R&D
06교통핵심B01

발간등록번호
11-B551201-000084-01

교통물류연구사업

R&D-06교통핵심B01

# 신에너지 바이모달 수송시스템 개발 최종보고서

2014. 3. 5.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / (주)한국화이바
/ 현대다이모스(주)
/ (주)우진산전
/ 현대로템(주)
/ 현대엔지니어링(주)
/ (주)한터기술
/ (주)케이씨에스
/ 길정보시스템(주)

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

신에너지 바이모달 수송시스템 개발 최종보고서

2014. 3. 5.

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

비매품
93550
9 788997 667390
ISBN 978-89-97667-39-0

## 주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

# 제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "신에너지 바이모달 수송시스템 개발"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2014. 3. 5.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 목재균
공동연구기관명 : (주)한국화이바
공동연구책임자 : 조세현
공동연구기관명 : (주)우진산전
공동연구책임자 : 이정식
공동연구기관명 : 현대로템(주)
공동연구책임자 : 김철호
공동연구기관명 : 현대다이모스(주)
공동연구책임자 : 김용기
공동연구기관명 : 현대엔지니어링(주)
공동연구책임자 : 김경만
공동연구기관명 : (주)한터기술
공동연구책임자 : 류희문
공동연구기관명 : (주)케이씨에스
공동연구책임자 : 박규원
공동연구기관명 : 길정보시스템(주)
공동연구책임자 : 최유진

# 보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>06교통핵심<br>B01</td><td>해 당 단 계<br>연 구 기 간</td><td>2003.6.30~<br>2014.3.5.</td><td>단 계 구 분</td><td>최종년도</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">교통물류연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위<br>과 제 명</td><td colspan="4">신에너지 바이모달 수송시스템 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>목재균</td><td>총연구기간<br>참 여<br>연구원수</td><td>총 : 1,637명</td><td>총연<br>구비</td><td>정부 : 48,393,000 천원<br>기업 : 17,428,270 천원<br>상대국 :47,855 천원<br>계 :65,869,125 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및<br>소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도기술연구원<br>신교통연구본부</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)한국화이바, (주)우진산전,<br>현대로템(주), 현대다이모스(주),<br>현대엔지니어링(주), ㈜한터기술,<br>㈜케이씨에스, 길정보시스템(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
</table>


본 과제에서는 바이모달 트램과 운영인프라를 효율적으로 결합시켜 신교통형BRT로 보급될 수 있도록 핵심기술 및 시스템 통합기술을 개발하였다. 따라서 우리나라의 환경 및 활용성 등을 감안하여 바이모달 트램의 핵심기술 확보, 운영효율화 및 승객안전을 위한 필수항목을 중심으로 연구개발을 수행하였다.

차량은 전체의 승차면적을 저상화하여 정거장에서 수평승하차가 가능하도록 하였으며, 모든 바퀴가 구동/조향되도록 하여 긴 축거에 따른 넓은 저상면을 제공하면서도 일반도로 주행이 가능하도록 하였다. 이것은 현재의 개발차량은 1굴절 2량편성 차량이지만 향후 시장의 요구에 따라서 30m 이상의 다관절 차량구성을 가능하도록 하는 핵심기술이다. 차량은 조향, 제동, 구동 및 상태진단을 위하여 컴퓨터화 되었으며, 노면에 설치된 자기센서가 생성하는 패턴 및 배열에 따른 디지털맵에 의하여 자동으로 가속, 정속, 감속 및 정거장에서의 정밀정차가 가능하도록 하였다. 또한 친환경 대중교통을 구현하

기 위하여 직렬형 하이브리드 추진시스템을 장착하였으며, 대용량 배터리 구동으로 약 10km 영업거리를 확보하도록하여 지하도로 및 대규모 상업시설 내까지 운영할 수 있도록 하였다.

전용선로는 현장타설 및 프리캐스트 시공방법을 근간으로 차량의 자동주행 특성을 반영하였고, 도심지 열섬효과 및 차량소음 감소를 위한 잔디식재 적용기술을 개발하였다. 고가구조물은 차량의 자동운전 주행특성에 적합하고 상부자중 경감을 통한 장경간화, 급속시공 및 도시 미관향상 등을 위하여 Open 슬래브를 채택하였다. 정거장은 모듈화, Plug-in 조립방식으로 현장작업을 최소화시켰으며, 무인운영 방식으로 운영센터에서 모든 조작이 가능하도록 하여 운영비 절감 및 승객안전을 향상시켰다. 운영관리시스템은 차량-정거장-운영센터, 운전자-승객-운영관리자 간의 실시간, 쌍방향 통신을 통하여 운행효율성, 차량과 승객안전 및 편의성을 향상시켰다. 유지관리시스템은 차량 고장시 신속한 대응이 가능하도록 하였으며, 강우나 강설시 이에 대한 실시간 모니터링을 통하여 차량의 운행안전을 확보하도록 하였다.

차량 및 운영인프라는 구성품 시험, 시험선에서의 통합시험 및 국내의 다양한 운영환경에서의 시범운행을 실시하면서 실용화를 위한 기반기술을 확보하였다.

바이모달 트램은 철도와 버스가 가지는 단점을 최소화하고, 장점을 극대화한 저비용·고품질의 신교통수단이다. 버스의 경제성, 유연성과 철도의 정시성을 결합하고, 저렴한 인프라 비용 대비 자동운전과 정밀정차, 수평승하차 및 접근성 제공 등 고품질의 대중교통 서비스를 제공함으로써 도시 규모와 수송수요, 지역적 특성 등에 따른 다양한 사회적 요구를 해소하는데 기여하게 될 것이다.


| | | |
|---|---|---|
| 색 인 어 (각 5개 이상) | 한 글 | 바이모달 트램, 압축천연가스 하이브리드, 자기안내궤도, 초저상, 정밀정차 |
| | 영 어 | Bimodal Tram, CNG Hybrid, Electromagnetic guidance, Non-step low floor, Precision docking |

# 요 약 문

## Ⅰ. 제목

신에너지 바이모달 수송시스템 개발

## Ⅱ. 연구개발과제 개요

대도시의 인구집중과 활발한 경제 활동으로 교통수요가 폭발적으로 증가하였고 도로교통의 한계를 극복하기 위해 서울을 비롯한 대도시에서 지하철건설이 이루어져 왔으며, 현재에도 많은 지자체들이 철도교통 건설을 강력히 요구하고 있다. 하지만 과다한 건설비용과 운영적자에 직면하게 되었으며, 지자체에서는 건설비지원이 가능한 경량전철을 대상으로 다양한 종류의 철도시스템을 검토하게 되었다.

현재 요구되는 대중교통시스템은 운영의 유연성, 접근성, 시스템 구축비용 절감 그리고 원하는 시간에 이용할 수 있는 정시성을 갖추어야 한다. 자가용 수요를 대중교통으로 흡수하면서 도로교통(Surface Traffic)의 혼잡과 환경오염 등 막대한 사회비용을 절감하기 위해서는 저렴한 건설비용의 한계를 극복할 수 있으면서 버스의 유연성과 철도의 정시성, 친환경성 등 고품질의 서비스를 제공할 수 있는 신개념의 대중교통수단 개발이 필요하다.

본 연구로 개발되는 바이모달 수송시스템은 철도가 갖는 정시성의 운행체계와 버스가 갖는 접근성을 혼합한 최적의 대중교통시스템의 개발을 최종 목표로 한다.

## Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

본 사업의 최종목표는 버스의 유연성과 철도의 정시성 및 친환경성을 결합한 신에너지 바이모달 저상굴절차량 및 운영/인프라 개발이다. 시작차량은 구성품 개발 및 차량조립 후 시험선에서 시험평가/성능 모니터링을 수행하였다. 또한 시제 1.2호 차량을 개발 제작하여 시험선 및 공로상에서 시범운행 하였다.

| 연구 범위 | 주요 업무 및 결과 |
|---|---|
| 시스템 엔지니어링 | - 사업총괄관리<br>- 핵심기술개발: 하이브리드 추진, AWS, 자동운전, VCU, 진단<br>- 차량 및 구성품의 평가<br>- 차량과 인프라 요소의 시험선 통합 및 시험평가 |

| | |
|---|---|
| 시작차량 개발 | - 시작차량의 설계 및 제작<br>- 시험평가: 추진, 제동, 조향, 자동운전, 온도, 승차감, 진동<br>- 개선사항 검증: 소음, 차체, 내장, 추진, 장치류<br>- 고장이력 관리 |
| 시제1,2호 차량 개발 | - 시제 1,2호 차량 설계 및 제작<br>- 시제 1,2호 차량 제작사양 검증<br>- 시제 1,2호 성능시험: 추진, 제동, 자동운전<br>- 시제차 차량 고장 이력관리 |
| 인프라/시험선/노선 | - 인프라 요소의 시험선 통합<br>- 시험선에서의 차량주행 및 시스템 운영<br>- 시범운행 노선의 설계/시공/운영<br>- 시험선 및 시범운행 노선에서 시작차, 시제 1·2호 운행 |

## Ⅵ. 연구성과 활용계획

개발 된 바이모달트램은 일반도로에서는 굴절버스로, 전용노선에서는 자동운전 형태의 트램으로 운용될 수 있는 고무차륜 트램이다. 특히 차량기지는 도심지 외각에 설치하고 자동운전 구간이 필요한 도심지 혼잡지역에 전용노선을 건설할 수 있다. 이때 바이모달 트램은 차량기지로부터 전용노선까지는 일반 굴절버스 모드로 이동하고, 전용노선에서는 자동운전하는 트램으로 활용할 수 있다.

바이모달트램의 실용화를 위하여 시범운행에서 발견된 오류 및 고장원인을 반영하여 개선하고, 개발기간 동안 강화된 차량관련 법규를 만족하도록 시제차량을 재제작하여 안전성과 신뢰성을 검증할 계획이다. 재 제작차량의 성능과 가격은 시장 경쟁력을 갖도록 통제될 것이다. 이와 동시에 정부의 실용화를 위한 지원제도가 확립되어야 한다. 또한 연구개발 성과에 대한 실용화 벽을 극복하기 위하여 정부주도 사업을 통한 초기 수요가 요구된다. 이런 계획은 실용화 기반과제의 기획 및 수행을 통하여 완성될 수 있다.

# Summary

## Ⅰ. Title

Development of Bimodal Transportation System

## Ⅱ. Introduction

Bus system has been one of major public transportations but tends to cover local areas recently. Bus service has the advantage of flexibility of the routes delivering passengers to the destination while it can not meet the scheduled arrival in general. It is required for public transportation to provide reliable travel time and have easy accessibility as well as economical efficiency. In order to meet such requirements, a public vehicle system with two modes is developed through the present project which runs on the track as well as on the road. City transit to satisfy most passengers including the mobility handicapped is the goal which is pursued by the project. Advanced bimodal public transportation system will be established through the present project which aims at the advantages of both bus and train.

## Ⅲ. Work scopes and Results

The final goal of the project is to make the prototype of the bimodal tram with flexibility of the bus and on-time performance of the train. The prototype 1 was built, tested and improved for performance on test track. In addition, the prototype 2 and 3 were built and demonstrated on the public road.

| Items | Work scopes & Results |
|---|---|
| Systems Engineering | - Project management(cost, schedule, technology targeting)<br>- Key technology development: Hybrid propulsion, AWS,Automatic mode algorithm, VCU, Diagnosis<br>- Evaluation of protype vehicle and its component<br>- System integration & test of tram and its infra-on teat track |
| Develop Prototype 1 | - Design and build the prototype 1<br>- Test : propulsion, braking, steering, auto-driving, temperature condition, ride quality, vibration |

| | |
|---|---|
| | - Verify the improvement : noise, body, interior, propulsion, device<br>- Manage the failure historical data |
| Develop<br>the prototype 2, 3 | - Design and build the prototype 2 and 3<br>- Verify the manufacturing specifications<br>- Performance test : propulsion, braking, auto mode<br>- Manage the failure historical data |
| Infrastructure<br>Test track/Site | - Establish the test track with infrastructures<br>- Test run and operation<br>- Design the route of the test run/construction /maintenancee<br>- Running test : Prototype 1, 2 and 3 on test track and site |

## Ⅳ. Plan for Application

The Bimodal tram is a rubber tired tram designed to run like automated tram on the dedicated track and like articulated bus on the public road. It is proposed that the Bimodal tram runs in manual mode on a quiet road and in automatic mode on a busy road for on-time performance in the rush hour. The prototype Bimodal trams are R&D vehicles and will be gradually improved to verify performance and safety through test run at sites before launching public transit service.

The Bimodal trams had test runs at site several times and showed not a few problems which are generally common in prototype vehicles. They will be improved to satisfy the regulation and verified with safety and reliability through building another vehicle during development period. The price and specification of the new Bimodal tram will be controlled in the market. It is proposed that the government drives the initial market by support program. This will be realized through planning and performing the project.

# Contents

Summary ····· i
Summary in English ····· iii
Contents in English ····· v
Contents ····· viii

**Chapter 1. Introduction ····· 1**
Part 1. Necessity of R&D ····· 1
1. Technical aspect ····· 2
2. Economic and industrial aspect ····· 3
3. Social and cultural aspect ····· 4
Part 2. Objective and work scope ····· 6
Part 3. Domestic and Foreign trend of Technology ····· 15
1. Foreign trend of technology ····· 15
2. Domestic trend of technology ····· 25

**Chapter 2. R&D Results ····· 28**
Part 1. Introduction of Bimodal Tram ····· 28
1. Introduction ····· 28
2. Specification of the vehicle ····· 29
Part 2. Automatic driving system/Guidance(magnetic bar) ····· 40
1. VCU(Vehicle Control Unit) ····· 40
2. AGS(Automatic Guidance System) cube ····· 59
3. Driving control ····· 81
4. Guidance track ····· 105
Part 3. All Wheel Steering/Independent Suspension ····· 125
1. All wheel steering ····· 125
2. Independent suspension ····· 146
3. Drive shaft and brake ····· 165
4. Reduction gear ····· 181

Part 4. CNG Hybrid Propulsion System ····· 199
1. Propulsion control device ····· 199
2. Engine-generator ····· 227
3. Traction motor ····· 239
4. Battery and BMS ····· 258
Part 5. Light Weight Composite Material Low Floor Body ····· 273
1. Body ····· 273
2. Interior and exterior of the vehicle ····· 292
3. Mechanical and electric device ····· 309
Part 6. Dedicated Lane ····· 327
1. Eco-friendly pavement ····· 327
2. Precast construction ····· 358
3. Open slab type bridge ····· 368
Part 7. Station/Integrated Control Center ····· 392
1. Specification of modular station ····· 392
2. Design and assembling of modular station ····· 398
3. Modular station on the test track ····· 424
4. Integrated control center ····· 425
Part 8. Evaluation and Test Run of the Vehicle ····· 460
1. Evaluation og the prototype 1 ····· 460
2. Evaluation og the prototype 2 ····· 482
3. Test run of the prototype 2 ····· 504
Part 9. Standard Model of Low Floor Bus ····· 525
1. Detailed design and build the vehicle ····· 525
2. Test and evaluation ····· 536
3. Specification for standard model of low floor bus ····· 552
Part 10. System Specification for Midsize Low Floor Bus ····· 554
1. Objective and work scope ····· 554
2. Research development content ····· 555
3. Application plan of the result ····· 586

**Chapter 3. Final R&D achievement and application ····· 587**
Part 1. R&D achievement ····· 587
1. Key technologies ····· 587
2. Results of the key technologies ····· 590
Part 2. Application of the results ····· 595

**Chapter 4. Achievement and Effect ····· 596**
Part 1. Objective and achievement ····· 596
Part 2. Effect expected for the related field ····· 605

**Chapter 5. Application and necessity of the extra research ····· 607**
Part 1. Application plan of the results ····· 607
1. R&D results ····· 607
2. Application plan ····· 608
Part 2. Necessity of the extra research for application ····· 610
1. Introduction ····· 610
2. Application plan ····· 610
3. Drive advanced project ····· 616

**Reference ····· 618**

# 목차

요약문 ····· i
영문요약서 ····· iii
영문목차 ····· v
목차 ····· viii

**제 1 장 연구개발과제 개요 ····· 1**
제1절 연구개발과제 필요성 ····· 1
1. 기술적 측면 ····· 2
2. 경제·산업적 측면 ····· 3
3. 사회·문화적 측면 ····· 4
제2절 연구개발의 목표 및 내용 ····· 6
제3절 국내외 기술개발 현황 ····· 15
1. 국외 기술개발 현황 ····· 15
2. 국내 기술개발 ····· 25

**제 2 장 연구개발 수행내용 및 결과 ····· 28**
제1절 바이모달 트램 개요 ····· 28
1. 바이모달 트램 개요 ····· 28
2. 실용화 차량 사양 ····· 29
제2절 자동운전시스템/안내궤도(마그네틱바) ····· 40
1. VCU(Vehicle Control Unit) ····· 40
2. AGS(Automatic Guidance System) 제어컴퓨터 ····· 59
3. 주행제어기술 ····· 81
4. 안내궤도 ····· 105
제3절 전차륜조향/초저상 독립현가시스템 ····· 125
1. 전차륜조향장치 ····· 125
2. 독립현가장치 ····· 146
3. 구동축 및 제동장치 ····· 165
4. 감속기어장치 ····· 181

제4절 CNG하이브리드 추진시스템 ····· 199
1. 추진제어장치 ····· 199
2. 엔진-발전기 ····· 227
3. 견인전동기(Traction Motor) ····· 239
4. 배터리 및 BMS ····· 258
제5절 경량화 복합소재 저상차체 ····· 273
1. 차체 ····· 273
2. 차량 내장 및 의장 ····· 292
3. 차량 기장 및 전장 ····· 309
제6절 전용선로 ····· 327
1. 친환경성 선로형식 도로포장 ····· 327
2. 팽창백을 이용한 전용선로 프리캐스트 시공 ····· 358
3. OPEN형 슬래브 구조의 교량 시공 ····· 368
제7절 승하차시설(정거장)/통합운영센터 ····· 392
1. 모듈화 정거장 개발사양 ····· 392
2. 모듈화 정거장 설계 및 제작 ····· 398
3. 모듈화 정거장 시험선로 적용 ····· 424
4. 통합운영센터 ····· 425
제8절 바이모달 시험평가 및 시범운행 ····· 460
1. 시작차 시험평가 ····· 460
2. 시제차 시험평가 ····· 482
3. 시제차 시범운행 ····· 504
제9절 저상버스 표준모델 ····· 525
1. 상세설계 및 시제차량 제작 ····· 525
2. 시험평가 ····· 536
3. 저상버스 표준모델 개발사양 ····· 552
제10절 중형저상버스 시스템사양 개발 ····· 554
1. 연구개발 목표 및 범위 ····· 554
2. 연구개발 내용 ····· 555
3. 연구개발 결과의 활용 계획 ····· 586

**제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 587**
제1절 핵심소요기술별 연구성과 ····· 587
1. 핵심소요기술 ····· 587
2. 핵심소요기술별 연구성과 ····· 590
제2절 연구성과 적용실적 ····· 595

**제 4 장 연구목표 달성 및 효과 ····· 596**
제1절 연구개발 목표 및 달성도 ····· 596
제2절 관련분야 기대 효과 ····· 605

**제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 607**
제1절 연구개발 성과 활용방안 ····· 607
1. 연구개발 결과물 현황 ····· 607
2. 결과물의 활용방안 ····· 608
제2절 실용화를 위한 추가 연구 필요성 ····· 610
1. 개요 ····· 610
2. 실용화 방안 ····· 610
3. 선진화 과제 추진 ····· 616

**참고문헌 ····· 618**

# 제1장 연구개발과제 개요

## 제1절 연구개발의 필요성

도심의 인구집중화에 따른 대중교통수요를 해결하고자 서울도심을 중심으로 1970년대부터 꾸준하게 지하철이 건설되어왔다. 경제활동 권역이 지방으로 확대되면서 대부분의 대도시에서도 지하철 건설을 강력하게 요구하기에 이르렀다. 하지만 지금까지 지하철의 건설과 운영 측면을 살펴볼 때 건설비의 과다와 운영적자라는 현실에 직면하고 있다. 이런 현실 속에서도 지자체에서는 지하철 건설을 꾸준히 요구하는 반면, 기존 또는 최근에 개통된 지하철의 운영적자는 커지고 있었으며 그 운영적자의 근본원인은 초기의 큰 건설비 부담에 있었다. 따라서 건설비를 지원해야하는 중앙정부로서는 저렴한 시스템을 권고하게 되었으며, 지자체에서도 건설비 지원이 가능한 경량전철을 목표로 다양한 종류를 검토하게 되었다. 더욱이 지하철 계획이 없었던 도시도 경량전철이라면 가능하다는 판단으로 대다수의 도시에서 독특한 형태의 경량전철 건설을 요구하기에 이르렀다. 사실 오래 전부터 프랑스 및 일본 등지에서는 다양한 형태의 경량전철이 운행되고 있는 상황이었다. 여기서 주목해야 할 것은 철도교통시스템이 타 대중교통수단에 비하여 경제적이고 친환경적이라는 면이 강하게 대두되면서 버스는 상대적으로 협의의 대중교통수단으로 평가되어왔다는 것이다. 이것은 버스의 생산주체와 구입하여 운영하는 운영주체 그리고 이에 대한 노선을 결정하고 영업권을 부여하는 지자체사이에서만 논의의 대상이었다. 왜냐하면 버스시스템은 특별한 제한조건 없이 승객이 요구하는 이동수단으로 수용할 수 있는 시스템이기 때문이었다. 그러나 실제로 승객이 요구하는 대중교통시스템이란 것은 운영의 유연성과 접근성, 시스템 구축에 최소의 비용이드는 것 그리고 원하는 시간에 승객이 이용할 수 있는 정시성이다. 따라서 버스는 대중교통수단으로서 대부분의 장점을 갖고 있는 반면 정시성에 한계가 있음을 알 수 있다. 문제는 정시성을 어떻게 극복하는가에 있다. 최근 서울도심과 부도심을 잇는 버스체계를 전용도로체계로 운행하려고 하는 시도가 이것의 한 예이다. 본 연구를 통하여 개발되는 교통시스템은 철도가 갖는 정시성의 운행체계에 버스가 갖는 접근성이 혼합된 시스템이다. 정시성을 갖으면서, 접근성이 뛰어나고 시스템구축비용이 저렴하다면 이것이 바로 우리가 찾는 대중교통시스템이다. 외국에서는 이를 BRT(Bus Rapid Transit)시스템으로 명명하여 운행하고 있다. 한 종류라고 구분하더라도 다양한 형태를 갖고 있는 철도시스템처럼 아주 고도화된 BRT가 운행되고 있는 곳이 있는 반면 일반적인 버스를 일부의 전용궤도로 운영하는 BRT가 운행되고 있는 곳도 있다. 우리는 지금 고도화된 BRT를 지금까지 운영해 왔던 지하철 및 철도시스

템의 경험 및 운영체계를 바탕으로 도시형 궤도차량으로 개선·개발하여 미래형 대중교통체계를 구축할 수 있도록 집중적인 연구개발을 수행할 필요가 있다. 더불어, 바이모달 트램 시스템에 대하여 기술 및 성능적인 측면에서 면밀한 테스트 및 대중교통수단으로서 안정성 및 신뢰도 검증을 위하여 공공장소에서의 운행 서비스 이전에 공인기관의 인증절차 및 시범운행 등이 필요하다.

## 1. 기술적 측면

미래형 대중교통수단은 교통약자가 편리하게 이용할 수 있게 하고 승하차시간을 줄이기 위하여 저상 차체로 개발될 필요가 있다. 이를 위하여 분산구동, 허브 리덕션 기어시스템 및 액티브 서스펜션이 조화를 이루어야 하며 이러한 기술이 통합된 시스템이 국내에서 개발된 사례는 없다. 또한 미래형 대중교통은 승객에 친화적이어야 한다. 이를 위하여 승객에게 안전과 안락감을 주어야 하는데 안락감은 공간, 대형 전두부 및 차량외관에 의해 많은 영향을 받으므로 미려한 외관을 위하여 복합소재를 이용한 차체가 필요하다. 또한 친환경 교통수단으로 하이브리드 추진시스템이 도입되어야 한다. 따라서 철도분야 및 자동차 분야의 관련 산업이 본 개발사업에 참여하여 기술개발이 성공적으로 완수되면 새로운 시스템에 대한 종합응용기술로서 그에 상응하는 높은 부가가치를 창출할 수 있게 된다.

○ 본 연구는 대중교통분야 기술개발, 환경보존, 대중교통육성 등의 정부정책에 부합되고, 국가경쟁력 제고에 필요한 사업이다.

- 환경 친화적 자동차의 개발 및 보급촉진에 관한 법률
- 수도권 대기환경 개선에 관한 특별법 23조
- 대기환경보전법 제31조의2
- 대중교통의 육성 및 이용 촉진에 관한법률 3조, 10조, 15조

○ 자가용 수요를 대중교통으로 흡수하여 도로교통의 혼잡과 환경오염 등 막대한 사회적 비용을 절감하기 위해서는 버스의 유연성, 철도의 정시성과 친환경성 등 고품질의 서비스를 제공할 수 있는 신개념의 대중교통수단 개발이 필요하다.

○ 정밀정차(Precision Docking), 저상화가 가능한 바이모달 트램 차량의 개발은 전체 인구의 약 25%에 해당하는 교통약자들에게 대중교통 이동편의를 제공할 수 있게 된다.

○ 바이모달트램 시스템 성능의 극대화를 위해서는 차량(vehicle) 외에 전용도로(running way), 정거장(station), 운영 및 유지관리시스템, (operation and maintenance system)등 운영 및 인프라 구성요소에 대한 기술개발과 이들의 통합방안에 대한 연구가 매우 중요하다.

또한 우리나라가 보유하고 있는 정보통신 및 토목기술 등을 활용한다면 적은 비용으로 단기간 내에 세계 최고수준의 바이모달 트램 운영시스템 및 인프라 기술개발이 가능할 것으로 판단된다. 이를 통하여 대용량 대중교통 수단으로서 바이모달 트램이 가지는 장점을 극대화하고, 단점을 최소화함으로써 구축 및 운영비용의 절감, 안전성을 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 경제·산업적 측면

본 사업을 통하여 개발되는 신에너지 바이모달 저상굴절 차량은 전용궤도와 기존 도로에서의 우선신호체계 내에서의 운행을 통하여 지하철 수준의 표정속도를 달성할 수 있다. 경전철과 버스 사이의 중간 규모의 수송능력을 갖추고 있으며, 출퇴근 및 일반 업무를 위한 실질적인 대중교통시스템이 될 수 있다. 시스템이 개발되어 구축되면 현재의 버스에 비하여 서울과 수도권의 수송효율 및 능력이 2배 이상 증가할 것으로 예상된다. 또한 매우 짧은 기간에 경제적으로 시스템 구축을 할 수 있으므로 경제적 효과가 매우 크다.

현재 우리나라의 도심지 교통혼잡비용은 연간 20조원, 사고비용은 연간 9조원, 환경오염비용은 연간 12.5조원에 이르고 있으나, 이를 해결하기 위한 유효한 대중교통 수단이나 관련 운영 및 인프라 기술개발은 매우 미흡한 실정이다.

자가용 수요를 대중교통으로 흡수하여 도로교통(Surface Traffic)의 혼잡과 환경오염 등 막대한 사회적 비용을 절감하기 위해서는 바이모달 트램과 같이 저비용으로 고품질의 대중교통 서비스를 제공할 수 있는 신개념의 수단 개발이 필요하다.

또한 간선 대중교통 수단의 도입을 원하는 지자체나 운영주체 등 수요자 입장에서는 사업비 중에서 많은 부분을 차지하고 있는 운영과 인프라 구축비용을 최소화하거나, 효율을 높이는 데에 많은 관심이 있어 본 기술개발이 지연될 경우 사업추진에 어려움이 예상된다. 국내의 고속철도 건설공사에서도 나타난 바와 같이 가장 많은 사업비가 소요되는 기반시설물, 즉 선로구축물은 계획, 설계 및 시공방법에 따라 그 적합성과 효율성이 결정되므로 이 분야에 대한 연구개발의 필요성이 그만큼 크다 할 수 있다.

바이모달 트램의 특징은 각 지역별 특성과 현황을 반영하여 적절한 비용으로 차별화된 운영서비스를 제공할 수 있다는 점이며, 이에 대한 기술개발로 사업 초기비용의 절감이 기대된다. 또한 바이모달 트램 도입 사업에서 인프라 구축에 따른 경제적, 산업적 효과는 도시경제 발전 기대치, 물류비, 고용창출, 교통지체 해소로 인한 사회적 비용 및 도심생활환경 개선비용 등으로 나타날 것으로 기대된다.

○ 행정중심복합도시, 송도신도시 등을 비롯하여 서울시와 수도권에서만 20여개 이상의 관련 사업(BRT 포함)이 계획·진행 중에 있으므로 건설 및 운영비용을 최소화하여 도입효과를 극대화하기 위한 국가적 차원의 방안 마련이 시급한 실정이다.

○ 하이브리드 추진시스템은 기존 내연기관에 비해 연비를 최소 25%이상 개선할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 이를 적용한 대중교통수단은 운영비용 절감효과가 클 것으로 기대된다.

○ 고유가 추세, 환경문제 등으로 화석연료의 대체에너지에 대한 관심이 증가하고 있으며, 현재 디젤이나 전기로 구동되는 대중교통수단의 대체 동력원으로 수소연료전지가 주목받고 있다.

## 3. 사회·문화적 측면

미래형 대중교통은 친환경적이고, 노약자와 장애인에 대한 배려가 우선되며 국민의 복지향상 관점에서 매우 중요하게 고려되어야 한다. 최근 우리나라는 급격한 고령화 사회로 진입함에 따라 현재 전 국민의 1/4인 1200만 명에 이르는 교통약자도 계속 증가하는 추세에 있다. 이러한 문제를 해결하고자 최근 정부는 대중교통 활성화, 교통약자의 이동편의 증진 등을 통한 정부정책의 실현을 위해 노력하고 있으며, 이를 위하여 「대중교통 육성 및 이용 촉진에 관한 법률」과「교통약자 이동편의 증진에 관한 법률」 제정하고, 이의 실현을 위한 당 연구단 과제를 포함한 다양한 기술개발을 적극 추진하고 있다.

○ 본 사업에서 개발 중인 바이모달 트램은 도시 교통문제 해결과 교통약자의 이동편익 증진을 위한 정부정책에 부합되는 기술개발 사업이다.

- 전자기 유도에 의한 정밀정차, 차량의 저상화는 교통약자의 이동편익과 복지 향상에 기여 (전 국민의 약 25%인 교통약자에 실질적 대중교통 수혜)

- 교통약자의 이동편의 증진법(26조): 국토교통부장관은 교통약자의 이동편의 증진을 위한 교통수단, 여객시설, 이동편의시설의 연구개발을 추진해야 함.
- 저상버스의 도입과 운영방안을 적극 추진.
- 장애인 지원 종합대책: 범부처간 장애인 복지를 위한 획기적 방안 마련의 일환으로 장애인 이동권 대폭 증진 노력.
- 국가교통정책, 대중교통·녹색교통·교통약자 배려 정책 대폭 강화: 장애인, 고령자 등 교통약자를 위한 교통체계 개선.

○ 대중교통의 육성, 친환경 대중교통수단의 개발 및 보급에 대한 정부정책을 실현할 수 있는 기술개발 사업이다.
- 기존 대중교통수단(버스)의 배기가스에 의한 공기 오염에 대한 사회적 손실 비용을 줄이고, 국민의 삶의 질 향상
- 대중교통육성 및 이용촉진에 관한 법률(제3조): 국가는 모든 국민이 편리하고 안전하게 대중교통을 이용할 수 있도록 대중교통을 육성하고 지원하기 위해 친환경 대중교통수단의 개발과 보급 등에 대한 정책을 수립·시행해야 함.
- 서울시의 버스 중앙 차로제 시행에 따른 환경영향 조사: 버스 대기 승객의 대기오염물질 노출에 대한 대책이 필요.

○ 바이모달 트램은 이러한 대중교통에 대한 정부정책을 실현하는데 매우 유용한 수단이 될 것이다. 저비용 대중교통수단으로 철도가 가지는 막대한 초기비용에 대한 문제점을 해소하면서도 정시성이라는 고품질의 대중교통 서비스를 제공하게 될 것이다.

## 제2절 연구개발의 목표 및 내용

교통공학에서의 모드(mode)는 도로, 철도, 항공, 해운 등 고유의 영역을 가지는 교통시스템을 의미하며, 바이모달(Bimodal)이라 함은 2개의 모드 특성을 가지고 있는 교통시스템을 의미한다.

- 본 연구에서는 도로모드와 철도모드를 효율적으로 조합한 교통시스템을 의미한다. 신에너지 바이모달 수송시스템 이라 함은 수소 연료전지 또는 CNG 하이브리드 추진시스템으로 구동되며, 버스의 유연성과 철도의 정시성을 가지는 고무차륜 트램(Rubber Tired Tram)을 의미한다.
- 전용궤도, 일반도로, 또는 이들의 혼합형 노선에서 모두 효율적으로 운영될 수 있으며, 이용자 밀도는 버스와 경량전철의 중간(2,500~5,000명/방향/시간)이고, 노선길이는 도시교통 전체 범위를 담당할 수 있다.
- 교통약자(노약자, 장애자)의 이용편익을 위한 저상차량을 적용하며, 전체차륜을 독립조향 함으로써 회전반경 및 정거장 길이를 최소화하여 도심지 건설 및 운영에 적합한 시스템이다.
- 자동운전, 정거장(플랫폼) 접근 및 정위치 정차, 곡선 추종성, 승객의 접근성, 환경친화성, 경제성 등이 우수한 신 교통시스템이다.

### 저상버스 표준모델을 통한 BRT핵심기술 실용화

2008년 이후 2,000대/년(총 30,000대) 규모로 국가적 공급계획에 따라 저상 버스 표준모델을 개발 보급하고자 한다.(교통약자 이용편의 증진에 관한 법률)

- 교통약자에 대중교통이용권 보장
- 경제적 효과(30,000대 보급 기준)
  - ▪ 수입대체효과: 4,500억원(초저상 축 등)
  - ▪ 차량가격 및 운영비 절감: 3,000억원(0.1억원/대)
- 환경개선(30,000대 보급 기준)
  - ▪ 도시미관 개선(복합소재 차체차량의 미려한 외관)
  - ▪ 도시 시내버스 디젤매연 감소(600,000드럼(디젤)/년 연료 절약)

## 한국형 BRT 차량 실용화

정부의 시범사업을 통한 BRT 효용성을 입증하고 한국형 BRT 차량으로 확대 보급하고자 함.(대중교통육성 및 이용촉진에 관한 법률)

- 대전 미래교통수단 BRT-LRT 의견 팽팽, 지방도시 BRT 활성화, 2003. 9
- 프랑스 현지방문 기술조사, 2003. 9
  - 정부주도의 연료전지 구동형 첨단 궤도차량 개발사업 홍보
- "수도권 차세대 대중교통체계구축 협약", 건교부 보도자료, 2003.12.12
  - 서울시, 인천시 등 수도권 시·도와 BRT 체계 구축사업 협약체결 합의
  - 분당~내곡 등 21개 노선 제시
- 대중교통육성 및 이용촉진에 관한 법률, 건설교통부, 2004.2.20
  - BRT 운영 근거법: 대중교통수단 우선통행권 및 재정지원 등
- 정부시범사업을 통한 국내 대중교통활성화 효용성 검증
  (2008년, 하남-군자 노선, 인천 청라-화곡 노선, 서울 난곡-신대방 노선)
- 정부의 친환경 대중교통 정책에 대한 국제적 입지 강화 가능
  - 행정중심복합도시에 무공해 대중교통 시범운행 가능
- 수도권 간선급행버스 도입(2007년, 22 노선 계획)의 국산화 대체 가능
- 高價 한국형 BRT 고유모델 확보로 수출규모 확대 약900억원/년
  - 연료전지 궤도차량 30억원/량(승용차150대, 지하철 4편성에 해당)
  - 약 900억원/년 수출규모 확대 예상(30억원/량×30량/년)

○ 연구개발목표 시스템

- 1단계: 저상버스 표준모델(5차년도에 개발)

| 분류 | | 현재 저상버스 | 저상버스 표준모델 | 개발효과 |
|---|---|---|---|---|
| 차량 | |  |  | ● 교통약자 대중교통이용권 보장<br>● 경제적 효과(30,000대 보급기준)<br>- 수입대체효과: 4,500억원(초저상 축 등)<br>- 차량가격/운영비 절감: 3,000억원(0.1억원/대 국산화 및 양산 등)<br>● 환경개선(30,000대 보급 기준)<br>- 도시미관 개선(복합소재 차체 차량의 미려한 외관)<br>- 도시 시내버스 디젤매연 감소(600,000드럼(디젤)/년 연료절약) |
| 구성 | 차체 | 철골 박스형 차체 | 모듈형 복합소재 유선형 차체 | |
| | 추진 | CNG엔진 추진 | CNG엔진 추진 | |
| | 구동 | 액슬 및 차동 구동 | 국산화 개발 적용 | |
| | 탑승 | 휠체어슬로프 탑승 | 휠체어슬로프 탑승 | |

- 2단계: 자동운전이 가능한 바이모달 트램
  - ▪ 하이브리드 전기추진시스템(CNG엔진+리튬폴리머 배터리)
  - ▪ 도시형·환경친화형 차체 및 내장
  - ▪ 초저상 실현을 위한 분산형 구동시스템
  - ▪ 전차륜 조향제어시스템
- 정밀정차를 위한 자동운전 안내시스템

○ 연도별 연구개발 목표 및 내용

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1과제 | | |
| 1차년도 (2003.6.30 ~2004.4.29) | ▪ 대용량 연료전지/연료시스템 | ▪ 시스템엔지니어링(궤도차량시스템)<br>▪ 연료전지시스템 설계개념 수립<br>▪ 설계 검증용 연료전지 파워서브모듈 개발<br>▪ 궤도차량 단위시스템 개발 |
| 2차년도 (2004.6.1~ 2005.5.31) | ▪ 바이모달 트램 차량 개념설계 및 기본설계 | ▪ 궤도차량의 시스템 설계<br>▪ 차체 및 내장, 구동시스템, 안내시스템 기본설계<br>▪ 추진시스템 사양결정<br>▪ 연료전지 적용기술개발 I |
| 3차년도 (2005.7.1~ 2006.5.31) | ▪ 바이모달 트램 차량 기본 설계 및 상세설계 | ▪ 시스템 통합 및 시험평가기술 개발<br>▪ 차체 및 내장 상세설계<br>▪ 추진시스템 기본설계 및 상세설계<br>▪ 구동시스템 상세설계 |
| 4차년도 (2006.6.1~ 2007.5.31) | ▪ 바이모달 트램 차량 상세설계 및 Mock-Up 제작 (CNG 하이브리드) | ▪ 통합시스템 시험평가 기준개발<br>▪ 차체설계 및 Mock-Up 제작<br>▪ 구동시스템 설계 및 Mock-Up 제작<br>▪ 연료전지 적용기술개발(슈퍼캡) |
| 5차년도 (2007.6.1~ 2008.7.31) | ▪ 초저상버스 시스템 통합 및 시험 평가 | ▪ 초저상버스 표준 모델 차량 개발<br>▪ 초저상버스의 제작 및 시험평가 |
| | ▪ 바이모달차량용 제어시스템 상세설계 | ▪ VCU 상세설계 및 시작품제작<br>▪ 자동안내/추진/제동 제어 및 정밀정차 알고리즘 개발<br>▪ 자동운전 연동신호 제어장치 및 프로토콜 설계<br>▪ 전차륜조향시스템 전자제어장치 제작/검 |

| | | |
|---|---|---|
| | | 사 및 테스트 플랫폼 구축<br>▪ 하이브리드 추진시스템 성능분석 |
| | ▪ 신에너지 바이모달 차량 차체/내장 및 추진시스템 개발 | ▪ 차체/내장 상세설계 및 제작<br>▪ 하이브리드용 추진제어기 인터페이스 설계<br>▪ 하이브리드용 추진제어기 구성품 형식 및 전수시험 |
| | ▪ 바이모달 차량용 구동시스템 제작 및 시험평가 | ▪ 구동시스템 부품 설계<br>▪ 구동시스템 부품제작 및 구매<br>▪ 구동시스템 제작 및 시험평가 |
| | ▪ 바이모달 트램 견인모터 개발 | ▪ 성능개선 견인모터 개발 및 설계 최적화<br>▪ 장착 및 성능에 영향을 미치는 인터페이스 최적화<br>▪ 형식시험을 통한 성능검증 |
| | ▪ 바이모달 차량용 감속구동장치 상세설계 및 제작 | ▪ 감속구동장치 시험장비 시스템 설계 및 제작<br>▪ 하이브리드용감속구동장치 성능/내구시험<br>▪ 감속구동장치 2차 시제품(개선설계) 시스템 설계 및 초기 사이징<br>▪ 1차 실물크기 감속구동장치 시스템 성능, 구조/진동, 설계/해석 |
| 6차년도<br>(2008.8.1~<br>2009.5.31) | ▪ CNG 하이브리드 구동형 바이모달 트램 차량시스템 통합 및 완성차 시험 | ▪ 차량시스템 상세설계 보완<br>▪ 구성품 (차체, 의장, 기장, 전장, 추진, 제동, 조향, 구동장치 등) 제작 및 완성차(2량 1편성) 조립<br>▪ 기능별 주요장치 기능시험<br>▪ 공장구내 차량 시운전 및 평가 |
| | ▪ 바이모달 트램 시험평가 기술 | ▪ 바이모달 트램 시험평가 절차서 작성<br>- 추진 및 제동 성능시험<br>- 주행 및 조향 성능시험<br>▪ 통합계측시스템 설계 및 구축 |
| | ▪ 차량 핵심기술 및 인터페이스 기술 연구 | ▪ VCU 안정화 및 실차적용 기술개발<br>▪ 자동안내제어 기술개발<br>▪ AWS 전자제어장치 개발<br>▪ 차량 주행안정성 해석 |
| | ▪ 핵심장치 개선기술 연구 | ▪ 구동시스템 내구성 향상기술 연구 |

| | | |
|---|---|---|
| | | ▪ BMS 국산화 방안 및 개발사양 연구<br>▪ 하이브리드 추진성능 향상기술 연구<br>▪ 운전모드(자동/수동) 전환기술 연구 |
| | ▪ 바이모달 트램 차량 구성품 설계보완, 제작 및 시험평가 | ▪ 의장/기장/전장품 제작<br>▪ 장애인 탑승장치 국산화 개발<br>▪ 구동시스템 설계보완<br>▪ 추진배터리용 BMS 설계 및 제작<br>▪ 견인모터 개선품 설계 및 시험<br>▪ 감속기어장치 개선품 제작 및 성능/내구 시험평가 |
| **2과제** | | |
| 4차년도<br>('06.10.1<br>~'07.7.31) | ▪ 개발 차량과 구성요소 간의 인터페이스 기술 개발 | ▪ 운영 및 인프라 구성요소의 개발 전략 수립<br>▪ 개발 차량의 시험선로구축을 위한 전략수립<br>▪ 바이모달 트램 위기관리시스템 구성요소 선정 및 기준정립<br>▪ 바이모달 트램시스템 환경성 평가시스템 요구조건 분석 및 사양개발<br>▪ 개발 차량의 운영관리, 운행제어시스템 구축을 위한 전략수립<br>▪ 통합운영시스템과 서브 시스템과의 Integration 방안 수립 - 국내외 BRT 운영현황조사 및 분석 |
| | ▪ 전용선로 요구조건 분석 및 사양개발 | ▪ 서비스 수준별 전용선로 요구조건 분석 및 사양개발<br>▪ 입체고가 상/하부 구조물 요구조건 분석 및 사양개발 |
| | ▪ 정거장 및 환승센터 요구 조건 분석 및 사양개발 | ▪ 정밀정차를 위한 차량유도시스템(지상장치) 요구조건 분석 및 사양개발<br>▪ 정거장 및 환승센터 요구조건 분석 및 사양개발<br>▪ 모듈형 정거장 구조물의 개념설계 |
| | ▪ 운영 및 유지관리시스템 요구조건 분석 및 사양개발 | ▪ 운행제어시스템 시작품 요구조건 분석 및 사양개발<br>▪ 우선신호제어시스템 시작품 요구조건 분석 및 사양개발<br>▪ 실시간 동영상 압축전송장비 시작품 요구조건 분석 및 사양개발 |

| | | |
|---|---|---|
| | | ▪ 교통카드 연계운용 및 요금정산시스템 시작품 요구조건 분석 및 사양개발<br>▪ 운행정보(차량,승객)안내시스템 시작품 요구조건 분석 및 사양개발<br>▪ 차량유지관리시스템 요구조건 분석 및 사양개발<br>▪ 차량 검수고와 시험 선로에 설치되는 차량용 핵심 부품의 유지보수 장비 요구 조건 분석 및 사양 개발 |
| | ▪ 연료공급시설 요구조건 분석 및 사양개발 | ▪ 연료공급시설 설치에 따른 요구조건 분석 및 사양개발 |
| | ▪ 시험선로 요구조건 분석 및 기본계획 수립 | ▪ 시험선로 요구조건 분석 및 기본계획 수립<br>▪ 시험선로의 대상노선별 기술적, 경제적 비교검토 |
| 5차년도<br>('07.8.1<br>~'08.7.31) | ▪ 시스템 엔지니어링 및 시험평가 | ▪ 구성품 설계(안) 수립 및 결과물 검토<br>▪ 바이모달 트램시스템 최적화 관련 국내·외 사례조사<br>▪ 바이모달트램 구성품 최적결합방안 연구<br>- 서비스 수준별 구성품 기능 정의 |
| | ▪ 바이모달트램 안전·환경 지원 기술 개발 | ▪ 안전정보지원시스템 설계<br>▪ 바이모달트램 간이 전과정 환경성 평가 |
| | ▪ 바이모달트램 전용선로 토목시설물 표준화 및 적용 기술 연구 | ▪ 대중교통 네트워크설계기법 분석<br>▪ 전용선로 시설물 요구조건 분석 및 사양 보완<br>▪ 입체고가구조물 요구사양 분석 |
| | ▪ 모듈화된 안전지향형 정거장 및 지원시스템 연구 | ▪ 정거장 구조체 설계<br>▪ 승객안전지원시스템 설계<br>▪ 운행정보안내시스템 설계 |
| | ▪ 바이모달트램 통합운행정보시스템 및 지원시스템 연구 | ▪ 해외 바이모달 트램시스템 운영현황 조사 연구<br>▪ 정보제공시스템 구성품 기능 분석<br>▪ 통합운영관리시스템 설계 |
| | ▪ 자동운전 및 정밀정차 제어시스템 개발 | ▪ 자동운전 및 정밀정차 제어시스템 설계 |
| | ▪ 바이모달트램 유지관리시스 | ▪ 차량유지관리시스템 기본설계 |

| | | |
|---|---|---|
| | 템 개발 | ▪ 차량 핵심부품 유지보수장비 설계(견인용 어댑터 외) |
| | ▪ 바이모달트램 시험선로 구축 | ▪ 시험선로 기본계획 수립 |
| | ▪ 바이모달트램 테스트베드 구축 | ▪ 바이모달 트램 경제성평가 방법론 연구<br>▪ 테스트베드 대상지별 기술 검토 |
| 6차년도<br>('08.8.1<br>~'09.5.31) | ▪ 시스템 엔지니어링 및 시험평가 | ▪ 운영 및 인프라 구성품 시스템 통합 연구<br>▪ 바이모달 트램 관련 적용 법률 시행(안) 정립 연구<br>▪ 바이모달트램을 포함한 노면교통수단의 도입 및 운영효과 분석 연구 |
| | ▪ 바이모달트램 안전·환경 지원 기술 개발 | ▪ 안전정보지원시스템 제작 |
| | ▪ 바이모달트램 전용선로 토목시설물 표준화 및 적용기술 연구 | ▪ 전용선로 시설물 표준화방안 수립<br>▪ 입체고가구조물 구조해석 연구 |
| | ▪ 모듈화된 안전지향형 정거장 및 지원시스템 연구 | ▪ 모듈형 정거장 시작품 제작 |
| | ▪ 바이모달트램 통합운행정보 시스템 및 지원시스템 연구 | ▪ 통합운영관리시스템 시작품 제작 |
| | ▪ 자동운전 및 정밀정차 제어장치 개발 | ▪ 자동운전 및 정밀정차 제어장치 제작 |
| | ▪ 바이모달트램 유지관리시스템 개발 | ▪ 차량유지관리시스템(S/W) 상세설계 및 제작<br>▪ 차량 검수고 운용방안 수립(1) |
| | ▪ 바이모달트램 시험선 구축 | ▪ 시험선 설계 및 구축 |
| **일반 과제** | | |
| 7차년도<br>('09.6.1<br>~'10.8.31) | ▪ 바이모달 트램 차량 시운전 시험평가 | ▪ 통합계측시스템 구축 및 안정화<br>▪ 바이모달 트램 차량시운전 시험평가<br>▪ 바이모달 트램 차량 개선 및 성능 안정화 |
| | ▪ 차량 핵심기술 및 인터페이스 기술 연구 | ▪ AWS ECU 개선 및 시험평가<br>▪ 자동운전·정밀정차 제어성능 개선 및 시험평가<br>▪ 차량고장에 대한 동적 안정성 평가<br>▪ 차량의 전자기 영향 분석 및 평가 |

| | | |
|---|---|---|
| | ▪ 운영인프라 시스템 엔지니어링 및 인터페이스 기술연구 | ▪ 통합시스템 및 인터페이스 성능 시험평가<br>▪ 바이모달 트램 관련 적용 법률(안) 작성 |
| | ▪ 운영인프라 구성품 시험평가 | ▪ 안전정보지원시스템 시험평가<br>▪ 토목시설물 시험평가<br>▪ 토목시설물 유지관리메뉴얼 작성<br>▪ 모듈형 정거장 시험평가<br>▪ 운영관리시스템 시험평가<br>▪ 자동운전·정밀정차 제어장치 시험평가<br>▪ 차량유지관리시스템(S/W) 평가<br>▪ 차량 검수고 운용방안 수립(2) |
| 8차년도<br>(1차)<br>('10.9.1<br>~'11.12.31) | ▪ 시스템엔지니어링 및 실용화 기술 개발 | ▪ 사업총괄관리<br>▪ 실용화 환경 구축<br>- 복합형 교통수단 운영에 관한 법률세부(안) 작성 지원<br>- 차량 실용화모델 사양연구<br>- 실용화 기술지원<br>- 수요처 시승/실용화 홍보<br>▪ 시스템 운영기술개발<br>- 시제 1,2호 통합 구축 및 운영<br>- 유지관리 매뉴얼 보완(개선사양)<br>▪ 실용화 요소기술 개발<br>- 직렬형하이브리드 추진장치(엔진-발전기)열화진단기술 개발<br>- 자동운전 알고리즘(위치추정) 성능개선<br>▪ 제작차량 주행시험<br>- 시작차량 주행시험<br>- 시제 1,2호 주행시험<br>▪ 공인기관 안전시험<br>- 시제 1호에 대한 공인기관 안전시험<br>▪ 바이모달 트램 인프라(전용선로/운영시스템/정거장) 설계방안 연구<br>▪ 시험선 유지관리 |
| | ▪ 시작차개선검증 및 모니터링 | ▪ 시작차 성능 모니터링 시험<br>(추진,제동,조향,자동운전,온도 및 상태,승차감 및 진동)<br>▪ 시작차 차량고장 이력관리<br>▪ 시작차량의 개선검증<br>- 실내외 소음측정<br>- 차체/내장/기장/전장/추진분야의 관련법규 적합도 분석 |

| | | |
|---|---|---|
| | ▪ 시제 1,2호 차량 개발 | ▪ 시제차 차량고장 이력관리<br>▪ 시제 1,2호 상세설계 및 제작<br>- 시제 1,2호 상세 설계<br>- 차체/내장/기장/전장/추진장치/감속구동장치/구동시스템 제작<br>- 국산 AGS장치 개선 및 시제 1,2호 자동운전 시스템 구축<br>- 시제 1,2호 차량운영컴퓨터 시제품 제작 및 시험<br>- 시제 1,2호 조립<br>- 완성차 검사 및 공장구내시험<br>▪ 시제 1,2호 제작사양 검증<br>- 최대 안전경사각 시험<br>- 실내외 소음측정<br>- 차체/내장/기장/전장/추진분야의 관련법규 적합도 분석<br>- 시제 1,2호 구동시스템 실차적용 시험(AWS 포함)<br>- 시제 1,2호 감속구동장치 실차적용 시험<br>- 시제 1,2호 차량운영컴퓨터 시제품 실차적용 시험<br>▪ 시제 1,2호 성능시험(추진,자동운전,제동) |
| 8차년도<br>(2차)<br>('12.1.1<br>~'13.04.30) | ▪ 시제 1,2호 실용화 현장 시범운행 | ▪ 사업총괄관리<br>▪ 실용화 환경 구축<br>- 시범운행노선 선정<br>- 시승행사 및 홍보<br>▪ 차량시험 및 차량운영<br>- 차량 마일리지 및 차량 상태 점검 (시제1호/2호 각 24,000km)<br>- 차량 운영 및 유지보수<br>▪ 시범운행노선설계/시공/유지보수<br>- 시운전선 조사 및 실시설계<br>- 시운전선 건설공사(토목, 정거장, 차량기지)<br>- 시운전선 인프라 유지보수<br>▪ 차량 자동운전 시험 및 모니터링<br>- 자동운전 알고리즘 시험<br>- 시운전선 노선 설정(주행 프로파일 생성 및 적용)<br>- 시운전선 운행 시험(시운전선 모니터링 및 주행 프로파일 최적화) |

# 제3절 국내외 기술개발 현황

## 1. 국외 기술개발 현황

해외에서 바이모달 트램과 유사한 시스템이 개발되어 시험운전 또는 영업운전을 하고 있다. 현재 유럽을 중심으로 개발된 차량은 버스를 기반으로 철도차량과 유사하게 개발된 차량과 철도를 기반으로 버스와 유사하게 개발된 차량으로 구분할 수 있다. 트롤리버스로부터 철도차량 형태로 개발된 것은 네덜란드 APTS사의 Phileas 시스템과 프랑스 Irisbus사의 Civis시스템이다. 한편 철도차량 특히 노면전차로부터 바이모달 형태로 개발된 것이 Bombardier사의 TVR 시스템과 Lohr사의 Translohr 시스템이다. 이 외에 궤도를 따라 버스를 운행하는 Guideway Bus가 있다.

### 가. TVR

TVR은 Bombardier에서 경량전철의 경험을 바탕으로 개발된 차량으로서 2001년 2월 프랑스의 Nancy에서 첫 번째로 상업 시스템을 설치하여 운영하였다. 2001년 5월 차량이 전용차선에서 비전용차선으로 차선을 변경하는 동안 발생되는 불안정성으로 인한 2건의 사고로 운행이 중지되었다가 2002년 5월에 운행이 재개되었다. 다만, 전용차선에서 비전용차선으로의 변경 시에는 약 5km/h의 속도로 운행되며, 도로에서의 최대 운행속도는 20km/h로 제한되었다. 안내시스템은 안내레일의 눈, 얼음 등에 의한 문제를 최소화하기 위해 안내레일에 힘을 가할 수 있는 유압 작동기를 사용한다. 차량무게는 25.2t(공차)이고 최고 속도 70km/h로 운행한다.

### 나. Translohr

Translohr 시스템은 Lohr사에서 개발된 차량으로서 TVR의 유압 링크장치와 대비되는 중앙의 안내레일에 기계 링크장치를 사용하며, 비교적 적은 장력이 가해지도록 설계되었다. Translohr는 32개의 좌석이 있고 116승객이 탑승할 수 있다. 차량 길이는 25m, 공차 중량은 19.5t이다. 그러나 차량의 길이는 18~39m로 다양한 편성 구성이 가능하며, 이에 따른 승객수용능력은 시간당 2000~5000명이다.

### 다. Phileas

Phileas는 네덜란드 Frog 사의 Frog Navigation System을 안내시스템으로 사용한다. 즉, 자석센서막대(Magnet sensor bar)에서 도로 바닥에 설치된 자석을 인식하여 차량을 미리 결정된 경로에 따라 자동으로 운행한다. 70km/h 주행을 위해 요구되는 왕복 전용차선의 폭은 단지 6.4m이다. 눈과 얼음 등 기후조건에 대해서는

도로 바닥에 설치된 영구자석을 사용하므로 TVR, Translohr, CIVIS 등 타시스템보다는 유리할 것으로 예상된다. 정거장에서 차량이 정차할 때는 초음파센서(Ultrasonic sensor)를 이용하여 차량과 플랫폼과의 거리를 측정하여 정밀정차가 가능하게 한다. 전자기 안내시스템, 하이브리드 추진시스템, 전용차선 등을 활용하므로 버스의 낮은 투자비용과 유연성을 유지하면서 철도수송의 정시성을 제공할 수 있으므로 기반 투자비용을 고려하면 철도를 건설하는 것 보다 경제적이다. Phileas는 전자기 안내장치 없이 수동운전으로 운행될 수 있기 때문에 기반 설비는 단계적으로 도입될 수 있으며, 최소 회전반경은 12m 미만이고 이때 요구되는 최대 도로 폭은 4.5m 미만이다.

### 라. CIVIS

CIVIS는 안내레일 대신 차선의 표시줄무늬를 카메라로 인식하는 것 외에는 TVR, Translohr와 유사한 차량이다. CIVIS는 Irisbus에서 개발했고 카메라 안내시스템은 Siemens Transportation System의 한 부분인 Matra Transport International에 의해 개발되었다. CIVIS 시스템은 현재 프랑스 Rouen과 미국 라스베가스에서 운행되고 있으며, 라스베가스에서는 정류장에서 도킹 안내시스템만이 사용되고 있다. 자동운전은 차량 전면 상단의 카메라가 차선 중앙의 줄무늬를 인식하여 이루어지므로 눈, 얼음 등은 광학 안내시스템의 정상 작동을 위해 반드시 제거되어야 하는 제한사항이 있다. 카메라는 이미지를 분석하여 안내장치에 정보를 보내고, 자동운전장치, 전륜, 주행거리계 등으로부터 데이터를 받는 비젼모듈과 연결된다. 안내모듈은 궤도 교정과 전자 조종장치에서 산출된 입력 데이터를 모두 사용한다.




그림 1.3.1-1 TVR 차량




그림 1.3.1-2 Translohr 차량




그림 1.3.1-3 Phileas 차량

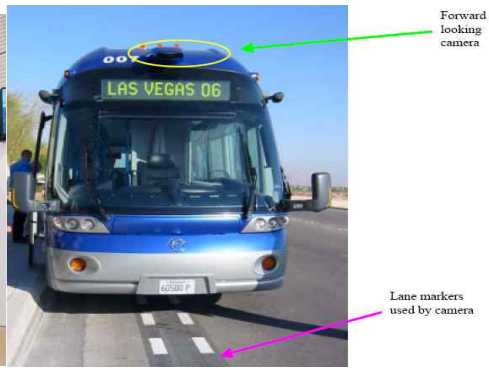



그림 1.3.1-4 Las Vegas CIVIS

이들 네 개의 교통수단들을 비교 정리하면 다음과 같다.

○ TVR, Translohr, CIVIS, Phileas는 모두 전기모터에 의해서 구동되지만, TVR과 Translohr는 판토그래프를 이용하여 가선으로부터 전력을 공급받고 있다. CIVIS는 엔진과 발전기로 발전하여 전기모터를 구동하지만, Phileas는 엔진과 발전기로 이용한 전력과 2차 전지를 조합한 하이브리드 시스템이다. Phileas는 하이브리드 방식이지만 가선방식을 적용할 수도 있다.

○ 안내시스템의 경우 TVR, Translohr는 기계적인 안내레일을 이용하고, Phileas, CIVIS는 전자기 또는 광학 안내시스템을 이용한다. 기계적인 접촉식 안내시스템은 차선을 추종하는데 가장 확실한 방법이지만 반드시 전용선로를 사용해야 하므로 인프라 비용이 상승한다. 반면 간접적인 방식은 일반도로 및 전용선로 모두 사용 가능하지만 신뢰성과 안전성 검증이 선행되어야 한다.

○ 일반 차량에 대해 전용궤도로의 진입을 허용하면서 약간 높은 인프라비용이 소요되지만 철제차륜 트램과 유사한 기능을 원할 경우에는 TVR, Translohr과 같은 시스템을 검토하는 것이 유리하다. 반면 차량이 전용도로와 일반도로에서 모두 주행 가능하고 인프라 건설비용의 경제성을 높이려면 CIVIS, Phileas와 같은 시스템을 검토하는 것이 유리하다.

○ 중소도시 또는 도시 간 연계를 위해 저렴한 시스템을 도입/개발하고자 하는 경우, CIVIS, Phileas와 같은 시스템이 적당할 것으로 판단된다. 그러나 안개, 폭우, 눈, 결빙 등 기후조건을 고려할 경우 광학 안내시스템에 의한 CIVIS의자동운전은 제한사항이 될 수 있다.

표 1.3.1-1 주요사양비교

| 주요사양 | | 신교통 시스템 차량 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 바이모달 트램 | Phileas (APTS) | | TVR (Bombardier) | Translohr (Lohr) | CIVIS (Irisbus) |
| 승차 인원 | 좌석수 | 29 | 35 | 39 | 50 | 31 | 32 |
| | 최대승객수 | 93 | 127 | 195 | 225 | 178 | 130 |
| 차량 구조 | 편성단위 | 2량 | 2량 | 3량 | 3량 | 3량 | 2량 |
| | 폭(m) | 2.5 | 2.55 | | 2.5 | 2.2 | 2.55 |
| | 높이(m) | 3.4 | 3.1 | | 3.22 | 2.95 | 3.22 |
| | 바닥높이(m) | 0.34 | 0.34 | | 0.25 | 0.25 | 0.34 |
| | 길이(m) | 18 | 18 | 24 | 24.5 | 25 | 18 |
| 구동 시스 템 | 구동축수 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| | 총축수 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| | 구조 | 전체차륜조향 | 전체차륜조향 | | 차륜안내조향 | 차륜안내조향 | 차륜안내조향 |
| 추진시스템 | | CNG엔진+배터리(hybrid) | LPG엔진+배터리(hybrid) | | 교류전동기 | 교류전동기 | 디젤엔진 발전기 |
| 안내시스템 | | 전자기 안내 | 전자기 안내 | | 중앙안내레일 | 중앙안내레일 | 광학안내 |
| 최소회전반경 | | 12 | 11.8 | 11.2 | 12 | 11.9 | 12 |
| 주행궤도 | | 전용궤도/ 일반도로 | 전용궤도/ 일반도로 | | 전용궤도 | 전용궤도 | 전용궤도/ 일반도로 |
| 운전방식 | | 자동운전 | 자동운전 | | 수동운전 | 수동운전 | 수동운전 |
| 최급구배(%) | | 13 | 10~13 | | 13 | 13 | 10 |
| 최고속도(km/h) | | 80 | 80 | | 70 | 70 | 75 |
| 가속도($m/s^2$) | | 1.2 | 1.3 | | 1 | - | 1.3 |
| 제동방식 | | 회생제동/ 공기제동 | 회생제동/ 공기제동 | | 회생제동/ 공기제동 | 회생제동/ 공기제동 | 유압제동 |

## 마. Guideway Bus

저렴한 비용으로 도시교통문제에 대응할 수 있도록 철도와 버스의 장점을 겸비한 가이드웨이 버스는 독일(Essen, Mannheim), 호주(Adelaide), 영국 (Birmingham, Leeds, Ipswich), 일본(Nagoya)에서 대표적으로 도입되어 운영되고 있다. 특히, 일본에서는 2001년에 최초의 가이드웨이 버스가 나고야에서 개업하였 는데 이 때의 가이드웨이 버스는 나고야시・나고야철도・JR 토카이 버스 등이 출자하는 제3섹터 회사가 운영하고 있다.

가이드웨이 버스는 기존 노선버스에 간소한 기계식 안내 장치를 부착, 전용궤도 위를 가이드 레일의 안내에 따라 주행하는 시스템이다. 가이드 레일에 의한 궤도 안내 주행 중 운전사는 핸들조작 대신 가속장치와 제동장치만 조작하면 된다. 가이드 레일로 유도하기 위해 주행로 폭을 최소한으로 설치하므로 전용 주행로의전체 폭은 왕복 2차선인 경우 7.5m정도로 고가 일반도로보다 크게 줄일 수 있다.

가이드웨이 버스는 고가구조물에 설치된 것이 일반적이다. 전동기를 탑재한 채 전용궤도상에서는 전기로 주행하는 시스템도 연구되고 있지만 현재는 가이드웨이에 의한 안내만을 사용한 간소화 시스템이 보다 경제적이고 실용적인 면에서 더욱 주목받고 있다.

가이드웨이 버스는 AGT, 모노레일 등의 신 교통시스템 보다는 수송능력이 낮고 일반 버스보다는 수송능력이 높아 그 중간의 수송수요에 적합한 시스템이다. 전용궤도를 사용하기 때문에 철도의 정시성과 기존버스의 유연성을 유지하는 새로운 개념의 버스시스템이다.

1) 전용궤도만 적용한 시스템

일반적인 가이드웨이 버스 시스템은 일반도로 및 전용선로에서 사용하는 연료가 같다. 대표적으로 나고야의 가이드웨이 버스 시스템이 있다. 전용도로에서 운전자는 조향을 하지 않고 가・감속 조절만 하게 된다. 일반도로에서 운행할 때는 안내장치가 차량 안쪽으로 접혀 들어가게 설계되어 있다. 간소화 시스템 형태로 경제적으로 정시성을 확보할 수 있는 것이 특징이다.

2) 전용선로에서 전기로 운행하는 시스템

가이드웨이 버스는 엔진 외에 전동기를 설치하고 있다. 기존 버스처럼 주행이 가능하며 가이드웨이 내에서는 유도장치에 따라 운행한다. 전차선 구간은 트롤리버스로 운행될 수 있다. 가이드웨이와 전차선이 있는 구간은 AGT처럼 주행하는 매카니즘으로 운행한다. 전차선이 있는 구간은 전기에 의해 구동되기 때문에 전용궤도만을 적용한 가이드웨이 버스보다 친환경적이다. 그러나 기반시설이 필요하기 때문에 건설비용이 높아진다.




그림 1.3.1-5 나고야 가이드웨이 버스




그림 1.3.1-6 호주 O-Bahn 버스

3) 가이드웨이 버스의 특징

가) 정시성의 확보

교통정체가 있는 구간에서는 고가의 전용궤도를 주행한다. 교차점이 없기 때문에 아침 저녁 피크 때도 철도와 마찬가지로 정시·고속 운행을 할 수 있다.

전용 주행로를 주행하므로 다른 도로교통 수단의 영향을 받지 않는다. 교통신호 의 영향을 받지 않고 연속운행이 가능하므로 공공교통으로서의 정시성 확보, 표정속도 향상을 꾀할 수 있다.

나) 저렴한 건설비

전용선로에서의 조향이 필요하지 않으므로 주행로 폭이 감소하여 고가의 일반도로보다 건설비가 적고 고무차륜 AGT 시스템과 비교해도 기반시설 건설비가 낮아 일반 경량전철 시스템보다 적은 수요에 대해 사업화가 가능하다.

다) 이중 주행모드

전용궤도 위와 일반도로면 위를 같은 차량으로 주행하며 환승 없이 직통운전이 가능하다. 이것은 도로의 체증구간만 전용고가궤도를 건설하고 나머지 구간에서는 일반버스로 운행, 최소의 투자로 큰 효과를 거둘 수 있다. 나고야 가이드웨이버스는 전용궤도와 일반도로가 만나는 구간에서 안내 차륜을 조절, 일반도로와전용궤도를 주행하고 있다.

라) 단계적 정비에 대한 대응

일반도로에서도 운행이 가능하기 때문에 효율적인 정비가 가능하다. 전용궤도구간은 평면도로의 교통량, 건설자금, 채산성 등을 고려하면서 시차를 두고 연장 할 수 있다. 전용궤도 구간 구조를 미리 고무차륜 AGT 시스템의 경량전철에 대 응할 수 있도록 고려해두면 수요에 맞춰 수송력이 큰 경량전철로 전환할 수 있다.

### 바. Citaro G

개발차량과 Phileas, TVR, Translohr, CIVIS의 공통적인 특징은 주로 2량 편성 이상으로 운행이 가능하고, 특히 안내시스템에 의해 자동운전시스템이 적용된 트램이다. 벤츠의 Citaro G 굴절 차량은 위 차량 시스템과 유사한 특징을 가지지만 안내 시스템에 의한 자동운전 기능은 없는 차량이다. 그러나 추진 시스템은 우리의 개발차량과 비슷하며 자동운전과 전차륜 조향시스템을 제외하면 유사한 특징을 가지는 굴절 차량이다. 벤츠의 Citaro G 차량은 BlueTec Hybrid 시스템이 적용차량으로 아래의 특징을 가진다.

- BlueTec-SCR(Selective Catalytic Reduction)을 이용하여 디젤 엔진의 배기 가스를 EURO 4 기준에 만족시키는 시스템
- BlueTec Hybrid system:

Disel engine + Generater + SCR(후처리장치) + Li-ion배터리

- SCR(후처리장치): 암모니아를 이용하여 디젤엔진의 매연을 감소하기 위한 장치




그림 1.3.1-7 Diesel 연료 주입 및 SCR 암모니아 주입

표 1.3.1-2 Citaro G 주요 사양

| Items | Contents | Remarks |
|---|---|---|
| Electric drive | 4 asynchronous wheel hub motors at the centre and rear axles, output 4 x 80 kW, generator output 160 kW, lithium-ion batteries, 170 kW, capacity 19.4 kW/h | No transmisson, No differential |
| Disel engine | MB OM 924 LA - Euro 4<br>4-cylinder in-line<br>160 kW ( 218 PS) - 4.800 ccm | 450kg,<br>변속기 포함 1,000kg,<br>추후 연료전지로 교체 가능 |
| Auxiliary units | A/C compressor, Power steering pump, Air compressor | Be placed on the roof |

표 1.3.1-3 Citaro G의 제원

| Dimensions & Weights | | |
|---|---|---|
| Items | Contents | Remarks |
| Overall length: [mm] | 17,940 | |
| Height: [mm] | 3,325 | |
| Width [mm] | 2,550 | |
| Seats | 45+1 | |
| Standing cap | 103 | |
| Permissible GVW: [kg] | 28,000 | |

## 사. 굴절버스(Articulated Bus)

개발차량은 Phileas, TVR, Translohr, CIVIS, Citaro G 차량과 유사한 특징을 가지지만 추진시스템과 안내시스템이 적용되지 않은 해외 굴절 버스의 운영 실태를 조사하였다.

미국 및 영국에서 탠덤(직렬)버스, 벤디(유연)버스 또는 아코디언버스라고도 알려

져 있는 굴절버스(articulated bus)는 대량승객수송능력을 가진 버스의 한 형태이다. 개략적인 길이는 18m(일반버스 길이는 11~14m)이고, 시내에서 안전하게 운행되도록 여분의 축과 조인트가 버스 중앙보다 약간 뒤편에 위치하고 있다. 두 개의 조인트를 가진 버스의 경우는 이중굴절버스(bi-articulated)라고도 하는데, 승객수송용량은 약 200명이고, 그 길이는 25m에 이른다. 이 경우는 자동 유도되는 전용선을 주행 한다.

굴절버스에서 나타난 한가지 단점은 유효출력(effective power)이다. 일반적으로 굴절버스는 비굴절버스와 동일한 엔진을 사용하는데, 이는 늘어난 중량으로 인해 속도와 가속을 떨어뜨린다. 경사지가 많은 도시의 경우, 즉 벤쿠버나 샌프란시스코에서는 차가 쉽게 가열되어 정지하거나 불이 날 수 있다. 영국 런던에서 굴절버스가 도입된 초창기인 2004년 동안 Mercedes-Benz Citaro 새 버스에서 여러 건의 화재가 있었는데 이로 인해 잠정적인 운행중지를 겪은바 있었다.




그림 1.3.1-8 SMRT 버스(Mercedes-Benz O405)



그림 1.3.1-9 런던에서의 Mercedes-Benz Citaro 유연버스

오래된 도로망을 가진 도시에서 가지는 또 다른 문제는 굴절버스의 길이에 따른 어려움과 모퉁이를 회전하는데 필요한 회전반경이다. 런던의 많은 도로는 노선 폭과 공간이 충분하지 않아, 버스정류장에서 보도에 근접하거나 교차로에서 회전하는데 어려움을 가진다. 따라서 버스정류장을 재배치하거나 굴절버스가 제대로 정차하기 위해 노선을 다시 검토하는 일도 있었다. 런던의 굴절버스는 또한 자전거와의 빈번한 충돌 책임을 가지고 있다. 보수당 런던시장후보인 보리스 존슨은 런던시장이 될 경우 가장 먼저 유연버스(굴절버스)를 현대화된 루트마스터(Routemaster)로 교체하겠다고 하였다. 런던교통당국의 통계에 따르면, 1 마일 당 충돌회수가 다른 버스에 비해 굴절버스는 2배가량 된다고 하였다.

주요 유럽국가에서 굴절버스는 수송능력의 증가수단으로 점점 인기가 있으며 이

층버스는 낮은 철도교량 통과 여유고로 많은 도시에서 인기를 얻지 못하고 있다. 트램용 가선은 굴절버스든 이층버스든 유럽의 경우 그 운행과는 무관하지만 화물차들은 심각한 문제를 낳고 있다.

영국에서 최근에 굴절버스가 인기가 있는 이유는 이층버스가 만원이기 때문이다. 이 차량의 수송능력은 1층의 좌석배치에 따라 다르지만 약 80~90명이다. 굴절버스는 이층버스보다 앉는 승객의 비율이 훨씬 낮기 때문에 "입석차량"으로 볼 수 있지만 18m 굴절버스의 경우 승객 수송능력은 120~140명에 이른다. 비록 출입문 설계(3개의 문)때문에 요금 징수에 문제는 있지만, 똑같은 운전자에 킬로미터 당 승객 1인당 비용을 줄일 수 있다. 그러나 차량의 구매 및 유지관리 비용이 고전적 이층버스보다 더 비싸고, 또한 연료비가 더 들기 때문에 운영에 대한 "진정한 경제성"이 평가되기 전까지는 시간이 필요하다.

이스라엘에서는 굴절버스(여기서는 긴버스(long bus)라고 불림)가 광범위하게 운행되고 있는데, 특히 Gush Dan과 예루살렘에서이다. 긴버스는 70년대 중반이후 이스라엘에서 신뢰성 있게, 운행되고 있다. 이스라엘과 팔레스타인 충돌시 이 버스는 러시아워때 팔레스타인 테러리스트 및 자살 폭탄범들의 타겟이 종종 되었는데, 이는 100명 이상의 승객이 탈 수 있기 때문이다. 따라서 지금은 안전요원들이 동승하고 있다.

헝가리 부다페스트에서도 굴절버스는 1970년대 초 이후 크게 각광을 받고 있다. 헝가리 회사 Volan사는 도시 간 노선으로 수백대의 굴절버스를 운영 중이다.

미국의 경우도 보스톤, 시카고, 콜롬버스, LA, 뉴욕, 오렌지카운티, 캘리포니아, 필라델피아, Quad시, 샌프란시스코, 시애틀, 워싱턴DC에 운행되고 있으며, 캐나다는 뱅쿠버, 오타와, 에몬톤, 해리펙스, 몬트리올 근교, 그리고 아시아는 중국의 주요 시에서 1990년대 말부터 운행 중이다.

### 아. VAL(Véhicule Automatique Léger, 경량 자동 차량)

VAL(Véhicule Automatique Léger, 경량 자동 차량)은 고무차륜 경전철의 하나이다. 1980년대 프랑스 릴의 도시철도를 위해 고안되었다. 한국에서는 의정부 경전철이 VAL 시스템을 채용하였다.

VAL 약자는 Villeneuve d′Ascq à Lille (Villeneuve d′Ascq to Lille) 첫 번째 노선이란 의미이지만, 현재는 공식적으로 Véhicule Automatique Léger (automatic light vehicle)를 나타낸다. Docklands Light Railway Vancouver의 SkyTrain과 같은 운전자가 없는 메트로 시스템과는 달리 VAL 설계에서는 기다리는 승객이 선로로 떨어지는 것을 방지하기 위해 선로가 유리파티션으로 구분되어 있는 플랫폼을

활용한다. 이와 같은 플랫폼 스크린 도어는 스위스 유리문 제조업체인 Kaba Gilgen AG에서 생산되는데, 열차가 플랫폼에 정지할 때 열차문과 파티션 문이 서로 동조하여 열리게끔 되어 있다.

VAL이 대만에 도입될 때 중간 수송용량시스템(medium capacity system)이란 용어가 중전철(메트로)과 구분하기 위해 사용되었다. 따라서 비록 VAL 기술이 사용되지 않는 경우에도 이 용어가 아시아 도시들, 그리고 철도설계자들 사이에서 광범위하게 사용되고 있다. 지멘스(Siemens) 공식사이트에는, VAL은 "최초의 완전자동 경량 메트로(light metro)"이라고 선전되어 있는데, 여기서 경량 메트로란 모스크바 메트로의 부토이스카야(Butovskaya) 경량 메트로 라인으로 거슬러 올라갈 수 있다.



그림 1.3.1-10 프랑스 릴의 VAL 208



그림 1.3.1-11 VAL 206 from Toulouse Metro

## 2. 국내 기술개발

아직까지 국내에서는 바이모달 트램 개발이 이루어진 적이 없으며, 단지 국내에서 운영 중인 경량전철인 고무차륜 AGT와 서울시의 저상 굴절버스 기술특성은 다음과 같다.

- 경량전철시스템은 무인운전에 의한 운영효율성, 운전시격 단축과 정시성에 의한 승객 편의성 향상 등의 장점이 있는 반면, 높은 차량가격과 건설비용, 장기간의 건설기간에 따른 교통문제 유발, 환승 및 승객 접근성 등에서 단점이 있다.

- 저상굴절버스는 기존 도로에서 운행되므로 초기 도입비용이 저렴하고, 승객 수송력도 기존 버스보다 크게 향상되는 장점이 있음. 반면 자동운전의 구현이 불가능하여 정거장으로의 밀착 접근 불가능, 타 교통수단과의 사고다발, 도로정체에 의한 정시성 미확보 등의 단점이 있다.

- 개발되는 바이모달 트램은 저상굴절버스와 경량전철시스템의 장점은 최대한 구현하고, 단점을 보완할 수 있는 사양을 갖도록 개발되었다.

### 가. 고무차륜 AGT

경량전철은 버스와 중량전철(지하철)의 중간규모(5,000~30,000명/방향/시간)의 수송능력을 가지고, 유연한 노선계획이 가능하며 도시 환경친화적인 첨단 궤도교통시스템이다. 경량전철은 동작원리 및 운행방법에 따라 고무차륜 AGT (Automated Guideway Transit), 철제차륜 AGT, LIM AGT, 모노레일, 노면전차 등으로 분류된다.

고무차륜 AGT는 일반적으로는 고가궤도를 전용노선으로 사용하며, 기존 철도와는 달리 고무타이어를 주행륜으로 사용하고 별도의 안내장치 및 분기장치를 가지며, 소형·경량화된 차량이 무인운전으로 운행되는 경량전철 시스템이다. 고무타이어를 사용하므로 저소음/저진동의 환경 친화적인 주행특성을 가지며 급구배, 급곡선에 대한 대응성이 우수하여 도심지 노선 또는 신도시 개발지역에 적합하다. 또한 우수한 점착특성으로 가감속도를 향상시킬 수 있지만 적설과 결빙에 대한 대책이 요구되고 분기방식이 기존의 철도보다 복잡한 것이 단점이다. 한국형 경량전철 차량에 대해 표준사양이 제정(1998제정, 2005년 개정)되었고, 1999~2005년까지 개발되어 부산시 3호선 미남~안평구간에 적용되었다.




그림 1.3.2-1 한국형 고무차륜 AGT 시스템

### 나. 저상굴절버스

서울시에서는 버스의 쾌적성과 안전성 향상, 지하철과 경량전철의 한계성(장기간의 공사기간, 건설비 과다) 극복, 대기오염 완화, 교통약자 이동편익 증진, 승객의 이용편의 증진을 위해 저상버스, CNG 버스, 굴절버스 등을 도입하였고, 버스의 구조개선을 추진하였다.

- 굴절버스의 차량가격은 5.6억원/대, 인프라 구축비용은 12.86억원/km, 운영비용은 800,287원/km/차량(대)로서 지하철, 경량전철보다 수송능력은 적지만 도입

및 운영비용이 저렴하다. (http://bus.seoul.go.kr 참조).

- 차체폭(2.5m)과 도로폭(3~3.2m)에 비해 비교적 큰 회전반경(12m)으로 인한 빈번한 접촉사고, 고가(대당 5.6억원의)의 수입버스로서 사고 발생시 신속한 수리와 부품조달의 어려움 등으로 굴절버스의 추가 수입은 보류되었다.

○ 저상굴절버스의 특성분석

- 1명의 운전자가 일반차량보다 많은 수의 승객을 부담할 수 있고, 그에 따른 운영비 절감 효과가 기대된다.
- 저상의 차량구조는 교통약자의 대중교통 이용을 용이하게 하며, CNG 엔진을 사용함으로써 오염물질 배출을 감소시킨 친환경적인 교통수단이다.
- 5.6억원의 저상굴절버스는 일반버스(약1억원)에 비해 매우 고가의 차량으로서 기획예산처의 예산낭비사례로 지적되었다. 또한 현재 운영되는 저상굴절버스는 외국으로부터 차량을 수입하여 운행되는 것으로서 고장 시 신속한 대처가 어렵고 부품조달의 어려움이 있다.
- 서울에서 운행했던 저상굴절버스는 우리나라의 기후와 잘 맞지 않는 냉난방 장치로 인해 승객들의 불편을 초래하고 있으며, 일반버스보다 차체의 길이가 길어 도로주행 중 고장이 발생하면 극심한 정체를 야기 시킨다.



그림 1.3.2-2 저상굴절버스(Iveco, 현대자동차)

# 제2장 연구개발 수행내용 및 결과

## 제1절 바이모달 트램 개요

### 1. 바이모달 트램 개요

최근의 대중교통시스템은 저상화된 차량과 이에 맞추어진 정거장을 통하여 수평 승하차(Barrier Free)가 가능하여야 하고, 진동·소음 및 배출물이 적어서 환경 친화적이어야 하며, 운영 및 구축비용 측면에서 경제성을 갖고 있어야 한다. 이에 부합하는 교통수단으로는 저상트램이 대표적이며, 트램은 철제레일 궤도를 설치하고 철제차륜 차량이 주행하는 철제차륜 트램과, 고무타이어를 주행륜으로 사용하여 전용궤도와 일반도로의 두가지 모드로 운행할 수 있는 고무차륜 트램(바이모달 트램)으로 구분할 수 있다.

바이모달트램은 전체 길이가 저상으로 이루어져 수평 승하차가 가능하고, 모든 바퀴는 조향되어 기차가 레일 위를 주행하는 것과 같은 동적게이지를 갖게 되어 다른 교통수단과의 추돌우려가 없다. 앞 바퀴를 제외한 각각의 바퀴에 모터가 장착되어 구동되므로 미끄럼 사고 위험이 없고, 더 많은 관절을 용이하게 추가하여 차량길이를 늘려 대량수송을 가능하게 할 수 있다. 또한 가공선, 엔진발전 및 배터리 등 다양한 친환경 전력공급에 의하여 운행이 가능하다. 차량은 컴퓨터화되어 스스로 고장을 감지해내고 운영쎈터 및 차량 사이의 통신이 가능하며, 주행로에 설치된 자석마커에 의한 전자맵과 차량의 제어정보에 따라 자동운전(조향 및 제동)과 정거장에서의 정밀정차가 가능하다.

2009년부터 2010년에 걸쳐 개발된 시험용 차량, 정거장, 전용주행로 및 운영센터를 시험선에 구축하여 요구하는 기능과 성능시험을 완료하였으며, 2011년도에는 시험결과를 반영한 시제차량 2셋을 개발 제작하였다. 시제차량은 2012년 여수엑스포 기간('12.5~'12.8)에 여수엑스포역에서 오동도입구를 거쳐 이순신광장에 이르는 11.2km 순환노선을 운행하면서 8만명 이상을 수송하면서 한여름 폭서 및 과잉수송에 따른 문제점을 극복하였다. 9월부터는 오송역에서 세종청사를 거쳐 반석역까지 왕복 62.4km 노선을 운행하면서 지금까지 5만명 이상이 탑승하고 있으며, 한겨울 혹한기의 장거리 운행에 따른 문제점을 극복해 가고 있다.

바이모달트램은 인구가 30~50만명 정도의 신도시, 지방도시 및 서울과 같은 대도시의 구역권역에서 노면교통 문제를 근본적으로 해결하기 위한 현실적인 수단이라고 할 수 있다. 현재 수도권에서 새로운 대중교통으로 확대보급중인 간선급행버스(BRT: Bus Rapid Transit)는 버스를 철도운영체계에 통합시켜 일정수준의 대용량과 정시성을 구현할 수 있는 시스템이다. 바이모달트램은 신교통형 BRT의 전용

차량으로서 국내에서 추진되고 있는 BRT 구축사업에 효과적으로 적용될 수 있으며, 이에 더 나아가 축적된 기술을 활용하여 노선 및 수요자 요구에 따른 다양한 형태 및 성능의 맞춤형 바이모달트램을 출시할 수 있는 체계를 갖추어가고 있다.

## 2. 실용화 차량 사양

### 가. 바이모달 트램 기술 사양

1) 차량의 주요제원

표 2.1.2-1 차량의 주요제원

| 사양 | | | 제 원 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 승차 인원 | 좌석수 | 휠체어공간 | 1 | 변경 가능 |
| | | 좌석 | 29(운전석 별도) | |
| | 정원(인) | | 93 | 자동차안전기준에 관한 규칙 적용했으며, 변경 가능함 |
| 차량 구조 | 편성단위(량) | | 2 | |
| | 폭(mm) | | 2,500 | |
| | 높이(mm) | | 3,393 | |
| | 길이(mm) | | 18,000 | |
| | 바닥높이(mm) | | 340 | |
| | 오버행 | 전 | 1,195 | |
| | | 후 | 1,530 | |
| | 출입문 수 | | 3 | 변경 가능 |
| | 출입구 높이(mm) | 전용도로 | 320 | |
| | | 닐링적용시 | 250 | |
| | 출입문 | 폭(mm) | 1,460 | |
| | | 높이(mm) | 2,160 | |
| | 실내높이(mm) | | 2,360 | |
| | 통로 폭(mm) | | 619 | |
| | 축간 거리(mm) | 1-2축 | 7,700 | |
| | | 2-3축 | 7,575 | |
| 중량 | 공차 중량(kg) | | 18,356 | 출입문 및 좌석배치에 따라 변경 가능 |
| | 만차 중량(kg) | | 24,476 | |
| 지상고 (mm) | 전용도로 운행시 | | 107.2 | |
| | 일반도로 운행시 | | 177.2 | |
| | 최대 지상고 | | 227.2 | |

2) 바이모달 트램 주요 구성품 사양 및 성능

표 2.1.2-2 바이모달 트램 주요 구성품 사양 및 성능

| 사양 | | | 제 원 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 추진장치 | 최고속도 | | 80km/h | |
| | 표정속도 | | 30km/h 이상 | |
| | 구배기동 | | 13%(공차) | |
| | 추진방식 | | 직렬형 하이브리드 추진시스템 | |
| | 최대가속도 | | 1.2m/s2 | |
| | 전기제동 | | 회생제동 | |
| | 운전모드 | | 하이브리드, 배터리, 엔진 모드 | |
| 조향장치 | 구동축수 | | 2 | |
| | 총축수 | | 3 | |
| | 타이어 | 1축 | 275/70 R 22.5 | |
| | | 2/3축 | 385/65 R 22.5 | |
| | 조향 구조 | | 전체차륜조향, 파워스티어링 | |
| | 최소회전반경(m) | | 12 이내 | |
| | 차량선회폭 [swept path(m)] | | 4.5 이내 | 최소회전반경 기준시 |
| 제동 및 현가장치 | 제동 공급 방식 | | 공압식 | |
| | 제동 형식 | | EBS(ABS+전자지령) | |
| | 감속도(비상)(m/s2) | | 5m/s2이상 | |
| | 현가장치 종류 | | 공기스프링 방식 | |
| | 높낮이 조절 | | 4단계 ECAS 시스템 (닐링, 자동운전, 일반주행, 최대높이주행) | |
| 자동 안내시스템 | 운전방식 | | 자동운전 | |
| | 안내시스템 | | 전자기 안내 | |
| 배터리 | 구조 | | Li-Polymer | |
| | 용량(kW) | | 193 | |
| 냉난방장치 | 냉방용량 | | 22,000 kcal/h | |
| | 난방용량 | | 15,000 kcal/h | |

## 나. 주요 사양 특징

1) 추진장치 특징

바이모달 트램의 추진장치는 직렬형 하이브리드 추진타입으로 압축천연가스(CNG) 엔진과 Lithium-polymer 배터리를 사용한 전기구동시스템으로, 잦은 주정차가 필요한 시가지 주행에 적합한 추진시스템으로 개발되었다. 직렬형 하이브리드 시스템은 연비를 향상시키기 위하여 엔진과 이와 연결된 발전기를 이용하여 차량의 운전상태 혹은 엔진 공회전 상태에서 배터리를 충전 하도록 설계된 시스템이다.

엔진과 차륜이 기계적으로 결합되지 않는 구조적인 특징을 가지고 있으며 엔진/발전기는 차량의 속도와 관계없이 일정한 회전수와 출력으로 운전되기 때문에 높은 효율을 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한, 직렬형 하이브리드 추진시스템은 차량의 추진전력 뿐만아니라 배터리 팩의 SOC 밸런싱 확보 기능도 갖추어야 한다.

직렬형 하이브리드 차량은 구동계에서 공급되는 전동기의 구동력으로 주행되며, 차량의 감속이나 제동시에는 전동기에 의하여 전력을 회생하여 에너지 효율을 높일 수 있는 장점이 있다.

아래 그림은 바이모달 트램 추진 계통도로서, 각 구성품간의 통신은 IEC 61375 규격에 따른 철도차량용 MVB(Multifunction Vehicle Bus) 통신방식이 채용되었다.

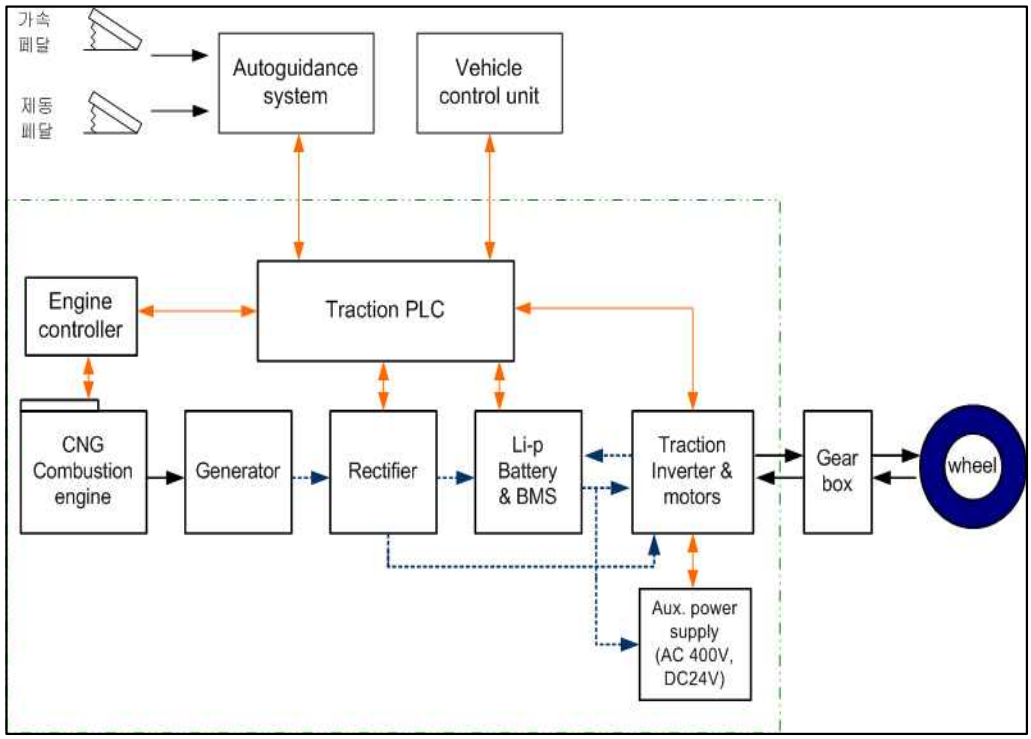



그림 2.1.2-1 바이모달 트램 추진 계통도

다음 표는 직렬형 하이브리드 추진시스템의 주요 구성품들에 대한 사양을 나타낸다.

표 2.1.2-3 직렬형 하이브리드 추진장치 구성품 사양

| 구성품 | 사양 |
|---|---|
| 엔진 | type: CNG, 5.9L, 230HP, EURO-V<br>max. power: 172kW@2800rpm,<br>max. torque: 678Nm@1600rpm |
| 발전기 | type: 3-ph synchronous,<br>permanent magnetic,<br>nominal power rating: 145kW<br>cooling: water |
| 배터리 | type: Li-polymer, 80Ah<br>nominal voltage: 650V<br>cooling: air |
| 추진인버터 | type: IGBT, VVVF<br>nominal power rating: 62kW X 4<br>cooling: air/water |
| 보조전원장치 | type: IGBT, 24Vdc, 380Vac<br>noiminal power rating: 6kW, 20kW<br>cooling: air/water |
| 견인전동기 | type: induction motor<br>nominal power rating: 45kW X 4<br>efficiency: 90%<br>cooling: water |

바이모달 트램은 3가지 운전모드로 주행이 가능하다. 배터리와 엔진-발전기 셋의 전력을 함께 사용하는 하이브리드 모드, 배터리 전력만을 사용하는 배터리 단독모드, 엔진-발전기 셋의 전력만을 사용하는 엔진 단독 모드로 주행할 수 있다. 하이브리드 모드에서는 추진인버터와 견인전동기가 CNG 엔진-발전기 셋과 배터리 전력을 함께 활용해 최고연비와 배출가스 최소화하도록 했고, CNG 엔진-발전기 셋이 정상동작을 하지 못하는 경우나 터널 및 소음제한구역을 운행 시에는 엔진을 정지시키고 배터리 단독 운행모드로 주행할 수 있다.

주행 노선의 운행조건에 따라 배터리 모드로 주행할 수 있는 최대 거리는 변경될 수 있지만, 최소 3km 이상의 제한적인 거리를 배출가스 없이 저소음으로 운행할 수 있도록 제작했다. 엔진단독 운행모드는 배터리팩을 정상 동작시킬 수 없는 경우, 엔진-발전기 셋의 출력만을 사용하여 차량을 제한적으로 운행할 수 있도록 했다.

개발사업에서 바이모달트램에 적용한 엔진은 유로5 배출가스기준을 만족하는 CNG엔진이었다. 현재는 유로6 배출가스 기준을 만족하는 엔진을 장착하여 실용화 하여야 한다. 바이모달트램은 하나의 노선에 수십대 정도의 차량을 운행하게 되므로 바이모달트램만을 위한 CNG 충전소 설치가 어렵다. 더구나 CNG 충전소는 도심에서 먼 거리에 설치되는 것이 일반적이므로 바이모달트램이 도심지를 중심으로 운행되는 경우 CNG엔진보다는 클린디젤엔진을 적용하는 것이 효율적이다.

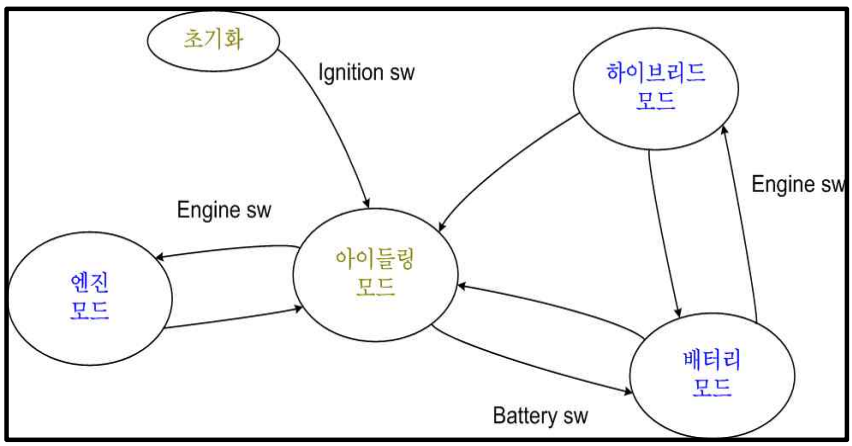



그림 2.1.2-2 바이모달 트램 3가지 운전모드

2) 조향장치 특징

바이모달 트램이 일반도로를 주행하기 위하여 국내 도로환경에 대한 차량성능 기준을 만족해야 한다. 일예로 18m에 달하는 바이모달 트램이 국내 도로를 주행하는 차량의 경우에 최소회전반경 12.0m를 만족해야 하는데 전길이 저상화를 위하여 축거가 일반버스에 비해 길기 때문에 최소회전반경이 클 수 밖에 없다. 이를 해결하기 위하여 전차륜 조향(AWS)기술을 적용함으로써 해결하였으며, 또한 전차륜 조향기술을 적용하는 경우 정거장에 정밀정차 할 경우에 접근길이(Lead length)를 대폭 줄일 수 있다는 장점도 있다.

일반버스는 후륜이 조향되지 않으므로 전륜은 싱글타이어, 후륜은 더블타이어를 사용하지만 바이모달 트램의 경우, 전체 차륜이 조향되므로 2/3축에도 허용하중이 다르지만 1축과 같이 싱글타이어를 사용하고 있다. 원활한 조향을 위하여 1축에 파워스티어링 장치가 사용된다. 하이브리드 모드에서는 엔진에 의해서, 배터리 모드에서는 유압모터에 의해서 파워스티어링 장치에 유압이 공급된다. 2축 및 3축의 조향은 엔진룸에 있는 유압펌프에 의해서 2/3축 유압실린더에 유압을 공급한다. 조향장치 구성품에 대한 사양은 표 2.1.2-4와 같다.

표 2.1.2-4 조향장치 구성품 사양

| 구성품 | 사양 |
|---|---|
| 1축 및 파워 스티어링 장치 | - 파워스티어링 장치 사양: RBL type C-500V<br>- 오일 유량: 최소 15l/min at 150bar<br>- 입력 축 토크: 최대 300Nm<br>- 허용사용온도: 80℃(최대 120℃)<br>- 허용 최대 압력: 160bar<br>- 사용 오일: Shell Donax TA type/D<br>- 중량: 36kg(오일제외시)<br>- 1축 최대조향각: 34.5° |
| 2축 및 3축 조향 장치 | - ECU, 유압펌프, 유압밸브블록, 유압실린더 및 링크(피트먼암, 타이로드) 등으로 구성됨.<br>- 유압펌프 사양: KAVEE type PLP 20.8DO<br>- 오일유량: 12.3l/min(at 4500rpm with max. pressure 280bar)<br>- 2축 및 3축 최대조향각: 19.5°<br>- 사용 오일: Shell Tellus T46 |
| 선회 성능 | - 회전반경 12m 이내<br>- 곡선주행 폭 4.5m 이내 |

3) 제동 및 현가장치 특징

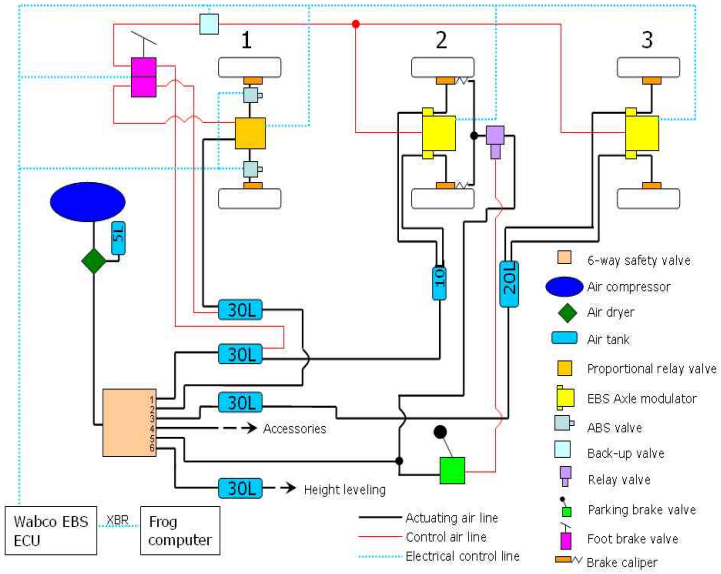
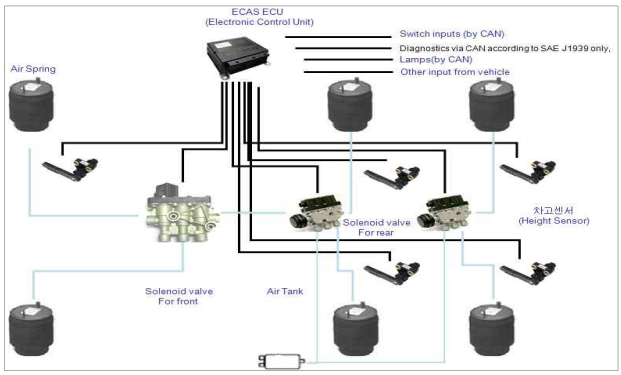
바이모달 트램의 경우, 차량을 안전하게 감속 및 정차를 하기 위한 제동장치로서 공압식 제동장치를 사용하고 있다. 공압식 제동장치는 차량의 높낮이 조절을 용이하게 하기 위한 에어서스펜션의 사용과 맞물려서 대형 차량에 많이 사용되고 있으며, 바이모달 트램과 같이 굴절장치가 있는 차량은 차량 분리 등의 사고 등을 고려할 때 유압식 제동장치보다 안전성이 높은 장점이 있다. 또한 바이모달 트램의 제동장치는 하이브리드 차량으로 에너지 효율을 높이기 위하여 기계식 제동장치 외에도 전기식 제동장치를 병행하여 사용하고 있는 것이 특징이다. 바이모달 트램의 제동장치는 공기 제동장치와 전기 제동장치로 구분할 수 있다. 제동 페달을 밟았을 때 페달의 각도가 7도 이하에서는 전기 제동만 작동하며 7도 이상에서는 공기 제동과 전기 제동 모두 작동하게 된다.

바이모달 트램은 각각 독립적인 3개 축으로 구성되어 있으며, 각 축에는 디스크 타입의 제동장치가 설치되어있다. 풋 브레이크 밸브는 듀얼로 구성되어 제동의 안

전성을 높이고자 했으며, 위쪽 밸브의 2축과 3축의 제동 공기압력을 제어하고 아래쪽 밸브는 1축과 3축의 제동 공기압력을 제어한다. 주차브레이크는 2축에 스프링 형식으로 설치되어 있으며, 차륜 잠김을 방지하기 위하여 ABS(Anti-lock Brake System) 기능을 가진 EBS(Electronically Controlled Brake System) ECU 및 밸브가 설치되어 있다. 2, 3축에 설치된 EBS 모듈레이터(modulator)는 1축에 설치된 릴레이밸브 및 ABS 밸브를 통합된 것이다. EBS 제동시스템은 전자지령에 의하여 제동압력이 형성되므로 실린더의 압력 형성 및 반응시간을 줄여준다. 또한 축 하중에 맞게 제동력을 분배하고 ABS와 통합하여 제동에 따른 안정성을 높여준다. 만약 EBS가 고장나면 백업밸브에 의하여 공기지령에 의해서 제동을 하게 된다. 자동운전시는 CAN을 통하여 XBR(external brake request) 통신 프로토콜에 따라 Frog 컴퓨터에서 제동지령을 주게 된다.

ECAS(Electronically Controlled Air Suspension)은 차고 센서로부터 ECAS ECU가 차량높이의 변화를 감지하여, ECAS 솔레노이드밸브를 제어함으로써 에어스프링의 압력과 차량높이를 조절하는 전자 제어에어서스펜션 시스템이다. 차량의 하중변화에 따른 차고 조정이 자동으로 이루어져 항상 일정한 차고를 유지하며, 운행조건(닐링(kneeling), 저상높이(자동운전), 정상높이(일반운전), 최대높이)에 따라 간단한 스위치 조작으로 차고 높이를 조정할 수 있다. 닐링은 5km/h 이하에서만 동작하며 7km/h 이상에서는 정상높이로 복원된다. 최대높이에서 운전할 때도 설정속도(예 30km/h) 이상이 되면 정상높이로 복원된다.

표 2.1.2-5 제동장치 및 현가장치 구성품 사양

| 구성품 | 사양 |
|---|---|
| 제동장치 구성도 |  |
| 공기 압축기 | - 압축기 type: E-comp<br>- 냉각방식: 수냉식<br>- 동작속도: 1500～2000rpm<br>- 작동압력:12.5bar<br>- power: 3kW<br>- Votage: 230V(델타결선, 50Hz), 400V(Y결선,50Hz) |
| Brake system | - Type: Disc<br>- Disc diameter: 430mm<br>- Brake chamber: 16''(axle 1), 20''/24''(axle 2), 18''(axle 3)<br>- EBS ECU 작동온도범위: -40℃～75℃<br>- EBS ECU 작동전압: 24V DC |
| 현가장치 구성도 |  |
| ECAS ECU | - ECAS ECU 작동온도범위: -40℃～75℃<br>- ECAS ECU 작동전압: 22V～32V DC |

4) 자동안내시스템 특징

바이모달 트램은 3가지 운전방식으로 운영될 수 있다. 즉 수동, 반자동, 완전자동이 적용될 수 있다.

운전의 시작은 수동운전으로 시작하며 자동운전 차량시스템의 조건과 자동운전요구조건이 만족되면 운전자가 자동운전으로 전환할 수 있다. 자동운전 조건에서 상황에 따라 운전자는 수동 또는 반자동모드로 전환하여 운전할 수 있다. 이에 대한 상태전환은 그림 2.2.2-3의 전환 흐름도에서 볼 수 있다.

가) 수동운전(Manual)

바이모달 트램은 기본적으로 운전자에 의한 수동운전이 가능하다. 이 모드에서는 일반차량과 같이 운전자가 추진/제동/조향에 대한 제어권을 갖는다. 차량이 자동운전을 지원하지 않는 경로 상을 주행하거나 자동운전시스템에 오류가 발생하거나 주행경로 상에 위험상황을 회피하기 위해 운전자가 수동운전을 할 수 있다.

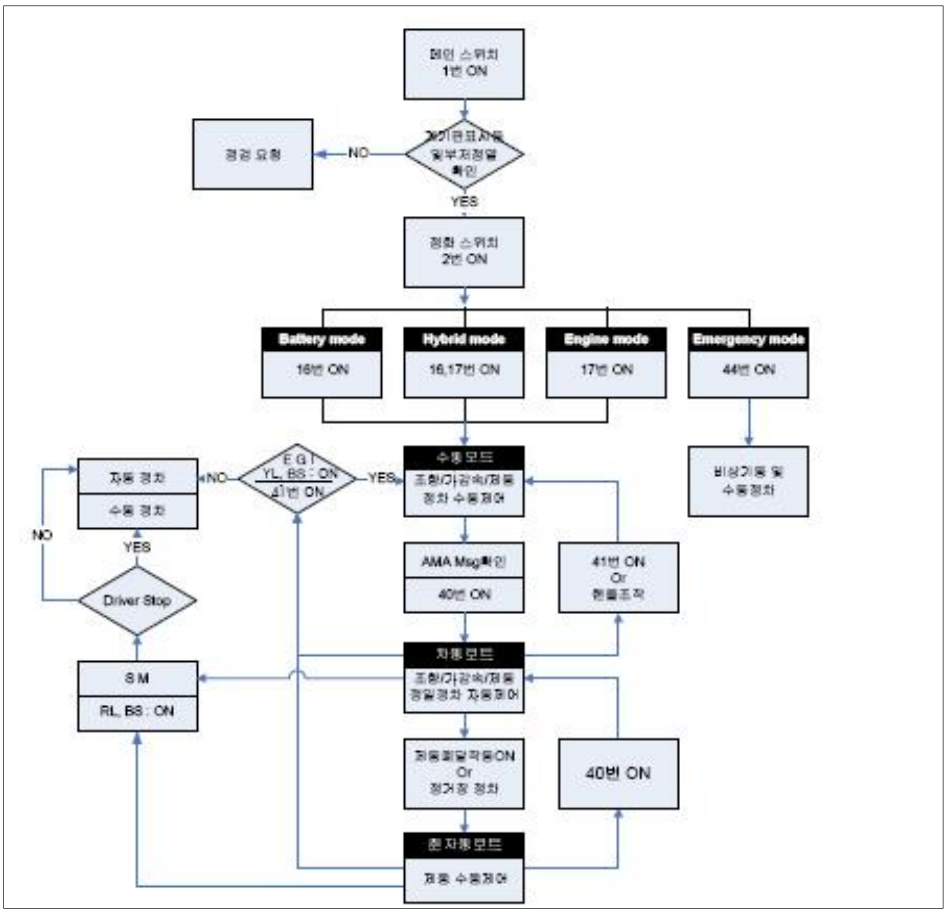



그림 2.1.2-3 차량 운전상태 전환 흐름도

나) 반자동운전(Semi-automatic)

바이모달 트램이 자동운전을 지원할 수 있는 경로 상을 운전할 때 반자동운전이 가능하다. 이때 운전자는 차량의 추진 및 제동제어 즉 가속페달 및 제동페달을 사용하여 가감속 제어를 담당한다. 차량의 자동운전시스템은 조향제어만을 담당하여 차량이 지정된 경로를 운전하도록 각 바퀴축의 조향각을 제어한다. 즉 운전자는 운전핸들을 조작하지 않는다.

다) 자동운전(Full-automatic)

바이모달 트램에는 특정하게 주어진 경로를 자동운전 할 수 있는 NCS(Navigation Control System)이 장착된다. 특정하게 주어진 경로에는 자석마커가 일정간격으로 주행경로의 중앙에 설치된다. 이 경로가 차량이 주행해야할 중심경로가 된다. NCS의 주요기능은 도로에 자석마커로 구성된 가상의 트랙을 차량이 따라가게 하기 위한 자동안내제어기능, 차량에 주어진 목표속도로 주행하기위한 자동속도제어기능, 정거장의 목표지점에 정밀정차하기 위한 정밀정차 제어기능이 있다. 자동안내제어는 차량의 각 바퀴의 조향제어를 담당하여 정거장에 차량의 정밀정차가 가능하도록 지원한다. 개발차량은 정거장 측면과 차량도어측면의 간격이 5cm 수준으로 제어된다. 차량은 저상차량으로 개발되어 차량 내에 계단이 없어 승객들의 수평승하차가 가능하여 휠체어, 유모차등을 이용할 수 있다. 이로 인하여 짧은 정차시간에 승하차가 가능하고 차량의 높은 운행 평균속도를 확보할 수 있다.

표 2.1.2-6 자동운전시스템 성능사양(안)

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| 자동안내제어성능 | • 기준경로 추종오차: ±10cm<br>(기준회전반경: 130m이상, 기준속도: 40km/h이내) |
| 정거장정밀정차성능 | • 횡방향 정차위치오차: ±2cm(설정간격기준)<br>• 종방향 정차위치오차: ±10cm(설정위치기준) |

5) 배터리 특징

바이모달 트램의 하이브리드용 배터리에는 에너지밀도 및 전력밀도가 현재 상용화된 배터리 중 가장 높은 리튬폴리머배터리가 선택되었다. 리튬폴리머 배터리는 셀전압이 4.2[V]로 높아 동일한 팩전압에서 다른 배터리에 비하여 팩을 구성하는 셀의 수를 두배이상 줄일 수 있다. 또한 배터리의 충방전 C-rate도 2C이상 가능하여 전동기로 구동되는 직렬형 하이브리드 차량에 매우 적합하다.

단, 리튬폴리머 배터리는 화재에 매우 취약하므로 화재가 발생하지 않도록 배터리셀전압의 과충전 및 과방전을 관리하는 BMS의 역할이 중요하다. 배터리 셀의 전류용량 및 팩전압은 추진시스템의 성능에 맞추어 80[Ah], 650[V](=168개 x 3.87[V])로 선정되었고 리튬폴리머배터리는 추진시 약 4C(320[A]=4 x 80[A])이상으로 방전이 가능하므로 추진에서 요구하는 193[kW]이상의 출력이 가능하다.

6) 냉방장치 특징

바이모달 트램의 승객 편의 시설인 에어컨은 Front Car: 22,000 kcal/h, Rear Car: 15,000 kcal/h 으로 총 37,000 Kcal/hr의 냉방용량을 가지며, 별도로 실내 공기질 유지를 위해 필요에 따라 환기(Ventilation)기능을 포함하고 있고 바이모달 트램 에어컨은 Front Car및 Rear Car의 지붕 상부에 장착되어진다.

냉방용량은 완제품 상태로 KS R 1053(자동차용 냉방기 시험 방법)에 따라 전용 시험설비에서 표준시험 조건으로 30분 이상 연속 운전하게 된다. 그리고 증발기 입구, 출구측의 습구온도를 측정하여 기 측정한 송풍량으로 냉방능력 산출 공식에 따라 냉방기의 능력을 산출하였다.

# 제2절 자동운전시스템/안내궤도(마그테틱바)

## 1. VCU(Vehicle Control Unit)

### 가. 바이모달 트램용 VCU의 구성 및 기능 정의

1) 바이모달 트램용 VCU의 구성

바이모달 트램용 VCU는 크게 Central computer, Terminal Unit, Display Unit로 구성되어 있다. Central Computer, TU와 DU는 CAN 통신을 통하여 연결되어 있으며 그 연결은 다음 그림과 같다.

TU와 DU는 운전자 조작용 스위치 및 센서와 각종 ECU등의 차량내의 다양한 장치와 hard-wired로 연결되어 있으며, Central computer는 FROG 장치와 J1939를 통하여 연결되어 있다.

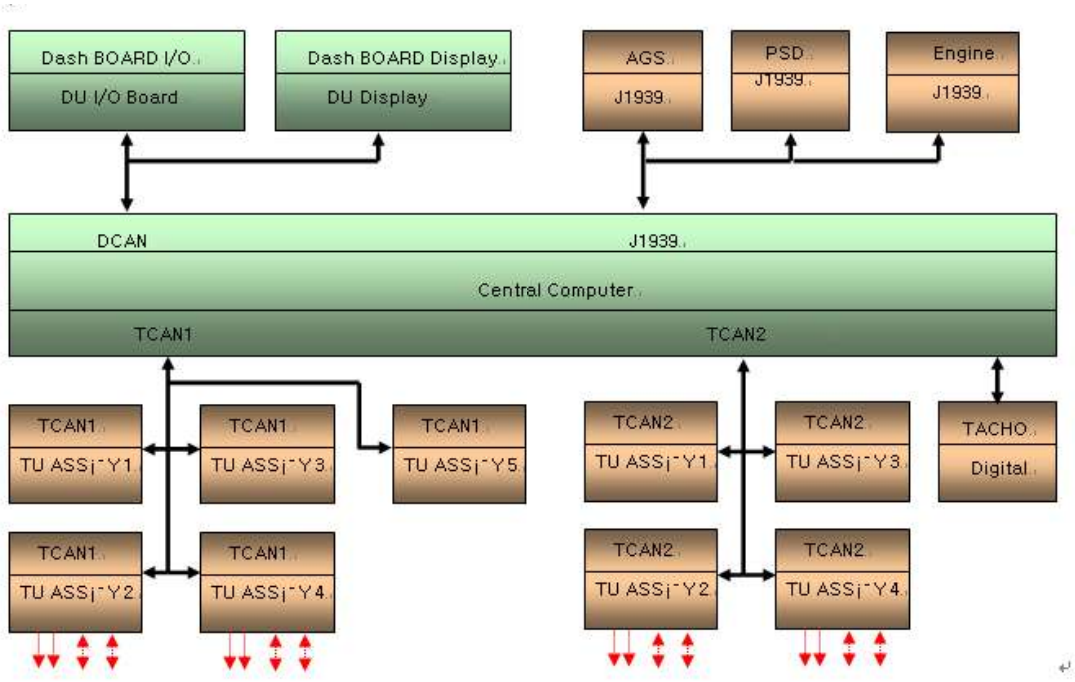



그림 2.2.1-1 VCU 구성도

2) 바이모달 트램용 VCU의 기능 정의

가) Central Computer

TU 및 DU에 연결된 장치의 상태 및 정보를 CAN bus를 통하여 수신하고, 이를 바탕으로 TU에 연결된 차상 장치를 control 하고 각종 정보를운전석 LCD 화면에 표시할 수 있도록 DU로 전송하는 역할을 한다.

CAN 통신을 위한 port로는 TU와의 CAN통신을 위한 2개의 CAN port와 DU와

의 통신을 위한 1개의 CAN port를 가지고 있으며, 다른 차내 장치와의 통신을 위한 7개의 CAN port를 가지고 있다. TU와의 통신을 위한 CAN port에는 각각 최대 8개까지의 TU가 연결될 수 있다.

일반 I/O port로는 tachometer로부터 전송되는 정보를 받기 위한 Frequency measurement port 3개를 지원하며 차내 장치와의 연결을 위한 2개의 Low-side drive output port 2개를 지원한다.

나) DU

DU는 DU I/O와 DU Display가 결합된 상태로 설치되어 사용된다. DU는 DU에 연결된 운전석의 조작 장치들의 상태를 수집하여 Central computer로 전송하며, Central computer로부터 받은 정보를 LCD 화면에 표출하는 역할을 한다.

Central computer와의 통신은 CAN 2.0A방식을 이용하며 250KBuad 속도로 이루어진다.

DU는 640x480의 해상도와 최대 65536 color를 지원하는 color TFT LCD를 사용하며, 4개의 Composite video 입력 중 선택된 1개의 입력에 대하여 전체 또는 PIP(picture in picture) 출력이 가능하다.

DU는 차내 장치와의 연결을 위한 Digital(Quasi-analog status) input port 70개(DU Display 2개, DU I/O 68개), High-side drive output port 18개, Analog Input port 2개를 지원한다.

다) TU

TU는 각종 차상 장치와 hard-wired로 연결되어 장치의 상태를 수집하여 Central computer로 전송하며, Central computer로부터 받은 장치의 control signal에 의해 연결된 장치를 control 한다.Central computer와의 통신은 CAN 2.0A방식을 이용하며 250KBuad 속도로 이루어진다.

TU는 차내 장치와의 연결을 위한 Digital(Quasi-analog status) input port 24개, High-side drive output port 24개, Low-side drive output port 8개, Analog input port 6개를 지원한다.

라) 통신 프로토콜

VCU의 Central Computer는 차내 장치의 상태와 차량의 운행 정보 등을 파악하기 위하여 TU, DU와는 CAN 통신을 FROG와는 J1939 통신을 이용하여 통신을 한다. 또한 TU에 hardwire 연결된 장치를 제어하고 동작시키기 위해서도 CAN 통신을

이용하고 있으므로 통신은 VCU 동작에 있어서 매우 중요한 비중을 차지하고 있다. 안정성을 확보하고 호환성을 높이기 위하여 기존 장치를 이용하여 바이모달 차량 내에서 VCU 각 모듈간의 통신 프로토콜과 VCU Central Computer와 FROG간의 J1939 통신 프로토콜을 확인하고 차후 확장성을 고려하여 정의하였다.

- 안정화된 APTS사의 VCU 통신 프로토콜 자료를 최대한 입수
- VCU 장치간의 통신프로토콜과 타 ECU와의 통신 프로토콜을 정의하여 적용
- 차량내 VCU 에 의해 제어되는 제어 장치와의 통신 프로토콜도 호완성과 확장성을 고려하여 정의.

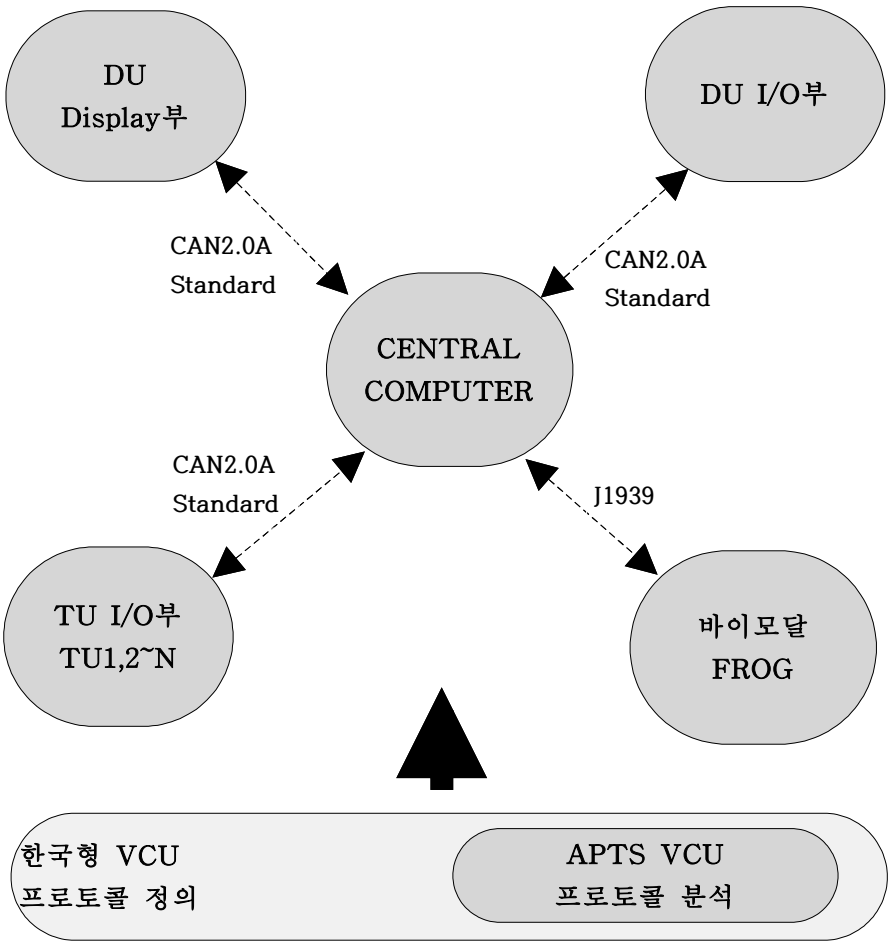



그림 2.2.1-2 VCU 프로토콜 정의 구성도

○ 정의된 통신 프로토콜의 특징

Digital Input Field

Digital input은 0과 1만을 가지는 일반적인 digital input이 아니라 analog 형태로 TU나 DU에 입력되어지며 상한값과 하한값에 따라 ON(1), OFF(0), ERROR(E),

Undefined 로 구분되는 값을 가지므로 2bit를 필요로 한다. 상한값과 하한값은 각 input port에 연결된 장치의 종류에 따라 설정가능하며 TU나 DU는 미리 설정된 상한값과 하한값에 근거하여 입력된 analog 신호를 ON(1), OFF(0), ERROR(E), Undefined로 구분한다.

Analog Input Field

Analog Input은 0~255의 범위를 가지는 8bit field로 구성된다. Analog input 역시 digital input과 마찬가지로 input port에 연결된 장치에 따라 값의 해석은 달라지며 이는 Central Computer에서 이루어진다.

Highside Output Field

VCU의 각 모듈에 있는 Highside switch를 컨트롤하기 위한 field로 Turn Off High side switch(0), Turn On High side switch(1)의 2가지 값만을 가지므로 1bit가 할당되어 있다. High side switch의 turn on/off 동작의 결정은 Central Computer가 담당하며 TU와 DU는 CAN 통신을 통하여 Central Computer로부터 받은 High-side Output Field의 값에 따라 switch의 turn on/off 만을 담당한다.

Lowside Output Field

High-side Output과 마찬가지로 VCU의 Low side switch를 컨트롤하기 위한 field로 Turn Off Low side switch(0), Turn On Low side switch(1)의 2가지 값만을 가지고 있으며 1bit가 할당되어 있다. Low side switch의 turn on/off 동작의 결정은 Central Computer가 담당하며 TU와 DU는 CAN 통신을 통하여 Central Computer로부터 받은 Low-side Output Field의 값에 따라 switch의 turn on/off 만을 담당한다.

Output Feed_Back Field

VCU의 High-side Output과 Low-side Output은 출력 상태를 감시하는 feed_back check 기능을 가지고 있으며, 출력 상태는 프로토콜의 feedback check bit field (1bit)에 의해 Central Computer로 보고된다.

마) 입출력 인터페이스 정의

Dash Board 입출력 인터페이스의 확장과 각 차량내 장치 인터페이스를 위한 확장 개념을 가진 입출력 인터페이스를 정의하고 설계하였다.

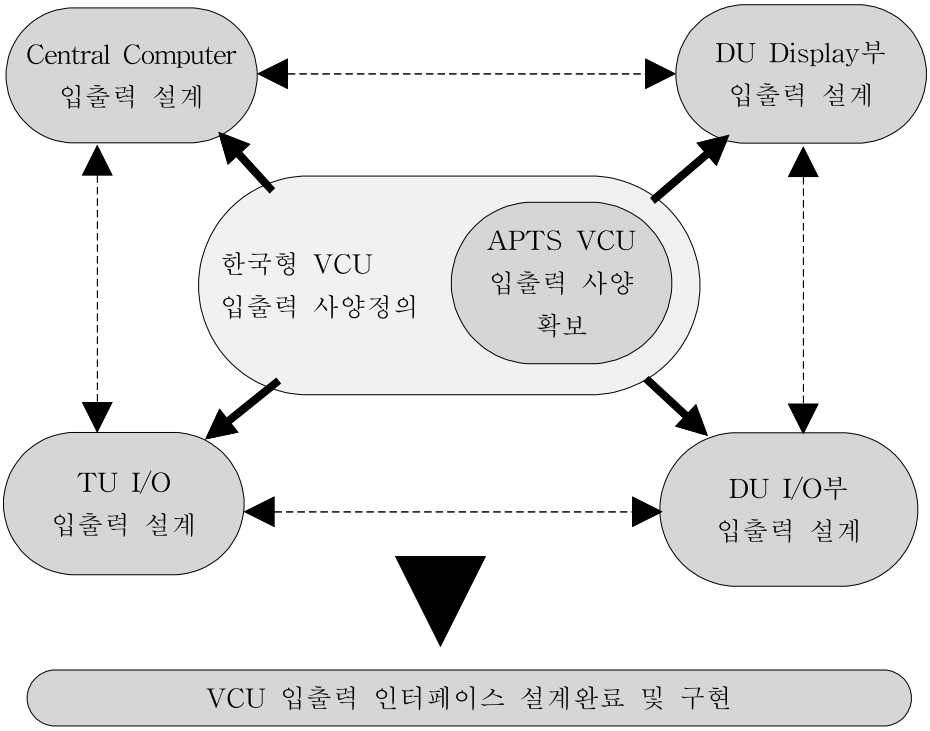



그림 2.2.1-3 입출력 인터페이스 정의 구성도

### 나. VCU 설계 및 제작

1) Central Computer 설계 및 제작

가) Central Computer 설계

VCU는 하나의 CC(Central Computer)와 여러 개의 TU로 구성되며, 2개의 다중화 Brench를 가진다. TU의 구성에 따라 하나의 Brench 당 5개 또는 8개의 TU가 연결된다.

(1) 구성도

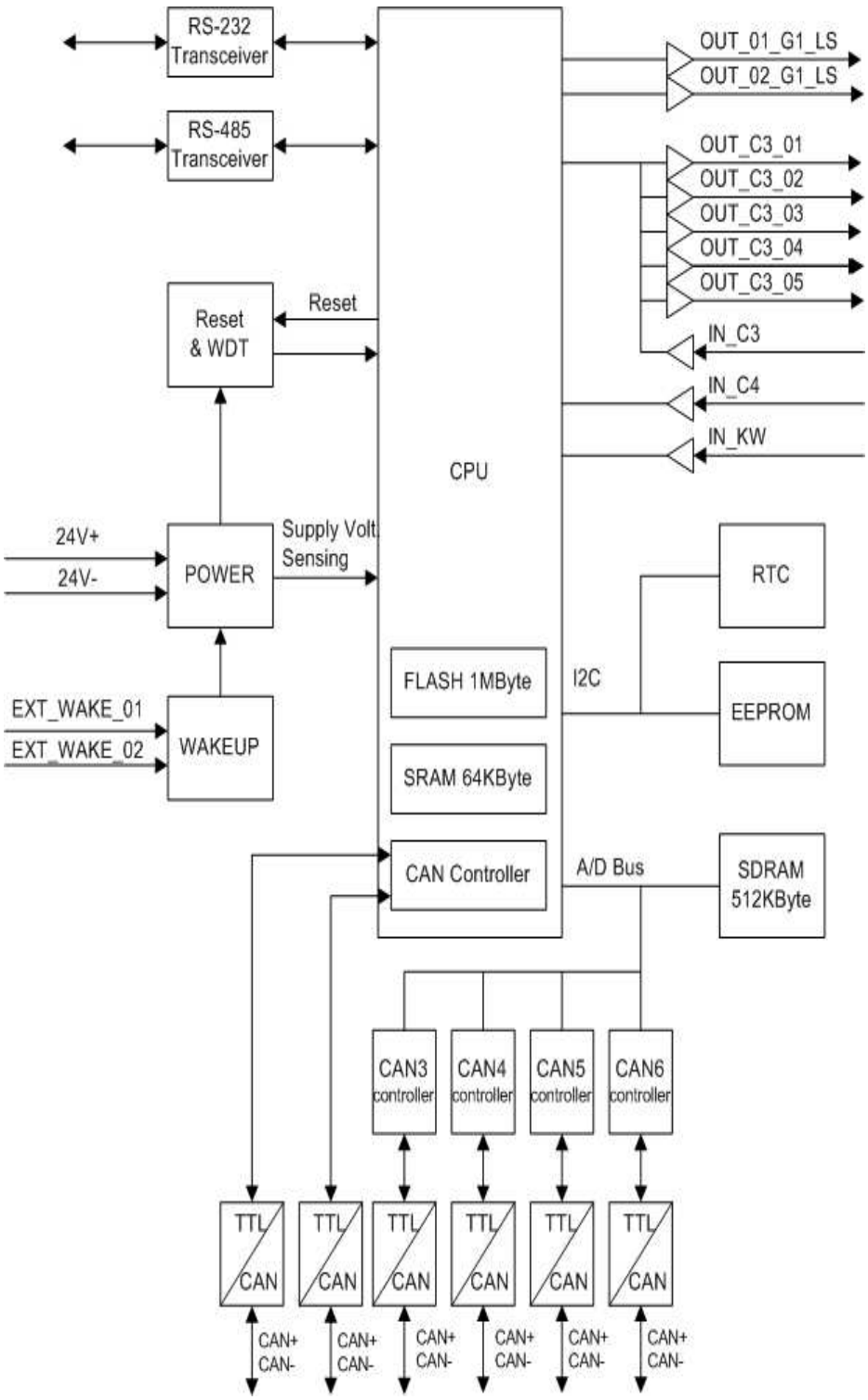



그림 2.2.1-4 CC 구성도

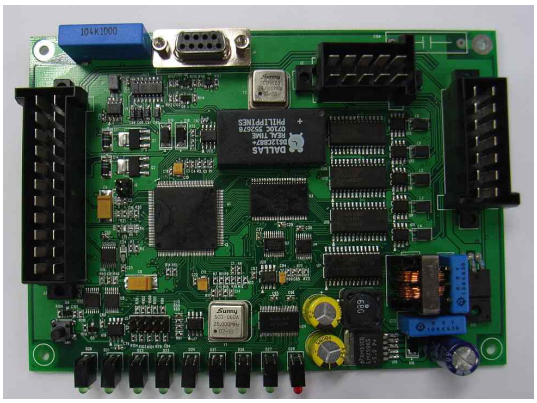
(2) 요구사양 및 구현내용

| 요구 사양 | 설계 사양 |
|---|---|
| Hardware요구사항 : 차량내 각 부위에 설치된 TU 및 Dash board내 DU를 효과적으로 제어하고 통신하는데 있어 성능저하가 발생하지 않아야 함 | 각 모듈을 제어하고 통신하는데 성능저하가 발생하지 않도록 설계 구현 |
| Software 요구사항 : 하드웨어에서 무리 없이 운용되어야 하고 가능한 블록화 되어 국제적으로 신뢰성이 검증된 소프트에어(IEC113-3 참조)를 사용하여야 하나 부득이한 경우에는 Block화된 소프트웨어로의 전환이 가능한 소프트에어를 사용할 수 있다. 이 경우에 프로그램에 사용된 소프트웨어에 대한 신뢰성 검증(ISO/IEC9126)이 이루어져야하고 검증시 문제가 없어야 한다. | 해당 하드웨어에서 무리 없이 운용되도록 설계함. C-programming으로 Block화여 프로그램을 작성하여 해당 규격에 준하는 설계 개발하였음 |
| VCU 제어 프로그램이 적재됨 | KIBES에 대응하는 프로그램 적재 |
| CAN통신을 이용하여 DTU로의 디스플레이 정보전달 | 256KBps CAN통신으로 구현 |
| TU Address를 관리 | TU Address 관리 |
| 외부로부터 TU로 입력된 디지털 또는 아날로그 정보를 입력받아 CC 내부 프로그램에 의해 정해진 논리규칙에 의해 출력여부를 결정하고 해당 외부장치와 연결된 TU를 통하여 신호를 아날로그 또는 디지털적으로 출력 | 외부로부터 TU로 입력된 디지털 또는 아날로그 정보를 CAN통신으로 입력받아 CC 내부 프로그램에 의해 정해진 논리규칙에 의해 출력 여부를 결정하고 해당 외부장치와 연결된 TU를 통하여 신호를 아날로그 또는 디지털적으로 출력 |
| 자체적으로 차량속도센서로부터 출력된 펄스 신호를 입력받아 처리가 가능하고 외부 장치와의 디지털/아날로그 입력 및 출력이 가능해야 함 | 타코메타의 출력을 입력으로 받아 처리가 가능하며, 2개의 Lowside출력을 가짐 |
| 자체 내장 메모리에 의해 적정한 수준의 정보를 저장 | 256Kkbit EEPROM에 정보 저장 |
| 외부의 감시 프로그램이 장착된 PC에 의해 프로그램 변경/로딩/모니터링이 가능해야함 | 모니터링 프로그램을 통해 외부 PC에 의해 프로그램 변경/로딩/모니터링이 가능함 |

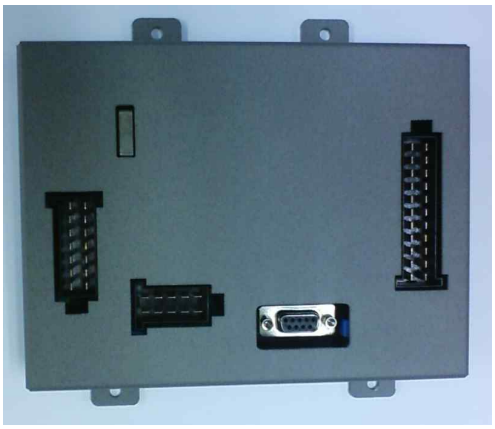
(3) 세부사양

| 구 분 | VDO(APTS)사양 | 요구 사양 | 설계 사양 |
|---|---|---|---|
| 마이크로 프로세서 | 16bit AM186 | 32bit 고성능 프로세서 | 32Bit Renesas M32R |
| Flash Memory | 512KByte | 1Mbyte | 1Mbyte |
| Internal RAM | | 64KByte | 176KByte |
| External RAM | 256Kbyte | 512KByte | 512KByte |
| WDT, RTC 지원 | 지원 | 지원 | 지원 |
| 통신 Interface | CAN통신 : 6 port<br>RS-232 : 1 port<br>RS-485 : Half Duplex 1port | CAN통신 : 6 port<br>RS-232 : 1 port<br>RS-485 : Half Duplex 1port | CAN통신 : 6 port<br>RS-232 : 1 port<br>RS-485 : Half Duplex 1port |
| 입출력 Interface | 입력 : General Input 3port<br>출력 : Low Side Ouput 2 port | 입력 : General Input 2port<br>출력 : Low Side Ouput 2 port | 입력 : General Input 2port<br>출력 : Low Side Ouput 2 port |
| 외장 | 플라스틱 Mold | 알루미늄 또는 동급이상의 재질을 사용한 Case여야 함 | 알루미늄 Case 제작 |
| 사용온도 | 동작온도<br>-30도~70도<br>저장온도<br>-40도~80도 | 동작온도<br>-20도~70도<br>저장온도<br>-30도~80도 | 동작온도<br>-20도~70도<br>저장온도<br>-30도~80도 |
| 입력전압 | 16VDC~32VDC | 20VDC~28VDC | 20VDC~38VDC |
| 소프트웨어 | VCU 제어 소프트웨어 탑재 | VCU 제어 소프트웨어 탑재 | VCU 제어 소프트웨어 탑재 |
| 주 기능 | VCU 각 모듈 제어 | VCU 각 모듈 제어 | VCU 각 모듈 제어 |

나) Central Computer 제작



(a) 내부보드



(b) 외함 하부외관

그림 2.2.1-4 CC 외관

2) Display Unit 설계 및 제작

가) DU 설계

DU Assembly는 DU Display(그래픽 디스플레이)와 DU IO(대시 인터페이스 보드)로 구성된다.

(1) 구성도

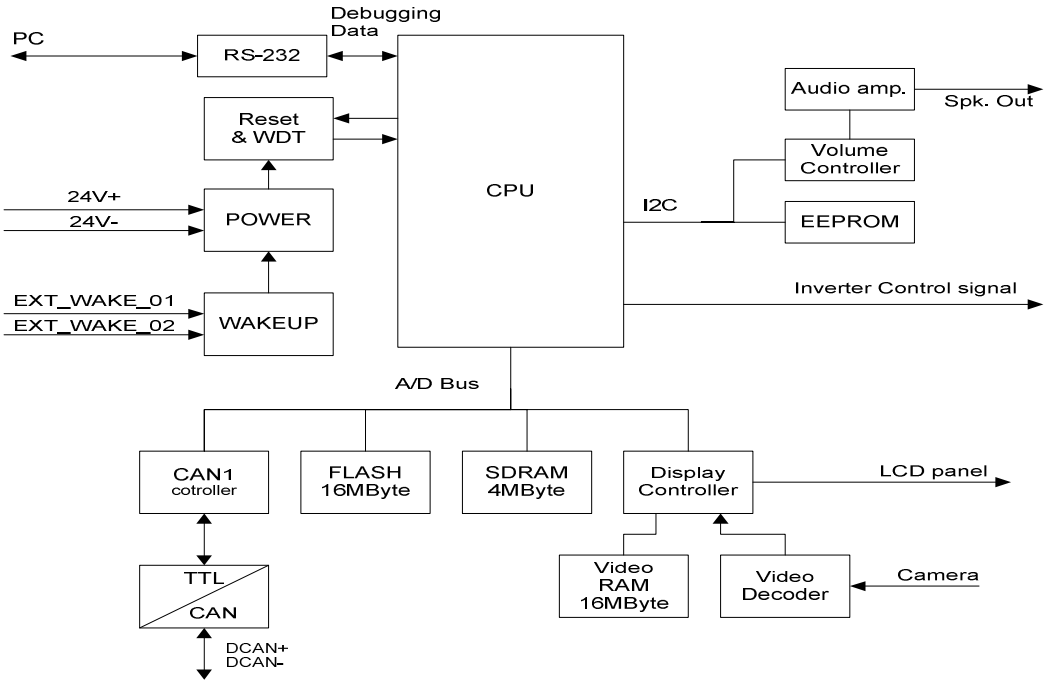



그림 2.2.1-5 DU 구성도

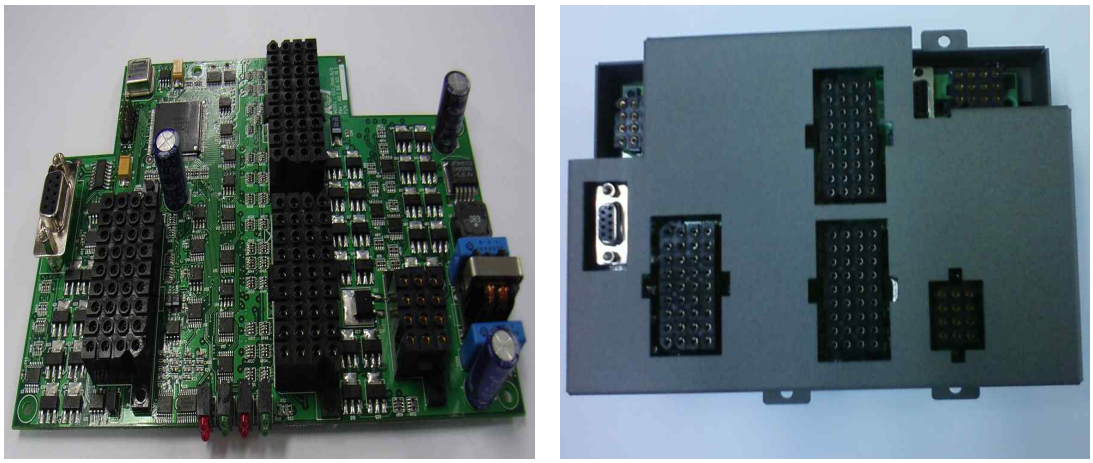
(2) 요구사양 및 구현방법

| 요구 사양 | 설계 사양 |
|---|---|
| Hardware요구사항 : Dashboard에 설치가 용이하고 각종 스위치 입력 및 경고부저/경고등/경고음등의 출력을 무리없이 처리하고 운전자가 디스플레이내 글자 또는 그림을 정상적으로 인식할 수 있어야 하며, Central Computer와의 통신시 성능저하가 발생하지 않아야 한다. | - TFT LCD를 채용하여 기존 DU Display와 기구적으로 호완 되지는 않음<br>- 각종 스위치 입력 및 경고부저/경고등/경고음등의 출력을 무리없이 처리<br>- TFT LCD 적용으로 시인성 확보<br>- CC와의 통신시 성능저하가 발생하지 안도록 설계 구현 |
| Software 요구사항 : 하드웨어에서 무리 없이 운용되어야 하고 가능한 블록화 되어 국제적으로 신뢰성이 검증된 소프트에어(IEC113-3참조)를 사용하여야 하나 부득이한 경우에는 Block화된 소프트웨어로의 전환이 가능한 소프트에어를 사용할 수 있다. 이 경우에 프로그램에 사용된 소프트웨어에 대한 신뢰성 검증(ISO/IEC9126)이 이루어져야하고 검증시 문제가 없어야 한다. | 해당 하드웨어에서 무리 없이 운용되도록 설계함. C-programming으로 Block화여 프로그램을 작성하여 해당 규격에 준하는 설계 개발하였음 |
| 자체적인 조작 스위치에 의해 디스플레이 내 항목들을 선택할 수 있어야 함 | DU IO의 조작 스위치를 통해 디스플레이내의 항목들을 선택 가능함 |
| CC로부터 CAN통신으로 전달된 정보를 표출하고 조작음 및 경고음 낼 수 있어야 함 | Audio Amplifir와 부저 기능 설계 구현 |
| 자체 내장 메모리에 의해 적정한 수준의 정보를 저장. | 256Kbit EEPROM에 정보 저장 |
| 외부의 감시 프로그램이 장착된 PC에 의해 프로그램 변경/로딩/모니터링이 가능해야함 | 모니터링 프로그램을 통해 외부 PC에 의해 프로그램 변경/로딩/모니터링이 가능함 |

(3) 세부사양

| 구 분 | VDO(APTS)사양 | 요구 사양 | 설계 사양 |
|---|---|---|---|
| 마이크로 프로세서 | 16bit AM186 | 32bit 고성능 프로세서 | 32Bit Renesas SH3 Risc |
| Ext Flash Memory | 4Mbyte | 4Mbyte | 16Mbyte |
| External SDRAM | 256 Kbyte | 4MByte | 4MByte |
| Video Chipset | - | - | S1D13513 |
| Video Memory | - | - | 16MByte |
| Display | 160x128 mono or 320x234 TFT Display | VGA Color TFT Display | 6.4 inch 640x480 TFT |
| 카메라 입력 | | | Composite Video 320x240 |
| WDT지원 | 지원 | 지원 | 지원 |
| Speaker | 지원 | 2x6W | 2x6W |
| 통신 Interface | CAN통신 : 2 port, K-line | CAN통신 : 1 port<br>RS-232 : 1 port | CAN통신 : 1 port<br>RS-232 : 1 port |
| 외장 | EGI Case | 알루미늄 또는 동급이상의 재질을 사용한 Case여야 함 | 알루미늄 Case 제작 |
| 사용온도 | 동작온도<br>-20도~50도<br>저장온도<br>-40도~80도 | 동작온도<br>-10도~60도<br>저장온도<br>-30도~70도 | 동작온도<br>-10도~60도<br>저장온도<br>-30도~70도 |
| 입력전압 | 21.5VDC~30VDC | 20VDC~28VDC | 20VDC~38VDC |
| 주 기능 | VCU 표시장치 | VCU 표시장치 | VCU 표시장치 |

나) DU IO 및 DU Display 제작



(a) DU IO 내부보드　　(b) DU IO 외함

그림 2.2.1-6 DU IO 외관




a) DU Display 내부보드　　(b) DU Display 화면

그림 2.2.1-7 DU Display 외관

다) TU 설계 및 제작

(1) 개요

TU는 차량의 각 장치들에 가깝게 위치하여 전원공급, 통신, 제어 및 상태모니터링을 수행하는 노드이다.

- 구성도

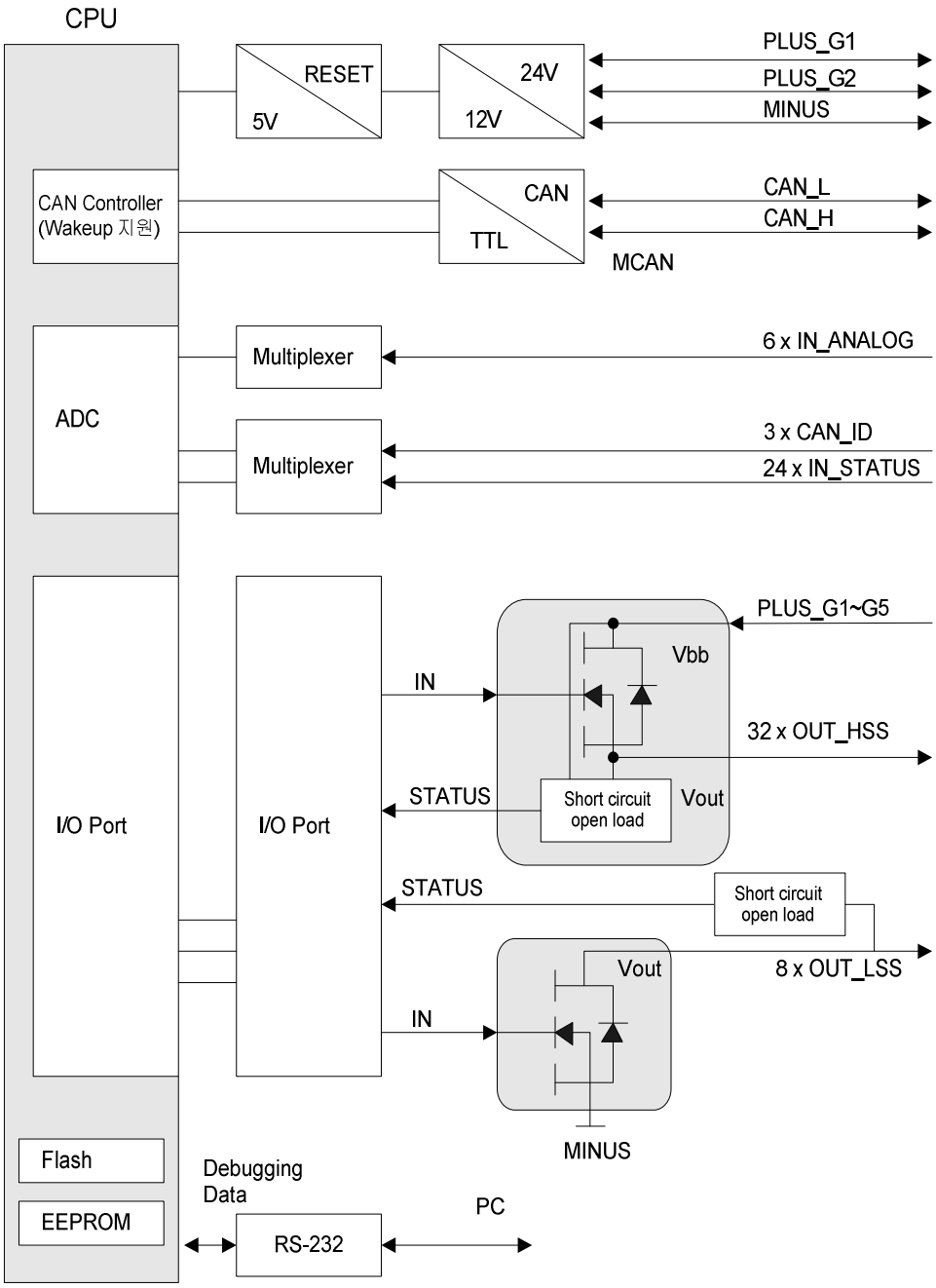



그림 2.2.1-8 TU의 구성도

(2) 요구사양 및 구현방법

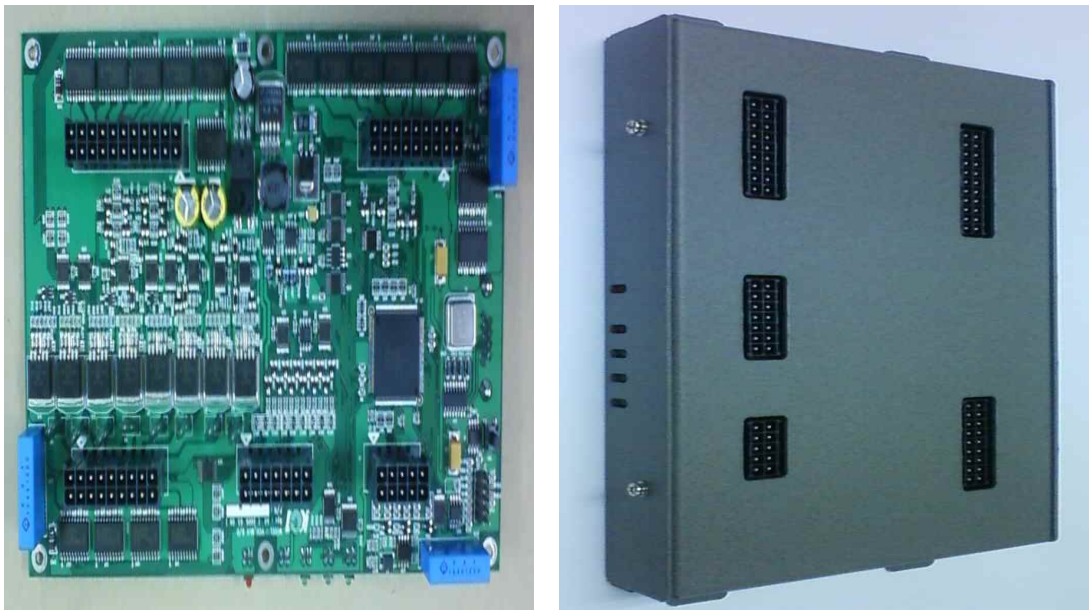
| 요구 사양 | 설계 사양 |
|---|---|
| CAN통신을 이용하여 CC에 의해 Address 관리가 이루어 져야 함 | VCU 제어프로그램에 의해 미리 설정되고 관리됨 |
| 디지털/아날로그 입출력시 외부장치와의 인터페이스는 TU 입출력 포트가 연결된 PCB 상의 별도의 컨넥터에 의해 연결되어져야 함 | TU 모듈 이외에 TU와 연결되는 TU Base를 별도로 개발 제작하여 구현함 |
| PCB는 CAN통신 단자, 전원단자, 접지단자, FUSE, 릴레이 등이 함께 구성되어 있는 구조가 되도록 제작되어야 함. | TU Base를 요구사양에 맞도록 설계하여 제작함. |

(3) 세부사양

| 구 분 | VDO(APTS)사양 | 요구 사양 | 설계 사양 |
|---|---|---|---|
| 마이크로 프로세서 | 8bit 프로세서 | 8bit 프로세서 | 32Bit Renesas M32R |
| Flash Memory | 128KByte | 128KByte | 1Mbyte |
| Internal RAM | 4KByte | KByte | 176KByte |
| WDT지원 | 지원 | 지원 | 지원 |
| 입력 port | Digital Input : 24port<br>Analog Input : 6Port | Digital Input : 16port<br>Analog Input : 6Port | Digital Input : 24port<br>Analog Input : 6Port |
| 출력 port | High Side Output : 24Port<br>Low Side Output : 8 Port | High Side Output : 24Port<br>Low Side Output : 8 Port | High Side Output : 24Port<br>Low Side Output : 8 Port |
| WDT지원 | 지원 | 지원 | 지원 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 통신 Interface | CAN통신 : 1 port<br>K-Line : 1 port | CAN통신 : 1 port<br>RS-232 : 1 port | 좌동 |
| 외장 | 플라스틱 Mold | 알루미늄 또는 동급이상의 재질을 사용한 Case여야 함 | 알루미늄 Case 제작 |
| 사용온도 | 동작온도<br>-20도~70도<br>저장온도<br>-30도~80도 | 동작온도<br>-20도~70도<br>저장온도<br>-30도~80도 | 좌동 |
| 입력전압 | 16VDC~32VDC | 20VDC~28VDC | 20VDC~38VDC |
| 주 기능 | 각 IN/OUT제어 | 각 IN/OUT제어 | 각 IN/OUT제어 |

(4) TU 제작

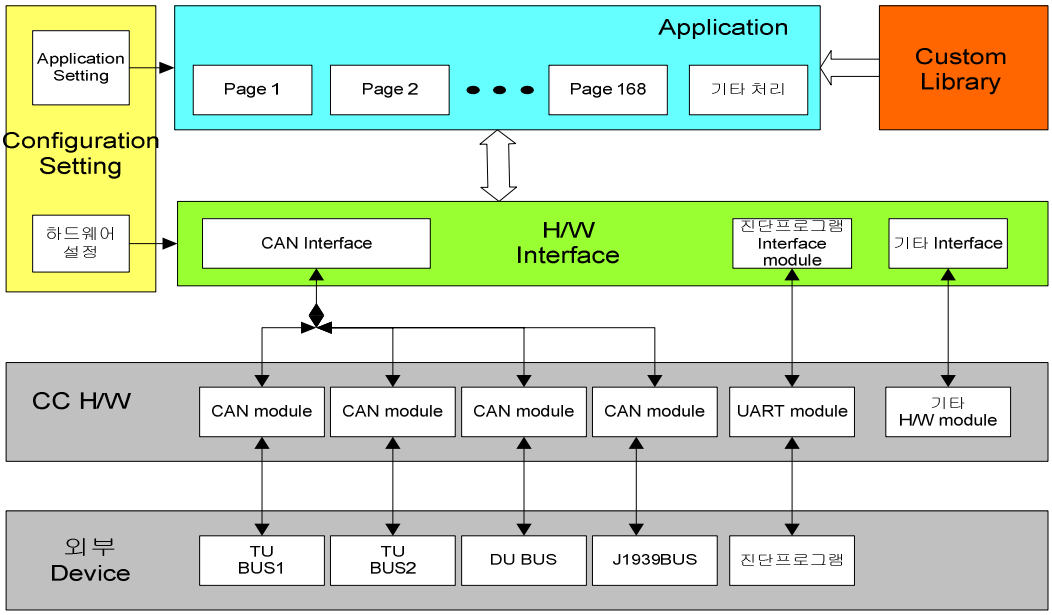


(a) TU 내부보드 (b) TU 외함

그림 2.2.1-8 TU 외관

## 다. VCU 제어프로그램 개발

1) 제어 프로그램 구성도




2) 제어 프로그램 개발 환경

| 항목 | | 개발 환경 |
|---|---|---|
| 프로그래밍 | 사용 언어 | C<br>Assembly(Start up code) |
| | Compiler | CC32R V.500<br>(Renesas C/C++ Compiler Package for M32R Family)<br>Renesas HEW V4.07 |
| 디버깅 | Emulator | Renesas M32100T5-SDI-E JTAG emulator |
| | Debugging S/W | Renesas PD32RM V3.01 |

3) 개발 지원 및 운영 프로그램 개발 환경

| 항목 | | 개발 환경 |
|---|---|---|
| 진단프로그램 | 사용 언어 | C++ |
| | Compiler | Microsoft Visual Studio 6.0 |
| | 사용 환경 | Windows XP |
| TU Emulator | 사용 언어 | C++ |
| | Compiler | Microsoft Visual Studio 6.0 |
| | 사용 환경 | Windows XP |
| | 외부 Device | Realsys UART-CAN Analyzer |
| JTAG Emulator | 사용 언어 | C++ |
| | Compiler | Microsoft Visual Studio 6.0 |
| | 사용 환경 | Windows XP |
| | 외부 Device | Realsys UART-CAN Analyzer |

4) VCU 제어 프로그램 구조

Application은 PLC 구조의 장점을 최대한 구현하고 기존 KIBES Software와 같은 동작을 위해 KIBES처리 순서대로 프로그램을 작성함

Application의 APP Page는 KIBES Software의 해당 Page와 일치시켜 모듈화, 구조화였으며, 이를 위하여KIBES에서 사용하고 있는 Function 모듈을 구현하였음. (Custom Library)

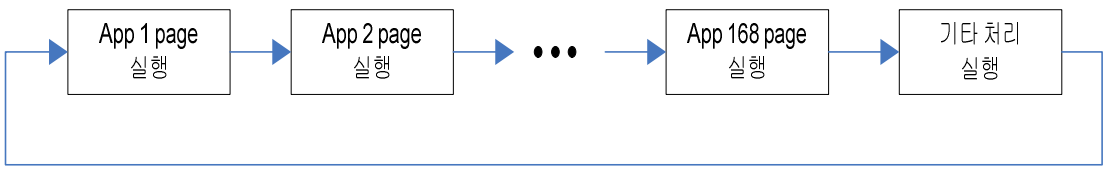



그림 2.2.1-9 제어프로그램 구조

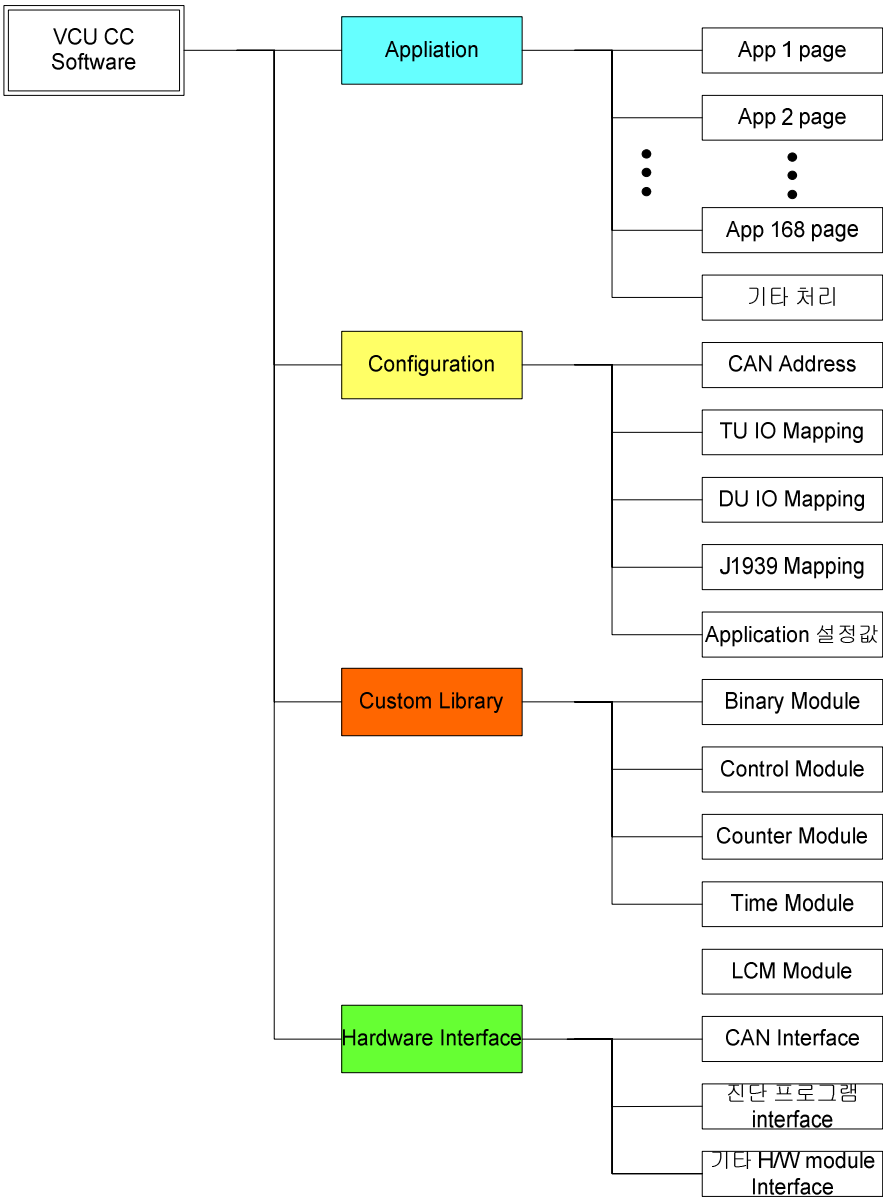



그림 2.2.1-10 제어프로그램 계층구조

## 라. 시험 및 평가

1) 구성 품별 시험 및 평가

| 항목 | | 구성품별 시험 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1. EMC 시험<br>(절연저항, 절연내압시험포함) | | | 평가기관 의뢰 |
| 2. 환경시험 | | | 평가기관 의뢰 |
| 3. 전기적 특성시험 | 1) 동작 시험 | O | |
| | 2) Aging 시험 | O | |
| | 3) 통신 시험 | O | CAN 통신시험 |
| | 4) 입출력 시험 | O | |
| | 5) 특성 시험 | O | 해당 Module의<br>주기능 시험 |

2) 차량 장착 시험 및 평가

| 항목 | 시험 | 비고 |
|---|---|---|
| 1) 동작 시험 | O | |
| 2) 통신 시험 | O | |
| 3) 입출력 시험 | O | |
| 4) 운행 중 동작 시험 | O | |

3) 소프트웨어 시험 및 평가

| 항목 | 시험 | 평가기준 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1) 각 모듈별F/W 동작 적합성 | O | 동작 타당성 | |
| 2) 각 모듈별 통신 시험 | O | 동작 타당성 | |
| 3) 모듈 통합 시험 | O | 동작 타당성 | |
| 4) 시스템 통합 시험 | O | 동작 타당성 | |

## 2. AGS(Automatic Guidance System) 제어컴퓨터

### 가. 시스템 요구사항 분석

자동운전 및 정밀정차 제어시스템 개발 과제를 위하여, 자동운전 시스템 요구사항에 대하여 분석한다. 자동운전 시스템의 주요장치로는 Scheduler, Guidance, Driver 장치로 구성되어야 하며, 상호 의존적으로 동작하여, 자동운전 및 정밀정차를 제어한다. 각 장치에 대한 요구 규격 및 기능을 간단히 기술하였다.

1) 시스템 구성 및 개발 사양

시스템의 요구 구성도는 다음과 같다.

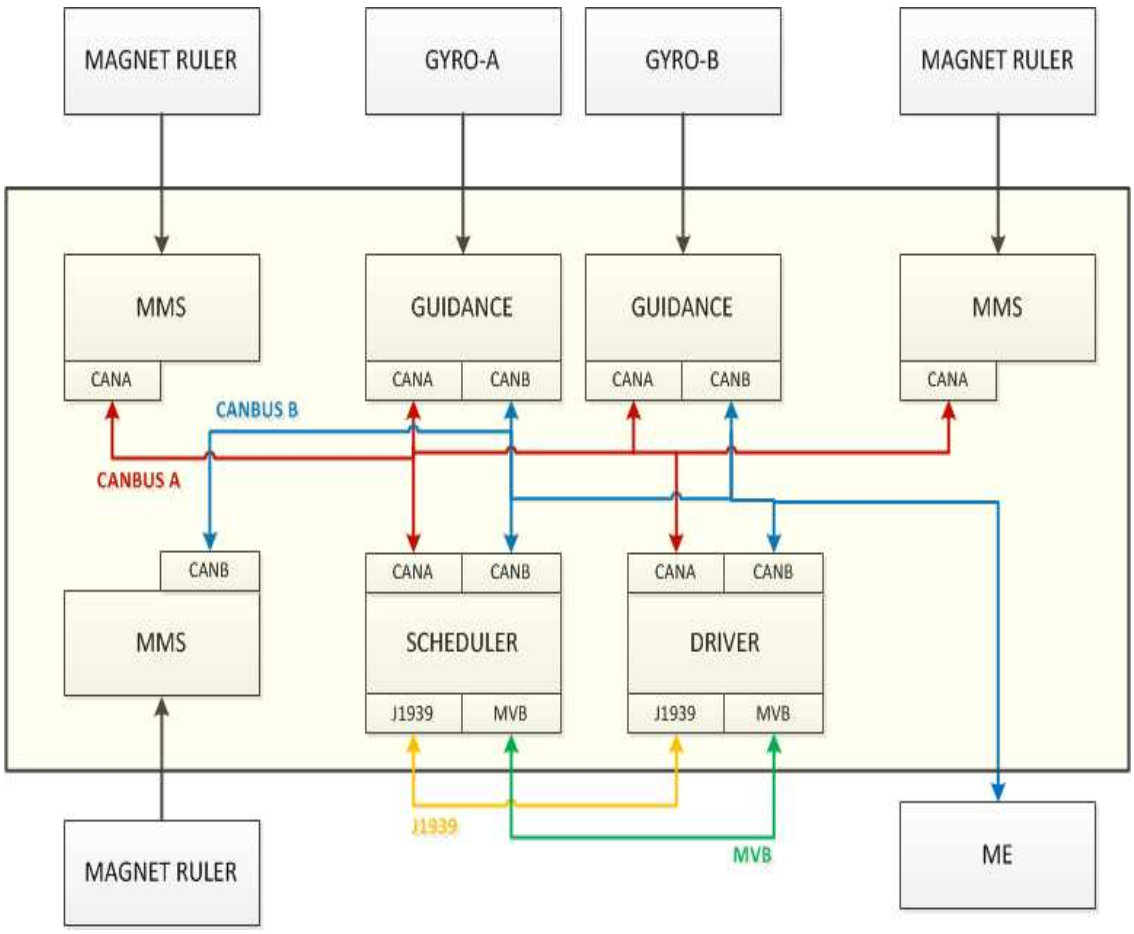



그림 2.2.2-1 시스템 요구 구성도

각 장치의 개발(요구) 사양은 아래와 같다.

가) Scheduler 장치 구성

표 2.2.2-1 Scheduler 장치 개발(요구) 사양

| 보드명 | 수량 | 개발(요구) 사양 |
|---|---|---|
| DCDC PWR | 1 | IN: 7~30VDC, OUT: ±5VDC, ±12VDC |
| CPU B'd | 1 | 32bits Processor |
| CAN I/F B'd | 3 | 1 channel Can Bus Controller |
| MVB I/F B'd | 1 | 1 channel Multi-function Vehicle BusController(D104L) |
| Front B'd | 1 | CAN, MVB, Lan, USB, COM, LED, Power Connector |
| CASE | 1 | 150*150 |

나) Guidance 장치 구성

표 2.2.2-2 Guidance 장치 개발(요구) 사양

| 보드명 | 수량 | 개발(요구) 사양 |
|---|---|---|
| DCDC PWR | 1 | IN: 7~30VDC, OUT: ±5VDC, ±12VDC |
| CPU B'd | 1 | 32bits Processor |
| CAN I/F B'd | 2 | 1 channel Can Bus Controller |
| Front B'd | 1 | CAN, Lan, USB, COM, LED, Power Connector |
| CASE | 1 | 150*150 |

다) Driver 장치 구성

표 2.2.2-3 Driver 장치 개발(요구) 사양

| 보드명 | 수량 | 개발(요구) 사양 |
|---|---|---|
| DCDC PWR | 1 | IN: 7~30VDC, OUT: ±5VDC, ±12VDC |
| CPU B'd | 1 | 32bits Processor |
| CAN I/F B'd | 3 | 1 channel Can Bus Controller |
| MVB I/F B'd | 1 | 1 channel Multi-function Vehicle BusController(D104L) |
| Front B'd | 1 | CAN, MVB, Lan, USB, COM, LED, Power Connector |
| CASE | 1 | 150*150 |

2) 시스템 요구 기능

각각의 장치들은 자동운전 및 정밀정차 제어를 하기 위해서 고유의 기능들이 유기적으로 돌아가야 한다. 장치별로 정의되어 있는 기능들을 정확하게 수행할 수 있도록 아래와 같이 간략히 요구 기능들을 정의하였다.

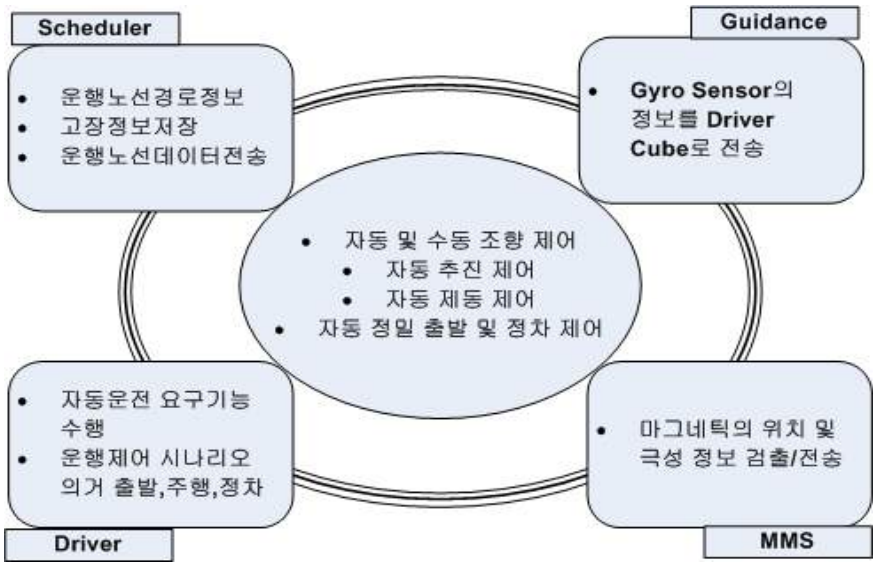



그림 2.2.2-2 자동운전 시스템 요구 기능

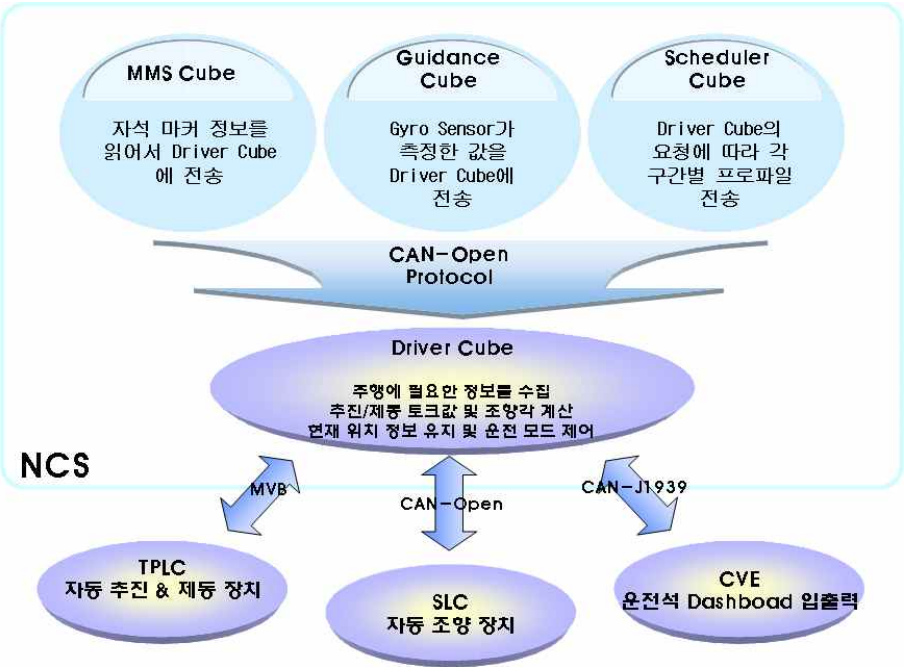



그림 2.2.2-3 자동운전 시스템 통신 인터페이스 기능 정의

## 나. 시스템 설계

자동운전 시스템의 설계를 위하여 UML 기법을 적용하였다. UML은 소프트웨어 시스템을 정의, 구축, 기술하는데 필요한 다양한 표기법을 제공한다. 자동운전 시스템의 설계단계는 우선 시스템이 가지는 기능을 정의하였으며, 시스템의 사용자 측면에서의 기능 및 동작을 UseCase Diagram으로 표현하였다. 설계 단계는 아래와 같다.

1) 기능사양 정의

자동운전 시스템의 기능을 크게 주행 기능과 운전모드 전환 기능 및 정밀정차제어 기능으로 구분하여 설계하였다. 주행 기능이란, 차량이 운행되는 동안 취하는 모든 동작들에 대한 기능이며, 운전모드란 운전자에 의한 수동운전 기능과 자동운전 기능간의 모드전이 및 시스템 제어에 관한 기능을 말한다. 정밀정차 기능이란 정거장에 차량이 정차하고 출발하는 기능을 정밀하게 수행하도록 하는 기능이다. 이러한 주요 기능을 각각 정의하였으며, 자동운전에 필요한 주요 기능 항목들을 시스템의 구조적 관점에서 정의하였다.




그림 2.2.2-4 자동운전 시스템 설계 단계

표 2.2.2-4 운전모드 기능 설계

| 기능목록 | 설명 |
|---|---|
| 운전모드 | 운전모드 정의 및 기능정의 |
| 운전모드 상태전이 | 모드간 상태전이를 조건별로 기술 |
| 운전모드 오토마타 | 운전모드 전이를 바탕으로 정의된 유한상태 오토마타 |
| 주행모드 | 주행모드 정의 및 기능정의 |
| 주행모드별 절차 | 각 주행모드별 진행 절차 정의 |
| 주행모드 오토마타 | 주행모드 전이를 바탕으로 정의된 유한상태 오토마타 |

2) 운전모드 및 주요기능

운전모드는 크게 자동모드, 반자동모드, 수동모드로 정의할 수 있으며, 각각의 모드별로 차량의 운행을 제어할 수 있는 항목이 다르게 적용된다. 각각의 적용 사항은 아래의 표와 같다. 이외에도 각각의 운전모드에 따라 실행되는 주요 기능들을 정의하였다.

표 2.2.2-5 운전모드 및 주요기능

| 제어항목 | 자동모드 | 반자동모드 | 수동모드 |
|---|---|---|---|
| 조향제어 | 자동 | 자동 | 수동 |
| 추진제어 | 자동 | 수동 | 수동 |
| 제동제어 | 자동 | 수동 | 수동 |

3) 주행모드

주행모드는 총 5개의 모드로 설계하였다. 주행모드란 차량의 진행 상태를 나타내며, 각각의 상태에 따른 지원 가능한 운전모드를 아래의 표와 같이 정의하였다.

표 2.2.2-6 주행모드 기능 설계

<table>
<tr><th>초기모드</th><th>출발모드</th><th colspan="2">정차모드</th><th>진행모드</th><th>비상모드</th></tr>
<tr><td></td><td>정거장출발</td><td>일반정차</td><td>정거장정차</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>PDT</td><td>반자동모드</td><td></td><td>자동모드</td><td>자동모드</td><td>비상정차</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구간별<br>프로파일<br>설정</td><td>수동모드</td><td>반자동모드</td><td>반자동모드</td><td>반자동모드</td><td>비상추진</td></tr>
<tr><td>자동모드</td><td>수동모드</td><td>수동모드</td><td>수동모드</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4" rowspan="2"></td><td>Timerecovery 모드</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Road_Slippery 모드</td></tr>
</table>

4) 운전모드 상태 전이

정의된 각각의 운전모드 간의 상태 전이를 조건별로 정의하였다. 기본적으로 자동모드와 수동모드는 버튼을 통하여 상태를 전환할 수 있도록 하였으며, 반자동 모드는 자동모드 주행 중 운전자의 특정한 행위에 대하여 전이될 수 있도록 하였다.

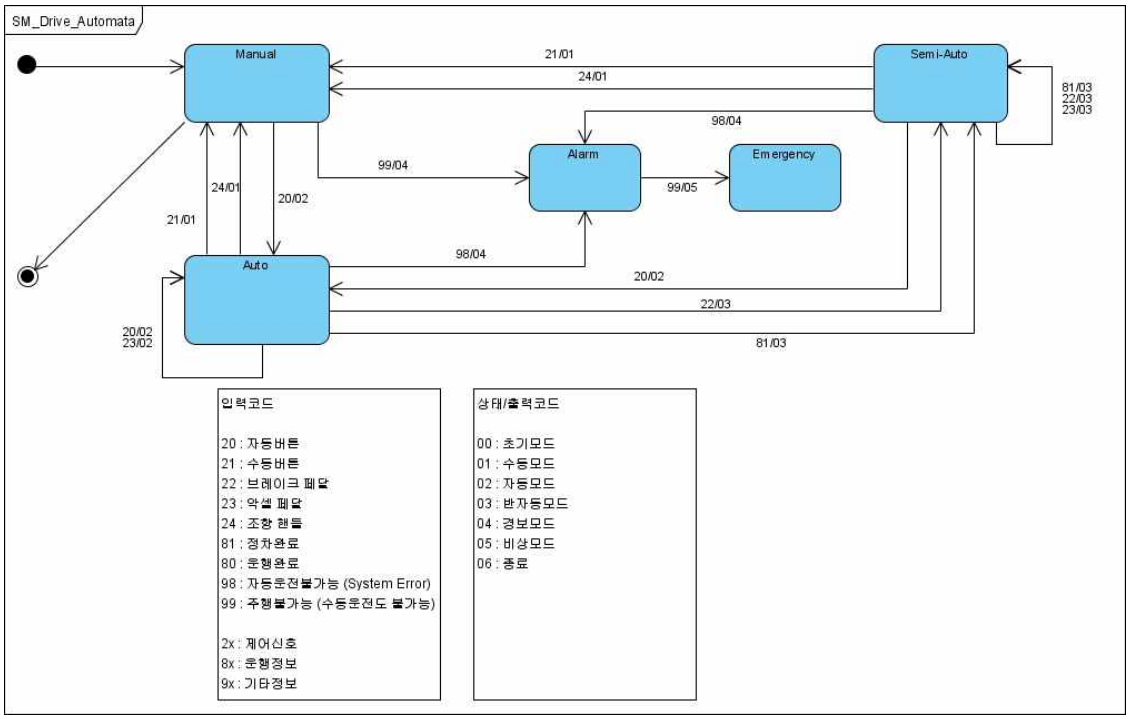



그림 2.2.2-5 운전모드 상태전이

5) 통신프로토콜 정의

자동운전 시스템은 크게 세 개의 주요 장치와 통신을 수행한다. 각각 운전석(VDO), 자동 추진/제동 장치(Traxis: TPLC), 조향장치(ME : SLC) 등이다. 각각 사용되는 프로토콜은 다음과 같다.

표 2.2.2-7 장치 별 통신프로토콜

| Source | Destination | 통신프로토콜 |
|---|---|---|
| 자동운전시스템 | 운전석(VDO) | CAN-J1939 |
| 자동운전시스템 | 추진/제동장치(TPLC) | MVB |
| 자동운전시스템 | 조향장치(SLC) | CAN-OPEN |

가) 조향장치(SLC)와 통신 프로토콜

(1) CAN-OPEN 통신

CAN-OPEN 통신은 CAN-in-Automation(CiA)의 표준이다. CAN-OPEN 통신의 핵심요소는 object dictionary (OD)를 통한 디바이스의 식별이다. 데이터 프레임구조는 식별자와 버스사용 우선권을 표시하는 ID(Identification number)부분을 사용하여 프로토콜을 정의하는 방식으로 속도 및 식별자의 확장에 의해 아래와 같이 구분된다.

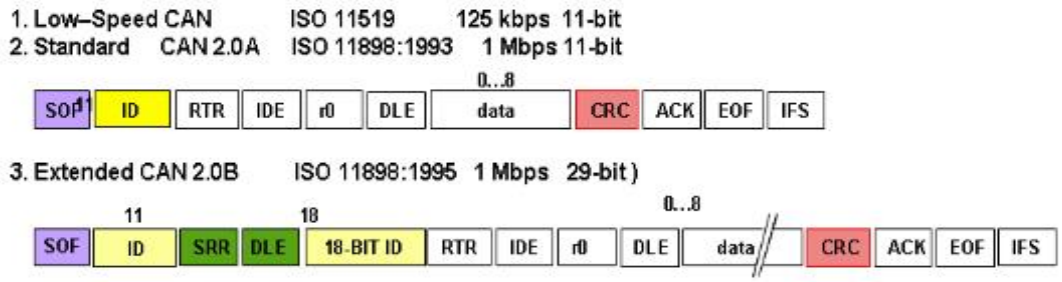



그림 2.2.2-6 CAN통신 데이터 프레임

(2) 통신 프로토콜

조향장치(SLC)와의 통신 주기는 10-20ms이며, 데이터 길이는 8 Byte이다. 데이터는 운전모드 및 조향각 정보 및 속도 정보를 주고받는다.

표 2.2.2-8 통신 프로토콜 일부(AGS - SLC)

| Command_1,command_2 | | |
|---|---|---|
| COBID(11bit) | | |
| byte0 | LSB | steeringanglesetpoint |
| byte1 | MSB | |
| byte2 | - | steeringmodecommand |
| | 0x00 | MANOEUVRABILITY |
| | 0x01 | INDEPENDENT |
| byte3 | - | bitfield |
| byte4 | - | spare |
| byte5 | - | counter |
| byte6 | LSB | CRC |
| byte7 | MSB | |

나) 운전석(VDO)과 통신 프로토콜

(1) CAN-J1939 통신

CAN-J1939 프로토콜은 SAE에 의해서 정의된 표준 프로토콜이다. 중장비 차량에서 전자제어장치(ECU)들 간의 데이터 통신을 위하여 많이 사용된다. 기존 CAN을 기반으로 하며, 기존의 Standard CAN 2.0A에서 확장된 29bit의 ID를 사용하는 Extended CAN 2.0B를 사용한다. 프로토콜은 아래와 같이 정의된다.




그림 2.2.2-7 CAN-J1939통신 데이터 프레임

(2) 통신 프로토콜

운전석(VDO)과의 통신 주기는 100ms이며, 데이터 길이는 8 Byte이다. 데이터는 차량의 상태 정보를 주고받는다.

표 2.2.2-9 통신 프로토콜 일부(AGS - VDO)

| Signal for NCS <-> CVE(VDO) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nr | Byte | Name | Description | | Program explanation |
| 1 | 0-1 | vehicle_speed | 1/256km/h /bit | 0 till 250.996 km/h | C3 speed tacho 체크 |
| 2 | 2 | parking_brake_status | 00000000 | Stop brake not on | 대쉬 보드에 pictogram을 보여주어, 운전자가 브레이크가 동작중임을 알게 해줌 |
| | | | 00000001 | Stop brake on | |
| 3 | 3 | final_chance_automatic | 00000000 | Not defined | "자동주행모드가능" 메시지가 (사라질 때까지) 디스플레이에서 계속 깜빡거림. |
| | | | 00000001 | Last chance swithing on Automatic mode | |
| 4 | 4 | life_sign1_NCS | 00000000 | Off | 이 신호가 1,5(초) 이상 활성화 되어 있지 않으면 "NCS와의 통신이상" 이라는 메시지를 디스플레이 함. |
| | | | 00000001 | On(1s) | |

다) 추진/제동 장치(TPLC)와 통신 프로토콜

(1) MVB 통신

MVB(Multifunction Vehicle Bus)의 데이터 프레임 구조는 마스터 프레임과 슬레이브 프레임으로 구분되어져 마스터 프레임의 요청에 대한 슬레이브 프레임의 응답형태로 구성되며, 프레임 구조는 다음과 같다.

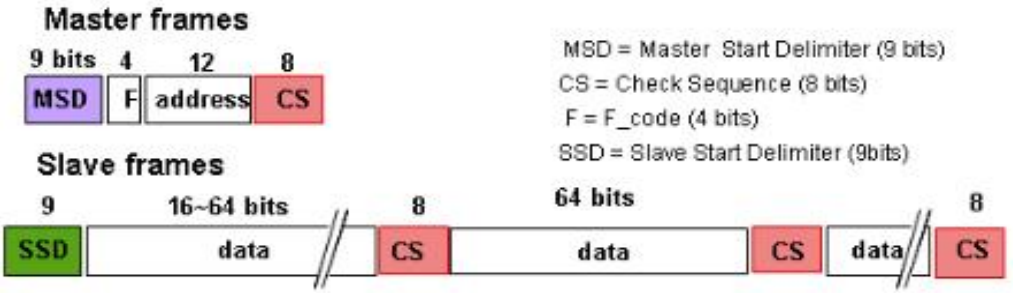



그림 2.2.2-8 MVB통신 데이터 프레임

(2) 통신 프로토콜

추진/제동(TPLC)과의 통신 주기는 135-240ms이며, 데이터 길이는 8 words이다. 데이터는 추진 및 제동상태에 대한 정보를 주고받는다.

표 2.2.2-10 통신 프로토콜 일부(AGS - TPLC)

| Direction | Word | Bit / Message Name | | Description |
|---|---|---|---|---|
| NCS2 PLC | 0 | setpoint_torque | | 토크값 0~100% |
| | 1 | 0 | reset_traction | TPLC 초기화 |
| | | 1 | life_sign_NCS | 라이프사인 |
| | | . . . . | | |
| | | 15 | | |
| | 2 | Low | seconds | 현재 시간 정보(고장시각, 동기 등) |
| | | High | minutes | |
| | 3 | Low | hours | |
| | | High | day | |
| | 4 | Low | month | |
| | | High | year | |
| | 5 | | | |
| | 6 | | | |
| | 7 | | | |

## 다. 시스템 제작 및 개발

자동운전시스템의 주요장치로는 Scheduler, Guidance, Driver 장치로 구성되며, 각 장치를 구성하는 CPU보드, CAN I/F보드, J1939보드, Front I/F보드, DCDC Power 보드 등으로 구성되며, 이 단위 보드의 설계 및 PCB 제작 및 PWA제작, 시험을 하였다.

1) 자동운전시스템 보드 구성

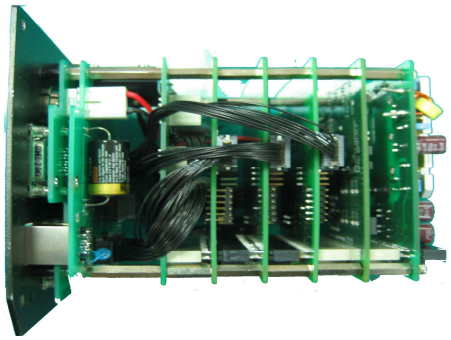


그림 2.2.2-9 자동운전시스템 보드 구성

가) CPU 보드

CPU보드는 자동운전시스템을 구성하는 단위보드로 CAN-OPEN보드와 MVB보드 간에 PC104 커넥터로 연결되고, 이들 통신보드에서 입력되는 정보를 처리하여 출력하는 제어보드이다.

표 2.2.2-11 CPU 보드 규격

| 구분 | 사양 | 구분 | 사양 |
|---|---|---|---|
| CPU | 32bit Processor | USB | 1 ch. |
| DRAM | 256MB | Watchdog timer | 기능제공 |
| BOOT FLASH DISK | 256MB | TEMP.(Operation) | -20° to 60°C |
| LAN | 10/100 Base-T | Humidity(Operation) | 10% to 90% |
| Serial | RS-232 2ch. | Size | 3.8″ X 3.6″ |

나) CAN-OPEN 보드

CAN-OPEN 보드는 자동운전시스템을 구성하는 단위보드로 외부 장치와 CAN통신을 담당하고, 구성보드와 PC104커넥터로 연결된다.

표 2.2.2-12 CAN-OPEN 보드 규격

| 구분 | 사양 | 구분 | 사양 |
|---|---|---|---|
| Can controller | Single CAN Controller | TEMP.(Operation) | -20° to 70°C |
| CAN Specification | CAN 2.0B protocol compatibility | Humidity(Operation) | 10% to 90% |
| Bit rates | Up to 1Mbits/s | Size | 3.8″ X 3.6″ |
| Clock | 24MHz | - | |

다) J1939 보드

J1939보드는 자동운전시스템을 구성하는 단위보드로 외부 장치와 J1939 통신을 담당하고, 구성보드와 PC104커넥터로 연결된다.

표 2.2.2-13 J1939 보드 규격

| 구분 | 사양 | 비고 |
|---|---|---|
| Can controller | Single CAN Controller | |
| CAN Specification | CAN 2.0B protocol compatibility | |
| Bit rates | Up to 1Mbits/s | |
| Clock | 24MHz | |
| TEMP.(Operation) | -20° to 70°C | |
| Humidity(Operation) | 10% to 90% | |
| Size | 3.8″ X 3.6″ | |

라) DCDC Power 보드

DCDC Power보드는 자동운전시스템을 구성하는 단위보드에 전원을 공급하는 장치이다

표 2.2.2-14 DCDC Power 보드 규격

| 구분 | | 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 입력 | Input Voltage | 7-30VDC | |
| | Input Ripple | <100mV RMS | |
| | Transient Protection | 1500W Transient voltage suppressor | |
| | Transient cutoff | 31V Nominal | |
| 출력 | Output Voltage | +5,-5,+12,-12 VDC | |
| | Output Protection | Current limit/short circuit protection | |
| | Output Ripple | <100mV RMS | |
| | Load Regulation | ±3% | |
| | Efficiency | 150*150 | |
| Size | | 3.55″ X 3.775″ | |

2) 시스템 소프트웨어 개발

가) 자동운전시스템 BSP 개발

본 과제에서는 자동운전시스템 장치들의 기본 운영체제로서 Montavista社의 RT-Linix를 탑재한다. RT-Linix 환경을 구축하기 위한 기본 BSP(Board Support Package)는 크게 Boot Loader, Kernel, File System으로 이루어진다. 또한 BSP를 구축하기 위한 개발 환경이 요구된다.

자동운전시스템의 BSP 개발 항목은 다음과 같다.

- 개발보드를 초기 동작시키기 위한 부트로더
- Ethernet, USB 등을 동작시키기 위한 디바이스 드라이버 소스
- CAN 보드, MVB 보드 디바이스 드라이버
- 전원 사용을 최소화하기 위한 전원관리 루틴
- 메모리의 크기, 종류, 영역을 지정하기 위한 지정 파일

나) 개발환경

PXA 320 CPU보드에서의 RT-Linux BSP를 개발하기 위해서 필요한 PC, 즉 호스트의 개발 환경은 다음과 같다.

- CPU : Pentium 1Ghz 이상
- System Memory(RAM) : 256MB 이상
- HDD : 5GB 이상
- OS : Red Hat 계열의 리눅스 배포판 (Kernel 2.6x 이상)

다) Boot Loader 이식

PXA320의 Boot Loader는 플래시 메모리 안에 저장되어 있는 커널 이미지 파일을 SDRAM과 같은 메모리(RAM)로 Loading시키는 역할을 하는데, PXA320 보드의 경우 기존과는 달리 NAND플래시 메모리가 탑재되어 있기 때문에 NAND Flash Controller를 초기화하고 이에 따라 NAND 플래시 메모리를 초기화해주는 NAND Loader라는 별도의 이미지 파일이 추가되어야만 한다. Boot Loader 이미지가 작성이 되면 구축된 툴체인 중의 하나인 JTAG을 통하여 보드의 메모리에 이미지를 Writing 한다.

라) 커널이미지 이식

Boot Loader 이미지 파일인 “boot.bin” 파일의 경우 256KB 정도 밖에 되지 않는 작은 사이즈이기 때문에 JTAG 연결만으로도 별 문제가 없으나 커널 이미지 나 파

일 시스템 이미지 파일의 경우 사이즈가 상대적으로 매우 크기 때문에 저속의 JTAG 만으로는 한계가 있다. 이 경우 Boot Loader를 이용하여 PXA 320 보드를 먼저 부팅을 시킨 후 개발 서버로부터 고속의 이더넷(Ethernet, 100Mbps)을 통해 PXA 320 보드에 장착된 DDR2 메모리에 커널 이미지 파일과 파일 시스템 이미지 파일을 Downloading하고, NAND 플래시(flash) 메모리에 Programming하는 작업을 수행하여야 한다.

마) 파일 시스템 이식

운영체제의 이식이 마무리 되었으므로 개발된 응용 프로그램 및 제어 알고리즘 프로그램 등이 실행될 수 있도록 파일 시스템 환경을 구축해야한다. NAND 플래시를 지원하는 파일 시스템인 JFFS2 파일 시스템을 보드에 이식하였다.

3) 핵심제어 알고리즘 이식

한국철도기술연구원에서 개발된 핵심제어 알고리즘을 C코드로 변환하여 현재 개발되고 있는 Driver Cube의 Application에 이식하는 작업을 진행하였다.

가) 인터페이스 확인 및 점검

핵심제어 알고리즘에는 각 센서장치에서 출력되는 데이터를 입력값으로 사용하고 있다. 아래 표에는 핵심제어 알고리즘의 입력데이터를 정의한 것이다.

표 2.2.2-15 핵심제어 알고리즘 입력데이터

| Data 명 | 단위 | Description |
|---|---|---|
| V1L | m/s | 차량 1축 왼쪽 바퀴 속도 |
| V1R | m/s | 차량 1축 오른쪽 바퀴 속도 |
| V2L | m/s | 차량 2축 왼쪽 바퀴 속도 |
| V2R | m/s | 차량 2축 오른쪽 바퀴 속도 |
| V3L | m/s | 차량 3축 왼쪽 바퀴 속도 |
| V3R | m/s | 차량 3축 오른쪽 바퀴 속도 |
| S1L | degree | 차량 1축 왼쪽 바퀴 각도 |
| S1R | degree | 차량 1축 오른쪽 바퀴 각도 |
| S2L | degree | 차량 2축 왼쪽 바퀴 각도 |
| S2R | degree | 차량 2축 오른쪽 바퀴 각도 |
| S3L | degree | 차량 3축 왼쪽 바퀴 각도 |
| S3R | degree | 차량 3축 오른쪽 바퀴 각도 |
| Articulation angle | degree | 차량의 굴절 각도 |
| Gyro A | degree | 차량의 각속도값 (A) |
| Gyro B | degree | 차량의 각속도값 (B) |
| Sync1 | - | Sync |

| | | |
|---|---|---|
| as1 | 0.1*mradian | steering angle |
| ap1 | 0.1*mradian | crab angle |
| vs1 | mm/s | velocity |
| Sync2 | - | Sync |
| as2 | 0.1*mradian | steering angle |
| ap2 | 0.1*mradian | crab angle |
| vs2 | mm/s | velocity |
| Synv3 | - | Sync |
| as3 | 0.1*mradian | steering angle |
| ap3 | 0.1*mradian | crab angle |
| vs3 | mm/s | velocity |
| Ref1 | - | Reference sync |
| x1 | mm | x position |
| y1 | mm | y position |
| p1 | - | polarity |
| Ref2 | - | Reference sync |
| x2 | mm | x position |
| y2 | mm | y position |
| p2 | - | polarity |
| Ref3 | - | Reference sync |
| x3 | mm | x position |
| y3 | mm | y position |
| p3 | - | polarity |

나) 알고리즘 분석

한국철도기술연구원에서 제공한 알고리즘은 Labview로 구현된 소스파일이다. Labview 소스 파일을 C코드로 변환하기 위해 함수별로 입출력 변수와 전체 구성도를 분석하였다.

(1) Labview 함수별 입출력 변수

아래는 알고리즘 함수별 입출력 변수를 정리한 것이다.

표 2.2.2-16 알고리즘 입출력 변수 정의

| Function Name | Input | Description | Type |
|---|---|---|---|
| KalmanFilter1 Sub2_NEW | P1_0 | Matrix for Kalman filter 1 | DP |
| | R1_0 | Matrix for Kalman filter 1 | DP |
| | Q1_0 | Matrix for Kalman filter 1 | DP |
| | WV | Wheel velocity | DP |
| | Array | [V Beta rho] array | DP |
| | delta | 조향각 | DP |
| | CV | Constant parameter array | DP |

| | Output | Description | Type |
|---|---|---|---|
| | P1_0 Update | Matrix for Kalman filter 1 | DP |
| | State Update | Array [V Beta rho]의 update값 | DP |
| InitialPosition NewV2.0 | Input | Description | Type |
| | SYNC | | Integer |
| | V | 차량속도 | DP |
| | CV | Constant parameter array | DP |
| | MMSData | MMS Data bundle | Bundle |
| | MMS1Buffer | Marker polarity buffer | Integer |
| | MarkerYaw | Marker해당위치의 방위각 | DP |
| | 마커 DB | Marker DB data | DP |
| | delta | 조향각 | DP |
| | Output | Description | Type |
| | InitialPosition | 초기위치결정값 | DP |
| | MMS1Buffer | Marker polarity buffer | Integer |
| | Detect | 16개 극성의 패턴 감지 | Boolean |
| Kinematics V1.2_NEW | Input | Description | Type |
| | PositionIN | 이전 SYNC의 차량위치 | DP |
| | V | 차량속도 | |
| | delta | 조향각 | DP |
| | Output | Description | Type |
| | PosotionOut | 현재 SYNC의 차량위치 | DP |
| MarkerDetectInfoFromMMS_ShortV1.0 | Input | Description | Type |
| | CV | Constant parameter array | DP |
| | 마커 DB | Marker DB data | DP |
| | PositionIN | 이전 SYNC의 차량위치 | DP |
| | Output | Description | Type |
| | MMS1Info | Ruler1의 마커감지정보 | Bundle |
| | MMS2Info | Ruler2의 마커감지정보 | Bundle |
| MarkerPointCheck93_X_Filtering | Input | Description | Type |
| | CV | Constant parameter array | DP |
| | MarkerYaw | Marker해당위치의 방위각 | DP |
| | delta | 조향각 | DP |
| | MMSData | MMS Data bundle | Bundle |
| | V | 차량속도 | |
| | Epsilon1 | 방위각 | DP |
| | SYNC | | Integer |
| | Output | Description | Type |
| | Chk | SYNC에서 마커 감지 여부 | Integer |
| | Spos | 감지된 마커로부터 계산된 차량위치 | DP |

(2) 알고리즘 구성도

아래는 Labview로 구현된 알고리즘의 전체 흐름을 볼 수 있게 구현된 구성도이다. 이 구성도에는 데이터의 입출력 흐름이나 함수들의 구조에 대해서 알 수 있다. 함수는 총 5개로 구성되어 있으며 파란선으로 표시된 데이터는 글로벌 변수이다. 글로벌 변수에는 차량의 제원, 시험 선로에 설치된 마커의 데이터와 Layout Editor에 있는 차량의 방향각이 있다. 분홍색으로 표시된 데이터는 차량의 통신데이터에서 올라오는 데이터이다. 이 데이터에는 차량의 Sync, 조향각, 바퀴 속도값 등이 사용된다.

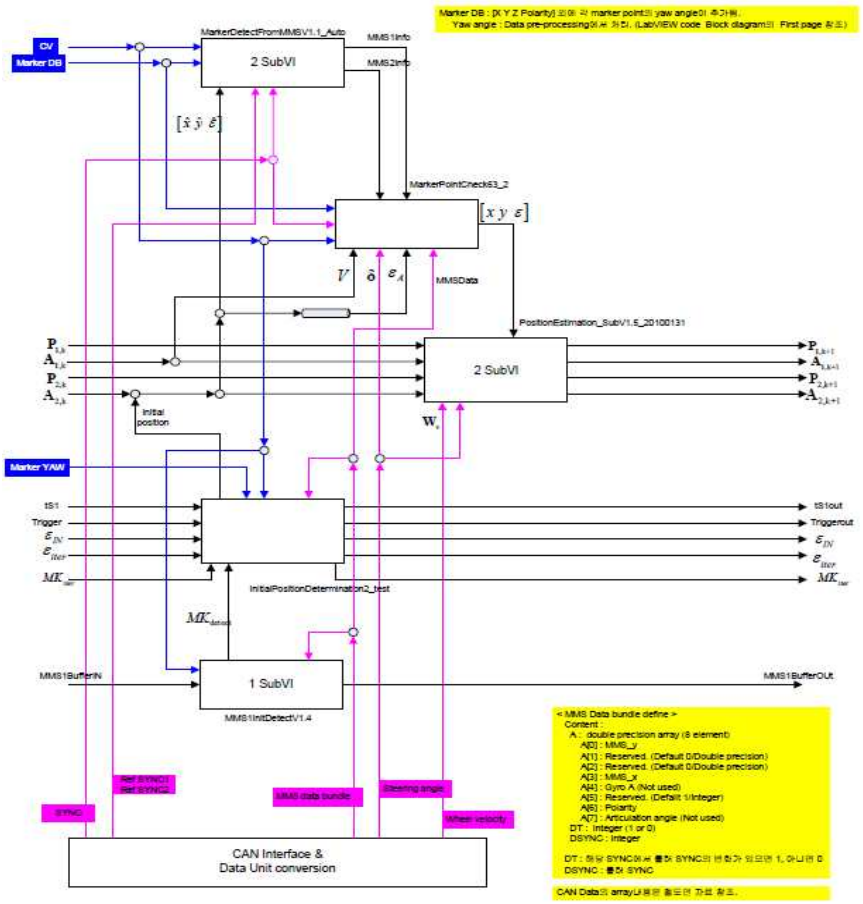



그림 2.2.2-10 알고리즘 구성도

다) 알고리즘 분석

(1) 구현 환경

알고리즘의 구현 환경은 다음과 같다.

- 구현 운영체제 : Red Hat Linux 서버
- 구현 언어 : ARM 프로세서용 C/C++ (크로스 컴파일러)
- 타겟 운영체제 : RT-Linux

(2) 알고리즘 흐름도

C코드로 구현된 알고리즘의 흐름도는 다음과 같다.

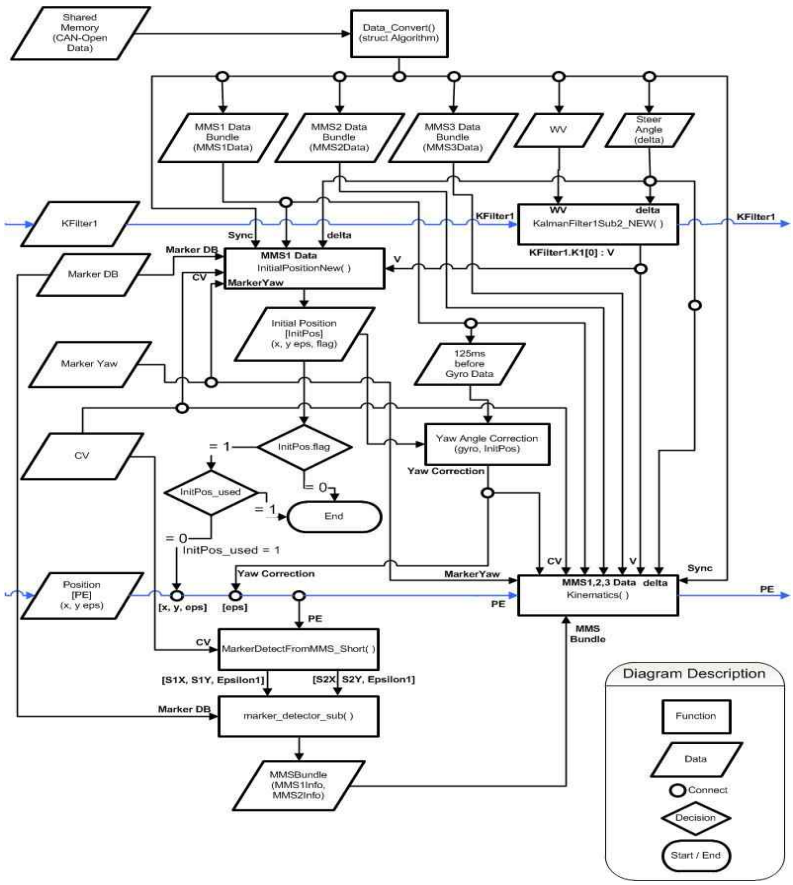



그림 2.2.2-11 알고리즘 흐름도

(3) 알고리즘 함수 정의

핵심제어 알고리즘은 총 9개의 함수로 구성되어 있다. 아래의 표는 Labview에서 구현된 함수를 C코드로 변환한 함수이다.

표 2.2.2-17 알고리즘 함수 리스트

| No. | Function Name (LabVIEW) | Function Name (C code) |
|---|---|---|
| 1 | SteeringAngleProcessing.vi | SteerAngleProcessing( ) |
| 2 | MMS_XY_Scaling.vi | MMS_XY_Scaling( ) |
| 3 | KalmanFilter1Sub2_NEW.vi | KalmanFilter1Sub2_NEW( ) |
| 4 | InitialPositionNew2.0.vi | InitialPositionNew( ) |
| 5 | | MMS1InitDetect( ) |
| 6 | MarkerDetectFromMMS_ShortV1.0.vi | MarkerDetectFromMMS_Short( ) |
| 7 | marker_detector_subV1.0_Auto.vi | marker_detector_sub( ) |
| 8 | KinematicsV1.2_NEW.vi | Kinematics( ) |
| 9 | Yaw보정.vi | Yaw Angle Correction |

### 라. 시스템 시험

국내에서 개발한 자동운전시스템을 차량에 탑재하여 시험선 및 시범선에서 자동운전 시험을 진행하였다.

1) 시험개요 : 알고리즘 시험을 통한 자동운전시스템의 안정화
2) 시험대상 : 시작차량, 시제 1호 차량, 시제 2호 차량
3) 시험목표 : 국내에서 개발된 하드웨어와 핵심제어 알고리즘 적용을 통한 자동운전 시험을 목표로 한다.
4) 시험선내의 시험절차는 아래와 같이 이루어진다.

가) 알고리즘 시험 : 알고리즘은 크게 위치추정, 조향제어, 추진제어, 제동제어 4가지로 나누어져 있다. 알고리즘 시험을 통해 차량이 주행경로를 잘 따라가는지 확인하고., 문제 발생 시 알고리즘 담당자에게 결과를 작성하여 보낸다.

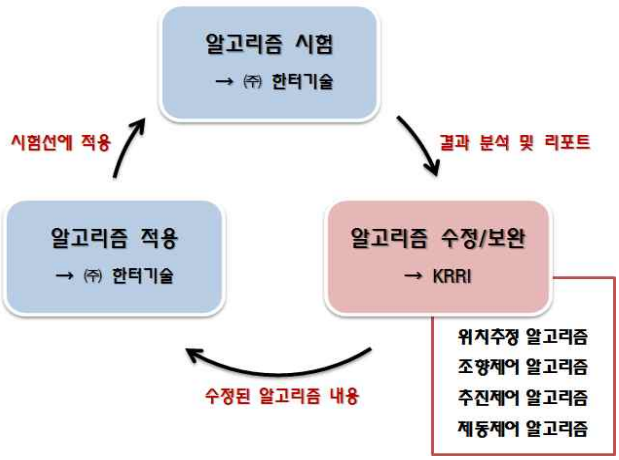



그림 2.2.2-12 시험선 알고리즘 시험절차

(1) 위치추정 알고리즘 : 자동/반자동 운전의 근간이 되는 알고리즘으로 차량이 주행경로를 이탈하지 않고 현재위치 기반으로 운행하는지 확인한다.
(2) 조향제어 알고리즘 : 위치추정 알고리즘 및 주행 프로파일을 기반으로 운전자의 조작 없이 차량이 주행경로를 이탈하지 않고 조향하는지 확인한다.
(3) 추진/제동제어 알고리즘 : 주행 프로파일에 있는 기준속도를 기반으로 운행구간마다의 추진 및 제동이 승차감을 고려하여 제어되는지 확인한다.

나) 알고리즘 수정/보완 : 알고리즘은 한국철도기술연구원의 알고리즘 개발 담당자가 수정 및 보완을 한다.

다) 알고리즘 적용 : 수정 및 보완된 알고리즘을 한국철도기술연구원에서 받아 차량에 적용한다.

5) 위치추정 알고리즘 시험

위치추정 알고리즘의 방위각 데이터를 차량의 방위각에서 'Kalman filter'의 feedback된 방위각 데이터를 사용하는 것으로 수정하였다. 이 값을 수정함으로 인해서 차량의 실제 방위각의 오류부분을 보정할 수 있었다.

