온실가스 감축량을 산정

□ **기후변화협약 의무준수를 위한 전 세계적인 동조 움직임**

○ 국제사회는 기후변화 협약 체결('92) 이후 금세기말까지 지구온도 상승의 2℃ 내 억제 등 기후변화 문제를 해결하기 위해 1997년 교토의정서 체결을 계기로 국제사회는 기후변화 대응에 지속적으로 노력하고 있으며, 최근 들어 신기후체제(Post-2020) 협상이 본격화 되고 있음

- 2013년 바르샤바 기후변화 당사국총회에서 모든 당사국은 2020년 이후의 감축공약을 자체적으로 결정하여 2015년 말까지 제출키로 하였으며, 2014년 12월 리마 기후변화 당사국총회(COP20)에서는 신기후 체제(Post-2020)의 온실가스 감축목표를 수립하고 '15년 상반기까지 감축목표 수립 및 보고 완료를 합의함

- EU에서는 2020년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 20% 감축, 신재생에너지 비중 20% 달성, 에너지효율 20% 개선 등 기후에너지 패키지목표(Triple 2020) 달성을 전망하여, 현재 EU 집행위원회는 2030년 감축목표 설정을 위한 의견수렴 중에 있음

○ 우리나라는 2008년 8월 15일 대통령은 경축사에서 저탄소 녹색성장을 국가비전으로 제시하여 2009년 국가중기온실가스감축계획과 「저탄소 녹색성장 기본법」이 수립되었고, 2010년 1월에 「저탄소녹색성장기본법」을 제정함

- 「저탄소녹색성장기본법」상 온실가스 감축목표는 2020년 온실가스 배출량 추정치(BAU) 대비 30% 감축을 목표로 설정하였으며, 교통·물류부문은 보다 적극적인 감축노력을 시행하여 2020년 BAU 대비 33~37% 감축을 목표로 설정함

- 「지속가능교통물류발전기본계획」 중 물류부문 감축사업으로 전환교통 촉진, 3PL 활성화, 공동물류 활성화, 녹색물류전환사업 시행 등을 제시함으로써 감축목표를 제시한 바 있으며, 2012년 국토교통부 물류부문 온실가스 감축 목표가 「지속가능교통물류발전기본계획」상의 목표치보다 상향 조정되어 발표된 바 있음

○ 최근 국무조정실은 우리나라의 자체적으로 결정한 온실가스 감축목표를 '30년 BAU 대비 37%'로 결정한 바 있음('15. 6)

- 정부는 2020년 이후의 신기후 체제 마련을 위한 국제사회 논의가 본격화되는 가운

데, 4개의 감축목표 시나리오를 마련하여 감축목표 안을 제시하였으며('15.6.11), 2015년 6월 30일 열린 국무회의에서 2030년 국가 온실가스 감축목표를 "배출전망치 대비 37% 감축"하는 것으로 최종 결정함

(가) 정책적 측면

□ **지역 균형발전을 위한 지역 내 사회간접시설 투자요구의 증대**

○ 정부는 140대 국정과제 중 하나로 국민대통합을 위한 지역균형발전을 선정하고 끊임없이 국가 균형발전을 위한 정책을 수립해 오고 있지만 상대적으로 낙후된 지역들의 지속적인 SOC(사회간접시설) 투자 요구가 이루어지고 있음

- 동남권 신공항 후보지를 두고 지역주민의 요구에 부응하기 위한 부산시와 밀양시(경남지역)의 치열한 경쟁으로 관심이 집중된 바 있음
- 강원도는 KTX가 수도권과 충청권, 영·호남권에만 개통되도록 계획된 제2차 국가철도망구축계획과 수십 년간 강원권 철도망 투자가 중단된 상태에 대해 이의를 제기하며 SOC 확충을 요구하고 있음

□ **기술 국산화 및 국가 성장동력 발굴에 대한 국가적 기대 향상**

○ 정부는 140대 국정과제 중 하나로 활기찬 시장경제를 위한 신성장동력 양성을 선정하고, 미래 한국을 이끌 17개 신성장동력을 선정하여 발표한 바 있는데 17개 신성장동력에는 6개 녹색기술산업과 6개 첨단융합기술, 5개 고부가가치서비스 산업이 포함

○ 국토교통부는 정부의 지속적인 R&D 투자와 예산 증가(6%)를 감안하여 효율적인 국토해양 R&D 투자를 위해 『국토해양 R&D 발전전략』을 수립하여 국토해양 기술발전을 이끌 30대 미래핵심기술 'Green-up 30'을 선정한 바 있음

□ **FTA 등 국가 간, 지역 간 교역활성화에 따른 물동량의 꾸준한 증가**

○ 그 간 우리나라의 FTA는 발효 15건, 타결 1건, 협상진행 4건, 개선 협상 3건, 협상재개, 여건조성 4건으로 1999년 칠레와의 첫 FTA 협상시작 이후 꾸준히 FTA 체결이 추가되고 있음

<표 1-3> 우리나라 FTA 추진현황(2017년 5월 기준)

진행단계	상대국
발효(15건)	칠레, 싱가포르, EFTA(스위스, 노르웨이, 아이슬란드,리히텐슈타인 4개국), ASEAN(10개국), 인도, EU(28개국), 페루, 미국, 터키, 호주, 캐나다, 중국, 뉴질랜드, 베트남, 콤롬비아
타결(1건)	중미(6개국)
협상진행(4건)	한중일, RCEF(한국,중국, 일본, 인도, 호주, 뉴질랜드, ASEAN), 에콰도르 SECA, 이스라엘
개선협상(3건)	한·ASEAN 업그레이드, 한·인도 업그레이드, 한·칠레 업그레이드
협상재개,여건조성 (4건)	멕시코, GCC(사우디, 쿠웨이트, 아랍에미레이트, 카타르, 오만, 바레인 6개국), MERCOSUR(아르헨티나, 브라질, 파라과이, 우루과이, 베네수엘라 5개국), EAEU(러시아, 카자흐스탄, 벨라루스, 아르메니아, 키르기즈스탄 5개국)

자료 : 외교통상부 자유무역협정 종합지원포털(http://www.ftahub.go.kr/kr/situation/sign/01/, 검색일 : 2017. 5. 17

다. 연구개발의 중요성

<표 1-4> 연구개발의 중요성

구분	연구개발의 중요성	내 용
기술적 측면	물류기술의 국산화 및 글로벌 선도 가능성	▪ 물류산업의 기계화 및 자동화를 통해 시설 · 장비에 대한 상대적 의존도 증가 →21세기에는 지능화되고 에너지 효율적이며 환경 친화적인 물류기술 개발이 요구 ▪ 국가에 의한 선도적인 물류기술 투자돼야 물류분야의 핵심기술 및 운영시스템의 국산화가 이루어질 수 있고, 수입대체 효과를 거둘 수 있으며, 국산 물류시설·장비의 수출을 통한 새로운 산업파급효과까지도 기대
	물류 효율성 제고를 위한 시설 및 장비 간의 정합성 제고	▪ 물류비 절감을 위해 현장에서는 각종 시설 · 장비와 최신 기술이 적용되고 있으나 상호 정합성이 충족되지 못하여 작업의 비효율이 초래되는 경우가 빈번 발생 ▪ 물류 자동화기술 등 첨단물류기술을 이용한 새로운 물류관련 시설·장비의 개발과 이를 통한 물류경쟁력의 확보는 우리나라 산업경제 발전에도 매우 중요한 기여를 할 것으로 기대
경제·산업적 측면	국가 물류비 절감 및 효율화를 통한 국가경쟁력 향상	▪ 현대사회는 국경 없는 경제로서 경쟁이 매우 치열하여 국가 경쟁력 향상이 주요 과제로 등장 ▪ 물류체계 개선을 통해 국가경쟁력 제고를 추구하고 있는 국가정책과 부합하고 물류비 감축을 위해서도 새로운 물류기술의 개발이 필요 ▪ 경제의 글로벌화, IT 혁명 추진 등에 발맞추어 산업경쟁력 고도화를 위해서는 물류기술 분야의 혁신이 중요함
	국제 시장을 고려한 수출산업으로서 첨단물류기술 개발	▪ 물류분야가 다양해지고 급변하는 국민생활 패턴의 변화에 대응하기 위해서 다품종 소량 생산에 적합한 물류기술의 확보가 중요 ▪ 향후 중국 등의 대규모의 국제물류시장에 진출하기 위해 기반을 다지는 측면에서도 물류기술 경쟁력을 확보할 필요가 있으며 이를 위해서는 첨단물류기술의 개발이 반드시 이루어져야 함 ▪ 이와 같은 측면에서 경제적 파급효과가 큰 미래형 물류기술의 개발 및 보급을 촉진시키고 이용을 활성화할 수 있는 국가차원의 기반조성이 중요
	국가 차원의 재정낭비 방지	▪ 물류기술과 관련된 기존의 연구 및 계획들의 내용과 추진주체를 종합적으로 비교 · 분석하는 과정에서 중복되었거나 누락된 기술을 판단할 수 있으며 불필요한 지원으로 인한 재정낭비를 방지할 수 있는 방안도 마련 가능 ▪ 국가 차원에서 장기적인 시각을 가지고 집중 육성해야하는 첨단 물류기술 분야를 선정하여 투자하고 지원할 수 있는 계획을 수립하기 위한 밑그림을 제시하는 것은 중요한 사안
	물류기술 산업의 체계적인 지원	▪ 물류기술 개발을 통한 물류기술산업의 기반향상을 위해서는 물류기술 개발을 체계적으로 지원할 수 있는 방안을 수립하고 또한 이를 실행할 수 있으며 지속적으로 관리할 수 있는 구체적인 계획 마련이 중요
사회·문화적 측면	국가경쟁력 제고	▪ 신개념 선도형 물류기술, 국가 차원에서 지원되어야 하는 물류 인프라 기술 등의 국내 기술 개발 전략을 통해 국가 경쟁력 제고의 동기를 부여
	연구와 지원에 대한 방향성 제시	▪ 국가 정책 및 국내외 기술개발 트렌드에 따른 연구와 지원에 대한 방향성을 제시하여 효과적인 기술개발의 기틀마련 가능

라. 정부지원 필요성

(1) 정부 R&D 사업 추진 필요성

○ 본 과제는 대규모 공공인프라 기술 확보, 국가 미래전략 대응, 사회문제 해결 및 국가 경쟁력 확보 측면에서 정부 지원이 필요한 R&D과제임

□ **대규모 공공 인프라 기술로서의 정부지원 필요성**

○ 물류 인프라 기술은 절대 다수의 민간 기업들을 대상으로 하는 공공 성격의 기술로, 공공재원을 투입하여 기술을 개발하고 그 결과를 민간에 보급 및 공유할 당위성이 있음

○ 획기적인 물류자동화 및 무인화가 가능한 신개념 인터모달 자동화물 운송 시스템은 장기간의 대규모 투자가 필요하고 실패 위험부담도 높은 분야로 민간의 투자가 어려움

○ 정부는 안정적인 운송시장 유지 및 시장의 니즈를 만족시킬 수 있는 공공기술로서 본 기술에 대한 R&D 지원 및 추진이 필요함

□ **사회문제 해결 및 국가 경쟁력 확보 측면의 정부지원 필요성**

○ 도로운송 위주의 화물운송체계가 교통 혼잡, 대기오염 및 소음, 도로파손, 대형교통사고 등의 문제점을 야기하고 있어 최근에는 친환경적이고 대량수송이 가능한 철도 및 연안해운을 활성화하려는 정책이 점차 확대될 전망

○ 주요 경쟁국들에 비해 아직 상대적으로 높은 우리나라 국가물류비 수준을 낮추기 위해서는 중장기적 관점에서 물류비를 획기적으로 낮출 수 있는 방안이 필요하며, 물류기술 개발 외에는 대안이 부재

□ **국가 미래전략 대응 측면의 정부지원 필요성**

○ 기존 효율성과 성과본위의 물류현장문제 해결 형 기술개발 수요만 고려한 물류기술 개발로는 미래 우리에게 닥칠 사회적 이슈를 능동적으로 대처하는데 한계가 있어 공공관점의 사회적 이슈까지를 감안하여 10년을 내다보고 기술개발을 기획할 필요성이 있음

○ 2020년 국가 중장기 온실가스 감축목표 설정과 기후변화에 따른 생산 및 물류서비스 부문 국제적 규제강화 추세에 따라 온실가스 및 에너지 절감 기술개발이 핵심 이슈로 부상

(2) 정부정책과의 연계성

□ **「녹색성장 5개년 기본계획(2009-2013)」 및 「제4기 녹색성장위원회 운영계획」과의 부합성**

○ 녹색성장 국가전략은 「저탄소녹색성장기본법」(2009.11.28 시행) 제9조에 의해 수립되며, 이러한 저탄소녹색성장기본법을 실천하기 위한 '녹색성장 5개년 기본계획'은 저탄소 녹색성장

○ 2013년 10월 구성된 제 4기 녹색성장위원회에서는 '과학기술과 ICT를 활용한 녹색성장을 통해 창의와 융합으로 새로운 시장과 일자리를 창출하려는 창조경제를 구현', '글로벌 녹색성장 리더로서 온실가스감축 목표 등 국제적 약속의 성실한 이행을 통한 대외신인도 유지' '성장뿐만 아니라 환경 및 사회적 형평성도 고려한 포용적 녹색성장 추진'을 기본 골자로 「2차 녹색성장 5개년('14~'18) 계획」을 수립 함

○ 인터모달 자동화물 운송시스템 기술은 연비를 절감하여 화석연료 이용을 저감시키고 대기 중 온실가스의 배출을 억제하며, 온실가스 배출과 에너지 사용 부하를 발생시키고 있는 화물자동차 수요를 감소시켜 기후변화에 능동적으로 대응하면서 에너지 자립에도 기여할 수 있음

□ 「제1차 지속가능 국가교통물류발전 기본계획(2011-2020)」과의 부합성

○ 제1차 지속가능 국가교통물류발전 기본계획은 「지속가능 교통물류 발전법」제7조, 「저탄소 녹색성장 기본법」 제53조에 근거하여 수립되었으며, 2020년 교통부문 온실가스 배출량을 배출전망치(BAU) 대비 34.3% 감축을 목표로 함

○ 교통수요 관리강화 및 교통운영 효율화, 대중교통 인프라 확충 및 서비스 개선, 저탄소 녹색물류체계 구축, 친환경 교통물류 기술개발 등을 추진전략으로 설정함

○ 인터모달 자동화물 운송시스템 기술은 친환경 운송수단으로의 전환 목표를 통해 2020년 교통물류부문의 온실가스 및 에너지 저감에 기여할 수 있어 국가 온실가스 배출량 감축 취지에 정확히 부합하는 과제라고 할 수 있음

□ 「국가물류기본계획(2016-2025)」과의 부합성

○ 「국가물류기본계획 수정계획(2016-2025)」은 물류혁신과 신산업 창출을 통한 글로벌 물류강국 실현을 비전으로 물류산업 일자리 70만개 확보, 국제 물류경쟁력 지수(LPI) 10위로 도약, 물류산업 매출액 150조원을 목표로 정하였으며, 이를 달성하기 위하여 다음과 같은 4대 추진전략을 수립함

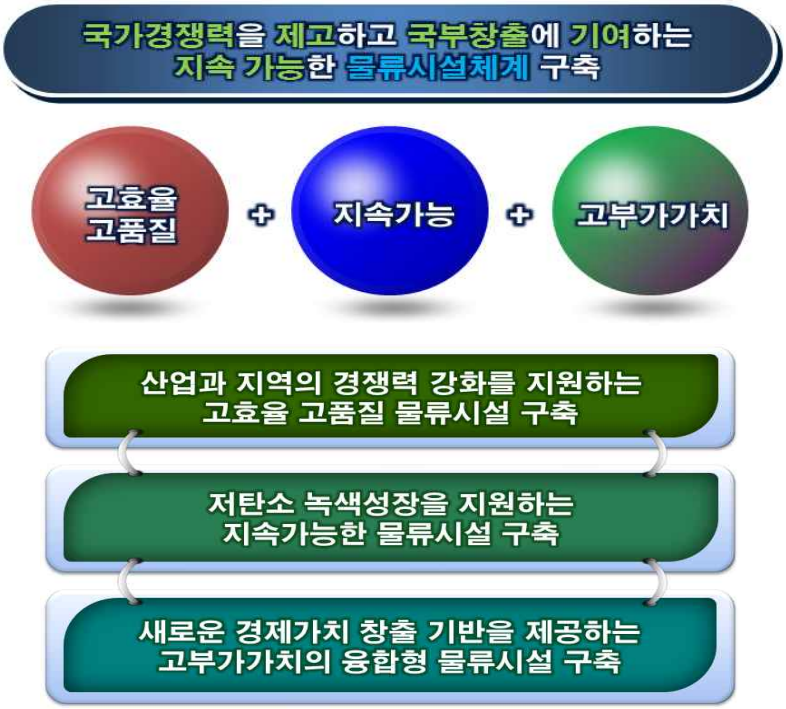
<표 1-5> 국가물류기본계획(2016-2025)의 추진전략 및 추진과제

추진전략	추진과제
산업트렌트 변화와 대응한 고부가가치 물류산업 육성	▪ 고부가가치 물류 신산업 창출 ▪ 물류 신산업 창출을 위한 지원체계 마련 ▪ 물류허브 경쟁력 강화
세계 물류지형 변화에 따른 해외물류시장 진출 확대	▪ 한국형 GTO육성 등 글로벌 물류거점 진출 ▪ 동북아·유라시아 물류시장 진출 네트워크 확보 ▪ 북극해 항로 상용화, 파나마 운하 확장 등 대응 ▪ 국경간 전자상거래 배송지원체계 강화, 해외진출 지원을 위한 공동플랫폼 구축
미래 대응형 스마트 물류기술 개발 및 확산	▪ 드론', '물류센터 로봇기술' 등의 조기 상용화 ▪ 핵심 스마트 물류기술' 개발 추진, 중장기 로드맵 수립·추진 ▪ 육·해·공 통합정보 활용체계 마련
지속 가능한 물류산업 환경 조성	▪ 30년 온실가스 감축목표 달성 기반조성, 친환경 녹색물류 추진, 국가 위험물 안전관리 시스템 구축 등, e-Navigation 기술개발 등

- 본 연구는 '미래 대응형 스마트 물류기술 개발 및 확산'의 추진전략 내 '차세대 물류기술 선점을 위한 미래형 물류기술 개발 중 최첨단 기술과 연계한 신규 화물운송시스템 개발 및 제도 정비'의 '육상수송과 해운·철도 등 기존 타 운송수단과의 복합연계 수송기술 개발 및 실용화 전략 수립' 이라는 추진과제로 명시되어 있음

□ 「제2차 물류시설개발종합계획(2013-2017)」과의 부합성

○ 「물류시설개발종합계획」은 「물류시설개발 및 운영에 관한법률」에 근거하여, 물류시설의 중복과잉 투자를 방지하고 물류시설의 합리적인 개발·배치 및 물류체계의 효율화 등을 위한 물류시설(항만시설 제외)의 개발에 관한 5년 단위의 종합계획임



<그림 1-2> 「제2차 물류시설개발종합계획(2013-2017)」의
비전 및 목표

- 본 계획은 「국가물류기본계획」(2001-2020)의 기본방향을 실천하기 위한 연동계획으로 「제1차 물류시설개발종합계획」(2008-2012)에 이어 다음과 같은 내용을 담고 있음

  · 물류시설의 장래 수요/물류시설의 계획적 공급/지정·개발/물류시설의 지역별·규모별·연도별 배치 및 우선순위/기능 개선 및 효율화/물류시설의 공동화·집단화/국내 및 국제 연계수송망 구축

○ 본 계획의 목표 실현을 위해 '수요 창출형 공동물류시설 구축 유도', '도시형물류시설 공급 확대', '지역 친화적 미래형 물류시설로 전환', '기존 시설의 운영 효율성 제고를 전제로 추가 공급 추진', '국제·국내 연계형 복합물류시설 지속 확보'의 추진 전략을 수립

○ 인터모달 자동화물 운송시스템 기술은 고효율고품질·지속가능·고부가가치 물류시설 체계 구축을 위해 꼭 필요한 기술로 「물류시설개발종합계획」과 부합하는 과제라고 할 수 있음

□ 「국가기간교통망계획 제2차 수정계획(2011-2020)」과의 부합성

○ 「제2차 수정계획(2011-2020)」의 하반기 추진전략은 다음과 같음

○ 2020 철도화물수단분담률 18.5% 달성 및 국가산업단지 인입선 개발 촉진

□ 「제2차 해양수산발전기본계획(2011-2020)」과의 부합성

○ 「제2차 해양수산발전기본계획(2011-2020)」은 해양수산 분야에 대한 국가 종합계획으로 해양수산발전기본법 제6조의 규정에 근거하여 향후 10년 동안 해양 관련 타 국가계획과 조화·연계를 통해 추진하기 위한 정책계획 등의 성격을 가짐

○ '세계를 주도하는 선진 해양강국 실현'을 비전으로 지속가능한 해양환경의 보전 및 관리, 신해양산업의 육성 및 전통적 해양산업의 고도화, 신해양질서의 능동적 수용을 통한 해양 영역 확대와 같이 3대 기본 목표를 설정하여 5대 추진전략 및 26개 중점과제를 제시함

○ 중점과제에서 교통물류 부분에 해당되는 세부내용은 다음과 같음

제2절. 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구개발의 목표

가. 연구개발 최종목표

○ 본 기술개발 과제의 목표는 물류비용 및 서비스를 좌우하는 수송비용과 물류인프라 초기투자비용을 최소화하면서 교통 혼잡, 온실가스배출 등 사회·환경 비용을 절감하기 위한 단절 없는(seamless) 인터모달 자동화물운송시스템 기술개발임

○ 새로운 형태의 인터모달 자동무인화물운송시스템을 구성하는 운송대차 및 추진시스템 기술개발 하여 실용화 및 보급을 위한 세부 추진전략 및 방향 등을 제시



<그림 1-3> 연구단 최종 목표

나. 연구범위, 주요 연구내용 및 수행단계

(1) 연구 범위 및 주요 연구내용

○ 본 연구에서 개발하고자 하는 기술은 기존의 운송수단과 운송수단을 연계하는데 필요한 하역과정을 획기적으로 단순화한 두 물류거점 간을 연계하는 새로운 방식의 운송기술 개발임

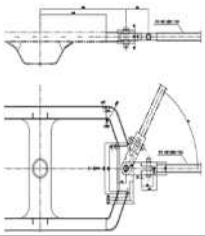
○ 본 기술개발 과제는 물류비용 및 서비스를 좌우하는 수송비용과 물류인프라 초기투자비용을 최소화하면서 교통 혼잡, 온실가스배출 등 사회·환경 비용을 절감하기 위

한 단절없는(seamless) 인터모달 자동화물운송 시스템 기술개발임

○ 본 연구는 총괄 연구내용 3개 세부과제 분야 - 1세부 운송체계 인프라 시스템 기술개발, 2세부 운송차량(대차) 및 추진시스템 기술개발, 3세부 시스템 운영 기술개발 - 중에서 2세부 운송차량(대차) 및 추진시스템 기술개발과 공동연구를 수행하며, 공동연구과제인 “운송차량(대차)/추진시스템/전력변환 개념설계에 따른 시연모형 기술개발”을 수행하고 있음

○ 운송차량(대차)/추진시스템/전력변환장치 개념설계에 따른 시연모형 기술개발의 주요 연구내용은 ①운송대차 및 제동장치 기술, ②운송대차 추진시스템, ③차량용 전력변환장치이며 세부 연구내용은 다음과 같음.

- 대차 회전각도 검증 기술, 회전 대차간격 조절을 위한 연결용 호이스트 동작메커니즘 검증 및 보완 등 회전정렬형 대차시스템 메커니즘 기술
- 운송대차 구조, 완충시스템 분석/설계 기술, 컨테이너-운송대차 인터페이스 분석/설계기술, 대향체 추종형 메커니즘 개념개발 및 시연모형 설계기술, 대차 연결용 고장력 호이스트 개념개발 및 시연모형 설계 기술, 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 개념 개발 및 시연모형 설계 기술, 회전정렬형 대차용 집전장치 개념개발 및 시연모형 설계기술 등 운송대차 기술
- 전기식과 기계식 조합 제동장치 개념개발기술, 시연모형용 기계 제동시스템 설계기술 등 운송대차 제동장치 기술
- 다양한 추진시스템 검토 및 최적 시스템 선정, 추진시스템 발열성능/구조해석 분석 및 설계 기술, 추진시스템 설계/제작/시험평가 기술 등 운송대차 추진시스템
- 시연모형용 VVVF 인버터 설계 기술, 시연모형용 주전원, 보조전원(SIV 등) 시스템 설계 기술 등 차량용 전력변환장치 기술

성과물	성과 목표	개념도
회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발	▪ 별도의 장치나 제어과정을 거치지 않고, 레일 위를 구동하는 대차를 기계적 원리만을 이용하여 수평방향으로 회전시킨 후 정차하게 만들거나, 회전하여 정차한 대차를 수평방향으로 회전시켜 레일 위를 구동하게 하는 기계적 작동 원리 및 개념 개발	
	▪ 다수의 대차들이 회전 정렬시 대차 사이의 간격 조절을 위한 연결용 호이스트 동작 메커니즘 개념 개발	
차량시스템 기술	▪ 직접 화물을 싣고 운행하는 운송대차 구조물의 경량화 설계 ▪ 전장품 적재가 가능한 대차 상판 구조물과 완충시스템, 대차간 연결용 호이스트, 천이구간에서 변화하는 선형에 추종 가능한 대차용 휠 어셈블리와 집전장치, 운송대차 구성품 개발	

성과물	성과 목표	개념도
		
운송대차 추진시스템	▪ 화물이 적재된 운송대차를 견인하는 전동기 기술로서 다양한 전동기 사례 분석 검토 ▪ 최적 추진 전동기를 선정 ▪ 설계기술/제작기술/성능평가 기술개발 ▪ 시연모형용 전동기 개발	
차량용 전력변환 장치	▪ 가변전압 가변주파수(VVVF) 인버터 개발 ▪ 운송대차의 추진 및 속도제어 기술을 확립하는 전력전자 장치 개발 ▪ 추진제어 및 제어전원 요소 등 최적화 기술 및 고밀도 기술 개발 ▪ 비상축전지 충전장치 개발	 
운송대차 제동장치 기술	▪ 정위치 정차와 비상정지를 위한 전기식과 기계식 조합 제동장치 개발	

(2) 연구의 주요 수행과정

○ 본 연구는 '인터모달 자동화물 운송시스템 개발' 과제의 2단계 연구로서 단계별(1단계: 2년, 2단계: 2년)로 추진하되 1단계(자동 운송시스템 설계, 시뮬레이션 분석을 통한 기술성 검토) 연구결과에 대한 평가 후 2단계(시연모델 제작 및 시험평가, 검증)를 추진할 계획임

○ 시작품 제작 및 시험평가, 검증을 위한 연구수행과정은 조사 분석 및 설계, 모듈개발 및 시제품 제작, 테스트베드 구축 및 검증, 실용화 과정으로 진행함

- (조사 분석 및 설계) 기술동향 분석, 운송대차 및 제동장치, 추진제어장치, 보조전원장치 등에 대한 개념설계 개발기술을 수행하여, 실용화 성공을 위한 인터모달 자동화물수송 차량시스템 개념설계 안 도출

- (모듈개발 및 시제품 제작) 핵심요소기술을 모듈별로 제작 개발하고, 각종 시험을 통해 개발기술들에 대한 성능을 검증하며, 이러한 요소기술들을 통합하여 최종 산출물의 시작품 제작 및 유지보수 매뉴얼과 같은 연관 산출물을 제작

- (테스트 베드 구축 및 검증) 개발된 산출물의 실용화를 전제한 테스트 및 보완 과정을 통해 시스템을 안정화하고, 실제 현장에 투입할 경우를 설정한 현장 적용성 평가와 개발기술의 우수성을 바탕으로 홍보 등을 통해 기술실용화 및 기술이전을 추진하는 것을 목표로 함

다. 연차별 연구개발 목표 및 내용

(1) 1차년도

연구개발 목표	연구개발 내용	연구 범위
회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발	대차 회전각도 검증 및 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증	▪ 대차 회전각도 검증 ▪ 회전 대차 간격 조절을 위한 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증
운송대차 및 제동 기술개발	운송대차 및 제동장치 개발	▪ 운송대차 구조와 완충시스템 개념 개발 ▪ 컨테이너-운송대차 인터페이스 개념 개발 ▪ 대향체 추종형 선형전동기 설치 메커니즘 개념 개발 ▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 개념 개발 ▪ 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 개념 개발 ▪ 회전정렬형 대차용 집전장치 개념 개발 ▪ 전기식과 기계식 조합 제동장치 개념 개발
고하중 운송대차 추진용 선형전동기 기술개발	운송대차 추진용 선형전동기 개발	▪ 추진용 선형전동기 목업 및 시연모형용 개념 개발
차량용 전력변환장치 기술개발	전력변환장치/차량제어장치 설계 및 시험평가 기준 / 방법 개발	▪ 인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 개선설계 ▪ 인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 시험평가 기준 및 방법

(2) 2차년도

연구개발 목표	연구개발 내용	연구 범위
회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발	대차 회전각도 및 대차 주행안전성 검증	▪ 시연모형 대차 회전각도 검증 ▪ 시연모형 회전 대차 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증 ▪ 대차시스템 주행안전성 검증
운송대차 및 제동 기술개발	운송대차 및 제동장치 개발	▪ 시연모형 운송대차 구조와 완충시스템 분석/설계 ▪ 시연모형 컨테이너-운송대차 인터페이스 분석/설계 ▪ 시연모형 대향체 추종형 선형전동기 설치 메커니즘 설계 ▪ 시연모형 대차 연결용 고장력 호이스트 설계 ▪ 시연모형 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 설계 ▪ 시연모형 회전정렬형 대차용 집전장치 설계 ▪ 시연모형 회전정렬시 전기식과 기계식 조합 제동장치 설계
고하중 운송대차 추진용 선형전동기 기술개발	운송대차 추진용 선형전동기 개발	▪ 추진 전동기 성능 최적화 설계 ▪ 추진 전동기의 발열성능 및 구조해석 ▪ 제작성 및 시험평가 항목 분석 ▪ 시연모형용 유도전동기 설계
차량용 전력변환장치 기술개발	전력변환장치/차량제어장치 설계 및 시험평가 기준 / 방법 개발	▪ 시연모형용 추진 인버터 설계 ▪ 시연모형용 주/보조전원 설계

(3) 3차년도

연구개발 목표	연구개발 내용	연구 범위
회전정렬형 차량시스템 메커니즘 기술개발	회전정렬형 차량시스템 메커니즘 설계 및 시험평가 기준/방법 개발	▪ 회전정렬 메커니즘 개선설계 ▪ 차량 회전정렬 시험평가 기준 및 방법 ▪ 천이구간에서의 차량 주행안전성 시험평가 기준 및 방법 ▪ 천이구간에서의 동역학적 안전성 및 가드레일 정역학적 해석
차량시스템 기술개발	차량시스템 설계 및 시험평가 기준/ 방법 개발	▪ 대차 구조와 완충시스템 개선설계 ▪ 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 개선설계 ▪ 대차용 동력전달장치 메커니즘 개선설계 ▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 개선설계 ▪ 대차용 휠 어셈블리 개선설계 ▪ 대차용 집전장치 설치 개선설계 ▪ 대차 구조와 완충시스템 시험평가 기준 및 방법 ▪ 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가 기준 및 방법 ▪ 대차용 동력전달장치 시험평가 기준 및 방법 ▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가 기준 및 방법 ▪ 대차용 휠 어셈블리 시험평가 기준 및 방법 ▪ 대차용 집전장치 시험평가 기준 및 방법
운송대차 제동장치 기술개발	대차 제동장치 설계 및 시험평가 기준 / 방법 개발	▪ 제동장치 개선설계 ▪ 제동장치 시험평가 기준 및 방법
운송대차 추진시스템 기술개발	추진용 전동기 설계 및 시험평가 기준 / 방법 개발	▪ 유도전동기 개선설계 ▪ 유도전동기 시험평가 기준 및 방법
차량용 전력변환장치 기술개발	전력변환장치/차량제어장치 설계 및 시험평가 기준 / 방법 개발	▪ 인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 개선설계 ▪ 인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 시험평가 기준 및 방법

(4) 4차년도

핵심성과물	연구내용	연구 범위
회전정렬형 차량시스템 메커니즘 기술개발	회전정렬형 차량시스템 메커니즘 시험평가 및 차량 제작	▪ 차량 회전정렬 시험평가 ▪ 천이구간에서의 주행안전성 시험평가 ▪ 회전정렬 차량 제작
차량시스템 기술개발	차량시스템 시험평가 및 제작	▪ 대차 구조와 완충시스템 시험평가 ▪ 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가 ▪ 대차용 동력전달장치 시험평가 ▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가 ▪ 대차용 휠 어셈블리 시험평가 ▪ 대차용 집전장치 시험평가 ▪ 대차 구조와 완충시스템 제작 ▪ 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 제작 ▪ 대차용 동력전달장치 제작 ▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 제작 ▪ 대차용 휠 어셈블리 제작 ▪ 대차용 집전장치 설치 제작
운송대차 제동장치 기술개발	대차 제동장치 시험평가 및 제작	▪ 제동장치 시험평가 ▪ 제동장치 제작
운송대차 추진시스템 기술개발	추진 시스템 시험평가 및 제작	▪ 유도전동기 시험평가 ▪ 유도전동기 제작
차량용 전력변환장치 기술개발	전력변환장치 / 차량제어장치 시험평가 및 제작	▪ 인버터,주전원/보조전원 및 차량제어장치 시험평가 ▪ 인버터,주전원/보조전원 및 차량제어장치 제작

라. 연구개발 핵심성과 목표

(1) 정량적 성과목표

구분	연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도	운송대차 및 제동장치 기술개발	특허 출원	특허 출원 건수	1건	100%
	소 계			1건	100%
2차년도	운송대차 및 제동장치 기술개발	특허 출원	특허 출원 건수	1건	15%
	회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발	학술지 게재 논문	학술지 게재 논문건수	1건	10%
	고하중 운송대차 추진용 선형전동기 기술개발	학술지 게재 논문	학술지 게재 논문건수	1건	10%
	차량용 전력변환 장치	학술지 게재 논문	학술지 게재 논문건수	1건	10%
	운송대차 및 제동 장치	시작품 제작	시작품 및 단품성능시험보고서	1건	20%
	추진전동기	시작품 제작	시작품 및 단품성능시험보고서	1건	20%
	전력변환장치	시작품 제작	시작품 및 단품성능시험보고서	1건	15%
	소 계			7건	100%
3차년도	회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 기술	소프트웨어 등록	소프트웨어 등록 건수	1건	25%
	차량시스템 기술	특허 등록	특허 등록 건수	1건	25%
		특허 출원	특허 출원 건수	1건	25%
	운송대차 제동장치 기술	소프트웨어 등록	소프트웨어 등록 건수	1건	25%
	소 계			4건	100%
4차년도	회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 제작	Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	2건	9%
		시작품 제작	시제품 유무	1건	4%
	차량시스템 기술 개발	특허 등록	특허 등록 건수	1건	4%
		Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	6건	25%
		시작품 제작	시작품 개수	6건	25%
	운송대차 추진시스템 기술 개발	Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	1건	4%
		시작품 제작	시작품 개수	1건	4%
	차량용 전력변환장치 기술 개발	Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	1건	4%
		시작품 제작	시작품 개수	3건	13%
	운송대차 제동장치 기술 개발	Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	1건	4%
		시작품 제작	시작품 개수	1건	4%
	소 계			24건	100%

(2) 정성적 성과목표

구분	연차별 성과목표		성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도	회전정렬형 대차 시스템 매커니즘 기술개발	대차 회전각도 검증 기술	대차 회전각도 검증	대차 회전각도 검증 문건 유무	1건	12%
		회전 대차간격 조절을 위한 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증 기술	회전 대차 연결용 호이스트 동작메커니즘 검증	회전 대차 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증 문건 유무	1건	12%
	운송대차 및 제동 기술개발	운송대차 개발 기술	운송대차 구조 및 완충시스템 개념 개발	운송대차 구조 및 완충시스템 개념 개발 문건 유무	1건	7%
			컨테이너-운송대차 인터페이스 개념 개발	컨테이너-운송대차 인터페이스 개념 개발 문건 유무	1건	4%
			대항체 추종형 선형전동기 메커니즘 개념 개발	대항체 추종형 선형전동기 메커니즘 개념 개발 문건 유무	1건	7%
			회전 대차 연결용 고장력 호이스트 개념 개발	회전 대차 연결용 고장력 호이스트 개념 개발 문건 유무	1건	7%
			회전 대차용 휠 어셈블리 개념 개발	회전 대차용 휠 어셈블리 개념 개발 문건 유무	1건	7%
			회전 대차용 집전장치 개념 개발	회전 대차용 집전장치 개념 개발 문건 유무	1건	7%
		운송대차용 제동장치 개발 기술	전기식-기계식 조합 제동장치 개념 개발	전기식-기계식 조합 제동장치 개념 개발 문건 유무	1건	9%
	고하중 운송대차 추진용 선형전동기 기술개발	운송대차 추진용 선형전동기 개발 기술	운송 대차 추진용 선형전동기 사례분석 및 기술 검토	운송 대차 추진용 선형전동기 사례분석 및 기술 검토 문건 유무	1건	13%
	차량용 전력변환장치 기술개발	인버터 장치 개발 기술	인버터 장치 개념 개발	인버터 장치 개념 개발 문건 유무	1건	7%
		보조 전원장치 개발 기술	보조 전원장치 개념 개발	보조 전원장치 개념 개발 문건 유무	1건	7%
	소 계					100%
2차년도	회전정렬형 대차 시스템 매커니즘 기술개발	대차 회전각도 검증 기술	시연모형 대차 회전각도 검증	시연모형 대차 회전각도 검증 문건 유무	1건	6%
		회전 대차간격 조절을 위한 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증 기술	시연모형 대차 연결용 호이스트 동작메커니즘 검증	시연모형 대차 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증 문건 유무	1건	5%
		대차주행 안전성 검증	개별 축 대차의 궤도 천이구간 주행 시뮬레이션 검증	주행시뮬레이션 수행 여부	1건	5%
			대차-대차연결용 호이스트 하중지지 안전성 검증	대차-대차연결용 호이스트 하중지지 안전성 검증 문건 유무	1건	5%
	운송대차 및 제동 기술개발	운송대차 개발 기술	시연모형 대차 구조 및 완충시스템 설계	시연모형 대차 구조 및 완충시스템 설계 문건 유무	1건	7%
			시연모형 컨테이너-운송대차 인터페이스 설계	시연모형 컨테이너-운송대차 인터페이스 설계 문건 유무	1건	5%
			시연모형 대항체 추종형 선형전동기 메커니즘 설계	시연모형 대항체 추종형 선형전동기 메커니즘 설계 문건 유무	1건	7%
			시연모형 대차 연결용 고장력 호이스트 설계	시연모형 대차 연결용 고장력 호이스트 설계 문건 유무	1건	7%
			시연모형 대차용 휠 어셈블리 설계	시연모형 대차용 휠 어셈블리 설계 문건 유무	1건	7%
			시연모형 대차용 집전장치 설계	시연모형 대차용 집전장치 설계 문건 유무	1건	7%
		운송대차용 제동장치 개발 기술	시연모형 전기식-기계식 조합 제동장치 설계	시연모형 전기식-기계식 조합 제동장치 설계 문건 유무	1건	10%
	고하중 운송대차 추진용 선형전동기 기술개발	운송대차 추진용 선형전동기 개발 기술	시연모형 추진용 선형전동기 설계	시연모형 추진용 선형전동기 설계 문건 유무	1건	10%
	차량용 전력변환장치 기술개발	인버터 장치 개발 기술	시연모형 인버터 장치 설계	시연모형 인버터 장치 설계 문건 유무	1건	10%
		보조전원장치 개발 기술	시연모형 보조전원장치 설계	시연모형 보조전원장치 설계 문건 유무	1건	10%
	소 계					100%

구분	연차별 성과목표		성과지표	측정방법	목표치	가중치
3차년도	회전정렬형 차량 시스템 매커니즘 기술개발	대차주행 안전성 검증기술	천이구간에서의 동역학적 안전성 및 가드레일 정역학적 해석	동특성 해석 보고서 작성 유무	탈선계수 0.8	1%
			천이구간에서의 주행안전성 시험평가 기준 및 방법	주행안전성 시험 절차서 작성 유무	탈선계수 0.8	1%
		차량시스템 메커니즘 평가기술	차량 회전정렬 시험평가 기준 및 방법	시험 절차서 작성 유무	회전각 70도 (오차범위 -5% 이내)	1%
		차량시스템 메커니즘 설계기술	회전정렬 메커니즘 개선설계	설계도	회전각 70도 (오차범위 -5% 이내)	8%
	차량시스템 기술개발	차량시스템 평가 기술	대차 구조와 완충시스템 시험평가 기준 및 방법	시험 절차서 작성 유무	수직하중 40톤	3%
			컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가 기준 및 방법	시험 절차서 작성 유무	적재하중 31톤	3%
			대차용 동력전달장치 시험평가 기준 및 방법 개발	시험 절차서 작성 유무	감속비 7.07	3%
			대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가 기준 및 방법 개발	시험 절차서 작성 유무	회전각 70도 (오차범위 -5% 이내)	3%
			대차용 휠 어셈블리 시험평가 기준 및 방법	시험 절차서 작성 유무	AAR D축	3%
			대차용 집전장치 시험평가 기준 및 방법	시험 절차서 작성 유무	750V DC	3%
		차량시스템 설계 기술	대차 구조와 완충시스템 개선설계	강도해석 보고서 작성 유무	시험하중 40톤	6%
			컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 개선설계	강도해석 보고서 작성 유무	적재하중 31톤	12%
			대차용 동력전달장치 메커니즘 개선설계	설계도면 작성 유무	감속비 7.07	6%
			대차 연결용 고장력 호이스트 개선설계	설계도면 작성 유무	회전각 70도 (오차범위 -5% 이내)	6%
			대차용 휠 어셈블리 개선설계	설계도면 작성 유무	AAR D축	6%
			대차용 집전장치 설치 개선설계	설계도면 작성 유무	750V DC	6%
	운송대차 추진시스템	추진시스템 평가 기술	추진시스템 시험평가 기준 및 방법	시험 절차서 작성 유무	92kW 이상	2%
		추진용 전동기 설계 기술	유도전동기 개선설계	성능 해석 보고서 작성 유무	92kW 이상	6%
	차량용 전력변환장치 기술개발	전력변환장치 및 차량제어장치 평가 기술	VVF 인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 시험평가 기준 및 방법	시험 절차서 작성 유무	인버터 230kVA 이상	3%
		전력변환장치 및 차량제어장치 설계 기술	VVF 인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 설계	설계도면 작성 유무	인버터 230kVA 이상	9%
	운송대차 제동장치 기술개발	제동장치 평가 기술	제동장치 시험평가 기준 및 방법	시험 절차서 작성 유무	감속도 1.5㎞/h/s(상용), 2.0㎞/h/s(비상)	3%
		제동장치 설계 기술	제동장치 설계	제동력 계산서 작성 유무	감속도 1.5㎞/h/s(상용), 2.0㎞/h/s(비상)	6%
	소 계					100%

구분	연차별 성과목표		성과지표	측정방법	목표치	가중치
4차년도	회전정렬형 차량 시스템 매커니즘 기술개발	대차주행 안전성 검증기술	천이구간에서의 주행안전성 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	주험안전성 시험평가 보고서 문건 1건	1%
		차량시스템 메커니즘 평가기술	차량 회전정렬 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	회전각 70도 (오차범위 -5% 이내)	1%
		차량시스템 메커니즘 설계기술	회전정렬 메커니즘 제작	시작품 사진	시작품 1건	7.5%
	차량시스템 기술개발	차량시스템 평가 기술	대차 구조와 완충시스템 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	수직하중 40톤	1%
			컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	적재하중 31톤	1%
			대차용 동력전달장치 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	감속비 7.07	1%
			대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	회전각 70도 (오차범위 -5% 이내)	1%
			대차용 휠 어셈블리 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	AAR D축	1%
			대차용 집전장치 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	750V DC	1%
		차량시스템 설계 기술	대차 구조와 완충시스템 제작	시작품 사진	시험하중 40톤	10%
			컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 제작	시작품 사진	적재하중 31톤	10%
			대차용 동력전달장치 제작	시작품 사진	감속비 7.07	7.5%
			대차 연결용 고장력 호이스트 제작	시작품 사진	회전각 70도 (오차범위 -5% 이내)	7.5%
			대차용 휠 어셈블리 제작	시작품 사진	AAR D축	7.5%
			대차용 집전장치 제작	시작품 사진	750V DC	7.5%
	운송대차 추진시스템	추진시스템 평가 기술	유도전동기 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	92kW 이상	1%
		추진용 전동기 설계 기술	유도전동기 제작	시작품 사진	92kW 이상	7.5%
	차량용 전력변환장치 기술개발	전력변환장치 및 차량제어장치 평가 기술	VWF인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	인버터 230kVA 이상	1%
		전력변환장치 및 차량제어장치 설계 기술	VWF인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 제작	시작품 사진	인버터 230kVA 이상	16.5%
	운송대차 제동장치 기술개발	제동장치 평가 기술	제동장치 시험평가	Test-Bed 공인시험 인증서	감속도 1.5km/h/s(상용), 2.0km/h/s(비상)	1%
		제동장치 설계 기술	제동장치 제작	시작품 사진	감속도 1.5km/h/s(상용), 2.0km/h/s(비상)	7.5%
	소 계					100%

2. 연구추진 체계 및 전략

가. 연구개발 추진전략 및 방법

○ 본 연구개발은 운송차량 및 추진시스템 개념개발에 따른 시연모형설계 기술개발' 과제의 1단계 1차년도 연구개발로서 단계별(1단계: 2년, 2단계: 2년)로 추진하되 1단계 운송대차 및 추진시스템의 조사 분석 및 설계 등의 연구결과에 대한 평가 후 2단계 모듈개발, 시제품 제작, 시험평가/검증 등을 추진할 계획임

○ 1단계 운송차량 및 추진시스템 기술개발은 운송대차 회전정렬시 기구학적 검증과 제동, 집전장치 개념개발을 진행하고, 추진시스템의 경우 다양한 전동기 추진방식의 사례분석과 최적화 시스템 연구 및 설계를 추진함.



<그림 1-4> 운송차량 및 추진시스템 기술개발 흐름도

- 1차년도 : 설계개념 정립

· 운송대차 메커니즘 기구학전 화전각도 검증 과 함께 링크 연결 방식별 메커니즘 검증 연구, 제동장치와 집전장치 개념 개발, 추진 인버터 및 보조전원장치 개념을 정립함

- 2차년도 : 설계 및 시스템 구축

· 시연모형용 대차운송 메커니즘 설계 및 주요 구성품 설계, 시연모형용 제동장치

및 집전장치 설계와 더불어 선형추진시스템 설계, 추진인버터 및 보조전원장치 설계를 진행함

- 3차년도 : 개선 설계 시제품 제작

· 2차년도 설계에 대하여 개선설계를 수행하고, 제동장치, 대차 설비품, 전력변환장치 설계를 완료함. 시제품 차체, 대차를 제작하여 회전정렬 시험을 수행함.

- 4차년도 : 테스트 베드 내 시운전을 통한 검증

· 3차년도에 제작한 구성품을 기준으로 최종 완성차량을 제작하고, 테스트 베드 내 시운전 및 개선과정을 통해 인터모달 차량 시스템의 메커니즘을 검증함.

나. 핵심 연구 성과 별 추진전략 및 방법

(1) 1차년도

□ 회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발

연구내용	연구수행방법
대차 회전각도 검증	▪ 시스템 요구사항 및 주요장치 기술사양 정립 ▪ 시뮬레이션을 이용한 수평회전정렬형 대차 회전각도 검증모델 개발 ▪ 시뮬레이션을 이용한 대차 회전 정렬 검증
회전대차 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증	▪ 호이스트 연결방안 검토 ▪ 대차 연결용 호이스트 동작메커니즘 검증 ▪ 레일 횡하중 해석 및 동하중 분석

□ 운송대차 및 제동장치 기술개발

연구내용	연구수행방법
운송대차 구조와 완충시스템 개념 개발	▪ 운송대차 구조와 완충시스템 개념 개발 ▪ 회전정렬 회전체 개념 개발
컨테이너-운송대차 인터페이스 개념개발	▪ 국내외 컨테이너 트레일러 샤시 기술동향 조사 분석 실시 ▪ 트레일러 샤시 적차를 위한 차체 개념 개발 ▪ 상하차시 트레일러 안전 주행을 위한 내측/외측 가이드레일 개념 개발 ▪ 천이구간/정거장에서 차체 회전정렬을 위한 언더 후레임 개념 개발
대항체 추종 선형전동기 설치 메커니즘 개념 개발	▪ 운송대차 선형전동기 설치 메카니즘 개념 개발 ▪ 운송대차의 거동에 따른 선형전동기 지지대 개념 개발
대차 연결용 고장력 호이스트 개념 개발	▪ 차량/항공기/트랙터 연결용 호이스트 운영사례 조사 분석 ▪ 회전정렬 운송대차 연결용 호이스트 개념개발 ▪ 회전정렬 대차의 횡력 검토
회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 개념 개발	▪ 회전정렬 운송대차의 차륜 및 차축 개념개발 ▪ 궤도/차륜 인터페이스 개념개발
회전정렬형 대차용 집전장치 개념 개발	▪ 회전정렬형 대차용 집전장치 개념 개발
전기식-기계식 조합 제동장치 개념 개발	▪ 제동장치의 요구 성능 및 제동거리 계산 및 검토 ▪ 전기식과 기계식 조합 제동장치 개념 개발

□ 고하중 운송대차 추진용 선형전동기 기술개발

연구내용	연구수행방법
운송대차 추진용 선형 전동기 사례분석 및 기술 검토	▪ 차량 견인력 및 출력 해석 ▪ 다양한 선형추진시스템 적용 사례 검토 ▪ 최적화 추진전동기 선정 검토

□ 차량용 전력변환장치 기술개발

연구내용	연구수행방법
추진 인버터 개념 개발	▪ 추진인버터 기술사양 검토 ▪ 시연모형용 추진 인버터 개념 분석 및 방안 검토
보조전원 개념 개발	▪ 보조회로 기술사양 검토 ▪ 시연모형용 주/보조전원 개념 분석 및 방안 검토

(2) 2차년도

□ 회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발

연구내용	연구수행방법
차체 회전각도 검증	▪ 시뮬레이션을 통한 시연모형 회전정렬형 대차 회전각도 검증
회전 대차 간격 조절을 위한 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증	▪ 동적 해석 모델을 이용한 차간 연결장치 호이스트의 기능 검토 ▪ 동하중 분석을 통하여 안전한 호이스트 설계 및 제작
대차주행 안전성 검증	▪ 개별 축 대차의 궤도 천이구간 주행 시뮬레이션 검증 ▪ 대차-대차연결용 호이스트 하중지지 안전성 검증 ▪ 천이구간, 정거장의 주행개념 정의 및 주행거동을 분석

□ 운송대차 및 제동장치 기술개발

연구내용	연구수행방법
시연모형 대차 구조와 완충시스템 설계	▪ 시연모형 운송대차 구조와 완충시스템 설계 ▪ 시연모형 운송대차 구조 해석 및 분석
시연모형 컨테이너-운송대차 인터페이스 설계	▪ 시연모형 컨테이너-운송대차 인터페이스 설계 ▪ 시연모형 차체 구조 해석 및 분석 ▪ 천이구간 및 정거장에서의 분기를 위한 구조물 개념 설계
시연모형 대항체 추종 선형전동기 설치 메커니즘 설계	▪ 시연모형 동력전달장치 메커니즘 설계
시연모형 대차 연결용 고장력 호이스트 설계	▪ 시연모형 대차 연결용 고장력 호이스트 설계
시연모형 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 설계	▪ 시연모형 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 설계
시연모형 회전정렬형 대차용 집전장치 설계	▪ 시연모형 회전정렬형 대차용 집전장치 설계
시연모형 전기식-기계식 조합 제동장치 설계	▪ 공압장치 개념설계 ▪ 시연모형 전기식과 기계식 조합 제동장치 설계 ▪ 시연모형 전기식과 기계식 조합 제동장치 제작

□ 고하중 운송대차 추진용 선형전동기 기술개발

연구내용	연구수행방법
운송대차 추진용 선형전동기 설계	▪ 최적화 추진전동기 선정 (추진전동기 선형전동기에서 유도전동기로의 변경) ▪ 시연모형 추진용 전동기 기본설계 ▪ 시연모형 추진용 전동기 발열성능/구조해석 분석 및 설계 ▪ 시연모형 추진용 전동기 제작

□ 차량용 전력변환장치 기술개발

연구내용	연구수행방법
시연모형 인버터 장치 설계	▪ 시연모형용 추진 인버터 설계 및 제작
시연모형 보조전원 장치 설계	▪ 시연모형용 주/보조전원 설계 및 제작

(3) 3차년도

□ 회전정렬형 차량시스템 메커니즘 기술

연구범위	연구수행방법
천이구간에서의 동역학적 안전성 및 가드레일 정역학적 해석	▪ 동적 거동해석에 의한 천이구간에서의 반력 분석
천이구간에서의 주행 안전성 시험평가 기준 및 방법	▪ 주행안전성 평가를 위한 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립
차량 회전정렬 시험 평가 기준 및 방법	▪ 회전정렬을 시험하기 위한 테스트베드 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
회전정렬 메커니즘 개선 설계	▪ 테스트베드 시험을 위한 천이구간 선형, 길이, 차량속도 선정

□ 차량(운송대차 포함)시스템 기술

연구범위	연구수행방법
대차 구조와 완충시스템 시험평가 기준 및 방법	▪ 대차관련 국내외 관련 시험평가 기준 검토 ▪ 회전정렬 대차에 대한 구성품 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가 기준 및 방법	▪ 차체관련 국내외 관련 시험평가 기준 검토 ▪ 회전정렬 차체에 대한 구성품 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
대차용 동력전달장치 시험평가 기준 및 방법	▪ 동력전달장치 관련 국내외 관련 시험평가 기준 검토 ▪ 동력전달장치에 대한 구성품 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가 기준 및 방법	▪ 호이스트 관련 국내외 관련 시험평가 기준 검토 ▪ 호이스트에 대한 구성품 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
대차용 휠 어셈블리 시험평가 기준 및 방법	▪ 휠 어셈블리 관련 국내외 관련 시험평가 기준 검토 ▪ 휠 어셈블리에 대한 구성품 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
대차용 집전장치 시험평가 기준 및 방법	▪ 집전장치 관련 국내외 관련 시험평가 기준 검토 ▪ 집전장치에 대한 구성품 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
대차 구조와 완충시스템 설계	▪ 운송대차 구조와 완충시스템 개선 설계
컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 설계	▪ 컨테이너-운송대차 인터페이스 개선 설계
대차용 동력전달장치 메커니즘 설계	▪ 동력전달장치 메커니즘 개선 설계
대차 연결용 고장력 호이스트 설계	▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 개선 설계
대차용 휠 어셈블리 설계	▪ 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 개선 설계
대차용 집전장치 설치 설계	▪ 회전정렬형 대차용 집전장치 개선 설계

□ 운송대차 제동장치 기술

연구범위	연구수행방법
제동장치 시험평가 기준 및 방법	▪ 제동장치 관련 국내외 관련 시험평가 기준 검토 ▪ 제동장치에 대한 구성품 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
제동장치 설계	▪ 제동장치 개선 설계

□ 운송대차 추진시스템

연구범위	연구수행방법
유도전동기 시험평가 기준 및 방법	▪ 추진 전동기 관련 국내외 관련 시험평가 기준 검토 ▪ 추진 전동기에 대한 구성품 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
유도전동기 설계	▪ 추진 전동기 개선설계

□ 차량(운송대차 포함)용 전력변환장치

연구범위	연구수행방법
인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 시험평가 기준 및 방법	▪ 전력변환장치 관련 국내외 관련 시험평가 기준 검토 ▪ 추진 전동기에 대한 구성품 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립.
인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 설계	▪ 전력변환장치 개선설계

(4) 4차년도

□ 회전정렬형 차량시스템 메커니즘 기술

연구범위	연구수행방법
천이구간에서의 주행 안전성 시험평가	▪ 주행안전성 평가관련 테스트베드 및 완성차 시험 계획서에 기반한 시험평가 실시
차량 회전정렬 시험평가	▪ 테스트베드 시험기준 및 계획서에 기반한 시험평가 실시
회전정렬 메커니즘 제작	▪ 테스트베드 차량이송 ▪ 차량 시운전을 통한 차량 하드웨어 개선

□ 차량 시스템 기술

연구범위	연구수행방법
대차 구조와 완충시스템 시험평가	▪ 회전정렬 대차 관련 구성품 시험계획서에 준하여 시험실시
컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가	▪ 회전정렬 차체 관련 구성품 시험계획서에 준하여 시험실시
대차용 동력전달장치 시험평가	▪ 동력전달장치 관련 구성품 시험계획서에 준하여 시험실시
대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가	▪ 호이스트 관련 구성품 시험계획서에 준하여 시험실시
대차용 휠 어셈블리 시험평가	▪ 휠 어셈블리 관련 구성품 시험계획서에 준하여 시험실시
대차용 집전장치 시험평가	▪ 집전장치 관련 구성품 시험계획서에 준하여 시험실시
대차 구조와 완충시스템 제작	▪ 운송대차 구조와 완충시스템 제작
컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 제작	▪ 컨테이너-운송대차 인터페이스용 차체 및 설비 제작 ▪ 시운전을 통한 하드웨어 개선실시
대차용 동력전달장치 제작	▪ 동력전달장치 메커니즘 제작
대차 연결용 고장력 호이스트 제작	▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 제작
대차용 휠 어셈블리 제작	▪ 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 제작
대차용 집전장치 제작	▪ 회전정렬형 대차용 집전장치 제작 ▪ 시운전을 통한 하드웨어 개선실시

□ 운송대차 추진시스템

연구범위	연구수행방법
유도전동기 시험평가	▪ 추진전동기 관련 구성품 시험계획서에 준하여 시험실시
유도전동기 제작	▪ 유도전동기 제작

□ 차량용 전력변환장치

연구범위	연구수행방법
VVVF인버터, 주전원/보조전원장치 및 차량제어장치 시험평가	▪ 전력변환장치 관련 구성품 시험계획서에 준하여 시험실시 ▪ 테스트베드 시험계획서 중 관련 항목 시험실시
VVVF인버터, 주전원/보조전원장치 및 차량제어장치 제작	▪ 전력변환장치 제작 ▪ 테스트베드 시운전을 통한 소프트웨어 및 하드웨어 개선

□ 운송대차 제동장치 기술

연구범위	연구수행방법
제동장치 시험평가	▪ 제동장치 관련 구성품 시험계획서에 준하여 시험실시
제동장치 제작	▪ 제동장치 제작 ▪ 테스트베드 시운전을 통한 소프트웨어 및 하드웨어 개선

다. 연구개발 추진체계

(1) 1차년도

2 세부과제	
과제명	운송대차 및 추진시스템 기술개발
협동기관	한국기계연구원

총 참 여 연 구 원
협동연구책임자 (김동성)외 36

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	1	24	37
대 학	2	8	
국공립(연)	-	-	
출 연 (연)	1	5	
기 타	-	-	

주 관 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
한국기계연구원	㈜성신알에스티	부산대학교 산학협력단	충남대학교 산학협력단
참 여 연 구 원	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**
주관연구책임자 (김동성)외 4명	공동연구책임자 (장병희)외 23명	위탁연구책임자 (안창선)외 3명	위탁연구책임자 (조한욱)외 3명
책임급 2명, 선임급 1명, 원급 2명, 기타 0명	책임급 15명, 선임급 4명, 원급 5명, 기타 0명	책임급 1명, 선입급 0명, 원급 3명, 기타 0명	책임급 1명, 선입급 0명, 원급 3명, 기타 0명
담당연구개발내용	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**
과제명: 운송대차 및 추진시스템 기술개발	과제명: 운송대차/추진시스템/전력변환 개념개발	과제명: 회전정렬형 대차구조 개념 설계 기술개발	과제명: 고하중 운송대차 추진용 선형전동기 설계 기술개발
▪ 2세부 과제 주관 ▪ 대차회전각도 검증 ▪ 운송대차 개념 개발 ▪ 고하중 운송대차 선형 추진 시스템 개념개발	▪ 운송대차 및 완충 시스템 개념설계 ▪ 선형전동기 메커니즘 개념 개발 ▪ 회전 대차 연결용 호이스트 / 휠 어셈블리 / 집전장치 개념 개발 ▪ 인버터 장치/ 보조전원 장치 개념 개발	▪ 대차 회전각도 검증 ▪ 회전 대차 연결용 호이스트 동작 매커니즘 검증	▪ 운송대차 추진용 선형전동기 사례 분석 ▪ 운송대차 추진용 선형전동기 기술 검토

참여기업	

(2) 2차년도

2 세부과제	
과제명	운송대차 및 추진시스템 기술개발
협동기관	한국기계연구원

총 참 여 연 구 원
협동연구책임자 (김동성)외 36

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	1	24	37
대 학	2	8	
국공립(연)	-	-	
출 연 (연)	1	5	
기 타	-	-	

주 관 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
한국기계연구원	㈜성신알에스티	부산대학교 산학협력단	충남대학교 산학협력단
참 여 연 구 원	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**
주관연구책임자 (김동성)외 4명	공동연구책임자 (장병희)외 23명	위탁연구책임자 (안창선)외 3명	위탁연구책임자 (조한욱)외 3명
책임급 2명, 선임급 1명, 원급 2명, 기타 0명	책임급 15명, 선임급 4명, 원급 5명, 기타 0명	책임급 1명, 선입급 0명, 원급 3명, 기타 0명	책임급 1명, 선입급 0명, 원급 3명, 기타 0명
담당연구개발내용	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**
과제명: 운송대차 및 추진시스템 기술개발	과제명: 운송대차/추진시스템/전력변환 개념개발에 따른 시연모형설계 기술개발	과제명: 회전정렬형 대차구조 개념 설계 기술개발	과제명: 고하중 운송대차 추진용 선형전동기 설계 기술개발
▪ 2세부 과제 주관 ▪ 운송대차 개념 개발 ▪ 고하중 운송대차 선형 추진 시스템 개념개발 ▪ 추진인버터/보조전원 장치 개념개발	▪ 운송대차 개념개발에 따른 기본 설계 ▪ 추진시스템 개념 설계 ▪ 전력변환장치 개념 설계 ▪ 전기식·기계식 혼합 제동장치 개념 설계 ▪ 시연모형용 운송대차 목업 설계	▪ 시연모형 대차 회전각도 검증 ▪ 대차 횡반력 감소를 위한 호이스트 개선 개념안 도출 ▪ 개별 축 대차의 궤도 천이구간 주행 시뮬레이션 검증 ▪ 대차-대차연결용 호이스트 하중지지 안전성 검증	▪ 시연모형 추진용 선형전동기 설계 ▪ 시연모형 선형추진 시스템 발열성능/구조해석 분석

참여기업	

(3) 3차년도

2 세부과제	
과제명	운송차량 및 추진시스템 기술개발
협동기관	한국기계연구원

총 참 여 연 구 원
협동연구책임자 (한형석)외 30

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	1	25	31
대 학	-	-	
국공립(연)	-	-	
출 연 (연)	1	6	
기 타	-	-	

협 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관
한국기계연구원	㈜성신알에스티

참 여 연 구 원	참 여 연 구 원
주관연구책임자 (한형석)외 5명	공동연구책임자 (장병희)외 24명
책임급 3명, 선임급 3명, 원급 0명, 기타 0명	책임급 8명, 선임급 11명, 원급 6명, 기타 0명

담당연구개발내용	
과제명	회전정렬형 차량시스템 개발
▪ 2세부 과제 주관 ▪ 차량시험 기준 및 방안 개발 ▪ 시험평가	

담당연구개발내용	
과제명	회전정렬형 차량시스템 제작
▪ 차량개선 설계 ▪ 차량제작 ▪ 차량시험 지원	

참여기업	

(4) 4차년도

2 세부과제	
과제명	운송차량 및 추진시스템 기술개발
협동기관	한국기계연구원

총 참 여 연 구 원
협동연구책임자 (한형석)외 38

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	35	39
대 학	-	-	
국공립(연)	-	-	
출 연 (연)	1	4	
기 타	-	-	

협 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관
한국기계연구원	㈜성신알에스티	이경산전㈜
참 여 연 구 원	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**
주관연구책임자 (한형석)외 3명	공동연구책임자 (장병희)외 28명	공동연구책임자 (이을재)외 명 5명
책임급 1명, 선임급 3명, 원급 0명	책임급 11명, 선임급 8명, 원급 10명	책임급 2명, 선임급 2명, 원급 2명

담당연구개발내용		담당연구개발내용		담당연구개발내용	
과제명	회전정렬형 차량시스템 개발	과제명	회전정렬형 차량시스템 제작	과제명	회전정렬형 차량용 전력변환장치 제작
▪ 2세부 과제 주관 ▪ 대차주행안전성 검증 - 천이구간에서의 주행안전성 시험평가 ▪ 차량시스템 메커니즘 평가기술 - 차량 회전정렬 시험평가 ▪ 차량시스템 평가 기술개발 - 대차 구조와 완충시스템 시험평가 - 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가 - 대차용 동력전달장치 시험평가 - 대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가 - 대차용 휠 어셈블리 시험평가 - 대차용 집전장치 시험평가 ▪ 추진시스템 평가 기술개발 - 유도전동기 시험평가 ▪ 전력변환장치 및 차량제어장치 평가기술 - WWF인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 시험평가 ▪ 제동장치 평가 기술개발 - 제동장치 시험평가		▪ 차량시스템 메커니즘 제작 - 회전정렬 메커니즘 제작 ▪ 차량시스템 제작기 - 대차 구조와 완충시스템 제작 - 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 제작 - 대차용 동력전달장치 제작 - 대차 연결용 고장력 호이스트 제작 - 대차용 휠 어셈블리 제작 - 대차용 집전장치 제작 ▪ 추진시스템 제작 - 유도전동기 제작 ▪ 제동장치 제작 - 제동장치 제작		▪ 전력변환장치 및 차량제어장치 제작기술 - WWF인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 제작

참여기업	

라. 연구개발 추진일정

(1) 1차년도

구분	세부연구내용	월 단위 추진계획						소요연구비 (백만원)
		1	2	3	4	5	6	
회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발	대차 회전각도 검증							32
	회전대차 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증							32
운송대차 및 제동장치 기술개발	운송대차 구조 및 완충시스템 개념 개발							19
	컨테이너-운송대차 인터페이스 개념 개발							12
	대항체 추종형 선형전동기 메커니즘 개념 개발							19
	회전 대차 연결용 고장력 호이스트 개념 개발							19
	회전 대차용 휠 어셈블리 개념 개발							19
	회전 대차용 집전장치 개념 개발							19
	전기식-기계식 조합 제동장치 개념 개발							24
고하중 운송대차추진시스템 기술개발	운송 대차 추진용 선형전동기 사례분석 및 기술 검토							36
차량용 전력변환장치 기술개발	인버터 장치 개념 개발							18
	보조 전원장치 개념 개발							18

(2) 2차년도

구분	세부연구내용	월 단위 추진계획																		소요연구비 (백만원)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발	시연모형 회전정렬형 대차 회전각도 검증																			202
	시연모형 회전정렬형 대차 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증																			100
	대차주행 안전성 검증																			102
운송대차 및 제동장치 기술개발	시연모형 회전정렬형 운송대차 구조와 완충시스템 분석/설계																			145
	시연모형 회전정렬형 컨테이너-운송대차 인터페이스 분석/설계																			101
	시연모형 회전정렬시 대항체 추종 선형전동기 설치 메커니즘 설계																			146
	시연모형 회전정렬시 대차 연결용 고장력 호이스트 설계																			146
	시연모형 회전정렬시 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 설계																			146
	시연모형 회전정렬시 회전정렬형 대차용 집전장치 설계																			146
	시연모형 회전정렬시 전기식과 기계식 조합 제동장치 설계																			200
고하중 운송대차 추진시스템 기술개발	시연모형용 선형추진시스템 발열성성/구조해석 분석																			100
	시연모형용 선형추진시스템 설계																			100
차량용 전력변환장치 기술개발	시연모형용 추진인버터설계																			200
	시연모형용 보조전원설계																			200

(3) 3차년도

구분	세부연구내용	월 단위 추진계획									소요연구비 (백만원)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 기술	회전정렬형 차량시스템 메커니즘 시험평가 기준 및 방법 개발										30
	회전정렬 메커니즘 개산설계										220
차량시스템 기술	대차 구조와 완충시스템 시험평가 기준 및 방법 개발										15
	컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가 기준 및 방법 개발										20
	대차용 동력전달장치 시험평가 기준 및 방법 개발										15
	대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가 기준 및 방법 개발										15
	대차용 휠 어셈블리 시험평가 기준 및 방법 개발										15
	대차용 집전장치 시험평가 기준 및 방법 개발										15
	대차 구조와 완충시스템 개선설계										105
	컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 개선설계										707
	대차용 동력전달장치 메커니즘 개선설계										100
	대차 연결용 고장력 호이스트 개선설계										100
	대차용 휠 어셈블리 개선설계										100
	대차용 집전장치 설치 개선설계										100
운송대차 제동장치 기술	제동장치 시험평가 기준 및 방법 개발										20
	제동장치 개선설계										180
운송대차 추진시스템	유도전동기 시험평가 기준 및 방법 개발										12.5
	유도전동기 개선설계										157.5
차량용 전력변환장치	인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 시험평가 기준 및 방법 개발										30
	인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 개선설계										229

(4) 4차년도

구분	세부연구내용	월 단위 추진계획																					소요 연구비 (백만원)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 기술	천이구간에서의 주행안전성 시험평가																―	―	―	―	―	―	30
	차량 회전정렬 시험평가																―	―	―	―	―	―	30
	회전정렬 메커니즘 제작	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―									230
차량시스템 기술	대차 구조와 완충시스템 시험평가														┈	┈	┈	―	―	―	―	―	30
	컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가														┈	┈	┈	―	―	―	―	―	30
	대차용 동력전달장치 시험평가														┈	┈	┈	―	―	―	―	―	25
	대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가														┈	┈	┈	―	―	―	―	―	25
	대차용 휠 어셈블리 시험평가														┈	┈	┈	―	―	―	―	―	25
	대차용 집전장치 시험평가														┈	┈	┈	―	―	―	―	―	25
	대차 구조와 완충시스템 제작	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―									300
	컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 제작	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―									317
	대차용 동력전달장치 제작	―	―	―	―	―	―	―															230
	대차 연결용 고장력 호이스트 제작	―	―	―	―	―	―																230
	대차용 휠 어셈블리 제작	―	―	―	―	―	―																230
	대차용 집전장치 제작	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―											230
운송대차 추진시스템	유전동기시험평가														―	―	―	―	―	―			30
	유전동기 제작	―	―	―	―	―	―																230
차량용 전력변환장치	인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 시험평가														―	―	―	―	―	―			30
	인버터, 차량제어장치 및 보조전원장치 제작	―	―	―	―	―	―	―	―	―													550
운송대차 제동장치 기술	제동장치 시험평가														―	―	―	―	―	―			30
	제동장치 제작	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―												230

주: 점선은 테스트베드 시공 전 인프라와의 인터페이스 조정 기간을 의미

제3절. 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 수행 내용 요약

가. 1차년도

연구 범위	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구결과
회전정렬형 대차 시스템 매커니즘 기술개발	대차 회전각도 검증	▪ 시스템 요구사항 및 주요장치 기술사양 정립 ▪ 기존 표준 궤간 사용, 기존 바퀴 사용, 기존 대차와 유사한 대차 구조 사용 ▪ 대차와 차체는 회전 조인트로 연결 ▪ 화물의 상차시 고정기능 보유와 전장품 설치 및 유지보수가 가능한 차체 구조 제안 ▪ 안내륜으로 천이구간에서 기계적으로 회전정렬 유도 ▪ 대차 하부에 설치된 선형전동기로 추진 ▪ 시뮬레이션에 의한 대차(차량) 회전 정렬(각도) 검증	▪ CAD와 동적해석 모델에 의하여 대차들의 회전정렬 운동 확인. 또한 동적 레일 횡하중도 확인함. 그 결과 제안한 개념이 회전정렬이 가능함을 확인. 다만, 세밀한 추진전동기의 속도 제어가 요구됨을 발견함
	회전 대차 간격 조절을 위한 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증	▪ 차량과 차량을 연결하기 위해서 호이스트로 인접한 차량의 대차들을 서로 연결 ▪ 회전정렬형 대차 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증 ▪ 회전정렬 시 레일 횡하중 해석	▪ 동적 해석 모델을 이용하여 제안된 호이스트의 기능을 확인함. 또한 동하중 분석을 통하여 안전성을 보장하는 호이스트 설계함
운송대차 및 제동 기술개발	회전정렬형 운송대차 구조와 완충시스템 분석/설계	▪ 운송대차 기술사양서 작성 ▪ 운송대차 구조 개념설계 ▪ 차체 회전을 위한 회전롤러 개념설계 ▪ 회전정렬 연결을 위한 대차 골조 개념설계 ▪ 운송대차 분기를 위한 가이드레일 개념설계	▪ 운송대차 구조와 완충장치에 대하여 기술요구사양을 검토하여 수립하였으며, 인터모달용 운송대차는 기존철도화물 대차의 기술을 활용하여 개념 설계하여 안정성 높임
	회전정렬형 컨테이너-운송대차 인터페이스 분석/설계	▪ 국내외 컨테이너 트레일러 샤시 기술동향 조사 분석 ▪ 차량시스템 기술요구사양 검토/작성 ▪ 트레일러 샤시 적차를 위한 차체 개념설계 ▪ 상하차시 트레일러 안전 주행을 위한 내측/외측 가이드레일 개념설계 ▪ 천이구간/정거장에서 차체 회전정렬을 위한 언더후레임 개념 설계	▪ 차량시스템의 기술요구사양을 수립하였고, 차체, 운송대차와 인터페이스, 트레일러의 상하차 레일 등의 개념설계
	회전정렬시 대항체 추종 선형전동기 설치 메커니즘 개념 개발	▪ 운송대차 축상 단부에 선형전동기 지지 대 개념설계 ▪ 선형전동기를 LIM 지지대에 설치하기 위한 LIM 브라켓트 개념설계	▪ 선형전동기와 궤도의 리액션플레이트와 일정한 공극을 유지하도록 운송대차 축상에 선형전동기 설치 메커니즘을 도입하였고, 축상의 진동 및 변위를 고려해 고무부시를 선형전동기 지지대와 축상 연결부위에 설치하여 진동과 변위에 대비함
	회전정렬시 대차 연결용 고장력 호이스트 개념 개발	▪ 차량/항공기/트랙터 연결용 호이스트 운영사례 조사 분석 ▪ 대차 연결용 호이스트 개념설계 ▪ 호이스트 바 개념설계 ▪ 회전정렬 대차 연결용 호이스트 적합성 검토	▪ 천이구간, 정거장에서 주행에 대한 개념을 정의하여 주행거동을 분석 하였으며, 회전정렬 연결용 운송대차, 호이스트 및 바에 대한 개념설계
	회전정렬시 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 개념 개발	▪ 회전정렬형 대차용 차륜 및 차축 조립 개념설계 ▪ 회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 개념설계	▪ 인터모달 노선의 본선, 천이구간 및 정거장에서 회전정렬형 대차가 원활히 주행할 수 있도록 기존화물대차의 기술을 활용하여 대차의 차축과 휠 어셈블리를 개념설계를 수행함
	회전정렬시 회전정렬형 대차용 집전장치 개념	▪ 회전정렬형 대차용 집전장치 연구/검토	▪ 차량에 전원을 공급할 수 있도록 천이구간, 정거장에서 회전정렬형 대차가 주행하면서 집전장치가 원활히 수전하도록 함

연구 범위	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구결과
	개발		
	회전정렬시 전기식과 기계식 조합 제동장치 개념 개발	▪ 제동장치의 요구 성능 및 제동거리 계산 및 검토 ▪ 전기식 및 기계식 조합제동장치 검토 연구 ▪ 제동장치 구성 및 제동회로 개념설계	▪ 주행 중 요구되는 가감속도를 발휘하기 위하여 전기식/기계식 조합제동장치 기술사양을 정하여 제동시스템을 구성하였으며, 또한 제동성능, 제동거리가 등을 계산하여 검토/분석함
고하중 운송대차 추진용 선형전동기 기술개발	운송대차 추진시스템 사례 분석 최적화 선형전동기 선정 검토	▪ 다양한 선형추진전동기 사례분석 및 검토 ▪ 전동기 발열성능분석 및 구조해석 검토 ▪ 고하중 운송대차 최적화 선정 검토 ▪ 회전정렬 차량용 선형전동기 적합성 검토 ▪ 선형전동기 기술사양 작성	▪ 선형전동기 기술요구사양과 해석 자료에 검토하여 개념설계를 수행하였고, 대차의 선형전동기 설치 메커니즘은 운송대차와 인터페이스를 수행하여 개념설계 수행함
	시연모형용 선형전동기 기본 설계	▪ 차량 소요 견인력 및 선형전동기 성능 해석 및 검토 ▪ 선형전동기 개념설계	
차량용 전력변환장치 기술개발	시연모형용 추진 인버터 기본 설계	▪ 추진인버터 기술사양 검토/작성 ▪ 주회로도 구성 및 작성 ▪ 보조회로 기술사양 검토/작성	▪ 차량의 견인력을 검토하여 추진시스템에 대하여 기술요구사양을 수립하였고, 추진시스템 주회로 구성함 ▪ 추진제어시스템은 IGBT 전력소자를 채용하였고, 유지보수 등을 소려 자연냉각방식 적용함
	시연모형용 주/보조전원 기본 설계	▪ 인버터 추회로 개념설계 ▪ 인버터 내부 제어회로 개념설계 ▪ 보조전원장치 개념설계	▪ 차량제어장치를 위하여 보조전원장치 기술요구사양을 수립하였고, 보조전원장치의 메인회로를 구성. 전력소자는 IGBT를 채용하였고, 자연냉각방식 적용

나. 2차년도

연구범위	세부연구목표	연구개발 수행 내용	연구결과
회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발	대차 회전각도 검증	▪ CAD와 운동학적 시뮬레이션을 통하여 회전정렬이 가능함과 주행안전성 및 강도 안전성 확인함	▪ CAD와 동적해석모델에 의하여 대차의 회전정렬 주행이 가능함과 레일 횡력을 확인함. 추진전동기의 정밀한 속도제어가 요구됨과 대차의 단독제동 또는 유도전동기 고정시 횡력 과다 작용시 고장처리로 제어함
	대차 간격 조절을 위한 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증	▪ 운동학적 모델을 이용하여 제안된 차간 연결장치 호이스트의 기능을 확인함. 또한 동하중 분석을 통하여 안전한 호이스트 설계 및 제작	▪ 동적해석모델을 이용하여 제안된 호이스트의 기능을 확인함. 또한 동하중 분석을 통하여 안전한 호이스트 설계 및 제작
고하중 운송대차 추진용 전동기 기술개발	전동기 성능 최적화 설계 전동기 발열성능 및 구조해석 제작성 및 시험평가 항목 분석	▪ 전동기형식을 검토하여 선형보다 회전형이 속도제어, 경제성, 유지보수 등이 우수함을 확인하였고, 회전형 유도전동기를 채용하여 기술개발을 수행함 ▪ 전동기 해석/설계를 통하여 토크, 구조 및 발열 분석함 ▪ 전동기 부품, 서브제품, 조립품 제작 ▪ 전동기를 제작하고 무부하 시험	▪ 전동기형식을 검토하여 선형보다 회전형이 속도제어, 경제성, 유지보수 등이 우수함을 확인하였고, 회전형 유도전동기를 채용하여 기술개발을 수행함 ▪ 요구 추력을 만족하는 전동기 설계 및 해석을 통하여 성능, 구조 및 발열 성능 분석함
운송대차 및 제동장치 기술개발	운송대차 구조와 완충시스템 분석/설계	▪ 기존철도화물 대차의 기술을 적용함으로서 안정성 높임 ▪ 천이구간 및 정거장에서 분기 또는 본선 진입을 위하여 대차에 가이드차륜을 설치, 궤도에는 가이드레일을 설치하여 기계적으로 분기가 가능하게 함 ▪ 기술요구사양에 의거 설계를 완료하고, 대차 구조해석 및 제작	▪ 운송대차 구조와 완충장치에 대하여 기술요구사양을 수립하여, 기존철도화물 대차의 기술을 적용함으로서 안정성 높임 ▪ 회전정렬 운송대차는 천이구간 및 정거장에서 분기 또는 본선 진입을 위하여 대차에 가이드차륜을 설치하고, 궤도에는 가이드레일을 설치하여 기계적으로 분기가 가능하게 함 ▪ 기술요구사양에 의거 설계를 완료하고, 대차 구조해석 및 제작
	컨테이너-운송대차 인터페이스 분석/설계	▪ 차체와 운송대차간의 인터페이스, 트레일러의 상하차, 고정장치 등의 차체 구조해석, 설계 및 제작	▪ 차량시스템 기술요구 사양서을 수립하였고, 차체와 운송대차간의 인터페이스, 트레일러의 상하차, 고정장치 등의 차체 구조해석 ,설계 및 제작
	대향체 추종형 유도전동기 설치 메커니즘 개발	▪ 기존 도시철도 전동차와 동일하게 운송대차 프레임에 유도전동기 설치시키는 메커니즘 적용 ▪ 동력전달장치는 차축에 감속기를 설치하고 전동기와 후렉시블카플링으로 연결하여 진동과 변위량에 대비	▪ 기존 도시철도 전동차와 동일하게 운송대차 프레임에 유도전동기 설치시키는 메커니즘 적용 ▪ 동력전달장치는 차축에 감속기를 설치하고 전동기와 후렉시블카플링으로 연결하여 진동과 변위 량에 대비
	대차 연결용 고장력 호이스트 개발	▪ 천이구간, 정거장의 주행개념을 정의해 주행거동을 분석 ▪ 대차, 호이스트 및 바의 설계 및 제작	▪ 천이구간, 정거장의 주행개념을 정의해 주행거동을 분석하였음 ▪ 회전정렬 연결용 운송대차, 호이스트 및 바의 설계 및 제작
	회전정렬형 대차용 휠 어셈블리 개발	▪ 본선, 천이구간 및 정거장에서 회전정렬형 대차가 원활히 주행할 수 있도록 기존화물대차의 기술을 활용하여 대차의 차축과 휠 어셈블리를 설계 및 제작	▪ 인터모달 노선의 본선, 천이구간 및 정거장에서 회전정렬형 대차가 원활히 주행할 수 있도록 기존화물대차의 기술을 활용하여 대차의 차축과 휠 어셈블리를 설계 및 제작
	회전정렬형 대차용 집전장치 개발	▪ 차량시스템에 전원을 공급할 수 있도록 천이구간, 정거장에서 대차가 주행하면서 집전이 용이하도록 집전장치 설계 및 제작	▪ 차량시스템에 전원을 공급할 수 있도록 천이구간, 정거장에서 회전정렬형 대차가 주행하면서 집전이 용이하도록 설계함 ▪ 전기분야 집전장치 설계 및 제작
	전기식과 기계식 조합 제동장치 설계/제작/시험	▪ 전기식/기계식 조합제동장치 기술사양을 정의하여 제동시스템을 구성 ▪ 제동성능, 제동거리가 등을 계산하여 검토/분석함 ▪ 제동장치의 부품 및 서브조립품 제작 및 시험	▪ 차량시스템 요구 제동성능을 위하여 전기식/기계식 조합제동장치 기술사양을 정의하여 제동시스템을 구성 ▪ 제동장치의 부품 및 서브조립품 제작 및 시험

연구범위	세부연구목표	연구개발 수행 내용	연구결과
회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발	대차 회전각도 검증	▪ CAD와 운동학적 시뮬레이션을 통하여 회전정렬이 가능함과 주행안전성 및 강도 안전성 확인함	▪ CAD와 동적해석모델에 의하여 대차의 회전정렬 주행이 가능함과 레일 횡력을 확인함. 추진전동기의 정밀한 속도제어가 요구됨과 대차의 단독제동 또는 유도전동기 고정시 횡력 과다 작용시 고장처리로 제어함
	대차 간격 조절을 위한 연결용 호이스트 동작 메커니즘 검증	▪ 운동학적 모델을 이용하여 제안된 차간 연결장치 호이스트의 기능을 확인함. 또한 동하중 분석을 통하여 안전한 호이스트 설계 및 제작	▪ 동적해석모델을 이용하여 제안된 호이스트의 기능을 확인함. 또한 동하중 분석을 통하여 안전한 호이스트 설계 및 제작
고하중 운송대차 추진용 전동기 기술개발	전동기 성능 최적화 설계 전동기 발열성능 및 구조해석 제작성 및 시험평가 항목 분석	▪ 전동기형식을 검토하여 선형보다 회전형이 속도제어, 경제성, 유지보수 등이 우수함을 확인하였고, 회전형 유도전동기를 채용하여 기술개발을 수행함 ▪ 전동기 해석/설계를 통하여 토크, 구조 및 발열 분석함 ▪ 전동기 부품, 서브제품, 조립품 제작 ▪ 전동기를 제작하고 무부하 시험	▪ 전동기형식을 검토하여 선형보다 회전형이 속도제어, 경제성, 유지보수 등이 우수함을 확인하였고, 회전형 유도전동기를 채용하여 기술개발을 수행함 ▪ 요구 추력을 만족하는 전동기 설계 및 해석을 통하여 성능, 구조 및 발열 성능 분석함
차량용 전력변환장치 기술개발	추진 인버터/보조전원 개념 개발	▪ 추진인버터와 보조전원장치 설계, IGBT 전력소자를 채용, 유지보수 등을 고려 자연냉각방식 적용함	▪ 유도전동기 기술요구사양과 해석과 분석을 수행하였음 ▪ 대차 프레임의 전동기 설치 메커니즘의 인터페이스를 수행하여 설계 수행함 ▪ 전동기 부품, 서브제품, 조립품 제작 ▪ 전동기를 제작하고 무부하 시험함
	시연모형용 인버터/보조전원장치 설계/제작/시험	▪ 인버터. 보조전원장치 및 차량제어장치를 위하여 기술요구사양을 수립하여 설계 ▪ 인버터, 보조전원장치 및 차량제어장치 등의 부품, 조립품 제작 ▪ 무부하 시험함	▪ 견인력을 검토하여 추진시스템에 대하여 기술요구사양을 수립하였고, 보조전원장치와 차량제어장치의 기술요구사양을 수립함 ▪ 추진인버터와 보조전원장치 설계를 수행하였고, IGBT 전력소자를 채용하였고, 유지보수 등을 고려 자연냉각방식 적용함

다. 3차년도

연구범위	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 기술	대차 주행안전성 검증	▪ 천이구간에서의 동역학적 안전성 및 가드레일 정역학적 해석 ▪ 천이구간에서의 주행안전성 시험평가 기준 및 방법	▪ 동적 거동해석에 의한 천이구간에서의 반력 분석을 통해 천이구간 주행 시 반력의 크기를 검토한 결과 궤도 횡방향 허용 하중 이내 만족 확인. ▪ 반력 분포를 분석한 결과 탈선 위험 없을 것으로 예상됨 ▪ 주행안전성 평가를 위한 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립함
	차량시스템 메커니즘 평가 기술	▪ 차량 회전정렬 시험평가 기준 및 방법	▪ 회전정렬을 시험하기 위한 시험기준 및 시험방법, 시험계획 수립함 ▪ 테스트베드 시험을 위한 천이구간 선형, 길이, 차량속도 선정함
	차량시스템 메커니즘 설계 기술	▪ 회전정렬 메커니즘 개선설계	▪ 2차 년도에 제작 및 회전시험 결과를 바탕으로 회전정렬 연결기 호이스트에 대한 안전성 검토 하여 개선설계 ▪ 초기 설계에 있어서, 호이스트 컨덱터의 중량이 크고 복잡한 형상 문제가 식별이 돼, 경량구조로 개량하고 제조원가 낮춤 ▪ 초기 설계에 있어서, 호이스트 바의 길이가 11.2m PiPE소재를 구하기 어려운 문제가 있어서, 용접연결구조로 개선함 ▪ 설계도면 작성, 회전정렬 대차 및 연결 호이스트 바 시제품 제작, 회전정렬 대차시험 보고서 작성
차량시스템 기술	차량시스템 평가 기술	▪ 대차 구조와 완충시스템 시험평가 기준 및 방법 ▪ 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가 기준 및 방법 ▪ 대차용 동력전달장치 시험평가 기준 및 방법 개발 ▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가 기준 및 방법 개발 ▪ 대차용 휠 어셈블리 시험평가 기준 및 방법 ▪ 대차용 집전장치 시험평가 기준 및 방법	▪ 국내외 관련 시험평가 기준들을 참조하고 고유한 회전정렬 기능을 추가하여 시험항목, 시험기준, 시험방법 개발
	차량시스템 설계 기술	▪ 대차 구조와 완충시스템 개선설계 ▪ 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 개선설계 ▪ 대차용 동력전달장치 메커니즘 개선설계 ▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 개선설계 ▪ 대차용 휠 어셈블리 개선설계 ▪ 대차용 집전장치 설치 개선설계	▪ 대차 구조와 완충장치에 대하여 기술요구사양을 수립하여, 기존철도화물 대차의 기술을 적용함으로서 안정성 높임. 회전정렬 대차는 천이구간 및 정거장에서 분기 또는 본선 진입을 위하여 대차에 가이드차륜을 설치하고, 궤도에는 가이드레일을 설치하여 기계적으로 분기가 가능하도록 개선설계 ▪ 초기설계 완충용 코일스프링의 재질 SPS9A가 소량으로 구입이 어려워, 구입이 가능하고 동등규격 SAE9254로 개선설계 ▪ 설계도면 작성, 대차 구조해석, 회전정렬 대차시험, 시제품 제작 ▪ 차량시스템 기술요구 사양서에 의거 차체와 운송차량간의 인터페이스, 트레일러의 상하차, 고정장치 등 개선설계 ▪ 초기설계는 차체 제작성, 용접성이 떨어져, 가공성, 제작성, 용접성 등의 향상을 위한 차체 개선설계 ▪ 신호장치에서 제공한 VTTC Box 도면을 반영하여, VTTC Box와 차체 간의 간섭 해소 개선설계 ▪ 초기설계는 표준전동 전동차 감속기 모델에 맞춰 대차 회전롤러 설치하였으나, 감속기 모델 변경에 따라 회전롤러와의 간섭을 제거하기 위한 설치 방법 개선설계 ▪ 초기설계는 도시철도 표준전동차용 감속기 모델 적용 대차골조 및 브라켓 설계였으나, 신형 감속기 모델 변경을 반영한 대차 TRANSOM 구조, 행거브라켓 등 개선설계 ▪ 유도전동기와 원활히 작동되도록 철도전기차량의 대차 장착식 동력전달장치 메커니즘 채용 개선설계 ▪ 초기설계에서는 표준전동차용 감속기와 후렉시블커풀링 모델을 채용하였으나, 소요 물량이 작어 도시철도에서 사용 중인 신형 감속기와 후렉시블커풀링으로 모델로 개선설계

			▪ 천이구간, 정거장의 주행개념을 정의해 주행거동을 분석하였음. 회전정렬 연결용 대차, 호이스트 및 바의 개선설계 ▪ 호이스트 개선 설계도면 및 시제품 제작 ▪ 인터모달 노선의 본선, 천이구간 및 정거장에서 회전정렬형 대차가 원활히 주행할 수 있도록 기존화물대차의 기술을 활용하여 대차의 차축과 휠 어셈블리를 개선설계 ▪ 초기설계에서는 축상 베어링 도시철도용 실린더리컬 베어링 적용하였으나, 경제적이고 고하중에 견디는 RCT 베어링으로 개선설계 ▪ 휠 어셈블리 설계도면 및 시제품 제작 ▪ 차량시스템에 전원을 공급할 수 있도록 천이구간, 정거장에서 회전정렬형 대차가 주행하면서 집전이 용이하도록 설계함. 전기부문에서 집전장치 개선설계 ▪ 초기설계에서는 ㈜우진산전의 제3궤조 집전자로 설계하였으나, 제3궤조용 신형 집전장치를 이용하여 가이드레일과 안내레일을 통합 설치하는 구조로 개선설계
운송대차 추진 시스템	추진시스템 평가기술	▪ 추진시스템 시험평가 기준 및 방법	▪ 국내외 관련 시험평가 기준들을 참조하고 고유한 회전정렬 기능을 추가하여 시험항목, 시험기준, 시험방법 개발
	추진시스템 전동기 설계 기술	▪ 유도전동기 개선설계	▪ 초기설계에서는 표준형전동차 사용 후렉시블 커플링 적용하였으나, 개달 대차 구조에 맞게 전동기 연결 축에 맞춰 후렉시블 커풀링으로 개선 설계 ▪ 초기설계에서는 전동기 전선 사이즈 120SQ 적용하였으나, 전선 슬림화를 위해서 70SQ 전선으로 개선설계 ▪ 설계도면, 성능해석 보고서 작성
차량용 전력변환장치	전력변환장치 및 차량제어장치 평가 기술	▪ VVVF 인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 시험평가 기준 및 방법	▪ 국내외 관련 시험평가 기준들을 참조하고 고유한 회전정렬 기능을 추가하여 시험항목, 시험기준, 시험방법 개발
	전력변환장치 및 차량제어장치 설계 기술	▪ VVVF 인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 시험평가 기준 및 방법	▪ 견인력을 검토하여 추진시스템에 대하여 기술요구사양을 수립하였고, 보조전원장치와 차량제어장치의 기술요구사양을 수립함 ▪ 추진인버터와 보조전원장치 개선설계를 수행하였고, IGBT 전력소자를 채용하였고, 유지보수 등을 고려 자연냉각방식 적용함 ▪ 회생제동 시 발생 전류를 흡수하기 위한 저항기 보완설계 ▪ 설계도면, 성능계산서, 제어시뮬레이션
운송대차 제동장치 기술	제동장치 평가 기술	▪ 제동장치 시험평가 기준 및 방법	▪ 국내외 관련 시험평가 기준들을 참조하고 고유한 회전정렬 기능을 추가하여 시험항목, 시험기준, 시험방법 개발
	제동장치 설계 기술	▪ 제동장치 시험평가 기준 및 방법	▪ 초기설계에서는 상용제동 및 비상제동 제동시나리오였으나, 10km/h 이하에서 기계제동 사용과 상용제동 및 비상제동에 대한 제동 작동을 위한 제동시나리오 개선 설계 ▪ 초기설계에서는 상용제동 및 비상제동 작동 BOU ECU 제어프로그램을 개발했으나, 개선된 제동 시나리오로 ECU 제어프로그램 보완 ▪ BOU, ECU, CMSB, 공기압축기 설계 ▪ 10km/h 이하 시 기계제동 및 TCU에서 제동요구시 작동하도록 ECU 제어프로그램 보완설계 ▪ 제동압력변화에 따른 상용제동, 비상제동에 대한 제동력 및 제동거리 재계산 ▪ 설계도면, 제동력 계산서, 제어시뮬레이션, 기술보고서 작성

라. 4차년도

연구범위	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 기술	대차주행 안전성 검증기술	▪ 천이구간에서의 주행안전성 시험평가	▪ 주행 안전성 시험 절차서 작성 완료함 ▪ Test Bed에서 전이구간에 레일 횡력 측정 결과 : ▪ - 전위 : 23.48kN, 후위 : 27.48kN < 기준 80kN 이하 양호 ▪ 호이스트 바 인장응력을 측정 결과 : ▪ - 최대 4N/mm2, 최소 -7N/mm2 < 기준 250N/mm2 이하 양호 ▪ 곡선추종성 시험 측정 결과 : ▪ - 차체 좌우 0.202m/s2 < 기준 3.84m/s2 이하 양호 ▪ - 차체 상하 0.077m/s2 < 기준 5m/s2 이하 양호 ▪ - 대차 좌우 0.614m/s2 < 기준 10.3m/s2 이하 양호 ▪ 직선추종성 시험결과 : ▪ - 차체 좌우 : 0.183m/s2 < 기준 3.84m/s2 이하 양호 ▪ - 차체 상하 : 0.352m/s2 < 기준 5m/s2 이하 양호 ▪ - 대차 좌우 : 0.447m/s2 < 기준 10.3m/s2 이하 양호
	차량시스템 메커니즘 평가 기술	▪ 차량 회전정렬 시험평가	▪ 운송차량의 회전정렬시험 절차서 작성 완료함 ▪ 시험선에서 운송차량의 회전정렬시험을 수행하여 차체 회전각도가 70도 검증됨
	차량시스템 메커니즘 제작 기술	▪ 회전정렬 메커니즘 제작	▪ 대차 연결기와 호이스트 바를 제작 완료하여 시제차량에 정착하여 회전정렬 시험을 수행함
차량시스템 기술	차량시스템 평가 기술	▪ 대차 구조와 완충시스템 시험평가 ▪ 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 시험평가 ▪ 대차용 동력전달장치 시험평가 ▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 시험평가 ▪ 대차용 휠 어셈블리 시험평가 ▪ 대차용 집전장치 시험평가	▪ 완성차 시험절차서 작성 완료함 ▪ 완성차 시험 절차서에 공장 및 Test Bed에서 시험을 수행한 결과 검사 및 시험기준에 양호 한 것으로 평가됨 “운송차량 완성 성능시험 성적서” 참조 ▪ Test Bed 운송차량 성능시험 절차서 작성 완료함 ▪ Test Bed 시험 절차서에 따라 Test Bed에서 성능시험을 수행한 결과 검사 및 시험기준에 양호 한 것으로 평가됨 : “Test Bed 운송차량 성능시험 성적서” 참조
	차량시스템 제작 기술	▪ 대차 구조와 완충시스템 제작 ▪ 컨테이너-차체 인터페이스용 차체 및 설비 제작 ▪ 대차용 동력전달장치 메커니즘 제작 ▪ 대차 연결용 고장력 호이스트 제작 ▪ 대차용 휠 어셈블리 제작 ▪ 대차용 집전장치 제작	▪ 차체, 트레일러 고정장치, 핸드레일 등을 시제품 제작완료 ▪ 회전정렬형 대차에 장착되는 대차골조, 제동장치, 구동장치, 집전장치, 회전롤로, 센터 피봇트, 호이스트 바 연결기, 가이드 휠, 각종센서 등을 대차에 장착하여 시제품 제작 완료함 ▪ 7.07:1 감속기, 기어커플링 등 동력전달장치 시제품 제작 완료함 ▪ 대차 완중장치 시제품 제작 완료함 ▪ 차축/차륜 및 AAR D Type 축상장치 시제품 제작 완료함 ▪ 집전장치를 대차에 설비할 수 있도록 시제품 제작 완료함

운송대차 추진 시스템	추진시스템 평가 기술	▪ 유도전동기 시험 평가	▪ 유도전동기 시험절차서 작성 완료 ▪ 시험선에서 만차 하중조건으로 시험속도 10㎞/h로 정상 주행 완료
	추진시스템 제작 기술	▪ 유도전동기 제작	▪ 유도전동기방식 시제품 제작 완료함
차량용 전력변환 장치	전력변환장치 및 차량제어장치 평가 기술	▪ VVVF 인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 시험평가	▪ 전력변환시스템 검증용 모의차량 시뮬레이터 설계/제작 ▪ 차량운전상태 검증용 모니터소프트웨어 설계 ▪ 운전상태 검증용 Bluetooth 소신호 네트웍 무선연결 기술개발 ▪ 시험운전용 무선차량제어 기술개발 ▪ 회전정렬/자동운전 평가를 위한 차량운전시나리오 기술개발
	전력변환장치 및 차량제어장치 제작 기술	▪ VVVF 인버터, 주전원/보조전원 및 차량제어장치 제작	▪ 추진인버터 시작품 제작 ▪ 언더프렘임용 추진제어 인버터 제작 ▪ 주행풍 냉각방식을 적용한 히트 파이프식 전력스택 설계/제작 ▪ IGBT 일체형 GDU 기술개발/제작 ▪ RL부하에 의한 100% 전력시험 실시 ▪ 보조전원장치 시작품 제작 ▪ 자연냉각방식을 적용한 히트 싱크식 전력스택 설계/제작 ▪ SVPWM 제어방식에 의한 고조파 저감기술 적용 ▪ RL부하에 의한 100% 전력시험 실시 ▪ 차량전기제어 배전함 제작 ▪ 급전전압제어용 고속스위치(HSCB) 내장 ▪ MC/MCCB 동작모니터링 ▪ 수동운전제어반 설계/제작 ▪ 무선제어용 열차제어장치 제작 ▪ 배전함 내장식 차량제어장치 설계/제작
운송대차 제동장치 기술	제동장치 평가 기술	▪ 제동장치 시험평가	▪ 제동장치 시험절차서 작성 완료 ▪ Test Bed 운송차량 성능시험 절차서에 따라 시험한 결과 : ▪ - 공기제동거리 : 10㎞/h, 2m < 기준 21m 이상 : 양호 ▪ - 공기제동감속도 : 10㎞/h, 0.41 ㎧ < 기준 0.4㎧ 이상 : 양호
	제동장치 제작 기술	▪ 제동장치 제작	▪ 공기제동장치는 BOU(제동제어작동장치), 답면 제동장치, 공기탱크 등의 시제품 제작 완료함 ▪ 공기제어장치(CMSB), 공기압축기, 공기건조기, 압력스위치 등 시제품 제작 완료함

2. 연구개발 수행계획 대비 수행내용

가. 정량적 연구성과 목표 및 달성도

(1) 1차년도

구분	연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도	운송대차 및 제동장치 기술개발	특허 출원	특허 출원 건수	1건	100%
	소 계			1건	100%

구분			목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI		-	-	-
	비SCI		-	-	-
	계		-	-	-
국내 논문 게재	SCI		-	-	-
	비SCI		-	-	-
	계		-	-	-
특허 출원	국내		1	100%	-
	국외		-	-	-
	계		1	100%	-
특허 등록	국내		-	-	-
	국외		-	-	-
	계		-	-	-
인력 양성	석사		-	-	-
	박사		-	-	-
	계		-	-	-
기술 이전	계약 건수		-	-	-
	계약액		-	-	-
	징수액		-	-	-
국제 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
국내 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		-	-	-
	연구시설 · 장비		-	-	-
	기술요약정보		-	-	-
	생명자원	생명정보	-	-	-
		생물자원	-	-	-
		신품종	-	-	-
	소프트웨어		-	-	-
	화학물		-	-	-
기타	시작품		-	-	-
	현장시험			-	-
	성과홍보(국제세미나)			-	-
	국내외 학술회의 발표			-	-
	일자리 창출			-	-

(2) 2차년도

구분	연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
2차년도	운송대차 및 제동장치 기술개발	특허 출원	특허 출원 건수	1건	25%
	회전정렬형 대차 시스템 메커니즘 기술개발	학술지 게재 논문	학술지 게재 논문건수	1건	25%
	고하중 운송대차 추진용 선형전동기 기술개발	학술지 게재 논문	학술지 게재 논문건수	1건	25%
	차량용 전력변환 장치	학술지 게재 논문	학술지 게재 논문건수	1건	25%
	소 계			4건	100%

'19.6.30 기준

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	-	-	-
	비SCI	-	-	-
	계	-	-	-
국내 논문 게재	SCI	-	-	-
	비SCI	3건	100%	-
	계	3건	100%	-
특허 출원	국내	2	100%	-
	국외	-	-	-
	계	2	100%	-
특허 등록	국내	-	실적 추가 달성	당초 목표 0건이었으나 1건 초과달성
	국외	-	-	
	계		실적 추가 달성	
인력 양성	석사	-	실적 추가 달성	당초 목표 0건이었으나 2건 초과달성
	박사	-	-	
	계	-	실적 추가 달성	
기술 이전	계약 건수	-	-	-
	계약액	-	-	-
	징수액	-	-	-
국제 표준화	기고서 제출	-	-	-
	기고서 채택	-	-	-
	표준안 채택	-	-	-
국내 표준화	기고서 제출	-	-	-
	기고서 채택	-	-	-
	표준안 채택	-	-	-
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문	-	-	-
	연구시설 · 장비	-	-	-
	기술요약정보	-	-	-
	생명자원 생명정보	-	-	-
	생명자원 생물자원	-	-	-
	생명자원 신품종	-	-	-
	소프트웨어	-	-	-
	화학물	-	-	-
기타	시작품	3	100%	-
	현장시험		-	-
	성과홍보(국제세미나)		-	-
	국내외 학술회의 발표		실적 추가 달성	당초 목표 0건이었으나 4건 초과달성
	일자리 창출		-	-

(3) 3차년도

구분	연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
3차년도	회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 기술	소프트웨어 등록	소프트웨어 등록 건수	1건	25.0%
	차량시스템 기술	특허 등록	특허 등록 건수	1건	25.0%
		특허 출원	특허 출원 건수	1건	25.0%
	운송대차 제동장치 기술	소프트웨어 등록	소프트웨어 등록 건수	1건	25.0%
	소계			4건	100.0%

구분			목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI		-	-	-
	비SCI		-	-	-
	계		-	-	-
국내 논문 게재	SCI		-	-	-
	비SCI		-	-	-
	계		-	-	-
특허 출원	국내		1	100%	-
	국외		-	-	-
	계		1	100%	-
특허 등록	국내		1	100%	-
	국외		-	-	-
	계		1	100%	-
인력 양성	석사		-	-	-
	박사		-	-	-
	계		-	-	-
기술 이전	계약 건수		-	-	-
	계약액		-	-	-
	징수액		-	-	-
국제 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
국내 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		-	-	-
	연구시설 · 장비		-	-	-
	기술요약정보		-	-	-
	생명자원	생명정보	-	-	-
		생물자원	-	-	-
		신품종	-	-	-
	소프트웨어		2	100%	-
	화학물		-	-	-
기타	시작품		-	-	추가달성 3건
	현장시험		-	-	-
	성과홍보(국제세미나)		-	-	-
	국내외 학술회의 발표		-	-	추가달성 1건
	일자리 창출		-	-	-

(4) 4차년도

구분	연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
4차년도	회전정렬형 차량 시스템 메커니즘 제작	Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	2건	9%
		시작품 제작	시제품 유무	1건	4%
	차량시스템 기술 개발	특허 등록	특허 등록 건수	1건	4%
		Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	6건	25%
		시작품 제작	시작품 개수	6건	25%
	운송대차 추진시스템 기술 개발	Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	1건	4%
		시작품 제작	시작품 개수	1건	4%
	차량용 전력변환장치 기술 개발	Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	1건	4%
		시작품 제작	시작품 개수	3건	13%
	운송대차 제동장치 기술 개발	Test-Bed 공인시험 인증서	공인시험평가 보고서 유무	1건	4%
		시작품 제작	시작품 개수	1건	4%
	소 계			24건	100%

구분			목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI		-	-	-
	비SCI		-	-	-
	계		-	-	-
국내 논문 게재	SCI		-	-	-
	비SCI		-	-	-
	계		-	-	-
특허 출원	국내		-	-	-
	국외		-	-	-
	계		-	-	-
특허 등록	국내		1	200%	-
	국외		-	-	-
	계		1	200%	1건 추가 등록
인력 양성	석사		-	-	-
	박사		-	-	-
	계		-	-	-
기술 이전	계약 건수		-	-	-
	계약액		-	-	-
	징수액		-	-	-
국제 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
국내 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		-	-	-
	연구시설 · 장비		-	-	-
	기술요약정보		-	-	-
	생명자원	생명정보	-	-	-
		생물자원	-	-	-
		신품종	-	-	-
	소프트웨어		-	-	-
	화학물		-	-	-
기타	시작품		12	100%	-
	현장시험		-	-	-
	성과홍보(국제세미나)		-	-	-
	국내외 학술회의 발표		-	-	추가달성 4건
	일자리 창출		-	-	-

제2장 국내외 연구개발 기술동향 조사분석

제1절. 국내 운송차량 기술동향 사례 조사 분석

1. 기술동향

○ 자동운송기술은 전용 파이프라인, 전용궤도 등을 이용한 고정경로 운행형과 고정경로와 자유경로를 모두 이용할 수 있는 고정/자유경로 운행형, 경로에 구애받지 않는 자유경로 운행형 등이 있으며, 대부분 무인자동제어가 가능하도록 설계되어있고, 상황에 따라 유인제어도 가능하도록 한 기술이 있음

○ 국내 운송기술 연구분야에서는 무인화운송을 위한 기술개발이 활발히 진행 중임

- 지하 또는 지상의 독립경로에서 무인운송이 가능한 K-DST, AutoCon, 한국형 DMT, 한국형 ATS, ACTTube 등의 다양한 기술개발을 진행하고 있음

2. 주요 연구개발 기술

가. K-DST

□ 기술개요

○ K-DST 한국형 고용량 이단적재 수송시스템은 한국철도기술연구원이 표준컨테이너를 사용하여 2단까지 화차에 적재하여 운용할 수 있도록 개발하였음

○ 표준컨테이너는 ISO 컨테이너 보다 작은 사이즈이며, 실제로 화물은 컨테이너는 내부 높이까지 실지 않으므로 높이를 610mm 정도 낮게 하였음



<그림 2-1> K-DST

□ 기술적 특징

○ 2단 적재 컨테이너 화차는 기존 컨테이너 화차보다 3배에 가까운 화물을 수송할 수 있어 수송효율이 크게 향상되었으며, 다음과 같은 특징이 있음

- 2단 적재 컨테이너 화차는 상부에 40‘ 컨테이너 2대 적재하고, 하부에 40’ 컨테이너 1개를 적재함으로서 수송용량이 3배 향상되었음

- 표준컨테이너는 로우큐브 컨테이너를 사용하였음
- 2단 컨테이너 열차는 기관차로 견인하여 운행하도록 되어 있음
- 차량의 상면은 저상(로우베드) 이고, 대차는 3축을 사용하고 있음



<그림 2-2> 2단 적재 컨테이너 화차, 로우큐브 컨테이너 및 3축 대차

□ **검토의견**

○ 기존의 컨테이너보다 3배의 컨테이너를 적재가 가능함으로서 수송효율을 극대화시켰음

○ K-DST에 사용하는 표준컨테이너는 ISO 규격과 달라서 운영에 관한 법규제정을 준비하여 상용화를 추진 중임

○ K-DST는 기관차로 견인 운영해야하고, 로우큐브 표준 컨테이너를 사용해야 함으로 ISO 컨테이너가 아니라 외국에서 사용할 수 없어 실용성이 떨어짐

나. AutoCon 기술

□ **기술개요**



자료 : 한국교통연구원 내부자료(2014)

<그림 2-3> AutoCon 개념도

○ 국내의 AutoCon은 한국교통연구원이 세계 최초로 개발한 선형모터를 이용한 무정차 루프형태의 컨테이너 운송기술로서 2010년 개념설계를 완료하고 지하화, 운송품목 다변화, 경량화, 저비용 건설을 위한 기술적 검토 등 연구를 지속하고 있음

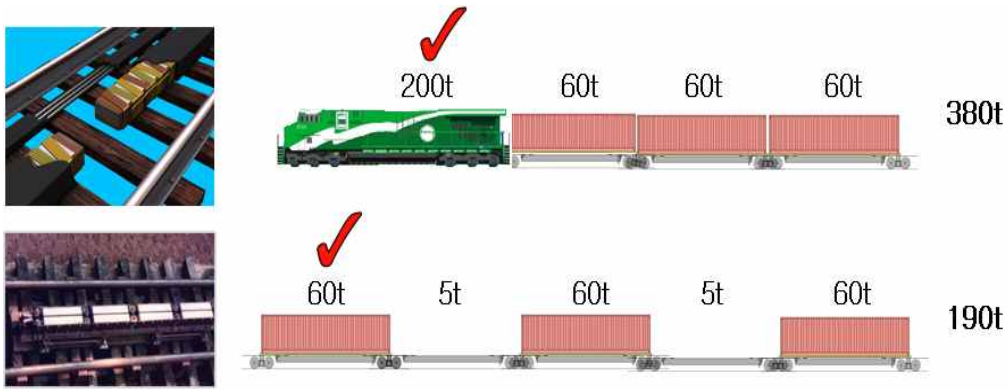
○ 정지마찰을 줄이고 관성을 극대화하여 에너지를 절감하기 위해서 정지하지 않은 상

태로 지속적으로 운행하는 형태가 바람직하나, 중량화물을 하역하기 위해 기계구조적으로 감속하는 아코디언식 접이식 샤시 원리로 고안됨

- 수평회전 정렬식의 운송체계는 이론상 90% 에너지 절감이 가능함
- 속도: 최대(72km/h), 설계(56.3km/h), 수송능력: 최대(3,153만 TEU/년)

○ AutoCon은 선로 밑에 설치된 전동 선형모터(linear induction motors)를 이용하여 구동함으로써 기관차(locomotive)와 차량기지(depot)가 필요 없는 컨테이너 자동수송 시스템 개념임

- 아코디언식(accordion shape) 기계적 원리로 무정차 저속 운행시켜 하역구간 내 가감속을 위한 추가적인 전기조작을 배제함으로써 기존 선형모터 구동방식 대비 1/10 수준의 전력만 요구되며, 레일사이에 설치된 선형모터(Linear Induction Motor, LIM)로 추진되어 별도의 기관차가 필요 없게 됨으로써 기관차 무게(150-300ton) 만큼 경량화가 가능함
- 컨테이너 적재 샤시는 접을 수 있는 화차간 연계빔으로 연결되어, 기존 컨테이너 열차대비 약 66%의 활화중 감소를 기대할 수 있으며, 인프라는 최대감내중량이 중요하므로 컨테이너 전용화 할 경우 경량화가 가능함



자료 : 한국교통연구원 내부자료(2014)

<그림 2-4> 철도와 인터모달의 물류수송 비교

○ 루프모양의 연결구조는 등판에 필요한 저항과 반대 선로의 하강에 필요한 관성이 서로 상쇄되는 효과를 통해 추가 에너지를 필요로 하지 않아 산악지형이 많은 우리나라의 지형에 유리함

○ 루프모양의 연결구조는 철도기지를 필요로 하지 않아 토지 이용에도 유리함

- 탈선이나 추돌 등 사고발생이 없는 안전구조

○ 하역에서 있어서는 무인자동화식 컨테이너 적재 하역시스템을 운영하여 인건비 절감 및 물동량에 대한 규모의 경제를 통해 물류비를 절감이 가능하도록 설계됨

○ 특히, 하역구간에서는 아코디언식 기계적 원리로 대차를 저속 운행시켜 컨테이너를 자동으로 하역함으로서 최소 건설비 및 운영비용으로 최대 수송 및 하역이 가능한 특징을 가지고 있음

□ **기술적 특징**

○ 본 시스템의 충분한 용량으로 인해 장차 국내 장거리 도로운송물량의 전환을 기대해 볼 수 있으며, 본 시스템 적용을 위해 도로운송화물의 컨테이너 유닛로드화(Unit Load Transport, ULT)도 진전될 것으로 기대됨

○ AutoCon의 적재하중이 기존 컨테이너수송열차의 1/3밖에 되지 않아 고속도로 주변이나 철도 주변의 유휴지를 활용한 간편한 건설과 건설비용 저감도 기대할 수 있음

○ 고효율 에너지 사용원리로 인해 선로 상부 천정에 6m 폭의 태양전지의 설치만으로 운행에 필요한 에너지 조달이 가능함

○ 컨테이너는 자동화된 하역설비에 의해 상하역 되며, 고단적재 컨테이너 보관시설(6천 TEU/11,250㎡)과 직접 연계되어 트럭, 열차, 내륙수운 등 타 운송수단과 연계가 가능함

□ **검토의견**

○ 복합물류터미널과 신항만간의 운송시스템, 복합물류터미널과 개별 업체 간 운송시스템에 적용가능하며 국내 기술로 구상되어 있어 특허출원에 별다른 장애요소가 없음

○ AutoCon 기술은 제안된 이후 아직 실용화되거나 테스트를 거치지 않은 기술이지만 국산 기술화되어 상용화할 경우 도시 내 혹은 기타 산업단지내의 물류시스템 운영체계 개선에 부가가치가 매우 높을 것으로 예상됨

