14TLRP-C079944-01

바이모달 트램 실용화 기술개발 최종보고서

2016

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

Land Infrastructure and Transport R&D

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

교통물류연구사업 제1차 연도 최종 보고서

발 간 등 록 번 호
11-1613000-001796-01

R&D / 14TLRP-C079944-01

바이모달 트램 실용화 기술개발 최종보고서

2016. 6. 29.

주관연구기관 / (주)우진산전

위탁연구기관 / 아주대학교 산학협력단

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'바이모달 트램 실용화 기술개발'(연구개발 기간 : 2014.6.30 ~ 2016.6.29) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2016. 6. 29.

주관연구기관명 : ㈜우진산전 (대표자) 김상용 (인)

위탁연구기관명 : 아주대학교 산학협력단 (대표자) 최경희 (인)

주관연구기관책임자: 김상용
위탁연구기관책임자: 윤일수

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>14TLRP-C079944-01</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2년</td><td>단계구분</td><td>1 / 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">교통물류연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">바이모달 트램 실용화 기술개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김상용</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 81명
내부: 75명
외부: 6명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부: 3,670,000천원
기업: 2,455,780천원
정부 외: 천원
계: 6,125,780천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 81명
내부: 75명
외부: 6명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 3,670,000천원
기업: 2,455,780천원
정부 외: 천원
계: 6,125,780천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="2">㈜우진산전</td><td colspan="2">참여기업명</td><td></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td><td></td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명: 아주대학교</td><td colspan="2">연구책임자: 윤일수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">요약</td><td colspan="3">보고서 면수: 301</td></tr>
</table>

우리나라의 대중교통수단의 고급화, 친환경성, 이동편의성 제고에 대한 요구는 교통에 대한 투자 추세가 “저탄소·녹색성장”과 “교통기본권 보장” 등으로 전환됨에 따라 크게 증대되고 있다. 이에 우리 정부는 지금까지 대중교통수단 개선에 많은 노력을 기울여 왔으며, 이러한 노력의 일환으로서 국토교통부 주도 하에 신교통수단으로서 바이모달 트램이 개발되었다.

교통약자의 이동편의 증진을 위해 개발된 바이모달 트램은 일반도로에서의 주행이 가능할 뿐만 아니라, 전용도로에서 정시성, 안전성 및 쾌적성 확보가 가능하고, 지역별 교통수요 특성에 맞추기 위한 대용량 대중교통수단으로 적용할 수 있으며, 저상차량로서 승객의 승하차가 수월하여 이용객의 만족도를 높일 수 있다. 아울러 본 연구를 통해 개발된 바이모달 트램은 유로-6 기준을 만족하는 하이브리드 디젤 엔진을 적용하여 대기오염 및 교통소음 등 도시환경 문제 개선에 기여할 수 있다.

이러한 장점을 토대로 바이모달 트램 실용화 연구가 진행되었고, 연구 개발을 통하여 추진 장치 등 기존의 차량에 발생된 문제를 해결하기 위하여 안정적인 주행에 필요한

배터리 및 발전량을 효율적으로 관리할 수 있도록 하였고, 자동차 기준에 맞는 유로-6 디젤엔진을 적용하였으며, 전체 시스템을 효율적으로 제어하는 추진시스템의 프로그램을 개선하였다. 바이모달 트램 실용화 개발차량은 바이모달 트램의 양산에 필요한 자동차 안전기준 및 안전검사를 완료하였고, 환경인증시험을 거쳐 환경인증서를 획득하였다. 또한 지속적인 내구성 시험을 통하여 발견한 문제점들을 개선하였으며, 전체적으로 시스템을 보완하여 양산 차량에서는 문제가 없도록 하였다. 또한 바이모달 트램의 실용화를 위하여 본 연구과제에서 바이모달 트램의 시장분석, 가격분석 및 설계 및 운영지침에 대한 부분도 연구가 이루어졌다. 시장분석서는 바이모달 트램에 대하여 고객들이 판단하는 가치와 바이모달 트램의 가치를 부여하는 요소를 확인하고, 바이모달 트램의 사업계획 수립과 더불어, 국토교통부 및 지자체의 도입 계획 수립 시에 활용될 것으로 기대된다. 가격분석서에서는 향후 국내 버스, BRT, 신교통수단 등 대중교통 도입 여건을 반영하여 국토교통부 및 지자체 등의 신교통 시스템 관련 정책 수립시 정부 및 지자체의 지원 필요성을 강조하였고, 바이모달 트램에 대하여 바이모달 트램의 도입의 경제성 등을 사전에 추정할 수 있는 기초 자료를 제공하였으며, 또한 잠재적 수요처를 중심으로 분석 사례를 제시하였다. 바이모달 트램 설계 및 운영지침에서는 바이모달 트램의 도입을 위하여 필요한 사항인 신교통수단 설계 기준, 운영평가, 도입 관련 행정 절차 등을 구체적으로 제시하였다. 따라서 제작사의 바이모달 트램 생산과 국토교통부 및 지자체의 바이모달 트램 관련 시설 설치 및 도입 등에 활용될 것으로 기대된다.	

〈 요약문 〉

연구의 목적 및 내용	바이모달 트램 실용화를 위한 기술개발
연구개발성과	「바이모달 트램 실용화 기술개발」 사업은 기존 바이모달 트램 차량의 보완, 가격경쟁력 확보, 차량의 신뢰성 개선을 위한 실용화 사업으로서 진행되었다. 본 사업의 목표는 바이모달 트램 실용화를 위한 차량 개조, 인증 획득, 시운전 및 차량 내구성 평가와 바이모달 트램 시스템 보급 확산을 위한 실용화 전략 수립이며, 이에 따른 연구 성과는 다음과 같다. ● 차량 개조 - 실용화를 위한 기술요구사항 및 성능수준 도출 - 시제 1, 2호 차량을 대상으로 내구성능향상을 위한 설계 보완 및 개조 - 유로-6 엔진 적용 및 추진배터리 시스템 최적화 ● 인증 획득 - 자동차 안전인증 (자동차안전연구원) - 자동차 환경인증 (환경부) ● 시운전 및 차량 내구성 평가 - 가혹조건 주행 테스트 - 차량 구동성능 및 효율적 연비 확보를 위한 시스템 최적화 - 사업화 대상지 도로 및 운영 인프라와의 시스템 통합 및 평가 ● 상용화 추진 방안 수립 - 고객니즈를 반영한 다양한 상용화 방안 구성 - 운영/유지보수 체계 및 매뉴얼 개발 - 실용화를 위한 가격분석 및 홍보전략 수립 본 연구를 통해 실용화된 바이모달 트램의 사양은 다음과 같다. <표 1> 바이모달 트램 사양

구분		실용화 차량
차량 크기	길이	18.8m
	폭	2.495m
	높이	3.39m
차량 중량	공차 하중	19,500kg
	만차 하중	26,000kg
차량 성능	최고속도	80km/h
	가속도	1.2m/s2 (0~25[km/h])
	가속시간	7.34sec (0~30[km/h])
	등판능력	20% (공차상태)
	회전반경	11.4m

	스윙아웃	0.5m
추진 성능	엔진형식	ISB Diesel Euro-6 6.7L
	엔진 최대출력	209kW (280PS)
	발전기 출력	140kW @ 2400rpm
	배터리 형식	168Cell / 8Module 충전2C/방전5C@C.C
	견인전동기	PMSM
	견인전동기 출력	200kW
	추진인버터	IGBT, VVVF

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)

최근 교통에 대한 투자 패러다임이 “이용자 중심의 안전하고 효율적인 첨단 교통체계”로 바뀜에 따라 정부는 대중교통의 통행여건 개선 및 선진국 수준의 교통시스템 구축을 목표로 다양한 사업들을 추진해오고 있다. 또한 간선급행버스체계와 같은 대중교통 우선 정책을 통하여 고령자를 포함한 교통약자의 이동편의를 증진시키고 교통수요관리를 위해 노력하고 있다. 대도시에서의 대중교통시스템은 안전성, 접근성, 경제성이 요구되어질 뿐만 아니라 대기환경오염을 줄일 수 있어야 한다. 도심지역의 혼잡으로 인하여 도로와 교통시설을 증가시키는 데에는 한계가 있고, 교통체증이 지속되어 대중교통 서비스의 질이 낮아지게 된다. 이를 해결하고자 인천 청라국제도시 및 세종특별자치시 등 여러 지자체에서 BRT 도입에 관한 검토를 진행하고 있으며, 현재 세종특별자치시 BRT노선에는 정거장 및 입체 도로를 갖춘 전용도로, 우선신호체계 등 일부 인프라는 구성되어 있는 상태이다.

본 R&D에서는 실용화 기술개발을 통하여 경량전철에 비해 저렴한 건설비로 편의성 및 대용량의 수송 능력을 갖춘 바이모달 트램을 개발하였다. 본 R&D에서 수행된 차량 개조, 가격 경쟁력 확보 및 차량 내구성 증대를 통해서 바이모달 트램은 영업운전이 가능하도록 개선되었으며 양산을 눈앞에 두고 있는 상황이다.

지방자치단체 및 대중교통 운영사의 요구에 따라 바이모달 트램의 시범운행 및 영업운행 등의 홍보 활동을 하였다. 이를 통하여 도입 과정에서 나타난 제도적 미비점과 시민들의 개선 요구사항을 반영 및 보완하여 개선방향을 도출 하였다.

바이모달 트램은 대중교통으로서 시스템 성능상 일반버스의 고용량화 및 서비스빈도 증대, 경량전철의 저용량화 및 서비스빈도 증대가 요구되는 상황에서의 도입이 적합하다고 판단된다. 바이모달 트램은 전용차선 및 입체교차로, 우선신호체계 등을 통한 정시성 확보가 가능하고, 하이브리드 추진방식에 의한 친환경성, 전용도로 뿐만 아니라 일반도로에서 운행이 가능하여 다양한 용도로의 활용이 예상된다.

주요 대중교통수단은 고유범위가 존재한다. 하지만, 때로는 대중교통서비

스에서 틈새가 발생할 수도 있기 때문에 다양한 크기의 교통수단의 조합을 통해서 서비스의 사각지대를 지울 수 있도록 상호 보완적인 관계로의 설정이 필요하다. 도시 통행을 위한 여건과 요구조건은 매우 다양하여 교통체계는 하나의 복합환승교통체계 내에서 선택 가능한 대안으로서 고려되어야 한다. 따라서 바이모달 트램은 대중교통 서비스에 있어 일반버스와 차별화된 대중교통 수단이며 해당 노선의 도입 전략은 다음과 같다.

- 도시 내 간선기능을 할 수 있는 노선에 고급 교통수단으로서 바이모달 트램을 적용
- 버스의 서비스 용량을 넘어서거나 타 수단과의 연계성에 문제가 발생할 경우지자체의 BRT 노선대안으로써 적용 가능
- 환승의 편이성을 전철/지하철과의 전용궤도 설치를 통한 직렬 연계를 통해 개선이 필요한 경우
- 경전철을 계획하고 있는 도시에서 버스만으로는 교통이 혼잡하고, 경전철의 경제적 타당성이 낮은 경우
- 주거밀집지역, 상업지구의 경우는 지하로, 나머지 노선구간과 도시 외곽구간의 경우는 지상을 이용하는 방법으로 접근하여 바이모달 트램의 특성을 살려 승객의 접근성을 높이고 비용을 최소화 할 수 있도록 추진

상기 도입전략을 바탕으로 BRT 노선 등에 바이모달 트램이 공급 및 운행된다면 고품질 대중교통수단으로서 교통약자 이동편의 증진 및 대중교통 서비스 개선 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	Technical Development for the Commercialization of the Bimodal Tram
R&D Results	This R&D was initiated to resolve the problems found in the previous Bimodal Tram vehicles, to secure price competitiveness, and to ensure the reliability of the vehicle. To this end, the R&D effort has conducted the vehicle improvement, the achievement of certifications, the durability assessment of the vehicles, and the development of the strategic plan for the commercialization of the Bimodal Tram. The followings are the summary of the results of this R&D. • Vehicle improvement - Identification of the technical requirements for commercialization, - Design supplement and vehicle modification, - Improvement of the durability for the experimental vehicles #1 and #2, and - Deployment of a Euro-6 engine and the optimization of the battery-system. • Achievement of certifications - Motor-vehicle safety certification (the Korea Automobile Testing and Research Institute), and - Vehicle Environmental Certification (the Ministry of Environment). • Test driving and the durability assessment - Test driving in severe operational environment, - System optimization to secure vehicle driving performance and efficient fuel economy, and - System integration and evaluation of vehicles with road facilities and operation infra at the potential operation areas. • Development of the strategic plan for commercialization - Development of diverse commercialization strategies depending on customer's needs, - Development of operation and maintenance systems and manuals, - Analysis of cost and economic feasibility, and - Establishment of PR strategy.

The following table summarizes the specification of the Bimodal Tram developed in this R&D.

<Table 1> Specifications of Bimodal Tram

Items		Specifications
Dimension	Length	18.8m
	Width	2.495m
	Height	3.39m
Weight	Curb Weight	19,500kg
	G.V.W	26,000kg
Performance	Max speed	80km/h
	Acceleration	1.2m/s2 (0~25[km/h])
	Acceleration time	7.34sec (0~30[km/h])
	Climbing capacity	20% (Unloaden situation)
	Turning radius	11.4m (within 12m)
	Swing out	within 0.5m
Propulsion	Engine type	ISB Diesel Euro-6 6.7L
	Engine max power	209kW (280PS)
	Generator power	140kW @ 2400rpm
	Battery type	168Cell / 8Module Charge 2C/Discharge 5C@C.C
	Traction motor	PMSM
	Traction motor power	200kW
	Traction inverter type	IGBT, VVVF

Expected Contribution

Recently, the paradigm for the investments on transportation system has been changed to “safe, efficient, and advanced transportation system for users” so that the government has conducted diverse projects to improve the travel conditions for public transit and to secure the transportation systems at the level of advanced countries.

In addition, the government has tried to conduct travel demand management and improve the travel convenience of transportation vulnerable through the public transit priority policies such as a bus rapid transit (BRT). The public transit system for major cities are expected to secure improved safety, accessibility, economic efficiency,

sustainability as well.

There is an apparent limitation in improving the capacities for roads and transportation facilities. Therefore, the chronic congestion in urban areas has reduced the quality of public transit service. In order to resolve such a problem, many local government, including Cheongna International City, Sejong City, etc., have introduced the BRT systems. For example, Sejong City has already constructed bus-stops, roadways, priority signal systems dedicated to the BRT.

The Bimodal Tram developed in this R&D requires lower construction cost than light weigh electronic railways. In addition, the Bimodal Tram has more merits in convenience, transportation ability than the normal bused.

The Bimodal Tram became ready for commercialization through the vehicle improvement, durability assessment, etc. The PR activities such as pilot services and a commercial service of the Bimodal Tram were conducted by requests of local governments and a bus operating company. The institutional shortcomings and requirements for improvement from actual users found through the activities have been completely improved.

As a public transit, the Bimodal Tram is expected to be introduced well when the bus service is required to be increased well when the bus service is required to be increased in terms of its capacity and frequency and the light weight electronic railway service is required to be decreased in its capacity and increased in its frequency.

It is expected for the Bimodal Tram to service the punctuality based on dedicated roadways equipped with the transit priority multi-level crossings.

In addition, the Bimodal Tram is environmental friendly vehicle which is able to be use in mixed traffic roadways also.

The major public transit services have their own positionings. However sometimes, different public transit services should be complementary in order to stop up the possible cracks in services and

The Bimodal Tram is able to provide a differentiated service against the normal buses. Therefore, the following introduction strategies are identified in order to promote the commercialization of the Bimodal Tram as a high-quality public vehicle.

- The Bimodal Tram is able to be deployed in major public transit lives in urban areas.
- The Bimodal Tram is able to be deployed in a public transit lives where the traditional buses can not accommodate the travel demands.
- The Bimodal Tram is able to improve the convenience of transfer using direct connection to metro stations using dedicated roadways.
- The Bimodal Tram can be considered as a cost-effective alternative in a city where the light-weigh electronic railway does not meet the economic feasibility but the traditional bused cannot treat travel demands.
- In addition, the Bimodal Tram can travel underground roadways in the CBD. and travel ground roadway when connect the CBD and the sub-area

	in a way to minimize construction cost and to maximize the accessibility. The Bimodal Tram is expected to be used as a high-quality and mass public transit service bused on the above deployment strategies.

Keywords	Bimodal Tram	Bus Rapid Transit	Certification	Hybrid	Euro-6

〈 Contents 〉

Abstract ····· i
English Abstract ····· iv
English Contents ····· viii
Contents ····· ix

1. Introduction ····· 1
1.1 Research Purpose ····· 1
1.2 Research Needs ····· 4
1.3 Research Scopes ····· 6

2. Development Status of Techniques for Bimodal Tram ····· 13
2.1 Research Trends and Academic Achievements of Related Areas ····· 13
2.2 Trends of Bimodal Tram-related Patents ····· 15
2.3 Development Status of Techniques ····· 25

3. Contents and Performance of Research ····· 34
3.1 Vehicle Improvement ····· 34
3.2 Achievement of Certifications ····· 164
3.3 Test Runs and Durability Assessment of Bimodal Trams ····· 187
3.4 Strategic Plan for Commercialization ····· 241

4. Achievement of Objectives and Contributions to Related Areas ····· 277
4.1 Achievement of Research Objectives ····· 277
4.2 Contributions to Related Areas ····· 278

5. Application Plan for Research Outputs ····· 280
5.1 Application Plan of Research Outputs ····· 280
5.2 Challenges for Commercialization ····· 294

6. Representative Research Achievements ····· 297

7. References ····· 298

〈 목 차 〉

요약문 ····· i
영문요약문 ····· iv
영문목차 ····· viii
국문목차 ····· ix

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1
제1절 연구개발의 목적 ····· 1
제2절 연구개발의 필요성 ····· 4
제3절 연구개발 범위 ····· 6
1. 시제차량 보완사항 검토 및 차량개조 ····· 6
2. 안전 인증 및 환경인증 ····· 10
3. 내구성 시험 운행 ····· 11
4. 상용화 추진방안 수립 ····· 12

제2장 국내외 기술 개발 현황 ····· 13
제1절 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과 ····· 13
1. 연구개발과제의 차별화 방안 ····· 13
2. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석 ····· 14
제2절 국내외 관련 기술 특허 동향 ····· 15
1. 기술의 구성 ····· 15
2. 특허 분석 ····· 16
3. 결론 ····· 24
제3절 국내외 기술 개발 현황 ····· 25
1. 대용량 및 고급 BRT 신교통수단의 종류 및 국내 도입 현황 ····· 25
2. 대용량 및 고급 BRT 신교통수단 비교 ····· 30
3. 외국의 도입 추진 현황 ····· 31
4. 시사점 ····· 33

제3장 연구 수행 내용 및 성과 ····· 34
제1절 차량개조 ····· 34
1. 기술 요구사항 및 성능수준 도출 ····· 34
2. 내구성능 향상을 위한 설계보완 사항을 반영한 차량 설계 및 개조 ····· 101
3. 추진 시스템 최적화 ····· 149
제2절 인증획득 ····· 164
1. 자동차 인증 ····· 164
2. 자동차 안전인증 ····· 165

3. 자동차 환경인증 ····· 182
제3절 차량 성능시험 및 지자체 시범운행 ····· 187
1. 내구성 주행테스트 ····· 187
2. 차량의 성능 개선 및 실노선 운행 평가 ····· 198
3. 지자체 시범운행 ····· 204
4. 차량 구동성능 및 효율적 연비 확보를 위한 시스템 최적화 ····· 210
5. 사업화 대상지 운영 인프라와의 시스템 통합 검토 ····· 216
제4절 상용화 추진 방안 수립 ····· 241
1. 고객 니즈를 반영한 다양한 상용화 방안 구성 ····· 241
2. 운영 및 유지보수 체계 구축 및 매뉴얼 작성 ····· 249
3. 실용화를 위한 홍보전략 수립 ····· 262
4. 실용화를 위한 가격 분석 ····· 269

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 277
제1절 연구개발 목표 및 달성도 ····· 277
1. 차량 개조 ····· 277
2. 인증 획득(시제 1, 2호) ····· 277
3. 시운전 및 차량 내구성 평가(시제 2호) ····· 277
4. 상용화 추진 방안 수립 ····· 277
제2절 관련 분야 기여도 ····· 278

제5장 연구개발성과의 활용계획 ····· 280
제1절 연구개발 결과물의 활용방안 ····· 280
1. 대용량 및 고급 BRT 신교통수단 제공 ····· 280
2. 대용량 BRT의 자동운전 및 친환경 동력시스템 핵심기술 개발을 위한 플랫폼 제공 ····· 281
3. 바이모달 트램 상용화 역량 강화에 활용 ····· 281
제2절 실용화를 위한 해결과제 ····· 294
1. 첨두시 및 비첨두시 수송수요 변화 등을 고려한 분석 ····· 294
2. 대도시 대중교통체계 내 활용 방안 ····· 295
3.「바이모달 트램 잠정지침」수정 보완 ····· 296
4. 지속적인 내구성 시험을 통한 바이모달 트램 차령 연장 ····· 296

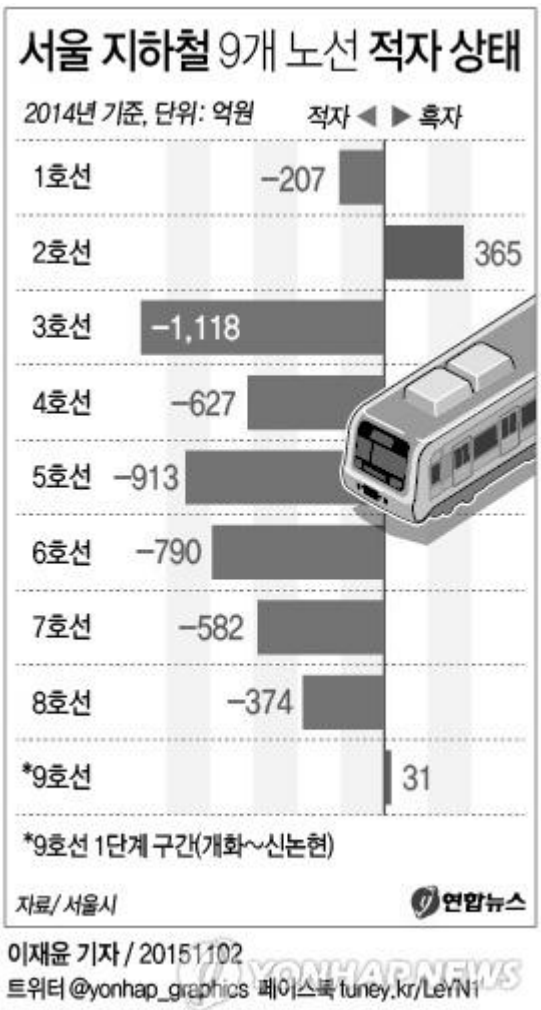
제6장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 297

제7장 참고 문헌 ····· 298

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

우리나라의 대도시는 서울 도심을 시작으로 1970년대부터 꾸준하게 지하철을 건설하면서 도심의 인구집중화로 인한 대중교통 수요를 해결하기 위해 노력해왔다. 수도권으로부터 지방으로 경제활동 권역이 확대되면서 많은 대도시의 지하철 건설을 강력하게 요구되고 있다. 그러나 지하철의 초기 건설비용 및 운영 측면에서 과다한 건설비용 부담과 운영적자라는 문제점에 직면하고 있다. 따라서 건설비를 지원해야 하는 정부로서는 이러한 부담을 덜고자 저렴한 대중교통 시스템의 도입을 권고하는 추세이다.



<그림 1.2> 서울 지하철 9개 노선 적자상태

출처: 연합뉴스(2015.11)

현재 이러한 국내 상황에 맞추어 대다수의 도시에서 지하철보다 저렴한 경전철의 도입을 고려하고 있다. 경전철은 오래 전부터 프랑스 및 일본과 같은 선진국에서 다양한 형태의 경량전철이 운행 중이다. 경전철과 같은 철도 시스템이 주목받는 이유는 다른 대중교통수단에 비하여 경제적이고 친환경적이라는 면이 있기 때문이다. 경전철과 함께 논의가 되어온 버스 운송 시스템은 경전철에 비해 적은 비용과 운영의 유연성 및 접근성이라는 큰 장점을 가져, 특별한 제한조건 없이 도입이 가능하다. 하지만 승객이 원하는 시간에 이용할 수 있는 정시성에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하고자 서울 도심과 부도심을 잇는 버스체계를 전용도로체계로 운행하려고 하였지만, 극심한 교통체중이 발생하는 구간에서 버스도 영향을 받아 정시성에 한계를 가질 수밖에 없다. 국내에서는 이러한 경전철의 정시성과 버스의 유연함을 동시에 가지는 대중교통수단을 운행하고자 BRT(Bus Rapid Transit)시스템을 운영하고 있다. BRT는 다양한 형태를 가지고 있어, 아주 고도화된 BRT가 운행되고 있는 곳과 버스를 일부의 전용궤도로 운영하는 BRT가 운행되고 있는 곳도 있다. 현재 BRT를 도시형 궤도차량으로 개선 · 개발하고 지하철 및 철도시스템의 경험 및 운영체계를 바탕으로 집중적인 연구개발을 수행하여 미래형 대중교통체계를 구축할 수 있도록 노력이 필요하다. 또한, BRT과 함께 일반 노선에서도 달릴 수 있는 대용량 수송이 가능한 차량을 개발하여 실용화 하고자 바이모달 트램 시스템을 도입하고, 이에 대하여 기술 및 성능적인 측면에서 면밀한 테스트가 필요하다. 이로써 바이모달 트램이 대중교통수단으로서 안정성 및 신뢰도 검증을 거쳐 공공장소에서의 운행 서비스 이전에 공인기관의 인증절차 및 시범운행 등이 수행할 수 있다. 현재 세종특별자치시, 인천 청라국제도시 등 여러 도시에서 BRT 시스템으로 바이모달 트램 도입을 추진 중에 있으며, 이러한 수요처 요구를 충족할 수 있도록 실용화 기술개발을 통한 차량 제작 및 공급이 시급한 실정이다. 신에너지 바이모달 수송 시스템 개발 사업 과제를 통해 개발된 한국의 바이모달 트램은 APTS(현 VDL)사로부터 기술이전 받아 국내 운행환경에 맞추어 차량 및 운영인프라 기술을 국산화하여 개발하였으며, 시제차량을 제작 · 시험평가하고 시험운행을 하였다. 당시 세종특별자치시와 여수 엑스포에서 바이모달 트램 시제차량의 시범운행을 진행하였으며, 시제차량의 시범운행 과정에서 발생한 고장으로 인하여 신뢰성에 대한 의문이 제기되었다. 발생한 고장의 주요 사항은 엔진, 모터 및 배터리 등에서 발생하였고, 고장의 원인은 성능 평가를 위한 시제차량을 하절기 및 동절기의 악조건에서 일반 영업용 차량보다 무리하게 운행한 점과 유지보수 경험 부족으로 분석되었다. 따라서 당시에는 이러한 문제점의 해결이 필요하였으며, 실용화 단계에서 해당 문제점을 중점으로 개선하는 설계가 진행이 되었다.

또한 바이모달 트램이 도로에서 주행하기 위해서 국내 법규상 안전인증을 받아야 한다. 바이모달 트램은 자동차로 분류할 때 적합한 분류규정이 없기 때문에 승합자동차로서 대형버스에 적합한 사항으로 안전인증을 받아야하며, 시험항목으로 조향, 제동, 등화, 소음, 전자파, 전복 시험 등이 있다. 실용화 과제의 주관인 우진산전의 경우에는 자기인증능력 미확보 제작사로

등록 되어있기 때문에, 자동차관리법에 따라 성능시험대행자(자동차안전연구원)로부터 확인을 받아 자기인증을 하여야 하는 규정에 따라 제작 자동차 안전기준 확인 시험을 받아 진행이 되었다.

신에너지 바이모달 수송 시스템 개발 사업 과제로 개발된 바이모달 트램 시제 차량은 유로-5 CNG 엔진을 탑재하여 자가발전시스템을 갖춘 차량으로 개발되었다. 하지만 배출가스 규제 강화로 인해 배출가스 허용기준인 유로-6에 적합하지 않았다. 이를 해결하기 위하여 실용화 사업에서의 바이모달 트램이 현 기준에 적합하기 위해 유로-6 클린디젤 엔진을 발전기와 연결하여 차량의 자가발전시스템으로 사용하였다.

이전 과제에서 시제 차량에 발생했던 시험운행 중 오류/고장 원인과 조치내용을 검토를 바탕으로, 실용화 단계에서는 품질 및 신뢰성 확보가 필요하다. 이를 위해서는 충분한 내구성 시험 및 평가가 일반 도로 등에서 주행테스트가 이루어 져야 하며, 구동성능 및 다양한 테스트를 통하여 안정성의 확보가 되어야 하며, 하이브리드 추진 기술 등 핵심장치의 신뢰성 향상과 지속적인 기술이 보완이 필요하다.

또한 차량의 실용화를 위하여 차량의 가격경쟁력의 확보가 필요하다. 이전 단계의 바이모달 트램 시제차량은 각 축의 개별구동 방식을 사용하여 차량의 가격이 높으며, 점검 요소가 많아 유지보수 비용이 컸다. 또한 FRP차체의 사용으로 차량의 내구성을 높이고 차량의 중량을 낮추어 성능을 향상시켰지만 차량의 단가가 높아지고 내구연한 만료 시에 차량의 재활용 비율이 낮다는 단점이 있었다. 실용화 과제에서는 3축의 단독구동 방식을 적용하여 차량의 단가를 낮추고 유지보수의 편의성을 확보하였으며, 알루미늄 차체를 적용함으로써 차량의 단가를 낮추고, 내구연한 만료 시에 차량의 재활용 비율을 높여 환경오염을 줄이도록 하여 가격 경쟁력을 높이도록 하였다. 바이모달 트램의 해외 진출을 위하여 시스템의 신뢰성 확보와 가격 경쟁력에서 우위를 점하는 것이 중요하다. 따라서 꾸준한 개발 투자로 가격 경쟁력을 확보한다면 해외 진출이 가능할 것으로 판단된다.

또한 인구의 고령화로 인하여 국내 인구의 교통약자가 증가하는 추세이기 때문에 이를 고려한 대중교통수단이 필요한 실정이다. 따라서 저상면적이 넓고 휠체어 락과 휠체어 램프 등의 적용으로 휠체어 이용자는 물론 장애의 정도가 가벼운 장애인과 고령자를 포함한 교통약자의 입장을 배려한 대중교통 수단 개발이 필요하다. 바이모달 트램은 이를 고려한 교통수단 시스템으로써 실용화 개발을 통해 교통약자 이동편의를 제공할 수 있다.

제2절 연구개발의 필요성

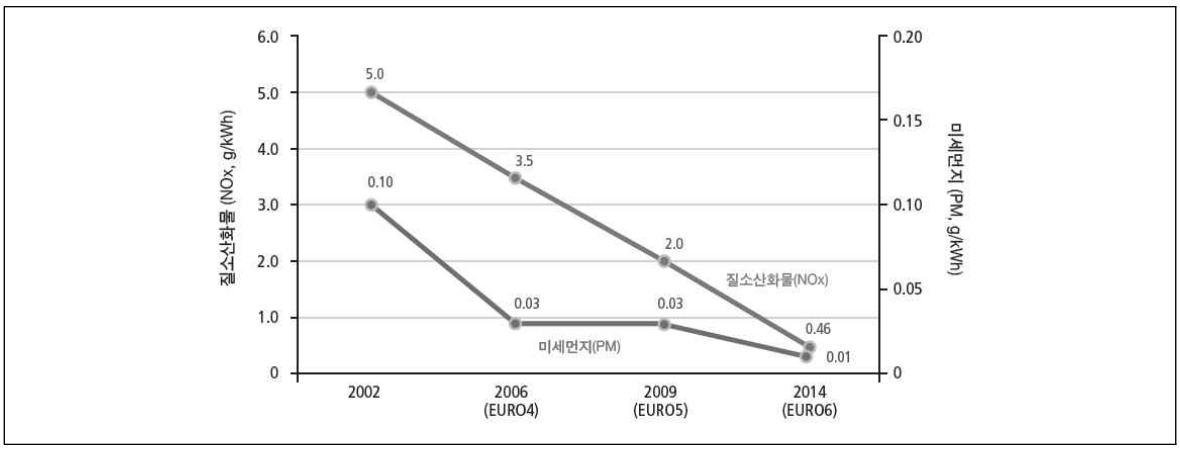
현재 정부에서 목표로 하는 교통약자의 이동편의 증진을 위해서 미래형 초저상 차량의 확대 보급이 필요한 시점이다. 바이모달 트램은 교통약자가 편리하게 이용할 수 있는 미래형 대중교통 수단이다.

기존 개발된 바이모달 트램은 신에너지 바이모달 수송 시스템 개발사업 과제로 개발된 차량이다. 차량은 유로-5 CNG 엔진을 적용한 발전기와 리튬 폴리머 배터리, 구동모터를 결합한 하이브리드 추진방식이며, 구동모터는 2축과 3축의 개별구동 방식이다. 차체는 FRP 소재를 사용하여 적층방식으로 제작하였으며, 자기유도에 의한 자동운전이 가능한 차량으로 정밀정차를 통하여 교통약자의 승하차에 불편함을 최소화 하였다. 일반 도로 및 전용도로에서 운행이 가능하며 전용도로에서는 매설된 마그네틱 바 인식을 통해 자동운전이 가능한 차량으로 개발되었다.

개발된 바이모달 트램 시제차량은 차량의 품질 및 신뢰성 확보, 내구성 시험 및 홍보를 위하여 세종특별자치시 BRT 전용도로 및 여수엑스포에서 시범운행을 하였다. 세종특별자치시 BRT 전용도로에는 일부구간 일반차량과 혼재되어 있는 노선과 전용도로 구간으로 구성되어 있으며, 편도기준 31km의 중앙차로형태로 정류장이 차로의 중앙에 설치되어 있고, 고가와 지하차도의 건설로 정시성이 보장되는 노선이다. 여수엑스포 에서의 시범운행은 엑스포 정문에서 이순신광장까지 왕복 11.2km 구간에서 운행되었으며, 일부 자동운전 구간을 두어 정류장에서의 정밀정차를 구현하였다.

그러나 신에너지 바이모달 수송 시스템 개발사업 과제로 개발된 바이모달 트램의 각 파트별 시스템은 요구되어지는 차량의 성능 및 기능에 적합하도록 개발된 제품으로 부품개발 투자비로 인하여 차량 가격이 높아지게 되었다. 바이모달 트램의 실용화를 위해서는 차량의 가격을 낮추고 점검요소를 줄여 유지보수가 용이한 차량 개발이 필요하다.

또한 유럽연합은 질소산화물(NOx)과 분진(PM)에 대한 배출량을 제한하며 그 기준을 점차 강화해 오고 있다. 1992년 일반 승용차 및 경트럭을 대상으로 유로-1이 처음 시행된 이후 단계적으로 강화되어 2015년 6월 30일까지 유예기간을 두고 유로-6 기준이 적용되어 배출가스 기준을 초과하는 차량은 신규 등록이 불가능하다. 대기환경 보전법 제48조에 따라 “제작차 배출허용 기준”을 충족하는 엔진성능을 확보하기 위해 유로-6 엔진으로 차량개조가 필요하며, 시제차량에 적용된 엔진은 유로-5 CNG 엔진으로 배출가스에 제한이 있어 EURO-6 기준을 만족하는 엔진으로 교체가 필요하다.



<그림 1.3> 배출가스 허용기준

시제차량 개발 이후 바이모달 트램 특별법을 통하여 일반 도로 및 전용도로에서 자동운전이 가능하도록 운행하려 했으나, 바이모달 트램의 실용화를 앞당기기 위해 자동차 관리법의 차종을 대형 승합으로 분류하여 자동차 안전인증 및 환경인증을 획득하여 일반도로 및 전용도로에서 운행이 가능한 양산 차량 개발이 필요하다.

제3절 연구개발 범위

기존의 차량에서 보완이 필요한 사항은 차량의 성능을 좌우하는 엔진 및 발전기, 배터리, 추진시스템 등의 중요장치 보완과 주변장치 보완으로 나눌 수 있다. 기존에 발생되었던 추진시스템 관련 보완 사항은 다음과 같다. 주행에 필요한 배터리 및 발전량을 효율적으로 관리하고, 유지보수가 편리한 디젤엔진을 적용하였으며, 이들을 효율적으로 제어할 수 있는 추진시스템 프로그램을 개발했다.

1. 시제차량 보완사항 검토 및 차량 개조

가. 시제차량 보완사항 검토

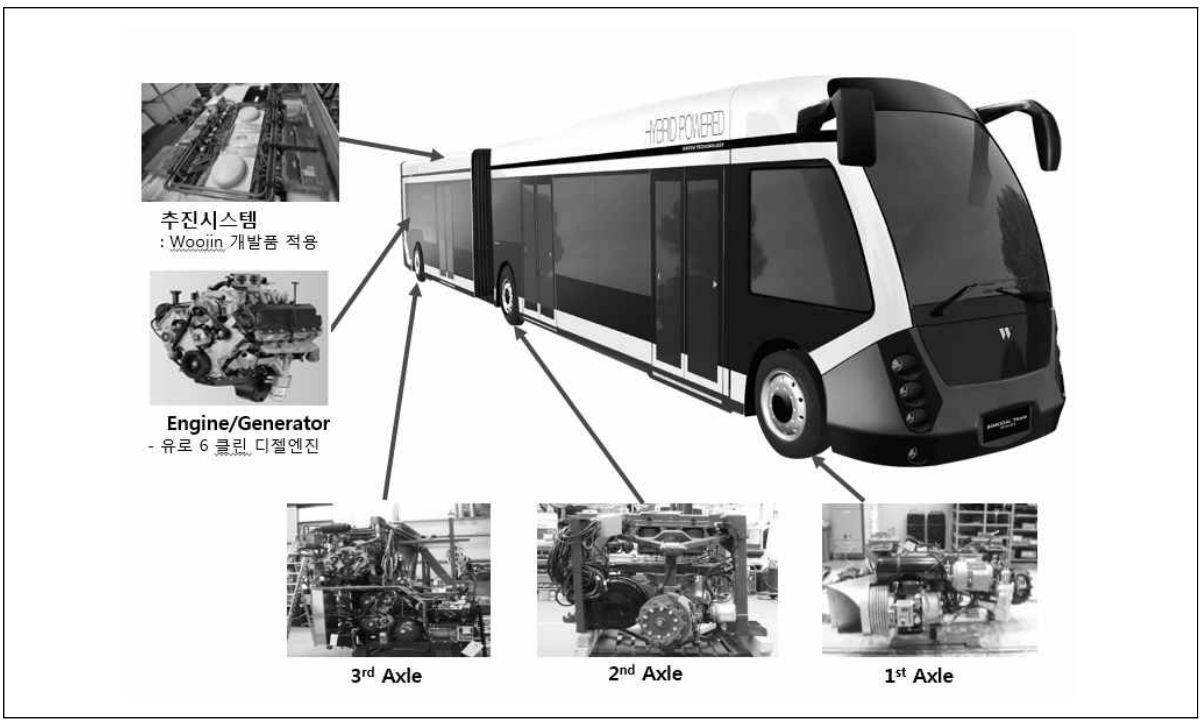
실용화 과제 전 단계인 신에너지 바이모달 수송 시스템 개발 사업 과제를 통해 개발된 시제차량이 세종특별자치시와 여수 엑스포에서 시범운행을 진행하였다. 당시 시제차량의 시범운행 과정에서 하절기 및 동절기의 악조건에서 일반 영업용 차량보다 가혹하게 운행이 진행되면서 다양한 문제점이 발생하였다. 먼저 엔진 및 발전기, 배터리, 추진 장치 등의 고장이 발생하였던 중요 장치와 주변장치의 개선이 필요하였다. 또한 시제 차량은 유로-5 CNG 엔진을 탑재하여 자가발전시스템을 갖춘 차량으로 개발되었지만, 현재 배출가스 허용기준이 강화되어 이에 적합한 유로-6에 부합되지 못하여 실용화 차량투입에 어려움이 있었다. 시제차량 구동시스템의 경우 각 축의 개별구동 방식을 사용하였다. 개별 구동방식에 사용된 모터는 국산화를 통하여 개발된 제품으로 국내 법규와 차량의 성능에 맞추어 제작되었지만 개발 제품 사용으로 인해 차량의 가격이 높으며, 축마다 구동모터를 사용하기 때문에 점검 요소가 많아 유지보수 비용이 컸다. 차체는 FRP소재를 사용하여 차량의 내구성을 높이고 차량의 중량을 낮추어 성능을 향상시켰지만 차량의 단가가 높아지고 내구연한 만료 시에 차량의 재활용 비율이 낮다는 단점이 있었다.

바이모달 트램 시제차량에 적용된 자동운전 시스템은 자기유도방식으로 차량 주행과 노선의 특성을 감안하여 전용도로 하부에 자기유도 장치인 마그네틱 바를 설치하여 연속성 있는 자기유도 궤도를 형성하고, 이를 기준으로 하여 자동운전 시스템을 통해 자동주행이 가능한 차량이다. 세종특별자치시와 여수세계박람회에서 일부 구간에 자동운전이 가능한 노선을 기획하였고 시범운전을 통하여 신교통 시스템으로서의 자동운전을 구현하였다. 바이모달 트램 실용화 기술개발 사업에서 자동운전은 옵션사항으로 분류하여 차량에 적용하지 않았다. 현재 국내의 「도로교통법」 및 자동차 관련 법규에서 자동운전이 허용되지 않으며, 자동운전 관련 인프라 구성이 되어 있는 노선이 없어 현 시점에서의 실용화 차량에는 자동운전이 필요하지 않는 상황이며, 자동운전에 대한 신뢰성을 확보하기 어려운 상황이었다. 실용화 기술개발 사업에서 자동운

전을 옵션사항으로 분류하여 차량에 적용하지 않았다. 수동운전을 전제로 가격절감 및 자동차 인증획득을 목표로 실용화를 진행하였으나, 기존 마그네틱 방식의 자동운전 시스템을 차량에 적용하기 위한 인터페이스는 확보되어 있다. 그러나 현재 실용화사업에서 개발된 차량에는 기존의 자동운전 시스템을 그대로 적용할 수 없다. 기존 차량에서 발생된 문제를 보완하기 위하여 추진 모터 및 감속기의 용량을 증대하였으며 2축과 3축의 독립구동방식을 3축 단독구동방식으로 시스템을 보완하였고 이에 따라 추진시스템을 변경하여 차량에 적용하였다. 아울러, 기존의 전차륜 조향시스템의 안전성 확보를 위하여 이중계로 시스템을 보완하였으며, 이런 기존 시스템의 변경으로 기존의 자동운전 시스템을 실용화 차량에 적용하기 위해서는 일부 시스템 보완이 필요한 상황이다.

검토 결과 시제차량에 자기유도방식 자동운전이 적용되었으나 현재 자동운전 인프라 구성이 되어 있는 노선이 없고, 자동차 관련 법규에서 자동운전이 허용되지 않아 실용화 개발 차량은 옵션사항으로 분류하여 적용하지 않았다. 또한 2, 3축 개별구동방식에 적용된 모터는 국산화를 통하여 개발된 제품을 적용되었으나, 실용화 차량에는 성능, 신뢰성 및 유지보수 용이성을 고려하여여 3축 구동방식으로 변경이 필요하였다.

실제 노선에서 자동운전을 위해서는 자동운전이 가능한 인프라 구축이 선행되어야 하며, 구축된 노선에서 자동운전 차량의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 최소 2년 이상의 시험운행으로 차량의 보완 및 신뢰성 그리고 안전에 관한 보완이 필요한 상황이다.



<그림 1.4> 실용화 개조 방안

나. 시제차량 보완대책

시제차량에서 발생되었던 문제점을 살펴보면 다음과 같이 크게 7종류의 문제로 구분되며 각각의 문제에 대해서 발생원인과 문제해결 방안을 검토하여 실용화 과제에서 이를 해결 하고 안전 인증 및 환경 인증을 만족하는 차량으로의 개발을 목표로 하였다.

<표 1.1> 시제차량 문제점 및 해결방안

항목		기존 차량 문제 발생	상용화 차량 적용
1	엔진	엔진룸 과열	- 유로-6 디젤엔진 사용 - 엔진룸 방열 구조개선 - 발전기를 통한 엔진 시동 - 커플링 사양 삭제
		시동모터 오류	
		엔진헌팅 및 출력저하	
		엔진 커플링 파손	
		냉각수 누수	
2	구동 시스템	구동 모터소손 및 미구동	- 기존 4개의 개별 모터 구동에서 단일 모터 구동으로 변경하여 구조를 단순화
		감속기 오일 누유	
		차량진동발생	
		모터펌프 고장	
		현가장치	- VCU로 과부하 차단 제어
3	배터리	배터리 과충전 및 오류	- 납품 실적이 있고, 인증된 배터리 사용으로 안전성 확보
		배터리 충전 오작동	
		배터리 차단	
4	조향 시스템	조향장치 고장	- 이중계 조향장치 사용으로 안정성 증대
		밸브 및 커넥터 소손	
		조향장치 누유	- 적정 주입량 파악하여 매뉴얼 반영 및 관리
		유압펌프 트립	- 펌프 모터에 전력을 안정적으로 공급하기 위해 보조 인버터를 다른 제품으로 사용함
5	차체	굴절장치 연결부 파손	- 굴절장치 연결부 구조 및 재질 변경
		에어컨 고장	- 양산제품으로 변경 사용
		히터 오작동 문제	- 전기식 히터 제품으로 사용
		출입문 고장	- 양산제품으로 변경 사용
		타이어 편마모	- 차륜정렬 작업을 주기적으로 진행, 주기적인 타이어 교체
6	전기 및 통신 장치	차량기동 불량현상	- 자체 VCU개발로 인해 알고리즘 프로그램으로 기동 순서를 차량에 맞도록 개선
		스위치 동작불량	- 사용 스위치의 종류를 최소화 하고, 양산 제품 사용
		방향지시등 미점등	- VCU 안정적인 제어방식으로 전원공급
		안내모니터 미현시	- 우진산전 자체 개발품 사용
7	소모성 부품	등화장치 불량	- 외부 노출되는 모든 기기들에 대해 방수 제품적용 및 방수처리

차량에 발생된 문제를 살펴보면, 차량의 성능을 좌우하는 엔진-발전기, 배터리, 추진 장치 등의 중요 장치에 대한 문제와 주변장치의 문제로 나눌 수 있다. 기존에 발생되었던 추진 장치의 문제에 대해서는 배터리, 엔진-발전기, 추진모터를 안정성과 신뢰도가 높은 실적 있는 제품을 사용하고, 주행에 필요한 배터리 및 발전량을 효율적으로 관리하고 제어하는 추진시스템의 프로그램을 개선하였다. 또한 우진산전에서 바이모달 트램용으로 이미 개발된 추진시스템을 보완 및 개선하여 차량에 적용하였다. 기존의 각축의 개별 구동방식에서 3축의 단독구동 방식을 적용하여 시스템을 단순하게 하고 유지보수 및 점검에 유리하도록 하였다.

주변장치의 문제점에 대해서는 기존의 차량이 시제차량으로 제작되어 전선 연결 및 커넥터 작업 불량 건으로 발생된 문제가 있었으며, 이는 숙련자가 배선 압착 및 연결 작업을 진행하고 검사를 철저히 함으로써 해결하도록 하였다. 또한, 외부에 노출되는 부품의 경우 방수 문제로 인하여 동작불량이 많이 발생하기 때문에 가능한 노출 부위를 줄이고 노출되는 부분은 방수 작업을 철저하게 하며 정기적으로 점검사항을 관리하도록 하였다.

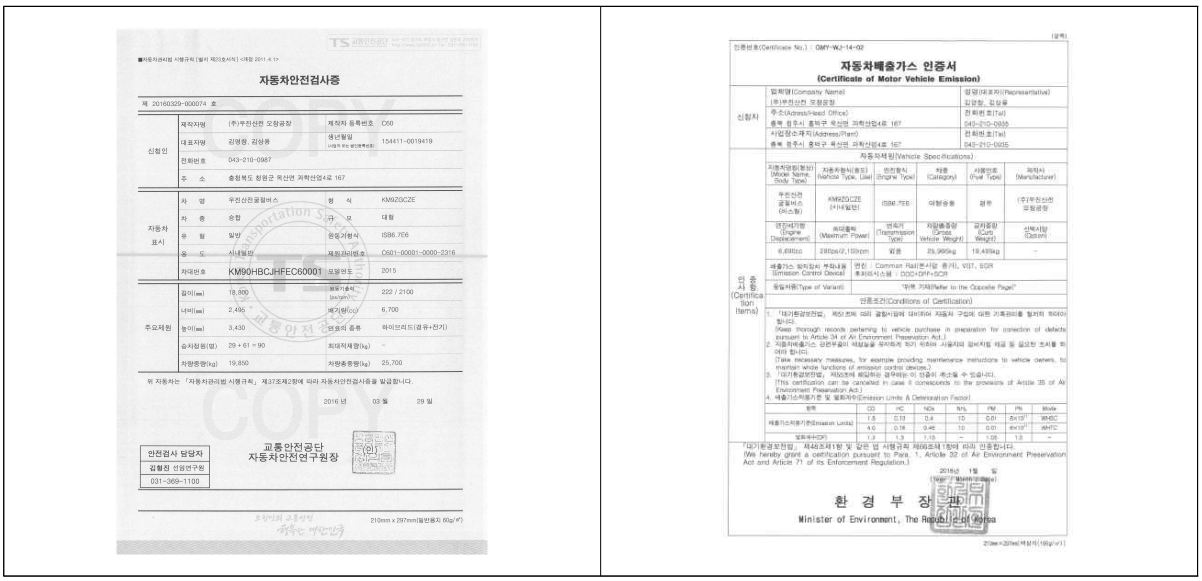
바이모달 트램의 가격 경쟁력을 확보하기 위하여 차량의 단가를 낮추기 위한 검토도 진행되었다. 시제차량의 차체의 소재는 FRP로써 무게가 가볍고 부식이 되지 않으며, 다른 금속 재질 못지않은 강성을 가지고 있지만, 가격이 비싸고 내구 연한 만료시의 재활용률이 떨어져 폐기물이 많이 나온다는 단점을 가지고 있다. 시제차량의 개발에 알루미늄 차체를 사용함으로써 가격을 낮춤과 동시에 높은 강도, 경량화 및 내부식성을 가지도록 하였다.

실용화 과제에서는 국내 환경인증의 배출가스 기준에도 만족하기 위해서 엔진의 재검토가 진행되었다. 현재 국내에서 CNG 엔진으로 동일한 수준의 출력을 가지면서 유로-6기준에 적합한 제품이 없어 적용할 수 없었기 때문에 커민스 유로-6 디젤 엔진을 사용하여 차량의 구동 발전시스템을 구성하여 환경인증에 만족하도록 하였다.

또한 바이모달 트램이 도로에서 주행하기 위해서 국내 법규상 안전인증을 받아야하기 때문에 바이모달 트램을 승합자동차로서 대형버스에 적합한 사항으로 안전인증을 받도록 하였다. 안전인증 시험 항목으로 조향, 제동, 등화, 소음, 전자파, 전복 시험 등이 있으며, 이러한 기준이 적합하도록 차량을 개발하도록 하였다.

2. 안전 인증 및 환경인증

「자동차 관리법」 29조에 의하면 안전 운행에 필요한 성능과 기준에 적합하지 않은 차량은 운행이 불가능하다. 따라서 바이모달 트램도 이에 해당하는 성능 및 기준 적합성을 인증 받아야 한다. 바이모달 트램은 이러한 기준에 적합한 안전검사를 통과 하였으며, 안전시험 관련 용역 보고서 및 안전검사증, 환경시험 인증서를 획득하였다.



(a) 자동차안전검사증(교통안전공단) (b) 환경 인증서(환경부)

<그림 1.5> 자동차안전검사증 및 환경인증서

3. 내구성 시험 운행

차량의 안정성과 신뢰성을 확보하기 위하여 시운전 및 차량 내구성 평가가 진행되었다. 먼저 시운전 과정 중 차량의 기본적인 파라미터 세팅을 통하여 기본적으로 운행이 될 수 있는 환경을 만들었고, 이어서 차량 내구성 평가를 위한 지속적인 도로주행 시험을 통해 차량의 구동성능 및 효율적인 연비확보를 위한 개선작업이 이루어졌다. 동시에 도로주행 중 발생하는 문제점을 확인하여 보완하는 작업을 진행하였다. 청라국제도시 및 세종특별자치시 운행을 포함하여 1호차 18,584km, 2호차 27,532km를 주행하여 총 거리 누계 46,116km(6월 23일 기준)를 운행하였다. 실용화 개발 2호 차량은 내년 6월까지 영업운행을 지속하면서 내구성 테스트를 추가로 진행할 예정이다. 인천 청라지구 및 세종특별자치시에서의 시범운행을 통하여 탑승자의 요구사항을 도출하여 반영을 하도록 하였다.



(a) 청라 국제도시 시험운행
(2015. 08 ~ 2015. 09)



(b) 세종특별자치시 BRT시험 운행
(2016. 02)

<그림 1.6> 청라 국제도시 시험운행 및 세종특별자치시 BRT 시험 운행

4. 상용화 추진방안 수립

바이모달 트램 실용화 기술개발 과제에서는 시장 조사 분석서, 가격분석서 및 설계 및 운영 지침 보고서를 작성하였다. 먼저 바이모달 트램의 성공적인 도입을 위하여 고객니즈를 반영한 다양한 상용화 방안구성이 필요하기 때문에 시장조사분석서에서는 잠재적 수요처인 세종특별자치시를 중심으로 신교통수단인 바이모달 트램의 시장 가치 및 부여 가치와 관련된 수치를 계량화하여 제시하였으며, 바이모달 트램에 대하여 고객들이 판단하는 가치 및 바이모달 트램의 가치 부여 요소를 제시하였다.

고객의 니즈 파악 및 분석을 통하여 바이모달 트램 실용화 사업에 반영 하고 지자체 및 지역 주민의 니즈 파악 분석 후, 기술적, 경제적인 대응방안 제시에 필요한 기초 자료를 작성하였다. 그리고 시장조사 분석서를 통하여 바이모달 트램의 도입 조건 및 영역을 정의하고 글로벌 시장 현황과 전망을 도출하였다.

바이모달 트램 관련 국내 시장 현황과 전망은 시범운행을 진행하며 시승자의 설문조사를 토대로 고객 요구사항을 분석을 하였다. 이를 토대로 시장 도입 방안을 모색하여 다양한 상용화 방안구성을 제시하였다.

바이모달 트램 가격 분석서에서는 잠재적 수요처인 세종특별자치시를 중심으로 실용화 사업을 통해서 개량된 바이모달 트램의 가격 분석을 실시함으로써 경제성 분석의 기초자료를 제시하였다. 바이모달 트램 도입 대상지인 세종특별자치시 BRT노선을 기준으로 수익 산정 및 비용산정을 하여 경제성을 분석하였다. 도입 보조 방안을 모색하였고, 법적 근거 및 도입 보조 절차 등에 대해서 조사하여 가격적인 측면에서 경쟁력을 확보할 수 있도록 하였다.

바이모달 트램 설계 및 운영지침 보고서에서는 바이모달 트램의 도입을 위한 신교통수단 설계 기준, 운영 평가, 도입 관련 행정 절차 등을 구체적으로 제시하였다. 기존의 「바이모달 트램 시스템 설계 잠정 지침」을 통하여 바이모달 트램 등 신교통수단 도입을 위한 방안을 제시하였으나, 바이모달 트램 설계에 집중되어 있고, 실용화 개발사업을 통해 개발된 바이모달 트램의 특성이 반영되지 못하였다. 현재 실용화 사업을 통해 개량된 바이모달 트램의 설계 요소 정의와 기준제시가 필요하고 차량의 원활한 도입을 위한 행정절차, 법규개선 및 지원방안 도출이 요구된다. 따라서 바이모달 트램 설계 및 운영지침 보고서를 작성하여 바이모달 트램의 구성, 설계, 운영평가 등의 마련을 위한 운영지침을 제시하였다.

제2장 국내외 기술 개발 현황

제1절 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

1. 연구개발과제의 차별화 방안

가. 이미 개발된 기술들과 연계한 개발 전략 수립

이미 개발된 차량 관련 요소기술들을 적극 활용하거나 접목하여 단기간에 시장진입이 가능한 연구개발 전략 수립하여 기존 선진사 모델 및 기존 차량 대비 차량성능과 세부 사양을 제시하였고 개발 차량의 기술경쟁력 확보방안을 마련하였다.

나. 수요도시의 요구사항을 조사하여 성능 개선 등에 반영

수요도시 여건 및 인프라와 연계하여 안정적이고 편리한 교통수단이 되도록 시스템을 보완 및 개선하고, BRT 운영을 위한 차량, 에너지, 신호 및 교통, 토목 등 다양한 분야의 전문가를 포함한 연구진과 협력하여 각 분야 간의 협조체제 구성을 진행하고 있다. 청라국제도시의 경우 기존 강서 BRT 노선에 설치된 정거장을 바이모달 트램 운영시스템에 맞게 PSD가 적용된 밀폐형 정거장 및 정거장 높이 변경을 검토하고 있으며, 세종특별자치시의 세종 BRT 노선에도 동일한 구조의 밀폐형 정거장 6곳을 구축하기 위하여 관련 지자체와 협력하고 있다. 바이모달 트램이 투입되기 전에 관련 인프라를 구축하기 위해서 지자체와 지속적인 협의를 진행하고 있으며, 수요도시의 여건 및 인프라와 연계하여 안정적이고 편리한 교통수단이 되도록 시스템 보완 및 개선을 진행하고 있다.

다. 각 단위과제별 성과의 연계 및 적용 시나리오

바이모달 트램의 실용화 개발차량은 자동차안전공단의 안전인증시험 및 안전검사를 진행하였고, 국립환경과학원에서 환경인증서를 획득하여 차량의 실용화가 가능하도록 준비하였다.

현재 실용화를 진행하기 위하여 세종특별자치시에서 실용화 개발차량으로 기존 BRT 노선에서 영업운전을 실시하고 있으며, 관련 지자체와 바이모달 트램의 투입을 위해 협의를 진행 중이다. 바이모달 트램의 지자체 공급은 운영사의 일반적인 차량 구매방법 이외에 초기 차량 투입비용을 줄일 수 있는 리스형태를 통해서도 차량의 실용화 사업을 추진하고 있다.

아울러 인천광역시 청라국제도시에서의 바이모달 트램 실용화를 관계기관과 협의하고 있으며, 기타 대전광역시를 비롯하여 BRT 노선을 계획하는 지자체에 홍보활동을 진행하고 있다.

라. 개조차량의 성능검증

실용화 개발차량의 각 기능단위 성능은 자동차안전연구원의 자동차 성능시험 및 국립환경과학원의 환경시험을 통하여 차량의 성능을 확인하였으며, 2015년 9월부터 2016년 2월까지 바이모달 트램의 양산 판매에 필요한 인증서 획득 및 검사를 완료하였다.

2. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

바이모달 트램은 버스의 유연성과 경제성, 철도의 정시성을 결합한 Dual Mode 방식의 신교통 시스템으로 해외에서는 Bombardier의 TVR, Lohr의 Translohr, Irisbus의 CIVIS 시스템 등이 영업운행 중이다.

탠덤(직렬)버스, 벤디(유연)버스 또는 아코디언 버스 등으로 알려진 굴절버스(Articulated Bus) 유형의 대중교통수단으로 전용노선에서 대량 수송능력과 정시운행을 통해 교통체계 효율성을 제고하고, 저상화를 통한 교통약자 이동편의 증진에 기여하고 있다.

한국의 바이모달 트램은 APTS사로부터 기술이전 받아 국내 운행환경에 맞추어 차량 및 운영인프라 기술을 국산화하여 개발하였으며, 기존 개발 사업에서 시제차량을 제작·시험 및 평가하고 시험운행을 하였으나 실용화에 필요한 배기가스 기준 및 차량 안정화에 어려운 부분이 많아서 실용화 사업을 통해 새로운 형태의 바이모달 트램으로 개조 및 보완 되었고, 현재 바이모달 트램의 실용화 체계를 마련하였다.

제2절 국내외 관련 기술 특허 동향

바이모달 트램의 핵심기술로는 초 저공해 동력기술, 18m 이상의 대용량 차량기술, 대형 차실 확보 및 도로운행 구동기술이 있다. 바이모달 트램 실용화 기술개발을 수행함에 있어서 국내외 관련 기술 특허 동향을 조사하여 기술수요를 구체화하고 이를 검증할 필요성이 있다. 기술의 구성을 설명하고 특허 및 논문 동향을 조사하였다.

1. 기술의 구성

본 과제는 바이모달 트램 실용화 기술개발 과제로서, 총 4개 세부 기술로 구성되어 있다.

1) 새로운 차량시스템 기술 (로드트레인, 고무바퀴트램, 관절차량)

2) 차량연결 기술 (연결시스템, 차량제어기술)

3) 관절 구동시스템 기술 (전체차륜조향장치, 구동시스템)

4) 전력공급시스템 기술 (직렬하이브리드 기술)

<표 2.1> 기술의 분류

대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)	키워드 (영문)
신교통 시스템 기술 (Technologies for new transportation system)	A.새로운 차량시스템 기술 (New transportation)	AA.로드 트레인 (Road train)	Road train/Tram on tire/Articulated vehicle
		AB.고무바퀴 트램 (Tram on tire)	
		AC.다관절 차량 (Articulated vehicle)	
	B.차량연결 기술 (coupler)	BA.연결 시스템 (Articulation system)	Articulation system/Sequency coupling vehicle control
		BB.중련 차량 제어 기술 (Sequency coupling vehicle control)	
	C.관절 구동시스템 기술 (Power train technology for articulated vehicle)	CA.전체차륜구동장치 (All wheel steering system)	All wheel steering system/Traction motor for driving system
		CB.구동시스템 (Traction motor for driving system)	
	D.전력공급시스템 기술 (power supply by on-off line)	DA. 급전 기술 (Electric power supply)	Electric power supply/ Serial hybrid
		DB. 직렬하이브리드 기술 (Serial hybrid)	

2. 특허 분석

가. 특허 분석 범위

<표 2.2> 특허분석 기준

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
검색범위	Title, Abstract, Claim				

나. 기술분류 및 검색 조합식

<표 2.3> 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수

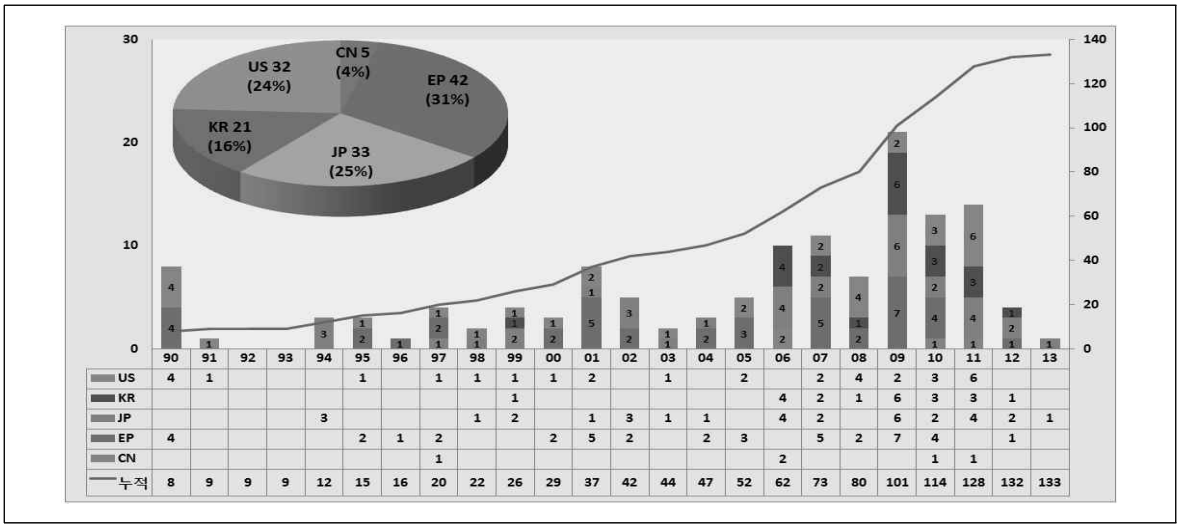
기술 구분		검색 조합식	검색 특허	대상 특허
A기술				
	AA	TAB=((road adj train) or roadtrain or (Double adj stacked adj trailer) or (multiple adj loaded adj trailer) or (Turnpike adj doubles) or (Rocky adj Mountain adj doubles) or (land adj train) or (long adj combination adj vehicle) or LCV);	208	46
	AB	(TAB=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail NEAR2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or subway or metro))) AND (TI=(rubber and tire));	216	
	AC	※ C기술에 포함하여 함께 검색함	-	
B기술				
	BA BB	(TAB=((railway or railroad or locomotive or trains or (rail NEAR2 (car or vehicle)) or tram or (rolling adj stock))) And TI=((coupling or coupler))) AND (CTB=(articulat*));	341	46
C기술				
	CA CB	(CTB=((railway or railroad or locomotive or trains or (rail NEAR2 (car or vehicle)) or tram or (rolling adj stock)))) AND (TAB=(articulat*) and TI=((wheel near3 steer*) or driv* or motor));	273	-
D기술				
	DA	(TI=(((railway or railroad or locomotive or trains or tram or (rolling adj stock) OR (rail* near2 (vehicle or car)) or subway or metro* or vehicle or automobile or bus)))) AND (TI=(((Contactless* or wireless or (non adj contact) or on*line)) NEAR2 (power adj (supply or charg* or transfer or feed* or collect*))));	517	41
	DB	(TI=(((railway or railroad or locomotive or trains or tram or (rolling adj stock) OR (rail* near2 (vehicle or car)) or subway or metro* or vehicle or automobile or bus)))) AND TI=((hybrid) near2 (power adj (supply or charg* or transfer or feed*)));	772	

다. 특허 기술 동향

(1) 출원년도 및 국가별 특허출원 동향

신교통 시스템인 바이모달 트램 요소기술개발 분야의 전체적인 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 133건의 관련 유효특허가 출원되고 있다.

국가별로는 유럽이 42건(31%)로 최다이며, 일본, 미국, 한국, 중국의 순으로 출원되고 있다. 한국의 경우 총 21건의 특허 중 20건이 2006년 이후 출원되어, 최근 이 분야에 대한 관심이 높아지고 있음을 확인 할 수 있다.

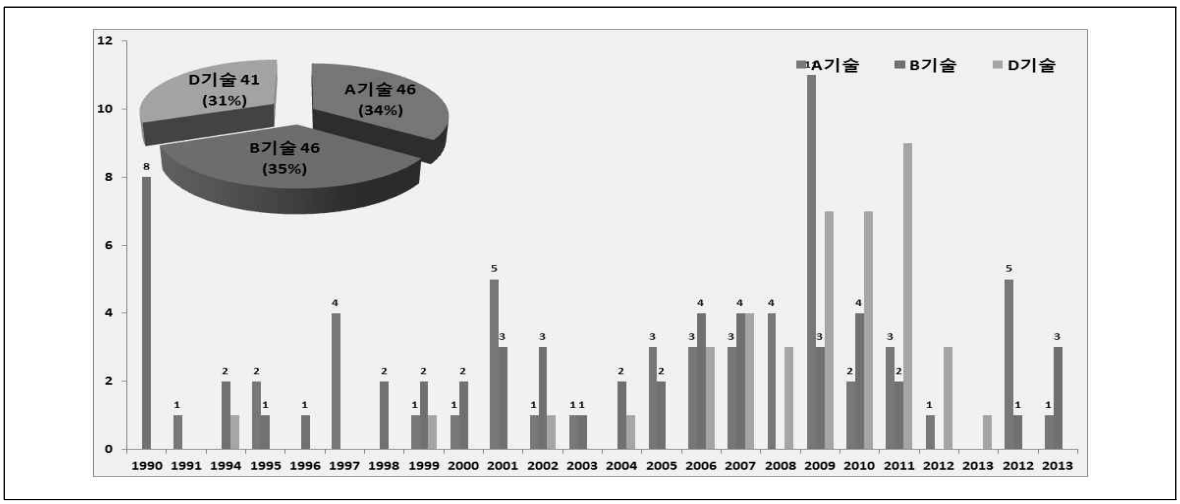


	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
US	4	1				1		1	1	1	1	2		1		2		2	4	2	3	6		
KR										1							4	2	1	6	3	3	1	
JP					3				1	2		1	3	1	1		4	2		6	2	4	2	1
EP	4					2	1	2			2	5	2		2	3		5	2	7	4		1	
CN								1									2				1	1		
누적	8	9	9	9	12	15	16	20	22	26	29	37	42	44	47	52	62	73	80	101	114	128	132	133

<그림 2.1> 출원년도 및 국가별 출원 추이

(2) 세부기술별 특허출원 동향

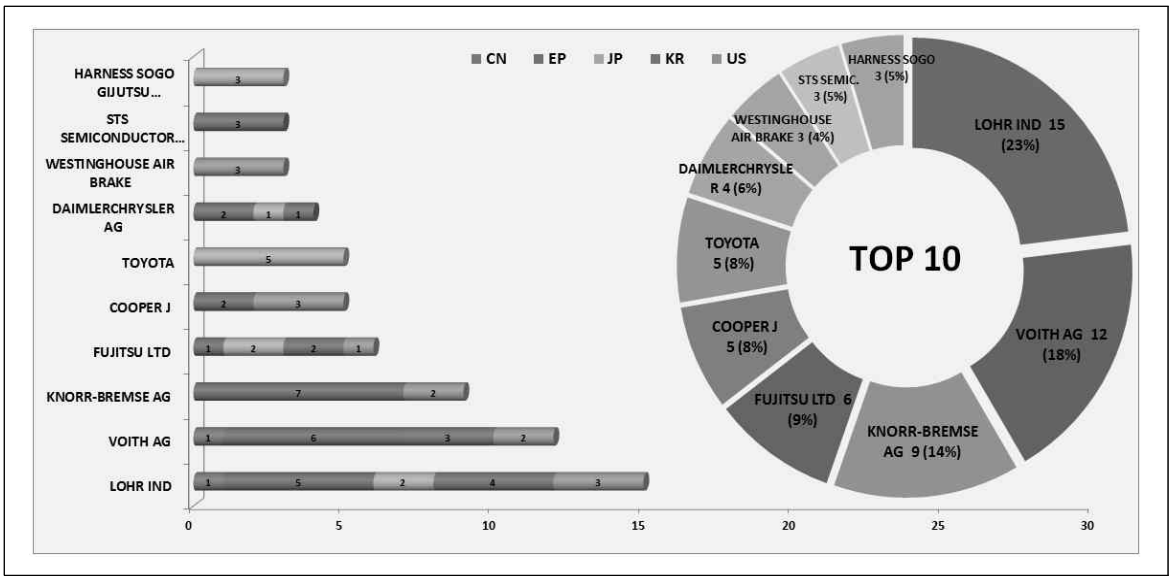
세부기술별 특허출원 동향을 보면, 새로운 차량시스템 기술(A기술), 차량연결기술(B기술), 전력공급시스템기술(D기술)이 비슷하게 출원되고 있다.



<그림 2.2> 세부기술별 특허출원 동향

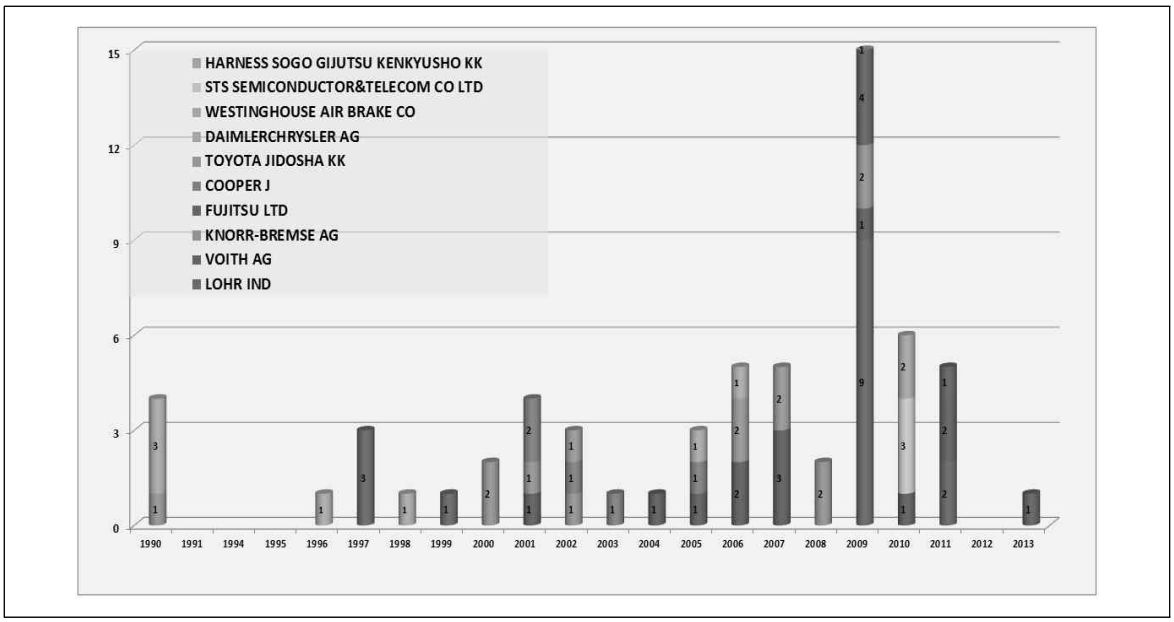
(3) 주요 출원인 분석

특허를 많이 출원한 상위 10개의 출원인을 분석해 보면, LOHR IND, VOITH AG, KNORR-BREMSE, TOYOTA, DAIMLER CHRYSLER 등 철도·자동차 부품 제조사들이 출원을 많이 하고 있다.



<그림 2.3> 주요 출원인 동향

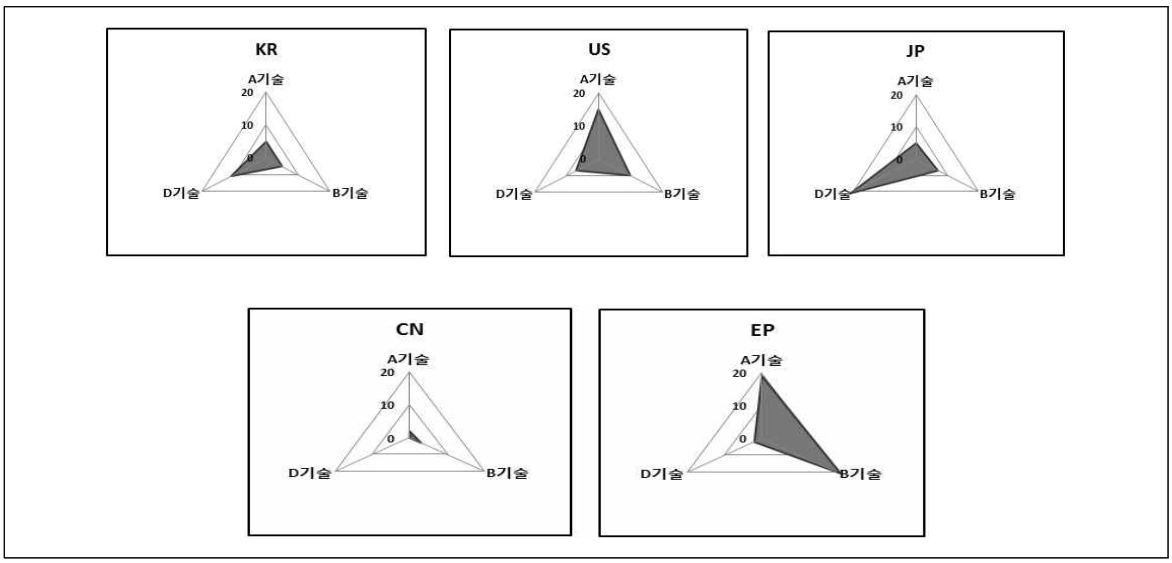
주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 최다 출원인인 LOHR IND는 2009년 9건의 특허를 집중 출원한 것으로 나타났으며, VOITH AG는 2000년대 중반이후 매년 1~2건식 꾸준히 출원하고 있는 것으로 나타나고 있다.



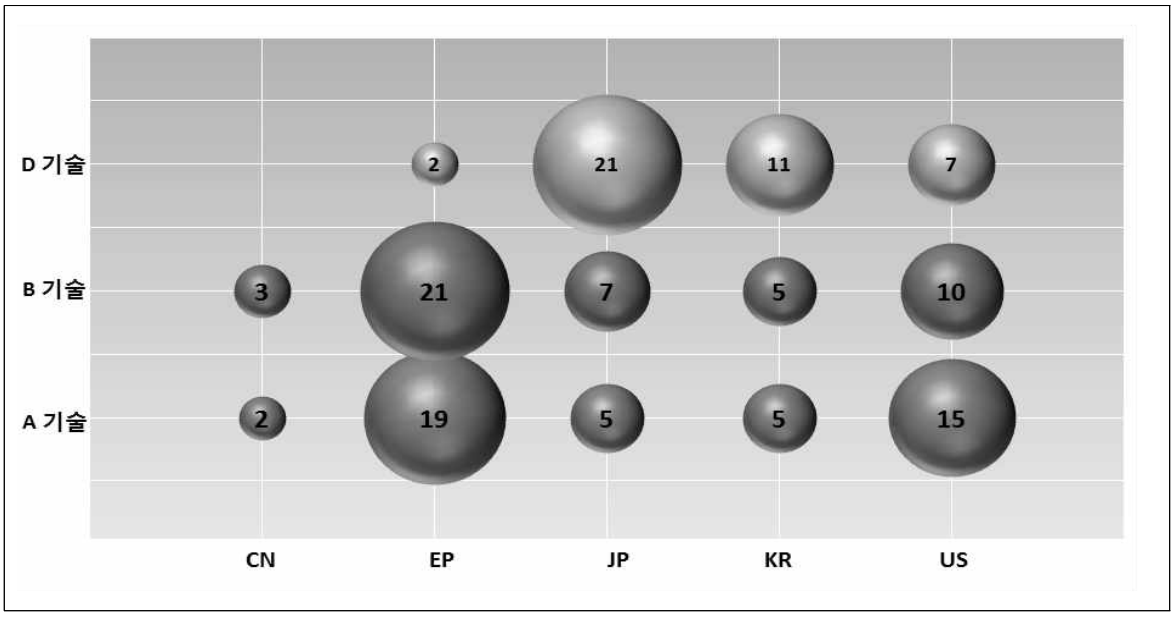
<그림 2.4> 연도별 주요 출원인 동향

(4) 국가별 기술 분포

출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 유럽과 미국은 노면 신교통 시스템기술(A기술), 차량 연결 기술(B기술)에 상대적으로 많은 특허를 보유하고 있으며, 일본은 전력공급시스템기술(D기술)에 대한 특허 출원 집중도가 높게 나타나고 있다. 한국은 일본과 마찬가지로 전력공급시스템기술(D기술)에 특허가 가장 많이 출원되고 있으며, 상대적으로 새로운 차량 시스템기술(A기술), 차량 연결 기술(B기술) 분야 특허는 적은 것으로 나타나 향후 기술개발이 필요한 것으로 판단된다.



<그림 2.5> 국가별 기술분포(방사형)



<그림 2.6> 기술별/국가별 기술분포(버블형)

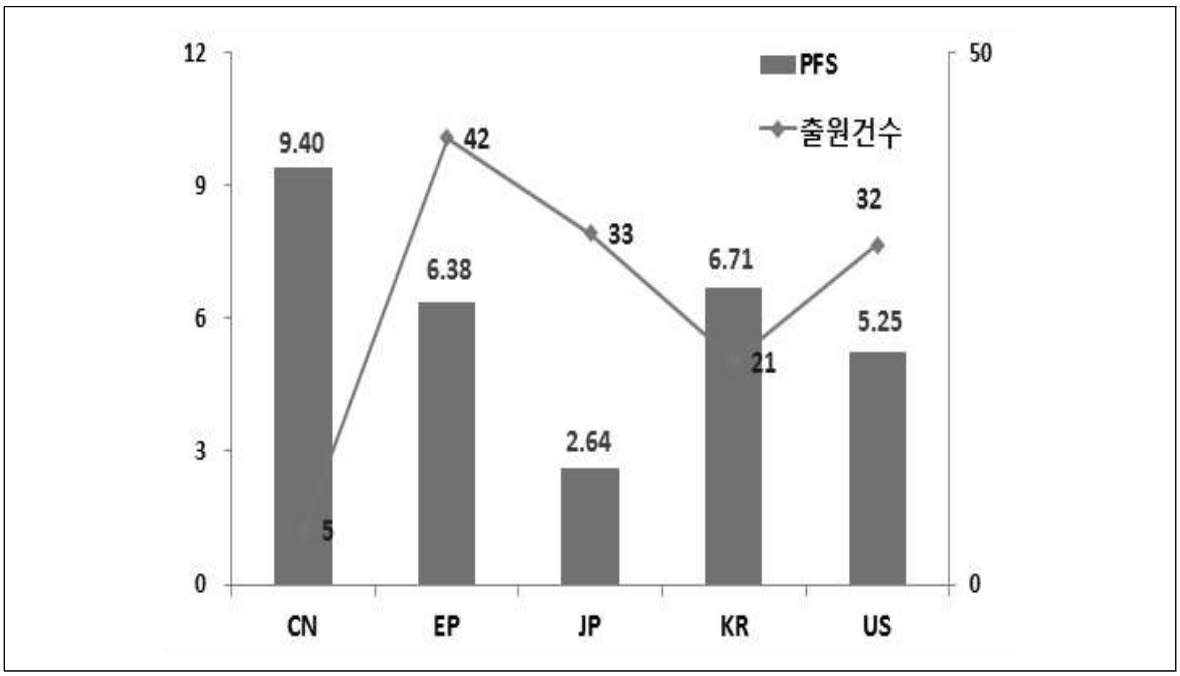
(5) 가별 특허분포 지수분석

(가) 시장확보지수

특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 수가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용한다. 국가별 시장확보지수(PFS : Patent Family Size)는 다음의 식에 의해 계산된다.

국가별 시장 확보지수(PFS) = (∑ 해당국가 특허별 패밀리)/해당국가 특허건수

중국의 시장 확보지수(PFS)가 9.40로 가장 높고, 다음으로 한국이 높게 나타난다. 다만, 중국, 한국은 특허건수가 작아, 일반화된 결론으로 보기 어렵다. 유럽이 특허건수 뿐만 아니라, 시장 확보력 에서도 비교적 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다.



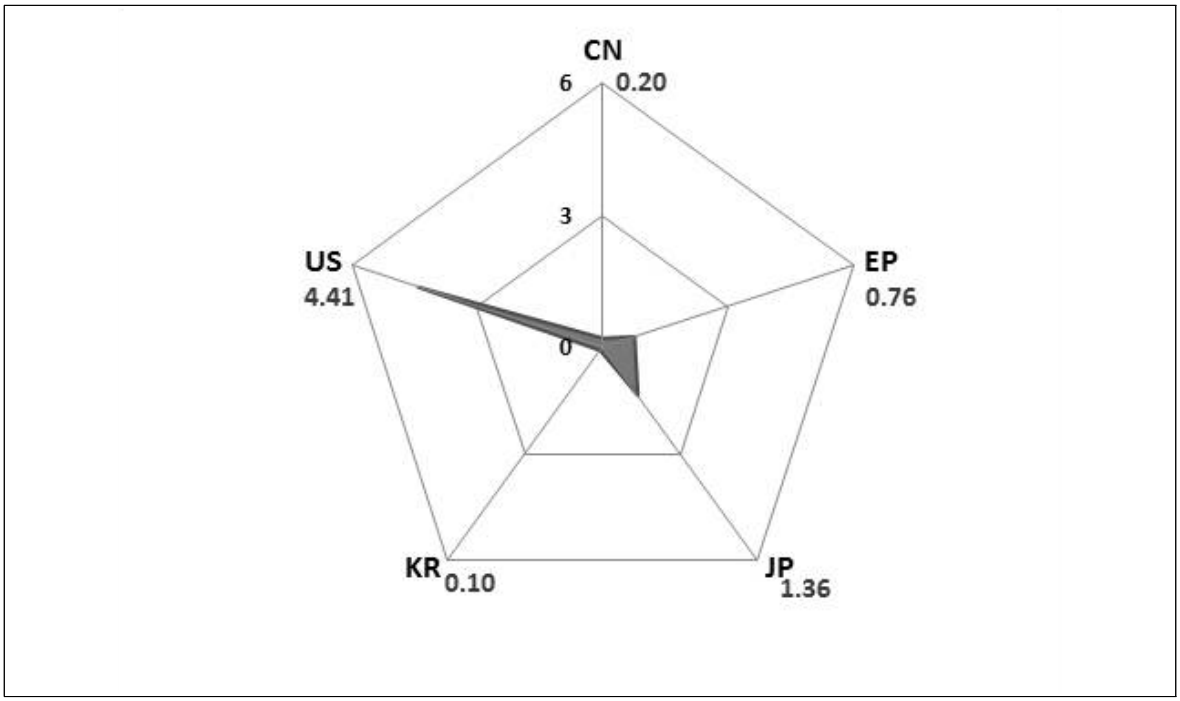
<그림 2.7> 국가별 출원건수 및 시장확보지수

(나) 인용도지수

특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP : Cites Per Patent)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용한다. 국가별 인용도 지수는 다음의 식에 의해 계산된다.

국가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허별 피인용수)/해당국가 특허건수

미국의 인용도지수(CPP)가 4.41으로 가장 높아 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있다. 이에 반해, 유럽은 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 낮아, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있다.



<그림 2.8> 국가별 인용도지수

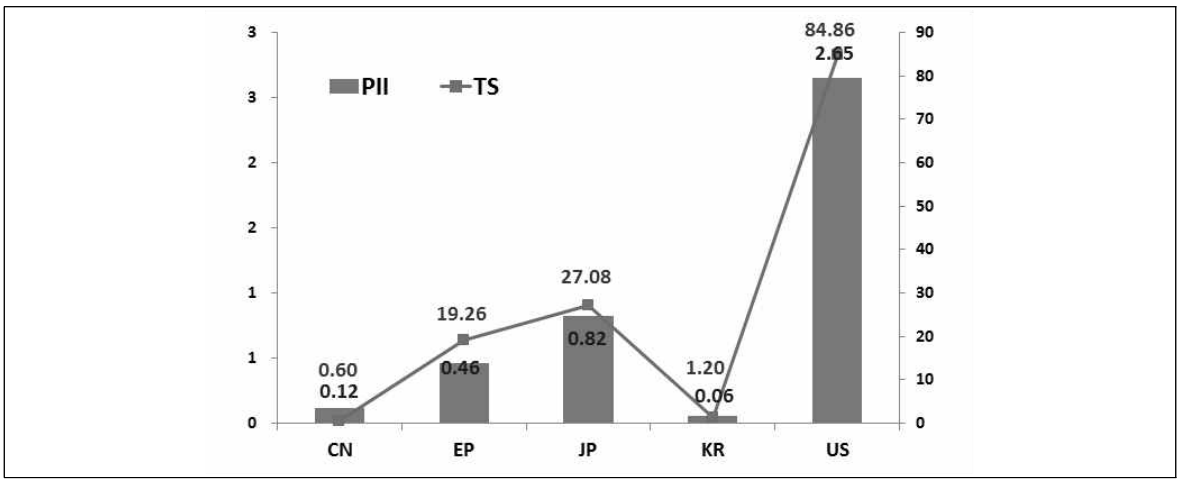
(다) 영향력지수 및 기술력지수

영향력지수(PII : Patent Impact Index)는 특정 국가가 소유한 기술의 질적 수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수(TS : Technology Strength)는 특정 국가의 기술보유 양적수준과 영향력지수를 함께 나타낸다. 다음의 계산식으로 구할 수 있다.

국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수

국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

분석결과 미국의 영향력지수(PII)가 2.65로 가장 높게 나타나 질적 수준에서 우수하다. 또한, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 미국이 84.86으로 가장 높게 나타나고 있다. 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 최하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요하다.



<그림 2.9> 국가별 영향력지수 및 기술력지수

(6) 주요 핵심특허 현황

신교통 시스템과 관련된 MERITOR HEAVY VEHICLE SYSTEMS LLC사의 미국 공개특허 US6419037B1건의 피인용 건수가 23건으로 가장 많으며, 기타 전력공급시스템 등 관련된 특허들이 피인용 건수가 많아 이러한 특허들을 중심으로 주요 특허를 선정하여 핵심특허 권리 분석을 할 수 있다.

<표 2.4> 주요 핵심특허 현황

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
US6419037B1	Multi-unit articulated road train propulsion system	MERITOR HEAVY VEHICLE YSTEMS	23
US5267473A	Self powered end of train unit	PULSE ELECTRO-NICS INC	13
EP417594A1	Extreme short high-performance draw gear for central couplings.	BERGISCHE STAHL IND	10
JP2008131769A	The control apparatus of a power supply circuit	TOYOTA	10
US6237785B1	Retainer member for use in railway coupling devices	WESTINGHOUSEAI RBRAKECO	9
US20090309537A1	Battery-charging method and battery-charging apparatus	MAZDAKK	9
US5105955A	Spherical connector apparatus in an articulated slackless-type coupler arrangement used in a railway application	SARGENTINDSINC	8
JP2001114103A	CAR END COUPLER | Car-end coupling device	MITSUBISHI JUKOGYO KK	6
US20060031590A1	Communication circuit for a vehicle	CATTERALLC	5

3. 결론

현재 국내외 기술 특허 동향을 살펴본 결과 특허 건수가 적으나 성장세가 있는 양상을 보이고 있으며, 철도, 자동차 부품 제조사들이 특허 출원을 꾸준히 하고 있는 것으로 나타나고 있다. 또한 특허기반 차량제작이 해외에서는 활발하게 이루어지고 있으며, 이를 바탕으로 시범사업을 진행 중이다. 유럽은 특허건수 뿐만 아니라 시장 확보력도 비교적 높게 나타난다. 인용도 지수는 미국이 높고 유럽은 상대적으로 낮은 양상을 보인다. 이는 미국이 원천 기술을 많이 확보한 것으로 판단할 수 있으며, 영향력 지수와 기술력지수는 미국이 가장 높아 질적 수준이 매우 우수한 것으로 볼 수 있다.

최근 국내에서도 바이모달 트램 관련 핵심 기술 및 특허 연구가 이루어지고 있는 추세이지만 해외에 비해서는 미흡한 실정이다. 국내에서는 전력 공급 시스템 기술에 특허가 많으나, 새로운 차량 시스템 기술과 차량 연결 기술 특허 분야는 비교적으로 적기 때문에 해당 기술에 대한 개발이 요구된다. 또한 한국과 중국은 다른 나라에 비해 시장 확보지수는 높으나 특허건수가 작아 일반화된 결론으로 보기 어려우며, 국내의 영향력 지수와 기술력 지수가 모두 최하위 수준이기 때문에 지속적인 기술역량 강화가 필요하다. 이 분야에 대해 관심이 높아지고 있는 만큼 바이모달 트램 실용화를 통해 차량 및 이를 도입할 수 있는 기반을 만들어, 관련 기술 및 특허 연구 진행이 필요하다.

제3절 국내외 기술 개발 현황

1. 대용량 및 고급 BRT 신교통수단의 종류 및 국내 도입 현황

가. 굴절버스

굴절버스는 대도시의 대량교통수요를 감당할 목적으로 개발된 버스로, 2량 이상의 차량을 1편성으로 연결하여 운행되는 버스를 말한다. 국내 도입 현황으로는 서울시에서 1985년도에 5월 28일부터 6월 27일까지 80인승 굴절버스 2대를 서울시내에서 좌석버스노선에 시범 운행하였다. 우리나라 교통환경에 맞지 않다는 이유로 백지화된 이후 굴절버스 도입 문제가 거론되지 않다가, 서울시가 도심 교통난을 해소하고, 버스 중심의 대중교통체계를 만들기 위해 중앙버스전용차로가 생기면서 다시 2004년 굴절 저상형 버스를 도입하여 영업 운전을 하였으나, 잦은 차량 고장 및 성능 문제로 결국 운행을 중단했다.

1985년 1개월간의 시범운행 기간 동안 태릉~서울역, 교문리~봉천동간 등 2개 좌석버스노선에서 무료로 시범 운행하였으나, 좁은 도로 폭과 좌우 회전하는 길이 많아 운행에 부적합 하고, 비용이 많이 든다는 이유로 서울시에서 운행을 중단하였다.



<그림 2.10> 1985년 스카니아 굴절 버스 시범 운행

이후 2003년 3개월간의 시범운행에서는 스카니아(Scania) Omnicity 굴절버스 2대를 무상으로 임대하여 서울 상진운수 48번 노선(석관동~영등포)에서 2달간 시범운영한 바 있다. 버스 개편과 더불어 무상으로 대여 받아 운행되던 버스라 반납 처리가 되었고, 2004년 7월 1일 서울 시내버스 개편과 더불어 굴절버스가 도입은 되었지만, 차량 무상 대여까지 해 주었던 스카니아는 도입 대상에서 제외되었다.



<그림 2.11> 2003년 이베코 굴절 버스 시범 운행

2004년 실제 운영 시 이베코(IVECO, 이탈리아)의 시티클래스 굴절버스 20대를 대당 5억 6000만원에 도입(정부지원 2억/대)하여 입찰 간선버스 회사에서 5대씩 운영 하였다.

운행 노선은 300번(강동차고지~서울역)과 100번(도봉산~종로1가), 160번(도봉산~온수동), 370번(강동차고지~수색), 140번(내곡나들목~도봉산), 161번(방화동~도봉산), 470번(수색~내곡나들목), 600번(온수동~광화문), 660번(온수동~가야동) 노선 등 총 9개 노선에서 20대의 굴절버스를 운행하였다.



<그림 2.12> 2005년 이베코 굴절 버스 영업 운행

대한민국의 지형특성 및 서울의 도심 특성상 직선 보다는 곡선 코스가 많고 오르막길에서는 매우 느리게 올라가는 등의 문제 그리고 비싼 수리비용 등의 문제점이 발생되어 현재는 사용되지 않고 있다. 특히 이베코 굴절버스의 경우 차량이 길어, 운전자들이 운전을 꺼려하였고, 여름에는 덥고 겨울에는 추워 승객의 불만이 많았다. 고장이 나는 경우 AS가 곤란하여 장기간에

걸쳐 운행을 못하는 경우가 발생하였으며, 또한 입찰 간선버스 회사에서 5대씩 운영하였는데, 승객수가 굴절버스의 효과를 볼 수 있을 정도로 많지 않은 노선에 투입되는 경우가 발생하였다.

나. 이층버스

이층버스(Double-Decker Bus)는 일반적인 단층의 버스와는 달리 복층으로 이루어져 있는 버스로서, 대량 수송 또는 관광 수송에 특화된 버스이다. 대량 수송에 있어서는 굴절버스와 유사한 장점을 가지고 있지만, 이층에서의 승하차 시에 승객 동선이 길어지고 차량의 높은 높이로 인해 상대적으로 낮게 설치된 도로 시설물의 통과가 어려워 운행에 지장을 많이 받게 되는 단점이 존재한다.

서울특별시에서 1991년 9월 30일부터 서울시청~과천 간 노선에 승차인원 90명 수준의 이층버스를 3대 투입하여 시험 운행하였으나, 차량의 높이가 도로 시설물들의 높이제한보다 높아 정식 운행은 성사되지 않았다.



<그림 2.13> 1991년 2층 버스 시범 운행

2010년 4월 29일부터 부산에서 부산시티투어버스로 도입해 현재까지 운행 중이고, 현재는 오픈탑 이층버스도 운행하고 있다.



<그림 2.14> 2010년 2층 버스 시티투어 영업 운행

2011년 경기도에서 대당 7억 원에 해당하는 이층버스 시범운행을 했지만 사실상 어려움이 많고 버스 가격이 높아서 운행되지 못하였다.



<그림 2.15> 2011년 2층 버스 시범 운행

2014년 12월 9일부터 2층 외제 버스인 알렉산더 데니스사에서 제작한 '엔비로 500'을 약 1달간(3주) 임대하여 직행 좌석버스, 광역급행버스 노선(7770번, M6117번, 8012번)에서 시범 운행한 바 있다. 2014년에 경기도에서 시범 운행된 이층버스는 고속도로 입석 금지에 따른 대안으로서 선정되었다. 시범운행에 사용된 이층버스는 길이 12.86m, 폭 2.55m, 높이 4.15m 크기로 총 79명이 탈 수 있고, 가격은 약 7억 원 정도인 것으로 알려져 있다. 차량의 폭이 2.55m로 국내 자동차 제한 폭원인 2.50m를 초과하나 지자체의 조례 제정을 통해 운행할 수 있는 것으로 확인되었다.

“한국형 이층버스 표준모델 개발 기획”(2014.10.22. ~ 2015.4.21.)이 진행되었으며, 광역버스의 정원초과로 자동차전용도로에서 불법입석 운행실태 개선을 위한 한국형 이층버스의 개발타당성, 표준모델 및 광역버스 노선에 이층버스 도입 활성화를 위해 요구되는 운영관련 제반사항에 대한 연구방향을 기획하였다.



<그림 2.16> 2014년 경기도 2층버스 시범운행

볼보버스의 샤시를 기반으로 한 2층 버스를 출고하여, 2015년 10월 22일부터 김포 8601번을 시작으로 총 5개 노선 9대 정식 운행을 시작하였다. 노선은 8600번, 8601번, 8012번, 1000~2번, G6000번이다. 2층 버스 좌석은 1층 13석, 2층 59석으로 모두 72석이며, 버스의 총 높이가 4.0m로 1층은 181cm, 2층은 170cm로 제작되었다. 최근 2016년 행정사무감사에서 해당 차량 제작사에서 저상버스(1층)용 샤시로 2층 버스를 제작한 실적이 없어, 고속도로를 주행하는 차량으로 안전도에 문제가 있는 것으로 지적되고 있다.



<그림 2.21> 2015년 2층 버스 영업 운행

2. 대용량 및 고급 BRT 신교통수단 비교

다음은 신교통수단별로 친환경성, 안전성 및 기능성, 편의성, 도시비전 부합성, 도입 용이성을 파악하였다. 유지관리 측면에서 굴절버스, 이층버스의 유지관리 용이성이 바이모달 트램에 비해 떨어지는 것으로 나타났다.

<표 2.5> 차량별 특성 및 규격 종합 비교

대분류	중분류	굴절형		2층 버스
		바이모달 트램	굴절버스	
차량 제원	길이 [m]	18.8	18	12.9
	폭 [m]	2.495	2.55	2.5
	높이 [m]	3.39	3.076	3.99
친환경성	CO2 배출량 [g/km]	1.040 (유로-6기준)	-	-
	4대 오염물질 배출량 [g/km]	4.51 (유로-6기준)	-	-
	연비 [km/L]	2.0	2.9	2.71
안전성 및 기능성	최고속도 [km/h]	80	70	110 (80~90제한)
	등판능력 [%]	20	23	32.3
편의성	저상면적 [m^2]	23.9	-	-
	교통약자 접근성	O	O	△
도시 비전 부합성	수요 대응성	총 90명	총 70명	총 72명
	도시비전과의 정합성	친환경성 (중), 대용량 수송가능, 국내 기술개발	대용량 수송가능	
도입 용이성	국내 생산 가능성	O	O	△
	유지관리 용이성	O	△	△

3. 외국의 도입 추진 현황

가. 유도형 고무차륜 굴절차량 개발·운영 현황

유도형 고무차륜 굴절차량은 지상에서 일부구간은 고정되어 자동운전이 가능하며, 인프라 미설치 구간은 수동으로 운전 가능한 차량으로 다음의 방식이 있다.

① 광학 유도방식(optical guidance): 차량 전면에 부착된 카메라로 도로차선 이미지를 촬영, 분석하여 도로를 판별하고 유도되어 운행되는 시스템으로 루앙, 카스텔론에서 설치·운행

② 자기 유도방식(magnetic guidance): 도로 밑에 매립된 자석을 따라 운행하는 방식으로 아인트호벤, 낭시 등에 설치·운행

③ 구속 유도방식(kerb guidance): 도로 양측에 낮은 벽을 세워 차량이 따르도록 운행하는 방식이며, 영국 버밍햄, 일본 나고야 등에 설치·운행

2000년대 초반 광학/자기 유도방식이 개발되어 시범운영 되었으나, 안전문제로 인해 현재 수동운행 중이다. 일종의 자율주행방식으로 안전성, 사고시 책임소재 문제로 영업운행은 하지 않고 미국 캘리포니아의 경우 연구목적의 운행은 진행 중이다.



<광학유도방식: 루앙>



<자기유도방식: 아인트호벤>



<연석방식: 크롤리>

<그림 2.18> 해외 유도형 고무차륜

나. BRT용 굴절차량 개발 및 판매 현황

스카니아, Volvo, MAN 등 자동차제작사는 기존 굴절버스의 성능 및 수송용량 향상을 통해 신흥시장에 진출을 도모 하고 있다. Scania Megabus의 경우 2015년도 270명이 탑승가능한 모델로 남미 BRT를 목표로 상용화 추진 중이며, Volvo 7900 Hybrid Articulated 버스는 154명 탑승, 30% 연료절감 가능한 유로-6급 하이브리드 굴절버스를 2014년도 개발하였다. MAN Lion's City는 2015년 142명 탑승가능, 디젤대비 15% 에너지 비용 저렴하고 5 door로 기존대비 승객승하차 효율 38% 증가하는 굴절차량을 개발하였다.

		
<Scania Megabus>	<Volvo 7900 굴절>	<MAN City GL CNG>

<그림 2.19> 해외 BRT용 굴절차량

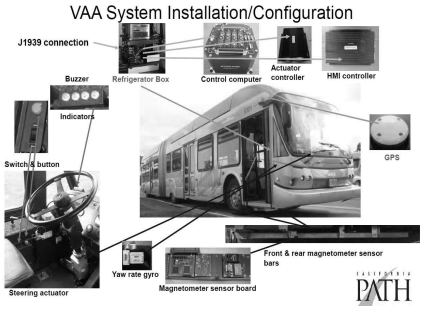
다. 해외의 정부 주관 연구개발 현황

(1) 연료전지버스 개발 및 상용화(네덜란드-독일 공동)

중소기업지원 프로그램 중 R&D후 구매하는 방식으로 과제를 추진하여 독일 North Rihine-Westphalia주에 적용하였다. 이는 유럽의 R&D방식으로 신기술의 시장진입 육성을 위해 R&D를 통하여 그 성과물을 구매하는 방식(Pre-Commercial Procurement)으로 독일 교통운영회사인 RVK가 수요처로 연구 단계부터 참여하였고, 2대를 영업운영하기로 하여 추진하였다.

·네덜란드-독일 공동 프로젝트(EU R&D fund 지원) ·제작사/모델: APTS / Phileas (18.4m, 22,225kg, 35석/140명 탑승) ·기타제원: 150kw 연료전지(Ballard사) 23kWh NiMeH 배터리	 <그림 2.20> 필리어스 연료전지버스

미국은 2008년 캘리포니아 교통국 예산으로 BRT 정시성 확보 및 정밀정차 등 기능구현을 위한 실증프로젝트를 수행하였으며, 최근 들어 자율주행 개념으로 확대 추진중이며, VAA(Vehicle-Assist and Automation) 프로젝트 일환으로 현재 신뢰성 및 도로인프라 보완 등이 필요하다는 판단 하에 대규모 실증시험 추진 중이다.

·Field Operational Tests of Vehicle-Assist and Automation(VAA) system using full-size Public Transit Buses ·(참여) Caltrans, USDOT 운수회사(LTD, AC Transit), UC Berkley ·현재 자기유도방식으로 Oregon주 Eugene과 California주 Alameda County에서 운영	 <그림 2.> VAA시스템

4. 시사점

해외는 굴절차량 개발 및 도입이 이미 활성화 되어 있으며, 유도형 및 BRT용 굴절차량을 개발 및 운행 중이다. 유도형 고무차륜 굴절차량은 일부구간 고정되어 자동운전이 가능하며, 인프라 미설치 구간은 수동 운전이 가능하도록 되어 있다. 자동 운전 방식으로는 크게 광학 유도방식, 자기 유도 방식, 구속 유도방식을 사용하고 있으나, 광학 유도방식 및 자기 유도방식의 경우 안전문제와 사고시 책임 소재 문제 등이 있기 때문에 현재는 기술 검토 중이며, 대부분의 나라는 연구목적의 운행이 진행되며, 미국은 PATH프로젝트로 시범운행이 진행되고 있다.

현재 국내는 굴절버스, 이층버스와 같은 대용량 및 BRT 신교통 수단을 도입하여 운행을 했던 바가 있다. 굴절버스의 경우 잦은 차량 고장 및 성능문제가 발생하였고, 2층버스는 국내 차량 높이 제한 관련 법규 및 승하차 소요시간이 커서 도입에 어려움이 있었다. 그럼에도 불구하고 최근 여러 지자체에서는 증가되고 있는 교통혼잡 부담을 줄이고, 대기오염을 감소시키기 위한 방안으로 신교통 수단 도입을 검토 중에 있다. 일부 지자체에서는 이층버스를 시티투어 버스로 영업운행과 시내버스로 시범운행을 진행하면서 대용량 교통수단의 도입이 점차 증가하고 있는 추세이다. 그러나 국내에서 대용량 및 BRT신교통 수단으로써의 차량은 지금까지 해외 개발차량을 도입하여 사용해 왔다. 하지만 국내 대중교통 차량의 내구연한은 10년이며, 이 기간동안 발생되는 유지 보수비용 또한 고려해야할 사항이다. 해외로부터 도입한 차량은 부품 수급 및 교체 비용이 크게 증가하고, 수리 기간도 오래 걸리기 때문에 유지보수에 어려움이 있어 왔다. 따라서 국내에서 대용량 및 고급 BRT 차량의 수요가 커지고 관심이 높아짐에 따라 자체적으로 생산한 차량의 도입을 가능하도록 국내 기술 개발을 통해 관련 차량 제작 기술 확보가 필요하다.

제3장 연구 수행 내용 및 성과

제1절 차량개조

1. 기술 요구사항 및 성능수준 도출

가. 개요

신에너지 바이모달 수송시스템 개발 사업을 통하여 바이모달 트램 시제차량을 개발하고, 국내 도입 타당성을 검토하기 위해 세종특별자치시 및 여수 엑스포 등에 시범 운행을 실시하였다. 후속과제인 실용화 개발 과제에서는 이전에 발생된 주요 문제점들을 개선함과 동시에, 실용화 및 양산을 위해서 대기환경보전법 및 자동차관리법에 따라 자기 인증이 필요하기 때문에 연구용 시제품이 아닌 인증된 제품으로의 교체가 필요하였다.

<표 3.1> 실용화 차량 주요 개조 사항 개요

구분	시제차량	실용화차량	비고
엔진	유로-5 CNG	유로-6 디젤	대기환경보전법 기준 만족, 충전시설 부족 문제 해결
차체	FRP	알루미늄 합금	내구 연한 만료시 재활용 가능, 차량 가격 감소
발전기	150kW	140kW	고효율 발전기 대체
모터	4x45kW 유도전동기	200kW PMSM	점검 및 유지보수 용이, 안전인증 기준 만족 제품 (성적서 제출)
배터리	49.68kWh 리튬이온폴리머	48.6kWh 리튬이온폴리머	안전인증 기준 만족 제품 (성적서 제출)
등화 장치	미인증 제품	인증된 양산 제품 사용	안전인증 기준 만족 제품 (성적서 제출)
창유리	시험 의뢰 필요	인증된 양산 제품 사용	안전인증 기준 만족 제품 (성적서 제출)

나. 장치별 사양

(1) 유로-6 디젤엔진 적용

신에너지 바이모달 수송시스템 개발 사업을 통하여 개발된 바이모달 트램 시제차량의 경우에 유로-5 CNG 엔진이 적용된 엔진-발전기가 탑재되었다. CNG 엔진의 경우 연료 충전시 특정지역에 국한된 충전시설로 전용도로를 달리는 바이모달 트램의 경우 충전 시설로 이동해야 하는 불편함이 있다. 또한 배출가스 기준을 만족시키기 위해서 유로-6 클린디젤엔진을 적

용했다. 디젤엔진의 경우 동일 배기량 CNG엔진 대비 출력이 10% 이상 높고 소음이 적으며, 동절기 출력 변화가 적기 때문에 비교적 제어가 용이한 장점이 있다.

국내 BRT노선 및 일반 버스 노선을 기준으로 일반 버스의 운행 시격에 맞게 용량을 산정한 결과 최소 요구되는 소모량은 169kW로 엔진-발전기의 용량은 최소 요구 소모량보다 높아야 정상 운행이 가능하다.

엔진 사양 선정시 소모 용량 및 배출가스 기준인 유로-6기준을 만족하는 엔진을 적용하고자 국내외 엔진 수배 중 169kW 이상의 유로-6기준을 만족하는 CNG엔진은 개발되지 않은 상황이었다. 결국 디젤 엔진 사양으로 검토 되고 국내 엔진 제작사 수배 결과 공급 받을 수 없는 상황에서 실용화 개발 차량에는 ISB 6.7L 209kW 디젤엔진으로 적용하였다.



<그림 3.1> 클린디젤 엔진의 EGR

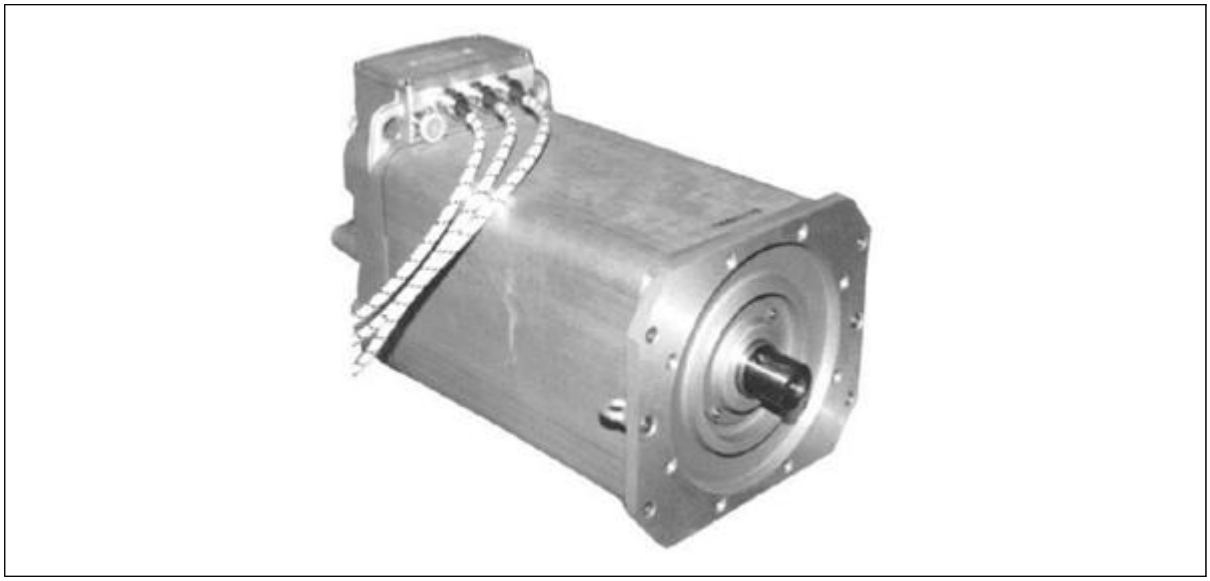
<표 3.2> 유로-6 클린 디젤엔진 제원

POWER (kW)	209
PEAK TORQUE (Nm)	1,100
GOVERNED SPEED (RPM)	2,100
NO. OF CYLINDERS	6
DISPLACEMENT (Liter)	6.7
DRY WEIGHT (kg)	522

(2) 구동시스템 개선

(가) 발전기

엔진이 발전기의 회전자를 회전시킴으로서 기전력을 발생시켜 전력을 공급하게 하는 장치이다. 배터리의 SOC상태에 따라서 엔진의 RPM을 조절하여 발전량을 조절하게 된다. 기본 사양으로 정격 140kW로 발전할 수 있다.



<그림 3.2> 발전기

○ 발전기 형식 : 1FV5168

○ 발전기 출력 : 140kW @ 2400 rpm / 700Nm @ 200 A / Max. 950Nm @ 270A

<표 3.3> 발전기 사양

제품 명	PM Synch. Generator
냉각 매체	Water-Glycol
정격 전압	650V
정격 용량	140 kW @ 2400 rpm
정격 토크	700 Nm @ 200 A
최대 토크	950 Nm @ 270 A
정격 전류	200 A
최대 속도	2,500 rpm
무게	180 kg
크기 (mm, L x B x H)	590 x 300 x 300

(나) 추진모터

신에너지 바이모달 수송시스템 개발 사업을 통하여 개발된 바이모달 트램 시제차량의 경우에 적용된 모터 제어 방식은 2축 및 3축 독립구동방식으로 적용된 4세트의 농형 유도전동기(45kW 출력)를 추진 인버터 1대가 추진 모터 1대를 각각 개별 제어하는 1C1M 제어방식이며, 가변전압 가변주파수 제어를 기본으로 한다. 현재 적용된 추진 시스템은 3축 단독구동방식도 동일한 인버터 제어 방식이며, PMSM(200kW 출력) 1대로 차량 전체 견인력을 담당한다.

실용화 개발차량의 구동 장치는 추진 모터와 기어박스가 적용되었다. 최고 속도 및 등판능력을 고려하여 시제차량의 주행성능을 도출하기 위해서 기어비 8.59:1의 기어박스와 구동모터를 적용하여 3축 단일구동시스템으로 개선하였다. 2축 및 3축 독립구동방식에 적용된 4개의 모터 및 기어박스를 1개의 모터와 기어박스를 이용한 3축 단독구동방식으로 변경함으로써 차량의 정비 및 점검 포인트를 낮추고 유지보수비용 및 차량 가격을 낮출 수 있도록 하였다. 3축 단독구동하기 위해서는 3축의 중앙부에 기어박스를 설치하고, 더블 유니버설 조인트를 적용하여 구동과 조향이 동시에 가능한 구조로 AWS 조향 시스템 구현에 문제가 없도록 적용하였다.

시제 차량에 적용된 2축 및 3축 독립 구동방식에 적용된 인휠모터는 각 차륜에 구동모터를 내장하여 분산 구동하는 방식으로 구동모터와 감속기를 일체형으로 제작하여 파워트레인 요소를 최소화 함으로써 좁은 공간에서 차량 구동시스템을 구현할 수 있는 장점이 있으나, 고전압 사용으로 인하여 고압 전선 및 모터 냉각을 위한 냉각시스템이 각 차륜의 구동모터로 연결 되어야 하는 시스템의 복잡성과 고속주행시 오동작에 의한 좌우 휠의 속도편차를 줄일 수 있는 인버터 및 제어기의 신뢰성을 높일수 있는 기술개발이 필요한 상황이다.

향후 3량 편성의 바이모달 트램 제작시 4축 단독구동으로는 동력성능이 부족하기 때문에 실내 공간도 확보 하면서 차량 구동시스템도 구축할 수 있는 인휠모터 적용도 재검토가 필요한 상황이다.



<그림 3.3> 추진 모터 및 기어

추진 모터는 영구자석형 동기모터를 사용한다. 영구자석형 동기모터는 비동기모터에 비해 효율이 좋고 소음이 적은 것이 장점이다. 다음 그림은 바이모달 트램에 사용하는 영구자석형 동기모터의 형태, 사양 및 특성 그래프를 보여주고 있다.



<그림 3.4> 추진 모터

<표 3.4> 추진 모터 성능

제품 명	PM Synch. Motor
냉각 매체	Water-Glycol
정격 전압	600V
정격 용량	200 kW
정격 토크	1273 Nm
최대 토크	3800 Nm
정격 전류	285 A
최대 속도	3,500 rpm
무게	385 kg
크기 (mm, L x B x H)	565 x 520 x 565

바이모달 트램에 적용된 PMSM 모터는 부하 또는 회선 전압의 변동에 관계없이 전원의 주파수와 동기화된 상태에서 고정 속도로 회전할 수 있는 장점이 있다. 또한 이 모터는 최대 작동 한계에서 토크에 관계없이 공급 전원 주파수와 동기화된 상태에서 고정 속도로 작동한다.

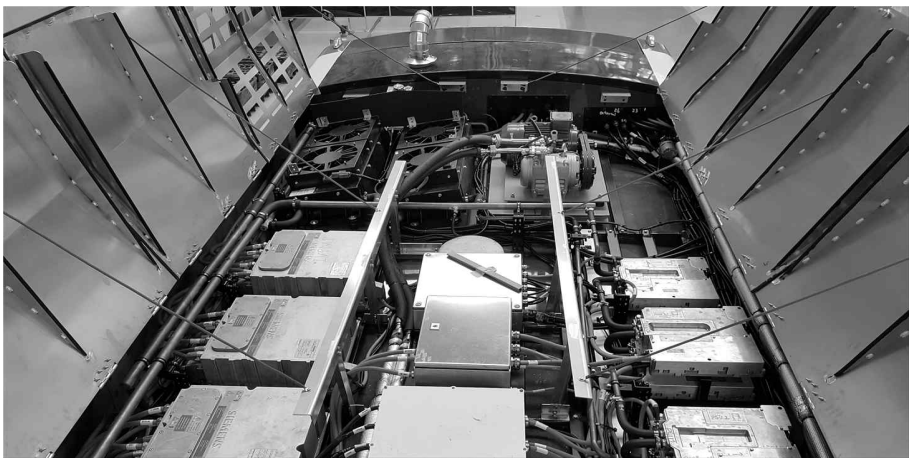
3상 PMSM은 영구 여자 모터(excited motor)이다. 매우 높은 전력 밀도, 효율성 및 높은 응답 속도를 제공하는 이 모터는 기계 설계 분야의 정밀 용도에 대부분 적용되며, 높은 과부하에도 사용이 가능하다. PMSM은 유지보수가 거의 필요하지 않으므로 운영 효율성을 극대화할 수 있으며, 고마력, 저 RPM 부하의 직접 구동에 가장 적합한 속도/토크 특성을 갖고 있다.