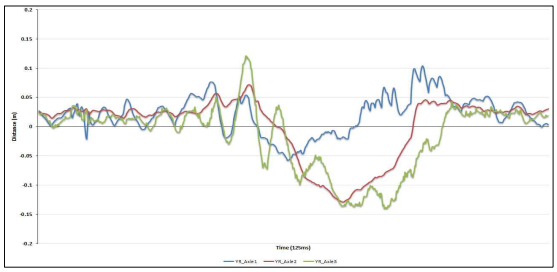


그림 2.2.2-13 수정전의 주행 횡오차값

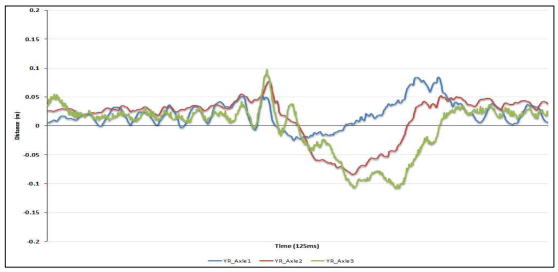


그림 2.2.2-14 수정후의 주행 횡오차값

위의 그래프에서 볼 수 있듯이 수정 전의 주행 횡오차값은 최대 0.15[m]에서 최소 -0.15[m]의 범위값을 가지고 있지만, 수정 후의 주행 횡오차값은 최대 0.1[m]에서 최소 -0.1[m]의 범위값을 가지는 것을 볼 수 있었다.

6) 정거장 정밀정차 거리 확인 시험

자동운전으로 운행하면서 차량을 정거장에 정밀정차 후 차량과 정거장 사이의 거리를 측정하였다.

표 2.2.2-18 정거장과의 거리 측정

| 운행 횟수 | 1축 | 2축 | 3축 |
|---|---|---|---|
| 1 | 20.2 | 19.6 | 20.9 |
| 2 | 19.9 | 19.6 | 21.2 |
| 3 | 20.2 | 19.9 | 21.7 |
| 4 | 19.8 | 19.8 | 21.4 |
| 5 | 20 | 19.5 | 21.3 |
| 6 | 19.8 | 19.8 | 21.6 |
| 7 | 19.9 | 19.8 | 21.1 |
| 8 | 20.2 | 20 | 21.2 |
| 9 | 19.9 | 19.4 | 20.8 |
| 10 | 20 | 19.6 | 20.9 |
| 11 | 19.5 | 19.7 | 20.5 |
| 12 | 19.7 | 19.3 | 19.8 |
| 13 | 19.6 | 19.3 | 20.2 |
| 14 | 19.9 | 19.6 | 20.5 |
| 15 | 19.7 | 19.2 | 19.7 |
| 16 | 19.5 | 19.1 | 20 |
| 17 | 19.7 | 19.4 | 20 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 18 | 19.4 | 19.1 | 19.7 |
| 19 | 19.6 | 19.3 | 19.9 |
| 20 | 20 | 19.7 | 20.2 |
| 21 | 19.8 | 19.6 | 20.1 |
| 22 | 19.8 | 19.6 | 20.3 |
| 23 | 19.9 | 19.3 | 19.8 |
| 24 | 20 | 19.6 | 20.3 |
| 25 | 19.9 | 19.5 | 20.1 |
| 26 | 19.7 | 19.4 | 20.4 |
| 27 | 19.8 | 19.4 | 20.2 |
| 28 | 20.1 | 19.8 | 20.8 |
| 29 | 19.7 | 19 | 20.2 |
| 30 | 19.9 | 19.4 | 20.4 |
| 31 | 19.7 | 19.3 | 20.4 |
| 32 | 20 | 19.7 | 20.6 |
| 33 | 20.2 | 19.8 | 20.9 |
| 34 | 19.9 | 19.5 | 20.5 |
| 35 | 19.5 | 19.2 | 19.8 |
| 36 | 19.3 | 18.9 | 19.7 |
| 37 | 20 | 19.6 | 20.7 |
| 38 | 19.9 | 19.8 | 20.7 |
| 39 | 19.9 | 19.7 | 20.8 |
| 40 | 19.9 | 19.5 | 20.4 |
| 평균값 | 19.835 | 19.5075 | 20.4925 |

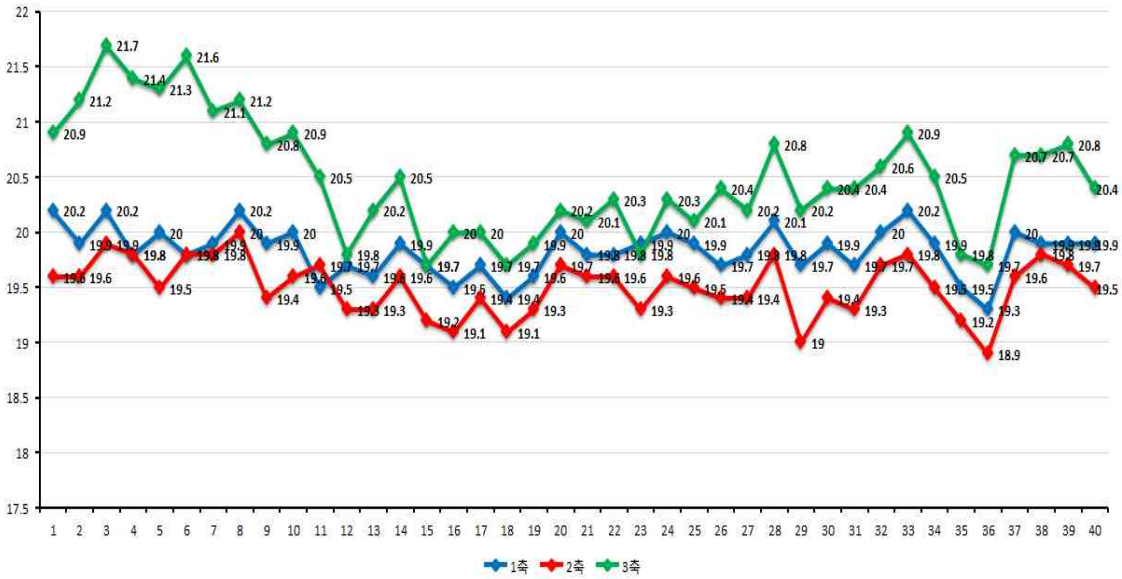



그림 2.2.2-15 거리 측정 그래프

1축과 2축은 정거장과의 거리가 거의 비슷하게 나오지만 (평균오차 0.3[m]) 3축은 약간의 거리오차(평균오차 1.0[m])가 발생하였다.

7) 차량 EBS[XBR] 제동시험

알고리즘에 차량 제동을 적용하기 위해서 XBR을 통하여 각각의 감속도를 지령으로 주었을 때의 속도에 따른 제동에 대한 거리 및 시간에 대하여 확인하였다.

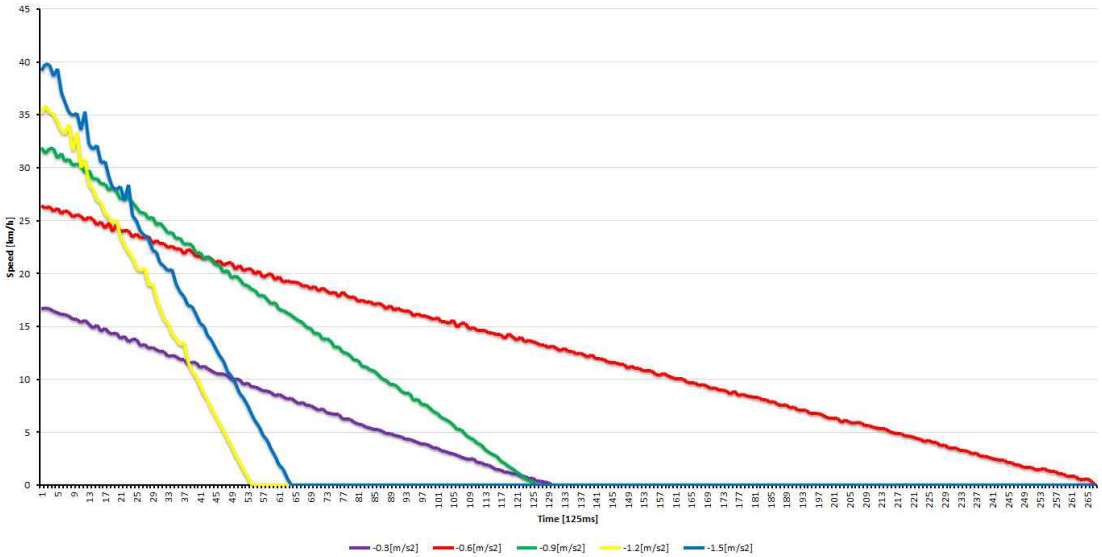



그림 2.2.2-16 감속도 확인 시험

표 2.2.2-19 감속도에 따른 거리 확인

| | -0.3 [m/s^2] | -0.6 [m/s^2] | -0.9 [m/s^2] | -1.2 [m/s^2] | -1.5 [m/s^2] |
|---|---|---|---|---|---|
| 최고속도 | 16.76 | 26.41 | 31.93 | 35.85 | 39.78 |
| 출발거리 | 266.09 | 277.98 | 271.29 | 259.58 | 234.09 |
| 정지거리 | 229.97 | 161.05 | 200.87 | 225.21 | 189.86 |
| 거리차 | 36.11 | 116.93 | 70.41 | 34.36 | 44.23 |

8) 국내 개발품 환경시험

자동운전 시스템을 구성하는 장치인 Driver, Scheduler, Guidance 장치들의 시제품에 대한 신뢰성을 시험하고 평가한다. 시험은 공인된 인증기관인 에스지에스데스코에서 진행하였다. 시험은 차상에서의 실제 사용상태와 동등 이상의 조건으로 실시하며 관련장치 와의 조합시험을 실시하여야 한다. 시험의 종류 및 구분은 아래와 같다.

표 2.2.2-20 시험항목

| 구분 | 시험 항목 | 형식시험 | 전수시험 | 검사결과 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 전압 변동 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 2 | 중량 측정 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 3 | 저온 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 4 | 고온 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 5 | 고온·고습 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 6 | 과전압, 서지, 정전 방전 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 7 | 과도 버스트 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 8 | 절연 시험 | ◎ | ◎ | 합격 |
| 9 | 진동, 충격 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 10 | 온도 사이클링 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 11 | 연속 통전시험 | ◎ | - | 합격 |
| 12 | 소비전력 측정 시험 | ◎ | - | 합격 |
| 주 1 : 시험 항목 중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.<br>주 2 : 시험 항목 중 “-” 표시된 시험은 실시하지 않는다.<br>주 3 : 방수시험은 도시 철도차량의 성능시험에 관한 기준 별표5의 (11) 항(다)에 의거 시험을 면제한다. | | | | |



그림 2.2.2-17 정전기 시험



그림 2.2.2-18 정전기 시험

## 3. 주행제어기술

### 가. 자동운전시스템의 기본설계

1) 바이모달트램 자동 안내제어기술의 개요

바이모달트램에 적용된 자동 안내제어 시스템은 크게 다음과 같은 다섯 가지의 그룹으로 구성된다.

i) 센서 및 구동장치

ii) 프로세서

iii) 통신계통

iv) 전원장치

v) 사용자 인터페이스 장치

일반적인 중앙집중식 제어시스템에서는 센서, 구동장치, 사용자 인터페이스장치들이 단일 프로세서나 단일 컴퓨터 시스템에 직접 연결되는 구조를 가지고 있다. 이러한 시스템은 구성이 단순하고, 운전 및 유지보수가 용이한 반면에 부분적인 고장 등에 의해 전체 시스템이 쉽게 불안정해 질 수 있는 특성을 가지고 있다. 바이모달트램은 전반적인 구성의 복잡성과 운전환경에 따라 발생할 수 있는 취약점 등을 고려하여 이러한 중앙집중식 제어시스템 구조를 사용하지 않고, 분산 시스템 구조를 사용한다.

센서, 구동장치, 사용자 인터페이스 장치들은 별도의 부 시스템으로 구성되며, 중앙제어 시스템에 해당되는 프로세서부와 비동기식 통신버스로 연결된다. 또한 프로세서부와 각 부 시스템들은 동작의 안정성을 위해 각각 분리된 별도의 전원장치를 가지도록 구성된다.

가) 센서 및 구동장치

시스템 구조를 센서 및 구동장치를 기준으로 표시하면 그림 2.2.3-1과 같다.

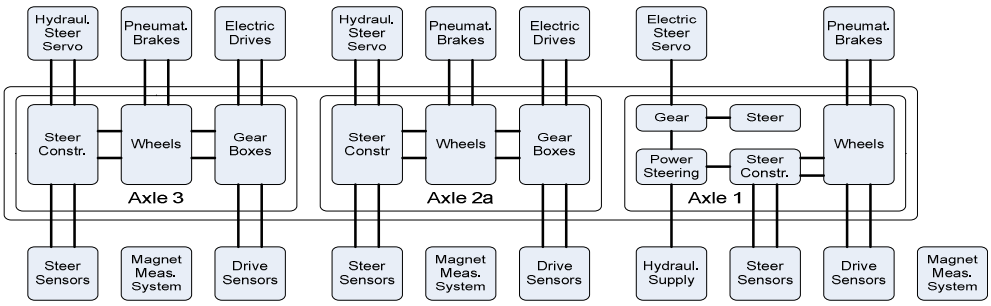



그림 2.2.3-1 Bimodaltram 시스템의 구동장치 및 센서 관련 부 시스템 구성도

(1) 센서

바이모달트램의 센서는 크게 다음과 같은 종류들로 구성되어 있다.

i) 차량 이동거리 측정센서(Drive sensors)

ii) 조향각 측정센서(Steer sensors)

iii) 굴절각 측정센서(Joint angle sensors)

iv) 자기 센서(Magnet measurement sensors)

특히 자기 센서는 차축을 기준으로 매 축마다 설치되며, 도로에 매설된 자석의 배열을 이용하여 주로 차로 내에서 차량의 횡 방향 위치를 측정하기 위해 사용된다. 자석은 차로에 4m 또는 4.5m 간격으로 매설되어 있으며, 자기 측정 시스템은 센서를 이용하여 자기장의 분포를 측정하고, 측정된 자기장의 분포를 분석하여 자기 센서을 기준 축으로 하여 자석과의 상태거리 산출한다.

(2) 구동장치

바이모달트램에서 차량의 견인력 또는 추진력은 엔진과 전기적인 견인시스템(electrical-traction system)으로 구성된 하이브리드 형태를 갖으며, 속도제어는 주로 전기적인 견인시스템에 의해 이루어진다.

조향제어부의 조향구동장치는 두 가지 형태로 구성된다. 모터구동식과 유압 실린더 형태로 구성되어 제어된다.

나) 프로세서

자동 안내제어시스템의 핵심 구성요소는 제어 알고리즘을 수행하는 컴퓨터 및 마이크로프로세서 시스템이다. 바이모달트램의 안내제어 시스템은PC와 호환되는 리눅스 기반의 컴퓨터 시스템을 기본으로 하는 분산/계층구조로 구성된다.

그림 2.2.3-2은 바이모달트램의 자동 조향/안내 제어시스템의 전체적인 구성도이다. 이 그림은 스케줄러 컴퓨터와 안내제어 컴퓨터를 상부 구조로 하고, 조향제어장치, 제동제어장치, 추진제어장치, 센서 인터페이스 시스템 등을 하부 구조로 하는 분산/계층 구조 형태를 보여준다. 각 분산시스템의 컴퓨터 및 마이크로프로세서들은 LAN(Local Area Network) 또는 CAN(Controller Area Network)방식의 통신채널을 통해 연결된다.

분산/계층구조에서 각 분산시스템들의 역할은 아래와 같다.

(1) 스케줄러 컴퓨터

스케줄러 컴퓨터는 주행경로에 대한 각종 사전정보들을 통해 주행계획을 마련하고, 이에 따라 필요한 안내제어 정보를 안내제어기에 전달한다.

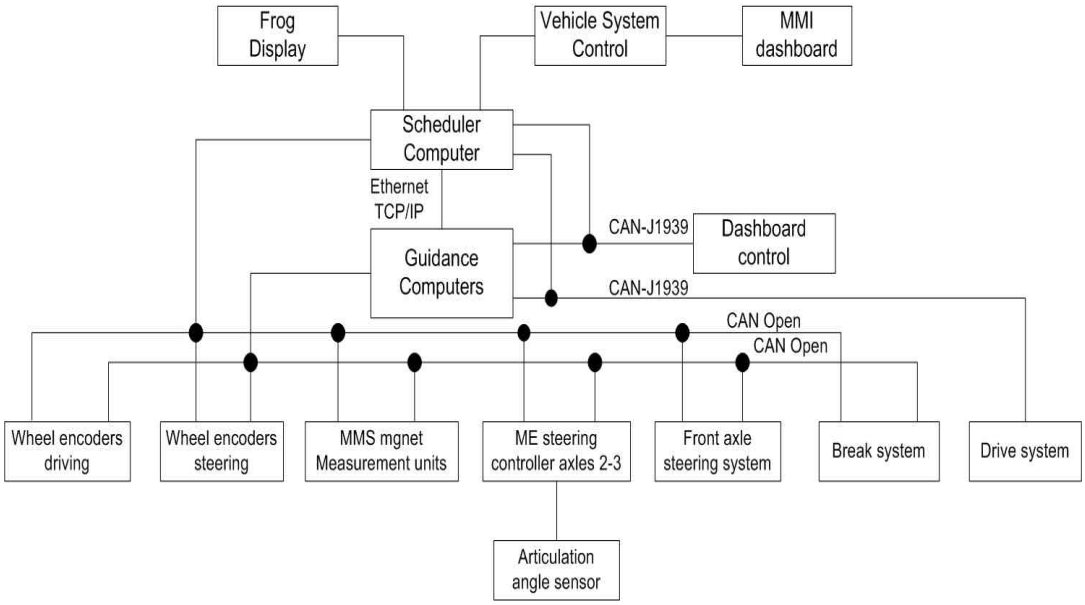



그림 2.2.3-2 차량 안내제어 시스템의 구성과 통신계통도

(2) 안내제어 컴퓨터

안내제어 컴퓨터(Guidance computer)는 스케줄러 컴퓨터로부터 전달되는 운행경로에 대한 정보와 각종 센서를 통해 측정된 위치정보를 이용하여 주어진 경로를주행하게 하는 기능을 한다.

다) 통신계통

그림 2.2.3-18의 구조에서 각 부 시스템들은 서로 LAN이나 CAN 또는 RS232 방식의 통신채널, 즉 인터페이스를 통해 연결된다.

센서나 구동장치와 관련된 컴퓨터 또는 마이크프로세서 시스템들은 CAN 버스를 통해 같은 계층의 다른 부 시스템들과 연결되거나, 또는 상위구조의 안내제어컴퓨터와 연결된다. Dashboard로 구현된 사용자 인터페이스는 센서나 구동장치관련 인터페이스와 구분되는 또 다른 CAN 버스를 통해 안내제어 컴퓨터와 연결된다. 이는 사용자 인터페이스에 의해 전체 시스템의 제어에 필요한 정보의 유통에 제한을 받게 되는 경우를 고려하기 위한 것으로 판단된다.

안내제어 컴퓨터와 스케줄러 컴퓨터는 운행경로에 대한 정보를 주고받아야 하며, 따라서 다른 통신채널에 비해 많은 양의 데이터를 송수신해야 한다. 따라서 안내제어 컴퓨터와 스케줄러 컴퓨터는 이더넷(ethernet)기반의 LAN 방식 통신채널을 사용한다.

라) 전원장치

전체 시스템에 공급되는 전원은 엔진에 의해 구동되는 발전기에서 생산된 전기에너지를 사용하며, 전원에 이상이 발생할 경우에 대비하여 UPS시스템을 가지고 있다. UPS시스템은 발전기에서 생산된 전기에너지를 전지에 충전하여 사용하며,UPS는 안내제어 시스템에 수 분정도 전원을 공급할 수 있는 용량을 가지도록 하고 있다.

마) 사용자 인터페이스장치

운전자를 위한 사용자 인터페이스의 모든 가상 기능들은 dashboard에 집약되어 있다. Dashboard에서 나타내는 정보는 안내제어 컴퓨터의 상태에 대한 정보와 함께 정류장의 위치와 관련된 정보를 포함하여 정류장에 접근할 때 운전자가 차량의 속도를 제어할 수 있도록 하고 있다.

2) 자동운전(자동 안내제어) 설계조건(design guidelines)

개발된 전륜조향-다분절차량(All-wheel steered multiple articulated vehicle : AWS-MAV)은 트랙터와 1개의 트레일러가 연결된 구조를 가지고 있다.

그림 2.2.3-3은 속도 변화에 따른 후륜 조향각의 최대값의 변화를 나타낸 것이다.

그림을 보면 속도가 A인 구간까지는 후륜의 조향각을 최대값으로 할 수 있으며, A부터 B 구간까지는 속도가 증가할수록 가능한 최대 조향각이 비례적으로 감소하고, 속도가 B인 구간을 지나면 후륜의 조향이 불가능해 지므로 2륜 조향의 경우와 마찬가지의 특성을 갖는다.

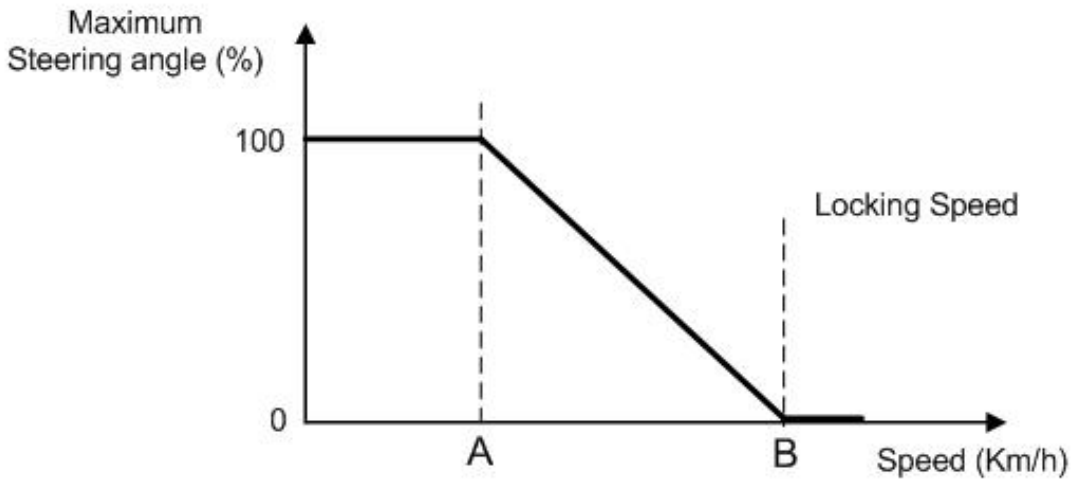



그림 2.2.3-3 속도 변화에 따른 후륜 최대 조향각의 변화

A와 B의 속도값은 자동조향일 경우와 수동조향일 경우에 각각 다르며, 선회반경, 차량의 길이 등에도 영향을 받는다. 이러한 사항은 자동 조향/안내 제어기를 설계할 때 제한조건으로 주어지게 되며, 이 조건이 차량의 폭, 길이 등의 제원과 관련하여 선회반경 및 선회시 도로를 점유하는 면적들을 제한시키는 요인이 된다. 그러나, 이러한 값들은 특정한 조건에 대한 결과일 뿐이므로 자동 조향/안내 제어기 설계단계에서 사양을 제시하기 위해서는 더 많은 데이터를 참고할 필요가 있다.

## 나. 자동운전시스템

1) 바이모달차량용 자동안내/추진/제동 제어 및 정밀정차 알고리즘 개발

가) 바이모달 트램의 자동 안내제어 알고리즘 개발

바이모달 트램의 자동안내제어 알고리즘 개발은 비선형 동역학 모델식을 바탕으로 한다. 먼저 비선형 모델을 선형화 시킨 후 모델식을 상태방정식 형태로 표현한다. 여기서 입력은 각 차축의 조향각이고 출력은 기준경로와의 편차이다. 시뮬레이션을 통해 선형 모델을 검증한 다음 자동 안내제어기 설계 기준과 응답 설계명세서를 만족하는 고정저차제어기 설계방법을 통해 설계한다.

(1) 전륜조향, 굴절차량의 동적 모델링

바이모달 트램의 형태는 그림 2.2.3-4과 같다. 모델링 과정에 들어가기에 앞서 차량의 위치, 속도, 가속도 등을 표현할 좌표계들과 바이모달 트램의 제원과 파라미터들의 정의가 필요하다. 여기서 동역학 모델을 표현하는 좌표계는 좌표변환 매트릭스에 의해 변환된다. 비선형 동역학 모델은 Lagrange 방정식을 바탕으로 유도되는데 이 방정식을 통해서 차량에 가해진 총 외력과 차량의 운동량의 변화 관계가 표현된다.

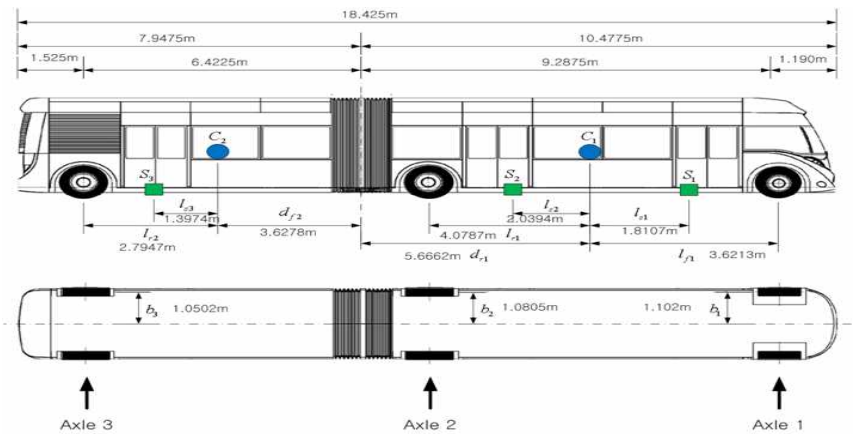



그림 2.2.3-4 바이모달 트램

(가) 비선형 동적 모델

관성좌표계에서 바이모달 트램의 위치는 식 2.2.3-1과 같이 일반화된 위치벡터를 이용하여 나타낼 수 있다.

$$^{w}\mathbf{q} = [^{w}x_{w,c1} \quad ^{w}y_{w,c1} \quad ^{w}\epsilon_{w,c1} \quad ^{w}\epsilon_{w,c2}]^{T} \qquad \text{식 2.2.3-1}$$

위 식에서 $^{w}x_{w,c1}$, $^{w}y_{w,c1}$ 은 관성좌표계에서 트랙터의 무게중심점의 위치를 나타내며, $^{w}\varepsilon_{w,c1}$, $^{w}\varepsilon_{w,c2}$은 각각 트랙터와 트레일러의 종방향 축이 관성좌표계의 $x$축과 이루는 각도를 나타낸다.

트랙터와 트레일러가 평면운동을 할 때 운동에너지는 식 2.2.3-2와 같이 표현할 수 있다.

$$^{w}\mathbf{M}(^{w}\mathbf{q})^{w}\mathbf{q}'' + ^{w}\mathbf{C}(^{w}\mathbf{q}, ^{w}\mathbf{q}')^{w}\mathbf{q}' = ^{w}\tau \qquad \text{식 2.2.3-2}$$

식 2.2.3-2의 우변항은 타이어의 마찰력에 의해 차축(axle)이 받는 힘을 나타낸다.

타이어의 마찰력에 의해 트랙터와 트레일러의 차축(axle)이 받는 힘은 차량에 종방향(longitudinal direction)으로 가해지는 구동력 과 차량이 곡선경로를 주행할 때 횡방향(lateral direction)으로 받는 힘에 의한 영향으로 나누어지며, 차축의 좌우에 위치한 휠(wheel)에 각각 다르게 작용한다.

각각의 휠에 가해지는 힘은 $^{w_{ij}}F_{w_{ij}}$로 나타낸다. 여기에서 첨자 $i$는 차축을 기준으로 $i=1$일 때에는 좌측의 휠을 의미하며, $i=2$는 우측의 휠을 나타내고, 첨자 $j$는 차축을 나타내는 것으로써 $j=1$일 경우 트랙터의 앞쪽에 위치한 차축을 나타내고, $j=3$은 트레일러에 위치한 차축을 나타낸다.

$^{w_{ij}}F_{w_{ij}}$는 종방향의 힘과 횡방향의 힘으로 나누어지며 각각은 식 2.2.3-3와 같다.

$$F_{dr_i[j]} = ^{w_{ij}}F_{w_{ij}[1]} \qquad \text{식 2.2.3-3}$$

$$F_{cor_i[j]} = ^{w_{ij}}F_{wij[2]} \qquad \text{식 2.2.3-4}$$

$F_{dr_i[j]}$는 종방향으로 가해지는 힘이며, 각 휠에 가해지는 진행방향 구동 토크(drive torque) $T_{dr_{ij}}$와 휠의 직경 $r_{w_{ij}}$에 의해 결정된다. $^{w_{ij}}F_{wij[2]}$는 횡방향으로 가해지는 힘이며, cornering stiffness와 조향각($\delta_j$), 차체의 미끄러짐각($\beta_{wij}$), 타이어의 미끄러짐각($\alpha_{ij}$)의 함수로 식 2.2.3-5와 같이 나타낼 수 있다.

$$^{w_{ij}}F_{w_{ij}[w]} = C_{w_j}\alpha_{w_{ij}} = C_{w_j}(\delta_j - \beta_{w_{ij}}) \qquad \text{식 2.2.3-5}$$

차체의 미끄러짐각($\beta_{wij}$)는 식 2.2.3-6와 같이 주어진다.

$$\beta_{w_{ij}} = \begin{cases} \arctan\dfrac{{}^{c1}y'_{w,wij}(\chi_q)}{{}^{c1}x'_{w,wij}(\chi_q)} & \text{if } j=1 \\ \arctan\dfrac{{}^{cj-1}y'_{w,wij}(\chi_q)}{{}^{cj-1}x'_{w,wij}(\chi_q)} & \text{if } j>1 \end{cases} \quad \text{식 2.2.3-6}$$

이 관계들을 이용하여 수식으로 나타내면 식 2.2.3-6와 같이 된다.

$${}^{w}\tau_{\mathbf{tire}} = \sum_{i=1}^{2}\left\{{}^{w}\mathbf{L}_{\mathbf{long}_i}(\mathbf{R}_{wi}^{-1}\mathbf{T}_{\mathbf{dr}_i} + \Delta_t \mathbf{C}_t(\delta_t - \beta_{ti})) + {}^{w}\mathbf{L}_{\mathbf{lat}_i}(\Delta_t \mathbf{R}_{w_i}^{-1}\mathbf{T}_{\mathbf{dr}_i} + \boldsymbol{C}_t(\delta_t - \beta_{ti}))\right\} \text{ 식 2.2.3-7}$$

이 식에서 ${}^{w}L_{long_i}$, ${}^{w}L_{lat_i}$은 평면상에서 트랙터 및 트레일러의 위치벡터와 일반화된 위치벡터의 Jacobian행렬을 이용하여 구해진다.

앞부분에서 유도된 식들을 이용하여 바이모달 트램의 동력학 모델을 나태내면 식 2.2.3-8과 같다.

$$\begin{aligned} &{}^{w}\mathbf{M}({}^{w}\mathbf{q}){}^{w}\mathbf{q}'' + {}^{w}\mathbf{C}({}^{w}\mathbf{q}', {}^{w}\mathbf{q}){}^{w}\mathbf{q}' \\ &= \sum_{i=1}^{2} {}^{w}\mathbf{L}_{long_i}\mathbf{R}_{wi}^{-1}\mathbf{T}_{dri} + {}^{w}\mathbf{L}_{lat_i}(\mathbf{R}_{wi}^{-1}\boldsymbol{D}(\mathbf{T}_{dr_i})\delta_t + \mathbf{C}_t(\delta_t - \beta_{ti})) \end{aligned} \quad \text{식 2.2.3-8}$$

식 2.2.3-8의 각 항들을 다시 정리하면 아래와 같다.

${}^{w}\mathbf{M}({}^{w}\mathbf{q}){}^{w}\mathbf{q}''$ : 차량에 질량과 가속도에 의한 관성력

${}^{w}\mathbf{C}({}^{w}\mathbf{q}', {}^{w}\mathbf{q}){}^{w}\mathbf{q}'$ : 코리올리효과에 의한 힘과 원심력

$\sum_{i=1}^{2} {}^{w}\mathbf{L}_{long_i}\mathbf{R}_{wi}^{-1}\mathbf{T}_{dri}$ : 종방향으로 가해지는 타이어 마찰력

$\sum_{i=1}^{2}\mathbf{L}_{lat_i}(\mathbf{R}_{wi}^{-1}\boldsymbol{D}(\mathbf{T}_{dr_i})\delta_t + \mathbf{C}_t(\delta_t - \beta_{ti}))$ : 횡방향으로 가해지는 타이어 마찰력

식 2.2.3-8은 차량의 움직임을 관성좌표계에서 나타낸 것이며, 차량모델의 동역학적인 특성을 분석하기 위해서는 트랙터의 무게중심을 원점으로 하는 차량중심 좌표계로 변환하는 것이 유리하다.

관성좌표계에서 나타낸 위치벡터는 식 2.2.3-9과 같이 회전행렬을 이용하여 차량중심 좌표계로 변환할 수 있다.

$${}^{c1}\mathbf{x}'_{w,c1} = {}^{c1}\mathbf{Rot}_{w}\,{}^{w}\mathbf{x}'_{w,c1} \quad \text{식 2.2.3-9}$$

관성좌표계에서 표현된 일반화된 위치벡터 ${}^{w}\mathbf{q}$를 차량중심 좌표계로 변환하면

식 2.2.3-10와 같이 쓸 수 있으며, 그 미분값을 구하면 식 2.2.3-11이 된다.

$${}^{c1}\mathbf{q} = \left[ {}^{c1}x_{w,c1} \; {}^{c1}y_{w,c1} \; {}^{w}\varepsilon_{c1} \; {}^{w}\varepsilon_{c2} \right]^T \quad \text{식 2.2.3-10} \quad {}^{w}\mathbf{q}' = {}^{w}\mathbf{T}_{c1} \, {}^{c1}\mathbf{q}' \;,\; {}^{w}\mathbf{T}_{c1} = \begin{bmatrix} {}^{w}\mathbf{Rot}_{c1} & 0 \\ 0 & \boldsymbol{I} \end{bmatrix}$$

식 2.2.3-11

식 2.2.3-11을 미분하면 식 2.2.3-12과 같이 된다.

$${}^{w}\mathbf{q}'' = {}^{w}\mathbf{T}_{c1} \, {}^{c1}\mathbf{q}'' + {}^{w}\mathbf{T}'_{c1} \, {}^{c1}\mathbf{q}' \quad \text{식 2.2.3-12}$$

식 2.2.3-12의 변환행렬 ${}^{w}\mathbf{T}_{c1}$을 이용하여 식 2.2.3-8에 나타낸 각 행렬 및 벡터의 좌표계를 변환하면 식 2.2.3-13와 같다.

$${}^{c1}\mathbf{C}({}^{c1}\mathbf{q}, {}^{c1}\dot{\mathbf{q}}) = {}^{w}\mathbf{T}_{c1}^{T} \, {}^{w}\mathbf{C}({}^{c1}\mathbf{q}, {}^{c1}\dot{\mathbf{q}}) \, {}^{w}\mathbf{T}_{c1} + {}^{w}\mathbf{T}_{c1}^{T} \, {}^{w}\mathbf{M}({}^{c1}\mathbf{q}) \, {}^{w}\dot{\mathbf{T}}_{c1} \qquad \text{식 2.2.3-13}$$

$$\begin{aligned} {}^{c1}\mathbf{L}_{\mathrm{long}_i}({}^{c1}\mathbf{q}) &= {}^{w}\mathbf{T}_{c1}^{T} \, {}^{c1}\mathbf{L}_{\mathrm{long}_i}({}^{c1}\mathbf{q}) \\ {}^{c1}\mathbf{L}_{\mathrm{lat}_i}({}^{c1}\mathbf{q}) &= {}^{w}\mathbf{T}_{c1}^{T} \, {}^{c1}\mathbf{L}_{\mathrm{lat}_i}({}^{c1}\mathbf{q}) \end{aligned}$$

위의 관계들을 이용하여 식 2.2.3-8에 나타낸 바이모달 트램의 동력학 모델식을 차량중심 좌표계로 변환하면 식 2.2.3-14과 같이 나타낼 수 있다.

$${}^{c1}\mathbf{M} \, {}^{c1}\mathbf{q}'' + {}^{c1}\mathbf{C} \, {}^{c1}\mathbf{q}' = \sum_{i=1}^{2} {}^{w}\mathbf{L}_{long_i} \mathbf{R}_{wi}^{-1} \mathbf{T}_{dr_i} + {}^{w}\mathbf{L}_{lat_i} (\mathbf{R}_{wi}^{-1} \mathbf{D}(\mathbf{T}_{dr_i}) \delta_t + \mathbf{C}_t (\delta_t - \beta_{ti})) \qquad \text{식 2.2.3-14}$$

차량중심 좌표계의 동역학 모델은 바이모달 트램의 동역학 특성분석 뿐만 아니라, 자동 안내제어기 설계 과정에서 비선형 동역학 모델식의 선형화 방법을 이용하여 선형제어기 설계를 하기 위한 수단으로 사용된다.

바이모달 트램의 자동 안내제어기 설계는 차량의 위치가 주행경로와 이루는 오차를 최소화 하는 문제이다. 따라서 이와 같은 문제를 다루기 위해서는 차량의 동역학 모델식으로부터 얻은 차량의 위치정보와 주행경로 정보를 이용하여 차량의 위치와 주행경로사이의 경로오차를 표현할 수 있는 모델이 필요하다.

차량중심 좌표계의 위치벡터와 경로오차사이의 관계는 식 2.2.3-15과 같다.

$$\mathbf{Y}'_s = \mathbf{J}_{\mathrm{path}}({}^{c1}\mathbf{q}) \, {}^{c1}\mathbf{q}' \qquad \text{식 2.2.3-15}$$

여기에서 $\mathbf{Y}'_s$와 $\mathbf{J}_{\mathrm{path}}({}^{c1}\mathbf{q})$는 각각 식 2.2.3-16, 식 2.2.3-17와 같다.

$$\mathbf{Y}'_s = \begin{bmatrix} v_x \\ {}^{p_{s1}}y'_{p_{s1},s1} \\ {}^{p_{s2}}y'_{p_{s2},s2} \\ {}^{p_{s3}}y'_{p_{s3},s3} \end{bmatrix} \qquad \text{식 2.2.3-16}$$

$$\mathbf{J}_{\text{path}}({}^{c1}\mathbf{q}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \sin^{p_{s1}}\epsilon_{c1} & \cos^{p_{s1}}\epsilon_{c1} & -d_{s11} & d_{s12} \\ \sin^{p_{s2}}\epsilon_{c2} & \cos^{c1}\epsilon_{p_{s2}} - d_{s22}\cos^{p_{s2}}\epsilon_{s2} & -d_{s23}\cos^{p_{s2}}\epsilon_{s3} & \\ \sin^{p_{s3}}\epsilon_{c2} & \cos^{c1}\epsilon_{p_{s3}} - d_{s32}\cos^{p_{s3}}\epsilon_{s2} & -d_{s33}\cos^{ps3}\epsilon_{s3} & \end{pmatrix} \qquad \text{식 2.2.3-17}$$

식 2.2.3-15의 양변을 미분하여 경로오차의 가속도 성분을 구하면 식 2.2.3-18과 같이 된다.

$$\mathbf{Y}_s'' = \mathbf{J}'_{path}({}^{c1}\mathbf{q}, {}^{c1}\mathbf{q}'){}^{c1}\mathbf{q}' + \mathbf{J}_{path}({}^{c1}\mathbf{q}){}^{c1}\mathbf{q}'' \qquad \text{식 2.2.3-18}$$

식 2.2.3-15 ~식 2.2.3-18의 관계를 이용하면 식 2.2.3-14를 이용하여 계산한 차량중심 좌표계의 상태변수들로부터 차량의 위치와 주행경로 사이의 오차를 계산할 수 있으며, 또한 조향각을 입력으로 하고, 경로오차를 출력으로 하는 제어시스템의 입출력관계를 표현할 수 있다.

(나) 제어기 설계를 위한 선형 동적 모델 수립 2

제어기 설계를 위한 선형 동적 모델 수립의 방법을 하나 더 제시한다. 비선형 동적 모델을 선형화 하고 횡 방향 동적 모델을 분리하는데 까지는 앞의 선형 동적 모델 수립 1의 방법과 동일하나 상태 방정식으로 표현할 때의 상태변수가 다르게 표현된다. 두 가지의 선형 동적 모델을 유도하는 이유는 상태방정식을 분석하는 목적에 따라 그에 용이한 상태변수가 있기 때문이다. 물론 표현하는 상태 방정식의 형태는 달라지지만 두 선형 동적 모델의 입출력 관계는 동일하다.

i) 선형 동적 모델 유도

① 횡 방향 동적 모델 분리

횡 방향 제어를 위한 차량의 횡 방향 동적모델을 얻기 위해서 차량의 속도 $V_x$를 일정한 상수로 놓고 진행방향의 동특성을 무시하였다. 차량중심 좌표계의 선형 동역학 모델식에서 횡 방향 모델만을 분리하여 다음 식 2.2.3-19식을 얻었다.

$$M\ddot{q} + C\dot{q} = 2L_y C_t(\delta_t - \beta_t) \qquad \text{식 2.2.3-19}$$

여기서

$$q=\begin{bmatrix}{}^{c1}y & {}^{w}\epsilon_1 & {}^{w}\epsilon_2\end{bmatrix}^T \quad M=\begin{bmatrix}m_1+m_2 & -m_2d_{r1} & -m_2d_{f2}\\ -m_2d_{r1} & m_2d_{r1}^2+I_{z1} & m_2d_{r1}d_{f2}\\ -m_2df_2 & m_2d_{r1}d_{f2} & m_2d_{f2}^2+I_{z2}\end{bmatrix}$$

$$C=\begin{bmatrix}0 & (m_1+m_2)V_x & 0\\ 0 & -m_2dr_1V_x & 0\\ 0 & -m_2d_{f2}V_x & 0\end{bmatrix} \quad L_y=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ l_{f1} & -l_{r1} & -d_{r1}\\ 0 & 0 & -(d_{f2}+l_{r2})\end{bmatrix} \quad C_t=\begin{bmatrix}C_{w1} & 0 & 0\\ 0 & C_{w2} & 0\\ 0 & 0 & C_{w3}\end{bmatrix}$$

② 타이어 모델의 선형화

바이모달 트램의 전체 동역학 모델식을 선형화하기 위해서는 타이어 모델도 선형화 하여야 한다. 타이어 모델을 선형화하기 위해서는 먼저 Tire slip angle을 선형화 하여야 한다. 식 2.2.3-20, 식 2.2.3-21, 식 2.2.3-22에 각 바퀴에서의 선형화된 Tire slip angle을 나타내었다.

$$\delta_1-\beta_1=\delta_1-\frac{{}^{c1}\dot{y}+\dot{\epsilon}_1l_{f1}}{V_x} \text{ 식 } 2.2.3\text{-}20$$

$$\delta_2-\beta_2=\delta_2-\frac{{}^{c1}\dot{y}-\dot{\epsilon}_1l_{r1}}{V_x} \text{ 식 } 2.2.3\text{-}21$$

$$\delta_3-\beta_3=\delta_3-\frac{{}^{c1}\dot{y}-d_{r1}\dot{\epsilon}_1-(d_{f2}+l_{r2})\dot{\epsilon}_2-V_x(\epsilon_f)}{V_x} \text{ 식 } 2.2.3\text{-}22$$

여기서 $\epsilon_f=\epsilon_2-\epsilon_1$ 이다.

이제 타이어에 가해지는 횡 방향 힘이 Tire slip angle과 비례한다고 가정하면 타이어 모델이 선형화 되고 여기서 비례계수가 Cornering Stiffness가 된다. 선형화된 타이어 모델을 적용하여 전체 선형 모델식을 다시 정리하면 식 2.2.3-23과 같다.

$$M\ddot{q}+C\dot{q}=F\delta_t+K\epsilon_f-D\dot{q} \text{ 식 } 2.2.3\text{-}23$$

여기에 $M^{-1}$을 양변에 곱해주면

$$\ddot{q}=M^{-1}F\delta_t+M^{-1}K\epsilon_f-M^{-1}(C+D)\dot{q} \text{식 } 2.2.3\text{-}24$$

③ 좌표벡터의 변환

좌표벡터$q$를 바이모달 트램과 경로와의 관계를 표현하기에 적당한 좌표벡터$q_r$로 변환한다. 변환된 좌표 벡터는 식 2.2.3-25과 같다.

$$q_r = \begin{bmatrix} y_r & \epsilon_{r1} & \epsilon_{r2} \end{bmatrix}^T \quad \text{식 2.2.3-25}$$

$$\rho_{ref} = \frac{1}{Radius} \quad \text{식 2.2.3-26}$$

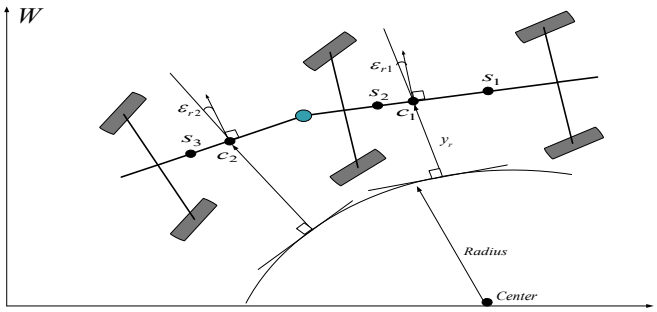



그림 2.2.3-5 좌표벡터 변환

$q$와 $q_r$와의 관계를 식 2.2.3-27, 식 2.2.3-28에 정리하였다.

$$\ddot{q} = \ddot{q}_r + V\dot{q}_r \quad \text{식 2.2.3-27}$$

$$\dot{q} = \dot{q}_r + Vq_r + \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\epsilon}_{d1} \\ \dot{\epsilon}_{d2} \end{bmatrix} \quad \text{식 2.2.3-28}$$

변환된 좌표벡터로 식 2.2.3-23을 다시 정리하면 아래의 식 2.2.3-44을 얻는다.

$$\ddot{q}_r = M^{-1}F\delta_t + (V - M^{-1}(C+D))\dot{q}_r + (M^{-1}K[0\ -1\ \ 1] + M^{-1}(C+D)V)q_r \quad \text{식 2.2.3-29}$$
$$- M^{-1}(C+D)\begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\epsilon}_{d1} \\ \dot{\epsilon}_{d2} \end{bmatrix}$$

④ 선형 상태방정식 유도

식 2.2.3-28, 식 2.2.3-29를 이용하여 바이모달 트램의 동역학 모델식을 식 2.2.3-45, 식 2.2.3-46과 같이 선형상태방정식 형태로 표현 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_r \\ \ddot{q}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}F \end{bmatrix}\delta_t + \begin{pmatrix} 0 & I \\ M^{-1}K[0\ -1\ \ 1] + M^{-1}(C+D)V & V - M^{-1}(C+D) \end{pmatrix}\begin{bmatrix} q_r \\ \dot{q}_r \end{bmatrix} \quad \text{식 2.2.3-30}$$

$$+\begin{pmatrix} 0 \\ M^{-1}(C+D)\begin{bmatrix} 0 \\ V_x \\ V_x \end{bmatrix} \end{pmatrix}\rho_{ref}$$

$$\begin{bmatrix} y_{r1} \\ y_{r2} \\ y_{r3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & l_{s1} & 0 \\ 1 & -l_{s2} & 0 \\ 1 & -d_{r1} & -(d_{f2}+l_{s3}) \end{bmatrix} q_r \quad \text{식 2.2.3-31}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_r \\ \ddot{q}_r \end{bmatrix} = A\begin{bmatrix} q_r \\ \dot{q}_r \end{bmatrix} + B\delta_t + W\rho_{ref} \quad \text{식 2.2.3-32}$$

$$\begin{bmatrix} y_{r1} \\ y_{r2} \\ y_{r3} \end{bmatrix} = Cq_r$$

(2) 자동 안내제어 시스템의 설계 기준

안내제어는 자동운행기술의 가장 중요한 부분이다. 플랜트는 3축 바퀴의 조향각(steering angle)을 제어 입력으로 하고 축 옆에서 측정되는 횡방향 위치정보로부터 3점의 기준경로와의 오차를 출력으로 하는 6차비선형모델로 표현된다. 안내제어의 제어목적은 횡방향 오차를 0~70 km/s의 차량운행 속도와 도로 곡률조건에서 적정 오차이내에 유지하는 것이다. 고속에서 횡방향 허용오차는 Phileas 의 경우 +/- 20 cm이다. 아주 심한 코너에서는 40~50 cm 까지 허용하고 있다. 차량의 횡방향 최대 가속은 0.12G로 한다. 횡방향 최대 가속이 주어지면 곡률$\rho_{ref}$에 따른 최대 속도가 정해진다. 표 2.2.3-1에 곡률에 따른 최대 속도를 정리해 놓았다. 가속 성분이 5-10 Hz의 주파수로 진동하면 사람의 몸에서 공진이 일어나 편안하지 않게 된다. 그러한 이유로 Close loop의 band width를 6rad/s가 넘지 않도록 제어기를 설계 하였다.

표 2.2.3-1 곡률에 따른 최대속도

| 곡률 반경[m] | 최대속도(m/s) |
|---|---|
| 50 | 7.8 |
| 100 | 11.0 |
| 150 | 15.6 |

(3) 자동 안내제어 알고리즘 개발

자동 안내제어 알고리즘의 개발 과정은 먼저 식 2.2.3-47에 유도한 상태방정식으로부터 전달함수를 유도하는 것으로 시작한다. 그다음 이 전달함수를 이용해 상대이득행렬을 구하고 플랜트 내부의 입출력 간 상호결합 특성을 분석하였다. 여기서 분석된 결과를 바탕으로 Decoupling 보상기를 설계하여 거쳐 $\delta_2$에서 $y_{r1}$로의 영향을 감소시켰다. 이어서 시간응답 설계명세를 만족하는 고정, 저차제어기 설계방법을 통해 제어기를 설계하였고, 설계된 제어기를 KRRI차량의 비선형 모델에 적용하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과 좋은 성능을 가진 제어기가 설계되었음을 확인하였다.

(가) 전달함수유도

바이모달 차량의 선형 상태방정식은 아래의 식과 같다.

$$\begin{bmatrix}\dot{q}_r \\ \ddot{q}_r\end{bmatrix} = A\begin{bmatrix}q_r \\ \dot{q}_r\end{bmatrix} + B\delta_t + W\rho_{ref,} \qquad \begin{bmatrix}y_{r1} \\ y_{r2} \\ y_{r3}\end{bmatrix} = Cq_r \quad \text{식 2.2.3-33}$$

식 2.2.3-49을 이용해 조향각 입력 $\delta_1, \delta_2, \delta_3$에 따른 안내제어오차 출력 $y_{r1}, y_{r2}, y_{r3}$전달함수를 구하면 전달함수행렬 형태이다. 차량의 속도 $V_x = 10[m/s]$일 때 전달함수행렬을 $G$로 놓고 아래에 정리하였다.

$$\begin{bmatrix}y_{r1} \\ y_{r2} \\ y_{r3}\end{bmatrix} = G(s)\begin{bmatrix}\delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3\end{bmatrix} \text{식 2.2.3-34}$$

여기서 $G(s) = \frac{1}{d}\begin{bmatrix}n11 & n12 & n13 \\ n21 & n22 & n23 \\ n31 & n32 & n33\end{bmatrix}$ 식 2.2.3-35

(4) 제어기 설계

Decoupling 과정을 거친 모델을 가지고 분산제어기를 설계 하였다. 제어기는 시간응답 설계명세를 만족하는 고정, 저차제어기 설계방법을 통해 설계되었다. $\delta_1, \delta_2, \delta_3$에 해당하는 제어기를 각각 $C_1, C_2, C_3$라고 놓았다. 아래의 그림 2.2.3-12는 횡 방향 안내제어를 위한 분산제어기의 블록선도이다.

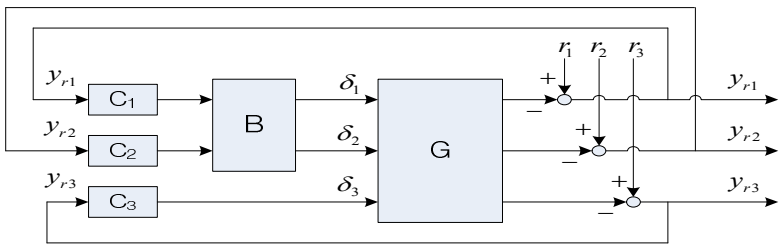



그림 2.2.3-6 횡 방향 안내제어를 위한 분산제어기의 블록선도

(가) $C_1$ 설계

Plant: $$G_{11}(s)=\frac{3.1257s^4+40.5641s^3+192.5285s^2+387.0856s+301.0886}{s^5+7.1598s^4+21.2618s^3+20.5591s^2},$$

$$C_{11}(s)=\frac{2.675s+9.783}{s+5.212}.$$

Target polynomial:

$$\delta^*(s)=s^6+22.360s^5+210.960s^4+1064.832s^3+3023.787s^2+4593.830s+2944.763.$$

( $\alpha_1=2.37,\quad \tau=1.56$ ) 식 2.2.3-36

(나) $C_2$ 설계

Plant: $G_{33}(s)=\frac{2.9530s^2+37.2934s+107.0262}{s^3+7.1598s^2+21.2618s+20.559}$, $C_{33}(s)=\frac{0.774s+4.947}{s+12.047}$.식 2.2.3-66

Target polynomial: $\delta^*(s)=s^4+19.5135s^3+151.1012s^2+543.9644s+777.0921.$

( $\alpha_1=2.52,\quad \tau=0.7$ )

3) $C_3$ 설계

Plant: $G_{33}(s)=\frac{2.9530s^2+37.2934s+107.0262}{s^3+7.1598s^2+21.2618s+20.559}$, $C_{33}(s)=\frac{2.9799s+22.389}{s+17.1136}$.식 2.2.3-38

Target polynomial: $\delta^*(s)=s^4+29.3391s^3+321.1880s^2+1537.1140s+2744.8464.$

( $\alpha_1=2.68,\quad \tau=0.56$ )

나) 추진제어 시스템의 성능분석

1) 추진제어 시스템의 설계기준

추진제어 시스템은 차량의 가속 및 저크 한계 특성을 고려하여 설계되어야 한다. 이를 만족하지 못하면 차량이 속도 프로파일을 따라가지 못하거나 진동이 생기는 등의 문제가 생긴다.여기서 가속한계는 $1.3[m/s^2]$으로 하였고, 저크한계는 $1[m/s^3]$으로 하였다.

2) 추진제어 알고리즘

추진제어를 위한 바이모달 트램의 동역학 모델은 식 2.2.3-39과 같이 주어진다.

$$w_r'=\frac{T_e-Rh(F_a+F_r+F_g)}{J_e}\quad\left\{\begin{array}{c}F_a=C_a v_x^2\\F_r=C_r mg\\F_g=mg\sin\theta\end{array}\right\}$$ 식 2.2.3-39

$$v'=Rhw_r'=Rh\frac{T_e-Rh(F_a+F_r+F_g)}{J_e}\quad\left\{\begin{array}{c}v=w_r Rh\\J_e=I_e+R^2(I_w+mh^2)\end{array}\right\}$$

$w_r$ : motor speed
$T_e$ : torque input
$R$ : gear ratio (0.916)
$h$ : tire radius of second axle (1.074/2)
$F_a$ : aero dynamic drag force
$C_a$ : aero dynamic drag coefficient (2.4242 kg/m)
$F_r$ : rolling resistance force
$C_r$ : rolling resistance coefficient (0.0175)
$F_g$ : gradient resistance force
$I_e$ : Inertia of the motor ($1.2177\,kg\,m^3$)
$I_w$ : Inertia of the axle ($63.6\,kgm^2$)

식 2.2.3-39을 다시 정리하면 식 2.2.3-40과 같이 되며, 이 식에서 속도 $v$를 상태변수 $X$로 하여 상태공간 모델로 나타내면 식 2.2.3-41과 같이 된다.

$$v' = -\frac{(Rh)^2}{Je} C_a v + \frac{Rh}{J_e} T_e - \frac{(Rh)^2}{J_e}(F_r + F_g - C_a v + C_a v^2) \quad \text{식 2.2.3-40}$$
$$= -\frac{(Rh)^2}{Je} C_a v + \frac{Rh}{J_e} T_e - \frac{(Rh)^2}{J_e} T_L$$

$$X(t)' = A_p X(t) + B_p U(t) + D_p T_L(t) \quad \text{식 2.2.3-41}$$
$$A_p = -\frac{(Rh)^2}{J_e} C_a$$
$$B_p = \frac{Rh}{J_e}$$
$$D_p = -\frac{(Rh)^2}{J_e}$$

식 2.2.3-84의 시스템에 대한 공칭모델을 식 2.2.3-42과 같이 놓는다.

$$X'(t) = A_{pn} X(t) + B_{pn} U(t) \quad \text{식 2.2.3-42}$$
$$A_{pn} = -\frac{(\overline{R}\overline{h})^2}{\overline{J_e}\,\overline{C_a}}, \qquad B_{pn} = \frac{\overline{R}\overline{h}}{\overline{J_e}}$$

이 시스템에 대한 기준모델을 식 2.2.3-43와 같이 하고, 슬라이딩 평면을 식 2.2.3-44과 같이 할 경우 제어기는 식 2.2.3-45과 같이 구해진다.

$$X_m'(t) = A_m X(t) + B_m U(t) \quad \text{식 2.2.3-43}$$
$$A_m < 0, \qquad B_m = -A_m$$

$$S_B(t) = e(t) + \beta \int_0^t e(\tau)d\tau - e(0), \quad \beta = B_m \quad \text{식 2.2.3-44}$$
$$e(t) = X_m(t) - X(t)$$

$$U_{ea}(t) = B_{pn}^{-1}\left[-\beta(A_m+\beta)\int_0^t e(\tau)d\tau + (A_m+\beta)e(0) + (A_m - A_{pn})X(t) + B_m U_m(t)\right]$$

$$U_s(t) = B_{pn}^{-1}\left[K_a S_\beta(t) + K_b sgn(S_\beta(t))\right] \quad \left\{\begin{matrix} K_a > A_m + \beta \\ K_b > |W(t)| \end{matrix}\right\} \quad \text{식 2.2.3-45}$$
$$U(t) = U_{ea}(t) + U_s(t)$$
$$W(t) = \Delta A X(t) + \Delta B U(t) + (C_{pn} + \Delta C) T_L(t)$$

## 다. 자동안내제어 기술개발

동역학 모델을 기반으로 굴절차량 자동 안내/도킹제어 알고리즘을 탑재수준으로 개선하기 위해 필요한 요소 기술을 개발하는 것이며 주요 내용은 다음과 같다.

1) 자기표지간 차량 위치 추정을 위한 관측기 설계

가) 선형 동적모델을 이용한 위치정보 추정

자동안내제어기는 차량과 기준경로 사이의 경로오차를 이용하여 차량이 기준경로를 잘 따라가도록 제어하는 역할을 하며, 이러한 역할을 위해서는 경로오차를 연속적으로 매순간 알 수 있어야 한다.

그러나 경로오차에 대한 측정값은 마그네트 마커가 4m간격으로 매설되어 있으므로 이산적으로 측정된다. 선형 동적모델을 이용한 위치정보 추정 필터는 안내제어기와 추진제어기에서 차량에 입력되는 입력정보와 차량의 선형 동적모델을 이용하여 관성좌표계에서 차량의 위치좌표를 구한다. 그러나 선형 동적모델에서 계산한 위치좌표는 실제 차량에서 측정되는 값과 일치하지 않는다. 이는 선형 동적모델의 선형화오차, 실제 차량에 유입되는 외란 등에 의한 것이며, 이러한 차이는 센서 측정시스템에서 측정되는 각종 측정값들을 이용하여 보정할 수 있다.

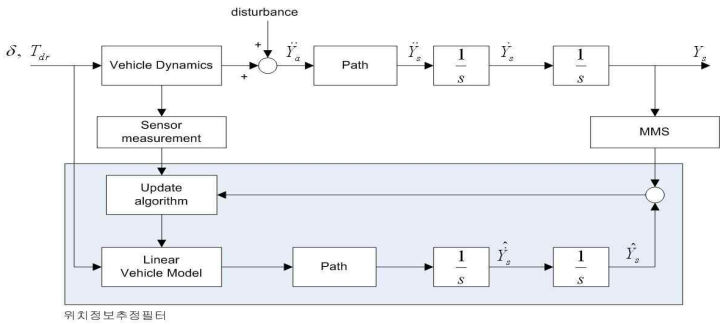



그림 2.2.3-7 위치정보 추정필터 블록

차량에는 3개의 마그네트 센서 $S_1, S_2, S_3$가 있다. 세 개의 센서 중 어느 한 개라도 마그네트 마커를 감지하게 될 경우 이 때 측정된 경로오차 및 마커의 위치좌표, 측정 시점에서의 차량의 자세정보로부터 첫 번째 객차의 무게중심점 좌표를 구할 수 있다.

$S_1$이 마커를 감지했을 경우 감지된 마커의 위치좌표를 $\left({}^{w}x_{m1}, {}^{w}y_{m1}\right)$이라고 하고, 측정된 경로오차를 $y_{r1}$이라 할 경우 첫 번째 객차의 무게중심점 좌표 $\left({}^{w}x_{c1}, {}^{w}y_{c1}\right)$는 식 2.2.3-46로부터 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} {}^{w}x_{c1} &= {}^{w}x_{m1} - y_{r1}\sin{}^{w}\epsilon_{m1} - l_{s1}\cos{}^{w}\epsilon_{c1} \quad \text{(식 2.2.3-46)} \\ {}^{w}y_{c1} &= {}^{w}y_{m1} + y_{r1}\cos{}^{w}\epsilon_{m1} - l_{s1}\sin{}^{w}\epsilon_{c1} \end{aligned}$$

$S_2$ 가 위치좌표 $\left({}^{w}x_{m2}, {}^{w}y_{m2}\right)$의 마커를 감지했을 경우에는 식 2.2.3-47를 이용하여 $\left({}^{w}x_{c1}, {}^{w}y_{c1}\right)$을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} {}^{w}x_{c1} &= {}^{w}x_{m2} - y_{r2}\sin{}^{w}\epsilon_{m2} + l_{s2}\cos{}^{w}\epsilon_{c1} \quad \text{(식 2.2.3-47)} \\ {}^{w}y_{c1} &= {}^{w}y_{m2} + y_{r2}\cos{}^{w}\epsilon_{m2} + l_{s2}\sin{}^{w}\epsilon_{c1} \end{aligned}$$

이와 같은 방법으로 $S_3$가 위치좌표 $\left({}^{w}x_{m3}, {}^{w}y_{m3}\right)$의 마커를 감지했을 경우에는 식 2.2.3-48을 이용하여 $\left({}^{w}x_{c1}, {}^{w}y_{c1}\right)$을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} {}^{w}x_{c1} &= {}^{w}x_{m3} - y_{r3}\sin{}^{w}\epsilon_{m3} + (l_{s3} + d_{f2})\cos{}^{w}\epsilon_{c2} + d_{r1}\cos{}^{w}\epsilon_{c1} \quad \text{(식 2.2.3-48)} \\ {}^{w}y_{c1} &= {}^{w}y_{m3} + y_{r3}\cos{}^{w}\epsilon_{m3} + (l_{s3} + d_{f2})\cos{}^{w}\epsilon_{c2} + d_{r1}\sin{}^{w}\epsilon_{c1} \end{aligned}$$

위에서의 방법으로 구한 무게중심점의 좌표 $\left({}^{w}x_{c1}, {}^{w}y_{c1}\right)$는 관성좌표계에서의 값이며, 선형모델은 차량중심좌표계의 동역학 모델이므로 식 2.2.3-46의 경우 식 2.2.3-49과 같이 차량중심 좌표계로 좌표변환을 해야 한다.

$$\begin{aligned} {}^{c1}\dot{x}_{c1} &= \dot{y}_{r1} sin({}^{w}\epsilon_{c1} - {}^{w}\epsilon_{m1}) - y_{r1}\,{}^{w}\dot{\epsilon}_{m1} cos({}^{w}\epsilon_{c1} - {}^{w}\epsilon_{m1}) \quad \text{(식2.2.3-49)} \\ {}^{c1}\dot{y}_{c1} &= \dot{y}_{r1} cos({}^{w}\epsilon_{c1} - {}^{w}\epsilon_{m1}) + y_{r1}\,{}^{w}\dot{\epsilon}_{m1} sin({}^{w}\epsilon_{c1} - {}^{w}\epsilon_{m1}) - l_{s1}\,{}^{w}\dot{\epsilon}_{c1} \end{aligned}$$

차량중심 좌표계의 상태벡터는 식 2.2.3-50과 같이 주어지므로 식 2.2.3-46~48에서 구한 $\left({}^{w}x_{c1}, {}^{w}y_{c1}\right)$ 및 식 2.2.3-49에서 구한 $\left({}^{c1}\dot{x}_{c1}, {}^{c1}\dot{y}_{c1}\right)$과 센서측정시스템에서 자이로스코프 및 굴절각 센서를 이용하여 측정한 요우각 ${}^{w}\epsilon_{c1}$과 굴절각 $\theta$를 이용하여 식 2.2.3-50의 상태변수를 보정할 수 있다.

$$\begin{aligned} {}^{c1}\mathbf{q} &= \left[{}^{c1}x_{w,c1}\ {}^{c1}y_{w,c1}\ {}^{w}\varepsilon_{c1}\ {}^{w}\varepsilon_{c2}\right]^{T} \quad \text{(식 2.2.3-50)} \\ {}^{c1}\mathbf{x} &= [{}^{c1}\mathbf{q}\ {}^{c1}\dot{\mathbf{q}}]^{\mathrm{T}} \end{aligned}$$

휠 엔코더에서 측정한 휠 회전속도는 입력된 조향각 정보를 이용하여 차량중심좌표계의 상태변수 ${}^{c1}\dot{x}_{c1}$를 계산하는데 이용할 수 있다. 첫 번째 차축의 좌측 휠에서 측정한 회전속도 $w_{11}$의 경우 차량중심 좌표계의 상태변수와 식 2.2.3-51의 관계를 갖는다.

$$
\begin{aligned}
{}^{c1}\dot{x}_{c1} &= {}^{c1}\dot{x}_{w11} + b_1\,{}^{w}\dot{\epsilon}_{c1} \\
{}^{c1}\dot{y}_{c1} &= {}^{c1}\dot{y}_{w11} - l_{f1}\,{}^{w}\dot{\epsilon}_{c1} \\
{}^{w11}\dot{x}_{w11} &= \dot{\delta}_{11}\,{}^{c1}\dot{x}_{w11} + \sin\delta_{11}\,{}^{c1}\dot{y}_{w11}
\end{aligned}
\qquad \text{(식 2.2.3-51)}
$$

이 관계를 타이어의 미끄러짐 각이 매우 작다는 가정하에 유도된 것이며, 이 관계를 그림으로 나타내면 그림 2.2.3-8과 같이 된다.

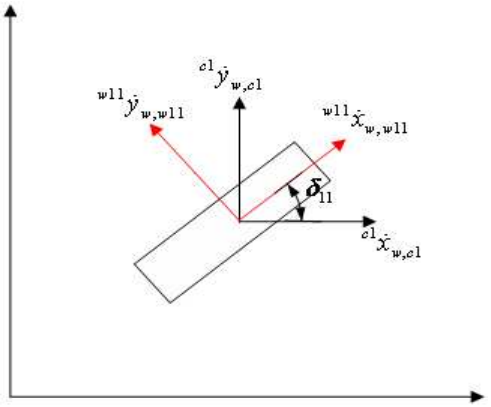



그림 2.2.3-8 차량 및 휠의 속도벡터

(2) 안내제어의 디지털제어기 구현

바이모달트램의 자동안내제어 시스템은 CAN-Open 네트워크에 연결되어 다른시스템들(조향장치, 추진/제동장치, 각종 센서)과 통신을 통해 동작하도록 구성된다.동기신호 주기는 매 125 msec이기 때문에 기준경로 편차를 측정하고 조향각을 결정하는 주기도 125ms이다. 따라서 각종 제어기도 이산화 하여 디지털 제어기로 구현되어야 한다. 본 절에서는 5차년도 연구에서 설계한 연속계 안내제어기를 디지털 제어기로 구현하는 알고리즘을 기술한다. 제어기를 디지털화 하는 방법은 Tustin method를 이용하였고 샘플링 주기를 125 msec로 하였다. 설계된 디지털 제어기는 연속계 제어기와 동일한 입력($y_{r1}$,$y_{r2}$,$y_{r3}$)을 넣고 그 출력($\delta_1$,$\delta_2$,$\delta_3$)을 비교함으로서 검증한다.

가) 디지털 자동안내제어기의 구조

그림 2.2.3-8은 분산제어기 형태의 자동안내제어 시스템 블록선도이다. 여기서 적색 사각형 부분이 자동안내제어기에 해당한다.

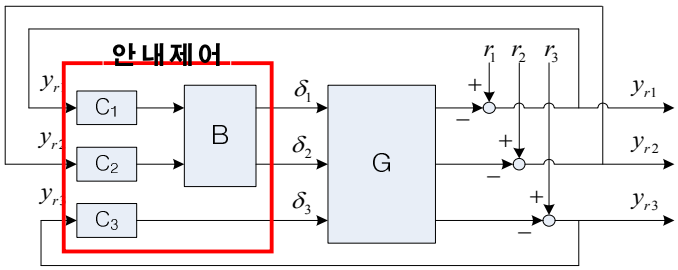



그림 2.2.3-9 횡 방향 안내제어를 위한 디지털 분산제어기의 블록선도

안내제어기 안의 B는 디커플링 제어기이다. 디커플링 방법은 MIMO시스템에서 제어루프 간 상호 작용을 줄이는데 사용된다. 여기서는 상대이득행렬에 근거하여 강하게 결합된 2입력($\delta_1,\delta_2$) 2출력($y_{r1},y_{r2}$) 시스템의 상호작용을 줄이기 위해 설계되었다. 그림 2.2.3-10에 디커플링 제어시스템을 보였다.

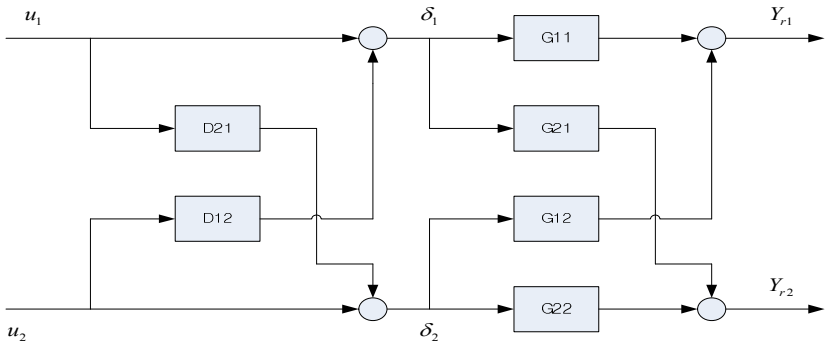



그림 2.2.3-10 2입력 2출력 디커플링 제어시스템

$$D_{12} = -\frac{G_{12}}{G_{11}} \quad D_{21} = -\frac{G_{21}}{G_{22}} \qquad \text{(식2.2.3-27)}$$

식2.2.3-52은 설계된 디커플링 제어기이다.

여기서 $D_{21}$은 $G_{22}$ Nonminimum-Phase 라서 불안정해지므로 안내제어기에는 $D_{12}$만 적용하였다. 디커플링 제어기를 통해 MIMO시스템의 상호 결합을 줄인 다음

$C_1, C_2, C_3$를 설계함으로서 분산제어기 형태의 연속계 자동안내제어기가 설계되었다. 설계된 자동안내제어기는 3개의 기준경로편차($y_{r1}, y_{r2}, y_{r3}$)을 입력받아 3개의 제어입력($\delta_1, \delta_2, \delta_3$)을 결정한다. 입출력 식을 정리하면 다음과 같다.[상세한 내용은 08년도 중간보고서 참조]

$$\begin{bmatrix}\delta_1\\ \delta_2\\ \delta_3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}C_1 & D_{12}C_2 & 0\\ 0 & C_2 & 0\\ 0 & 0 & C_3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}y_{r1}\\ y_{r2}\\ y_{r3}\end{bmatrix} \quad \text{(식2.2.3-28)}$$

식 (3.5.2)의 행렬의 원소에 해당하는 부분은 모두 디지털화 되어야 한다. $C_1(s), C_2(s), C_3(s), D_{12}C_2(s)$의 디지털화된 제어기를 앞으로 $C_1(z), C_2(z), C_3(z), C_{12}(z)$로 표현한다.

나) 자동안내제어기의 디지털화

연속계의 자동안내제어기를 디지털 제어기로 변환하였다. 디지털화 하기위해 Tustin method를 적용하였고 샘플링 주기는 125 msec로 하였다. 표 2.2.3-2에 연속계 제어기와 변환된 디지털 제어기를 함께 정리하였다.

표 2.2.3-2 연속계 및 디지털 제어기의 전달함수

| 연속계 제어기 | 디지털 제어기 <sampling time : 125 msec> |
|---|---|
| $C_1(s) = \dfrac{4.82s + 21.29}{s + 10.00}$ | $C_1(z) = \dfrac{37852z - 2.147}{z - 0.2308}$ |
| $C_2(s) = \dfrac{1.26s + 5.14}{s + 3.00}$ | $C_2(z) = \dfrac{1.332z - 0.7905}{z - 0.6842}$ |
| $C_3(s) = \dfrac{3.54s + 17.42}{s + 10.00}$ | $C_3(z) = \dfrac{2.848z - 1.508}{z - 0.2308}$ |
| $D_{12}(s)C_2 = \dfrac{-0.1865s^3 - 0.3234s^2 + 3.044s + 5.14}{0.5349s^3 + 3.052s^2 + 5.341s + 3}$ | $C_{12}(z) = \dfrac{-0.259z^3 + 0.7967z^2 - 0.7325z + 0.2083}{z^3 - 2.372z^2 + 1.867z - 0.4875}$ |

## 라. 자동운전 · 정밀정차 제어성능 개선

1) 제어기의 강인성 평가 및 개선

이론적 모델과 실제 차량 간에는 피할 수 없는 오차가 존재하고, 기타 여러 가지 외란 입력 등이 나타나기 때문에 가능한 불확실성 범위에서 설계된 안내제어기의 강인성(robustness)평가가 이루어 져야 한다.

가) ADAMS/Matlab을 이용한 안내제어기의 강인성 평가

이론적 모델과 실제 차량 간에는 피할 수 없는 오차가 존재하고, 기타 여러 가지 외란 입력 등이 나타나기 때문에 가능한 불확실성 범위에서 설계된 안내제어기의 강인성(robustness)평가가 이루어 져야 한다. 승객 수 변동에 따른 차량 하중의 변화, 회전강성의 변동, 도로 점착력의 변동, 태풍급의 강풍이 차량의 횡방향으로 불어오는 등의 외란입력에 대해 설계된 제어기의 성능이 어느 정도의 강인성(robustness, 또는 tolerance)을 갖는 지 분석하여 취약성이 드러나면 개선하기로 한다. 제어기의 강인성 평가를 위해 (주)TUR의 ADAMS 차량모델을 전문가의 자문을 얻어 제어기와 인터페이스 하였다.

(1) ADAMS 차량모델과 설계한 제어기와의 인터페이스

그림 2.2.3-11에서 왼쪽의 블록은 ADAMS 차량모델을 Simulink의 블록으로 생성한 것으로 세 축의 조향 각이 입력되면 차량의 객차 1의 X,Y좌표와 Yaw값, 객차 2의 Yaw값이 출력된다. 차량의 위치좌표는 Matlab 함수를 통해 차량의 3개의 센서위치로부터 기준경로와의 경로오차로 계산되며 이 값은 안내제어기에 입력되어 3개의 조향($\delta_1,\delta_2,\delta_3$)이 계산된다. 이 조향 값이 다시 ADAMS 차량블록으로입력됨으로서 폐루프가 형성된다.

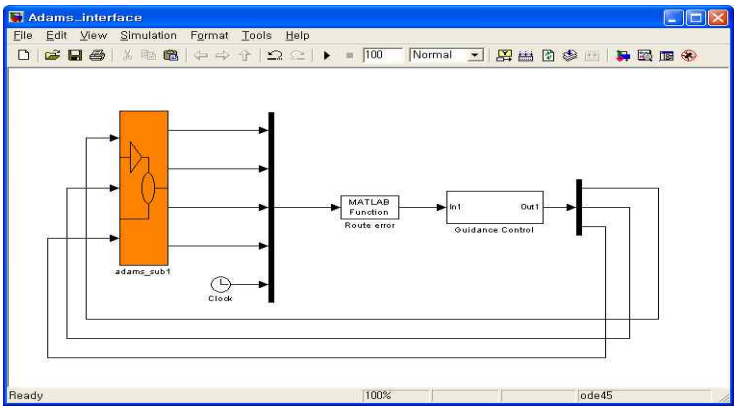



그림 2.2.3-11 Simulink에서 인터페이스

나) 안내제어기의 강인성 평가

(1). 승차하중 변화에 따른 강인성 평가

바이모달 트램은 승객의 탑승에 의해 차량 무게의 변화가 생긴다. 바이모달 트램의 공차상태와 만차상태의 차량의 무게는 표 2.2.3-3와 같다.

표 2.2.3-3 차량의 무게

단위 : [Kg]

| | 객차 1 | 객차 2 | Total |
|---|---|---|---|
| 공차상태 | 9289 | 9676 | 18965 |
| 만차상태 | 15264 | 12601 | 27865 |

그림 2.2.3-12는 ADAMS를 이용한 차량의 하중변화에 따른 기준경로오차를 본 것이다. 적색선은 공차상태에서의 기준경로오차를 나타내고 파란색선은 만차상태에서의 기준경로오차를 나타낸다. 두 상태의 경로오차의 최대 차이는 0.5 cm로 거의 차이가 발생하지 않음을 알 수 있다.

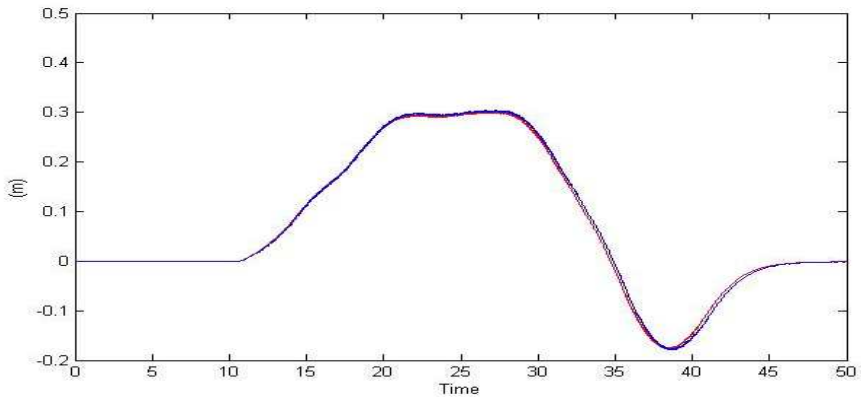



그림 2.2.3-12 ADAMS를 이용한 차량무게 변화에 따른 기준경로오차
(적색선-공차, 청색선-만차)

(2) 코너링강성(Cornering Stiffness)계수 변화에 따른 강인성 평가

타이어의 코너링강성 계수는 차량의 횡 방향 동역학에 직접적인 영향을 주는 주요 파라미터이다. 이 계수는 슬립앵글(slip angle)과 타이어에 횡 방향으로 작용하는 힘의 비율로 정의된다. 코너링강성 계수의 변화에 따른 강인성을 평가하기 위해 기준 값으로부터 코너링 강성이 100%증가되었을 때와 50% 감소되었을 경우의 시뮬레이션을 Matlab GUI Toolbox에서 수행하였다. 기준 코너링강성 계수를 표 2.2.3-4에 보였다.

표 2.2.3-4 기준 코너링강성계수

| | 차축 1의 코너링강성 | 차축 2의 코너링강성 | 차축 3의 코너링강성 |
|---|---|---|---|
| 기준 | 111000 | 293000 | 135000 |

시뮬레이션 결과 차축 1과 차축2의 코너링강성계수 변화에 따른 차량의 주행오차의 변화는 최대 6cm까지 발생하였다. 이 결과에서 주어진 코너링강성계수의 범위 안에서 차량은 불안정해지지는 않지만 기준경로와의 편차는 증가할 수 있음을 알 수 있다. 각 차축의 코너링강서계수 변화에 대한 시뮬레이션 결과는 2.2.3-13 ~ 2.2.3-17에 보였다. 먼저 그림 2.2.3-13는 차축 1의 코너링강성과 변화에 따른 차량의 기준경로오차를 보인 것이며, 그림 2.2.3-14는 차축 2의 코너링강성과 변화에 따른 차량의 주행경로오차를 보인 것이다.

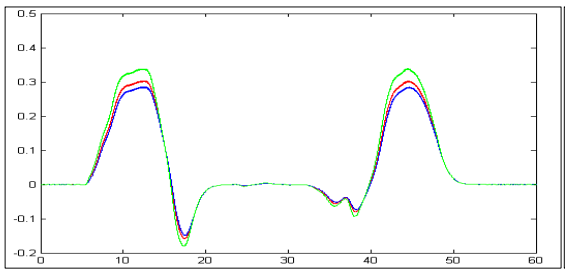



그림 2.2.3-13 차축1의 코너링강성 값의 변화에 따른 기준경로오차 적색(기준), 청색(100%증가), 녹색(50%감소)

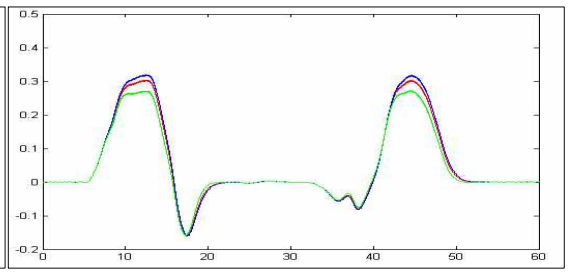



그림 2.2.3-14 차축2의 코너링강성 값의 변화에 따른 기준경로오차 적색(기준), 청색(100%증가), 녹색(50%감소)

그림 2.2.3-15은 차축 3의 코너링강성과 변화에 따른 차량의 기준경로오차를 보인 것이다.

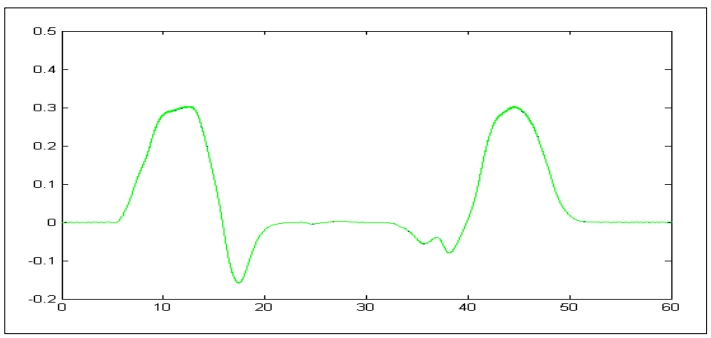



그림 2.2.3-15 차축3의 코너링강성 값의 변화에 따른 기준경로오차 적색(기준), 청색(100%증가), 녹색(50%감소)

(3) 도로점차계수 변화에 따른 강인성 평가

도로의 점착계수($\mu$)는 지면과의 마찰계수와 관련된 파라미터로서 도로의 상태에 따라 결정된다. 도로가 건조하여 양호한 상태를 1로 보고 비나 눈 등에 의해서 도로의 마찰계수가 작아지면 1이하의 값을 갖는다. 그림 2.2.3-16는 ADAMS를 시뮬레이션을 통해 타이어와 지면과의 점착계수 변화에 따른 차량의 기준경로오차를 확인한 것이다.

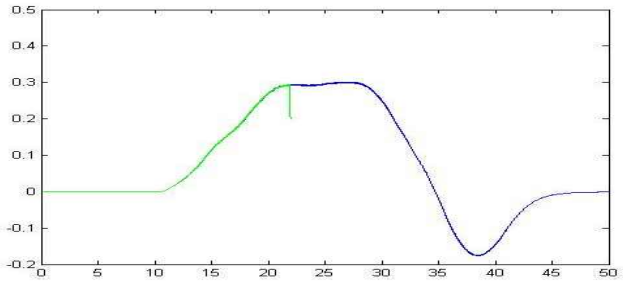



그림 2.2.3-16 도로점착계수 변화에 따른 차량의 기준경로오차(적색(μ=1.0), 청색(μ=0.6), 녹색(μ=0.3))

적색 선은 타이어와 지면과의 점착계수가 1일 때의 주행 시 경로오차를 나타내며, 청색색선은 지면과의 점착계수가 0.6일 때, 녹색 선은 지면과 점착계수가 0.3일 때의 주행 시의 경로오차를 나타낸다. 점착계수가 0.6일 때와 1일 때와 최대차이는 0.3 cm정도 발생했다. 도로의 점착계수가 0.3일 때는 22초경에서 시뮬레이션이 중단 되었는데 이것은 도로가 미끄러운 상태에서 차량이 회전구간의 원심력을 이기지 못하고 주행경로를 완전히 이탈한 것으로 확인되었다.

(4) 바람(외란)의 영향

차량의 내부 파라미터 변화에 따른 제어기의 강인성의 평가 뿐 만아니라 태풍과 같이 차량에 가해지는 외란에 대한 제어기의 강인성을 확인할 필요성이 있다. 여기서는 바람이 최대 40m/s로 차량의 횡 방향으로 불어올 때 차량의 기준경로 추종성능을 확인하였다. 시뮬레이션 조건은 차량이 16m/s의 속도로 직선경로를 주행할 경우이고 바람은 [0.05 ~ 0.5]Hz 주파수 범위의 chirp 신호 형태로 인가되도록 하였다. 그림 은 횡 방향 바람에 따른 차량의 기준경로오차를 보인 것이다.

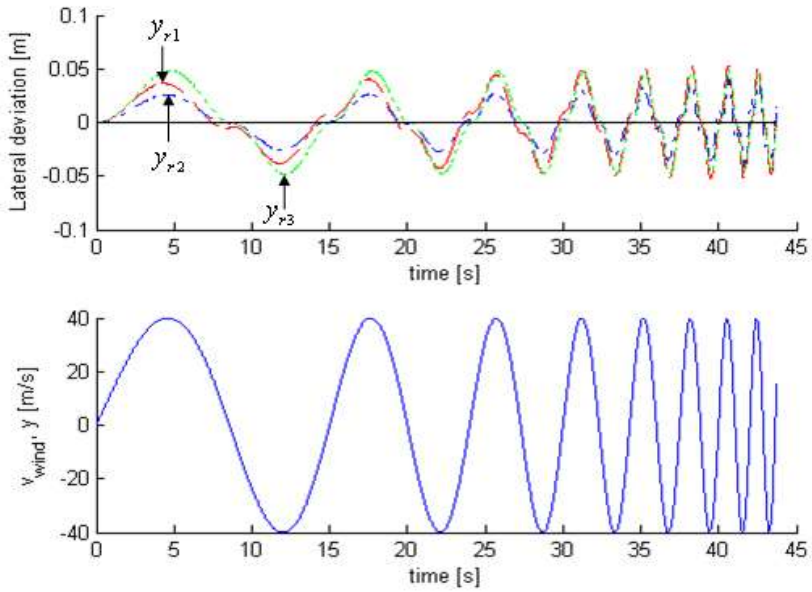



그림 2.2.3-17 횡 방향 바람에 따른 기준경로오차
(a)기준경로 추종오차 (b) 인가된 횡 방향 바람의 속도

시뮬레이션 결과 태풍 중에서도 매우 강한 편에 속하는 40m/s의 횡 풍에 대해서도 기준경로오차는 발산하지 않았다. 바람의 불어오는 방향을 여러 주기로 변화시켰을 때에도 역시 추종오차는 발산하지 않았고 최대 추종오차는 6cm 이내였다. 결론적으로 설계된 안내제어기가 횡 풍에 대해 매우 강인한 제어기임이 확인되었다.

## 4. 안내궤도

### 가. 정밀정차를 위한 차량유도시스템(지상장치) 요구조건 분석 및 사양

1) 차량 안내 시스템

차량 안내 시스템은 다음과 같은 세 가지 방식으로 구분된다.

- 수동
- 반 자동
- 자동

차량이 정차 지점에 접근할 때 그리고 출발할 때 운전절차는 안내의 정확성을 위해 자동위치에서 수행하게 된다.

차량은 다음과 같은 사항을 통해 노선위에서의 위치를 파악할 수 있다.

- 차량에 장착된 컴퓨터에 운행경로 저장
- GPS 기기를 통해 측정된 막대자석 매설 위치 자료 저장

• 매설된 막대자석을 검지할 수 있는 측정기기의 차량설치
• 막대자석 통과 거리를 계산하여 주행거리 측정기의 사용
이러한 모든 자료를 통하여 정밀한 위치 파악이 가능하다.

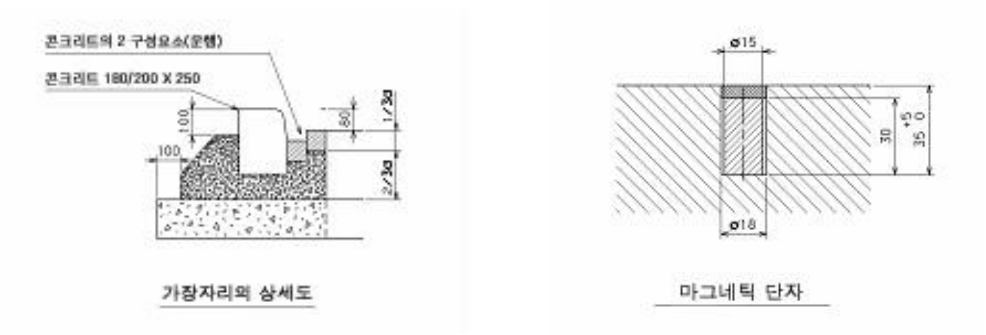



그림 2.2.4-1 자석표지설치도

노선 상의 통과 거리 측정은 도로에 매설된 막대자석을 기반으로 한다. 작은 수직갱도가 깊이 5cm에 지름 1.8cm로 도로 위에 만들어 지며 지름 1.5cm에 깊이 3.5cm의 원통형 자기 단자가 이 수직 갱도 안에 삽입되고 도포액이 도로표면 높이까지 채워진다. 이 갱도들 사이의 거리는 4.5m이다. 이 거리는 도로를 구성하는 인접한 두 개의 판 중앙을 분리하는 거리와 동일하다.

차량의 위치정보와 시간정보는 승객 사용 정보 지원 시스템을 통해 사용할 수 있도록 전달 될 수 있다.

하단 모듈의 의미 :

ABS = 바퀴 폐색 방지 시스템
CVE = POC 정보교환 화면/계기판 통합 도체
DCS = 움직임 통제와 이상 감지 시스템
GCS = 유도 일반 이중정보 (1과2)
MMI = SAEIV / 도체 인터페이스
MMS = 자기단자 감지, 정보 형성
SCS = 라디오통신을 통한 PCC/차량 연결
TPLC = 바퀴 견인 조정 컴퓨팅
VBC = 통신
VCS = 경로 기억, 노선상의 위치 계산, 암호화
SAEIV를 위한 데이터그리고 SCS를 통한 방송과 수신

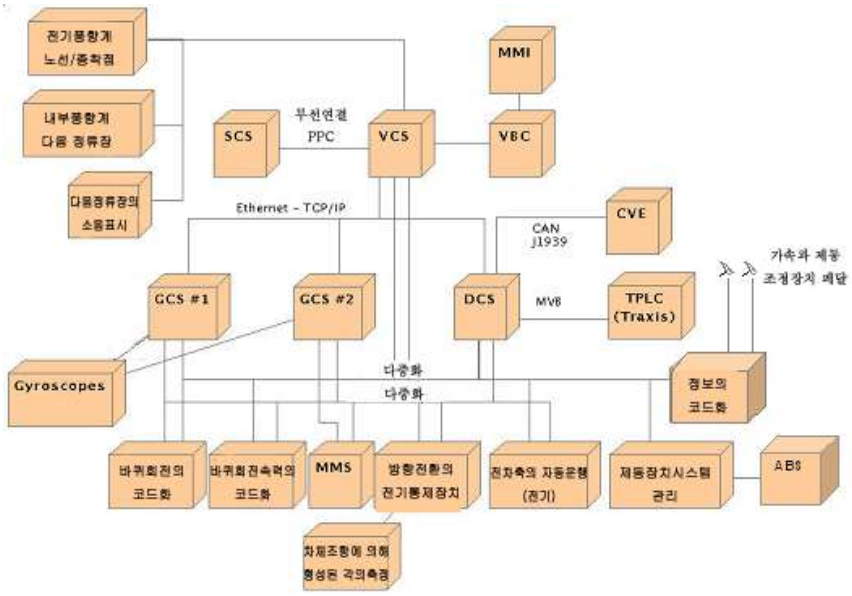



그림 2.2.4-2 안내제어시스템 구성

가) 안내 시스템 구성

(1) 시스템은 노선의 형태를 기억함으로써 시속 80km의 속도에서 엔진으로부터 20m 앞으로 떨어진 지점을 예상한다.

안내 능력은 다음과 같이 파악된다.

-수동 운행 지원 혹은

-반자동 운행 혹은

-자동 모드에서의 운행 전반을 관리하는 기능

차량의 각 바퀴의 축은 조향이 가능하다. 운행경로는 지상의 도로 중앙에 매설된 막대자석을 이용하여 자동안내를 위한 가상의 경로를 구성한다.

나) 가속과 제동의 관리

정차지점의 플랫폼과 틈을 최소화하기 위해 바퀴의 조향 및 제동 제어는 필수적이며 이는 자동으로 제어 된다.

다) 실시간 정보

차량은 통과한 노선상의 위치를 완전하고 정확히 파악한다. 그 결과, 시간과 공간의 형태로 구성된 정보를 제공하게 된다.

가능성은 다음과 같은 필요성을 충족시킨다.

통제실로 부터의 위치통제

교통신호등의 파란불 통제

노선상의 차량 정시운행 통제

차량 내부에서 방송되는 운행정보

라) 안전성

시스템은 4m마다 1개의 자기 단자를 장착함으로써 위치 정보의 중복 원리를 사용한다. 운행 경로 표지판이 6m일 경우 6m 마다 1개의 자기단자를 갖게 되며 장착된 컴퓨팅에 저장된 노선에 있어서도 마찬가지이다.

마) 기상 조건과 손상에 대한 내성

시스템은 기상조건에 상관없이 작동한다.

중복 원리을 통해 노선 파악과 함께 정보를 수정할 수 있게 된다. 그러나 비상상황의 경우 긴급 조치를 통해 운전사에게 경보가 전달된다.

바) 모드 선택

차량 운전사는 자신의 책임에 대해 인식하고 있다. 차량은 수동 모드에서 스스로 반자동 혹은 자동 시스템으로 변할 수 없다. 모드변경은 조종 버튼을 누름으로써 조종사의 수동 조작을 통해 이뤄진다.

1) 인프라 관련 요구사항

개발되는 차량은 원칙적으로 기존 버스 인프라와 동일한 인프라를 필요로 한다. 최소 회전 반경, 단거리 도로, 간선도로의 하중 등이 고려되어야 한다. 최소 회전 반경은 12m이다. 회전 반경의 경우 충족되는 차도는 4.2m이다. 승객들이 수직으로 오르내릴 수 있도록 정지 지점의 플랫폼은 운행 표면 위로 30cm 높이에 위치해야 한다.

차량은 자동우전이 가능하지만 운전사가 상주해 있다. 운전사는 운행과 제동 페달만 조종할 뿐이며 운전할 필요가 없다. 차량은 어느 곳이든 운행할 수 있도록 필요할 경우 높이를 자유로이 조절할 수 있는 스프링 시스템을 갖추고 있다. 주행로의 홈을 피하기 위해서는 철근 콘크리트 인프라를 세우는 것이 매우 중요하다. 버스 노선에 있는 강자성 부분은 자기장 혼란을 피하기 위해 자기기록계로부터 최소 0.5m 떨어진 거리에 위치해야 한다.

가) 막대자석 설치를 위한 규정

차량이 자동안내제어를 수행하기위한 운행노선에는 막대자석이 매설되어 있다. 막대자석은 지름 15mm, 길이 30mm이다. 자기 검지 장치는 차량 밑(폭 1.65m, 앞축 뒤에서 ±1m에 위치)에 설치되어야 한다. 직선노선과 완만한 커브에서 막대자석은 직선 가장자리에서 최대165cm 떨어진 거리, 운행선 중앙의 ±10cm 옆에 위치해야 한다. 더 심한 커브길 혹은 S자 형 커브에서 막대자석의 위치 결정은 운행선 상의 일시적인 표시작업을 통해 이뤄진다. 이 표시작업은 운행 중인 차량 앞 픽업을 통해 이뤄지며 이는 막대자석 위치 바로 앞에서 효과가 있다.

모든 역 사이의 노선에 있어 막대자석은 무작위로 설치된다. 역 진입로(초반은 높이 30cm의 가장자리)에 도착하기 110m 떨어진 곳에서 탐지 코드가 운행선 위에 장착된다. 이 코드는 모든 단자 사이에 1m 간격으로 위치한 11개의 자기 단자로 구성된다. 모든 코드의 극성은 바코드와 비교할만한 유일 시스템에 따라 고안된다. 이 코드를 통해 차량은 정확한 위치와 운행 방향을 지속하거나 혹은 수정한다. 철근 콘크리트 사용은 권장되지 않는다.

나) 도로의최소 유용 폭

하단의 도표는 안내가 있고 없는 상황에서50km/h와 70km/h에 대한 자유 도로와 선의 유용 폭을 나타낸다. 기존의 버스가 양질의 대중교통 차선에서 쉽게 운행할 수 있도록 하기 위해 유도가 포함되지 않은 조치들을 선택할 필요가 있다.

| 구분 | 50 km / h | 50 km / h | 70 km / h | 70 km / h |
|---|---|---|---|---|
| | 수동 운전 | 전자 유도 | 수동 운전 | 전자 유도 |
| 단일방향 | 330 cm | 300 cm | 350 cm | 320 cm |
| 양방향 | 700 cm | 640 cm | 750 cm | 670 cm |

다) 커브 구간에서 커브 내부 곡선의 유용 폭과 반경

커브 구간에서 유용폭은 더 넓어지게 되는데 이는 차량점유면 도로가 직선 도로보다 더 넓어지기 때문이다. 승객들의 편안함을 위해 너무 가파른 내부 커브 반경은 피해야 한다. 최소 이동 시간을 위해 속도가 유지될 수 있는 방식으로 커브를 확장하는 것이 바람직하다. 회전 이동의 경우 시속 20km의 속도가 바람직하다. 내부 커브의 반경은 15m가 되어야 한다.

라) 정차 지점의 측정과 기능

승객들로 하여금 오르내리게 할 수 있도록 정차 지점의 플랫폼은 18m 차량의 경우는 최소 14m 길이의 차도 위에서 30cm 높이에 위치해야 한다(플랫폼에 비교한 출입문 그림 참조). 정지 지점의 플랫폼은 차량이 오른쪽 혹은 왼쪽으로 좁힐 필요 없이 즉시 도로를 따라갈 수 있도록 하는 방식으로 차선을 따라 곧바로 위치해 있어야 한다. 따라서 차선과 평행인 정지 지점을 계획하는 것이 필요하다. 커브 구간에서의 정지 플랫폼은 바람직하지 못한데 그 이유는 이를 통해 차량이 플랫폼 가장자리의 출입문에 접근할 수 없기 때문이다. 정지 플랫폼으로의 접근 도로는 18m

차량의 경우 24m의 직선 부분을 갖추었어야 한다. 이는 커브 구간 후 플랫폼 앞에서 직선 위치에 차량을 이끄는데 있어 필수적이다. 플랫폼 가장자리 바로 옆에 깊은 배수관을 설치하는 것은 금지되어 있는데 이는 이것이 기계 유도처럼 작동하고 전자 유도에 있어 방해가 되기 때문이다.

## 나. 시운전선 조사 및 실시설계

1) 여수세계박람회 시범운행노선 구축사업

가) 바이모달 트램 자동운전 계획방향

(1) 마그네틱 바 설치

바이모달 트램 자동운전시스템은 차량주행과 노선 특성을 감안하여 전용도로 하부에 자기유도장치인 마그네틱 바를 설치하여 연속성 있는 자기유도궤도를 형성하고, 이를 기준으로 한 자동운전 프로세스 설계를 통해 원활한 자동주행이 가능하도록 하여야 한다.

마그네틱 바는 일반적인 형태로 제작이 용이하고 전용도로 포장면에 간편하게 설치가 가능한 형태이어야 하며, 마그네틱 바의 형상은 직경 1.5cm, 높이 3.0cm의 원형기둥 마그네틱 바를 표준으로 한다.

전용도로에 매입된 마그네틱 바의 자기 세기는 바이모달 트램 차량내 탑재된 센서가 센서링하면서 자동운전이 가능하도록 유지되는 수준으로, 포장면 15cm 이격거리에서 1.5G 이상 측정되고 그 세기가 상시 유지되어야 한다.

마그네틱 바는 전용도로의 노선 선형을 따라 횡방향, 종방향 및 초기화 구간 등의 배치 특성이 결정되면 적절한 형태로 자기유도궤도를 형성하도록 설치하여야 한다.

마그네틱 바의 실제 설치위치는 맵핑에 의해 결정된 마그네틱 바의 고유순번 좌표 뿐만 아니라, 지자기, 인공자기 등을 고려하여 결정되어야 하며, 정확도를 갖춘 측정시스템에 의해 설치 및 측정되어야 한다.

전용도로에 마그네틱 바를 설치하는 경우에는 전용도로 포장형식을 고려하여 자기유도장치의 특성을 유지할 수 있게 매입방법을 구분하여 설치하여 한다. 또한, 마그네틱 바의 특성에 영향을 미칠 수 있는 기후, 온도 및 시공환경적인 영향을 고려하여, 지속적인 기능유지가 가능하도록 설치를 계획하여야 한다.

설치위치에서 마그네틱 바의 자기세기는 자기세기 측정기로 측정하며 전용도로 포장면 15cm 위에서 1.5G 이상이 측정되면 적정한 마그네틱 바의 세기 값으로 보고 이 값을 표준으로 한다.

마그네틱 바의 자기세기 측정결과가 1.5G 이하인 경우이거나 다른 자기의 영향이 있는 경우는 설치위치를 변경하여야 한다.

나) 바이모달 트램 자동운전 설치계획

(1) 자동운전시스템 설치방법 및 절차

2012 여수세계박람회 바이모달 트램 시범운행노선 자동운전시스템 구축방법 및 절차를 간략히 정리하면 다음과 같다.

① 여수세계박람회 자동운전구간 세팅 및 구축전 수행작업

- 여수세계박람회 시범운행 노선상의 자동운전 구간 확정
- 전용도로상의 주행안내궤도 구축 완료(마그네틱 바 설치, 측정 및 보완)

② 자석좌표 및 노선데이터를 기반으로 한 주행경로 디자인 설계

③ 바이모달 트램 연속주행을 통한 모니터링 및 자동운전 세팅 보완

④ 자동운전시스템 설계 등을 통한 차량 및 인프라시설 설치

- 바이모달 트램 차량의 자동운전을 위한 Path Design 및 알고리즘 설계
- 포장면 천공 및 마그네틱 바 설치
- 자기장 측정을 통한 주행안내궤도 매설
- 차내장치 부착 및 모니터링

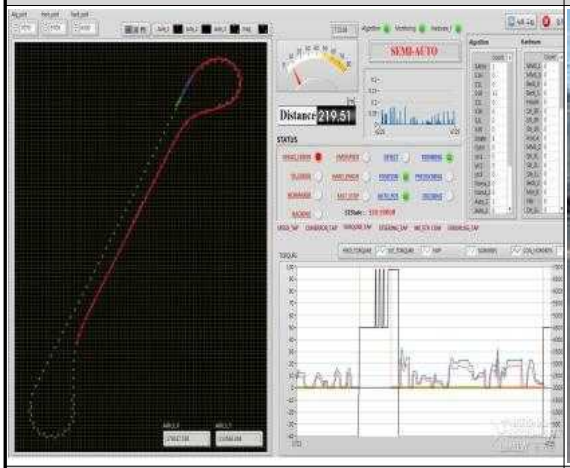
| ① 자동운전 알고리즘 설계 | ② 마그네틱 바 설치지점 측량 및 천공 |
|---|---|
|  |  |
| ③ 마그네틱 바 극성 확인 | ④ 마그네틱 바 매설 (수평계 활용) |
|  |  |
| ⑤ 마그네틱 바 자기장 측정 | ⑥ 마그네틱 바 시공좌표 검측 |
|  |  |

그림 2.2.4-3 바이모달 트램 주행안내궤도 시공방법 및 절차

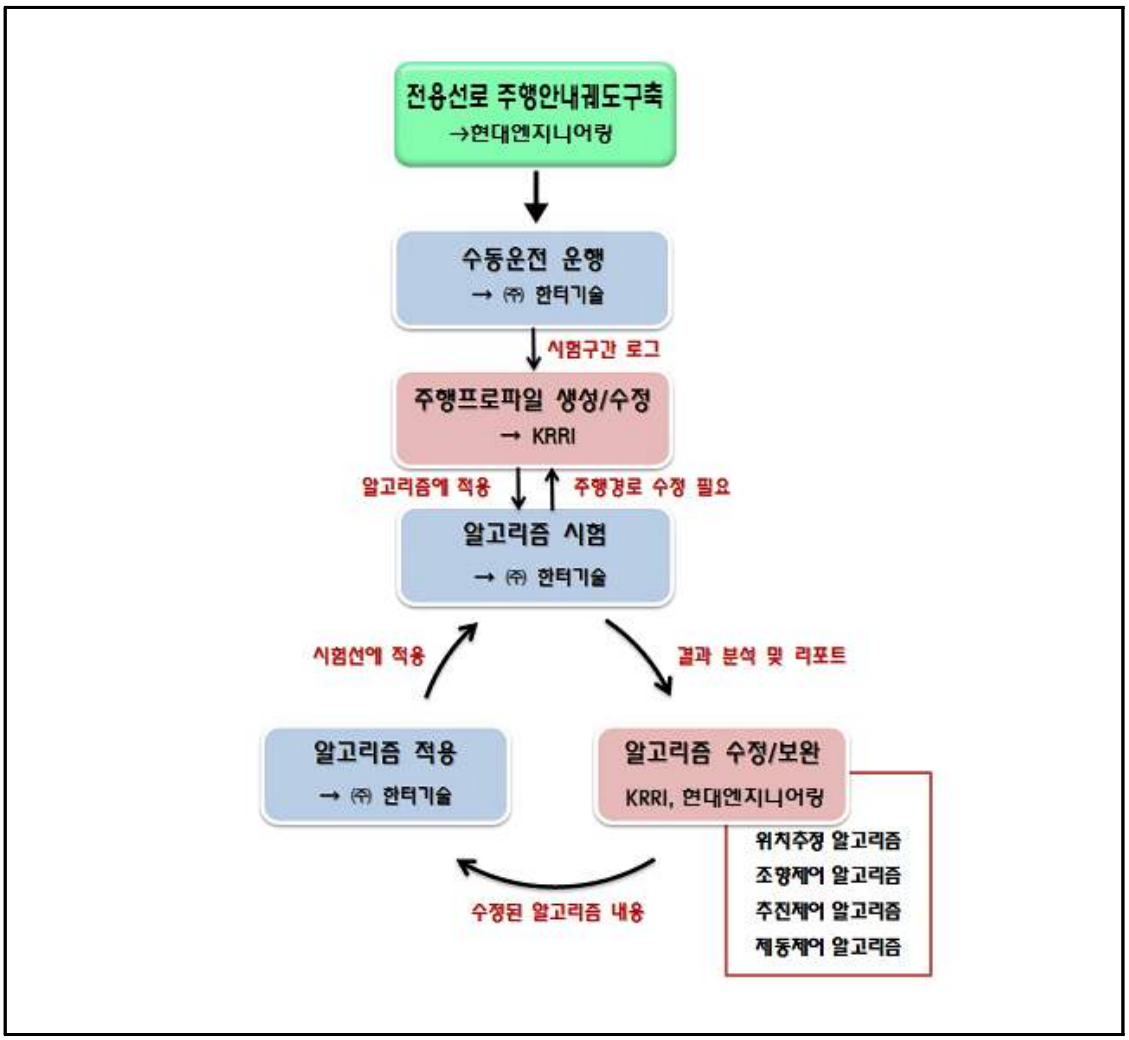



그림 2.2.4-4 바이모달 트램 자동운전시스템 구축방법 및 절차

(2) 자동운전 시스템 구축 계획

2012 여수세계박람회 바이모달 트램 시범운행노선 구간중 자동운전시스템 설치 구간은 신교통수단 이미지및 상징성 제고, 박람회장 주변 도로 여건, 행사기간중 교통상황 등을 감안하여 여수엑스포역에서 엑스포광장 정문구간 약 1.1km 편도노선에 대해서 설치를 계획하였다.

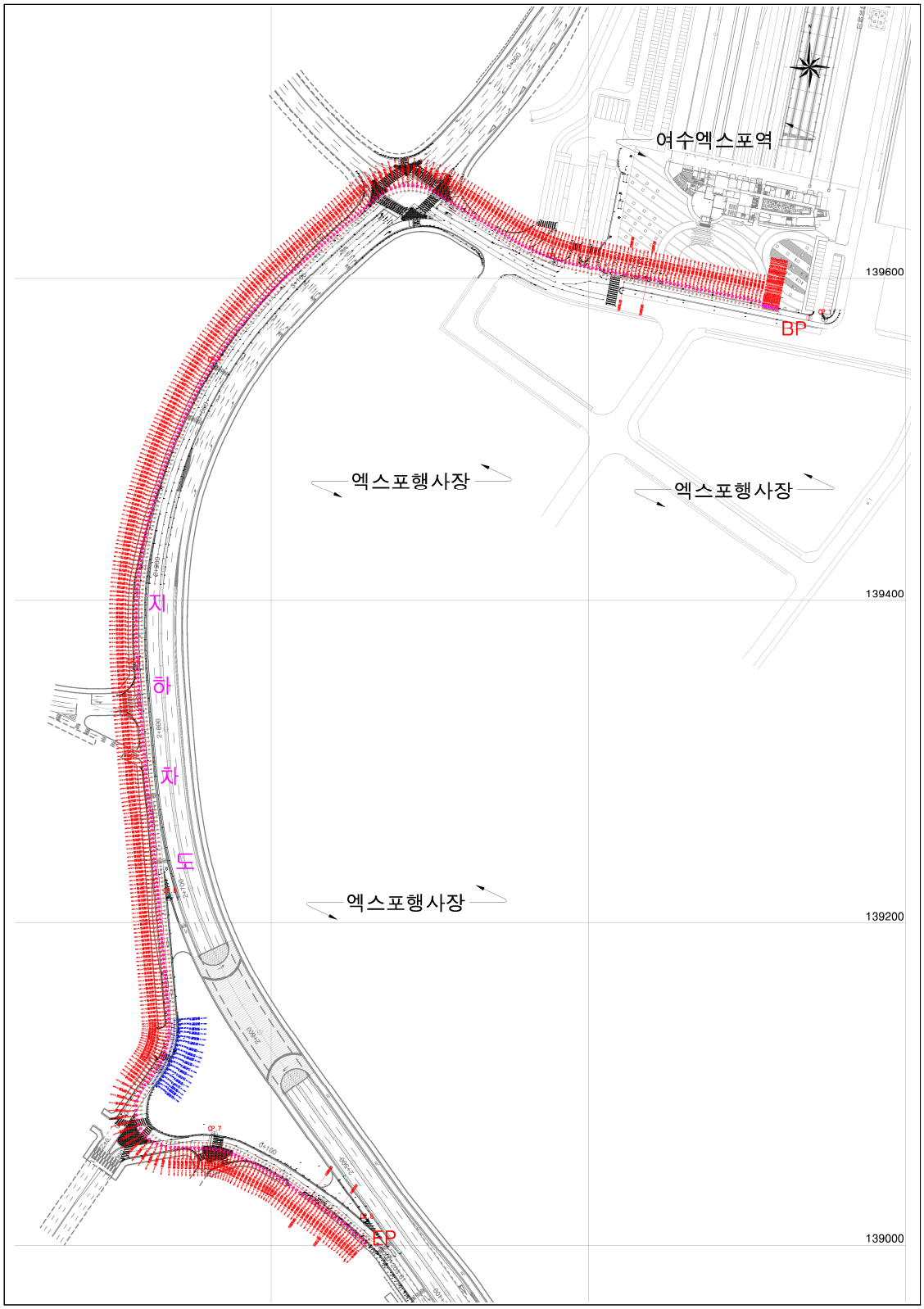



그림 2.2.4-5 바이모달 트램 마그네틱 바 설치 위치도

표 2.2.4-1 바이모달 트램 마그네틱 바 설치 좌표(1)

| POINT | | X | Y | Z | 극성 |
|---|---|---|---|---|---|
| BT 001 | 초기화구간 | 139580.033 | 268519.585 | 5.716 | 0(S) |
| BT 002 | | 139580.228 | 268518.605 | 5.704 | 0(S) |
| BT 003 | | 139580.426 | 268517.625 | 5.702 | 0(S) |
| BT 004 | | 139580.627 | 268516.637 | 5.708 | 0(S) |
| BT 005 | | 139580.821 | 268515.657 | 5.705 | 0(S) |
| BT 006 | | 139581.017 | 268514.678 | 5.697 | 0(S) |
| BT 007 | | 139581.201 | 268513.702 | 5.701 | 0(S) |
| BT 008 | | 139581.407 | 268512.719 | 5.696 | 0(S) |
| BT 009 | | 139581.599 | 268511.736 | 5.700 | 0(S) |
| BT 010 | | 139581.802 | 268510.755 | 5.697 | 0(S) |
| BT 011 | | 139581.998 | 268509.772 | 5.703 | 1(N) |
| BT 012 | NO.1 | 139582.489 | 268507.325 | 5.697 | 1(N) |
| BT 013 | NO.2 | 139582.976 | 268504.868 | 5.693 | 0(S) |
| BT 014 | NO.3 | 139583.463 | 268502.420 | 5.701 | 1(N) |
| BT 015 | NO.4 | 139583.952 | 268499.966 | 5.703 | 0(S) |
| BT 016 | NO.5 | 139584.450 | 268497.516 | 5.697 | 0(S) |
| BT 017 | NO.6 | 139584.939 | 268495.065 | 5.690 | 1(N) |
| BT 018 | NO.7 | 139585.431 | 268492.614 | 5.686 | 0(S) |
| BT 019 | NO.8 | 139585.917 | 268490.160 | 5.687 | 1(N) |
| BT 020 | NO.9 | 139586.409 | 268487.710 | 5.682 | 1(N) |
| BT 021 | NO.10 | 139586.897 | 268485.264 | 5.679 | 1(N) |
| BT 022 | NO.11 | 139587.394 | 268482.816 | 5.685 | 1(N) |
| BT 023 | NO.12 | 139587.884 | 268480.356 | 5.690 | 0(S) |
| BT 024 | NO.13 | 139588.367 | 268477.904 | 5.692 | 1(N) |
| BT 025 | NO.14 | 139588.861 | 268475.455 | 5.692 | 1(N) |
| BT 026 | NO.15 | 139589.352 | 268473.002 | 5.696 | 1(N) |
| BT 027 | NO.16 | 139589.839 | 268470.547 | 5.702 | 0(S) |
| BT 028 | NO.17 | 139590.330 | 268468.102 | 5.694 | 0(S) |
| BT 029 | NO.18 | 139590.829 | 268465.656 | 5.694 | 0(S) |
| BT 030 | NO.19 | 139591.314 | 268463.200 | 5.693 | 1(N) |
| BT 031 | NO.20 | 139591.807 | 268460.749 | 5.695 | 1(N) |
| BT 032 | NO.21 | 139592.300 | 268458.300 | 5.699 | 1(N) |
| BT 033 | NO.22 | 139592.784 | 268455.844 | 5.697 | 0(S) |
| BT 034 | NO.23 | 139593.280 | 268453.395 | 5.697 | 0(S) |
| BT 035 | NO.24 | 139593.767 | 268450.947 | 5.694 | 0(S) |
| BT 036 | NO.25 | 139594.259 | 268448.490 | 5.689 | 1(N) |
| BT 037 | NO.26 | 139594.753 | 268446.040 | 5.688 | 0(S) |
| BT 038 | NO.27 | 139595.245 | 268443.596 | 5.689 | 0(S) |
| BT 039 | NO.28 | 139595.735 | 268441.140 | 5.689 | 1(N) |
| BT 040 | NO.29 | 139596.219 | 268438.686 | 5.680 | 0(S) |

2) 세종시 시범운행 노선 구축사업

가) 바이모달 트램 자동운전 설치계획

(1) 자동운전시스템 계획 방향

세종시 바이모달 트램 시범운행 노선은 바이모달 트램 시스템의 장점요소인 자동운전 및 정밀정차 구현을 통해 바이모달 트램 시범운행 효과를 극대화하고 편리하고 안전한 바이모달 트램 대중교통 서비스 제공을 목적으로 자동운전구간 계획 및 이에 따른 자기유도궤도 선형설계를 계획하였다.

바이모달 트램의 자동운전 시스템(Automatic Guidance System: AGS)은 바이모달 트램 차량이 마그네틱 바로 구성된 주행안내궤도가 매설된 전용도로를 주행하면서, 현재 위치를 자동 계산하여 자동운전 모드로 바이모달 트램의 운행을 제어하는 첨단 시스템으로, 다음과 같은 장점요소를 갖고 있다.

- 정해진 노선을 운행함으로써 철도와 같은 정시성을 확보
- 정거장 정밀정차를 통한 교통약자에게 편의성 제공
- 급 가속/감속에 따른 안전사고 예방 및 승차감 향상
- 정밀한 운행이 가능함으로써 도로 폭의 축소 가능(시공비 절감)

표 2.2.4-2 자기유도궤도 및 자동운전시스템의 특성

| 자기유도궤도 및 자동운전 개념 | 자동운전의 장점요소 |
|---|---|
|  |  |

(2) 자동운전구간 선정 검토

바이모달 트램의 자동운전 구현을 통한 정시성 확보 및 첨단 신교통 이미지 제고

등을 위해 세종시 시범운행 노선 계획에서는 도로 및 교통여건, 자동운전 홍보효과 등을 감안하여 행복도시 대중교통중심도로 일부구간과 오송역 진입도로 일부구간에 대한 자동운전 시스템 구축방안을 도출하고 상대비교를 통해 적정 자동운전시스템 구간을 선정하였으며, 세종시 시범운행을 위한 자동운전 검토구간은 다음과 같이 도출하였다.

ㅇ 자동운전 검토 1안: 행복도시 대중교통중심도로 축

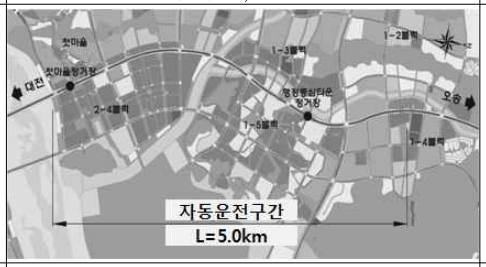
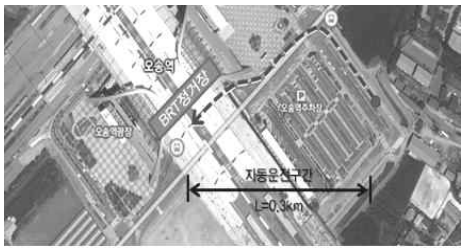
- 첫마을~행정타운 1-4블럭 초교앞 대중교통중심도로: 약 5km

ㅇ 자동운전 검토 2안: 오송역 진입도로 축

- 오송역 진입도로~오송역 BRT정거장: 0.3km

세종시 바이모달 트램 시범운행 노선내 자동운전시스템 구축은 자동운전 설치 및 시승효과, 교통안전성 및 통행권 확보 등 측면에서 행복도시내 대중교통중심도로축을 활용하는 방안이 바람직한 것으로 검토하였다.

표 2.2.4-3 자기유도궤도 및 자동운전시스템의 특성

| 구 분 | 자동운전 검토 1안 | 자동운전 검토 2안 |
|---|---|---|
| 개요 | · 행복도시 대중교통중심도로축<br>(첫마을~행정타운, 5km) | · 오송역 진입도로축<br>(오송역 진입로~오송역, 0.3km) |
| 위치도 |  |  |
| 주요특성 | · 대중교통중심도로 BRT차로 구간내 자동운전으로 통행권 및 안전성 확보 가능<br>· 첫마을, 행정타운 경유구간으로 자동운전 시범효과 우수 예상<br>· 대중교통중심도로내 BRT정거장을 활용한 정밀정차 구현 가능<br>· 본선구간내 자동운전계획으로 자동운전 시승효과 우수 | · 오송역 진입로 및 환승정류장 경유로 일반차량과의 상충 발생 예상<br>· KTX오송역 구간으로 자동운전시범효과 우수 예상<br>· 오송역 환승정거장 활용으로 정밀정차시 턱높임 조절 필요<br>· 오송역내부 자동운전계획으로 자동운전 시승효과 비효율 |
| 검토의견 | · 바이모달 트램 자동운전 설치 및 효과, 교통안전성 등 측면에서 행복도시 대중교통중심도로축 활용이 바람직한 것으로 검토 | |
| 최 적 안 | ○ | |

(3) 바이모달 트램 자동운전구간 계획

세종시 바이모달 트램 시범운행 노선은 차량의 경유도로와 주행공간 특성 등을 감안하여 자동운전과 수동운전구간을 구분하여 차량 운행계획을 수립하였다. 자동운전구간은 바이모달 트램의 자동운전 시스템 설치 용이, 교통안전성 및 통행권 확보, 시승효과 등을 감안하여 행복도시 대중교통중심도로축을 활용하는 것으로 노선대를 계획하였으며, 관계기관 의견, 자동운전 시작구간의 적정성, 주요 정거장 및 차량기지 위치 등을 감안하여 세종터미널에서 행정타운이 입주하는 세종청사 구간에 자동운전시스템 구현을 위한 자기유도궤도 설치를 계획하였다.

○바이모달 트램 자동운전구간: 행복도시 대중교통중심도로 전용도로 중심

- 행복도시 세종터미널~첫마을~세종청사 회차지점: 약 5.5km

○자동운전시스템 자기유도궤도 선형 계획

- 대중교통중심도로 전용도로축 중심선기준, 상하행 분리 설치(복선 개념)
- 주요 정거장 및 시설물 기준으로 자동운전초기화 포인트 설치
- 자기유도궤도 시설계획: 초기화포인트구간 12개소(11 points 기준)

주행구간 3,955 points(3m간격)




그림 2.2.4-6 세종시 바이모달 트램 자동운전구간 위치도

(4) 바이모달 트램 자동운전구간 자기유도궤도 좌표

세종시 바이모달 트램 시범운행 노선의 자동운전계획 구간에 대한 자기유도궤도의 마그네틱 바 측점 좌표를 정리하면 다음과 같다.

표 2.2.4-4 세종시 바이모달 트램 마그네틱 바 설치 좌표(1/75)

| No | POINT | | X | Y | Z | 극 성 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 자동운전 초기화 포인트1 | BT1 | 329803.426 | 224430.864 | 29.578 | 0(S) |
| 2 | | BT2 | 329803.236 | 224429.881 | 29.576 | 0(S) |
| 3 | | BT3 | 329803.057 | 224428.900 | 29.572 | 0(S) |
| 4 | | BT4 | 329802.860 | 224427.913 | 29.569 | 0(S) |
| 5 | | BT5 | 329802.678 | 224426.928 | 29.565 | 0(S) |
| 6 | | BT6 | 329802.493 | 224425.951 | 29.563 | 0(S) |
| 7 | | BT7 | 329802.313 | 224424.959 | 29.559 | 0(S) |
| 8 | | BT8 | 329802.140 | 224423.981 | 29.556 | 0(S) |
| 9 | | BT9 | 329801.957 | 224422.996 | 29.552 | 1(N) |
| 10 | | BT 10 | 329801.791 | 224422.009 | 29.560 | 1(N) |
| 11 | | BT 11 | 329801.626 | 224421.028 | 29.569 | 1(N) |
| 12 | 자동운전 주행도로 | NO. 1 | 329801.161 | 224418.060 | 29.578 | 0(S) |
| 13 | | NO. 2 | 329800.717 | 224415.101 | 29.559 | 1(N) |
| 14 | | NO. 3 | 329800.304 | 224412.116 | 29.604 | 1(N) |
| 15 | | NO. 4 | 329799.915 | 224409.141 | 29.609 | 0(S) |
| 16 | | NO. 5 | 329799.554 | 224406.167 | 29.597 | 0(S) |
| 17 | | NO. 6 | 329799.233 | 224403.183 | 29.585 | 1(N) |
| 18 | | NO. 7 | 329798.927 | 224400.197 | 29.554 | 0(S) |
| 19 | | NO. 8 | 329798.622 | 224397.211 | 29.541 | 1(N) |
| 20 | | NO. 9 | 329798.307 | 224394.237 | 29.514 | 0(S) |
| 21 | | NO. 10 | 329797.995 | 224391.238 | 29.502 | 0(S) |
| 22 | | NO. 11 | 329797.671 | 224388.260 | 29.491 | 1(N) |
| 23 | | NO. 12 | 329797.382 | 224385.264 | 29.489 | 1(N) |
| 24 | | NO. 13 | 329797.076 | 224382.268 | 29.468 | 1(N) |
| 25 | | NO. 14 | 329796.798 | 224379.281 | 28.452 | 0(S) |
| 26 | | NO. 15 | 329796.519 | 224376.294 | 29.440 | 0(S) |
| 27 | | NO. 16 | 329796.240 | 224373.307 | 29.431 | 0(S) |
| 28 | | NO. 17 | 329795.962 | 224370.320 | 29.421 | 0(S) |
| 29 | | NO. 18 | 329795.683 | 224367.333 | 29.416 | 0(S) |
| 30 | | NO. 19 | 329795.405 | 224364.346 | 29.408 | 1(N) |
| 31 | | NO. 20 | 329795.128 | 224361.366 | 29.398 | 0(S) |
| 32 | | NO. 21 | 329794.834 | 224358.380 | 29.386 | 0(S) |
| 33 | | NO. 22 | 329794.546 | 224355.392 | 29.386 | 1(N) |
| 34 | | NO. 23 | 329794.266 | 224352.407 | 29.383 | 1(N) |
| 35 | | NO. 24 | 329793.973 | 224349.419 | 29.397 | 0(S) |
| 36 | | NO. 25 | 329793.647 | 224346.436 | 29.386 | 0(S) |
| 37 | | NO. 26 | 329793.387 | 224343.430 | 29.376 | 0(S) |
| 38 | | NO. 27 | 329793.097 | 224340.444 | 29.363 | 0(S) |
| 39 | | NO. 28 | 329792.801 | 224337.461 | 29.352 | 1(N) |
| 40 | | NO. 29 | 329792.515 | 224334.476 | 39.342 | 1(N) |
| 41 | | NO. 30 | 329792.219 | 224331.488 | 29.332 | 1(N) |
| 42 | | NO. 31 | 329791.949 | 224328.535 | 29.323 | 0(S) |
| 43 | | NO. 32 | 329791.650 | 224325.565 | 29.314 | 1(N) |
| 44 | | NO. 33 | 329791.363 | 224322.532 | 29.305 | 0(S) |
| 45 | | NO. 34 | 329791.063 | 224319.538 | 29.306 | 1(N) |
| 46 | | NO. 35 | 329790.774 | 224316.552 | 29.299 | 0(S) |
| 47 | | NO. 36 | 329790.483 | 224313.576 | 29.283 | 0(S) |
| 48 | | NO. 37 | 329790.190 | 224310.579 | 29.275 | 1(N) |
| 49 | | NO. 38 | 329789.918 | 224307.593 | 29.267 | 0(S) |
| 50 | | NO. 39 | 329789.842 | 224304.599 | 29.249 | 1(N) |
| 51 | | NO. 40 | 329790.381 | 224301.653 | 29.227 | 1(N) |
| 52 | | NO. 41 | 329791.512 | 224298.880 | 29.197 | 1(N) |
| 53 | | NO. 42 | 329793.187 | 224296.399 | 29.162 | 1(N) |

## 다. 시운전선 건설공사(토목, 정거장, 차량기지)

1) 여수세계박람회 시범운행노선 구축사업

가) 마그네틱 바 설치(자기유도궤도)

바이모달 트램 시스템은 저상굴절차량의 자동운전과 정거장 정밀정차를 통해 정시성 확보와 수평승하차 편의를 이용자에게 제공하여 고품질의 대중교통서비스를 제공하는 특성을 갖고 있다.

2012 여수세계박람회 바이모달 트램 시범운행에서는 여수엑스포역에서 여수엑스포광장(정문앞)까지 약 1.1km구간에서 자동운전을 구현하는 것으로 계획하였다. 이에 따라 자동운전 구간을 중심으로 마그네틱 바(자기유도궤도) 설치를 위한 공사를 수행하였다.

바이모달 트램의 자동운전을 위한 자기유도궤도 형성은 전용도로 하부에 자기유도장치인 마그네틱 바를 일정간격으로 매설하고 자성상태 유지와 설치좌표를 기준으로 바이모달 트램의 자동운전 검지장치와 연계하여 자기유도안내방식의 자동운전이 가능하게 된다.

자기유도궤도(마그네틱 바)의 설치는 설계단계에서 자기유도궤도 선형설계를 수행하고 이를 기반으로 우선적으로 마그네틱 바 설치 위치를 현장에서 선정하게 된다.

선정된 매설위치를 중심으로 지점별 천공 및 청소작업, 마그네틱 바 매설 및 캡핑 작업을 통해 전용도로 하부에 마그네틱 바 매설작업을 수행하게 된다.

마그네틱 바의 매설상태 적정성을 확인하기 위해 마그네틱 바 자성 및 극성을 체크하고 매설위치 표시 및 위치 검측을 통해 1차적인 자기유도궤도(마그네틱 바) 설치 작업을 마무리하게 된다.

2차적으로 마그네틱 바 자성 및 위치 검측을 통해 최종적인 결점좌표와 극성 자료를 수집하여 자동운전을 위하 자기유도궤도 지점자료를 데이터베이스화하고 이를 바이모달 트램 차량내 탑재된 자동운전장치와 연동하여 설치하는 과정을 수행하였다.

바이모달 트램의 자동운전을 위한 마그네틱 바(자기유도궤도) 설치를 주요 공정별 추진과정은 다음과 같다.

| ① 마그네틱 바 매설위치 설정 | ② 설치위치 천공 및 청소 |
| --- | --- |
|  |  |
| ③ 마그네틱 바 매설 및 캡핑 | ④ 마그네틱 바 자성 및 극성 체크 |
|  |  |
| ⑤ 매설위치 표시 및 위치 검측 | ⑥ 마그네틱 바 매설 후 자성 검측 |
|  |  |

그림 2.2.4-7 바이모달 트램 마그네틱 바 설치 공종

2) 세종시 시범운행 노선 구축사업

가) 마그네틱 바 설치(자기유도궤도)

바이모달 트램 시스템은 저상굴절차량의 자동운전과 정거장 정밀정차를 통해 정시성 확보와 수평승하차 편의를 이용자에게 제공하여 고품질의 대중교통서비스를 제공하는 특성을 갖고 있다.

세종시 바이모달 트램 시범운행에서는 세종터미널(차량기지)에서부터 첫마을, 세종청사를 경유하여 4-1블록앞 고가차도 구간까지 약 6km구간에서 자동운전을 구현하는 것으로 계획하였다. 이에 따라 자동운전 구간을 중심으로 마그네틱 바(마그네틱 바를 기반으로 자기유도궤도를 형성) 설치를 위한 공사를 수행하였다.

바이모달 트램의 자동운전을 위한 자기유도궤도 형성은 전용도로 하부에 자기유도장치인 마그네틱 바를 일정간격으로 매설하고 자성상태 유지와 설치좌표를 기준으로 바이모달 트램의 자동운전 검지장치와 연계하여 자기유도안내방식의 자동운전이 가능하게 된다.

마그네틱 바의 설치는 설계단계에서 자기유도궤도 선형설계를 수행하고 이를 기반으로 우선적으로 마그네틱 바 설치 위치를 현장에서 선정하게 된다.

선정된 매설위치를 중심으로 지점별 천공 및 청소작업, 마그네틱 바 매설 및 캡핑 작업을 통해 전용도로 하부에 마그네틱 바 매설작업을 수행하게 된다.

마그네틱 바(마그네틱 바)의 매설상태 적정성을 확인하기 위해 마그네틱 바 자성 및 극성을 체크하고 매설위치 표시 및 위치 검측을 통해 1차적인 자기유도궤도 구축 작업을 마무리하게 된다.

2차적으로 마그네틱 바 자성 및 위치 검측을 통해 최종적인 결점좌표와 극성 자료를 수집하여 자동운전을 위하 자기유도궤도 지점자료를 데이터베이스화하고 이를 바이모달 트램 차량내 탑재된 자동운전장치와 연동하여 설치하는 과정을 수행하였다.

바이모달 트램의 자동운전을 위한 마그네틱 바 설치를 자기유도궤도 구축의 주요 공정별 추진과정과 설치지점 및 설치좌표를 정리하면 다음과 같다.

| ① 마그네틱 바 CP 측량 | ② 전용도로 현황 측량 |
|---|---|
|  |  |
| ③ 자기유도계획 선형 계획 | ④ 매설위치 표시 및 위치 검측 |
|  |  |
| ⑤ 마그네틱 바 위치 천공 | ⑥ 마그네틱 바 자성/극성 계측 |
|  |  |

그림 2.2.4-8 바이모달 트램 자기유도궤도 설치 공정(1)

| ① 마그네틱 바 매설 | ② 마그네틱 바 캡핑 및 수평 검측 |
| --- | --- |
|  |  |
| ③ 마그네틱 바 자성 검측 | ④ 마그네틱 바 매설점 표식 |
|  |  |
| ⑤ 마그네틱 바 매설후 위치 검측 | ⑥ 마그네틱 바 매설후 자성 검측 |
|  |  |

그림 2.2.4-9 바이모달 트램 자기유도궤도 설치 공정(2)

# 제3절 전차륜조향/초저상 독립현가시스템

## 1. 전차륜조향장치

### 가. 바이모달 트램에서의 AWS 시스템 개요

일반적으로 차량이 조향되는 위치에 따라 조향 방식을 구분하면, 전륜 조향(Front-Wheel Steering), 후륜 조향(Rear-Wheel Steering), 전체 차륜 조향(All-Wheel Steering)으로 나눌 수 있으며, 여기서 승용차와 같은 4륜차는 AWS를 4WS(Four Wheel Steering)라고 한다. 4WS는 초기에 최소회전 및 기동성을 목적으로 특수차량에 채용되었지만 현재는 조정안정성 및 회전성능을 향상시키기 위하여 고급승용차에도 적용되고 있다. 승용차의 경우, AWS는 조정안정성의 향상 및 회전성능의 향상에 목표를 두고 있지만 후륜의 조향되기 위한 공간이 필요하기 때문에 트렁크의 공간이 줄어들게 되며, 차량의 가격도 상승하게 되는 역효과도 같이 갖고 있다. 또한 전륜 조향인 FWS와 비교하여 운전감각에서 차이가 나는 것을 방지하기 위하여 후륜의 각도를 일정 각도 이하로 제한하여 승차감에 중점을 두어서 전체 차륜 조향방식을 적용하고 있다.

바이모달 트램은 전용도로에 설치된 자석 마커를 따라 자동운전이 가능하며, 고무타이어로 되어 있어 정해진 선로와 일반도로 양쪽 모두를 운행할 수 있는 굴절차량으로 다양한 교통수요에 대응하기 위하여 만들어진 대중교통수단이다. 굴절버스와 바이모달 트램을 비교해 보면(그림 2.3.1-1), 바이모달 트램은 앞바퀴와 뒷바퀴를 끝단으로 배치함으로서 승객들이 이동하기 편리하게 하고 개방감을 높였기 때문에 차량의 길이는 비슷하지만 바이모달 트램은 앞 뒤 오버행이 짧고 축간 거리는 길어졌다. 일반적으로 동일한 차량길이에서 축간 거리가 길어야 차량의 안정성이 높아지지만 이로 인하여 회전반경이 길어지게 된다. 국내 자동차 안전기준을 만족하려면 앞바퀴를 기준으로 최소회전반경이 12m 이내이어야 하며, 이를 만족하기 위하여 축간 거리가 긴 바이모달 트램에는 AWS를 적용해야만 한다. 바이모달 트램은 그림 2.3.1-2와 같이 정거장에 진입할 때는 동위상 제어에 의해서 정밀정차가 가능하고 정거장 길이도 줄일 수 있으며, 곡선을 선회할 때는 역위상 제어에 의해서 회전반경을 줄이도록 하고 있다.



a. 굴절버스　　b. 바이모달 트램

그림 2.3.1-1 굴절버스 및 바이모달 트램




그림 2.3.1-2 바이모달 트램 차륜 조향(정거장 진입 및 곡선 선회)

### 나. AWS ECU 개발

1) 기존 알고리즘 분석 및 시험

2량 1편성의 바이모달 트램은 총 3축으로 구성되어 있으며 AWS 장치를 구비한 굴절차량의 경우, 2축과 3축에 각각 조향장치를 제어하는 ECU(Electronic Control Unit)가 설치되어 있다. 외국 차량의 조향장치에 사용된 알고리즘을 파악하려면 ECU에 대한 시험을 하여야 하며, 그림 2.3.1-3과 같이 실제 바이모달 트램에 사용되는 조향장치 및 유압시스템으로 시험장치를 구성하였다. 그림 2.3.1-4에 나타낸 AWS ECU 시험에 대한 계략도를 보면, 작동유의 압력, 밸브의 위치신호 및 2축(또는 3축)의 조향각도 신호는 직접 ECU로 입력되며 차량 속도는 속도 생성 프로그램(Emulator)과 DAQ 보드를 거쳐 차속에 따라 주파수가 변하는 사각파로 ECU에 입력된다. 또한 소프트웨어에 의해 생성되는 전륜 조향각(또는 굴절각)은 DAQ 보드를 거쳐 ECU에 아날로그 신호로 입력된다. 차량의 주행과 선회 상황을 ECU에 입력 신호로 부여하여 AWS 시스템에 대한 테스트를 수행하였다. 차량의 속도는 0 ~ 80 km/h까지 1 km/h의 단위로 입력되며 2축 ECU에는 0 ~ 35 도 범위로 전륜 조향각이 입력되고, 3축 ECU에는 0 ~ 43 도 범위로 굴절각이 입력된다. 차속 신호와 전륜 조향각(또는 굴절각) 신호를 제외한 다른 입력 신호들은 시스템의 정상 작동을 위한 일반적인 조건으로 입력하였고 차속과 전륜 조향각(또는 굴절각)을 다양한 조건으로 변화시키면서 테스트를 수행하였다.

차량 속도 전 영역에 걸친 전륜 조향각 입력에 따른 후륜(2축) 조향각의 변화 결과는 그림 2.3.1-5과 같으며 굴절각에 대한 3축의 조향각은 그림 2.3.1-6와 같다. 시험 결과를 보면 작은 조종각에 대하여 2축은 5 도, 3축은 2 도로 제한하고 있으며

이후 최대 조향각까지 선형적으로 증가하도록 하고 있다. 속도에 따른 제한은 차속 30 km/h까지는 최대로 조향되게 하고 30 km/h부터 45 km/h까지 후륜 조향각은 줄어들고 있으며 45 km/h이상의 속도에서 후륜은 조향되지 않고 0 도를 유지하고 있다.

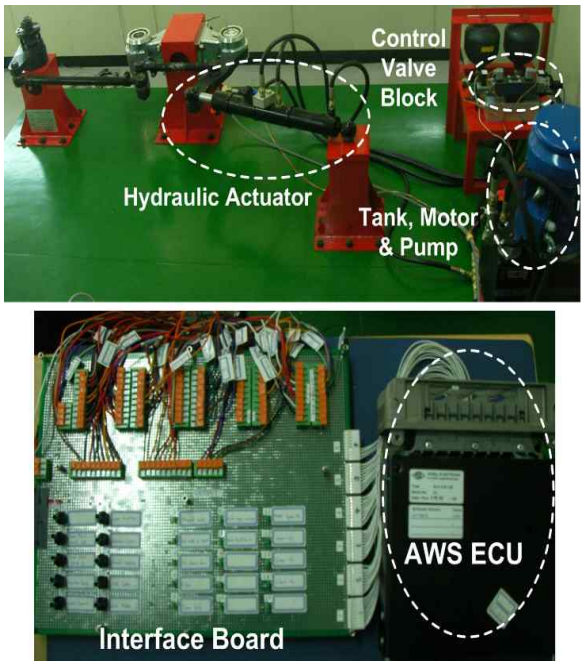



그림 2.3.1-3 AWS ECU 시험장치

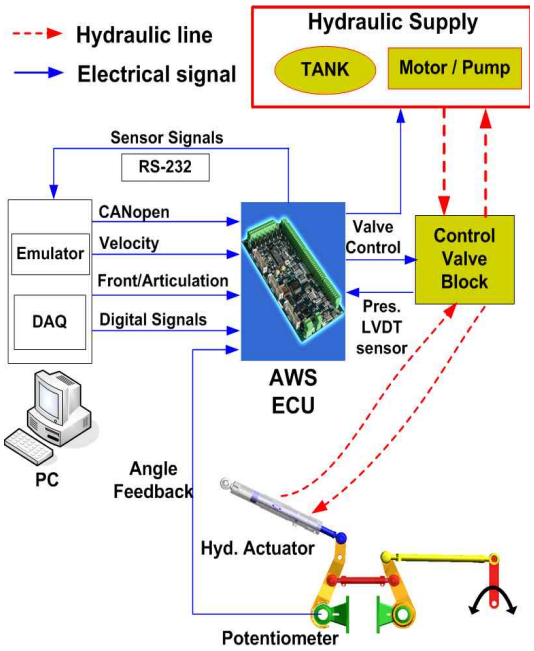



그림 2.3.1-4 ECU 시험장치 개략도

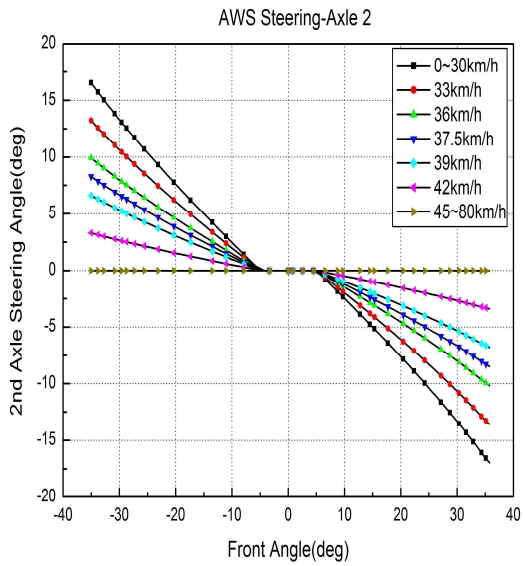



그림 2.3.1-5 2축 조향각 시험 결과

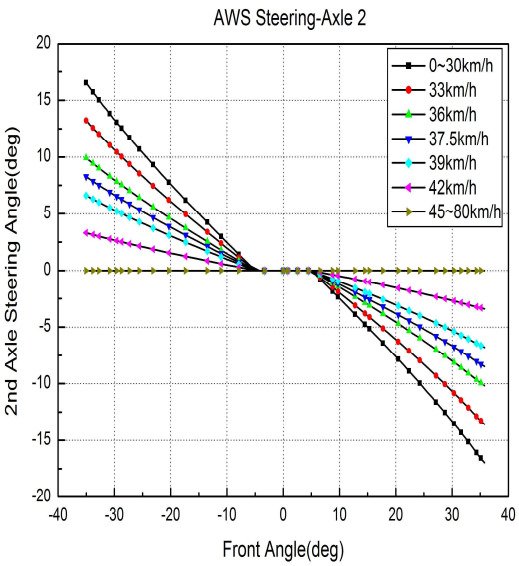



그림 2.3.1-5 2축 조향각 시험 결과

2) 조향 알고리즘 후륜조향각 계산식 개선

후륜 조향각을 제어하는 목적은 회전반경을 줄이고 차량의 안정성을 높이기 위함이다. 승용차의 경우, 후륜의 조향각을 크게 하면 트렁크의 공간이 줄어드는 단점으로 인하여 후륜의 조향각을 가능한 범위에서 작게 한 후 승차감에 중점을 두어서 전체 차륜 조향(AWS)을 적용하고 있다. 그러나 바이모달 트램과 같이 2량 이상 편성된 차량은 회전반경을 줄여 원활하게 곡선을 주행하는 것이 보다 중요하므로 후륜의 조향각을 크게 하여 AWS 방식을 적용한다.

바이모달 트램은 굴절각도(articulation angle)로 인해서 기하학적으로 더 복잡해지므로 그림 2.3.1-7과 같이 3륜 자전거 모델을 이용하여 조향각을 나타내는 것이 편리하다. 바이모달 트램의 후륜을 제어하기 위해서 가상고정축에 의한 후륜 조향각 제어 방법이 도입되었다. 전륜만 조향되는 시스템에서는 후륜은 조향되지 않으므로 고정축이 되며, 이 고정축을 지나는 한 점($O$)에서 회전중심이 일치한다. 그러나 AWS의 경우에는 고정축이 없으므로 조향이 되지 않는 고정축의 역할을 하는 가상고정축을 설정하고, 이 가상고정축을 지나는 한 점($O'$)에서 회전중심이 일치하도록 제어하는 방법이 가상고정축에 의한 후륜 조향각 제어 방법이다.

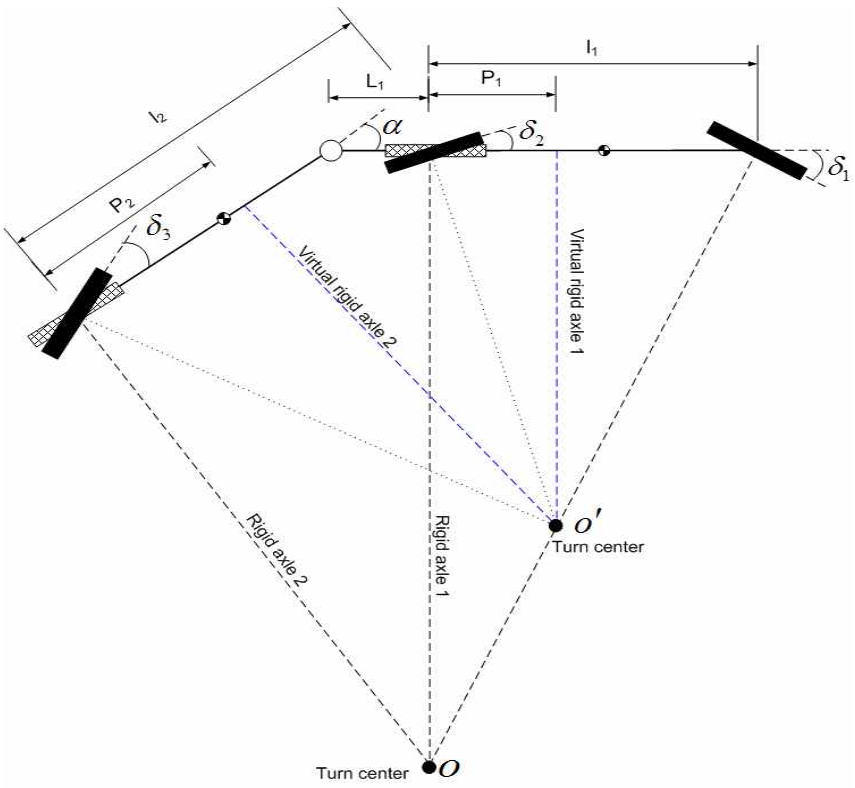



그림 2.3.1-7 3륜 조향각 모델에서의 고정축 및 가상고정축

이러한 가상고정축에 의한 방법은 회전중심과 차체가 수직으로 만나는 지점에 위치하는 임의의 가상축을 만들어서 제어하는 방법으로, 가상고정축은 각 차량에 1개씩 만들어지며 2량 1편성의 바이모달 트램에서는 2개가 만들어진다. 그림 2..3-7에 보는 바와 같이 AWS가 적용되면 회전중심이 $O$점에서 $O'$점으로 이동하면서 회전반경이 짧아지게 된다.

기존 AWS 시스템의 경우, 가상고정축을 이용한 1축의 조향각에 의한 2축의 조향각 식은 그림 3.3-2의 자전거 모델에 의해서 유도되어지며, 식 (2.3.1-1)~(2.3.1-2)와 같이 표현할 수 있다. 이를 다굴절차량으로 확장하면 식 (2.3.1-3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\delta_2 = -\tan^{-1}\left(\frac{P_1 \times \tan\delta_1}{w_1 - P_1}\right) \tag{2.3.1-1}$$

$$\delta_3 = -\tan^{-1}\left(\frac{P_2 \times \tan\alpha_1}{w_2 - P_2}\right) \tag{2.3.1-2}$$

$$\delta_{n+1} = -\tan^{-1}\left(\frac{P_n \times \tan\alpha_{n-1}}{w_n - P_n}\right),\ \alpha_0 = \delta_1,\ n = 1, 2, \cdots j-1 \tag{2.3.1-3}$$

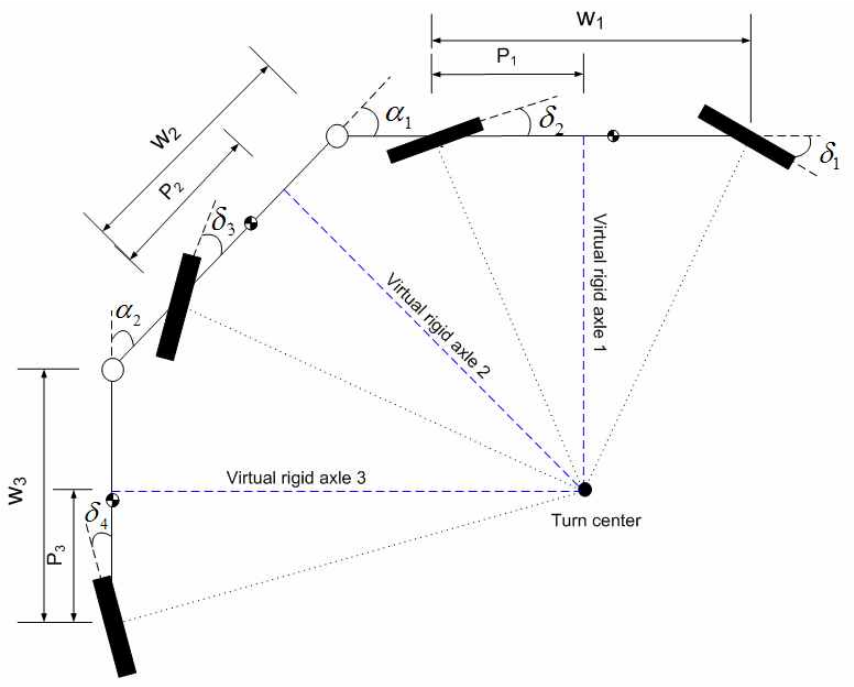



그림 2.3.1-84륜 자전거 모델에서의 가상고정축

여기서 $\delta_1$는 1축의 조향각, $\delta_2$는 2축의 조향각, $\delta_3$는 3축의 조향각, $w_1$는 1축과 2

축 사이의 거리, $w_2$는 굴절장치에서 3축까지의 거리, $\alpha_1$는 첫 번째 굴절장치의 굴절각도, $P_1$는 2축에서 첫 번째 가상고정축까지의 거리, $P_2$는 3축에서 두 번째 가상고정축까지의 거리, $n$은 정수, $j$는 축의 총 개수이다.

그림 3.3-1의 자전거모델을 바탕으로 식(2.3.1-4) 및 (2.3.1-5)를 제안하였다. 2축의 조향각인 $\delta_2$는 기존 AWS 시스템의 계산식과 유사하지만 $\delta_3$는 기존의 AWS 시스템의 계산식은 2축의 조향각을 단순하게 확장하였기 때문에 3축 이하는 회전중심이 일치하지 않는다. 3축의 조향각은 2축의 조향각 계산식을 단순 확장한 기존 AWS 시스템의 계산식과 다르다. 즉, 새로운 계산식은 해당 차량(여기서는 두번째 차량)의 데이터만을 변수로 사용한 기존 AWS 시스템의 계산식과 달리 해당차량(두번째 차량)과 바로 앞차량(첫번째 차량)의 변수를 같이 사용하는 방법으로 제안된 식은 기하학적으로 회전중심이 일치하게 되며 최종적으로 식(2.3.1-6)과 같이 표시되어 다굴절 차량으로 확장이 가능하다.

$$\delta_2 = -\tan^{-1}\left(\frac{P_1 \times \tan\delta_1}{(l_1 - L_0) + \frac{L_0 + P_0}{\cos\delta_1} - P_1}\right) \tag{2.3.1-4}$$

$$\delta_3 = -\tan^{-1}\left(\frac{P_2 \times \tan\alpha_1}{(l_2 - L_1) + \frac{L_1 + P_1}{\cos\alpha_1} - P_2}\right) \tag{2.3.1-5}$$

$$\delta_{n+1} = -\tan^{-1}\left(\frac{P_n \times \tan\alpha_{n-1}}{(l_n - L_{n-1}) + \frac{L_{n-1} + P_{n-1}}{\cos\alpha_{n-1}} - P_n}\right) \tag{2.3.1-6}$$

$$\alpha_0 = \delta_1,\ L_0 = P_0 = 0,\ n = 1, 2, \cdots j-1$$

여기서 $l_2$는 2축에서 3축까지의 거리, $\alpha_1$는 첫 번째 굴절장치의 굴절각도, $P_2$는 3축에서 두 번째 가상고정축까지의 거리, $L_1$는 첫 번째 굴절장치에서 2축까지의 거리, $n$은 정수, $j$는 축의 총 개수이다.

3) 조향 알고리즘의 최종 후륜 조향각 설정 방법

후부축의 조향각도를 설정하는 방법은 차량의 기하학에 근거한 계산식을 기준으로 하여 최적 가상고정축 값 및 작은조향각 억제, 속도에 따른 조향각 제한, 스윙아웃에 의한 억제 등의 제한사항을 고려하여 그림 3.3-3과 같은 절차에 의하여 구하여 진다. 즉, 기하학에 근거한 계산식에 적용되는 가상고정축 값 $P$를 조정하여 2축과 3축의 최종 조향각이 정해지게 된다.

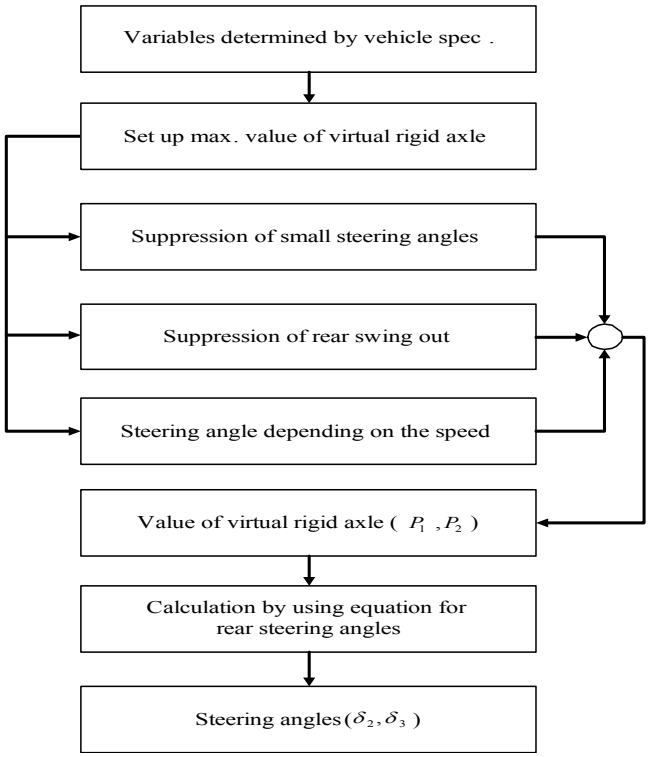



그림 2.3.1-9 후륜 조향각 설정 흐름도

바이모달 트램의 경우, 각축의 조향각 이외에도 굴절각이 있어서 기하학적으로 복잡하므로 가상고정축 값을 설정하는 것이 쉽지 않다. 우선 강제조향에 의해서 파손되기 쉬운 부분이 굴절장치이므로 굴절각을 기준으로 가상고정축 값을 설정하여야 한다. 그 후에 각 축에서 최대로 조향할 수 있는 조향각도를 고려하여 기하학적으로 회전중심이 일치하도록 한다. 가상고정축 설정에 따른 순서도는 그림 3.3-4와 같이 나타낼 수 있다. 그림 3.3-1에서 가상고정축이 후부축과 일치할 때는 P값이 0이며 이 때 회전중심은 $O$점이 되며 가상고정축 P값이 설정되면서 $O'$으로 이동되게 된다. 굴절각에 대한 1축의 최대조향각은 2, 3축이 조향되지 않을 때를 기준으로 구해야 하며 식 (2.3.1-7)과 같이 표현할 수 있다. 식 (2.3.1-8)은 2축이 최대로 조향할 수 있는 값을 기준으로 P값을 구한 것이며 식 (2.3.1-10)은 3축이 최대로 조향할 수 있는 값을 바탕으로 구한 것이다. 구해진 P값을 기준으로 기하학적으로 회전중심이 일치하게 하여 구한 것이 식 (2.3.1-9)와 식 (2.3.1-11)이 된다. 가상고정축을 구하기 위해서 사용된 조향각은 방향에 상관없이 양수로 하여 계산되었다.

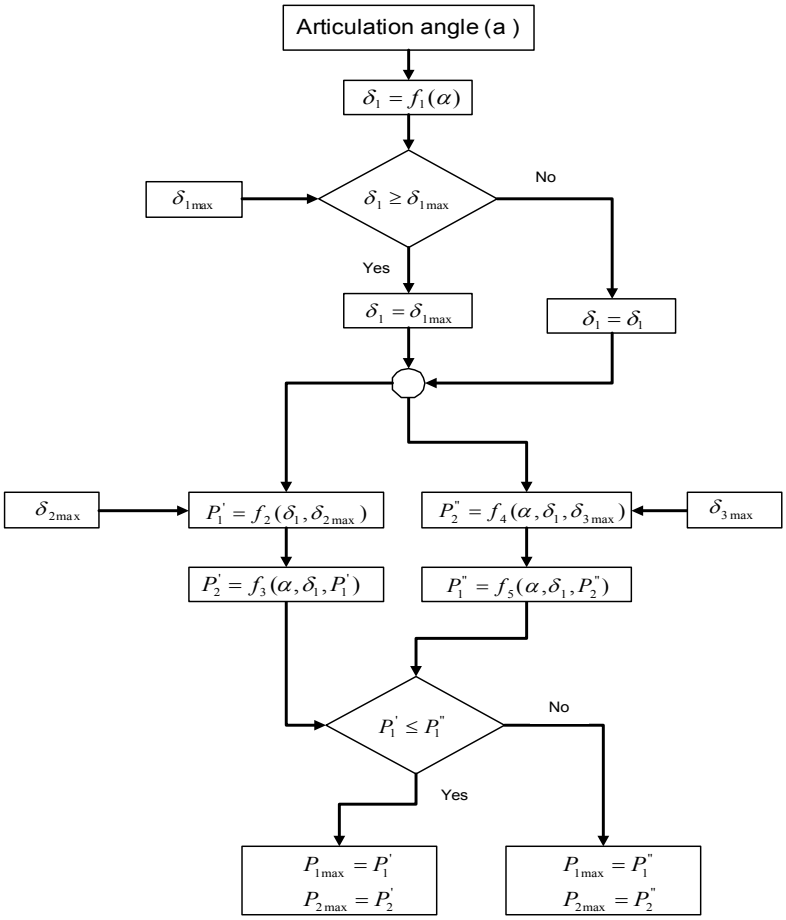



그림 2.3.1-10 가상고정축 설정을 위한 흐름도

$$\delta_1 = f_1(\alpha) = \tan^{-1}\left(\frac{l_1}{\overline{OW_2}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{l_1}{w_2 \times \sin\alpha + \dfrac{L_1 + w_2 \times \cos\alpha}{\tan\alpha}}\right) \quad (2.3.1\text{-}7)$$

$$P_1' = f_3(\delta_1, \delta_{2_{\max}}) = \frac{l \times \tan\delta_{2_{\max}}}{\tan\delta_1 + \tan\delta_{2_{\max}}} \quad (2.3.1\text{-}8)$$

$$P_2' = f_3(\alpha, \delta_1, P_1') = w - \cos\alpha\left(-\frac{\tan\alpha + \tan\delta_1}{\tan\delta_1} \times P_1' + \frac{l \times \tan\alpha}{\tan\delta_1} - L_1\right) \quad (2.3.1\text{-}9)$$

$$P_2'' = f_4(\alpha, \delta_1, \delta_{3_{\max}}) = \frac{\cos\alpha \times w + L_1 + \dfrac{\tan\delta_1}{\tan\alpha + \tan\delta_1} \times \left(\dfrac{l \times \tan\alpha}{\tan\delta_1} - \dfrac{w}{\cos\alpha} - L_1\right)}{\dfrac{\tan\alpha \times \cos\alpha}{\tan\delta_{3_{\max}}} + \cos\alpha - \dfrac{\tan\delta_1}{(\tan\alpha + \tan\delta_1) \times \cos\alpha}} \quad (2.3.1\text{-}10)$$

$$P_1'' = f_5(\alpha, \delta_1, P_2'') = \frac{\tan\delta_1}{\tan\alpha + \tan\delta_1}\left(\frac{l \times \tan\alpha}{\tan\delta_1} - L_1 - \frac{w - P_2''}{\cos\alpha}\right) \quad (2.3.1\text{-}11)$$

조그만 변동에도 후륜이 조향하게 되면 오히려 안전성이 나빠지므로 1축의 조향각이 작을 때는 2축은 조향되지 않고 0°를 유지하는 것이 바람직하다. 조향각은 가상고정축에 의해서 변하게 되며 1축이 조향이 되는데 2축이 0°를 유지하려면 가상고정축의 위치값 $P$도 0이 되어야 한다. $P$가 0에서 설정값까지 갑자기 변동하면 불연속점이 생기므로 스텝입력에 1차 시스템의 과도응답함수를 도입하여 $P$ 함수를 제안하였다.

차량의 후부는 후부 축 밖으로 튀어나온 오버행(overhang)을 가지기 때문에 차량이 선회할 때 차량의 후부 끝단은 바깥쪽 차선을 벗어나게 된다. AWS 시스템을 가진 차량에서 후부축의 조향각은 역위상으로 조향되므로 스윙아웃은 더 커지게 되며 특히, 정차 후에 앞의 차량 또는 장해물을 피하기 위하여 1축의 조종각을 크게 할 경우에 승강장과 부딪칠 수 있는 상황이 발생한다. 이러한 스윙아웃을 막기 위하여 후부축의 조향각을 일정거리만큼 지연시킨 후 일정한 각속도 $\omega$로 최대 가상고정축의 위치까지 움직이도록 하였다.

차량의 안전을 위하여 곡선을 주행할 때 차량의 속도 또는 횡가속도를 제한하고 있으며 UIC(international union of railways) 규정은 횡가속도를 3 m/s2까지 제한하고 있다. AWS 조향장치를 가진 굴절차량의 경우, 요각이 증가하기 때문에 전륜만 조향되는 차량에 비하여 곡선을 주행 할 때 불안정하다. UIC 기준을 적용하여 최대 횡가속도 3 m/s2에 대하여 속도에 대한 최소회전반경을 구한 후 이를 가상고정축 값 $P$에 대하여 선형화하였다.

3) AWS ECU 제작

AWS ECU는 크게 전원부, 입력 처리부, 연산 처리부, 통신부, 출력부로 구성된다. 전원부에서 사용한 제품은 RAMTRON社의 FM31256 제품이다. 이 칩은 하드웨어를 구성하는 데 필요한 real time clock과 watchdog timer를 함께 가지고 있으며, 주된 기능은 Detection of power supply fault condition이다. 이것은 외부 전원이 일정 전압 이하로 내려가 전원 공급이 불안정해지면 전압이 정상으로 복귀될 때까지 system reset을 active 상태로 유지하는 기능을 말한다. 입력 처리부는 크게 디지털 입력, 아날로그 입력, 주파수 입력, 이상 세 가지로 나눈다. 디지털 입력부에서 사용한 제품은 PS2701-1 photocoupler 제품이다. 이 photocoupler의 외부는 LED와 연결되어 있으며, 내부에는 수광 소자가 연결되어 있다. 이로 인해 pulse input에 high voltage가 인가되면 photocoupler 내부의 LED에서 빛이 발생하게 되고, 이 빛으로 인해 수광 소자의 transistor가 active되어 Vout으로 Vcc가 출력된다. 이를 이용하면 회로를 설계하여 외부와 내부 시스템을 전기적으로 분리시킬 수 있으며, 이로 인해 외부에서 발생할 수 있는 노이즈 등의 전기적 충격으로부터 시스템을 보호할 수 있다.

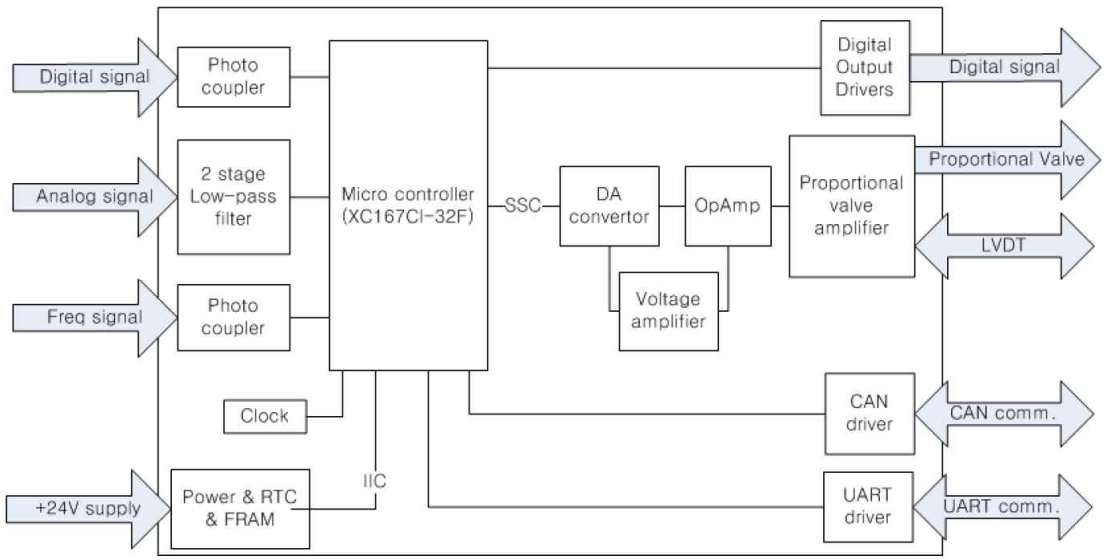



그림 2.3.1-9 AWS ECU 기본 구조

아날로그 입력부에서는 외부 노이즈의 영향을 최소화하기 위해 2중의 저역 통과 필터를 연결하였다. 일반적인 센서의 업데이트 주기는 1 KHz 이하의 주파수를 가지므로, 첫 번째 입력부분에서 100 KHz, 최종 입력부분에서 1 KHz 이상 주파수 신호를 차단하도록 구현하였다. 주파수 입력부에서 사용한 제품은 디지털 입력부에서 사용한 제품과 동일하다. 하지만 디지털 입력의 전압 범위는 0/24 V임에 비해 주파수 입력의 전압 범위는 0/5 V이므로, 해당 전압이 인가될 때 연산 처리부로 전달될 수 있도록 회로를 적절히 수정하였다. 연산 처리부에서 사용한 제품은 Infineon社의 XC167CI-32F이다. 이 마이크로컨트롤러 (MCU)를 40MHz로 동작시켜, 각종 입력에 따라 적절한 출력을 인가하며, ECU 내 기타 chip과 원활한 communication을 할 수 있도록 설계하였다.

통신부로는 저상굴절차량 내부의 기타 ECU와의 네트워크인 CAN 통신부와 AWS ECU의 상태를 확인하거나 중요 파라미터의 수정을 위한 RS-232 통신부가 있다. CAN 통신부를 구현하기 위해 사용한 제품은 NXP PCA82C521 CAN driver이다. 이 제품은 MCU에서 나오는 5V TTL level signal을 CAN bus에 맞는 signal로 변환시키는 기능을 수행한다. 또한, CAN driver 앞부분에는 ZJYS81R5-2PL chip을 연결하였는데, 이는 common mode filter로, AWS ECU의 시스템 보호를 위해 추가로 설계하였다. 이 방식으로 두 개의 CAN communication channel을 설계하였으며, 하나의 channel은 타 ECU와의 통신에 사용되고, 다른 하

나는 CAN bus의 message 송-수신 상태를 파악하는 데 사용된다. RS-232통신부는 MAX3238 제품을 사용하였다. 이것으로 AWS ECU와 외부 PC와의 통신을 가능하게 한다. 출력부는 크게 디지털 출력부, proportional valve 제어부로 나뉜다. 디지털 출력부에서 사용한 제품은 MMBT2222 transistor이다. 디지털 출력의 경우, 외부 시스템이 인식하는 High 전압이 24V이므로, 5V를 24V로 변환할 수 있는 로직을 설계하였다. 이 회로의 입력에 5V를 인가하면 transistor가 active되어 24V 전압을 외부로 출력하는 구조를 가진다. 차축의 조향은 해당 차축과 연결된 cylinder의 위치에 의해 좌우된다. 이 cylinder의 좌/우 조향에 직접적인 역할을 하는 valve는 proportional valve이며, 이 valve의 제어 module로 bosch社의 0811405119 amplifier 제품을 사용하였다. 이 amplifier는 전압의 크기를 이용해 유압 실린더가 움직이는 속도를 조절하며, 전압의 극성으로 유압 실린더가 움직이는 방향을 결정한다. 이 amplifier의 입력은 -10V ~ 10V의 범위를 갖는다. 이 amplifier를 제어하기 위해서는 DA convertor가 필요하다. 설계한 AWS ECU의 MCU인 XC167CI-32는 DA convertor의 기능을 수행하지 못하므로, DAC7811, OPA2277U, 그리고 DCH010512D 제품을 이용해 DA convertor를 구현하였다. 구현한 DA convertor 모듈과 MCU와의 통신은 3-wired serial interface를 사용한다. 이러한 과정으로 구현된 proportional valve 제어부는 연산 처리부와 연동되어 PID 제어 방식으로 axle을 요구하는 각으로 조향한다.

위의 사항을 바탕으로 AWS ECU를 1차 시작품을 제작하였다. 제작된 시작품에 대하여 디버깅하고 기능을 추가 또는 수정하면서 총 4차에 걸쳐 그림 2.3.1-10~그림 2.3.1-13과 같이 AWS ECU를 제작하였다.

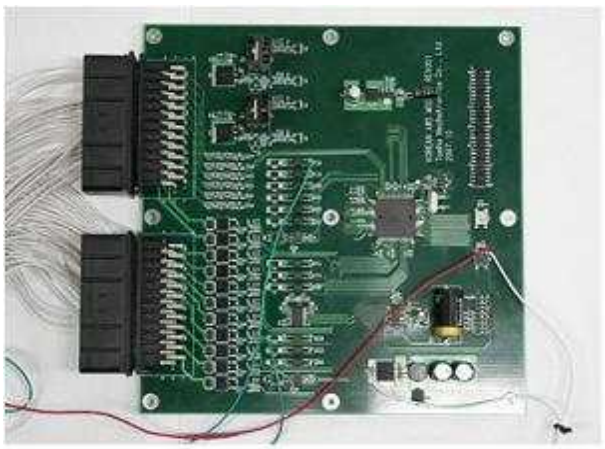


그림 2.3.1-10 AWS ECU 1차 시작품

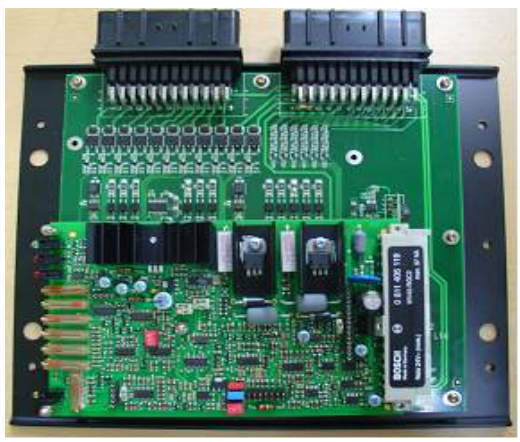


그림 2.3.1-11 AWS ECU 2차 시작품

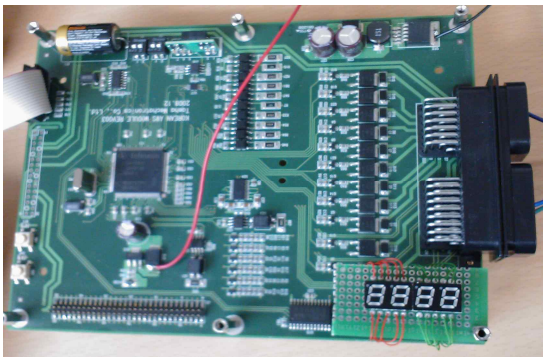


그림 2.3.1-12 AWS ECU 3차 시작품



그림 2.3.1-13 AWS ECU 4차 시작품

4) AWS ECU Embedded S/W 구현

한국형 AWS ECU의 기능은 외부로부터 입력을 받은 뒤, 각 입력에 대한 error 처리, 계산을 실시한 뒤에 각 부분으로 출력을 하는 과정을 되풀이하는 loop 구조이다. 또한 최소 20 ~ 50ms 단위로 처리를 하기 때문에 기타 ECU에 비해 시간에 대해 critical하지 않다. 이 조건에서는 Operating system을 올릴 필요가 없으므로, loop 형태의 software 구조를 갖는다. 다음의 그림 2.3.1-14는 한국형 AWS ECU의 flow chart이다.

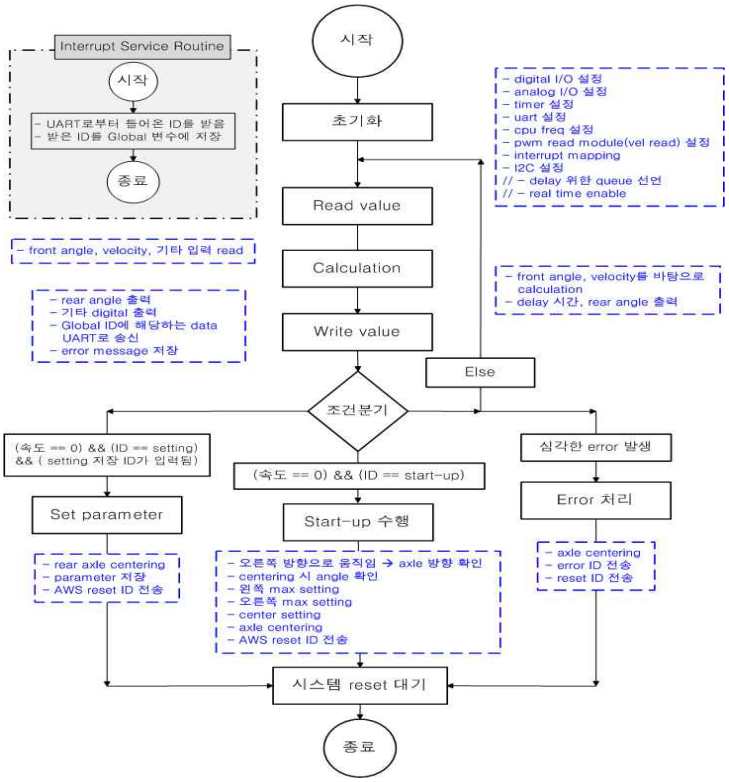



그림 2.3.1-14 한국형 AWS ECU's code flow chart

그림 2.3.1-14와 같이, 한국형 AWS ECU에 전원이 인가되면, 각 module에 대한 초기화 과정을 거친다. 이후, 각 input으로부터 값을 읽어와 변수에 저장한 뒤에 error 발생 여부, 종류를 파악한다. 그런 다음, 선택적으로 입력에 대한 output을 출력한 후, error의 유무, 종류에 따라 분기한다. 시스템을 구동하는 데 이상이 없는 상태인 경우 loop를 수행하면서 PID 제어를 통해 pilot angle에 따른 rear angle의 위치를 결정한다. 또한, UART를 통한 외부 PC와의 통신을 위해, UART port로 들어온 ID를 Interrupt Service Routine 내에서 받아 저장한 다음, ISR을 빠져나온 뒤에 처리한다. 한국형 AWS ECU는 error mode에 따라 처리하는 방법을 달리 한다. Error가 발생하지 않거나, priority 0 error, 그리고 rear angle이 center 위치를 거치지 않은 priority 1 error의 경우, front angle과 velocity를 바탕으로 setpoint를 결정해 계산하지만, rear angle이 center 위치를 거친 priority 1의 경우와 priority 2의 경우는 rear angle이 center 위치에 있게 된다. priority 3의 경우는 입력값에 대해 어떤 처리도 하지 않고 조건 분기로 넘어간다. 이런 과정을 반복하며 유압 시스템을 제어한다.

우선적으로 속도와 앞 축의 입력 각도에 따라서 뒤축을 조향하는 기본 조향 기능에 중점을 두어 AWS ECU의 S/W 개발을 하였다. 그 이후에 실제 차량 적용에 필요한 기능을 추가하는 것에 중점을 두어 개발하였다. 실제 차량 적용에 필요한 기능으로 고장 발생 시에 고장으로 인한 피해를 최소화하는 것을 목적으로 하는 Fail/Safe 기능, 외부 프로그램을 통한 모니터링 기능, 외부 프로그램을 통한 ECU의 행동을 변화시키는 기능 등을 들 수 있다. 또한 진단 프로그램과 연동 부분이 추가되었다. 진단 프로그램은 외부에서 ECU와 연결하여 현재 ECU를 모니터링하고, ECU의 설정을 변경할 수 있는 프로그램이다. 진단 프로그램과 연동 부분은 진단 프로그램에서 사용할 프로토콜을 정하여, ECU 측에서 프로토콜에 맞추어 서비스 하는 것을 의미한다. 진단 프로그램에서 사용될 프로토콜을 정하고, ECU 측에 서비스 부분을 넣어서 진단 프로그램과 연동 부분을 구현하였다. 진단 프로그램과 연동 부분을 추가한 후, 진단 프로그램을 통하여 Parameter 설정 및 저장할 수 있는 기능이 추가되었다. Parameter 설정은 ECU의 행동을 바꾸기 위해서 ECU의 Logic에서 사용되는 Parameter 값을 사용자가 바꾸는 것이다. 바꾼 Parameter 값은 현재 ECU가 꺼지면 사라지게 된다. 바꾼 Parameter 값을 다음 ECU 동작 때에도 사용하기 위해서 ECU가 꺼진 후에도 값이 유지되는 외부 저장 메모리에 저장시켰다가, ECU 동작 시에 외부 저장 메모리로부터 가져올 수 있어야 한다. 사용자가 Parameter 값을 바꾸어 ECU의 행동을 바꿀 수 있도록 하는 Parameter 설정 기능을 추가하였고, 이 Parameter 값을 외부 저장 메모리에 저장시켰다가 가져오는 기능도 추가하였다.

기존 ECU의 Fail/Safe 기능 분석을 바탕으로 한국형 ECU에 Fail/Safe 기능을 추가하였다. 기존 ECU의 Fail/Safe 기능은 FMEA를 통하여 각 구성요소에 따라서 발생 가능한 고장을 분류하고, 분류한 고장에 대하여 고장 모드를 부여하여 고장 발생 시에 대처하고 있다. 개발된 AWS ECU는 기존 ECU를 대체할 목적으로 개발되었기 때문에 구성 요소가 거의 동일하고, 이에 따라서 기존 ECU의 고장 분류를 그대로 적용할 수 있다. 그리고 기존 ECU의 고장 분류에 따른 고장 모드와 대처법이 고장 발생 시의 위험 요소를 줄이는 데 합리적이기 때문에, 한국형 ECU에도 적용하기로 하였다. 이에 따라, 기존 ECU의 Fail/Safe 기능을 분석한 후, AWS ECU에 적용할 수 있는 부분을 분류하고 AWS ECU의 Fail/Safe 기능으로 추가하였다. Fail/Safe 기능을 추가한 후, 판단한 Error를 저장하고 진단 프로그램으로 확인할 수 있는 기능이 추가되었다. 사용자가 현재 고장 상황을 분석하기 위해서는 고장 상황에서 판단된 Error를 나중에도 확인할 수 있도록 저장될 수 있어야 하고, 저장된 Error를 확인할 수 있는 방법이 있어야 한다. 따라서 Error는 ECU가 꺼진 후에도 이 정보를 가져올 수 있도록 외부 저장 메모리에 저장되어야하고, 진단 프로그램을 통하여 저장된 Error를 확인할 수 있어야한다. 고장 상황에서 판단한 Error를 외부 저장 메모리에 저장하고 가져오는 기능과 진단 프로그램에서 확인할 수 있는 기능이 추가되었다.마지막으로 7-Segment를 통하여 현재 유압을 확인할 수 있는 기능이 추가되었다. 기존 ECU의 경우 ECU 전면의 지시 창을 통하여 발생한 에러, 유압, 목표 각도와 차이 등 여러 정보를 표시할 수 있도록 되어있다. 개발된 ECU에는 7-Segment를 통하여 현재 유압을 표시하는 기능을 추가하였다.

5) AWS ECU 테스트 플랫폼 이용 성능 검증

개발된 AWS ECU의 성능 검증은 AWS 테스트 플랫폼 상에서 이루어졌다. 동일한 입력 조건(2축의 경우, 전륜조향각, 차속)을 한국형 및 기존 AWS ECU에 부여하여동일한 성능(후륜 조향각)을 나타내는지 확인하였다. ECU 입력 부여 및 출력 값 확인을 위해 다음 그림과 같은 시뮬링크 모델을 구성하였다.

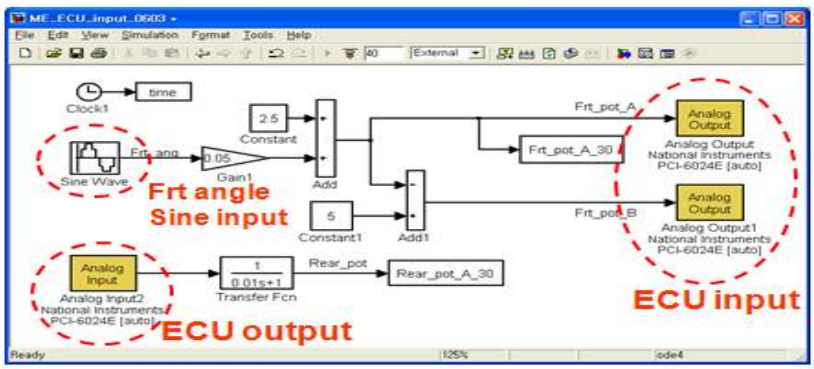



그림 2.3.1-31 AWS ECU 성능 검증을 위한 시뮬링크 모델

ECU Input을 동일한 조건에서 주어 시스템 Output을 확인하는 방법으로 검증과정을 수행하였다. 검증 시험은 2축과 3축의 ECU에 대해 모두 이루어 졌다. 한국형 AWS ECU는 크게 두 단계에 걸쳐 검증되었다. 첫 번째 단계는 Swing out 제어가 이뤄지지 않는 조건이고 두 번째 단계는 Swing out 제어가 이뤄지는 조건이다. 최대 전륜 조향각은 ±30°에서 Ramp 입력, Sine wave 입력의 두 조건에 대해 검증하였다.

가) Non Swing-out Control

그림 2.3.1-16은 Swing-out 제어를 하지 않을 때의 Axle 2 AWS ECU의 성능시험 결과를 보여주고 있다. Ramp 입력과 Sine wave 입력에 대해 기존 ECU와 개발된 ECU의 성능이 거의 유사함을 확인할 수 있다. 기존 ECU 대비 한국형 ECU의 오차는 작동각 13.55°일 때, 오차각 0.2°로 약 1.44%의 오차를 가짐을 확인할 수 있었다.

그림 2.3.1-17은 Swing-out 제어를 하지 않을 때의 Axle 3 AWS ECU의 성능시험 결과를 보여주고 있다. Ramp 입력과 Sine wave 입력에 대해 기존 ECU와 개발된 AWS ECU의 성능이 거의 유사함을 확인할 수 있다. 기존 ECU 대비 ECU 개발품의 오차는 작동각 14.36°일 때, 오차각 0.3°로 약 2.09%의 오차를 가짐을 확인할 수 있었다.

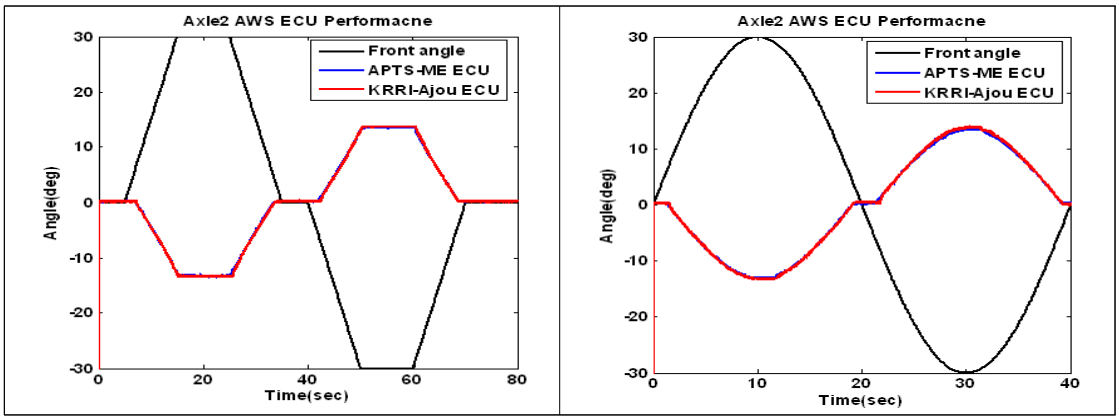



그림 2.3.1-16 Axle2 AWS ECU 성능 시험 결과

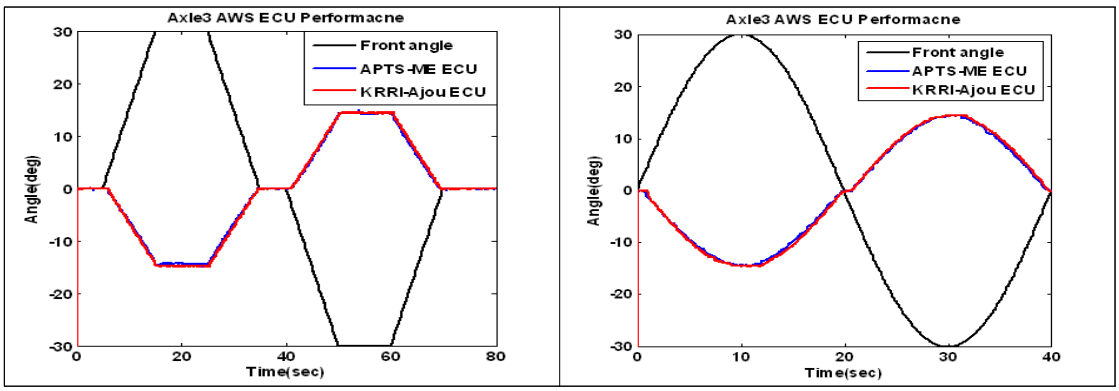



그림 2.3.1-17 Axle3 AWS ECU 성능 시험 결과

나) Swing-out Control

Swing-out은 AWS를 장착한 차량의 선회 시 후미에서 발생하는 이탈을 의미하는 것으로 이러한 차량 후미의 이탈을 방지하기 위한 제어가 Swing-out 제어이다. 위 그림과 같은 기존 AWS ECU의 성능 시험 결과 Swing-out 제어시 Time delay를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 차량의 후미 이탈은 직선부에서 곡선부로 진입하는 시점에서 AWS 시스템이 작동될 때 나타나는 것이므로, 그 시점에서만 Time delay를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

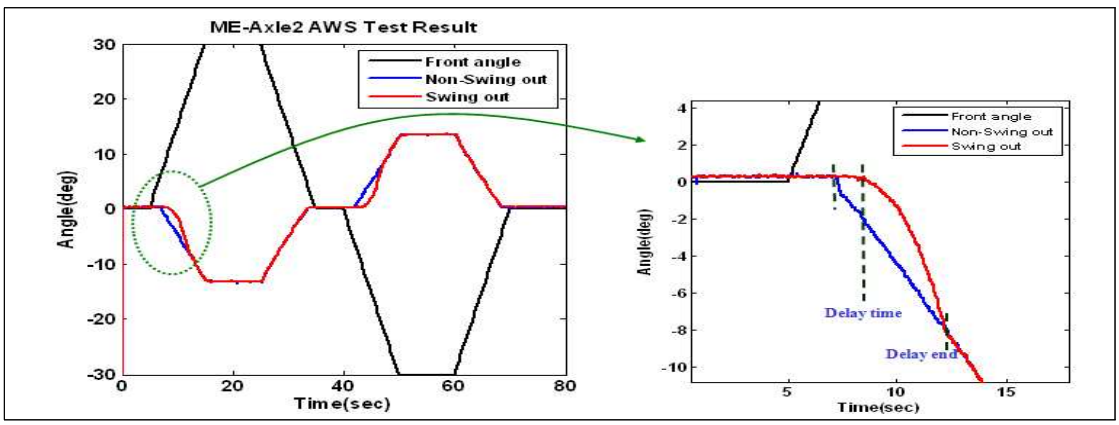



그림 2.3.1-18 Swing out control 정의

Time delay는 차량의 속도와 wheel base parameter에 따라 산출된다. 다음 그림은 기존 AWS ECU 테스트 결과를 보여주고 있다. 전륜 조향각 입력은 Step 입력을 부여하였고, 차속은 5km/h 일 때와 10km/h 일 때의 경우에 대해 시험하였다. Step 입력에 대해 Swing-out 제어가 없을 경우에는 Desired angle과 같은 응답을 보이지만, 5km/h, 10km/h 일 때는 다음 그림과 같다. Delay time은 Delay가 시작되는 Delay start time과 Delay end time으로 나눌 수 있고, 그것은 ECU parameter 1과 2에 따라 계산됨을 확인할 수 있다.

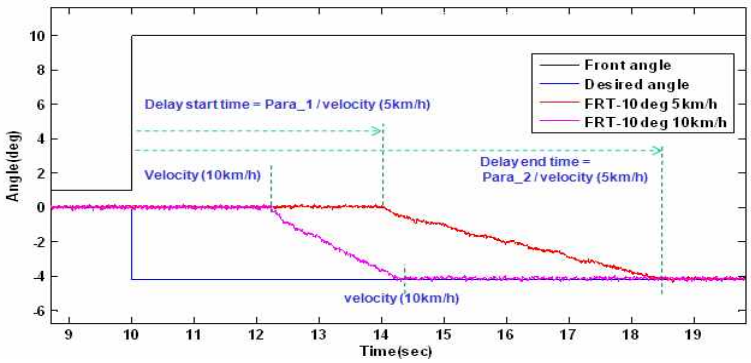



그림 2.3.1-19 기존 AWS ECU Swing-out 제어 시험 결과

다음 그림은 2축과 3축의 AWS ECU에 대해 Swing-out control이 적용될 때의 시험결과를 보여주고 있다.한국형 AWS ECU에 앞서 언급된 기존 AWS ECU에 적용되는 Swing-out control을 적용하여 시험하였다. 한국형 AWS ECU와 기존 AWS ECU가 거의 유사함을 확인할 수 있다.

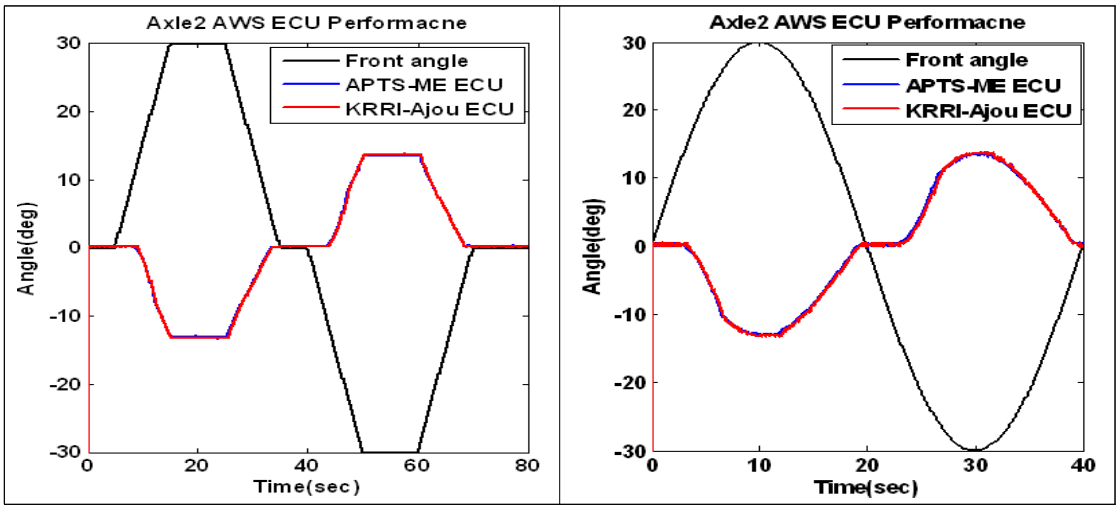



그림 2.3.1-20 Axle2 AWS ECU 성능 시험 결과 (Swing-out 적용)

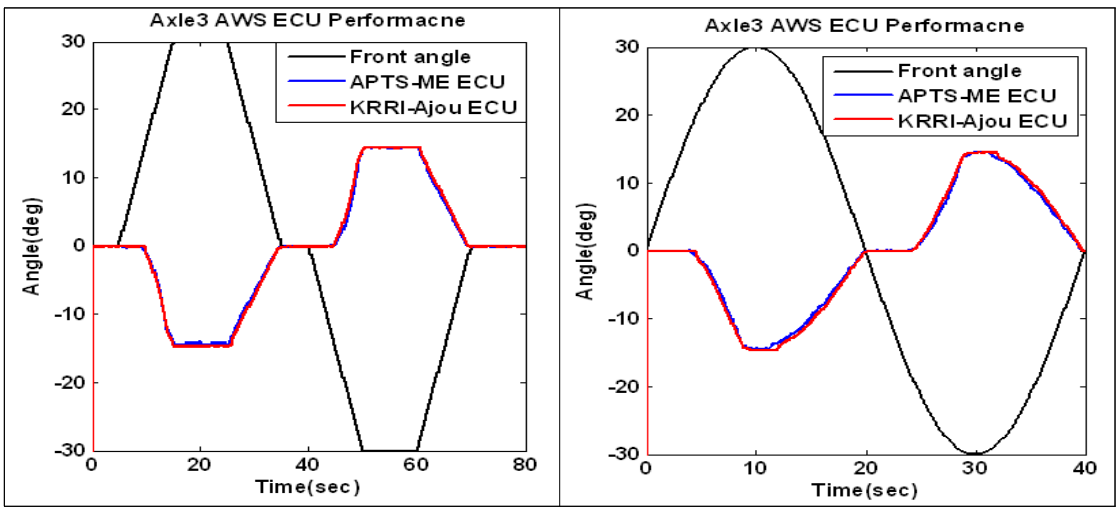



그림 2.3.1-21 Axle3 AWS ECU 성능 시험 결과 (Swing-out 적용)

5) AWS ECU 진단 프로그램 개발

진단 프로그램에서 사용되는 진단 프로토콜은 ECU S/W의 진단 프로그램과 연동 부분에서 앞서 설명되었다. 진단 프로그램은 진단 프로토콜에 맞추어 ECU와 통신할 수 있다. 진단 프로그램은 Python과 wxPython으로 개발되었다. 진단 프로그

램은 Serial 통신을 기반으로 하기 때문에 개발 언어에 크게 제약받지 않는다. Python의 경우 재 컴파일 없이 여러 Platform에서 사용 가능하고, 개발 속도가 빠르기 때문에 진단 프로그램을 개발하는데 사용되었다. wxPython은 wxWindow의 Python binding으로 cross platform GUI application을 개발하는데 용이하다.

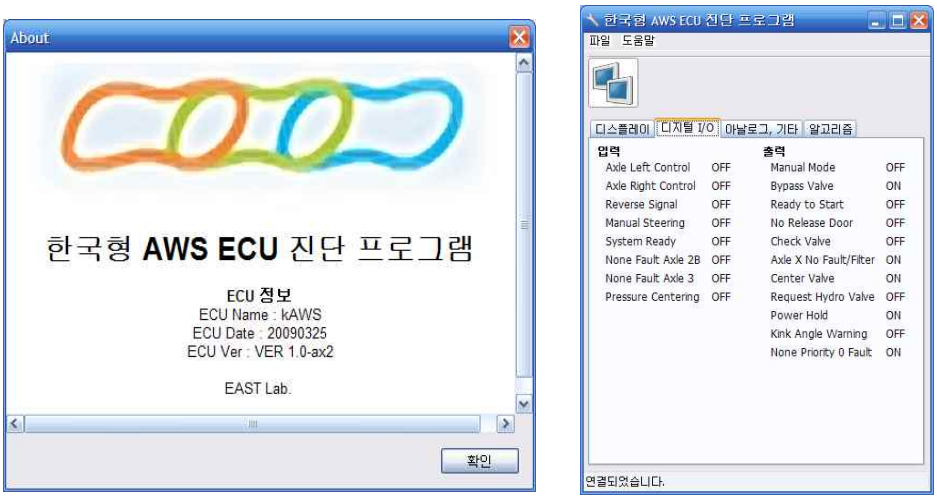



그림 2.3.1-21 AWS ECU 진단 프로그램

진단 프로그램은 Python과 wxPython을 기반으로 개발되었기 때문에 Windows 이외에 UNIX 계열 OS등 여러 환경에서 동작이 가능하다. 진단 프로그램 개발에 사용된 환경은 다음과 같다.

표 2.3.1-1 진단 프로그램 개발 환경

| |
|---|
| 1. Python 2.5.4<br>2. wxPython 2.8<br>3. pyserial 2.4 |

진단 프로그램은 크게 프로그램 실제 Logic 부분과 화면에 보여지는 Display 부분으로 나눌 수 있다. 실제 Logic 부에는 통신을 담당하는 protocol 부분과 이외 동작을 담당하는 model 부분이 있다. Protocol 부분은 실제 ECU와 통신하는 protocol에 관련한 구현이다. Protocol 패키지의 주요 클래스인 BaseDiagComm 클래스의 상속 다이어그램은 다음과 같다.

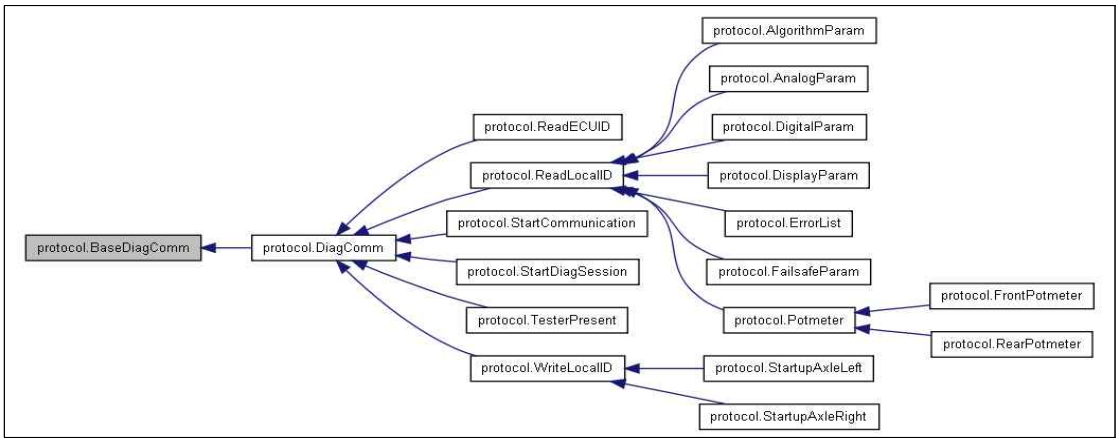



그림 2.3.1-22 BaseDiagComm 클래스 상속 다이어그램

BaseDiagComm 클래스에는 request message를 만드는 makeReqMsg 메서드, reponse를 parsing하는 parseResponse 메서드, request를 보내는 request 메서드, 받은 reponse를 검사하는 testResponse 메서드가 인터페이스로 존재하고, 이것을 상속 받은 각 클래스에서 실제 구현을 하게 된다. 상속 다이어그램에서 진단 프로토콜의 각 서비스를 요청하는 부분인 ReadECUID, ReadLocalID, StartCommunication, StartDiagSession, TesterPresent, WriteLocalID가 존재함을 볼 수 있고, 이것을 바탕으로 세부 클래스로 확장한 것을 알 수 있다.

Model 부분은 Display가 보낸 Message에 대한 Logic 처리를 하는 부분이다. 사용자는 Display 부분을 사용하며 event를 보내고 event 발생 시에 Display는 Model 부분이 Logic을 처리하도록 Message를 보낸다. Model 부분은 Logic을 처리 후 응답 Message를 다시 Display로 보낸다. Logic 부분과 Display 부분은 Publish/Subscribe 패턴을 사용하는 wx.lib.pubsub를 이용하여 통신을 하도록 구현되었다. Model 부분에서는 주로 protocol 패키지를 사용하여 ECU와 통신 후에 응답을 Display로 보내게 된다.

ECU와 통신 도중 연결 상태가 악화되어 통신이 원활이 되지 않는 상황이 발생할 수 있다. 진단 프로그램은 이런 상황을 감지하여서 ECU와 통신이 원활하지 못함을 나타낼 수 있어야 한다. 현재 진단 프로그램에서는 연속적으로 일정 횟수(maxRetryCount) 이상 정상적인 응답을 받지 못한 경우 재시도 실패(Retry failed)로 표시하여 연결이 끊어진 상태로 바뀌도록 하고 있다. 이런 재시도 관련 부분은 주기적으로 값을 읽어오도록 하는 부분에는 모두 적용되어 있고, 한번 값을 읽어오는 부분에는 일부 적용되어 있다. 이와 관련된 부분은 protocol 패키지의 RetryCounter 클래스, maxRetryCount 변수이다.

Startup 과정 중, Axle를 좌측 혹은 우측으로 이동 시킨 후, 그 때의 값을 측정하는 과정이 있다. 이 과정에서 기존 ME사의 ECU의 경우, Axle이 해당 방향으로 움

직였는지 판단하고, 반대 방향으로 움직였을 경우 inverse signal 에러를 발생하게 된다. Axle이 해당 방향으로 움직였는지 판단하기 위해서는 기준 값이 필요하다. 이상적인 경우, potentiometer 값이 2.5 V 인 경우가 정확히 가운데를 나타내므로, potentiometer 값이 2.5 V 보다 작은 경우를 왼쪽, 2.5 V보다 큰 경우를 오른쪽으로 판단하면 된다. 하지만 실제의 경우 기계적인 특성 차이가 있을 수 있으므로, potentiometer 값이 2.5 V 인 경우를 가운데로 기준 삼을 수 없다. 따라서 기준으로 삼을 가운데 값을 정하는 것이 필요하다. Startup 과정 중, 가운데 값을 설정하는 부분은 front axle의 경우 potentiometer를 돌려서 일정 범위로 맞추는 과정뿐이고, rear axle의 경우 potentiometer를 돌려서 일정 범위로 맞추는 과정과 0° 를 맞추는 과정의 두 가지 과정이 있다. 이 중에서 rear axle의 0°를 맞추는 과정은 startup 과정의 마지막 과정으로 가운데 기준 값으로 삼기에 적합하지 못하다. 이에 반해, potentiometer를 돌려서 일정 범위로 맞추는 과정은 startup 과정 처음에 수행하기 때문에, 가운데 기준 값으로 삼기에 적합하다. 따라서 startup 과정 중 potentiometer를 돌려서 일정 범위로 맞추는 과정에서 얻어진 값을 가운데 기준 값으로 사용하여서, 그 값보다 작으면 왼쪽, 그 값보다 크면 오른쪽으로 판단함에 따라 실제 기계적인 특성을 반영할 수 있다고 생각된다.

진단 프로그램에서 설정한 값을 ECU에 전송하기 전에 그 값이 적합한지 검사하는 과정이 필요하다. ECU에 전송하여 ECU 구동에 영향을 주는 값들은 알고리즘 Parameter 값들과 Startup 값이며, ECU 구동에 크게 영향을 주는 부분이라 값의 유효성 검사가 필요하다. 값이 유효한지 판단하기 위해서는 기준이 필요하며, 일차적인 기준으로 값의 물리적인 한계로 정하였고 일차적 기준의 항목은 다음과 같다.

표 2.3.1-1 설정 값에 대한 일차적 기준

| |
|---|
| 1. Startup 값은 0.2 ~ 4.8 V 값을 가진다. |
| 2. Startup 각 항목의 track A, track B 합은 5 V 정도이다. |
| 3. Startup 항목의 track A 값을 기준으로 left < center < right 의 관계이다. |
| 4. Startup 항목의 track B 값을 기준으로 left > center > right 의 관계이다. |
| 5. 알고리즘 Parameter Delay에서 Start time < End time 의 관계이다. |
| 6. 알고리즘 Parameter에서 Hydro request valve upper > Hydro request valve bottom 의 관계이다. |
| 7. 알고리즘 Parameter에서 Hydro request valve upper < 4.1 V 의 관계이다. |
| 8. 알고리즘 Parameter에서 Hydro request valve bottom > 0.0 V 의 관계이다. |

Startup 값은 모두 Potentiometer의 값으로 0.2 ~ 4.8 V의 값을 가져야 하고, 이상적인 경우 track A와 track B의 합이 5 V 이다. Hydro request valve upper 값은 약 4.1 V가 한계이며, 이 이상일 경우 안전장치로 인하여 압력이 더 이상 증가되지 못하므로 유효하지 않다.

## 다. AWS ECU 실차시험 평가

기존 AWS ECU 장착 실차 시험, 시험 결과 분석을 통하여 얻어낸 사항을 바탕을 적용하여 개발된 AWS ECU 실차 적용 시험 평가가 수행되었다. AWS ECU 시험 평가 또한 수차례의 시험을 걸치면서 발견된 문제점을 수정, 보완하고 차후 시험 평가 시에 수정된 사항들에 대하여 검증하고 다시 문제점을 발견하는 반복적인 과정으로 수행되었다. 총 5차에 걸쳐서 단계적으로 실차시험을 수행하였으며, AWS ECU에 대한 실차 시험이 수행되고 결과가 분석되는 과정 동안 AWS ECU S/W 수정 및 진단 프로그램 수정 등도 동시에 진행되었다.

1차 시험에서는 ECU에서 요구하는 조향각에 맞게 후륜이 축이 조향되는지에 대한 시험을 하였으며, 요구조향각과 실제 조향각이 거의 일치하여 편차 문제가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 2차 시험에서는 곡선 구간에서 조향조건에 대하여 시험 및 속도 제한에 따른 조향각 제어에 대한 시험을 수행하였다. 곡선에서 정지하여도 후륜은 이전 요구 조향각을 유지하는지에 대하여 확인하였다. 3차 시험에서 스윙아웃 억제 기능이 원활하게 작동하는지에 대하여 시험하였고 후륜 축의 지연 조건을 시간 기반 및 거리 기반에 대하여 측정하였다.4차 시험에서는 수동운전에서의 조향 상태를 확인하고 자동운전이 가능한지에 대한 시험을 실시하였다. 5차 시험에서는 AWS와 AGS와의 통신 상태 확인 후 자동 운전 시험을 시행하였다. 한국형 AWS ECU를 2, 3축에 장착하고 주행 시험을 수행한 결과, 주행 시험시 자동주행 모드로 진입할 수 있었으며, semi-auto, auto로 원활하게 주행할 수 있었다. 또한 정거장에서 정밀 정차가 가능한 것을 확인하였다. 그림 2.3.1-23은 수동 주행시 주행 데이터, 그림 2.3.1-24는 반자동 주행시 주행 데이터, 그림 2.3.1-25는 자동 주행시 주행 데이터에 대한 결과로서 3축에 장착된 AWS ECU에서 측정한 결과이다.