○ 따라서 초기 설계단계에서부터 공공물류시스템 체계를 감안한 도시 내 기술개발이 병행되어 추진된다면 향후 시제품 개발과 상용화 시장도 함께 확보할 수 있는 조건이 되어 매우 시의 적절한 기술개발 사례가 될 수 있을 것으로 판단됨

○ AutoCon 기술 원리가 채택하고 있는 아코디언식 회전 방식 원리에 대해서는 스웨덴 철도 설계인증 기관에서 설계상 문제가 없다고 확인한 바 있음

다. 한국형 DMT(Dual Mode Trailer)

□ **기술개요**

○ 교통체계효율화사업「철도물류 활성화를 위한 DMT 수송시스템 개발」이라는 연구개발 사업에서 ㈜범창종합기술에서 개발한 시스템임

○ 도로(Road)와 철도(Rail)간에 별도의 환적 장비 없이 자체환적(Self-Transfer) 및 셔틀운송(Shuttle-Transport)기능이 하나로 통합된 새로운 형태의 복합기능 트레일러(Dual Mode Trailer)를 말함

□ **검토의견**

○ 기존 장비에 비해 신속 간편하고 경제적이며 친환경적인 시스템으로 도로와 철도간의 환적단계를 획기적으로 개선하여, 효율적인 복합일관수송(Intermodal) 체계구축이 가능해짐

○ HTS(Horizontal Transfer System)를 이용해 중량물을 수평으로 이송하는 시스템임

- 유압을 발생시키면 HTS 내부 수직 실린더가 작동해 상판이 상승되고 반대일 경우

하강함

- 수평이동은 동작센서를 이용, 2조의 HTS 롤러의 이동속도를 동기화해 가이드레일을 따라 안전하게 이동이 가능함
- 이러한 HTS를 활용해 트레일러나 화차, 터미널 시설물 등에 장착해 컨테이너 환적에 활용할 수 있음

○ 터미널 적용시 HTS의 환적능력은 기존 환적장비의 환적능력 대비 약 30분 단축(30량 1편성 기준)이 가능함

- 현재 시제품 단계에 있으며 HTS를 이용한 중량물(벌크화물 등) 수평이적재에 응용가능함



자료 : http://www.ikld.kr/

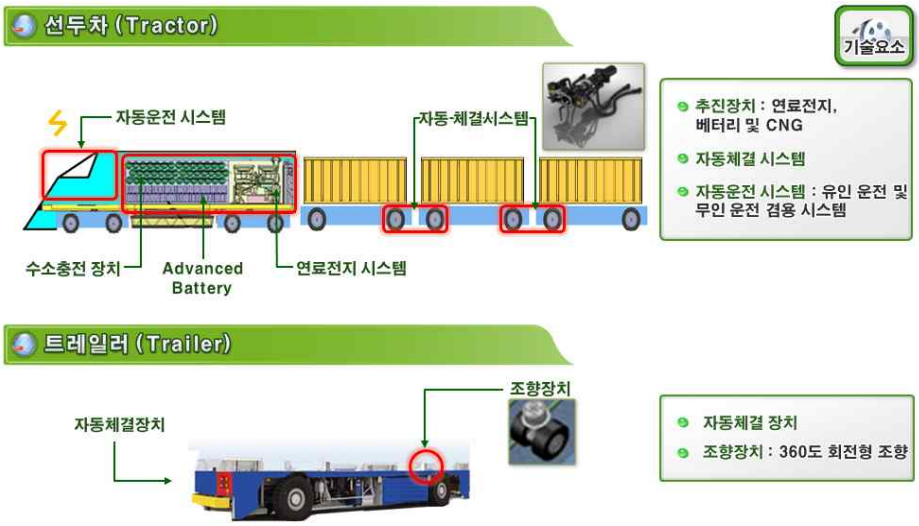
<그림 2-5> 한국형 DMT 차량 개념도

라. 한국형 ATS(Automatic Transportation System)

□ 기술개요

○ 물류거점 간 화물운송을 친환경, 에너지 효율적으로 무인자동운송하기 위한 운송 시스템 및 관련기술로서 환경 친화적 에너지를 사용하여 탄소발생량을 절감함으로써 무탄소 수송(Zero-emission transport) 실현을 목표로 개발되었음

- 물류거점 간 운송을 무인자동화하고 이를 통해 기존 거점 물류기지(ICD) 활성화를 유도하고자 하였음
- 거점물류기지와 개별 산업체간 환적 없는(Seamless) 물류수송을 구현하도록 설계되었음



자료 : http://www.krri.re.kr/

<그림 2-6> 한국형 ATS의 기술적 요소

□ 검토의견

○ 무인자동운송으로 운행되며 40ft full 컨테이너 수송을 기준으로 하였으며, 4량 이상 견인이 가능하도록 하였으며, 그 외에도 친환경성(연료 및 소음)과 회전반경의 최소화, 지상 전용공간 최소화를 고려하였음

○ 한국형 ATS의 운송방식은 거점 내에서는 개별 유닛이 자동으로 이동하고, 거점과 거점 사이에서는 Tractor를 이용해 철도처럼 하나로 편성되어 이동함

○ 이동 후에는 주차 위치로 자동으로 이동하며 주차 Zone에는 무선 충전시스템을 통해 개별 유닛과 Tractor를 충전할 수 있음

○ 2009년 저탄소 친환경 운송수단 개발을 목적으로 국가R&D사업으로 시작된 ATS는 고정경로와 자유경로를 모두 이용할 수 있도록 설계된 자동운송기술로서 2010년 개념설계를 완료하였음

○ 부산항 내에서 적용을 고려하였으나, 현재 개발단계에서는 AGV 대차비용, 항만 내 자동화시스템과의 연동 등 기술적·경제적 문제 때문에 본 사업 추진이 무산 됨

마. ACTTube

□ 기술개요

○ (재)RIST에서 개발한 ACTTube 기술은 고정경로를 이용한 운송시스템으로, 독일 CargoCap과 유사한 형태를 가지고 있지만 한국 내에서 독자적인 기술로 개발됨



자료 : 한국교통연구원(2010)『지하화물운송시스템 기술개발 기획』

<그림 2-7> ACTTube 개념도

○ ACTTube는 기존의 파이프라인으로 운송되던 액체, 기체, 분말 형태의 화물 운송을 대체할 방안으로 고안되었으며, 최초부터 초고속 시스템과 일반 시스템을 구분하여 정의하였음

□ **검토의견**

○ 당초 초고속 여객운송을 위해 고려되었으며 시속 600~700km 운행을 목표로 개발이 이루어졌으며, 안전성의 문제로 많은 부대시설이 필요하여 단기적인 추진보다는 장기적인 목표를 두고 추진하고 있음

- 최대 5톤까지 적재가 가능하도록 설계하였으며, 냉동, 무진동 캡슐 등의 특수 캡슐도 개발이 가능한 상태이며, 무선 네트워크를 통해 중앙통제, 위치파악, 실시간 제어가 가능하며, RFID PAD를 부착한 파렛트(T11)단위로 자동 상·하역이 가능하도록 설계됨

  · 기술적 특징은 2Tera가지의 선택조합 중 일부일 뿐이고 목적시스템에 따라 변형이 가능함

○ ACTTube의 경우 간선수송에 적용할 때 막대한 재원이 투자되어야 하므로 주요수요 구간을 중심으로 단거리 설비를 중점적으로 고려하였음

- 지름을 2m로 설정한 이유는 유지보수 필요시 사람이 직접 들어가서 작업하기 위한 공간을 고려한 것임

- Tube의 경우 매설형 설비이기 때문에 유지보수가 많아서는 안 되므로 반영구적인 설비 이용을 목표로 하였고, 실질적인 유지보수는 캡슐에서 이루어지도록 설계하였으며, 지름 2m 튜브형태의 설비로 공사비용도 상대적으로 절감할 수 있을 것으로 기대되고 있음

- 기존 지하시설의 경우 수송대상의 부피는 작은데 반해 설비는 거대하여 Dead Space가 많이 발생하여 효율성이 낮은 것으로 파악됨

제2절. 해외 운송차량 연구개발 기술동향 사례 조사 분석

1. 기술동향

○ 전 세계적으로 1900년 후반 2000년 초반부터 유럽 및 미국을 중심으로 친환경 운송수단을 위한 다양한 형태의 운송시스템 기술을 개발하기 시작함

- 대량, 소량화물의 운송경로를 최적화하기 위한 기술
- 최적 운송경로로 친환경 에너지를 이용하여 화물을 자동 운송하는 자동운송시스템 기술 등
- 물류거점 간 화물 자동운송시스템 기술, 과적방지를 위한 실시간 과적방지 시스템 기술, 튜브형 지하화물 운송시스템 기술로 발달

○ 무인운송을 친환경적으로 실현하기 위한 노력이 미국, 독일, 네덜란드, 일본 등 선진 각국에서 활발히 진행 중

- 선형모터방식에 의한 구동방식이 주류이나 아직 높은 초기 투자비용 때문에 시범운행 수준에 머무름

○ 컨테이너 운송시스템 관련 기술은 주로 미국과 일본, 유럽 등에서 개발되고 있는 기술들로 향후 우리나라와 치열한 기술개발 경쟁을 야기할 것으로 예상됨

○ 대표적인 기술로는 DMT, CargoRail Tram, Combi Road, ECCO, SkyTech, UCM, Freight Shuttle system, ACT 등이 있음

○ 전반적으로 선진국의 경우 개념설계 단계를 거쳐 상용화를 위한 검증단계에 진입하는 시기에 와있는 것으로 판단되며 약 3~4년 이후 테스트를 거친 제품이 나올 것으로 예상되기 때문에 국내에서도 관련 연구육성과 미래 시장 경쟁력의 확보를 위한 전폭적인 지원이 필요할 것으로 예상됨

2. 주요 연구개발 기술

가. Piggyback Train

□ 기술개요

○ Piggyback Train은 프랑스 Lohr사의 Modalohr 시스템, 스웨덴 Kockums Industrier 사의 Megaswing DUO 시스템, 폴란드의 Piggyback Train, 중국의 Piggyback Train 등이 공급되었으며, 이 차량은 화차의 상판을 유압으로 회전시켜 트레일러를 화차에 이적재하는 시스템임

- GATE 운영상황실에서 트레일러 축중량을 점검하고 출입을 허가하며 계측소와 트레일러 보관 장소를 거쳐 상하차 작업을 실시함
- 350m 구간의 터미널에 5~6명의 전문운영요원을 배치하고 있으며 30량을 1편성으로 편성하여 운송함
- 시스템 적재 후 트레일러를 분리하고부터는 유인자동운송시스템으로 운영하며 1개

화물 적재 시 상차시간은 약 4분정도 소요됨



자료 : http://www.krri.re.kr/webzine/y2007/11_12/fortrend/index.html,
http://www.railwaypro.com/wp/?p=9859

<그림 2-8> Piggyback Train(Modalohr 시스템)

□ 검토의견

○ 주 운송 물품은 포장 세미 트레일러이며, 컨테이너 운송은 기존 철도 이용이 대부분이고 가격은 비슷하거나 저렴함

○ 이송차량에 회전시스템이나 실린더가 불필요하며, 유지보수가 용이하다는 장점이 있음

- 기존 철도화차보다 4배정도 비싸서 최소 300km 이상의 거리에서 도로와 경쟁시 효과가 있으며, 전용 터미널 구간에서만 상하역이 가능함

○ Modalohr 시스템은 프랑스와 이탈리아, 룩셈부르크를 연결하는 구간에서 상업 운행되고 있음

- 2007년 프랑스 Luxembourg와 south-west를 연결하는 상업 노선을 개통하였으며, 해당 노선은 프랑스에서 가장 긴(1,050km) 화물급행철도가 되었음



자료 : http://www.skytechtransport.us/

<그림 2-9> SkyTech Transportation 개념 및 구상도

나. SkyTech Transportation

□ 기술개요

○ 고가 궤도에 설치된 LIM(Linear Induction Motor, 선형모터) 방식의 Vehicle를 이용

하여 화물용 컨테이너를 선박에서 터미널이나 하차장까지 자동으로 운송하기 위한 시스템 임

- 운송방식 및 구동방식은 고가 궤도 LIM Vehicle 방식으로, 단일 트랙에서 하루에 8,000개의 컨테이너 운송이 가능하며, 6개의 트랙을 이용하면 하루에 48,000개의 컨테이너 운송 용량을 갖출 수 있음

□ 검토내용

○ 항구에서 고가 궤도 구조의 크레인을 이용하여 선박에 컨테이너를 싣거나 내리는 공정 시간을 단축시킬 수 있으며 선박의 이용률을 증가시킬 수 있음

- 고가 궤도를 이용하면 터미널이나 하차장에서 자동화된 격자 구조의 시스템을 활용할 수 있어 컨테이너 처리용량을 일반 터미널에 비해 2~3배 정도 증가시킬 수 있으며 터미널 내에 차도가 필요 없으므로 컨테이너 적재 면적 확보에 유리함

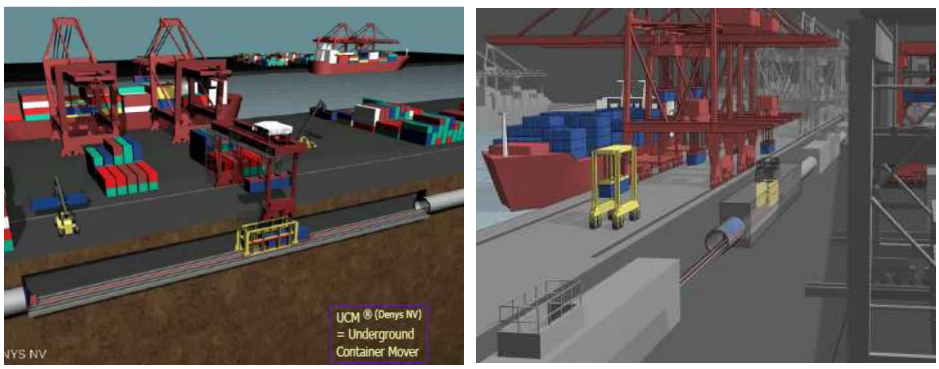
- 현재 개발단계는 한진 터미널 내 데모 시스템 이후 뚜렷한 소식이 전해지지 않고 있는 상황임

다. UCM(Underground Container Mover)

□ 기술개요

○ 벨기에 앤트워프항 내에서 발생하는 물동량을 처리하기 위해 신규 철도 인프라의 대안으로써 지하 물류시스템으로 해당 시스템이 제안 됨

○ 벨기에 앤트워프 대학에서 신규 항만으로부터 기존 마샬링야드(marshalling yard)와 강 반대편에 위치한 내륙수로 허브터미널로 40피트 컨테이너를 운반할 수 있는 지하 물류시스템을 설계 및 제안하였음



자료 : http://www.denys.be/nl

<그림 2-10> Underground Container Mover 구상도(DENYS NV)

□ 검토의견

○ 이 시스템은 'Underground Container Mover'라고 불리며 21km에 달하는 전동 컨베이어벨트로 일일 5,500VAN(11,000TEU)을 운송하도록 설계되었으며, 운송방식은 컨베이어 벨트이고 구동방식은 미정임

○ 20개 이상의 컴퓨터가 제어하는 수직통로를 통해 컨테이너를 부두로부터 22미터 내

지는 28미터 아래 위치한 지하의 컨베이어벨트로 이송한 뒤 저속 컨베이어벨트(시속 7km)로 컨테이너 하역과정에서도 정지하지 않는 채 운송이 가능함

○ 대상지역은 벨기에 앤트워프항으로 당초 철도시설을 도입하기로 했으나 처리능력과 천문학적인 굴착비용 소요로 인해 도입시스템에 대한 선정은 결정되지 않았음

- 당초 계획하였던 철도 시설을 활용할 경우 굴착작업에 천문학적인 비용이 소요되는 것으로 나타나 이를 대체하기 위한 시스템에 대한 논란이 계속되고 있는 상태임

라. Combi-Road

□ 기술개요

○ Road-Train이라고도 불리는 Combi-Road는 각 컨테이너를 세미트레일러에 적재한 뒤 고무바퀴가 장착된 전동 AGV로 견인하는 형태의 무인자동 내륙수송시스템임

○ 네덜란드 국립연구소(TNO), 네덜란드 CTT(Centre for Transport Technology)와 민간기업들이 공동출자한 ICES Combi-Road 프로젝트를 통해서 개발되었음



자료 : http://www.koti.re.kr/

<그림 2-11> 네덜란드 Combi-Road

□ 검토의견

○ AGV를 이용한 Combi-Road 시스템은 고정경로와 자유경로를 모두 이용하는 대표적인 사례임

- 고무차륜방식(AGV)에 회전모터로 구동함

○ 차량은 전원공급이 가능하고 가이드가 설치되어 있는 전용주행로를 50km의 균일한 속도로 주행하며, 내륙터미널에서 별도의 하역작업 없이 배송까지도 일체형으로 수행할 수 있는 장점을 가짐

○ Combi-Road 차량의 최소운행간격은 12초, 180m이며, 5대/분의 비율로 하루 24시간, 연간 360일 기준으로 최대 단일방향 운송능력이 260만 TEU라고 보고되고 있음

- 260만 TEU는 이론적인 수치이고 실제로는 150만 TEU를 운송할 수 있을 것으로 예상됨

○ 각 컨테이너를 세미트레일러에 적재한 뒤 고무바퀴가 장착된 개별 전동 AGV로 견

인하는 과정이 철도형태의 집합수송형태보다는 효율성이 높지 않을 것이라는 지적이 있음

○ Combi-Road의 개발자들은 중거리(100~250km)에서 바지선이나 철도보다 효율성이 높다고 주장하고 있지만 인프라 건설 및 장비도입 등 높은 초기투자비용으로 인해 투자 대비 효율성이 높지 않다는 평가를 받고 있음

- 경제성분석에 따르면 Maasvlakte와 Gorinchemrks 지역의 손익분기물량은 연간 약 30만 TEU 수준으로 알려져 있음
- 건설비용 추정에 교량건설, 터널, 지반개량 등이 포함되지 않고서도 1km당 약 110억 원이라는 고가의 건설비가 소요되는 것도 부담으로 작용함
- 2개 레인(왕복)을 건설하기 위한 비용은 교량건설, 터널, 지반개량 등을 포함하지 않을 경우 1km당 7백만 €(약 110억 원)이 소요되며, 차량 구매에 필요한 비용은 대당 18만 €(약 2억 9천만 원)으로 알려져 있음

○ 개발단계에서 네덜란드 로테르담 항과 배후물류단지 간을 이동하는 물류를 자동으로 처리하기 위해 목적으로 설계 및 구상되었음

○ 시험운행을 거쳤으나 전용도로 건설에 막대한 비용이 소요되고 일반차량들의 심리적 불안감 유발 등의 문제로 현재는 운행되지 않고 있음

- 컨셉 정의와 프로토타임 테스트 단계 이상 진행되지 않음
- 공공사업으로 추진하려던 Combi-Road는 철도와의 경쟁과 정치적 이슈로 인하여 화물운송철도 건설 계획으로 대체 됨

마. FSS(Freight Shuttle System)

□ 기술개요

○ FSS(Freight Shuttle System)은 Texas Transportation Institute에서 개발한 컨테이너 화물 운송 전용 기술임

- 양방향 Shuttle 방식으로 운송되며, 선형모터를 이용해 구동함
- 현재 Freight Shuttle International (FSI)이라는 조직을 만들어 연구 개발 프로젝트를 꾸준히 추진하고 있음



자료 : http://www.freightshuttle.com/concept/

<그림 2-12> Freight Shuttle system 개념도

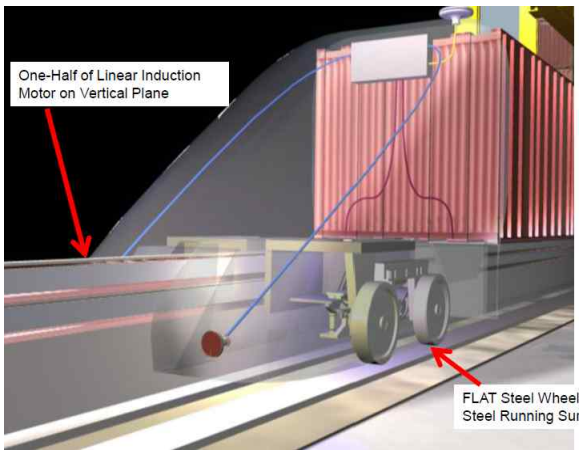
□ 검토의견

○ 양방향 Shuttle시스템은 LIM(linear induction motor) 기술을 이용한 궤도를 따라서 30~70mph의 속도로 한 번에 한 개의 컨테이너 운송이 가능함

- 60mph로 운행 시 10초 간격을 두고 최대 17,000대/일 의 물동량을 처리할 수 있음
- 이 시스템에서 LIM의 Primary는 차량에 장착되며, 알루미늄스틸 플레이트는 트랙에 수직으로 설치된 가이드웨이 옆면에 위치하며, 스틸 플레이트 위에 스틸 휠로 구동되는 것이 특징으로 Maglev와 같은 부상시스템은 아님
- FSS Unit당 무게는 약 6톤 정도이며, 컨테이너의 무게를 합하면 약 32톤 정도임

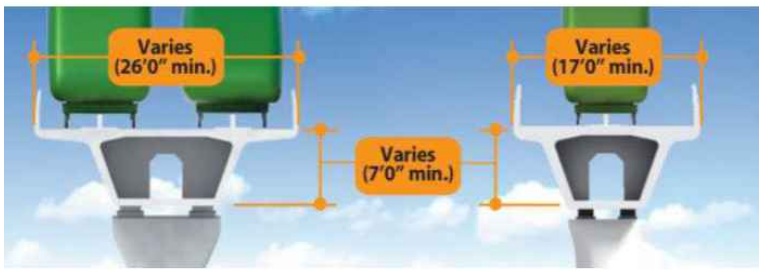
○ FSS의 연구개발은 Texas A&M의 벤처기업 형태로 TxDOT, 학교, 민간기업 등으로부터 지원을 받고 있으며 2014년 8월까지 꾸준히 연구비를 지원받고 있음

- 2010년 FSS 시스템 개념을 대상으로 특허 출원을 시작하였으며, 다수 특허 등록에 관한 상을 받을 만큼 관련 기술을 활발하게 개발 및 특허 출원하고 있음



자료 : http://www.freightshuttle.com/concept/

<그림 2-13> Freight Shuttle system의 레일 개념



자료 : http://www.freightshuttle.com/concept/

<그림 2-14> Freight Shuttle system 인프라 부문의 건설비 절감 전략 개념

○ 현재 고려되고 있는 Dallas와 San Antonio의 I-35의 물동량은 15,000대/일 이며, 이 중 위험물을 제외한 9,000대/일 의 물동량을 처리할 계획임

- FSI에서는 해당 시스템을 통해 해당 구간의 운송비를 약 20% 절감 할 수 있을 것이라고 예상하고 있음
- 2010년 2월 미국 특허청으로부터 특허권을 받았으며, 실제 구현을 위한 상업적, 경제적 측면의 분석이 이루어졌음
- 2010년 Taxas Transportation Institute에서 FSS 비즈니스 모델을 구축하였으며, 경쟁력 있는 가격, 적시성, 안전 및 보안성 등이 시스템 실용화를 위한 중요 요소라고 제시 함
- FSI는 2012년 TxDOT로부터 230마일에 이르는 I-35도로의 향후 3년 간 도로사용 권한을 얻었음
- 2013년 프로토타입 건설을 시작으로 Dallas와 San Antonio를 잇는 노선을 계획하였으며, 향후 멕시코와의 국경지역에 있는 Zaragosa International Bridge를 통해 El Paso와 Ciudad Juárez 지역으로 확대하는 약 10~15마일 구간의 적용을 추진하고 있음(시스템 구축의 최종적인 목표는 미국 Dallas와 멕시코 Monterrey까지 연결하는 것임)
- 하지만 건설비용 문제로 프로토타입 건설이 아직까지 이루어지지는 않고 있음

○ 현재 민간 투자자를 찾고 있으며, 국경 문제 등 여러 가지 문제로 인하여 정부-민간 합작 투자 및 컨소시엄 형태를 모색하고 있는 중임

- FSI는 FSS가 시스템적으로는 사전 준비가 완벽하나, 민간과 정부로부터 투자비용을 이끌어 내는 것이 프로젝트 성공의 중요한 요소로 보고 있음

○ 2014년 4월 TxDOT에서 발간한 문서에서, FSS를 미래의 물류 기술로 보고 있지만 공공과 민간의 긴밀한 협조와 자금 지원이 없으면 지속적으로 증가하는 화물 물동량 해결할 수 없을 것이라는 전문가 의견을 내 놓았음

바. ACT(Automated Container Transporter)

□ 기술개요

○ 인도네시아 Adhi Karya라는 공기업에서 개발한 시스템으로써 컨테이너 화물운송을 위한 모노레일 방식의 시스템임

- 두 개의 다리와 고무바퀴를 이용한 복선의 모노레일 형태이며 동력은 전기모터를 사용함

- Tanjung Perak 항과 Teluk Lamong 항 간의 높은 물동량으로 인해 발생하는 도로의 지·정체를 해소하기 위한 목적으로 개발되었음



자료 : http://www.thejakartaglobe.com/business/monorail-for-surabaya-port-pelindo-iii/, http://www.youtube.com/watch?v=CjvC6i2JaTw

<그림 2-15> ACT 시스템의 프로토타입 및 개념도

사. ECCO(Electric Cargo Conveyor) System

□ 기술개요

○ 미국의 General Atomics社에서 개발하고 있는 ECCO(Electric Cargo Conveyor) System은 컨테이너를 조용하고 효과적으로 움직일 수 있는 환경친화적 시스템을 목적으로 개발 됨

- 물리적 접촉 없이 자기력에 의하여 지지, 조정 및 추진이 되는 시스템으로 영구자석 및 리니어 동기모터(LSM)를 이용하여 자기부상 형태로 운행되고 무인운전이 가능함



자료 : http://www.koti.re.kr/

<그림 2-16> 샌디에이고 시험선에서 시험 중인 GA 자기부상 차량과 LA ECCO프로젝트

□ 검토의견

○ 물리적 접촉 없이 주행 가능함으로 마찰이 제거되어 선로의 유지보수 비용이 적게 소요된다는 장점을 가짐

○ 기술상으로 시속 450km(300마일)까지 속도를 낼 수 있으나 컨테이너의 고속 물류수요가 많지 않을 것으로 예상됨

- 또한 건설비용이 높아 실제 사업화 가능성에 문제가 있을 것으로 판단됨

○ 2004년 샌디에이고에서 400ft(121.92m) 길이의 시험선로개발을 완료했으며, Los Angeles항 터미널과 Southern California International Gateway간 5마일의 시범사업을 추진 중

- 최근 Los Angeles항과 Intermodal 시설간의 5마일 시범사업을 통해 하루 5,000개의 컨테이너를 처리할 수 있는 시스템의 가능성을 이론으로 검증하였으며, LA항과 내륙 화물 및 철도 터미널까지 더 긴 노선을 연결할 수 있을 것이라 보고 있음

아. CargoCap

□ 기술개요

○ CargoCap 프로젝트는 독일의 교통 혼잡과 이로 인한 막대한 사회비용을 줄이는 것을 목적으로 Ruhr University of Bochum에서 연구개발 되고 있는 24시간 무인 자동 수송시스템 임

- CargoCap은 150km 반경지역 내 운송을 목표로 설계가 이루어지고 있으며 500볼트의 전기로 구동하고 중앙조정실에서 무인 자동 조정하는 화물캡슐시스템 개념이며, 각 역에서 자동호출 및 자동 상하역이 가능하도록 설계됨

- 차량의 고장으로 인한 통로의 폐색에 대한 대비하고자 각각의 차량에 복수 개의 모터를 장착하고 있으며, 전기를 이용한 완전 자동 구동방식임

- 화차는 넓이 800mm, 높이 1,200mm, 폭 1,050mm의 크기로서 유럽 표준인 CCG1 2개 넣을 수 있도록 설계되었으며 굴착 크기는 경제성이 가장 높은 것으로 계산되어 1.6m 수준으로 계획됨

○ 주요 취급 대상화물은 포장 화물임

- CargoCap은 발달된 경제 구조와 높은 인구 밀도를 가진 지역에 고속으로 화물을 운송하기에 적합하며 대표적으로 음식, 소비재, 생산 부품 등을 예로 들 수 있음



자료 : http://www.cargocap.com

<그림 2-17> CargoCap 개념도

□ **검토의견**

○ 두 대의 운송장비 간에는 2미터의 간격이 있으며, 이 간격 때문에 캡(cap : 운송장비)의 이동속도를 감속하지 않은 상태에서 더미로부터 캡을 빼내고 집어넣는 화물하역 분기시스템이 가능함

- 새로운 분기 시스템을 적용하여 Cap이 서로 2m 이내로 접근하게 되면 속도 저감 없이 자동으로 서로 밀어내도록 설계되었음

○ 굴절이 필요한 지역이나 장거리 지역에 대한 제어 가능하고 구축 속도가 15~20m/day로 매우 빠른 속도로 건설이 가능함

○ 지하 파이프 네트워크를 통해 이동하기 때문에 외부의 교통 노선 등에 대한 영향을 전혀 받지 않는 것으로 평가되고 있음

- 또한 CargoCap 운영은 노이즈와 배기가스를 전혀 배출하지 않아 환경적 측면에 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있음

○ 파이프라인 네트워크 구축에는 Pipe Jacking 기술이 적용되어 표면에서 원격으로 공사할 수 있기 때문에 주변지역에 피해(건물, 식물 등의 손상 등)를 최소화할 수 있음

○ 2006년에 지상모델 실험을 완료하였으며 유럽표준파렛트(T12) 2개를 적재할 수 있는 캡(Cap)이라고 불리는 반송차들을 연결하여 제어하는 시험운행이 진행 중임

○ CargoCap의 경제성 검토 결과 정해진 경로가 존재하는 혼잡한 도심 지역 내에서 가장 큰 효과를 볼 수 있으며, 간선수송망과 CargoCap 시스템을 연결하면 높은 효과를 나타낼 수 있는 것으로 보고되고 있음

- 카고캡(CargoCap) 프로젝트는 디트리히 슈타인 교수가 이끄는 독일 보훔 대학의

연구팀에서 수행하고 있으며, 현재 인구와 공장밀집지역의 교통 부담을 저감하기 위해 직경 1.6~2m의 지하 파이프라인 관로를 통해 무인으로 화물을 수송하는 지하 수송망 건설에 대한 연구가 진행 중임

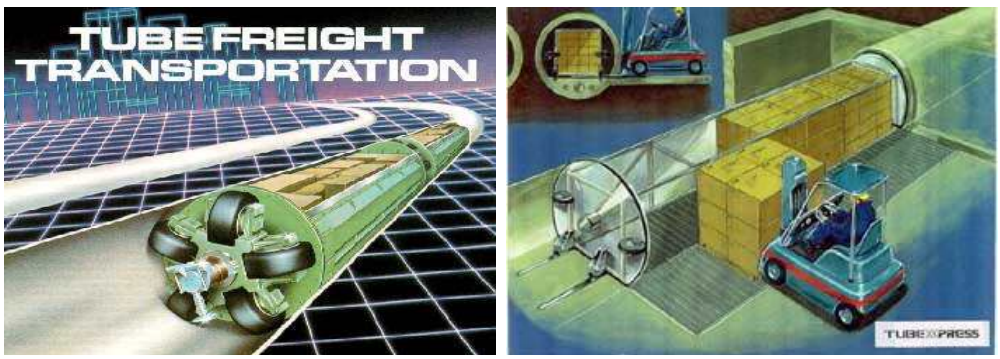
- 이론적인 연구 개발이 매우 많이 진행된 상태이며, 현재 실용화를 위하여 RFID 차량 추적 방법, 동력 전달 방법 등 테스트 트랙을 이용한 실험이 진행되고 있음
- 동시에 실용화를 위한 법적 근거 및 경제성 검토가 이루어졌으며 실제 테스트를 위한 제반사항을 검토하고 있음

자. TubeXpress(SUBTRANS)

□ **기술개요**

○ TubeXpress는 지하튜브통로를 이용한 컨테이너 자동운송시스템 임

- 대체로 튜브화물운송이라 함은 파이프라인에 딱 맞도록 설계된 캡슐 자체나 캡슐을 운반하는 철도에 화물을 실은 뒤 물류거점 간에 화물을 운반하는 시스템을 의미함



자료 : http://www.tubexpress.com/index.htm

<그림 2-18> TubeXpress 시스템 개념도

□ **검토의견**

○ 튜브 통로는 통상적으로 콘크리트 파이프라인으로 구축되며 직경 2m 튜브 내에 만들어진 철로를 따라 설치된 선형모터에 의해 구동되는 방식이며, 아직 뚜렷한 적용 대상지역은 선정되지 않은 것으로 조사되었음

- 미국연방고속도로관리청(Federal Highway Administration, FHWA)의 첨단화물운송에 관한 연구프로젝트의 일환으로 국가교통시스템센터(National Transportation Systems Center)에 의해 기술적, 경제적 타당성을 검토하였음

가. 해외의 무인자동운송시스템 기술개발 특성 검토

○ 최근 국내외적으로 개발되고 있는 무인자동운송시스템들의 기술특성은 대부분의 컨테이너를 취급하는 기술로 하루 5,000TEU 이상의 대량화물 운송능력을 갖추기 위한 대형화, 대량화 중심의 기술개발이 주축

- 최근 선형모터(LIM) 방식이 증가추세이고, 별도의 전용화차를 이용하여 궤도를 따라 군집형으로 움직이는 기술이 늘어나고 있는 추세로 분석됨

○ 아직은 대부분의 해외기술 단계가 테스트베드를 운영하면서 수준에 그쳐 향후 5년

내 정부의 전폭적 지지만 있다면 충분히 경쟁해 볼 만하다고 판단

<표 2-1> 국내외 신개념 운송시스템 관련 기술개발 동향 요약

구 분	국산화 기술	적용지역	처리능력	속도	취급화물	운송방식	구동 방식	제어시스템	개발 단계
AUTOCON	O	한국	3,153만 TEU/년	56~72 km/h	컨테이너	고정경로 루프형	선형 모터	무인자동	개념설계
한국형 ATS	O	한국	1회당 4FEU	-	컨테이너	고정/자유경로 복합 열차형	회전 모터	일반도로에서 무인 또는 유인, 전용도로에서 유인	개념설계
ACT	X	인도네시아	-	-	컨테이너	고정 경로	회전모터 (모노레일)	무인자동	개념설계 (타당성 문제로 중단)
FSS	X	-	-	50~110 km/h	컨테이너	고정 경로	선형모터 (변형 모노레일)	무인자동	시범사업 (적용 검토중)
SkyTech Transportation	X	미국 (LA 롱비치항)	8,000TEU/일/트랙	-	컨테이너	고정 경로	회전모터 (모노레일)	무인자동	시범사업 (테스트중)
UCM	X	벨기에 (앤트워프항)	11,000 TEU/일	-	컨테이너	고정 경로	회전모터 (컨베이어 벨트형)	무인자동	개념설계 (건설비 과다 논란)
ECCO	X	미국 (LA항-SCIG)	2,500 FEU/일	145km/h	컨테이너	고정 경로	선형모터	무인자동	시범사업 (테스트중)
Combi-Road	X	네덜란드 (로테르담항-배후물류단지)	260만 TEU/년	50km/h	컨테이너	고정/자유 경로	회전모터	일반도로에서 유인, 전용도로에서 무인	시범사업
Piggyback Train	x	프랑스, 스웨덴, 폴란드, 중국	1회당 30BTU	80~100km/h	컨테이너	고정경로	기관차	유인운전, 기존선로, 전용정거장	상업운영, 시범사업

제3절. 국내외 컨테이너 및 컨테이너 트레일러 기술조사 분석

1. 컨테이너의 분류

○ 컨테이너(영어: Container)는 금속재질의 판으로 만들어져 재사용이 가능한 규격화된 화물운송 용기임. 형태는 보통 직육면체로 되어있고, 소유자와 연번 등을 나타내는 ISO 6346에 따른 컨테이너 표시가 문에 표시되어 있음.

○ 1950년대 상용화 되어 널리 확산되었으며, 1984년 규격화된 용기를 통하여 일관수송을 할 수 있도록 ISO 표준 국제규격을 제정.

○ ISO 6346 기준에 따른 표준형(TEU)은 길이 20ft(6.1m), 폭 8ft(2.4 m), 높이 8.5ft(2.6 m)이나, 길이에 따라 40ft(12.2m), 40ft 하이큐빅(높이9.5ft(2.9m)), 45ft(13.7m), 48ft(14.6m)와 53ft(16.2 m) 등도 있음.

<표 2-2> 국제표준 컨테이너의 크기

길이		폭		높이	
ft	m	ft	m	ft	m
10′	3.048	8′	2.438	8'6"	2.591
20′	6.096	8′	2.438	8'6"	2.591
40′	12.192	8′	2.438	8'6"	2.591
45′	13.716	8′	2.438	8'6"	2.591

*1ft = 약 30.48cm

○ ISO 6346 기준에 따른 컨테이너의 하중의 박스무게만 2.08t~4.10t 까지 다양하며, 화물을 적재한 상태의 하중도 20.32t~30.48t 에 이르기까지 제조사별로 다양함.



40ft 컨테이너의 예시
용기포함 최대하중 30,480 Kg
용기하중 3,840 Kg
최대적재 화물무게 26.640 Kg



20피드 컨테이너의 예시
용기포함 최대하중 30.480 Kg
용기하중 2,240 Kg
최대적재 화물무게 28,240 Kg

<그림 2-19> 컨테이너의 하중표시

<표 2-3> 규격별 국제표준 컨테이너의 하중범위

(단위 : 톤)

종류	규격별	"공" 컨테이너	"적" 컨테이너
철제컨테이너 (Standard)	20′	2.08 ~ 2.25	20.32
	40′	3.88 ~ 4.05	30.48
철제컨테이너 (Hard Top)	20′	2.50 ~ 2.70	20.32
	40′	3.90 ~ 4.10	30.48
알미늄 컨테이너	20′	2.08	20.32
	40′	2.91 ~ 3.09	30.48

2. 컨테이너 트레일러의 분류

○ 컨테이너 트레일러는 구조상 뼈대만으로 제작되어 컨테이너 운송에 초점을 맞추어 개발된 트레일러이며, 정차시 스텐드를 내려야 세울 수 있어 세미 트레일러(Semi-Trailer)의 한 종류로 분류할 수 있음.



일반 콤비샤시 트레일러



구즈넥 컨테이너 샤시트레일러 (GNCC)

<그림 2-20> 컨테이너 트레일러의 형태

○ 컨테이너 샤시는 20ft 컨테이너 전용, 40ft 컨테이너 전용, 20·40ft 겸용 컨테이너 겸용, 특수규격용 등 다양한 종류가 있음. 20·40ft 겸용 컨테이너 트레일러에는 컨테이너 운행 및 적재안정성을 위해 체결부가 12.5cm 위로 솟아 있는 구즈넥 형상을 적용한 구즈넥 컨테이너샤시(GNCC)와 별도의 구즈넥 형상을 채용하지 않은 콤비샤시로 구분됨.

○ 컨테이너 샤시 중에는 20ft 컨테이너는 싣지 못하고 40ft 컨테이너만 실을 수 있는 샤시를 두고 라인샤시라는 표현을 사용하기도 함.

○ 통상의 ISO규격 컨테이너의 높이는 8ft인데 반해 8.5ft~9.5ft 높이로 표준 컨테이너보다 키가 높은 컨테이너를 하이큐빅컨테이너(high cubic container)라고 부르며, 컨테이너 전면하부에 12.5cm 높이의 홈이 패어있어 구즈넥 형상 위에 얹히게 되어 있고, 운행안정성을 위해 통상 구즈넥 형태의 컨테이너샤시(GNCC)를 이용함.

3. 우리나라 컨테이너 트레일러 관련 법규

○ 차량 운행의 안전과 도로의 보전을 위해 국내의 안전 관련 기준은 점차 세분화되고 강화되고 있음.

- 중량에 대한 규정은 국제 기준에 비해 높은 수준을 유지하고 있으며, 최근 축하중에 관한 규정들이 개정되었음.

- 교통안전과 원활한 통행을 위한 「차량의 운행제한 규정」에 따라 차량 제원은 폭 2.5미터, 높이 4.0미터, 길이 16.7미터로 제한됨.

  · 2015년 5월 개정된「차량의 운행제한 규정」에서는 연결 차량의 길이에 대한 제한 기준이 기존 19미터에서 25미터로 완화되었음.

○ 우리나라의 트레일러 중량제한은 아래 표에 보이는 축중량 제한과 더불어 트럭+트레일러를 합한 총중량을 40톤으로 제한하고 있음.

<표 2-4> 도로법 시행령 일부개정령안, 신・구조문 대비표

현 행	개 정 안
제79조(차량의 운행 제한 등) ① (생 략)	제79조(차량의 운행 제한 등) ① (현행과 같음)
② 도로관리청이 법 제77조제1항에 따라 운행을 제한할 수 있는 차량은 다음 각 호와 같다.	② ----------법 제77조제1항에 따라 차량의 운행을 제한할 수 있는 경우는----------.
1. **축하중(軸荷重)이 10톤을 초과하거나 총 중량이 40톤을 초과하는 차량**	1. 차량의 축하중이 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우 가. 단일축의 축하중이 10톤을 초과하는 경우 나. 축간거리가 1.8미터 이하로 인접한 2개 차축(“인접 2축”이라 한다. 이하 같다)의 축하중 합이 18톤을 초과하는 경우 다. 축간거리가 1.8미터 이하로 인접한 3개 차축(“인접 3축”이라 한다. 이하 같다)의 **축하중 합이 24톤을 초과하는 경우**
<신 설>	2. 차량의 총중량이 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우. 다만 연결차량(견인차량과 피견인 차량이 연결된 상태의 차량)의 경우에는 하나의 차량으로 본다. 가. 전체 축수가 2개인 차량의 총중량이 20톤을 초과하는 경우 나. 전체 축수가 3개인 차량의 총중량이 30톤을 초과하는 경우. 다만, 인접 2축이 포함된 경우에는 28톤을 초과하는 경우로 한다. 다. 전체 축수가 4개인 차량의 총중량이 40톤을 초과하는 경우. 다만, 인접 2축이 1개인 경우에는 38톤, 인접 2축이 2개인 경우에는 36톤, 인접 3축이 포함된 경우에는 34톤을 초과하는 경우로 한다. 라. 전체 축수가 5개 이상인 차량의 **총중량이 40톤을 초과하는 경우**
2.~3. (생 략)	3.~4. (현행과 같음)
③~④ (생 략)	③~④ (현행과 같음)

자료: 국토교통부 첨단도로환경과, “도로법 시행령 일부개정안 입법예고”, http://www.molit.go.kr/USR/law/m_46/dtl.jsp?r_id=3831 (2015. 11. 27)

4. 해외 트레일러 관련 정책 동향

가. 미국의 컨테이너 트레일러 하중제한 규정

○ 미국에서 운행되는 트럭-트레일러는 연방 정부가 제정한 법(Federal regulation)을 준수하도록 하고 있으며, 주에서 제정한 법(State regulation)을 준수하여야함.

○ 도로 파손은 자동차 축의 개수, 축 하중, 축 형태에 큰 영향을 받음. 이에 미국 연방 정부와 각 주들은 도로 보존을 위해 트럭의 총 중량과 축 하중을 제한하고 있음.

○ 1913년 메인(Maine) 주는 최초의 축 하중 규제를 제정하였고, 1956년 미국 연방 정부는 AASHO(American Association of State Highway Officials)의 자문을 받아 연방 규제를 제정함.

- AASHO는 1914년 설립된 미국의 교통 협회로서, 연방 정부와 각 주의 법률 자문 역할을 수행하고 있음.
- 1946년 AASHO는 트럭과 트레일러의 축 형태를 세 종류(단일 축(single), 인접 2축(tandem), 인접 3축(tridem))로 구분하고, 각 형태의 총 중량을 제한하는 정책을 미국 연방 정부에 제안함.



자료: http://transittrailer.com/product-lines/vanguard/)

<그림 2-21> 인접 2축 형태와 인접 3축 형태의 트레일러

- 1956년 미국 연방 정부는 위 정책에 근거하여 축의 개수, 축 하중, 축 형태, 트럭-트레일러의 총 길이를 제한하기 위한 법을 제정함.
  · 단일 축 형태의 총 축 하중은 18,000lb를 초과하지 않아야함.
  · 인접 2축 형태의 총 축 하중은 32,000lb를 초과하지 않아야함.
  · 인접 3축 형태의 총 축 하중은 73,280lb을 초과하지 않아야함.
  · 트럭-트레일러간의 총 길이는 96ft를 초과하지 않아야함.
- 1964년 AASHO는 기존 규제를 완화할 것을 미국 연방 정부에 제안함.
  · 단일 축 형태의 총 축 하중은 20,000lb를 초과하지 않아야함.
  · 인접 2축 형태의 총 축 하중은 34,000lb를 초과하지 않아야함.
  · 인접 3축 형태의 총 축 하중은 Bridge 공식에 의거함.
  · 트럭-트레일러간의 총 길이는 102ft를 초과하지 않아야함.
  · 1974년 미국 연방 정부는 위 정책에 근거하여 축의 개수, 축 하중, 축 형태, 트럭-트레일러의 총 길이를 제한하기 위한 법을 수정함.

· 단일 축 형태의 총 축 하중은 20,000lb를 초과하지 않아야함.

· 인접 2축 형태의 총 축 하중은 34,000lb를 초과하지 않아야함.

· 인접 3축 형태의 총 축 하중은 80,000lb를 초과하지 않아야함.

· 트럭-트레일러간의 총 길이는 102ft를 초과하지 않아야함.

- 1982년 미국 연방 정부는 트럭-트레일러의 총 길이를 제한하기 위해 추가적인 법안을 제정함.

· 세미트레일러의 경우, 각 주마다 길이제한은 서로 다르지만, 가장 긴 길이를 허용하는 와이오밍 주의 경우 5축 세미트레일러의 경우 전체 길이 60feet를 초과하지 않도록 규정하고 있고 다른 주를 넘다드는 트레일러의 경우 53feet를 넘을 수 없음.

- 미국의 총 51개 주 중, 14개 주가 연방 정부의 단일 축 형태의 하중 규제 값인 20,000lb보다 높은 기준의 축 하중 규제를 시행하고 있음.

- 2010년 8월 5일 미국 상원은 트럭-트레일러의 총 하중 규제를 완화하자는 내용의 교통안전 효율 법안(Safe and efficient transportation act of 2010)을 제안함.

<표 2-5> 미국 각 주의 축 하중 규제 (단위 103-pound)

주 (State)	단일 축	인접2축	인접3축(bridge 공식)
Alabama	20	40	No
Alaska	20	38	Yes
Arizona	20	34	No
Arkansas	20	34	Yes
California	20	34	Yes-modified
Colorado	20	40	No
Connecticut	22.4	36	Yes
Delaware	20	40	No
D.C.	22	38	Yes-modified
Florida	22	44	No
Georgia	20.34	37,34	Yes
Hawaii	22.5	34	-
Idaho	20	34	-
Illinois	20	34	Yes
Indiana	20	34	Yes
Iowa	20	34	Yes
Kansas	20	34	Yes
Kentucky	20	34	Yes
Louisiana	20	37	No
Maine	22.4	38	No
Maryland	20	34	Yes
Massachusetts	22.4	36	Yes
Michigan	20	34	Yes
Minnesota	18	34	Yes-modified
Mississippi	20	34	Yes
Missouri	20	34	Yes
Montana	20	34	Yes
Nebraska	20	34	Yes
Nevada	20	34	Yes
New Hampshire	22.4	36	No
New Jersey	22.4	34	No

New Mexico	21.6	34.32	Yes-modified
New York	22.4	36	Yes
North Carolina	20	38	Yes-modified
North Dakota	20	34	Yes
Ohio	20	34	No
Oklahoma	20	34	Yes
Oregon	20	34	Yes-modified
Pennsylvania	25	34	Yes
Rhode Island	22.4	36	Yes-modified
South Carolina	20	39.6	No
South Dakota	20	34	Yes
Tennessee	20	34	Yes
Texas	20	34	Yes-modified
Utah	20	34	Yes
Vermont	20	34	Yes
Virginia	20	36	Yes
Washington	20	34	Yes
West Virginia	20	34	Yes
Wisconsin	20	34	Yes-modified
Wyoming	20	36	No

자료 : https://www.fhwa.dot.gov/reports/tswstudy/Vol2-Chapter2.pdf)

· 고속도로를 운행하는 트럭-트레일러의 총하중을 80,000lb (36.3t)에서 97,000lb(44t)으로 완화하자고 제안함. 제안 배경으로는 1974년 이후 무게 제한이 완화되지 않았고, 현행 무게 제한을 유지할 경우 고속도로가 수용할 수 있는 트럭 수보다 트럭의 양이 11배 이상 초과될 것이라 예측하였기 때문임.

· 규제 완화 법안이 통과 시, Maine 주와 같이 하중 제한이 큰 주들의 혜택이 클 것이라 예상됨. 하지만, 증가된 트럭-트레일러의 하중으로 도로 및 다리 손실의 위험이 지적되고 있음.

- 미국 연방 정부는 도로 파손을 방지하기 위해 하중에 따라 세금을 차등 적용하고 있음.

· 미국 연방 정부는 차량 총 중량이 19,500lb를 초과하는 트랙터, 26,000lb를 초과하는 트레일러에 대해 판매가격의 12%에 해당하는 소매세를 과세함. 하중이 기준치 미만인 트랙터-트레일러에 대해서는 과세가 면제됨.

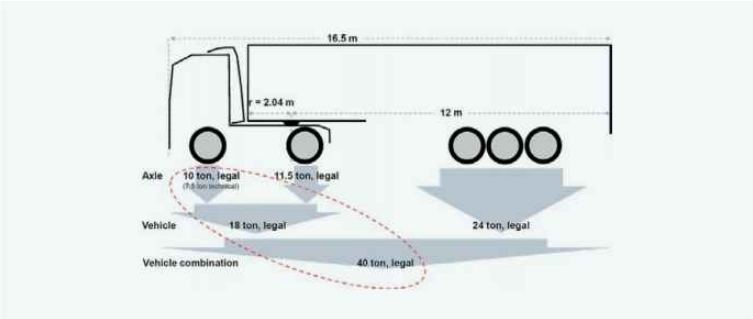
· 미국 연방 정부는 중량이 55.000lb 이상인 자동차에 도로사용세를 과세하고 있음. 중량이 55,000lb이상 75,000lb 미만인 자동차는 1000파운드당 22달러가 과세됨. 중량이 75,000lb 이상인 자동차는 550달러가 과세됨.

나. 유럽의 컨테이너 트레일러 하중제한 규정

○ 유럽연합(EU)은 트럭-트레일러의 총하중을 40t으로 규제하고 있음

○ 단일 축 하중을 10톤 미만이 되도록 회원국에게 권장하고 있지만 인접 2축 형태와 인접 3축 형태의 총 축 하중은 회원국마다 차이를 보임.

- 인접 2축의 경우, 총 축 하중이 20톤을 초과하지 않는 것을 권장하고 있고, 인접 3축의 경우 총 축 하중이 24톤을 초과하지 않는 것을 권장하고 있음.



자료 : https://www.acea.be/uploads/publications/SAG_23_Heavy-Duty_Vehicle_Weight_Restrictions_in_the_EU.pdf

<그림 2-22> 유럽연합의 트럭-트레일러 축 하중 권장 규정

<표 2-6> 유럽연합 소속 각 국가의 축 하중 규제(단위: 톤)

Country	Road Train			
	Weight/axle	4 axles	5 axles	6++ axles
Albania	10	36	40	44
Armenia	10	36	36	36
Austria	10	36	40	40
Azerbaijan	10	36	42	44
Belarus	10	38	40	42
Belgium	10	39	44	44
Bosnia-Herzegovina	10	38	40	40
Bulgaria	10	36	40	40
Croatia	10	36	40	40
Czech Republic	10	36	42	42
Denmark	10	38	42	42
Estonia	10	36	40	40
Finland	10	36	44	42
France	10	38	40	40
FYROM	10	31	40	40
Georgia	10	44	44	44
Germany	10	36	40	40
Greece	10	33	42	42
Hungary	10	36	40	40
Iceland	10	36	40	44
Ireland	10	36	44	44
Italy	10	40	44	44
Latvia	10	36	40	40
Liechtenstein	10	36	40	40
Lithuania	10	36	40	40
Luxembourg	10	44	44	44
Malta	10	36	40	40
Moldova	10	36	40	40
Montenegro	10	36	40	40
Netherlands	10	40	50	50
Norway	10	39	46	46
Poland	10	36	40	40
Portugal	10	37	40	40
Romania	10	36	40	40
Russia	10	36	40	40

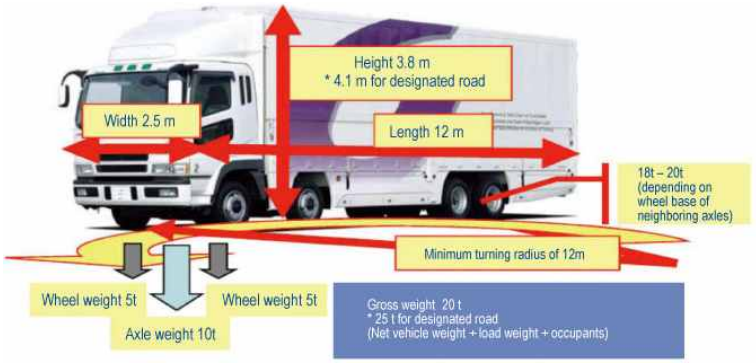
Serbia	10	36	40	40
Slovakia	10	36	40	40
Slovenia	10	36	40	40
Spain	10	36	40	44
Sweden	10	38	46	48
Switzerland	10	36	40	40
Turkey	10	36	40	40
Ukraine	10	38	38	38
United Kingdom	10	38	40	40

자료: http://www.internationaltransportforum.org/IntOrg/road/pdf/weights.pdf

다. 일본의 컨테이너 트레일러 하중제한 규정

○ 일본의 경우, 단일 축 하중이 10톤을 초과하지 않도록 제한하고 있음.

- 인접 2축 형태의 경우, 축간 거리에 따라 18~20톤을 제한하며, 차량의 폭은 2.5m, 길이는 12m를 초과하지 않아야 함.



자료 : http://www.mlit.go.jp/road/road_e/p7_vehicle.html

<그림 2-23> 일본 축 하중 관련 제한 사항

라. 세계 각국의 컨테이너 트레일러 하중제한 규정 요약

<표 2-7> 세계 각국의 도로주행 차량의 규격제한

구분	중량(t)		재원(m)		
	축하중	총중량	너비	높이	길이
한국	10.0	40.0	2.5	4.0	16.7
일본	10.0	36.0	2.5	3.8	12.0
미국	9.1(복축14.5)	36.4	2.6	4.0	18.3
캐나다	10.0	38.0	2.5	4.2	12.5
독일	10.0	40.0	2.5	4.0	18.0
영국	--	38.0	2.5	4.0	18.0
프랑스	13.1(복축19.0)	38.0	2.5	--	18.0
EU	10.0	40.0	--	--	--

5. 우리나라 콤비트레일러 관련 주요 개발기관 및 기업 현황

○ 국내·의 트레일러 제조업체는 아래 표와 같으며, 컨테이너 샤시의 사양과 관계없이 차량중량과 최대적재량을 합쳐 31t에 맞추어 제품이 생산되고 있는데, 이는 트레일러를 견인하는 트렉터(트럭)의 자체중량 9t을 감안하여 총중량을 40t으로 제한하고 있는 우리나라 제도 때문인 것으로 파악됨

○ 트레일러의 길이는 두성특장차의 45ft 컨테이너 운송용 컨테이너 샤시트레일러가 14,120mm로 가장 긴 것으로 조사되었으나, 이것은 차량연결 시 슬라이딩 체결부분을 뽑았을 때 길이이고, 접었을 때에는 길이 13,000mm, 너비는 2,490mm을 넘지 않도록 제작하고 있음. 이것 또한 트레일러를 견인하는 트렉터(트럭)와 합쳐서 길이 16.7m가 넘을 수 없도록 제한하고 있는 차량길이 제한 때문임.

○ 단 차량중량이 6.320t, 높이 3,510mm에 달하는 티핑 기능을 장착한 덤핑 컨테이너 트레일러도 제작되고 있으나 이러한 경우는 컨테이너 운송용이라기보다 하역작업 편의를 위해 특수하게 제작되는 경우에 해당하므로 고려대상에서 제외하는 것이 바람직함

<표 2-8> 우리나라 주요 트레일러 제조업체

업체	제품
두성특장차	트레일러, 탱크로리
다임폴라특장	트레일러, 탱크로리
대한모터스	트레일러
대흥중공업	트레일러
동양특장차공업	트레일러, 탱크로리
명성정공	트레일러
신흥정공	트레일러, 탱크로리
아이씨피	트레일러
엠뱅크	자동차운반트럭, 트레일러
진도특장차	트레일러
한국특장차	트레일러
정우정공	트레일러, 탱크로리, 살수차, 버큠로리, 특수차량

가. 두성특장차

○ 두성특장차는 1993년 설립된 업체임.

○ 액상/분말 수송, 초저온/고압가스 수송, 화학 수송, 건설차량, 특수차량, 장치 등을 개발 및 제작하는 업체이며, 주로 운송차량용으로 컨테이너 새시, 벌크, 액상, 평판 트레일러 등을 개발하여 판매중임.

○ 두성특장차는 고장력강을 적용하여 프레임 경량화에 성공한바 있음.

○ 또한, 용접 구조형 프레임, 싱글타이어, 프레임과 일체형 볼스터, 유럽형 트위스트

록, 개별적인 타이어 휀더 적용, 유럽형 리어범퍼 등을 적용하여 제품을 차별화하고 있음.

<표 2-9> 두성특장차의 주요 제품 현황

종류	제품명	비고
Container chassis	GNCC(고급형/4x2/보급형) 차량중량:4.98t, 길이 12,620mm	
	2040 C/C 차량중량:3.64t, 길이 12,555mm	-
	콤바인 섀시 차량중량:4.07t, 길이 12,355mm	-
	20FT CC 차량중량:3.40t, 길이 7,165mm	
	45FT CC 차량중량:4.00t, 길이 14,120mm	
	45FT 3축 차량중량:5.30t, 길이 13,820mm	-
	20FT 덤핑 CC 차량중량:4.20t, 길이 13,820mm	-
	40FT 덤핑 CC 차량중량:6.32t, 길이 12,93mm	
	40 라인섀시 차량중량:3.61t, 길이 12,53mm	

나. 한국특장차

○ 1997년 설립된 회사로 현재 320종의 트레일러 및 섀시를 생산하고 있음.

<표 2-10> 한국특장차의 주요 제품 현황

종류	제품명	비고
Container chassis	40FT 구즈넥 섀시 차량중량:4t, 최대적재량:26.5t	
	20/40FT 콤바인 섀시 차량중량:5.7t, 최대적재량:25t	
	구즈넥콤보 3축(4.6축 리프팅/싱글) 차량중량:6.7t, 최대적재량:24t	

자료: 한국 특장차, http://www.kortrailer.com/, 2014.11.29.

다. 동우특장차

○ 충남 당진에 위치한 회사로서 평판, 벌크, 컨테이너 섀시, 철판 운송용 트레일러 등을 판매하고 있음.

○ 동우 특장차에서는 20/40t 컨테이너를 적재하기 위한 리프팅 컨테이너 섀시를 생산하고 있음.

<표 2-11> 동우특장차의 주요 제품 현황

종류	제품명	비고
Container chassis	구즈넥 컨테이너 섀시 차량중량:5.1t, 최대적재량:25.9t	

자료: 동우 특장차, http://www.dongwoomotor.com/2012/kor/sub_030100.html, 2015.11.29

제3장 운송차량 및 추진시스템 정의

제1절. 차량시스템 기술요구사항 정의

1. 개요

○ 본 연구는 인터모달 자동화물수송시스템 기술개발사업의 협동연구과제인 2세부 운송차량 및 추진시스템 기술개발의 공동연구로서 차체, 대차, 전력변환장치, 보조전원장치, 유도전동기, 회전정렬연결기 등의 기술개발을 수행한다.

○ 본 연구에서는 인터모달 자동화물수송시스템에 적용되는 차량시스템에 대한 기술요구사항을 정의하여 차체, 대차, 전력변환장치, 보조전원장치, 유도전동기, 회전정렬연결기 등의 기술개발을 원만히 수행할 수 있도록 한다.

○ 본 연구에서 차량시스템 기술요구사항을 정의하여, 차량시스템 제원 및 특성, 대차, 전력변한장치, 유도전동기 등의 시스템 엔지니어링, 주요장치 기술사양, 도면설계 등에 활용토록 하고자 한다.

2. 차량시스템 기술요구사항 정의

가. 개요

○ 차량시스템 기술요구사항에서는 인터모달 자동화물수송시스템에서 화물대상으로 적용해야하는 컨테이너 샤시 트레일러에 대하여 사이즈, 중량 등을 정의하고, 차량의 사이즈 및 규모를 설정하기 위하여 도로법에 적용되어 운용되는 컨테이너 샤시 트레일러를 적용토록 한다.

○ 본 차량시스템 기술요구사항에서는 차량의 제원 및 특징, 차량의 속도, 중량 및 감속도, 대차, 제동장치, 전기장치의 구성 등 인터모달 자동화물수송시스템에 적용되는 차량시스템에 대한 주요 기술요구사항을 정의 하고자 한다.

나. 운송 대상화물

(1) 운송 대상화물

○ 컨테이너를 운송하는 트레일러는 트랙터, 컨테이너 운반용 샤시로 구성된다. 일반적으로 트렉터에 컨테이너 샤시를 연결하여 컨테이너 적하장이나, 항구에서 크레인으로 컨테이너를 트레일러에 적재한 후 지정된 배송지로 운송하게 된다.

○ 일반적으로 사용하고 있는 컨테이너 트레일러 종류는 컨테이너를 적재하기 위한 간단한 구조 제작된 컨테이너 샤시를 말한다.

○ 구주넥 샤시(Gooseneck Chassis)는 40‘ 컨테이너를 고정하는 록킹장치가 앞부분에는 설치하지 않고, 뒤에만 설치한 컨테이너 샤시를 칭하고, 평판트레일러는 상판을 나무, 철판 등으로 샤시 윗부분을 평편하게 덮은 컨테이너 트레일러를 말한다.



<그림 3-1> 컨테이너용
트렉터



컨테이너



샤시구즈넥 샤시



평판트레일러

<그림 3-2> 컨테이너 샤시의 종류

○ 검토 의견

- 본 사업에서는 인터모달 자동화물수송시스템을 구축하기 위하여 일반적으로 많이 사용되고 있는 컨테이너 샤시 트레일러(트렉터 제외)를 적재 대상물로 선정한다.

다. 컨테이너 트레일러 도로주행을 위한 적용 법규

(1) 도로법(법률 제14338호, 2016. 12. 2 시행)

○ 관련 조항 : 제77조(차량의 운행 제한 및 운행허가) 내용 발췌 :

- 도로관리청은 도로 구조를 보전하고 도로에서의 차량 운행으로 인한 위험을 방지하기 위하여 필요하면 대통령령으로 정하는 바에 따라 도로에서의 차량 운행을 제한할 수 있다. 다만, 차량의 구조나 적재화물의 특수성으로 인하여 도로관리청의 허가를 받아 운행하는 차량의 경우에는 그러하지 아니하다.

(2) 도로법 시행령(대통령령 제27972호, 2017. 3. 30 시행)

○ 관련 조항 : 제79조(차량의 운행 제한 등) 내용 발췌 :

- 도로관리청이 법제77조제1항에 따라 운행을 제한할 수 있는 차량은 다음과 같다.
  · 축하중(軸荷重)이 10톤을 초과하거나 총중량이 40톤을 초과하는 차량
  · 차량의 폭이 2.5미터, 높이가 4.0미터(도로 구조의 보전과 통행의 안전에 지장이 없다고 도로관리청이 인정하여 고시한 도로의 경우에는 4.2미터), 길이가 16.7미터를 초과하는 차량

○ 검토 의견

- 도로법 시행령 제79조(차량의 운행 제안 등)에 따르면, 컨테이너 트레일러 차량은 총중량 40톤(트레일러 차량 및 컨테이너)과 축하중 10톤을 초과하여 도로에서 운행

할 수 없다.

- 컨테이너 트레일러 차량은 길이 16.7m, 폭 2.5m 및 높이 4.0m 이상을 초과하여 도로에서 운행할 수 없다.

라. 트레일러 샤시 및 컨테이너 제원

(1) 트레일러 샤시 제원 및 하중

○ 본 항에서는 인터모달 차량시스템에 적재하게 되는 컨테이너 트레일러 샤시의 주요 제원과 하중을 조사한다. 자료는 2장 3절 5항에 우리나라 컨테이너 트레일러 주요 제조업체의 제품이 수록되어 있다. 대표적인 컨테이너 트레일러 샤시는 아래와 같다.

- 차량길이 : 12,430~14,120mm
- 차량 폭 : 2,480~2,490mm
- 차대 높이 : 1,480mm
- 차대(차량길이 12,430mm 경우) : 길이 : 12,187mm, 폭 : 2,360mm
- 중량 : 샤시와 컨테이너를 합쳐 31,000kg 초과하지 않음

○ 국내 컨테이너 트레일러의 각 회사별 제품 규격 현황

- 두성특장차
  · GNCC 샤시 : 중량 4,980kg, 길이 : 12,620mm,
  · 콤바인 샤시 : 중량 4,070kg, 길이 : 12,355mm
  · 40'라인 샤시 : 중량 3,610kg, 길이 : 12,530mm
- 한국특장차
  · 40'구즈네 : 중량 4,000kg, 적재중량 : 26,500kg
  · 구즈넥콤보 3축 : 중량 6,700kg, 최대적재중량 : 24,000kg
  · 콤바인 샤시 : 중량 5,700kg, 최대적재중량 : 25,000kg
- 동우특장차
  · 구즈넥콤보 3축 : 중량 5,100kg, 최대적재중량 : 25,900kg



3축 GNCC(구즈넥 샤 2축 콤바인 샤시

<그림 3-3> 컨테이너 트레일 샤시

(2) ISO 6346 컨테이너 규격

<표 3-1> ISO 6346 드라이 컨테이너 규격

구분		길이 (mm)	폭 (mm)	높이 (mm)	내부용적 (CBM)	차체 (kg)	하중 (kg)	총중량 (kg)
45′	외측	13,716	2,438	2,591	85,600	4,880	25,600	30,480
	내측	13,555	2,348	2,390				
40′	외측	12,192	2,438	2,591	67,500	3,890	26.590	30,480
	내측	12,034	2.348	2.390				
20′	외측	6,058	2,438	2,591	33.100	2,290	21,710	24,000
	내측	5,899	2,348	2,390				

○ 검토 내용

- 컨테이너 트레일러 크기는 길이 12,430~12,620mm, 폭 2,480mm 및 높이 1,480mm 로 조사되었다.
- 컨테이너와 트레일러 샤시의 총중량은 31톤을 초과하지 않으며, 트레일러 샤시 4,000~6,700kg, 적재하중은 24,000~27,000kg으로 분석되었다.

마. 적재 하중

○ 인터모달 자동화물운송시스템으로 사용될 차량시스템과 적재되는 컨테이너 트레일러 샤시의 중량을 설정하여 차량시스템 설계기준을 설정하며, 적재하중은 아래와 같이 정의하였다.

- 40′컨테이너 하중 : 약 24톤
- 트레일러 중량 : 약 7톤
- 컨테이너 트레일러 총중량 : 약 31톤

바. 차량 크기 설정

(1) 차량 크기 설정 기준

○ 차량의 크기는 컨테이너 트레일러의 상하차를 용이하게 할 수 있도록 길이와 폭을 설정하여야 한다.

○ 트레일러 샤시는 차체의 역할과 기능을 갖춰야 하고, 차체의 강도와 강성은 충분히 확보되고, 검증되어야 한다.

(2) 차량 크기 설정 내용

○ 차체 길이 설정 : 차체 길이는 컨테이너 트레일러 샤시의 길이(12,430 ~ 14,120mm) 보다 크게 제작하여야 하며, 또한 단부가 경사면으로 되어 있어 약 2,100mm 정도 더 추가하여 차체의 총길이는 여유를 고려하여 약 16,820mm 정도로 설정하여 트레

일러의 상차 및 하차의 용이성 확보

○ 차체 길이(16,820mm) : 차체 길이는 컨테이너 트레일러 샤시의 길이(12,430 ~ 12,620mm) 보다 크게 제작하여야 하며, 또한 단부가 경사면으로 되어 있어 약 2,100mm 정도 더 추가하여 차체의 총길이는 약 16,820mm 정도로 설정하여 트레일러의 상차 및 하차의 용이성 확보

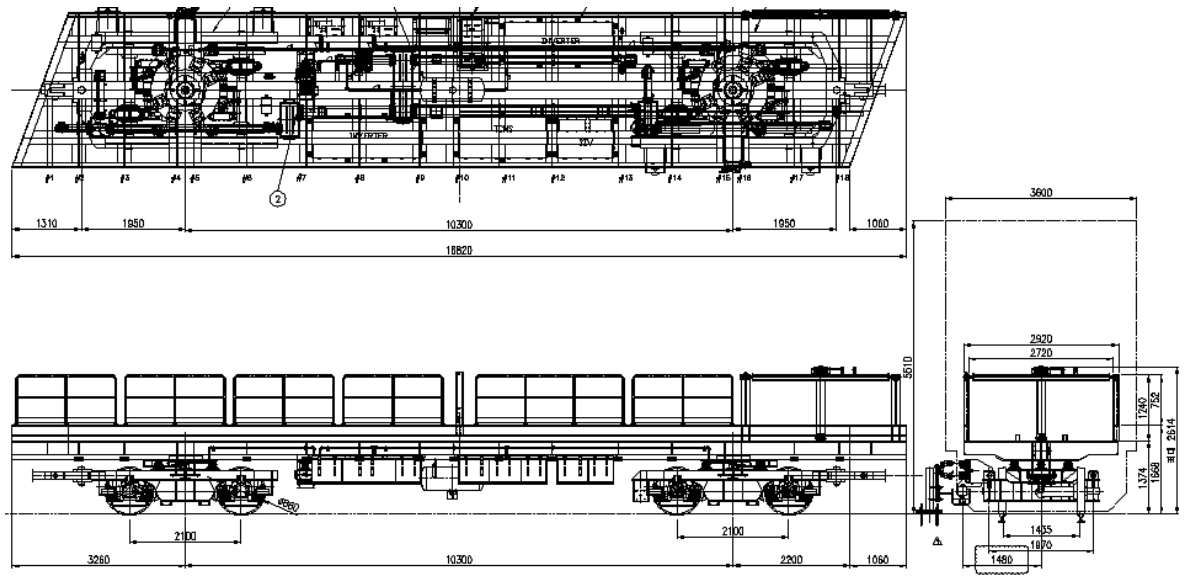
○ 차체 폭(2,920mm) : 차체 폭은 컨테이너 트레일러의 폭보다 400mm 정도 크게 설정하여 트레일러 상하차 용이성 확보

○ 언더후레임 상면 높이(1,374mm) : 체 높이는 차체와 대차의 원활한 회전과 대차, 회전롤러, 전선, 제동배관 등 각종 설비의 설치 공간을 확보

○ 축간거리(2,100mm) : 축간거리는 양 차축에 장가형 유도전동기 설치를 위해 기존 화차대차의 축간거리보다 크게 설정

○ 차륜경(860mm) : 차륜경은 기존 화차의 차륜 사용, 레일 및 레일의 호환성, 안전성 등을 고려하여 설정

○ 대차간거리(10,300mm) : 대차간거리는 최소곡선반경 R150m의 원활한 주행, 안전성, 편기 등을 고려하여 설정



<그림 3-4> 인터모달 차량 일반도

사. 차량시스템의 주요제원 및 특성

(1) 개요

○ 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영될 차량시스템의 주요제원 및 특징은 아래와 같이 정의하였다. 차량의 속도는 인터모달이 자동화물수송시스템에서 안전하게 운영되면서 컨테이너 수송효율을 증가시킬 수 있는 최고운영속도를 40km/h로 하였고, 설계속도는 60km/h 하였다. 본선에서 정거장으로 진입하기 위한 속도는 6km/h로 하였으며. 65톤의 고하중이 차량이 안전하게 회전정렬하여, 천이구간과 정거장에 정차하기 위한 속도로 설정하였다.

○ 차량시스템의 가속도 및 감속도는 중량화물의 안전운송과 천이구간 및 정거장 구간에서 안전하게 회전정렬 시키기 위하여 도시철도에 절반수준으로 상용가속도 및 감속도는 1.5km/h/s(0.416m/s^2)으로 하였고, 비상 감속도는 2.0km/h/s(0.56m/s^2)로 설정하였다.

○ 차체는 컨테이너 트레일러가 차량에 전정하게 적차하기 위하여 길이 16,820mm, 폭 2,920mm로 설정하였다.

○ 대차는 기존화차 대차를 사용하여 용접구조로 하고, 차축간격은 차축에 감속기와 대차골조에 유도전동기를 설치하기 위하여 2,100mm로 설정하였다.

○ 제동장치는 전기제동과 기계제동을 블랜딩하여 사용토록 하였으며, 전기제동이 우선 작동하도록 하였다.

○ 차량전기장치는 제3궤조 집전장치에 의한 전원공급과 차량의 자동주행을 위한 추진장치, 보조전원장치, 열차제어/진단장치, 통신장치, 신호장치 등의 열차자동제어를 위한 전장설비품을 구성해 설비하였다.

(2) 속도

- 설계속도 : 60km/h
- 최고운영속도 : 40km/h
- 천이구간 및 정거장 진입 속도 : 6km/h 이하

(3) 차량의 가감속도

- 최대가속도 : 1.5km/h/s(0.416m/s^2)
- 상용감속도 : 1.5km/h/s(0.416m/s^2)
- 비상감속도 : 2.0km/h/s(0.56m/s^2)

(4) 중량

- 자중 : 약 34톤(차체 10.7톤, 대차 17톤, 전기장치 5.5톤, 공압장치 등 0.8톤)
- 하중 : 31톤(하중 24톤, 트레일러 7톤)

- 총중량 : 약 65톤

(5) 차체 제원

- 차체길이 : 16,820mm
- 차체 폭 : 2,920mm
- 차체높이 : 2,614mm
- 언더후레임 상면 높이 : 1,374mm
- 대차중심간 거리 : 10,300mm

(6) 대차

- 형식 : 회전정렬형 용접일체구조대차
- 궤간 : 1,435mm
- 차륜경 : Φ860mm
- 차축 : RCT D Class 베어링 축
- 고정축거 : 2,100mm
- 기초제동장치 : 답면제동유니트
- 회전정렬 연결기
- 응하중검지장치(고주파 형식)
- 속도검측센서

(7) 제동장치

- 기계제동장치
  · 유니트 답면제동장치
  · 공기사용압력 : 5kg/cm^2
- 전기제동장치
  · 회생제동장치
- 블랜딩제동장치
  · 전기제동과 기계제동 혼용

(8) 전기장치

- 전원공급 : DC750V
  · 차량당 요구추진력 : 33KN/량 이상
- 유도전동기
  · 전동기 형식 : 장가식 농형유도전동기
  · 공급전원 : AC550V, 60Hz, 3상

· 출력 : 92kW/대 이상

· 회전력 : 475Nm /대 이상

· 회전속도 : 1,850rpm

· 수량 : 4 대/량

- VVVF 인버터

· PWM VVVF 제어

· 입력전원 : DC750V

· 출력전압 : AC550V

· 주회로 소자 : Dual IGBT

· 냉각방식 : 자연냉각 히트파이프

· 전동기 제어방식 : 1C2M

· 출력 : 230KVA/유니트

· 수량 : 2 유니트/량

- 보조전원장치

· 2 Level CVCF 제어

· 입력전원 : DC750V

· 출력전압 : AC380V / 3상/ 60Hz, DC100V

· 정격용량 : 10kW(AC380V, 3상, 60Hz : 8.5KVA, DC110V : 1.5KW)

· 주회로 소자 : IGBT 소자 IGBT

· 32bit 전력제어 전용 DSC

· 냉각방식 : 자연냉각 히트파이프

- 차량제어/진단장치

· MCU : 32비트 MCU + Flash Memory

· 통신제어기 : 4채널 직렬통신

· 입력장치 : 디지털 32 포트, 아나로그 8채널

· 출력장치 : DC110V 16포트

· 전원장치 : DC110V

- 배전반

· 전력차단장치

· 각종전장품 배전/스위치

· 등구류 On-Off

- 수동운전장치 :

· 추진제어 및 제동제어

- 배터리 및 충전기
  · 전압 : DC100V
  · 용량 : 45AH
- 전조등 및 표시등
  · 전조등 : LED 30W 백색
  · 표시등 : LED 20W 적색
- 신호/통신장치
  · 종합사령실의 TTC(열차제어장치)와 VTTC(차량신호장치)간에 제어명령하달 및 보고
  · 마크 및 마크센서에 위한 차량 위치 정보 인식
  · LTE 및 WIFI를 이용한 TTC와 VTTC의 통신
- 집전장치
  · 형식 : 제3궤조 집전장치
  · 집전전원 : DC750V

제2절. 열차 및 차량시스템 주요장치 기술사양 정의

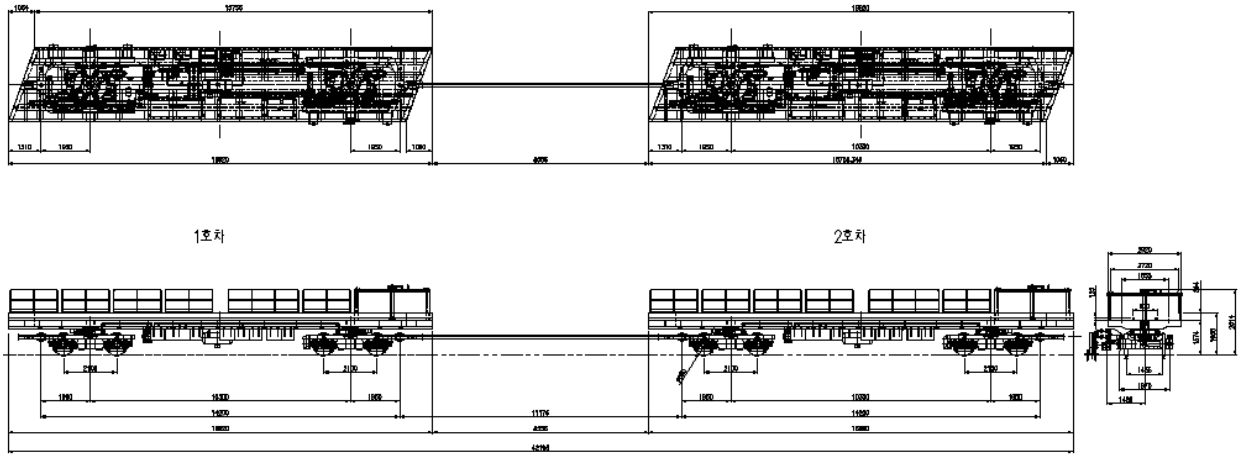
1. 개요

○ 본 항에서는 인터모달 자동화물수송시스템의 열차 및 차량시스템 설비에 대하여 주요장치의 기술사양을 정의 한다.

○ 차량설비는 언더후레임, 대차, 제동장치와 공압장치, 회전정렬연결기, 차량전기장치, 추진시스템, 보조전원장치, 열차제어진단장치, 집전장치, 축전장치, 통신장치, 신호장치 등 차량시스템 주요장치의 기술사양의 정의하여 기술개발의 기본사양으로 적용하고자 한다.

2. 열차 편성 구성 및 제원

○ 인터모달 운송차량은 Test Bed에서 회전정렬 주행기능을 검증하기 위하여 2량 편성으로 구성하였다.



<그림 3-5> 인터모달 차량 편성도

3. 차체 구성

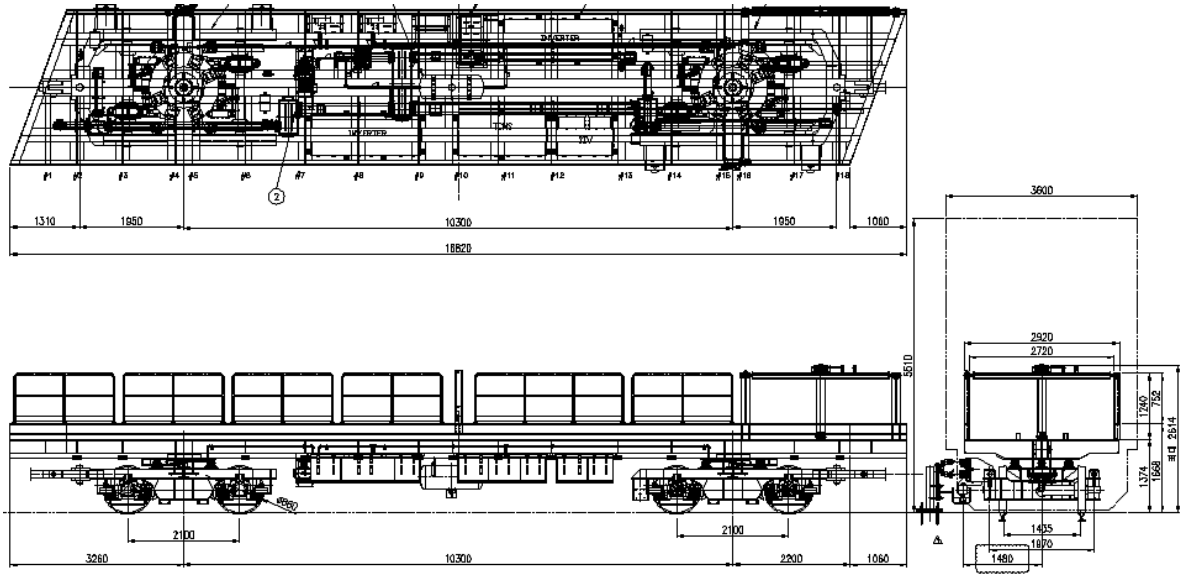
○ 차체는 언더후레임, 트레일러 고정장치 등으로 구성한다.

○ 컨테이너 트레일러 샤시를 차량에 상·하차가 용이하도록 차체의 설계 한다.

○ 차량의 주요 제원 :

- 차량크기 : L16,820 x W 2,920 x H 2,614(mm)
- 차량중량 : 총중량 65톤(자중 34톤, 하중 31톤)
- 대차중심간거리 : 10,300mm
- 컨테이너를 적재한 트레일러를 적재하기 위한 강도구조차체 설비
- 언더후레임 상면에 트레일러 주행을 위한 주행면에 체크플레이트 설치
- 트레일러 고정을 위한 킹핀장금장치와 타이어/랜딩기어의 정위치 적재 안내 설비
- 차체와 대차를 센터피봇으로 연결을 할 수 있는 설비 구축

- 차량설비, 추진제어장치, 차량제어장치, 제동장치, 공압장치, 전기장치 등을 설치할 수 있는 구조 설비

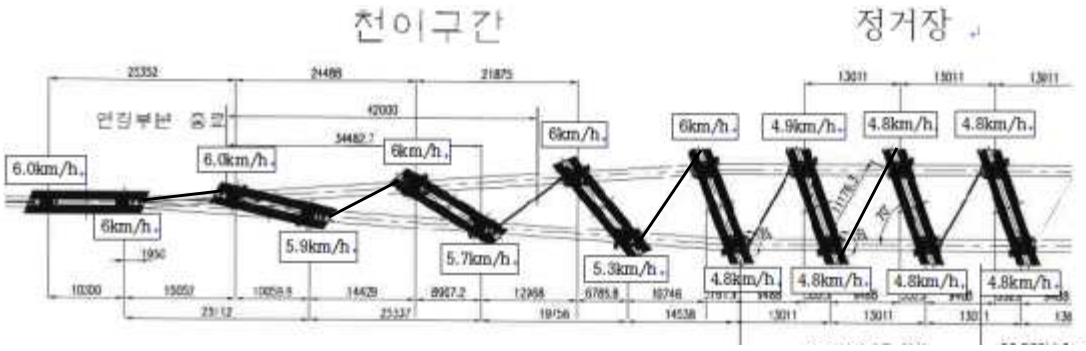


<그림 3-6> 인터모달 차량 조립도

4. 회전정렬 연결용 호이스트 설치 방안

○ 각 차량의 단부에는 회전정렬 연결용 호이스트를 설치하여, 차량이 주행 중이거나, 정거장 진입 시 천이구간과 정거장에서 차량이 70도 정도 회전 시에도 궤도 이탈이나 탈선 없이 안전하게 주행하여야 한다.

○ 회전정렬 연결방안은 아래 그림과 같이 대차 링크식 회전정렬 연결용 호이스트를 대차와 대차에 직접 연결하여, 천이구간과 정거장 구간을 원활히 주행하도록 하였다.



<그림 3-7> 링크식 회전정렬 연결용 호이스트 바 대차-대차 연결도

5. 대차

○ 대차는 철도차량 화차용 용접일체구조대차를 사용하여 회전연결형 대차를 개발한다. 대차와 차체 사이는 회전형센터피봇을 설치하고, 차체 회전이 용이하도록 대차에 회전형 롤러를 설치한다.

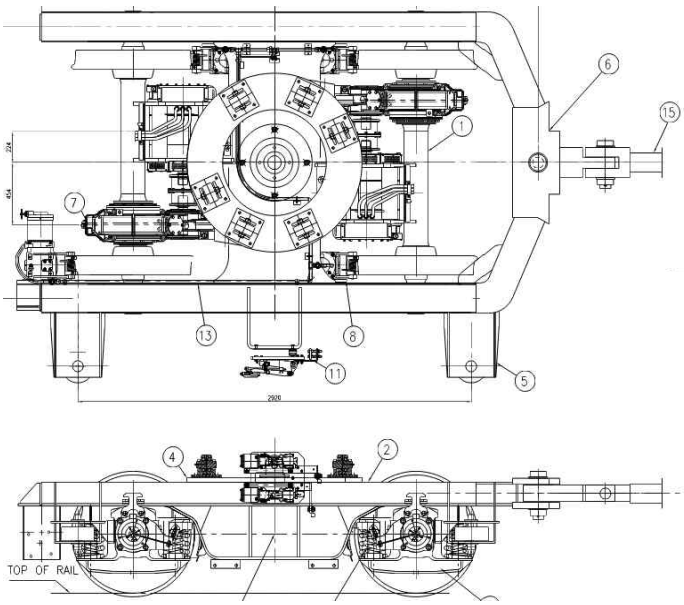
○ 회전연결형 호이스트 연결기를 설치하기 위하여, 대차 프레임에는 연결용 프레임을

설치하여 회전정렬 연결용 호이스트를 설치하여야 한다. 회전정렬 연결용 호이스트 차량의 직선 주행과 곡선 및 천이지역과 정거장 지역의 통과 시 원활히 주행하도록 설치해야 하고, 충분한 강도와 강성을 갖춰야 한다.

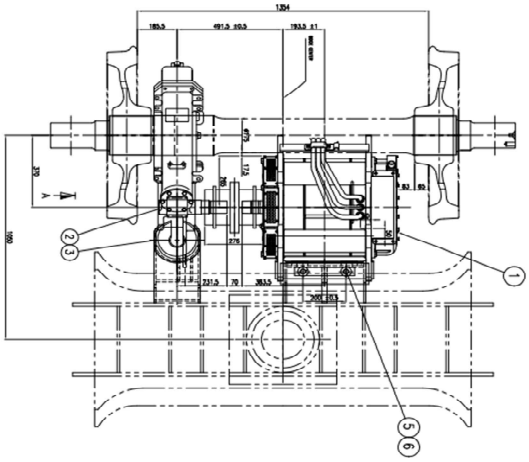
○ 축상에는 RCT 테이퍼롤러베어링과 코일스프링을 설치할 수 있는 구조로 하여야 하고, 대차 사이드 프레임에 설치하여 차축의 움직임에 대응하는 구조로 한다.

○ 차량이 천이구간 진입 시 차체의 회전을 위하여 대차 사이드프레임에 안내차륜을 설치하여야 한다.

○ 대차에는 동력전달장치를 설치하여야 하며, 전동기는 대차 프레임에 설치하고, 차축에는 감속기를 설하여야 한다.



<그림 3-8> 대차 조립도



<그림 3-9> 동력전달장치 조립도

○ 대차의 주요 제원은 아래와 같다.

- 최고속도 : 60km/h
- 고정축거 : 2,100mm
- 중량 : 약 8.5톤/대(견인전동기, 감속기, 커플링 포함)
- 회전센터피봇 : 회전이 용이한 반구형레진 센터피봇
- RCT D Class 베어링
- 차륜답면제동장치
- 가이드 휠 장치
- 주차/답면겸용 제동장치
- 회전롤러장치 : 롤러 6개/대차
- 제3궤조 집전자
- 고주파형식 응하중장치
- 속도센서(인버터, 제동, 신호)

- 신호장치용 마크/센서
- 회전정렬형 연결장치 설비

가. 동력전달장치

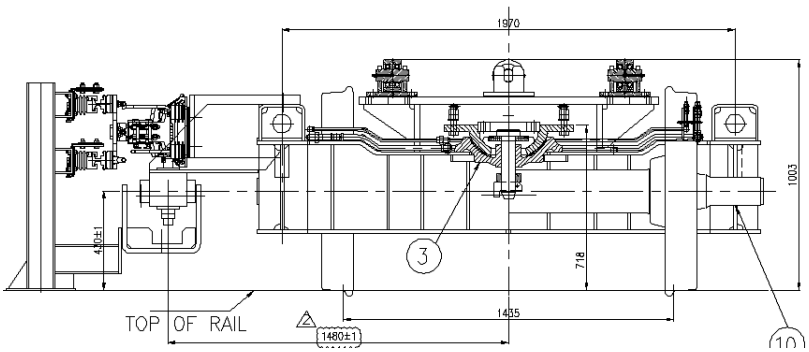
○ 유도전동기와 감속기의 동력전달장치는 카르단식으로 한다.

(1) 축상 외측 가이드 휠 설치

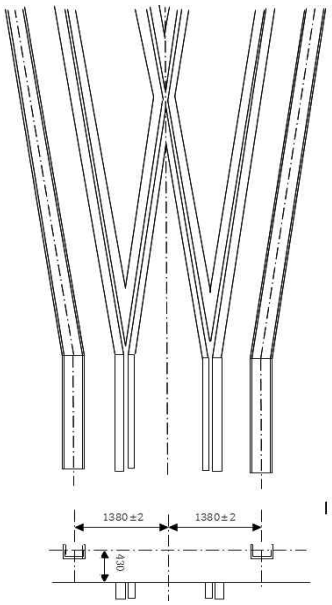
- 대차의 외측에 가이드 휠을 설치하여 차량의 분기기가 용이하도록 한다. 가이드 휠은 레일 상면에서 430mm에 설치하고, 가이드레일은 궤도 측면에 대차 중심에서 1,480mm에 설치한다.

(2) 가이드레일 설치 기본도

- 정거장과 천이구간을 진입 시에는 차체가 회전되어야 하므로 대차 사이드프레임에 안내차륜을 설치하였다. 아래 그림은 궤도 가이드레일과의 설치 기본도이다.



<그림 3-10> 가이드레일과 가이드 휠 설치 기본도



<그림 3-11> 가이드레일과
안내레일 기본도

6. 제동장치

○ 제동장치는 전기제동장치와 기계제동 장치를 블랜딩(혼용)하여 사용하여야 한다. 공차 시에는 제동은 주로 전기제동장치를 사용하고 기계제동은 정차 시 사용하고, 만차 시에는 전기제동과 기계제동을 하중조건에 맞춰 블랜딩하여 사용한다.

가. 공기제동장치

○ 공기제동장치는 답면제동장치를 사용하여야 하며, 답면제동장치를 제어하기 위한 제동작동유니트(Brake Operating Unit), 제동실린더, 레버, 제륜자슈 및 제륜자, 자동간격조정장치 등으로 구성한다.

○ 차량의 하중에 따라 다르게 제동력을 작동시키기 위하여 응하중장치를 설치하여 하중상태(공자, 만차 등)에 정보를 BOU에 제공하여 제동력이 작동되도록 한다.

- 공압식 답면제동
- 공압식주차제동장치
- 제동거리 : 상용제동 280m 이내, 비상제동 160m 이내
- 제동공기압력 : 5kg/cm^2
- 속도검측장치
- 답면제동용 제륜자 자동간격조정장치 : 6mm 이내

나. 공압장치

○ 제동장치 답면제동유니트 실린더에 5kg/cm^2의 압력공기를 공급하기 위한 적정한 공압장치를 설치하여야 한다. 공압장치는 공기압축기, 공기통, 공기건조기, 공압제어장치(CMSB), 압력스위치 등으로 구성하여 설치하여야 한다.

- 공기압축기 :
  · 형식 : 무급유스크롤 형식
  · 공급전원 : AC 380V, 3상, 60Hz
  · 공기토출량 : 400 L/min
  · 공급압력 : 9kg/cm^2 이상
  · 공기건조기 : 공기온도 60°C

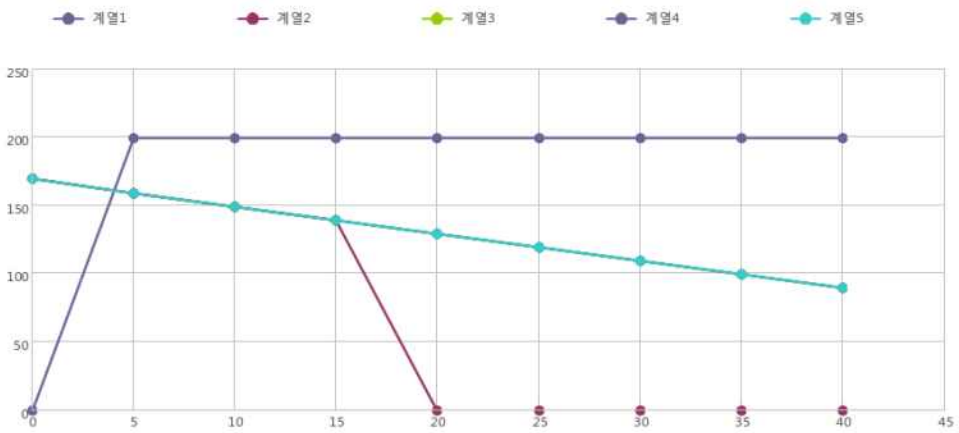
다. 제동장치 구성 및 제동력 계산결과

○ 인터모달 차량시스템의 공차시 및 만차시 제동력 계산결과가 아래 표에 있다.

○ 공차 시 블랜딩제동 및 공기제동 시 제동 계산결과이다. 공차 제동시 블랜딩 비상제동시 평균 감속도 0.91m/s^2 이고, 제동거리는 약 93m이다. 공기 비상 제동시는 평균 감속도 0.38m/s^2 이고, 제동거리는 약 258m이다.

<표 3-2> 공차시 제동성능

항목	공차 블랜딩 상용제동	공차 블랜딩 비상제동	공기 상용제동	공기 비상제동
평균감속도 (m/s^2)	0.73	0.91	0.38	0.38
제동거리(m)	133.3	93	258.8	258.8
제동시간 (sec)	18.6	14.4	34	34

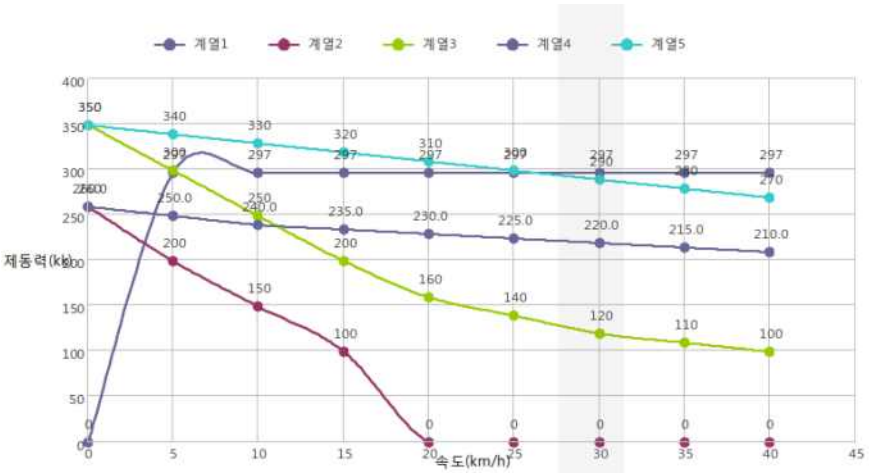


<그림 3-12> 공차시 제동력 선도

○ 만차제동 시 블랜딩제동 및 공기제동 시 제동 계산결과이다. 만차제동시 블랜딩 비상 제동시 평균감속도 0.70m/s^2 이고, 제동거리는 약 127m이다. 공기 비상제동시는 평균감속도 0.48m/s^2 이고, 제동거리는 약 187m이다.

<표 3-3> 만차시 제동성능

항목	만차 블랜딩 상용제동	만차 블랜딩 비상제동	만차 공기 상용제동	만차 공기 비상제동
평균감속도 (m/s^2)	0.53	0.70	0.36	0.48
제동거리(m)	175.5	127.3	243.3	187.9
제동시간 (sec)	24.7	18.2	35.2	26.3



<그림 3-13> 만차시 제동력 선도

라. 제동검토 내용

○ 제동력 계산결과 요구사항에 제시된 상용 감속도 1.5km/h/s(0.416m/s^2), 비상 감속도 2.0km/h/s(0.55m/s^2)를 만족하고 있다. 한편 제동거리 상용시 280m 이하 비상시 140m 이하도 만족하고 있다.

○ 열차 10량의 공차시 블랜딩 비상제동시 평균감속도 0.91m/s^2 이고, 제동거리는 약 93m이다. 공기 비상제동시는 평균감속도 0.38m/s^2 이고, 제동거리는 약 258m이다.

○ 열차 10량의 만차 시 블랜딩 비상제동시 평균감속도 0.70m/s^2 이고, 제동거리는 약 127m이다. 공기 비상제동시는 평균감속도 0.48m/s^2 이고, 제동거리는 약 187m이다.

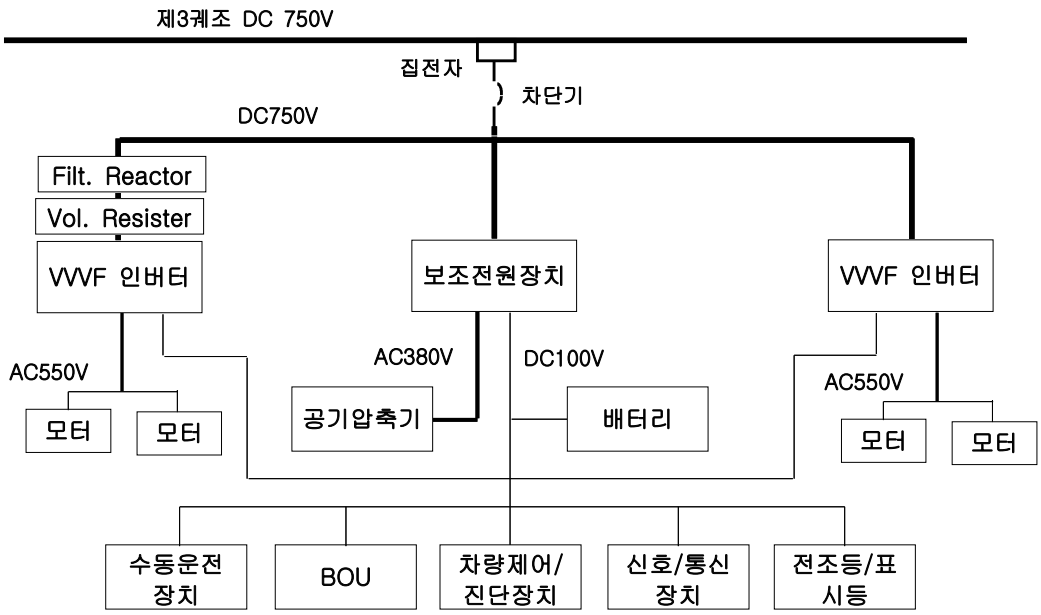
○ 열차가 정상 운행 시에는 전기제동과 기계제동을 블랜딩하여 사용한다. 전기제동장치의 고장 시에는 비상제동으로 기계제동을 사용하도록 설계하였다.

7. 전기장치

가. 일반

○ 인터모달 차량은 전용노선에서 자동무인운전 운영되어야 하고, 차량제어시스템, 진단시스템, 추진제어시스템, 보조전원장치, 제동장치, 공압장치, 신호/통신장치 등을 설비하여 차량이 원활이 운영할 수 있도록 설비하여야 한다.

○ 차량운영은 차량단독 및 열차로 운영할 수 있도록 열차제어시스템을 구축하여야 한다. 열차는 종합사령실에서 운영을 제어할 수 있도록 설비하여야 한다.



<그림 3-14> 차량 전력회로도

나. 열차제어/진단장치

○ 차량제어장치는 차량 또는 열차가 전용노선에서 자동무인운전운영할 수 있도록 자동운전프로그램을 설비하여야 하고, 차량에 설비된 각종 전장품과 네트워크를 구축하

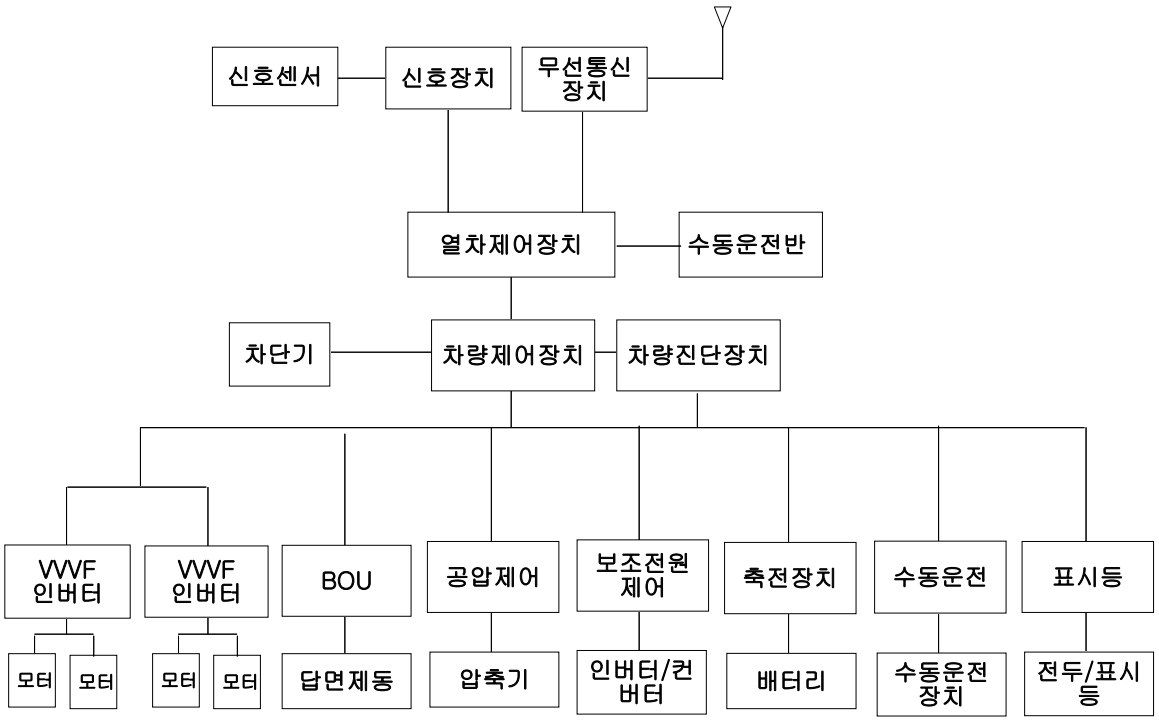
여 제어 및 관리할 수 있어야 한다.

○ 열차 또는 차량의 출발 및 정차는 종합사령실에서 제어할 수 있어야 한다. 비상시 이동식 수동운전대로 열차 또는 차량을 주행 및 정차시킬 수 있어야 한다.

- 열차/차량제어/진단장치 : 1셋/량
- 추진제어장치 : 2셋/량
- 수동운전장치 : 1셋/량
- SIV : 1셋/량
- 제동작동장치(BOU) : 2셋/량
- 공압제어장치(CMSB) : 1셋/량
- 추진/제동용 속도검측장치 : 8셋/량
- 통신/신호제어장치(VTTC) : 1셋/량
- 축전장치 : 1셋/량

○ 차량의 주요 전장품(인버터, 유도전동기, 보조전원장치, BOU, 공기압축기, 축전지, 통신/신호장치 등)을 모니터링 하여, 운영상태를 저장 관리하고, 고장정보 등은 종합사령실에 자동적으로 보고되어야 한다.

- 차량고장진단장치 : 1셋

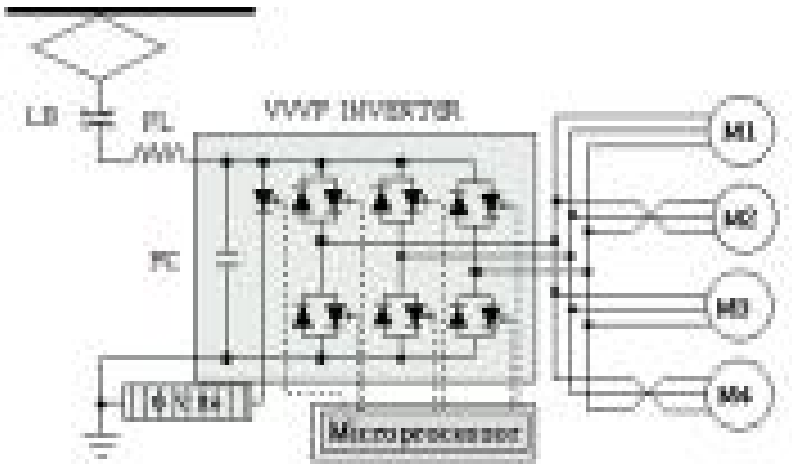


<그림 3-15> 차량 제어회로 블록다이그램

다. 추진제어시스템

○ 차량의 추진동력은 유도전동기(Induction Motor)을 사용하고, 추진제어시스템은 VVVF 인버터를 사용한다. 전기제동은 회생제동을 사용하여 차량을 감속 또는 정차하여야 한다.

○ 아래 그림에 VVVF 인버터 구성도가 나타나 있으며, 제3궤조에서 집전자를 통해 전력을 공급 받아 인버터에서 2대의 유도전동기를 제어하는 구조로 연결되어 있다.



<그림 3-16> VVVF 인버터 주회로

라. 견인력 산출

○ 10량 편성 정토오크 영역에서 견인력(T_f) 산출

$$T_f = [(W_3 + W_i) \times a] + \gamma_r/\eta \simeq 330{,}000N/10량(33KN/량)$$

· 여기서 : a (가속도) : 0.416m/s2, V(최고운행속도) : 40km/h

· W3(총중량) : 650톤/10량, Wi(관성질량) : 91,000kg/10량

· η(기계효율) : 97.5%

· 주행저항 : $\gamma_r = (1.0 + 0.012\,V + 0.00040\,V^2)\,W_3$(kg/톤)=13,504N

○ 10량 편성 소요견인력은 약 330kN 정도이고, 전동기 당 8.25kN 일 경우 량 당 4개(33kN)를 설치해야 한다.

○ 유도전동기 출력 산출

$$P = (T_f \times V)/3.6 = 3{,}667kw/10량(368kw/량)$$

○ 유도전동기 대당 92kw 이상 요구되며, 실제 설계된 전동기의 출력은 대당 100kW 이상 이므로 요구사양을 만족한다.

○ 추진시스템은 열차를 가속시키기 위한 견인작용과 열차의 감속을 보조해 주는 전기적 제동역할을 한다. 이러한 역할을 하기 위한 기본적인 추진시스템의 구성은 컨버터 및 DC를 AC로 변환하는 인버터, 전동기 및 추진을 제어하는 기타 하드웨어장치 및 소프트웨어로 구성되어있다. 추진시스템의 주요 기능은 DC의 전원을 제어 가능한 3상 AC 550V로 변환하는 기능이라 할 수 있다. 변환된 3상 AC550V 전압은 유도전동기를 작동하여 추진 및 회생제동을 수행하게 된다.

마. 유도전동기(Induction Motor)

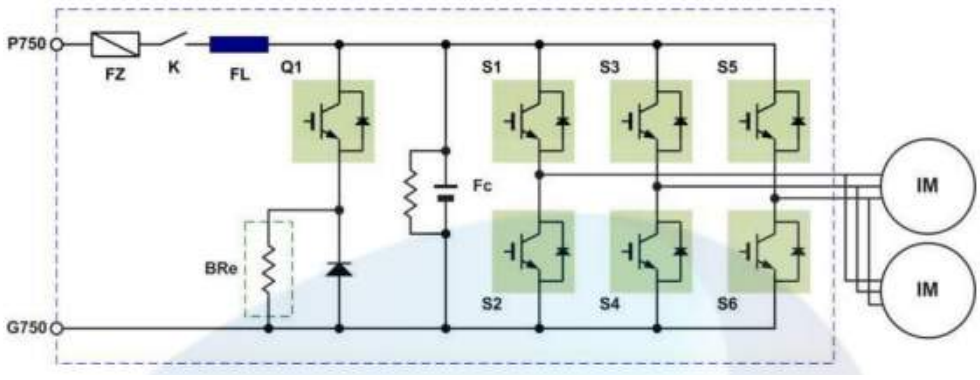
○ 아래 그림은 대차의 유도전동기 취부구조이다. 유도전동기는 대차 프레임에 취부하고, 차축에 설치된 감속기/후렉시블 카플링과 연결하여 동력을 차륜에 전달한다.

- 량당 전동기 수량 : 4대/량
- 전동기 형식 : 농형유도전동기(Induction Motor)
- 취부방식 : 대차프레임 취부 장가형
- 출력 : 92kW/대 이상
- 냉각방식 : 자기통풍방식
- 크기(mm) : L719 x W750 x H643
- 입력 전압 : AC460V/550V, 3상, 60Hz

바. VVVF 인버터

○ VVVF 인버터는 량 당 2셋을 설치하고, 각 인버터는 2대의 유도전동기를 제어해야 한다.

- 인버터 수량 : 2셋/량
- 제어방식 : VVVF 제어
- 전력소자 : IGBT
- 입력전압 : DC750V
- 출력전력 : AC550V, 3상, 60Hz
- 냉각방식 : 공기냉각방식
- 용량 : 230KVA/대 이상



<그림 3-17> 인버터 제어 회로도

사. 보조전원장치

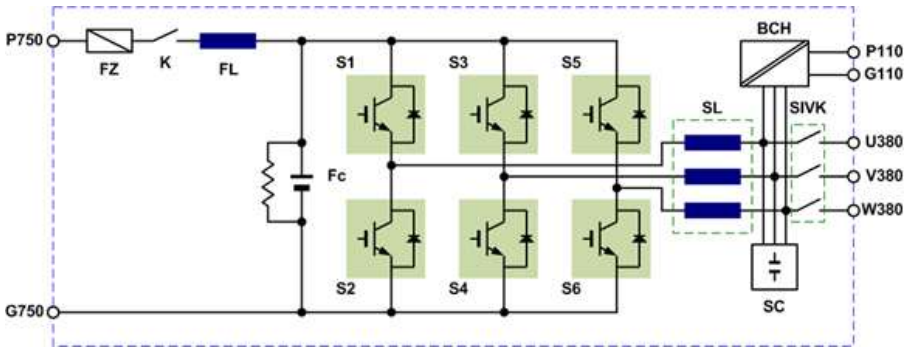
○ 보조전원장치는 인버터, 차량제어장치, 공압장치, 제동제어장치, 등구류, 배터리, 통신/신호장치 등에 전원을 공급하여야 한다.

- 보조전원장치 : 1대/량

- 입력 전압 : DC750V
- 출력용량 : 10kW/대
- 제어방식 : CVCF 인버터
- 냉각방식 : 공기냉각
- 출력전압 : DC110V, 1.5kW/AC380V, 60Hz, 3상 : 8.5KVA

○ 보조전원장치는 직류전압 750Vdc를 입력한 후 내부의 전력용 반도체 및 수동전력소자를 이용하여 3상 380Vac를 출력으로 발생시킨다. 주회로 소자로는 IGBT를 사용하였으며 32비트 DSC에 의한 전(全) 디지털 방식으로 장치를 제어함으로써 전력품질의 향상 및 신뢰성 향상을 기한다. 장치는 단일 외함으로 제작되며, 전면에 단위부품의 접근을 위한 개폐도어가 있다.

○ 장치의 상면과 후면은 전력반도체 소자 및 내부 부품의 방열을 위한 Heat Sink로 제작되어 있고 오염물질과 수분의 침투를 고려하여 IP64 등급으로 제작된다.



<그림 3-18> 보조전원장치 주회로도

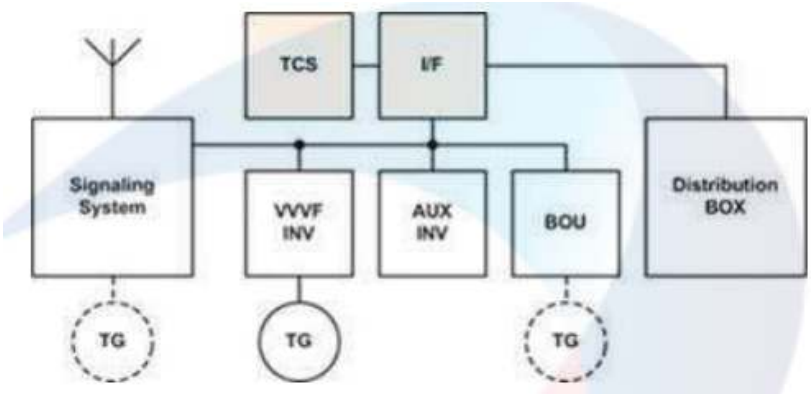
아. 축전장치

○ 차량에는 제어장치에 1시간 이상 전원을 공급할 수 있는 배터리를 설비하여야 한다.
- 배터리 용량 : 45AH, DC100V
- 납축전지(Pb) : DC12V 8대를 직렬로 설비한다.

자. 차량제어장치 및 배전반

○ 차량에 설비된 각종 전장품을 통합 관리할 수 있는 일반배전반을 설치하여야 한다. 일반배전반은 언더후레임 하부에 설비하여야 하고, 빗물, 눈이 등이 스며들지 않도록 수밀이 되어야 한다.

○ 차량제어장치 및 배전반의 기능은 차량제어, 장치 동작진단/고장정보기록, 입력신호 검출/출력신호 송출, 차량속도센서 인터페이스, 등구류 on, off, 배터리 감시, 신호/통신인터페이스 등을 담당한다.



<그림 3-19> 열차제어시스템 다이아그램

차. 전원공급장치

○ 차량의 전원공급은 제3레일 방식으로 한다.

- 공급전압 : DC750V
- 수전전류 : 600A 이상
- 제3궤조 설비
- 차량용 집전자 : 2대/량

○ 전력설비는 차량의 회생 제동시 발생되는 발전전류가 전차선으로 회송할 수 있는 전력회로를 구성한다.

○ 차량의 어스전류가 차륜에서 레일을 통해 흐를 수 있는 어스회로를 구축한다.

카. 통신장치(3세부)

○ 종합사령실과 열차 간의 통신은 LTE-R 및 Wi-Fi를 사용한다.

타. 신호시스템(3세부)

○ 전용노선에서 열차의 원활한 주행과 위치추적을 위하여 적합한 신호시스템을 설비하여야 한다.

- 지상신호시스템(Marker)
- 위치인식장치(Maker 센서)

파. 전조등 및 후미등

○ 차량의 양단부에는 전조등과 표시등을 설치하여야 한다. 열차로 편성되어 운행 시에는 선두차량은 전조등을 후미차량은 표시등을 작동해야 한다.

- 전조등 : 4셋/량, LED 30W 이상/개
- 붉은색 표시등 : 4셋/량, LED 20W 이상/개

제4장 운송차량시스템 기술개발 상세내용

제1절. 개요

1. 개요

○ 본 연구에서는 인터모달 자동화물수송시스템에서 컨테이너 트레일러를 화물차량에 적재하여, 운영하게 될 차량시스템을 개발하는 데 목적이 있다.