동기 모터는 개선된 역률(power factor)로 작동하므로, 시스템 전체의 역률이 높아지고 공급 전원의 역률 손실이 제거되거나 감소된다. 이렇게 개선된 역률은 또한 시스템의 전압 강하와 모터 단자에서 발생하는 전압 강하를 줄여주기도 한다. 이러한 좋은 장점을 가진 PMSM은 효율 또한 뛰어나 차량 성능 조건(구배시험, 연비)을 향상 시킬 수 있다.

3축 단독구동 방식으로 개선하기 위하여 2축의 구동부에 모터와 감속기를 제거하고, 기존에 적용하였던 프로토 타입의 브레이크 캘리퍼의 수급 문제로 인하여 양산타입의 브레이크 캘리퍼를 적용했다. 이에 따라 현가장치에서 간섭되는 부품을 변경하여 차량에 적용했다. 아울러, 브레이크 디스크의 발열 문제 해결을 위하여 디스크와 휠 허브 등의 기존 제품을 개선된 제품으로 적용했다.

(다) 추진, 보조 인버터

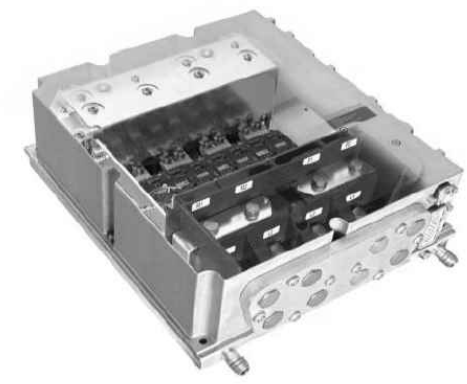
바이모달 트램에 사용하는 인버터는 사용 목적에 따라서 크게 추진 인버터와 보조 인버터로 나눈다. 추진 인버터는 배터리나 발전기로부터 받은 전력을 사용하여 정격 460Vac을 출력하여 추진 모터를 구동하거나 발전기로부터 받은 전력을 변환하여 배터리 전력을 공급하는데 사용한다. 보조인버터는 380Vac나 24Vdc로 추진인버터에 비해 낮은 전압의 전력을 공급하는데 사용된다.



<그림 3.5> 추진 및 보조 인버터

① 추진 인버터

추진인버터는 발전기로부터 받은 전력을 변환하고, 추진 모터에 전력을 공급하는데 사용된다. 모터를 구동하는데 사용된 인버터는 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 방법을 통하여 모터의 토크와 속도 제어가 가능하다. 바이모달 트램 추진 인버터 단품 사진 및 사양은 다음 그림 및 표와 같다.



<그림 3.6> 추진 인버터

<표 3.5> 추진 인버터 사양

제품 명	DC-DC / IGBT Mono Inverter
형식	Inverter 3Phases & 1Phase for Chopper or DC/DC converter
정격 전압	650V
작동 전압	300V - 750V
정격 전류	250Arms
정격 용량(460Vac)	200kVA
최대 전류(10s)	350A
최대 용량(500Vac)	320kVA
무게	30kg
크기 (mm, L x B x H)	411 x 454 x 183

② 보조 인버터 사양

보조 인버터는 추진 배터리나 발전기로부터 전력을 받아 380Vac 또는 24Vdc 전압의 전력을 공급하는데 사용된다. 380Vac의 전압은 펌프나 압축기와 같은 보조모터의 전력 공급에 사용되고, 24Vdc는 바이모달 트램의 등구류, VCU 및 도어와 같은 전장품을 구동하는데 사용된다.



<그림 3.7> 보조 인버터

<표 3.6> 보조 인버터 사양

제품 명	DC-AC auxiliary Inverter
형식	inverter 2 x 3 Phases
정격 전압	650V
작동 전압	400V - 750V
정격 전류	30A rms
정격 용량(460Vac)	2 x 23 kVA cont
최대 전류(10s)	2 x 43kVA max
무게	7.6 kg
크기 (mm, L x B x H)	310 x 391 x 81

(3) 배터리

안전 및 환경인증에 적합한 부품으로 차량을 구성하기 위하여 중요한 요소 중 하나는 배터리이다. 추진 배터리는 안정적인 리튬이온 배터리를 적용하였다. 리튬이온 배터리는 높은 에너지 저장밀도로 동일 크기에 비해 큰 용량을 가지고 있다. 배터리만을 이용하여 10km이상 주행이 가능하며, 배터리 관련 전류량, 충전수준, 출력, 온도, 전압, 셀 최대/최소 전압, 셀전압 등 대부분의 데이터를 바로 확인 할 수 있도록 VCU 및 메타 클러스터 설계를 진행하였다. 이러한 고압의 추진 배터리는 인증에 적합한 부품으로 구성하였다. 배터리 안전성 시험 항목으로는 열노출, 과방전, 과충전, 단락, 액중투입, 낙하, 연소 안전시험이 있으며, 신뢰성 시험으로는 저온/고온 방치, 저온/고온 동작, 셀 신뢰성 시험 항목이 있다. 바이모달 트램은 이러한 항목들에 대해서 시험 결과를 만족하는 배터리를 사용하였다. 기준을 만족하는 추진 배터리를 사용함으로써, 기존 차량의 배터리와 관련된 여러 가지 문제점들을 개선하였다.

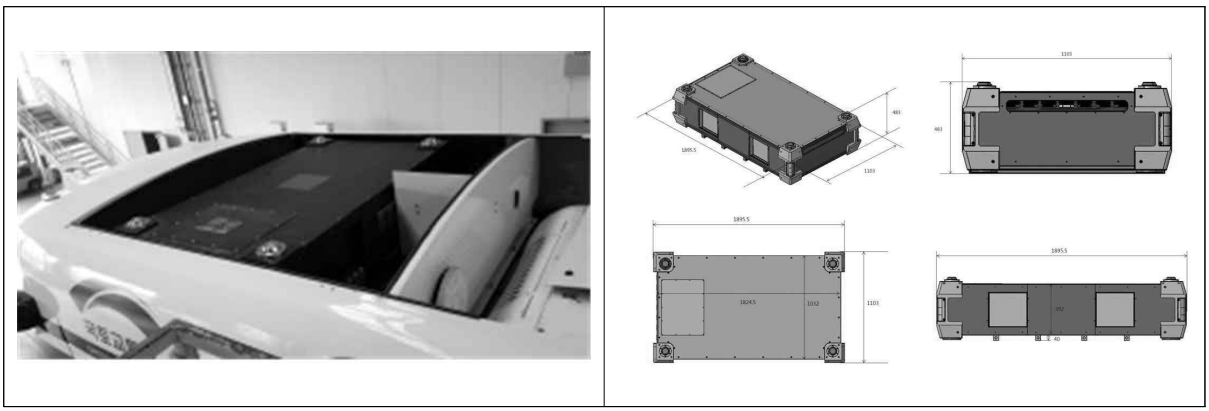
(가) 배터리팩 사양

바이모달 트램에 적용된 배터리 사양은 다음과 같다.

<표 3.7> 추진 배터리팩 사양

구 분	사 양
공칭용량	80Ah(162S4P)
공칭전압	607.5V(3.75V / 162CELL)
최대전압	680.4V(충전종지셀전압/4.2V, 25℃±3℃)
최소전압	510.3V(방전종지셀전압/3.15V, 25℃±3℃)
최대 방전 전류	400A(5C)
최대 충전 전류	160A(2C, Continues)
충전 온도 범위	0℃~55℃(충전)
방전 온도 범위	-20℃~55℃(방전)
보존 온도 범위	-40℃~60℃ (Recommend 25℃±3℃)
통신	HOST CAN 2.0B(250kbps)
무게	약 670Kg

다음 그림은 추진 배터리 사진과 외관에 대한 그림이다.



(a) 추진 배터리 사진 (b) 추진 배터리 외관

<그림 3.8> 추진 배터리

바이모달 트램에는 607.5V의 리튬이온 폴리머 배터리를 사용한다. 이 배터리는 162개 셀을 사용하여 80Ah의 용량을 가지고 있다.

(나) 배터리 관리 장치 (BMS, Battery Management System)

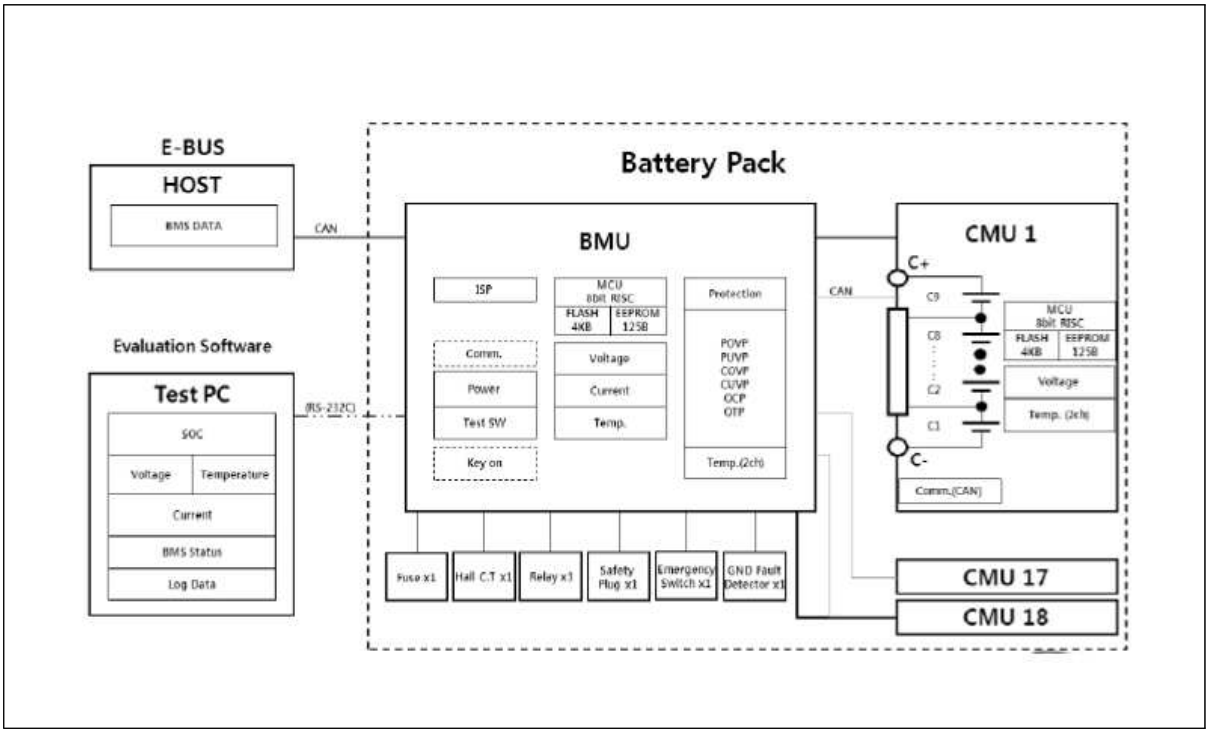
배터리 관리 장치는 Master(BMU)와 Slave(CMU)로 구성된다. Master는 Slave로부터 CAN 통신을 통해 팩 전압, 전류, 온도 측정 데이터를 받아 릴레이, EVCU, Charger를 제어한다.

<표 3.8> BMS 성능

전지 전압 측정	0 ~ 5V ±25mV
모듈 온도 측정	−20 ~ 60℃ ± 3℃
전류 측정	−400 ~ 400A ±10V
팩 전압 측정	0~729 ±0.7V
작동 전압	24V
소비 전류	4.3W
작동 온도	−20 ~ 80℃
보관 온도	−20 ~ 85℃

(다) 블록 다이어그램

다음 그림은 추진 배터리 시스템의 블록 다이어그램이다.



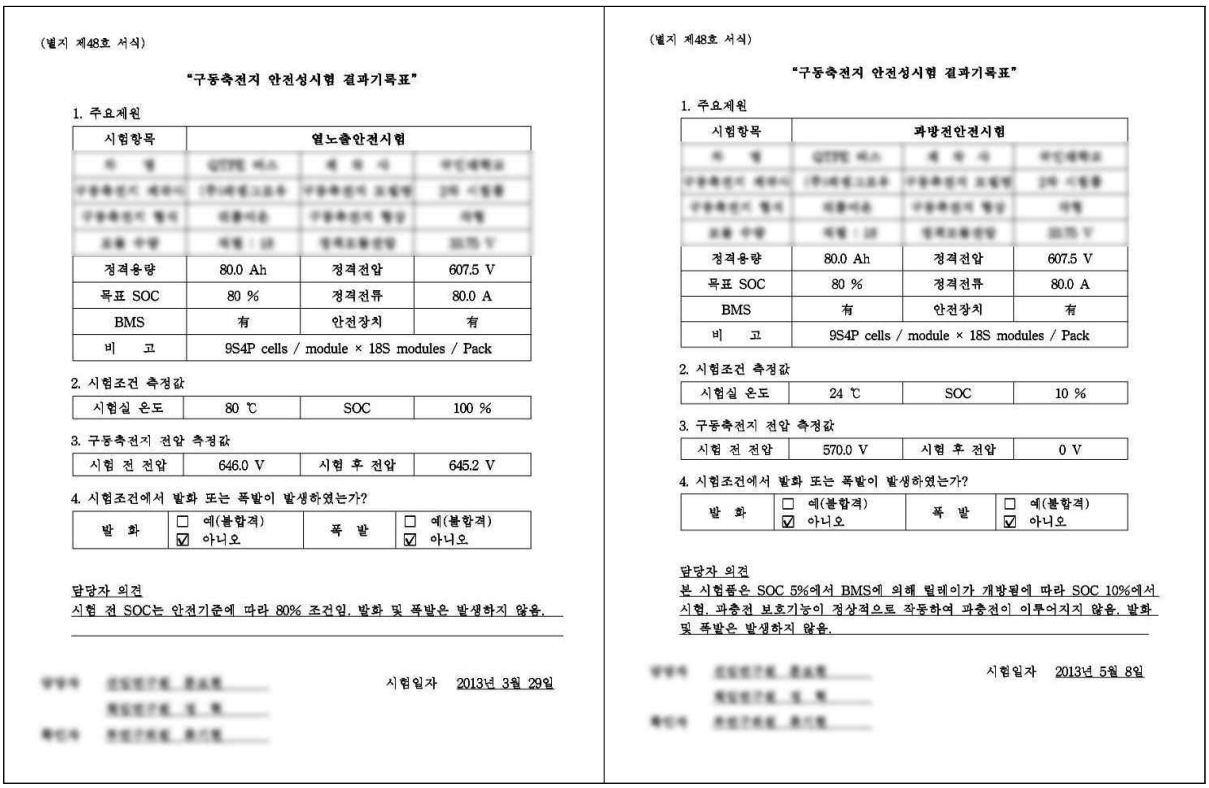
<그림 3.9> 추진 배터리 시스템 블록 다이어그램

(라) 배터리 인증 시험

① 배터리팩 시험항목 및 결과

<표 3.9> 배터리 팩 시험항목 및 결과

항목	시험 및 검증 항목	결과
배터리 안전성 시험	열노출 안전시험	PASS
	과방전 안전시험	PASS
	과충전 안전시험	PASS
	단락안전시험	PASS
	액중투입 안전시험	PASS
	낙하 안전시험	PASS
	연소 안전시험	PASS
신뢰성 시험	저온/고온 방치 시험	PASS
	저온/ 고온 동작 시험	PASS
	셀 신뢰성 시험	PASS



(별지 제48호 서식)

"구동축전지 안전성시험 결과기록표"

1. 주요제원

시험항목	열노출안전시험		
[illegible]			
정격용량	80.0 Ah	정격전압	607.5 V
목표 SOC	80 %	정격전류	80.0 A
BMS	有	안전장치	有
비 고	9S4P cells / module × 18S modules / Pack		

2. 시험조건 측정값

시험실 온도	80 ℃	SOC	100 %

3. 구동축전지 전압 측정값

시험 전 전압	646.0 V	시험 후 전압	645.2 V

4. 시험조건에서 발화 또는 폭발이 발생하였는가?

발 화	☐ 예(불합격) ☑ 아니오	폭 발	☐ 예(불합격) ☑ 아니오

담당자 의견

시험 전 SOC는 안전기준에 따라 80% 조건임, 발화 및 폭발은 발생하지 않음.

[illegible] 시험일자 2013년 3월 29일

(a) 열 노출 안전시험

(별지 제48호 서식)

"구동축전지 안전성시험 결과기록표"

1. 주요제원

시험항목	과방전안전시험		
[illegible]			
정격용량	80.0 Ah	정격전압	607.5 V
목표 SOC	80 %	정격전류	80.0 A
BMS	有	안전장치	有
비 고	9S4P cells / module × 18S modules / Pack		

2. 시험조건 측정값

시험실 온도	24 ℃	SOC	10 %

3. 구동축전지 전압 측정값

시험 전 전압	570.0 V	시험 후 전압	0 V

4. 시험조건에서 발화 또는 폭발이 발생하였는가?

발 화	☐ 예(불합격) ☑ 아니오	폭 발	☐ 예(불합격) ☑ 아니오

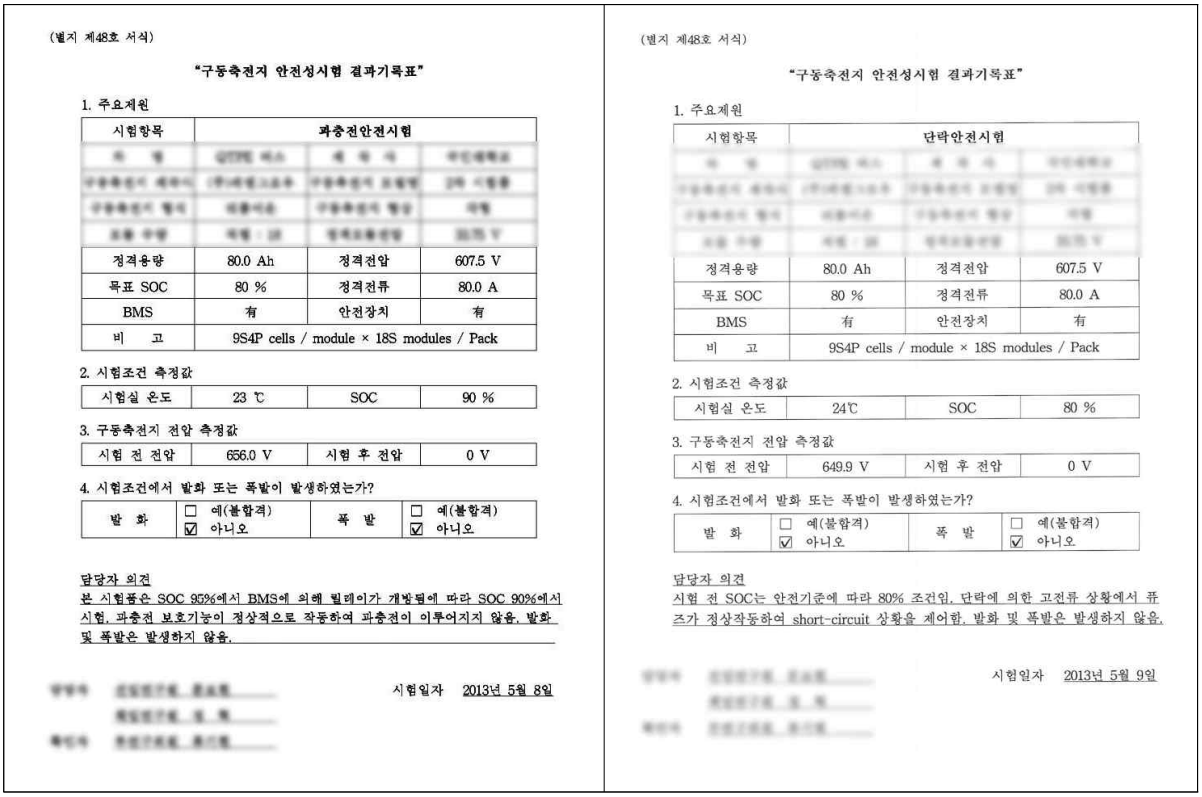
담당자 의견

본 시험품은 SOC 5%에서 BMS에 의해 릴레이가 개방됨에 따라 SOC 10%에서 시험, 과충전 보호기능이 정상적으로 작동하여 과충전이 이루어지지 않음, 발화 및 폭발은 발생하지 않음.

[illegible] 시험일자 2013년 5월 8일

(b) 과방전 안전시험

<그림 3.10> 열 노출 및 과방전 안전시험 결과



(별지 제48호 서식)

"구동축전지 안전성시험 결과기록표"

1. 주요제원

시험항목	과충전안전시험		
[redacted]			
정격용량	80.0 Ah	정격전압	607.5 V
목표 SOC	80 %	정격전류	80.0 A
BMS	有	안전장치	有
비 고	9S4P cells / module × 18S modules / Pack		

2. 시험조건 측정값

시험실 온도	23 ℃	SOC	90 %

3. 구동축전지 전압 측정값

시험 전 전압	656.0 V	시험 후 전압	0 V

4. 시험조건에서 발화 또는 폭발이 발생하였는가?

발 화	□ 예(불합격) ☑ 아니오	폭 발	□ 예(불합격) ☑ 아니오

담당자 의견

본 시험품은 SOC 95%에서 BMS에 의해 릴레이가 개방됨에 따라 SOC 90%에서 시험, 과충전 보호기능이 정상적으로 작동하여 과충전이 이루어지지 않음, 발화 및 폭발은 발생하지 않음.

[redacted]

시험일자 2013년 5월 8일

[redacted]

(별지 제48호 서식)

"구동축전지 안전성시험 결과기록표"

1. 주요제원

시험항목	단락안전시험		
[redacted]			
정격용량	80.0 Ah	정격전압	607.5 V
목표 SOC	80 %	정격전류	80.0 A
BMS	有	안전장치	有
비 고	9S4P cells / module × 18S modules / Pack		

2. 시험조건 측정값

시험실 온도	24℃	SOC	80 %

3. 구동축전지 전압 측정값

시험 전 전압	649.9 V	시험 후 전압	0 V

4. 시험조건에서 발화 또는 폭발이 발생하였는가?

발 화	□ 예(불합격) ☑ 아니오	폭 발	□ 예(불합격) ☑ 아니오

담당자 의견

시험 전 SOC는 안전기준에 따라 80% 조건임, 단락에 의한 고전류 상황에서 퓨즈가 정상작동하여 short-circuit 상황을 제어함, 발화 및 폭발은 발생하지 않음.

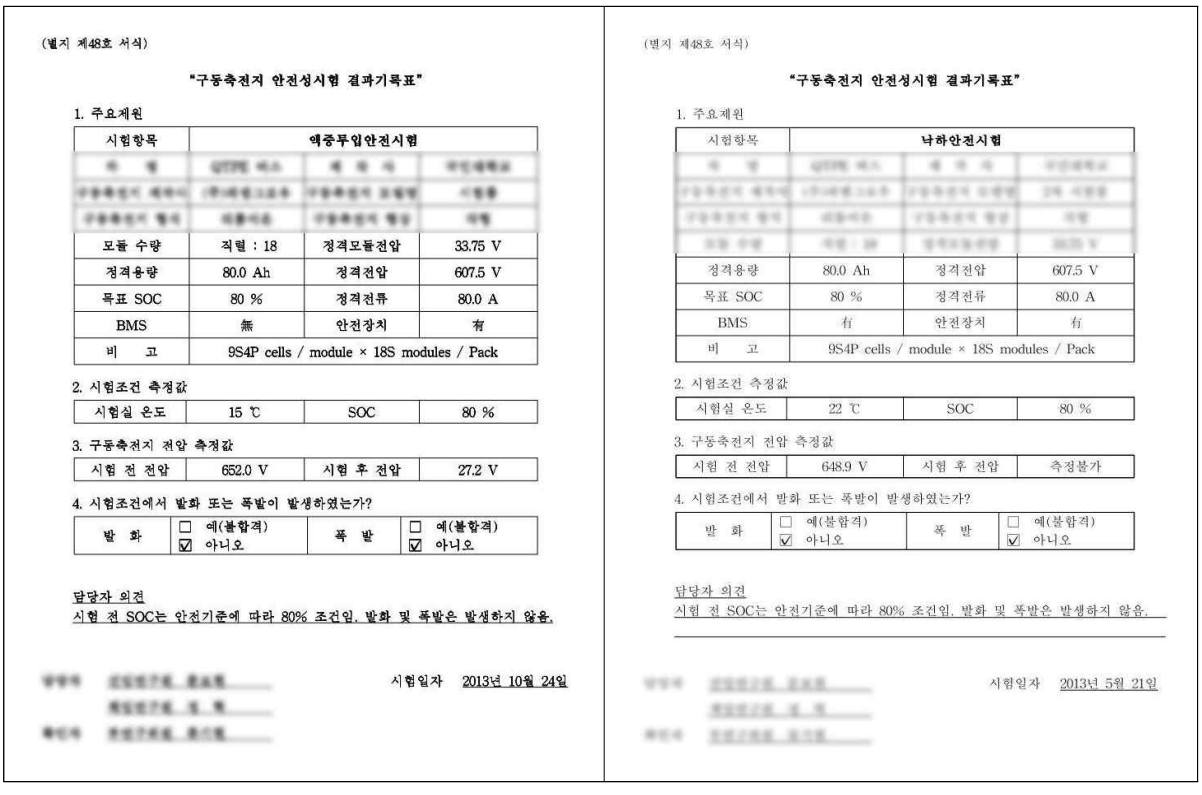
[redacted]

시험일자 2013년 5월 9일

[redacted]

(a) 과충전 안전시험 (b) 단락 안전시험

<그림 3.11> 과충전 및 단락 안전시험 결과



(별지 제48호 서식)

"구동축전지 안전성시험 결과기록표"

1. 주요제원

시험항목	액중투입안전시험		
[redacted]			
모듈 수량	직렬 : 18	정격모듈전압	33.75 V
정격용량	80.0 Ah	정격전압	607.5 V
목표 SOC	80 %	정격전류	80.0 A
BMS	無	안전장치	有
비 고	9S4P cells / module × 18S modules / Pack		

2. 시험조건 측정값

시험실 온도	15 ℃	SOC	80 %

3. 구동축전지 전압 측정값

시험 전 전압	652.0 V	시험 후 전압	27.2 V

4. 시험조건에서 발화 또는 폭발이 발생하였는가?

발 화	□ 예(불합격) ☑ 아니오	폭 발	□ 예(불합격) ☑ 아니오

담당자 의견

시험 전 SOC는 안전기준에 따라 80% 조건임, 발화 및 폭발은 발생하지 않음.

[redacted]

시험일자 2013년 10월 24일

[redacted]

(별지 제48호 서식)

"구동축전지 안전성시험 결과기록표"

1. 주요제원

시험항목	낙하안전시험		
[redacted]			
정격용량	80.0 Ah	정격전압	607.5 V
목표 SOC	80 %	정격전류	80.0 A
BMS	有	안전장치	有
비 고	9S4P cells / module × 18S modules / Pack		

2. 시험조건 측정값

시험실 온도	22 ℃	SOC	80 %

3. 구동축전지 전압 측정값

시험 전 전압	648.9 V	시험 후 전압	측정불가

4. 시험조건에서 발화 또는 폭발이 발생하였는가?

발 화	□ 예(불합격) ☑ 아니오	폭 발	□ 예(불합격) ☑ 아니오

담당자 의견

시험 전 SOC는 안전기준에 따라 80% 조건임, 발화 및 폭발은 발생하지 않음.

[redacted]

시험일자 2013년 5월 21일

[redacted]

(a) 액중투입 안전시험 (b) 낙하 안전시험

<그림 3.12> 액중투입 및 낙하 안전시험 결과

(별지 제48호 서식)

"구동축전지 안전성시험 결과기록표"

1. 주요제원

시험항목	연소안전시험		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
정격용량	80.0 Ah	정격전압	607.5 V
목표 SOC	80 %	정격전류	80.0 A
BMS	有	안전장치	有
비 고	9S4P cells / module × 18S modules / Pack		

2. 시험조건 측정값

시험실 온도	31.0 ℃	SOC	80 %

3. 구동축전지 전압 측정값

시험 전 전압	648.1 V	시험 후 전압	648.2 V

4. 시험조건에서 발화 또는 폭발이 발생하였는가?

발 화	□ 예(불합격) ☑ 아니오	폭 발	□ 예(불합격) ☑ 아니오

담당자 의견

시험 전 SOC는 안전기준에 따라 80% 조건임. 발화 및 폭발은 발생하지 않음.

[illegible]

시험일자 2013년 6월 5일

[illegible]

<그림 3.13> 연소 안전시험

(4) 차체 소재 변경

알루미늄 바디 및 스틸프레임 구조로 차량을 구성하여 차량의 강성을 높였다. 이를 통해서 복합재 대비 차체 제작비용을 절감하였고, 차량의 내구연한 만료에 따른 폐차 시 재활용 비율을 높여 환경오염문제를 해결하였다.

기존의 복합재 차체의 경우 소재의 단가가 높고, 운행 중에 충돌로 인한 사고 발생 시 운영 차고지에서 원상태로 복구하기가 어렵다. 스틸프레임 구조에 상부의 바디는 알루미늄 압출재로 구성한다. 차체의 기본 구성은 일반 차량과 동일하게 프레임 골조 형태로 차체를 구성하였고, 알루미늄 판재와 복합재 패널로 마감하였다.

우진산전에서 양산한 고무차륜 경량전철 및 모노레일의 경우에 알루미늄 차체이다. 바이모달 트램에 적용하는 차체의 경우 상부 구조는 경량전철 및 모노레일과 동일하게 중공의 압출재(더블스킨) 구조로 제작하였고, 측면의 골조부분은 형상을 갖는 알루미늄 각관 구조로 전체 차량을 구성하였다. 알루미늄 차체의 경우 우진산전의 주요 차량에 적용하는 소재이며, 이를 바이모달 트램에 적용하여 차체의 경량화 및 가격경쟁력을 확보하였다.



<그림 3.14> 알루미늄 차체

다. 직렬형 클린디젤 하이브리드 추진시스템

직렬형 하이브리드 시스템은 바이모달 트램이 기존의 철도차량과 달리 가선으로부터 전원을 공급받지 않고 차량 내에서 독립적으로 전원을 발생시켜 차량운행이 가능하도록 해주는 시스템이다. 따라서 이러한 장점을 가지기 위해 친환경 교통수단으로 하이브리드 추진시스템을 도입하여 차량을 제작하였다.

(1) 노선에 따른 유로-6 디젤엔진 적용 검토

(가) 엔진-발전기

기존에 개발된 바이모달 트램의 경우에 유로-5 CNG 엔진이 적용된 발전기가 탑재되었고, 각 축의 개별구동 방식으로 차량의 가격을 높이는 요인이 되었으며, 점검 요소가 많아 유지보수 비용이 컸다. 따라서 이번 실용화 기술개발 과제에서는 유로-6 디젤엔진을 적용하여 환경기준을 만족시키고, 3축의 단독구동 방식의 차량으로 개조함으로써 차량의 단가를 낮추고 유지보수의 편의성을 확보하였다.

엔진의 사양은 ISB6.7 209kW 엔진으로 적용 하였다. 차량의 제작 사양 검토 과정에서 다음과 같은 사양을 고려하였다.

<표 3.10> 엔진 검토 시 고려 사항 (개발당시 예상 사양)

항목	값
만차 하중	30,000kg
공차 하중	20,000kg
전면 면적	8m2
공기 밀도	1.2kg/m^3
기어비	8.59 : 1
바퀴 지름	1.056m
버스 정거장 체류시간	25s
배터리 최대 출력 용량	145.8 kW
보조 추진 시스템 소모 용량	49.47 kW

국내 BRT노선 및 시내버스 노선의 구배 및 운행 시격 등을 검토하여 차량이 운행하는데 소요되는 용량을 계산하였다. 사양검토는 BRT 및 시내버스 대표 노선에 대한 시뮬레이션 결과로 각 노선은 정류장 정차가 빈번하지 않고 고속 주행이 필요한 대표 노선과 정류장 정차가 빈번한 대표 노선으로 검토하였다.

다음 표는 고속주행 노선에 따른 용량 시뮬레이션 결과이다.

<표 3.11> 고속주행 노선에 따른 소모 용량 시뮬레이션 결과

노선	거리[m]	시간[s]	최대속도 [km/h]	평균속도 [km/h]	소모용량 [kWh]	배터리 모드시간[s]	평균 소모량 [kW]
1	13,700	1027.7	50.2	47.99	31.96	29	115.20
2	6,000	345.4	50.2	45.43	14.66	29	118.19
3	11,000	834.2	50.2	47.48	25.90	29	115.78
계	30,700	2,337.3		47.29	72.52	87.00	116.02

다음 표는 정류장 정차가 빈번한 노선에 따른 용량 시뮬레이션 결과이다.

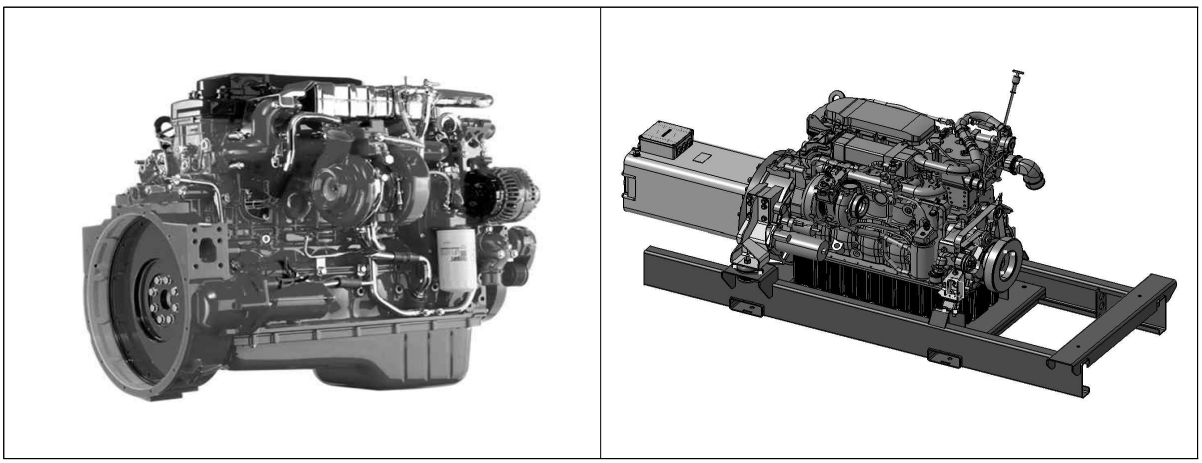
<표 3.12> 정류장 정차가 빈번한 노선에 따른 소모 용량 시뮬레이션 결과

노선	거리 [m]	시간 [s]	최대속도 [km/h]	평균속도 [km/h]	소모용량 [kWh]	배터리 모드 시간[s]	평균 소모량 [kW]
1	2,040	154.36	79.80	47.62	6.73	29	193.27
2	1,290	128.72	60.00	36.08	4.33	29	156.23
3	571	85.15	50.20	24.13	2.45	29	156.94
4	439	75.70	50.20	20.88	2.15	29	165.88
5	4,560	144.92	60.00	38.75	4.91	29	152.60
6	791	100.94	50.20	28.21	2.94	29	147.25
7	615	88.32	50.20	25.07	2.55	29	154.58
8	2,250	163.74	79.80	49.47	7.19	29	205.35
9	2,870	191.70	79.80	53.90	8.54	29	189.02
10	588	86.39	50.20	24.51	2.49	29	155.98
11	806	102.02	50.20	28.44	2.98	29	146.73
12	1,690	152.72	60.00	39.83	5.20	29	151.20
13	1,290	128.72	60.00	36.08	4.33	29	156.23
14	2,040	154.36	79.80	47.62	6.73	29	193.27
계	18,840	1,757.76		38.59	63.52	406.00	169.17

정류장 정차가 빈번한 대표 노선에서 사용되는 평균 소모량은 169.17kW이므로, 엔진-발전기의 용량은 평균 소모량보다 높아야 정상적인 운행이 가능함을 알 수 있다. 따라서 엔진의 용량은 이보다 큰 ISB6.7 209kW 엔진을 적용하였다.

<표 3.13> ISB6.7 엔진 제원

POWER (kW)	209
PEAK TORQUE (Nm)	1,100
GOVERNED SPEED (RPM)	2,100
NO. OF CYLINDERS	6
DISPLACEMENT (LITER)	6.7
DRY WEIGHT (KG)	522

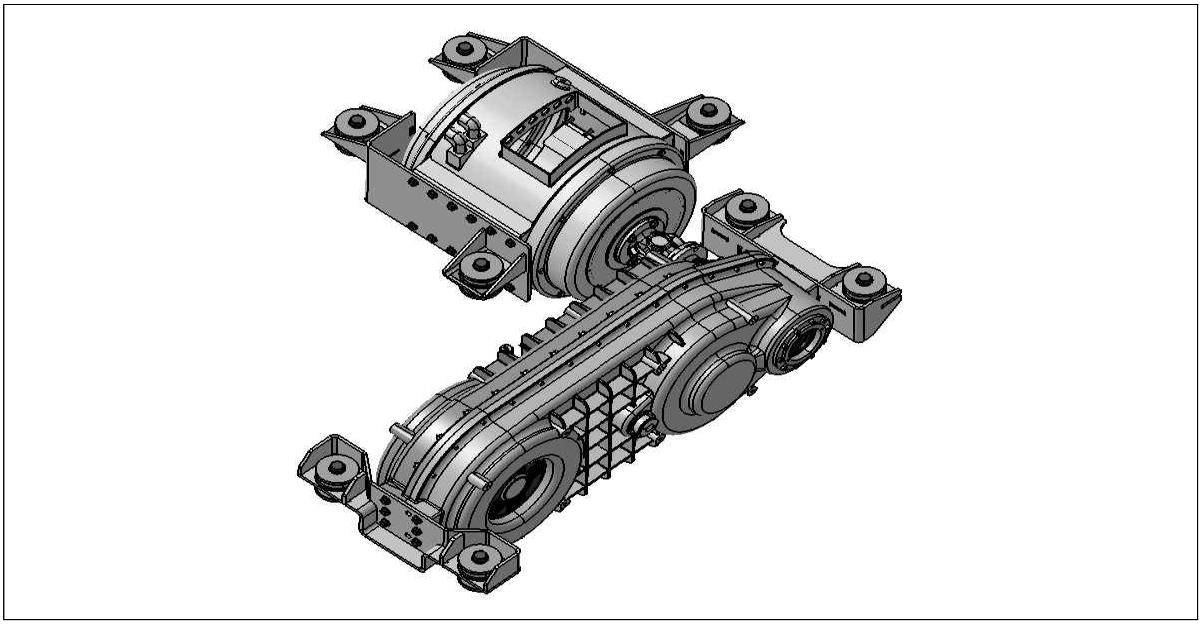


(a) 유로-6 디젤엔진 (b) 유로-6 디젤엔진-발전기 어셈블리

<그림 3.15> 유로-6 디젤엔진 및 유로-6 디젤엔진-발전기 어셈블리

(나) 구동 시스템

구동 장치는 추진 모터와 기어박스가 적용되었다. 기어비 8.59:1이며 3축 단일구동을 적용하였다. 2축 및 3축 독립구동방식에 적용된 4개의 모터 및 기어박스를 1개의 모터와 기어박스를 이용한 3축 단독구동방식으로 변경함으로써 차량의 정비 및 점검 포인트를 낮추고 유지보수비용 및 차량 가격을 낮출 수 있도록 하였다. 3축 단독 구동하기 위해서는 3축의 중앙부에 기어박스를 설치하고, 더블 유니버설 조인트를 적용하여 양쪽의 휠이 구동과 조향이 가능하도록 개선하였다.



<그림 3.16> 추진 모터 & 기어박스 어셈블리

(2) 구동 모터 성능 검토

국내 BRT노선 및 시내버스 노선의 구배 및 시격 등을 검토하여 바이모달 트램에 적합한 구동모터의 성능을 도출하기 위해서, 구배능력 20%와 최고속도 80km/h를 만족하는 성능을 제시하고자 한다. 먼저 차량의 필요 구동력 계산을 위해 뉴턴의 제 2법칙 공식을 고려한다.

$$F = ma$$

여기서 F는 차에 가해진 힘, m은 차량의 질량, a는 가속도를 말한다. 차량에 미치는 힘은 다음과 같이 나눌 수 있다.

$$F = F_m - F_a - F_r - F_c$$

여기서 F_m이 차량의 구동력이며, F_a과 F_r는 공기 및 차량의 무게에 의한 저항력이며, F_c는 경사각에 따른 구배저항이다. 따라서 차가 힘을 받아 가속하기 위해서는 $F_m > F_a + F_r + F_c$가 되어야 한다. 차량이 힘을 받아 가속하기 위한 조건을 찾기 위해 지면 및 공기에 의한 저항력인 F_a, F_r 및 F_c를 구하도록 한다.

(가) 공기저항력 F_a 계산

자동차가 주행할 때에는 공기력의 작용을 받게 된다. 그 중 진행방향에 반대되는 공기력을 공기저항이라 한다. 공기 저항력의 주요 구성요소는 다음과 같다.

○ 차체의 전부에서의 압력과 후부에 생기는 부합과의 압력차로 발생되는 형상

또는 압력저항

- ○ 차체 표면에 흐르는 공기와 차체 표면과의 표면저항 또는 요철저항
- ○ 차체 내부의 환기 등 차체에 대한 공기의 출입에 따르는 환기저항
- ○ 자동차가 고속 주행할 때 양력의 발생으로 생기는 저항인 유도저항

공기저항에 대한 힘은 다음과 같은 수식에 의하여 계산 된다.

$$F_a = \frac{1}{3.6^2}\mu_a A_f v^2$$
$$= \frac{1}{2}\frac{1}{3.6^2}\rho C_d A_f v^2$$

$\mu_a[kg/m^3]$는 공기저항 계수로써, 실험에 의하여 결정된다. 또한 실험에 의해 결정되는 공기저항 계수 C_d와 공기밀도 $\rho[kg/m^3]$에 의해 결정된다. $A_f[m^2]$는 자동차의 전면 면적으로 전고x전폭x0.9로 계산된다. $v[km/h]$는 차량의 속도로써, 공기저항 F_a는 차량의 속도의 제곱에 비례하여 증가되는 것을 알 수 있다. 공기는 대략 79%의 질소와 21%의 산소로 구성되어 있으며, 각각의 분자량은 28, 32가 된다. 분자량은 가스 22.4 litter당 질량을 의미한다(표준상태에서의 1몰의 기체 분자량이 차지하는 부피). 즉 22.4리터 가스에 해당되는 질소는 28g, 산소는 32g이 된다. 따라서 공기의 밀도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\rho = \frac{79\%\ of\ 28 + 21\%\ of\ 32}{22.4l}$$

이를 적용하면 공기 저항력은 다음과 같다.

$$F_a = \frac{1}{2}\frac{1}{3.6^2}(1.29)C_d A_f v^2$$
$$= 0.0498 C_d A_f v^2 [N]$$

공기저항 계수는 버스의 경우 C_d의 값을 0.5에서 0.8사이의 값을 적용 가능하며, 성능계산에서는 0.8을 사용하기로 한다.

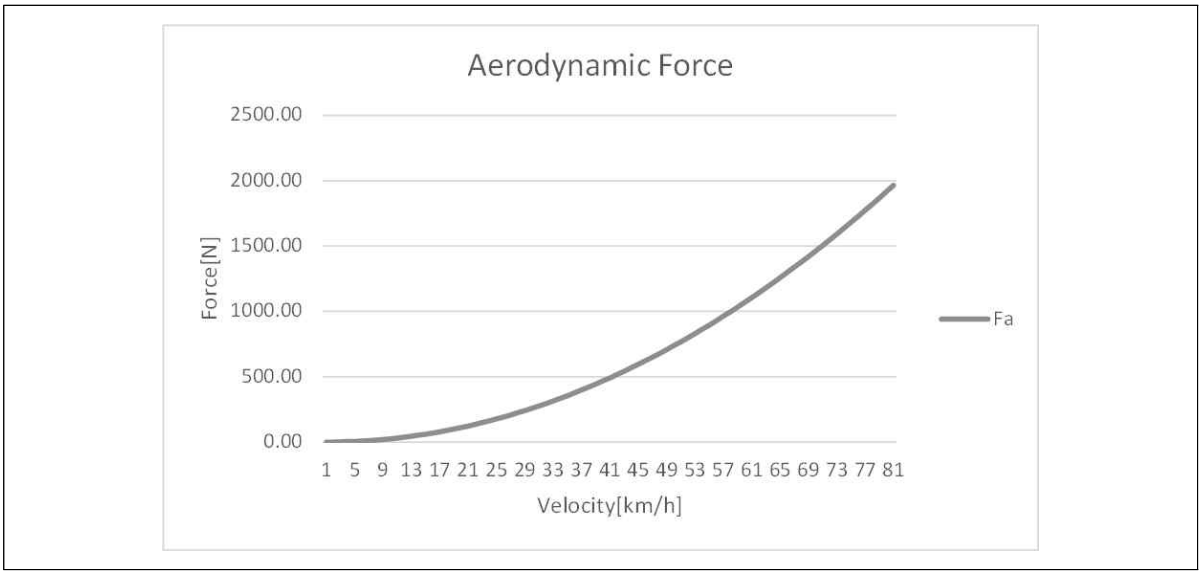
$A_f[m^2]$은 바이모달 트램의 전면 면적을 고려되어야 한다. 개발 당시의 전면적은 차량 전면의 하부의 공간을 고려하여 너비x높이x0.9로 계산하여 반올림하였다.

$$A_f = 2.495 \times 3.43 \times 0.9$$
$$= 7.70$$

이는 속도에 관한 함수가 되어 아래 식과 같다.

$$F_a = \frac{1}{2}\frac{1}{3.6^2}(1.29)C_d A_f v^2$$
$$= 0.0498 \times 0.8 \times 7.70 v^2$$
$$= 0.31 v^2 [N]$$

속도 v의 증가함에 따라 발생하는 공기저항력 F_a의 그래프를 그리면 아래와 같다.



<그림 3.17> 바이모달 트램 속도-공기 저항력 그래프

(나) 구름저항력 F_r 계산

구름저항은 차량이 수평노면을 구를 때 일어나는 저항으로 다음과 같은 요인들이 있다.

- 타이어의 탄성 변형에 의한 저항
- 노면의 탄성 변형에 의한 저항
- 차륜 베어링부에서의 마찰저항
- 노면 요철에 의한 충격저항

구름 저항력은 속도에 무관한 항과 속도에 비례하는 항이 존재한다.

$$F_r = \mu_r W$$

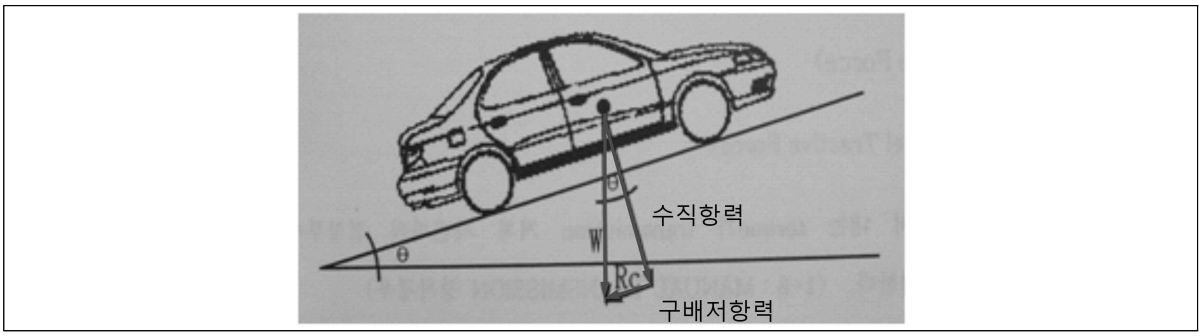
여기서 μ_r는 구름저항계수, W는 차량의 중량이 된다. 속도에 영향이 고려된 구름 저항계수 μ_r는 고속으로 올라감에 따라 급격히 증가하게 되는 특성을 가진다. 그러나 100km/h 이하의 저속에서는 이를 무시하도록 한다. 타이어 압력을 표준상태로 사용할 때 대략적인 값은 노면조건에 따라 다르다.

콘크리트 포장도로일 경우 약 0.015이며, 이 수치를 기반으로 F_r을 계산할 수 있다. W는 차량의 중량으로써 바이모달 트램의 만차중량을 고려하여 26,000[kgf]로 하였다. 속도에 관계없는 항이기 때문에 아래 식과 같이 된다.

$$F_r = \mu_r W$$
$$= 0.015 \times 26000$$
$$= 390[kgf]$$
$$= 3822[N]$$

(다) 구배저항력 F_c 계산

구배저항은 차량이 경사에 오르는 각에 따라서 결정되는 저항력이 된다.



<그림 3.18> 차량의 구배저항

위 그림과 같이 경사로에 있는 차량은 중력에 의한 힘이 경사로의 수직방향의 힘과 차량 뒤쪽 방향의 힘으로의 벡터 합으로 나눌 수 있다. 따라서 차량이 나아가고자 하는 방향의 반대방향으로 차량 중량의 힘이 일부 작용하게 된다.

$$\hat{F} = W(\hat{a}cos\theta + \hat{b}sin\theta)$$
$$= W\hat{a}cos\theta + W\hat{b}sin\theta)$$

여기서 $W\hat{a}cos\theta$는 수직항력, $W\hat{b}sin\theta$는 구배저항력이다. $\hat{a}$와 $\hat{b}$는 각각의 단위 벡터 성분을 나타낸다. 차량의 나아가는 구동력은 경사로와 수평인 방향이므로, $\hat{b}$ 벡터에 해당되는 크기만 고려한다. 따라서 아래 식과 같이 된다.

$$F_c = Wsin\theta$$
$$= Wsin(\tan^{-1}\frac{i}{100})$$

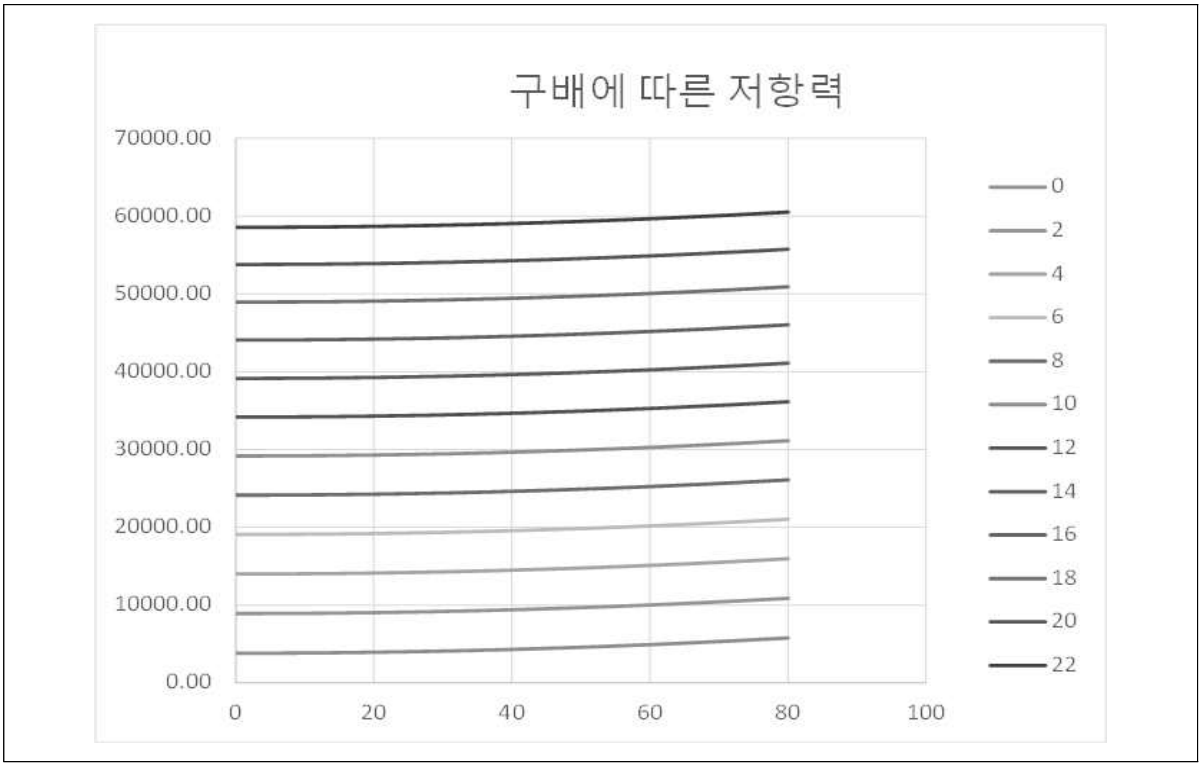
여기서 i는 경사 각도를 구배율(%)로 표현하였을 때의 수치가 되어, 아랫면을 100으로 하였을 때 높이가 i가 되는 경사각을 의미한다. 따라서 구배율에 따른 경사각은$\theta = \tan^{-1}\frac{i}{100}$ 의 관계가 있다. 차량의 중량은 26,000[kgf]이므로, 경사각에 따라서 다음과 같은 구배저항력을 얻을 수 있다.

<표 3.14> 바이모달 트램 구배율에 따른 구배 저항력 표

구배율[%]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
구배력[kgf]	0	520	1039	1557	2073	2587	3098	3605	4108	4606	5099	5586
구배력[kN]	0	5.09	10.18	15.26	20.32	25.35	30.36	35.33	40.26	45.14	49.97	54.75

(라) 필요 구동력 계산

저항력 합은 다음과 같다.



<그림 3.19> 구배율에 따른 합성 저항력 그래프

구배를 20%를 오를 수 있는 성능에 필요한 토크는 위 계산식으로부터 53,800[N]의 구동력이 필요함을 알 수 있다. 바이모달 트램 타이어는 385/65R22.5-24PR을 사용하기 때문에 동반경 r=0.528m으로 계산한다. 모터로부터 나오는 구동력은 감속기를 통해 바퀴로 전달한다. 이때 감속기의 기어비 만큼 구동력이 증가하며, 구동력은 1[m]의 거리일 때 힘[N]을 나타내는 회전력[Nm]을 말하므로, 반지름 r[m]에 반비례한다.

$$Tractive\ effort = motor\ torque \times gear\ ratio / r$$

Tractive effort가 위의 식과 같으므로, 필요한 모터의 구동능력은 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} motor\ torque &= \frac{Tractive\ effort}{gear\ ratio} \times r \\ &= \frac{53800}{8.59} \times 0.528 \\ &= 3306.92[N] \end{aligned}$$

따라서 최대 토크는 3306.92[N] 이상이 되어야 함을 알 수 있다.

(마) 필요 모터 회전수 계산

구동모터는 토크를 높이기 위한 감속기를 통해 토크를 전달한다. 모터가 감속비만큼 회전을 하면 바퀴가 1바퀴가 구르게 되는데, 초당 회전수[rms, 1/s]와 바퀴의 둘레[m]를 곱한 값이 속도[m/s]가 나온다. 모터의 회전수는 보통 분당 회전수를 사용하기 때문에, 분당회전수와 토크, 바퀴의 둘레를 통하여 시속[km/h]을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v[km/h] = rpm/60/gear\ ratio \times 2\pi r/1000 \times 3600$$

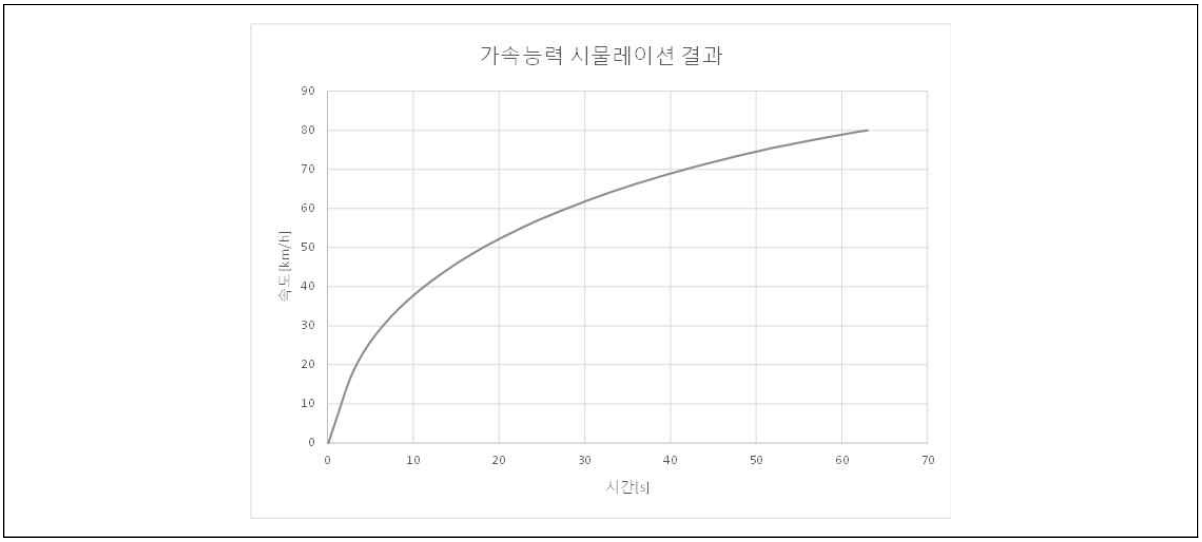
이때 원하는 최대 속도는 80[km/h]을 만족하기 위한 모터의 최대 rpm은

$$\begin{aligned} rpm &= v \times 60 \times gear\ ratio \times 2\pi r \times 1000/3600 \\ &= 80 \times 60 \times 8.59/(2\pi \times 0.528) \times 1000/3600 \\ &= 3452.38 \end{aligned}$$

최대 분당 회전수 3452.38[rpm]를 만족하면 된다.

(바) 가속 성능 시뮬레이션

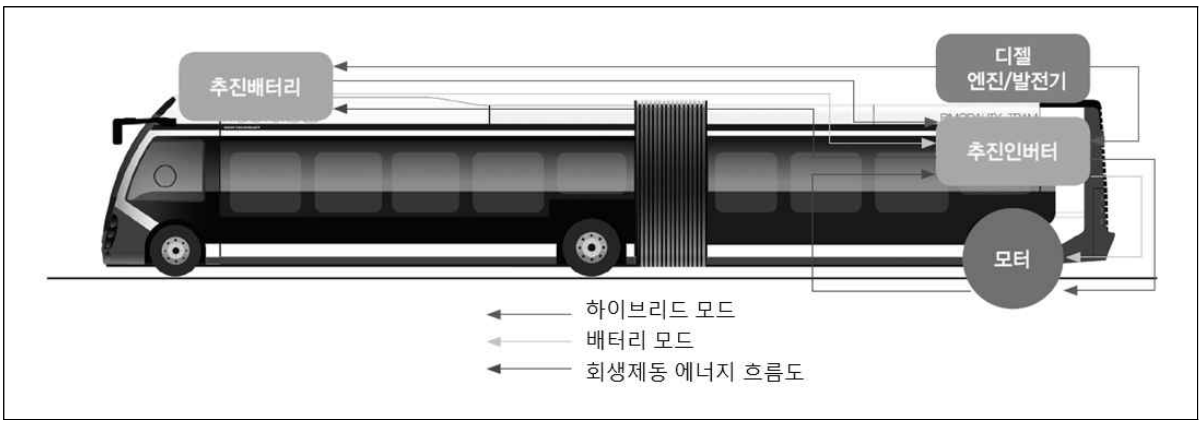
구동모터의 성능 그래프 특성에 따라서 바이모달 트램의 가속성능을 평지에서 가속성능에 대해 시뮬레이션을 시행하였다. 구동력 및 모터의 성능 곡선은 속도에 결정되는 비선형 함수이기 때문에 테이블을 만들어 그 값을 추이를 하여 계산하였다. 모터 성능에 대한 테이블은 공식적으로 제조사가 제공하지 않기 때문에, 성능곡선을 통해 유추 하였다. 여기서 계산된 구동력은 모터의 최대 토크곡선 및 기어비 8.59를 고려하였으며 효율은 90%로 가정되었다. 모터 및 저항력 테이블은 모터의 구동력 그래프로부터 검토하였으며, 저항력은 평지의 경우에 속도에 따른 저항력 계산으로 부터 구하였다. 시뮬레이션 계산 결과그래프는 다음과 같다.