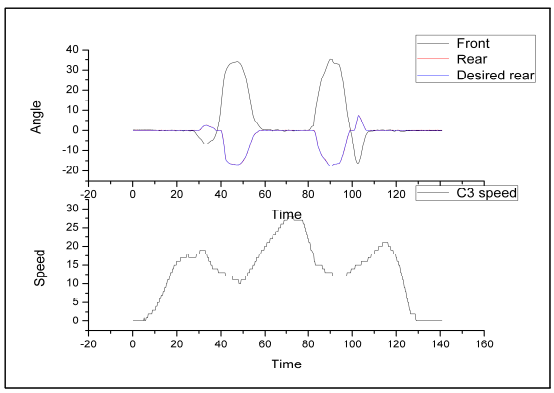



그림 2.3.1-23 2, 3축 장착 수동 주행 데이터 - 3축

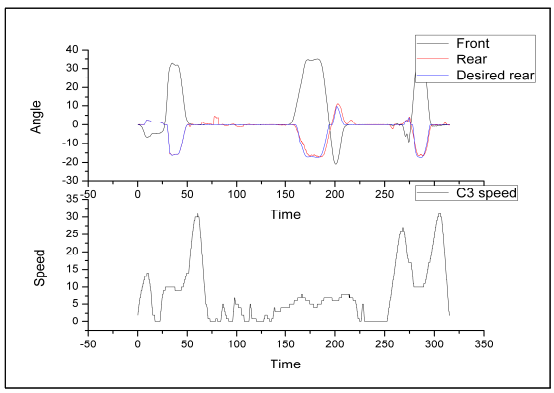



그림 2.3.1-24 2, 3축 장착 Semi-auto, Auto 주행 데이터 - 3축

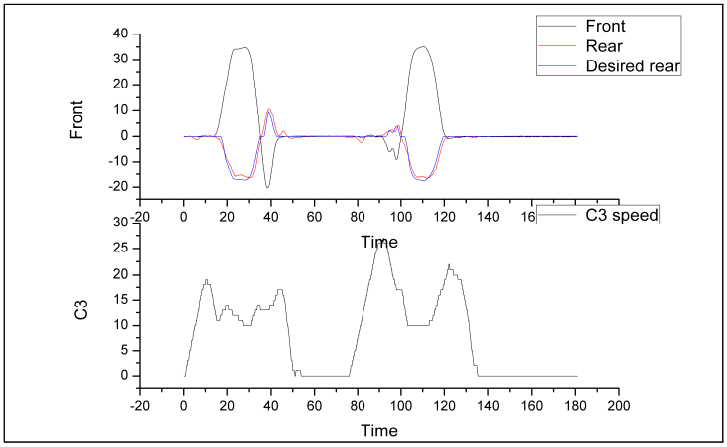



그림 2.3.1-25 2, 3축 장착 Auto 주행 데이터 - 3축

## 2. 독립현가장치

### 가. 독립현가식 서스펜션 정의

서스펜션 시스템을 기본형식에 의하여 분류하여 보면 우선 차축현가식과 독립현가식으로 크게 분류할 수 있다. 차축현가식(Rigid Axle : Solid Axle)은 좌우 양 바퀴를 하나의 차축으로 연결 고정시킨 형식인데 반하여 독립현가식(Independent)은 좌우 바퀴가 독립하여 분리 상하운동을 할 수 있도록 된 형식이다. 바이모달 트램은 더블위시본(Double Wishbone) 방식의 독립현가식 서스펜션 시스템으로 구성되어 있다.

(1) 독립현가식의 장점

- 스프링 하중량이 가벼워 승차감이 양호
- 무게중심이 낮아 안전성이 향상
- 옆 방향 진동에 강하고 타이어의 접지성 양호
- 얼라인먼트 자유도가 크고 튜닝 여지가 많다.
- 서스펜션 바 등을 이용한 방진방법도 있고 소음방지에도 유리

(2) 독립현가식의 단점

- 부품수가 많고 정밀도가 요구되어 고비용
- 얼라인먼트 변화에 따른 타이어 마모 가능성
- 큰 공간을 차지
- 각 특성에 따른 미묘한 튜닝이 필요
- 전후의 강성을 낮게 하기 어렵기 때문에 소음에 불리

## 나. 독립 현가식 서스펜션의 분류

1) 스윙 액슬식(Swing Axle)

좌우 각각의 차축이 중심부근에서 결합되어 독립적으로 상하 운동하며 이 차축위에 쇼바와 스프링을 설치하는 형식으로 차축이 상하로 움직임에 따른 수평방향의 각도 변화가 곧바로 타이어의 캠버 변화가 된다.

가) 장점

- 단순한 구조로 경량 저비용
- 차체의 공간을 낮고 넓게 할 수 있음
- 선회 시 횡가속도에 의한 캠버 변화로 언더스티어 현상 발생으로 안정적

나) 단점

- 선회 시 횡 가속도가 커지면 차체가 공중에 떠 캠버가 바깥방향으로 변하여 오버스티어 현상이 발생하여 조안성이 불량

2) 세미 트레일링암식

후륜전용 서스펜션으로 차축 전방에서 차체의 피봇(Pivot)과 차축을 A형의 암으로 결합하는 형식을 트레일링식이라 하는데 이중 암 회전축이 비스듬하게 설정된 것을 Semi-Trailing식이라 합니다. 후륜서스펜션으로 전 세계로 확산되어 한 시대를 풍미했으나 후륜 구동차의 감소와 더불어 더블위시본과 멀티링크식에게 그 자리를 내 주고 지금은 밀려난 형식이다.

가) 장점

- 회전축의 각도에 따라 스윙 액슬형에 가깝기도 하고 풀 트레일링 암 형이 되기도 한다.
- 회전축을 3차원적으로 튜닝 할 수가 있다.

나) 단점

- 타이어에 횡력이나 제동력이 작용될 때 연결점 부위에 모멘트가 발생하여 이것이 타이어의 슬립 앵글을 감소시켜 오버스티어 현상을 만든다.
- Differential Gear가 서스펜션바 위에 고정되기 때문에 그 진동이 서스펜션에 전달되므로 차단 필요성이 있음.
- 부품수가 많고 고비용

3) 맥퍼슨 타입 = 스트럿 타입

쇽업서버를 휠 위치를 결정하는 지주(Strut)로써 이용하는 형식으로서 1945년 미국의 Mcpherson이 Opel.kadett를 위해 개발하였다 하여 맥퍼슨 타입이라고도 불리고 있습니다. 현재 우리나라를 포함한 전 세계의 모든 차량의 전륜 서스펜션으로 사용되며 일부차량은 후륜 서스펜션으로도 이용된다.

가) 장점

- 공간을 적게 차지하여 실내 공간을 크게 할 수 있다.
- 스프링 하중량이 가벼워 승차감과 접지성이 양호
- 차체측의 Pivot점의 간격이 커 강도면에서 유리
- 얼라인먼트의 제조 오차가 적다.
- 구조가 간단하고 가볍고 저비용이다.

나) 단점

- 스트럿축과 하중축이 어긋나 스트럿에 휘어지는 모멘트가 발생
- 그 모멘트가 쇽업서버의 섭동부 마찰을 발생시켜 승차감 약화 초래

4) 더블위시본식(Double Wishbone)

새의 앞가슴 즉 A형의 뼈를 아래위로 2개 사용하는 타입으로 1937년 레이싱카인 W125에 처음 사용된 이래 전 세계적으로 전륜 서스펜션 형식으로 널리 보급 애용되다가 그 후 맥퍼슨 타입이 나오면서 많이 사용되고 있지 않다가 최근에 소비자들의 조종안정성과 승차감에 대한 관심고조로 서스펜션 튜닝 자유도가 높은 이 방식이 다시 각광을 받아 전륜뿐만 아니라 후륜에도 채용되기 시작하고 있다. 이 형식은 제동력이나 선회구심력은 모두 현가 암이 지지하고 쇽옵서버와 스프링은 수직방향의 하중만을 지지하는 구조로 되어 있는데 아래, 위 암의 길이가 같은 평행사변형과 아래 암의 길이가 더 긴 SLA형식이 있다. 평행사변형은 주행 중 윤거가 변하여 타이어 마모가 심하기 때문에 일반승용차에는 사용 적으나 경주용 자동차에는 조향안전성이 커서 널리 사용되고 있다. 최근에는 모양이 다양하여 형상으로 구분이 안되는 경우가 많다. 따라서 이 형식의 정의를 캠버 변화를 컨트롤하는 암을 가진 서스펜션이라 할 수 있다.

가) 장점

· 설계 자유도가 크다.
· 회전 시 모멘트가 없어 간섭현상이 적다.
· 서브 프레임 위에 링크를 레이아웃하기 때문에 서스펜션의 강성과 진동 단절을 양립하기 쉽다.

나) 단점

· 부품수가 많고 위치 결정의 정밀도가 요구
· 고비용 고중량에다가 스트럿에 비해 공간을 많이 차지함

5) 멀티링크식(MULTI-LINK식)

서스펜션에 의한 승차감과 조종안정성에 관한 높은 요구를 충족코자 등장한 형식으로, 여러 가지 타입을 복합한 형식이므로 때로는 외형상 더블위시본과는 명확한 구분이 가지 않는다. 1983년 후륜 서스펜션으로 처음 사용한 이 형식은 현재로서는 가장 발전한 서스펜션 형식이라고 평가받고 있으며 이 형식은 앞으로도 계속 고차원적으로 발전할 가능성이 많을 것으로 판단된다.

가) 장점

· 대 그라운드 캠버 변화를 최소화(항상 타이어를 직립시킴)
· 롤 스티어를 없앤다(토의 변화 억제, 타이어 마모 방지).
· 트래드 변화 방지(스트로크 시 타이어간 거리변화 억제)
· JACK UP(코너링 시 중심이 솟아오르는 현상) 현상 억제
· ANTI-DIVE, ANTI-SQART
· COMPLIANCE에 의해 언더스티어 현상 발생 한다.
· 전후 방향의 COMPLIANCE를 확보(소음, Harshness감소)

## 다. 바이모달 트램의 독립현가장치 사양

1) Axle 1, 2, 3축 Suspension 사양

ZF사의 RL 85E Axle을 기본으로 Upper Control Arm을 바이모달 트램에 맞게 개발하여 적용한 더블위시본(Double Wishbone) 방식이다.

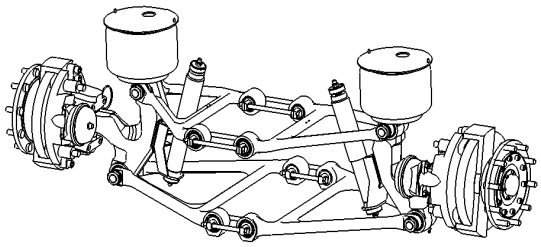


그림 2.3.2-1 1축 서스펜션

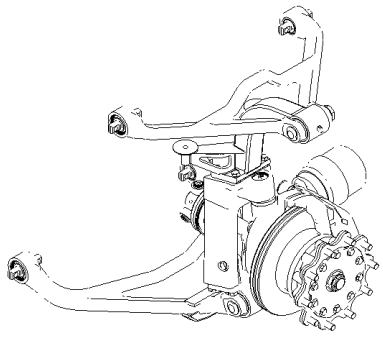


그림 2.3.2-2 2축, 3축 서스펜션

각 축별 사양은 다음 표 2.3.2-1, 표 2.3.2-2와 같다.

표 2.3.2-1 1축 서스펜션 사양

| No. | 사양 명 | 1축 사양 값 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 1 | Axle 폭 | 2,500 mm | |
| 2 | Axle Load(전륜) | 8.5 ton | |
| 3 | 윤 거 | 2,204mm | |
| 4 | Air Spring | Loading capacity max : 34 kN | 적용 수량 : 2개 |
| | | Max. Lifting pressure : 7.0 bar | |
| | | Diameter max. : 315 mm | |
| | | Required space : 340 mm | |
| | | Height max. : 430 mm | |
| | | Height min. : 176 mm | |
| | | Weight : 10.5 kg/1ea | |
| 5 | Shock absorber | Max. Static load(Extension) : 30 kN | 적용 수량 : 2개 |
| | | Length Max. : 641 mm | |
| | | Length Min. : 236 mm | |
| | | Stroke : 236 mm | |
| 6 | 타이어 | 275/70R22.5 | |

표 2.3.2-2 2, 3축 서스펜션 사양

| No. | 사양 명 | 사양 값 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 1 | Axle 폭 | 2,490 mm | |
| 2 | Axle Load(전륜) | 10 ton | |
| 3 | 윤 거 | 2,111mm | |
| 4 | Air Spring | Loading capacity max : 22 kN | 적용 수량 : 4개 |
| | | Max. Lifting pressure : 8.0 bar | |
| | | Diameter max. : 260 mm | |
| | | Required space : 285 mm | |
| | | Height max. : 460 mm | |
| | | Height min. : 172 mm | |
| | | Weight : 9.1 kg/1ea | |
| 5 | Shock absorber | Max. Static load(Extension) : 70 kN | 적용 수량 : 2개 |
| | | Length Max. : 682 mm | |
| | | Length Min. : 422 mm | |
| | | Stroke : 260 mm | |
| 6 | 타이어 | 385/65R22.5 | |

2) Air Spring 사양

1축과 2축, 3축 Ride Spring은 모두 Air Spring이며, Static Height는 각각 260m와 280mm이며, 사양과 Air Spring 압력에 따른 강성은 아래와 같다.

표 2.3.2-3 Air Spring Technical Data

| Technical Item | Data | |
|---|---|---|
| | Axle 1 | Axle 2/3 |
| Load Capacity Max(7bar) | 34KN | 22KN |
| Max. Lifting Pressure | 7bar | 8bar |
| Diameter max. | 315mm | 260mm |
| Height max. | 340mm | 285mm |
| Height bump.c | 430mm | 460mm |
| Height min | 176mm | 172mm |
| Recommended assembly Height | 260mm | 280mm |
| Ambient temperature | | 60 to +60 ℃ |
| Bursting Pressure at Hostel | | ≥21bar |
| Weight | 10.5kg | 9.1kg |
| Material of Piston | Steel/stain | steel |

표 2.3.2-4 Air Spring Stiffness Data

| Axle 1 | | | Axle 2 / 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Pressure (bar) | Force (kN) | Spring Rate | Pressure (bar) | Force (kN) | Spring Rate |
| 1 | 4.2 | 51.5N/mm | 1 | 1460 | 52N/mm |
| 3 | 14.0 | 106.0N/mm | 3 | 7406 | 59N/mm |
| 5 | 24.0 | 169.5N/mm | 5 | 12041 | 92N/mm |
| 7 | 34.0 | 233.0N/mm | 7 | 15638 | 126N/mm |

### 라. 독립현가장치 설계

1) Axle 1 Front Suspension Assemble System 모델링

아래의 그림은 저상굴절차량의 Axle 1 Front suspension assembly를 나타내고 있다.

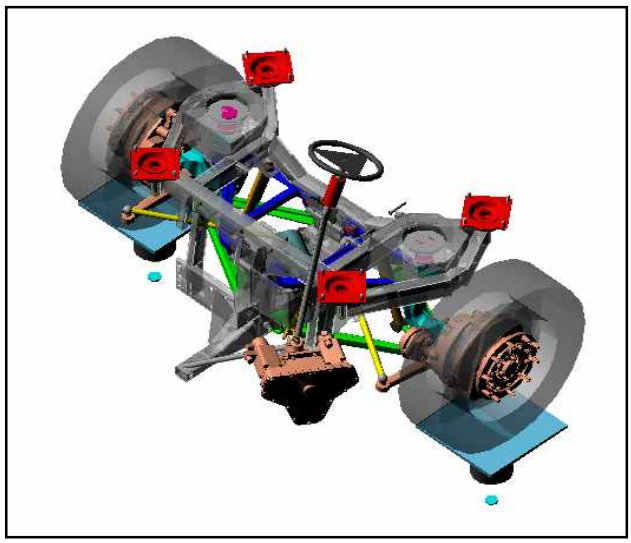


그림 2.3.2-3 Axle 1 Suspension model

2) Axle 2 & Axle 3 Suspension Assemble System

아래의 그림은 Axle 2와 Axle 3의 suspension assembly모델을 나타내고 있다.

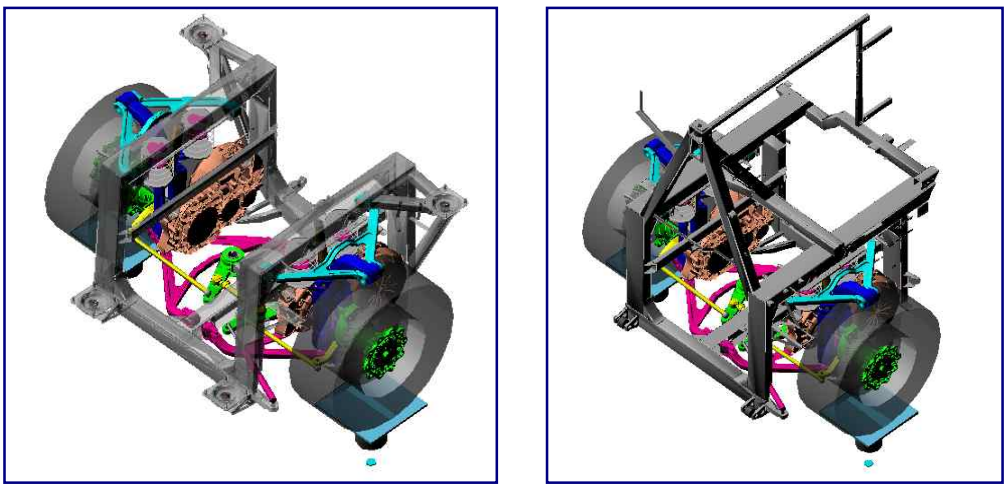


그림 2.3.2-4 Axle 2 / Axle 3 Suspension Assembly model

3) Suspension 대한 Kinematic & Compliance Analysis

바이모달 트램의 현가장치에 대한 K&C 해석은 7개의 해석 모드에 대하여 수행하였으며, 바이모달 트램의 기본 설계 모델이 된 유럽의 저상굴절차량의(이하 기존 모델이라 한다.) 해석 데이터와 비교 분석하였다.

① Vertical Mode
② Roll Mode
③ Lateral Mode
④ Lateral out of Phase mode
⑤ Lateral 20mm trail mode
⑥ Longitudinal Mode
⑦ Steering Motion

가) 기존 모델의 K&C해석 결과

아래 표는 기존 모델의 Axle 1, Axle 2, Axle 3의 Suspension assembly의 K&C 해석 결과를 정리해 놓은 것으로 측정값은 차량의 CVW 하중을 기준으로 추출한 것이다. 또한 Vertical motion은 wheel travel (CVW stroke를 기준으로 10 ~ 10mm구간의 측정값)기준, Roll motion은 Roll angle ( 1deg ~ 1deg구간),Compliance 해석은 Force(20000N ~ 20000N)을 기준으로 값을 측정하였다. (anti_dive, roll center height, Maximum steer angle등은 예외)

표 2.3.2-5 기존 모델의 Suspension Assembly K&C 해석결과

| Mode | Parameters | | Value | | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Axle1 | Axle2 | Axle3 | |
| Vertical (Upward) | Wheel Rate | | 101.936 | 103.976 | 101.016 | N/mm |
| | Design Load per One Wheel | | 17102.6 | 28144.3 | 37420.7 | N |
| | Toe Angle Change (Bump Steer) | | 0.659911 | 2.17027 | 2.17284 | deg/m |
| | Camber Angle Change | | -2.87405 | -2.58196 | -2.58749 | deg/m |
| | Caster Angle Change | | 0.267567 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | deg/m |
| | W.C. Locus | Wheel Center Lateral | 32.1161 | 12.6553 | 12.6513 | mm/m |
| | | Wheel Center Logitudinal | 41.1778 | -7.70769 | -7.71474 | mm/m |
| | Anti-dive Braking | | -53.7325 | -4.50258 | 5.68252 | % |
| | Wheelbase Increase | | 41.8629 | -4.77199 | -4.50781 | mm/m |
| | Half Tread Increase | | 8.12642 | -11.5018 | -11.5585 | mm/m |
| Roll (Foreward) | Roll Stiffness | | 4309.69 | 4260.99 | 4146.43 | N·m/deg |
| | Total Roll Stiffness | | 3889.29 | 3890.46 | 3794.73 | N·m/deg |
| | Toe Angle Change (Roll Steer) | | 0.0125629 | 0.0395327 | 0.0391423 | deg/deg |
| | Camber Angle (wrt Body) Change | | -0.0543267 | -0.0483014 | -0.0482819 | deg/deg |
| | Caster Angle Change (Roll Caster) | | 0.00470757 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | deg/deg |
| | Roll Center Height | | -10.5206 | 10.6719 | 10.083 | mm |
| Lateral (Inward) | In Phase | Toe Angle Change (Lateral Steer) | -0.000463276 | -0.0026012 | -0.00257536 | deg/kN |
| | | Camber Angle Change | 0.00205674 | 0.00073867 | 0.000731701 | deg/kN |
| | | Wheel Center Lateral Stiffness | 127133 | 90118.8 | 77818.4 | N/mm |
| | | Tire Patch Lateral Stiffness | 31328.7 | 55513.9 | 50750.5 | N/mm |
| | Out Of Phase | Toe Angle Change | -0.000438775 | -0.0025857 | -0.00256725 | deg/kN |
| | | Camber Angle Change | 0.00286909 | 0.00073524 | 0.00072598 | deg/kN |
| | | Wheel Center Lateral Stiffness | 359165 | 165042 | 165788 | N/mm |
| | | Tire Patch Lateral Stiffness | 37252.5 | 77252.7 | 77924.4 | N/mm |
| Lateral 20mm Trail (Inward) | Toe Angle Change(Lateral Steer) | | -0.000717278 | -0.0028023 | -0.00277226 | deg/kN |
| | Caster Angle Change | | 0.00206436 | 0.00078279 | 0.000775785 | deg/kN |
| | Wheel Center Longitudinal Stiffness | | 122924 | 86123.5 | 74834 | N/mm |
| | Tire Patch Longitudinal Stiffness | | 31173.4 | 52794.5 | 48474.2 | N/mm |
| Longitudinal (Rearward) | Braking | Toe Angle Change | -0.00954602 | -0.0007212 | -0.00073186 | deg/kN |
| | | Caster Angle Change | -0.0150476 | -0.0060511 | -0.00609072 | deg/kN |
| | | Wheel Center Longitudinal Stiffness | 6364.54 | 9484.59 | 9275.62 | N/mm |
| | | Tire Patch Longitudinal Stiffness | 6185.73 | 9102.74 | 8920.45 | N/mm |
| | Driving | Toe Angle Change | -0.0108126 | -0.0015005 | -0.00149791 | deg/kN |
| | | Caster Angle Change | -0.0166355 | -0.0060942 | -0.00612949 | deg/kN |
| | | Wheel Center Longitudinal Stiffness | 5475.36 | 8805.76 | 8635.74 | N/mm |
| | | Tire Patch Longitudinal Stiffness | 6405.81 | 9520.43 | 9321.19 | N/mm |

나) Wheel tread 축소 모델(바이모달 트램)의 K&C해석 결과

바이모달 트램의 기본 설계 모델이 된 유럽의 저상굴절차량의(이하 기존모델이라 한다.) Axle 1 wheel tread는 2500mm로 국내 법규를 만족하나 Axle 2와 Axle 3은 국내 법규 2,500mm 이내를 만족하지 못하므로 wheel tread를 2,540mm에서 2,490mm로 설계 변경이 필요하였다. 따라서 wheel tread를 50mm 감소하는 방안으로 바이모달 트램을 설계하였다.

차량의 Wheel tread 변경에 따른 현가장치의 K&C 성능의 변화를 해석하고 파악하기 위해 기본 설계 모델이 된 유럽의 저상굴절차량의 K&C 데이터와 비교 분석하였다.

앞에서 설명한 것과 같이 Axle 2와 Axle 3에 대한 Suspension hard point를 50mm 축소 모델을 구성하여 K&C 해석을 수행하였으며, 기존 모델과 K&C 특성 변화를 비교하였다. 이는 단순한 기존 모델과의 비교이다.

다음의 해석 결과에서 알 수 있듯이 기구학적인 특성에서 다소 Toe Angle Change와 Wheel Center Longitudinal Change에 있어서 변화량이 상대적으로 변한 것을 알 수 있다. 이는 차량의 Over Steer의 경향이 상향했음을 알 수 있다. 또한 Roll motion 측면에서 변화량은 미소한 변화를 보였으며, Compliance 측면에서는 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

(1) Vertical motion

Simulation 방법은 앞의 기존모델의 해석방법과 동일하다. 아래의 그래프는 기존 모델과 Wheel Tread 축소모델에(바이모달 트램) 대한 변화량을 나타낸 그래프이다. 해석 결과에서 보듯이 축 하중이 약간 증가하였으며,Bump steer값이 약 0.1 deg. 정도 Toe in 경향이 강해졌다. 전체적으로 ride 측면에서 약간 하향되었다고 할 수 있다.

(2) Roll motion(Opposite travel)

Roll motion에 대한 앞의 기존모델의 해석방법과 동일하다. 아래의 그래프는 기존 모델과 Wheel tread 축소 모델(바이모달 트램)에 대한 변화량을 나타낸 그래프이다. 해석 결과에서 알 수 있듯이 롤 강성이 약간 감소하였으며, Roll Steer가 약간 증가 하였다. 이는 선회에서 차량 거동이 하향되었음을 의미한다.

Vertical motion, Roll motion의 해설결과 비교 및 특성변화량은 다음 표 2.3.2-6, 표 2.3.2-7, 그림 2.3.2-5, 그림 2.3.2-6과 같다.

표 2.3.2-6 Axle 2와 Axle 3의 vertical motion 해석 결과 비교

| Mode | Parameters | | Value | | | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Axle 2 | | Axle 3 | | |
| | | | Origin | Modify | Origin | Modify | |
| Vertical (Upward) | Wheel Rate | | 103.976 | 104.983 | 101.016 | 102.249 | N/mm |
| | Design Load per One Wheel | | 28144.3 | 28165.5 | 37420.7 | 37441.9 | N |
| | Toe Angle Change (Bump Steer) | | 2.17027 | 2.26799 | 2.17284 | 2.27066 | deg/m |
| | Camber Angle Change | | -2.58196 | -2.58236 | -2.58749 | -2.58797 | deg/m |
| | Caster Angle Change | | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -4.06E-05 | deg/m |
| | W.C. Locus | Wheel Center Lateral | 12.6553 | 12.6531 | 12.6513 | 12.6484 | mm/m |
| | | Wheel Center Logitudinal | -7.70769 | -8.05481 | -7.71474 | -8.06208 | mm/m |
| | Anti-dive Braking | | -4.50258 | -6.03195 | 5.68252 | 5.93811 | % |
| | Wheelbase Increase | | -4.77199 | -4.70536 | -4.50781 | -4.45049 | mm/m |
| | Half Tread Increase | | -11.5018 | -11.5079 | -11.5585 | -11.5663 | mm/m |

표 2.3.2-7 Axle 2와 Axle 3의 Roll motion 해석 결과 비교

| Mode | Parameters | Value | | | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Axle2 | | Axle3 | | |
| | | Origin | Modify | Origin | Modify | |
| Roll (Foreward) | Roll Stiffness | 4260.99 | 4105.98 | 4146.43 | 4005.05 | N·m/deg |
| | Total Roll Stiffness | 3890.46 | 3745.65 | 3794.73 | 3662.15 | N·m/deg |
| | Toe Angle Change (Roll Steer) | 0.0395327 | 0.0403841 | 0.0391423 | 0.0399936 | deg/deg |
| | Camber Angle (wrt Body) Change | -0.0483014 | -0.0471812 | -0.0482819 | -0.0471613 | deg/deg |
| | Caster Angle Change (Roll Caster) | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | deg/deg |
| | Roll Center Height | 10.6719 | 10.4184 | 10.083 | 9.83983 | mm |

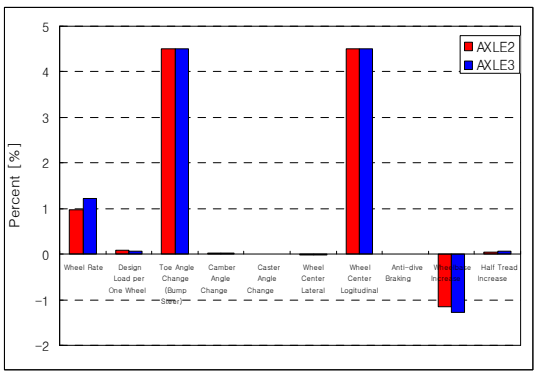



그림 2.3.2-5 Vertical motion 해석에 따른 특성 변화량

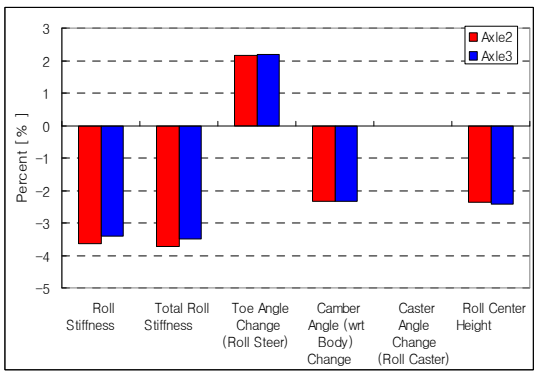



그림 2.3.2-6 Roll motion 해석에 따른 특성 변화량

(3) Lateral Static Load Case

Lateral과 lateral out of Phase에 대한 앞의 기존모델의 해석방법과 동일하다.아래의 그래프는 기존모델과 Wheel tread 축소 모델에(바이모달 트램) 대한 변화량을 나타낸 그래프이다. 전체적인 Compliance 측면에서 변화는 미미한 결과를 보여주고 있다.

표 2.3.2-8 Axle 2와 Axle 3의 Lateral mode 해석 결과 비교

| Mode | Parameters | | Value | | | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Axle2 | | Axle3 | | |
| | | | Origin | Modify | Origin | Modify | |
| Lateral (Inward) | In Phase | Toe Angle Change (Lateral Steer) | -0.00260119 | -0.0026015 | -0.0025754 | -0.0025757 | deg/kN |
| | | Camber Angle Change | 0.000738672 | 0.00073866 | 0.0007317 | 0.000731681 | deg/kN |
| | | Wheel Center Lateral Stiffness | 90118.8 | 90118.8 | 77818.4 | 77818.3 | N/mm |
| | | Tire Patch Lateral Stiffness | 55513.9 | 55514 | 50750.5 | 50745.5 | N/mm |
| | Out Of Phase | Toe Angle Change | -0.00258573 | -0.0025861 | -0.0025673 | -0.0025676 | deg/kN |
| | | Camber Angle Change | 0.000735242 | 0.00073524 | 0.00072598 | 0.000725948 | deg/kN |
| | | Wheel Center Lateral Stiffness | 165042 | 165043 | 165788 | 165791 | N/mm |
| | | Tire Patch Lateral Stiffness | 77252.7 | 77254.2 | 77924.4 | 77925.6 | N/mm |

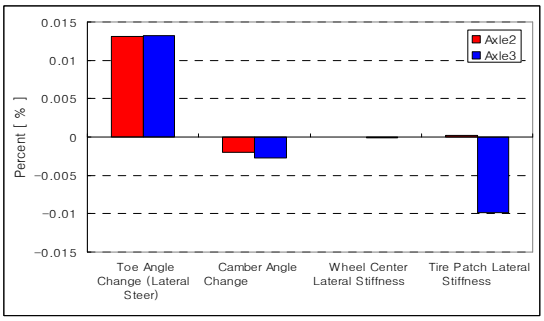



그림 2.3.2-7 Lateral Static Load Case 해석에 따른 특성변화량(Lateral in Phase)

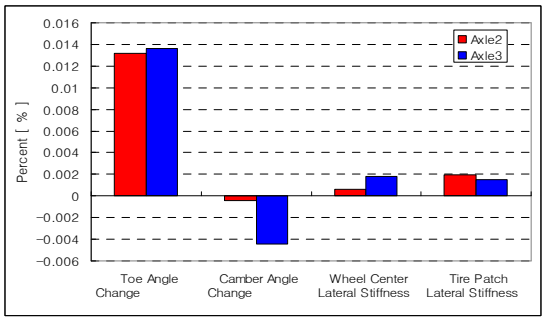



그림 2.3.2-8 Lateral Static Load Case 해석에 따른 특성변화량(Lateral out of Phase)

(4) Lateral 20mm trail

Lateral과 lateral out of Phase에 대한 앞의 기존모델의 해석방법과 동일하다. 아래의 그래프는 기존모델과 Wheel tread 축소 모델에(바이모달 트램) 대한 변화량을 나타낸 그래프이다.

표 2.3.2-9 Axle 2와 Axle 3의 Lateral 20mm trail 해석 결과 비교

| Mode | Parameters | Value | | | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Axle2 | | Axle3 | | |
| | | Origin | Modify | Origin | Modify | |
| Lateral 20mm Trail (Inward) | Toe Angle Change(Lateral Steer) | -0.0028023 | -0.0028028 | -0.0027723 | -0.00277273 | deg/kN |
| | Caster Angle Change | 0.000782789 | 0.00078279 | 0.00077579 | 0.000775761 | deg/kN |
| | Wheel Center Longitudinal Stiffness | 86123.5 | 86122.1 | 74834 | 74832.9 | N/mm |
| | Tire Patch Longitudinal Stiffness | 52794.5 | 52795.2 | 48474.2 | 48473.7 | N/mm |

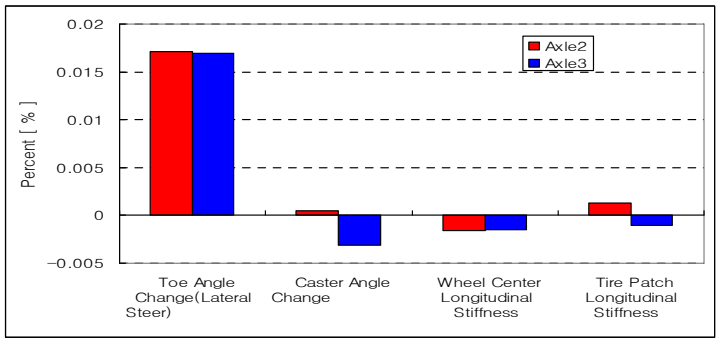



그림 2.3.2-9 Lateral 20mm trail 해석에 따른 특성 변화량

(5) Longitudinal motion

앞의 기존모델의 해석방법과 동일하다. 아래의 그래프는 기존모델과 Wheel tread 축소모델에(바이모달 트램) 대한 변화량을 나타낸 그래프이다. longitudinal stiffness 가 약간 증가하므로 해서 차량 전체의 ride 측면에서 약간 하향된 결과를 보인다.

표 2.3.2-10 Axle 2와 Axle 3의 longitudinal motion 해석결과 비교

| Mode | Parameters | | Value | | | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Axle2 | | Axle3 | | |
| | | | Origin | Modify | Origin | Modify | |
| Longitudinal (Rearward) | Braking | Toe Angle Change | -0.000721154 | -0.0007104 | -0.0007319 | -0.0007211 | deg/kN |
| | | Caster Angle Change | -0.00605106 | -0.0059572 | -0.0060907 | -0.0059962 | deg/kN |
| | | Wheel Center Longitudinal Stiffness | 9484.59 | 9624.87 | 9275.62 | 9410.84 | N/mm |
| | | Tire Patch Longitudinal Stiffness | 9102.74 | 9230.21 | 8920.45 | 9043.77 | N/mm |
| | Driving | Toe Angle Change | -0.00150045 | -0.0014897 | -0.0014979 | -0.0014871 | deg/kN |
| | | Caster Angle Change | -0.00609418 | -0.0059993 | -0.0061295 | -0.0060338 | deg/kN |
| | | Wheel Center Longitudinal Stiffness | 8805.76 | 8928.03 | 8635.74 | 8754.32 | N/mm |
| | | Tire Patch Longitudinal Stiffness | 9520.43 | 9661.62 | 9321.19 | 9457.59 | N/mm |

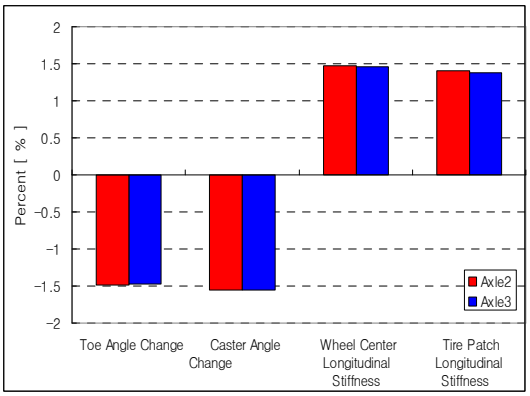



그림 2.3.2-10 Longitudinal motion 해석에 따른 특성 변화량(Braking)

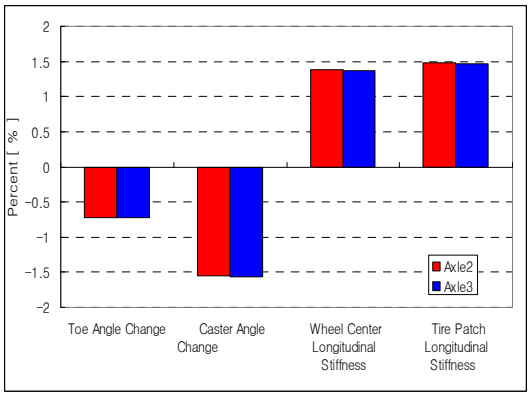



그림 2.3.2-11 Longitudinal motion 해석에 따른 특성 변화량(Driving)

### 마. 독립현가장치 제작

1) 구성 부품 제작

Suspension system 중에 Sub frame front wheel suspension 외 32개의 부품과 1, 2, 3축 타이어 및 2, 3축 휠을 국산화 제작하였으며, steering system 중에는 Pitman arm 외 15 개의 부품, 그리고 brake system 중 Lever support 외 17개 부품을 국산화 제작하였다.




그림 2.3.2-12 금형 제작

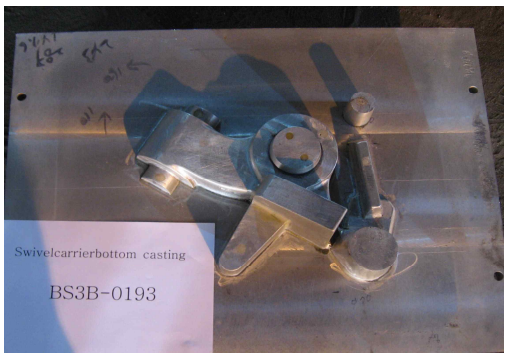



그림 2.3.2-13 금형 제작



그림 2.3.2-14 Supporting arm top



그림 2.3.2-15 Swivel carrier lower right



그림 2.3.2-16 1축 서브프레임 제작

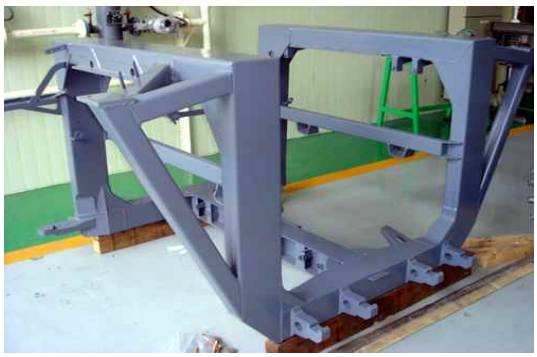


그림 2.3.2-17 2축 서브프레임 제작

2) 구동축 제작

CNG hybrid용 바이모달 트램 구동축의 Axle 1, 2, 3에 대한 상세설계를 완료하고, 구성 부품 제작 후 구동축 조립을 완료하였다.



그림 2.3.2-18 1축 완성품



그림 2.3.2-19 2축 완성품



그림 2.3.2-20 3축 완성품

## 바. 독립현가장치 시험 및 평가

1) 정하중 시험

바이모달 트램 구동축 (1, 2, 3축 각 1개, 총 3개)의 실물 시험체에 대한 정하중시험을 수행하고, 구조해석의 하중조건이 실제 차량에 적용되어 하중이 작용할 때 프레임 및 서스펜션 부품들의 강도가 유지됨을 확인하고, 구조해석 결과와 비교하여 성능을 평가하였다.

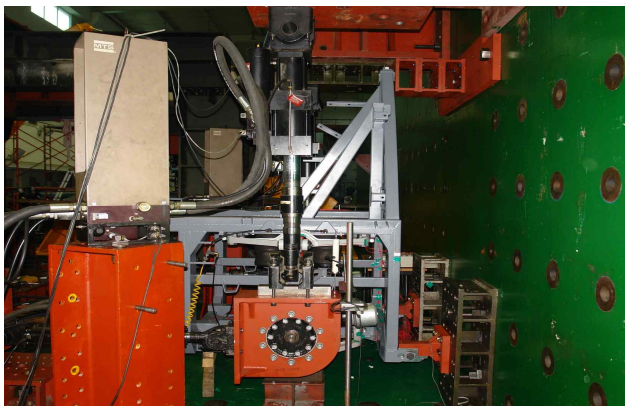


그림 2.3.2-21 3축 구동축의 전후하중 시험(우측)

2) 시험 결과

표 2.3.2-11 1축 및 2축 구동축에 대한 정하중 시험 결과 요약

| 시험체 및 시험항목 | | | 최대응력(MPa) | 게이지 번호 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| Axle 1 | 상하하중 시험 | | -333 | 15 | 압축 |
| | 전후하중 시험 | | -209 | 15 | 압축 |
| | 좌우하중 시험 | | 252 | 16 | 인장 |
| Axle 2 | 상하하중 시험 | | 444 | 1 | 인장 |
| | 전후하중 시험 | | 311 | 6 | 인장 |
| | 좌우하중 시험 | | 271 | 6 | 인장 |
| Axle 3 | 상하하중 시험 | 조향 잠금 | -344 | 17 | 압축 |
| | | 조향 풀림 | -339 | 17 | 압축 |
| | 전후하중 시험 | 조향 잠금 | 228 | 20 | 인장 |
| | | 조향 풀림 | 226 | 20 | 인장 |
| | 좌우하중 시험 | 조향 잠금 | 466 | 28 | 인장 |
| | | 조향 풀림 | 473 | 28 | 인장 |

3) 시험 결과 분석

정하중 시험을 수행한 결과, 시험의 결과 값이 구동축을 구성하고 있는 부재들의 최대응력보다 적은 값을 나타내었기 때문에, 구조해석의 하중조건이 실제 차량에 적용되어 하중이 작용할 때, 프레임 및 서스펜션의 부재들이 강도가 유지됨을 알 수 있었다.

또한. 구동축의 구조해석의 결과와 비교 하였을 때 전체적으로 최대응력 측면에서 유사한 경향을 보여 주었고, 형상이 복잡한 arm부에서도 비교적 양호한 결과를 얻었다. 특히 3축 구동축의 경우 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. 해석결과와 비교한 결과는 아래의 그림과 같다. 이때 해석 시에 arm 부분의 경우에는 대칭성을 고려하였으며, 해석 값 중에 0이 되는 부분은 실제 값이 0이 아니고 데이터를 취하지 않은 부분이다.

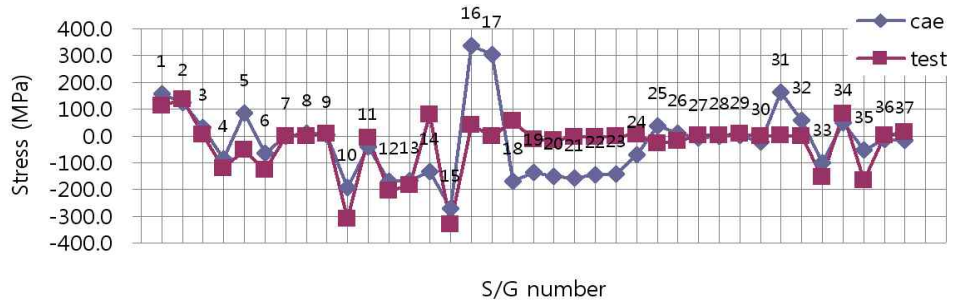



그림 2.3.2-22 1축 구동축의 상하하중에 대한 비교 결과 (최대응력 기준)

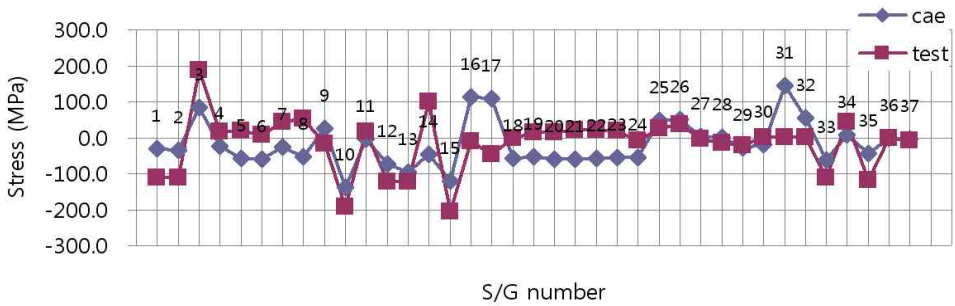



그림 2.3.2-23 1축 구동축의 전후하중에 대한 비교 결과 (최대응력 기준)

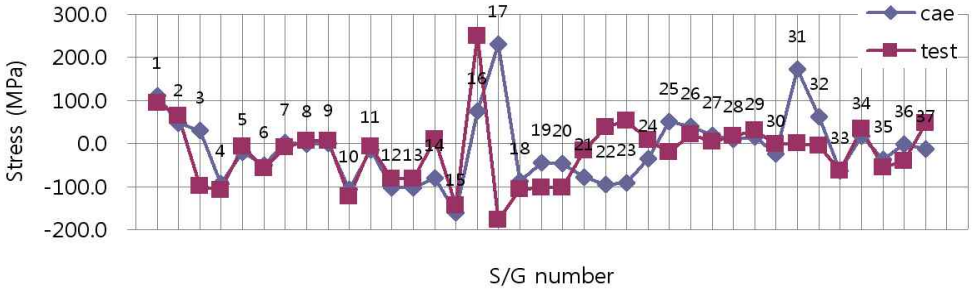



그림 2.3.2-24 1축 구동축의 좌우하중에 대한 비교 결과 (최대응력 기준)

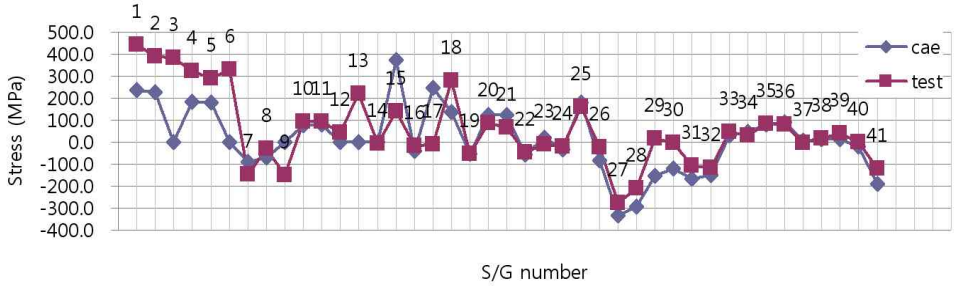



그림 2.3.2-25 2축 구동축의 상하하중에 대한 비교 결과 (최대응력 기준)

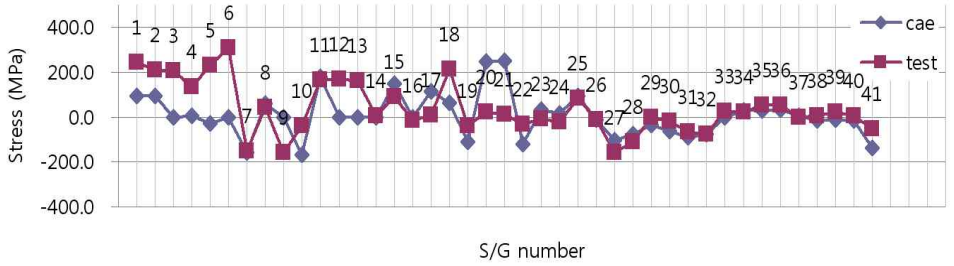



그림 2.3.2-26 2축 구동축의 전후하중에 대한 비교 결과 (최대응력 기준)

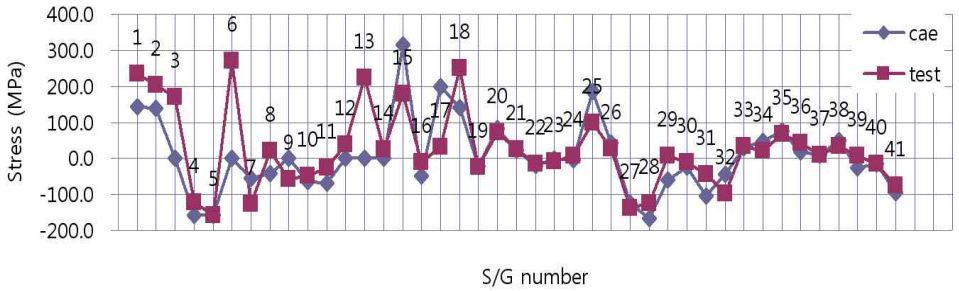



그림 2.3.2-27 2축 구동축의 좌우하중에 대한 비교 결과 (최대응력 기준)

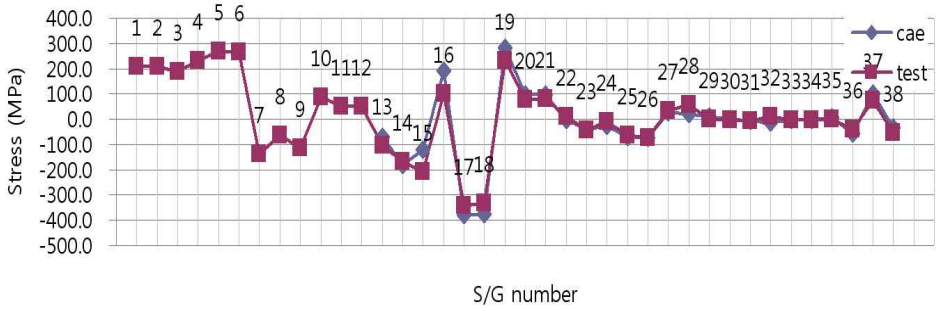



그림 2.3.2-28 3축 구동축의 상하하중에 대한 비교 결과 (최대응력 기준)

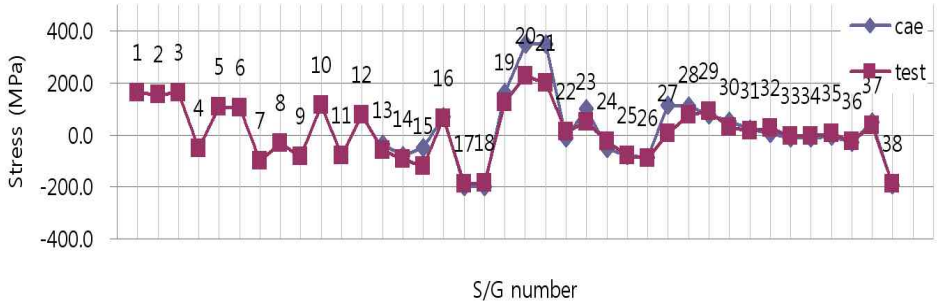



그림 2.3.2-29 3축 구동축의 전후하중에 대한 비교 결과 (최대응력 기준)

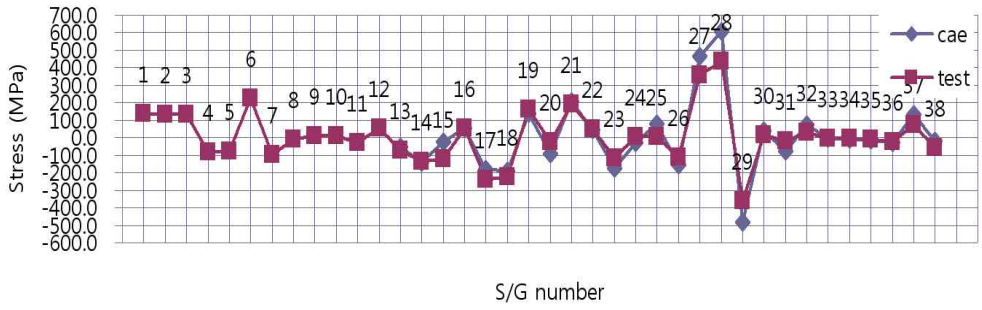



그림 2.3.2-30 3축 구동축의 좌우하중에 대한 비교 결과 (최대응력 기준)

## 3. 구동축 및 제동장치

### 가. 구동축 및 제동장치 사양

1) 구동축 사양

구동시스템은 차량의 운동성능을 좌우하는 조향 시스템, 현가 시스템, 제동시스템 및 차체를 지지하는 서브프레임을 모두 포함하는 영역이다. 이러한 구동시스템은 승객의 안전과 차량의 원활한 주행을 위하여 다각도로 연구되어야 하는 기술의 집약체라 할 수 있다.

바이모달 트램의 구동시스템은 다른 일반 저상 버스와 몇 가지 차이점을 가지고 있다. 첫째, 독립 현가 시스템을 적용하였다. 즉, 차축의 현가 시스템이 타이어가 독자적으로 움직이기 때문에 차체에 대한 영향이 적어 승차감 면에서 우수하다. 둘째, 일반 버스보다는 차량의 길이가 길기 때문에 회전반경의 축소 및 승강장에서의 정밀 정차를 위하여 AWS(All Wheel Steering) 시스템을 적용하였다. 셋째, 공압 브레이크와 더불어 차량의 높이 조절이 가능한 ECAS(Electronically Controlled Air Suspension) 시스템을 적용시켜 도로여건에 따른 차량의 높이 조절로 승차감을 향상시켰으며, kneeling 기능이 있어 승객의 승하차시 편리하도록 하였다.

표 2.3.3-1 구동축 주요 사양

| 구분 | 항목 | 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|
| Axle 1 | 타입 | Double wishbone | |
| | 캘리퍼 | SN7 | |
| | 브레이크 챔버 | 16inch | |
| | 브레이크 패드 | JURID539FF-20 | |
| | 타이어 | 275/70R22.5 | |
| | ABS 디스크 치수 | 100 teeth | |
| Axle 2, 3 | 타입 | Doublewishbone | |
| | 캘리퍼 | SB7170 II4002F | |
| | 브레이크 챔버 | 20/24inch | |
| | 브레이크 패드 | JURID539FF-20 | |
| | 타이어 | 385/65R22.5 | |
| | ABS 디스크 치수 | 100 teeth | |

2) 제동장치 사양

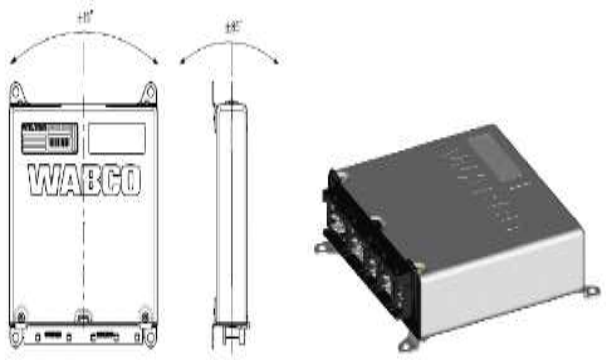
바이모달 트램의 제동 시스템은 공압을 동력원으로 사용한다. 제동 시스템은 6S/6M(6 Sensors/6 Modulator valves)으로 구성되며 공압 저장 용기는 air reservoir 2개와 air tank 5개로 구성된다.

1축의 브레이크는 브레이크 페달의 두 번째 서킷에 의해 제어되고, 2축의 브레이크는 브레이크 페달의 첫 번째 서킷에 의해 제어되며, 3축의 브레이크는 브레이크 페달의 첫 번째, 두 번째 모두에 의해 제어된다.

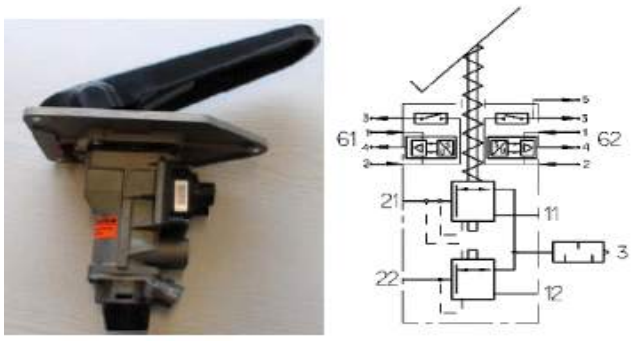
가) EBS 구성 부품 사양

EBS(Electronic Braking System)는 전기제어 브레이크 시스템을 말한다.

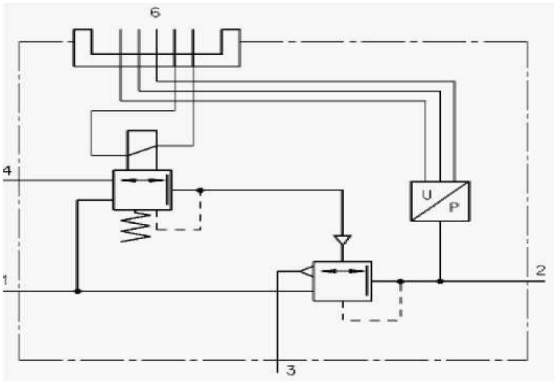
(1) Central Module 6S/6M

| | |
|---|---|
| - 전압 : 24 $^{+8}_{-4}$V DC<br>- 온도 범위 : -40℃~+80℃ |  <br>그림 2.3.3-1 <CENTRAL MODULE> |

(2) Brake Signal Transmitter

| | |
|---|---|
| - 작동압력 : 10 bar<br>- 허용압력 : 최대 13bar<br>- 전압범위 : 9~32 V DC<br>- 온도범위 : -40℃~+80℃ |  <br>그림 2.3.3-2 <BRAKE SIGNAL TANSMITTER> |

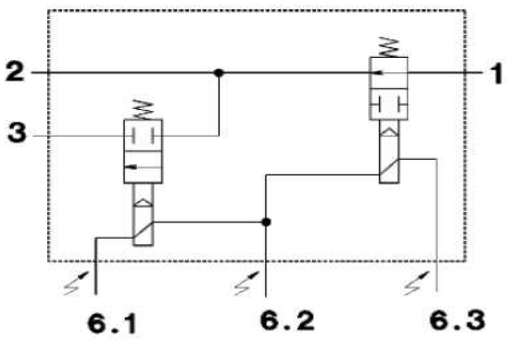
(3) Proportional Relay Valve

| | |
|---|---|
| - 작동압력(공급) : 5～10 bar<br>- 허용압력 : 최대 13 bar<br>- 출력압력 : 10 bar/ED =100%<br>- 온도범위 : -40˚C～+80˚C<br>- 전압 : 24 $^{+8}_{-6.5}$V DC |  <br>그림 2.3.3-3 <PROPORTIONAL RELAY VALVE 회로도> |

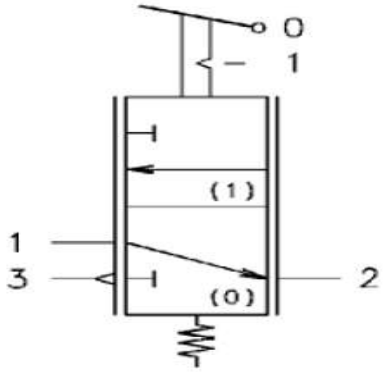
(4) AXLE Modulator

| | |
|---|---|
| - 작동압력(공급) : 12.5 ±0.3bar<br>- 허용압력 : 15 bar<br>- 온도범위 : -40˚C～+80˚C<br>- 전압 : 24 $^{+6}_{-9.5}$V DC |  <br>그림 2.3.3-4 <AXLE MODULATOR> |

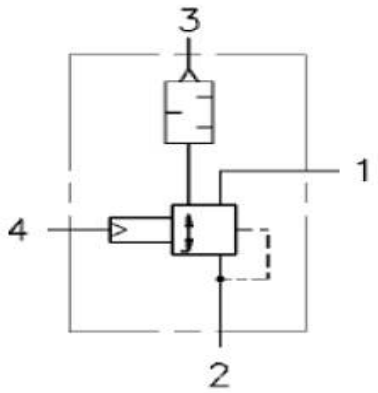
(5) ABS Modulator

| | |
|---|---|
| - 작동압력 : 11 bar<br>- 허용압력 : 최대 13 bar<br>- 온도범위 : -40˚C～+80˚C<br>- 기본전압 : 24 V DC<br>- 작동전압 : 23$_{\pm 0.3}$ ˚C<br>: 16 V～30 V<br>-40˚C～+80˚C<br>: 17.5 V ～28 V |  <br>그림 2.3.3-5 <ABS Modulator> |

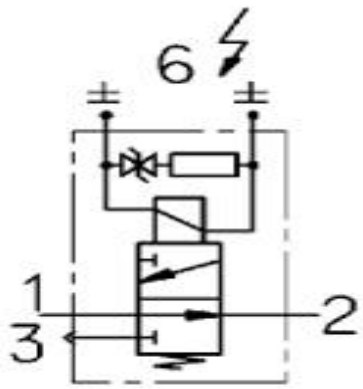
(6) Hand Brake Valve

| | |
|---|---|
| - Spring Brake Cylinder : P2 $7.4^{+0.7}_{-0}$ bar for P1 10 bar<br>- 배기 : P1 최대 10 bar<br>- 온도범위 :-40˚C～+80˚C |  <br>그림 2.3.3-6 <HAND BRAKE VALVE 회로도> |

(7) Relay Valve

| | |
|---|---|
| - 작동압력 : 최대 10 bar<br>- 공급압력 : 최대 13 bar<br>- 초기 응답압력 : 최대 0.2 bar<br>- 온도범위 : -40˚C～+80˚C |  <br>그림 2.3.3-7 <RELAY VALVE 회로도> |

(8) Solenoid Valve

| | |
|---|---|
| - 작동압력 21.6~32 V DC : 0~11 bar<br>17.5~32 V DC : 0~8 bar<br>- 허용압력 : 최대 13 bar<br>- 전압 : $24^{+8}_{-6.5}$ V DC<br>- 온도범위 : -40˚C～+80˚C |  <br>그림 2.3.3-8 <SOLENOID VALVE 회로도> |

ECAS(Electronically Controlled Air Suspension)란 차고센서로부터 ECAS ECU가 차량 높이의 변화를 감지하여, ECAS 솔레노이드밸브를 제어함으로써 에어스프링의 압력과 차량 높이를 조절하는 전자제어 에어서스펜션 시스템을 말한다. 주요 기능은 아래와 같다.

- 차량의 하중 변화에 따른 차고 조정이 자동으로 이루어져 항상 일정한 차고를 유지한다.
- 자가 진단 기능을 보유하고 있어 정비성이 용이하고 시스템의 안전성을 증대시킬 수 있다.
- 운행조건에 따라서 간단한 스위치 조작으로 차고 높이의 조정이 가능하다.

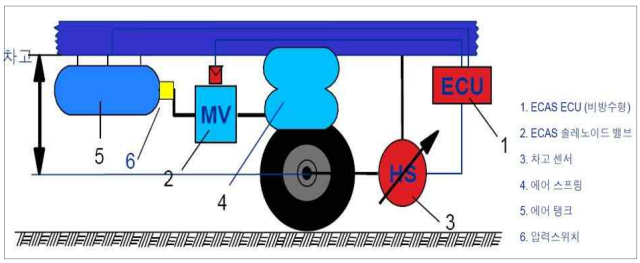



그림 2.3.3-9 ECAS 시스템 개략도

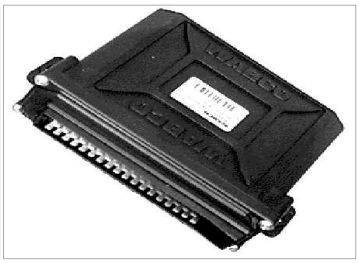


그림 2.3.3-10 ECU

나) ECAS 구성 부품 사양

(1) ECU

각 차고 센서의 정보를 분석하여 일정한 차고를 유지하도록 한다.

(2) SOLENOID VALVE

ECU 전기신호에 따라서 Air Spring의 압축공기를 공급 또는 차단하여 압력을 조절한다.

(3) 차고 센서

Frame과 Axle의 거리차를 측정하는데 사용한다.



그림 2.3.3-11 Solenoid valve

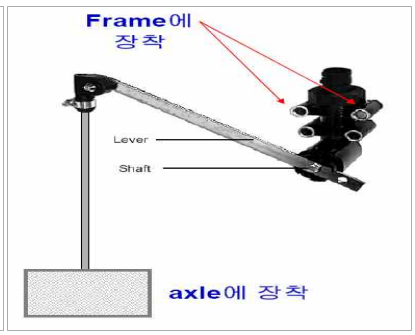



그림 2.3.3-12 차고 센서

## 나. 구동축 및 제동장치 설계

1) 구동축 설계

구동시스템은 조향 시스템, 현가 시스템, 제동시스템 및 차체를 지지하는 서브프레임으로 구성되어 있다. 독립 현가 시스템과 AWS 시스템, EBS/ECAS 시스템을 적용시켰으며 구조해석 및 단품시험을 거쳐 설계를 완료하였다. 아래의 도면은 Axle 1, 2, 3의 설계 완성의 외형 도면이다.

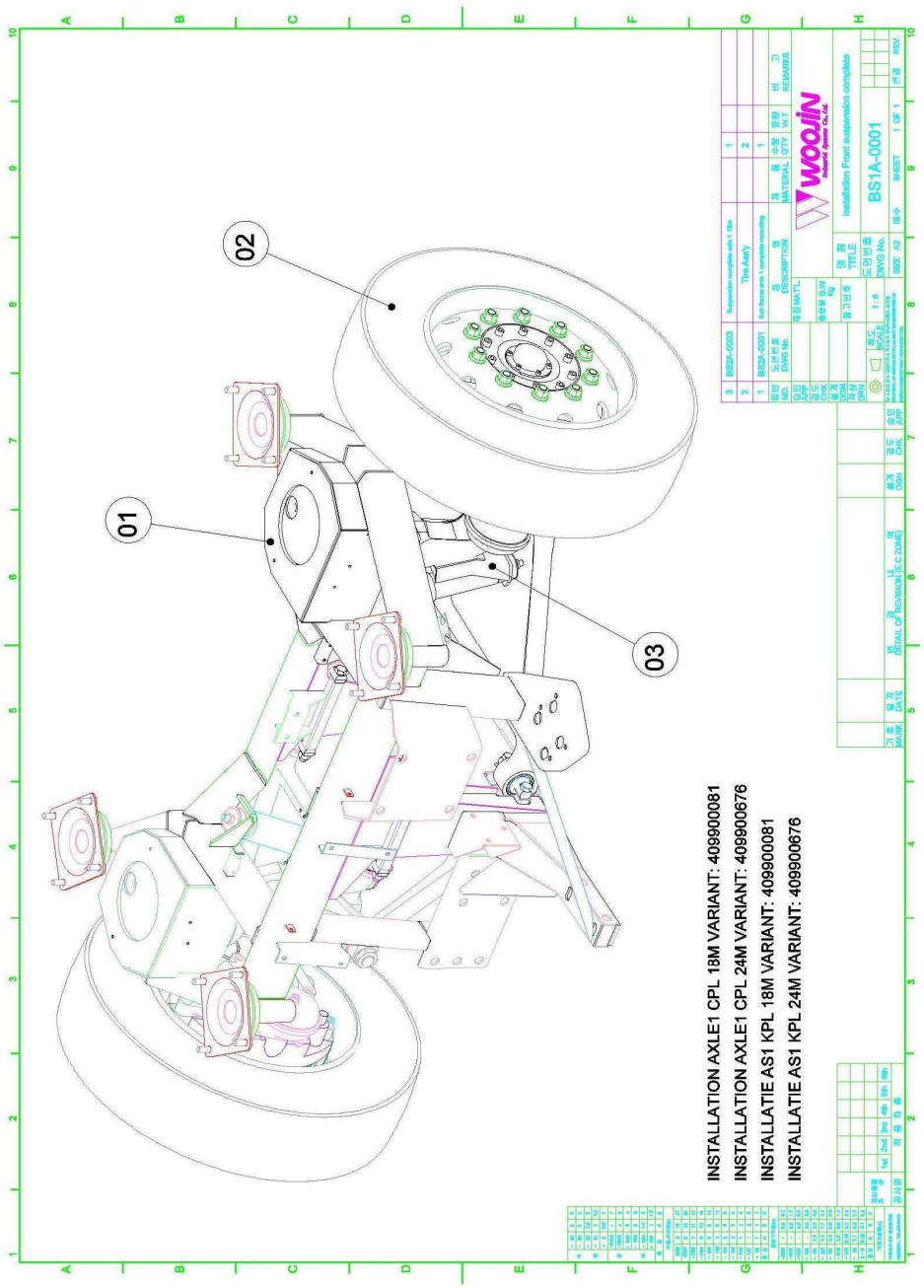



그림 2.3.3-13 Installation front suspension complete

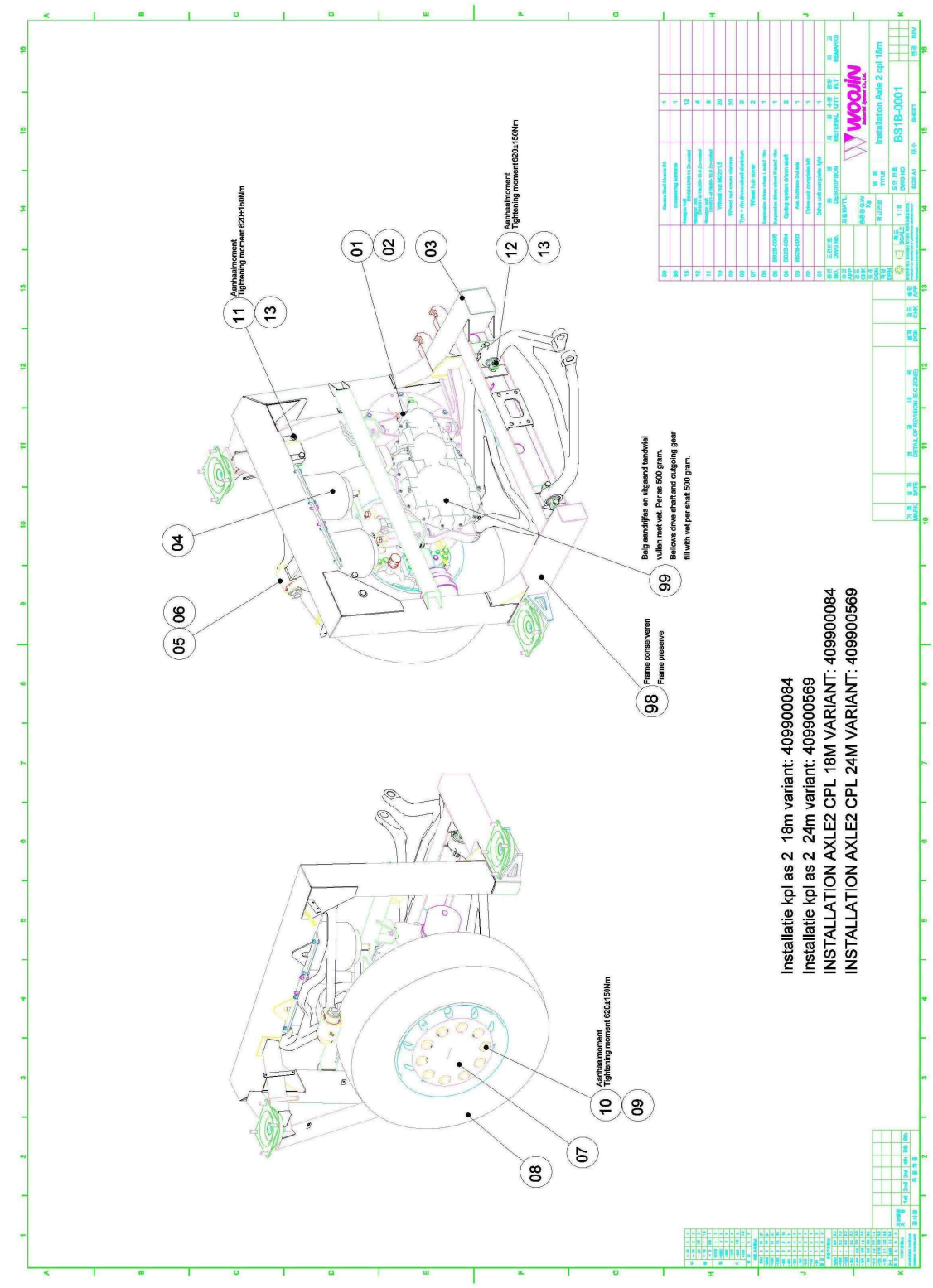



그림 2.3.3-14 Installation AXLE 2 complete 18m

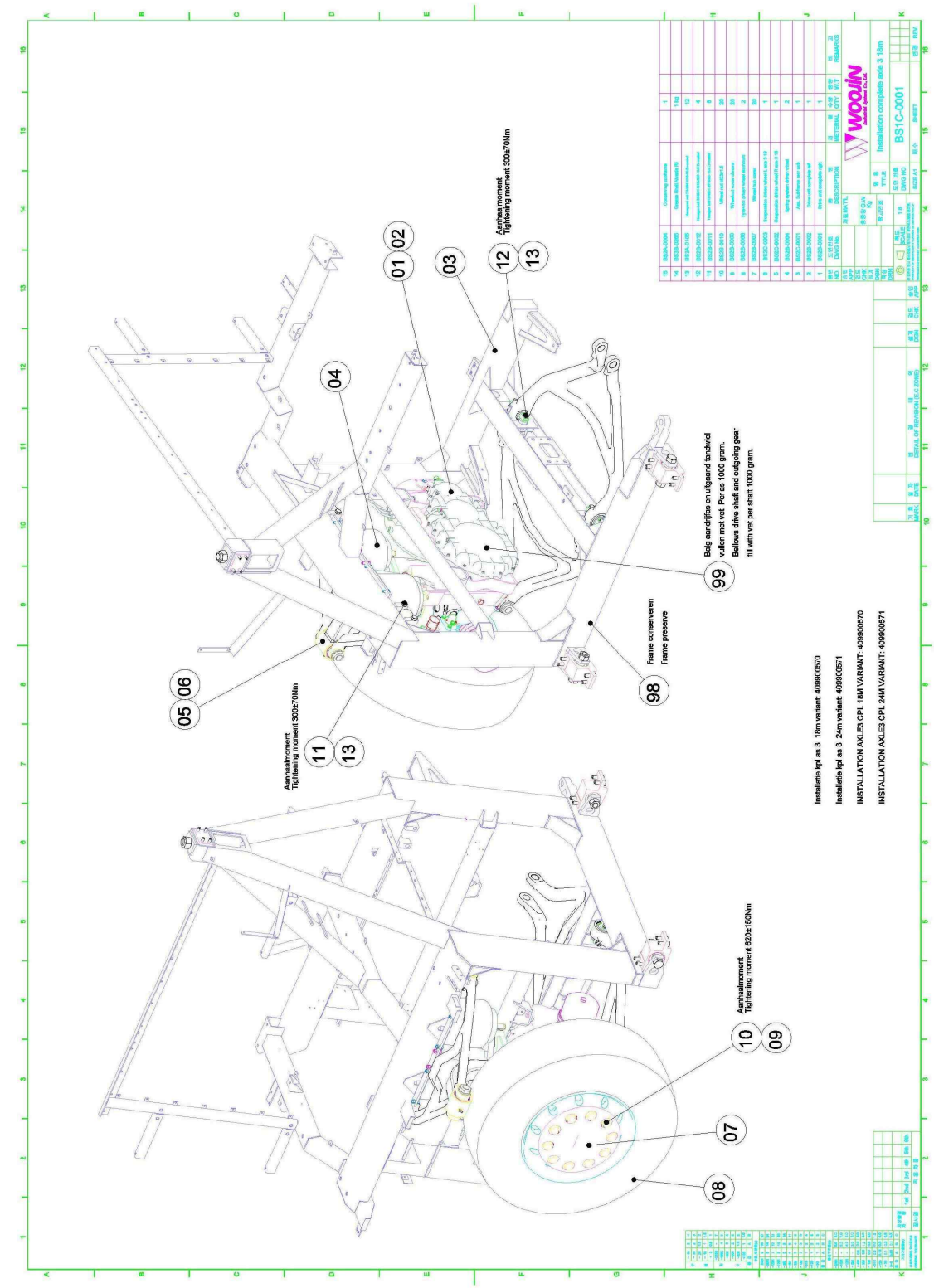



그림 2.3.3-15 Installation AXLE 3 complete 18m

2) 제동장치(EBS) 설계

가) EBS 시스템

기존 ABS 시스템은 공압 제어 방식이고, EBS 시스템은 전기 제어 방식이다. 따라서 EBS 시스템은 ABS 시스템에 비해 제동 반응 속도도 빠르고, 차량의 하중을 고려하여 제동 압력을 제어할 수 있는 장점이 있다. 따라서 EBS시스템을 바이모달 트램에 적용시키는 설계를 진행하였다.

아래의 그림은 시스템 구성도와 구성품의 기기 배치 및 고정 브라켓 설계를 완료한 자료이다.

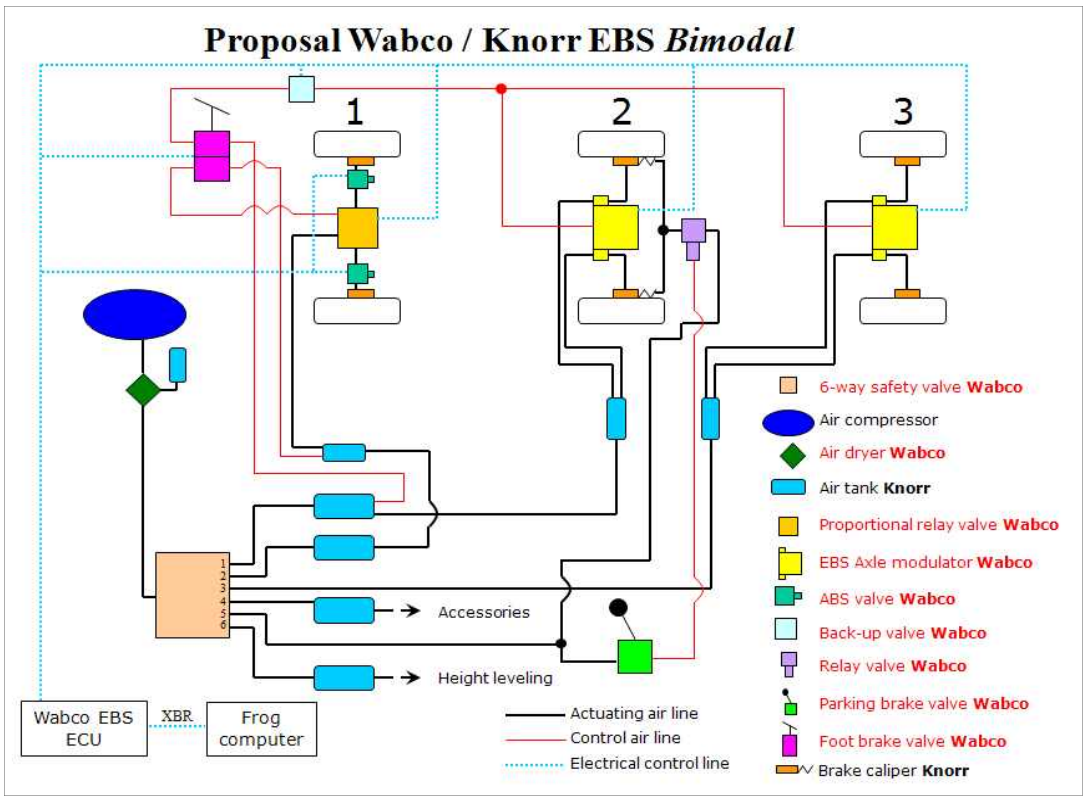



그림 2.3.3-16 EBS 시스템 구성도

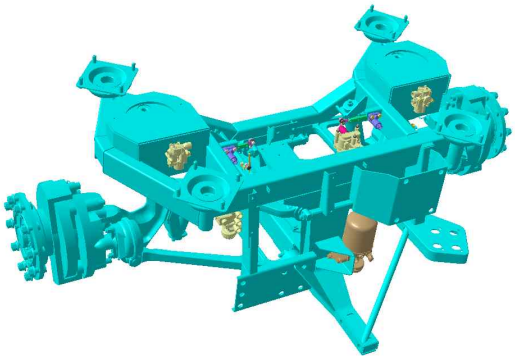


그림 2.3.3-17 EBS/ECAS 3D 구성(1축)

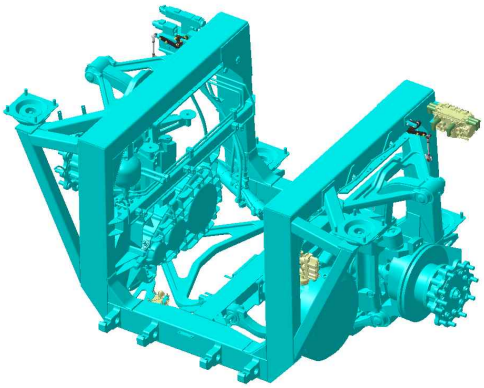


그림 2.3.3-18 EBS/ECAS 3D
구성(2축)

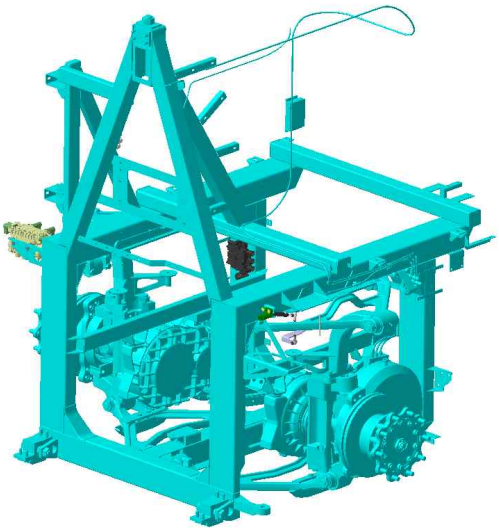


그림 2.3.3-19 EBS/ECAS 3D
구성(3축)

## 다. 구동축 및 제동장치 제작

완성된 설계 도면을 통해 구성 부품 제작, 구매 및 구동축 조립을 완료하였으며 이를 바탕으로 100여장의 작업 공정 표준서를 작성 완료하였다. 또한 정하중 시험을 실시해 구조해석 결과와 비교하여 성능을 검증하였다. 아래의 그림은 작업 표준서 예시와 구동축 조립 완성 사진이다.




그림 3.3.3-20 작업 표준서 예시



그림 2.3.3-21 Axle 1 완성품



그림 2.3.3-22 Axle 2 완성품



그림 2.3.3-23 Axle 3 완성품

## 라. 구동축 및 제동장치 시험 및 평가

1) 기능 시험

차량의 조립이 완성된 후에 구동시스템의 조향, 현가, 제동 시스템에 대한 기능시험을 실시하였다. 조향 부분에서는 차체 정렬과 바퀴정렬, 조향각 설정 등의 세팅 과정과 AWS와 조향각 등의 기능시험이 수행되었으며 현가, 제동 부분에서는 공기압 설정, 차량 높이 설정 등의 세팅 과정과 브레이크 압력체크, 브레이크 작동시험, 차량 높이 확인 등의 기능시험을 실시하였다. 시험선로와 일반도로에서 시작차량의 주행성능 시험을 지원하였고, 조향성능 시험 및 제동성능 시험을 실시하였다.

가) 조향 기어비 확인 시험

핸들 조향각의 변화에 따른 1축 주행륜 조향각의 기어비를 확인하여 비교하였다. 그 결과 핸들의 조향 각도 변화 시, ME 프로그램 상에서 확인되는 1축 주행륜의 조향 각도가 일정하게 변화하여 조향 기어비가 일정한 것을 확인하였다.

나) 직선 주행성능 확인 시험

최고 시험선로 속도인 80km/h까지 직선 주행시킨 결과, 속도가 45km/h 이상에서는 2축 및 3축이 조향되지 않도록 고정됨을 확인할 수 있었으며, 조향장치의 이상 진동 현상 등 특이사항이 발생되지 않았다.

다) 선회성능 시험

자동차 안전기준에 관한 규칙에서 선회성능시험 중에 최소회전반경 시험은 자동차의 바깥쪽 앞바퀴 자국의 중심선을 따라 측정하였을 때, 소형 자동차는 6m이며, 특수 자동차 및 연결 자동차의 경우에는 12m를 초과해서는 안 된다는 기준이 있다.

바이모달 트램의 최소회전반경을 측정한 결과, 차량이 좌회전 시 1축의 최소 회전반경이 12.11m 이고, 우회전 시 11.58m로 측정되었다. 좌회전 시의 최소회전반경이 기준 12m에서 0.11m 크게 나타났는데, 이는 1축 조향장치의 중앙에 위치한 Steering House의 중앙 조절 과정에서 약간 오른쪽으로 조립되어 나타나는 현상으로 파악이 되었으며, 재조정을 통해 기준 범위인 좌회전 및 우회전 시에 12m 이내로 맞추었다.

라) 조향복원성 확인 시험

조향장치의 정상상태에서 조향 휠을 최대조향각의 절반까지 조향시켜 최소 10km/h로 정속주행 중 조향핸들을 놓고 선회원의 변화를 확인한 결과, 저속인 10km/h 이하에서는 복원이 거의 되지 않았으며, 10km/h 이상에서는 약간 복원이 되다가 일정하게 유지되었다. 이는 일반차량의 경우 후륜이 고정되어 있으므로 전륜이 후륜의 직진 방향으로 복원을 하는데, 바이모달 트램의 경우 후륜도 조향이 되어 회전하기 때문에 조향핸들을 놓아도 전륜이 원래의 상태로 복원되지 않는다. 그러므로 바이모달 트램과 같은 전체 차륜이 조향이 되는 차량은 이 조향 복원성 기준을 적용해서는 안 될 것으로 판단된다.

마) 횡방향 안정성 시험

차선 변경 시험을 통한 횡방향 안정성 시험은 시험선로에서 차량의 최고속도로 주행을 하며 차선 변경을 시켜 횡가속도를 측정하여 차량의 안전성을 평가하는 시험이며, 곡선 선회 시 속도에 따른 횡방향 안정성 시험 역시 시험 선로에서 일정한 속도로 선회 시 차량의 안전성을 확인하는 시험이다.

일반도로에서 고속으로 주행 중에 차선을 변경하여 차량의 횡방향 안정성을 측정한 결과, 전두부 차량과 후미부 차량의 횡가속도는 비슷하게 나타났고, 횡가속도가 $2m/s^2$이하로 승차감에 영향을 주거나 차량의 안정성을 저하하지 않는 것으로 확인하였다.

2) 제동시험

제동페달의 작동에 따른 각 축의 제동실린더의 압력을 확인하고자 하였다.

가) 시험방법 및 측정 장비

EBS 제동장치는 제동페달의 작동에 따라 Proportional relay valve, Axle Modulator 1 및 Axle Modulator 2에서 각 축의 제동실린더를 제어하여 압력을 공급하도록 되어있다. 좌측 및 우측 제동통 및 배관은 대칭으로 설치되어 있어서 동일한 압력이 형성된다. 진단장비를 통하여 각 축의 압력이 정상 동작하는 것을 확인하였으므로 본 실험에서는 오른쪽 실린더의 제동압력만을 측정하였다. 제동압력 측정위치와 측정에 사용된 장비는 아래와 같다.

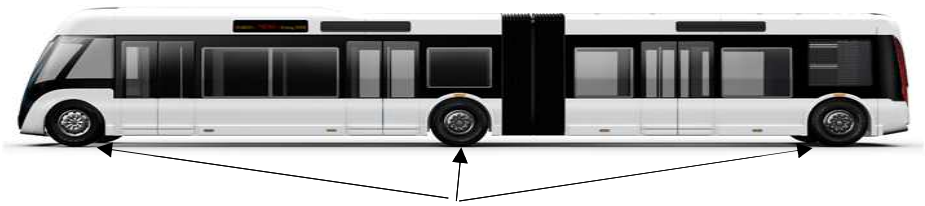



표 2.3.3-2 측정에 사용된 장비

| 측정 장비 | 수 량 | 사 양 | 비고 |
|---|---|---|---|
| Data Acquisition System | 1대 | DEWETRON3000<br>(Dynamic Strain Amplifier 내장) | 데이터 저장 |
| Air Pressure Gage | 4개 | Strain-gage type(10kg/cm2) | 압력 측정 |

나) 시험 결과

공기 압축기 설정 범위는 8.2 ~ 10.2 bar로 설정한 후 제동페달을 10회 연속하여 작동시켰을 때 측정결과는 아래의 표에 나타냈다. 두 번째 표는 제동페달 작용시점에 따른 제동압력에 대한 반응시간(최대제동압력의 75%까지의 거리)으로 EBS에 의한 전기지령이 작용했을 때와 전기지령이 아닌 공기지령시의 제동반응 시간을 비교한 것이며, 이에 대한 제동반응시간 및 제동압력 측정 결과와 주차제동밸브 조작에 따른 제동실린더 압력의 변화는 아래의 그래프에 나타냈다. 그 결과 제동페달을 10회 연속하여 작동시켰을 때 기준인 초기 작동압력의 1/2 이하로 떨어지지 않아 만족스런 결과를 나타내었고, 제동압력에 대한 반응시간은 EBS의 적용으로 전기지령 시 기준 시간인 0.6초를 초과하지 않으므로 만족스런 결과를 나타내었다.

표 2.3.3-3 연속 제동(10회)에 따른 압력 측정 결과

| 측정위치 / 측정횟수 | Right | | |
|---|---|---|---|
| | Axle 1 (bar) | Axle 2 (bar) | Axle 3 (bar) |
| 1 | 9.9 | 10.1 | 9.3 |
| 2 | 9.3 | 9.3 | 8.9 |
| 3 | 8.8 | 8.9 | 8.6 |
| 4 | 8.3 | 8.3 | 8.3 |
| 5 | 8.1 | 8.1 | 8.1 |
| 6 | 8.4 | 8.4 | 7.8 |
| 7 | 8.6 | 8.6 | 7.5 |
| 8 | 8.7 | 8.7 | 7.4 |
| 9 | 8.7 | 8.7 | 7.2 |
| 10 | 8.7 | 8.7 | 7.1 |
| 공기 압축기 작동 범위 : 8.2 - 10.2 bar | | | |

표 2.3.3-4 제동 페달 작용 시점에 따른 제동압력 반응 시간

| | 반응 시간(sec) | |
|---|---|---|
| | 전기지령(EBS에 의한 동작) | 공기지령(Backup 밸브에 의한 동작) |
| Axle 1 | 0.32 | 0.24 |
| Axle 2 | 0.44 | 0.88 |
| Axle 3 | 0.37 | 0.90 |

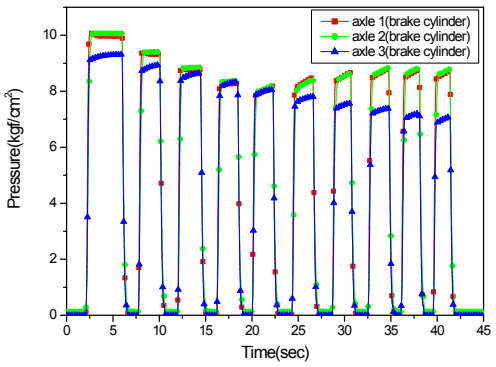



그림 2.3.3-24 연속 제동시 제동실린더 압력 측정 결과

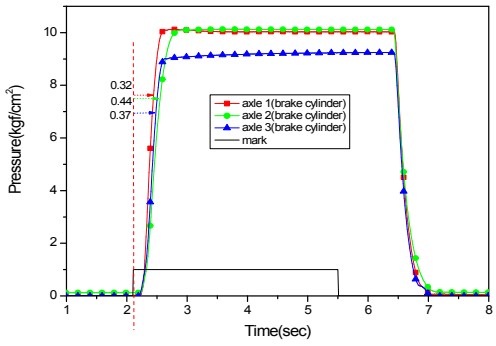



그림 2.3.3-25 제동페달 작용 시점에 따른 제동실린더 압력(전기지령)

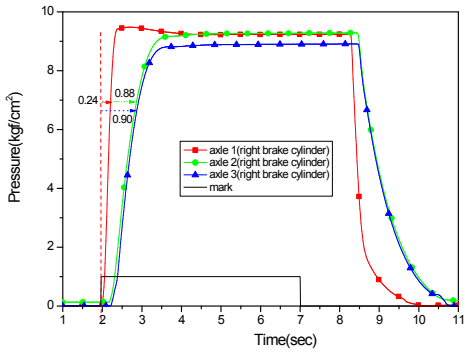



그림 2.3.3-26 제동페달 작용 시점에 따른 제동실린더 압력(공기지령)

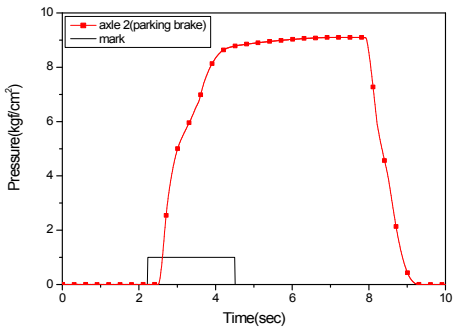



그림 2.3.3-.27 주차제동밸브 조작에 따른 제동실린더 압력

## 4. 감속기어장치

### 가. 개요

1) 감속기어장치의 개요

감속기어장치는 모터, 내연기관 등의 동력원으로부터 차륜까지의 차량 주행을 위한 회전력 전달의 입출력을 포함하는 시스템 전체를 의미하며, 일반적으로 주 구동원(대부분의 경우 전기 모터)의 동력을 바퀴에 전달하여 그 구동력으로 차량을 추진시키는 것을 말한다.

그런데 시스템 내부에서는 구동체와 피구동체간의 상대적인 움직임이 있게 되고 또한 충격부하가 계속 작용하는 상황에서 고 마력의 동력이 전달되어야 한다. 현재 구동장치는 여러 가지의 배열방식이 실용화 되어 있으며, 다음의 공통점을 갖고 있다.

- 동력원과 차축 사이에서 모터의 회전속도를 감소.
- 차량 프레임과 차축에 부착되는 부품간의 상대적인 움직임을 수용.
- 차량의 크기에 의해 확보되는 공간 내에서 요구되는 동력을 전달하며 이때 특히 동력전달 시스템의 크기는 궤도의 폭 간격보다 크지 않도록 한다.
- 이외에 저 중량, 유지성 및 신뢰성이 높고 고 수명이어야 한다.

전기차용 구동장치는 모터의 장착방식, 기어 사용의 유무, 모터로 부터 차축에 동력을 전달하는 방식, 그리고 모터가 구동하는 축의 수에 따라 여러 가지로 분류되며, 이들 분류에 의한 것이 조립되어 다양한 형식의 구동장치가 제작되어 사용되고 있다.

감속기어장치는 구동장치로 부터 동력원인 모터, 내연기관 등과 차륜을 제외한 부품을 의미한다. 즉, 모터 등의 출력을 최종목표인 차축에 효율적으로 전달하기 위한 일련의 기구를 말한다.

동력전달장치는 모터 축 끝에 생기는 토오크와 회전운동을 기어, 축이음 등을 통하여 차축에 전달시킴으로서 차량을 구동하며, 일반적으로 기어비 만큼 차량은 감속되어 주행한다. 이 경우 기어에 의한 감속의 목적은 첫째, 모터의 높은 회전속도를 차량으로서 사용 가능한 속도로 감소함으로서 모터의 효율적인 활용을 도모하는 것과 둘째, 차량의 인장력을 늘리는데 있다. 차량에는 각종 장치를 작동시키기 위한 모터가 탑재되어 있으며, 이중 견인을 위한 모터를 견인모터라 부른다.

모터의 출력은 회전속도와 토오크의 곱에 비례하기 때문에, 차량의 인장력은 모터의 회전속도에 비례해서 큰 감속비가 요구되면 소요의 인장력을 확보할수 있게 되지만, 노면으로 부터의 충격에 견디고 큰 출력을 전달하며 큰 감속비를 얻기 위해서는 기어의 직경과 타이어의 직경을 크게 하여야 한다.

2) 감속기어장치의 특징(요구사항)

속도의 증가에 따라 관성력에 의한 각부 응력의 증가와 주행성능 특성이 영향을 받게 되므로, 이를 고려할 때 고속주행용 감속구동장치의 형식은 다음의 사항을 만족하여야 한다.

- 차축에서의 주행 충격력이 모터로 전달되지 않아야 한다.
- 차축 조립체와 결합된 스프링하 질량의 감소 및 관성력에 의해 차축이 노면에 가하는 충격력이 적어야 한다.
- 감속 구동장치의 토오크가 1차 현가장치에 가하는 힘의 최소화.
- 모터와 감속장치의 중량 편심에 의해 차축의 수직면상에 작용하는 관성력의 영향으로 인한 차축의 변위가 최소화 또는 방지되야 한다.

## 나. 구조 및 개발사양

1) 감속기어장치의 구조

차량의 주행특성과 요구사항을 고려하여 아래와 같이 감속기어장치의 구조는 그림 2.3.4-1과 같이 개발을 진행하였다.

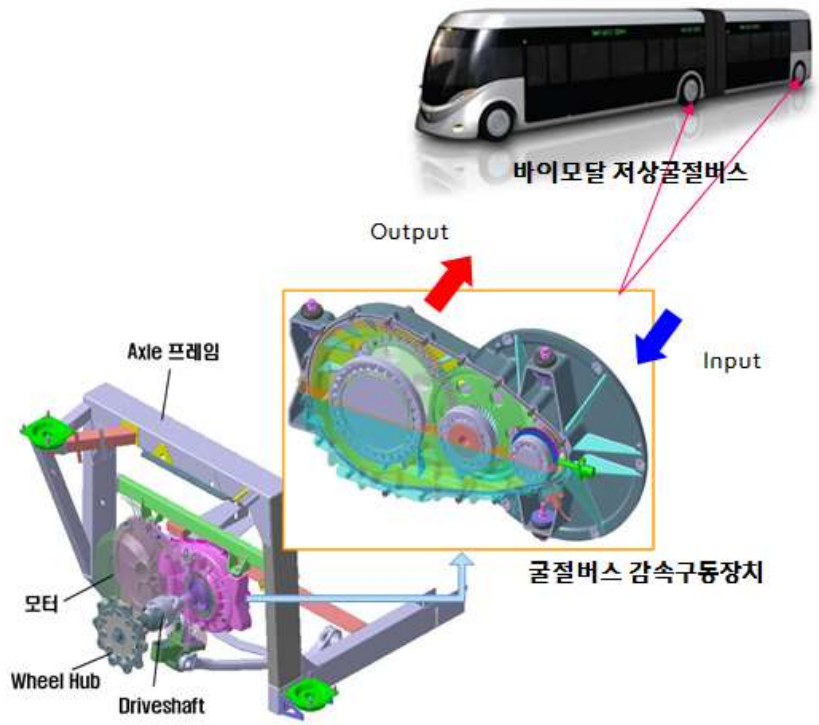



그림 2.3.4-1 감속기어장치 구조 및 차량 장착

2) 감속기어장치의 사양

차량의 주행특성과 요구사항을 고려하여 아래와 같이 감속기어장치의 사양은 표 2.3.4-1과 같이 개발을 진행하였다.

표 2.3.4-1 감속기어장치 개발사양

| TYPE | 치차형 감속기어장치 |
|---|---|
| 방식 | 2단 병렬형 감속방식 |
| 기어 형태 | 외치 헤리컬 기어 |
| 감속비 | 14.4 : 1 |
| 최대 입력 토크 | 420 Nm |
| 최대 입력 회전수 | 6,000 rpm |
| 중량 | 110 Kg(Dry) |

## 다. 설계

1) 케이스 설계

감속기어장치에 설치된 감속기 케이스는 별도 마운팅에 의해 차량에 고정되어 있다. 감속기 케이스는 내부에 기어, 베어링과 축을 포함하고 입력축은 동력전달과 연결되어 있으며 출력축은 차축에 연결된다. 케이스 형상은 그림 2.3.4-2와 같다.

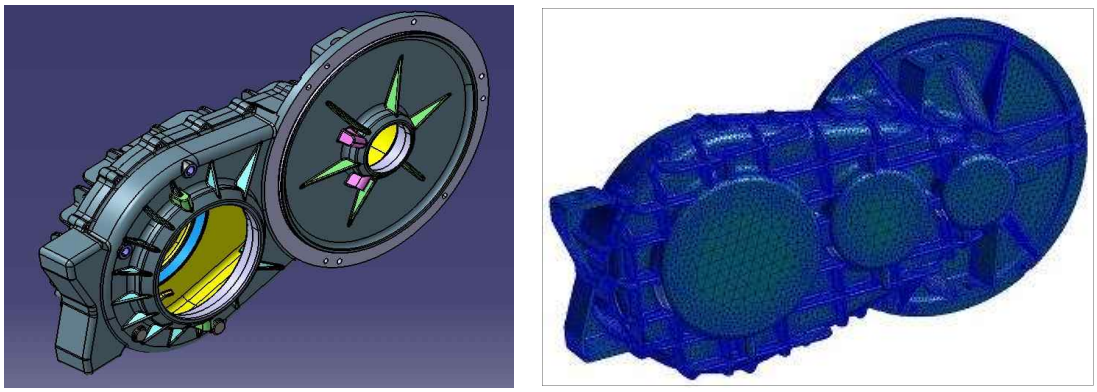


그림 2.3.4-2 케이스류 형상

가) 케이스 소재

감속기어장치 내의 베어링 반력 및 외부에서 가해지는 외력을 충분히 견디고 감속기어장치가 고속으로 구동함에 따라 발생되는 열에 대한 변형이 적고 가공성 및 주조성이 양호한 소재인 알루미늄 합금(AC4C-T6 KS D 6008)을 검토 하였다.

알루미늄 합금은 용융점이 비교적 낮아 재용해가 비교적 용이하고 무게가 가벼우며 열용량이 커서 주조성이 양호하여 사형, 금형 및 다이캐스팅 등의 주조법을 이용하여 자동차엔진, 전기기기, 기타 각종 부품등의 대량 생산품으로부터 수공업적 미술품에 이르기 까지 광범위 한 분야에 사용되어 지고 있다.

나) 케이스 구조해석

감속기어장치 케이스의 Torque 및 Inertial Force에 대한 구조 해석을 통해 검토한다.

(1) 단위계

Force=kgf, Length=mm, Time=sec

(2) 소재 Data

(가) 소재명

- KS D 6008 AC4C-T6 (알루미늄합금)

(나) 물성치

- E(Young's Modulus) = 7100 kgf/mm$^2$
- ν(Poisson's Ratio) = 0.33

(다) 기계적 성질

- Tensile Strength, Ultimate = 22.5 kgf/mm$^2$
- Tensile Strength, Yield = 17 kgf/mm$^2$

다) 적용하중

(1) Torque Load

Max input Torque : 정 방향 43 kgf·m (420 Nm)

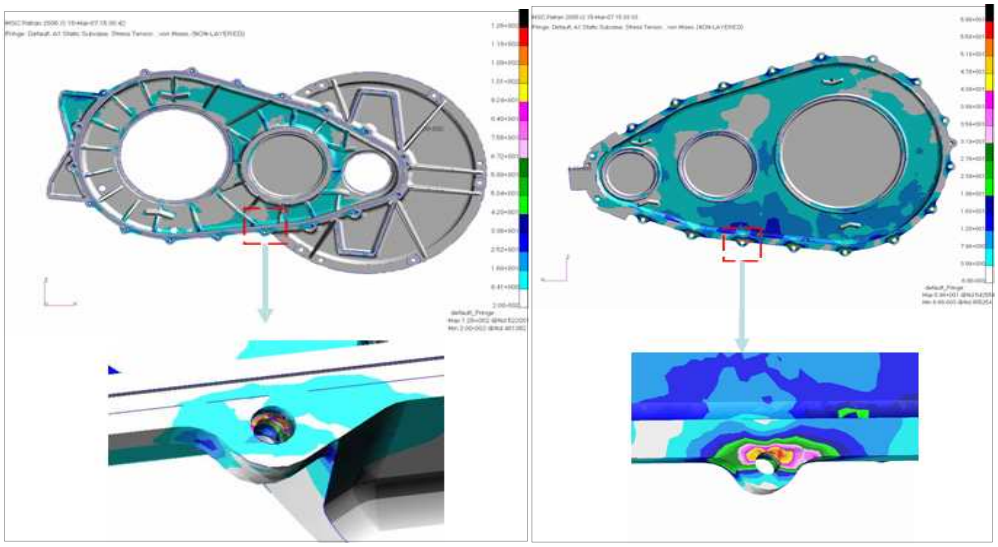
Bearing 부위 : 회전방향 자유도부여.

반경방향 자유도 구속.

마운팅 부위 : Axle Center에 대한 회전방향 자유도 구속.

라) 해석결과

CASE 및 CASE LID 는 항복강도 대비 안전율 2.97, 1.98로 안전율 만족함



A. 최대 응력치=5.72kgf/mm$^2$ (Von Mises Stress)

B. 최대 응력치=8.58kgf/mm$^2$ (Von Mises Stress)

그림 2.3.4-3 케이스류 구조해석

표 2.3.4-2 케이스 구조해석 결과

| 재질 / 항목 | 알루미늄합금 | |
|---|---|---|
| | Front Case | Rear Case |
| 적용 응력(kgf/mm2) | 5.72 | 8.58 |
| 재질의 항복점(kgf/mm2) | 17 | |
| 안전율 | 2.97 | 1.98 |
| 최대변위(mm) | 0.475 | |

(마) 감속기 케이스 진동해석

▪ 가진 주파수 (표 2.3.4-3 참조)

• Input rpm=5400rpm(차량속도 80km/h)

• Input 기어 잇수:31, Inter.2 기어 잇수:33

표 2.3.4-27 가진 주파수

| 가진성분 | 주파수(Hz) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Input shaft 회전 | 90 | 180 | 270 | 360 | 450 |
| Mesh Freq. input기어 | 2790 | 5580 | 8370 | 11160 | 13950 |
| Mesh Freq. Inter.2 기어 | 2970 | 5940 | 8910 | 11880 | 14850 |

■ 고유 진동수 (표 2.3.4-4 참조)

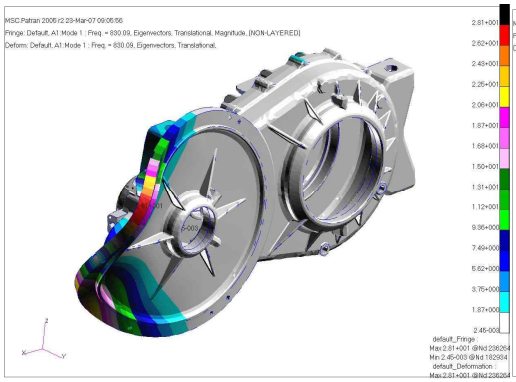
표 2.3.4-4 고유 진동수

| Order | Mode | 주파수(Hz) |
|---|---|---|
| 1st mode | 원판 Local mode | 830 |
| 2nd mode | Global 1st bending : 좌우방향 | 893 |
| 3rd mode | 원판 Local mode | 1143 |
| 4th mode | 원판 Local mode | 1216 |
| 5th mode | Cover Local mode | 1290 |
| 6th mode | 원판 Local mode | 1479 |
| 7th mode | Global 1st bending : 상하방향 | 1527 |
| 8th mode | 원판 Local mode | 1652 |
| 9th mode | 원판 Local mode | 1761 |
| 10th mode | 원판 Local mode | 2002 |

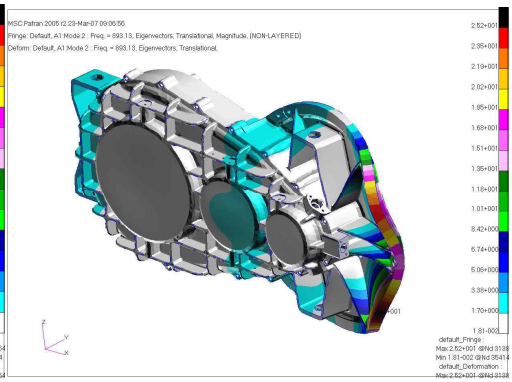
▪ 해석결과

- 샤프트 회전수 성분의 5배수 성분(450Hz)까지 볼 때,고유진동수의 1st mode(830Hz)보다 충분히 낮음.

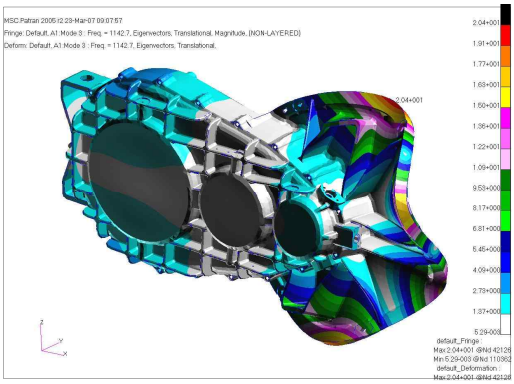
- 1stmesh freq. (input=2790Hz, inter,=2970Hz)가 고유진동수의1st mode (830Hz)보다 훨씬 높으므로 공진의 가능성이 없음



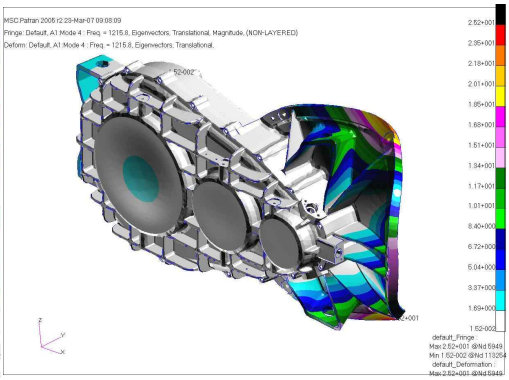
1st mode
(원판 Local mode)



2nd mode
(Global 1st bending : 좌우방향)



3rd mode
(원판 Local mode)



4th mode
(원판 Local mode)

그림 2.3.4-4 케이스류 진동해석

2) 기어 설계

감속기어장치 입력 구동 모터의 용량 크기, 부하 토크, 입력 회전수를 바탕으로 차량이 요구하는 충분한 성능을 발휘할 수 있도록 감속비를 정하고 기어제원을 확보하였다.(표 2.3.4-5 참조)

내구해석을 수행한 결과 주어진 하중 조건에 대해서 표 2.3.4-6과 같이 충분한 내구 수명을 확보하고 있음을 알 수 있으며, Gear mesh misalignment를 고려한 내구수명과 Contact ratio, Slide/roll ratio를 적절히 만족할 수 있는 제원을 확보하기 위한 설계를 수행했다.

표 2.3.4-5 기어 제원

| Gear: | GEAR SET 1 | | GEAR SET 2 | |
|---|---|---|---|---|
| | INPUT GEAR | INTER1 | INTER2 | OUTPUT GEAR |
| Arrangement Type: | External | | External | |
| Number of Teeth: | 31 | 119 | 33 | 124 |
| Normal module:, m-n: (mm) | 2.0 (Standard) | | 3.0 (Standard) | |
| Normal Pressure Angle: (deg) | 20 | | 20 | |
| Helix Angle: (deg) | 30 | | 15 | |
| Transverse Pressure Angle: (deg) | 22.796 | | 20.647 | |
| Working Face Width: (mm) | 25.2 | | 40 | |
| Reference Pitch Diameter: (mm) | 71.591 | 274.819 | 102.492 | 385.123 |
| Face Width: (mm) | 29 | 25.2 | 44 | 40 |
| Base Diameter: (mm) | 66 | 253.353 | 95.909 | 360.387 |
| Root Diameter: (mm) | 67.403 | 270.619 | 94.992 | 378.01 |
| Tip Diameter: (mm) | 76.475 | 279.7 | 108.5 | 391.5 |
| Form Diameter: (mm) | 68.823 | 271.53 | 97.797 | 379.802 |
| Tool Tip Radius: (mm) | 0.76 | 0.6 | 1.14 | 1.14 |
| Addendum: (mm) | 2.442 | 2.441 | 3.004 | 3.189 |
| Dedendum: (mm) | 2.094 | 2.1 | 3.75 | 3.556 |
| Clearances: | | | | |
| - Bottom Clearance: (mm) | 0.449 | 0.453 | 0.754 | 0.745 |
| - Form Diameter/min SAP: (mm) | 0.036 | 0.355 | 0.095 | 0.385 |
| - Tip Diameter/Base Circle: (mm) | 38.369 | 4.464 | 44.665 | 4.135 |

(가) 기어 내구 해석

- 적용 하중 : 차량 운행 조건에 부합하는 데이터 분석에서 획득한 Duty Cycle Load
- 해석 Method
  - ISO 6336 Standard "Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears"
  - Bending Fatigue
  - Contact Fatigue (Pitting)
  - Material Property : Load-Cycle(S-N) Curve.

▪ 기어가 장착되어 있는 샤프트, 베어링을 포함한 System전체를 고려한 상태의 기어의 내구강도 해석

- 피로 내구 해석 결과

▪ 4종의 기어 모두 Duty Cycle Load에 대해 내구적 안정성을 가짐.

▪ 샤프트의 변형을 고려하지 않은 상태에서 검토결과 내구 만족함.

▪ 샤프트, 베어링을 포함한 System 전체의 Deflection을 고려한 상태에서의 검토 결과 내구 만족함.

▪ Deflection을 고려한 상태를 고려하여 보다 신뢰성있는 데이터 확보.

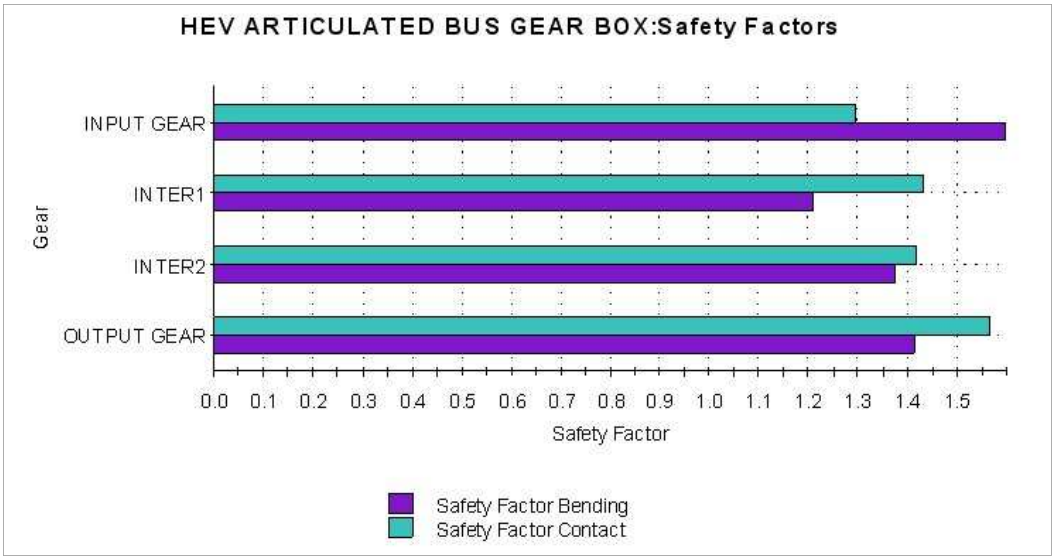



그림 2.3.4-5 기어 안전율 선도

표 2.3.4-6 기어 강도 검토

| Gear | Contact Stress | | Bending Stress | | Safety Factor | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Left | Right | Left | Right | Contact | Bending |
| | (MPa) | | | | | |
| OUTPUT GEAR | 1360.88 | 0.00 | 854.15 | 0.00 | 1.567 | 1.413 |
| INTER2 | 1360.88 | 0.00 | 750.06 | 0.00 | 1.418 | 1.374 |
| INTER1 | 0.00 | 1197.79 | 0.00 | 747.05 | 1.432 | 1.211 |
| INPUT GEAR | 0.00 | 1197.79 | 0.00 | 547.43 | 1.294 | 1.594 |

## 라. 시제 개발

1) 케이스 개발

케이스 2종의 소재는 상세 설계를 바탕으로 주조성, 가공성, 내식성, 내압성, 그리고 중량절감 면에서 상당히 이점이 있는 알루미늄합금을 주물 제작하였다.

주조용 금형은 설계 3D모델링을 이용하여 반영구적으로 사용할 수 있는 알루미늄 금형으로 제작 되었으며, 사형 틀 조형-상하 틀 합형-알루미늄 합금 용해액 주입-냉각-사상-열처리(T6)-정밀사상-검사 공정의 순으로 케이스 2종의 주조소재를 제작하였다.

알루미늄합금주물은 KS D 6008의 AC4C-T6종을 규격 선정하였으며 소재의 신뢰성확보를 위해 주조소재와 동일한 주물 사형 시험편을 제작하여 기계적 성질 및 화학성분시험을 실시했다. 시험결과는 표 2.3.4-7, 8과 같다.

표 2.3.4-7케이스 소재 기계적 성질

| | | 인장강도 ($N/mm^2$) | 연신율 (%) | 경도 (HB) |
|---|---|---|---|---|
| AC4C-T6 | 규 격 | 220이상 | 2이상 | 약 75 |
| | 실제작 | **296** | **4.4** | **81** |

표 2.3.4-8케이스 소재 화학 성분

| | | Cu | Si | Mg | Zn | Fe | Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AC4C | 규 격 | 0.25이하 | 6.5~7.5 | 0.20~0.45 | 0.35이하 | 0.55이하 | 0.35이하 |
| | 실제작 | **0.007** | **6.853** | **0.331** | **0.004** | **0.121** | **0.004** |
| | | Ni | Ti | Pb | Sn | Cr | Al |
| | 규 격 | 0.10이하 | 0.20이하 | 0.10이하 | 0.05이하 | 0.10이하 | 나머지 |
| | 실제작 | **0.010** | **0.101** | **0.005** | **0.003** | **0.0000** | **92.548** |

2) 기어 개발

(1) 기어 소재 개발

기어소재는 상세 설계를 바탕으로 고속 고 하중을 견딜 수 있도록 충분한 강도와 열처리 성능을 가진 소재를 적용하여 개발하였다. 기어는 모두 금형을 이용하여 단조로 소재개발을 하였다. 기어 단조품에 대한 품질확보를 위해 소재 치수 및 형상관리와 더불어 밀시트, 자분탐상시험, METAL FLOW 등을 통해 소재의 신뢰성을 확보하였다. 각 구성품에 대한 시험 결과는 다음 표 2.3.4-9와 같다

표 2.3.4-9 기어 4종의 화학적 성분

| SPEC | 화학적 조성 (wt. %) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Mo |
| | 0.19-0.25 | 0.15-0.35 | 0.55-0.90 | 0.030 이하 | 0.030 이하 | 0.30 이하 | 0.25 이하 | 0.85-1.25 | 0.35-0.45 |
| GEAR-INGOING(RX9C0T01211) | | | | | | | | | |
| 실제작 | 0.22 | 0.26 | 0.82 | 0.014 | 0.010 | 0.17 | 0.08 | 1.15 | 0.36 |
| GEAR-INTERMEDIATE 1ST(RX9C0T01231) | | | | | | | | | |
| 실제작 | 0.22 | 0.24 | 0.84 | 0.017 | 0.015 | 0.20 | 0.09 | 1.14 | 0.36 |
| GEAR-INTERMEDIATE 2ND(RX9C0T01232) | | | | | | | | | |
| 실제작 | 0.22 | 0.24 | 0.84 | 0.012 | 0.011 | 0.17 | 0.08 | 1.15 | 0.35 |
| GEAR-OUTGOING(RX9C0T01221) | | | | | | | | | |
| 실제작 | 0.22 | 0.24 | 0.84 | 0.012 | 0.011 | 0.17 | 0.08 | 1.15 | 0.35 |

(2) 기어류 가공

기어 5종(WHEEL SPEED GEAR포함)은 기어 설계도면을 토대로 제작한 HOB CUTTER를 이용하여 모두 미쓰비시 호빙 장비를 통해 치절 후 치 연삭장비를 통해 완성되었다. 기어류의 가공공정은 다음과 같다

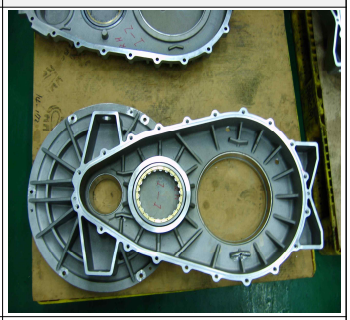


### 마. 시제 조립

1) 조립 공정

조립 공정간 조립상태 적정여부에 대한 검사 항목은 표 2.3.4-10과 같다.

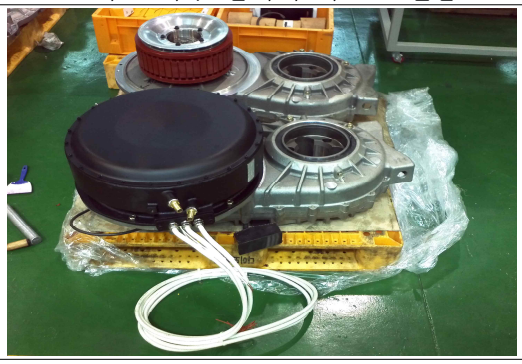
표 2.3.4-10조립 검사

| 순 | 검사항목 | 규격치 | 실측치 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Test용 | Load용 | |
| 1 | 베어링 내륜 및 외륜 압입 | 간극게이지 (0.02) Not Go | Not Go | Not Go |  |
| 2 | 피니언 기어 베어링 Preload | 0.95~1.25Nm | 1.25 | 1 |  |
| 3 | Output 기어 베어링 Preload | 9.4~9.8Nm | 9.8 | 9 |  |
| 4 | 백래쉬 측정 | 0.1~0.15mm | 0.1 | 0.12 |  |

2) 감속구동장치/모터 조립체 조립

시제 차량용 감속기어장치/모터 조립체의 주요 조립공정은 구동모터 로터 가열 - 로터/감속기 샤프트 결합 - 압입깊이 측정 - 모터 케이스 조립 순으로 조립이 이루어진다. 조립기준서를 토대로 조립공정별 적정여부를 확인하여최종 조립체의 품질을 확보한다.

표 2.3.4-11 조립체 조립 주요 공정

| | |
|---|---|
|  |  |
| 구동모터 로터 가열 | 모터 로터 / 감속기 샤프트 결합 |
|  |  |
| 압입깊이 측정 | 모터 케이스 조립 |

최종 조립된 감속기어장치/모터조립체의 형상은 그림 2.3.4-6과 같다.



그림 2.3.4-6 감속기어장치+모터 조립체 형상

### 바. 시험평가

감속기어장치 시제품의 특성을 평가하기 위한 성능 및 내구시험은 단품의 재료시험과 시스템 전체의 성능 및 내구성을 입증할 수 있는 대상내구시험을 진행했다. 내구시험 종료 후에 치접촉 시험, 효율 시험, 비파괴 시험을 진행하여 감속기의 성능 및 건전성을 확인하였다.

1) 성능 및 내구 시험

가) 치접촉 시험

(1) 시험 목적

▪ 구동 기어 치의 접촉(맞물림) 상태 확인

(2) 시험 내용

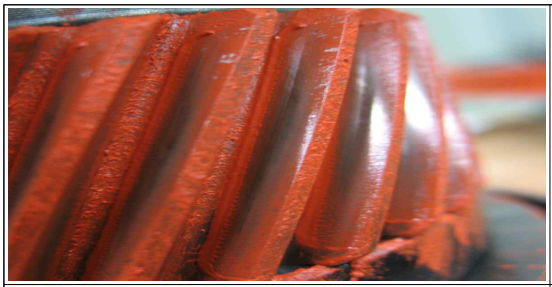
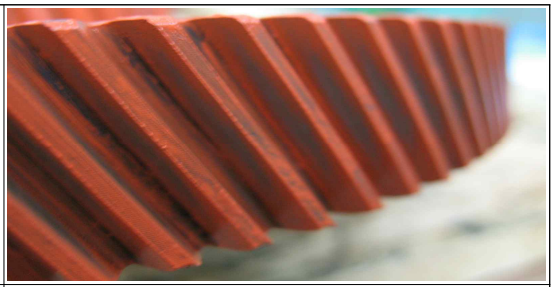
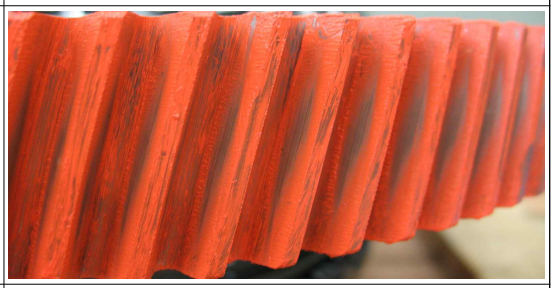
▪ 차량부하(10Nm)상태 하에서 치 물림상태를 확인하기 위해, 시험 실시 전 기어의 치면에 광명단이나 Paint를 도포하여 정상적인 구동 후 치 면의 광명단이나 Paint의 제거된 상태를 육안이나 사진, 스케일로 기록, 판단한다.

▪ 기어 치의 맞물림 상태 파악은 기어자체의 손상뿐 아니라 감속구동장치 전체의 소음, 진동을 야기하는 전달오차(TE)를 줄이기 위한 치형 설계에 중요한 판단 요소라 할 수 있다.

(3) 시험 결과

▪ 시험 후 육안확인 결과, 기어 4종 모두 치 면의 마킹제거 상태가 일정한 치 접촉형태를 나타내어 감속구동장치의 구동 중 기어 맞물림이 원활히 진행되었음을 알 수 있었다. 시험 후 각 구동기어의 마킹이 제거된 상태를 표 2.3.4-12에 나타내었다.

표 2.3.4-12 치접촉 시험 결과

| | |
|---|---|
|  |  |
| GEAR-INGOING | GEAR-INTER 1st STEP |
|  |  |
| GEAR-INTER 2nd STEP | GEAR-OUTGOING |

나) 효율 시험

(1) 시험 목적

▪ 감속기 동력손실 산출

(2) 시험 내용

▪ 바이모달차량의 운행조건에 준하여 각 속도대별로 시험기의 MOTOR 구동하여 감속구동장치의 입력/출력축에 설치한 토크/속도센서의 측정값으로 감속구동장치의 기계적 효율을 판단한다.

(3) 시험 결과

▪ 시험장비 효율: 97%(가정)

▪ 시험결과, 차량 속도 50Km/h 상태이하에서는 감속기효율이 양호한데 반해 차량 속도 50Km/h 이상에서는 감속기효율이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

▪ 이는 시험장비에 토크/속도 센서의 부착지점이 감속기시험품의 입/출력지점에 장착할 수 없는 구조적인 문제로 인해 감속기자체의 문제점보다는 고속영역에서 시험기 자체의 효율저하를 배제한 영향이 크다고 판단한다.

▪ 각 출력속도 대별 감속구동장치의 효율 측정치를 표 2.3.4-13에 나타내었다.

표 2.3.4-13 효율시험 결과

| 출 력 속 도(Km/h) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | -10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 감속기 1대당 효율(%) | 99.3 | 99.0 | 98.4 | 97.3 | 96.1 | 93.6 | 90.9 | 87.7 | 98.8 |

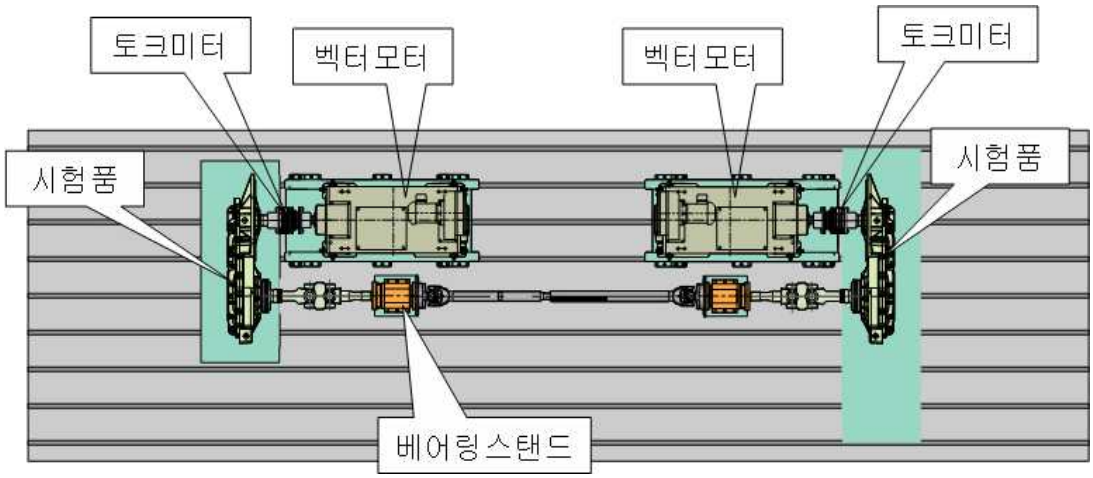



그림 2.3.4-7 토크/속도 센서 위치

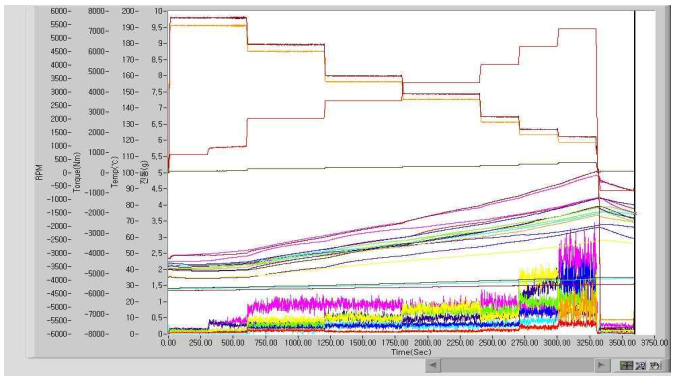


그림 2.3.4-8 효율 시험 결과

다) 내구 시험

(1) 시험 목적

▪ 기어 박스 내구성 증명

(2) 시험 내용

▪ 차량의 전체 주행 범위를 반영한 내구 모드를 이용하여 감속기 전 부품의 신뢰성을 증명한다.

▪ 감속구동장치의 내구모드는 Japan 10-15 drive mode를 이용하여 바이모달 트램의 견인 전동기의 동력성능한계와 차량의 부하조건을 만족시킬 수 있도록 만들어졌다.

(3) 시험 결과

시험 진행동안 시험용 및 부하용 감속기의 입출력 토크, 회전수, 내부 오일 및 베어링부 온도, 진동, 누유, 소음상태를 체크하였으며, 별다른 이상 없이 내구목표치를 만족한다.

본 감속구동장치 내구 시험 모드와 내구시험결과는 그림 2.3.4-9, 그림 2.3.4-10과 같다.

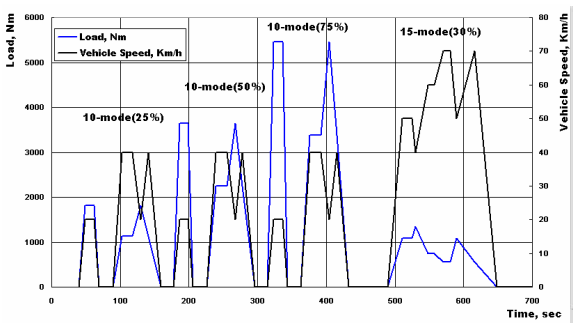



그림 2.3.4-9 내구 시험 모드

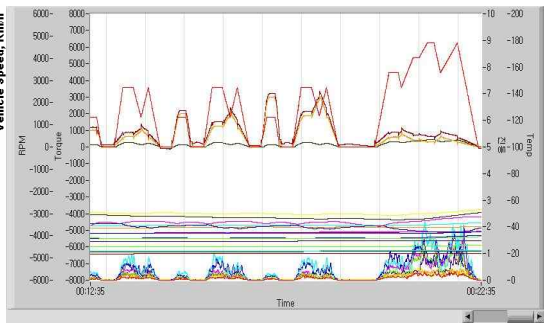


그림 2.3.4-10 내구시험결과

내구시험 완료 후 시험품 분해 결과,

- 기어 4종 모두 치면과 치끝단이나 치뿌리에서의 침식, 압축흔적, 긁힘 결함이 나타나지 않았음
- 베어링 6종 모두 내륜, 외륜, 롤러 전동면에 치명적인 손상없이, 경미한 전주흔적이 나타남을 보였음
- 케이스 2종, 오일씰 2종 모두 별다른 손상없이 양호한 상태를 보였으며, 오일 윤활상태도 양호했다.

주요 구성품에 대한 내구시험 후 외관 상태를 그림 2.3.4-11에 나타내었다.

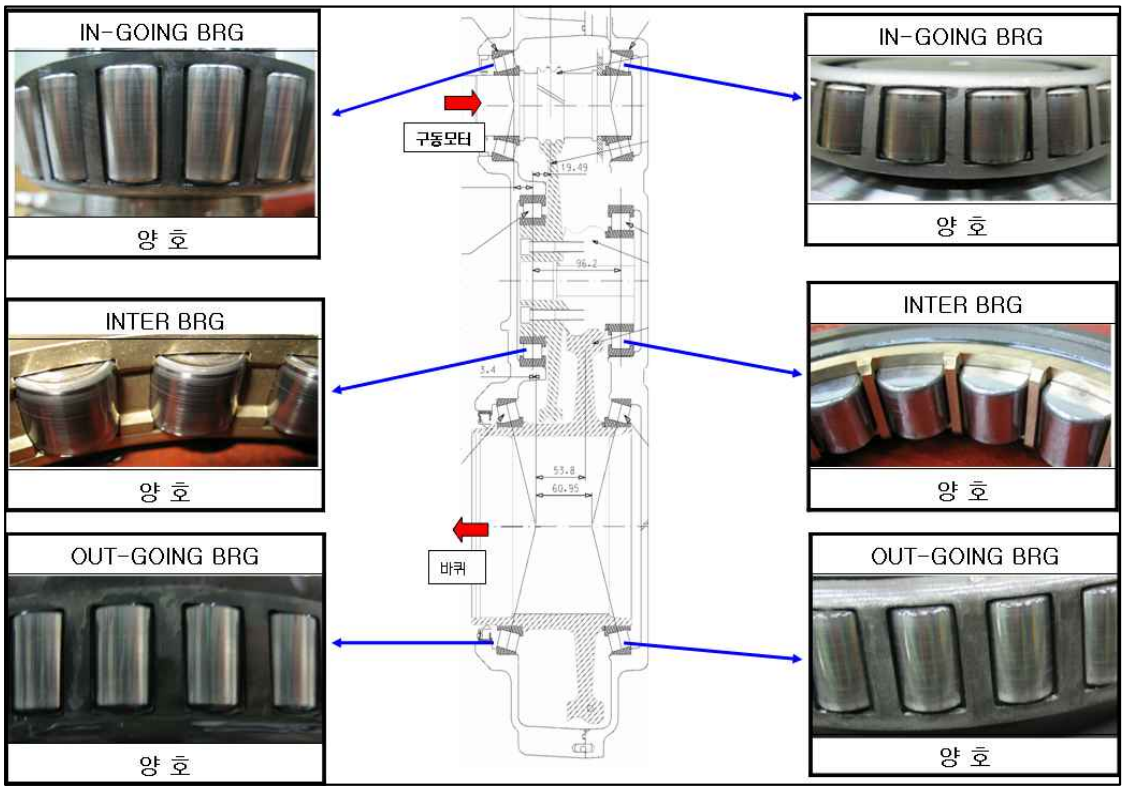



그림 2.3.4-11 시험품 베어링 상태

라) 감속기어장치 시제 TYPE TEST 종합

바이모달 차량 감속기어장치의 TYPE TEST는 개발품의 성능 및 내구성, 신뢰성을 확보할 수 있도록 여러 시험 평가 항목을 선정, 그 시험절차에 따라 진행했다. 시험 결과 모든 시험을 양호한 수준에서 통과했으며, 시험 진행에서 나타난 문제점이나 개선부위를 수정, 보완하여 향후 시제 개발품 시험에 활용할 계획이다. 이를 통해 더 향상된 시험평가수준을 기대할 수 있다고 판단한다.

감속기어장치의 TYPE TEST 결과를 간단하게 요약했다.

표 2.3.4-14 TYPE TEST 결과 요약

| 순 | 시험 항목 | 시험 결과 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 무부하시험 | 양 호 | |
| 2 | 온도상승시험 | 양 호 | 상승온도:41℃ |
| 3 | 과속시험 | 양 호 | |
| 4 | 성능시험 | 양 호 | |
| 5 | NVH(소음)시험 | 85.8dB | |
| 6 | 오일 누유 시험 | 이 상 무 | |
| 7 | 효율시험 | 고속에서 다소 효율 떨어짐 | 시험기 자체효율 저하 배제 영향 큼 |
| 8 | 치접촉시험 | 양 호 | |
| 9 | 내구시험 | 양 호 | |
| 10 | 조합시험 | 양 호 | |
| 11 | 육안시험 (시험 후 부품검사) | 양 호 | 손상없음 |

2) 조립체 조합 시험 평가

(가) 시험목적 : 감속기어장치/모터조립체의 성능 및 조립상의 이상 유/무 파악

(나) 시험내용 : 차량운행조건하에서 감속기어장치/모터조립체의 손상 및 누유, 진동소음 파악

(다) 시험결과: 조합시험결과, 감속기어장치 및 구동모터 모두 양호한 결과를 보임

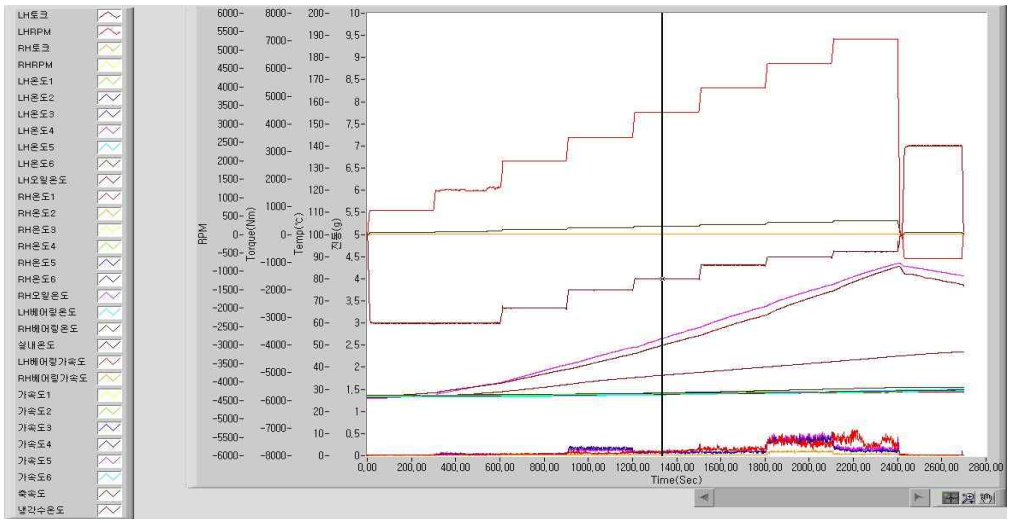



그림 2.3.4-12 감속기어장치/모터 조립체 조합시험 결과

# 제4절 CNG하이브리드 추진시스템

## 1. 추진제어장치

### 가. 추진시스템의 구성

바이모달 트램 차량의 주요 추진 장치로는 동력장치, 차량 추진장치, 보조전원장치 및 신호 장치로 나누어진다. 동력장치는 CNG 엔진, 발전기 그리고 배터리로 구성되고, 차량 추진 장치는 추진전동기와 인버터로 구성된다. 보조전원 장치는 조향과 브레이크, 냉각펌프와 냉각팬 구동용 전원으로 구성되고, 차량 제어전원과 보조배터리 충전용 전원과 에어컨팬 구동 전원 등으로 구성된다. 신호 장치는 자동운전장치, VCU, PLC(Programmable Logic Controller), 그리고 RIO(Remote Input/Output) 이다. 각 장치 간에는 MVB(Multi-function Vehicle Bus) 통신과 CAN(Controller Area Network) 통신으로 연결되어 데이터를 송/수신한다.

수냉식 전력장치는 Dual 인버터인 MCU(61kW × 2) 2대, 보조전원장치 ACU(30kW), 차량제어장치 DCU1(5.6kW), 에어컨 팬 전원장치 DCU2(5.6kW), 발전기전원을 정류하여 배터리나 MCU에 전원을 공급하는 정류기장치(RCU) 등이 있다. 제어장치는 추진시스템 통합 장치인 PLC, 확장 IO 장치인 RIO 등이 있다.

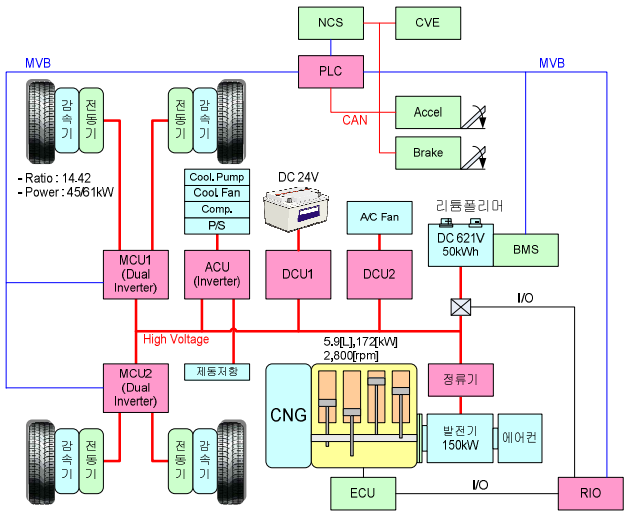



그림 2.4.1-1 추진시스템 구성도

### 나. PLC 제작

1) PLC 사양

PLC는 여러 기능을 하나의 모듈로 제작하여 하드웨어 비용과 작업 비용을 절감하도록 설계하였다. 하드웨어 모듈은 크게 6가지 기능적인 부분으로 나누어져 있으며 하기 표와 같은 기능 사양을 갖는다.

표 2.4.1-1 PLC 모듈의 기능사양

| Part | 사양 |
|---|---|
| 주 제어기 부분 | - CPU : 32 bit, 400MHz ARM Core<br>- 통신 Port : Console RS-232(1 Port), Ethernet(1 Port)<br>- 주요기능 :LOGIC (FBD, SFC, IL, ST 수행), Control 기능 |
| 디지털 입력 (DI) 부분 | - 디지털 입력 16 point<br>- 입력신호 :24VDC 입력<br>Max 100Hz |
| 디지털 출력 (DO) 부분 | - 디지털 출력 24 point<br>- 출력신호 . 24VDC 출력 : 16 point<br>. 5VDC 출력 : 8 point<br>. Max 500mA |
| 아날로그 입력 (AI) 부분 | - 아날로그 입력 8 point<br>- 입력신호 : 0~5VDC 입력, Max 12.5Hz |
| MVB 통신 부분 | - MVB 통신 인터페이스 :PC104 DualPortMemory |
| J1939 통신 부분 | - CAN2.0B 통신 프로토콜 :Upto 1MHz |

- 중량 : 2.7kg
- 소비 전력 : 12W(무부하시)

2) PLC Hardware

주제어기인 HiPCU는 CPU 모듈로 내부의 MVB와 CAN 통신과 DI, DO, AI의 입/출력을 직접 제어하며 다운로드된 PLC 로직을 수행하는 구조로 설계하였다.

HiPCU와 MVB는 모듈 타입으로 제작된 PCB로 기존 PLC와 같은 모듈을 사용한다.

3) 하드웨어 회로 설계

PLC의 하드웨어 회로는 차량의 특성에 따라 외란에 강건하도록 설계하였으며, 외란에 의해 내부의 중요 부품의 소손이 없도록 설계 하였다.

가) 디지털 입력 회로 설계

디지털 입력은 24Vdc 타입의 입력 신호 16개를 포인트로 받을 수 있으며, 외부의 EMC 충격을 견딜 수 있도록 설계하였다. 또한 모든 입력 포인트는 광학적으로 절연되어 있다.

나) 디지털 출력 회로 설계

디지털 출력은 24V 타입의 16포인트와 정확한 5V 타입의 8포인트를 출력할 수 있다. 모든 출력 포인트는 외부의 Over Current를 보호할 수 있으며, 입력 포인트와 같이 광학적으로 절연되어 있다.

다) 아날로그 입력 회로 설계

아날로그 입력은 0 ~ 5V 타입의 입력 신호 8개를 포인트로 받을 수 있으며, 외부의 EMC 충격을 견딜 수 있도록 설계하였다. 또한 모든 입력 포인트는 광학적으로 절연되어 있다.

4) PLC 기구설계

PLC의 기구는 제작상의 편의와 운영 중 하드웨어 교체가 쉽도록 두 가지의 모듈로 나누어 설계하였다. Base Plate는 차량에 장착이 쉽고, 진동에 강건하게 설계되었다. PLC와 연결되는 모든 결선이 터미널 단자에 연결되는 곳으로 기계적인 부분이 많고, 특별한 전기적인 소자가 없기 때문에 하드웨어의 문제 발생이 거의 없다. Module Case는 주제어기와 입/출력 및 모든 통신을 담당하는 부분으로 전기적인 부품이 많고, 하드웨어의 문제가 발생할 수 있는 곳으로 교체가 쉽도록 설계 되었다.

5) PLC Case 제작

PLC의 Case는 무게를 가볍게 하고 내부 PCB를 견고하게 지지하기 위하여 금속재질을 알루미늄으로 제작하였으며, 각 Module의 탈부착을 용이하게 하기 위하여 Base Plate, Module Case 부분으로 구성되어 있다.




그림 2.4.1-2 PLC 외관

Base Plate는 전체 모듈을 지지하고 있으며, Module Case와 결합되어 나사로 고정된다. 외부의 모든 신호 결선은 Base Plate와 커넥터로 연결하도록 설계하였다.

6) Monitoring System

차량의 MVB 통신의 정보 및 추진 장치간의 CAN 정보등을 모니터링 또는 저장할 수 있도록 모니터링 시스템을 구축하였다.

데이터는 사용자의 저장기능 사용 여부에 따라 엑셀 파일로 저장된다.

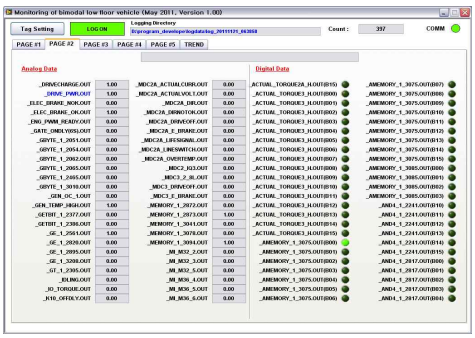


그림 2.4.1-3 모니터링 화면

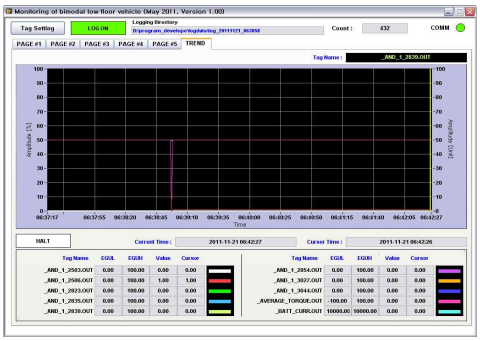


그림 2.4.1-4 Trend 페이지

## 다. MCU 제작

1) MCU 기본사양

표 2.4.1-2 MCU 기본사양

| 항목 | | | 내용 |
|---|---|---|---|
| 전기적사양 | 출력 용량 | | 정격45[kW], 최대 61[kW] |
| | 입력전압 | 정격전압 | DC621[V] |
| | | 동작허용범위 | DC570~720[V] |
| | 출력전압 | 최대전압 | AC470[V] |
| | | 최대주파수 | 300[Hz] |
| 시스템사양 | 제동 | | 전기 및 공기제동의 혼합제어방식 |
| | 견인전동기 | 구동방식 | 1C2M(각축 제어), 전동기 4대 |
| | | 사양 | 6극, 유도전동기 |
| | | 효율/역률 | 0.88/0.76 |
| | | 정격토크 | 130[Nm] |
| | | 정격회전수 | 2960[RPM] |
| | 입력필터 | 용량 | 1[mH] |
| | | | 1군: 3,000[㎌], 2군: 3,000[㎌] |
| | 가감속특성 | 가속특성 | 1.2[m/s2] |
| | | 감속특성 | 1.2[m/s2] |
| 구성사양 | 반도체소자 | 스위칭소자 | IGBT 1200[V], 300[A] |
| | 냉각장치 | 방식 | 수냉식 |
| | | 구성 | 상별 구성 |
| 제어특성 | PWM방법 | 방법 | 비대칭 PWM 방식 |
| | | 구현 | Full Digital 방식 |
| | 견인력제어 | 방식 | 가변전압 가변주파수 |
| | | 방법 | 벡터 제어 |
| | 제어기구성 | | DSP TMS320F28335, 150[㎒] |
| | JERK 방지제어 | | Soft Start / Stop 기능 |
| 기타 | MMI 기능 | 방법 | RS232에 의한 방식 |
| | | 내용 | 동작상태 및 고장 내용 통신 |

2) MCU 구성

가) MCU 내부 결선도



그림 2.4.1-5 MCU의 외관모습

위의 그림은 MCU의 외관을 나타내고 있다. 1개의 제어 PCB로 2개의 전동기를 제어하는 1C2M의 구조로 되어 있어서 2개의 Power 회로를 가지고 있다.

MCU는 추진 전동기를 운전자의 조작에 따라 구동토크와 속도를 제어하기 위하여 제어신호를 적절하게 PWM신호로 변조하여 GDU(Gate Drive Unit)에 보내 전력용 반도체인 IGBT를 스위칭 한다. 이러한 고전압의 스위칭동작은 각종 전기전자장치에 악영향을 준다. 이러한 공간상으로 방사되는 방사노이즈를 줄이기 위하여 MCU의 외함을 전기적도전성이 강한 알루미늄으로 제작하였다. PWM 신호를 만들기 위해 8[kHz]의 고주파 스위칭을 하여 스위칭 전류에 의한 전압을 안정화시키기 위해 835[$\mu$F]의 DC-Link 필터용 필름 커패시터를 IGBT Module마다 각각 장착하였다.

또한 IGBT가 스위칭할 때 구조상 기생 L성분을 가지고 있어 이 L성분에 의한 Ldi/dt의 스파이크 전압이 발생하여 IGBT의 소손을 가져올 수 있다. 이 스파이크 전압을 방지하기 위해 스위칭 필터용 Capacitor(0.68[$\mu$F])를 상마다 장착하였다.

외부 배터리에서 전원이 공급되지 않더라도 DC-Link 필터용 커패시터에 전압이 충전되어 있어 안전을 위해 방전저항 20[kΩ]으로 자연방전 되게 하였다.

나) IGBT 용량 및 보호레벨 계산

(1) IGBT 용량 계산

소자의 전압정격과 전류정격은 다음과 같이 정하였다.

- 전압정격 = DC Link 전압 + 회생전압 증가분 + Surge 전압

= DC650[V] + DC100[V] + DC200[V] = DC950[V]

위와 같은 조건에서 IGBT의 Blocking 전압은 DC1200[V]로 하였다.

- 전류정격

IGBT에 흐르는 최대 실효치 전류는 95[Arms]이다.

전류 피크치 = 최대 전류 × 피크치 × 여유율

= 95 × 1.414 × 1.5 ≒ 200[A]

위와 같이 계산되므로 IGBT의 연속전류는 300[A] 로 산정하였다.

(2) 보호레벨 산정

(가) 입력전류

- 최대 입력전류 : 96×2 = 192[A]
- 과전류 계산 : 192×1.5(Margin) ≒ 300[A]

(나) 전동기 출력전류

- 최대 전동기전류 : 95[A]
- 과전류 계산 : 95×1.414(피크)×1.5(Margin) ≒ 250[A]

(다) 입력전압

- 입력 과전압 계산 : DC750[V]
- 입력 저전압 계산 : DC570[V]

(라) 보호항목

보호항목은 중고장과 경고장 항목으로 구분하였다.

경고장은 운전석의 전진과 후진신호가 중립상태이면 Reset되고 중고장 항목은 제어전원 24[V]를 Off한 후 On하면 고장이 리셋 된다.

(3) 제어기 구성

제어기 구성은 부동소수점 연산이 가능한 디지털 시그널 컨트롤러(Digital Signal Controller: DSC)를 사용하여 전동기 벡터제어 알고리즘과 시퀀스제어 로직을 수행하였다. 사용된 디지털 시그널 컨트롤러(Digital Signal Controller: DSC)는 최근에 TI사에서 출시한 TMS320F28335를 사용하였다.

제어 PCB는 전동기의 전류, 인버터의 전압측정이 가능한 16채널의 아날로그 회로, 차량과 인터페이스를 위한 다양한 입력 및 출력회로, 다른 전장부품과 기존차량의 전장부품과 통신을 위한 CAN 및 RS232 통신회로, 2대의 인버터를 동시에 구

동할 수 있는 12채널의 PWM 출력회로, 아날로그 방식의 DC/DC 컨버터를 제어하는 회로, 일반 증분형 엔코더와 레졸버가 사용 가능한 속도검출회로 및 각종 변수와 정보를 저장할 수 있는 EEPROM 회로로 구성되어 있다. 모든 IC 및 수동부품은 자동차용으로 적합한 사용온도가 -40~125[℃]인 것을 적용하였다. 제어 PCB는 기 개발된 제어기의 회로를 기반으로 설계하였으며, 주요변경 내용은 전류센서를 단일전원용으로 채택하고 속도센서 회로의 여자전류 발생부분도 단일전원으로 가능하도록 설계한 것이다. 또한 PCB 부품배치를 새로 하고 불필요한 Digital Input, Digital Output Port를 제거하였다. 이렇게 설계를 변경하여 전원용 PCB를 제거하였고, 고가의 6층 PCB를 4층 PCB로 제작할 수 있게 되어 가격 경쟁력을 향상시켰다.

아래 그림은 MCU의 제어 PCB를 보여주고 있으며 Power Stack의 외부로 신호를 인터페이스 해야 하므로 제어용 커넥터는 방수용 커넥터를 채택하였다.

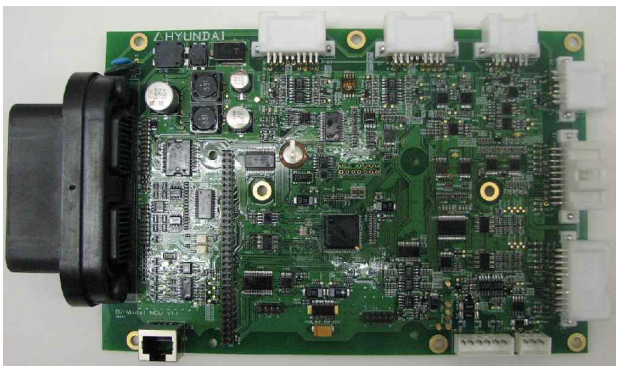



그림 2.4.1-6 MCU용 PCB

(4) 전류센서 입력회로

전류센서 입력회로는 5[V] 단일전원 센서를 적용하였으므로 기존의 +15[V], -15[V] 양전압을 받아 CPU에 내장된 A/D 컨버터에 0~3[V] 범위로 변환하여 보내는 복잡한 회로가 필요 없게 되었다.

(5) 속도 검출회로

출력되는 전류의 양은 20[mA]이고 이를 NCS와 MCU가 같이 병렬로 연결되어 있으므로 각각 약 10[mA]의 전류가 흐르게 된다. 이 전류를 전압으로 변환하는 저항 680[Ω]이 있어 전압이 약 6.8[V]가 발생하게 된다. 이를 기준전압을 발생하는 1.5[kΩ]을 통해 약 3.13[V]와 비교하여 Comparator LM2901의 출력으로 신호가 보내지고 이를 Shumit Trigger IC인 74LV14를 거쳐 구형파의 엔코더 출력이 만들어지게 된다. 이 때 74LVC14는 인버터 IC이므로 CPU 내부에서 반전된 값을 인식해야 한다. 검출 신호는 A, B 펄스로써 이를 4체배 회로를 거침으로써 속도 Resolution을 증대할 수 있다.

(6) GDU

인버터에 적용된 파워모듈은 Semikron사의 SkiM306GD12E4이며 Spring Contact Type으로 모듈 1개당 6개의 IGBT로 구성되어 있다. 1개의 인버터부를 구성할 수 있고 내부 온도 센싱을 위해 온도센서를 내장하고 있다. 1개 모듈로 3상 인버터부를 구성하였고, 모듈 위에 GDU 보드를 2장으로 구성하여 구조적으로 Compact하게 구성하였다. GDU 보드에서는 IGBT 구동 전원 발생부, IGBT 구동부, 고장검지부, IGBT 온도센싱부 등으로 구성된다. IGBT 온도 센싱은 모듈 내부에 취부된 온도센서의 전압값을 센싱하여 온도가 과도하게 상승할 경우 제어기에서 S/W로 고장 신호를 발생하도록 하여 소자를 보호하였다.

3) 제어알고리즘

제어부분은 크게 2개 부분으로 나누어진다. 첫째는 1[kHz]의 주기로 실행되는 자속제어기와 토크제어기 부분이며 둘째는 16[kHz] 주기인 동기각 계산부분, 전류제어기 및 PWM 출력 제어부분이다.

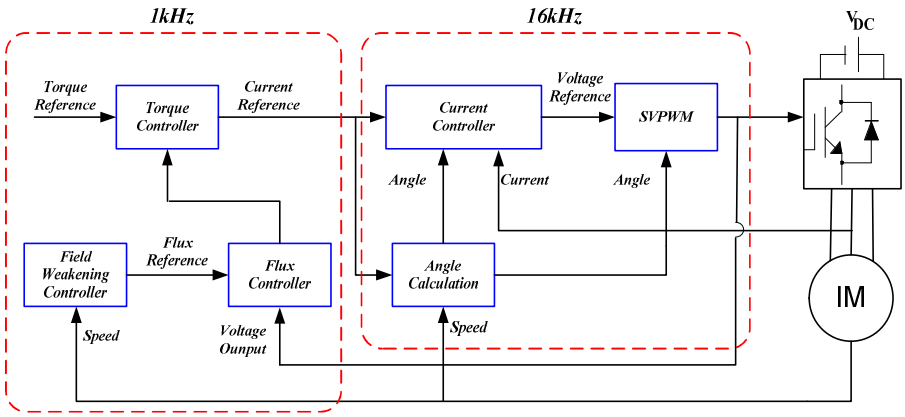



그림 2.4.1-7 제어블록도

가) 자속제어기

(1) 정토크 영역

유도전동기는 고정자에서 자속을 생성하기 위해서 여자 전류를 필요로 한다. 자속을 제어하는 것은 곧 이 여자 전류를 적절하게 제어한다는 것을 의미한다.

전동기 회전속도가 정격 이하인 정토크 영역에서는 일정한 여자전류를 전동기에 인가하여 자속이 일정하도록 제어 한다. 이때의 여자전류 계산은 아래 순서로 하면 된다.

- 다음 식에 따라 d축 자속을 구한다.

$$v_{ds}^{s} = \frac{\sqrt{2} \times \text{선간전압}}{\sqrt{3}} \times \cos(2\pi ft) \qquad (2.4.1\text{-}1)$$

$$\lambda_{ds}^{s} = \int (V_{ds}^{s} - R_s i_{ds}^{s})dt \approx \int V_{ds}^{s} dt = \frac{\sqrt{2} \times \text{선간전압}}{\sqrt{3} \times 2\pi f} \times \sin(2\pi ft) \qquad (2.4.1\text{-}2)$$

추진용 전동기의 정격 선간전압 232.5[Vrms], 정격 주파수123.8[Hz]을 식(2.4.1-2)와 식(2.4.1-3)에 대입하여 계산하면 아래와 같다.

$$\lambda_{ds}^{s} = \frac{\sqrt{2} \times 232.5}{\sqrt{3} \times 2\pi \times 123.8} \times \sin(2\pi \times 123.8 \times t)$$

$$\approx 0.244 \sin(2\pi \times 123.8 \times t) \qquad (2.4.1\text{-}3)$$

- 여기에서 고정자 저항을 무시하면 $\lambda_{ds}^{e}$ 는 0.244[wb-turn]이 된다.
- 아래 식(2.4.1-4)에 따라 계산하면 회전자 정격자속은 0.4772[wb-turn]이다.

$$\lambda_{dr}^{e} = L_m / L_s \times \lambda_{ds}^{e} = (3.256 / 3.346) \times 0.244 = 0.2374 \qquad (2.4.1\text{-}4)$$

- 아래 식(2.4.1-5)에 따라 계산하면 정격 여자전류 72.9[A]가 된다.

$$i_{ds}^{e} = \lambda_{dr}^{e} / L_m = 0.2374 / 3.256[mH] \approx 72.9[A] \qquad (2.4.1\text{-}5)$$

(2) 정출력 영역

이 영역은 전동기의 출력이 일정한 구간으로 정격속도에서 특성영역이 시작되는 속도까지이다. 여기서 정격 주파수 $\omega_{base}$ 는 정토크 구간에서 속도가 더 증가하여 전동기의 역기전력이 증가함에 따라 인버터의 전압제한타원의 반경이 감소하게 되고 최대 토크를 발생시키는 여자전류(d축전류)가 정격 여자전류와 일치하게 되는 속도이다. 정격 주파수 이상에서 원활한 제어를 위하여 자속을 감쇄시키는 약계자 제어가 이루어져야 하므로 약계자 운전의 시작 주파수가 된다.

최대 출력 토크 발생을 위한 최적의 기준전류는 전압 제한타원과 전류 제한원의 교점으로부터 아래와 같이 구할 수 있다.

- 전압제한타원 식(2.4.1-6)을 식(2.4.1-7)과 같이 변형한다.

$$(\omega_e \sigma L_s i_{qs}^{e*})^2 + (\omega_e L_s i_{ds}^{e*})^2 = V_{s\max}^2 \quad (2.4.1\text{-}6)$$

$$(\sigma L_s i_{qs}^{e*})^2 + (L_s i_{ds}^{e*})^2 = \left(\frac{V_{s\max}}{\omega_e}\right)^2 \quad (2.4.1\text{-}7)$$

- 전류제한 원으로부터 $i_{qs}^{e*2} = I_{s\max}^2 - i_{ds}^{e*2}$ 을 대입하면 식(2.4.1-8)이 되고 이 식을 정리하면 식(2.4.1-9)과 같은 최적의 d축 기준전류를 얻을 수 있다.

$$(L_s{}^2 - \sigma L_s{}^2) i_{ds}^{e*2} = \left(\frac{V_{s\max}}{\omega_e}\right)^2 - (\sigma L_s I_{s\max})^2 \quad (2.4.1\text{-}8)$$

$$i_{ds}^{e*} = \sqrt{\frac{\left(\frac{V_{s\,max}}{\omega_e}\right)^2 - (\sigma L_s I_{s\,max})^2}{L_s^2 - (\sigma L_s)^2}} \quad (2.4.1\text{-}9)$$

- 인버터의 최대전류 제한조건을 적용하면 최적의 q축 전류를 얻을 수 있다.

$$i_{qs}^{e*} = \sqrt{I_{s\,max}^2 - \left(i_{ds}^{e*}\right)^2} \quad (2.4.1\text{-}10)$$

- 식(2.4.1-10)로부터 최적의 기준 자속은 다음과 같다.

$$\lambda_{dr}^{e*} = L_m i_{ds}^{e*} = L_m \sqrt{\frac{\left(\frac{V_{s\,max}}{\omega_e}\right)^2 - (\sigma L_s I_{s\,max})^2}{L_s^2 - (\sigma L_s)^2}} \quad (2.4.1\text{-}11)$$

정출력 영역에서는 운전속도의 증가에 따라 식(2.4.1-9)와 같이 d축 전류가 감소하고, 식(2.4.1-10)과 같이 q축 전류가 증가하므로 전동기의 출력은 운전주파수에 따라 일정하고 토크는 계속 감소한다.

(3) 특성 영역

정출력 영역에서 운전속도가 더욱 증가하면 전압제한 타원의 반경이 더욱 감소하게 되어 아래 그림과 같이 된다. 이 때 MCU의 최대 전류제한 원 내부에 최대 토크를 발생시키는 운전 점이 존재하고 전압제한타원과 토크 곡선의 접점에서 발생하게 된다. 이러한 운전영역을 특성영역(Characteristic Region)라고 한다.

이 운전영역에서의 d축 기준전류를 식(2.4.1-12)와 같이 구할 수 있고

$$i_{ds}^{e*} = \frac{V_{s\,max}}{\sqrt{2}\omega_e L_s} \quad (2.4.1\text{-}12)$$

전압제한타원을 이용하면 토크 전류인 q축 기준전류를 구할 수 있다.

$$i_{qs}^{e*} = \frac{V_{s\,max}}{\sqrt{2}\omega_e \sigma L_s} \quad (2.4.1\text{-}13)$$

특성영역의 시작주파수 $\omega_c$ 는 식(2.4.1-14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_c = \sqrt{\frac{L_s^2 + (\sigma L_s)^2}{2(L_s \sigma L_s)^2}} \times \frac{V_{smax}}{I_{smax}} \quad (2.4.1\text{-}14)$$

식(2.4.1-15)로 계산하는 최대 슬립주파수는 일정하다.

$$\omega_{s\ell\_\max} = \frac{R_r}{L_r}\frac{i_{qs}^{e*}}{i_{ds}^{e*}} = \frac{R_r}{L_r}\frac{L_s}{\sigma L_s} \quad (2.4.1\text{-}15)$$

이 영역에서 전동기의 토크는 여자전류인 d축 전류와 토크전류인 q축 전류가 속도에 따라 각각 반비례적으로 감소하므로 속도의 제곱에 반비례하여 감소한다.

따라서 전동기 출력은 속도에 반비례하여 감소하게 된다.

정출력 영역과 특성영역은 다음 그림 2.4.1-8, 그림 2.4.1-9와 같다.

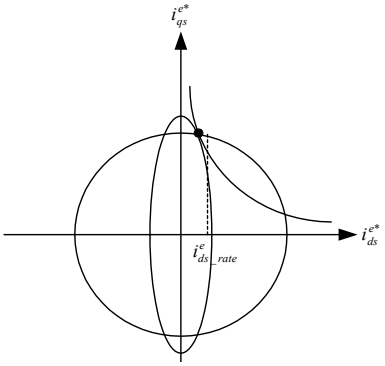



그림 2.4.1-8 정출력 영역

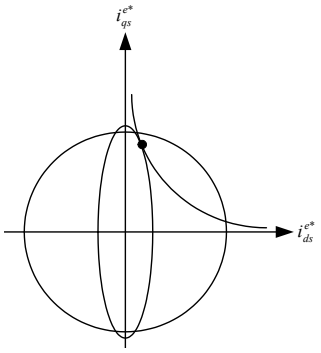



그림 2.4.1-9 특성 영역

나) 토크 제어기

이 제어기는 먼저 CAN 통신으로 지령되는 가속페달과 제동페달의 값에 따라 지령 토크를 발생시키고 식(2.4.1-16)에 따라 토크 전류 인 q축 지령전류를 생성한다.

$$T_e = \frac{3}{2}\frac{P}{2}\frac{L_m}{L_r}\lambda_{dr}^{e} i_{qs}^{e} = \frac{3}{2}\frac{P}{2}\frac{L_m^{\,2}}{L_r} i_{ds}^{e} i_{qs}^{e} \quad (2.4.1\text{-}16)$$

계산된 q축 전류는 MCU의 최대 전류제한 값과 자속제어기에서 계산된 d축 전류를 식(2.4.1-17)에 대입하여 최종 q축 전류를 생성한다. 식(2.4.1-17)은 식(2.4.1-10)을 다시 기입하였다.

$$i_{qs}^{e*} = \sqrt{I_{s\,max}^2 - \left(i_{ds}^{e*}\right)^2} \quad (2.4.1\text{-}17)$$

위 식(2.4.1-17)의 $I_{s\max}$ 는 정토크 운전영역과 정출력 운전 영역에서는 IGBT의 도통 전류 능력에 좌우 되지만 전동기의 특성영역에서는 식(2.4.1-12), 식(2.4.1-13)에 따른다. 그러므로 특성영역에서 d축, q축 전류는 식(2.4.1-17)을 사용하지 않고 식(2.4.1-12), 식(2.4.1-13)을 이용한다.

(다) 동기각 계산

벡터제어에서 전동기 회전자 자속의 동기각을 찾는 것은 매우 중요한 위치를 점하고 있다. 그래서 전동기에 높은 신뢰성 제품의 속도센서를 부착하여 속도를 검출한 후 이 회전자 속도의 적분을 통하여 회전자 각속도 $\omega_r$ 를 계산한다.식(2.4.1-18)을 이용하여 자속제어기와 토크제어기에서 생성된 d축, q축 전류를 대입하면 $\omega_{sl}$ 를 계산할 수 있다.

$$\omega_{sl} = \frac{i_{qs}^{e*}}{T_r \times i_{ds}^{e*}} \quad (2.4.1\text{-}18)$$

동기각 $\omega_e$ 는 회전자 각속도와 슬립 주파수의 합이다.

$$\omega_e = \omega_r + \omega_{sl} \quad (2.4.1\text{-}19)$$

라) 전류제어기

MCU에서 전류제어는 전동기의 출력 성능을 좌우할 만큼 매우 중요한 부분이며 많은 연산과 빠른 계산을 필요로 한다. 그러므로 16[kHz]의 주기로 제어가 수행되고 있다.

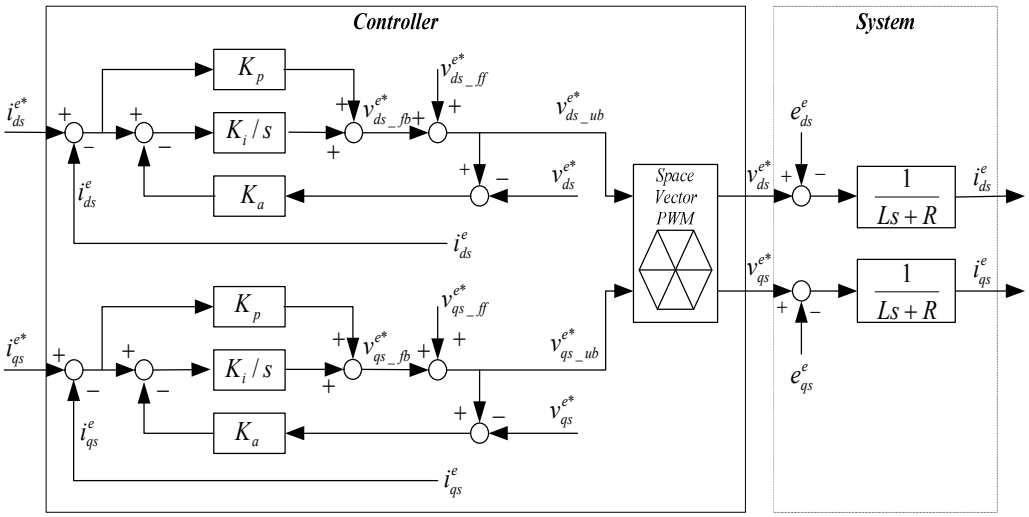



그림 2.4.1-10 전류 제어기 블록도

위의 그림에서 표시한 전류제어기는 토크제어기와 자속제어기에서 발생된 동기좌표계 d, q축의 전류 지령( $i^{e*}_{ds}$ , $i^{e*}_{qs}$ )과 전동기에 흐르는 전류( $i_a$ , $i_b$ )를 센싱하여 동기좌표 변환한 전류( $i^{e}_{ds}$ , $i^{e}_{qs}$ )로부터 PI(Proportional-Integral) 제어를 행하여 전압지령( $v^{e*}_{ds\_fb}$ , $v^{e*}_{qs\_fb}$ )을 생성하고, 전향보상항( $v^{e*}_{ds\_ff}$ , $v^{e*}_{qs\_ff}$ )을 더하여 제한되지 않은 동기 좌표계 d, q축 출력전압 지령( $v^{e*}_{ds\_ub}$ , $v^{e*}_{qs\_ub}$ )을 얻는다. 전향보상항( $v^{e*}_{ds\_ff}$ , $v^{e*}_{qs\_ff}$ )은 식(2.4.1-20)과 같다.

$$v^{e}_{ds\_ff} = -\omega_e \sigma L_s i^{e}_{qs} - R_r \frac{L_m}{L_r^2} \lambda^{e}_{dr}$$

$$v^{e}_{qs\_ff} = \omega_e \sigma L_s i^{e}_{ds} + \omega_r \frac{L_m}{L_r} \lambda^{e}_{dr} \qquad (2.4.1\text{-}20)$$

d, q축 출력전압 지령( $v^{e*}_{ds\_ub}$ , $v^{e*}_{qs\_ub}$ )은 공간전압벡터 PWM에 의하여 공간벡터 평면상의 육각형에 의하여 제한되고 동기좌표계 d, q축 전압지령이 ( $v^{e*}_{ds}$ , $v^{e*}_{qs}$ ) 된다. 이 때 제어기 출력전압지령이 공간벡터상의 육각형의 범위를 벗어나게 되면 과변조기법을 이용하여 육각형의 변상으로 제한된 전압을 출력한다. 적분기 누적 방지는 출력된 전압을 계산하고 이득 $K_a$ 을 곱하여 전류오차를 적분하기 전에 빼줌으로 제어한다. 적분기 누적 방지 제어 게인 $K_a$ 는 식(2.4.1-21)과 같고 여기에서 $K_p$ 는 비례제어 이득이다.

$$K_a = 1/K_p \quad (2.4.1\text{-}21)$$

인가된 출력전압은 전동기에 적용되어 전류( $i_{ds}^e$ , $i_{qs}^e$ )를 발생시킨다.

전류제어기에 사용되는 비례적분이득은 제어기 영점이 시스템의 전달함수 극점을 상쇄하도록 주파수 대역(bandwidth, $\omega_c$ )을 파라메터로 하여 식(2.4.1-22)로 계산하며 $\omega_c$ 는 식(2.4.1-23)으로 구한다.

$$K_p = L\omega_c$$
$$K_i = R\omega_c \quad (2.4.1\text{-}22)$$

$$\omega_c = 2\pi \times \text{제어주파수} \times (1/10 \sim 1/30) \quad (2.4.1\text{-}23)$$

마) PWM 출력제어

전류제어기 출력 전압( $v_{ds}^{e*}$ , $v_{qs}^{e*}$ )를 동기좌표 역변환을 통하여 3상 전압( $V_a$ , $V_b$ , $V_c$ ) 으로 변환하고, 변환된 3상 전압( $V_a$ , $V_b$ , $V_c$ )과 센싱된 DC전압을 이용하여 PWM 출력전압과 주파수를 발생하는 부분이다. 전동기가 정토크 영역에서 운전될 경우에는 일반적인 공간전압벡터 PWM으로 파형을 발생한다. 그러나 정토크 영역 이상의 영역에서 큰 토크를 요구하면 배터리의 전압강하나 전동기 역기전력의 증가로 전압 부족 현상이 발생하고 필요한 출력전압이 공간벡터 평면상의 육각형을 벗어나게 된다. 이런 경우 과변조 기법을 활용하여 전압벡터를 공간벡터 평면 육각형의 변으로 만들어 출력한다. 이는 입력전압 및 전동기 출력토크의 순시 변화에 대해서도 우수한 전류제어 특성을 갖는다. 또한 제어된 출력 전류에는 고조파를 적게 발생시킨다.

4) 소프트웨어의 구성

MCU의 제어 프로그램은 크게 2개의 루틴으로 구성되어 있다. 하나는 차량의 I/O 처리, 인버터의 에러 검출, 차량의 운전모드 결정, 외부장치 제어 및 운전모드에 따른 전동기 토크지령 생성과 전동기의 속도에 따라 고속운전이 가능하도록 자속제어부분으로 이루어진 1[kHz] 주기의 루틴이고, 또 다른 하나는 16[kHz] 주기의 PWM 발생 루틴으로 전동기의 동기 각속도 계산, 전압과 전류의 센싱, 벡터 평면상으로 좌표변환, 전동기 출력전류 제어 및 공간전압벡터 PWM 파형을 발생한다.

5) 인버터 다이나모 메터 시험

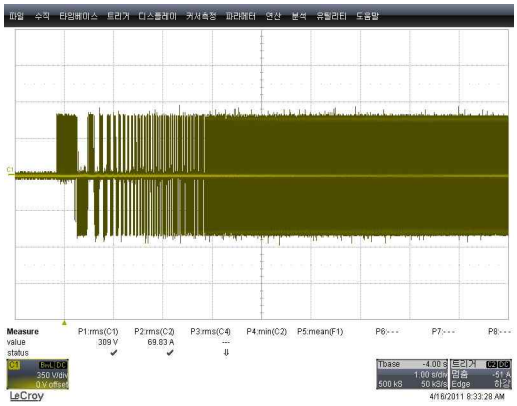


그림 2.4.1-11 다이나모 메터 전압 파형

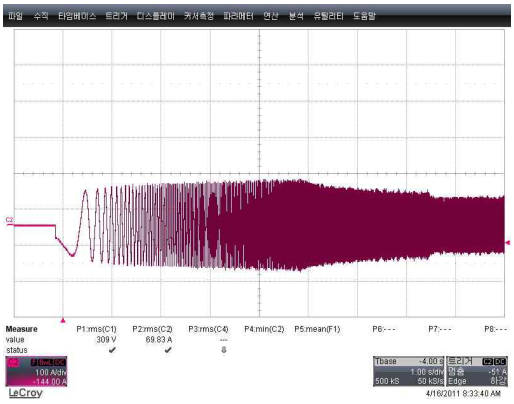


그림 2.4.1-12 다이나모 메터 전류 파형



그림 2.4.1-13 전동기 취부 모습



그림 2.4.1-14 다이나모 메터 시험 모습

## 라. ACU 제작

1) ACU의 구성

보조전원장치(ACU:Auxiliary Inverter Control Unit)는 DC650V(정격입력전압)을 입력 받아, 3상 AC 출력전압으로 변환하여, 차량에 3상 AC380V 60Hz 전원을 공급하는 전원 공급 장치이다. 보조전원장치는 크게 다음과 같이 구성된다.

DC 입력부(FCU&REB3), Aux. Inverter Unit부(ACU), 3상 AC 출력부(REB2)로 크게 3부분으로 나누어지며 바이모달 트램 차량에 장착된다. DC 입력부는 DC 입력 퓨즈(IVF), DC 입력 필터 리액터(L61)로 구성되고, 차량에서 입력 퓨즈(IVF)는 FCU 유니트, 입력 필터 리액터(L61)은 REB3 유니트에 장착되어 보조전원장치의 ACU와 연결된다. Aux. Inverter Unit부는 DC 입력 필터 커패시터(FC), DC 입력전류 센서(DCCT1), 방전저항(RD), 인버터부(IGBT+SC), 출력전류 센서(ACCT1,2,3) 및 제어 PCB류(CON, ACPT, GDU)로 구성된다. 또한 DC전압 제어를 위한 초퍼(chopper) 회로도 한 유니트에 구성되어 있다. 3상 AC 출력부(REB2)는 출력 필터 리액터(L64), 출력 필터 커패시터(ACC), 출력 전압센서(ACPT)로 구성된다.

2) 기본설계

가) 기본사양

보조전원장치의 기본적인 사양은 다음의 표와 같다.

표 2.4.1-3 보조전원장치 기본 사양

| 항목 | 사양 | 내용 |
|---|---|---|
| 정격 용량 | 45kVA급 | |
| 입력 | 정격 전압 | DC 650V |
| | 입력 전압 범위 | DC 590V ~ DC 740V |
| 3상 교류 출력 | 정격 전압 | 3상 교류 380V (오차율 ; +5%, -10% 이내) |
| | 출력 주파수 | 60 Hz (오차율 ; ±1% 이내) |
| | 고조파 함유률 | 5% 이내 |
| | 정격 용량 | 30kW |
| | 역률 | 0.85 ~ 1 |
| 효율 | 94% 이상(정격부하에서) | |
| 냉각 방식 | 수냉식 | |

나) 주요 구성

보조전원장치는 그 기능상 입력부, Aux.Inverter Unit부, 출력부로 크게 3개부로 구분할 수 있다.

(1) 입력부

입력부는 입력 DC 전압을 센싱하는 DC 전압 센서와 입력 과전류시 차단되는 Fuse, 입력 필터 리액터로 구성되며, 차량 내부에 각각 별도로 장착된다.

(2) Aux.Inverter Unit부

Aux.Inverter Unit부는 Vdc 전압을 3상 AC로 변환하기 위한 기본적인 인버터 회로가 구성되어 있다. 그 구성은 전류 센서, 방전 저항, IGBT 모듈(IPM), Stack Bus-bar, 스너버 커패시터, 출력전류 센서, 각종 PCB 및 입출력 커넥터로 구성되며, 초퍼부를 위한 IGBT 모듈(IPM) 및 전류센서, GDU PCB가 추가로 구성되어 있다. 냉각방식은 수냉식을 채택하였기 때문에 별도의 Heat-sink는 존재하지 않는다. 또한 1개의 Unit 형식 구조로 설계되어 차량 내부에 장착된다.

(3) 출력부

출력부는 3상 Inverter 출력인 PWM 출력전압 파형을 정형화하기 위한 3상 정현파 필터부의 3상 필터 리액터, 3상 필터 커패시터, 그리고 출력전압 센서로 구성되어 있으며, 입력부와 마찬가지로 차량 내부에 별도로 장착된다.

다) PCB 구성

보조전원장치의 입력부와 출력부 외에 Aux. Inverter Unit부에는 보조전원장치를 제어하기 위해 필요한 각종 PCB가 기능별로 구성되어 있으며, 그 구성은 GDU,CON, ACPT(AIO) PCB로 크게 3개 PCB로 구성되어있다.

(1) GDU PCB

GDU PCB의 주요 기능은 IGBT를 구동하기 위한 것이다. 게이트 구동 신호를 주제어기(Main Controller)인 CON PCB에서 입력받아, 전용 IGBT Drive Chip을 이용하여 최종 IGBT를 구동하게 된다. 또한, IGBT의 과전류 검지 신호를 CON PCB에 전달하여 게이트 차단 및 시스템을 보호하도록 하는 기능을 갖고 있다.

(2) CON PCB

CON PCB의 주요 기능은 DC 650V를 3상 AC 380V 60Hz로 변환하는 주제어기이다. 각종 Analog 및 Digital 신호를 입출력으로 최종 IGBT 게이트 신호 및 출력전압을 일정전압/일정주파수로 제어하는 기능을 한다.

주제어용 프로세서는 TI사의 DSP(TMS320F28335)를 사용하였고, 주변회로는 Analog & Digital 신호변환부, PWM 출력부, 제어전원부 등으로 구성되어 3상 380Vrms/60Hz 출력을 위한 PWM 제어 신호를 출력하고, 각종 과전류 및 과전압 등 비정상적인 상태에서 시스템을 보호하기 위한 보호 신호를 출력한다.

또한 Vdc 전압이 일정 전압 이상으로 상승할 경우 저항을 이용하여 Vdc전압을 감소할 수 있도록 하는 초퍼 회로를 제어하는 기능을 한다.

또한 Analog/Digital 신호 인터페이스를 위하여 각종 전압 센싱, 전류 센싱 회로가 구성되어 있다.

(3) ACPT PCB

ACPT PCB의 주요 기능은 DC전압 및 3상 AC 출력전압 센싱 회로가 주로 구성되어 있다.

라) 보호 동작 항목

보호동작 시 시스템은 경고장과 중고장에 따라 시퀀스가 구분된다.

경고장은 검지 후 소프트웨어적으로 자동 리셋 되고 자동 재기동 된다. 경고장이 발생하면 고장 횟수는 1씩 증가하고, 3분 이내에 3회 발생하면 중고장 처리되고, 자동 재기동을 하지 않는다.

중고장은 자동 재기동을 하지 않으며, 제어전원을 오프/온 하여야 해지된다.

마) 시험 결과

시험은 무부하 시험 및 부하 시험으로 수행하였다. PWM 출력 파형이 정상적인지 확인하는 단계인 무부하 시험과 무부하 시험에서 안정적인 스위칭 상태 및 파형이 검토된 후, 저항(R) 부하 시험을 수행하였다. 최종적으로 실제 차량에 탑재하여 차량 시퀀스에 의한 차량 부하시험을 실시하여 정상적인 동작을 확인하였다.

(1) 무부하 시험

무부하 시험을 수행하기 전, 모의 시험 모드(시뮬레이터 모드)에서 실제 전압이 인가되지 않은 상태에서 모의 시험용 프로그램에 의해 각종 보호동작이 정상인지, 제어기 PWM 출력 파형이 정상인지, 게이트 전압이 정상인지 등의 확인을 거쳐 이상 없음을 확인하였다.

모의시험 모드을 수행한 후, Vdc전압을 단계적으로 상승시키고, 출력전압 지령치를 인가되는 Vdc 전압에 비례토록 설정하여 인버터 출력전압 파형을 확인하는 단계를 거쳐 Vdc 정격전압 및 출력정격전압 조건에서 확인하였다.

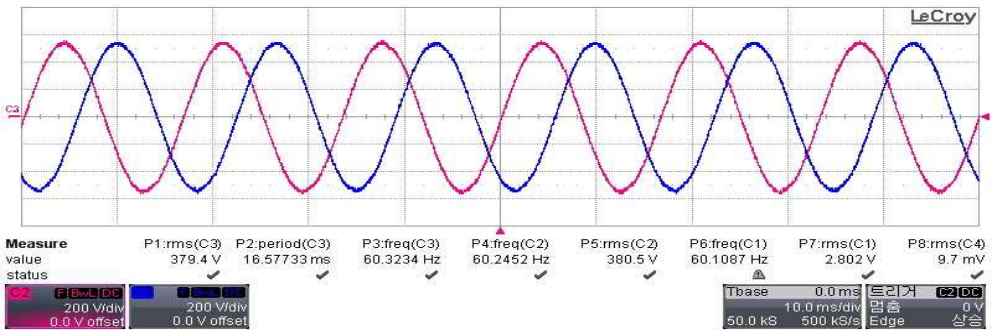



그림 2.4.1-15 무부하시 380Vrms 출력전압 파형

주1) Ch2: Vuv(선간전압, 200V/div), Ch3: Vuv(선간전압, 200V/div)

(2) 부하시험

(가) 저항부하 시험

출력 필터 및 출력전압 380Vrms조건에서 저항 부하 시험을 실시하여 시스템 동작이 정상 상태인지를 확인하였다.

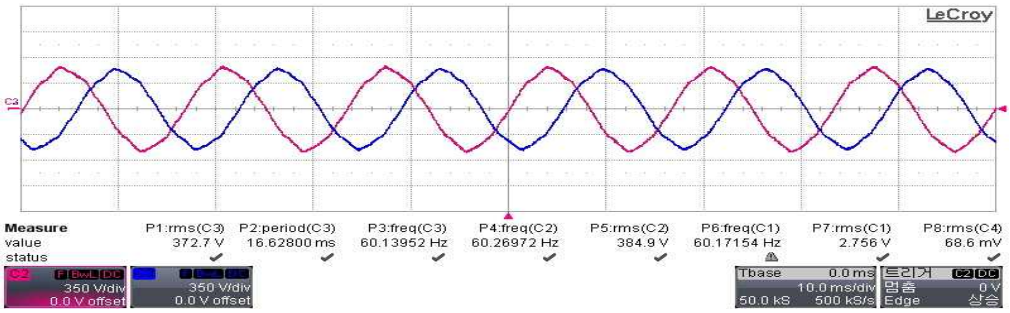



그림 2.4.1-16 저항부하시 380Vrms 출력전압 파형

주1) Ch2: Vuv(선간전압, 350V/div), Ch3: Vuv(선간전압, 350V/div)

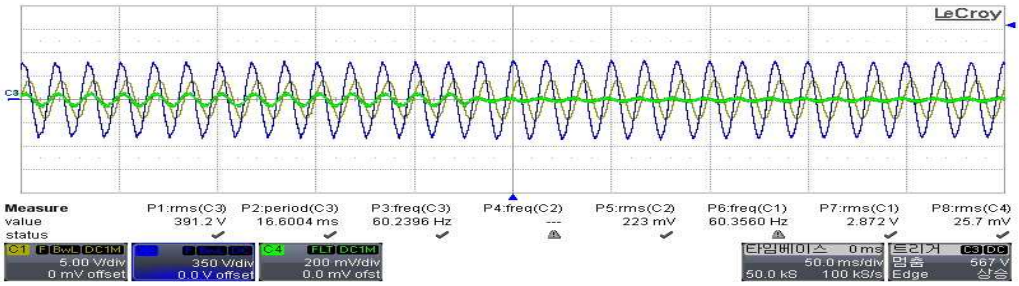



그림 2.4.1-17 부하변동시 380Vrms 출력전압 파형

주1) Ch3: Vuv(선간전압, 350V/div), Ch4: Iu(U상 출력전류, 200A/div)

(나) 초퍼 동작 시험

보조전원장치 유닛에 함께 구성되어 있는 초퍼부의 동작 상태를 확인하기 위하여 시험을 수행하였으며, 초퍼 동작시 시스템 동작이 정상 상태인지를 확인하였다.

그림에서 보면 알 수 있듯이 초퍼 동작시 소프트 스타트 알고리즘에 의해 턴온-듀티(Turn-On Duty) 조절에 의해 소프트 스타트가 되고 있음을 알 수 있다.

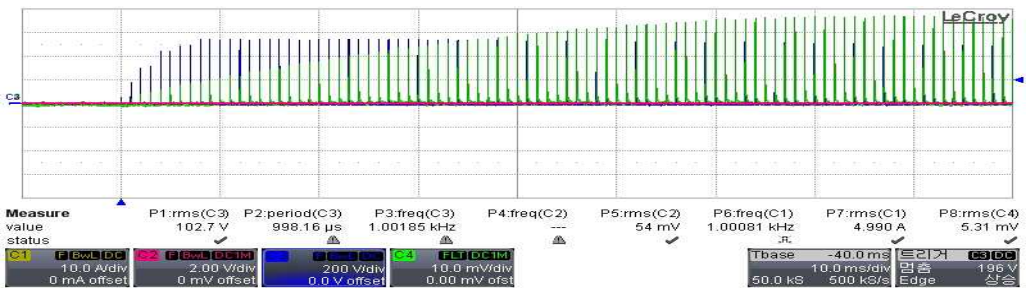



그림 2.4.1-18 초퍼 동작시 전압 파형

주1) Ch3: Vch(동작전압, 200V/div)

(다) 차량 탑재 부하 시험

실제 차량에 탑재 후 부하 시험을 실시하여 차량 시퀀스에 의한 동작 및 부하 시험을 수행하여 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

아래 그림은 실제 차량에 탑재 후 차량 부하 시험시 노트북으로 모니터링 한 화면을 보여 주고 있다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 Vdc 입력 전압이 650V인 경우와 600V인 경우 모두 부하 변동시에도 보조전원장치가 정상적으로 동작하는 것을 알 수 있다.

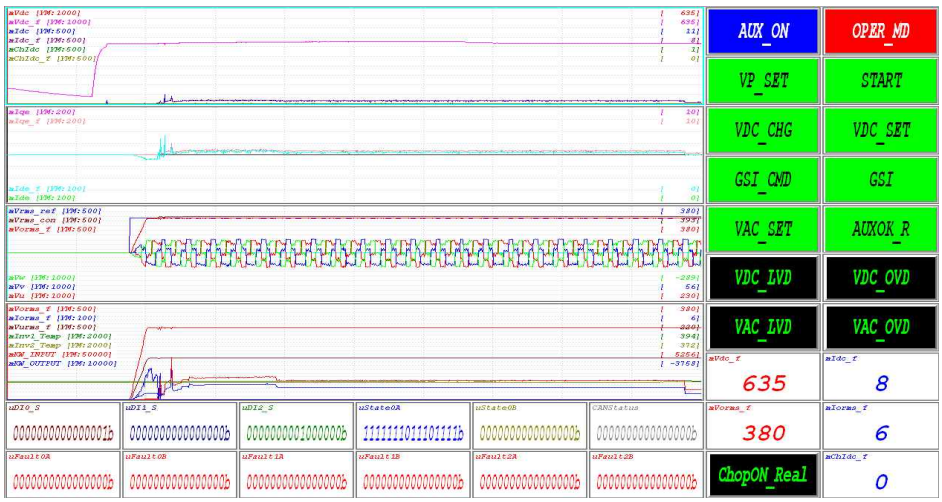



그림 2.4.1-19 차량 기동 특성 모니터링 화면

## 마. DCU 제작

1) DCU 컨버터 기본 구성 및 사양

가) 기본 구성

DCU는 DC 650[Vdc]를 입력으로 하여 28[V]의 DC를 출력하는 강압용 Full Bridge ZVS(Zero Voltage Switching) DC-DC 변환시스템으로, 입력과 출력 전압이 내부 절연 변압기에 의해 전기적으로 상호 절연되어 있다. 제어부는 Floating Point 연산이 가능한 DSP (TMS320F28335)로 제어되며, DC 20-30[V]를 PCB 입력전원으로 사용하여 내부 SMPS를 이용하여 제어에 필요한 전원(5V, ±15V등)을 만든다. 또한, 제어부는 DCU의 동작에 필요한 제어신호와 보호신호를 출력한다. 컨버터의 출력 전압은 DC 28[V]이며, 허용전류는 최대 DC 200[A]까지이다. 외부 제어기로부터의 운전지령은 CAN 통신을 이용한다.

나) 기본사양

표 2.4.1-4 Converter시스템 사양

| 항목 | Specification |
|---|---|
| 입력전압 | DC650[Vdc] |
| 입력전압 변동범위 | DC540~700[Vdc] |
| 정격 용량 | 5.6[kW] |
| 제어용 입력전원 | DC24[V](배터리 전원사용) |
| 출력전압 | DC28[V] ± 10% |
| 스위칭주파수 | 50[kHz] |
| 시스템효율 | 95[%] 이상 |
| 토폴로지 | Phase Shift PWM Converter |
| 냉 각 | 수냉식 |
| 시스템 판넬 | W 360 X D 260 X H 135 |
| 무 게 | 18 kg ± 10% |
| 사용온도 | -20℃ ~ 40℃ |
| 습 도 | 상대습도 0 ~ 90% 이하의 결로가 없는 곳 |

2) 제어프로그램의 구성

본 컨버터의 제어 프로그램은 크게 5가지로 구성되며 그 내용은 다음과 같다.

가) Main Program

- 하드웨어의 초기화
- 각종 변수의 초기화
- EEPROM 처리

나) 1ms Timer Interrupt Program

- Fault 알림 및 저장
- 각종 시퀀스 제어

다) PWM Timer Interrupt Program

- 출력 전압/전류의 제어
- Phase-Shifted PWM 생성
- Software Protection (과전압, 과전류 등)

라) System Protection Interrupt Program

- Hardware Protection (과전압, 과전류, 과열 보호 등)

마) Serial Communication Interrupt Program

- 제어 프로그램 다운로드
- 모니터링 데이터 출력

3) PCB 블록도

5.6[kW] DCU는 크게 Control PCB와 Power SW(Switch) PCB, Condenser PCB 등으로 이루어져 있다. Control PCB는 모든 제어 신호를 만들고 과부하나 과전압 등으로 인한 시스템의 파손을 방지하는 역할을 한다.

운전이나 정지 등의 제어 데이터는 외부 통신 장비와 CAN 또는 RS-485 직렬 통신을 이용하여 송/수신한다.

시스템의 운전/정지 명령은 외부 Digital 접점 신호를 이용하여 명령을 줄 수도 있도록 되어 있다.

Control PCB의 내부에서 사용되는 제어 전원(+5V, ±15V 등)은 PCB 내의 SMPS (Switched-Mode Power Supply)를 이용하여 만든다. 또한, Control PCB 내부의 DSP는 제어량을 갖는 PWM 신호를 생성하며 외부의 Analog 입력 값을 이용하여 전압 및 전류 값 등을 확인하며, 제어에 사용한다.

Power SW PCB는 Control PCB에서 출력된 PWM 신호를 MOSFET에 알맞은 전압으로 변환하여 MOSFET을 구동하는 역할과 각종 Sensor로부터 얻은 전압 및 전류 값을 Analog값으로 변환하여 Control PCB에 공급하는 역할을 주로 한다.

아래 그림은 5.6kW DCU 외부 모습과 내부 주요 부품들의 실제 모습을 보여 준다.

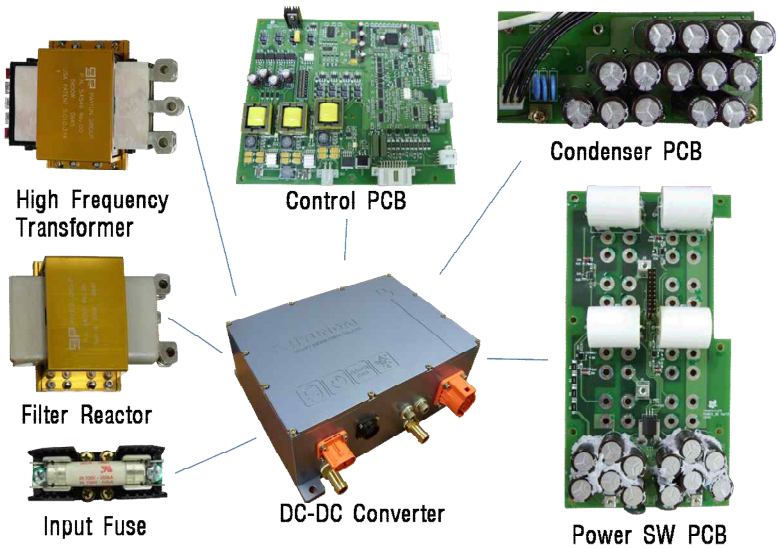



그림 2.4.1-20 5.6[kW] DCU의 구성

4) 기구장치 구성 및 제품 사진

아래 그림은 650[Vdc]/28[V] 5.6[kW] DCU의 완제품 모습을 나타낸다. Converter 하부에 위치한 니플은 냉각수 순환을 위한 것으로 케이스 정면에서 보았을 때 왼

쪽이 인입구 오른쪽이 인출구이다. 인입구 위쪽에 위치한 2Pin 커넥터는 입력전원 연결용 커넥터이며 인출구 위쪽에 위치한 1Pin 커넥터는 출력 전원의 +이다. 출력 전원의 -는 케이스 자체로 출력 커넥터 왼편에 외부기기와의 연결을 위하여 2개의 연결 단자를 배치하였다. 입력 2Pin은 정면에서 봤을 때 왼쪽이 +, 오른쪽이 -이며 커넥터 왼편에 위치한 24pin 커넥터는 CAN, RS-485, 외부 24V입력, 다운로드 Port 등의 각종 Signal 케이블을 연결하기 위하여 설치하였다.

5) 시험 결과

DCU 부하시험을 위하여 아래 그림과 같이 시험 장치를 구성하였다.

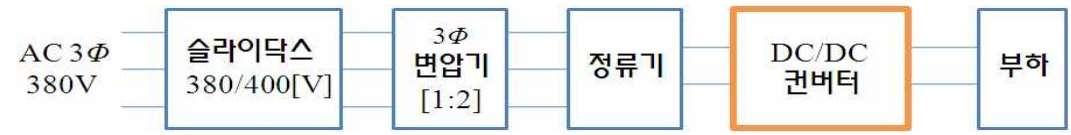



그림 2.4.1-21 부하시험 장치 구성도



그림 2.4.1-22 650[Vdc]/28[V] 6[kW] DCU

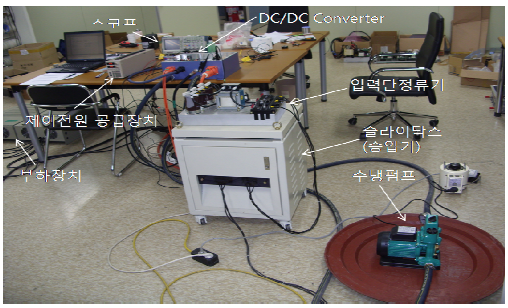



그림 2.4.1-23 DCU 부하시험

가) 변환장치의 각부 파형 및 부하시험

(1) 부하 운전 시 출력전압 Soft Start 구동 시험

(2) 부하 운전 시 RUN & STOP 시험

(3) 부하 운전 시 입력전압 강압 시험

(4) 부하 운전 시 입력전압 승압 시험

(5) 부하 운전 시 입력전압 변동시험

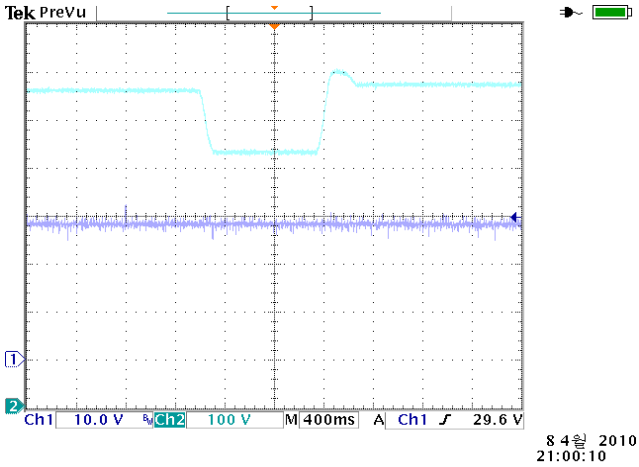



그림 2.4.1-24 입력전압 변동시험

주1) Ch1: 출력전압(지령 28V), Ch2: 입력전압(660→540→680Vdc)

(6) 부하 변동(50%→100%)에 따른 출력 전압 상태

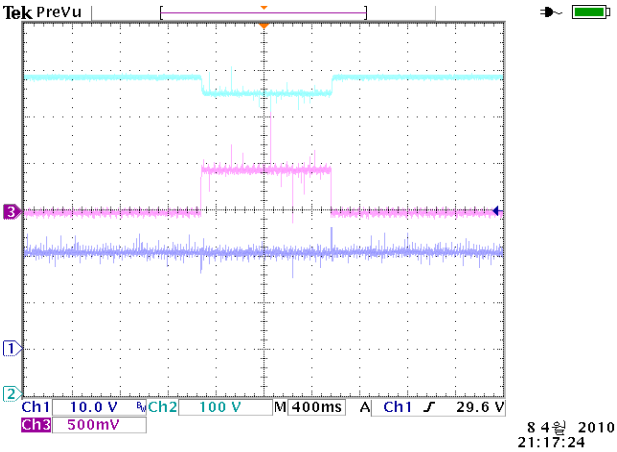



그림 2.4.1-25 부하 변동에 따른 출력 전압 상태

주1) Ch1: 출력전압, Ch2: 입력전압

주2) Ch3: 부하전류(신규 투입하는 50%쪽 전류, 100mV:20A)

나) 정격부하 운전 시의 온도상승시험

-. Thermocouple 부착 위치 및 측정결과

(1) CH2 : 입력단 콘덴서 (2) CH3 : MOSFET

(3) CH4 : 고주파 변압기 (4) CH5 : 출력단 리액터

(5) CH6 : 정류 다이오드 (6) CH7 : 내부 대기 온도

표 2.4.1-5 정격 부하 운전에 따른 내부 온도 변화측정 자료

| Thermocouple 위치 | 온도(°C) | | |
|---|---|---|---|
| | 10분 | 20분 | 1시간 이후 |
| CH2 : 입력단 콘덴서 | 40.2 | 41.1 | 42.9 |
| CH3 : MOSFET | 50.1 | 54.3 | 56.8 |
| CH4 : 고주파 변압기 | 42.2 | 46.7 | 49.3 |
| CH5 : 출력단 리액터 | 37.5 | 39.2 | 41.3 |
| CH6 : 정류 다이오드 | 44.5 | 47.7 | 53.0 |
| CH7 : 내부 대기 온도 | 32.0 | 33.1 | 36.7 |

아래 표는 정격 부하 운전에 따른 시스템 효율 측정 결과를 나타낸 것이다. 정결과 컨버터 효율은 기준 사양을 만족하는 95%이상으로 나타났다.

표 2.4.1-6 정격 부하 운전에 따른 시스템 효율측정 자료

| 구분 | | 측정값 |
|---|---|---|
| 입력 | 전압 | 650[Vdc] |
| | 전류 | 9[Adc] |
| 출력 | 전압 | 28.0[Vdc] |
| | 전류 | 200[Adc] |
| 효율 | | 95.7[%] |

### 바. 제동 저항 제작

바이모달 트램은 가속 시 배터리/엔진의 에너지를 구동에너지로 이용하고 감속 시 구동 모터에서 발생되는 회생 에너지를 배터리에 충전한다.

하이브리드 시스템에서 회생되는 에너지를 배터리에 충전하는 에너지 회수 시스템은 매우 중요하다. 그러나 배터리의 SOC상태에 따라 회생에너지가 배터리에 100%로 충전되지 못하게 될 경우 DC-Link 전압이 높아져 위험한 경우가 발생 할 수 있다. 제동저항 Unit은 회생에너지 발생 시 배터리에서 흡수하지 못하고 남는 에너지를 열로 소비하기 위한 저항 박스이다.

시작차량에서는 제동 저항의 용량은 20KW이었으며, 시제차량은 25KW로 용량을 증대하였다, 냉각은 자연 냉각 방식으로 설계하여 차량 Carriage3 roof에 장착 하였다. 아래 그림은 차량에 장착된 제동 저항 박스를 보여준다.



그림 2.4.1-26 제동저항 차량 장착사진

## 사. 추진시스템 냉각 장치

바이모달 트램 시제차량의 추진시스템의 냉각 방식을 공랭식에서 수냉식으로 변경하여 별도의 추진장치용 냉각 시스템을 구축하였다.

라디에이터 및 워터펌프는 차량의 1일 운행시간 (8시간) 연속운전에 따른 각 구성품의 피로도를 감안하여 설계시 충분한 용량 및 내구성을 가진 제품으로 구성하며, AC 전원 사용품인 경우 해외수주분에 대비하여 주파수는 50Hz와 60Hz 겸용으로 A/S등을 고려하여 선정하였다.

장치별 냉각 용량을 시험을 통하여 측정하여 설계 용량을 선정하였다.

장치 연결 순서는 RCU - MDC1 - MDC2 - ACU - DCU1 - DCU2 순으로 냉각 흐름을 설정하였다.

다음 표는 장치별 냉각 용량 설계값을 나타내고 있다.

표 2.4.1-7 장치별 냉각 용량 설계값

| 장치 명 | Capacity (kW) | | Cooling Capacity (kW) | |
|---|---|---|---|---|
| | max | rated | max | rated |
| RCU | 160 | - | 8 | - |
| MCU 1 | 122 | 45 | 6.1 | 2.25 |
| MCU 2 | 122 | 45 | 6.1 | 2.25 |
| ACU | 40 | 20 | 2 | 1 |
| DCU 1 | 8 | - | 0.4 | - |
| DCU 2 | 8 | - | 0.4 | - |

표 2.4.1-8 Total System 압력 손실 값 (시험값)

| 유속 (l/m) | 시스템 In/Out 압력차 (kpa) |
|---|---|
| 10.2 | 46.0 |
| 15.8 | 95.3 |
| 20.2 | 141.5 |

표 2.4.1-9 장치별 압력 손실값 (시험값)

| 장치명 | 유속 (l/m) | 장치 In/Out 압력차 (kpa) |
|---|---|---|
| MCU | 16.3 | 9.0 |
| ACU | 16.0 | 8.51 |
| DCU | 16.2 | 29.7 |

최대 냉각 용량은 23kW이며, 정격 냉각 용량은 14.3kW로 설계하였다.

추진시스템 냉각장치의 동작은 MDC가 제어를 하며 RIO으 DO12(FAN), 13(PUMP)의 24V 출력으로 동작하며, PUMP의 동작은 DCU의 ON시 Fan의 동작은 MDC 스택 내부의 온도센서의 온도가 50℃이상일 때 동작하도록 설정하였다.

**아. 추진장치 통신**

1) 전체시스템 네트워크 구성

Main 통신은 주로 MVB (Multi-function Vehicle Bus) 통신을 주로 사용되고 NCS(Navigation Control System), CVE(Central Vehicle Equipment), PLC(Programmable Logic Controller), 그리고 Brake 및 Accelerator Pedal은 CAN(Controller Area Network) 통신이 사용되고 상용차에 주로 사용되는 J1939 프로토콜을 사용한다. 평소 운전자가 가속할 때에 Accelerator Pedal을 밟으면 Pedal 장치에 부착된 CAN 통신으로 NCS에 가속 정보가 전달되고 MVB 통신을 통해 PLC로 가속 Torque 지령이 가고 PLC는 최종 인버터장치에 전달한다.

2) MVB 통신

시작차량에 정의된 추진 제어 장치의 MVB 통신의 각 어드레스 설계를 근간으로 시험을 통하여 각 어드레스의 해당하는 정의를 확정하였다.

MVB통신 프로트콜에 정리된 각 장치의 FBD(Function Block Diagram)를 설계하였으며, 개별 FBD의 순서에 의하여 차량의 운전 모드가 설정되도록 하였다.

3) 인터페이스 회로

가) 추진시스템 전력 결선도

배터리와 RCU(Rectifier Control Unit)사이에 필터(L10)를 설치하여 발전기로 배터리를 충전하거나 MCU에서의 회생 전류를 필터링하여 배터리의 수명을 연장시키는 역할을 한다.

RBU에서는 MCU1, MCU2의 전원을 개폐함으로써 MCU1이 단락되었을 때 내부의 Contactor(I1K)를 Open하여 다른 전장품을 보호하는 역할을 하며 MCU2도 I2K를 Open할 수 있다. MCU1과 MCU2 사이에 Damping Reactor를 설치하여 MCU 사이의 급격한 전압 강하를 방지할 수 있다. FCU(Fuse Control Unit)에 ACU와 DCU의 Fuse를 설치하여 전장품을 보호 할 수 있게 하였다. 또한, ACU와 DCU 전부에 필터(L61, L51)을 설치하여 차량에 공급하는 전원의 질을 향상시키는 역할을 한다. ACU에서 차량에 정현파 380V 전원을 공급하기 위해 출력단에 필터박스인 REB2를 설치하였고, ACU가 Dual Inverter로 구성되어 있어 다른 Port로는 Chopper Port로 이용하여 추진시스템 전원이 700V 이상일 때 제동저항을 동작시켜 시스템을 보호하는 역할을 한다.

나) 추진시스템 장치간 신호 결선도

추진시스템 장치 간 신호 결선도를 나타낸 것이다. MCU1은 추진시스템의 운영에 있어서 Master 역할을 하고, MCU2는 예비 역할을 한다. 따라서 MCU1에서 외부 장치간의 중요한 데이터를 주고 받게 되고 추진시스템의 시퀀스를 담당하게 된다.