○ 인터모달 화물수송시스템에서 운영하게 될 차량시스템은 종합사령실에서 통제를 통하여 자동무인으로 운영되며, 본선에서는 최고속도 40km/h로 운행하고, 정거장 진·출입구에는 차량의 회전정렬를 위하여 설치하는 천이구간과 정거장에서 차량의 이탈, 탈선 등의 방지와 안전운영을 위해서 6km/h 이하로 주행하도록 하였다.

○ 모든 차량시스템은 전용궤도에서 독립적으로 주행하기 위한 추진시스템을 갖춘다. 주동력장치는 대차에 유도전동기를 설비하고, VVVF 인버터에 의해서 차량속도를 제어하도록 하였다. 차량에 공급되는 DC750V 전원은 레일 측면에 설비된 제3궤조로부터 대차에 설비되어 있는 집전장치를 통해 수전하여 차량에 소요전력을 공급하도록 하였다.

○ 차량은 전용궤도에서 40km/h로 주행 중에 감속과 정차를 위하여 제동장치를 설비하였다. 차량에 컨테이너 트레일러의 적차 여부에 따라 제동력이 공차와 만차 상태를 구분되어 제동력이 작동하도록 전기제동과 기계제동을 조합(블랜딩)하여 사용하도록 하였으며, 아울러 차량의 주차제동을 설비하였다.

○ 차량에 설비된 차량제어장치, 인버터, 공기압축기, 표시등, 제어반, 통신장치, 신호장치, 축전장치 등 각종 차량설비의 전원을 위해 보조전원장치를 설비하여 AC380V, 8.5KVA 및, DC110V의 전원을 공급하도록 하였다.

○ 그 외 차량설비품으로 낙뢰방지장치, 표시등, 응하중장치, 종합관제실간 통신을 위한 LTE-R 통신장치, 궤도에서 차량이 지정된 속도로 운행하기 위한 추진, 제동 및 신호용 속도검지장치 등을 설비하고 있다.

○ 인터모달 자동화물수송시스템의 운영을 위해 기술개발 되는 차량시스템의 주요 기술로는 차체, 컨테이너 트레일러 고정장치, 운송대차(대차골조, 현수장치 및 차륜/차축장치, 가이드레일 안내 휠 등), 추진제어장치, 차량제어장치, 보조전원장치, 축전장치, 전기/기계 제동장치 및 공압장치, 회전정렬 연결용 호이스트 등이 있다.

○ 4차년도(2020. 4. 1~2021. 12. 31) 연구에서는 1~3차년도((2017. 7. 1~2020. 3. 31)에 수행되었던 차량 설비품 설계, Mock up 제작품 등에 대하여 개선설계, 차량제작/조립 및 시운전시험을 수행하였다. 그 연구 수행 내용을 아래 항목에 상세히 수록하였다.

- 1~2차 년도에는 차체, 대차, 제동장치, 전기회로도, 배선닥트 등의 설계, 부품제작(차체, 대차프레임, 인버터, 유도전동기, 보조전원장치, 배전반/제어진단장치 등) 및 Mock up 차량을 제작하였다.

- 3차 년도에는 Mock up 차량의 개선설계와 1량을 추가 제작하여 2량 편성으로 회전정렬시험을 수행하였다.
- 4차 년도에는 2량 편성열차를 조립 완성하여 차량제어시스템, 추진제어시스템, 보조전원시스템, 제동시스템, 신호/통신시스템, 관제실 및 인프라와 인터페이스 시험을 통해 광양 TEST BED 전용 시험시설에서 차량성능시험과 시운전시험을 수행하였다.

2. 운송차량시스템 기술개발

○ 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영될 운송차량시스템의 기술개발은 차체, 대차, 제동장치, 연결기 호이스트는 물론이고, 차량시스템 구축을 위하여, 차체 및 컨테이너 트레일러 상차를 위한 설비를 포함하여 연구개발을 수행하였다.

○ 운송차량시스템의 기술개발의 주요 내용은 아래와 같다.

- 인터모달 자동화물수송시스템에서 차량시스템 원만하게 주행될 수 있도록 기술개발 수행하였다.
- 차체(언더후레임)는 최대한 경량화 및 강도구조로 설계하고, 전용궤도의 천이구간과 정거장 구간에서 차체가 원활이 회전정렬 되도록 설계하고, 차체에는 각종 차량설비품을 장착할 수 있는 구조로 기술개발 수행하였다.
- 대차는 경량구조로서 고하중 화물에 견디는 강도구조로 설계하고, 적절한 현수장치, 구형레진 센터피봇, 차륜/차축, 회전롤러 등을 설비하였다. 대차의 측면에는 가이드차륜(Guide Wheel)을 설치하여, 가이드차륜이 궤도의 가이드레일을 따라 주행하도록 함으로써 대차가 원활히 분기되도록 연구개발을 하였다.
- 대차의 대차프레임에는 유도전동기를 설치하고, 후렉시블커플링에 의해 차축에 설비된 감속기와 연결시켜 동력을 차축/차륜에 전달하도록 하였다.
- 여러 대의 차량이 천이구간과 정거장에서 일체적으로 주행할 수 있도록 회전정렬 연결기를 각 대차에 설비하였다.
- 차량 주행 시 절적한 감속과 정차를 위한 답면제동 유니트를 각 대차에 4셋씩 설비해 기계제동시스템을 구축하였다. 답면제동 유니트는 공기제동, 전기제동과 블랜딩제동으로 사용할 수 있도록 구축하였다. 아울러 1개의 주차제동장치를 설치해 주차가 가능하도록 기술개발 수행하였다.
- 대차 사이드프레임에 제3궤조 집전을 위한 집전자를 설비하여 차량에 전원공급 할 수 있도록 설비하였다.

○ 완성차량의 TEST BED 시험내용은 아래와 같다.

- 차량시스템, 인프라 및 신호시스템 인터페이스 시험
- 인터모달 운송차량 완성차 시험 수행
- Test Bed 운송차량 공인기관 인증시험 수행

제2절. 회전정렬형 차량시스템 메커니즘 기술개발

1. 회전정렬 연결용 호이스트 개발개념

가. 개요

○ 모든 차량의 단부에 회전정렬 연결용 호이스트를 설치하여, 차량이 주행 중이거나, 정거장 진입 시 천이구간과 정거장에서 차량이 70도 정도 회전 시에도 궤도 이탈이나 탈선 없이 안전하게 주행하여야 한다.

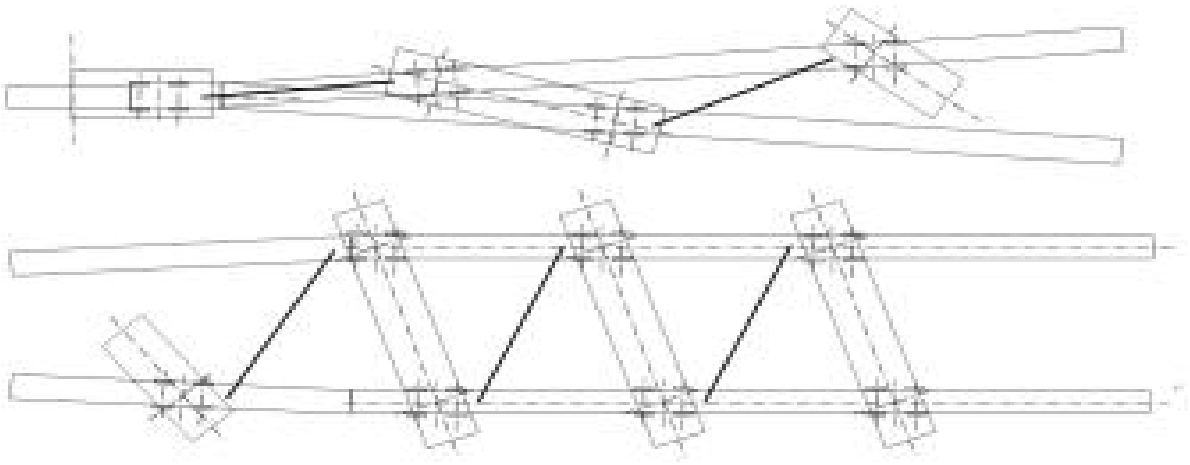
○ 1단계 1, 2차 년도에는 회전정렬 연결용 호이스트의 개발을 위하여 회전정렬 연결용 호이스트의 차체 연결방안, 차체 링크식 연결방안, 대차 링크식 연결 방안 등에 대하여, 본선, 천이구간 및 정거장에서 차량의 주행 거동, 대차와의 간섭 등에 대해 검토하여 대차 링크식 회전정렬 연결용 호이스트를 채용하였다.

나. 대차 링크식 회전정렬 연결용 호이스트 설치

○ 대차 링크식 회전정렬 연결용 호이스트는 아래 그림에는 대차 링크식 회전정렬 연결용 호이스트를 대차와 대차에 직접 연결하여, 천이구간을 원활히 주행하도록 하였다.

○ 대차에 직접 연결용 호이스트를 설치함으로서 연결용 호이스트 각도가 커지고, 차량을 미는 힘도 발생하게 되었다. 대차에 연결되어 있어 전후에 대차에 설비된 추진력이 전후로 전달되어 원활한 주행이 할 수 있도록 하였다.

○ 본선에서 천이구간을 진입하여 주행 시에는 안전을 위하여 차량속도를 저속으로 줄여 운행하도록 하였다. 유도전동기에 의해 추진되기 때문에 전후 대차의 속도차이는 인버터에 제어하여 원활히 주행하도록 구축하였다. .



<그림 4-1> 대차 링크식 회전정렬 연결용 호이스트 천이구간 및 정거장 열차 주행

다. 검토내용

○ 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영될 차량시스템의 회전정렬 연결용 호이스트는 대차와 대차 간을 직접 연결하여 운행하는 것이 원활한 차량운영을 할 수 있는 것으로 검토되었다. 천이구간을 통과해 정거장 진입 직전에 회전정렬 연결용 호이스트의

각도가 커서 다른 방안보다 유리한 것으로 판단된다.

2. 회전정렬 차량의 천이구간 및 정거장 주행거동 검토

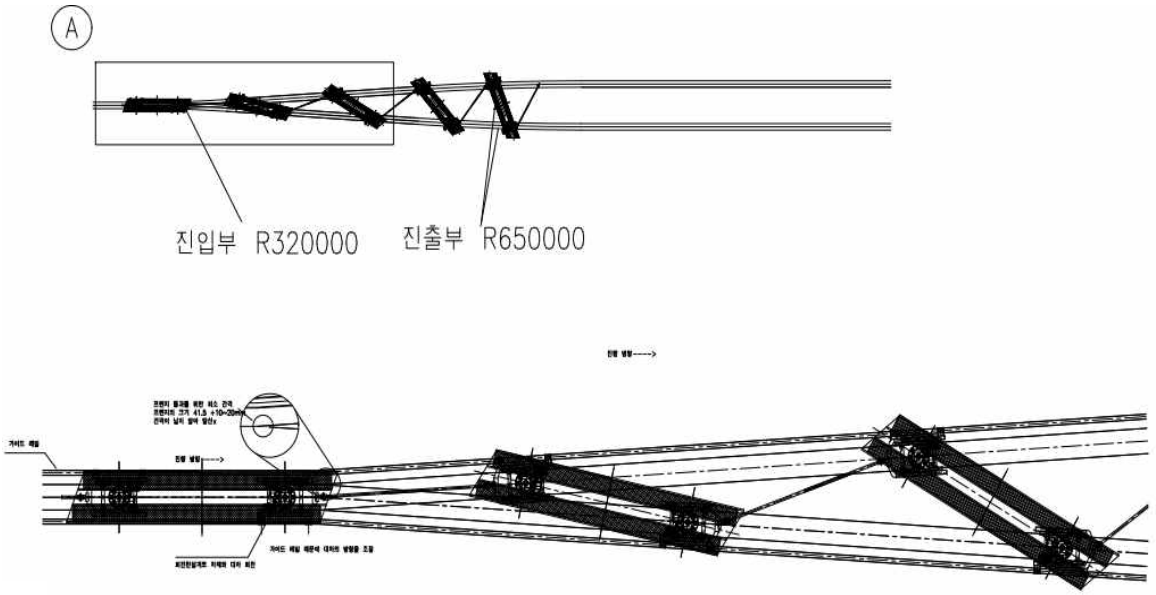
가. 개요

○ 인터모달 자동화물수송시스템의 차량이 천이구간 및 정거장에서 주행거동을 살펴보았다.

○ 본 연구에서는 회전정렬 열차의 편성 구성, 천이구간 및 정거장 궤간 검토, 차량의 주행 안전성 해석, 회전정렬 연결용 호이스트의 설계, 운송대차와 호이스트 간의 인터페이스 등을 수행하였다.

나. 주행거동

○ 아래 그림에는 인터모달 자동화물수송시스템의 열차가 천이구간 및 정거장 진출입시에 차량이 본선에서 일렬종렬 형태로 주행을 하다가 천이구간부터 천천히 차량이 회전정렬 형태로 주행하여 정거장에서는 70도로 회전정렬 하는 열차의 주행거동이 나타나 있다.



<그림 4-2> 천이구간 주행거동 상세 및 진출입부 곡선반경

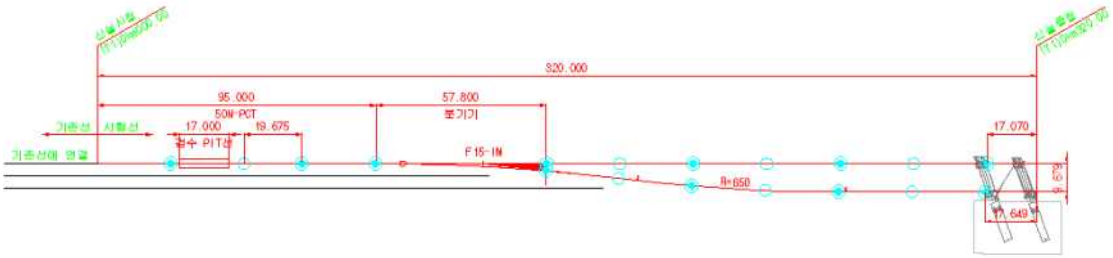
다. 회전정렬 연결용 호이스트 설계 내용

○ 열차의 천이구간 및 정거장에서 주행거동을 검토하여 아래와 같은 회전정렬 연결용 호이스트 설계를 수행하였다.

- 속도 : 본선 40km/h이하, 천이구간 진입속도 : 6km/h, 정거장속도 : 3.2km/h
- 궤간 : 본선 1,435mm, 정거장 9,678.8mm
- 분기기 : 천이구간 및 정거장 궤도 외측에 안내레일 설치하여 전·후대차가 각각 좌

우 방향으로 각각 분기할 수 있도록 구축하였다.

- 천이구간 : 총길이 : 약 110m(본선길이 : 78m 이상)
  · 곡선반경 : 진입부 : R320m, 진출부 : R650m
  · 완화곡선 : 곡선진입 부 설치(철도건설규정 의거)
- 차량제원
  · 차체크기(mm) : L16,820 x W2,920 x H 2,614(공차), 5,445(트레일러 적차시)
  · 대차중심거리 : 10,300mm
  · 대차 축간거리 : 2,100mm
  · 중량 : 자중 34톤, 하중 31톤(트레일러 중량), 총중량 65톤
- 차량과 차량의 간격 : 본선 25,376mm, 정거장 13,011mm
- 호이스트 바 길이 : 11,176mm
- 정거장 내 : 정차시 경사각도 : 70°, 호이스트 바 경사각도 : 60°



<그림 4-3> 인터모달 시험선(본선 320m, 천이구간 110m) 계획도 및 시설



<그림 4-4> 인터모달 시험선(본선 320m, 천이구간 110m) 시설

3. 천이구간 및 정거장 주행 거동 안전성 분석

가. 주행 안전성 기준 설정

- 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영되는 차량시스템의 주행안전성 기준은 차량

이 철도차량과 동일한 레일 위를 최고운행속도 40km/h로 주행하고, 철도화물차량과 같은 형식의 대차와 차체를 사용하고 있다.

- 주행안전성 및 궤도 안전성 기준은 기본적으로 철도기준과 동일하게 설정하고, 서로 다른 부분에 대해서는 안전성 기준을 운영상황에 적합하게 보완하여 사용토록 한다.

<표 4-1> 철도차량 주행안정성 기준

구분	평가항목	기준	비고
주행안전성	탈선계수(Q/P)	0.8	일반철도
궤도 안전성	윤중	200KN	KTX기준(300kN 신간선)
	횡압	2.9+0.3P	일반철도(탈선계수0.9이하 시)
		68KN	경부고속철도 2단계/신간선
	윤중감소율	0.5(정적0.6)	0.8(0.1% 누적빈도확률)
	레일수직변위	3mm	경부고속철도 2단계(신간선 4mm)
	레일응력	90MPa	경부고속철도 2단계(300MPa)

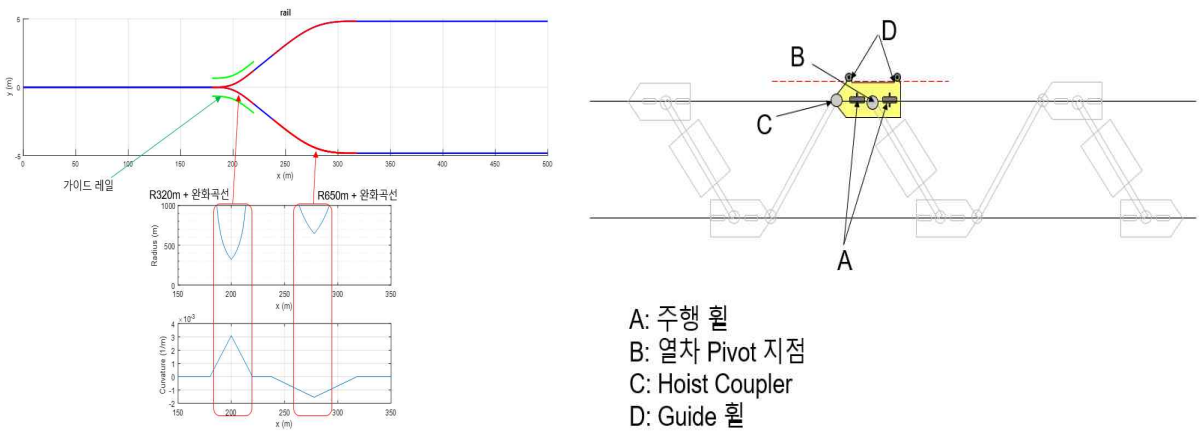
나. 천이구간 및 정거장 횡력 해석

(1) 해석조건

□ **차량 성능 및 특성 자료**

- 주행속도 : 10km/h
- 중량 : 60톤(차체 49톤, 대차 각 5.5톤)
- 제동감속도
  - 1차 1.2km/h/s(0.33m/s2)
  - 2차 0.72km/h/s(0.2m/s2)
- 편성 : 1량, 2량, 3량

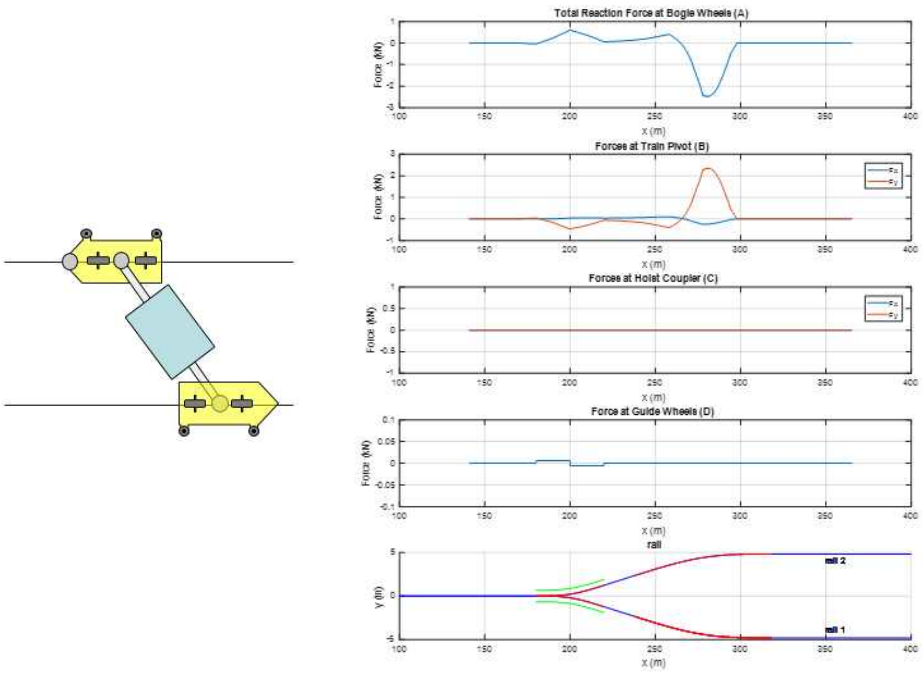
□ **레일조건**



<그림 4-5> 천이구간 레일조건 및 반력 작용도

(2) 해석 결과

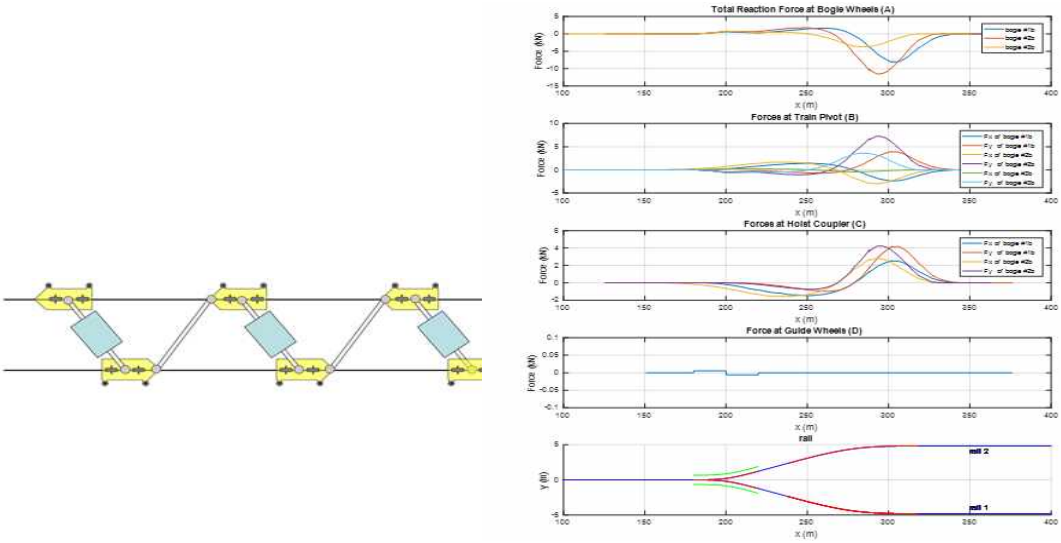
□ **1량 해석**



<그림 4-6> 1량 천이구간 주행해석 결과

- 대부분의 반력은 천이구간 시작과 끝에서 발생함
- 천이구간 끝 지점의 반력이 상대적으로 큼 (회전 각도가 큰 지점)
  · 차륜 : 0.7 kN, 센터피봇 : 0.7kN
- 회전각이 큰 지점에서 발생반력의 대부분은 열차연결지점 반력의 크게 영향을 줌
  · 차륜 : 2.4 kN, 센터피봇 : 2.3kN
- 가이드 휠의 반력은 대차를 회전시키기 위해 생성되며, 0.01kN 미만으로 미미함

□ **3량 해석**



<그림 4-7> 3량 천이구간 주행해석 결과

- 대차에 발생하는 반력의 원인은 크게 가지임

  · 대차 회전을 위해 생성되는 힘(가이드레일 반력) : 반력 1

  · 열차 센터피봇에서 생성되는 힘 : 반력 2

  · Hoist 연결 지점에서 생성되는 힘 : 반력 3

- 해석 결과 :

  · 가이드휠 : 0.01kN, 센터피봇 : 7.5kN

  · 호이스트 : 4.1kN, 차륜 횡력 : 12kN

- 반력 1은 열차 속도가 느려서 매우 작으므로 무시할 수 있는 수준이고, 반력 1은 가이드 휠 또는 대차 휠에 작용함(가이드레일이 있는 구간에는 가이드휠에 작용함)

- 반력 1은 가이드 레일이 잘 설계 되면 최소화 할 수 있음

- 열차연결지점 및 Hoist연결지점에서 생성되는 힘은 열차가 회전되어 열차 및 Hoist가 레일횡방향으로 밀어내거나 당기는 힘에 의해 발생함 열차회전각이 클수록 증가

- 반력 2와 반력 3은 대차 휠에 작용하고, 회전정렬 구조 특성상 피할 수 없는 힘으로 판단됨 (대차 휠 및 주행 레일이 대응해야 하는 힘으로 판단됨)

(3) 대차시스템 메커니즘 정적 힘 해석결과 요약

- 1차년도의 해석결과에 의하면 천이구간 진·출입부의 곡선반경을 R200m로 할 경우 차량이 정상 주행 시는 최대 22kN의 횡력이 발생하였다.

- 1차년도에 해석결과에 의하면 3량이 편성열차가 10km/h로 주행 중 제동 시 최고 34kN의 횡력이 발생하였다. 그러나 1량 또는 1개 대차만 1.2km/h로 감속도로 제동을 작동하면 최대 200kN까지 횡력이 발생하였다. 한편 3량 편성열차가 10km/h로 주행 중 0.72km/h로 감속도를 낮춰 균등제동을 작동시키면 횡력은 최대 30kN이 발생하였다. 3량 편성열차가 10km/h로 주행 중 0.72km/h 감속도에서 1개 대차 추진장치가 고장이 나면 횡력은 최대 40kN이 발생되었다.

- 2차년도 연구에서는 앞에 “천이구간 레일조건 및 반력 작용도”와 같이 천이구간의 진·출입부의 곡선반경을 R320m와 R650m를 설치하면 12kN으로 횡력이 크게 감소하였다. 센터피봇 7.5kN, 호이스트 4.1kN 및 가이드레일은 0.01kN으로 차륜보다 아주 작게 영향을 주고 있다.

<표 4-2> 1차년도 대차시스템 메카니즘 정적힘 해석결과(천이구간 진·출부 곡선반경 : R320m, R650m)

항목	1량 10km/h 주행 시	2량 10km/h주행시	3량 10km/h 주행시	3량 10km/h 후 1.2km/h/s로 균등/비균등 제동	3량 10km/h 후 1.2km/h/s로 1량 제동	3량 10km/h 후 1.2)km/h/s로 1개 대차 제동	3량 10km/h 후 0.72km/h/s에서 균등제동	3량 10km/h 후 0.72km/h/s에서 1개 대차 고장
진입 천이구간	0.3kN	-	22kN	22kN	-	-		
출구 천이구간	0.8kN	10kN	22kN	10~34kN	-	70~200kN	10~30kN	10~40kN
정거장내 주행			(곡률개선11KN)	7~23kN	70~190kN		8~23kN	8~23kN

<표 4-3> 2차년도 대차시스템 메카니즘 정적힘 해석결과(천이구간 진출부 곡선반경 : R320m, R650m)

항목		1량 10km/h 주행 시	3량 10km/h 주행시
차륜	천이구간진입	0.6kN	1.1kN
	천이구간출구	2.5kN	12kN
센터피봇	천이구간출구	2.3kN	7.5kN
호이스트	천이구간출구	0.01	4.1kN
가이드레일	천이구간출구	0.012	0.014

(4) 한국철도 차량 안전성 사례 조사

<표 4-4> 한국철도 차량 안전성 측정 자료

구분	틸팅차량(150kph)	새마을객차(120kph)	G7고속열차(348kph)	KTX-산천(346.2kph)
윤중	95.9kN	117	83.6kN	97.2kN
횡력	23.7kN	16.9	0.92kN	9.04kN
윤중감소	-		-	0.38
레일변위	1.1mm	0.88	0.33mm	1.01mm
레일응력	-		43.9MPa	50.8MPa

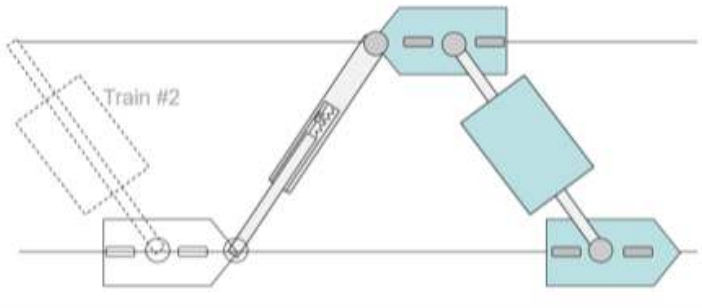
(5) 검토 내용

- 1차년도에는 철도차량의 횡력 17kN보다 높은 22kN이 발생되는 것으로 해석했음
- 2차년도 연구에서는 천이구간의 진출부에 곡선반경 R320m과 R650m를 설치하면 횡력은 12kN으로 50% 이상 감소시킬 수 있는 것으로 해석되었음
- 천이구간 및 정거장에서 1량 또는 1개 대차만 제동시에는 최대 200kN의 횡력발생함으로 제동 고장으로 판단하여 차량 정차시키는 것으로 검토하여 추진할 계획임
- 천이구간 및 정거장에서 1개 대차의 전동기 2대가 고장이 발생하면 횡력은 낮으나 차량 주행 시험시 추가 검토 시행 필요함

다. 천이구간 횡압 흡수 구조 방안 검토

(1) 방안 1 : 호이스트 내 스프링 댐퍼 구조 설치

(가) 구조(방안 1)



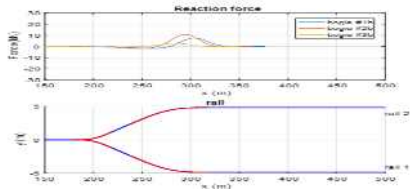
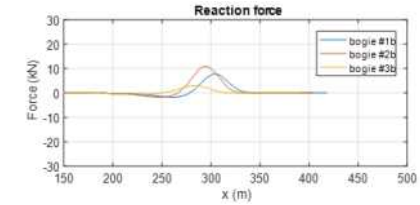
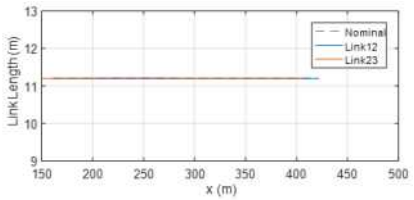
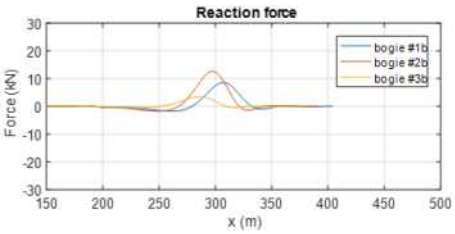
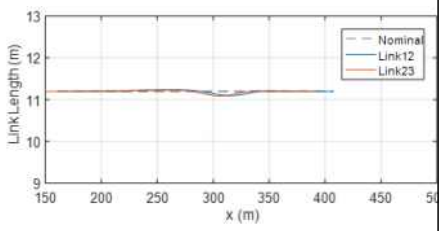
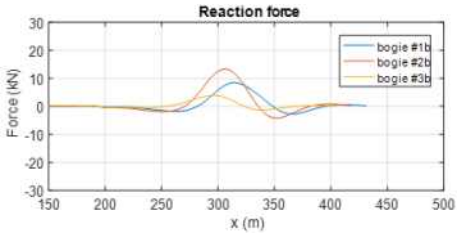
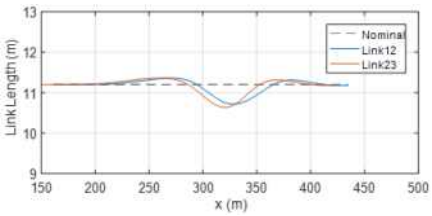
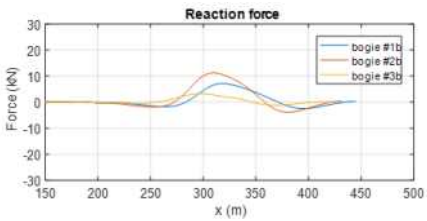
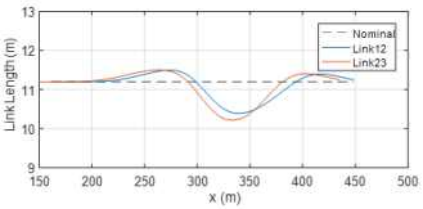
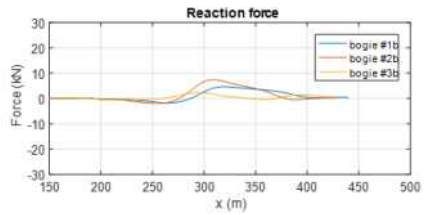
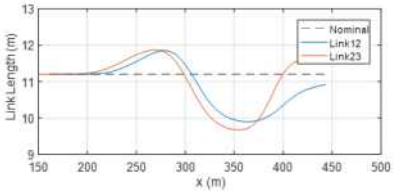
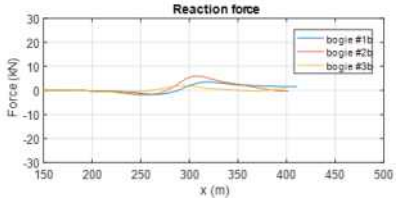
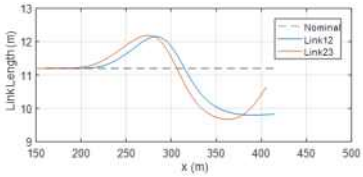
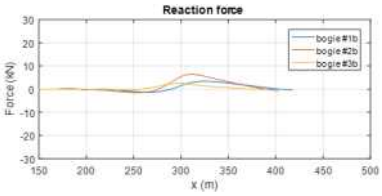
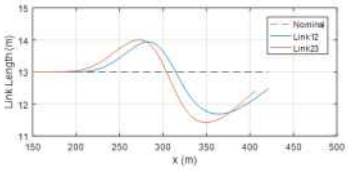
<그림 4-8> 호이스트 내 스프링 댐퍼

- 예상 특징 및 장단점
  · 충격흡수 가능
  · 횡력 감소 예상
  · 타 제어알고리즘 필요 없음
  · 완전한 횡력 제거 불가능

(나) 해석 결과 (방안 1)

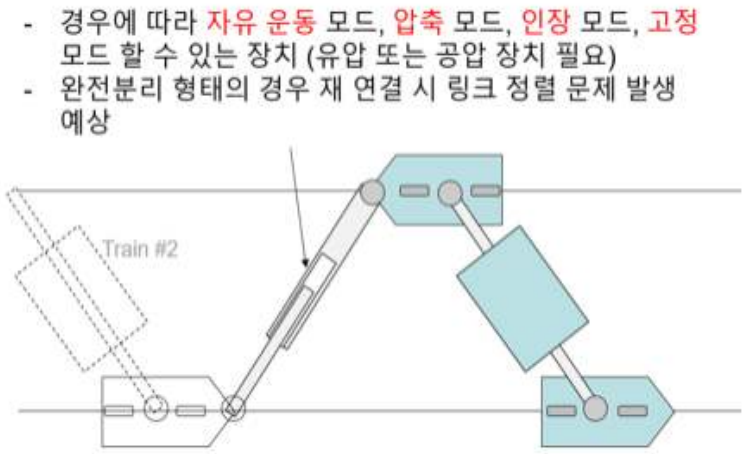
- 충격흡수 장치가 횡력 감소에 긍정적인 영향만을 주는 것은 아님
- 충분이 작은 강성계수를 가지는 충격흡수 장치의 경우 횡력 감소에 긍정적인 영향이 있으나, 플랫폼 구간에서 열차 간 접촉이 발생할 수 있고 열차 간 간격의 진동 현상이 있을 수 있음.

<표 4-5> 호이스트 스프링 댐퍼 해석 결과

계수	반력	호이스트 길이 변화
흡수구조 없음		없음
K=1,000 kN/m, C=440 kN/(m/s)		
K = 50 kN/m, C = 100 kN/(m/s)		
K=10 kN/m, C=44 kN/(m/s)		
K=5 kN/m, C=32 kN/(m/s)		
K=2 kN/m, C=20 kN/(m/s)		
K=1 kN/m, C=14 kN/(m/s)		
K=1 kN/m, C=14 kN/(m/s) Link 길이 11.2 →13m		

(2) 방안 2 : 연결기 분리구조

(가) 구조 (방안 2)



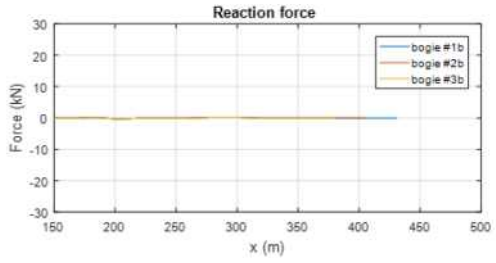
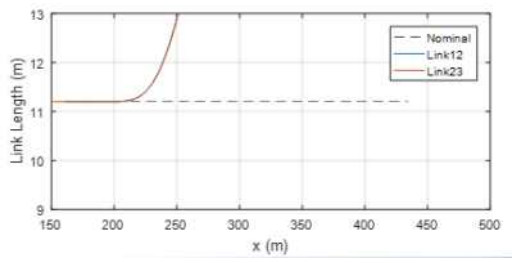
<그림 4-9> 호이스트와 분리구조 댐퍼

- 예상 특징 및 장단점
  · 천이 구간에서만 분리되고 주행 구간에서 연결되는 구조
  · 연결기에 동력이 필요
  · 링크 제어 알고리즘 필요
  · 대차 간 횡력 발생 해결
  · 플랫폼에서 열차간격 최소화 가능
  · 차량 독립 제어 및 연결기 제어 알고리즘 필요

(나) 해석 결과 (방안 2)

- 독립 대차 방식과 같이 반력 거의 없음
- 플랫폼에서 열차 간 좁혀지는 효과가 없어짐

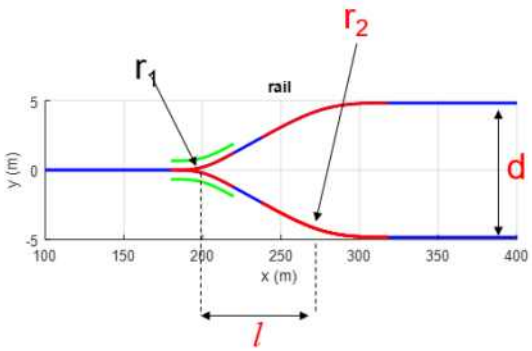
<표 4-6> 호이스트 분리구조 댐핑 해석결과

반력	호이스트 길이 변화
	

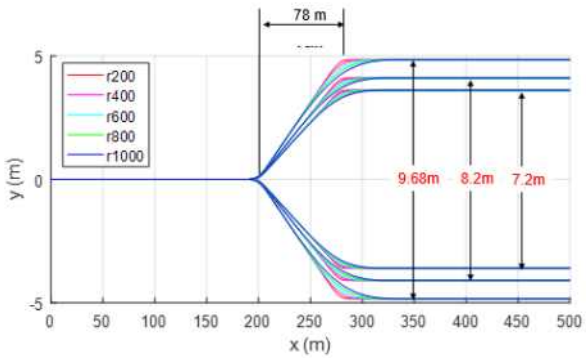
라. 천이구간 형상별 반력해석

(1) 해석 목적

- 천이구간 레일선형은 천이구간길이(l), 주행구간과 천이구간연결지점곡률반경(r1), 천이구간에서 플랫폼구간연결지점곡률반경(r2), 플랫폼구간 레일간 간격(d)로 결정
- 해석결과, 대차에서 레일에 전해지는 반력은 곡률반경 r2와 레일간격 d, 천이구간 길이 l 에 가장 영향을 많이 받음
- 세 개 요소의 변화 반력을 해석하여 천이구간 레일설계에 참고값을 제공하기 위함



<그림 4-10> 천이구간 진출부 곡선반경설치



<그림 4-11> 정거장 궤간 크기

마. 곡률 반경과 레일 간격에 따른 반력 해석

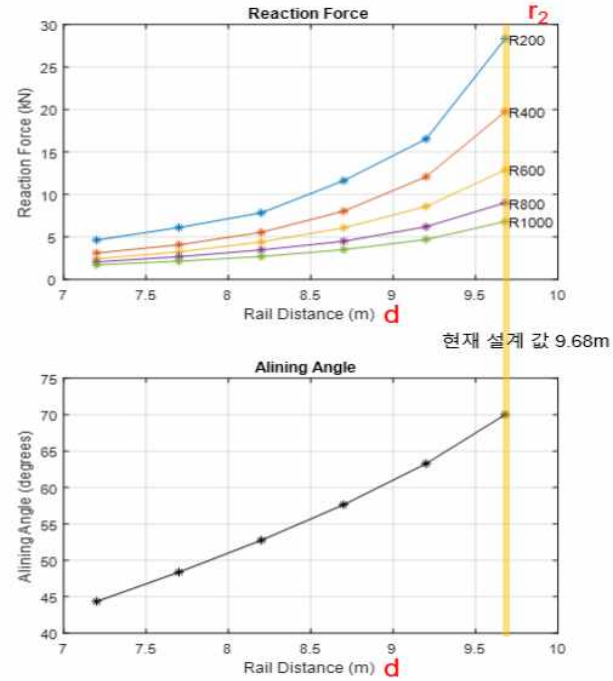
(1) 해석 대상 레일 형상

- d=7.2m, 7.7m, 8.2m, 8.7m, 9.2m, 9.68m
- r2=r200m, r400m, r600m, r800m, r1000m

(2) 해석 결과

d / r_2	7.2 m	7.7 m	8.2 m	8.7 m	9.2 m	9.68 m
R200	4.6381	6.1097	7.8383	11.6239	16.5271	28.3358
R400	3.1065	4.0789	5.5401	8.0303	12.0791	19.7482
R600	2.4358	3.2425	4.4143	6.0718	8.582	12.8896
R800	2.0557	2.6694	3.4755	4.4911	6.1938	9.0277
R1000	1.7132	2.1506	2.6976	3.5037	4.7005	6.822
플랫폼 열차각도	44.3	48. 4	52.8	57.6	63.3	70.0

<그림 4-12> 천이구간 곡선반경과 정거장 궤간 크기에 따른 횡력 해석

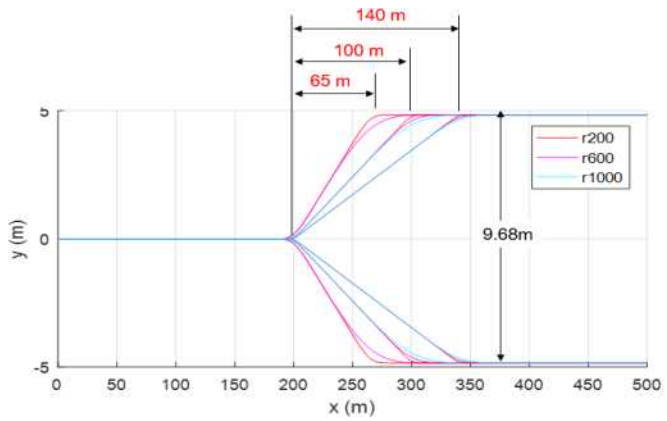


<그림 4-13> 정거장 궤간크기에 따른 횡력

바. 천이구간 길이 따른 반력 해석

(1) 해석 대상 레일 형상

- l=65m, 78m, 100m, 120m, 140m
- r2=r200m, r600m, r1000m



<그림 4-14> 천이구간 길이 변화에 따른 진출 곡선반경



<그림 4-15> 천이구간 길이와 횡력 변화

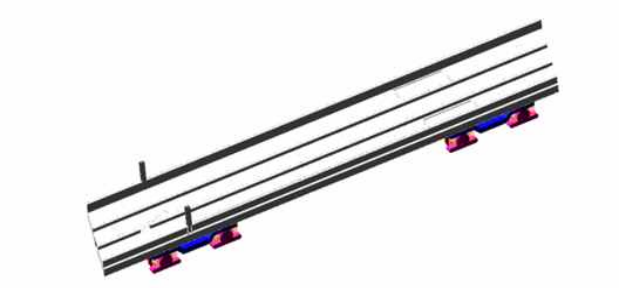
(2) 해석 결과

- 천이구간에서 레일반력은 열차의 회전각도가 큰 지점에 발생(정거장 진입부)
- 정거장 진출부 지점의 곡률반경이 반력에 큰 영향 : R이 작을수록 반력 커짐
- 정거장 레일간거리도 반력에 영향은 레일간 거리가 가까울수록 반력이 줄어 듦
- 열차의 정렬 각도와 반력 크기와 상충관계에 있음
- 천이구간 길이는 반력에 큰 영향은 없으나 길이 78m보다 길면 반력이 다소 증가함

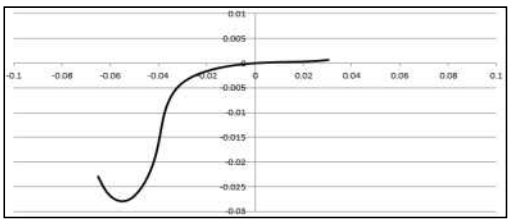
사. 임계속도 및 비선형 주행안정석 해석

(1) 차량 해석모델링

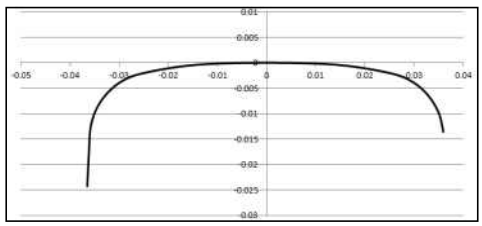
- 설계된 차량의 CAD파일을 이용하여 Vi-rail에 적용하여 모델링을 진행하였다. 차량의 대차와 차체프레임에 무게와 관성모멘트를 적용하였고, 실제 열차의 편성은 10량 1편성이지만 차량 한계 측정을 위하여 1량 편성으로 모델을 구성하였다.



<그림 4-16> Vi-rail analysis model



<그림 4-17> Section of Wheel profile



<그림 4-18> Section of Rail profile

- Wheel profile은 1/20 답면구배를 사용했고, Rail은 UIC60 Rail profile을 사용함.

(2) 선형 해석 조건

- 답면구배와 Kalker Factor(Kalker 계수의 스케일링 계수)의 변화에 임계속도 해석
- Damping ratio와 Undamped Natural Frequecy에 의한 임계속도 해석
- UIC518 기준 답면구배별 속도, 안정적인 해석결과를 위하여 답면구배 0.7까지 해석

<표 4-7> UIC 518에 따른 답면구배별 속도

Conicity	Velocity
0.5	V ≤ 140 km/h
0.4	140 km/h <V ≤ 200 km/h
0.35	200 km/h <V ≤ 230 km/h
0.30	230 km/h <V ≤ 250 km/h
0.25	250 km/h <V ≤ 280 km/h
0.15	280 km/h <V ≤ 350 km/h

<표 4-8> 주행 최고속도 해석결과

Kalker factor	Conicity	Critical Speed	Undamped Natural Frequency
1	0.1	48.42m/s	19.52Hz
1	0.2	51.32m/s	16.1025Hz
1	0.3	48.42m/s	17.33Hz
1	0.5	42.63m/s	20.32Hz
1	0.7	36.84m/s	23.84Hz
0.75	0.1	45.52m/s	14.71Hz
0.75	0.2	48.42m/s	10.45Hz
0.75	0.3	48.42m/s	10.91Hz
0.75	0.5	42.63m/s	12.91Hz
0.75	0.7	36.84m/s	15.96Hz

(3) 선형 해석결과

- 임계속도 해석결과 1량의 최대 주행 가능 속도는 51.32m/s인 것을 확인할 수 있었고, 환산하면 184.752km/h에서도 안정적인 속도를 확인하였다.
- 비선형 해석결과 요약
  · 차량 임계속도 해석결과는 51.32m/s로 최대주행가능속도를 확인할 수 있었고, 환산하여 184.752km/h의 임계속도를 가지며 인터모달 차량을 설계하는데 있어 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.
  · 비선형 구간인 Ramp, DIP, Switch 구간 통과 시에도 안정적으로 차량이 진동하지 않고 0에 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

아. 곡선별 주행안정성 해석

(1) 해석조건

- 차량 곡선 주행시 차량의 안정성을 확보하기 위하여 해석을 진행하였다.
  해석조건은 R300, 400, 500, 800, 1000, 1200, 1600, 2000의 곡선구간을 좌우로 주어 차량의 곡선주행 해석을 시행하였다.
- 속도는 설계속도 40km/h로 주행하였다.

<표 4-9> Rail curve condition

V(km/h)	R(m)	Cant (mm)
40	300	62.93
40	400	47.2
40	500	37.76
40	800	23.6
40	1000	18.88
40	1200	15.73
40	1600	11.8
40	2000	9.44

<표 4-10> Analysis of Curve condition result

	Derailment	Wheel unloading	Lateral Force (Newton)	Bogie Lateral Acceleration (m/s^2)
R300	-0.635	0.517	-18100	-0.425
R400	-0.474	0.406	-14500	-0.326
R500	-0.387	0.358	-12900	-0.259
R800	-0.357	0.353	-11900	-0.243
R1000	-0.26	0.233	-8400	-0.131
R1200	-0.229	0.212	-7250	-0.11
R1600	-0.171	0.189	-5330	-0.09
R2000	-0.125	0.162	-3840	-0.0664

(2) 해석결과

- 각 곡선별 해석결과 가장 곡률이 작은 R300에서 40km/h의 속도로 주행했을 때 탈선계수가 0.635로 한계치 0.8이하 결과 값을 도출하였고, 각각 윤중감소, 횡압, 대차횡가속도 모두 기준치에 만족하는 결과 값을 얻을 수 있었다.

자. 안전성 검토 요약

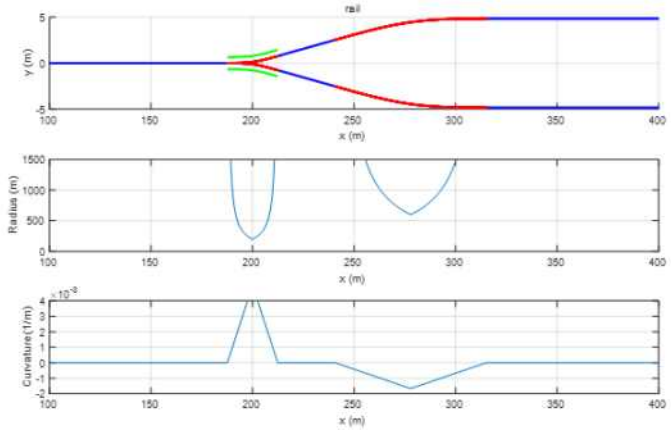
- 3차 년도에 아래와 같이 동적 해석을 수행하여 천이구간에서의 주요 접촉부의 하중들을 분석하여 구조적 안전성과 탈선 가능성을 검토함.
- 동적해석을 위해서 최종 궤도 선형 반영, 3량 1편성 해석

- 차량 회전각도 만족 확인

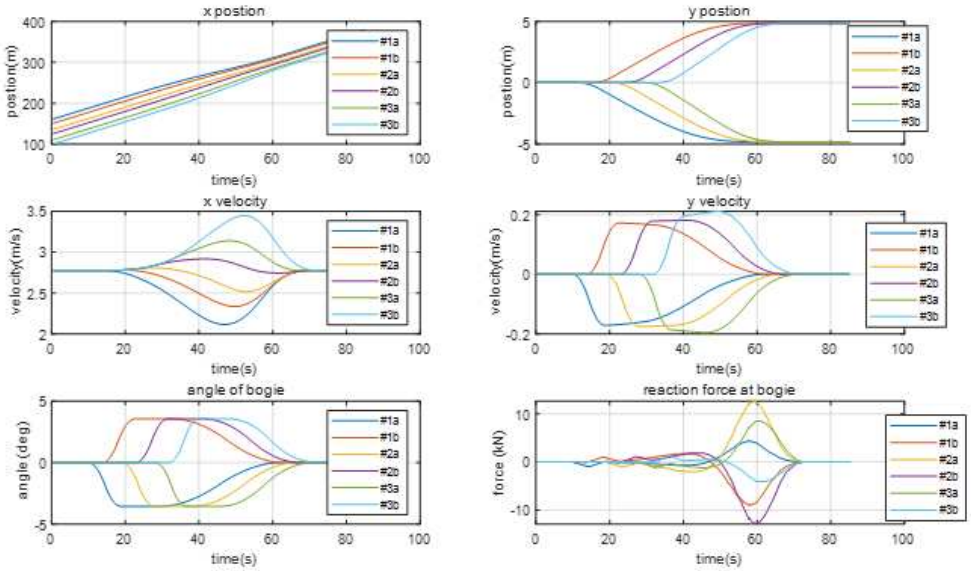
- 차륜 횡하중이 12.9kN으로 탈선계수 0.8 이하 만족



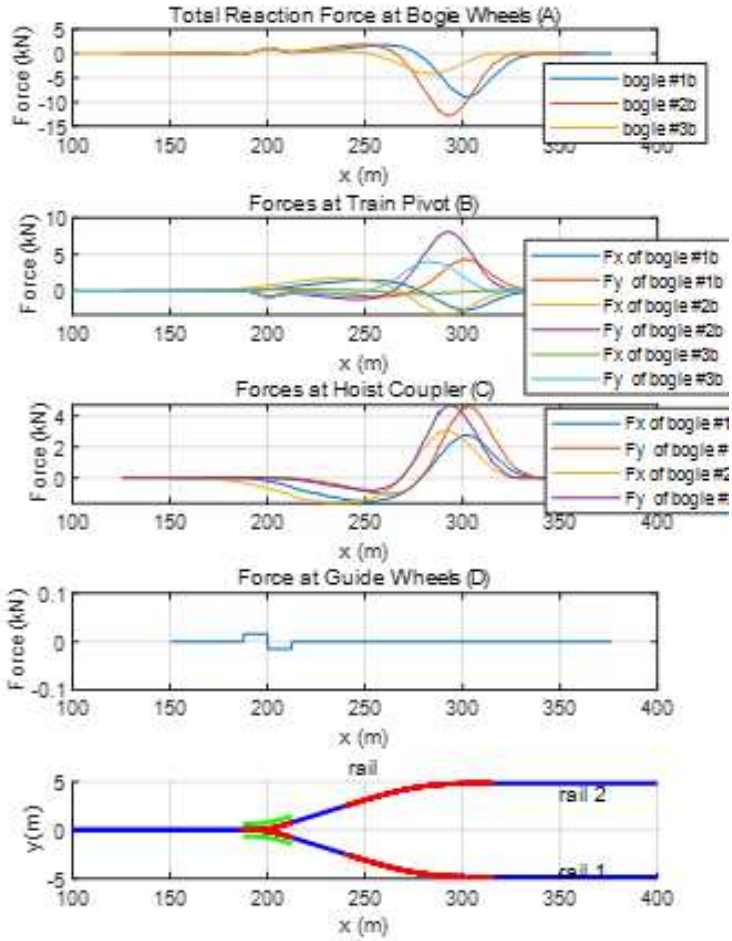
<그림 4-19> 천이구간 주행 안전성 해석을 위한 궤도 선형



<그림 4-20> 궤도 곡선반경



<그림 4-21> 대차 거동 및 동하중



<그림 4-22> 주여 연결점에서의 동하중

<표 4-11> 천이구간 반력 해석

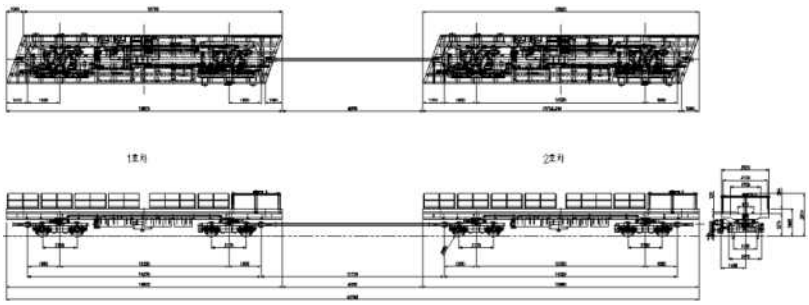
항목		3량 10km/h 주행시
차륜	천이구간출구	13kN
센터피봇	천이구간출구	8 kN
호이스트	천이구간출구	5kN

4. 테스트 베드용 차량제작 및 이송

가. 차량 2량 편성 정보

○ 인터모달 운송차량은 Test Bed에서 회전정렬 주행기능을 검증하기 위하여 2량 편성으로 아래와 같이 구성하였다.

- 열차운전방식 : 무인자동운전
- 열차속도 : 40km/h(천이구간 : 6km/h 이하)
- 열차길이 : 42,196mm
- 총중량 : 자중 68톤, 만차중량 : 130톤
- 총출력 : 736kW/편성
- 공급전원 : DC750V
- 가속도 : 1.5km/h/s(0.41m2)
- 최대가속도 : 2.0km/h/s(0.55m2)
- 연결기 : 연결 호이스트 바
- 대차형식 : 회전정렬형 대차
- 제동장치 : 회생제동, 공기제동
- 추진장치 : 92kw 유도전동기 및 VVVF 인버터
- 통신방식 : LTE 방식



<그림 4-23> 인터모달 차량 2량 편성도



<그림 4-24> 인터모달 차량 2량 편성 시작품

나. 차량제작과정



<그림 4-25> 차량천공 확인



<그림 4-26> 차량하부 제동 덕트 설치



<그림 4-27> 제동장치 조립



<그림 4-28> 차량 전장품 설치



<그림 4-29> 전기 케이블 포설



<그림 4-30> 전기 케이블 결선



<그림 4-31> 적재 감지센서 설치



<그림 4-32> 전기케이블 결선체크



<그림 4-33> 대차 유도기 설치



<그림 4-34> 대차 감속기 설치



<그림 4-35> 대차 제동장치 설치



<그림 4-36> 대차 차축 속도센서 설치



<그림 4-37> 차량-대차 조립



<그림 4-38> 차량 저전압 인가 후 차량제어장치 동작 확인



<그림 4-39> 차량회전정렬 간이시험



<그림 4-40> 차량 누수시험

다. 차량이송

○ 기존 차량-대차 분리 이송 후 현장 재설치 방식을 차량-대차 일체형 이송 방법을 이용함.

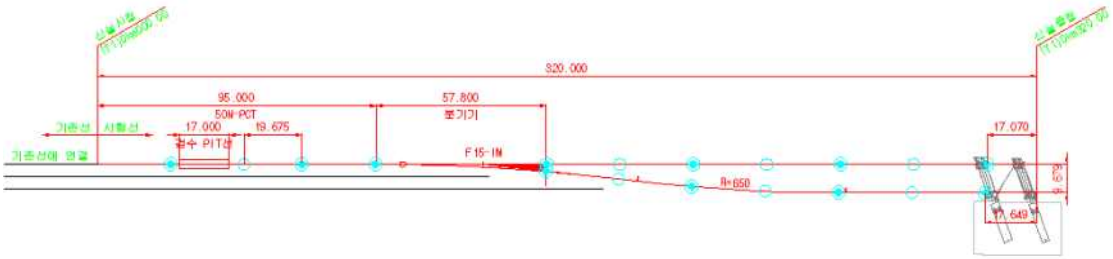
○ 기존 방식 대비 차량 제작기간을 단축함.



<그림 4-41> 1,2호차량 차량 이송 후 하역

라. 테스트베드 회전구간 구조 변경

○ 회전정렬을 확인하기 위해 요구되는 궤도 길이는 320m로 설계되었고 이 길이를 테스트베드 설계에 반영함



<그림 4-42> 테스트 베드 설계도



<그림 4-43> 테스트 베드 전경

마. 기타 테스트베드 운영준비

○ 차량 정비고 (피트)보호용 천막설치

- 우천시 검수고 침수 방지 및 차량 작업시 작업환경 개선에 사용됨.



<그림 4-44> 검수고 천막 설치 후 모습(좌) 및 사용예시(우)

○ 임시 차량제어 실험실 운영

- 차량 상태 측정장비 보관 및 초기 차량 SW/HW 디버깅을 위한 차량제어 실험실을 운영.



<그림 4-45> 차량제어 실험실 설치 장면(좌) 및 사용예시(우)

5. 차량 회전정렬 메커니즘 검증 이력

가. 2차년도

○ 차량 1량 및 대차 2량 선제작 후 회전정렬 동작 확인

○ 장소 : 성신RST 함안공장부지 내 (2019년 4월경)

○ 차량 내 전장품 및 가이드레일 등 없이 기존 철도 수동 분기기 이용한 확인(지게차로 견인)



<그림 4-46> 2차년도 회전정렬 확인

나. 3차년도

○ 차량 2량, 대차 4량, 호이스트바 선제작 후 회전정렬 동작 확인

○ 장소 : 성신RST 문경공장부지 내 (2020년 3월경)

○ 차량 내 전장품 및 가이드레일 등 없이 기존 철도 수동 분기기 이용한 확인(지게차로 견인)



<그림 4-47> 3차년도 회전정렬 확인

다. 4차년도

○ 차량 2량, 대차 4량, 호이스트바, 모든 전장품으로 구성

○ 장소 : 광양항 인터모달 테스트베드 부지 내 (2021년 10월~12월)

○ 차량 내 인버터 추진을 이용한 위치제어 및 설치된 인터모달 차량 회전정렬용 분기기 사용



<그림 4-48> 4차년도 테스트베드 내 실험을 통한 회전정렬 메커니즘 확인

제3절. 컨테이너-운송차량 인터페이스 기술개발

1. 개요

○ 본 컨테이너-운송대차 인터페이스 기술개발은 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영하게 될 차량시스템 개발에 있어, 차체(언더후레임)의 기술개발에 관하여 수행하였다.

○ 컨테이너-운송차량 인터페이스 기술개발의 주요 기술개발 내용은 컨테이너 트레일러를 차량에 안전하게 상차시키기 위하여 트레일러 차륜의 내측 이탈방지를 위한 내측가이드를 설치하였고, 컨테이너 트레일러가 주행 시 바퀴의 미끄럼을 감소키기 위하여 주행면에 체크플레이트를 설치하였다.

○ 컨테이너 트레일러의 차륜이 차체 외측으로 이탈방지를 위한 외측가이드 설비, 회전정렬 운송차량이 천이구간과 정거장에서 회전 시의 고하중지지와 원활한 회전을 위한 원형롤러, 차체와 대차 사이의 적절한 센터피봇 등의 기술개발을 수행하였다.

2. 차체의 설계 및 제작

○ 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영될 차체(언더후레임)는 컨테이너 트레일러를 원활히 상하차 할 수 있도록 하고, 하중에 견디는 구조로 충분한 강도를 확보해야 하며, 회전정렬 대차, 차량전기설비품, 추진제어시스템, 제동장치, 보조전원장치 공압장치 등을 장착할 수 있도록 기술개발을 수행하였다.

가. 설계 개요

○ 차체(언더후레임)는 센터실, 사이드실, 엔드실, 볼스터 크로스빔, 안내레일 등으로 구성하고, 충분한 강도를 갖도록 설계하였다. 언더후레임은 리프팅 및 재킹, 안전손잡이 등의 설비를 갖추도록 하였다.

○ 차량에 설비되는 대차, 제동장치, 주전력변환장치, 보조전원장치, 차량제어 및 진단장치, 공압장치, 신호/통신장치 등을 설비할 수 있도록 하였다.

○ 언더후레임은 컨테이너 트레일러의 상·하차가 용이하도록 가이드레일과 이탈방지 가이드, 트레일러 고정장치 등의 차량설비를 갖추도록 한다. 또한 언더후레임 구조는 컨테이너 트레일러 하중조건에 충분한 강도를 확보하도록 하였다.

- 언더후레임은 강재의 경량구조로 설계하고, 화물의 상차 하중에 충분한 강도/강성을 확보도록 설계하였고, 유한요소법(FEM)에 의해 구조해석을 통해 수직하중 51톤에서 최대응력이 296.5MPa 이었고, 51톤 수직하중시험에서는 최대응력이 126MPa로서 차체재료의 항복강도 365MPa내에 있어 안전한 것으로 평가되었다.
- 아울러 51톤 수직하중조건에서 처짐량도 17mm(31톤에서는 11mm)로서 안전한 것으로 평가되었다.
- 언더후레임은 회전정렬 대차를 장착할 수 있도록 하고, 회전정열 구간인 천이구간,

정거장 등에서 레일 이탈, 탈선 등이 없이 원활히 회전정렬이 되어 주행할 수 있도록 하였다.

- 언더후레임은 차량을 전용선로에서 원활히 주행시키기 위한 추진제어장치를 언더후레임에 적절히 설비할 수 있도록 하고, 강도에 충분히 견디는 구조로 하였다.
- 언더후레임은 차량 전장품 및 공압장치에 전원을 공급할 수 있는 보조전원장치를 설비할 수 있도록 하였다.
- 언더후레임에는 차량설비 즉 인버터, 보조전원장치, 공압장치, 제동장치, 등구류, 배전반, 통신/신호장치 등을 설비할 수 있도록 하였다.
- 언더후레임에는 역캠버(-)가 일어나지 않도록 적정한 정캠버(+)를 주어 제작하도록 한다.
- 센터피봇, 사이드실, 크로스 빔 등 용접설계, Cross Beam 재질 설계, 차상신호장치(VTTC) 설치 설계, 설비품 브라켓트 및 구멍 등의 상세 설계를 하였다.

나. 적재되는 컨테이너 및 트레일러 샤시 제원 및 하중

○ 인터모달 차량시스템에 적재하게 되는 컨테이너 트레일러 샤시에 대하여, 제3장에서 조사된 자료를 바탕으로 주요 제원과 하중을 정의 하고자 하며, 자세한 자료는 2장 3절 5항에 우리나라 컨테이너 트레일러 주요 제조업체에서 생산되는 제품에 대하여 조사하여 수록하였다.

○ 본 항에서는 차량에 적재되는 일반적인 컨테이너 트레일러 샤시에 대하여 아래와 같이 정의하였다.

- ISO 40‘ 컨테이너 규격 : L12,192 x W2,438 x H 2,591(mm)
- ISO 20‘ 컨테이너 규격 : L6,058 x W2,438 x H 2,591(mm)
- 대표작인 트레일러 길이 : 12,430~14,120mm
- 차량 폭 : 2,480~2,490mm
- 차대 높이 : 1,480mm
- 차대(차량길이 12,430mm 경우) : 길이 : 12,187mm, 폭 : 2,360mm
- 중량 : 샤시와 컨테이너를 합쳐 31,000kg 초과하지 않음(도로교통법 시행령 제79조 1항에 의거)

다. 차체의 크기

(1) 차량 크기 기준

- 차량의 크기는 컨테이너 트레일러의 상하차를 용이하게 할 수 있도록 길이와 폭을 설정하여야 한다.
- 트레일러 샤시는 차체의 역할과 기능을 갖춰야 하고, 차체의 강도와 강성은 충분히 확보되고, 검증되어야 한다.

(2) 차량 크기 설정 내용

- 차체 길이(16,820mm) : 차체 길이는 가장 큰 컨테이너 트레일러 샤시의 길이(12,430 ~ 12,620) 보다 약 2,000mm 정도 크게 하였고, 또한 단부가 경사면으로 되어 약 2,100mm 정도 더 추가하여 총 길이 16,820mm 정도로 하였고, 트레일러의 상차 및 하차의 용이성 확보하였다

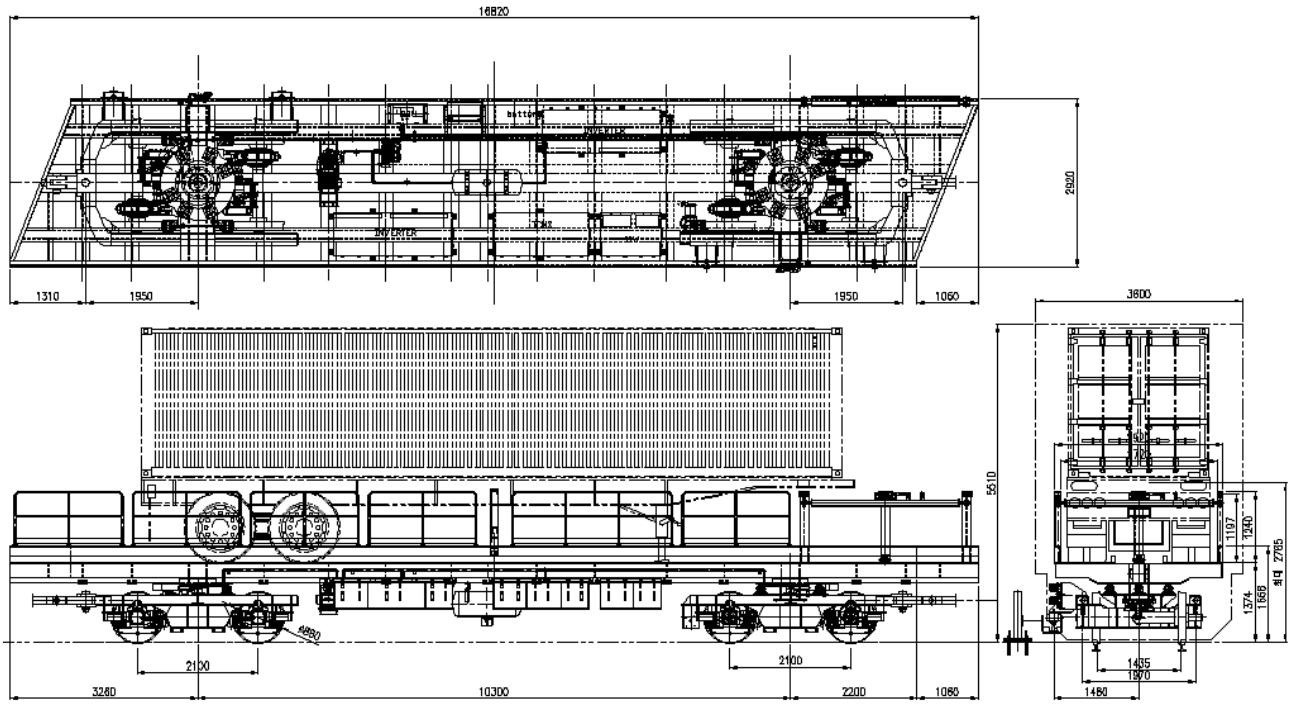
- 차체 폭(2,920mm) : 차체 폭은 컨테이너 트레일러의 폭보다 400mm 크게 설정하여 트레일러 상하차 용이성을 확보하였다.

- 언더후레임 상면 높이(1,374mm) : 차체 높이는 차체와 대차의 원활한 회전과 대차, 회전롤러, 전선, 제동배관 등 각종 설비의 설치 공간을 확보하였다.

- 축간거리(2,100mm) : 축간거리는 양 차축에 장가형 유도전동기 설치를 위해 기존 화차대차의 축간거리보다 크게 2,100mm로 설정하였다.

- 차륜경(860mm) : 차륜경은 기존 화차의 차륜 사용, 레일 및 레일의 호환성, 안전성 등을 고려하여 설정하였다

- 대차간거리(10,300mm) : 대차간거리는 최소곡선반경 R150m의 원활한 주행, 안전성, 편기 등을 고려하여 설정하였다.



<그림 4-49 > 차체 크기 설정을 위한 조립도

라. 차체 설계 및 제작

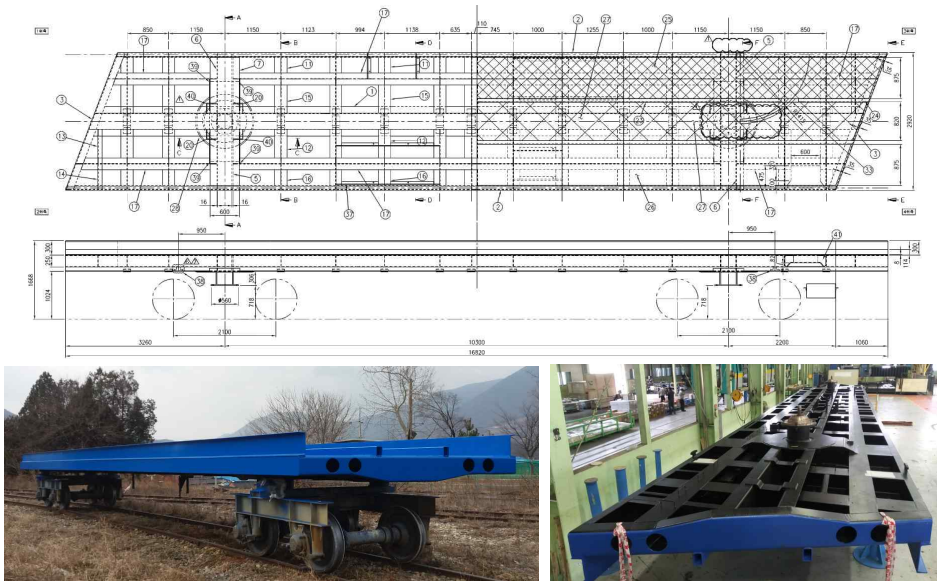
(1) 설계개념

- 차체(언더후레임)는 센터실, 사이드실, 엔드실, 볼스터 크로스빔 안내레일 등으로 구성하여 강도를 충분히 확보해야 한다. 언더후레임은 리프팅 및 잭킹, 안전스텝 등의 설비를 갖춰야한다.

- 언더후레임은 강재, 형강 등을 사용하여 경량구조로 설계/제작하고, 충분한 강도와

강성을 확보해야 한다.

- 차량에 설비되는 대차, 제동장치, 주전력변환장치, 보조전원장치, 차량제어 및 진단장치, 공압장치, 신호/통신장치 등을 설비할 수 있어야 한다.
- 언더후레임은 컨테이너 트레일러의 상·하차가 용이하도록 가이드레일과 이탈방지 가이드, 트레일러 고정 설비를 갖춰야 한다. 또한 언더후레임 구조는 컨테이너 트레일러 하중조건에 충분한 강도를 확보하야 한다.
- 언더후레임은 제작 후 역캠버(Reverse(-) Camber)가 되지 않도록 적정한 정캠버(+ Camber)를 설비하여 제작하여야 한다.
- 언더후레임은 차량의 제작, 정비 등시 차량을 들기 위한 Lifting Point를 설치하여야 한다.



<그림 4-50> 차체 일반도 및 차체 제작품

(2) 주요제원

- 차체 길이 : 16,820mm
- 차체 폭(상부 가이드레일) : 2,920mm
- 차체 높이 : 2,614mm
- 트레일러 적재시 최대높이 : 5,445mm(컨테이너 2,591 트레일러 샤시 1,480mm)
- 언더후레임 높이(주행면) : 1,374mm
- 대차중심거리 : 10,300mm
- 차축간 거리 : 2,100mm
- 내측 가드레일 폭 : 970mm
- 상부 외측 가이드레일 내부 폭 : 2,740mm
- 적재하중 : 31톤(트레일러 샤시 및 컨테이너)
- 트레일러 샤시 축중 : 10톤 이하

(3) 트레일러 고정장치 설계 및 제작

(가) 트레일러 고정장치 사례 조사

□ 전용 컨테이너 트레일러 수송화차

· 아래 그림에 컨테이너 트레일러를 전용 수송하는 철도차량 화차이다. 이 화차는 컨테이너 트레일러의 전면 하부에 설비된 킹핀을 지지하기 위한 킹핀 받침대가 설치되어 있다. 상차작업은 컨테이너 트레일러를 리프팅 하여 화차의 킹핀 받침대 앉혀 킹핀을 고정시키며, 차륜은 제동을 체결시킨 상태로 상차한다.



<그림 4-51> 철도차량 트레일러 수송화차

□ 일반 화차에 컨테이너 트레일러 수송

· 일반 화차에 컨테이너 트레일러 수송은 전통작인 철도하물 차량의 운송방법과 동일하다. 화물차량에 컨테이너 트레일러를 상차시키고, 트레일러를 트럭에서 분리한 후, 차량은 턴버클, 후크 및 체인 등으로 트레일러를 차량에 고정시킨다. 트레일러 차륜의 전후에는 고인목으로 바퀴를 고정한다. 일반 화차의 컨테이너 트레일러를 상차 작업 시에는 고정시키는 작업 시간이 많이 소요된다.



<그림 4-52> 일반 화차의 컨테이너 트레일러 수송

□ 피기백8 차량

· 피기백 차량은 컨테이너 트레일러를 수송하는 전용차량으로 신속한 상하차를 위한 전용 트레일러 고정 장치를 사용하고 있다.

· 아래 그림에 나타나 있는 바와 같이 트레일러 화물 수송차량으로 운영 중인

Piggyback Modalohr 차량은 트레일러를 터미널에서 차체를 돌려 경사시켜 정차한 후 트럭으로 트레일러로 차량에 상하한다. 트레일러가 차량에 상차한 후에는 트레일러에 킹핀을 차체에 킹핀홀더에 고정하고, 바퀴는 제동장치를 체결하여 정차시킨다.

· 아래 그림에는 Modalohr 차량은 고정된 킹핀홀더와 유압으로 작동하는 킹핀홀더를 나타낸 사진이다.



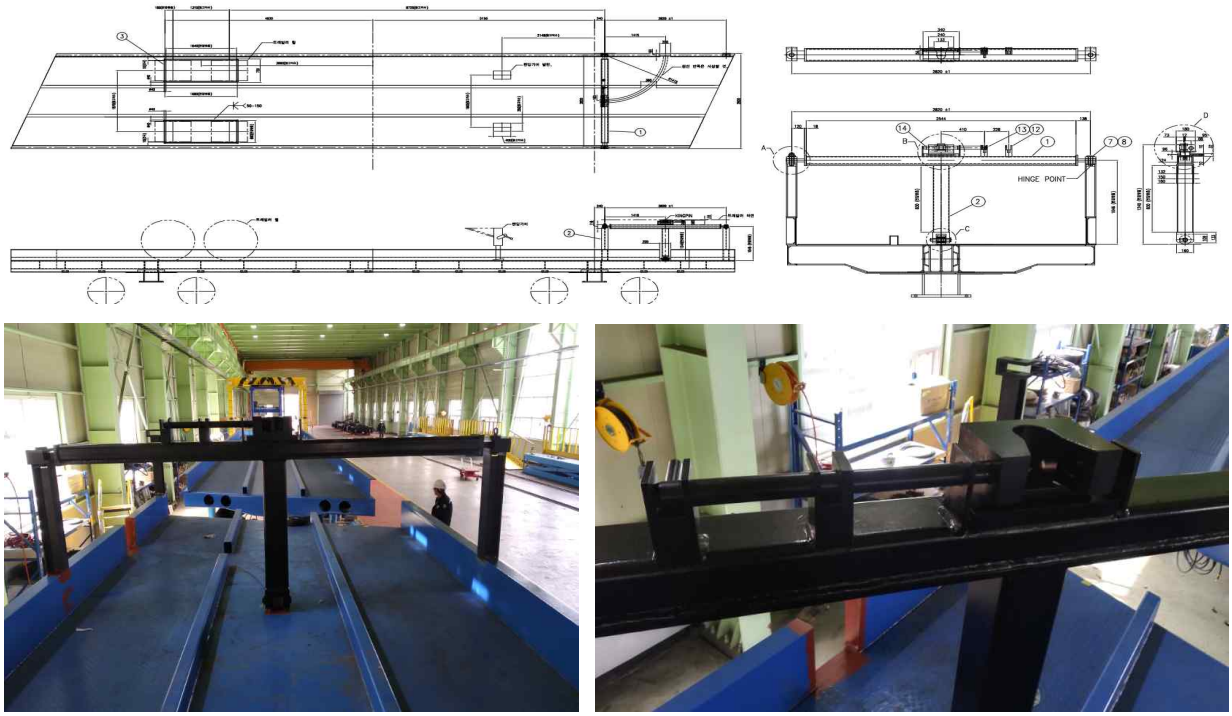
<그림 4-53> Modalohr Piggyback 차량 트레일러 킹핀 고정장치



<그림 4-54> Piggyback 차량 Modalohr 트레일러 고정장치

(나) 트레일러 고정장치 설계 및 제작

· 아래 그림은 외국의 트레일러 고정장치의 사례를 조사하여 수립된 설계로서, 인터모달 차량의 언더후레임에 트레일러 상차시 정위치 정차를 위한 트레일러 고정설비 배치도가 나타나 있다. 그림의 a)에는 좌측에 차륜 정위치 정차 설비와 그림의 b)에는 트레일러의 킹핀 고정시키기 하기 위한 킹핀 고정장치를 설치하였다.



<그림 4-55> 트레일러 고정장치 조립도 및 제작품

3. 차체 구조 강도해석

가. 개요

○ 인터모달 차량의 차체구조 구조해석을 통해 차체구조의 강도를 분석한 해석결과를 수록한다. 차체의 구조해석은 상용유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 수행하였다.

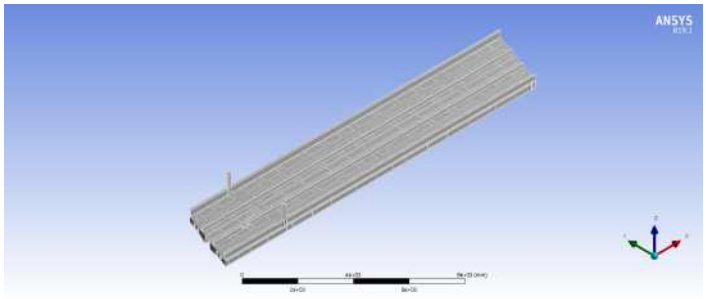
나. 적용규격

○ 구조해석을 위해 적용된 규격은 다음과 같다.

- 철도차량기술기준(일반철도차량(화차)) 별표 6
- EN 12663-1 : Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies
- KS R 9228 : 철도 차량 차체의 하중시험 방법

다. 해석모델

○ 언더프레임은 강재 용접구조로 유한요소해석을 위해 810,738개의 절점과 416,328개의 요소를 사용하였고, 아래그림에 차체구조 해석모델이 나타나있다.



<그림 4-56> 차체구조 모델링

<표 4-12> 인터모달 차체의 주요 제원표

항목	값	비고
구체중량(m_4)	16,000 kg	
공차중량	34,000 kg	
대차중량(m_2)	13,382 kg	
차체중량(m_1)	20,618 kg	
적재중량(m_3)	31,000 kg	
동하중계수	0.3g	
차체 길이	16,820 mm	
대차 중심간 거리	10,300 mm	
차체 폭	2,920 mm	
차체 최대높이(레일상면에서)	2,614 mm	
상면높이(레일상면에서)	1,374 mm	
대차연결기간 거리	14,200 mm	(대차와 대차 간 연결)

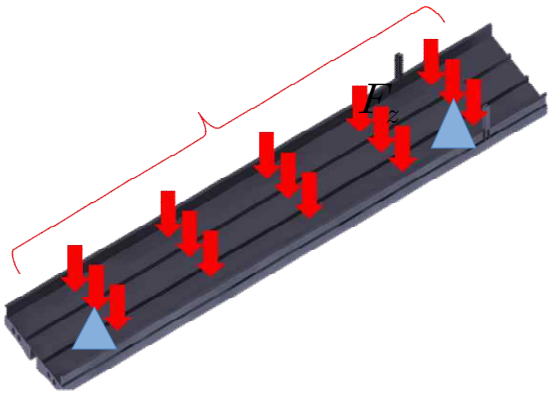
라. 하중조건

○ 하중조건 계산에 사용된 차량의 주요 제원은 표에 나타나 있으며, 인터모달 차량의 연결기는 대차프레임에 직접 연결되어있기 때문에 압축하중과 인장하중을 생략하고 해석을 수행하였다.

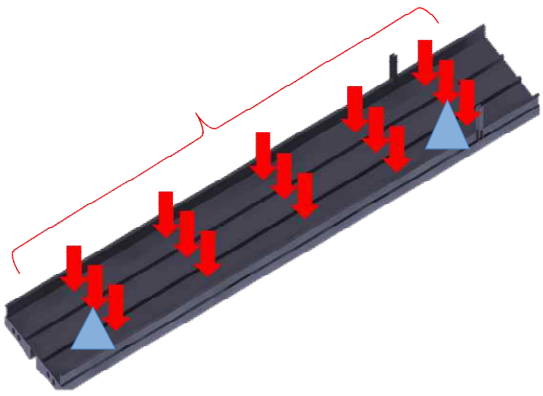
○ 수직하중

- 최대수직하중은 동하중 계수 0.3g가 적용되며 그 값은 아래와 같다. 구체중량은 중력가속도로 적용한다.

$$\text{수직하중}(F_z) = 1.3\times(m_1+m_3)-m_4 = 1.3\times(20{,}618+31{,}000)-16{,}000$$
$$= 51{,}103kg$$



<그림 4-57> 수직하중 조건



<그림 4-58> 운행하중 조건

○ 운행하중

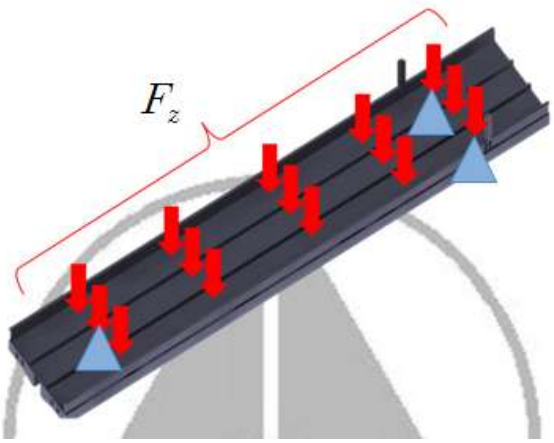
- 운행 하중 조건은 수직 하중 조건과 동일하며, 동하중 계수를 0.2g로 적용한다. 부가되는 수직 하중은 다음과 같다. 구체중량은 중력가속도로 적용한다.

$$\text{수직하중}(F_z) = 1.2\times(m_1+m_3)-m_4 = 1.2\times(20{,}618+31{,}000)-16{,}000$$
$$= 45{,}941kg$$

○ 3점 지지하중

- 차체하중을 지지하고 있는 롤러의 표면 3곳을 정점으로 수평으로 지지하고 1개 지점은 구속하지 않은채 해석한다. 부가되는 3점지지하중은 다음과 같다. 구체중량은 중력가속도로 적용한다.

$$\text{수직하중}(F_z) = m_1 - m_4 = 20{,}618-16{,}000 = 4{,}618kg$$



<그림 4-59> 3점 지지 하중

마. 평가 기준

○ 사용 재질의 기계적 물성치-압축하중 및 수직하중에 대한 안전계수(S1)

구 분	재 질	허용응력		비 고
		모재부	용접부	
수직하중 압축하중 3점지지하중 비틀림하중	SM490YA SS400	365MPa 245MPa	332MPa 223MPa	안전계수는 항복강도에 모재부 S1=1.0, 용접부 S2=1.1을 적용

○ 운행조건하중에 대한 안전계수(S2)

구 분	재 질	허용응력		비 고
		모재부	용접부	
운행조건 하중	SM490YA SS400	243MPa 163MPa	221MPa 148MPa	안전계수는 피로한도에 모재부 1.5, 용접부 1.65를 적용

바. 차체의 구조해석 결과

○ 차체에 작용하는 하중조건에 따라 구조해석을 수행하여 차체 강도가 안전한가를 확인하였으며, 차체의 구조해석 결과는 아래와 같다.

<표 4-13> 차체 구조해석 결과

하중조건	최대응력 (MPa)	최대처짐량(mm)	최대응력위치	허용응력 (MPa)	재 질	비고
수직하중조건	296.5	4.88	센타실+서포터 접합부	332	SM490YA	Fig. 3-6
운행하중조건	201.5 (특이해 제외)	4.47	센타실+서포터 접합부	221	SM490YA	Fig. 7-10
3점지지 하중조건	280.5	2.75	센타실 + 회전롤러 접촉면	332	SM490YA	Fig. 11-14
잭킹하중조건	254.9	3.59	HOOK 접합부 내측 사이드실	332	SM490YA	Fig. 15-18
리프팅하중조건	224.6	3.49	HOOK 접합부 내측 사이드실	332	SM490YA	Fig. 19-22

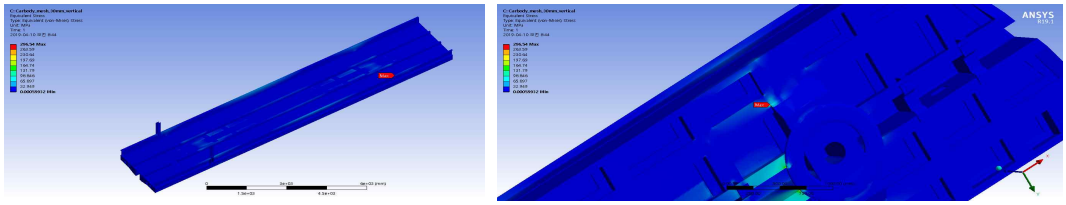
- 차체 처짐량은 수직하중조건에서 최대 4.88mm로 나타났으며, 이 값은 철도차량에서 일반적으로 허용되는 수준이다.

- 차체의 구조해석 결과 수직하중조건에서 최대응력이 296.5MPa로 나타났고, 그 외는 이보다 낮아 이는 차체 재료의 허용응력 값 이내로 차체강도는 안전하다.

(1) 수직하중조건

□ **차체의 강도**

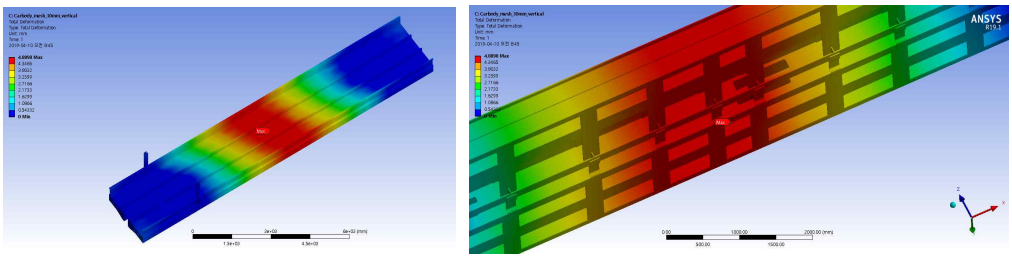
· 차체의 강도는 수직하중조건에서 최대응력부는 Centersill과 bolster 접합부에 296.5Mpa 발생하였고, 재료의 허용응력 값 이내에 있어 차체는 충분한 강도를 확보하고 있다.



<그림 4-60> 수직하중 작용시 응력 값

□ **차체의 변형량**

· 차체의 변형량은 수직하중조건에서 최대처짐 부위가 차량의 중앙부 밑면에서 4.88mm 발생하였으며, 이는 철도차량에서 허용되는 수준이다..

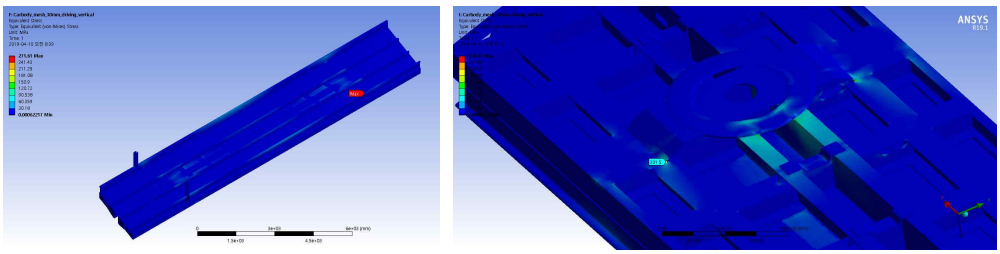


<그림 4-61> 수직하중 작용시 차체 변형량

(2) 차량 운행하중조건

□ **차체의 강도**

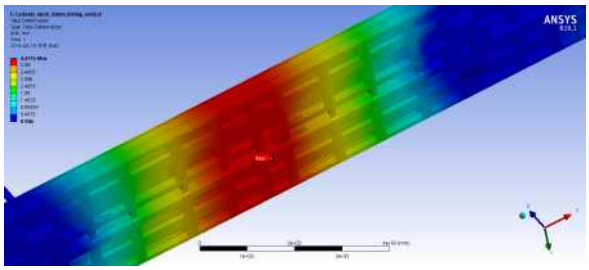
· 차체의 강도는 운행하중조건에서 최대응력 위부는 Centersill과 bolster 접합부에서 201.5MPa이 발생하였으며, 차체 재료의 허용응력 값 이내에 있어 차체 강도가 충분히 확보되어 있다.



<그림 4-62> 차량 운행하중조건에서 차체 응력 값

□ **차체의 변형량**

· 차체의 변향량은 운행하중조건에서 최대처짐 부위는 차량의 중앙부 밑면에서 4.47mm 발생하였으며, 이는 철도차량의 허용범위 수준이다.

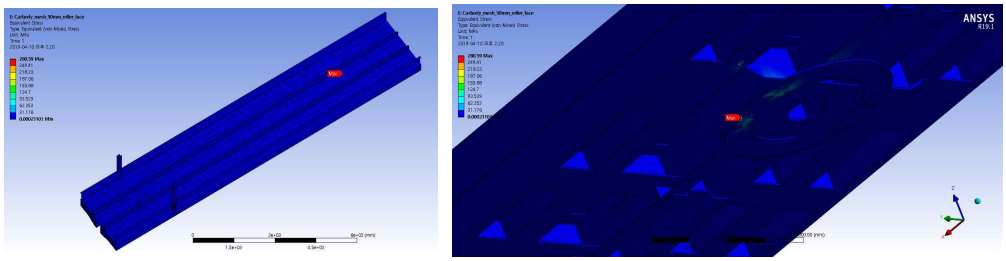


<그림 4-63> 차량 운행하중조건에서 차체 처짐량

(3) 3지점 지지하중조건

□ **차체의 강도**

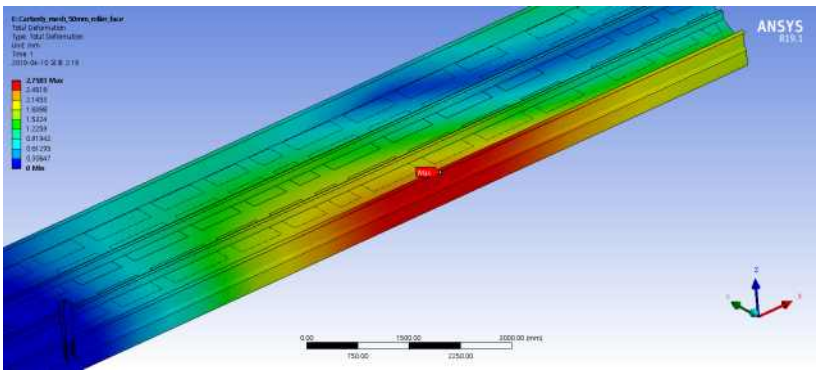
· 차체의 강도는 3점 지지하중조건에서 최대응력 부위는 볼스타와 회전롤러 접촉면에서 280.5MPa이 발생하였으며, 이는 재료의 허용응력 값 이내에 있어, 차체가 충분한 강도를 확보하고 있다.



<그림 4-64> 3점 지지하중조건 차체 응력 값

□ **차체의 변형량**

· 차체의 3점 지지하중조건에서 최대처짐 부위는 차량의 중앙부 상부면에서 2.75mm 발생하였고, 이는 철도차량의 안전 허용 범위 수준이다.



<그림 4-65> 3점 지지하중조건 차체 처짐량

(4) 구조 해석결과 분석

- 차체 구조해석결과에서 응력에 대해서 살펴보면 각 주요 구성품은 각 하중조건에서 재질의 허용응력 이내에 있으므로 충분한 강도를 가지고 있다고 판단된다.
- 차체의 처짐은 비틀림하중에서 최고 4.88mm가 발생하였다.
- 이 처짐 값은 철도안전법 Part 43_ 일반철도차량(화차) 기술기준에 의하여 대차중심간 거리 1/1000내로 처짐량이 발생되어 이 기준에 만족하기에 처짐량도 규정에 충분한 결과를 가졌다고 판단된다.
- 본 구조해석내용을 분석한 결과 인터모달 차량은 정상적인 차량 운행 및 작업 시에 발생하게 되는 하중조건에 대해 영구변형이 일어나지 않을 충분한 강도를 가지고 있다고 판단된다.

4. 차체 하중시험 결과

가. 개요

○ 인터모달 차량용 차체는 기술요구사양서에 의거 설계 및 제작을 완료하고, 시험절차서에 따라 검사 및 성능시험을 수행하였다. 시험결과를 아래와 같이 수록하였다.

나. 시험 항목 및 기준

○ 본 보고서에는 차체 하중시험 결과를 수록하였으며, 시험사양, 시험기준, 검사장비 등 상세한 내용은 부록에 있다.

(1) 시험항목

- 수직하중시험
- 3점 지지시험

(2) 하중조건

<표 4-14> 항목별 하중

항목	산출근거	중량(kg)
(1) 구체중량	설계중량	16,000
(2) 공차중량	설계중량	34,000
(3) 대차중량	설계중량	13,382
(4) 차체중량	(2)&(3)	20,618
(5) 적재중량	기술요구사양서	31,000
(6) 동하중계수	철도안전법	0.3g

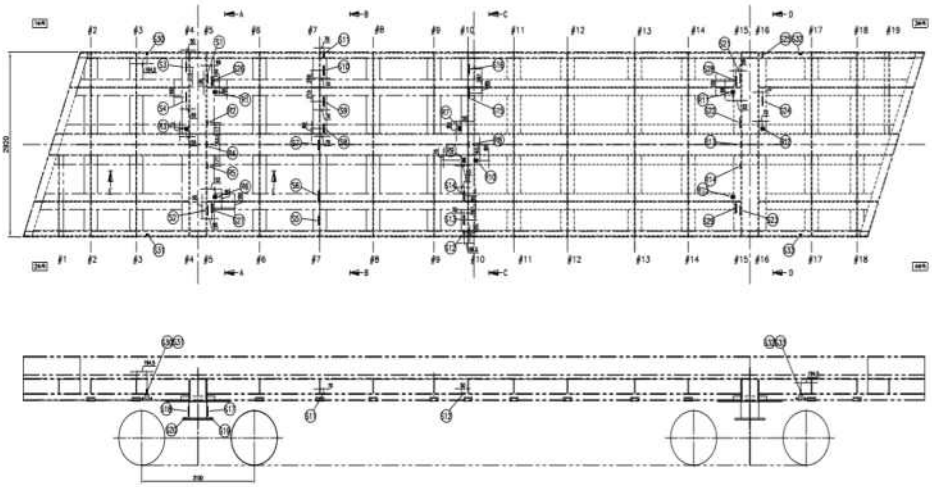
(3) 수직하중에 대한 안전계수(S1)

<표 4-15> 수직하중에 대한 허용응력

구 분	재 질	허용응력		비 고
		모재부	용접부	
수직하중	SM490YA SS400	365MPa 245MPa	332MPa 223MPa	안전계수는 항복강도에 모재부S1=1.0, 용접부S2=1.1을 적용

다. 스트레인게이지 설치

○ 본 시험에서는 하중 작용 시 차체의 각 부위에서 발생하는 응력을 측정하기 위하여 “인터모달식 운송차량 하중시험 용역-차체 하중시험 절차서 “에 따라 지정된 위치에 따라 길이 3mm 단축 스트레인 게이지 39개와 3mm 3축 스트레인 게이지 9개를 부착하였다.



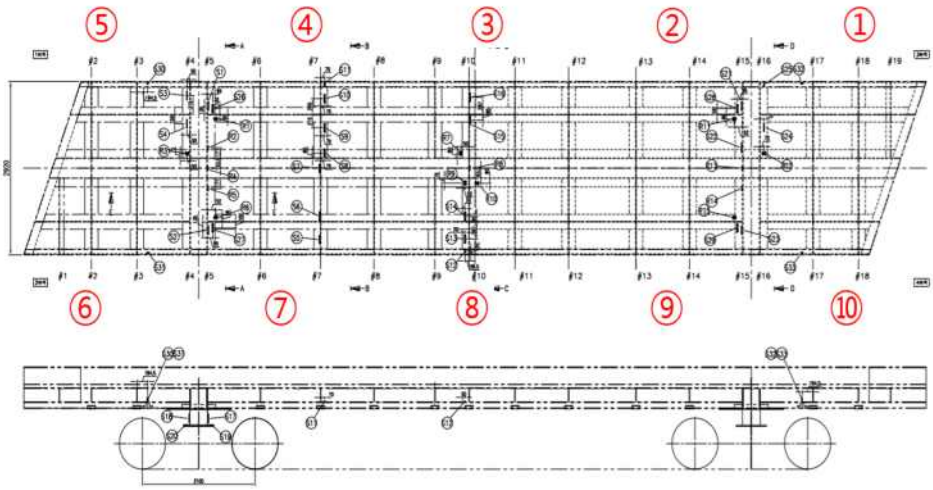
<그림 4-66> 차체 응력측정 스트레인게이지 설치도



<그림 4-67> 차체 응력측정 스트레인게이지 취부

라. 차체 처짐 측정

○ 차체의 10개소에 아래와 같이 포텐셔미터(변위센서)를 설치하여 각 하중 인가 시 차체가 수직방향으로 움직이는 양을 계측함.



<그림 4-68> 처짐량 측정 다이알게이지 설치도



<그림 4-69> 처짐량 측정 다이알게이지 설치

마. 시험 결과

(1) 차체구조 하중시험 수행

- 최대하중 51톤을 차체 상면전체에 등분포하중으로 가하고, 다음과 같은 순서로 하중을 가한 후 하중을 제거하였음
- 하중 작용순서 : 0t → 25t(50%) → 51t(100%) → 25t(50%) → 0t



<그림 4-70> 차체 수직하중 시험



<그림 4-71> 3지점 하중시험

(2) 시험결과

- 수직하중

· “인터모달식 운송차량 차체”에 대해 정하중시험을 실시한 결과로부터 측정된 응력 중 최대응력은 수직하중 시험조건의 R9 스트레인 게이지 위치의 125.3 MPa 및 3점지지 시험조건의 R9 스트레인 게이지 위치의 126.1 MPa로 각 시험 하중별 측정된 응력이 허용응력 365Mpa 이내에 있어 안전한 것으로 판단된다.

- 처짐량

· 차체 처짐은 중앙에서 최대하중 51톤에서 -17.6mm로 나타났다.

제4절. 회전정렬 대차 및 완충시스템 기술개발

1. 개발개념

○ 인터모달 자동화물수송시스템에 사용되는 대차와 완충시스템 기술개발 개념은 아래와 같이 정의하였다.

- 대차의 회전정렬 주행에 적합한 대차 구조
- 유도전동기 장착이 가능한 대차구조
- 고하중에 견디는 대차 구조와 현수장치
- 천이구간, 정거장 등에서 회전정렬이 용이 하도록 안내차륜 구축
- 용접구조형식 대차 골조구조
- 차체 회전을 위한 회전 롤러 구축
- 곡선주행에 원활한 주행을 위한 스윙모션 반구형센터피봇 구축

2. 회전정렬 대차 설계 및 제작

가. 개발개념

○ 인터모달 자동화물수송시스템에 사용되는 회전정렬 대차는 경량화를 위하여 볼스터리스(Bolsterless) 형식으로 기존화차에서 사용되고 있는 용접일체구조대차를 채용하였다. 대차는 차체의 하중이 센터피봇트를 통하여 사이드프레임과 용접으로 연결되어 있는 볼스터가 받도록 설계하였고, 천이구간과 정거장 진·출입시 차체 회전정렬이 용이하도록 구형센터피봇과 차체가 약 70° 정도 회전이 가능하도록 회전형 롤러를 대차에 설치하였다.

○ 궤도 주행을 원활히 하기 위하여, 기존 화물차량과 같은 표준궤간 1,435mm를 사용하도록 차륜과 차축을 설계하였고, 축상에는 하중에 대한 진동감쇠를 위하여 코일스프링을 설치하였다. 차륜답변윤곽과 형상은 기존화물차량에 차륜 윤곽과 동일하게 하였고, 답면구배는 1/20로 하여 원활한 곡선주행이 가능하도록 하였다.

○ 대차에는 답면제동을 차륜에 설치하였고, 량당 7개는 답면제동장치이고, 1개는 주차제동겸용 답면제동장치를 설치하였다.

○ 축상에는 RCT 테이퍼롤러베어링박스와 코일스프링을 설치하였고, 또한 차량의 속도검측을 위하여 속도센서를 설치하였다.

○ 또한 본선(직선구간)에서 천이구간과 정거장 진입 시 운송대차의 회전정렬 조향을 위하여 한 측면 사이드프레임 양단에 2개의 안내차륜을 설치하였다.

○ 대차에는 회전정렬 연결용 호이스트와 연결할 수 있도록 설치하였으며, 호이스트는 차량의 직선, 곡선, 천이지역, 정거장 등을 통과 시 원활히 주행하도록 설치하였고, 충분한 강도와 강성을 갖추도록 하였다.

나. 주요제원

○ 인터모달 자동화물수송시스템에서 사용될 회전정렬 대차의 주요 제원 및 특성을 설정하였다.

- 대차형식 : 회전정렬형 일체용접구조 스윙모션 대차
- 최고속도 : 60km/h
- 최고운행속도 : 40km/h
- 천이구간 및 정거장 진출입속도 : 6km/h
- 고정축거 : 2,100mm
- 차륜경 : Φ860mm(마모 760mm)
- 궤간 : 1,435mm
- 중량 : 약 8.5톤/대(전동기, 감속기, 커플링 포함)
- 축중 : 20톤 이하
- 현수장치 : 축상 코일스프링
- 센터피봇트 : 반구형 레진 센터피봇트
- 회전용 롤러 : 6개 셋
- 베어링 형식 : RCT D Class 테이퍼롤러 베어링
- 답면제동장치 : 대차당 3개 또는 4개
- 주차제동장치 : 량당 1개/량
- 가이드 휠 장치 : 2셋/대차
- 속도센서 : 4개/대차(제동 2개, 제어용 2개)
- 제3궤조 집전자 : 1셋/대차
- 회전정렬 연결기 호이스트 : 1셋

다. 대차 설계 및 제작

○ 인터모달 차량용 회전정렬 대차는 철도화차의 볼스터리스 스윙모션대차를 기본으로 설계를 수행하였다.

○ 대차는 볼스터리스 용접구조용 대차프레임으로 하였고, 2차축의 축상장치와 현가장치를 설치하였고, 4축 차륜에는 답면제동장치와 차체 진동에 원만히 대응할 수 있는 스윙모션이 가능한 반구형 센터피봇트를 설비하였다.

○ 대차는 차량 추진을 위한 2대의 장가형 견인전동기를 설비하였고, 동력전달장치는 2대의 차축감속기와 차량 진동 시에 전후좌우에 변형에 견디는 후렉시블커플링을 설비하였다.

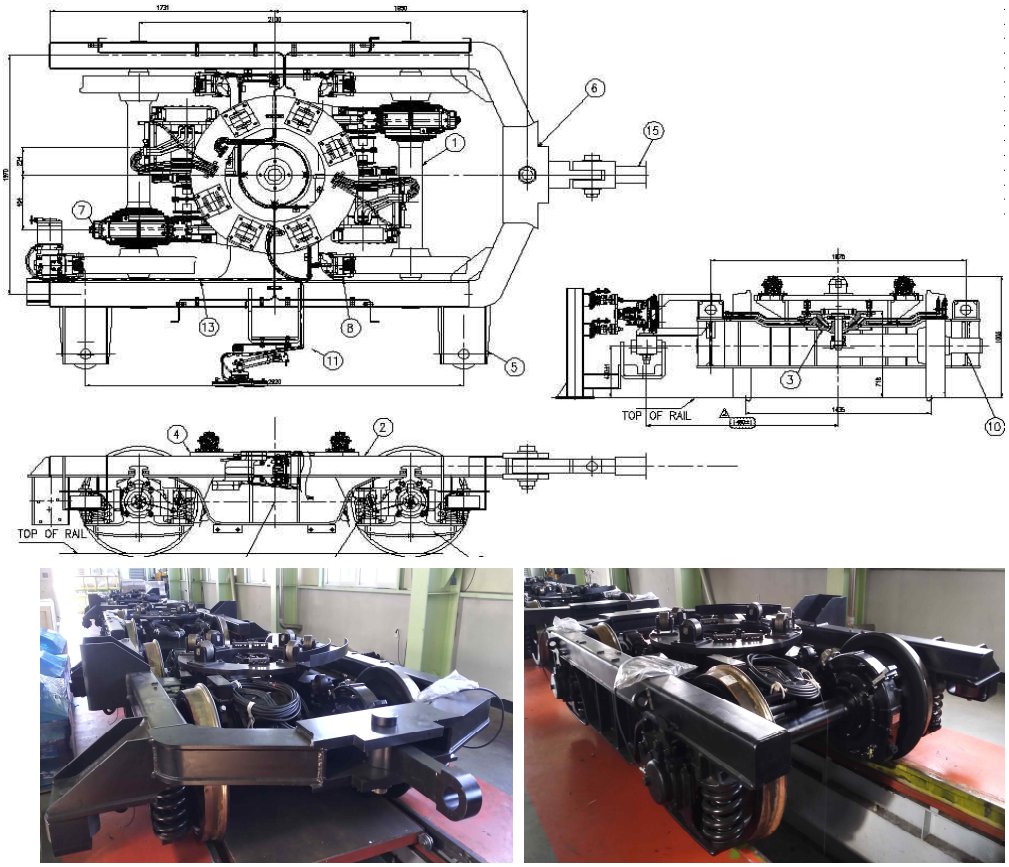
○ 대차의 회전정렬을 위한 호이스트와 연결기를 대차골조에 설치하였고, 차량과 차량

사이는 호이스트 바와 연결기를 설비하여 회전정렬 주행이 가능하도록 하였다.

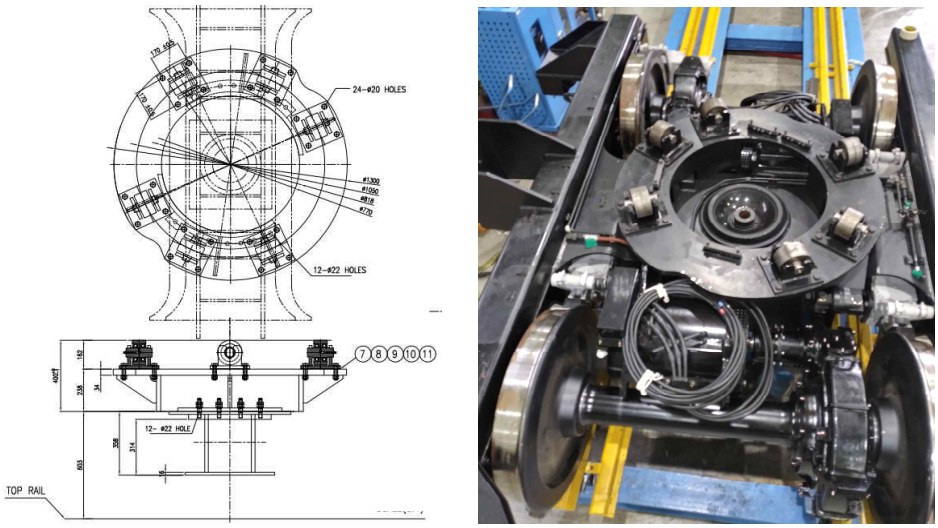
○ 회전정렬 대차가 천이구간에서 원만히 분기할 수 있도록 대차 사이골조에 가이드 휘를 설비하여 궤도에 가이드레일로 주행하여 분기할 수 있도록 하였고, 진동, 충격력 등을 최소화하기 위하여 운행속도는 6km/h 이하로 설정 하였다.

○ 회전정렬 대차가 천이구간에서 회전정렬 주행시 차체가 원만히 회전할 수 있도록 회전롤러를 설비하였다.

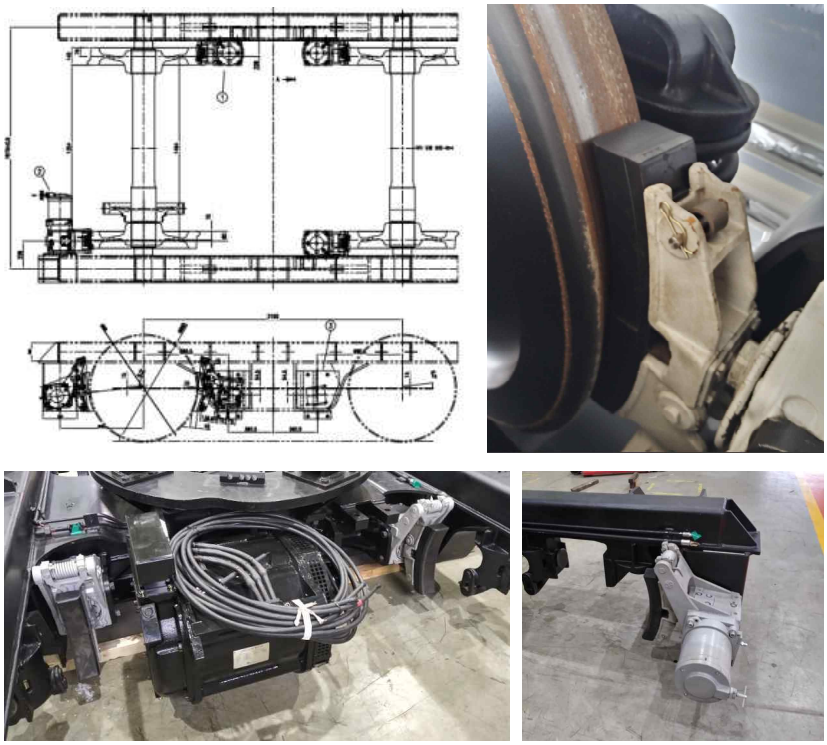
○ 기타 설비로 속도센서, 집전장치 등을 설비하였다.



<그림 4-72> 회전정렬형 대차 조립도 및 완성 제작품



<그림 4-73> 대차 회전롤러 조립도 및 제작품



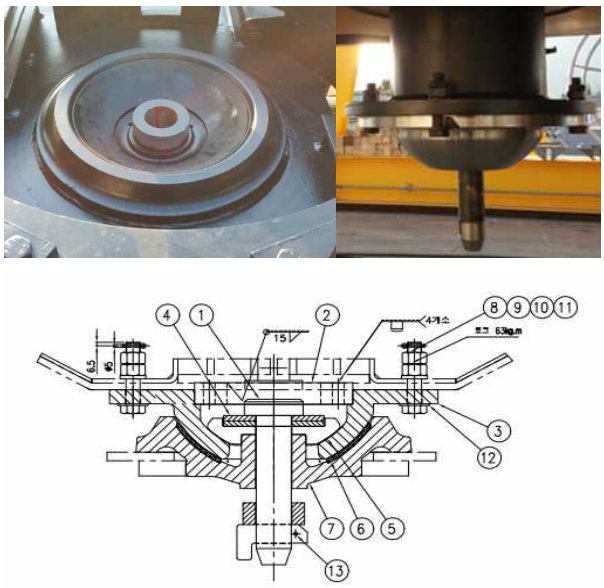
<그림 4-74> 답면제동장치 조립도 및 제작품

3. 센터 피봇트

○ 대차의 센터피봇는 철도화차의 센터피봇터와 같은 형식의 반구형 레진세터피봇트를 채용하였다.

○ 센터피봇트는 차량의 수직력, 횡력, 추진 시 견인력, 제동 시 제동력 등에 견디는 강도구조로 하여야 하고, 곡선 및 천이구간 주행 시 차체가 70도 정도까지 원활히 회전할 수 있어야 한다.

○ 센터피봇트는 대차와 차체가 조립된 상태에서 리프팅 작업을 할 수 있는 구조로 하여야 한다.



<그림 4-75> 센터피봇 조립도 및 제작품

4. 안내륜 및 가이드레일 기본설계

가. 개발개념

○ 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영될 회전정렬 대차가 천이구간 및 정거장을 진출입시에 안전하게 주행하기 위하여 대차 사이드프레임에는 안내륜을 설치하고, 궤도 측면에는 안내레일을 설치하여 대차의 안내륜이 안내레일을 타고 주행 하도록 하였다.