<그림 3.20> 가속능력 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통하여 최고속도인 80[km/h]까지 도달하는데 걸리는 시간은 약 63초였다. 또한 30[km/h]까지 도달하는데 걸리는 시간은 6.5초가 걸리는 것으로 나타났으며, 이때 평균 가속도는 1.28[m/s^2]로 나타났다.

(3) 장치 구성

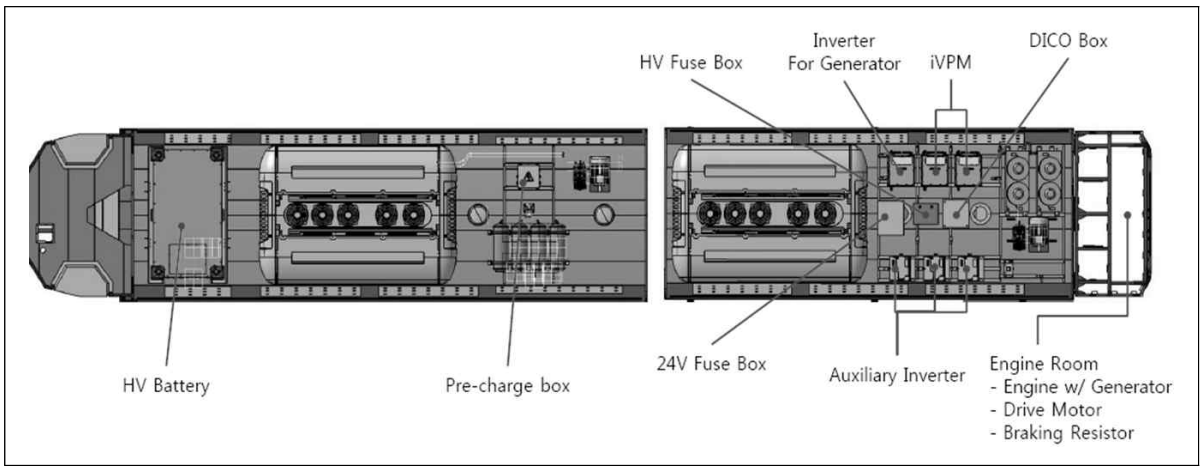


<그림 3.21> 추진 모드

바이모달 트램은 친환경 시스템인 하이브리드 추진 시스템을 적용하였다. 추진 시스템의 주요 부품으로는 추진배터리, 엔진-발전기, 인버터 및 추진 모터가 있다. 이는 하이브리드 모드 및 EV모드의 2가지의 모드가 있으며, 위 그림은 모드에 따라 동력의 흐름을 나타낸다. 또한 모드에 상관없이 모터로부터 회생제동이 될 때, 발생된 에너지가 모터로부터 추진인버터를 통해 배터리로 충전이 된다.

<표 3.15> 추진 시스템 구성부품

Components	Quantity	Remark
Inverter	3	2pcs of iVPM, 1pcs of Generator Inverter
Generator	1	1FV5168
Drive Motor	1	PEM
DICO	1	
Auxiliary Inverter	3	Additional 2 unit are under controlled by EVCU
Braking Resistor	1	For Heater application



<그림 3.22> 추진 시스템 구성도

대용량의 리튬이온 배터리, 추진 영구자석형 동기모터, 유로-6 디젤엔진-발전기, 추진 인버터 및 보조 인버터로 구성되어 있다. DICO는 추진 시스템을 제어하는 주요 컨트롤러이며, 추진 시스템의 CAN라인의 부하를 덜기 위해 VCU도 일부 보조 인버터를 제어하도록 설계하였다.

<표 3.16> 장치별 사양 표

장치	주요 사양		비고
추진 인버터	제품명	DC-DC / IGBT Mono Inverter	
	용량	200kVA	
	정격 전압	650V	
보조 인버터	제품명	DC-AC auxiliary Inverter	
	용량	2x23 kVA cont	
	정격 전압	650V	
발전기	제품명	PM Synch. Generator	
	용량	140 kW @ 2400 rpm	
	정격 전압	650V	
추진모터	제품명	PM Synch. Motor	
	용량	200 kW	
	정격 전압	600V	

(4) 냉각 라인

추진 시스템을 구성하는 장치들은 동작을 하면서 발열하기 때문에 이를 냉각시켜주는 냉각 시스템이 필요하다. 냉각시스템은 액체로 된 냉각수를 펌프로 순환시키고, 라디에이터가 팬으로 내부의 뜨거운 열기를 배출하여 냉각수를 식혀주도록 되어 있다. 냉각라인은 펌프로 인해 발생되는 압력에 의해 순환되기 때문에, 파이프의 길이와 지름이 적절하게 설계되어야 모든 장치들이 요구하는 냉각 성능을 발휘할 수 있다. 이를 반영하여 엔진 냉각라인과 추진제어기기 냉각라인을 분리하여 냉각효율을 높일 수 있도록 설계 하였다.

라. 초저상 차체 및 차량 경량화

(1) 알루미늄 바디 구성

신에너지 바이모달 수송시스템 개발 사업을 통하여 개발된 바이모달 트램 시제차량의 경우 복합소재의 차체로 내부식성과 경량화로 인한 차량 주행성능은 우수 하지만 초기 금형비 투자 및 소재비용이 고가이며, 주행중 충돌로 인한 차체 파손시 운영사에서 유지보수 대응이 어렵고 소재 경화시간동안 운행이 어렵다. 일반 차량과 혼재되어 있지 않은 BRT 전용노선의 경우 일반 차량과의 충돌이 없어 복합소재의 차체도 경량화 측면에서 차량 주행성능에 유리하지만 국내 BRT도로 특성상 일반차량과 혼재되어 있어 충돌의 위험이 있기 때문에 실용화 개발차량에는 내 부식성과 경량화 및 유지보수가 용이한 알루미늄 소재의 차체를 적용하였다. 강한 강성을 갖기 위해 알루미늄 압출재를 사용하여 차체를 적용함으로써 내구연한 만료 시에 차량의 재활용 비율을 높여 환경오염을 줄일 수 있도록 하였다. 스틸프레임 구조에 상부의 바디는 알

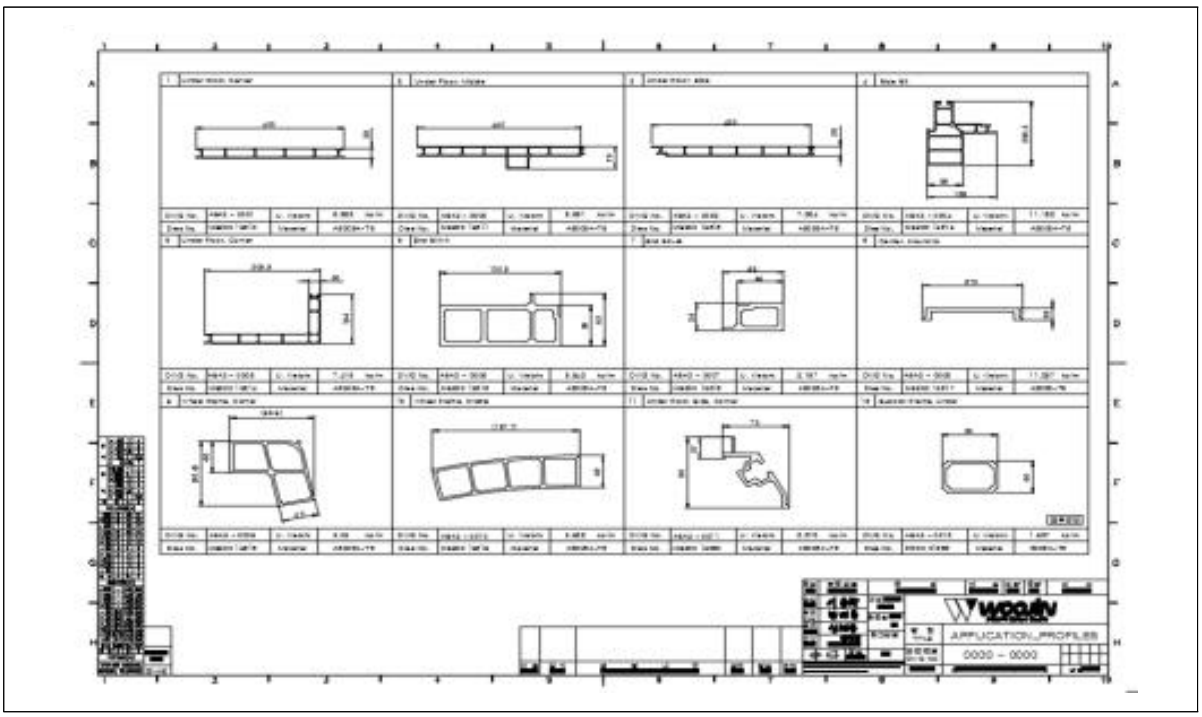
루미늄 압출재로 구성한다. 측면 차체의 기본 구성은 일반 차량과 동일하게 프레임 골조 형태로 차체를 구성하고, 알루미늄 판재와 알루미늄 허니컴 패널로 마감하였다. 상부 구조는 경량 전철 및 모노레일과 동일하게 두 겹의 압출재(더블스킨구조)로 제작하고, 측면의 골조부분은 형상을 갖는 알루미늄 각관 구조로 전체 차량을 구성하였다. 알루미늄 차체 적용 및 차량 경량화를 통해 차량 중량을 낮출 수 있다.

<표 3.17> 기존 차량 대비 실용화 차량 무게 비교

구분		기존 차량	실용화 차량
차량 크기	길이[m]	18.2	18.8
	폭[m]	2.48	2.495
	높이[m]	3.39	3.43
차량 중량	성능계산[kg]	21,340	19,500
	최대허용[kg]	27,060	26,000

(가) 알루미늄 압출재

본 연구에서는 바이모달 트램에 맞는 차체를 적용하기 위하여 총 29종의 압출 금형을 개발하였다.



<그림 3.23> 바이모달 트램 알루미늄 압출재 형상

(나) 볼팅 구조 변경

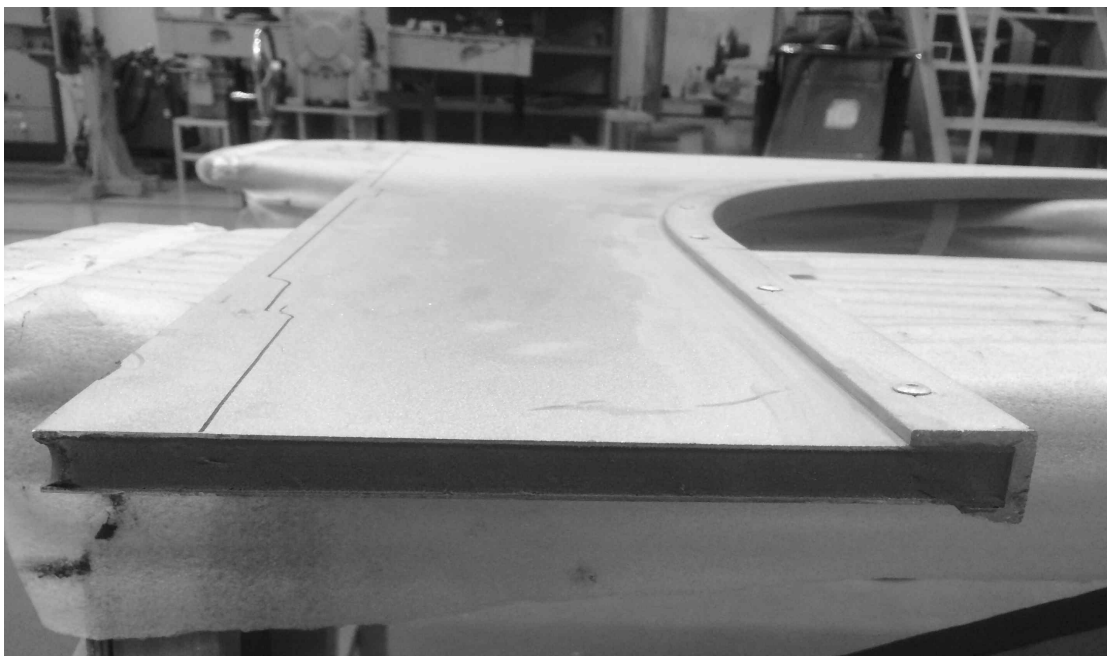
차량의 유지 보수를 위하여 측면 골조부분은 볼팅 구조로 차량을 제작하였다. 다음 그림은 측면 프레임의 볼팅 구조이다.



<그림 3.24> 측면 프레임의 볼팅 구조

(다) 알루미늄 허니컴

차체는 외부의 충격에 강하고 보다 가벼운 소재가 사용 되었다. 다음 그림은 측면 판넬 허니컴을 나타낸 그림이다.

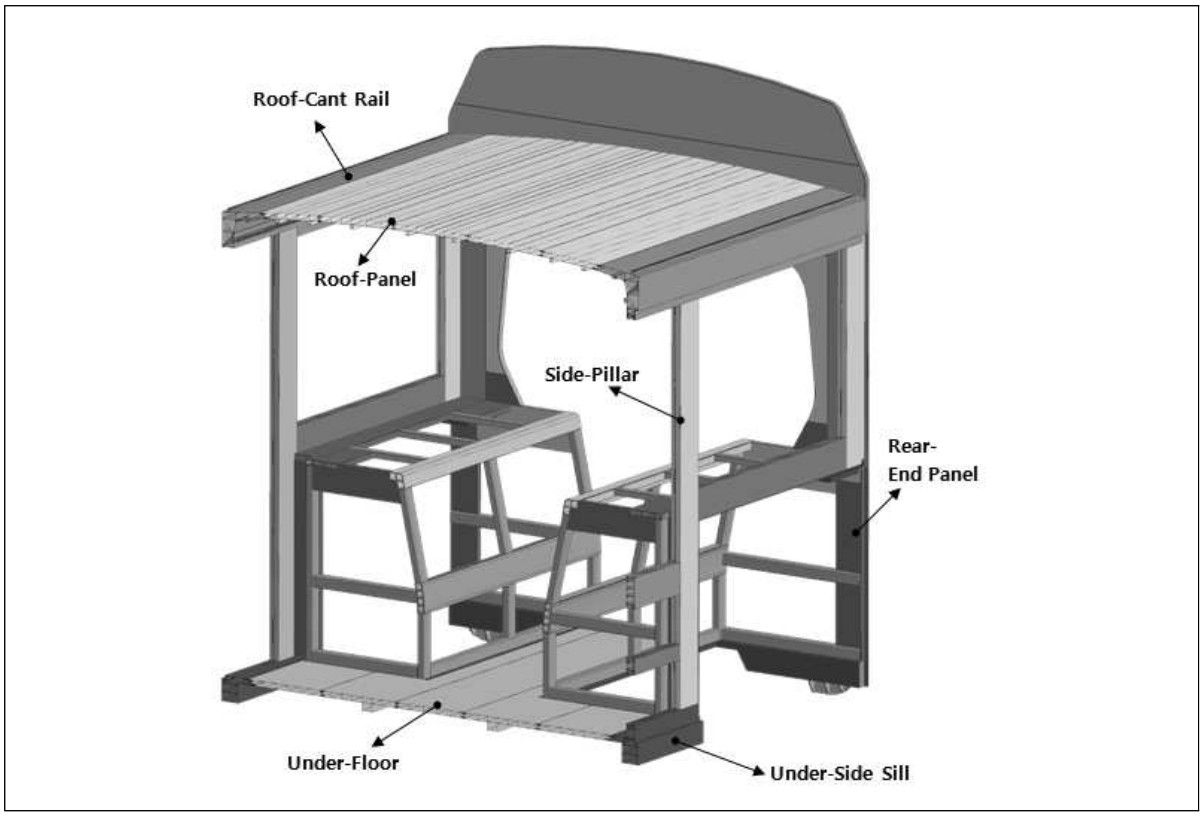


<그림 3.25> 측면 판넬 허니컴

(2) 알루미늄 차체 성능

(가) 개발된 알루미늄 차체 구성

현재 대부분 버스와 자동차 차체의 재질은 스틸로 적용되고 있다. 철도차량의 경우는 KNR 디젤기관차, 무궁화호, 서울 1기 지하철 등에 적용된 사례가 있으며, 스테인리스 스틸 차체는 고속버스와 철도차량의 경우 새마을호, 부산 1호선, 과천선, 서울 2기 지하철, 대구 1호선, 인천 1호선 등에 적용되었다. 복합재 차량의 경우 틸팅열차, 바이모달 트램 시제차량, 저상버스 표준모델 등에 적용되었으며, 높은 가격과 제작 공정의 어려움으로 널리 실용화되지는 못하고 있다. 한편 알루미늄 합금 재질은 과거에는 실내 설비부품 등 일부 부품에서만 적용되었으나 차체의 경량화가 진행되면서 해외 차량을 시작으로 현재 국내에는 부산 4호선, 우이신설, 부산 김해 경량전철 등 여러 철도차량에서 널리 사용되고 있는 추세이다.



<그림 3.26> 알루미늄 차체 주요 구성

① 재질

일반적으로 알루미늄 합금 재질의 차체가 스틸 재질의 차체보다 약 30%정도 무게 감량 효과가 있다. 샌드위치 복합재 차체 구조의 경우 강성을 위해 복합재 판넬 사이에 알루미늄 합금 파이프 압출 형재와 알루미늄 허니컴이 삽입되어 있고 알루미늄 프로파일 차체 구조에 비해 무게가 동등하거나 적다. 개발된 바이모달 트램의 차체 재질은 알루미늄 합금이다. 화학성분과 기계적 성질은 다음 표와 같다.

<표 3.18> 알루미늄 합금의 화학성분

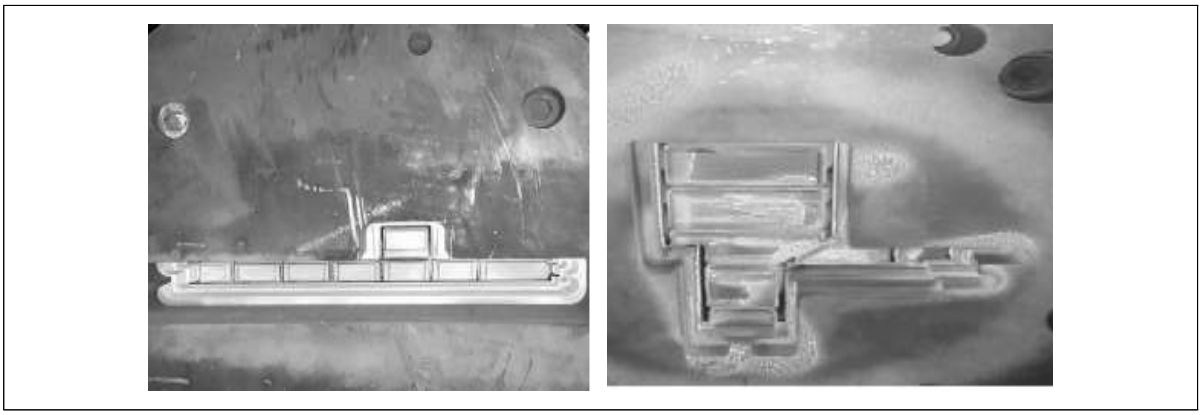
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others		Al
								Each	total	
0.5~0.9	0.35 이하	0.30 이하	0.50 이하	0.4~0.7	0.30 이하	0.20 이하	0.10 이하	0.05 이하	0.15 이하	나머지

<표 3.19> 알루미늄 합금의 기계적 성질

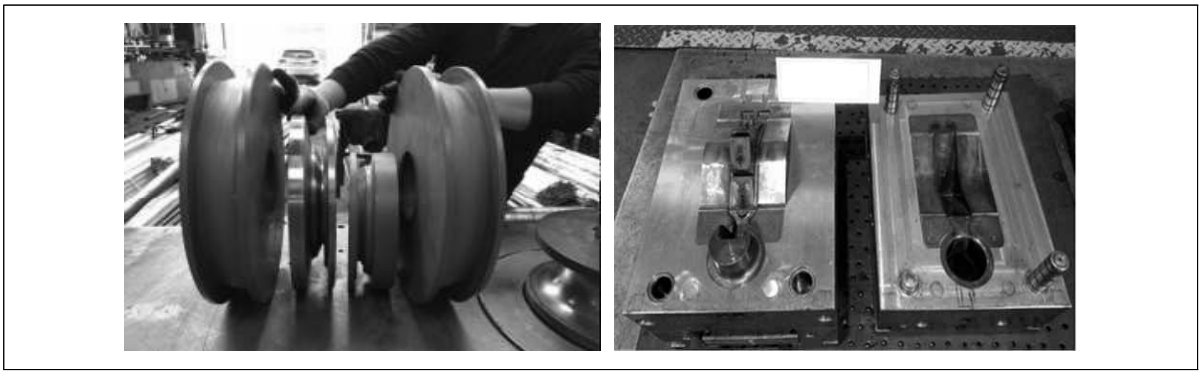
재질	두께 mm	인장강도 N/mm^2	항복강도 N/mm^2	연신율 %
6005A-T6	모재 (6 이하)	270	225	8
	모재 (6 초과)	260	215	8

② 금형

알루미늄 차체 제작을 위해 29종의 압출 금형, 1종의 벤딩 금형, 2종의 다이캐스팅 금형을 제작하였다.



<그림 3.27> 압출 금형

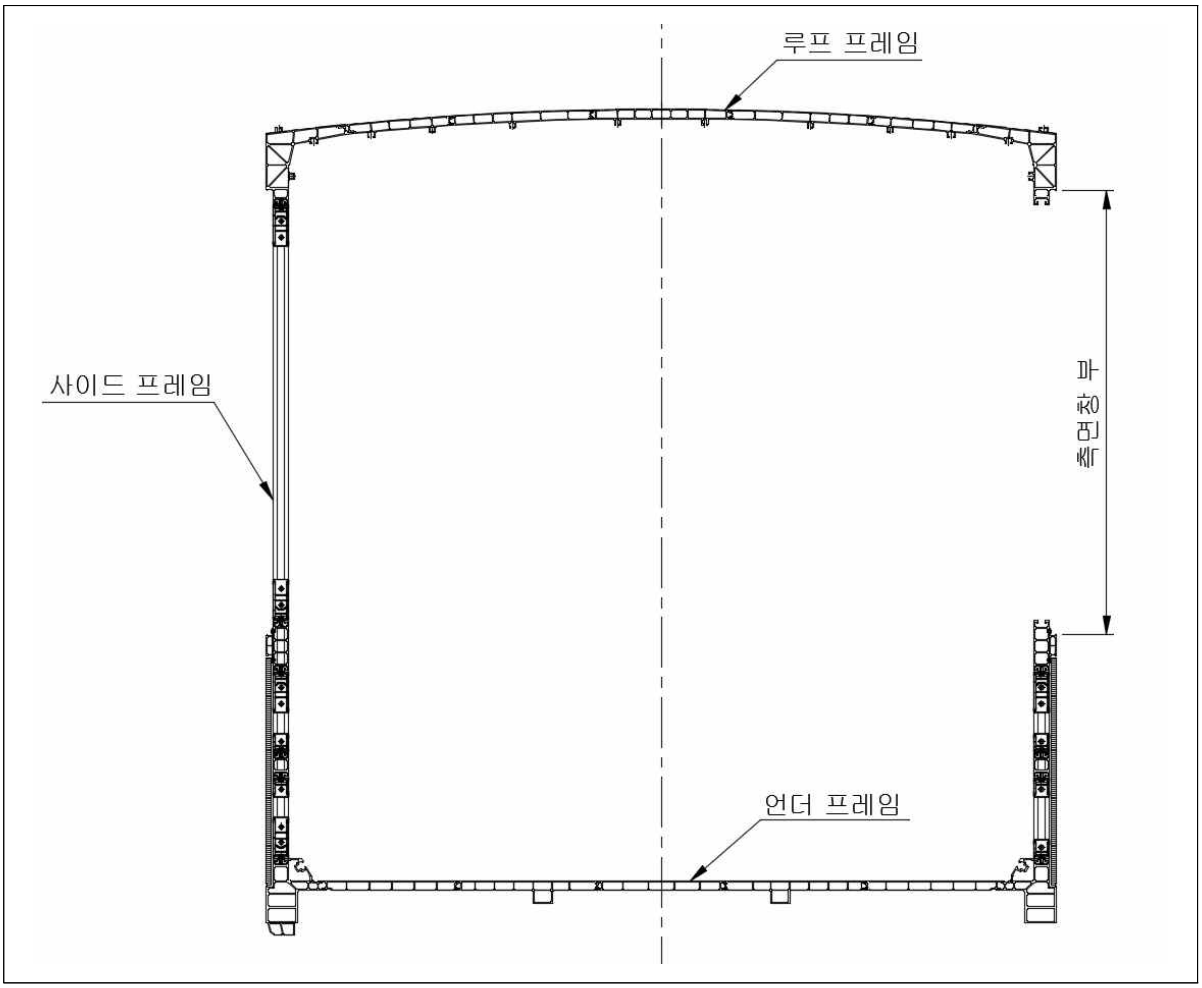


<그림 3.28> 벤딩 금형, 다이캐스팅 금형

(나) 서브 어셈블리 제작

① 차체 단면 구조

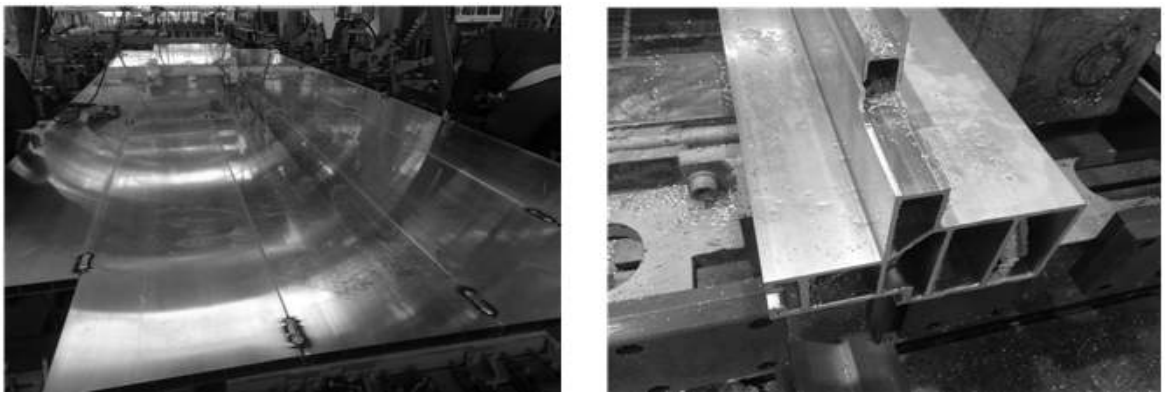
더블 스킨의 중공 압출 형재로 차체 단면을 구성함으로서 단열 및 방음 성능을 높였으며, 구조는 아래의 단면으로 구성되어 있다. 언더프레임과 루프프레임의 경우는 내/외부 전 둘레 용접을 실시하여 완전한 방수구조로 되어 있으며 사이드프레임은 제작공기를 단축시키고 유지보수성을 향상시키기 위해 볼팅 구조로 구성되어 있다.



<그림 3.29> 차체 단면 구조

② 언더프레임

언더프레임은 메인프레임과 운전석 프레임, 구동축과 취부 되는 마운팅 브래킷, Body1과 Body2의 연결을 위한 아티큘레이션 어댑터, 휠 하우스 부분으로 구성되어 있다. 강도 부재는 수직하중(승객하중 및 상부 배터리 하중), 아티큘레이션을 통해 전달되는 수평하중, 주행 중 구동축으로부터 전달되는 동하중을 감안하여 제작하였다.



<그림 3.30> 언더프레임

③ 사이드프레임

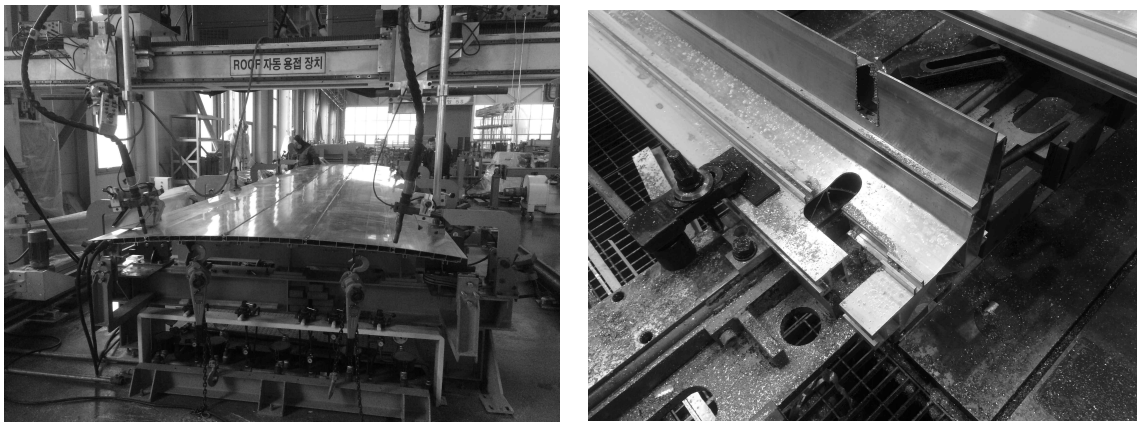
사이드프레임은 제작 공기 단축 및 제작성을 향상시키고 유지보수성을 향상시키기 위해 볼팅 구조로 제작되었다. 볼팅 조립을 위해 알루미늄 다이캐스팅 브래킷, 탭타이트 볼트, 알루미늄 합금 탭시트 3종의 부품을 이용하여 볼트 조립이 가능하도록 하였다.



<그림 3.31> 사이드프레임

④ 루프프레임

지붕구조는 알루미늄 합금 대형 압출재의 지붕 판넬과 캔트 레일(Cant Rail)로 구성되어 있다. 실내의 전선 덕트, 내장판 등을 고정하기 위해 압출 형재에 T-Bolt를 삽입할 수 있도록 설계하였다. 그리고 압출재 간의 수밀용접으로 지붕 전체는 방수구조로 되어있다.



<그림 3.32> 루프프레임

⑤ 엔드프레임

Body1과 Body2 연결부 엔드프레임 구조는 알루미늄 합금 압출재, 전선 및 배관지지용 브래킷 등으로 구성되어 있으며, 외측에는 벨로우즈(통로 연결막)를 고정하기 위한 브래킷과 레일이 취부 되어 있다. 또한, 지붕구조로부터 전달되는 하중에 충분히 견딜 수 있도록 하였으며 Body1과 Body2 간의 승객 이동이 용이하도록 출입구 공간이 구성되어 있다. 엔진룸의 엔드프레임의 구조는 엔진의 소음 및 열을 차단하기 위해 방음재 및 단열재의 취부가 가능토록 제작되었으며 엔진에서 실내로 인입되는 배선을 위한 홀이 제작 되어있다.



<그림 3.33> 엔드프레임

⑥ 캡프레임

캡프레임의 형상은 3차원 곡면구조이고 사각 파이프, 앵글, 판재 용접 타입으로 제작되었으며 CAB MASK(FRP)와 전면창 및 전면 측창 그리고 운전대, 주요 기기들의 취부가 용이하도

록 제작되었다. 캡프레임은 모듈 방식으로 제작되어 차체와 볼트 체결구조로 되어있으며, 볼트 체결 후 이음부는 씰링 처리하여 방수구조로 설계 하였다.



<그림 3.34> 캡프레임

(다) 대조립

대조립은 서브어셈블리 형태의 각 프레임들을 지그에 구속하고 볼트로 조립하는 구조이다. 조립은 언더프레임 -> 사이드프레임 -> 루프프레임 -> 엔드프레임의 순서로 진행되었다.



<그림 3.35> 대조립

(3) 알루미늄 합금 차체의 특징

(가) 일반적인 특성

알루미늄 합금 차체는 재료비가 높아 초기 투자비가 많이 소요되지만, 경량화에 의한 에너지 절감, 차량 고속화 등을 기대할 수 있다. 특히 고속 운전용 차량 및 발차 정차회수가 많아 잦은 가감속운전이 필요한 차량 또는 급구배의 산악용 차량 등에 적용되고 있다. 최근 AL 합금 압출재의 대형화, 박판화 기술의 진보에 따라 대형 압출형재를 이용한 조립방식이 채용되고 있다. 이는 알루미늄 합금 차체가 일반강재(Steel) 차체에 비해 재료비의 상승요인이 되지만 제작비 절감 등으로 상쇄가 가능하며, 샌드위치 복합재 차체의 경우와 비교해서는 재료비와 제작비의 절감 효과가 있다.

조립방식에 따라 언더프레임과 루프프레임 구조를 대형 박판 압출재를 조합, 구성하여 차체 길이 방향으로 자동 용접 연결하여 차체를 제작할 수 있다. 이로써 용접선의 단순화 및 자동용접의 채용 등으로 조립작업의 공정을 줄일 수가 있다.

(나) 강도 및 중량의 장단점

강도 중량비가 일반강재에 비해 높다. 그러나 강재에 비해 종탄성 계수와 비중은 약 1/3수준에 불과하다. 그러므로 일반강재(Steel) 차량과 동일한 설계조건(형상 및 두께가 동일하다면)에서 비교하면, 차량중량은 비중의 차이만큼 가벼워지고, 상당 굽힘강성은 1/3로 저하되어 차체의 처짐량이 증대되므로 차량의 기본성능, 특히 승차감에 나쁜 영향을 끼친다. 따라서 차체의 강성을 유지하기 위하여 각 부재의 단면 2차 모멘트를 극대화 시켜야 한다. 구체적인 방법으로 외판의 두께를 일반강재(Steel) 차량 보다 크게 하여 전단력에 의한 좌굴을 방지하는 등 강도상 안정성을 확보할 수 있는 대책이 필요하다.

이와 같은 이유로 알루미늄 합금 차체의 중량은 단순히 일반강재(Steel) 차량의 1/3로 감소되는 것이 아니라 약 1/2정도로 경량화가 가능하다. 따라서 차체 강성을 일반강재(Steel) 차량과 동일한 수준으로 맞추기 위하여 단면 2차 모멘트를 증가시키며 또한 재료특성의 저하를 구조적으로 보완하여야 하고 구조해석과 하중시험을 통한 검증 절차가 필요하다.

개발된 바이모달 트램의 경우 철도차량과 같은 방식으로 더블 스킨의 중공 압출 형재를 적용함으로서 단면 2차 모멘트를 증가시켜 강성을 향상시켰으며 기존의 샌드위치 복합재 차체와 동등 또는 이상의 경량화 효과를 얻었다.

(다) 제작 공정 및 생산성 향상

알루미늄 압출형재는 임의의 형상, 즉 복잡한 형상이나 두께의 조절이 자유롭고 부품 수량을 줄일 수 있으며 제진재의 충진이나 대형 압출형재의 제조가 가능한 장점이 있다. 또한 중공 대형 압출형재가 적용된 철도차량과 같은 경우 강도 및 강성이 확보되고 소음을 차단함으로서 승차감이 향상되며, 차량 외관의 미적 향상을 쉽게 확보할 수 있다는 장점이 있다. 경량화 및 강도, 강성이 중요시 되는 바이모달 트램의 경우 일반강재(Steel) 또한 스테인리스 차체의 적용은 불가하며 샌드위치 복합재와 알루미늄 합금이 가능한 구조로 판단된다. 그러나 샌드위치 복합재의 경우 공정이 복잡하고 접합재의 건조 시간의 필요 등으로 공정 시간 단축에 어려움이 있다. 반면 중공 대형 압출형재 형태의 알루미늄 합금의 경우 자동용접을 통한 공정 시간 단축과 인건비 감소, 생산비용 절감에 많은 장점을 가지고 있다.



(a) PANEL 세팅 (b) PANEL 세팅 (c) 내측 본 용접



(d) 내측 본 용접 완료 (e) PANEL 반전 (f) 반전 후 외측 세팅

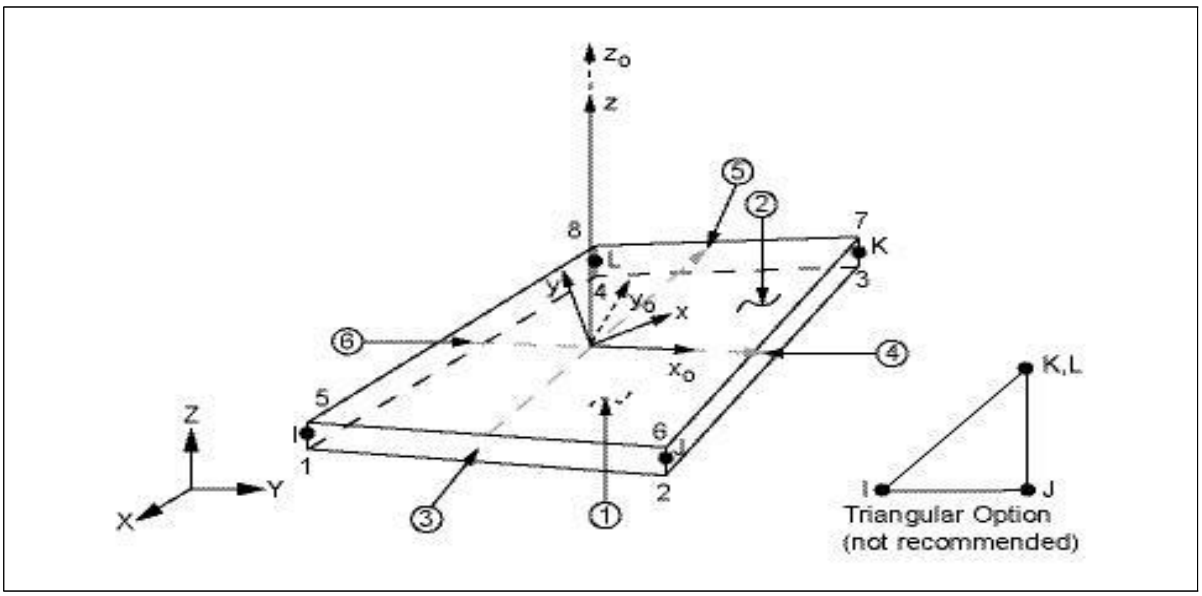
<그림 3.36> 알루미늄 압출재 용접

(4) 강도해석

(가) 유한요소 모델링

유한요소 프로그램을 이용한 구조 안전성 평가에 앞서 바이모달 트램 차체 구조물에 적용하기 위한 유한요소를 선정하였다. 바이모달 트램 차체는 알루미늄 압출재로 제작되는 점을 고려하여 Shell 181의 2차원 요소를 선정하였으며 다음 그림과 같은 특징을 가지고 있다.

○ Shell 181 : 4-node finite strain shell
- Plasticity, Hyperelasticity, Large deflection, Large strain, Viscoelasticity, Stress stiffening, etc.
- Degree of freedom - UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ

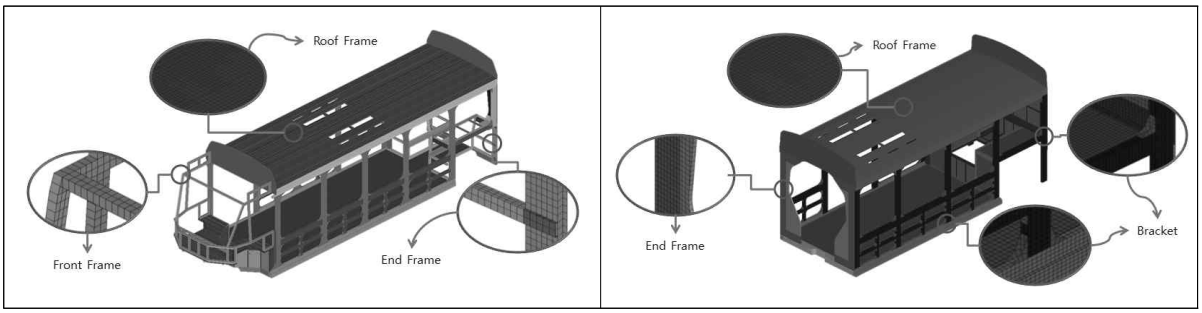


<그림 3.37> Shell 181의 특성

선정된 Shell 181 요소를 이용하여 기본 설계를 기준으로 유한요소 모델링을 수행하였다. 요소의 크기는 사전조사를 통해 70mm이하의 요소크기에서 해석 결과가 일정 값으로 수렴함을 확인하였다. 따라서 정확한 결과 산출과 정교한 모델링을 위해 30mm이하로 차체를 모델링하였고 그 결과 200,126개의 절점과 235,736개의 요소를 갖는 최종 모델링 형상을 도출 하였다. 다음 표는 바이모달 트램 차체 구조물 유한요소 모델의 요소 및 절점의 수를 나타내고 다음 그림은 바이모달 트램의 유한요소 모델을 나타낸다.

<표 3.20> 차체 구조물 유한요소 모델의 요소 및 절점의 수

항 목	개 수
요소	235,736
절점	200,126



(a) Body-1 (b) Body-2

<그림 3.38> 유한 요소 모델

(나) 바이모달 트램 차체 구조물의 파손평가 기준

알루미늄 압출재가 적용된 바이모달 트램 차체 구조물의 파손을 평가하기 위한 기준은 Von-Mises 항복 기준식을 적용하였다. Von-Mises 항복 기준식은 Von-Mises Stress가 재료의 항복강도에 도달하면 재료는 항복된다는 이론으로 금속재료의 대표적인 항복 기준식이다. 이때 Von-Mises Stress란 Von-Mises 항복 기준식에 사용되는 응력으로 하중을 받고 있는 물체의 각 지점에서의 비틀림 에너지를 나타내는 값이다. Von-Mises Stress는 식(1)과 같이 표현되며 Von-Mises 항복 기준식은 식(2)과 같다.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (1)$$

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_y^2 \quad (2)$$

여기서, $\sigma 1$, $\sigma 2$ 그리고 $\sigma 3$는 등방성 재료의 주응력을 나타내며, σx, σy, σz, τx, τy, τz는 주응력을 얻기 위한 작용응력을 의미한다.

(다) 구조안전성 평가 하중 시나리오

기본설계의 차량 하중인 1,600kg과 Body-1 최대승객하중 3,575kg의 하중조건을 기준으로 국내 철도차량에 적용하고 있는 일본공업규격에 명시된 구조체 하중시험 조건을 적용하여 하중조건을 선정하였다. 다음 표는 차량의 자중, 하중조건 그리고 Body-1 최대 승객 질량 및 일본공업규격에 의거한 구조체 하중조건을 보여주며 아래와 같이 계산하였다.

<표 3.21> 차체 구조물의 하중

번 호	항 목	중량(kg)	
		Body-1	Body-2
1	만차 질량	12,117	11,820
2	차체 상부 배터리 질량	750	0

<표 3.22> 일본공업규격 JIS E 7105의 하중 조건

시험 하중	시험 하중의 크기 및 조건	
수직 하중 시험	운전 정비 상태일 때의 차체질량에 따른 하중 + 최대 승차 인원의 질량에 따른 하중*1.1 - (구조체 질량 + 시험 기재 질량)에 따른 하중	
압축 하중 시험	전차, 내연동차 및 밀착식 자동 연결기를 갖춘 객차	500kN
	레일 버스	300kN
	밀착식 자동 연결기 이외의 연결기를 갖춘 객차	1000kN
	신간선 전차	
3점 지지 시험	[공차(空車) 상태일 때의 차체 질량 - (구조체 질량 + 시험 기재 질량)]에 따른 하중	
비틀림하중 시험	40kN	
굽힘 고유 진동수 측정 시험 비틀림 고유 진동수 측정 시험	진동을 일으킬 수 있는 부하 하중	

바이모달 트램 차체 하중시험 시 평가기준은 각 하중을 부여하였을 때, 재료의 항복강도를 넘지 않아야 하며, 고유진동수의 경우 승차감 향상을 위해 10Hz 이상이 발생 하여야 한다. 다음 표는 알루미늄 압출재의 강성 및 강도 평가기준을 보여준다.

<표 3.23> 강성 및 강도 평가기준

항 목	판정기준
응력값	재질의 항복강도 이하 일 것. (모재부 215MPa, 용접부 110MPa)
고유진동수	10Hz 이상 일 것.

차체구조물에 적용된 재료는 일반적으로 알루미늄 철도차량에 대표적으로 적용되는 알루미늄을 적용하였으며. 알루미늄의 물성은 다음 표와 같다.

<표 3.24> 알루미늄의 물성

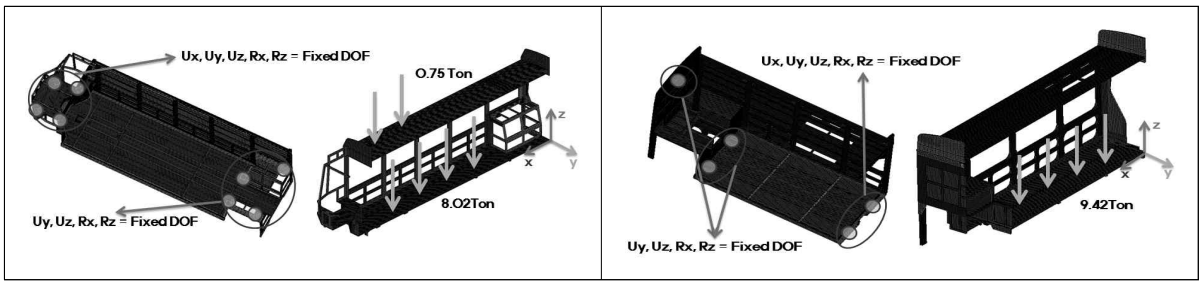
재 질	탄성계수 (GPa)	프와송비	밀도 (kg/m3)	항복강도(MPa)	
알루미늄	70	0.33	2,780	모재부	215
				용접부	110

(라) 구조안전성 평가의 구속조건 및 하중조건

일본공업규격에 의거한 수직하중, 압축하중, 3점지지, 비틀림하중, 고유진동수 5가지 시험조건에 구조해석을 수행하였으며 구조해석의 구속조건 및 하중조건은 다음과 같다. Ux, Uy, Uz는 각 축방향의 변위를 나타내며 Rx, Ry, Rz는 각 축방향의 회전을 나타낸다.

① 수직하중

수직하중시의 Body-1의 구속조건은 차량의 차축이 지지 되는 부분을 구속하였으며, 이때 하중은 승객을 태울 수 있는 언더프레임 부분에 8.02Ton의 분포하중과 루프에 적용될 배터리의 중량 0.75Ton을 적용하였다. Body-2의 구속조건은 Body-1과 동일하게 주어졌으며 언더프레임 부분에 9.42Ton의 분포하중을 적용하였다. 다음 그림은 바이모달 트램 차체 구조물의 수직하중시 구속조건 및 하중조건을 나타내었다.

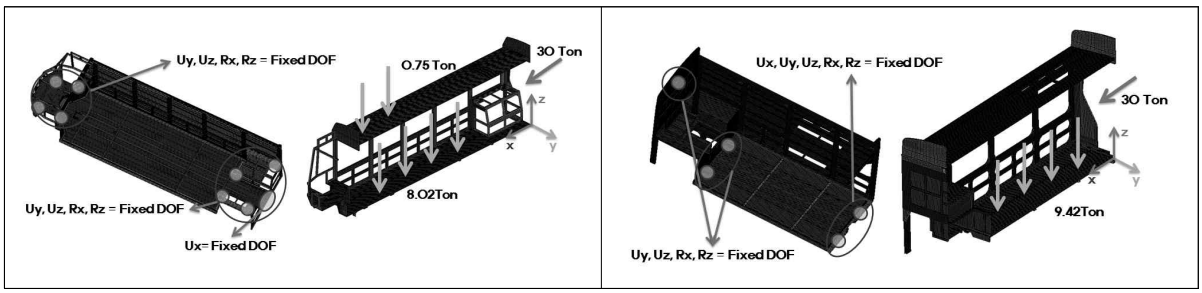


(a) Body-1 (b) Body-2

<그림 3.39> 수직하중시 해석조건

② 압축하중

압축하중시 Body-1의 구속조건은 차량의 차축이 지지 되는 부분을 구속하였으며, 이때 길이방향의 자유도는 구속하지 않았다. 또한 후면 연결기 높이에는 길이방향의 구속조건을 부여하였다. 하중은 승객을 태울 수 있는 언더프레임 부분에 8.02Ton의 분포하중과 루프에 적용될 배터리의 중량 0.75Ton을 적용하였으며 연결기 높이 후면에 30Ton의 압축하중을 부여하였다. Body-2의 구속조건은 Body-1과 동일하게 주어졌으며 언더프레임 부분에 9.42Ton의 분포하중을 적용하였으며 연결기 높이 후면에 30Ton의 압축하중을 부여하였다. 다음 그림은 바이모달 트램의 압축하중 구속조건 및 하중 조건을 나타낸다.

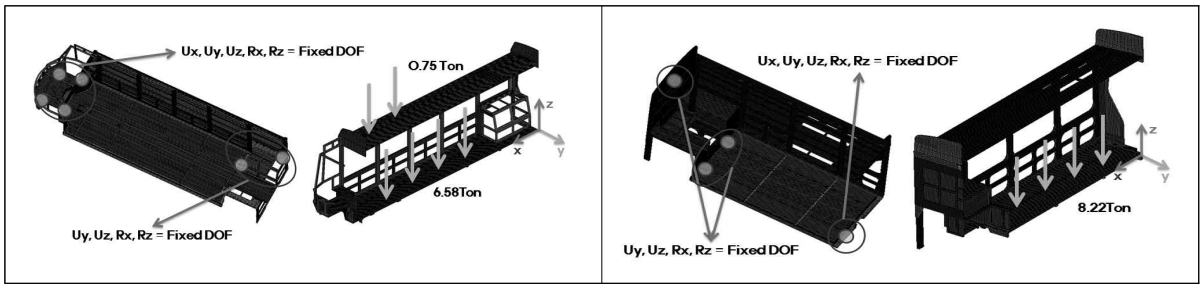


(a) Body-1 (b) Body-2

<그림 3.40> 압축하중시 해석조건

③ 3점지지하중

3점지지하중시 Body-1의 구속조건은 차량의 차축이 지지 되는 부분을 구속하였으며, 이때 출입구 쪽의 후면 차축 구속부를 완전히 풀어서 해석을 수행하였다. 하중은 승객을 태울 수 있는 언더프레임 부분에 6.58Ton의 분포하중과 루프에 적용될 배터리의 중량 0.75Ton을 적용하였다. Body-2의 구속조건은 Body-1과 동일하게 주어졌으며 언더프레임 부분에 8.22Ton의 분포하중을 적용하였다. 다음 그림은 바이모달 트램 차체 구조물의 3점지지하중 일때 구속조건 및 하중조건을 나타낸다.

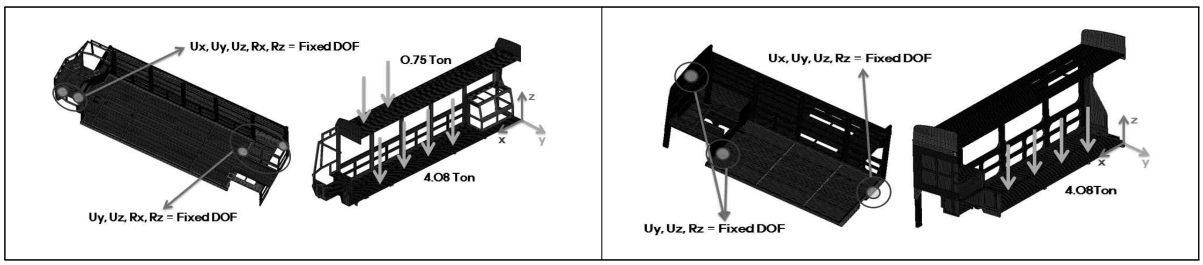


(a) Body-1 (b) Body-2

<그림 3.41> 3점지지하중시 해석조건

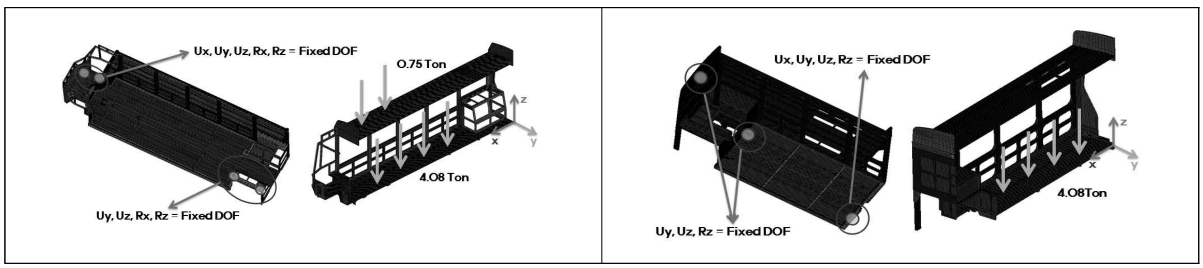
④ 비틀림하중

비틀림하중시 Body-1의 구속조건은 차량의 차축이 지지 되는 부분을 구속하였으며, 이때 전면과 후면에 비대칭으로 하중을 풀어주었다. 비대칭 구조이므로 해석 또한 2가지 케이스를 통하여 수행되었다. 하중은 승객을 태울 수 있는 언더프레임 부분에 4.08Ton의 분포하중과 루프에 적용될 배터리의 중량 0.75Ton을 적용하였다. Body-2의 구속조건은 Body-1과 동일하게 주어졌으며 언더프레임 부분에 4.08Ton의 분포하중을 적용하였다. 다음 그림은 바이모달 트램 Body-1의 비틀림 하중 시 구속조건 및 하중조건을 나타낸다.



(a) Body-1 (b) Body-2

<그림 3.42> 비틀림하중시 해석조건 (Left)

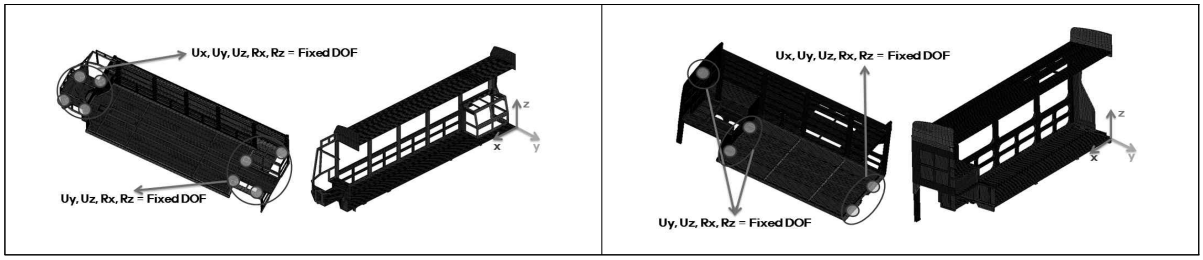


(a) Body-1 (b) Body-2

<그림 3.43> 비틀림하중시 해석조건 (Right)

⑤ 고유진동수

고유진동수 해석 시 구속조건은 수직하중의 구속조건을 동일하게 주었으며 하중은 따로 부여하지 않았다. 다음 그림은 바이모달 트램 차체 구조물의 고유진동수 해석 시 구속 조건을 나타낸다.



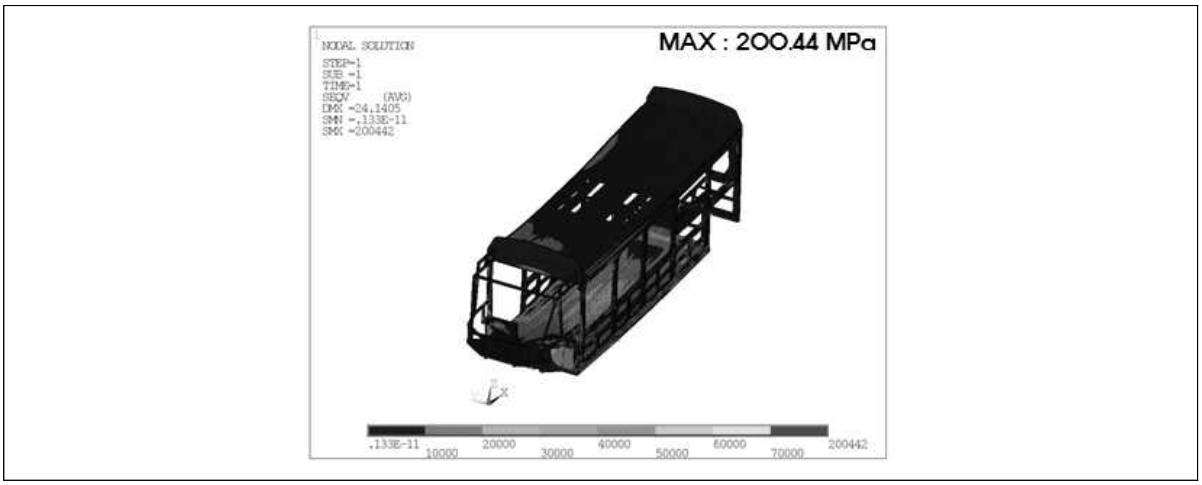
(a) Body-1 (b) Body-2

<그림 3.44> 고유진동수 해석시 구속 조건

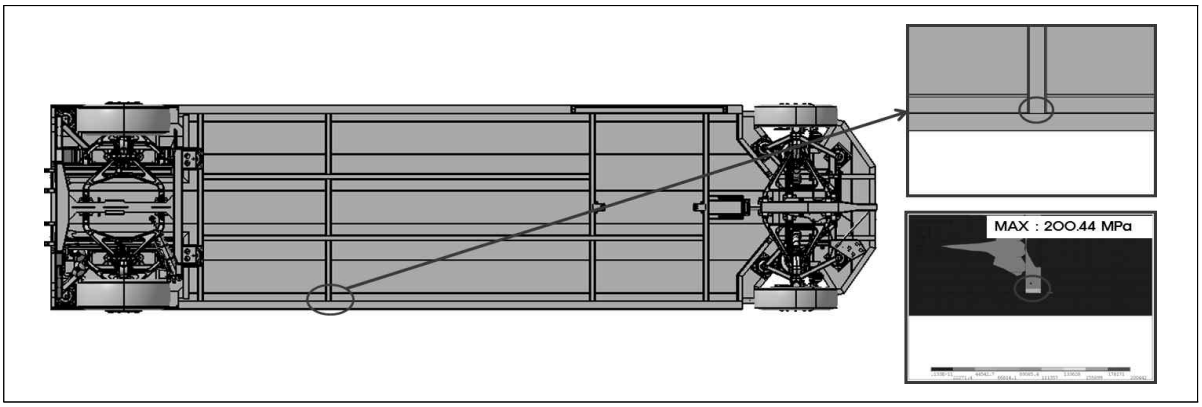
(마) 구조해석 결과

① 수직하중

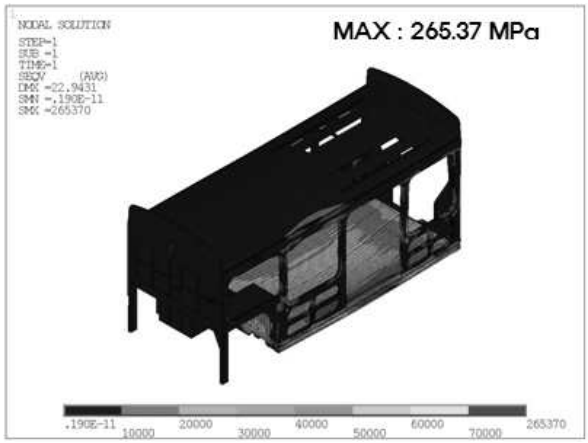
본 연구에서 개발된 바이모달 트램의 수직하중 구조해석 결과는 다음과 같다. Body-1의 경우 차량의 언더프레임 하부에서 200.44MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생 하였으며 Body-2의 경우 차량의 언더프레임 하부에서 265.37MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생하였다. 강도는 알루미늄 압출재의 용접부 항복강도인 100MPa보다 높은값임을 확인하였다.