추진시스템의 장치간에는 필요한 정보를 주고 받기 위해 CAN통신을 사용하고 있으며 주요한 정보는 I/O 신호를 사용함으로써 CAN 통신에 문제가 있더라도 추진시스템의 기능구현에 문제가 없도록 하였다. 이 때 사용되는 통신 케이블은 노이즈에 강인하도록 하기 위하여 Twist Pair 케이블을 사용해야 한다.

외부 신호로는 전동기 속도를 검출하는 Encoder 신호를 입력받아 MCU에서 전동기 제어 알고리즘에 이용하는 것으로 차량 상위제어 장치와 함께 사용한다.

다) 추진시스템 외부 인터페이스

추진시스템은 외부 배터리장치와 운전석으로부터 인터페이스 신호를 주고 받기 위해 X533 Connector를 사용하여 이 Connector를 통하여 외부와 인터페이스를 분리함으로써 설치 및 유지보수를 편리하게 하였다. 추진 시스템의 외부 인터페이스 결선도는 위의 그림에 나타내었다.

운전석으로부터 운전자의 조작에 의해 전진(D:Drive)과 후진(R:Reverse) 신호를 받아 전동기를 전진 및 후진 동작에 이용한다. 배터리의 High Voltage 전원을 연

결하기 위해 추진시스템의 시퀀스에 따라 K11 Pre-Charge Contactor를 Close하고 일정전압이 올라간 다음 Main Contactor인 K10을 Close한다. 또한 A/S를 위한 Service S/W, Brake와 Accelerator Pedal의 이상동작을 방지하기 위한 NO_BR 등을 CVE로부터 받게 된다. 외부 High Voltage 전원을 내부 PT 센서에 연결하여 차량의 High Voltage가 차체와 단락되는 것을 검출하여 고압으로부터 인체를 보호하는 기능으로 이용한다.

추진시스템과 외부 상위 장치간 통신인 MVB 통신이 연결되고, 차량안에서 단품별 상태를 Monitoring 하기 위한 Serial 통신과 CAN 통신 Cable이 연결되어 있다.

## 2. 엔진-발전기

### 가. CNG 엔진의 사양

바이모달 트램에 사용되는 엔진은 CNG를 연료로 사용한다. CNG 엔진의 장점은 엔진의 마모가 적어 내구성, 냉 시동성이 우수하며 휘발류나 디젤을 연료로 사용하는 엔진보다 탄소 배출량을 휘발류나 경유에 비하여 35%, 20%로 공해 배출 가스를 저감 할 수 있다. 그러나 단점으로는 1회 충전 시 주행거리가 짧고, 연료 탱크의 공간이 큰 단점이 있으나, BRT 개념을 적용한 바이모달 트램에서의 CNG 엔진의 적용은 이런 단점을 최소화 할 수 있는 시스템으로 구축되어 있다.



그림 2.4.2-1 바이모달 트램 CNG Engine

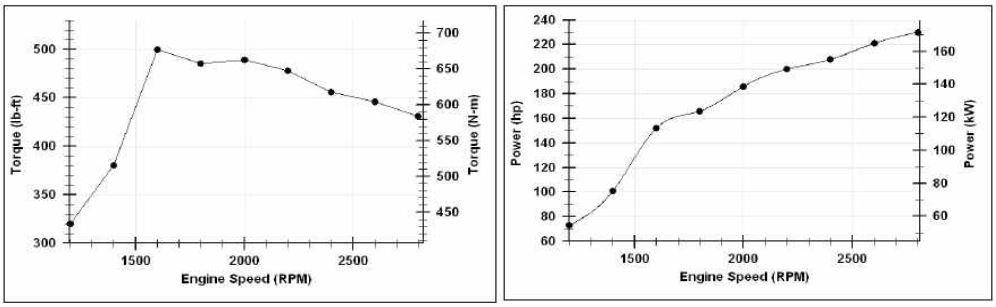



그림 2.4.2-2 Cummins B Gas 엔진의 토크 및 출력 곡선

엔진의 사양은 아래 표2.4.2-1과 같다.

표 2.4.2-1 Maximum Rating Performance Data

| No. | 항목 | 규 율 속 도 | | 최 대 토 크 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 엔진속도 | 2,800 RPM | | 1,600 RPM | |
| 2 | 출력전력 | 230 hp | 172 kW | 152 hp | 113 kW |
| 3 | 토크 | 431 lb-ft | 584 N-m | 500 lb-ft | 678 N-m |
| 4 | 입구 공기 흐름 | 528 ft3/min | 249 L/s | 308 ft3/min | 145 L/s |
| 5 | 충전 공기 흐름 | 38 lb/min | 17 kg/min | 22 lb/min | 10 kg/min |
| 6 | 배기 가스 흐름 | 1,417 ft3/min | 669 L/s | 852 ft3/min | 402 L/s |
| 7 | 배기 가스 온도 | 1,133 deg F | 612deg C | 1,046 deg F | 563 deg C |
| 8 | 냉각수 열 거부지 | 6,092 BTU/min | 107 kW | 3,994 BTU/min | 70 kW |
| 9 | 라디에이터 냉각수 흐름 | 51 gpm | 3.2 L/s | 29 gpm | 1.8 L/s |
| 10 | 터보 Comp. 아웃렛 압력 | 45 in-Hg | 152 kPa | 38 in-Hg | 128 kPa |
| 11 | 터보 Comp. 아웃렛 온도 | 312 deg F | 156deg C | 296 deg F | 147 deg C |
| 12 | 연료 소비 | 85.4 lb/hr | 38.7 kg/hr | 52.1 lb/hr | 23.6 kg/hr |
| 13 | 브레이크 효과적인 압력 방법 | 175 psi | 1,207 kPa | 210 psi | 1,448 kPa |

바이모달 트램에서는 Phileas 차량과는 다른 PWM Converter를 설치하여 엔진의 RPM을 5단계로만 설정하여 부하에 따른 엔진의 부담을 최소화 시켰다.

표 2.4.2-2 부하 및 배터리 SOC 상태에 관한 RPM 설정 범위

| Engine | RPM | 2200 | 1400 | 1400 | 1600 | 1600 | 2000 | 900 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PWM | Limit | 140kw | 40kw | 60kw | 80kw | 100kw | 120kw | 0kw |
| | Vdc | 700 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 |
| BAT | SOC | soc<65 | 65<= SOC and SOC<=70 | | | | | SOC>70 |
| vehicle | | accel and constant speed | | | | | | braking and coasting |

## 나. 엔진 IQA 테스트

IQA 테스트는 엔진 성능시험으로써 차량에 설치된 엔진의 상태를 체크하여 적정하게 사용하는지를 파악하기 위한 엔진 제작사에서 실시하는 기본 시험 항목이며, 엔진의 압력상태, 냉각상태 등을 점검하였다.

1) 시험 항목

- Cooling 시험 : Water outlet , Water Pump, Charge air-cooling IN/OUT 의 4 point에 K-type 온도센서를 설치하여 엔진의 냉각 성능을 시험한다.
- 압력 측정 : Air Inlet (Air cleaner)와 Turbo charge 사이에 1/8인치 Tap을 내어 압력센서를 설치하고 머플러의 Charge air-cooling IN/OUT 2point에도 압력센서를 설치하여 측정을 한다.
- 엔진 센터링 및 진동시험 : 엔진 기동 시 진동 측정 시험
- 초기 시동 저항 측정 : 12V 배터리에서 시동 모터 사이의 저항 계수 측정 (2/1000Ω)내에 측정되어야 한다.
- 고압측 연료 압력 측정 : 가스 레귤레이터 전단 고압측 압력 측정 (충전 압력계 이용가능)

2) 시험

가) 흡/배기 압력 시험



그림 2.4.2-3 흡/배기 Test 진행

위의 그림과 같이 측정할 흡·배기 부분에 Fitting 후 플라스틱 튜브를 끼워 압력 Test를 진행 하였으며, 측정 결과는 다음의 표의 내용과 같다.

표 2.4.2-3 흡/배기 시험 측정 결과

| Test Mode | RPM | Air Intake | Exhaust | Fuel Sucition | CAC System Check Point | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Pressure(kPa) | | Temperature | |
| | | | | | TB out | IMP | Amd | IMT |
| Low Idle | 900 | 0.0 | 0.0 | - | 8.9 | 7.9 | - | - |
| High Idle | 1800 | 0.4 | 0.0 | - | 29.5 | 27.0 | - | - |
| Battery Charge | 1800 | 0.4 | 0.38 | | | | | |

나) 냉각 시험

냉각시험을 하기 위해서는 엔진의 Thermostat housing내 Thermostat을 open상태로 하여야 하며, 대기온도는 15도 이상에서 2시간 이상 운전 및 온도 센서의 샘플링은 3분당 1번 실시하여야 한다.

다음 그림은 온도센서가 설치 된 사진을 나타내고 있다.



그림 2.4.2-4 온도센서 설치

온도센서의 설치가 끝나고 서머스탭에 센서를 설치하기 위하여 엔진으로 유입된 냉각수를 제거하였다. 냉각수를 제거하고 분해된 서머스탭에 너트를 끼우고 서머스탭이 정상적으로 작동 하는지를 끓는 물을 이용하여 간이적인 Test를 진행하였다.



그림 2.4.2-5 냉각수 제거



그림 2.4.2-6 끓는 물을 이용하여 Test

Test가 끝난 후 다시 서머스탭을 취부하고 차량에 냉각수를 만충한 뒤 차량의 하중을 50% 적재 상태에서 주행 후 차량의 엔진 상태를 측정하였다. 주행은 2시간 이상 연속운전을 하여 Cooling Test를 실시하였으며, 20분 1회 주행단위로 Data를 Loding 하였다.

다음 표는 Cooling Test 시 20분 주기단위로 기록한 온도 Data이다.

표 2.4.2-4 각 시간대별 온도 기록 Data

| NO | Item / Time | 13:52 | 14:02 | 14:12 | 14:22 | 14:32 | 14:42 | 14:52 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Redi Out Coolant Temp | 80.0 | 75.3 | 84.2 | 77.6 | 86.0 | 78.1 | 84.2 |
| 2 | Radi in Coolant Temp | 85.4 | 82.2 | 89.0 | 80.8 | 90.8 | 84.9 | 88.4 |
| 3 | Air Inlet | 41.6 | 44.6 | 48.3 | 46.8 | 48.8 | 49.7 | 49.8 |
| 4 | Ambient Temp | 33.3 | 32.8 | 33.4 | 33.5 | 33.7 | 33.8 | 33.6 |
| 5 | CAC In | 68.6 | 58.0 | 62.5 | 67.1 | 67.2 | 59.7 | 68.3 |
| 6 | CAC OUT | 39.4 | 52.0 | 59.7 | 53.2 | 54.3 | 50.6 | 55.9 |
| 7 | Oil Temp | 119.3 | 118.7 | 169.8 | 157.9 | 160.8 | 142.8 | 160.5 |
| 8 | Radi Air In | 28.1 | 30.4 | 33.5 | 29.5 | 28.8 | 30.3 | 32.1 |
| 9 | Radi Air Out | 47.8 | 49.1 | 58.0 | 55.0 | 57.9 | 55.6 | 56.5 |

시험 결과 각 장치의 온도 특성은 정상적으로 측정이 되었으나, Oil 주입구에 설치한 Oil Temp.의 온도가 높게 측정되었다. 이는 측정하기 위해서 설치된 센서의 위치가 엔진의 Turbo-charger 근처에 위치하여 Turbo-charger 온도의 영향을 많이 받은 것으로 예상되어 엔진 EMC에서 측정된 데이터를 확인한 결과 89℃~93℃ 정도로 측정이 되었다.

## 다. Generator의 기능

바이모달 트램에 장착된 Generator는 엔진과 연동되어 엔진의 RPM에 따라 발전하여 PWM Converter에 전압을 제공한다.

하기 표는 엔진 RPM에 따른 Generator의 출력 전압 값이다.

표 2.4.2-5 Engine RPM에 따른 Generator 출력 전압

| Engine RPM | Generator output Voltage(Vrms) |
|---|---|
| 900 rpm (Idle) | 198 Vrms |
| 1400 rpm | 308 Vrms |
| 1600 rpm | 352 Vrms |
| 2000 rpm | 440 Vrms |
| 2200 rpm | 484 Vrms |

## 라. CNG Engine/Generator Set 제작

1) ENGINE 조립 순서

가) CNG 엔진 입고

상기 그림은 엔진과 같이 구동 시 엔진과 연결해주는 Coupling이 설치된 모습이다. 엔진은 커민스 엔진으로 시작차량과 같은 엔진을 사용하였다.

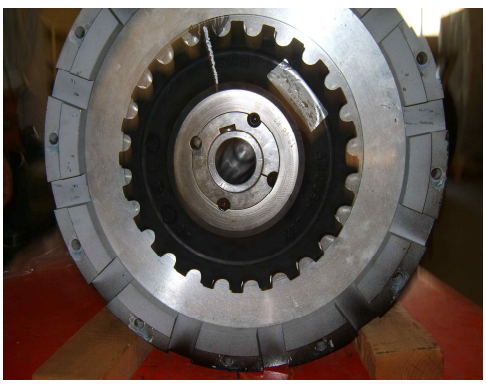


그림 2.4.2-7 Engine과 연결되는 Generator coupling 모습



그림 2.4.2-8 커민스 엔진

나) GENERATOR 조립 작업

CNG Engine과 Generator를 조립할 때에는 발전기의 중량이 크기 때문에 제대로 고정되었는지 확인한 후 진행한다.



그림 2.4.2-9 CNG Engine/Generator 조립

Generator 조립을 위해 CNG Engine과 Generator의 취부 포인트 위치를 크레인으로 들어 수평을 유지시켜 8개의 볼트를 이용하여 고정시킨다.

여기서 Tightening Torque는 42Nm +3으로 한다.

다) Compressor 취부를 위한 BRACKET 취부



그림 2.4.2-10 Compressor Frame 조립

Compressor Frame은 CNG Engine을 프레임에 조립하기 전에 작업을 하는 것이 수월하다.

라) Base frame에 CNG ENGINE 취부



그림 2.4.2-11 Base frame/CNG ENGINE 결합

조립된 CNG Engine을 취부하기 위해서는 위쪽 부분으로 취부 시 프레임의 간섭이 있어 크레인을 사용하여 수평으로 들어 옆면으로 넣어 작업을 한다.

마) PULLEY HOUSING 취부

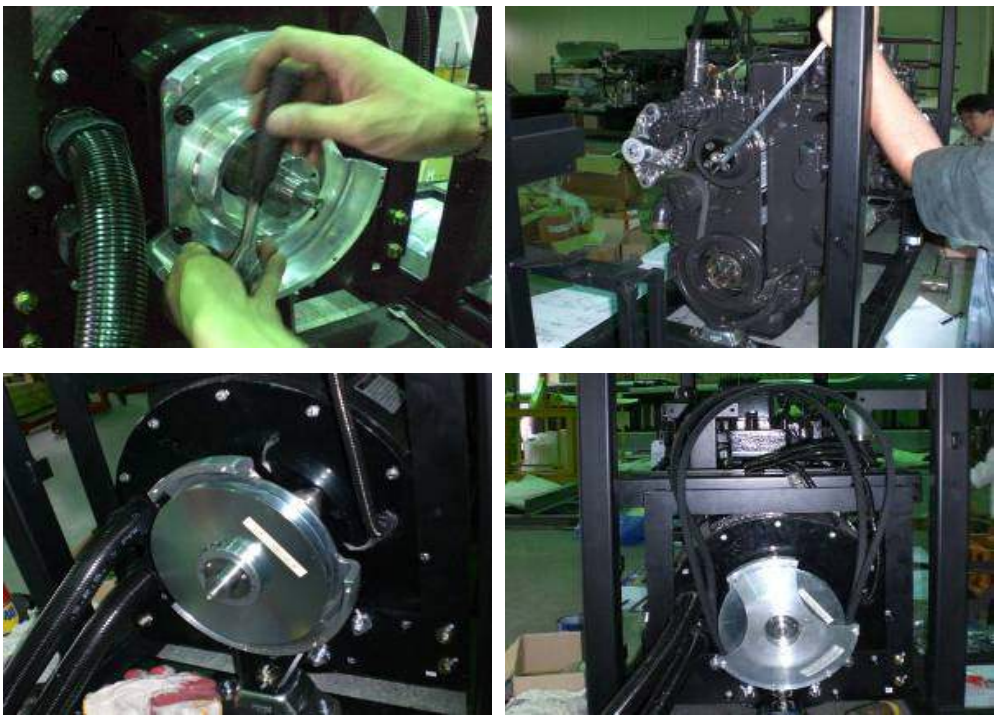


그림 2.4.2-12 PULLEY HOUSING 취부

Pulley Housing Cover의 Tightening Torque는 42Nm +3으로 한다. Pulley Housing을 조립과정은 취부 위치를 맞추기 위하여 조금씩 돌려 Pulley 홈을 맞추어 Key를 조립한다.

바) 장치별 기기 부품 취부

(1) CNG 밸브/Motor Cooling 주입구



그림 2.4.2-13 Cooling/CNG 포트

- CNG 안전밸브 및 Motor Cooling의 포트를 취부를 하였다.

(2) Expansion Tank 취부



그림 2.4.2-14 Expansion Tank 취부

- 모터 쿨링의 냉각수량을 조절하기위한 Expansion Tank를 취부를 하였다.

(3) COOLING WATER PUMP





그림 2.4.2-15 COOLING WATER PUMP 취부

- COOLING WATER(Motor/Generator) PUMP 취부를 하였다

(4) COOLING/CNG PIPING

Cooling Piping 조립 시 약품처리 후 브레이징 작업을 하여야함.(불순물 제거 및 기밀유지에 좋음.) 배관 연결 시 펌프 및 엔진의 진동이 많이 오는 부위는 진동을 흡수할 수 있는 실리콘 호스를 사용 하여야 한다. CNG 배관 조립 시 고압으로 인한 기밀유지가 중요시 되고, 배관 피팅 부위 조립 시 기밀을 유지할 수 있도록 약품 처리 후 피팅 안쪽부분 슬리브가 배관에 잘 물고 들어가도록 조립을 해야 한다.

CNG 배관은 500mm 간격 안에는 반드시 지지할 수 있는 Clamp를 설치하여야 한다.

※ 고압가스사용시설에 관한기준 제8-1-4조(배관의 설치)

“배관 및 접합부는 최소 60cm마다 차체에 고정되어 진동 및 충격으로부터 보호할 것”

(5) 브레이징 작업 과정

- 배관의 안과 밖을 사포로 표면 처리를 한다.
- 배관과 배관의 불순물 제거 및 용접이 용이하도록 용접기밀제로 처리한다.
- 표면 처리된 배관과 약품 처리된 배관을 조립한다.
- 조립된 배관을 바이스로 물려 고정 시킨 후 산소를 사용하여 용접한다.



그림 2.4.2-16 배관 표면작업



그림 2.4.2-17 용접 기밀제 사용



그림 2.4.2-18 배관 조립



그림 2.4.2-19 용접작업

(6) COMPRESSOR 조립 취부




그림 2.4.2-20 COMPRESSOR 조립

Compressor 조립 시 Compressor Clutch와 Generator Clutch에 Belt를 연결 시 장력을 조절하여 취부 하도록 해야 한다.

(7) FREE HEATER, OIL MASTER 취부

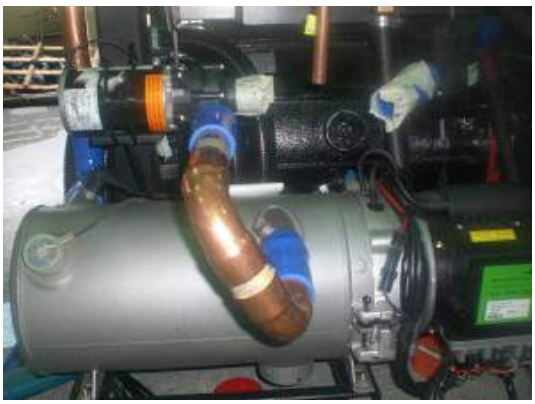


그림 2.4.2-21 Free Heater 취부



그림 2.4.2-22 Oil Master 취부

(8) AIR INTAKE 취부



그림 2.4.2-23 AIR INTAKE 취부

(9) 실리콘 호스 취부

배관과 배관을 연결하는 부분은 실리콘호스를 사용하여 연결을 진행하고 고정은 클램프를 사용한다. 실리콘 설치 부위는 진동을 감소시키고 유지 보수시를 전체부분을 탈거안하고 정비 부분만을 탈거하기위하여 사용하였다.

실리콘 취부시 클램프의 위치는 배관의 밴딩 부분에 가깝게 취부를 해야 기밀유지가 용이하고 작동시 탈거의 위험도 없다.

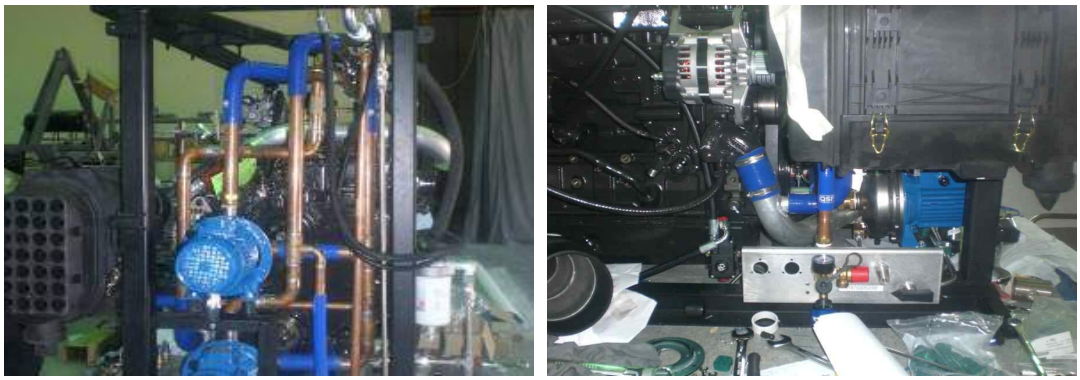


그림 2.4.2-24 실리콘 호스 및 마무리 배관 연결

(10) COOLING SYSTEM 조립

COOLING 장치 조립 및 배관 연결 작업



그림 2.4.2-25 COOLING 장치 조립

## 3. 견인전동기(Traction Motor)

### 가. 개요

저상굴절차량의 구동시스템은 엔진을 대신하여 견인전동기의 기계적 출력을 이용하여 차량을 구동하며, 인버터를 통해 차량의 속도를 조절할 수 있다.

저상굴절차량용 견인전동기의 주류를 이루고 있는 유도전동기의 특징은 고정자에 AC전원으로 회전하는 자계를 만들면, 회전자에 전압을 유도함에 따라 회전자 바에 전류가 생성되어 회전하는 구조로, 유도전동기의 가장 큰 이점은 전기적인 접촉(contact)을 없앰으로서 단순하고 강인한 구조를 가진다는 데 있다.

### 나. 견인전동기 용량 산정

견인전동기의 용량 및 요구 성능 조건은 그림 2.4.3-1에 견인전동기가 4대 장착되어 있는 18m급 저상굴절차량의 견인전동기의 역행 성능 곡선을 나타내었다. 18m급 저상굴절차량의 공차 중량은 17.6ton, 부하중량은 3.7 ton으로 산정하였으며, 시속 25km/h까지 4.32km/h/s의 가속도로 견인전동기 최대출력은 53.2 kW로 산정되었다. 이와 같은 저상굴절차량의 역행 성능을 만족하기 위해 견인전동기는 총 4대를 차량의 구동축에 각각 설치하여 바퀴별 구동력 및 조향을 제어하는 각륜 구동 방식을 적용하고 있다.

그림 2.4.3-2는 18m급 저상굴절차량의 견인전동기 제동 곡선을 나타낸다. 차량 중량은 역행시와 동일하며, 시속 5km/h까지 약 3.6km/h/s의 감속도로 견인전동기 최대 회생 전력은 73.5kW로 계산되었다.

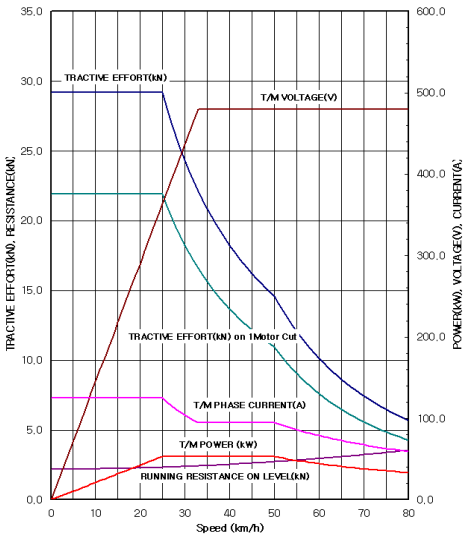



그림 2.4.3-1 저상굴절차량 역행 곡선

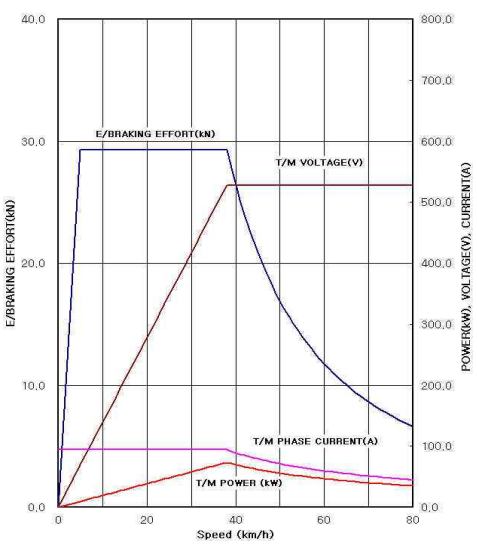



그림 2.4.3-2 저상굴절차량 제동 곡선

### 다. 견인전동기 구조

저상굴절차량의 견인전동기는 모터-감속기 일체형으로 설계되었다. 견인전동기-감속기 일체형 모델은 그림 2.4.3-3과 같다. 내부 고정자와 회전자의 구조는 그림 2.4.3-4와 같다.

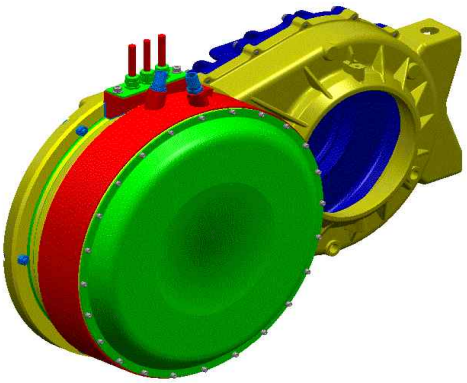


그림 2.4.3-3 견인전동기-감속기 구조

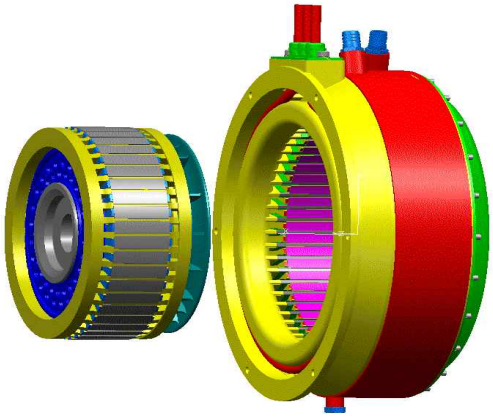


그림 2.4.3-4 회전자-고정자 구조

견인전동기는 내부 공기가 외부 공기가 견인전동기 내부에 흡입되지 않는 밀폐형 구조를 적용하였다. 따라서, 향후 견인전동기 정비시에 내부 먼지가 축적되지 않아 장기간 무보수 운전이 가능하게 설계되었다. 견인전동기 용량 증가에 따른 온도 상승은 시험을 통해 견인전동기 온도를 측정한 결과를 토대로 충분한 온도상승의 여유치가 있음을 확인하였다. 또한, 견인전동기 냉각 구조는 그림 2.4.3-5과 같다.

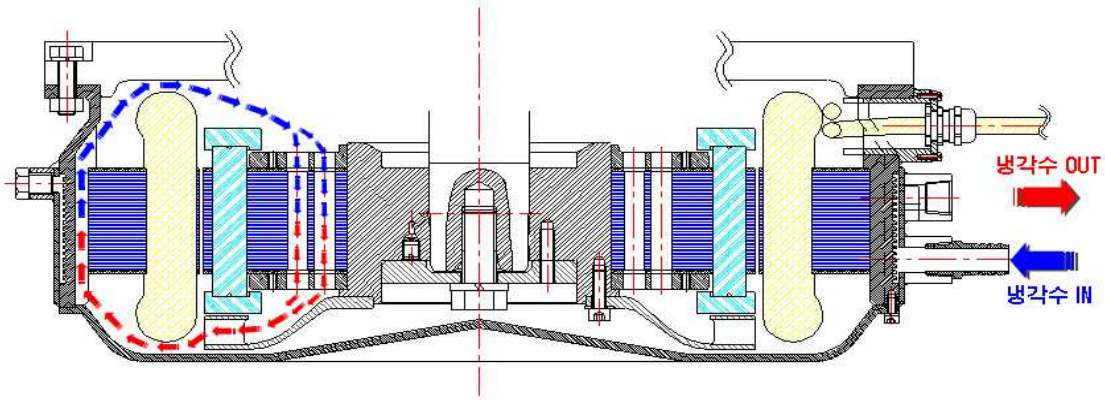



그림 2.4.3-5 견인전동기 냉각 구조

## 라. 견인전공기 열유동 해석

본 해석은 저상굴절 차량용 견인전동기의 Frame에 형성되어 있는 유로 형상의 적합성 및 냉각 효과를 분석하기 위해 수행하였다. 그림 2.4.3-6의 왼쪽은 견인전동기의 외형이고 오른쪽 그림은 해석 대상이 되는 유체 부분만을 나타낸다.

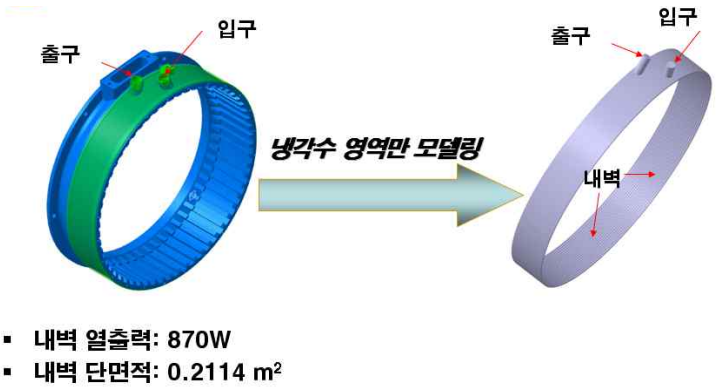



그림 2.4.3-6 3차원 모델

1) 해석 모델

3차원 모델 격자계, 해석 조건 및 경우

표 2.4.3-1 해석조건 및 경우

| 격자수 | 15.6만 셀 |
|---|---|
| 난류 모델 | Standard k-ε Model |
| 외기 조건 | 23°C, 열전달 계수 (5W/m²K) |
| 내벽 열속 조건 | 4,114W/m² |
| 해석 조건 | 격벽 유 |
| 냉각수 공급 유량 | 입구 주입 유량 16L/min |

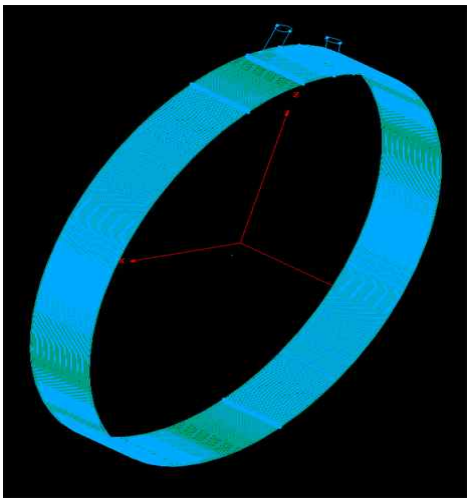


그림 2.4.3-7 해석 영역 격자 시스템

표 2.4.3-1은 해석 조건 및 경우를 나타내고 그림 2.4.3-7은 유체 영역의 격자 시스템으로 대부분 hexa mesh를 사용하였으며 입/출구 영역에서는 tetra mesh를 사용하여 전체 해의 수렴성을 높이기 위한 하이브리드 격자법을 사용하여 15.6만 셀을 분포 시켰다. 난류 모델은 수로에서의 현상을 적절히 해석하기 위해 Standard k-ε 난류 모델을 사용하였고 외기 조건은 외부 온도를 23℃로 가정하고 자연대류를 가정할 때 일반적으로 적용되는 값인 5W/m2K를 사용하였으며 냉각수의 공급이 유지될 경우 유량은 분당 16L로 입구 노즐을 통해 유입된다.

2) 해석 결과

그림 2.4.3-8는 속도 분포로 평균 1.2m/s로 정상 순환되고 위에서 언급 했듯이 출구 영역 일부에서 속도가 매우 작은 정체 예상 구역이 발생함을 알 수 있다.

그림 2.4.3-9는 온도 분포로 모든 냉각수가 정상 순환되어 약 1.2℃ 상승하였고 일부 정체가 예상되는 영역은 상대적으로 온도가 높음을 알 수 있다.

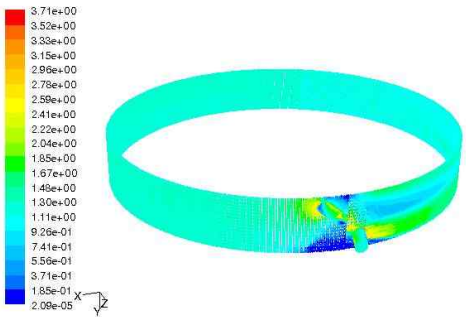



그림 2.4.3-8 속도 분포

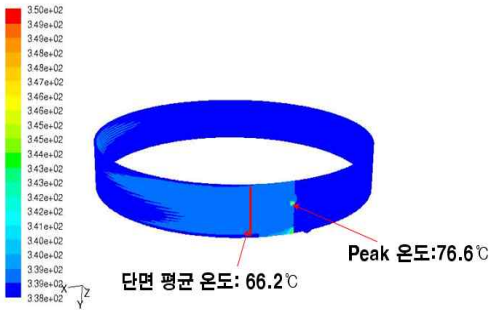



그림 2.4.3-9 온도 분포

그림 2.4.3-10은 압력 분포로 격벽이 유동의 흐름을 방해함으로써 냉각수가 겪는 압력 강하는 Case A에 비해 상승한 0.22Bar로 계산 되었다.

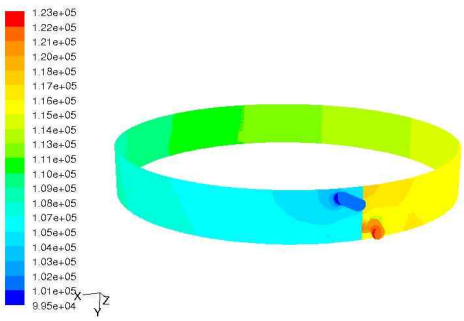
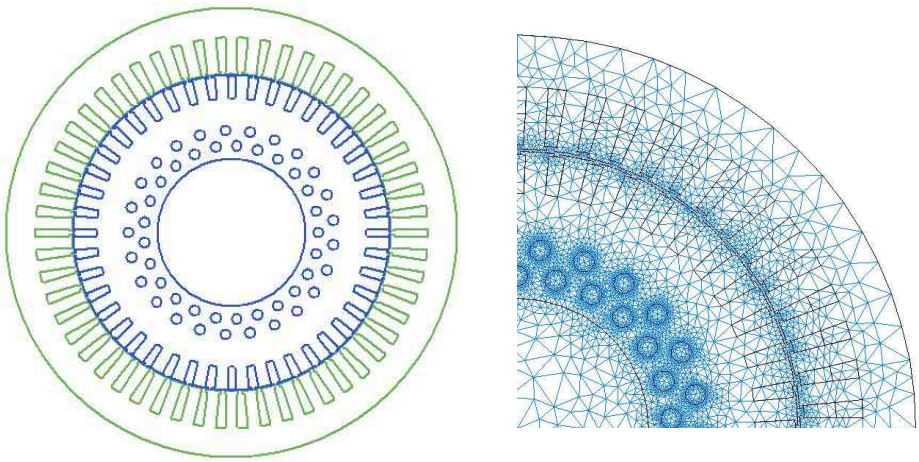



그림 2.4.3-10 압력 분포

## 마. 견인전공기 설계 및 해석

설계된 견인전동기의 성능을 분석하고자 시뮬레이션을 통해 해석하였다. 그림 2.4.3-11는 견인전동기 해석 모델을 나타내고 있다. 설계된 모델에서 각각의 전압, 토크 및 주파수 입력조건을 변경시키면서 견인전동기 성능을 검토하였다. 모델 설계시 외부 온도를 상온 20℃로 설정하였고, 동작 온도는 150℃로 가정하여 자기등가회로법과 유한요소법(FEM)을 이용하여 해석, 성능을 예측하였다. 각 조건별 출력 용량, 전압, 전류 및 주파수 등의 입력값을 표 2.4.3-2에 나타내었다.



(a) 자기 등가회로 해석을 위한 형상(b) 유한요소법을 이용한 요소분할

그림 2.4.3-11 견인전동기 2차원 해석 모델

표 2.4.3-2 견인전동기의 성능 조건별 입력값

| 항 목 | 조건1 (정격점) | 조건2 (정토크종단) | 조건3 (최고속도) | 조건4 (One pulse) | 조건5 (정출력종단) |
|---|---|---|---|---|---|
| 용 량 (kW) | 45 | 53 | 33 | 53 | 53 |
| 전 압 (V) | 480 | 364 | 480 | 480 | 480 |
| 전 류 (A) | 80 | 125 | 59 | 95 | 95 |
| 회전수 (rpm) | 2940 | 2450 | 5331 | 2215 | 3371 |
| 주파수 (Hz) | 150 | 125 | 272 | 113 | 172 |

1) 조건 1 (정격점) : 출력 45 kW / 전압 480 V / 주파수 150 Hz

조건 1은 견인전동기의 정격점에서의 동작 조건이다. 필요한 토크는 145 Nm이며 자기 등가회로법을 이용하여 계산하였다. 시뮬레이션 결과 전부하시(100%) 토크값은 요구 조건과 비슷한 144.95 Nm으로 나타났다.

표 2.4.3-3 부하량에 따른 정격점에서의 성능 특성 비교

| 부하량 [%] | 25% | 50% | 75% | 100% | 125% | 150% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 슬립 [%] | 0.32 | 0.61 | 0.91 | 1.22 | 1.55 | 1.91 |
| 출력 [kW] | 11.23 | 22.51 | 33.75 | 44.98 | 56.24 | 67.50 |
| 입력전류 [A] | 43.46 | 51.53 | 62.39 | 75.39 | 89.66 | 105.35 |
| 효율 [%] | 82.24 | 89.30 | 91.57 | 92.44 | 92.72 | 92.65 |
| 역률 [%] | 37.63 | 58.57 | 70.72 | 77.28 | 81.00 | 82.79 |
| 토크 [Nm] | 35.86 | 72.08 | 108.41 | 144.95 | 181.85 | 219.03 |

유한요소법을 이용하여 전동기의 자계 분포를 해석한 결과는 그림 2.4.3-12와 같다. 최대 자속밀도가 2.6 T 부근으로 표시된 것은 자기저항을 줄이기 위해 자속이 최단경로를 돌아가는 현상에 의해 뾰족한 모서리 등에서 나타난 국부적인 값으로, 전동기의 치와 공극 자속밀도와는 관계없다. 고정자 및 회전자의 치 자속밀도는 최대 1.4 ~ 1.6 T 정도이며 자속의 포화가 발생하지 않는 수준의 값이다.

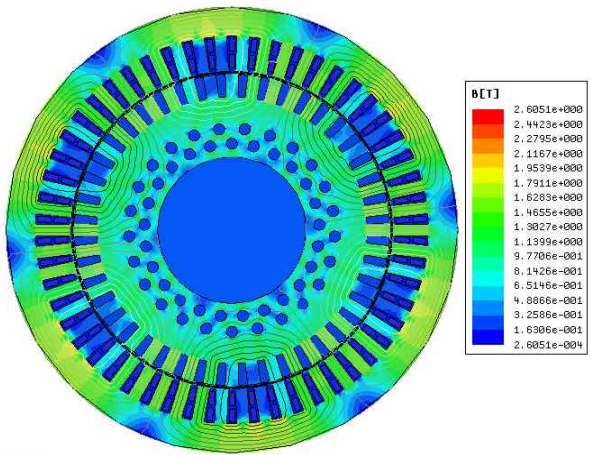



그림 2.4.3-12 정격점에서의 자속밀도 분포

정격점에서 견인전동기의 토크-속도 곡선과 역률 곡선은 각각 그림 2.4.3-13, 그림 2.4.3-14과 같다. 정격 토크일 때의 회전수는 2963.4 rpm이며, 요구조건인 2940 rpm과 부합한다. 역률 곡선에서 최대 역률이 85 %에도 미치지 못하는 것은 직경이 길고 적층 방향의 길이가 짧은 전동기의 특징과 외형 크기 제한에 따른 결과이다. 시뮬레이션 과정에서 적층 방향 길이를 증가시켰을 때 역률이 증가함을 확인할 수 있었으나, 본 전동기는 외형이 제한되므로 그림에서와 같은 역률 특성을 보인다.

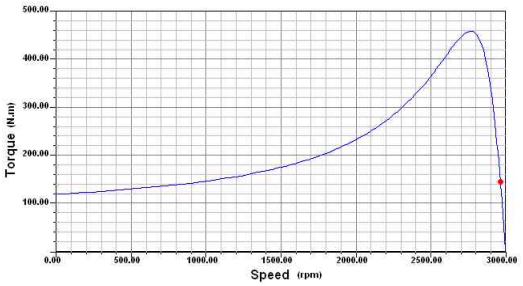



그림 2.4.3-13 정격점에서의 토크 - 속도 곡선

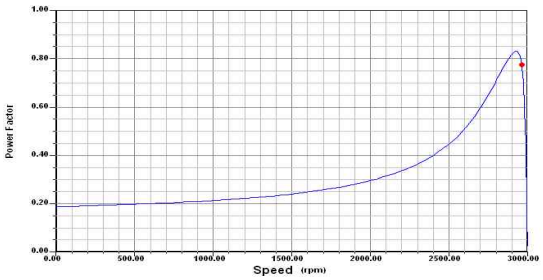



그림 2.4.3-14 정격점에서의 회전수에 따른 역률 곡선

2) 조건 2 (정토크 종단) : 출력 53 kW / 전압 364 V / 주파수 125 Hz

정토크 종단점에서의 해석 결과는 표 2.4.3-4와 같다. 토크값은 206.91 Nm이며, 회전수는 2445.52 rpm이다. 전동기의 자계는 조건 1의 정격점에서와 비슷한 분포를 보이므로 해석 결과는 생략한다. 다만, 입력전류가 정격점에서보다 높기 때문에 자속밀도의 값이 더 크게 나타난다. 토크 - 속도 곡선은 그림 2.4.3-15와 같다.

표 2.4.3-4 부하량에 따른 정토크 종단에서의 성능 특성 비교

| 부하량 [%] | 25% | 50% | 75% | 100% | 125% | 150% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 슬립 [%] | 0.51 | 1.01 | 1.55 | 2.18 | 2.96 | 4.09 |
| 출력 [kW] | 13.25 | 26.50 | 39.75 | 52.99 | 66.25 | 79.49 |
| 입력전류 [A] | 43.00 | 60.66 | 82.95 | 108.70 | 138.76 | 177.26 |
| 효율 [%] | 86.76 | 91.19 | 91.98 | 91.66 | 90.63 | 88.71 |
| 역률 [%] | 56.07 | 75.66 | 82.25 | 83.97 | 83.17 | 79.83 |
| 토크 [Nm] | 50.86 | 102.27 | 154.22 | 206.91 | 260.75 | 316.60 |

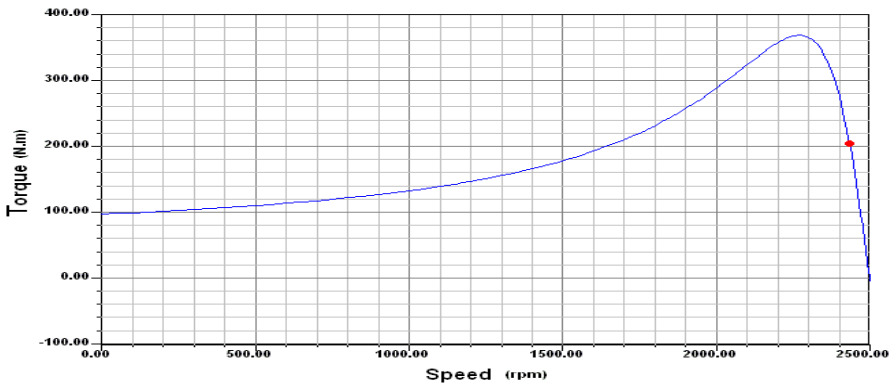



그림 2.4.3-15 정토크 종단에서의 토크 - 속도 곡선

3) 조건 3 (최고속도) : 출력 33 kW / 전압 480 V / 주파수 272 Hz

표 2.4.3-5에서 보듯이, 최고속도 조건에서의 성능 특성은 전하시 토크는 58.36 Nm 이고, 회전수는 5398.58 rpm이다. 토크-속도 곡선은 그림 2.4.3-16에서 확인할 수 있다.

표 2.4.3-5 부하량에 따른 최고속도 조건에서의 성능 특성 비교

| 부하량 [%] | 25% | 50% | 75% | 100% | 125% | 150% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 슬립 [%] | 0.22 | 0.39 | 0.57 | 0.76 | 0.97 | 1.22 |
| 출력 [kW] | 8.26 | 16.53 | 24.78 | 32.99 | 41.25 | 49.49 |
| 입력전류 [A] | 25.19 | 33.07 | 42.70 | 53.41 | 65.17 | 78.07 |
| 효율 [%] | 71.87 | 83.00 | 87.28 | 89.39 | 90.54 | 91.11 |
| 역률 [%] | 54.68 | 72.14 | 79.63 | 82.75 | 83.71 | 83.30 |
| 토크 [Nm] | 14.53 | 29.13 | 43.76 | 58.36 | 73.12 | 87.94 |

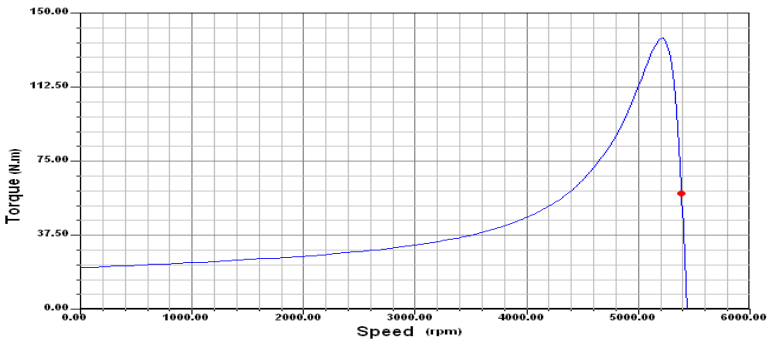



그림 2.4.3-16 최고속도 조건에서의 토크 - 속도 곡선

4) 조건 4 (One Pulse) : 출력 53 kW / 전압 480 V / 주파수 113 Hz

One Pulse 입력 조건에서의 토크값은 230.75 Nm, 회전수는 2225.69 rpm으로 계산되었다. 그림 2.4.3-17는 토크 - 속도 곡선을 나타낸다.

표 2.4.3-6 부하량에 따른 One Pulse 입력 조건에서의 성능 특성 비교

| 부하량 [%] | 25% | 50% | 75% | 100% | 125% | 150% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 슬립 [%] | 0.40 | 0.77 | 1.14 | 1.52 | 1.90 | 2.30 |
| 출력 [kW] | 13.90 | 27.51 | 40.81 | 53.78 | 66.43 | 78.74 |
| 입력전류 [A] | 82.40 | 89.18 | 98.67 | 110.23 | 124.10 | 139.73 |
| 효율 [%] | 82.65 | 89.25 | 91.26 | 91.97 | 92.09 | 91.87 |
| 역률 [%] | 24.46 | 41.40 | 54.26 | 63.52 | 69.60 | 73.43 |
| 토크 [Nm] | 58.98 | 117.15 | 174.42 | 230.75 | 286.12 | 340.53 |

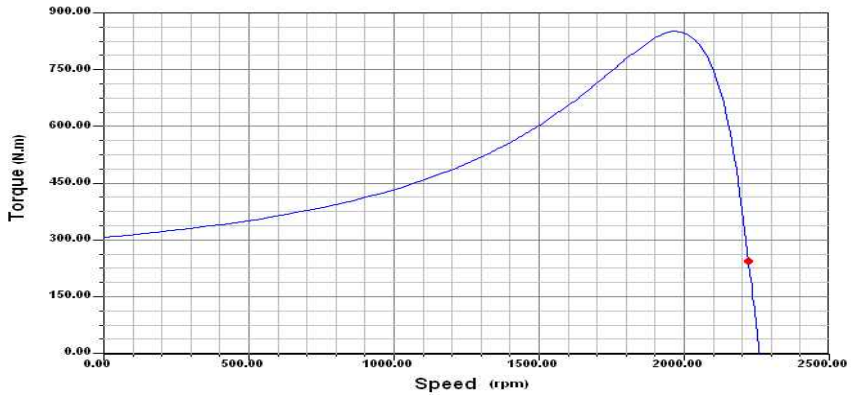



그림 2.4.3-17 One Pulse 입력 조건에서의 토크 - 속도 곡선

5) 조건 5 (정출력 종단) : 출력 53 kW / 전압 480 V / 주파수 172 Hz

정출력 종단에서의 토크값은 149.31 Nm이고, 회전수는 3389.32 rpm이다. 토크 - 속도 곡선은 그림 2.4.3-18에 나타내었다.

표 2.4.3-7 부하량에 따른 정출력 종단에서의 성능 특성 비교

| 부하량 [%] | 25% | 50% | 75% | 100% | 125% | 150% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 슬립 [%] | 0.37 | 0.72 | 1.08 | 1.47 | 1.91 | 2.42 |
| 출력 [kW] | 13.25 | 26.51 | 39.75 | 53.00 | 66.25 | 79.50 |
| 입력전류 [A] | 38.43 | 50.32 | 65.62 | 83.06 | 102.39 | 123.94 |
| 효율 [%] | 83.82 | 90.08 | 91.92 | 92.49 | 92.46 | 92.04 |
| 역률 [%] | 49.26 | 70.01 | 78.90 | 82.59 | 83.79 | 83.44 |
| 토크 [Nm] | 36.91 | 74.11 | 111.55 | 149.31 | 187.50 | 226.16 |




그림 2.4.3-18 정출력 종단에서의 토크 - 속도 곡선

### 바. 견인전동기 제작

그림 2.4.3-19에서 보는 바와 같이 견인전동기 고정자는 54 Slot에 2층권 권선 방식을 적용하여 Fill factor는 55%로 설계하였다. 3.5mm 규소 강판을 적층하여 철손을 최소화 하였으며, H종 절연 시스템을 적용하였다.



그림 2.4.3-19 고정자 프레임 유로 형상

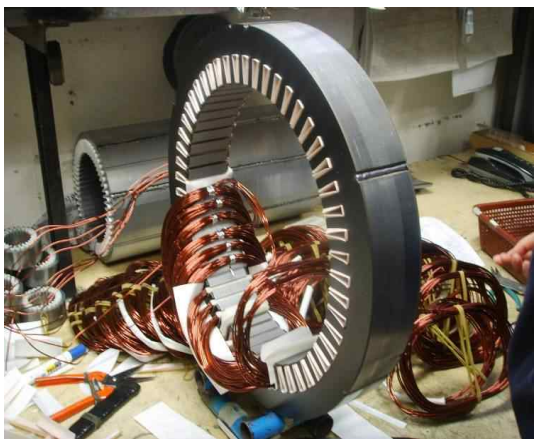


그림 2.4.3-20 고정자 코일 삽입 공정



그림 2.4.3-21 고정자 Lead wire 결선 공정

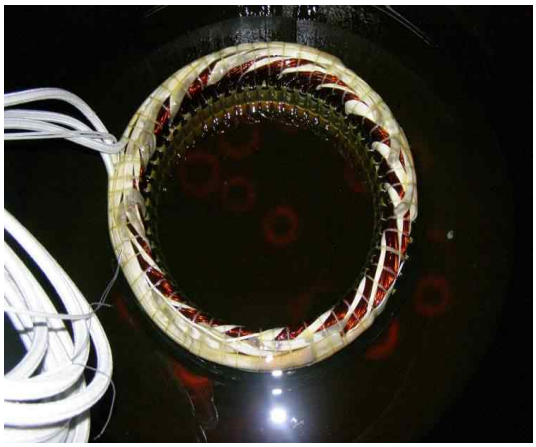


그림 2.4.3-22 고정자 함침 공정

표 2.4.3-8 견인전동기 고정자 제원

| 구분 | | 설계 제원 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| Stator | Slot 수 | 54 slot | |
| | 적층길이 | 63 mm | |
| | 중량 | 89.2 kg | |
| | 외경 / 내경 | 470mm/334mm | |
| 외형 치수 | | Φ510 x L177 | |

회전자에는 44개의 크롬-동 Rotor Bar 및 크롬-지르코늄-동 Endring을 적용하여 고효율화를 도모하였으며, 고정자와 동일한 3.5mm 규소 강판이 적층되어 있다.

그림 2.4.3-23은 견인전동기 Rotor Bar와 Endring을 유도 브레이징하는 공정이다. 그림 2.4.3-24는 회전자에 장착된 팬을 최고속도의 120%인 7,133 rpm에서 회전하여 팬의 이상 유무를 확인하는 공정이다.



그림 2.4.3-23 회전자 Bar 삽입 공정



그림 2.4.3-24 팬 과속도 시험



그림 2.4.3-25 회전자 완성품

상기 그림 2.4.3-25에서 보는 바와 같이 견인전동기 내부에는 팬이 장착되어 내부 공기를 순환시켜 냉각을 원활하게 할 수 있도록 설계되어 있다. 회전자 설계 치수 및 중량은 다음 표 2.4.3-9과 같다.

표 2.4.3-9 견인전동기 회전자 설계 제원

| 구분 | | 설계 제원 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| Rotor | Slot 수 | 44 slot | |
| | Bar / Endring | 크롬-동 /<br>크롬-지크코늄동 | |
| | 외경/내경 | 331mm / 155mm | |
| | 중량 | 55.9 kg | |

표 2.4.3-10 견인전동기 제원

| 구분 | | 설계 제원 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 형 식 | | 3상 6극 농형유도기 | |
| 절 연 등 급 | | H 종 | |
| 냉 각 방 식 | | 수냉식 | |
| 중 량 | 회전자 | 55.9 kg | |
| | 고정자 | 89.2 kg | |
| 외형 크기 | | 177mm × Ø 510mm | |
| 코일 피치 | | 8 | |
| 정격출력 (kW) | | 45 | |
| 전압 (V) | | 480 | |
| 전류 (A) | | 80 | |
| 토크 (kgm) | | 14.9 | |
| 정격 주파수(Hz) | | 150 | |
| 정격 회전수(rpm) | | 2,965 | |
| 최대 회전수(rpm) | | 6,000 | |
| 효율(%) | | 89.0 | |

## 사. 견인전동기 외형 도면

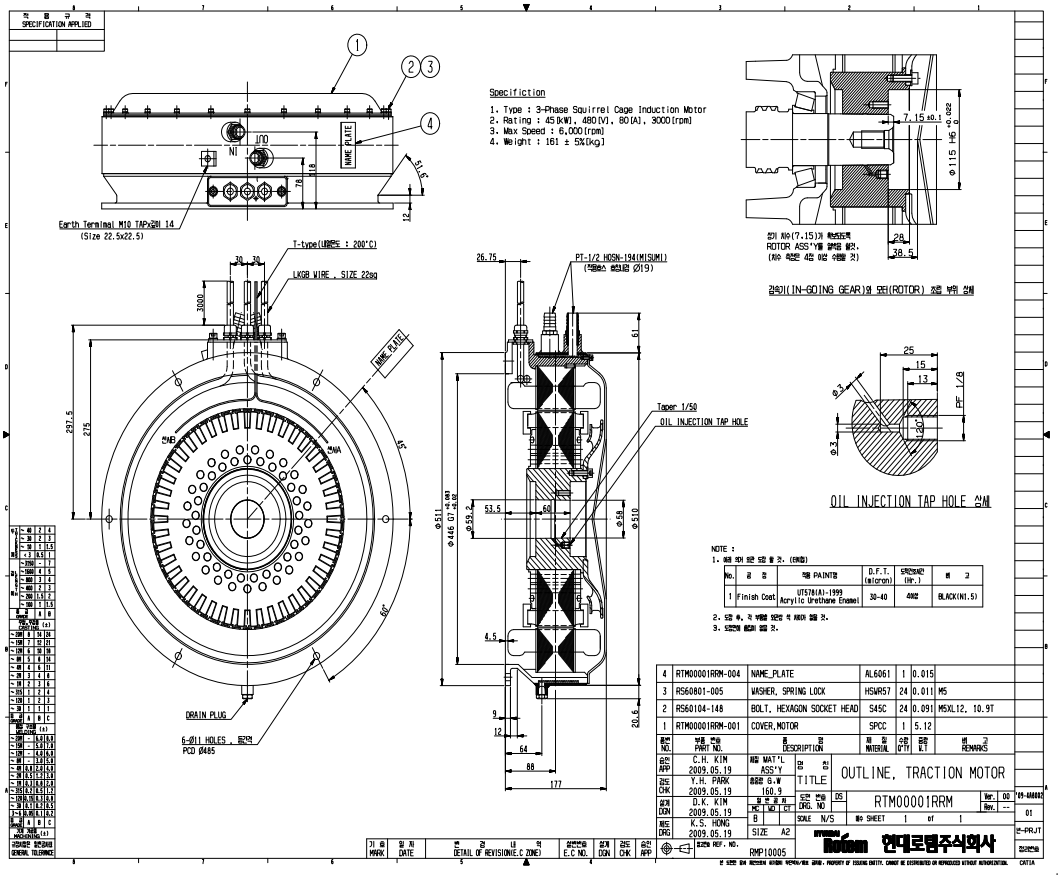



그림 2.4.3-26 견인전동기 외형도

### 아. 견인전동기 성능 시험

1) 견인전동기 성능 시험 개요

견인전동기의 Simulation 결과와 실제 제작된 견인전동기의 성능을 측정하여 비교하며, 요구되는 견인전동기의 성능을 만족하는지 판단하기 위해 아래 표와 같이 견인전동기의 성능 시험을 실시하였다.

저상굴절차량용 견인전동기 시험은 국제규격인 IEC 60349-2 (2002) 에 따라 실시하였다.

가) 성능 시험 항목

견인전동기 성능 시험 항목은 아래 표 2.4.3-11와 같다.

표 2.4.3-11 성능 시험 항목

| 순 번 | 형식시험 항목 | 비고 |
|---|---|---|
| 1 | 외관 및 구조검사 | |
| 2 | 저항측정 시험 | |
| 3 | 무부하 특성시험 | |
| 4 | 부하 시험 | |
| 5 | 온도상승시험 | |
| 6 | 과속도 시험 | |
| 7 | 소음시험 | |
| 8 | 진동시험 | |
| 9 | 절연저항 측정 | |
| 10 | 내전압 시험 | |

2) 2차 시작품 성능 시험 결과

가) 저항측정

완성된 견인전동기의 상간 저항 측정 결과는 다음과 같다.

표 2.4.3-12 저항 측정 결과

| 구 분 | U-V | V-W | W-U | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 저 항 | 0.0799 Ω | 0.0804 Ω | 0.0802Ω | 외기온도 : 26.0 ℃ |

나) 무부하 시험

견인전동기를 시험 지그에 장착하여 무부하 시험을 실시하였으며, 각각의 DC 입력단 전압에 따른 견인전동기의 무부하 시험 결과는 하기 표 2.4.3-13과 같다.

표 2.4.3-13 견인전동기 무부하 시험 결과

| 구 분 | 610V<br>DC link 전압 | 620V<br>DC link 전압 | 630V<br>DC link 전압 | 640V<br>DC link 전압 |
|---|---|---|---|---|
| 입력전압[V] | 482.651 | 490.626 | 498.614 | 506.549 |
| 입력전류[A] | 36.146 | 36.912 | 37.722 | 38.557 |
| 입력전력[kW] | 1.849 | 1.848 | 1.919 | 1..941 |
| 입력주파수[Hz] | 150 | 150 | 150 | 150 |

다) 부하 특성 시험

부하 특성 시험은 인버터 전원으로 실시였으며, 견인전동기를 모터 구동계를 사용하여 부하 토크 및 입력 전류를 가변시키면서 토오크, 슬립, 효율, 출력을 각각의 측정 포인트에서 실시하였다.

표 2.4.3-14 부하특성 시험

| 기준출력(%) | 50 | 75 | 100 | 125 |
|---|---|---|---|---|
| 선간전압(Vrms) | 482.21 | 479.40 | 477.82 | 476.81 |
| 선간전류(Arms) | 51.56 | 66.69 | 84.53 | 104.75 |
| 입력(KW) | 24.97 | 36.59 | 48.48 | 60.68 |
| 토오크(Nm) | 73 | 109 | 145 | 181.2 |
| 회전수(rpm) | 2983 | 2975 | 2965 | 2952 |
| 슬립(%) | 0.57 | 0.83 | 1.17 | 1.60 |
| 효율(%) | 91.32 | 92.80 | 92.86 | 92.32 |
| 역율(%) | 58.00 | 66.08 | 69.31 | 70.14 |
| 출력(KW) | 22.80 | 33.96 | 45.02 | 56.01 |

라) 온도상승 시험

견인전동기에 연속 정격, 전압을 입력한 후 각 부의 온도가 일정하게 될 때까지 온도상승을 측정하였다. 온도 상승치는 저항법을 이용하여 측정하였으며 측정 결과는 다음과 같다.

표 2.4.3-15 온도상승 시험 결과

| 초기 주변 온도 | 20.5 | 초기저항 | 0.0799 |
|---|---|---|---|
| 최종 주변 온도 | 25.9 | 최종저항 | 0.1123 |
| 온도상승치(Trise) | 98.0 K | | |

마) 소음 시험

견인전동기 회전수를 변경하면서 1m 떨어진 5곳에서 측정한 소음 결과는 다음 표 2.4.3-16와 같다.

표 2.4.3-16 소음 측정 결과

| 측정지점 / 회전수 | 기 준 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3000 rpm | 110dB(A) | 78.3 | 78.4 | 75.3 | 76.2 | 76.2 | 76.88 |
| 4000 rpm | 113dB(A) | 78.8 | 79.5 | 77.6 | 77.1 | 77.4 | 78.08 |
| 5000 rpm | 115dB(A) | 79.2 | 80.5 | 78.9 | 79.9 | 78.5 | 79.4 |
| 6000 rpm | 115dB(A) | 83.4 | 82.4 | 80.7 | 80.4 | 81.1 | 81.6 |

바) 진동시험

견인전동기 회전수를 변경하면서 견인전동기의 각부의 진동을 결과는 다음 표 2.4.3-17과 같다.

표 2.4.3-17 진동 측정 결과

| Speed (RPM) | 기준 | Vibration Velocity [mm/sec] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 부하 측 | | |
| | | 수직 | 수평 | 축 |
| 600 | 3.5 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 1200 | | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| 1800 | | 0.5 | 0.6 | 0.7 |
| 2400 | | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| 3000 | | 0.7 | 0.5 | 1.2 |
| 3600 | | 0.8 | 0.8 | 1.1 |
| 4200 | 5.25 | 0.5 | 0.4 | 1.0 |
| 4800 | | 0.4 | 0.6 | 1.5 |
| 5400 | | 0.4 | 0.7 | 1.1 |
| 6000 | | 0.4 | 0.4 | 1.3 |

사) 절연저항 측정 및 내전압 시험

절연 저항 측정은 전동기의 고정자 권선 각 상과 프레임 사이를 1000V 메가로 측정하여 200MΩ이상이 되어야 하며, 측정 결과는 1000MΩ 이상으로 측정되었다. 또한내전압 시험은 고정자 권선과 프레임 간에 AC 2500V 시험전압을 1분간 인가하여 이상이 없었다.




그림 2.4.3-27 절연 저항 측정

### 자. 완성차 견인전동기 성능 시험

1) 견인전동기 온도 상승 시험

바이모달 저상굴절차량 완성차에 장착된 견인전동기의 열적인 안정성을 평가하기 위하여 견인전동기 권선 내부에 열전대를 부착하여 차량 운행 중 온도 변화를 측정하였다. 견인전동기는 H class 로 설계되었으며, 권선의 온도 상승 한계는 180K 이다. 일반적으로 견인전동기의 권선은 저항법 (Resistance method)을 이용하여 온도 상승치를 산출하나, 완성차 시험에서는 저항법을 이용한 온도 상승 산출이 불가능하여 권선에 열전대를 직접 부착하는 방식으로 측정하였으며, 온도 상승 결과는 하기 그림 2.4.3-28과 같다.

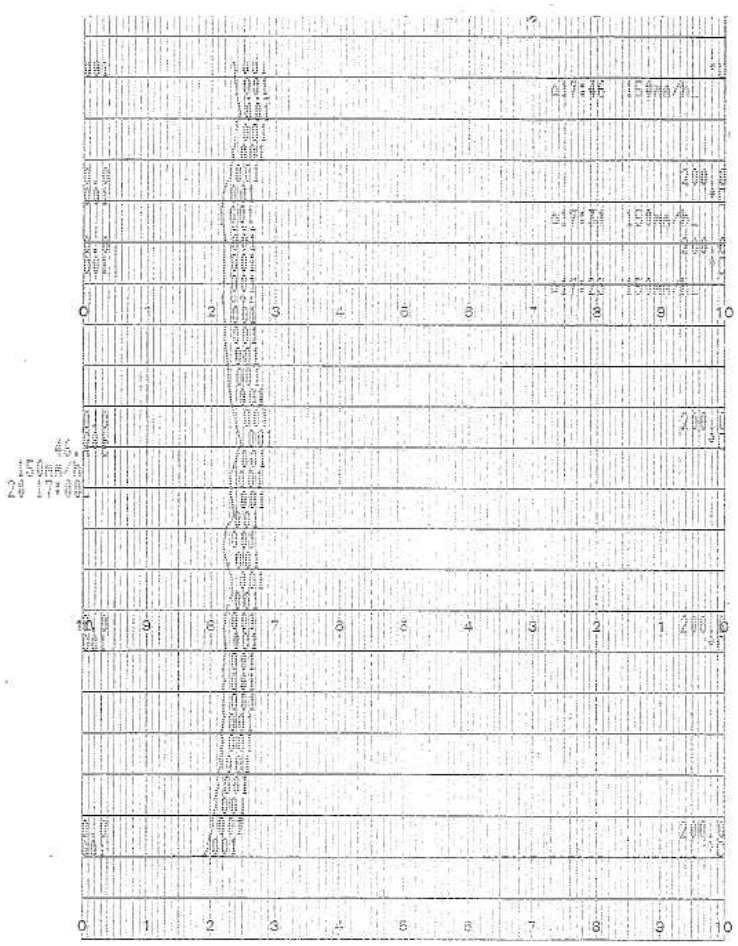


그림 2.4.3-28 견인전동기 온도 상승 시험 기록

상기 그림 2.4.3-28에 보는 바와 같이 완성차 견인전동기 권선의 최대 온도는 49.1℃이며 이때 외기 온도는 18.0℃ 이며 따라서 견인전동기 권선의 온도 상승치는 31.1 K 이다.

다만 상기 완성차 견인전동기 시험 조건은 승객 부하가 거의 없는 상태에서 측정되어 실제 승객 부하 (50%) 기준 대비 낮게 측정되었으나, 상기 결과에서 보는 바와 같이 견인전동기 권선의 온도 상승 기준치인 180K 대비 열적으로 충분한 용량을 확보하고 있음을 알 수 있다.

2) 견인전동기 전력 측정 시험

바이모달 저상굴절차량 완성차에 장착된 견인전동기의 전압, 전류, 입력 전력 및 역률을 측정하기 위하여 견인전동기 3상 입력단에 Power analyzer를 이용하여 차량 운행 중 견인전동기의 입력 전원에 대하여 분석하고자 하였다.



그림 2.4.3-29 견인전동기 특성 시험



그림 2.4.3-30 견인전동기 특성 시험

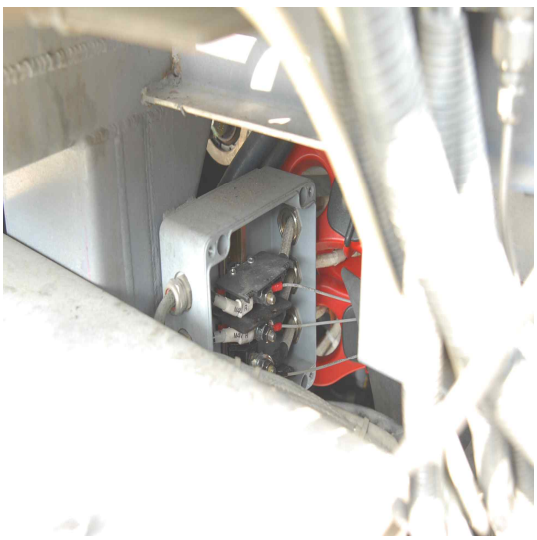


그림 2.4.3-31 견인전동기 특성 시험
(전원 입력단)

완성차 운행 중 각 주파수 대역별로 실시간 견인전동기의 입력 전압, 전류, 전력 및 역률을 측정하기 위하여 저상굴절차량 3축의 우측 견인전동기에 계측 장비를 설치하였으며 측정 결과는 하기 그림과 같다.

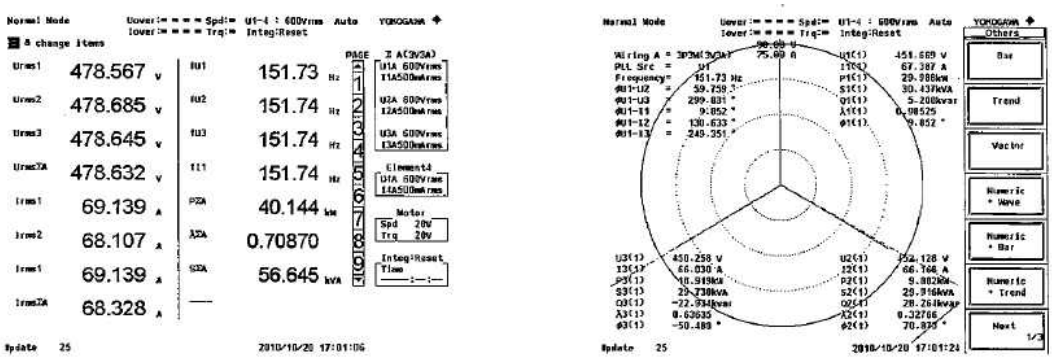



그림 2.4.3-32 견인전동기 입력 특성 (151 Hz)

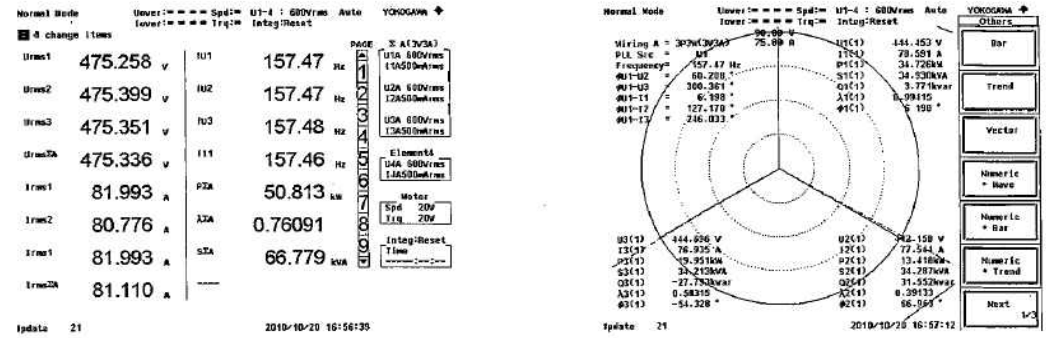



그림 2.4.3-33 견인전동기 입력 특성 (157 Hz)

상기 그림에서 보는 바와 같이 견인전동기의 정격 주파수에서 측정한 시험 결과는 실제 설계치 대비 낮은 부하로 인하여 정격 전류 대비 약 10A 정도 낮은 입력을 나타내었으며, 이때의 견인전동기 입력 전력은 40.1 kW 로 측정되었다. 또한 정력 전류를 기준으로 측정하였을 경우 견인전동기의 주파수는 157 Hz 로 측정되었으며 이때의 입력 전력은 50.8 kW 로 측정되었다. 또한 이때의 견인전동기 역률은 실제 설계치와 거의 일치하는 76 % 로 측정되었다.

앞에서 언급한 바와 같이 완성차 시험에서 승객 부하를 고려할 경우 상기 측정 시험값은 변경될 수 있으나, 완성차의 견인전동기 특성은 실제 설계치와 유사하게 측정되었음을 알 수 있다.

## 4. 배터리 및 BMS

### 가. 바이모달 트램용 배터리 개발

1) LPB 사양

차량에 요구되는 추진성능에 적합한 LPB(Lithium Polymer Battery)의 용량은 한 셀 당 전지 전압을 3.7 V로 한 경우에 하나의 팩에 대해 650 V, 80 Ah로서 200 kW의 정격을 갖도록 설계되었다.

표 2.4.4-1 Battery Cell 사양

| 형 명 | 구분 | 사 양 |
|---|---|---|
| Model | | SLPB 70460330B3H |
| Typical Capacity[1)] | | 80Ah |
| Nominal Voltage | | 3.7V |
| Operating Voltage range | Upper limited voltage | 4.2V |
| | Lower limited voltage | 2.7V |
| Charge | Max. current | 160A |
| Discharge | CC[2)] | 400A |
| | Peak Current[3)] | 500A |
| Operating Temp.[4 )] | | >1000Cycle |
| | Charge | 0~40℃ |
| Dimension | Discharge | -20~60℃ |
| | Thickness[T] | 6.4±0.3mm |
| | Width[W] | 455±5mm |
| | Length[L] | 320±5mm |
| | Tab center to center[A] | 150±5mm |
| | Tab width[B] | 100±1mm |
| Weight | | 2.00±0.10㎏ |

LPB는 기존 널리 사용되어온 배터리에 비해 단 셀 당 전지전압 (3.7 V)이 높고 높은 에너지 밀도와 전력 밀도를 가지고 있어 동일정격 대비 차지하는 부피 및 중량이 줄어드는 효과를 얻을 수 있다 [5,6]. LPB 폴리머 배터리 셀의 전기적 용량은 충전 또는 방전 시 전류 크기 및 주위 온도에 따라 다른 특성을 보여준다.

2) LPB 구성요소의 특성 평가

그림 2.4.4-1은 0.5 C (40 A), 1.0 C (80 A), 2.0 C (160 A)로서 정전류 (CC)-정전압 (CV) 충전을 하여 4.2 V로만 충전되기까지 셀에 충전되는 전압과 흐르는 전류값을 나타내고 있다. C-rate를 증가시킴에 따라 4.2 V로만 충전되는 시간이 상당히 감소한다는 것을 알 수 있다. 그러나 2.0 C를 초과하는 C-rate로 충전하는 경우

에는 2.0 C와 거의 같은 시간에 충전되는 것으로 확인되었다. 즉 본 개발에 사용된 배터리의 전기 화학적 충전 특성은 2.0 C까지의 외부 충전 조건에 대해 충전 시간을 감소시킬 수 있으나 2.0 C 이상의 C-rate에서는 내부적 전기 화학적 반응 속도의 제한적 요소에 따라 더 이상의 충전시간 감소는 불가능하였으므로 향후, 이에 대한 개선 연구가 필요하다고 본다. 다음 그림은 0.5 C로 충전하여 4.2 V만 충전된 상태에서 0.3 C - 5.0 C 사이의 7개의 다른 C-rate로 방전하였을 때의 셀 전압의 변화를 나타내고 있다. 5.0 C로 방전한 경우는 0.3 C로 방전한 경우에 비해 약 0.36 V 정도의 전압 차이를 보였으며 이를 LPB 팩 전압으로 환산하게 되면 63.36 V의 전체적인 전압강하가 발생하게 된다는 것을 보여준다. 또한 LPB용량도 5 C로 과방전하는 경우는 0.3 C로 방전한 경우에 비하여 약 6%의 차이를 보여주는 것이 확인되었다. 과방전에 따른 전압강하의 발생은 과전류에 따른 내부 전극의 온도 상승 또는 전기 화학적 영향에 의한 LPB 내부 저항의 증가로 인하여 발생되는 것으로 판단되고 LPB 용량의 차이도 이와 같은 이유에 기인한 것이라고 생각된다.

다음 그림2.4.4-2는 0.5 C로 4.2 V만 충전된 초기 상태에서 -20℃ - 60℃ 사이의 각 온도 별로 0.5 C의 정전류로 방전하여 2.7 V에서 차단될 때까지의 방전 곡선들을 나타낸 것이다. 가로축의 capacity (%)는 1 C (80 Ah) 방전용량을 100%로 정하였을 때 비교한 값이다. 온도 범위가 25℃ - 60℃인 경우에는 각 셀 전압이 3.4 V까지는 거의 차이가 발생하지 않고 3.4 V 이하에서 차단 전압인 2.7 V 사이에서 capability가 약 10% 차이가 발생하는데, 이것은 고온 환경에서 LPB 내부의 보다 활성화된 전기 화학적 반응에 의한 것으로 보인다.

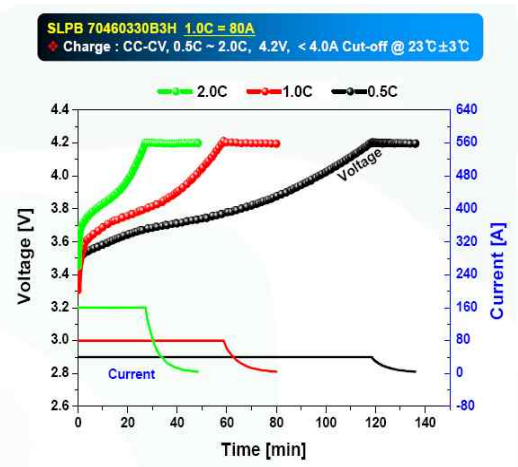



그림 2.4.4-1 LPB충전특성

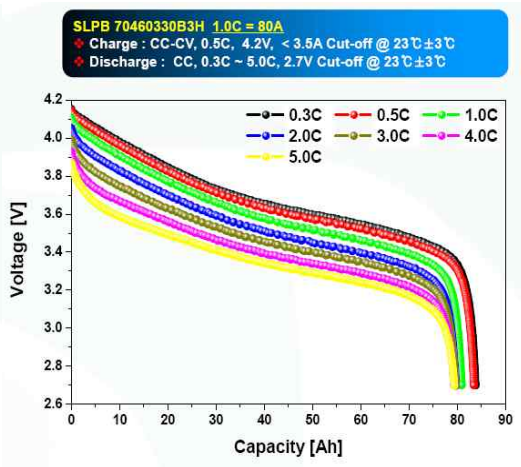



그림 2.4.4-2 LPB 방전특성

그러나 0℃, -10℃, -20℃에서 측정된 각 방전곡선은 25℃에서 측정된 방전곡선에 비하여 동일capacity (50%)에서 각각 0.2 V, 0.3 V, 0.5 V 정도의 전압 차이를 나타내고 있다. 또한 방전 초기 0℃ 이하에서는 25℃의 방전 곡선에 비해 보다 가파른 전압강하가 발생하게 되는데 이는 저온 상태에서 LPB 셀의 이온 이동도 감소와 전기 화학적 반응의 저하로 인한 것으로 판단된다. LPB는 2.7 [V] 저전압 상태 또는 4.2 [V] 과전압 상태 중 수명의 유지 및 안전을 위하여 어느 한 가지 상태도 허용되지 않아야만 한다. 특히, 4.2 [V]를 초과하여 충전되면 LPB 수명과 안전에 큰 영향을 초래하므로 반드시 4.2 [V] 이하에서 사용되어야만 한다. 차량에서 발전기에 의해 발생된 전압은 기본적으로 엔진회전 속도에 의해 제한되므로 발전기로부터 충전되는 전류는 2.0 C 이하로 유지될 수 있다. 그러나 차량이 제동할 때 전동기에 의한 회생전압은 주행 속도가 높을수록 전압은 높아져 이에 따른 LPB로의 충전전류는 3.0 C 이상이 될 수 있다. 실제 차량에서는 전압이 일정수준 이상 초과 시 회생제동 저항으로 전류를 흐르게 하는 방법으로 전압상승을 제한하고 이에 따라 충전 전류도 제한되어야 한다.

다음 그림 2.4.4-4는 LPB의 단일 셀에 대한 SOC (state of charge) 별 셀 전압과 직류내부 저항에 대한 측정 결과를 보여주고 있다. 내부 저항과 셀 전압의 SOC값에 따른 변화에 따라 3개의 구간으로 나누어 살펴볼 수 있다. 0%-30%의 첫 번째 SOC 구간에서는 내부 저항이 감소하고 셀 전압이 급격히 증가하였다. 30% - 70%의 두 번째 SOC 구간에서는 내부 저항은 거의 동일한 값을 유지되었고 셀 전압은 서서히 증가하였다. 70% - 80%에서의 증가경향을 보면, 80% 이상에서는 내부 저항과 셀 전압이 다시 급격히 증가할 것으로 예상할 수 있었다. 이러한 SOC의 구간에 따른 셀 전압 및 내부 저항의 변화 경향을 살펴보았을 때 차량의 제동 시 회생에너지를 LPB에 충전하기 위한 여유용량을 생각하여 SOC는 최대 70%를 넘지 않도록 유지되어야 하고 추진 시 방전량을 고려하여 SOC는 최소 40% 이하가 되지 않도록 하는 것이 필요할 것으로 추정된다.

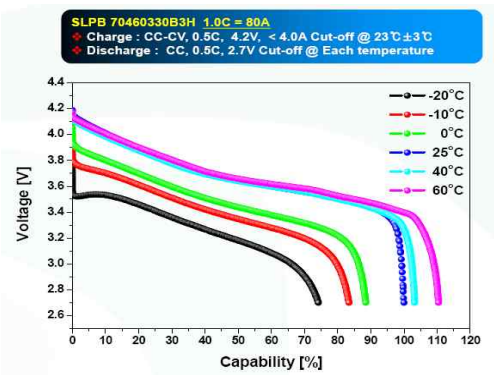



그림 2.4.4-3 LPB 용량의 온도특성

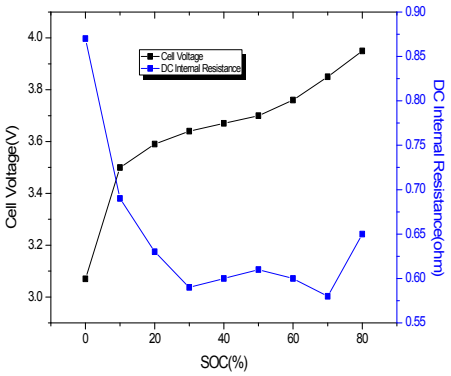



그림 2.4.4-4 LPB 셀의 용량별 DC 내부저항

3) LPB 팩의 차량 적용성 검토

여러 가지 검토 결과를 토대로 직렬형 하이브리드 차량에서 LPB 팩의 셀 당 사용 전압을 SOC가 70%인 3.84 V에서 SOC가 20%인 3.4 [Vdc]로 제한하였으므로 LPB 팩의 운용 시 사용전압 범위는 최대 646.8 [Vdc] 부터 최소 571.2 [V]로 정하여 졌다. 이 결과를 토대로 직렬형 하이브리드 차량의 운영 효율화와 LPB의 장수명화를 위하여 SOC 범위는 다시 55% - 65%로서 10% 이내로 정하였다.

다음 그림2.4.4.-5는 LPB 셀의 충방전 특성을 확인하기 위한가상의 직선로를 주행하는 경우에 추진 (가속), 타행 (속도 일정), 제동 (감속)을 약 1분 간에 걸쳐 모의된 주행패턴을 보여주고 있다. 초기 추진 시 LPB는 방전하고 타행 시엔 방전이 정지되며 제동 시에는 견인전동기의 회생 발전으로 LPB는 충전된다. LPB 셀의 온도 특성은 앞서 살펴보았듯이 매우 중요하므로 모의된 주행패턴에 따라 주행한 경우에 셀에서의 온도분포를 측정하였다.

다음 그림 2.4.4-6은 8개를 직렬로 하나의 모듈로 제작하였던 초기 모델을 차량의 주행패턴 (1 cycle)에 따라 101 cycle (약 101분)의 충방전하였을 때 8개의 셀에 부착된 온도 센서에서 측정된 결과를 보여주고 있다. 8개의 셀은 아래로부터 #1 → #8로 순번이 정해져 측정되었고 셀의 온도는 충방전이 지속되는 동안 지속적으로 상승하였다. 셀의 온도 안정성을 고려하여 시험은 셀의 온도가 70℃에 도달하였을 때 중지시켰다. 메이커마다 사용 온도의 제한은 다를 수 있으나 일반적으로 가능한 최대 사용 온도는 60℃를 넘지 않도록 하여야 하며, 실제 사용온도는 가급적 20 - 40℃를 유지하는 것이 LPB 성능을 최적으로 유지하기 위해 제작사에서 추천하는 온도 범위이다.

초기 모듈 모델에 대한 시험은 외부에서의 강제 냉각없이 외기 온도 25℃에서 자연적인 전도와 대류에 의해 온도가 상승되는 것을 확인하는 것이었으며, 결과는 예상대로 상부와 하부 온도가 중첩되는 중간부분의 #5 셀 온도가 가장 높은 것으로 측정되었고, 바닥과 접촉되어 공기순환이 이루어지지 않는 하부 셀들이 공기 순환이 이루어져 자연 냉각이 이루어지는 상부 셀들보다 온도가 높게 측정된 것으로 보인다.

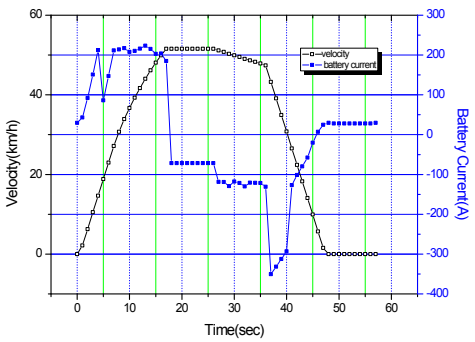



그림 2.4.4-5 차량 주행패턴 모의

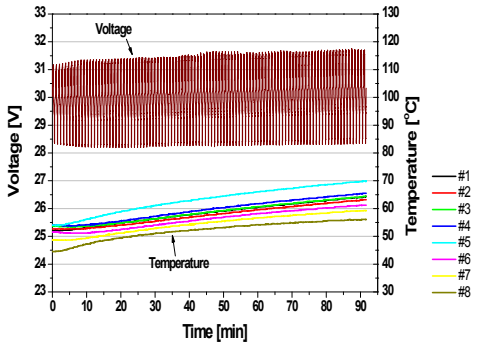



그림 2.4.4-6 LPB셀의 온도분포

다음 그림 2.4.4-7은 최상부에 위치한 셀의 한 면을 적외선카메라를 이용하여 촬영한 결과를 보여주고 있다. 주행사이클에 따라 충방전을 실시한 직후 전극에서 열 발생이 관측되었고 13분 경과 후에는 전극에서 발생된 열이 점점 셀 측으로 이동하였고 시험 종료 전 88분이 경과되었을 때 관찰된 셀의 한 쪽 측면온도는 가장 높은 전극부를 제외하고 균일하게 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 그림에서 보여지는 화살표는 바람에 의한 냉각 효과를 살펴보고자 소형 선풍기로 바람을 불어 보낸 방향으로 바람 방향에 따라 온도가 내려가는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 LPB에서 충전 시 반응열은 (+)전극으로부터 이동한 리튬이온이 (-)전극에 의해 고정될 때 흡수되는 열에 일치한다. 또한 이 반응열에 등가인 열의 양은 방전하는 동안 발생되므로 LPB 자체적으로는 충전과 방전 시 에너지가 동일하다면 열 발생은 거의 0이다. 그러나 현실적으로는 다양한 불일치가 발생하며, 이 불일치는 열로서 발생되고 또한 전극 및내부 저항을 흐르는 전류에 의한 Joule열은 셀의 충방전 시 셀에 대한 온도 상승을 이끄는 주요 원인이므로 우선 전극에서의 열 발생을 최대한 줄이고 각 셀 표면에서의 열 발생을 가급적 억제할 수 있는 구조가 냉각을 위하여 요구되어 진다. 다음은 냉각 팬을 부착하고 셀 간 공극을 마련한 구조로 개선한 간이 모듈에 대해 주어진 주행 패턴 하에서 LPB 셀의 온도 상승을 살펴보았다.

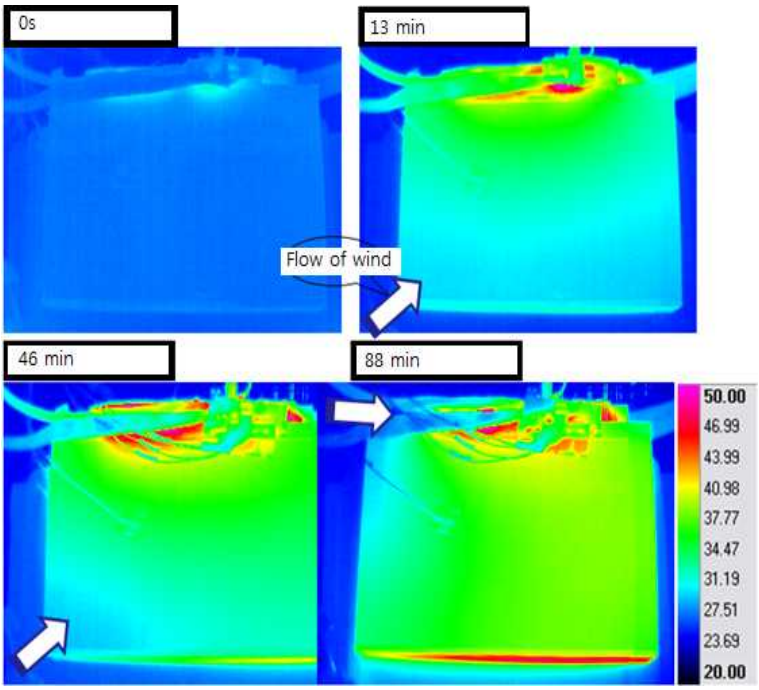



그림 2.4.4-7 적외선카메라로 촬영된 LPB 표면의 온도분포

다음 그림 2.4.4-8은 한 모듈 (8S1P)에서 셀과 셀 사이를 약 2 mm 정도 이격하고 열이 가장 많이 발생하는 전극부분으로 냉각 팬을 설치하여 한쪽 팬으로는 외기를 흡입하고 다른 쪽 팬으로는 전극에 의해 데워진 공기를 밖으로 빼내도록 하는 구조로 변경하여 시험한 결과이다. 가장 높은 온도를 보인 지점은 각 셀로부터 외부전극에 연결되어 지는 부분 (#9)이었고 다음으로 온도가 높은 곳은 전극 탭과 외부 케이블 탭이 접속되는 부분 (#10) 이었으며 셀 가운데 가장 높은 부분은 가장 가운데 있는 셀 (#5)과 바닥면에 연접한 셀 (#1)이었다. 이 결과는 셀의 표면온도 분포를 적외선 카메라로 살펴보았을 때 전극 부분이 가장 먼저 온도가 상승한 것과 그 부분의 온도가 가장 높았던 결과와 일치함으로 보여주며 전극 부분을 냉각함으로써 온도가 더 이상 상승하지 않는다는 것을 실험으로써 확인하였다. 그러므로 실제 차량에 적용되는 LPB 모듈의 구조는 본 실험에서 냉각 팬을 가진 구조로 수정되어야만 할 것으로 판단되었다.

그림 2.4.4.-9는 최종 수정된 구조로 제작된 모듈의 외형을 보여주고 있다.

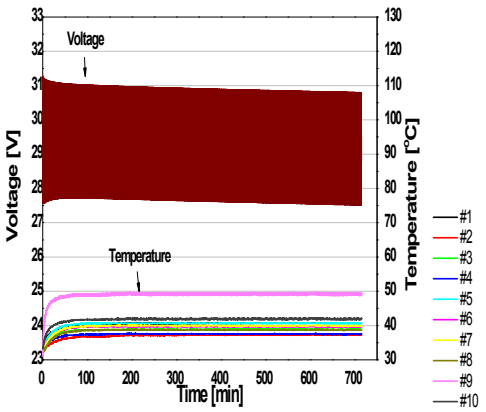


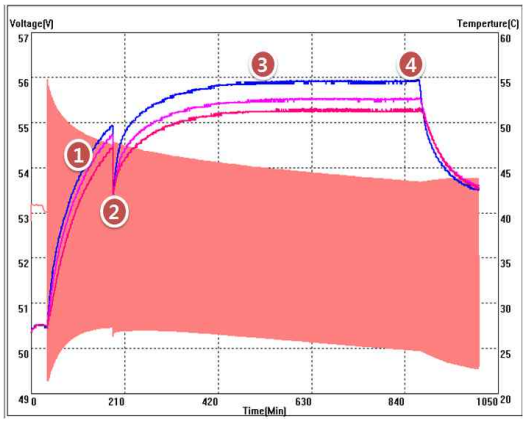

그림 2.4.4-8 변경된 LPB모듈의 온도포화특성



그림 2.4.4-9 LPB 모듈 시작품 외관도

다음 그림 2.4.4-10은 수정된 설계에 의해 제작된 LPB 모듈에서 냉각 팬을 동작시키지 않은 경우와 냉각 팬을 가동했을 때의 모듈 내 각 셀들의 온도 상승 곡선을 보여주고 있다. 냉각팬을 동작시키지 않은 경우에 온도가 약 55℃까지 상승하였으나 냉각 팬이 동작된 후에는 온도가 40℃까지 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 정해진 LPB 팩 사이즈에 적합하도록 제작된 LPB 모듈은 14S1P 모듈 12개와 8S1P 모듈 1개이나 모듈로부터 전원을 공급받는 BMS (battery management system)의 전력소비 (약 5 W)에 의해 8S1P 모듈의 전압 강하가 다른 14S1P 모듈 12개에 비해 크게 되고, 이 차이는 계속적으로 유지되어 팩 내부의 모듈 간 전압

불균형이 발생하여 8S1P 모듈 및 팩 전체의 충방전 효율을 저하시키는 것으로 확인되어 14S1P 모듈 12개만을 적용하는 것으로 결정하였다. 이러한 과정을 거쳐 차량에 설치하기 위한 LPB 팩은 14S1P 모듈이 12개이고 8S1P 모듈이 1개로 총 176 cell, 650 V로 설계 제작되었다.




| No | Contents |
|---|---|
| 1 | Case cover is opened and Fan stopped |
| 2 | Temporary stop while case cover fixed |
| 3 | Restart the test and Fan stopped |
| 4 | Fan starts running with case cover fixed |

그림 2.4.4-10 LPB 모듈 시작품 온도특성

다음 그림 2.4.4-11은 차량에 적재하기 위하여 제작된 LPB 팩에 대한 외형을 보여주고 있다.

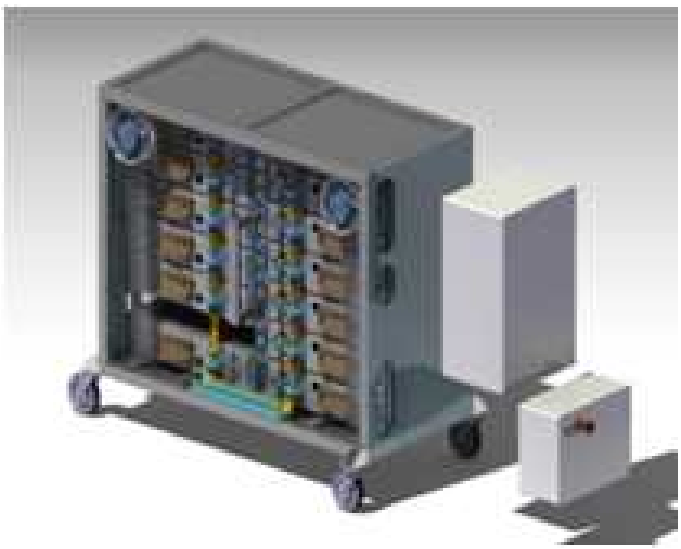


그림 2.4.4-11 LPB 팩 외관도

4) LPB 팩의 실차적용 및 주행특성 평가 및 고찰

차량용 LPB 팩은 직류차단기함과 배선용 단자함이 함께 포함되어 총 650 [kg]의 중량으로 엔진룸의 하단부에 설치되었다.

다음 그림은 굴절차량의 엔진룸 하단 중앙부에 설치된 LPB 팩의 설치된 모습을 보여 주고 있다. LPB의 성능은 온도와 밀접한 관계가 있으므로 성능평가 지수로서 주행 중 온도 변화를 중점적으로 살펴보았다.

엔진룸은 상부와 하부가 구분된 구조이고 상부에는 엔진, 발전기, 래디에이터가 설치되어 있고, 그 하부에 LPB 팩이 위치하므로 엔진동작 시 발생되는 열과 래디에이터에서 발생된 열에 직접적이지는 않으나 간접적으로 노출될 수 있게 되어 의도되지는 않았으나 LPB 팩 자체적으로 상부측과 하부측 사이에는 이로 인한 온도차가 존재하게 된다. 차량용 LPB 팩에서는 가급적 이러한 외부환경의 영향을 줄이고 팩 내부 온도를 가능한 일정하게 유지시키기 위하여 차량실내로 환기구를 연결하여 팩 내부로 강제적으로 공기를 유입시키는 구조로 설계하였다. LPB 팩이 설치된 시작차량은 2009년 5월에 제작이 완료되어 공장 구내 시험 등을 거쳐 약 5,000 km의 예비도로 주행시험을 가졌으며 일반도로 1회 완주 당 약 50 km를 주행하였다. 도로주행 조건은 일반 자동차와 혼합되어 주행하므로 일정 패턴을 정확하게 유지할 수 없으므로 가능한 운전자의 재량에 의해 가급적 동일한 주행패턴을 가지도록 노력하였다.

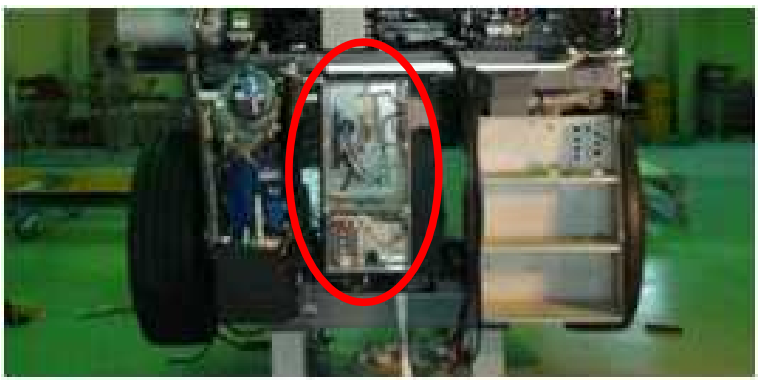


그림 2.4.4-12 LPB팩의 차량설치모습

다음 그림2.4.4-13은 차량이 도로주행 시 LPB 팩에서 측정된 팩 전압, 전류, 전력, SOC에 대한 그래프를 보여주고 있다. 추진시스템의 추진모드 설정에 따라 차량이 정차된 상태에서 하이브리드모드로 동작 시 SOC가 59% 이상이면 엔진속도가 2,400 [rpm]으로 상승하여 LPB 팩을 충전하고 SOC가 63%에 도달하면 엔진속

도는 아이들 (900 [rpm])로 하강하여 차량 내 전원이 LPB 팩에서 공급되어지도록 한다. 차량의 주행을 위하여 가속페달을 밟게 되면 엔진은 추진시스템의 TPLC (traction programmable logic controller)의 제어에 따라 SOC에 관계없이 2,400 [rpm]으로 상승하게 되고 가속페달의 정도 즉 추진에너지의 사용량에 따라 LPB 팩의 충방전 동작이 행해진다. LPB 팩이 발전기로부터 출력된 전력에 의해 충전이 이루어지면 LPB 팩의 전압은 상승하고 전류는 충전전류가 되어 (+)로 모니터링 프로그램에 저장 및 현시된다. 그리고 LPB 팩이 방전하게 되면 LPB 팩의 전압은 하강하고 전류는 방전전류가 되어 (-)로 그래프에 표시된다.

그림은 굴절차량이 하이브리드모드로 정해진 주행선로를 일정한 주행패턴으로 주행 시 LPB에서 측정된 충·방전 특성을 보여 주고 있다. 그림 13에서주행 초기에는 SOC가 이미 63%에 도달하여 엔진 속도가 아이들로 내려가고 LPB 팩은 방전하게 되어 LPB 팩 전압 및 SOC는 서서히 감소하게 된다. 이때 전류는 (-)전류가 흐른다. 차량이 추진하게 되면 기동 시 기동전류가 크므로 주로 LPB 팩으로부터 전력이 공급되어 방전전류가 크게 흐르고 어느 정도 차량이 주행하여 일정속도 이상 또는 타행구간에 도달하게 되면 발전기로부터 공급되는 전력에 의해 방전전류가 감소하고 반대로 충전전류가 흘러 LPB 팩으로 충전된다.

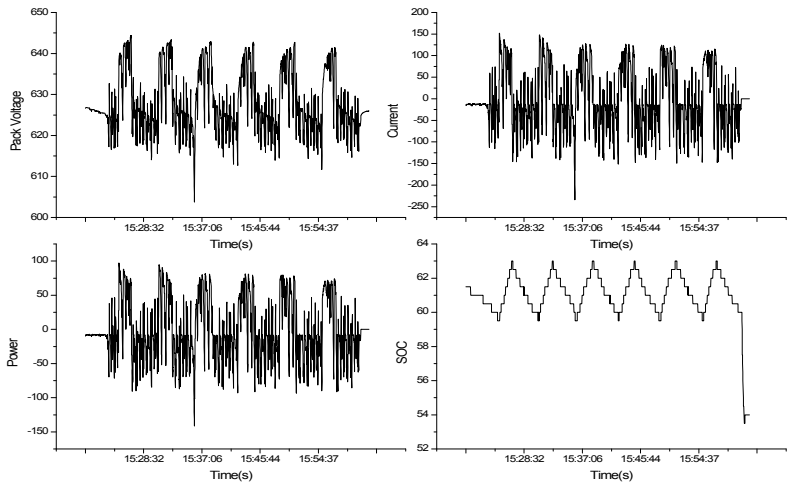



그림 2.4.4-13 차량주행시험 중 측정된 LPB 입출력, 전압, 전류, SOC

다음 그림2.4.4-14는 차량의 도로 주행 시 LPB 팩에서 충전 또는 방전되는 전류에 의한 LPB 팩 내부온도의 평균적인 온도 변화를 보여준다. LPB 팩의 충전 또는 방전전류의 지속시간에 따라 지속시간이 길어지면 온도가 상승하고 지속시간이 짧은 즉 충전전류와 방전전류가 반복적으로 짧게 흐르는 동안에는 온도의 상승이 거의 일정하게 된다.

그러나 도로 주행 시 LPB 팩의 온도는 전반적으로 내부 냉각량과 발열량이 평형을 이루는 온도까지 계속적으로 상승하게 된다. LPB 팩의 내부 셀들의 위치에 따라 셀 간 온도 차가 발생하며 온도 차에 따라 최고 온도와 최저 온도의 분포를 나타내게 되며 평균 온도는 이들 셀들의 어느 시간에서 LPB 팩에 분포된 온도를 평균한 것이다.

다음 그림2.4.4-15는 어느 순간에 측정된 LPB팩 내 셀들의 온도 분포를 나타낸 것이다. 그림 15에서 1번 온도는 차량 후방부에 위치한 열의 맨 위에 설치된 셀들에 대한 온도이고, 42번과 43번 온도는 모두 LPB 팩 하부에 위치한 셀들에 대한 온도를 나타낸다. 그리고 84번 온도는 차량 전방으로 배치된 열의 맨 상부 측 온도를 보여주고 있다.

LPB 팩의 흡기구는 차량 실내와 연결되어 있고 LPB팩의 아래 부분에 위치하여 차량 실내에서 냉각된 공기를 LPB 팩의 맨 하단부로 유입시키므로 LPB 팩의 맨 하단부에 위치한 42번 주위 셀들의 온도가 배터리팩들 중 가장 낮은 온도 분포를 보이게 된다. LPB 팩의 상부에 위치한 셀들의 온도는 LPB 팩의 아래 부분에 위치한 셀의 온도보다 높은 온도 분포를 보인다는 것을 알 수 있으며 1번 온도가 가장 높은 이유로는 배터리팩의 상부와 엔진룸 간에 단열재가 설치되어 있으나 엔진룸의 구조상 엔진룸에서 엔진방열기에 의해 뜨거워진 바람이 엔진 냉각팬에 의해 엔진룸에서 LPB 팩 쪽으로 불어 나가게 되어 있어 LPB 팩의 차량 후방부측의 맨 윗부분의 셀들이 엔진룸에서 오는 열에 간접적으로 노출되기 때문이다. 이러한 이유로 LPB 팩 내에서 셀 간 온도의 최대 차이는 살펴보면 약 10 [℃] 정도가 된다.. LPB 팩 내에서 온도 차이가 발생하는 것은 LPB 팩 내에 설치된 셀들의 성능을 균질하게 유지시키는데 방해가 되고 더 나아가 배터리 팩의 유지보수 비용을 증가시키는 요인이 되므로 셀 간 온도 차이를 최소로 유지하는 것이 매우 중요하다.

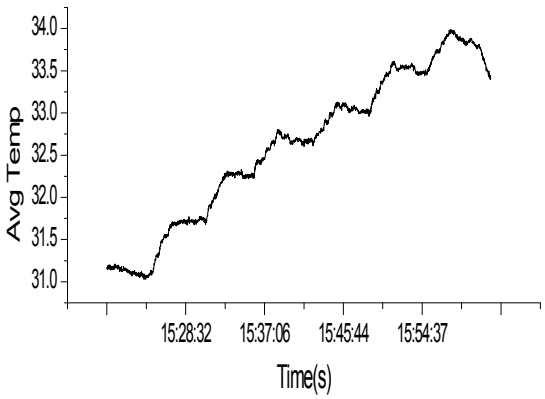



그림 2.4.4-14 차량 주행시험 중 측정된 LPB 팩 내부 측정온도

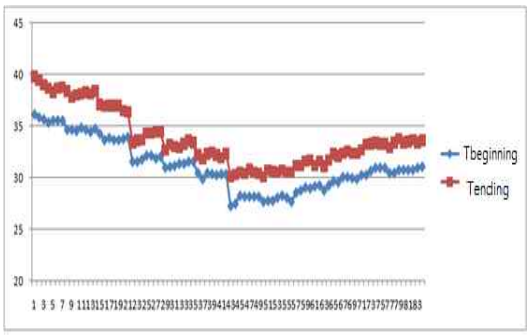



그림 2.4.4-15 주행전과 후의 LPB셀들의 온도분포

다음 그림2.4.4-16은 이들 셀들의 도로 주행 시 최대, 최소, 평균 온도의 변화를 보여주고 있다. LPB 팩 내 셀들의 배치는 차량진행 방향으로 6개 모듈이 1열을 이루어 2개열로 되어 있다. 온도센서는 두개의 셀 중간에 설치되어 측정되므로 하나의 LPB 팩에 설치된 셀은 총 168개로써 온도 센서는 총 84개가 된다.

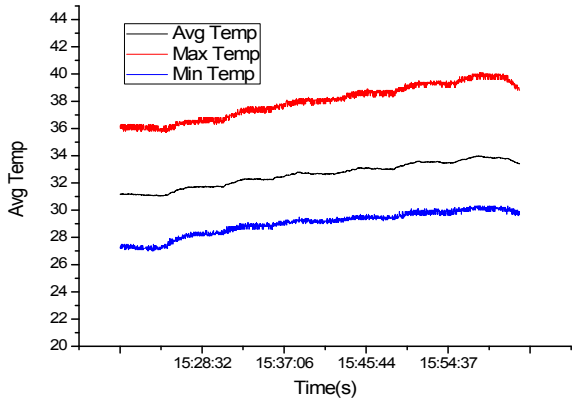



그림 2.4.4-16 주행시험시 측정된
배터리팩의 온도특성(최대, 평균, 최소)

개발된 직렬형 하이브리드 저상굴절에 대한 시작차량은 배터리 팩이 엔진룸의 하단부에 위치되어 엔진룸에서 발생된 열이 배터리 팩에 대한 온도를 부분적으로 상승시키게 되므로 배터리 팩에 대한 단열 처리 및 유입된 실내 공기를 배터리 팩 내부에 균일하게 배분되도록 공기 통로를 개선할 필요성이 있는 것으로 파악되어 이 부분을 적용하였다.

### 나. 바이모달트램용 BMS 개발

1) BMS 설계

저상굴절 차량용 배터리 관리시스템(BMS: Battery Management System)은 배터리의 수명예측에 의한 효율적 사용, 이상 배터리 조기 검출, 이상 상태로부터의 보호, 잔존용량의 표시 등을 위한 기술이며, 하이브리드 전기자동차뿐만 아니라 2차 전지를 사용하는 모든 적용 처에 필수적인 기술이라 할 수 있다. 배터리관리시스템의 역할은 크게 다음과 같이 분류할 수 있다. 다음 그림은 저상굴절 차량용 BMS의 블록도이다.

- 잔존용량(SOC, State of Charge) 계산 및 표시
- 배터리의 전압, 전류, 온도의 모니터링
- 시스템 진단에 의한 최적의 유지관리
- 시스템의 안전운영을 위한 경보 및 사전 예방조치
- 데이터 보전 및 시스템 진단기능

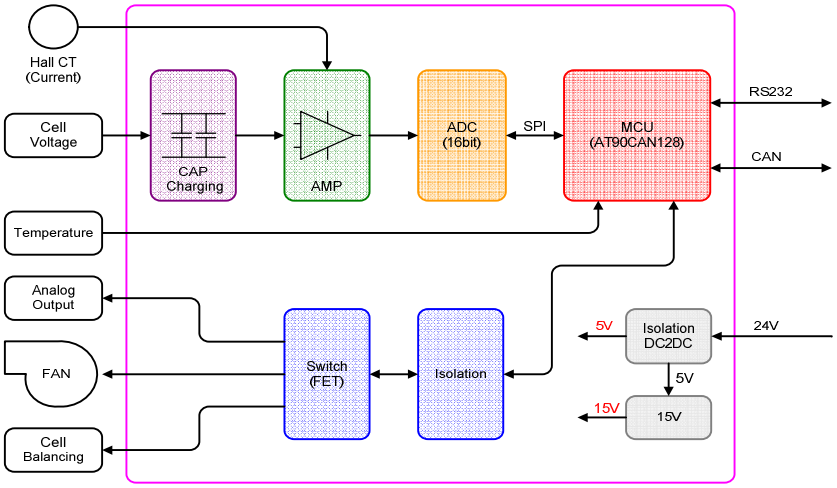



그림 2.4.4-17 배터리 관리시스템 블록도

가) 시스템 사양

표 2.4.4-2. 배터리관리시스템 동작 환경

| Item | Specification | Condition |
|---|---|---|
| 입력 전압 범위 | 15~32[V] | |
| 정격 입력 전압 | 24[V] | |
| 동작 전압 범위 | 15~32[V] | |
| BMS 소비 전류 | 50[㎃] (24V) | Module |
| 동작 온도 범위 | -30~80[℃] | |

표 2.4.4-3 배터리관리시스템 주요 센싱부 사양

| Item | | Specification | Condition |
|---|---|---|---|
| Cell Voltage | 측정범위 | 0~5[V] | |
| | 분 해 능 | 76.29[uV] | 16bit ADC |
| | 정 밀 도 | F.S ±0.5[%] | ±25[mV] |
| | 채 널 수 | 14[CH] | |
| Pack Voltage | 측정방식 | Cell Voltage Summation | |
| Current | 측정범위 | ±400[A] | |
| | 분 해 능 | 24.4[mA] | 16bit ADC |
| | 정 밀 도 | F.S ± 0.5[%] | ± 2[A] |
| | 채 널 수 | 1[CH] | |
| Temperature | 측정범위 | -40 ~ 100[℃] | |
| | 분 해 능 | 0.13[℃] | |
| | 정 밀 도 | F.S ±1[℃] | |
| | 채 널 수 | 7[CH] | |

2) BMS 제작 및 구현

리튬-폴리머 배터리용 BMS를 구현하기 위하여 당사는 그림 2.4.4-18, 그림 2.4.4-19와 같이 Module형태(Master & Slave)로 구성하였다. 이는 14개의 Cell 전압과 7개의 온도를 측정 가능하도록 Module형태로 구성하여 분산 처리 및 확장과 변경이 용이도록 하였다. 그림 2.4.4-20는 Module형태로 구성된 전체 블록도이다.




그림 2.4.4-18. 배터리관리시스템 사진(앞)



그림 2.4.4-19 배터리관리시스템 사진(뒤)

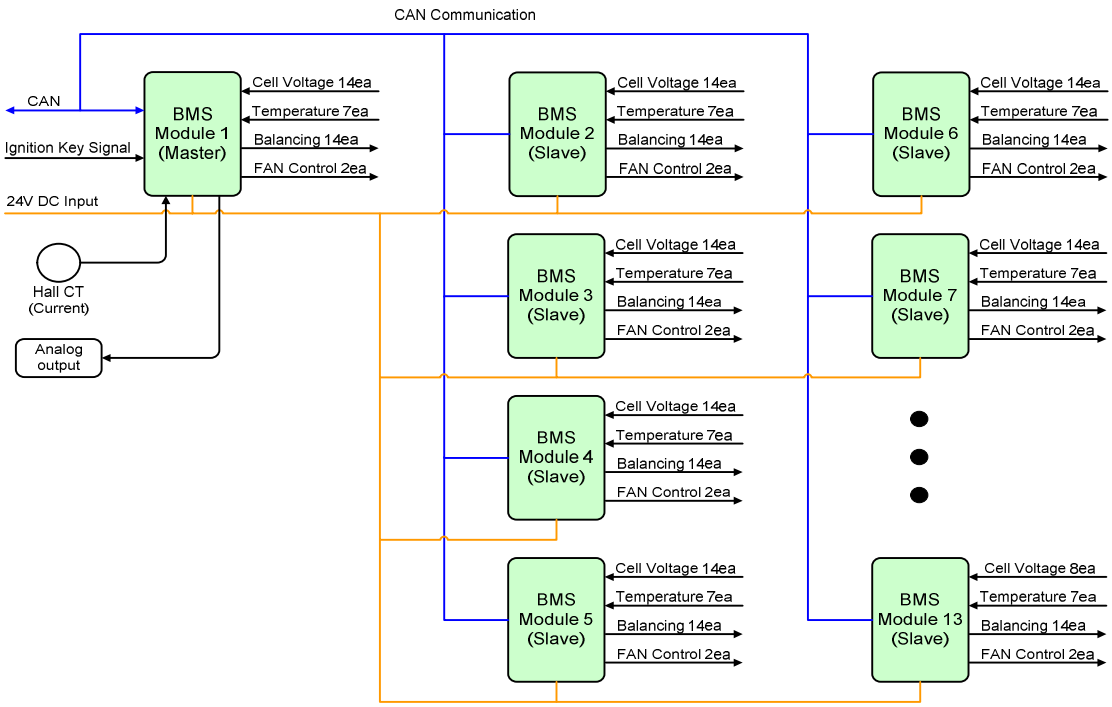



그림 2.4.4-20 배터리 관리시스템 전체 블록다이어그램

표 2.4.4-4 Micro-Process 사양

| Contents | Description | |
|---|---|---|
| Maker | ATMEL | www.atmel.com |
| Core | 8bit AVR Core | RISC |
| Performance | 16MPIS | 1MIPS/1Mhz |
| Flash Memory | 128kByte | |
| SRAM | 4kByte | |
| EEPROM | 4kByte | |
| I/O | 64Pin | |
| CAN Port | 1ea | |
| UART | 2ea | |
| Internal ADC | 8ch | 10bit Resolution |

Module형태의 BMS는 고유 ID를 가짐으로써 Master 또는 Slave로써 동작하게 된다. Master와 Slave 모두 CAN(Controller Area Network)통신으로 연결되어 주기적으로 정보를 차량의 주제어장치에 전송한다. BMS에 사용된 마이크로프로세서는 ATMEL社의 AT90CAN128을 사용하였고 대략적인 사양은 표와 같다.

3) Firmware 구성 및 제어 방법

구성된 하드웨어를 바탕으로 제안된 스펙에 만족할 수 있도록 그림 3-13과 같은 Flow Chart를 기준으로 제어 프로그램을 작성하였다. BMS에 전원이 인가되면 마이크로프로세서의 각 기능별로 초기화를 수행한다. 이후 ID를 읽어 내부 EEPROM에 저장된 ID와 비교한다. 만약 다를 경우 현재 읽은 ID 정보를 EEPROM에 저장하며 ID가 초기화 되었음을 특정 번지에 기록하여 향후 동일한 작업에 대한 반복동작을 방지한다. 그 다음 내부 EEPROM을 조사하여 배터리 보호 기준 값을 입력받은 후 전체 전압과 초기 온도를 이용하여 초기 잔존용량(SOC: State Of Charge)을 유추한다. (미구현 상태로 Cell 및 Module(pack) 분석 후 구현예정임)

BMS는 주기적으로 외부로부터 “요청 메시지를 받았는가?” “키(Key)가 온/오프(On/Off)되었는가?” “타이머 인터럽트가 발생했는가?” 등을 점검하여 각 기능에 맞는 일을 수행한다. 외부 장치로부터 요청 메시를 받았다면 해당하는 정보를 전송하고 키(Key)가 오프(Off)되었다면 Cell Balancing 동작 수행 후 소비전류를 줄이기

위하여 파워 다운모드(Power Down Mode)에 돌입한다.

25msec 타이머 인터럽트가 발생하였다면 그림 3-14과 같이 개별 Cell전압측정, 전류측정 등의 일을 수행하게 된다.

100msec 타이머 인터럽트가 발생하였다면 그림 3-15와 같이 온도에 따라 팬 구동 결정, 검출된 전압과 전류를 이용하여 잔존용량을 유추하고 노화 상태를 추정하는 작업과 CAN을 이용하여 정보를 전송하는 동작을 반복한다.

4) 모니터링 프로그램

배터리 및 BMS의 상태를 알아내기 위하여 모니터링 프로그램은 필수적이다. 모니터링 프로그램은 BMS와 CAN방식으로 통신하며 전체 배터리 상태의 세부적인 사항까지 측정하고 측정된 값을 분석 할 수 있도록 데이터를 주기적(1sec)으로 파일로 저장할 수 있는 기능을 갖는다. 주요 구성부로는 "Main", "Battery Data", "History Graph", "Chart"로 나누어 구성하였다.

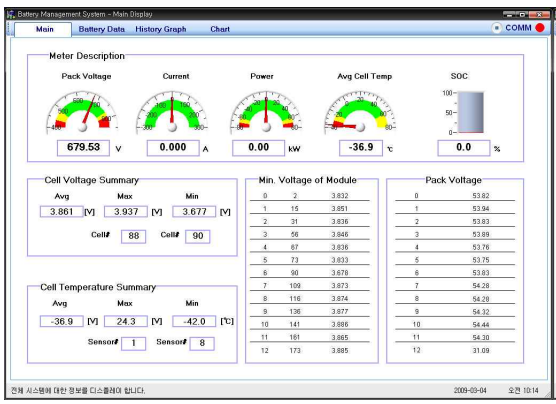



그림 2.4.4-21 Main Screen




그림 2.4.4-22 Battery Data Screen

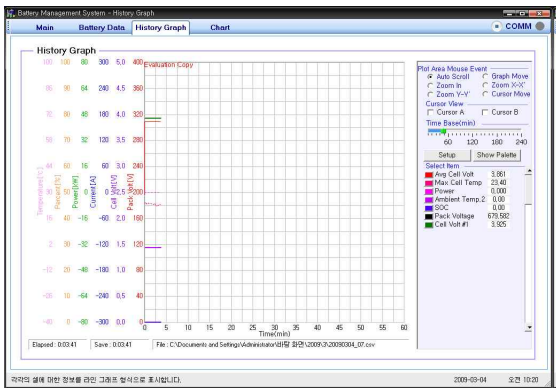



그림 2.4.4-23 History Graph Screen

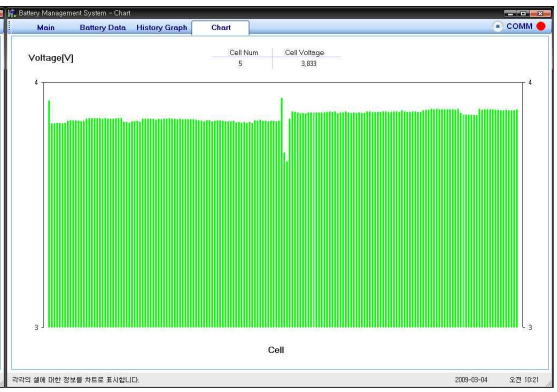



그림 2.4.4-24 Chart Screen

# 제5절 경량화 복합소재 저상차체

## 1. 차체

### 가. 개발사양

1) 외형 형상

차량 외형 형상은 초기 디자인으로부터 자동차 안전기준에 준한 형상으로 변경되어 시작차량이 제작되었으며 이후 불필요한 기능을 삭제하고 좀 더 세련된 미적 요소를 추가하여 시제차량을 제작하였다. 외형 형상의 주요 제원은 표 2.5.1-1과 같다.

표 2.5.1-1 주요부분 치수[unit : mm]

| 항 목 | 치 수 |
|---|---|
| 전 장 | 18,221 |
| 전 폭 | 2,480 |
| 전 고 | 3,390 |
| 축간거리(1~2) | 7,700 |
| 축간거리(2~3) | 7,575 |
| 답단높이 | 340 |



그림 2.5.1-1 시작차량



그림 2.5.1-2 시제차량

2) 차체 구성

차체의 구성은 아래그림과 같이 이루어진다. 주요 하중을 받는 Floor, Side body, Roof Body, Partition 등의 단면 구조는 샌드위치 형태를 적용하였고 그 외 커버류의 단면은 라이네이트로 적용하였다.

사용된 소재 유리섬유/에폭시수지, 알루미늄 하니콤 코어 및 알류미늄 각관 등이다. 성형방법은 오토클레이브 성형법을 기본으로 하고 일부 판넬류는 핫프레스 성형법을 적용하였다.

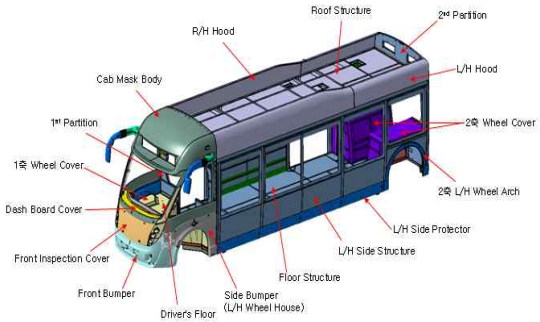



그림 2.5.1-3 Carriage 1 차체 구성

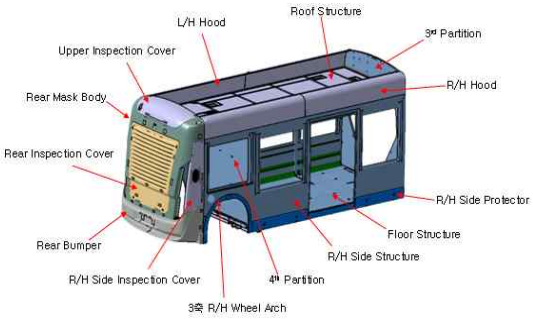



그림 2.5.1-4 Carriage 3 차체 구성

## 나. 설계 및 제작

1) 설계

외형 상세 설계는 운전자 시계성 확보, 출입문의 크기 및 위치, 측창의 크기 및 위치, 행선표시기 위치 및 시인성 확보, 각종 램프류 배치, CNG Tank를 비롯한 Roof 탑재 부품들의 배치를 위한 공간 확보 등을 고려하여 수행하였다.

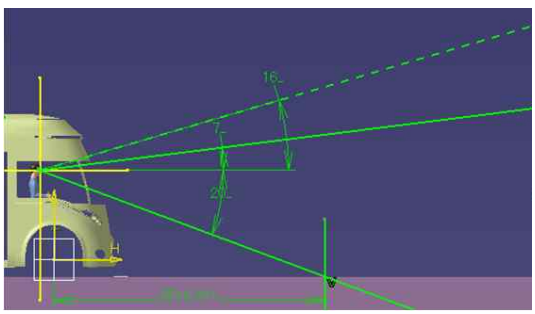



그림 2.5.1-5 운전자 시계성 및 시야각 확인

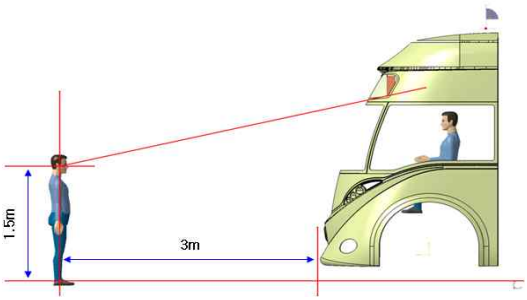



그림 2.5.1-6 전면 행선 표시기 시인성 확인

차체의 두께는 해석을 통해 결정하며 해석에 필요한 소재의 기본 물성값은 시편 시험을 통해 구하였다. 그림 2.5.1-7은 심재로 사용되는 알루미늄 하니콤의 각 방향별 물성 값을 구하기 위한 시험 준비 모습을 나타낸 것이고 그림 2.5.1-8은 측정된 두께 방향의 응력-변형률 선도이다.

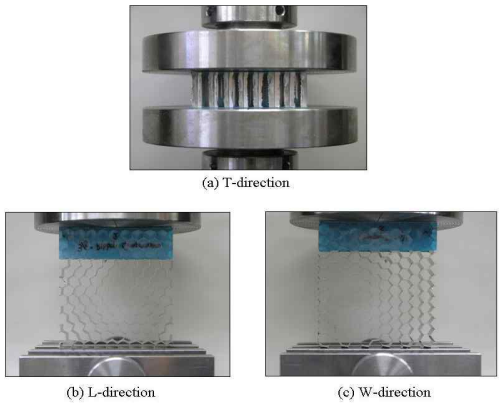



그림 2.5.1-7 하니콤의 각 방향별 물성 측정을 위한 시험

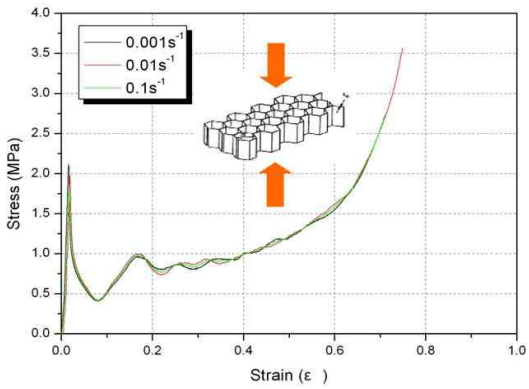



그림 2.5.1-8 하니콤의 두께방향 S-S 선도

그림 2.5.1-9는 표피재로 사용되는 복합재 적층판의 시험 후 파단모습을 나타낸 것이고, 그림 2.5.1-10은 변형률 속도 변화에 따른 파손 강도 결과를 나타낸 것이다.




그림 2.5.1-9 적층판의 파손 형상

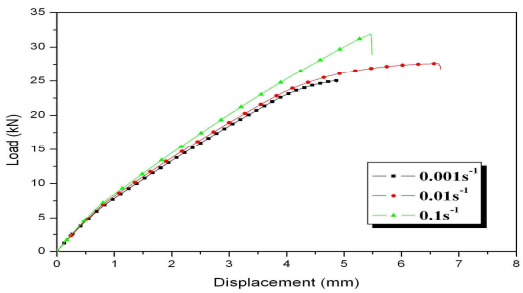



그림 2.5.1-10 적층판의 변형률 속도변화에 따른 하중-변위 선도

또한 차체의 기본 단면인 샌드위치 구조에 대한 특성 평가를 위해 그림 2.5.1-11과 같이 4점 굽힘 시험을 수행하였고, 그림 2.5.1-12에 시험을 통해 얻어진 하중-변위 선도를 비교하여 나타내었다.

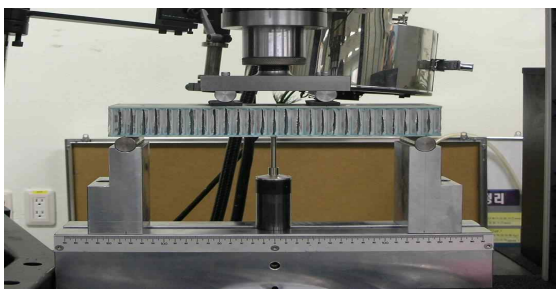


그림 2.5.1-11 샌드위치 패널의 굽힘시험 모습

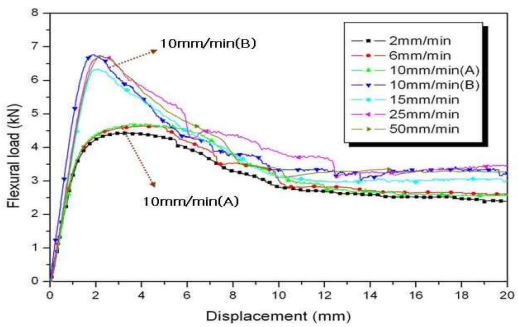



그림 2.5.1-12 샌드위치 패널의 굽힘속도 변화에 따른 하중-변위 선도

기본 단면 구성은 샌드위치구조이며 해석을 통해 충분한 강도/강성을 확보 할 수 있도록 두께를 결정하였다.

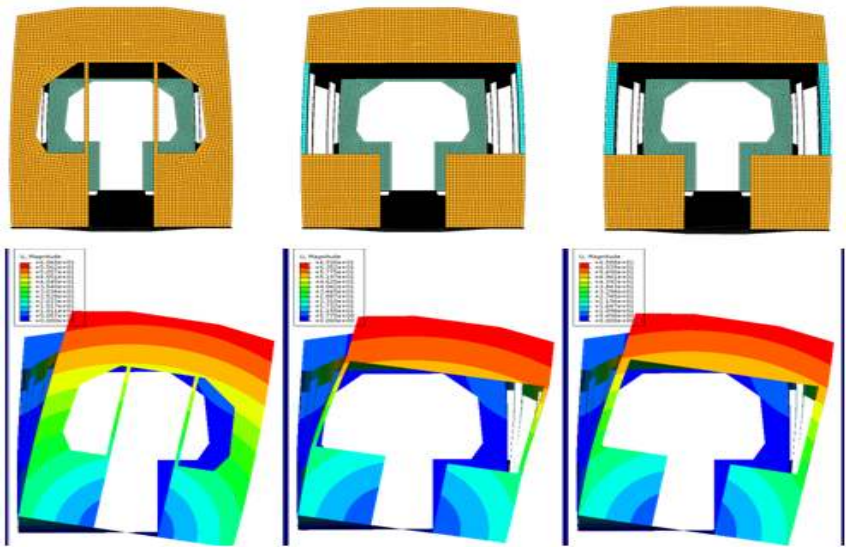


그림 2.5.1-13 필러형상에 따른 강도평가

차체 구성품들 간의 연결 방법은 구조용 접착제 + 리벳체결로 이뤄진다. 그림 2.5.1-14에 주요 부품들의 연결부 단면을 나타내었다.

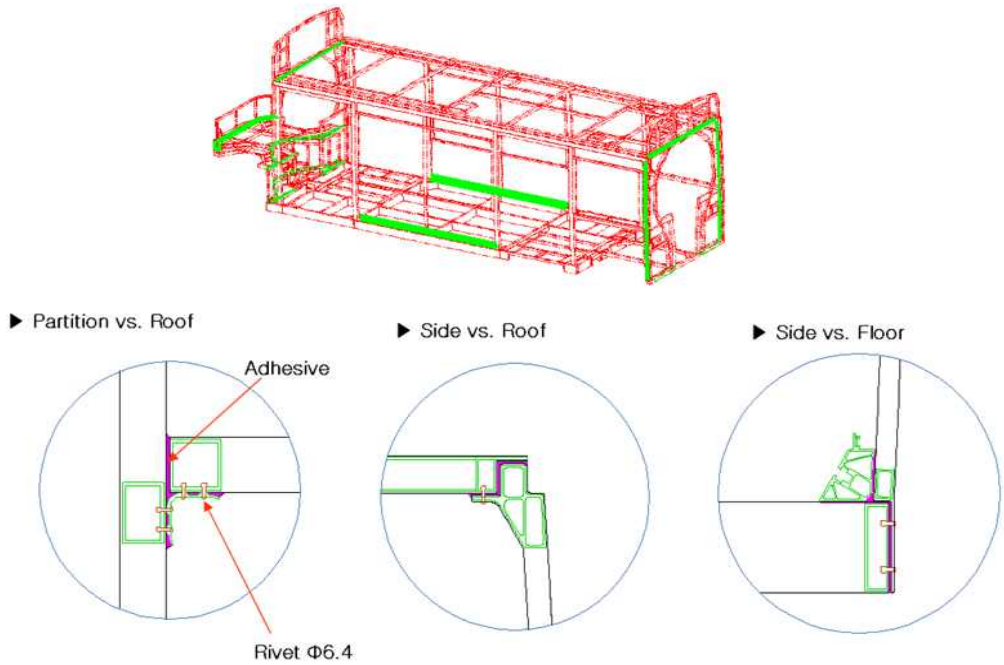



그림 2.5.1-14 주요 부품간의 연결부 기본 단면

2) 제작

가) 툴 제작

복합재 제품 제작을 위해서는 기본적으로 툴이 필요하다. 툴은 제품의 형상, 성형 방법, 제작 수량 등에 따라 목형/몰드 또는 금형으로 제작한다.

전두부를 비롯한 각종 커버류 제작용 툴은 목형/몰드 형태로 제작하였고 Roof Body, Floor Body, Partition등과 같이 단면이 일정한 제품 제작용 툴은 Press 금형 형태로 제작하였으며 Side Body 제작을 위한 툴은 금형형태로 제작하였다.



그림 2.5.1-15 전두부 목형



그림 2.5.1-16 전두부 몰드



그림 2.5.1-17 Side Body 금형



그림 2.5.1-18 Press 금형

나) 제품제작

차체부품들은 하중을 지지 할 수 있는 일차 구조물에 준하는 강도를 요구하기 때문에 기본적으로 오토클레이브 성형방법으로 제작을 하였다. 다만 일정한 두께를 갖는 Roof Body, Floor Body 및 Partition등은 Hot Press 성형방법으로 제작한다.

복합소재를 이용한 제품의 제작공정은 일반적으로 툴준비 → 적층 → 성형 → 탈형의 순으로 작업이 이루어진다.

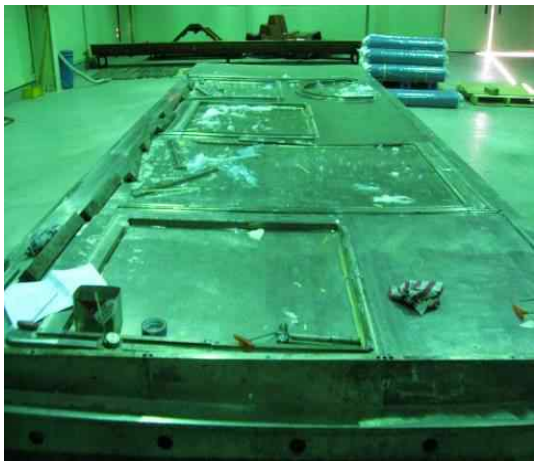


그림 2.5.1-19 금형 준비



그림 2.5.1-20 적층



그림 2.5.1-21 Autoclave 성형



그림 2.5.1-22 제품 탈형_ Side Body



그림 2.5.1-23 제품 탈형_ Cab Mask



그림 2.5.1-24 제품 탈형_ 운전실 부품류

다) 조립

차량의 조립은 소조립, 대조립으로 나누어 진행된다. 소조립은 각각의 단품에 여러가지 장치를 부착하기 위한 브래킷등을 설치하는 공정이다. 그림 2.5.1-25와 그림 2.5.1-26과 같이 Axle이나 갱웨이 등과 같이 주요한 장치들이 부착되는 부분은 별도의 지그를 이용하여 부착위치를 확인하고 작업하였다.



그림 2.5.1-25 1축 Axle 연결 부

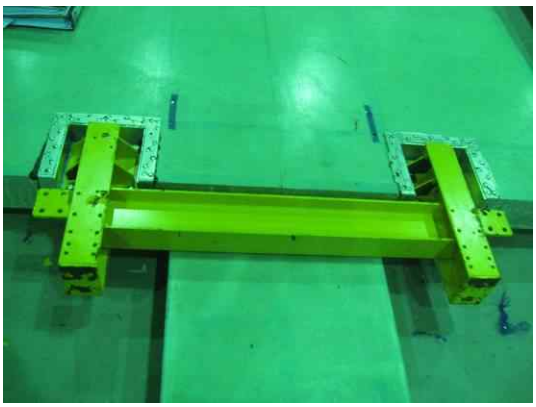


그림 2.5.1-26 2축 Axle 연결 부

차량의 대조립 과정은 다음과 같다.

차체 조립 정반 설치 → Floor Structure → Driver's Floor → Driver Vertical → 1st, 2nd Partition → Both Side Structure → Roof Structure → Cab Mask → 1st, 2nd Axle 휠 커버 → 도장



그림 2.5.1-27 대조립 정반



그림 2.5.1-28 차체 조립 지그

차량 조립에 사용한 정반과 조립지그 형상을 그림 2.5.1-27과 그림2.5.1-28에 나타내었다. 이후 대조립 공정을 그림2.5.1-29~36에 나타 내었다.



그림 2.5.1-29 Floor Structure 고정



그림 2.5.1-30 Driver's Floor, Vertical 및 Step 조립



그림 2.5.1-31 1st Partition 조립



그림 2.5.1-32 2nd Partition 조립



그림 2.5.1-33 Side Body 조립



그림 2.5.1-34 Roof Body 조립



그림 2.5.1-35 Cab Mask 조립



그림 2.5.1-36 Carriage 3 조립 완료

차체 조립이 완료되면 각종 Bumper, Hood, Side door, Rear Mask 등을 조립한다.



그림 2.5.1-37 Carriage 1 Hood 조립



그림 2.5.1-38 Carriage 3 Hood 조립



그림 2.5.1-39 Front Bumper 취부



그림 2.5.1-40 Front Inspection Cover 조립



그림 2.5.1-41 Rear Mask Cover



그림 2.5.1-42 Rear Lamp



그림 2.5.1-43 Rear Inspection Cover



그림 2.5.1-44 Rear Mask Assy 조립 완료

**다. 평가**

1) 구조 하중 시험

바이모달 트램의 구조시험은 JIS E 7105 기준을 적용하여 시험을 수행하였다. 구조시험에 적용되는 하중은 표 2.5.1-2에 나타나 있듯이 승객하중과 차체 중량을 고려하여 적용하였으며, 차체를 고정시키기 위해 차축이 위치되는 4곳에는 지그를 제작하여 적용하였다.

표 2.5.1-2 하중조건

| Type | Load condition | | Note |
|---|---|---|---|
| | *C1 | **C3 | |
| Vertical load | 144.62kN | 100.05kN | 승객중량 : 65kg/인<br>동하중계수 : 1.1<br>혼잡도 : 200% |
| Compressive load | 294.3kN+ 144.62kN | 294.3kN + 100.05kN | 압축하중+수직하중 |
| Torsion | 39.24kN · m | 39.24kN · m | - |

*C1 : Carriage 1, **C3 : Carriage 3

그림 2.5.1-45와 그림2.5.1-46은 구조시험을 위해 C1과 C3 차체에 시험 장비가 설치된 것을 보여준다. 시험에 사용된 장비로는 차체를 고정시켜주는 지지대와 하중을 가해주는 유압실린더, 변위를 측정해주는 다이얼게이지, 변형률 측정을 위한 스트레인 게이지, 고유진동수 측정을 위한 가속도 센서 등이 사용되었다.



그림 2.5.1-45 Carriage 1 하중시험 준비 모습




그림 2.5.1-46 Carriage 1 하중시험 준비 모습

그림 2.5.1-47은 처짐 측정을 위해 설치된 다이얼게이지의 위치를 보여주며, 그림 2.5.1-48은 변형률 측정을 위해 차체에 부착된 스트레인 게이지의 위치를 보여준다.

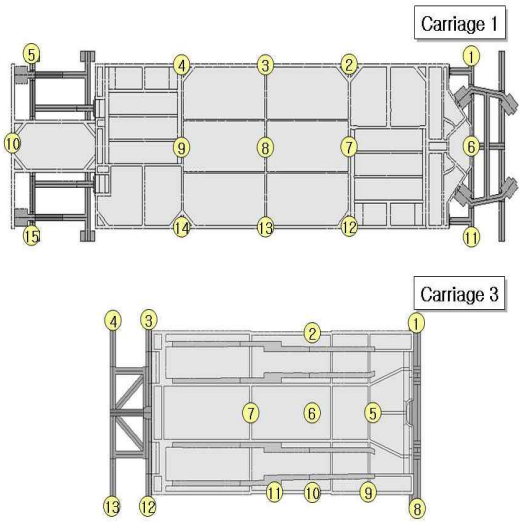



그림 2.5.1-47 변위게이지 설치 위치

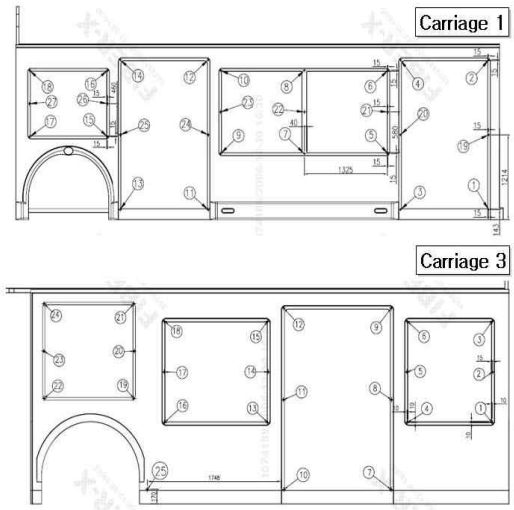



그림 2.5.1-48 스트레인 게이지 설치 위치

가) 수직 하중 시험

수직하중 시험은 전방의 차축은 길이방향으로 변위 및 회전을 허용하였고, 후방의 차축길이방향의 변위는 구속하고 회전은 허용하였다. 그림 2.5.1-49와 같이 차체의 바닥과 지붕에 하중 실린더를 이용하여 시험하중을 가하였다.



그림 2.5.1-49 수직 하중 시험을 위한 장비 설치 모습

나) 압축 하중 시험

압축하중 시험은 전방과 후방의 차축 4곳을 평평한 블록에 원형 롤러를 사용하여 길이방향 및 회전을 허용하였고, 그림 2.5.1-50에 보듯이 후방의 차체에 연결된 지그를 길이방향에 대해 구속하였다. 하중은 수직하중 시험과 동일한 하중을 가한 후에 차량 전두부에 압축 하중을 단계적으로 가하였다.



그림 2.5.1-50 압축 하중 시험을 위한 장비 설치 모습

다) 3점지지 하중 시험

3점지지 하중 시험은 전방의 차축 2곳을 V홈 블록에 원형 롤러를 사용하여 길이 방향의 변위는 구속하고 회전은 허용하였으며, 후방은 평평한 블록에 롤러를 사용하여 길이 방향의 변위는 허용하였다. 그리고 하중을 실린더를 이용하여 수직하중과 동일한 하중을 부여한 후에 후방의 한쪽 지지점에 대해 일정 높이를 하강 시켜 차체가 3점지지가 되도록 하였다. 3점지지 시험은 C1과 C3차체에 최대 50mm를 하강시켜 차체의 변형에 따른 스트레인을 측정하였다.

라) 비틀림 시험

비틀림 시험은 전방의 차축 2곳을 V홈 블록에 원형 롤러를 사용하여 길이방향의 변위는 구속하고 회전은 허용하였으며, 그림 2.5.1-51에 나타나 있듯이 후방의 차축 사이의 중심부분에 V홈 블록을 사용하여 차체를 3점 지지하였다. 그리고 하중 실린더를 이용하여 비틀림 하중을 부여하였다.

마) 고유진동수 시험

굽힘 고유진동수 시험은 수직하중 시험과 동일한 지지조건을 적용하였고, 비틀림 고유진동수 시험은 비틀림 시험과 동일한 지지조건을 적용하였다. 차체 진동 발생은 하중 실린더를 이용하여 차체에 굽힘 및 비틀림 변형을 가해준 후 그림 2.5.1-52에 나타나 있는 차체 고정용 지그를 이용하여 차체를 고정시킨 후 순간적으로 제거하여 진동을 발생시켰다.



그림 2.5.1-51 비틀림 시험을 위한 차체고정부 형상



그림 2.5.1-52 고유진동수 측정 시험을 위한 차체 고정 지그 형상

2) 유한요소해석을 통한 평가

가) 해석 모델의 구성

바이모달 트램의 구조해석은 그림 2.5.1-53에 나타나 있듯이 C1과 C3 차체를 각각 모델링 하였고, 유한요소해석 프로그램인 Ansys v11.0을 사용하여 해석을 수행하였다. 이때, 해석에 적용된 유한요소 모델은 샌드위치 복합재 차체 부분은 복합재 적층 쉘 요소인 shell181을 사용하여 모사하였고, 알루미늄 압출재 프레임은 Timoshenko 빔 요소인 beam188을 사용하여 모사하였다. 그리고 차체를 지지해주는 지그 부분은 shell63을 사용하였다. 쉘 요소와 빔 요소를 적용한 모델은 구조물의 형상을 그대로 적용한 솔리드 모델에 비해 모델링 및 해석에 소요되는 시간을 절감할 수 있으며, 선행 연구를 통하여 해석 결과의 오차 범위가 작게 나타남을 확인하였다. 해석에 적용된 요소 수는 C1차체가 117,171절점과 123,074요소로 이루어져 있으며, C3차체는 67,033개의 절점과 75,527개의 요소로 이루어져 있다.

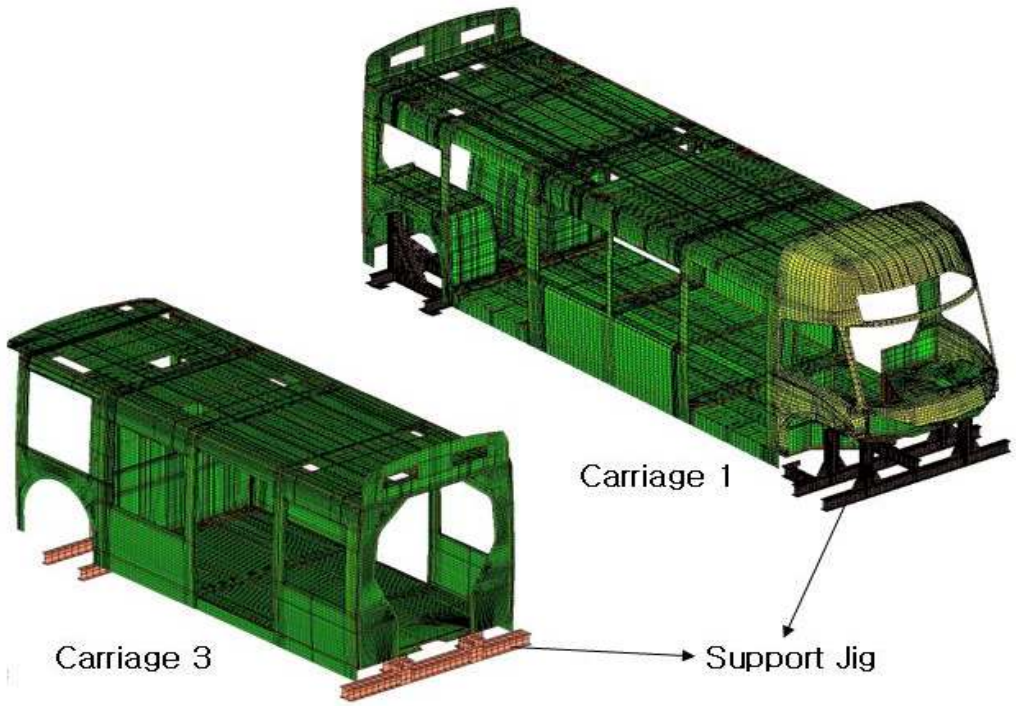



그림 2.5.1-53 유한요소 모델 형상

나) 해석 적용 물성치

표 2.5.1-3은 이방성 재질 특성을 갖는 차체 구조물의 샌드위치 패널 면재와 적층 복합재에 적용된 WR580/NF4000 유리섬유/에폭시와 알루미늄 하니컴 심재에

대한 물성을 나타낸 것으로 모두 재료시험을 통해 직접 구하였다. 표 2.5.1-4는 등방성 재질 특성을 갖는 차체에 적용된 알루미늄 보강재와 차체를 지지해주는 지그의 물성을 나타낸 것이다.

표 2.5.1-3 Material properties of Glass fabric/epoxy laminate and AL Honeycomb

| Properties | | WR580/ NF4000 | Aluminum Honeycomb |
|---|---|---|---|
| Density (kg/m3) | | 1,830 | 59 |
| Elastic modulus (GPa) | Ex | 22.64 | 0.693×10-3 |
| | Ey | 22.33 | 0.293×10-3 |
| | Ez | 3.48 | 0.105 |
| Shear modulus (GPa) | Gxy | 5.85 | 0.618×10-3 |
| | Gyz | 1.40 | 0.032 |
| | Gxz | 1.40 | 0.032 |
| Poisson's ratio | vxy | 0.15 | 0.33 |
| | vyz | 0.45 | 0.0001 |
| | vxz | 0.45 | 0.0001 |

표 2.5.1-4 Material properties of aluminum 6063 T6 and SUS400

| Properties | Aluminum 6063 T6 | SUS400 |
|---|---|---|
| Density (kg/m3) | 2,700 | 7,850 |
| Elastic modulus (GPa) | 68.9 | 200 |
| Poisson's ratio | 0.33 | 0.30 |

다) 구조해석 결과

차체 구조물에 대한 유한요소 해석 결과는 구조시험에서 측정된 다이얼게이지의 처짐과 스트레인게이지의 변형률 결과와 동일한 위치에서 각각 비교하였다. 표 2.5.1-5는 각 시험에서 측정된 최대 처짐과 동일한 위치에서의 해석 결과를 비교하여 나타낸 것이며, C3차체의 압축과 비틀림 하중에 대한 경우를 제외하고 시험과 해석에 의한 처짐 결과가 10% 이내로 잘 일치함을 확인하였다. 이때, 10% 이상의 오차가 발생한 C3차체의 압축하중에 의한 결과는 상대적으로 처짐량이 작게 발생하여 오차가 크게 나타난 것으로 판단된다. 시험과 해석결과가 전반적으로 잘 일치하였으며, 제시된 해석 모델은 적절한 것으로 확인되었다.

표 2.5.1-5 처짐량 결과 비교

| Type | | Displacement (mm) | | Error (%) | Location of dial gauge |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Test | Analysis | | |
| Carriage 1 | Vertical load | 26.9 | 26.7 | 0.7 | 8 |
| | Compressive load | 18.8 | 19.8 | 5.3 | 8 |
| | Torsion | 25.0 | 22.8 | 8.8 | 5 |
| Carriage 3 | Vertical load | 8.9 | 8.1 | 9.0 | 6 |
| | Compressive load | 1.6 | 1.3 | 18.8 | 6 |
| | Torsion | 19.0 | 16.0 | 15.8 | 1 |

그림 2.5.1-54는 C1 차체의 수직하중에 의한 중심부(center)의 처짐을 그래프로 나타낸 것이며, 그림 2.5.1-55는 C3차체의 수직하중에 의한 측면부(side sill)의 처짐을 그래프로 나타낸 것이다.

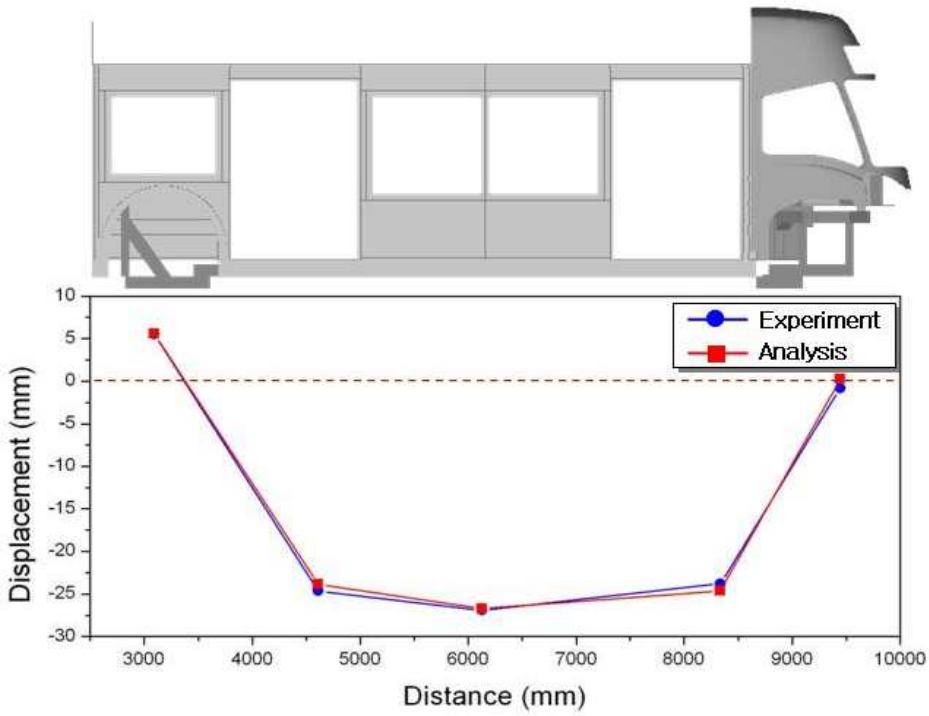



그림 2.5.1-54 The displacement graph of vertical load for carriage 1

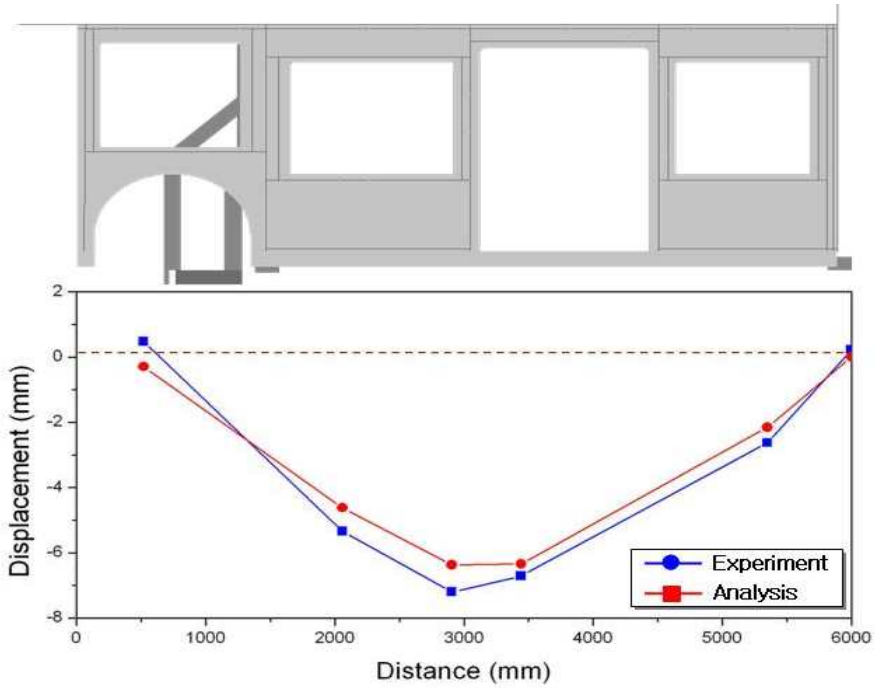



그림 2.5.1-55 The displacement graph of vertical load for carriage 3

표 2.5.1-6과 표2.5.1-7은 C1과 C3 차체의 하중 시험을 통해 창문과 출입문 모서리 부위에서 측정된 대표적인 스트레인 결과와 해석 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 이때, 스트레인 결과는 1축과 2축에 대해서 측정하였으며, 각 하중 시험별 해석 결과와 비교된 스트레인게이지의 위치 및 방향에 차이가 있어 이를 구분하기 위해 표에 위치 번호와 방향을 나타내었다. 이때, 괄호는 하중 시험에 따라 다른 위치의 결과를 확인한 것이다.

표 2.5.1-6 Results of strain for structural test and analysis (carriage 1)

| Type | | Strain (με) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4-1 (10-2) | 4-2 | 9-2 | 12-1 | 12-2 | 14-2 | 17-2 | 18-2 (10-2) |
| Vertical load | Experiment | 2349 | 597 | 671 | 1256 | 1142 | -959 | 1590 | -1915 |
| | Analysis | 2111 | 863 | 894 | 1190 | 822 | -1141 | 1618 | -1731 |
| Compressive load | Experiment | 2115 | 453 | 641 | 1078 | 1046 | -652 | 440 | (-791) |
| | Analysis | 1774 | 515 | 926 | 899 | 759 | -665 | 786 | (-889) |
| 3point support load | Experiment | 1551 | -476 | 1868 | 1755 | 2473 | -1433 | 2106 | -2727 |
| | Torsion | 1451 | -698 | 3490 | 1466 | 2270 | -1668 | 2456 | -2594 |
| Torsion | Experiment | (-528) | -275 | 606 | 538 | 821 | -529 | 921 | -1116 |
| | Analysis | (-765) | -354 | 885 | 430 | 778 | -559 | 977 | -1198 |

표 2.5.1-7 Results of strain for structural test and analysis (carriage 3)

| Type | | Strain (με) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3-2 (9-1) | 4-2 (12-2) | 6-2 (13-2) | 9-2 (15-2) | 12-1 | 16-2 (1-2) | 18-1 | 18-2 |
| Vertical load | Experiment | -1889 | -1318 | 1452 | -699 | 593 | 382 | -134 | -463 |
| | Analysis | -1123 | -962 | 1012 | -450 | 375 | 317 | -218 | -311 |
| Compressive load | Experiment | -837 | -651 | 712 | -352 | 201 | 500 | -112 | -287 |
| | Analysis | -651 | -640 | 639 | -326 | 230 | 645 | -45 | -34 |
| 3point support load | Experiment | (585) | (-575) | (-1004) | (1143) | -348 | 860 | -422 | -1314 |
| | Analysis | (730) | (-854) | (-1306) | (1511) | -314 | 1169 | -842 | -1183 |
| Torsion | Experiment | -494 | -389 | 409 | -302 | 296 | -113 | 56 | 128 |
| | Analysis | -358 | -327 | 336 | -206 | 156 | -98 | 73 | 93 |

그림 2.5.1-56은 바이모달 트램의 C1과 C차체에 대한 수직하중 해석을 통해 확인된 처짐 및 응력분포를 보여준다.

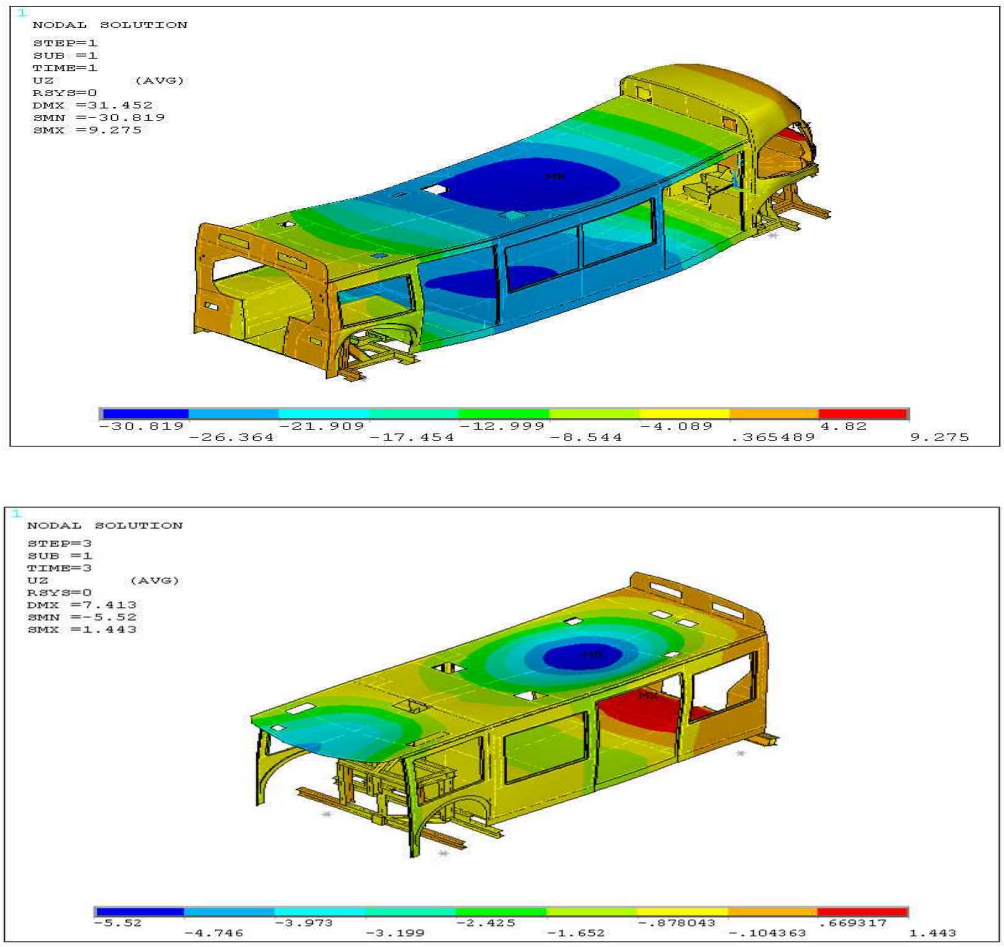



그림 2.5.1-56 The contours of displacement of vertical load

고유진동수 해석을 통해 얻은 결과는 표 2.5.1-8에 나타나 있듯이 1차 굽힘 모드와 1차 비틀림 모드를 시험과 비교하여 정리하였다. C1차체의 비틀림 고유진동수를 제외하고 시험과 해석에 의한 고유진동수 결과가 10% 이내로 잘 일치함을 확인하였다. 이때, C1차체의 비틀림 고유진동수는 10% 이상의 오차를 보였으며, 이는 다른 해석 유형에 비해 오차 범위가 높게 났다. 이에 구조시험의 비틀림 하중의 경우와 마찬가지로 재시험을 통해 가속도 측정센서의 위치 확인 및 구속 조건 등의 확인이 필요하지만 시제차가 제작되어 재시험은 수행하지 못하였다. 차량에 따른 결과에서는 시험과 유한요소 해석에서 C3차체가 C1차체에 비해 고유진동수 결과가 높게 나타났으며, 이는 차체의 길이가 짧은 C1이 굽힘 강성 및 비틀림 강성이 높게 나타난 것으로 판단된다.

표 2.5.1-8 Results of natural frequency for 1st bending and twisting

| Type | | Natural frequency (Hz) | | Error (%) |
|---|---|---|---|---|
| | | Test | Analysis | |
| Carriage 1 | 1st bending | 10.67 | 11.64 | 9.1 |
| | 1st twisting | 3.47 | 4.20 | 21.0 |
| Carriage 3 | 1st bending | 17.29 | 17.81 | 3.0 |
| | 1st twisting | 4.79 | 4.49 | 6.3 |

그림 2.5.1-57은 바이모달 트램의 C1과 C차체에 대한 1차 굽힘 고유진동수 결과를 보여준다.

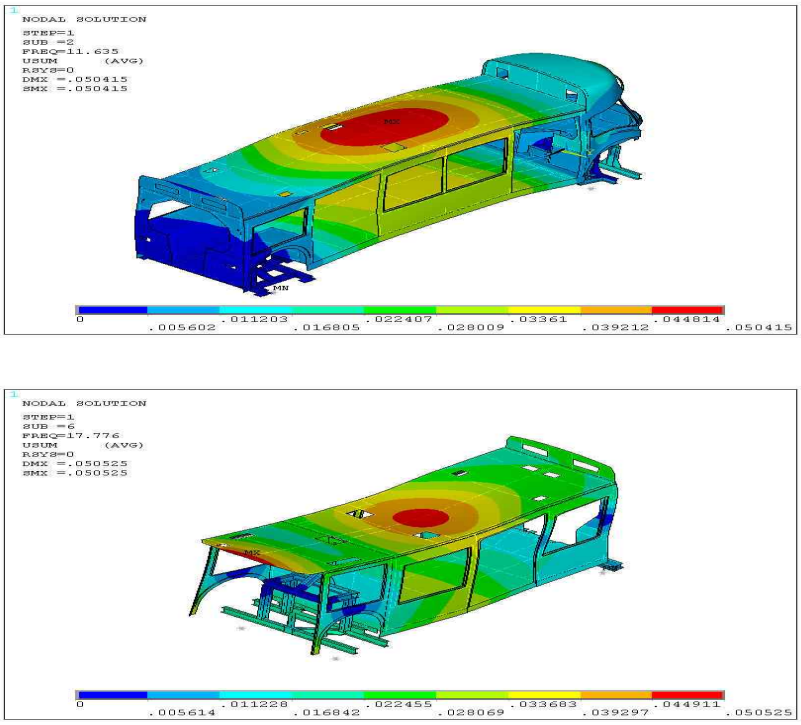



그림 2.5.1-57 The contours of 1st bending mode

## 2. 차량 내장 및 의장

### 가. 내장

1) 내장재

가) 개발 사양

바이모달 트램에 적용되는 실내 내장재는 디자인의 미려도와 편의성 그리고 경량화를 우선으로 설계, 제작하여 차량에 적용되었다. 그에 부합하도록 내장재는 복합소재로 제작되었으며, 복합소재 내장재의 복합재 성형방식은 노멕스 하니컴 샌드위치(Nomex Honeycomb Sandwich)방식으로 제작되어 제품 제작의 편의성 및 디자인의 미려도 그리고 경량화를 추구 하였다.

나) 설계 및 제작

바이모달 트램에 사용하는 내장재는 사용되는 위치별로 크게 운전실 내장재 객실 내장재 2가지로 구분되며 객실 내장재는 다시 Ceiling, Coving, Side, Door Pilla Panel로 구분되고, 운전실 내장재는 Door Ass'y, Ceiling, Forward, A,B-Pilla, Coving, Under Side, Dash Board, Inspection, Cluster Panel로 구분된다.

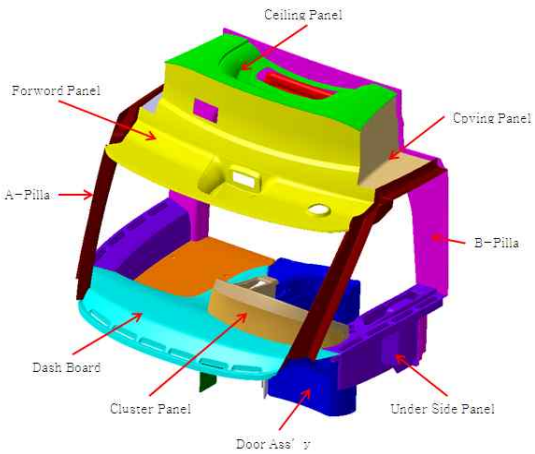



그림 2.5.2-1 운전실 내장재 구분

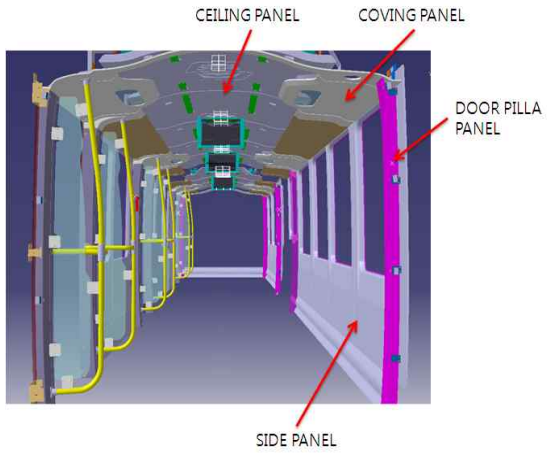



그림 2.5.2-2 객실 내장재 구분

(1) 운전실 내장재 조립

운전실은 Ceiling, Forward, Pillar, Under Side, Dashboard, Cluster, Coving Panel 등의 내장재로 이루어져 있으며, 운전실 골조에 있는 취부구간에 Screw 고정을 하여 취부 고정된다.



그림 2.5.2-3 운전실 내장재

(2) 객실 내장재 조립

객실 내장재는 Side, Ceiling, Door Pillar, Coving Panel 등의 내장재로 이루어져 있으며, 객실 골조에 있는 취부구간에 Screw 고정을 하여 취부 고정된다.



그림 2.5.2-4 Side Panel 취부



그림 2.5.2-5 Ceiling Panel 내장재 취부



그림 2.5.2-6 Door Pillar 취부

다) 평가

디자인과 실용성을 강조된 내장재로 승객에게 편안함을 제공한다.

## 나. 의장

1) 바닥재

가) 개발사양

차량에 적용되는 바닥재 제품은 크게 바닥재와 접착재로 나눠지며, 제품에 대한 관련 사양은 다음과 같다.

표 2.5.2-1 바닥재 제품사양

| 품 목 | 품 명 | 사 양 |
|---|---|---|
| 바닥재 | NATURA | Design : Plain Colour |
| 접착재 | UK-8202 | 점도(poise) :<br>82(초기), 2,185(3시간 후) |

나) 설계 및 제작

바닥재는 2축 Wheel Cover를 제외한 차량하부 전면에 설치되며 출입문 입구부분에는 승객의 승/하 차시 안전을 고려하여 폭 135mm의 노란색 바닥재가 적용된다.

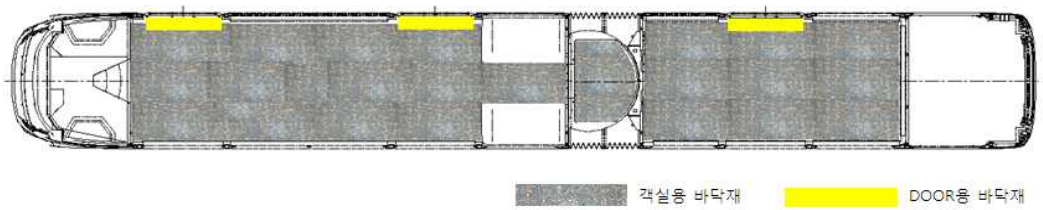



그림 2.5.2-7 바닥재 취부 위치

바닥재의 취부는 바닥재 제품의 사이즈 Cutting작업, 접착제 도포, 바닥재 접착 및 접착주위 용접의 순서로 이루어지며, 바닥재 취부 작업 과정은 아래의 사진과 같다.



①바닥재 cutting 작업



② 접착재 도포 작업



③ 바닥재 접착 작업



④바닥재 Masking 작업



⑤ 바닥재 용접 작업



⑥바닥재 마무리 cutting 작업

그림 2.5.2-8 바닥재 취부 작업 과정

다) 평가

버스용 바닥재 사용으로 원가 절감 및 안정적인 색감으로 깨끗한 실내 바닥을 실현 하였다.

2) 단열재

가) 개발사양

시제차량 내부의 단열재는 열 손실 및 유입을 최소화 하며, 환경 기준에도 적합한 멜라닌 폼 재질로 적용되었다.

표 2.5.2-2 단열재 제품사양

| 품 목 | 재 질 | 적용위치 |
|---|---|---|
| 실내용 | 멜라닌폼 (10T) | 객실, Partition,<br>운전실 내벽 |

나) 설계 및 제작

단열재 제품에 대한 설치위치는 아래와 같으며, 취부 방식은 Pin 고정방식이다.Pin 고정 방식은 우선 Pin 머리를 접착제로 차체 면에 고정, 경화 시킨 후, 단열재를 핀에 꽂고 핀을 구부려서 단열재를 고정하는 방식이다.

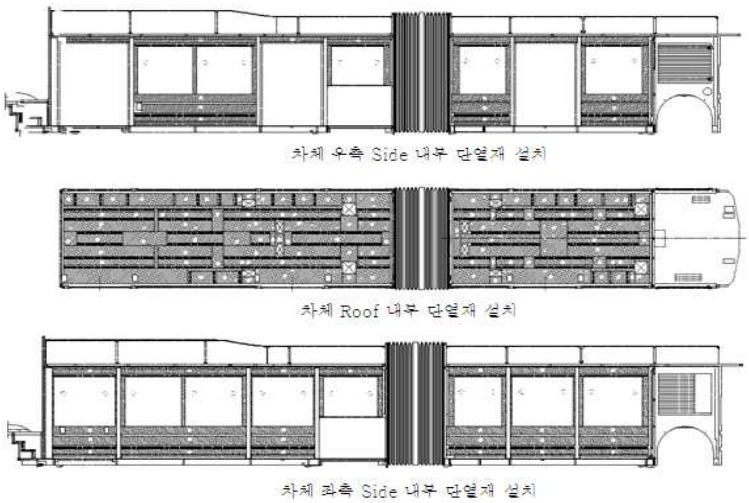



그림 2.5.2-9 차체 부위별 단열재 설치도




그림 2.5.2-10 단열재 취부 작업

3) Ventilator

가) 개발사양

실내의 탁한 공기를 외부에 방출하기 위하여 설치되며, 차량 ROOF 상부 별도의 Bracket 위에 고정된다. 제품 사양은 아래와 같다.

표 2.5.2-3 Ventilator 제품사양

| 품 목 | Ventilator |
|---|---|
| 품 명 | HAPPICH ROOF VENTILATOR 590 0320 |
| 사 양 | Power : 24V<br>Air intake and extraction approx : 3,000/3,300 rpm<br>Maximum air flow : intake / extraction 330 / 300 $m^3h$ |

나) 설계 및 제작

실내의 탁한 공기를 외부에 방출하기 위하여 설치되며, 차량 ROOF 상부 별도의 Bracket 위에 고정된다. 제품 사양은 아래와 같다.

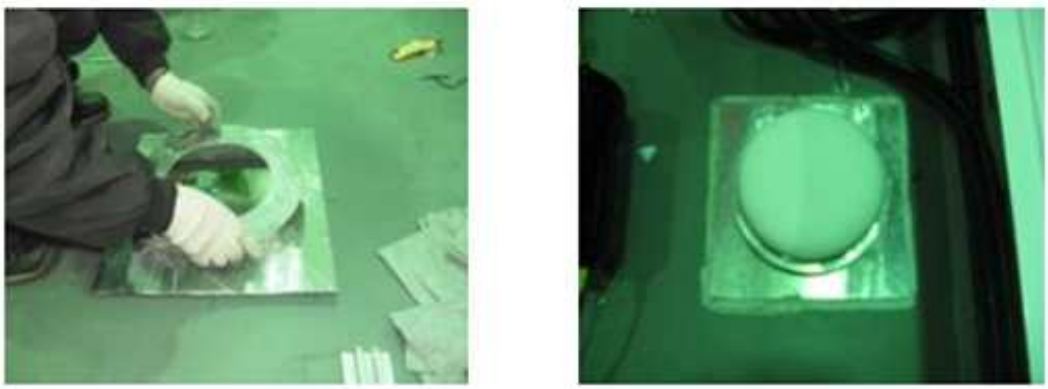


그림 2.5.2-11 Ventilator 형상 및 조립

다) 평가

실내공기의 외부배출이 원활하게 순화된다.

4) 차량 유리

가) 개발 사양

차량에 적용되는 유리제품은 크게 실내용, 실외용 제품으로 나뉘며 실외유리는 다시 위치에 따라 정면용과 측면용으로 구분된다. 차량에 적용되는 유리제품의 사양 및 위치는 아래와 같다.

표 2.5.2-4 차량 유리사양

| 구 분 | 품 목 | 종 류 | 두 께 | 색 상 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 실외 | 전면창 | 접합유리 | 8.76t | Clear | |
| | 행선지 표시기창 | 접합유리 | 8.76t | Clear | |
| | 운전석 측창, 열림창 | 측창 : 접합유리<br>열림창 : 강화유리 | 측창 : 8,76t<br>열림창 : 5t | Clear | 원형 열림창용 창틀 제작 |
| | 측창 | 강화유리 | 5t | Clear | |
| 실내 | Partition Glass | 강화유리 | 5t | Brown | |
| | Draft Screen | 강화유리 | 5t | Brown | |

나) 설계 및 제작

차량에 적용되는 위치 및 조립은 아래와 같다.

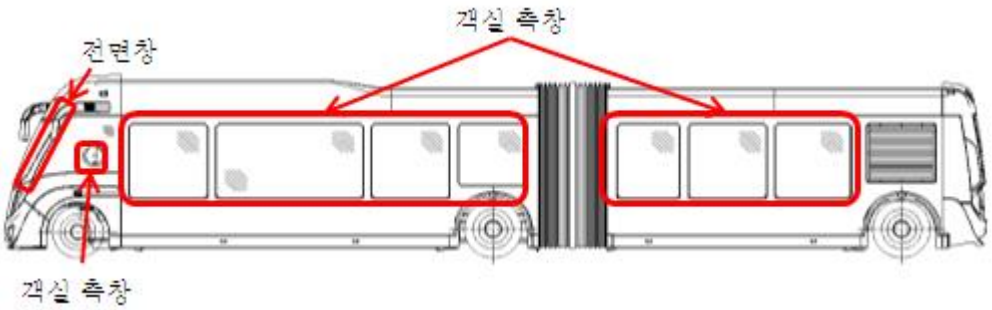



그림 2.5.2-12 실외 유리제품 취부 위치

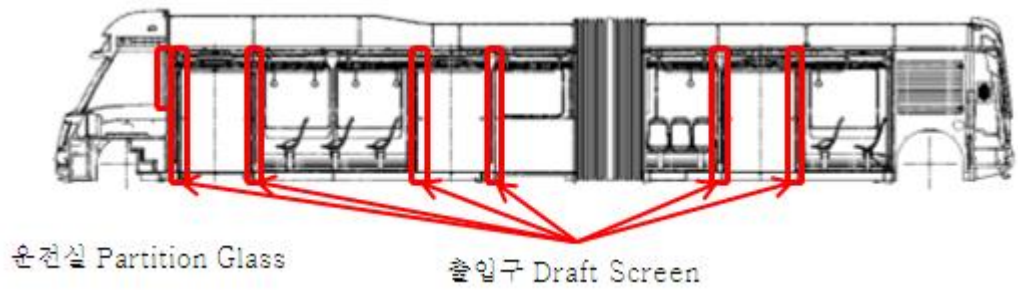



그림 2.5.2-13 실내 유리제품 취부 위치

실외 유리제품의 조립과정은 다음과 같다.

(1) 차체 유리 접착부 세척 작업

(2) 유리받침용 Rubber 접착

(3) 유리취부용 접착제 도포

(4) 유리 취부 및 고정

(5) 3~5일 정도 접착제 경화

(6) 마스킹 작업

(7) 차체와 유리 테두리 실링 처리

(8) 경화

유리취부용 접착재는 SMP(Silyl Modified Polymer)재질의 SAVA 760 제품을 사용하였다.




그림 2.5.2-14 실외 유리제품 취부 작업

다) 평가

개방감을 느낄수 있는 유리창으로 이루어져 있다.

5) Stanchion Pole

가) 개발 사양

차량에 탑승한 승객의 이동 및 입석 승객의 안전성을 고려하여 손잡이 기능을 갖고 있는 편의 설비로써 차량의 전반적인 위치에 설치되어 있다. 실내 상부의 전반적으로 설치되어 있는 손잡이 봉(Hand Rail) 및 손잡이(Hand Strap), 그리고 출입문 옆의 손잡이 봉(Hand Rail)로 구성되며, 장애인을 위한 장애인석 손잡이 봉이 설치되어 있다.

나) 설계 및 제작

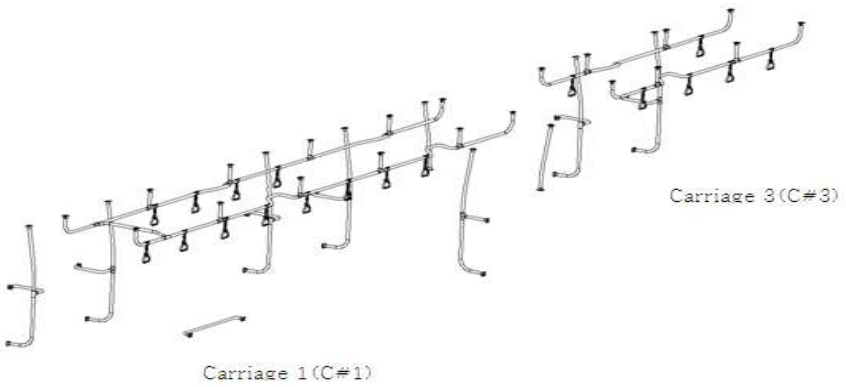



그림 2.5.2-15 Stanchion Pole 제품 형상



그림 2.5.2-16 Stanchion Pole 취부

다) 평가

실내 디자인과 조화를 이루며, 승객이 잡기편한 위치에 설치되어 있다.

6) 운전석 의자

가) 개발 사양

바이모달 트램의 운전석은 공압형 서스펜션 장치를 갖추어 장기간 운행에도 편안함을 느낄 수 있도록 제작되었으며, 헤드레스트 및 자동형 의자 조정 장치를 갖추고 있다.

(1) 제품명 : Grammer MSG 90.6

(2) 수평조정 : 150mm(15mm×10)

(3) 높이조정 : 65mm

(4) 시트 큐션 조정 : 60mm(15mm×4)

(5) 등받이 조정 : range 80°+41°

(6) 헤드레스트 조정 : 75mm(25mm×3)

(7) 제품사이즈(길이×높이×폭) 555×1070×485mm

(8) 시트쿠션 : 높이 260mm, 폭 485mm, 깊이 465mm, 등받이 높이 630mm, 등받이 폭 480mm

나) 설계 및 제작

운전석은 차량의 전위 좌측에 위치하며, 운전석 취부용 Base Frame을 차량 Floor에 취부한 후 Frame 상부에 고정하는 방식이다. 관련제품의 취부형상은 아래와 같다.



그림 2.5.2-17 운전석 제품 형상



그림 2.5.2-18 운전석 취부

다) 평가

운전사가 편안하게 운전할 수 있도록 설치되어 있다.

7) 객실 의자

가) 개발 사양

차량 객실의자 제품의 배치는 전방차량(Carriage 1) 12석 후방차량(Carriage 3) 17석의 좌석이 배치되어 있다.

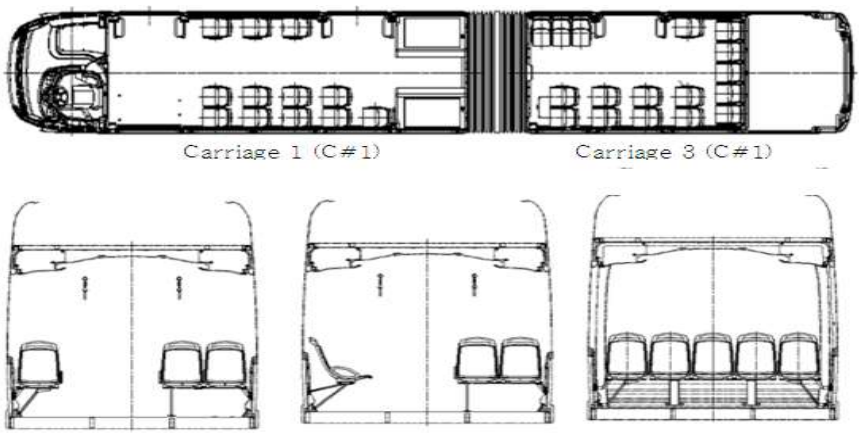



그림 2.5.2-19 객실의자 배치

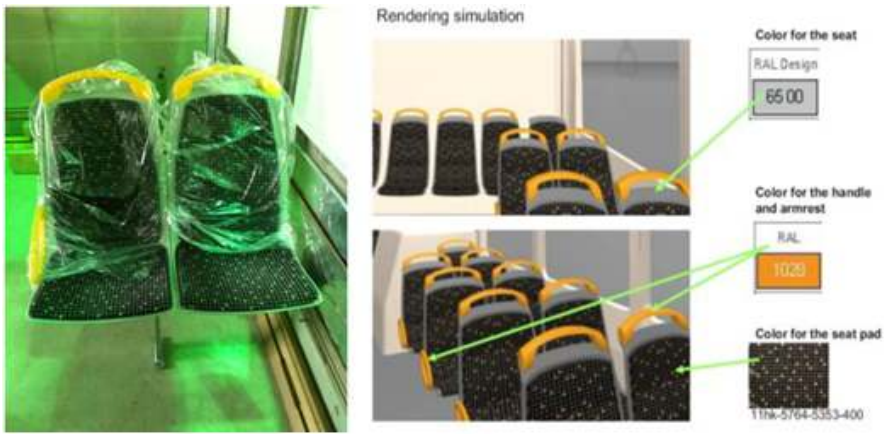



그림 2.5.2-20 객실 의자 형상 / Color 구분

표 2.5.2-5 제품 주요제원

| 종 류 | 구 분 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 높 이 | 전/후 거리 | 폭 | 의자 카바지 |
| 1 인용 | 1038 | 577 | 415 | Fabric 섬유 |
| 2 인용 | 1038 | 577 | 830 | Fabric 섬유 |
| 3 인용 | 1038 | 577 | 1245 | Fabric 섬유 |

나) 설계 및 제작

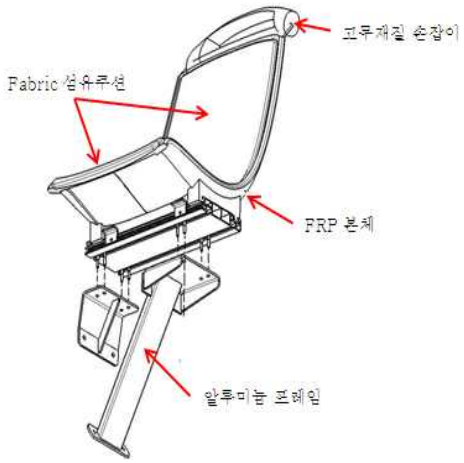



그림 2.5.2-21 객실의자 분해도



그림 2.5.2-22 객실의자 취부 사진

다) 평가

실내 디자인에 부합하는 디자인과 승객에게 편안한 승차감을 제공한다.

8) 히터 & Defroster

가) 개발 사양

차량실내 난방을 위하여 객실실내에 히터 장치를 설치하였으며, 운전실 부분에는 운전자의 시야확보를 위한 성에 제거장치인 Defroster 장치가 설치된다. 히터 및 Defroster 장치는 차량의 엔진냉각수를 이용하여 열을 전달하는 폐열이용방식이며 그러한 이유로 차량의 Roof 및 실내부에 별도의 냉각수 연결라인이 설치된다.

나) 설계 및 제작

바이모달 실내의 히터제품은 객실에 3개, Defroster 제품은 운전실에 1개가 각각 설치된다.

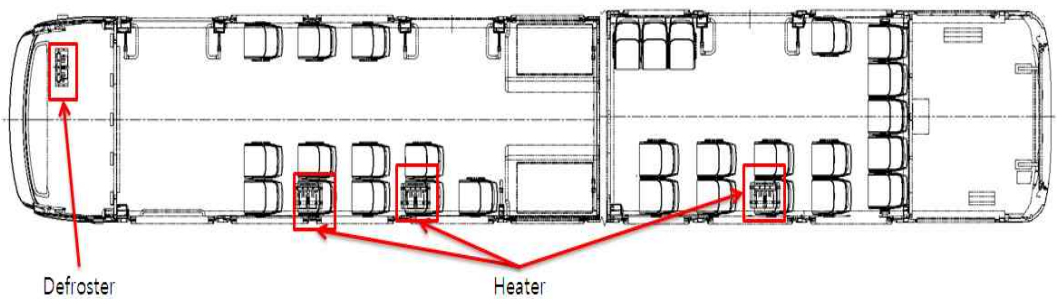
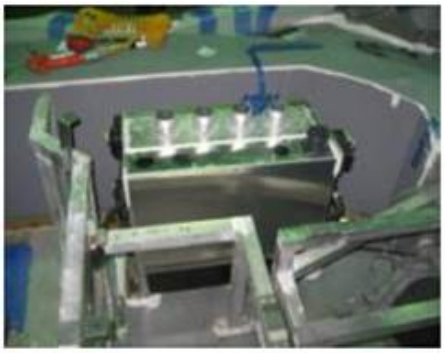



그림 2.5.2-23 실내 Heater / Defroster 위치



운전실 Defroster



객실 히터

그림 2.5.2-24 Defroster 및 Heater 취부

히터배관은 고온의 차량냉각수가 흐르므로 사고로부터 승객을 보호하기 위하여 별도의 커버가 취부 되어있다.



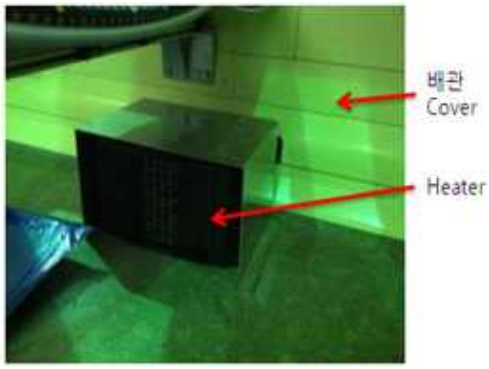



그림 2.5.2-25 히터 배관 Cover 취부

다) 평가

겨울에 실내에서 따뜻함을 승객에게 제공한다.

9) 냉방장치

가) 개발 사양

바이모달 트램 냉방장치는 하나의 응축기와 두개의 증발기로 구성되어 Carriage 1(C#1) 22,000kcal/hr 용량의 증발기와 Carriage 3(C#3) 15,000kcal/hr 용량의 증발기가 각각 설치되어 있다. Carriage 1(C#1) 및 Carriage 3(C#3) 설치된 각각의 증발기 냉매 출구 단에는 균압 밸브가 있어 일정한 용량의 열교환이 이루어질 수 있도록 되어 있다. 압축기는 엔진의 동력을 이용하여 작동되며 차량 엔진룸에 설치되어 있고 압축기 보호를 위한 압력스위치가 엔진룸 상부에 있다.

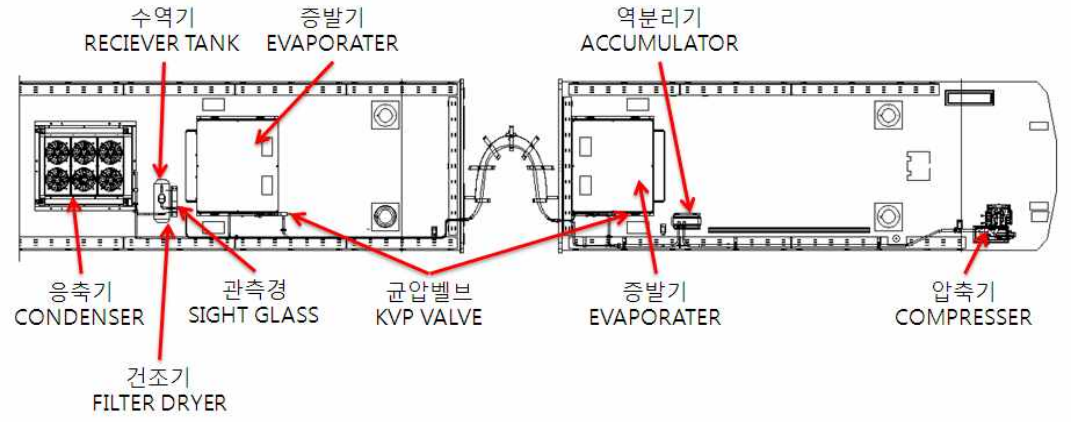


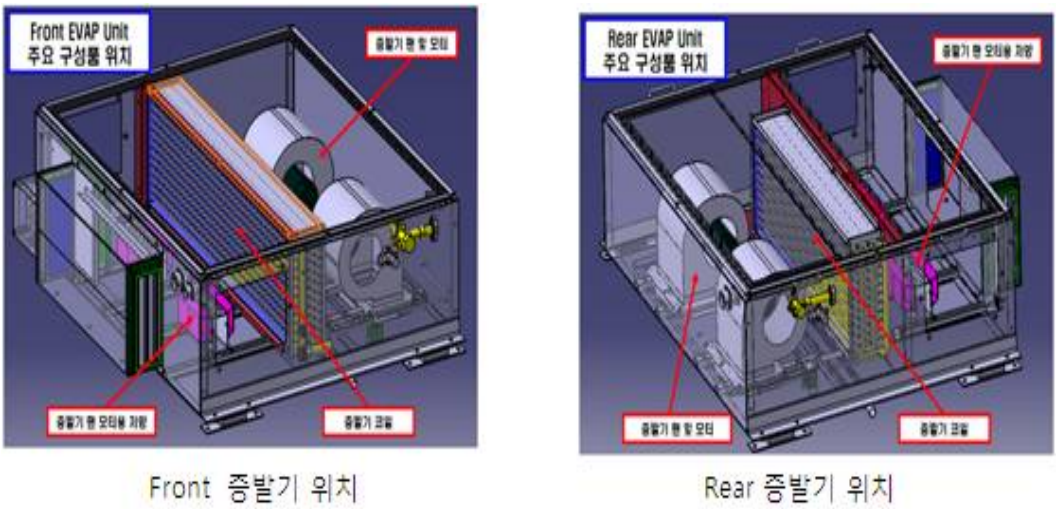

그림 2.5.2-26 냉방 장치 주요 구성품

표 2.5.2-6 제품 주요제원

| 기본 사양 구분 | | 내 용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 설계 조건 | 실 내 | 건구온도 26도, 상대습도 60% | |
| | 실 외 | 건구온도 35도, 상대습도 65% | |
| 취급 공기량 | 총 공급 공기량 | Carriage 1(C#1) Car : 2,970 CMH/unit<br>Carriage 3(C#3) Car : 2,030 CMH/unit<br>Total : 5,000 CMH/unit | |
| | 신선 공기량 | Carriage 1(C#1) Car : 816 CMH/unit<br>Carriage 3(C#3) Car : 576 CMH/unit<br>Total : 1,392 CMH/unit | |
| | 흡입 공기량 | Carriage 1(C#1) Car : 2,154 CMH/unit<br>Carriage 3(C#3) Car : 1,454 CMH/unit<br>Total : 3,608 CMH/unit | |
| 냉방 용량 | 냉방 용량 | Carriage 1(C#1) Car : 22,000 Kcal/hr per a unit<br>Carriage 3(C#3) Car : 15,000 Kcal/hr per a unit<br>Total : 37,000 Kcal/hr per a unit | |
| 전원 사양 | 주전원 | DC 24V ±5% | |
| | 제어 전원 | DC 24V ±5% | |
| 소비 전력 | | 압축기 클러치 : 0.15kW × 1ea = 0.15kW<br>증발기 팬모터 : 0.55kW × 4ea = 2.2kW<br>응축기 팬모터 : 0.2kW × 6ea = 1.2kW<br>Total : 3.55kW/unit | |
| 사용 냉매 | | R-134a | |
| 중량 | | 약 400kg ± 10%, per a unit | |

가) 설계 및 제작

바이모달 트램 냉방장치는 하나의 응축기와 두개의 본 시스템은 Carriage 1(C#1) Car의 지붕구체에 1개의 증발기와 1개의 응축기, Carriage 3(C#3) Car의 지붕구체에 1개의 증발기가 설치되고, 압축기는 엔진 구동형으로 엔진룸에 설치되어 냉매를 순환시키는 구조로 구성된다.




Front 증발기 위치 Rear 증발기 위치

그림 2.5.2-27 증발기 구성품 위치

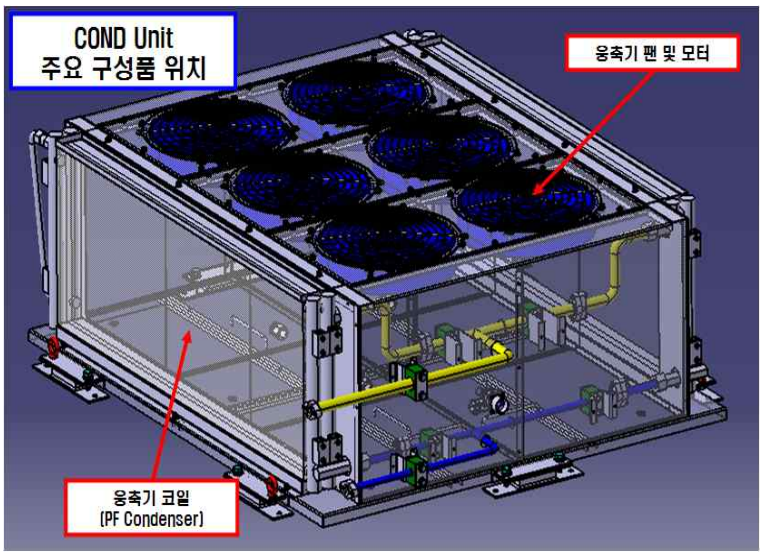



그림 2.5.2-28 응축기 구성품 위치

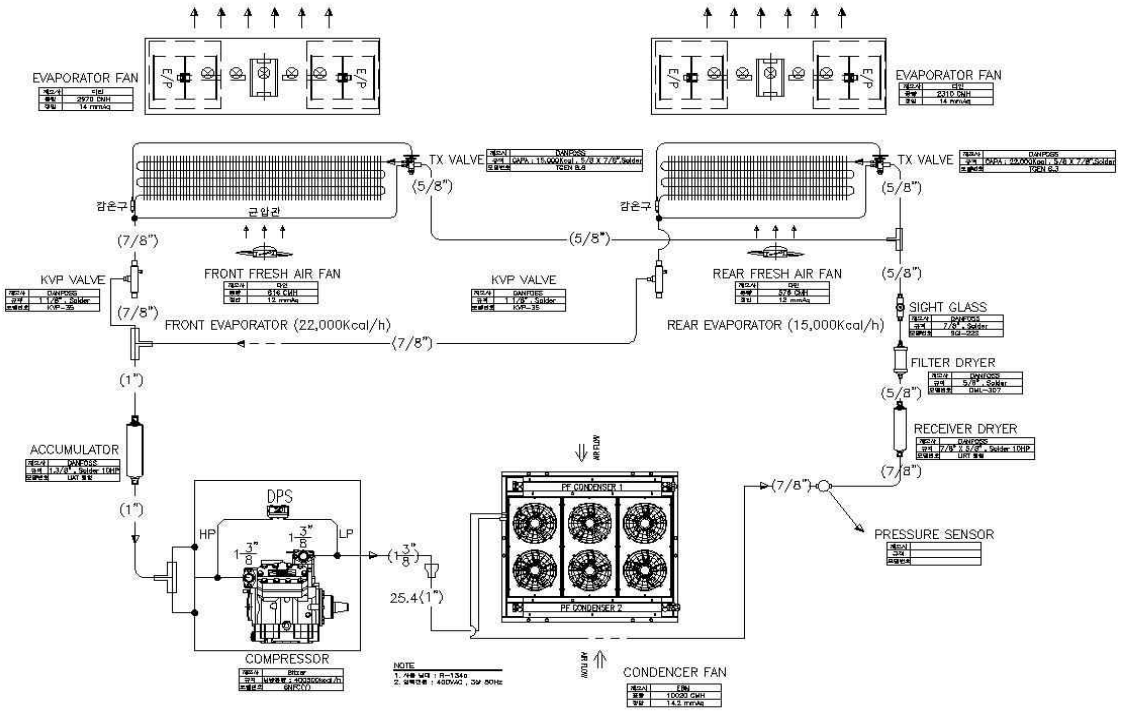



그림 2.5.2-29 냉동 사이클

10) DOOR

가) 개발 사양

바이모달 트램의 출입문 도어시스템은 Carriage 1(C#1) 2개, Carriage 3(C#3) 1개 총 3세트로 구성되어 있으며, 주요제원은 아래와 같다.

표 2.5.2-7 주요제원

| 구 분 | 사 양 |
|---|---|
| 도어타입 (Door Type) | 전기식 플러그 인 도어시스템 |
| 도어완전 열림 폭 | 1200mm |
| 도어 판넬 두께 | 32mm |
| 작동 전압 | DC 24 V |
| 열림 시간 | 3.5 ±0.5sec |
| 닫힘 시간 | 4.0 ±0.5sec |
| 장애 감지 | 30 *100mm |
| 정격 전류(닫힘 유지간) | 약 15Watt 이하 |
| 정격 전류 (동작 간) | 약 200~250Watt 이하 |
| 기동 전류(최대) | 약 300Watt이하 |
| 운영 온도 | -25 ℃ ~ 70 ℃. |
| 작동 습도 | Max. 95% |

나) 설계 및 제작

Door System은 DC Motor를 이용한 구동방식으로 Plug in sliding type 이다. Door System은 기계적 Interface와 전기적 Interface 및 DC Motor, DC Motor를 제어하는 DCU등을 포함하는 Engine, Panel, Vertical Shaft (이하 Pillar), 내, 외부 비상핸들로 구분된다. 단 외부 비상핸들은 운전석 Door System에만 적용된다.

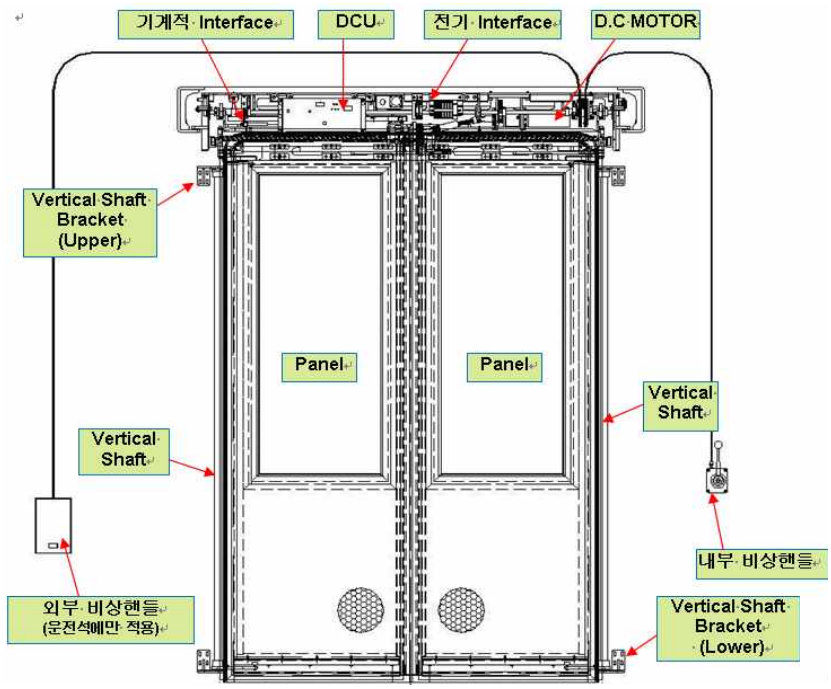



그림 2.5.2-30 Door System 주요 구성품



그림 2.5.2-31 Door Engine 취부

다) 평가

미려하고 안정된 도어 시스템을 제공한다.

## 3. 차량 기장 및 전장

### 가. 기장

1) 옥상기기 배치

가) 개발사양

바이모달 트램 옥상기기 배치는 차량의 무게 중심을 우선시 하고, 배관 및 전선의 이동 경로를 최적화 하는 구조로 설계 하였다.

옥상기기는 M8 ~ M14의 T-볼트, 평 와셔, 스프링 와셔, 1종 3종 너트를 체결하는 방식으로 한다.

나) 설계 및 제작

(1) 옥상 기기 배치 설계

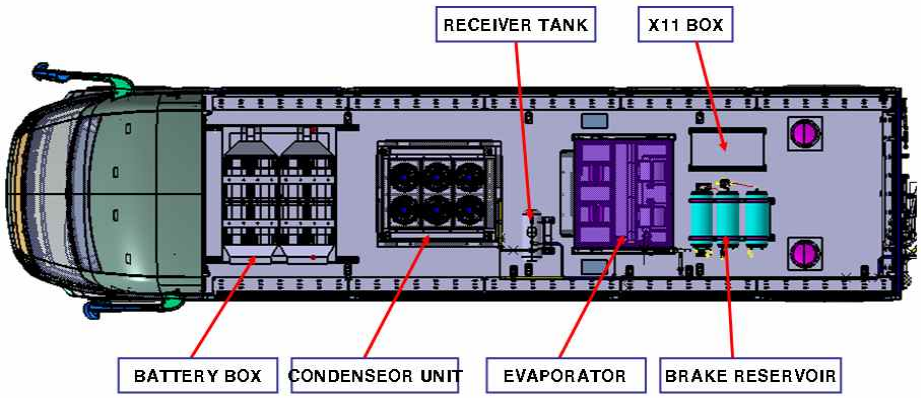



그림 2.5.3-1 옥상기기 배치 C-1

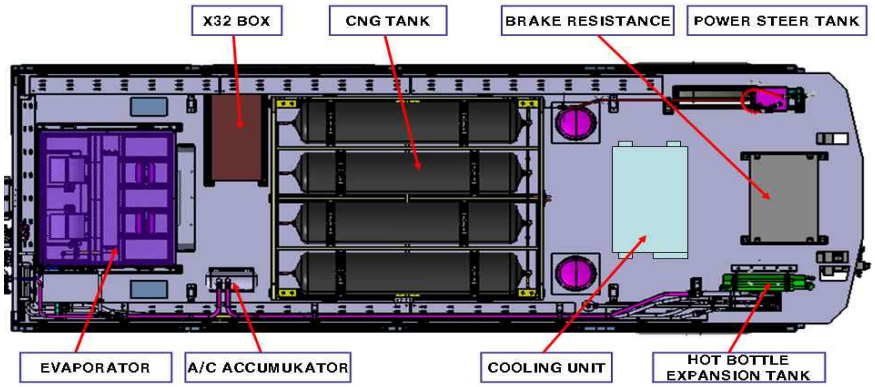



그림 2.5.3-2 옥상기기 배치 C-3

(2) C-Rail 옥상 설치

각 장치별 기기의 취부 포인트에 C-Rail을 Bonding 하여 부착하는 방식을 사용하였다.

(3) Cable Tray

옥상 기기 배치 확정 후 기기의 배관 및 전선 사양에 맞춰 설계를 진행하였다.

다) 평가

C-Rail 및 Cable Tray 설계 변경과 Bonding 공정 수를 줄임으로써 제작 단가를 낮추고 공정 기간을 단축 하면서도 장치들을 무게를 고려하여 안정적인 배치하였다.

2) 기장 상세 설계

가) 엔진룸 Insulation

(1) 개발사양

소음과 열이 가장 많이 발생되는 엔진룸에 대한 방안으로 열에 강하고 흡음 및 방진기능이 있는 소재를 엔진룸 내부에 취부하여 실내 승차감을 높일 수 있도록 하였다.

(2) 설계 및 제작




그림 2.5.3-3 Insulation 취부위치

- Insulation의 두께를 12mm로 적용하여 전면을 부착하고, Insulation사이의 공간에 실링처리를 하여 차체 면에서 내부로 소음 및 열이 전달되지 않도록 하였다.
- 엔진룸 윗부분의 두께를 22mm로 적용하였고, Insulation사이의 공간에 실링처리를 하여 차체 면에서 내부로 소음 및 열이 전달되지 않도록 하였다.

(3) 평가

주행 시 엔진 소음에 대한 저감 효과가 있으며 부식 및 엔진 열에 대한 소손 우려가 없다.

나) Muffler 개선 변경

(1) 개발사양

주행 중 온도 상승으로 인한 문제점 및 소음으로 인한 개선 필요

(2) 설계 및 제작

Muffler 열차단재 취부 하여 소음 및 온도를 저감할 수 있도록 한다.

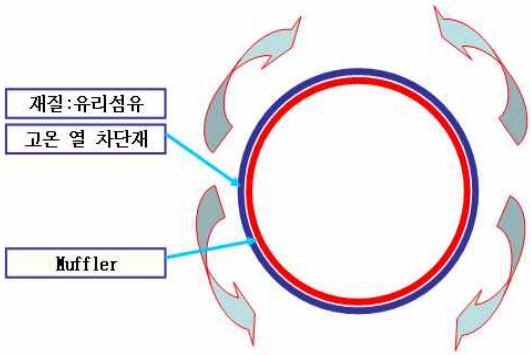



그림 2.5.3-4 소재 취부형식

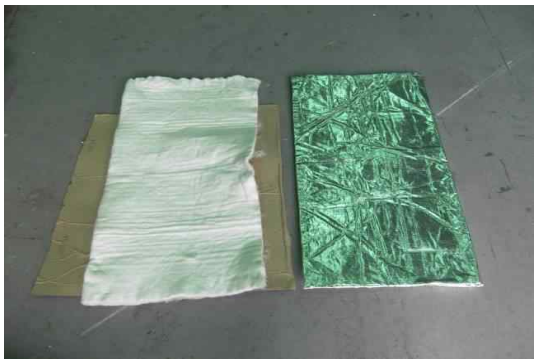


그림 2.5.3-5 고온용 E-Glass

(3) 평가

E-Glass를 취부 한 후 Muffler 표면 온도가 100℃정도 낮아지는 것으로 나타났다.