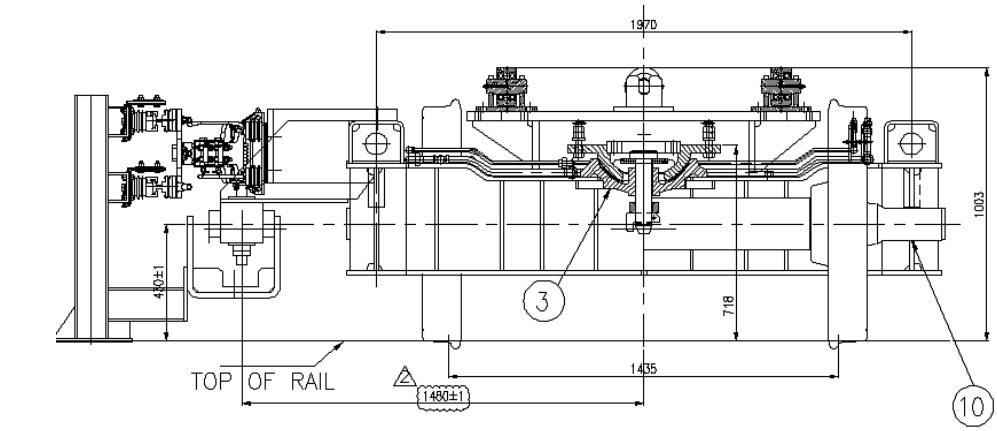
○ 즉 차량에 앞쪽에 있는 대차는 오른쪽 안내레일로 주행하고, 뒤쪽에 있는 대차는 왼쪽 안내레일로 주행함으로써 차량은 회전정렬하여 천이구간과 정거장으로 주행하게 하도록 개발개념을 수립하여 수행하였다.

나. 안내륜 및 가이드 레일 설계 및 설치

○ 대차 사이드프레임 외측에 안내륜을 설치하여, 차량이 천이구간 및 정거장 진출입시 앞, 뒷 대차의 회전정렬이 용이하도록 안내륜과 가이드레일을 아래 그림과 같이 수립하였다.

○ 가이드 휠은 레일 상면에서 430mm에 설치하고, 가이드레일은 궤도 측면에 대차 중심에서 1,480mm 거리에 설치하였다.

○ 안내륜은 직경 240mm, 높이 80mm의 나이론 또는 테프론 재질을 사용하도록 하였고, 대차 사이드 프레임의 높이 60~70mm 변화에 대응하도록 가이드레일 홈의 높이와 차륜 높이를 설정하여 설치하도록 하였다.





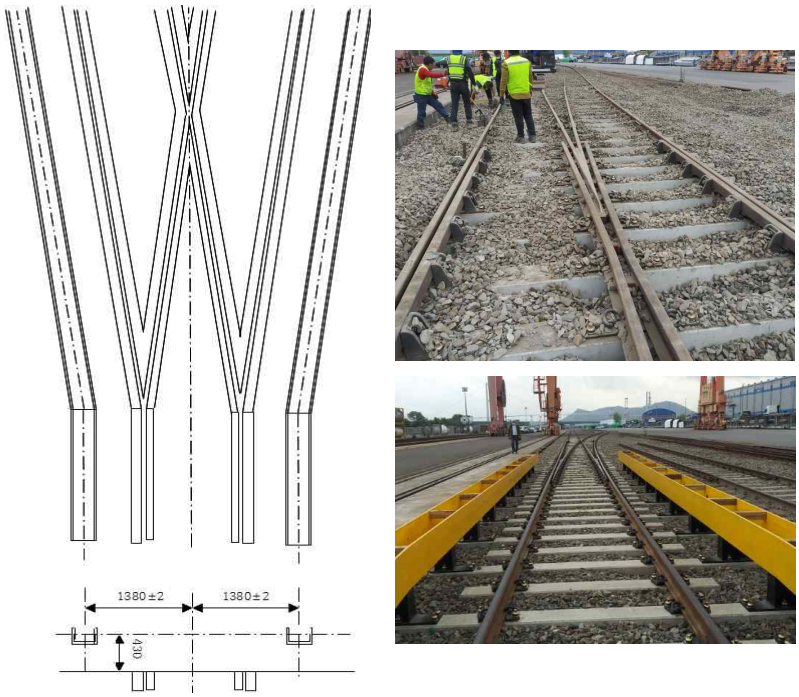


<그림 4-76> 가이드레일과 대차 안내륜 조립도 및 제작품

다. 레일 가이드 및 가이드레일 설계 및 설치

○ 차량이 천이구간 및 정거장 진·출입 시에는 차량의 회전정렬을 위하여 차체가 회전해야 하므로 대차의 사이드 프레임에 안내차륜을 설치하였고, 천이구간 및 정거장에 궤도의 측면에는 대차의 가이드 휠이 분기되면서 주행할 수 있도록 가이드레일 설치에 대한 개념설계를 아래 그림과 같이 수립하고 시설하였다.

○ 또한 운송대차가 천이구간과 정거장을 안전하게 주행하기 위해서는 횡력에 대한 저항을 부담하기 위하여 천이구간과 정거장의 모든 레일에는 레일가이드를 설치하여 이탈, 탈선, 전복이 쉽게 일어나지 않도록 설계개념을 아래 그림과 같이 수립하고 시설하였다.



<그림 4-77> 레일 가이드 및 가이드레일 조립도 및 시설

5. 대차 구조 강도 해석

가. 개요

○ 인터모달 운송차량 및 추진시스템 기술개발사업으로 개발되는 시제품의 대차 구조해석을 수행하여 결과를 분석한 내용이다. 대차 구조해석은 운영 중에 대차골조에 작용하는 응력을 해석하여 강도와 강성을 확인하고, 안전성을 평가 하는데 목적이 있다.

나. 적용규격

○ 대차 구조해석 하중조건 규정은 EN13749를 적용하였다.

다. 제원 및 하중

○ 구조해석에 적용된 제원 및 하중조건은 아래 표와 같다.

<표 4-16> 대차의 제원 및 하중조건

항목	기호	하중 조건	비고
공차 중량	W_1	34,000 kg	
만차 하중	W_2	65,000 kg	
최대적재하중	F_{zp}	31,000 kg	
차량당 대차 수량		2	
대차당 윤축 수량		2	
대차 중량	W_B	6,691 kg	
스프링하질량	W_m	2,325 kg	
전동기 중량		550 kg	
전동기 토크		475N.M	
제동장치 중량		47 kg	

라. 구조해석 하중 종류 및 조건

○ 하중종류 및 조건 규격은 EN 13749과 철도차량 기술기준인 Part43_일반철도차량(화차)기술기준을 세부규정을 적용하였다.

<표 4-17> 대차의 구조해석 종류 및 조건

Case	하중조건		하중(N)	비고
1	수직정하중	case 1	505,856	하중계수(2g)
		case 2	Pivot 265,570 Roller 113,817	
2	좌우하중		29,350	
3	전후하중		328,193	
4	전후비틀림하중		57,149	평면성 틀림율 1%
5	비틀림하중	case 1	29,350	
		case 2	505,856	
6	전동기 장착 하중		127,530	
7	드라이빙기어 장착 하중		8,305	
8	제동 작동력 하중		9,221	

(1) 수직하중

- Case1 : 하중이 센터피봇에 집중된 경우 하중계수는 2를 적용한다.(EN기준)

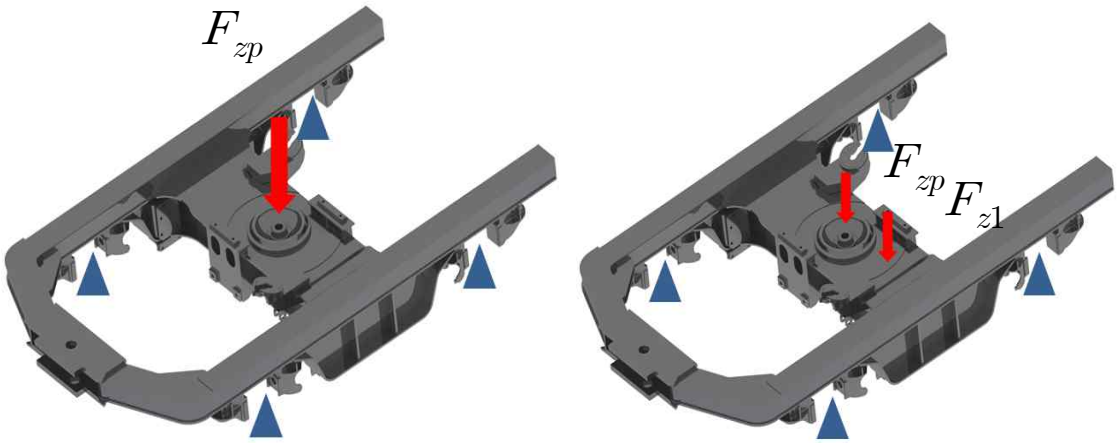
$$F_{zp} = 2F_z = 2 \times 25{,}809\,kg = 51{,}618kg = 505{,}856N$$

- Case2 : 롤링조건에서 센터피봇과 회전롤러 2개에 하중이 작용하는 경우로 하중계

수는 1.5를 적용한다.

$$F_{z1} = \gamma \times F_z \times \alpha = 1.5 \times 25{,}809kg \times 0.3 = 11{,}614kg = 113{,}817N$$

$$F_{zp} = \gamma \times F_z(1-\alpha) = 1.5 \times 25{,}809(1-0.3) = 27{,}099kg = 265{,}570N$$



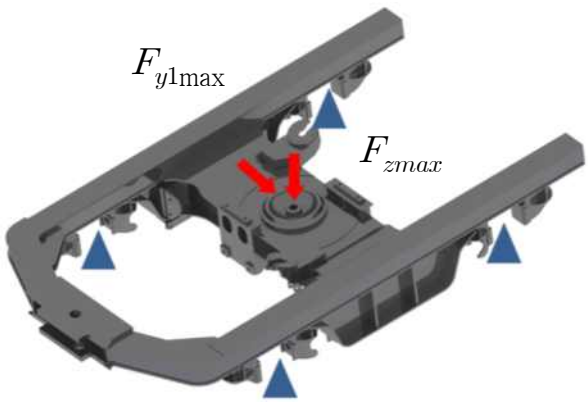
<그림 4-78> 수직하중 Case 1 및 Case 2

(2) 좌우하중

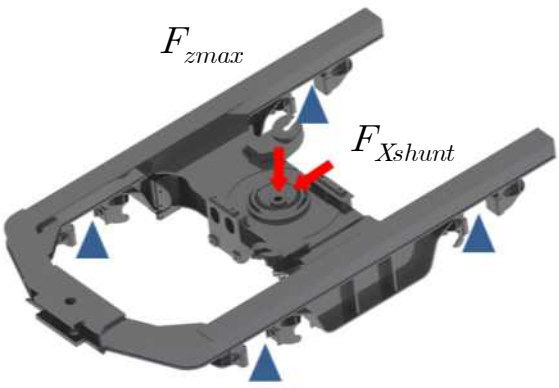
- 좌우 진동에 의해 발생하는 좌우 하중은 횡방향에 따라 Center plate에 가하여 해석을 수행한다.

$$\text{수직 하중} = F_{z\max} = 2 \times 25{,}809 \times 9.81 = 505{,}856\,N$$

$$F_{y1\max} = 10^4 + \frac{F_z + m^+ g}{6} = 10^4 + \frac{25808 + 6691 \times 9.81}{6} = 25{,}241\,N$$



<그림 4-79> 좌우하중조건



<그림 4-80> 전후하중조건

(3) 전후하중

- 전후 하중은 대차의 중량을 적용하며, 대차 중량에 동하중 5g를 고려하여 결정된다.

$$\text{수직 하중} = F_{z\max} = 505{,}856\,N$$

$$\text{전후 하중} = F_{Xshunt} = 5g \times m^+ = 5 \times 9.81 \times 6{,}691 = 328{,}193N$$

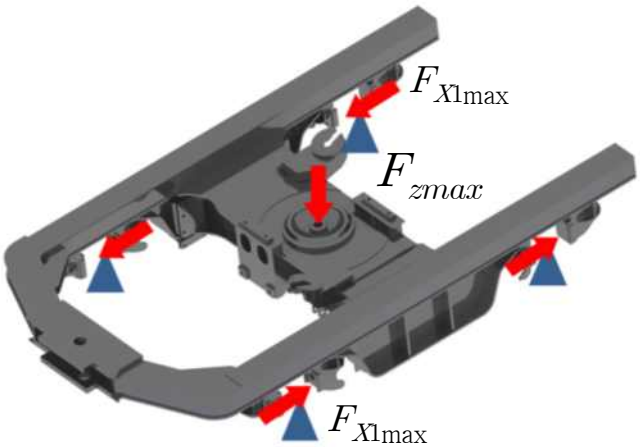
(4) 전후비틀림하중

- 전후 비틀림 하중은 수직하중 + 대차 스프링하중을 적용하며, 수직하중 +대차 스프링하중에 동하중 0.1g를 고려하여 결정된다.

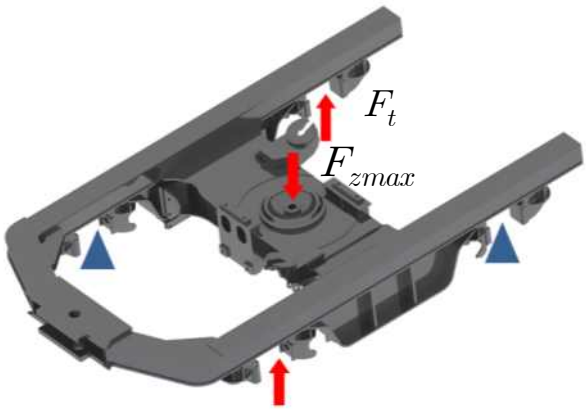
$$\text{수직 하중} = F_{z\max} = 2 \times 25{,}809 \times 9.81 = 505{,}856\,N$$

$$\text{전후 비틀림하중} = F_{X1\max} = 0.1 * (F_{zmax} + m^{+} g)$$

$$= F_{X1\max} = 0.1 \times (505{,}856 + 6{,}691 \times 9.81) = 57{,}149\,N$$



<그림 4-81> 전후 비틀림하중 조건



<그림 4-82> 비틀림하중조건 case 1

(5) 비틀림하중

- Case1 : EN 13749에 의하면 극한하중 조건의 대차구조체는 1% 궤도 평면성 틀림을 견뎌야하는 것으로 되어있다. 대각방향 차륜위치에 1% 평면성 틀림에 상당하는 변위 또는 하중을 부가한다. 1% 평면성 틀림 궤도상에서의 대각방향 차축 스프링의 변위량은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{수직 하중} = F_{z\max} = 2 \times 25{,}809 \times 9.81 = 505{,}856\,N$$

$$\text{차축 스프링 변위량} = \text{축간거리} \times \text{편면성 틀림률} \times \frac{\text{차축베어링 설치폭}}{\text{차륜 접촉간거리}}$$

$$= 2100 \times \frac{1}{100} \times \frac{1970}{1500} = 27.6mm$$

$$\therefore F_t = 27.6 \times 108.4 \times 9.81 = 29{,}350N$$

- Case2 : 한 개의 차륜에 구속조건이 되지 않는 조건에서 수직하중을 부하한다.

$$\text{수직 하중} = F_{z\max} = 2 \times 25{,}809 \times 9.81 = 505{,}856\,N$$

(6) 조합하중

- EN 13749 규정에 의거해 조합하중을 계산하고 각 케이스별로 결과값을 도출하였다.

<표 4-18> 대차의 조합하중

case	Force on side bearer 1 F_{z1}	Force on pivot F_{zp}	Force on side bearer 1 F_{z1}	Transverse force F_y
1	0	F_z=253,186	0	0
2	0	(1+β)F_z=329,142	0	0
3	0	(1-β)F_z=177,320	0	0
4	0	(1-α)(1+β)F_z=263,313	α(1+β)F_z=65,828	F_y=31,882
5	α(1+β)F_z=65,828	(1-α)(1+β)F_z=263,313	0	-F_y=-31,882
6	0	(1-α)(1-β)F_z=141,784	α(1-β)F_z=35,446	F_y=31,882
7	α(1-β)F_z=35,446	(1-α)(1-β)F_z=141,784	0	-F_y=-31,882

Roll coefficient α=0.2
Bounce coefficient β=0.3

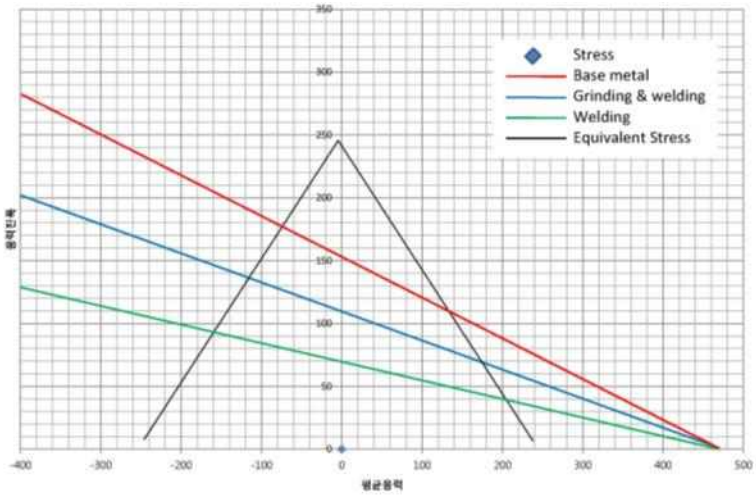
마. 평가기준

○ 하중조건에서 발생된 응력은 아래 표와 같이 재질 항복강도를 초과하지 않아야 한다.

<표 4-19> 사용 소재의 기계적 물성치

번호	재료	항복강도(MPa)	피로강도(MPa)	비 고
1	SM490A	325	155	모재
			110	Grinding
			70	As welded
2	SC450	225	135	모재
			110	Grinding
			70	As welded

○ 아래 그림은 피로내구선도 이다. 여기서, X축은 평균응력, Y축은 응력진폭이며, 조합한 결과는 피로내구선도 상의 위치에 따라 안전성을 판정할 수 있다.

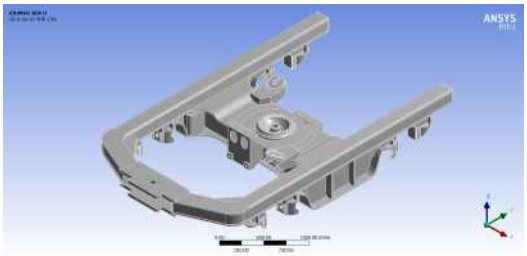


<그림 4-83> 피로내구선도

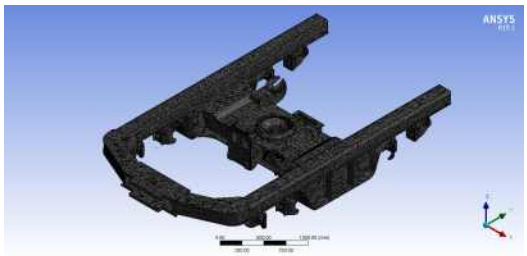
바. 구조해석 결과

(1) 개요

- 해석조건은 EN 13749 규정을 인용하였으며 구조해석 상용프로그램인 ANSYS를 이용하여 해석을 하였고 유한요소의 개수는 1,262,131개로 설정하였고 NODE의 개수는 2,229,301개로 해석을 수행하였다. 극한하중에 대한 조건별 최대응력부위는 아래 그림과 같이 해석되었으며, 조합하중에 대한 해석결과도 아래 그림에 나타나 있다.



<그림 4-84> 대차프레임 3D 모델링

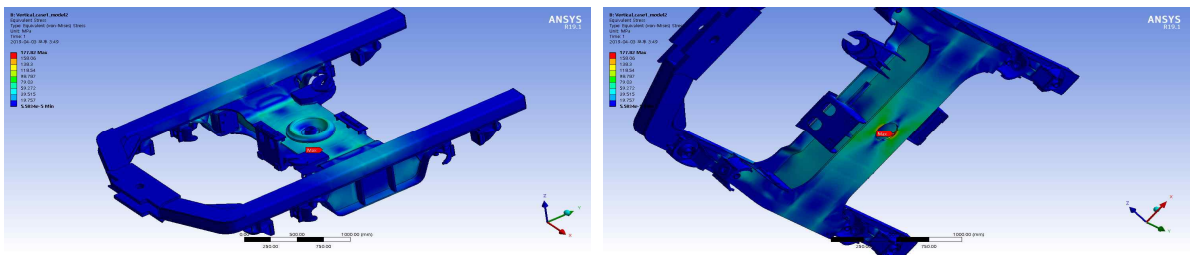


<그림 4-85> 대차프레임 매쉬

(2) 수직하중

- 수직하중 Case 1

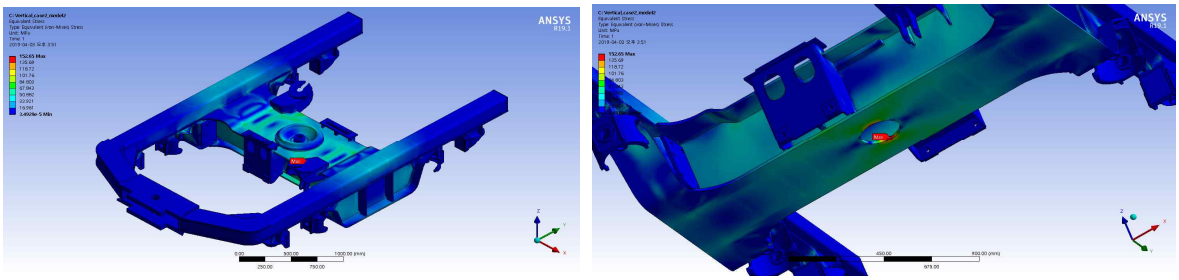
· 대차프레임의 최대응력은 177.82Mpa로써 Transom 하부홀에서 발생하였으나, 재료의 허용응력 이내에 있다.



<그림 4-86> 수직하중 Case 1에서 응력

- 수직하중 Case 2

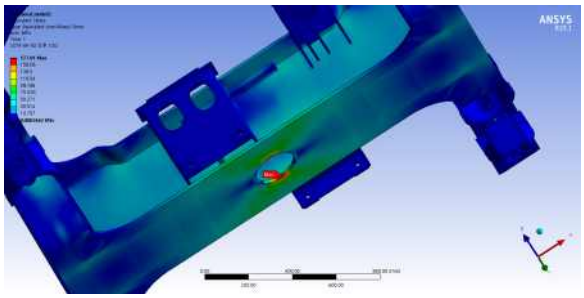
· 대차프레임의 최대응력은 152.65Mpa로써 Transom 하부홀에서 발생하였으나, 재료의 허용응력 이내에 있다.



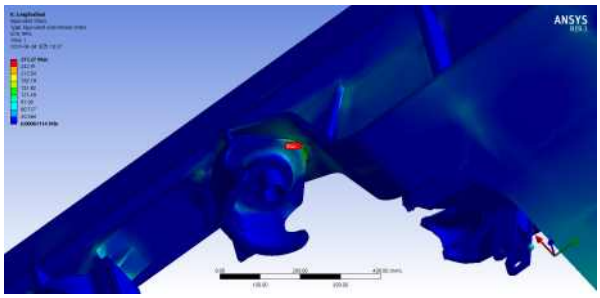
<그림 4-87> 수직하중조건 Case 2

(3) 좌우하중

- 대차프레임의 최대응력은 177.81Mpa로써 Transom 하부홀에서 발생하였으나, 재료의 허용응력 이내에 있다.



<그림 4-88> 좌우하중 응력



<그림 4-89> 전후하중 응력

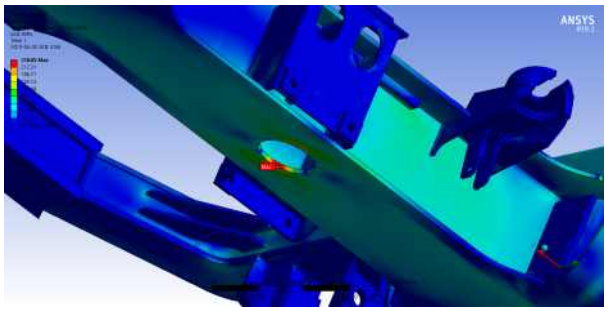
(4) 전후하중

- 최대응력은 273.27Mpa로써 Spring box와 Side frame 접합부에서 발생하였으나, 재료의 허용응력 이내에 있다.

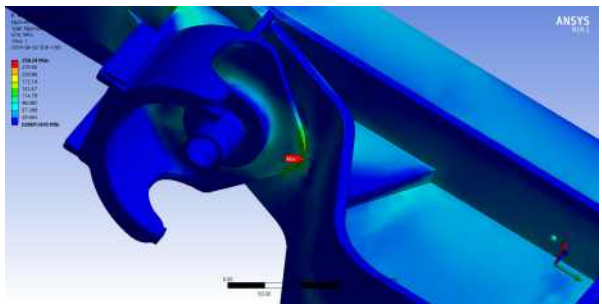
(가) 비틀림하중

- 비틀림하중 Case 1

· 최대응력은 238.85Mpa로써 Transom 하부 홀에서 발생하였으나, 재료의 허용응력 이내에 있다.



<그림 4-90> 비틀림하중 case 1 응력



<그림 4-91> 비틀림하중 case 2 응력

- 비틀림하중 Case 2

· 최대응력은 258.24Mpa로써 스프링 박스와 사이드프레임 접합부에서 발생하였으나, 재료의 허용응력 이내에 있다.

(5) 대차의 최대하중 해석결과

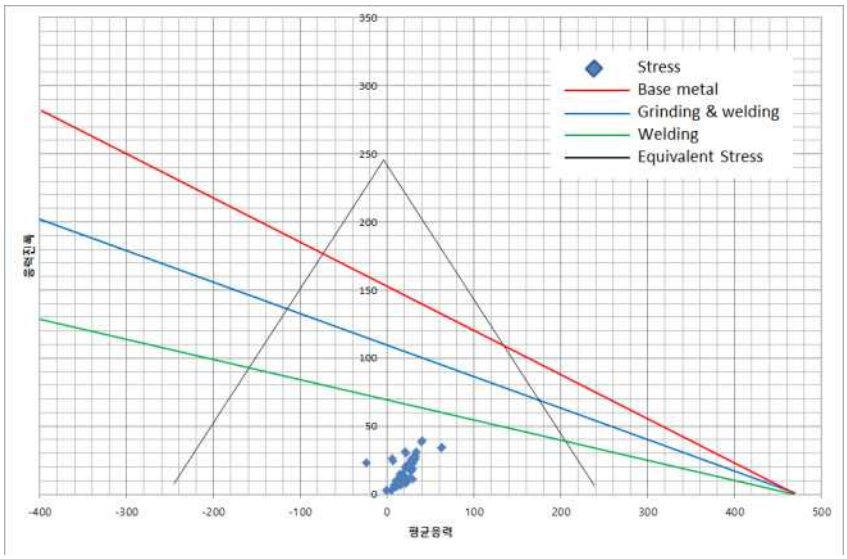
- 모든 조건에서 해석결과는 아래 표와 같이 최대응력이 274.44MPa로써 항복강도 이내에 있음을 확인할 수 있다.

(6) 조합하중 해석결과

- 모든 게이지 위치가 피로내구선도의 용접부 이내에 있으므로, 인터모달 차량의 대차프레임은 피로내구한도를 만족한다.

<표 4-20> 대차의 해석 결과

Case	하중조건		응력(Mpa)	재질에 따른 항복강도(Mpa)
1	수직정하중	case 1	177.82	SM490A (325)
		case 2	152.65	SM490A (325)
2	좌우하중		177.81	SM490A (325)
3	전후하중		273.27	SM490A (325)
4	전후비틀림하중		177.9	SM490A (325)
5	비틀림하중	case 1	238.85	SM490A (325)
		case 2	258.24	SM490A (325)
6	전동기 장착 하중		274.44	SM490A (325)
7	드라이빙기어 장착 하중		89.741	SM490A (325)
8	제동 작용력 하중		89.872	SM490A (325)



<그림 4-92> 피로내구선도

(7) 구조해석 결과 분석

- 인터모달 대차의 대차프레임 구조해석 수행결과 다음과 같이 분석되었다.

· 1) 최대하중조건에서 발생응력이 모두 재료의 항복강도 이내에 있으므로 정적 강도기준을 만족한다.

· 2) 조합하중조건에서 발생응력으로 평균응력과 응력진폭을 응력 한계도에 도시한 결과 모두 재료 피로한도를 초과하지 않았으므로 피로강도기준을 만족한다.

6. 대차 하중시험 결과

가. 시험 개요

○ '인터모달 운송차량'에 대한 운송대차 하중시험을 실시하여 각 하중시험에서 얻은 응력 값이 그 재질의 항복강도 내에 있는지를 확인하기 위하여 수직 하중시험을 실시하였다.

나. 시험항목 및 기준

(1) 시험항목

- 수직하중시험
- 비틀림하중시험

(2) 하중조건

<표 4-21> 항목별 기호 및 하중조건

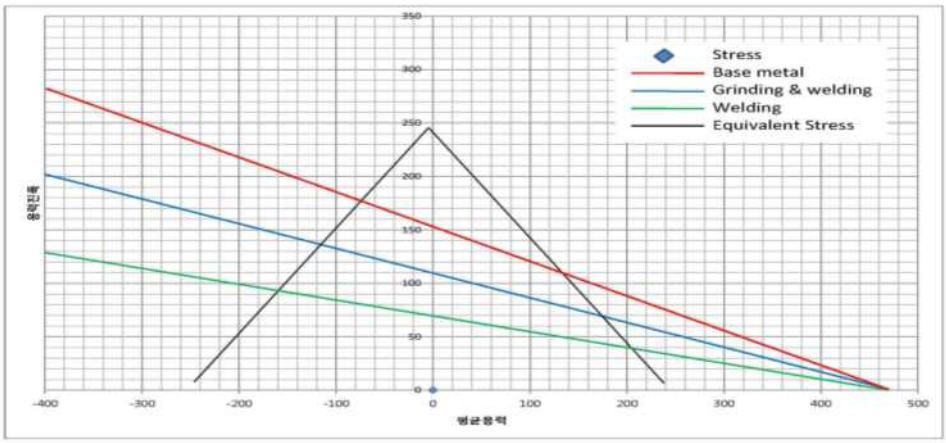
항목	기호	하중조건	비 고
공차 중량	W1	34,000 kg	
만차 하중	W2	65,000 kg	
최대적재하중	P	31,000 kg	
차량당 대차 수량		2	
대차당 윤축 수량		2	
대차 중량	WB	6,691 kg	
스프링하질량	Wm	2,325 kg	

(3) 허용응력

<표 4-22> 항복강도 및 피로강도

번호	재료	항복강도(MPa)	피로강도(MPa)	비 고
1	SM490A	325	155	모재
			110	Grinding
			70	As welded
2	SC450	225	135	모재
			110	Grinding
			70	As welded

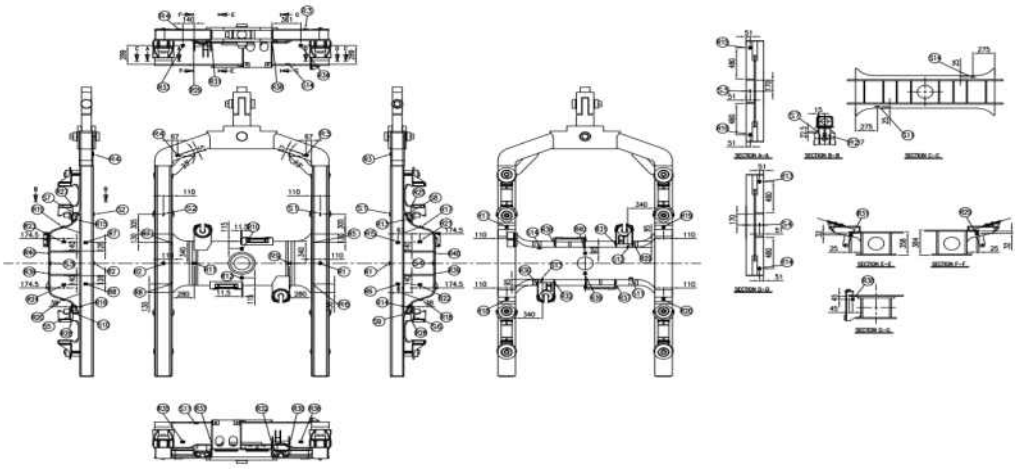
(4) 피로선도



<그림 4-93> 피로선도

다. 스트레인게이지 취부

○ 대차프레임에 단출 스트레인게이지 10개, 3축 스트레인게이지 29개를 설치하였다.



<그림 4-94> 대차프레임 스트레인게이지 설치도

라. 하중시험 결과

(1) 수직하중시험

- CASE 1 : 하중이 센터피봇에 집중된 경우 하중계수는 0.3g를 적용한다.

Fzp = & x Fz = 1.3 x 25,809kg = 33,551kg =328,800N

- CASE 2 : 롤링조건에서 센터피봇과 회전롤러의 2개에 하중이 작용하는 경우로 하중계수는 1.5를 적용한다

Fz1 = & x Fz x & = 1.5 x 25,809kg x 0.3 = 11,614kg = 113,817N

Fzp = & x Fz (1-&) = 1.5 x 25,809kg(1-0.3) = 27,099kg = 265,570N



<그림 4-95> 대차 수직하중 시험 Case 1



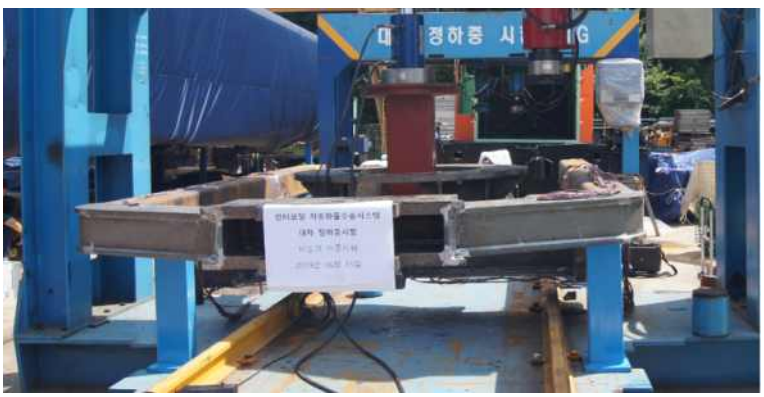
<그림 4-96> 대차 수직하중 시험 Case 2

(2) 비틀림 하중시험

- EN 13749에 의하면 극한하중 조건의 대차 구조체는 1% 궤도 평면성 틀림을 견뎌야 하는 것으로 되어있다. 대각방향 차륜위치에 1% 평면성 틀림에 상당하는 변위 또는 하중을 부가한다.

- 1% 평면성 틀림 궤도상에서의 대각방향 차축 스프링의 변위량은 축간거리 x 평면성 틀림율 x (차축베어링 설치폭/차륜 접촉간거리)=2100 x 1/100 x 1970/1500 = 27.6mm이다. 이를 힘으로 환산하면 Ft=27.6 x 스프링상수(만차조건) = 27.6 x 108.4 = 2,992kg = 29,322kN 이다.

- 비틀림하중 시험 : F_t = 29,322N, 스프링 변형 : 27.6mm

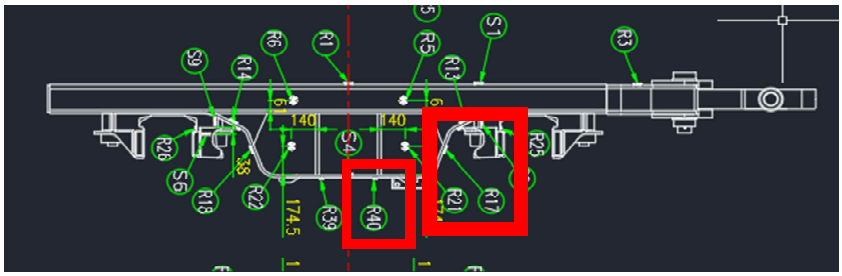


<그림 4-97> 비틀림 하중시험(측상 3지점지지)

(3) 결과요약

<표 4-23> 대차의 하중시험 결과

No.	하중조건	최대 strain (Unit : &m/m)	위치 (Strain Gauge No. 2차년도 별권 보고서 319p 참조)
1	수직하중 & Case 1	225.38	R17-Y(사이드프레임 변곡부위)
2	수직하중 & Case 2	243.03	R17-Y(사이드프레임 변곡부위)
3	비틀림하중	548.8	R40-X(사이드프레임 중앙하부)



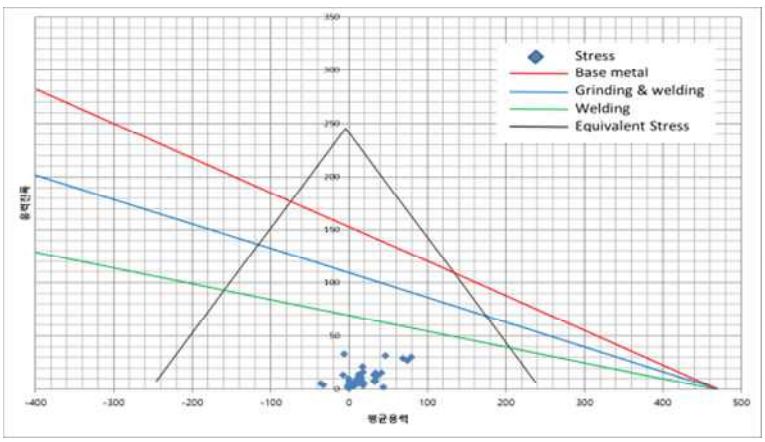
<그림 4-98> 운송대차 골조 스트레인게이지 설치도



<그림 4-99> 최대 하중 Point S/G 설치 위치 (R17 &R40)

(4) 피로내구선도

- 평균응력과 응력진폭을 기준으로 작성한 피로내구선도는 아래와 같다. X축은 평균응력, Y축은 응력진폭이며 조합한 결과는 피로내구선도 상의 위치에 따라 안전성을 판정할 수 있다. 모든 계측점들은 피로내구선도 이하에 놓여 내구한도의 안전영역에 있어 대차의 강도는 안전한 것으로 판단된다.



<그림 4-100> 대차 응력값과 피로내구선도

제5절. 대차용 동력전달장치 메커니즘 기술개발

1. 유도전동기 설계 사양

○ 인터모달 자동화물수송시스템의 차량을 주행하기 위해 설비되는 추진시스템은 철도차량에서 사용하고 있는 대차프레임에 설치되는 장가형 유도전동기(Induction Motor)를 채용하였다.

○ 차량 추진용 유도전동기를 대차에 설치 시에는 유도전동기에서 발생하는 추력과 수직력을 충분히 견디는 강도구조의 대차프레임 설계 및 제작하였다.

- 전동기 형식 : 장가형 농형유도전동기
- 토크 : 475kN.m/대 이상
- 출력 : 368kW/량(92kW/대)
- 수량 : 2대/대차
- 크기(mm) : L719 x W750 x H643
- 중량 : 약 650kg/대

2. 동력전달장치 개발개념

○ 인터모달 자동화물수송시스템의 차량을 주행하기 위해 설비되는 유도전동기는 대차프레임에 설치하여야 한다.

○ 유도전동기는 대당 추진력 8.25kN과 토오크 475Nm가 발생되므로, 유도전동기 설치 메커니즘 개발개념에 중요한 포인트이다.

○ 아울러 대차의 차륜은 주행거리에 따라 마모 등으로 인하여 차륜경은 주기적으로 삭정을 하여 사용하므로 최대 40mm 정도의 높이 변화 시에도 감속기에 원활히 동력을 전달하는 구조로 설치하여야 한다.

○ 유도전동기의 설치 브라켓트는 대차프레임의 트랜섬에 전후에 각각 1개씩 2개를 설치하므로 주행 중 발생하는 진동에 의한 하중변동에 따라 응력집중이 일어나지 않도록 설계하여야 한다.

○ 주요 동력전달장치 개발개념은 아래와 같이 정의하였다.

- 운송대차 프레임의 트랜섬을 이용하여 전동기 브라켓트 설치
- 축상의 진동, 곡선 등 주행 시 차축의 위치 변화에 대응하는 메커니즘 구축
- 유도전동기의 하중과 추력과 토크에 견디는 충분한 강도 구조
- 대차에 경량구조의 전동기 설치 메커니즘 구현

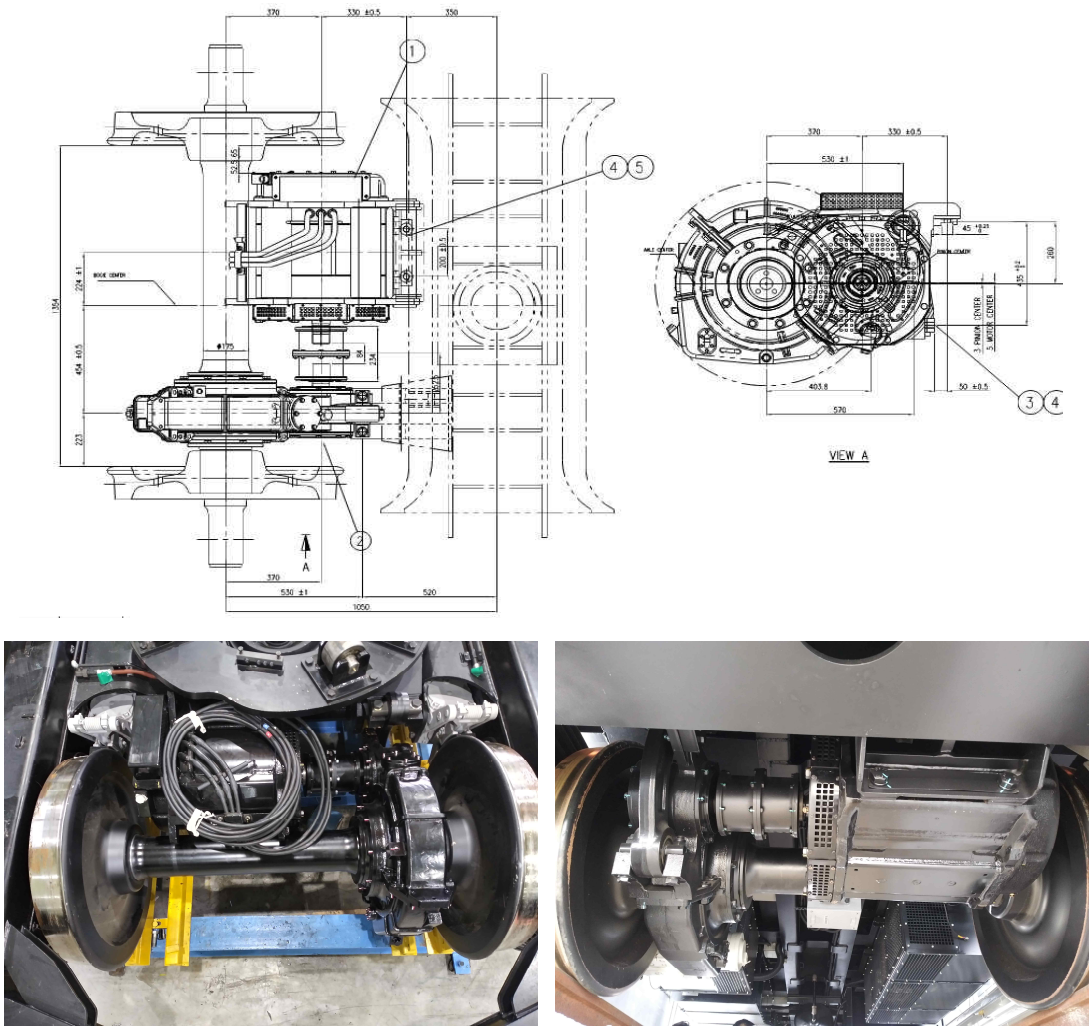
3. 설계 및 제작

가. 개요

○ 아래 그림에 동력전달장치 개발개념을 기본으로 하여 설치 설계 및 제작을 하였다..

○ 기존철도차량의 동력전달장치 설치 방식과 동일하게 대차프레임 트랜섬의 전후에 전동기 브라켓트를 설치하여 볼트로 고정하고, 감속기는 차축에 설치하여 후렉시불카플링으로 전동기와 연결하여 좌우상하 진동과 변위에 대응하도록 설계하였다.

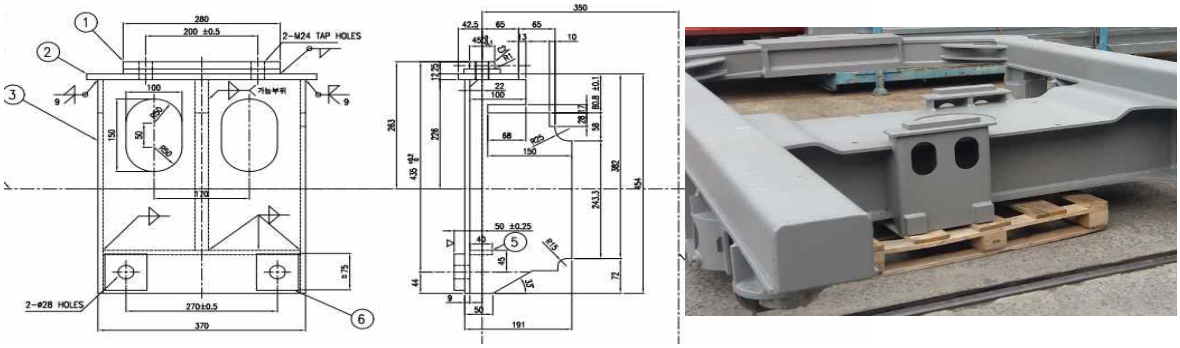
○ 감속기와 대차프레임 사이에 방진고무를 설치하여 차축의 회전변위에 대해 감속기가 유연하게 대응하도록 함으로서 감속기에 큰 동력이 차축에 전달되도록 설계하였다.



<그림 4-101> 동력전달장치 메카니즘 조립도 및 제작품

나. 전동기 브라켓트 설계 및 제작

○ 전동기 브라켓트는 아래 그림과 같이 철도차량에서 사용하고 있는 같은 형식으로 하고, 추력과 토크에 견디는 경량구조로 설계 및 제작하였다.



<그림 4-102> 유도전동기 취부 브라켓트 및 제작품

제6절. 대차 완충장치 및 휠 어셈블리 기술개발

1. 개발개념

○ 인터모달 자동화물수송시스템의 차량시스템에 설비되는 대차의 완충장치 및 휠 어셈블리(Wheel Assembly)는 전용선로에서 최고운영속도 40km/h의 주행과 천이구간과 정거장 구간에서 차량이 원만하게 회전정렬 되어 6km/h 이하의 주행속도로 안전하게 주행하도록 속도를 정의하였다.

○ 회전정렬 대차에 상하 및 전후 진동에 대해 완충작용을 위하여 철도화차의 완충장치와 같은 형식으로 차축 좌우에 코일스프링 완충장치를 설비하여, 주행 중 발생하는 각종 진동을 감쇄 하도록 하였다.

○ 인터모달 자동화물수송시스템의 본선 구간에서 최고운행속도 40km/h로 주행 시 차량이 좌우방향의 횡 진동이 발생되며, 이 횡 진동에 대하여 적정한 복원력을 주기 위하여 레일과 차륜의 접촉부 차륜답면을 1/20 정도의 구배를 주어 제작함으로서 본선 직선 구간의 주행성능을 철도차량과 같은 수준으로 운행하도록 하였다.

○ 레일형상과 차륜답면 윤곽은 철도와 철도차량에서 사용되는 레일형상과 차륜답면 윤곽과 동일하게 사용함으로서 직선 및 곡선에서 레일과 차륜 간의 마찰, 이탈, 탈선, 전복, 진동, 횡압 등의 인터페이스를 기존철도의 설계기준을 적용하여 기술개발을 수행하도록 하였다.

○ 회전정렬형 대차 완충장치 및 휠 어셈블리는 아래와 같은 내용으로 개발개념을 수행하였다.

- 궤간은 철도의 표준궤간 1,435mm로 한다.
- 1차 코일스프링 완충장치로 한다.
- 레일은 철도에서 사용 중인 ISO 50kg/m 급 레일과 형상을 사용한다.
- 차륜과 답면형상은 철도차량에서 사용하는 윤곽을 적용한다.
- 차륜은 직경 860mm을 사용한다.
- 차축 및 베어링은 D Class의 RCT로 한다.
- 탈선, 전복, 횡력 등의 안전기준은 철도기준에 따른다.

2. 설계 및 제작

가. 개요

○ 인터모달 자동화물수송시스템의 사용되는 대차의 휠 어셈블리(Wheel Assembly)는 철도에서 사용하는 50kg/m급 레일과 형상, 철도차량에서 사용하는 휠(Wheel)과 답면형상(Tread Profile)을 사용하였다.

○ 궤간은 철도에서 사용하는 표준궤간 1,435mm를 사용하고, 차축베어링은 화차의 D

급 RCT를 적용하였으며, 차륜의 직경은 860mm를 적용하였다.

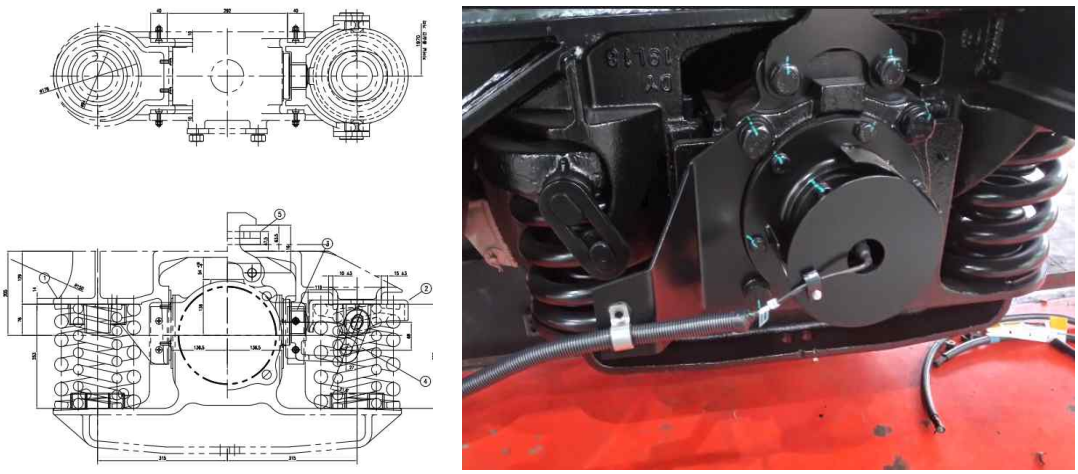
○ 차량의 주행 중 안전, 전복, 탈선, 진동, 횡압 등은 철도기준에 따른다.

○ 회전정렬 대차 완충장치는 철도화차에 사용되는 완충장치와 같은 형식을 사용하여, 축상에 코일스프링 방식 완충장치를 채용하였다.

나. 대차 완충장치 설계 및 제작

○ 회전정렬 대차의 상하 및 전후 진동에 대한 완충작용을 위하여 축상에 철도화차의 코일스프링방식 완충장치를 설비하여, 주행 중 발생하는 각종 진동을 감쇄 하도록 하였다.

○ 대차 축상에 수직하중 9톤 이상에 견디는 축상 완충장치를 설계하였다.

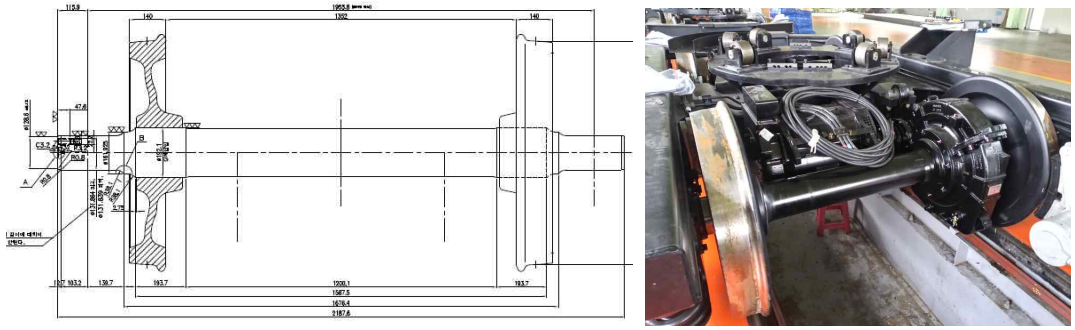


<그림 4-103> 축상 완충장치 조립도 및 제작품

다. 대차 휠 어셈블리 설계 및 제작

○ 인터모달 자동화물수송시스템에 적용하게 대차용 차축과 휠 조립도, 축상조립도, 센터피봇 조립도, 1차 현수장치 조립도 등이 아래 그림에 나타나 있다. 또한 차륜답면 상세도 도시되어 있다. 이것은 철도차량의 차축 및 차륜과 동일하게 사용하였다.

○ 차축과 차륜은 철도차량과 동일한 형상을 사용함으로서 레일과 차륜의 인터페이스는 문제없이 적용이 가능하도록 설계 및 제작하였다.



<그림 4-104> 대차 휠 어셈블리 조립도 및 제작품

제7절. 대차-연결용 고장력 호이스트 기술개발

1. 개요

○ 인터모달 자동화물수송시스템에 운용되는 차량시스템의 단부에는 회전정렬 연결 호이스트를 설치하여, 차량이 주행 중이거나, 정거장 진·출입 시 천이구간과 정거장에서 차량이 70도정도 회전시에도 궤도이탈이나 탈선 없이 안전하게 주행하여야 한다.

○ 차량이 주행 중인 상하진동이나, 운송대차의 교환, 차륜의 삭정 등으로 차량이 상하방향으로 단차가 발생을 대비하여 회전이 가능해야 한다.

○ 아울러 주행차량의 속도차이 또는 제동 감속도 차로 인하여 발생하는 압축력에 충분한 강도와 강성을 갖춰야 한다.

2. 차량용 연결장치 사례 조사

가. 개요

○ 인터모달 자동화물수송시스템의 대차-회전정렬 연결용 호이스트 기술개발을 위하여 항공기, 소형 트렉터, 캠핑카, 트랙터, 코끼리 열차, 노웨이트 트랜짓 시스템 등에 대하여 연결기장치 적용 사례를 조사하였다.

○ 인터모달 차량시스템의 회전정렬 연결기용 호이스트의 개발개념을 위하여 연결방식, 적용차량, 등에 대하여 조사를 수행하였다.

나. 적용사례 조사 내용

(1) 항공기 연결기

○ 항공기는 자체적으로 후진하는 동력이 없다. 항공기에 승객이 탑승이나 하차가 완료되면 지정장소로 이동하기 위해 전용트랙터와 항공기 후부에 견인봉을 연결하여 후진으로 끌어 항공기를 진행방향으로 전환시킨다. 항공기가 진행방향으로 전환이 완료되면, 연결봉을 해체하고, 항공기는 제트엔진을 발진시켜 활주로 등으로 이동한다.

○ 항공기 연결기 길이는 7~8m 정도이며, 연결기의 처짐을 방지하게 위해 중아에 바퀴가 설치되어 있다.



<그림 4-105> 항공기 연결기



<그림 4-106> 코끼리 열차 연결기

(2) 놀이공원 코끼리열차 연결기

○ 놀이공원에서 운용하고 있는 코끼리 열차는 차량을 6~8량 정도 연결하여 전부에 운전동차에 의해 운영하고 있다. 운전동차는 일부 배터리 동력으로 모터를 구동하여 이용하거나 디젤엔진을 사용하고 있다.

○ 연결기는 차량이 고무차륜으로 되어 있고, 노면이 울퉁불퉁하여 연결기는 상하 및 좌우 방향의 진동에 적응하도록 되어있다.

(3) 소형트랙터 연결기

○ 소형트렉터는 농촌이나, 리조트 등에서 농기구나, 소형물건을 이동하는데 사용되며, 연결기 방식은 트랙터에 고정된 연결기를 구동차에 연결하여 좌우방향에 회전이 가능하도록 되어 있다. 작은 변위에 상하진동에는 운행이 가능하나 큰 변위가 있는 지역에서는 운용하기 어렵다.



<그림 4-107> 소형트랙터 연결기



<그림 4-108> 캠핑카 연결기

(4) 캠핑카 연결기

○ 자동차 캠핑카 연결기는 포장도로나 비포장도로에서 사용이 가능하도록 좌우방향 회전과 상하방향의 진동에 적합하도록 전용연결기를 설비하여 운영하고 있다.

○ 차량회사나 차종에 따라 연결방식의 차이가 있지만, 기본적으로 캠핑카에 고정된 연결기구를 설치한다. 자동차와 연결하는 부분은 상하진동, 좌우회전이 가능하고, 연결기 결합 및 해체가 용이하도록 되어 있으며, 일부 연결기는 약간의 전후충격에 견디는 완충스프링장치를 장착하고 있다.

(5) 트랙터 연결기

○ 트랙터는 농장, 과수원, 공장 등에서 이동물건을 차량에 적차 하고 자동차나 트랙터에 의해 지정된 장소로 이동하는 목적으로 사용된다.

○ 연결기는 트랙터에 설치되어 있으며, 연결과 해체가 용이하도록 되어 있고, 전후충격을 위한 완충장치는 설치되어 있지 않다.

(6) 노웨이트 트랜짓 연결기

○ 노웨이트 트랜짓(No Wait Transit)는 20세기 초에 고다드와 바틀렛이 무한궤도에서 차량이 정차하지 않고 주행하는 교통시스템을 고안되었다.

○ 2006년에 스웨덴 Botnia Production AB사와 함께 양산시에 노웨이트 트랜짓(No Wait Transit)을 건설하겠다는 계획을 발표하면서 알려졌다.

○ 노웨이트 트랜짓은 정거장 진입 시에 접혀졌다가 정거장을 통과하고 나면 다시 철도차량과 같이 일직선 연결되어 주행하도록 되어 있고, 20량의 차량이 모두 일체로 연결되어 있어 정거장에서는 정차하지 않고, 주행하게 되어 있다. 본선에서는 30~40km/h로 주행하고 정거장에서는 0.6km/h로 주행하도록 되어 있다. 열차편성은 20량 기준이고, 차량의 크기는 길이 6m, 폭 1.4m 정도이며, 차량 당 승객은 12~16명 정도 탑승이 가능하고, 추진동력은 LIM(선형유도전동기)을 사용하고 있다. 정거장 길이를 28m 정도 기존의 것보다 대폭 축소되었다.



<그림 4-109> 트랙터 연결기



<그림 4-110> 노웨이트 트랜짓 연결기

다. 검토 내용

○ 각종 항공기, 트랙터, 캠핑카, 노웨이트 트랜짓 시스템 등의 연결기를 조사한 결과 노웨이트 트랜짓 시스템과 같이 운송대차에 연결기를 설치하여 주행하는 하는 것이 천이구간과 정거장 주행하는 것이 안전에 유리할 것으로 판단된다. 속도가 낮은 트랙터, 항공기, 코끼리 열차 등에는 충격완충장치가 없으나, 속도가 빠른 캠핑카에는 완충장치가 설치되어 있어 고려할 사항이다.

3. 대차-연결용 호이스트 설계 및 제작

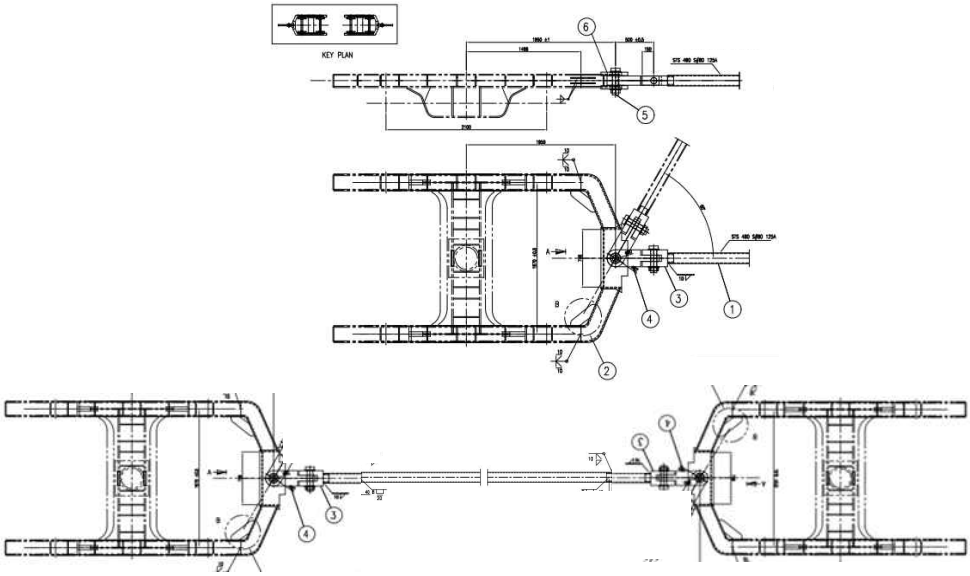
가. 설계 및 제작

(1) 개요

- 인터모달 차량시스템을 천이구간 및 정거장에서 회전정렬 하여 차량이 접히는 방식으로 주행하기 위해서 대차 연결용 호이스트를 기술개발을 수행 하여야 한다.
- 본 연구에서는 대차 연결용 호이스트 설계를 위하여 앞항의 천이구간 및 정거장 구간에서 열차 주행거동을 분석하여 대차 연결용 호이스트 개발개념을 정의하였다.
- 또한 노웨이트 트랜짓시스템의 대차 연결장치, 항공기 후진 견인봉, 자동차용 캠핑카 연결장치 , 소형트랙터 견인장치, 코끼리 열차 연결기 등에 조사된 자료를 토대로 대차 연결용 호이스트 설계를 아래와 같이 수행하였다.
- 대차 연결용 호이스트 설계는 대차 사이프레임 전면에 연결장치를 설치하고, 차량시스템의 회전정렬이 잘 되도록 좌우회전이 가능하고, 상하진동, 차륜의 삭정 등을 고려하여 상하이동이 가능한 대차 연결용 호이스트를 기술개발 하였다.
- 앞항의 호이스트 횡압 흡수구조에서 검토와 같이 차량의 전후방향에 압축력, 충격력을 감쇠할 수 있도록 완충댐퍼를 호이스트에 설비하는 방안을 계속 연구할 것이다.

(2) 설계 및 제작

- 열차가 천이구간 및 정거장에서 회정정렬 주행하기 위해서는 앞에 차량용 연결장치 사례조사 및 검토와 같이 대차 연결용 호이스트에 대해 기술개발을 수행하였다.
- 인터모달 차량시스템을 위한 대차 연결용 호이스트 설계 및 제작은 아래와 같이 수행하였다.
- 아래 그림에 대차 연결용 호이스트가 도시되어 있다. 연결기장치는 대차의 사이프레임을 연장하여 C형 프레임을 설치하였으며, 중앙에 힌지를 설치하여 호이스트를 설치할 수 있도록 하였다.
- 호이스트는 차량이 회전정렬을 위하 좌우로 회전이 가능하도록 좌우방향으로 60도 정도의 회전이 가능하도록 하였고, 차량이 상하진동, 차륜 마모에 따른 삭정 등을 대비해 상하방향으로 이동이 가능하도록 하였다.
- 차량이 주행 중에 제동, 속도차로 인한 전후방향에 압축하중, 충돌력 등에 견디도록 연결용 프레임, 중앙 호이스트 연결부 등에 압축하중 15톤에 견디도록 설계하였다. 한편 호이스트 바 길이가 11.2m로 길어서 좌굴하중 15톤에 견디는 구조로 설계 및 제작하였다.
- 호이스트는 좌우상하 방향에 변위에 대응하도록 설계하였고, 호이스트 바는 고압배관용 파이프 STS 480 S#80 125A를 사용하였다.



<그림 4-111> 대차 연결용 호이스트 및 호이스트 바 설계도

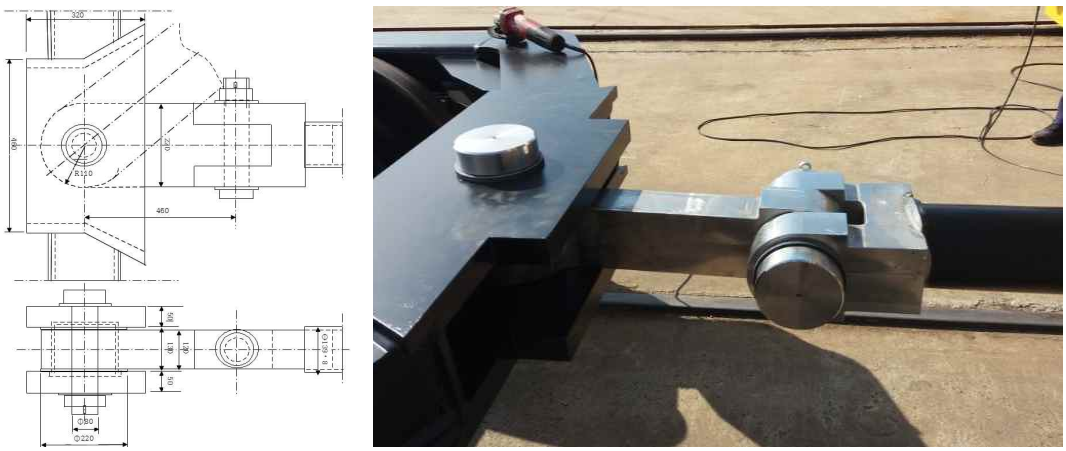


<그림 4-112> 대차 연결용 호이스트 및 호이스트 바 시작품

(3) 인터모달 차량시스템 강도계산서

(가) 호이스트 연결부의 제원

- 연결핀(d1) = Φ80mm, 포크 지름(d2) = Φ220mm
- 아이두께(a) = 120mm, 포크 두께(b=50mm), 바 직경(d) = Φ139.8mm
- 연결장치 압축하중 : 150kN(15,000kg)



<그림 4-113> 연결 호이스트 링크 조립도 및 제작품

(나) 호이스트 바

- 바 제원

· 재료규격 : 고압배관용 탄소강관 : STS 480, S#80 125A

· 제원 : 외경(d1) : 139.8mm, 내경(d2) : 120.8mm, 두께 9.5mm

· 허용인장강도 : 480N/mm^2

- 바의 인장응력 및 좌굴

· 인장응력

$$\sigma_t = \frac{4P}{\pi d^2} = \frac{4 \times 490{,}000}{\pi \times (139.8^2 - 120.8^2)} = 126 N/mm^2 < 480\text{N/mm}^2 \text{ OK}$$

· 좌굴하중

$$I = \frac{\pi(d_2^4 - d_1^4)}{64} = \frac{3.14(139.8^4 - 12.08^4)}{64} = 8{,}292{,}757 m^4$$

$$A = \frac{\pi(d_2^2 - d_1^2)}{4} = \frac{3.14 \times (139.8^2 - 120.8^2)}{4} = 3{,}886.8 mm^2$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{8{,}292{,}757}{3{,}886.8}} = 46.2 mm$$

$$\lambda = \frac{l}{k} = \frac{11{,}176}{46.2} = 242$$

* 양단회전 : n=1

* 경강의 세장비 범위 : $85\sqrt{n} = 85\sqrt{1} = 85$

* 오일러의 공식을 사용하여 좌굴하중을 구한다.

$$W_B = \frac{n\pi^2 EI}{l^2} = \frac{1 \times 3.14^2 \times (2.1 \times 10^4) \times 9.8 \times 8{,}292{,}757}{11{,}176^2}$$

$$= \frac{1.682^{13}}{124{,}902{,}976} = 134{,}719.6 N(13.75톤)$$

* 호이스트 바의 좌굴하중은 중량을 고려하여 125A를 적용한다.

* 충돌가속도는 $F = m \times a$ 에서

$$a = \frac{W_B}{m_G} = \frac{W_B}{\frac{W_G}{N}} \frac{N \bullet W_B}{W_G} = \frac{9.8 \times 13{,}471}{60{,}000} = 2.2 m/s^2$$

* 여기서 : W_B : 좌굴하중(13.75톤)

W_G : 차량 만차하중(60톤)

* 충돌가속도는 1량의 경우는 2.2m/s^2, 10량은 0.22m/s^2, 20량은 0.11m/s^{2}으로 제어되어야 한다.

- 배관 규격별 좌굴하중 비교

<표 4-24> 배관 사이즈별 좌굴하중 비교표

규격	외경	두께	좌굴하중	단중(kg/m)	연결기중량(kg)
80A	89.1	7.6	2.7톤	15.3	171
100A	114.3	8.6	6.6톤	22.4	250
125A	139.8	9.5	13.7톤	30.5	341
150A	165.2	11.0	26.4톤	41.9	468
200A	216.3	8.2	48.2톤	42.1	471

(다) 호이스트 바 핀

- 재료규격
  · 재료 : 기계구조용강 SC45C
  · 핀 지름(d) : 80mm
  · 수평하중(P) : 150,000N
  · 단면계수(Z=πd3/32) : 98,125mm^3
  · 칫수 : d1 = Φ80mm, d2 = Φ220mm
  a = 120mm, b=50mm, d = Φ89.1mm
  · 허용응력 : 343N/mm^2
  · 인장강도 : 568N/mm^2
- 핀의 전단하중

$$\tau = \frac{4P}{2\pi d_1^2} = \frac{4\times 490{,}000}{2\times 3.14\times 80^2} = 48.7N/mm^2 < 343\text{N/mm}^2$$

- 핀의 접촉 면압

$$q_a = \frac{P}{d_1\times a} = \frac{490{,}000}{80\times 120} = 51.0N/mm^2 < 343\text{N/mm}^2$$

- 핀의 굽힘응력

$$\begin{aligned} M_b &= \frac{P}{2}\left(\frac{1}{2}a+\frac{1}{3}b\right)-\frac{1}{4}a \\ &= \frac{P}{2}\left(\frac{a}{4}+\frac{b}{3}\right) \\ &= \frac{P}{24}(3a+4b) \\ &= \frac{490{,}000}{24}(3\times 120+4\times 50) = 11{,}433{,}333Nmm \end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z} = \frac{M_b}{\frac{\pi d_1^3}{32}} = \frac{32M_b}{\pi d_1^3} = \frac{32\times 11{,}433{,}333}{3.14\times 80^3} = 227.5N/mm^2 < 343N/mm^2$$

4. 대차-연결용 호이스트 기술개발 적합성 검토

가. 개요

○ 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영되는 차량시스템은 기본편성으로 10량으로 열차편성을 수행하고 있다.

○ 열차가 정거장에 횡방향으로 회전정렬하여 정차함으로서 컨테이너 트레일러 샤시의 용이한 상하역 작업을 수행할 수 있고, 정거장 길이가 작아지는 장점 등이 있다.

○ 인터모달 차량시스템의 자체적인 동력시스템을 갖추고 있어, 철도화물열차에 견인용으로 운영되고 있는 기관차를 연결하지 않고, 인터모달 열차는 독자적으로 운행하는 이점이 있다.

○ 인터모달 열차는 본선에서는 철도와 같이 일렬로 주행하지만, 정거장에서 횡방향으로 정차하기 위하여 정거장 진출입시에는 차량시스템이 선로가 변환하는 천이구간을 통과하면서 레일의 유도에 따라 차량시스템이 횡방향으로 전환하게 되어 있다.

○ 차량시스템이 천이구간/정거장에서 횡방향으로 전환하면서 대차에 작용되는 횡력은 커진다. 앞항의 천이구간/정거장 구간의 주행거동 및 안전성에서 검토된 바와 같이 추진장치 고장이나 제동이 1량에 체결되면 큰 횡력이 발생되는 것으로 검토되었다.

○ 차량을 정거장에서 70도 경사로 정차시키기 위해서는 호이스트 바의 길이가 11.2m 정도 길어져 큰 좌굴하중을 받아 호이스트 바의 직경이 커져 중량이 증가한다.

나. 대차-연결용 호이스트 설치 적합성 검토

(1) 대차-연결용 호이스트 설치의 장단점

(가) 장점

- 인터모달 전용노선에서 열차 단위로 운영되어 종합사령실의 제어/통제가 용이하다.
- 열차단위로 제어시스템, 통신네트워크를 구축할 수 있어 열차/차량제어가 용이하다.
- 정거장에서 트레일러가 차량에 상하차가 용이하고 시간이 절감된다.
- 정거장에서 차량을 70도 경사시켜 정차해 정거장 길이가 짧아 인프라 투자비 작다.
- 본선에서 차량이 고장 시는 이동이 가능하다.(천이구간/정거장 구간은 구원 필요)

(나) 단점

- 천이구간/정거장에서 주행시 22~40kN 정도(철도차량은 20kN 이하)의 횡력을 받는다. 특히 열차 중 1량 또는 1개 대차가 제동체결시 80~200kN 횡력이 발생한다.
- 천이구간/정거장에서 주행 시 차량이 대차-연결용 호이스트 바로 연결되어 가속/감소도의 차이 발생 시 차량 간의 충격력이 발생된다.
- 대차-연결용 호이스트 바 길이가 약 11.2m로 길어서 차량과 차량사이의 간Φ격이

약 25.3m 길어 열차길이가 길어(10량의 경우 253m)진다.

- 주행 중 제동감속 시에 대차 연결용 호이스트 및 호이스트 바에 압축력이 10량의 경우는 약 34톤, 20량의 경우 68톤이 작용되며, 대차 연결용 호이스트 바의 길이는 11.2m로 길다. 따라서 호이스트 바의 중량은 10량을 연결시 강관 200A(Φ216.3mm)를 사용할 경우는 715kg, 20량의 경우 강관 250A(Φ267.4mm)를 사용할 경우는 1,052kg 정도로 커진다.

다. 검토 내용

○ 인터모달 차량시스템은 대차-연결용 호이스트 바로 연결되어 열차 단위로 운행시 천이구간과 정거장에서 회전정렬 되고, 운영관련 제어/통제가 용이한 장점이 있다.

○ 인터모달 차량은 중량이 34톤(공차)에서 65톤(만차) 사이의 중량이 서로 다르게 적재되어 운행할 수 있으며, 천이구간과 정거장에서 차량간 가속도와 감속도에 차이로 차량간 충격력이 발생한다. 차량의 추진제어시스템은 정밀제어가 필요하다.

○ 대차-연결용 호이스트 바의 길이는 정거장에서 차량을 70도로 경사지게 정차시 11.2m 정도 필요하다. 10량 및 20량 열차의 경우 압축력이 34톤 및 38톤이 발생하여, 좌굴하중에 견디기 위해서는 직경 216.3mm(715kg)의 압력용 강관이 필요하고, 20량의 경우는 직경 267.4mm(1,052kg) 압력용 강관이 필요한 것으로 검토되었다. 그러므로 상업용 운송차량을 제작 시에는 상세한 검토를 통해 연결 호이스트 바를 적절하게 제작하여 설치하여야 한다.

제8절. 회전정렬 대차 집전장치 기술개발

1. 집전장치 개발개념

○ 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영되는 차량시스템은 제3궤조로부터 DC750V의 전원공급 받아, 각 대차에 설비된 2대의 유도전동기, 량당 총 4대의 유도전동기를 구동하여 주행하도록 한다.

○ 집전장치는 차량의 1개 대차당 1개씩 설치함으로서 집전장치의 고장 등에 사용할 수 있도록 신뢰성을 갖추도록 하였다.

- 전원공급방식 : 제3궤조 형식
- 공급전원 : DC750V
- 집전장치 개수 : 2셋/량(대차 당 1셋)

2. 대차 집전장치 설계 및 제품조립

가. 개요

○ 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영되는 차량시스템은 레일 측면에 설비된 제3궤조로부터 DC750V의 전원을 량당 2셋의 집전자로 공급받아 량 당 4대의 유도전동기를 구동하여 주행하도록 하였다.

○ 제3궤조형식의 집전장치는 량당 2셋 대차 당 1셋을 사이드 프레임에 설치하고, 한 대차의 집전장치가 고장, 파손 등이 발생시 즉시 다른 측의 대차의 집전자로 전원을 공급받을 수 있도록 구축함으로서 신뢰성을 향상시켰다.

(1) 제3궤조 설치 방안



<그림 4-114> 제3궤조 설치 조립도 및 시설

○ 그림은 인터모달 자동화물수송시스템의 차량시스템에 전원공급을 위하여 레일 측면에 제3궤조 설치 기본도를 나타낸 것이다.

나. 설계 및 조립

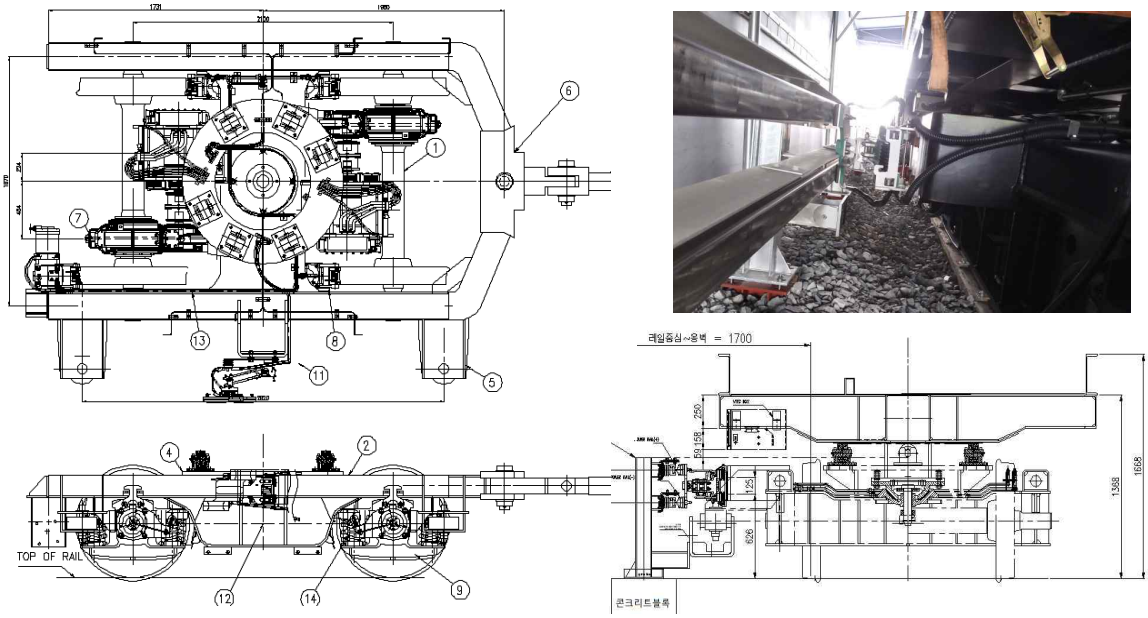
(1) 개요

○ 차량의 전원공급을 위해 집전장치는 회전정렬 대차의 사이프레임에 설치하였다.

○ 차량이 주행시 대차의 상하진동 측방향 진동, 롤링 등에 대해 영향이 없도록 하였다.

(2) 대차에 집전장치 설치 설계 및 조립

○ 다음 그림에는 대차 집전자와 3레일 전원공급장치 설치 기본도가 나타나 있으며, 집전장치는 대차당 1개씩 설비되어 있다.



<그림 4-115> 제3궤조와 집전자 설치 조립도 및 제품조립

제9절. 운송대차 추진시스템 기술개발

1. 개요

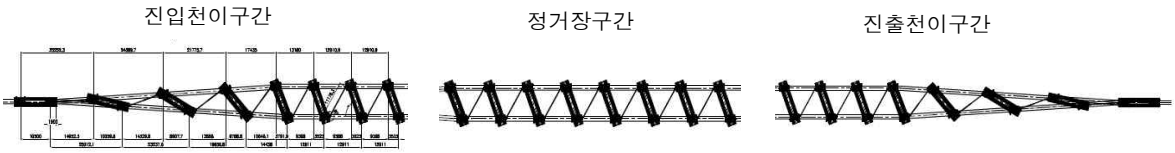
가. 개발방향

○ 기존의 철도화물수송용 화차는 자체적으로 동력이 없는 트레일러 차량으로 되어 있어, 화차를 편성하여 기관차가 견인하여 운용하고 있다.

○ 본 연구에서 추진하고 있는 인터모달 자동화물수송시스템에서 운영되는 열차는 각 차량이 자체적으로 추진동력시스템을 갖추고 있어, 열차를 편성하여 기관차 없이 자체적으로 자동무인운전이 가능하도록 구축하였다.

○ 인터모달 운송차량이 자체동력을 갖춤으로서 열차의 운영이 자유롭고, 신속한 화물수송을 할 수 있는 효과가 있다. 이러한 인터모달 차량시스템에 적합한 추진동력시스템은 성능, 경제성, 신뢰성, 안전성 등을 검토하여 유도전동기를 채용하였다.

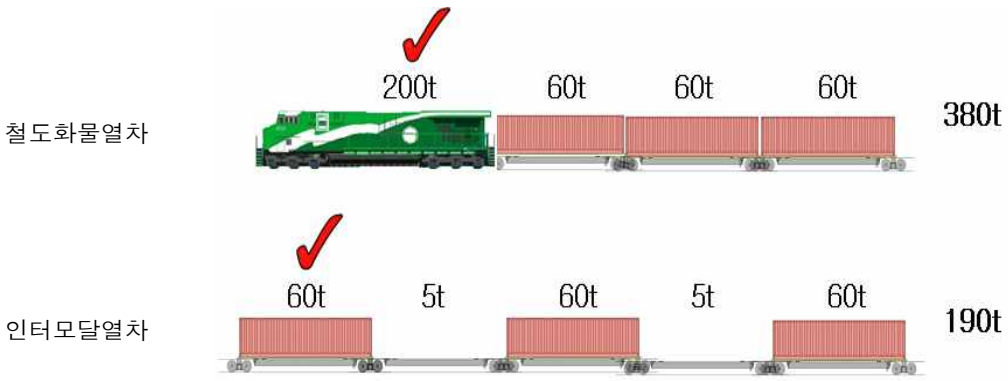
○ 인터모달 운송차량이 천이구간 및 정거장에서 회전정렬함으로 각 차량의 차축은 천이구간에서 속도차가 발생하여 정밀제어가 필요하다. 회전형 유도전동기는 자체적으로 속도센서를 갖추고 있어, 정밀제어가 우수한 장점이 있다.



<그림 4-116> 운송차량의 천이구간 및 정거장 주행거동

나. 인터모달 열차 구성

○ 인터모달 열차는 기관차를 사용하지 않고 유도전동기 추진방식을 채택함으로써 차량당 총중량은 60톤 정도 되어 경량의 인프라구조물 구축이 가능한 장점이 있다. 각 차량에 설치된 유도전동기(Induction Motor)에 의해서 기관차 없이 자체적으로 운송차량이 추진되어 기관차 중량만큼 인프라 구조물의 경량화가 가능하다.



<그림 4-117> 유도전동기 독립추진방식에 따른 하부구조물의 하중 감소

□ 전동기 비용 단가 산출(성신 RST 제공)

· 총전동기 소요량은 320대로 동일 용량에서 회전형전동기와 선형전동기의 비용 산정

· 견인전동기 비용은 선형전동기 0.4억/대, 회전형 전동기 0.35억/대 선정

· 전력변환장치 비용은 선형전동기용 3억/량, 회전형 전동기용 2.5억/량 선정

· 궤도에 설치되는 선형유도전동기의 AL-리액션 플레이트 건설비 : 30만원/m

<표 4-25> 운송차량용 추진시스템별 구성품 단가 비용

구분	세부 항목	LIM 차량	회전형전동기 차량
궤도	노선 길이(단선/복선)	20km	
	km당 구축 비용 (복선)	150억원	130억원
차량	총 차량 수	160 량	
	차량 비용	6억원/량	5.5억원/량
전동기	총 전동기 개수	320 대	
	전동기 비용	4,000만원/대	3,500만원/대
	리액션플레이트 m당비용	30만원	-
	On-Board 제어기 비용	3억원/량	2.5억원/량



<그림 4-118> 선형유도전동기 궤도

(나) 시스템 구축 총비용

· 선형유도전동기 궤도구조도에 나타나 있는 바와 같이 20km 복선 노선을 고려하여 추진방식별 인터모달 자동운송시스템 구축 비용 분석 결과를 아래 표에 정리함

· 회전형 전동기 방식과 LIM 방식의 차량 총 비용 : 880억원/960억원

· 회전형 전동기 방식과 LIM 방식의 견인전동기 총 비용 : 112억원/128억원

· 회전형 전동기 방식과 LIM 방식 모두 1C2M을 가정하면 제어기 총 비용 : 400억원/480억원

· 회전형 전동기 방식과 LIM 방식의 복선 지상고가 궤도 구축 총 비용 : 2,600억원/3,120억원

· 회전형 전동기 방식과 LIM 방식의 전기급전설비 구축 총 비용 : 역사전력설비 비용과 한전변전소로부터 3상 전력을 끌어오기 위한 송전선로 비용은 제외하고, 변

전설비, 전차선로 설비만 고려했을 경우 396억원/668억원

· 신호 및 통신설비 비용은 두 모델 모두 공통적인 부분이므로 동일 비용 소요

  * 차량용 무선통신 안테나 비용 : 0.02억원/대 × 160량 = 3.2억원
  * 관제장치 비용 : 25억원/개소 × 1개소 = 25억원
  * 차상신호장치 비용 : 0.5억원/대 × 160량 = 80억원
  * 기타 관로, 케이블, 접지, 전원 및 광통신망 비용 : 5억원/식 = 5억원
  * 관제 및 신호설비 총 비용 : 113.2억원

· 회전형 전동기 방식과 LIM 방식의 인터모달 자동운송시스템 구축 총 비용 : 각각 4,501.2억원/5,469.2억원으로 회전형 전동기 방식의 자동운송시스템 구축 비용이 968억원 저렴함

<표 4-26> 인터모달 운송차량용 추진시스템별 구축비용 분석 결과(단위 : 억원)

	회전형 전동기 방식			LIM 방식		
차량 비용	편성당차량 수	20	5.5억원/대	편성당 차량 수	20	6억원/대
	편성 수	8		편성 수	8	
	총 차량 수	160		총 차량 수	160	
	차량 총비용	880		차량 총비용	960	
차량용 추진시스템 (견인 전동기)	차량당 전동기 개수	2	0.35억원/대	차량당 전동기 개수	2	0.4억원/대
	전동기 총 개수	320		전동기 총 개수	320	
	전동기 총 비용	112		전동기 총 비용	128	
차량용 추진시스템 (제어기)	차량당 제어기 개수	1	2.5억원/대	차량당 제어기 개수	1	3억원/대
	제어기 총 개수	160		제어기 총 개수	160	
	제어기 총 비용	400		제어기 총 비용	480	
궤도 (복선 지상고가)	고가궤도	130	130억원/km	고가궤도	150	156억원/ km 리액션플레이트 30만원/m
				리액션플레이트(복선고려)(On-board)	6	
	궤도길이(km)	20		궤도길이(km)	20	
	궤도 총비용	2,600		궤도 총비용	3,120	
전기급전설비	전력설비	제외	역사 설비 제외	전력설비	제외	역사 설비 제외
	송전선로	제외	변전소 부지 정보無(한전변전소와 대상시스템 변전소간)	송전선로	제외	
	변전설비	136	6.8억원/km(40km 환산법 적용, 변전소 1개)	변전설비	408	회전형방식 대비변전소 용량 4배증설 필요
	전차선로	260	13억원/ km (강체가선 방식 적용)	전차선로	260	동일전류 정격 적용가능
	급전설비 총 비용	396		급전설비 총 비용	668	
관제 및 신호/통신	차량용 무선 통신 안테나	3.2	0.02억원/대	차량용 무선통신 안테나	3.2	0.02억원/대
	관제장치	25	25억원/개소	관제장치	25	25억원/개소
	차상신호장치	80	0.5억원/대	차상신호장치	80	0.5억원/대
	기타 관로, 케이블, 접지, 전원 및 광통신망	5	5억원/식	기타관로, 케이블, 접지, 전원 및 광통신망	5	5억원/식
	관제/신호 총 비용	113.2		관제/신호 총 비용	113.2	
건설 총 비용		4,501.2 억원			5,469.2 억원	

(2) 추진방식별 인터모달 자동운송시스템 운영비용 분석

(가) 운영가정조건

· 인터모달 자동운송시스템의 운영(안)은 아래 표와 같으며, 20km 복선 노선에서 일 80회 운영

· 추진방식에 따른 인터모달 자동운송시스템의 운영비용 중 에너지 비용 분석을 위하여 다음의 조건을 수립

* 노선 길이 : 20km
* 가속구간과 감속구간은 등가감속운동으로 가정
* 최고속도 60km/h 도달 후 타행구간은 없으며, 60km/h 등속운동으로 가정

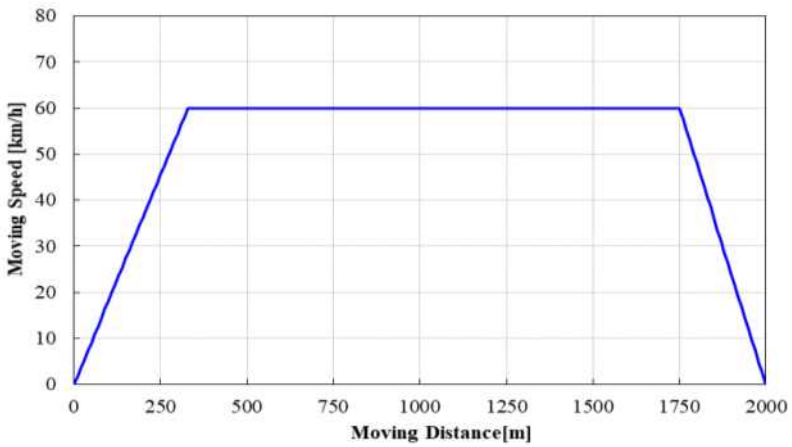
<표 4-27> 인터모달 운송차량시스템 운영

항 목	값
차량 운행 시격	15분
일 운영 시간	20시간(04:00~24:00)
차량 일 운행 회수	80회/일
운영 가감속도	가속도 1.5km/h/s , 감속도 2.0km/h/s
운영속도(표정속도)	40km/h
설계속도	60km/h

· 인터모달 자동운송시스템의 주행패턴 정보를 다음 표에 정리하였으며, 차량의 편도 운행 패턴(안)을 아래 그림에 나타내었음

*인터모달 자동운송시스템의 20km 노선 편도 운행 시간은 1,235초 (20분 35초)가 소요됨

*가속거리는 333m, 정속구간 거리는 19,417m, 감속거리는 250m 임



<그림 4-119> 인터모달 운송차량 운행 패턴

<표 4-28> 인터모달 운송차량 에너지 비용 분석을 위한 주행 패턴 정보

항 목	값	단 위
최고 운행 속도	60	km/h
운행 가속도	0.417	m/s2
운행 감속도	-0.556	m/s²
가속구간 운행 시간	40	sec
가속구간 운행 거리	333	m
정속구간(60km/h) 운행 시간	1,165	sec
정속구간(60km/h) 운행 거리	19,417	m
감속구간 운행 시간	30	sec
감속구간 운행 거리	250.0	m
총 운행 시간	1,235(20분 35초)	sec
총 운행 거리	20,000	m

(나) TPS(Train Performance Simulation)을 통한 분석

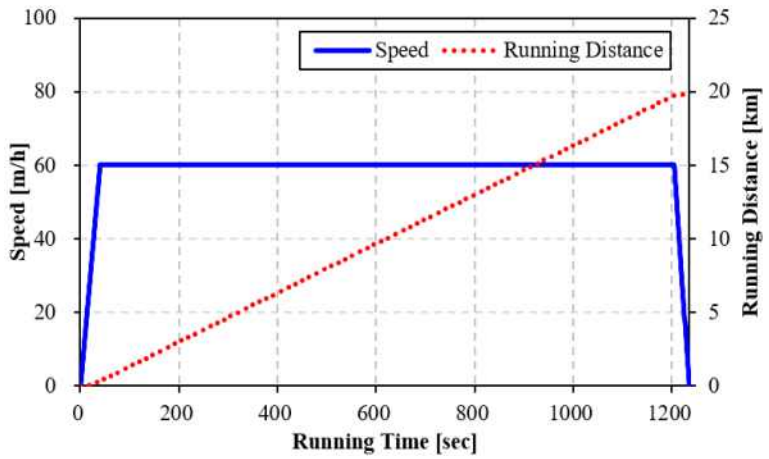
· TPS(Train Performance Simulation)를 이용하여 인터모달 자동운송시스템의 주행에 따른 에너지 비용 분석을 수행함

· 20량 1편성 인터모달 자동운송시스템의 구배(0 ‰~30 ‰)에 따른 주행저항 및 요구 견인력/회생제동력 특성 곡선 도출

* 주행저항 식 : R = 1.867 + 0.0359V + 0.000745V*V (전동차 식 차용)

* 최대 요구 견인력 : 640kN, 최대 회생제동력 : 576kN

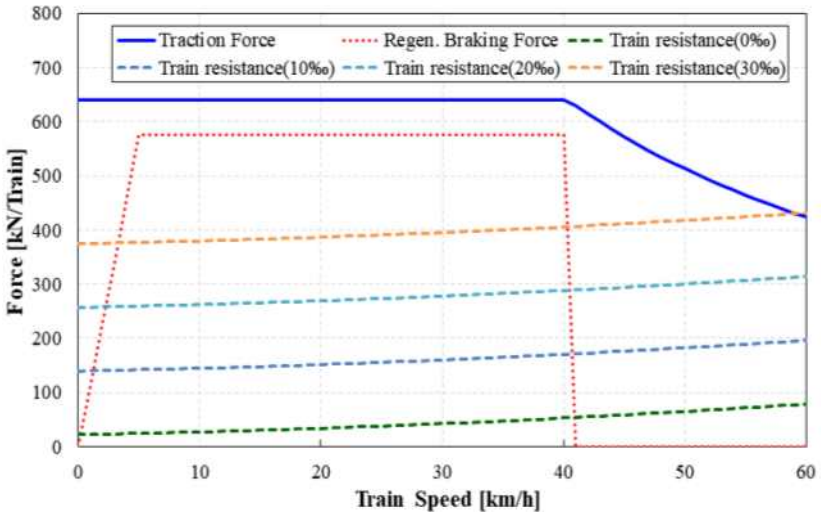
· 아래 그림은 20량 1편성 운송차량의 주행시간에 대한 주행속도 및 주행거리 곡선임



<그림 4-120> 운송차량 1편성의 주행시간에 대한 주행속도 및 주행거리

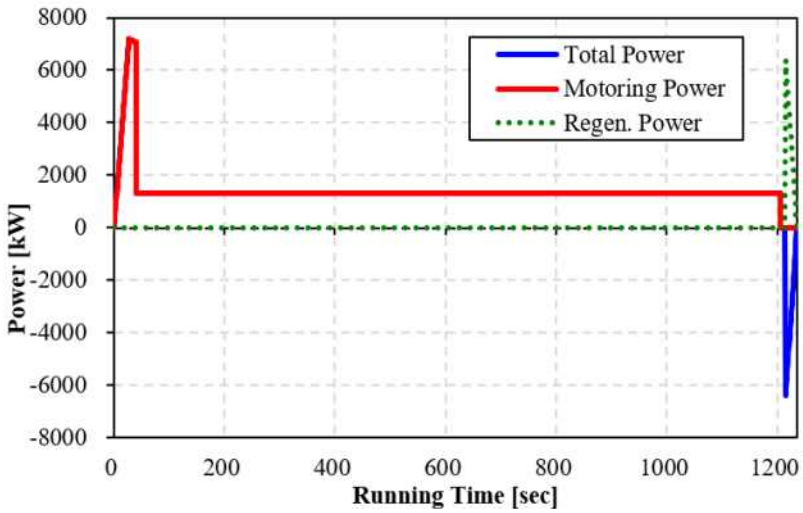
· 아래 그림은 20량 1편성 운송차량의 주행시간에 대한 출력특성이다. 가속구간 및

정속구간에서 모터링 전력과 제동구간에서의 회생전력을 계산해 총출력 특성을 도출



<그림 4-121> 운송차량 1편성의 주행저항 및 요구 견인력/회생제동력 특성

· 본 연구에서는 동일한 견인력/회생제동력 곡선을 적용하였으므로 회전형 전동기와 선형전동기의 출력이 동일함



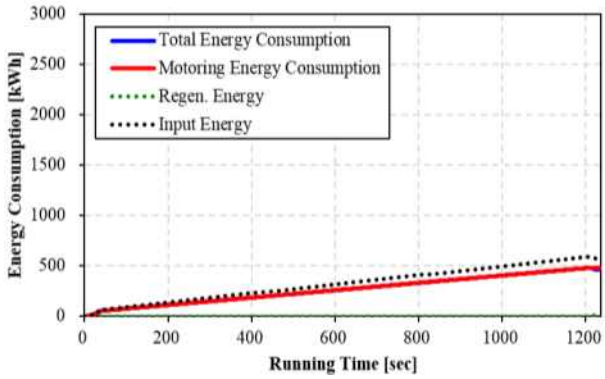
<그림 4-122> 운송차량의 주행시간 출력 특성

(다) 방식별 에너지 사용량 계산

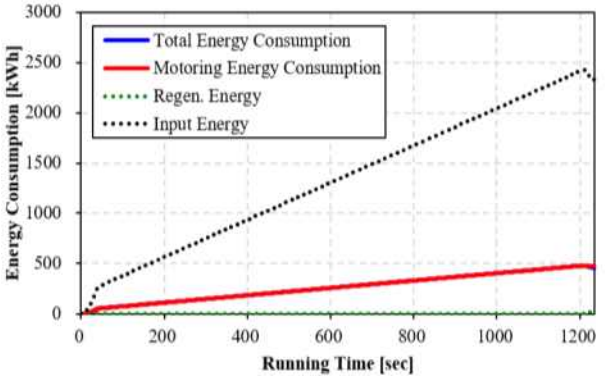
· 아래그림은 회전형 전동기 방식과 LIM 방식의 인터모달 자동운송시스템 1편성의 주행시간에 대한 에너지 사용량 특성을 보여줌

· 회전형 전동기 방식과 LIM 방식 모두 동일한 출력 특성을 가지므로 시간에 따른 모터링 전력량과 회생전력량이 동일하여 견인전동기의 소비에너지는 동일함

· 다만 설계된 회전형 전동기의 효율×역률(η×cosΘ)은 0.817이고, LIM은 0.198로 회전형 전동기 대비 LIM이 1/4 수준이기 때문에 에너지 입력은 LIM이 회전형 전동기보다 약 4배 커지게 됨



<그림 4-123> 회전형전동기 방식 운송차량의 주행시간 에너지 사용량 특성



<그림 4-124> LIM 방식 운송차량의 주행시간 에너지 사용량 특성

(라) 에너지 계산값 비교

· 인터모달 자동운송시스템의 최대 Power : 7,175.0 kW

· 편도 1회 운영 시 총 소비에너지 : 461.3 kWh

* 역행 소비에너지 : 479.8 kWh
* 회생 발전에너지 : 18.6 kWh

· 편도 1회 운영 시 총 입력에너지

* 회전형 전동기 추진 방식 : 564.6 kWh
* LIM 추진 방식 : 2,329.6 kWh

· 일 사용에너지(일 80회*왕복 2회 기준)

* 회전형 전동기 추진 방식 : 90.3 MWh
* LIM 추진 방식 : 372.7 MWh

· 년간 사용에너지

* 회전형 전동기 추진 방식 : 32,971.1 MWh
* LIM 추진 방식 : 136,047.5 MWh

· 컨테이너당 거리당 사용에너지

* 회전형 전동기 추진 방식 : 1,414 Wh/km/컨테이너
* LIM 추진 방식 : 5,824 Wh/km/컨테이너

(마) 분석결과

· LIM 추진 방식의 운송차량이 회전형전동기 추진 방식 대비 년간 사용에너지가 약 4 배 이상 큼

□ **에너지 사용량 분석 결과**

· 추진방식별 운송차량의 에너지 사용량에 따른 년간 에너지 비용 분석 결과는 다음과 같으며, 이를 아래 표에 정리하였다.

<표 4-29> 추진방식별 인터모달 운송차량의 에너지 사용량 분석 결과

구 분	회전형 전동기 추진시스템	선형전동기 추진시스템	비 고
주행거리 (km)	20		
소요시간 (초)	1235		20분 35초
최대 Power (kW)	7175.0		
편도 1회 운영 시 총 소비 에너지 (kWh)	461.3		- 추진에너지 : 479.8(kWh) - 회생에너지 : 18.6(kWh)
편도 1회 운영 시 총 입력 에너지 (kWh)	564.6	2,329.6	- 효율 : 95% / 66% - 역률 : 0.86 / 0.3
일 사용 에너지 (MWh)	90.3	372.7	일 80회*왕복 2회
년간 사용 에너지 (MWh)	3,2971.1	136,047.5	
컨테이너당 거리당 사용 에너지 (Wh/km/컨테이너)	**1,414**	**5,824**	

· 에너지 비용 분석 시 한국전력의 고시된 표준전력량 요금 기준을 적용함

□ **에너지 비용 분석 결과**

<표 4-30> 추진방식별 운송차량의 연간 에너지 비용 분석 결과

구 분	회전형 전동기 추진시스템	선형전동기 추진시스템	비 고
연간 전기사용료	3.5 억원/년	14.2 억원/년	104.4원/kWh 적용
비 율	**1**	**4.06**	

* 산업용 고압A/중부하/전력량 요금 평균값 104.4 원/kWh 적용
* 회전형 전동기 추진 방식 : 3.5 억원/년
* LIM 추진 방식 : 14.2 억원/년

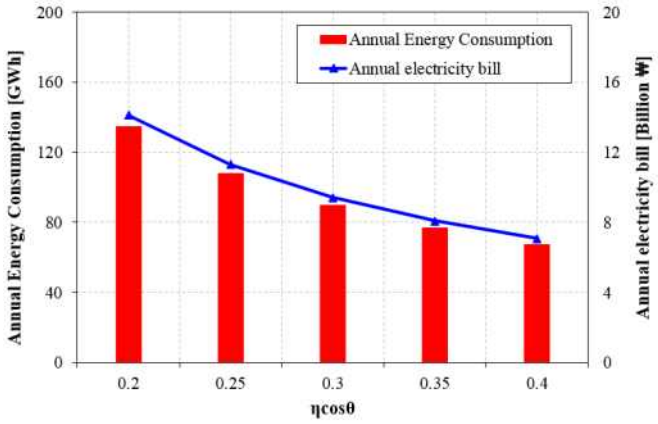
· LIM 추진 방식의 운송차량이 회전형 전동기 추진 방식 대비 년간 에너지 비용이 약 4 배 이상 큼

(바) 선형전동기 성능 개선에 따른 추진방식별 운송차량의 운영비용 분석

· 다음 표는 기존철도의 추진시스템으로 적용되고 있는 LIM의 성능 현황을 보여줌

<표 4-31> 기존 철도시스템 추진용 LIM의 성능 현황

구 분	HSST 100L 추진용 LIM (일본)	오사카 지하철 추진용 LIM (일본)	인천자기부상열차 추진용 LIM(한국)
이미지			
효율(η)	0.65	0.67	0.7
역률 (cos θ)	0.64	0.65	0.54
η × cos θ	0.416	0.44	0.38



<그림 4-125> LIM 성능개선에 따른 연간 에너지 사용량 및 비용 특성

· 대부분 모델의 역률*효율(η×cosΘ)은 0.35~0.45 수준으로, 본 인터모달 자동운송 시스템용 LIM 대비 성능이 우수함

· 아래 그림은 LIM 추진방식 인터모달 자동운송시스템의 LIM 성능 개선에 따른 연간 에너지 사용량 및 비용 특성을 보여줌. LIM의 η×cosΘ 성능을 0.4 수준까지 올리면 연간 전기사용료를 7억원/년 수준으로 낮출 수 있음

· 하지만, LIM의 성능 개선이 이루어진다 할지라도 LIM 방식의 인터모달 자동운송 시스템이 회전형 전동기 방식 대비 년간 에너지 비용이 약 2 배 이상 큼

(사) 검토의견

· 전동기별 단가는 회전형 전동기는 대당 약 3,500만원이고, 선형전동기는 대당 약 4,000만원 정도 소요된다.

· 신설노선을 20km 구축하고, 열차 8편성을 투입을 고려해, 전기, 신호, 통신 증 시스템, 인프라 등의 개략비용 산출결과 회전형 전동기는 약 4,500억원 정도 되고, 선형전동기는 선로 리액션플레이트 설치로 약 5,500억원 정도 드는 것으로 분석되었다.

· 노선 20km에서 일일 80회 열차운행 시 연간소요동력과 비용은 회전전동기가 연 3,300MWh로서 약 3.5억원 정도 소요되고, 선형전동기는 약 136,050MWh로서 약 14.2억원 정도 소요되는 것으로 분석되었으며, 선형전동기는 회전형전동기에 비해 약 4배 정도 에너지가 소요되는 것으로 분석되었다.

(아) 조치사항

· 1차년도 연구결과 평가에서 평가위원이 자문한 “전동기형식별의 성능과 경제성을 검토하여 최적의 전동기 선정 사용할 것”에 대하여 한국교통대학교에 자문을 받아 인터모달 차량은 회전형 전동기가 성능 및 경제성 측면에서 우수함을 사업단(한국교통연구원)과 한국건설교통과학기술진흥원에 연구내용 변경과 경제성 측면 검토 보고서를 제출하고, 회전형 전동기의 연구개발을 수행하였다.

3. 추진용 유도전동기 기술개발

가. 운송차량 견인력 요구사양

(1) 요구사양

- 정토크영역에서 인터모달 운송차량의 출력과 견인력은 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$P=(T_f\times v)/3.6$$

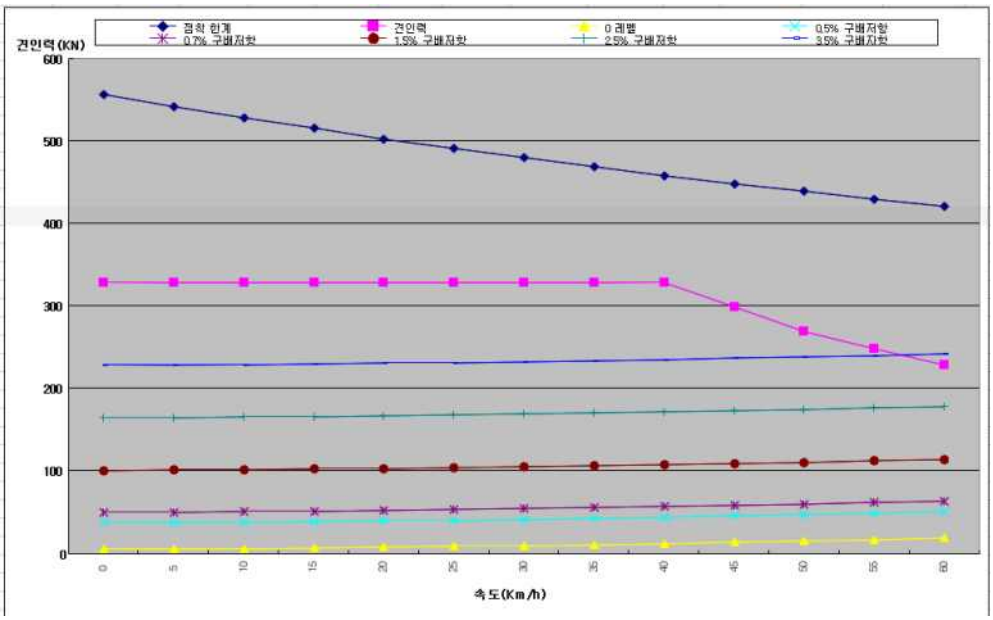
$$T_f=[(W_3+W_i)\times a]+\gamma_r/\eta$$

· 여기서 : P, T_f, v는 유도전동기의 출력, 견인력, 운영속도를 각각 나타내며, $W3$, Wi a, γ_r, η는 총중량, 관성중량 가속도, 주행저항, 유도전동기의 효율을 나타낸다.

<표 4-32> 유도전동기 설계 요구조건

항 목	값	단위
요구 추력 (T_f)	33	kN/량
요구 출력 (P)	368	kW/량
직류 입력전압 (Vdc)	DC 750	V
최고운영속도	40	km/h
최고 속도	60	km/h

- 인터모달 운송차량의 설계조건은 차량 당 견인력이 33kN 이상의 추진력을 가져야 하며, 운행속도 약 40km/h에서 량당 약 368kW 이상의 출력을 가져야 한다.
- 10량 편성의 인터모달 열차에서 요구하는 최고속도 60km/h, 총중량 650ton/10량)인 열차에서 대당 약 92kW 이상의 유도전동기를 10량에 40대를 설비하였다.



<그림 4-126> 10량 편성 열차견인력 선도 (속도-추진력 특성곡선)

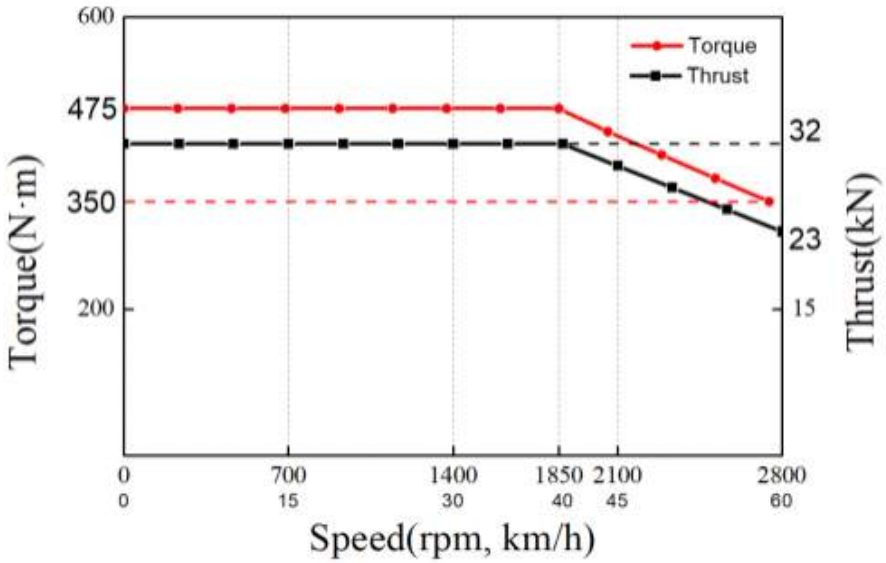
- 앞 그림에 인터모달 운송차량의 1량 당 차량에 대한 견인력 선도가 나타나 있다. 앞서 설명된 바와 같이 최고운행속도는 40km/h(약 11m/s)이고, 최고운행속도까지 유도전동기의 가변전압 가변주파수제어를 통해 추진력 약 33kN을 만족하며, 최고운행속도 이상에서는 슬립제어를 통해 출력제어를 해, 60km/h까지 주행이 가능하다.

(2) 속도-토크 특성 곡선

- 유도전동기 1대당 정격출력이 92kW인 차량시스템에서 요구되는 1-대당 전동기의 토크는 1,850rpm(약 40km/h)에서 475N·m이고 2,750rpm(약 60km/h)에서 350N·m가 요구된다.
- 아래 그림은 인터모달 운송차량의 유도전동기 1-대의 견인력 곡선(속도-추력) 특성을 나타내며, 요구되는 유도전동기 1-대당 성능은 DC 링크단 전압 750[V_{dc}]에서 아래와 같이 나타낼 수 있다.

<표 4-33> 유도전동기 1-기당 요구 성능

항목	요구 성능	비고
정격 출력	92	[kW]
회전 속도	1850	[rpm]
회전력	475	[$N \cdot m$]
DC 링크단 전압	750	[V_{dc}]



<그림 4-127> 우도기 1대당 견인력 곡선

나. 유도전동기 설계 및 특성 해석

(1) 기계적 사양

- 아래 표에는 유도전동기의 주요 기계적 파라미터 및 사양이 나타나있다. 전동기의 최 외경은 제작성을 고려하여 500mm로 하여 설계하였다. 유도전동기의 고정자는 4극 48슬롯의 구조를 가지며, 회전자는 38슬롯, 고정자 및 회전자 철심의 적층폭에 대한 설계 값은 210mm이다.

<표 4-34> 전동기 기계적 사양

Parameter	Value	Unit
Stator Outer Diameter	500	$[mm]$
Stator Inner Diameter	300	$[mm]$
Rotor Outer Diameter	297	$[mm]$
Rotor Inner Diameter	80	$[mm]$
Number of slots (Stator)	48	$[slots]$
Number of slots (Rotor)	38	$[slots]$
Air-Gap Length	1.5	$[mm]$
Stack Length	210	$[mm]$
Rated Speed	1850	$[rpm]$

(2) 주요 부품의 재질

- 유도전동기의 구성품의 재질은 아래 표의 재질 규격의 동등 이상의 것으로 사용한다.

<표 4-35> 주요 부품의 재질

부품명	재질	비고
Stator, Rotor	M600-50Al	
Rotor Bar	동(나머지), 크롬(0.5~1.4%)	
Rotor End Ring	동(나머지), 크롬(0.5~1.4%), 지르코늄(0.02 ~ 0.2%)	
Shaft	SCM 440	
Wire	동	

(3) 전기적 사양

(가) 권선 사양

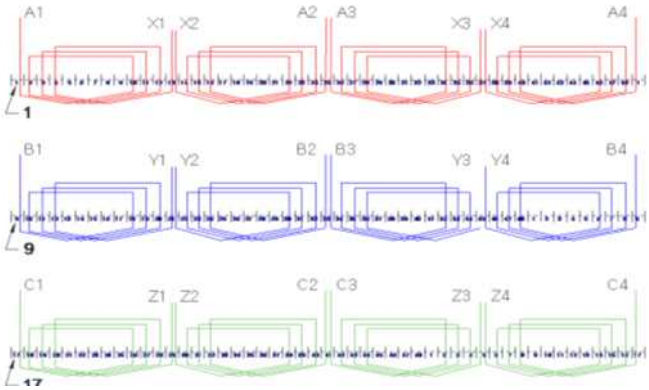
· 아래 표는 유도 전동기의 권설 설계 조건을 나타낸다. 설계 모델은 웨지(Wedge)를 제외한 슬롯의 면적이 약 545.49[mm^2]이고, 2층권을 적용하여 슬롯당 면적은 약 272.75[mm^2]이다. 코일 도체는 절연 코팅된 원형 동선을 사용하기 때문에 점적률을 약 45%로 제한하여 설계에 반영하였고 1-코일의 실제 적용 면적은 약 122.74[mm^2]가 된다.

· 즉, 1슬롯 1층(1-코일)당 턴수는 14-턴이며 턴당 도체 면적이 약 8.77[mm^2]이 되어야 하는 설계 조건을 갖는다. 아래 표는 권선사양을 나타낸다.

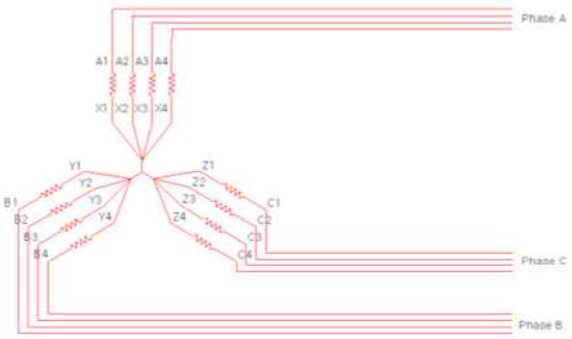
<표 4-36> 권선사양

품명	사양	비고
Coil	14	[$Turns$]
Wires per Coil	5	[$Wires$]
Coil pitch	#1 to #10	
Parallel Branch	4	
Wire Diameter	1.2	[mm]
Slot area	545.49	[mm^2]

· 아래 그림은 3상 4극 48슬롯의 고정자에 적용되는 코일의 권선도와 결선도를 각각 나타낸다. 각 상당 12-코일을 가지며, 극피치가 6-슬롯일 때 코일 피치를 5-슬롯으로 하는 분포-단절권 권선설계를 하였다.



<그림 4-128> 3상 권선도



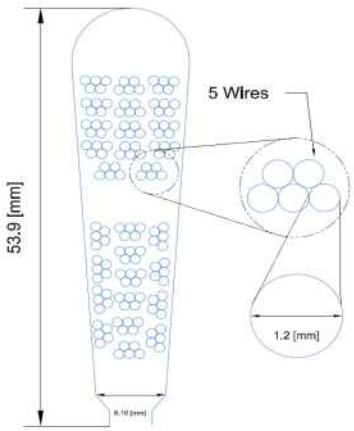
<그림 4-129> 결선도 - 상당 4병렬 Y결선

(나) 슬롯 상세 사양

· 아래 표와 그림은 슬롯상세사양을 나타낸다.