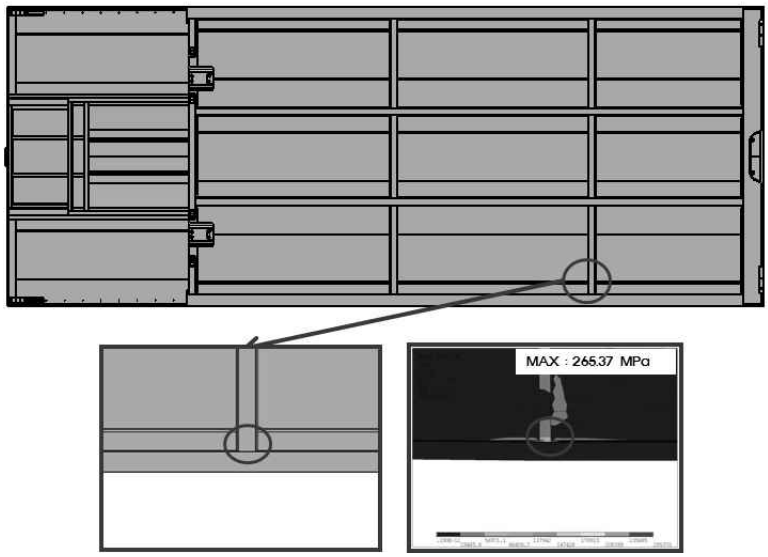
<그림 3.45> Body-1의 수직하중시 최대 Von-Mises Stress 결과



<그림 3.46> Body-1의 수직하중시 최대 Von-Mises Stress 위치



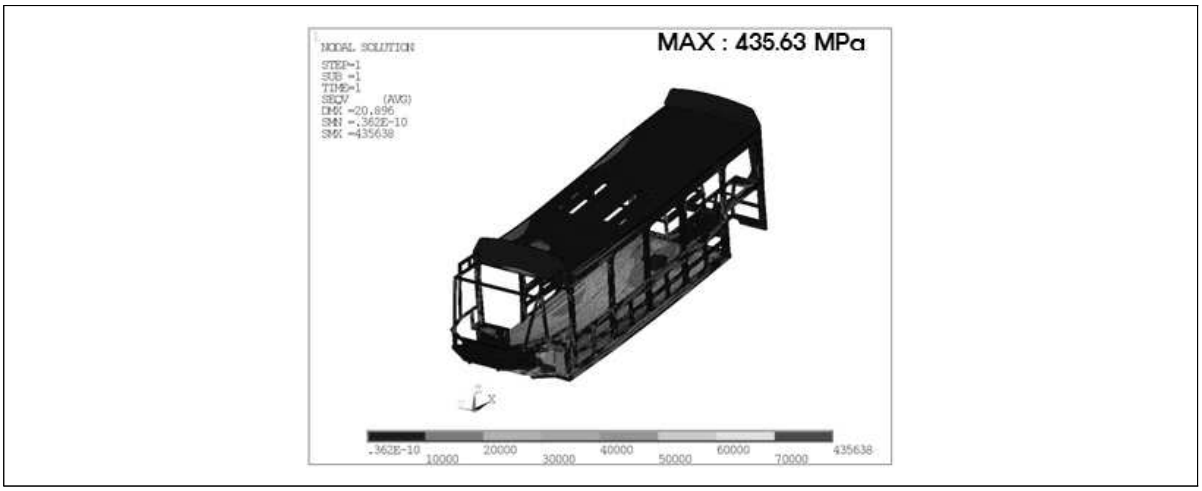
<그림 3.47> Body-2의 수직하중시 최대 Von-Mises Stress 결과



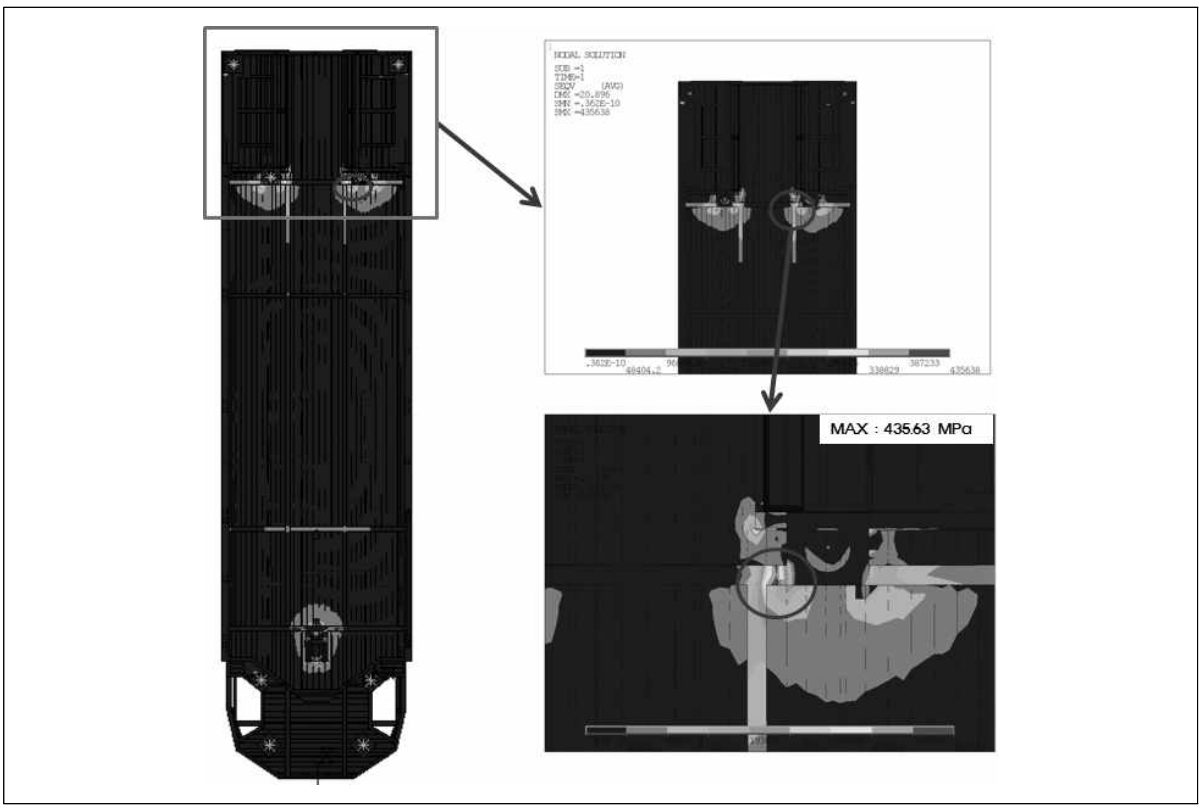
<그림 3.48> Body-2의 수직하중시 최대 Von-Mises Stress 위치

② 압축하중

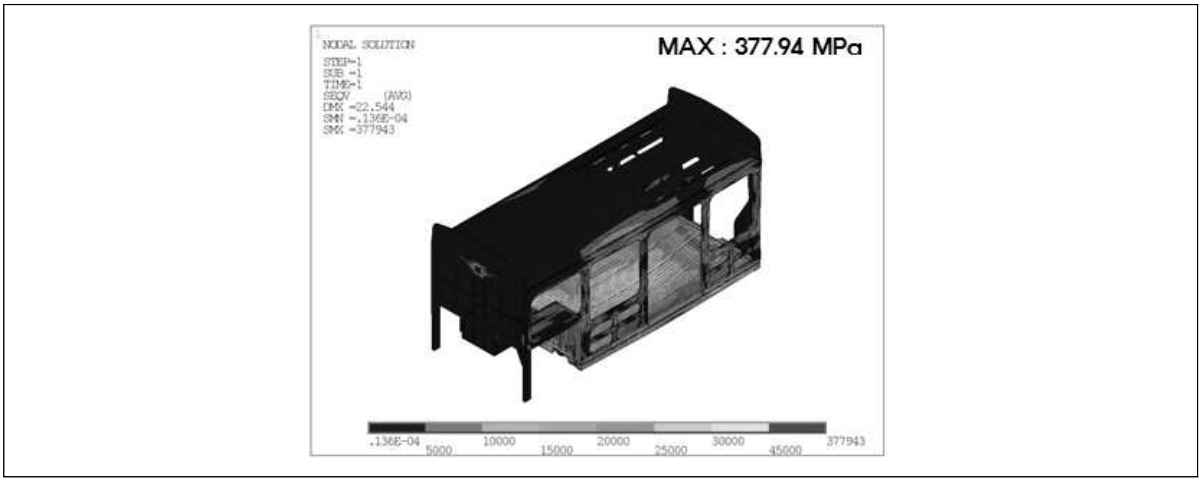
본 연구에서 개발된 바이모달 트램의 압축하중 구조해석 결과는 다음과 같다. Body-1의 경우 차량의 언더프레임 하부에서 435.63MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생 하였으며 Body-2의 경우 차량의 언더프레임 하부에서 377.94MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생 하였다. 강도는 알루미늄 모재부 항복강도인 215MPa보다 높은 값임을 확인하였다.



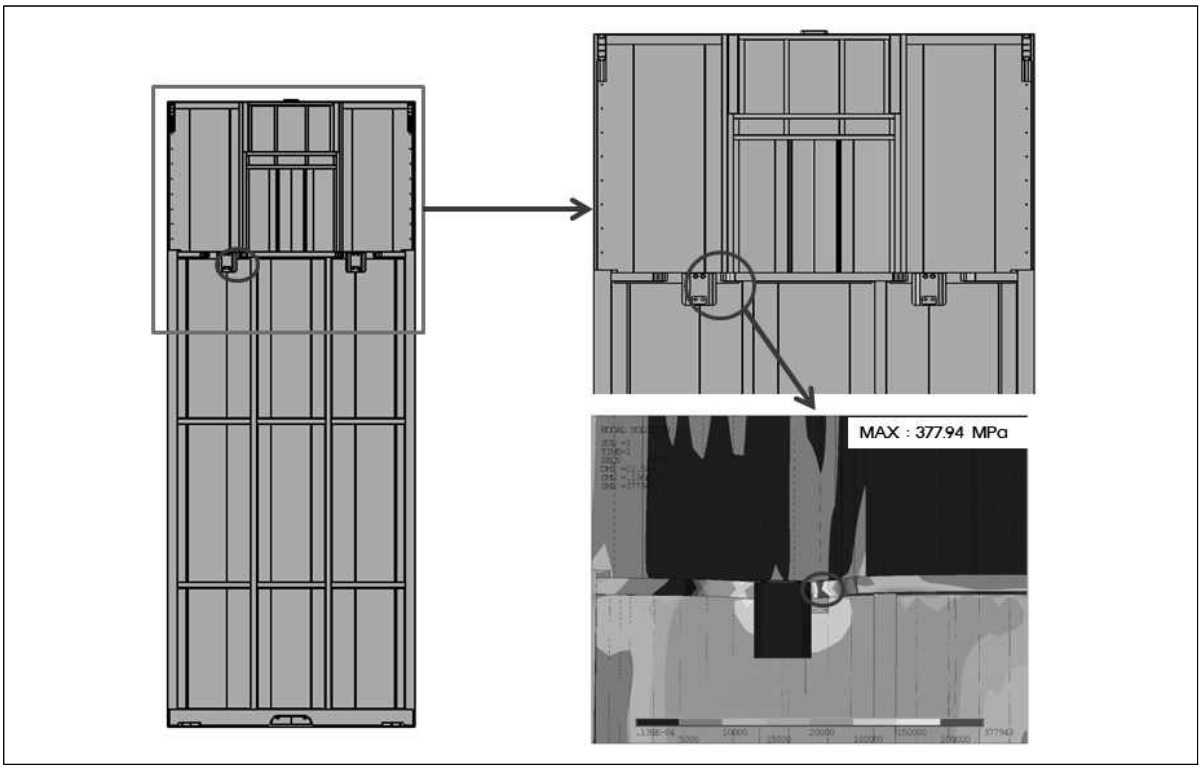
<그림 3.49> Body-1의 압축하중시 최대 Von-Mises Stress 결과



<그림 3.50> Body-1의 압축하중시 최대 Von-Mises Stress 위치



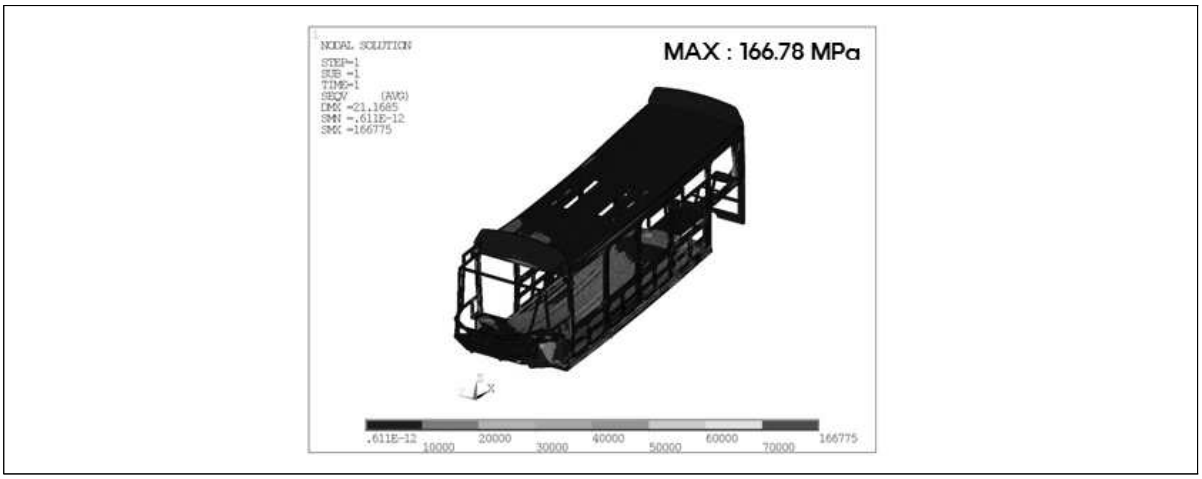
<그림 3.51> Body-2의 압축하중시 최대 Von-Mises Stress 결과



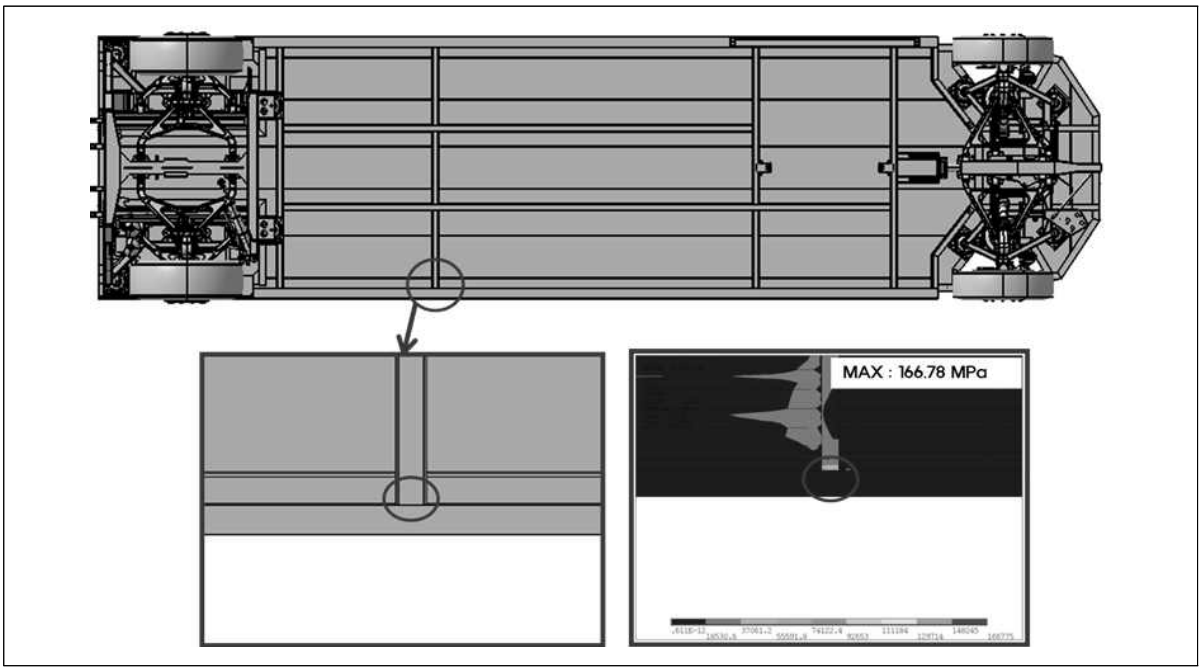
<그림 3.52> Body-2의 압축하중시 최대 Von-Mises Stress 위치

③ 3점 지지하중

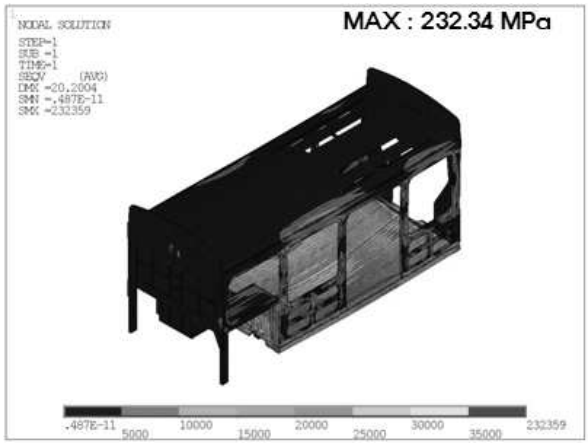
본 연구에서 개발된 바이모달 트램의 3점 지지하중 구조해석 결과는 다음과 같다. Body-1의 경우 차량의 언더프레임 하부에서 166.78MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생 하였으며 Body-2의 경우 차량의 언더프레임 하부에서 232.34MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생 하였다. 강도는 알루미늄 용접부 항복강도인 110MPa보다 높은 값임을 확인하였다.



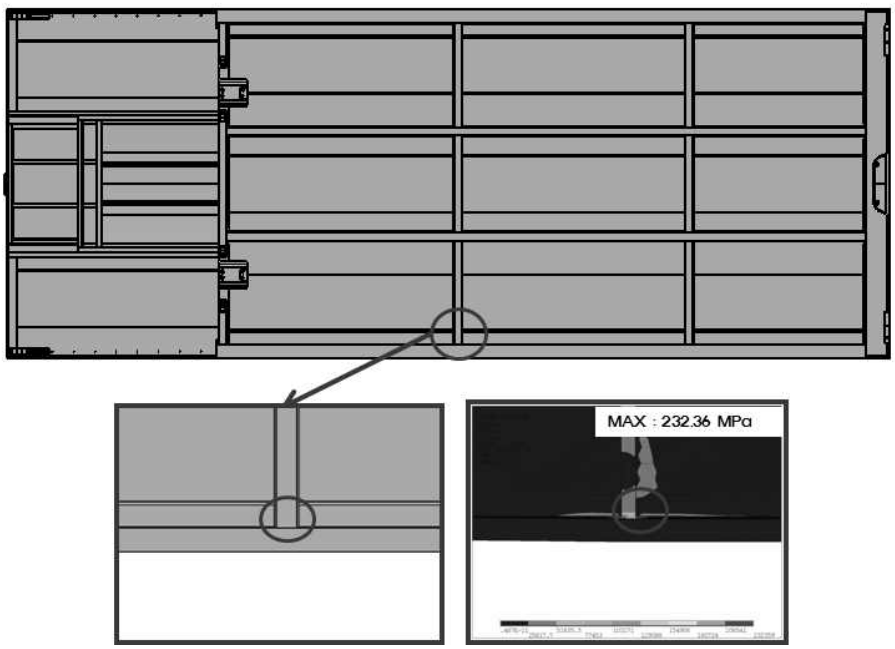
<그림 3.53> Body-1의 3점 지지하중시 최대 Von-Mises Stress 결과



<그림 3.54> Body-1의 3점 지지하중시 최대 Von-Mises Stress 위치



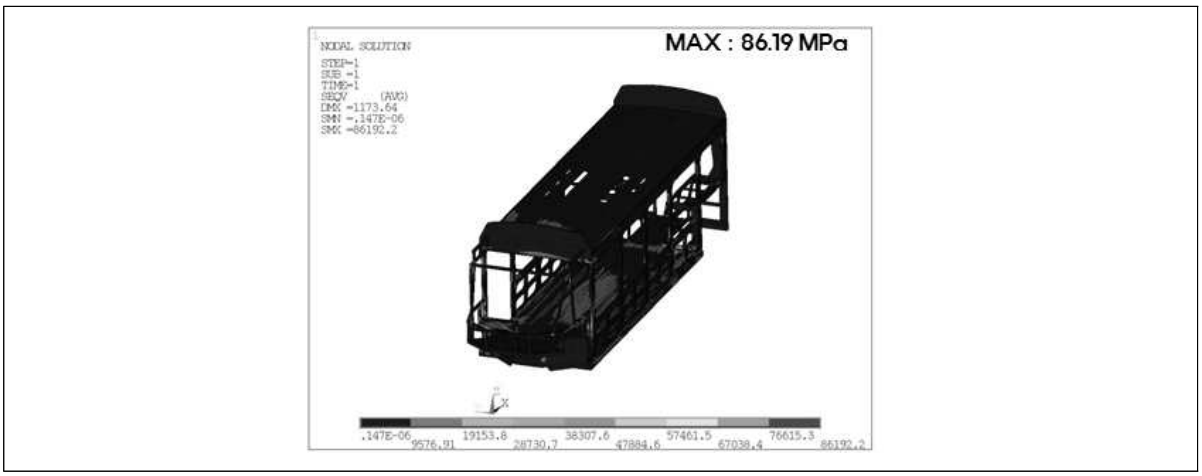
<그림 3.55> Body-2의 3점 지지하중시 최대 Von-Mises Stress 결과



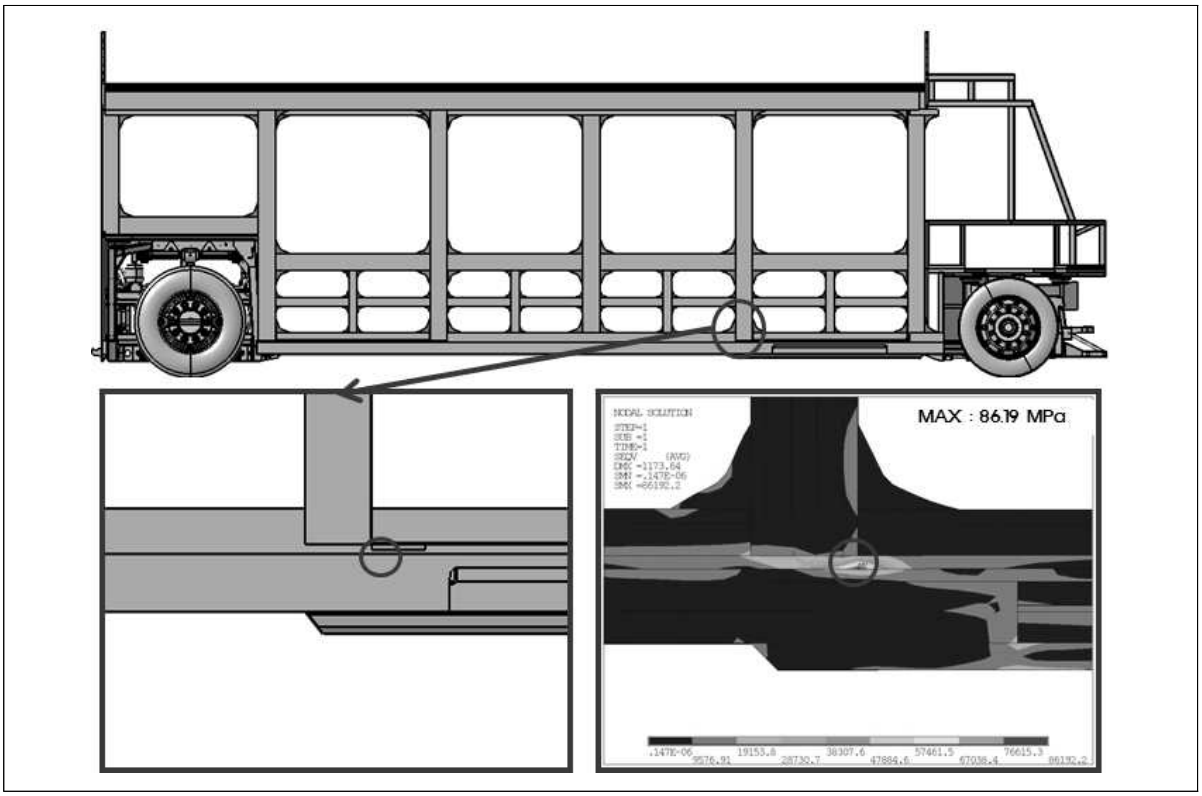
<그림 3.56> Body-2의 3점 지지하중시 최대 Von-Mises Stress 위치

④ 비틀림 하중

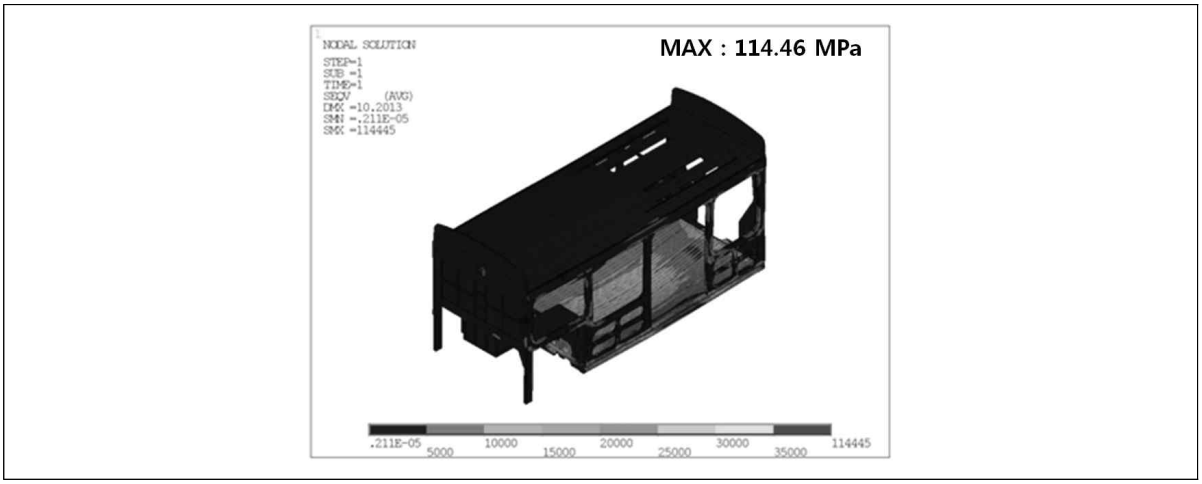
본 연구에서 개발된 바이모달 트램의 비틀림 하중 구조해석 결과는 다음과 같다. Case-1(Left)의 경우 Body-1은 차량의 우측면에서 86.19MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생 하였으며 Body-2는 차량의 언더프레임 하부에서 114.46MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생 하였다. 차체의 강도는 Body-2가 알루미늄 용접부 항복강도인 110MPa보다 높은 값임을 확인하였다.



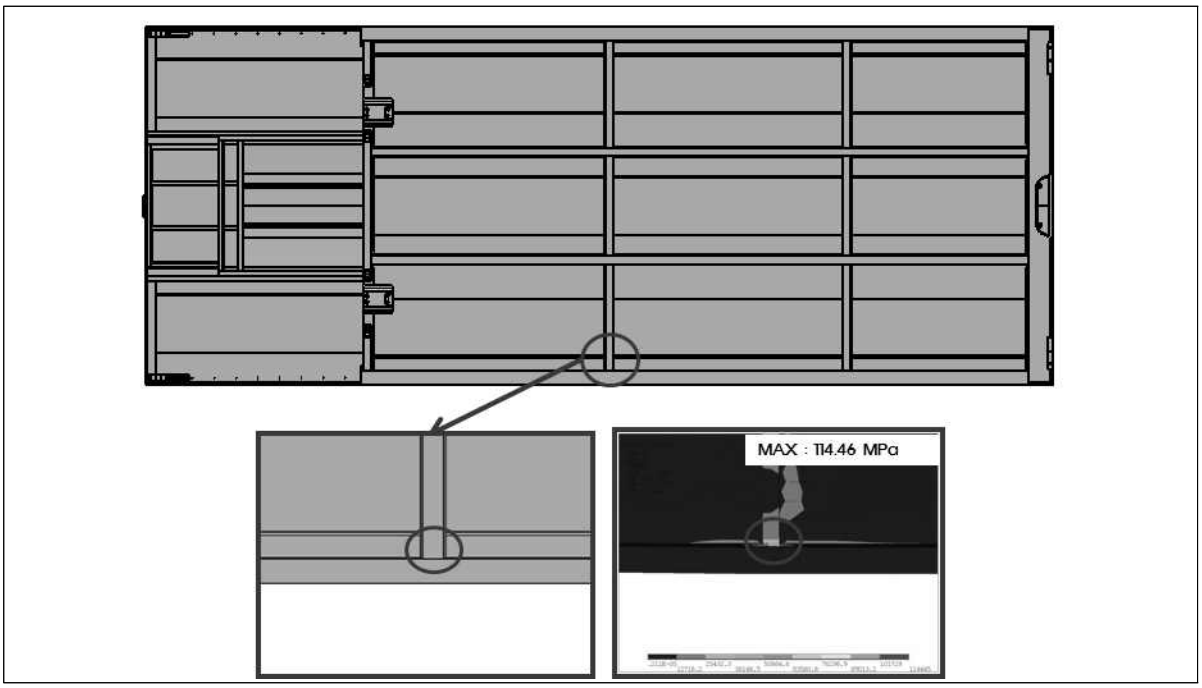
<그림 3.57> Body-1의 비틀림하중시 최대 Von-Mises Stress 결과 (Left)



<그림 3.58> Body-1의 비틀림하중시 최대 Von-Mises Stress 위치 (Left)

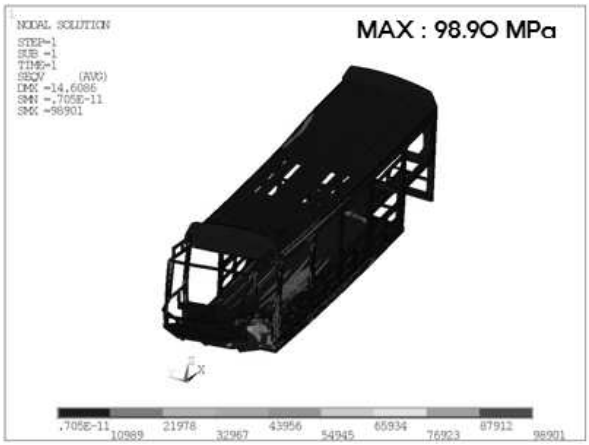


<그림 3.59> Body-2의 비틀림하중시 최대 Von-Mises Stress 결과 (Left)

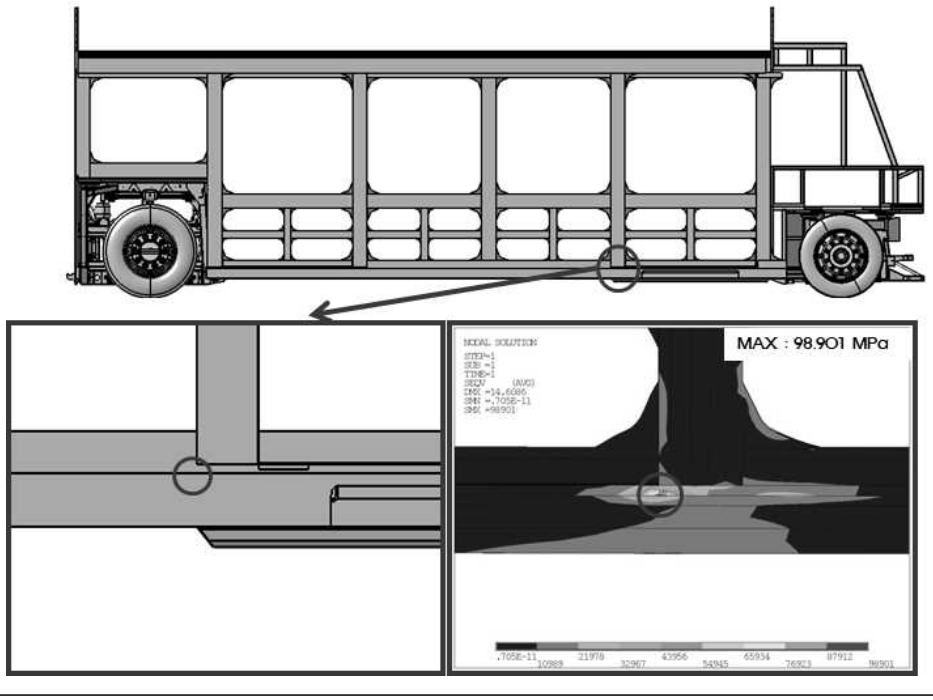


<그림 3.60> Body-2의 비틀림하중시 최대 Von-Mises Stress 위치 (Left)

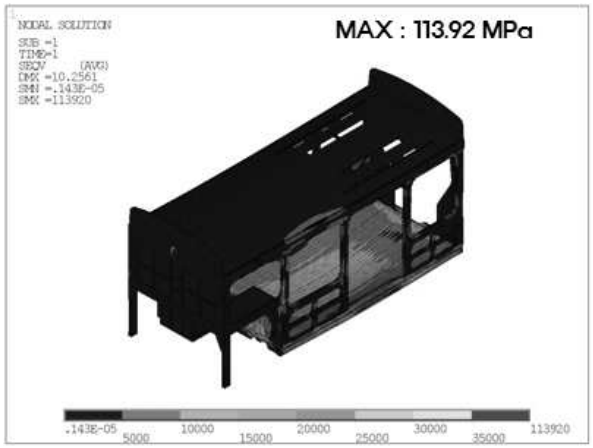
Case-2(Right)의 경우 Body-1은 차량의 우측면에서 98.90MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생 하였으며 Body-2는 차량의 언더프레임 하부에서 113.92MPa의 최대 Von-Mises Stress가 발생 하였다. 차체의 강도는 Body-2가 알루미늄 용접부 항복강도인 110MPa보다 높은 값임을 확인하였다.



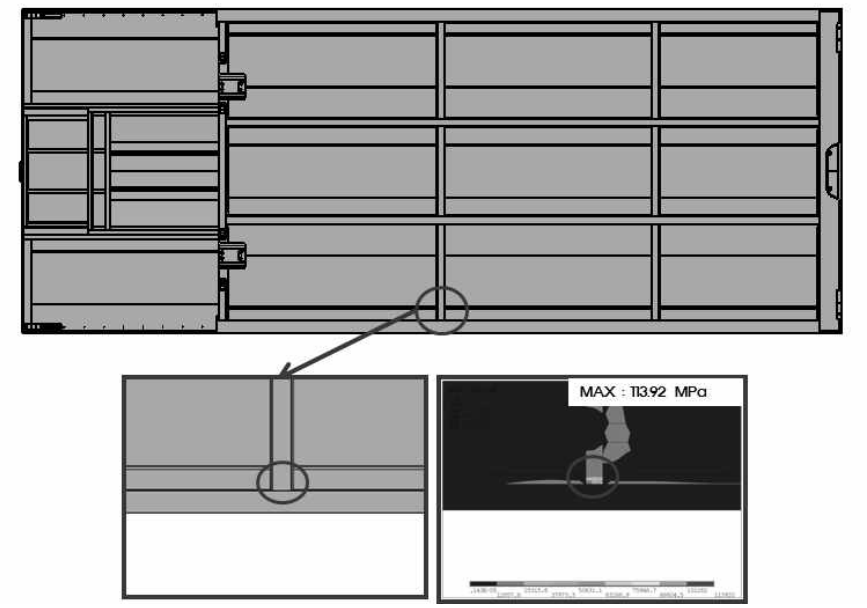
<그림 3.61> Body-1의 비틀림하중시 최대 Von-Mises Stress 결과 (Right)



<그림 3.62> Body-1의 비틀림하중시 최대 Von-Mises Stress 위치 (Right)



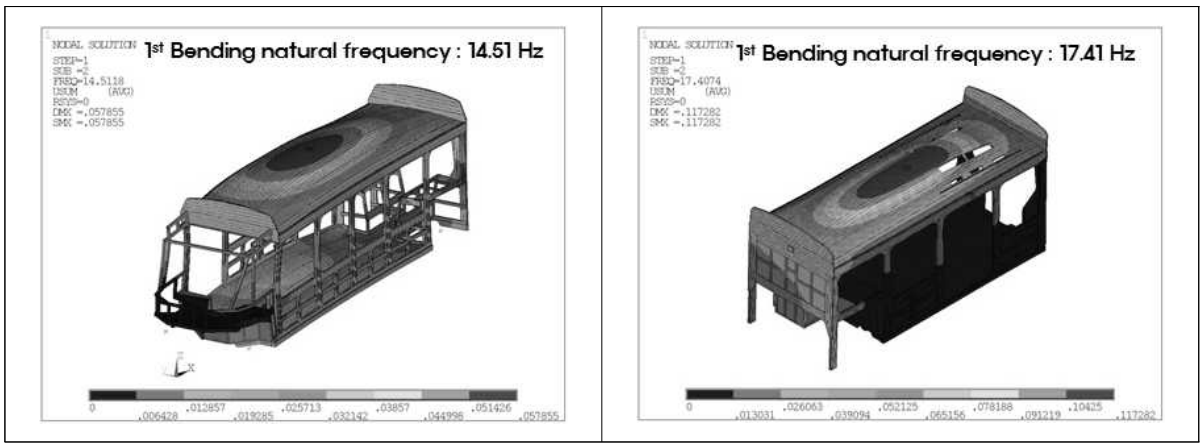
<그림 3.63> Body-2의 비틀림하중시 최대 Von-Mises Stress 결과 (Right)



<그림 3.64> Body-2의 비틀림하중시 최대 Von-Mises Stress 위치 (Right)

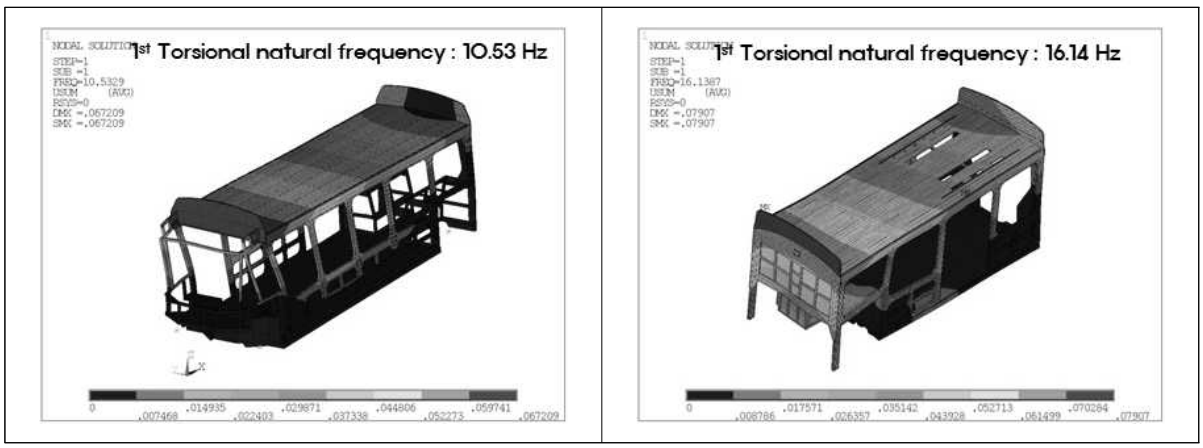
⑤ 고유진동수

본 연구에서 개발된 바이모달 트램의 고유진동수 해석 결과는 다음과 같다. 고유진동수 해석 결과 Body-1은 1차 굽힘 고유진동수의 경우 14.51Hz가 발생하여 규정의 기준인 10Hz이상에 만족함을 확인 하였다. 또한 1차 비틀림모드의 경우 10.53Hz가 발생하였다. Body-2는 1차 굽힘 고유진동수의 경우 17.41Hz가 발생하여 기준을 만족함을 확인 하였다. 또한 1차 비틀림모드의 경우 16.14Hz가 발생하였다.



(a) Body-1 (b) Body-2

<그림 3.65> 굽힘모드 구유진동수 해석 결과



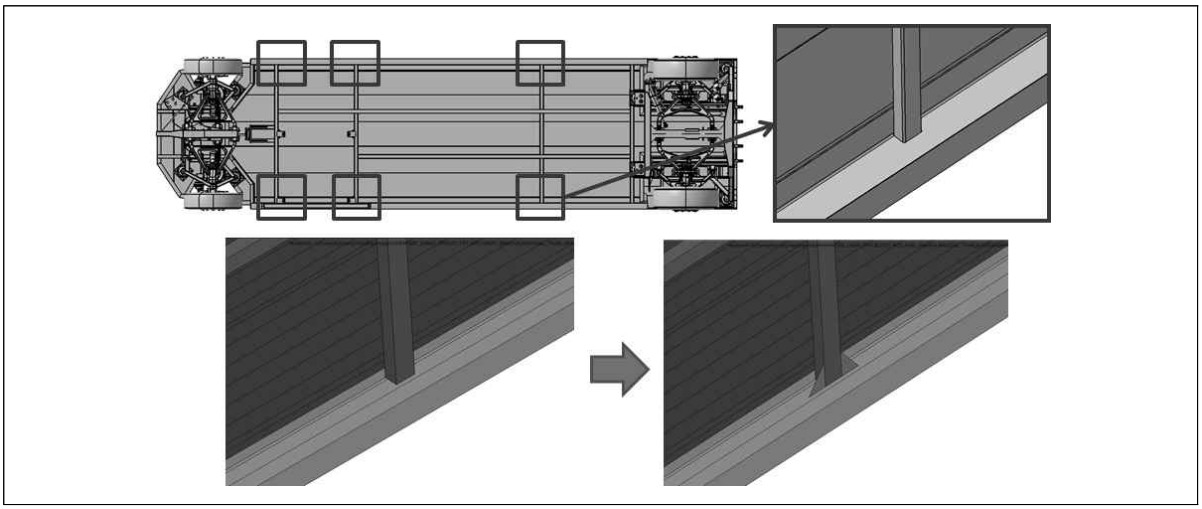
(a) Body-1 (b) Body-2

<그림 3.66> 비틀림모드 구유진동수 해석 결과

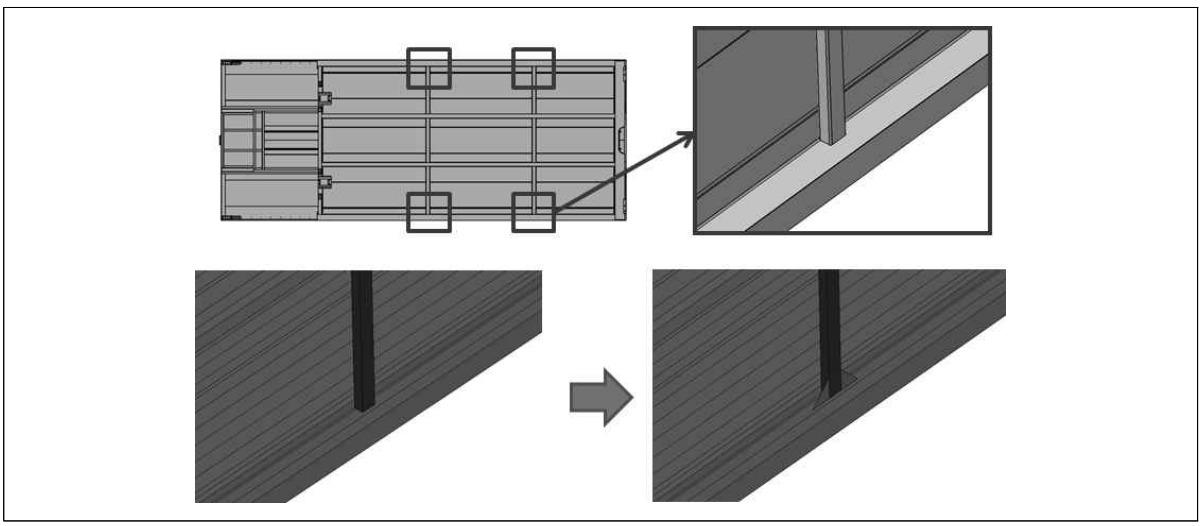
⑥ 결과 종합

바이모달 트램 구조안정성 평가를 수행한 결과 Von-Mises Stress는 Body-1의 비틀림하중 및 고유진동수 해석을 제외하고 용접부 알루미늄 파손기준을 만족하지 못하는 결과를 얻었다.

첫 번째 해석결과를 바탕으로 차체 모델링을 보완하여 재해석을 실시하였다. Body-1과 Body-2 모두 언더프레임 하부에서 최대 Von-Mises Stress가 발생하였음을 확인하였다. 이를 보완하기 위해 두께가 20t이며 알루미늄의 물성을 지닌 삼각형 형태의 보강재를 적용하였으며, 다음 그림은 바이모달 트램 차체에 보강재를 적용한 모델링이다.

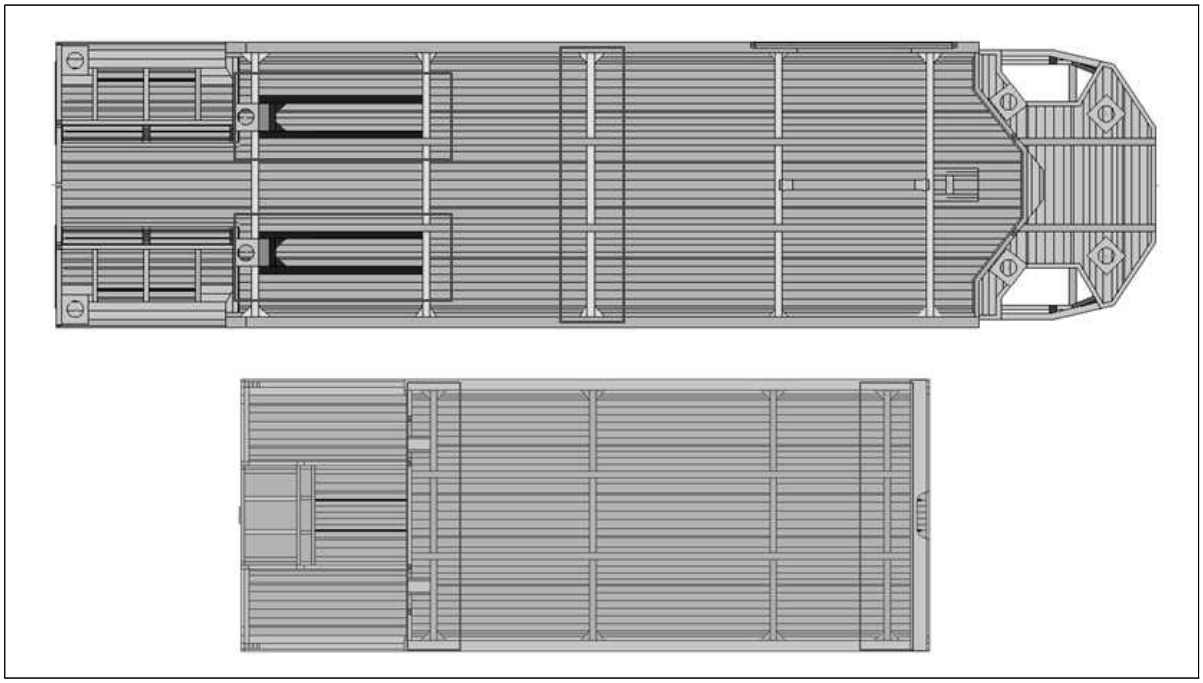


<그림 3.67> 차체 보강재 적용 [Body-1]



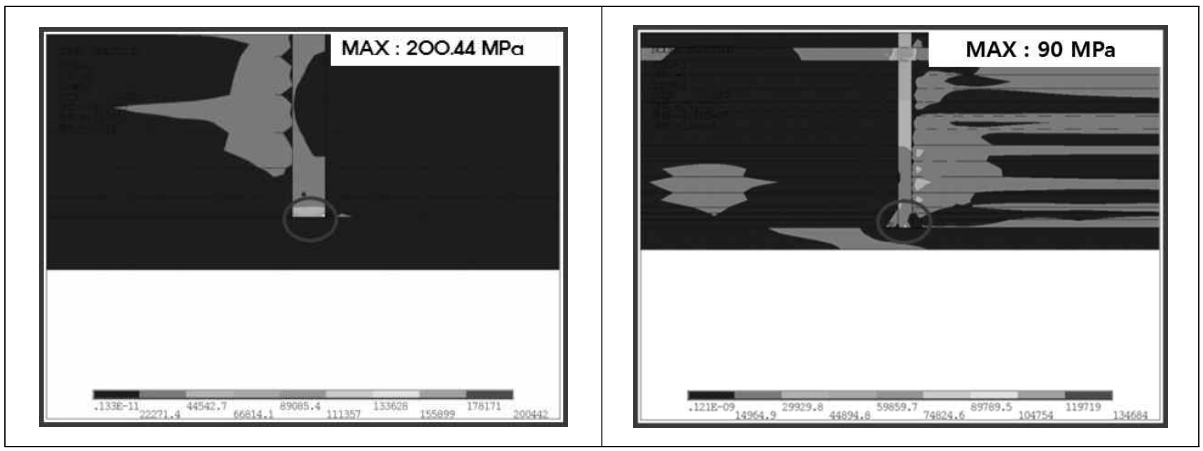
<그림 3.68> 차체 보강재 적용 [Body-2]

또한 폭방향 각관 추가와 차체 후변부 구동부 프레임 조립 위치에 4mm 두께의 각관과 보강재를 삽입하였다.



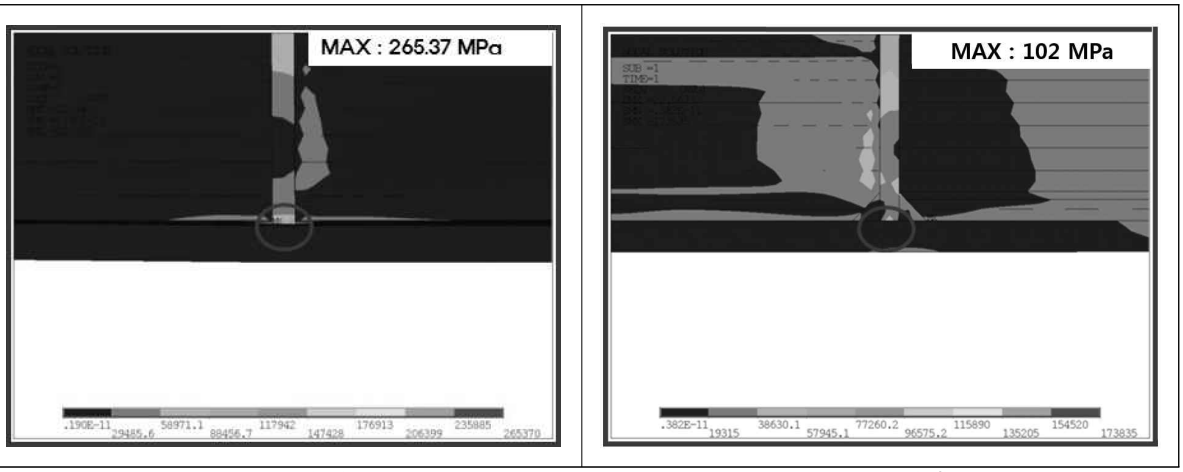
<그림 3.69> 구동부 차체 보강재 적용

보강재 적용 후 구조해석을 수행한 결과, 수직하중의 경우 Body-1에서 최대 Von-Mises Stress가 90MPa이 나타나 110.44MPa의 응력 감소 효과를 나타내었다. Body-2의 경우 최대 Von-Mises Stress가 102MPa가 나타나 163.37MPa의 응력 감소 효과가 나타났다. 다음 그림은 바이모달 트램 보강에 따른 수직하중의 응력 변화를 나타낸다.



(a) 보강전 (b) 보강후

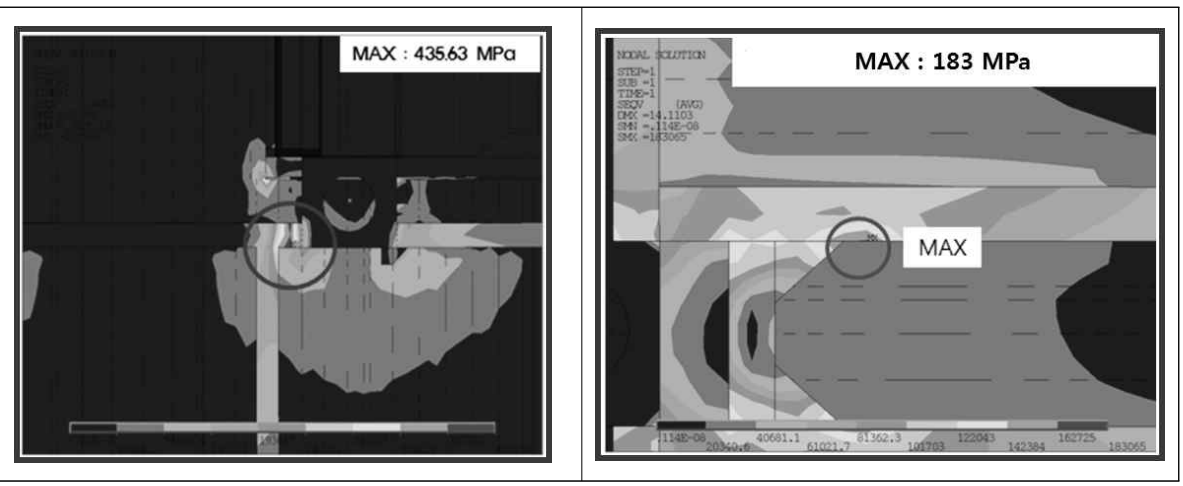
<그림 3.70> Body-1 보강 전 후에 따른 수직하중의 응력변화



(a) 보강전 (b) 보강후

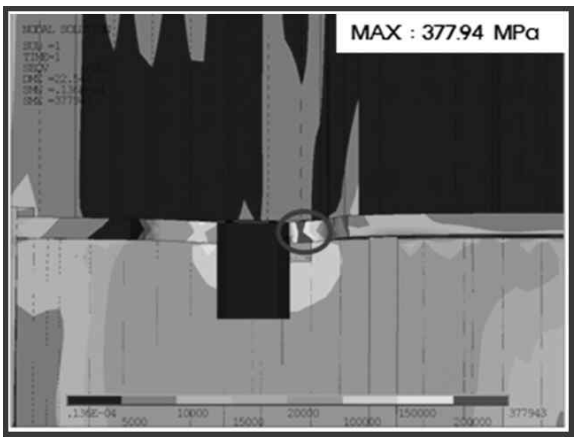
<그림 3.71> Body-2 보강 전 후에 따른 수직하중의 응력변화

압축하중의 경우 Body-1에서 최대 Von-Mises Stress가 183MPa이 나타나 252.63MPa의 응력 감소 효과를 나타내었다. Body-2의 경우 최대 Von-Mises Stress가 175MPa가 나타나 202.94MPa의 응력 감소 효과가 나타났다. 다음 그림은 바이모달 트램 보강에 따른 압축하중의 응력 변화를 나타낸다.

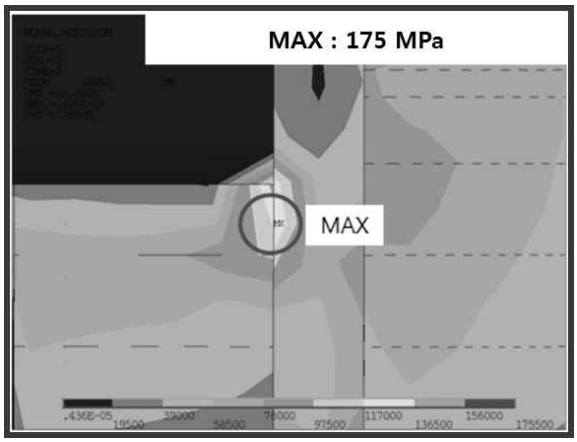


(a) 보강전 (b) 보강후

<그림 3.72> Body-1 보강 전 후에 따른 압축하중의 응력변화



(a) 보강전



(b) 보강후

<그림 3.73> Body-2 보강 전 후에 따른 압축하중의 응력변화

보완설계를 실시하여 바이모달 트램 차체의 구조해석 시 응력기준에 부합하도록 하였다. 보완설계 이후에 구조해석은 응력기준을 만족하지 못한 수직하중, 압축하중, 3점지지하중에 대하여 수행 되었다. 해석 결과 최대 Von-Mises 응력이 Body-1의 경우 수직하중 시 용접부 90MPa, 압축하중 시 모재부 183MPa, 3점지지에는 용접부 74MPa의 응력이 나왔으며 Body-2의 경우 수직하중 시 용접부에서 102MPa, 압축하중 시 모재부에서 175MPa, 3점지지에는 용접부에서 89MPa의 응력이 나타나 JIS 규정의 응력기준에 부합하였음을 확인하였다. 다음 그림은 바이모달 트램 차체 보완설계 이후 구조해석 결과를 나타낸다.