다) SIDE MIRROR

(1) 개발사양

자동 사이드 미러를 사용하여 자동운전 시 사이드미러를 접을 수 있도록 한다.

(2) 설계 및 제작

사이드미러 작동 시 간섭이 발생 되지 않도록 설계 검토하여 위치를 결정 한다.

:

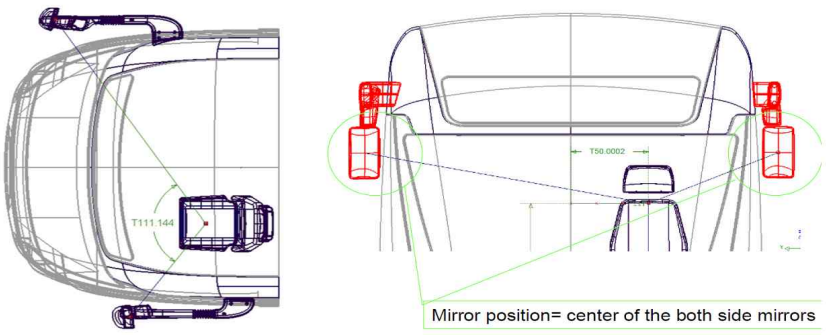



그림 2.5.3-6 설계위치 검토

(3) 평가

사이드미러 취부 후 차량 운행 시 좌/우측 차선 상태와 차량 후미 확인이 가능하였다.

라) Articulation 플렛폼 개선사항 반영

(1) 개발사양

차량 휠얼라이먼트 작업을 위해 플렛폼에 점검창을 설치할 수 있도록 한다.

(2) 설계 및 제작



그림 2.5.3-7 기존 플랫폼

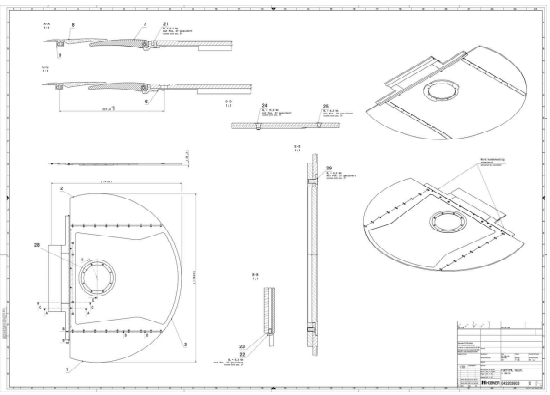


그림 2.5.3-8 개선된 플랫폼

(3) 평가

휠얼라이먼트 및 차량 점검 시 플렛폼 전체를 탈거하지 않아 유지보수가 용이해졌다.

3) CNG Tank 모듈 제작

가) 개발사양

- CNG Tank 용량 : 640ℓ

나) 설계 및 제작

- CNG Tank는 160ℓ의 용기 4개로 구성 한다.
- 초경량 복합재료 고압용기(Type 4), Valve 및 Frame으로 구성
- CNG Tank는 KGS C024-2004 규격에 따라 제조 및 검사
- CNG Tank에 대한 내압 시험, 반복가압 시험, 배치 파열 시험을 진행 함
- 안전 밸브를 설치하여 가스를 배출하여 위급 상황 시 폭발 및 화재 위험에 대응 할 수 있도록 하였다.

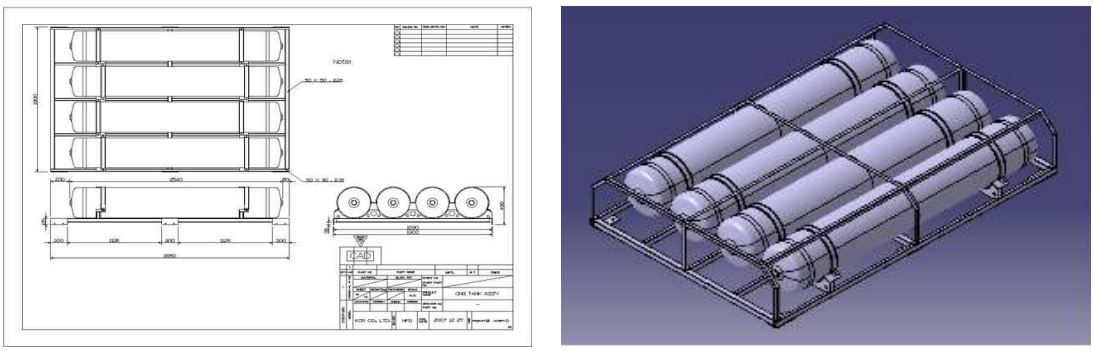


그림 2.5.3-9 CNG 2D & 3D 모델링

다) 평가

주행 시 탱크 취부 및 탱크 용기에 대한 신뢰성이 높았고 차량 중량에 대한 연료량이 적합하였다.

4) 차량 연결기(Articulation) 제작 및 조립

가) 개발사양

바이모달 트램의 Vehicle Articulation System이란 차량과 차량을 연결해주는 장치로 승객이 차량 간 안전하게 이동할 수 있도록 하고, 객실로 유입된 소음 차단 및 차량이 곡선 통과 시 관절역할을 한다.

나) 설계 및 제작

- 차량과 차량을 연결하여 곡선 통과 시 관절역할과 회전 시 최소반경 유지기을 하는 장치이며, 앞/뒤 차량을 연결하는 2개의 구조물과 회전 Bearing, Rubber Metal Bearing, Potentiometer로 구성된다.
- 앞 차량과 조립 시 Articulation을 들어 올릴 때 뒤쪽 부분을 대각이 되도록 비스듬하게 들어 취부를 해야 취부가 용이하다.

체결 볼트 조립시에는 토크 렌치를 이용하여 주어진 토크값에 맞게 체결한다.

※ 체결 볼트 : M20*110L(4ea)

※ 토크 값 : 1단계 150Nm/2단계 557Nm(±5%)

- 후미 차량 조립 시 체결 볼트 조립 시에는 토크 렌치를 이용하여 주어진 토크값에 맞게 체결한다.

※ 체결 볼트 : M24*200L(16ea)

※ 토크 값 : 1단계 300Nm / 2단계 850Nm(±5%)



그림 2.5.3-10 체결완료 형상

5) 배관 제작

가) CNG PIPING

(1) 개발사양

- CNG 연료의 경로를 안전성 있게 연결 하도록 한다.
- 연료장치는 자동차의 움직임에 의하여 연료가 새지 아니하는 구조일 것.
- 배기관의 끝으로부터 30Cm이상 떨어져 있을 것(연료탱크를 제외한다.)
- 노출된 전기단자 및 전기 개폐기로부터 30Cm이상 떨어져 있을 것.(연료탱크를 제외한다.)
- 차실 안에 설치하지 아니하여야 하며, 연료탱크는 차실과 벽 또는 보호판 등으로 격리되는 구조일 것.

(2) 설계 및 제작

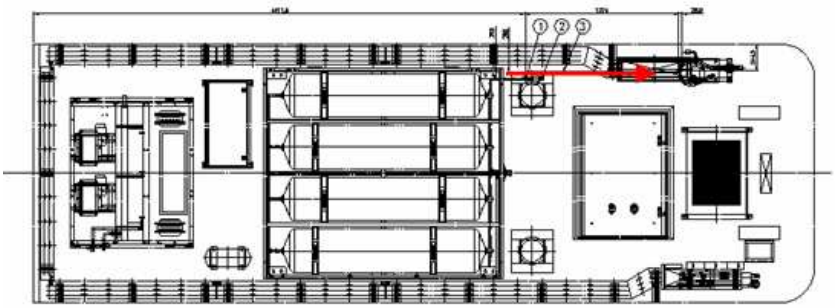


그림 2.5.3-11 배관경로

- CNG Tank의 배치를 Carriage 3 뒷부분에 위치시켜 배관의 누기 부위 및 배관의 경로를 최적화하여 엔진룸 배관까지 연결 하도록 하였다.
- 배관 브라켓은 600mm구간 당 설치할 수 있도록 설계 하였다.
- 고압배관의 길이가 2m로 중량을 최소화 하였다.

나) AIR CON PIPING

(1) 개발사양

- 바이모달 트램의 에어컨 시스템은 차량 옥상에 설치되며 크게 Condenser, Receiver Tank, Evaporate, A/C Accumulator의 4가지 장치로 구분된다.
- 배관 및 냉매제어의 방법으로는 압축기를 제외한 일체형 에어컨 내부의 배관 연결은 차량 진동에 의한 냉매 누설을 차단하기 위하여 용접이음 하고, 모든 부품들은 취부한 후 배관 및 주요부품은 이음매 부분의 결함 확인을 위한 진공시험을 실시 후 냉매를 주입 한다.

(2) 설계 및 제작





그림 2.5.3-12 Air Con 배관 경로 구간 그림 2.5.3-13 C3 Air Con 배관 경로 구간

- Receiver Tank 구간의 교체가 용이하도록 하였다.
- 기존 유니온 체결 타입이 누기로 인한 문제가 많아 플랜지형타입으로 설계 및 설치하였다.
- Energy Guiding 부분 체결공간을 확보하여 체결이 용이하도록 하였다.
- Evaporate 구간의 배관 경로를 체적화하며, 기존의 현장 용접작업을 생략해 작업이 용이 하도록 하였다.

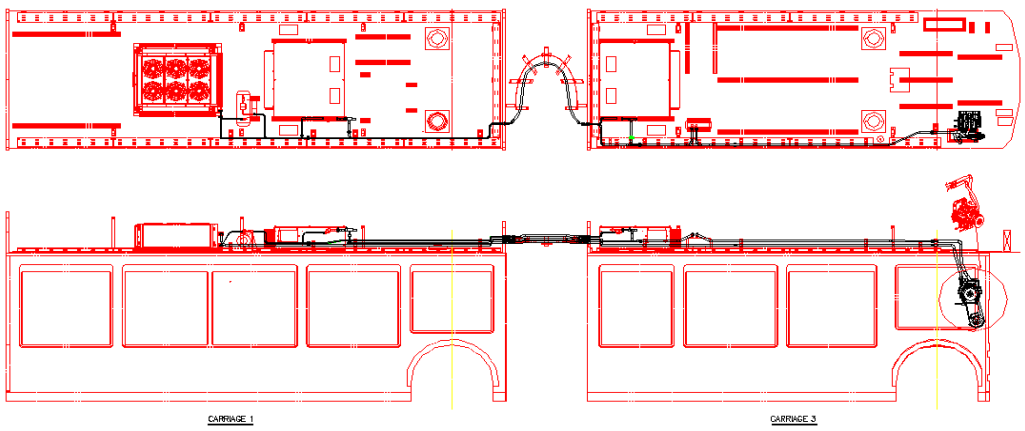



그림 2.5.3-14 에어컨 기기위치 및 배관 경로

(3) 평가

냉매배관(저압/고압)은 엔진 탈거 등 정비의 효율성 축면에서 제작 후 유지보수 시 탈/부착이 용이하도록 제작 및 설치되었다.

다) ENGINE COOLING PIPING

(1) 개발사양

냉각수가 ENGINE을 냉각시키고 실내 히터에 사용될 수 있도록 PIPING 경로를 효율적으로 설계 및 제작하도록 한다.

(2) 설계 및 제작

- 실내에는 설치가 용이하고 열전도성이 높은 동관 사용
- 운전실에서 제상기로 연결되는 부분은 경로 확보를 위해 호스 사용
- Roof에서 엔진룸까지 연결되는 구간은 설치가 용이한 호스 사용



그림 2.5.3-15 실내 히터배관

- 에너지 가이딩 부분 체결공간을 확보하여 체결이 용이하도록 하였다.
- Evaporate 구간의 배관 경로를 체적화하며, 기존의 현장 용접작업을 생략해 작업이 용이하도록 하였다.

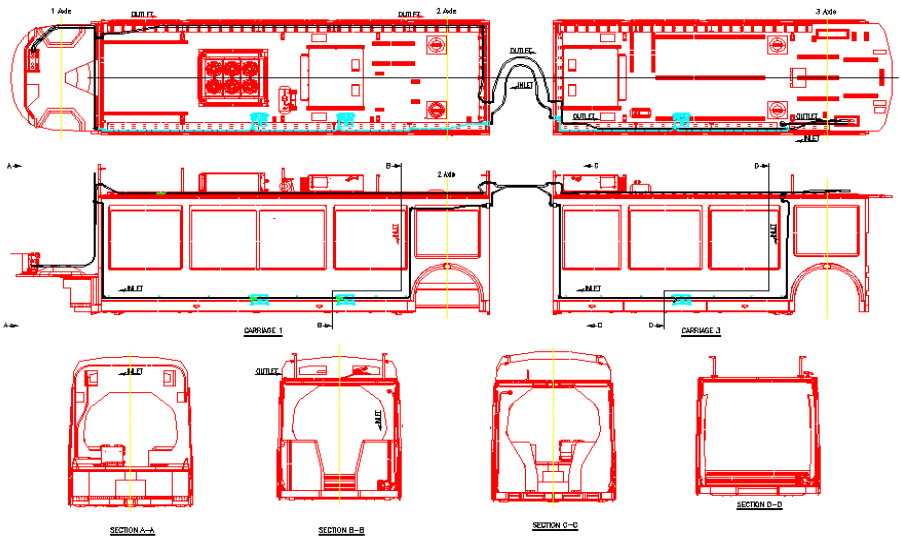



그림 2.5.3-16 히터 경로 구간

라) MOTOR COOLING PIPING

(1) 개발사양

2축과 3축 트랙션 모터의 냉각용으로 쓰이는 배관

(2) 설계 및 제작

- 공기 및 가스등의 기체를 10bar이상의 압력으로 사용할 경우에는 외면고무에 Pin-Prick을 사용하고 공기 및 가스등의 기체를 20bar이상의 압력으로 사용할 경우에는 내 가스 투과성이 우수한 수지호스를 적용한다.
- 전용 호스의 전용 피팅을 사용 시에는 절대로 호스외면을 벗겨서는 안 된다.

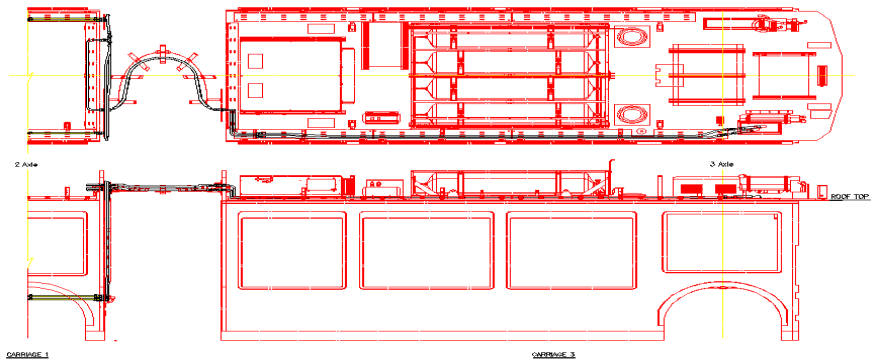



그림 2.5.3-17 MOTOR COOLING PIPING 구간

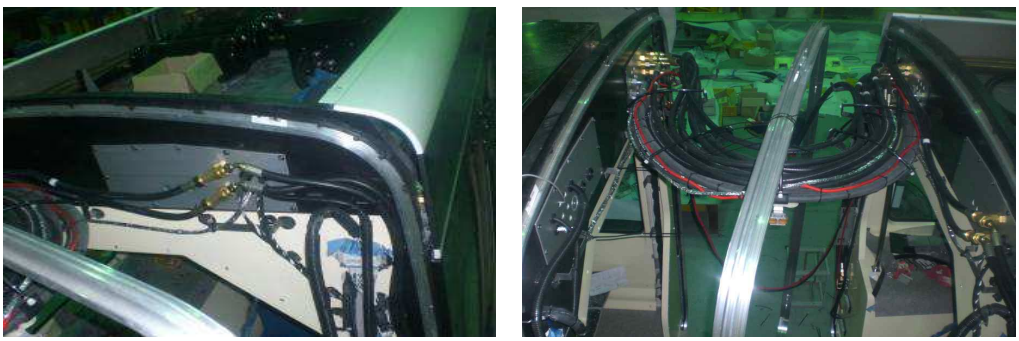


그림 2.5.3-18 MOTOR COOLING PIPING 연결

(3) 평가

차량 주행 시 모터 냉각 성능에 무리가 없었으며 냉각수 주입 등의 원인으로 공기가 유입될 경우 COOLING PIPING의 냉각수 순환이 저해 될 수 있으므로 차량 정비 시 에어빼기 작업을 실시 해주도록 한다.

마) 전장

(1) 계기판 스위치

(가) Full Manual Mode 회로 구성

① 개발사양

Frog System이 Off, Error가 발생되거나 중대한 문제가 발생될 시 차량 운행이 Frog System을 거치지 아니하고 주행을 할 수 있도록 Full Manual Mode 회로를 구성하고 이 Mode는 Frog System의 문제 발생 시에만 비상으로 사용될 수 있도록 한다.

② 설계 및 제작

구성 회로는 아래 그림과 같으며 Switch는 side-console에 취부하여 쉽게 조작할 수 있도록 한다.

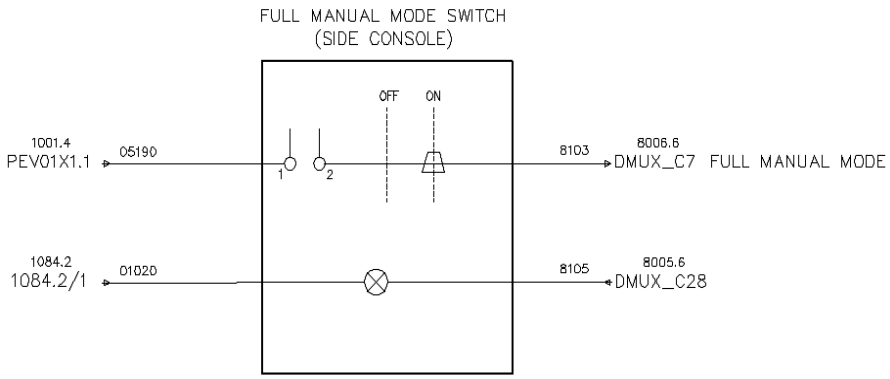



그림 2.5.3-19 FULL MANUAL MODE 구성회로

(나) DASH BOARD SWITCH

① 개발사양

- Dash board의 스위치들이 분산 되지 않게 집중 배치하여 조작성을 높인다.
- Reset 버튼은 별도의 보호커버를 스위치에 적용하여 운전자 부주의로 인한 오조작을 방지한다.

② 설계 및 제작




그림 2.5.3-20 DASH BOARD SWITCH

(다) Defroster 및 Heater Switch

① 개발사양

속도조절 기능이 있는 제품으로 Defroster와 Heater Switch를 같은 제품으로 선정 한다.

② 설계 및 제작




그림 2.5.3-21 Defroster & Heater Switch

③ 평가

Defroster와 Heater Switch 기능 구현에 적합하며 조작의 편의성을 높였다.

(라) Retard Switch(회생제동) 구성

① 개발사양

- 회생제동 스위치로서 내리막길 주행 시 운전자 조작에 의해 사용 한다.
- 스위치 사용으로 견인전동기를 발전기로 작동시켜 제동력에 의해 발생된 운동에너지를 전기에너지로 변환하여 추진 배터리를 충전 시키는 기능을 한다.

② 설계 및 제작

좌측 Side Consol에 설치

③ 평가

차량 주행 중 Retard Switch를 통한 차량 충전 기능을 구현할 수 있었다.

(2) 램프 제작

(가) 실내등 제작

① 개발사양

실내조명은 간접조명방식과 직접조명방식 두 가지를 방식을 적용하여 개발 한다.

② 설계 및 제작

- 간접 조명 방식을 구현한 LED 형광등: 길이 1250MM
- 직접 조명 방식을 구현한 LED 형광등: 길이 487MM

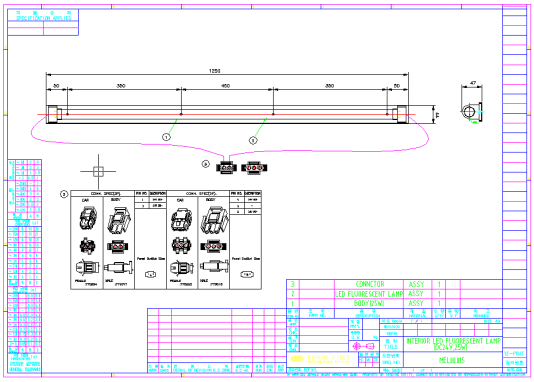


그림 2.5.3-22 간접조명 LED 형광등

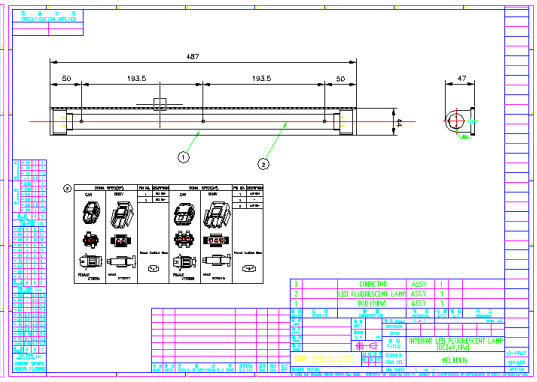


그림 2.5.3-23 직접조명 LED 형광등

③ 평가

조명에 대한 눈부심을 줄이고 눈의 피로감을 낮추어 균일하고 부드러운 빛 연출을 통해 자연스럽고 쾌적한 실내 환경을 만들었다.

(나) FRONT & REAR LAMP 제작

① 개발사양

FRONT와 REAR LAMP 모두 법적 기준과 기능을 모두 만족시키고 외관상 우수할 수 있도록 디자인 한다.

② 설계 및 제작

- FRONT LAMP

상향등, 하향등, 방향지시등 및 GUIDE 등으로 구분되어진다.

- REAR LAMP

Rear Lamp 정지등, 방향지시등, 후미등 GUIDE 등으로 구분되어진다.

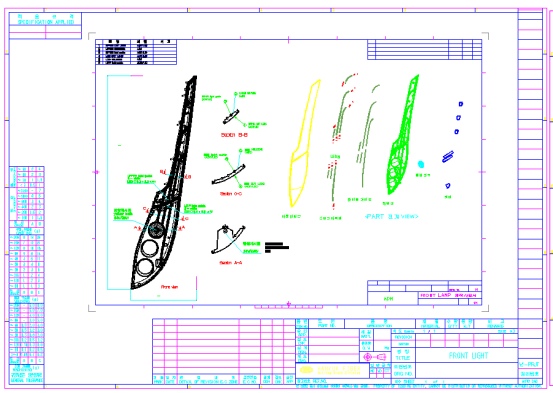


그림 2.5.3-24 FRONT LAMP 설계도면

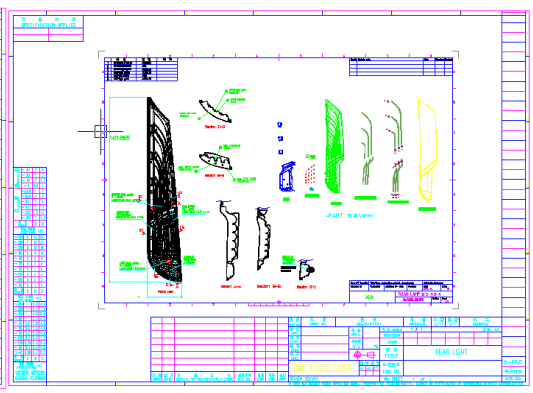


그림 2.5.3-25 REAR LAMP 설계도면



그림 2.5.3-26 FRONT LAMP



그림 2.5.3-27 REAR LAMP

(3) 배전반 및 Box류

(가) X11 BOX

① 개발사양

- 각 고압 장치에 전원 공급 신호를 주는 릴레이들이 보호 될 수 있도록 방진, 방수에 충분히 안정성을 확보 할 수 있는 BOX를 개발 한다.
- IP66 등급에 제품으로 방수 및 방진에 기능을 가지고 있다.

② 설계 및 제작



그림 2.5.3-28 X11 BOX 입고사진과 차량에 설치된 모습

- 가로*세로*높이 : 400*800*300 mm

③ 평가

단자대와 릴레이 커넥터 별로 구분을 지어 유지보수에 용이하게 제작되었다. 외부 전선은 케이블 그랜드를 이용하여 전선 보호 및 방수가 되도록 하였다.

(나) X32 BOX

① 개발사양

- 각 고압 장치에 전원 공급 신호를 주는 릴레이들이 보호 될 수 있도록 방진, 방수에 충분히 안정성을 확보할 수 있는 BOX를 개발 하도록 한다.
- IP66 등급에 제품으로 방수 및 방진에 기능을 가지고 있다.

② 설계 및 제작




그림 2.5.3-29 X32 BOX 입고사진과 차량에 설치된 모습

- 가로*세로*높이 : 400*800*300 mm

③ 평가

단자대 및 릴레이 커넥터 별도로 따로 구분지어 배치하여 정비 및 유지 보수시 용이할 수 있도록 제작 설계하였다. 외부에서 전선이 들어오는 곳은 케이블 그랜드를 사용하여 전선보호 및 방수가 될 수 있도록 제작하였다.

(다) XM3 BOX

① 개발사양

- 차량 외부에 설치되는 배전반으로 충분한 방진 및 방수 기능을 갖추어야 한다.
- IP66등급에 제품을 사용하여 방수 및 방진에 대한 기능을 가지고 있다.

② 설계 및 제작

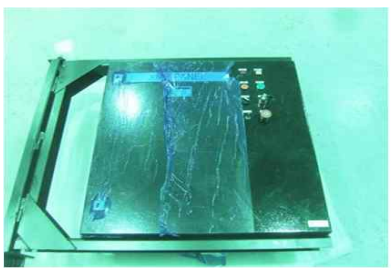



그림 2.5.3-30 XM3 BOX 입고사진과 차량에 설치된 모습

- 가로*세로*높이 : 760*760*300 mm

③ 평가

차량 주행 시 방진 및 방수에 대해 충분한 안전성이 확보 되어 BOX 내 장치의 기능을 안전성 있게 수행할 수 있다.

(라) XM3 JUNCTION BOX

① 개발사양

엔진룸에서 실내로 인입되는 전선들을 보호하기 위한 BOX를 개발

② 설계 및 제작



그림 2.5.3-31 XM3 JUNCTION

- 가로*세로*높이 : 200*300*155 mm

③ 평가

전선이 인입되는 부분은 케이블 그랜드를 설치하여 전선 보호 및 방수기능을 높이고 점검 도어가 있어 유지보수가 용이하다.

(마) 휠 모터 JUNCTION BOX

① 개발사양

IP66등급의 제품이며 방수 및 방진의 기능을 가지고 있다.

② 설계 및 제작



그림 2.5.3-32 T/M JUNCTION

- 가로*세로*높이 : 150*150*80 mm

③ 평가

전선이 들어오는 인입구 부분에는 케이블 그랜드를 사용하여 전선 보호 및 방수 기능을 보완하였다.

(4) WIRE HARNESS

(가) 개발사양

실내 전장품에 대해서는 WIRE HARNESS를 제작 하여 전원 및 신호를 전달하도록 한다. 운전실, Carriage 1, Carriage 3, Engine Room으로 각 PART를 나누어 하네스를 제작하도록 한다.

(나) 설계

① Dashboard HARNESS

Dashboard 주변 전장품에 대한 하네스 설계

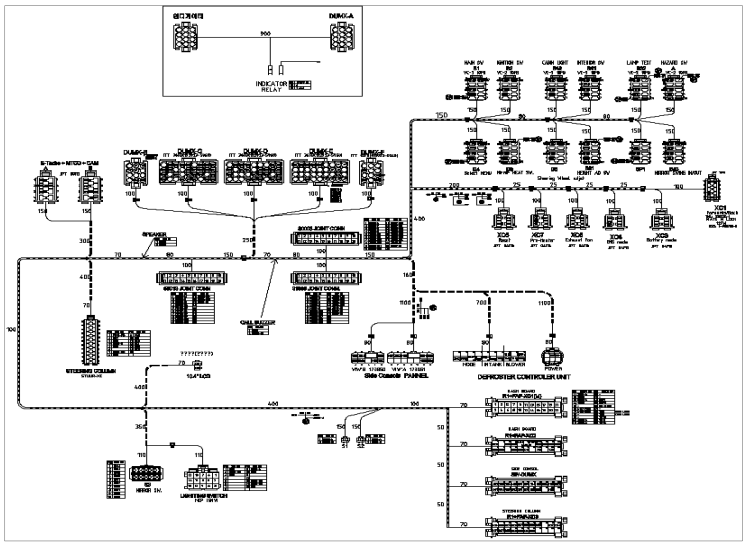


그림 2.5.3-33 DASHBOARD HARNESS 도면

② NODE1 HARNESS

NODE1과 CC의 기능과 관련된 입출력 장치로 CARRIAGE1 좌측에 위치

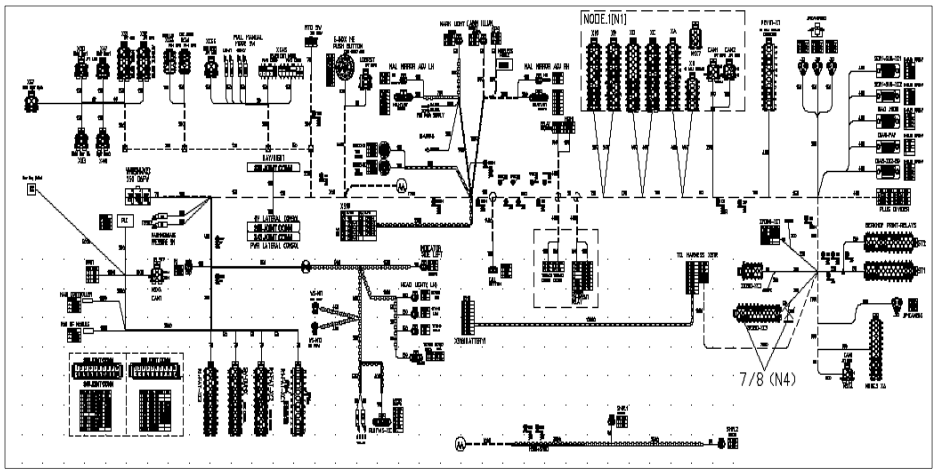



그림 2.5.3-34 NODE1 HARNESS 도면

③ NODE2 HARNESS

주 장치로 NODE2와 ECAS, EBS(시제1호), ABS(시제2호)에 대한 설계

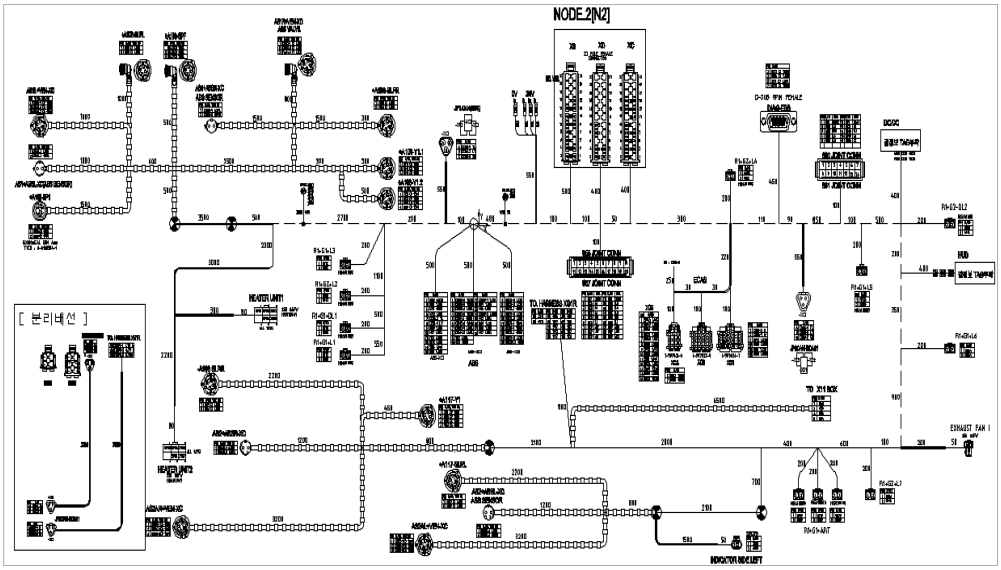



그림 2.5.3-35 NODE2 HARNESS 도면

④ NODE3 HARNESS

운전실 우측 점검 PANEL 내부에 위치해 있는 자동 운전 및 추진 제어 장치들이 우측 전방 실외등, 컴프레셔, Brake, Accelerator, UPS, SERVO-DRIVE로 전원 및 신호를 전달

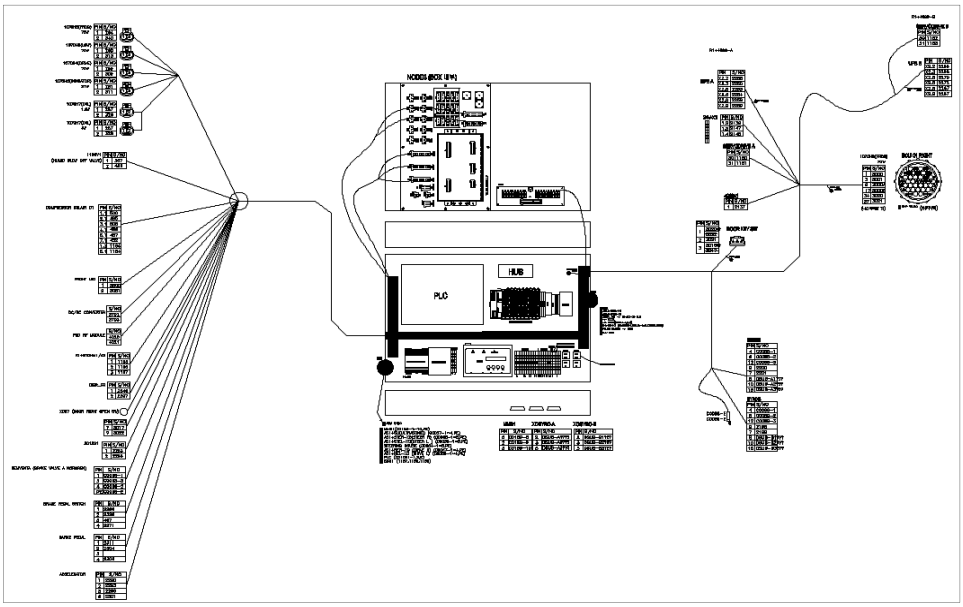



그림 2.5.3-36 NODE3 HARNESS 도면

⑤ NODE4 HARNESS

CARRIAGE 1의 실내 우측 전장품에 대한 배선으로 주요 장치로는 NODE4와 BECKHOFF, SLC가 있다

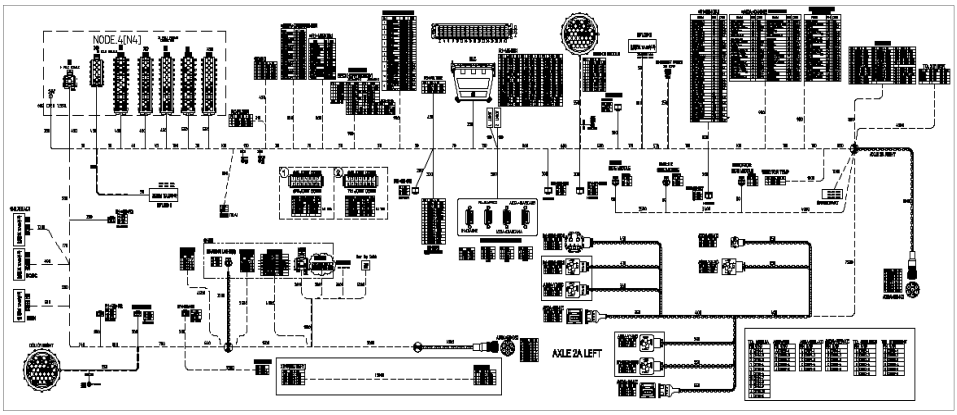



그림 2.5.3-37 NODE4 HARNESS 도면

⑥ NODE9-10 HARNESS

CARRIAGE 3의 모든 실내 전장품을 담당한다. MVB와 CAN과 같은 통신선은 노이즈 간섭을 피하기 위해 분리 배선하였다.

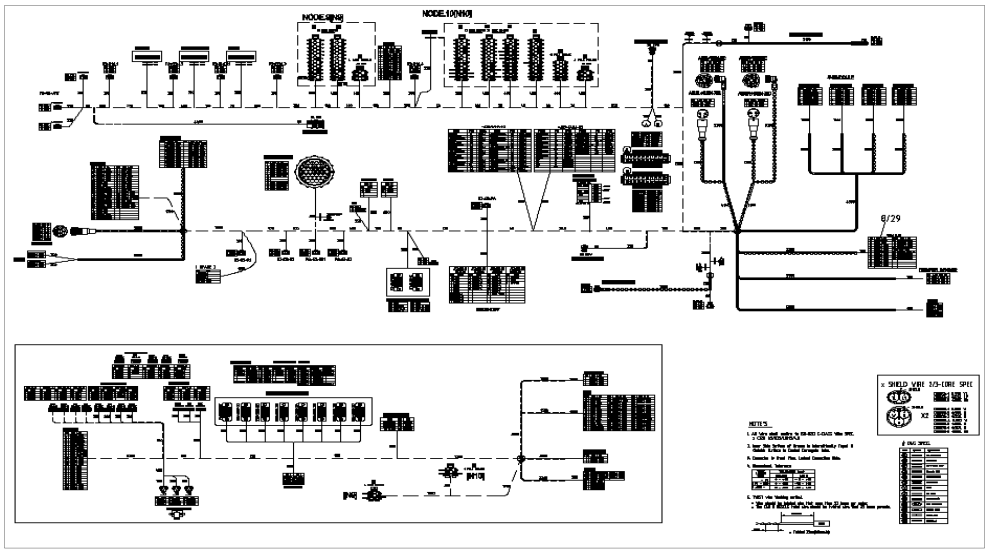


그림 2.5.3-38 NODE9-10 HARNESS 도면

(다) 평가

전장품의 용도 집약적인 배치와 WIRE HARNESS를 통해 배선의 경로를 효율적으로 설계하여 전선 사용량을 절감시고 차량 제작 시 작업의 효율성 및 신뢰성을 높일 수 있었다. 또한 배선 정리가 용이하여 외관상 깔끔하며 배선 점검 시 유지보수에 유리 하다.

# 제6절 전용선로

## 1. 친환경성 선로형식 도로포장

### 가. 친환경 전용선로

1) 친환경 전용선로의 정의

친환경성 선로형식 도로포장은콘크리트 슬래브의 중앙부를 일정한 폭과 깊이로 함몰된 단차면을 형성하는 변단면 구조 또는 중앙부를 분리하여 좌,우 슬래브를 상호 연결하는 분리단면구조로 슬래브를 구성하여 중앙부에 식재공간을 형성하는 선로형식 콘크리트 녹색포장 구조이다.

친환경성 선로형식 도로포장은 새로운 개념의 도시형 신교통인 바이모달트램 시스템의 친환경 전용선로를 구축하기 위해 개발된 핵심 기반시설 기술이다.

바이모달트램 시스템은 노면위에 설치된 친환경 전용선로를 고무차륜식 첨단 굴절차량이 마그네틱바를 활용한 전자기 유도방식에 의해 자동 운행되는 새로운 대중교통시스템이다. 주요 구성요소로는 크게 친환경 전용선로(주행로 및 전용교량), 첨단굴절차량, 정거장, 통합운영센터 등으로 이루어져 있으며, 건설교통R&D 교통체계효율화 연구사업을 통해 차량, 기반시설 및 시스템분야가 종합적으로 연구 개발되었다.




그림 2.6.1-1 바이모달트램 시스템 특성 및 구성요소

이중 친환경성 선로형식 도로포장 기술을 적용한 친환경 전용선로는 바이모달트램 차량의 독립적인 통행권(Right of Way) 확보를 통해 정시성과 운행안전성을 보장하고, 환경친화적인 신교통 이미지를 제고시켜 도시미관 및 교통환경을 개선하는 중요한 기능 및 역할을 담당한다.

2) 친환경 전용선로의 적용

바이모달트램 시스템의 전용선로 형식은 크게 “바이모달트램 전용도로”와 “바이모달트램 전용포장”으로 구분하여 이해할 수 있다.

“바이모달트램 전용도로”라 함은 바이모달트램 시스템의 계획 단계에서부터 바이모달트램 전용차량의 운행만을 목적으로 건설되고, 자기유도안내장치가 설치되어 자동운전이 가능한 주행공간을 의미한다. 또한 전용도로의 중앙부에 친환경소재인 잔디(천연잔디, 인조잔디)등을 식재한 친환경 전용도로로 구성하여 적용할 수도 있다.

“바이모달트램 전용포장”이라 함은 바이모달트램 전용도로의 포장을 의미하며, 운전자 및 이용자가 일반차로와 쉽게 구분할 수 있도록 잔디를 식재한 친환경 포장 등을 적용하거나 조경분리대, 연석 등으로 분리하는 것이 바람직하며, 차량하중에 의한 포장파손이 최소화되도록 내구성이 높으며 유지관리에 용이한 강성포장재료 사용을 권장한다.

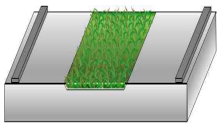
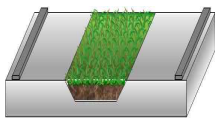
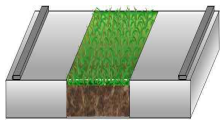
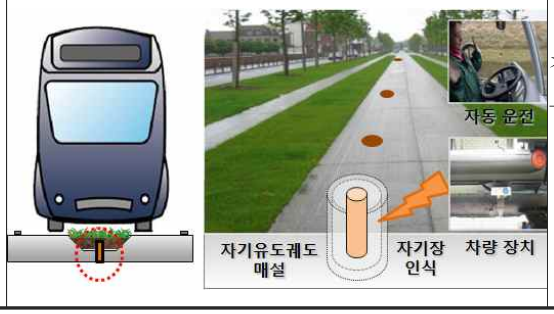
<table>
<tr><th>구 분</th><th>강성포장</th><th colspan="3">친환경 녹색 포장</th></tr>
<tr><td rowspan="2">바이모달<br>트램<br>포장공법<br>(1차로)</td><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>시멘트 콘크리트</td><td>인조잔디</td><td>천연잔디/변단면</td><td>천연잔디/분리단면</td></tr>
<tr><td>자기유도<br>장치</td><td colspan="3"> 
</td><td>· 바이모달트램 전용도로 포장: 친환경 주행로(잔디)+강성포장 +마그네틱 바 로 구성<br>· 마그네틱 바 매설에 의한 자기유도방식의 자동운전<br>· 횡단구성의 요소별 폭원은 도로 및 지역조건에 따라 변동 가능</td></tr>
</table>

그림 2.6.1-2 바이모달트램 전용도로 포장 개념도

바이모달트램 시스템의 전용 통행권 및 효율적인 운영을 위한 친환경성 선로형식 도로포장은 다음과 같은 조건을 고려하여야 한다.

바이모달트램 포장은 바이모달트램 전용차량이 주행하는 전용도로의 포장을 의미하며, 일반도로의 건설 및 설계기준을 따르되, 바이모달트램 전용차량의 설계교통량 및 하중 등을 고려하여야 한다.

또한, 일정한 궤적을 주행하는 차량특성으로 교통하중이 일정한 주행면에 집중하

여 반복적으로 작용하게 되므로 내구성이 높고 소성변형 및 기타의 파손에 대한 저항성을 갖추고 있어야 한다.

바이모달트램 전용도로의 포장은 차량하중에 의한 포장파손이 적고 내구성이 높으며 유지관리가 용이한 강성포장을 기본으로 하며, 일반차로와의 구분, 도시의 소음, 열섬현상 및 경관향상 등을 고려하여 친환경 녹색포장공법을 적용할 수 있다.

또한, 바이모달트램 포장구조물 하부에는 바이모달트램 시스템의 서비스 질 향상 및 적용환경 등을 고려하여 자동운전을 위한 자기유도장치(마그네틱 바), 초기우수처리시설 등을 추가적으로 설치할 수 있다.

## 나. 친환경 전용선로의 특성

1) 신교통시스템의 종류

신교통시스템은 재래식 궤도, 신개념의 궤도(자기유도방식, 광학유도방식, 소선로유도방식) 또는 독립 대중교통수단에 신호제어, 통신, 무인 및 자동운전 등 첨단교통운영 기술을 접목시킨 대중교통시스템을 말한다.

혼용 및 전용 궤도(선로)시스템을 가지고 수동 또는 자동 운전되는 교통수단으로 신형노면전차(New Street Tram), 모노레일(Mono Rail), AGT(Automated Guideway Transit), LIM(Linear Induction Motor), 바이모달 트램(Bimodal Tram), 자기부상열차(Magnetic Levitation Transit), PRT(Personal Rapid Transit) 등과 같은 신교통 차량이 운행되는 새로운 도시형 대중교통수단을 통칭한다.

표 2.6.1-1 신교통시스템 및 주행로

| 구 분 | 차량 및 시스템 | 유도장치 및 주행로 |
|---|---|---|
| AGT<br>(안내궤조) |  |  |
| LIM<br>(LIM유도장치) |  |  |
| TVR시스템<br>(소선로 유도방식) |  |  |
| CIVIS 시스템<br>(광학유도방식) |  |  |
| 바이모달 트램<br>(전자기유도방식) |  |  |

신교통시스템은 차량의 경량화로 지하철에 비하여 고가도로 및 지하도로 건설이 수월하여 건설비 절감이 가능하며, 첨단제어시스템에 의한 완전무인자동운전으로 운영비의 혁신적 절감이 가능하다. 또한 곡선반경, 등판능력에서 유리하므로 노선계획이 용이하고 승객수요에 맞춰 적절한 시스템 도입이 가능하며 지하철에 비해 미관이 수려하고 쾌적하고 편리한 특징을 갖고 있다.

신교통시스템 전용선로는 첨단 신교통차량의 운행유도 및 주행을 위한 공간으로, 운전방식 및 운행특성 등에 따라 크게 평면(노면)형, 고가구조(교량)형, 지하형으로 구분된다.

2) 신교통시스템별 주행로 특성 비교

친환경성 선로형식 도로포장을 활용한 바이모달트램의 친환경 전용선로를 이해하기 위해, 바이모달트램 시스템과 유사한 기존 신교통시스템인 논면전차와 AGT시스템과 비교해 보면 그 특성 및 장단점을 파악하기 용이하다.

주요 신교통시스템별 주행로 기술요소에 대해 환경성 및 도시미관, 교통성 및 운영성, 경제성 및 시공성 등 측면에서 친환경성 선로형식 도로포장 기술을 반영한 주행로와 유사 기술요소가 반영된 다른 시스템의 주행로를 기준으로 주요 특성을 비교하면, 바이모달트램의 친환경 주행로가 다른 시스템에 비해 전반적으로 환경성 및 교통성, 경제성 등의 측면에서 우수한 특성을 갖고 있다.

철제차륜식 노면전차 주행로는 도로위에 철제레일 설치를 통한 비용 절감 및 공간 활용 등의 측면에서는 유사하나, 철제레일의 운행 및 제동중 소음 발생, 등판력 한계, 교차로 통과시 평탄성 부족 등의 문제를 가지고 있는 것으로 나타났다.

따라서, 친환경성 선로형식 도로포장은 기존 노면형 신교통시스템의 주행로 형식이 가지고 있는 문제요소를 현 단계에서 보완한 최신 기술로 판단할 수 있으며, 다른 유사기술과 비교시 최적 및 개선된 기술로 상대적으로 친환경성 및 기술적 우수성이 높다고 할 수 있다.

표 2.6.1-2 신교통시스템 제원 및 주행로 특성검토

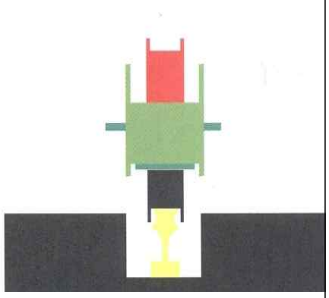
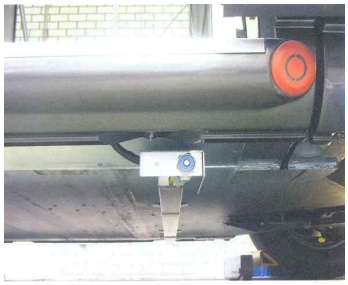
| 구분 | 바이모달 트램 | 노면전차 | AGT |
|---|---|---|---|
| 시 스 템 |  |  |  |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 주 행 로 | |  |  |  |
| 수송능력 | | 5,000~18,000인/시 | 2,000~20,000인/시 | 20,000~40,000인/시 |
| 주행형태 | | 지상, 고가, 지하 | 지상, 지하 | 고가, 지하 |
| 바퀴형태 | | 고무바퀴 | 철제바퀴 | 고무바퀴, 철제바퀴 |
| 최대속도 | | 70~80km/h | 20~80km/h | 60~80km/h |
| 운전방식 | | 수동 또는 자동운전 | 무인 또는 수동운전 | 무인 또는 수동운전 |
| 최대구배 | | 13% | 6~9% | 7.5% |
| 최소곡선반경 | | 12m | 20~35m | 35m |
| 동력방식 | | CNG-Hybrid 체동력방식 | 가공선 전력공급방식 | 제3궤조 전력공급방식 |
| 주행로 주요 특성 | 환경성 | • 친환경 녹색포장공법 적용으로 도시미관 향상<br>• 콘크리트 주행로 적용으로 소음 및 제동영향 최소 | • 노면활용 및 가공선 설치로 도시미관 저해<br>• 철제레일 및 안내선 매설로 소음 및 제동 문제 발생 | • 고가 구조물 설치로 인한 도시미관 저해<br>• 콘크리트 주행로 적용으로 소음 및 제동영향 최소 |
| | 교통 및 운영성 | • 교차로부 콘크리트포장 적용으로 일반차량 통과시 평탄성 및 안전성 우수<br>• 돌발상황 발생시 충분한 승객대피 공간 확보로 안전성 우수<br>• 응급비상차량 임시 활용 가능 (공공성 우수) | • 교차로부 레일 및 안내선 매설로 일반차량 통과시 평탄성 및 안전성 부족<br>• 돌발상황 발생시 가공선 문제로 승객대피 공간 및 안전성 보통<br>• 응급비상차량 등 다른 차량 이용성 부족 | • 교차로부 고가통과로 차량영향은 없으나,구조물 설치 비용 증가<br>• 돌발상황 발생시 승객 대비 별도공간 설치 필요 (급전선 감전영향 등)<br>• 전용선로 운영으로 다른 수단 진입 불가 |
| | 시공 및 경제성 | • 주행로 구축비용 및 기간 상대적으로 매우 낮음<br>• 시공 및 유지보수 용이<br>• 유지보수 기간중 시스템 운행 영향 최소 | • 주행로 구축비용 및 기간 상대적으로 낮음<br>• 시공 및 유지보수 보통<br>• 유지보수 기간중 시스템 운행 영향 발생 | • 주행로 구축비용 및 기간 상대적으로 높음<br>• 시공 및 유지보수 복잡<br>• 유지보수 기간중 시스템 운행 영향 발생 |

3) 선로형식 차량의 특성 비교

선로차량은 유도시스템에 의해 자동운전이 가능하며 그 유도형식(guide type)에 따라 레일유도형식(신형 노면전차, AGT, LIM, 모노레일 등), 소선로 유도형식(TVR, Translohr 시스템 등), 광학유도형식(CIVIS 시스템 등), 전자기유도형식(바이모달트램 시스템 등) 및 기타 유도형식 등으로 분류된다. 따라서, 신교통시스템은 크게 첨단 선로차량과 유도장치 및 운영관련시설 등을 포함한 인프라 기반시스템으로 구성되는 특성을 갖고 있다.

표 2.6.1-3 선로차량의 유도형식 비교

| 구분 | 레일유도형식<br>(소선로 유도형식 포함) | 광학유도형식 | 전자기유도형식 |
|---|---|---|---|
| 개념 | 레일유도형식은 일반적인 철도의 레일(rail) 위를 차량(또는 전철)이 주행하는 방식이고 소선로 유도형식은 바퀴차륜 사이의 차량 하면에 작은 선로에 의해 유도되는 방식 | 광학유도형식은 레일대신 차선과 같은 표시줄모늬(line marking)를 차량에 장착된 카메라로 인식하면서 주행하는 방식 | 전자기유도형식은 도로포장 내 1~10cm 정도 깊이에 마그네틱바를 설치하여 차량에 장착된 센서가 자석막대의 자기력을 인식하면서 주행하는 방식 |
| 유도레일 |  |  |  |
| 특징 | 레일설치 등 인프라비용 과다 | 정상작동을 위해 노면상의 눈, 낙엽, 얼음은 반드시 제거 | 눈과 얼음 등의 기후 조건에서도 정상작동 가능 |

주 : “도시철도시스템 기술의 이해(한국철도기술연구원, 2008)” 관련자료 참조

신교통시스템 관련 도입 사례 및 문헌자료 등을 토대로 국내외 기술동향을 살펴보면, 지구온난화와 배기가스 감축 등 전세계적인 환경문제 인식 고조, 저출산 및 고령화사회 진입 등에 따른 사회적 교통약자 배려 등 측면에서 유럽 등 선진국을 중심으로 노면형 신교통시스템에 대한 연구 및 관심이 급격히 증가하고 있는 실정이다.

신교통시스템의 주행로는 대부분 일반적인 아스팔트 콘크리트 포장 또는 시멘트 콘크리트 포장면위에 유도시설을 설치하여 인프라를 구성하고 있으며, 신교통시스템의 유도형식은 도입지역의 도시경관 개선 및 소음영향 개선 등을 위하여 기존 레일유도방식의 물리적인 형태에서 광학 또는 전자기유도방식으로 진화하고 있는 추세이다.

신교통시스템의 최신 연구기술인 선로차량에 대한 전자기유도방식을 고려한 친환경 선로형식 포장 및 친환경 전용선로 구축에 관한 기술로, 최근 국내외적인 기술동향 및 선호 트렌드를 반영하고 있다고 할 수 있다.

## 다. 친환경 전용선로의 구성요소

최근 국가 교통정책의 패러다임이 '저탄소 녹색성장' 및 '지속가능 발전'이라는 주제로 전환되어 친환경적인 교통수단의 도입과 대중교통 활성화 정책이 탄력을 받고 있다. 특히 지속적으로 증대될 교통혼잡 및 배기가스에 의한 환경오염 저감을 위한 친환경적이고 비용효율적인 새로운 신교통수단의 도입이 필요한 시점이다.

그러나 일반도로에 적용되는 포장공법은 아스팔트 또는 콘크리트 포장과 같은 회색조일색의 포장공법으로 뜨거운 지열 또는 복사열에 의한 도심 내부 온도상승, 비산먼지, 차량소음 발생 및 도시미관 저해 등의 도시교통환경 문제와 운전자 피로감 증대 등의 문제를 발생시키고 있다.

따라서, 대중교통 활성화에 따른 교통체계 및 환경개선효과를 증대시킬 수 있는 새로운 개념의 신교통시스템과 이를 위한 친환경 기반시설에 대한 요구가 증가하게 되었다. 이에 따라 친환경성 선로형식 도로포장은 새로운 친환경 선로형식 포장기술에 대한 개념으로 개발이 이루어지게 되었다.

친환경성 선로형식 도로포장은 크게 선로형식 포장구조체를 중심으로 친환경 식재부, 운행 및 유지관리를 위한 기본요소로 구성되며 다음과 같이 정의될 수 있다.

1) 선로형식 포장 구조

친환경성 선로형식 도로포장은 일정한 선로(궤도)를 따라 유도주행되는 바이모달 트램과 같은 선로형 시스템 차량을 대상으로 하는 친환경 도로포장에 관한 기술로 표층부가 평편하고 연속적인 판(板)형태의 일반적인 도로포장면과 달리 차량의 좌, 우측 바퀴가 접하지 않는 차로의 중앙부를 일정한 폭과 깊이로 함몰된 단차면을 형성하여 녹지대를 형성하는 불연속적인 판(板)형태의 슬래브형식(변단면 또는 분리단면 구조) 포장 구조를 형성하고 있다.

선로형식 포장구조는 차량의 주행 안전성, 재료의 적합성 및 구조 안전성 등을 고려하여 기존 아스팔트 및 콘크리트 중심의 회색조 포장 표면을 주행 요구조건을 만족하는 수준에서 주행로 중앙부에 녹지대(천연잔디, 인조잔디 등)를 형성하여 기존 교통운영 환경을 친환경 녹색 환경으로 개선하는 특징을 가지고 있다.

따라서, 친환경성 선로형식 도로포장은 크게 선로형 차량의 주행성 및 안전성 등 요구조건을 고려한 주행로와 녹지대로 구성된 새로운 개념의 환경친화적인 포장구조 단면으로 정의될 수 있다.

주행로는 방향별로 포장면을 분리형 또는 일체형으로 구성하며 방향별 구분은 중앙분리대 구조물(콘크리트 방호벽, 철제가드레일 등), 녹지대, 차선마킹 등으로 구성할 수 있다.

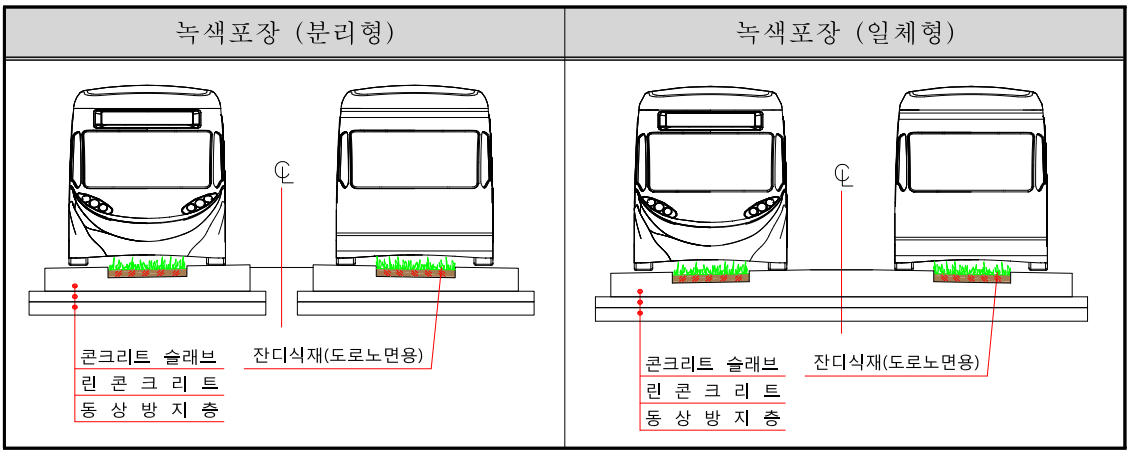



그림 2.6.1-3 친환경 선로형식 녹색포장

2) 주행로 폭

선로형식 차량이 주행하는 주행로는 차량 주행시 바퀴가 닫는 부분이며, 주행궤적 특성을 감안하여 주행 편심오차를 확보할 수 있는 폭원으로 설치되어야 한다.

선로형식 차량의 주행시 차륜궤적 편심오차를 살펴보면, 레일유도형식은 “0cm”, 광학유도형식과 자기유도형식은 “30cm 내외”이며, 따라서 바퀴가 접하는 주행로의 폭은 “30~80㎝”정도를 확보하는 것이 바람직하다.

친환경 전용선로의 주행로는 주행 편심오차의 크기가 일정 범위 내에 있는 신교통수단 및 대중교통 전용차량의 주행을 우선적으로 고려하여 주행로 폭원을 계획하였으며, 일반차량의 경우도 적정 유도형식 및 운전제어 등에 따라 편심오차를 최소화할 수 있는 운행 조건이거나 긴급상황 등 비상시 저속운행 및 안전한 주행을 전제로 충분히 이용이 가능할 수 있다.

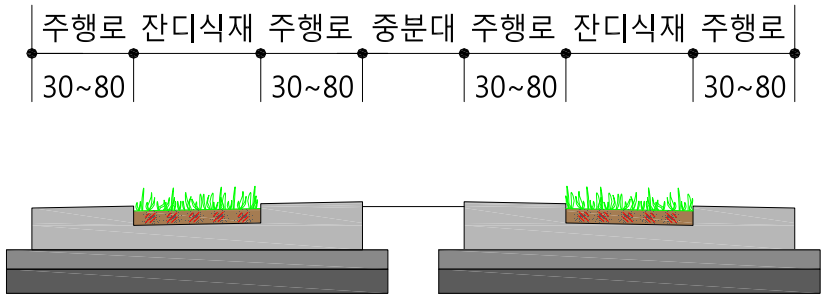



그림 2.6.1-4 주행로 폭

3) 단차

친환경성 선로형식 도로포장은 바퀴가 접하는 포장면을 제외하고 잔디를 식재하므로 잔디의 식생이 가능하도록 단차(주행로의 포장면과 잔디가 식재되는 포장면 사이의 단차)를 두어 표토를 깔고 수분이 공급될 수 있도록 한다.

일반적으로 콘크리트 등에 의해 차단된 곳에서 잔디의 식생이 가능한 표토 높이는 15cm 이상이므로 선로형식 포장의 주행로 포장면과 잔디가 식재되는 포장면 사이의 단차는 15cm 이상으로 해야 한다.

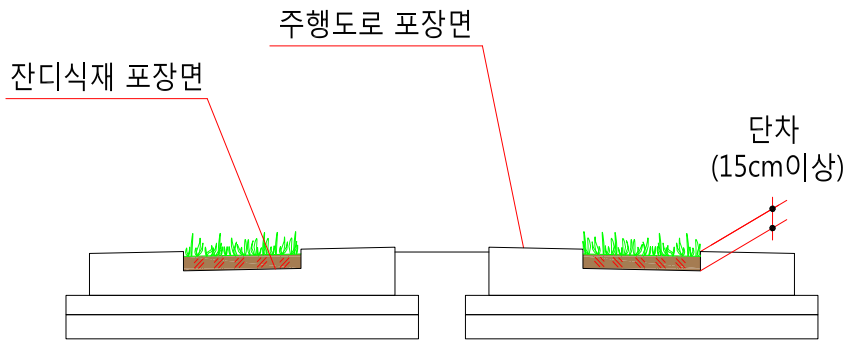



그림 2.6.1-5 주행로의 포장면과 잔디 포장면의 단차

4) 기타 추가 요소

친환경성 선로형식 도로포장은 적용지역의 특성 및 운영조건 등에 따라 기본적인 구성요소 외에 “마그네틱 바”, “가이드블록”, “감지 및 멜팅시스템” 등의 추가 구성을 통해 보다 원활한 차량운영 및 효율적인 유지관리를 가능하게 할 수 있다.

가) 마그네틱 바

바이모달트램과 같은 전자기식 유도 및 자동운전 시스템을 갖춘 신교통시스템의 위치인식을 위해 마그네틱 바를 설치할 수 있으며, 마그네틱 바는 슬래브의 포장형식 중 콘크리트 포장에 설치하는 것을 표준으로 하고 선로 상황에 따라 아스팔트 포장, 기타 포장 등에도 설치가 가능하다.

친환경성 선로형식 도로포장을 적용한 전용선로의 포장체가 콘크리트 포장인 강성구조를 기준으로 하므로, 마그네틱 바의 설치 및 시공은 직접 포장체를 핸드드릴로 천공하여 마그네틱 바 또는 마그네틱 바를 포함한 설치물을 매설하는 방식으로 적용할 수 있다.

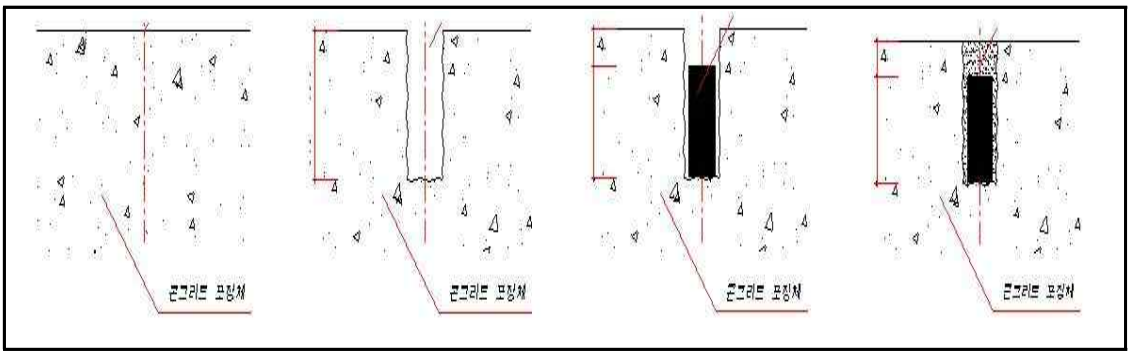



그림 2.6.1-6 마그네틱 바 설치방법

나) 가이드 블록

자동운행시스템 및 유도장치가 완전하지 못한 차량이 녹색포장구간을 운행할 경우, 즉 차량의 고장이나 지진, 집중호우 등으로 인한 유고상황이 발생한 경우 일반차량의 이탈 방지를 위하여 포장면 양측에 가이드 블록을 설치할 수 있다.

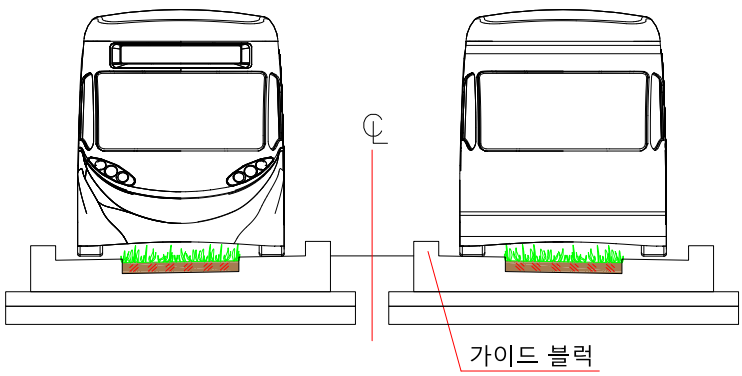



그림 2.6.1-7 가이드 블록

다) 감지 및 멜팅 시스템

강우, 강설, 온도를 감지할 수 있는 감지시스템을 설치할 수 있으며, 외부의 기상정보 연계 시스템으로부터 강우 및 강설을 모니터링하여 선로차량에 감속운행을 명령하도록 구성할 수 있다. 아울러 감지시스템과 연계되어 표층부에 쌓인 강설이나 결빙을 자동으로 녹여주는 멜팅(melting)시스템을 설치하여 겨울철 안전운전을 도모할 수 있다.

| 자동 염수살포장치 설치 | 스노우 멜팅시스템 | 재해관리 및 제설시스템 |
|---|---|---|
|  |  |  |

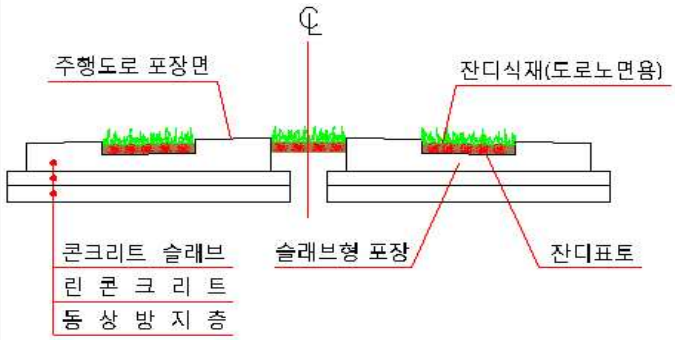
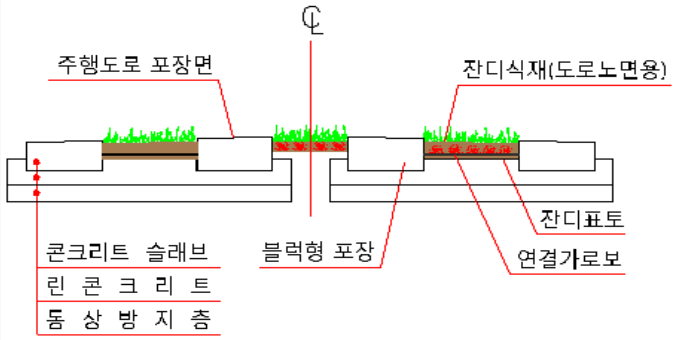
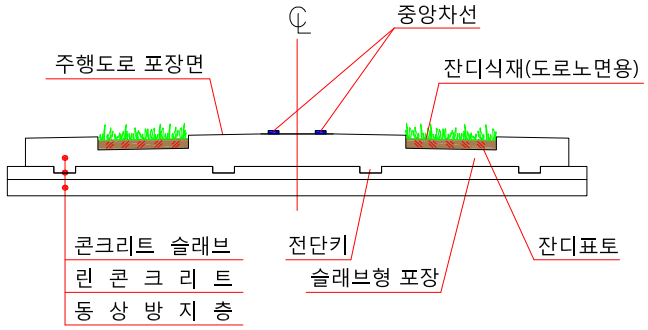
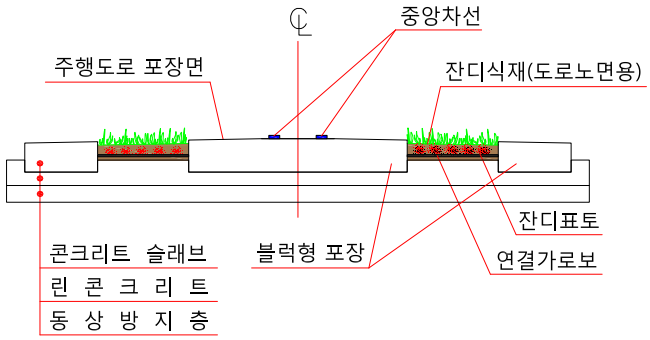
그림 2.6.1-8 감지 및 멜팅 시스템

## 다. 친환경 전용선로의 단면구성

1) 친환경 신로형식 포장구조의 개발 단면

친환경성 선로형식 도로포장을 적용한 주행로 형식은 녹지대 적용 조건 및 시공특성 등에 따라 다음과 같이 변단면, 분리단면, 분리형 단면, 연결형 단면으로 구분할 수 있다.

표 2.6.1-4 친환경 선로형식 포장단면의 종류

| 구 분 | | 포 장 단 면개 념 도 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 분리형 | 변단면 |  | • 슬래브 하면 레벨형, 요철형 타입 가능 |
| | 분리 단면 |  | • 블록형 포장 연결가로보 미설치형, 연결가로보 설치형 타입 가능 |
| 연결형 | 변단면 |  | • 슬래브 하면 레벨형, 요철형 타입 가능 |
| | 분리 단면 |  | • 블록형 포장 연결가로보 미설치형, 연결가로보 설치형 타입 가능 |

2) 친환경 전용선로의 횡단면 및 평면

친환경성 선로형식 도로포장을 적용한 바이모달트램 시스템의 친환경 전용선로을 일반적인 횡단면 및 평면으로 살펴보면 다음과 같다.

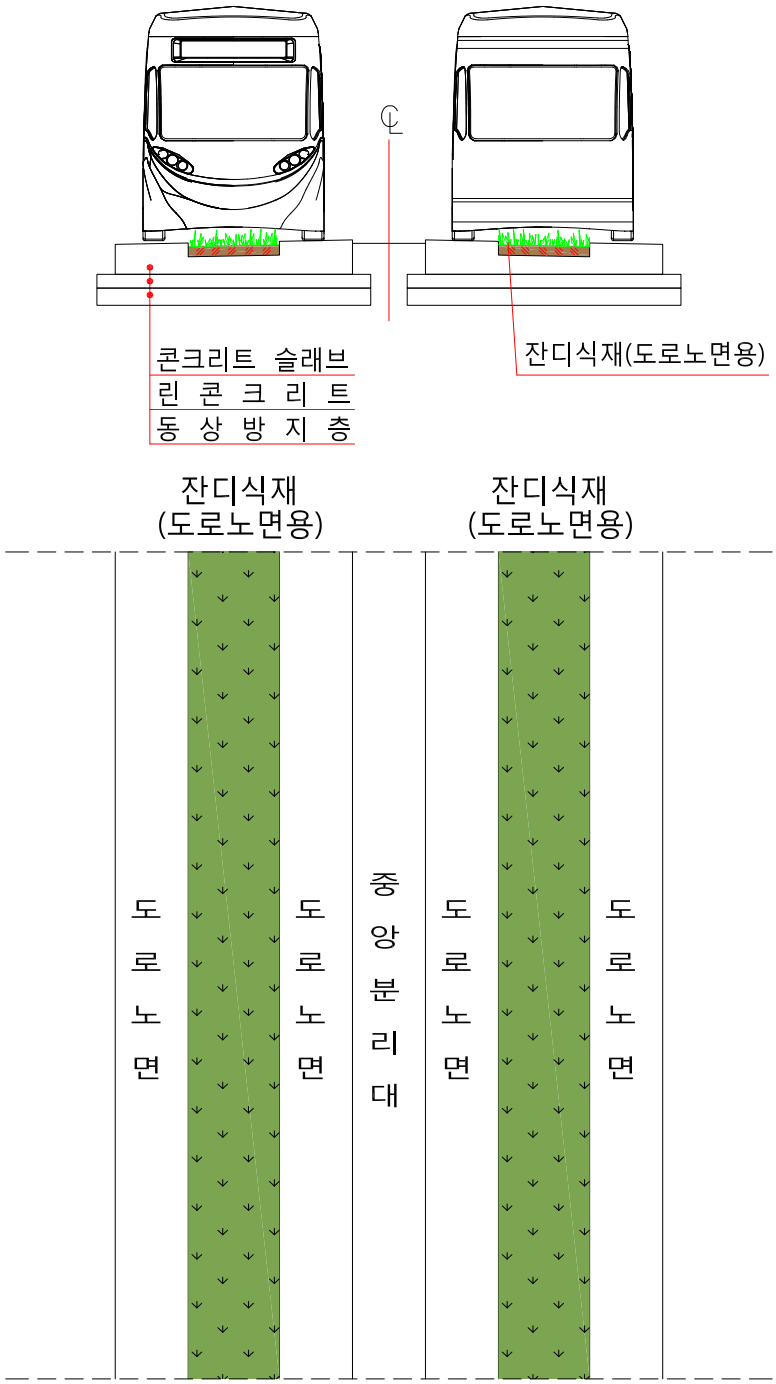
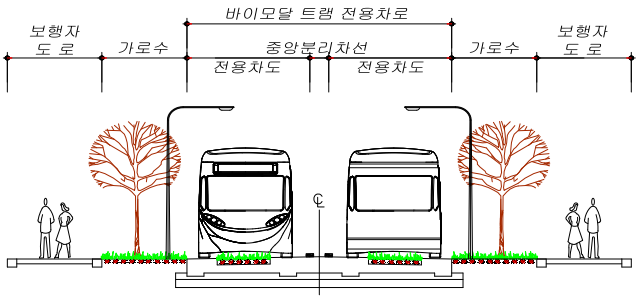


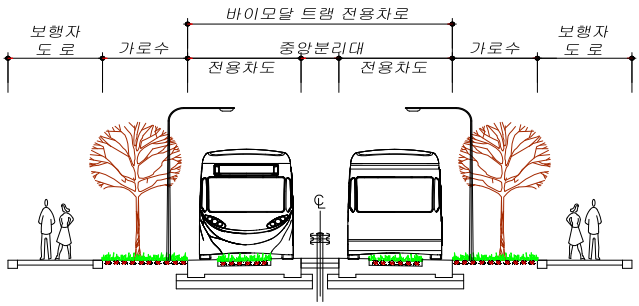

그림 2.6.1-9 친환경 선로형식 포장도로의 횡단면 및 평면

□ 전용선로(도로) 구간

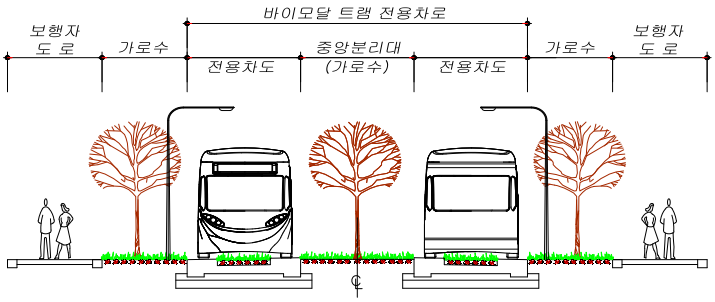
중앙분리차선 + 보행자도로



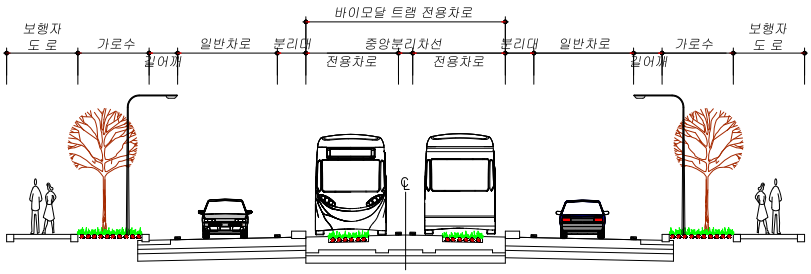

가드레일 중앙분리대 + 보행자도로



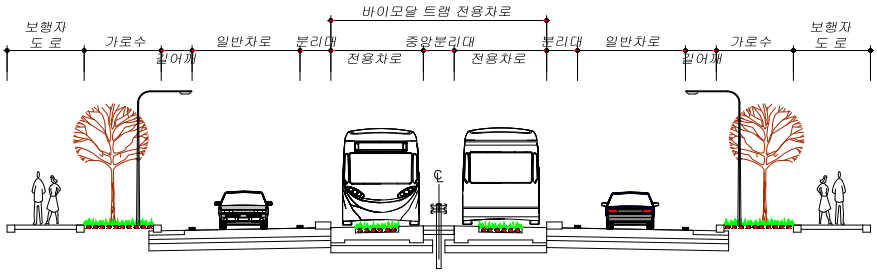

가로수 중앙분리대 + 보행자도로



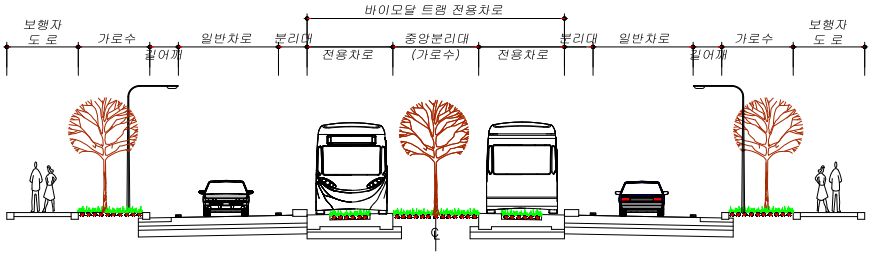

바이모달트램 전용차로 + 일반차로 + 보행자도로



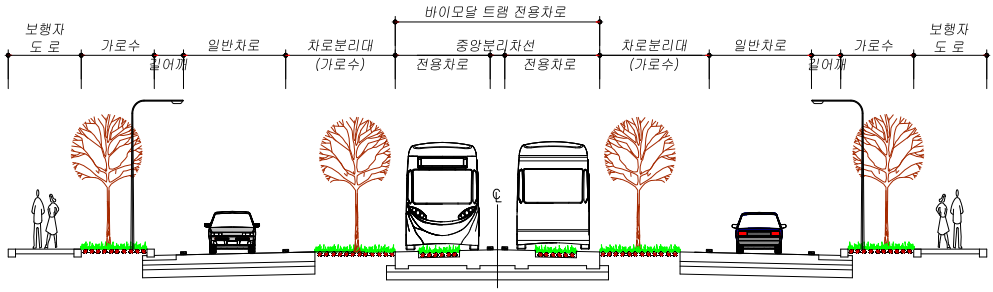
가드레일 + 바이모달트램 전용차로 + 일반차로 + 보행자도로



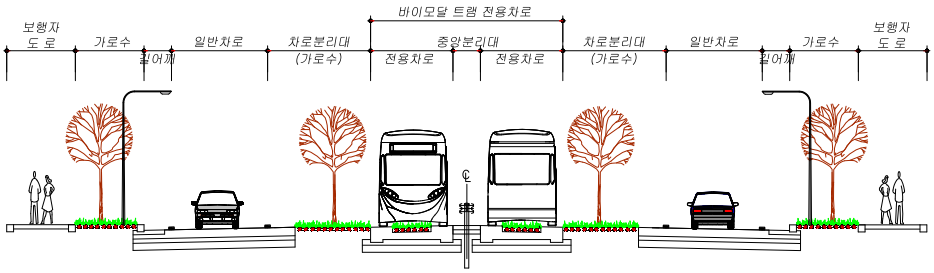

중앙분리 가로수 + 바이모달트램 전용차로 + 일반차로 + 보행자도로



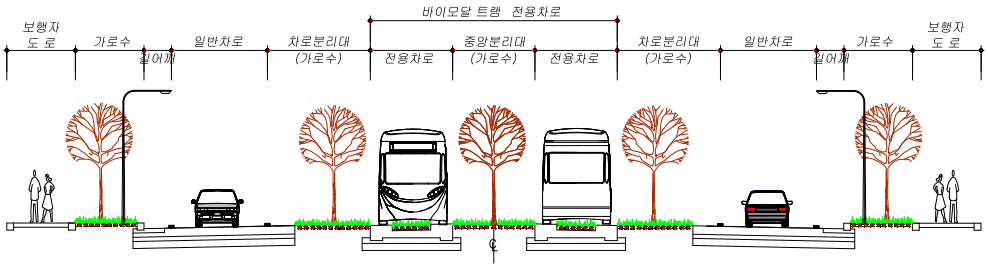

바이모달트램 전용차로 + 차로분리 가로수 + 일반차로 + 보행자도로




가드레일 + 바이모달트램 전용차로 + 가로수 + 일반차로 + 보행자도로




가로수 + 바이모달트램 전용차로 + 가로수 + 일반차로 + 보행자도로



## 라. 친환경 전용선로의 성능

1) 친환경 전용선로의 재료 및 단면

가) 포장재료

친환경성 선로형식 도로포장의 포장재료는 교통하중과 환경영향에 의한 손상을 충분히 지지할 수 있는 강도와 내구성을 가지며, '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙', '도로 포장 설계·시공지침'에서 정하는 규정에 부합하여야 한다.

콘크리트 슬래브의 강도특성은 소요시험절차(KS F 2408)로써 얻어지는 휨강도를 기준으로 하며, 콘크리트 슬래브에 사용되는 시멘트는 한국산업 규격(KS L 5201)에 적합하고, 콘크리트의 휨강도를 크게하고, 수축이 적으며, 조기 발열량을 작게하는 포틀랜드 시멘트를 사용한다.

포장용 시멘트 콘크리트의 배합기준은 다음 표와 같다.

표 2.6.1-5 포장용 시멘트 콘크리트의 배합기준

| 항 목 | 시 험 방 법 | 단 위 | 기 준 |
|---|---|---|---|
| 설계기준 휨강도 (f28) | KS F 2407, KS F 2408 | kgf/㎠ | 45 이상 |
| 단위수량 | | kg/㎥ | 150 이하 |
| 굵은 골재의 최대치수 | | mm | 32 이하 |
| 슬럼프 값 | KS F 2402 | cm | 2.5 이하 |
| AE 콘크리트의공기량 범위 | KS F 2409 | % | 3~6 |

친환경성 선로형식 포장의 안정처리 기층은 공사비, 시공경험 및 장비수급 측면 등을 고려한 린콘크리트(건식)공법이 적합하며, 포장층의 기초가 되는 노상의 지지력은 평판재하시험 또는 CBR 시험에 의하여 판정하며, CBR이 2 이하인 경우에는 지지력 증가를 위한 연약지반 처리를 시행한다.

나) 포장단면의 설계

바이모달트램 시스템의 친환경 전용선로는 규격화된 전용선로로 운행하기 때문에 기존 포장 형식에 녹지 공간을 조정할 수 있어 열섬을 완화시킬 수 있다. 도로포장에서 도로의 요구조건을 만족시키면서 회색조의 포장 표면을 줄이는 방법은 아래 그림과 같이 도로의 차로에서 주행 편심오차를 확보하는 폭의 바퀴 접하는 면을 도로의 노면으로 남기고 나머지 부분에 잔디식재(천연잔디, 인조잔디 등) 등의 환경을 개선하는 재료를 설치하는 것이다.

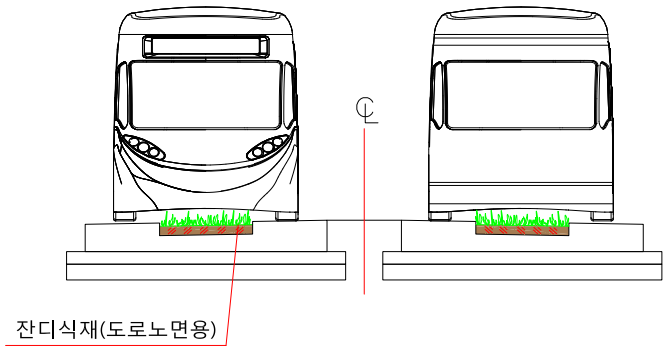



그림 2.6.1-10 포장 대표단면도

다만, 반드시 고려되어야 할 사항은, 포장내 상대적으로 취약한 부분에 교통하중이 집중될 경우의 우각부 균열등 내구성에 대한 검증과 검토가 필요하다. 실제 적용되기 전의 포장 단면을 검증하여야 하는데, 포장가속시험은 새로운 설계기법, 공법, 재료 등을 개발하기 위한 이론적인 검토와 함께 실제 현장에 적용하기 전에 공용성을 파악하기 위해 수행되고 있다.

2) 친환경 전용선로의 공용성

일반적으로 포장구조체는 취약부에 교통하중이 집중될 경우, 우각부 균열이나 스폴링 등의 파손이 발생될 가능성이 있는데, 본 기술의 경우 중간 식재부분이 변단면 구조이기 때문에 컬링현상이나 취약한 단면에서의 균열이 발생할 수가 있다. 따라서, 친환경성 선로형식 도로포장의 공용성 및 안전성 등을 검토하기 위해 3차원 수치 해석에 나타난 응력과 변형률을 바탕으로 기존에 개발된 피로모델을 적용하여 분석하였다.

20년 공용기간의 바이모달 트램 차량하중과의 비교를 통하여 구조적 한계를 파악하고, 포장가속시험 분석 결과로 선로형 전용포장의 구조적 검토를 시행하였다. 또한, 포장 단면과 거동형태의 상관관계를 정립하기 위하여 각 포장층별로 토압계, 변형률계, 균열계 등 다양한 계측기를 매설하여 포장체에 발생하는 수직압 및 슬래브 거동 등을 파악하여 최적의 설계와 공용성을 검증하였다.

친환경성 선로형식 도로포장의 공용성 시허은 공법, 재료 등을 개발하기 위한 이론적 검토와 함께 분석하였으며, 포장단면 형식에 따라 구조해석을 수행하였다.

가) 3차원 구조해석을 통한 포장두께의 구조 검토

유한요소 모델은 약 35,000개의 요소로 구성되어 있으며, 다음 그림은 변단면 테이퍼 포장구조에 대한 유한요소 메쉬와 예비 해석 결과를 나타낸 것이다. 각 축별 압축 및 전단응력을 검토한 결과, 압축 및 전단 거동에 대한 파손 가능성은 낮은 것으로 나타났다.

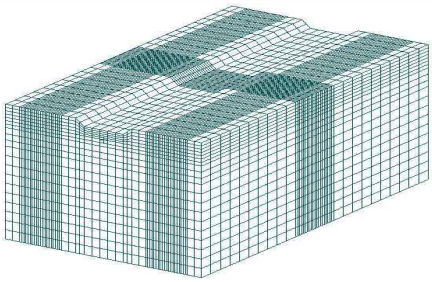
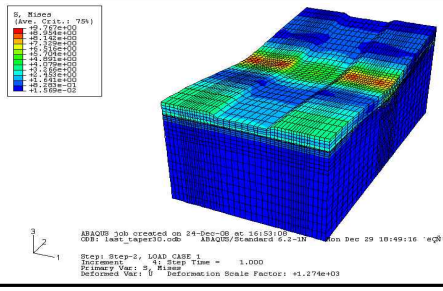
| 변단면 모델 | 해석 결과 |
|---|---|
|  |  |

그림 2.6.1-11 구조해석 결과

다음은 포장구조체에서 각 단면별 발생된 최대 인장응력 실험결과를 나타낸 것이다.

표 2.6.1-6 단면별 인장응력 결과

| 검토요소 | 테이퍼 변단면 | | 변단면 | | 분리단면 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 두께 30cm | 두께 35cm | 두께 30cm | 두께 35cm | 두께 30cm | 두께 35cm |
| 최대 횡방향 인장응력 (kg/㎠) | 9.407 | 7.945 | 9.499 | 8.009 | 10.42 | 9.092 |
| 강도대비 응력 | 20.9% | 17.7% | 21.1% | 17.8% | 23.2% | 20.2% |
| 횡방향 변형률 | 3.099×10-5 | 2.637×10-5 | 3.129×10-5 | 2.726×10-5 | 3.486×10-5 | $3.002\times10^{-5}$ |

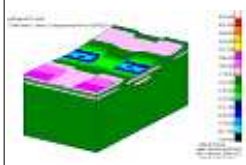
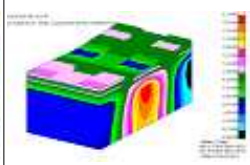
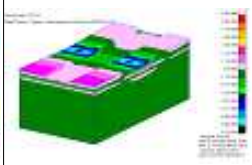
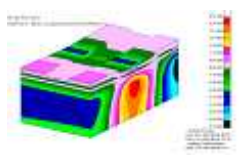
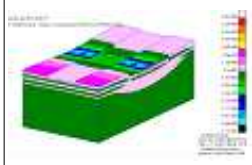
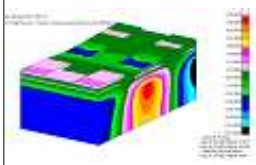
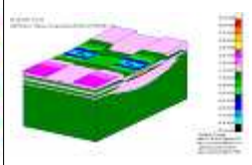
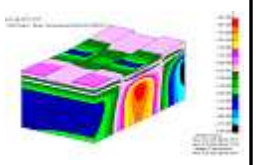
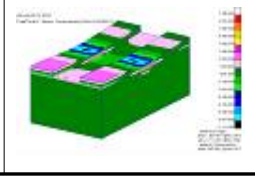
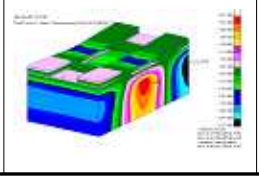
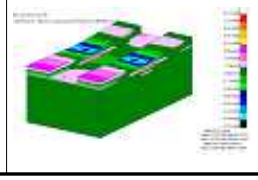
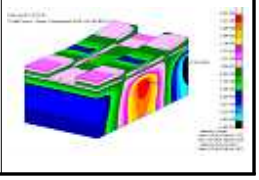
| 구 분 | 슬래브 두께 30cm | | 슬래브 두께 35cm | |
|---|---|---|---|---|
| | 횡방향 응력도 | 횡방향 변형률도 | 횡방향 응력도 | 횡방향 변형률도 |
| 테이퍼 변단면 |  |  |  |  |
| 변단면 |  |  |  |  |
| 분리단면 |  |  |  |  |

그림 2.6.1-12 슬래브 두께별 각 단면 해석결과

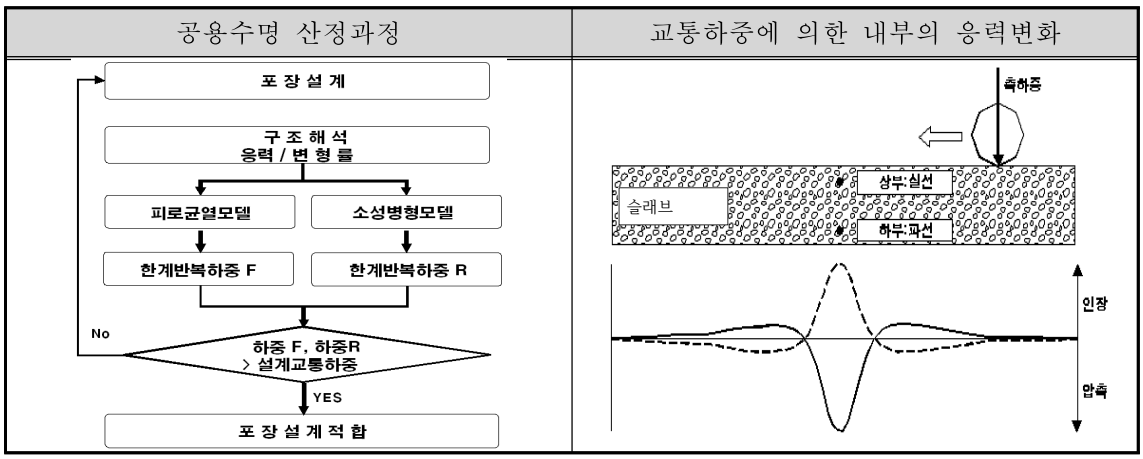
포장구조체에서 발생하는 최대 횡방향 인장응력은 7.945~10.42kg/㎠ 이며, 이는 콘크리트 슬래브의 기준휨강도 45.0kg/㎠의 17.7~23.2% 수준으로 조기 파손 가능성은 없는 것으로 판단된다.

피로 측면에서 강도 대비 50% 이하일 경우는 피로균열 발생 가능성도 매우 낮기 때문에 장기간 우수한 공용성능을 유지할 가능성이 매우 높은 것으로 분석되었다.

피로 파손은 콘크리트가 반복하중을 받게 되어 부재가 정적 강도보다 낮은 수준의 반복재하 하중에 의하여 파손되는 현상이다. 피로현상에 의하여 발생하는 균열은 콘크리트 포장의 파손형태 중 상당히 높은 비중이다.

이와 같은 피로파손의 가능성을 분석하기 위해 교통하중에 의하여 국부적으로 발생할 수 있는 응력 상황을 검토하고 여기서 발생한 최대 응력을 확인하고 신뢰성을 인정받은 해외 콘크리트 피로모델들에 해석결과를 적용하여 공용 수명을 예측한다.

표 2.6.1-7 공용수명 산출




예측된 공용수명과 본 구간의 설계교통량의 비교를 통해 포장의 파손가능성을 판단할 수 있으며, 여기서 적용된 슬래브 휨강도는 AASHTO 기준인 45.0kg/㎠를 적용하였다. 분석 결과, 모든 단면의 공용수명이 포장의 설계 수명인 설계 교통량을 초과하는 것으로 나타나 과업에서 고려된 총 6가지 단면(단면형상별 3가지 분류, 두께별 2가지 분류) 모두 20년 동안 파손 가능성이 매우 낮은 것으로 나타났다.

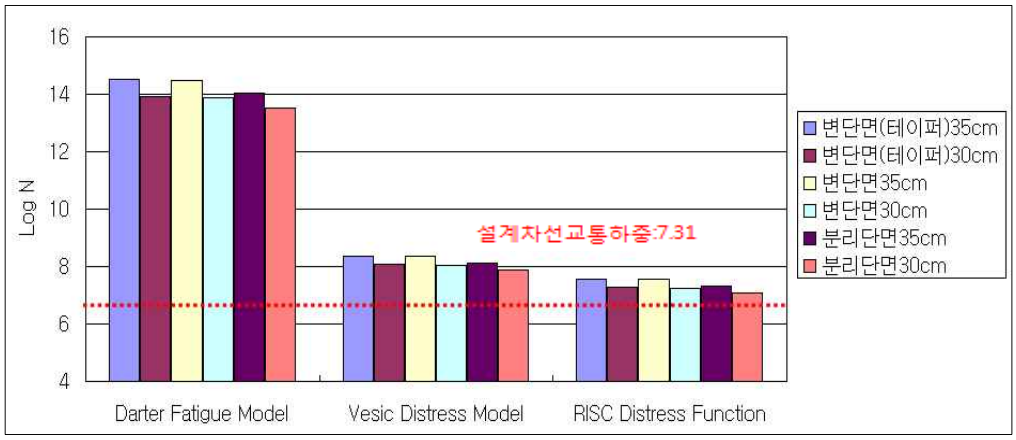



그림 2.6.1-13 피로모델에 의한 공용수명 산정 결과

나) 포장가속시험을 통한 포장단면 검토

포장가속시험기는 실제차량을 모사하여 제작된 시험차량이 시험포장도로를 주행하면서 도로의 파손을 재현할 수 있는 시험장치로 단기간내 포장재료 및 공법의 공용성을 평가할 수 있다.

포장가속시험은 1차로 30회를 재하하면서 초기 변형률을 확인한 후 2차로 250회 재하하여 총 280회 반복 재하를 수행하였다. 주행속도는 약 3km/hr였으며, 타이어 접지압은 약 0.95MPa로 파악되었다.

각 계측기 매설 지점 상부에 타이어가 주행하도록 하였으며, 선로형식의 차량주행 특성에 적합하도록 윈더링을 최소화한 조건으로 설정하였다. 측정값은 동적 데이터로거를 이용하여 실시간으로 저장하였다.




그림 2.6.1-14 포장가속시험 하중재하과정

한계 인장변형률을 파악하기 위해 콘크리트 포장의 성능 기준이 되는 휨강도를 적용하였다. 콘크리트 포장의 경우 삼분점 하중시험으로 구한 재령 28일의 휨강도를 파괴강도(Sc)로 취하며, AASHTO 도로시험에서의 28일 휨강도는 48.6kg/㎠(690psi)이다.

현재 국내에서 적용하고 있는 재령 28일의 설계기준 휨강도는 45.0kg/㎠ 이상으로 이를 적용하였다. 또한, 콘크리트 슬래브 탄성계수는 약 4.0×106(psi)을 적용시 콘크리트 슬래브에서 균열 모드로 진입할 경우 최대 인장변형률은 약 161.0×10-6로 산정할 수 있다.

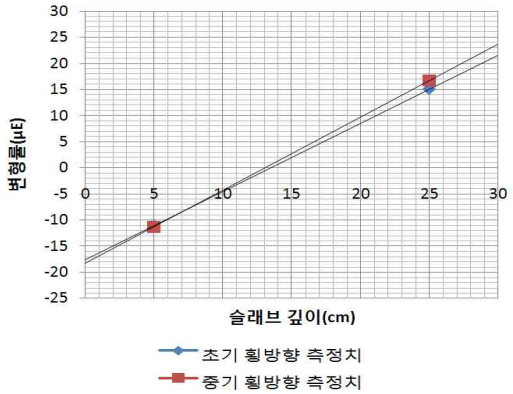
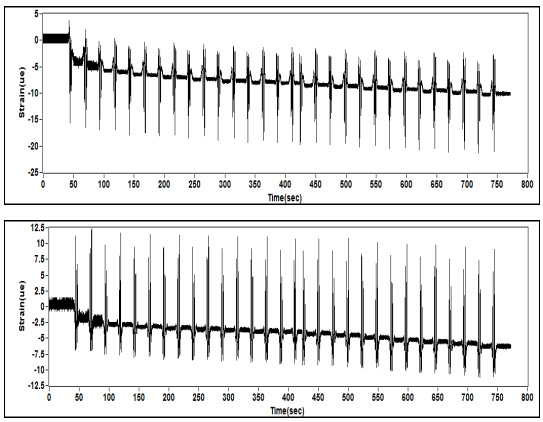
표 2.6.1-8 계측 평균 변형률

| 단위:$\times 10^{-6}$ | 1차 계측 | | 2차 계측 | |
|---|---|---|---|---|
| | 종방향 | 횡방향 | 종방향 | 횡방향 |
| 상부 | -13.9 | -11.2 | -13.5 | -11.3 |
| 하부 | 6.6 | 15.1 | 7.8 | 16.7 |

가속시험 결과 선로형식 차량보다 80% 증가된 하중에서도 공용성을 보장하는 것으로 유추할 수 있다.

따라서 슬래브 두께 30cm 이상과 린콘크리트층 15cm를 적용하였을 경우 분리단면과 변단면 모두 20년동안 구조적인 문제로 피로파손이 일어날 가능성은 없는 것으로 판단된다.

표 2.6.1-9 슬래브 변형율 계측

| 슬래브 깊이별 변형율 선도 | 횡방향 변형율 계측 결과 |
|---|---|
|  |  |

다) 공용성 결과 분석

친환경성 선로형식 도로포장의 공용성 및 구조적 안전성에 대해 포장단면별로 포장 한계인장 변형율, 최대 횡방향 인장응력, 피로모델을 기준으로 분석한 결과, 녹색포장 기술은 균열발생, 조기 파손 가능성, 공용수명 등이 모두 만족하는 수준으로 분석되었다.

## 마. 전용선로의 친환경성

1) 온도시험

친환경성 선로형식 도로포장의 환경 효과를 검토하기 위해 온도 시험을 수행한 결과, 온도 최고기점은 13:50~14:10인 것으로 조사되었으며, 포장형식별 2개의 대표지점을 선정하고 최고기점 전후 각 2시간 동안의 평균온도를 검토한 결과, 아스팔트는 45.8℃/50.2℃, 천연잔디는 33.9℃/33.6℃, 인조잔디는 38.8℃/39.3℃, 콘크리트는 41.2℃/42.8℃로 나타났다.

표 2.6.1-10 최고기점 전후 포장형식별 평균 온도

| 구 분 | 아스팔트 | 천연잔디 | 인조잔디 | 콘크리트 |
|---|---|---|---|---|
| 최고기점전 지점 평균 (12:00~14:00) | 45.8℃ | 33.9℃ | 38.8℃ | 41.2℃ |
| 최고기점후 지점 평균 (14:00~16:00) | 50.2℃ | 33.6℃ | 39.3℃ | 42.8℃ |

온도 시험자료를 토대로 온도 최고기점 전후 각 2시간동안의 포장재료별 온도변화 특성을 검토한 결과, 천연잔디는 아스팔트에 비해 26.0%/33.1%, 콘크리트에 비해 17.7%/21.5%만큼 온도가 저감되는 것으로 나타났다.

표 2.6.1-11 포장형식별 평균온도 저감효과 비교 (천연잔디 기준)

| 시간대 | 포장형태 | 아스팔트 (A) | 천연잔디 (B) | 온도차 (A-B) | 저감효과 (1-B/A) | 평가기준 (기존대비 5%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 최고기점전 평균 (12:00~14:00) | 아스팔트 – 천연잔디 | 45.8℃ | 33.9℃ | 11.9℃ | 26.0% | 2.3℃ |
| 최고기점전 평균 (14:00~16:00) | | 50.2℃ | 33.6℃ | 16.6℃ | 33.1% | 2.5℃ |
| 시간대 | 포장형태 | 콘크리트 (C) | 천연잔디 (B) | 온도차 (C-B) | 저감효과 (1-B/C) | 평가기준 (기존대비 5%) |
| 최고기점전 평균 (12:00~14:00) | 콘크리트 – 천연잔디 | 41.2℃ | 33.9℃ | 7.3℃ | 17.7% | 2.1℃ |
| 최고기점전 평균 (14:00~16:00) | | 42.8℃ | 33.6℃ | 9.2℃ | 21.5% | 2.1℃ |

| 천연잔디 | 인조잔디 | 콘크리트 | 아스팔트 |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |

그림 2.6.15 각 포장형식별 온도계측

포장형식별 표면온도(일최고 온도시간대 14시 기준)는 일변화의 형태가 유사하고, 포장형식별 온도 변화폭은 평균 온도의 순서와는 달리 아스팔트 > 콘크리트 > 인조잔디 > 천연잔디 순으로 나타나, 천연잔디에서 가장 안정적인 온도변화를 보여주고 있다.

이상의 결과를 통해 천연잔디가 식재된 전용선로는 다른 포장형식의 선로에 비해 복사열이 집중되는 14~16시 사이에 가장 낮은 온도를 보여주기 때문에 포장에 따른 열섬효과 저감에 효과적일 것으로 판단된다.

따라서, 친환경 전용선로 포장은 하기 도로노면온도의 최고기점 전후 각 2시간동안의 평균온도가 기존대비 5% 이상 저감되는 것으로 조사되어, 온도저감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

2) 소음시험

친환경성 선로형식 도로포장을 적용한 전용선로 및 기반시설에 대한 운영평가를 수행하면서, 차량 운행시 차량에 의한 소음 발생이 각 포장형식별로 미치는 영향의 차이를 정량적으로 측정 및 비교 분석하여 기존 콘크리트 및 아스팔트포장도로에서의 차량 운행에 따른 소음에 대한 저감방안을 도출하였다.

표 2.6.1-12 계측방식 및 조건

| 구 분 | | 내 용 |
|---|---|---|
| 계측방식 | | • 계측장치 이동 및 직접측정방식 |
| 계측 조건 | 측정구간 | • 천연잔디, 인조잔디, 콘크리트, 아스팔트구간으로 구분하여 측정 |
| | 차량주행속도 | • 5km/h, 10km/h, 15km/h로 구분하여 측정 |
| | 측정횟수 | • 총 72회 (각 구간 및 속도별 3회씩 측정) |
| | 계측기 트리거 | • 70dB (주변소음 및 진동에 의한 노이즈 제거 목적) |

| 천연잔디 | 인조잔디 | 콘크리트 | 아스팔트 |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |

그림 2.6.1-16 시험선의 각 포장형식별 소음계측

차량운행에 따른 포장형식별 소음 발생을 비교해 보면, 천연잔디에서 발생하는 소음이 다른 포장형식들의 소음 대비 90~95% 수준으로 가장 적게 발생하였고, 아스팔트에서의 소음이 가장 크게 나타났다.

이상의 연구결과를 통해 천연잔디가 식재된 전용선로는 다른 포장형식의 선로에 비해 차량주행시 발생되는 소음이 5~10% 낮은 것으로 나타났기 때문에 포장에 따른 소음발생 흡수효과가 있는 것으로 판단된다.

일반적으로 알려진 잔디밭의 소음감소효과가 20~30%인 점을 고려했을 때 일반적인 효과에는 다소 미흡한 것으로 나타났으나, 도로 전체가 아닌 부분적인 잔디식재로 구성된 기술의 특성으로 인한 결과로 판단된다.

표 2.6.1-13 포장형식별 소음발생 비교

| 구분 | 천연잔디 | 인조잔디 | 콘크리트 | 아스팔트 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 공차주행 (단위 : dB) | 85.10 | 90.19 | 91.76 | 92.73 | |
| 만차주행 (단위 : dB) | 83.51 | 88.15 | 90.22 | 91.30 | |

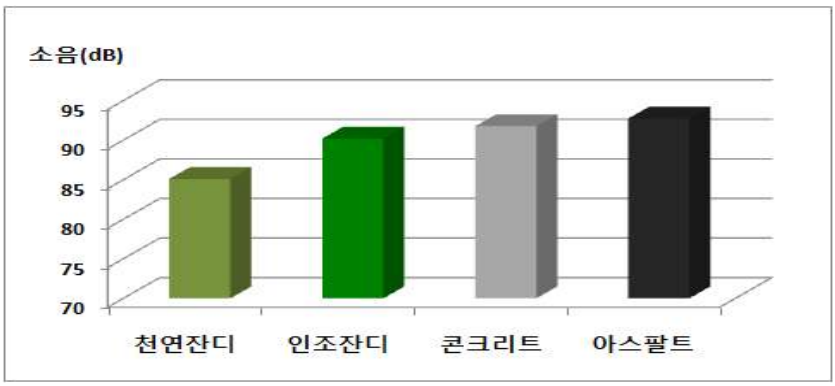



그림 2.6.1-17 포장형식별 소음 비교 (공차주행 평균 기준)

3) 녹색효과

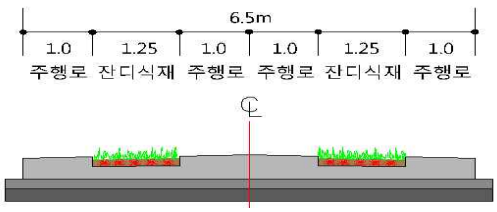
가) 녹색전환율

기존 콘크리트나 아스팔트포장을 친환경 선로형식 포장구조로 변경한다면, 기존 포장면적 대비 전용선로내 잔디식재부 면적비율을 녹색전환율로 정의할 수 있다. 전체 폭이 6.5m인 아스팔트도로를 친환경 선로형식 포장을 적용한 전용선로로 변경할 경우, 녹색전환율은 약 38.5% 수준으로 검토되었다.

녹색전환율은 여름철 높은 도로표면온도로 인한 열섬현상의 발생이 빈번한 도시부 도로의 복사열을 저감시키는 효과에서 그 의미를 찾을 수 있다.

복사열을 저감시키는 효과는 이미 시험선에서의 계측을 통한 연구에서도 입증된 바가 있다. 또한 정량적인 효과의 입증은 아직 어려우나 콘크리트나 아스팔트도로의 녹색전환이 도시미관 향상 및 운전자 피로 저감 등의 효과를 수반하는 것으로 나타나 친환경 선로형식 포장 기술의 적용으로 인한 다양한 긍정적 효과가 있는 것으로 판단된다.

표 2.6.1-14 녹색전환율의 산정

| 구 분 | 내 용 | 비 고 |
|---|---|---|
| 산정식 | 녹색전환율 = $\frac{\text{전용선로내 녹색포장폭}}{\text{전체도로폭}}$ | ※ 녹색전환율 : $\frac{\text{잔디식재부}}{\text{전체도로폭}} \times 100 = \frac{2.5}{6.5} \times 100$ = 38.5% |
| 횡단면 |  | |

주 : 주행로의 요소별 폭원은 해당사업의 계획조건에 따라 변동될 수 있음.

나) 공기정화효과

한국잔디학회의 기존 연구자료에 따르면 잔디는 연간 1㎡당 8.0kg의 이산화탄소를 흡수하고 4.12kg의 산소를 발생시키는 것으로 제시되어, 이를 기준으로 공기정화에 따른 환경개선편익을 산정하였다. (240일, 10시간/일 기준)

천연잔디가 식재된 전용선로의 적용을 통해 단위구간 1km당 연간 20,000kg수준의 이산화탄소 배출을 방지하고, 연간 10,300kg수준의 산소를 발생시킴으로서 공기정화 효과가 있는 것으로 판단된다.

표 2.6.1-15 잔디식재부 설치에 따른 공기정화효과 산정

| 구 분 | 이산화탄소 흡수량 | 산소 발생량 |
|---|---|---|
| 원단위 | 8.0kg/㎡/년 | 4.12kg/㎡/년 |
| 단위구간당 효과량 | 2,500㎡/km×8.0kg =20,000kg/년/km | 2,500㎡/km×4.12kg =10,300kg/년/km |

잔디식재부 설치로 인해 발생된 공기정화효과에 따른 정량적인 환경개선편익을 추정한 결과, 단위구간 1km기준 이산화탄소 흡수와 산소 발생에 따른 편익이 연간 약 217만원 수준인 것으로 산정되었다.

표 2.6.1-16 잔디식재부 설치에 따른 환경개선편익 산정

| 구 분 | 이산화탄소 흡수량 | 산소 발생량 |
|---|---|---|
| 단위구간당 효과량 | 20,000kg/km | 10,300kg/km |
| 원단위 비용 | 51.7원/kg/년 | 108.3원/kg/년 |
| 환경개선편익 | 1,034,000원/년/km | 1,115,490원/년/km |

주: 1) 제시된 환경개선편익은 1km 구간 기준임.
2) 산소 원단위는 물가정보 압축산소가스 가격을 참고함.
(120kg기준 13,000원, 2010년 8월)

다) 건설과정에서의 탄소배출량

기존 도로포장기술에 일반적으로 사용되고 있는 콘크리트의 주원료인 시멘트는 생산과정에서 석회석을 1500도의 고온으로 가열하는데 연료가 많이 사용되는데, 국내 연구 논문에 따르면 1km 4차선 도로 (20m 기준)의 콘크리트 포장공사시 사용되는 재료 및 장비에서 배출되는 이산화탄소의 양이 약 2,211ton 수준인 것으로 나타났다.

전체 폭이 6.5m인 콘크리트도로에 친환경 선로형식 도포포장 기술을 적용할 경우, 주행로를 제외하고 기존의 콘크리트를 대체하여 잔디식재가 설치되는 폭은 2.5m이다. 잔디식재 설치에 따른 이산화탄소 배출감소효과를 정량적으로 추정한 결과, 단위구간 1km기준 이산화탄소 배출 감소에 따른 편익이 연간 약 1,430만원 수준인 것으로 산정되었다.

라) 비산먼지 저감효과

도로구간에서의 비산먼지 발생은 차량운행에 따른 연료연소 및 타이어 마모에 의한 발생과 침적된 먼지의 재비산 등 크게 3가지로 구분된다.

국내 연구사례를 통해 살펴보면, 서울시 도로교통부문에 의한 전체 미세먼지 발생량 중 도로재비산 비율은 76.5%로 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 비산먼지의 경우 다른 대기오염물질보다 인체의 폐, 호흡기, 심장 등에 비교적 쉽게 침착될 수 있기 때문에 더 큰 악영향을 초래할 가능성이 있어, 최근 선진국에서 PM(Particulate Matter)-10을 대기환경기준항목에 추가하고 허용기준치를 강화하고 있다.

도로상에서의 먼지농도는 식생이 없는 경우에 비해 나무 등 식생을 할 경우 0.1~0.5㎎/㎡ 정도 감소하는 것으로 나타나, 이를 기준으로 잔디식생에 따른 비산먼지 감소량을 산정하였다.

친환경 선로형식 도포포장을 활용한 바이모달트램 시스템의 친환경 전용선로 적용을 통한 비산먼지 저감효과는 단위구간 1km당 250~1,250㎎/㎡수준의 비산먼지 감소로 공기정화 효과가 있는 것으로 판단된다.

마) 열섬현상 완화효과

최근의 인구집중, 교통량 증대, 에너지소비량의 증대 등에 의한 거대화・고밀도・집적화된 도시와 현상은 도시구조와 생활패턴에 커다란 변화를 가져왔다.

이러한 변화들은 도시의 열환경을 변화시켜 도심지역의 기온이 외곽지역보다 높은 열섬현상을 초래하고 있다.

도시 열섬현상과 인공배열배출을 토지이용상태나 도시에너지소비 측면에서 접근할 경우 도시화에 의한 식생토양면적의 감소와 함께 아스팔트 포장면의 증대 등과 같은 토지이용상태 변화로 인한 현열의 증가와, 인간활동의 변화와 다양한 에너지 소비원에서 배출되는 인공배열에 의하여 형성되는 것으로 알려져 있다.

도시지역에서 숲의 역할이 기온 변동에 미치는 영향을 분석한 해외 연구사례를 살펴보면, 숲이 있는 지역이 없는 지역보다 0.5℃정도 낮게 나타나 토지이용이 도시 기온 변동에 중요한 인자임을 알 수 있으며, 열섬의 원인으로 대기오염으로 인한 온실효과와 도로포장으로 인한 증발량 감소, 도시 구조물 증가 등을 이유로 밝히고 있다.

따라서, 도시지역 아스팔트나 콘크리트 도로에 친환경 선로형식 도로포장 기술을 적용할 경우, 온도저감에 의한 열섬현상 완화효과가 있을 것으로 판단된다.

## 바. 전용선로의 공사비 및 공기단축

1) 공사비 절감효과

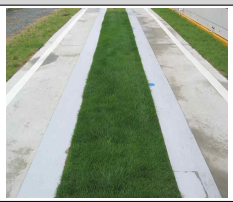
본 연구개발 기술을 적용한 친환경 전용선로의 km당 단위 공사비를 검토한 결과, 약 758.8백만원/km수준으로 분석되었다.

본 연구개발 기술의 공사비를 동일수준의 유사기술인 노면전차, 경량전철(AGT) 시스템의 전용선로 구축 공사비와 비교하여 검토하였다.

연구개발 기술을 적용한 친환경 전용선로의 km당 단위 공사비는 노면전차 전용선로 공사비 대비 약 55%수준, 경량전철(AGT)시스템 전용선로 공사비 대비 약 41%수준으로 검토되었다.

따라서, 연구개발 기술은 기존의 다른 전용선로 설치기술과 비교하여 신교통시스템의 기반시설 구축을 위한 초기투자비용 약 45~59%수준을 절감하는 효과가 있는 것으로 검토되었다.

표 2.6.1-17 공사비 비교 검토

| 구 분 | | 연구개발 기술 | 기 존 기 술 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 친환경 전용선로 | 노면전차 전용선로 | AGT 전용선로 | |
| 개념도 | |  |  |  | 758.4/1,370.6 ≒55% |
| 공사비 | 합계 | 758.4백만원/km | 1,370.6백만원/km | 1,839.1백만원/km | 758.4/1,839.1 ≒41% |
| | 재료비 | 484.6백만원/km | 1,088.6백만원/km | 1,143.2백만원/km | |
| | 노무비 | 268.4백만원/km | 269.2백만원/km | 677.4백만원/km | |
| | 경비 | 5.4백만원/km | 12.8백만원/km | 18.5백만원/km | |

주: 공사비는 신교통 및 도시철도사업의 유사사례 사업비 산출자료를 참조

본 연구개발 기술의 공사비 절감내역은 크게 적용된 바이모달트램 시스템의 전용차량 규모가 다른 시스템에 비해 경량이고, 전용선로 안내유도방식 및 급전시스템 등의 차이에서 안내장치, 급전장치, 레일 등의 부속시설이 절감된 원인을 간접적인 사유로 볼 수 있다.

또한, 일정궤도를 주행하는 선로형식차량의 주행궤적 특성을 감안하여 차량하중 지지 및 차륜접지와 관계없는 전용선로 포장구조체의 중앙부을 콘크리트 재료에서 친환경 재료로 변경함으로서 전용선로 포장구조체 자중을 감소시켜 하부기초 비용과 공정을 간소화한 구조적 포장구조 개선효과를 직접적인 요인으로 고려할 수 있다.

2) 공사기간 단축효과

본 연구개발 기술을 적용한 친환경 전용선로의 km당 단위 공사기간을 검토한 결과, 기초공사를 제외하고 상부 친환경 전용선로 구축공사를 기준으로 린콘크리트 타설, 친환경 선로형식 포장, 조경시설(잔디식재) 순으로 공정을 진행하여 약 40~45일이 소요되는 것으로 분석되었다.

본 연구개발 기술의 공사기간을 동일수준의 유사기술인 노면전차, 경량전철(AGT)시스템의 전용선로 구축 공사기간과 비교 검토하였다.

연구개발 기술을 적용한 친환경 전용선로의 km당 단위 공사기간은 노면전차 전용선로 공사기간(약 40~50일)과 비교시 유사한 수준으로 검토되었으며, 경량전철(AGT)시스템 전용선로 공사기간(약 45~60일)과 비교시 약 75%~89%수준으로 검토되었다.

연구개발 기술의 공사기간은 해당 공종 작업정도 및 복잡도 등을 감안하여 볼때, 노면전차 및 경량전철(AGT)시스템 전용선로 공사기간과 일부 단축효과는 있으나 유사한 수준으로 검토되었다.

본 연구개발 기술인 친환경 선로형식 포장기술의 프리캐스트 공법은 현장 외부에서 제작이 가능하여 품질관리 및 확보가 가능하고, 중장비를 이용한 시공으로 시공속도가 향상되며 교통량이 많은 구간에 대하여 짧은 시간에 시공을 완료하거나 선로형 포장의 노후화에 따라서 균열이 증가하게 되고 파손이 되어서 지지력이 상실되면, 보수가 필요하게 되는 포장의 상태를 빠른 기간 내에 공용성을 회복 할 수 있도록 하고, 긴급을 요하는 공사에는 차량통행 제한을 최소화 하고 신속히 복구할 수 있는 시공성을 가지고 있는 공법이다.

친환경 선로형식 포장기술의 프리캐스트 공법은 사전조사를 통하여 설계된 포장형식에 맞게 제작되어진 친환경 프리캐스트 포장 슬래브를 높, 낮이 팽창백을 이용하여 정밀 시공을 하고, 줄눈부 처리 및 시멘트 밀크를 주입하여 콘크리트 슬래브 하부의 공간을 채워주는 방식의 시공 공법으로, 단위연장(km)당 공사기간(기초공사 제외)이 약 30일 수준으로 친환경 전용선로의 현장타설 공법에 비해 약 33%수준의 공기절감 효과가 있을 것으로 검토되었다.

친환경 선로형식 포장기술의 프리캐스트 공법을 적용할 경우, 유사기술인 노면전차 전용선로 공사기간(약 40~50일)과 비교시 약 66%수준, 경량전철(AGT) 시스템 전용선로 공사기간(약 45~60일)과 비교시 약 57 %수준으로 검토되었다.

따라서, 현장여건 및 시급성을 요하는 현장공사에 친환경 선로형식 포장기술의 프리캐스트 공법을 적용할 경우, 유사기술인 노면전차 및 경량전철(AGT) 시스템 전용선로 공사기간과 비교시 약 33~43% 수준의 절감효과가 있을 것으로 판단된다.

표 2.6.1-18 공사기간 비교 검토

| 구 분 | 연구개발 기술 | 기 존 기 술 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| | 친환경 전용선로 | 노면전차 전용선로 | AGT 전용선로 | |
| 개념도 |  |  |  | |
| | ① 린콘크리트타설 (소요공기 10일)<br>콘크리트포설<br>▼<br>다 짐<br>▼<br>시공이음 및 단부처리<br>▼<br>평탄성 측정<br>▼<br>양 생<br>② 친환경성 선로형포장 (소요공기 30일)<br>유도선설치<br>▼<br>분리막설치<br>▼<br>다웰바설치<br>▼<br>가로팽창 줄눈설치<br>▼<br>콘크리트포설<br>▼<br>평탄성마무리<br>▼<br>양 생<br>▼<br>줄눈설치<br>▼<br>바닥연마 및 강화제도포<br>③ 조경시설 (소요공기 5일)<br>급.배수관설치<br>▼<br>배합토부설<br>▼<br>잔디식재 | ① 린콘크리트타설 (소요공기 10일)<br>콘크리트포설<br>▼<br>다 짐<br>▼<br>시공이음 및 단부처리<br>▼<br>평탄성 측정<br>▼<br>양 생<br>② 콘크리트 선로형포장 (소요공기 30일)<br>유도선설치<br>▼<br>분리막설치<br>▼<br>다웰바설치<br>▼<br>가로팽창 줄눈설치<br>▼<br>콘크리트포설<br>▼<br>평탄성마무리<br>▼<br>양 생<br>▼<br>줄눈설치<br>▼<br>바닥연마 및 강화제도포<br>③ 궤도운반 및 배열 (소요공기 10일)<br>레일운반<br>▼<br>가스압접/후레쉬벗트용접<br>▼<br>레일운반 및 배열 | ① 궤도설치 (소요공기 40일)<br>궤광조립 (레일올리기<br>▼<br>테르밋트용접<br>▼<br>자갈살포고르기<br>▼<br>거푸집설치 및 검측<br>▼<br>철근배근<br>▼<br>콘크리트타설<br>▼<br>궤도품질검사<br>② 궤도운반 및 배열 (소요공기 20일)<br>레일운반<br>▼<br>가스압접/후레쉬벗트용접<br>▼<br>장대레일운반<br>▼<br>침목운반 및 배열 | 프리캐스트 공법 적용 |
| 공사기간 | 약 40~50일 (프리캐스트공법 약30일) | 약 45~55일 | 약 50~60일 | 중복공기 고려 |

주 : 공사기간 산정은 기초공사를 제외한 공정임

## 2. 팽창백을 이용한 전용선로 프리캐스트 시공

### 가. 전용선로 포장 타설공법

바이모달트램 시스템과 같은 도시지역 대중교통 시스템은 갑작스러운 사고발생, 지진 등의 천재지변 등에 위해 전용선로가 폐쇄되게 되면 대중교통 서비스에 막대한 영향을 미치게 된다.

이러한 상황이 발생할 경우, 바이모달트램 시스템의 운행 특성상 보수 공사가 긴급히 이루어져야 하며, 통상적으로 차량운행이 이루어지는 5:00~24:00시간대를 피하거나, 도시지역의 교통정체를 최소화 할 수 있는 야간시간대 약 5시간 이내에 보수를 완료하여야 한다. 국부적인 우각부 균열(Corner Cracking)이나 스폴링과 같은 파손이 발생하여 단차, 펌핑이 매우 심한 경우는 전 슬래브 깊이까지 제거하고 새로 시공하는 공법이 요구된다.

일반적인 콘크리트 부분보수공법(슬래브 교체)은 2주 이상의 양생기간이 필요하며 초조강 콘크리트를 적용하더라도 적절한 성능을 발휘하기 위해 5시간 이상의 양생기간이 필요하다. 따라서 통제 시간을 단축하기 위해 신속한 보수가 가능한 포장 구조가 필요하다.

이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 고려될 수 있는 것이 프리캐스트 콘크리트 포장 구조 및 시공 방법이다. 프리캐스트 콘크리트 포장은 프리캐스트 패널을 공장에서 제작하기 때문에 고성능 슬래브 생산에 따른 우수한 내구성을 가지며 현장에서 급속 시공이 가능하여 수 시간 내에 교통의 개통이 가능한 공법이라 할 수 있다.

1) 팽창백을 이용한 프리캐스트 공법

팽창백을 이용한 전용선로 프리캐스트 시공 방법은 교통량이 많은 구간에 대하여 짧은 시간에 시공을 완료하거나 기존에 공용중인 시멘트 콘크리트 포장의 노후화에 따라서 균열이 증가하게 되고 파손이 되어서 지지력이 상실되면, 보수가 필요하게 되는 이러한 노후 시멘트 콘크리트 포장의 상태를 빠른 기간 내에 공용성을 회복 할 수 있도록 시공하는 공법이다. 친환경 선로형식 프리캐스트는 사전조사를 통하여 설계된 포장형식에 맞게 제작되어진 콘크리트 포장 슬래브를 에어백을 이용하여 평탄성을 조절하여 설치하고, 줄눈부 처리 및 시멘트 밀크를 주입하여 콘크리트 슬래브 하부의 공간을 채워주는 방식으로 시공을 수행한다.

■ 제작 순서

① 제작대 설치 바닥면 고르기

② 바닥 및 벽체 거푸집 설치

③ 철근배근 및 Lifting P.T 설치

④ 동적변형률계 및 균열계 설치

⑤ Dowel Bar 및 Cap 설치

⑥ 그라우팅 유입 및 유출구 PIPE 설치

⑦ 콘크리트 타설 및 습윤양생



그림 2.6.2-1 친환경 선로형식 프리캐스트 제작공정

■ 설치 순서

① Lean Con'c 바닥에 고무패킹 설치

② 프리캐스트 이동 및 배열 설치

③ 에어백을 설치하여 Level 조정 및 고정

④ 에어백제거 및 거푸집 설치

⑤ 그라우팅 액 주입 후 양생

⑥ 그라우팅 유입 및 유출구 PIPE 제거

⑦ 변단면 프리캐스트 중앙에 부직포 설치 후 배합토 또는 골재포설

⑧ 변단면 프리캐스트 중앙에 천연잔디 또는 인조잔디 시공



그림 2.6.2-2 친환경 선로형식 프리캐스트 포장 시공

2) 현장타설 공법

친환경 선로형식 도로포장 현장타설 시멘트 콘크리트 포장은 교통하중을 콘크리트 슬래브 자체가 BEAM으로 작용하여 교통하중에 의해 발생되는 응력을 휨저항으로 지지하는 형식으로 콘크리트 품질관리, 양생, 평탄성, 줄눈시공 등 고도의 숙련된 기술이 필요한 공법으로 바이모달트램 시험선 구축공사에 적용하여 시공하였다.

친환경 선로형식 도로포장은 노상면 다짐 후 보조기층을 포설하여 다짐하고 LEAN Con′c를 타설하였다. 전용선로의 슬래브는 변단면 및 분리단면을 구분하여 거푸집을 설치하고 Dowel Bar 및 Cap 설치 후 계측에 필요한 동적변형률계, 균열계, 온도계를 설치하였다.



그림 2.6.2-3 친환경 선로형식 도로포장 현장타설 시공

콘크리트 타설은 고온에서 양생시 균열이 발생 할 수 있어 기온이 내려가는 시간을 택하여 타설하였으며, 균열방지를 위해서 습윤양생 및 가로 세로수축 줄눈을 시공하였다. 바이모달트램 차량의 운행시 소음 발생을 줄이고 승차감을 높이기 위하여 슬래브 바닥면을 연마하여 평탄성을 유지하였으며 중앙부에는 천연잔디 및 인조잔디를 시공하여 운전자의 피로경감, 복사열 저감, 차량소음흡수, 미관증진, 교통환경 개선의 효과를 가질 수 있도록 시공하였다.

## 나. 프리캐스트 시공방법

1) 해외 시공사례 검토

미국의 사우스다코타 주에서는 1960년대에 이미 프리캐스트 슬래브를 이용하여 신설도로를 건설한 경험이 있다(Hargett, 1970). 프리스트레스 기술을 이용하여 콘크리트 슬래브를 연결하여 도로를 만들고 상부 표면에 평탄성을 위한 아스팔트 박

층을 사용하였으나 도로가 신설된 지 한 달 만에 아스팔트 표면층에 반사균열이 발생하였으며 슬래브를 연결하는 조인트 부분 접속시 시공 상의 어려움을 겪었다(Hargett, 1968).

일본에서는 여러 종류의 프리캐스트 포장을 시공하였다(Nishizawa et al., 1994). 첫 번째 형태는 프리스트레스 슬래브를 아무 연결 장치 없이 나열하는 방식이며, 두 번째 형태는 조인트 부분을 프리스트레싱을 하여 연결한 것이고(Kumakura et al., 1994), 다른 형태는 종방향으로 프리스트레싱을 주어 프리캐스트 슬래브를 연결하고 횡방향으로는 다웰바를 이용하여 하중 전달을 유도하는 방법이다(Hara et al., 1997).

미국 육군에서는 1990년대 초에 미사일 운반대로 프리캐스트 조립식 매트 슬래브를 처음으로 개발하였다(Bull et al., 1991). 제작방법은 슬래브의 횡방향으로 프리텐션을 가하며 슬래브를 연결한 후 종방향으로 프리스트레스를 가하여 슬래브를 연결 하였다. 미국 텍사스 주에서는 2002년 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 슬래브를 이용하여 약 1km의 도로를 신설하였다(Merritt et al., 2000, 2001,2002).

우리나라에서도 최근 한국도로공사의 주도하에 이러한 프리캐스트 포장의 적용성에 대한 연구를 수행 중에 있으나 실제 적용사례는 거의 없다. 국내외적으로 크게 활성화되지 못한 원인은 콘크리트 슬래브(JCP) 특성상 다웰바 및 타이바 삽입 공간을 확보하여야 하며, 그라우트 주입구, 행거 등 추가적인 시설이 필요하여 시공이 복잡하고 단가가 매우 높아지기 때문이다. 때문에 미국 SuperSlab사를 제외하고는 상용화한 사례가 거의 없다.

2) 적용방식

프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용한 바이모달포장의 적용성을 파악하고 시공방법을 정립하며, 시공사례는 한국도로공사 연구사례와 미국 SuperSlab 시공사례를 참고하였다.

가) 슬래브 제작

프리캐스트 슬래브는 제작 후 적재 시, 차량탑재 시, 그리고 시공 시 등등 여러 차례에 걸쳐 리프팅(Lifting)을 해야 한다. 리프팅용 기구로는 헤드앵커(Head anchor) 시스템이 적절하고 그림과 같이 헤드앵커 및 플러그 등으로 구성되어 이동할 수 있다.



그림 2.6.2-4 프리캐스트 슬래브 거치

슬래브 중량은 약 16ton이며, 앵커는 총 4개가 필요하기 때문에 한 개당 소요 중량은 최소 4ton을 지탱하여야 한다. 대부분의 프리캐스트 슬래브는 철근 콘크리크 포장(JRCP ; Jointed Reinforced Concrete Pavement)과 같이 철근 배근을 설치하는데 이는 공용기간 연장 및 설치중 파손을 방지하는 역할을 한다.

철근은 슬래브 하단 지점에 차량진행 방향인 종방향으로 설치된다. 미국의 경우 18inch 간격으로 설치되며, 최소 철근 면적이 전체 슬래브 면적의 약 0.0014 이상으로 규정되어 있다. 다웰바 및 타이바, 그리고 이러한 바가 삽입된 포켓 및 하부 그라우팅 채널에 대한 도면은 아래 그림과 같다.



그림 2.6.2-5 보강철근 설치 및 슬래브 양생

프리캐스트 슬래브를 종방향으로 연결하여 하중 전달율을 높이기 위하여 다웰바를 사용하는데 이를 위해 다음 그림과 같이 슬래브의 한쪽 끝은 다웰바를 설치해 놓고 다른 한쪽은 다웰바가 들어갈 삽입구에 스티로폼을 대서 콘크리트 타설시 이 부분을 빈 공간으로 유지한채 슬래브를 제작하여 현장 안치 후 이 부분에 그라우

팅을 실시하여 슬래부간의 연결을 할 수 있도록 한다.

슬래브 거치 후 그라우팅을 위하여 그림에서 보이는 바와 같이 바웰바 및 타이바 포켓부분에 PVC파이프를 사용하여 그라우팅 주입구를 만든 후 이 곳을 통해 그라우팅을 실시하도록 하였다. 또한 슬래브 제작 후 리프팅 앵커에 크러치를 장착할 부분을 유지하기 위해서 연결 고리를 제작하였다.

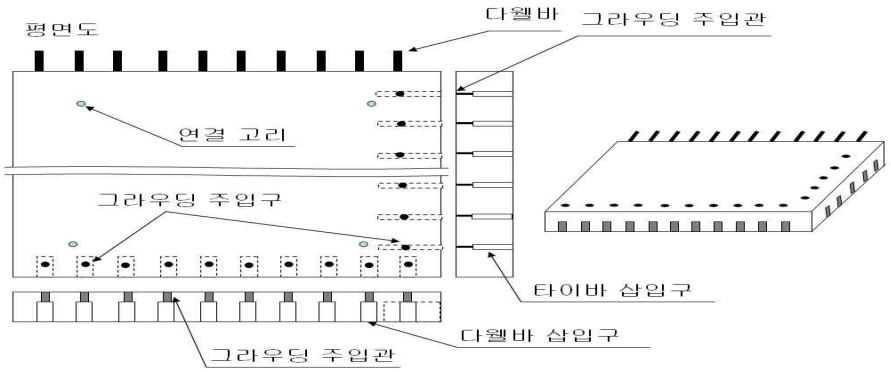



그림 2.6.2-6 프리캐스트 콘크리트 슬래브 개용도

철근배근, 그라우팅 주입구, 지점부 앵커헤드 설치가 완료 된 후 콘크리트를 타설하였으며 진동다짐을 실시한다. 또한 콘크리트 타설 후에는 습기를 유지한 채 비닐로 덮어서 양생을 실시한다.



그림 2.6.2-7 슬래브 양성

나) 팽창백을 이용한 슬래브 설치

슬래브의 양생이 완료된 후 그라우팅을 위한 포트를 만들기 위해 설치해 놓은 PVC파이프를 제거하고 다웰바 및 타이바 포켓을 확보하기 위하여 설치해 놓은 스

티로폼도 제거한다. 노출된 앵커헤드 부분에 클러치를 연결한 후 장착된 클러치에 강선을 연결하여 기중기를 사용하여 리프팅 한다.

프리캐스트 슬래브가 거치될 구간의 하부층을 정리하도록 한다. 즉, 하부 지지층이 부분적으로 높낮이 차이가 발생하지 않도록 측량을 수행하여 평준화한다. 하부층의 작업이 완료되면 프리캐스트 슬래브가 거치될 부분에 비닐을 깔아 설치하도록 한다. 거치 작업 시 먼저 거치시킨 프리캐스트 슬래브의 다웰바 및 타이바가 거치되는 프리캐스트 슬래브의 다웰바 및 타이바 포켓에 정확히 들어가는지 확인 하면서 천천히 거치한다. 그리고 거치시키는 프리캐스트 슬래브와 이미 거치된 슬래브의 줄눈 부분의 간격이 일정하도록 주의를 기울여 거치 시킨다.

프리스트레스 슬래브가 거치되면 높낮이 조절 장비를 이용하여 주변 슬래브와의 높낮이 조절 작업을 실시한다. 높낮이 조절용 팽창백은 유체(공기, 물, 오일 등) 또는 압력을 견딜 수 있는 유동성 물질 등에 의하여 팽창되어 콘크리트 몸체를 지지하는 팽창백과, 팽창백에 유체 등을 공급하는 압력공급장치와, 압력을 측정 및 조절하는 밸브장치를 포함하는 높낮이 조절 수단이 장착될 수 있도록 하면에 오목한 모따기가 형성되어 있는 것이다. 이를 통하여 콘크리트 패널을 승 하강 시키고 수평 조절을 용이하게 할 수 있다.

프리캐스트 슬래브가 안착되면 콘크리트 몸체의 하부 네 귀퉁이 오목한 모따기 부분에 팽창백을 설치한다. 연결되는 두 번째 프리캐스트 슬래브가 안착되면 마찬가지로 콘크리트 몸체의 하부 네 귀퉁이 오목한 모따기 부분에 팽창백을 설치하며 작업을 진행한다. 팽창백이 정확하게 설치되면 압력공급장치로 부터 팽창압을 높여 프리캐스트 슬래브를 측정 높이까지 들어 올린다. 높낮이 측량을 하면서 팽창압을 서서히 조절하여 정확하게 프리캐스트 슬래브의 LEVEL을 조정한다.

LEVEL 조정이 완료되면 쐐기를 이용하여 프리캐스트 슬래브를 고정하고 팽창백의 압력을 제거하고 팽창백을 제거한다. 프리캐스트 슬래브의 연결 이음부에 요철이 있는지 확인하고 LEVEL 측량을 실시하여 부정확 할 시에는 처음부터 다시 조정하여 정확한 시공이 이루어지도록 한다. 팽창백을 제거한 프리캐스트 슬래브의 네 귀퉁이 오목한 모따기 부분은 거푸집을 설치하여 그라우팅 액이 빠져나가지 않도록 조치한다.

프리캐스트 슬래브의 높낮이 조절이 완료되면 프리캐스트 슬래브 간 또는 기존 포장과의 줄눈 부분에 그라우팅 시 그라우팅 재료가 올라오지 못하도록 백업재를 삽입하도록 한다. 백업재가 삽입되면 다웰바 및 타이바 포켓과 하부 지반에 그라우팅을 실시한다.



그림 2.6.2-8 슬래브 거치 및 그라우팅 주입

그라우팅 재료의 주입 방법으로 수동 주입방법과 압력장비를 사용하여 주입하는 방법을 들 수 있는데 압력을 이용하여 주입하는 방법이 보다 효과적이다. 그라우팅 작업이 완료되면 프리캐스트 슬래브와 주변 슬래브 사이의 줄눈 부분에 실런트를 주입하여 공사를 완료 하도록 한다.

3) 프리캐스트 콘크리트포장

콘크리트 포장의 단점으로 국부적인 파손시 보수공법 적용이 어려운 점을 들 수 있으며 포장면 파손시 신속하게 보수할 수 있는 콘크리트 포장공법의 적용이 필요하다.

국부적인 우각부 균열(Corner Cracking)이나 스폴링과 같은 파손이 발생시 단차, 펌핑이 매우 심한 경우는 전 슬래브 깊이까지 제거하고 새로 시공하는 공법이 요구된다.

콘크리트 포장은 타설방법에 따라 현장타설 방식과 프리캐스트 콘크리트 방식으로 구분된다. 신설 포장의 시공시에는 현장타설 방식이나 프리캐스트 콘크리트 방식 중 어느 방법을 사용하더라도 커다란 문제가 없으나 보수공사의 경우에는 긴급한 시간내에 공사가 마무리되어야 하므로 현장타설 방식의 보수공법을 적용할 수 없다.

일반적인 콘크리트 부분보수공법(슬래브 교체)은 2주 이상의 양생기간이 필요하며 초조강 콘크리트를 적용하더라도 적절한 성능을 발휘하기 위해 5시간 이상의 양생기간이 필요하다. 따라서 통제 시간을 단축하기 위해 신속한 보수가 가능한 포장 구조가 필요하다.

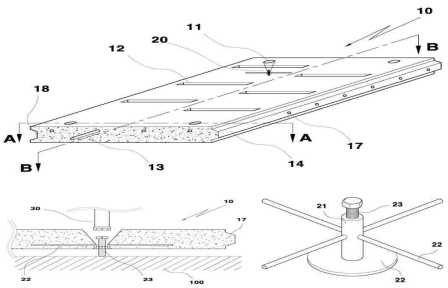
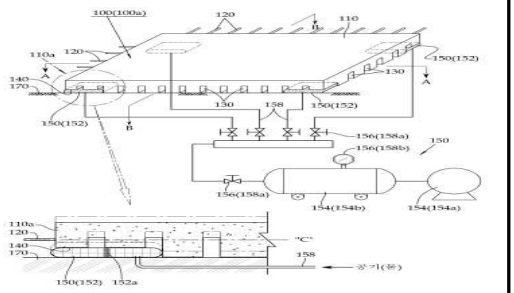
이러한 문제점을 해결할 수 있는 포장공법으로 프리캐스트 콘크리트 포장공법이 유용하며, 프리캐스트 콘크리트 포장은 프리캐스트 패널을 공장에서 제작하기 때문

에 고성능 슬래브 생산에 따른 우수한 내구성을 가지며 현장에서 급속 시공이 가능하여 수 시간 내에 교통의 개통이 가능한 공법이라 할 수 있다.

프리캐스트 콘크리트 포장공법은 프리캐스트 패널(슬래브) 적용시 패널과 하부구조와의 일체와 또는 각 세그먼트 간의 평탄성 조정기술이 핵심적인 요소가 되는데 이에 대한 대안으로 팽창백 조절식 콘크리트 패널방식을 적용할 수 있다.

기존 프리캐스트 방식과 팽창백 조절식 콘크리트 패널방식의 장단점을 비교분석하면 다음과 같다.

표 2.6.2-1 콘크리트 패널의 설치 비교

| 구분 | 기존 공법 (높이 조절) | 대안 공법 (팽창백 조절식) |
|---|---|---|
| 개념 | 복수의 패널을 상호 결합하여 도로를 포장할 때 패널의 수평을 조절하기 위해 패널의 내부에 복수의 높이조절수단을 설치하도록 하는 도로포장용 프리캐스트 콘크리트패널 | 2개 이상의 콘크리트 패널을 상호 결합하여 도로를 포장할 때 패널의 수평을 쉽게 조절할 수 있는 팽창백을 이용하는 도로용 콘크리트 패널, 도로 포장 구조 및 도로 보수 공법 |
| 형식 |  |  |
| 특징 | ・볼트식 조절장치로시 수평 조절 다소 용이<br>・패널제작시 높이 조절 장치 사전 매립으로다소 복잡<br>・특수 패널 사용을 제작 및 설치 고가<br>・파손부분의 패널만을 교체하므로 보수작업 간편 | ・정확하고 신속한 수평조절 가능<br>・일반적인 패널 사용으로 높이 조절장치 설치 간편<br>・경제적 도로 시공 가능<br>・연속작업으로 공기 단축<br>・파손된 콘크리트 도로에서부분적인 콘크리트패널의 교체 가능 |
| 검토결과 | 검토결과, 정확한 수평조절 기능, 경제적 도로 시공, 공기 단축, 유지관리 등을 고려하여 팽창백 콘크리트 패널 선택 | |

4) 프리캐스트 콘크리트 포장의 효과

팽창백을 이용한 전용선로 프리캐스트을 적용한 친환경 전용선로의 km당 단위 공사기간을 검토한 결과, 기초공사를 제외하고 상부 친환경 전용선로 구축공사를

기준으로 린콘크리트 타설, 친환경 선로형식 포장, 조경시설(잔디식재) 순으로 공정을 진행하여 약 40~45일이 소요되는 것으로 분석되었다.

팽창백을 이용한 전용선로 프리캐스트 시공방법을 적용한 바이모달트램 시스템의 친환경 전용선로 공사기간을 동일수준의 유사기술인 노면전차, 경량전철(AGT)시스템의 전용선로 구축 공사기간과 비교 검토하였다.

바이모달트램 시스템 친환경 전용선로의 km당 단위 공사기간은 노면전차 전용선로 공사기간(약 40~50일)과 비교시 유사한 수준으로 검토되었으며, 경량전철(AGT) 시스템 전용선로 공사기간(약 45~60일)과 비교시 약 75%~89%수준으로 검토되었다.

연구개발 기술의 공사기간은 해당 공종 작업정도 및 복잡도 등을 감안하여 볼때, 노면전차 및 경량전철(AGT)시스템 전용선로 공사기간과 일부 단축효과는 있으나 유사한 수준으로 검토되었다.

팽창백을 이용한 전용선로 프리캐스트은 현장 외부에서 제작이 가능하여 품질관리 및 확보가 가능하고, 중장비를 이용한 시공으로 시공 속도가 향상되며 교통량이 많은 구간에 대하여 짧은 시간에 시공을 완료하거나 선로형 포장의 노후화에 따라서 균열이 증가하게 되고 파손이 되어서 지지력이 상실되면, 보수가 필요하게 되는 포장의 상태를 빠른 기간 내에 공용성을 회복 할 수 있도록 하고, 긴급을 요하는 공사에는 차량통행 제한을 최소화 하고 신속히 복구 할 수 있는 시공성을 가지고 있는 공법이다.

친환경 선로형식 포장기술의 프리캐스트 공법은 사전조사를 통하여 설계된 포장형식에 맞게 제작되어진 친환경 프리캐스트 포장 슬래브를 높, 낮이 팽창백을 이용하여 정밀 시공을 하고, 줄눈부 처리 및 시멘트 밀크를 주입하여 콘크리트 슬래브 하부의 공간을 채워주는 방식의 시공 공법으로, 단위연장(km)당 공사기간(기초공사 제외)이 약 30일 수준으로 친환경 전용선로의 현장타설 공법에 비해 약 33%수준의 공기절감 효과가 있을 것으로 검토되었다.

친환경 선로형식 포장기술의 프리캐스트 공법을 적용할 경우, 유사기술인 노면전차 전용선로 공사기간(약 40~50일)과 비교시 약 66%수준, 경량전철(AGT) 시스템 전용선로 공사기간(약 45~60일)과 비교시 약 57 %수준으로 검토되었다.

따라서, 현장여건 및 시급성을 요하는 현장공사에 친환경 선로형식 포장기술의 프리캐스트 공법을 적용할 경우, 유사기술인 노면전차 및 경량전철(AGT) 시스템 전용선로 공사기간과 비교시 약 33~43% 수준의 절감효과가 있을 것으로 판단된다.

## 3. OPEN형 슬래브 구조의 교량 시공

### OPEN형 슬래브 구조의 교량 개발

1) 연구의 배경

기존의 일반적인 교량의 형태는 차량 차륜 등의 상부하중이 슬래브(slab)에 접한 상태의 하중으로 전달되고 주형(girder)을 통해 교각에서 기초로 전달되어 지지되는 형태를 갖게 된다. 슬래브는 차량의 주행시 교통하중이 직접적으로 재하되는 부분으로써 주행하는 차량이 자유롭게 차선변경을 수행하며 주행되기 때문에 교량의 상부에 연속적인 횡단면 구조를 갖도록 설치된다.

그러나 최근 개발되고 있는 신교통시스템에 적용되는 선로차량(바이모달트램 등)과 같이 일정한 주행 선로 또는 차선만을 따라 운행되는 경우에 전면이 연속적으로 설치되는 기존의 슬래브는 차륜(고무바퀴 또는 철재바퀴)이 접하지 않는 선로차량의 양측 바퀴 사이의 슬래브 부분(차륜과 차륜 사이)에 차량 하중이 직접적으로 재하되지 않는다. 선로차량의 양측 바퀴 사이(차륜과 차륜 사이)의 슬래브 부분을 전면에 걸쳐 연속 설치하는 것은 구조적인 측면(고정하중 증가 요인)이나 경제적인 측면에서 볼 때에 아주 불합리하고 효율성이 저하된다.

선로차량과 같이 일정한 주행선로를 따라 운행되는 교량의 상부 슬래브는 전면이 연속적으로 설치되는 기존 슬래브(연속 슬래브 또는 전면 슬래브)의 문제점을 개선한 새로운 형태 및 구조의 전용 슬래브의 개발이 필요하다.

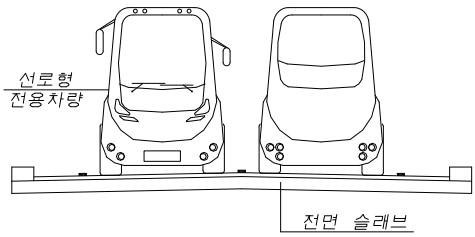
즉, 선로차량이 주행하는 전용교량의 슬래브를 선로차량의 주행 특성을 고려하여 선로차량의 차륜이 슬래브와 접하는 양측 면을 제외한 중앙부를 개구형태 또는 개구부(open type, part)로 하는 부분슬래브로 개발할 필요성이 있다.

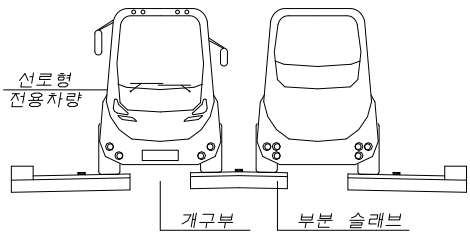
2) OPEN형 슬래브 구조의 교량개발

가) 선로형 전용슬래브의 형상

(1) 선로형 전용슬래브의 횡방향 일반형상

선로형 전용 슬래브의 형상은 일반적인 전면 슬래브에서 선로차량 양측 바퀴 사이의 슬래브 부분(차륜과 차륜 사이)에 개구형태를 가지게 설치한다. 이렇게 선로형 차량이 운행되는 교량의 개구형태의 부분 슬래브를 선로형 전용 슬래브(Track Type Exclusive Slab)로 명한다. 다음은 교량의 일반적인 슬래브와 선로형 슬래브의 기본구조 개념도 및 각각의 특성을 보여준다.



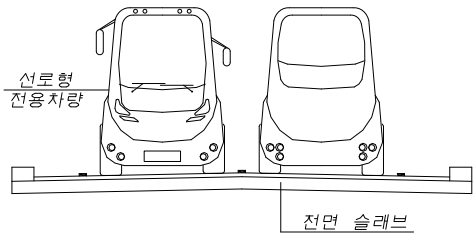
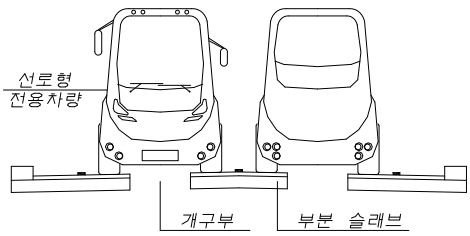




기존 슬래브
(전면 슬래브)

선로형 전용 슬래브
(개구부 설치)

그림 2.6.3-1 선로형 전용 슬래브와 기존 슬래브 기본구조 개념도

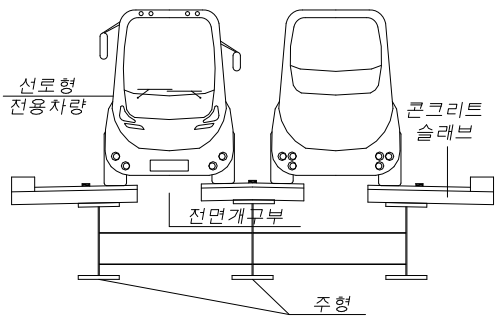
표 2.6.3-1 기존 슬래브와 부분 슬래브의 특성 비교

| 구 분 | 기존 슬래브 (전면 슬래브) | 부분 슬래브 |
|---|---|---|
| 정 면 도 |  |  |
| 슬 래 브 전경사진 |  |  |
| |  |  |

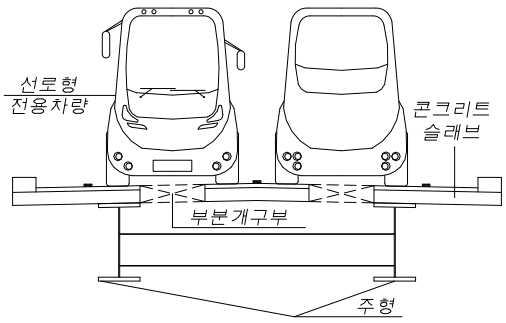
| | | |
|---|---|---|
| 특성비교 | ·전면 슬래브에 의해 자중의 중량화로 주형, 하부 및 기초의 규모가 커짐 (교량의 구조적 효율성 측면에서 불리)<br>·교량 전체구조의 규모가 커 자재수량 증가로 공사비 증가 및 경제성 불량<br>·슬래브 전면이 콘크리트의 회색조로 경관미를 부여 할 수 없음<br>·슬래브가 햇빛을 차단하여 교량 하부가 어둡고 음침해 공간 활용성 불량 (수목식생 어려움, 경범죄 우려 공간)<br>·신교통 수단에 부합하지 않는 슬래브 | ·부분 슬래브에 의해 자중의 경량화로 주형, 하부 및 기초의 규모가 작아짐 (교량의 구조적 효율성 측면에서 유리)<br>·교량 전체구조의 규모가 작아 자재수량 감소로 공사비 감소 및 경제성 양호<br>·슬래브 개구부에 강화유리 및 경관조명 등을 설치하여 경관 연출 가능<br>·슬래브 개구부로 자연채광이 이루어져 교량 하면이 밝아 공간 활용성 우수 (수목식생 가능, 도심 소공원 설치)<br>·신교통 수단에 부합하는 신형식 슬래브 |
| 검토결과 | ·교량의 구조적 효율성, 경제성, 경관미, 교량 하부 이용성 및 신교통 수단의 상징성 등에서 불리한 점이 많은 기존 슬래브 형식(전면 슬래브)의 문제점을 개선한 선로형 전용 슬래브(부분 슬래브)의 개발이 필요함 | |

(2) 선로형 전용 슬래브의 평면형상 및 주형과의 연결

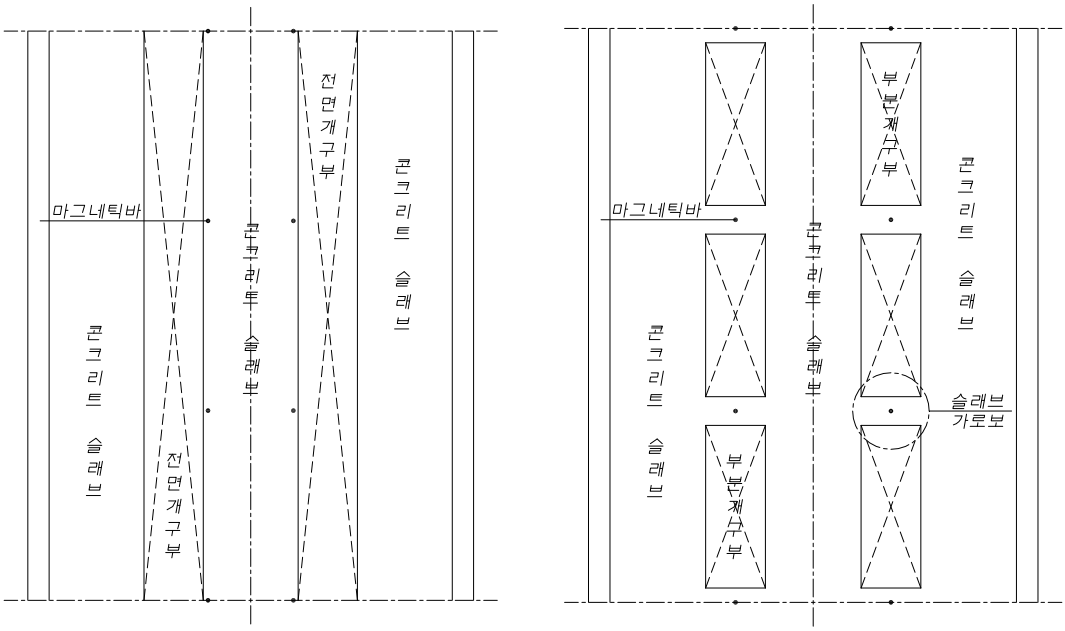
선로형 전용 슬래브의 평면형상은 슬래브의 평면상에서 개구형상과 그 슬래브와 주형의 연결(지지형태)이 어떠한가에 의해 결정된다. 슬래브의 개구형상은 슬래브의 종방향으로 전면에 개구부를 설치한 형상과 슬래브 가로보에 의해 부분적으로 개구부가 설치되는 형상으로 나뉜다. 전면에 개구부를 설치한 형상의 슬래브는 주형과 3부분이 연결(지지)되며 슬래브 가로보에 의해 부분적으로 개구부가 설치되는 형상의 슬래브는 주형과 2부분이 연결(지지)된다.




전면 개구부 설치(주형 3개 연결)




부분 개구부 설치(주형 2개 연결)



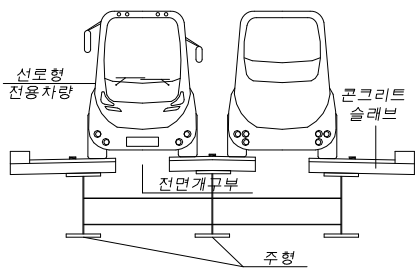
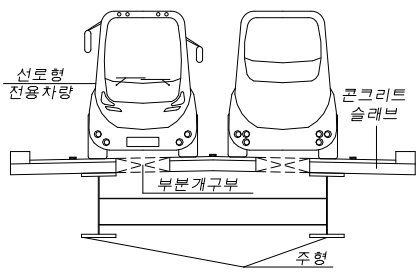

개구부를 슬래브 전면에 설치한 부분 슬래브 (슬래브 가로보 미설치)

개구부를 슬래브 부분에 설치한 부분 슬래브 (슬래브 가로보 설치)

그림 2.6.3-2 선로형 전용 슬래브의 평면형상 및 주형과의 연결

위에서 언급한 선로형 전용 슬래브 형상안인 ① 1안 (개구부를 슬래브 전면에 설치한 부분 슬래브 : 슬래브 가로보 미설치)과 ② 2안 (개구부를 슬래브 부분에 설치한 부분 슬래브 : 슬래브 가로보 설치)는 모두 현장적용이 가능하다. 이 2개안은 구조적 효율성, 시공성, 경제성, 경관성 및 마그네틱 적용성 등에서 장단점이 있으나 일반적으로 2안이 우수한 것으로 검토되었다.

표 2.6.3-2 선로형 전용 슬래브 형상 현장 적용안

| 구분 | 1 안 | 2 안 |
|---|---|---|
| 정 면 도 |   |   |
| 슬래브 형상 | 개구부를 슬래브 전면에 연속설치 (슬래브 가로보 미설치) | 개구부를 슬래브에 부분적으로 설치 (슬래브 가로보 설치) |

| | | |
|---|---|---|
| 구 조 적 효 율 성 | ·자중 및 활하중에 대해 3개의 주형이 분담하여 구조적 효율성 불량<br>·상부하중의 주형에 횡분배효과 불량<br>·개구부에 차륜하중 접지시 2변 단순 지지로 마감부재의 안전성 불량 | ·자중 및 활하중에 대해 2개의 주형이 분담하여 구조적 효율성 우수<br>·상부하중의 주형에 횡분배효과 양호<br>·개구부에 차륜하중 접지시 4변 방향 지지로 마감부재의 안전성 양호 |
| 시 공 성 | ·슬래브와 주형의 합성을 위한 스터드 설치부가 3개로 시공성 불량<br>·슬래브 시공시 3개의 프리캐스트 세그먼트 제작으로 시공성 불량<br>·전면 개구부의 마감처리가 어려움 | ·슬래브와 주형의 합성을 위한 스터드 설치부가 2개로 시공성 양호<br>·슬래브 시공시 1개의 프리캐스트 세그먼트 제작이 가능해 시공성 우수<br>·부분 개구부의 마감처리가 편리함 |
| 경 제 성 | ·3개의 주형 적용으로 공사비 증가 | ·2개의 주형 적용으로 공사비 감소 |
| 경 관 성 환경친화성 | ·3개의 주형으로 경관성 미흡<br>·교량 하면의 햇빛 투과면적 많음 | ·2개의 주형으로 경관성 양호<br>·교량 하면의 햇빛 투과면적 많음 |
| 마그네틱바 적 용 성 | ·슬래브 가로보가 없어 주행선로 중앙에 자동운전을 위한 마그네틱바의 설치가 가능하지 않아 적용성 불량 | ·슬래브 가로보가 있어 주행선로 중앙에 자동운전을 위한 마그네틱바의 설치가 가능하여 적용성 우수 |
| 검토결과 | ·위의 검토내용에서 구조적 효율성, 시공성, 경제성, 경관성 및 마그네틱바의 적용성 등에서 개구부를 슬래브에 부분적으로 설치(슬래브 가로보 설치)하는 2안이 우수한 형식임 | |

나) 선로형 전용 슬래브 시공공법

선로형 전용 슬래브는 현장타설공법과 프래캐스트공법이 가능하며 일반적인 슬래브의 시공방법과 같고 슬래브에 개구부를 고려하여 시공하는 것을 특징으로 한다.

3) OPEN형 슬래브 구조의 공학적·구조적 검증

OPEN형 슬래브구조의 공학적 및 구조적 안전성, 현장 시공 및 적용 등의 검증을 위하여 세 가지 항목에 대하여 검증을 시행하였다. 즉 실물 요소부재 선로형 슬래브에 대한 설계, 실물 요소부재 선로형 슬래브에 대한 비선형 해석 및 실물 요소부재 선로형 슬래브에 대한 정재하 시험을 통해 구조안정성을 검증하였다.

선로형 슬래브는 전용차량 및 시설기준 등을 고려하였으며 프리캐스트 세그먼트 형태로 공장제작하여 시험실로 운반하여 조립 및 현장타설 하였다. 선로형 슬래브의 실물 요소부재를 2개 제작하여 정재하 시험을 통하여 구조적 안전성과 시공성 등을 검토하였다.

표 2.6.3-3 실물요소부재시험에 의한 검증항목 및 결과요약

| 검증항목 | | 검증기준 | 검증결과 | 분석내용 |
|---|---|---|---|---|
| 실물요소부재시험에 의한 검증 | 실물 요소부재 선로형 슬래브에 대한 설계 | 설계기준에 근거한 구조적 안전성 확인 (Mu≤ϕMn) | ·횡방향 지점부<br>Mu=14.800tf.m < ϕMn=41.212tf.m<br>∴ O.K<br>·횡방향 중앙부<br>Mu=24.922tf.m < ϕMn=41.212tf.m<br>∴ O.K<br>·종방향 중앙부<br>Mu=16.200tf.m < ϕMn=25.958tf.m<br>∴ O.K | ·횡방향 지점부 안전율 : 2.785<br>·횡방향 중앙부 안전율 : 1.654<br>·종방향 중앙부 안전율 : 1.602 |
| | 실물 요소부재 선로형 슬래브에 대한 비선형 해석 | 실물선로형 슬래브의 비선형 유한요소 해석을 통한 구조안정성 확인 | ·비선형해석을 통한 구조검토결과<br>- 각 하중상태에 따른 응력흐름, 거동특성 및 파괴모드 특성 확인<br>- 최소 12이상의 safety factor로 충분한 구조안정성 확보<br>- 바이모달트램의 설계하중 이상에서 초기균열발생으로 충분한 사용성 확보 | ·하중재하 case별 구조안정성, 응력흐름, 거동특성, 파괴모드 등 분석 |
| | 실물 요소부재 선로형 슬래브에 대한 시험 | 실물 선로형 슬래브의 정재하시험을 통한 구조안정성 확인 | ·비선형해석 결과와 유사한 구조의 거동특성 확인<br>·설계하중 이상의 충분한 부재성능 및 구조안정성 확인 | ·실물요소 정재하 시험과 비선형 해석결과의 비교 분석을 통한 신뢰성 있는 구조거동 특성 분석 |

가) 요소부재 선로형 슬래브에 대한 설계

(1) 해석 개요

• 사용 프로그램

- MIDAS/CIVIL 2006

• 해석모델

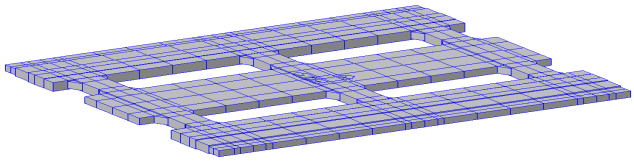


그림 2.6.3-3 MIDAS 해석모델

• 하중조건

- 고정 하중 : 자중, 포장하중
- 부가 사하중 : 가드레일 및 기초, 연석 등
- 활하중 : 바이모달트램(3량) 윤하중 2차선 재하

• 하중 조합 (강도설계법)

- 고정 하중 (1.3) + 부가 사하중(1.3) + 활하중(2.15)

(2) 해석 결과

- 단면력도

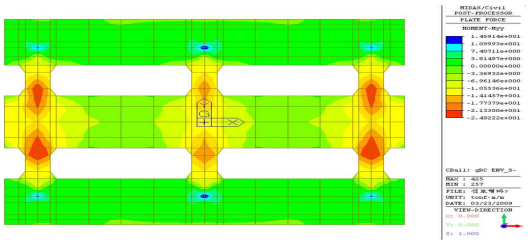


그림 2.6.3-4 횡방향 모멘트 - Myy - 계수하중조합

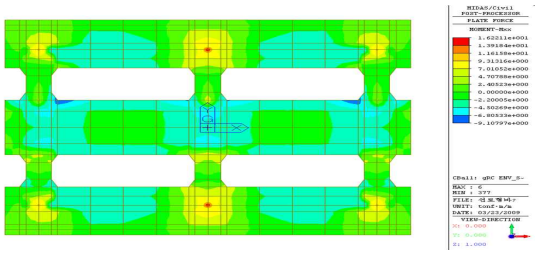


그림 2.6.3-5 종방향 모멘트 - Mxx - 계수하중조합

- 처짐도

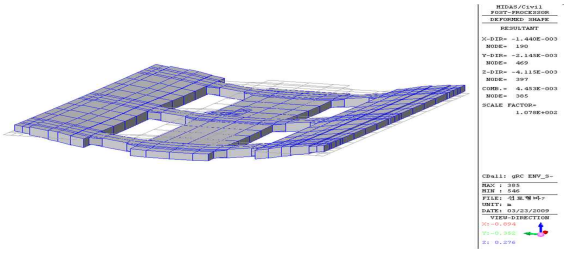


그림 2.6.3-6 MIDAS 해석결과 - 처짐도

나) 요소부재 선로형 슬래브에 대한 비선형 해석

(1) 사용프로그램 : RCAHEST

해석에 사용된 프로그램은 콘크리트 교량의 상부 및 하부 구조에서 철근콘크리트 구조물의 비선형 유한요소 해석 프로그램(RCAHEST)으로 철근 콘크리트 구조물의 비선형 유한요소해석 결과의 정확도는 구조물을 구성하고 있는 RC 및 프리스트레스트 콘크리트 보, 기둥요소, RC 및 PSC 쉘 요소 등의 구성요소의 비선형 해석모델이 얼마나 정확히 역학적 거동을 모사할 수 있는 가에 달려있다. 보다 합리적이고 사실적인 구조물의 거동특성의 예측을 위해서는 보다 정밀하고 효율적인 구성요소의 비선형 해석모델이 필요하다. 철근콘크리트 평면응력요소 및 접합면 요소, 탄성체 요소, 보, 기둥요소, 쉘 요소, 받침요소, 기하비선형을 고려한 철근콘크리트 평면응력요소 등의 구조요소 외에 비 부착 텐던 요소 및 신축이음장치(내진 전단키 도는 낙교방지시설 포함)요소 등의 비선형 해석모델 등의 요소들을 RCAHEST에 적용하였다.

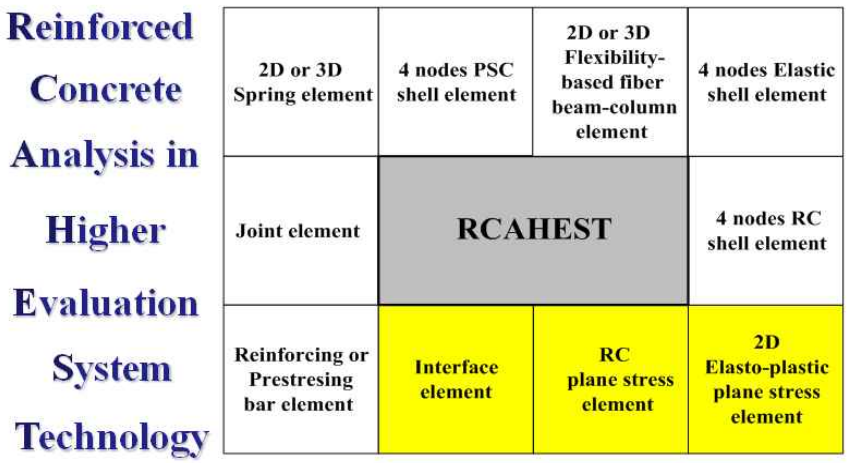



그림 2.6.3-7 RCAHEST Element

(2) 사용요소

a. 사용요소

- 4 nodes RC, PSC Shell Quadratic Element (NO.30)

b. 쉘 요소의 정식화

3차원 탄성 정식화를 근거한 위의 요소를 바탕으로 RC, PSC 콘크리트 구조의 재료적 비선형성을 고려하기 위하여 층상화 기법(Hinton 등, 1984)이 도입되었다. 즉, 부재의 크기에 비하여 두께가 얇은 쉘은 두께방향의 변형은 무시될 수 있으며 쉘 요소의 응력상태를 두께방향의 변형을 무시한 2차원 응력상태로 가정하고, 면

외방향의 휨모멘트는 각 층에서의 응력을 두께방향으로 적분하고 이를 다시 중립축에 관한 모멘트의 합으로 표현할 수 있다.

c. 이용배경

- 3차원 RC 및 PSC 콘크리트 쉘 요소로서, 보 요소로 정확한 해석이 어려운 슬래브, 쉘 등에 적용되는 요소

- 4 nodes PSC Shell 요소는 쉘의 두께방향으로 층(Layer)을 지정하여 각 콘크리트 층(Layer)에 묻혀있는 철근 및 텐던의 영향을 고려한 거동 예측이 가능

(3) 제원 및 모델링

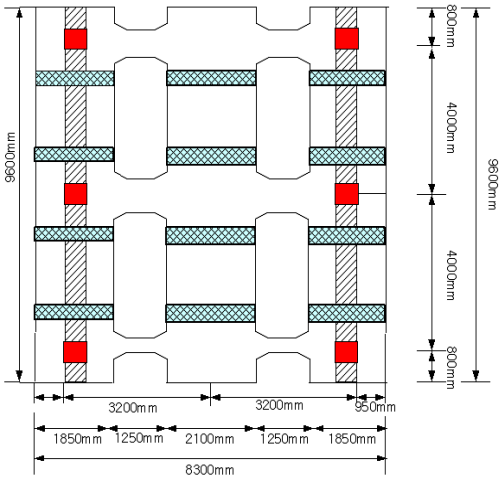



그림 2.6.3-8 선로형 슬래브 요소부재 시험체 제원

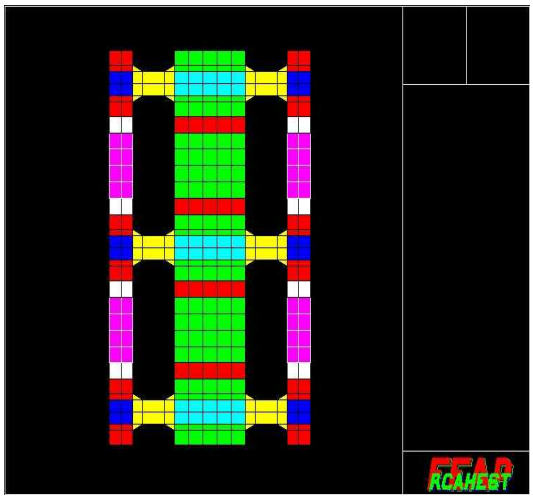



그림 2.6.3-9 RCAHEST를 이용한 선로형 슬래브 모델링

다) 요소부재 선로형 슬래브에 대한 시험

(1) 요소부재 시험체 제작

a. 제작개요

- 발주기관 : 현대엔지니어링
- 제작기관 : BNG Consultant
- 감독/검수기관 : 현대엔지니어링, 성균관대학교 강구조 연구실, 구조해석 연구실
- 인도장소 : 현대기술개발원(시험장소)

b. 시험체 규격 및 수량

- Concrete : Precast Concrete(1), In-Situ Concrete(2)

표 2.6.3-4 요소부재시험체 콘크리트 배합표

| 재료 | Strength, fck (Mpa) | Aggregate max , size(㎜) | Slump (㎜) | W/C | S/a | Air(%) | Proportion by unit weight ($kg/cm^3$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | W | C | Fine aggregate | Coarse aggregate |
| 1 | 40, 25 | 25 | 15 | 31.7 | 41.5 | 4.5±1.5 | 165 | 520 | 685 | 973 |
| 2 | 40 | 25 | 15 | 31.7 | 41.5 | 4.5±1.5 | 165 | 520 | 685 | 973 |

- Reinforcement: SD40 with fy = 400 MPa
- 이형철근 : H13, H16, H22, H25
- 이음부의 타설된 팽창콘크리트는 CSA계 팽창제를 시멘트 중량의 약 10%정도 첨가
- 시험체 규격 : 폭(8.3m)×높이(400/350/280㎜)×길이(9.6m)

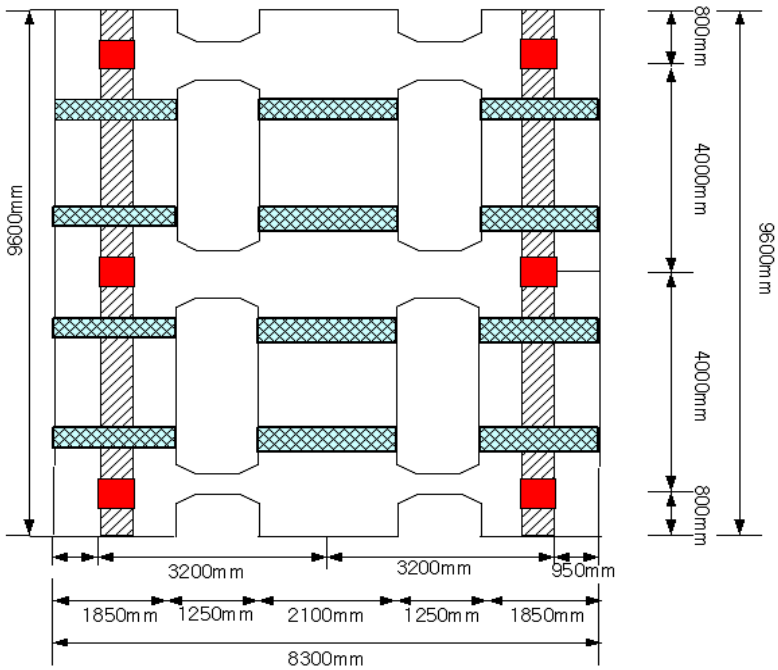



그림 2.6.3-10 선로형 슬래브 요소부재 시험체 단면

b. 시험체 제작

- 제작공정

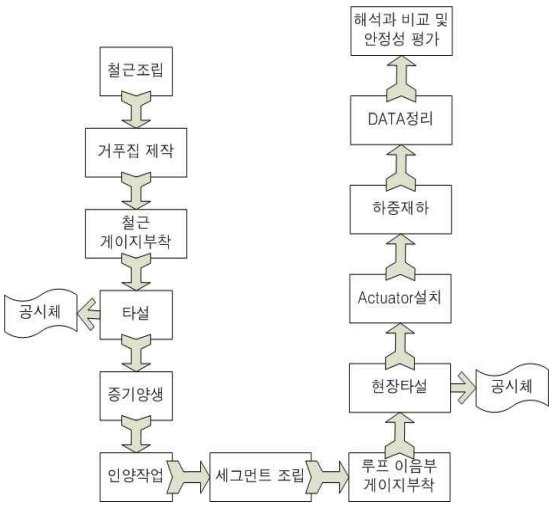



그림 2.6.3-11 선로형 슬래브 요소부재 시험체 제작 공정도



그림 2.6.3-12 현장 이음부 콘크리트 타설 과정

(2) 정적하중재하시험

a. 공시체 강도 시험

시험체 Setting이 완료 후 시험체의 정확한 강도 파악을 위하여 타설시 같은 환경에 놓아두었던 공시체에 대한 시험을 하였다.



공시체 강도 시험(1)



공시체 강도 시험(2)

그림 2.6.3-13 요소부재 시험체의 공시체 강도 시험

b. 요소부재 시험체 정적하중재하 시험

하중재하 방법은 차축에 따라 점당 2000N씩 4000N씩 점증 하중을 재하 하였으며LVDT를 설치하여 처짐을 측정하였다. 또한 이음부의 철근의 상하부에 철근게이지를 부착하여 합성여부를 파악하였고 인장측 철근에 철근변형률 게이지를 부착하여 철근의 항복여부를 관측하였다. 그리고 콘크리트의 상부에 콘크리트 변형률 게이지를 부착하여 인장과 압축단의 상호관계를 측정하였다. 이러한 측정에는 일본 TML사의 데이터 로거 (Data logger. TDS-303A)가 사용되었다. 하중의 재하면은 구조체의 안정과 Actuator와 지지대의 결합의 영향을 고려하여 400×600[mm]로 하였다.

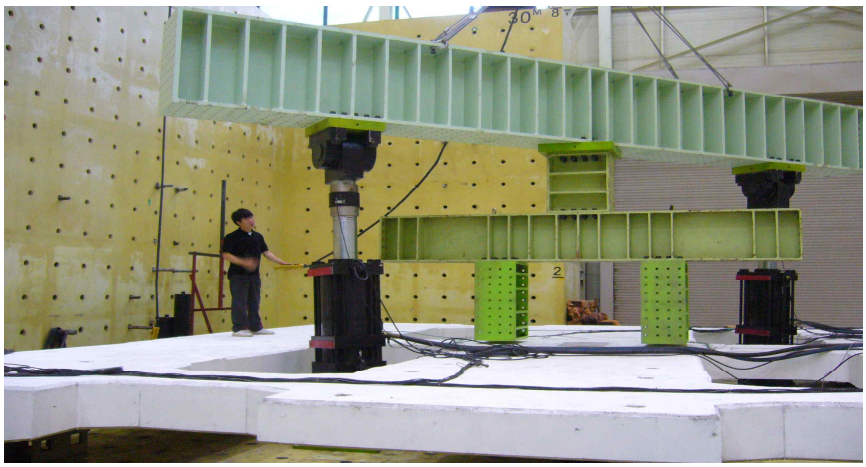


그림 2.6.3-14 하중 재하판 설치

## 나. OPEN형 슬래브 구조의 시험선 구축사례

한국건설교통기술평가원에서 시행한 국책연구사업의 테스트베드로 시공된 시험선의 바이모달트램 전용고가교량은 현장여건을 고려하여 연장 16.7m의 단경간교로 전용차량의 운행에 따른 교량의 시험평가를 위하여 왕복 2차로로 계획하였다. 이 교량에 적용된 슬래브가 선로형 전용 슬래브이며 슬래브의 개구부를 Open 형태를 고려하여 선로형 Open 슬래브라고도 칭한다.



그림 2.6.3-15 바이모달트램 시스템의 시험선 조감도



그림 2.6.3-16 바이모달트램 시스템의 시험선 투시도

1) 시험선 전용고가교 개요

가) 시험선 전용고가교 제원

- 연 장 : L=16.70m (단순교)
- 폭 원 : B=8.70m (0.4+0.7+2@3.25+0.7+0.4 : 왕복 2차로)
- 형 식 : 강관 입체트러스교 (Tubular Space Truss Bridge)
- 거더 배치 : 더블 트러스 (Double Truss)

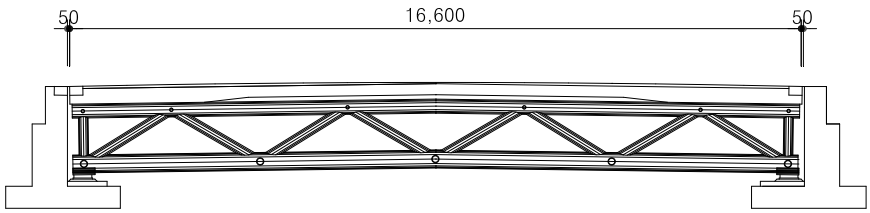



그림 2.6.3-17 전용고가교 종단면도

나) 선로형 전용 슬래브 제원 및 사용재료

- 슬래브 크기 : B×L = 8.7m×16.6m
- 개구부 크기 : B×L = 1.0m×3.0m
- 콘크리트 압축강도 : fck=40MPa
- 철근 항복강도 : fy=400MPa

다) 바이모달트램 전용차량

표 2.6.3-5 바이모달트램 전용차량 축하중

(단위 : kN)

| 구분 | 총 중 량 | 1축 하중 | 2축 하중 | 3축 하중 | 4축 하중 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2량 1편성 | 257 | 64 | 107 | 86 | - |
| 3량 1편성 | 367 | 62 | 99 | 103 | 103 |

2) 시험선 선로형 전용 슬래브의 시공

가) 제작 및 시공순서

선로형 전용 슬래브(선로형 open 슬래브)는 프리캐스트 세그먼트를 제작장에서 제작하여 현장운반 후 강관 트러스교(상현제)와 볼트로 연결하고 현장이음 슬래브에 콘크리트를 타설하여 강합성 구조를 완성하도록 하였다. 선로형 전용 슬래브의 제작 및 시공 순서는 다음과 같다.

□ 선로형 전용 슬래브 프리캐스트 세그먼트 제작

① 제작장에서 제작대 설치

② 선로형 전용 슬래브 프리캐스트 세그먼트 거푸집 제작

③ 스터드 부착 플레이트 설치

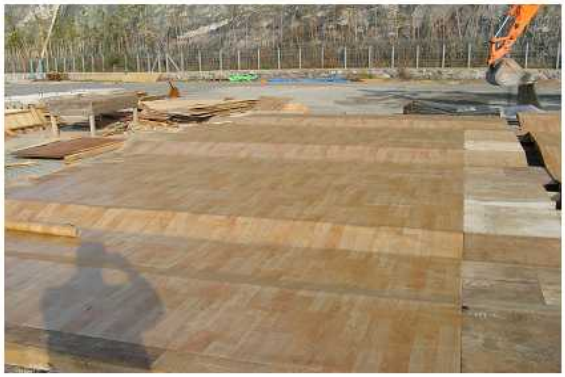
④ 캡너트가 설치된 반단면의 강관 트러스 접합부 설치

⑤ 철근 배근 및 리프팅 장치 설치

⑥ 콘크리트 타설, 습윤 양생 및 거푸집 해체



① 제작장 설치



② 거푸집 설치



③ 스터드 부착 플레이트 설치



④ 반단면 강관 접합부 설치



⑤ 철근 배근



⑥ 콘크리트 타설

그림 2.6.3-18 선로형 전용 슬래브 프리캐스트 세그먼트 제작

□ 선로형 슬래브 프리캐스트 세그먼트 설치 및 슬래브 시공 완성

① 프리캐스트 세그먼트 인양 운반

② 강관 트러스 상현재에 support 고무패드 설치

③ 프리캐스트 세그먼트 강관 트러스에 거치

④ 프리캐스트 세그먼트 정렬 및 레벨 조정

⑤ 캡너트가 설치된 반단면의 강관 트러스 접합부와 강관 트러스 상현재를 캡볼트로 체결

⑥ 현장타설 콘크리트 이음부 철근 조립

⑦ 현장타설 콘크리트 이음부 거푸집 설치

⑧ 슬래브 현장 이음부 콘크리트 타설 및 양생

⑨ 선로형 open 슬래브 프리캐스트 세그먼트와 강관 트러스 상현재 중공부 그라우팅 실시

⑩ 선로형 open 슬래브 전체면 돌출물 정리

⑪ open 슬래브 가로보부에 마그네틱바 설치

⑫ 마그네틱바 전자기장 측정

⑬ 선로형 open 슬래브 전체면 그라인딩

⑭ 슬래브 open부 강관 프레임 설치 및 실링

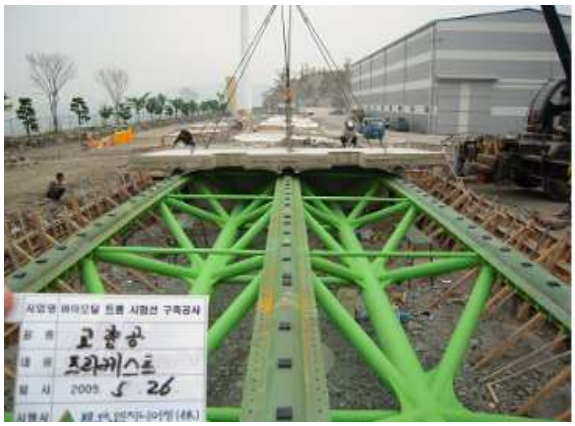
⑮ 슬래브 open부 강화 유리판 설치




① 프리캐스트 세그먼트 인양 운반



② Support 고무패드 설치



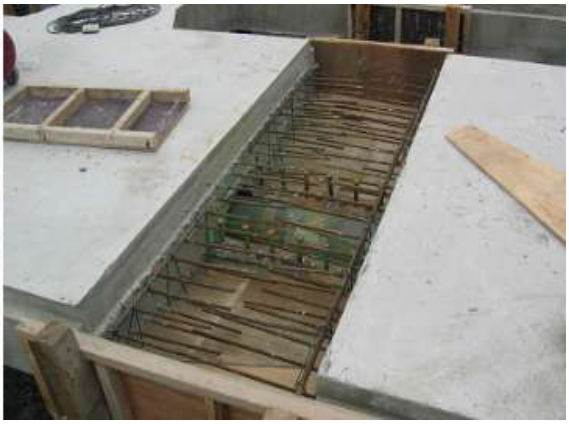

③ 프리캐스트 세그먼트 설치



④ 세그먼트 정열 및 레벨조정



⑤ 세그먼트 캡볼트 체결



⑥ 현장 이음부 철근 조립



⑦ 현장 이음부 거푸집 설치



⑧ 현장 이음부 콘크리트 타설



⑨ 세그먼트 하면 중공부 그라우팅



⑩ 슬래브 전체면 돌출부 정리



⑪ 마그네틱바 설치



⑫ 마그네틱바 전자기장 측정



⑬ 슬래브 전면 그라인딩



⑭ 슬래브 Open부 프레임 설치



⑮ Open부 강화 유리판 설치

그림 2.6.3-19 선로형 전용 슬래브 프리캐스트 세그먼트 설치 및 시공

나) 시공완료 및 차량 운행



① 전용고가교 전경



② 선로형 전용 슬래브



③ 전용차량 차량운행

그림 2.6.3-20 선로형 전용 슬래브 시공완료 및 차량운행

## 바. OPEN형 슬래브 구조의 교량 공사비 및 공기단축

1) 공사비 절감효과

개발기술의 진보성 확인을 위한 공사비의 검증은 선로차량이 운행되는 전용고가교량의 슬래브를 기존 슬래브와 선로형 전용 슬래브에 대하여 비교 검토한다. 기존의 전면 슬래브에 개구부를 둔 선로형 전용 슬래브는 기존 슬래브와 비교하여 사용자재 수량, 가설자재 수량, 가설중량 및 장비, 공기, 기타 시설 등이 공사에 적용된 정도에 따라 공사비가 결정된다. 선로형 전용 슬래브의 공사비는 슬래브 자체 자중감소를 위한 개구부가 제거되어 전면 슬래브와 비교하여 콘크리트와 철근 수량 감소로 공사비가 감소된다. 그러나 선로형 전용 슬래브는 개구부의 마감으로 설치된 강화유리(강재 프레임, 지수제 등 포함) 때문에 슬래브 자체만의 공사비가 기존 슬래브 보다 약간 증가한다. 개발기술의 장점인 개구부의 마감으로 사용된 강화

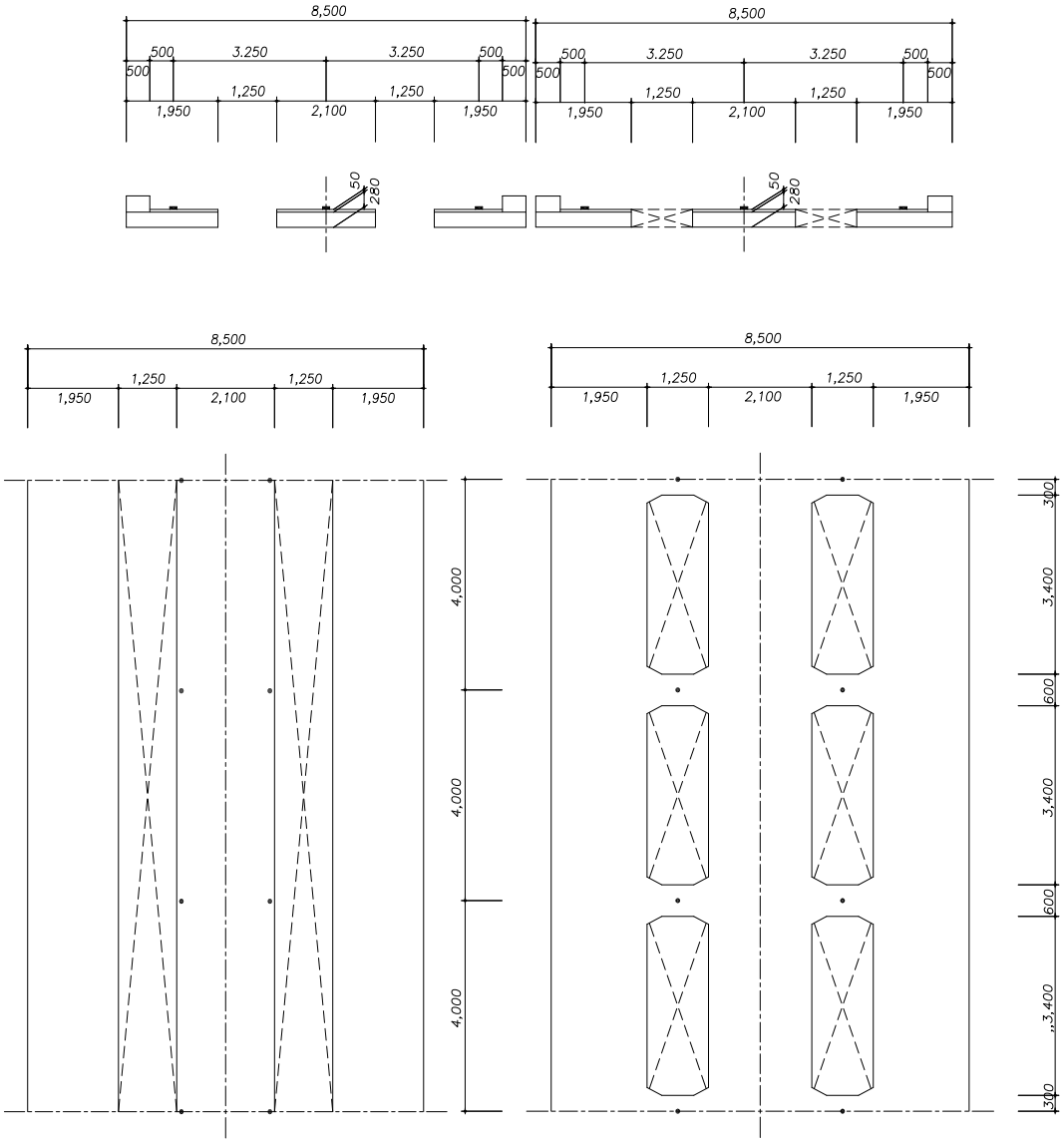
유리(강재 프레임, 지수제 등 포함)는 신교통 시스템의 상징성에 부합하는 전용고가교량의 전체 안전성, 미관 및 주변 환경성을 향상시키는 역할을 한다. 기존기술과 개발기술의 공사비 및 원가구성은 2010년 5월 24일에 공인된 원가계산용역기관 재단법인 현대산업정보연구원 의뢰하여 작성된(2010년 7월 7일 작성 완료) 공사원가계산서를 기준으로 작성하였고 그 내용은 다음과 같다.

표 2.6.3-6 기존기술과 개발기술의 공사원가구성 내역 비교 (단위 : 원)

| 구분 | | 기 존 기 술 | 개 발 기 술 (선로형 전용 슬래브) | |
|---|---|---|---|---|
| | | 기존 슬래브 | 전면 개구부 | 부분 개구부 |
| 직접비 | 재료비 | 15,643,997 | 27,514,063 | 21,954,334 |
| | 노무비 | 15,527,015 | 16,350,750 | 16,971,757 |
| | 경비 | 522,073 | 480,064 | 562,339 |
| | 소계 | 31,693,085 | 44,344,877 | 39,488,430 |
| 간접비 | | 12,677,234 | 17,737,951 | 15,795,372 |
| 합계 | | 44,370,319 | 62,082,828 | 55,283,802 |

※ 작성기준 : 슬래브 연장 16.7m, 폭 8.7m로 시험선에 설치 시공된 부분 개구부의 선로형 전용 슬래브에 소요된 직접비(공인된 원가계산용역기관 재단법인 현대산업정보연구원에서 산정한 공사원가계산서 참조) 공사내역서를 근거로 하여 시존 슬래브와 전면 개구부 선로형 전용 슬래브의 직접비를 산정하였음. (간접비는 직접비의 40% 적용)

위의 슬래브만의 기존기술과 개발기술의 공사원가구성 내역 비교 시 선로형 전용 슬래브의 공사비가 기존 슬래브 보다 다소 증가하지만 전체 교량 측면에서 볼 때 선로형 전용 슬래브는 기존 슬래브(전면 슬래브)에 비해 개구부만큼 자중이 20%~30% 정도 줄어들어 경량화 되므로 주형, 하부(교각, 교대) 및 기초의 규모가 작아지므로 공사비를 감소시킬 수 있다. 또한 개구부에 의한 슬래브 자체의 고정하중 감소로 지진에 의한 내진성능이 향상되어 교좌장치(탄성, 내진, 면진시스템)의 용량이 작아진다.




전면 개구부 설치 부분 슬래브부분 개구부 설치 부분 슬래브
(슬래브 가로보 미설치)(슬래브 가로보 설치)

그림 2.6.3-21 선로차량의 운행을 위한 선로형 전용 슬래브 일반도

선로차량이 운행되는 교량(지간 50m의 강판형 연속교)의 슬래브 폭원(8.5m)을 결정하고 기존기술(기존 슬래브 : 전면 슬래브)와 개발기술인 선로형 전용 슬래브(전면 개구부, 부분 개구부)에 대한 콘크리트의 수량과 자중을 산출 비교하고 해당 교량에 대한 주형, 하부, 기초 및 교좌장치 등의 사용수량 및 자중을 비교한 결과는 다음 표와 같다.

표 2.6.3-7 기존기술과 개발기술이 적용된 교량의 사용수량 및 자중 비교

| 구분 | | 기 존 기 술 | 개 발 기 술 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 기존 슬래브 | 선로형 전용 슬래브 | | |
| | | | 전면 개구부 | 부분 개구부 | |
| 슬래브 | 콘크리트량(㎥) | 119.0 | 84.0 | 90.6 | |
| | 자중(ton) | 297.5 | 210.0 | 226.4 | |
| | 비율(%) | 100.0 | 70.6 | 76.1 | |
| 주형 | 강재량(ton) | 106.3 | 92.3 | 87.1 | |
| | 비율(%) | 100.0 | 86.9 | 82.0 | |
| 하부 | 콘크리트량(㎥) | 128.6 | 98.5 | 105.6 | |
| | 자중(ton) | 321.5 | 246.2 | 264.1 | |
| | 비율(%) | 100.0 | 76.6 | 82.1 | |
| 기초 | 콘크리트량(㎥) | 133.0 | 105.0 | 108.5 | |
| | 자중(ton) | 332.5 | 262.5 | 271.3 | |
| | 비율(%) | 100.0 | 78.9 | 81.4 | |
| 교좌장치 | 상부하중(tonf) | 558.4 | 438.1 | 452.0 | |
| | 적용수량 | 300t × 2개 | 160t × 3개 | 240t × 2개 | |
| | 비율(%) | 100.0 | 78.5 | 81.0 | |

※ 산출기준 : 지간 50m의 강판형 연속교에 대하여 산출

기존 슬래브(전면 슬래브)와 개발기술인 선로형 전용 슬래브(전면 개구부, 부분 개구부)에 대한 콘크리트의 수량산출과 자중계산 결과는 기존 슬래브 119.0㎥ / 297.5ton, 전면 개구부 선로형 전용 슬래브 84.0㎥ / 210.0ton, 부분 개구부 선로형 전용 슬래브 90.6㎥ / 226.4ton으로 산정되었다. 선로형 전용 슬래브가 전면 슬래브보다 콘크리트의 수량 및 자중이 29.4%, 23.9% 정도 작았다. 그러나 선로형 전용 슬래브는 개구부의 마감으로 설치된 강화유리(강재 프레임, 지수제 등 포함) 때문에 슬래브 자체만의 공사비가 기존 슬래브 보다 약간 증가한다. 이것은 개발기술의 장점인 개구부의 마감으로 사용된 강화유리(강재 프레임, 지수제 등 포함)는 신교통 시스템의 상징성에 부합하는 전용고가교량의 전체 안전성, 미관 및 주변 환경성을 향상시키는 역할을 한다.

결론적으로 슬래브 자체만을 고려할 경우 선로형 전용 슬래브가 기존 슬래브 보다 약간 공사비가 증가하나 슬래브 자중 감소로 인한 교량전체 즉, 주형, 하부, 기초 및 교좌장치 등의 수량이 감소하여 선로형 전용 슬래브를 적용한 교량의 전체 공사비가 전면 슬래브를 적용한 교량의 전체 공사비 보다 작게 산정되므로 공사비 측면에서 유리하다.

2) 공기단축 사비 효과

개발기술인 선로형 전용 슬래브는 공사비에서 검토된 바와 같이 슬래브만을 고려할 경우에 기존기술(전면 슬래브) 보다 공사기간이 비슷하거나 약간 길지만 주형, 하부, 기초 등을 고려하는 교량 전체에 대해서는 공사비의 경우처럼 부재크기 및 중량, 사용재료, 가설장비 규모 등이 상대적으로 작아 공사기간이 단축된다.

시험선에 시공된 부분 개구부 적용 선로형 전용 슬래브(연장 16.7m, 폭 8.7m)의 공사기간을 기준으로 기존기술과 개발기술의 슬래브를 공사항목별로 비교한 공사기간 비교표는 다음과 같다.

표 2.6.3-8 기존기술과 개발기술의 공사기간 비교표(슬래브분만 고려)

| 공종 | 내용 | 공 사 기 간 (일) | | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 기존기술 | 개발기술 | | |
| | | 기존 슬 래 브 | 선로형 전용 슬래브 | | |
| | | | 전면 개 구 부 | 부분 개 구 부 | |
| 프리 캐스트 세그먼트 제작 | 제작장 및 제작대 설치 | 10 | 10 | 10 | |
| | 거푸집 및 스터드 부착 플레이트(ST PL) 설치 | 5 | 5 | 5 | ST PL 주형과 함께 공장 제작 |
| | 철근 가공 및 배근 | 9 | 9 | 10 | |
| | 콘크리트 타설 및 양생 | 30 | 30 | 30 | |
| | 소 계 | 54 | 54 | 55 | |
| 프리 캐스트 세그먼트 설치 및 현장시공 | 프리캐스트 세그먼트 인양, 운반 및 설치 | 5 | 7 | 5 | 급속 시공 |
| | 현장 이음부 철근 조립 및 거푸집 설치 | 2 | 2 | 2 | |
| | 현장 이음부 콘크리트 타설 및 양생 | 20 | 20 | 20 | |
| | 세그먼트와 강형 중공부 그라우팅 | 2 | 2 | 2 | |
| | 슬래브 면 정리 | 3 | 3 | 3 | |
| | 소 계 | 32 | 37 | 32 | |
| 기타 시공 | 마그네틱바 설치 및 전자기장 측정 | 1 | 1 | 1 | |
| | 개구부 강재 프레임 및 강화유리 설치 | - | 8 | 7 | |
| | 소 계 | 1 | 9 | 8 | |
| 합계 | | 87 | 97 | 95 | |

주형, 하부, 기초 등을 고려하는 교량 전체에 대한 공사기간을 시공 공종별로 작성하여 비교한 내용은 다음 표와 같다. 전체 교량 공사기간 측면에서 개발기술인 선로형 전용 슬래브가 기존 슬래브가 적용된 경우 보다 작게 검토 되었다.

표 2.6.3-9 기존기술과 개발기술의 공사기간 비교표(교량 전체분)

| 공종 | 내용 | 공 사 기 간 (일) | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 기존기술 | 개발기술 | | |
| | | 기존 슬 래 브 | 선로형 전용 슬래브 | | |
| | | | 전면 개 구 부 | 부분 개 구 부 | |
| 슬래브 | 프리캐스트 세그먼트 제작 | 70 | 70 | 72 | |
| | 프리캐스트 세그먼트 설치 | 42 | 45 | 42 | |
| | 기 타 시 공 | 2 | 12 | 10 | |
| | 소 계 | 114 | 127 | 124 | |
| 주형 | 강판형 제작 | 100 | 90 | 85 | |
| | 강판형 운반 및 현장 설치 | 15 | 20 | 15 | |
| | 강판형 현장 도장 | 5 | 5 | 5 | |
| | 소 계 | 120 | 115 | 105 | |
| 하부 | 거푸집 및 동바리 설치 | 20 | 15 | 16 | |
| | 기 둥 시 공 | 70 | 60 | 65 | |
| | 코 핑 시 공 | 60 | 50 | 55 | |
| | 소계 | 150 | 125 | 136 | |
| 기초 | 거푸집 및 동바리 설치 | 10 | 7 | 8 | |
| | 기초 본체 시공 | 50 | 40 | 45 | |
| | 소 계 | 60 | 47 | 53 | |
| 교좌 장치 | 교좌장치 설치 | 4 | 5 | 4 | |
| | 솔 플레이트 설치 | 2 | 2 | 2 | |
| | 소 계 | 6 | 7 | 6 | |
| 기타 | 토공 및 부대공사 | 60 | 50 | 55 | |
| 합계 | 공사기간 | 450 | 421 | 424 | |
| | 상대비율 (%) | 100.0 | 93.6 | 94.2 | |

※ 산출기준 : 지간 50m의 강판형 연속교에 대하여 공종별 절대공기만 산출,공종별 중복 공사기간,휴지일수 미 고려

# 제7절 승하차시설(정거장)/통합운영센터

## 1. 모듈화 정거장 개발사양

### 가. 모듈화 정거장 기능

1) 모듈화 정거장 정의

바이모달 트램 정거장이란 보안기술과 첨단 IT기술이 집적(集積)된 새로운 개념의 무인운영솔루션정거장으로 승객 안전 및 서비스수준 극대화와 수송 분담 효율화를 이룰 수 있는 모듈화된 친환경 미래형 스마트정거장이라 할 수 있다. 바이모달트램 정거장은 무인운영솔루션과 사전요금지불방식을 기반으로 하고 있다.

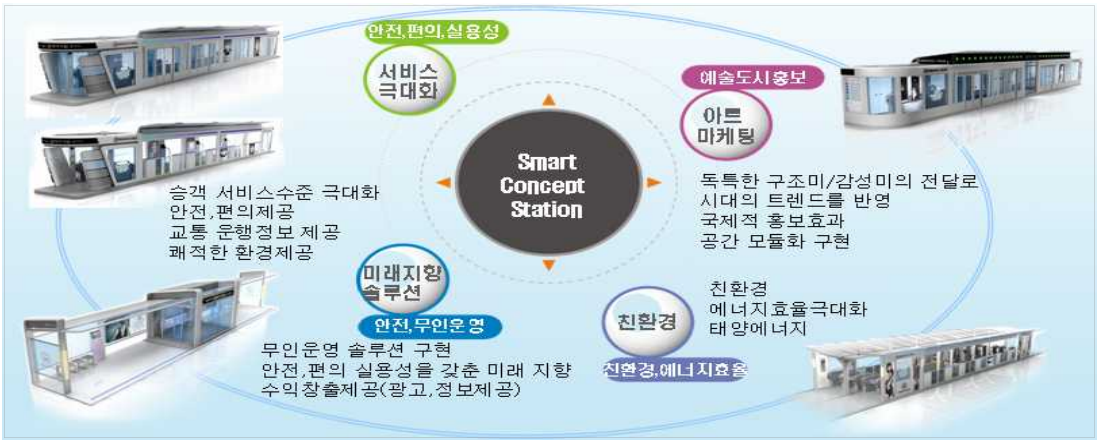



그림 2.7.1-1 모듈형 정거장 정의

2) 모듈화 정거장 기능

바이모달 트램 정거장의 기능은 아래와 같이 정의하였다.

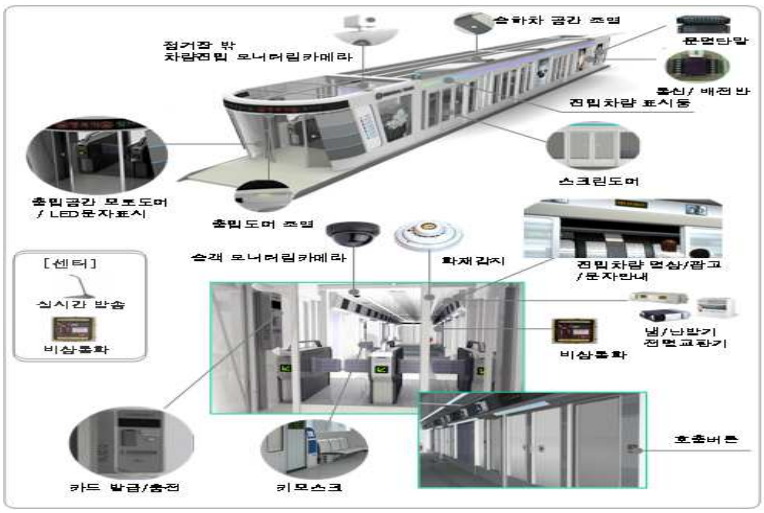



그림 2.7.1-2 정거장 구성 이해도

표 2.7.1-1 정거장 기능

| 구 분 | 서브시스템 | 시스템 및 시설물 기능 |
|---|---|---|
| 안전지원 시스템 | 승객모니터링 | 정거장 내·외부 상황 실시간 영상 감시 |
| | 비상호출 /통화장치 | 정거장내 긴급 상황 시 승객 호출, 통화 |
| | 스크린도어 | 도로와 정거장을 물리적으로 차단하여 승객의 추락, 충돌 등 안전사고 예방 |
| 운행정보 안내시스템 | 영상정보안내 | 차량운행정보를 시각적 승객에게 정보제공 |
| | 문자/음성정보안내 | 차량운행정보, 홍보정보 |
| | 지면정보안내 | 운행노선정보, 운행시간정보 |
| | 종합안내단말기 | 관광, 환승, 노선정보제공 가능기기 |
| 정거장 기반시설 | 통합시스템서버 | 정거장내 장비제어, 차량, 센터 통신 관리 |
| | 전원공급설비 | 안정적인 전원공급, 정전대비(주요장비적용) |
| | 통신공급설비 | 안정적이고 신뢰성 높은 통신서비스 제공 |
| | 조명설비 | 범죄예방 및 안락한 환경제공 |
| | 공조 설비 | 냉난방, 환기 |
| | 도어제어시스템 | 출입도어 및 탑승구 도어 제어 |
| | 화재/소화설비 | 화재에 대한 즉각적 조치 |
| | 발권기 | 다양한 결재수단을 통한 승차권의 발매기능 |
| | 개표기/집표기 | 역무업무의 정산 |
| * 요금 정산시스템 및 일부기능은 실용화 단계에서구현 예정임 | | |

## 나. 모듈화 정거장 개발사양

1) 정거장 구조체 개발사양

바이모달트램 정거장의 사양은 무인운영, 승객편의, 정거장 역무 시스템 의 3분류로 아래 표와 같이 사양정의를 하였다.

표 2.7.1-2 정거장 기능분석

| 구분 | 서브시스템 | 시스템 기능 |
|---|---|---|
| 무인 운영기능 | 통합관리기능 | -정류장내 장비제어 및 차량, 센터 통신 제어<br>-센터에서 정거장 제어 |
| | 승객안전지원기능 | -정류장내 긴급 상황시 센터로 직접 연결 및 통화 기능<br>-긴급 사항 대응<br>-스크린도어 설치 |
| | 운행정보안내기능 | -차량의 운행정보를 문자, 음성 ,영상을 통해 구현하는 기능 |
| | 출입도어 제어기능 | -출입도어 제어(운영시간 OPEN.CLOSE기능) |

| | | |
|---|---|---|
| 승객<br>편의기능 | 승객 유도기능 | -승하차의 동선을 최적화 할 수 있도록 승객 유도기능제공 |
| | 음성 방송기능 | -실시간 음성방송으로 승객에게 실황정보 제공 |
| | 정보 안내단말 기능 | -차량운행정보 및 승객요구정보를 대화식으로 정보제공), KIOSK 단말장치 |
| | 조명제어기능 | -범죄예방 및 안락한 환경제공<br>-내부/외부 조명 제어 |
| | 쾌적한 환경제공기능 | -냉난방, 환기를 통한 실내공기의 최적유지기능 |
| | 교통약자 편의 제공 | -교통약자를 배려한 기능(수평승강.유도블럭) |
| 정거장<br>역무기능 | 발권 기능 | -다양한 결재수단을 통한 승차권의 발매기능 |
| | 개표기/집표기 기능 | -승차권의 개표, 집표기능 |
| | 정산시스템 기능 | -역무업무의 정산기능 |

2) 승객안전지원시스템 개발사양

가) 영상 모니터링(CCTV)

정거장의 주요 지점에 설치된 카메라의 영상을 모니터링 할 수있어야한다.