<표 4-37> 슬롯 상세 권선 사양

항목	사양	비고
Slot 면적	545.49	[mm^2]
Fill Factor 45%	245.47	[mm^2]
Slot 층당 턴수	14	[$Turns$]
Wires per Coil	5	[$Wires$]
Wire Area	5.65	[mm^2]

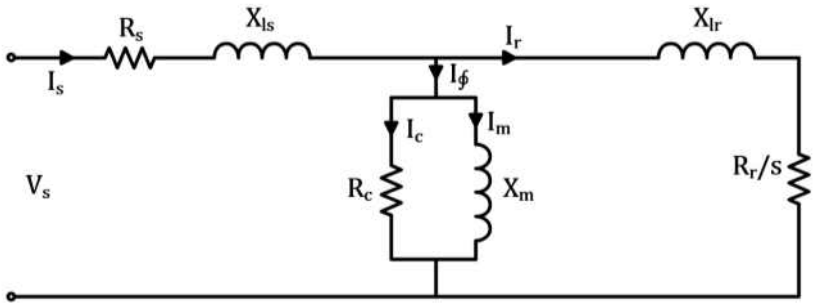


<그림 4-130> 슬롯 상세 형상

(4) 유도전동기의 등가회로 정수의 해석

- 유도전동기의 등가회로는 입력 전압 및 운전 주파수에 따라 전동기 특성을 나타내는데 유용하게 사용된다. 따라서 등가회로 정수를 예측하는 일은 유도전동기에서

매우 중요한 일이며 일반적으로 IEEE 표준규격 112에 나와 있는바와 같이 무부하 시험, 회전자 구속 시험 및 설계상 계산된 상 저항 값으로 계산할 수 있다. 본 연구에서는 고정자 저항은 설계된 모델의 제원으로부터 계산 후 무부하 및 회전자 구속 시뮬레이션을 통해 등가회로 정수(고정자 저항 R_s, 고정자 누설 리액턴스 X_{ls}, 회전자 누설 리액턴스 X_{lr}, 회전자 저항 R_r, 자화 리액턴스 X_m 및 철손 저항 R_c)를 계산한다.



<그림 4-131> 유도전동기 등가회로

(가) 고정자 저항

· 내부 권선저항은 전압강하와 권선에서 발생하는 저항손을 발생시킨다. 전동기의 효율 및 성능 예측과 발전 특성의 예측을 위해서는 저항값의 정밀산정이 필수적이다.

· 권선의 저항을 구하기 위해 구리의 저항률을 온도 함수로 나타내면 아래식과 같다.

$$\rho_c = \rho_o[1+\alpha(T-T_o)]$$

· 여기서, ρ_o는 상온에서의 저항률, α는 저항률의 온도계수, T는 운전시 온도, T_o는 상온이다. 권선에 사용된 구리의 상온저항률은 $\rho_o = 1.72\times10^{-8}[\Omega \cdot m]$, $\alpha = 4.3\times10^{-3}[^\circ C^{-1}]$이다.

· 상당 권선길이를 구성하는 부분을 전동기의 축 방향 길이와 엔드부 두 부분으로 나누면 아래식과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} l_c &= 2l_{stk} + l_{end} \\ &= 2l_{stk} + \pi\left(2\pi r_{\alpha c}\frac{n_{slot\,\pi tch}}{n_{slot}}\right) \end{aligned}$$

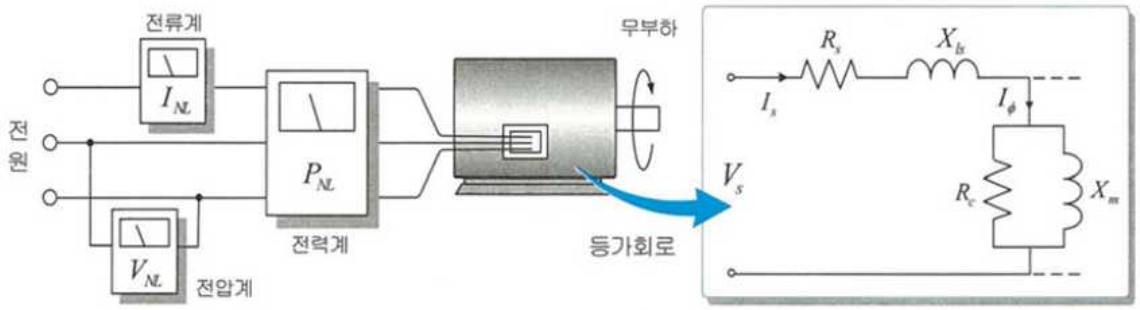
· 여기서, l_{stk}은 축방향 길이, $r_{\alpha c}$는 슬롯 중앙까지의 반경 길이, θ_{cp}는 코일피치각도를 나타낸다. 고정자 권선의 상당 저항은 아래식과 같이 계산된다.

$$R_s = N_{ph}\rho_c\frac{l_c}{N_s A_c}$$

· 여기서, N_{ph}는 상당 턴수, ρ_c는 구리의 저항률, l_c는 한 턴당 권선 길이, N_s는 소선 가닥수, A_c는 소선 면적을 나타낸다.

(나) 무부하 시뮬레이션

· 시험 방법으로는 무부하에서 정격 주파수의 정격 전압을 인가하고, 전동기의 3상 입력 전력 P_{NL}과 선간전압 V_{NL} 및 상전류 I_{NL}을 측정한다. 실제 시험과는 다르게 시뮬레이션에서는 이상적인 무부하 조건 ($s=0$)을 만족시킬 수 있으므로 전체 등가회로에서 아래그림과 같이 회전자 회로를 무시할 수 있다.



<그림 4-132> 유도전동기의 무부하 시뮬레이션 개략도

· 이 조건에서 운전시 소비전력은 고정자 저항손실과 철손 및 마찰손, 풍손 등의 회전 손실로 이루어지며, 시뮬레이션 조건에서는 마찰손 및 풍손을 제외한 고정자 철손과 저항 손실로 나타낼 수 있다. 무부하입력으로부터 고정자 철손저항은 아래식과 같다.

$$R_c = \frac{P_{NL}/3 - I_{NL}^2 R_s}{I_{NL}^2}$$

· 입력 선간전압과 상전류로부터 회로의 임피던스를 아래식과 같이 계산할 수 있다.

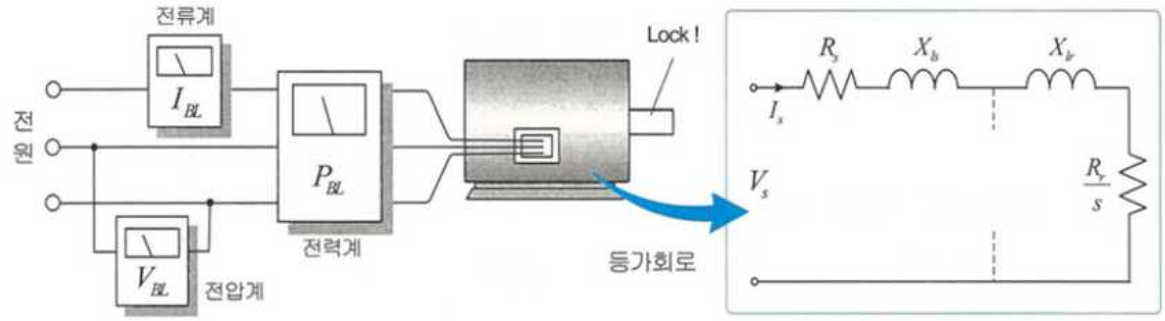
$$Z_{NL} = \frac{V_{NL}/\sqrt{3}}{I_{NL}}$$

· 고정자 저항, 철손 저항 및 회로의 임피던스로부터 누설 리액턴스와 자화 리액턴스의 합을 아래식과 같이 계산할 수 있다.

$$X_{NL} = \sqrt{Z_{NL}^2 - \left(R_c + R_s^2\right)} = X_{ls} + X_m$$

(다) 회전자 구속 시뮬레이션

· 등가회로의 변수를 결정하기 위해 유도전동기에서 할 수 있는 두 번째 시뮬레이션은 회전자 구속 시뮬레이션이다. 이 방법은 변압기의 단락 시험에 해당된다. 이 시험에서 회전자를 회전하지 않도록 구속하고 전압을 전동기에 인가하고 그 때의 전압, 전류 및 전력을 측정한다. 구속시험은 회전자 회로의 정수들을 구하는 것이므로 실제 운전 상황에서의 회전자 주파수에 가까운 수 [Hz]의 작은 주파수를 인가하고 측정을 해야 오차를 줄일 수 있다. 이를 위해 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서는 정격의 25%를 권장시험규격으로 추천하고 있다.



<그림 4-133> 유도전동기의 구속 시뮬레이션 개략도

· 시험방법으로는 회전자를 움직이지 못하게 구속(s = 1)한 상태에서 정격 전류를 흐르게 하는 전압을 인가하고, 전동기의 선간 전압 V_{BL}과 상전류 I_{BL} 및 3상 입력 전력 P_{BL}을 측정한다. 이 운전조건에서 $X_m \gg R_r + jX_{lr}$, 이므로 그림 154와 같이 등가 회로에서 X_m을 제거할 수 있다.

· 입력 전압 V_{BL}과 상전류 I_{BL}로부터 임피던스 크기와 위상각을 계산하면 아래식과 같다.

$$Z_{BL} = \frac{V_{BL}/\sqrt{3}}{I_{BL}}$$

$$\theta_{BL} = abs(T_v - T_i) \cdot \omega_{sync.} \cdot P/2 \cdot 360/2\pi$$

* 여기서 $\omega_{sync.}$는 회전자계의 동기속도를 나타낸다.

· 임피던스의 크기와 위상각으로부터 회전자 저항과 고정자와 회전자 누설 리액턴스의 합을 아래식과 같이 계산할 수 있는데, 보통 고정자와 회전자 누설 리액턴스는 동일하다고 가정한다.

$$Z_{BL} = R_{BL} + jX_{BL} = |Z_{BL}|\cos\theta_{BL} + j|Z_{BL}|\sin\theta_{BL}$$

(라) 해석 결과값

· 계산된 등가회로 정수 해석 결과는 아래 표와 같이 나타낼 수 있다.

<표 4-38> 무부하 및 회전자 FEM 시뮬레이션으로 계산된 등가회로 정수

Noload analysis		Locked rotor analysis	
Item [unit]	Value	Item [unit]	Value
V_{NL} [Vrms]	258.18	V_{BL} [Vrms]	20.141
I_{NL} [Arms]	26.90	I_{BL} [Arms]	137.22
Z_{NL} [Ω]	9.60	θ_{BL} [Deg].	55.73
R_s [Ω]	0.0437	Z_{BL} [Ω]	0.1468
$X_1 + X_m$ [Ω]	9.596	R_r [Ω]	0.0389
R_c [Ω]	8.6 × 106	X_{BL} [Ω]	0.1213
		X_{lr} [Ω]	0.3032
		X_{ls} [Ω]	0.3032
		X_m [Ω]	9.2924

<표 4-39> 저항 및 인덕턴스

Item [unit]	Ansys Maxwell(FEM)	Ansys RMxprt
R_1 [Ω]	0.0437	0.0463
R_2 [Ω]	0.0389	0.0348
L_1 [mH]	0.7733	0.8636
L_2 [mH]	0.7733	0.6433
L_m[mH]	23.701	25.416

(5) 성능 해석 결과

(가) 입력 전원의 형태에 따른 특성 해석

· 비정현 주기파는 그 주파수와 동일한 주파수를 갖는 정현파와 기본파 주파수의 정수배 주파수를 갖는 정현파들의 합으로 나타낼 수 있으며 본 논문에서는 인버터가 이상적인 출력파형을 갖는다는 가정 하에 정현파 입력전압과 펄스전압 구동 전압 입력을 푸리에 급수전개하여 전압의 크기와 주파수의 함수로 유도할 수 있다.

· 3상 지령 전압을 복소수 공간에서 하나의 공간 벡터로 표현하여 이를 변조하는 공간 벡터 전압 변조 (Space vector PWM : 이하 SVPWM) 방식이라 한다. 벡터 제어 방식 중 전압 이용율이 가장 높고 전압 변조지수가 커질수록 고조파 특성이 우수하다. SVPWM 형태의 전압 파형은 정현파 전압으로 표현할 수 있으며, 아래 식과 같다.

$$V_{as} = V_m \sin(\omega t)$$
$$V_{bs} = V_m \sin(\omega t)$$
$$V_{cs} = V_m \sin(\omega t)$$

· 여기서 V_m은 기본파 상전압 최댓값이며 그 크기는 $V_{dc}/\sqrt{3}$ 이며 ω는 입력 전압의 각주파수이다. 펄스 전압 구동 전압 입력은 상전압은 한 주기에 60°구간씩 6차례에 걸쳐 그 값이 Vdc/3 씩 단계적으로 변하므로, 이 운전 모드를 6스텝(Step) PWM방법인 1펄스 모드라 부른다. 펄스 전압 형태의 푸리에 급수 모델링 결과는 아래식과 같다.

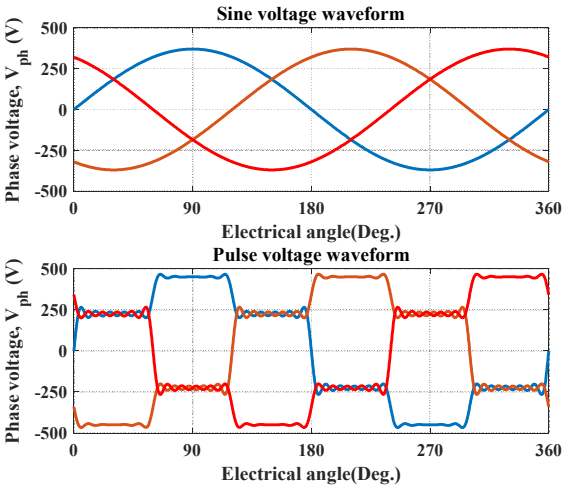
$$V_{ap} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sin(n\omega t)$$
$$V_{bp} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sin\left(n\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)\right)$$
$$V_{cp} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sin\left(n\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)\right)$$

* 여기서 n은 n차 고조파를 나타내며, V_n은 푸리에 계수로서 아래식과 같이 표현된다.

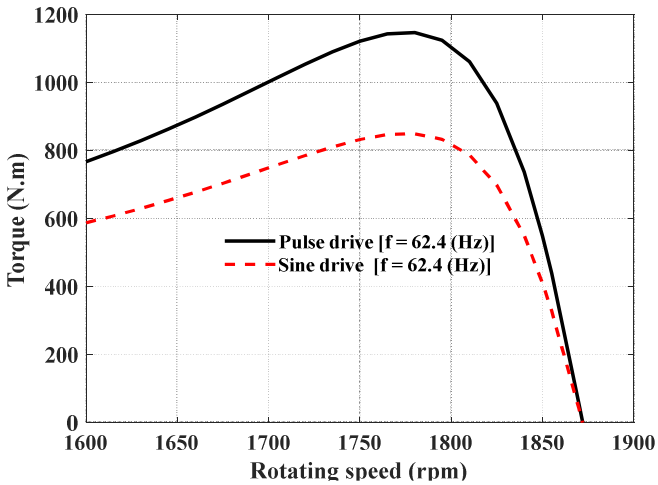
$$V_n = \frac{16}{3n\pi} V_{dc} \sin\left(\frac{n\pi}{6}\right)^2 \left\{4\sin\left(\frac{n\pi}{6}\right)^4 - 7\sin\left(\frac{n\pi}{6}\right)^2 + 3\right\}$$

· 아래 그림은 정현파 전압 입력 모델링과 1펄스 전압 입력 모델링 결과를 나타낸다. 스위칭 소자의 전압 강하 및 DC 링크의 전압 변동률을 고려하여 입력 전압의 90%까지 사용한다고 가정하였다.

□ **입력 전원의 정의 - 정현파 모드 및 펄스 모드**



<그림 4-134> 입력전압의 파형 비교(정현파 입력과 펄스입력)



<그림 4-135> 동일 주파수 운전시 펄스 입력과 정현파 입력에 따른 속도-토크 곡선

(나) 동일한 동기 주파수 운전시 출력 특성 비교

· 설계된 모델을 바탕으로 펄스 운전과 정현파 운전시 전압을 동일 주파수에 따라 입력하면 운전 속도에 따른 유한요소 해석을 수행하면 아래 그림과 같이 운전 성능 곡선을 나타낼 수 있다. 아래 식으로부터 동일 속도 및 동일 슬립에서의 토크 특성은 인가전압에 제곱에 비례하며 펄스 전압의 기본파 크기 제곱의 비와 정현파 전압의 크기의 제곱의 비율만큼 토크의 크기의 차이가 나는 것을 알 수 있다.

$$T_{mech} = \frac{1}{\omega_{sync.}} \frac{V_s^2}{(R_s + R_r/s)^2 + (X_{ls} + X_{lr})^2} \frac{R_r}{s}$$

· 이로부터 인가전압의 1고조파 성분은 유효 전력으로 고조파 성분들은 무효 전력 및 손실 등으로 변환되는 것을 예측할 수 있다.

(다) 동일 출력 운전시 속도-토크 및 효율 비교

· 펄스 전압 입력과 정현파 전압 입력의 정량적 비교를 위하여 동일 출력 조건을 만족시키기 위하여 토크의 크기를 증가시키기 위해서는 앞 ②항의 식과 같이 운전주파수와 슬립에 의해 변화시킬 수 있다.

· 일반적인 유도 전동기의 운전 영역인 슬립이 작은 동기 속도 부근의 속도 영역에서 회로의 임피던스 관계는 아래식과 같이 나타낼 수 있다.

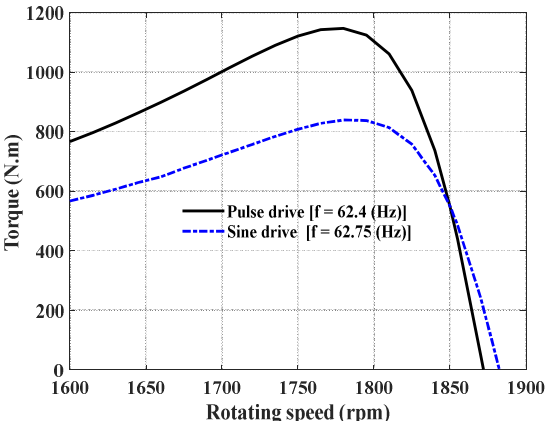
$$R_s + \frac{R_r}{s} \gg X_{ls} + X_{lr}, \frac{R_r}{s} \gg R_s$$

· 위에 식으로부터 단순화된 출력 토크는 아래 식으로 나타낼 수 있다.

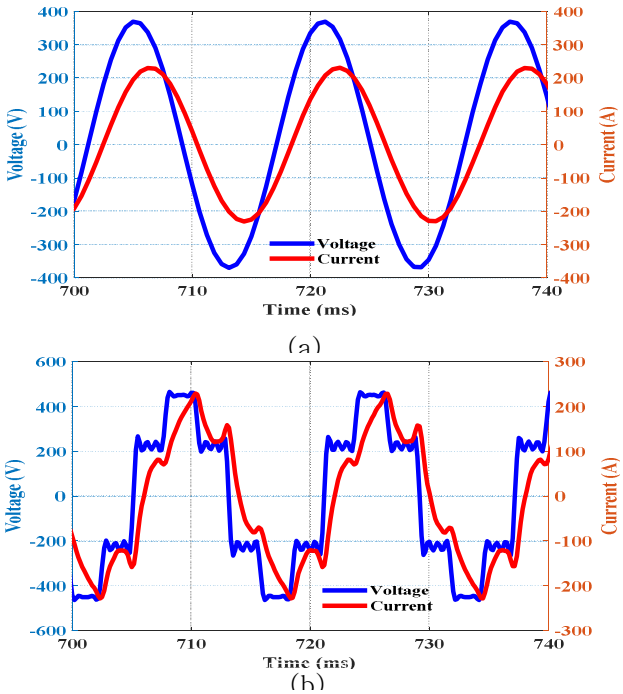
$$T_{mech} \approx \frac{1}{\omega_{sync}} \frac{V_s^2}{R_r^2} s$$

· 슬립이 작은 동기속도 부근의 토크는 슬립에 선형적으로 비례하며, 운전 속도를 동일하기 맞추기 위하여 정현파 전압의 운전 주파수와 슬립을 변경하여 정격 출력을 동일하게 한 속도-토크 곡선은 아래 그림과 같이 나타낼 수 있다.

· 아래 그림에 보이는 바와 같이 유도전동기가 운전 속도가 1850rpm이고 동일한 토크 550Nm를 가질 때, 정현파 운전 모드의 속도-토크 특성이 펄스 모드 속도-토크 특성보다 더 큰 슬립과 더 낮은 최대 토크 특성을 갖는다. 이는 펄스 모드 운전시 더 높은 선간 전압의 실효치에 의해 유도 전동기가 더 큰 토크를 가질 수 있으며, 상대적으로 높은 효율 조건에서 운전이 가능함을 의미한다.



<그림 4-136> 정현파 운전 및 펄스 운전시 속도-토크 특성 (1850rpm, 550Nm를 갖는 특성)

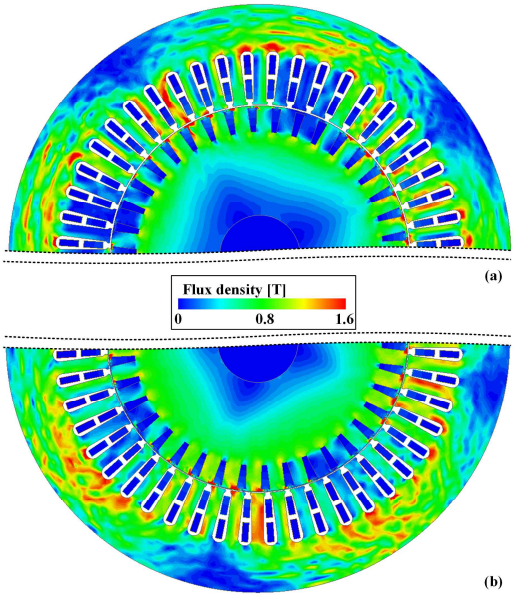


<그림 4-137> 정현파운전(a) 및 펄스운전 (b) 정격 전압-정격 전류특성(1850rpm, 550Nm를 갖는 특성)

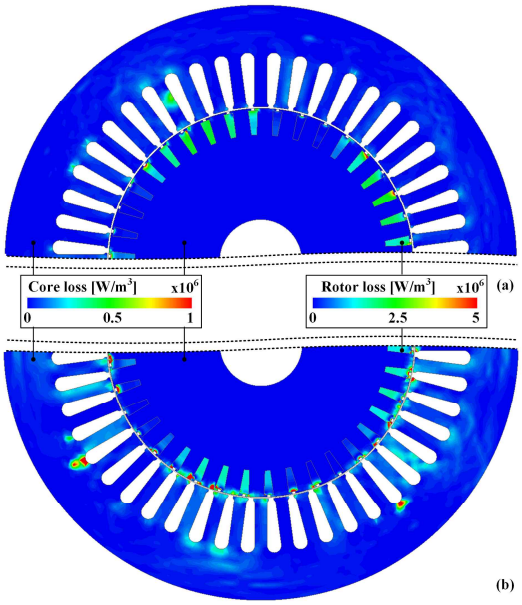
· 위 그림의 (a)과 (b)는 설계된 유도 전동기가 앞에 그림의 “펄스 입력과 정현파 입력 -속도-토크 곡선”의 특성을 가질 때, 정격 시 전압 및 전류 특성을 각각 나타낸다. 위에 그림의 (a)에서 정현파 운전시 입력 전압의 실효치는 269.31 V_s, 입력 전류의 실효치는 168.19A_s, 역률은 0.88 정도이고, 위에 그림의 (하)에서 펄스 모드 운전시 입력 전압의 실효치는 316.13, 입력 전류의 실효치는 139.50, 역률은 0.94 정도이다.

· 아래 그림의 (a)과 (b)는 정격 운전시 자속밀도 분포를 나타낸다. 정현파 운전시 고정자 자속밀도의 최대치는 약 1.76T, 회전자 자속밀도의 최대치는 약 1.78T 이다. 이와 유사하게 펄스모드 운전시 고정자 자속밀도의 최대치는 약 1.75T, 회전자 자속밀도의 최대치는 약 1.74T이다. 최대치 자속밀도는 고정자 요크 및 회전자 슈 부분에서 발생하며, 포화 정도는 모든 영역에 걸쳐 약간의 부분 포화만 존재할 뿐 대부분의 경우 선형적인 구간을 갖기 때문에 정격 운전시 고정자와 회전자에

서의 자속밀도는 안정한 수준으로 볼 수 있다.



<그림 4-138> 정격 운전시 자속밀도 분포 비교: (a) 정현파입력 (b) 펄스입력



<그림 4-139> 정격 운전시 손실 분포 비교: (a) 펄스 입력 (b) 정현파 입력

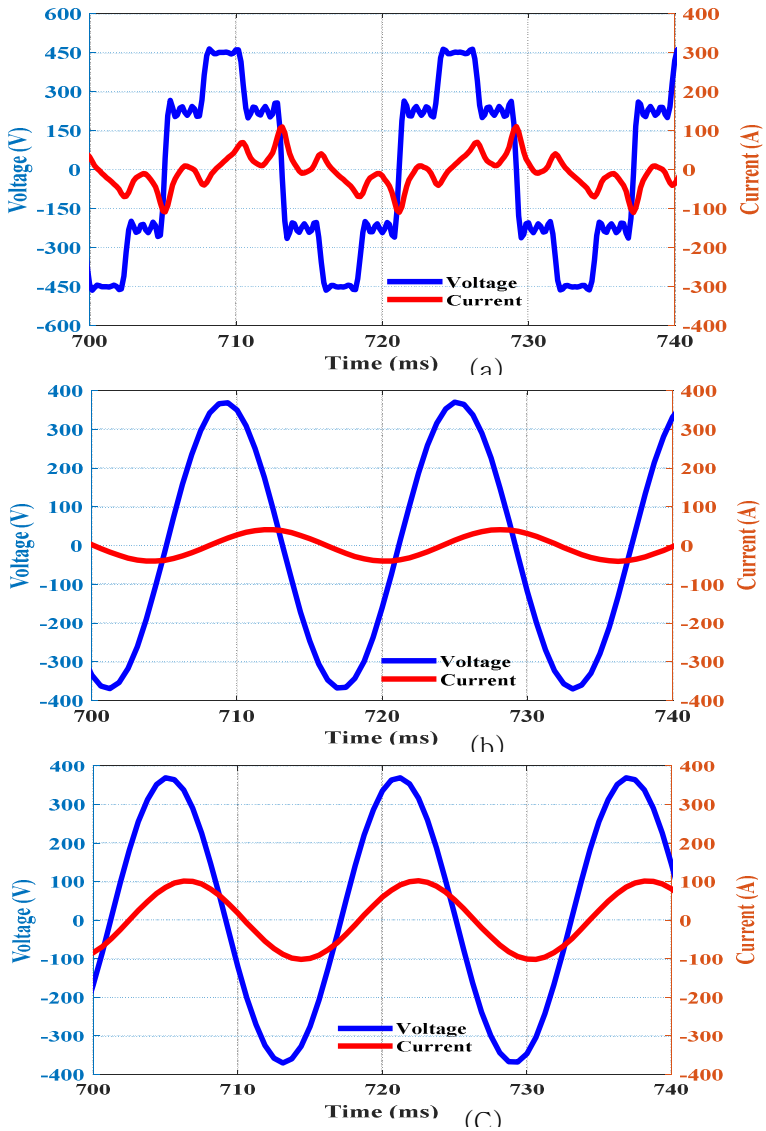
· 아래 그림의 (a)와 (b)는 정격 운전시 손실의 분포를 나타낸다. 정현파 운전시 철손은 약 0.68kW , 회전자 도체에서 발생하는 회전자 손은 약 1.68kW 이다. 펄스 모드 운전시 철손은 약 1.54kW , 회전자 도체에서 발생하는 회전자 손은 약 1.63kW이다.

· 아래 표는 설계된 유도 전동기가 1850rpm에서 동일한 토크(550Nm)를 가질 때 정현파 운전시와 펄스 운전시 특성을 모두 나타낸다.

<표 4-40> 정격 출력 시 펄스 입력과 정현파 입력에 따른 성능 비교

Item	펄스 입력	정현파 입력	단위
주파수	62.4	62.75	[Hz]
출력	106.50	106.79	$[kW]$
전압	316.13	269.31	$[V_s]$
전류	139.50	168.19	$[A_s]$
전류 밀도	4.41	5.31	$[A_s/\mathrm{mm}^2]$
동손	2.97	4.06	$[kW]$
철손	1.54	0.68	$[kW]$
회전자손	1.63	1.68	$[kW]$
효율	95.93	95.75	[%]
슬립	0.0118	0.0173	-
역율	0.94	0.88	-
토크 리플	24.68	2.85	[%]

· 아래 그림은 설계된 유도 전동기의 주파수에 따른 무부하 전압 및 전류 특성을 나타낸다. 앞에 “정현파 운전” 그림 (a)에서 운전 주파수 62.4 Hz, 정현파 운전시 입력 전압의 실효치는 270.02 V_s, 입력 전류의 실효치는 28.10A_s, 역률은 0.3832 정도이고, 앞에 “펄스 운전” 그림에서 운전 주파수 62.75Hz, 정현파 운전시 입력 전압의 실효치는 269.31 V_s, 입력 전류의 실효치는 29.22A_s, 역률은 0.455 이다. 이에 반하여 운전 주파수 62.4 Hz의 펄스 전압 운전시 입력전압의 실효치는 317.56 V_s, 입력 전류의 실효치는 41.32A_s, 역률은 0.2102 정도로 무부하 전류 값이 정현파에 비해 크게 들어감을 확인할 수 있다. 아래 표에서 확인할 수 있는 바와 같이 정현파 입력에 비하여 펄스입력의 경우 무부하 동손 및 철손은 약 2배 정도, 회전자 손실은 약 20배 정도 증가함을 확인할 수 있다. 이에 따라 무부하 운전 효율은 5~7 % 정도 감소한다. 높은 출력구간의 운전시에는 펄스전압의 입력이 우수한 성능을 갖으나 무부하 운전시에는 전류 고조파가 크게 증가하여 성능 측면에서 불리함을 갖는다.



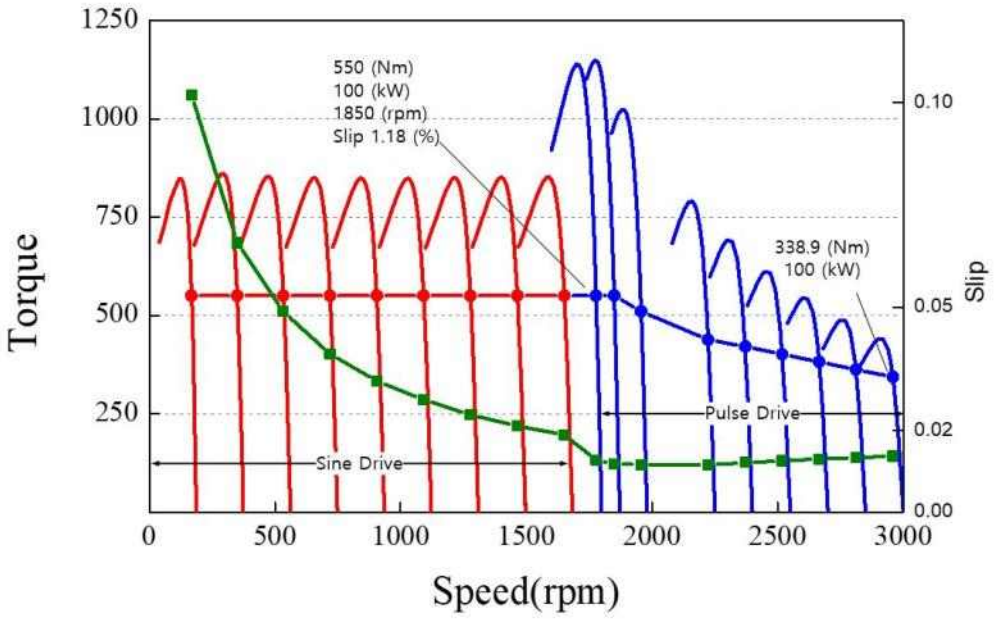
<그림 4-140> 무부하 운전시 입력 전압 및 전류파형 (a) 펄스입력 (b) 정현파 입력 (f=62.4 hz) (c) 정현파 입력 (f=62.75 hz)

<표 4-41> 무부하 운전시 펄스 입력과 정현파 입력에 따른 성능 비교

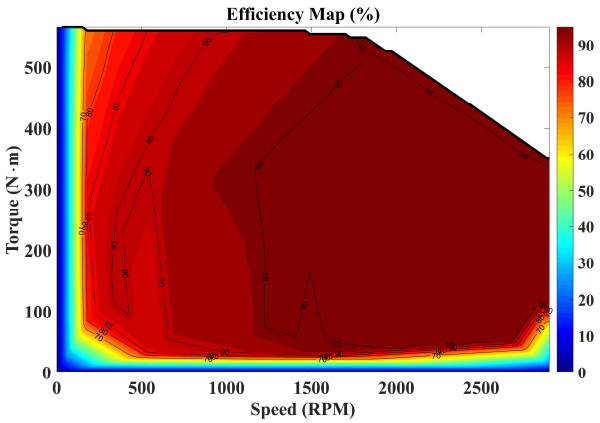
Item	펄스 입력	정현파 입력 1	정현파 입력 2	단위
주파수	62.4	62.4	62.75	[Hz]
운전속도	1870	1870	1880	[rpm]
출력	10.92	8.12	10.08	$[kW]$
전압	317.56	270.02	269.31	$[V_s]$
전류	41.32	28.10	29.22	$[A_s]$
동손	0.28	0.13	0.14	$[kW]$
철손	1.13	0.59	0.58	$[kW]$
회전자손	0.24	0.01	0.01	$[kW]$
효율	86.87	91.75	93.25	[%]
슬립	0.0011	0.0011	0.0013	-
역율	0.2102	0.3832	0.455	-
토크 리플	180.13	2.49	2.27	[%]

· 아래 그림은 설계된 유도 전동기의 견인력 곡선을 나타낸다. 정현파 입력 전원에 의한 운전으로 기동하여 60Hz정도까지 운전하여 60Hz이상에서 펄스 모드 운전으로 변환한다. 펄스 모드 운전시 선간 전압의 실효치는 약 550V 정도가 되며, 이때 전동기가 가질 수 있는 토크는 약 슬립 1.18%(1850rpm)에서 550Nm 정도이다.

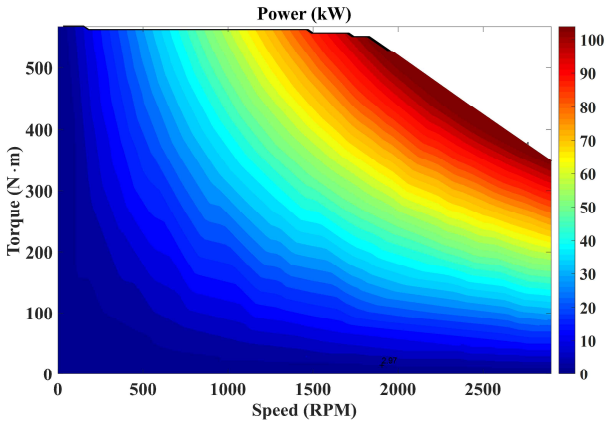
· 한편, 정격 속도(1850rpm)이상에서는 최대 출력(약 100kW) 상태로 슬립 제어를 통해 3000 rpm(60km/h) 근처까지 운전 가능하며, 이 때 전류 밀도는 약 4.5A/mm2 로, 열적으로 안정할 것으로 판단된다.



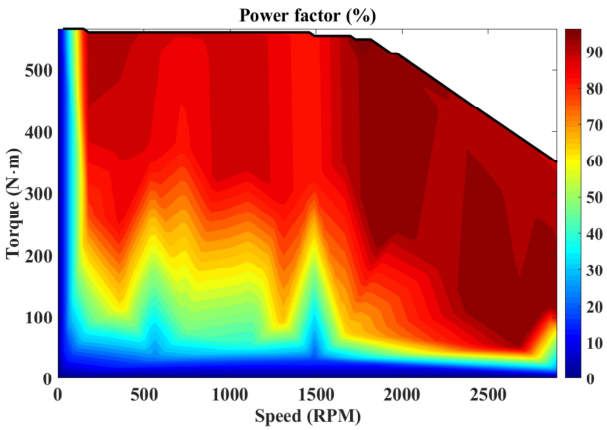
<그림 4-141> 유도전동기 견인력 곡선



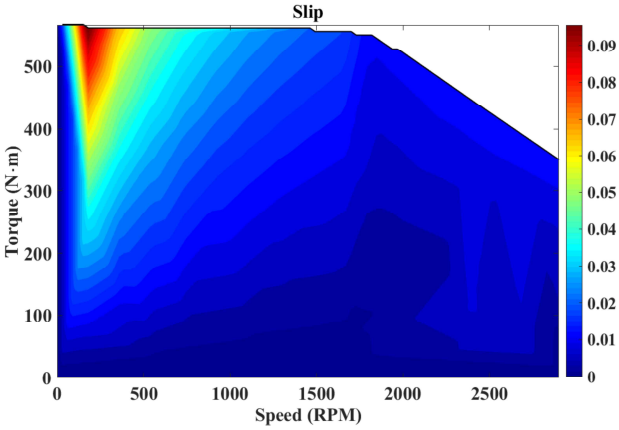
<그림 4-142> 운전 영역에 따른 효율 분포



<그림 4-143> 운전 영역에 따른 효율 분포



<그림 4-144> 운전 영역에 따른 역률 분포



<그림 4-145> 운전 영역에 따른 슬립 분포

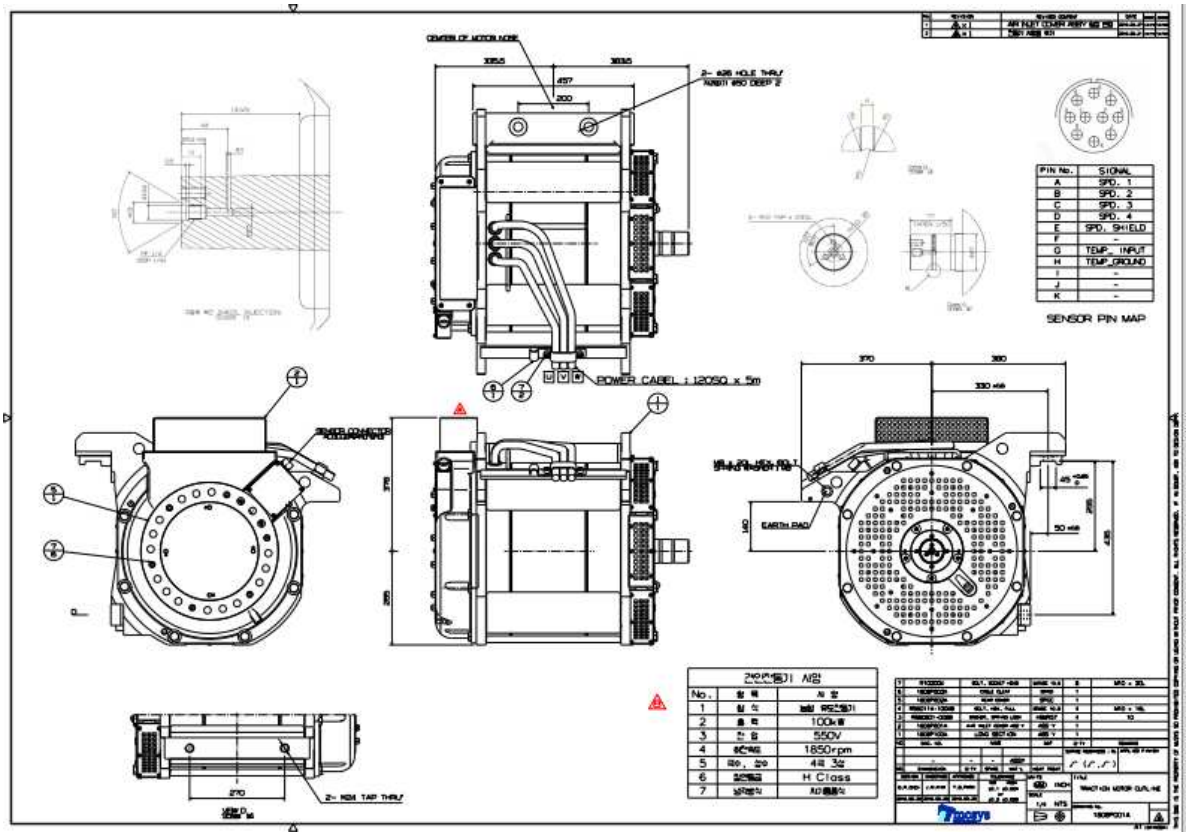
· 앞에 “효율 분포” 그림은 설계된 유도 전동기의 운전 영역에 따른 효율 분포를 나타낸다. 펄스 모드로 운전되기 시작하는 60Hz(정격 약 1777rpm) 이상에서 비교적 안정적인 효율 분포를 나타내고 있으며, 정격 속도(1850rpm)에서 이론(계산)상의 효율은 약 96%, 최고 속도(약 2750rpm)에서 약 95%의 효율을 가질 수 있을 것으로 예측된다. 단, 다양한 형태의 추가적 손실 발생 원인, 즉, 제작 불균일성, PWM고조파에 의한 고조파 손실, 베어링 마찰손과 풍손, 그리고 계산으로 예측 불가능한 표류부하손 등의 증가로 인해 실제 효율의 감소가 발생할 것이다.

· 앞에 “출력 분포” 그림 164는 운전 영역에 따른 출력 분포를 나타낸다. 정격 속도(1850rpm)에서 약 100kW의 출력을 갖고 3000rpm 근처(약 60km/h)까지 슬립 제어를 통해 동일 출력(약 100kW)으로 운전 가능하다.

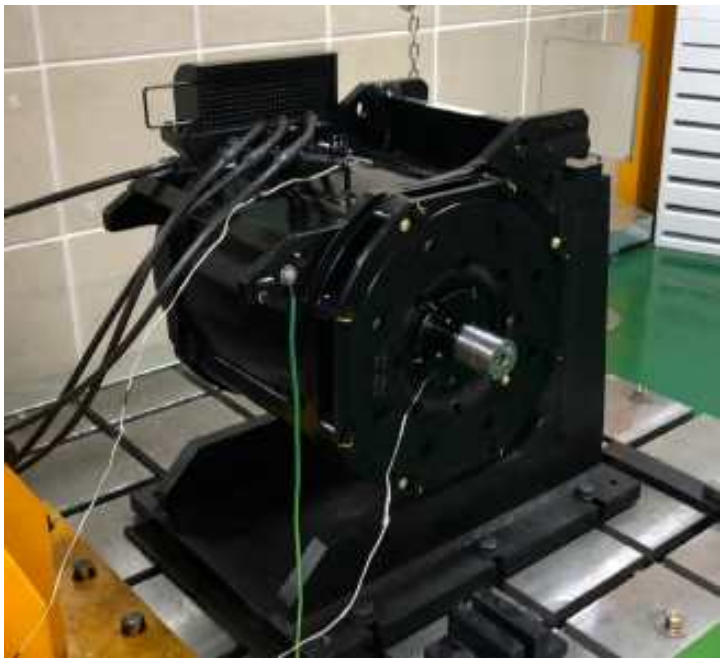
· 앞에 “역률 분포“ 그림은 설계된 유도 전동기의 역율을 운전 영역에 따라 나타내었다. 역률은 정격 속도(1850rpm)에서 약 0.94이며 최고 속도(약 2750rpm)에서 약 0.90의 역률을 보이고 있으며, 정격운전 지점 근처에서 가장 우수한 역률을 보이고 있다.

· 앞에 “슬립 분포“ 그림은 운전 영역에 따른 슬립 분포를 나타낸다. 앞에 ”견인력 곡선“ 그림에서도 볼 수 있듯이 슬립은 정격 속도(1850rpm)에서 1.18%이고 슬립 제어를 하는 정격 속도 이상에서 약 1.37%까지 슬립이 점차 증가한다.

다. 유도전기 도면 및 제작



<그림 4-146> 유도전동기 조립도



<그림 4-147> 유도전동기 시제품

4. 유도전동기의 검사 및 성능시험 자료

가. 개요

○ 인터모달 차량용 유도전동기는 기술요구사양서에 의거 설계 및 제작을 완료하고, 시험절차서에 따라 검사 및 성능시험을 수행하였다. 시험결과를 아래와 같이 수록하였다.

나. 검사 및 성능시험 자료

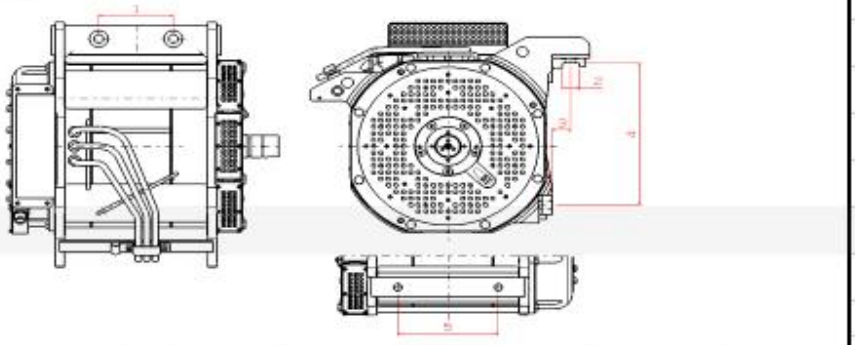
○ 본 보고서에는 검사 및 성능시험 결과를 수록하였으며, 시험사양, 시험기준, 검사장비 등 상세한 내용은 부록에 수록하였다.

(1) 검사 및 시험 기준

	DIMENSION CHECK & TEST SHEET (치수 및 시험 기준서)	문서번호	
		개정이력	0
		작 성 일	2019년 01월 28일
		PAGE	1/2

프로젝트명	인터모달 차량시스템용견인전동기	검사	성신R&T	수검자
부 품 명	TRACTION MOTOR			
도면번호/Rev.NO	1808P001A / Rev.B			
적용문서/Rev.NO	-			
검 사 일	2019년 1월 28일	판정결과	적합 □, 부적합 □	
검 사 수 량		검사기준서승인		
합 격 수 량		부서명		
계측장비		담당자		

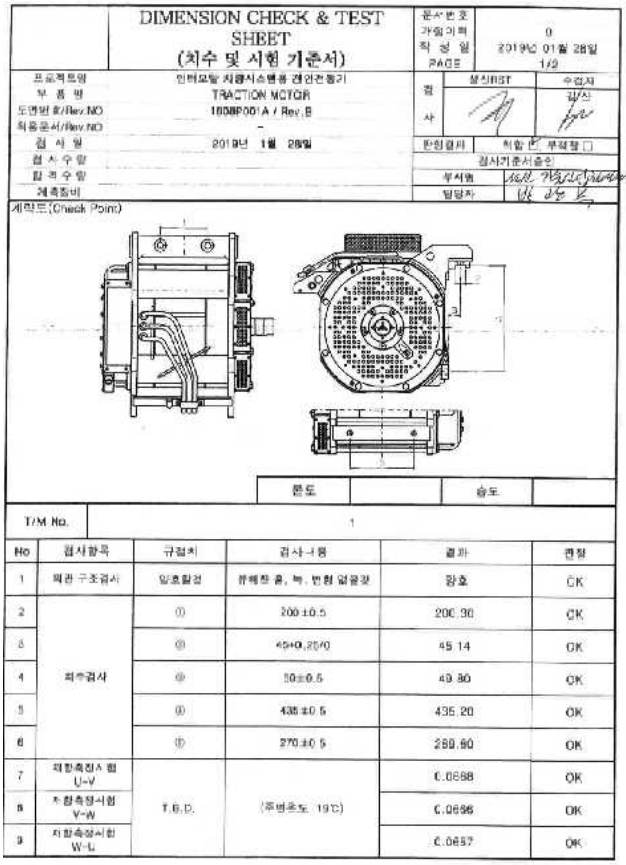
계략도(Check Point)



	온도		습도	
T/M No.				

No	검사항목	규정치	검사내용	결과	판정
1	외관 구조검사	양호할것	유해한 흠, 녹, 변형 없을것		
2	치수검사	①	200±0.5		
3		②	45+0.25/0		
4		③	50±0.5		
5		④	435±0.5		
6		⑤	270±0.5		
7	저항측정시험 U-V	T.B.D.	(주변온도 °C)		
8	저항측정시험 V-W				
9	저항측정시험 W-U				

(2) 검사 및 시험결과



DIMENSION CHECK & TEST SHEET
(치수 및 시험 기준서)

문서번호 / 개정이력 / 작 성 일 / PAGE	0 / 2019년 01월 28일 / 1/2

프로젝트명	인버모달 차량시스템용 견인전동기
부 품 명	TRACTION MOTOR
도면번호/Rev.NO	1808P001A / Rev.B
적용문서/Rev.NO	-
검 사 일	2019년 1월 28일
검 사 수 량	
합 격 수 량	
계측장비	

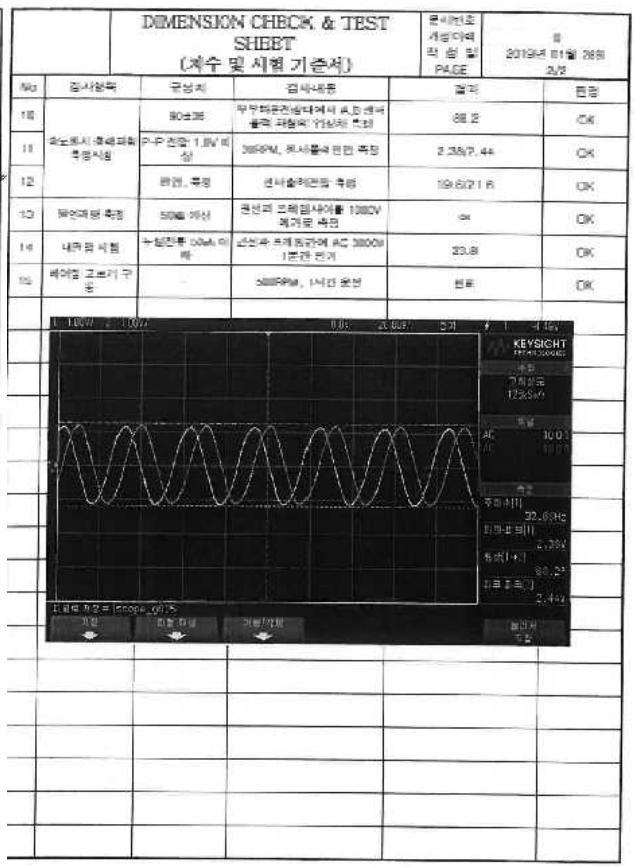
결재	생산PST	수입자
사		
판정결과	적합 □ 부적합 □	
검사기준서승인		
부서명		
담당자		

계약도(Check Point)

본도		승도	

T/M No. 1

No	검사항목	규정치	검사내용	결과	판정
1	외관 구조검사	일호할것	유해한 흠, 녹, 변형 없을것	양호	OK
2	치수검사	①	200±0.5	200.30	OK
3		②	45+0.25/0	45.14	OK
4		③	50±0.5	49.80	OK
5		④	435±0.5	435.20	OK
6		⑤	270±0.5	269.90	OK
7	저항측정시험 U-V	T.B.D.	(주변온도 19℃)	0.0658	OK
8	저항측정시험 V-W			0.0656	OK
9	저항측정시험 W-U			0.0657	OK



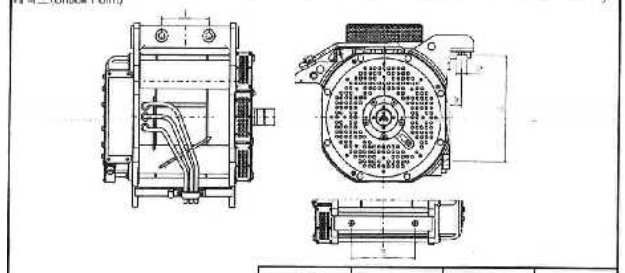
DIMENSION CHECK & TEST SHEET
(치수 및 시험 기준서)

문서번호 / 개정이력 / 작 성 일 / PAGE	0 / 2019년 01월 28일 / 1/2

프로젝트명	인버모달 차량시스템용 견인전동기
부 품 명	TRACTION MOTOR
도면번호/Rev.NO	1808P001A / Rev.B
적용문서/Rev.NO	-
검 사 일	2019년 1월 28일
검 사 수 량	
합 격 수 량	
계측장비	

결재	생산PST	수입자
사		
판정결과	적합 □ 부적합 □	
검사기준서승인		
부서명		
담당자		

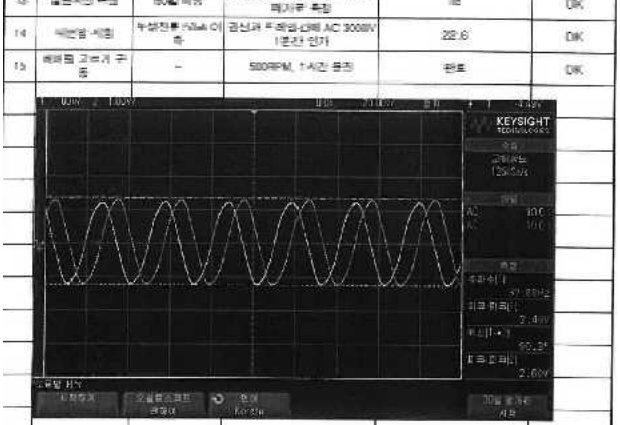
계약도(Check Point)



본도		승도	

T/M No. 2

No	검사항목	규정치	검사내용	결과	판정
1	외관 구조검사	일호할것	유해한 흠, 녹, 변형 없을것	양호	OK
2	치수검사	①	200±0.5	200.20	OK
3		②	45+0.25/0	45.14	OK
4		③	50±0.5	49.80	OK
5		④	435±0.5	435.20	OK
6		⑤	270±0.5	269.90	OK
7	저항측정시험 U-V	T.B.D.	(주변온도 19℃)	0.0663	OK
8	저항측정시험 V-W			0.0664	OK
9	저항측정시험 W-U			0.0663	OK



다. 시험결과 종합

○ 인터모달 차량용 유도전동기의 시험은 시험절차서에 따라 시험을 수행하였으며, 기술사양서에서 요구되는 중량, 치수, 성능 등을 만족하였다.

○ 주요시험 내용은 치수검사, 중량검사, 저항측정시험 U-V, 저항측정시험 V-W, 저항측정시험 W-U, 속도센서 출력파형 측정, 절연저항측정, 내전압시험, 무부하시험 등을 검증하였다.

○ 4차년도에는 시험선에서 차량의 주행시험을 통하여 VVVF 인버터에 의해서 유도전동기를 제어하여, 차량의 주행성능시험을 수행하였다.

제10절.차량용 전력변환장치 기술개발

1. 개요

가. 개발방향

○ 인터모달 운송차량용 추진제어장치는 2대의 유도전동기를 병렬로 제어하는 구조를 채택하였다. 이 방식은 철도차량용 추진제어시스템에서 일반적으로 사용되는 제어기술이다.

○ 추진제어의 축면에서 보면 2대의 전동기를 1대의 인버터로 제어함으로써 제어의 정밀도는 감소하지만 동일한 유도전동기를 사용하여 용량의 증대를 기할 수 있으므로 대용량의 단일 유도전동기를 채택함으로써 발생되는 개발비용의 상승도 저감하는 것이 가능하다. 주전력소자는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용하여 전력변환효율의 향상을 기하였으며, 히트파이프(Heat pipe) 방식의 자연냉각장치를 채택하여 공간 활용도를 향상시키고, 경량화도 달성하였다.

나. 추진제어장치 기술개발

(1) 개발내용

<표 4-42> 차량용 추진제어장치 설계항목 및 연구개발 내용

설계 항목	연구 내용	주요 사항
IM 제어	유도전동기의 벡터제어기법 연구	2병렬 전동기 구조
추진 및 제동 명령처리	접점신호 및 통신을 이용한 추진/제동 제어	기존장치의 단순화 필요
냉각방식 설계	차량의 한계를 고려한 자연 냉각방식 개발	협소한 차량바닥부 고려
입력 필터회로 설계	입력 서지 및 고조파 발생 제한을 위한 필터회로 설계	LC 필터 감쇄 특성
통신방식	제어신호의 송수신 방안	하드웨어 형식
주회로소자 정격설계	소자의 한계, 열특성, 최적화 형태 등 고려	IGBT 선정
외함의 구조 및 배치 설계	기구적 설계의 적정성 검토	크기, 재질, 무게 등
인터페이스 방안	센서회로, 디지털 회로가 필요한 요소의 검토	외부 장치에 대한 검토 우선

(2) 설계개념

□ **2대의 동일한 유도전동기(Induction Motor, IM)를 병렬로 제어**

- 추진제어인버터장치는 동일한 크기와 동일한 전기적 성능을 갖는 유도전동기에 병렬방식으로 추력제어를 위한 전력을 공급한다. 제동 시에는 전동기로부터 전력을 발전하여 가선측으로 회생전력을 되돌릴 수 있도록 하며, 순간적인 DC 전압의 상승을 억제하기 위하여 전압제어 초퍼 1대를 인버터 내부에 위치시킨다.

□ **최적제어, 저크제어에 의한 안전하고 효율적인 차량구동**

- 현재까지 IM의 효율적인 제어를 위한 벡터제어모델은 완벽하게 구현되지 않고 있다. 본 연구에서는 우선 슬립주파수 일정 실효전류제어를 구현하고 벡터제어의 가능성에 대해서도 연구한다. 이와 함께 차량을 속도를 정확히 검출하기 위한 속도센서를 차축에 장착한다. 출발시 차량의 급격한 충격을 제한하기 위하여 저크제어를 실시한다.

□ **자연냉각을 고려한 회로구조, 냉각방법, 제어기법 설계**

- 추진장치의 냉각방식은 자연공기냉각, 강제공기냉각 및 수냉 혹은 유냉식 간접열교환 방식으로 구분된다. 본 연구의 경우 주로 차량의 이동시에만 전력을 소모하므로 자연냉각방식을 취하여도 실제로는 가변속의 강제공기냉각으로 취급할 수 있다. 본 연구에서는 차량의 속도 및 실제 부하와의 연관관계를 파악하여 공기냉각에 최적인 자연냉각방식의 Heat-pipe 방식 냉각기를 적용한다.

□ **컴팩트한 외함 및 내부구조 설계**

- 추진장치는 차량의 하부에 취부되는 Under-frame 방식이다. 견고한 철제외함으로 장치를 구성하고, 외부의 오수, 오물 및 먼지로부터 차단을 위해 기밀 되어야 한다.

다. 보조전원장치 기술개발

○ 보조전원장치는 차량의 추진제어를 제외한 차내의 전원공급을 담당한다. 주로 공기압축기의 공급전원 및 차내 시스템의 제어전원을 공급한다. 배터리충전을 위한 직류출력장치도 보조전원장치의 시스템이다. 배터리충전회로는 3상 출력전압으로부터 절연트랜스를 통해 평활된 직류전압이 공급되며, 전압 및 전류제어에 의해 차내의 배터리를 충전시킨다. 주전력소자는 추진제어장치와 동일하게 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)가 사용되며 유지보수의 편리함을 위해 자연냉각방식의 히트싱크(Heat sink)를 사용한다.

(1) 개발내용

<표 4-43> 차량용 보조전원장치 설계항목 및 연구개발 내용

개념설계 항목	연구 내용	주요 사항
CVCF 제어	효율적인 PWM 방안 설계 연구	공간벡터(Space vector) 방식
피드백 제어	출력전압의 안정화방안	전류제어 피드백
냉각방식 설계	차량의 한계를 고려한 자연냉각방식 개발	협소한 차량 바닥부 고려
입력 필터회로 설계	입력 서지 및 고조파 발생 제한을 위한 필터회로 설계	LC 필터 감쇄 특성
통신방식	제어신호의 송수신 방안	하드웨어 형식
주회로소자 정격설계	소자의 한계, 열특성, 최적화 형태 등 고려	IGBT 선정
외함의 구조/배치 설계	기구적 설계의 적정성 검토	크기, 재질, 무게 등
배터리 충전제어	배터리 형식에 따른 충전방식 검토	충전방법, 전압 등

(2) 설계개념

□ 3상 380V Sine파 교류출력 설계

- 보조전원장치의 주요 출력은 3상 교류전압이고 차내의 편의시설 및 공기압축기의 전원으로 사용된다. 이를 위해 보조전원의 출력에는 PWM 출력전압을 평활하기 위한 스므딩 필터가 구비된다. 이에 따라 출력전압은 완전한 사인파이고 5% 미만의 출력전압왜율을 갖는다.

□ 배터리충전을 위한 절연된 직류출력 설계

- 보조전원장치의 중요기능 중의 하나는 직류출력을 발생하여 차내의 제어전원 및 배터리를 충전하는 것이다. 배터리를 충전하는 방법에는 전압제어, 전류제어, 전류/전압제어 등의 방법이 사용된다. 본 연구에서는 장치를 단순화하여 신뢰성을 향상시키면서도 출력전압 및 전류를 제어할 수 있도록 3상 출력전압을 허용된 범위 내에서 제어하여 배터리의 충전전류를 제어하는 방법을 사용한다. 이 방법은 ABB, SIEMENS 등 유럽의 여러 보조전원장치에서 사용되어 효용성이 검증된 방법이다.

□ 자연냉각을 고려한 회로구조, 냉각방법, 제어기업 설계

- 보조전원장치의 경우 차량의 주행 시에는 물론 정지 시에도 일정하게 전력을 발생시켜야한다. 본 연구에서는 실제 부하와 냉각장치의 효율 등을 파악하여 공기냉각에 최적인 자연냉각방식의 Heat-sink 방식 냉각기를 적용한다.

□ 컴팩트한 외함 및 내부구조 설계

- 보조전원장치는 차량의 하부에 취부되는 Under-frame 방식이다. 견고한 철제외함으로 장치를 구성하고 외부의 오수, 오물 및 먼지 차단을 위해 기밀 되어야 한다.

라. 차량전기장치 기술개발

(1) 설계항목

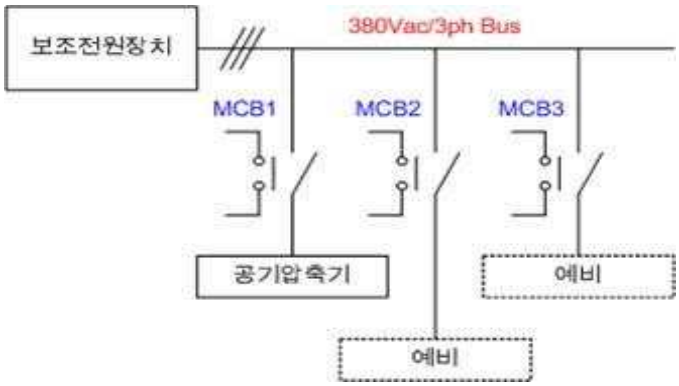
<표 4-44> 차량전기장치 설계항목 및 연구 개발내용

개념설계 항목	연구 내용	주요 사항
입력전압분배장치	집전부로부터 차량내부에 고압전원 분배	고압분전반 형식, 위치
저압분배장치	보조전원장치의 출력전압에 대한 분배	저압분전반 형식, 위치
배전함	고압/저압 회로설계, 접촉기/차단기 위치 검토	기구적 설계 검토
제어전원분배장치	제어전원(배터리전압)에 대한 투입/차단회로 검토설계	소요 제어전원 계산
수동운전 방안	안전한 수동운전 방안 검토	유사 inching 제어방법 고려

(2) 설계개념

□ **차내 배전설계**

- 집전자에서 입력된 DC750V는 고압분전반에서 추진제어장치와 보조전원장치에 연결
- 고압(750Vdc)배전반과 저압(110Vdc 및 3상 380Vac)배전반은 함 내부에 별도 설치
- 110V 직류배전반과 380Vac 교류배전반은 동일배전반함 내에 구역별로 배치
- 직류배전반과 교류배전반은 각 2개 이상의 예비전원연결장치 추가 부착 대비
- 배전반의 동작상태는 직렬통신장치를 통해 열차제어장치로 전송
- 배전함의 크기는 1200[L]x750[W]x550[H], 무게는 약 300[kg]
- 고압 및 저압은 별도의 커버로 구성



<그림 4-148> 380V 차내 교류전압 배선도

□ **수동운전장치**

- 차량은 관제실의 통제하에 자동운전이 우선이며, 검수 등을 위해 수동운전장치 설치
- 차량의 구조상 운전실이 없음을 고려해야 함
- 차량하부 측면부에 수동운전함을 배치하고 내부에 인칭(inching) 스위치를 설치
- 인칭 스위치를 동작시키면 열차제어장치에서 설정한 이동거리/이동시간 및 속도에 의해 차량이 스스로 주행하도록 제어
- 외부에 유선 연결되는 산업용 스위치를 인칭스위치로 사용하는 방법 고려하여 병행
- 무선은 철도차량의 신뢰성과 관련해 높은 보안이 필요해 일반산업용 사용은 무리함
- 이 경우에도 제동장치는 최우선 동작하여 이상발생시 비상제동 수행

마. 차량제어시스템 기술개발

(1) 개발내용

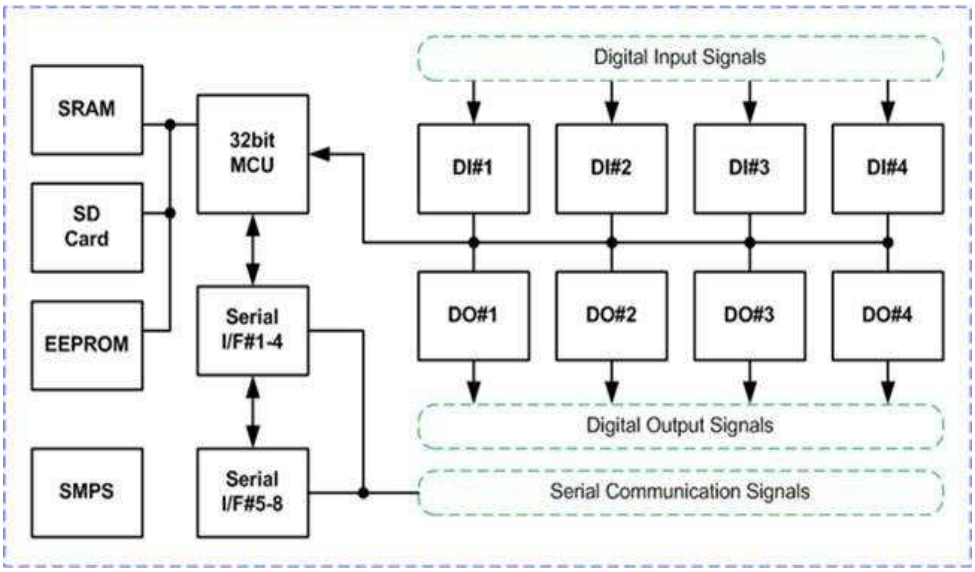
- 열차제어시스템은 차내의 추진제어장치, 보조전원장치, 제동제어장치 등과 통신을 통해 각 장치의 정상동작 여부를 파악하며 신호/통신시스템의 지령에 따라 차량의 제어를 수행하는 역할을 한다.

<표 4-45> 열차제어시스템 설계항목 및 연구개발 내용

개념설계 항목	연구 내용	주요 사항
통신대상 선정	신호기기와 인터페이스 방안 연구	직렬통신+디지털신호
통신방법 검토	통신형식(H/W), 통신프로토콜의 정의	프로토콜 초안 작성
제어기 설계	제어회로, 통신회로, 인터페이스회로 등	기능 정의 필요
하부기기 호출	하부기기와 통신에 의한 정보교환 방법, 방안	정보내용 정의 필요
통신포트	소요 통신포트의 수량 검토	RS485(or CAN) 베이스 직렬통신
인터페이스 설계	디지털, 아날로그 인터페이스 설계	입출력 I/O 정의

(2) 설계개념

- 차량의 내부구성이 기관차와 유사하므로 8200호대 전기기관차의 CCU(Car control unit)의 개념을 차용
- TCS(Train Control System)으로 명칭을 통일
- 열차제어+차량진단+통신인터페이스 기능 수행



<그림 4-149> 열차제어 및 차량진단/통신신호 인터페이스 장치

2. 차량용 추진제어장치 기술개발

가. 개요

(1) 차량추진시스템 전력변환 이론

(가) 컨버터(Converter)

· 동일전원(AC-AC, DC-DC)에서 전력변환을 하는 장치, 또는 교류를 직류로 변환(AC-DC)하는 장치는 넓은 의미에서 컨버터라 한다.

(나) 인버터(Inverter)

· 직류를 교류로 변환하는 경우는 인버터라 한다. 출력전압과 주파수가 일정한 경우 CVCF(Constant voltage constant frequency) 인버터라 하고 전압과 주파수가 순시적으로 변동하는 경우 VVVF(Variable voltage variable frequency) 인버터라 하며 일반적으로 전동기를 제어하는 경우 후자를 의미한다.

(다) 초퍼(Chopper)

· 직류전원을 또 다른 직류전원으로 변환하는 장치(입력과 출력 간에 절연이 확보되지 않음, 추진제어장치에서는 DC link의 과전압을 상시 보호하기 위하여 적용됨))는 초퍼라 한다.

<표 4-46> 초퍼(Chopper)의 종류

초퍼의 종류	특징
강압 변환기(Buck Converter)	입력전압에 비하여 강압된 출력 발생
승압 변환기(Boost Converer)	입력전압에 비하여 승압된 출력 발생
강압-승압(Buck-Boost Converter)	입력에 상관없이 강압 또는 승압 가능

(라) PWM(Pulse Width Modulation) 제어

· 펄스의 주기는 일정하게 두고 펄스의 폭, 즉 듀티비(Duty ratio)를 제어하여 임의의 출력을 발생시키는 방법

· 디지털 신호를 아날로그 신호로 변경하는 일반적인 방법

· 최근의 전력변환기는 대부분 PWM 제어를 기반으로 동작함

(2) 인버터장치의 제어방법

- 직류전원을 교류전원으로 변환하는 전력변환기는 인버터(Inverter)이며, 인버터는 전력변환의 과정에서 출력전압의 크기, 주파수, 위상 등을 제어할 수 있어야 한다.

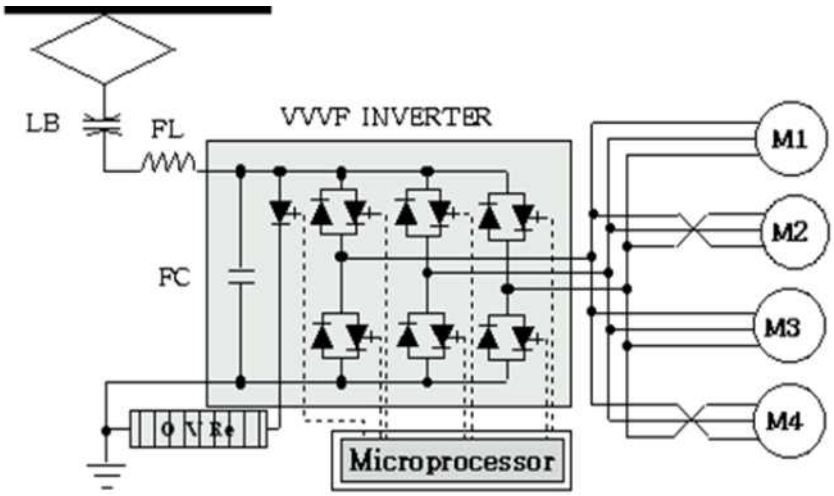
(가) 단상 인버터제어

<표 4-47> 단상 인버터 제어방식 비교

항 목	위상변이방식(Phase shift)	펄스폭변조(PWM)
제어원리	인버터의 각 상에 대하여 일정한 위상각를 부여함으로써 상간의 전압차이에 의하여 단일 펄스폭이 제어되는 방식	교류전압의 한 주기를 여러 개의 단위 펄스로 나누어 파형을 조합하는 방법
고조파발생	구형파 출력으로 인하여 고조파 발생이 높음	스위칭 주파수 이상에서부터 고조파가 발생됨
복잡성	비교적 간단한 하드웨어로 구성됨	연산이 많고 하드웨어가 복잡함
장점	하드웨어 간단하고 고주파전원에 적합	작은 필터로도 정현파 전원을 얻을 수 있음
적용분야	직류전원장치, 공진형 인버터 등	정현파 전원장치

(나) VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 인버터제어

· 가변전압, 가변주파수의 교류전압 출력이 가능한 것을 VVVF 인버터라고 한다. 제어방식은 PWM제어(pulse, 변조제어)를 사용한다. PWM 제어의 방식에 대해서도 삼각파나 톱니파로 변조를 거는 방식이나, 순시공간 벡터제어, 히스테리시스 컨버터제어 등이 이용된다. 가장 간소한 VVVF 인버터의 주회로 구성은 브리지 인버터(bridge inverter) 불리는 방식이다. PWM 제어에 의한 정부(正負) 2레벨의 펄스 전압을 출력하고, 평균전압으로서 목적의 진폭, 주파수를 가진 교류전압을 얻는다.



<그림 4-150> VVVF 인버터 구성도

(3) 추진시스템 견인력 산출

- 본 차량 견인력 산출은 인터모달 자동화물수송시스템 기술개발의 차량시스템 소요 견인력을 검토하여, 차량의 정상적 주행과 유도전동기의 회전력을 산출하고자 한다.

(가) 차량의 주요제원

- 차량시스템의 견인력을 산출하기 위한 차량의 주요제원 및 성능은 아래와 같다.

· 차량 편성 : 10량

· 운전방식 : 자동무인운전

· 최고속도 : 60km/h

· 최고운행속도 : 40km/h

· 최대가감속도 : 1.5km/h/s(0.417m/s2)

· 비상감속도 : 2.5km/h/s(0.694m/s2)

· 최급구배 : 35‰(가정)

· 자중(W1) : 34톤(차체 10.7톤, 대차 17톤/2대, 전기장치 5.5톤, 제동장치 0.8톤)

· 하중(W2) : 31톤(컨테이너 24톤 + 컨테이너 트레일러 샤시 7톤)

· 총중량(W3) : 65톤

· 관성질량(Wi) : 공차 : W1 x i = 340 x 0.14 = 47.6톤/10량편성(4.8톤/량)

만차 : W3 x i = 650 x 0.14 = 91.0톤/10량편성(9.1톤/량)

· 차륜경 : 신차륜 : 860mm(성능기준 : 820mm)

· 전동기 수량 : 4대/량(2대/대차)

· 기계효율 : 97.5%

(나) 주행저항산출

□ **주행저항**

- 10량 편성의 주행저항은 코레일에서 차축에 테이퍼 롤러 베어링을 사용하고 있는 화차주행저항식 사용한다.

· $\gamma_r = (1.0 + 0.012\,V + 0.00040\,V^2)\,W_3$ (kg)

= (1.0+0.012 x 40 + 0.00040 x 402) x 650

= 2.12 x 650

= 1,378kg(13,504N)/10량

· 여기서 : γ_r : 주행저항(kg/ton), V : 최고운행속도 40(km/h)

W3 : 총중량 650톤/10량

□ **구배저항**

$\gamma_g = W_3 \times \gamma$ (kg)

= 650,000 x 0.035 = 22,750kg(222,950N)/10량

여기서 : γ_g : 주행저항(kg/ton) γ : 최급구배 : 35‰

□ **차량 총저항**

$\gamma_t = \gamma_r + \gamma_g = 13{,}504\,N + 222{,}950N = 236{,}454N$

□ **열차 소요동력 산출**

- 정토오크 영역에서 열차 견인력 산출

$$T_f = [(W_3 + W_i) \times a] + \gamma_r / \eta$$
$$= [(650{,}000 + 91{,}000) \times 0.4160] + 13{,}504/0.975$$
$$= 330{,}010N/10량$$
$$\simeq 330{,}000N/10량$$

· 여기서 : T_f : 10량 열차 견인력(N) γ_r : 13,504N/10량

a : 0.416m/s^2 W_3 : 650,000kg/10량

η : 0.975%

· 10량 편성 열차 소요견인력은 약 330kN이다.

- 유도전동기 출력 산출

$$P = (T_f \times V)/3.6$$
$$= (330{,}000 \times 40)/3.6$$
$$= 3667.2kw/10량$$
$$\approx 3{,}680kw/10량(92kw/대)$$

· 여기서 : P : 유도전동기 출력(kw) T_f : 330,000N/10량

V : 40km/h

· 유도전동기 대당 92kw를 량당 4대(368kw) 설치한다.

□ 열차의 추진력 및 최고운행속도

- 견인전동기 정격 성능

· 대당 정격 출력(P) : 92kW/대

· 회전속도(N) : 1,850rpm

· 감속비 Z: 7.07

· 대당 회전력(τ_a) : $\tau_a = \frac{P \times 60}{2\pi \times N} = \frac{92{,}000 \times 60}{2 \times 3.14 \times 1850} = 475N \cdot m$

- 10량 열차의 최고운행속도(40km/h)에서 추진력 산출

$$F = \frac{2 \times n \times \tau_a \times R \times \eta}{D} = \frac{2 \times 40 \times 475 \times 7.07 \times 0.975}{0.82} = 319{,}4431N = 319.4KN < 330kN \text{ OK}$$

- 열차 최고운행속도 산출

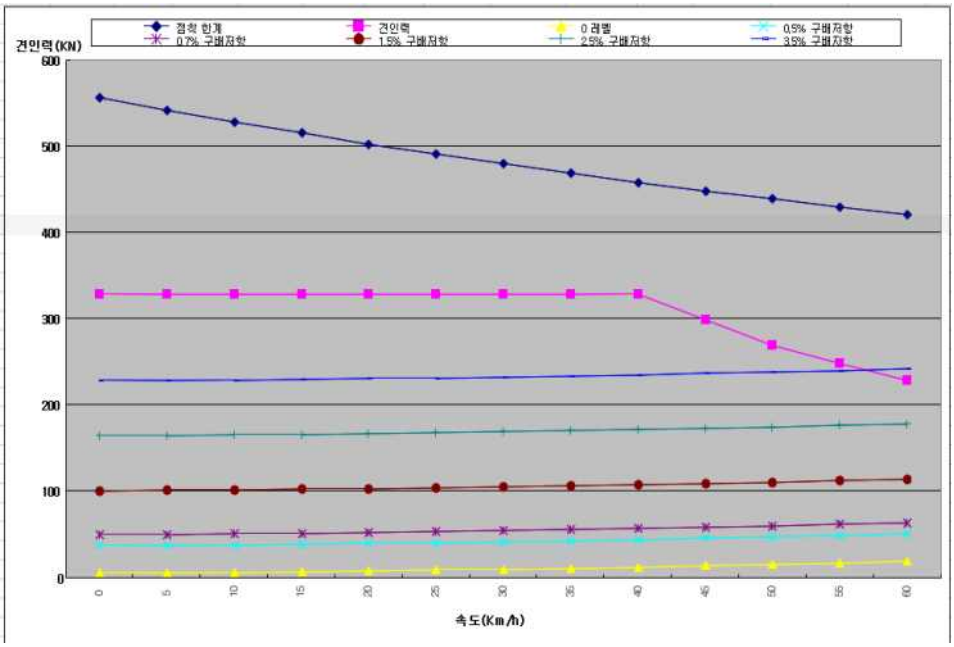
$$V = \frac{60 \times \pi \times D \times N}{R} = \frac{60 \times 3.14 \times 0.82 \times 1{,}850}{7.07} = 40.4km/h < 40km/h \text{ OK}$$

- 기어 감속비

· 감속비(R)=구동기어 잇수/피니언 잇수 = 99/14(7.07:1)

· 10량 편성의 열차가 최고운행속도 40km/h 추진력은 319kN 정도 요구되고, 유도전동기 출력은 330kN으로서 적정한 것으로 판단된다.

· 열차의 최고운행속도는 유도전동기의 회전수 1,850rpm에서 40km/h의 주행이 가능하다.



<그림 4-151> 10량 편성 열차 견인력선도

□ **설계속도 주행성능 검토**

- 설계속도에서 량당 주행저항

$$\gamma_r = (1.0 + 0.012\,V + 0.00040\,V^2)\,W_3 \quad (\mathrm{kg})$$

= (1.0+0.012 x 60 + 0.00040 x 60^2) x 650 = 2.054kg(20,129N)/10량

· 여기서 : γ_r : 주행저항(kg/ton)　　V : 최고속도 60(km/h)

W_3 : 총중량 650톤/10량

- 최고속도에서 가속도 0.15m/s^2 일 때 견인력 산출

$$T_f = [(W_3 + W_i) \times a] + \gamma_r / \eta$$
$$= [(650{,}000 + 91{,}000) \times 0.150 + 20{,}129]/0.975 = 134{,}645N/10량$$

· 여기서 : T_f : 견인력(N)/10량　　γ_r : 20,129N/10량

a : 0.15m/s^2(지하철구원기준)　　W_3 : 650,000kg /10량

η : 0.975%

- 열차의 최고속도 60km/h에서 견인력은 약 134,645N/10량 정도 소요되며, 견인력 선도에서는 60km/h 일 때 견인력이 약 230,000N/량 정도 전동기를 통해 구현되므로 주행이 가능하다.

□ **량당 4대의 전동기 중 2대 고장 시 주행성능 검토**

- 량당 2대의 전동기의 소요 견인력

$$T_f = [(W_3 + W_i) \times a] + \gamma_r / \eta$$
$$= [(65{,}000 + 9{,}100) \times 0.08 + 2{,}012.9]/0.975$$
$$= 8{,}144N/량$$

· 여기서 : T_f : 견인력(N)/량　　γ_r(주행저항) : 2,012.9N/량

a = 가속도 0.15m/s^2　　W_3(총중량) = 65,000kg/량

η = 0.975%

- 차량 당 소요 견인력은 약 8.146kN이다. 2개 전동기이 최대 16.5kN까지 견인력 출력이 가능해 주행 중에 4대중 2대 전동기기가 고장 시에도 0.08m/s2(0.28km/h/s, 도시철도구원기준) 이상 주행이 가능하다.

(4) 차량용 추진시스템 기능

(가) 추진제어

· 추진시스템은 열차를 가속시키기 위한 견인작용과 감속을 위한 전기적 제동역할을 한다. 이러한 역할을 위한 기본적인 추진시스템의 구성은 컨버터 및 DC를 AC로 변환하는 인버터, 유도전동기 및 추진을 제어하는 하드웨어장치 및 소프트웨어로 구성된다. 추진시스템의 주요 기능은 DC전원을 제어 가능한 3상 AC으로 변환하는 기능이다. 변환된 3상 전압은 유도전동기를 작동하여 추진 및 제동을 제어한다.

(나) PWM제어

· 최근의 추진제어방식인 VVVF 인버터방식은 DC입력전압을 원하는 출력전압과 주파수의 AC전력으로 변환하여 출력전압과 출력주파수를 제어할 수 있으며. 출력전압의 제어는 PWM제어 하여 출력주파수는 주요 소자의 순서를 스위칭함으로써 제어된다.

(다) 제동 및 회생제어

· 추진시스템은 열차제어시스템과 연계하여 열차제어시스템이 지령하는 추진 또는 제동의 제어명령을 수행하며, 가선에서 입력된 전력은 전동기 구동 및 보조전원장치로 분배하고, 제동시에는 회생전력을 가선으로 귀선시키는 기능을 수행한다.

(5) 추진제어장치용 전력소자의 종류 및 특징

(가) 추진제어용 전력변환장치 소자의 종류

<표 4-48> 전력변환장치 소자의 종류

종류	DIODE, SCR	BJT, IGBT, IPM	MOSFET	GTO	GCT, IGCT
용도	정류회로, 직류보호	인버터, 컨버터	인버터, 컨버터	인버터, 컨버터	인버터, 컨버터
용량	~수MVA	~수백kVA	~수kVA	~수MVA	~수MVA
대표 특성	Latch 기능	베이스전류 또는 게이트전압에 의한 스위치 제어	게이트전압에 의한 스위치 제어	게이트전류에 의한 스위치 제어	매우 낮은 게이트 인덕턴스, 고속스위칭 가능
속도	~수백Hz	~수십kHz	~수백kHz	~수백Hz	~수kHz
일반 형태	디스크, 모듈	모듈, 압접식 모듈	모듈	디스크	디스크+ Gate driver

(나) GTO(Gate Turn-Off) Thyristor 특징

· 사이리스터 계열의 대용량전력용 반도체소자로 게이트전류의 제어해 온-오프 가능

· 특징은 사이리스터와 달리 게이트에 역방향 오프전류를 가하여 소자를 Off 시킴

· 역방향 게이트 전류의 크기는 흐르는 애노드 전류의 크기에 비례

· 사이리스터로 온-오프회로를 만드는 것보다 전력회로 구성이 간단해지는 장점 있음

(다) IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 특징

· 트랜지스터(BJT)와 MOSFET의 장점을 결합한 전력용 반도체 소자

· BJT 장점 : 온상태에서 낮은 도통손실을 갖는 특성이 있으며, 고전압에 대해 잘 견딤

· BJT 단점 : 스위칭 속도가 느리고 특히 오프 시에 지연이 증가

· MOSFET 장점 : 턴 온과 턴 오프 속도가 매우 빠름

· MOSFET 단점 : 동작전압이 높을수록 온 상태에서의 도통손실이 증가

· IGBT는 GTO를 대신하여 대전력까지 사용이 확대되는 추세(6500V/600A까지 가능)

<표 4-49> IGBT의 주요특징

	항 목	특 징	
1	Package &Design	MOS 공정 한계로 인한 Chip 사이즈의 제한 -> 내부 병렬칩 구조	
		모듈(Module) 형	(장점) 전기적 절연이 쉽고, 방열 단순
			(단점) 반복적인 순간전류능력 부족, 폭발가능성
		압접(Press pack) 형	모듈형의 단점을 보완하기 위해 출시 (Fuji, Toshiba, ABB)
			소자의 파괴(Short)를 고려하여 Stack 내에 2직렬, 3직렬 등의 Redundant series 연결(n+1)을 사용 -> 정규검사 시 교체
2	On-state 특성	공정상 Latching devices(Thyristor, GTO) 보다 도통손실이 크다. 하지만 반도체의 두께가 작아져 도통전압도 현저히 개선되고 있음	
3	스위칭 특성	Turn-On, Turn-Off 특성은 Gate drive 조건에 따라 변동 가능, 통상 Snubberless 동작	
		Turn-On 동작	내부 MOSFET의 동작상태에 따라 결정됨. 최대 diC/dt는 환류 Diode의 recovery current를 고려하여 제어되어야 함
		Turn-Off 동작	dVce/dt가 특정값 이하로 되도록 Gate 제어필요
4	보호동작	이론적으로 게이트 전압크기를 제한하여 최대전류를 제한할 수 있음	
		과전류시 Vce의 포화전압을 검출하여 게이트를 차단하는 방법 사용	
5	과전류 파손시	모듈(Module) 형	일반적으로 open terminal로 나타남
		압접(Press pack) 형	일반적으로 short circuit로 나타남
6	Gate drive	게이트 드라이버의 역할이 매우 중요	

(6) 추진제어장치용 IGBT 게이트드라이버

- 추진제어장치에 적용되는 IGBT의 게이팅을 위한 GDU 장치는 특정 IGBT에 종속되어 사용하지 않으나 게이트 전압 및 전류의 조건에는 위배됨이 없도록 설계 한다.

<표 4-50> 추진제어장치용 IGBT Gate driver 구성요건

항 목	내 용	비 고
적용 IGBT	1700V/100A ~ 1700V/600A 까지	1700V/600A에 적용
회로 구성	1SMPS + 2Gate Amp	단일 PCB에 적용
내전압 사양	2500VAC/1분간/10mA 누설이하	
SMPS 사양	24Vdc_in, 25Vdc_out 2채널, 5Vdc	5V는 내부 제어전원
Gate Amp	IGBT 과전류 보호, 제어전원 이상 검출, 게이트 과전압 보호, Miller 효과 보호, On/Off 개별 전류제어,	IGBT 보호
동작 범위	-40도 ~ +70도	
최대주파수	20kHz/500nS minimum pulse	



<그림 4-152> IGBT 모듈형태(예시)

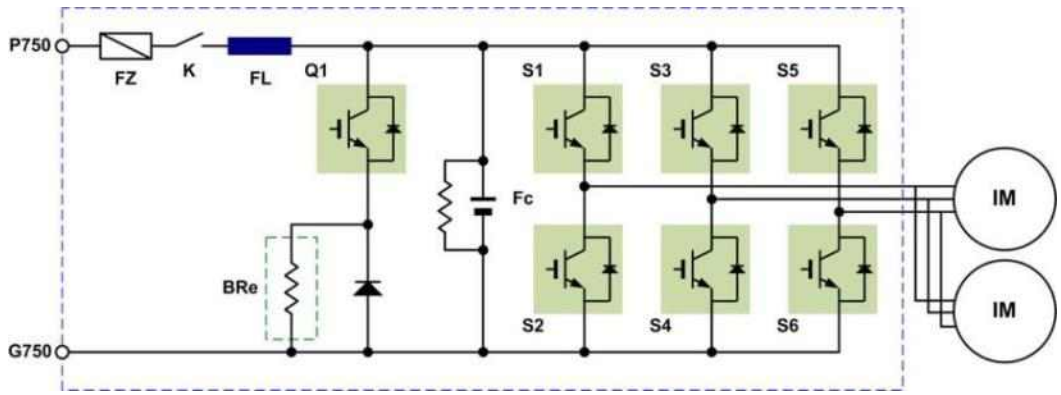
나. 추진제어장치 설계

(1) 주요사양

<표 4-51> 추진제어장치의 주요사양

항 목	내 용	비 고
정격입력전압	750Vdc	550~900Vdc (-30~20%)
출력전압	0~550Vac/3ph	PWM 등가전압
동작주파수	0~120Hz	3상 회전형 유도전동기
정격출력	200kW(230kVA)	IM 2set 구동
회로구조	2 Level VVVF Inverter	FOC(Field Oriented Control) 제어 및 슬립실효전류제어
주회로소자	Dual IGBT 1700V/600A급	Heat pipe 주행풍 냉각방식
제어기	32bit 전력제어 전용 DSC	Digital Signal Controller
기타사항	과전압제어 초퍼, 입력 고조파 제한용 필터	110Vdc 제어전원
장치효율	정격에서 94% 이상	
크기	2200[L]x750[W]x550[H]	보호등급 IP64

(2) 전력회로 구조 및 기능



<그림 4-153> 인터모달 차량용 추진제어장치 전력회로 구성

(가) 추진제어장치 기능

□ **회전형 유도전동기(Induction Motor, IM) 제어**

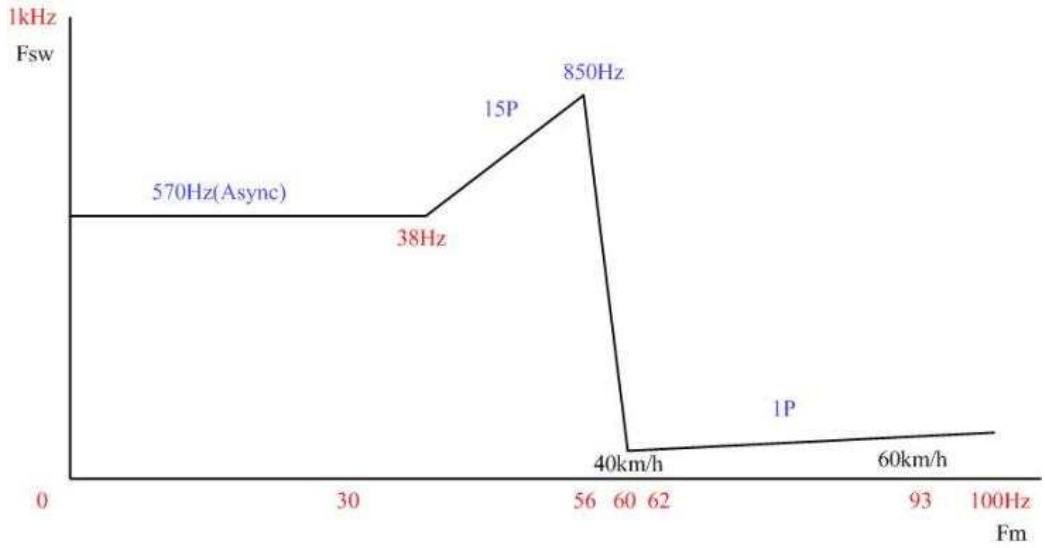
· 추진제어인버터장치는 동일한 크기와 동일한 전기적 성능을 갖는 농형유도전동기에 추력제어를 위한 전력을 공급한다. 제동 시에는 전동기로부터 전력을 발전하여 가선측으로 회생전력을 되돌릴 수 있도록 하며 순간적인 DC 전압의 상승을 억제하기 위하여 전압제어 초퍼 1대를 인버터 내부에 위치시킨다.

□ **최적제어, 저크제어에 의한 안전하고 효율적인 차량구동**

· 실효전류제어 및 벡터제어를 이용하여 전동기를 구동한다. 차량의 속도를 정확히 검출을 위해 속도센서를 차축에 장착한다. 출발 시 차량의 급격한 충격을 제한하기 위하여 저크제어를 실시한다.

(나) 추진제어장치 PWM 제어

· 추진제어장치(VVVF 인버터장치)를 최적의 조건에서 동작시키기 위해서는 PWM 방법에 대한 검토가 필요하다. 스위칭 주파수의 적절한 배분을 위한 비동기 및 동기 모드 PWM의 절환에 대하여 다음과 같이 제어한다.



<그림 4-154> 추진제어 인버터장치 PWM 동작패턴

· PWM 동작패턴은 비동기모드와 동기모드 및 과변조기법을 사용하여 스위칭 주파수의 범위가 최대 1KHz를 이하로 제어하도록 하였다. 15펄스 이후에는 과변조기법을 적용하여 펄스 수가 자연스럽게 감소하며 최종적으로 1 펄스모드로 전이된다.

· 0.1~38Hz까지 SVPWM 비동기모드(570Hz carrier frequency)를 유지한다.

· 38(570)~56(860)Hz까지는 15pulse mode, SVPWM을 사용해 동기PWM을 구현한다.

· 60.1(540.9)~100(900)Hz까지는 1pulse mode, 과변조기법 사용 동기PWM을 구현한다.

· 전동기의 정속(62Hz/1850rpm)에서 차량속도는 40Km/h가 되고, 93Hz/2480 rmp일 때 60km/h(최대속도)가 된다.

(3) 추진제어장치용 전력소자(IGBT) 선정

(가) 전력소자 검토 및 부하용량 계산

- 최대 부하용량 계산

· 정격조건에서 최대 출력전류를 계산하면, 200kW/550V/√3=209.9A가 됨 (1)

· 단시간(10초) 과부하 130%를 고려하면, 209.9A×130%=272.9A가 됨 (2)

· 입력전압 최대는 900Vdc, 출력전압은 550Vac이므로 1700V급 IGBT를 사용하면 전압범위에 만족됨

· 1700V/400A급부터 사용 가능하지만 안전을 위해 1700V/600A급 이상 사용

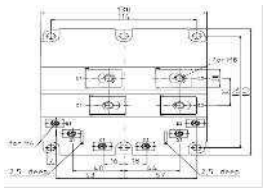
(나) IGBT 형상비교

· 구형 IGBT는 주로 62mm 모델로 구성되나, 크기가 크고 열전달계수도 최근 모델에 비하여 떨어짐

· 62mm 모델을 제외하고 다른 형상의 IGBT를 검토함

· Infineon사의 1700V/600A급의 Dual IGBT(FF600R17ME4)이면 상기의 조건에 부합하며, 설계사양을 만족시킬 수 있음

<표 4-52> 추진제어장치 IGBT 선정 비교표

IGBT 형태	장 점	단 점	모델
62mm	- 기본형상 이므로 여러 maker에서 동일한 형태, 다양한 전류용량 시판 중(최대장점) - 바닥면적이 넓어 방열에 유리 - Infineon, Semikron 등에서 동일형식의 IGBT 출시 중 - 단종의 우려 적고 제조사에 종속될 우려 낮음	- 600A 이상은 Single IGBT만 가능 - Arm 구성을 위한 IGBT의 배치가 쉽지 않음 - 넓은 바닥 면적 차지	FZ600R12KE4 
Econo DUAL3	- 4세대 IGBT Dual model로 소형화에 유리함 - IGBT의 배치가 매우 용이	- GDU PCB를 IGBT 위에 얹어야 하므로 IGBT와 GDU가 일체형으로 취급함 - 콤팩트한 구조이므로 발열에 유의 필요 - 타 maker에서 동일한 형상은 시판되지 않음	FF600R17ME4 
Prime PCAK2	- IGBT의 배치가 용이 - 대용량4세대 IGBT(Dual)	- 타 maker에서 동일한 형상은 시판되지 않음	FF900R12IE4 
IHM130mm	- 바닥면적이 넓어 방열에 유리 - 타사(미쓰비시 등)에도 동일 모델 있음	- 3세대 Dual IGBT로 단종의 우려 있음 - 넓은 바닥 면적 차지	FF800R12KE3 
결론	- EconoDUAL3 IGBT를 사용하는 것이 컴팩트한 추진제어 인버터에 적정 - IGBT 상면부에 GDU를 직접 설치할 수 있어서 노이즈 환경에 유리 - 입출력이 구분되어 있으므로 버스바 제작이 단순하고 유지보수 간단 - 4세대 IGBT로 손실이 적음		

(다) IGBT 동작 중 최대온도 계산

· IGBT 모델명 : 1700V/600A (FF600R17ME4)

· 동작온도 계산조건 : 230KVA/1.5kHz PWM

Control Algorithm		
Space Vector Modulation		
Modulation Type	**Standard**	
DC Link Voltage	**750**	V
Blocking Voltage	**1700**	V
Output Current (rms)	**290**	A
Output Frequency	**100**	Hz
Switching Frequency	**1500**	Hz
Modulation Index	**1**	
Power Factor cos(φ)	**0.8**	

<그림 4-155> 온도계산 시뮬레이션 조건

· 온도계산 시뮬레이션을 수행한 결과 인버터용 IGBT에서는 최대 부하(550V/290A/ 0.8PF)일 때 총 2.1kW(350W*6) 손실이 발생하며 dT=20도(상승)가 확인됨

· 초퍼용 IGBT에서는 240A 출력시 총 620W 손실발생하며, dt=30도가 상승하므로 온도상승 해소를 위해 병렬구동 하기로 함

IGBT Parameters

FF600R17ME4		
$V_{CEsat,125°C}$	2.35	V
$E_{on+Eoff,125°C}$	391.00	mWs
$R_{G,on}$	1.0	Ω
$R_{G,off}$	1.0	Ω
R_{thJC}	0.0369	K/W
R_{thCH}	0.0328	K/W
T_{vjmax}	150	°C

Diode Parameters

$V_{F,125°C}$	1.90	V
$E_{rec,125°C}$	143.00	mWs
R_{thJC}	0.0730	K/W
R_{thCH}	0.0378	K/W
T_{vjmax}	150	°C

Heatsink Parameters

$T_{Heatsink}$	70	°C
Fixed Heatsink Temperature		

Simulation Results

Maximum Junction Temperature			
IGBT I1	91	°C	✓
Diode I1	80	°C	✓
Switching Losses			
IGBT I1	94.03	W	
Diode I1	42.68	W	
Conduction Losses			
IGBT I1	177	W	
Diode I1	33.13	W	
Total Losses			
IGBT I1	271	W	
Diode I1	75.81	W	

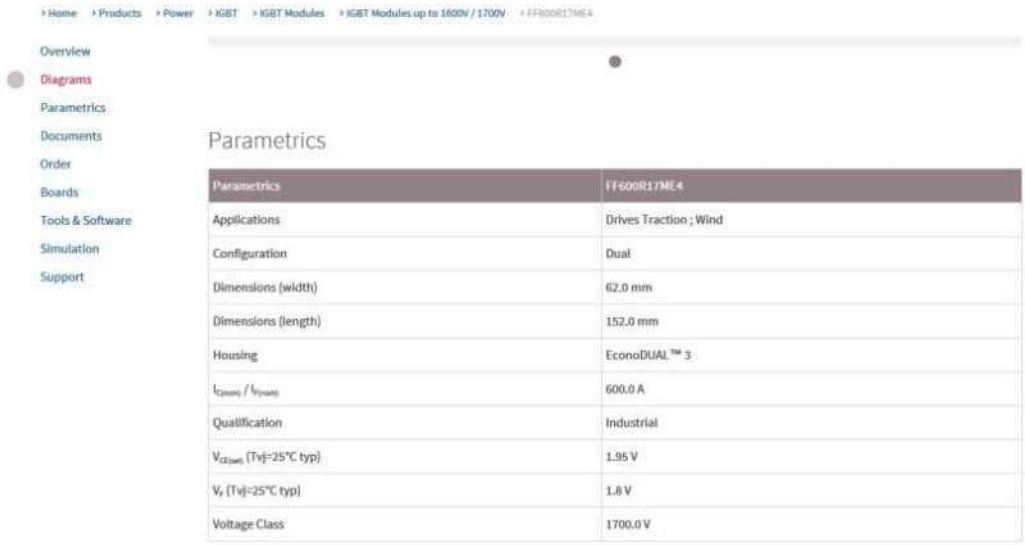
<그림 4-156> 온도 시뮬레이션 결과

(라) 최적 IGBT 선정

· 추진제어장치를 위해 선정된 최적의 IGBT 사양을 아래 그림에 나타냄

· 제조사는 Infineon으로 전세계 철도차량용 IGBT의 70% 이상을 공급하는 반도체 전문기업임. 따라서 여타의 IGBT에 비하여 신뢰성이 높고 취급이 쉬운 장점이

있음



Parametrics	FF600R17ME4
Applications	Drives Traction ; Wind
Configuration	Dual
Dimensions (width)	62.0 mm
Dimensions (length)	152.0 mm
Housing	EconoDUAL™ 3
$I_{C(nom)}$ / $I_{F(nom)}$	600.0 A
Qualification	Industrial
$V_{CE(sat)}$ (Tvj=25°C typ)	1.95 V
V_F (Tvj=25°C typ)	1.8 V
Voltage Class	1700.0 V

<그림 4-157> 200KW 추진제어장치용 전력소자 선정

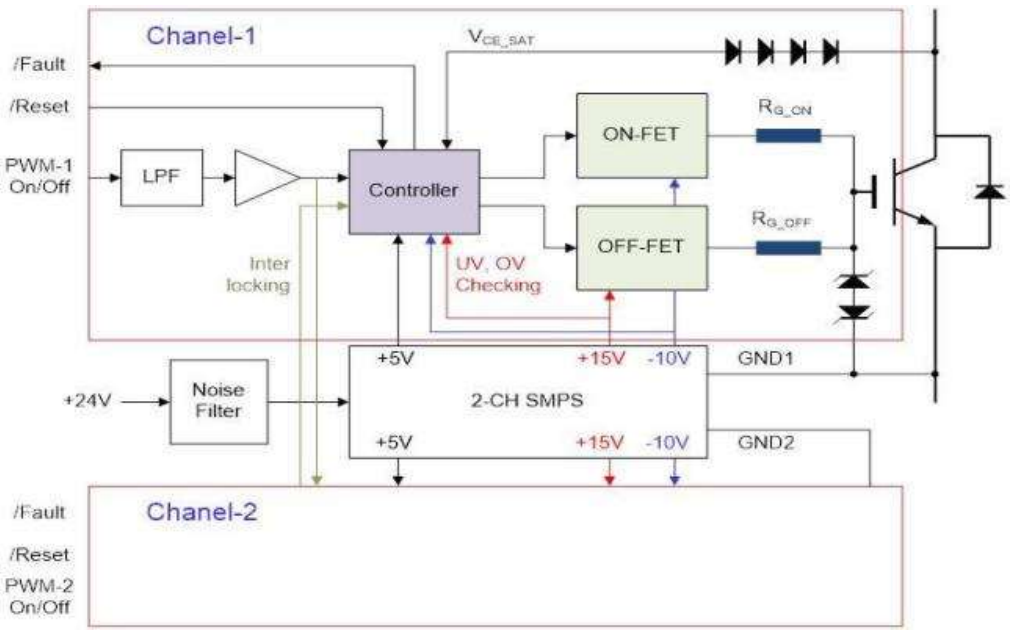
· 이 IGBT는 25℃ 상온에서는 1700V/950A의 연속출력이 가능하며 최대 접합면온도인 175℃에서도 1700V/600A의 연속출력이 가능하므로 최악조건에서도 추진제어장치의 정격 250% 이상의 전류마진을 갖음

· 한편 IGBT는 케이스 내부에 2개가 하나의 암(Arm) 형식으로 존재하며 각각 600A의 정격전류 용량을 제공함

· 케이스의 상면부에는 IGBT와 연결하기 위한 단자가 존재하며 여기에 직접 GDU가 장착되므로 배선의 길이 등으로 발생하는 노이즈 영향이 최소가 되는 장점이 있음

(4) 추진제어장치 IGBT GDU(Gate Drive Unit) 설계

(가) IGBT 게이트드라이버 회로구성



<그림 4-158> 추진제어장치 GDU 회로구성 다이어그램

(나) IGBT 게이트드라이버 기능설계

□ 입력 PWM 신호 잡음제거

· GDU에 입력되는 신호는 광절연신호 또는 TTL 레벨의 디지털논리신호가 입력된다. 신호라인의 길이와 동작조건에 의하여 신호선에는 잡음성 노이즈가 혼재하므로 이를 충분히 방지키 위해 PWM 입력단에는 전류 shunt를 위한 신호감지용 저항이 신호입력과 병렬로 적용된다. Shunt되는 전류의 크기는 최소한 10mA 이상이어야 한다. 션트저항의 양단전압을 검지하는 회로에는 저항과 캐패시터로 이루어진 저역통과필터를 설치해 신호에 섞인 노이즈 성분을 가능한 완전히 제거한다.

□ 절연된 PWM 신호 입력

· 입력 PWM 신호는 제어 IC 내부에서 광신호에 의하여 절연된다. 입출력간의 과도절연전압 레벨은 1분간 2500V에서 견디도록 설계한다.

□ 상하 암(Arm) PWM 신호의 단락방지

· 2개의 IGBT가 하나의 암(Arm)으로 동작하는 경우 이유를 알 수 없는 단락이 종종 발생한다. 주된 원인으로는 허용되지 않는 입력논리의 경우와 노이즈에 의한 순간적인 논리의 변화 등이 알려져 있다. 본 설계에서는 상기의 두 가지 모두의 경우를 방지하기 위하여 임의의 순간에 상하의 IGBT에는 반드시 1과 0(혹은 0과 1)으로만 동작하도록 인터록(Interlock) 회로를 적용하여 기기를 보호하도록 한다.

□ 게이트 저전압 감지

· IGBT 게이트 전압이 충분하지 않는 경우(약 12.3V 이하) GDU 장치는 저전압 고장을 발생시키고 출력을 Off 상태로 유지한다.

□ 게이트 과전압 방지

· IGBT게이트에는 과도상태시 게이트의 전압이 제어전압보다 높은 경우 방전을 위한 보호 다이오드가 부착되어 있다. 이 다이오드는 과도 상태시 IGBT가 IGC 전류에 의한 Miller 효과를 방지하는 기능을 제공하여 IGBT를 보호한다.

□ On/Off 비대칭 전류제어

· IGBT의 입력은 FET로 되어 있으므로 On/Off 특성은 게이트에 연결되는 전류의 주입속도에 의하여 결정된다. 사용자가 원하는 dv/dt, di/dt 특성을 수용할 수 있도록 전류제어를 위한 On/Off 전류의 변경이 가능하도록 설계되어야 한다.

□ 절연된 고장감지 신호

· 게이트 제어장치가 고장을 발견하면 즉시 출력은 오프상태가 되고 고장이 발생되었음을 알리는 신호가 필요하다. 본 설계에서는 절연된 TTL 부논리를 적용하여 고장이 발생되면 0신호를 발생시키도록 회로를 구성한다.

□ 절연된 제어 IC 리셋 신호

· 고장을 감지하여 Off된 게이트 제어장치를 회복시키기 위하여 절연된 리셋 신호가 사용되어야 한다. 리셋 신호는 부논리의 TTL 신호를 적용한다. 노이즈 등에 의하여 임의의 순간에 오작동을 방지하기 위한 필터회로를 사용한다.

□ 표시장치

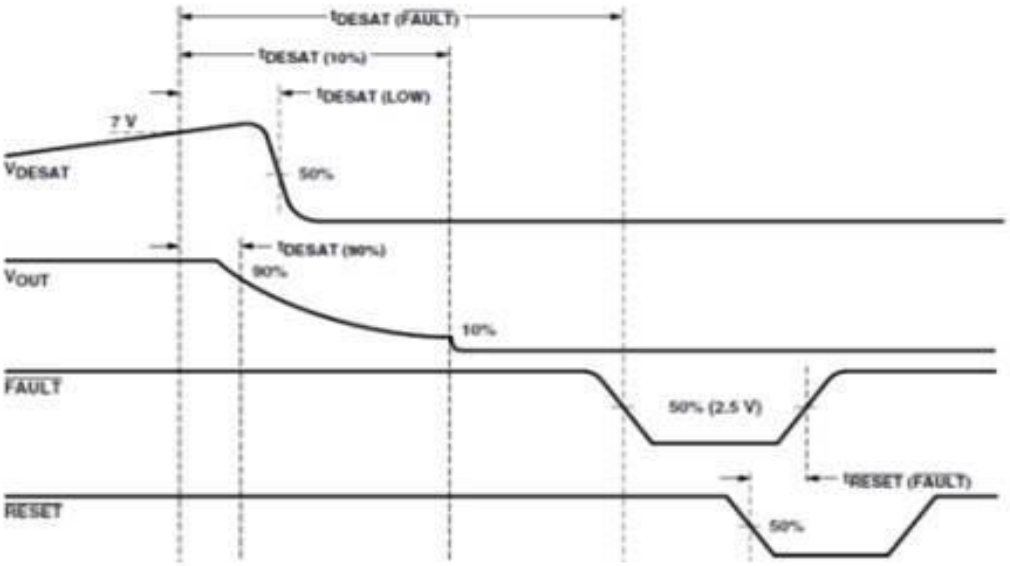
· GDU의 동작을 직관적으로 알 수 있도록 표시용 LED를 설치한다. 설치되는 LED의 종류는 입력 PWM 신호, 고장 발생 신호, 전원표시 등이다.

<표 4-53> GDU의 표시기능

LED	내 용	비 고
녹색	PWM 입력의 확인, 점멸	각각의 채널에 적용
적색	고장발생시 점등, 리셋시 소멸	각각의 채널에 적용
황색	SMPS의 정상동작표시	

□ 콜렉터 과전류에 의한 DeSaturation 검출

· IGBT는 기본적으로 Transistor의 기능을 가지고 있어서 콜렉터 전류가 증가하면 VCE 전압이 비례하여 증가된다. 콜렉터 전류가 과도하게 흘러 VCE 전압이 특정 레벨(7.2V)을 넘으면 De Saturation 방지에 의한 과전류제한 기능이 동작한다. DeSaturation 검출시간은 약 10us이며 이 시간동안 과전류가 해소되지 않으면 GDU는 급작스런 dv/dt의 증가를 방지하기 위한 Slow Off 기능을 수행하여 IGBT를 Off시켜야 한다.



<그림 4-159> De-Saturation 검출 시 게이트 및 고장의 처리

(5) 추진제어장치 입력필터 선정

- 입력회로의 후단에는 가선으로부터의 고조파침입 또는 추진제어장치로부터 발생되는 PWM 고조파의 영향을 제한하기 위하여 필터회로가 필요하다. 필터인덕터는 필터캐패시터와 함께 인버터의 저주파차단 필터로 작용한다.

(가) 입력필터 계수

<표 4-54> 입력필터 구성장치별 계수

구성장치	계수	비 고
필터인덕터	1.0mH/270A	직류 리액터(적층코어)
필터캐패시터	3.2mF/1100V	

(나) Cut off 주파수

$$Fc=1/(2\pi\sqrt{(LC)})=89.0Hz$$

· 상용주파수(60Hz)의 기본파 및 2차 고조파 중간에 위치하므로 가선을 통한 변전시설에 미치는 영향이 최소화 됨

(6) 추진제어장치 성능시뮬레이션

(가) 성능계산 내용 및 조건

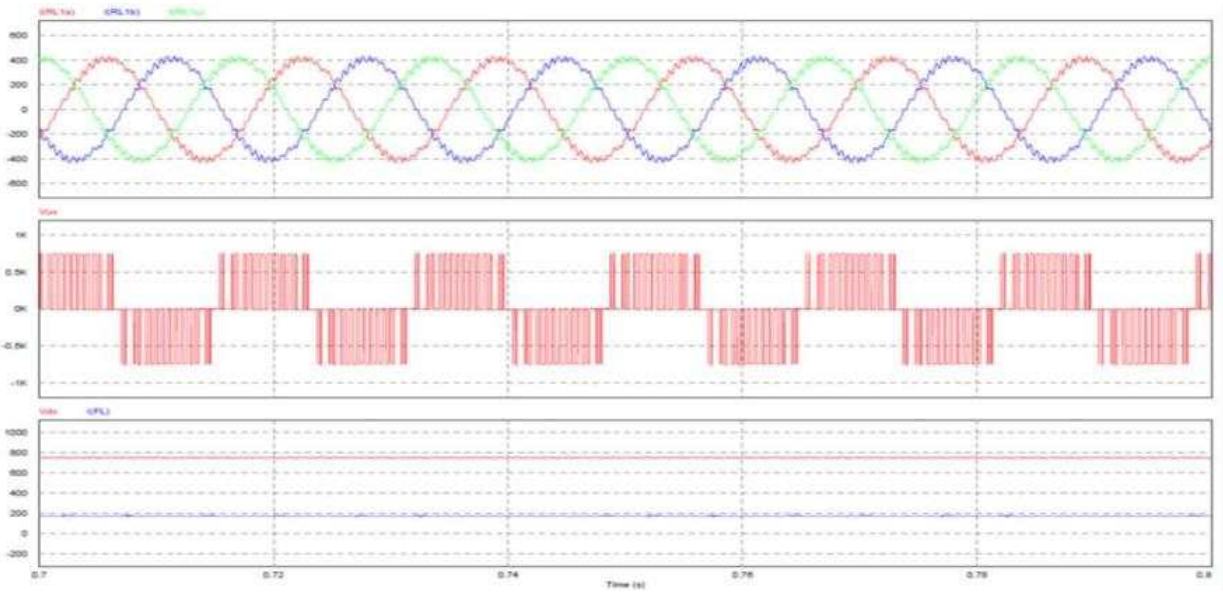
· 정격입력(750Vdc), 최대부하(60Hz/550V/230kVA)에서 PWM 패턴 변화에 따른 인버터의 동작특성을 파악하기 위함

· 입력필터계수는 Fc=3.2mF, FL=1.0mH임

· PWM 패턴제어를 위해 동기식 15P 모드에서 동기식 9P 모드로 변환하는 것 모의

(나) 성능 시뮬레이션 결과

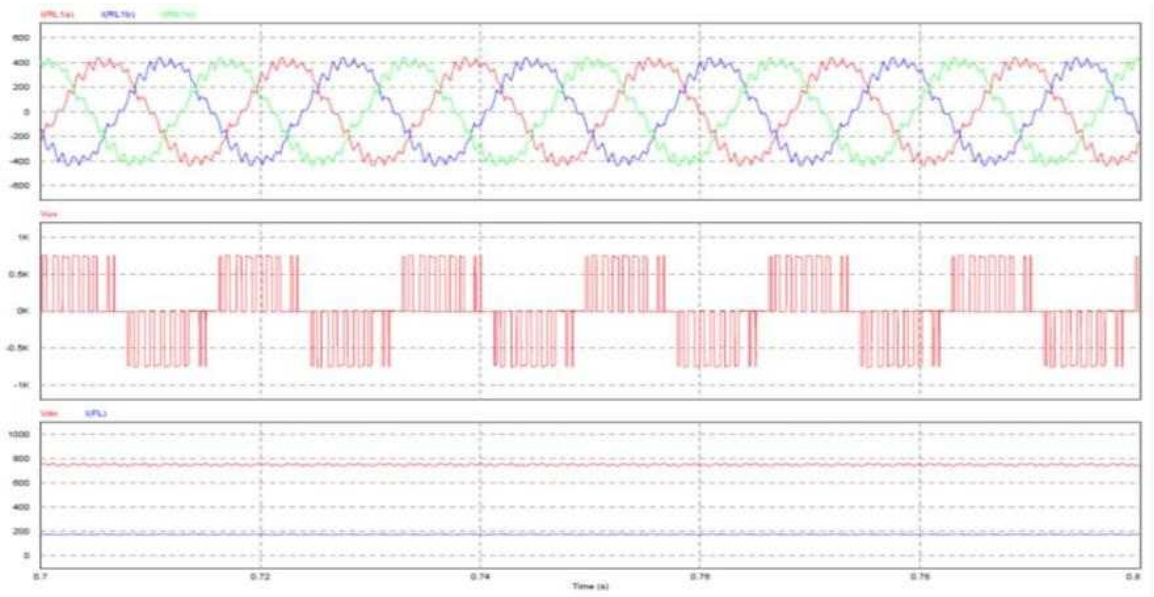
· 60Hz/550V/288A에서 15pulse PWM의 경우



<그림 4-160> 성능시뮬레이션 결과(15pulse)

· 60Hz/550V/288A에서 9pulse PWM의 경우

· 15P에 비하여 9P에서 DC link 전압의 리플이 소량 증가하지만 보상이 필요한 정도는 아니며 입력필터 리액터의 전류변화도 매우 적어서 필터계수의 선정은 유효한 것으로 판단됨.