<표 3.25> 구조안전성 평가 결과 종합

하중 조건	Von-Mises Stress [MPa]	
	Body-1	Body-2
수직하중	90(용접부)	102(용접부)
압축하중	183(모재부)	175(모재부)
3점지지	74(용접부)	89(용접부)
비틀림 (Left)	86.19	114.46
비틀림 (Right)	98.90	113.92
1차 굽힘 모드 고유진동수 (Hz)	14.51	17.41
1차 비틀림 모드 고유진동수 (Hz)	10.53	16.14

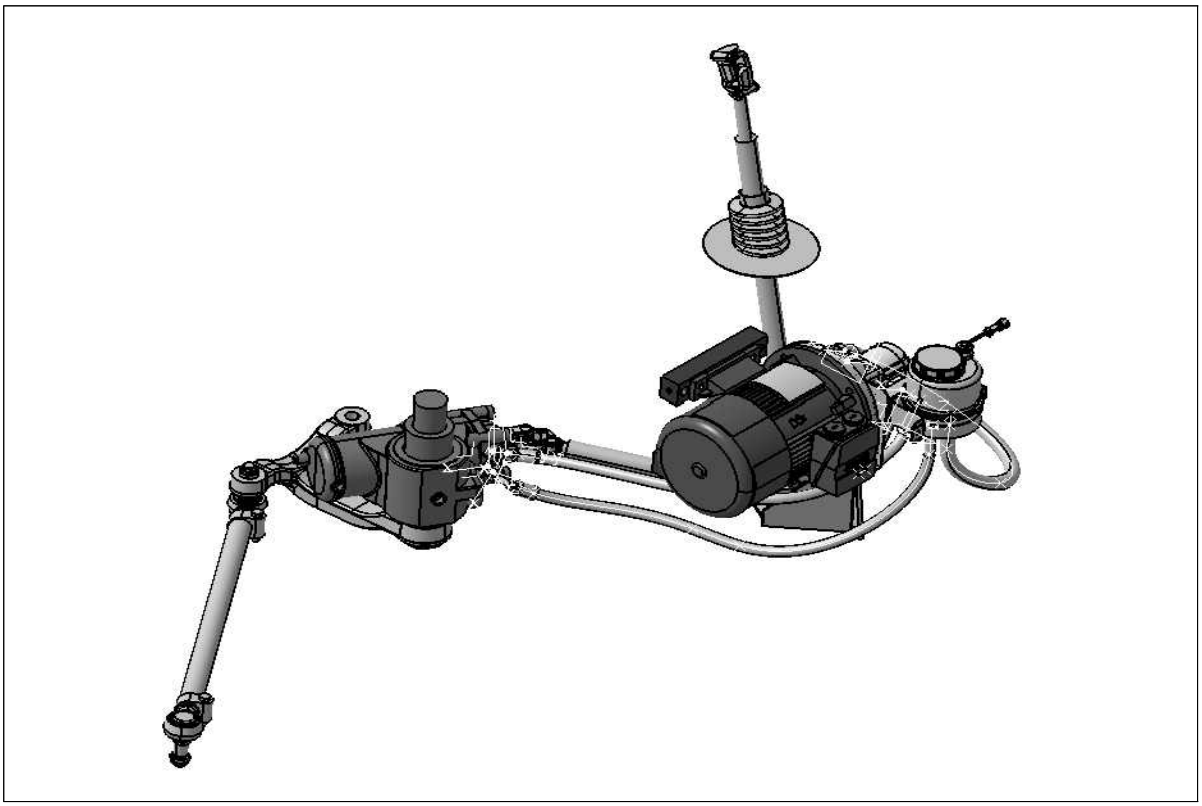
마. 전차륜 조향 및 독립 현가시스템

(1) 조향장치

조향장치는 차량의 진행방향을 바꾸기 위하여 차륜의 회전축 방향을 바꾸어 차량 회전 능력을 확보하는 매우 중요한 장치이다. 조향장치의 작동은 운전자가 핸들을 돌리면 기계적 장치의 조향 기어와 유압장치를 통해 조작력이 증대되어 전달되고 이 부분에서 감속됨과 동시에 운동방향이 바뀌어 링크기구인 피트먼 암, 드래그 링크 및 너클암을 거쳐 너클 스핀들로 전달된다. 너클 스핀들은 그 움직임에 의해 킹핀을 중심으로 회전운동하기 때문에 앞바퀴의 움직임이 바뀌게 된다. 그리고 좌우의 너클은 너클암을 통해 타이로드와 연결되어 한쪽 바퀴의 움직임을 반대쪽 바퀴에 전달하도록 되어 있다.

(가) 유압식 파워스티어링

대형자동차에서는 앞바퀴의 접지 저항이 크기 때문에 핸들의 조작력이 크게 되고 신속한 조향조작이 안될 염려가 발생한다. 그러므로 가볍고 신속한 조향 조작을 하기 위해 동력 조향장치를 사용하며 기관으로 오일 펌프를 구동하여 발생한 유압을 조향장치 중간에 설치된 파워스티어링 유닛으로 보내서 유닛의 작동으로 핸들의 조작력을 가볍게 하는 구조로 되어 있다.



<그림 3.74> 유압식 파워스티어링 시스템(모터, 펌프, 유닛, 샤프트, 탱크)

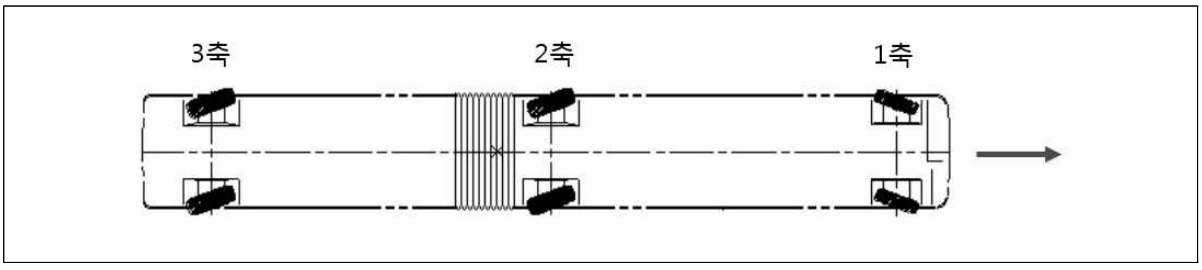


<그림 3.75> 파워스티어링 모터, 펌프 및 탱크

(나) AWS 시스템

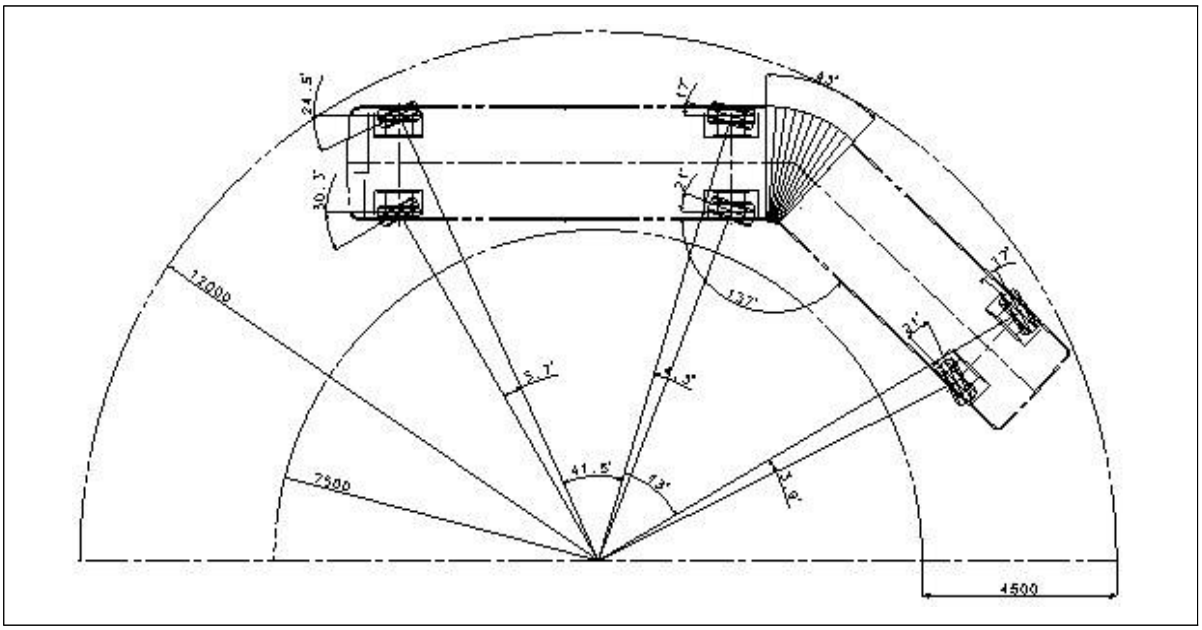
일반적으로 차량이 조향되는 위치에 따라 조향 방식이 구분되는데, 전륜 조향, 후륜 조향, 전체 차륜조향(All Wheel Steering, AWS)으로 나눌 수 있다. 4륜차와 같은 승용차의 AWS의 경우 4개의 바퀴를 구동하여 4WS(Four Wheel Steering)라고 한다. 4WS는 최소회전 및 기동성을 목적으로 특수차량에 채용된 시스템이었지만, 현재 조정안정성 및 회전성능을 향상시키기 위해 고급승용차에도 적용되고 있다. 승용차의 AWS의 경우 조정안정성의 향상 및 회전성능의 향상에 목표를 두고 있지만 후륜의 조향되기 위한 공간이 필요하기 때문에 트렁크의 공간이 줄어들게 되며, 차량의 가격도 상승하게 되는 단점을 지니고 있다. 바이모달 트램은 일반도로로 운행할 수 있는 굴절 차량으로 다양한 교통수요에 대응하기 위해 만들어진 신교통수단이다. 바이모달 트램은 앞 뒤 오버행이 짧고 축간 거리가 길어졌는데, 일반적으로 동일한 차량길이에서 축간 거리가 길어야 차량의 안정성이 높아지지만 회전반경이 길어지게 된다. 국내 자동차 안전기준을 만족하기 위해 앞바퀴를 기준으로 최소회전반경이 12m이내이어야 하며, 이를 만족하기 위해 축간거리가 긴 바이모달 트램에는 AWS를 적용하여 단점을 해결하였다.

모든 차축이 독립된 조향기능을 갖게 되므로 차량길이에 비하여 선회반경이 작다. 전 차륜 조향은 차량의 진행방향을 변경시키는 역할을 할 뿐만 아니라 조향반력을 통하여 노면 상황이나 차량 거동을 운전자에게 정확하게 전달하여 차량의 동력학적인 측면과 감성 공학적인 측면을 적극적으로 고려하여 조종 안정성, 주행 안정성, 제동 능력, 승차감 등을 향상시키는 효과가 있다. 저속이거나 주차 시에는 중간륜, 후륜이 전륜의 방향과 반대로 작동하여 회전반경이 작아지는 효과가 있으며 보통의 속도에서는 중간륜, 후륜의 방향이 직선 또는 중립을 유지하는 중립 모드에 놓는다. 조종 안정성 측면에서 보면 차선 변경시 전 차륜을 동시에 동위상으로 조향하기 때문에 코너링력 발생이 동시에 이루어지고 차체의 방향이 선회방향과 일치하기 때문에 안정된 선회가 가능하다.



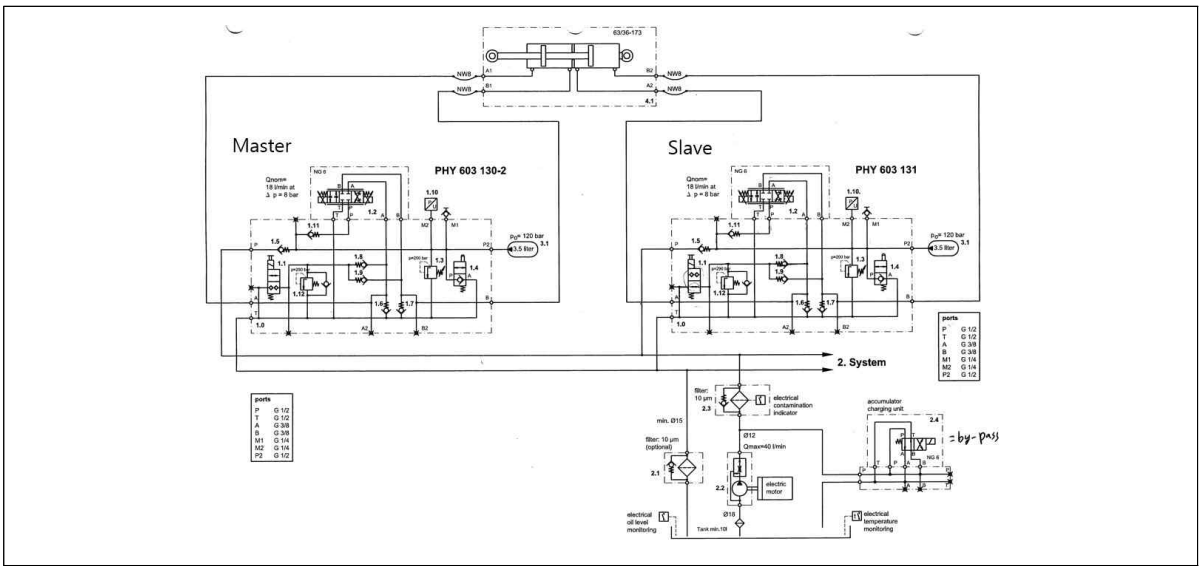
<그림 3.76> AWS 조향제어

바이모달 트램은 일반도로에서도 운행이 가능한 도시형 궤도차량으로서 회전 주행 시 선회반경 12m이하, 선회폭은 4.5m이하를 만족하는 수준으로 설계되었다. 이는 일반 대형버스의 선회성능보다 우수하며 전 차륜 조향(All Wheel Steering) 방식의 장점이다.

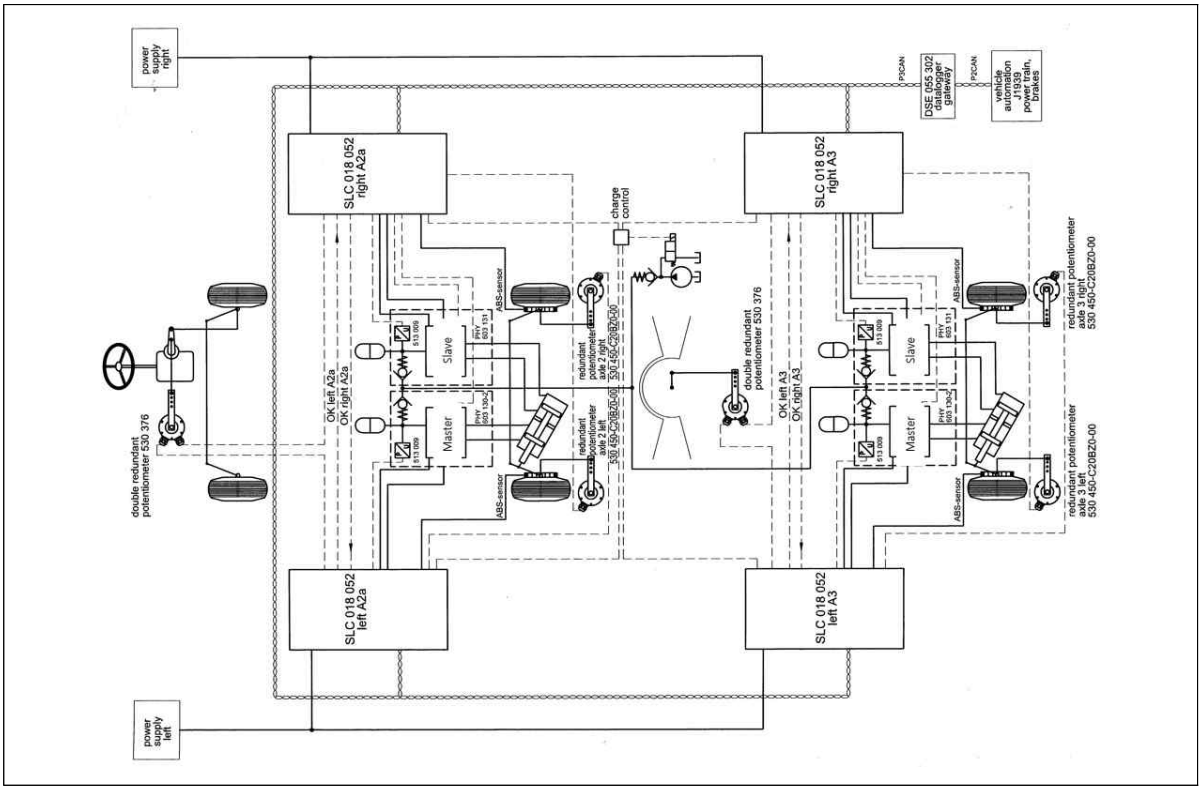


<그림 3.77> 선회반경

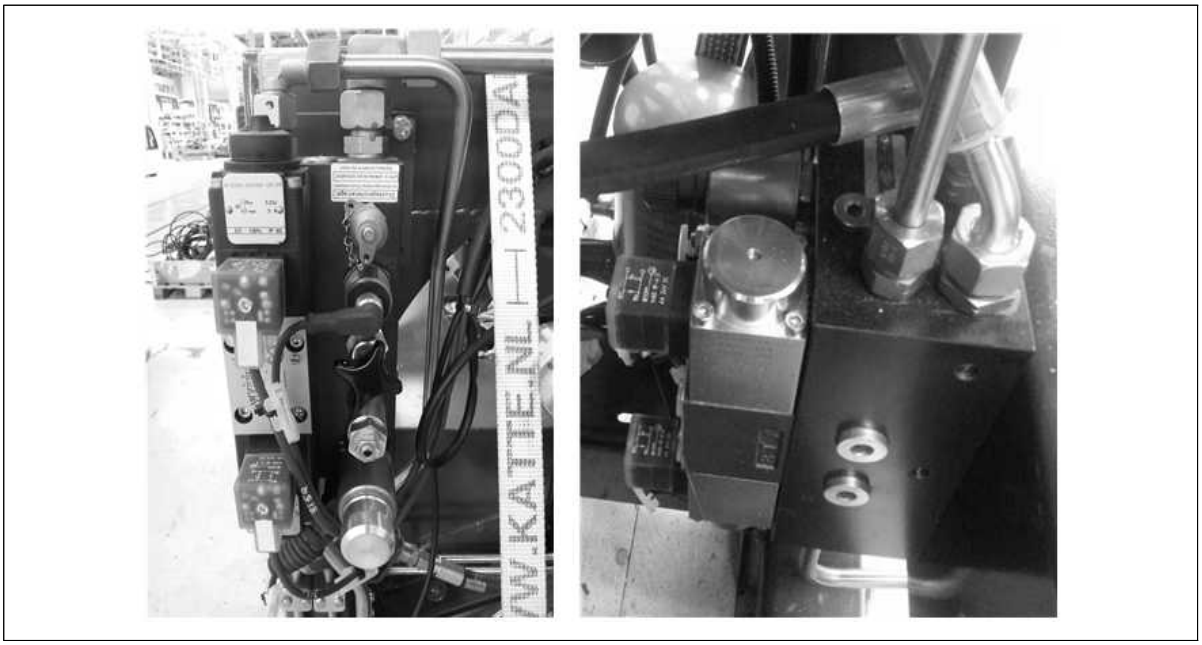
또한 기존 AWS의 단점이었던 솔레노이드밸브 고장발생시 시스템작동불가에 대한 개선사항으로 2, 3축 각각의 솔레노이드밸브를 마스터 솔레노이드밸브, 슬레이브 솔레노이드밸브로 나누어 2중 유압회로를 적용하여 두 밸브중 하나가 고장 나더라도 AWS시스템이 작동할 수 있도록 회로를 구성하였다.



<그림 3.78> 마스터 솔레노이드밸브와 슬레이브 솔레노이드밸브 2중회로 구성도



<그림 3.79> AWS시스템 회로도



<그림 3.80> 마스터 솔레노이드밸브 & 슬레이브 솔레노이드밸브

(2) 현가장치

현가장치는 차량의 하중을 지지하고 프레임과 차축을 연결하는 기능과 함께 차량 주행중에 발생하는 노면진동을 차체로 직접 전달되지 않도록 흡수하는 중요한 역할을 하는 장치로서 승차감과 조종안정성을 동시에 만족할 수 있도록 설계되어야 하는 장치이다.

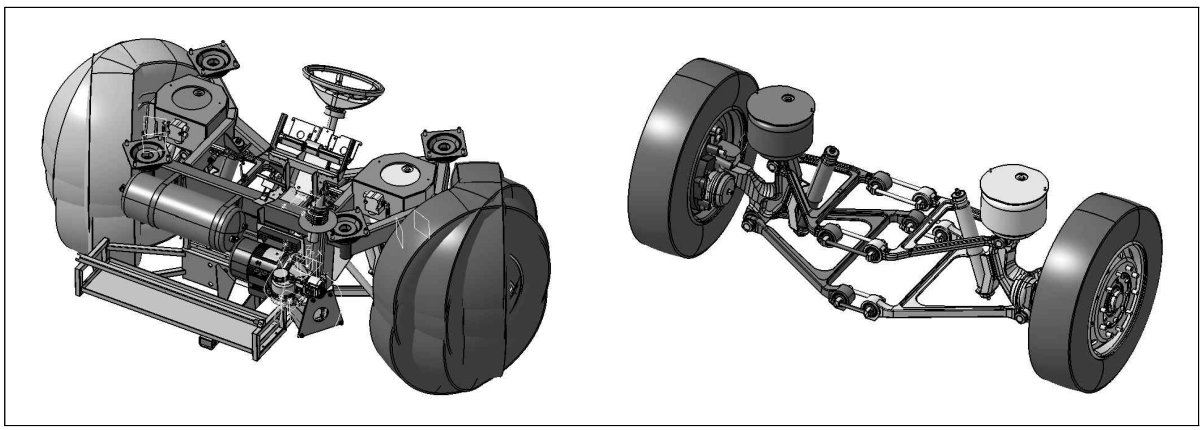
바이모달 트램은 교통약자의 승하차가 용이한 초저상 차량을 기본 목표로 하기 때문에 저상형 독립식 현가장치를 적용하였다.

독립식 현가장치와 적용과 더불어 전자제어 현가장치(Electronically Controlled Air Suspension, ECAS)가 적용되는데 이는 승차인원 및 화물의 하중 변화 시 일정한 차고를 유지하기 위해 미리 정하여둔 목표차고를 벗어나는 경우 차고를 올리고 내리는 제어장치이다. 즉 차고센서로 부터 현재 차고 높이를 ECU가 검출해 승차인원 및 화물무게와 상관없이 항상 일정한 높이를 유지하도록 앞/뒤 바퀴를 독립적으로 제어하는 기능을 말한다.

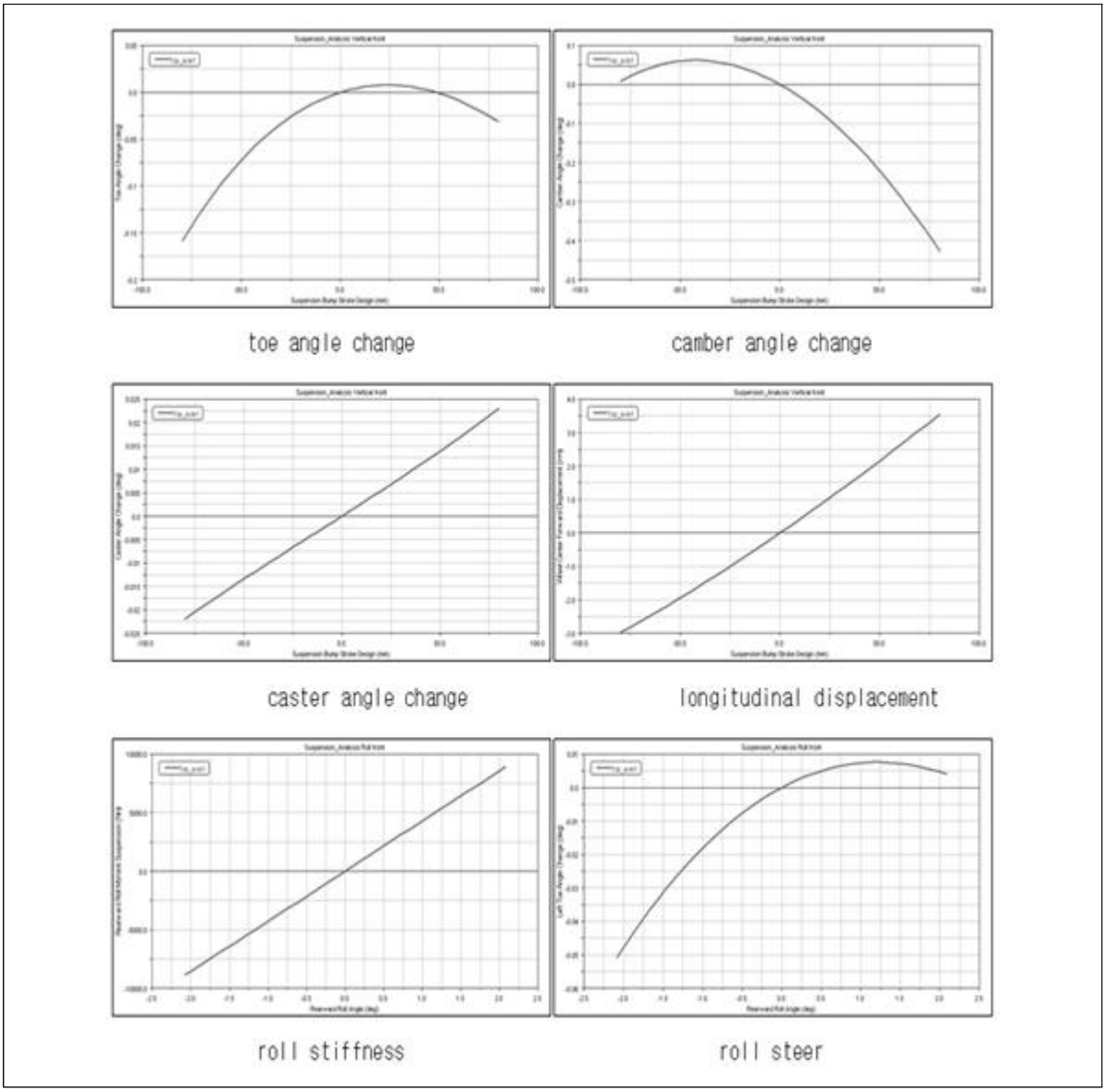
ECAS시스템의 장점은 도로 조건이나 기타 주행 조건에 따라서 운전자가 스위치를 조작하여 차고 높이를 조정할 수 있으며 안전성이 확보한 상태에서 차고 조정 및 닐링(Kneeling) 기능을 할 수 있다. 또한 자기 진단 기능을 보유하고 있어 정비성이 용이하고 안전하다.

(가) 1축

독립현가액슬을 적용하였으며 Tire Envelope 모델링을 활용하여 타 부품과의 간섭체크 및 현가장치 지오메트리 특성성능을 검토하였다.



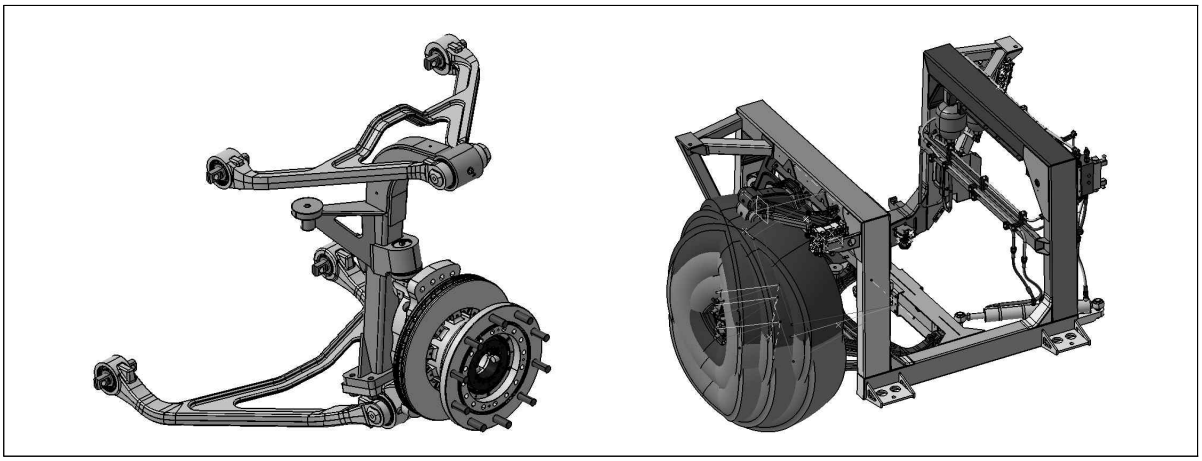
<그림 3.81> Axle 1 및 Tire Envelope 모델



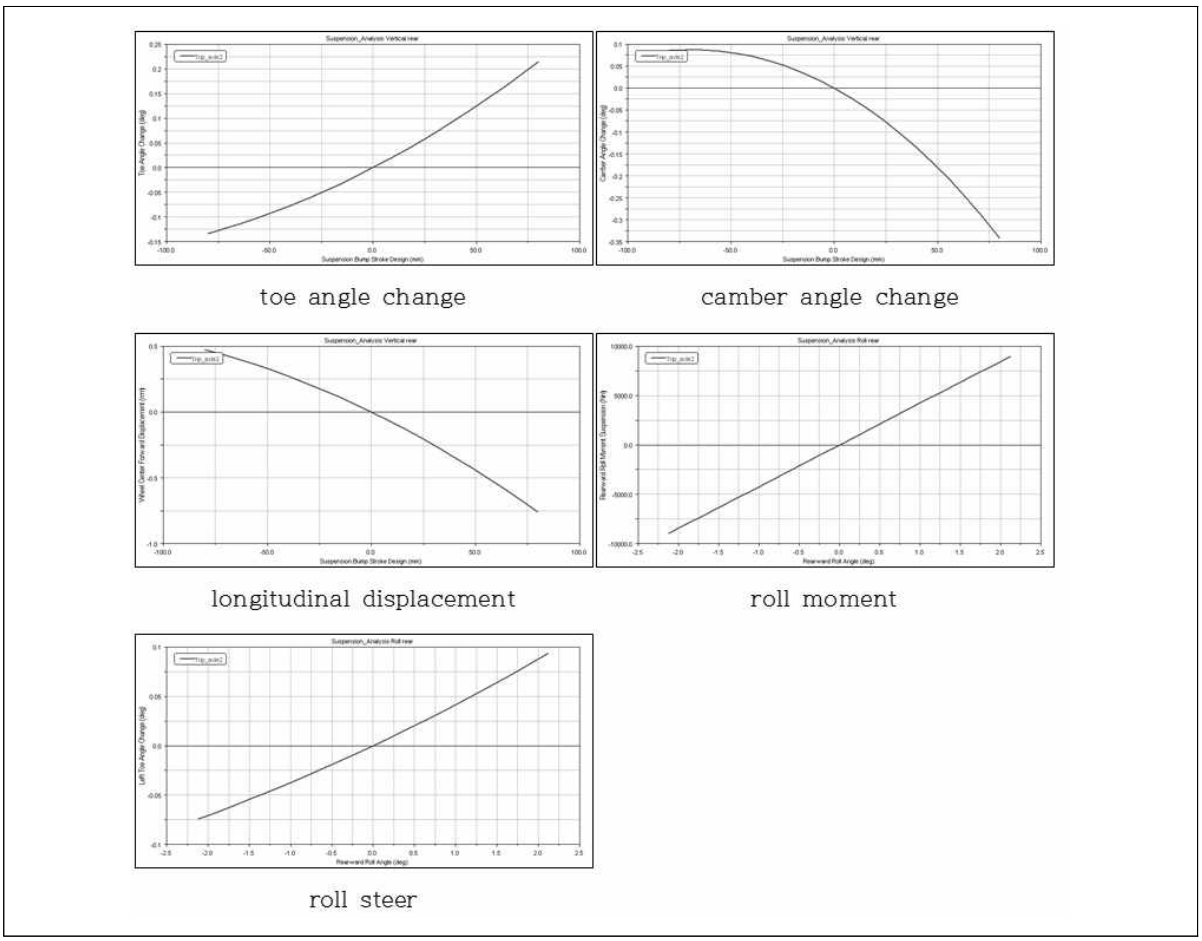
<그림 3.82> Axle 1 지오메트리 특성성능선도

(나) 2축

3축 단일구동으로 2축 등속조인트부품 미적용에 따른 액슬캐리어의 형상 단순화를 통하여 조립성을 향상시켰다. 국내 교통법에 따른 차폭 규제인 2,500mm를 만족하기 위해 휠허브와 너클을 설계변경 하였다. 그리고 Tire Envelope 모델링을 활용하여 타 부품과의 간섭체크 및 현가장치 지오메트리 특성성능을 검토하였다.



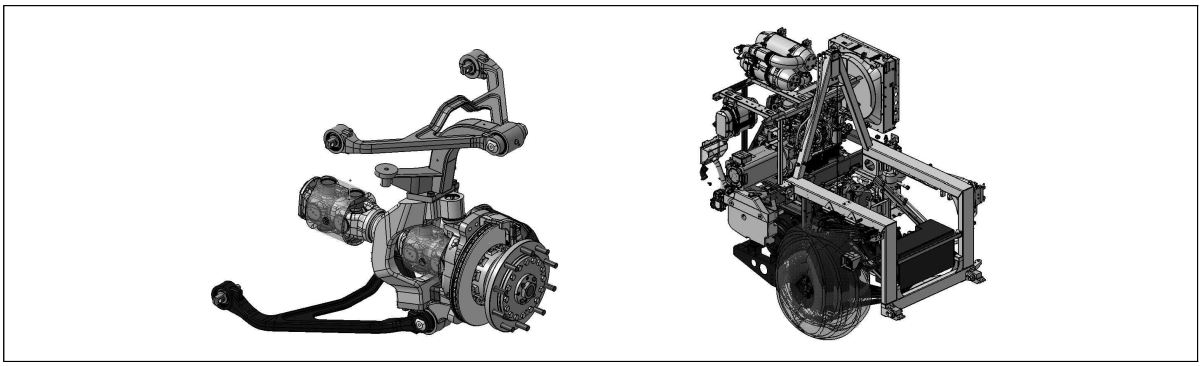
<그림 3.83> Axle 2 서스펜션 및 Tire Envelope 모델링



<그림 3.84> Axle 2 지오메트리 특성성능선도

(다) 3축

3축 단일구동에 따라 드라이브샤프트가 장착가능토록 액슬캐리어를 설계변경 하였다. 2축과 동일하게 국내 교통법에 따른 차폭 규제인 2,500mm를 만족하기 위해 휠허브와 너클을 설계 변경 하였다.



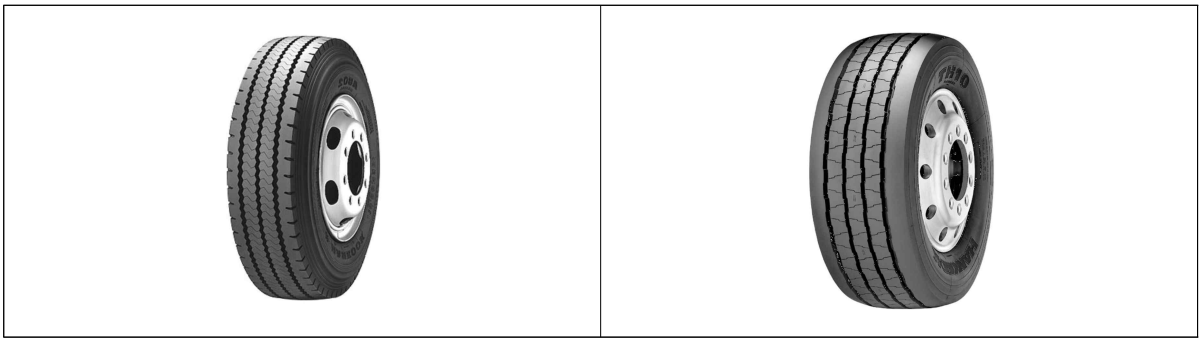
<그림 3.85> Axle 3 서스펜션 및 Tire Envelope 모델링

(라) 타이어 & 휠

타이어와 휠은 차량의 하중을 지지하는 기능을 기본으로 노면과의 마찰접촉으로 구동력과 제동력을 전달하고 노면으로부터 충격을 일차적으로 완화하는 기능을 갖는 매우 중요한 구성품이며 대형버스에는 대부분 튜브리스 타이어(tubeless tire)를 사용한다. 바이모달 트램의 전륜은 저상버스용의 타이어를 적용하고 그 외는 트럭에서 사용하는 광폭 타이어를 적용한다.

<표 3.26> 타이어

구분	전륜 (1축)	중, 후륜 (2, 3축)
타이어	275/70R22.5-24PR	385/65R22.5-24PR
외경	956.5mm	1072mm
최대하중	3,150kg	5,000kg
적용휠	22.5*8.25	22.5*11.75



(a) 275/70R22.5-24PR (b) 385/65R22.5-24PR

<그림 3.86> 275/70R22.5-24PR과 385/65R22.5-24PR

2. 내구성능 향상을 위한 설계보완 사항을 반영한 차량 설계 및 개조

가. 시제차량 문제점 검토 및 시스템 보완

(1) 시제차량 보완사항 검토

신에너지 바이모달 수송시스템 개발 사업을 통하여 개발된 바이모달 트램 시제차량의 경우 유로-5 CNG 엔진 발전기를 탑재하고 있어서 배출가스 기준에 만족하지 못하기 때문에 실용화에 투입이 어렵고, 높은 차량 가격으로 인하여 수요처의 구매요구사항을 만족시켜주지 못하는 상황이다. 이런 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 변경된 환경기준인 유로-6에 맞는 엔진을 탑재하고, 차량의 가격경쟁력을 확보하기 위하여 실용화를 추진하였다. 또한, 실용화 기술개발 사업에서는 시제차량의 시범 운행에서 발생되었던 문제들을 보완하여 실용화 차량의 개발 작업을 추진하였다. 그리고 차량의 부품을 차량에서 분해하여 각 부품별로 점검하고, 필요한 경우 신품으로 교체하여 실용화 차량을 제작하였다.

바이모달 트램의 원활한 도입을 위해서는 차량을 구입하고 운영할 주체인 지자체와의 유기적인 협력이 필요하다. 따라서 고객니즈를 분석하여 기술적, 경제적으로 접근할 수 있는 방안과 도입에 따른 행정 절차, 법적 근거, 정부로부터의 지원방안 등에 대한 구체적인 대안이 필요하다. 따라서 바이모달 트램 도입에 따른 예상효과 혹은 도입 후의 개선효과 등의 분석 방법을 개발하였다.

(2) 시제차량 보완대책

여수엑스포와 세종특별자치시 시범운행에서 바이모달 트램 시제차량을 가지고 하절기 및 동절기의 악조건에서 일반 영업용 차량보다 가혹하게 운행한 결과 차량에서 여러 가지 문제가 발생한 바 있다. 기존에 발생되었던 문제점을 살펴보면 다음과 같이 크게 7종류의 문제로 구분되며 각각의 문제에 대해서 발생원인과 문제해결 방안을 검토하여 실용화 차량에 적용하였다.

차량에 발생된 문제를 살펴보면, 차량의 성능을 좌우하는 엔진-발전기, 배터리, 추진 장치 등의 중요 장치에 대한 문제와 주변장치의 문제로 나눌 수 있다. 기존에 발생되었던 추진 장치의 문제에 대해서는 주행에 필요한 배터리 및 발전량을 효율적으로 관리하고, 유지보수가 편리한 디젤엔진을 적용하였으며, 이들을 효율적으로 제어하는 추진시스템의 프로그램을 개선하였다. 이를 위하여 유로-6 디젤엔진을 적용하고 엔진 제작사와 엔진 튜닝관련 업무를 진행하였다. 아울러 추진시스템의 경우 우진산전에서 바이모달 트램용으로 이미 개발된 추진시스템을 보완 및 개선하여 차량에 적용하였다.

주변장치의 문제점에 대해서는 기존의 차량이 시제차량으로 제작되어 전선 연결 및 커넥터 작업 불량 건으로 발생된 문제가 많았으며, 이는 숙련자가 배선 압착 및 연결 작업을 진행하고

검사를 철저히 함으로써 해결할 수 있는 문제들이다. 또한, 외부에 노출되는 부품의 경우 방수 문제로 인하여 동작불량이 많이 발생하기 때문에 가능한 노출 부위를 줄이고 노출되는 부분은 방수 작업을 철저하게 하며 정기적으로 점검사항을 관리하면 기존 차량에 발생되었던 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 부품 개발 및 차량 제작

(1) 부품 개발품

(가) 실내 루프 내장재

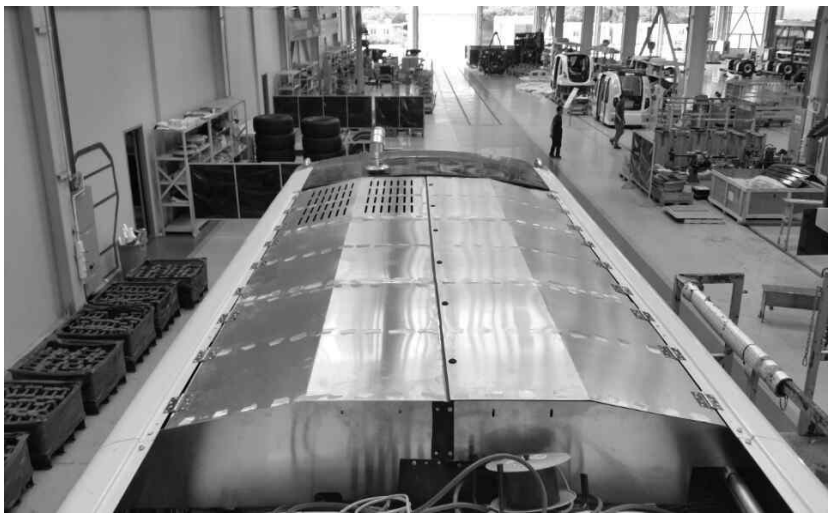
실용화 차량의 실내 루프 내장재를 FRP 내장재에서 재활용이 가능한 친환경 소재인 알루미늄 압출재로 적용하였으며 에어컨 덕트를 내장재 내부에 별도로 설치하지 않고 알루미늄 압출재로 덕트와 내장재를 일체형으로 적용함으로써 루프 내측에 공간 활용도를 높였다.



<그림 3.87> 실내 루프 내장재

(나) 인버터 커버 설치

Body-2의 실외 루프 스커트 상면에 외부 요인으로 인한 기기 손상을 보호하기 위해 알루미늄 판넬로 기기 보호용 커버를 설치하여 외부 요인에 의한 루프 기기의 손상을 방지하고자 하였다. 외부에 노출되는 부분이기 때문에 외부 환경에 강한 재질의 사용이 필요하다. FRP의 경우 별도의 개발비용이 들기 때문에 알루미늄을 사용하여 알루미늄 판재를 레이저 커팅 후 용접하여 제작하였다.



<그림 3.88> 인버터 커버

(다) 엔진룸 방열 면적 확대

엔진룸 내부기기의 동작으로 엔진룸 내부 온도가 상승해 고온으로 인한 기기 동작의 오류를 해소하고자 리어마스크 커버에 방열 면적을 충분히 적용하여 내부의 공기가 외부로 원활히 배출될 수 있도록 하여 엔진룸 내부 온도 조절에 효과적이도록 설계를 진행 하였다. 또한 환기 면적을 190,000㎟ 이상 확보 하였다.



<그림 3.89> 엔진룸 방열 면적

(2) 실외 디자인 제작

(가) 실외 등구류

바이모달 트램에는 '자동차용 등화장치 설치기준(2016년 개정)' 을 반영하여 실외 등구류를 장착하였다.

<표 3.27> 자동차용 등화장치 설치기준 (2016년 개정 반영)

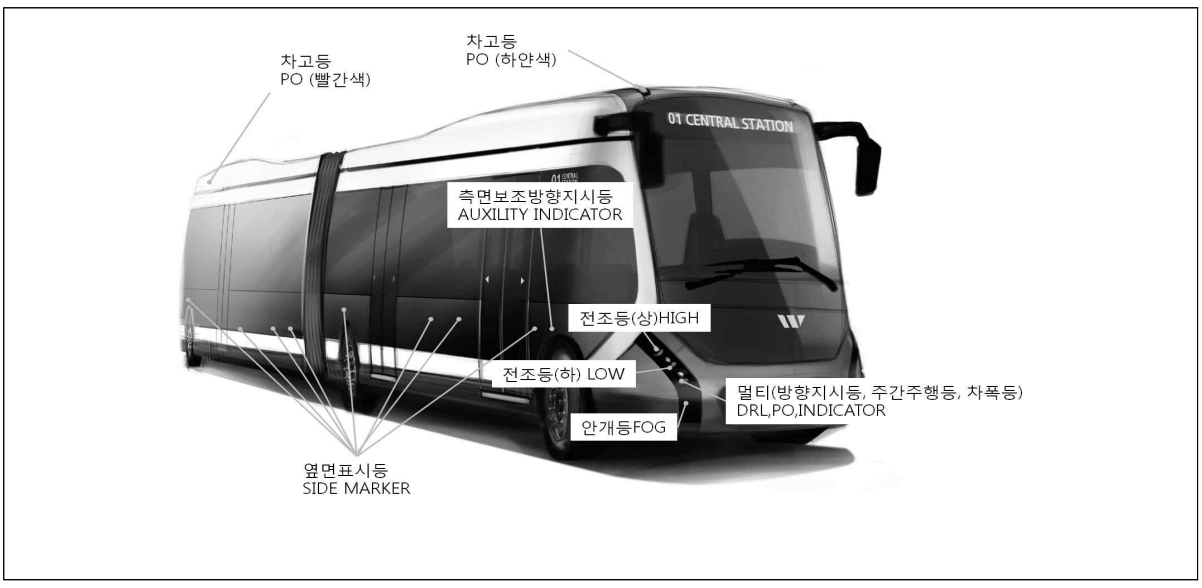
구분		장착조건	개수	색상	설치기준
앞면	주행빔 전조등	필수	2개 또는 4개	백	자동차 구조물의 직접적·간접적 반사에 의해 해당 운전자에 불쾌감을 유발하지 않도록 설치할 것
	변환빔 전조등	필수	2개 또는 4개	백	최외측으로부터 400밀리미터 이내, 높이 지상 500밀리미터 이상 1,200밀리미터 이하
	앞면 안개등	선택	2개	백, 황	최외측으로부터 400밀리미터 이내, 지상 250밀리미터 이상, 1,200밀리미터 이하, 변환빔 발광면의 가장 높은 부분보다 낮게
	주간 주행등	필수	2개	백	발광면간 거리는 600밀리미터 이상, 지상 250밀리미터 이상 1,500밀리미터 이하
	앞면 방향지시등	필수	2개	호박	자동차 최외측으로부터 400밀리미터 이내, 발광면간 설치거리는 600밀리미터 이상, 높이 500밀리미터 이상 1,500밀리미터 이내
	차폭등	필수	2개	백	최외측으로부터 400밀리미터 이내, 발광면간 설치거리는 600밀리미터 이상, 지상 350밀리미터 이상 1,500밀리미터 이내

<표 계속>

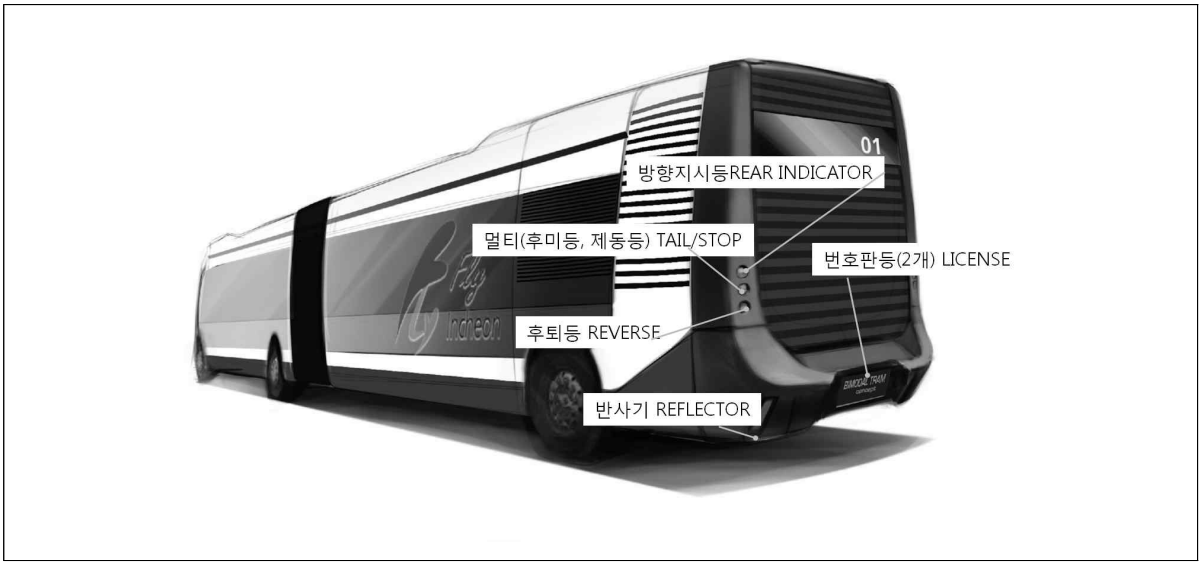
구분		장착조건	개수	색상	설치기준
뒷면	뒷면안개등	선택	2개 이하	적	지상 250밀리미터 이상 1천밀리미터 이하, 결합된 형태시 1,200밀리미터 이하, 제동등과의 발광면간 설치거리가 100밀리미터를 초과
	번호등	필수	–	백	–
	후미등	필수	2개	적	최외측으로부터 400밀리미터 이내, 발광면간 설치거리는 600밀리미터 이상, 지상 350밀리미터 이상 1,500밀리미터 이내
	제동등	필수	2개	적	발광면간 설치거리는 600밀리미터 이상, 지상 350밀리미터 이상 1,500밀리미터 이내
	보조제동등	선택	1개 또는 2개	적	–
	후퇴등	필수	2개 이하, 측면 좌우 1개 또는 2개 설치가능	백	높이 지상 250밀리미터 이상 1,200밀리미터 이내
	뒷면 방향지시등	필수	2개	호박	자동차 최외측으로부터 400밀리미터 이내, 발광면간 설치거리는 600밀리미터 이상, 높이 500밀리미터 이상 1,500밀리미터 이내
	반사기 (뒷면)	필수 (7.5톤이상)	2개	적	외측 끝단은 자동차 최외측으로부터 400밀리미터 이내, 조명면간 설치거리는 600밀리미터 이상, 지상 250밀리미터 이상 900밀리미터 이내
	비상점멸 표시등	필수	–	황색, 호박색	

<표 계속>

구분		장착조건	개수	색상	설치기준
옆면	측면보조 방향지시등	필수 (길이 6미터 초과시)	2개	호박	높이 350밀리미터 이상 1,500밀리미터 이내
	옆면표시등	필수 (길이 6미터 이상)	–	호박 (가장 뒷부분은 호박 또는 적색)	지상 250밀리미터 이상 1,500밀리미터 이내, 자동차 길이방향으로 3등분하여 중앙부에 설치하고, 자동차의 가장 앞에서 3,000밀리미터 이내에 설치, 2개 등화간 거리는 3000밀리미터 이내, 가장 뒷부분에서 1,000밀리미터 이내에 설치
기타	끝단표시등	필수 (너비 210이상)	앞면 2~4개 뒷면 2~4개	앞면 백, 뒷면 적	끝단표시등의 발광면 외측 끝단은 자동차 최외측으로부터 400밀리미터 이내, 발광면 최상단은 앞면창유리 투명한 구역의 최상단보다 높게
	바닥조명등	선택	–	백색	–



<그림 3.90> 실외 등구류 위치 (앞)

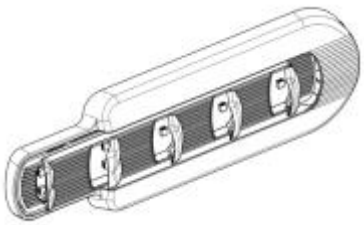
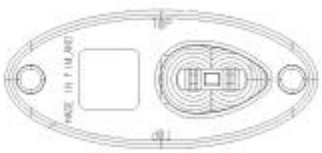
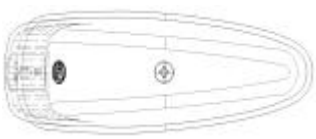


<그림 3.91> 실외 등구류 위치 (뒤)

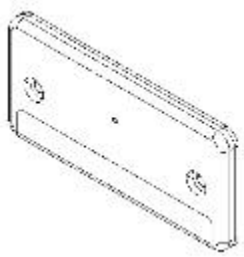
<표 3.28> 바이모달 트램 실외 등구류 기본 사양

등구류	기본 사양
	– 바이모달 트램 상향등 · 사용 전압: 24V · 소비전력 20W · 무게: 0.512kg
	– 바이모달 트램 하향등 · 사용 전압: 24V · 소비전력 35W · 무게: 1.17kg
	– DRL, PO, Indicator lamp, · Auxiliary indicator, · REAR INDICATOR (1개의 등에 3개 기능 포함) · 사용 전압: 24V · 소비전력 43W · 무게: 0.285kg

<표 계속>

등구류	기본 사양
	– 보조 방향 지시등 · 사용 전압: 24V · 소비전력 3.5W
	– 후면 방향지시등 · 사용 전압: 24V · 소비전력 3W · 무게: 0.24kg
	– 안개등 · 사용 전압: 24V · 소비전력 12W · 무게: 0.521kg
	– 옆면표시등 · 사용 전압: 24V · 소비전력 1W · 무게: 0.0365kg
	– 끝단표시등 · FRONT POSITION LAMP: · 사용 전압: 24V · 소비전력 5W · 무게: 0.078kg · REAR POSITION LAMP: · 사용 전압: 24V · 소비전력 5W · 무게: 0.081kg

<표 계속>

등구류	기본 사양
	– Rear Indicator, Tail 램프/Stop, Reverse 램프 · TAIL/STOP LAMP: · 사용 전압: 24V · 소비전력 3W · 무게: 0.24kg · REVERSE LAMP: · 사용 전압: 24V · 소비전력 2W · 무게: 0.24kg
	– 번호등 · 사용 전압: 24V · 소비전력 0.5W · 무게: 0.143kg
	– Reflector · 무게: 0.021kg

(나) 전면행선표시

차량의 전면에 행선지를 표시하기 위한 LED표시기가 장착되어 있다. 전동차의 실내에 적용되는 SMD 타입의 LED가 적용되어 컬러 지속성이 좋고 시야각이 DIP타입 LED 디스플레이에 비해 월등하다. 색 조합기술이 뛰어나 높은 해상도 구현이 가능하다.



<그림 3.92> 전면 행선표시기

(다) 휠체어 램프

Body-1의 첫 번째 출입문 하단에 교통약자인 장애우가 차량에 탑승이 용이하도록 휠체어 램프를 설치하였다. 휠체어 램프 스위치를 누르면 첫 번째 도어 아래쪽에서 휠체어 경사판이 나온다. 휠체어 경사판은 정차된 상태에서 도어가 열린 후 사용할 수 있다. 버튼을 한번 더 누르면 휠체어 경사판이 들어가도록 되어있다.



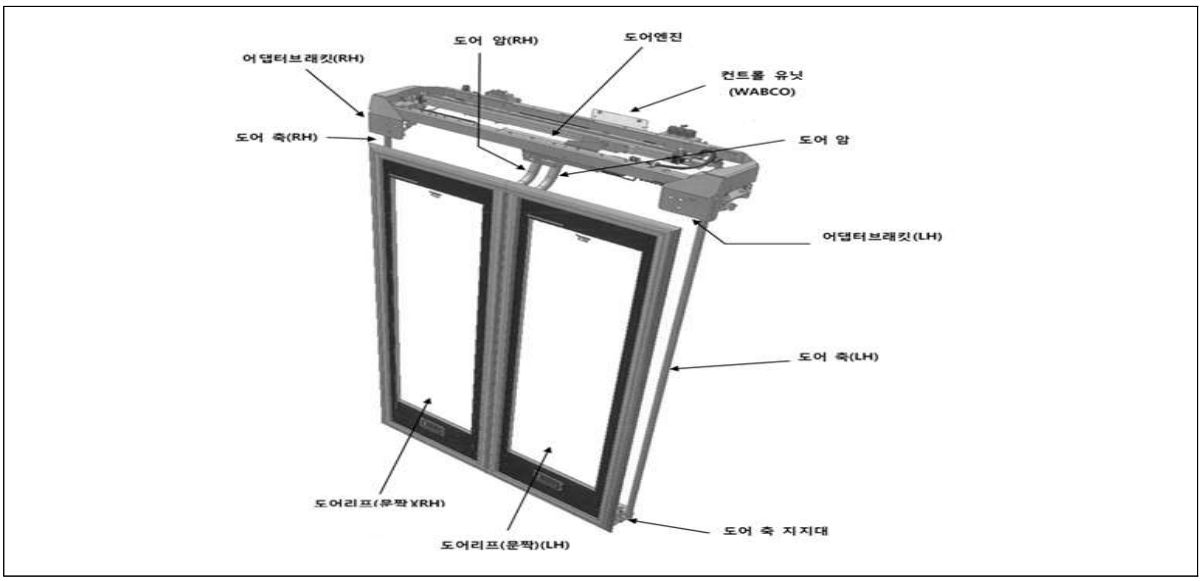
<그림 3.93> 휠체어 램프

(라) 출입문

실용화 차량에 장착된 도어시스템은 플러그인 도어 시스템을 적용하였고, 차량당 3개씩 장착되어 있으며 운전자가 운전석에 앉아서 도어의 개폐를 작동시킬 수 있도록 개폐 스위치가 설치되어 있다. 또한 도어 장치에는 승객의 안전을 위한 장애물감지 및 비상상황에서의 수동 개폐장치 등을 포함하고 있어 차량운행 중 안전사고를 방지할 수 있다.

① 주요 구성품

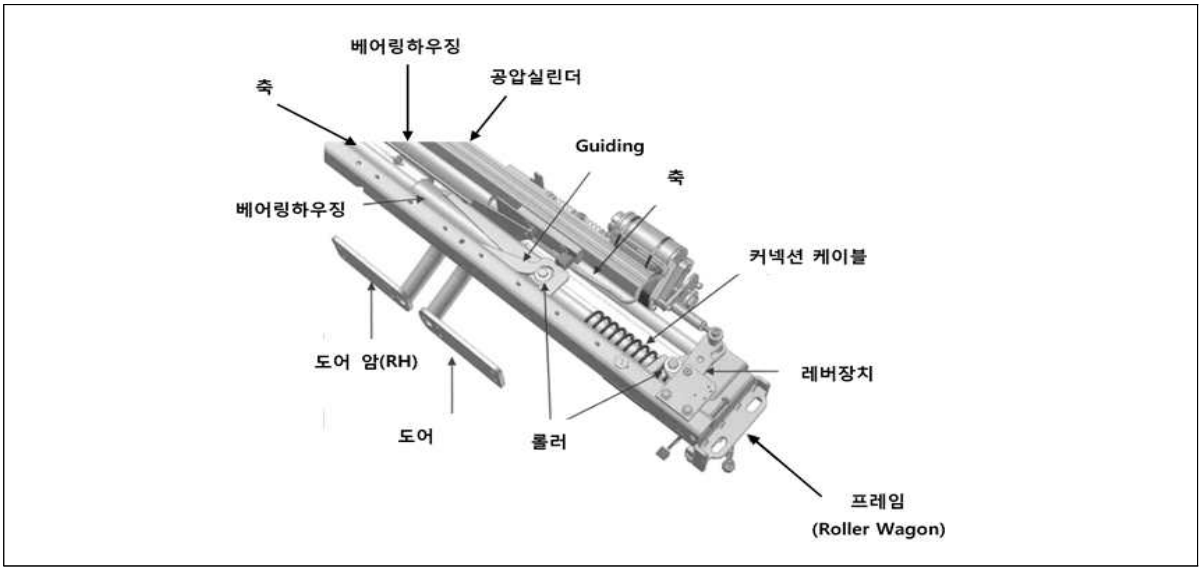
실용화 차량의 도어시스템은 DC Motor를 이용한 구동방식으로 Plug in sliding type이다. 도어시스템은 Door 구동장치인 Door Engine부, 도어 판넬부로 나누어진다. Door Engine부는 구동장치, 잠금장치, 전기장치로 구성되어 있으며 Panel부는 Leaf와 창문유리, 밀봉(Sealing)용 액세서리로 구성된다.