각 카메라의 영상 신호는 지정 화면, 4화면, 9화면으로 입력받아 운용자가 설정한 프로그램에 의하여 모니터에 표시할 수 있어야 한다.

통합사령실에 영상을 전송할 수 있는 구조로 하여야 한다.

각 카메라의 위치 및 식별번호가 CCTV 영상에 삽입되어 모니터에 표시되어야 한다.

설치장소 유형별로 기계적, 환경적(먼지, 습기, 눈, 온도 등) 보호에 필요한 하우징을 설치하여야 한다.

해당 역별 감시 목적에 부합하는 감시 각 및 지근거리를 확보하여야 한다.

카메라에서 수집된 영상은 MPEG-4 등의 디지털 압축방식을 적용하여 IP기반 네트워크를 통하여 전송하여야 한다.

차량 접근, 도착, 출발 정보를 받아 상시 전원이 입력된 모니터에 역내 상황을 표출되어야 한다.

나) 비상 전화 설비

1회선에 1대 이상의 전화기를 부착 사용할 수 있도록 제작되어야 한다.

신호에 의한 호출로 상호통화가 가능하여야 하며 통화 종료 후 자동복구 되어야 한다.

통화 호출에 의해 호출 신호부가 동작하여 호출신호가 발생되어야 하며 통화램프가 점등되어야 한다.

호출신호가 검출된 전화기는 통화램프가 점등되며 상대전화기 측으로 호출 링(Ring : 단속음) 발생하여야 한다.

상대측 호출시 응답하면 통화에 지장이 없도록 응답신호가 송출하여 통화로를 구성하여야 한다.

연결된 전화기에 동시호출이 발생할 경우 상호접속 통화가 가능하여야 한다.

통신회선 및 전원선에 인입되는 고전압 과전류 등을 차단하는 보호 장치를 구성하여야 한다.

상호 호출 중 통화 중 상태를 LED를 사용하여 표시하고 전화기는 호출시 RING 신호가 인가되게 제작되어야 한다.

전원은 220V 전용으로 제작하고 입력전원 중단 시 내부 배터리로 정상 동작되어야 한다.

충전방식은 균등 및 부동충전이 가능하여야 하며 부하에 관계없이 자동동작 하여야 하고 정전 후 입전시 전원장치는 축전지 전압이나 부하에 관계없이 즉시 정상동작 되어야 한다.

전원 정전시 6시간 이상 전화기의 정상기능 확보를 위한 충전용 전지를 내장하여야 한다.

다) 스크린도어

스크린도어 및 차량도어 작동고장에 대한 모니터링 시스템 및 자동 셋업 시스템을 구축하여야 한다.

스크린도어의 모든 도어의 잠금 및 열림 상태를 모니터링하는 기능을 가져야 한다.

스크린도어 및 차량도어에 장애물 감지 시스템을 설치하여 장애물로 인한 시스템 안전에 문제가 없도록 설계하여야 한다.

스크린도어가 닫히는 동안 장애물 발생 시 이를 감지할 수 있어야 하며, 승객이 도어 사이에 끼였을 때 승객이 다시 빠져나올 수 있도록 하여야 한다.

차량과의 연동으로 도어가 완전히 닫히지 않을 때는 차량이 출발하지 못하도록 하여야 한다.

비상시와 정지정밀도 오차 발생 시 승객들이 슬라이딩 도어로 대피하지 못할 경우, 비상도어를 사용할 수 있는 안전시스템을 구축하여야 한다.

전원 장애시 승객들이 승하차 할 수 있도록 스크린도어를 3~5회 정도 개폐할 수 있는 비상전원 시스템을 적용하여야 한다.

비상시 스크린도어의 작동을 개별제어 및 통합제어로 개폐할 수 있는 안전시스템을 구축하여야 한다.

스크린도어의 개폐상태를 확인하거나, 비상시 차량으로부터 비상호출을 받고 미리 스크린도어를 제어할 수 있어야 한다.

표 2.7.1-3 정거장 안전지원시스템

| 구분 | 서브시스템 | 기능 |
|---|---|---|
| 승객안전 지원시스템 | 승객모니터링 | 정거장 내외부의 영상을 실시간으로 모니터링하는 설비 |
| | 긴급전화설비 | 정거장과 사령실과의 직접 통화를 위한 설비 |
| | 스크린도어 | 노선과 승객대기장소를 물리적으로 분리하여 승객의 안전과 쾌적한 환경을 제공하는설비 |




그림 2.7.1-3 안전지원 시스템 구성도

3) 운행정보안내시스템 개발사양

가) 행선안내표시기

표시기는 외부 환경 변화에 기인하는 고장 발생 가능성을 최소화하여야 한다.

표시기는 전자파에 의한 장애가 없도록 대비한 회로와 구조로 제작한다.

컬러 표출이 가능하여야 한다.

표시기 Module 불량발생 및 교체시 용이하도록 Module 부착부와 케이스를 분리하여 설계, 제작하여야 한다.

Control Board의 표면은 부식방지 및 먼지로 인한 오동작을 방지하기 위하여 실리콘 코팅 처리를 하여야 한다.

입, 출력 전원은 분리가 가능하고, 전원계통을 통해 고압 및 Noise가 유입되는 것을 차단하여야 한다.

Door Open시에 LSE로 상태정보를 전송하여 도난방지 및 보수시간을 파악 할 수 있어야 한다.

표시기에는 동화상용 컬러그래픽 표출이 가능하여야 한다.

표시기는 16×16, 24×24크기의 한국, 한자, 영문 및 기호 등의 다양한 서체를 사용할 수 있어야 한다.

LCD Type의 안내단말기로 문자와 영상을 표출 할 수 있다
LED Type의 안내단말기로 주로 문자를 표출할 수 있다.

나) 방송 설비

자동방송을 하기 위한 행선지, 차량진입조건 등의 정보를 받아 이상 없이 동작되게 하여야 한다.

음성 방송기 유니트는 표출 조작내용, 행선지역명을 표시한다.

방송되는 순위를 결정하는 시나리오를 설정할 수 있도록 구성할 수 있어야 하며, 방송우선순위는 화재방송, 사령방송, 자동방송의 순서로 한다.

본체함에는 주조정탁에서 방송이 불가능한 상태에서 긴급사태 방송을 하고자 할 때 본체함에서 직접 마이크 방송할 수 있도록 구성하여야 한다.

장소별, 위치별, 시간대별 소음정도에 따라 적절한 음량조절기능을 갖추어야 한다.

사령원격방송장치는 통신회선에 장치를 병렬 접속하여 사령실에서 사령자가 각 정거장에 설치되어 있는 방송장치를 원격 제어하여 이례적인 열차운행상황을 각 역에 대기 중인 여객 등에게 방송할 수 있어야 한다.

방송시스템은 무인개소의 침입자 또는 접근자에게 경고방송을 하기 위하여 중앙감시실에서 해당지역 스피커를 통해 경고방송을 하여 사전접근을 방지 할 수 있어야 한다.

다) 키오스크

터치 스크린, 스피커, 비디오카메라, 기기의 상황을 감지 기기가 탑재되어야 한다.

GUI를 이용한 사용자 애플리케이션, 내부 기기들의 동작에 필요한 미들웨어 및 키오스크 애플리케이션, 홍보용 광고, 각 기기의 상태를 서버에중계하고 이상 유무를 진단, 복구하는 기능이 구현되어야 한다.

KIOSK를 통하여 제공되는 정보는 차량운행 및 배차에 대한 정보, 정거장 주변 상가 및 관광 정보, 홍보용 광고, 시설물의 이용방법 등을 사용자의 요구에 따라 신속하게 표출하여야 한다.

표 2.7.1-4 정거장 운행정보제공시스템

| 구분 | 서브시스템 | 기능 |
|---|---|---|
| 정거장<br>운행정보<br>제공시스템 | 승객안내설비 | 차량의 도착정보 및 운행정보를 승객에게<br>안내하는 설비 |
| | 방송설비 | 차량의 도착정보 및 비상상황을 승객에게<br>안내하는 설비 |
| | KIOSK설비 | 노선정보, 관광정보 등의 맞춤형 정보를<br>제공하기 위한 설비 |

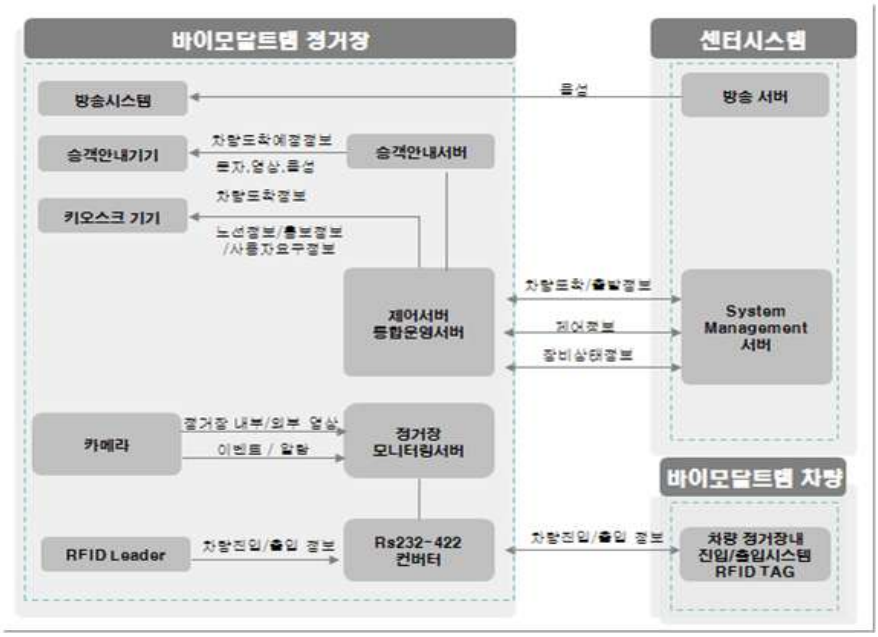



그림 2.7.1-4 운행정보 안내 시스템 구성도

## 2. 모듈화 정거장 설계 및 제작

### 가. 정거장 디자인

바이모달트램 정거장디자인은 첨단 이미지, 선진 IT의 기술융화 및 다양한 사용자들의 편의성을 고려하여 디자인을 하였다.

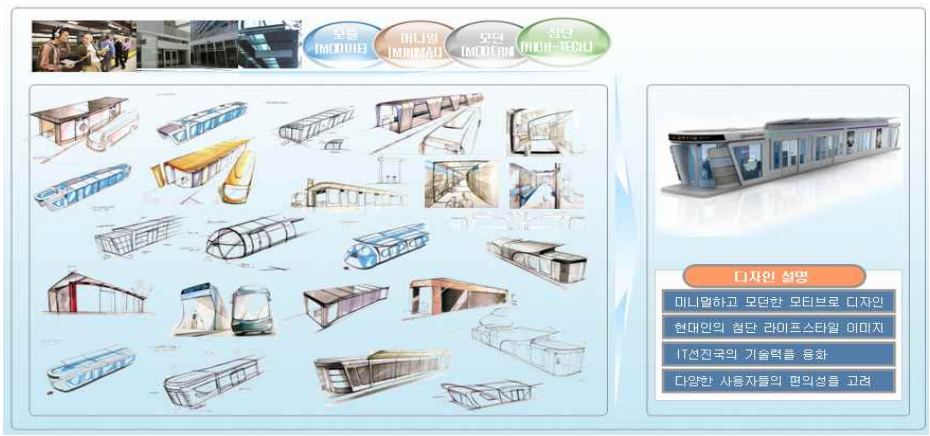



그림 2.7.1-5 정거장 디자인(1)

1) 모듈형 밀폐형 정거장

모듈형 정거장은 출입공간, 대기공간(2), 대기공간(2),운영공간으로 구성되어 있다.

바이모달트램 정거장은 사전요금지불방식을 기본으로 한 모듈형, 승객안전, 운행정보, 승객편의시설을 고루 갖춘 정거장으로 디자인되었다.




그림 2.7.1-6 정거장 디자인(2)



그림 2.7.1-7 정거장 디자인(3)

2) 밀폐형 이외 정거장

바이모달트램 정거장은 밀폐형 이외에도 반개방형 쉘터형, 복합형 등 다양한 구성으로 검토되었다.




그림2.7.1-8 다양한 바이모달트램 정거장(1)

아래 그림은 바이모달트램 정거장의 다양한 모습을 보여준다.

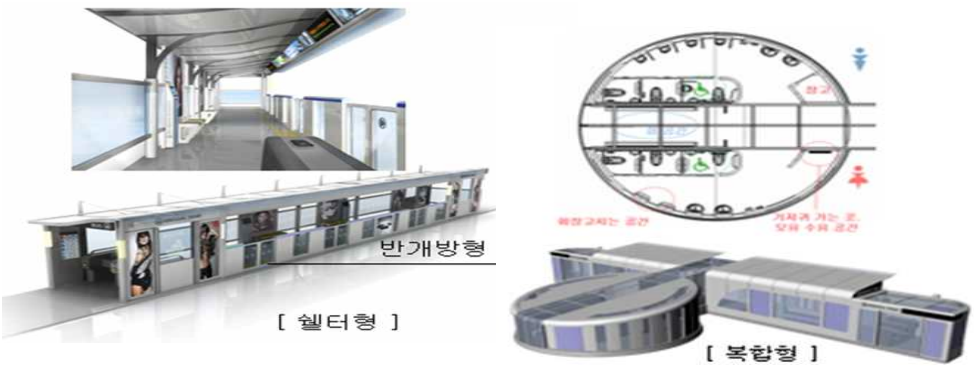



그림 2.7.1-9 다양한 바이모달트램 정거장(2)

## 나. 정거장 구조체 설계 및 제작

1) 구조체 설계

정거장의 크기는 3.2M길이 x 3.0M(폭) x 3.2M(높이)로 진행되고 있으며 출입공간, 대기공간(1), 대기공간(2) 출입운영공간으로 나누어 모듈로 적용되어 설계 진행되었다.

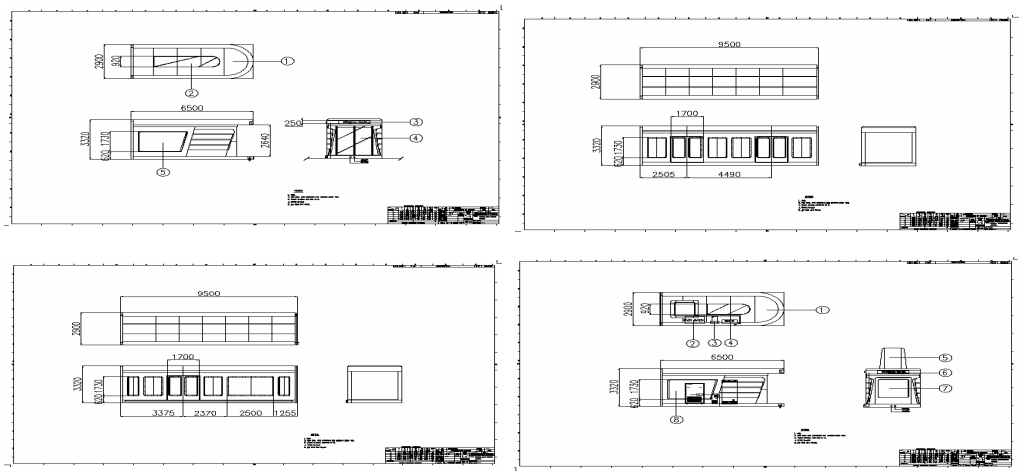


그림 2.7.1-10 정거장 설계도(1)

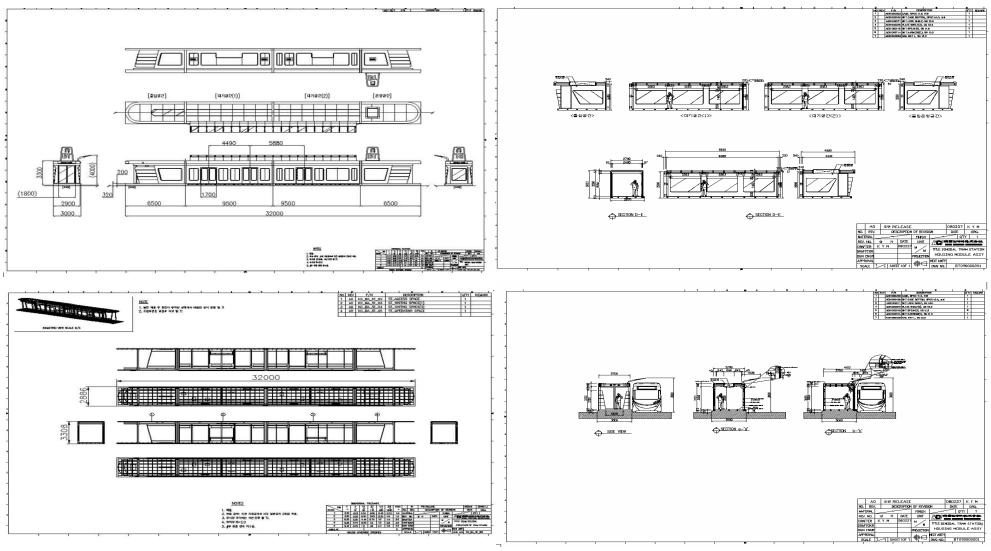


그림. 2.7.1-11 정거장 설계도(2)

2) 정거장 구조체 제작

바이모달트램 정거장 밀폐형은 4개의 모듈로 구성 되어 공장 제작 후 현장시공을 하는 모듈형 정거장으로 H형강과 각형강관 모두 응력, 비틀림과 변형도의 안정성을 고려하여 제작 되었다.

| | |
|---|---|
| 단품제작 |  |
| 골조 용접 |  |
| 공장조립 |  |
| 현장 구축 |  |

그림 2.7.1-12 제작 진행 현황

## 다. 정거장 기반시설 설계 및 제작

1) 기반시설 설계 및 사양

가) 승차권 발매기

출입구 양측에 승차권 발매기를 2개소 설치하여 승차권 발매 기능을 수행하도록 구성하였다. 요금 정산 기능은 향후 과제로써 구현되어 있지 않으며, RF tag가 있는 카드를 발급하는 기능을 수행한다.

(1) 시스템 구성

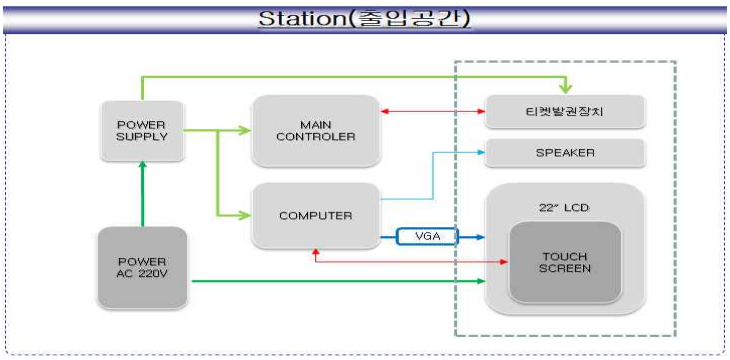



그림 2.7.1-13 승차권 발매기 구성도

제어PC와 22인치 터치 LCD, 그리고 티켓 발권기를 탑재하고 있으며, 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 GUI 형태로 소프트웨어가 구성되어 있다.

(2) 도면 및 구축 사진

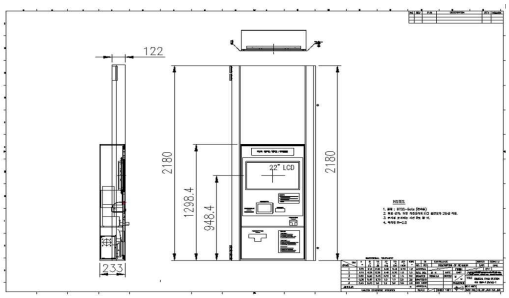






그림 2.7.1-14 승차권 발매기 도면 및 구축 사진

나) 승차권 개표기

출입구 양측에 승차권 개표기를 2개소 설치하여 발권된 RF tag 카드를 접촉하면 게이트가 열리는 형태로 구성되어 있다. 개표기는 슬림한 형태로 미려한 디자인으로 설계되어 있으며, 향후 요금 정산 기능이 탑재 되면, 정상 승차권의 개표/집표 뿐 아니라 부정 승차권에 대해 신속한 처리를 할 수 있는 기능을 탑재할 예정이다.

(1) 시스템 구성

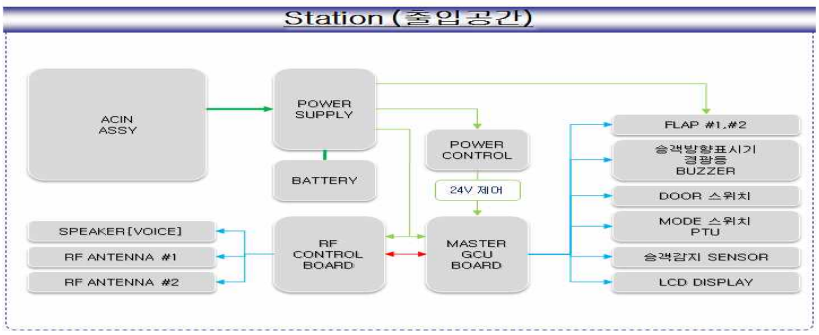



그림 2.7.1-15 승차권 개표기 구성도

(2) 도면 및 구축사진

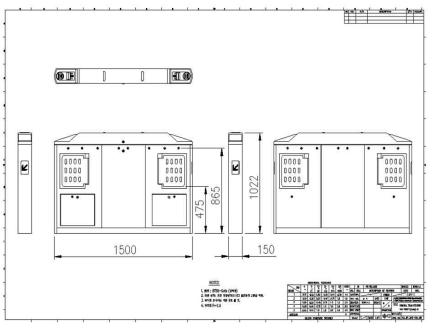





그림 2.7.1-16 승차권 개표기 도면 및 구축 사진

다) 정거장명 현시 표시기

정거장명 현시 표시기는 LED안내기를 통해서 승객에게 문자로 정거장 역명 및 정거장 운영 관련정보를 문자로 서비스한다.

(1) 시스템 구성

정거장명 현시 표시기 시스템은운영정보단말, LED 안내단말기로 구성되어있으며 통신 장치와 S/W로 구성되어있다.

LED패널 : 200 X 200 LED모듈 1단 8열 구성

표 시 색 : RED, GREEN, AMBER(RED, GREEN 동시 점등

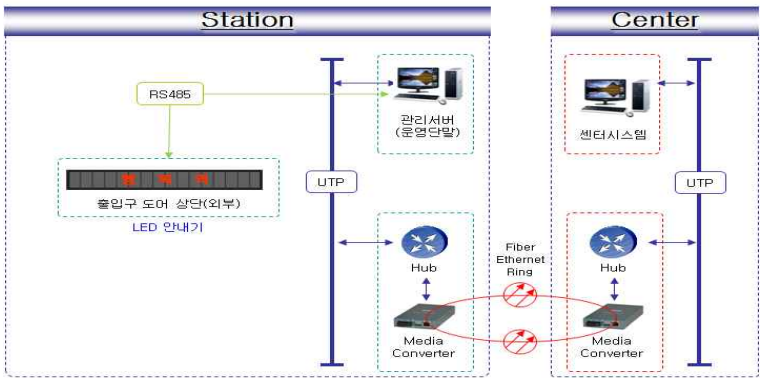



그림 2.7.1-17 정거장명 현시 표시기 구성도

(2) 도면 및 구축 사진

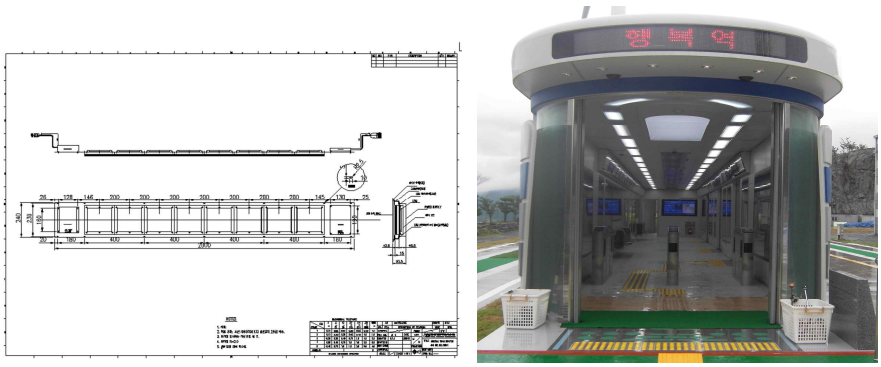


그림 2.7.1-18 정거장명 현시 표시기 도면 및 구축 사진

라) 출입구 도어

출입 공간에 설치된 출입도어는 수동도어, 자동수평도어, 원형수평도어를 설치할 수 있다. 현재 검토 중인 원형오토도어는 정거장 폭이 BRT 기준에서 적용되므로 출입국의 폭을 넓게 활용하기위해 원형도어를 설치한다.

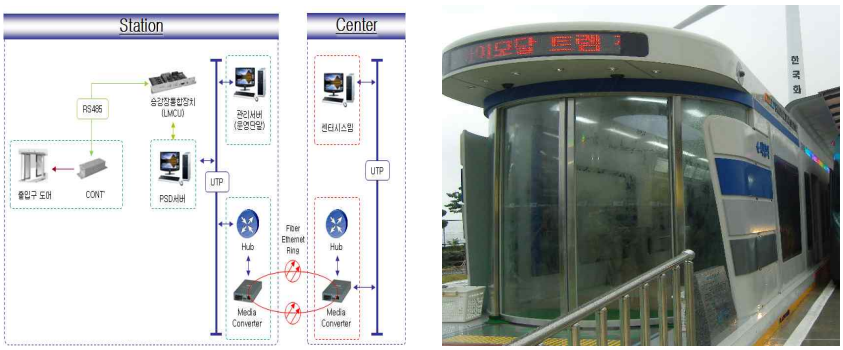



그림 2.7.1-19 출입구 도어 구성도 및 구축 사진

마) 교통약자 시설

교통약자 시설은 노인, 부녀자, 신체 장애인들을 위해 정거장 전 구간 휠체어 사용이 용이하도록 구성되며 차량과 승강장의 수평승하차 구조, 정거장내에 유도블럭, 점자, 문자, 음성을 통한 교통약자의 편의시설이다.

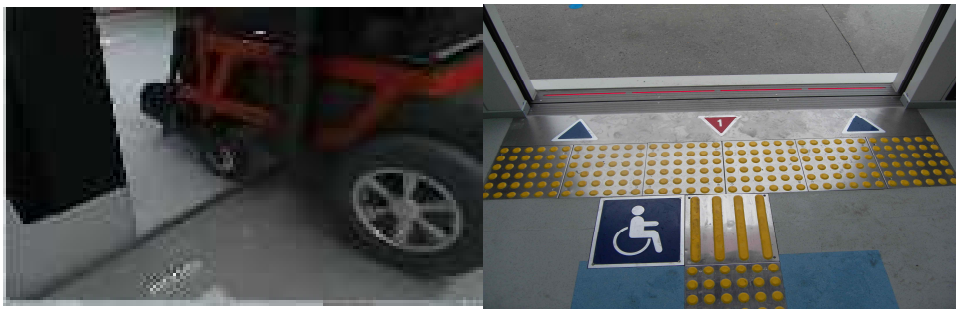


그림 2.7.1-20 교통약자시설(수평승하차), 유도 블록 구축사진

바) 실시간 방송 시스템

센터에서 정거장과 연계하여 네트워크를 통한 실시간방송을 가능하게 하여 비상시에 안내방송을 할 수 있다. 실시간 방송시 센터시스템에 설치된 방송장비(마이크)로 IP-Communication System 소프트웨어를 이용하여 전체정거장 및 정거장을 선택하여 음성방송을 할 수 있다.

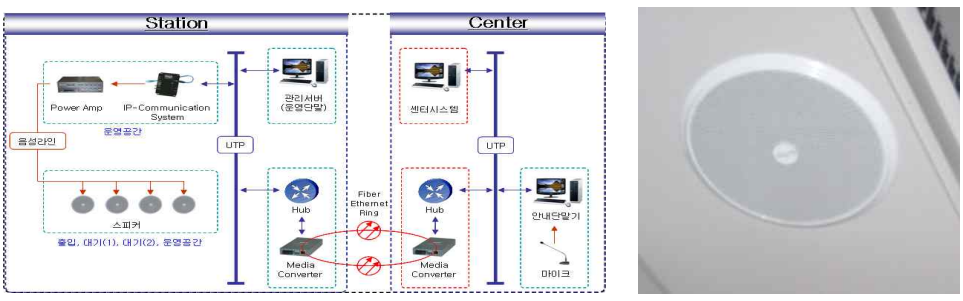



그림 2.7.1-21 실시간방송시스템 구성도 및 구축사진

사) 전원관리

전원관리는 정거장내에 공급되는 전기를 안정적이고 효율적으로 관리하기 위해 전자계량기, UPS, 배전반을 통해 정거장의 장비와 기기를 보호하고, 단전시에 주요 장비에 일정시간동안 장비에 전원을 공급하여 정거장운영에 피해를 최소화하고, 정거장의 소비전력 및 전원장치의 상태정보를 제공한다.

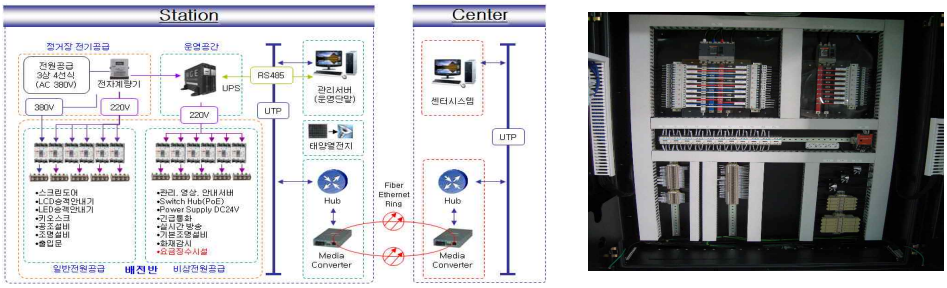



그림 2.7.1-22 정거장 전원관리 구성도 및 구축사진

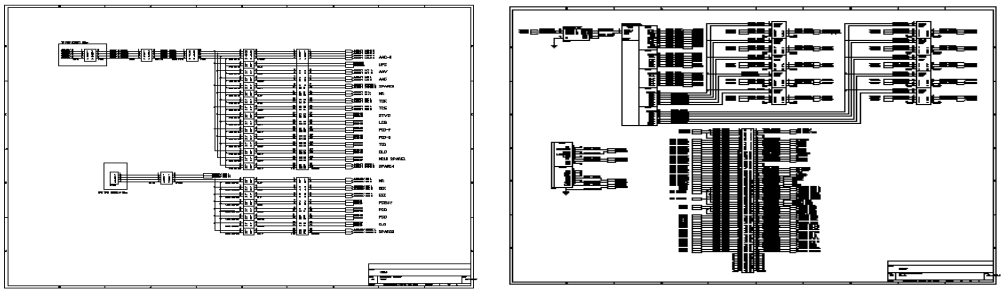


그림 2.7.1-23 배전반 도면

아) 냉난방 환기시설

(1) 냉난방 시스템

정거장의 냉난방시스템의 제공으로 쾌적한 실내 환경을 유지하여 버스정거장의 이용 빈도를 증가시킬 수 있을 것으로 검토된다. 국내의 실내 냉난방 온도는 여름 26℃이상, 겨울 20℃이하로 규정되어있다. 모듈화된 안전지향형 정거장의 냉난방시스템 구성은 실외기, 실내기 2조, 485 통신장치로 구성되고, 정거장서버를 통해 바이모달트램 센터에서 제어하여 관리를 한다.

(가) 시스템 구성

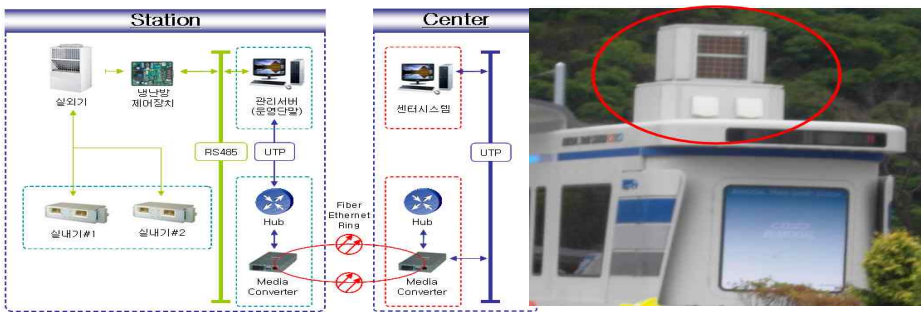



그림2.7.1-24 냉난방시스템 구성도 및 구축사진(실외)

(나) 도면 및 구축 사진

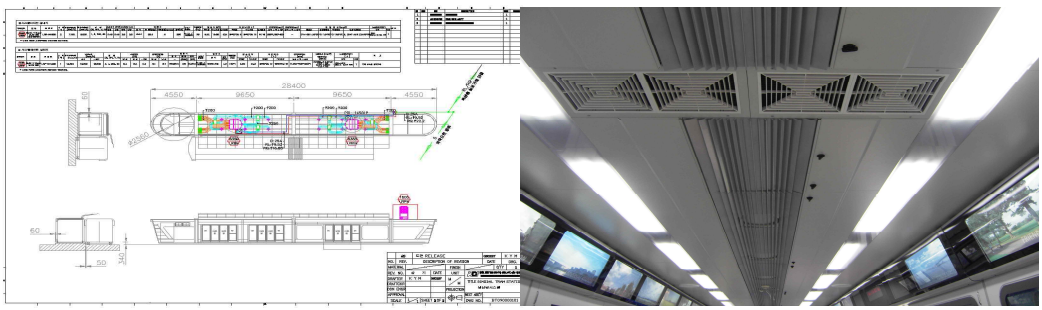


그림 2.7.1-25 냉난방시스템 설치도면 및 구축사진(실내)

(2) 환기 시스템

환기 시스템은 대중교통부문에서 지하철에 적용되어있고, 버스정거장은 개방형식의 정거장이 대부분으로 버스와 승용차의 매연에 노출되어있다. 모듈화된 밀폐형 안전지향형 정거장은 매연에 노출을 막아주고 환기시스템을 통해서 오염된 실내공기를 외부로 배출하고 실외공기를 필터를 통해서 정거장내에 신선한 공기를 공급하여 쾌적한 실내 환경을 유지하는 기능을 갖는다.

(가) 시스템 구성

모듈화된 안전지향형 정거장의 환기 시스템 구성은 환기장치, 485 통신장치로 구성되어있다. 정거장서버에서 제어명령에 따라 RS485통신으로 환기장치를 제어하게 된다.

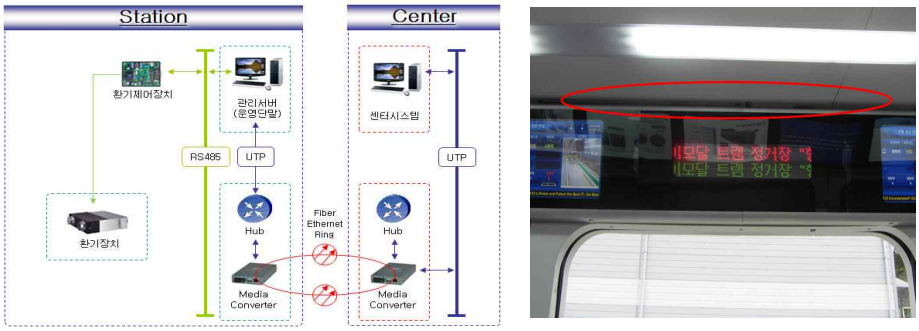



그림 2.7.1-26 환기 시스템 구성도 및 구축사진

(나) 도면 및 구축 사진

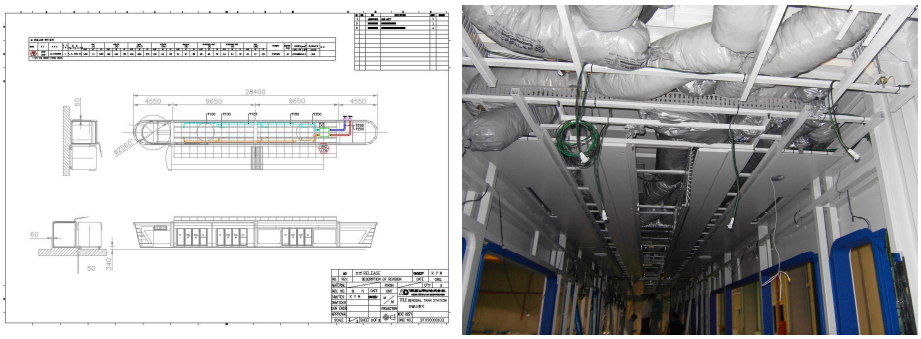


그림 2.7.1-27 환기 시스템 도면 및 구축사진

자) 화재감시시스템

광전식(연기)감지기에서 연기가 감지되면 화재감지 Controller에서 자동 감지하여 화재경보를 승객에게 알리기 위해 시각경보기와 음성/문자 방송을 작동시킨다.

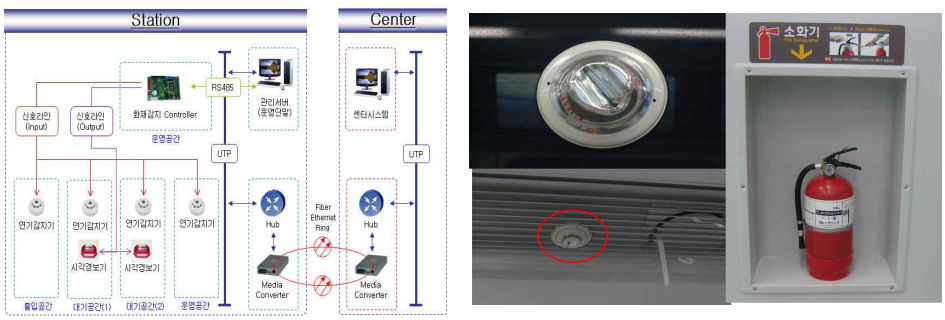



그림 2.7.1-28 화재감지 구성도 및 구축사진

차) 차량 진입 표시기

차량 진입 표시기는 LED안내기를 통해서 외부 승객에게 트램이 진출입 하는 정보를 외부에서 가시적으로 알 수 있도록 한다.

(1) 시스템 구성

차량 진입 표시기 시스템은운영정보단말, LED 안내단말기로 구성되어있으며 통신 장치와 S/W로 구성되어있다.

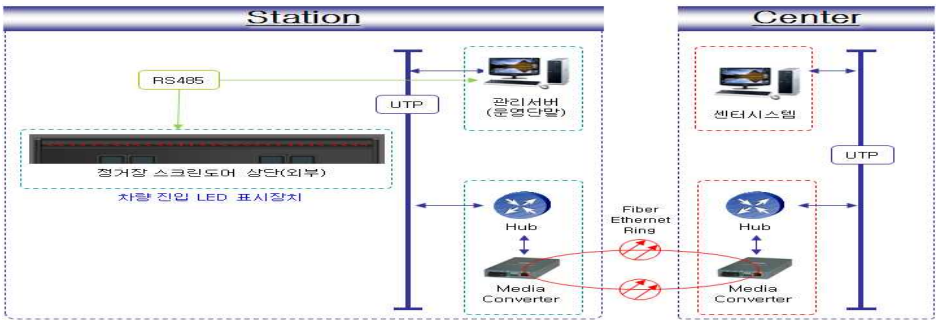



그림 2.7.1-29 차량 진입 표시기 시스템구성도

(2) 도면 및 구축사진

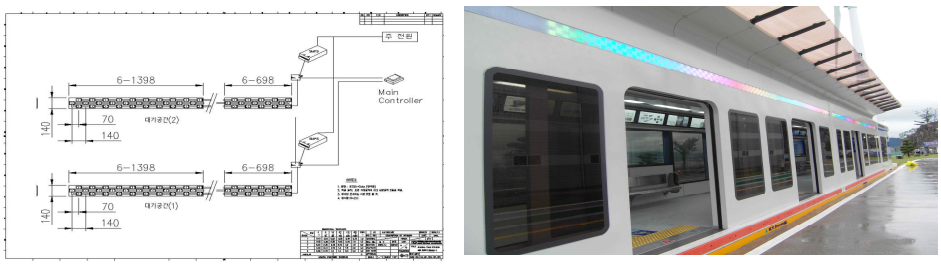



그림 2.7.1-30 차량 진입 표시기 도면 및 구축사진

(가) 태양광 에너지를 이용환 조명시설

태양광 에너지를 활용하여 친환경적인 에너지소비와 에너지 절감에 목적을 두고 있다. 바이모달트램 정거장 진입 조명 일부를 태양광 에너지를 활용하여 출입문 조명의 전원을 공급하는데 사용한다.




그림 2.7.1-31 태양광 에너지를 이용한 정거장 조명시설 및 구축사진

## 라. 승객안전 지원시스템 설계 및 제작

1) 승객모니터링시스템

승객모니링 시스템은 정거장내 대기공간의 승객 모니터링과 차량과 정거장사이 승하차부 승객 모니터링을 하여 영상 송출하는 시스템으로 구성된다.

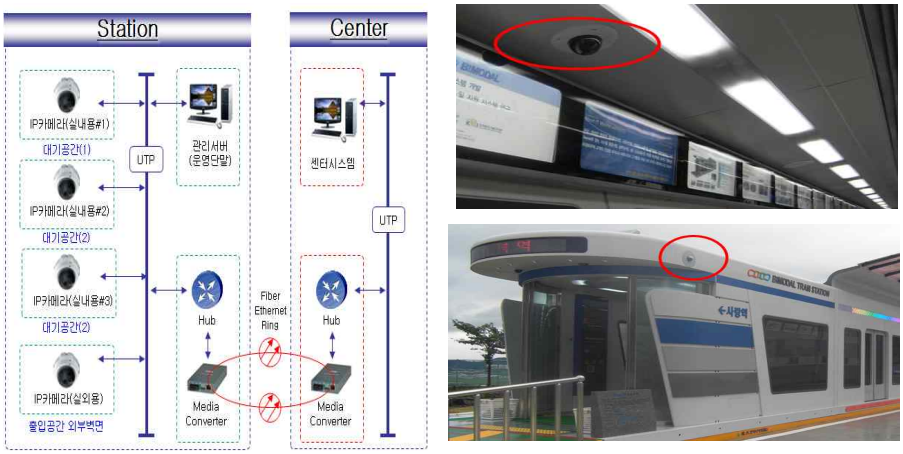



그림 2.7.1-32 승객모니터링시스템 구성도 및 구축사진

2) 긴급호출/통화시스템

긴급호출통화시스템은 승객이 비상시나 통화가 필요한 상황에서 센터 관리자와 음성 통화를 제공하기 위해서 사용 된다. 승객대기 공간 2개소와 출입 공간에 설치되어 호출 통화 필요시 센터의 통화 장치와 연계하여 통화 할 수 있는 시스템으로 구성된다.

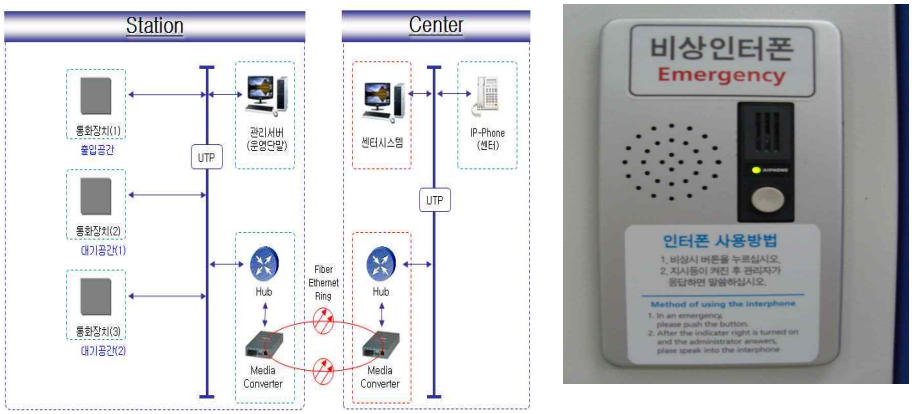



그림 2.7.1-33 긴급통화시스템 구성도

3) 스크린도어시스템

가) 시스템구성

바이모달트램 정거장의 스크린도어는 차량2 편성 기준으로 3개의 스크린도어를 갖고 있으며 승객의 안전을 고려하여 구성되었다.

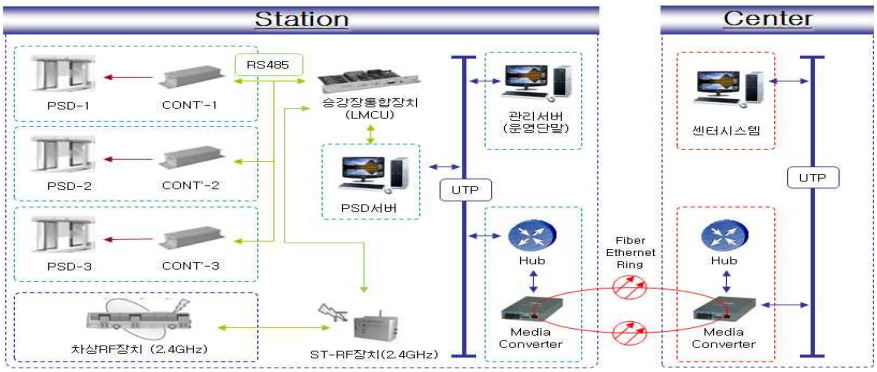



그림 2.7.1-34 스크린도어시스템 구성도

나) 차상 무선(RF) 장치

차상 무선(RF)장치는 차량이 정거장에 정차하고 차량 출입문 열림 또는 닫힘동작을 실시할 경우 제어명령을 수신하여 무선모뎀을 통하여 정거장의 스크린도어용 지상 무선(RF)장치에 송신하여 스크린도어가 연동 할 수 있도록 하는 장치이다.

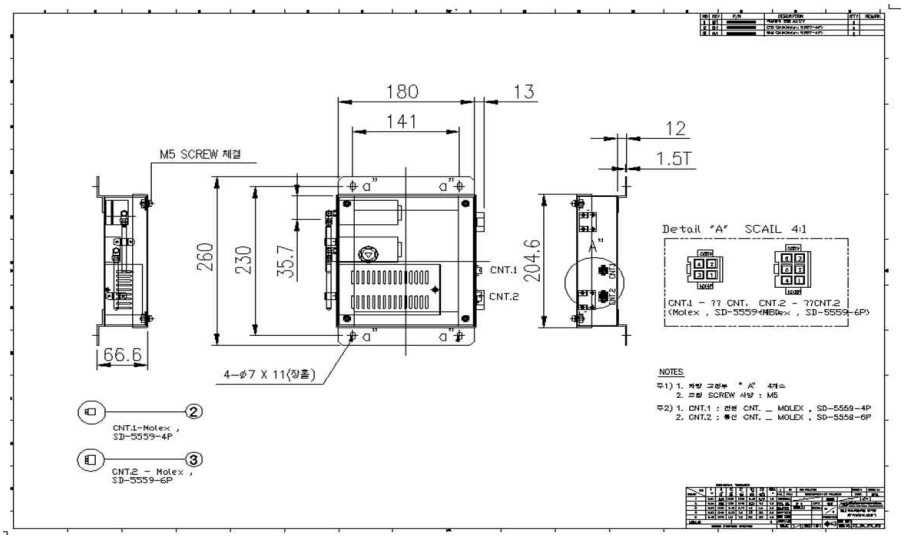



그림 2.7.1-35 차상무선 장치 도면

다) 시스템 배선도

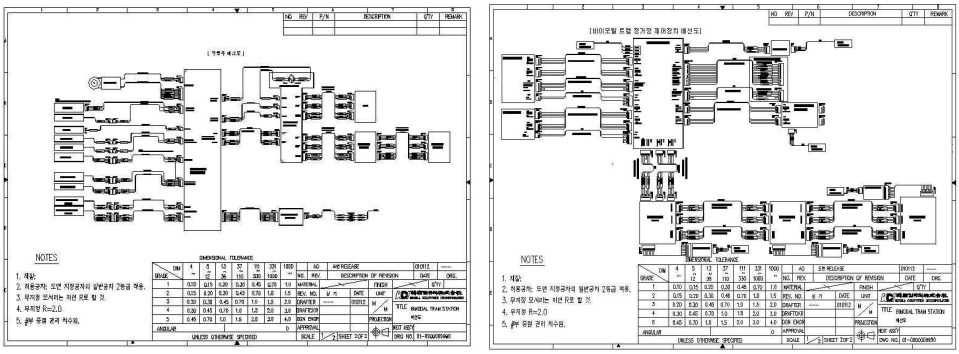


그림 2.7.1-36 스크린 도어 구동부 내부 배선도



그림 2.7.1-37 스크린 도어 도면 및 구축사진

라) 운행안전 시나리오

차량과 정거장의 승하차부 스크린도어의 안전 문제는 통신, 전원이중화 동작 안전장치를 통해 안정적인 시스템으로 구현된다.

표 2.7.1-5 스크린도어 운행안전

| 항목 | | 내용 |
|---|---|---|
| 통신 안전장치 | 정거장 차량간 통신이중화 | ▪ RF통신 이중화 모듈 적용 |
| | 주 제어반 통신이중화 | ▪ RS485회선 이중화 및 동시 운용 |
| 전원안전장치 | 전원 안전장치의 이중화 | ▪ 이중화 병렬 운전 |
| 자가진단 기능 | 구동 모터 | ▪ 모터 동작상태 확인 및 보고 |
| | 센서 검지 | ▪ 센서 검지데이터 장애 발생시 보고 |
| | 잠금장치 | ▪ 잠금장치 동작 데이터정상 판단보고 |
| | 통신장애 | ▪ 통신장애 보고 |
| 안전장치 | 장애물 검지센서 | ▪ 차량과 스크린도어 사이 검지인식 |
| | 문끝 검지센서 | ▪ 스크린도어 문틈 사이 검지인식 |
| | 도어개폐 장치(내부) | ▪ 비상시 스크린도어 수동 열림장치 |

(1) 통신안전장치

차상장치 모뎀을 이중화 통신안전 모듈을 적용하여 신뢰성이 높은 통신서비스를 적용하였다.

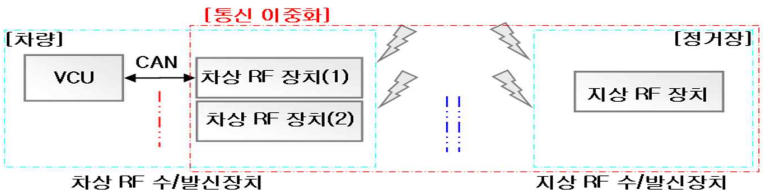



그림 2.7.1-38 차상 통신장치 이중화

이중화 모듈의 안정적 동작을 위하여 보호회로를 적용하여 안전적 동작을 할 수 있다.

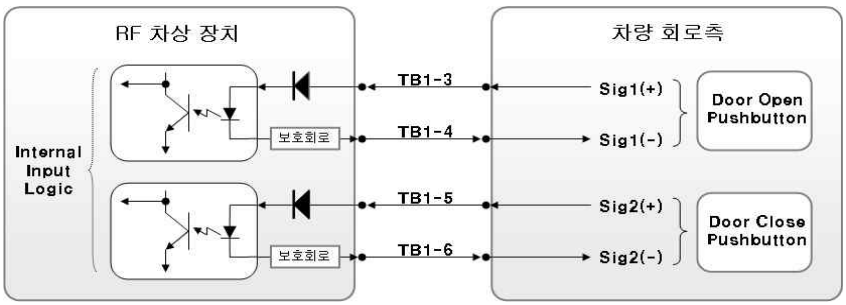



그림 2.7.1-39입출력신호 RF 차상장치 보호회로

역전압 방지회로: 전동차 회로의 24VDC의 역전압 인가시 장치에 파손을 줄 수 있으므로 역전압 인가에 대한 보호회로 내장

보호회로 : 입력신호 노이즈 제거회로, 절연회로 보호저항

(2) 정거장내 통신이중화

주제어반의 안전적 통신을 위하여주회선 및 예비회선 동시 운용하는 이중화로 구성하였다.

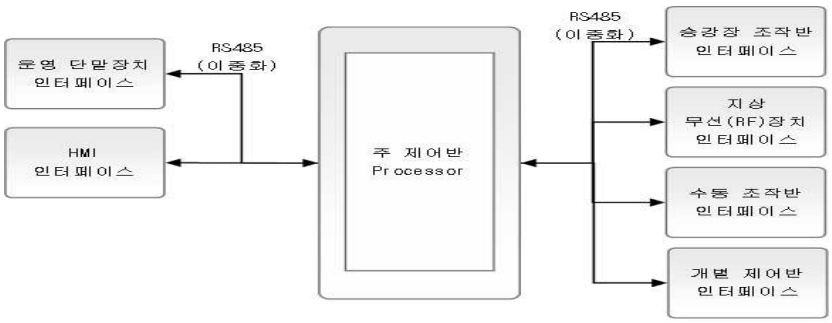



그림 2.7.1-40 차상 통신장치 이중화

이중화운용 : 주 제어반(LMCU)과 통신 이중화 운용.
절체방식 : 동시운용방식으로 지연시간 없이 다른 회선으로 즉시 운용

(3) 전원공급 이중화 안정장치

주 제어반은 스크린도어의 모든 작동을 관리하고 정보를 집중화 하는 장치로서 전원 공급기를 이중화 하여 병렬운전을 실시하였다. 병렬운전은 한 개의 전원공급기에 장애가 발생하여 전원이 차단 되더라도 다른 전원 공급기에 의해 전원이 공급됨으로써 정상 동작이 가능하게 한다.

(4) 자가진단

자기진단기능을 갖고 있어 시스템 동작중 문제가 발생시 어느 곳에서 문제가 발생했는지 알 수 있어 시스템의 안전성 및 유지보수의 편리성을 고려하였다.

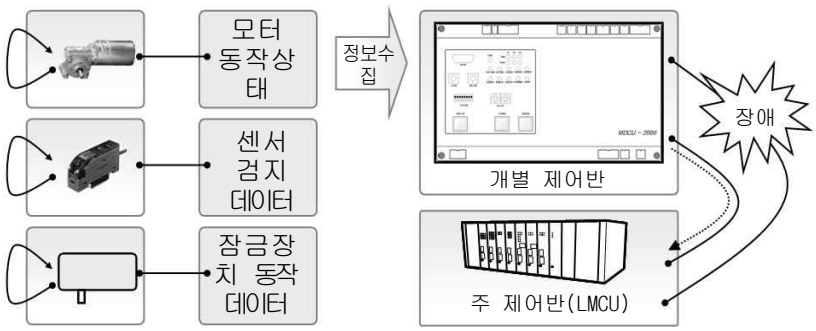


그림 2.7.1-41 스크린 도어 도면

(가) 모터 동작상태 : 구동시 위치별 포지션 추적, 모터 내부 온도 측정에 의한 동작상태 확인 및 보고
(나) 센서 검지 데이터 분석 : 센서의 검지상태를 분석하여 센서장애를 판단하고 장애발생시 보고
(다) 잠금장치 동작 데이터 : 잠금장치 동작에 따른 정보를 피드백 받아 정상여부를 판단하고 보고
(라) 통신장애 : 승강장 주 제어반과의 통신상태를 지속 감시하여 회선장애 발생시 다른 회선으로 장애 보고

(5) 물리적 안전장치

(가)장애물 검지센서

장애물 검지센서는 차량과 스크린도어 사이 의 물체를 검지하기 위한 센서이다.

장애물 검지시 “삐릭, 삐릭” 경보음과 함께 스크린도어 재개폐를 실시하고, 2회 검지시 “스크린도어 안쪽으로 이동하여 주십시오” 안내방송 실시 후 완전 개방하고 잠시 후 재 닫힘을 실시한다. 설정횟수 초과시에는 해당 스크린도어 개방 후 도어 개폐 표시등이 점멸하도록 하였다.

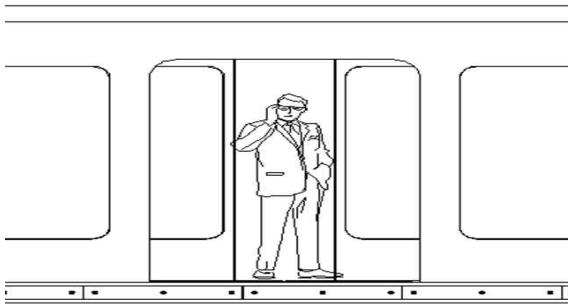


그림 2.7.1-42 장애물 감지 센서

(나) 문끝 검지센서

문 끝 검지센서는 슬라이딩 도어 사이에 있는 물체를 검지하기 위한 센서이다. 별도의 센서없이 모터 엔코더에 의해 물체를 검지하며, 동작상태는 장애물 검지센서와 동일하다.

(다) 도어 개폐 장치

상단 키를 돌려 고정 장치를 해제한 후 스크린 도어를손으로개방할 수 있다.



그림 2.7.1-43 문끝 검지센서



그림 2.7.1-44 스크린도어

## 마. 운행정보안내시스템 설계 및 제작

정보제공안내시스템은 바이모달트램 운행정보(위치, 도착, 출발정보)를 영상 운행정보안내기(LCD), 문자 운행정보안내기, 지면 운행정보, 종합 안내 단말기와 음성방송을 통해서 승객에게 바이모달트램 운행정보 및 부가적인 정보를 제공하게 된다.

1) 영상 운행정보안내(LCD)

영상 운행정보안내는 LCD를 통해서 승객에게 영상과 문자로 트램에 관련된 운영정보, 부가적 정보 및 생활정보 등의 서비스를 제공한다.

가) 시스템구성

영상 운행 정보안내 시스템은 운영정보단말, 영상분배장치 및 LCD 22“로 구성되어 있으며, 영상채널 분배와 S/W로 구성되어있다.

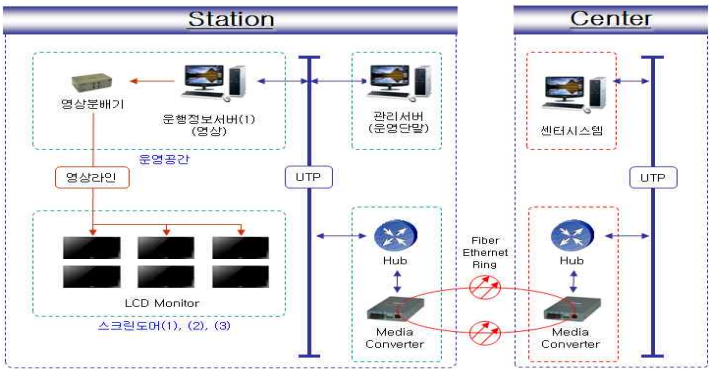



그림 2.7.1-45 영상 운행정보안내 시스템 구성도

나) 표출방법

영상 운행정보 안내 시스템(LCD)는 승객에게 바이보달 트램 운행정보(위치, 도착, 출발정보)와 긴급 돌발 상황정보, 날짜, 시간, 날씨, DMB, 트램 도착영상. 시정광고, 수익성 광고를 제공 한다.




그림 2.7.1-46 영상운행정보안내(LCD) 시스템 전체

① 브랜드 슬로건 이미지 및 타이틀 : 바이모달 로고 이미지와 메인 타이틀 이미지
② 날씨 정보 : 오늘 날씨와 내일 날씨를 이미지화 표출
③ 현재 날짜, 시각 : 현재의 날짜와 시각을 실시간 표출
④ 트램 도착 예정 정보 : 실시간 트램 도착 예정 정보 표출
⑤ 시정 홍보 : 동영상, 이미지, DMB(뉴스 시청), 트램 도착 영상
⑥ 메시지 정보 : Text 메시지 홍보

다) 도면 및 구축사진




그림 2.7.1-47 LCD 안내기 도면 및 적용사진

2) 문자 운행정보안내(LED)

문자 운행정보안내는 LED안내기를 통해서 승객에게 문자와 그래픽으로 트램에 관련된 운영정보, 부가적 정보 및 생활정보를 서비스를 제공한다.

가) 시스템구성

영상 운행 정보안내 시스템은 운영정보단말, LED 안내단말기로 구성되어있으며 통신 장치와 S/W로 구성되어있다.

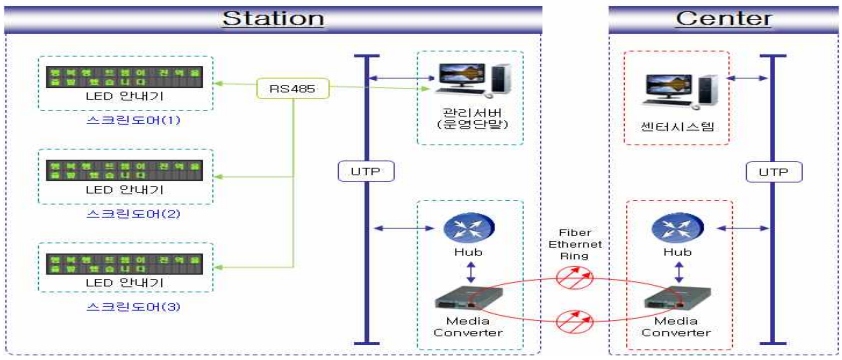



그림 2.7.1-48 문자 운행정보안내 시스템 구성도

나) 도면 및 구축 사진

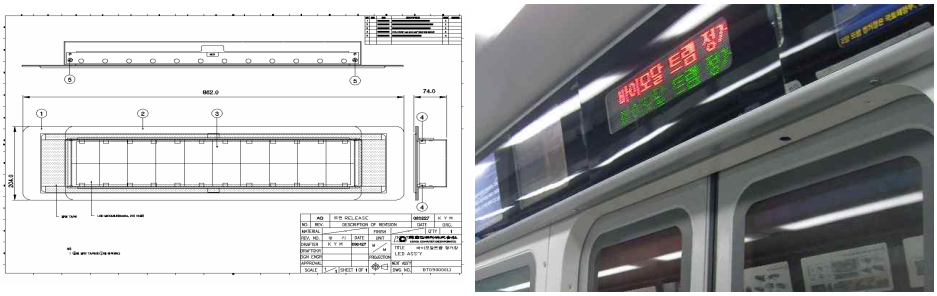


그림 2.7.1-49 LED안내기 도면 및 구축 사진

3) 종합 안내단말기기(KIOSK)

매립형 키오스크는 트램홍보, 종합노선도, 환승정보,주변 관광정보를 보여줄 수 있는 종합 안내 단말기로 다양한 정보를 표출할 수 있다.

가) 시스템구성

종합안내 단말기는 Main Computer, Sub Control, lcd, Touch Screen, 전원 공급 장치로 와 운영 어플리케이션으로 구성되어 있다.

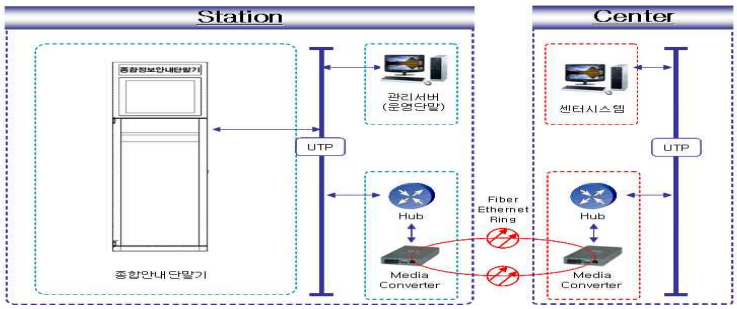



그림 2.7.1-50종합 운행정보안내 단말기기 구성도

나) 도면 및 구축 사진

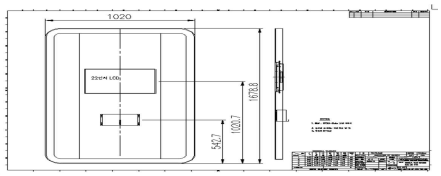






그림 2.7.1-51 키오스크 설계도면 및 구축 사진

4) 지면운행정보안내(지면)

지면 운행정보안내는 지면을 통해서 승객에게 문자와 그림을 트램의 노선과 지역 정보를 서비스하는 목적으로 한다.

5) 음성안내방송

음성안내방송은 정거장의 문자 안내기에 표출되는 트램 운행정보와 연계되어 음성으로 승객에게 운행정보 서비스를 목적으로 한다. 음성방송 안내방송은 운행정보 단말장치, 엠프, 스피커로 수성되어있으며 음성정보 소프트웨어로 구성되어있다.

센터에서 제공하는 트램정보를 정거장 운영단말을 통해 음성처리 한후 Power Amp에서 증폭하여 스피커를 통해서 승객에게 음성으로 트램정보를 제공한다.

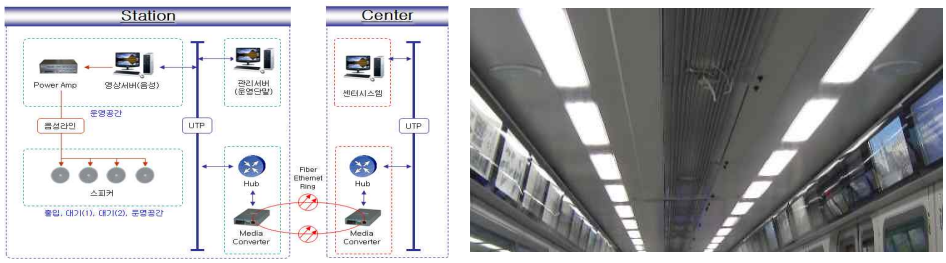


그림 2.7.1-52 음성안내방송 시스템 구성도 및 구축사진

## 바. 통합 운영시스템 설계 및 제작

1) 통합시스템 개요

바이모달트램 정거장 통합운영시스템에서의 서비스 제공 및 통제/운영/제어 모델은 메인 프레임, 클라이언트/서버, 웹(또는 인터넷) 등 사용자 소프트웨어를 직접 소유하고 설치하여, Web Service Module 및 장치별 통신연계 미들웨어를 담당하는 MGTSystem으로 설계되어 있다.

2) 통합 시스템 구성 및 기능

가) 개요

바이모달 트램 정거장의 통합시스템은승객 안전 지원시스템, 운행정보 안내시스템, 정거장 기반시설 및 요금징수시설4가지 시스템을 운영 및 제어하도록 구성되었다.

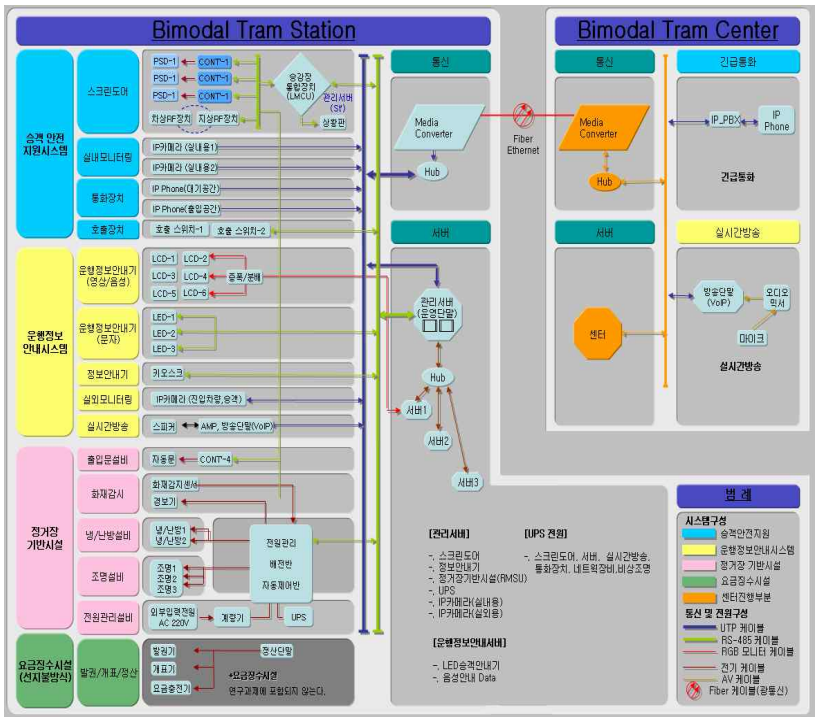


그림 2.7.1-53 통합시스템구성도

나) 트램 정거장 이용 시나리오

승객의 정거장 이용 시나리오 구성은 모듈환된 안전지향형 정거장을 승객이 정거장 진입부터 정거장 이용 시나리오를 구성하였다.

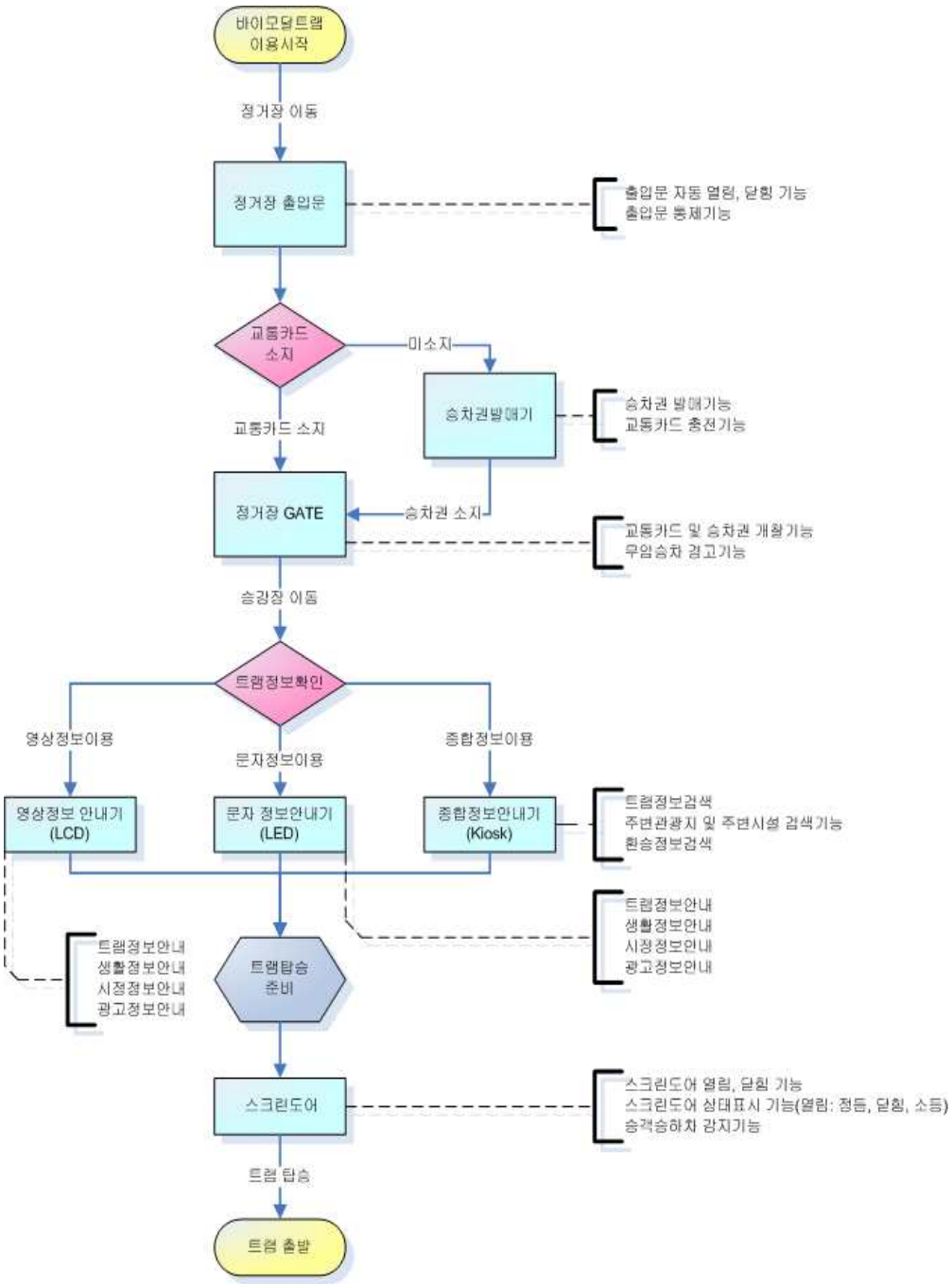


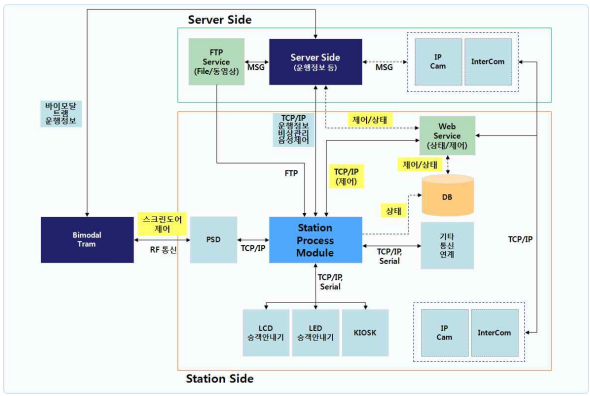

그림 2.7.1-54 정거장 이용 블록다이어그램

표 2.7.1-6 정거장 이용 시나리오

| 승객동선 | 시 나 리 오 | 유스케이스 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 정거장도착 | ■ 정거장 출입문 자동도어 출입 | ■ 정거장 1 : 자동도어 | |
| 출입공간 진입 | ■ 승차권 발급 및 교통카드를 이용하여 게이트통과 | ■ 정거장 2 : 승차권 발매기 및 게이트 | |
| 대기공간 진입 | ■ 정거장내 냉난방시스템을 통해서 적정온도유지 쾌적한 환경제공<br>■ 정거장내 공조(환기)시스템을 통해서 쾌적한 환경제공<br>■ 정거장내 조명시설을 통해서 야간에 쾌적한 환경제공<br>■ 긴급상황 발생시 긴급호출 및 긴급통화 장치 이용 | ■ 정거장 3 : 냉난방시스템<br>■ 정거장 4 : 공조(환기시스템<br>■ 정거장 5 : 조명제어시스템<br>■ 정거장 6 : 긴급호출시스템<br>■ 정거장 7 : 긴급통화시스템 | |
| 대기공간 대기 | ■ LCD안내기를 통해서 트램의 위치 및 도착예정시간, DMB, 생활정보, 시정정보, 기타광고정보를 제공받음.<br>■ LED안내기를 통해서 트램의 위치 및 도착예정시간, 생활정보 및 시정정보를 제공받음.<br>■ 종합정보안내기(kiosk)를 통해서 트램정보 및 환승정보 주변 시설정보를 제공받음.<br>■ 음성안내를 통해서 트램 도착 및 출발 스크린도어 열림, 닫힘 음성안내를 제공받음. | ■ 정거장 8 : LCD안내기<br>■ 정거장 9 : LED안내기<br>■ 정거장 10 : 종합정보안내기(Kiosk)<br>■ 정거장 11 : 음성안내기 | |
| 스크린도어 열림 | ■ 트램이 승강장에 도착후 스크린도어 상부의 램프가 점등되면 스크린도어가 열린 후 트램에서 승객이 하차 후 탑승. | ■ 정거장 12 : 스크린도어<br>■ 정거장 13 : 안내방송 | |
| 트램탑승 | ■ 트램과 정거장의 문턱은 높이가 같아 휠체어 및 교통약자는 불편함 없이 탑승 할 수 있음. | ■ 정거장 14 : 비기능 | |
| 스크린도어 닫힘 | ■ 승객이 트램에 탑승 후 스크린도어의 센서를 통해 안전을 확인한 후 안내방송과 함께 스크린도어 닫음.<br>■ 스크린도어 상부의 램프는 소등. | ■ 정거장 15 : 스크린도어<br>■ 정거장 16 : 안내방송 | |

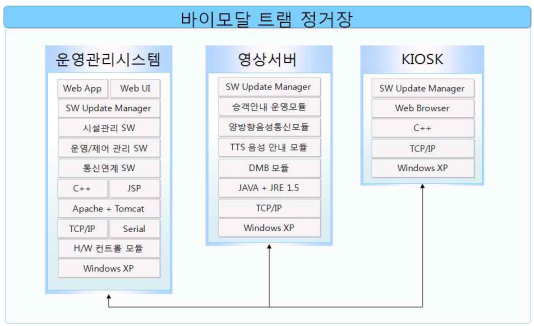
다) 통합운영시스템 통신 S/W 구성

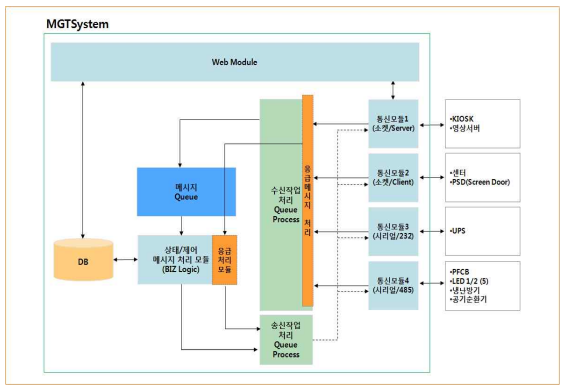
바이모달 트램 정거장의 통합운영시스템 통신망은 정거장 Server와 센터 Server 그리고 바이모달 트램과 연계되며, 각각의 통신 주체는 바이모달 트램이 정거장에 진입하여 도착·출발할 때까지의 상황을 실시간으로송수신하여 통제 운영하고 운행정보 및 상태정보를 승객에게 제공할 수 있다.









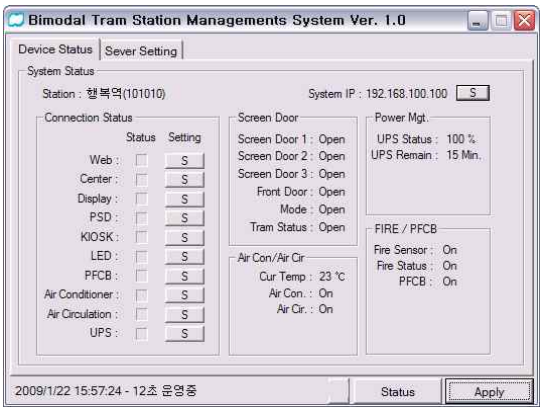







그림 2.7.1-55 바이모달 트램 정거장 통신 S/W 구성

(1) 통합운용시스템 Database 관리

운영관리시스템은 트램 정거장의 안정적인 운영과 효율적인 정거장 운영을 위해 Web Module 기반의 System과 각 장치들의 상태 및 제어를 연계하는 Agent Module로 구성되어 있다. 각각 운영되는 모듈 간의 통신은 Socket을 이용하여 각각의 이벤트를 통지하며, 해당 결과 값을 Database에 저장하고 저장된 상태 및 제어값을 Web UI에 표출한다.

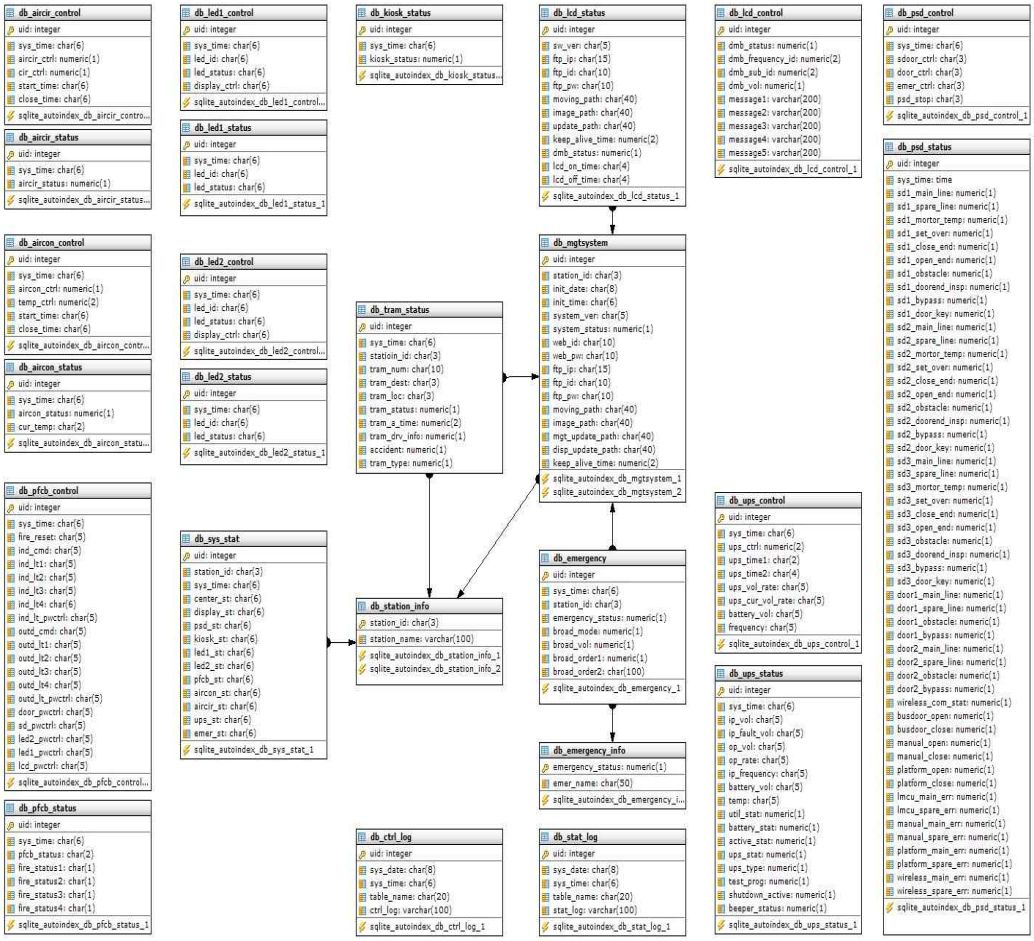



그림 2.7.1-56 ER-Diagram 구성

(2) 통합운용 관리시스템 (MGTSystem)

운영관리시스템의 Agent 기반 MGTSystem은 Web을 이용하여 각 장치를 관리할 수 있도록 하기 위해 각 장치와 Web Module 간에 상태 및 제어의 연계를 담당한다. 기본적으로 운영관리시스템의 MGTSystem은 정거장을 구성하는 각 장치의 상태값을 실시간으로 파악하고 비상시 정거장 시스템이 정상 가동될 때까지 운영 제어를 담당하는 SW로 개발되며, Web UI에서 내려진 제어명령을 해당 장치로 전달하는 중추역할을 담당한다.

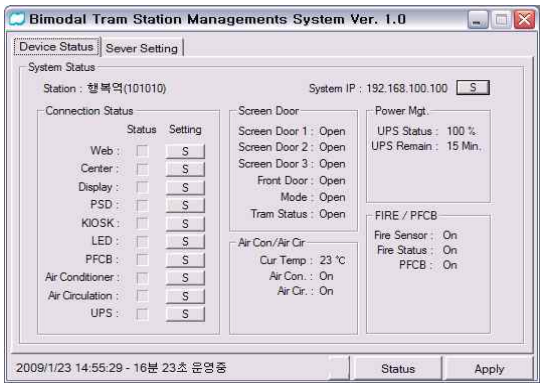



그림 2.7.1-57 장치별 상태조회




그림 2.7.1-58 응급상황 설정화면

(3) 통합운용 관리시스템 Web 기반 UI System

운영관리시스템의 Web Module 기반 UI System은 Web을 이용하여 각 장치를 유지/관리할 수 있는 시스템이며, Web을 이용하기 때문에 인터넷이 가능한 장소이면 System을 편리하게 운영/제어 할 수 있도록 구축되었다.

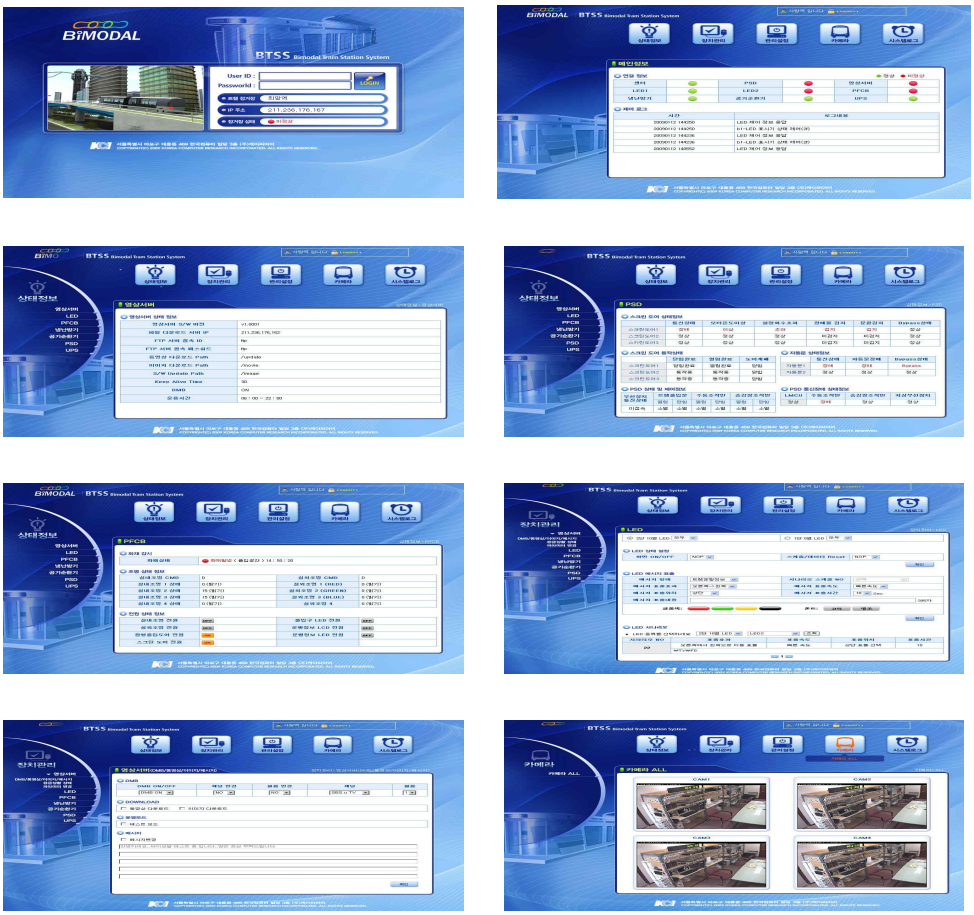



그림 2.7.1-59 로그인화면(좌), 메인화면(우)

## 3. 모듈화 정거장 시험선로 적용

### 가. 개요

본 정거장의 시험평가를 위하여 밀폐형 1세트를 제작하여 밀양 시험선로 부지 내에 설치, 적용하였다.






| 항 목 | 내 용 | 항 목 | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 크 기 | 32M(가)x3.0M(세)x3.2M(높) | 색 상 | 블루스카이,그레이 |
| 승하차높이 | 320 ± 10mm (플랫폼 120mm 포함) | 고정부 | 모듈당4개소 |

그림 2.7.1-60시험선로 적용 사진

### 나. 구조체 고정

시험선로 기반 플랫폼과 바이모달트램 정거장을 고정시키기 위해서 바이모달 트램 정거장의 4개 모듈에 각각 4개소씩 고정 볼트(M24)로 기반시설(플랫폼)에 설치된 고정부에 체결 고정하였다.

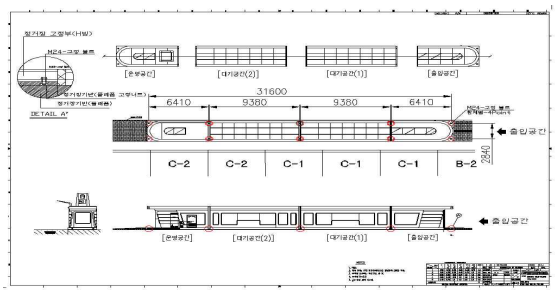





그림2.7.1-61 정거장구조체 플랫폼 조립 도면 및 구축사진

### 다. 전원_통신 라인 시공 방법

- 관로작업에서는 정거장 위치 운영공간으로부터 약 2.4M 부에 정거장 전원/통신 단자부에 연결할 수 있도록 7M를 연장해 놓는다. 전원라인은“3상4선”을 사용하고, 통신라인은 광케이블을 사용하며 지정 사양에 준하여 시공하였다.

- 전원/통신 라인을 정거장 하단부 관로를 통해 전원/통신 단자부에 연결하였다.
- 정거장의 전원/통신 단자부에 연결후 보도블럭/경계석 등미시공 구간을 마무리 하였다.

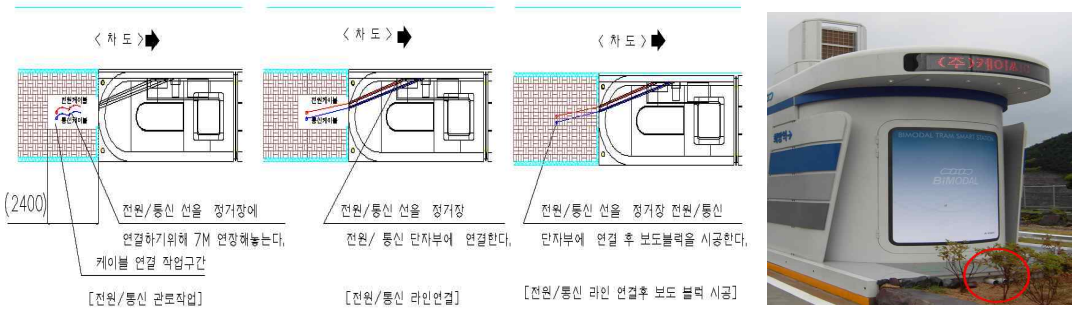



그림 2.7.1-62 정거장 전원/통신 시공도 및 시공사진

## 4. 통합운영센터

### 가. 통합운영시스템의 구성 및 요구사항

1) 통합운영시스템 개요

통합운영시스템은 도로의 정보(돌발상황)와 트램의 운행정보를 수집 및 가공하여 안전하고 쾌적한 운행환경을 제공하는 것을 기본으로 하며, 철도에 준하는 정시성 및 안전성을 유지 할 수 있도록 설계, 제작되어야 한다. 그림 2.7.2-1은 통합운영시스템의 흐름도로서 바이모달 트램 전용 통합관제센터는 통합교통관리시스템, 운행정보시스템, 운영단말시스템, 종합상황판시스템, 외부연계시스템, 영상수집시스템 등 주요 서브시스템으로 구성된다.




그림 2.7.2-1 통합운영시스템 흐름도

(1) 통합관제센터 서브시스템 구성

바이모달트램 전용 통합관제센터는 통합교통관리시스템을 비롯하여 총 6개의 서브시스템으로 구성되어 있다. 통합교통관리시스템을 중심으로 기본적인 데이터 가공 및 관리가 수행되고, 각각의 서브시스템에서는 현장장비와의 통신을 비롯한 구체적인 개별 업무가 수행된다.

표 2.7.2-1 서브시스템 구성 및 내용

| 서브시스템 | 상 세 설 명 |
|---|---|
| 통합교통<br>관리시스템 | 수집된 자료를 주기적으로 가공/통계처리하고, 혼잡상황, 돌발/특별상황을 감시하는 등의 시스템 전체적으로 주기적/공통적으로 사용되는 자료를 처리하는 시스템 |
| 운행정보시스템 | 바이모달트램 배차간격 등의 운행을 관리하고, 이에 따라 산출되는 각종 트램 운행정보를 이용자에게 제공하는 시스템 |
| 영상수집시스템 | 동화상전광표지에 CCTV 동영상을 비롯한 교통정보를 제공하는 시스템 |
| 운영단말시스템 | 전체 시스템에서 수행되는 모든 작업들을 운영자가 감시 및 관리할 수 있도록 구성된 단말 시스템 |
| 종합상황판<br>시스템 | 교통상황판 전면의 모니터와 대형화면에 영상을 표출/제어하는 시스템 |
| 외부연계시스템 | 한국도로공사 등의 외부연계기관과 연계하여 교통정보를 수집 및 제공하는 시스템 |

(1) 통합관제센터 서브시스템 요구사항

(가) 통합교통관리시스템

통합교통관리시스템에서 요구되는 기본요건, 기술, 기능의 항목을 다음과 같이 분석하여 시스템 요구사항을 결정한다.

표 2.7.2-2 통합교통관리시스템 요구사항 분석

| 시스템명 | 유형 | 요구사항 |
|---|---|---|
| 통합교통<br>관리시스템 | 기본<br>요건 | 1. 차량 및 각종 현장장비로부터의 수집자료를 데이터 퓨전하여, 이를 통해 운행정보 가공 |
| | | 1. 공사/행사의 내용을 수집<br>2. 공사/행사 발생시점 30분전에 경보를 운영자에게 발생하여 VMS 등을 통한 대처가 가능하도록 도와줌 |
| | | 1. 통합서버의 Active/Standby운영을 위해 데이터베이스 이상, |

| 시스템명 | 유형 | 요구사항 |
|---|---|---|
| | | 메모리 이상, TASK 이상을 발견<br>2. 조치 가능한 경우에는 자동 조치 수행<br>3. 그렇지 않은 경우에는 Active 통합서버에서 Standby Host로 자동으로 절체 |
| | 기술 | 1. 신호제어용 검지기, 정보분석용 검지기, 버스 GPS, AVI 등의 수집자료 퓨전 |
| | | 1. 실시간 수집자료를 요일별/시간별/구간별 소통패턴으로 생성 |
| | | 1. 공사/행사 시각 관리<br>2. 공사/행사 관리 |
| | | 1. TASK 관리<br>2. 데이터베이스 관리<br>3. 메모리 관리<br>4. 타호스트 관리 |
| | 기능 | 1. 트램 운행정보 1분 평활화<br>2. 1분 단위 자료를 5분 단위로 집계<br>3. 각종 현장장비에서의 수집자료를 퓨전하여 신뢰성 있는 자료 생성 |
| | | 1. 공사/행사 시각 감시<br>2. 공사/행사 내용 분석<br>3. 경보 전송 |
| | | 1. 15분/1시간 단위 집계 및 통계처리<br>2. 일/월/년 단위 통계처리 |
| | | 1. TASK 감시/실행/종료<br>2. 데이터베이스 감시/실행/종료<br>3. 메모리 상태 감시<br>4. 타 호스트 감시<br>5. 서브운영서버 상태감시<br>6. 서브시스템 클럭보정 |

(나) 운행정보시스템

트램 운행정보시스템에서 요구되는 기본요건, 기술, 기능의 항목을 다음과 같이 분석하여 시스템 요구사항을 결정한다.

표 2.7.2-3 운행정보시스템 요구사항분석

| 시스템명 | 유형 | 업무명 | 요구사항 |
|---|---|---|---|
| 운행정보 시스템 | 기본 요건 | 트램운영 자료수집 | 1. GPS와 무선데이터 통신방식을 이용하여 차량위치 정보 및 트램 운행정보 수집 |
| | | 제공정보 가공 | 1. 수집자료를 이용하여 정거장 구간당 평균 여행시간, 배차간격 등의 실시간 정보 생성<br>2. 현장장치에 부합하는 적정주기 설정을 통해 안정적인 자료수집체계 구축 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 운행정보 제공 | 1. 정거장 안내기를 통해 버스의 전 정거장 출발정보와 돌발상황정보 실시간 제공<br>2. 휴대폰/PDA를 이용한 위치확인과 근린 정거장 정보 등을 제공<br>3. GIS환경에서의 차량정보 제공<br>4. 인터넷을 통한 정보제공 |
| | 기능 | 트램 운행관리 및 배차관리 | 1. 트램운행자료(위치, 운행이력, 돌발상황) 수집처리<br>2. 트램운행정보(구간소통정보) 가공<br>3. 실시간 트램운행관리<br>4. 트램 배차 관리<br>5. 트램 정거장 관리 |
| | | 트램운행 자료관리 | 1. 분석 데이터 및 통계(시간별/구간별) 생성<br>2. 데이터 분석 및 활용 |
| | | 트램운행 행정처분 지원 | 1. 트램 운행위반정보 수집처리<br>2. 트램 운행위반정보 분석<br>3. 트램 운행위반정보 제공<br>4. 위반차량 행정처분지원 |

(다) 영상수집시스템

영상시스템에서 요구되는 기본요건, 기술, 기능의 항목을 다음과 같이 분석하여 시스템 요구사항을 결정한다.

표 2.7.2-4 영상수집시스템 요구사항분석

| 시스템명 | 유형 | 업무명 | 요구사항 |
|---|---|---|---|
| 영상수집 시스템 | 기본 요건 | CCTV 설비기능 | 1. 정확하고 신뢰성 높은 정보의 수집가능<br>2. 대상도로의 요구기능에 적합한 정보수집<br>3. 실시간 수집 가능<br>4. 신속한 장애 대응 및 자체진단 기능<br>5. 원격관리기능 |
| | 기능 | 동영상 관리 | 1. CCTV 동영상을 실시간으로 수집하고, 필요시 동영상 파일 저장 및 삭제 |
| | | 영상의 순차적 절환 | 1. 사전 프로그램된 시나리오에 의해 사용자가 필요로 하는 모니터에 지정된 영상이 지정된 시간만큼 순차적으로 절환 |
| | | 카메라 제어 기능 | 1. 전송되는 영상들에 대하여 Zoom In/Out, Fan/Tilt 등과 같은 제어를 수행<br>2. 운영자가 원하는 CCTV의 방향을 사전에 설정 |
| | | 상태정보 수집 | 1. CCTV의 동작상태 정보를 수집 |
| | | CCTV 사용자 I/F | 1. CCTV 정보의 등록, 변경, 삭제, 조회를 수행<br>2. CCTV 장비의 유지 보수 이력을 생성 및 조회<br>3. 운영모드에 따른 CCTV 스케쥴 관리 |

(라) 운영단말시스템

운영단말시스템에서 요구되는 기본요건, 기술, 기능의 항목을 다음과 같이 분석하여 시스템 요구사항을 결정한다.

표 2.7.2-5 운영단말시스템 요구사항분석

| 시스템명 | 유형 | 업무명 | 요구사항 |
|---|---|---|---|
| 운영단말 시스템 | 기본 요건 | 공통관리 | 1. 운영자별로 접근권한을 부여하여, 로그인시 권한별 운영 프로그램 이용<br>2. 수치지도에 대한 화면표출 및 제어<br>3. 수치지도 레이어 등록/표출<br>4. 프린터 환경 설정<br>5. 화면에 표출된 지도, 그래프, 자료에 대해 파일로 저장 및 출력<br>6. 운영자가 프로그램을 제어하는데 필요한 도움말 제공 |
| | | 수치지도 컴포넌트 | 1. 수치지도를 화면에 표출하기 위한 GIS 관련 컴포넌트 설치<br>2. 화면에 표출된 레이어 관리 기능 |
| | 기능 | 상황/ 상태감시 | 1. 교통상황(정체, 돌발, 소통상황 등) 감시<br>2. 시설물 상태 감시<br>3. 프로세스 상태 감시<br>4. 서브시스템 감시 |
| | | 기초자료 관리 | 1. 시스템 운영에 요구되는 기초자료(구간, 파라미터,시나리오, 연계기관 등) 등록/편집<br>2. CCTV자료(프리셋, 스케줄 등) 등록/편집<br>3. 상황판자료(시나리오, 스크린, CRT모니터, 스케줄 등) 등록/편집 |
| | | 시스템 관리 | 1. 운영자 및 접근권한 등록/편집<br>2. 프로세스 및 이벤트 등록/편집<br>3. 프로세스 제어<br>4. 프로세스 상태에 대한 이력을 조회/출력 |
| | | 보고서 관리 | 1. 일일/주간/월간 보고서 출력<br>2. 교통상황(정체/돌발 등)별 보고서 출력 |
| | | 교통상황 관리 | 1. 교통상황(돌발/공사 등) 정보 등록/편집<br>2. 운영자 소통정보 등록/편집<br>3. 돌발/특별상황에 대하여 CCTV, 상황판 등을 통해 확인 후 교통정보 등록/편집<br>4. 확인된 돌발/특별상황에 대하여 VMS, 상황판에 대응 및 대응정보 등록/편집<br>5. 종료된 돌발/특별상황에 대하여 VMS, 상황판에 종료 및 종료정보 등록/편집<br>7. 교통사고다발지역 사전 관리<br>8. 교통상황 이력 및 통계를 조회/출력 |
| | | GIS/시설물 | 1. 시설물의 기본정보 등록/편집<br>2. 시설물에 하드웨어적인 제어 수행 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 관리 | 3. 시설물 상태에 대한 이력 및 통계를 조회/출력<br>4. GIS 노드/링크 편집/조회(BIS 포함) |
| | | 트램운행 관리 | 1. 트램운행관리<br>2. 트램배차관리<br>3. 트램데이터관리<br>4. 트램위반 관리 |
| | | VMS 관리 | 1. VMS 자료(파라미터, 제공구간, 시나리오, 스케줄, LIB, 메시지 등) 등록/편집<br>2. VMS의 운영/관리 |

(마) 종합상황판시스템

종합상황판시스템에서 요구되는 기본요건, 기술, 기능의 항목을 다음과 같이 분석하여 시스템 요구사항을 결정한다.

표 2.7.2-6 종합상황판시스템 요구사항분석

| 시스템명 | 유형 | 업무명 | 요구사항 |
|---|---|---|---|
| 종합상황판 시스템 | 기본 요건 | 스크린 표출 | 1. 스크린에 교통상황을 한눈에 쉽게 알아 볼 수 있도록 화면구성<br>2. 종합적인 교통상황 및 현장장비 위치 등은 GIS 맵을 활용하여 정확한 위치 표출<br>3. 운영자 조작(확대, 축소, 이동)이 용이하여야하고, 운영의 편리성 및 효율성 요구<br>4. 365일 안정적으로 운영할 수 있는 시스템 구축 |
| | | CCTV 모니터 표출 | 1. 도로상황을 운영자가 쉽게 파악할 수 있도록 화면 구성<br>2. 전구간을 표출할 수 있도록 하고, 운영자가 쉽게 그 위치를 확인할 수 있도록 CCTV모니터에 영상배치<br>3. 운영자가 멀리서도 확실하게 교통상황을 인지할 수 있도록 너무 작지 않은 모니터 선택 |
| | 기능 | 일반상황시 스크린 표출 시나리오 | 1. 일반상황시 수원시의 교통상태를 한눈에 파악할 수 있도록 구성<br>2. 도로 및 시설물 Layer 별로 표출기능 |
| | | 돌발상황시 스크린 표출 시나리오 | 1. 돌발상황 발생시 좌측 상단의 모니터에 돌발상황 지점의 CCTV영상 표출<br>2. 우측 스크린에는 돌발상황정보를 제공하고, 지도는 돌발상황지점이 중앙으로 위치하도록 배치<br>3. 돌발상황이 종료되기 전에 다음 돌발상황이 발생시, 좌측 하단 스크린에 추가 발생한 돌발상황 지점의 CCTV영상 표출<br>4. 모든 돌발상황이 종료 되면 일반상황시 스크린표출시나리오로 복귀 |

(바) 외부연계시스템

외부연계시스템에서 요구되는 기본요건, 기술, 기능의 항목을 다음과 같이 분석하여 시스템 요구사항을 결정한다.

표 2.7.2-7 외부연계시스템 요구사항분석

| 시스템명 | 유형 | 업무명 | 요구사항 |
|---|---|---|---|
| 외부연계 시스템 | 기본 요건 | 외부연계 정보수집 | 1. 외부연계기관과 주기적으로 정보 수집<br>2. 타 시스템과 연계되므로 시스템 보안을 위협할 수 있으므로 수원시 교통정보센터에 영향을 주지 않는 시스템으로 구성 |
| | | 외부연계 정보제공 | 1. 외부연계기관에 주기적으로 정보 제공 |
| | 기술 | 외부연계 기관 정보수집 시 보안 | 1. 외부연계기관 정보 수신중에 보안을 위협할 수 있으므로 방화벽을 구축하여 위협요소의 원천적인 경로 차단<br>2. 정보 수신 주기에만 할당된 포트를 열어 정보 수신<br>3. 사용 이외의 시간에는 모든 포트를 닫아서 해킹경로 차단 |
| | 기능 | 외부연계 정보수집 | 1. 기관별로 정해놓은 주기에 따라 외부연계기관으로부터 정보 수신<br>2. 수신된 정보 및 수신이력 등을 DB 저장 |
| | | 외부연계 정보제공 | 1. 기관별로 정해놓은 주기 및 제공정보를 제공처별로 가공<br>2. 가공된 정보를 외부연계기관에 제공<br>3. 제공정보의 종류, 정보내용, 제공기간등의 이력 저장 |
| | | 외부연계 기관관리 | 1. 수집/제공 기관 등록, 삭제, 수정<br>2. 등록된 수집/제공기관의 주기, 정보 종류 등의 각종 파라미터를 수정, 삭제 |
| | | 이력조회 | 1. 수집/제공기관별, 일별, 주간별, 월별의 수집이력조회/출력<br>2. 현재 수신/제공 상태 표출 |

## 나. 통합운영시스템 설계

(1) 통합관제센터 설계

(가) 설계의 개요 및 방향

바이모달 트램 운영시스템은 국가 ITS 아키텍처를 기본으로 서브시스템을 구축

하는 것을 원칙으로 하며, 개발 방법론 및 설계표준을 준수하고, 시스템의 성능 및 품질이 보증될 수 있는 기반의 아키텍처를 적용한다.

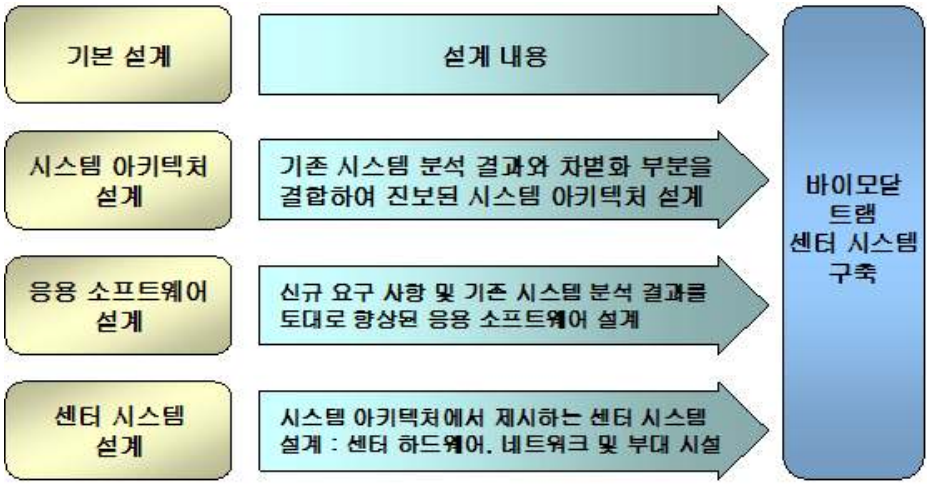



그림 2.7.2-2 아키텍처 설계 방향

(나) 소프트웨어 설계

소프트웨어 아키텍처와 각 시스템별 구성 및 기능은 다음과 같다.

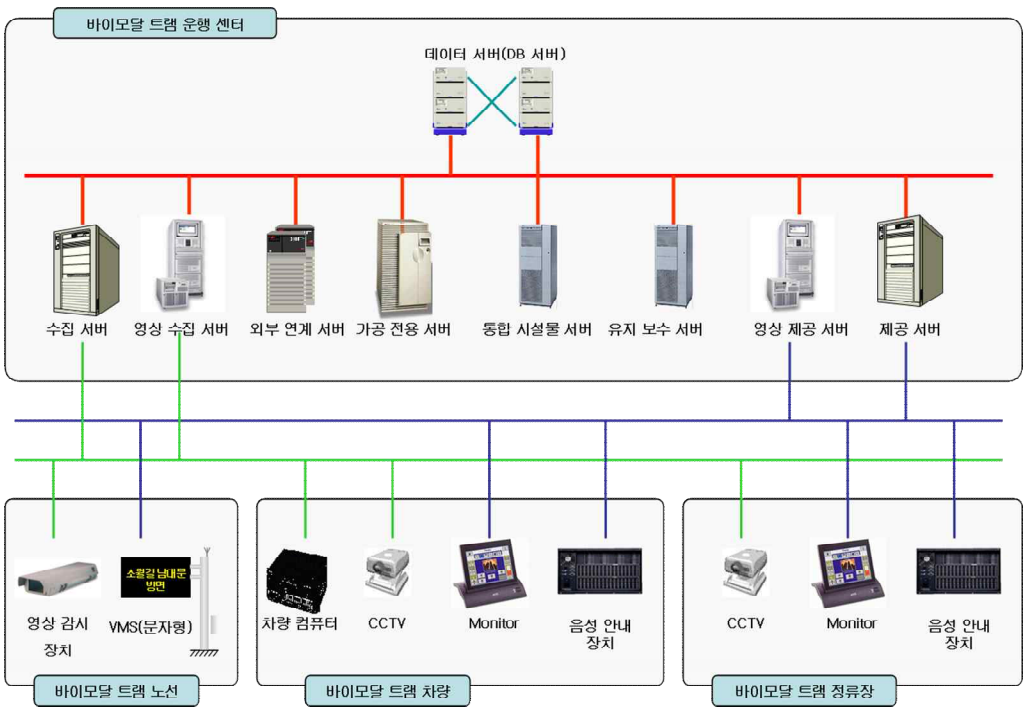



그림 2.7.2-3 소프트웨어 아키텍처

표 2.7.2-8 각 시스템별 구성 및 기능

| 시스템 | 구성 | 기능 |
|---|---|---|
| 바이모달 트램 운영 센터 | ▪ 각종 운행 관련 데이터(영상, 데이터 정보)를 수집, 분석, 가공 및 제공할 수 있는 서버와 영상 통신 장비, DB 시스템, 분석 관리 시스템이 설치 운영 | ▪ 노선 및 현장 장비 관리<br>▪ 바이모달 트램 차량 운영 및 유지 보수 관리<br>▪ 노선, 정거장, 차량내 장비 제어 관리<br>▪ 외부 기관과의 연계 관리 |
| 바이모달 트램 노선 | ▪ 차량의 흐름을 감시하는 영상 감시 장치<br>▪ 노면의 상태, 강우, 강설을 감시하여 정보를 수집하는 노면 감시 장치<br>▪ 운영 센터와의 정보를 공유하게 하는 통신 장비<br>▪ 노선 및 주변 교통상황을 알려주는 VMS 설비 | ▪ 바이모달 트램 운행 노선 관리<br>▪ 바이모달 트램의 교통 흐름 감시<br>▪ 노선 및 주변의 돌발 상황 감시<br>▪ 노선의 기상상태 감시<br>▪ 노선의 노면 상태 감시 |
| 바이모달 트램 차량 | ▪ 센터와 통신할 수 있는 무선 브릿지<br>▪ 차량 내·외부를 감시하는 CCTV 카메라 장치<br>▪ 센터에서 전송된 정보를 제공하는 모니터 시스템 및 음성 안내 시스템<br>▪ 차상컴퓨터와의 인터페이스 | ▪ 센터와 무선으로 양방향 통신<br>▪ 차량 내외부 영상 정보를 센터로 전송<br>▪ 센터에서 받는 정보를 운전자, 승객에게 전달<br>▪ 차량 상태를 센터로 전송<br>▪ 차량의 위치 정보를 센터에 전송<br>▪ 차량의 돌발 상황 감시 |
| 바이모달 트램 정거장 | ▪ 센터에서 받은 정보를 승객에게 전달해주는 모니터링 시스템<br>▪ 승객의 편안하고 안전한 대기 공간을 위한 편의 시설<br>▪ 승객의 상황과 정거장 상황 감시를 위한 CCTV 시스템<br>▪ 센터와의 통신을 위한 통신 장치 | ▪ 편리하고 안전한 트램 승하차 제공<br>▪ 트램 도착 예정 정보 제공<br>▪ 편리하고 안전한 대기 공간 제공<br>▪ 교통 약자를 위한 편의시설 제공 |

(다) 정보 데이터의 실시간성을 위한 아키텍처 정의

바이모달 트램 운영 센터는 정거장, 운행 노선 구간, 바이모달 트램 차량과의 정보 수집 및 제공을 실시간 처리해야 하며 이를 위해서는 신뢰성 있는 실시간 아키텍처를 구성한다.

따라서 실시간 데이터 교환과 데이터베이스에 관련된 기능을 센터 통합 프로세스에서 운영하며 관련 정보의 경량화 및 효율화를 증대하여 데이터의 실시간성을 최대한 증대시켜야 한다.

효율적이고 안정적인 소프트웨어 요구 사항

㉮ 실시간성 프로세스를 객체로 인식

㉯ 데이터베이스를 실시간성 프로세스와 같이 인식

㉰ 트램, 정거장, 영상 감시 장치를 객체로 인식한다.

㉱ 각 객체간 실시간 데이터 교환을 주관한다.

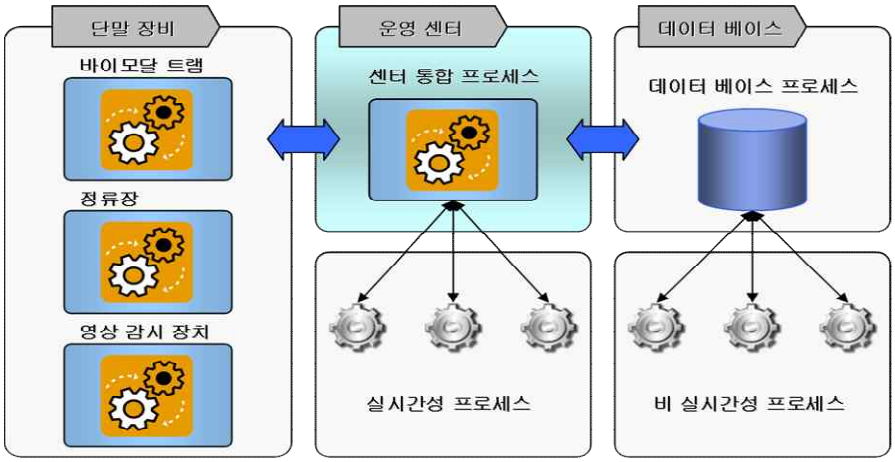



그림 2.7.2-4 정보 데이터 흐름도

(라) 바이모달 트램 운영센터시스템

소프트웨어의 논리적 구성에서 요소별 독립성과 유연성에 중점을 두어 향후 구성 요소 변경사항 발생시에도 시스템의 안정을 기하고 각 레이어 및 구성 요소 간의 인터페이스를 표준화 하여 시스템 현장 적용, 유지 보수 및 확장 시에 용이한 접근성을 갖도록 설계한다. 본 시스템의 논리적 아키텍처의 구조는 그림 2.7.2-5와 같다.

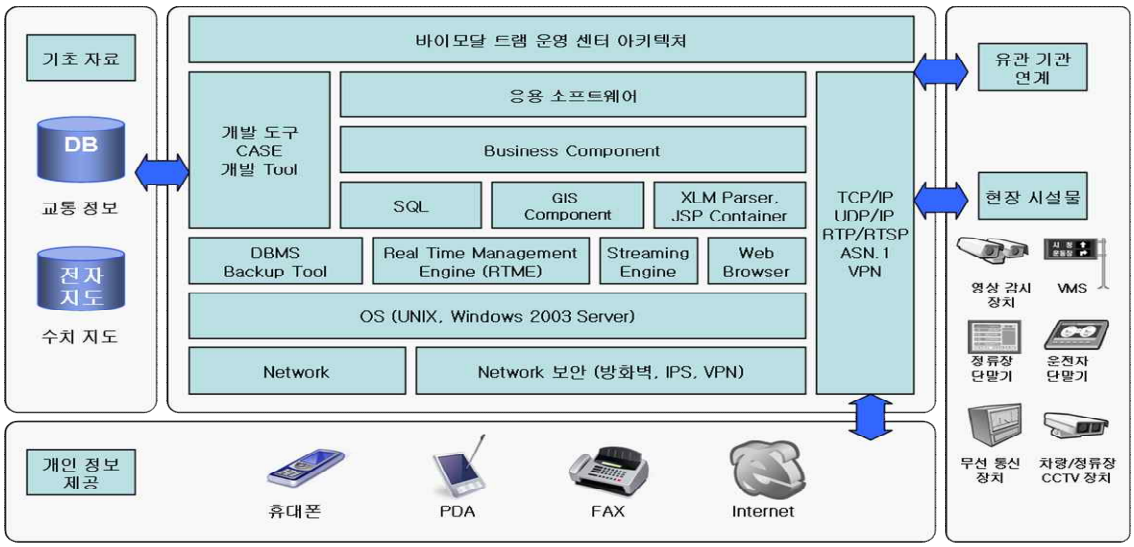



그림 2.7.2-5 논리적 아키텍처 구조

소프트웨어의 기능적 구조는 그림 2.7.2-6과 같다.

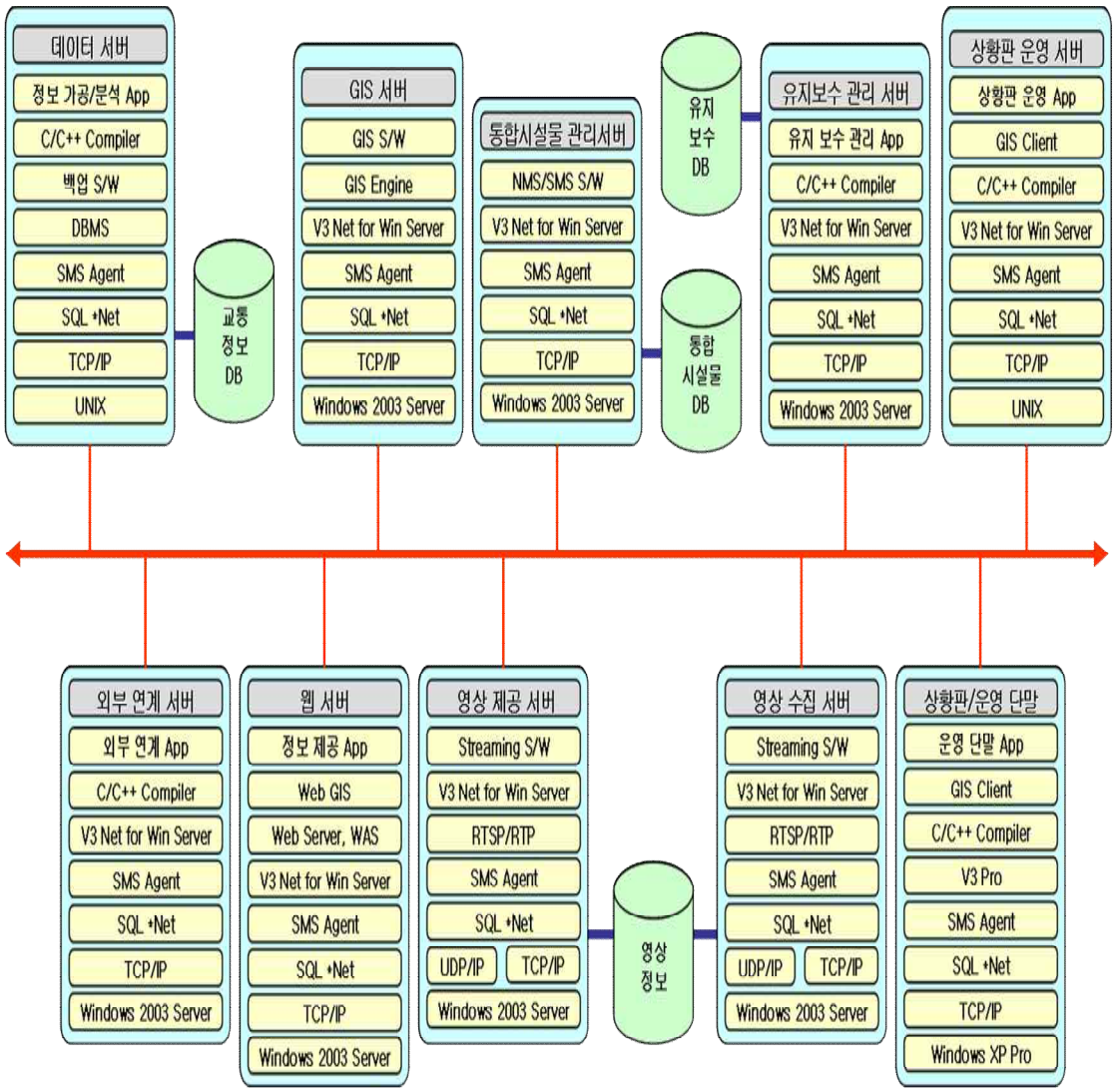



그림 2.7.2-6 소프트웨어 기능적 구조

(1) 차량운영컴퓨터 설계

(가) 차량운영컴퓨터 개요

소프트웨어를 핵심으로 하는 새로운 PC형태의 기기를 차량에 적용함으로써 차량 안에서도 혁신적인 정보, 엔터테인먼트, 커뮤니케이션 기반으로 보다 다양한 정보 전달 및 저장 매체와 인터페이스를 제공 하며 또한 영상 감지 장비 제어 기능을 수행 한다. 무선 통신 기술을 통해 무선 데이터, 영상 통신이 차량 내에서도 가능케 하여 획기적인 서비스를 소비자에게 제공 가능케 할 것이다. 차량에서 구현되는 기능이 다양화 될수록 다양한 기기가 차량에 장착되어야 한다. 새로운 기능이

추가될 때 마다 전체 시스템을 수정 변경하여 새로이 구성할 수는없다. 그래서 이런 중앙 집중식 설계의 단점을 보완하고자 네트워크를 중심으로 분산 시스템을 구성하여 전체 시스템의 수정, 변경 없이 새로운 장치를 추가할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 전체 시스템의 구성은 그림 2.7.2-7과 같다.

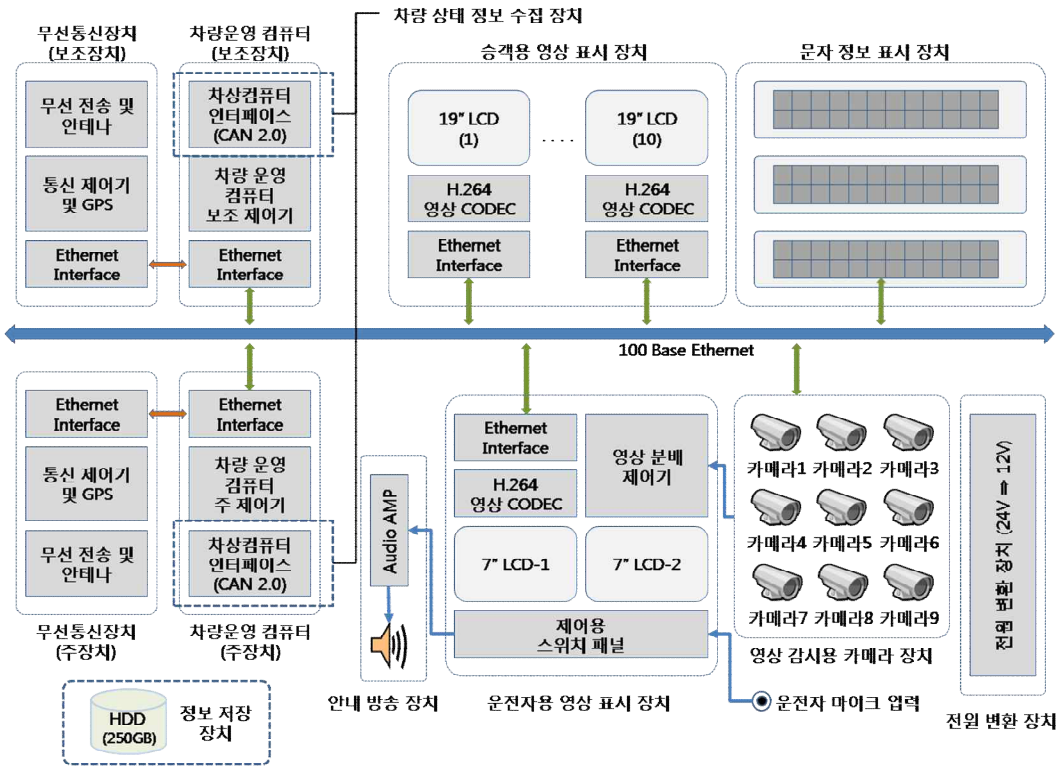



그림 2.7.2-7 차량내부 각 장치별 시스템 블록도

또한 차량 내부의 각 장치별 기능은 표 2.7.2-9와 같다.

표 2.7.2-9 각 장치별 기능

| Module | 기능 설명 |
|---|---|
| 영상감시 카메라 장치 | 9개의 CCTV Camera를 차량의 내부, 차량 외부의 좌/우측 및 차량의 후방에 설치하여 평상시 또는 돌발 상황시의 영상 정보를 수집한다. 특히 좌우 Camera는 일반 차량의 좌우 백미러를 대신하는 장치로 운전자가 운전석에서 제어용 스위치 패널의 콘트롤 스위치를 이용하여 상하좌우 및 Zoom In/Out을 제어할 수 있다.,<br>또한 돌발 상황 시 운전자가 차량 장치 제어가 어려운 상황에서는 운영 관리 센터에서 카메라의 제어가 가능하다. |
| 문자 정보 표시 장치 | 차량의 외부에 설치되며 차량의 운행 관련 내용을 표시한다. |

| Module | | 기능 설명 |
|---|---|---|
| 승객용 영상 표시 장치 | | 이 장치는 차량의 각 칸마다 설치된 LCD Display Monitor를 통해 트램에 탑승한 승객에게 운행 정보, 교통 편의 정보 및 운행 노선의 돌발 정보 등을 표시한다.<br>※ 모든 카메라의 영상 정보는 차량 내에 설치된 하드디스크에 저장되며 저장된 영상 데이터는 차량운행을 끝낸 뒤 차고지의 영상 서버로 전송하여 서버내의 저장장치에 3일간 보관한다. |
| 운전자용 영상 표시 장치 | | 이 장치는 운전석 계기판에 설치된 LCD Display Monitor를 통해 트램의 운행에 필요한 정보와 운행 노선의 정보, 기상 관련 정보, 돌발 정보 등을 운전자에게 표시하여 트램의 안전운전을 도모한다.<br>※ 모든 카메라의 영상 정보는 차량 내에 설치된 하드디스크에 저장되며 저장된 영상 데이터는 차량운행을 끝낸 뒤 차고지의 영상 서버로 전송하여 서버내의 저장장치에 3일간 보관한다. |
| 안내 방송 장치 | | 이 장치는 차내에 설치되어 도착 예정 정보, 돌발 상황 정보 및 기타 교통 정보를 음성을 통해 차내 승객, 운전자에게 제공한다.<br>또한 운전자가 운전자 마이크 입력을 통해 승객에게 정보 전달하기 위한 장치로도 사용된다. |
| 차량 운영 컴퓨터 | 주장치 | 이 장치의 주요 기능은 차량내의 내부 네트워크를 관리하며 외부와 통신을 연결한다. 즉 차량내의 장치에서 오는 정보를 수집하여 운영 관리 센터로 전송해주고 운영 관리 센터에서 보내온 정보를 차량내의 적절한 장치로 보내주는 기능을 한다. 또한 차상 컴퓨터와 통신을 통해 차량의 상태를 수시로 수집하여 운영 관리 센터에 보고하는 기능을 가지고 있다. |
| | 보조 장치 | 이 장치는 주장치의 기능을 대신할 수 있는 보조 장치(redundancy)로서 주 장치에 이상이 생겼을 때 보조 장치가 주장치를 대신하여 차량 운영 컴퓨터로서의 기능을 수행한다.<br>주 장치와 보조 장치는 일정 주기로 통신을 통하여 서로간의 이상 유무를 확인하는 동작을 한다. |
| 무선 통신 장치 | 주장치 | 이 장치는 차량 외부와 통신을 위해 사용되는 무선 통신 장치로서 차량 내부에서 외부로 가는 정보의 송신과 외부에서 차량으로 보내오는 정보 수신의 기능을 가지고 있다. 구성은 안테나와 무선 통신 모듈로 구성되어 있으며 통신 방식은 국제 표준 방식인 IEEE 802.11 a/b/g를 사용한다. |
| | 보조 장치 | 이 장치는 주장치의 이상 발생 시에 통신 기능을 대신할 수 있는 보조 장치(redundancy)로서 차량운영 컴퓨터의 보조 장치와 연결 되어 차량운영 컴퓨터의 주장치나 무선통신 장치의 주장치 이상 발생 시에 사용할 수 있다. |
| 정보 저장 장치 | | 이 장치의 주목적은 정보를 저장하는 기능으로서 사용 기능은 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 영상정보의 실시간 통신을 위한 버퍼(Buffer)로서의 기능과 시스템의 응용 프로그램들을 저장해두는 기능으로 구성되어 있다. |
| 차량 상태 정보 수집 장치 | | 이 장치는 차상 컴퓨터와의 통신으로 차량의 상태 정보를 수집하는 장치이다. 차상 컴퓨터와의 통신은 CAN 2.0 a/b를 이용하여 차량의 상태 정보를 수집한다. 이 장치도 주 장치와 보조 장치로 구성되어 있으며 어느 하나에서 이상이 발생하면 나머지 장치가 대체할 수 있도록 구성되어 있다. |
| 전원 변환 장치 | | Main Controller에 대한 Back Up System으로 Main controller의 이상 발생 시에 Main Controller의 모든 동작을 멈추고 시스템의 통제권을 넘겨받아 Main Controller의 기능을 대신하게 된다. |

(나) 차량 운영 컴퓨터의 구성

차량 운영 컴퓨터의 구성은 크게 장치 제어 부분과 외부 인터페이스 부분으로 나누어진다.

차량 운영 컴퓨터의 장치 제어 부분은 차량 운영 컴퓨터의 중앙 제어 장치이며 차량 운영 컴퓨터의 모든 기능과 동작을 제어한다. 장치 제어 부분의 구성은 그림 2.7.2-8과 같이 CPU를 중심으로 메모리 부분과 리셋과 클럭, 보조 장치 및 소프트웨어 수정을 위한 디버깅 부분으로 나누어져 있다.각 부분에 대한 자세한 내용은 표 2.7.2-10과 같다.

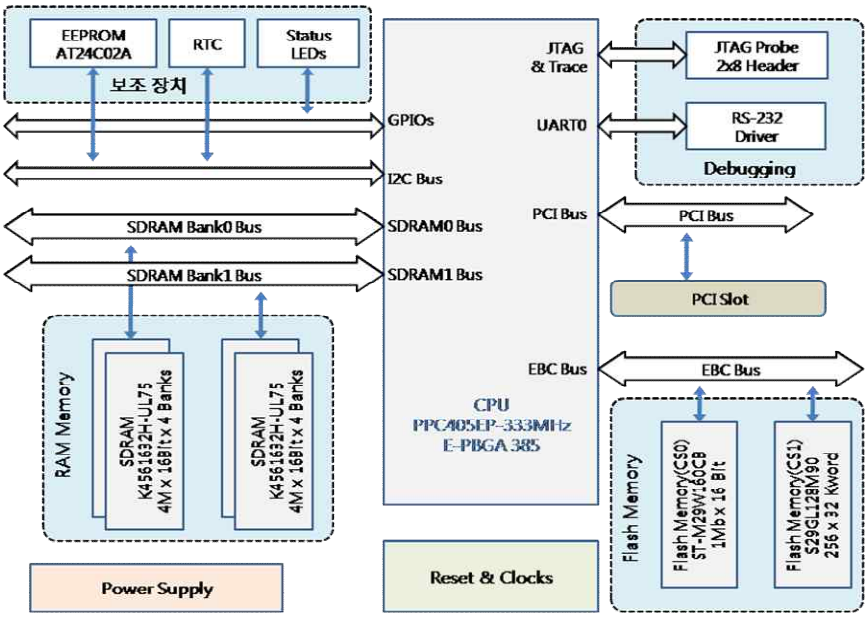



그림 2.7.2-8 장치 제어 부분의 구성도

표 2.7.2-10 장치 제어 부분의 기능

| 구성 장치 | 기능 |
|---|---|
| CPU | 중앙 처리 장치로서 차량 운영 컴퓨터의 모든 동작을 처리 및 제어하는 부분으로 하나의 chip으로 구성 되어 있다(SoC:System on Chip) 차량 운영 컴퓨터는 차량내의 모든 장치들을 관리하고 영상 및 데이터 정보 통신을 위해 속도와 메모리 처리 능력을 고려하여 PowerPC를 CPU로 사용 하였다. |
| SDRAM Memory | 이 부분은 휘발성 메모리 부분으로 CPU 동작에 필요한 데이터를 저장하거나 필요한 데이터를 불러 오는 곳이다. 또한 CPU의 동작을위한 S/W가 구동되는 곳이다. 전원이 꺼지면 이곳의 모든 데이터는 지워진다. |
| Flash Memory | 이 부분은 CPU의 동작을 위한 S/W를 저장해 두는 곳이며 또한 전원이 꺼져도 보관해야 하는 반영구적 데이터를 보관하는 곳이다. |

| | |
|---|---|
| | Flash Memory의 특성은 일반적으로 RAM과 ROM의 특징을 모드 갖추고 있는 메모리로 전원이 꺼져도 내부의 내용이 지워지지 않으며 또한 언제든 내부의 내용을 RAM처럼 지우고 다시 기록할 수 있다. 차량 운영 컴퓨터에는 Flash Memory 부분이 두 분으로 나누어져 있다. 전원이 켜지고 차량 운영 컴퓨터가 부팅하는데 필요한 S/W와 정보들이 기록되어 있는 부트 부분(Boot Area)과 응용 S/W와 이에 필요한 정보가 기록되어 있는 응용프로그램부분(Application Area)으로 나누어진다. 전자의 경우 외부에서 어떤 기록을 하거나 지우지 못 하도록 보호 시스템이 설치되어 있다. |
| Reset & Clock | 여기서는 차량 운영 컴퓨터 시스템이 구동하는데 필요한 클럭 신호와 외부 인터페이스에 필요한 클럭 신호 전원이 인가되었을 때 프로그램이 구동하기 위한 리셋 신호를 만들어서 공급한다. 이 부분은 클럭 신호들을 많이 만들기 때문에 외부에 잡음을 발생할 수 있는 부분이기도 하다 그러므로 하드웨어적으로 외부 잡음 방사에 대처해주어야 한다. |
| 보조 장치 | ▪ EEPROM : 아주 작은 용량의 직렬 비휘발성 메모리(Serial ROM or NVRAM)로 차량 운영 컴퓨터 구동 시에 필요한 시스템 정보들을 저장하여 둔다.<br>▪ RTC : 실시간 신호(Reak Time Clock)발생기로서 여러 가지 상황(돌발 상황, 운행 기록, 영상정보 저장 등) 발생 시에 발생 시각을 확인 기록하기 위한 장치이다.<br>▪ Status LED : 차량운영 컴퓨터의 전원, 구동 상태, 통신 상태 등을 나타내기 위한 부분이다. LED의 점등 상황으로 차량 운영 컴퓨터의 상황을 간단히 파악할 수 있다. |
| Debugging | 이 부분은 차량 운영 컴퓨터의 상태를 정밀 체크하기 위한 인터페이스이다. 즉 JTAG Probe는 CPU의 동작 상태를 체크하기 위한 인터페이스이고 RS-232는 차량 운영 컴퓨터의 구동 프로그램 상태를 체크하기 위한 인터페이스이다. 여기에는 CPU 체크를 위한 전용 장비나 또는 컴퓨터 등을 연결해서 상태를 체크 한다. |
| PCI Slot | 이 부분은 향후 기능 확장을 위한 예약 영역(Reserved Area)이다.<br>현재 차량 운영 컴퓨터에서는 사용 하지 않는다. |
| Power Supply | 차량 운영 컴퓨터에 필요 전원을 공급하는 부분으로 차량에서 24V DC 전압을 받아서 차량 운영 컴퓨터 동작에 필요한 전압들을 만들어서 공급해준다. |

차량 운영 컴퓨터는 차량내의 수집 및 제공 장치들을 관리하고 외부 운영 관리 센터와의 통신을 담당하는 장치로서 이에 따르는 여러 가지 적절한 외부 인터페이스를 갖추고 있다.외부 인터페이스 장치로는 크게 저장 장치, 이더넷 인터페이스, USB 1.1 및 차상 컴퓨터와의 인터페이스로 나누어진다. 이에 대한 구성은 그림 2.7.2-9와 같으며 이에 대한 기능은 표 2.7.2-11과 같다.

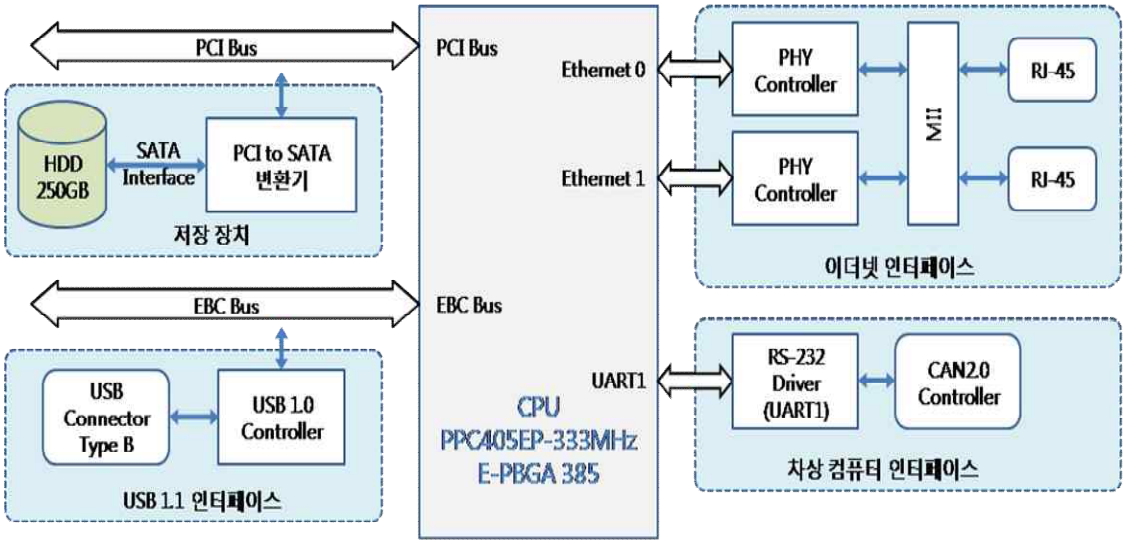



그림 2.7.2-9 외부 인터페이스 구성도

표 2.7.2-11 외부 인터페이스 장치의 기능

| 구성 장치 | 기능 |
|---|---|
| 저장 장치 | 저장 장치는 차량 운영 컴퓨터의 구동에 필요한 정보 또는 수집 정보, 제공 정보 등을 저장하는 장치로서 기본적으로 250GB의 용량을 갖고 있다. 필요에 따라서 더 큰 용량의 HDD로 교환이 가능하다.<br>기본적으로 HDD와의 인터페이스는 Serial ATA를 사용한다. |
| 이더넷 인터페이스 | 이더넷 인터페이스는 외부 통신과 내부 통신을 위한 장치로 구분되며 Ethernet0는 무선 통신 장치와 통신을 통해 외부 즉 운영 관리 센터와의 통신을 담당하고 있으며 Ethernet1은 내부 정보 수집 및 제공 장치들과 통신을 담당하고 있다. |
| USB 1.1 인터페이스 | USB 1.1 인터페이스는 디바이스 모드로 설정 되어 있으며 컴퓨터등과 연결하여 차량 운영 컴퓨터의 상태를 점검하고 응용 프로그램의 업그레이드 등에 사용한다. |
| 차상 컴퓨터 인터페이스 | 이 장치는 차상 컴퓨터와 통신을 통해 차량의 상태 정보를 수집하며 수집한 정보를 운영 관리 센터로 전송하여 차량의 상태를 운영 관리 센터에 보고한다. 차상 컴퓨터와의 인터페이스에는 CAN 2.0 A/B의 프로토콜이 사용된다. |

(다) 서브시스템별 기본 설계 및 제작

차량 운영 컴퓨터 기본 설계 사양은 표 2.7.2-12와 같다.

표 2.7.2-12 차량 운영 컴퓨터 설계 사양

| 항목 | | 개발 목표 사양 |
|---|---|---|
| 1. CPU | | - AMCC PowerPC 405EP (32bit RISC Processor core)<br>- 동작속도 : 266Mhz<br>- 16KB 데이터/명령어 cache<br>- 저전력 특성 (1.2W@200MHz) |
| 2. 메모리 | ROM | - boot Flash ROM: 2 MBytes<br>- application Flash ROM: 32 Mbytes |
| | RAM | - SDRAM 128 Mbytes (PC-133 사양)<br>- CPU와 32bit interface |
| 4. PCI | | - Revision 2.2 compliant (32bit 33MHz/66MHz) |
| 5. Network Interface | | - Ethernet 10/100Mbps 2 port (RJ-45) |
| 6. USB Interface | | - USB1.1 : 1 PORT |
| 7. CAN Network | | - CANbus 2.0 A/B Network 지원 |
| 8. Serial Ports | | - Serial Port 1개 |
| 9. 확장 커넥터 | | - 8bit or 16bit External BUS Interface |
| 10. 입력 전원 | | - 24V (DC) 차량 전원 입력 |
| 11. PCB 외형 | | - 234 × 160mm |

무선통신장치는 기본적으로 네트워크를 통해 차량 운영 컴퓨터와 연결되며 운행 노선상의 RSE를 통해 센터와 통신하게 된다. RSE와의 핸드 온/오프는 OBE자체적으로 동작하기 때문에 차량운영 컴퓨터에서는 이에 대해서 통신 시에 부하가 걸리지 않는다. 일반적인 OBE의 사양은 아래 표 2.7.2-13과 같다.

표 2.7.2-13 OBE 일반 사양

| 항 목 | 사양 | 비고 |
|---|---|---|
| 주파수 범위 | - 2.4 ~ 2.485 GHz / 5.725GHz ~ 5.825GHz | |
| 사용 채널수 | - 유효 채널수 6개<br>: 5735, 5750, 5765, 5780, 5795, 5810MHz | |
| 점유 주파수 대역폭 | - 10MHz 이내, 가드 밴드 5MHz | |

| | | |
|---|---|---|
| 송신 출력 | - 10mW/MHz 이내 | 관련법규 준수 |
| 지원 전송 속도 | - 6, 9, 12, 18Mbps | |
| 통신 거리 | - 500m 이상 | |
| 속도 제어 | - Link adaptation & Manual rate 기능 | |
| 변조 방식 | - QPSK, 16QAM with OFDM | |
| 수신 감도 | - 85dBm@3Mbps 이상 | 관련법규 준수 |
| 전원 | - 12V DC | 차량 전원 |
| 소비 전력 | - Typ. 10W | |
| 인터페이스 | - 1 Ethernet, 2 Serial, 1 USB | |
| 환경 | - -10 ~ 50 ℃ | |

트램의 무선통신장치에는 안테나를 분리형을 사용한다. 안테나는 patch 타입의 지향성 안테나를 사용하며 위치는 OBE가 보이는 차량의 앞쪽에 설치된다. 안테나의 특성은 표 2.7.2-14와 같다.

표 2.7.2-14 OBE 안테나 특성

| 항목 | 결과 |
|---|---|
| 공중선의 종류 및 형태 | - 종류: Patch ANTENNA 길이(mm): 42.5 × 26 × 2 |
| 공중선의 이득 및 지향 특성 | - 이득:3.38dBi지향특성 : directional |
| 공중선의 편파특성 | - Circular(LHCP) |
| 송신장치와의 접속형태 | - 외장형 |

(1) 영상감시단말기 설계

(가) 영상감시시스템 구성 및 구조

영상감시시스템은 영상 정보 수집 장치로서 크게 차량 탑재형과 도로 설치형으로 나누어진다. 그림 2.7.2-10은 트램에 설치되는 차량탑재형 영상감시시스템으로 모든 장치가 카메라 내부 단일 구조물에 탑재되어있다. 그러므로 설치 시에는 카메라 자

체를 네트워크에 연결하는 것으로 간단히 설치가 완료된다. 유지 보수에도 카메라 자체를 교환 또는 수리함으로서 편리함을 도모할 수 있다.

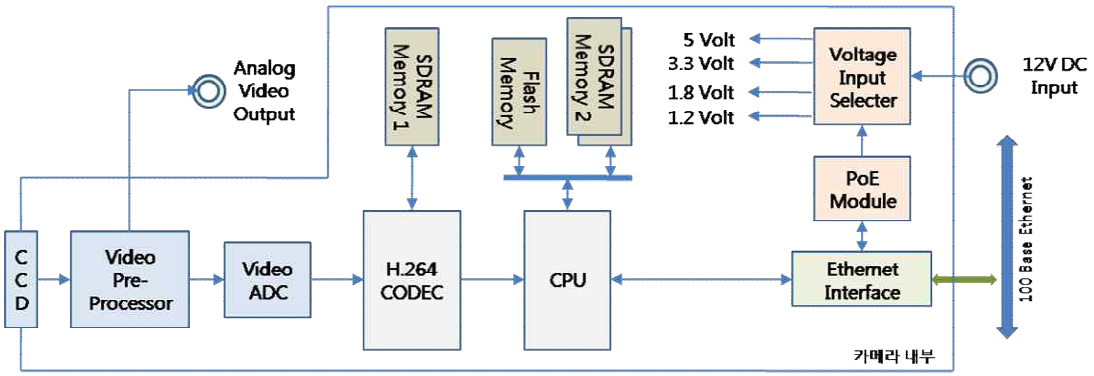



그림 2.7.2-10 차량 탑재형 영상감시시스템의 구조

표 2.7.2-15 차량 탑재형 영상 감시 시스템의 구성

| 구성 장치 | 기능 |
|---|---|
| CCD | 이 부분은 카메라 렌즈를 통해 직접 영상 신호를 받아서 전기적 신호로 만드는 부분이다. |
| Video Pre-Processor | CCD에서 나오는 전기적 영상 신호의 세기가 매우 약하기 때문에 이를 처리 할 수 있도록 신호의 세기를 높여주는 작업을 진행한다. |
| Video ADC | 영상 신호를 압축하기 전에 아날로그 신호를 압축 동작을 할 수 있는 디지털 신호로 변환해주는 부분이다. |
| H.264 CODEC | 이 부분에서는 영상 신호를 H.264 규격에 맞추어서 압축을 진행한다. 압축된 데이터는 CODEC에 연결된 SDRAM ,memory로 옮겨지며 이를 전송을 위해서 CPU가 가져가게 된다. |
| CPU | CPU는 통신 및 H.264 CODEC 및 시스템 운영 관리를 담당한다. |
| Flash Memory | 전체 운영 프로그램이 저장되어 있으며 또한 H.264 프로그램이 바이너리 형태로 저장되어 있다. CPU는 전원이 들어가고 부팅하는 과정에서 이 H.264 바이너리 프로그램을 H.264 CODEC으로 전송하여 주고 이를 실행하도록 H.264 CODEC에게 지시한다. 그러면 H.264 CODEC은 이 지시를 받아 전송받은 바이너리 형태의 프로그램을 실행하게 된다. |
| SDRAM Memory | SDRAM Memory 1 : H.264 CODEC이 사용하는 메모리로서 압축 동작에 필요한 데이터들을 저장하는 메모리이다. 압축한 뒤에 생성되는 압축 영상 데이터도 여기에 저장된다. |
| | SDRAM Memory 2 : CPU가 사용하는 메모리로 운영 프로그램이 동작하는데 필요한 데이터를 저장하는 메모리이다. 또한 통신에 필요한 데이터 영역과 압축 영상 데이터를 전송하기 전에 임시로 보관하는 장소이기도 하다. |
| Ethernet Interface | 압축된 영상 정보를 차량 운영 컴퓨터로 보내는 부분이다. Ethernet을 통해 차량 운영 컴퓨터로 압축 영상 정보를 보내고 또한 차량 운영 컴퓨터로부터 카메라 제어 신호를 받기도 한다. |

| | |
|---|---|
| PoE Module | PoE(Power over Ethernet)은 802.3af의 표준 규격으로 Ethernet을 통해서 장치의 전력을 공급받아 제공해주는 부분이다. 네트워크 허브 등이 전력 공급이 가능할 때 동작할 수 있다. 일반적인 네트워크에서는 동작하지 않는다. |
| Voltage Input Selector | 외부에서 공급해주는 12V 입역과 PoE에서 공급해주는 전원 입력을 선택하는 부분이다. 차량 탑재 영상 감시 시스템은 일반적인 네트워크에서는 외부 12V 입력을 사용하지만 PoE가 가능한 네트워크에서는 PoE,를 통해서 사용할 전원을 공급받는다. 그러므로 이를 자동으로 감지하여 전원을 선택할 수 있도록 이 부분을 설계 하였다. |
| Analog Video Output | 이 신호는 영상을 H.264로 압축하기 전의 신호로서 카메라 이상 유무 확인 및 트램의 운전석에서 영상 분배 제어기를 통해 실시간 영상 감시를 할 때 사용된다. 또한 트램에 최초 설치 시에 카메라 설치 각도 조절용으로도 사용된다. |

한편 도로 설치형 영상감시시스템의 구조는 그림 2.7.2-11과 같고, 그 구성은 표 2.7.2-16과 같다.

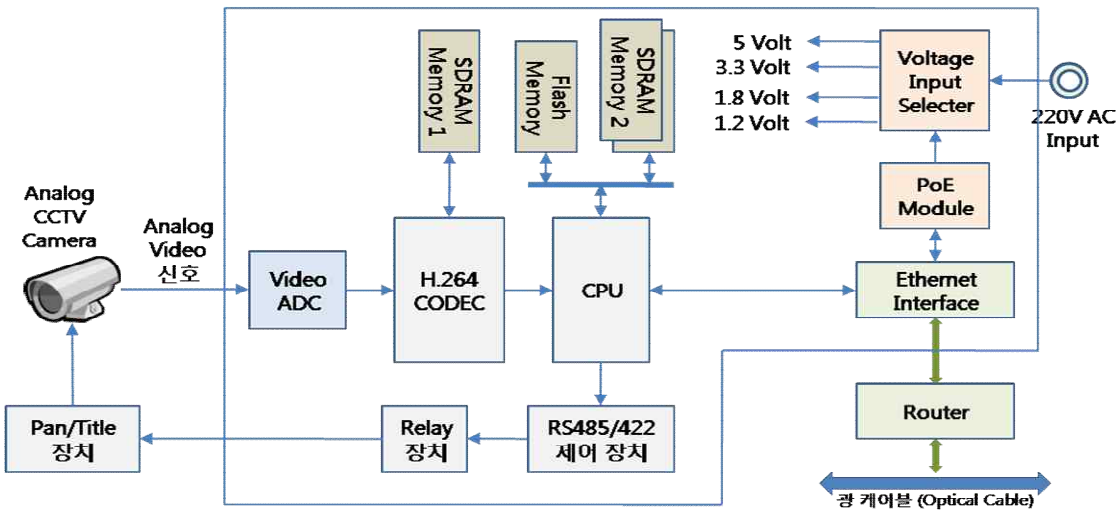



그림 2.7.2-11 도로 설치형 영상감시시스템의 구조

표 2.7.2-16 도로 설치형 영상감시시스템의 구성

| 구성 장치 | 기능 |
|---|---|
| Pan/Title 장치 | 이 장치는 카메라의 위치를 조정하는 부분으로 카메라의 상하/좌우 각도를 조정하는 부분이다. 내부는 모터로 구성되어 있어 카메라의 위치를 모터를 움직여 조정할 수 있다. |
| Relay 장치 | 이 장치는 Pan/Title 장치의 모터를 동작시키는 장치이다. 릴레이를 이용해서 모터의 전원을 단속함으로서 모터의 움직임을 제어한다. |
| RS485/422 제어 장치 | 이 장치는 CPU로부터 오는 RS485/422 형태의 Pan/Titlee 신호를 해석하는 부분으로 이 신호를 해석해서 Relay장치의 Relay를 정해진 |

| 구성 장치 | 기능 |
|---|---|
| | 시감만큼씩 on 또는 off 시켜준다. |
| Video ADC | 영상 신호를 압축하기 전에 아날로그 신호를 압축 동작을 할 수 있는 디지털 신호로 변환해주는 부분이다. |
| H.264 CODEC | 이 부분에서는 영상 신호를 H.264 규격에 맞추어서 압축을 진행한다. 압축된 데이터는 CODEC에 연결된 SDRAM ,memory로 옮겨지며 이를 전송을 위해서 CPU가 가져가게 된다. |
| CPU | CPU는 통신 및 H.264 CODEC 및 시스템 운영 관리를 담당한다. |
| Flash Memory | 전체 운영 프로그램이 저장되어 있으며 또한 H.264 프로그램이 바이너리 형태로 저장되어 있다. CPU는 전원이 들어가고 부팅하는 과정에서 이 H.264 바이너리 프로그램을 H.264 CODEC으로 전송하여 주고 이를 실행하도록 H.264 CODEC에게 지시한다. 그러면 H.264 CODEC은 이 지시를 받아 전송받은 바이너리 형태의 프로그램을 실행하게 된다. |
| SDRAM Memory | SDRAM Memory 1 : H.264 CODEC이 사용하는 메모리로서 압축 동작에 필요한 데이터들을 저장하는 메모리이다. 압축한 뒤에 생성되는 압축 영상 데이터도 여기에 저장된다. |
| | SDRAM Memory 2 : CPU가 사용하는 메모리로 운영 프로그램이 동작하는데 필요한 데이터를 저장하는 메모리이다. 또한 통신에 필요한 데이터 영역과 압축 영상 데이터를 전송하기 전에 임시로 보관하는 장소이기도 하다. |
| Ethernet Interface | 압축된 영상 정보를 차량 운영 컴퓨터로 보내는 부분이다. Ethernet을 통해 차량 운영 컴퓨터로 압축 영상 정보를 보내고 또한 차량 운영 컴퓨터로부터 카메라 제어 신호를 받기도 한다. |
| PoE Module | PoE(Power over Ethernet)은 802.3af의 표준 규격으로 Ethernet을 통해서 장치의 전력을 공급받아 제공해주는 부분이다. 네트워크 허브 등이 전력 공급이 가능할 때 동작할 수 있다. 일반적인 네트워크에서는 동작하지 않는다. |
| Voltage Input Selector | 외부에서 공급해주는 220V AC 입역과 PoE에서 공급해주는 DC 전원 입력을 선택하는 부분이다. 차량 탑재 영상 감시 시스템은 일반적인 네트워크에서는 외부 220V AC 입력을 사용하지만 PoE가 가능한 네트워크에서는 PoE,를 통해서 사용할 전원을 공급받는다. 그러므로 이를 자동으로 감지하여 전원을 선택할 수 있도록 이 부분을 설계하였다. |
| Router | 이 장치는 영상 감시 시스템으로부터 출력되는 전기 신호를 광케이블로 전송하기 위한 광신호로 변환해주는 장치이다. 이 장치는 허브 기능도 같이하고 있어 주변의 장치들을 같이 연결해줄 수 있다. |

(나) 서브시스템 별 설계

하나의 하드웨어에서 입력된 아날로그 영상 데이터를 압축하거나 또는 입력된 압축 영상 데이터를 압축 해제하는 동작을 동시에 가능하도록 제작하며 영상 감시시스템의 기본 사양은 아래 표 2.7.2-17과 같다.

표 2.7.2-17 영상감시시스템 사양

| 항 목 | 사 양 |
|---|---|
| 1. Audio/Video CODEC | Video :<br>MPEG-2, MPEG-4 AVC(H.264)<br>Data Rate : 32Kbps~4 Mbps<br>Resolution : NTSC - 720x480, 720x240, 352x576, 352x240<br>PAL-7200x576, 720x288, 352x576, 352x288<br>Frame Rate : NTSC - 30 fps MAX<br>PAL - 25 fps MAX<br>Audio :<br>G.711<br>Sample Rate : 32 KHz<br>Data Rate : 32 Kbps ~ 128 Kbps |
| 2. CPU | ARM9 (180MHz) |
| 3. FLASH ROM | 16 Mbytes |
| 4. MEMORY | DRAM(SDRAM) 128Mbit x 2 |
| 3. Video 입력 | 1 Composite (1 Vpp 75 Ohm, BNC) |
| 4. Video 출력 | 1 Composite (1 Vpp 75 Ohm, BNC) |
| 5. Network | Ethernet 10/100Mbps 1 port (RJ-45)<br>Network Protocol : TCP/IP, UDP, Multicast, DHCP, SMTP, HTTP, RTSP/RSP |
| 6. USB | USB Host Interface |
| 7. Audio 입출력 | line 입력 (Mini-Stereo)<br>line 출력 (Mini-Stereo)<br>마이크 입력 |
| 8. 전원 | 차량 탑재형 : 24V DC 입력<br>도로 설치형 : 220V AC 입력 |
| 9. PCB 외형 | 130 x 130mm |

## 다. 통합운영시스템 시작품 제작

1) 바이모달 트램 전용 통합관제센터 시작품 제작

바이모달 트램 전용 통합관제센터의 상세 설계 부분은 크게 하드웨어 설계부분과 소프트웨어 설계로 나누어진다. 통합관제센터의 하드웨어는 내부 서버군과 DMZ 서버군 그리고 상황실로 나뉘어진다.

내부 서버군(Server Farm) : 바이모달 트램 노선을 중심으로 포설되 통신망을 기반으로 폐쇄망을 이루며 주로 트램과 정거장 그리고 바이모달 트램 전용노선의 현장 장비와의 통신을 통해 정보를 수집하고 가공 저장하며 또 필요 정보를 제공해준다.

DMZ 서버군(DMZ Server Farm) : 외부 관련 기관 또는 유지보수에 필요한 검수고, ISP 등과 통신을 통해 필요 정보를 수집하고 요청 자료를 제공해준다. 외부의 침입으로부터 내부 서버군을 보호하기 위해 내부망과 방화벽을 통해 연결 된다.

상황실 : 위의 두 서버군을 운영하고 운영자가 전체적인 통합운영 시스템을 관리하기위한 운영단말과 트램을 포함한 교통상황을 실시간으로 감시하기 위한 상황판으로 구성된다.

전체적인 통합관제센터의 개요도는 그림 2.7.2-12와 같고, 기능 요구 사항은 다음과 같다.

설치 후 운영 중 문제점이 발생하지 않도록 설계되어야 한다.

향후 신규노선 추가 시 응용 프로그램/하드웨어 및 GIS, DB등의 확장 설치가 용이 하도록 설계되어야 한다.

통합운영센터 내 운영자, 리포팅 단말 등에 영상을 운영자 위주의 화면으로 구성하여 감시하고 운영할 수 있는 중앙관제기능(Central Monitoring System)을 구현하여야 한다.

시스템의 성능이 최대한 발휘될 수 있는 구조로 설계되어야 한다.

외부연계 전략 및 기능 구현이 가능하도록 구축하여야 한다.

표 2.7.2-18은 제작된 통합관제센터 시스템의 개요이다.

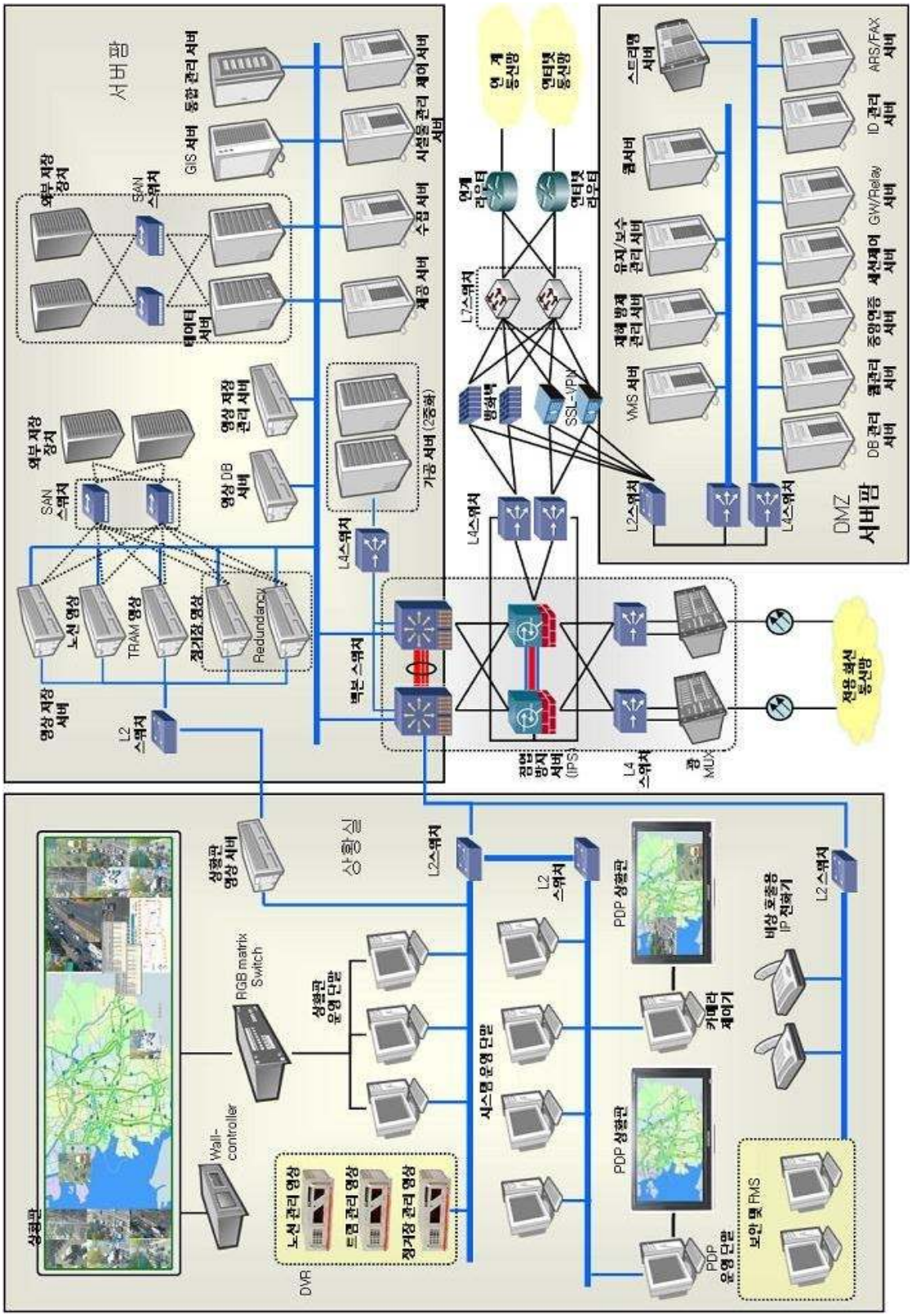



그림 2.7.2-12 통합관제센터 개요도

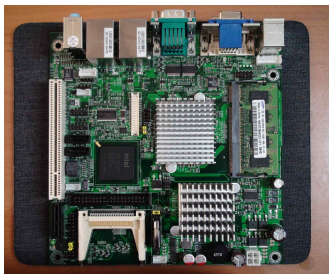
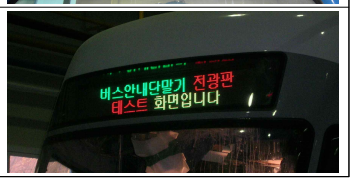
표 2.7.2-18 통합관제센터 시스템 개요

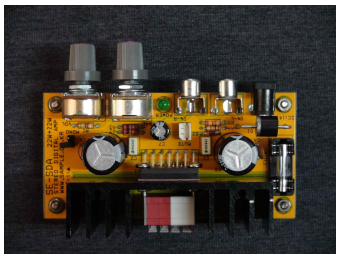
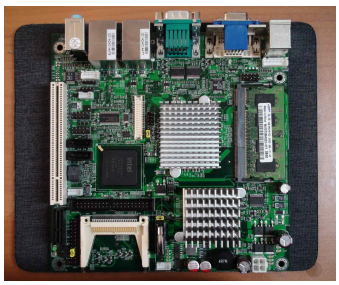
| 시스템 | | 개 요 |
|---|---|---|
| 운행관리시스템 | | ▪ 운행관리시스템은 바이모달 트램의 운행 정보를 실시간 수집 가공하여 노선 별 배차정보, 운행상태, TRAM상태, 돌발 상황 등을 파악하여 실시간으로 지도상에 표시하는 시스템이다. |
| 운행제어 시스템 | 트램 운행 제어 | ▪ 트램 운전자가 운행 제어를 할 수 없는 사고 등의 돌발사고 발생시 승객의 안전을 최우선으로 처리할 수 있도록 센터에서 트램의 운행을 제어한다. (수동/자동 운전)<br>▪ 센터에서 원격 명령으로 트램의 시설물을 제어한다. (Door 등) |
| | 정거장 제어 | ▪ 돌발사고 발생시 센터에서 원격 명령으로 정거장의 시설물을 제어한다. (스크린도어, 전원 등) |
| 정보제공시스템 | | ▪ 센터는 실시간 CCTV 영상정보, 저장 CCTV 영상정보를 운용단말, 종합상황판 등에 제공한다.<br>▪ 센터는 TRAM 운전자나 운영단말 운영자가 요구하는 실시간데이터정보를 제공한다.<br>▪ 센터는 정거장, TRAM 등에 돌발 상황, 위치정보, 도착예정시간 등의 안내정보를 제공한다.<br>▪ 센터는 WEB 홈페이지를 통하여 트램 소개, 교통 현황정보 등을 제공한다. |
| 정보수집시스템 | | ▪ 센터서버는 AP에 연결된 유선망으로부터 TRAM단말기가 전송한 자료를 수집한다.<br>▪ 센터서버는 정거장에 연결된 유선망으로부터 정거장 통합운영단말기가 전송한 자료를 수집한다.<br>▪ 센터서버는 현장에 설치된 CCTV 및 센서등을 통해 트램운행 노선 현장의 정보를 수집한다. |
| 외부연계시스템 | | ▪ 외부 관련 기관 연계시스템의 정보를 수집<br>▪ 향후 외부시스템에서 본 시스템에 정보를 요청할 경우 해당 시스템과 연계하여 정보를 제공한다. |
| 운영단말시스템 | | ▪ 통합운영시스템을 관리하고 산출 데이터의 관리 돌발 상황 관리를 한다. |
| 종합상황판시스템 | | ▪ 통합운영시스템의 모든 정보를 운영자에게 표출한다. |

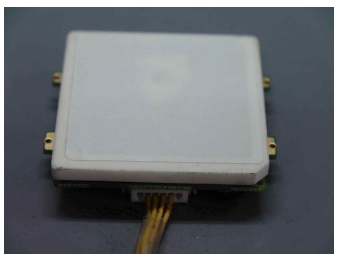
(1) 차량운영컴퓨터 시작품 제작

차량운영컴퓨터는 차량운영컴퓨터 본체와 그 주변 인터페이스 장치들로 구성된다. 주변 인터페이스 장치에는 센터와의 통신을 위한 무선 통신 장치와 정보 제공 장치 그리고 정보 수집 장치들로 구성되며 그 구성품은 표 2.7.2-19와 같다.

표 2.7.2-19 차량운영컴퓨터와 구성품

| 구 성 | | 기 능 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 차량운영컴퓨터 본체 | | ▪ 무선통신 장치를 통한 센터와의 양방향 통신<br>▪ 각 주변 장치들의 상태 관리 및 상태 로그파일 관리<br>▪ 차상컴퓨터와의 통신을 통해 차량의 상태를 센터에 보고<br>▪ 차량위치 정보를 차상컴퓨터에서 수집하여 센터에 보고<br>▪ 각 주변 장치를 통해 정보수집 및 수집 정보를 센터에 보고<br>▪ 센터로부터 전송된 정보를 차량내의 주변 장치를 통해 제공 |  |
| 정보 제공 장치 | 운전석 영상 제공 장치 | ▪ 영상 처리 장치에서 전송된 영상 정보를 운전자에게 제공한다.<br>▪ 제공 정보 : 차량 좌우 영상, 차량 전방, 후방 영상, 차량 내부 영상<br>▪ 차량이 후진 시에는 차량의 좌우와 후방 영상을 제공한다. |  |
| | 운전석 정보 제공 장치 | ▪ 차량운영컴퓨터에서 전송된 정보를 운전자에게 제공한다.<br>▪ 제공 정보 : 차량의 상태 정보, 센터에서의 지시사항, 차량 도착 예정 정보, 운행 노선 상태 정보, 노선 운행 정보, 돌발 정보, 기상 정보 |  |
| | 승객 영상 정보 제공 장치 | ▪ 센터로부터 전송되는 정보를 차량내의 승객들에게 제공한다.<br>▪ 제공 정보 : 트램 도착예정 정보, 도착예정 정거장 정보, 트램 운행노선 정보, 환승 정보, 운행 돌발 정보, 운행 주체에 의한 임의 정보 |  |
| | 행선지 표시기 | ▪ 트램 운행 노선 정보를 차량 외부에 표출한다.<br>▪ 제공 정보 : 트램 운행 시점 및 기점, 도착 예정 정거장, 기타 |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 방송장치<br>모듈 | ▪ 차량 내의 승객들과 운전자에게 음성 정보를 제공한다.<br>▪ 승객 제공 정보 : 도착 예정 정보, 돌발 상황에 대한 대처 정보, 기타<br>▪ 운전자 제공 정보 : 운행 노선 정보, 운행 트램들에 대한 정보, 돌발 상황에 대한 대처 정보, 기타<br>▪ 이 장치는 차량운영컴퓨터의 내부에 장착되어 소프트웨어로 자량운영컴퓨터의 제어를 받는다. |  |
| 정보<br>수집<br>장치 | 영상 처리<br>장치 | 차량내부의 카메라에서 수집된 정보를 운전자의 요구에 맞게 가공하여 영상 제공 장치로 전송한다.<br>단 차량이 후진 시에는 항상 후방 카메라와 좌우의 외부 카메라 영상을 3분할로 가공 전송한다.<br>차량내부, 외부에 장착된 9대의 카메라 영상을 저장장치에 기록한다. 기록 사양 : 각각의 카메라에 대해 영상파일 용량은 한 시간씩으로 한다. 그리고 동시에 9개의 카메라에 대한 9개의 파일을 생성한다.<br>차량이 차고지에 도착하여 운전자가 영상서버로 전송 명령을 주면 저장된 영상 정보들은 차고지에 위치한 영상서버로 전송되어 보관된다. 영상서버에 저장되는 기간은 특별한 상황이 없는 경우 3일로 정한다.<br>☞ 이 장치의 하드웨어는 차량운영컴퓨터와 같은 플렛폼의 하드웨어를 사용한다, |  |
| | Key Pad | ▪ 차량운영컴퓨터의 운영을 위해 운전자의 요청정보를 입력하는 장치<br>▪ 키의 구성 : 비상, 음성선택, 좌우카메라 선택, 상하좌우 방향, 메뉴, 선택, 취소 (15 keys)<br>▪ 기타 구성 : 마이크 입력, 음성 출력 -> 운전자를 위한 구성 |  |
| | CAN<br>인터페이스<br>장치 | ▪ 차상 컴퓨터와 통신을 위한 장치로 이 인터페이스를 통해서 차량운영컴퓨터는 차량의 상태 정보를 수집하고 차량운영컴퓨터의 상태를 차상 컴퓨터에 전달한다.<br>▪ 수집 정보 : 차량의 위치 정보, 차량의 속도, 차량 변속기 상태(전진 또는 후진) - 수집 주기는 5초로 정한다.<br>▪ 제공 정보 : 차량운영컴퓨터의 상태 정보(정상 또는 이상) - 이 정보는 처음에 전원이 인가되고 차량운영컴퓨터가 정상 동작 상태가 되었을 때 제공하며 평상시는 30초 주기로 전송한다. |  |
| 무선<br>통신<br>장치 | 무선 통신<br>장치 본체 | ▪ 센터와의 통신을 제공해주는 장치<br>▪ 통신 방식 : 802.11 a/b/g Wireless LAN<br>▪ 차량운영컴퓨터와는 Ethernet을 통해 인터페이스되며 TCP/IP를 이용해 통신한다. |  |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | GPS 모듈 | | GPS 위성으로부터 현재 트램의 위치정보를 수신.. 트램의 위치정보는 기본적으로 차상 컴퓨터에서 마그네틱 정보를 수신하지만 전용 도로에서 이탈하거나 또는 차상 컴퓨터에서 수신된 정보에 대한 오차 수정을 위해 주기적으로 정보를 받아 저장한다. 수신 주기는 10초로 한다. 모듈의 형태는 안테나와 수신기 일체형으로 구성되어 무선통신 장치에 부착된다. |  |
| | 무선 안테나 | 내장 | 무선통신을 위한 안테나로 무선통신장치의 외부에 장착되어 있다. 고정된 형태이기 때문에 .무선통신 장치의 위치에 따라 수신감도에 영향을 줄 수 있다. |  |
| | | 외장 | 무선통신을 위한 안테나로 무선통신 장치와 케이블을 이용해 별도로 위치할 수 있다. 따라서 무선통신 장치의 위치와 상관없이 수신감도가 좋은 위치에 설치할 수 있다. |  |
| 기타 장치 | 차내 유선 통신용 허브 | | 차량내의 유선통신을 위한 L2 Switch로 모든 인터페이스 장치들은 이 허브를 통해서 차량 내에서 통신을 한다. 트램 차량에는 16 port 허브가 3개 장착된다. |  |

(2) 영상감시시스템 시작품 제작

영상감시시스템은 센터에서 트램 내부의 카메라 및 도로변 CCTV 카메라를 통해 돌발 상황 및 교통상황에 대한 정보를 수집·가공하여 정보를 저장 또는 제공하여 트램 운영을 효율적으로 하기 위해 필요하다. 트램 내부의 카메라는 승객 및 운전자의 상황을 기록하며 사고 발생 시 저장된 영상을 토대로 상황분석에 이용되며 도로변 CCTV는 교통상황 및 사고 발생 시에 센터에서 해당 도로변의 카메라를 통해 주변 상황을 확인하여 조치할 수 있도록 한다. 카메라는 IP카메라로서 유·무선 통신망으로 연결되어 고유한 사설 IP를 가지고 있으므로 센터에서 원격으로 영상을 선택하여 볼 수 있도록 설계되어 있다. 영상감시시스템은 그림 2.7.2-12와 같이 트램 내부의 차량 영상감시시스템과 도로변 CCTV 카메라의 노선용 영상감시시스템으로 구성되어 있다.

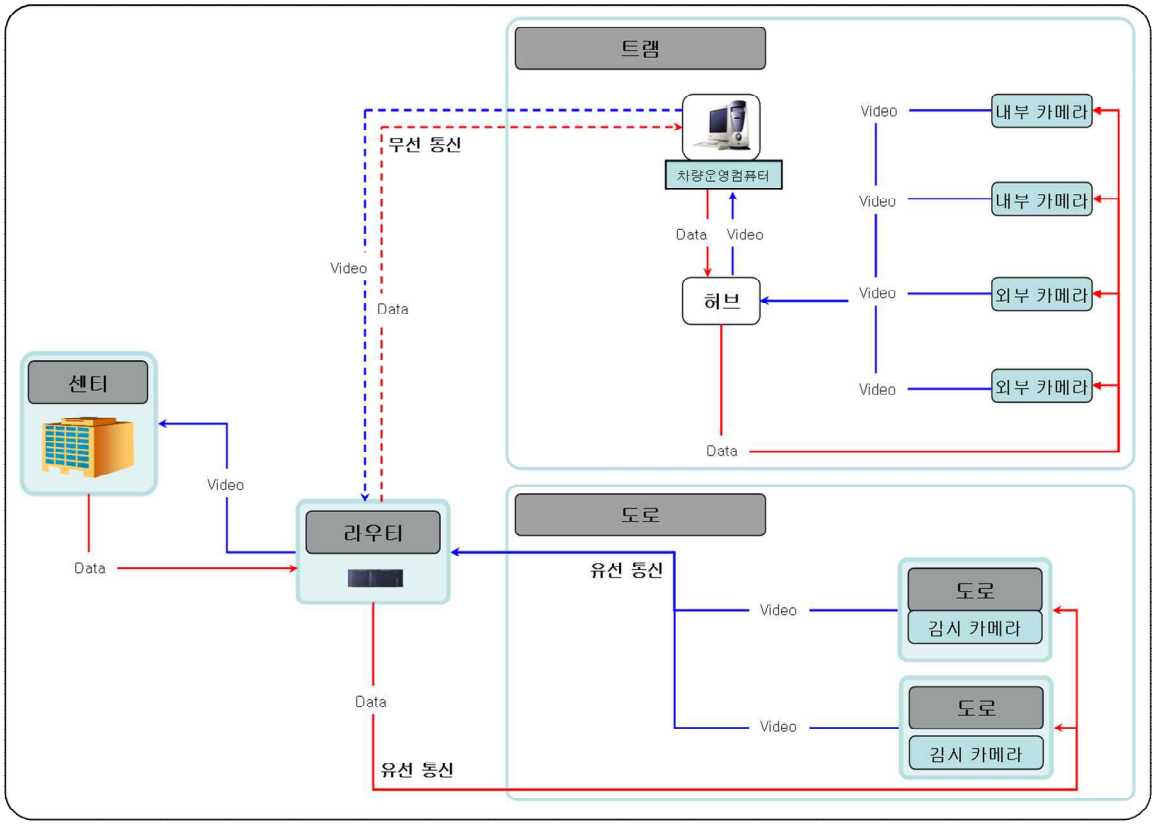



그림 2.7.2-13 영상감시시스템 구성도

### 라. 통합운영시스템 시험선 적용 및 시험평가

1) 시험선 장치 구성

시험선의 구성은 크게 운영센터 공간과 시험선로의 현장 장비 및 차량 장치로 구성된다.

표 2.7.2-20 시험선 장치 구성

| 구 분 | 분 류 | 장치 |
|---|---|---|
| 영상 감시 시스템 | 영상 장치 | CCTV(PTZ 포함), CCTV 제어기 |
| | 통신 장치 | 광 링크 장치, GIGA HUB, RSE |
| 통합 운영 관리 센터 | 가공 서버 | 정보 수집 및 가공/제공 서버, 영상 처리 서버 |
| | 통신 장치 | 광 링크 장치, GIGA HUB |
| 차량 운영 컴퓨터 시스템 | 운영 장치 | 차량 운영 컴퓨터, CCTV 카메라, 정보 표시 장치 |
| | 통신 장치 | 무선 통신 장치 |

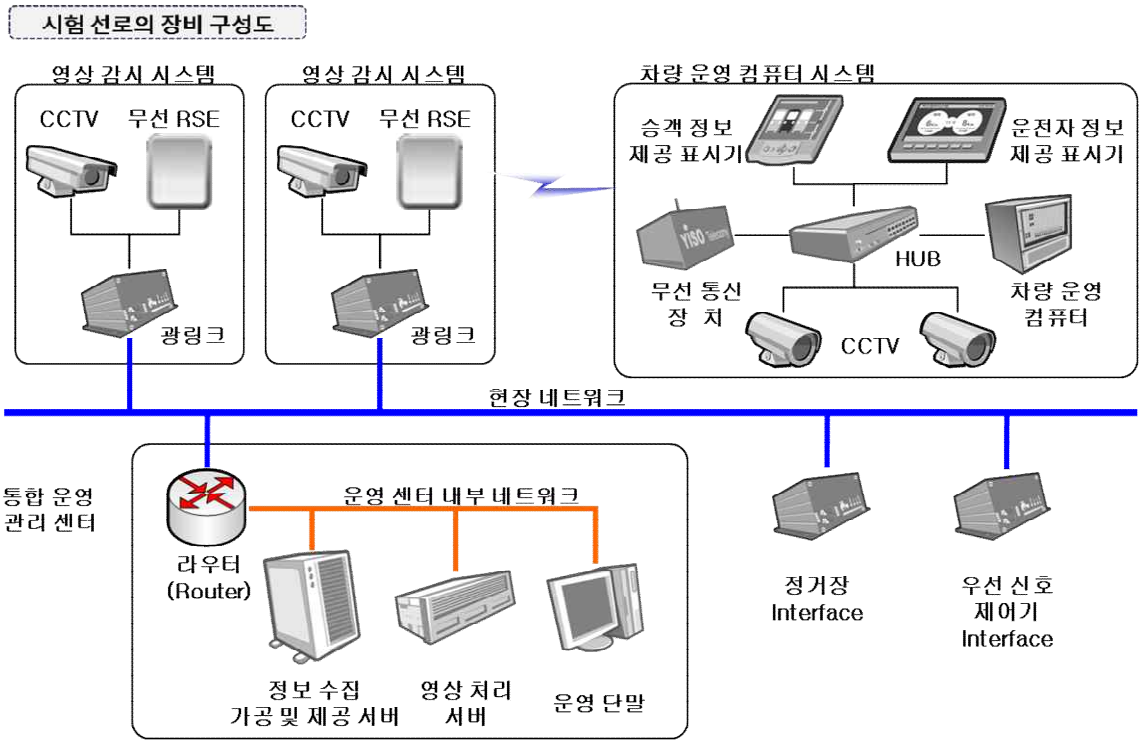



그림 2.7.2-14 시험선 장치 구성도

표 2.7.2-21 시험선 장치 규격 및 수량

| 구분 | 장치 내용 | 구성 사양 | | 수량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 영상 감시 시스템 | CCTV 카메라 | IP Camera | | 2 EA | PTZ 및 영상 압축 및 전송 |
| | 무선 RSE | WLAN AP (802.11 a/b/g) | | 2 EA | 당사 제작 시작품 |
| | 광링크 장비 | 10/100/GIGA Optical Router/HUB | | 4 EA | |
| 통합 운영 관리 센터 | 영상 수집 및 가공 서버 | H/W | Quad Core PC | 1 EA | |
| | | S/W | Windows 2003 Server | | |
| | 데이터 수집/가공 및 제공 서버 | H/W | HP rx6600 | 1 EA | |
| | | S/W | UNIX 11.3 | | |
| | | DB | Oracle 10g (10 Users) | | |
| | 운영 단말 | H/W | Dual Core PC | 2 EA | |
| | | S/W | Windows Vista Business | | |
| | | DB | Oracle 10g (5 Users) | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 운행정보 상황판 | 48“ LCD Display | 1 EA | |
| | 광링크 장비 | 10/100/GIGA Optical Router/HUB | 1 EA | |
| 차량 운영 컴퓨터 시스템 | 차량 운영 컴퓨터 | 차량 운영 컴퓨터 시작품 | 1 EA | 당사 제작 시작품 |
| | 무선 통신 장치 | 무선 통신 장치 시작품 | 1 EA | 당사 제작 시작품 |
| | 승객 정보 표시기 | 19“ LCD 장치 | 10 EA | 당사 제작 시작품 |
| | 행선지 표시기 | LED 표시 장치 | 3 EA | 당사 제작 시작품 |
| | 운전자 정보 표시기 | 7“ LCD 장치 | 2 EA | 당사 제작 시작품 |
| | 10/100 HUB | 10/100 8-port HUB | 3 EA | 당사 제작 시작품 |
| | 감시용 카메라 | 내부 감시용 | 5 EA | |
| | | 외부 감시용 | 4 EA | |

2) 바이모달 통합운영시스템의 시험선 적용 및 시험계획

가) 시험선 시험의 개요

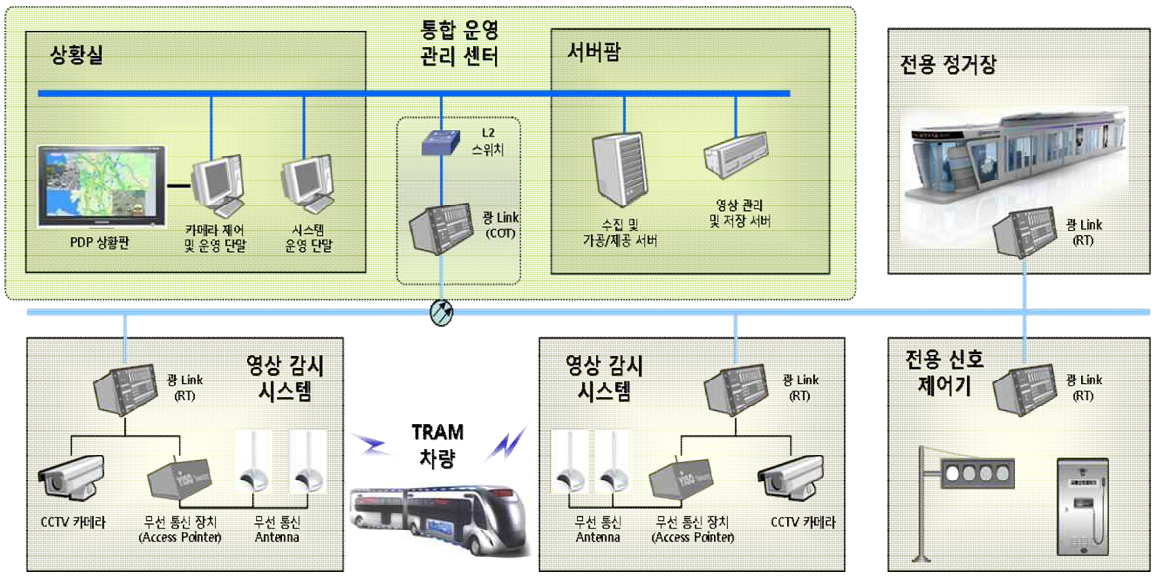



그림 2.7.2-15 시험선 적용 범위

시험선로에서의 시험은 개발 시작품의 개별 기능 및 성능 테스트와 이에 대한 기준 제시 그리고 제품의 신뢰성 확보를 중심으로 실시되면 이를 바탕으로 전체 시스템의 인터페이스 및 통신 테스를 실시하여 통합 운영 시스템의 기능 및 성능

기준을 제시한다. 시험선 시험에서의 중점 항목은 연구실에서 시험이 가능하지 않은 이동간의 테스트에 집중하게 된다.

표 2.7.2-22 시험선로 적용 및 시험의 개요

| 구분 | 시험 사항 | 시험 개요 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 통신 부분 | Hand On/Off | 차량 이동간에 현장의 무선 통신 Access Pointer와의 Hand On/Off 테스트 | ● 예상 문제점 : 시험선의 직선 구간에 따른 차량 최대 속도 |
| | 데이터 전송의 연속성 | 연속적 Hand On/Off 상황에서 대용량의 데이터 전송에 대한 시험으로 대용량의 영상 정보 전송 최적화 | |
| | 데이터 송/수신율 | 일정 패턴의 데이터를 이용해 단위간 내에서 전송율의 변화에 따른 데이터 송수신 에러율 시험 | |
| | 이동성(Mobility) 임계치 | 이동간 최적의 데이터 전송을 위한 최대 속도에 대한 시험 | |
| | RSE 및 차량 안테나 위치 최적화 | 무선 통신시 송수신율 최적화를 위한 안테나의 위치 추적 시험 | |
| 영상 부분 | 영상 신호 왜곡율 | 차량 내에서 각종 노이즈에 대한 영상 신호 왜곡율 시험: 영상 신호의 휘도, 색상, 외부 잡음 등 | |
| | 영상 신호 부호화/복호화 | 이동간 영상 통신을 위해 영상 압축 알고리즘의 최적화 시험 및 수정 작업 | |
| | 카메라 최적화 | 최대의 시야각 확보를 위한 카메라 위치 및 배율 시험 | |
| 기타 부분 | 각 기구물의 변형 검토 | 차량 이동시 각 장치의 기구물 변형 검토 : 변형의 형태, 방향, 속도 등 | |
| | 차량 노이즈에 대한 대책 | 차량 노이즈가 미치는 영향에 대한 테스트 : 노이즈 강도, 노이즈 대역, 노이즈 범위 등 | |
| | 차량 충격에 대한 대책 | 이동시 내외부 충격에 대한 시험으로 문제점 도출 및 대응 방안 검토 | |
| | 각 장치의 최적 위치 확보 | 변현 및 노이즈, 충격에 대한 각 장치의 최적화 위치 검토 | |
| | 정거장 인터페이스 | 정거장과의 인터페이스 테스트 | |

3)바이모달 통합운영시스템의 시험평가

가) 통합관제센터 배치 및 종합 상황판시스템 설치

바이모달 시스템에서의 시작품 시험선 적용은 제품의 안정성 및 성능을 검증하는 단계로써 시험선에 적용하여 통합테스트 과정을 거쳐 정상적인 동작을 하는지를 확인하고 각 장치 또는 시스템 등의 최소 요구조건을 만족하는지 확인하여 평가기

준을 산출하는데 목적을 둔다. 이러한 시험선 적용은 바이모달 시스템을 운영하는데 있어서 사용자들에게 제품의 활용도 및 신뢰성을 제공하고, 문제점을 도출하여 보다 나은 시스템을 구성하는데 필요한 과정이다.

종합 상황판시스템은 시험선에 설치되어 있는 카메라들의 영상을 실시간으로 표출하고 영상저장 시스템에 저장되어 있는 영상데이터를 표출하는 역할을 한다.

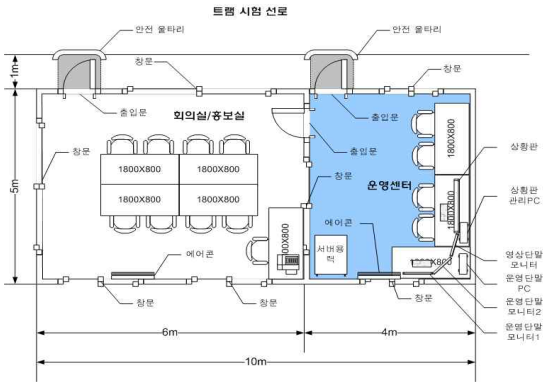



그림 2.7.2-16 통합관제센터 평면도 및 설비 배치도

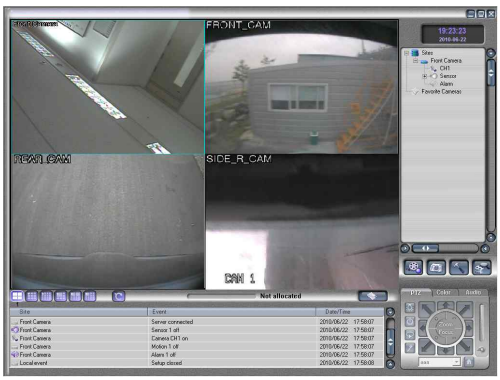



그림 2.7.2-17 종합 상황판 화면모습

나) 시험평가 결과

통합운영시스템 테스트 결과 확인이 완료되고 성공 확인된 부분은 기준치에 준하거나 또는 기준치에 근접하였다. 독립적으로 단일 테스트를 진행하였을 때는 그 만족도가 높았으며 테스트 항목 역시 적었지만 통합테스트를 진행하였을 경우는 결과는 양호하였으나 시스템의 안정성 및 신뢰성을 확인하기에 테스트 횟수가 충분하지 않았다. 또한 통합운영시스템을 테스트 하는 과정에 있어서 기능의 추가 및 변경 사항이 계속적으로 발행하였기 때문에 각 시스템의 완성도가 부족하기에 추가적인 테스트 및 보완작업이 더 필요할 것으로 판단된다.

차량운영컴퓨터와 센터간의 데이터 송수신 테스트 결과 현재 설계된 기능들은 기준치에 준하거나 또는 기준치 이상의 만족도를 얻었다. 하지만 센터 운영단말로부터 수신 받는 정보가 현재 다양하게 구성되어 있지 않기 때문에 설계 계획한 많은 기능들을 테스트 할 수는 없었다. 그 중 차량의 위치 정보를 처리하는 부분인 운영단말의 기능을 수행하기 위해서는 차량운영컴퓨터가 차량으로부터 위치정보를 수신 받아야 하는데 수신 받는 방법이 여러 차례 변경되었기 때문에 운영단말과의 데이터 처리가 아직은 미흡하다. 그 이전에는 당사에서 자체적으로 설치한 GPS를 이용하여 위치정보 수신을 하여 처리하였지만 GPS의 특성상 오차율이 있기 때문에 짧은 구간의 시험선에서는 원활한 처리가 불가능하였다.

차량운영컴퓨터가 FROG로부터 위치정보 및 속도 정보를 수신 받는데 현재 FROG 장치와 차량운영컴퓨터가 통신이 연결되면 바로 정보를 수신 받지 못하고 FROG 장치가 시작 기준점을 거쳐 초기화가 되는 시점부터 데이터를 받기 시작한다. 그리고 속도의 경우 m/s 단위로 데이터를 수신 받기 때문에 차량운영컴퓨터에서는 이를 Km/h로 변환해서 센터로 전송해야 하는 불편함이 있다.

현재 차량영상컴퓨터는 9대의 카메라의 영상을 입력받아 실시간으로 저장하고 디스플레이 장치에서 4채널 영상을 표출하도록 구성되어 있다. 하지만 테스트베드에서 수차례 테스트한 결과 산업용 PC 레벨의 차량영상컴퓨터의 그래픽 환경의 한계로 인해 30프레임, 720*480 해상도의 영상을 디스플레이하는 것에 있어서는 문제가 발생한다. 따라서 현재 차량영상컴퓨터는 15프레임, 352*240 해상도를 사용하고 있다. 그럼에도 불구하고 9대의 디스플레이 영상을 저장하며 4채널 영상을 화면에 디스플레이 하기 때문에 CPU 점유율은 70% ~ 80%에 가깝고 메모리 사용량은 1GB 메모리중 약 800MB를 사용하고 있다. 이러한 문제는 응용프로그램이 아닌 산업용 PC레벨의 공통적인 그래픽 관련 문제로 나누어진다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 그래픽 칩셋을 고 사양으로 변경하거나 사용하는 카메라 및 저장 대수를 줄이는 방법 등 여러 가지 사항을 고려해 볼 필요가 있다.

행선지표시기는 현재 문구(매니저 프로그램으로 변경 가능 : 네트워크 또는 시리얼 방법)를 반복적으로 표출하도록 구성되어 있다. 하지만 최초 설계 시 트램 시동 시 바로 문구가 표출되도록 구성하였으나 시스템 안정을 위해(행선지표시기의 LED 모듈이 최초 초기화할 때 순간 전압을 많이 사용함) 타 시스템의 전원이 공급 된 후 동작하도록 변경하였다. 차량운영컴퓨터에서 네트워크 기반 모듈 전원 명령을 송신하여 동작하는 방법을 사용하였으며 차량운영컴퓨터가 부팅되고 응용프로그램이 동작하여 행선지표시기와 네트워크가 연결되는 시점으로부터 약 10초 후에 전원 ON 명령을 송신하도록 구성하였다. 하지만, 이 방법은 내부 네트워크가 불안정할 경우 정상적으로 동작하지 않을 수 있다는 단점이 있다.

차량의 OBE는 현재 트램 전방 상단에 설치되어 있다. 하지만 OBE의 무선 수신 안테나는 지향성 안테나로써 최초 설치기 안테나의 방향에 많은 신경을 써야 한다. 또한 수신 감도를 높이기 위해서는 안테나가 외부에 설치되는 것이 이상적이나 현재 1차 모델에 설치된 OBE의 경우 행선지표시기의 아래쪽에 OBE와 일체형으로 장착되어 있다. 2차 모델 제작에 있어서 이러한 요소를 감안하고 재배치할 필요가 있다.

상기의 문제점을 분석을 분석하여 다음과 같은 대책을 마련하였다.

표 2.7.2-23 시험평가 결과에 대한 문제점 분석

| 대분류 | 소분류 | 기존 | 개선 및 목표 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 통합 운영센터 시스템 | 센터 운영단말 | ▪ 안정성 테스트 미흡 | ▪ 시험선 테스트 추가 진행 후 문제점 해결 및 개선사항 도출<br>▪ 센터 운영단말의 경우 차량위치 정보(FROG data)를 가공하여 단말화면에 차량 위치 표출 | |
| | 음성방송 | ▪ 안정성 테스트 미흡 | | |
| | 서버 | ▪ 안정성 테스트 미흡 | | |
| | 재해 관제 | ▪ 현재 진행 중<br>(강원대학교 협동) | ▪ 시뮬레이션 결과 도출 후 시험선 적용 | |
| 차량운영 시스템 | 차량운영 컴퓨터 및 차량영상 컴퓨터 | ▪ 별도의 디스플레이 장치 사용<br>▪ 독립기능 수행<br>(카메라 선택 시 소켓 통신을 통한 채널 변경만 가능)<br>▪ 불필요한 기능 및 운전자 사용의 어려움 | ▪ 두 시스템을 하나의 응용프로그램으로 통합진행 중<br>▪ 키패드 사용의 불편함을 해소하기 위해 메뉴 트리구조를 축소 | |
| | 차량운영 컴퓨터 | ▪ 외부 인터페이스 장치들과 통신규약의 잦은 변경으로 충분한 테스트 검증이 미흡<br>(FROG 인터페이스 및 Serial 통신 포맷 변경)<br>▪ GPS 데이터의 시험선 적용 어려움<br>(GPS 데이터 오차율이 시험선의 크기를 구분하기에 충분하지 않음) | ▪ 현재 FROG 데이터 수신 테스트 완료 (위치, 속도 정보)<br>▪ GPS의 부정확한 위치 정보 대신 FROG 정보를 사용<br>▪ 시스템 안정화 작업 | |
| | 영상 컴퓨터 | ▪ 9대의 카메라 영상입력에 대한 저장 및 디스플레이로 인한 성능 저하<br>▪ 4채널 디스플레이 화면<br>▪ 15프레임 352*240의 해상도 영상 저장(1시간 단위) | ▪ 4채널 디스플레이 화면 제거<br>(운전자 선택에 의해서만 해당 채널 디스플레이)<br>▪ 7대의 카메라 사용<br>▪ 승객 승하차 시 승하차 영상 디스플레이 | |
| | 행선지 표시기 | ▪ LED 모듈의 순간전력소모로 인해 시동과 동시에 동작하지 않고 차량운영컴퓨터로부터 스위치 신호를 받아 동작<br>▪ 네트워크가 불안정할 경우 차량운영컴퓨터와 연결되지 않아 동작하지 않는 문제점 발생 | ▪ 트램 내부 설치<br>▪ 트램 크기 축소<br>▪ 기존 3대에서 2대로 변경<br>▪ 자세한 스펙 미 확정<br>(디자인 협의 완료 후 결정) | |
| | IP 카메라 | ▪ 9대의 카메라 사용<br>▪ 2대의 사이드 카메라<br>(팬 틸트 지원)<br>▪ 7대의 영상감시 카메라<br>▪ 사이드 카메라의 효율 문제로 현재 사용하지 않음<br>▪ 차량 내부 사각지대를 고려하여 내부 전체를 보기 위해 위치 및 포커스를 조정<br>▪ 기울어진 측면에 설치하여 화면의 기울어짐 발생 | ▪ 사이드 카메라 제거<br>▪ 차량 문 탑승지점에 초점을 둠<br>▪ 카메라 보정 위치를 조정하여 화면 기울어짐 조절 | |
| 유무선 통신 시스템 | 도로변 AP (Access Pointer) | ▪ 해당사항 없음 | ▪ 해당사항 없음 | |
| | 차량 OBE | ▪ 내장 안테나 사용으로 인한 수신율 저하<br>▪ 시작차량의 경우 안테나가 외관에 가려져 있음 | ▪ 외장 안테나 사용<br>▪ 외장 안테나 위치 조정 필요 | |

# 제8절 바이모달 시험평가 및 시범운행

## 1. 시작차 시험평가

### 가. 시험항목 및 측정채널

시험항목은 바이모달 트램의 주행 중 성능 확인을 목적으로 선정하였고, 개발품이나 관심부품의 주행 중 성능 확인에 필요한 시험 항목이 추가되었다. 주요한 시험항목은 다음과 같다.

1) 주요 시험항목

가) 차체 관련 시험항목

(1) 승차감시험 (Ride Comfort Test)

(2) 진동시험 (Vibration Test)

나) 조향관련 시험항목

(1) 조향각 시험 (Steering Angles Test)

(2) 측 방향 가속도 시험 (Lateral Acceleration Test)

(3) 요잉 속도 시험 (Yaw Velocity Test)

다) 제동관련 시험항목

(1) 온도시험 (Temperature Test)

(2) 압력시험 (Pressure Test)

(3) 페달하중 (Pedal Force)

(4) 감속시험 (Deceleration Test)

(5) ABS 성능시험 (ABS Performance Test)

라) 추진관련 시험항목

(1) 추진시험 (Propulsion sequence Test)

(2) 부품 효율시험 (Equipments efficiency Test)

(3) 최고속도 가 감속시험 (Accelerating & braking on Max. Drv. Cycle)

(4) 경사구간 가속시험 (Accelerating Test on a grade condition)

(5) 냉각시험 (Cooling Test)

(6) 연료 효율시험 (Fuel Efficiency on Design Drv. Cycle)

(7) 배출가스 시험 (Exhaust Gas on Design Drv. Cycle)

(8) 감속기 성능시험(Gearbox Performance Test)

마) 전장관련 시험항목

(1) 주행상태 기능시험 (Function & Movement in Test Track)

(2) 온도 및 상태 시험 (Temperature and Status)

바) 자동제어관련 시험항목

(1) 자동속도제어 시험 (Automatic speed control performance)

(2) 자동조향 제어시험 (Automatic Steering control)

(3) 정밀 정차시험 (Precision Docking)

(4) Realtime vehicle location on driving

(5) Driving mode change

표 2.8.1-1 계측모듈 위치별 계측 채널

| 측정항목 | 실내1 | 실내2 | 실외1 | 실외2 | 엔진룸 | W1 | W2 | W3 | Roof | 통신 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 가속도 | 16 | 12 | | | | | | | | | 28 |
| 하중 | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| 차량신호 | 3 | | | | | 2 | 2 | 2 | | | 9 |
| 회전수 | | | | | | | 2 | 2 | | | 4 |
| Torque | | | | | | | 4 | 4 | | | 8 |
| 온도 | | | 28 | | 31 | 2 | 7 | 6 | 12 | | 86 |
| 압력 | | | 4 | 7 | | 2 | 3 | 2 | | | 18 |
| 변위 | | | | | | 2 | 1 | 1 | | | 4 |
| 풍량 | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| 유량 | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| RS 232 | | | | | | | | | | 10 | 10 |
| CAN | | | | | | | | | | 65 | 65 |
| 합계 | 20 | 12 | 33 | 7 | 32 | 8 | 19 | 17 | 12 | 75 | 235 |

2) 측정채널

주요 시험항목을 기준으로 계측에 필요한 측정 항목을 선정하고 측정 위치에 따라 계측채널을 분류하였다. 계측채널은 센서를 이용하여 측정하는 9종류의 채널과 (가속도, 하중, 회전수, Torque, 온도, 압력, 변위, 풍량, 유량), RS-232, CAN 통신을 이용한 통신채널, 차량에서 출력하는 신호를 측정하는 채널로 구분되었다. 또한 각각의 측정 채널은 측정위치에 따라 차체1 실내, 차체2 실내, 차체1 실외, 차체2 실외, 엔진룸, W1(1축), W2(2축), W3(3축), Roof 등 9개의 위치로 구분하였다. 최종적인 측정 채널수는 235개로서 측정 채널과 위치는 표 2.8.1-1과 같다.

## 나. 계측시스템 구축

계측시스템은 차량의 협소한 공간과 제한된 차량 내 전력을 극복하고 모든 차량의 Data를 1회 시험으로 실시간 계측, 저장 및 모니터링을 수행할 수 있으며, 채널의 확장에도 유연하게 대처할 수 있어서 시험의 효율성을 높일 수 있도록 구축되었다. 계측시스템은 바이모달 트램의 성능 및 안전성 검증을 위해 건설된 시험선 내에서 뿐만 아니라 일반도로 주행 시에도 원활하게 Data의 계측, 저장, 모니터링 기능이 수행되도록 하였다.

1) 시스템 구성

바이모달 트램 차량 내의 협소한 설치 장소, 전압 강하 및 Noise를 극복하기 위하여 10개의 하부모듈을 갖는 분산 계측시스템으로 구성하였다. 10개의 하부모듈 설치위치는 차량의 상태 및 계측 채널의 수에 따라 그림 2.8.1-1과 같이 선정하였다. 계측시스템의 구성은 전체 계측 시스템을 제어하고 Monitoring하는 주제어시스템, 전압강하 및 Noise를 극복하기 위하여 측정 위치에 근접하여 설치한 9개의 센서계측시스템, 통신 Data를 계측하는 통신계측시스템으로 구성되었으며 각각의 계측모듈은 Switching HUB를 통하여 Network로 연결되었다. 또한 시험종료 후 주계측시스템에 저장한 시험 Data는 Backup 장비를 이용하여 분석용 컴퓨터로 복사하여 Post Processing 프로그램, 시험항목별 분석프로그램으로 분석될 수 있게 하였다. 그림 2.8.1-2는 계측시스템 운영프로그램의 구성을 보여준다.

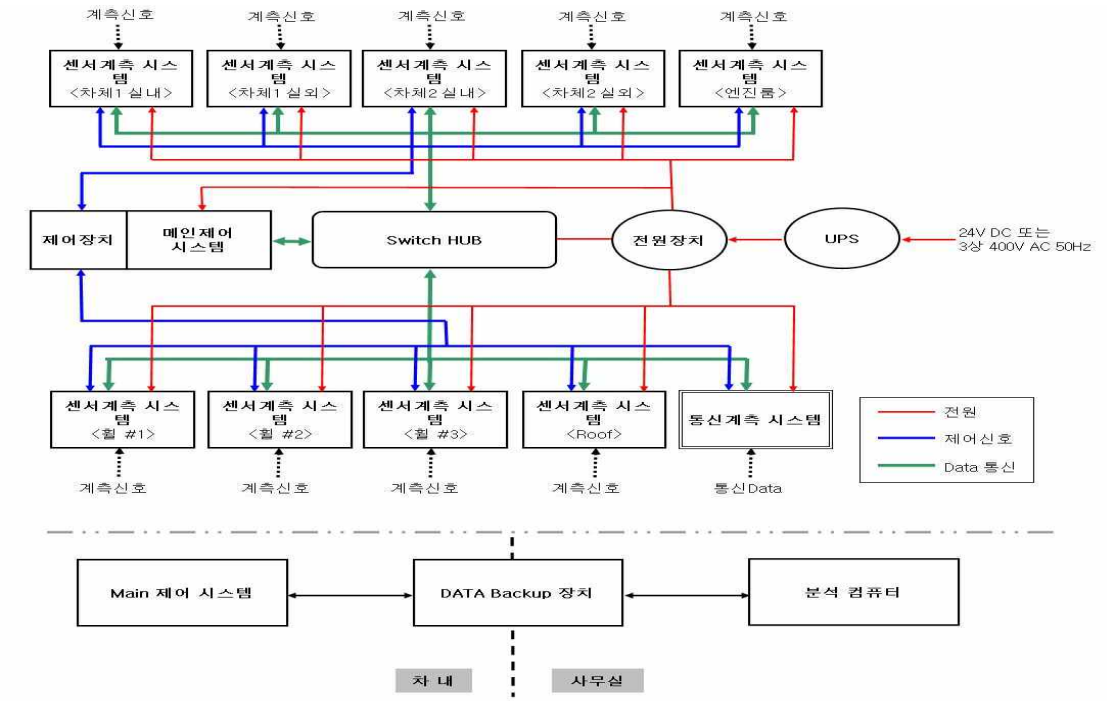



그림 2.8.1-1 계측시스템의 구성도

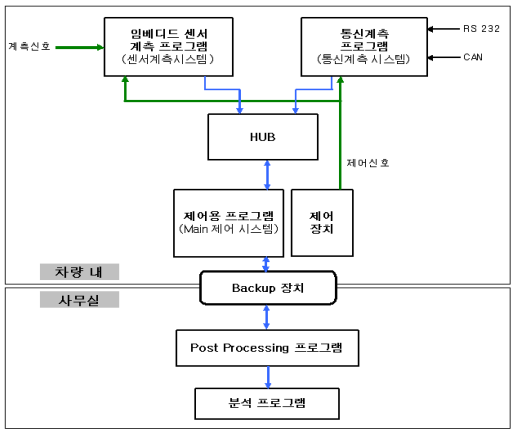



그림 2.8.1-2 계측시스템 운영프로그램의 구성도




그림 2.8.1-3 계측프로그램 계측창 화면

표 2.8.1-2 계측프로그램 자동계측창 주요기능

| 순번 | 의미 | 내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 시험정보입력 | 바이모달트램에 필요한 시험정보의 입력 | |
| 2 | 항목선택 | 해당하는 분산모듈의 측정 센서 선택 및 통신 항목 선택 | |
| 3 | 데이터 디스플레이 | 선택한 분산모듈의 데이터가 디스플레이 | |
| 4 | 전체시그널관리 | 전채널이 간략하게 디스플레이 | |

2) 분석 프로그램

모든 계측데이터는 Post Processing 프로그램을 이용하여 후처리 후에 분석하며, 분석프로그램은 특수한 목적으로 분석하는 보조 분석 프로그램, 일반적인 Data 분석을 하는 Main 분석 프로그램으로 나누어진다. 분석 프로그램의 구성도는 그림 2.8.1-4와 같다. 보조 분석 프로그램은 국내외 표준규격에 의하여 일정한 방법으로 분석하는 프로그램으로 승차감 분석, 제동 분석, 진동피폭 분석, 주행저항 분석, 조향 분석, 연비 분석, 배터리 모드 분석, 가감속 및 최고속도 분석, 감속기 효율이 있으며, 보조 분석 프로그램은 별도로 동작하도록 구성된다.