<그림 4-161> 성능 시뮬레이션 결과(9pulse)

(7) 하드웨어 설계

(가) 입력회로

□ **입력 필터인덕터**

· 입력회로의 후단에는 가선으로부터의 고조파침입 또는 추진제어장치로부터 발생되는 PWM 고조파의 영향을 제한하기 위하여 필터인덕터가 사용된다. 필터인덕터는 필터캐패시터와 함께 인버터의 저주파차단 필터로 작용하므로 보조전원장치로 투입되거나 방출되는 고조파의 제한에 매우 효과적이다.

□ **입력 필터캐패시터**

· 입력필터인덕터를 거친 DC 전압은 DC 링크 필터캐패시터에 저장되고 평활된다. 캐패시터에 가해지는 전압/전류 스트레스를 최소화하기 위해 다수개의 AL Electrolytic capacitor를 PCB 상에서 직/병렬로 연결해 뱅크를 구성한다. 필터캐패시터 뱅크의 한쪽은 필터리액터의 출력이 연결되고, 다른 한쪽은 인버터의 입력이 연결시켜 간편하게 하였다. 이 것은 전력배선에 포함된 인덕턴스를 최소화할 수 있어 소자의 On/Off시에 발생하는 서지(Surge)성 전압/전류를 최소화 한다.

(나) 게이트 드라이버

· IGBT 게이트 드라이버(Gate driver unit)는 추진제어장치에서 중요한 전기부품이다. 신뢰성 향상을 위해 IGBT 상면에 직접연결되는 구조를 채택하였고, 내부에 전압제어가 가능한 능동형 SMPS를 사용하여 입력전압의 변동에서도 IGBT 게이트의 구동전압이 변동치 않게 하였다. 게이트드라이버의 입력과 출력은 전기적 절연되었다.

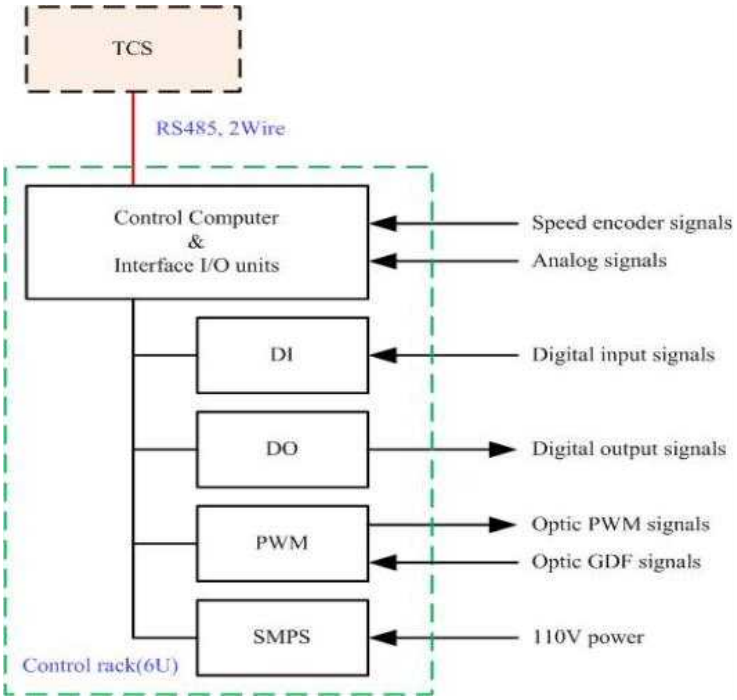
(다) 센서회로

· 입출력전압과 전류 검출을 위해 센서회로가 부착되었다. 전류센서로는 Hall 소자를 전압형 DCCT로 사용하였으며 전압센서는 절연된 센서 IC를 사용해 직류 혹

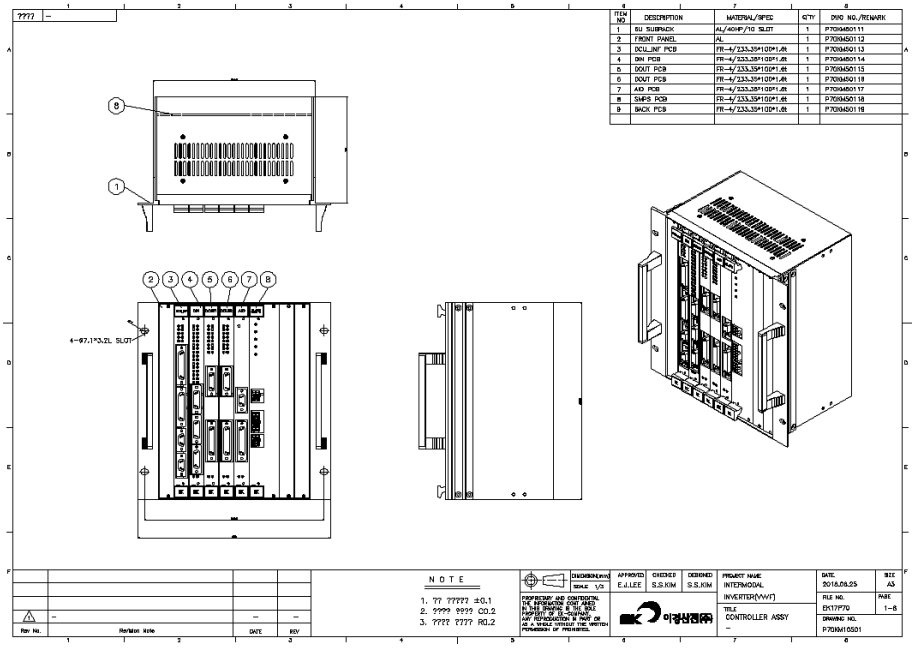
은 교류전압을 검출한다. 출력전압이 접지되는 것 감지를 위해 영상변류기가 사용된다.

(라) 제어컴퓨터장치

· 32 비트의 전력변환기 전용 DSC(Digital signal controller)가 사용된다. 제어회로에서는 컨버터와 인버터를 실시간으로 제어하고 각종 센서로부터 발생되는 아날로그 신호와 디지털 신호를 처리하며 상시 고장 유무를 판단한다. 내부에는 고장메모리를 탑재하고 있어서 고장발생시 고장유형과 시간을 기록할 수 있다. 기록된 정보는 직렬통신장치(RS232C 또는 RS485)를 사용하여 외부 PC에 연결된다.



<그림 4-162> 제어컴퓨터 구성다이어그램



<그림 4-163> 제어컴퓨터조립도

□ 속도센서 출력신호 인터페이스

· 3종의 속도신호용 센서장치를 사용하여 인버터 장치를 제어

· 전동기로부터 발생되는 아날로그(발전전압) 형식의 저주파수 속도신호(A, B 상) 인터페이스와 2개 차축으로부터 발생되는 디지털 형식의 고주파수 속도신호(A, B 상) 인터페이스가 구비됨

· 센서 입력회로에 차동증폭회로를 적용하여 노이즈에 의한 신호의 왜곡이 최소화 되도록 조치함

<표 4-55> 속도신호 종류별 센서사양

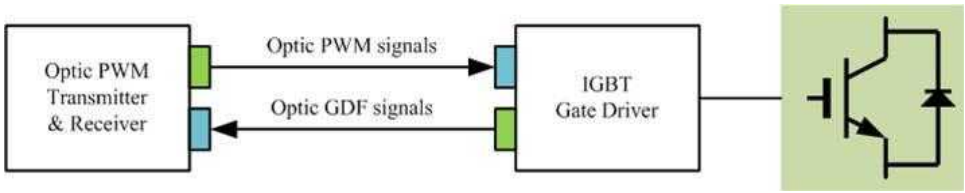
속도신호 종류	센서	Phase	펄스 수	신호크기	비고
전동기 축	TAMAGAWA TS2802N12E1	2상	60P/rev	1.0Vpp@30rpm 이상	아날로그
차축 A	Autonics E50S8-1000-3-T-24-C	2상	1000P/rev	15V/0.5D	디지털
차축 B	Autonics E50S8-1000-3-T-24-C	2상	1000P/rev	15V/0.5D	디지털

□ 광 PWM 인터페이스

· 추진제어용 인버터에 사용되는 IGBT는 고전압에서 대전류를 스위칭 하므로 On-off 시에 dv/dt, di/dt에 의한 과도서지가 발생한다. 게이트 드라이브장치는 IGBT의 상면에 직접 부착되어 타장치에 비하여 노이즈소스에 근접하게 된다.

· 한편 IGBT를 구동하는 PWM 신호는 게이트드라이브 장치에서 멀리 떨어진 곳에 위치하는 제어 컴퓨터장치에서 발생된다. 연결을 위하여 신호용 전기케이블을 사용하면 서지 발생 시에 방사노이즈에 노출되어 이를 제거하기 위한 필터링이 사용되고 필터 장치는 위상의 지연이나 소신호에 대한 무시가 필연적으로 발생한다. 이에 비하여 광 신호를 이용한 PWM 신호의 전달은 방사 및 전도성 노이즈의 영향과 무관하므로 원하는 신호를 왜곡없이 전달할 수 있는 장점이 있다.

· PWM PCB는 제어컴퓨터에서 발생한 PWM 신호를 광으로 변환해 GDU에 전송하는 기능하는 한편 GDU에서 검출된 IGBT 고장신호를 광수신 기능도 수행한다.



<그림 4-164> 광 PWM 및 고장신호 인터페이스

□ 디지털 입력신호 인터페이스

· DI PCB는 디지털신호의 입력인터페이스에 사용되며 32채널의 100Vdc 입력을 절연된 형식으로 처리한다. 신호는 스위치 신호, 접촉기 피드백신호로 이루어진다.

□ 디지털 출력신호 인터페이스

· DO PCB에서는 신호용 고속릴레이를 사용해 무극성의 Dry contact 접점을 제공

한다. 총 16채널의 디지털출력신호는 접촉기 제어, 디지털신호 전달에 사용된다.

□ **아날로그 입력신호 인터페이스**

· 8채널 12비트 아날로그-디지털 변환 장치 적용

· 신호입력은 0~20mA 또는 -5~+5V 아날로그 신호에 대응

· 모든 신호입력은 고임피던스의 차동증폭회로 및 적절한 저주파필터를 적용하여 노이즈에 의한 왜곡이 최소가 되도록 함

(마) 전원장치

· 전원장치는 노이즈제한 입력필터와 2종의 SMPS로 구성된다. SMPS-1은 제어전압인 +5V 및 센서전원용 +/-15V를 발생시키며 SMPS-2는 +24V 전원을 발생시킨다. SMPS 장치는 내부에 보호기능이 있어서 입력과전류, 소자과온으로부터 보호된다.

(바) 초퍼 및 인버터 전력스택

· 전력스택은 열차가 주행 시에만 동작하므로 자연냉각방식을 취하여도 강제냉각방식과 유사한 소자 및 기기 냉각효과가 발생한다. 본 연구에서는 Heat pipe 형식의 냉각장치를 주행방향과 동일하게 설치하여 전력소자의 냉각효율을 극대화 한다. IGBT 및 필터캐패시터 등의 내부 장치는 Heat pipe 위에 모듈형식으로 부착된다. 또한, 내부에는 회로의 배선을 최소화하고 조립의 편리성을 제공하기 위하여 전력회로에 대해서는 대부분 Bus bar 형태의 연결방식이 사용된다. 각각의 기본 장치들은 모듈화하여 추후에 발생할 유지/보수의 편의성을 도모하였다.

(사) 외함

· 추진제어장치는 차량의 Under-frame 하부 취부방식이다. 견고한 철제외함으로 장치를 구성하고 외부의 오수, 오물 및 먼지로부터 차단을 위한 기밀이 되어있다.

다. 추진제어장치 제품제작

(1) 내용

- 동일한 크기와 동일한 전기적 성능을 갖는 2대의 유도전동기에 추력제어를 위한 전력을 공급하는 추진제어장치는 정격입력전압 750Vdc를 공급받아 0~550Vac/3상 전압을 출력하는 200KW급 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 인버터시스템이다. 주전력소자는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용하여 전력변환효율을 향상시켰으며, 히트파이프(Heat Pipe)방식의 자연냉각장치를 적용하여 차량의 하부공간 활용성을 높이고, 시스템을 경량화하였다. 장치구성은 입력회로, 초퍼 및 인버터 전력스택, 제어컴퓨터장치 등이며, 추진제어장치를 Under-Frame 취부하며, 외함은 강재를 사용하여 변형이 없도록 하였으며, 외부로부터 습기나 먼지의 침입이 없도록 제작되었다.



<그림 4-165> 운송차량용 VVF 인버터 시제품

(2) 입력회로

- 추진제어장치의 입력회로는 장치보호용 퓨즈, 주접촉기, 보조접촉기, 입력전류검출용 DCCT, 입력필터용 인덕터 및 캐패시터로 구성되어 있다. 추진제어장치 입력전압의 범위가 정상이고 장치의 동작명령이 유효하면 보조접촉기가 먼저 동작하여 내부 캐패시터의 충전을 시작한다. 이 후 충전이 완료되면 주접촉기가 동작하고 보조접촉기는 해제되며 장치가 정상적으로 동작하기 시작한다.

<표 4-56> 추진제어장치 입력회로 구성품

품 명	사 양	수 량	비 고
휴즈	1200V / 500A	1	
주접촉기	900V / 1500A	1	
보조접촉기	1000V / 40A	1	
초기충전용 저항	50Ω / 300W	1	
입력필터용 리액터	1.0mH / 270A	1	
입력필터용 캐패시터	0.47uF / 1250V	1	
입력전류검출용 DCCT	600A / ±15V	1	



<그림 4-166> 추진제어장치 입력회로 시제품

(3) IGBT 게이트드라이버

- 추진제어장치에 적용되는 IGBT의 게이팅을 위한 게이트드라이버 장치(Gate Driver Unit, 이하 GDU)는 일반적으로 특정 IGBT에 종속되어 사용되지는 않으나 게이트 전압 및 전류 등의 조건에 맞도록 제작되었다.

<표 4-57> 추진제어장치용 IGBT GDU 사양

항 목	내 용	비 고
적용 IGBT	1700V/100A ~ 1700V/600A 까지	
회로 구성	1SMPS + 2Gate Amp	단일 PCB에 적용
내전압 사양	2500VAC/1분간/10mA 누설이하	
SMPS 사양	24Vdc_in, 25Vdc_out 2채널, 5Vdc	5V는 내부제어전원
Gate Amp	IGBT 과전류 보호, 제어전원 이상 검출, 게이트 과전압 보호, Miller 효과 보호, On/Off 개별 전류제어,	IGBT 보호
동작 범위	-40도 ~ +70도	
최대주파수	20kHz/500nS minimum pulse	



<그림 4-167> IGBT GDU 시제품



<그림 4-168> 초퍼 및 인버터 전력스택 시제품

(4) 초퍼 및 인버터 전력스택

- 초퍼 및 인버터 전력스택은 Heat pipe 방식의 냉각장치위에 모듈형식으로 취부되며, 주요 구성품은 IGBT, GDU, 전류CT 및 스너버캐패시터로 전력스택의 각 소자들은 취부와 조립이 용이하도록 배치하였고, 냉각효율을 높일 수 있는 구조로 제작되었다.

<표 4-58> 추진제어장치 초퍼 및 인버터 전력스택 구성품

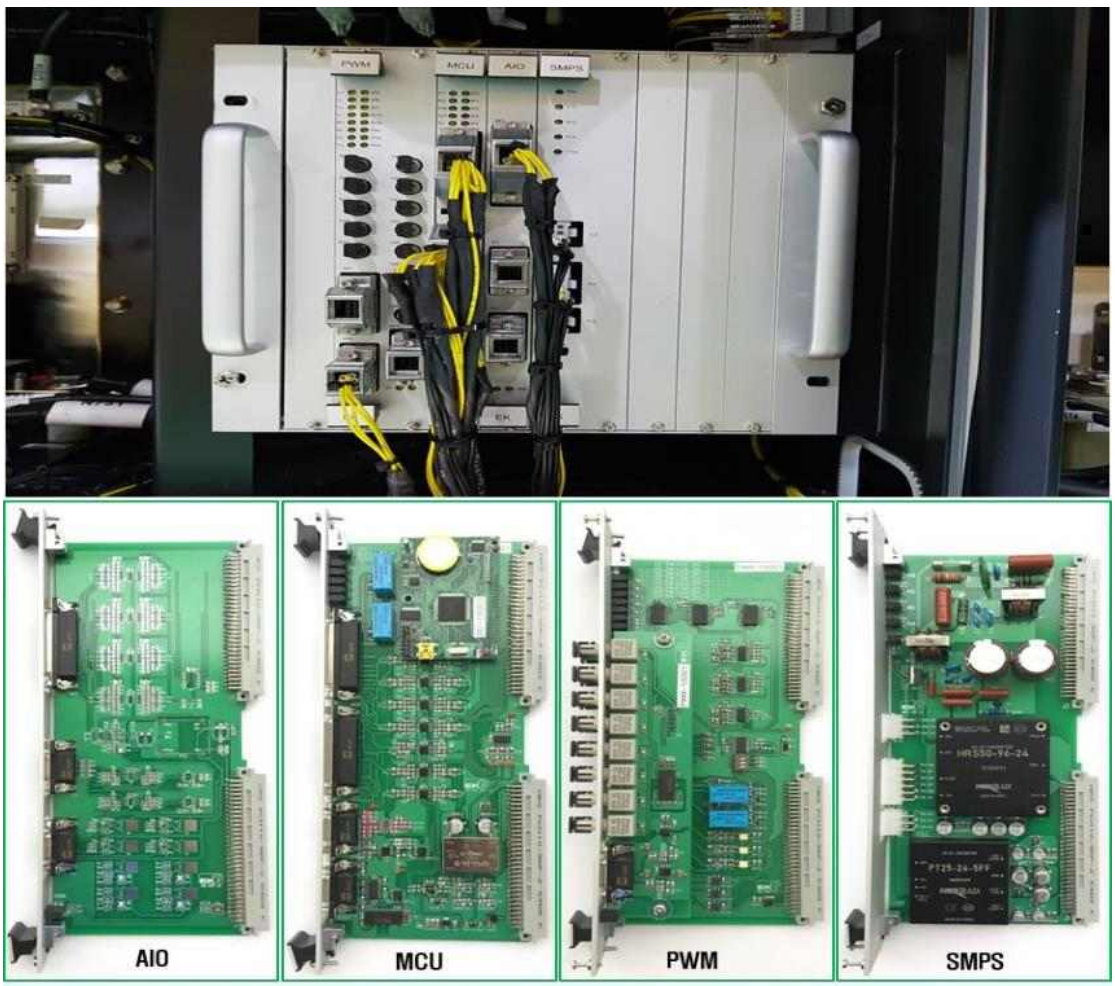
품 명	사 양	수 량	비 고
IGBT	1700V / 600A	5	
IGBT GDU	추진제어장치용	5	이경 개발품
전류CT	400A / ±15V	1	초퍼용
전류CT	600A / ±15V	3	출력용
스너버캐패시터	4.7uF / 1700V	5	
DC링크 캐패시터	800uF / 1100V	4	

(5) 제어컴퓨터장치

- 추진제어장치는 6U Rack에 설치된 제어컴퓨터장치에 의하여 수행된다. 제어컴퓨터장치는 MCU, AIO(디지털/아날로그 인터페이스), PWM 광 인터페이스 및 전원장치로 구성된다. 제어컴퓨터장치는 DC110V를 입력전원으로 사용하고 DC 110V 디지털 입출력 신호 및 4~20mA 또는 -5~+5V 검출을 위한 8채널 ADC가 내장되어 있다.

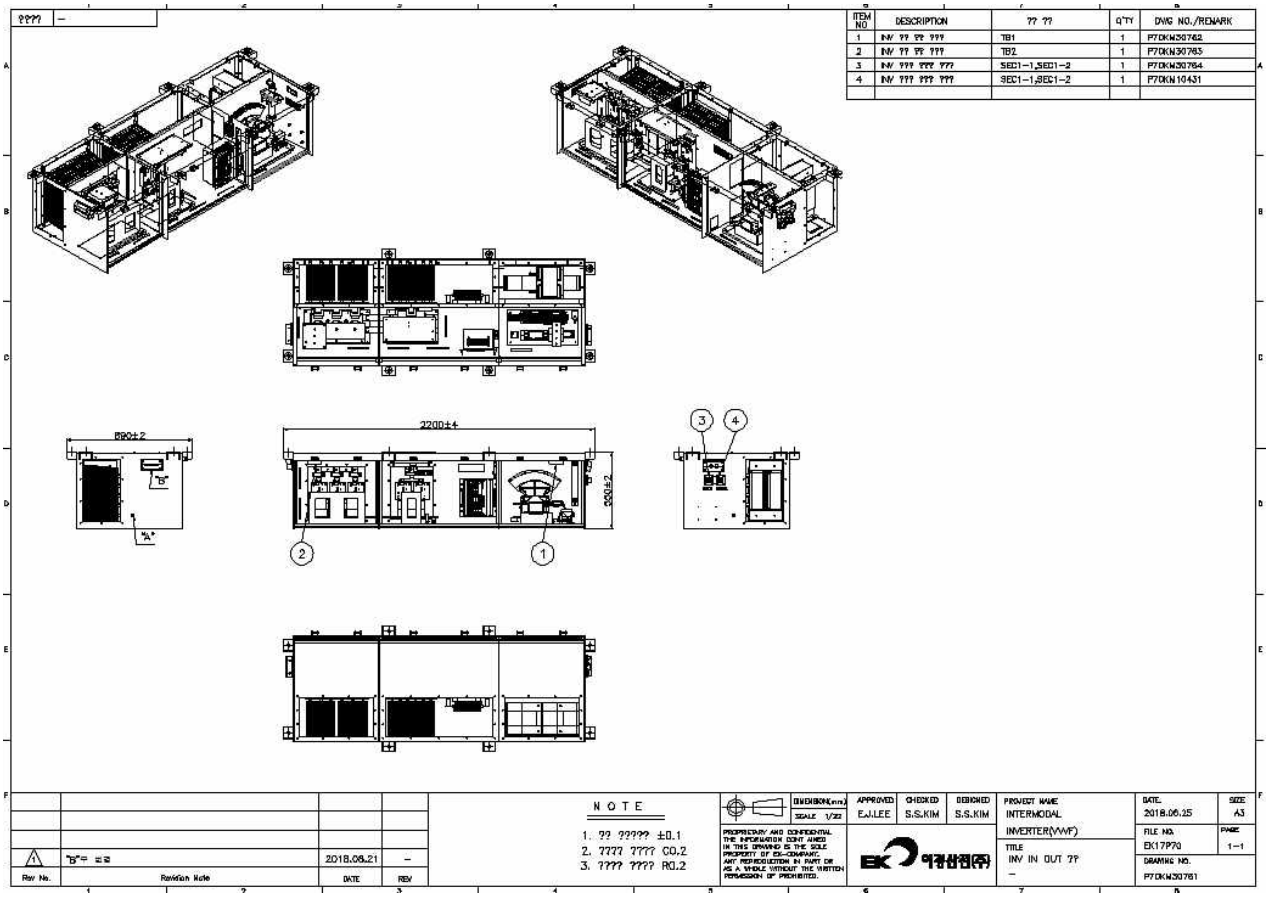
<표 4-59> 제어컴퓨터장치 구성별 주요사양

종류	Interface		비고
	입력	출력	
MCU	52 pin multifunctional GPIO connector		32bit DSC core
	5 digital input	2 Relay output	다기능 인터페이스
	8 Analog input		-5V~+5V or 4~20mA
	2ch * 2 speed encoder		+15V
	RS232C, RS485, CAN2.0, SMBUS		
PWM	5 Optical receiver	8 Optical transmitter	2ch DAC out
AIO	32 digital input	16 digital output	24Vdc, isolated
SMPS	110Vdc	+5V, +15V, -15V, +24V	Power supply

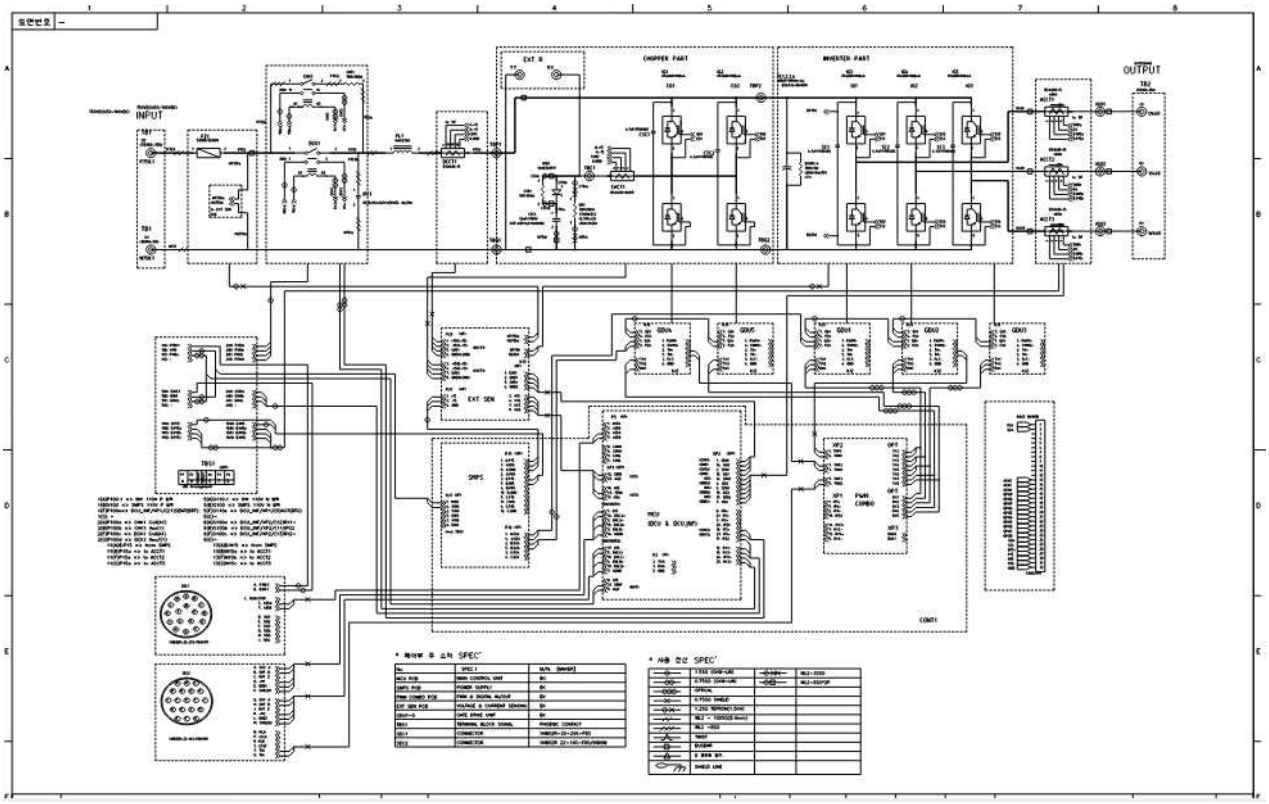


<그림 4-169> 제어컴퓨터장치 시제품

(6) 주요 제작도면



<그림 4-170> VVF 인버터 조립도



<그림 4-171> VVF 인버터 주제어회로도

3. 보조전원장치 기술개발

가. 개요

(1) 보조전원장치 기술개요

- 보조전원장치(Static Inverter, SIV)는 차량내의 전원공급하며, 주로 공기압축기 및 차내 시스템의 제어전원을 공급한다. 한편 배터리충전을 위한 직류출력장치도 보조전원장치에 속한다.
- 배터리충전회로는 3상 출력전압으로부터 절연트랜스를 통해 평활된 직류전압이 공급되며, 전압 및 전류제어에 의해 차내의 배터리를 충전시킨다.
- 주전력소자는 추진제어장치와 동일하게 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용하고, 유지보수를 위해 자연냉각방식의 히트싱크(Heat sink)를 사용하였다.

(2) 보조전원장치 동작원리

- 인버터(inverter) 장치는 DC에너지를 입력 받아 AC에너지로 변환하여 출력하는 전력변환기기(Power Converter)이다.

(가) 인버터 구조

· 인버터는 출력 상(Phase)의 수에 따라 일반적으로 단상(single Phase)과 3상(Three Phases)로 나뉘고, 전력스위치의 조합에 따라 반 브리지(Half Bridge)와 전브리지(Full Bridge) 인버터로 나뉜다. 또한 전압원(Voltage Source) 또는 전류원(Current Source)으로 동작하는가에 따라 주회로의 형태와 제어방법이 달라진다.

· 인버터장치는 6개의 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)와 6개의 역병렬 다이오드(Anti-Parallel Diode)를 갖는 3상 전 브리지 인버터를 구성하여 3상 교류전압을 발생시킨다.

(나) 3상 출력발생 원리

· 3상 출력전압은 입력직류전압을 IGBT로 구성된 스위치를 온-오프 하여 발생시킬 수 있다. 인버터를 이용하여 교류전압을 발생하는 경우 IGBT와 다이오드를 하나의 스위치로 가정하면, 스위치가 턴온(Turn-On)할 때를 1, 턴-오프(Turn-Off)할 때를 0으로 정의할 때 6개의 스위치를 조합하여 만들 수 있는 스위칭 패턴은 아래의 표와 같이 모두 8가지이지만, 000의 스위치 패턴과 111 스위치 패턴에 의한 출력단의 전압은 모두 0V이므로 출력전압을 얻을 수 없는 0전압(000, 111)을 한 개로 정의하면 모두 7가지 출력패턴을 얻을 수 있다. 이 방법은 180도 도통형(Conduction Mode)이라고 불리는 방법으로 인버터의 한 상을 이루고 있는 스위치가 반드시 온(On) 또는 오프(Off) 중에 하나의 상태로 운전하는 방법이다. 120도 도통형 인버터도 있으나 현재 인버터를 구동하는 방법은 일반적으로 180도 도통형이 주로 사용된다.

<표 4-60> 스위칭 패턴에 따른 출력단 발생 상 전압

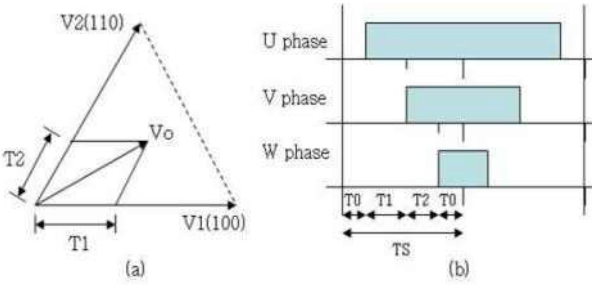
Vector	Switching Pattern			Output Phase Voltage		
	GU	GV	GW	U[V]	V[V]	W[V]
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	- 1/3 Vdc	- 1/3 Vdc	+ 2/3 Vdc
2	0	1	0	- 1/3 Vdc	+ 2/3 Vdc	- 1/3 Vdc
3	0	1	1	- 2/3 Vdc	+ 1/3 Vdc	+ 1/3 Vdc
4	1	0	0	+ 2/3 Vdc	- 1/3 Vdc	- 1/3 Vdc
5	1	0	1	+ 1/3 Vdc	- 2/3 Vdc	+ 1/3 Vdc
6	1	1	0	+ 1/3 Vdc	+ 1/3 Vdc	- 2/3 Vdc
7	1	1	1	0	0	0

(다) 공간벡터(Space Vector) PWM

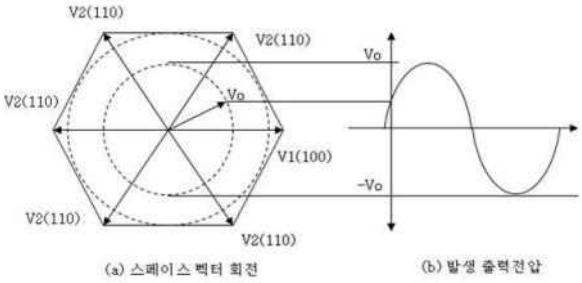
· 출력교류전압의 크기는 스위치를 온(ON)하는 시간에 비례하므로 교류전압의 크기를 조절하기 위해서는 스위치를 온(On)하는 시간을 제어하여야 한다. 이와 같이 턴-온(Turn On)시간과 기준시간(Sampling Time)의 비를 듀티라 하며, 듀티를 조절하는 방법을 펄스폭변조법(Pulse Width Modulation, PWM)이라 한다. 원하는 출력전압을 생성하는 여러 가지 펄스폭 변조방법이 있는데 대표적인 PWM방법으로 정현파PWM(Sinusoidal PWM)과 공간벡터PWM(Space Vector PWM)이 있다. 정현파 PWM을 사용하면 입력전압의 사용율이 낮고, 출력단에 고조파가 많이 발생하는 단점이 있다. 더욱이 공간벡터PWM방법은 디지털 제어기로 구현이 용이하고 정밀한 제어가 가능한 장점이 있어 인버터의 스위칭 패턴(Switching Pattern)을 생성하는 방법으로 각광을 받고 있다.

(라) 공간벡터(Space Vector) PWM의 구현방법

· 공간벡터 PWM을 구현하기 위해서는 디지털제어기를 사용하여야 하며 제어기 내부에서는 샘플링시간(sampling Time) 동안에 턴-온(Turn-On) 또는 턴-오프(Turn-Off)할 스위치와 턴-온 또는 턴-오프할 시간 구간(On-Time)을 결정하여 스위치를 구동하여야 한다. 출력전압의 크기를 크게 하려면 아래 그림의 Vo의 길이를 크게 하면 큰 전압을 얻을 수 있으며, 빠른 주파수의 전압을 얻으려면 Vo를 빠른 속도로 회전시키면 빠른 주파수의 전압을 얻을 수 있다. 출력전압의 회전 방향을 바꾸고자 할 때는 Vo의 회전 방향을 반대로 회전시키면 된다. 아래 그림에서와 같이 T0시간 동안은 0전압이 출력되고, T1시간 동안에는 스위칭 패턴 V1(1,0,0) 전압이 인가되며, T2시간 동안에는 스위칭 패턴 V2(1,1,0)의 전압이 인가된다. 이와 같은 스위칭 패턴에 의해 인가된 전압의 크기는 샘플링시간 동안에 발생한 전압의 크기가 출력전압 Vo를 생성할 수 있으며, 각 샘플링시간 동안 발생한 전압을 시간 평균하면 매끄러운 정현파 교류전압을 생성할 수 있다.



<그림 4-172> 공간벡터의 결정방법과 스위칭 패턴



<그림 4-173> 공간벡터 회전에 따른 정현파 출력전압의 발생

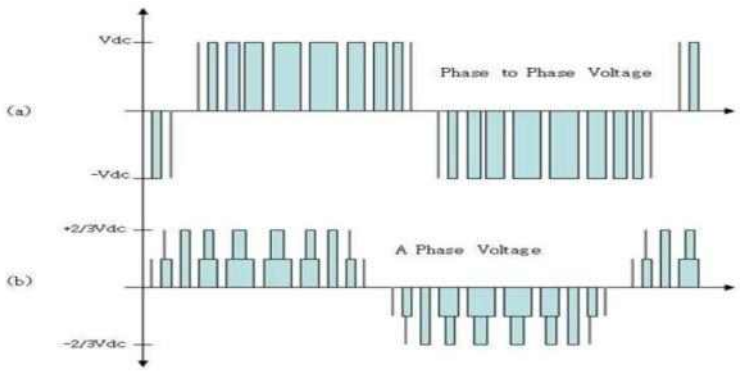
(마) 정현파 출력전압의 발생

· 위에 그림은 6개의 섹터를 지나 1회전하여 발생한 전압의 기본파 성분을 나타낸다. Vo의 크기를 갖는 벡터를 설정하고 각각의 섹터에서 시간을 결정하고 샘플링 시간 동안에 해당 스위치를 온-오프하는 방법으로 1회전을 하게 되면 출력전압의 기본파 성분은 정현파 출력전압을 얻을 수 있다.

(바) 스위칭 주파수의 한계

· 스위칭 주파수를 크게 하면 단위시간 동안 많은 펄스의 수를 발생할 수 있어 정현파에 가까운 전압을 발생할 수 있다. 스위칭의 횟수가 증가하면 턴-온(Turn On)과 턴-오프(Turn Off)시에 스위칭 손실이 발생하므로 스위칭 펄스의 수를 증가 시키는 것에는 한계가 있고, 중대용량의 인버터는 큰 전류를 온-오프 하므로 스위칭 손실에 의한 발열 문제가 발생될 수 있다. 고속으로 회전하는 전동기에 적용하는 인버터 시스템의 경우 고속에서 정현파 한주기 동안에 나타나는 스위칭 펄스의 수가 작으면 전동기의 발생 토오크(Torque)가 맥동할 수 있으므로 적절한 스위칭 주파수를 선정하는 것이 좋다. 가변스 위칭 주파수가 아닌 고정 스위칭 주파수를 갖는 인버터 시스템에서 정격전압을 출력하는 주파수와 스위칭 주파수의 동기를 맞추면 출력전압에 함유되는 고조파 성분을 감소할 수 있으므로 스위칭 주파수의 선택은 중요하다. 스위칭 주파수와 출력주파수의 동기가 어긋나면 원하지 않은 고조파성분이 발생하여 전동기에 고조파에 의한 발열이 생기며, 통신장애 등의 문제가 된다.

(사) PWM 출력전압 형태



<그림 4-174> 인버터 출력전압 (a)선간전압, (b)상전압

· 위의 그림은 공간벡터(Space Vector PWM)에 의해 발생한 출력전압의 파형으로 (a)는 선간전압(Phase to Phase Voltage)의 모양을 나타내고, (b)는 상전압(Phase Voltage)의 모양을 나타낸다. 인버터 출력전압에 의해 유도성 부하인 전동기에 흘러 들어가는 전류는 정현파 전류가 된다.

나. 보조전원장치 설계

(1) 주요사양 및 전원공급 적용범위

<표 4-61> 보조전원장치의 주요사양

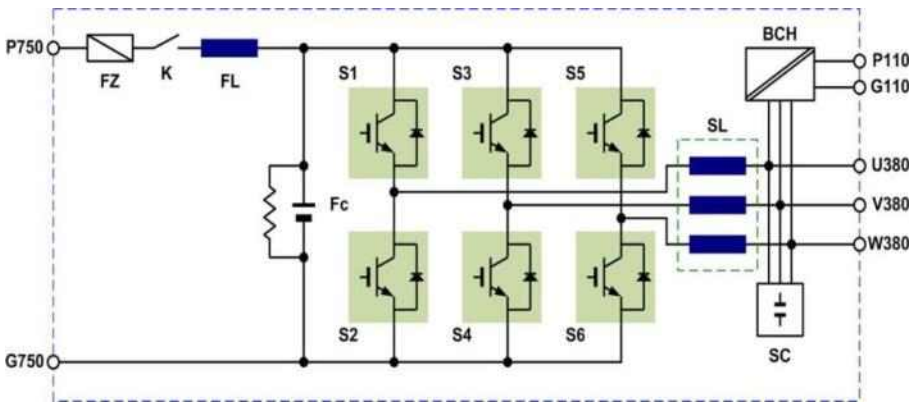
항 목	내 용	비 고
정격입력전압	750Vdc	550~900Vdc (-30~20%)
교류출력	380Vac/3ph/60Hz, 8.5kVA	차량내 공통 부하용
직류출력	110Vdc, 1.5kW	배터리 충전 및 제어전원용
회로구조	2 Level CVCF Inverter	출력전압 피드백방식
주회로소자	SixPack IGBT 1700V/100A급	Heat sink 자연냉각방식
제어기	32bit 전력제어 전용 DSC	Digital Signal Controller
기타사항	입력고조파제한 용필터, 출력3상 Sine필터	110Vdc 제어전원
장치효율	정격에서 92% 이상	
크기	1200[L]x750[W]x550[H]	출력 필터회로 포함

<표 4-62> 보조전원장치 출력별 부하종류 및 용량

출력종류	부하종류(장치)	부하용량	비 고
교류출력 (AC380V/3ph/60Hz)	공기압축기	8.5KVA	
직류출력 (DC 100V)	VVVF인버터(2set), BOU(2set), CMSB, 신호장치, 통신장치, 차량제어/진단장치, 수동운전장치, 전조등/표시등, 배터리	1.5KW	

(2) 전력회로 구조 및 기능

(가) 전력회로 구조



<그림 4-175> 인터모달 운송차량용 10KW 보조전원장치(SIV) 전력회로도

(나) 보조전원장치 기능

□ 3상 380V Sine파 교류출력

· 보조전원장치의 주요 출력은 3상 교류전압이고 차내의 편의시설 및 공기압축기의 전원으로 사용된다. 보조전원에는 PWM 출력전압을 평활하기 위한 스므딩 필터가 구비된다. 출력전압은 완전한 사인파이고 5% 미만의 출력전압왜율을 갖는다.

□ 배터리충전을 위한 절연된 직류출력

· 보조전원장치의 중요기능 중의 하나는 직류출력을 발생하여 차내의 제어전원 및 배터리를 충전하는 것이다. 배터리를 충전하는 방법에는 전압제어, 전류제어, 전류/전압제어 등의 방법이 사용된다. 본 연구에서는 장치를 단순화하여 신뢰성을 향상시키면서도 출력전압 및 전류를 제어할 수 있도록 3상 출력전압을 허용된 범위내에서 제어하여 배터리의 충전전류를 제어하는 방법을 사용한다.

(3) 보조전원장치 전력소자(IGBT) 선정

(가) 부하용량 계산

□ 계산과정

· 정격조건에서 최대 출력전류를 계산하면, 교류부하 8.5kW/380V/√3=12.9A
직류부하 1.5KW/110V = 13.6A 총부하 12.9A + 13.6A = 26.5 A

· 단시간(10초) 과부하 130%를 고려하면, 26.5A×130%=34.5A

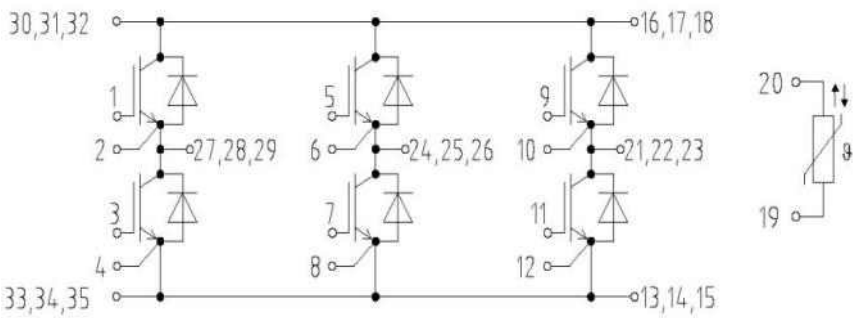
· 입력전압 최대는 900Vdc, 출력전압은 380Vac이므로 1700V급 IGBT를 사용하면 전압범위에 만족됨

□ 결론

· 1700V/50A급부터 사용 가능하지만 안전을 위해 1700V/100A급 이상 사용

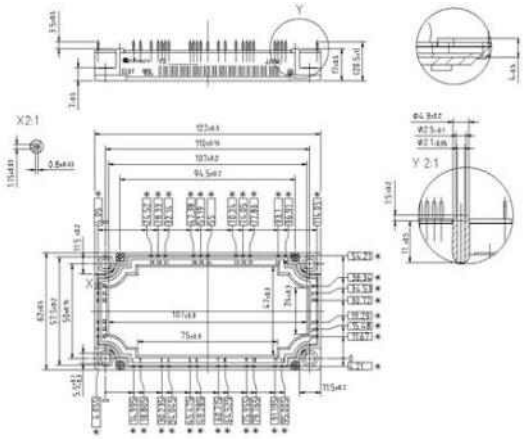
(나) IGBT 형상

· Infineon사 EconoPACK3 형상의 1700V/100A급 Sixpack IGBT(FS100R17N3E4)이면 상기의 조건에 부합하며 설계사양을 만족시킬 수 있음



<그림 4-176> 보조전원장치용 IGBT 내부회로 구성 다이어그램





<그림 4-177> 보조전원장치용 IGBT 외부형상

(다) IGBT 동작중 최대온도 계산

· IGBT 모델명 : 1700V/100A (FS100R17N3E4)

· 동작온도 계산조건 : 10KVA/8kHz PWM

· 온도계산 시뮬레이션을 수행한 결과 인버터용 IGBT에서는 최대 부하(380V/16A/0.8PF)일 때 총 300W(50W*6) 손실이 발생하며 dT=12도(상승)가 확인됨

· 자연냉각방식을 적용하고 방열기의 온도를 70도로 유지할 때 IGBT 접합면의 온도는 약 12도 증가하므로 열저항계수 0.04(T/W)의 Fin 돌출형 냉각기를 적용하기로 함

IGBT Parameters

FS100R17N3E4		
$V_{CEsat,125°C}$	2.35	V
$E_{on}+E_{off,125°C}$	48.00	mWs
$R_{G,on}$	0.91	Ω
$R_{G,off}$	0.91	Ω
R_{thJC}	0.250	K/W
R_{thCH}	0.0680	K/W
T_{vjmax}	150	°C

Diode Parameters

$V_{F,125°C}$	1.90	V
$E_{rec,125°C}$	20.00	mWs
R_{thJC}	0.400	K/W
R_{thCH}	0.270	K/W
T_{vjmax}	150	°C

Heatsink Parameters

$T_{Heatsink}$	70	°C
Fixed Heatsink Temperature		

Simulation Results

Maximum Junction Temperature			
IGBT I1	81	°C	✓
Diode I1	83	°C	✓
Switching Losses			
IGBT I1	26.23	W	
Diode I1	15.30	W	
Conduction Losses			
IGBT I1	6.14	W	
Diode I1	2.02	W	
Total Losses			
IGBT I1	32.37	W	
Diode I1	17.32	W	

<그림 4-178> 온도 시뮬레이션 결과

(라) 최적 IGBT 선정

· 보조전원장치를 위해 선정된 최적의 IGBT의 제조사는 Infineon으로 전세계 철도차량용 IGBT의 70% 이상을 공급하는 반도체전문기업임. 따라서 여타의 IGBT에 비하여 신뢰성이 높고 취급이 쉬운 장점이 있음

· 이 IGBT는 반복적으로 1700V/200A의 펄스출력이 가능하며, 최대 접합면온도인 175℃에서도 1700V/100A의 연속출력이 가능하므로 최악조건에서도 추진제어장치의 정격 300% 이상의 전류마진을 갖음

· Sixpack 구조의 IGBT는 필요로 하는 6개의 IGBT가 하나의 케이스 내부에 장착되어 있어서 장치의 간소화에 도움이 되며 게이트드라이버를 IGBT 위에 직접 부착하는 것이 가능하므로 노이즈 환경에 매우 유리하다.

(4) 보조전원장치 입력필터 선정

- 입력회로의 후단에는 가선으로부터의 고조파침입 또는 보조전원장치로부터 발생되는 PWM 고조파의 영향을 제한하기 위하여 필터회로가 필요하다. 필터인덕터는 필터캐패시터와 함께 인버터의 저주파차단 필터로 작용한다.

- PWM 전압파형을 스므딩하기 위한 출력필터로는 교류3상 리액터와 교류3상 캐패시터가 적용된다.

(가) 입력필터 계수

<표 4-63> 입력필터 구성장치별 계수

구분	구성장치	계수	비 고
입력필터	필터인덕터	0.5mH/20A	직류 리액터(적층코어)
	필터캐패시터	1.1mF/1200V	전해 캐패시터 3직렬
출력필터	필터인덕터	0.5mH/23A	교류3상 리액터(적층코어)
	필터캐패시터	33uF/400VAC	필름 3상 캐패시터

(나) Cut off 주파수

· 입력필터: $Fc=1/(2\pi\sqrt{(LC)})=214.6Hz$

· 출력필터: $Fc=1/(2\pi 3\sqrt{(LC)})=413.0Hz$

(5) 보조전원장치 성능시뮬레이션

(가) 성능계산 내용 및 조건

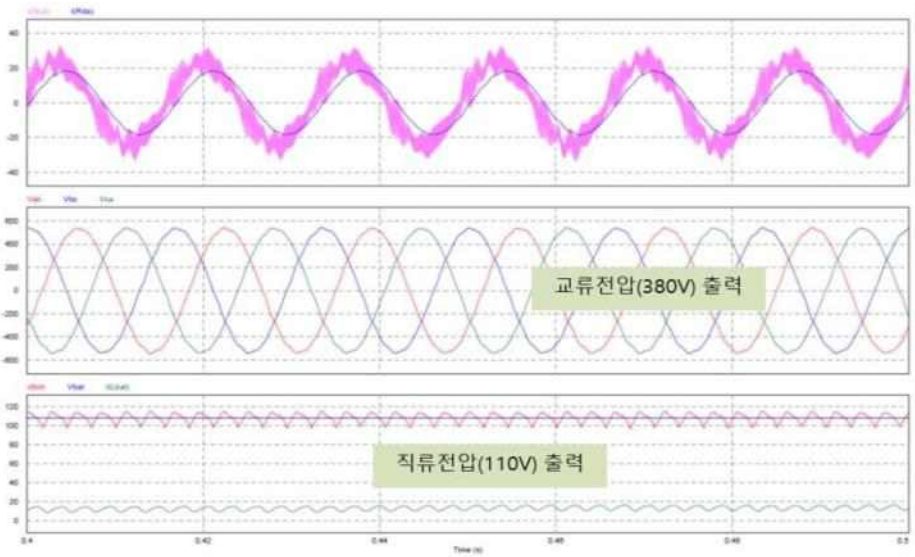
· 정격입력(750Vdc)에서 교류부하 8.5kVA와 직류부하 1.5kW로 동작하였을 때 인버터의 출력특성을 파악하기 위함

· 입력필터계수는 Fc=1.1mF, FL=0.5mH, 출력필터계수는 Sc=33uF, SL=0.5mH

· .IGBT 스위칭 주파수는 8kHz임

· 배터리 충전용 3상 트랜스포머는 Y:Y 결선으로 380V:81V의 변압비를 갖음

(나) 성능 시뮬레이션 결과



<그림 4-179> 성능시뮬레이션 결과(직류/교류 정격부하)

· 출력교류 전압은 THD 3% 이하이며 배터리가 연결된 상태에서 직류전압은 109V로 전압리플은 거의 없음. 단, 충전전류는 다이오드 3상정류기가 적용된 이유로 360Hz에서 약 2~30%의 리플이 발생하지만 이는 배터리 충전에 문제되지 않음

(6) 하드웨어 설계

(가) 입력회로

· 입력회로는 장치보호용 퓨즈, 초기충전회로, 입력전류검출용 DCCT로 구성된다. 초기충전회로는 주접촉기와 보조접촉기로 구성되어 있으며 입력전압의 범위가 정상이고 장치의 동작명령이 유효하면 보조접촉기가 먼저 동작하여 내부 캐패시터의 충전을 시작한다. 이 후 충전이 완료되면 주접촉기가 동작하고 보조접촉기는 해제되며 장치가 정상적으로 동작하기 시작한다.

(나) 입력 필터인덕터

· 입력회로의 후단에는 가선으로부터의 고조파침입 또는 보조전원장치로부터의 발생되는 PWM 고조파의 영향을 제한하기 위하여 필터인덕터가 사용된다. 필터인덕터는 필터캐패시터와 함께 인버터의 저주파차단 필터로 작용하므로 보조전원장치로 투입되거나 방출되는 고조파의 제한에 매우 효과적이다.

(다) 입력 필터캐패시터

· 입력 필터인덕터를 거친 DC 전압은 DC 링크 필터캐패시터에 저장되고 평활된다. 캐패시터에 가해지는 전압/전류 스트레스를 최소화하기 위하여 다수개의 AL Electrolytic capacitor를 PCB 상에서 직/병렬로 연결하여 뱅크를 구성한다. 필터캐패시터 뱅크의 한쪽은 필터리액터의 출력이 연결되고 다른 한쪽은 인버터의 입력이 연결되어 구성의 간편성을 도모하였다. 이러한 방법은 전력배선에 포함된 인덕턴스를 최소화할 수 있으므로 소자의 On/Off시에 발생하는 서지(Surge)성 전압/전류를 최소화할 수 있는 장점이 있다.

(라) 게이트 드라이버

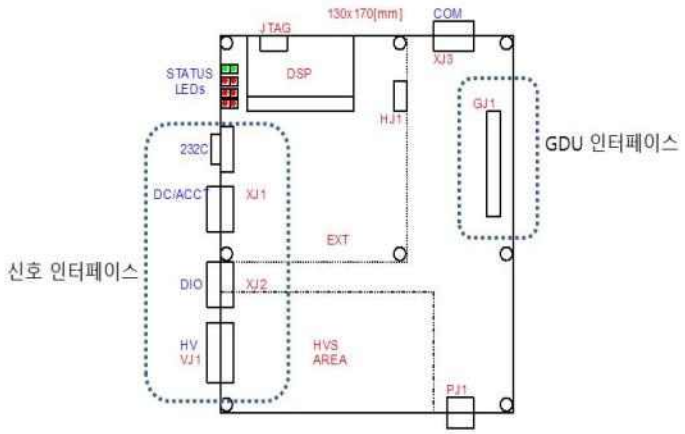
· IGBT 게이트 드라이버(Gate drive unit)는 보조전원장치에서 가장 중요한 전기부품 중의 하나이다. 신뢰성 향상을 위하여 IGBT 상면에 직접 연결되는 구조를 채택하였으며 내부에 전압제어가 가능한 능동형 SMPS를 사용하여 입력전압의 변동에서도 IGBT 게이트의 구동전압이 변동하지 않도록 설계하였다. 게이트 드라이버의 입력과 출력은 전기적으로 절연되었다.

(마) 센서회로

· 입출력전압과 전류검출을 위해 센서회로가 부착되었다. 전류센서로는 Hall 소자를 이용한 전압형 DCCT가 사용되며, 전압센서는 절연된 센서 IC를 사용해 직류/교류전압을 검출한다. 또한 출력전압이 접지되는 것을 감지하기 위해 영상변류기가 사용된다.

(바) 제어회로

· 32비트의 전력변환기 전용DSC가 사용된다. 제어회로는 컨버터와 인버터를 제어하고 각종 센서로부터 발생되는 아날로그/디지털신호를 처리하고 실시간 고장유무를 판단한다. 내부에 고장메모리를 탑재하고 있어 고장발생시 고장유형과 시간을 기록한다. 기록된 정보는 직렬통신장치(RS232C 또는 RS485)를 사용해 외부 PC에 연결된다.



<그림 4-180> 제어컴퓨터장치 구조도

□ **전류센서신호 인터페이스**

· 1종의 입력전류센서 및 2종의 출력전류센서를 이용하여 인버터 장치를 제어

· 출력전류센서는 3상 교류용과 배터리전류측정을 위한 단상 직류용으로 구비

· 센서 입력회로에 차동증폭회로를 적용해 노이즈에 의한 신호 왜곡이 최소화함

□ **인버터 GDU 인터페이스**

· 제어컴퓨터에서 게이트드라이브유닛(GDU)까지는 실드처리가 된 Flat 케이블을 적용하여 노이즈의 영향이 최소화되도록 조치함

· GDU 장치에서 검출된 IGBT 과전류고장신호 및 IGBT 과온고장신호는 Flat 케이블을 통해 제어컴퓨터로 전달됨

□ **디지털 입력신호 인터페이스**

· INF PCB에는 3채널의 절연된 디지털 신호입력 및 고장정보 획득을 위한 2채널의 고속 입력인터페이스가 제공됨

· 절연된 디지털입력 회로는 100Vdc 입력을 처리하며 신호의 내용은 각종 스위치 신호, 접촉기 피드백신호 등으로 이루어짐

· 고장정보용 고속입력은 IGBT에 과전류를 검출하거나 과온 검출에 이용됨

□ **디지털 출력신호 인터페이스**

· 3채널의 신호용 고속 릴레이를 사용하여 무극성의 Dry contact 접점을 제공함

· 디지털 출력신호는 각종 접촉기의 제어, 디지털 신호의 전달 등에 사용됨

□ **아날로그 입력신호 인터페이스**

· 10채널 12비트 아날로그-디지털 변환 장치 적용

· 신호입력은 0~5V 아날로그 신호에 대응

· 모든 신호입력은 고임피던스의 차동증폭회로 및 적절한 저주파필터를 적용하여 노이즈에 의한 왜곡이 최소가 되도록 함

(사) 전원장치

· 전원장치는 노이즈제한 입력필터와 2종의 SMPS로 구성된다. SMPS-1은 제어전압인 +5V 및 센서전원용 +/-15V를 발생시키며 SMPS-2는 +24V 전원을 발생시킨다. SMPS 장치는 내부에 보호기능이 있어서 입력과전류, 소자과온으로부터 보호된다.

(아) 냉각장치

· 인버터장치는 자연냉각방식으로 소자 및 기기를 냉각한다. 이를 위하여 2종의 냉각장치가 사용되는데 하나는 장치의 후면부 외벽에 장착되어 인버터를 냉각하며 나머지는 장치의 상면부에 부착되어 필터인덕터를 냉각한다. 동일한 형상의 Fin 타입 Heat sink가 사용되며 대부분의 내부장치는 Heat sink 위에 모듈형식으로 부착된다.

(자) 직류전압 출력회로

· 배터리충전 및 차내 제어전원용 DC 전압을 출력하기 위한 절연된 직류출력회로가 제공된다. 직류출력전압의 평활을 위해 LC로 구성된 평활용 필터회로가 구성되어 양질의 제어전원 및 배터리 전압이 공급된다.

(차) 외함 및 조립

· 보조전원장치는 차량의 하부에 취부되는 Under-frame 방식의 견고한 철제외함으로 장치를 구성하고, 내부에는 회로의 배선을 최소화하고 조립의 편리성을 제공하기 위하여 전력회로에 대해서는 대부분 Bus bar 형태의 연결방식이 사용된다. 각각의 기본 장치들은 모듈화하여 추후에 발생할 유지/보수의 편의성을 도모하였다.

다. 보조전원장치 제품 제작

(1) 내용

- 보조전원장치는 직류전압 750Vdc를 입력한 후 내부의 전력용 반도체 및 수동전력 소자를 이용하여 3상 380Vac를 출력으로 발생시킨다.
- 주회로 소자로는 IGBT를 사용하였으며 32비트 DSC에 의한 전(全) 디지털 방식으로 장치를 제어함으로써 전력품질 및 신뢰성을 향상하였다.
- 보조전원장치는 단일 외함으로 제작되며, 전면에 단위부품의 접근을 위한 개폐도어가 있다. 장치의 상면과 후면은 전력반도체 소자 및 내부 부품의 방열을 위한 Heat sink로 제작되었고, 오염물질과 수분의 침투를 고려하여 IP64 등급으로 제작하였다.



<그림 4-181> 운송차량용 보조전원장치(SIV) 시제품



<그림 4-182> 보조전원징치 입력장치 시제품

(2) 입력회로

- 보조전원장치의 입력회로는 장치보호용 퓨즈, 초기충전접촉기, 다이오드, 전류센서, 입력필터 리액터 및 캐패시터 등으로 구성되어 있다.

<표 4-64> 보조전원장치 입력회로 구성품

품 명	사 양	수 량	비 고
휴즈	1200V / 32A	1	
초기충전접촉기	40A/1000Vn/1200Vi	2	
다이오드	1700V/116A	1	
입력필터용 리액터	1.0mH / 20A	1	
입력필터용 캐패시터	3300uF / 450V	3	
입력전류검출용 DCCT	40A / ±12V	1	

(3) 교류 및 직류출력회로

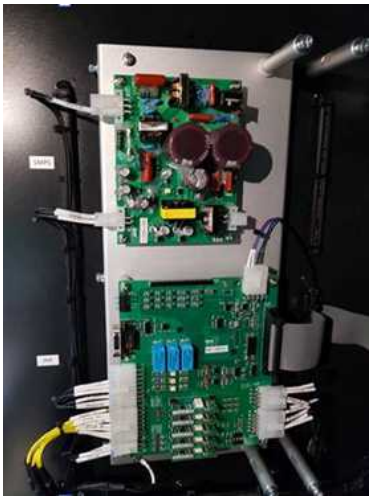
- 보조전원장치의 8.5KVA급 교류출력전압은 AC380V/3ph/60Hz이며, 공기압축기에 전원을 공급한다. 1.5KW급 직류출력전압은 DC100V이며, 배터리충전 및 차내의 직류전압을 사용하는 곳에 전원을 공급한다.
- 교류출력회로는 IGBT 및 게이트드라이버, 3상 리액터 및 캐패시터, 3상출력전류 검출용 ACCT 등으로 구성되어 있으며, 직류출력회로는 3상 트랜스, 3상 정류회로, 직류출력전류 검출용 DCCT, 출력리액터 등으로 구성되어 있다.

<표 4-65> 보조전원장치 교류 및 직류 출력회로 구성품

품 명	사 양	수 량	비 고
IGBT	1700V / 100A	1	sixPack
IGBT 게이트드라이버	보조전원장치 IGBT 제어용	1	이경제작
3상출력 필터리액터	0.5mH / 23A / 3P	1	
3상출력 필터캐패시터	33uF / 400V 3P	1	
3상출력전류검출용 ACCT	30A/±12V/3P	1	
3상 트랜스	1.5KVA / 380V / 3P	1	
3상 정류회로	전파정류다이오드 보드	1	이경제작
직류출력전류검출용 DCCT	40A / ±12V	1	
직류출력 필터리액터	1.0mH/20A		



<그림 4-183> 보조전원장치 교류/직류장치 시제품



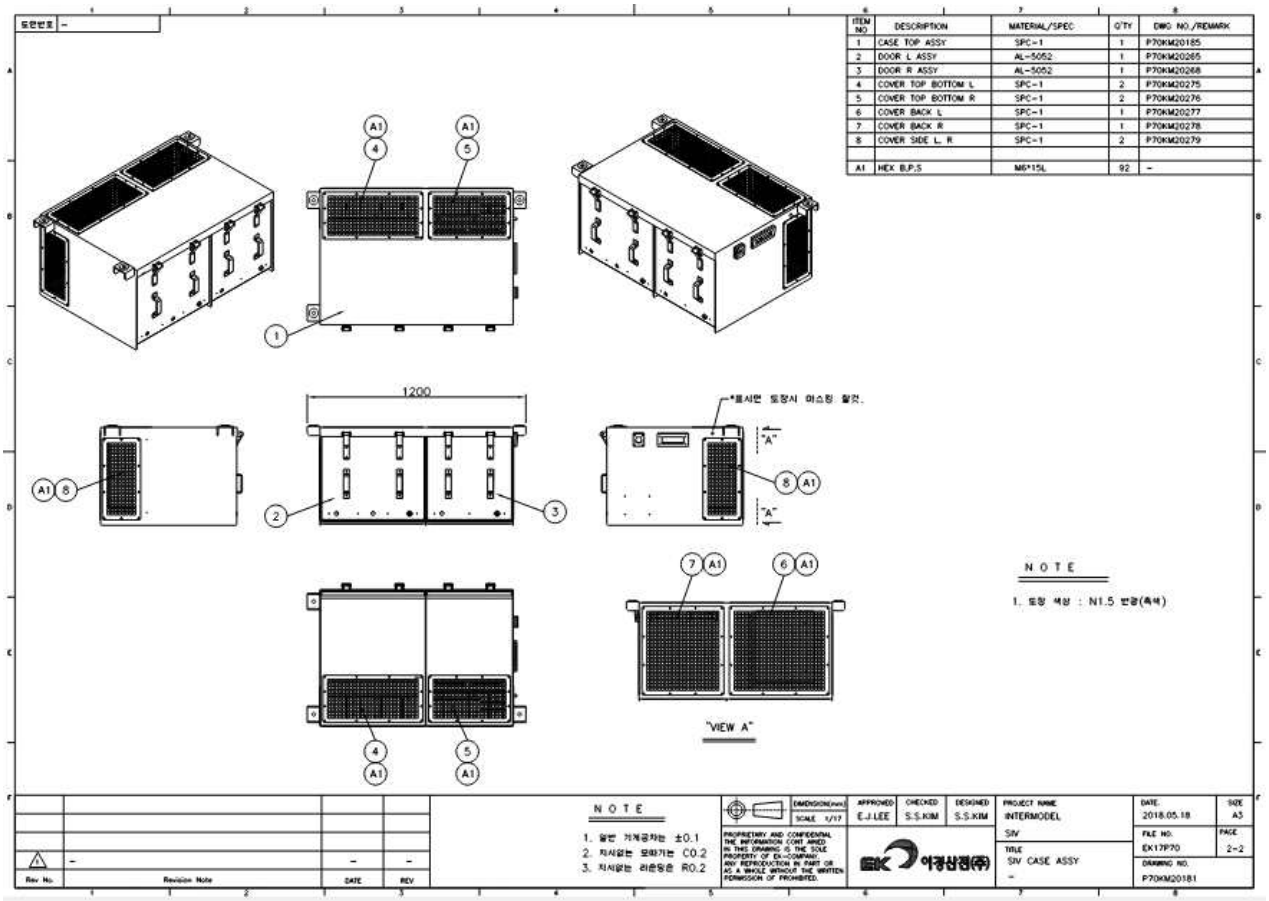
<그림 4-184>
제어컴퓨터시제품

(4) 제어컴퓨터장치

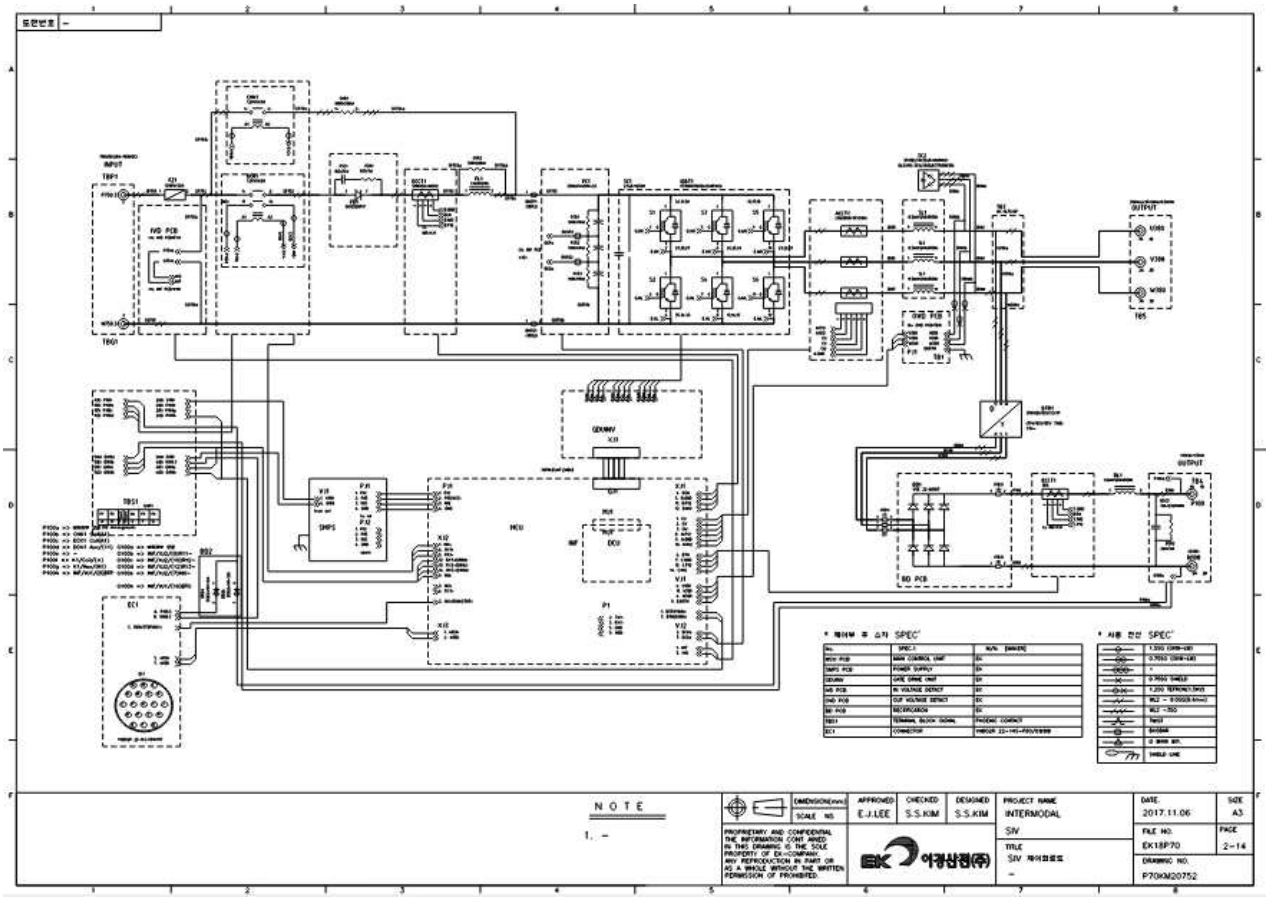
- 보조전원장치 인버터의 제어는 2장의 적층 PCB에 설치된 제어컴퓨터장치 및 전원장치에 의해 수행된다. DCU, 디지털/아날로그 인터페이스, 제어전원장치로 구성된다.

<표 4-66> 제어컴퓨터장치 구성별 주요사양

종류	Interface		비고
	입력	출력	
DCU	52 pin multifunctional GPIO connector		32bit DSC core
INF	3 digital input	3 Relay output	다기능 인터페이스
	7 Normal analog input		0 ~ 5V
	5 Isolated analog input		380VAC, 750VDC
	2 FLT input	6 CH PWM interface	+5V
	1 RS232C		Debugging port
	1 RS485		Isolated
	1 CAN2.0		Isolated
SMPS	110Vdc	+5V, +15V, -15V, +24V	Power supply



<그림 4-185> SIV 보조전원장치 조립도



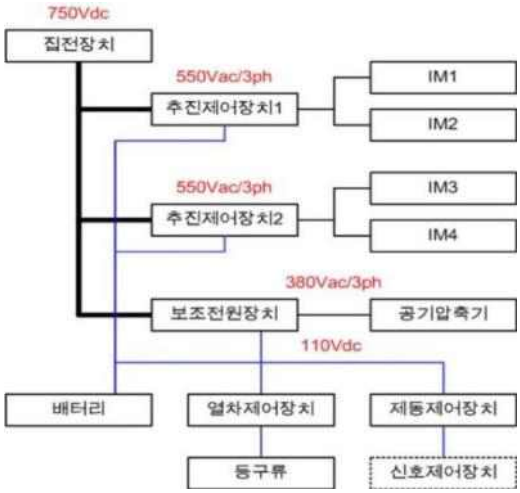
<그림 4-186> 보조전원장치 주제어회로도

4. 차량전기 및 열차제어시스템 기술개발

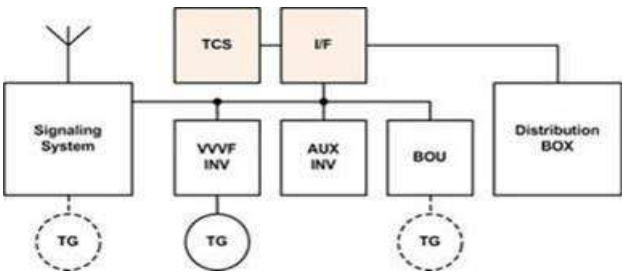
가. 차량전기 및 열차제어시스템 설계

(1) 차량전기장치

- 차량전기장치는 차량에 설비되는 각종 전기장치를 회로구성, 기능, 성능 등이 잘 발휘될 수 있도록 설비하였다.
- 차량전기장치에는 차량의 설비된 각종 전장품을 관리할 배전반, 비상시 차량을 주행 또는 정차할 수 있는 수동운전장치, 집전장치에서 차량의 전력을 연결 또는 차단할 수 있는 고속차단기(HSCB), 차량의 속도측정을 위한 속도센서 등을 설비하였다.
- 집전장치에서 입력된 750V 직류고전압은 고압분전반에서 추진제어장치와 보조전원장치에 연결되어 있으며, 직류고압배전반과 저압배전반이 각각 설비하였다.
- 직류배전반과 교류배전반은 각각 2개 이상의 예비 전원연결장치를 설비해 추가설비에 대비하였다. 배전반의 동작상태는 통신장치를 통해 열차제어시스템으로 전송된다.



<그림 4-187> 운송차량 전력회로 블록다이아그람



<그림 4-188> 열차제어시스템 인터페이스 다이어그램

(2) 열차제어시스템

- 열차제어시스템(Train Control System, TCS)은 차량 또는 열차가 인터모달 전용노선에서 자동무인운전으로 운영할 수 있도록 자동운전프로그램을 설비하여야 하고, 차량에 설비된 각종 전장품과 네트워크를 구축하여 제어 및 관리할 수 있어야 한다.

(가) 열차제어시스템 기능

· 차량시스템 통합제어

· 차량하부기기 동작진단

· 디지털 입력신호 검출/디지털 출력신호 송출

· 차속감지용 Tacho meter 인터페이스

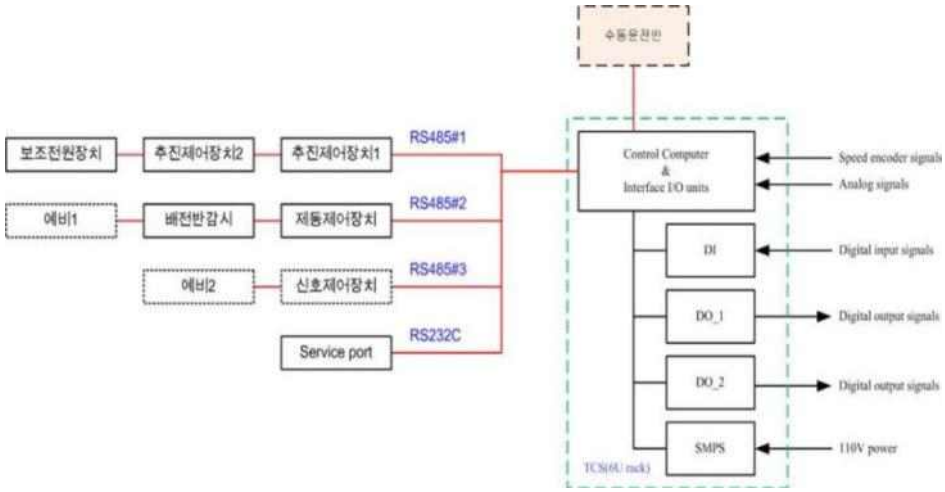
· 등구류 On/Off 제어

· 배터리전압 감시

· 4채널 직렬통신 인터페이스

· 고장정보 기록

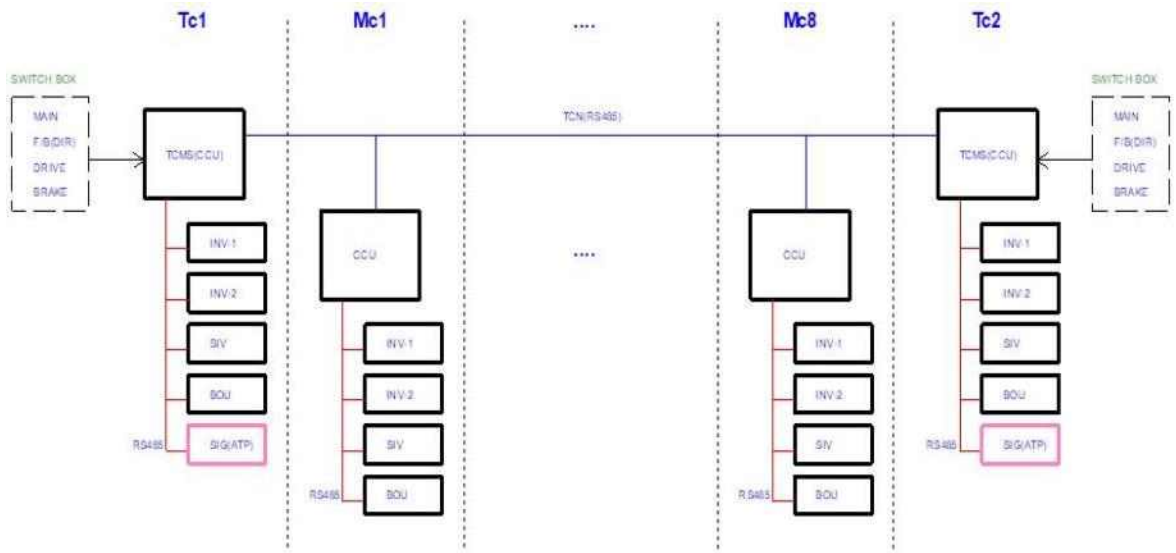
(나) 열차제어시스템 구성



<그림 4-189> 열차제어시스템 구성 다이어그램

(3) 통신인터페이스

(가) 차량통신 인터페이스 구성



<그림 4-190> 인터모달 차량통신 인터페이스 구성도

(나) 차량통신 인터페이스 특징

· 배전반 내에 위치하는 TCS 장치의 직렬통신부와 하부기기 즉, INV-1, INV-2, SIV, BOU-1, BOU-2, ATP(현재까지 미정)가 RS485/2wire 방식으로 통신한다.

· 통신방식은 마스터-슬레이브 지정에 따른 Polling 방식과 하부기기의 종류와 무관한 TCS측에서의 일괄송신(broadcasting)으로 구성된다.

· 통신 데이터의 크기는 제어데이터 바이트를 제외하고 RX, TX 1~32바이트(상태에 따라 가변)로 구성된다.

(다) 통신규격

□ 기본규격

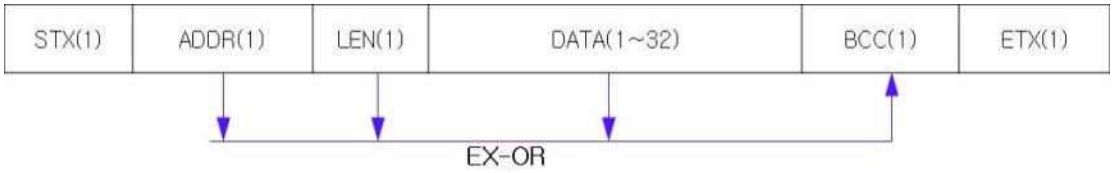
<표 4-67> 열차제어시스템 통신규격(TCS - 하부기기)

항 목	내 용		비 고	
통신방식	RS-485/2-wire, 비동기방식		Twisted pair wired	
신호크기	Differential Voltage		3.0 ~ 5.5V(풀업/풀다운 필수)	
종단저항	500Ω(ohm)		모든 485 장치	
통신속도	115.2kbps		1s, 8b, np, 1s	
통신주기	125msec polling(VTTC) 200msec polling(other)		Master	TCS
			Slave	하부기기
Protocol	Master-Slave 형식		Return to Zero	
Address	TCS	20H	Master djemfptm	
	INV1	30H		
	INV2	31H		
	SIV	32H		
	BOU1	40H		
	BOU2	41H		
	VTTC	10H	(신규작성)	
	일괄통신 (Broadcast)	nnH || 80H	단, 어드레스(nnH)가 일치하는 하부장치는 응답해야 함.	
Data Length	1 ~ 32 byte		Data area only	
고장판별	연속 3회 무응답		2ms 이내에 응답이 없을 시	

□ 데이터 프레임

<표 4-68> 열차제어시스템 통신 데이터 프레임

No	항목	데이터	내용	비고
1	STX	02H	Start of Text	
2	ETX	03H	End of Text	
3	ACK	06H	Acknowledge	
4	NAK	15H	Not acknowledge	
5	ADDR	0 ~ FFH	1byte Address code	
6	LEN	0 ~ FFH	Length of data bytes	
7	DATA	0 ~ FFH	Transferred data	
8	BCC	0 ~ FFH	Block checksum byte (Exclusive ORing from ADDR to last data byte)	



<그림 4-191> 열차제어시스템 통신 데이터 프레임 구조

- 괄호 안의 숫자는 byte 수
- Data[1](데이터영역의 첫 번째 바이트)는 OPC(Operational code)로 동작함. 즉 OPC의 종류에 따라 하부기기는 응답 내용이 달라짐.

□ OP Code

<표 4-69> OP code 내용

송신방향	OPC		내용	비고
20H → nnH	SDR	00H	상태 데이터 요청	nnH는 각 장치
nnH → 20H	SD	00H	상태 데이터 응답	
	FDR	10H	고장데이터 요청	
	FD	10H	고장데이터 응답	

□ 통신프레임 속도 검토

○ 1byte@11.5kbps ≒ 100us

○ 64byte(data) + 5byte(control) = 69byte → 69*100us = 6.9ms(max)

○ TCS 송신프레임은 20byte(2.0ms) 이하임

○ 정상상태에서 언제나 50ms 이내에 송수신 완료 가능함

○ 연속 3회 이상 무응답시 하부기기 고장으로 판단(더 이상 call 없음)

(라) 하부장치 DATA Format

□ 통신 Error 처리

○ 통신 프레임의 BCC가 정상임에도 불구하고 동시에 다중명령(Error)이 수신되면 TCS 및 하부기기들은 내부의 제어논리에 따라 안전측 동작이 우선하도록 기기를 제어해야 함.

□ Broadcast data format

○ Data 길이(LEN)는 20(16~32)byte로 구성됨

○ Address는 80H + nnH(하부기기 주소)

byte	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Remarks
0	SDR(00H)								OPC
1	SEQ번호(절대증가)								통신순서
2-7	연월일시분초(BCD코드) (18H,05H,03H,12H,00H,00H)→18년05월03일12시00분00초								
8	Wheel diameter, 700+N(0~255)=700~955[mm]								
9	차량속도, 0~FFH(0~60Km/h)								TCS속도
10	Qx	S3	S2	S1					PSM Marker
11	HSCB ON	제동공기압 정상	주공기압 정상	차량방향 전진	견인중	제동중	차량 중고장	차량 경고장	TCS 상태
12	터미널 진입	터미널 출발	선로운행	EB투입 (요청)	FSB투입 (요청)	HB투입 (요청)	CMSB 동작중	*수동 운전모드	TCS 상태
13	Car ON	인칭 전진	인칭 후진	정위치 OK	정지요청	출발요청	전진요청	후진요청	VTTC REQ
14	INV1 FLT	INV2 FLT	SIV FLT	BOU1 FLT	VTTC FLT	TCS FLT	기타1 FLT	기타2 FLT	하부장치 고장
15	Traction/Braking Effort, -128 ~ 127(-128% ~ 127%)								100%=2kNm
16	차량입력(가선)전압, 0~250(0~1250V)								
17	차량입력전류, -128~127(-1280~1270A)								
16 - 17	남은 거리, 0 ~ 6553.5[m]								VTTC 정보
18 - 19	예비								

(마) VTTC와의 통신

○ VTTC로 직선선로(심의중)의 대차위치를 정위치 기준으로 정한다.

□ SDR(status data request) TCS(20H) → VTTC(10H)

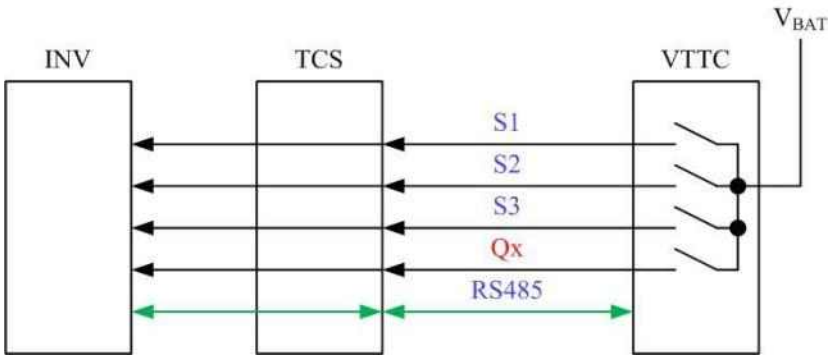
byte	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Remarks
0	SDR(00H)								OPC
1	SEQ번호(절대증가)								통신순서
2	차량속도, 0~FFH(0~60Km/h)								TCS 속도
3	Wheel diameter, 700+N(0~255) = 700 ~ 955[mm]								
4,5	차량 입력(가선)전압, 0 ~ 65535V								Binary
6,7	차량 입력전류, -32768 ~ 32767A								Binary
8	예비								
9	HSCB ON	제동공기압 정상	주공기압 정상	차량방향 전진	견인중	제동중	차량 중고장	차량 경고장	TCS MSG
10	터미널 진입	터미널 출발	선로운행	EB투입	FSB투입	HB투입	CMSB 동작중	수동운전모드	TCS MSG
11									예비
12	INV1 FLT	INV2 FLT	SIV FLT	BOU1 FLT	VTTC FLT	TCS FLT	기타1 FLT	기타2 FLT	하부장치 고장
13	차량(기기) 고장코드								추후정의
14	차량 Battery 전압, 0~255 = 0~127.5V								추가
15	편성공유정보 TC1 to TC2(반대편 TCS로 송신)								미정의

□ SD(status data answer) VTTC(10H) → TCS(20H)

byte	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Remarks
0	SD(00H)								OPC
1	VTTC 정보(ID)								
2	연월일시분초(BCD) YY								
3	연월일시분초(BCD) MM								
4	연월일시분초(BCD) DD								
5	연월일시분초(BCD) HH								
6	연월일시분초(BCD) MN								
7	연월일시분초(BCD) SS								
8	편성번호(관제로부터 부여된) 또는 차량번호								0~255
9	허용속도(km/h)								0~255
10 11	허용이동거리, 남은 거리로 간주, 0~6553.5[m]								0.1[m]단위
12	Qx	S3	S2	S1					PSM Marker
13	터미널 진입	터미널 출발	선로 운행중	비상제동 요청	상용제동 요청	주차제동 요청	전진 Lamp_ON	후진 Lamp_ON	제어요청
14	Car ON	인칭 전진	인칭 후진	정위치 OK	정지요청	출발요청	전진요청	후진요청	제어요청
15~ 18	편성공유정보 TC2 to TC1(반대편 TCS에서 수신)								미정의
19	VTTC Master/Slave 이중화 기능사용(SD/SDR 구분)								VTTC 용

□ Hard Wire 통신 between TCS & INVs

○ 연결구성



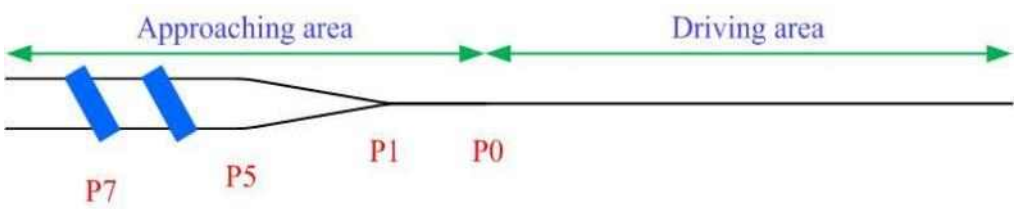
<그림 4-192> TCS와 VTTC간의 H/W 연결구성도

○ 특징

- S1~S3의 3선을 사용하여 0~7까지 코드에 대해 남은 거리를 표시하는 방식
- Qx선은 정차선로/일반선로의 구별을 알리는데 사용(정차선로에서는 안전을 위해 차량의 최대속도가 특정속도 이하로 제한됨)
- 코드에 따른 남은 거리는 협의에 의해 정의
- 위치제어의 시점/종점을 알리는 코드를 제외한 나머지 6개 코드에 거리정보 표시

<표 4-70> TCS와 VTTC간의 S1~S3의 조건에 따른 메시지 정의

Code	명칭	설명	비고
0	P0	정위치 정차 시작/해제	정위치 정차 운전으로 전환
1	P1	회전정렬 시작	앞뒤 대차의 점유선로 달라짐
2	P2		
3	P3		
4	P4		
5	P5	회전정렬 완료	앞뒤 대차의 속도가 동일해짐
6	P6		
7	P7	정위치 정차 완료	정차 후 정차제동 투입
Qx=0	Q0	일반선로 점유 중	최고속도 가능
Qx=1	Q1	정차선로 점유 중	차량속도가 제한됨



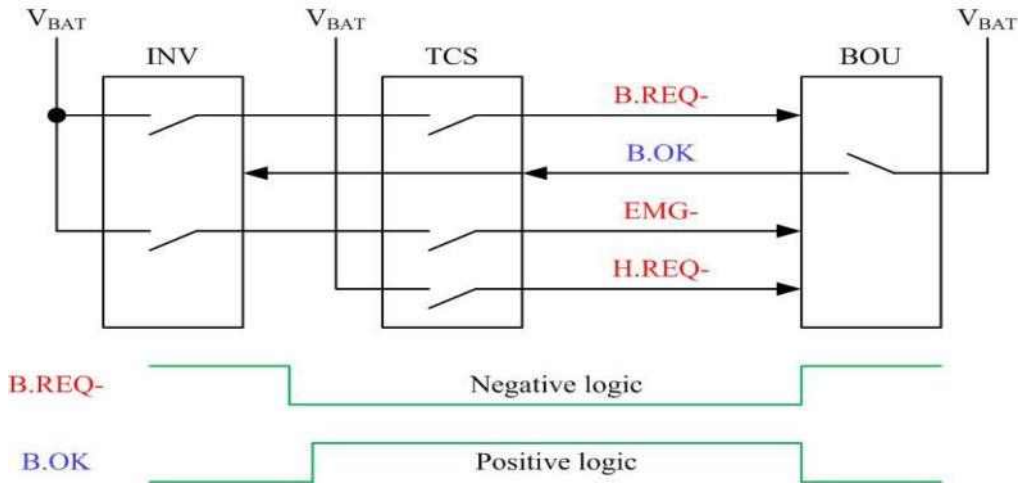
<그림 4-193> 정위치 정차용 PSM(Precision Stop Marker) 위치

(바) BOU와의 통신

- SDR(status data request) from TCS(20H) to BOU(40H)

byte	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Remarks
0	SDR(00H)								OPC
1	SEQ번호(절대증가)								통신순서
2	Traction/Braking Effort, -128 ~ 127(-128% ~ 127%)								100%=2kNm
3	Qx	S3	S2	S1					PSM Marker
4	HSCB ON	제동공기압 정상	주공기압 정상	차량방향 전진	견인중	제동중	차량 중고장	차량 경고장	TCS_SD
5	터미널 진입	터미널 출발	선로운행	EB요청	FSB요청	HB요청		수동운전모드	TCS_SD
6~9	예비								

- Hard wired interface between TCS & BOU



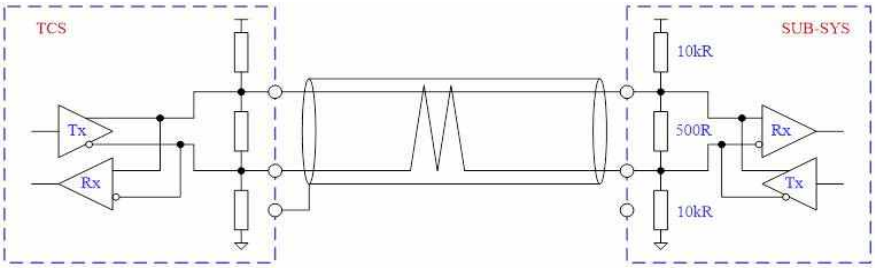
<그림 4-194> TCS(INV)와 BOU간의 H/W 연결구성도

<표 4-71> TCS와 BOU사이의 신호에 따른 메시지 정의

BR 신호명	신호 논리	설명
B.REQ-	부논리	제동 요청
B.OK	정논리	제동 중
EMG-	부논리	긴급제동 요청
H.REQ-	부논리	정차제동 요청

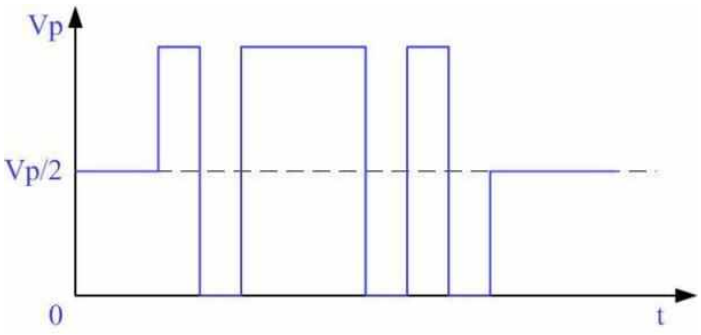
(사) 하드웨어 구성 및 Data Flow

□ 물리적 구성



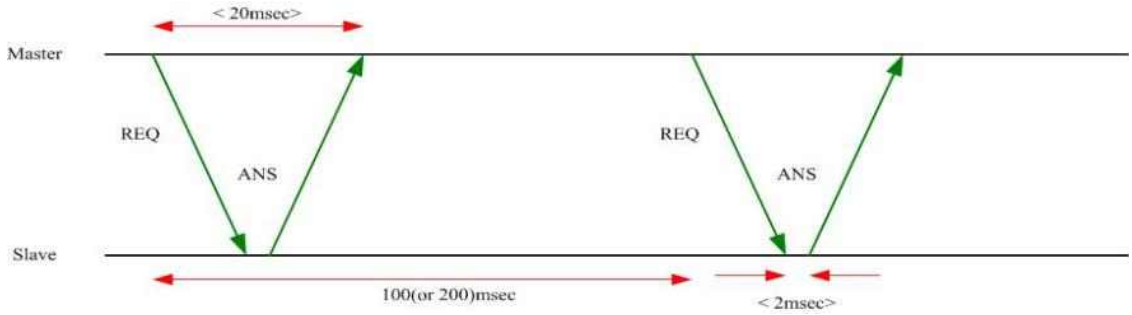
<그림 4-195> 차량 직렬통신(RS485) 종단 H/W 구성도

□ 신호파형 형식

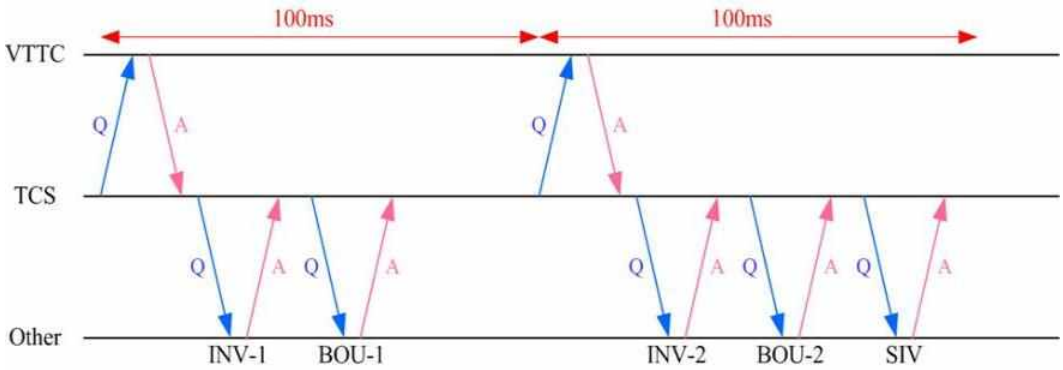


<그림 4-196> 직렬통신 신호파형(Return to Zero)

□ Data Flow



<그림 4-197> Master-Slave 간 통신간격



<그림 4-198> 장치간 Data 흐름도(정상상태)

나. 차량전기 및 열차제어시스템 제품 제작

○ 차량전기 및 열차제어시스템(차량제어장치)은 열차제어시스템(Train Control System, TCS)과 배전반, 수동운전장치, 고속차단기(High Speed bi-directional Circuit Breaker, HSCB)등으로 구성되어 있다. 장치외함은 언더후레임 하부에 위치하며, 빗물 및 먼지 등이 유입되지 않도록 기밀유지가 되어 있다.



<그림 4-199> 보조전원장치(SIV) 시제품

(1) 차량전기장치

- 차량전기장치에는 차량에 설비된 각종 전장품을 관리하는 배전반, 비상시 차량을 주행 또는 정차시키는 수동운전장치, 집전장치에서 차량의 전력을 연결 또는 차단할 수 있는 고속차단기(HSCB), 차량의 속도측정을 위한 속도센서 등을 설비하였다.
- 집전장치에서 입력된 750V 직류고전압은 고압분전반에서 직접 추진제어장치와 보조전원장치에 연결되어 있으며, 고압(750Vdc)배전반과 저압(110Vdc 및 3상 380Vac) 배전반은 함내에서 별도 위치에 설치되어 있다.
- 직류배전반과 교류배전반은 각각 2개 이상의 예비 전원연결장치를 설비해 부착에 대비하였다. 배전반의 동작상태는 직렬통신장치를 통해 열차제어시스템으로 전송된다.

<표 4-72> 차량전기장치 구성품

품 명	사 양	수 량	비 고
고속차단기(HSCB)	900V / 1500A	1	
전류센서	1000A/±15V	1	
회로보호용차단기(2P)	DC 125V/2P	15	
회로보호용차단기(3P)	AC 415V/3P	2	
전자접촉기	690V(Ue)	6	
수동운전장치	수동운전용	1	이경제작

(가) 수동 운전장치 설계방향

· 차량은 관제실의 통제에 따라 자동운전이 우선
· 차량유치, 열차조성, 검수 등의 편의를 위해 수동운전장치를 설치
· 차량의 구조상 운전실이 없음을 고려해야 함
· 차량하부 측면부에 수동운전함을 배치하고 내부에 인칭(inching) 스위치를 설치
· 인칭 스위치를 동작시키면 열차제어장치에서 설정한 이동거리/이동시간 및 속도

에 의해 차량이 스스로 주행하도록 제어

· 외부에 유선으로 연결 스위치를 인칭스위치로 작동하는 방법에 대한 고려

· 무선장치는 신뢰성 관련하여 높은 보안이 필요해 일반 산업용을 사용은 무리

· 이 경우에도 제동장치는 최우선 동작하여 이상발생시 비상제동 수행



<그림 4-200> 수동운전장치 시제품

(나) 배터리장치 설계

□ 차량내 110V 수요 계산

· 운행 시 소요전력은 보조전원장치를 통해 상시공급

· 운행 시 보조전원장치가 고장나면 1.8kW의 순시 배터리전력 필요

· 보조전원장치가 고장상태로 2시간 이상 운전이 지속가능하도록 하려면

· 1.8kW*2h=3.6kWh의 배터리 총량 소요

· 경제성을 고려하여 무보수 12V(45AH) 연납축전지를 선택하면

· 12V*8S=96V(45AH)=4320Wh > 3600Wh 로 만족됨

<표 4-73> 배터리 소요 용량 계산

항 목	소요 전력	비 고
추진제어장치	300W * 2	HSCB 포함
보조전원장치	200W	DCK 포함
제동제어장치	500W	각종 밸브류
공기압축기	150W	
등구류	300W	LED 램프 사용
예비	250W	확장가능성 대비
합계	2kW	차량 운행시

(다) 등구류

· 전조등과 전후미등 설치하여 차량의 위치 식별 기능 부여

· 등구류는 DC 100V, LED 적용

· 전조등 : LED, 30w 2개를 차량의 전면 및 후면에 설치하였다.

· 표시등/제동등 겸용 LED, 20W 2개를 차량의 전면 및 후면에 설치하였다.

(2) 열차제어시스템

<표 4-74> 열차제어시스템 구성별 주요사양

종류	Interface		비고
	입력	출력	
MCU (DCU+INF)	52 pin multifunctional GPIO connector		32bit DSC core
	5 digital input	2 Relay output	다기능 인터페이스
	8 Analog input		-5V~+5V or 4~20mA
	1 RS232C		Debugging port
	1 RS485		Isolated
	1 CAN2.0		Isolated
	1 SMBUS		I/O expansion
DIN	32 digital input		24Vdc, isolated
DOUT		16 digital output	Dry contact
SMPS	110Vdc	+5V, +15V, -15V, +24V	Power supply



<그림 4-201> 열차제어시스템 시제품

5. 검사 및 성능시험

가. 추진제어시스템 검사 및 성능시험 자료

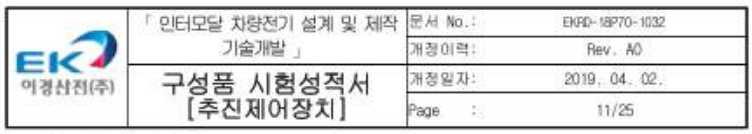
(1) 개요

- 인터모달 차량용 VVVF 추진제어시스템은 기술요구사양서에 의거 설계 및 제작을 완료하고, 시험절차서에 따라 검사 및 성능시험을 수행하였다. 시험결과를 아래와 같이 수록하였다.

(2) 검사 및 성능시험 자료

- 본 보고서에는 검사 및 성능시험 결과를 수록하였으며, 시험사양, 시험기준, 검사장비 등 상세한 내용은 부록에 있다.

(가) 검사 및 시험항목



이경산전(주)	「 인터모달 차량전기 설계 및 제작 기술개발 」	문서 No.:	EKRD-18P70-1032
	구성품 시험성적서 [추진제어장치]	개정이력:	Rev. A0
		개정일자:	2019. 04. 02.
		Page :	11/25

3. 시험결과보고서

순번	시험항목	형식시험	전수시험	비 고
1	육안검사	◎	◎	
2	치수 및 허용오차 확인	◎		
3	중량 측정	◎		
4	표시검사	◎	◎	
5	내전압 시험	◎	◎	
6	절연저항 시험	◎	◎	
7	제어기능 시험	◎	◎	
8	기동 및 재기동 시험	◎	◎	
9	상 회전 시험	◎	◎	
10	전기적 보호 및 측정시험	◎	◎	
11	출력 검증 시험	◎	◎	

(나) 검사 및 시험결과

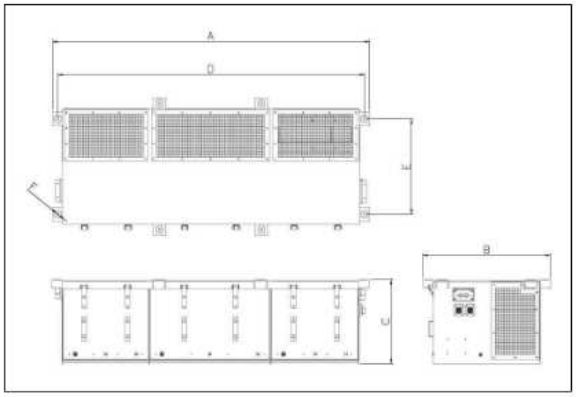
시 험 결 과 기 록 서

구 분	인터모달 차량용	입회기관	입 회	검 토	승 인
시험품	추진제어장치(VVVF)				
제품번호	EK-INV-001	제 작 사	검사자	확인자	
시험일	2019. 03. 29.				
시험환경	온도 : 6℃	습도 : 50%		날씨 : 흐림	
제작사	이경산전주식회사	판 정	합 격		

1. 육안검사

검사항목 및 기준	결과	비고
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 또는 물리적 결함 등이 없을 것	양호	
표면처리는 치밀로 실시되었는지	양호	
회로 및 하이날 연결 상태가 양호한지 확인	양호	
나사산이 있는 부분은 표시된 조임 토크에 따라 조인 후 마지막 위치표시가 되었는지	양호	

2. 치수 및 허용오차 확인



검사항목	기준치(mm)	측정치(mm)	결과	비고
A	2200 ±4	2200	양호	
B	890 ±2	890	양호	
C	550 ±2	550	양호	
D	2130 ±4	2130	양호	
E	620 ±2	620	양호	
F	19 ±0.5	19.0	양호	

3. 중량 측정

구분	검사내용	기준치	측정치	결과	비고
추진제어장치	추진제어장치의 무게를 측정	380Kg(±10Kg)	389.5Kg	양호	

4. 표시 검사

구분	검사내용	결과	비고
추진제어장치 명판	제작자 표시, 장치명, 제조년도, 일련번호	정상기재	

5. 내전압시험

구분	측정위치	기준치	결과	비고
추진제어장치	입출력부(750Vdc/550Vac) - 케이스	3000Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	견딤	
	제어회로(110Vdc) - 케이스	1500Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	견딤	

6. 절연저항 시험

구분	측정위치	기준치	측정치	결과	비고
추진제어장치	입출력부(750Vdc/550Vac) - 케이스	1000V 에가 50MΩ 이상	2000MΩ	양호	
	제어회로(110Vdc) - 케이스	500V 에가 50MΩ 이상	1000MΩ	양호	

7. 제어기능 시험

구분	입력조건	제어지령	기준치	결과	비고
추진제어장치	DC 110V (제어전원)	주 접촉기 동작	정상 동작	정상 동작함	
		GDU 동작	정상 동작(LED점등)	정상 동작함	

8. 기동 및 재기동 시험

구분	입력전압	시험조건	기준치	결과	비고
추진제어장치	DC 550V (최소전압)	60Hz/0% (무 부하)	정상기동 및 정지	기동 및 정지됨	파형첨부
	DC 750V (정격전압)			기동 및 정지됨	파형첨부
	DC 850V (최대전압)			기동 및 정지됨	파형첨부

9. 상회전 시험

구분	입력전압	부하조건	기준치	결과	비고
추진제어장치	DC 750V	0% (무 부하)	정상일 때 시계방향	시계방향임	

10. 전기적 보호 및 측정 시험

10.1 입력 저전압/과전압 검출시험

구분	보호항목	시험조건	기준치	결과	비고
추진제어장치	입력 저전압 검출	550Vdc ±5%	출력이 정상적으로 차단되는 지 확인	정상차단	
	입력 과전압 검출	900Vdc ±5%		정상차단	

※보호동작 항목 및 기준치는 시행청의 요구나 제작사 시험으로 변경될 수 있음

10.2 입출력 전류 고장 검출시험

구분	보호항목	시험조건 [검출기 출력값]	기준치	결과	비고
추진제어 장치	입력 과전류 검출	480Apk(150%) [2.4V±0.10V]	정상적으로 고장이 검출되는 지 확인	고장 검출됨	
	출력 과전류 검출	534Apk(150%) [2.78V±0.10V]		고장 검출됨	

※보호동작 항목 및 기준치는 시행청의 요구나 제작사 시험으로 변경될 수 있음

11. 출력검증시험

구분	입력조건	제어지령	기준치	결과	비고
추진제어 장치	DC 750V ±25V	10Hz동작	출력전압 : 100Vac ±5% 출력주파수 : 10Hz ±1%	정상 동작함	
		30Hz동작	출력전압 : 260Vac ±5% 출력주파수 : 30Hz ±1%	정상 동작함	
		60Hz동작	출력전압 : 520Vac ±5% 출력주파수 : 60Hz ±1%	정상 동작함	

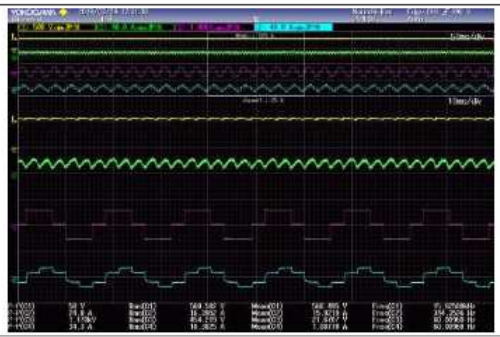
4. 시험결과 DATA 및 관련사진



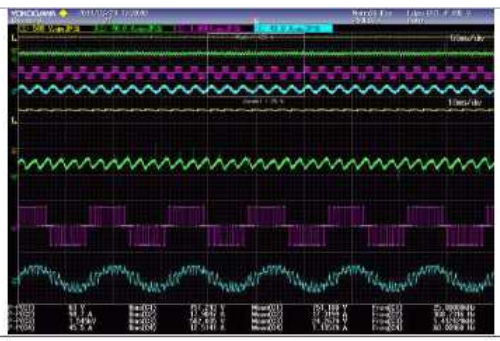
외관 및 육안 검사



치수 및 허용오차 확인



기동 및 재기동 시험 - DC550V 기동 파형(1-입력전압,2-입력전류,3-출력전압,4-출력전류)



기동 및 재기동 시험 - DC750V 기동 파형(1-입력전압,2-입력전류,3-출력전압,4-출력전류)



출력검증시험 - 10Hz 동작(출력전압 100Vac)



출력검증시험 - 30Hz 동작(출력전압 260Vac)

(3) 시험결과 종합

○ 인터모달 차량용 VVVF 추진제어장치의 시험은 시험절차서에 따라 시험을 수행하였으며, 기술사양서에서 요구되는 중량, 치수, 성능 등을 만족하였다.

○ 주요시험 내용은 치수검사, 중량검사, 내전압시험, 절연저항시험, 제어기능시험, 기동 및 재가동시험, 상회전시험, 전기적 보호 및 측정시험, 출력 등을 검증하였다.

○ 4차년에는 시험선에서 차량주행성능시험을 통하여, VVVF 인버터에 의해서 유도전동기가 원만히 제어되고, 차량제어기능과 요구 성능이 검증되었다.

나. 차량제어장치의 검사 및 성능시험 자료

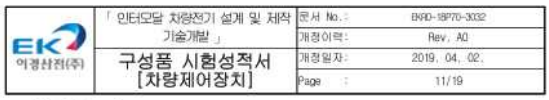
(1) 개요

- 인터모달 차량용 차량제어장치 및 배전반은 기술요구사양서에 의거 설계 및 제작을 완료하고, 시험절차서에 따라 검사 및 성능시험을 수행하였다. 시험결과를 아래와 같이 수록하였다.

(2) 검사 및 성능시험 자료

- 본 보고서에는 검사 및 성능시험 결과를 수록하였으며, 시험사양, 시험기준, 검사장비 등 상세한 내용은 부록에 있다.

(가) 검사 및 시험항목



3. 시험결과보고서

순번	시험항목	형식시험	전수시험	비 고
1	육안검사	○	◎	
2	치수 및 허용오차 확인	○		
3	중량 측정	○		
4	표시검사	○	◎	
5	내전압 시험	○	◎	
6	절연저항 시험	○	◎	
7	고속차단기(HSCB) 동작시험	○	◎	
8	인터페이스 동작시험	○	◎	
9	수동운전 기능시험	○	◎	

(나) 검사 및 시험결과

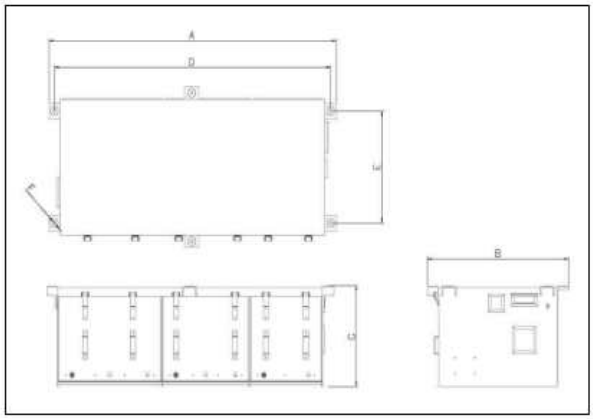
시 험 결 과 기 록 서

구 분	인터모달 차량용	입회기관	인 허	검 토	승 인
시험품	차량제어장치		박경복		
제품번호	EK-TCS-001	제 작 사	검사자	확인자	
시험일	2019. 03. 20.		최 광 철	김 태 규	
시험환경	온도 : 6℃	습도 : 50%		날씨 : 흐림	
제작사	이경산전주식회사	판 정	합 격		

1. 육안검사

검사항목 및 기준	결과	비고
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 또는 뒤틀림 결함 등이 없을 것	양호	
표면처리는 제대로 실시되었는지	양호	
전선 및 단자의 연결 상태가 양호한지 확인	양호	
나사산이 있는 부품은 토시된 조임 토크에 따라 조립 후 마지막 위치표시가 되었는지	양호	

2. 치수 및 허용오차 확인



검사항목	기준치(mm)	측정치(mm)	결과	비고
A	1800 ±4	1800	양호	
B	890 ±2	890	양호	
C	550 ±2	550	양호	
D	1730 ±4	1730	양호	
E	620 ±2	620	양호	
F	19 ±0.5	19.0	양호	

3. 중량 측정

구분	검사내용	기준치	측정치	결과	비고
차량제어장치	차량제어장치의 무게를 측정	250Kg(±10Kg)	254.0Kg	양호	

4. 표시 검사

구분	검사내용	결과	비고
차량제어장치 명판	제작자 표시, 장치명, 제조년도, 일련번호	정상기재	

5. 내전압시험

구분	측정위치	기준치	결과	비고
차량제어장치	전력회로(750Vdc) - 케이스	3000Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	견딤	
	제어회로(110Vdc) - 케이스	1500Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	견딤	

6. 절연저항 시험

구분	측정위치	기준치	측정치	결과	비고
차량제어장치	전력회로(750Vdc) - 케이스	1000V 메가 50MΩ 이상	2000MΩ	양호	
	제어회로(110Vdc) - 케이스	500V 메가 50MΩ 이상	1000MΩ	양호	

7. 고속차단기(HSCB) 동작시험

입력조건	시험항목	시험조건	기준치	결과	비고
DC 750V	입력저전압	DC 500V ± 10V	정상 차단	정상 차단됨	
	입력과전압	DC 930V ± 10V	정상 차단	정상 차단됨	

8. 인터페이스 동작시험

입력조건	시험항목	지령조건	기준치	결과	비고
DC 110V (제어전원)	추진제어장치1	정상 기동	기동신호 출력 LED 점등 확인(DOUT-B0)	정상출력	
		정상 정지	기동신호 차단 LED 소등 확인(DOUT-B0)	정상차단	
	추진제어장치2	정상 기동	기동신호 출력 LED 점등 확인(DOUT-B1)	정상출력	
		정상 정지	기동신호 차단 LED 소등 확인(DOUT-B1)	정상차단	
	보조전원장치	정상 기동	기동신호 출력 LED 점등 확인(DOUT-B2)	정상출력	
		정상 정지	기동신호 차단 LED 소등 확인(DOUT-B2)	정상차단	

9. 수동운전 기능시험

입력조건	시험조건	지령조건	기준치	결과	비고
DC 110V (제어전원)	수동운전 Mode	전진	전진신호 출력 LED 점등 확인(DIN-ID4)	정상출력	
		후진	후진신호 출력 LED 점등 확인(DIN-ID5)	정상출력	



(3) 시험결과 종합

- 인터모달 차량용 차량제어장치의 시험은 시험절차서에 따라 시험을 수행하였으며, 기술사양서에서 요구되는 중량, 치수, 성능 등을 만족하였다.
- 주요시험 내용은 치수검사, 중량검사, 내전압시험, 절연저항시험, 고속차단기 동작시험, 인터페이스 동작시험, 수동운전 기능시험 등을 검증하였다.
- 4차년에는 시험선에서 차량주행시험을 통하여, VVVF 인버터, 보조전원장치, BOU, 조명장치 등을 원만히 제어하는 것을 확인함으로서 차량제어장치의 기능을 검증하였다.

다. 보조전원장치의 검사 및 성능시험 자료

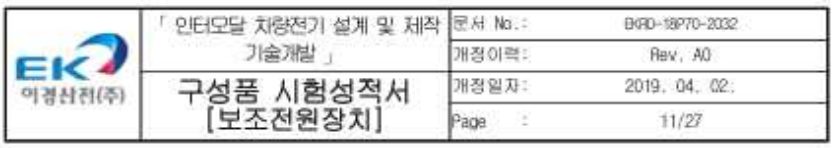
(1) 개요

- 인터모달 차량용 보조전원장치 및 배전반은 기술요구사양서에 의거 설계 및 제작을 완료하고, 시험절차서에 따라 검사 및 성능시험을 수행하였다. 시험결과를 아래와 같이 수록하였다.

(2) 검사 및 성능시험 자료

- 본 보고서에는 검사 및 성능시험 결과를 수록하였으며, 시험사양, 시험기준, 검사장비 등 상세한 내용은 부록에 있다.