<그림 3.94> 출입문 주요 구성품

② 작동 시스템 요약

Plug Sliding Door는 하나의 드라이빙 기어에 의해 작동된다. 도어시스템은 오른쪽 도어리프(문짝) 위쪽에 장착된 압축공기실린더에 의해 작동된다. 각 도어리프(문짝)는 축을 따라 움직이는 베어링하우징에 의해 받쳐진다. 도어리프(문짝)(LH)와 도어리프(문짝)(RH)는 커넥션 케이블에 의해 동시에 움직이며 각 도어리프(문짝)는 축을 따라 움직이는 베어링 하우징에 의해 받쳐지며 도어리프(문짝)는 도어 암에 의해 베어링 하우징과 결합된다. 축, 베어링 하우징 그리고 커넥션 케이블은 롤러가 달린 프레임 위에 장착되어 있으며 이 프레임을 ROLLER WAGON 이라고 부른다. 베어링 하우징(RH) 위의 롤러가 곡선구조의 Guiding과 맞닿으면 도어엔진 좌, 우측에 있는 레버장치가 작동하여 문을 안쪽으로 당겨준다.



<그림 3.95> 도어 엔진 구성품

③ 비상핸들

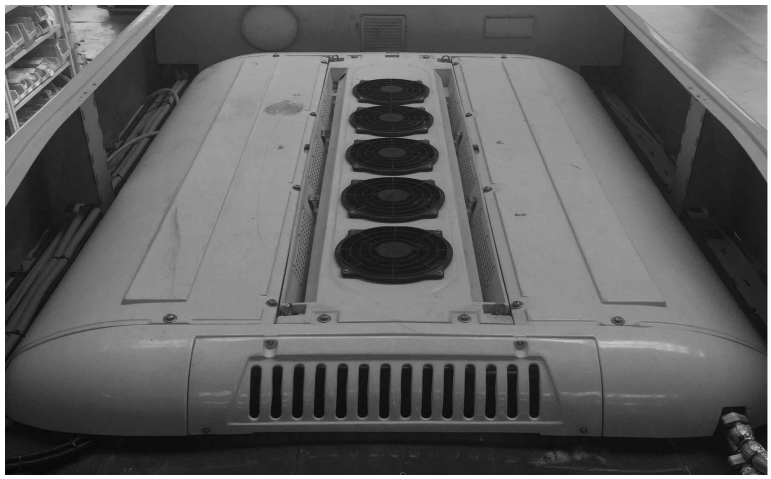
비상핸들은 승객이 비상 시 차량에서 탈출할 수 있는 장치로 도어시스템에 전원이 있는 경우와 없는 경우 어떠한 상황에서도 동작이 가능하다. 비상핸들을 동작시키면 Door Engine의 기계적인 잠김이 해제되어 도어를 수동으로 열고 탈출이 가능하다.



<그림 3.96> 도어 비상 핸들

(마) 냉방장치

실용화 차량의 냉방장치는 Body-1 : 28,000kcal/h, Body-2 : 25,000kcal/h 으로 총 53,000 Kcal/hr의 냉방용량을 가진다.



<그림 3.97> 냉방장치

① 기본 사양

냉방 장치의 기본 사양은 다음 표와 같다.

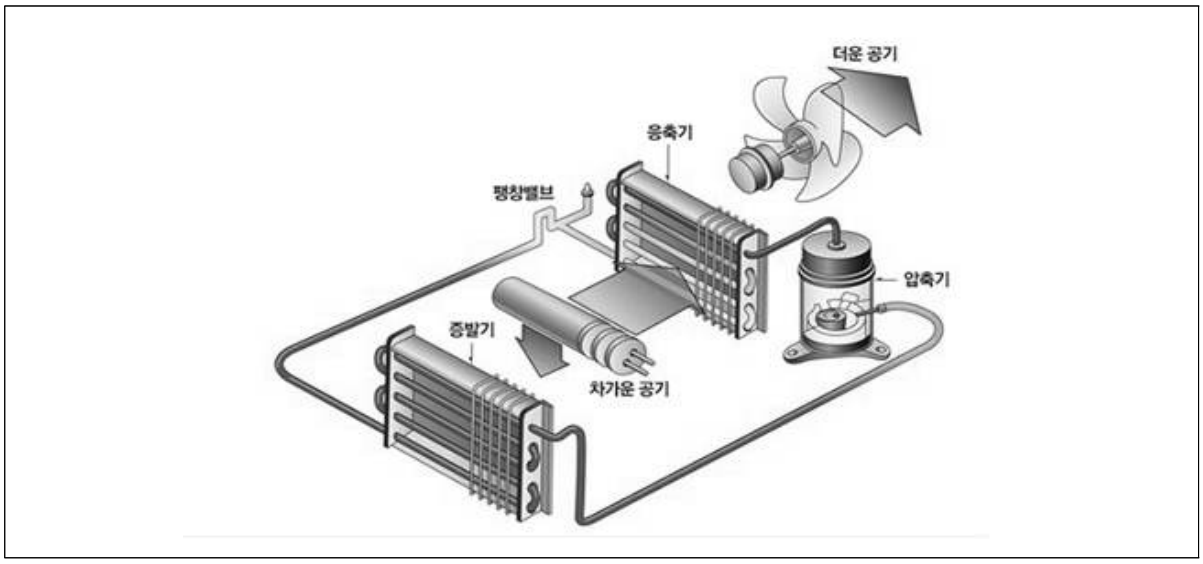
<표 3.29> 기본사양

구분		내용
설계 조건	실내	건구온도 26도, 상대습도 60%
	실외	건구온도 35도, 상대습도 65%
냉방 용량	냉방 용량	Body-1 : 28,000 kcal/hr per a unit
		Body-2 : 25,000 kcal/hr per a unit
		Total : 53,000 kcal/hr per a unit
전원 사양		DC 24V ±5%
사용 냉매		R-134a
중량		약 225kg±2, per a unit
사이즈		2971 x 1970 x 233mm

② 구성

시스템은 Body-1과 Body-2의 루프 상부에 28,000Kcal, 25,000Kcal의 일체형 냉방장치가 설치되어 있으며 별도로 설치된 압축기가 구동되어 냉매를 순환시키는 구조로 구성된다.

냉매를 충전한 후 냉방장치를 가동하면 증발기 출구측의 저온, 저압의 기체 냉매는 압축기를 거치면서 고온, 고압의 기체 냉매로 된다. 이 냉매는 배관을 따라 응축기(Condenser)로 보내져 고온, 고압의 액체 냉매로 응축된다. 이때, 냉매는 응축기를 거치면서 강제적으로 송풍된 바람에 의하여 뜨거운 응축 잠열을 외부로 배출한다. 응축기를 나온 냉매는 건조기(Filter Dryer)를 거치면서 액체냉매 중의 불순물이나 이물질을 걸러 팽창밸브(Expansion Valve)에 보내진다. 팽창밸브는 단열팽창을 통해 상온, 고압의 액체냉매가 저온, 저압의 액체냉매로 되도록 하여, 냉매를 증발하기 쉬운 상태로 증발기(Evaporator)에 보낸다. 증발기는 팽창밸브로부터 나온 저온, 저압의 액체냉매가 저온, 저압의 기체로 증발하면서 주위의 공기로부터 열을 흡수함으로써 주위 공기를 냉각시킨다. 냉매가스 액분리기(Accumulator)를 거치면서 액체상태의 냉매를 분리하여 압축기내로 액체 냉매가 들어가는 것을 방지한다. 이렇게 하여 냉방장치의 한 사이클이 구성된다. 이때, 압축기의 흡입과 토출 배관사이에 고압, 저압 스위치를 설치하여 압축기에 이상 현상이 나타날 때 시스템이 정지하도록 하여 냉방장치를 보호하는 기능을 한다.



<그림 3.98> 냉방장치 동작 구조

③ 주요 부품

주요 부품으로는 압축기, 응축기 코일, 응축기 팬, 응축기 모터, 증발기 코일, 증발기 팬, 증발기 모터가 있으며 각각에 대한 설명은 다음과 같다.

- 압축기(Compressor) : 압축기(Compressor)는 일체형 냉방장치에 각각 1개씩 설치되어 있으며 방진구조로 설계되어 있음. 별도로 설치된 전기모터를 사용하여 압축기를 구동시켜 냉방장치가 구동되도록 설계되어 있음
- 응축기 코일(Condenser Coil) : 응축기 코일은 고온, 고압의 냉매를 상온, 고압의 냉매로 열 교환하는 부품임
- 응축기 팬(Condenser Fan) : 외부공기를 응축기 코일에 공급하여 응축시키는 전용 팬임
- 응축기 모터(Condenser Motor) : 응축기 모터는 DC 24V 전원의 전동기로 응축기 코일(Condenser Coil) 내의 냉매를 냉각시키기 위해 사용됨
- 증발기 코일(Evaporator Coil) : 팽창밸브를 통과한 저온 저압의 냉매액이 증발기 코일에서 증발하면 주변의 열을 빼앗아오는 역할을 수행함
- 증발기 팬(Evaporator Fan) : 증발기 팬(Evaporator Fan)은 실내송풍량을 조절하도록 하여 각각의 차량에서 요구된 공기량을 토출 할 수 있도록 함
- 증발기 모터(Evaporator Motor) : 증발기 모터는 DC 24V 전원의 전동기로 실내로 냉각된 공기를 토출 할 수 있도록 증발기 팬과 함께 장착됨

④ 냉방장치 제어

실용화 차량의 냉방장치 컨트롤러는 운전석 우측에 설치되어 있으며, 주요기능은 온도조절 스위치를 통해 실내온도를 조절할 수 있도록 되어 있어 쾌적한 실내 환경을 유지시키는 기능이다.

(3) 실내 부품 적용 및 제작

실용화 차량의 실내 디자인은 상부는 알루미늄 내장재를 사용하여 내구성을 높이고, LED 등구류를 사용하여 더욱 밝고 효율을 높였다. 교통약자를 위한 편의시설을 사용하고 승객 이동의 편의성까지 고려하여 좌석을 배치하였다.



<그림 3.99> 차량 실내

(가) 실내 천정조명

실용화 차량의 천정조명은 중앙 통로 측에 일반 형광등보다 밝고 효율적인 원형 LED 램프를 일렬 배치하였다.



<그림 3.100> 바이모달 트램 실내 등구류

기구는 차체에 직접 취부되고 유지보수를 위해 부품 단위로 교환이 가능할 수 있는 구조로서 진동에 의하여 LED램프의 탈락 및 소등 등 사용상 지장이 없어야 한다. 몸체는 금속 재료로 구성되어야 하고 금속부에는 쉽게 부식 또는 녹이 슬지 않도록 도장을 하여야 한다. 또한 충분한 내진동성으로 차량의 진동에 견딜 수 있는 재료로 구성된 제품을 사용한다.

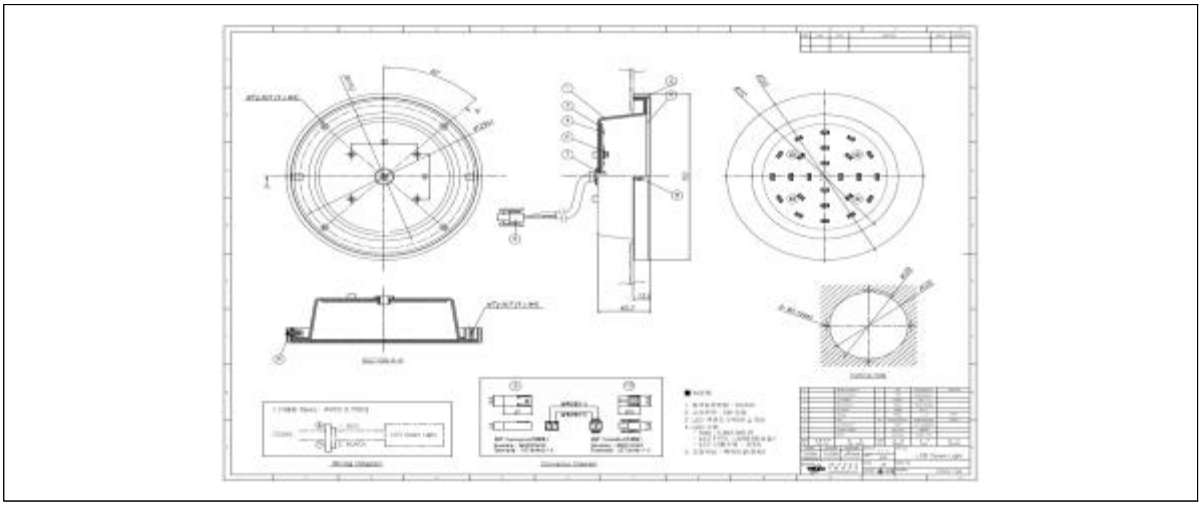
바이모달 트램에는 24V의 전압을 필요로 하는 LED 다운 라이트를 사용하였다. LED 다운 라이트는 형광등보다 더 밝고 전력 소모가 적어 더욱 효율적이다.

<표 3.30> 실내 등구류 제품 사양

구분	정격 전압	소비 전력	조도	LED 수량	색온도	도장색상
LED Down Light	DC26V	5W이하	300lx 이상	32EA	5700K ±355	백색반광 (분체)

<표 3.31> 실내 등구류 수량 및 규격

No	부품명	수량	재료	규격	비고
1	BODY	1	Aluminum	A1050, t=2.0	
2	COVER FRAME	1	Aluminum	A6063S	
3	LED MODULE	1	ASS'Y	24 LEDs(8S3P)	
4	LED	36	Semiconductor	LM561B(5700K)	삼성전자
5	Diffuser	1	PMMA	t=1.6	유백색
6	PH SCREW	4	MSWR	M3*8	
7	Wire Bushing	1	Silicon	∅6/4t(경도60)	
8	FH SCREW	2	STS304	M3*10	
9	Plug Connector	1	PBT	MG610224(KET)	

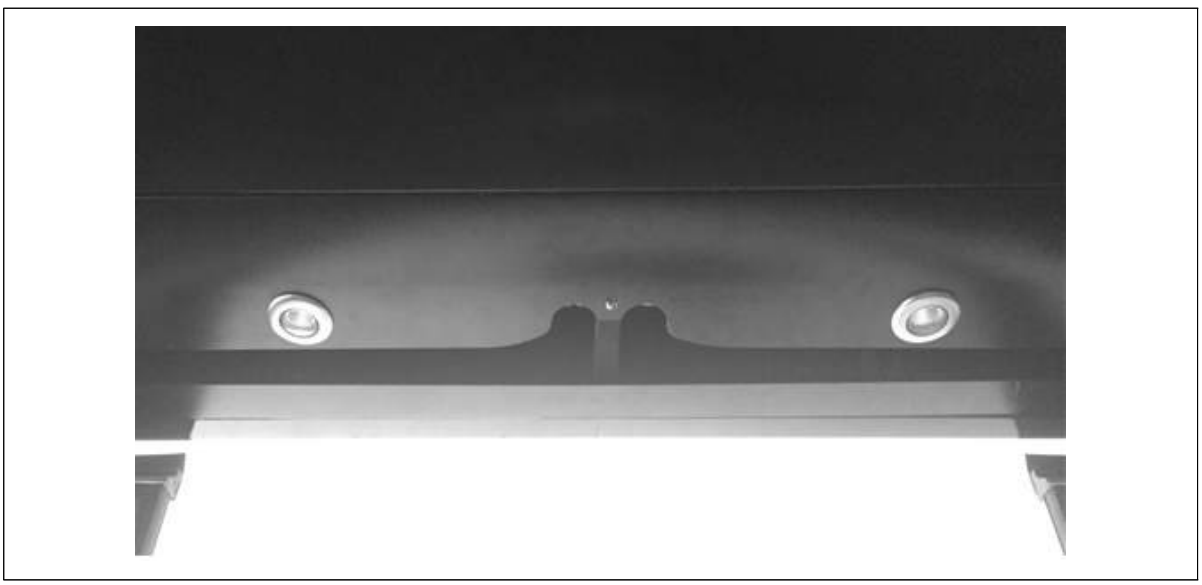


<그림 3.101> 실내 등구류 도면

소비전력은 5W이하이며, LED색온도는 약 5700K가 된다. 운전석 및 Body-1에는 20개, Body-2에는 16개로 총 36개의 LED 다운라이트를 사용하였다.

(나) 출입구 조명

도어에는 주황색 계열의 LED등을 사용하였다. 도어를 통해 승객이 승하차시에 도움을 줄 수 있도록 설치되었다. 출입문 상부측 점검 판넬에 조명을 설치하여 출입구 측 조도를 높임으로써 승객이 차량에 타고 내릴 때 불편함이 없도록 하였다.



<그림 3.102> 출입구 조명

크기는 75pi이며, 소비전력은 2W가 된다. 각 도어당 2개씩 사용하여 3개의 도어에 설치되었으며, 총 6개의 도어 등구류가 사용되었다.

(다) 승객 의자

안전과 안락함을 겸비한 실용적이고 심플하면서 모던한 인테리어의 경량의자를 적용하였고 안정감을 위한 바닥에 수직으로 결합되는 형식으로 취부 구조를 적용하였다. 차량 후단에는 라운드 시트를 설치하여 다른 차량과는 다른 특별한 의자 배치를 구성하였다.



<그림 3.103> 승객 의자

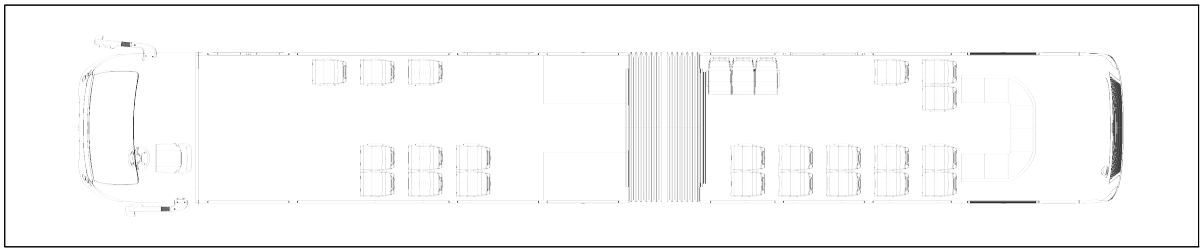
(라) 라운드 시트

차량 후미 맨 뒷열에 3인이 둘러 앉을 수 있는 라운드 시트를 적용하여 기존의 차량과 다른 외형의 좌석을 설치하여 차량의 특별함을 더 했다. 라운드 시트는 차량 FRP 재질로 차량의 내부 디자인과 조화되도록 설계되었다.



<그림 3.104> 라운드 시트

실용화 차량의 좌석 배치는 아래와 같이 배치하였으며 차량 후미측에 3인이 앉을 수 있는 라운드 시트를 적용하였다.



<그림 3.105> 좌석 배치도(28석)

(마) Stanchion Pole

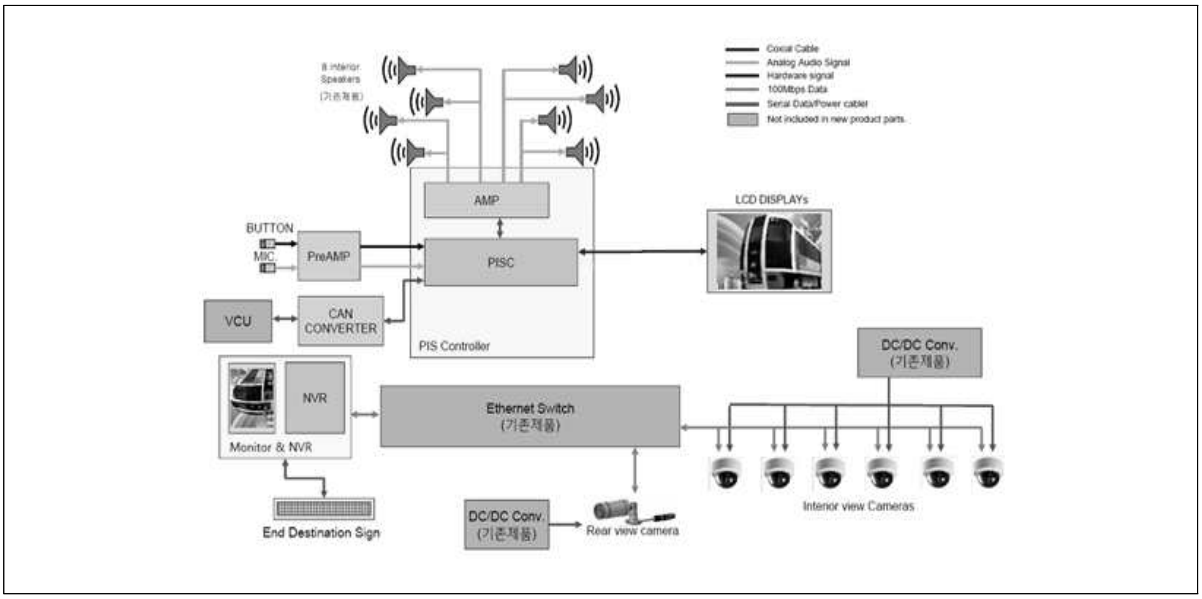
실용화 차량의 Stanchion Pole은 노약자를 포함하여 모든 승객이 잡기 쉬운 구조의 원형 파이프 형태로 스테인리스 광택 구조 Stanchion Pole을 설치하였다.



<그림 3.106> Stanchion Pole

(바) 방송장치

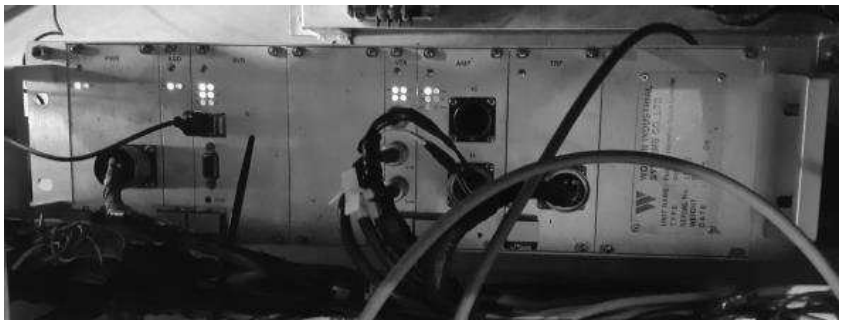
바이모달 트램에 승객을 위한 편의장치 및 안전을 위해 모니터와 승강장 표시 장치, CCTV를 장착하였다. 또한 마이크와 프리앰프 및 스피커를 함께 장착하여 운전자가 필요시 승객들에게 방송을 할 수 있도록 하였다. 바이모달 트램 실용화 차량에 적용된 시스템의 구성은 아래 그림과 같다.



<그림 3.107> 방송장치 개념도

바이모달 트램 실용화 차량에 적용된 방송/표시기/CCTV장치는 기존 전동차에 사용되는 시스템이다. 기존 전동차에 사용되는 시스템은 대승객방송, 자동안내방송, 이번역과 다음역의 행선지 정보, 객실과 사령의 비상연락 등이 주기능이며, 도로 외에 바이모달 트램이 운행할 경우에도 적용이 가능하도록 설계되었다. 다만, 도로를 운행하는 바이모달 트램에 적합하도록 탑승한 승객에게 라디오 수신 등의 서비스를 제공하고 승강장에 대기중인 사람들에게는 버스의 노선정보를 정확하게 전달하며 운전자와 탑승객들이 안전하게 이동할 수 있도록 CCTV서비스를 제공하도록 하였다. 바이모달 트램에 사용된 장치별 용도는 다음과 같다.

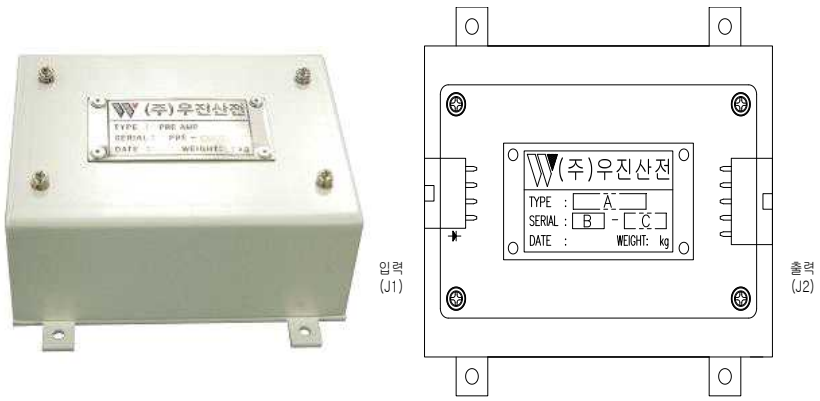
○ Passenger Information System Controller(PISC : 방송/표시 종합제어기)
- 음성출력과 영상출력이 가능한 종합제어기로 AMP BOARD는 음성출력, VTX BOARD는 영상출력을 담당함
- STB PWR BOARD는 24VDC전원을 정전원으로 공급하고 SSD BOARD에 운영체제로 WINDOWS가 설치되어 LCD모니터를 통해 동영상과 음성출력 가능



<그림 3.108> PISC 설치사진

○ PRE AMP(프리앰프)

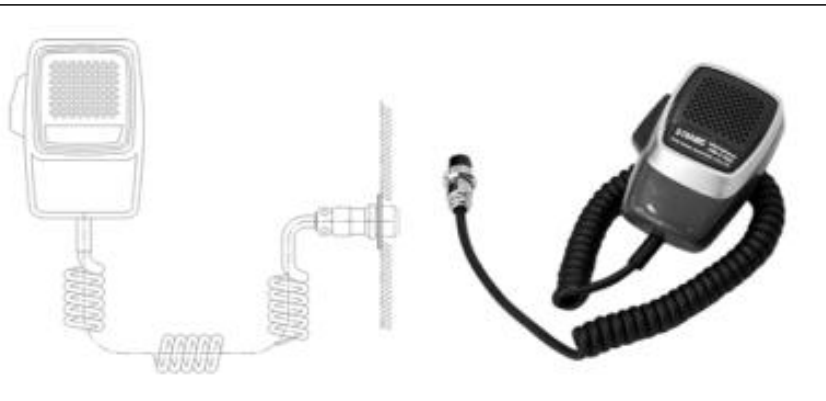
- 객실의 승객방송을 위한 운전자의 수동방송신호를 증폭하여 종합제어기에 전달하는 장치로서 마이크신호를 증폭하는 프리앰프 및 출력 매칭 트랜스로 구성



<그림 3.109> 프리앰프

○ Microphone(마이크)

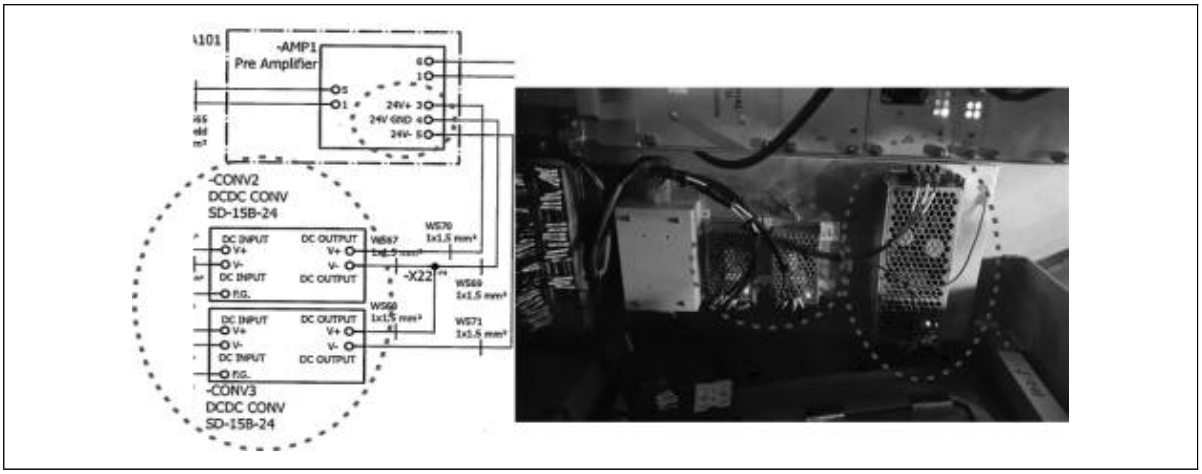
- 4핀 커넥터 결선방식으로 프리앰프와 연결됨



<그림 3.110> 마이크

○ DC/DC CONVERTER

- 프리앰프에 DC24V+, DC24V- 전원 입력을 위한 DC/DC CONVERTER 2대와 종합제어기의 DC24V 정전원 입력을 위한 DC/DC CONVERTER 1대가 사용됨



<그림 3.111> DC/DC 컨버터

○ LCD DISPLAY(실내 LCD표시기)

- 실내 LCD표시기는 종합제어기를 통해 저장된 광고 목적의 동영상이나 정지영상 등을 표출하는 장치임
- 전동차의 경우 TCMS(Train Control Management System)에서 출력하는 신호에 따라 노선정보, 역정보, 광고 등을 현시하며 바이모달 트램 실용화차량에서는 우진산전의 홍보영상이 재생됨



<그림 3.112> 실내 LCD 표시기

○ CCTV모니터

- CCTV모니터, 실내 CCTV카메라, 후방 CCTV카메라가 ETHERNET HUB를 통하여 연결되어 있으며 운전대에 설치된 CCTV모니터에 각 CCTV카메라의 영상이 분할되어 표출되고, 저장기능(NVR)은 제공하지 않음



<그림 3.113> CCTV 모니터

○ CCTV카메라

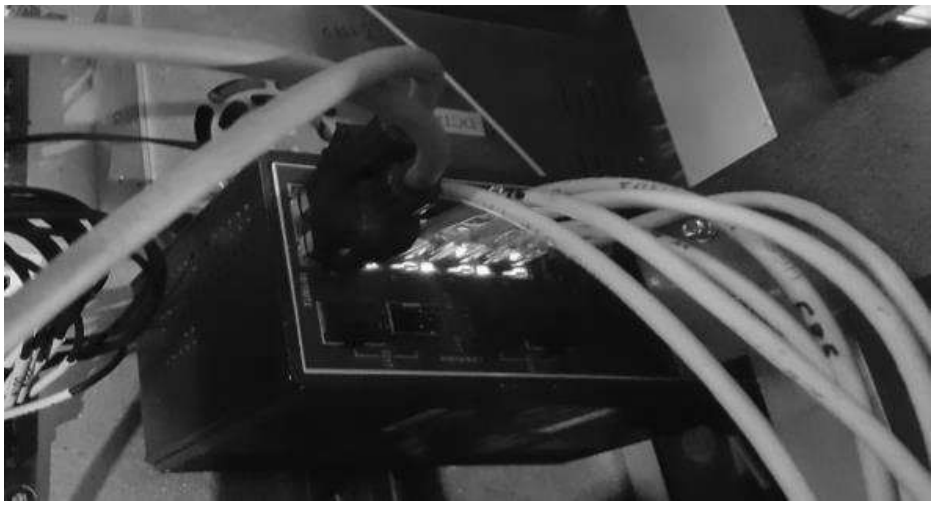
- 차량의 전방을 비추는 전방카메라 1대, 각 출입문과 실내를 비추는 실내카메라 5대, 후진시 후방을 비추는 후방카메라 1대로 총 7대의 CCTV카메라가 설치됨
- IP카메라로서 입력전원은 DC 12V로서 별도의 DC/DC CONVERTER가 필요



<그림 3.114> CCTV 카메라

○ ETHERNET HUB(이더넷허브)

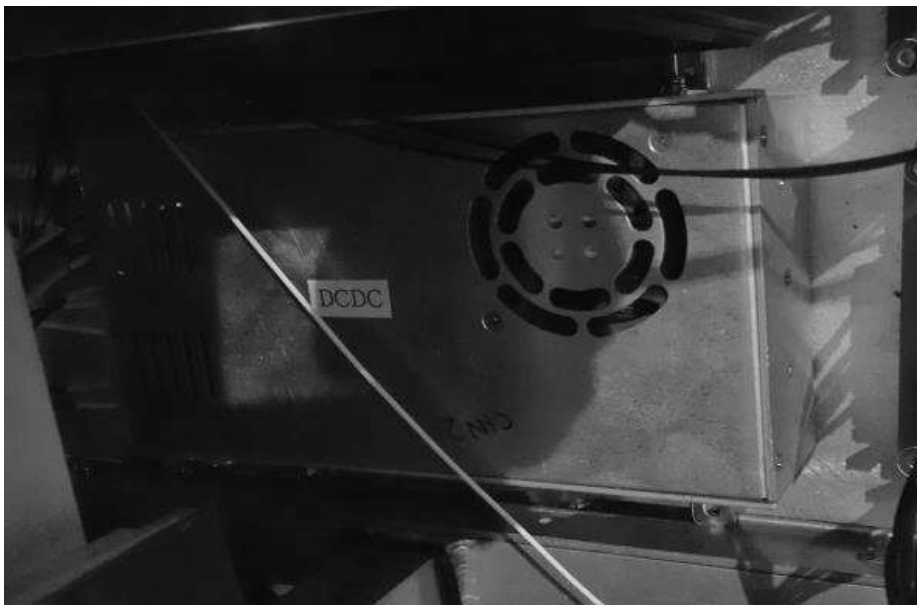
- CCTV모니터와 CCTV카메라를 연결하기 위한 이더넷허브가 각 개소에 총 3대가 설치되며 이더넷허브를 통해 모든 카메라가 고유 IP를 가짐으로써 연결됨
- 이더넷허브의 여유 PORT에 컴퓨터를 연결하면 CCTV카메라의 설정이 가능하고 영상을 확인할 수 있음



<그림 3.115> 이더넷 허브

○ CCTV용 DC/DC CONVERTER

- CCTV 카메라와 CCTV 모니터를 위한 DC24V 입력, DC12V 출력 DC/DC CONVERTER가 각 개소에 총 3대가 설치됨



<그림 3.116> CCTV용 DC/DC CONVERTER

현재 바이모달 트램에 장착된 방송 표시기 관련 장치 요약표는 다음과 같다.

<표 3.32>방송장치 구성 표

NO.	제품명	설명	수량
1	Monitor and NVR Ass'y	CCTV Monitor	1
2	Pre-amp Ass'y	Pre Amplifier	1
3	Front sign Ass'y	Front destination sign	1
4	Passenger Information System Controller Ass'y	Passenger Information System Controller (PISC)	1
5	Passenger Information Display Ass'y	LCD Display	1
6	Interior Camera Ass'y	Saloon camera(SCAM)	6
7	Rear Camera Ass'y	Rear camera(RCAM)	1
8	Microphone Ass'y	Microphone	1

(사) 룸히터

Body-1과 Body-2의 의자 하부에 총 3개의 룸히터를 설치하여 겨울철에 실내 온도 저하에 대비하였으며 설치된 히터 외관에 히터 커버로 마무리하여 실내 미려도를 높혔다.



<그림 3.117> 룸히터

(아) 비상망치

차량의 긴급 상황 발생 시 측면 창을 부수고 승객이 탈출이 가능하도록 실내에 비상 망치를 설치하였다.



<그림 3.118> 비상망치

(자) 소화기

실내에 화재 발생 시 신속한 진화가 가능하도록 소화기를 설치하여 차량에 화재가 발생할 경우 사용할 수 있도록 하였다.



<그림 3.119> 소화기

(차) 굴절부 통로

기존 1량의 버스와는 다르게 바이모달 트램 실용화 차량은 2량의 운행되는 차량으로 Body-1과 Body-2로 이동이 가능하도록 중앙 굴절부에 통로를 설치하여 승객이 앞뒤로 이동이 가능하도록 하였다.



<그림 3.120> 굴절부 통로

(카) 측면창

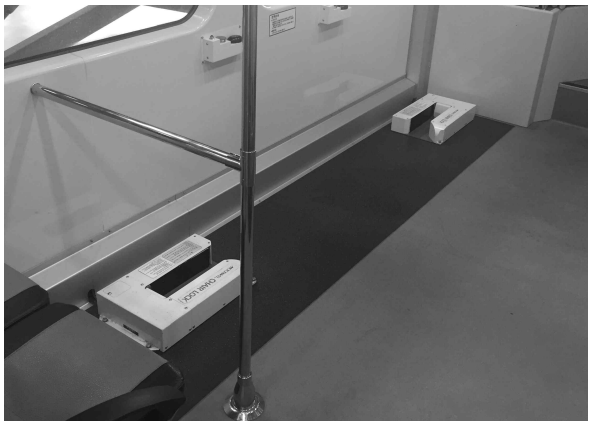
차량 측면에 대형 측창을 설치하여 실내 개방감을 높여 승객이 바이모달 트램 실용화 차량에 탑승 시 개방성을 느낄 수 있게 하였다.



<그림 3.121> 측면 창

(타) 휠체어 램프

차량 탑승 후 안전하게 이동할 수 있도록 휠체어락 장치도 2개 설치되어 있어 교통약자가 차량을 편리하게 이용할 수 있도록 배려하였다.



<그림 3.122> 휠체어 락

해당 제품은 여러 가지 휠체어에 대응 가능하여 휠체어 차륜폭 100mm(타이어+핸드림)이하의 휠체어에 대응 가능하다. 고정·개방은 스위치 버튼으로 간단하게 조작 가능하다. 즉, 휠체어는 스위치 버튼으로 고정·개방 가능하며 만일의 고장 시 수동조작으로 해제 가능하다. 차륜림에 핀이 걸리는 구조로 차륜을 확실히 고정 되고, 휠체어가 비스듬히 진입해도 고정가능하다.

(4) 운전석 제작

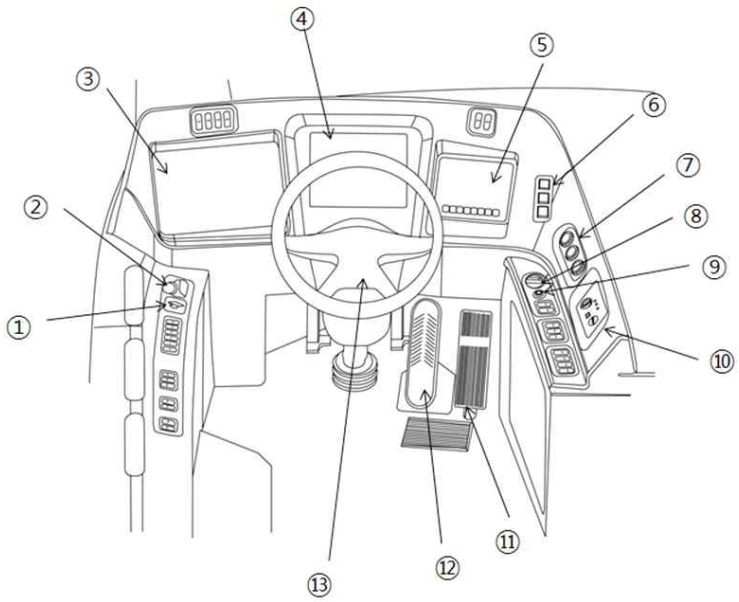
운전자가 스위치 조작이 용이하도록 운전석 좌측 및 우측 전방에 배치하였으며, 중앙에는 차량 정보 및 운행 상황을 알 수 있는 모니터가 설치되었다.



<그림 3.123> 운전석

바이모달 트램에는 다양한 스위치가 사용되었으며, 각 스위치의 기능은 다음과 같다.

<표 3.33> 운전석 스위치 설명표



(1) 회생제동 스위치	(2) 주차 브레이크
(3) CCTV 모니터	(4) 클러스터 I (메인 클러스터)
(5) 클러스터 II (고장 및 상태 표시창)	(6) DNR스위치
(7) 히터 스위치	(8) 라이트 스위치
(9) 미러 조정 스위치	(10) 에어컨 스위치
(11) 가속 페달	(12) 브레이크 페달
(13) 스티어링 휠	

(가) 회생제동 스위치

회생제동을 위한 스위치로써, 차량이 내리막길 주행 시에만 주로 사용된다. 이 스위치를 사용하면 차량에 설치되어있는 견인전동기를 발전기로서 작동시켜 운동에너지를 전기 에너지로 변환해 회생하여 제동력을 발휘하는 전기 제동방법이며, 이로 인하여 발전된 전기에너지는 추진배터리로 충전이 되도록 하였다.

(나) 주차 브레이크

바이모달 트램의 주차 브레이크는 운전석의 왼쪽에 위치하며, 주차 시에는 차를 완전히 정차시켜 레버를 딸깍 소리가 날 때까지 안쪽으로 잡아당기도록 한다. 주차 브레이크를 풀어 주행하고자 할 때는 고정 레버를 위로 살짝 들어 올린 후 앞으로 밀어 해제할 수 있도록 되어 있다.

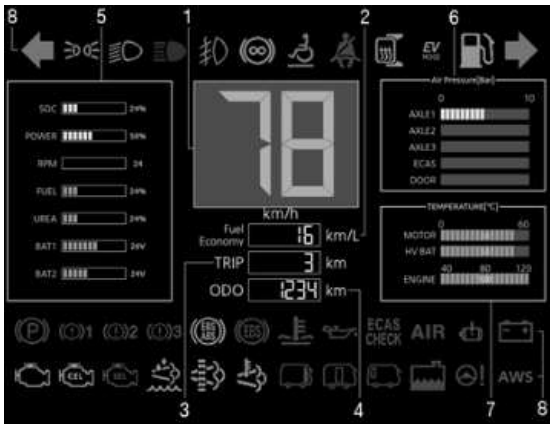
(다) CCTV 모니터

실내 CCTV및 후방 카메라를 모니터를 통해 확인할 수 있도록 운전석 앞쪽에 배치되었다. 모니터를 통하여 승객이 안전하게 승하차를 위한 목적과 후방카메라를 통하여 안전하게 후진할 수 있도록 설치하였다.

(라) 클러스터 I (메인 클러스터)

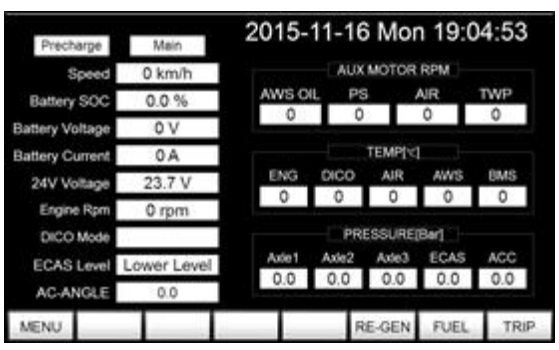
메인 클러스터는 차량의 필수적인 정보를 운전자가 바로 확인할 수 있도록 운전석 앞쪽 중앙에 배치된 화면이다. 속도 및 연비등과 같은 운전 정보와, 차량의 보조 시스템에 필요한 압축공기 압력계 및 냉각수 온도 등을 표시하였다. 또한 차량의 상태 및 경고를 확인할 수 있는 경고등과 표시등을 표시할 수 있도록 설계되었다.

<표 3.34> 클러스터I 설명표

	1. 속도계 2. 연비계 3. 구간거리계 4. 적산거리계 5. 상태표시창 6. 압축 공기 압력계 7. 냉각수 온도계 8. 경고등 및 표시등

(마) 클러스터 II (고장 및 상태 표시창)

보조계기판에서는 바이모달 트램에 장착된 전장품들의 세부적인 상태를 확인하기 위해 장착하였다. 메인화면에서 MENU버튼을 누르면 장치 선택화면으로 넘어가며, 이 화면에서는 각 장치별 상세정보를 확인할 수 있다.



<그림 3.124> 클러스터II (기본화면)

① Speed : 차량의 속도

② Battery SOC : 추진 배터리 상태

③ Battery Voltage : 추진 배터리 전압

④ Battery Current : 추진 배터리 전류

⑤ 24V Voltage : 제어용 베터리 전압

⑥ Engine RPM : 엔진 RPM

⑦ DICO Mode : DICO 모드

⑧ ECAS Level : ECAS 높이 설정 상태

⑨ AC angle : 굴절부 각도값

⑩ AUX MOTOR RPM : 보조 모터 RPM
- AWS OIL : AWS 모터
- PS : 파워 스티어링 모터
- AIR : 에어 펌프 모터
- TWP : 냉각수 펌프 모터

⑪ TEMP : 각 장치 온도 상태
- ENG : 엔진
- DICO : DICO 컨트롤 유닛
- AIR : 에어 컴프레셔 모터
- AWS : AWS모터
- BMS : 추진 배터리

⑫ PRESSURE : 각 장치 압력 상태
- Axle1 : 1축 브레이크
- Axle2 : 2축 브레이크
- Axle3 : 3축 브레이크
- ECAS : ECAS 압력
- ACC : 보조 시스템 압력(에어 압력)

(바) DNR스위치

DNR스위치는 차량을 전진/중립/후진 조작을 위하여 사용하였다.

① 전진 스위치(DRIVE SWITCH)

전진 스위치는 DNR스위치에서 “D”에 해당된다. 이 스위치가 “ON’ 상태가 되면 전진 스위치에서 램프가 켜지고 가속 페달을 누르고 있을 때 차량은 앞으로 전진한다.

② 중립 스위치(NETURAL SWITCH)

중립 스위치는 DNR스위치에서 “N”에 해당된다. 스위치는 주/정차 시에 사용 되는 스위치이다.

③ 후진 스위치(REVERSE SWITCH)

후진 스위치는 DNR스위치에서 “R”에 해당된다. “R” 후진 스위치가 선택되면 스위치에서 후진 램프가 켜지고 가속 페달을 누르고 있을 때 차량은 후진한다.

(사) 히터 스위치

차량에 설치가 되어있는 히터 컨트롤 스위치는 총 세 가지 모드이다. 히터 스위치는 개별로 히터를 동작시키는 스위치로서 전체동작 및 개별 동작 제어가 가능하며, 속도조절이 가능 하다.

(아) 실외등 스위치

실외등을 조작하기 위한 스위치로써, 회전할 때마다 순차적으로 실외등이 점등된다.

① 반 시계방향으로 한번 회전
- 미등, 차폭등, 차고등, 번호판등 점등

② 반 시계방향으로 두번 회전
- 미등, 차폭등, 차고등, 번호판등, 하향등 점등

③ 반 시계방향 한번 회전 후 당김
- 미등, 차폭등, 차고등, 번호판등, 안개등 점등

④ 반 시계방향으로 두번 회전 후 당김
- 미등, 차폭등, 차고등, 번호판등, 하향등, 안개등 점등

(자) 미러 조정 스위치

미러 조정 스위치는 미러의 각도를 조절하기 위해서 사용한다.

① 좌(L), 우(R) 선택
- 운전석 측: 왼쪽(L) 방향으로 돌린다.
- 출입문 측: 오른쪽(R) 방향으로 돌린다.

② 각도 조절
- 노브를 상(▲), 하(▼), 좌(◀), 우(▶) 위치로 움직여 알맞은 각도로 사이드 미러를 조정할 수 있다.

(차) 에어컨 스위치

에어컨은 운전석 우측면에 설치된 스위치로 조작할 수 있으며, 상태를 확인할 수 있는 LED 등이 있다.

① 냉방/환기 스위치(GREEN): 냉방 및 환기 모드 선택

② 풍량 조절 스위치(SELECTOR): 시스템 운전, 정지 및 풍량을 선택할 수 있는 스위치로 증발기 블로워를 강/중/약으로 선택

③ 실내온도 조절 노브(TEMP): 에어컨 운전시 사용자가 희망하는 냉방 온도를 조절하는 노브로써 온도 조절 범위는 15도~30도까지 설정이 가능

④ 환기 LED(YELLOW): 냉방/환기 스위치를 환기(VENT) 선택 시 점등

⑤ 냉방 COOL LED(GREEN): 냉방/환기 스위치를 환기(COOL) 선택 시 점등

⑥ 경고 WARN LED(RED): 냉매의 압력 이상 시 표시, 냉매가 고압 이상이나 저압 이상 시 점등

(카) 라커 스위치

바이모달 트램에 사용된 기능 스위치들은 헬라사의 라커 스위치를 사용하였다. 해당 스위치에는 기능에 따라 아이콘이 각인되었고, 일부는 ON/OFF의 상태를 알 수 있는 LED등이 내장되어 있는 스위치를 사용하였다.

<표 3.35> 라커 스위치 설명

라커 스위치		설명
	메인 스위치	등구류, 계기판, 출입문 개폐, 와이퍼 등 차량을 사용하는데 요구 되는 24V 시스템을 동작 시키는 스위치, 차량 시동을 거는데 사용 되는 첫 번째 스위치이며 차량을 끌 때 사용한다.
	점화 스위치	에어컨, 추진제어장치, 제동장치, 조향장치, 현가장치, 출입문 등의 시스템을 켜거나 끌 때 사용한다.
	시동 스위치	엔진, 추진배터리 등 차량을 운전하기 위해 요구 되는 모든 시스템을 켤 때 사용합니다. 기본적으로 하이브리드 모드로 구동된다.
	EV모드 스위치	EV모드 스위치를 누르면 운전자는 차량을 배터리모드로 운행할 수 있다. 즉 이 스위치는 추진배터리를 동작시키는 것이며, 메인 스위치와 점화 스위치가 반드시 켜진 상태여야 한다. 이 모드는 단거리를 무공해 또는 정숙한 상태로 운행되어야 할 때 (예: 터널운행) 사용될 수 있다.
	비상등 스위치	위험 상황에서 이 스위치를 누름으로써 비상 램프를 작동 시키며, 또한 비상 램프는 메인 스위치나 점화 스위치가 꺼지더라도 작동할 수 있다.
	비상정지 스위치	응급상황 시 제어배터리를 차단시켜 차량을 강제적으로 일시정지 시키는 버튼이다.

라커 스위치		설명
	차량 높이 스위치	운전자가 차량의 높낮이를 조절할 수 있다. 차량의 높이는 3가지 모드로, High, Drive, Low모드가 있다.
	환풍기 팬 작동 스위치	환풍기 팬 스위치를 누르면 객실 천장에 설치된 환기 팬이 동작하여 실내의 공기를 외부로 배출한다.
	굴절 보호기능 스위치	기본적으로 차량이 굴절할 수 있는 각도는 최대 41도로 되어 있으며, 운전자가 차량의 굴절이 더 필요할 경우 이 버튼을 조작하여 41도 이상 시에도 추진이 차단되지 않고 움직일 수 있다.
	스티어링 휠 스위치	운전자의 편의를 위하여 핸들의 높이 조절이 가능하다. 이 스위치를 누를 때 핸들은 운전자에 의하여 높이조절이 가능하며, 왼손으로 스위치를 조작하는 동안 오른손은 핸들을 잡고 있어야 한다. 스위치를 누르는 즉시 핸들을 원하는 위치로 맞출 수 있으며, 조정 후 스위치를 누르면 고정된다.
	휠체어 램프 스위치	첫 번째 출입문 밑에서 휠체어 경사판이 나와 휠체어가 버스에 탑승할 수 있게 하는 장치이다.
	출입문 리셋 스위치	출입문 옆에 장착된 비상버튼을 눌러 출입문 수동 조작 후 초기화시키기 위한 버튼이다.
	운전자용 출입문 스위치	메인 스위치가 꺼져있어도 운전자가 첫 번째 출입문을 개폐할 수 있는 버튼이다.
	사이드 미러 열선 스위치	비가 올 때 또는 겨울철 눈과 성에 제거시 사용한다. 스위치를 누르면 수분간 작동 후 자동적으로 작동이 정지되며, 작동이 자동적으로 멈추기 전에 다시 한 번 누르면 즉시 정지 된다.
	주간 주행등 스위치	주간에 운행할 경우 켜야 하는 주간 주행등을 켜기 위한 스위치이다. 이 스위치는 주간엔 항상 켜져 있어야 한다.
	실내등 스위치	스위치 작동에 따라 실내 형광등이 점등 및 소등된다.
	실내등 밝기조절 스위치	이 스위치는 실내등이 켜져 있을 때 위아래로 조절하여 실내등의 밝기를 조절할 수 있다. 스위치의 위쪽을 누르면 밝아지고, 아래쪽으로 누르면 어두워진다.

라커 스위치		설명
	출입문 개폐 스위치	차량에는 우측에 3개의 출입문이 있으며, 개폐 스위치로 동작시킬 수 있다. 4번 스위치는 차량의 출입문 전체개폐, 1번은 첫 번째 출입문 개폐, 2번은 두 번째 출입문 개폐, 3번은 세 번째 출입문 개폐 시킬 수 있다. 운전자는 이 버튼을 이용하여 차량이 정지 상태에서 승객의 승/하차 시, 출입문을 제어할 수 있으며 개별 동작과 전체 동작을 한 번에 동작 시킬 수 있다.

(타) 타코미터



<그림 3.125> 타코미터

타코미터는 차량의 주행을 기록하기 위해 사용하는 주행기록계이다. 운전석 우측의 점검창 안쪽에 위치하여 점검키를 사용하여 커버를 열어서 사용할 수 있다. 타코미터는 차량 운전자의 시간대별 운행 정보를 수집 하여 각종 분석을 할 수 있도록 하여 다음과 같은 목적을 위해 사용된다.

- ○ 사고 발생 시 발생원인, 사고 규모, 상황 파악 및 사전 대처 방안 준비
- ○ 차량의 운전 습관에 따른 유류, 소모품 등의 사용량 파악
- ○ 운전자의 근무태도(운전습관) 감독 의식으로 난폭운전 미연 방지
- ○ 난폭 또는 과속 미연 방지로 인한 차량 과태료 절감
- ○ 운전자에 대한 인사 배치 및 교육 자료 활용



<그림 3.126> 타코미터 전면 사진 및 설명

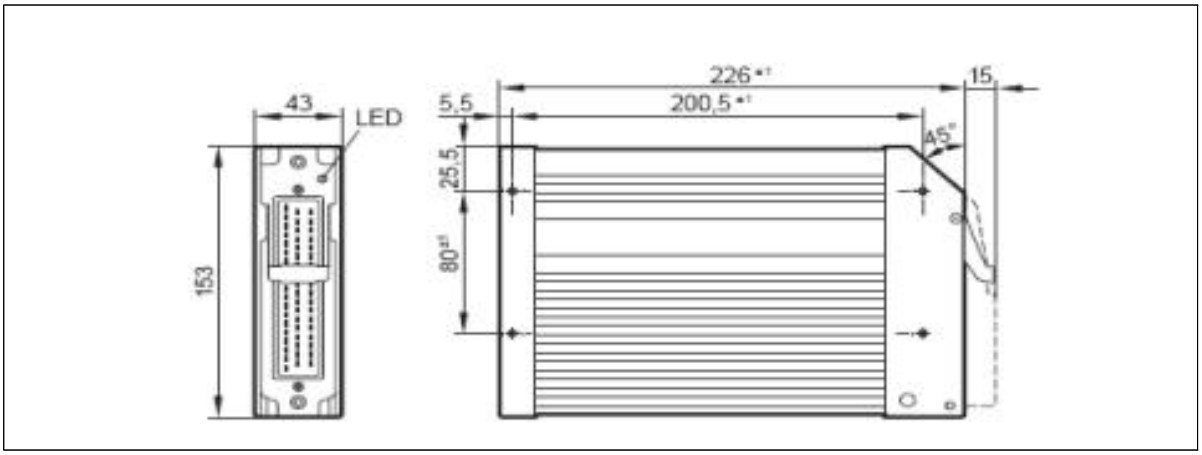
○ 시스템 사양

- 품　　명 : 디지털 운행기록계
- 모 델 명 : DT-202
- 규　　격 : 127mm(L) * 178mm(W) * 50mm(H)
- 형　　태 : 차량 장착형
- 동작전압 : DC 12V~24V
- 저장매체 : USB
- 저장방식 : TXT/BIN

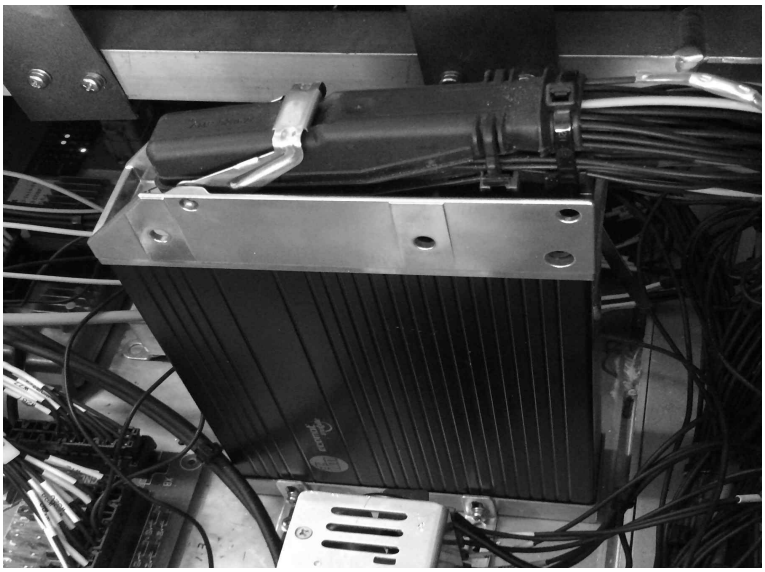
(5) 메타 클러스터 및 VCU개발

(가) VCU 및 고장 표시기

① VCU



<그림 3.127> VCU 도면



<그림 3.128> VCU

VCU는 바이모달 트램에서 전장품 및 추진 시스템 등 모든 전장품들을 관리한다. 각 전장품들과 CAN통신을 하여 고장 신호를 검출하고, 필요에 따라 제어를 할 수 있도록 프로그램이 되어 있다. 바이모달 트램에 장착되는 VCU는 16개의 입력과 16개의 출력, 4개의 CAN통신 채널을 가지고 있다.

<표 3.36> VCU 사양

VCU	
면적 (H x W x D)	153 x 226 x 43 mm
무게	1.2 kg
IP 보호 등급	IP 67
입출력 채널	16 inputs / 16 outputs
동작 전압	8~32V DC
CAN 통신	4 CAN Channels (CAN 2.0 A/B)
지원 Baud rate	50Kbits/s ~ 1Mbit/s (default 125 Kbits/s)
프로세서	32-bit CPU Infineon TriCore 1796
메모리 용량	Flash: 2 Mbytes RAM: 2 Mbytes Remanent memory: 128 Kbytes
소비 전류	<160mA (Idle시)

② 고장점검 모니터

7인치 모니터를 통하여 고장점검을 할 수 있도록 하며, 4개의 CAN통신 채널을 사용할 수 있다.