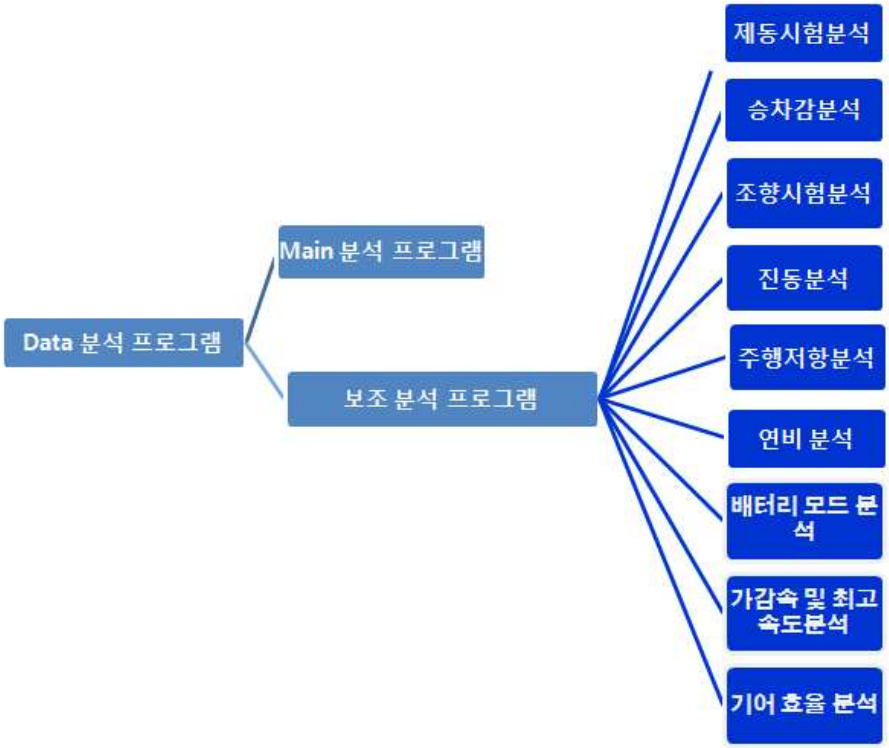



그림 2.8.1-4 분석 프로그램의 구성도

## 다. 자동운전시스템

1) 자동주행시험

차량자동주행은 차량이 자기위치를 인식한 이후부터 가능하다. 그러기 위해서 차량은 초기 수동운전으로 자석마커의 초기화 지점을 지나쳐야한다. 차량이 초기화 지점을 지나치고 자동운전시스템이 차량위치확인이 시작되면 자동운전 모니터창에 자동운전가능 메시지("Auto possible")가 현시된다. 이 상태에서 운전자가 자동운전 버튼을 누르면 자동운전 시스템은 자동운전을 시작한다. 이때부터 차량은 자동속도제어, 자동주행위치제어, 자동정위치 정밀정차를 수행한다.



그림 2.8.1-5 주행중인 바이모달트램




그림 2.8.1-6 밀양시험선 자동운전 시연모습

2) 정밀정차시험

개발된 자동안내제어장치의 성능을 확인하기 위해 연속 30회의 자동운전을 수행하고 매회 정차장 정차시 정거장 근접거리를 측정하여 정거장 자동진입 정밀도를 측정하였다. 정거장 근접정차 간격을 10cm로 설정하고 시험을 진행하였다. 시험결과 3축 모두를 측정하여 최대편차는 2.3cm이고 기준오차 ±2cm를 초과하지 않았다.

표 2.8.1-3 정밀정차시험 결과

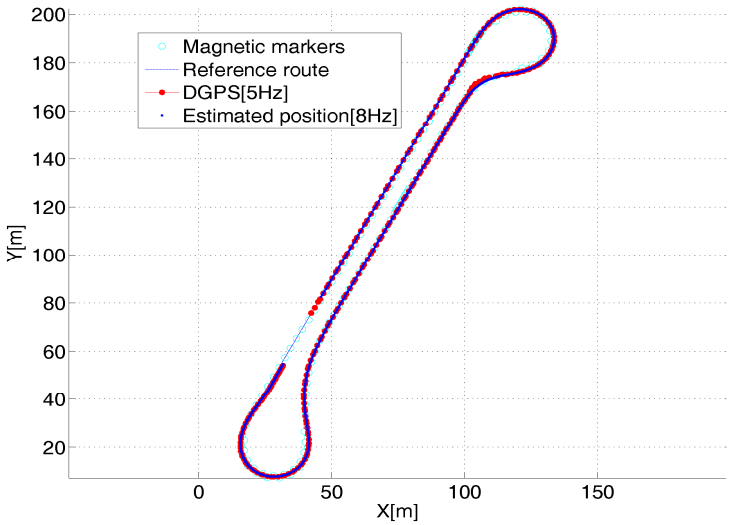
| 30회 | Axle 1 [cm] | Axle 2 [cm] | Axle 3 [cm] |
|---|---|---|---|
| 최대 | 10.7 | 10.9 | 11.8 |
| 최소 | 9 | 9.2 | 9.5 |
| 편차 | 1.7 | 1.7 | 2.3 |
| 평균 | 9.9 | 10.11 | 10.68 |



그림 2.8.1-7 바이모달 트램의 정밀정차 시연모습

3) 위치추정시험

제시된 알고리즘의 위치추정성능은 위성항법장치에 의한 계측결과와 비교하였다. 차량의 신호계측주기(8Hz)와 위성항법장치(5Hz)주기가 다른 관계로 실시간 계측 및 계산결과를 비교할 수 없어 계측궤적과 추정결과에 의한 주행궤적의 유사성으로 성능을 가늠하였다. 실험결과로 자기표지의 위치, 기준주행경로, 위성항법장치측위, 알고리즘 추정위치를 함께 표기하였다. 주행동안 위성항법장치로 계측된 궤적과 추정한 궤적의 결과가 잘 일치하고 있다.



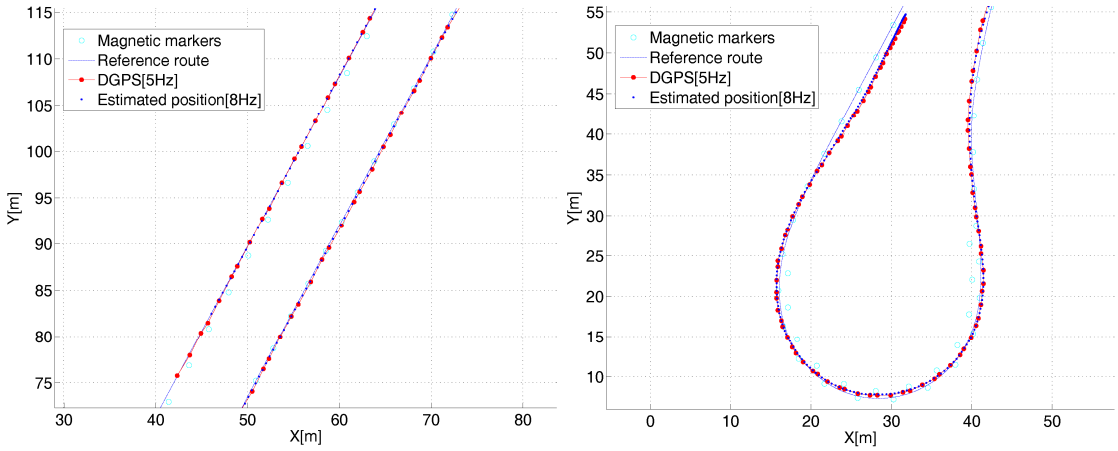



그림 2.8.1-7 위치추정시험 결과

측정된 시험결과에 따르면 직선부 기준으로 자기표지간격 1m 당 약 1cm 정도의 오차가 발생하는 것으로 판단할 수 있고 곡선오차는 좀 더 크게 증가하였다. 따라서 만약 요구하는 위치정밀도가 운영되는 전구간에서 3cm 미만이라고 가정하면 자기표지 설치간격은 직선부 기준으로 간격을 3m 미만간격의 설치하면 충분할 것으로 판단되며 곡선부는 급한 정도에 따라 설치간격을 보다 조밀하게 설치함으로써 요구정밀도를 만족 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

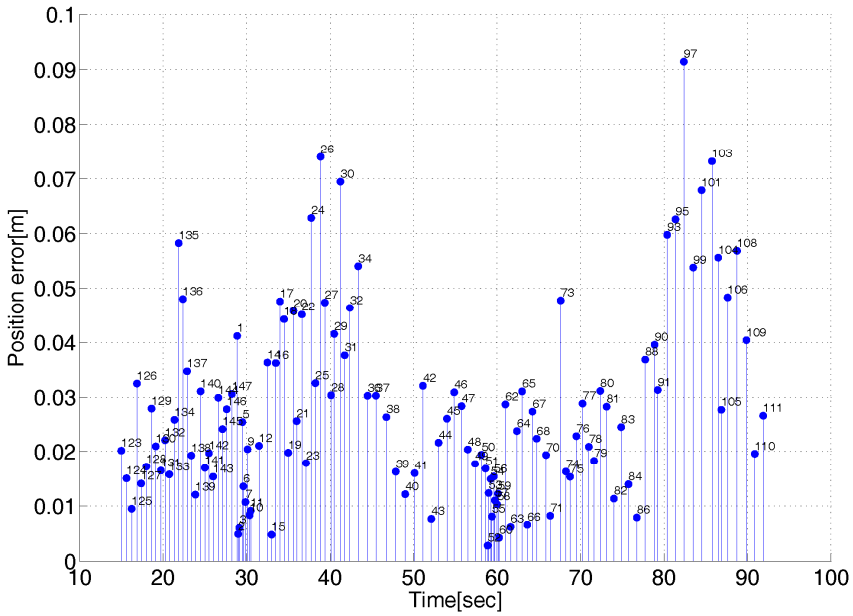



그림 2.8.1-8 자석마커기반 위치추정 오차

## 라. 제동 성능시험

제동 성능시험은 바이모달 트램 제동장치의 제동성능 및 제동안전성을 확보하고 있는지를 판단하기 위하여 시험선로 및 일반도로에서 성능시험을 실시하였다.

1) 제동압력 및 라이닝 온도 변화 측정 결과

바이모달 트램의 제동에 따른 제동압력 변화를 제동 초속도 24km/h, 35km/h, 45km/h에서 실시하였다. 제동압력이 최대 8kgf/cm2를 넘어서고 있으므로 제동장치의 압력 형성에는 별 문제가 없는 것으로 보인다. 제동에 따른 라이닝이 온도 상승 추이를 보기 위하여 라이닝 온도를 측정하였다.

반복되는 제동에 의하여 라이닝 온도는 꾸준히 상승하고 있으며, 2축 라이닝의 온도가 가장 높게 나타나고 있다. 바이모달 트램은 각 축에 걸리는 축당 하중이 다르기 때문에 제동력을 다르게 하기 위하여 제동 실린더의 직경이 다르다. 제동압력이 비슷하더라도 제동실린더의 직경이 다르므로 제동력이 다르고 이로 인하여 실린더 직경이 큰 2축의 라이닝 온도가 가장 크게 나타나고 있다. 보통 제동시험에서 초기 제동온도는 100℃ 이하이어야 하는데 제동시험보다는 제동 모니터링에 중점을 두고 실험을 했으므로 100℃가 넘은 상태에서도 제동시험을 하였다.

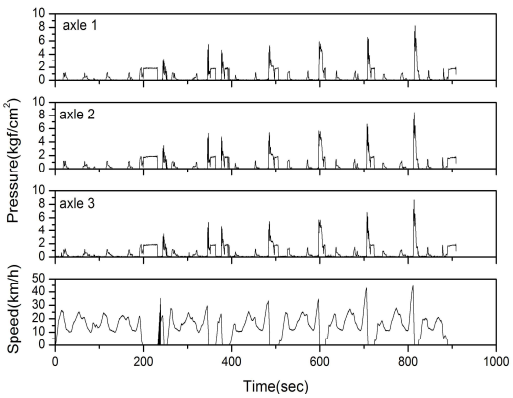



그림 2.8.1-9 제동에 따른 제동압력 변화

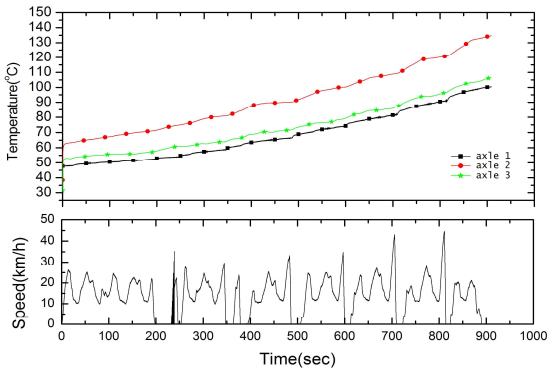



그림 2.8.1-10 제동에 따른 라이닝 온도 변화

2) 감속도 측정 시험 결과

전후방향 진동가속도계를 이용하여 전부차(carriage 1)와 후부차(carriage 2)에 대한 감속도를 제동 초속도 45km/h에서 비상제동으로 측정하였다.

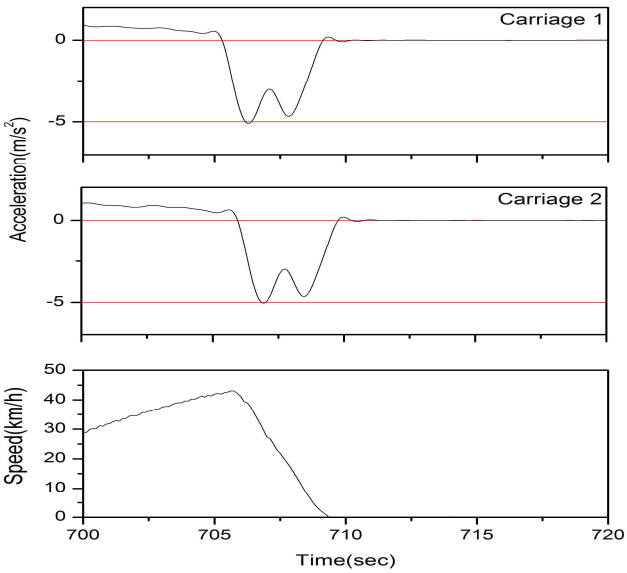



그림 2.8.1-11 제동감속도 측정 결과

3) 감속시 토크 변화 측정 시험

제동시 드라이브 샤프트에 끼치는 영향을 보기위하여 감속에 따른 토크 변화를 측정하였다. 그림 2.8.1-12는 제동초속도 35km/h, 제동압력이 약 6bar에서 제동시 감속도 측정 결과이며, 그림 2.8.1-13은 제동초속도 45km/h에서 제동압력이 약 8bar에서 제동시 감속도 측정 결과이다. 제동직전에 가속패달에서 발을 Ep기 때문에 구동력이 없어지므로 토크가 내려갔다가 제동패달을 밟으면서 제동압력이 증가에 의한 제동력이 구동축에 전달되어 인하여 토크가 올라가다가 떨어지는 경향을 나타내고 있다. 그림 2.8.1-13은 최대제동압력이 약 8bar인 비상제동 조건으로 이때의 제동토크는 구동토크와 비슷할 정도로 크게 나타나고 있으므로 급격한 제동은 드라이브 샤프트에 비틀림 하중이 크게 작용할 수 있음을 알 수 있다.

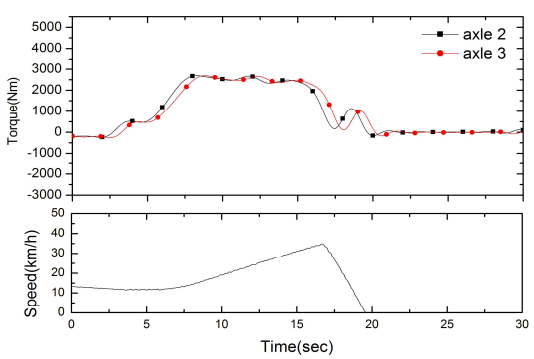



그림 2.8.1-12 감속시 토크 변화 측정(제동초속도 35km/h)

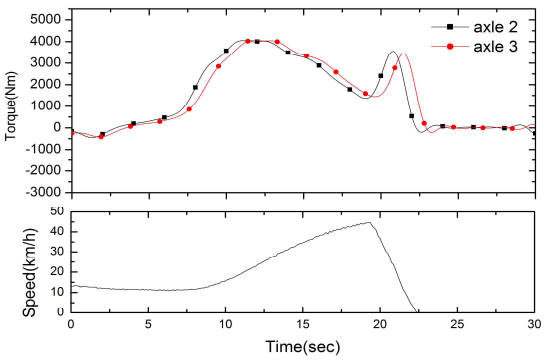



그림 2.8.1-13 감속시 토크 변화 측정(제동초속도 45km/h)

## 마. 조향 성능시험

본 조향성능시험은 바이모달 트램 조향시스템의 조향안정성 및 선회성능을 확보하고 있는지를 판단하기 위하여 시험선로 및 일반도로에서 실시하였다.

1) 직선 주행시 조향장치 안정성 시험

바이모달 트램을 일반도로에서 70km/h의 속도로 직선 주행시킨 결과, 속도가 45km/h 이상에서는 2축 및 3축이 조향되지 않도록 고정됨을 확인할 수 있었으며, 조향장치의 이상진동 등 특이사항은 나타나지 않았다.

2) 차선변경 시험을 통한 횡방향 안정성 시험

일반도로에서 70km/h의 속도로 주행중에 차선을 변경하여 구동장치를 개선 후의 바이모달 트램 횡방향 안정성을 측정하였다. 차선변경은 우측으로 바꾼 후 다시 좌측으로 차선을 변경하였으며, 변경시 속도는 약 70km/h였다. 전두부 차량(carriage 1)과 후부 차량(carriage 2)의 횡가속도는 비슷하게 나타나고 있으며, 우측으로 차선변경시 0.8m/s2, 좌측으로 차선변경시 0.5m/s2였다. 횡가속도는 2m/s2이하로서 승차감에 영향을 미치거나 차량의 안정성을 저해하지는 않는 것으로 나타났다.

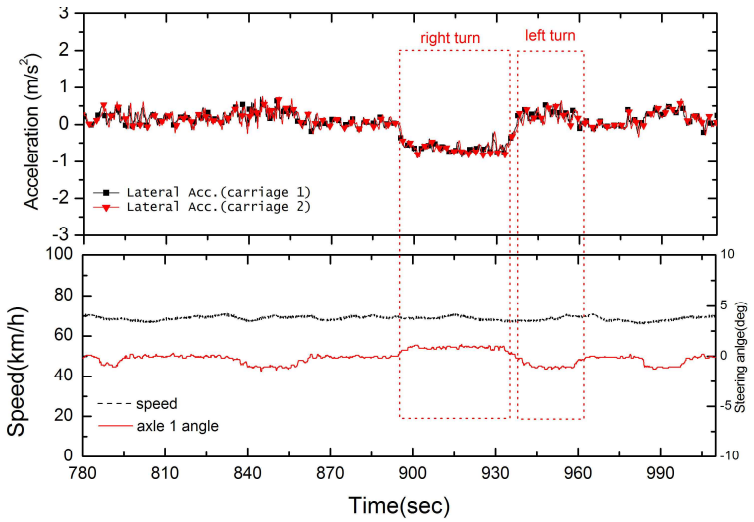



그림 2.8.1-14 구동장치 변경후의 차선변경에 의한 횡방향 안정성

3)곡선 선회시 횡방향 안정성 시험

곡선 선회시 횡방향 안정성 시험을 위하여 만차조건에서 시험선로 내에의 일정곡선을 선회할 때 속도에 따른 횡방향 안정성을 측정하였다. 시험선로의 곡선은 차량중심을 기준으로 12m 곡선이며, 횡가속도 측정결과는 전부차보다 후부차가 약간

크게 나타나고 있다. 횡가속도는 속도 및 회전반경에 영향을 받는데 전부차보다 후부차가 회전반경이 짧기 때문에 후부차가 약간 크게 나오고 있다. 차선변경 시험에서는 조향각이 약 2도 정도이지만 곡선선회시 조향각도는 약 29도이므로 이로 인한 회전반경이 차이로 인하여 후부차의 횡가속도가 크게 나타났다. 횡가속도가 2m/s2이내이므로 안정성 및 안전성(3m/s2 범위 이내(철도차량을 기준))에 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 2.8.1-4 곡선 선회시 횡방향 안정성 시험 결과

| 구분 | 결과 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 곡선선회시 횡방향 안정성 시험 | | 1회 | 2회 | 3회 |
| | 선회속도(km/h) | 10.7 | 11.9 | 11.9 |
| | 1축조향각도(°) | 29.0 | 27.9 | 29.4 |
| | 전부차 횡가속도(m/s2) | 0.86 | 1.15 | 1.29 |
| | 후부차 횡가속도(m/s2) | 1.30 | 1.59 | 1.43 |

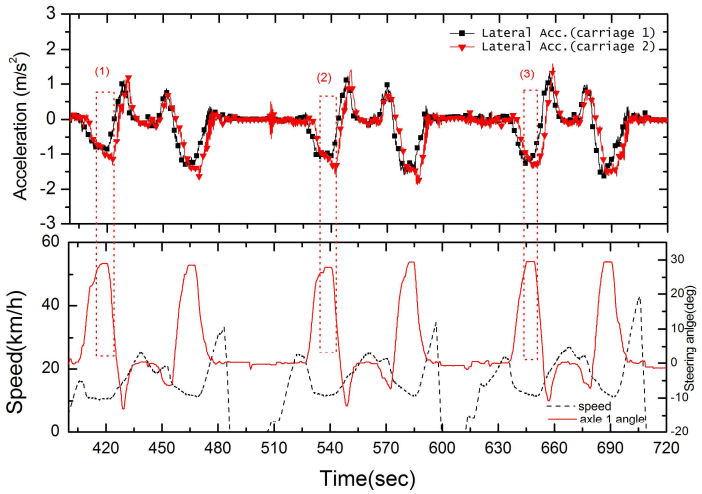



그림 2.8.1-15 구동장치 변경후의 곡선 선회시 횡방향 안정성

4) 곡선 선회시 토크 변화 측정 결과

드라이브 샤프트는 회전 및 높낮이 변화를 수용할 수 있도록 샤프트 중간부분이 유니버설 조인트로 연결되어 있다. 유니버설 조인트가 교차각을 가진 상태에서 토크를 받으면 드라이브 샤프트의 응력집중이 더 커지므로 선회시 만차조건에서 토크의 변화를 모니터링할 필요가 있다. 선회시 2축보다 3축 조향각이 더 크게 나타나고 있으나 2축 및 3축의 토크 측정값은 거의 비슷하게 나타나고 있다. 등속으로 선회할 때 토크 값이 약간 커지고 있고, 속도가 줄어들고 있는데도 선회시 토크는

변화가 없는 것으로 보아서 선회시 조인트가 꺽임에 따라 토크가 약간 증가한다고 볼 수 있다. 토크가 크게 나타나는 구간은 곡선 선회시가 아닌 곡선에서 빠져나오면서 가속할 때와 직선구간에서 속도를 높이기 위하여 가속할 때 발생하고 있으므로 선회로 인한 드라이브 샤프트의 응력집중은 문제되지 않을 것으로 판단된다.

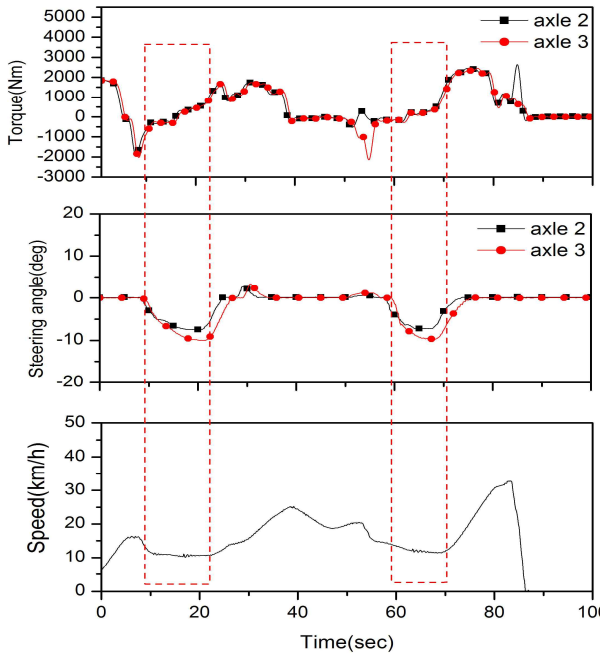



그림 2.8.1-16 곡선 선회시 토크 변화 측정

## 바. 추진 성능시험

바이모달 트램의 추진장치 성능 모니터링을 위해 전용 시험선과 일반도로 주행을 실시하였다. 전용 정거장과 운영센터를 갖춘 시험선에서는 자동운전모드 위주로 주행 모니터링을 실시하였고, 일반도로에서는 추진장치 뿐만 아니라 차량 전체의 구성품들에 대한 모니터링을 위해 실시하였다. 시작차량의 경우 5000km의 누적거리를 주행하였다.

1) 시험선 주행

시험선에서 자동운전모드로 주행한 경우, 바이모달 트램의 속도, 주행누적거리, 배터리 SOC 파형을 측정하였다. 자동운전장치에 자동운전 주행 패턴이 저장되었으며, 이 패턴에 따라 시험선 양측에서 2회 정차했고, 최고속도 31km/h, 표정속도 약 11km/h로 운행하였다. 시험선 자동운전 주행시 배터리의 SOC 값은 설정치인 59 ~ 63%를 유지하며 정상 주행한 것을 확인할 수 있다.

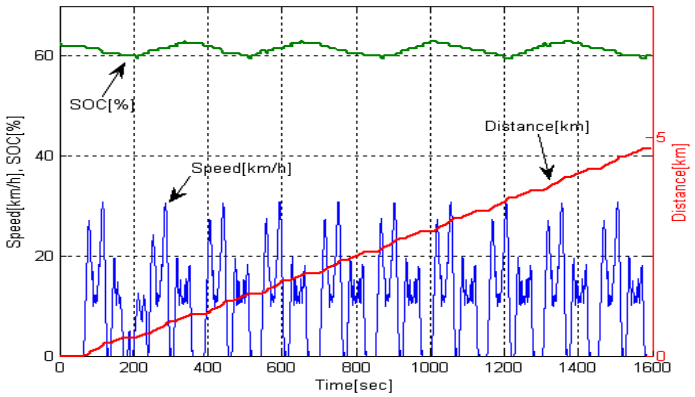



그림 2.8.1-17 시험선에서 자동운전 주행시 트램 데이터

2) 일반도로 주행

바이모달 트램의 최고속도 및 예비주행시험을 위해 일반도로 주행을 실시하였다. 일반도로 주행로는 경남 밀양시 시험선 근방의 25번 국도와 1008번 지방도를 경유하며, 1회 약 50km의 주행거리를 갖는다. 트램 속도, 누적 주행거리, 배터리팩 SOC 파형들을 측정하였고, 주행조건에 따른 연비와 엔진 효율 계산을 위해 다양한 주행패턴으로 추진장치 데이터를 취득하였다.

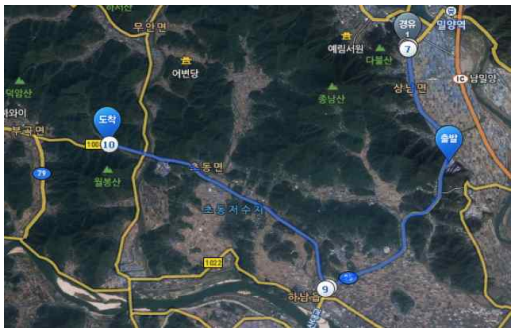



그림 2.8.1-18 일반도로 주행노선

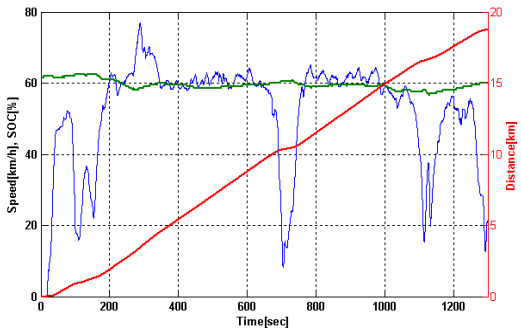



그림 2.8.1-19 일반도로 주행 데이터

4) 연비 및 엔진 효율 분석

직렬형 하이브리드 추진시스템을 사용하는 바이모달 트램에서 CNG-엔진 및 발전기 셋은 배터리팩과 함께 추진전력을 공급할 뿐만 아니라, 대용량 Li-polymer 배터리팩을 충전시키고, SOC balancing 성능을 확보하는 역할도 수행한다. 따라서 동일한 주행노선 및 주행 조건에서도 CNG-엔진의 연료소모량은 배터리 팩의 충전량 조건에 따라 차이가 있다. 표 2.8.1-5는 연료소비율을 계산한 결과이다. 바이모달 트램의 운행 패턴을 의미하는 표정속도에 따라, 연비 값이 변화됨을 알 수 있다. 잦은 주정차를 반복하는 주행 1과 비교해 정속운전 구간이 많은 주행 4의 경우 높은 연비를 갖게 된다.

표 2.8.1-5 SOC correction factor를 고려한 연비 계산

| 항목 | 주행 1 | 주행 2 | 주행 3 | 주행 4 |
|---|---|---|---|---|
| 최고속도(km/h) | 56.4 | 59.8 | 62.4 | 76.9 |
| 표정속도(km/h) | 29.7 | 28.5 | 29.5 | 48.7 |
| CNG 소모량(kg) | 4.3 | 4.4 | 3.9 | 6.8 |
| Correction factor(k) | 1.65 | 1.51 | 1.55 | 0.81 |
| EFC ($km/m^3$) | 1.86 | 1.84 | 2.13 | 2.24 |

표 2.8.1-6은 바이모달 트램 추진장치의 직류링크단의 전력량 측정 값을 나타내며, 도로주행시의 CNG 엔진의 효율 값을 계산한 데이터들이다. CNG 엔진은 운행패턴에 관계없이 약 31%의 효율로 운전되고 있음을 확인할 수 있다.

표 2.8.1-6 일반도로 주행시 엔진효율 계산값

| 항 목 | 주행 1 | 주행 2 | 주행 3 | 주행 4 |
|---|---|---|---|---|
| 엔진-발전기셋 출력전력량(kWh) | 17.4 | 17.7 | 15.5 | 28.6 |
| 견인전동기 입력전력량(kWh) | 11.4 | 12.5 | 11.1 | 22.3 |
| 배터리팩 출력전력량 ($\Delta E_{RESS}$, kWh) | 1.72 | 0.4 | 1.1 | 1.1 |
| CNG 엔진 효율($\eta_f$, %) | 31.5 | 31.0 | 30.3 | 32.6 |

## 사. 승차감 및 진동시험

시험선과 일반도로에서 바이모달 트램의 Carriage 1, 3에서 승객의 승차감, 진동이 승객의 건강, 안락도, 멀미에 미치는 영향을 평가하였다.

1) 시험선 주행

그림 2.8.1-20과 같이 바이모달 트램은 시험선에서 수동운전으로 25~30분 동안 연속으로 주행하였으며, 계측되는 진동가속도는 200Hz로 Sampling되었다.

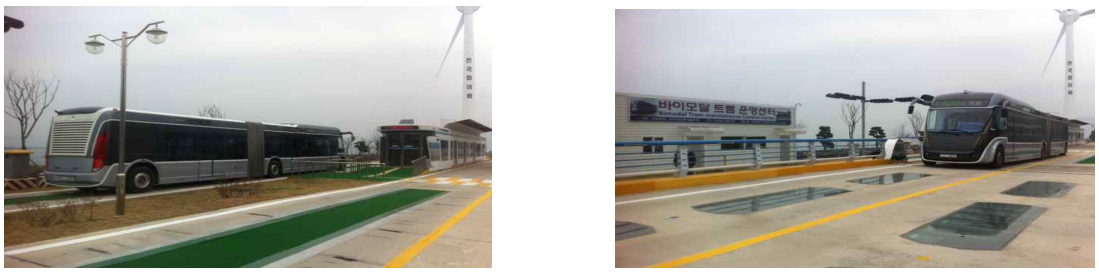


그림 2.8.1-20 바이모달 트램의 시험선 주행

2) 일반도로 주행

경남 밀양시 (주)한국화이바 제2공장 주변의 마을길, 25번 국도, 1008번 지방도에서 속도별로 승차감 및 진동피폭 시험이 수행되었다. 바이모달 트램은 마을도로 약 5km, 25번 국도 약 10km, 1008번 지방도 약 10km를 반복·왕복하여 주행하였다. 계측되는 진동가속도는 200Hz로 Sampling되었다. 마을도로에서는 좁은 도로폭, 다른 차량의 추월 등 돌발 상황에 대한 안전을 위해 10~40km/h, 25번 국도와 1008번 지방도에서는 50~80km/h로 주행하였다. 25번 국도 (주)한국화이바 부근에는 약 5.6%의 구배구간 약 800m, 약 3.4%의 구배구간 약 900m가 포함되어 있다. 또한 마을도로를 제외한 1회 왕복 주행거리가 약 40km이고, 60~80km/h 고속주행 시간이 길어 차량의 안정적인 운행을 위해 회차 지점인 경남 창녕군 부곡면 수다리 향태마을 입구 교량 위에서 약 20분씩 정차하였다. 승차감 및 진동피폭 시험이 수행된 일반도로는 과속방지턱, 웅덩이 등의 울퉁불퉁한 노면을 다수 포함하고 있다.

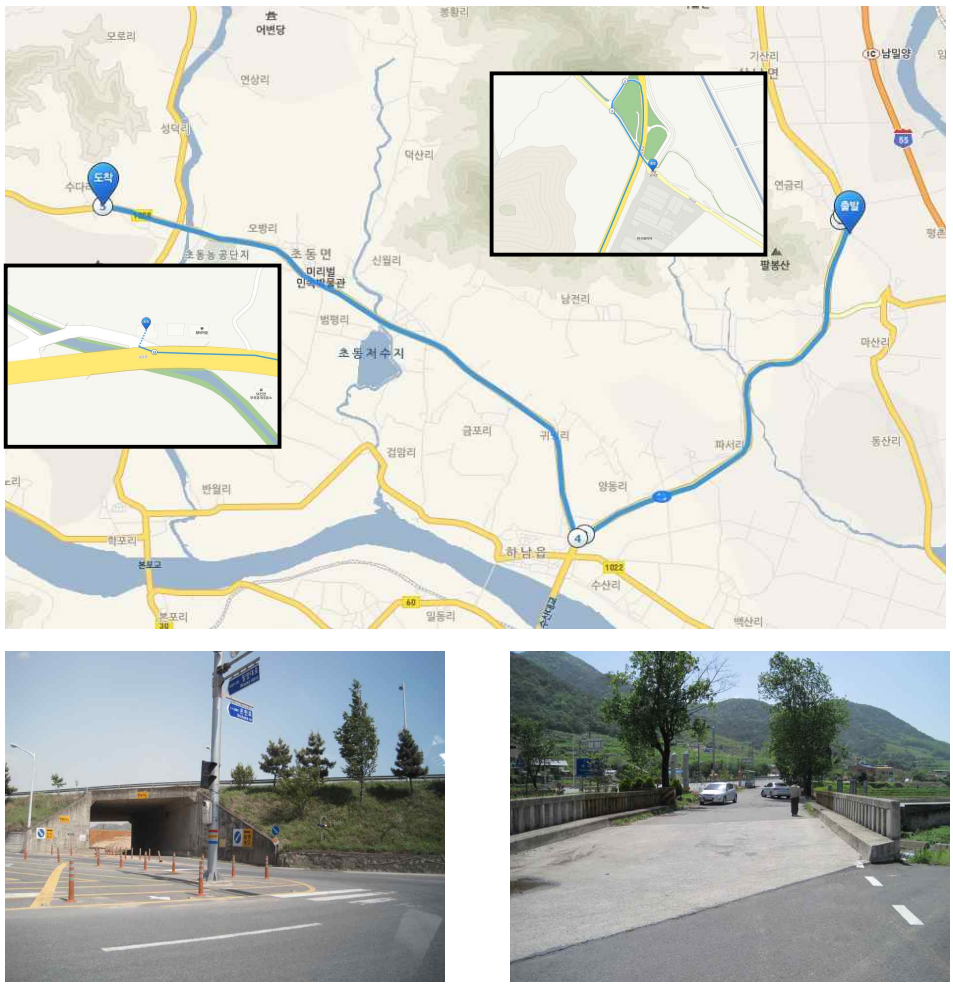



그림 2.8.1-21 바이모달 트램의 일반도로 주행구간, 교차로 및 회차지점

3) 승차감 시험결과

그림 2.8.1-22는 Carriage 1, 3의 차체바닥 중앙에서 평가된 입석약식에 대한 승차감 지수를 보여준다. 입석약식에 대한 승차감 지수는 대부분 2.5~3.0 사이에서 분포되었고, 보통 (moderate comfort) 수준을 나타냈다.

그림 2.8.1-23은 일반도로에서 수동운전으로 공차 운행할 때 Carriage 1, 3의 차체바닥 중앙에서 분석된 입석약식에 대한 승차감 지수를 보여준다. Carriage 1, 3에서 모두 주행속도 증가에 따라 승차감 지수가 증가되는 경향을 나타냈다. 분석된 모든 승차감 지수는 4.0 미만을 나타냈고, 따라서 일반도로에서 수동운전으로 공차 운행될 때 바이모달 트램의 입석약식에 대한 승차감 지수는 보통 (moderate comfort) 수준을 나타냈다.

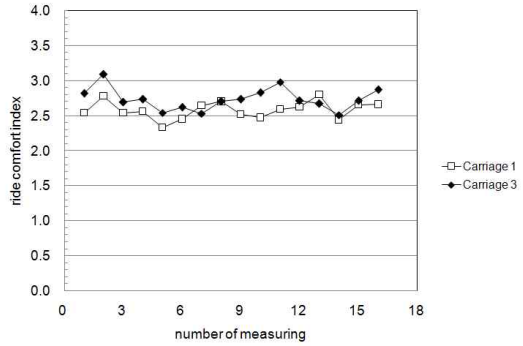



그림 2.8.1-22 시험선에서 수동운전시 입석약식에 대한 승차감 지수

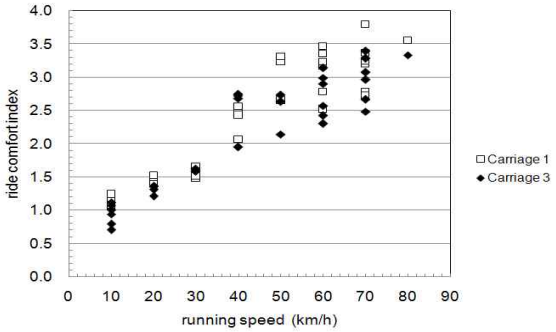



그림 2.8.1-23 일반도로에서 수동운행시 입석약식에 대한 승차감 지수

4) 진동피폭 시험결과

그림 2.8.1-24는 일반도로에서 바이모달 트램이 수동운전으로 5~20분 동안 공차 운행할 때 Carriage 1, 3의 좌석에서 승객의 건강에 미치는 진동량을 분석한 결과를 보여준다. ISO 2631-1에서 제안한 건강지침 주의영역을 기준으로 Carriage 1의 좌석에서 측정된 진동가속도는 승객의 건강에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

그림 2.8.1-25는 일반도로에서 바이모달 트램이 수동운전으로 5~20분 동안 공차 운행될 때 Carriage 1, 3의 차체바닥 중앙에서 입석승객의 안락도에 미치는 진동량을 분석한 결과를 보여준다. 등속도 10~20km/h에서는 '편안하다', 30~50km/h에서는 '약간 불편하다', 등속도 60~80km/h에서는 '다소 불편하다'의 결과를 나타냈다. 그림 2.8.1-26은 일반도로에서 바이모달 트램이 수동운전으로 5~20분 동안 공차 운행될 때 Carriage 1, 3의 중앙의 좌석, Carriage 1, 3 차체바닥 중앙에서 분석된 승객의 멀미에 대한 평가결과를 보여준다.

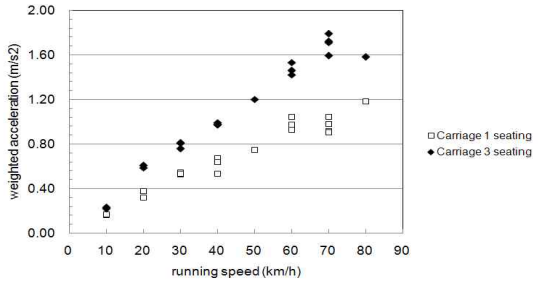



그림 2.8.1-24 일반도로에서 수동운전시 승객의 건강에 미치는 진동량

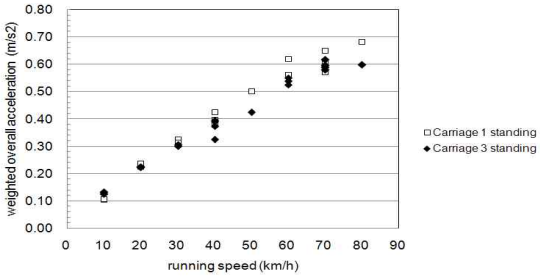



그림 2.8.1-25 일반도로에서 수동운전시 차체바닥 중앙에서 안락도에 미치는 진동량

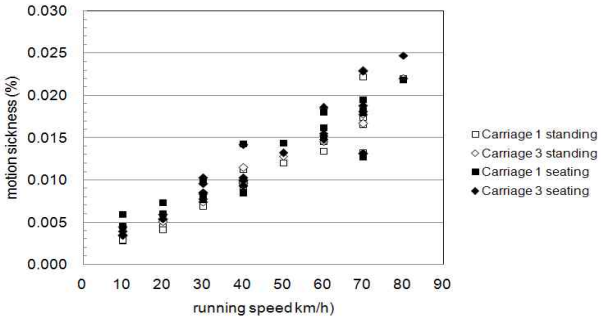



그림 2.8.1-26 일반도로에서 수동운전시 승객의 멀미

## 아. 소음측정

1) 감속 구동장치 소음측정

바이모달 트램 감속구동장치의 국산화 제품 교체로 인하여 국산화제품으로 교체전 측정소음과 교체 후 주행소음 비교측정시험을 실시하였다. 감속구동장치의 개선 후 제품의 실내소음이 교체전 제품대비 가/감속 소음 모두 20dB A 이상 감소되었음을 확인할 수 가 있으며, 기존의 감속기의 차체 취부면과 간섭의 현상도 발생되지 않았다.

표 2.8.1-7 감속구동장치 교체 전과 후의 주행소음 측정결과

| 구분 | | 가속시 소음 및 진동 | | 감속시 소음 및 진동 | | 사양 비교 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 실내 소음(dB A) | | 실내소음(dB A) | | |
| 감속기 개선후 | order | 2축 실내 | 3축 실내 | 2축 실내 | 3축 실내 | 알루미늄 케이스 |
| | 124 | 74.7 | 68.9 | 67.8 | 65.4 | |
| | 447.15 | 64.4 | 62.1 | 63.4 | 61.6 | |

2) 실내 소음 측정

시작차량은 흡음재 등을 사용하여 실내 소음 개선 작업을 실시하였다. 개선 상태를 확인하기 위해 정속 주행 상태에서 소음을 측정하였다. 기준은 KSA-ISO5128에 따라 작업을 진행하였고 측정 Point는 입석 3곳 좌석 3곳을 지정하였다.

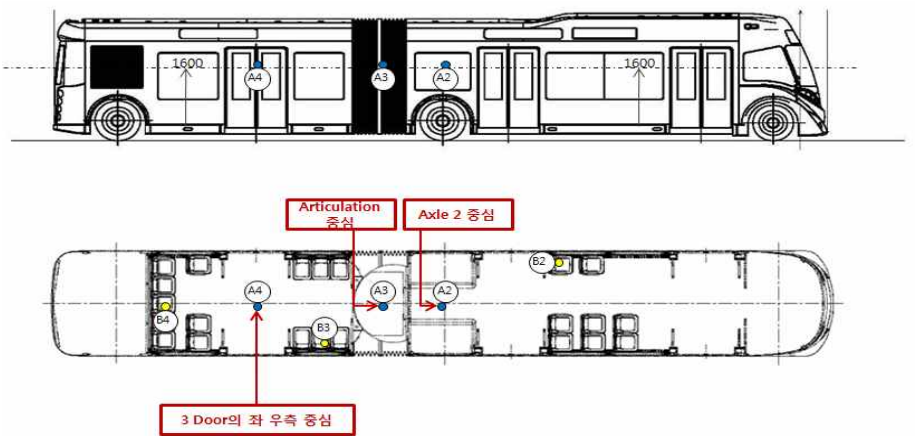



그림 2.8.1-27 실내 소음 측정 Point

표 2.8.1-8 시작차량 개선 후 속도 별 실내 소음 측정 값

| 속도 | A2 | A3 | A4 | B2 | B3 | B4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30km/h_1 | 83.82 | 82.81 | 83.09 | 83.51 | 83.26 | 82.87 |
| 30km/h_2 | 84.93 | 83.24 | 83.16 | 83.82 | 83.03 | 83.27 |
| 평균 | 84.38 | 83.03 | 83.13 | 83.67 | 83.15 | 83.07 |
| 40km/h_1 | 86.68 | 86.60 | 83.73 | 83.81 | 86.20 | 86.23 |
| 40km/h_2 | 86.78 | 86.05 | 83.75 | 83.84 | 86.17 | 86.86 |
| 평균 | 86.73 | 86.33 | 83.74 | 83.83 | 86.19 | 86.55 |
| 50km/h_1 | 90.11 | 88.45 | 85.74 | 85.30 | 87.14 | 86.52 |
| 50km/h_2 | 89.53 | 87.67 | 85.27 | 85.08 | 87.06 | 86.46 |
| 평균 | 89.82 | 88.06 | 85.51 | 85.19 | 87.10 | 86.49 |
| 60km/h_1 | 89.23 | 88.66 | 86.47 | 85.86 | 87.94 | 85.75 |
| 60km/h_2 | 89.59 | 88.39 | 86.68 | 85.61 | 87.88 | 85.98 |
| 평균 | 89.41 | 88.53 | 86.58 | 85.74 | 87.91 | 85.87 |
| 70km/h_1 | 88.09 | 88.42 | 87.51 | 86.57 | 88.26 | 87.69 |
| 70km/h_2 | 88.73 | 88.35 | 87.03 | 86.70 | 88.17 | 87.68 |
| 평균 | 88.41 | 88.39 | 87.27 | 86.64 | 88.22 | 87.69 |
| 80km/h_1 | 90.85 | 90.72 | 88.38 | 87.09 | 88.52 | 88.01 |
| 80km/h_2 | 90.81 | 90.67 | 88.37 | 86.83 | 88.51 | 87.75 |
| 평균 | 90.83 | 90.70 | 88.38 | 86.96 | 88.52 | 87.88 |

개선된 실내 소음 값은 여전히 기준치인 80dB(A) 보다 높다. 시작차량의 구조를 개선하지 않는 한 이를 만족시키기에는 한계가 있으므로 시제차량 제작 시 설계에서 부터 실내 소음 경감도를 높여 이를 만족 하도록 하였다.

## 자. 온도 및 상태

1) 배터리 온도 및 상태

시작차량은 약 5000km의 예비도로주행시험을 거쳤으며 도로 주행시 1바퀴 당 약 50km의 주행이 이루어지고 약 40분의 시간이 소요된다. 도로주행조건은 일반 자동차와 혼합되어 주행되므로 일정 패턴을 정확하게 준수할 수 없으나 가능한 운전자의 재량에 의해 주행패턴을 일치되도록 하였다. 다음에는 약 50km의 도로를 한 바퀴 주행하는 동안 배터리팩의 상태 및 온도변화를 측정하였다.

그림 2.8.1-28의 그래프에서 보면 주행초기에는 배터리의 SOC가 이미 63%에 도달하여 엔진속도가 아이들로 내려가고 배터리는 방전하게 되어 배터리팩전압 및 SOC는 서서히 감소하게 된다. 이때 전류는 (-)전류가 흐른다. 차량이 추진하게 되면 기동 시 기동전류가 크므로 주로 배터리로부터 전력이 공급되어 방전전류가 크게 흐르고 어느 정도 차량이 주행하여 일정속도이상 또는 타행구간에 도달하게 되면 발전기로부터 공급되는 전력에 의해 배터리로부터의 방전전류가 감소하고 배터리에는 충전전류가 흘러 충전된다.

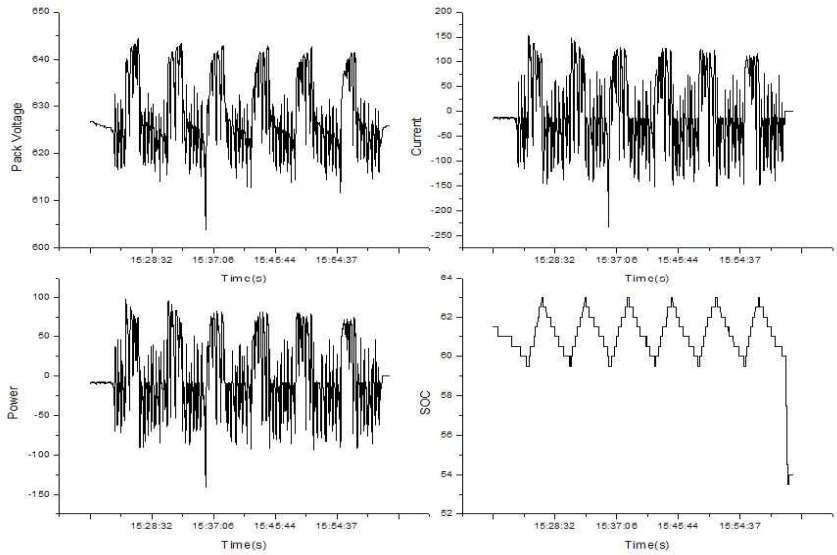



그림 2.8.1-28 도로주행시 배터리팩에 대해 측정된 데이터

그림 2.8.1-29는 배터리의 BMS에 의하여 계산되어 얻어지는 SOC는 배터리전압에 비교되는 배터리용량에 대한 잔존용량을 보여주는 것으로 차량이 기동되는 순간 배터리로부터 충전 또는 방전전류에 의해 그 값이 변화되고 차량이 정지되어 가동이 멈추게 되면 어느 정도의 지연시간 후 안정된 배터리 전압 값에 의하여 배터리팩이 제작되기 전에 배터리 셀에 대해 배터리제작사에 의하여 측정·정리된 전압-SOC 비교 값에 따라 SOC가 정해진다.

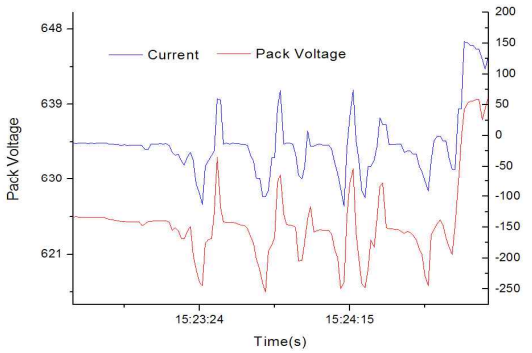



그림 2.8.1-29 차량가속초기 가속페달의 동작에 따른 배터리팩전압 및 전류파형

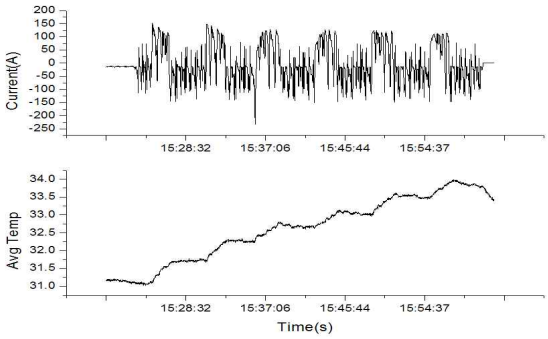



그림 2.8.1-30 도로주행시 배터리 충방전류에 따른 배터리팩 평균온도변화

그림 2.8.1-30은 차량의 도로 주행시 배터리팩에서 충전 또는 방전되는 전류에 의한 배터리팩 내부온도의 평균적인 변화를 보여준다. 배터리팩의 충전 또는 방전전류의 지속시간에 따라 지속시간이 길어지면 온도가 상승하고 지속시간이 짧은 즉 충전전류와 방전전류가 반복적으로 짧게 흐르는 동안에는 온도의 상승이 거의 일정하게 된다. 그러나 도로 주행시 배터리팩의 온도는 전반적으로 배터리팩의 내부 냉각량과 발열량이 평형을 이루는 온도까지 계속적으로 상승하게 된다. 그림 2.8.1-31은 어느 순간에 배터리 팩내에 설치된 셀들의 온도분포를 나타낸 것이고 그림 2.8.1-32는 이들 셀들의 도로 주행시 최대, 최소, 평균온도의 변화를 보여주고 있다.

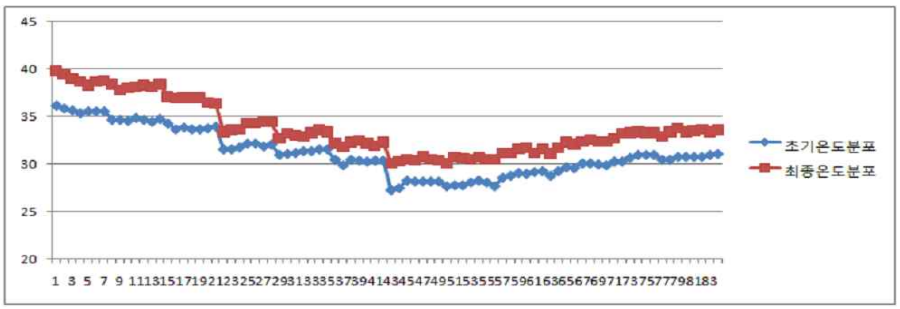



그림 2.8.1-31 운행초기 및 운행 후 배터리팩내 셀들의 온도분포 비교

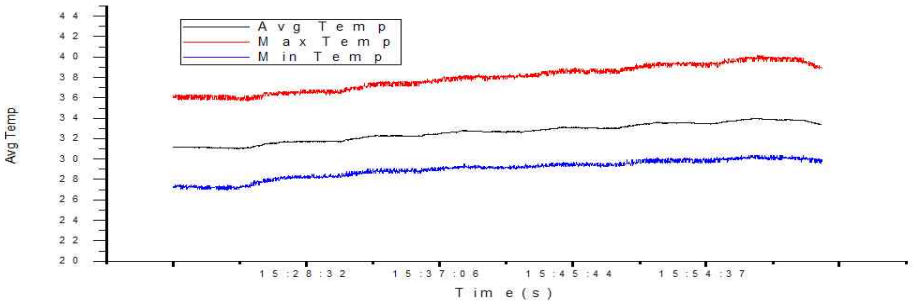



그림 2.8.1-32 도로운행시 배터리셀간 최대,최소, 평균온도 변화

2) 감속기어장치 온도

본 시험은 경남 밀양시 상남면에 소재한 한국화이바 제2공장 앞의 일반도로에서 측정한 데이터로서, 구간별 도로사정과 주행 시 주변차량의 주행 등으로 인해 각 10~80km/h 속도를 10km/h 단위로 순차적인 오름차순으로 주행시험 할 수 없었고 도로사정에 따라 불규칙하게 각 구간 등속주행을 실시하였다. 해당 시험일의 대기온도는 약 30℃, 건조한 주행노면에서 실시하였으며 바이모달 트램의 2축 기어감속장치 좌/우의 상태를 계측하였다. 기어감속장치 표면온도 측정의 경우 30 km/h의 등속주행에서는 기어감속장치 표면온도 변화가 일정한 수렴을 나타내는 값을 얻지 못하여 제외하였고, 80 km/h 의 일반도로 등속주행은 차량의 극가혹 시험조건으로서 기어감속장치의 내부윤활유 온도의 수렴 값을 얻는 동안 시험주행을 수행할 수 없어 시험조건에서 제외하여 70 km/h 의 등속주행까지 시험을 수행하였다.

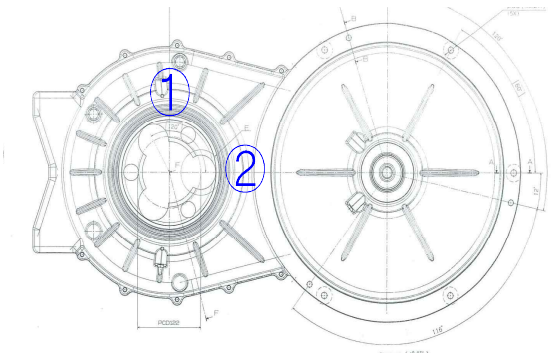



그림 2.8.1-33 기어감속장치 표면온도 센서 위치



그림 2.8.1-34 기어박스윤활유 온도센서 위치

표 2.8.1-9 속도에 따른 기어감속장치 온도변화

| 속 도 (km/h) | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2축 (좌) | 1번 위치(℃) | 42.4 | 43.9 | - | 51.7 | 67.6 | 72.4 | 80.1 |
| | 2번 위치(℃) | 41.1 | 43.0 | - | 50.5 | 64.9 | 70.2 | 80.2 |
| | 윤활유온도(℃) | 43.0 | 44.7 | - | 53.0 | 69.6 | 75.1 | 86.0 |
| 2축 (우) | 1번 위치(℃) | 43.4 | 45.3 | - | 51.7 | 69.1 | 75.1 | 86.3 |
| | 2번 위치(℃) | 45.1 | 47.0 | - | 54.4 | 73.1 | 80.2 | 92.3 |
| | 윤활유온도(℃) | 45.9 | 47.5 | - | 55.1 | 74.1 | 82.2 | 94.9 |

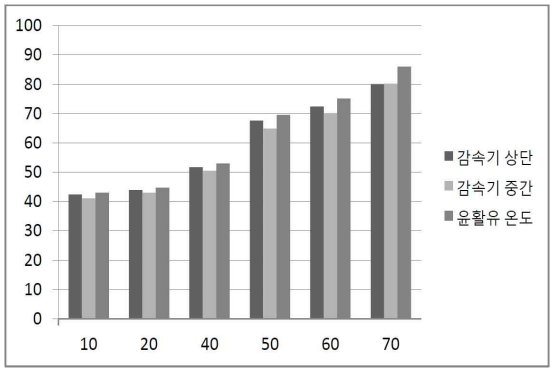



그림 2.8.1-35 2축 좌측 기어감속장치 주행속도에 따른 온도분포

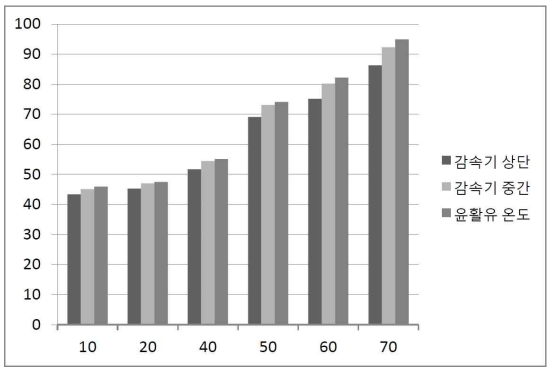



그림 2.8.1-36 2축 우측 기어감속장치 주행속도에 따른 온도분포

## 2. 시제차 시험평가

### 가. 자동운전성능시험

시제 1호 차량에 대한 자동안내제어장치의 성능을 확인하기 위해 연속 13회의 자동운전을 수행하고 매회 정차장 정차시 정거장 근접거리를 측정하여 정거장 자동진입 정밀도를 측정하였다. 정거장 근접정차간격을 10cm로 설정하고 시험을 진행하였다. 시제 1호에 대한 시험결과 3축 모두를 측정하여 최대편차는 2.2cm로 측정되었다.

표 2.8.2-1 시제 1호 자동운전 차량 운행시험

| | Axle 1 [cm] | ERROR [cm] | Axle 2 [cm] | ERROR [cm] | Axle 3 [cm] | ERROR [cm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8.5 | -1.1 | 7.5 | -0.6 | 6.2 | -0.6 |
| 2 | 9.3 | -0.3 | 8.0 | -0.1 | 7.0 | 0.2 |
| 3 | 8.4 | -1.2 | 7.5 | -0.6 | 6.4 | -0.4 |
| 4 | 8.3 | -1.3 | 8.0 | -0.1 | 7.0 | 0.2 |
| 5 | 10.0 | 0.4 | 9.0 | 0.9 | 8.0 | 1.2 |
| 6 | 10.0 | 0.4 | 8.2 | 0.1 | 7.5 | 0.7 |
| 7 | 9.8 | 0.2 | 8.0 | -0.1 | 7.0 | 0.2 |
| 8 | 10.0 | 0.4 | 8.0 | -0.1 | 7.0 | 0.2 |
| 9 | 10.0 | 0.4 | 8.0 | -0.1 | 7.0 | 0.2 |
| 10 | 10.5 | 0.9 | 9.0 | 0.9 | 8.0 | 1.2 |
| 11 | 9.5 | -0.1 | 7.5 | -0.6 | 6.2 | -0.6 |
| 12 | 10.4 | 0.8 | 9.1 | 1.0 | 7.8 | 1.0 |
| 13 | 10.0 | 0.4 | 8.0 | -0.1 | 7.5 | 0.7 |
| **최대** | **10.5** | | **9.0** | | **8.0** | |
| **최소** | **8.3** | | **7.5** | | **6.2** | |
| **편차** | **2.2** | | **1.5** | | **1.8** | |
| **평균** | **9.6** | | **8.1** | | **7.1** | |

시제 2호 차량에 대한 자동안내제어장치의 성능을 확인하기 위해 연속 14회의 자동운전을 수행하고 매회 정차장 정차시 정거장 근접거리를 측정하여 정거장 자동진입 정밀도를 측정하였다. 정거장 근접정차간격을 10cm로 설정하고 시험을 진행하였다. 시제 2호에 대한 시험결과 3축 모두를 측정하여 최대편차는 3cm로 측정되었다.

표 2.8.2-2 시제 2호 자동운전 차량 운행시험

| | Axle 1 [cm] | ERROR [cm] | Axle 2 [cm] | ERROR [cm] | Axle 3 [cm] | ERROR [cm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10.2 | 0.6 | 8.3 | 0.2 | 7.0 | 0.2 |
| 2 | 10.0 | 0.4 | 8.0 | -0.1 | 7.2 | 0.4 |
| 3 | 9.5 | -0.1 | 8.0 | -0.1 | 6.5 | -0.3 |
| 4 | 10.3 | 0.7 | 9.0 | 0.9 | 8.0 | 1.2 |
| 5 | 9.5 | -0.1 | 7.5 | -0.6 | 6.2 | -0.6 |
| 6 | 9.0 | -0.6 | 7.5 | -0.6 | 6.0 | -0.8 |
| 7 | 9.5 | -0.1 | 7.0 | -1.1 | 6.5 | -0.3 |
| 8 | 10.0 | 0.4 | 7.0 | -1.1 | 7.2 | 0.4 |
| 9 | 9.2 | -0.4 | 9.5 | 1.4 | 6.0 | -0.8 |
| 10 | 9.3 | -0.3 | 7.0 | -1.1 | 6.0 | -0.8 |
| 11 | 9.8 | 0.2 | 8.0 | -0.1 | 6.8 | 0.0 |
| 12 | 9.7 | 0.1 | 9.5 | 1.4 | 5.0 | -1.8 |
| 13 | 10.0 | 0.4 | 8.0 | -0.1 | 7.0 | 0.2 |
| 14 | 9.2 | -0.4 | 8.5 | 0.4 | 5.5 | -1.3 |
| **최대** | **10.3** | | **9.5** | | **8.0** | |
| **최소** | **9.0** | | **7.0** | | **5.0** | |
| **편차** | **1.3** | | **2.5** | | **3.0** | |
| **평균** | **9.6** | | **8.1** | | **6.5** | |

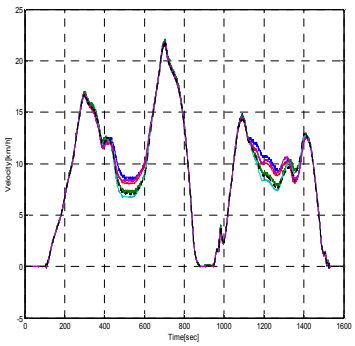


그림 2.8.2-1 차량 각 바퀴 속도

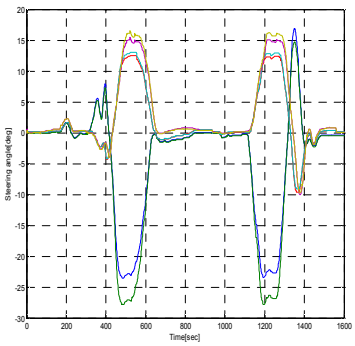


그림 2.8.2-2 차량 각 바퀴 조향각

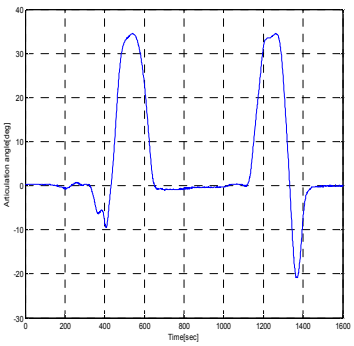


그림 2.8.2-3 굴절각 센서정보

## 나. 추진장치 성능시험

시제 1,2호를 시험선과 일반도로에서 주행하며 가속도, 구배기동능력, 최고속도 주행 데이터를 취득했다. TPLC에 저장된 데이터를 모니터링 프로그램으로 csv 파일로 저장했으며, Matlab에서 저장된 데이터를 사용해 각종 성능 값을 취득하고 그래프로 만들었다.

1) 데이터 계측 프로그램

시제 1,2호에는 시작차량에 장착된 MVB 통신 계측장비가 별도로 설치되지 않았다. 대신에 TPLC와 노트북을 연결해 추진장치 구성품들의 상태를 실시간으로 모니터링하고 저장시킬 수 있는 프로그램을 개발했다. 이 방식은 시작차량의 30msec의 높은 분해능으로 데이터를 저장하지는 못하며, 최고 500msec의 샘플링 시간으로 데이터를 저장한다. 모니터링 프로그램 화면은 아래 그림과 같다.



그림 2.8.2-4 PLC 모니터링 프로그램

2) 가속도

바이모달 트램의 가속도를 측정하기 위해 시험선에서 공차, 완전수동모드 조건에서 주행시켰다. 바이모달 트램을 시험선 직선구간에서 정지시키고, 운전자의 가속페달 조작으로 토크지령을 100%로 입력해 바이모달 트램을 급가속시켰다. 가속도는 바이모달 트램 추진인버터의 정토크 구간에 대해 측정하는데, 25km/h까지 속도가 다다를 때의 시간을 측정하여 가속도를 계산할 수 있으며, 아래 그림은 속도와 속도차를 이용해 계산한 가속도 곡선이다. 그림의 가속도곡선에서 보듯이 최고 가속도가 $1.5m/s^2$ 이상으로 측정되었다.

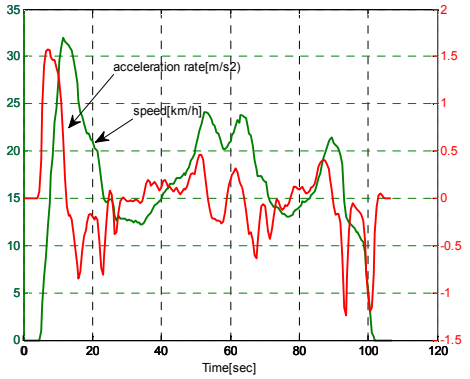



그림 2.8.2-5 시제 1호 가속도 데이터

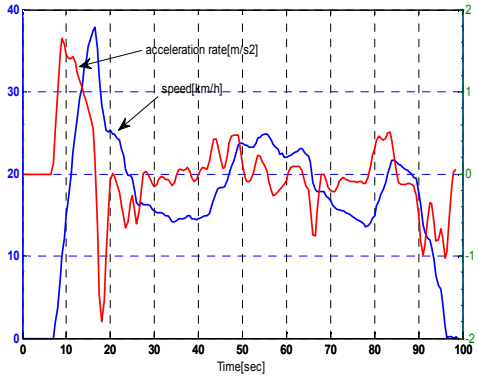



그림 2.8.2-6 시제 2호 가속도 데이터

3) 회생 제동

시험선에서 한국화이바 정문까지 약 2km 하구배 구간을 retarder 3단으로 회생제동을 취급하여 약 20~30km/h의 속도로 바이모달 트램을 이동시켰다. 아래 그림은 바이모달 트램 속도 파형과 배터리팩에 저장되는 충전전류 및 SOC 파형이다. Retarder 3단의 회생제동력은 회생제동시 발생하는 회생전력을 배터리팩에서 흡수할 수 있는 능력 및 직류링크단 전압상승 한도를 고려해 시험선에서 튜닝했다. 특히 배터리 셀의 안전과 수명 보장을 위해 배터리 제작사에서 제안한 2C-rate로 충전전류를 제한했다. 그림 2.8.2-7~8은 시제1, 2호의 경우로서, 약 20~30km/h의 속도를 유지하며 약 150A 의 회생전류를 배터리팩에서 흡수하고 SOC 값은 상승되고 있다.

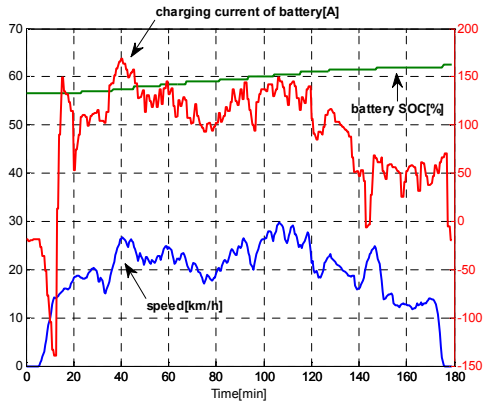



그림 2.8.2-7 시제 1호 하구배구간시 retarder 3단 회생제동

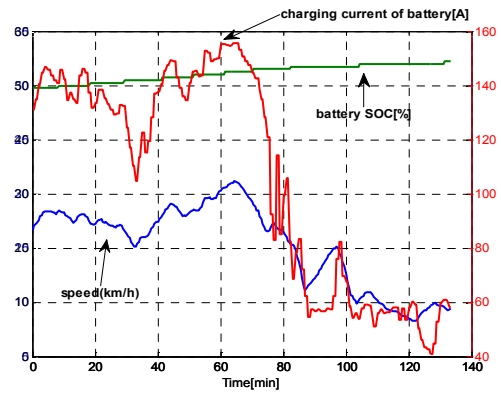



그림 2.8.2-8 시제 2호 하구배구간시 Retarder 3단 회생제동

4) 구배 기동

구배 기동능력은 시험선 입구 경사로에서 실시되었다. 이 구간은 최고 경사 15.7%로 급구배 구간으로 이루어졌다. 아래 그림은 바이모달 트램의 주행속도 [km/h]와 2,3축의 평균 토크값[%]을 나타낸다. 구배 기동은 4, 7, 12, 15.7[%]의 구간에서 4회 실시 되었으며, 그림과 같이 성공적으로 구배에서 기동하는 것을 확인할 수 있다. 7%의 구배구간에서는 100%의 토크지령 없이도 구배기동이 가능했으며, 12% 및 15.7% 구배구간에서는 초기 가속시에만 100% 견인력이 필요했고 이후 바이모달 트램이 기동된 후에는 100% 견인력 보다 낮은 견인력으로도 충분히 연속 구배구간을 주행할 수 있었다.

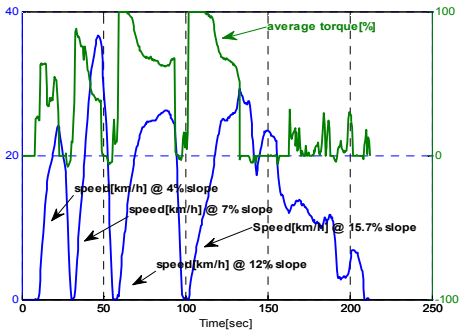



그림 2.8.2-9 시제 1호 구배주행 데이터

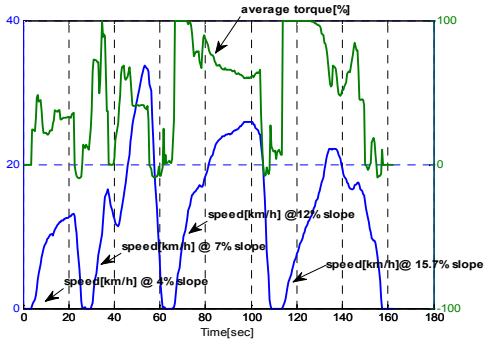



그림 2.8.2-10 시제 2호 구배주행 데이터

5) 최고속도

바이모달 트램의 최고 운행속도는 80km/h이며, 일반도로에서 최고속도 주행을 실시했다. 최고속도 주행을 지속적으로 실시하기에는 일반도로 주행로의 특성상 어려움이 있었으며, 따라서 교차로 정지상태에서 80km/h까지 가속한 후 일반도로 기준 주행속도인 60km/h로 도로 주행을 지속하였으며, 속도 파형은 아래 그림과 같다.

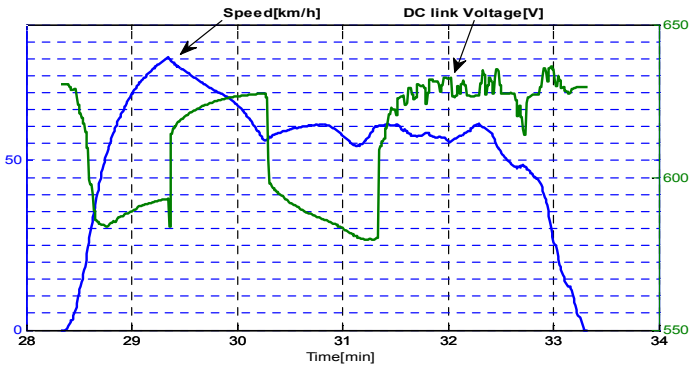



그림 2.8.2-11 최고속도(80km/h) 주행

6) 일반 도로 주행

시제 1호 및 2호를 시작차와 동일한 일반도로에서 일반 도로 주행을 실시했으며, TPLC 모니터링 장치를 사용해 추진시스템의 성능을 기록했다. 일반 도로는 60km/h의 정속 주행으로 실시 하였으며, 교차로와 리턴 지점에서 정차했다. 아래 그림들은 일반도로 주행시 바이모달 트램의 운행속도 및 주행거리를 그래프로 나타낸 것이다. 여기서 녹색선은 누적 주행거리(km)를 나타내며, 파란선은 주행속도(km/h)를 나타낸다.

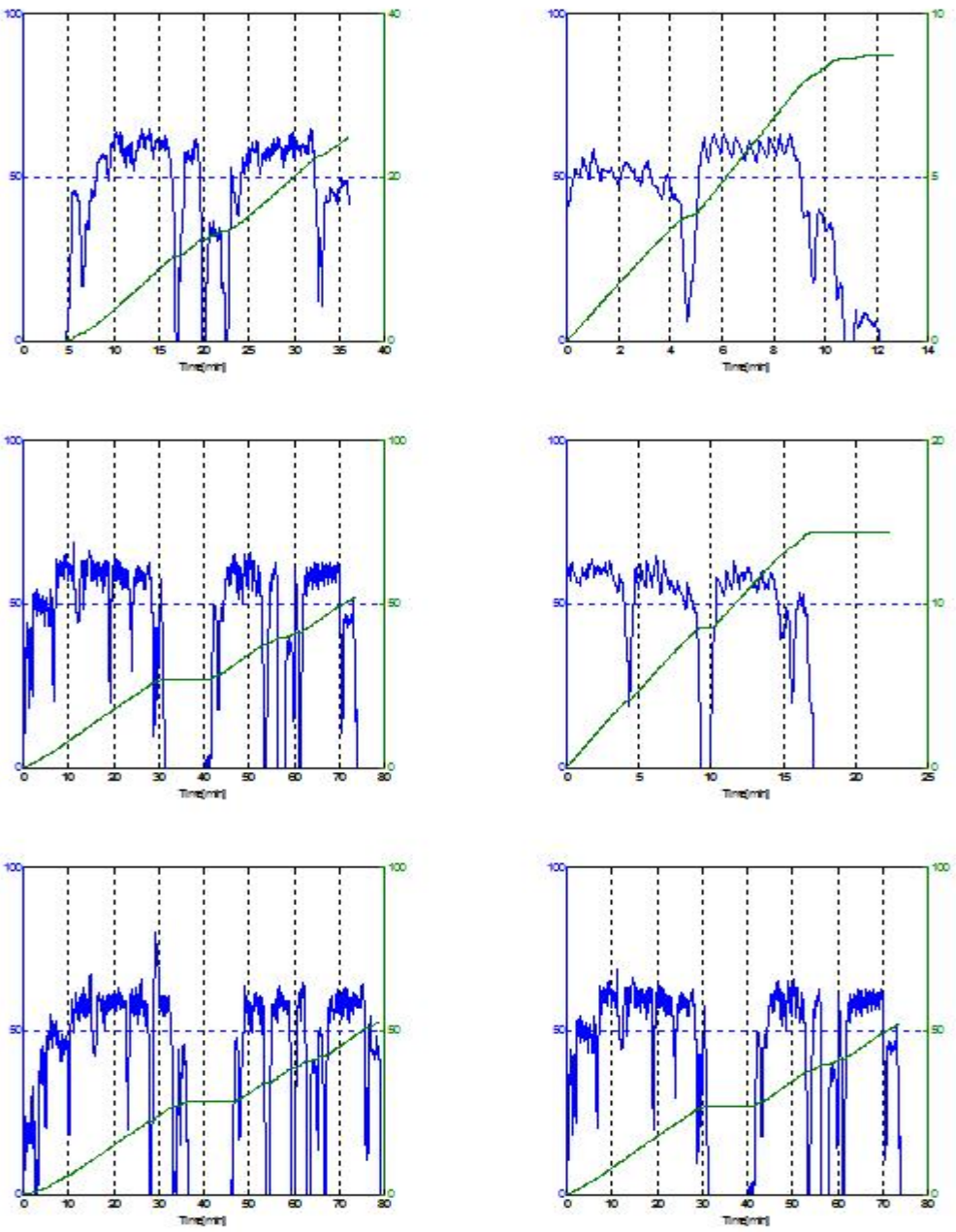


그림 2.8.2-12 일반도로 주행시 속도 및 누적거리

## 다. 조향 성능시험

본 테스트는 바이모달 트램의 조향 안전성을 확보하기 위한 조향성능 시험방법 및 안전기준에 적합한지 제89조 제2항의 조향장치에 대한 세부기준 및 시험방법에 대하여 기술하였다.

1) 시험 준비사항

가) 시험 조건

(1) 시험자동차는 적차/공차상태로 시험한다.

(2) 타이어 공기압은 제작자가 정한 냉간시 팽창압력으로 조정되어 있어야 한다.

(3) 시험도로는 평탄 수평하고 건조한 직선 포장도로이어야 한다.

(4) 시험은 풍속 6m/s 이하에서 실시하는 것을 원칙으로 한다.

(5) 시험 속도의 오차는 통상 ±1km/h이내로 한다.

나) 장비 및 센서류

(1) GPS 속도센서

GPS 속도센서는 차량의 속도 및 위치 정보를 측정하여 각 장치에 전달하여 주고 정확한 속도에서 시험이 가능한 장비이다.

(2) 대형 조타각 및 조타력계

차량의 스티어링 휠에 장착하여 스티어링 휠의 조작력과 각도를 동시에 측정하고 정확한 조향각도에서 데이터를 측정하기 위하여 차량 조정 안정성 측정 장치이다.

(3) 주행용 데이터 수집장비

주행중 진동 및 차량속도, 조향각, 감속도, 등을 수집하여 계산하는 장치이다.

(4) 속도표시장치

속도표시장치는 차량의 속도를 GPS 속도센서에서 전달받아 출력하는 장치이다.




그림 2.8.2-13 장비 연결도

2)피견인차의 조향성능

가) 직전주행성능확인시험

시험자동차를 30~80km/h까지 순차적으로 속도를 최고속도(80km/h)까지 직선으로 주행시켜 조향장치의 이상 진동 유/무를 확인하는 시험으로 각각 동력지원조향장치 정상 및 고장상태, 연동가변조향장치(2축) 고장상태, 연동가변조향장치(3축) 고장상태를 구현하여, 조향기능을 기계적으로 전달하는 부품을 제외한 부품의 고장을 유도하여 시험을 반복 시행하였다.

동력지원조향장치 정상상태 및 고장상태에 대한 결과는 이상 유/무가 없음을 하기의 표와 같이 확인할 수 있다.

표 2.8.2-3 동력지원 조향장치 직선주행성능시험 정상상태 및 고장상태 시험결과

| 구 분 | 비정상적인 조향보정 유무 | 조향장치의 이상진동 유무 |
|---|---|---|
| 정상상태 | 비정상적인 조향보정 없음 | 이상진동 없음 |
| 고장상태 | 비정상적인 조향보정 없음 | 이상진동 없음 |

연동가변조향장치(2축, 3축) 고장상태 및 고장상태에 대한 결과는 이상 유/무가 없음을 하기의 그림과 같이 확인할 수 있다.

표 2.8.2-4 연동가변조향장치(2축,3축) 직선주행성능시험 고장상태 시험결과

| 구 분 | 비정상적인 조향보정 유무 | 조향장치의 이상진동 유무 |
|---|---|---|
| 연동가변조향장치 고장상태 | 비정상적인 조향보정 없음 | 이상진동 없음 |

나) 선회성능확인시험

(1) 시험 방법

(가) 견인자동차의 전면외측모서리가 반지름 25m의 원에 접하여 5km/h 및 25km/h의 속도로 선회시켜 견인자동차와 피견인자동차가 안정된 상태에서 피견인자동차의 최후단 외측모서리에 의해 그려지는 선회원을 각각 측정한다.

(나) 견인자동차의 전면외측모서리가 반지름 25m의 원에 접하도록 25km/h의 속도로 선회시키다 접선이 원과 만나는 지점에서 접선을 따라 40m를 주행한 지점까지 피견인자동차의 어느 부분이 접선에서 최대로 이탈한 거리를 측정하고, 40m를 주행한 지점 이후에는 조향장치의 과도한 편향 또는 이상 진동 유/무를 확인한다.

(다) 시험은 좌/우 각 1회씩 실시한다.

(2) 측정 기준

(가) 시속 5km/h 및 시속 25km/h의 속도로 반지름 25m인 선회원에 견인자동차의 전면외측모서리가 접하여 선회하도록 하여 견인자동차와 피견인자동차가 안정된 선회상태에서 피견인자동차의 최후단 외측모서리에 의하여 그려진 원을 각각 측정하여 시속 25km/h의 속도로 선회 시 그려진 원은 시속 5km/h의 속도로 선회 시 그려진 원 밖으로 0.7m 이상 벗어나지 아니할 것.

(나) 시속 25km/h의 속도로 위 “①”의 원형경로를 지나는 견인자동차가 반지름 25m인 원의 접선을 따라 주행 중 접선이 원과 만나는 지점에서 접선을 따라 40m를 주행한 지점까지 피견인자동차의 어느 부분도 그 원의 접선에서 0.5m 이상 벗어나지 아니하여야 하며, 40m를 주행한 지점 이후 피견인 자동차는 조향장치의 과도한 편향 또는 이상 진동 없이 주행할 수 있을 것.

(3) 시험 사진

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td><선회성능 확인시험 - 선회원 측정><br>(반시계 방향)</td><td><선회성능 확인시험 - 선회원 측정><br>(시계 방향)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td><선회성능 확인시험 - 선회 후 직진><br>(선회 후, 접선 부근에서 직진 시작)</td><td><선회성능 확인시험 - 선회 후 직진><br>(40m 주행 후)</td></tr>
</table>

그림 2.8.2-14 선회성능확인시험 사진

(4) 선회성능확인시험 결과

표 2.8.2-5 선회성능확인시험 결과

| 구 분 | | 선회시 최후단 외측모서리에 의한 선회반지름(m) | | 5km/h와 25km/h간의 선회반지름차이 (m) | 접선구간 최대이탈거리 (m) | 40m주행지점이후 조향장치 상태 | | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5km/h | 25km/h | | | 과도편향 유무 | 이상진동 유무 | |
| 정상 상태 | 시계 방향 | 24.0 | 24.2 | 0.2 | 0 | 과도편향 없음 | 이상진동 없음 | 적합 |
| | 반시계 방향 | 24.1 | 24.4 | 0.3 | 0 | 과도편향 없음 | 이상진동 없음 | 적합 |

다) 점유폭확인시험

(1) 시험 방법

(가) 조향장치의 정상상태에서 견인자동차의 전면외측모서리가 연결자동차 길이의 0.67배인 반지름(단, 12.5m 이상으로 한다)인 원에 접하여 5km/h이하의 속도로 선회 주행시켜 연결자동차의 고리모양의 점유폭을 측정한다.

(나) 조향장치의 고장을 모의하여 “(가)”의 시험을 반복 실시한다.

(다) 시험은 좌/우 각 1회씩 실시한다.

(2) 측정 기준

조향장치의 정상상태 및 고장상태에서 견인자동차의 전면외측모서리가 연결자동차 길이의 0.67배인 반지름(다만, 12.5미터 이상으로 한다)에 접하여 시속 5킬로미터 이하의 속도로 선회 주행시켜 연결자동차의 고리모양 점유폭을 각각 측정하여 고장상태서 측정된 점유폭이 8.3미터를 초과한 경우에는 고장상태의 점유폭이 정상상태의 점유폭보다 15%를 초과하지 아니하여야 하며, 그 점유폭의 외측반지름은 증가 되지 아니할 것.

(3) 점유폭확인시험 사진

| | |
|---|---|
|  |  |
| <점유폭 확인시험 - 12.5m 선회시작><br>(연동가변조향장치 고장 시) | <점유폭 확인시험 - 12.5m 선회불가><br>(연동가변조향장치 고장 시) |

그림 2.8.2-15 점유폭확인시험 사진

(4) 점유폭확인시험 결과

표 2.8.2-6 점유폭확인시험 결과

| 구 분 | | 선회반지름 (연결차량길이 ×0.67배, 단, 12.5m 이상) | 고장상태 고리모양 점유폭이 8.3m 초과한 경우 | | | | | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 고리모양 점유폭(m) | | | 점유폭 외측반지름(m) | | |
| | | | 정상상태 (A) | A×1.15 | 고장상태 (B) | 정상상태 (C) | 고장상태 (D) | |
| 동력 지원 조향 장치 고장 시험 | 시계 방향 | 12.5m | 8.3m 이내 | - | 8.3m 이내 | 12.5m | 외측 반지름 증가 없음 | 적합 |
| | 반시계 방향 | 12.5m | 8.3m 이내 | - | 8.3m 이내 | 12.5m | 외측 반지름 증가 없음 | 적합 |
| 연동 가변 조향 장치 고장 시험 | 시계 방향 | 12.5m | 8.3m 이내 | - | 8.3m 초과 | 12.5m | 외측 반지름 증가 | 부적합 |
| | 반시계 방향 | 12.5m | 8.3m 이내 | - | 8.3m 초과 | 12.5m | 외측 반지름 증가 | 부적합 |

◎ 특이사항

- 동력지원조향장치 고장 시험은 전기 동력주행(엔진 OFF)모드에서 전기식 동력지원조향장치 전원을 차단하여 고장을 모사하여 시험 진행
- 연동가변조향장치 고장 조건에서는 고리모양의 점유폭이 8.3m를 초과하였으며, 점유폭의 외측반지름이 증가하는 현상을 보임. 선회반지름 12.5m 시험로를 선회할 수 없음.

## 라. 제동 성능시험

1) 제동능력 시험

가) 시험 준비사항

(1) 시험 조건

(가) 시험자동차는 적차 및 경적차 상태로 한다.

(나) 시험자동차의 변속기어는 연결상태로 한다.

(다) 리타더 등이 장착되어 있는 경우에는 해제된 상태로 한다.

(라) Brake Lining Pad 온도센서 부착

(마) 1축, 2축, 3축 작업을 완료하고 온도센서의 경로는 객실에서 온도를 모니터링 할 수 있도록 측정 모듈을 설치함.

(2) 장비 및 측정기기 설치작업



그림 2.8.2-16 GPS 속도센서



그림 2.8.2-17 DP-Print



그림 2.8.2-18 답력지시계



그림 2.8.2-19 감속도계



그림 2.8.2-20 바퀴 속도 감지센서



그림 2.8.2-21 압력계 장착

나) 항목별 시험

(1) 전달장치 고장시 주제동장치의 제동능력시험

에너지원 고장시 운전자의 조작력 외의 힘에 의해 작동되는 주제동장치로써, 에너지원으로부터 배관이 2계통 이상으로 분리되는 경우 분리된 이후 1계통의 배관에 고장이 발생하면 나머지 계통으로 에너지 공급을 하지 않는 유압에너지 저장장치를 갖춘 자동차에 적용한다. 시험자동차가 주제동장치와 비상제동장치의 조종장치를 공통으로 사용하지 않는 경우에는 각 조종장치를 작동하여 실시하며, 전달장치 고장시 주제동장치의 제동능력시험 기준 및 측정 결과는 다음과 같다.

표 2.8.2-7 전달장치 고장시 주제동장치의 제동능력시험 기준

| 시 험 항 목 | 시 험 조 건 | 시 험 기 준 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 전달장치 고장시 주제동장치 제동능력 | 60kph, 700N이하 | 101.52m이하, 1.5㎨이상 | 적 차 /경적차 |

표 2.8.2-8 전달장치 고장시 주제동장치의 제동능력시험 결과

| 시 험 항 목 | | | 초기 브레이크 온도(℃) | 제 동 초속도 (km/h) | 교정 제동거리 (m) | 최대 페달답력 (N) | 평균최대 감속도 (m/s2) | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 전달장치고장시 주제동장치의 제동능력 | 2축 고장 | 적 차 | 91.0 | 60.5 | 19.4 | 395 | 4.53 | 적합 |
| | | | 96.0 | 60.7 | 19.5 | 298 | 4.52 | 적합 |
| | | 경적차 | 73.0 | 60.4 | 35.5 | 107 | 2.47 | 적합 |
| | | | 97.0 | 60.4 | 33.6 | 128 | 2.60 | 적합 |
| | 3축 고장 | 적 차 | 93.0 | 60.6 | 22.3 | 231 | 3.93 | 적합 |
| | | | 94.0 | 60.5 | 22.2 | 223 | 3.95 | 적합 |
| | | 경적차 | 98.0 | 60.5 | 29.5 | 163 | 2.97 | 적합 |
| | | | 71.0 | 61.6 | 34.6 | 165 | 2.55 | 적합 |

(2) 원동기 제동장치와 보조제동장치의 감속능력시험

차량총중량 5톤초과 승합자동차·차량총중량 12톤초과 화물자동차 및 특수자동차에 적용한다. 원동기 제동장치와 보조제동장치의 감속능력시험의 시험 기준 및 시험 결과는 다음과 같다.

표 2.8.2-9 원동기 제동장치와 보조제동장치의 감속능력시험 기준

| 시 험 항 목 | 시 험 조 건 | 시 험 기 준 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 보조식 제동장치의 감속능력 | 30kph±5 | 0.50이상 | 적 차 |

표 2.8.2-10 원동기 제동장치와 보조제동장치의 감속능력시험 결과

| 시 험 항 목 | 초기 브레이크 온도(℃) | 제 동 초속도 (km/h) | 교정 제동거리 (m) | 최대 페달답력 (N) | 평균최대 감속도 (m/s2) | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 보조식 제동장치의 감속능력 | 37 | 측정속도(km/h) | | 측정시간 | 0.51 | 적합 |
| | | V1 | V2 | ▽T | | |
| | | 35 | 25 | 5.44 | | |

(3) 주차제동장치의 제동능력

정적 제동능력시험은 18% 경사로(피견인자동차가 연결된 경우에는 12%)에서 위 방향 및 아래방향으로 각 1회를 시험하며, 평탄한 노면에서 제동초속도 30km/h에서 주차제동장치의 조종장치를 위 규정된 조작력 이하로 작동시켜 제동거리 또는 평균최대감속도를 측정한다. 정적 제동능력시험 및 동적 제동능력시험 기준과 결과는 다음과 같다.

표 2.8.2-11 정적 제동능력시험 기준

| 시 험 항 목 | 시 험 조 건 | 시 험 기 준 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 주차제동장치의 제동능력 | 주차(18%), 동적(30kph) | 5분 이상 27.63이하, 1.50㎨이상 | 적 차 |

표 2.8.2-12 정적 제동능력시험 결과

| 시 험 항 목 | | | 초기 브레이크 온도(℃) | 제 동 초속도 (km/h) | 교정 제동거리 (m) | 최대 페달답력 (N) | 평균최대 감속도 (m/s2) | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 주차제동장치의 제동능력 | 정적 제동 능력 | 전진 | 20% 경사로 5분 | | | | | 적합 |
| | | 후진 | 20% 경사로 5분 | | | | | 적합 |
| | 동적 제동능력 | | – | 30.7 | 10.3 | – | 2.14 | 적합 |
| | | | 97.0 | 30.7 | 10.2 | (조작력) | 2.19 | 적합 |

표 2.8.2-13 동적 제동능력시험 기준

| 시 험 항 목 | 시 험 조 건 | 시 험 기 준 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 주차제동장치의 제동능력 | 주차(18%), 동적(30kph) | 5분 이상 27.63이하, 1.50㎨이상 | 적 차 |

표 2.8.2-14 동적 제동능력시험 결과

| 시 험 항 목 | | | 초기 브레이크 온도(℃) | 제 동 초속도 (km/h) | 교정 제동거리 (m) | 최대 페달답력 (N) | 평균최대 감속도 (m/s2) | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 주차제동장치의 제동능력 | 정적 제동 능력 | 전진 | 20% 경사로 5분 | | | | | 적합 |
| | | 후진 | 20% 경사로 5분 | | | | | 적합 |
| | 동적 제동능력 | | - | 30.7 | 10.3 | - (조작력) | 2.14 | 적합 |
| | | | 97.0 | 30.7 | 10.2 | | 2.19 | 적합 |

2) 바퀴잠김방지식 주제동장치를 설치한 자동차(피견인자동차 제외)의 제동능력시험

가) 개요

“바퀴잠김 방지식 주 제동장치”(이하 “ABS장치” 라 한다)이라 함은 구성된 주 제동장치의 부분으로, 바퀴의 회전량을 감지·분석하여 바퀴의 제동력을 조절하여 줌으로써 바퀴의 미끄러짐량을 자동적으로 조절하는 장치이다.

자동차의 급제동시 노면과 타이어 사이에 일어나는 잠김현상(바퀴는 제동을 멈췄으나 차량이 미끄러져 나가는 현상)을 방지하는 장치를 말한다.

바퀴잠김방지식 주제동장치 시험은 원동기정지 또는 에너지저장장치의 공급중단 상태일때 안전성을 확인하는 시험이다.

나) 시험 규정

(1) ABS 장치의 일반규정

(가) ABS 장치는 자장이나 전기장에 의해 영향을 받지 않는 구조이어야 하며, 이것은 안전기준 제111조의2(전자파장해방지장치)의 기준에 적합하여야 한다.

(나) ABS 장치의 경고등은 자동차가 정지상태에서 전원이 공급될 때 점등되어야 하고, 경고등이 꺼지기 전에 ABS장치에 아무런 고장이 없다는 것이 확인되어야 한다. 다만, 10km/h초과의 속도에서 센서 고장이 발생한다면 경고등이 점등되는 구조이어야 한다.

(다) ABS 장치의 경고등은 확인점검으로 전원이 공급되어 전기적 또는 센서 고장이 없다면 경고등이 꺼지는 구조이어야 하고, 전기적 또는 센서 고장이 있다면 경고등이 점등되어야 하고 전원을 끄고 다시 전원이 공급되었을 때에도 경고등이 점등되는 구조이어야 한다.

(라) ABS 장치를 설치한 자동차의 주 제동장치의 조종장치는 ABS장치를 전체적 또는 부분적으로 작동치 않게 하는 구조로 되어서는 아니된다.

(2) ABS 장치의 시험 규정

(가) 제동시 직접 조절되는 바퀴는 속도 16km/h이상에서 0.5초 초과의 바퀴잠김이 발생하지 아니 하여야 한다.

(나) 제동시 시험자동차의 어느 부분도 너비 3.7m의 차선(다만, 승용자동차·차량총중량 3.5톤이하인 화물자동차 및 특수자동차는 너비 3.5m의 차선)을 이탈하여서는 아니되며, 정지시 승용자동차의 차량중심선은 차선을 기준으로 좌/우로 15도를 초과하지 아니하여야 한다.

(다) 승용자동차 외의 자동차의 제동거리를 측정하였을 때, 교정값은 다음 공식으로 산출한다.

$$S = 0.15V + (Sa - 0.15Va) \times \frac{V^2}{Va^2}$$

S = 제동거리 교정값(m)

V = 제동초속도 규정값(km/h)

Sa = 제동거리 측정값(m)

Va = 제동초속도 측정값(km/h)

다) 항목별 시험

(1) 에너지 소비시험

견인자동차는 피견인자동차의 연결이 없는 상태로 하며, 초기 브레이크 온도는 100℃ 이하로 한다. 시험기준으로서 제동시 자동차의 어느 부분도 노면너비(승용자동차·차량총중량 3.5톤 이하 화물자동차 및 특수자동차: 3.5m, 그 밖의 자동차: 3.7m)의 차선을 이탈하지 아니하여야 하고, 승용자동차의 경우에는 정지시 차량중심선은 차선을 기준으로 좌/우로 15도를 초과하지 아니하여 한다. 에너지 소비시험에 대한 결과는 아래와 같다.

표 2.8.2-15 에너지소비시험 결과

| 시 험 항 목 | 초기 브레이크 온도 (℃) | 제 동 초속도 (km/h) | 교정제동 거리(m) | 최대페달 답력(N) | 평균최대 감속도 ($m/s^2$) | 바퀴잠김/ 제동안정성 | 판 정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 건조로 시험 | 99 | 61.1 | 19.91 | 502.9 | 4.56 | 이상없음 | 적합 |

(2) 점착력산출시험

저마찰로 및 고마찰로에서 실시하며, 초기브레이크 온도는 100℃ 이하로 한다. 시험자동차의 브레이크는 전차축(2개차축 이상인 경우에는 전전축)에만 작동되도록 한다. 점착력 산출시험에 대한 기준 및 결과는 다음과 같다.

표 2.8.2-16 점착력산출시험 기준

<table>
<tr><th>구분</th><th>전차축의 점착력값($K_f$)</th><th>후차축의 점착력값($K_r$)</th></tr>
<tr><td>시험노면</td><td colspan="2">저마찰로 및 고마찰로</td></tr>
<tr><td>주제동장치작동상태</td><td>전차축 작동상태</td><td>후차축 작동상태</td></tr>
<tr><td>바퀴잠김방지식주제동장치작동상태</td><td colspan="2">비작동상태</td></tr>
<tr><td>측정자동차상태</td><td colspan="2">적차 및 경적차상태</td></tr>
<tr><td>제동률(Z)</td><td colspan="2">$\frac{0.566}{t}$<br>$Z_{max}$=Z의 최대값<br>t=바퀴잠김없이 제동하여 40㎞/h부터 20㎞/h까지의 감속시간(초)</td></tr>
<tr><td>평균제동률(Zm)</td><td colspan="2">$\frac{0.566}{t}$($t_m$: 바퀴잠김없이 제동하여 40㎞/h부터 20㎞/h까지의 감속시간(초)를 반복측정하여 3개값을 선택하여 산출한 평균값)</td></tr>
<tr><td>점착력값 ($K_f$, $K_r$)</td><td>$K_f = \frac{Z_m \cdot P \cdot g - r \cdot F_2}{F_1 + \frac{h}{E} \cdot Z_m \cdot P \cdot g}$<br>K=도로와 타이어 사이의 점착력값<br>$K_f$=1개 전차축의 점착력값<br>P=자동차 중량(kg)<br>g=중력가속도(10㎨)<br>r=구름저항값(구동차축에서 제동되는 경우 0.01, 비구동차축에서 제동되는 경우 0.015)<br>$F_1$=정적상태의 전축중(N)<br>$F_2$=정적상태의 후축중(N)<br>h=무게중심고(m)<br>E=축간거리(m)</td><td>$K_f = \frac{Z_m \cdot P \cdot g - r \cdot F_1}{F_2 - \frac{h}{E} \cdot Z_m \cdot P \cdot g}$<br>K=도로와 타이어 사이의 점착력값<br>$K_r$=1개 전차축의 점착력값<br>P=자동차 중량(kg)<br>g=중력가속도(10㎨)<br>r=구름저항값(구동차축에서 제동되는 경우 0.01, 비구동차축에서 제동되는 경우 0.015)<br>$F_1$=정적상태의 전축중(N)<br>$F_2$=정적상태의 후축중(N)<br>h=무게중심고(m)<br>E=축간거리(m)</td></tr>
</table>

표 2.8.2-17 점착력값산출시험 결과

| 시 험 항 목 | | 점 착 력 값 | | | 최 대 제동율 (ZAL) | 점착력 이용값 ($\epsilon$) | 판 정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 전차축 (Kf) | 후차축 (Kr) | Km | | | |
| 적 차 | 고마찰 | 0.541 | - | - | 0.59 | 1.09 | 적합 |
| | 저마찰 | 0.122 | - | - | 0.10 | 0.82 | 적합 |
| 경적차 | 고마찰 | 0.488 | - | - | 0.48 | 0.98 | 적합 |
| | 저마찰 | 0.133 | - | - | 0.11 | 0.83 | 적합 |

※ 후차축의 경우 횡방향 가속으로 인한 정확한 점착력값 산출이 어려워 전차축 점착력값만으로 점착력이용값 산출

(3) 점착력 이용값 결정시험

시험자동차는 적차 및 경적차상태로 하고 노면조건은 저마찰로 및 고 마찰로에서 초기브레이크 온도는 100℃ 이하로 실시한다. 점착력 이용값 결정 시험 기준 및 결과는 다음과 같다.

표 2.8.2-18 점착력이용값결정시험 기준표

| 시험노면 | 저마찰로 및 고마찰로 | |
|---|---|---|
| 주제동장치작동상태 | 모든 차축 작동상태 | |
| 바퀴잠김방지식주제동장치작동상태 | 정상작동상태 | |
| 측정자동차상태 | 적차 및 경적차상태 | |
| 최대제동률($Z_{AL}$) | $\frac{0.849}{t_m}$($t_m$: 바퀴잠김방지식 주제동장치가 최대사이클로 작동되도록 제동하여 45㎞/h부터 15㎞/h까지의 감속시간(초)을 반복측정하여 3개값을 선택하여 산출한 평균값) | |
| 동적상태의 전축중($F_{fdyn}$),동적상태의 후축중($F_{rdyn}$) | $F_{fdyn}=F_1+\frac{h}{E}\cdot Z_{AL}\cdot P\cdot g$<br>$F_f$=정적상태의 전축중(N)<br>P=자동차 중량(kg)<br>g=중력가속도($10^{m}/_{s^2}$)<br>h=무게중심고(m)<br>E=축간거리(m) | $F_{rdyn}=F_1-\frac{h}{E}\cdot Z_{AL}\cdot P\cdot g$<br>$F_r$=정적상태의 전축중(N)<br>P=자동차 중량(kg)<br>g=중력가속도($10^{m}/_{s^2}$)<br>h=무게중심고(m)<br>E=축간거리(m) |
| 점착력값 ($K_M$) | $\frac{K_f\cdot F_{fdyn}+K_r\cdot F_{rdyn}}{P\cdot g}$ | |

| | |
|---|---|
| | $K_f$=전차축의 점착력값<br>$K_r$=후차축의 점착력값<br>P=자동차 중량(kg)<br>g=중력가속도(10㎨) |
| 점착력이용값(Ɛ) | $\frac{Z_{AL}}{K_M}$ |
| 기준(Ɛ) | 각 시험노면 및 적재조건에서 0.75 이상일 것 |

표 2.8.2-19 점착력이용값결정시험 결과

| 시 험 항 목 | | 점 착 력 값 | | | 최 대 제동율 (ZAL) | 점착력 이용값 (ϵ) | 판 정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 전차축 (Kf) | 후차축 (Kr) | Km | | | |
| 적 차 | 고마찰 | 0.541 | - | - | 0.59 | 1.09 | 적합 |
| | 저마찰 | 0.122 | - | - | 0.10 | 0.82 | 적합 |
| 경적차 | 고마찰 | 0.488 | - | - | 0.48 | 0.98 | 적합 |
| | 저마찰 | 0.133 | - | - | 0.11 | 0.83 | 적합 |

※ 후차축의 경우 횡방향 가속으로 인한 정확한 점착력값 산출이 어려워 전차축 점착력값만으로 점착력이용값 산출

(4) ABS장치의 제동능력시험

(가) 시험 방법

① 저마찰로 및 고마찰로(고마찰력값≧0.5, 고마찰력값/저마찰력값≧2)에서 실시한다.

② 초기브레이크 온도는 100℃ 이하로 한다.

③ 아래 표의 차종별 규정된 제동초속도에서 주 제동장치의 조종장치를 재빨리 규정된 답력 이내로 작동시킨다. 다만, 시험시 ABS장치를 작동시키기 위해서는 규정된 최대답력을 초과할 수 있다.

표 2.8.2-19 ABS 제동능력시험 제동 초속도 기준표

| 시 험 로 | 차 종 | 제동초속도(km/h) |
|---|---|---|
| 저마찰로 | 승용자동차 | 40 및 80%최고속도≦120 |
| | 승합자동차 | 40 및 80%최고속도≦80 |
| | 차량총중량 3.5톤이하 화물자동차 및 특수자동차 | 40 및 80%최고속도≦120 |
| | 차량총중량 3.5톤초과 화물자동차 및 특수자동차 | 40 및 80%최고속도≦80 (다만, 견인자동차는 70) |
| 고마찰로 | 모든 자동차 | 40 및 80%최고속도≦120 |

(나) 시험 기준

① 직접 조절되는 바퀴는 16㎞/h 이상의 속도에서 0.50초를 초과하는 바퀴잠김이 발생하지 아니할 것.

② 제동시 주행안정성 및 조향안정성을 유지할 것.

③ 제동시 자동차의 어느 부분도 노면너비(승용자동차·차량총중량 3.5톤 이하 화물자동차 및 특수자동차: 3.5m, 그 밖의 자동차: 3.7m)의 차선을 이탈하지 아니하여야 하고, 승용자동차의 경우에는 정지시 차량중심선은 차선을 기준으로 좌/우로 15도를 초과하지 아니할 것.

(다) ABS장치의 제동능력시험 결과

저마찰로 및 고마찰로에 대한 ABS 장치의 제동능력시험 결과는 다음과 같다.

표 2.8.2-20 ABS장치의 제동능력시험 결과

| 시 험 항 목 | | | 초기 브레이크 온도 (℃) | 속도 (경계지점통과시) 규정 속도 (km/h) | 속도 (경계지점통과시) 실제 속도 (km/h) | 최대 페달 답력 (N) | 차선이탈 제동안전성 바퀴잠김 등 | 조향핸들 회전각 등 | 판 정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바퀴잠김방지식 주제동장치의 제동능력 | 적 차 | 고마찰 | 51.9 | 40 | 40.8 | 305.0 | 없음 | – | 적합 |
| | | | 55.1 | 64 | 62.8 | 472.0 | 없음 | – | 적합 |
| | | 저마찰 | 73.6 | 40 | 40.6 | 325.0 | 없음 | – | 적합 |
| | | | 72.1 | 64 | 64.9 | 316.0 | 없음 | – | 적합 |
| | 경적차 | 고마찰 | 47.9 | 40 | 40.9 | 286.1 | 없음 | – | 적합 |
| | | | 55.2 | 64 | 64.9 | 319.4 | 없음 | – | 적합 |
| | | 저마찰 | 79.7 | 40 | 40.7 | 460.0 | 없음 | – | 적합 |
| | | | 83.9 | 64 | 64.8 | 182.5 | 없음 | – | 적합 |

(라) 고마찰로에서 저마찰로 통과시 ABS장치의 제동능력시험 결과

저마찰로에서 고마찰로를 통과시 ABS장치의 제동능력시험 결과는 다음과 같다.

표 2.8.2-21 고마찰로에서 저마찰로 통과시 ABS장치의 제동능력시험 결과

| 시 험 항 목 | | 초기 브레이크 온도 (℃) | 속도 (경계지점통과시) | | 최대 페달 답력 (N) | 차선이탈 제동안전성 바퀴잠김 등 | 조향핸들 회전각 등 | 판 정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 규정 속도 (km/h) | 실제 속도 (km/h) | | | | |
| 고마찰에서 저마찰로 통과시 ABS장치의 제동능력 | 적 차 | 90.2 | 40 | 50.3 | 442.0 | 없음 | | 적합 |
| | | 92.4 | 64 | 62.3 | 366.0 | 없음 | | 적합 |
| | 경적차 | 90.8 | 40 | 41.2 | 327.0 | 없음 | | 적합 |
| | | 92.3 | 64 | 65.8 | 314.0 | 없음 | | 적합 |

(마) 저마찰로에서 고마찰로 통과시 ABS장치의 제동능력시험 결과

저마찰로 및 고마찰로(고마찰력값≧0.5, 고마찰력값/저마찰력값≧2)에서 제동초속도 50km/h로 실시하며, 저마찰로에서 고마찰로 통과시 ABS장치의 제동능력시험 결과는 다음과 같다.

표 2.8.2-22 저마찰로에서 고마찰로 통과시 ABS장치의 제동능력시험 결과

| 시 험 항 목 | | 초기 브레이크 온도 (℃) | 속도 (경계지점통과시) | | 최대 페달 답력 (N) | 차선이탈 제동안전성 바퀴잠김 등 | 조향핸들 회전각 등 | 판 정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 규정 속도 (km/h) | 실제 속도 (km/h) | | | | |
| 저마찰에서 고마찰로 통과시 ABS장치의 제동능력 | 적 차 | 96.8 | 50 | 55.5 | 363.0 | 없음 | | 적합 |
| | 경적차 | 95.7 | 50 | 52.1 | 311.0 | 없음 | | 적합 |

(바) 저마찰로 및 고마찰로 또는 고마찰로 및 저마찰로 비균일노면 동시 통과시 ABS장치의 제동능력시험 결과

저마찰로 및 고마찰로(고마찰력값≧0.5, 고마찰력값/저마찰력값≧2)에서 제동초속도 50km/h로 실시하며, 비균일노면 동시 통과시 ABS장치의 제동능력시험 결과는 다음과 같다.

표 2.8.2-23 저마찰로 및 고마찰로 또는 고마찰로 및 저마찰로 비균일노면 동시 통과시 ABS장치의 제동능력시험 결과

| 시 험 항 목 | | 초기 브레이크 온도 (℃) | 속도 (경계지점통과시) | | 최대 페달 답력 (N) | 차선이탈 제동안전성 바퀴잠김 등 | 조향핸들 회전각 등 | 판 정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 규정 속도 (km/h) | 실제 속도 (km/h) | | | | |
| 비균일노면 통과시 ABS장치의 제동능력 | 적 차 | 57.4 | 55 | 55.6 | 285.0 | 없음 | | 적합 |
| | | ZMALS = 0.356 | | | | | | 적합 |
| | 경적차 | 21.3 | 55 | 55.7 | 282.1 | 없음 | | 적합 |

## 3. 시제차 시범운행

### 가. 여수엑스포 시범운행

1) 차량 시범운행 계획

가) 목적

여수엑스포 기간 동안 국내 및 해외 관람객에게 신교통 친환경 대중교통 수단인 바이모달 트램을 홍보하고 더불어 원활한 국제행사를 지원할 수 있도록 시범운행을 실시하였다.

나) 여수엑스포 준비사항

(1) 준비 일정

: 2012년 5월 12일 엑스포 행사 시작 전까지 일정에 맞춰 차량을 정비, 보완하고 운전자 교육을 수행하였다.

(2) 차량 보완

- 차량 전면 유리 썬팅
- 실내 주의 표기 부착
- 차량 랩핑 작업
- 행선지 표시기 문구 변경

(3) 차량 정비

- 냉방장치 정비점검
- 추진장치 정비점검
- 여수시 엑스포 구간 예비 주행

(4) 운전자 교육 실시

- 이론 교육 및 도로 주행 실시

(5) 차량 이동

- 이동경로: 남해고속도로를 경유하여 여수엑스포로 이동
- 이동방법: 자력이동
- 출발일정: 시제1호: 2012년 04월 12일(목), 시제2호: 2012년 04월 17일(화)
- 이동시간: 10:00~15:00 (5시간 소요 예상)
- 이동거리: 200km

다) 엑스포 시범운행 계획

(1) 운행 차량 및 일정

- 운행차량: 시제1호, 시제2호 2대 운행
- 운행일정: 2012년 4월 12일~8월 13일(4개월)
- 운행시간: 09:00~18:00

(2) 운행구간

EXPO역 → 삼각로타리 → 오동도 → 이순신장군터널 → 해안공원 → 종하로로타리 → 여수경찰서 → 진남관 → 이순신장군광장 → 해안공원 → 종하로로타리 → 이순신장군터널 → 오동도 → 삼각로타리 → EXPO역




그림 2.8.3-1 여수엑스포 시범운행 노선

(3) 차량 검수고

바이모달 트램을 정비 및 계류할 수 있는 검수고 및 주정차가 가능한 장소를 검토하였으며, 또한 공구함, 유압잭, 예비용 부품(전기부품, 냉각수, 오일 등)을 보관할 수 사무실도 검토 진행하였다.

(가) 검수고 사양

- 검수고 장소: 전남대학교 학군단 사무실 및 소운동장 사용
- 크기: 8m(가로) x 25m(세로) x 5m(높이)
- 천막형 검수고, 학군단 사무실

(4) 사고 대비 및 견인조치 계획

(가) 사고 유형별 대응 계획

① 차량 추돌

표 2.8.3-1 추돌사고에 따른 조치

| 사고 정도 | 조치 및 대응 |
|---|---|
| 경미사고 | 교통사고 조치 요령에 준하여 조치. |
| 중대사고 | <차량이 주행 불능 상태><br>1.기본 사항은 교통사고 조치요령에 준하여 조치.<br>2.차량 시동 및 전원을 차단.<br>3.차량 주요장치에 화재 및 이상 징후 여부를 확인.<br>4.차량 구난 조치. |
| 인사사고 | 교통사고 조치 요령에 준하여 조치. |

② 폭발 및 화재

㉮ 일반화재

- 화재의 정도를 판단하여 차량 내 비치된 분말소화기로 소화한다.
- 필요시 긴급으로 119에 우선 신고 후 분말 소화기로 확산을 억제한다.
- 자체 소화 시에는 화기를 완전히 진압했는지 여부를 확인해야 한다.

㉯ 전장품화재

- 화재의 정도를 판단하여 차량 내 비치된 $CO_2$ 소화기로 소화한다.
- 필요시 긴급으로 119에 우선 신고 후 $CO_2$ 소화기로 확산을 억제한다.
- 자체 소화 시에는 화기를 완전히 진압했는지 여부를 확인해야 한다.

㉰ Traction Battery 화재

- 차량의 Battery 소손 등의 이상 징후 발견 시 먼저 차량의 Main S/W를 차단한다.
- 차량 후미에 위치한 차량용 24V 전원을 차단한다.
- 상태의 경중을 육안으로 판단하여 필요시 119에 신고한다.
- 상태가 가볍다고 판단되면 Battery Pack 내의 상태를 확인 하고 Battery가 아닌 주변에 경미한 불꽃이 발생할 경우 $CO_2$ 소화기로 초기 진화 작업을 실시한다.
- 초기 진화에 실패할 경우 119에 신고하고 소방차가 올 때까지 차량 후방에 안전 표지판 설치 등 안전 조치를 취한 후 대기 한다.

(나) 주변 환경 의한 조치 계획

표 2.8.3-2 비상시 계획

| 구 분 | 주의단계 | 경계단계 | 심각단계 |
|---|---|---|---|
| 우천 시 | ○ 모든 버스 전조등 점등 운행<br>○ 승강장 정차 시 서행<br>- 미끄럼, 물 튀김 주의 | ○ 빗길 미끄럼주의 방어운전<br>○ 시계불량구간 운행 시 서행<br>- 제한속도의 50% 운행 | ○ 비상등 점등 후 정차대기<br>- 상황실 후속조치 상황 해제까지 대기 |
| 수용인원 초과 시 | ○ 최대 수용인원 93명 승차인원 제한 | ○ 수용인원 제한 | ○ 수용인원 제한 |
| 응급환자 발생 시 | ○ 가까운 승하차장 정차<br>- 종사공무원에게 상황 인계 후 운행<br>○ 인근 병원 안내 등 | ○ 교통상황실 보고 후 가까운 승하차장 정차<br>○ 교통상황실 상황보고<br>○ 119응급센터 협조요청 | ○ 즉각 정차 및 상황 보고<br>- 심각 시 인근 병원 비상연락 조치<br>○ 즉각 응급조치<br>- 응급조치 실행<br>○ 119응급센터 신고 |
| 교통사고/ 도로정체 발생 시 | ○ 교통상황실 상황보고 | ○ 승객 하차 후 대피 유도<br>○ 유관기관 협조요청 | ○ 승객 하차 후 대피 유도<br>○ 유관기관 지원요청<br>○ 유관기관 협조요청 |

① 관람객 폭증 시 차량 운행

: 최대 승차인원을 93명으로 제한한다.

표 2.8.3-3 수용인원 초과 시 계획

| 추진계획 | | 대 응 방 안 |
|---|---|---|
| 교통상황실 대응연계방안 | 주의 | • 현장상황 파악 및 탄력적 노선 운행 |
| | 경계 | • 가용한 범위 내의 운행 |
| | 심각 | • 가용한 범위 초과 운행 |
| 운전 및 탑승안내 공무원 대응방안 | 주의 | • 충분한 승하차시간 및 승강장 승객안전 고려 운행 |
| | 경계 | • 수용인원 제한 |
| | 심각 | • 수용인원 초과 제한 |
| 종사공무원 대응방안 | 주의 | • 승객 질서유지<br>• 교통상황실 상황보고 |
| | 경계 | • 인근 정류소 종사공무원에게 상황전달<br>• 경유지조정 및 추가 배차 요청 |
| | 심각 | • 승객안전 및 질서유지<br>• 추가인원 배치 요청<br>• 대기인원이 과다한 정류장의 상황을 고려하여 승차인원 조절 |

② 호우 시 차량 운행

- 차량 전조등 점등운행 및 승강장 서행 정차
- 호우가 심각하면 상황 해제 시까지 대기

표 2.8.3-4 호우 시 계획

| 추진계획 | | 대 응 방 안 |
|---|---|---|
| 교통상황실 대응연계방안 | 주의 | • 기상상황 조기 예측 및 종사원 전파<br>• 우천시 필요물품(비옷, 미끄럼방지 깔개 등) 조달여부 확인 |
| | 경계 | • CCTV모니터링 및 안전운행 지시 |
| | 심각 | • 상황 해제시 까지 비상근무체계 유지 |
| 운전공무원, 탑승안내원 대응방안 | 주의 | • 모든 버스 전조등 점등 운행<br>• 승강장 정차시 서행<br>- 미끄럼 및 물튀김 주의 |
| | 경계 | • 빗길 미끄럼주의 방어운전<br>• 시거불량구간 운행시 서행<br>- 제한속도의 50% 운행 |

| 추진계획 | | 대 응 방 안 |
|---|---|---|
| | 심<br>각 | • 비상등 점등 후 정차대기<br>- 상황실 후속조치 및 상황 해제시까지 대기 |
| 종사공무원<br>대응방안 | 주<br>의 | • 비옷 착용 후 질서유지<br>• 관람객 미끄럼방지를 위한 주변 정리 |
| | 경<br>계 | • 버스 서행 유도<br>- 통제봉 이용<br>• 교통상황실 현장상황보고 |
| | 심<br>각 | • 안전한 장소로 관람객 대피 유도<br>- 인근 건물, 컨테이너 등<br>• 버스운행 중단 지시 |

③ 태풍

- 태풍 주의보 발령 시 정상 운행
- 태풍 경보 발령 시 운행 일시 중단

④ 폭염

- 폭염 주의보 발령 시 정상운행
- 폭염 경보 발령 시 운행 일시 중단

(다) 견인 지그 설치 작업



그림 2.8.3-2 견인차량 지그설치 작업

- 앞 범퍼 탈거 후 견인차량에 견인지그를 연결한다.
- 견인차량의 크레인을 이용하여 견인지그를 들어 올려 바이모달 트램의 견인 어댑터와 결합하고 멈춤핀을 사용하여 고정한다.
- 설치 후 크레인을 아래로 내려 바이모달 트램의 어댑터와의 높이를 맞추어 완전 체결 상태를 확인 후 견인을 실시한다.

(5) 차량 검수

시험 기간 중 출발 전/후 검수와 장치 항목 별 정기 검수로 구분하여 차량 점검이 이루어 질 수 있도록 한다.

(가) 출발 전/후 검수

: 차량 출발 전/후에 다음 항목의 상태를 육안으로 검사한다.

① 차량 외관 확인: 실내/외 외관 이상 유/무를 확인

② 차량 세차: 출발 전 세차 작업 실시

③ 차량 내부 청소: 출발 전 차량 실내 청소 실시

④ 도어: 자동, 비상 동작 확인

⑤ CNG 충전: CNG 연료량 확인 및 충전 실시

⑥ Mirror/ 카메라/ 방송장치 확인: 사이드 미러, 실내/외 카메라, 방송 장치 상태를 확인 한다.

(나) 정기검수

장치 별 검수는 각 주기에 맡게 시행 할 수 있도록 한다.

① 엔진점검

표 2.8.3-5 엔진 검수주기

| 항목 | 검수주기 (km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 최초1회 | 일일점검 | 1,000 | 10,000 | 20,000 |
| 오일오염 및 누유 | | ○ | | | |
| 시동상태 및 이음 | | ○ | | | |
| 벨트장력 및 손상 | | ○ | | | |
| 공회전 상태 점검 | | ○ | | | |
| 배기가스 점검 | | ○ | | | |
| 냉각수량 점검 | | ○ | | | |
| V-벨트 장력 조정 | | ○ | | | |
| 누유점검 | | ○ | | | |
| 오일 레벨 점검 | | ○ | | | |
| 연료라인 누설 점검 | | | ○ | | |
| 밸브 간극 조정 | | | | ○ | |
| 노즐 분사압 점검 | | | | ○ | |
| 점화플러그 교환 | | | | ○ | |
| 엔진오일 교환 | | | | ○ | |
| 엔진오일 필터 교환 | | | | ○ | |
| CNG 필터 교환 | | 매 40,000km | | | |

| 항목 | 검수주기 (km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 최초1회 | 일일점검 | 1,000 | 10,000 | 20,000 |
| 압축압력점검 | | 매 60,000km | | | |
| 12, 24V 배터리 교환 | | 매 80,000km | | | |
| 타이밍 벨트 교환 | | 매 80,000km | | | |
| 배기관 손상 및 이완 | | 매 100,000km | | | |
| 발전기 (24V용) | | 매 100,000km | | | |
| Start Motor | | 매 100,000km | | | |

② 휠/타이어 점검

표 2.8.3-6 휠/타이어 점검 주기

| 항목 | 검수주기 (km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 최초1회 | 일일점검 | 1,000 | 10,000 | 20,000 |
| 손상 및 공기압 점검 | | ○ | | | |
| 타이어 위치 교환 | | | | | ○ |
| 휠 얼라이먼트 | | | | | ○ |
| 휠 너트 재조임 | 1,000km | | | | ○ |
| 타이어 교환 | | 필요 시 | | | |
| 휠 디스크 녹 제거 및 청소 | | 휠 탈부착 시 | | | |

③ 브레이크 장치 점검

표 2.8.3-7 브레이크 장치 검수주기

| 항목 | 검수주기 (km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 최초1회 | 일일점검 | 1,000 | 10,000 | 20,000 |
| 기능 점검 | | ○ | | | |
| 브레이크 페달 유격 | | ○ | | | |
| 압축공기 누출상태 | | ○ | | | |
| 비상브레이크 작동 | | ○ | | | |
| 에어탱크 점검 및 응축수 배출 | | ○ | | | |
| 릴레이 밸브 점검 | | | | ○ | |
| 스피드 센서 간극 점검 | | | | | ○ |
| 공기 압축파이프 점검 | | | | | ○ |
| 브레이크 오일 교환 | | | | | ○ |
| 브레이크 패드 교환 | | 매 40,000km | | | |

④ 냉각계통 점검

표 2.8.3-8 냉각계통 검수주기

| 항목 | 검수주기 (km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 최초1회 | 일일점검 | 1,000 | 10,000 | 20,000 |
| 라디에이터 누수 | | ○ | | | |
| 워터펌프 누수 | | ○ | | | |
| 냉각 계통 점검 | | ○ | | | |
| 냉각수 교환 | | 매 80,000km | | | |
| 냉각 호수 교환 | | 매 80,000km | | | |
| 라디에이터 청소 | | 매 100,000km | | | |
| 부동액 농도 점검 | | 계절 변경 시 | | | |

⑤ 휠 서스펜션 점검

표 2.8.3-9 휠 서스펜션 검수주기

| 항목 | 검수주기 (km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 최초1회 | 일일점검 | 1,000 | 10,000 | 20,000 |
| 누유점검 | | | | ○ | |
| 공기스프링 손상 점검 | | | | ○ | |
| 레벨링 밸브 및 로드 | | | | ○ | |
| 쇽-업소바 누유 및 기능 점검 | | | | ○ | |
| 쇽-업소바 취부상태 | | | | | ○ |
| 베어링 청소, 유격 | | | | | ○ |
| 액슬 변형 점검 | | 충격을 받았을 때 | | | |
| 액슬 연결 볼트 재조임 | 1,000km | 매 100,000km | | | |

⑥ 조향장치 점검

표 2.8.3-10 조향장치 검수주기

| 항목 | 검수주기 (km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 최초1회 | 일일점검 | 1,000 | 10,000 | 20,000 |
| 스티어링 휠 유격 | | ○ | | | |
| 핸들 오일 점검 | | | ○ | | |
| 스티어링 휠 고정상태 | | | | ○ | |
| 스티어링 유니트 누유 | | | | ○ | |
| 회전각 점검 | | | | ○ | |
| 스티어링 유니트 고정상태 | | | | | ○ |
| 파워 스티어링 오일 교환 | | 매 40,000km | | | |

⑦ 등구류 점검

표 2.8.3-11 등구류 검수주기

| 항목 | 검수주기 (km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 최초1회 | 일일점검 | 1,000 | 10,000 | 20,000 |
| 전방 Lamp | | ○ | | | |
| 후방 Lamp | | ○ | | | |
| 실내 Lamp | | ○ | | | |

⑧ 핵심장치 점검

표 2.8.3-12 핵심장치 검수주기

| 항목 | 검수주기 (km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 최초1회 | 일일점검 | 1,000 | 10,000 | 20,000 |
| 추진 시스템 | | | | ○ | |
| 배터리 시스템 | | | | ○ | |
| ABS 시스템 | | | | ○ | |
| AWS 시스템 | | | | ○ | |
| ELC 시스템 | | | | ○ | |
| AGS 시스템 | | 매 50,000km | | | |
| Door/Climate 시스템 | | 매 50,000km | | | |

2) 여수엑스포 시범노선 운행

가) 예비 운행 시험

: 바이모달 트램의 순환 코스에 대한 예비 운행을 실시하여 주행 탑승 인원, 소요시간을 파악하고 도로 여건 등 문제점을 확인한다.

나) 주행 일시: 2012년 5월 5일

다) 주행 차량: 시제2호 차량 1대

라) 운행 계획

: 총 4회 운행하며 각 정류소에 정차하여 일반 승객들을 탑승하도록 한다.

마) 예비 운행 결과

표 2.8.3-13 여수엑스포 예비 운행 결과

| 운행횟수 | 출발시간 | 도착시간 | 소요시간 | 탑승인원 |
|---|---|---|---|---|
| 1회 | 14시 40분 | 15시 11분 | 31분 | 270명 |
| 2회 | 15시 30분 | 16시 02분 | 32분 | 290명 |
| 3회 | 16시 30분 | 17시 02분 | 32분 | 270명 |
| 4회 | 17시 14분 | 17시 52분 | 38분 | 350명 |
| 비고 | 총 운행횟수: 4회 / 평균 소요시간: 약33분<br>총 탑승인원: 1,180명 / 평균 탑승인원: 295명 | | | |

(1) 문제점

(가) 이순신 광장 교통체증이 심함

(나) 이순신 광장 승강장이 협소하여 정위치 정차가 불가

(다) 교통 혼잡 구간에서 여수시 기사 운전이 불가

(라) 안전요원 1명으로 많은 승객들 관리가 어려움

(마) 승강장 위치가 비효율적이고 수량이 부족

(2) 대책

(가) 교통 체증 구간은 행사 기간 내에는 일반 차량이 통제 되어 완화 될 것

(나) 불법 주정차 차량은 단속을 통해 정리 할 것

(다) 안전요원은 2명으로 증원 함.

바) 탑승 현황

표 3.10.2-14 여수엑스포 탑승 현황

| No. | 년. 월 | 차량 | 탑승 인원 | 운행 횟수 | 탑승 인원/회 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2012년 5월 | 시제1호 | 4,856 | 62 | 78 |
| | | 시제2호 | 6,469 | 93 | 70 |
| 2 | 2012년 6월 | 시제1호 | 9,844 | 120 | 82 |
| | | 시제2호 | 14,180 | 170 | 83 |
| 3 | 2012년 7월 | 시제1호 | 23,518 | 244 | 96 |
| | | 시제2호 | 12,868 | 123 | 105 |
| 4 | 2012년 8월 | 시제1호 | 9,498 | 70 | 136 |
| | | 시제2호 | 650 | 5 | 130 |
| 총 탑승자 | | 시제1호 | 47,716 | 496 | 96 |
| | | 시제2호 | 34,167 | 391 | 87 |
| | | 합 계 | 81,883 | 887 | 92 |

사) 바이모달 트램 설문 조사

표 2.8.3-15 바이모달 트램 탑승자 설문조사내용 및 결과

| No. | 설문 내용 | 선택 예문 | 내국인(%) | 외국인(%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 바이모달 트램을 어떻게 알게 되셨습니까? | 1. 인터넷 | 7% | 4% |
| | | 2. 신문/방송 | 6% | 47.5% |
| | | 3. 여수엑스포 현장 | 87% | 48.5% |
| 2 | 다음 중 무엇이 가장 | 1. 차량디자인 | 42% | 57% |

| No. | 설문 내용 | 선택 예문 | 내국인(%) | 외국인(%) |
|---|---|---|---|---|
| | 마음에 드셨습니까? | 2. 승하차 편리성 | 21% | 14% |
| | | 3. 실내공간 | 22% | 24% |
| | | 4. 정숙성 | 4% | 0% |
| | | 5. 모르겠다 | 11% | 5% |
| 3 | 다음 중 무엇이 가장 개선이 필요합니까? | 1. 차량디자인 | 5% | 9% |
| | | 2. 승하차 편리성 | 12% | 5% |
| | | 3. 실내공간 | 23% | 57% |
| | | 4. 정숙성 | 24% | 10% |
| | | 5. 모르겠다 | 36% | 19% |
| 4 | 엑스포역-정문 구간에서는 지하철과 같이 수평승하차를 하는데 좋은 점이 무엇이라고 생각하십니까? | 1. 휠체어, 임산부, 노약자 이동편의 | 30% | 28% |
| | | 2. 편리한 승하차 | 27% | 25% |
| | | 3. 안전한 승하차 | 20% | 15% |
| | | 4. 자전거, 유모차 탑승 | 8% | 17% |
| | | 5. 도시철도 이미지 | 12% | 15% |
| | | 6. 모르겠다 | 3% | 0% |
| 5 | 본 차량을 운영하기에 적합하다고 생각하시는 곳은? | 1. 대도시 | 27% | 27% |
| | | 2. 중소도시 | 37% | 46% |
| | | 3. 신도시 | 36% | 27% |
| 6 | 향후 필요하다고 생각 하시는 것은 무엇입니까? | 1. 더욱 길이가 긴 차량 | 16% | 4% |
| | | 2. 양쪽 출입문 (지하철 형태) | 13% | 9% |
| | | 3. 무공해 차량 | 40% | 55% |
| | | 4. 자동운행차량 | 20% | 18% |
| | | 5. 모르겠다 | 11% | 14% |

아) 바이모달 트램 운행시스템 개발

(1) 운행시스템 개발

(가) 차량운영 컴퓨터

① GPS 위치 탐색 기능

- GPS모듈 설치, 여수 엑스포 운행 노선 데이터 입력, 수신 위치 보정

② 도착 정거장 탐색 및 정보제공

- 도착 예정 정거장 표출, 승객정보 제공 장치에 메시지 전송, 각 정류장 도착 안내 및 홍보, 기타 안내 4개 국어(한, 영, 중, 일) 육성 녹음파일 제작 및 운행 시 재생, 승객정보 제공 장치에 홍보 동영상 전송

③ 도착 정거장 강제 이동 기능

- 운전자 직접 조작에 의한 정거장 안내 메시지 표출, 음성 안내

(나) 승객 정보 제공 장치

① 홍보 동영상 재생

② 차량운영컴퓨터 통신

③ 도착 정거장 문구 표출

(다) 행선지 표시기

① 차량운영컴퓨터와 연동

② 문구 세팅 작업

(2) 운행시스템 기능 수정, 추가

(가) 음성안내 수정 추가

- 차량운영컴퓨터 정류장 음성 안내 내용 수정, 중국어, 일본어 추가

(나) 승객정보제공 장치

- 안내 메시지 내용 및 디자인 수정

(다) 카메라 영상 조정

(3) 운행시스템 유지보수

(가) 스피커 볼륨 조정

- 시제 1호, 2호차도착 정류장 안내 스피커 볼륨 조정

(나) 승객정보 제공 장치 전원보드 수정

- 차량의 전원의 차이에 의한 승객정보 제공 장치의 부팅 및 종료기능 보완, 메인 시스템 디스크 오류 발생 점검 및 수리

(다) 장치별 전압 측정

표 2.8.3-16 시제 1호차 전압 측정

| LCD 번호 | Engine ON | Engine OFF | 차량 Batt. OFF | 승객장치 보조 Batt. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 26.86 V | 26.80 V | 3 V → 300 mV | 25.85 V |
| 2 | 26.80 V | 26.81 V | 1.8 V | 25.79 V |
| 3 | 26.90 V | 26.90 V | 0.7 V | 26.04 V |

표 2.8.3-17 시제 2호차 전압 측정

| LCD 번호 | Engine ON | Engine OFF | 차량 Batt. OFF | 승객장치 보조 Batt. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 26.87 V | 26.85 V | 44 mV | 26.24 V |
| 2 | 26.68 V | 26.66 V | 0 mV | 25.80 V |
| 3 | 27.04 V | 27.04 V | 0 mV | 26.20 V |

(라) 차량운영 컴퓨터 유지보수

- 모니터 접촉 불량 점검 수리
- 메인 시스템 디스크 오류 점검 및 수리

(마) 바이모달 트램 탑승 현황

표 3.10.2-18 여수엑스포 기간 중 탑승인원

| No. | 년. 월 | 차량 | 탑승 인원 | 운행 횟수 | 탑승 인원/회 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2012년 5월 | 시제1호 | 4,856 | 62 | 78 |
| | | 시제2호 | 6,469 | 93 | 70 |
| 2 | 2012년 6월 | 시제1호 | 9,844 | 120 | 82 |
| | | 시제2호 | 14,180 | 170 | 83 |
| 3 | 2012년 7월 | 시제1호 | 23,518 | 244 | 96 |
| | | 시제2호 | 12,868 | 123 | 105 |
| 4 | 2012년 8월 | 시제1호 | 9,498 | 70 | 136 |
| | | 시제2호 | 650 | 5 | 130 |
| 총 탑승자 | | 시제1호 | 47,716 | 496 | 96 |
| | | 시제2호 | 34,167 | 391 | 87 |
| | | 합 계 | 81,883 | 887 | 92 |

(사) 시승행사

여수 EXPO 기간 내 여러 기관 및 단체에서 바이모달 트램 시승 행사를 가졌다.

표 3.10.2-19 여수엑스포 기간 내 기관 및 단체 방문

| No. | 시승 기관 | 장소 | 일시 |
|---|---|---|---|
| 1 | 여수시 지자체 및 시민<br>(여수시 도로 개통식) | 여수시 | 2012.04.28 |
| 2 | 국토부 출입 기자단 | 여수엑스포 | 2012.05.08 |
| 3 | 국토해양부 | 여수엑스포 | 2012.05.09<br>2012.05.31<br>2012.06.21 |

| No. | 시승 기관 | 장소 | 일시 |
|---|---|---|---|
| | | | 2012.08.08 |
| 4 | 과학기술출연협회기관장, 부산광역시장, 산하기관장, 주요대학교 총장 등 | 여수엑스포 | 2012.05.26 |
| 5 | 서울시 도시철도국 교통관계자 | 여수엑스포 | 2012.06.15 |
| 6 | 서울시 도시철도 설계 관계자 | 여수엑스포 | 2012.06.22 |
| 7 | 서울메트로 교통관계자 | 여수엑스포 | 2012.07.11 |
| 8 | 서울시 9호선 교통관계자 | 여수엑스포 | 2012.07.17 |
| 9 | 수원시청 교통관계자 | 여수엑스포 | 2012.07.24 |
| 10 | 한국건설교통기술평가원 | 여수엑스포 | 2012.08.08 |



그림 2.8.3-3 바이모달 트램 시승 행사

3) 차량 유지보수

가) 차체

(1) 차량 외부 랩핑

여수엑스포의 이미지를 차량 외관에 반영하기 위하여 프린트 된 특수필름을 차량 전체에 랩핑하여 운행지역 특성에 맞춘 외부 디자인을 적용하였다.



그림 2.8.3-4 여수엑스포 차량조감도와 랩핑 상태

(2) 차량 고장 및 조치

| 구분 | 정비 내용 | 원인 | 조치내용 |
|---|---|---|---|
| 1. 엔진 | | | |
| 설계보완 | 엔진룸 과열 | ▪ 하절기시(고온의 대기온도) 냉각용량 부족 | ▪ 냉각팬 및 환기팬 추가하도록 설계변경 |
| 설계보완 | 엔진 시동모터 미작동 | ▪ 접지라인이 길어서 전압강하 | ▪ 접지라인 최단거리로 설계변경 |
| 설계보완 | 발전기 냉각펌프 누수 | ▪ 냉각수압 과도하여 펌프패킹 소손 | ▪ 시작차량에 국내에서 수급이 가능한 Wilo PUMP로 교체 작업하여 테스트 12,000km 운행중 이상없음 |
| 부품교체 | 엔진 냉각 라인 누수 | ▪ 실리콘 호스의 내부 품질 불량 | ▪ 파열 강도(6bar), 온도특성(225℃)으로 호스의 규격으로 교체(4만km 주행시 이상 없음) |
| 2. 구동시스템 | | | |
| 설계보완 | 구동모터 조정장치 소손 | ▪ 모드변경시 과전압으로 조정소자 소손 | ▪ 과전압이 발생하지 않도록 프로그램 변경 |
| 3. 추진배터리 | | | |
| 설계보완 | 배터리 과충전 | ▪ 프로그램에 배터리 제어신호 오류 | ▪ 배터리 충전 제어 프로그램 변경 |
| 설계보완 | 배터리 충전상태 0% 차단 | ▪ 통신소자의 온도특성 불량 | ▪ MVB 컨버터에 외부공기 유입되도록 설계 변경 |
| 조립변경 | 자동운전시 배터리 차단 | ▪ 자동주행장치의 배터리 상황 진단장치의 통신상태 불량으로 안전모드 변환 | ▪ 자동주행장치(국내 개발품)의 정상동작 신호가 불안정하게 수신되어규격에 적합한 케이블로 교체하여 문제 해결함 |
| 4. 조향시스템 | | | |
| 부품교체 | 3축 조향장치 고장 | ▪ 습기 침투 등 외부환경 노출에 따른 By-pass Valve 소손 | ▪ By-pass Valve 교체 및 컨넥터 부위 방수 처리 강화 작업 시행 |

## 나. 세종시 BRT노선 시범운행

1) 차량 시범운행 계획

가) 목적

세종시 주민 입주와 중앙부처 이전에 따른 교통수요를 지원하고, 향후 행복도시의 적용성 검토를 위하여 시범운행을 실시함.

나) 운행 차량 및 일정

- 운행차량: 시제1호, 시제2호, 시작차량 (1대는 예비차량)
- 기간: 2012년 9월 14일~2013년 3월 31일
- 운행시간: 오전6시간(05:40~12:00), 오후 6시간(15:00~21:23) 운행
- 차량정비: 12:00~15:00 차량 점검

다) 운행 요금: BRT 요금은 무료 운행

2) 세종시 BRT노선 운행

가) 운행 노선

(1) 광역 BRT: 세종청사, 첫마을, 남측터미널에 상·하행선 운영

(2) 내부 BRT: 오송역 1개소, 반석역 상·하행선 운영

(3) 노선: 반석역-세종터미널-첫마을-세종청사-오송역 (왕복 62.4km)

(4) 버스전용차로제

- 반석역-행복도시-오송역 구간에 버스전용차로제 시행




그림 2.8.3-7 세종시 시범운행 노선

나) 승차인원

(1) 상행(대전 반석역→오송역)

평균 229명/1일, 27.2명/1회, 9.4회/1일, 상위5%시 87명/1회

표 2.8.3-21 상행 탑승인원(대전 반석역→오송역)

| 구분 | 소계 | 반석역 | 세종 터미널 | 첫마을 | 세종 청사 | 행복 아파트 | 오송역 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 합계 | 28,993 | 19,633 | 683 | 5,978 | 2,528 | 171 | - | |
| 9월 | 4,042 | 2,827 | 150 | 948 | 117 | - | - | |
| 10월 | 8,507 | 6,725 | 232 | 1,450 | 100 | - | - | |
| 11월 | 7,194 | 5,718 | 193 | 1,082 | 149 | 52 | - | |
| 12월 | 5,072 | 3,254 | 81 | 930 | 749 | 58 | - | |
| 1월 | 639 | 276 | 2 | 224 | 129 | 8 | - | |
| 2월 | 1,553 | 363 | 10 | 584 | 581 | 15 | - | |
| 3월 | 1,986 | 470 | 15 | 760 | 703 | 38 | | |

(2) 하행(오송역→대전 반석역)

평균 235명/1일, 26.8명/1회, 9.8회/1일, 상위5%시 80명/1회

표 2.8.3-22 하행 탑승인원(오송역→대전 반석역)

| 구분 | 소계 | 오송역 | 행복 아파트 | 세종 청사 | 첫마을 | 세종 터미널 | 반석역 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 합계 | 30,164 | 12,425 | 254 | 2,013 | 14,705 | 767 | - | |
| 9월 | 4,107 | 1,744 | - | 89 | 2,137 | 137 | - | |
| 10월 | 9,037 | 3,803 | - | 235 | 4,769 | 230 | - | |
| 11월 | 7,863 | 2,557 | 54 | 246 | 4,751 | 255 | - | |
| 12월 | 5,766 | 2,410 | 50 | 455 | 2,741 | 110 | - | |
| 1월 | 431 | 232 | 5 | 91 | 100 | 3 | - | |
| 2월 | 1,314 | 826 | 34 | 370 | 70 | 14 | - | |
| 3월 | 1,646 | 853 | 111 | 527 | 137 | 18 | | |

3) 차량 유지보수

가) 차체

(1) 차량 외부 랩핑

특수필름을 차량 전체에 랩핑하여 운행지역 특성에 맞춘 외부 디자인을 적용하여 여수엑스포와는 다른 새로운 이미지를 적용하였다.

(가) 외관 칼라 작업 내용

① 기존 차량의 화이트 띠 구간을 Pantone 164c 색상으로 동일 사이즈로 마감하고, 후면 상단부터 후면 배기구까지 내려오는 화이트 구간 전체를 그림과 같이 주황색 (pantone 164c) 로 마감한다.




그림 2.8.3-8 앞/뒤 랩핑변경 부분

② 차량 양쪽 측면에도 앞뒤와 동일하게 적용 하였다.

(나) 노선도 부착위치

세종시 시범운행을 진행하는데 있어 노선번호 부여받고 부착위치 및 크기를 선정하였다.

(다) 안내문 부착

“본 차량은 시범운행 차량입니다.” 라는 문구를 적용하고, 사이즈는 아래 그림과 같이 가로 장축 길이 1019mm, 높이 65.93mm로 제작하여 부착하였다.

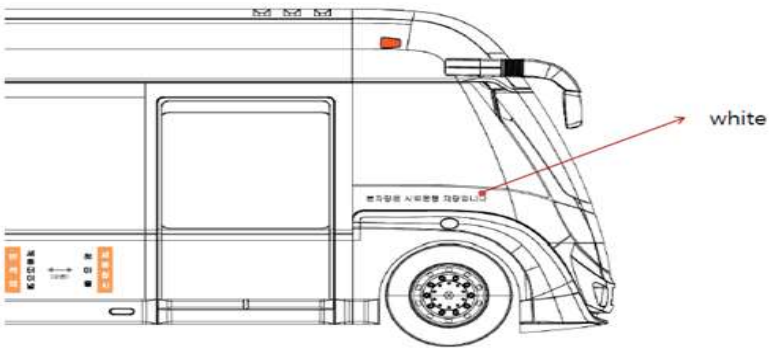



그림 2.8.3-9 안내문 부착위치

(라) 기타 작업내용

세종시에 운행하는 바이모달 트램의 외부 전면에 붙어 있는 국토해양부 로고를 제외하고 기존에 붙어 있는 기관/단체 로고를 모두 제거하였다.

나) 차량 고장 및 조치

| 구분 | 정비 내용 | 원인 | 조치내용 |
|---|---|---|---|
| 1. 엔진 | | | |
| 프로그램 수정 | 엔진헌팅 | ▪ 동절기 운행 시 기온이 낮은 환경에서 CNG가스 흐름에 변동이 많은 Idle 조건에서발생<br>▪ 엔진을 PTO 모드(IDLE :900RPM, 충전모드: 2,400RPM) 2가지 RPM 영역에서만 사용함에 따라 RPM 변화량이 심하여헌팅이 빈번하게 발생<br>※PTO: Power Takeover Operation | ▪ 엔진 ECU 엔진 반응속도 파라미터 값 조정하여 해결함<br>▪ 양산시 엔진제작사와 공동튜닝하여 신형엔진(유로6) 장착 예정<br>※커민스 CNG 엔진은 국내 처음 적용된 것으로 동절기 운행결과로 튜닝이 필요한 상태였음<br>※클린디젤(유로6)엔진을 적용하여 실용화 예정임 |
| 부품교체 | 엔진-발전기 커플링 파손 | ▪ 커플링 내구 강도 부족 | ▪ 최대토크 2,100[NM]에서2,700[NM]으로 교체 |
| 2. 구동시스템 | | | |
| 설계보완 | 구동모터 절연저항 저하 | ▪ 구동모터 코일과 감속기 본체와 접촉되어 절연저항 낮아짐 | ▪ 모터 고정자와 감속기간 충분한 절연 이격거리 확보하도록 조치 및 설계변경 |
| 프로그램 수정 및 부품교체 | MCU 이상으로 추진력 저하 | ▪ 동절기 급출발시 배터리 전압이 낮아져 MCU의 저전압 FAULT 발생 | ▪ 보드교체, 차량이 정차상태에서 정상전압 측정시 정상기동 될 수 있도록 프로그램 수정 |
| 조립변경 | 감속기 오일 누유 | ▪ 모터 케이스 접합에서 누유 점검 및 보충 작업 | ▪ 누유차단을 위한 설계변경 및 개선작업 후 재조립 함 |
| 조립변경 | 차체 떨림 발생 | ▪ 3축 좌우 모터의 작동을 조율하는 작업 미흡 | ▪ 모터/인버터 튜닝 작업을 실시하여 출력 전류값 안정화 시켜 차량 떨림 현상 제거 |
| 부품교체 | 추진장치 냉각수 펌프 고장 | ▪ 냉각모터 발열원인으로 냉각팬 파손 | ▪ 절연등급이 높고 공급전원이 높은 사양으로 모터 변경 |
| 조립변경 | 추진모터 씰드선 단락(케이블손상) | ▪ 3축 LH 견인모터 결선 과정에서 리드선 길이가 너무 짧게 조립 되어 단선됨 | ▪ 3축 LH 견인모터 결선 과정에서 리드선 운행 중 진동에 충분히 적응할 수 있도록 여유를 주어 재작업함 |
| 3. 추진배터리 | | | |
| 프로그램 수정 및 부품교체 | 배터리 오작동 | ▪ 셀간 온도차 이상으로 인한 에러 발생 | ▪ 배터리 냉각팬 퓨즈 교체<br>▪ 배터리 온도차 설정값 프로그램 수정 |
| 4. 조향시스템 | | | |
| 부품교체 | 조향장치 에러 | ▪ 커넥터 접촉 불량으로 인한 에러 | ▪ 접촉불량 pin 제거 후 재 압착 실시 |

| 구분 | 정비 내용 | 원인 | 조치내용 |
|---|---|---|---|
| 부품교체 | 조향장치 오일 누유 | ▪ 조향 장치 패킹 불량 | ▪ 패킹 재작업을 통한 누유 부위 차단 |
| 5. 차체 및 차내장치 | | | |
| 조립변경 | 온도센서 단락 | ▪ 3축 추진장치의 온도센서 커넥터 부위 단락으로 3축 추진장치 미작동 | ▪ 온도 센서 결선 부 확인 시 2선 중 1선이 단선 되어 재작업 후 차량 정상 동작 확인 함 |
| 부품교체 | 1축 에어 서스펜션 미작동 | ▪ 1축 에어 서스펜션 밸브 미작동으로 차량 1축 차체 낮아짐 | ▪ 제습기에 설치된 자동배수변 작용 코일 단선으로 제습기에서 제습된 응결수(수분, 유분 등)가 축적되어 공기공급 불량으로 에어 서스펜션 밸브 소손되어 교체 |
| 유지보수 | 에어컴프레셔 고장 | ▪ 컨택터 차단으로 기동불량 | ▪ 기동시 순간적인 과부하로 컨택터 트립 되어 복귀 후 정상 유지 |
| 6. 전기, 센서, 통신장치 등 | | | |
| 부품교체 | 차량기동 불량 | ▪ 커넥터 접촉 불량으로 인한 에러 | ▪ 접촉불량 pin 제거 후 재 압착 실시 |
| 조립변경 | 방송장치 불량 | ▪ 차량 후방 카메라 결선 불량 | ▪ 결선 상태 보강함 |

# 제9절 저상버스 표준모델

현재 보급되는 저상버스의 경우 핵심부품의 대부분을 외국으로부터 수입하고 있는 실정이며, 일반버스에 비하여 가격이 약 2배로서 매우 비싸다. 그럼에도 불구하고 정부의 재정지원으로 보급을 확대하기 위해서는 국내에 맞는 표준형 저상버스 사양(차량 규격 등)에 대한 표준모델을 개발하여 제시할 필요가 있다. 국가연구개발사업을 통하여 표준모델을 구매자·탑승시민·완성차업체에 제시함으로써 특정기업의 독점방지, 시장경쟁 유도를 통한 가격 인하 및 보급촉진을 기대할 수 있다.

## 1. 상세설계 및 시제차량 제작

개발된 저상버스 표준모델 차량의 전반적인 구성품은 그림 2.9.1-1과 같다.

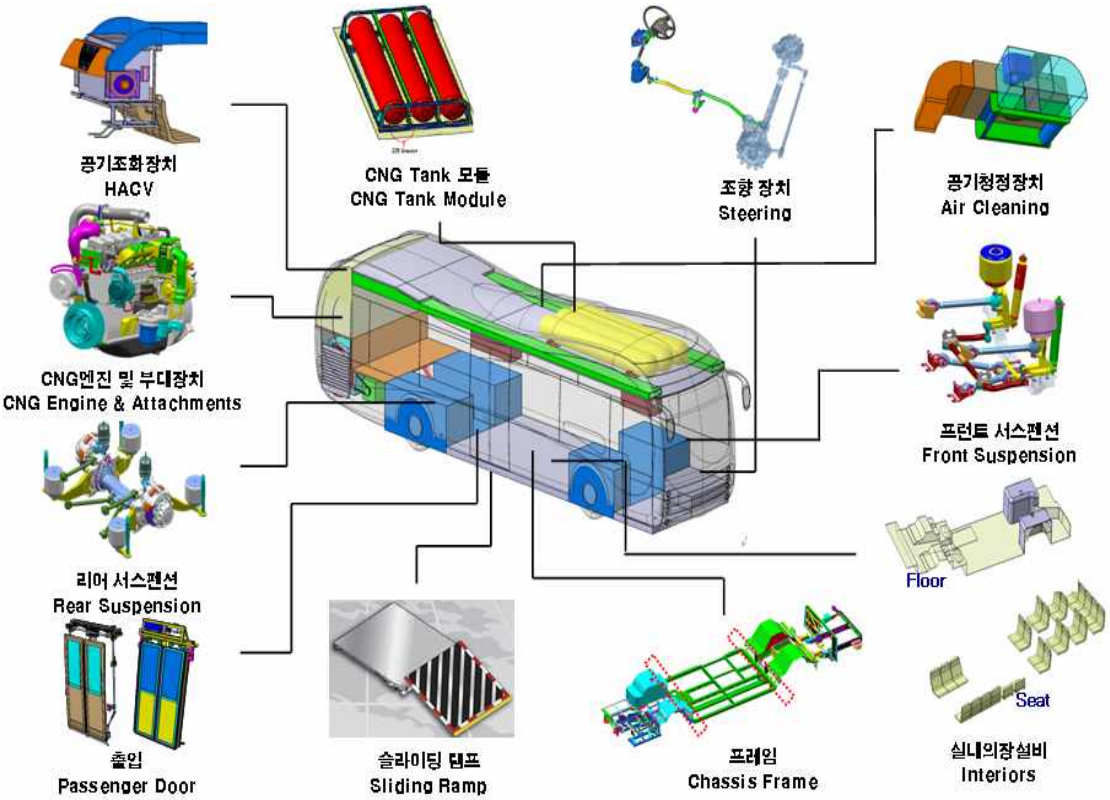



그림 2.9.1-1 저상버스 표준모델 주요 구성품

### 가. 차체

복합소재 차체의 기본 단면 구조는 기본적인 하중 요구조건을 만족하면서 경량화 할 수 있는 샌드위치 형태로서 그 구성은 그림 2.9.1-2와 같이 유리섬유 복합소재 스킨과 알루미늄 하니콤(Honeycomb)코어이며, 실내외 설비품의 취부 및 강도 보강 역할을 하는 프레임이 삽입된다. 차체에 삽입하는 프레임은 그림 2.9.1-3과 같이 구성된다.

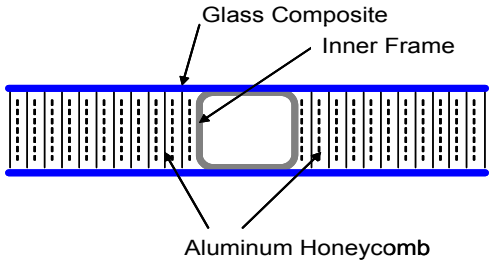



그림 2.9.1-2 차체 및 언더프레임 기본 단면구성

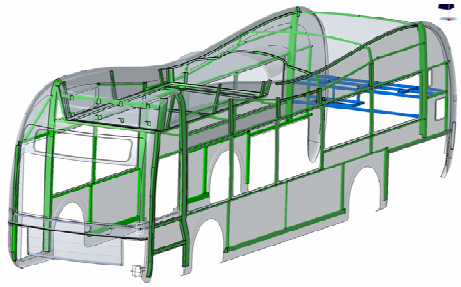


그림 2.9.1-3 차체 인너 프레임 형상

차량 외형 설계에 영향을 주는 주요 요인은 각종 창문, 행선지 표시기, 차량 등판성능 등이라 할 수 있으며 이에 대하여 충분히 검토하여 설계에 반영하였다. 그림 2.9.1-4와 같이 전면창 높이를 1060mm에서 일반 버스의 전면창 높이인 1000mm로 변경하여 최종 정리하였다.

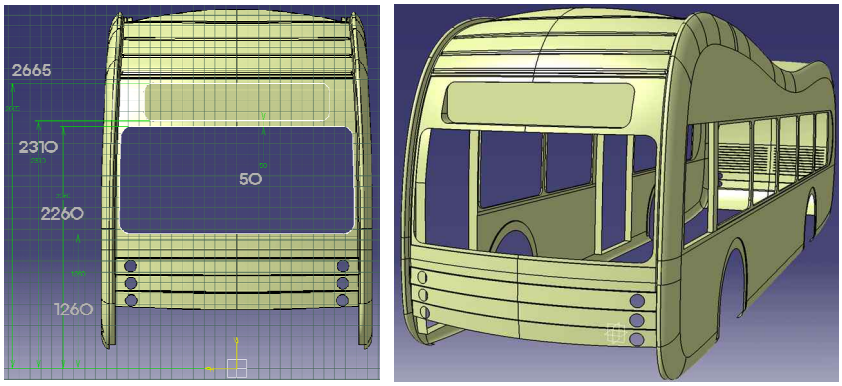



그림 2.9.1-4 행선지 표시기 관련 최종 결정 형상

## 나. 의장

1) 의장 설비품 제작

(1) 바닥판 제작

바닥판은 Front와 Center, Rear로 나눌 수 있다.

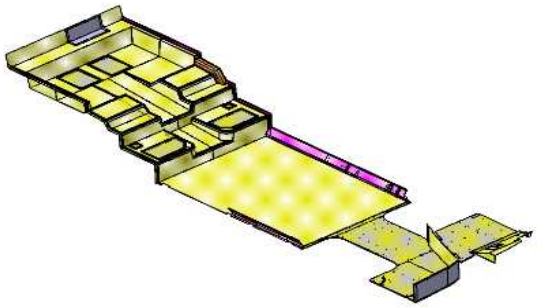


그림 2.9.1-5 바닥판의 최종형상

Center부의 바닥판의 경우 Front에서 Rear쪽으로 연결되는 유공압 라인 및 배선을 위한 덕트를 구성하고 강성을 위한 보강용 골조를 구성하였다. Center부의 바닥판은 FRP Skin + AL honeycomb core를 적용하였다. Front 와 Rear 부의 바닥판은 현대자동차의 Front Frame 과 Rear Frame의 형상에 맞추어 제작되었으며 Front의 경우 발사코어에 프리 프레그를 적용하여 내수성 및 내식성을 증가시킨 제품으로 제작하여 Front Wheel Cover 부의 형상과 운전실 등의 형상에 맞추어 가공하였다. Rear 부의 경우 하부에 골조가 위치하여 바닥판을 지지할 수 있는 구조로 되어 있어, 라미네이트 판으로 제작을 하였다.Rear 부의 경우 취부 및 제작을 용이하게 하기위해 3부분으로 나누어 제작하였다.

### 다. 주행 및 추진동력

동력성능, 차량 사양, 개발방안 검토 결과를 바탕으로 저상버스 표준모델을 제작하기 위한 엔진탑재, 샤시탑재 및 부품(축) 개발, 프레임(Frame (Center제외)), 인스트루먼트 패널(Instrument panel) 탑재 등에 대한 인터페이스(Interface) 확인 및 시스템 조립을 수행하였다.

저상버스 표준모델을 위한 엔진으로는 Q-CNG 엔진을 적용하였으며 CNG 튜빙을 포함하여 엔진룸에 배치하였다. 엔진 프로그램을 Version - up시켰으며 사양은 OH-2.0으로 캔 통신을 통하여 엔진의 진단상태를 정확하게 진단하여 신뢰성을 향상시킴과 동시에 편의성을 증대시켰다.

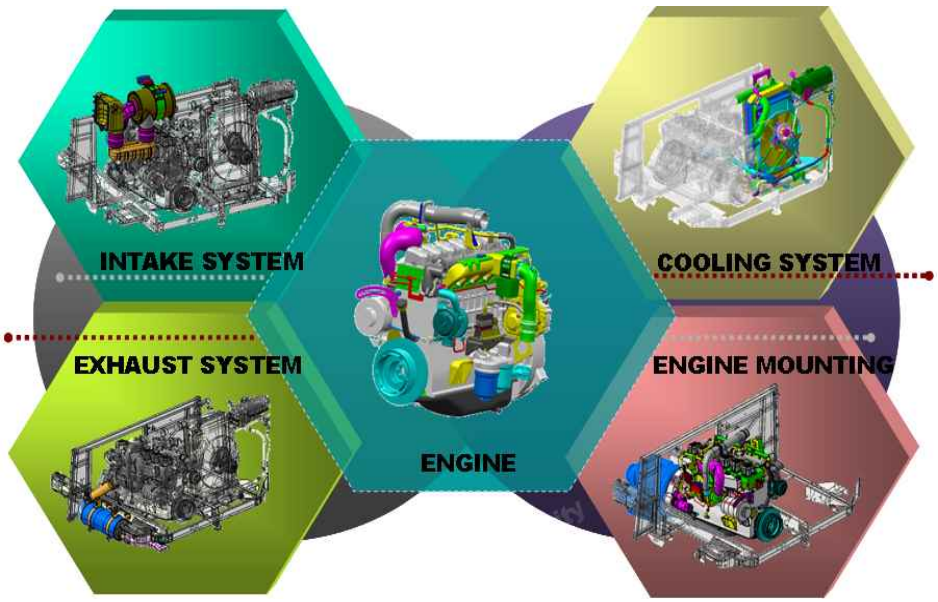



그림 2.9.1-6 시스템 부품 구성

환경차 개발의 필요성에 대한 요구가 증대되고 배기규제 강화에 대비하여 보다 향상된 엔진을 적용하였고 또한 자동변속기는 ZF사의 제품을 도입하여 운전자의 편의성을 증대시켰다. 이로 인해 기존대비 연비향상이 예상되고 연관부품의 단순화를 통한 기능 및 성능 향상이 기대된다.

차량에서의 공간을 고려하여 라디에이터 연결부 및 흡기부의 연결부를 변경 설계하였고 배기부 Tail Pipe부분의 마운팅을 변경 설계하였다.

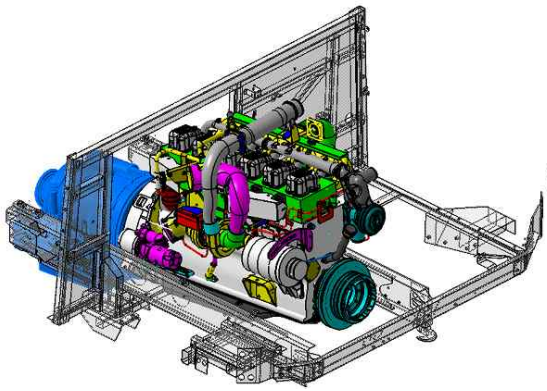


그림 2.9.1-7 엔진 레이아웃

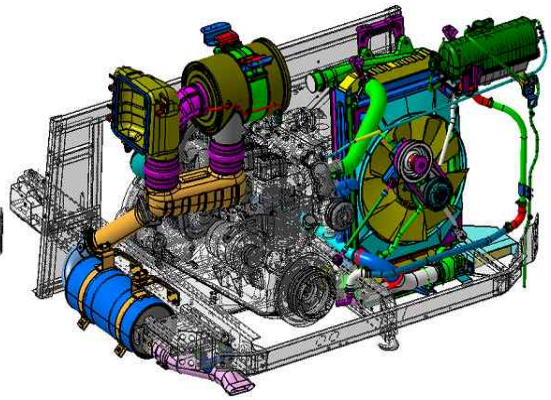


그림 2.9.1-8 엔진 부대장치 레이아웃

**라. 샤시**

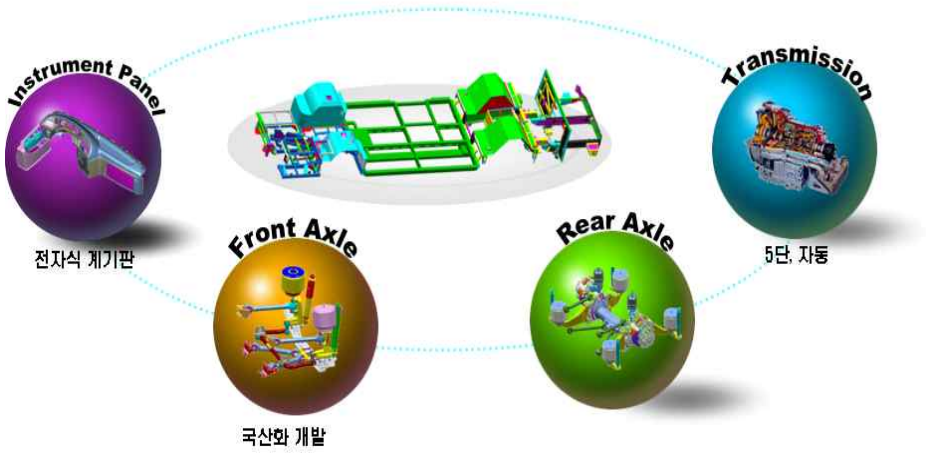



그림 2.9.1-9 샤시 구성품 구성

1) 전륜 차축(Front Axle)

전륜 차축의 국산화를 위하여 본 과제의 연구개발비를 사용하여 다음과 같은 부품을 설계 및 제작하였다.

- Wide Beam
- Radius Rod (UPR/LWR)
- Radius Rod BRKT (UPR/LWR)
- STAB. BAR & LINK
- A/SPRINGBRKT
- S/ABS BRKT

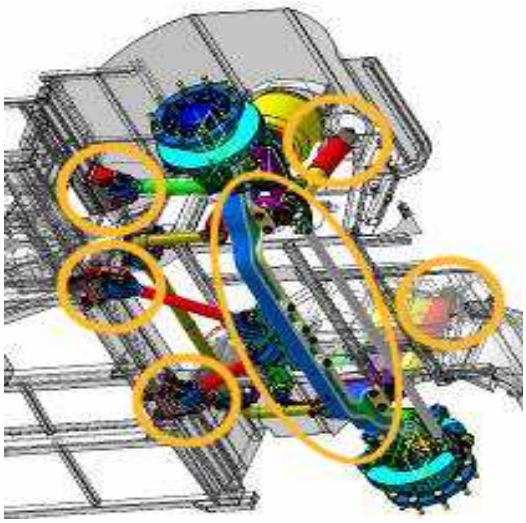


그림 2.9.1-10 전륜 차축

전륜 차축의 와이드 빔(Wide Beam) 구조물을 설계하여 기 제작된 전륜 부품들과 결합하여 전륜 차축 시스템에 대한 국산화에 성공하였다. 또한 차축의 내구시험을 통하여 부품의 신뢰성을 검증하였다. 전륜 차축에 장착되는 서스펜션의 하드 포인트는 해석을 통하여 최적 포인트를 구성하였고, 서스펜션 및 조향 시스템에 대한 부품을 설계 및 개발 하였다.

센터 프레임은 기존의 스퀘어 타입의 스틸구조로 구성되었으나, FRP 복합재를 병행한 현 센터 프레임으로는 서스펜션의 기능 부품을 탑재할 수 없어 부품의 점검창 및 구성을 위해 일체화하여 설계하였다. Wabco사의 닐링 시스템을 적용하였고 튜브 라인을 변경 설계하였다.

특히, 스테빌라이져 바의 거동 특성을 분석하여 닐링 시 전 사양보다 탑재성 및 장착성이 우수한 부쉬 방식으로 설계하여 성능을 향상 시켰다.

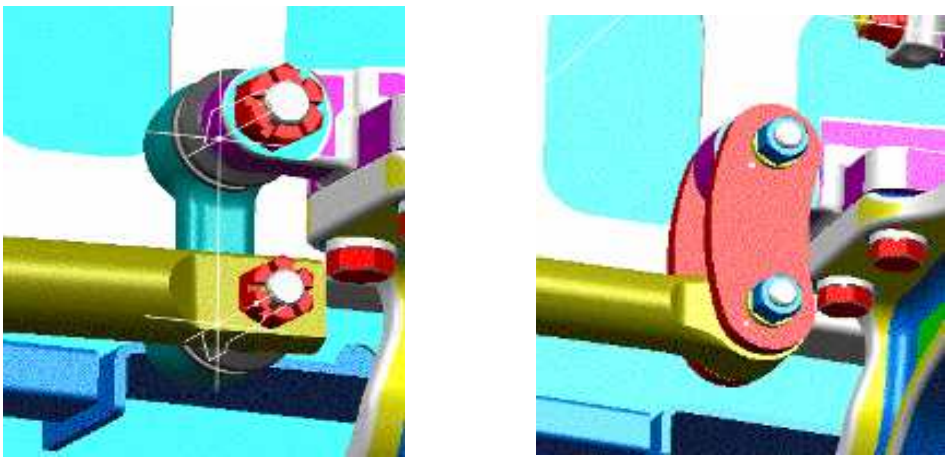


그림 2.9.1-11 조인트 변경

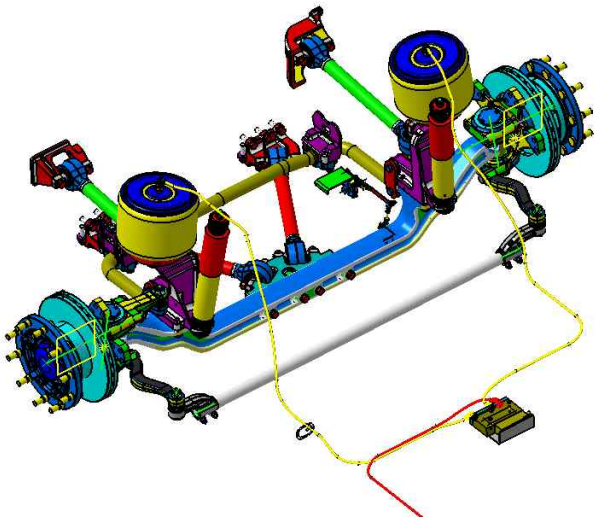


그림 2.9.1-12 전륜 차축 시스템 레이아웃

2) 후륜 차축(Rear Axle)

후륜 차축의 제작을 위하여 KD 도입품과 더불어 국산화 부품을 다음과 같이 제작하였다.

- Radius Rod (UPR/LWR)
- Radius Rod BRKT (UPR/LWR)
- STAB. BAR & LINK
- A/SPING BRKT
- S/ABS BRKT

하드 포인트(S/ABS, A/SPR'G)를 변경 설계 하였고L/VALVE 마운팅을 변경하였다. Wabco 사의 닐링 시스템을 탑재 설계 하였고 튜브 라인을 변경 하였다.

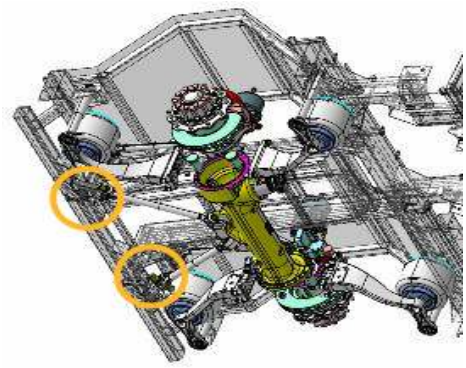


그림 2.9.1-13 후륜 차축

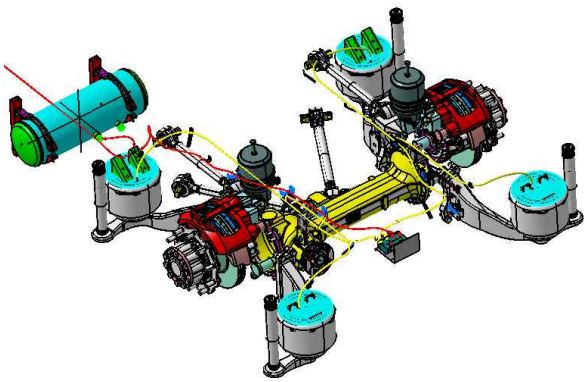
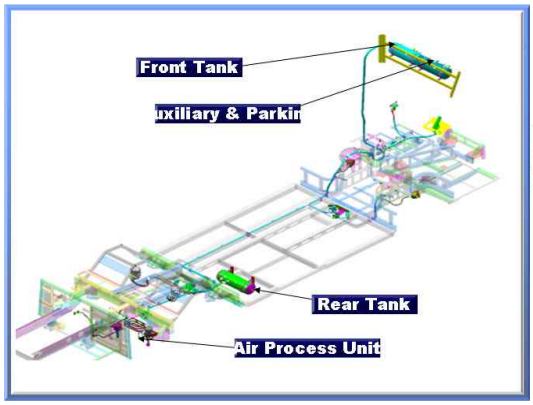


그림 2.9.1-14 후륜 차축 시스템 레이아웃

3) 제동장치

차량 상단부에 에어 탱크를 일부 탑재하였고 마운팅 연결부를 변경 설계하였다. 브레이크 튜브 라인에서 센터 프레임 튜브 라인을 변경 설계 하였고 ABS 및 L/VALVE 마운팅을 변경 설계 하였다.



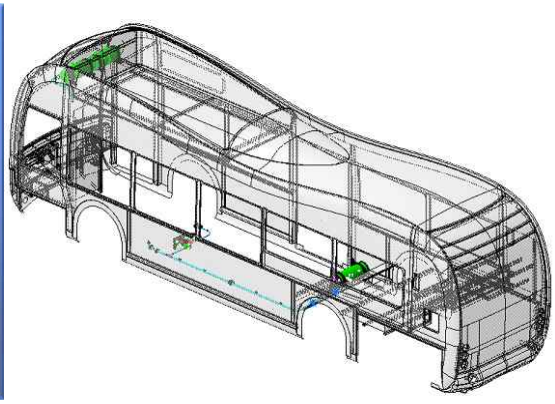
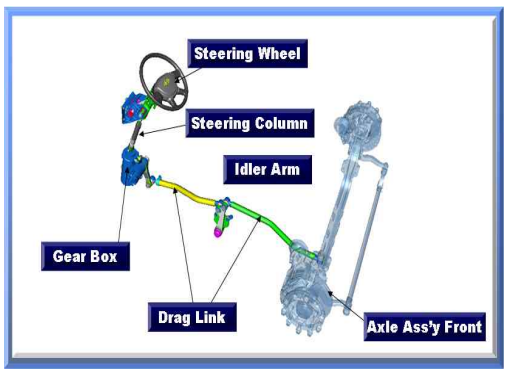



그림 2.9.1-15 브레이크 시스템 구성  그림 2.9.1-16 브레이크 시스템 레이아웃

4) 조향장치

조향시스템은 아이들 암을 연결하기 위해 수직형으로 기어 박스를 설계하였고 또한 마운팅 강도 및 강성 검토를 수행하였다. 조향시스템 튜브의 센터 프레임 튜브 라인을 변경하였다.



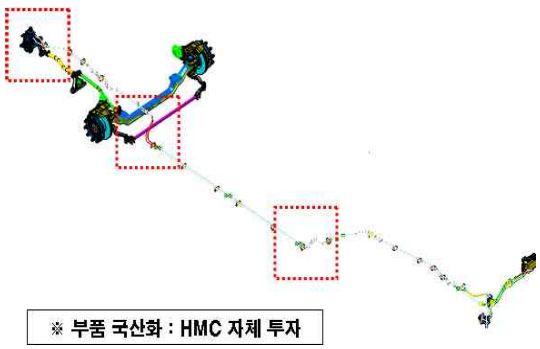




그림 2.9.1-17 조향장치 구성  그림 2.9.1-18 조향시스템 레이아웃

## 마. 전장 시스템

1) 대쉬보드 및 인스트루먼트

프론트 바디의 대쉬보드 및 인스트루먼트 탑재 관련하여 관련 부품에 대한 시스템 기능 및 성능에 대한 안전성을 고려한 설계를 진행하였고 인터페이스

측면에서의 요구사항은 다음과 같다.

- 대쉬보드 및 일렉트릭박스 장착 관련 떨림 및 강도 고려하여 설계
- 보완부품(컬럼 샤프트/기어박스 브라켓) 강도/강성 고려하여 설계

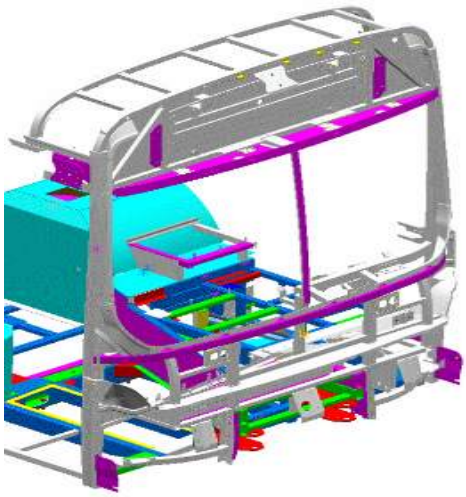


그림 2.9.1-19 기존 프론트 바디

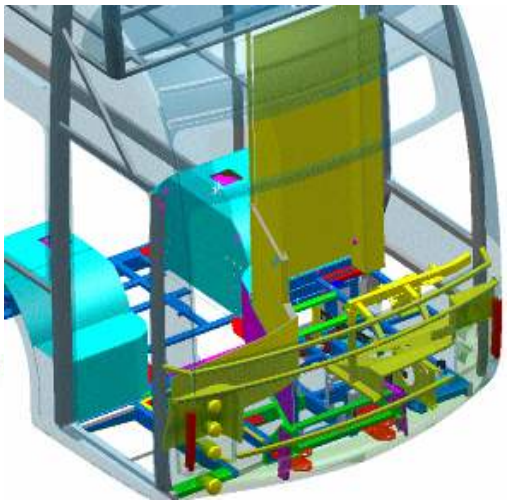


그림 2.9.1-20 신규 프론트 바디

2) 실내 공기 청정 시스템

(1) 검토 배경

2006년 4월 지하철 등 대중운송수단의 실내 공기질 실태조사 및 관리방안에 대한 환경부 연구보고서에 따르면 표 2.9.1-1과 같이 버스 실내공기 측정 결과를 알 수 있다.

표 2.9.1-1 버스 실내공기 측정 보고 자료 요약

| 구분 | 미세먼지 PM10(N=33) | 이산화탄소(N=44) | TVOC(N=31) |
|---|---|---|---|
| 측정값(AVG.) | 119.0±35.0 | 1752.6±517.5 | 371.3±204.8 |
| 측정범위 | (51.4~214.9) | (641.0~3134.0) | (49.8~920.3) |
| 승객수(혼잡도) 상관관계 | 승객수와 관계 적음 | 승객수와 정비례 | 혼잡도와 관계 적음 |

또한 본 연구과제 시제차량에도 도심에서 운행할 경우 오염된 외기의 유입에 따른 실내오염이 우려되고, 출입문 개폐에 따른 이산화탄소 농도의 희석 효과도 제한적일 수 있으며, 운행 중 교통 혼잡에 따른 차량 정체로 인해 실내 이산화탄소 농도가 급진적으로 증가될 수 있을 뿐만 아니라 실내 공기질 문제는 대중교통 이용

증가와 더불어 중요한 사회적 이슈로 주목 받고 있으며 삶의 질 향상에 따라 지속적인 관심의 대상이 되고 있다.

이러한 연구결과에 따라, 대중교통수단 실내 공기질 관리 가이드라인에 실내공기 오염물질 중 미세먼지와 객실환기의 지표로 이용되는 이산화탄소 농도의 권고기준(초안)이 표 2.9.1-2와 같이 정의 되어질 것이다.

표 2.9.1-2 대중교통수단 실내 공기질 관리 가이드라인

| 구분 | 미세먼지 | 이산화탄소 | TVOC(신차) |
|---|---|---|---|
| 권고기준(현재) | 200μg/㎥ | 2500ppm 이하 | 500μg/㎥ |
| 권고기준<br>(2011년 이후) | 150μg/㎥ | 2000ppm 이하 | - |

(2) 장치 설계

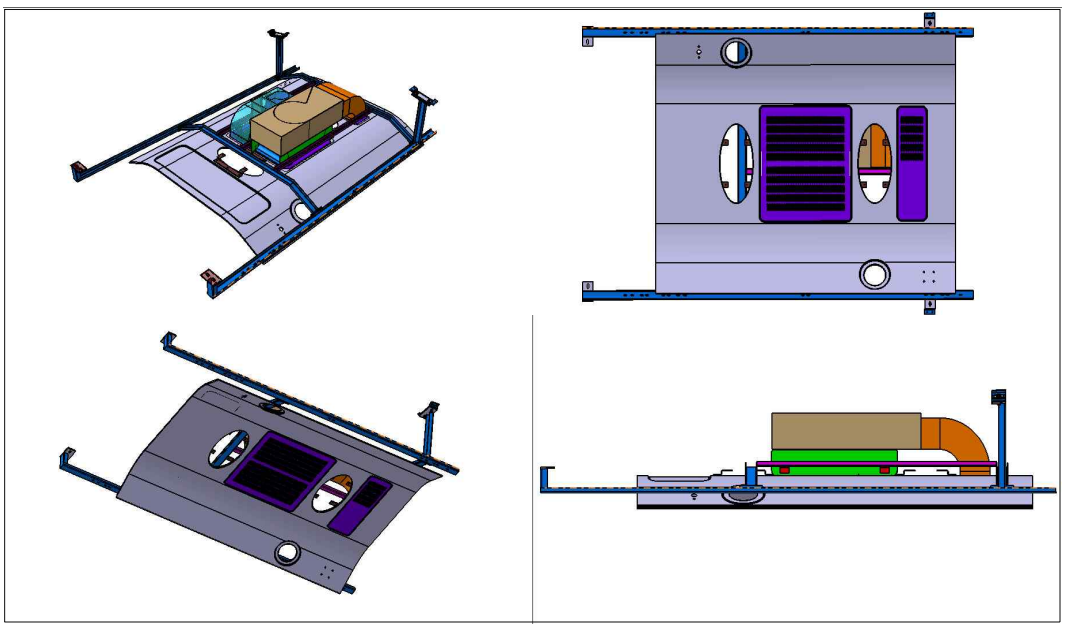


그림 2.9.1-21 설계자료

실내 천정판에 점검과 취부를 위한 별도의 커버를 적용하여 차체 및 천정판 사이에 이산화탄소 흡착장치와 롤필터 장치를 설치하도록 설계하였다.

장치의 주요 제원으로 롤필터는 취급 풍량 500CMH, 집진효율 60%이상이며 소비전력은 약 50W 정도이다. 동작 소음은 50dBa 정도이다. 이산화탄소 흡착장치의

경우 취급 풍량 180CMH, 설정된 기준에 따라 자동 동작하고 소비전력은 54W이다. 동작소음은 55dBa이며 흡착제는 카트리지 형으로 교환되어진다.

이와는 별도로 에어컨 내부에 휘발성 유기화합물 및 미생물과 박테리아 저감을 위해 광 플라즈마 장치를 추가로 구성하였다.



그림 2.9.1-22 취부사진

**바. 차량 조립**

1) 조립개념도

가) 개념 설계

프레임과 차체의 마운팅을 위한 조립 개념은 그림 2.9.1-23과 같은 절차로 수행된다

.

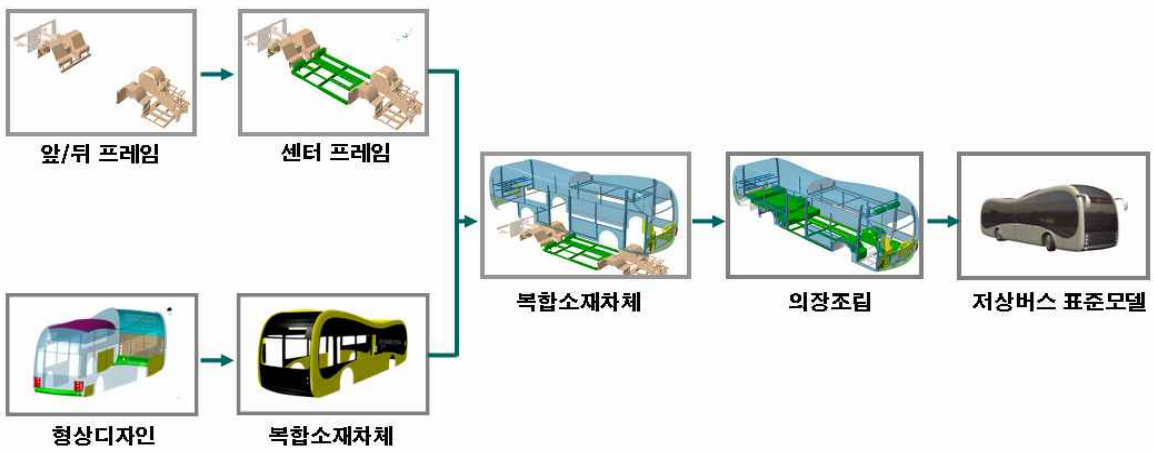



그림 2.9.1-23 조립공정

기존 프론트 및 리어 프레임에 복합재 센터 프레임을 결합 한 후 일체형 복합재 바디를 데킹한다.

(2) 차체와 프레임의 접합부 설계

(가) 기본개념

복합소재 차체(Composites Car-body)와 바닥 구조물(Floor Structure)간의 접합 및 조립하기 위한 방법은 제작비용과 시간을 줄이기 위한 방법으로 스터드 용접법을 응용하여 접합하고,작업 절차는 다음과 같은 방법으로 조립한다.

- 복합소재 차체와 바닥 구조물 가조립
- 보강 프레임 설치 후 바닥구조물과 용접
- 스터드 볼트 용접 (복합소재 차체에 삽입되어있는 보강프레임에 용접)
- 조립 완료

복합소재 차체와 바닥 구조물에는 그림 2.9.1-24와 같이 용접되어야 하는 부분(스터드 볼트 용접부위와 앵글 부재 용접부위)이 컷팅 되어 있다.보강 프레임(앵글부재)의 경우도 마찬가지이다.

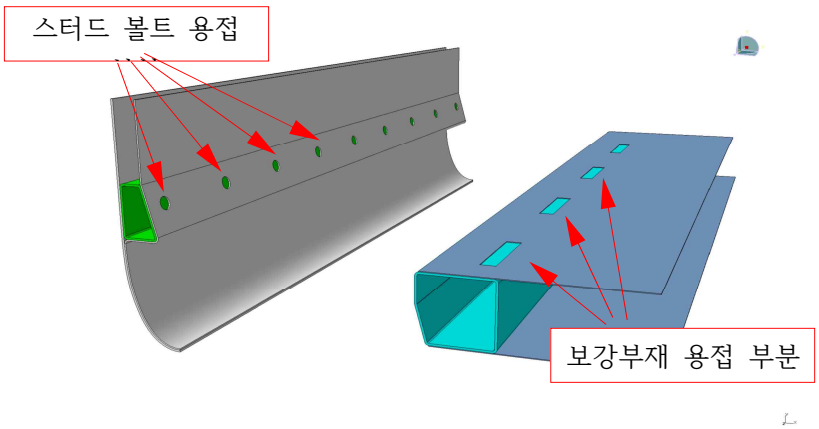



그림 2.9.1-24 복합소재 차체 및 바닥 구조물 준비

2) 차량 조립 및 시스템 탑재

지그를 제작하여 차량의 뼈대라고 할 수 있는 베어 샤시 제작을 위해 프레임 연결 작업 후 복합재 차체와의 데킹 작업을 수행하였다.

(1) 차량조립

(가) 프레임연결 - 프론트, 센터, 리어 프레임

프레임 연결을 위한 지그 제작.

- 정반 위에 프레임을 고정할 수 있는 바 설치.
- 프론트 프레임부와 리어 프레임을 지그 위에 고정 한 후 센터 프레임 연결.

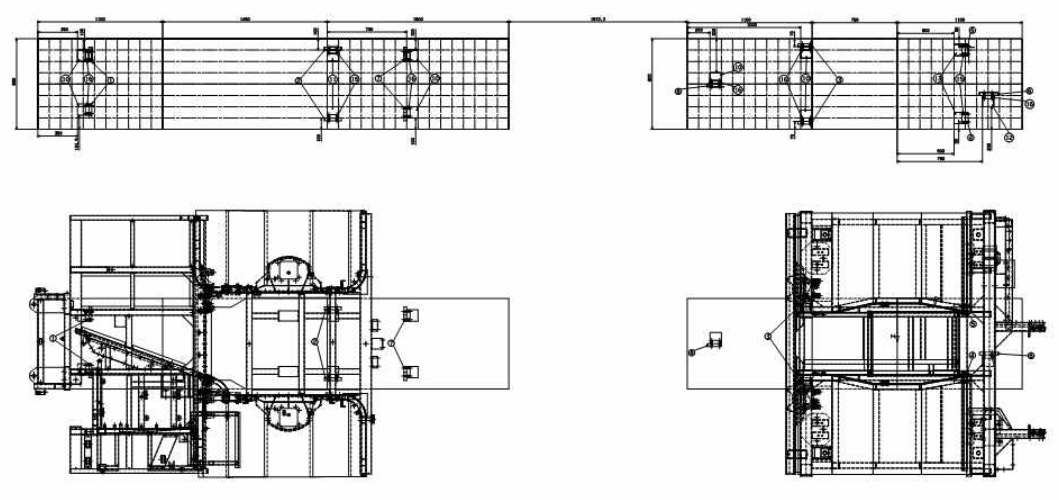


그림 2.9.1-25 지그 설계도면

(나) 베어 샤시 차량이동

(다) 데킹 사전 작업

레벨링 지그를 설계 후 베어 샤시를 셋팅 해 놓은 위치에 마운팅하여 바디와의 데킹 작업을 위한 사전 작업을 진행하였다.

(라) 데킹

레벨링 지그에 고정된 베어 샤시 위에 바디를 장착하였다.

(마) 샤시 부품 조립

샤시 부품들은 엔진 콤파트먼트 프레임, 대쉬 보드 프레임, 바닥재 프레임이 있고 차체의 인너 프레임들과 스터드 볼트를 이용하여 조립되었다.

(바) 기타 단품 조립

기타 단품들은 크게 엔진 관련파트, 운전석 관련 파트, 커버 류 등이 있다.

(2) 시스템 탑재

(가) 엔진 및 엔진부대장치

- 기능 : 자동차가 주행하는데 필요한 동력을 발생하는 장치.
- 적용사항 : Q-CNG 엔진(290PS/2000 rpm).

(나) 변속기

- 기능 : 클러치와 추진축 사이에 설치되어 엔진의 동력을 자동차의 주행 상태에 알맞도록 변환시켜 전달하는 장치.
- 적용사항 : ZF-ATM 5HP504C.

(다) 조향 시스템

- 기능 : 운전자가 차의 진행 방향을 의도하는 대로 진행하도록 조정하는 장치.
- 구성 : 입력 전달 기구(스티어링 휠, 칼럼, 드래그 링크 등), 배력 기구(펌프), 출력 기구(스티어링 기어, 타이 로드).

(라) 현가 시스템

- 기능 : 자동차가 주행할 때 노면에서 받는 진동이나 충격을 흡수하기 위해 프레임과 차축사이에 완충장치를 설치하여 승차감을 좋게 하고, 또 자동차의 각 부분의 손상을 방지하는 장치.
- 구성 : 스프링, 쇽 옵서버, 스태빌라이져 바, 서스펜션 암&로드, 타이어 등.

(마) 제동 시스템

- 기능 : 주행 중인 차량을 감속 또는 정지시키고 정지된 차량을 정지 상태로 유지시키기 위한 장치.
- 구성 : 에어 컴프레셔, APU, 브레이크 에어 탱크, 브레이크 페달, 드럼/디스크 브레이크 등.
- 적용사항 : Knorr-Bremse: 4-Way Valve, 에어 드라이어, ABS 디스크 브레이크

(바) 냉각 시스템

- 기능 : 연료가 연소될 때 발생되는 열은 엔진의 금속 재료를 쉽게 손상시키거나 변형시킬 수 있는데 이를 방지하기 위한 장치, 또한 엔진이 최적의 온도에서 최고의 성능을 낼 수 있도록 하기 위한 장치.
- 구성 : 라디에이터, 냉각팬, 워터 펌프, 서모스탯, 리져버 탱크, 냉각수 등.

(사) 대쉬보드 & 전장박스

- 기능 : 차량 운행 시 각종 램프 및 시그널 작동, 차량 상태를 클러스터에 디스플레이하고 이를 바탕으로 점검 가능하게 하는 장치.
- 구성 : 클러스터, 시그널 스위치, 스피드 센서, 릴레이, 퓨즈, 라디오 등.

## 2. 시험평가

### 가. 시험평가 항목

자동차 안전기준에서 정한 법규시험 항목 중에서 저상버스에 해당되는 시험항목과 시험수행 주체를 정의하였고, 이를 요약하면 표 2.9.2-1과 같이 저상버스 표준모델 시험평가 항목을 결정하였다.

표 2.9.2-1 저상버스 표준모델 시험평가 항목

| 시험 번호 | 법정항목 | 시험수행 | | 관련규정 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | HMC | HFG | KMVSS | EEC | ECE |
| 1 | 충돌 시 승객보호 <전복> | | ○ | 102-2 | - | 66 |
| 6 | 좌석 및 그 잠금장치 | | ○ | 97 | 74/408 | 17 |
| 18 | 좌석안전띠 부착장치강도 | | ○ | 103 | 76/115 | 14 |
| 19 | 연결 및 견인장치강도 | ○ | | 20 | 77/389 | - |
| 21 | 등화장치 광도 | | ○ | 106/107 | 76/756 | 48 |
| 23 | 원동기 출력 | ○ | | 111 | 80/1269 | 85 |
| 26 | 소음방지장치 | ○ | | 35 | 70/157 | 51 |
| 27 | 연료소비율 | ○ | | 111-4 | 80/1268 | 84 |
| 29 | 승합자동차 제동능력 | ○ | | 90 | 71/320 | 13 |
| 31 | ABS설치 자동차 제동능력 | ○ | | 90 | 71/320 | 13 |
| 35 | 조향성능 | ○ | | 89-2 | 70/311 | 79 |
| 36 | 최고속도제한장치 | ○ | | 110-2 | 92/24 | 89 |
| 37 | 속도계 | ○ | | 110 | 75/443 | 39 |
| 38 | 차실 내장재 연소성 | | ○ | 95 | 95/28(EC) | - |
| 41 | 전자파 장해 방지장치 | ○ | ○ | 111-2 | 72/245 | 10 |
| 42 | 경음기 | ○ | | 53 | 70/388 | 28 |

※ KMVSS : 자동차 안전기준에 관한 규칙

※ KRRI, HMC, HFG의 협의 하에, 협동연구기관의 연구범위를 기준으로 시험수행항목을 결정함

## 나. 시험평가 결과

1) 경음기

(1) 개요

저상버스의 법규 경음기 소음 만족여부를 평가한다.

(2) 시험결과

경음기 시험 결과 기록표

제 작 사 :현대자동차/한국화이바

차명 :저상버스 표준모델

차량형식 :저상

차대번호 :KMJTA18GP6C999996

(1) 차량제원

| 항 목 | 내용 | 항목 | 내용 |
|---|---|---|---|
| 차 종 | 저상 | 최고출력(ps/rpm) | 290/2000 |
| 엔 진 형 식 | QCNG | 공차중량(kg) | 10,816 |
| 배 기 량(cc) | 11,149 | 총 중 량(kg) | 13,896 |
| 변속기 종류 및 단수 | 자동/5단 | 자동차 길이(mm) | 11,044 |
| 경음기 형식 및 수량 | 전기식/1 | 타이어 형식 | 275/70R22.5 |

(2) 경음기 시험결과

- 경적소음 시험

| 측정 회수 | 경음기 형식 | 경음기 수 | 암소음 [dB(C)] | 경적소음[dB(C)] | | 성적 [dB(C)] | 기준치 [dB(C)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 측정치 | 보정치 | | |
| 1 | 전기식 | 1 | 70dB 이하 | 108 | | 108 | 112 이하 |

- 경적음 시험

동일한 음색으로 연속하여 소리를 내는 지 여부 :만족

경적음의 크기가 일정한지 여부 :만족

2) 소음방지장치

(1) 개요

저상버스 표준모델의 법규 소음방지장치 만족여부를 평가.

(2) 시험결과

- 가속주행소음 시험

| 구 분 | 진입 지정 차속 (km/hr) | 시험차속 (km/hr) | | 측정소음 [dB(A)] | | 보정치 [dB (A)] | 기준치 [dB (A)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 가속 초기 | 가속 종료 | 좌측 | 우측 | | |
| 1차시험 | 50 | 50.0 | 54.7 | 81.0 | 79.4 | - | 82 |
| 2차시험 | | 50.5 | 54.1 | 80.6 | 80.6 | | |
| 3차시험 | | 49.8 | 55.0 | 80.1 | 78.3 | | |
| 4차시험 | | 80.3 | 55.1 | 80.3 | 78.7 | | |
| 평 균 | | | | 80.5 | 79.2 | | |
| 결 과 | | | | 만족 | | | |

- 배기소음 시험

| 측정 회수 | 엔진 최고출력시 회전속도 75%의 회전속도(rpm) | 암소음 [dB(A)] | 배기소음[dB(A)] | | 성적 [dB(A)] | 기준치 [dB(A)] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 측정치 | 보정치 | | |
| 1 | 1500 | 60이하 | 89.0 | | 90.0 | 105 |

3) 연결 및 견인장치강도

(1) 개요

저상버스 표준모델의 견인장치 법규강도 만족 여부를 평가한다.

(2) 시험결과

| 구분 | | 법규 하중(Kg) | 시험 하중(Kg) | 마진 | 시험품상태 | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 프론트 | Pull | 5,408 | 7,407 | 136% | 양호 | 만족 |
| | Push | 5,408 | 7,407 | 136% | 양호 | 만족 |
| 리어 | Pull | 5,408 | 7,379 | 136% | 양호 | 만족 |
| | Push | 5,408 | 7,407 | 136% | 양호 | 만족 |

4) 안전경사각

(1) 개요

저상버스 표준모델의 최대 안전 경사각도에 대한 법규 만족 여부를 평가한다.

(2) 시험 결과



그림 2.9.2-1 LH: 35.1도

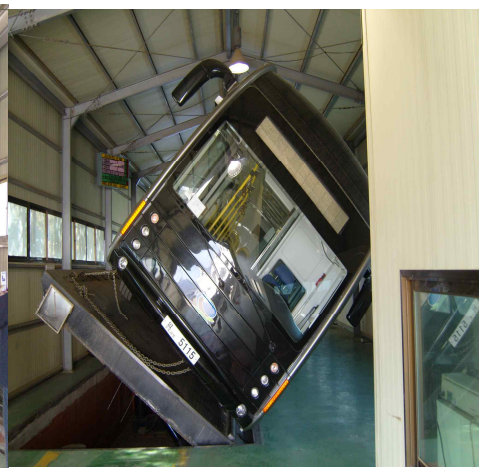


그림 2.9.2-2 RH: 35.5도

5) 최고 속도제한장치

(1) 개요

저상버스 표준모델의 최고 속도 제한 장치에 대한 법규 만족 여부를 평가한다.

(2) 시험결과

(가) 가속시험

| 구 분 | 측정값 | 판 정 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 설정속도(km/h) | 93 | 만족 | Vstab ≤ Vset |
| 안정속도(km/h) | 93 | | |
| 안정속도 최초 도달 후<br>10초 이내의 최대속도(km/h) | 95 | 만족 | |
| 안정속도 최초 도달 후<br>10초 이내의 속도변화율(m/s2) | +0.494<br>-0.399 | 만족 | |
| 안정속도 최초 도달 후<br>안정속도조건 도달시간(sec) | 5.4 | 만족 | |
| 안정속도 최초 도달 후 10초부터<br>최소 20초 동안의 속도최대변화량(km/h) | 0.8 | 만족 | |
| 안정속도 최초 도달 후 10초부터<br>최소 20초 동안의 속도변화율(m/s2) | +0.18<br>-0.18 | 만족 | |

(나) 정속시험

| 회수 | 주행 방향 | 설정속도 (km/h) | 평균속도 (km/h) | 안정속도 (km/h) | 판 정 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | + | 93 | 92.9 | 92.9 | 만족 | $V_{stab} \leq V_{set}$ |
| | − | | 92.9 | | | |
| 2 | + | 93 | 92.8 | 92.9 | 만족 | |
| | − | | 93 | | | |
| 3 | + | 93 | 92.9 | 92.95 | 만족 | |
| | − | | 93 | | | |
| 4 | + | 93 | 92.9 | 92.9 | 만족 | |
| | − | | 92.9 | | | |
| 5 | + | 93 | 92.9 | 92.95 | 만족 | |
| | − | | 93 | | | |
| 안정속도간의 최대 편차값(km/h) | | | | 0.1 | 만족 | |

6) 승합차 제동 능력 및 ABS 설치 자동차 제동 능력

(1) 개요

저상버스 표준모델의 제동 장치 안전 기준에 관한 법규 만족 여부를 평가한다.

(2) 시험 결과

- 승합·화물 및 특수자동차의 제동능력시험.

| 시 험 항 목 | 조건(중량) | 시험 결과 |
|---|---|---|
| 에너지저장장치의 충전능력 | Static | 적합 |
| 제동 작동 반응시간 | Static | 적합 |
| 스프링제동장치의 제동능력시험 | Static | 적합 |
| 주 제동장치의 제동능력 | 적차 | 적합 |
| 주 제동장치의 제동능력 확인 | 적차 | 적합 |
| 주 제동장치의 고속제동능력 | 적차 | 적합 |
| 원동기 고장시 주 제동장치의 제동능력 | 적차 | 적합 |
| 에너지 고장시 주 제동장치의 제동능력 | 적차 | 적합 |
| 경고장치의 작동시험 | Static | 적합 |
| 에너지저장장치의 총용량능력 | 적차 | 적합 |
| 압력보호밸브 후단부측 에너지 저장 장치의 총용량능력 | 적차 | 적합 |
| ABS장치 고장시 주 제동장치의 제동능력 | 적차 | 적합 |
| ABS장치 고장시 경고등의 작동시험 | Static | 적합 |
| 스프링제동장치의 제동능력 | 적차 | 적합 |
| 주 제동장치의 제동능력 | 경적차 | 적합 |
| 주 제동장치의 제동능력 확인 | 경적차 | 적합 |
| 주 제동장치의 고속제동능력 | 경적차 | 적합 |
| 에너지 고장시 주 제동장치의 제동능력 | 경적차 | 적합 |
| ABS장치 고장시 주 제동장치의 제동능력 | 경적차 | 적합 |
| 스프링제동장치의 제동능력 | 경적차 | 적합 |
| 주차제동장치의 제동능력 | 적차 | 적합 |
| 보조식 제동장치의 감속능력 | 적차 | 적합 |
| 주 제동장치의 고온제동능력 | 적차 | 적합 |

- 바퀴 잠김 방지식(ABS) 주 제동장치를 설치한 자동차의 제동능력시험.

| 시험 항목 | 노면 조건 | 중 량 | 시험 결과 |
|---|---|---|---|
| ABS장치의 제동능력 | 저마찰로, 고마찰로 | 경적차 | 적합 |
| 고마찰로 → 저마찰로 통과시 ABS장치제동능력 | 고마찰로/저마찰로 | 경적차 | 적합 |
| 저마찰로 → 고마찰로 통과시 ABS장치제동능력 | 저마찰로/고마찰로 | 경적차 | 적합 |
| 고/저마찰로 비 균일노면 통과시 ABS장치제동능력 | 저마찰로/고마찰로 | 경적차 | 적합 |
| 점착력이용값 결정시험 | 저마찰로, 고마찰로 | 경적차 | 적합 |
| 점착력값 산출시험 (전차 축) | 저마찰로, 고마찰로 | 경적차 | 적합 |
| 점착력값 산출시험 (후차 축) | 저마찰로, 고마찰로 | 경적차 | 적합 |
| 에너지 소비시험 | 저마찰로, 마른노면 | 적차 | 적합 |
| ABS장치의 제동능력 | 저마찰로, 고마찰로 | 적차 | 적합 |
| 고마찰로 → 저마찰로 통과시 ABS장치제동능력 | 고마찰로/저마찰로 | 적차 | 적합 |
| 저마찰로 → 고마찰로 통과시 ABS장치제동능력 | 저마찰로/고마찰로 | 적차 | 적합 |
| 고/저마찰로 비 균일노면 통과시 ABS장치제동능력 | 저마찰로/고마찰로 | 적차 | 적합 |
| 점착력이용값 결정시험 | 저마찰로, 고마찰로 | 적차 | 적합 |
| 점착력값 산출시험 (전차 축) | 저마찰로, 고마찰로 | 적차 | 적합 |
| 점착력값 산출시험 (후차 축) | 저마찰로, 고마찰로 | 적차 | 적합 |
| 고/저마찰로 비 균일노면 ZMALS 결정시험 | 저마찰로/고마찰로 | 적차 | 적합 |
| 최종 검사 | - | - | 적합 |

7) 조향성능

(1) 개요

저상버스 표준모델조향 장치에 대한 법규 만족 여부를 평가한다.

(2) 시험 결과

| 항목 | 평가결과 | | | | | 판정유무 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 직진 주행성능 확인시험 | 이상진동 없음 | | | | | 합격 |
| 선회 선능 확인시험 | 이상진동 없음 | | | | | 합격 |
| 조향 복원성 확인시험 | 정상적으로 복원됨 | | | | | 합격 |
| 회전 조작력 측정시험 (R=12/20m, 10kph) | | 최대조작력(kgf) | | 조향시간(Sec) | | 합격 (LH/RH) |
| | | 측정값 | 법규 | 측정값 | 법규 | |
| | 정상시 | 1.2/1.3 | 20 | 2/1.9 | 4 | |
| | 고장시 | 25/26 | 45 | 3.8/3.5 | 6 | |
| 최소화전반경(LH/RH) | 9.5/9.3m(법규:12m 이하) | | | | | 합격 |

8) 원동기 출력

(1) 개요

저상버스 표준모델의 원동기 출력에 대한 법규 만족 여부를 평가.

(2) 시험 결과

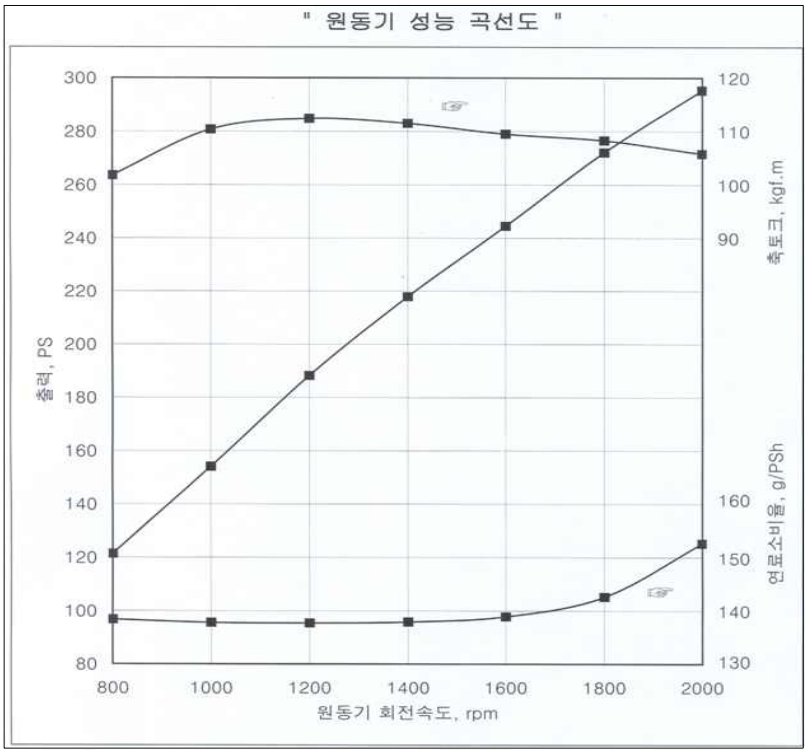
"원동기 출력시험 결과기록표"

제작자 현대 자동차(주) 원동기 종류 G6AB 형식 직립형 번호 G6ABYS00001 실린더수 6 내경 130 mm 행정 140 mm 총배기량 11.149 ℓ 압축비 11.5 연료종류 압축천연가스 옥탄가 연료비중 0.77kg/Nm³ 세탄가 윤활유 종류 10W-40

동력계 명칭 또는 형식 C-350AE (시험실:남양 #D16) 동력계 용량 EC- 500 kW 동력계암의 길이 1,019.80 mm 동력계 계수 동력계 감속비 변속기 감속비 변속기 동력 전달효율

대기압 102.4 kPa 시험에 사용한 장치: 연료소비량계 (형식 : GMF025) 제작사 : MicroMotion 제작번호 : 328648 규격 : 1090kg/hr 냉각액 온도 측정점 ENG. OUTLET 윤활유 온도 측정점 OIL PAN

| 원동기 회전 속도 rpm | 축토크 Nm | 출력 PS | 흡기 온도 ℃(K) | 대기압 총 대기압 kPa | 대기압 수증기 분압 kPa | 대기압 건조 대기압 kPa | 연료소비량 소모량 g | 연료소비량 측정 시간 s | 연료소비량 kg/h | 연료소비량 연료 온도 ℃ | 연료소비량 연료 소비율 g/PSh | 수정계수 대기 계수 (fa) | 수정계수 원동기 계수 (fm) | 수정계수 출력 수정 계수 k | 수정 축 토크 Nm | 수정 출력 PS | 수정 연료 소비율 g/PSh | 연료 공급 온도 ℃(K) | 냉각액 온도 ℃(K) | 윤활유 온도 ℃(K) | 흡기 압력 (kPa) | 배기 압력 (kPa) | 배연 % | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 800 | 1082.0 | 123.2 | 26.1 | 102.4 | 1.9 | 100.5 | 140.0 | 30.0 | 16.8 | - | 136.3 | - | - | 0.9847 | 1065.4 | 121.4 | 138.4 | - | 89.8 | 82.8 | -0.5 | 1.1 | - | |
| 1000 | 1099.4 | 156.5 | 25.9 | 102.4 | 1.9 | 100.5 | 177.0 | 30.0 | 21.2 | - | 135.7 | - | - | 0.9844 | 1082.2 | 154.1 | 137.8 | - | 90.6 | 85.0 | -0.8 | 2.2 | - | |
| 1200 | 1118.5 | 191.1 | 26.3 | 102.4 | 1.9 | 100.5 | 216.1 | 30.0 | 25.9 | - | 135.7 | - | - | 0.9851 | 1101.8 | 188.2 | 137.7 | - | 88.5 | 88.3 | -1.5 | 4.9 | - | |
| 1400 | 1108.2 | 220.9 | 27.1 | 102.4 | 1.9 | 100.5 | 250.5 | 30.0 | 30.1 | - | 136.1 | - | - | 0.9865 | 1093.2 | 217.9 | 137.9 | - | 90.6 | 89.7 | -1.6 | 5.2 | - | |
| 1600 | 1087.3 | 247.7 | 27.4 | 102.4 | 1.9 | 100.5 | 283.0 | 30.0 | 34.0 | - | 137.1 | - | - | 0.9871 | 1073.3 | 244.5 | 138.9 | - | 90.1 | 94.1 | -1.8 | 6.7 | - | |
| 1800 | 1074.8 | 275.4 | 27.9 | 102.4 | 1.9 | 100.5 | 323.5 | 30.0 | 38.8 | - | 140.9 | - | - | 0.9880 | 1061.9 | 272.1 | 142.6 | - | 88.7 | 95.6 | -2.3 | 9.0 | - | |
| 2000 | 1049.3 | 298.8 | 28.0 | 102.4 | 1.9 | 100.5 | 375.5 | 30.0 | 45.1 | - | 150.8 | - | - | 0.9883 | 1037.0 | 295.3 | 152.6 | - | 91.2 | 97.0 | -3.0 | 12.5 | - | |




9) 기타동력 성능 (연료소비율, 속도계)

(1) 제 1차 측정 (현대자동차 수행)

(가) 시험 방법

발진 가속 측정: Economic Mode에서 0→80kph, 0→500m 도달하는데 걸리는 시간을 측정한다. Power Mode에서 0→80kph, 0→500m 도달하는데 걸리는 시간을 측정한다.