(가) 검사 및 시험항목



3. 시험결과보고서

순번	시험항목	형식시험	전수시험	비 고
1	육안검사	○	○	
2	치수 및 허용오차 확인	○		
3	중량 측정	○		
4	표시검사	○	○	
5	내전압 시험	○	○	
6	절연저항 시험	○	○	
7	기동 및 재기동 시험	○	○	
8	상 회전 시험	○	○	
9	전기적 보호 및 측정시험	○	○	
10	출력 검증 시험	○	○	
11	온도상승 및 과부하 능력시험	○		

10. 출력검증시험

10.1 전압변동시험

구분	부하조건	입력전압	기준치	결과	비고
보조전원장치	AC출력(75%부하) DC출력(70%부하)	DC 550V	380Vac(+5%, -10%) 110Vdc(+5%, -10%)	정상동작	파형첨부
		DC 750V		정상동작	파형첨부
		DC 850V		정상동작	파형첨부

10.2 부하변동시험

구분	입력전압	부하조건	기준치	결과	비고
보조전원장치	DC 750V ±25V	0%↔75%↔100% (AC출력)	부하 변동 후 380Vac(+5%, -10%) 110Vdc(+5%, -10%) 출력전압 확인 (200ms이내)	정상동작	파형첨부
		0%↔70% (DC출력)		정상동작	파형첨부

10.3 부하차단시험

구분	측정조건	기준치	결과	비고
보조전원장치	입력 : DC 750V 출력 : 380Vac, 75% 부하조건 출력 : 110Vdc, 70% 부하조건	장치에 손상이 없어야 한다.	정상차단	

11. 온도상승 및 과부하 능력 시험

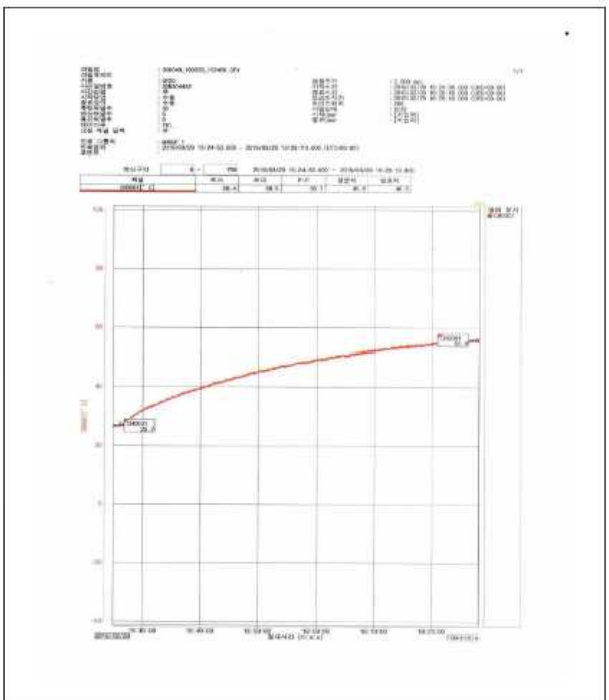
구분	측정조건	기준치	결과	비고
보조전원장치	입력 : DC 750V 출력 : 380Vac, 100% 부하 출력 : 110Vdc, 70% 부하	85℃ 이하 (통전시간 1시간)	양호	
		부스바, 저항기, 캐패시터, 히트싱크의 손상, 변형, 변색 등이 없어야 함	양호	



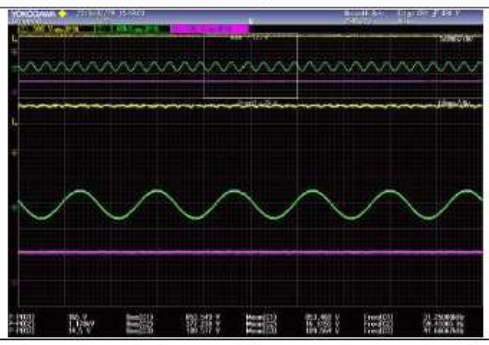
총량측정(179.5Kg)



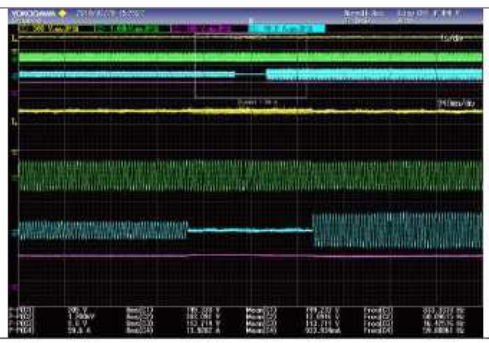
내전압 시험



온도상승 및 과부하능력시험 - 결과파형



출력검증시험 - 전압변동시험-DC850V 기동(1-입력전압,2-AC출력전압,3-DC출력전압)



출력검증시험 - 부하변동시험-AC출력부하변동(1-입력전압,2-AC출력전압,3-DC출력전압,4-AC출력전류)

(3) 시험결과 종합

- 인터모달 차량용 보조전원장치의 시험은 시험절차서에 따라 시험을 수행하였으며, 기술사양서에서 요구되는 중량, 치수, 성능 등을 만족하였다.
- 주요시험 내용은 치수검사, 중량검사, 내전압시험, 절연저항시험, 기동 및 재가동시험상회전시험, 전기적 보호 및 측정시험, 출력검증시험, 온도상승 및 과부하 능력시험 등을 검증하였다.
- 4차년도에는 시험선에서 차량주행시험을 통행하여, 차량제어장치, VVVF 인버터, BOU, 공압장치, 조명장치 등에 원만히 전원을 공급하는 것을 체크함으로서 보조전원장치의 적정한 기능과 성능을 검증하였다.

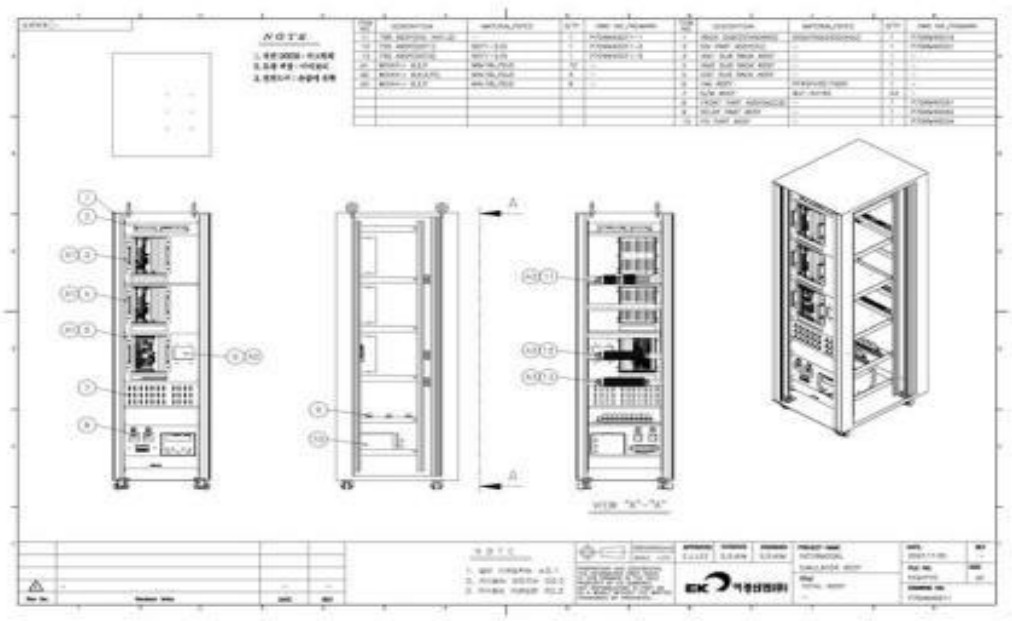
6. 테스트베드 운영을 위한 추가 실시사항

가. 차량제어 및 통신인터페이스 시뮬레이터 시스템

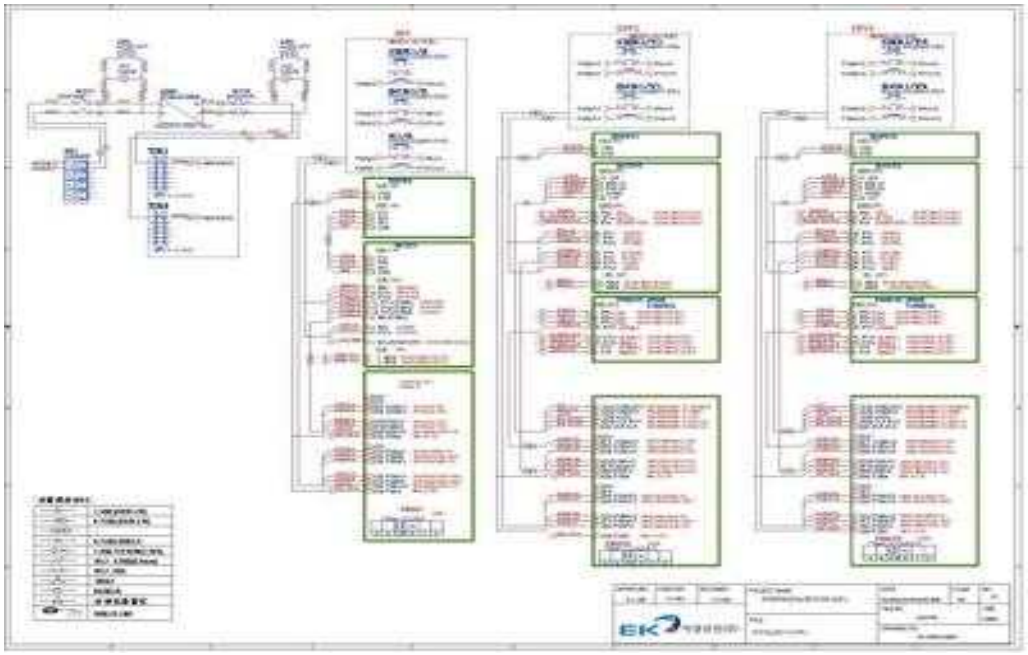
(1) 개요 및 목적

- 차량모의 시뮬레이터는 인터모달 차량 구성품인 추진제어장치(VVVF INVERTER), 보조전원장치(SIV), 차량제어 및 배전반(수동운전장치포함), 제동장치(BOU), 차량통신장치(VTTC) 간 제어 및 통신인터페이스에 대한 시험 및 정상상태, 이례사항에 대한 조사, 분석을 위한 장치이다.

(2) 장치구성

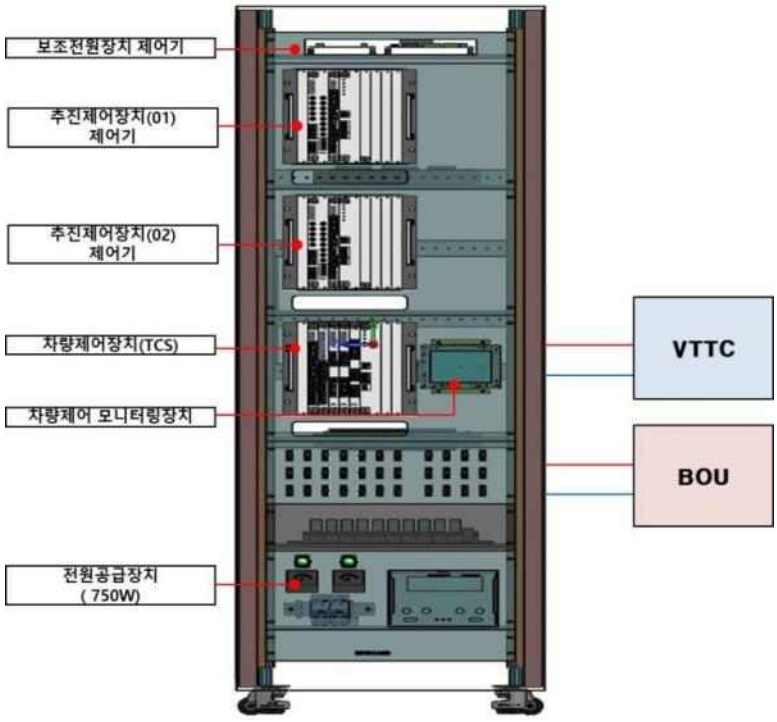


<그림 4-202> 시뮬레이터 제작도면



<그림 4-203> 시뮬레이터 회로구성도(대표도)

- 차량모의 시뮬레이터는 19인치 랙케이스 기반에 인터모달 차량 구성품의 제어장치가 탑재되어 있으며 각 장치는 통신케이블로 연결되어 있다. 또한 각 장치별 제어전원 및 차량 외부조건을 입출력을 위한 제어스위치함, 전원공급장치 등으로 구성되어 있다. 그 밖에 차량의 제어상태를 확인하기 위한 Display장치도 탑재되어 있다.



<그림 4-204> 시뮬레이터 구성다이어그램



<그림 4-205> 시뮬레이터 시제품

나. 시험선로 정위치 정차 벡터제어 시뮬레이션

(1) 벡터제어 시뮬레이션(축소모형) 특징

- (운행조건) 직선선로 280m의 주행 및 지정위치 정차
- (인버터) 인버터 1대에서 2대의 전동기 구동 조건(1C2M)
- (차량무게) 차량의 관성질량(공차추정) 300kg㎡
- (주행저항) 차량의 마찰부하(공차추정) 200Nm

(2) 동작조건

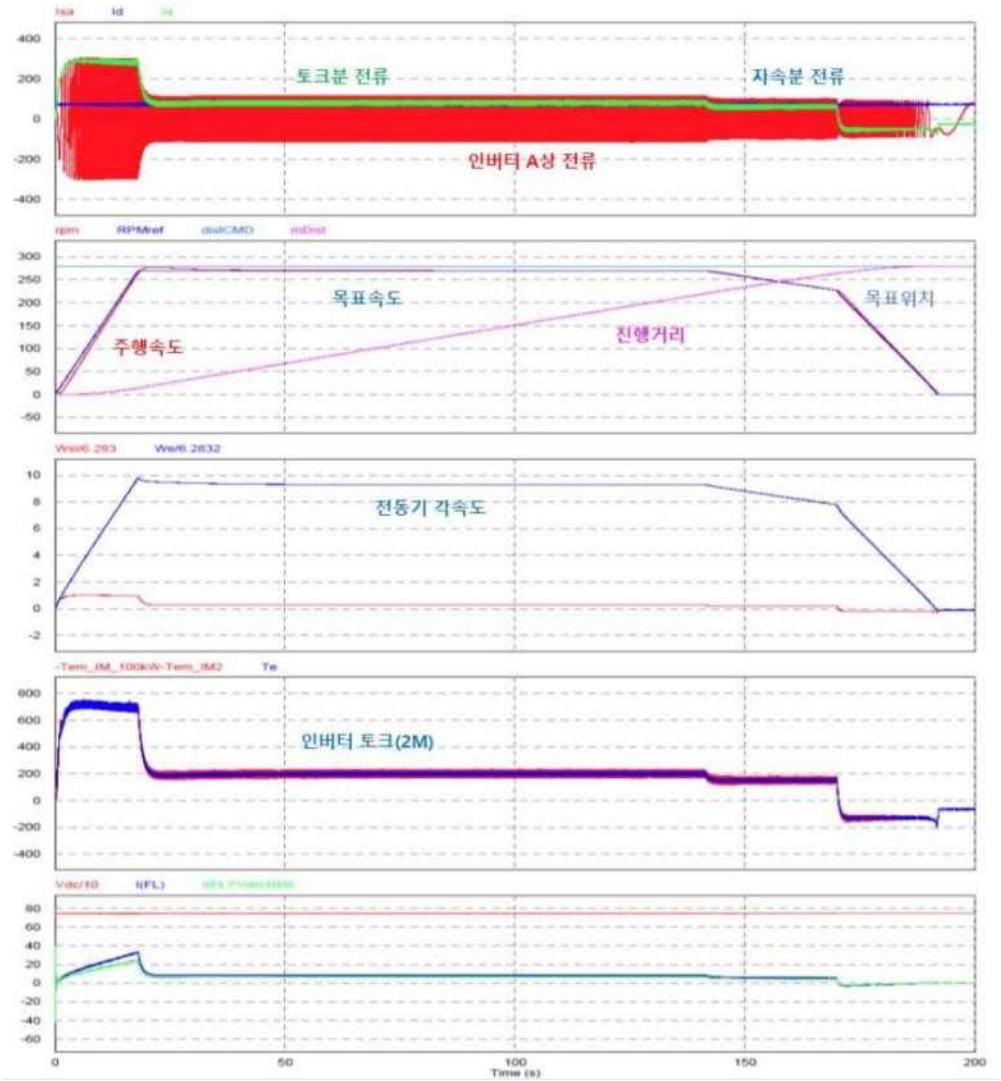
- 직선시험선로를 주행하는 인터모달 차량에 대하여 주행 및 정위치 정차를 모사함
- 시험선로의 조건상 저속운전(최고속도 6km/h)을 중심으로 인버터의 동작을 시뮬레이션상에서 관찰함
- 시뮬레이션 크기 및 실행시간에 대한 제약에 따라 1량의 차량에서 1대의 인버터가 2대의 전동기를 동시에 벡터제어로 운전하는 것에 대해서만 모의함(1차량 && 1인버터 && 2IM)
- 공차조건을 감안하여 인버터의 최대출력토크가 전동기 2대의 최대토크(1100Nm)의 약 65% 수준이 되도록 관성 및 주행저항 부하량 설정
- PSM 표시기의 좌표를 입력하여 감속시 제1감속 및 제2감속 패턴으로 제동(여기서는 편의상 회생 100%)제어를 수행함
- 전동기의 파라메터는 충남대 전동기 시뮬레이션 보고서 참조함

(3) 직선선로 운전 profile

구분	가속	속도도달	정속주행	1차감속	2차감속	정위치 정차
거리[m]	0 →	10	→ 220	220→265	265→280	280
속도	0.333km/h/s	6km/h	6km/h	0.03km/h/s	0.333km/h/s	0km/h
PSM				#3	#2	#1

(4) 시뮬레이션 결과

- 직선선로상에서 인버터의 (1)속도제어, (2)가속/감속제어, (3)PSM에 의한 정위치 정차제어는 안정하게 수행됨
- 인버터의 최대 전류(약 300Ap)는 제한치(400Ap) 이하에서 동작함



<그림 4-206> 인터모달 차량 시험선로(280m) 운행 및 정위치 정차 시뮬레이션(축소모델)

다. 인터모달 차량 수동운전 및 조작

(1) 취급 시 주의사항

- 인터모달 차량은 높은 전압과 전류가 흐르는 장치이므로 감전의 위험에 항상 주의하여야 하며, 차량내 장치 취급 시에는 반드시 관련담당자와 상의한 후 작업하여야 한다.

(가) 시험 전 확인사항

- 전차선 전원(DC 750V) 차단 유무 확인(차량 전후방 램프 소등 확인)
- 전차선 전원을 차단하였어도 차량 내 잔존전압을 가지고 있어 차량 램프 소등 확인 후에도 최소 10분 이후에 시험을 시작하여야 한다.
- 차량 배터리 잔량을 확인하여 전압이 낮을 시 반드시 충전 후 시험을 시작하여야 한다. (DC 100V 이하 시 반드시 충전 필요 ※[차량의 기동] 참조)

배터리전압 잔량 확인방법



- 차량의 배전함 내의 BAT 스위치 ON
- BAT전원 연장케이블을 이용하여 배터리 전압 측정(멀티메터는 별도 지참)
- (주의) 차량 기동중에는 배터리전압 측정 불가

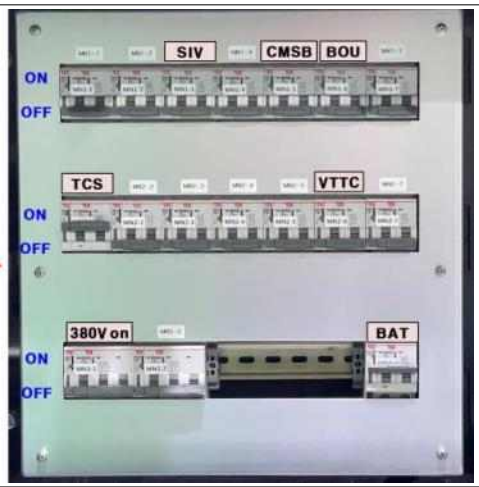
(나) 시험 후 확인사항

- 시험완료 후에는 반드시 배전반의 모든 스위치를 OFF 하여야한다.
- (배터리 완전방전 시 SIV 고장발생의 원인이 됨)
- 배전함 및 기타 장치 등의 개방된 외함 커버는 사각키를 이용하여 반드시 밀폐가 되도록 닫아야 한다.(외부 분진 및 빗물 유입 시 고장발생의 원인이 됨)

(2) 전압모드별 설정

(가) 저압모드(DC100V) 설정

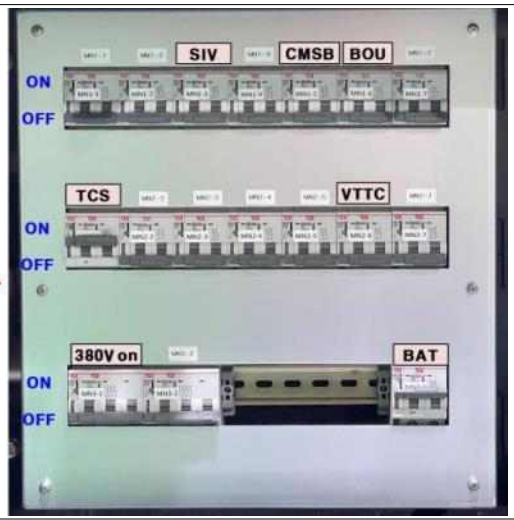
- 차량 하부장치를 배터리전원(DC100V)만을 사용하여 시험하고자 하는 경우에 필요한 설정으로 시험전 반드시 배터리전압 잔량을 확인하여야 한다.

구성장치별 배전반 스위치 확인
 
- 장치선택 : 배전반의 스위치 ON (예: VTTC 또는 BOU) - 배전반 BAT 스위치 ON - (확인)시험중에도 수시로 배터리 잔량 확인 필요 - (확인)시험종료 후 반드시 배전반 모든 스위치 OFF

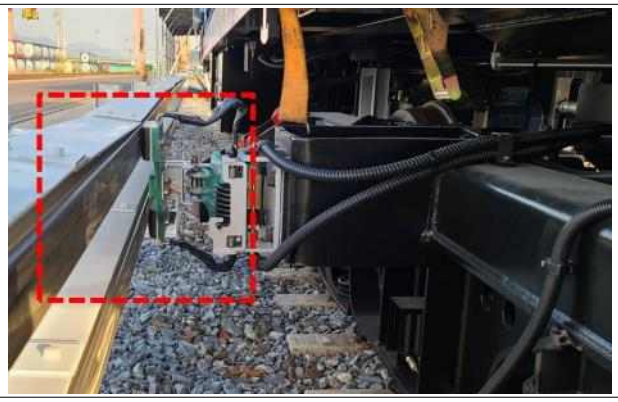
(나) 고압모드(AC380V) 설정

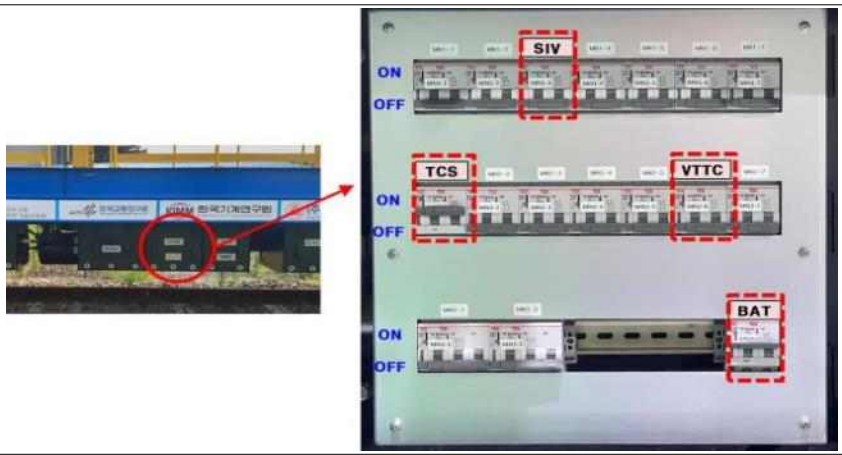
- 차량 하부장치를 SIV출력전원(AC 380V, DC 100V)을 사용하여 시험하고자 하는 경우에 필요한 설정으로 전차선 가압(DC 750V)에 따른 감전사고에 유의하여야 한다.

①	**차량의 기동**
	- [차량의 기동] 방법 참조

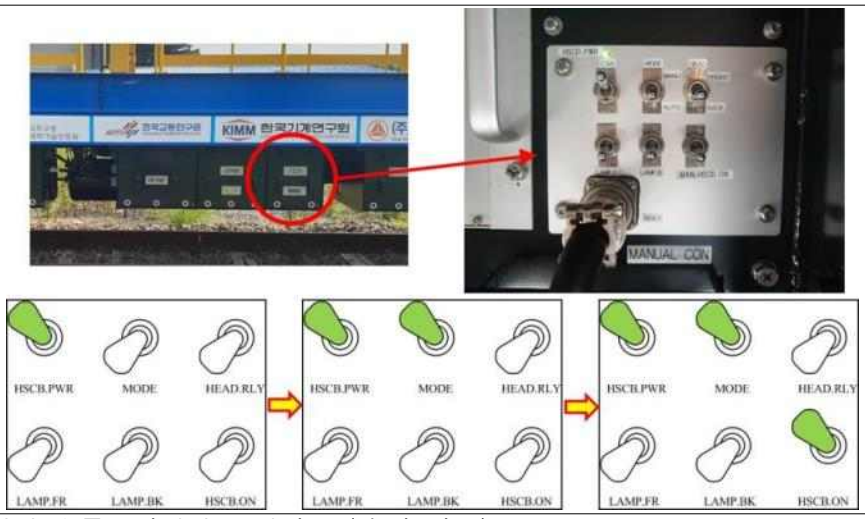
②	**구성장치별 배전반 스위치 확인**
	 
	- 배전반의 [380V on] 스위치 ON - (전차선 가압 후 SIV 정상동작시까지 대기(약 15초 소요) - 장치선택 : 배전반의 스위치 ON (예: CMSB ON) - (확인)시험종료 후 반드시 전원차단 ※[차량전원 차단] 방법 참조

(3) 차량의 기동(수동운전모드)

①	**차량 집전자 확인**
	
	- 집전자의 전차선 밀착확인

②	**배전반 상태확인 및 조작**
	
	- 배전반의 스위치 ON (BAT, SIV, TCS, VTTC) - 나머지 스위치는 OFF - (확인) INV 스위치는 반드시 OFF 되어 있어야 함. - (주의) TCS-VTTC 통신 미연결시 차단 발생(통신오류 보호동작)

③	**전차선 가압**
	
	- 전력변환실을 통한 전차선 가압(DC 750V) - 전차선 가압매뉴얼 참조 - 전차선 가압 후 차량 전후방 램프 점등 확인

	차량전원 가압 및 기동(수동운전모드)
④	
	- TCS함의 수동운전패널 스위치 ON(순서 있음) - HSCB.PWR ON → MODE 스위치 MANU로 설정 → HSCB.ON ON - HSCB가 ON되면 2초 후 SIV 기동 시작 - Battery 전압이 충전전압인 DC 110V 내외로 상승됨 - 최소 1시간이상 기동 필요(배터리 완충 조건) - (주의) 잦은 HSCB On/Off 는 SIV의 충방전회로에 부담이 되므로 최소 15초 이상의 휴지시간 필요함.

(4) 차량전원 차단

- 차량전원의 차단은 차량의기동 역순으로 진행한다. ※[차량의 기동] 방법 참조
- 수동운전 패널의 스위치 Off (HSCB.ON Off → HSCB.PWR Off)
- 전차선 전압 차단(전력변환실-전차선 전압 차단 매뉴얼 참조)
- 배전반의 모든 스위치 Off(BAT 스위치 Off 반드시 확인)

(5) 고장 또는 이례사항 발생 시 대처방법

- 차량의 기동 및 시험 중 고장 및 이례사항(장치차단 등) 발생 시 신속히 전차선 전압 차단 및 HSCB.ON 스위치 Off, BAT스위치 Off 하여야 하며 관련담당자(제작사)에게 관련사항을 즉시 통보하여야 한다.

(가) 고장 또는 이례사항 발생유형

- 전차선 전압의 급격한 상승/하강 시
- 전차선 순간 이선(집전자 순간 탈락)
- 내부장치 이상으로 인한 과전류 발생
- 통신이상(2초 이상 통신 없는 경우)

(나) 고장 발생 시 차량상태 확인방법

고장발생시 장치상태 확인



- 고장발생 시 HSCB가 trip 됨(재기동 없음)
- TCS의 MCU카드의 IO7(RED) LED가 점등됨
- 위의 상황 발생시 신속히 HSCB 및 BAT 스위치 OFF, 전차선 전압 차단 후 제작사 통보(고장원인 파악 중요)

라. 인터모달 차량 자동제어 시나리오

(1) 차량제어 시 유의사항

- 인터모달 차량은 높은 전압과 전류가 흐르는 장치이므로 감전의 위험에 항상 주의하여야 하며, 차량내 장치 취급 시에는 반드시 관련담당자와 상의한 후 작업하여야 한다.

(가) 차량제어 주의사항

- 본 연구차량은 편성 내 차량간 물리적 연결이 없음
- 따라서 선두차량과 후속차량의 명령제어는 TTC-VTTC의 무선망에 의존함
- 편성차량의 출발, 가속, 제동은 반드시 편성 내의 차량에 대하여 동기가 맞도록 제어되어야 함
- 관제(TTC)에서는 VTTC1, 2에 일괄 제어명령을 내려서 선두차량과 후미차량의 제어량, 제어순서 차이가 발생하지 않도록 보장해야 함(매우 중요)

(나) PSM(Precision Stop Marker) 신호 입력시 주의사항

- PSM은 차량의 정위치 정차를 위해 차량의 절대위치를 알려주는 기능을 수행
- 하지만 본 연구차량은 차체가 회전하므로 최종 종착지에 대해 선두차와 후미차의 절대위치가 동일하지 않음
- 선두차량이 PSM을 만나서 감속을 하더라도 후속차량은 동일 PSM을 입력할 때까

지 가속이 유지되어 차량제어에 심각한 문제가 발생함(차량좌굴이나 인버터과전류 발생 우려)

- 예를 들어 4Km/h로 운전되는 차량에서 선두차량이 PSM을 만났을 때 후속차량의 위치는 30m 정도(차량길이와 연결기를 포함한 총길이) 뒤에 있으므로 약 20여초 동안 가속과 감속이 공존하는 구간이 발생함
- 이는 두가지 방법으로 회피가 가능함
- 회전구간 내에서는 선두차량과 후속차량 모두 PSM을 입력하지 못하도록 물리적으로 설치를 금지
- 선두차량이 PSM신호를 입력하면 VTTC는 이 신호를 관제 TTC로 전송하고 관제에서는 편성내의 차량 모두에게 동일한 가상의 PSM이 입력된 것으로 VTTC에게 명령하는 방법 적용
- PSM의 설치 위치는 고정이지만 차량의 진행방향에 따라 무시되는 PSM이 정의되어야 함(중요)

(2) 출발 전 확인사항

(가) 차량

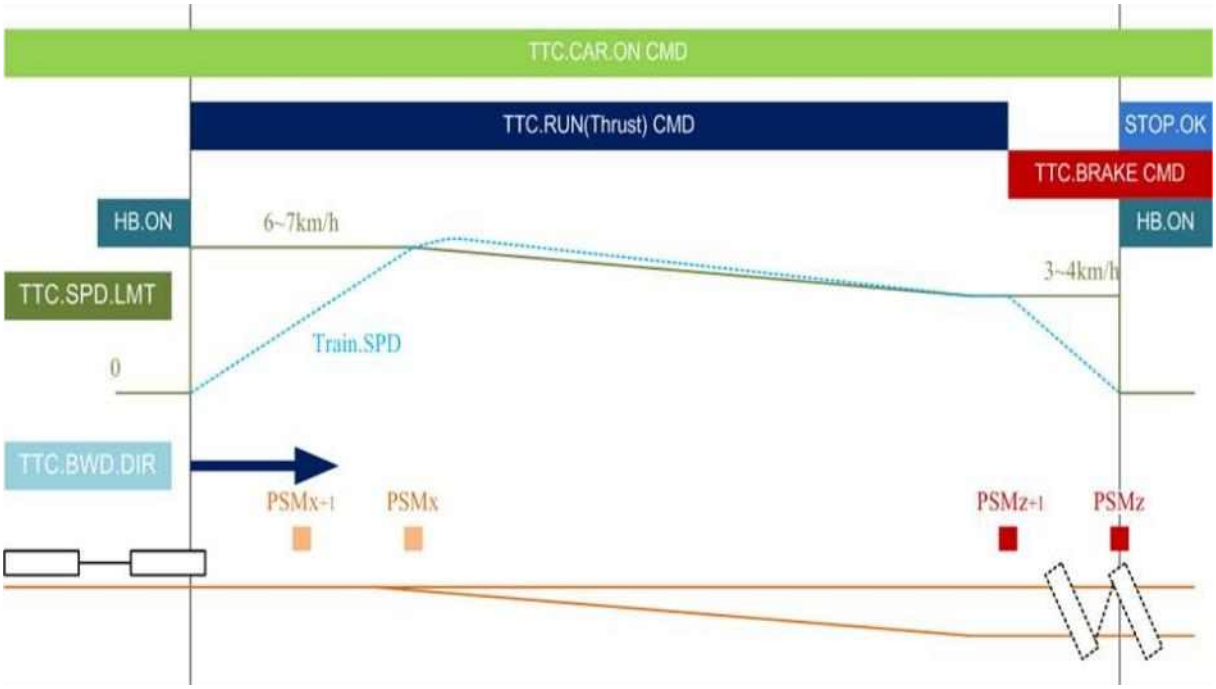
- TCS는 각 하부장치의 고장상태를 파악하여 해당 비트를 VTTC에게 전송
- 차량의 초기상태는 제동으로 되어 있어야 함

(나) TTC 및 VTTC

- 전차선 급전전압의 정상여부 확인
- 차량의 제동상태 확인(차량의 Sliding 방지를 위해 초기상태는 반드시 제동이어야 함)
- 차량의 고장상태 확인(고장이면 출발 금지)
- 기타 TTC 확인사항 실행

(3) 자동운전 시나리오

(가) 시나리오① 플랫폼 정위치 정차



<그림 4-207> 플랫폼 정위치 정차(피트→플랫폼) 자동운전 시나리오

- (급전) 전차선이 정상이면 TTC는 CAR.ON 신호를 출력하여 차량의 HSCB(High Speed Circuit Breaker) 스위치를 동작시킴
- (준비) HSCB가 정상으로 동작하면 차량의 모든 장치는 내부 시퀀스에 따라 자동으로 기동하고 인버터는 약 15초 후 추진 대기상태로 전환됨. TTC는 출발 전에 HSCB의 정상여부 확인 필요함
- (출발) 출발을 위해서 VTTC는 제동명령을 소거하고 HB(Holding brake)를 완해시킨 후(반드시 필요) 제한속도를 입력하고 추진명령을 내림
- (운행) 차량 운행 기간 동안 VTTC는 TCS에게 연속적으로 속도명령을 내려주어야 함
- (PSM) VTTC는 정해진 PSM이 입력되면 반드시 제동명령을 출력함과 동시에 해당 PSM번호를 TCS에 알려주어야 함(제동명령이 없으면 PSM 무시명령으로 간주하며 감속 없음)
- (정차) TCS는 FSB를 제어하여 정해진 감속도로 감속하고 VTTC는 PSMz가 입력되면 zero speed 확인 후 HB를 동작시키고 STOP.OK 신호를 출력

(나) 시나리오② 플랫폼 출발



<그림 4-208> 플랫폼 출발(플랫폼→피트) 자동운전 시나리오

- TTC는 차량의 진행방향을 반대로 설정하고 (준비)→(출발)→(운행)→(PSM)→(정차) 과정을 그대로 수행함
- 정위치 정차와 다른 점은 차량의 회전구간 비율이 더 길어서 최고속도가 낮음
- PSMz가 없으므로 적당한 시점에서 차량이 정지됨

제11절. 운송대차 제동장치 기술개발

1. 제동시스템 기술요구사항 정의

가. 개요

○ 인터모달 차량제동시스템 기술요구사항을 만족하고, 운행 중 발생 가능한 최악조건에서도 전·후 열차와 추돌 없이 정지할 수 있는 제동거리를 확보해야 한다.

○ 제동장치는 전기제동과 기계제동을 적절히 조합(Blending, 혼용)하여 최적의 승차감을 유지하고, 안전한 제동거리를 확보해야 한다.

○ 전기제동은 우선 작동되어야 한다. 공차 시에는 전기제동을 우선으로 사용하고, 제동력 부족 또는 정차 시에 기계제동이 작동하여 정차토록 한다. 만차와 비상제동시에는 하중조건에 맞춰 전기제동과 기계제동을 조합하여 제동력이 최대가 되도록 한다.

○ 공압장치는 9kg/cm^2의 압력공기를 공급할 수 있는 설비를 갖춰야 한다. 대차에 설비되는 답면제동 실린더에는 5kg/cm^2의 압력공기를 사용하여 제동을 작동시켜야 한다.

나. 제동시스템 요구사항

○ 최고운행속도 : 40 km/h

○ 설계속도 : 60km/h

○ 제동거리

- 상용제동 : 280m 이내
- 비상제동 : 160m 이내

○ 공차중량 : 약 34톤

○ 하중 : 31톤(컨테이너 트레일러 6톤, 40‘ 컨테이너 하중 : 25톤)

○ 총중량 : 약 65톤

○ 감속도

- 상용시 : 1.5km/h/s(0.416 m/s^2)
- 비상시 : 2.0km/h/s(0.56 m/s^2)

○ 제동공기압력 : 5kg/cm^2

○ 압축공기압력 : 9kg/cm^2

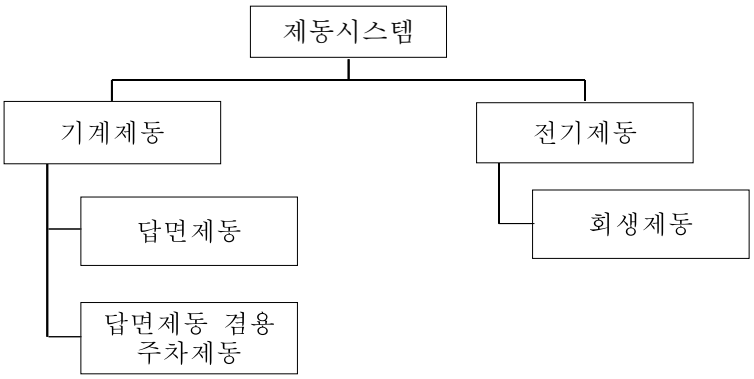
다. 제동시스템 구성 및 기능

○ 인터모달 차량시스템의 제동시스템 구성은 전기제동과 기계제동으로 구분하여 제동분담률을 설정하였으며, 전기제동은 유도전동기의 회생제동, 기계제동은 답면제동과 주차제동을 설비하였다.

○ 차량의 제동시스템 구성을 구체적으로 기술하면, 유도전동기는 량당 4셋, 답면제동 7셋/량을 설치하고, 1셋은 답면제동 겸용 주차제동으로 사용하였다.

(1) 제동장치의 구성

- 인터모달 차량제동시스템은 다음과 같이 기계제동과 전기제동으로 구성한다.
- 기계제동시스템은 압력공기 5kg/cm^{2}로 작동되는 답면제동장치를 사용하고, 전기제동시스템은 우선적으로 회생제동을 체결하여 차량을 감속과 정차시킨다.
- 주차제동겸답면제동유니트 1셋트를 사용하고, 제동시는 기계제동으로 사용한다.



<그림 4-209> 인터모달 운송차량의 제동장치 구성도

2. 인터모달 차량의 제동성능 계산

○ 인터모달 차량의 제동성능검토를 위한 제동성능사양은 아래 표와 같이 수립하였다.

○ 제동성능계산 값은 연구기술개발 중에 있는 전기식/기계제동장치의 회생제동력, 답면제동력의 예상 값으로 산출하였다.

○ 상용제동시의 제동장치 및 제동력은 아래 표와 같으며, 상용제동 시에는 마찰제동의 유지보수 측면을 고려할 때 가능하면 마모가 없는 전기제동을 사용토록 한다.

가. 제동시스템 구성 및 성능

○ 인터모달 차량의 제동성능계산을 위하여 다음 표와 같이 정의해 사용하였다.

<표 4-75> 인터모달 차량시스템 제동성능사양

항목	적용 기준
전동기 출력	92 kw/대 이상
전동기 대수	4개/량
효율	97.5%
차륜직경	820mm(반마모)
답면제동	8셋/량
중량	- 공차 :34톤/량 - 하중 : 31톤/량 - 총중량 : 65톤/량 - 관성중량 : 공차: 34x0.14=4.76톤/량 만차 : 65x0.14=9.1톤/량

나. 요구제동력 산출

○ 제동 공차/만차 관성중량(Ti 및 Gi)인 차량을 규정감속도 α로 감속하기 우해 필요한 제동력(F)는 다음 식에 의해 구해진다.

(1) 공차제동력

- 10량 편성열차 공차시 상용제동력은 다음과 같다.

$$F_T = \frac{(W_1 + Ti) \times n \times \beta_1}{g}\,(kg)$$
$$= \frac{(34{,}000 + 4{,}760) \times 10 \times 1.5}{9.8 \times 3.6} = 16{,}479\,kg$$

- 10량 편성열차 공차시 비상제동력은 다음과 같다.

$$F_T = \frac{(W_1 + Ti) \times n \times \beta_1}{g}\,(kg)$$
$$= \frac{(35{,}000 + 4{,}760) \times 10 \times 2.0}{9.8 \times 3.6} = 22{,}539\,kg$$

· 여기서 : g : 9.8m/s^2 , n : 편성당 차량 수(10량/편성)

W_1 : 자중 T_i : 공차관성질량

β_1, β_2 : 감속도(상용 : 1.5km/h/s, 비상 : 2.0km/h/s)

(2) 만차 소요제동력

- 10량 편성열차 만차시 상용제동력은 다음과 같다.

$$F_M = \frac{(W_3 + Gi) \times n \times \beta}{g}\,(kg)$$
$$= \frac{(65{,}000 + 9{,}100) \times 10 \times 1.5}{9.8 \times 3.6} = 31{,}505\,kg$$

- 10량 편성열차 만차시 비상제동력은 다음과 같다.

$$F_M = \frac{(W_3 + Gi) \times n \times \beta}{g}\,(kg)$$
$$= \frac{(65{,}000 + 9{,}100) \times 10 \times 2.0}{9.8 \times 3.6} = 42{,}006\,kg$$

(3) 제동통(BC) 압력 계산

- 블록 브레이크 유니트의 제동통 압력

$$F_C = (A_E \times p_B - 250) \times f_m \times n \times r \times \eta$$
$$p_B = \left(\frac{F_C}{A_E \times f_m \times n \times r \times \eta}\right) + \frac{250}{A_E}$$
$$= \frac{F_C}{248.8 \times 0.25 \times 8 \times 3.6 \times 0.95} + \frac{250}{248.8}$$
$$= 0.000587 F_C + 1$$

· 여기서 : FC : 1량당 소요제동력(kg), AE : 제동실린더 휴효 단면적 248.8cm^2
P_B : 제동통압력(kg/cm^2) f_m : 마찰계수 0.25 n : 량당 제동통 수
r : 답면제동 레버비 : 3.6 η : 제동효율 95%

<표 4-76> 상용 및 비상제동압력

항목	상용제동압력 (kg/cm2)	비상제동압력 (kg/cm2)	비고
공차	1.95	2.8	
만차	2.39	3.4	

다. 기계제동장치 제동력

○ 인터모달 차량의 기계제동장치는 추진시스템, 견인전동기 등의 고장이나 기타의 이유로 전기제동시스템이 불가할 경우를 대비하여, 요구하는 감속도로 차량을 정지시키는데 필요한 제동력이 확보되어야 한다.

○ 인터모달 차량이 최고운행속도 40km/h의 주행을 위해서 제동력 증대를 위하여, 답면제동장치을 설치하였다. 기계제동장치의 제동력을 다음과 같이 정의하여 차량제동력 계산에 적용하였다.

- 답면제동 : 4.4kN/개(지하철 1호선 전동차 기준 : 6.3kN/개)

라. 전기제동장치 제동력

○ 인터모달 차량의 전기제동력은 응하중신호에 의해 만차와 공차의 제동력이 생성되며, 요구제동력이 생성되는 전기제동력보다 큰 경우에 기계제동력으로 보충시킨다. 이를 위해 제동시스템의 블랜딩(Blending)은 차량의 중량을 입력 받아 전기제동력을 계산하는 프로그램을 운용해야 한다.

○ 인터모달 차량에 적용될 유도전동기의 출력은 대당 92kw, 량당 8대 총 368kw 이지만, 개발되는 유도전동기에 대한 제동력 관련 실험자료가 없어, KTX 산천 등과 같이 일반적으로 사용하는 견인력의 60~90% 정도를 회생제동력 값으로 사용하였다.

마. 전기제동력 및 조합제동력

(1) 제동제어 개념

- 전기제동을 우선으로 사용하며, 정차 시와 비상제동 시에는 전기제동과 기계제동블랜딩(Blanding, 조합)하여 사용한다.

(2) 적용 제동력

(가) 기계 제동력

· 열차 10량에 대한 기계제동력은 다음을 적용한다. 여기서 상용감속도는 1.5km/h/s 이고, 비상감속도는 2.0km/h/s 이다. 아래 표는 상용 및 비상제동시 공기압력에 대한 공기제동력이다.

<표 4-77> 상용 및 비상제동력

항목	상용제동력		비상제동력	
	압력(kg/cm2)	제동력(N)	압력(kg/cm2)	제동력(N)
공차	1.95	1,614,942(164,790kg)	2.21	2,208,822(225,390kg)
만차	2.79	3,087,490(315,050kg)	3.38	(420,0604,116,588kg)

· 아래 표는 공차시 및 만차시 적용되는 제동력이다.

<표 4-78> 만차시 블랜딩 제동력

속도 (km/h)	전기제동 (kN)	만차블랜딩 상용공기 제동력 (kN)	만차블랜딩 비상 공기 제동력 (kN)	만차 상용공기 제동력 (kN)	만차 비상공기 제동력 (kN)
0	0	260	350	260	350
5	297	200	300	250	340
10	297	150	250	240	330
15	297	100	200	235	320
20	297	0	160	230	310
25	297	0	140	225	300
30	297	0	120	220	290
35	297	0	110	215	280
45	297	0	100	210	270

<표 4-79> 공차시 블랜딩 제동력

속도 (km/h)	전기제동 (kN)	만차블랜딩 상용공기 제동력 (kN)	만차블랜딩 비상 공기 제동력 (kN)	만차 상용공기 제동력 (kN)	만차 비상공기 제동력 (kN)
0	0	170	170	170	170
5	200	160	160	160	160
10	200	150	150	150	150
15	200	140	140	140	140
20	200	0	130	130	130
25	200	0	120	120	120
30	200	0	110	110	110
35	200	0	100	100	100
45	200	0	90	90	90

(나) 전기 제동력

· 열차 10량의 전기 제동력은 전동기 출력의 60~90%를 적용한다.

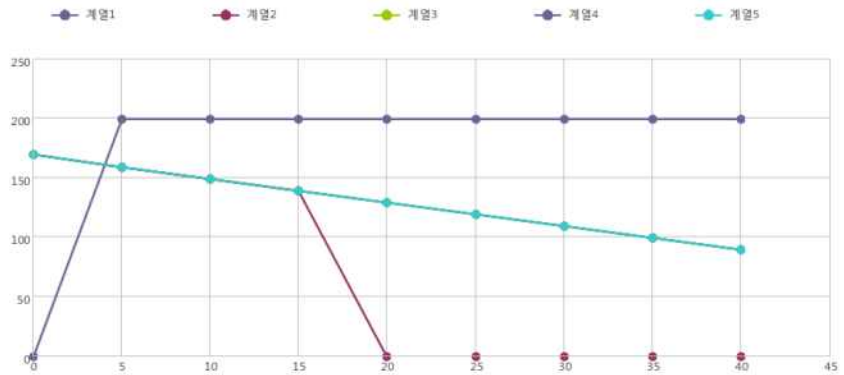
<표 4-80> 속도별 전기제동력

항목	견인력		전기제동력	
	공차	만차	공차	만차
40km/h	200,000N	330,000N	180,000N	297,000N
30km/h	200,000N	323,000N	180,000N	297,000N
20km/h	200,000N	330,000N	180,000N	297,000N
10km/h	200,000N	330,000N	180,000N	297,000N
5km/h	200,000N	330,000N	0	0
0km/h	200,000N	330,000N	0	0

바. 제동성능 계산 결과

(1) 공차제동 시

- 아래 표는 공차 시 블랜딩제동 및 공기제동 시 제동 계산결과이다. 공차 제동시 블랜딩 비상 제동시 평균감속도 0.91m/s^2 이고, 제동거리는 약 93m이다. 공기 비상제동시는 평균감속도 0.38m/s^2 이고, 제동거리는 약 258m이다.



<그림 4-210> 공차시 제동력 선도

<표 4-81> 공차 제동성능계산 결과

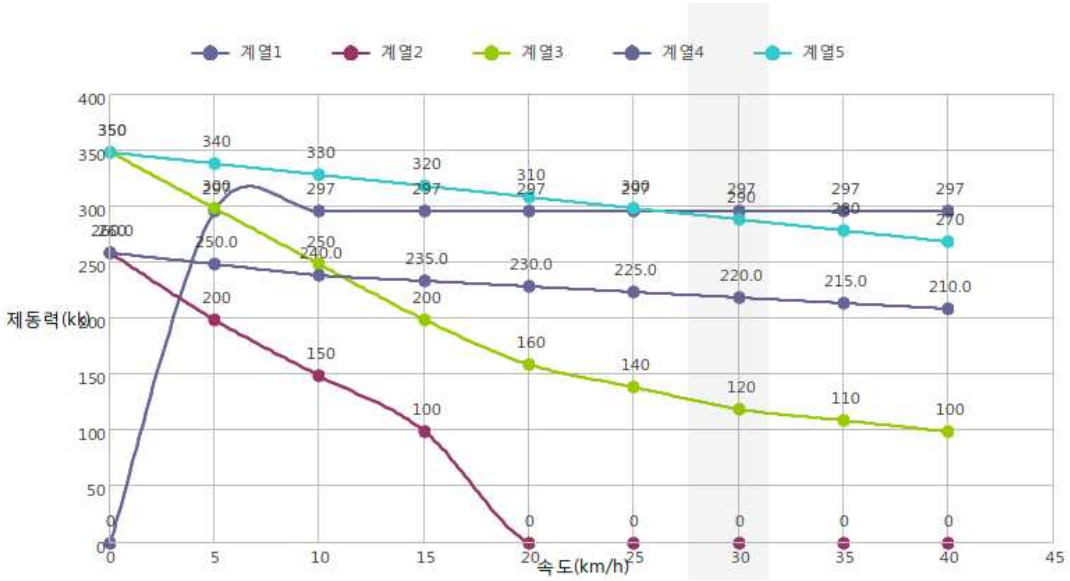
항목	공차 블랜딩 상용제동	공차 블랜딩 비상제동	공기 상용제동	공기 비상제동
평균감속도 (m/s^2)	0.73	0.91	0.38	0.38
제동거리(m)	133.3	93	258.8	258.8
제동시간 (sec)	18.6	14.4	34	34

(2) 만차제동 시

- 아래 표는 만차 시 블랜딩제동 및 공기제동 시 제동 계산결과이다. 만차 제동시 블랜딩 비상 제동시 평균감속도 0.70m/s^2 이고, 제동거리는 약 127m이다. 공기 비상제동시는 평균감속도 0.48m/s^2 이고, 제동거리는 약 187m이다.

<표 4-82> 만차 제동성능계산 결과

항목	만차 블랜딩 상용제동	만차 블랜딩 비상제동	만차 공기 상용제동	만차 공기 비상제동
평균감속도 (m/s^2)	0.53	0.70	0.36	0.48
제동거리(m)	175.5	127.3	243.3	187.9
제동시간 (sec)	24.7	18.2	35.2	26.3



<그림 4-211> 만차시 제동동력 선도

사. 제동시스템 및 제동력 분석

○ 제동력 계산결과 요구사항에 제시된 상용 감속도 1.5km/h/s(0.416m/s^2), 비상 감속도 2.0km/h/s(0.55m/s^2)를 만족하고 있다. 한편 제동거리 상용시 280m 이하 비상시 140m 이하도 만족하고 있다.

○ 열차 10량의 공차시 블랜딩 비상 제동시 평균감속도 0.91m/s^2 이고, 제동거리는 약 93m이다. 공기 비상제동시는 평균감속도 0.38m/s^2 이고, 제동거리는 약 258m이다.

○ 열차 10량의 만차 시 블랜딩 비상 제동시 평균감속도 0.70m/s^2 이고, 제동거리는 약 127m이다. 공기 비상제동시는 평균감속도 0.48m/s^2 이고, 제동거리는 약 187m이다.

○ 열차가 정상 운행 시에는 전기제동과 기계제동을 블랜딩하여 사용한다. 전기제동장치의 고장 시에는 비상제동으로 기계제동을 사용하도록 설계하였다.

3. 제동장치 설계 및 제작

가. 제동장치 구성

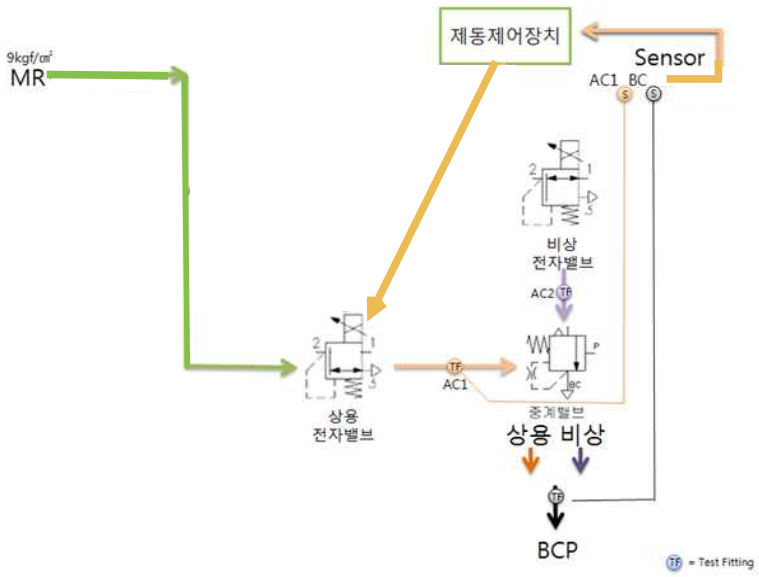
○ 기계제동장치의 구성은 제동제어유니트(Brake Operating Unit), 답면제동장치 및 주차겸용 답면제동장치, 합성제륜자, 공기통, 속도검지장치, 제동압력스위치, 각종 밸브 및 콕크, 안티스키드 밸브 등으로 이뤄져있다.

- 제동제어유니트(BOU)
- 답면제동장치
- 주차제동겸 답면제동장치
- 공기통
- 합성제륜자 및 키
- 속도검지장치(60km/h)
- 제동압력스위치
- 각종 밸브 및 콕크

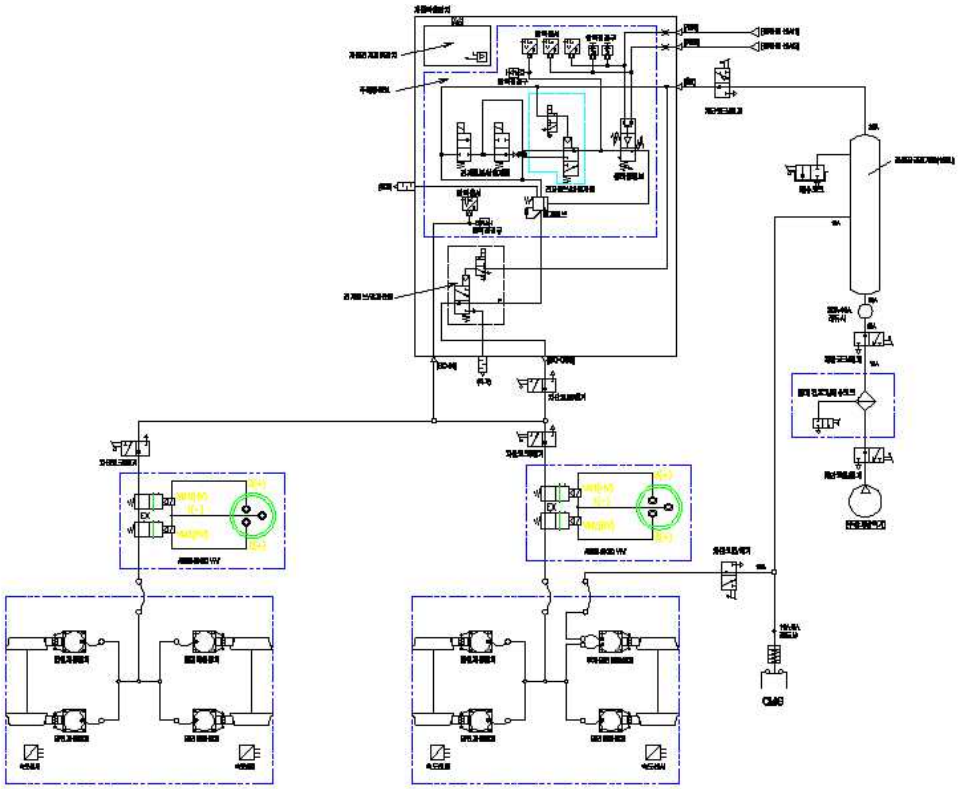
나. 제동 다이아그램

○ 인터모달 자동화물수송시스템의 차량 제동다이아그램이 아래 그림에 나타나 있다.

○ 아래 그림에 제동다이아그램이 도시되어 있듯이 공압제동장치의 주요 작동은 9kg/cm^2 압축공기를 MR(주공기관)에서 제동제어장치에 공급하여 상용전자밸브를 작동시켜 답면제동실리던에 0~3.5kg/cm^2 압력공기를 공급해 제동력을 발생시켜 차량을 감속한다. 만차시에는 VVVF 인버터의 추진력을 정보를 받아 차량의 하중상태를 감지하여 제동제어유니트에서 답면제동실린더에 3~5kg/cm^{2}의 공기압력을 공급하여, 제동력을 증대 또는 감소시켜 차량을 감속 또는 정지시킨다.



<그림 4-212> 제동 다이아그램



<그림 4-213> 제동 회로 다이아그램

다. 제동장치 설계 및 제작

○ 아래 그림에 인터모달 차량의 기계제동장치 설치도가 도시되어 있다. 제동장치는 공기압축기에서 9kg/cm2로 생성된 압축공기를 공기건조기에서 건조시킨 후, 압축공기를 공기탱크에 저장하도록 구성하였다.

○ 열차의 제동블랜딩(Brake Blending)은 신호장치 등으로부터 제동정보를 받아 열차제어장치에 의해 전기제동을 우선적으로 작동시킨다. 전기제동이 요구제동력 달성에 불충분한 경우에 공기제동이 추가로 보충된다. 유효 전기제동에서 공기 제동으로 전환은 저속에서 발생하며, 전환하는 동안 부드럽고 충격이 없는 운행을 위하여 응답시간은 최소화한다. 전기제동이 매우 낮은 속도 영역에서도 최대한 유효하면 마찰제동의 마모는 최소로 유지할 수 있다.

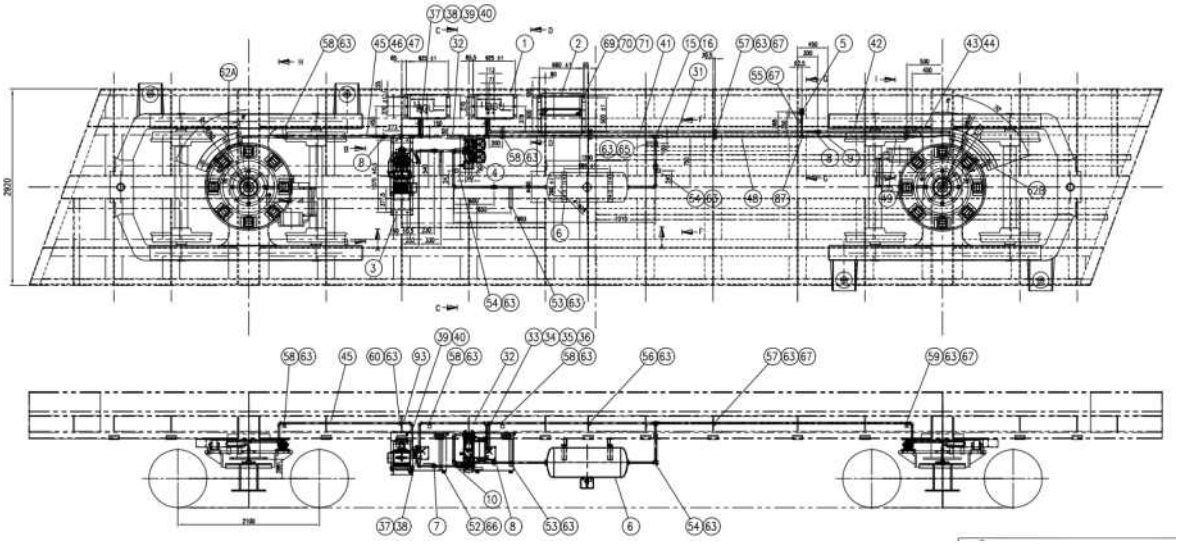
○ 마이크로프로세서 제어 전공 아날로그 제동시스템은 차량운전에 적합한 빠른 응답과 고성능을 갖춘 제동시스템이며, 압축공기에 의하여 마찰제동력을 제공하고, 이에 대한 제어는 전기적으로 달성된다. 또한 차량의 안전성에 대하여 충분히 고려하여 설계 제작된다. 관제실 차량제어장치에 의한 제동요구는 인통선을 통하여 감속도 수준으로 설정 된 신호로 수신된다. 제동시스템은 이러한 제동요구에 상응하여 마찰제동에 필요한 작용압력을 생성하는 제동밸브를 전기적으로 제어한다. 이 과정에서 마이크로프로세서에 의한 제동연산이 수행된다. 그리고 하중에

○ 기계제동이 필요시에는 BOU에 제동명령을 전달한다. 요구되는 기계제동력을 BOU가 연산하여 차량의 전후에 설비된 대차의 답면제동실린더에 적정한 압력공기를 공급하여 차륜에 답면제동을 작동시킨다.

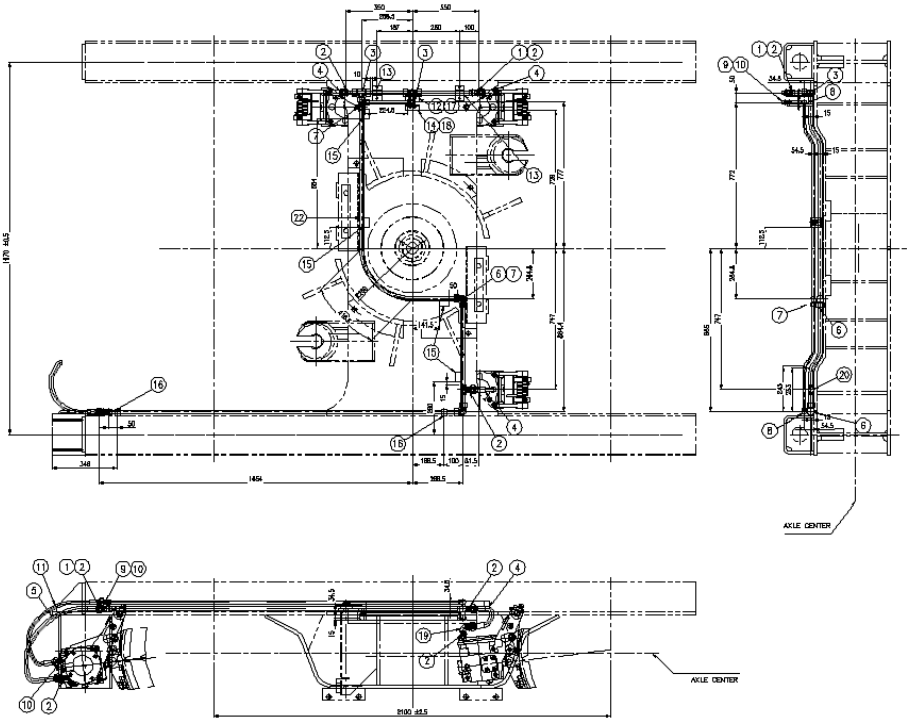
○ 차체가 천이구간과 정거장에서 70도까지 회전하므로 차체에서 대차로 압력공기가 적절히 전달되는 구조의 설비를 하여야 한다.

○ 주차제동은 1개 차륜에만 설치하고, 주차제동의 작동은 메인제동과 별도의 회로를 구성하여, 답면제동이 완해 시에도 주차제동은 작동할 수 있도록 설비하여야 한다.

○ 공기압축기는 차량제어시스템으로 차량의 운전정보를 받아 작동할 수 있도록 공기압축기제어장치(CMSB)를 설비하여야 한다.



<그림 4-214> 운송차량 제동장치 조립도



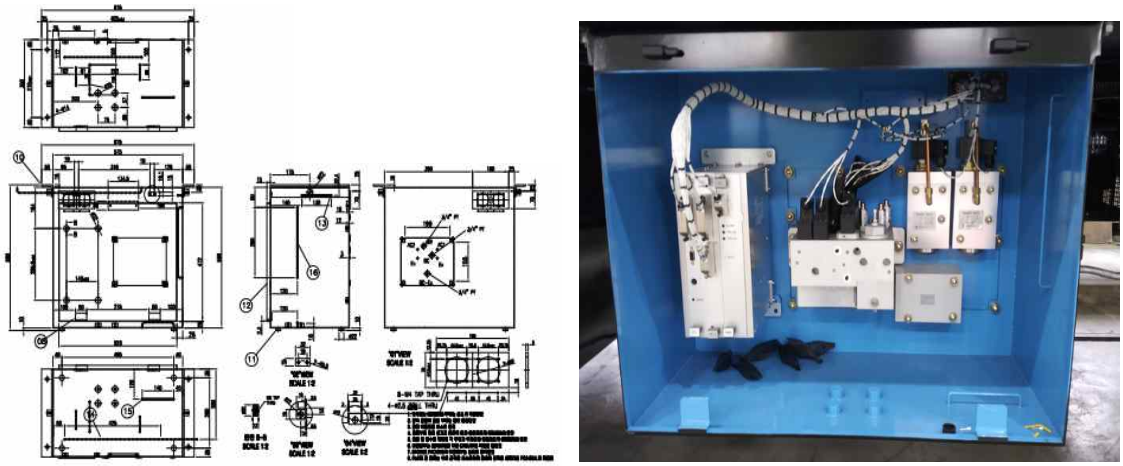
<그림 4-215> 대차 제동장치 조립도

(1) 전자제어유니트

- 제동전자제어 유니트 (ECU)는 16bit 마이크로프로세서에 의한 디지털 연산처리
- 방식을 채용하고 있다. 제동전자제어 유니트 (ECU)는 각 대차를 제어한다.
- 응하중 연산은 제동 전자제어유니트(ECU)에서 로드셀 압력 2개를 받아 공전변환한 전압신호를 입력하고 있다.
- 각 대차의 하중신호를 합산하여 제동패턴연산을 하고 회생제동패턴신호 (BED)로서 PE로 출력한다. PE로부터 회생제동유효신호 (BCV)를 수신 중은 PE로부터의 회생제동달성신호 (BEA)의 유효로 전공연산을 하고, 또, 차축의 축속도를 측정하고, 차륜의 활주가 검지되면 압력제어밸브 (덤프밸브)를 제어 하여, 답면제동 유니트내의 압력을 배기시켜, 차륜의 활주를 방지시킨다. 감시기능은 제동시 제동실린더내의 압력을 감시하고, 제동완해시 규정압으로 압력이 남아 있으면 해당 ECU는 TCMS로 제동불완전 검지신호를 전송하여 차량을 보호하도록 한다.

<표 4-83> 전자제어유니트 항목별 규격

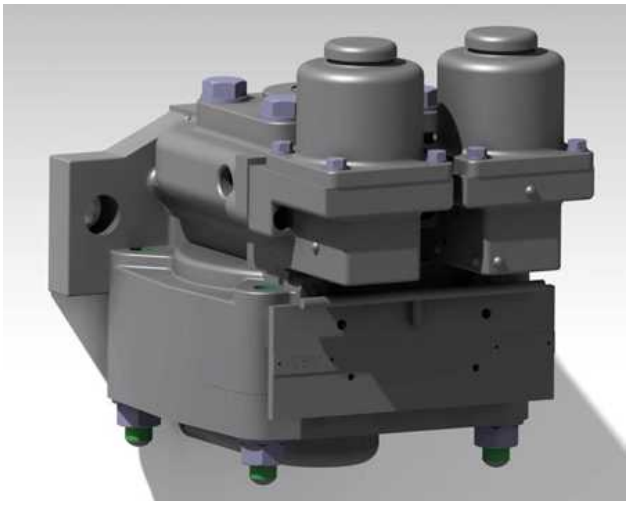
항 목	규 격
• 작용 시스템	반도체 IC들로 구선된 마이크로 컴퓨터 시스템
• 선간전압 정격	DC 100 V
• 선간전압 성능보증	DC 100 V +10 % ~ −30 %
• 선간전압 작용보증	DC 60 V에서 110 V까지
• 선간전압 전원용량	최대 520 W
• 상용제동지령	TCMS로부터 통신지령으로 입력
• 회생 제동요구신호	PWM 신호 출력
• 역행용 응하중신호	PWM 신호 출력
• 시리얼통신	직렬전송 RS485
• 모니터링기능	RS232C 케이블을 통한 모니터링 기능(별도구매)



<그림 4-216> 제동작동유니트(BOU, Brake of Unit) 조립도 및 제작품

(2) 전공변환밸브

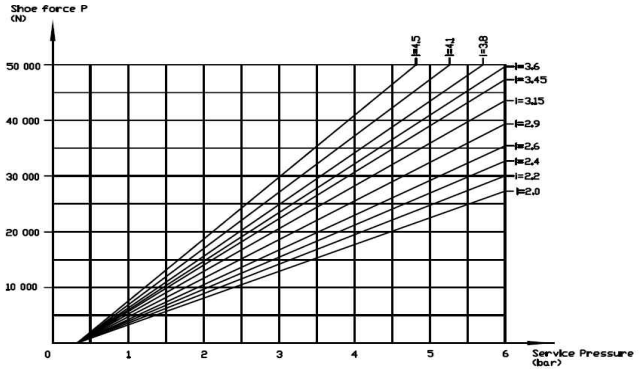
- 전공변환중계밸브(YHEP10Electric-Pneumatic Change Relay Valve)는 평면(Flat) 다이어프램에 의해서 작동하는 자기유지(Selflap) 방식의 밸브이다.
- 2개의 입력에 대하여 고위우선 출력하는 2중 다이어프램식의 FD-1 중계밸브(FD-1Relay Valve)에 상용제동계통을 제어하는 MFC1A 상용제동전자제어밸브(출력압력을 제동 전자제어 유니트에서 피드백(Feedback) 제어함으로서 조정되는 3위치전자밸브)와 비상제동계통을 제어하는 VM28-1A 비상제동전자밸브(Off형의 On, Off 전자밸브)를 플러그인 방식으로 전면에 배치한 유량증폭밸브로서 다기능을 집약한 방적형구조이며, 소형, 경량화를 목적으로 설계 되었다.



<그림 4-217> 전공변환중계밸브

(3) 답면제동유니트

- 답면제동유니트는 자체적으로 실린더, 레버, 제륜자, 자동간격조정장치 등 보유하고 있는 컴팩트한 제동장치이다. 제동명령이 하달되면 자동적으로 제동이 체결되고, 완해명령이 지시되면 자동적으로 완해 되며, 또한 자동간격조정기가 설치되어 있어 제륜자와 차륜답면에 간격도 12mm 이내로 자동적으로 유지된다.
- 최대 6bar의 공기압력이 제동실린더에 공급되면, 아래 그림과 같이 답면제동유니트 제동성능곡선에 나타나 있듯이 50kN의 제동력이 발휘된다.



<그림 4-218> 답면제동유니트 제동성능곡선

· 1) 형 식 : RWP

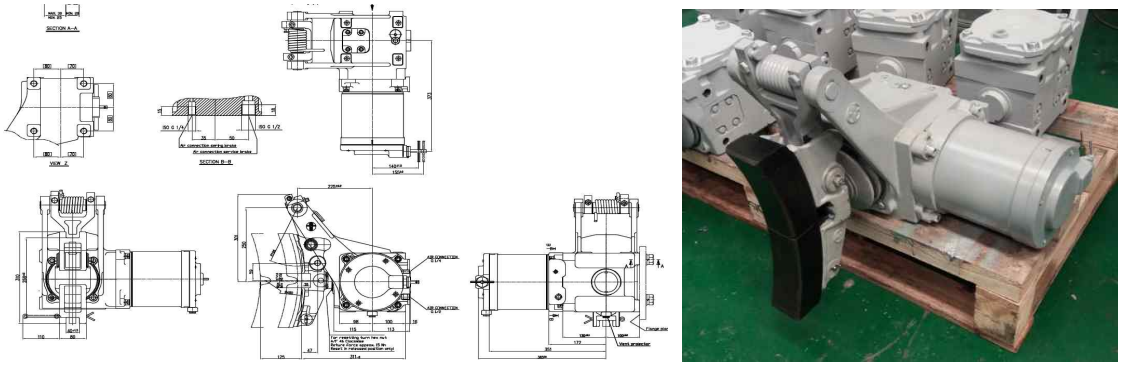
· 2) 3.8bar에서의 제동력 : 33kN±1.5kN

· 3) 공칭상용제동압력 : 3.8bar

· 4) 최대적용 행정 : 20mm

· 5) 제동슈간격 : 10±1mm

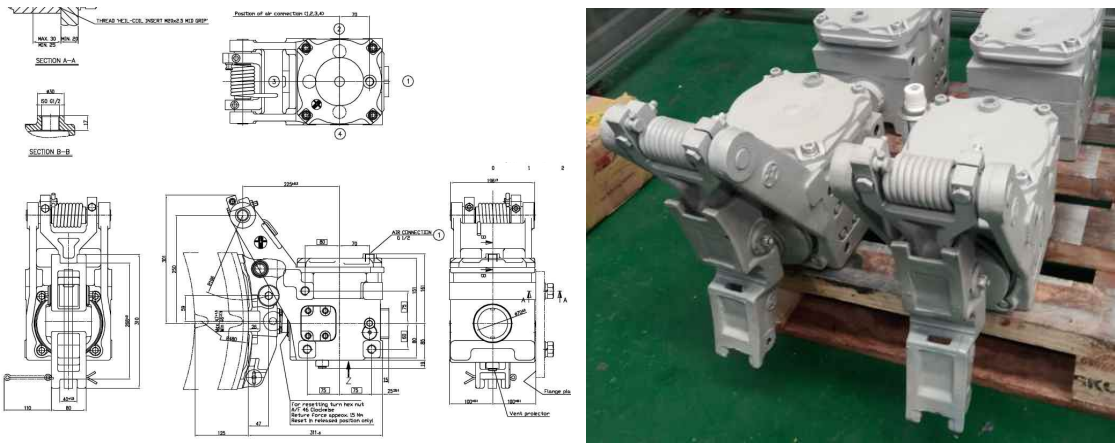
- 답면제동유니트는 기계적인 힘의 증폭장치와 자동조정슬랙을 가진 공압블록브레이크이며, 이 장치는 제동실린더, 레버링케이지, 슬랙어드져스터 등이 설비된다. 자동적으로 브레이크 슈와 휠 마모 또는 디스크브레이크 패드나 디스크 마모를 보정한다.



<그림 4-219> 답면제동유니트 조립도 및 제작품

(4) 주차제동 겸용 답면제동장치

- 주차제동겸용 답면제동장치는 답면제동장치와 기본구성 및 기능은 동일하나, 주차제동을 위한 실리더를 한개 더 설비하고 있다.
- 주차제동기능을 겸하고 있기 때문에 그림과 같이 제동실린더 뒤에 제동통을 설비하여, 제동이 완해 후, 필요시 주차레버를 이용하여 제동력을 체결하도록 되어 있다.
- 제동실린더에 압력공기가 공급되면 자동으로 주차제동은 완해 되도록 설계되어있다.



<그림 4-220> 주차겸용 답면제동유니트 조립도 및 제작품

4. 제동제어 사양서

가. ECU-TCS 인터페이스

- 제동제어장치(ECU, Electric Control Unit)는 TCS(Train Control System)와 디지털 신호(DC100V), 직렬전송(RS-485)의 방법에 의하여 여러 가지 정보를 송수신 하며, 자기진단 기능이 있어 에러가 발생하면 TCS에 에러신호를 출력하고 에러 감지 전후의 데이터를 기록한다. 디지털신호(DC100V)에 의해 제동불완해 및 ECU 고장상태를 상시 감시한다.

(1) 디지털 입출력 신호

○ ECU 고장 신호(EFS)

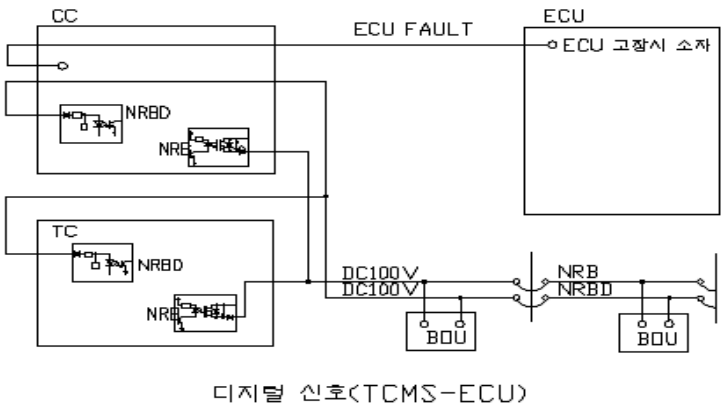
- ECU 정상시 이 신호는 여자되며(DC 100V), 소자시 TCS는 ECU 고장으로 인식한다.

○ 제동불완해 신호(NRB)

- TCS는 제동상태가 아닐 때 제동불완해 신호(NRB)를 제동전자제어유니트(ECU)에 전송한다.(DC 100V)

○ 제동불완해검지 신호(NRBD)

- 제동전자제어유니트(ECU)는 TCS로부터 제동불완해신호(NRB)가 입력되면 BC압력을 감지하며, BC압력이 5초이상 설정값을 초과하면 제동불완해 검지신호(NRBD)를 TCS에 전송한다.(DC 100V)



<그림 4-221> 디지털 신호(TCS-ECU) 도면

(2) 직렬 아날로그 출력 신호(RS-485, TCS → ECU)

○ 제동/모터링지령 (Braking/Motring Command)

- VTTC에서 제동제어명령이 전달되면 TCS는 제동/모터링 값을 퍼센트로 환산하여 어떠한 보상도 하지 않고 ECU에 아날로그 신호를 전송한다.
- 수동 모드 : 수동제동제어장치 → TCS → ECU
- 자동 모드 : VTTC → TCS → ECU

○ EPAIR차량(유니트차량) AS압력 (ASPM, ASPT)

- TCS는 ECU에 PAIR 차량의 AS압력 아날로그신호를 전송한다.

(3) 직렬 아날로그 입력 신호(RS-485, ECU → TCS)

○ 회생 제동력 요구 (BED)

- ECU는 회생 제동력 요구신호를 TCS로 아날로그 직렬전송한다 (BED)

○ 회생 제동력 달성 (BEA)

- 인버터장치로부터 수신한 회생제동 달성신호를 TCS로 아날로그 전송한다.

○ AC(Application Chamber) 압력

- AC압력 상용제동전자밸브에서 출력된 작용압력으로 ECU는 AC압력을 TCS에 전송한다.

○ BC 압력

- ECU는 제동실린더 아날로그 압력값을 TCS로 전송하며, TCS는 관제실화면에 BC 압력상태를 이 신호를 사용하여 표시한다.

(4) 직렬 디지털 출력 신호(TCS → ECU)

○ 정차제동 명령(HB)

- TCS는 정차제동 체결신호를 ECU에 전송한다.

  · 자동/무인 모드 : TCS → ECU→ 정차제동 체결(FSB 35%)

- HB 해제 : 모터전류 일정 전류 이상이고 동시에 역행신호 입력시

○ 년,월,일,시,분,초

- TCS는 ECU에 년,월,일,시,분,초 데이터를 전송한다

(5) 직렬 디지털 입력 신호(ECU → TCS)

○ 공기제동제어 고장(PBF)

- ECU는 RAM CHECK 고장, 상용제동전자밸브 고장, AC압력센서 고장, ECU 제어전원이상(24V계) 발생시 TCS에 공기제동제어 고장 신호를 전송하며, TCS는 해당 차량을 고장차로 인식하고 제동제어중지를 요구하며 제동력 보상을 수행한다.

○ 자기진단 에러

- ECU가 자기진단을 수행한 후 그 결과를 TCS로 전송한다.

○ RAM 체크 에러(RCE)

- ECU가 RAM 읽기/쓰기 불능 검지시 RAM체크 고장신호를 TCS에 전송한다.

○ 회생제동 요구 비정상(RBEDF)

- ECU는 회생제동요구신호 비정상 검지시(BED<5% OR BED>95%) 회생제동요구지령 이상 신호를 TCS에 전송하고, BEA=10%, BED=10%로 설정한다.

○ 응하중 비정상(AOL)

- ECU는 역행용 응하중(LW) 신호가 비정상임을 검지시(LW<5% OR LW>95%) 역행용 응하중 이상 신호를 TCS에 전송한다

○ 상용제동전자 밸브 고장(EMVF)

- ECU는 상용제동전자밸브 과전류 검지시(600mA 이상 검지시) 전자밸브 고장신호를 TCS에 전송한다.

○ 안티스키드밸브 고장(DVF, 전/후 대차)

- 제동전자제어장치(ECU)는 초기 전원투입시 안티스키드밸브 자기진단 테스트를 실행하며, 안티스키드 배기밸드(RV)/유지밸브(HV)의 명령/출력 불일치를 검지한 경우 안티스키드 밸브 고장신호를 TCS에 전송하며, 해당 대차는 활주방지 제어를 중지한다.

○ BC 압력센서 고장(BCSF)

- ECU는 BC압력센서 전압값이 V<0.5V(－1.25kg/㎠) OR V>4.8V(9.5kg/㎠) 검지시 TCMS에 BC 압력센서 고장신호를 전송하며, 감시를 중지한다.

○ AC 압력센서 고장(ACSF)

- ECU는 AC SENSOR 출력전압이 V<0.5V(－1.25kg/㎠) OR V>4.8V(9.5kg/㎠) 검지시 TCMS에 AC 압력센서 고장신호를 전송하며, 공기제어를 즉시 중단한다.

○ 차축 속도신호 비정상(A1ASS~A4ASS)

- ECU는 다른축에 10km/h 이상의 속도입력이 있고, 해당축에 10초이상 속도입력이 없을때(0km/h)) 해당축 속도신호 비정상 신호를 TCS에 전송한다.

○ 제동지령 비정상(MWB)

- ECU는 제동선택 (B)과 모터링 선택 (P)이 동시에 수신되면(50ms × 3회) 제동지령 비정상을 TCMS로 전송하며 제동을 우선으로 하여 제어한다.

○ 인통선 로직 비정상

- ECU는 제동유효중 제동불완해(NRB) 지령이 수신되면 인통선로직 비정상을 TCS로 전송하며 제동을 우선으로 하여 제어한다.

○ 회생제동 달성 비정상

- ECU는 회생제동달성신호 (BEA) 이상 검지시 회생제동달성 비정상 신호를 TCS로 전송하며 회생제동달성신호(BEA), 회생제동요구신호(BED)를 기본값으로 설정한다 (BEA=10%, BED=10%)

- 회생제동 달성 비정상 신호 검지 조건

· BEA<5% OR BEA>95(50ms × 3회)

· B가 유효하나 MCV가 무효되지 않을 때(2초)

· B가 유효중 MCV가 유효(3회)

· B가 유효중 MCV와 BCV가 동시에 유효할 때(50ms × 3회)

· B가 가 무효하나 BCV가 무효되지 않을 때(3회)

· BEA>20%에서 BCV가 유효하지 않을 때(0.5초)

○ 차륜 슬립-슬라이드 스키드검지

- ECU가 축1,2,3,4의 차륜 스키드를 검지할 때 TCS에 전송한다.

○ 상용 최대제동(MSB)

- TCS로부터 수신된 MSB 신호에 대한 Feedback 신호를 TCS로 전송한다.

○ 정차 제동 (HB)

- TCS의 정차제동 체결전송에 대한 수신 응답신호를 TCS에 전송한다.

○ 상용만 제동(FSB)

- TCS로부터 수신된 FSB신호에 대한 Feedback 신호를 TCS로 전송한다.

○ 제동지령 비정상(MWB)

- ECU는 제동신호 유효중 모터링 신호 입력시 제동지령 비정상신호를 TCS에 전송한다.

○ 모터링 선택 (P)

- TCMS로부터 수신된 모터링 선택에 대한 Feedback 신호를 TCMS로 전송한다.

○ 제동 선택 (B)

- 제동선택에 대한 Feedback 신호를 TCMS로 전송한다.

○ 제동 불완해 (NRB)

- TCMS의 제동불완해 신호에 대한 수신응답 Feedback 신호

○ 강제제동 완해 (CPR)

- TCMS의 강제제동완해 신호에 대한 수신응답 Feedback 신호

○ 제동불완해 검지 (NRBD)

- ECU는 제동불완해 검지시 이 신호를 TCMS에 전송한다.

○ 고장데이터 삭제 완료

- ECU는 TCS로부터 고장데이터(추적데이터) 삭제 요구신호를 수신하면 기억하고 있는 고장데이터를 삭제하며, 삭제 완료시 TCS에 피드백 전송한다.

○ 시험결과

- TCS는 ECU에 BC압력시험, 안티스키드시험 명령을 전송하며 ECU는 요청한 시험

완료 후 시험결과를 TCS에 전송한다.

○ 추적데이터의 기록상태

- 고장시 고장 전후 데이터의 기록상태를 TCS에 전송한다

나. ECU-인버터장치(PE) 인터페이스

- ECU와 인버터장치간 통신은 속도신호, 디지털 전송, PWM 통신을 이용하여 데이터를 송수신 한다. PWM 통신을 이용하여 응하중 신호, 회생제동 신호를 송수신하며, 동력차 ECU는 속도신호를 인버터 장치로부터 수신하고, DC 100V를 통하여 디지털 신호를 송수신 한다.

(1) PWM 출력 신호(ECU → 인버터장치)

○ 응하중신호(LW)

- 동력차 ECU는 부수차, 동력차 ECU로부터 응하중신호를 받아 응하중 연산을 하며 연산한 유니트 응하중 값을 인버터장치로 아날로그 전송하며, 인버터장치는 이 응하중 값을 견인력 연산에 사용한다.

○ 회생제동요구신호(BED)

- 동력차 ECU는 TCS로부터 상용제동지령을 수신하고 부수차 응하중신호를 받는다. 그리고 ECU는 유니트 제동값을 연산하여 회생제동력 요구신호를 인버터장치에 아날로그 전송한다.

(2) PWM 입력 신호(인버터장치 → ECU)

○ 회생제동 달성신호(BEA)

- 회생제동 요구 신호를 받은 인버터장치는 입력된 제동력 범위에서 회생제동력을 발생시키고, ECU에 회생제동달성 아날로그 신호를 전송한다.

(3) 디지털 전송신호

○ 모터전류 유효신호(MCV)

- 인버터장치는 회생 제동 유효시 ECU로 모터전류 유효신호(MCV)를 보낸다.(DC100V)

○ 회생제동 소멸신호(FO)

- 인버터장치는 회생제동 소멸 직전에 회생제동 소멸신호(FO)를 ECU로 전송하여 회생제동력 감소에 대한 공기제동의 응답지연을 해소하여 충격이 없는 유연한 제동을 체결한다.(DC100V)

○ 회생제동전류 유효신호(BCV)

- 인버터장치는 모터링 유효시 ECU로 회생제동유효 신호(BCV)를 보낸다(DC100V)

(4) 속도신호

○ 구동차의 ECU는 인버터장치로부터 차축속도 신호를 수신하고, 부수차 ECU는 속도 신호를 속도센서로부터 직접 수신한다.

5. 공압장치 설계

가. 개요

○ 공압장치는 인터모달 차량의 제동장치에 압력공기를 공급하기 위해 설치되어야 한다. 인터모달 차량은 회전정렬 대차 연결용 호이스트에 길이 11.2m의 연결바가 연결되어 있고, 차량이 70도 정도 회전되어 차량 간에는 제동공기배관 설치가 어렵다.

○ 인터모달 차량시스템에 공압장치는 차량 단위로 설치하도록 기술개발이 수행되었다. 답면제동장치에 5kg/cm2의 압력공기를 공급할 수 있도록 9.5kg/cm2의 압력공기가 생성되는 스크롤공기압축기를 설비하였고, 압축공기용량은 400L/분으로 설정하였다.

○ 압축공기의 건조를 위하여 60도까지 건조가 가능한 공기건조기를 설비하였다.

나. 공압장치의 구성

○ 공압장치는 제동장치에 9kg/cm2의 압력공기를 분당 360L를 공급하기 충분한 용량의 스크롤공기압축기를 선정하였으며, 공기건조기 60도까지 건조가 가능하다.

○ 주요 공압장치의 구성은 아래와 같다.

- 공압제어장치 :
  · CMSB
  · 압력스위치박스
- 공기압축기 :
  · 형식 : 오일프리 스크롤공기압축기
  · 공급전원 : AC 380V, 60Hz, 3상
  · 공기토출량 : 360 L/min
  · 압축기 모터출력 : 5kW 이상
  · 공기공급압력 : 9kg/cm^2
  · 공기건조기 : 내부 온도 60°C
  · 공기건조기 : 복동식 공기건조기

다. 공기압축기 설계

○ 제동장치에 압력공기를 공급하기 위하여 아래 그림에 공압장치 구성을 도시하였다. 공압장치의 구성은 9.5kg/cm2의 압력공기를 분당 360L정도 공급할 수 있는 스크롤 공기압축기, 5kw의 전동기 및 공기건조기로 구성하였다.

○ 공기건조기는 9.5kg/cm2의 압력공기를 분당 1,000L 정도와 섭씨 60도에 건조시킬 수

있는 용량과 성능을 갖도록 하였다.

(1) 규격

- 최대 작용공기압력 : 11kgf/cm2
- 상용 압력 : 9kgf/cm2
- 상대 습도 : 35% 이하
- 작용사이클 : 2분
- 정격 전압 : DC110V(DC70~110V)
- 소비 전력 : 7W×2개
- 전 열 기 : DC100, 35W×2개
- 정격유량 : 1,000 ℓ/min이상

(2) 성능

- 주공기압축기에서 생성된 압축공기가 후부 냉각기(After Cooler)를 거치는 과정에서 잔류한 응축된 수분을 제거하여 주위온도에서 수분이 잔류하지 않도록 하여 공기제동장치 등 항상 깨끗한 압축공기를 공급하도록 하였다.

(3) 압축기 용량 계산

<표 4-84> 압축기 사양

순위	구분	내용	비고
1	차량편성	각량 별도제어	
2	공기압축기 형식	오일프리 스크롤 공기압축기	
3	유효토출량	360L/분	
4	실 공급용량	360x0.85= 306L/분	
5	공기건조기 공기소모량	유효토출량 x 0.15	
6	공기압축기 대수	1대	

(4) 공기장치의 공기체적

- 주공기통(MR) : 100L
- 공급공기 배관 : 36L

<표 4-85> 공기장치 품목별 공기체적

구분	사이즈	총길이(m)	체적(L)	비고
MR	22	10	31.5	
CMG	15	27	3.5	
MRPS,PBPS	15	7	1	
합계			36	

(5) BC 계통의 체적

답변제동실린더 : 1.28Lx8 = 10.24L

<표 4-86> BC계통의 체적

구분	사이즈	총길이(m)	체적(L)	비고
BC 배관	22	22	7	
합계			7	

(6) 자유공기량

<표 4-87> 계통별 자유공기량

구분	압력	자유공기	비고
공급공기계통	9kgf/㎠	136L x 9kgf/㎠ = 1224	
BC압력계통	3.6kgf/㎠	17L x 3.6kgf/㎠ = 61.2	
합계		1285.2	

(7) 초기 충기시간

- 충기 충기시간 $= \frac{\text{공기장치 총 자유공기량}}{\text{공기압축기실 토출량}} = \frac{1228.2}{306} = 4.2$분(4분 12초)

- 공기소모량 : 공기소모량은 정거장 진입 감속/정차로 2회 동작 조건으로 한다.

  · 플랫폼 진입시간 10량 5km/h 기준 6분

  · BC압력 1회 동작 시 공기소모량

  · 공기소모량 $= \frac{[\text{제동통 체적} * (3.6 + 1.0332) + BC\text{압력 배관체적} * 3.6] * \text{동작횟수}}{T(\text{플랫폼 운행시간})}$

  $= \frac{[10.24 * (3.6 + 1.0332) + 7 * 3.6] * 2}{6} = 24.2\text{L}$

- 총공기 소모량(공기통+공기배관+BC압력)

- 총공기소모량 = 136L+24.2L=170.2L

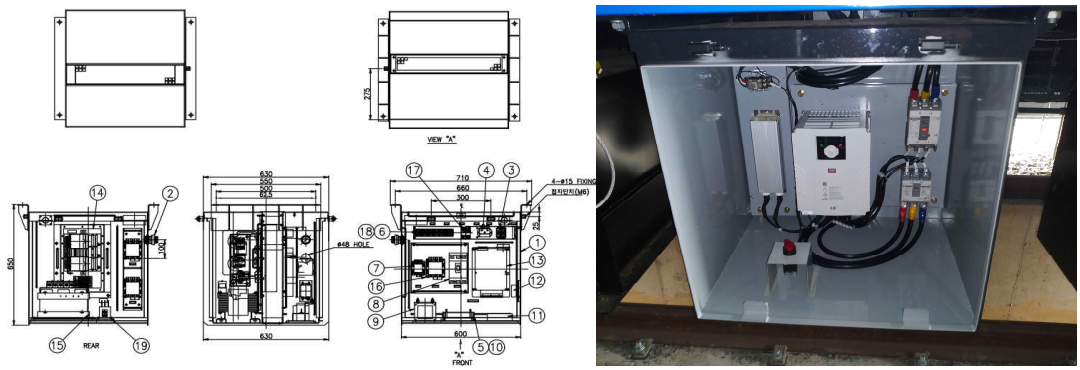
- 공기압축기 가동시간, 휴지시간, 가동률

  · 가동시간 $= \frac{\text{공급공기 체적} * CMG\ ON, OFF\text{압력차}}{\text{공기압축기실 토출량} - \text{총공기소모량}} = 1.28$분(1분16초)

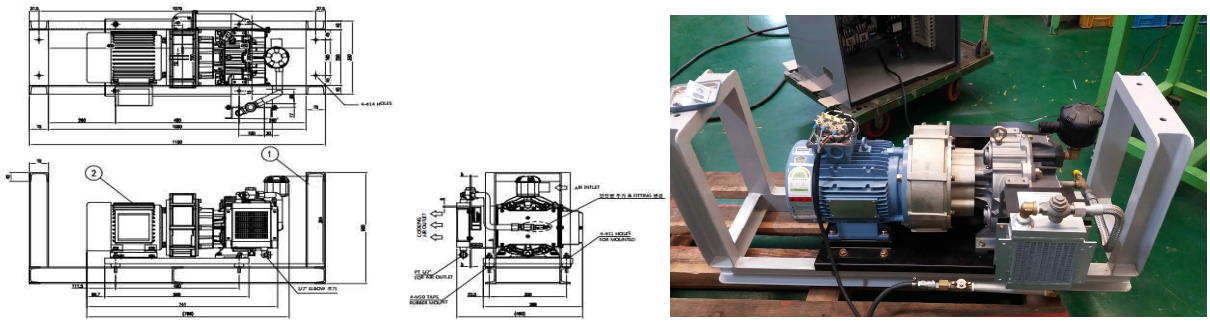
  · 휴지시간 $= \frac{\text{공급공기 체적} * CMG\ ON, OFF\text{압력차}}{\text{총공기소모량}} = 14.8$분(14분 54초)

  · 공기압축기 가동률 $= \frac{\text{가동시간}}{\text{가동시간} + \text{휴지시간}} = 7.2\%$

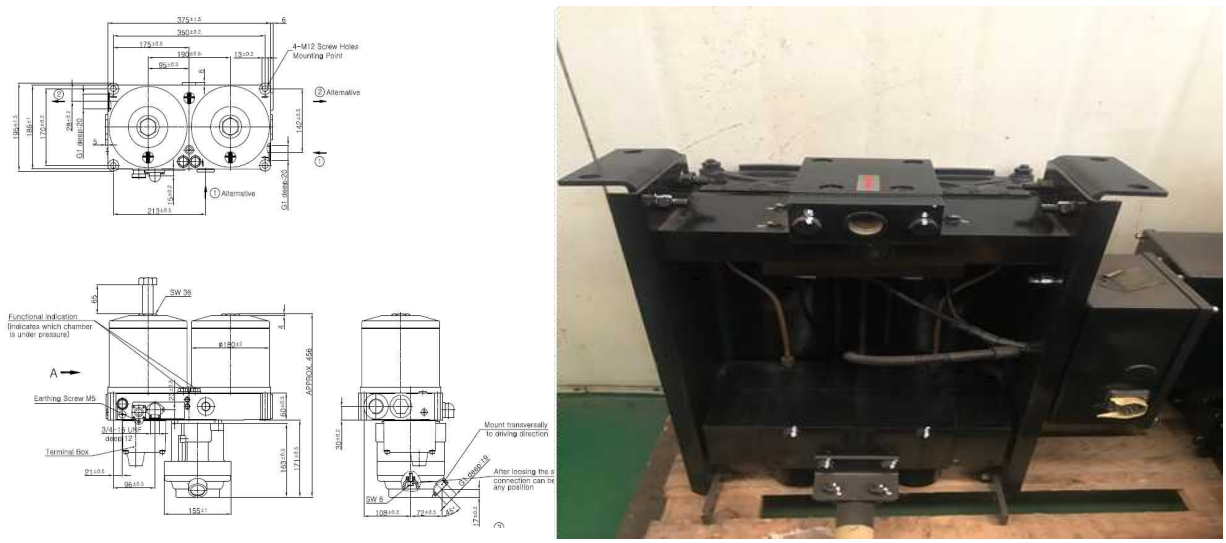
- 오일프리 압축기의 경우 15%이하의 가동률을 이상적인 가동률로 보기 때문에 주공기압축기의 용량은 충분한 것으로 판단된다.



<그림 4-222> CMSB 공압제어장치 조립도 및 제작품



<그림 4-223> 공기압축기 조립도 및 제작품



<그림 4-224> 투윈타워 공기건조기 조립도 및 시제품

제5장 시험평가 기술

제1절. 시험평가 기술 개요

1. 검증의 필요성

○ 새로운 시스템의 개발은 개발 착수 시 제시된 시스템 요구조건들을 설계와 제작을 통해 구현하는 것을 목표로 한다. 이러한 개발 목표들은 1차적으로 시스템 요구사양서 또는 개발사양서에 기능, 성능, 형상 등 다양한 형태로 정의되고 설계 및 제작을 통해 달성된다. 그러나 개발의 성공 여부는 제작된 형상이 설계에서 의도한 것과 동일하며, 실제 운영조건 및 사용조건 하에서 설계에서 의도한 성능과 기능이 그대로 발휘되는지 검증함으로써 판단할 수 있다.

○ 이러한 활동은 설계와 제작을 통해 구현된 성능, 기능, 형상 등을 검사와 시험 및 시운전을 통해 달성 여부를 최종 확인하기 위한 것으로서, IEC 62278 (철도적용 RAMS 규격) 또는 ISO/IEC 15288 (시스템엔지니어링 국제규격)에서는 시스템 개발 수명주기 중 최종 단계인 검증활동(Validation)으로 정의되어 제품 및 시스템의 개발 시 필수적으로 요구되고 있다.

○ 따라서 그동안 설계와 제작을 통해 개발 중인 인터모달 차량시스템에 대하여 개발 목표의 달성 여부를 최종 확인하기 위해서는, 시제품 개발 완료에 앞서 검사를 포함한 체계적인 시험계획과 절차가 준비되어야 할 뿐만 아니라, 이에 기준한 철저한 검증활동이 수행되어야 한다.

2. 검증의 목표

○ 검증은 연구개발 목표로서 제시된 시스템 요구조건들이 설계와 제작을 통해 완전하게 구현되었으며, 연구개발 제안서에 정의된 운영조건 또는 사용조건 하에서 개발 시 목표로 한 성능과 기능이 실제로 발휘되는지를 최종 확인하기 위한 것이다.

○ 한편, 개발 중인 인터모달 차량시스템은 각 하부시스템 별로 먼저 개발이 이루어진 후 하나의 차량시스템으로 통합되어 완성되는 만큼, 검증은 각 하부시스템 별로 요구조건의 달성 여부를 확인하는 것이 1차 목표가 되어야 하며, 검증된 각 하부시스템을 통합한 차량시스템 수준에서 요구조건의 달성 여부를 2차로 확인하고, 실제 운영조건 하에서 타 시스템과 인터페이스를 포함한 수송시스템 수준의 요구조건 달성 여부를 확인하는 것이 최종 목표가 되어야 한다.

3. 검증을 위한 방법론

○ 검증의 목표가 세 단계로 구분되고 검증활동이 순차적으로 이루어져야 하는 만큼, 개발 단위별 각 하부시스템의 요구조건과 통합 시스템 수준의 요구조건을 식별한 후 식별된 요구수준 별로 부합성 여부를 단계적으로 검증할 수 있는 시험 절차가 개발되어야 한다. 따라서 인터모달 차량시스템의 검증은 단계별 검증 목표와 1~2차년도 연구개발 추진내용을 고려하여 구성품 시험, 완성차 시험, 본선 시운전의 3단계로 실

시되어야 한다.

○ 검증항목으로서 개발시스템의 요구조건은 개발계획서와 설계 초기 작성된 시스템 및 하부시스템의 요구사양서 또는 설계 규격서를 바탕으로 식별할 수 있으며, 시스템이 유사한 경우 시험절차는 기존 철도차량 구성품 및 철도차량시스템의 시험절차를 거의 그대로 적용할 수도 있다. 그러나 인터모달 차량시스템은 기존 철도차량시스템과 달리 화차와 동력차를 혼합한 자체 추진(Self-profelled)의 형태로 최초 개발되는 만큼, 타 차량에 적용되는 시험절차를 그대로 적용할 수 없다. 따라서 기존 전동차와 화차 등에 적용되는 시험절차와 국내외 관련 규정들을 참고하되 개발시스템의 특성을 고려한 시험항목과 검증기준을 새로 설정하여야 한다.

○ 즉, 연구개발과제의 목표와 시스템의 특성을 고려하여 검증은 다음과 같은 방법으로 이루어져야 한다.

- [1] 검증항목과 기준을 식별한다.
  · 인터모달 차량시스템 개발계획서와 설계 초기 작성된 시스템과 하부시스템의 요구사양서 또는 설계규격서에 정의된 요구조건들을 바탕으로 검증해야할 항목과 기준을 도출한다.
- [2] 검증항목 및 기준을 관련 검증단계 및 구성품으로 대응시킨다.
  · 검증은 구성품 단계, 완성차 단계, 본선 시운전 단계로 실시되므로 식별된 검증항목과 검증기준을 관련 검증단계 및 구성품으로 대응시킨다.
- [3] 기존 철도차량시스템과 공통적인 검증항목을 구분하고 해당 시험절차를 수립한다.
  · 기존 철도차량시스템 및 장치들이 갖는 성능 및 기능과 유사한 검증항목, 예를 들어 추진장치, 보조장치, 축전지, 제동장치 관련 요구조건은 기존 철도차량시스템에 대한 요구조건과 유사하므로, 기존 도시철도차량 구성품 관련 시험절차 및 시험항목을 참고하여 개발하되 검증기준(합격/불합격 기준)은 인터모달 차량시스템 및 관련 하부시스템의 설계사양서의 요구조건을 기준으로 한다.
- [4] 인터모달 차량시스템의 고유기능과 관련된 검증항목을 구분하고 해당 시험절차를 수립한다.
  · 개발 중인 인터모달 차량시스템의 고유한 기능인 회전정렬기능과 이를 구현하는데 전제되어야할 관련 기능에 대한 검증항목들을 구분하고 시험절차를 수립한다. 검증항목들이 인터모달 차량시스템의 고유한 기능과 관련된 것이므로, 검증기준은 설계단계의 검토, 해석, 시뮬레이션 결과 등을 참조하여 수립한다.
- [5] 실용화 및 해외진출의 장기적 목표를 고려하여 시험항목과 검증기준을 개발한다
  · 궁극적으로 실용화를 목표로 하므로 철도차량 형식승인 기술기준의 시험항목 중 적용가능한 항목과 기준을 반영하여야 하며, 장기적으로 해외수출을 고려하여 유럽 TSI (Technical Specifications for Interoperability) 기술기준의 적용가능한 시험항목과 기준을 반영하여야 한다.
- [6] 개발된 시험절차와 검증기준에 따른 검증을 실시한다.

· 인터모달 차량시스템의 완전한 검증은 개발된 시험절차와 검증기준을 기준으로 실제 운영조건 하에서 이루어져야 한다. 그러나 실제 구축될 Test-bed와 시험조건이 상용화 노선과 다소 차이가 날 수밖에 없으므로 완전한 운영조건을 구현하기에 한계가 있다. 따라서 단기적으로는 시험 제약사항을 고려하여 검증을 실시할 수 밖에 없으므로, 핵심기능인 회전정렬기능의 검증에 초점을 맞추어 실시한다.



<그림 5-1> 단계별 검증 체계

제2절. 시험항목 선정

1. 개요

○ 인터모달식 운송차량 개발 및 상용화에 따른 설계적합성 또는 형식동등성의 입증과 운행 성능 품질 확보를 위하여 실시하고자 하는 시험 및 검사항목의 정의, 구분하여 시행하고자 한다.

○ 인터모달 운송차량 시스템 개발과 관련하여, 본 연구개발 내용은 운송차량과 이의 하부시스템에 대한 설계규격서에 정의된 필수 요구조건들을 바탕으로 검증해야 할 항목과 기준을 도출하여 철도 선로의 운행을 고려한 철도차량의 일부 필수항목과 일치하도록 검증 및 시험을 기준을 선정하였다.

○ 시험과정은 구성품 단계, 완성차 단계 그리고 본선 시운전 단계로 구분할 수 있으므로, 시험절차서는 식별된 검증항목과 검증 기준을 관련 시험과정에 따라 구분하여 작성하였다.

가. 참고규격

- 철도차량 기술기준
- EN 50215 Railway applications - Rolling stock - Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service

나. 시험구분

○ 형식시험

- 개발에 따른 구성품 및 완성차량의 설계적합성 또는 형식동등성의 입증을 위하여

시행하는 검사 및 시험

○ 전수시험

- 형식시험을 통하여 입증된 구성품 및 완성차량에 대하여 요구 성능 및 품질 확보 여부를 확인하는 검사 및 시험

다. 단계별 시험항목

○ 구성품 시험 항목

- 구성품 시험은 차량을 구성하는 주요 구성품의 품질 및 성능을 검증하는 항목으로 구성품의 세부 사양에 근거하여 검증 항목과 기준에 따라 시험 항목을 선정한다.

○ 완성차 시험 항목

- 완성차의 시험 항목은 차량이 최종 조립된 상태에서 시행해야 할 검증 기준이며, 이 시험 절차 또한 완성 차량의 설계 사양에 준거하여 검증 기준에 따라 시험 항목을 선정한다.

○ 본선 시운전 시험 항목

- 본선 시운전 시험 항목은 운전 선로에서 발휘되어야 할 성능과 안전 운행을 위한 요구 조건을 기준으로 이를 검증하기 위한 기준에 따라 시험 항목을 선정한다.

2. 구성품 시험

가. 장치별(구성품) 세부 사양

- 구성품의 시험 항목을 선정하고 검증 기준을 마련하기 위하여 구성품의 세부 사양을 확인할 필요가 있으며, 아래는 개발 차량의 구성품 세부 사양이다.

<표 5-1> 장치별 세부사양

구분	항목	주요 사양	비고
차체	차체 길이	16,820 ㎜	
	차체 폭	2,920 ㎜	
	대차 중심간 거리	10,300 ㎜	
	차체상면 높이	1,374 ㎜	레일상면 기준
대차	대차형식	용접구조형 볼스터대차	
	축간거리(고정축거)	2,100 ㎜	
	차륜경	860 ㎜	
	궤간	1,435 ㎜	
	기초제동장치	유니트 답면제동	
	지지장치	1차: 코일스프링	
	추가기능	응하중 검지,속도검측센서	
집전장치	형식	제3궤조 집전장치	
	집전전원	DC750V	
제동장치	제동방식	회생제동병용 공기제동	
	기초제동	주차제동부 답면제동	

	제동공기압력	5kgf/㎠	
인버터	제어방식	IGBT 3상 PWM VVVF제어	
	정격입력	DC750V (-30~20%)	550~900V DC
	정격출력	AC550V 3상, 230KVA	
	냉각방식	자연공냉식	
	주전동기 접속	1C2M	
	설치수량	2유니트/량	
견인전동기	형식	3상 농형 유도전동기	
	극수	4P	
	정격/회전수	92kW/ 1850rpm	
	입력전압	AC460V/550V,3상,60Hz	
	냉각방식	자기통풍방식	
	절연 종류	C class	
	수량	4대/량	
공기압축기	압축기형식	무급유스크롤 형식	
	토출용량	400LPM	
	토출압력	9.0kgf/㎠이상	
	전동기	AC380V, 3상, 60Hz	
보조전원 장치	방식	IGBT 2중 CVCF 인버터	
	입력전압	DC750V	
	출력전압	AC380V, DC110V	
	정격용량	DC-1.5kW, AC-8.5kVA	
	과부하정격		
	냉각방식	공기냉각	
	설치대수	1대/량	
축전지	형식		
	전압	100V DC	
	용량	45AH	
	충전방식		
차량제어 및 진단장치	MCU	32bit MCU + Flash memory	
	통신제어기	4채널 직렬통신	
	입력장치	디지털 32 port, 아날로그 8채널	
	출력장치	16 port	
	전원	DC 110V	

나. 시험항목

○ 장치별 세부 사양을 근거로 시험대상 구성품을 선정하고 이의 품질 및 성능을 검증하기 위한 세부 시험 항목을 정의하고 이의 시행 여부를 검토한다.

○ 참조 규격은 구성품 사양서 및 관련 철도차량 규격 적용이 필요한 사항에 대하여 규격을 정의한다.

<표 5-2> 구성품 시험항목 별 참고규격

구성품	설계적합성 및 형식동등성 입증항목		시험구분		참고규격
	시험규격(절차서)	시험항목	형식	전수	
차체	구조체 하중시험	수직 하중시험	○	―	EN 12663 EN 12663-1,2 EN 15085-1~5 UIC 566 KS R 9228
		수평압축 하중시험	○	―	
		조합 하중시험	○	―	
		센타피봇 하중시험	○	―	
대차	대차틀 하중시험	정하중 시험	○	―	EN 13749 EN 15085-1~5 KS R 9224 KS R 9210 UIC 615-4
		동하중 시험	○	―	
	완성대차 검사	구조 및 치수검사	○	○	
		조립품 체결검사	○	○	
	대차 안전성시험	가진/비가진 주행	○	―	
		궤도틀림 적용	○	―	
집전장치	집전장치시험	외관 및 구조 검사	○	○	KS C IEC 60494-1 IEC 62499 KS C IEC 62236-3-2 IEC 60068-2-1 IEC 60068-2-2 IEC 60068-2-14 KS C IEC 61373
		기능 및 작동시험	○	○	
		전기연속시험	○	○	
		절연저항시험	○	○	
		내전압시험	○	―	
		진동 및 충격시험	○	―	
		전자파 적합성시험	○	―	
인버터	추진제어인버터 시험	외관 및 구조 검사	○	○	KS C IEC 61287-1 KS C IEC 60571 KS C IEC 61373 KS R 9144 KS C IEC 62236-3-2 IEC 60529 IEC 62313 IEC 62497-1,2 IEC 62499
		측정시험(중량)	○	―	
		냉각시험	○	―	
		보호검출 기능시험	○	○	
		제어기능시험	○	○	
		경부하시험	○	○	
		소음시험	○	―	
		온도상승시험	○	―	
		효율측정시험	○	―	
		공급 과전압과 과도에너지 시험	○	―	
		절연저항시험	○	○	
		내전압시험	○	○	
		부분방전시험	○	―	
		안전요구시험	○	―	
		진동시험	○	―	
		전자파적합성시험	○	―	
		방수시험	○	―	
견인전동기	견인전동기 시험	외관 및 구조검사	○	○	KS C IEC 60349-2
		측정시험(치수)	○	○	
		측정시험(중량)	○	―	
		측정시험(저항)	○	○	
		온도상승시험	○	―	
		특성시험(무부하)	○	○	
		특성시험(부하)	○	―	
		특성시험(구속)	○	○	
		과속시험	○	○	
		소음시험	○	―	
		절연저항시험	○	○	
		내전압시험	○	○	
		진동시험	○	○	

추진장치	추진제어장치 조합시험	온도상승	○	―	KS C IEC 61377 KS C IEC 60571 KS C IEC 62236
		특성시험	○	―	
		보호시스템시험	○	―	
		환경시험	○	―	
		유도장애시험	○	―	
		신뢰성시험	○	―	
보조전원 장치	보조전원장치시험	외관 및 구조검사	○	○	KS C IEC 60571 KS C IEC 61287-1,2
		측정시험(치수)	○	○	
		측정시험(중량)	○	―	
		진동시험	○	―	
		소음시험	○	―	
		기동 및 정지시험	○	○	
		경부하시험	○	○	
		부하맥동시험	○	―	
		효율시험	○	―	
		부하급변시험	○	○	
		전압변동시험	○	○	
		보호회로 동작시험	○	○	
		전자파장애시험	○	―	
		공급 과전압과 과도에너지 시험	○	○	
		온도상승시험	○	―	
		절연저항시험	○	○	
		내전압시험	○	○	
		방수시험	○	―	
		환경시험	○	―	
제동장치	공기압축기시험 (압축기)	외관 및 치수검사	○	○	
		회전방향시험	○	○	
		회전속도시험	○	○	
		토출공기량시험	○	○	
		누설시험	○	○	
		온도시험	○	―	
		소음시험	○	―	
		진동시험	○	―	
		재료시험	○	―	
	공기압축기시험 (전동기)	전동기 구조검사	○	―	
		전동기 온도시험	○	―	
		저항시험	○	―	
		무부하시험	○	―	
		부하특성시험	○	―	
		절연저항시험	○	○	
		내전압시험	○	―	
		회전기기평형도시험	○	―	
	공기건조기시험	외관 및 치수검사	○	○	
		성능시험	○	○	
		공기누설시험	○	○	
		절연저항시험	○	○	
		내전압시험	○	○	
		제습능력시험	○	―	
		공기소비량시험	○	―	
		재료시험	○	○	LOT별 시행
	제동제어장치시험	공기누설시험	○	○	EC 62313 KS C IEC 61133 EN 14531-1,6 EN 16185-2 EN 15595
		성능시험	○	○	
		절연저항시험	○	○	
		내전압시험	○	○	
		진동시험	○	―	

		충격시험	○	―	EN 15625 IEC/TR 61508-0 UIC 544-2
		온도시험	○	―	
	답면제동유니트 시험	외관 및 치수검사	○	○	
		소재검사	○	○	LOT별 시행
		누설시험	○	○	
		자동 간격 조정 시험	○	○	
		출력성능 시험	○	○	
		온도시험	○	―	
		진동시험	○	―	
차량제어 및 진단장치	종합제어장치시험	외관 및 구조검사	○	○	
		치수 검사	○	○	
		전원 변동 시험	○	○	
		온도시험	○	―	KS C IEC 60571
		절연저항시험	○	○	KS C IEC 60571 KS R 9197 KS C 0704
		내전압시험	○	○	
		진동, 충격시험	○	―	KS C IEC 60571
		무선주파수간섭시험			
		방수시험			
		전자파적합성시험	○	―	KS C IEC 62236-3-2

다. 구성품 시험절차서

○ 다음과 같이 구성품별 시험 항목에 따른 세부적인 시험절차서를 개발하였으며 각 절차서는 별첨한다.