(나) 시험 결과

| 구분 | | | 저상버스 표준모델 |
|---|---|---|---|
| 시험중량 (Kg) | | | 14175 |
| 최고속도(Km/h) | | | 116.0 (6단) |
| 정속연비(Top, 60Kph) | | | 4.910 |
| 발진가속 (sec) | Econo | 0→80kph | 41.0 |
| | | 0→500m | 35.0 |
| | Power | 0→80kph | 31.8 |
| | | 0→500m | 33.0 |

(2) 제 2차 측정 (자동차성능시험연구소 수행)

(가) 시험조건 및 정속주행 연료소비율

(붙 임)

# 저상버스(CNG) 정속주행연료소비율 측정용역 성적서

| 위탁자 | ① 성 명 (법인인 경우에는 그 명칭 및 대표자명) | 한국철도기술연구원 | ②법인등록번호 | 135221-0000076 |
|---|---|---|---|---|
| | ③ 주 소 | 경기도 의왕시 월암동 360-1 | | |
| | ④ 용 역 명 | 저상버스(CNG) 정속주행연료소비율 측정용역 | | |

1. 차량제원

| 항 목 | | 내 용 | 항 목 | | 내 용 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 차 명 | | 저상버스 | 축거(mm) | | 5,400 | |
| 차대번호 | | KMJTA18GP6C999996 | 윤거(mm) | | 전:2,077, 후:1,835 | |
| 원동기 | 형식 | C6AC | 변속기 | 제작사 | ZF | |
| | 사용연료 | 압축천연가스(CNG) | | 형 식 | 자동 | |
| | 기통수/총배기량(cc) | 6/11,149 | | 종감속비 | 5.13 | |
| | 최고출력(PS/rpm) | 290/2000 | 타이어 | 형 식 | 275/700R 22.5 | |
| 차체형상 (길이×너비×높이) | | 11,044×2,500×3,456 | | 공기압(psi) | 전륜 | 131 |
| | | | | | 후륜 | 123 |

2. 중량

| 공차상태 (kg) | | 적차상태(kg) | |
|---|---|---|---|
| 전차축 | 3,350 | 전차축 | 4,640 |
| 후차축 | 7,480 | 후차축 | 9,007 |
| 합 계 | 10,830 | 합 계 | 13,647 |

3 시험조건

○ 기후조건

- 대기온도 : 25.4℃, 풍속 : 1.7m/s

○ 차량조건 : 적차상태, 변속기 5단

4. 정속주행 연료소비율 : 4.3 km/$m^3$

| 속도 (km/h) | 회수 | 주행거리 (m) | 주행방향 | 소요시간 (sec) | 실제속도 (km/h) | 평균실제속도 (km/h) | 연료소비량 (g) | 연비 (km/$m^3$) | 평균연비 (km/$m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 1 | 500 | + | 30.0 | 59.9 | 60.0 | 95.7 | 4.2 | 4.3 |
| | | | - | 30.0 | 60.0 | | 91.8 | 4.3 | |
| | 2 | 500 | + | 30.0 | 60.0 | 60.0 | 94.6 | 4.2 | |
| | | | - | 30.0 | 60.0 | | 90.5 | 4.4 | |
| | 3 | 500 | + | 30.1 | 59.9 | 59.9 | 94.9 | 4.2 | |
| | | | - | 30.0 | 60.0 | | 92.4 | 4.3 | |

※ 단, CNG 밀도는 0.7976kg/$Nm^3$ 적용(한국가스공사 자료인용).

2008년 10월 2일

교통안전공단 자동차성능연구소장 (인)

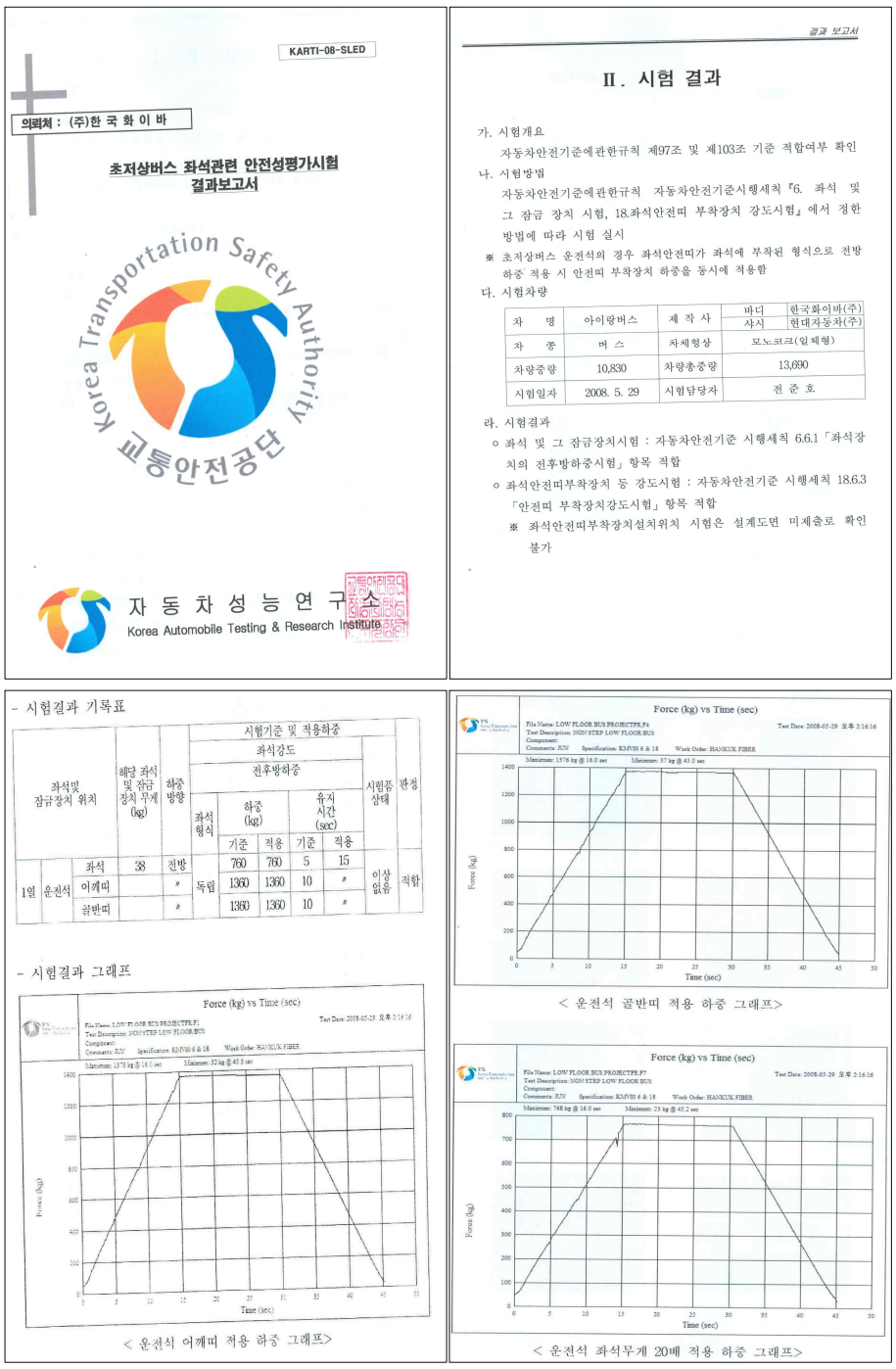
주) 1. 이 성적서는 법적으로 발생하는 어떠한 책임과도 관련이 없으며, 본 이 성적서를 광고 및 선전에 사용할 수 없음.

2. 이 성적서의 용역결과를 표시할 때에는 그 내용을 변경하거나 일부만 기재하여 사용할 수 없음.

자동차성능연구소

9) 좌석 안전띠 부착장치 강도 및 좌석 강도시험

본 시험은 자동차성능연구소에서 실시하였으며 자동차안전기준에 관한 규칙자동차 안전기준 시행 세칙 『6. 좌석 및 그 잠금장치 시험, 18. 좌석안전띠 부착장치 강도시험』에서 정한 방법에 따라 시험을 실시하였으며 시험 결과 위 두 항목에 대해 적합함을 확인하였다.



KARTI-08-SLED

의뢰처 : (주)한 국 화 이 바

초저상버스 좌석관련 안전성평가시험
결과보고서

Korea Transportation Safety Authority 교통안전공단

자 동 차 성 능 연 구 소
Korea Automobile Testing & Research Institute

결과 보고서

Ⅱ. 시험 결과

가. 시험개요
자동차안전기준에관한규칙 제97조 및 제103조 기준 적합여부 확인

나. 시험방법
자동차안전기준에관한규칙 자동차안전기준시행세칙 『6. 좌석 및 그 잠금 장치 시험, 18.좌석안전띠 부착장치 강도시험』에서 정한 방법에 따라 시험 실시

※ 초저상버스 운전석의 경우 좌석안전띠가 좌석에 부착된 형식으로 전방 하중 적용 시 안전띠 부착장치 하중을 동시에 적용함

다. 시험차량

| | | | |
|---|---|---|---|
| 차 명 | 아이랑버스 | 제 작 사 | 바디 한국화이바(주)<br>샤시 현대자동차(주) |
| 자 종 | 버 스 | 차체형상 | 모노크크(일체형) |
| 차량중량 | 10,830 | 차량총중량 | 13,690 |
| 시험일자 | 2008. 5. 29 | 시험담당자 | 전 준 호 |

라. 시험결과
○ 좌석 및 그 잠금장치시험 : 자동차안전기준 시행세칙 6.6.1「좌석장치의 전후방하중시험」항목 적합
○ 좌석안전띠부착장치 등 강도시험 : 자동차안전기준 시행세칙 18.6.3「안전띠 부착장치강도시험」항목 적합
※ 좌석안전띠부착장치설치위치 시험은 설계도면 미제출로 확인 불가

- 시험결과 기록표

| 좌석및 잠금장치 위치 | | 해당 좌석 및 잠금 장치 무게 (kg) | 하중 방향 | 시험기준 및 적용하중 | | | | 시험품 상태 | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 좌석강도 | | | | | |
| | | | | 전후방하중 | | | | | |
| | | | | 좌석 형식 | 하중 (kg) | | 유지 시간 (sec) | | |
| | | | | | 기준 | 적용 | 기준 | 적용 | |
| 1열 | 운전석 | 좌석 | 38 | 진방 | 독립 | 760 | 760 | 5 | 15 | 이상 없음 | 적합 |
| | | 어깨띠 | | 〃 | | 1360 | 1360 | 10 | 〃 | | |
| | | 골반띠 | | 〃 | | 1360 | 1360 | 10 | 〃 | | |

- 시험결과 그래프




< 운전석 어깨띠 적용 하중 그래프>




< 운전석 골반띠 적용 하중 그래프>




< 운전석 좌석무게 20배 적용 하중 그래프>

그림 2.9.2-3 시험 결과

11) 차실 내장재연소성

한국의류시험연구원에서 관련 시험을 실시한 결과 아래의 그림 2.9.2-4의 시험성적서와 같이 시험결과를 얻었으며, 시험결과 전 시험품목 모두 연소성 기준치 이하의 결과가 나옴으로써 시험에 합격하였다.



KATRI 산업환경연구센터

시 험 성 적 서

"차실내장재연소성시험결과기록표"

제 작 사 : (주)한국화이바 시험실 온도 : 18 ± 2 ℃
차 명 : 아이랑 시험실 습도 : 50 ± 5 %
차량형식 : 저상버스 표준모델 차량
차대번호 : KMJTA18GP6C999996

| 시 험 명 | 시험방향 | 시 험 재 원 길 이x나 비 x두께 | 시험재질 | 화염전파거리 (mm) | 화염전파시간 (sec) | 연소속도 (mm/min) | 판 정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Door Panel | | 350 x 100 x 13(mm) | Aluminum Honeycomb Panel | 0 | 0 | A | 합격 |
| 차실 내장천 | | 350 x 100 x 10(mm) | Nomex Honeycomb Panel | 0 | 0 | A | 합격 |
| Seat 커버지 | | 350 x 100 x 3(mm) | Polyester Moquette | 0 | 0 | B | 합격 |
| Seat | | 350 x 100 x 41(mm) | ABS | 0 | 0 | C | 합격 |

주) A : 접화불
B : 접화는 되었지만 자체 소화됨(또는 60초이상 타지 않음)
C : 화염이 없이 서서히 탐(또는 50mm이상 타지 않음)
D : 5분 후 취소함Polyester Moquette

담당자의견

담당자 한국의류시험연구원 시험일자 2008년 5월 7일~14일

확인자 한국화이바

KATRI 산업환경연구센터

그림 2.9.2-4 차실 내장재 연소성 시험 성적서

12) 등화장치광도

(1) 제품시험 및 제품성적서

등화장치 광도시험에 대한 내용은 자동차 안전기준 시행세칙 21 등화장치 광도시험에 명기되어 있다. 제품의 성능시험에 대한 부분은 제품제작사인 HELLA 社에서 수행하였으며, HELLA 社에게 제품의 성능을 입증하는 제품 사양서를 전달 받았다. 관련 사항은 표 2.9.2-2와 같다.

표 2.9.2-2 등화장치 광도시험 기준

| 시험 | 출처 |
|---|---|
| 등화장치 광도시험 | 자동차 안전기준 시행세칙<br>21 등화장치 광도시험 |

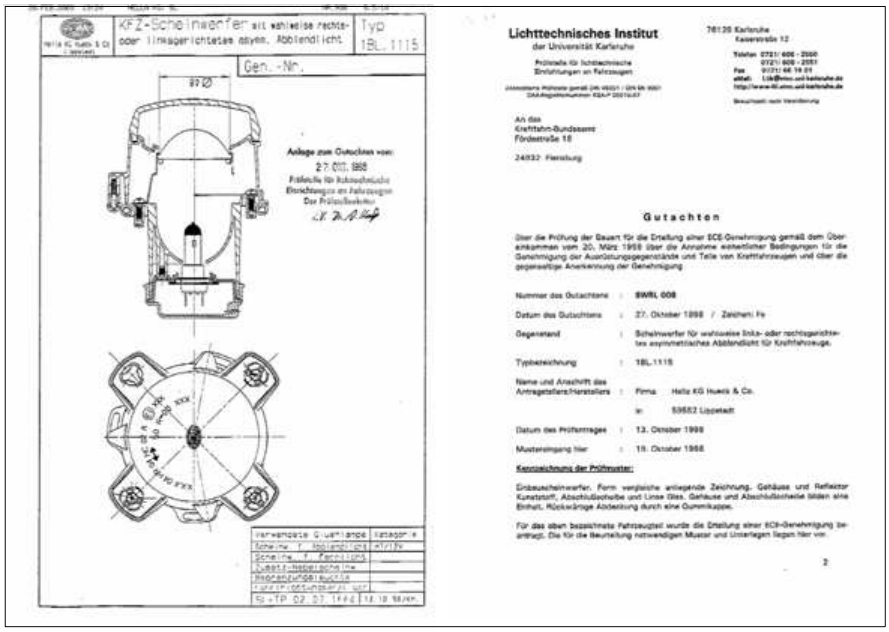



그림 2.9.2-5 90mm Halogen low beam approval

13) 충돌시 승객보호(전복)

유럽 만족을 해야 한다고 규정하고 있다.

① 완성차(Complete V경제 위원회 법규 66번(ECE Regulation No.66)에서는 버스와 같은 대형 차량의 전복 시험 시 차체 구조가 갖춰야 하는 요구 강도는 다음과 같은 4가지 방법 중 선택적으로 한 방법을 ehicle)에 대한 전복 시험

② 차체 단품(Body Section)에 대한 전복 시험

③ 차체 단품에 대한 진자(Pendulum) 시험

④ 계산에 의한 상부구조(Superstructure) 강도의 입증

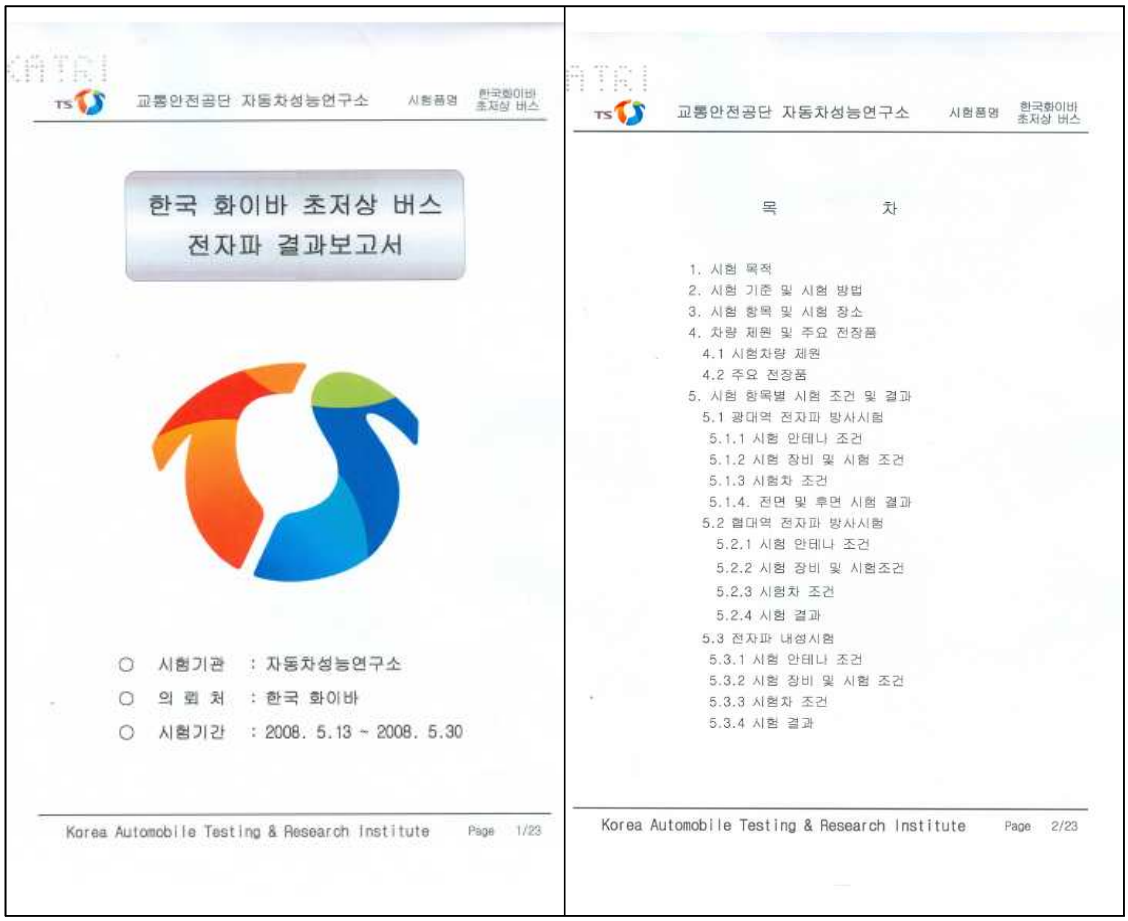
전복해석을 통하여 차체의 변형에 의한 승객 생존 공간(survival space)과 적층 복합재의 파손을 확인하였다. 이때, 전복 시간은 300msec로 하여 차체의 모든측면이 지면과 접촉할 때까지 수행하였다.

시간에 따른 차체의 변형 분석 결과, 승객하중이 포함된 상태에서의 승객 생존 공간의 확보 여부를 확인하였다. 이때, 최대변형은 측면 프레임에서 110mm가 발생하였다.

전복 해석은 정면충돌과 달리 전복에 의한 지붕 모서리 부위의 1차 충돌 후 차체의 자유낙하로 인해 운동에너지가 다시 증가하는 것을 확인하였다.

14) 전자파 차폐시험

전자파 차폐시험은 저상버스 차량의 전자파 장애에 관한 국내안전기준 적합여부를 확인하게 위하여 2008년 5월 13일~30일까지 약 2주간 실시하였으며, 자동차 안전기준에 대한 규칙 제111조 2항(전자파장애 방지장치) 및 자동차 안전기준 시행세칙 제41항(전자파장애 방지장치)의 규정에 준하여 시험되었다.




상기의 내용과 같이 시험결과 전자파 차폐시험에 대하여 적합한 결과를 나타내었으며, 각각 시험기준에 대한 세부결과 내용은 표 2.9.2-3과 같다.

표 2.9.2-3 전자파 내성시험 결과

| 시험기준 | 오작동여부 | 판정 |
|---|---|---|
| 자동차 구동 바퀴의 속도 변화가 없을 것 | 속도 변화 없음 | 적합 |
| 운전자와 보행자 등에 혼란을 주는 성능저하가 없을 것 | 속도 변화 없음 | 적합 |
| 자동차 운전자 직접조정(제동, 조향 및 엔진회전수 등)에 성능저하가 없을 것 | 속도 변화 없음 | 적합 |

15) 고압가스 안전검사

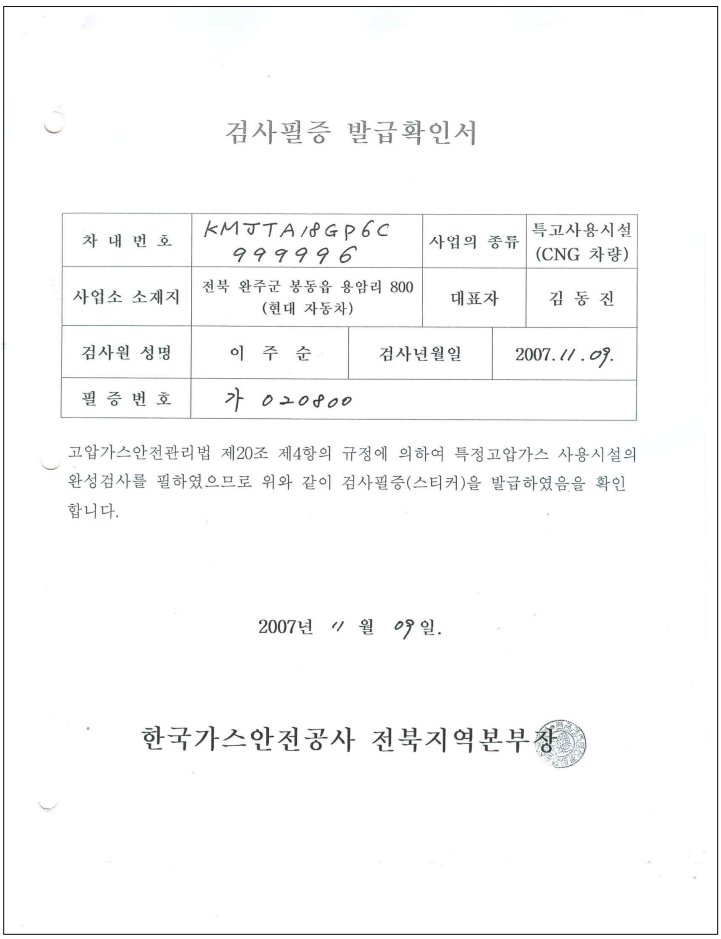
저상버스 차량은 압축천연가스(CNG) 차량이며, 천연가스 설비의 검사는 크게 제품검사와 차량의 완성검사 2가지로 나누어진다.

(1) 제품검사

제품검사는 CNG 탱크제품에 대한 단품검사와 용기밸브 및 PRD 장치를 결합하여 제품검사를 실시하였으며, 관련시험규정 및 검사성적서 내용은 표 2.9.2-4와 같다.

표 2.9.2-4 CNG 탱크 제품관련 제품검사

| 시험 | 검사품목 | 규격 |
|---|---|---|
| 단품검사 | CNG 탱크 | 자동차 안전 관리법 제17조 제 1항 |
| 제품검사 | CNG 탱크, 용기밸브, PRD | KGS C024-2004(파열시험, 실온압력반복시험, 낙하시험, 파열시험) |



검사필증 발급확인서

| | | | |
|---|---|---|---|
| 차 대 번 호 | KMJTA18GP6C 999996 | 사업의 종류 | 특고사용시설 (CNG 차량) |
| 사업소 소재지 | 전북 완주군 봉동읍 용암리 800 (현대 자동차) | 대표자 | 김 동 진 |
| 검사원 성명 | 이 주 순 | 검사년월일 | 2007.11.09. |
| 필 증 번 호 | 가 020800 | | |

고압가스안전관리법 제20조 제4항의 규정에 의하여 특정고압가스 사용시설의 완성검사를 필하였으므로 위와 같이 검사필증(스티커)을 발급하였음을 확인합니다.

2007년 11 월 09 일.

한국가스안전공사 전북지역본부장

그림 2.9.2-6 차량완성검사 검사필증

## 3. 저상버스 표준모델 개발사양

제작된 저상버스의 상세설계 결과를 이용하여 차량의 제작사양을 요약 정리하면 표 2.9.3-1과 같다.

표 2.9.3-1 저상버스 제작사양 요약

<table>
<tr><th colspan="3">주 요 항 목</th><th colspan="4">제작사양</th><th>비고</th></tr>
<tr><td colspan="3">제작자명</td><td colspan="4">현대자동차/한국화이바</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">차명</td><td colspan="4">저상버스 표준모델</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">구분</td><td colspan="4">승합대형</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">용도</td><td colspan="4">시내일반</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">차대·차체형상</td><td colspan="4">리어엔진 BOX형</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">승 차 정 원 (명)</td><td colspan="4">43명(좌석 24, 입석 17, 휠체어 1, 운전자 1)</td><td>휠체어 1석에 접이식 의자 2개 설치</td></tr>
<tr><td colspan="3">차 량 중 량 (kg)</td><td colspan="4">10,852</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">최대적재량 (kg)</td><td colspan="4">2,795</td><td>43 명×65 kgf</td></tr>
<tr><td colspan="3">차량총중량 (kg)</td><td colspan="4">13,647</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">차 체 제 원 (m)</td><td colspan="2">길 이</td><td colspan="4">11</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">너 비</td><td colspan="4">2.49</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">높 이</td><td colspan="4">3.4</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">원 동 기</td><td colspan="2">형식</td><td colspan="4">C6AC</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">최 고 출 력 (ps/rpm)</td><td colspan="4">290/2000</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">기 통 수 / 총배기량(cc)</td><td colspan="4">6기통/11,149</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">사 용 연 료</td><td colspan="4">압축천연가스(CNG)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">축간거리 (㎜)</td><td colspan="4">5,400</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">윤간거리 (㎜)</td><td>전</td><td colspan="4">2,077</td><td></td></tr>
<tr><td>후</td><td colspan="4">1,835</td><td></td></tr>
<tr><td>변속기</td><td>종류</td><td colspan="4">자동</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">정속연비 (60 kph 기준, km/m3)</td><td colspan="4">4.91</td><td>(6단 기어)</td></tr>
<tr><td colspan="4">4.3</td><td>(5단 기어)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">타이어형식</td><td>전</td><td colspan="4">275/70R22.5-16PR(S) (3150kg,9.21kg/cm2,131psi)</td><td></td></tr>
<tr><td>후</td><td colspan="4">275/70R22.5-16PR(D) (3900kg,8.64kg/cm2,123psi)</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">림형식</td><td>전</td><td colspan="4">22.5 X 8.25</td><td></td></tr>
<tr><td>후</td><td colspan="4">22.5 X 8.25</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">축별 설계 허용하중 단위</td><td>전</td><td>7,000</td><td>후</td><td>13,000</td><td></td></tr>
</table>

# 제10절 중형저상버스 시스템사양 개발

## 1. 연구개발 목표 및 범위

### 가. 연구개발의 목표

농어촌지역, 중소도시, 대도시 마을버스의 운행환경에도 적합하며, 친환경성, 경제성, 차별화된 차량 디자인을 갖는 중형저상버스를 설계하고, 제작사양(안)을 제시한다.

- 중형저상버스에 대한 요구사항 및 개발기획(안) 작성
- 실내외 형상디자인 및 차량의 기본설계 완료
- 중형저상버스의 제작사양(안) 제시

### 나. 연구개발의 범위

○ 요구사항 및 개발기획(안) 작성

- 잠재시장 및 이용객(교통약자) 분석, 국내·외 관련기술 조사 및 분석.
- 중형저상버스의 개발방향 설정을 위한 요구사항 분석.
- 요구사항 및 목표성능을 포함하는 개발기획(안)(개발전략) 작성.

○ 실내·외 디자인 완료

- 농어촌, 중소도시의 운행환경에 적합한 소형화, 다기능화, 심미성이 고려된 중형저상버스의 디자인 개발.
- 감성과 Barrier-Free를 아우르는 Universal 디자인을 접목하여 교통약자를 포함하는 모든 이용객들의 편리함과 심미성을 고려한 디자인(Sketch, Rendering, CAS), 모형, 가상 운영 Animation을 제시함.

○ 차량의 기본설계 완료

- 개념설계 단계에서 Packaging과 Ergonomic Layout을 수행하고, 중형저상버스에 대한 Platform Layout을 제시함.
- 기본설계 단계에서 System Layout 및 Package Layout(엔진, 변속기, 서스펜션, 조향, 제동, 휠, HVAC 등)을 제시함.
- 중형저상버스에 적합한 승강장 모듈설계 수행.

○ 중형저상버스 제작사양(안)

- 중형저상버스에 대한 요구사항 및 개발기획(안), 실내외 디자인, 모형 제작, 가상운영 Animation, Platform Layout, System Layout, Package Layout 등을 종합하여 중형저상버스 제작사양(안)을 제시함.

## 2. 연구개발 내용

개발방향 설정을 위한 요구사항 분석결과 제안된 중형저상버스 개발기획안과 국내외 관련기술을 위한 조사결과를 토대로 국내에서 개발되지 않은 30인승 규모의 중형저상버스에 대한 시스템 사양개발을 위한 컨셉 설계를 실시하였다. 일차적으로 차량의 기본적인 사양 및 제원 설정을 우선 수행하고 차량의 Package Layout과 시스템 Layout을 실시하였다. 그리고 Frame에 대한 강성, 강도해석을 실시하고 조향과 현가 시스템에 대한 동력학적 지오메트리를 분석하였다.

### 가. Platform Layout

1) 차량 주요 제원 및 사양

차량의 제원 및 사양 설정은 이동수단으로써의 요구 속성인 이동성, 편리성, 안전성과 실내공간의 효율성 및 안락성 확보에 초점을 두어 수행하였다.

(1) 이동성

이동성은 도시의 주택밀집지역과 농어촌지역의 도로여건에 맞도록 폭 5m 도로에서의 차량의 교행, 회전성이 확보되도록 전장 7.2m, 전폭 2.2m로 설정 하였다.

(2) 편리성

편리성은 승객의 승하차 편리성에 초점을 맞춰 가장 승하차 탑승이 어려운 교통약자인 휠체어 탑승승객을 위해 고려하였으며 휠테어 탑승승객의 편리성을 확보하여 일반인 승객의 편리성까지 추가적으로 확보되도록 고려하였다. 이를 바탕으로 차량의 형태, 구조 및 승하차 관련 장치의 형식 및 치수 등을 설정하였다.

(가) 차량의 형태 및 구조

저상버스 본래의 목적에 맞도록 계단이 없는 플로어구조가 되도록 하였고 이를 위해 엔진을 차량 후방에 배치하고 축거를 이동성을 해치지 않는 범위내 에서 최대한 길게하는 샤시배치를 채택하였다.

(나) 플로어 및 휠체어 램프

플로어는 주행중 차량의 하부가 과속방지턱에 접촉되지 않는 범위 내에서 가능한 낮춰 높이를 320mm로 설정하였으며 승하차 편리성을 보다 극대화하고 일부 농어촌 도로의 험로주행을 고려하여 자동 차고조정장치(Kneeling System)를 채택, 승하차를 위한 정차시 차체를 하향으로 50mm를 낮출 수 있고 반대로 험로주행시에는 차체를 상향으로 30mm 높일 수 있도록 하였다. 또한 플로어에 폭 800mm, 길이 720mm의 수동접이식 휠체어 램프를 내장 적용하여 휠체어 탑승승객의 이용이 용

이하도록 고려하였다. 그 결과로써 자동 차고 조정후 승하차시 플로어 높이가 270mm로 보도연석(높이 250mm) 대비 높이 차가 20mm 밖에 않되어 램프의 경사각이 1.6도가 되며 따라서 교통약자이동편의증진법 시행규칙의 이동편의 시설의 구조 재질 등에 관한 세부기준에서 규정된 5도 이하를 충분히 만족한다.

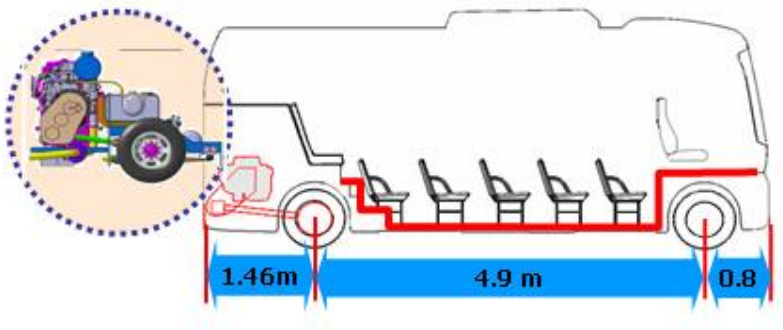



그림 2.10.2-1 차량 형태 및 구조 개념도




그림 2.10.2-2 차량의 외형 크기 및 이동성 개념도

(다) 휠체어 고정장치 및 휠체어 승객 보호장치

휠체어승객의 안전성 및 편의성을 고려하여 휠체어 고정장치는 다양한 형식의 휠체어에 대해 적용이 불가능하고 고장시 대응이 불가능 한 단점이 있는 자동식 고정장치가 아닌 수동벨트식을 적용하여 높은 적용성과 안전성을 확보하였다. 또한 휠체어 승객의 보호를 위해 수동식 안전벨트를 적용하였다.

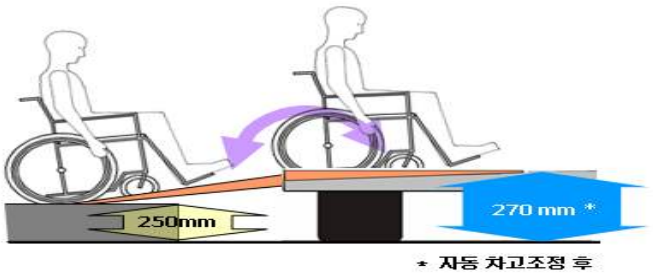


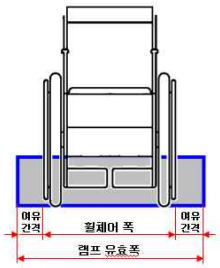

그림 2.10.2-3 플로어 높이 및 휠체어 램프 설치 개념도

■ 휠체어 램프 폭 크기 – 램프 형식별 설계 가능/적정치

(mm)

| 출입문 | | 휠체어 램프 형식 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 출입문 수 | 출입문 유효폭 | 수동식 | | | 자동식/겸용식 (슬라이딩식) |
| | | 이동식 | 접이수납식 | 접이식 | |
| 2문 동일 | 850 | 850 | 850 | ( 800 ) | 690 |
| 2문 비동일 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 910 | 830 |
| 1문 | 1,200 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,010 |

* 휠체어 및 램프 폭 크기 관련 규격/표준




| 구 분 | | | 휠체어 폭 | 램프 폭 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| ISO 7193 | | | 700 mm 이하 | 800 mm 이상 | KS/JIS 동일 |
| 영국 장애자용 대중교통 시설기준 | | | - | 800 mm 이상 | |
| 저상버스 적용(예) | 국내 D사 대형저상 | | - | 1,008 mm | 자동 (슬라이딩식) |
| | 일본 H사 중형저상 | | - | 800 mm | 수동 (이동식) |
| 국외 생산제품 (예) | 중국 X사 | 자동(슬라이딩) | - | 800 - 1,008 mm | |
| | | 수동 (접이식) | - | 910 mm | |
| | 미국 R사 | 자동(슬라이딩) | - | 813 - 930 mm | |
| | | 자동 (접이식) | - | 762 - 813 mm | |

▶ 휠체어승객은 승하차시 조력자의 도움을 받게 되므로 램프의 폭은 **800 mm** 이상 이면 충분한 안전성 확보 가능 판단.

그림 2.10.2-4 휠체어 램프 폭 크기

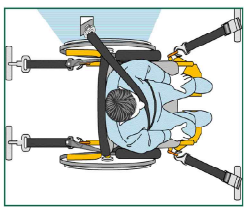
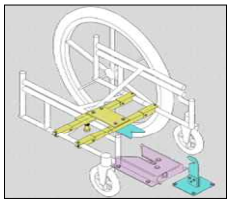
| 구 분 | Strap Type (수동) | Wheel Clamp Type (자동) | Docking Type (자동) |
|---|---|---|---|
| 그 림 (예) |  |  |  |
| 장 점 | - 대부분의 휠체어에 적용 가능함. (유모차등에도 적용 가능함.)<br>- 충돌시 승객안전성 (반응성/안정성)이 좋음.<br>- 휠체어에 부가적인 장치가 필요 없음.<br>- 장치가 충돌력에 잘 견딘다. | - 조력자의 도움 없이도 체결 가능함.<br>- 체결시간이 짧다.<br>- 다양한 휠체어 형식에 비교적 적용하기 용이함.<br>- 휠체어에 부가적인 체결장치가 필요없음. | - 조력자의 도움 없이도 체결 가능함.<br>- 체결시간이 짧다.<br>- 체결점을 선택에 어려움이 적다.<br>- 잘못 체결될 우려가 매우 적다.<br>- 장치가 충돌력에 잘 견딘다. |
| 단 점 | - 체결에 조력자가 필요함.<br>- 체결하는데 많은 시간이 소요됨.<br>- 스트랩이 방치되고 오염되기 쉬움.<br>- 체결점 규정(선택)이 어렵다.<br>- 체결자의 체결기술훈련이 필요하다. | - 체결부위가 적어 충돌시 승객안전성 (반응성/안정성)이 가장 떨어짐.<br>- 충격/유동에 따른 휠체어 파손의 우려가 있다. | - 다양한 휠체어 형식에 적용하기 어렵다.<br>- 휠체어에 부가적인 체결장치가 필요하다.<br>- 체결부위가 적어 충돌시 승객안전성 (반응성/안정성)이 떨어짐.<br>- 부가 장치로 휠체어 지상고가 낮아진다. |

그림 2.10.2-5 휠 체어 고정장치

(라) 출입문

출입문은 일반인들의 승차, 하차가 별개로 가능하도록 2문형으로 하였고 2문 모두 휠체어가 이용 할 수 있도록 중문, 후문으로 배치하여 휠체어의 승하차 동선을 단순화 하였으며 출입구 유효폭을 850mm로 설정하여 비교적 여유있게 통과 할 수 있도록 했다. 또한 기존 저상버스의 내부열림 방식과는 다른 외부슬라이딩 열림방식을 채택하여 실내공간의 효율성을 극대화 했으며 출입문 여닫힘시 승객의 신체 충돌 발생 가능성이 최대한 억제되도록 하였다.

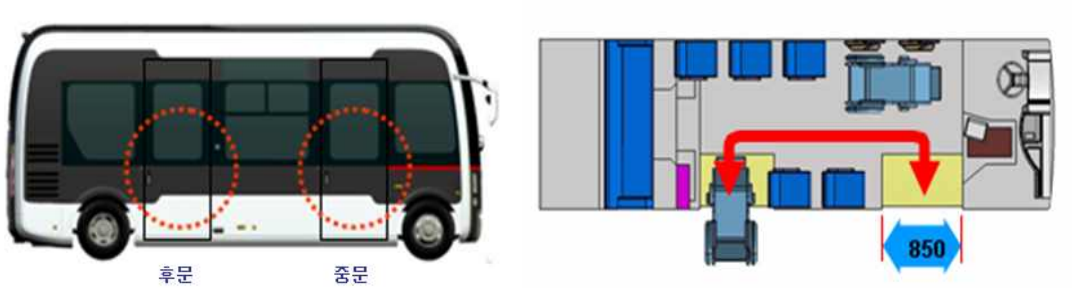



그림 2.10.2-6 출입문 배치 개념도

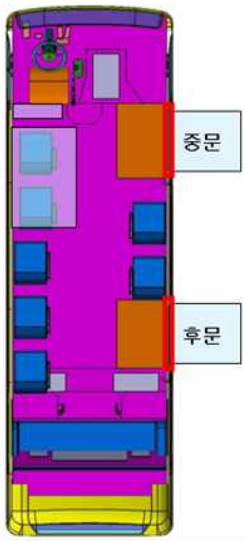
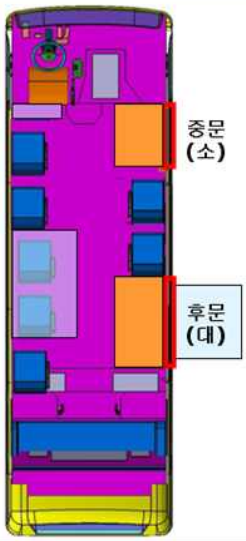
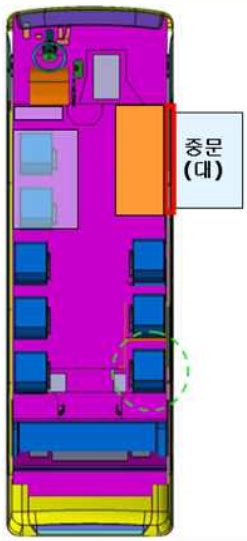
| 구 분 | 2 문 (중문 + 후문) | | 1문 (중문) |
|---|---|---|---|
| | 동일 규격 | 비동일 규격 | |
| 승하차 형태 | 일반승객-중문승차/후문하차<br>휠체어승객-후문승차/중문하차 | 일반승객-중문승차/후문하차<br>휠체어승객-후문승차/후문하차 | 일반승객/휠체어승객 승하차 |
| 실내 배치 |  |  |  |
| 승차 정원 | 1 + 11 + 18 = 30인 | 1 + 11 + 18 = 30인 | 1 + 12 + 18 = 31인 |

그림 2.10.2-7 출입문 수 및 배치

■ 출입문 형식/폭 크기에 따른 도어 열림/닫힘 시간

| 구 분 | | 설계 표준 |
|---|---|---|
| 열림/닫힘 시간 | 열림 | 1.5~4.0 초 |
| | 닫힘 | 2.0~4.0 초 |
| 도어 평균 이동속도 | 열림 | 250~600 mm/초 or 30~45°/초 |
| | 닫힘 | 150~400 mm/초 or 25~45°/초 |

| 구 분 | 도어 평균 이동 속도 | 열림/닫힘 시간 (초) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 700 mm | 850 mm | 1000 mm | 1200 mm |
| 내부슬라이딩식 (단편) | 450 mm/초 | 1.6 | 1.9 | 2.2 | 2.7 |
| 내부스윙식 (양편) | 35°~30°/초 | - | 2.6 | 3.0 | |
| 외부슬라이딩식 (단편) | 300 mm/초 | 2.3 | 2.8 | 3.3 | 4.0 |

▶ 외부슬라이딩식의 경우, 모든 출입문 유효폭에서 열림/닫힘시간 표준을 만족하나, **1,200 mm**의 경우엔 임계값에 이르므로 출입문의 양편분리가 필요함.

■ 외부슬라이딩식 출입문 크기별 정류장 정차시간 비교

- 정류장 **1**개 정차시간 (초)

| 승하차 인원 (각) | 2문 | | 1문 |
|---|---|---|---|
| | 850+850 | 700+1000 | 1200 |
| 1 | 8.6 | 8.2 | 12.6 |
| 3 | 14.6 | 13.6 | 21.8 |
| 5 | 20.6 | 19.6 | 31.0 |
| 10 | 35.6 | 34.6 | 54.0 |
| 15 | 50.6 | 49.6 | 77.0 |

* 산식 : T = Tdo + Tba + Tdc
T : 정류장 정차시간
Tdo : 출입문 열림 시간
Tba : 승객 승차/하차 시간 (승차 3.0 sec/인, 하차 1.6 sec/인)
Tdc : 출입문 닫힘 시간

- 대당 **1**일 운행 정류장 정차시간 (분)

| 정류장 평균 승하차 인원 | 2문 | | 1문 |
|---|---|---|---|
| | 850+850 | 700+1000 | 1200 |
| 3 | 83 | 77 | 124 |
| 5 | 117 | 111 | 176 |
| 8 | 168 | 162 | 254 |
| 10 | 202 | 196 | 306 |

*노선 정류장 왕복 20개 x 17회/일 기준

▶ **1**문의 경우, 하차후 승차로 인하여 승하차 승객수 증가에 따라 정차시간이 **2**문 대비 현격한 증가함.
-> **2**문 선택이 불가피함.

그림 2.10.2-8 출입문 형식/폭에 따른 작동시간

(마) 실내공간 배치

도시와 농어촌의 서로 다른 승객성향을 고려하여 도시형에는 프라이버시를 고려한 전향좌석배치를 채택하였으며 농어촌형에는 승객간에 이웃간 같은 분위기가 조성되도록 측향좌석배치을 채택하여 차별화 및 다양화 하였다. 또한, 휠체어 수용공간에 접이식좌석을 적용하여 좌석비율을 높였고 승객이 짐이나 화물을 올려 놓을 수 있도록 유휴공간에 화물적재공간을 마련하였다.

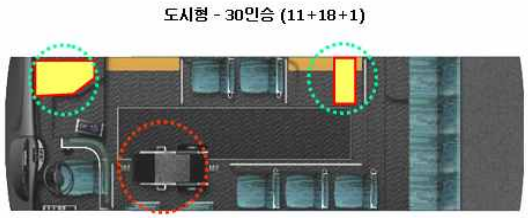



그림 2.10.2-9 도시형 실내배치 개념도




그림 2.10.2-10 농어촌형 실내배치 개념도

(바) 기타 사양

기타 장치, 장비들의 사양에 대해서는 샤시 및 파워트레인, 차체 및 외장, 내장의 3개 부분으로 나누어 각각 그림설명도에 나타내었으며, 차량의 전반적인 사양 및 제원 설정 결과를 표로 나타내었다.

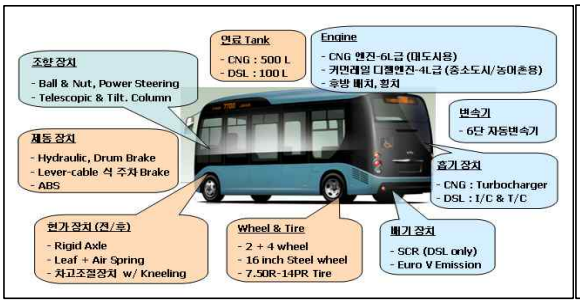



그림 2.10.2-11 차량의 장치/장비 사양 설명도 (샤시 및 파워트레인)

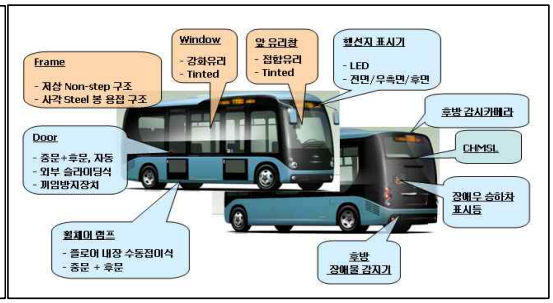



그림 2.10.2-12 차량의 장치/장비 사양 설명도 (차체 및 외장)

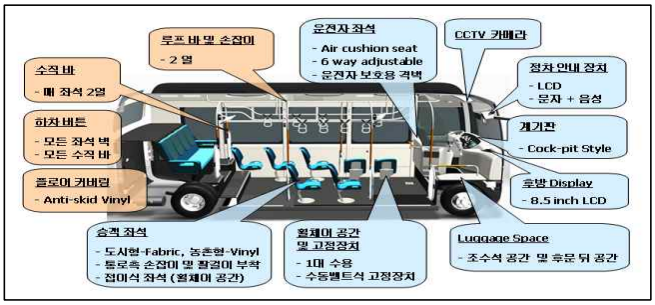



그림 2.10.2-13 차량의 장치/장비 사양 설명도 (내장)

표 2.10.2-1 개발 중형저상버스의 주요사양 및 제원

| 항 목 | | | 도시형 (CNG) | 농어촌형 (Diesel) |
|---|---|---|---|---|
| Vehicle Type | | | Non-step Low Floor | --- |
| Seating Capacity (incl. foldable seats.) | | | 30 (11+18+1) | 27 (14+12+1) |
| Dimen-sion | Overall Length | | 7,160 mm | <--- |
| | Overall Width | | 2,200 mm | <--- |
| | Overall Height | | 3,335 mm | 3,100 mm |
| | Wheelbase | | 4,900 | <--- |
| | Tread (Front / Rear) | | 1,820 / 1,675 | <--- |
| | Overhang (Front / Rear) | | 800 / 1,460 | <--- |
| | Min. Ground Clearance | | 160 mm | <--- |
| | Interior | Length | 5,670 mm | <--- |
| | | Width | 2,040 mm | <--- |
| | | Height (at Low Floor) | 2,465 | <--- |
| Perfor- | Min. Turning Radius | | 7,826 mm | <--- |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| mance | Road Occupied Width (at 90° Turn) | Curb to Curb | 4,291 mm | <--- |
| | | Wall to Wall | 4,764 mm | <--- |
| | Approach/Departure/R-O Angle | | Min. 11° | <--- |
| Emission | | | Euro 5 | <--- |
| Engine | Engine Type | | L6 EC, CNG | L4 CRDi, DSL |
| | Engine Location/Configuration | | Rear/Transverse | <--- |
| Transmission | | | Automatic | <--- |
| Brake | Service Brake | | Hyd & Drum, ABS | <--- |
| | Parking Brake | | Hand Lever & Cable | <--- |
| Steering | | | Ball & Nut, Power | <--- |
| Suspen-sion | Axle Type | | Rigid Axle | <--- |
| | Spring Type (Front / Rear) | | Leaf Spring + Air | <--- |
| | Vehicle Height Adj. | | 50 mm | <--- |
| Wheel & Tire | | Wheel | 16 inch Steel (2+4) | <--- |
| | | Tire | 7.50R-14PR (2+4) | <--- |
| Fuel Tank Capacity | | | 500 L | 100 L |
| Floor | Floor Height (at Curb Weight) | | 320 mm | <--- |
| | Rate of Low Floor | | 45.2 % | <--- |
| Doors | Number of Doors | | 2 (Mid/Rear) | <--- |
| | Door Type | | Auto, Outside Sliding | <--- |
| | Effective Width | | 850 mm | <--- |
| Seats | Driver Seat (Width x Depth) | | 520 x 455 mm | <--- |
| | Passenger Seat | Seat Layout | Forward Facing | Side Facing |
| | | Size (Width x Depth) | 430 x 420mm | 430 x 400mm |
| | | Seat spacing | 660 mm | <--- |
| Req't forWheelchair | Accomodation Capacity | | One Wheelchair | <--- |
| | Ramp Type | | Manual, Folding | <--- |
| | Ramp Effective Size(W x L) | | 800 x 720 mm | <--- |
| | Slop Angle (on 250 mm of Curb) | | 1.6° (w/Kneeling) | <--- |
| | Wheelchair Fixation | | Manual 2-Belt Type | <--- |
| | Seat Belt for Wheelchair Occupant | | 2-Point Lap Belt | <--- |
| Destination Board | | Type | LED Type | <--- |
| | | Location | Frt ,Rr & RHside | <--- |
| ITS Req't | Smart Card Reader | | Required | <--- |
| | Bus Stop Information Systems | | LCD, Aud & Vis. | <--- |
| Partition for Driver Protection | | | Required | <--- |

## 나. Package Layout

Package Layout은 크게 Overall Package, Interior & Ergonomic Package, Engine Room Package 및 Underbody Package의 4 분야로 검토 되었다.

1) Overall Package

Overall Package는 차량의 외관크기 및 자세와 관련되는 패키지로 차량의 용도에 맞춰 안전관련 법규에의 적합성, 생산성 및 정비성 등을 고려하여 구현되었다.

2) Interior & Ergonomic Package

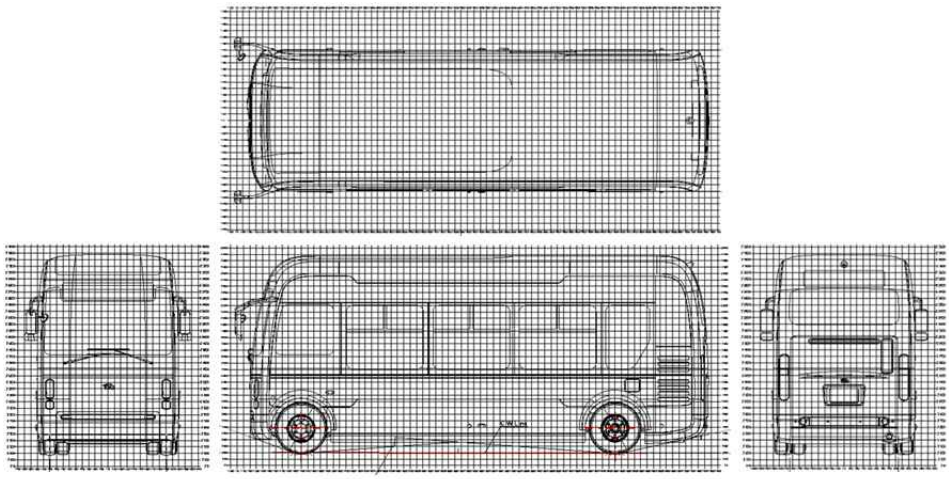


그림 2.10.2-14 Overall Package Layout

Interior & Ergonomic Package는 운전자와 승객이 활동하는 실내공간에 대한 Package로 운전자와 승객이 실내의 장치, 기기 및 시설을 안락하고 편리하게 조작 및 이용 할 수 있도록 그 들의 크기, 위치 및 자세 등을 적절하게 배치하였다. 특히 저상버스 본래의 목적과 취지에 맞춰 교통약자의 승하차시의 편의성을 최우선 고려하여 Package를 수행하였다.

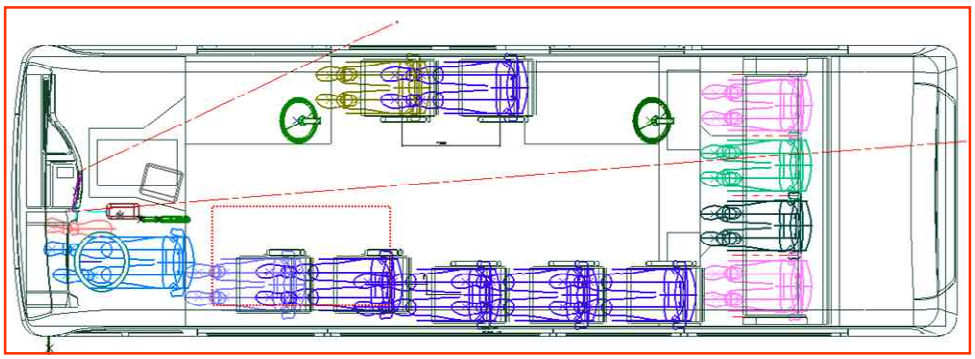


그림 2.10.2-15 Interior & Ergonomic Package Layout도(평면도)

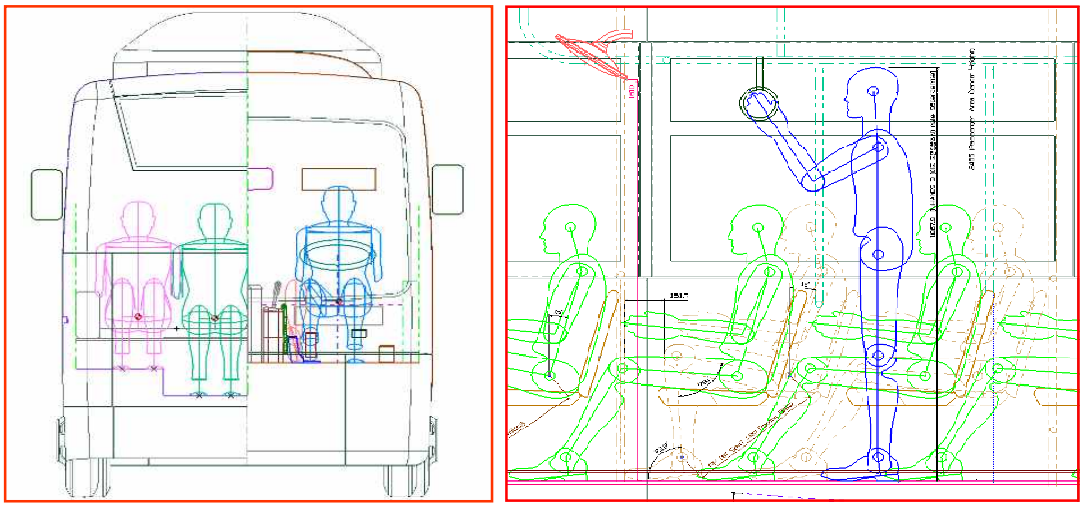


그림 2.10.2-16 Interior & Ergonomic Package Layout도(정면도 및 측면도)

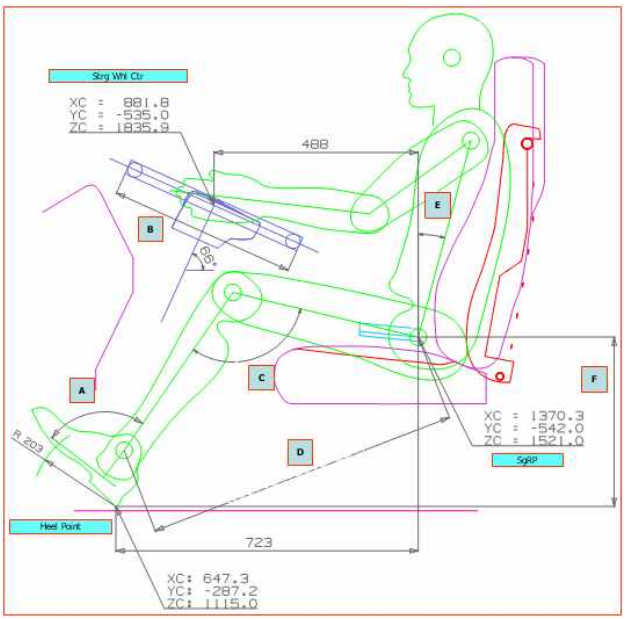



그림 2.10.2-17 Interior & Ergonomic Package Layout도 (운전석 상세)

3) Engine Room Package

Engine Room Package는 차량의 동력원인 엔진이 수용된 공간에 대한 장치들의 배치관계를 나타낸 것으로 엔진과 연관된 Transmission 및 Cooling System, Air Intake System, Fuel System, Exhaust System, Electric System 등의 엔진 부대장치를 포함하여 생산성 및 정비성을 고려하여 적절히 배치하였다.

4) Underbody Package

Underbody Package는 차량의 하부에 대한 Package로써 Frame 및 Frame 과 연결되는 Suspension System, Steering System, Fuel Tank, Brake System 등의 배치관계를 차량의 지상고, Approach Angle, Departure Angle 등을 고려하여 적절히 배치하였다.

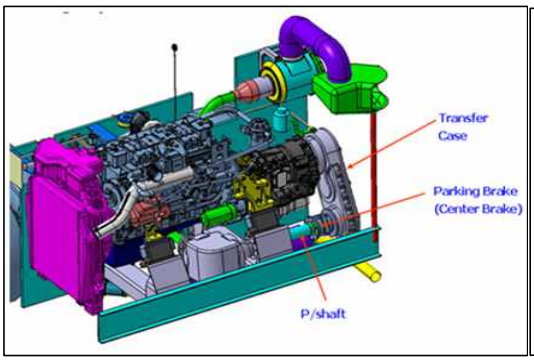



그림 2.10.2-18 Engine Room Package Layout도 (사면도)

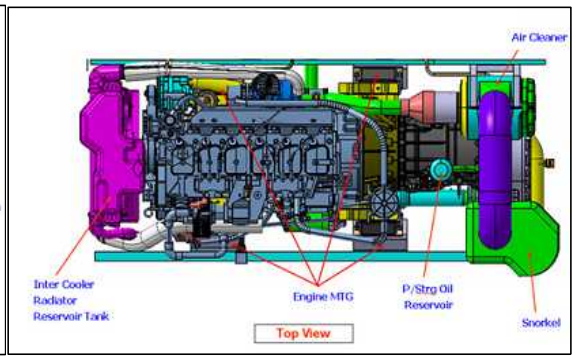



그림 2.10.2-19 Engine Room Package Layout도 (평면도)

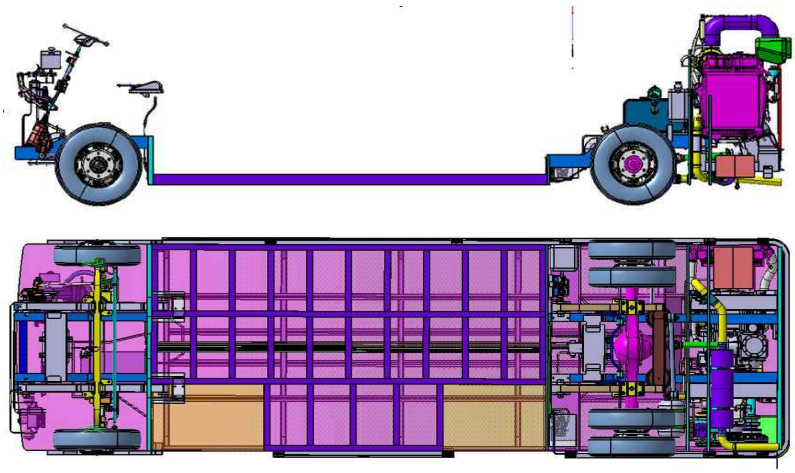


그림 2.10.2-20 Underbody Package Layout 도

## 다. System Layout

시스템 레이아웃은 상세 설계를 위해 차량을 구성하는 각 System에 대한 구성부품의 형상, 크기, 위치 및 작동궤적 등의 정보를 나타내는 자료로써 주변부품과의 간섭 없이 요구된 기능을 발휘 할 수 있도록 Catia 데이터 상에서 3D 데이터 형태로 구현하였다.

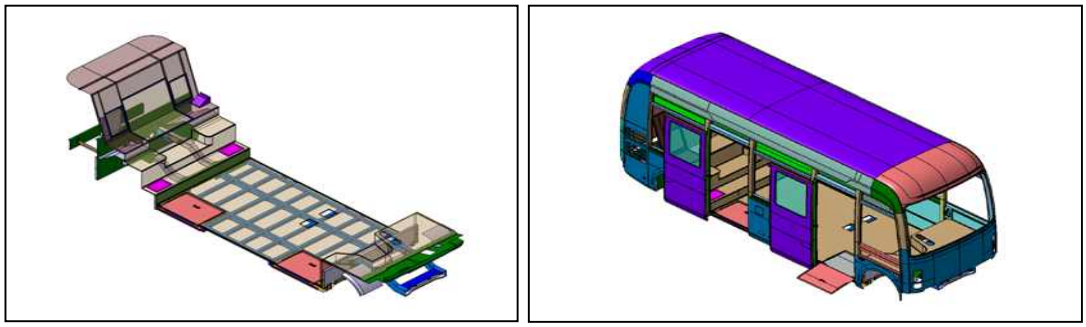


그림 2.10.2-21 시스템 3D 레이아웃 예 (차체)

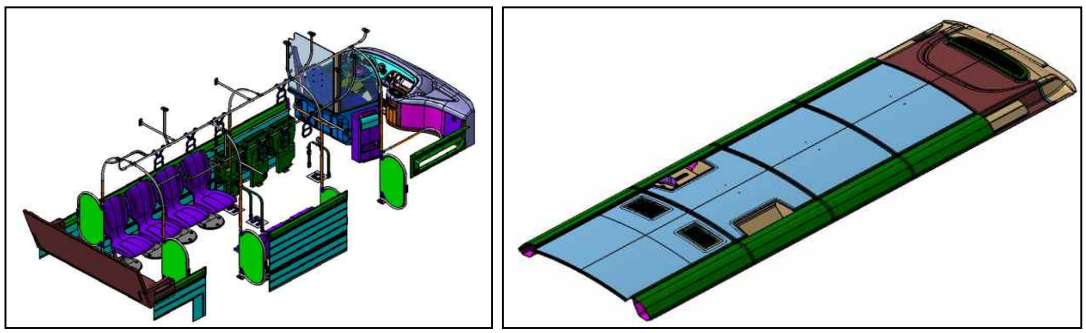


그림 2.10.2-22 시스템 3D 레이아웃 예 (내장)

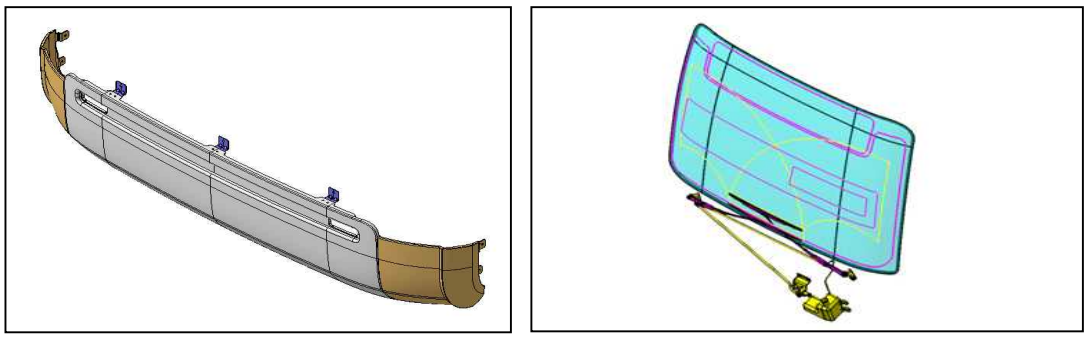


그림 2.10.2-23 시스템 3D 레이아웃 예 (외장)

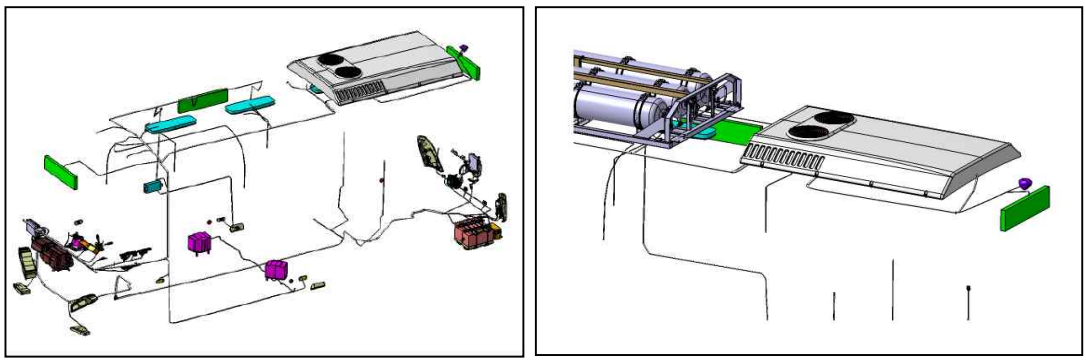


그림 2.10.2-24 시스템 3D 레이아웃 예 (전장)

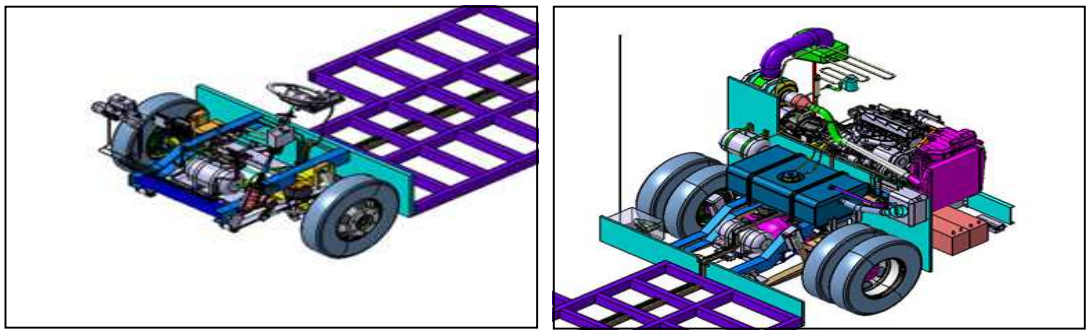


그림 2.10.2-25 Platform 레이아웃 예 (샤시)

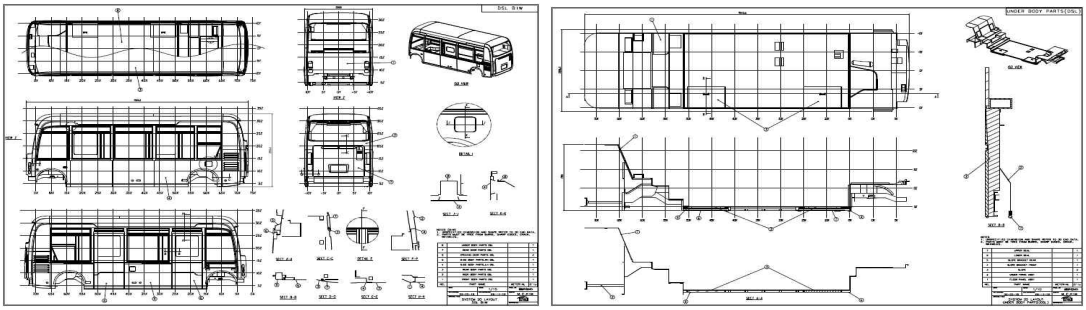


그림 2.10.2-26 시스템 레이아웃 2D화 도면 예 (차체)

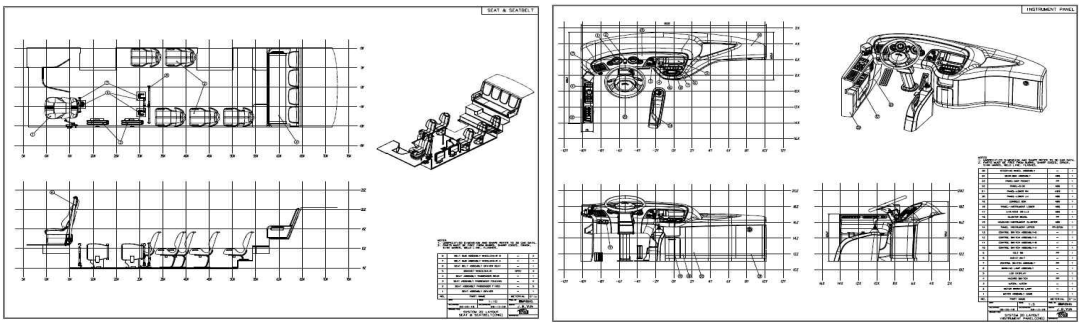


그림 2.10.2-27 시스템 레이아웃 2D화 도면 (내장)

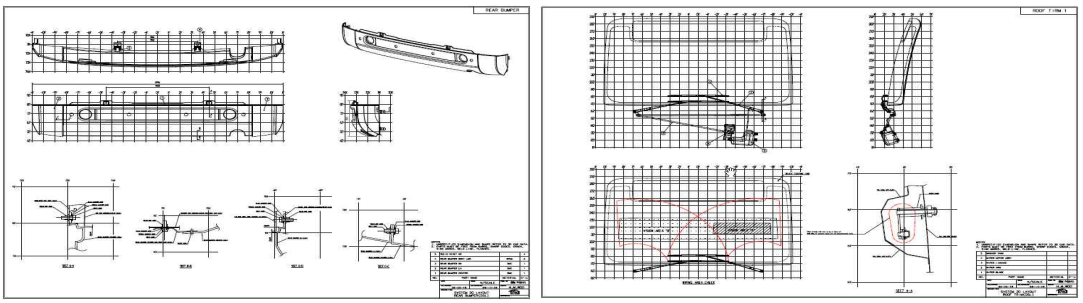


그림 2.10.2-28 시스템 레이아웃 2D화 도면 (외장)

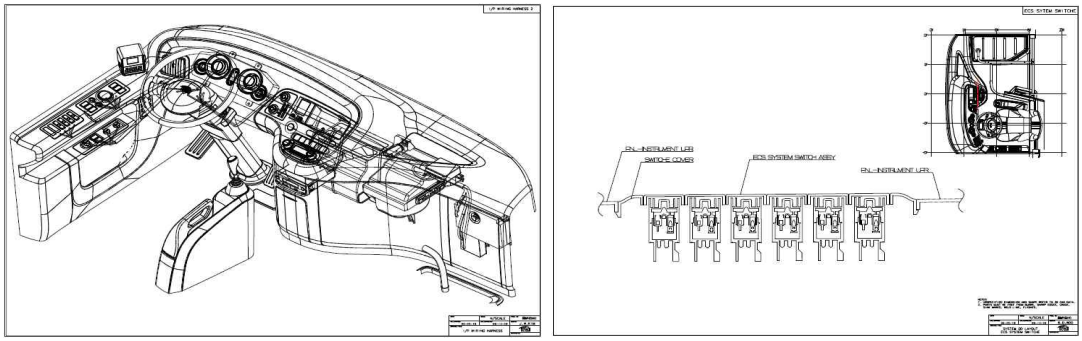


그림 2.10.2-29 시스템 레이아웃 2D화 도면 (전장)

1) 3D 설계

3D 설계는 컨셉설계에서 구현된 Layout을 기초로 구성부품이 실제로 제작/생산되고 요구된 기능과 품질을 만족 할 수 있도록 상세설계를 한 것으로써 본 연구에서는 차량개발에 있어 기본이 되고 중요한 요소중 하나인 Platform의 사양공용화를 고려하여 Chassis 및 Powertrain 분야에 대하여만 컴퓨터 디자인 tool의 하나인 Catia 프로그램을 사용하여 상세 3D 설계를 수행하였다.

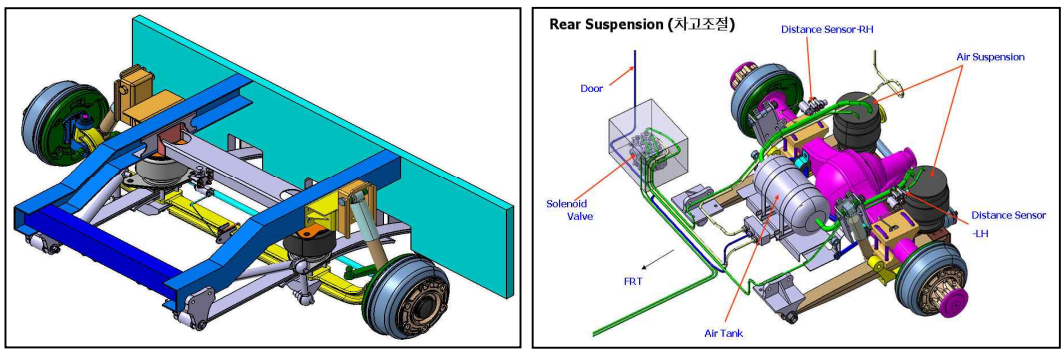



그림 2.10.2-30 전후륜 현가장치 3D 레이아웃도

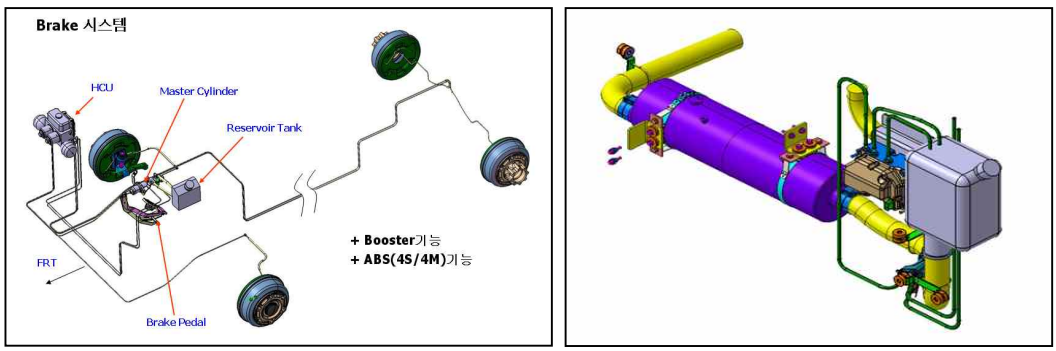



그림 2.10.2-31 제동 및 배기장치 3D 레이아웃도

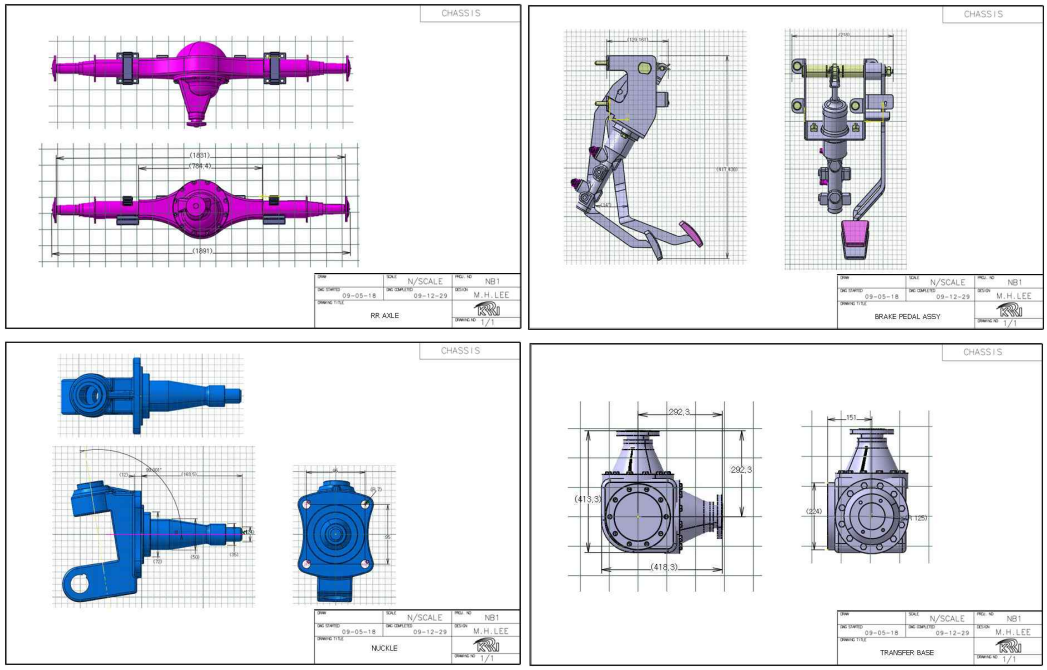



그림 2.10.2-32 3D 설계 2D화 도면 예

2) 주요 단면

차량 내외부 주요부의 기본 단면의 형상, 구성 및 중요 치수 정보 등을 묘사한 자료로써 단면구조의 강성 및 강도측면과 부품간 연결에 따른 양산 가능성과 작업성 등을 고려하였으며 도시형 및 농어촌형의 2개 모델에 대해 차체분야 33개소, 내장분야 38개소, 외장분야 76개소, 전장분야 28개소 등 총 175개소에 대한 주요 단면을 Catia 데이터 형태로 창출하였다.

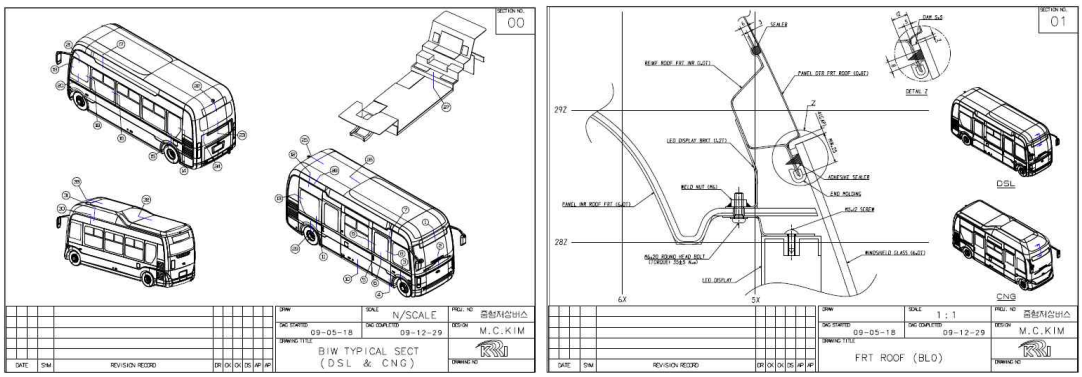



그림 2.10.2-33 주요 단면도 예 (차체)

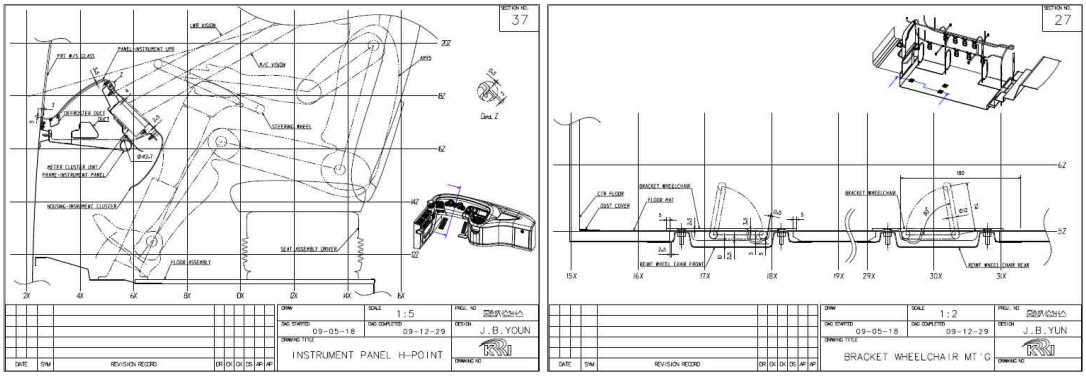



그림 2.10.2-34 주요 단면도 예 (내장)

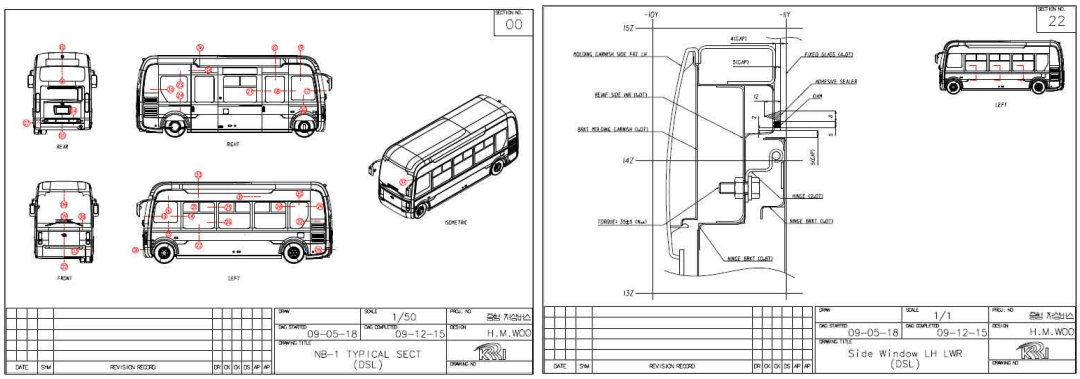



그림 2.10.2-35 주요 단면도 예 (외장)

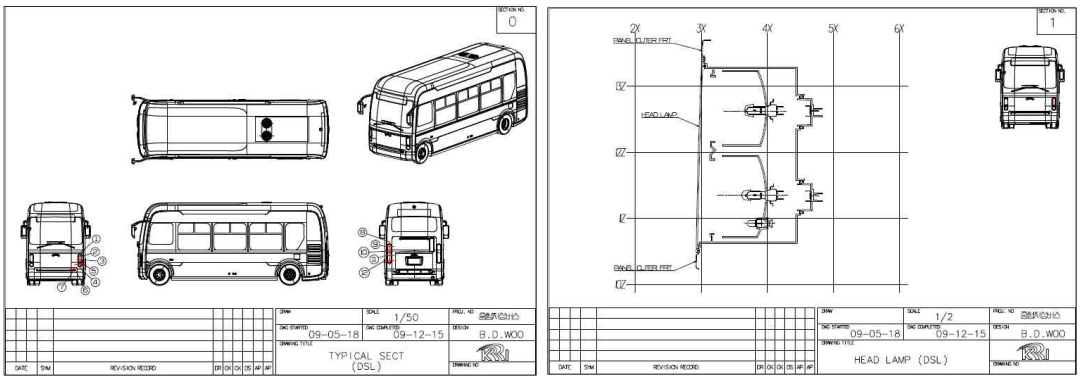



그림 2.10.2-36 주요 단면도 예 (전장)

## 라. 중형저상버스 제작사양(안)

1) 설계구상서

설계구상서는 차량을 구성하는 각 System에 대한 설계 기본 Concept를 설정하여 기술한 자료로써 차량의 System들이 갖춰야 할 성능, 품질 및 법규와 관련 요구사항과 이러한 요구사항을 만족하도록 고려된 System의 형식, 구조 및구성 등에 관한 정보를 갖도록 작성하였다. 이 설계구상서는 System 단위로 차체분야 5 System, 내장분야 5 System, 외장분야 5 System, 전장분야 6 System, 샤시파워트레인분야 10 System 등 총 31 System에 대해 작성하였다.

그 결과로써의 대표로써 Underbody System의 설계구상서의 일부 작성 예를 나타내었다.

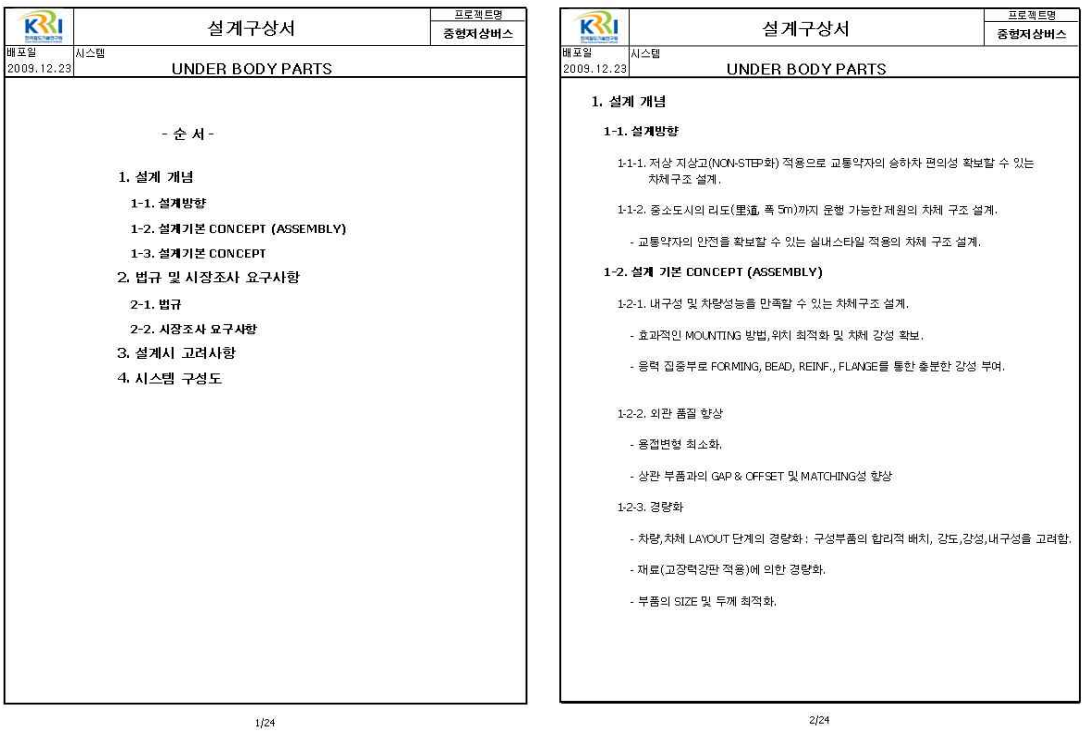



그림 2.10.2-37 설계구상서 작성 예 (Underbody-목차 및 설계개념)

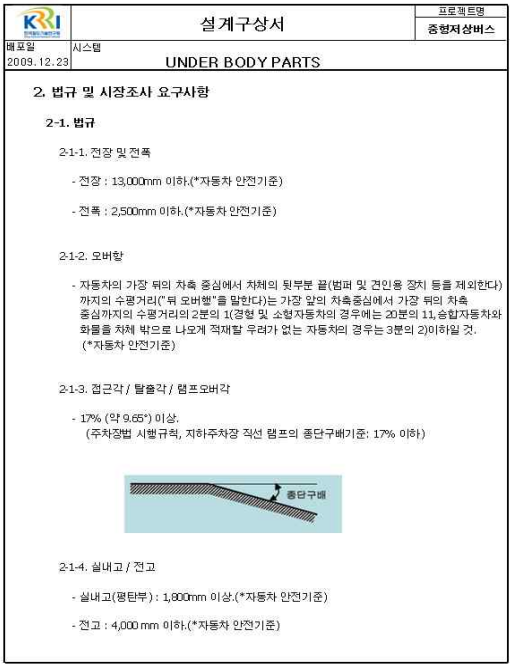



그림 2.10.2-38 설계구상서 작성 예 (Underbody-설계요구사항 및 고려사항)

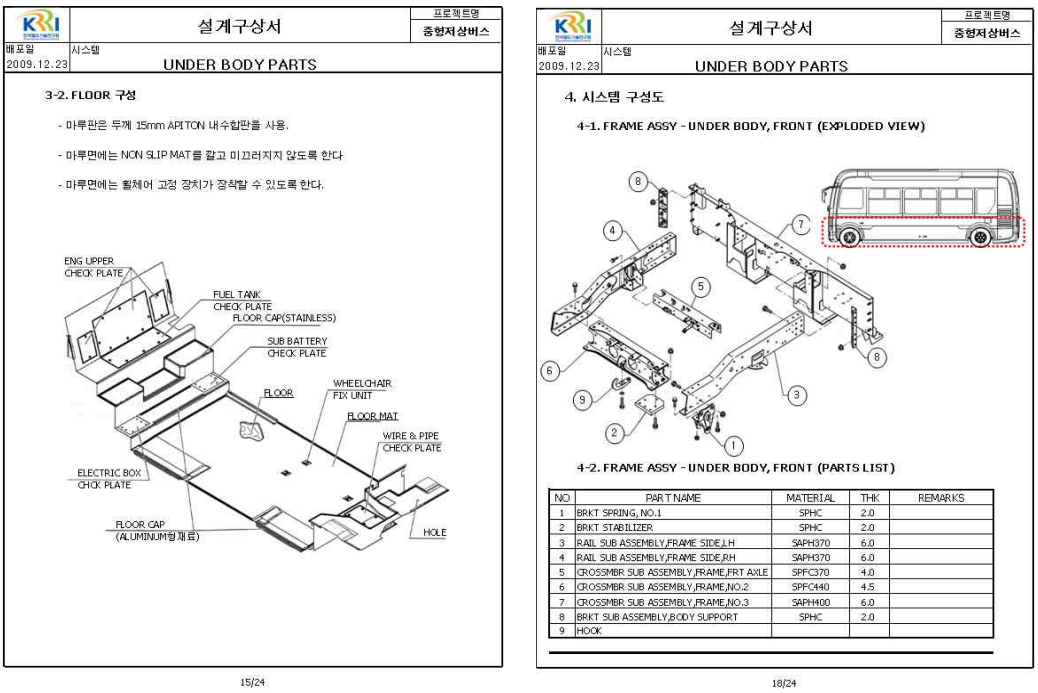



그림 2.10.2-39 설계구상서 작성 예 (Underbody-Floor구조 및 시스템구성)

2) 제작사양(안)

가) 차체 Part

(1) Front Body

| | |
|---|---|
| W/Shield Glass 장착면 및 Glass의 간격 | • 최소 5mm, 25mm 유지. |
| 행선지 표시기 | • LED Display. |
| Front Side, RH | • 안쪽에 높이17mm×폭4mm×길이1000mm의 Cushion을 붙임. |
| Tire와 Dash Flange 및 Dash Wheel arch면 | • 최소 25mm의 간격 유지. |
| 전방시야 | • Pillar의 방해각도는 최대 6° 이하. |

(2) Under Body

| | |
|---|---|
| Frame 구성 | • Chassis의 각 Crossmember와 Body골격을 볼트로 결합. |
| Floor 구성 | • 두께 15mm Apiton 내수합판 사용.<br>• Non slip mat를 깔고 미끄러지지 않도록 함.<br>• 휠체어 고정 장치가 장착할 수 있도록 함.<br>• Floor와 Frame 은 드릴 나사로 고정.<br>• 일반부 마루에는 마루판과 Frame 사이에 Seal 도포.<br>• 운전석부에는 마루판과 Plate 사이에 Seal 도포.<br>• Floor 단차 부위와 Body 사이에 간격이 있는 경우 Seal 도포.<br>• Floor 상단부는 Silicone Sealer를 도포한 후 M4나사로 장착.<br>- Floor 부: M4 나사 L=15<br>- 철판부: M4 나사 L=15<br>- Floor부(Aluminum재): 접시나사 L=15<br>(통로 위, Step에 장착) |

(3) Side body

| | |
|---|---|
| Side부 기본단면 구성 | • Outer Panel, Door Rail, Glass부분을 고려하여 구성. |
| Side Skirt부 조립구조 | • Skirt 장착은 상단부에 Hinge를 부착하고, 하단부에 Bolt로 고정하는 Type으로 설계. (차량의 유지 보수에 용이) |
| Side Rear부 조립구조 | • ENG 및 T/M의 유지 보수가 용이하게 상단부에 Hinge, 하단부에 Link를 연결하여 Open 가능한 구조로 설계. |

(4) Roof Body & Rear Body

| | |
|---|---|
| Roof Body | • Roof부 단열재 부착<br>- 외부로부터 열 차단, Roof부의 냉동·공조 시스템에서 발생하는 소음, 진동 등을 흡수해 차량의 N.V.H성을 향상. |
| | • Weld Flange Length<br>- Welding Gun의 요건에 따라 성형상의 문제가 없는 범위 안에서 결정. |
| Rear Body | • Rear Frame부 조립구조<br>- 후방 배치형 Engine 구조이므로, Engine의 수리, 보수, 교환에 용이하게 Rear Frame부의 구조를 Bolt, Nut로 분해·조립이 가능한 구조로 설계. |
| | • Seal Rubber<br>- Rear Frame부에 Seal Rubber를 부착. |
| | • Rear Body부 Gap<br>- Rear Panel과 Rear Bumper Assy 사이에 7mm, Side Panel 사이에는 6mm의 간격을 유지. |

(5) Opening Door & Rear Door

가) Opening Door

| | |
|---|---|
| 출입문 열림 방식 | • 외부 슬라이딩식 (중문+후문) |
| 출입문 폭<br>(유효 개구부 폭) | • 850mm (중문, 후문 동일)<br>- W = Sliding door stroke - Front side panel parting line 에서 앞쪽 Sealing flange 끝단까지의 거리 |
| Sealing Type | • 이중 Sealing<br>(Main Sealing: Door, Sub sealing: Body) |

나) Rear Door

| | |
|---|---|
| Rear Door Hight | • 기술표준원 한국인 남자(19~69세) 신체치수 자료 기준(Dummy: 95분위키 = 1,801mm)으로 아래의 기준을 따른다.<br>- Open시 최고 높이: 2010mm<br>- Open시 최저 높이: 1925mm<br>- Rear Body와의 Gap: 15mm 이상<br>- Open시 Rear Body와의 각도: 95° |
| Rear Door부<br>단열재 부착 | • Engine으로부터 발생하는 열 차단, 소음진동 등을 흡수, 차량의 N.V.H.성을 향상. |

나) 내장 Part

(1) Instrument Panel

| | |
|---|---|
| Frame-Instrument Panel | • M6 Nut로 좌우 A-Pillar부 Bracket에 장착. |
| Main Harness | • Main harness를 Frame-Instrument에 Clip으로 고정. |
| Panel-Instrument Upper | • Body에 M5 Bolt로 장착.<br>• Frame에 M4 Screw로 고정. |
| Controller Box | • M6 Bolt와 M6 Nut로 장착.<br>• Panel-Instrument Upper를 Frame에 M4 Screw로 고정. |
| Housing-Instrument Cluster | • M5 Screw, M6 Bolt, M6 Nut로 장착.<br>• Combination Meter를 장착. |
| Lower Frame | • Lower Frame LNH의 바닥부분을 M6 Bolt로 Bracket에 장착, Frame부에 M6 Nut로 고정.<br>• M6 Bolt로 Lower Frame Rh를 장착. |
| Panel-Instrument Lower,LH | • M4 Screw로 Lower Frame에 장착.<br>• Lid를 연 상태에서 M4 Screw로 고정. |
| Panel-Instrument Lower,RH | • Hinge부를 M4 Screw로 장착. |

(2) Side Trim

| | |
|---|---|
| Side Trim | • Panel Inner Wind M′TG 구조<br>- Tree Clip으로 Body에 M′TG.<br>• Molding Garnish Side 기본 구조<br>- 상단부 Insert형, 하단부 Hook형.<br>- 조립시 상단부를 끼우고, 하단부를 누르는 형태.<br>• Panel Inner Side Lower 기본 구조<br>- 상단부: Molding Garnish Side와 Matching.<br>- 하단부: Seat Rail에 Insert형으로 고정.<br>- Inner Molding Side Wind와 insert형태로 고정하고, Clip으로 M′TG. |
| Guide Pipe Assembly | • 기본 M′TG 구조<br>- Roof 및 Floor Trim에 Screw로 M′TG.<br>- Connect Pope는 Bracket에 Blinde Rivet으로 M′TG.<br>• Grip부위 구조<br>- 손잡이로 활용되는 Guide Pipe에는 Cushion 적용.<br>• Strap Assembly 기본 구조<br>- 사다리꼴 형태의 손잡이 적용: Grip감 높임.<br>- 흔들림을 줄이기 위해 Strap을 두 줄로 설계.<br>• Strap Assembly 기본 구조<br>- 한국성인 5분위도 사용 가능하며, 95분위도 편안한 높이인 1600mm 설정.<br>(95분위 키(1801mm)+구두높이(35mm)+여유(25mm)≒1860mm설정) |

(3) Roof Trim

| | |
|---|---|
| Panel Assembly<br>Inner Roof Front | • 기본 M'TG 구조: Front와 Rear에 Clip을 이용.<br>• Panel Inner Roof Front와 Panel Inner Roof Rear의 Matching 구조<br>- LH/RH Side에 Molding을 이용.<br>• Panel A Inner Roof Rear와 Grille Duct의 Matching 구조<br>- 이음새 부위에 Molding을 이용. |
| Panel Assembly<br>Inner Roof Center | • 기본 M'TG 구조 : Tree Clip을 이용.<br>• Molding Roof 구조: Tree Clip 이용.<br>• Inner Molding Roof Front/Rear 구조<br>- Blind Rivet으로 Body에 M'TG.<br>• Panel Inner Roof Center Side 구조<br>- 차체 Panel에 Silicon으로 Sealing.<br>- 이음새 부위는 Panel Inner Center Side E로 Covering하고, Silicon으로 Sealing. |

(4) Air Distribution

| | |
|---|---|
| 기본 M'TG 구조 | • Duct Cooler Room Front/Rear<br>- 상·하측 모두 Molding에 Insert.<br>• Duct Cooler Room Center<br>- 상측은 Screw, 하측은 Molding에 Insert. |
| Grille Duct Cooler<br>기본구조 | • LH부 Layout (DSL, CNG 공용)<br>- A는 하방향, B는 측방향으로 Target 설정.<br>- 하방향 Duct Grille을 최대한 Seat배열에 맞게 설정.<br>• RH부 Layout (DSL, CNG 공용)<br>- 하방향 Duct Grille을 Duct Cooler Room Center에만 배열.<br>• Duct Grille Aiming Direction<br>- Duct Cooler Room Front부: 하방향 Duct Grille은 좌석 승객 기준으로 Target을 설정하고, 상방향 Duct Grille은 입석 승객을 기준으로 Target 설정.<br>- Duct Cooler Room Center: 측방향 Duct Grille이 Center부에 없으므로, 좌석 승객의 바깥쪽 어깨를 Target으로 입석 승객에 가깝게 설정.<br>- Duct Cooler Room Rear: 측방향 Duct Grille이 Rear Seat 승객 전체에 영향을 줄 수 있는 방향을 설정, Side 좌석을 기준으로 설정. |

(5) Seat & Seat belt

| | |
|---|---|
| Seat 배열 구조 | • CNG형: LH부 전향 6열(Folding 2열 포함),RH부 전향 2열, Rear Seat로 구성.<br>• DSL형: LH부 측향 7열(Folding 3열 포함), RH부 측향 3열, Rear Seat로 구성.<br>• Wheelchair 공간 확보(1300mm×750mm이상) 필요. |
| Seat Assembly Driver M'TG 구조 | • Bolt로 Body에 M'TG. |
| Seat Assembly Passenger M'TG 구조 | • Passenger Fixed<br>- Side: Side Rail에 T-Bolt로 M'TG.<br>- Floor: 발에 간섭이 없도록 방향을 틀어주는 구조로 설계하여 Bolt로 M'TG.<br>• Passenger Folding<br>- Side: Seat Cover를 연장하여 Bolt로 M'TG.<br>- Floor: Bolt로 M'TG. |
| Wheelchair 공간 기본구조 | • 법규치수(1300mm×700mm) 기준으로 최대한 넓게 설계. |

다) 외장 Part

(1) Bumper

| | |
|---|---|
| Front Bumper (DSL, CNG Type) | • 각 Mounting부 Bolt를 사용하여 조립.<br>• Bumper 상단과 하단 Bracket은 Rivet를 사용하여 장착.<br>• 주변 Part와 일정한 Gap 유지. |
| Rear Bumper (DSL Type) | • 각 Mounting부 Bolt를 사용하여 조립.<br>• Bumper 상단과 하단 Bracket은 Rivet를 사용하여 장착.<br>• 주변 Part와 일정한 Gap 유지. |
| Rear Bumper (CNG Type) | • Bumper 상단과 하단의 각 Mounting부 Clip형상을 이용한 조립.<br>• Bumper 상단과 하단 Bracket은 Rivet를 사용하여 장착.<br>• Bumper Assy와 PNL 각 Mounting부 Bolt를 사용하여 조립.<br>• 주변 Part와 일정한 Gap 유지. |

(2) Outer Mirror

| | |
|---|---|
| Outside Mirror<br>- Drive | • Stay Assy, Mirror, Outside LH Mounting 구조<br>- 조립성, A/S성, 취부강성, Wind Noise저감을 고려한 M/Screw 사용.<br>• Mirror, Outside LH Mounting 구조<br>- 후방 시계를 만족하는 위치선정.<br>- Stay Cover 조립부: Pivot Holder를 장착하여 Stay 탈착 방지.<br>- Cover 조립부: Retainer와 Cap을 조립하여 외관상 좋게 함. |
| Outside Mirror<br>- Co-Diver | • Stay Assy, Mirror, Outside RH Mounting 구조<br>- 조립성, A/S성, 취부강성, Wind Noise저감을 고려한 M/Screw 사용.<br>• Mirror, Outside LH Mounting 구조<br>- Cover 장착 후 Mounting위치에 M/Screw 사용.<br>• Mirror, Under Mounting 구조<br>- Stay에 Spacer와 Bolt 사용.<br>• Mirror, Wind View Mounting 구조<br>- M/Screw 사용. |
| Inner Mirror | • Mirror, Room Mounting 구조<br>- Mounting 위치에 M/Screw 사용.<br>• One Man Mirror Mounting 구조<br>- One Man Mirror Assy를 Mirror T Flange에 끼워 넣은 후, Stay를 Ø4 Blind Rivet으로 장착. |

(3) Outside Molding

| | |
|---|---|
| Outside molding | • Noise와 누수 방지를 위한 기밀성 고려하여 Body Flange와 적절한 Gap유지. 적절한 위치에 접착제를 사용하여 견고한 조립성을 검토하고, Garnish간의 적절한 Gap을 검토. |

(4) Glass & Window

| | |
|---|---|
| Glass - Windshield, Back Window | • 접합유리 사용으로 안정성을 고려. Noise와 누수 방지를 위한 기밀성 고려하여 Body Flange와 적절한 Gap유지. |
| Window - Drive | • 강화유리 사용으로 안정성을 고려. Noise와 누수 방지를 위한 기밀성 고려하여 Body Flange와 적절한 Gap유지. |
| Glass - Just Window Side Window | • 강화유리 사용으로 안정성을 고려. Noise와 누수 방지를 위한 기밀성 고려하여 Body Flange와 적절한 Gap유지. |

(5) Wiper & Washer (old : Grille)

| | |
|---|---|
| Wiper System<br>(CNG, DLS) | • Wiper Links Assy와 Motor 작동 시 주변 Part와 충돌이 없도록 10mm 이상의 충분한 간격 유지.<br>• 적절한 Mounting위치 선정을 위한 Pivot 형상을 고려.<br>• 법규에 만족하는 Wiper Blade 작동반경 고려. |
| Nozzle Washer<br>(CNG, DLS) | • 운전자 편의를 고려한 Nozzle Washer 분사위치를 선정하여 최선의 장착 위치를 선정. |

라) 전장 Part

(1) Engine Elec.

| | |
|---|---|
| Package설계측면<br>고려사항 | • 가능한 일반적인 공구를 사용해야 하며, 한 개 부품을 조립 시 동일 공구로 작업이 가능하게 해야 함.<br>• MT′G시 공구가 상관 Part와 간섭이 없어야 하며, MT′G 부위를 보면서 작업이 가능토록 함.<br>• 가능한 Line 작업을 줄이고 업체 조립을 해야 함.<br>• A/S가 용이해야 함. |
| 시동 소요 회전력 | • 시동성능은 배터리의 상태에 따라 큰 영향을 받기 때문에 엔진의 요구 및 스타터의 특성 그리도 배터리의 능력을 모두 검토하여야 함.<br>- 시동소요 회전력 = $\frac{\text{엔진의회전저항} \times \text{스타터피니언잇수}}{\text{플라이휠링기어잇수}}$ |

(2) Wiring harness

| | |
|---|---|
| Wiring harness<br>Design | • 국내의 규정을 준수하며, 와이어링 하네스 제조&서비스의 요건을 충족하여야 함. |

(3) Est./Int. lamp

| | |
|---|---|
| 전면부등 | • Projection Unit 내열 거리 기준<br>- 볼록 Lens 표면과 OTR Lens의 거리는 Bulb CTR 기준 65mm 이상이여야 하며, 볼록 Lens CTR 기준 60°방향으로 45mm 이상이여야 함.<br>• Blub A/S 공간 기준으로 Dust Cap 탈거 공간은 Cap 후방 40mm 이상이여야 함.<br>• AIM′G Hole 직경은 12Ø 이상이여야 함.<br>• TOOL′G 공간 기준은 20Ø 이내에 상관 부품 간섭이 없어야 함.<br>• 전조등 Housing에는 내열/내습용 방수포가 적용되어야 하고, 90/100 Watt 비정규 Blub 사용 시 내열에 이상이 통풍 및 내열 |

| | |
|---|---|
| | 구조의 Housing 설계를 기준으로 함.<br>• Bezel 과 Projection Unit 내열거리는 10mm 이상 유격을 기준으로 함.<br>• 안개등 떨림 방지 구조로 가능한 Bracket의 팔길이를 짧게 하며 Bumper에 Mounting할 경우 안개등 주위의 Bumper Flange를 Box형으로 하여 Mounting부에 강성을 줌.<br>• Shield 파손 및 이탈방지 구조 로 Bending부에 Crack 방생으로 응력이 집중되지 않는 형상으로 고려해야 함.<br>• Lamp의 장착위치가 높아서(550mm 이상) 상대차량(주행차선 반대차량) 운전자에게 눈부심을 발생시킬 수 있는지 검토 필요.<br>• Bumper 충돌 Test를 고려하여 상관 부품과의 간격을 확보해야 함. |
| 후면부등 | • Connector 고정 Type 적용.<br>• RR Lamp 어안 Cut에 의한 불빛 계단 형상 발생 시 가능한 한 경계면을 사선이나 Curve를 피하고 불가피 하다면 어안 Cut의 크기를 2×2로 유도하면서 계단 형상 발생 면을 부식 처리.<br>• RR Combi Lamp Insert 시 Rib의 방향을 Lens에 Normal로 하여 Insert Rib 폭을 최대한 줄여야 함.<br>• Lens&Housing 접합을 Heat WELDING 적용시 접합부 수지가 외관에 노출되지 않도록 처리해야함.<br>• Housing 설계기준<br>- Vent Hole Size는 5Ø를 기준으로 하며, Blub CTR 상단으로 설치함을 기준으로 함.<br>- 필요시 Reflector(수밀 문제 없을 때) 상단 일부 구간을 외관을 고려하여 잘라냄.<br>• 내열관련 Lens와 Housing간 일정 거리를 유지하여 Lamp를 보호해야함. |
| 측면부등 | • 필요 최소 면적<br>- S=S1+S2+S3<br>S1: 법규상 광도 만족키 위한 필요 최소 면적<br>S2: Mounting 구조를 설치하기 위한 필요 최소 면적<br>S3: Body와 수밀을 유지하기 위한 필요최소 면적<br>(S3=최소 8mm)<br>• A/S를 위해 OVM 공구 사용.<br>• PNL 손상 방지를 위한 Pad는 최소 1mm 이상이여야 함. |
| 번호등 | • Moulding 부착시 Light Emitting Hole Size 결정.<br>• 최저 입사각과 최저 고도 고려. |
| 실내등 | • Blub와 Lens Gap의 관계 |

<table>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><td>BULB종류</td><td>3W</td><td>5W</td><td>8W</td><td>10W</td></tr>
<tr><td>WEDGE</td><td>-</td><td>-</td><td>10mm이상</td><td>10mm이상</td></tr>
<tr><td>FASTOON</td><td>3mm이상</td><td>8mm이상</td><td>10mm이상</td><td>10mm이상</td></tr>
<tr><td>HALOGEN</td><td>-</td><td>12mm이상</td><td>-</td><td>13mm이상</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>기타</td><td>
• Heat Welding<br>
- Lens의 용착 Rib 형상 설정기준은 용착부위, 용착부 Rib의 폭, 용착부 Rib 밑부분, 용착부 Rib의 높이에 따름.<br>
- Heat Welding 가능 사용수지 재료표
<table>
<tr><td></td><td>PP</td><td>AAS</td><td>ABS</td><td>AES</td><td>PC</td><td>AS</td><td>PMMA</td></tr>
<tr><td>PMMA</td><td>×</td><td>◎</td><td>◎</td><td>△</td><td>×</td><td>×</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>AS</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td></td></tr>
<tr><td>PC</td><td>×</td><td>△</td><td>△</td><td>△</td><td>△</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>AES</td><td>×</td><td>△</td><td>△</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>ABS</td><td>×</td><td>◎</td><td>◎</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>AAS</td><td>×</td><td>◎</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>PP</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="8">◎ : 융착가능<br>△ : 융착시 생산성 확인<br>× : 융착불가</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

(4) Meter cluster & signal sys.

| | |
|---|---|
| Meter Cluster | • Meter Cluster 주변과의 간격<br>- Cluster lens와 Cover는 최소 2mm의 간격을 유지하고, Pointer는 최소 5mm의 간격을 유지.<br>- Cluster와 타부품의 의 간격은 최소 5mm를 유지.<br>- Odometer knob와 Housing 하단부는 최소 10mm의 간격을 유지하고, Dial plate에서 Odometer knob 끝까지의 거리는 최소 15~20mm를 유지.<br>- Mask와 Cluster molding housing 중첩량은 최소 5mm 유지. |

(5) Air conditioning system

| | |
|---|---|
| Package설계측면 고려사항 | • 가능한 일반적인 공구를 사용해야 하며, 한 개 부품을 조립시 동일 공구로 작업이 가능하게 해야 함.<br>• MT'G시 공구가 상관 Part와 간섭이 없어야 하며, MT'G 부위를 보면서 작업이 가능토록 함.<br>• 가능한 Line 작업을 줄이고 업체 조립을 해야 함.<br>• A/S가 용이해야 함.<br>• 실내로 물이 유입되지 않도록 Seal을 설치. |

| | |
|---|---|
| | • CNG Tank Cover와 Cooling Cover 일체형으로 설계.<br>• Sealing을 위해 Cooling Unit는 별도의 Cover를 가지는 구조로 하며, 일체형 Cover는 Cooling Unit를 정비 가능토록 P/Line을 설치.<br>• Cooling Fan 냉각을 위해 상면 및 측면에 Grille 충분히 확보.<br>• 히터 토출구에서 분사되는 Hot air로 인해 주변부품의 열변형이 발생되지 않도록 설계하고, 주변부품의 열변형 발생시 Heater부품과 간섭이 되지 않도록 설계.<br>• 냉각계의 각 Hose는 급격한 변곡이 없어야 하며, 냉각계 내에 발생되는 공기는 냉각계를 순환하면서 원활히 이동하여 대기로 배출될 수 있는 구조이여야 함.<br>• 엔진 정지시 Hose삽입부의 직선구간은 15mm이상, Hose유동부는 25mm 이상의 간격을 유지해야 하며 불가시 Pad를 부착하여야 함.<br>• 엔진 Roll'g시 주변부품과는 최소 15mm 이상의 간격을 유지하고 불가시 Pad 부착하여야 함.<br>• 엔진 반열 부품과의 간격은 최소 50mm이상을 유지하며 불가시 단열 Pad를 부착하여야 함.<br>• Clip과 주변 고정부품은 최소 15mm 이상의 간격을 유지하여야 함.<br>• Hose의 삽입 깊이는 최소 25mm이상이며, Clamp 장착위치는 Hose 끝단에서 5mm이여야 함.<br>• 엔진 Roll'g시 엔진 진동흡수가 가능토록 'S'자 형상, 길이 250mm 이상의 Hose route를 설정하여야 함.<br>• 주야간 Color는 Cluster Gauge와 조화를 이루면서, 운전자로 하여금 눈의 피로와 혼란을 일으키지 않도록 하여야 하며, 야간이 Illumination 조명시 Plate housing 또는 Knob 등의 틈새로 광누설이 되지 않도록 광차단이 되어야 함.<br>• Defroster Nozzle 기능은 안전주행을 위한 시계를 제공할 수 있어야 하며, Heater에서 분사된 Air가 Defroster Nozzle을 통과하면서 Air Leaking이 발생되지 않도록 제작 되어야 함. |
| Main Part Design Concept | • Control Switch<br>- Size: TBD<br>- 장착위치: IP Panel 또는 Side Panel<br>• Air conditioner Assembly<br>- Size: 2350(L)×1450(W)×200(H)<br>- 장착위치: Roof Rear Outer<br>• Heater Unit Assembly<br>- Size: 306(L)×204(W)×280(H)<br>- 장착위치: 승객용 Seat 및 좌우 각 1개<br>• Defroster Unit Assembly<br>- Size: 700(L)×400(W)×300(H)<br>- 장착위치: IP Center 안쪽<br>• Compressor Assembly<br>- Size: 252(L)×Ø207(H)<br>- 장착위치: 엔진 Room 안쪽 |

(6) Switches

| | |
|---|---|
| 내구력 | • System 사용 빈도 및 System 내구 사용 횟수에 상응하도록 내구력을 설정. |
| 회로 | • On-Off 전환시 Switch에 갑작스런 전류가 흐르더라도 순간적으로 접점을 유지 Spark가 최소가 되는 구조로 설계. |
| 위치 | • 조작성: 사용빈도 및 중요도에 따라 운전자가 손쉽게 조작할 수 있는 위치에 MT'G시키고 운전자 이외의 사람은 함부로 저작시킬 수 없도록 작동력, 작동감, 작동Noise 등을 신중히 검토.<br>• 작동 Noise: 장착위치 및 주위의 Noise에 따라 작동 소음의 세기를 선정하되, 실내장착용은 최대한 작동 소음이 없는 Micro Switch 수준으로 함.<br>• 정비성: 고장으로 인한 부품 교환 작업을 쉽게 할 수 있어야 하며, 가능하면 Switch가 1EA의 Assy로서 교환 가능하도록 설계.<br>• 시인성: 잘 보이는 위치에 법규 관련 Swich부터 순차적으로 배치하고 Switch 전체가 보이지 않을시 Symbol, Indicator가 보일 수 있도록 함. |
| Size | • 주변 Part와의 간섭여부, 부하용량, 접점Type, Connector 체결 Type 등을 사전에 확인.<br>• Instrument PNL Switch, Console Switch,Door Arm Rest에 장착되는 Switch류의 돌출부는 법규의 저촉사항을 피하여 설계. |
| Symbol 및 Indicator 조명 | • SW의 조명방식(LED or BLUB) AUDIO or HTR Controller or Cluster Gage의 방식을 따름. |
| Switch 조작 Type별 장착위치 | • Lever, Push Button, Rocker, Micro, Pull, Momentary, Rotary 및 Plunger 등의 종류가 있으며 Switch 장착 위치 및 조건에 따라 선정. |

마) Chassis & powertrain part

(1) Engine / TM / Engine mount

| | |
|---|---|
| 시장 요구조사 반영 | • 엔진을 횡치로 Rear에 배치하여 Rear 오버항을 최소화하고, 구동 라인이 엔진 하단으로 위치하기 때문에 기존 종치로 엔진을 배열한 차량 대비 지상고를 확보. |
| 표준화 안에 적합한 엔진선정 | • 경사가 급격한 농어촌도로 및 중소도시 이면도로를 주행할 수 있도록 등판성능과 경제적이고 효율적으로 운영할 수 있는 고연비 엔진. |

| | |
|---|---|
| 배기가스 | • 유로5 배출가스 규제를 만족할 수 있는 친환경 엔진, 후처리 정화를 통한 배기가스 정화 전에 엔진 자체에서 발생하는 배기가스를 최소화 할 수 있는 엔진을 적용. |
| 신기술 | • 바이오디젤 엔진<br>• 배기가스 저감 디젤엔진용 유닛 인젝터 시스템, 고압분사 시스템(친환경 엔진) |

(2) Drive axle

| | |
|---|---|
| 최저 지상고 | • 타이어의 크기와 관련되어 Package 설정 시 최저 지상고를 고려해야 함. |

(3) Suspension / steering

| | |
|---|---|
| Suspension 시스템 | • 진동수가 120Cycle/Min을 넘으면 딱딱하게 느껴지고, 45Cycle/Min 이하이면 흔들리는 감이 느껴지므로 현가장치는 사용하는 스프링의 강도나 쇽 업소버의 감쇄력을 이용하여 될 수 있는 대로 승차감이 좋은 진동수가 되도록 해야 함. |
| Steering 시스템 | • 조타륜 종류<br>- 전륜 조타륜: 전륜 조타 1개 전차축의 양 차륜으로 조향 조작을 하는 방식으로 현재에는 이 방식이 가장 많이 채용 됨.<br>• 최소회전반경<br>- 자동차안전기준에 관한 규칙(2장 1절 9조)에 따라 최소회전반경은 12m을 초과해서는 안 됨. |

(4) Brake / Wheel & Tire

| | |
|---|---|
| Brake 시스템 | • 주제동능력(자동차안전기준 제15조)<br>- 최고속도가 매시 80킬로미터 이상이고 차량 총 중량이 차량 중량의 1.2배 이하인 자동차의 각축의 제동력의 합: 차량 총 중량의 50퍼센트 이상.<br>- 좌·우 바퀴의 제동력의 차이: 당해 축 중의 8퍼센트 이하<br>• 주차 제동능력(자동차안전기준 제15조)<br>- 18%(10.5도) 경사면에서 정지 상태를 유지.<br>- 차량 총 중량의 20%이상 |
| Tire&Wheel 시스템 | • 차량 중략 및 탑승인원 |

| 전장 | 전폭 | 전고 | 차량중량 | 차량총중량 | 탑승인원 |
|---|---|---|---|---|---|
| 7160mm | 2200mm | 3295mm | 약5000kg | 약7000kg | 30명 |

| | |
|---|---|
| | • 타이어 배열 구조<br>- 전축단륜(총 2개), 후축 복륜(총 4개), 후륜구동<br>• 타이어의 한계 하중지수<br>- 자동차안전기준에관한규칙(2장 1절 7조 1항)에 따라 조향축은 총 하중의 20% 이상<br>- 적정공기압=$\frac{최대\psi \times 적차상태의축하중(kgf)}{(하중지수 \times 타이어수)}$ +허용추가psi<br>• 축 중량 산식<br>- 적차상태의 전축 하중(Wf)<br>Wf=wf+$\frac{승차인원 \times 65(단12세미만의경우에는3인시2인의무게로적용)}{축간거리(m)}$<br>wf: 공차상태의 전축하중<br>- 적차상태의 후축 하중(Wr)<br>Wr=W-Wf<br>W: 차량 총 중량 |

(5) Intake / Exhaust / fuel / cooling

| | |
|---|---|
| Intake 시스템 | • Air-Cleaner<br>- 에어클리너는 소모성 부품으로, 차량을 일정거리 주행 후에는 반드시 교환이 필요하므로 사람이 손쉽게 정비할 수 있는 곳에 장착되어 있어야 함.<br>• Resonator<br>- 엔진을 구동시키어 흡입되는 소음을 세세한 구간에 마이크로폰을 설치하여 귀에 거슬리는 소음이 측정된다면, 그곳에 레조네이터를 설치함.<br>• Turbo Charger<br>- 내연기관의 실린더에서 연소하고 난 이후의 고온고압의 배기가스가 배기다기관 밖으로 이동할 때 생기는 유동에너지를 이용하는 것으로 배기다기관의 끝 부분에 압축장치를 설치.<br>• Snorkel<br>- Snorkel 입구부는 엔진이 요구하는 최대한 차가운 외부공기가 유입될 수 있도록 위치를 선정하며 또한 눈이나 비 등의 영향을 적게 받는 위치로 설정함.<br>• Hose-Air Intake<br>- Air cleaner와 Throttle Body 간의 흡입공기 연결통로이며, 엔진 진동시 Air Cleaner로의 진동전달을 방지.<br>- 단품내구성 및 소음, 중량, 원가를 고려하여 재질을 선정함. |
| Exhaust 시스템 | • Muffler<br>- 내식성이 양호한 재질을 사용하며, 차량엔진에 따라 크기를 선정함. |

<table>
<tr><td></td><td>• 소음·배기가스 규제를 만족하며, 엔진Room과 Under Body에서 정비성을 위한 다른 부품들과의 거리가 확보되어 있어야 함.</td></tr>
<tr><td>Fuel 시스템</td><td>• CNG 연료 탱크<br>- 고압에 견딜 수 있는 견고한 재질이어야 하며, 중량이 가벼워야 함.<br>- CNG 연료용기 규격<br><table><tr><td>Type-1(금속제)</td><td>무거움, 내부부식</td></tr><tr><td>Type-2(금속재+후브랩보강)</td><td>무거움, 배부부식 방지필요</td></tr><tr><td>Type-3(금속재+풀랩보강)</td><td>가벼움, 갈바닉부식 방지필요</td></tr><tr><td>Type-4(비금속+풀랩보강)</td><td>가장 가벼움, 안전성탁월</td></tr></table>※ KS B 6210 및 ISO 11439, 11120<br>- CNG 탱크 용량: 국내 시내버스 1일 평균 주행거리(270km/리터)고려, 대형 저상버스 표준모델 4.3km/$m^3$ 고려</td></tr>
<tr><td>Cooling 시스템</td><td>• Radiator<br>- 작고 가벼우며 강도가 크고, 단위면적당 발열량이 많고, 공기와 냉각수 흐름에 대한 저항이 작아야 함.<br>• 냉각수<br>- 냉각장치를 구성하는 각종재질을 보호해 주기 위해 금속부식 방지제, 산화 방지제, 소포제 등의 특수한 첨가제를 사용하여야 함.<br>- 부동액의 농도가 60%이상이 되면 동결방지 및 냉각효과가 감소되며 30% 이하일 경우 부식 방지 능력이 약하므로 30%~60% 사이의 농도로 사용하여야 함.</td></tr>
</table>

## 3. 연구개발 결과의 활용 계획

중형저상버스개발에 대한 국토해양부 장관방침 결정(2008.11)에서 알 수 있듯이 도로 및 재정여건이 열악하고, 고령인구 비율이 높은 농·어촌지역에 대한 저상버스 보급 확대 및 도시의 마을버스 대체 등에 활용하기 위하여 중형 저상버스 개발을 추진하기로 하였으며, 이에 따라 중형저상버스 개발이 완료되면 이용자 및 운영자 의견을 수렴하여 개발목적에 맞도록 활용 될 것이다. 당해 연도 연구 완료 후 추가적인 중형저상버스에 대한 상세설계 및 BOM 구성에 대한 연구가 수행되고, 시험평가 및 표준사양(안)이 작성되는 과정을 거쳐야만 중형저상버스 시제차량의 개발품이 완성되므로, 이를 위한 전 단계 연구로 활용된다.

당해 연도 연구과제에서는 우리나라의 농어촌 운행에 적합한 중형저상버스의 기본설계 및 제작사양(안)을 제시한다. 그러나 당해 연도의 연구결과가 정책에 반영되고 재정지원을 통해 농어촌에 보급되기 위해서는 운영자 및 이용자들의 의견이 충분히 반영되어야 하며, 이러한 목적을 위해서 품평용 차량을 개발하여 시연할 필요가 있다. 이와 같은 시제차량의 개발을 위하여 추가적인 중형버스 상세설계 및 BOM 구성을 위한 연구개발이 선행되어야 하고, 이러한 과정을 통하여 제작된 시제차량은 중형저상버스의 표준사양(안)을 위한 준비과정 및 양산을 위한 전 단계 역할을 하게 된다.

# 제3장 최종 연구성과 및 적용실적

## 제1절 핵심요소기술별 연구성과

### 1. 핵심요소기술

바이모달 트램 시스템 기술로 저비용·고효율·고품질의 대중교통서비스 제공을 위한 첨단 바이모달 트램 차량과 자동운전과 정밀정차를 통해 수평승하차를 구현할 수 있는 전용선로, 승하차시설 등의 운영인프라로 구성된다.

#### 가. 바이모달 트램 차량

바이모달 트램 차량에 대한 핵심요소기술은 자기유도 방식의 자동운전 및 정밀정차제어/안내궤도, 전차륜 조향(AWS, All Wheel Steering), 초저상 독립 현가구동시스템, CNG 하이브리드 추진, 경량화 복합소재 저상차체 등으로 분류할 수 있다.

1) 자기유도방식의 자동운전 및 정밀정차제어/안내궤도

바이모달 트램 차량은 자기유도방식의 자동운전을 기본으로 하지만 수동운전으로도 운행이 가능하도록 함으로써 경제성과 접근성을 극대화할 수 있다. 또한 정거장에서의 정밀정차(횡방향 5㎝이내, 종방향 10㎝이내)가 가능하여 승하차시의 안전성과 편의성을 극대화할 수 있도록 하였다.

전용선로에서 바이모달 트램 차량의 자동운전을 위해 설치하는 마그네틱 바는 슬래브의 포장형식 중 콘크리트 포장에 설치하는 것을 표준으로 하고 선로 상황에 따라 아스팔트 포장, 기타 포장 및 식재부 등에도 설치가 가능하다. 바이모달 트램 차량내 장착된 자동운전시스템이 전용선로에 매설된 마그네틱 바를 인식하면서 자기유도방식의 자동주행안내궤도를 형성하여 바이모달 트램 시스템의 자동운전과 정밀정차를 구현한다. 이를 통해 도시철도시스템의 정시성을 바이모달 트램 시스템에 구현하여 이용자에게 고품질의 대중교통서비스를 제공하고 편리성을 극대화하는 효과가 있다.

2) 전차륜 조향(AWS, All Wheel Steering)

국내 일반도로를 주행하는 경우, 차량성능 기준상 최소회전반경 12.0m를 만족해야 하지만, 전체길이가 18m에 달하는 바이모달 트램 차량의 경우 전길이 저상화를 위하여 축거가 일반버스에 비해 긴 편으로 최소회전반경이 클 수밖에 없기 때문에 이를 전차륜 조향(AWS)기술의 적용을 통해 해결하였다. 또한 전차륜 조향기술을 적용하는 경우 정거장에 정밀정차시 접근길이를 대폭 줄일 수 있다는 장점도 있다.

3) 초저상 독립 현가 구동시스템

바이모달 트램 차량은 일반 버스와 달리 좌, 우측 바퀴를 연결하여 구동력을 전달하는 축이 없고, 각각의 바퀴에 구동모터와 감속기어를 부착하여 개별적으로 구동하는 시스템으로 구성되었다. 이를 통해 기존 좌, 우 바퀴를 연결하는 축 공간만큼 플로어 높이가 더 낮아지고 넓은 실내 통로 폭이 확보되는 효과가 있다.

4) CNG 하이브리드 추진시스템

바이모달 트램 차량은 CNG엔진과 발전기로 전기에너지를 생산하여 리튬폴리머 배터리에 저장하고, 이를 추진인버터와 전기모터로 구동하는 직렬형 하이브리드 추진방식을 채택하였다. 견인전동기를 사용한 전기추진시스템으로 높은 가감속 능력을 갖추었다. 또한, EURO-V의 CNG엔진을 장착해 배출가스가 크게 저감되었으며, 배터리 충전을 위한 일정속도 운전으로 기존 CNG 버스에 비해 높은 효율을 갖는다. 향후 전기, 플러그인, 온라인, 연료전지 바이모달 트램으로의 기술전환이 쉬운 장점이 있다.

5) 경량화 복합소재 저상차체

차량 제작에 있어서 차체 부재의 선정은 비용 대비 효과를 강조하기 위하여 강판 또는 부식 저항성이 좋은 스테인리스와 같은 중량이 무거운 소재를 선택함으로써 차량의 중량이 증가하게 되었고 이는 더 큰 엔진을 사용으로 이어져 결과적으로 차량 중량이 더욱 증가하는 이유가 되었다. 이러한 문제점들을 해결하고자 높은 강성 및 강도특성을 가지는 복합재료가 연구개발되어 기존의 금속재가 갖는 기계적 물성의 능가뿐만 아니라 경량화를 통해 에너지 절감과 환경 친화성이 요구되는 차량 시스템에 널리 사용되고 있다. 차량의 1차 부재인 차체 구조물은 차량 전체 구조물의 약 30%를 차지하기 때문에 경량화 측면에서 매우 중요한 부분이며, 복합재료를 적용한 차체 구조물은 기존 금속재 차체에 비해 20~30%의 중량 절감을 얻을 수 있다. 현재 우리나라의 교통약자는 노약자, 어린이, 임산부, 장애인 등 전 국민의 1/4인 1,250만명에 달하고 있으며, 급격한 고령화 사회로 진입함에 따라 향후 더욱 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 정부는 교통약자의 대중교통을 이용한 이동편의를 제공하고자 '교통약자이동편의증진법(2005)'을 제정하고, 이의 정책적 수단으로 저상버스나 바이모달 트램과 같은 Non-step방식의 대중교통수단을 적극 보급하고 있다.

## 나. 바이모달 트램 운영인프라

바이모달 트램의 운영인프라는 바이모달 트램 차량의 전용통행권 확보와 자동운전 및 정밀정차를 통해 주행안전성, 정시성, 승객 이용편의성 등 바이모달 트램의 가치를 극대화하는 기반시설요소로 전용선로, 승하차시설(정거장), 통합운영시스템, 차고지(검수고 등 포함) 등이 있다. 이 중 핵심 구성요소인 전용선로, 승하차시설(정거장), 통합운영시스템의 주요내용은 다음과 같다.

1) 전용선로(시험선)

바이모달 트램 시스템의 전용선로는 바이모달 트램 차량의 통행권과 주행성을 유지하면서 주요 서비스 요소인 승하차시설(정거장), 운영시스템, 차고지 등을 유기적으로 연결하고 바이모달 트램의 자동운전과 대중교통서비스 제공이 구현되는 주행공간이다. 전용선로는 바이모달 트램과 같이 바퀴를 통해 정해진 선로(도로)를 따라 주행하는 전용차량을 대상으로 하는 기술로서, 표층부가 평편하고 연속적인 판(板)형태의 일반적인 도로포장면과 달리 차량의 좌, 우측 바퀴가 접하지 않는 차로의 중앙부를 일정한 폭과 깊이로 함몰된 단차면을 형성하여 잔디 식재부를 구성하는 불연속적인 판(板)형태의 슬래브형식(변단면 또는 분리단면 구조)을 갖는 선로 구축기술을 말한다. 즉 도로포장의 표층부에는 차량의 좌, 우측 바퀴가 접하게 되는 노면영역인 주행부와 차량 하부의 좌우 주행부 사이에 위치되며 잔디가 식재되는 부분인 잔디 식재부가 형성된 것을 특징으로 한다. 전용선로는 차량의 주행 안전성, 재료적 적합성 및 구조적 안전성 등을 확보하면서 기존 회색조의 포장 표면을 줄이고 바퀴 접하는 면을 도로의 노면으로 남기고 나머지 부분에 잔디(인조잔디, 모형잔디 등)를 식재하여 환경을 개선한다. 이를 통해 재료 절감 및 경제성 제고, 온도 및 소음저감, 도시미관 개선 등 도시교통환경 개선효과가 기대된다.

2) 승하차시설(정거장)

바이모달 트램 시스템으로의 접근, 대기, 승하차가 이루어지는 공간으로, 바이모달 트램 차량이 자동운전과 정밀정차를 통해 승객의 접근성과 이용편의성을 제공한다. 승하차시설은 바이모달 트램 시스템의 탑승서비스가 제공되는 곳에 설치되며 바이모달 트램 시스템의 특성에 따라 부가적인 시설물과 정체성을 나타낼 수 있는 고유의 디자인을 적용할 수 있다. 바이모달 트램 노선계획상의 설치공간과 배치형식 등에 따라, 섬식 또는 상대식의 형태로 배치될 수 있으며, 쉘터, 데크, 스크린도어 등의 구성요소에 따라 밀폐형, 개방형 등의 형태로 설치가 가능하다. 특히, 노약자, 휠체어나 유모차를 이용하는 교통약자에게 차량과 승하차공간간의 근접정밀정차를 통해 수평승하차를 구현함으로서 이용안전성과 편의성을 제공하게 된다.

3) 통합운영시스템

바이모달트램의 운행 정보 및 인프라 운영상태를 실시간 수집 가공하여 노선별 배차정보, 운행상태, 차량상태, 돌발상황 등을 실시간으로 통합연계관리하여 안전성, 편의성, 정시성 및 경제성을 갖춘 시스템이다.

## 2. 핵심요소기술별 연구성과

바이모달 수송시스템의 핵심요소기술에 대한 연구결과 및 연구성과는 다음과 같다.

| 구분 | 연구개발 목표 | 연구결과 | 연구성과 |
|---|---|---|---|
| 자기유도 방식의 자기운전 및 정밀정차 제어/안내궤도 | [차량자동운전]<br>• 주행제어기준:APTSPhileas 차량<br>- 안내제어: ±2㎝<br>(횡방향정차점 기준)<br>- 정차제어: ±10㎝<br>(종방향정차점 기준)<br>• 개발제어컴퓨터환경시험(KS 및KS적용불가시KRS,IEC,JIS, EN규격적용) | [차량주행시경로추종시험수행]<br>• ±2㎝이내(시험선시험확인)<br>• ±10㎝이내(시험선시험확인) | 특허(등록) : 25건<br>S/W: 36건<br>논문: 7건<br>시제품: 각 3건 |
| 전차륜 조향 | [조향장치]<br>• 국내기준(자동차안전기준)<br>- 조향시 조향장치에 이상진동 등이 없어야 함<br>- 회전반경(바깥쪽 앞바퀴 자국의 중심선 기준)을 측정하였을 때 12m 이내<br>- 차선변경 및 곡선 선회시에 횡방향 안정성에 문제가 없어야 함.<br>• 국외기준(97/27/EC)<br>- 스윙아웃을 측정하였을때 0.6m 이내<br>• 국외 철도기준(UIC518)<br>- 횡가속도 3m/s²이내 | [조향장치]<br>• 조향시조향장치에이상진동이없으며차선변경및선회시에횡방향안정성시험확인<br>• 최소회전반경을측정하였을때기준인12m이내로만족하는것을시험확인<br>• 스윙아웃을측정하였을때 0.6m이내,곡선선회시횡가속도역시3m/s²이내로만족하는것을시험확인 | 특허(등록) : 7건<br>S/W: 3건<br>논문: 7건 (SCI(E) 3건 포함)<br>시제품: 각 3건 |
| 초저상 독립 현가 구동시스템 | [에어스프링 및 높낮이 조절장치]<br>• 차량의 운행조건에 따른 차량 높이 조절 가능 여부<br><br>[현가장치구성품 및 드라이브샤프트]<br>• 현가장치구성품: 실제차량 하중조건에서강도 만족 여부<br>• 드라이브샤프트: 최대토크값 | [에어스프링 및 높낮이 조절장치]<br>• 높이조절 4단계(자동운전상태340㎜,장상상태410㎜, 최대높이주행상태460㎜,닐링상태270㎜) 모두 조절가능 시험확인<br>[현가장치구성품 및 드라이브샤프트]<br>• 현가장치구성품에 대한 정하중시험결과 실제차량하중 조건에서 강도 만족시험 확인 | 특허(등록) : 2건<br>S/W: 1건<br>논문: 1건<br>시제품: 각 3건 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 10,000N·m에서 파손여부 및 최대토크에서1 0만회피로시험<br><br>[감속기어장치]<br>• 감속기 성능만족 및 경량화 여부 | • 드라이브샤프트정적비틀림 및피로시험기준을통과하였으며,최대토크에서피로수명이13만3천회로APTS사제품(12만8천회)보다우수<br>[감속기어장치]<br>• typetest(온도상승, 과속, 누유, 내구시험 등)를 통한 성능시험 확인<br>• 감속기케이스알루미늄소재 적용 24% 경량화(케이스의 경우 51%중량 감소)측정 확인 | |
| CNG 하이브리드 추진시스템 | [직렬형하이브리드추진장치]<br>• 가감속성능:±1.2㎧<br>• 구배기동성능:13%(공차)<br>• 최고속도주행성능:80㎞/h<br>• 하이브리드모드주행(연비:1.8km/㎥,SOCregulation)<br>• 배터리단독모드주행(엔진정지,3km이상주행)<br>• 감속기일체형견인전동기(45kW,수냉식)개발<br><br>[대용량리튬폴리머배터리팩]<br>• 단위셀 용량 : 80Ah<br>• 배터리팩 :<br>168개 셀, 160Vdc(12개 모듈), 550kg[BMS]<br>• 대용량 리튬폴리머 배터리팩용 범용 BMS | [직렬형하이브리드추진장치]<br>• 가감속성능:±1.2㎧<br>• 구배기동능력:15.7%구배기동확인(공차시)<br>• 하이브리드모드주행정상(SOCregulation)<br>• 하이브리드모드연비측정:1.86~2.24,<br>• 배터리(50kWh)단독모드주행(200m정차조건에서 3.95kWh/km주행확인)<br>• 감속기일체형견인전동기(IEC60349-2)성능시험<br>[대용량리튬폴리머배터리팩]<br>• 배터리팩 적재 후 장거리 차량 주행완료: 시험운행을 통한 80,490km 주행 | 특허(등록) : 10건<br>S/W: 5건<br>논문: 11건 (SCI(E) 1건 포함)<br>시제품: 각 3건 |
| 경량화 복합소재 저상차체 | [차체구조강도]<br>• 기준: 도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준 준용<br>- 복합소재하중시험(KS R 9228) 준용 | [차체구조강도]<br>• 차체강도시험결과, 항복응력미만으로 성능시험 기준을 만족 시험확인<br>• 네덜란드제품(우레탄폼구조)에 비해 알루미늄하니콤 구조의 차체로서 경량화 및 | 특허(등록) : 8건<br>논문: 9건<br>시제품: 각 3건 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | [차량주요치수측정]<br>• 기준: 자동차안전기준에관한 규칙[별표31]길이·너비 등에 대한 특례기준(제114조제1항 관련) 및 일반도로 주행을 위한 법규 만족도 확인 | 강도측면에서 우수함 시험 확인.<br>[차량주요치수측정]<br>• 길이는18.2m,너비는2.48m, 높이는3.48m로자동차안전기준에관한규칙[별표31]길이·너비 등에 대한 특례기준(제114조제1항관련) 및 일반도로주행을 위한 법규 만족시험 확인 | |
| 시험선 (전용선로 포장기술, 내구성) | [전용선로포장개발]<br>• 선로형친환경포장공법(선로부분을 제외한 여유공간 활용방법)<br>• 프리캐스트콘크리트포장공법<br>• 자연채광을 이용한 지하차도 및 전용선로 프리캐스트 시공방법<br>• 선로형OPEN슬래브<br>[포장한계인장변형률]<br>• 기준: 콘크리트휨강도시험방 | [전용선로포장]<br>• 친환경성선로형식포장시공(선로부분을 제외한 여유공간 잔디식재 또는 조경시설 설치)<br>- 소음흡수, 열섬저감효과, 운전자피로경감, 비산먼지 저감, 도시미관개선 시험확인<br>• 팽창백을 이용한 프리캐스트 시공방법 개발 및 시공<br>- 급속시공 및 빠른 교통개방 시공확인<br>• 자연채광을 이용한 지하차도 및 전용선로 프리캐스트 시공방법 개발<br>- 지하차도 자연채광 및 잔디식재로 친환경 도시미관 증대<br>• 선로형 OPEN 슬래브개발 및 시공<br>- 슬래브자중감소,교량하부 자연채광,상.하부구조물 축소, 공사비 절감(PC BOX 2,096천원/㎡, OPEN 슬래브1,224천원/㎡, 감872천원/㎡), 도시미관 증대 시공확인<br>[포장한계인장변형률]<br>• 한계인장변형률의 15%에 | 특허(등록) : 6건<br>논문: 3건<br>시제품: 1건 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 법(KSF2408)<br>- 콘크리트 탄성계수 40×106(psi) 이하<br>• 기준: AASHTO도로시험기준<br>- 포장한계인장변형률(산정치) : 161.0×106이하<br>[최대횡방향인장응력]<br>• 기준:콘크리트휨강도시험방법(KSF2408)<br>- 설계기준 휨강도(f28) 45.0㎏/㎠ 이<br>[공용수명]<br>• 설계교통하중 통과횟수: 6.62<br>[자기장을 이용한 자동운행 궤도설치 방법]<br>• 전자기 장치 인식에 의한 차량의 자동운행 방법<br>• 자기유도장치 마그네틱의 선형설계 방법<br>• 마그네틱의 Gauss 인식 값<br>• 아스팔트 및 콘크리트 포장에서의 시공 방법 | 불과하여 균열 발생 가능성 낮음 시험확인<br>[최대횡방향인장응력]<br>• 기준값의 17.7~23.2%로 조기파손 가능성은 없는 것으로 시험 확인<br>[공용수명]<br>• 모든 단면의 공용수명이 포장의 설계수명인 설계교통량을 초과하는 것으로 분석됨(20년 동안 파손 가능성은 매우 낮음)<br>[자기장을 이용한 자동운행 궤도설치 방법 시험확인]<br>• 전자기 장치 인식에 의한 차량의 자동운행 시험확인(밀양시험선, 여수엑스포 및 세종시 시범운행)<br>• 자기유도장치 마그네틱의 선형설계 및 시공확인(밀양시험선, 여수엑스포 및 세종시 시범운행구간)<br>• 마그네틱의 Gauss 인식 값(1.5~2.0 Gauss 이상) 측정확인<br>• 아스팔트 및 콘크리트 포장에서의 시공확인(밀양시험선, 여수엑스포 및 세종시 시범운행 구간시공) | |
| 승하차시설<br>(정거장) | [모듈식조립형정거장]<br>• 설계 및 제작<br>[차량연계형 승객안전출입문]<br>• 설계 및 제작<br>[실시간 중앙감시 지능형 관리 시스템] | • 미래형 스마트 정거장을제작하여 시험선에 설치 및 운영 | 특허(등록) : 4건<br>시제품: 각 1건 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | • 설계 및 제작 | | |
| 통합운영 시스템 | [차량운영관리시스템]<br>• 설계 및 제작<br>[실시간 운영노선 영상감시시스템]<br>• 설계 및 제작<br>[통합관제시스템]<br>• 설계 및 제작 | • 통합운영센터를 제작하여 시험선에 설치및 운용 | 특허(등록)<br>: 4건<br>S/W: 2건<br>논문: 2건<br>시제품:<br>각 1건 |

## 제2절 연구성과 적용실적

연구성과에 대한 적용실적으로 저상버스 표준모델과 관련하여 설계기준 1건, 사업화 실적 2건이 있으며, 바이모달 트램과 관련한 실적으로는 설계기준 및 법규 반영 실적 3건 및 사업화 실적 1건이 있다.

| 구분 | 명칭 | 반영내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 설계지침 | BRT 설계지침에 바이모달 트램 반영 | BRT 설계지침에 바이모달 트램 반영 | 반영일 : 2010. 6. |
| 훈령 | 신교통수단 선정 가이드라인에 바이모달 트램 반영 | 신교통수단 선정 가이드라인에 바이모달 트램 반영 | 반영일 : 2012. 07.01 |
| 설계지침 | 바이모달 트램 시스템 설계 잠정 지침 | 바이모달 트램 시스템 설계 잠정 지침 | 반영일 : 2012. 12. 28. |
| 설계기준 | 저상버스 표준모델에 관한 기준 | 저상버스 표준모델에 관한 기준 | 반영일 : 2008. 11. 7. |
| 사업화 | 바이모달 저상굴절차량 차체 및 내장기술 | 바이모달 트램 복합소재 차체 수출 | 매출액 : 4,980,040(천원) |
| 사업화 | 저상버스 표준모델 추진시스템 | 저상버스 표준모델 추진시스템 상용화 | 매출액 : 7,572,888(천원) |
| 사업화 | 저상버스 표준모델 차체 및 내장 기술 | 저상버스 표준모델 차체 및 내장 기술 상용화 | 매출액 : 28,059,133(천원) |

# 제4장 연구목표 달성 및 효과

## 제1절 연구개발 목표 및 달성도

본 사업을 통하여 개발되는 “신에너지 바이모달 저상굴절 차량”은 전용궤도와 기존 도로에서의 우선신호체계 운행으로 지하철 수준의 표정속도를 달성할 수 있는 버스와 경전철의 중간 규모 수송능력을 갖춘 바이모달 트램이다. 차량 전체길이가 2량 1편성인 초저상인 도시형 궤도차량으로 ITS 및 GPS 정보를 받아 자기방식의 안내궤도를 따라 운행하므로 전용궤도에서의 자동운전과 정밀정차가 가능한 시스템이다. 또한 낮은 배출가스와 높은 연비특성을 갖는 CNG 하이브리드 추진계로 구동되며, 도시의 대중교통 구축에 장애가 되는 전차선, 배출가스 및 돌출된 철제 레일이 없는 바이모달형 신교통시스템이다.

본 사업에서 바이모달 저상굴절차량 개발에서 저상버스 보급을 활성화시키기 위하여 초저상버스 표준모델을 1단계로 개발하였고, CNG 하이브리드 바이모달 트램은 2단계로 개발하였다. 본 사업의 목표는 다음과 같다.

○ 신에너지 바이모달 저상굴절차량 개발

- 초저상버스 표준모델 개발(1단계)

· 노약자 및 보행 장애자의 승하차가 용이한 초저상 차량시스템

· 국산화(차체, 초저상축, CNG Type4 탱크) 및 승객의 편리성 향상

- CNG 하이브리드바이모달 차량 개발(2단계)

· 전용궤도와 일반도로의 혼합형 선로에 효과적인 Bimodal형 차량

· 2,500~7,000명/방향/시간의 수송력을 갖는 도시형 대중교통수단

· 추돌에 대한 안전 및 사계절 정밀정차를 위한 자동운전이 가능한 차량

· 노약자 및 보행 장애자의 승하차가 용이한 초저상 차량시스템

○ 신에너지 바이모달 저상굴절차량 운영시스템 기반기술 개발

- 바이모달 트램 차량에 적합한 운영시스템 및 인프라 구성요소의 시작품을 개발하고, 시험선 및 테스트베드 구축을 통한 차량 및 구성품의 성능검증

본 사업의 연구개발의 목표와 달성된 연구내용은 다음과 같다.

| 연구 개발 목표 | 연구내용 |
|---|---|
| 초저상버스 표준모델 개발 | ○ 초저상버스 개념 설계 및 디자인<br>- 실내 디자인에 많은 곡선을 적용하여 유선형 차체와 같은 디자인 컨셉을 적용<br>- 차체형상을 반영한 좌석 적용으로 실내외 디자인의 동일성을 추구<br><br>○ 초저상버스 상세 설계 및 제작<br>- 복합소재 차체의 기본 단면 구조는 기본적인 하중 요구조건을 만족하면서 경량화 할 수 있는 샌드위치 형태로서 유리섬유 복합소재 스킨과 알루미늄 하니콤(Honeycomb)코어이며, 실내외 설비품의 취부 및 강도 보강 역할을 하는 프레임이 삽입하여 제작함.<br>- 디자인, 설계 및 해석, 제작 및 시험평가를 거쳐서 차체 개발<br>- 모듈화를 구성하여 조향장치, 제동장치, 프론트/리어 서스펜션 및 각종 유/공압 파이프를 하부프레임에 조립<br>- 복합소재를 적용한 차체 및 내/외장재, 국내에서 적용된 사례가 없는 Type 4형 CNG Tank 모듈 적용 등 주요 기능 부품들의 경량화로 기존 초저상버스 중량 대비 약 13% 가벼운 완성차 제작 완료 함.<br><br>○ 시험평가<br>- 법정항목은 「자동차 안전기준에 관한 규칙」에 근거하여 차량을 평가<br>- '자동차 안전기준 시행세칙 제38조 차실 내장재 연소성' 기준에 준한다. 시험대상은 도어판넬, 차실 내장판, Seat, Seat 커버지, 바닥재(타라매트-시험성적서 대체)등이며 시험결과 전 시험품목이 기준치 이하로 합격<br>- 자동차 안전기준 제 97조 및 103조에 따라 좌석 및 그 잠금장치 강도, 좌석 안전띠 등 강도의 안전성 평가를 자동차 성능 연구소를 통해 수행하였으며 시험결과 적합판정<br>- 복합재 차체 부분의 구조 강도 및 강성 평가를 위해 여러 가지 하중조건에 따른 시험과 동특성 평가를 위한 고유진동수 측정 시험<br>- 고압가스 안전검사 수행하여 안전성 입증<br><br>○ 운영자/이용자 의견 수렴 및 고시 지원<br>- '저상버스 표준모델'의 성과확산 및 지자체 보급 지원을 위한 정부정책 홍보(3광역시, 2도, 3시)<br>- 저상버스 표준모델 기준(안) 마련 및 고시 지원 |

| | |
|---|---|
| 바이모달 트램 및 인프라 설계/제작 | ○ 바이모달 트램 차량 시스템 설계 및 개발<br>- 교통약자 이동편의 증진법, 자동차 안전기준, 도시철도 차량 및 철도 안전기준 등 관련된 각종 규정을 바탕으로 차량의 레이아웃 검토, 출입문 배치, 승객정원 검토, 자동출입발판 적용 등에 대한 검토를 통해 차체 외형 설계를 수행하였으며 차체 제작을 위한 목형 및 몰드 제작<br>- 1량마다의 그룹화 되는 Roof처리로 조금 더 아늑한 느낌이 나도록 디자인 하였으며 Air Vent는 내장형으로 외부에서 잘 보이지 않도록 하여 좀 더 깔끔하고 간결한 디자인이 가능하도록 하였고 Mood Light 또한 반사광으로 적용<br>- 바이모달트램의 옥상기기배치 설계는 각각의 기기장치의 배관 및 배선이 다른 기기장치로 연결 될 수 있도록 설계<br>- 복합소재차체의 정하중시험은 KS R 9228 및 JIS E 7105 기준을 적용하여 수행하였으며, 최종적으로는 정하중시험 결과와 구조해석 결과를 비교하여 해석의 타당성을 확인한 후, 차체에 대한 구조안전성을 평가<br><br>○ 직렬형 하이브리드 추진시스템 설계 및 성능시험<br>- 엔진/발전기 부분의 Layout 설계는 엔진/발전기 및 Exhaust Module의 단품 설계를 완료 하였고, 엔진 룸의 Air intake Module 및 각종 배관/배선 라인 설계<br>- 추진 인버터를 제어하고 바이모달 트램의 전기장치와 인터페이스 하기위한 Controller 인 MDC를 설계 및 제작<br>- 추진 인버터의 Sequence 제어 및 MVB 통신을 하기위한 PLC를 설계 및 제작<br>- 바이모달 트램은 추진력을 얻기 위해 전용의 구동모터 4개를 사용하는데 바이모달 트램을 추진하기 위한 추진 인버터를 설계 및 제작<br>- 추진 인버터, DC-DC Converter, SIV는 에너지 변환 장치로서 작동중 많은 열을 발생함으로 냉각을 위한 해석을 진행 및 추진장치의 구성품들의 배치와 구조를 설계<br>- 추진 시스템의 중요 구성요소인 Traction 밧데리의 Cell을 설계하고 제작<br>- 바이모달 트램 Traction Battery는 176개의 Cell로 구성되는데 8개의 Cell이 하나의 모듈로 Package되므로 밧데리 Cell을 장착하기위한 모듈 케이스를 설계<br>- 밧데리 모듈 22개를 하나의 Case에 장착하기 위해 밧데리 Pack을 설계하여 엔진룸에 장착하기위한 밧데리 Pack을 설계 |

| | |
|---|---|
| | ○ 바이모달 트램 구동시스템 개발<br>- 구동시스템의 상세 설계는 국내 법규에 적합하도록 차폭을 수정하여 설계에 반영<br>- 구조해석을 통한 강도 보강 후 설계에 반영하고 하중시험을 통한 입증<br>- 구동축의 강도를 보강하여 설계 후 피로시험을 통한 검증<br><br>○ VCU 설계 및 제작<br>- VCU의 제어의 중심을 담당하는 Central Computer와 DMUX(Display unit) Display제어부는 고성능 32bit Micro-processor를 이용하여 구현하고 MUX 및 DMUX 입출력 인터페이스 부분은 8bit MCU를 이용하여 설계하여 제품의 실시간 처리능력을 향상<br><br>○ AWS ECU 개발<br>- AWS ECU테스트를 위한 시험장비 개발<br>- 고장 발생 시에 고장으로 인한 피해를 최소화하는 것을 목적으로 하는 Fail/Safe 기능, 외부 프로그램을 통한 모니터링 기능, 외부 프로그램을 통한 ECU의 행동을 변화시키는 기능을 추가한 AWS ECU 개발<br><br>○ 감속구동장치 설계 및 제작<br>- 감속구동장치의 성능 및 내구시험을 통해 개발품의 신뢰성을 입증하고 시험을 통해 확보된 data를 기초로 제품의 성능을 개선하기 위한 시험 장비를 개발<br>- 바이모달 트램의 견인 전동기의 동력성능 한계와 저상굴절 차량의 부하조건을 만족시킬 수 있는 감속구동장치의 성능/내구시험 모드를 생성<br>- 감속구동장치 내구시험 등을 토대로 개선 설계 반영하고 경량화를 위하여 알루미늄으로 감속기 케이스 제작<br><br>○ 견인전동기 설계 및 제작<br>- 각륜 방식의 휠타입 견인전동기 설계 및 제작<br>- 모터와 인버터간 인터베이스 성능 시험<br><br>○ 자동운전 제어장치 설계 제작 및 알고리즘 개발<br>- 자동운전 및 정밀 정차 제어시스템 즉, NCS SYSTEM의 주요장치로는 Scheduler, Guidance, Driver, MMS장치로 구성되며, 각 |

| | |
|---|---|
| | 장치를 구성하는 CPU보드, CAN I/F보드, J1939보드, FRONT I/F보드, DCDC Power보드 등으로 구성되며, 이 단위 보드의 설계 및 PCB 제작 및 PWA제작<br>- 차량의 3x3 6차 선형동역학 모델을 기반으로 자동안내제어 알고리즘을 개발하고, 안내제어기를 통해 횡방향 경로를 추종하도록 정밀정차 알고리즘 개발<br>- 추진/제동제어는 두 정류장 사이에 도로의 곡률에 따라 기준속도(reference velocity profile)가 주어지게 되는데 차량이 이 기준속도를 추종하도록 가속을 위한 구동토오크와 감속을 위한 제동(brake)토오크를 제어하는 알고리즘 개발<br><br>○ 바이모달트램 시험선 설계 및 구축<br>- 전용선로 선호형 포장 개발 및 구조해석을 통한 검증<br>- 전용 입체고가구조물 구조 해석 및 하부고조 공시체 시험을 통한 검증<br>- 전용시험선로에 대한 계획 수립 후 밀양에 시험선 설계<br>- 전용시험선로를 밀양시험선에 시공<br><br>○ 모듈화된 정거장 설계 및 제작<br>- 구조체 및 기반시설시스템 설계 및 제작<br>- 밀폐형 스마트 정거장 제작하여 시험선로에 적용<br><br>○ 통합운영관리시스템 개발<br>- 통합운영센터는 운영서버 부분과 운영단말로 나누어 설계<br>- 통합운영관리시스템은 통합운영센터, 차량 장치, 선로 시험 장비 및 시험선 전기통신 선로 공사로 구성되며 다음과 같이 시험선에 적용됨 |
| 바이모달 트램 시스템 통합 및 시험평가 | ○ 바이모달 시스템 통합 및 Commissioning<br>- 최초 외형 디자인으로부터 기본적인 레이아웃(타이어 크기, 답단 높이, 출입문 크기, 축간 거리, 전폭 등.), CNG Tank Module배치, 램프 모듈 등 차체 조립<br>- 바이모달 트램 차량에 대한 의장설비조립은 크게 골조, 유리, 내장재, Air Conditioner, Door, 의자 조립<br>- 조향 부분에서는 차체 정렬과 바퀴정렬, 조향각 설정 등의 세팅 과정과 AWS와 조향각 등의 기능시험이 수행<br>- 현가, 제동 부분에서는 공기압 설정, 차량 높이 설정 등의 세팅 과정과 브레이크 압력체크, 브레이크 작동시험, 차량 높이 확인 등의 기능시험을 수행 |

| | |
|---|---|
| | - 차량의 추진 시스템의 전반적인 조합 시험을 시행하였으며, 추진 장치간의 통신 시험 및 추진 시스템의 SEQUENCE LOGIC을 구성하여 차량 운행 시 추진 장치 상호간의 동작 상태를 점검<br>- 차량조립에 대한 신뢰성과 완성도를 입증하기 위해 바이모달트램 차량 제작 후, VCU (Vehicle Control Unit) 장치에 대한 통신 및 제어성능 점검<br><br>○ 바이모달 트램 성능평가용 계측시스템 구축<br>- 계측 시스템은 전체를 제어하고 모니터링 하는 메인 제어 시스템과 전압강하 및 Noise를 극복하기 위하여 측정 위치에 근접하여 설치한 9개의 센서 계측 시스템, 통신 Data를 계측하는 1개의 통신 계측 시스템으로 구성<br><br>○ 바이모달 트램 시운전 및 시험평가<br>- 바이모달 트램에 대하여 추진분야, 자동운전분야, 구동분야, 차체분야 등 크게 4개 분야에 대한 시험 수행<br>- 자동운전으로 종방향 정차지점에서 ±10cm에 정차하며 승강장과 차량측면 간격은 10cm 간격을 기준으로 ±2cm를 유지하여 휠체어 및 승객의 승하차를 편리하고 안전하게 할 수 있음을 확인<br><br>○ 운영인프라 시험평가<br>- 운영인프라에 대하여 정거장, 통합운영센터, 전용선로에 대한 시험평가 수행<br>- 정거장 및 운영센터는 차량과 지상 또는 운영센터와의 인터페이스 확인<br>- 전용선로는 4개 지점에 온도센서 및 소음 진동센서를설치하여 계측 및 모니터링 |
| 세제 1,2호 차량 제작 및 성능시험 | ○ 시제 1호 및 2호 차량 제작<br>- 시작차를 개선하여 시제 1호 및 시제 2호 차량 제작<br>- 각 구성품에 대한 제품 검사 및 평가 후 시스템 통합(조립)<br><br>○ 시제 1호 및 2호 차량 완성차 공장구내시험<br>- 차체에 대한 외관 검사, 치수 측정 및 방수시험<br>- 조향장치, 제동, 현가장치에 대한 초기 셋팅 및 기능 시험<br>- 차량의 추진시스템과 관련된 배선의 외관 및 도통상태, 절연 저항, 내전압, 절연저항, 추진장치간의 통신 상태등을 점검<br>- VCU (Vehicle Control Unit) 장치에 대한 통신 및 제어 성능이 만족하는지에 대한 시험<br>- 정차 상태에서의 각종 전장품들의 동작상태 및 통신상태를 확인 후 차량의 기동상태에서 전장품들의 동작상태를 확인 |

<table>
<tr><td></td><td>○ 시제 1호 및 2호 차량 성능 시험<br>- 시제 차량이 제작사양을 만족하는지를 판단하기 위한 검증 시험 수행<br>- 추진장치의 성능을 평가하기 위하여 시험선과 일반도로에서 가속도, 구배기동능력, 최고속도 주행 시험 수행<br>- 주차제동시험, 제동능력시험,반응시간, 감속도 등을 측정하여 제동장치 성능 평가<br>- 차량의 승차감은 UIC 513R을 준용하고 진동피폭은 ISO 2631-1, 2631-4를 준용하여 시험 및 분석<br>- 실내소음 및 실외소음(배기소음)에 대하여 시작차 및 시제차 비교 분석<br>- 조향시스템의 성능시험에서는 직선 주행 성능, 최소회전반경, 조향복원성 확인 시험, 횡방향 안정성 시험과 차선 변경 시의 횡방향 안전성 시험을 수행<br>- 자동운전에서 주행궤적 추종성 및 정거장 정밀정차 성능 시험</td></tr>
<tr><td>시범 운행</td><td>○ 여수시 시범 운행<br><table><tr><th>노선 및 환경</th><th>운행 성과</th></tr><tr><td>- 기간 : 2012. 5.12 ~ 2012. 8.12<br>(2012. 4.17부터 예비운행)<br>- 노선 : 11.2Km (순환노선)<br>- 운행 : 30분 간격, 11:30 ~ 20:30<br>- 운행환경 : 단거리 순환, 하절기 (폭염, 폭우)<br>· 노선길이 : 단거리 순환노선 (11.2Km)<br>· 대기온도 : 최고온도 34.3℃<br>· 강 수 량 : 75.6mm<br>· 평균탑승인원 : 92명/회 (최대 130명)</td><td>- 탑승인원 : 총 81,883명 탑승 (시제1호: 47,716명, 시제2호: 34,167명)<br>- 기술보완 : 총 16건<br>· 설계변경 : 9건,<br>· 부품교체 및 정비 : 7건</td></tr></table><br>○ 세종시 시범 운행<br><table><tr><th>노선 및 환경</th><th>운행 성과</th></tr><tr><td>- 기간 : 2012. 9.18 ~ 2013. 3.31<br>- 노선 : 62.4Km (장거리 왕복노선)<br>- 운행 : 약 1시간 간격 운행, 05:40~21:23 → 06:50~20:24 (월~금)<br>- 운행환경 : 장거리 순환노선, 동절기 (한파, 폭설)<br>· 노선길이 : 장거리 순환노선 (62.4Km, 왕복)<br>· 대기온도 : 최저온도 -16.5℃<br>· 강 수 량 : 57.6mm, 눈 11일(최고 75mm/일)<br>· 평균탑승인원 : 34명/회 (최대 155명)</td><td>- 탑승인원 : 총 59,157명 탑승<br>- 기술보완 : 총 11건<br>· 설계변경 : 3건<br>· 부품교체 및 정비 : 8건</td></tr></table><br>○ 공인기관 안전시험(제동 및 조향)<br>- 제동장치 및 조향장치에 대하여 공인기관(자동차안전연구원)으로부터 안전성 향상시험을 수행하여 성능 평가<br>- 바이모달 트램 특성상 AWS 장치 고장시 선회반경이 커지므로 고장시 점유폭 확인시험 불만족(그 외 항목은 적합)<br>- 바이모달 트램 제동시험은 ABS장치를 갖춘 자동차의 제동능력시험 종합 결과기록표와 같이 모든 항목이 적합</td></tr>
</table>

본 사업의 연구 개발 성과 및 달성치는 다음과 같다.

| 구분 | 핵심 성과물 (level1) | 단위 성과물 (level2) | 최종 성과목표 | | | 달성치 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 질적목표(측정방법) | 목표치 | 검증방법 | |
| 신 에너지 바이 모달 수송 시스템 개발 | 자동운전시스템/ 안내궤도(마그네틱 바) | AGS(Automatic Guidance System) 제어컴퓨터 | 개발품 환경 성능 시험 | Type Test 환경시험 | 시험보고서 | 특허(등록): 25 건 S/W : 36 건 논문 : 7 건 시제품 : 각 3 건 |
| | | VCU(Vehicle Control Unit) | 동작 신뢰성확인 시험 | 통신속도 : 250kbps이상 환경시험(EN & IEC) 기준 만족 | 시험보고서 | |
| | | 주행제어기술 | 경로추정 및 정밀정차 | 안내제어: ± 2cm 정차제어: ± 10cm | 시험보고서 | |
| | | 안내궤도 | 선형설계 및 시공측정 | 선형설계도 마그네틱: 2.0 Gauss 이상 | 시험보고서 | |
| | 전차륜 조향/초저상 독립현가시스템 | 전차륜 조향 장치 | 동작확인 및 성능 시험 | 3축 조향 12m 통과 스윙 아웃: 0.6m 이하 | 시험보고서 | 특허(등록): 9 건 S/W : 4 건 논문 : 8 건 (SCI(E) 3 건 포함) 시제품 : 각 3 건 |
| | | 독립현가장치(air suspension) | 동작확인 | 높이조절 4단계 (자동운전 340㎜, 정상 410㎜, 최대높이주행 460㎜, 닐링 270㎜) | 시험보고서 | |
| | | 구동축(drive shaft) 및 제동장치 | 피로시험 및 성능시험 | 최대토크 10 KN·m 피로수명 100,000 cycle | 시험보고서 | |
| | | 감속기어장치 | 내구 및 성능 시험 | 경량화 24% Type Test | 시험보고서 | |
| | CNG 하이브리드 추진시스템 | 추진제어장치 | 추진 성능 | 가감속성능: ±1.2㎨ 구배기동성능: 13%(공차) 최고속도 주행성능: 80㎞/h 하이브리드 모드 | 시험보고서 | 특허(등록): 10 건 S/W : 5 건 논문 : 11 건 (SCI(E) 1 건 포함) 시제품 : 각 3 건 |
| | | 엔진-발전기 | 설계도 및 성능시험 | SOC regulation 연비: 1.8km/㎥ Euro-V | 시험보고서 | |
| | | 견인전동기 | 설계도 및 성능시험 | IEC60349-2(2002) 효율: 89% | 시험보고서 | |
| | | 배터리 및 BMS | 설계도 및 장착시험 | 단위셀 용량: 80Ah 배터리팩: 168개 셀, 621Vdc(12개 모듈), 550kg 배터리 단독모드 주행(엔진정지,3km 이상 주행) | 시험보고서 | |
| | 경량화 복합소재 저상차체 | 차체 | 설계도 및 강도 시험 | KS R 9228 자동차안전기준 치수검사 | 시험보고서 | 특허(등록): 8 건 논문 : 9 건 시제품 : 각 3 건 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 차량 내장 및 의장 | 설계도 및 인화성 시험 | 자동차안전기준 시행세칙 제38조 차실내장재 연소성 시험 | 시험보고서 | |
| | | 차량 기장 및 전장 | 시험 결과 및 기준 만족 | KS R 9197 자동차안전기준 형식시험 | 시험보고서 | |
| | 전용선로 | 친환경성 선로형식 도로포장 | 시공 및 시험 평가 | KS F 2408 열섬효과: 온도차 15% 소음저감효과: 8% | 시험보고서 | 특허(등록): 6 건<br>논문 : 3 건<br>시제품 : 1 건 |
| | | 팽창백을 이용한 전용선로 프리캐스트 시공 | 시공 및 시험 평가 | KS F 2408 공기단축: 2주 | 시험보고서 | |
| | | OPEN형 슬래브 구조의 교량 시공 | 시공 및 시험 평가 | KS F 2408 공사비 절감: 20% | 시험보고서 | |
| | 승하차시설 (정거장) /통합운영센터 | 모듈식 조립형 정거장 | 설치 및 시험 평가 | 설치확인 검사 기능시험: 승객안전, 운행정보, 운영관리 | 시험보고서 | 특허(등록): 8 건<br>S/W : 2 건<br>논문 : 2 건<br>시제품 : 각 1 건 |
| | | 통합운영센터 | 설치 및 시험 평가 | 설치확인 검사 기능시험: 차량운영, 운영관리 | 시험보고서 | |
| 계 | | | | | | 특허(등록): 66 건<br>S/W : 47 건<br>논문 : 40 건<br>시제품(차량) : 각 3 건<br>(인프라는 각 1건) |

## 제2절 관련분야 기대 효과

본 사업에서 개발되는 분야별 기술은 일반도로와 전용노선을 주행할 수 있는바이모달 트램 차량개발 및 인프라 관련 기술로서, 바이모달 트램에 적용된 CNG 하이브리드 추진계, 전차륜조향장치(All wheel steering), 전자기적 자동운전장치(Automatedguidance system)등의 최첨단 기술로서, 철도차량 뿐만 아니라 자동차 기술에도 적용될 수 있어 관련 분야의 많은 기술발전에 기여할 것이다. 향후 국내 대중교통의 주축이 될 바이모달 수송시스템에 대한 기술적 이정표를 제공할 뿐만 아니라, 부품의 국산화 및 표준화를 통하여 가격 안정화 및 보급률 증대에 기여할 것으로 기대된다.

○ CNG-하이브리드 바이모달 트램에 의한 대중교통용 차량이 실용화될 경우, 자동차로 인한 환경 오염과 에너지 소비 문제를 완화할 수 있을 것으로 기대됨.
○ 에너지 효율 제고를 통한 지구 온난화 방지, 대기 환경 보호, 대체 연료 사용, 기술의 다각적 활용 가능성 측면에서 여러 분야에 이용 가능한 기술임.
○ 점차 급증하고 있는 바이모달 트램시스템 구축에 필요한 기반기술을 습득함으로서 국내 시장을 보호하고 기술적인 독립성을 확보
○ 지능형교통체계(ITS), 버스운행정보시스템(BIS/BMS)의 기존 도로교통 기술과 자동운전 및 정밀정차 등 철도교통 기술을 융합한 새로운 기술개발이 기대
○ 국내에 처음으로 도입되는 바이모달 트램에 대한 차량정비, 주행안전 관련 기술개발을 통하여 안전한 대중교통 수단으로 정착될 수 있는 기초를 마련하는데 기여
○ 선진국의 환경 관련 기술 장벽을 극복해야만 수출 중심의 한국 산업이 지속적으로 발전할 수 있으며, 국내 전체 산업의 20%에 이르고 산업 연관 효과가 매우 큰 자동차 산업 및 미래형 철도산업이 그 주도적 역할을 할 것임.
○ 대도시와 같은 인구 밀집 지역에서는 대중교통수단의 배기가스에 의한 공기 오염, 주행 중 발생하는 소음과 같은 공해가 심각한 사회 문제로 나타나고 있어서 자동차 공해에 의한 사회적 손실 비용을 줄이고, 삶의 질 향상에 친환경 저상굴절차량이 기여할 것으로 예상
○ 대중교통육성 및 이용촉진에 관한 법률, 교통약자의 이동편의 증진법 등 정부의 교통정책에 대한 기술적 지원
○ 버스의 유연성과 철도의 정시성을 결합하여 혼잡 등 육상교통 문제의 근본적 완화를 위한 바이모달 차량의 국내 고유모델 확보로 막대한 사회적 비용의 절감이 기대

○ 바이모달 트램 개발에 따른 경제성 평가

- 수입대체효과: 약 1,400(1)~8,100(2)억원
- 고용창출효과: 약 1,700~9,600명

○ 사업비의 70~80%를 차지하는 인프라 구축비용과 운영 및 유지관리비용의 20% 절감 목표달성

# 제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

## 제1절 연구개발 성과 활용방안

### 1. 연구개발 결과물 현황

바이모달 트램은 차량과 운영인프라 요소의 결합정도에 따라 서비스 수준과 비용이 결정되는 특징이 있다. 당 과제에서는 바이모달 트램의 운영효율화, 승객안전을 위하여 필수적인 항목을 중심으로 연구개발이 이루어졌다. 차량은 우리나라의 시장특성, 활용성 등을 감안하여 CNG하이브리드 구동방식의 2량편성 차량이 개발되었다. 전용선로는 차량의 자동주행 특성을 고려하고, 도심지 열섬효과 및 차량소음 감소를 위한 잔디식재 방식 외에도 기존 포장형식에 대한 적용성을 검토하였다. 또한 현장타설, 프리캐스트 시공방법 등 현장상황에 따라 활용성을 극대화하였다. 고가구조물은 자동운전을 하는 차량의 주행특성을 감안하고, 상부자중 경감을 통한 장경간화, 급속시공, 도심지 미관향상 등을 위하여 Open type슬래브를 채택하였다. 스마트 정거장은 무인운영 방식으로 운영센터에서 모든 조작이 가능하도록 함으로써 운영비를 절감하면서도 승객안전과 편의성을 극대화하도록 하였다. 모듈화, Plug-in 조립방식으로 현장작업을 최소화함으로써 신속한 설치와 품질 확보가 가능하도록 하였으며, 사전/후불 요금지불방식, 밀폐형/(반)개방형 등 다양한 솔루션을 개발하였다. 운영관리시스템은 차량-정거장-운영센터, 운전자-승객-운영관리자 간의 실시간, 쌍방향 통신을 통하여 운행효율성 극대화, 차량과 승객안전 및 편의성을 극대화하도록 하였다. 유지관리시스템은 차량 고장시 신속한 대응이 가능하도록 하였으며, 강우나 강설시 이에 대한 실시간 모니터링을 통하여 차량운행안전을 확보하도록 하였다. 상기의 연구개발 결과물을 정리하면 다음과 같다.

표 5.1.1-1 연구개발 결과물 현황

| 연구개발 결과물 | 주요 특징 |
|---|---|
| 차량 | - 경량화 복합소재 차체<br>- CNG하이브리드 추진<br>- 전차륜 조향(All Wheel Steering)<br>- 자기마커 방식의 자동운전 및 정밀정차 제어 |
| 전용선로 | - 잔디식재로 도심지 열섬효과, 차량소음 감소<br>- Precast, 현장타설 방식으로 적용성 극대화<br>・기존 도로에 비해 신속시공, 공사비 절감<br>- 개발 차량의 운전조건 및 설계속도 반영 |

| | |
|---|---|
| 고가구조물 | - Open type 슬래브로 상부자중 저감<br>・구조적 효율성 증대로 장경간 시공가능<br>・공사기간 단축, 공사비 절감<br>・하부공간 녹지화로 도심지 미관 향상 |
| 스마트 정거장 | - 무인 운영으로 승객안전, 편의 극대화<br>・사고, 타이어 분진, 각종 범죄로부터 승객을 보호<br>- 모듈형 조립방식으로 다양한 솔루션 제공<br>- Plug-in type으로 신속한 설치, 품질 확보<br>- 사전지불방식, 차량 내 지불방식<br>- 사회간접시설물의 고급화를 통한 도심지 미관 향상 |
| 운영관리시스템 | - 실시간, 쌍방향 통신을 통하여 운영효율성 극대화<br>- 승객 안전, 편의성 극대화<br>- 강우, 강설 대비 차량 운행안전성 확보<br>- 타 운영시스템과의 연계운영을 위한 개방성 확보<br>- 차량 고장시 신속한 대응 |

## 2. 결과물의 활용방안

그동안 우리나라는 도심지 대중교통수단으로 지하철과 버스라는 단순한 라인업만이 존재해 왔다. 지하철을 도입한 대도시에서는 대규모 운영적자가 발생하고 있으며, 중소도시에서는 대중교통 서비스 품질 제고를 위한 국민의 요구가 날로 높아지고 있다. 철도와 도로 인프라는 계속 증가해 왔지만, 대중교통 수송분담률은 여기에 비례하여 늘지 않고 있으며, 사고, 혼잡, 정체 등 도심지 교통문제는 날로 증가하고 있다. 여기에는 철도의 높은 초기 비용으로 기인한 운영상의 어려움, 도로의 낮은 서비스 수준, 도로와 철도의 정보적, 물리적 장벽으로 인한 연계수단 부족 등 여러 가지 요인이 있다.

바이모달 트램은 철도와 버스가 가지는 단점을 최소화하고, 장점을 극대화한 저비용・고품질의 신교통수단이다. 버스의 경제성, 유연성과 철도의 정시성을 결합하고, 저렴한 인프라 비용 대비 자동운전과 정밀정차, 수평승하차, 접근성 제공 등 도시 교통 환경 측면에서 고품질의 대중교통 서비스를 제공함으로써 도시 규모와 수송수요, 지역적 특성 등에 따른 다양한 사회적 요구를 해소하는데 기여하게 될 것이다.

바이모달 트램의 구축비용은 100~300억원/km 수준으로 지하철의 1/10~1/6, 경량전철의 1/3~1/2 정도이며, 수송능력은 3000~7000인/방향/시 정도로 경량전철과 버스의 중간정도 이다. 이러한 바이모달 트램은 지하철이나 경량전철이 도입된 대도시에서는 보조간선수단, 지하철이나 경량전철이 도입되지 않은 중소도시에서는 간선수단으로 활용될 수 있을 것이다. 특히 다양한 운영 인프라 개발품들은 철도와 도로 등 기존의 교통시설에 활용할 수 있으며, 향후 도입될 다양한 신교통수단의 실용화에도 기여하게 될 것이다.

또한 바이모달트램은 국토해양부의 '간선급행버스체계(BRT) 설계지침'(2010. 6)에서 신교통형BRT로 분류되는 국내 유일한 차량시스템이다. 정부는 2020년까지 대도시권 평균 통행속도를 15% 개선하고, 대중교통분담율을 현재보다 26% 향상시키기 위하여 저비용·고효율의 대중교통수단인 BRT를 적극확대하는 계획을 2014년 3월 19일 국가교통위원회를 통하여 확정하였다. 이에 따라 확대보급 기반을 마련하기 위하여 정부의 시범적용 사업의 추진이 예상되며, 그 결과에 따라 국내 지자체로 부터의 많은 수요가 예상된다.

# 제2절 실용화를 위한 추가 연구 필요성

## 1. 개요

현재 국내·외 여러 사업에서 바이모달 트램 도입이 검토 중에 있으나, 국내 최초 개발된 첨단 대중교통수단인 바이모달 트램이 실용화되기 위해서는 아직 해결해야할 문제들이 남아있다. 바이모달 트램은 차량 1대에 100여명의 승객이 탑승하는 대량 수송수단이며, 자동운전을 하는 기능적 특징을 고려할 때 철도 수준의 안전성과 신뢰성이 확보되어야 한다. 또한 바이모달 트램 관련 사업주체들은 사업비에 대한 중앙정부의 지원에 대한 명확한 법적 명시, 인프라를 포함한 구성요소들에 대한 설계지침 등을 요구하고 있다. 여기서는 바이모달 트램이 실용화되기 위해서 선결되어야 할 문제와 이의 해결방안에 대하여 기술하였다.

## 2. 실용화 방안

### 가. 가격경쟁력 분석

1) 신교통 시스템 차량 가격

- 신교통 시스템 차량의 가격은 대부분 바이모달 트램과 유사하거나 높은 수준이나, 저상굴절버스가 7.7억원으로 가장 낮음

표 5.2.2-1 신교통 시스템 차량 가격

| 주요사양 | 신교통 시스템 차량 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **바이모달 트램** | Phileas (APTS) | CIVIS (Irisbus) | Translohr (Lohr) | 저상굴절 버스 (Iveco) |
| 좌석수 | **29** | 35 | 32 | 31 | 41 |
| 최대승객수 | **93** | 127 | 130 | 178 | 150 |
| 추진시스템 | **CNG hybrid** | 디젤 hybrid | 디젤엔진 | 교류전동기 | CNG엔진 |
| 가격 | **16억원** | 18억원 | 18.5억원 | 31억원 | 7.7억원 |

2) 운영비용

가) (연간 운영비용) 연간 운영비용은 바이모달 트램이 약 1.6억원, CNG 하이브리드 버스는 약 2.4억원, 디젤 하이브리드 버스는 약 2.9억원임

- 바이모달 트램의 연간 운영비용은 CNG 하이브리드에 비해서는 약 8천만원, 디젤 하이브리드에 비해서는 약 1.3억원이 적을 것으로 예상됨

표 5.2.2-2 바이모달 트램과 하이브리드 버스의 연간 운영비

| 운영비용 | 바이모달 트램 (1대, 2량1편성) | 하이브리드 버스(2대) | |
|---|---|---|---|
| | | CNG | 디젤 |
| 인건비(원/년) | 84,000천원 | 168,000천원 | 168,000천원 |
| 연료비(원/년) | 41,420천원 | 54,440천원 | 105,230천원 |
| 정비비(원/년) | 32,780천원 | 14,770천원 | 14,770천원 |
| **합계(원/년)** | **158,200천원** | **237,210천원** | **288,000천원** |

* 연간 주행거리 105,840km(시제1, 2호 합산), 바이모달 트램 1대, 하이브리드 버스 2대 기준
* (감가상각비) 현금유출 없는 장부상 비용으로 경제성 분석 시 운영비용에 포함되지 않음

나) (내구기간 동안 총운영비용 비교)

- 내구기간(11년) 동안 총운영비용은 바이모달 트램이 12.8억원이며, CNG 하이브리드는 19.2억원, 디젤 하이브리드는 23.3억원으로 분석
- 바이모달 트램의 운영비용 절감액은 CNG 하이브리드에 비해서는 11년간 약 6.4억원이며, 디젤 하이브리드에 비해서는 11년간 10.5억원으로 분석

표 5.2.2-3 바이모달 트램과 하이브리드 버스의 기간별 운영비용 비교

| 기간 | 운영비용 | 바이모달 트램(1대) | 하이브리드 버스(2대) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | CNG | 디젤 |
| 연간 | 운영비용 | 158,200천원 | 237,210천원 | 288,000천원 |
| | 운영비용 차이 | - | 79,010천원 | 129,800천원 |
| 11년 | 운영비용 | 1,280,234천원 | 1,919,622천원 | 2,330,640천원 |
| | 운영비용 차이 | - | 639,388천원 | 1,050,407천원 |

3) 바이모달 트램의 적정가격

- CNG 하이브리드와 비교 시 바이모달 트램 가격은 약 11.8억원 수준에서 형성되어야 순수 가격 측면에서는 경쟁력이 있을 것으로 판단됨
- (바이모달 트램가격 산정근거) CNG 하이브리드 버스와 바이모달 트램의 총비용이 동일해지는 금액을 바이모달 트램의 적정가격으로 산정함

표 5.2.2-4 바이모달 트램의 적정가격 산정

| 운영기간 | 구분 | 차량가격 | 운영비용 | 총비용 |
|---|---|---|---|---|
| 11년 | CNG하이브리드(2대) | 540,000천원 | 1,919,622천원 | 2,459,622천원 |
| | 바이모달 트램 | **(1,179,388천원)** | 1,280,234천원 | (2,459,622천원) |

* (참고) 14년간 운영 시 바이모달 트램의 적정 가격수준은 약 13억원임

4) 바이모달 트램 구입비 지원

- 바이모달 트램의 보급확대를 위해서는 환경비용 절감 효과, 교통약자의 통행편의성 제고 등 사회적 편익에 대한 정부, 지자체 보조금 지원 필요
- 바이모달 트램은 저상 하이브리드 차량으로 기존의 대형버스 보조금(1.0억원)의 저상면적 등을 고려하여 2배에 해당하는 2.0억원의 보조금 지원이 필요함

## 나. 실용화 지원 방안

1) 실용화 후속연구 지원

가) 목적

- 바이모달 트램 실용화를 위한 관련 기준 정비 등 인증기반과 지자체 대상 시범사업을 통한 상용화 기반 마련

나) 시제차량 개조 및 내구성능 시험·평가

(1) 시제차량 개조

- 원동기, 구동축전지, 등화장치, 창유리 등의 시제작 품목을 상용인증부품으로 교체하여 차량 제작
- 시제 1, 2호차의 시험운행 시 발생한 문제점 개선을 위한 설계변경
- 2축, 3축의 각 휠에 연결되어 있던 구동모터 및 감속기를 3축에 단일 감속기/구동모터 형태로 개조하여 부품 단가 및 정비요소를 줄이며, 변경된 사항에 대해서는 인증 및 주행테스트를 통해 안전성 및 신뢰성을 확보
- 기존 적용된 제동캘리퍼를 스탠다드 타입으로 변경할 예정이며, 타입 변경으로 인한 일부 현가장치를 변경. 또한 제동디스크 및 휠 허브를 방열성이 개선된 제품을 적용. ECAS를 장착하여 도로 대중교통의 최상위 승차감을 확보
- 1축에 위치한 에어컴프레셔, 파워스티어링 모터/펌프를 3축으로 위치 변경하고 저소음, 소형, 경량화 제품으로 변경
- 차량 전면 충돌 시 차체 보호를 위해 1축 서브프레임에 구조물을 추가
- 양산차량에는 수요처의 선택 사양으로 엔진, ABS 등의 차량 주요 부품의 상태를 실시간으로 현시 가능하도록 하여 부품 고장으로 인한 사고를 미연에 방지할 수 있도록 하는 모니터링 시스템을 적용. 배출가스관련 OBD시스템은 엔진제작사의 지원을 받아서 최적화 튜닝

(2) EURO6 엔진 적용 및 인증

- (클린 디젤엔진 도입) 바이모달 트램은 적은대수가 운행되므로 CNG 충전설비의 신축보다는 기존 주유시설을 이용할 수 있는 디젤엔진 도입이 적합

  * 디젤엔진은 동일 배기량 CNG엔진 대비 출력이 10%이상 높고 소음이 적으며, 동절기 출력 변화가 적어 제어가 용이함

  * CNG충전설비가 도심지에서 멀리 떨어져 있어서 차량의 이동 및 운영에 제한이 많음

- (새로운 엔진 탑재에 따른 기술개발 및 검증)

  * 엔진교체에 따라 엔진룸 및 엔진룸 내부 구조물의 재설계·제작과 배기장치(유로6) 장착에 따른 차량전체의 기기 재배치 필요

  * 축중한계(10t) 내에서 개조 가능하나, 차량길이가 약 40cm 증대 예상

  * 새로운 엔진탑재에 따른 엔진 성능인증(환경인증 등) 및 가혹시험 평가를 통한 내구성능 확보 필요(연비, 배출가스 검증 포함)

(3) 내구성능 시험

- 실용화 사업에서 시제차량 2편성에 클린디젤엔진(유로 6)을 탑재하고, 엔진 제작사의 지원을 받아서 최적화 튜닝 작업을 진행. 또한 10,000km의 주행 시험을 거치면서 유로6 적합 확인
- 개조 후 1편성은 인증기관의 인증절차를 통하여 안전성 및 환경성을 확보. 다른 1편성은 6개월간의 일반도로 주행테스트를 통하여 신뢰성 및 안전성을 확보하고, 차량 성능향상을 위한 후속 연구개발을 진행
- 차량의 부품 및 시스템에 대한 내구성 확보를 위하여 인증시험 및 일반도로에서 주행성능시험을 실시. 필요한 경우에는 단품을 별도로 내구성테스트를 진행하여 신뢰성 확보

표 5.2.2-5 CNG(유로5)엔진과 클린디젤(유로6)엔진의 주요성능

| 항 목 | CNG 엔진 | 클린디젤 엔진 |
|---|---|---|
| 배기량 | 5.9 리터 | 6.7리터 |
| 연 료 | CNG | 디젤 |
| 파 워 | 145kW@2800rpm | 164kW@2100rpm |
| 토 크 | 569Nm@1600rpm | 850Nm@1100rpm |
| 배기기준 | 유로5 | 유로6 |
| 모델명 | BGE5 230 | ISB6.7E6 |
| 생산일자 | 2010.11(미국) | - |
| 적용계획 | 기존 시제차에 적용 | 실용화 차량에 적용(예정) |

다) 차량 인증 및 실용화 기반 구축

- (차량 인증) 차량 특성으로 인해 어려운 시험항목(조향성능, 전자파 적합성, 자동운전장치 등)에 대한 “자동차안전기준” 등 관련 법령 개선 추진
- (실용화 기반구축) 차량의 일반도로 주행테스트를 거쳐 차량 운영에 필요한 운영매뉴얼, 정비매뉴얼 등을 보완. 특히 일반 버스의 운영 및 정비와 상이한 부분을 중점적으로 보완.
- 차량의 실용화 사업추진과 함께 수요처의 사업화(구매)계획을 공동으로 확약하도록 추진
- 실용화 사업을 통하여 시범적용 및 효과분석 시행. 관련 결과를 활용하여 향후 적합노선 발굴
- 참여기업간의 협의 또는 기술 실시 협약을 통한 부품 성능 확보 및 적정단가를 확정하여 가격 경쟁력 확보

라) 추진 방법

- (지원방안) 바이모달트램의 TRL이 6.5단계임을 감안할 때 실용화 주체(차량제작사)를 주관기관으로 선정하여 추진하는 것이 타당

표 5.2.2-6 바이모달 트램 후속연구 지원방안

| 구분 | 검 토 |
|---|---|
| 연구주체 | 실용화 주체(차량제작사)가 기술이전을 받아 후속연구 추진 |
| 지원방법 | (정부지원) 차량개조+인증비용 지원 및 시범사업 대상지 확보<br>(민간부담) 성능향상・최적화를 위한 추가 개발비 |
| 소요예산 | 총 73.5원원 예상(차량개조(2대), 부품교환, 시험인증 등) |
| 장점 | 기술개발 결과를 최대한 반영하여 사업화 가능<br>☞ 연구결과의 연속성 확보<br>관련시장 불확실성에 따른 실용화 주체의 부담 경감<br>중견기업 지원을 통한 신사업 창출이라는 정부정책에 부합 |
| 비고 | 실용화 지원시 가혹조건 내구성능 테스트 및 오류/해결 여부 지속점검 필요 |

2) 시범사업 추진

가) (목적) 바이모달 트램 실용화 지원사업과 지자체의 대중교통 개선 대책을연계하여 바이모달 트램 시범사업 추진

나) (필요성) R&D 종료 후 시범사업을 통해 해외 및 타 지자체에 대한 홍보 효과를 거둘 수 있어 국내외 초기시장 진입 가능성 제고

다) (지원대상) 시범사업을 수행할 지자체는 공모를 통해 선정

- 전용도로 등 운영인프라 기구축된 인천자유구역청, 행복도시 등 지자체 우선 선정
- 인천경제자유구역청(청라지구)은 바이모달 차량 구입예산이 확보되어 있고, 청라지구에 이미 7만명이 입주하였으며, 향후 7호선 석남역 개통시 연장계획 있음

라) (운행기간) 차량 개조가 완료되는 시점부터 7개월

- 시험운행 : 차량·시설 튜닝 및 가혹조건 주행 테스트(승객 미탑승, 5개월)

  * 시제차량 2대 중 1대는 인증에 사용되며 1대로 성능시험 실시

- 시범운행 : 시스템 안정화 및 시범 운행(승객 탑승/미과금, 2개월)

3) 마케팅 방안

가) (마케팅 전담조직) 실용화 R&D 수행 주관기관에 마케팅 전담조직을 구성하고, 마케팅 계획수립 및 추진

나) (지자체, 공사 등 대상 마케팅) 지자체, 공사 등을 대상으로 설명회 및 시승회를 개최하고, 지자체 사업계획에 바이모달 트램이 반영될 수 있도록 추진

다) (해외 마케팅) KOTRA 등 유관기관의 협조를 통해 해외 대규모 개발계획이나 교통정책의 변화를 파악하고 해외에서 대규모 개발사업을 수행하는 국내 건설업체 등과 동반진출 도모

라) (수익모델) 지자체에서 요구하는 차량 가격 및 성능에 부합하도록 옵션사항(자동운전)을 적용하여 기본적인 차량 단가를 낮추고, 수요자의 편의성을 확대. 각 지자체와 협의를 통하여 요구하는 차량의 사양을 확인하고, 운영노선 및 수요자 맞춤형 차량을 제작하여 운영비를 절감. 일반버스와 연계 등 운영 효율화 방안 제시

## 3. 선진화 과제 추진

바이모달 트램의 안전성과 신뢰성을 확보하고 시범사업을 통하여 보급기반을 마련하는 동시에 기술발전 동향과 대외 환경변화를 적극 수용함으로서 국제시장에서의 기술경쟁력을 확보하기 위해서는 지속적인 기술개발이 필요하다. 이를 위하여 필요한 '바이모달 트램 선진화 과제'의 개요는 다음과 같다.

표 5.2.2-7 바이모달 트램 선진화 과제 개요

□ 사업내용 및 목표

○ 연구개발내용 및 규모, 성과물

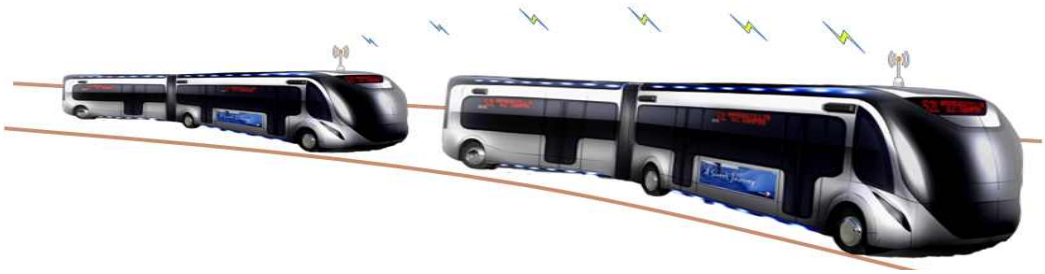
바이모달 트램의 실용화 및 선진화 모델 개발

- 국내.외 경쟁력 있는 바이모달 트램의 실용화 모델 개발
  . 디젤엔진-발전기 모듈 국산화 적용기술 개발
  . 대용량 바이모달 트램 차량 개발(3-4량 편성 차량)
  . 초저공해의 클린디젤 하이브리드 추진시스템 개발(유로Ⅵ 이상)
: 전기추진시스템의 전자기 소음 개선
: 2차전지 및 발전모듈의 신뢰성 향상
  . 가속성능 및 에너지 효율 향상
: 슈퍼캡-배터리-발전기 연계모듈 개발
- 무공해.위성항법 바이모달 트램 선진화 모델 개발
  . 대용량 연료전지 통합 기술개발
  . 연료전지의 대용량화에 따른 시스템 진단 기술 개발
  . 위성항법 기술적용에 의한 자동운전 시스템 개발
- 실용화 및 선진화 바이모달 트램의 운영효과 및 미래전략 수립




자동운전 안전성 향상 및 IT기반 운영.유지보수 체계 개발

- Virtual Rail의 안전성 향상 기술개발
: 자동운전의 안전인증 및 고도화
- Platooning 시스템(무선 차량커플링) 개발
: 신속하고 유연한 단일차량 및 중련차량 운행 기술 개발
- 대중교통의 IT 컨버젼스 콘텐츠 개발
: IT 기반의 바이모달 트램 운영.유지보수 체계 개발



○ 추진목표 및 방향, 방법
- 추진목표
 . 바이모달 트램의 국내보급 활성화/ 국제경쟁력있는 해외수출모델 개발
 . 운영기술 고도화에 따른 미래 대중교통 모델 개발
: 위성항법 기반의 운영 효율성 및 전자기 커플링에 의한 운영 유연성의 고도화
 . 무공해 및 저소음의 지속가능 대중교통 모델 개발

- 추진방향 및 방법
 . 국내 시범적용 노선과의 사업 연대(지자체 요구조건 해결)
 . 해외 연구기관/기업과의 공동연구를 통한 수출장벽 해소
: 해외 실용화 기반 구축을 위한 법규대응 및 수출전략 수립
 . 국내 국가연구소의 전략기술 적용
: 항공우주연구소 위성항법 기술 및 교통연구원 ITS 기술 등

□ 성과물 활용방안
○ 국내 대중교통의 활성화
- 초 저공해 대중교통활성화 및 교통약자의 이동편의 증진
○ 대중교통에 의한 국가적 탄소 총량규제의 전략기술 확보
○ 지속가능 교통체계에 의한 미래도시의 Transit Mall 구현
○ 지속가능 교통체계의 고유모델 개발 및 시스템의 해외 수출
○ 무공해 대중교통체계 구현 및 미래비젼 제시
○ 위성항법 기술에 의한 자동운전 시스템 효용성 검증

□ 기대효과 및 미래상
○ 국내.외 경쟁력 있는 바이모달 트램의 실용화 모델 개발
- 자동운전의 안전성 향상
- Platooning(무선 차량커플링)에 의한 운영의 유연성확보로 경제성 향상
- 구성품 국산화를 통한 공급가격 및 유지보수 비용 절감
- CNG 공급이 불가한 환경에서의 바이모달 트램 실용화
 . 디젤연료 사용으로 해외 수출 문제점 제거
- IT기반의 바이모달 트램 운영.유지보수 체계구축 및 검증
○ 지속가능 신교통시스템에 의한 미래도시의 Transit Mall 가시화
- 무공해(연료전지) 대중교통 구현 및 미래비젼 수립
- 위성항법 기반의 자동운전 구현 및 운영 효율화 검증

# 참고문헌


1. 국토해양부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 국토해양부, 2008
2. 국토해양부, 도로설계기준, 국토해양부, 2005
3. 국토해양부, 철도설계기준, 국토해양부, 2004
4. 국토해양부, 도로계획지침, 국토해양부, 2009
5. 국토해양부, 간선급행체계(BRT) 설계지침, 국토해양부, 2005
6. 한국철도시설공단, 철도설계지침(궤도편), 한국철도시설공단, 2010
7. 국토해양부, 도로용량편람, 국토해양부, 2005
8. 국토해양부, 도로설계편람, 국토해양부, 2008
9. 한국철도시설공단, 철도설계편람(토목편), 한국철도시설공단, 2004
10. 국토해양부, 평면교차로 설계지침, 국토해양부, 2004
11. 국토해양부, 입체교차로 설계지침, 국토해양부, 2005
12. 경찰청, 교통안전시설실무편람, 경찰청, 2006
13. 국토해양부, 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계지침, 국토해양부, 2002
14. 국토해양부, 교통약자 이동편의시설 설치·관리 매뉴얼, 국토해양부, 2007
15. 한국철도기술연구원, 도시철도시스템 기술의 이해, 한국철도기술연구원, 2008
16. 건설교통부 제정, 시설물유지관리지침, 건설교통부, 1997
17. 현대엔지니어링(주) (2009), “신에너지 바이모달 저상굴절차량 운행을 위한 시설물 기준개발 및 적용”, 3차년도 연구보고서, 국토해양부/한국건설교통기술평가원.
18. 한국철도기술연구원 (2008), 신에너지 바이모달 저상굴절차량 시스템의 국내도시 적용성 검토 보고서, 국토해양부/한국건설교통기술평가원.
19. 류명찬, 박영곤, 김익환, 김량균 (2009), “녹색 신교통 시스템 바이모달 트램의 친환경성 선로형 전용포장”, 학회지 기술기사, 한국도로학회.
20. 김홍석, 신철호, 함재현, 전재청, 목재균 (2010),“바이모달 트램 시스템의 VE/LCC기법을 활용한 차량 및 운영특성 비교 분석”, 학회지 기술기사, 한국철도학회.
21. 김량균, 김경만, 백진기, 김도한, 박영곤 (2010),“녹색 신교통시스템 바이모달 트램 시험선에서 친환경 선로형식 전용선로의 시험평가에 대한 연구”, 학회지 기술기사, 한국철도학회.
22. 윤희택 외 (2008), 대중교통체계에서 바이모달 트램의 기능과 역할, 학회지 기술기사, 한국철도학회.

23. 김홍석 외 (2010), 녹색신교통시스템 바이모달 트램의 비용수요 공급곡선을 고려한 도시대중교통체계, 학회지 기술기사, 한국철도학회.

24. TRB, Bus Rapid Transit(TCRP report 90), Volume2 : ImplementationGuidelines, 2003.

25. ITDP, Bus Rapid Transit Planning Guide, 2007

26. Caltrans, Value Analysis Report Guide, 3rd edition, Caltrans, 2003

27. AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, 4th edition, 1993

28. 신에너지 바이모달 저상굴절차량 차체 및 내장시스템 개발 (6차년도 보고서)

29. 신에너지 바이모달 저상굴절차량 차체/내장/추진/유지보수 기술개발 (7차년도 보고서)

30. 하이브리드차 개발동향과 시장전망, 데이코산업연구소 (2010)

31. 임송규, 목재균, 장세기, 윤희택(2007), “신에너지 바이모달트램차량 시스템 상세설계”, 한국정밀공학회 2007년 춘계학술대회 논문집, pp835-836.

32. 이강원, 윤홍일, 목재균(2007), “바이모달트램 차량제어장치에 대한 CAN통신방식 적용에 관한 연구”, 2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집.

33. 목재균, 윤희택(2006), “신에너지 바이모달 트램 기술개발”, 교통기술과 정책 3권 4호.

34. 목재균, 김용기, 유영재(2004), “정밀정차를 위한 전자기 안내궤도기술 개발”, 한국철도기술 50호.

35. “철강편람(Ⅲ)”, 일본기계학회編, 현영창譯, 도서출판 세화,1991

36. S.Timoshenko외 1명, “Elements of Strength of Materials", John Weiley & Sons

37. “Mechanical Engineering Design", Joseph E, Shigley, Mc Graw Hill,2001

38. "Romax Designer Training for Transmission Engineering", Romax

39. ISO 6336 Standard "Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears"

40. “피로강도의 설계자료”, 일본기계학회編, 김종하譯, 1995

41. S. Suresh, “Fatigue of materials", Cambridge University Press, 1991

42. AGMA 2101-C95 "Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth"

43. AGMA 9003-A91 FLEXIBLE COUPLINGS (KEYLESS FITS)

44. DIN7190 INTERFERENCE FITS (CALCULATION AND DESING RULES)

45. 저상버스 도입·운영방안에 관한 연구 (2002년 교통개발연구원)

46. 난곡 GRT 실시설계 결과보고서

47. AGT와 버스의 혼용시스템에 대한 고찰 (한국철도학회, 목재균외 3명)

48. Will H. Crouse, Donald L. Anglin, "Atomotive Mechanics", McGraw-Hill, 1993

49. 한국자동차공학회, "자동차 기술 핸드북" 1996

50. 곽상국 외 4 공역, "신편 자동차 새시", 원창출판사, 1997

51. John W. Durstine, " Truck Steering System from Hand Wheel to Road Wheel" (SAE 730039/SP-374), 1992

52. Thomas D.Gillespie,"Fundamentals of vehicle Dynamics",SAE, 2002

53. MSC. ADAMS Manual

54. Hans B. Pacejka, "Tire and vechile dynamics", SAE

55. Richrd C. Flagan, "Vechile Dynamic"

56. 성기돈, 이운학, "유공압 제어기술- 이론편", 기전 연구사

57. 성기돈, 이운학, "유공압 제어기술- 회로편", 기전 연구사

58. 서용권, "유압제어공학 ", 경문사

59. 한국 공업 규격 KS B 0054 유압·공기압 도면 기호

60. 자동차 기술핸드북, 1996, 사단법인 한국자동차공학회

61. Fundamentals of Vehicle dynamics, 1987, GMI,

62. Fundamentals of Vehicle dynamics, 1992, Thomas D. Gillespie, SAE

63. ADAMS User Manual, MSC

64. MSC/NASTRAN user Manual, MSC

65. The Automotive Chassis : Engineering Principles, 1996, prof. Dipl.-lng, Jornsen Reimoell, Dipl.-lng. Helmut Stoll, SAE

66. Wikipedia 백과사전

67. 철도기술연구원 “Bimodal 수송시스템 연구단” 홈페이지.

68. 버스정보시스템(BIS) 운행자료를 이용한 링크통행시간 추정, 이영우, 대한토목학회, 2010

69. 가속도센서를 이용한 차량용 사고감지시스템 설계 및 구현, 한국해양정보통신학회, 2010

70. 감시카메라의 범인 식별, 한국사진학회지 AURA 24권 ISSN 1228-503X KCI, 2011

71. CCTV 응급상황에 따른 지능형 음성인식 시스템 구현, 한국퍼지 및 지능시스템학회지 제19권 제3호 (2009년 6월) pp.415-420 ISSN 1598-7078 KCI, 2009

72. 지능형 영상 감시시스템에서의 영상처리 기술, 한국멀티미디어학회지 제14권 제3호 (2010. 9) pp.10-18 ISSN 1229-778X KCI, 2010

73. 영상 감시 시스템에서의 비정상 집단행동 탐지, 한국정보과학회 2011한국컴퓨터 학술발표논문집 제38권 제1호(C), 2011

74. "Television Rides Wires" , February 1949, Popular Science small article, bottom of page 179

75. "Image Processing Techniques for Video Content Extraction" (PDF). Retrieved 2011-03-28.

76. Milan Sonka, Vaclav Hlavac and Roger Boyle (2008). Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Thomson. ISBN 0-495-08252-X.

77. 자동차 관련법규집, 건기원, 2012.08

78. 국토해양부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 국토해양부, 2009

79. 현대엔지니어링(주) (2011), “친환경 선로형식 녹색포장 시스템 기술”, 녹색기술 기술기사, 국토해양부/한국산업기술진흥원.

80. 김경만 외 (2012), “바이모달트램에 적용한 녹색포장기술의 환경개선효과 분석”, 학회지 기술기사, 한국철도학회.

81. 신철호 외 (2012), “바이모달트램 친환경 선로형식 녹색포장의 탄소저감편익의 산정에 대한 연구”, 학회지 기술기사, 한국철도학회.

82. 한국철도기술연구원, 현대엔지니어링(주), (주)한국화이바 (2013), “바이모달트램 차량 및 마그네틱 전용도로 기술”, 교통신기술 기술기사, 국토해양부/한국건설교통기술평가원.

83. 한국철도기술연구원(2007), “신에너지 바이모달 수송시스템 개발” 기획보고서

84. 김일웅(2007), “UML 모델을 OWL-S 온톨로지로 변환하기 위한 모델지향접근 방식”, 한국정보과학회 학술지 논문, pp179-192.

85. 서영석(2006), “UML 도입의 결정요인에 관한 연구”, 한국경영교육학회 학술지 논문, pp135-152.

86. 문경호, 목재균, 장세기, 이수호, 박태원(2007), “조향제어를 위한 가상고정축 설정방법”, 한국철도학회 추계학술발표 논문집.

87. UIC Code 513R, 1994, "Guidelines for Evaluating Passenger Comfort in Relation to Vibration in Railway Vehicles"

88. 도시철도차량 성능시험 기준(별표 25) : 승차감 시험

89. KS B 0710-1(ISO 2631-1), "기계적 진동 및 충격-인체 피폭 전신진동의 평가-제1부 : 일반적 요구사항"

90. KS B ISO 2631-4, "기계진동 및 충격-인체 피폭 전신진동의 평가-제4부 : 고정된 안내 도로 수송시스템의 승객 및 승무원의 안락도에 미치는 진동 및 회전운동의 영향평가를 위한 지침"

91. 한국철도기술연구원, 2010, “바이모달형 저상굴절차량 연구개발보고서: 7차년도”

92. 도시철도차량 표준규격, 국토해양부 고시 제2010-48호.

93. 도시철도차량 표준사양, 국토해양부 고시 제2005-220호.