<표 5-3> 구성품 시험의 세부 시험절차서

번호	절차서 번호	절차서 명칭	비고
1	TEST-ITEM-001	구조체 하중시험 절차서	
2	TEST-ITEM-002	대차프레임 하중시험 절차서	
3	TEST-ITEM-003	완성 대차검사 시험절차서	
4	TEST-ITEM-004	대차 안전성검사 시험절차서	
5	TEST-ITEM-005	집전장치 시험절차서	
6	TEST-ITEM-006	추진제어인버터 시험절차서	
7	TEST-ITEM-007	견인전동기 시험절차서	
8	TEST-ITEM-008	추진제어장치 조합시험절차서	
9	TEST-ITEM-009	보조전원장치 시험절차서	
10	TEST-ITEM-010	오일프리타입 공기압축기 시험절차서	
11	TEST-ITEM-011	공기건조기 시험절차서	
12	TEST-ITEM-012	제동작용장치 시험절차서	
13	TEST-ITEM-013	답면제동유니트 시험절차서	
14	TEST-ITEM-014	차량제어장치 시험절차서	

3. 완성차 시험

가. 완성차 사양

○ 완성차의 시험 항목을 선정하고 검증 기준을 마련하기 위하여 완성차에 요구되는 성능 및 품질 수준을 확인할 필요가 있으며, 아래는 개발 차량의 설계 사양이다.

<표 5-4> 완성차량 설계제원

구분	항목	사양	비고
중량	자중	약 34톤	
	하중	약 31톤	
속도	설계 최고속도	60 km/h	
	운영 최고속도	40 km/h	
	천이구간 및 정거장 진입속도	6 km/h 이하	
성능	최대가속도	1.5 km/h/s(0.416㎨)	
	상용감속도	1.5 km/h/s(0.416㎨)	
	비상감속도	2.0 km/h/s(0.56㎨)	

나. 시험항목

○ 개발 차량의 사양을 근거로 성능을 검증하기 위한 세부 시험 항목을 상용화시 철도선로 운행을 전제로 철도차량 기술기준에서 필수적으로 요구되는 내용으로 보완하여 선정한다.

○ 참조 규격은 관련 철도차량 규격 적용이 필요한 사항에 대하여 규격을 정의하며, 시험 구분은 형식동등성 입증을 위한 형식시험과 양산시 품질 수준 확인을 위한 전수검사로 구분한다.

○ 단, TEST-BED시험 항목은 별도로 구분한다.

<표 5-5> 완성차 시험항목 별 참고규격

항목	설계적합성 및 형식동등성 입증항목		시험구분			참고규격
	시험규격 (절차서)	시험항목	형식	전수	T/B	
외관구조	완성차량검사	외관구조 검사	○	○		
		차체 및 대차 치수측정	○	○		
		차량한계 측정	○	–		
		곡선통과 시험	○	–		
중량	중량측정시험	차량중량	○	–		KS C IEC 61133 EN 15663 KS R 9142
		축중	○	–		
		동일축 윤중차이	○	–		
		동일차량 좌우윤중차이	○	–		
전기특성	완성차 전기특성검사	접지시험	○	○		KS C IEC 60077-1
		절연저항측정	○	○		IEC 62497-1

		내전압시험	○	○		KS C IEC 61133
기능	완성차 기능시험	제어회로시험	○	○		KS C IEC 60571
		시동, 정지 시험	○	○	○	
		보조전원시험	○	○		KS C IEC 60571
		역행시험	○	○	○	
		제동시험	○	○	○	IEC 62313 KS C IEC 61133
		집전시험	○	○	○	
		유도장애시험	○	○		
		보호장치동작시험	○	○		
		지상설비연계동작시험	○	○		KS C IEC 61133
		집전장치 동작시험	○	○		KS C IEC 60494-1,2 KS C IEC 60571
		예비주행시험	○	○		

다. 완성차 시험절차서

○ 다음과 같이 완성차량의 시험 항목에 따른 세부적인 시험절차서를 개발하였다.

<표 5-6> 완성차 시험절차서의 세부시험 절차서

번호	절차서 번호	절차서 명칭	비고
1	TEST-CAR-001	완성차량검사 시험절차서	
2	TEST-CAR-002	중량측정 시험절차서	
3	TEST-CAR-003	완성차 전기특성 시험절차서	
4	TEST-CAR-004	완성차 기능시험절차서	

4. 본선 시운전 시험

가. 개요

○ 상용화를 대비하여, 완성차 시험이 완료된 차량을 2량이상 편성하여 운행구간 또는 시험구간에서 차량의 기능, 안전성 및 성능을 검증이 필수적이며, 이 경우 철도 선로 운행을 전제로 철도차량 기술기준에서 필수적으로 요구되는 내용도 포함하여 시운전을 시행하여야 한다.

○ 단, TEST-BED시험 항목은 별도로 구분한다.

나. 시험 항목 선정

○ 시험 구분은 형식동등성 입증을 위한 형식시험과 양산시 품질 수준 확인을 위한 전수검사로 구분한다.

<표 5-7> 시운전 시험항목 별 참고규격

항목	설계적합성 및 형식동등성 입증항목		시험구분		참고규격
	시험규격 (절차서)	시험항목	형식	전수	
시운전	회전정렬시험	상태확인시험	○	○	
		천이구간통과시험	○	○	
		한계속도측정시험	○	–	
		정위치정차시험	○	○	
		트레일러상하차시험	○	–	
	역행시험	기동시험	○	○	
		추가노치시험	○	○	
		재역행시험	○	○	
		점착성능시험	○	–	
		가속도시험(만차)	○	–	
		최고속도시험	○	–	
	제동시험	상용제동시험	○	○	
		비상제동시험	○	○	
		제동력블렌딩시험	○	○	
		상용제동 감속도시험	○	–	
		비상제동 감속도시험	○	–	
	집전시험	동작시험	○	○	
		유지력 및 추종성시험	○	–	
		전류집전시험	○	–	
	유도장애시험	전도성 간섭시험	○	–	
		유도성 간섭시험	○	–	
		복사성 간섭시험	○	–	
	보호장치 동작시험	과부하시험	○	–	
		순간정전시험	○	–	

		전압급변시험	○	–	
	진동시험	상하, 좌우 진동시험	○	–	
	주요기기 온도 및 상태시험	견인전동기 외부온도	○	○	
		추진제어인버터 냉각기 표면온도	○	○	
		축상온도	○	○	
		고압기기 상태	○	○	
	주행안전성시험	윤중 및 윤중감소량	○	–	
		차륜당 횡압	○	–	
		차륜당 탈선계수	○	–	

다. 시험 항목 선정

○ 다음과 같이 완성 차량의 본선 시운전 시험 항목에 따른 세부적인 시험절차서를 개발하였다.

<표 5-8> 본선시험 운전 시험절차서의 세부시험 절차서

번호	절차서 번호	절차서 명칭	비고
1	TEST-RUN-001	회전정렬 시험절차서	
2	TEST-RUN-002	역행시험 시험절차서	
3	TEST-RUN-003	제동 시험절차서	
4	TEST-RUN-004	집전시험 절차서	
5	TEST-RUN-005	보호장치 동작시험절차서	
6	TEST-RUN-006	주요기기 온도 및 상태 시험절차서	
7	TEST-RUN-007	주행안전성 시험절차서	

제3절. Test-Bed 시험절차서

1. Test-Bed 시험의 필요성

○ 개발 중인 인터모달 운송차량 시스템의 고유한 기능인 회전정렬기능과 이를 구현하는데 전제되어야 할 기능에 대해서는 반드시 검증하고 이의 성능을 확인하여 실제 운용에 투입하여야 한다.

○ 이를 위하여, 실제 운용환경과 같은 설비를 갖추어 역행, 감가속 성능 및 회전정렬 등의 기능을 확인해야 함이 필연적이다. 하지만 이의 검증을 위한 막대한 설비투자는 개발단계에서 심각하게 고려할 사항으로서, 최소한의 기본 기능 확인을 위한 시험선로(Test-Bed) 구축을 고려하여 시험 항목을 선정한다.

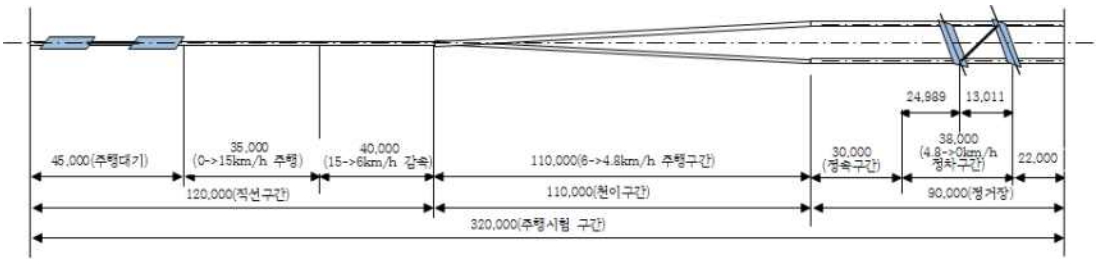
2. Test-Bed의 구축

○ 최소한의 기능 구현을 위한 Test-Bed는 2량 1편성 시험을 고려한 설비로써 아래와 같이 구축할 예정이다.

○ Test-Bed는 전구간에 걸쳐 평탄선로이다.

○ 선로(궤간 1,435mm)

- 차량 기동 및 이동을 위한 직선 선로(약 192미터 이상)
- 차량 분기 및 합류를 위한 분기구간(약 108미터 이상, 곡선반경 125미터 이상)
- 차량 회전정렬 정차를 위한 정차선로(약 80미터 이상)
- 양측에 약 10미터 이상의 안전구간



<그림 5-2> Test-Bed 구간 설계

○ 선로 설비

- 전력 공급을 위한 DC 750V 제3궤조 설비(전구간에 설비)
- 차량 분기를 위한 가이드 레일(천이구간 시작점에서 정차선로까지 약 110미터 이상)

3. Test-Bed 시험절차서

가. 용어의 정의

○ TEST-BED(시험선로)

- 시험 선로(TEST BED)는 편성 차량의 역행, 제동 및 회전정렬 등 운전성능 실험을 위하여 천이 구간, 가이드 레일과 차량 위치 검지를 위한 TCC 마커를 일정 간격으로 설비한다. 시험선로의 총연장은 약 400m 이상으로 한다.

○ 천이 구간

- 차량의 대차가 각기 다른 경로로 이동토록 레일이 분기 또는 합류하는 구간을 말하며, 대차에 경로를 주기 위하여 가이드 레일이 설치되어 있다.
- 분기 구간 및 합류 구간의 레일의 곡선반경은 R 125m 이상으로 한다.

○ 가이드 레일

- 천이 구간에서 차량의 전후 대차가 각기 다른 선로로 주행하도록 대차에 설치된 가이드 휠을 안내하며 천이 구간 양쪽에 설비되어 있다.

○ 가이드 휠

- 대차에 설치되어 차량이 이동할 때, 대차를 회전시켜 각기 다른 경로의 궤도로 진입을 유도하기 위하여 가이드 레일의 형상에 따라 대차에 회전력을 발생시킨다.

○ 정차장

- 차량이 회전하여 정렬 정차하는 지점을 말하며, 컨테이너 트레일러 적재 및 하역이 이루어지도록 설비를 갖추어야 한다.

나. 참조 및 관련규격

○ 참조

- 차량 일반도 (General Arrangement)
- 호이스트 연결 조립도 (Hoist Bar Arrangement)
- 가이드휠 설치도 (Guide Wheel Assembly & Arrangement)
- 킹핀록킹 배치도 (King Pin Locking Arrangement)

○ 관련 규격

- 없음.

다. 시험 항목

(1) 상태확인 시험

- 1) 외관검사

· 차량이 정상적인 운전 기능과 성능을 확인하기 위하여, 조립 부품의 적정성 및 결함 여부 등 외관검사를 시행한다.

- 2) 측정시험

· 차량이 정상적인 회전정렬 기능을 발휘하기 위한 관련 부품의 조립 토크 및 설치 관련 치수를 확인한다.

- 3) 역행기능시험

· 차량 역행기능 발휘에 필요한 제반 사항을 확인한다.

- 4) 집전장치 기능시험

· 집전장치의 동작성능을 확인한다.

- 5) 제동기능시험

· 차량 제동기능 발휘에 필요한 제반 사항을 확인한다.

(2) 기능시험

· 차량을 기동하여 자력으로 운전 기능을 정상적으로 발휘하는가를 확인하기 위하여 실시한다.

- 1) 역행 및 제동시험

- 2) 통신 및 자동제어 시험

(3) 회전정렬 시험

- 1) 천이구간 통과시험

- 2) 정위치 정차시험

- 3) 트레일러 상하차시험

라. 시험방법 및 판정기준

(1) 일반사항

(가) TEST BED(시험선로)

· 표준 궤간(1,435mm)으로 가이드 레일이 설치된 천이 구간 및 정거장 설비와 노변/역사 TCC시스템을 갖추어야 하며, 수전을 위한 제3궤조 설비가 필요하다.

· 시험선로 설치계획은 아래와 같다.

· 총연장 거리: 약 320m - 안전구간을 양쪽 단부에 약 10m 이상 확보한다.

(나) 차량 조건

· 시험대상 차량은 2량 이상으로 조성된 편성 차량으로 하고, 집전성능 검증이 완료되어 자력 운전이 가능한 상태이어야 한다.

(다) 하중 조건

· 만차 하중 조건으로서 편성 각 차량에 컨테이너 트레일러(약 31톤/량)를 적재한 상태이다.

(2) 상태확인 시험

(가) 시험조건

· 정차 상태에서 제3궤조에 전원공급을 차단한 상태에서 검사 및 시험한다.

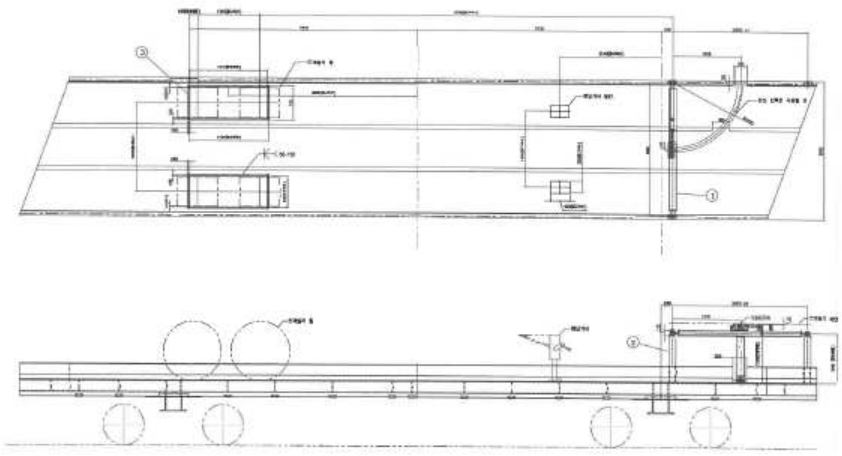
(나) 외관검사

· 시험선로(평탄선로)에 편성 차량이 정지상태에서, 가이드 휠, 회전 롤러 조립 및 윤활 여부를 육안으로 확인하여 이상이 없는지 확인한다.

· 호이스트 링크 조립상태 및 처짐 여부 확인

· 컨테이너 트레일러 고정 장치 및 운반용 설비 확인

· 컨테이너 트레일러 고정 장치의 동작 상태를 확인하여 이상이 없어야 하고, 운반용 설비 등이 정위치에 설치(준비)되어 있는지 확인한다.

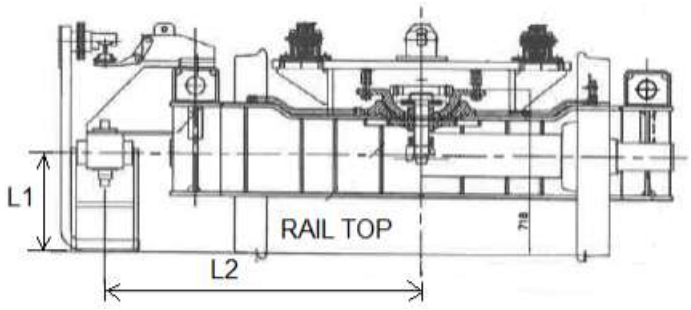


<그림 5-3> 외관 검사시 참고할 설계도면 및 치수

(다) 측정검사

· 본 측정 검사는 가이드휠 및 호이스트바의 연결 및 조립상태를 검사한다.

· **가이드휠 조립상태 측정** : 레일 상면에서 가이드 휠 중앙까지의 높이 및 궤간 중심에서 가이드 휠 중심까지의 거리 측정하여 허용범위에 있는지 확인한다. 허용기준은 L1 - 430 ± 1 mm, L2 - 1,380 ± 1 mm 이다.



<그림 5-4> 가이드휠 측정검사용 참고 도면

· **호이스트바 조립상태 및 길이 측정**: 호이스트 링크의 조립상태를 육안으로 확인하고, 호이스트 바 길이를 측정하여 규정에 적합한지 확인한다. 호이스트바 길이는 11,176 ± 3 mm 이내이다.

(라) 역행기능시험

· 본 시험은 차량의 견인시스템에 대한 기능을 확인하는 시험으로서, 제어전압 확인, 입력신호 확인 시험으로 구분한다.

· **제어전압 확인**: 제어전압이 정상적으로 인버터에 공급되는지 확인한다. 차량의 제어 전원을 차단하고 인버터와 연결된 콘넥터를 분리한 후 차량의 제어전원을 투입하여 콘넥터의 전압을 측정한다. 측정값은 110V(+10%~-30%)이어야 한다.

· **입력신호 확인**: 인버터의 차단스위치를 'TEST'모드로 전환한 다음 차량 제어 장치에서 역행 및 제동 신호를 보낼 때 인버터 제어반의 전진, 후진, 제동 및 정지 램프가 점등하는지 확인한다.

(마) 집전장치 기능시험

· 본 시험은 차량의 집전장치가 정상적으로 설치되어 집전성능에 이상이 없는지 확인하는 시험이다.

· **집전장치 설치 검사** : 집전장치가 올바르게 설치되었는지 육안 검사를 시행하고, 조립 볼트가 규정된 토크로 체결되어 풀림확인 마크가 표시되었는지 여부를 확인한다.

· **집전장치 동작 검사** : 집전장치를 수동으로 작동시킬 때 이상유무를 확인한다. 비정상적인 마찰이나 이상소음이 없어야 한다.

· **집전플레이트 접촉력 확인** : 계기를 사용하여 집전플레이트를 정상위치로 할 때 제3궤조 레일과의 접촉력을 측정한다. 접촉력은 6 ± 1 kgf(정상 동작 207 mm) 이내이어야 한다.

· **절연저항 시험**: 집전플레이트와 차체사이의 절연저항을 측정한다. 측정값은 100 MΩ 이상이어야 한다.

(바) 제동시스템 시험

· 본 시험은 차량의 제동시스템에 대한 기능을 확인하는 시험으로서, 열차제어시스템으로 상용제동, 비상제동, 주차제동 해방 등을 시험한다.

· **상용제동 시험**: 상용제동을 체결하여 공주시간 및 상용 최대 제동통(BC) 압력을

측정한다. 이때 대차에 장착된 답면제동 유니트가 차륜답면에 적절히 접촉하는가를 육안으로 검사한다. 제동체결 후 완해가 정상적으로 이루어져야 한다.

- **비상제동 시험**: 비상제동을 체결하여 공주시간 및 비상 최대 제동통(BC) 압력을 측정한다. 제동체결 후 완해가 정상적으로 이루어져야 한다.
- **주차제동 해방시험**: 차량의 압축공기를 배기 또는 주차제동 해방관의 공기를 배기한 후 주차제동이 체결한 상태에서 해방고리를 당겨서 주차제동이 해방되는지 확인한다.

(3) 기능시험

(가) 시험조건

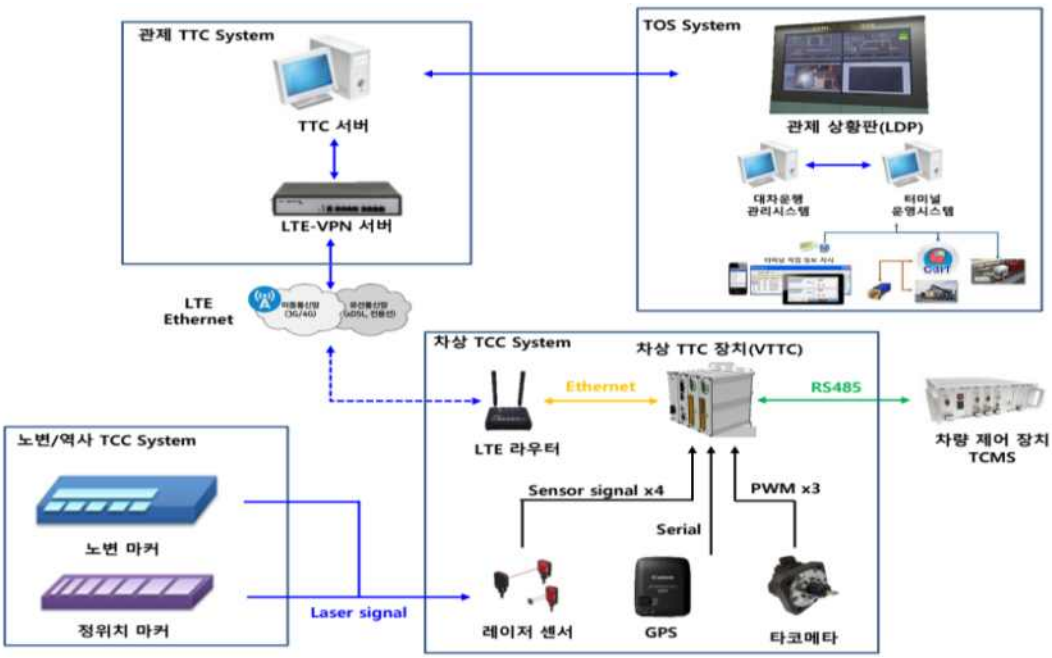
- 제3궤조에 전원공급이 가능한 상태에서 차량 제어 장치(TCMS)를 이용하여 실제 운행상태와 동일하게 검사 및 시험을 한다.

(나) 역행 및 제동시험

- 차량을 기동하여 역행을 개시한 후 정차 거리를 고려한 차량 속도(단, 10㎞/h 이상)에서 상용제동을 체결한다. 이때 전기제동과 Blending 기능이 원활하게 작용하는지 확인한다. 이 시험은 열차 전후진 방향을 반복적으로 2회 이상 실시한다.

(다) 통신 및 자동제어 시험

- 관제 TCC 시스템과 차상 TTC 장치와의 통신 여부를 확인하고, 차량 제어 장치가 정상적으로 제어 신호를 수신하여 차량을 제어하는지를 확인한다.
- 노변/역사 TCC 시스템의 위치 마커에 의해 정상적으로 차량 위치를 감지하여 TCC 장치에 송신하는지 확인한다.



<그림 5-5> 통신 및 자동제어 시험시 참고용 통신구조도

(4) 회전정렬 시험

(가) 시험조건

· 기능시험을 완료한 차량을 차량 제어 장치(또는 차상 TTC장치)를 사용하여 차량을 운전하며 시험을 시행한다.

· 이때, 노변/역사 TCC 시스템의 위치 마커에 정상적으로 차량 위치 감지가 가능하고 이를 통하여 차량을 제어할 수 있도록 한다.

(나) 천이구간 통과시험

· 천이구간을 시속 6Km/h이하로 운행하여, 가이드 휠 및 기타 습동부의 접촉 또는 이상 소음 여부를 확인한다.

· 호이스트바의 응력 및 레일반력을 측정한다.

(다) 정위치 정차시험

· 차량이 자동으로 정차위치까지 이동하며 원활한 제동블렌딩(Brake Blending)이 이루어져 허용 범위내에서 정차하는지 측정한다.

· 이때 이동 중 이상 소음 여부를 확인하고 호이스트바의 응력을 측정한다.

(라) 트레일러 상하차시험

· 운송차량이 정차장(역사)에 정차한 후 콘테이너 트레일러를 하차하고 확인한 후, 반복적으로 트레일러를 상차한다.

· 상하차 중 특별한 문제점이 없어야 한다.

마. 시험기록서 예시

시험기록서 Test and Inspection Result		절차서 번호 Procedure No.	
		시험명 Procedure Name	
시험품 Tested Material		확인자 Confirmed by	
제품(차량)번호 Serial No.		시험자 Tested by	
시험일시 Dates			
시험 환경 Environment	온도 Temperature	습도 Humidity	날씨 Weather
제작사 Manufactured by			

<그림 5-6> 기록서 양식 예시

<표 5-9> 시험 결과표 양식 예시

구분	항목 및 시험조건		기준치	결과	비고
상태확인 시험	외관 검사	가이드휠 및 롤러 조립상태	양호할 것		
		호이스링크 조립상태	양호할 것		
		트레일러 고정장치	양호할 것		
	측정 검사	가이드휠	L1: 430±1mm L2: 1,380±1mm		
		호이스트바	11,176±3mm		
	역행 기능시험	제어전압	110V(+10%~-30%)		
		입력신호	정상작동할 것		
	집전장치 기능시험	설치검사	양호할 것		
		동작검사	양호할 것		
		접촉력	kgf		
		절연저항	100MΩ이상		
	제동시스템 시험	상용제동 시험	BC압, 공주시간		
		비상제동 시험	BC압, 공주시간		
		주차제동 시험	양호할 것		
기능 시험	역행 및 제동시험		원활할 것		
	통신 및 자동제어 시험		원활할 것		
회전정렬 시험	천이구간통과 시험	차량상태	이상 소음이 없을 것		
		호이스트바 응력	재료 허용응력 이하		
		레일 반력			
	정위치 정차시험	정차위치	±30cm 이내		
		호이스트바 응력	재료 허용응력 이하		
	트레일러 상하차		이상이 없을 것		

제4절. 시험평가 결과

1. 구성품 시험결과

가. 개요

- 연구기관에서 제출한 구성품 시험결과보고서를 중심으로 구성품별로 그 성능을 TUV 에서 확인함.
- 각 구성품별 시험결과에 대한 의견을 아래에 정리함.

나. 차체

(1) 구조체 하중시험

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
구조체 하중시험 (TEST-ITEM-001) EN 12663 EN 12663-1,2 EN 15085-1~5 UIC 566 KS R 9228	수직 하중시험	(응력, 변위량, 진동수)	(KT1906-01) 수직하중(응력,변위량) 3점지지 하중(응력,변위량) [미시행 항목] 운행하중 잭킹하중시험 리프팅하중시험
	운행하중시험	(응력, 변위량)	
	3점 지지하중시험	(응력, 변위량)	
	잭킹하중시험	(응력, 변위량)	
	리프팅하중시험	(응력, 변위량)	

- 구조체 하중시험 절차서 (TEST-ITEM-001)에 의거, 수직 하중시험 및 3점지지 하중시험을 시행하였으며, 결과 보고서 KT1906-01를 검토한 결과, 수직 하중 및 3 점 지지 하중시험의 측정 응력이 각각 최대 125.3MPa, 126.1MPa로써 사용 재질의 허용응력 이내임을 확인함.
- 단, 운행 하중시험, 잭킹 하중시험 및 리프팅 하중시험은 실용화 단계에서 형식시험으로 시행이 필요함.

다. 대차

(1) 대차 하중시험

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
대차틀 하중시험 (TEST-ITEM-002) EN 13749 EN 15085-1~5 KS R 9224 KS R 9210 UIC 615-4	정하중 시험	수직하중 좌우하중(해석) 전후하중 전후 비틀림하중 비틀림하중 주전동기 장착프레임 감속기 하중 제동력 하중 조합하중 피로하중	(KT1906-02) 수직하중 비틀림하중 피로 내구선도 확인
	동하중시험		

- 대차틀 하중시험 절차서 (TEST-ITEM-002)에 의거, 수직 하중, 비틀림 하중을 시행하였으며, 결과 보고서 (KT1906-02)를 검토한 결과, 모든 계측값이 사용재료의 피로 내구 선도의 내구 한도 안전영역에 분포함을 확인함.
- 단, 주전동기 및 감속기 설치 하중 및 제동력 하중 등 조합 하중에 대한 시험은 실용화 단계에서 형식시험으로 시행이 필요함.

(2) 완성대차 검사 / 대차 안전성시험

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
완성대차 검사 (TEST-ITEM-003) UIC 518 EN 14363	구조 및 치수검사	결함 또는 이상접촉	(RND IT-008-002-1, 2)
	조립품 체결검사		
대차 안전성시험 (TEST-ITEM-004) UIC 518 EN 14363	가진/비가진 주행		없음
	궤도틀림 적용		

- 완성 대차 검사 및 대차 안정성 시험은 실용화 단계에서 형식시험으로 시행이 필요함.

라. 집전장치

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
집전장치 (TEST-ITEM-005) DIN EN 50206-1 IEC 61373 EN 50124-1 EN 60529 IEC 60077-1 IEC 61373 Category 2	외관검사	외관, 구조	없음
	측정시험	치수, 중량	
	수동조작 시험	수동조작 기능	
	측정시험	진동 도체 전기저항(10MΩ) 접촉력(130N±15N) 발열시험 절연저항(1MΩ이상) 내전압(1MΩ이상)	

- 집전장치 시험절차서(TEST-ITEM-005)에 따른 구성품 시험 확인은, 상용화시 선정될 집전장치의 특성을 고려하여 확인이 필요함.
- 일부 시험은 테스트 베드시험과 중복됨에 따라 테스트베드 시험결과를 참고 가능.

마. 추진제어 인버터

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
(TEST-ITEM-006) KS C IEC 61287-1 KS C IEC 60571 KS C IEC 61373 KS R 9144 KS C IEC 62236-3-2 IEC 60529 IEC 62313 IEC 62497-1,2 IEC 62499	외관, 치수, 중량측정		(EKRD-18P70-1032) [미시행 항목] 전자파내성시험 온도상승시험 진동, 방수시험
	내전압시험(케이스)	입/출력부, 제어회로	
	절연저항시험(케이스)	입/출력부, 제어회로	
	제어기능시험	주접촉기, GDU 동작	
	기동 및 재기동시험	DC 550V, 750V, 850V	
	상 회전 시험	교류 출력 파형	
	보호검출 기능시험	입력 저/과전압 검출, 입출력 고장 검출	
	출력 검증 시험	입출력값	
	전자파 내성시험		
	온도상승시험		
	진동, 방수시험		

- 추진제어 인버터 시험절차서 (TEST-ITEM-006)에 의거, 전자파 내성 시험, 온도상승시험 및 진동/방수시험을 제외한 시험결과에 대하여 보고서 (EKRD-18P70-1032)를 확인하였으며, 미시행 항목은 실용화 단계에서 형식시험으로 시행이 필요함.

바. 견인전동기

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
(TEST-ITEM-007) 견인전동기	외관, 치수검사		(1808P001A) 견인전동기 [미시행 항목] - 특성시험 - 부하 시험 - 온도상승시험 - 과속도 시험 - 소음, 진동시험
	저항측정	U-V, V-W, W-U	
	특성시험	무부하, 정격주파수 구속, 저주파 구속	
	부하시험	부하시 토크, 슬립, 효율 및 역율	
	온도상승시험	연속정격, 1시간 정격	
	과속도 시험	과속도에서 2분간 운전	
	절연저항 시험	권선과 프레임 사이	
	절연 내압시험	권선과 프레임 사이	
	소음, 진동시험	회전수에 따른 소음, 진동	
	속도센서 출력파형 측정	위상차, 센서 출력 전압	

- 견인전동기 시험절차서 TEST-ITEM-007에 의거, 시험결과서(1808P001A)를 확인한 바, 절차서에 규정한 특성시험, 부하 시험, 온도상승시험, 과속도 시험, 소음 및 진동시험을 미시행 하였으나, 측정시험 항목에 대해서는 기준치를 만족함을 확인하였음.
- 미시행 시험 항목은 실용화 단계에서 형식시험 실시가 필요함.

사. 보조전원장치

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
(TEST-ITEM-009) KS C IEC 60571 KS C IEC 61287-1 KS C IEC 61287-2	육안, 치수, 중량측정		(EKRD-18P70-2032) [미시행 항목] 진동, 방수, 소음, 환경시험
	부하맥동, 효율시험	100% 부하시 측정	
	온도상승 및 과부하능력시험		
	진동, 방수, 소음, 환경시험		
	부하급변시험	AC/DC 부하 변동시	
	전압변동시험	입력전압 변동시	
	경부하시험	경부하 전류 10%	
	보호회로 동작시험	입력 저/과전압 검출 입출력 전류 고장검출	
	내전압, 절연저항시험	입력부/AC 출력부 DC 출력부/제어회로	
	기동 및 정지시험		

- 보조전원 장치 시험절차서 (TEST-ITEM-009)에 의거, 시험결과에 대하여 보고서 (EKRD-18P70-3032)를 통하여, 시험 항목별 측정값은 허용 범위내에 있음을 확인 하였음.
- 미시행 시험 항목은 실용화 단계에서 형식시험 실시가 필요함.

아. 제동장치부품

(1) 공기압축기

시험규격 (절차서)		시험 항목	측정 항목	시험결과서
(TEST-ITEM-010) 공기압축기	압축기	외관, 치수검사		(ESMA-001) 오일프리 공기압축기 (ESMA-042) 주공기압축기 기동장치 [시행 항목] 압축기부 만 시행 - 토출공기량 - 토출 공기 온도시험
		회전방향검사	회전방향 확인	
		회전속도시험	회전속도	
		릴리프밸브시험	압축기 공동시 동작	
		토출부 역지밸브시험	작동여부	
		토출공기량시험	토출량 측정	
		토출공기온도시험	토출온도 측정	
		오일온도시험	압축기 오일온도	
		누설 및 누유시험		
		소음,진동시험		
	전동기	구조검사		
		온도시험	1시간 정격운전시	
		저항시험	각 선간저항	
		무부하시험	1시간 무부하 운전	
		부하특성산정시험	부하특성	
		절연저항시험	절연저항	
		내전압시험	내전압	
		회전기기 평형도시험	G6.3 이내	

- 공기압축기 시험절차서 TEST-ITEM-010에 의거, 시험결과서(EMSA-001)를 확인 한바, 토출 공기량 및 토출 공기 온도시험의 결과는 기준값을 만족하였음.
- 미시행 시험 항목은 실용화 단계에서 형식시험 실시가 필요함.

(2) 공기건조기

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
(TEST-ITEM-011) 공기건조기	외관, 치수검사		(ESMA-003) 트윈타워 공기건조기 [시행 항목] - 성능시험 - 공기누설시험
	성능시험	적용사이클, 전력 재투입	
	공기누설시험	공기누설	
	절연저항시험	도전부와 몸체사이	
	내전압시험	도전부와 몸체사이	
	제습능력시험	토출구 상대습도	
	공기소비량시험	건조소비량	

- 공기건조기 시험절차서 TEST-ITEM-011에 의거, 시험결과서 (EMSA-003)을 확인한바, 성능시험 및 공기누설시험의 결과는 기준값을 만족함.
- 미시행 시험 항목은 실용화 단계에서 형식시험 실시가 필요함.

(3) 제동제어유니트

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
(TEST-ITEM-012) 제동제어유니트	외관, 치수검사		(ESMA-006) 제동작용장치 [시행 항목] - 성능시험
	누설시험	공기누설여부	
	성능시험	상용/비상제동 작용	
	절연저항시험	단자와 밸브몸체	
	내전압시험	단자와 밸브몸체	
	방수시험	유니트 외부	
	진동, 충격시험	유니트 조립체	
	온도시험	고온/저온 방치	

- 제동제어유니트 시험절차서 TEST-ITEM-012에 의거, 시험결과서(EMSA-006)를 확인한바, 성능시험 및 공기누설시험의 결과는 기준값을 만족함.
- 미시행 시험 항목은 실용화 단계에서 형식시험 실시가 필요함.

(4) 답면제동유니트

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
(TEST-ITEM-013) 답면제동 유니트	외관, 치수검사		(ESBB-005) 답면, 주차제동 유니트 [시행 항목] - 누설시험 - 출력성능시험
	누설시험		
	자동 간격 조정기시험		
	출력성능시험		
	온도,진동시험		

- 답면제동 유니트 시험절차서 TEST-ITEM-013에 의거, 시험결과서(ESBB-005)를 확인한바, 누설시험 및 출력 성능시험의 결과는 기준값을 만족함.
- 미시행 시험 항목은 실용화 단계에서 형식시험 실시가 필요함.

자. 차량제어장치

시험규격 (절차서)	시험 항목	측정 항목	시험결과서
(TEST-ITEM-014) KS C IEC 60571 KS R 9197 KS C 0704 KS C IEC 62236-3-2	외관, 치수검사, 중량측정		(EKRD-18P70-3032)
	내전압시험(케이스)	전력회로, 제어회로	
	전원변동시험		
	절연저항시험(케이스)	전력회로, 제어회로	
	고속차단기 동작시험	입력 저/과전압	
	인터페이스 동작시험	DC 110V	
	수동운전 기능시험	전/후진 동작	

- 차량제어장치 시험절차서 (TEST-ITEM-014)에 의거, 시험결과에 대하여 보고서 (EKRD-18P70-3032)를 통하여, 시험 항목별 측정값은 허용 범위내에 있음을 확인함.

2. 완성차 시험결과

가. 시험결과 기록서 내용

○ 인터모달 운송차량 완성차 검사 및 성능시험 보고서를 아래와 같이 수행하여 수록하였다.

○ 검사시험

- 외관검사, 측정검사

○ 기능 및 작동시험

- 중량측정시험, 차체리프팅시험, 트레일러 잠금장치시험, 누수시험, 접지시험, 절연저항시험, 내압시험, 집전장치 기능시험, 추진제어시험, 보조전원시험, 차량신호장치시험, 차량제어 및 배전반시험, 제동장치시험

○ 기능 및 성능시험

- 기동 및 정지시험, 역행성능시험, 제동성능시험, 고장기록 확인시험, 전조등시험, 회전정렬시험

나. 인터모달 운송차량 완성차 시험 성적서 내용

사업명	인터모달 운송대차 기술개발	제작 검사기관	작성	검토	승인
제작사	성신알에스티				
품명	운송차량 001호 및 002호				
도면번호	FDGA 001 100	차량 제작사	검사자	확인자	
수량	2량 편성		박광복	장병희	
시험일자	1차(공장): 2021. 2. 26 2차(시험선):2021.11.24~25 3차(시험선):2021.12.03~04				
계측장비	테스터기, 컴퓨터 등	판정	양호		
시험환경	온도 : 20 ° C	습도 : 47 %		날씨 : 맑음	

순번	항목	세부항목	판정기준	결과	비고 (시험장소)
1	외관검사	물리적으로 결함 또는 이상 접촉여부	이상이 없을 것	양호	함안공장
		전기적, 기계적으로 연결상태 양호한가	이상이 없을 것	양호	함안공장
		차량 도장 및 표기가 양호 한가	이상 없을 것	양호	함안공장
2	측정검사	차체길이	L16,820mm	L16,818mm	함안공장
		차체 폭	W2,920mm	W2,916mm	함안공장
		차체 최대 높이(참고)	H2,614mm	H2,621mm	함안공장
		언더후레임 상면 높이	1,374mm	1,375mm	함안공장
		언더후레임 내측 가이드레일 거리	970mm	970mm	함안공장
		언더후레임 외측 가이드레일 거리	2,740mm	2,736mm	함안공장
		연결기 높이(공차)	H721mm	H707mm	함안공장
3	중량측정시험	차량중량(공차) 측정	34,000kg	32,500Kg	함안공장
		대차 중량 측정	7,500kg	8,500kg	함안공장

순번	항목	세부항목	판정기준	결과	비고 (시험장소)
4	차체리프팅시험	차량운반시험	차량 리프팅시 간섭 등 체크	양호	함안공장
5	트레일러 잠금장치 시험	트레일러 잠금장치 시험	트레일러 잠금장치의 트레일러 고정위치 및 설비위치 작동 체크	양호	함안공장
		킹 핀 잠금장치 시험	킹 핀장금장치 작동 체크	양호	함안공장
6	제동장치 누설시험	제동장치 누설시험	차량의 제동장치에 5bar의 압력공기 공급하여 1분간 누설 체크	양호	함안공장
7	누수시험	차체누수시험	차체 살수시험은 물분사량 150㎜/h 이상, 노즐수압 100kPa로 30분 이상 수행 체크	양호	함안공장
8	접지시험	접지상태	각종 전장품 육안검사	양호	함안공장
8	절연저항측정시험	1) 고압회로-대지 사이	DC750V 고압전압회로와 대지사이의 절연저항측정 2MΩ이하 체크	양호	함안공장
		2) 고압회로-저압회로 사이	고전압회로와 저전압회로 사이의 절연저항측정 1MΩ이하 체크	양호	함안공장
		3) 저압회로-대지 사이	저전압회로와 대지 사이의 절연저항측정 1MΩ이하 체크	양호	함안공장
9	내압시험	1) 고전압회로-대지간	AC2,500V 이상 1분간 시험하여 확인	양호	함안공장
		2) 고전압회로-저전압회로간	AC1,760V 이상, 1분간 시험하여 확인	양호	함안공장
		3) 저전압회로-대지간	AC500V 이상, 1분간 시험하여 확인	양호	함안공장
10	집전장치 시험	동작시험	파워레일에 집전장치를 접촉하여 주행시 작동상태 체크	양호	Test Bed
11	추진제어 시험	1) 기능확인시험	제어전원을 인가하여 제어장치를 동작시키고 컴퓨터로 운전등가신호를 입력 제어기 출력동작 체크	양호	Test Bed
		2) 기동 확인시험	컴퓨터 또는 운전반을 이용해 역행 및 후진 지령의 전력반도체소자 구동신호 적합성 확인	양호	Test Bed

순번	항목	세부항목	판정기준	결과	비고 (시험장소)
12	보조전원 장치시험	1) 동작시험	보조전원계통의 기기가 정상 동작상태에서 보조전원장치가 정상 부하조건으로 기동상태 체크	양호	Test Bed
13	차량신호 장치시험	1) 전원동작시험	차상신호장치에 전원을 인가하여 정상작동상태 체크	양호	Test Bed
		2) 연결상태 확인시험	차상신호장치의 제어부와 차상안테나 등의 연결 상태 체크	양호	Test Bed
		3) 차량인터페이스 시험	차상신호장치의 명령이 차량제어장치로 통신되어 차량의 각종 기기의 정상 작동상태 확인	양호	Test Bed
14	차량제어 장치 및 배전반	1) 전원동작시험	차량제어장치 및 배전반에 전원을 인가하여 작동상태 확인	양호	Test Bed
		2) 제어반연계 동작시험	수동운전반 또는 컴퓨터를 이용하여 역행, 제동, 조명, 신호장치, 고압스위치 등 인가해 동작상태 확인	양호	Test Bed
		3) 고전압장치 연계동작시험	주회로차단기, 충전접촉기동작상태 등을 인가하여 동작상태 확인	양호	Test Bed
15	제동장치 시험	1) 제동장치동작시험	컴퓨터 또는 수동운전반을 이용하여 상용제동, 비상제동, 주차제동시험을 인가하여 제동장치의 작동상태 확인	양호	Test Bed
		2) 공기압축기 제어 시험	관제 또는 수동운전대 이용하여 TCS에 인가하여, 주공기압축기계전기 동작상태 확인	양호	Test Bed
16	동작 및 성능시험	1) 시동/정시시험	차량을 시동 및 정지시 전원의 정상 동작상태 확인	양호	Test Bed
		2) 역행성능시험	- 차량의 운영속도까지 가속시켜 가속성능(가속도) 확인 - 차량을 후진 주행하여 정상 동작 확인	양호	Test Bed
		3) 제동성능시험	차량의 최소운영속도에서 제동성능(감속도, 제동거리) 확인	양호	Test Bed
		4) 고장기록 확인시험	차량진단장치에 고장기록이 정상적으로 이뤄지는지 확인	양호	Test Bed
		5) 전조등시험	전조등의 정상 작동상태 확인	양호	Test Bed
		6) 회전정렬시험	2량 편성열차의 70도 회전정렬이 정상적으로 이뤄지는지 확인	양호	Test Bed

3. 테스트베드 운송차량 성능시험 보고

가. 개요

○ 광양 Test Bed(시험선)에서 수행될 인터모달 운송차량의 시험은 차량의 외관 및 조립 상태 등을 확인하는 상태확인시험, 각종 장치의 기능과 성능을 검증하는 기능시험 및 시험선 천이구간에서 차량의 회전정렬주행, 정거장 정위치 정차 등을 확인하는 차량의 회전정렬시험을 수행하였다.

○ 국제 시험평가 및 인증기관인 TUV Rheinland가 연구 참여업체의 검증결과를 확인하고 시험에 입회하여 시스템의 기능과 성능목표 달성여부를 객관적으로 평가함.

<그림 5-7> TUV에서 제작한 제3자 공인시험평가 및 검증보고서 표지

○ 일시

- 1차시험 : 2021년 11월 25일 ~ 26일
- 2차시험 : 2021년 12월 2일 ~ 3일
- 3차시험 : 2021년 12월 24일

○ 시험조건

- 차량제어장치(TCS)로 제어하여 시험하였으며, 1량의 장착된 인버터 2대를 이용해 주행, 역행, 감속 및 기타시험을 실시함.

나. 시험항목과 성과지표와의 연관성

<표 5-10> 상태확인시험 항목 및 측정내용

시험항목	측정내용	담당	성과지표
1. 외관검사	회전롤러 조립 및 윤활여부	성신	B-2-7
	가이드휠 조립상태 및 회전	성신	B-2-7
	호이스트 링크 조립 상태 및 처짐	성신	B-2-10
	트레일러 고정장치 상태	성신	B-2-8
2. 측정검사	가이드휠 조립상태	성신	B-2-7
	호이스트 바 조립상태 및 길이 측정	성신	B-2-10
	축상고 높이 측정	성신	B-2-8
	대차 휠 어셈블리 측정	성신	B-2-11
	대차 동력전달장치	성신	B-3-9
	유도전동기	성신	C-2-2
3. 집전장치 기능시험	집전장치 설치검사	성신	B-2-12
	집전장치 동작검사	성신	B-2-12
	집전플레이트 접촉력 확인	성신	B-2-12
	절연저항 시험	성신	B-2-12
4. 전원장치/차량제어장치 동작시험	전압확인시험	이경	D-3-2
	차량제어장치 입력신호 확인	이경	D-3-2
5. 제동시스템 동작시험	상용제동시험	성신	E-1-2
	비상제동시험	성신	E-1-2
	주차제동시험	성신	E-1-2
6. 강도 측정 시험	차체강도검사	성신	B-2-8
	대차강도검사	성신	B-2-7

(1) 상태확인시험

○ 상태확인시험은 인터모달 운송차량의 기능시험 전에 외관, 조립 등의 상태를 확인하는데 목표가 있다. 아래 표에 상태확인시험의 세부시험항목 및 측정내용 그리고 각 시험별 관련 과제 성과지표 항이 나타나 있다. 세부시험별 시험방법 및 판별 기준 등은 아래 항에 기술되어 있다.

(2) 기능시험

○ 기능시험은 차량의 각종 장치의 기능의 원활 작동여부 확인하는 시험이며, 또한 관제실 TOS 시스템과 무선제어장치의 원활한 통신 여부 등도 시험한다. 아래 표에 기능시험의 세부시험항목 및 측정내용, 그리고 각 시험별 관련 과제 성과지표 항이 나타나 있다. 세부시험별 시험방법, 판별기준 등은 아래 항에 기술되어 있다.

<표 5-11> 기능시험항목 및 측정내용

시험항목	측정내용	담당	성과지표
1. 차량주행제어 통신 시스템 구축 확인 시험	VTTC-TTC 통신 데이터 손실율	앤츠	B-1-3[3세부]
	VTTC-TTC 통신 신호전달시간	앤츠	B-1-3[3세부]
2. 차량 위치검지 확인 시험	차량위치 검지 정확도(정차구간)	앤츠	B-4-1[3세부]
	차량위치 검지 정확도(주행구간)	앤츠	B-4-1[3세부]
	차량속도 정확도	앤츠	B-4-1[3세부]
3. 추진제어장치 출력 확인시험	기능확인	이경	D-3-2
	가속도(공차)	이경	D-3-2
	가속도(만차)	이경	D-3-2
4. 상용제동시험	기능확인(공차)	성신	D-1-2
	제동거리(공차)	성신	D-1-2
	감속도(공차)	성신	D-1-2
	기능확인(만차)	성신	D-1-2
	제동거리(만차)	성신	D-1-2
	감속도(만차)	성신	D-1-2
5. 비상제동시험	기능확인(공차)	성신	D-1-2
	제동거리(공차)	성신	D-1-2
	감속도(공차)	성신	D-1-2
	기능확인(만차)	성신	D-1-2
	제동거리(만차)	성신	D-1-2
	감속도(만차)	성신	D-1-2

(3) 차량의 회전정렬시험

○ 회전정렬 시험은 TOS 시스템 또는 차량제어기를 활용하여 차량이 천이구간을 통과하여 이상 없이 정위치 정차를 위한 제어의 정상 동작 여부와 정차장에서 트레일러의 상하차 작업의 문제점 및 개선 사항을 확인하는 시험이다. 아래 표에 회전정렬시험의 세부시험항목 및 측정내용, 그리고 각 시험별 관련 과제 성과지표 항이 나타나 있다. 세부시험별 시험방법 및 판별 기준 등은 아래 항에 기술되어 있다.

<표 5-12> 차량의 회전정렬시험

시험명	측정항목	담당	성과지표
1. 천이구간 주행안전성 시험-진입	차량상태	성신	A-3-5
	기능확인	성신	A-3-5
	레일변형여부	성신	A-3-5
	가이드휠 마찰상태	성신	A-3-5
	구조물의 변형여부	성신	A-3-5
	견인력 변화체크	성신	A-3-5
	호이스트 바 응력체크	성신	A-3-5
	레일반력 측정	성신	A-3-5
2. 정위치 정차시험	정위치 체크	이경	A-4-2
	호이스바 응력체크	성신	A-4-2 B-2-10
3. 회전정렬 각도측정 시험	정렬각도 체크	성신	A-4-2 B-2-10
4. 트레일러 상하차 시험	기능확인	성신	B-2-7 B-2-8
5. 천이구간 주행안전성 시험- 진출	차량상태	성신	A-3-5
	기능확인	성신	A-3-5
	레일변형여부	성신	A-3-5
	가이드휠 마찰상태	성신	A-3-5
	구조물의 변형여부	성신	A-3-5
	견인력 변화체크	성신	A-3-5
	호이스트 바 응력체크	성신	A-3-5
	레일반력 측정	성신	A-3-5

다. 상태확인시험방법

(1) 시험조건

개발된 인터모달 운송차량의 외관과 조립상태 등을 상태확인시험을 위하여 시험조건은 아래와 같은 조건으로 수행한다.

○ 선로조건

- TEST-BED(시험선)의 선로는 건조한 상태에서 실시한다.

○ 차량 조건

- 시험대상은 2량으로 조성된 편성 차량으로 한다. 차량은 정차상태이고, 제3궤의 전원은 차단한 상태에서 실시한다.

○ 하중 조건

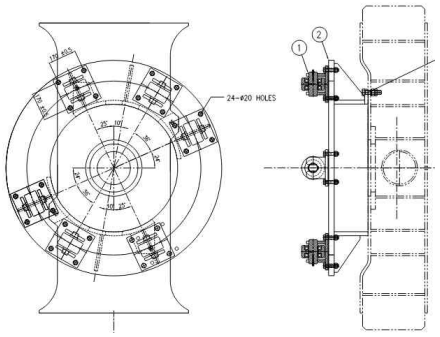
- 공차 및 적차(컨테이너 트레일러 적재) 상태에서 실시한다.

(2) 외관검사

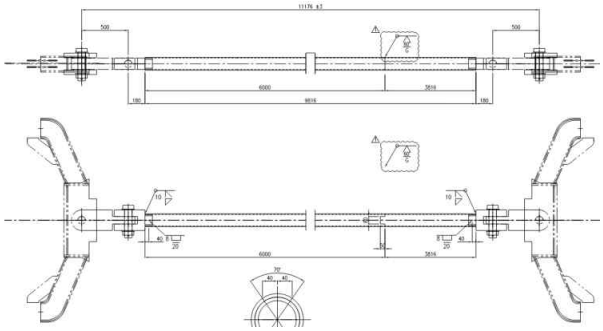
- 차량의 정상적으로 운영을 위하여 외관, 조립품 등의 상태를 검사한다.

(가) 시험방법 및 절차

- 회전롤러 조립상태 및 윤활 여부를 육안 확인하여 이상이 없는지 검사한다.
- 호이스트 링크 조립상태 및 처짐 여부 확인하여 이상이 없는지 검사한다.

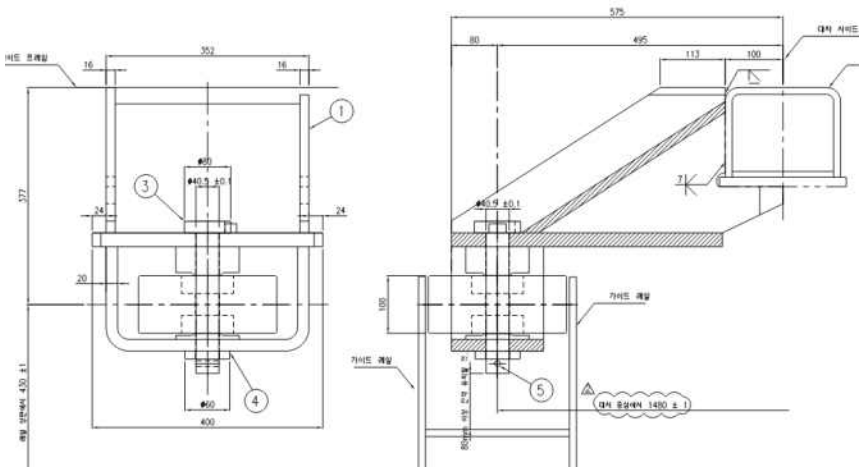


<그림 5-8> 회전롤러 조립도



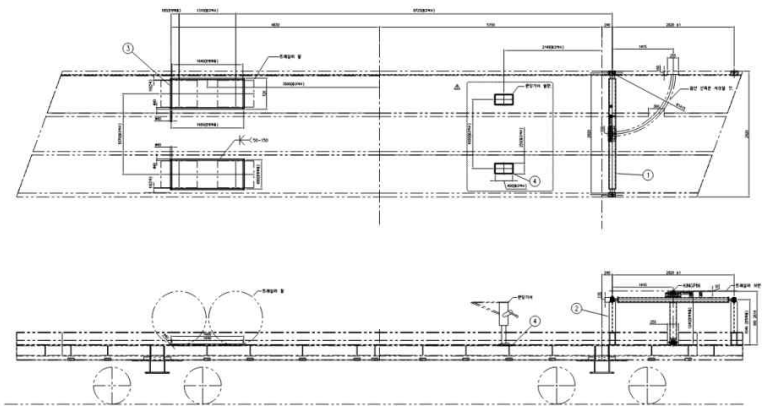
<그림 5-9> 연결 호이스트 바 조립도

- 가이드 휠의 조립상태를 확인하고, 원활한 작동을 검사 한다.



<그림 5-10> 가이드레일 및 대차 가이드 휠 인터페이스

- 컨테이너 트레일러 고정장치의 동작 상태를 확인하여 이상이 없어야 하고, 트레일러 랜딩기어 및 차륜(바퀴) 고정설비가 설치되어 있는지 검사 한다.



<그림 5-11> 차량의 트레일러 잠금장치 및 고정장치 조립도

(나) 목표치

○ 회전롤러 조립 및 윤활여부

- 양호할 것

○ 가이드 휠 조립상태 및 회전

- 양호할 것

○ 호이스트 링크 조립상태 및 처짐

- 양호할 것

○ 트레일러 잠금장치 및 고정장치 작동

- 양호할 것

(다) 측정장치

- 육안으로 판별

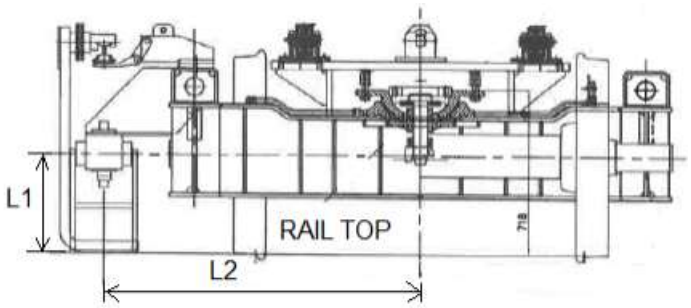
(3) 측정검사

- 본 측정검사는 가이드 휠 및 호이스트 바의 연결 및 조립상태와 공차시 축상고를 측정한다.

(가) 시험방법 및 절차

○ 가이드 휠 조립상태 측정

- 레일 상면에서 가이드 휠 중앙까지의 높이 및 궤간 중심에서 가이드 휠 중심까지의 거리 측정하여 허용범위에 있는지 확인한다.

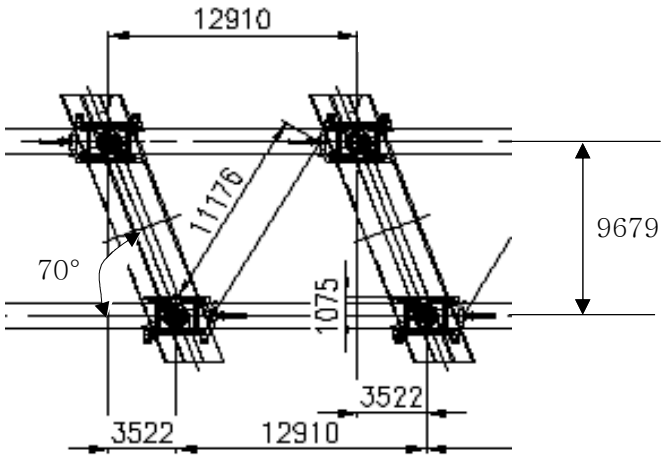


<그림 5-12> 가이드 휠 측정 기준

○ 호이스트 바 조립상태 및 길이 측정

- 호이스트 링크의 조립상태를 육안으로 확인하고, 호이스트 바 길이를 측정하여 규정에 적합한지 확인한다.

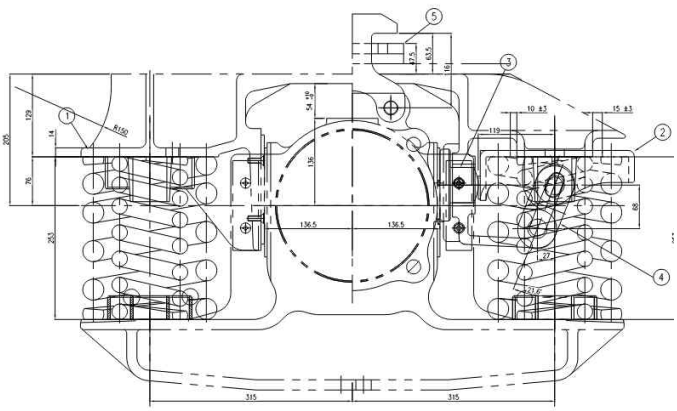
- 호이스트 바 길이 : 11,176±18mm



<그림 5-13> 정거장 차량 회전정렬 각도 및 간격

○ 축상고 높이 측정

- 축상고 높이 측정은 공차와 적차 상태에서 측정한다.
- 축상고 : 공차 : 54+10,-0mm 만차 36+10,-0mm



<그림 5-14> 대차 저널박스 및 1차 스프링 조립도

○ 대차 휠 어셈블리(차축저널) 측정

- 차축의 저널크기를 측정한다.
- 차축 AAR D축(저널직경 : 131.85mm, 저널길이 : 255.6mm)

○ 동력전달장치 감속비 검사

- 동력전달장치 감속비 7.07:1을 확인한다.

○ 유도전동기 정격용량 검사

- 유도전동기 정력용량 92kw 이상을 확인한다.

(나) 목표치

○ 가이드휠 조립상태 측정

- 허용기준은 L1 - 430 ± 6 mm, L2 - 1,380 ± 8 mm 이다.

○ 호이스트바 조립상태 및 길이 측정

- 호이스트바 길이는 11,176 ± 18 mm 이내이어야 한다.

○ 축상고 높이 측정

- 축상고는 공차시 54±10mm이내, 만차시 36±10mm이내이어야 한다.

○ 대차 휠 어셈블리(차축 저널) 측정

- 차축 AAR D축 : 저널직경 : 131.85mm, 저널길이 : 255.6mm
- 차축 저널은 차축도면(FDBW 001-002 Axle)에 따른다.

○ 동력전달장치 감속비 검사

- 감속기 감속비 : 7.07:1(99/14)
- 감속기의 감속비는 감속기 도면(FDBD 001-101, Driving Gear Uint)에 따른다.

○ 유도전동기 출력 검사

- 유도전동기 출력 : 92kw 이상
- 유도전동기의 출력은 추진용 유도전동기 설계 및 해석 보고서를 확인 한다.

(다) 측정장치

○ 줄자 및 스코프 등

(4) 집전장치 기능시험

- 본 시험은 차량의 집전장치가 정상적으로 설치되어 집전성능에 이상이 없는지 확인하는 시험으로, 집전장치가 설치된 모든 차량에서 실시한다.

(가) 시험방법 및 절차

○ 집전장치 설치검사

- 집전장치가 올바르게 설치되었는지 육안검사를 시행하고, 조립 볼트가 규정된 토크로 체결되어 풀림확인 마크가 표시되었는지를 확인한다.

○ 집전장치 동작 검사

- 집전장치를 수동으로 작동시킬 때 이상 유무를 확인한다.

○ 집전플레이트 접촉력 확인

- 계기를 사용하여 집전플레이트를 정상위치로 할 때 제3궤조 레일과의 접촉력을 측정한다.

○ 절연저항 시험

- 집전플레이트와 차체사이의 절연저항을 측정한다.

(나) 목표치

○ 집전장치 설치검사

- 이상 없을 것

○ 집전장치 동작 검사

- 비정상적인 마찰이나 이상 소음이 없어야 한다.

○ 집전플레이트 접촉력 확인

- 접촉력 : 12.2~14.3kgf(정상거리 363mm) 이내

○ 절연저항 시험

- 측정값 : 20㏁ 이상

(다) 측정장비

○ 집전장치 설치검사

- 육안

○ 집전장치 동작 검사

- 육안 및 청각

○ 집전플레이트 접촉력 확인

- 장력측정기

○ 절연저항 시험

- 멀티미터

(5) 전원장치와 차량제어장치 동작시험

- 본 시험은 차량의 추진시스템에 대한 기능을 확인하는 시험으로서, 제어전압 확인, 입력신호 확인시험으로 구분한다.

(가) 시험방법 및 절차

○ 제어전압 확인

- 제어전압이 정상적으로 인버터에 공급되는지 확인한다. 차량의 제어전원을 차단하고 인버터와 연결된 콘넥터를 분리한 후 차량의 제어전원을 투입하여 콘넥터의 전압을 측정한다.

○ 입력신호 확인

- 인버터의 차단스위치를 'TEST'(또는 '주행') 모드로 전환한 다음 차량 제어장치에서 역행 및 제동 신호를 보낼 때 인버터 제어반의 전진, 후진, 제동 및 정지 램프가 점등하는지 확인한다.

(나) 목표치

○ 제어전압 확인

- 측정값은 100V(+10%~-30%)이어야 한다.

○ 입력신호 확인

- 인버터 제어반의 전진, 후진, 제동 및 정지 램프가 점등여부를 확인한다.

(다) 측정장비

○ 제어전압 확인

- 멀티미터

○ 입력신호 확인

- 육안검사

(6) 제동시스템 동작시험

- 본 시험은 차량의 제동시스템에 대한 기능을 확인하는 시험으로서, 정차상태에서 열차제어시스템으로 상용제동, 비상제동, 주차제동 해방 등을 시험한다.

(가) 시험방법 및 절차

○ 상용제동 시험

- 상용제동을 체결하여 공주시간 및 상용 최대 제동통(BC) 압력을 측정한다. 이때 대차에 장착된 답면제동유니트가 차륜답면에 적절히 접촉하는가를 육안으로 검사한다. 제동체결 후 완해가 정상적으로 이루어져야 한다.

○ 비상제동 시험

- 비상제동을 체결하여 공주시간 및 비상 최대 제동통(BC) 압력을 측정한다. 제동체결 후 완해가 정상적으로 이루어져야 한다.

○ 주차제동 해방시험

- 차량의 압축공기를 배기 또는 주차제동 해방관의 공기를 배기한 후 주차제동이 체결한 상태에서 해방고리를 당겨서 주차제동이 해방되는지 확인한다.

(나) 목표치

○ 상용제동 시험

- 상용제동 제동통 압력 : 3.8bar(제동시험시 적정압력으로 조정시 변경됨).
- 상용제동체결 및 완해시 답면제동 슈(Shoe)가 차륜에 접촉 및 완해 되는지 확인한다.

○ 비상제동 시험

- 비상제동 제동통 압력 : 4.5bar
- 비상제동체결 및 완해시 답면제동 슈(Shoe)가 차륜에 접촉 및 완해 되는지 확인한다.

○ 주차제동 해방시험

- 주차제동 작동 및 완해를 수행하여 답면제동 슈(Shoe)가 차륜에 접촉 및 완해 되는지 확인한다.

(다) 측정장비

○ 상용제동 시험

- 공기 압력계

○ 비상제동 시험

- 공기 압력계

○ 주차제동 해방시험

- 육안 검사

라. 기능시험

(1) 시험조건

○ 선로조건

- TEST-BED(시험선로)는 건조한 상태이어야 한다.
- 노변/역사 신호시스템의 위치 마커에 정상적으로 차량 위치 감지가 가능하고 이를 통하여 차량을 제어할 수 있도록 한다.

○ 차량조건

- 시험대상 차량은 2량으로 조성된 편성 차량으로 하고, 차량의 집전성능 검증이 완료되어 자동 운전이 가능한 상태이어야 한다.

○ 하중조건

- 공차 및 적차조건 각 10회 이상 시험하며, 적차조건은 편성 각 차량에 컨테이너 트레일러를 적재한 상태로 한다.

○ 전원 및 제어조건

- 제3궤조에 전원공급이 가능한 상태에서 주전원이 보조전원장치를 통한 전원공급이 이루어진 상태로 한다.

(2) 차량주행제어 통신시스템 확인시험

(가) 시험방법 및 절차

○ VTTC-관제 TTC 통신 데이터 손실율

- 차상 TTC System(이하 VTTC)와 관제 TTC장치간의 통신시험으로 VTTC에서 TTC로 데이터 전달을 10회 반복 측정한다. 데이터 손실율 계산은 아래 계산식을 따른다.

- 오류 처리 결과의 합 / 전체 시도 횟수의 합 ≤ 목표값()

○ VTTC-TTC 통신 신호전달시간

- VTTC에서 TTS로 데이터 전달시 데이터 전달 소요 시간을 10회 반복 측정한다. 신호전달시간은 아래 계산식을 따른다.

- '송신 시간' -'수신 시간'의 전체 평균값 ≤ 목표값()

(나) 목표치

○ VTTC-TTC 통신 데이터 손실율

- Data loss 0.1% 이내

○ VTTC-TTC 통신 신호전달시간

- 신호 전달시간 0.5초 이내

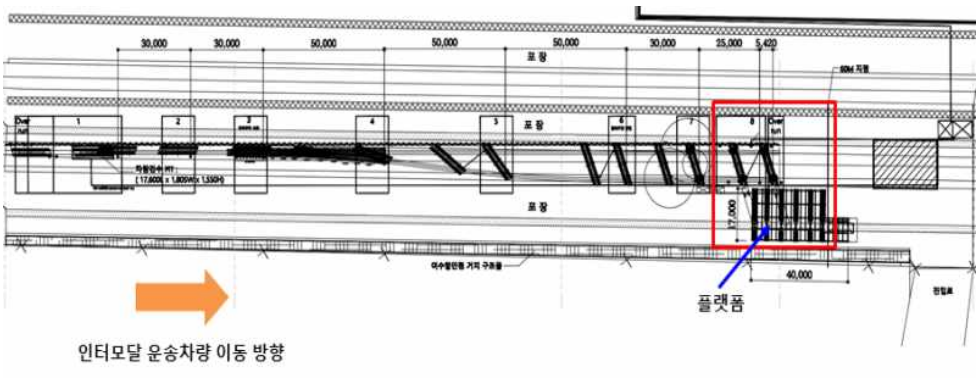
(다) 측정장치

- 시험용 프로그램

(3) 차량 정위치정차 확인시험

(가) 시험방법

- 인터모달 운송차량의 정위치정차 시험으로 아래그림과 같이 직선구간에서 출발하여 천이 구간을 거쳐 플랫폼에서 정차하는 과정에서 차량 정위치 정차 정확도, 차량속도 정확도를 측정한다.



<그림 5-15> 인터모달 운송차량 이동방향 및 플랫폼 위치 빨간색 표시 노변 마커 8번

(나) 측정방법 및 절차

○ 차량위치 검지 정확도(정차구간)

- 위치오차 10회 반복 측정한다. 아래 계산식을 따른다.
- |평균값 - 측정값| ≤ 목표값

○ 차량위치 검지 정확도(주행구간)

- 위치 오차 10회 반복 측정한다. 아래 계산식을 따른다.
- |평균값 - 측정값| ≤ 목표값

○ 차량속도 정확도

- 속도 오차 10회 반복 측정한다. 아래 계산식을 따른다.
- |평균값 - 측정값| ≤ 목표값

(다) 목표치

○ 차량위치 검지 정확도(정차구간)

- 차량 위치 검지 정확도 목적 주변 ±10cm 이내

○ 차량위치 검지 정확도(주행구간)

- 이동 중 : ±1m 이내

○ 차량속도 정확도

- 차량 속도 측정 정확도 : ±3km/h 이내

(라) 측정장치

- 속도 측정기
- 줄자

(4) 추진제어장치 출력확인시험

- 차량을 기동하여 추진제어장치의 출력을 확인하는 시험으로 테스트베드내 직선구간에서 실시하며, 기동시 정차 거리를 고려한 차량 속도에서 시험한다. 시험 후 정차를 위해 전기제동과 Blending 기능이 원활하게 작용하는지 확인이후 실시한다.

(가) 측정방법 및 절차

○ 공차조건

- 공차조건에서 차량을 기동하여 차량속도가 10Km/h에 도달할 때까지 가속한 후 정상동작여부를 확인하고, 추진제어장치(VVVF인버터)의 AC출력전류를 측정한다.

○ 만차조건

- 공차조건에서 차량을 기동하여 차량속도가 10Km/h에 도달할 때까지 가속한 후 정상동작여부를 확인하고, 추진제어장치(VVVF인버터)의 AC출력전류를 측정한다.

(나) 목표치

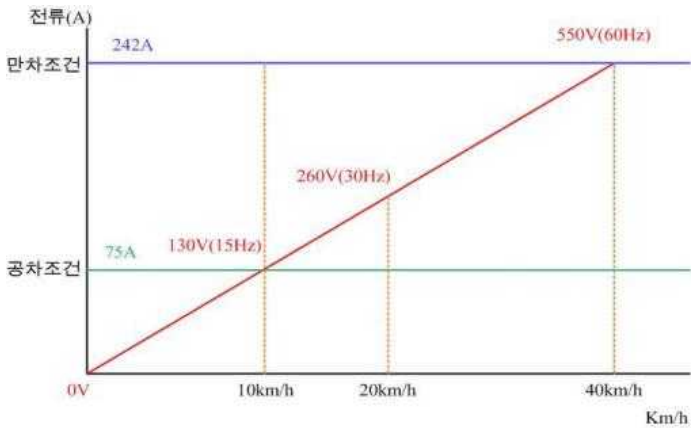
입력전압	시험조건	기준치	비고
DC 750V ±25V	공차조건	75A이상(만차조건의 30%)	
	만차조건	242A 이상	

(다) 측정장비

- 오실로스코프, 전류프로브, 전압프로브

(라) 참고사항

○ 성과지표 만족여부 판단을 위한 추진제어장치(VVVF 인버터)의 출력성능 계산 산출자료



<그림 5-16> 차량속도에 따른 추진제어장치
출력전압,전류 특성곡선

- 공차조건, 속도 10km/h : 130V * 75A * √3 = 16.9KVA
- 만차조건, 속도 10km/h : 130V * 242A * √3 = 54.5KVA

- 추진제어장치 특성곡선에 따라 정격출력을 계산하면 아래와 같다.

· 만차조건, 속도 40km/h : 550V * 242A * √3 = 230.5KVA

(5) 상용제동 확인시험

- 차량을 기동하여 상용제동의 성능을 확인하는 시험으로 테스트 베드 내 직선구간에서 실시하며, 기동시 정차 거리를 고려한 차량 속도(10km/h)에서 시험한다. 해당시험은 공차시와 만차시에 실시하며, 상용제동 이후 동작에 대한 기능확인, 제동거리 측정, 감속도를 측정한다.

(가) 시험방법 및 절차

○ 차량을 가속한 후 차량 속도가 10km/h에 도달한 후 상용제동을 체결한다. 단, test bed내 가속거리, 제동거리 등을 확인하여 적정한 제동압력과 속도로 변경하여 시험을 실시할 수 있다.

○ 차량의 공차 및 만차의 각 조건에서 열차 전/후진 방향을 반복적으로 10회 이상 실시하여, 정상 동작 여부, 제동거리, 감속도(환산값)를 측정한다.

(나) 목표치

○ 상용제동 시 평균감속도는 1.5㎞/h/s(0.416㎨) 이상이어야 한다.

- Test bed에서 상용제동시험을 수행하여 가속거리, 제동거리 등을 확인하여 적정한 제동압력과 속도를 설정하여 시험을 시행한다.
- 상용제동 작동 기능 확인
- 공차 및 만차 하중에서 제동거리 확인

○ 참고 : 제동통압력 3.8bar 기준 속도별 제동거리를 환산한 값이다.

속도 (㎞/h)	공차(공기제동)			만차(공기제동)		
	제동거리(m)	시간(초)	감속도	제동거리(m)	시간(초)	감속도
5	9	6	-	11	8	-
10	21	9	-	22	11	-
40	259(공기) 134(블랜딩)	35(공기) 19(블랜딩)	0.416㎨ 이상	248(공기) 176(블랜딩)	36(공기) 25(블랜딩)	0.416㎨ 이상

(다) 측정장비

- 공압 측정기
- 계측시계
- 줄자

(6) 비상제동 확인시험

- 차량을 기동하여 비상제동의 성능을 확인하는 시험으로 테스트 베드 내 직선구간에

서 실시하며, 기동시 정차 거리를 고려한 차량 속도(10km/h)에서 시험한다. 해당시험은 공차시와 만차시에 실시하며, 비상제동 이후 동작에 기능확인, 제동거리 측정, 감속도(환산)를 측정한다.

(가) 시험방법 및 절차

○ 차량을 가속한 후 차량 속도가 10km/h에 도달한 후 비상제동을 체결한다. 단, test bed내 가속거리, 제동거리 등을 확인하여 적정한 제동압력과 속도로 변경하여 시험을 실시할 수 있다.

○ 차량의 공차 및 만차의 각 조건에서 열차 전/후진 방향을 반복적으로 10회 이상 실시하여, 정상 동작 여부, 제동거리, 감속도(환산값)를 측정한다.

(나) 목표치

○ 비상제동 시 평균 감속도는 2.0㎞/h/s(0.56㎨) 이상이어야 한다.

○ 비상제동은 test bed에서“완성차량제동시험”을 통해 가속거리, 제동거리 등을 확인하여 적정한 제동압력과 속도를 설정하여 시험을 시행한다.

○ 비상제동 작동 기능 확인

○ 공차 및 만차 하중에서 제동거리 확인

○ 공차 및 만차 하중에서 감속도 확인(환산 값)

- 참고자료 : 제동통압력 4.5bar 기준 속도별 제동거리를 환산한 값이다.

속도 (㎞/h)	공차(공기제동)			만차(공기제동)		
	제동거리(m)	시간(초)	감속도	제동거리(m)	시간(초)	감속도
5	9	6	-	8	6	-
10	21	9	-	19	8	-
40	259(공기) 94(블랜딩)	35(공기) 15(블랜딩)	0.56㎨ 이상	188(공기), 128(블랜딩)	27(공기) 19(블랜딩)	0.56㎨ 이상

(다) 측정장비

○ 공압 측정기

○ 계측시계

○ 줄자

마. 회전정렬시험

(1) 시험조건

- 시험조건은 개발된 운송차량의 목적에 부합하는 정상적인 운전 기능과 성능검증을 위하여, 별도로 구축하는 TEST-BED(시험선로)에서 시험하는 것으로 기능시험을 완료한 차량을 차량 제어장치(또는 TTC)를 사용하여 차량을 운전하며 아래의 조건

에서 시행한다.

○ 선로조건

- TEST-BED(시험선로)가 건조한 상태이어야 한다.
- 노변/정거장 신호시스템의 위치마커에 정상적으로 차량의 위치감지가 가능하고 이를 통하여 차량을 제어할 수 있도록 한다.

○ 차량 조건

- 시험대상 차량은 2량 이상으로 조성된 편성 차량으로 하고, 차량의 집전성능 검증이 완료되어 자동운전이 가능한 상태이어야 한다.

○ 하중 조건

- 공차 및 적차 하중조건 각각 10회 이상 시험하며, 만차 조건은 편성 각 차량에 컨테이너 트레일러를 적재한 상태로 한다.

○ 전원 및 제어조건

- 제3궤조에 전원공급이 가능한 상태에서 주전원/보조전원장치를 통한 전원공급이 이루어진 상태로 한다.
- 차량제어는 TTC를 통한 제어조건에서 실시한다.

(2) 천이구간 주행안전성 시험 - 진입

(가) 목적

- 직선구간에서 천이구간 진입시 시속 6Km/h 이하로 운전시켜 천이구간에서의 주행안전성을 시험한다. 이때, 차량상태, 가이드 휠 및 기타 습동부의 접촉 또는 이상소음 여부를 확인한다.

(나) 시험방법 및 절차

○ 차량상태

- 천이 구간 궤도로 이동하여 분기 구간을 통과하는 동안 차량의 이상 소음 발생여부를 확인한다.

○ 기능 확인

- 천이 구간 궤도로 이동하여 분기 구간을 통과 후 대차의 가이드 휠, 가이드 레일 등이 원활하게 작동하는가를 체크한다.

○ 가이트 휠 마찰상태

- 천이 구간 주행 시 궤도변 가이드 레일, 대차의 가이드 휠 구조물의 마찰 여부를 확인한다.

○ 구조물 변형여부 체크

- 천이 구간 주행 시 천이 구간의 레일, 궤도변 가이드 레일의 구조물의 변형 여부를 확인한다.

○ 견인력 변화체크

- 천이 구간 궤도로 이동하여 분기 구간을 통과하는 동안 견인력의 변화 여부를 체크하고 기록하며, 이는 운행에 지장을 주지 말아야 한다.

○ 호이스트 바의 응력

- 천이 구간 궤도로 이동하여 분기 구간을 통과하는 동안 호이스트바 응력을 측정하고, 이는 운행에 지장을 주지 말아야 한다.

○ 레일반력 측정

- 천이 구간 궤도로 이동하여 분기 구간을 통과하는 동안 레일반력을 측정하고, 이는 운행에 지장을 주지 말아야 한다.

(다) 목표치

○ 차량상태

- 이상소음 없을 것

○ 기능확인

- 원활할 것

○ 가이트휠 마찰상태

- 이상 없을 것

○ 구조물 변형여부 체크

- 이상 없을 것

○ 견인력 변화체크

- 이상 없을 것 (그래프 기록)

○ 호이스트 바의 응력

- 호이스트 바(압력배관용 탄소강관) 응력: 허용응력 250N/mm2 이하

○ 레일반력 측정

- 측정값 기록

- 레일반력 : 공차 : 32.1kN, 만차 53.6kN 이하

(라) 측정장비

○ 차량상태

- 육안

○ 기능확인

- 육안

○ 가이드 휠 마찰상태

- 육안

○ 구조물 변형여부 체크

- 육안

○ 견인력 변화체크

- 스트레인게이지 및 검측장비 또는 인장력 측정장비 또는 TCS 추진력곡선

○ 호이스트 바의 응력

- 스트레인게이지 및 검측장비 또는 인장력 측정장비

○ 레일반력 측정

- 스트레인게이지 및 검측장비 또는 인장력 측정장비

(3) 정위치 정차시험

- 본 시험은 차량이 자동으로 정차위치까지 이동하며 원활한 제동 또는 VVVF 인버터를 통한 차량위치제어가 이루어져 허용 범위 내에서 정차하는지 측정한다.

(가) 시험방법 및 절차

○ 차량제어는 TTC를 통한 차량제어를 통해 차량이 천이구간을 통과 후 정위치 정차구간의 목표한 위치에 도달하도록 한다.

○ 차량의 주행 및 정차 중의 호이스트바 응력을 측정한다.

(나) 목표치

○ 차량의 정위치 정차 : ±30cm 이내

○ 호이스트 바(압력배관용 탄소강관) 응력 : 허용응력 250N/mm2 이하

(다) 측정장비

○ 스트레인게이지 및 검측장비 또는 장력측정장비

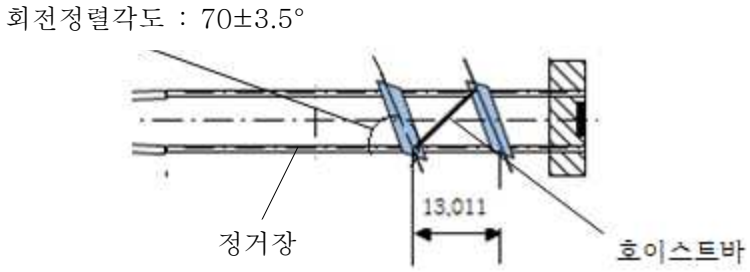
○ 줄자

(4) 회전정렬 각도 측정시험

- 본 시험은 차량이 정위치 정차한 이후 차량의 회전정렬의 각도를 측정한다.

(가) 시험방법 및 절차

○ 차량제어는 관제 TTC를 통한 차량제어를 통해 차량이 천이구간을 지난 이후 정위치 정차구간의 목표한 위치에 도달하도록 한다.



<그림 5-17> 정거장에 차량의 회전정렬 정차

○ 정거장에 정차된 차량의 회전정렬 각도를 측정한다.

(나) 목표치

○ 차량이 정차장에 정렬한 상태에서 차량의 중심과 레일중심과의 정렬각도를 측정하여 70°±3.5°(5%)이내이어야 한다.

(다) 측정장비

○ 줄자

(5) 트레일러 상하차 시험

- 본 시험은 차량이 정위치 정차한 이후 컨테이너 트레일러를 하차하고 확인한 후, 반복적으로 트레일러를 상차한다.

(가) 시험방법 및 절차

○ 차량제어는 TTC를 통한 차량제어를 통해 차량이 천이구간을 통과 후 정위치 정차구간의 목표한 위치에 도달하도록 한다.

○ 차량에 컨테이너 트레일러를 상하차 전후에 대차의 축상고 높이를 측정한다.

○ 차량에 컨테이너 트레일러의 상하차 전후에 트레일러 잠금장치의 및 트레일러 고정장치에 안착되었는지 확인한다.

○ 트레일러 적재 검지장치의 정상동작 상태를 확인한다.

(나) 목표치

○ 잠금장치 및 고정장치 확인

○ 트레일러 적재 검지장치 작동 확인

○ 축상고 높이 : 공차 54+10,-0mm, 만차 36mm+10,-0mm

(다) 측정장비

○ 줄자

○ 육안

(6) 천이구간 진출 주행안전성 시험

- 시험선 천이구간에서 6.0±1.0km/h 속도로 차량을 주행하여 주행안전성을 시험한다. 이동 중 차량 회전 부위 및 연결부에서 이상 소음이 발생하지 않아야 한다.

(가) 시험방법 및 절차

- 시험선 본선, 분기, 천이구간 및 정거장을 주행하며 시험을 시행한다.

○ 차량상태

- 천이구간 및 분기구간 주행시 차량의 이상 소음 발생여부를 확인한다.

○ 기능확인

- 천이구간 및 분기구간 주행시 대차의 가이드 휠, 가이드 레일 등이 원활하게 작동하는가를 체크한다.

○ 가이트 휠 마찰상태

- 천이구간 및 분기구간 주행시 궤도변 가이드 레일, 대차의 가이드 휠 구조물의 마찰 여부를 확인한다.

○ 구조물 변형여부 체크

- 천이구간 및 분기구간 주행시 천이구간의 레일, 궤도변 가이드 레일의 구조물의 변형 여부를 확인한다.

○ 견인력 변화체크

- 천이구간 및 분기구간 주행시 견인력의 변화 여부를 체크하고 기록하며, 이는 운행에 지장이 없어야 한다.

○ 호이스트 바의 응력

- 천이구간 및 분기구간 주행시 호이스트 바 응력을 측정하고, 이는 운행에 지장이 없어야 한다.

○ 레일반력 측정

- 천이구간 및 분기구간 주행시 레일반력을 측정하고, 이는 운행에 지장이 없어야 한다.

(나) 목표치

○ 차량상태

- 이상소음 없을 것

○ 기능확인

- 원활할 것

○ 가이트휠 마찰상태

- 이상 없을 것

○ 구조물 변형여부 체크

- 이상 없을 것

○ 견인력 변화체크

- 이상 없을 것

○ 호이스트바의 응력

- 호이스트 바(압력배관용 탄소강관) 응력: 허용응력 250N/mm2 이하

○ 레일반력 측정

- 측정값 기록

- 레일반력 : 공차 32.1kN, 만차 53.6kN 이하

(다) 측정장비

○ 차량상태

- 육안

○ 기능확인

- 육안

○ 가이트휠 마찰상태

- 육안

○ 구조물 변형여부 체크

- 육안

○ 견인력 변화체크

- 스트레인게이지 및 검측장비 또는 인장력 측정장비

○ 호이스트바의 응력

- 스트레인게이지 및 검측장비 또는 인장력 측정장비

○ 레일반력 측정

- 스트레인게이지 및 검측장비 또는 인장력 측정장비

바. 시험수행조직 및 책임

(1) 시험수행조직



사. 시험 실시 사진



<그림 5-18> 테스트베드 시험장소 전경



<그림 5-19> 회전롤러 및 가이드 롤러 조립상태 확인, 가이드롤러 위치 측정



<그림 5-20> 호이스트바 길이 측정 및 축상고 높이 측정



<그림 5-21> 집전기 설치 및 동작상태 확인 및 집전 플레이트 접촉력 확인

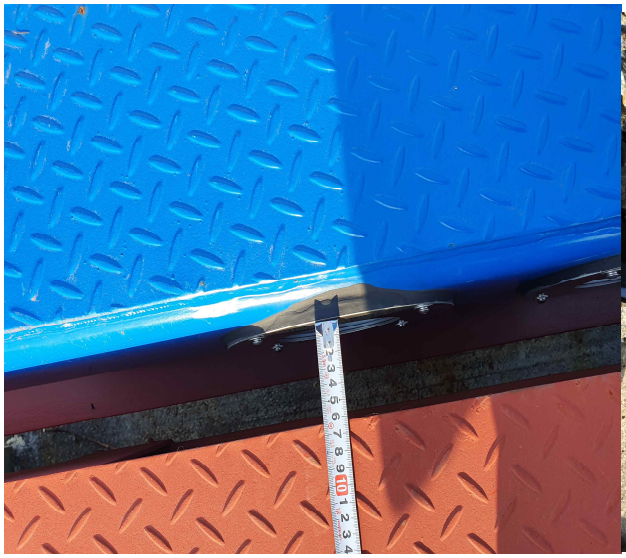


<그림 5-22> 절연저항 측정, 출력전압 및 입력신호 확인





<그림 5-23> 천이구간 주행 시험




<그림 5-24> 차량과 정거장 간격(60㎜) 및 정거장 지역 궤도간격(9.679㎜) 측정을 통한 회전정렬 각 계산(70도)




<그림 5-25> 5㎞/h 가속 후 비상제동 시험 실시




<그림 5-26> 정위치 정차 시험(수동)



<그림 5-27> 천이구간 횡력 측정



<그림 5-28> 호이스트바 응력 측정

아. 시험기록 및 분석의견

□ **상태확인시험**

표1. 상태확인 시험결과

(2021. 11. 24. 실시)

시험환경	온도 Temperature	습도 Humidity	날씨 Weather
	20.8 ℃	22 % R.H	맑음

구분	검사 항목	기준치	결과	비고
외관검사	회전롤러 조립 및 윤활여부	양호할 것	양호	
	가이드휠 및 롤러 조립상태	양호할 것	양호	
	호이스팅크 조립상태	양호할 것	양호	
	트레일러 고정장치	정상적 작동	-	추후 확인 필요
측정검사	가이드휠	L1: 430±2mm L2: 1,470±3mm	430 mm 1,480 mm	
	호이스트바	11,176±3mm	11,175 mm	
	측상고 높이	공차: 54 +10/-0mm 만차: 36 +10/-0mm	59 mm	트레일러 상차후 측정
집전장치	설치검사	양호할 것	양호	
	동작검사	정상 작동할 것	양호	
	집전플레이트 접촉력	12.2~14.3kgf (작동거리: 363mm)	13.9 kgf	
	절연저항	20MΩ 이상	양호	
전원/제어장치 동작	제어전압 확인	DC 110V +10/-30%	DC 100.9V	
	입력신호 확인	정상적 작동	양호	헤드램프로 확인

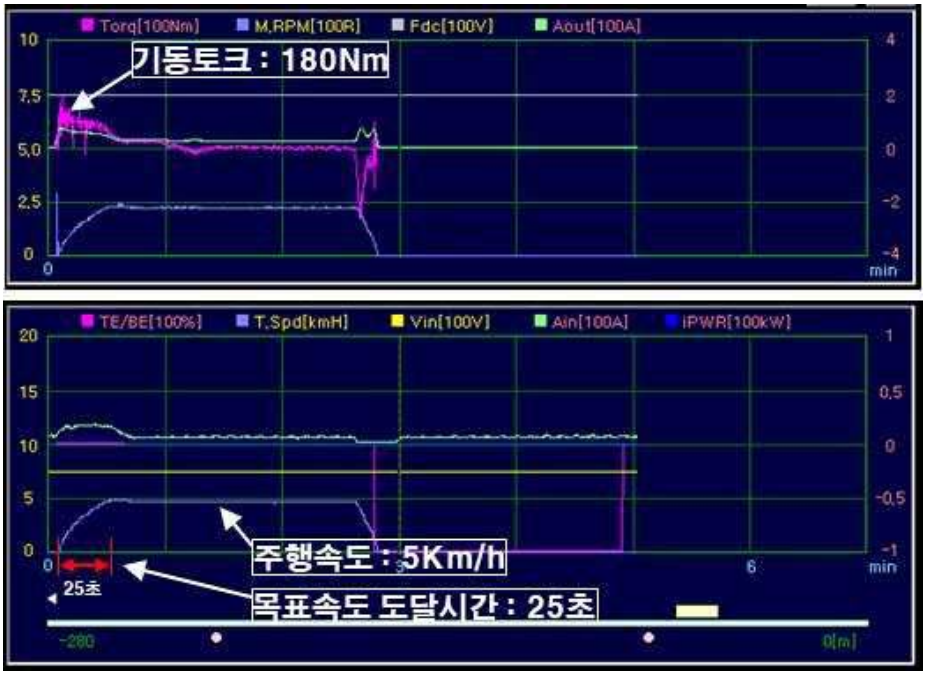
<그림 5-29> 테스트베드 시험기록서 중 상태확인 시험결과 기록 부분

○ Test-Bed 직선 구간에 정차한 상태에서 차량의 상태를 확인하고 측정하였으며, 모두 기준값을 만족하였다.

□ 기능시험

○ 역행 시험

- 1량 단독 운전 제어 상태에서 출력 및 제동시험을 시행하였다.



<그림 5-30> 역행 시험시 데이터 (차상장치 내 데이터 수집 장치 화면)

· 정지상태에서 기동토크 180Nm를 인가하였으며, 5km/h 도달시간은 약 22~25초로 측정됨.

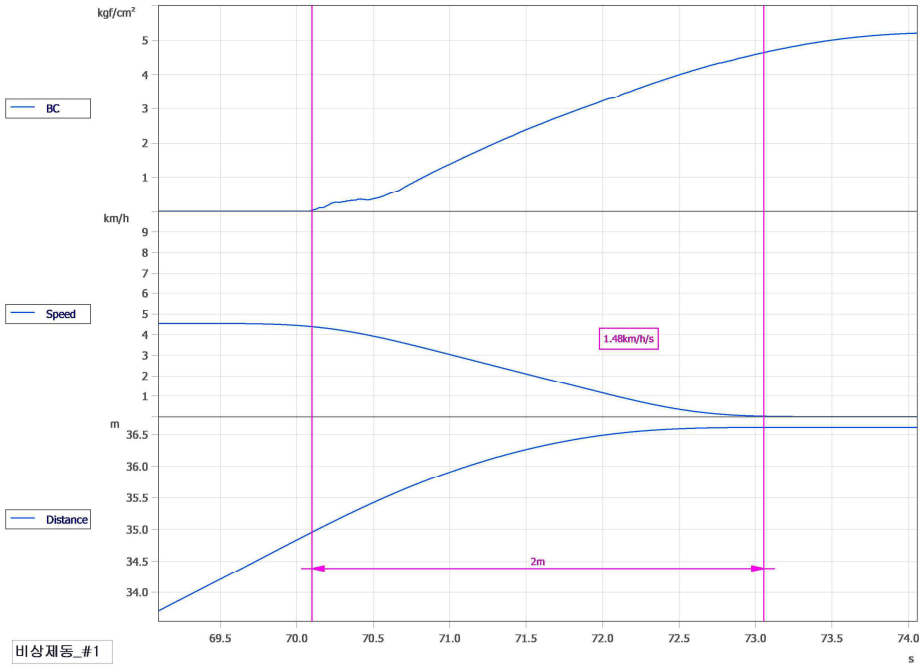
· 이는 TOS 개발 지연에 따른 2량 편성 차량 중 1량으로 편성을 가속한 결과이며, 공차 상태 의 측정값이므로 결과는 참고로 함.

○ 제동 시험

표2. 비상제동 시험결과

시험항목	판정기준	시험결과		비고
		1회	2회	
비상제동	기능확인	정상 작동	정상 작동	
	제동거리 21m	2m	2m	
	감속도 10km/h/s (0.4m/s^2)	1.48km/h/s	1.62km/h/s	

<그림 5-31> 테스트베드 시험기록서 중 비상제동 성능시험 결과기록 부분



<그림 5-32> 비상제동시 제동압력 및 차량속도 변화선도

· 차량속도 5km/h에서 비상제동 체결시 평균 제동시간은 3.3초, 제동거리는 2m로 측정됨.

· 1량의 제동력으로 2량을 부담한 상태이므로 결과는 참고로 함.

○ 차량TTC(VTTC) 통신 시험

- 편성 2량 중 1량을 기동하여, 해당 차량의 VTTC와 TCS의 통신 기능에 관해 확인, 검증을 시행함.

<그림 5-33> 테스트베드 시험기록서 중 차량통신시험 결과기록 부분

- VTTC 통신시험 결과, 기준치 범위내에서 정상 동작함을 확인하였으나, TOS 개발 지연에 따라 편성중 1량 운행에 의한 시험이 불가피하였음.

- TOS 개발 완료후 공차 및 만차 상태에서 재시험이 필요하다고 판단됨.

□ 회전정렬 시험

○ 편성 2량 중 1량을 기동하여 천이 구간 주행 및 회전정렬 기능을 확인함.

(2021. 12. 3. 실시)

시험환경	온도 Temperature	습도 Humidity	날씨 Weather
	20.8 ℃	22 % R.H	맑음

구분	점사 항목	기준치	결과	비고
천이구간 주행안정성 시험 (진입)	차량상태	이상 소음 없을 것	양호	
	기능확인	작동이 원활할 것	양호	
	레일변형여부	이상이 없을 것	양호	
	구조물 변형여부	이상이 없을 것	양호	
	호이스트바 응력	재료 허용응력 이내	2.556 ~ 4.039N/㎟ -2.423 ~ -7.856N/㎟	보고서 참조
	레일반력	80kN 이하	18.118 ~ 27.486N/㎟	보고서 참조
정위치 정차시험	정위치 체크	± 300mm 이내	-	
	호이스트바 응력	재료 허용응력 이내	-	
회전정렬	회전정렬 각도	70 ±3.5° (5% 이하)	70°	
상하차	트레일러 상하차 기능	잠금/고정장치 작동	미실시	
천이구간 주행안정성 시험 (진출)	차량상태	이상 소음 없을 것	양호	
	기능확인	작동이 원활할 것	양호	
	레일변형여부	이상이 없을 것	양호	
	구조물 변형여부	이상이 없을 것	양호	
	호이스트바 응력	재료 허용응력 이내	-8.841 ~ 0.857N/㎟ -19.690 ~ -12.710N/㎟	보고서 참조
	레일반력	80kN 이하	20.067 ~ 29.963N/㎟	보고서 참조

<그림 5-34> 테스트베드 시험기록서 중 회전정렬 시험결과 기록 부분

- 천이구간 진출입시 주행안전성은 호이스트바 응력, 레일반력, 곡선 추종성 등이 매우 양호한 것으로 확인함.

자. TUV에 제출된 시험결과서 리스트

(1) 구성품시험

- KT1906-01_인터모달식 운송차량 차체 하중 시험보고서
- KT1906-02 인터모달식 운송대차 하중 시험보고서
- EKRD-18P70-1032 인터모달 추진제어장치 시험성적서
- EKRD-18P70-3032 인터모달 차량제어장치 시험성적서
- EKRD-18P70-2032 인터모달 보조전원장치 시험성적서
- ESMA-001 오일프리 공기압축기 시험성적서
- ESMA-003 트윈타워 공기건조기 시험성적서
- ESMA-006 제동작용장치 시험성적서
- ESBB-005 답면 주차제동 유니트 시험보고서
- 1808P001A 견인전동기 시험성적서

(2) 완성차시험

- RND IT-008-002 인터모달 운송차량 완성차량 시험성적서
- RND IT-008-003 인터모달 운송차량 완성차 시험 보고서

(3) Test-Bed 시험

- TLAR-21-50_인터모달 운송차량 Test Bed 시험 결과 보고서
- V01-20211203 인터모달 추진제어장치 조합시험기록서
- AT-SW04-21-012 인터모달 운송차량 Test Bed VTTC 통신시험 결과서

차. TUV 시험결과 최종 검토의견

- 국제 시험평가 및 인증기관인 TUV Rheinland가 연구 참여업체의 검증결과를 확인하고 시험에 입회하여 시스템의 기능과 성능목표 달성여부를 객관적으로 평가함.
- 평가 및 검증은 운송차량의 성능 검증 및 양산 제작시 품질 확인을 위하여 개발된 시험기준 및 절차를 기준으로, 이미 수행된 구성품 단위의 시험결과를 참조하였으며, 시험선로 시험을 통해 최종 평가와 검증을 시행함.
- 평가 및 검증과정에서 개발 참여 기관들이 보유한 시험설비의 제약과 시험선로(Test-Bed)의 연장 길이 및 노선특성 등의 한계로 인하여, 시험절차서에 포함된 일부 항목의 시험이 실시되지 못하였거나 시험 자체가 불가능한 경우도 관찰되었음.
- 그러나 사용된 시험절차서는 상용화에 대비한 양산 차량의 성능 및 품질확보를 전제로 개발된 것인 만큼, 시험결과는 개발시스템의 검증목적을 달성하는 데 문제가 없는 것으로 판단됨.
- TOS 개발지연에 따라 편성단위(2량 연결)의 전량 구동 운전 대신 개별 차량으로 시험하였을 뿐만 아니라, 시험선로(Test-Bed)의 길이 제한으로 시험 속도를 시속 5km/h 정도로 제한할 수밖에 없었음. 따라서 상용화에 필요한 일부 항목에 대한 시험 및 검증은 불가능하였음.
- 그러나 위에 언급한 제한된 시험설비와 시험선로(Test-Bed)의 제약에도 불구하고, 인터모달 차량시스템의 필수 요구 기능과 성능에 대한 검증이 성공적으로 이루어졌으며, 검증결과는 개발 목표로 제시된 요구수준에 전반적으로 부합함을 확인하였음.
- 단, 상용화시 실제 해당 노선에서 발생할 수 있는 기존 설비들과의 인터페이스 및 신뢰성을 검증하기 위해 충분한 기간 시험 운전이 이루어져야 함은 물론임.

참 고 문 헌

1) 건설교통부(2007), 고시 제2007-539호『국가기간교통망계획(2000～2019) 제1차 수정』 주요내용

2) 건설교통부(2007),『국가기간교통망계획(2000～2019)』

3) 관계부처 합동(2014),『제2차 녹색성장 5개년 계획』

4) 관계부처 합동(2016),『제3차 지속가능발전 기본계획』

5) 국토교통부(2016), 국토교통과학기술진흥원,『2017년도 국토교통과학기술 연구개발사업시행계획』

6) 국토교통부(2017),『2017국가물류시행계획』

7) 국토해양부(2011),『제1차 지속가능 국가교통물류발전 기본계획(2011～2020)』

8) 김성민, 이승환, 김명룡(2016), Three-Level H-Bridge 컨버터를 이용한 철도차량용 지능형 변압기의 구조 및 제어, 한국철도학회

9) 김용호, 김백(2014), PWM 컨버터 차량의 역률 제어를 통한 급전선로의 무효전력 보상, 한국철도학회

10) 김정현, 김상훈, 신한철, 이세훈(2011), 철도차량의 주행에너지 절약을 위한 열차 주행 패턴 모델링, 한국컴퓨터정보학회

11) 노홍승, 오재학, 정승주, 문진수, 민연주, 장소영(2010), 경부축 대량화물 자동수송체계 구축방안 연구, 한국교통연구원 기본연구 보고서

12) 대한상공회의소(2016),『2017년 국내외 물류산업통계』Vol.15

13) 박상우(2003), “게이트솔루션”,「컨테이너터미널」, 통권22호

14) 박성근(2015), 철도 통신 채널을 위한 MIMO 시스템 적용에 관한 연구, 서울과학기술대학교

15) 박종원, 신재영, 김응섭, 김용진(2010), 자동화 컨테이너 터미널의 운영시스템을 위한 ATC 독립성 유지 시스템 설계, 한국항해항만학회

16) 박주훈, 김희식, 홍상아, 장선영(2015), 국내 열차제어시스템의 용어 정의에 관한 연구, 한국철도학회, 한국철도학회 추계학술발표대회논문집, pp.601～606.

17) 박찬배, 이형우, 이병송(2012), 철도차량용 매입형 영구자석 동기전동기의 영구자석 와전류 손실 분석 연구, 한국철도학회

18) 박한얼, 송중호(2010), 교류전기철도 급전시스템의 전기품질 향상을 위한 단상

하이브리드 능동필터, 한국철도학회

19) 방희석(2005), 국제운송론, 박영사,

20) 서승삼, 한성우, 변기식(2015), 도시철도 직류급전용 더블컨버터의 출력특성 향상을 위한 모드 변환 시 점호각 제어 연구, 한국철도학회

21) 서창석(2017), 철도차량의 공전/활주 저감을 위한 제어시스템 최적화에 관한 연구, 한양대학교

22) 성낙선(2005), “eSeal의 국제표준화 동향 및 국내 현황”, 한국전자통신연구원 RFID 시스템 연구팀

23) 소민섭, 노태호, 한국통신학회 2017년도 동계종합학술발표회 LTE-R기반 차상단말기 시스템 개발에 관한 연구논문

24) 신경호, 신덕호, 이재호, 이강미(2011), 초고속자기부상열차 절대위치검지시스템 인식구조 설계 및 분석, 한국철도학회

25) 신호기술, 용인 EverLine RF-CBTC SYSTEM

26) 싸이버로지텍 컨소시엄, “RFID 기반 항만물류 효율화 시범사업 최종보고자료”

27) 안진웅, 이재호, 조황, 이기서(2008), 철도 차량 간 통신에 적용 가능한 SNMP 기반 전력선 통신 시스템의 운영 정보 베이스 설계, 한국철도학회

28) 안치형(2015), RFID 시스템 이용한 열차 위치검지용 빔폭 가변형 RFID 리더안테나, 한국철도학회

29) 양창호 외(2003), “차세대 컨테이너터미널 운영시스템의 기술개발 방향과 전략수립에 관한 연구”, KMI

30) 양현석(2007), “게이트자동화시스템의 구축방안 및 효과분석에 관한 연구”, 중앙대학교

31) 윤용기, 김민수, 오세찬, 정규식, 최훈(2015), 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 개발현황, 철도저널, Vol.17, No.2, 2015

32) 이석용 외(2006), “RFID 기반 컨테이너터미널 게이트 통과 자동화 시스템 개발에 관한 연구”, 동명대학교

33) 이우동, 정종덕(2013), 유지보수 효율향상을 위한 전동차 제어 및 감시시스템 표준화 방안 연구, 한국철도학회, pp.241-245

34) 이주호(2016),『중국 13·5계획 시기 중국물류의 발전전망과 우리의 활용전략』, 한국해양수산개발원

35) 이진희, 박태원(2012), 차세대 고속철도의 집전성능 예측 및 향상 방안에 관한 연구, 한국철도학회

36) 인터모달 자동화물운송시스템 기술개발(1단계)연구단 진도보고서 2017.7

37) 장경열 외(2006), “항만컨테이너터미널 게이트 입/출입 관리에서의 RFID 적용에 관한 실증 연구”, 한국IT서비스학회

38) 장덕진, 강송희, 송달호(2009), 차세대 고속전철에 적용할 IT 및 스마트센서 기술의 수용성에 관한 조사 연구, 한국철도학회

39) 전형진, 이주호, 김우선, 김찬호(2010),『저탄소 녹색성장을 위한 국가수송체계 개편방안 연구』, 한국해양수산개발원

40) 정우혁, 박재현, 노경원, 조흥엽, 김완년(2013), IEC-61375 MVB 기반 열차도어제어기(DCU) 개발 논문, 한국철도학회

41) 정은희, 이병관, 정이나(2013), 화물 수송의 최적화를 위한 ITMS(Intelligent Transport Monitoring System) 설계, 한국정보통신학회

42) 조용현(2014), 집전성능 향상을 위한 팬터그래프-전차선의 주요 설계 파라미터분석, 한국철도학회

43) 차무현, 이재경, 백진기(2011), 승객 유동을 고려한 DEVS 기반 자기부상열차 운행 시뮬레이션, 한국시뮬레이션학회

44) 최형림 외(2006), “RFID 기반의 자동화 게이트시스템 개발”,「해양정책연구」

45) 최형림 외(2005), “유비쿼터스 컨테이너터미널구현을 위한 무정차 자동화게이트 시스템 기술개발에 관한연구”, 한국지능정보시스템학회

46) 최형림 외(2005), “자동화 컨테이너터미널 개발 전략에 관한 연구”,「해운물류연구」

47) 최형림, 노홍승, 민연주, 박용성, 이창섭(2011), [특집기사Ⅳ]국내 적용 가능한 지하 화물운송 시스템. 대한토목학회지, 59(8), 35-43.

48) 한국교통연구원(2014),『수송비 절감과 화물운송체계 혁신을 위한 인터모달 자동화물운송 시스템 개발 기획보고서』

49) 한국교통연구원(2014.),『2014년도 국가교통조사 및 DB 구축사업 중 전국 화물 O/D 보완갱신』

50) 한국교통연구원(2015),『항만도시형 친환경 공공물류 자동화시스템 구축 타당성 연구 보고서』

51) 한국교통연구원(2015),『국가물류기본계획(2016～2025) 수립 연구』

52) 한국교통연구원(2015a),『2013 국가물류비 조사 및 산정』, 한국교통연구원 기본연구 보고서

53) 한국교통연구원(2015b),『2015년도 국가교통조사 및 DB 구축사업 중 전국 화물 O/D

보완갱신』

54) 한국교통연구원(2016a), 『2014 국가물류비 조사 및 산정』, 한국교통연구원 기본연구 보고서

55) 한국교통연구원(2016b), 『2016년도 국가교통조사 및 DB 구축사업 중 전국 화물 O/D 보완갱신』

56) 한국정보통신산업연구원(2017), 2016년도 정보통신공사업 활성화 기반구축 표준공법 개발연군(철도신호설비)

57) 해양수산부 차세대성장동력사업, “지능형항만물류시스템기술개발 중 무정차자동화게이트시스템 기술개발”, 「3차년도 최종보고서」.

58) 홍동희 외(2003), “자동화 항만에서의 게이트 구조물 및 최적 운영방식 설계”, 「정보처리학회지」

59) 홍동희(2010), 항만 야드 자동화크레인(ATC)에서 효율적인 컨테이너번호 인식시스템 개발, 한국컴퓨터정보학회

60) 홍석곤(2013), 무인 궤도 차량의 안전성 제고를 위한 UWB 레이더 기반 적응형 CFAR 알고리즘, 인하대학교

61) 황환웅, 김정태, 이강원, 윤지훈(2015), 철도차량용 분산형 제어시스템을 위한 네트워크 토폴로지 분석, 대한전자공학회,

62) TSB, “무정차 게이트 시스템 연구 개발”, 2005.

63) "TTA TTAK.KO-06.0390, 재난안전무선통신망(PS-LTE): 기능적 요구사항, 2015.06

64) TTA, TTAI.KO-06.0369, “LTE 기반 철도통신 기능 요구 사항”, 2014.10

65) TTA, TTAI.KO-06.0370, “LTE 기반 철도 통신 사용자 요구 사항”, 2014.10

66) TTA, TTAI.KO-06.0407, “LTE 기반 철도 통신 시스템 요구 사항(일반·고속 철도)”, 2015.12

67) A. J. Van Binsbergen, R. Konings, L. A. Tavasszy, & J. H. R. Van Duin(2014). Innovations in intermodal freight transport: lessons from Europe. In Papers of the

68) Alattar, M. A., Karkare, B. and Rajhans, N., 2006. Simulation of Container Queues for Port Investment Decisions. In: Proceedings of 6th International Conference

69) Anton Bernaerd, Camco Technologies, Securing the Gate, Container Shipping Security Conference, 2003.

70) BOMBARDIER Test Report Doc. No. 3EGM007200D4078

71) BRISKORN, D. and HARTMANN, S., 2006, Simulating dispatching strategies for automated container terminals. In: Operations Research Proceedings 2005, September 7

72) Camco Technologies, SuperGate: Automatic License Plate and Container Identification System, 2004.

73) Camco Technologies, SuperGateFlyer

74) Choi, Y., 2011, New software for simulating truck-shovel operation in open pit mines. Journal of the Korean Society for Geosystem Engineering, 48(4), 448-459.

75) Choi, Y., Park, S., Lee, S., Baek, J., Jung, J. and Park, H., 2016, Development of a Windows-based Program for Discrete Event Simulation of Truck-Loader Haulage

76) DRILLING SYSTEMS. Port cranes. 2010 [1 April 2010]. Available from: http:// www.drillingsystems.com/products/Port_Cranes.

77) DUINKERKEN, M. B., OTTJES, J. A. and LODEWIJKS, G., 2002, The application of distributed simulation in TOMAS: Redesigning a complex transportation model. In: 20

78) ERTMS/ETCS, “SUBSET-093, GSM-R Interfaces Class 1 Requirements,” issue 2.3.0, 2005.10.

79) GAMBARDELLA, L. M., RIZZOLI, A. E. and ZAFFALON, M., 1998, Simulation and planning of an intermodal container terminal. Simulation, 71(2), 107?116.

80) GRUNOW, M., GU¨ NTHER, H.-O. and LEHMANN, M., 2004, Dispatching multiload AGVs in highly automated seaport container terminals. OR Spectrum, 26(2), 211?35.

81) HA, B.-H., PARK, E.-J. and LEE, C.-H. 2007. A simulation model with a low level of detail for container terminals and its applications. In: 2007 Winter Simulati

82) HARTMANN, S., 2004, Generating scenarios for simulation and optimization of container terminal logistics. OR Spectrum, 26, 171?192.

83) HENESEY, L., 2004, A multi agent based simulator for managing a container terminal, In: 2nd European Workshop on Multi-Agent Systems, December 16?17, Barcelona

84) HENESEY, L., ASLAM, K. and KHURUM, M., 2006, Task coordination of automated guided vehicles in a container terminal. In: 5th International Conference on Compute

85) Hi-Tech Solutions, SeeGate: Container Code Recognition System, 2002.

86) Hi-Tech Solutions, SeeGate: New System Design, 2004.

87) J. C. Rijsenbrij, B. A. Pielage, & J. G. S. N. Visser(2006). State-of-the-art on automated (underground) freight transport systems for the EU-TREND project. Del

88) K.H. LIM, “The Electronic Container Seal System-Automated Seal Inspec- tion,” Port Technology International, 2005.

89) KHOSHNEVIS, B. and ASEF-VAZIRI, A. 3d virtual and physical simulation of automated container terminal and analysis of impact on in land transportation. 2000 [5

90) Ku, Du-san and Cho, Chanhyouk.(2009), CPM Approach for the Analysis of Loading Plan in Roro Terminal, Korea International Commercial Review, 2009

91) LAU, H., CHAN, L. and WONG, R., 2007, A virtual container terminal simulator for the design of terminal operation. International Journal on Interactive Design a

92) LEE, T.-W., PARK, N.-K. and LEE, D.-W., 2003, A simulation study for the logistics planning of a container terminal in view of scm. Maritime Policy and Manageme

93) LEGATO, P. and MAZZA, R. M., 2001, Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation. European Journal of Operatio

94) LIU, C. I., JULA, H. and IOANNOU, P. A., 2002, Design, simulation, and evaluation of automated container terminals. IEEE Transactions on Intelligent Transportat

95) Merkuryev, Y., Tolujew, J., Bl?mel, E., Novitsky, E. G., Viktorova, E., Merkuryeva, G. and Pronins, J., 1998, A Modelling and Simulation Methodology for Managi

96) Michael Bieschke, State of the art gate technology and future developments, HPC(Hamburg Port Consulting), 2004.

97) NAM, K.-C., KWAK, K.-S. and YU, M.-S., 2002, Simulation study of container terminal performance. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 128(

98) OTTJES, J. A., Duinkerken, M. B., Evers, J. J. M., Dekker, R., 1996, Robotised inter terminal transport of containers. In: Proceedings 8th European Simulation S

99) OTTJES, J. A., HENGST, S. and TUTUARIMA, W. H., 1994, A simulation model of a sailing container terminal service in the port of Rotterdam. In: Proceedings of th

100) RIZZOLI, A. E., FORNARA, N. and GAMBARDELLA, L. M., 2002, A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals. Mathematics and Computers

101) Sakuno, T & Hoshi, Y.(2010), Railway Electric Power Storage System (E3Solution System) Utilizing Lithium-Ion Batteries, 2010

102) Science Applications International Corporation, “Container Seal Technolo- gies and Processes,” Cargo Handling Cooperative Program, 2003.

103) Sturgul, J. R., 2000, Mine Design: Examples using Simulation. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, USA, 7-32.

104) VEENSTRA, A. W. and LANG, N., 2004, Economic analysis of a container terminal simulation. International Journal of Logistics Research and Applications: A Leadin

105) VIS, I. F. A. and HARIKA, I., 2004, Comparison of vehicle types at an automated container terminal. OR Spectrum, 26(1), 117?143.

106) Visy, Terminal Gate.

107) WARMERDAM, J., KNEPFLE´ , M., BEKEBREDE, G., MAYER, I. and BIDARRA, R., 2007, The serious game simport: Overcoming technical hurdles in educational gaming. In:

108) WARMERDAM, J., KNEPFLE´ , M., BIDARRA, R., BEKEBREDE, G. and MAYER, I., 2006, Simport: A multiplayer management game framework. In: Proceedings of 9th Internat

109) YUN, W. Y. and CHOI, Y. S., 1999, A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach. International Journal of Produ

110) http://www.bimodaltram.com/

111) http://www.cargocap.com

112) http://www.cargotunnel.com/

113) http://www.denys.be/nl,

114) http://www.freightshuttle.com/concept/

115) http://www.hitachi-rail.com

116) http://www.koti.re.kr/

117) http://www.kric.go.kr

118) http://www.krri.re.kr/

119) http://www.megarail.com

120) http://www.skytechtransport.us/

121) http://www.tubexpress.com/index.htm