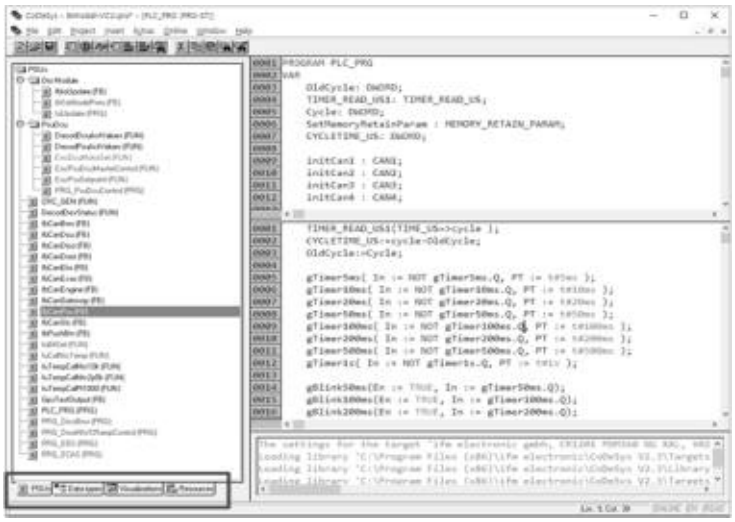


<그림 3.129> 고장점검 모니터

<표 3.37> 고장점검 모니터(메타 클러스터II) 사양

고장점검 모니터	
디스플레이	TFT 7inch LCD Display (15:9)
해상도	800 x 480 Pixels
면적 (H x W x D)	192 x 157 x 64,5 mm
무게	1.682 kg
IP 보호 등급	IP 67
동작 온도	−30~65 ° C
동작 전압	8~32V DC
CAN 통신	4 CAN Channels (CAN 2.0 A/B)
지원 Baud rate	50Kbits/s ~ 1Mbit/s (default 125 Kbits/s)
프로세서	MPC5121, 32 bits, 400 MHz
소비 전류	<300mA (Idle시)
메모리 용량	RAM : 256 Mbyte Flash : 128 Mbyte

③ 개발 환경

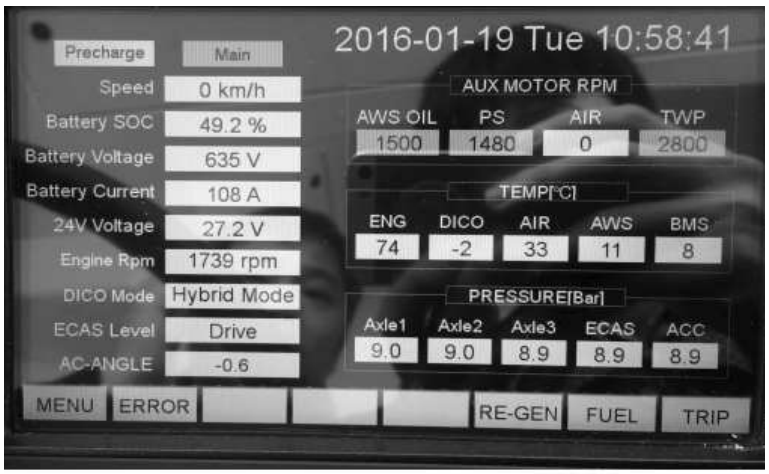


<그림 3.130> CODESYS 초기 화면

VCU와 고장점검모니터는 Codesys 프로그램을 이용한다. 바이모달 트램에 장착되는 전장품들의 CAN Data를 수신하여 해당 장치의 현재 상태를 알고, CAN Data를 전송하여 해당 장치를 제어한다. 바이모달 트램의 경우 CAN통신 1번 채널에서는 DIO, 2번 채널에서는 도어 제어 장치, 3번 채널에서는 ECAS, AWS, 4번 채널에서는 EBS, DICO, BMS, 운행기록계, 엔진, PSU, DCU가 연결 되어있다.

Codesys는 6개의 언어(IL, LD, FBD, SFC, ST, CFC)를 사용하여 프로그래밍 할 수 있다. 주로 C언어와 비슷한 ST언어를 사용한다. 위 화면에 사용된 언어가 ST언어이다.

④ 초기 화면



<그림 3.131> VCU정보 표시기(클러스터II) 화면

차량의 Main이 ON이 되면 모니터에서는 각각의 장치들이 보내온 값 중 운행에 필수적인 값들이 표시하도록 하였다. 고압 배터리의 BMS에서 보내는 SOC, 전류, 전압 값들과 바이모달 트램에 달려있는 보조모터들의 상태, RPM값, 온도 등을 표시한다. 또한 초기화면에서는 버튼을 이용하여 클러스터의 연비나 트립을 초기화 할 수 있도록 하였다. 초기 화면에서 모니터 아래쪽에 있는 8개의 버튼을 통해 표시되는 화면을 제어 할 수 있다.

⑤ Main 화면

초기 화면에서 MENU 버튼을 누르면 Main 화면으로 넘어간다. 바이모달 트램에 장착된 전장품 리스트가 뜨며, 각각을 선택하면 상세 정보를 확인 할 수 있다.

⑥ DIO 상태 화면

DIO 상태 화면에서는 8개의 DIO의 입출력 값을 확인할 수 있다. 화면에서는 한번에 16개의 입력 또는 출력의 상태를 확인할 수 있다.

⑦ BMS 상태 화면

BMS 상태 화면에서는 고압배터리의 현재 SOC, 전압, 전류, 각 모듈의 온도, 경고등이 표시된다. 또한 각각의 셀전압과 모듈별 온도도 확인할 수 있다. BMS가 보내는 경고는 Over Voltage, Over Temperature, Under Voltage, Under Temperature, Charge Over Current, Ground Fault, Discharge Over Current 등이 있으며, 경고 신호를 받을 시 화면에 표시하도록 하였다.

⑧ ECAS 상태 화면

ECAS 상태 화면에서는 차량 현가장치인 ECAS에서 보내오는 CAN Data를 확인할 수 있다. 차량 각축의 높이, 동작상태, 현재 ECAS 모드(Drive, High, Low Mode) 등을 표시한다.

⑨ EBS 상태 화면

EBS 상태 화면에서는 브레이크페달의 위치값, 브레이크 작동시 각각의 좌우 축에 걸리는 압력 값, ABS와 EBS에 대한 경고를 통해 문제점이 무엇인지 쉽게 파악 할 수 있다.

⑩ SLC(AWS제어장치) 상태 화면

SLC 상태 화면에서는 Articulation과 각축의 꺾인 각도를 표시한다. 바이모달 트램에는 총

4개의 SLC장치가 장착되는데 각각의 장치에서 발생한 경고를 화면을 통해 확인이 가능하다. 뿐만 아니라 운행시 자동으로 조절되는 2, 3축을 해당화면에서 모니터의 버튼을 통해 수동으로 제어 가능하다.

⑪ DOOR 상태 화면

DOOR 상태 화면에서는 바이모달에 장착된 도어1, 2, 3번의 현재 문의 개폐상태, 장애물 감지 등을 확인할 수 있다.

⑫ DICO 상태 화면

DICO 상태 화면에서는 바이모달 트램에 장착되어있는 4개의 보조 모터(냉각수 펌프, 공기압축기 모터, 파워스티어링 모터, AWS 모터)의 RPM값과 소비전력, 발전기의 출력량, 온도 등 많은 데이터를 표시한다. 또한 DICO는 전원이 차단되어도 에러 코드를 저장하고 있기 때문에(최대 14개) 해당화면에서 DICO의 에러 코드를 확인하여 보다 쉽게 점검할 수 있다.

⑬ 엔진 상태 화면

엔진 상태화면에서는 DPF와 SCR의 동작유무, SOC상태에 따라 달라지는 엔진의 속도를 표시한다.

⑭ PSU-DCU 상태 화면

PSU-DCU화면에서는 DICO에서 관리하지 않는 PSU와 DCU의 상태를 확인 할 수 있다. 에어컨모터의 RPM과 에러코드 등을 확인할 수 있다.

(나) 메타클러스터

① 개요

바이모달 트램 차량에 장착되는 계기판은 메타클러스터로 기존 차량의 아날로그 속도계와 경고등 램프로 구성된 장치를 개선하여 풀 LCD 계기판으로 변경하였다. 그래픽 이미지를 사용하여 화면을 구성하기 때문에 화면에 표시되는 항목의 수정이 용이한 장점이 있다.



<그림 3.132> 운전석 메타 클러스터

또한 다양한 정보의 표시가 가능하여 운전자에게 바이모달 트램의 차량상태를 좀 더 상세히 보여주어 향후 차량 점검 및 유지보수가 용이하도록 개선하였다.

② 장치 사양

메타클러스터는 10.4인치의 디스플레이 장치로 CAN통신으로 차량과 연결되어 있다.



<그림 3.133> 메타 클러스터 메인 화면

<표 3.38> 메타 클러스터 사양

CPU	AM3354,1GHZ	DDR3	512MB
eMMC	4GB	Storage	TF Card Slot
LCD	10.4Inch , 1024*768Pixel Brightness : 500nit Contrast Ratio : 1200:1 LifeTime : 50000hours	Touch	Resistive Touch
RS232	2 Channels	RS485:	2 Channels
CAN	1 Channel , (Can change to 2 channels)	GPIO	8 Channels.
LAN	1 Channel , 100M.	Audio:	Internal Speaker,3.5mm Output/input Connector.
USB	4 Channel USB 2.0 , OTG , Can customized to HOST or SLAVE	WIFI/WCDMA+ GPS	Optional
Buzzer	Yes.	Power Input	6~42V DC.
Power Consumption	15W	Working Temprature	-20° C ~ 70° C.
Certification	CE,Front Panel IP65	Weight	1560g
Operate System	1) Android 2) Linux (TI DVSDK) 3) Angstrom,Debian.	Dimension	275x220x33mm

③ 개발 환경

메타클러스터 장치는 개발 시간을 단축하기 위해서 GUI 프로그램을 쉽게 개발이 가능한 QT 프레임워크를 사용하여 개발하였다.

QT는 컴퓨터 프로그래밍에서 GUI 프로그램 개발에 널리 쓰이는 크로스 플랫폼 프레임워크이다. 서버용 콘솔과 명령 줄 도구와 같은 비GUI 프로그램 개발에도 사용된다. 노르웨이 회사 트롤텍에 의해서 처음 개발되어 2008년 1월에는 노키아에 인수되었고 이후, 2012년 8월에 핀란드 회사 Digia에 인수되었다.

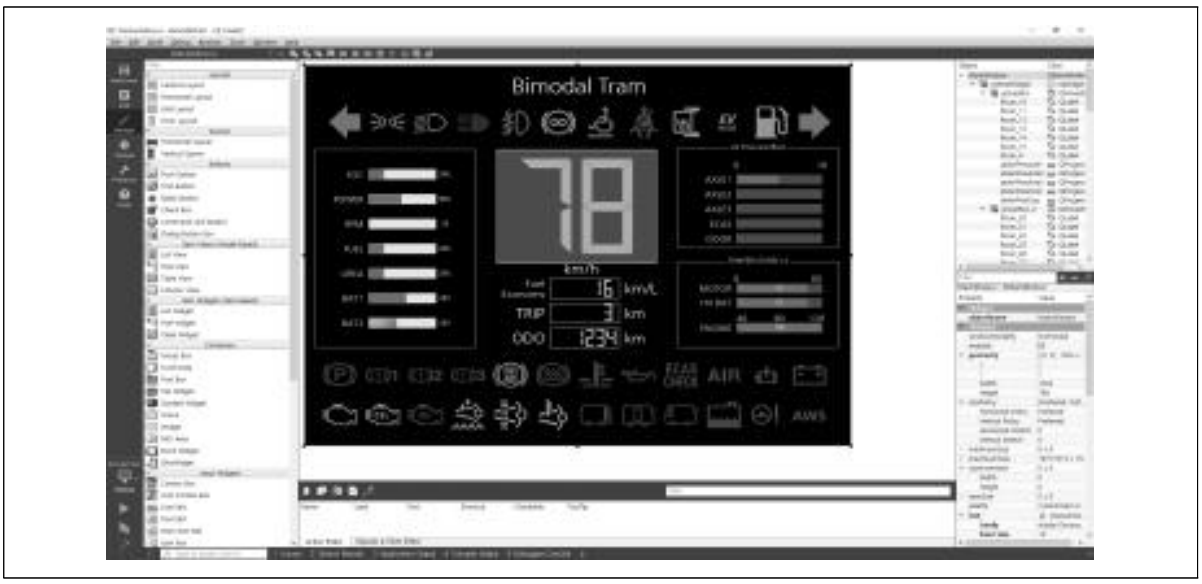
QT는 C++를 주로 사용하지만, 파이썬, 루비, C, 펄, 파스칼과도 연동된다. 수많은 플랫폼에서 동작하며, 상당히 좋은 국제화를 지원한다. SQL 데이터베이스 접근, XML 처리, 스레드 관리, 단일 크로스 플랫폼 파일 관리 API를 제공한다.

QT는 C++, QML 기반 오픈소스 어플리케이션 프레임워크로 2016년 6월 현재 최신 버전은 QT 5.7.0과 QT 4.8.7이다. "write once, compile anywhere"를 표방하는 크로스 플랫폼으로, 단 한 번의 코딩으로 다양한 플랫폼으로 빌드가 가능한 환경에 중점을 두고 있다. 현존하는 주요 플랫폼 (Windows, Linux, OSX, Android, iOS 등)을 거의 대부분 지원한다. 초기

에는 GUI 라이브러리로 시작하였으나, 점점 기능이 확대 되어, 통합개발환경(IDE)과 UI개발 도구, 번역 작업을 위한 도구 등등에 C++ 개발에 필요한 온갖 기능(UI, XML, 네트워크, SVG, Animation, Container Class 등등)을 제공하는 거대 라이브러리가 되었다.

◦ QT 공식 지원 플랫폼
- Windows 10 64/32bit, Windows 8 64/32bit, Windows 7 64/32bit
- Linux – OpenSuSE 13.1 64bit, Red Hat Enterprise 6.5 64bit, Ubuntu 14.04 64bit 등
- OSX 10.11 10.10, 10.9, 10.8
- Embedded Linux
- QNX 6.6.0
- Windows Embedded 7, Windows Phone 8.1(arm), Windows RT
- IOS 6이상
- Android API Level 16

아래 화면은 QT에서 제공하는 IDE개발 툴인 QT Creator 화면이다



<그림 3.134> QT Creator 화면

화면에서처럼 GUI 컨트롤들과 이미지 등으로 화면을 구성하고 C++ 코드를 작성할 수 있는 소프트웨어로 윈도우 버전과 리눅스 버전 모두 지원한다.



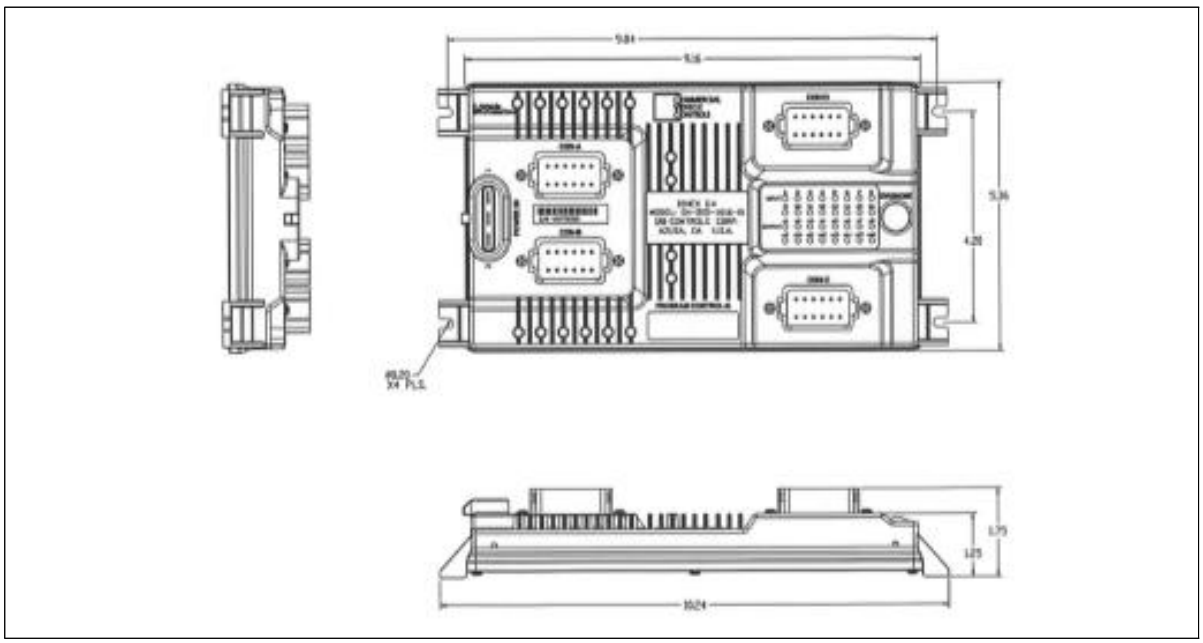
<그림 3.135> 소스 에디터 화면

위 화면은 C++ 로 작성하는 소스 에디터 화면으로 폼 화면과 연동하여 코드를 작성할 수 있다.

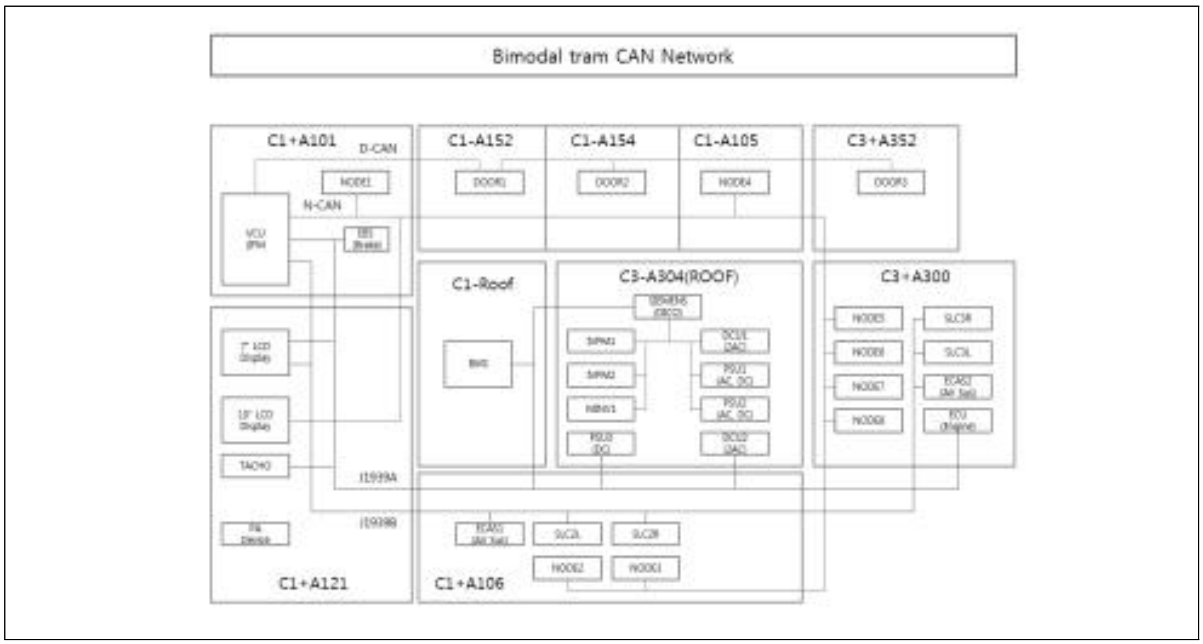
(다) Node, 퓨즈, 다이오드 보드

① Node

Node는 바이모달 트램에서 여러 가지 전장품들을 제어하기 위한 입력 및 출력이 많이 필요로 하기 때문에 사용된다. VCU와 CAN통신을 통해서 입출력이 제어 된다.



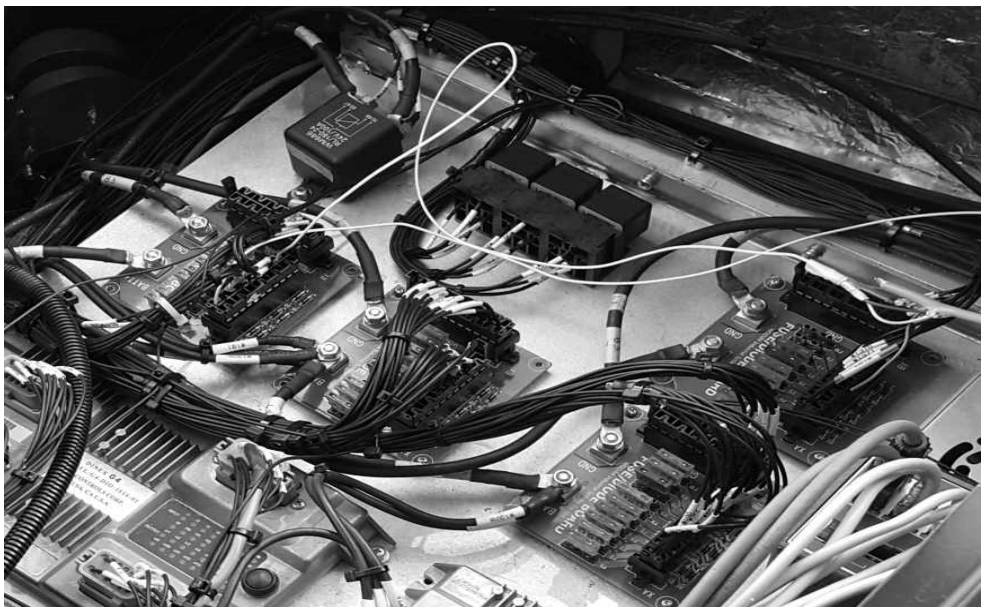
<그림 3.136> NODE 도면



<그림 3.137> 캔 라인 배치도

② 퓨즈, 다이오드 보드

바이모달 트램에 사용되는 전장품들을 과전류로 인한 고장을 방지하기 위한 보호 장치로써, 퓨즈 및 다이오드 보드를 설계하여 사용하였다.



<그림 3.138> 퓨즈 및 다이오드 보드 (운전석)

3. 추진 시스템 최적화

가. 추진배터리 시스템 최적화

추진배터리 시스템 선정 전, 실용화 과제 기간 내에 새로운 배터리 시스템 개발은 일정상 불가능하다 판단되어, 기실적품인 동시에 자동차안전연구원 인증제품을 사양 검토를 통하여 최적의 시스템을 적용하는 것으로 계획하였다. 바이모달 트램에 사용하는 추진 배터리 타입은 현재 자동차 및 전기버스에 널리 보급된 리튬이온 폴리머 배터리이다. 리튬이온 폴리머 배터리의 장점은 2차 전지 중 높은 에너지 저장밀도다. 동일 크기에 비해 큰 용량을 가지는 리튬폴리머 배터리를 적용하여 배터리만 사용하여 10km이상 주행 가능하다. 또한 카드뮴, 납, 수은등의 환경 규제 물질을 포함하지 않아 친환경적이다. 배터리를 완전히 방전시키지 않은 상태에서 충·방전을 반복하면 충전 가능 용량이 줄어드는 메모리 효과가 없기 때문에 다른 2차전지에 비해 수명이 길고 수시로 충전을 하는 하이브리드 차량에 적합하다.

리튬이온 폴리머 배터리는 과방전이나 과충전과 같은 상태를 방지하고자, 배터리를 관리하는 BMS로부터 셀당 전류량, 충전수준, 파워, 온도, 전압, 셀 최대/최소 전압, 셀전압 등을 모니터링 하여 더욱 안정적이고 신뢰성을 확보할 수 있다.

이러한 장점과 차량의 추진시스템의 전압구동범위, 전력량, 축전지팩 충방전 C-rate에 따른 발열현상, 차량 허용 축중 등을 종합적으로 검토하여, 차량의 최적화된 축전지팩 및 축전지 관리 장치(BMS)를 적용하였다.

(가) 배터리 시스템 최적화

BMS 전원은 24V 상시 전원과 Key-On 신호로 구성된다. Key-On 신호는 24V이며, 차량 충전기에서 개별적으로 입력되어 BMS가 On 될 수 있으며 BMS는 이 신호의 유무에 따라서 Power-On 또는 Power-Off로 제어된다. BMS는 배터리팩의 상태를 감지하여 배터리의 사용을 중지해야 한다고 판단한 경우 차량에 Relay_off_Request 신호를 송출한다. 이 신호는 CAN통신 메시지와 H/W신호의 2가지 중복된 방법으로 송출하며, 차량이 이 신호를 수신한 경우 고전압 배터리와 연결된 차단장치를 동작하여 배터리팩과 차량의 연결을 전기적으로 분리하도록 되어 있다. 이후 배터리팩이 재가동될 수 있다고 판단한 경우 배터리팩과의 재 연결 시 외부전원장치를 통해서만 차단장치를 구동할 수 있으며, BMS 자체적으로 차단장치를 구동할 수 없도록 설계 되었다.

① 배터리 경고 및 보호 시스템

바이모달 트램에 사용하는 추진 배터리는 리튬이온 배터리로써, 과충전 및 과온 등에 대한 보호 장치가 필요하다. 따라서 배터리의 팩, 모듈 그리고 셀의 상태를 지속적으로 확인하여 다음과 같은 단계적인 경고 및 보호 시스템이 운전(방전)과 충전상태에 따라 구성하였다.

<표 3.39> BMS 보호 시스템 (운전 모드)

경고 상태	BMS Ready (off->on조건)	Warning 1	Warning 2	Fault
Action	릴레이 ON차단	[illegible]	[illegible]	전원차단
Action Method	Pilot 신호 (GND)차단	[illegible]	[illegible]	차단신호 송신
셀 과전압	Warning 2와 동일조건 (SOC 완방 기준시)	[illegible]	[illegible]	-
셀 저전압		[illegible]	[illegible]	Warning2 수행 완료 후
팩 과전압		[illegible]	[illegible]	-
팩 저전압		[illegible]	[illegible]	Warning2 수행 완료 후
과전류 방전		[illegible]	[illegible]	-
과전류 충전		[illegible]	[illegible]	-
과온도 방전		[illegible]	[illegible]	-
저온도 방전		[illegible]	[illegible]	-
SOC		[illegible]		-
Ground fault			[illegible]	Warning2 수행 완료 후

<표 3.40> BMS 보호 시스템 (충전 모드)

경고 상태	BMS Ready (off->on조건)	Warning 1	Warning 2	Fault
Action	릴레이 ON차단			충전차단요청 (Fault 신호와 동시)
Action Method	Pilot 신호 (GND)차단			차단신호 송신
셀 과전압	Warning 2와 동일조건 (SOC 완방 기준시)			4.2V이상
셀 저전압				Warning2 수행 완료 후
팩 과전압				-
팩 저전압				Warning2 수행 완료 후
과전류 방전				-
과전류 충전				-
과온도 방전				-
저온도 방전				-
SOC				-
Ground fault				Warning2 수행 완료 후

축전지팩 단품에 대한 신뢰성을 보증하는 범위 내에 노선별 차량의 추진 및 보조시스템의 부하특성으로 고려하여 축전지 용량(SOC)를 일정하게 유지할 수 있도록 엔진-발전기의 RPM 주 영역을 아래와 같이 정리하였다.

<표 3.41> SOC 50% 이하에서 동작 조건(충전 조건)

No.	SOC 범위	엔진 회전수(rpm)	충전모드	비고
1	70% ~ 60%	1500	저속 충전	
2	60% ~ 50%	1610	일반 충전	
3	50% 이하	1700	고속 충전	

기존 차량에서 축전지 용량(SOC) 사용 범위를 SOC 70%~50%로 산정한 이유는, 해외 유사차종(Series Hybrid System)에서 많이 사용하는 축전지 용량(SOC) 기준영역을 참조하였고, 축전지팩 방전에 따른 전압이 떨어지는 현상에 의해 전류가 증가하여 발생할 수 있는 축전지셀 고온현상을 미연에 방지하여 배터리팩 정격전압 수준으로 일정하게 유지할 수 있는 SOC 70%~50% 영역으로 산정하였다.

차량 운행(방전)중 SOC 70%에서 SOC 60%까지는 EV모드로 동작하며, SOC 60%이하에서는 엔진-발전기 시스템이 동작한다. 그리고 주행중 추진 모터의 부하량에 따라 전지 용량(SOC)을 일정하게 유지 또는 충전하기 위해 전력을 추진제어장치에서 연산하여 디젤 엔진-발전기 회전속도를 1500rpm ~ 1700rpm으로 가변한다. 마지막으로 지속된 추진 모터의 방전에 의해 축전지 용량(SOC)이 50%이하가 되면, 디젤 엔진-발전기 회전속도를 1700rpm으로 제어한다.

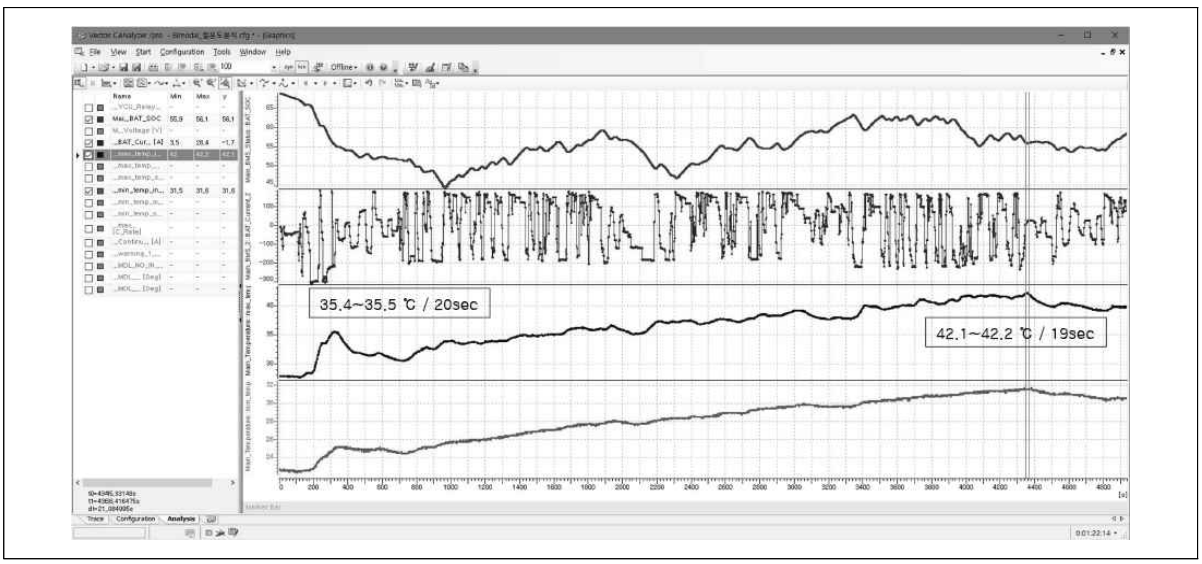
<표 3.42> SOC 50% 이하에서 동작 조건(주행 조건)

No.	SOC 범위	엔진 회전수(rpm)	주행 모드	비고
1	70% ~ 60%	0	EV모드(주행)	
2	60% ~ 70%	1500~1700(가변)	가변 충전	모터 출력 < 발전기 출력
3	60% ~ 50%			모터 출력 > 발전기 출력
4	50% ~ 60%			모터 출력 < 발전기 출력
5	50% 이하	1700	고속 충전	

(나) 배터리 용량(SOC)별 - 디젤 엔진발전기 동작에 따른 노선 주행데이터

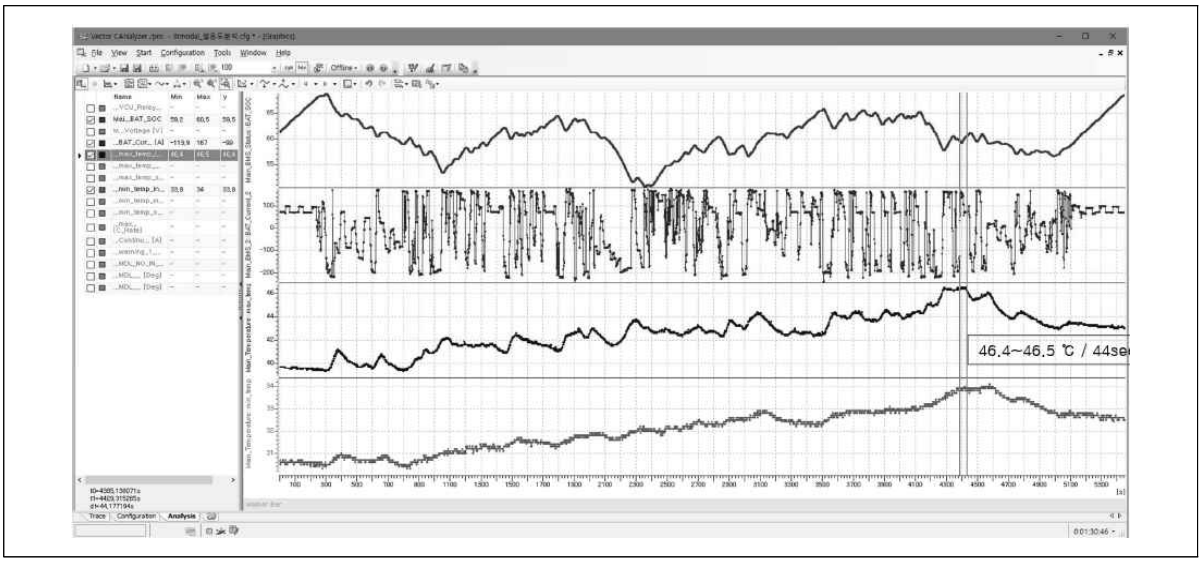
현재 영업운전중인 한 노선을 선정하여, 일반 차량의 최대 운행 조건인 1일 최대 6회 왕복 연속 운전 조건으로(만차 조건, 에어컨 동작) 주행한 결과이다.

① 1차 왕복 운행 로깅데이터



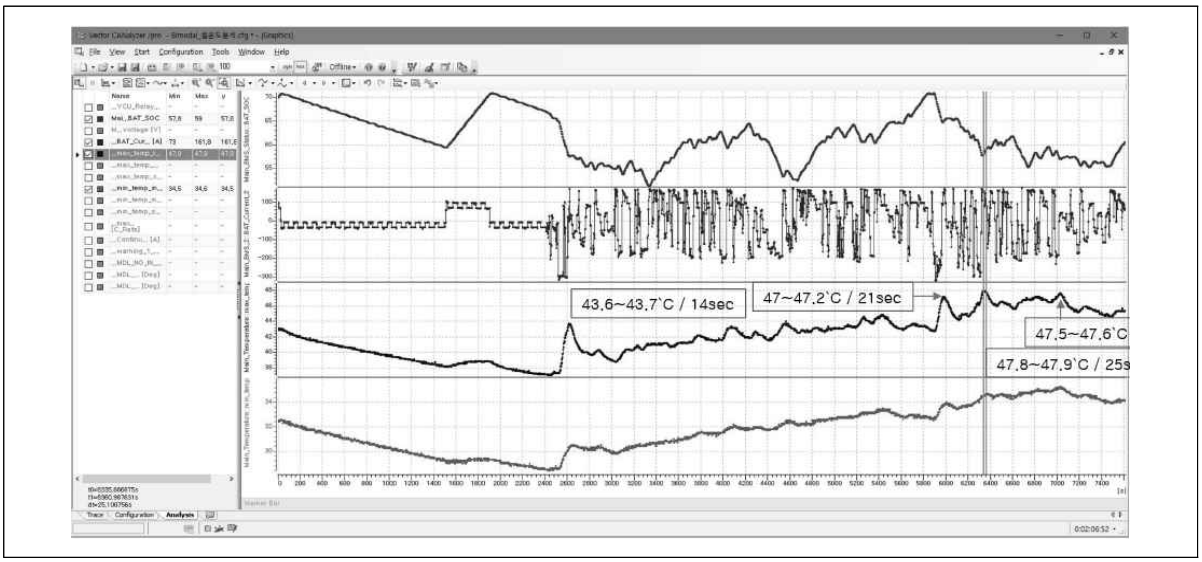
<그림 3.139> 1차 왕복 운행 로깅 데이터

② 2차 왕복 운행 로깅데이터



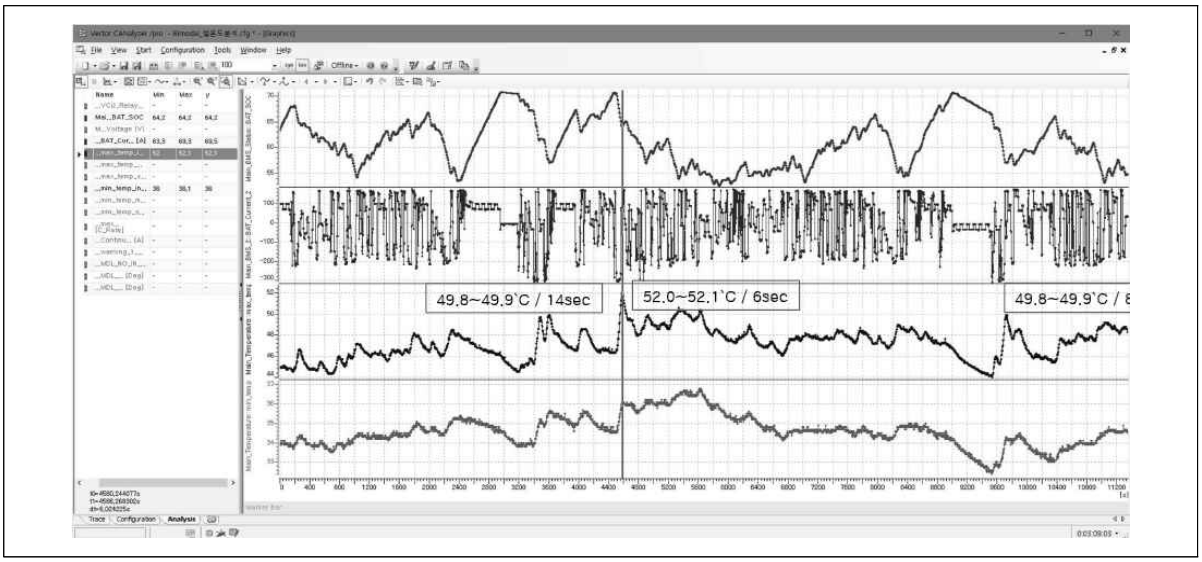
<그림 3.140> 2차 왕복 운행 로깅 데이터

③ 3차 왕복 운행 로깅데이터



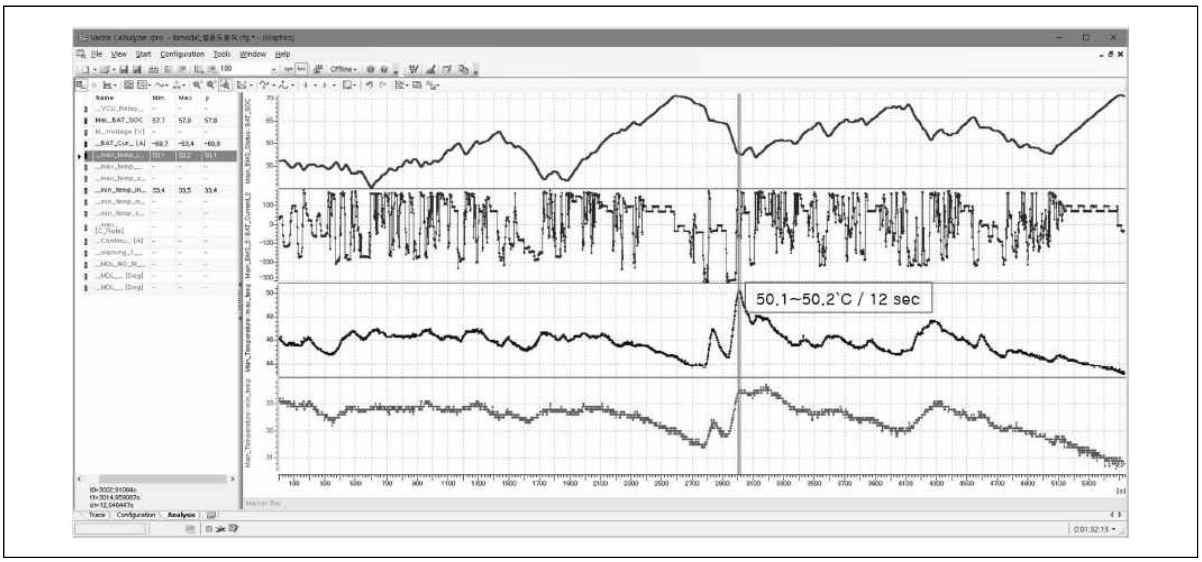
<그림 3.141> 3차 왕복 운행 로깅 데이터

④ 4차, 5차 왕복 운행 로깅데이터



<그림 3.142> 4차, 5차 왕복 운행 로깅 데이터

⑤ 6차 왕복 운행 로깅데이터



<그림 3.143> 6차 왕복 운행 로깅 데이터

⑥ 주행 결과

최대 운행 조건(만차, 에어컨 가동)을 적용하여 6회 왕복 주행 결과, 배터리 제조사에서 요구하는 모듈 Warning 1 조건인 Max 온도(53℃미만, 10초이하) 미만을 만족하였다. 특이사항으로 연속 4회 운행이후 지속적으로 50℃ 수준을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

<표 3.43> 6회 왕복 연속 주행 시험 결과 표

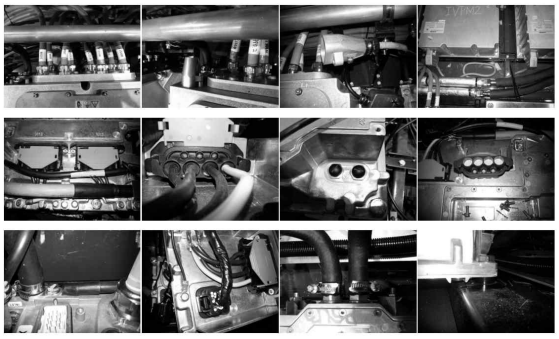
구분	온도범위 (최고값기준,℃)	최고온도 (유지시간, sec)	유지최고온도 (℃)	비고
1차 왕복 주행	27.6 ~ 42.2	19	42.1 ~ 42.2	
2차 왕복 주행	39.3 ~ 46.5	44	46.4 ~ 46.5	
3차 왕복 주행	37.0 ~ 47.9	25	47.8 ~ 47.9	
4차 왕복 주행	44.0 ~ 52.1	6	52.0 ~ 52.1	
5차 왕복 주행	44.0 ~ 49.9	8	49.8~ 49.9	
6차 왕복 주행	43.1 ~ 50.2	12	50.1 ~ 50.2	

나. 추진 시스템 기능 시험 및 파라미터 설정

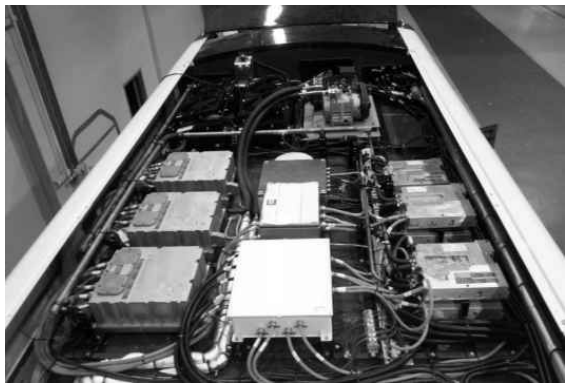
바이모달 트램의 추진 시스템의 주요 구성요소는 추진 모터, 추진 인버터, 보조인버터 및 엔진-발전기가 있으며, 또한 이들을 총괄적으로 제어하기 위한 장치인 VCU, DICO가 있다. VCU는 운전자가 조작하는 신호를 받아 데이터화 하여 CAN통신을 이용하여 DICO에 데이터를 전송한다. VCU로부터 받은 데이터를 통해 DICO는 각각의 인버터를 제어하면서 추진 시스템이 알맞은 동작을 하도록 프로그램이 되어 있다. 원활한 동작을 위해서는 먼저 설계 및 조립이 제대로 되어 있는지 확인 한 다음, 동작시험을 거친 후 실제 운행을 실시하며 파라미터 설정을 하였다.

(1) 설계 및 조립 확인

먼저 각 추진 시스템이 설계대로 적절한 위치에 배치하였는지 확인한 후, 각 기기들 간의 저압 커넥터, 고압 하네스 및 볼팅 작업이 적절히 되어 있는지 여부를 확인한다. 기기들의 냉각을 위해 냉각 시스템을 구성하였고, 이들에 대한 냉각 장치 연결부가 제대로 되어 있는지 확인한다. 추진 시스템에서는 고압의 전원을 사용하기 때문에 안전성의 확보가 필요하다. 따라서 기기의 외함과 전원 공급라인간의 절연 저항을 확인하여 충분한 절연저항이 확보 여부를 확인하는 시험을 진행하였다. VCU와 DICO, 추진 및 보조 인버터들 간의 CAN통신, Ignition신호, 기기전원공급 등의 배선들이 올바르게 되었는지 기존 설계한 핀 맵과 일치 여부를 확인한다.



(a) 커넥터 연결 확인



(b) 냉각 시스템 확인



(c) 절연 저항 확인

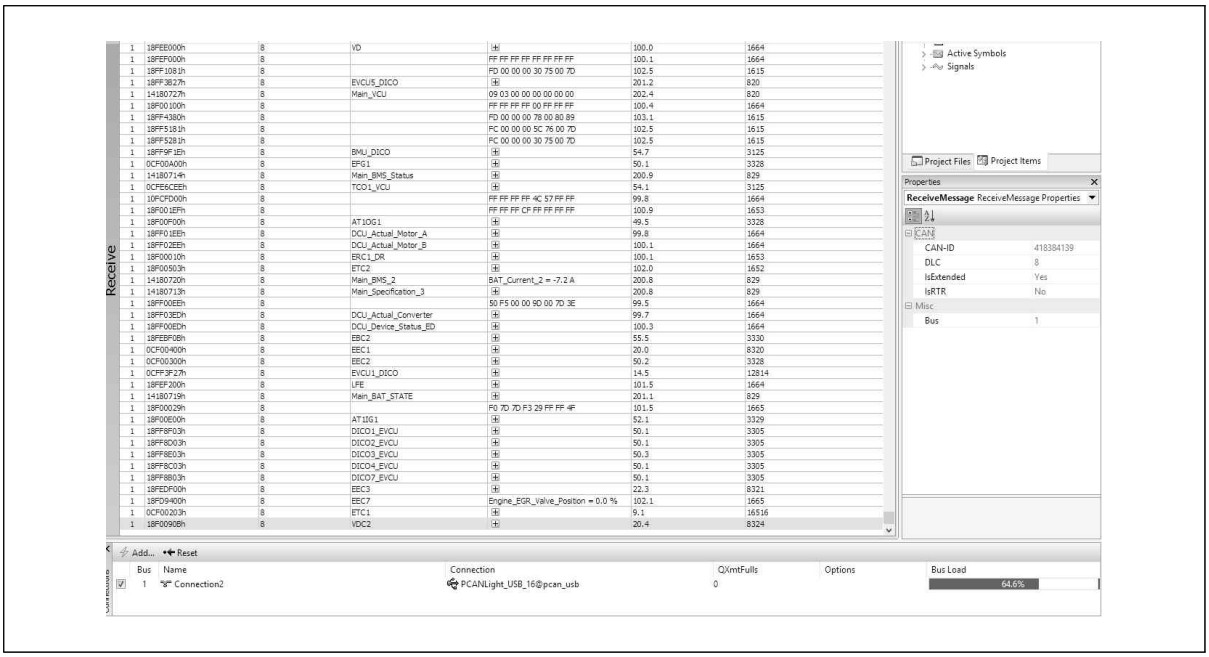


(d) 절연 저항 확인

<그림 3.144> 설계 및 조립 확인

(2) 추진 장치 CAN통신 시험

추진 시스템간의 원활한 통신이 되는지 판단하기 위한 CAN통신 시험을 PCAN Explorer를 통해 시행하였다. PCAN Explorer는 차량의 CAN데이터를 정리되어 있는 데이터베이스에 따라 사용자가 손쉽게 확인할 수 있는 모니터링 프로그램이다. 차량의 운전석 옆 점검포트를 통해 연결하여 프로그램을 실행하면 통신 데이터를 확인하거나 보낼 수 있어 테스트에 적합한 프로그램이다. DICO가 각각의 장치로부터 필요한 CAN Messages를 올바르게 송수신하는지 여부를 확인하고, VCU가 데이터 명령을 적절히 전달하는지 확인한다.



<그림 3.145> PCAN Explorer를 이용한 CAN채널 모니터링

각 CAN데이터는 미리 정해져 있는 프로토콜에 따라서 송수신하게 되어 있다. 따라서 PCAN Explorer을 통하여 각각의 장치들에서 나오는 데이터들이 프로토콜에 따라 올바르게 되어 있는지 확인하였다.

	Name (Transmitter)	Re-ceiver	ID (HEX)	Tc [ms]	Important data
	EVCU1_DICO (EVCU)	DICO	0x0CFF3F27	10	Brake Pedal Position, Parking Brake Switch, Stop Brake, DNR-Switch, Brake Pedal Position Priority, Key Start, Additional Vehicle Functions, etc. Time out and toggle bit Protection active
	EVCU2_DICO (EVCU)	DICO	0x0CFF3E27	200	Strategy Modes, Generator Reference Power
	EVCU3_DICO (EVCU)	DICO	0x0CFF3D27	50	External energy management
	EVCU4_DICO (EVCU)	DICO	0x0CFF3C27	1000	Slow signals (i.e. not time critical)
	EVCU5_DICO (EVCU)	DICO	0x18FF3B27	200	Siemens AUX Control
	BMU_DICO (BMU)	DICO	0x18FF9F1E	50	Battery / UCap data

(a) DICO 수신 프로토콜 리스트

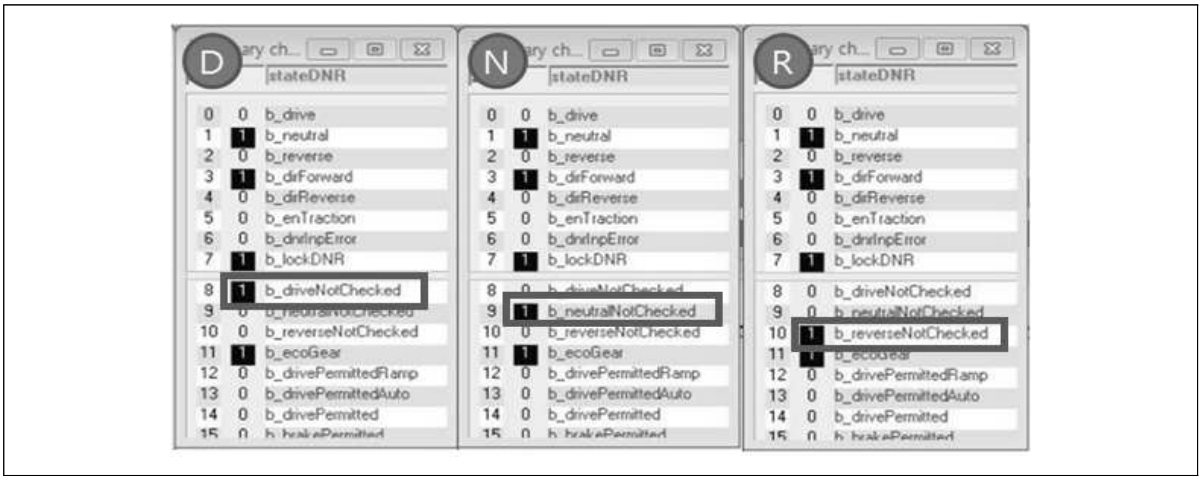
	DICO1_EVCU (DICO)	EVCU	0x18FF8F03	50	Actual Torque Drive & Brake Conditions, Motor Speed, Torque Reference Value, Status...
	DICO2_EVCU (DICO)	EVCU	0x18FF8D03	50	Status, Diagnostics, Current Hybrid Mode, Emergency Shut off
	DICO3_EVCU (DICO)	EVCU	0x18FF8E03	50	Status, Diagnostics, Feedback Values
	DICO4_EVCU (DICO)	EVCU	0x18FF8C03	50	Drive System and Energy Source Reference and Feedback values.
	DICO5_EVCU (DICO)	EVCU	0x18FF9003	1000	Temperatures of Motor 1, Motor2 & Generator 1 Windings & Inverters
	DICO6_EVCU (DICO)	EVCU	0x18FF9103	1000	Temperatures of Inductances 1 & 2, Brake Resistor
	DICO7_EVCU (DICO)	EVCU	0x18FF8B03	50	AUX Status, Diagnostic, Feedback Values

(b) DICO 송신 프로토콜 리스트

<그림 3.146> DICO 송수신 프로토콜 리스트

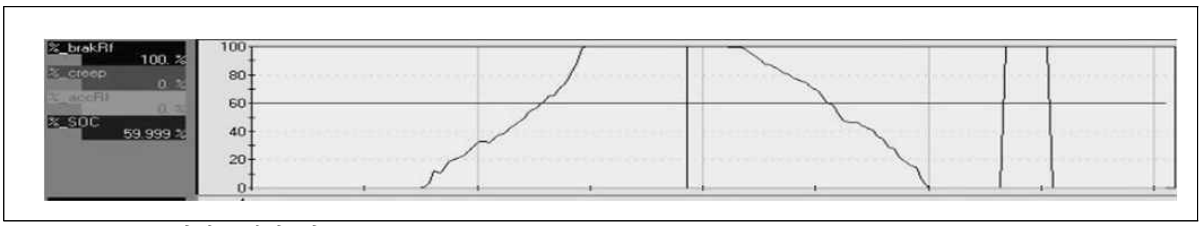
(3) 추진 관련 입력 확인 시험

VCU는 운전자의 입력을 받아서 추진제어 신호로 바꾸어 DICO를 제어하도록 한다. 운전자가 입력하는 장치로는 DNR스위치, 브레이크 페달, 가속페달, 리타더 스위치 등이 있다. 이들의 신호가 적절히 VCU로 입력이 되는지 확인하는 시험을 진행하였다.



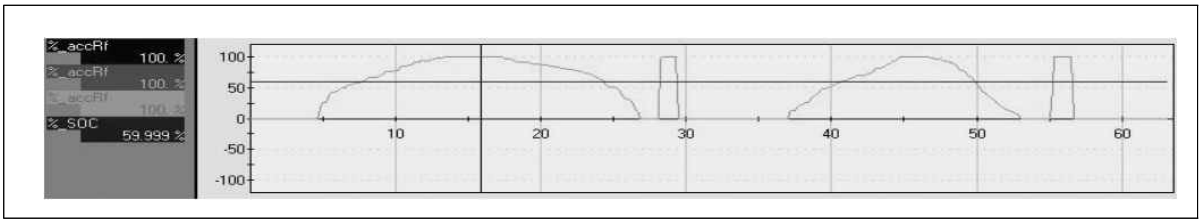
<그림 3.147> DNR 스위치 입력 신호 확인

DNR스위치는 운전자가 운전 상태에 따라 각각 전진(D), 중립(N) 그리고 후진(R)신호를 위한 스위치이다. 각각의 신호는 한 번에 하나의 상태만 있어야 하므로 동시에 2개 이상의 스위치가 동작하지 않도록 되어 있다. 이들 각각의 스위치가 입력이 되어 있을 때 VCU가 신호를 감지하여 DICO에게 상태를 전달하는지 확인하였다.



주) Black : 브레이크페달 값(%)

<그림 3.148> 브레이크 페달 값 입력 신호 확인



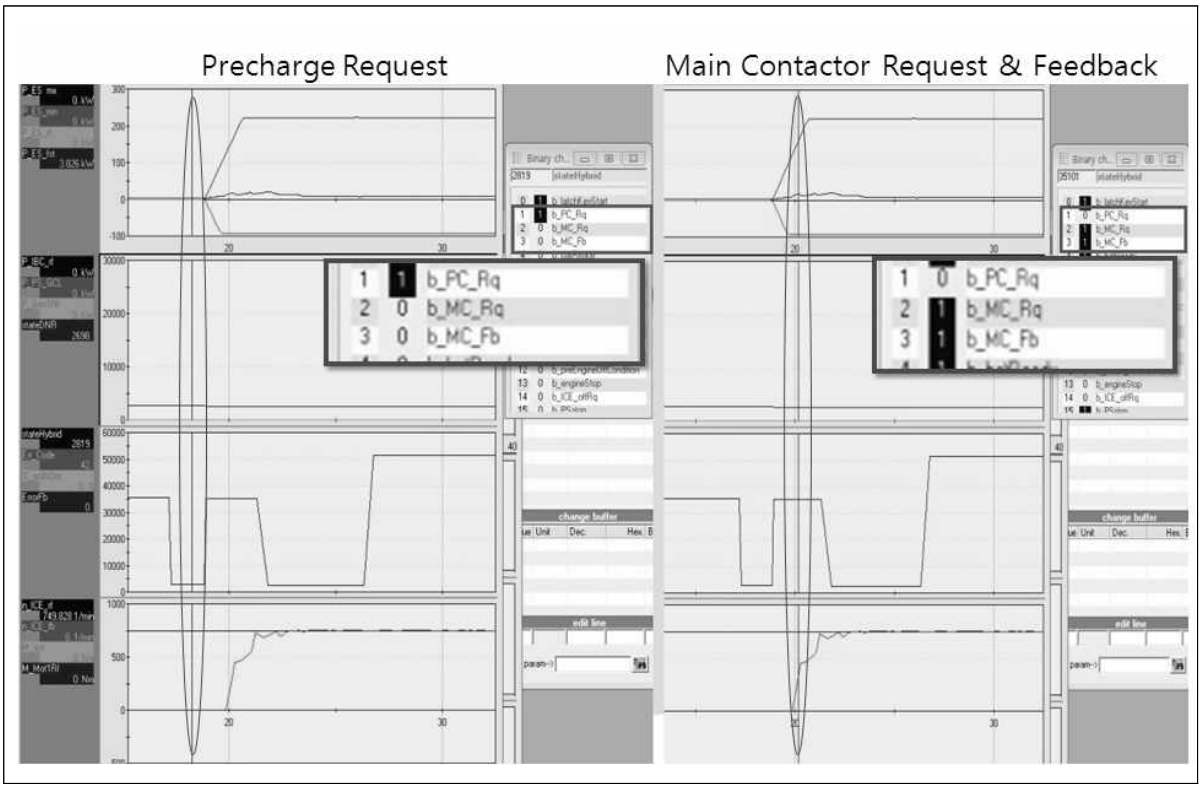
주) Green : 가속 페달 값(%)

<그림 3.149> 가속 페달 값 입력 신호 확인

브레이크 페달 및 가속페달은 각도에 따라 저항 값이 달라지도록 되어 있는 장치이다. VCU는 이 저항 값을 전압을 인가하여 변화하는 전압을 아날로그 입력으로 받아 디지털화 하여 DICO에게 전송을 하도록 되어 있다. 이때 받은 전압값은 0~255의 데이터로 받기 때문에 VCU는 0~100으로 조정하여 DICO로 전송하도록 하였다.

(4) 추진 관련 시퀀스 기능 시험

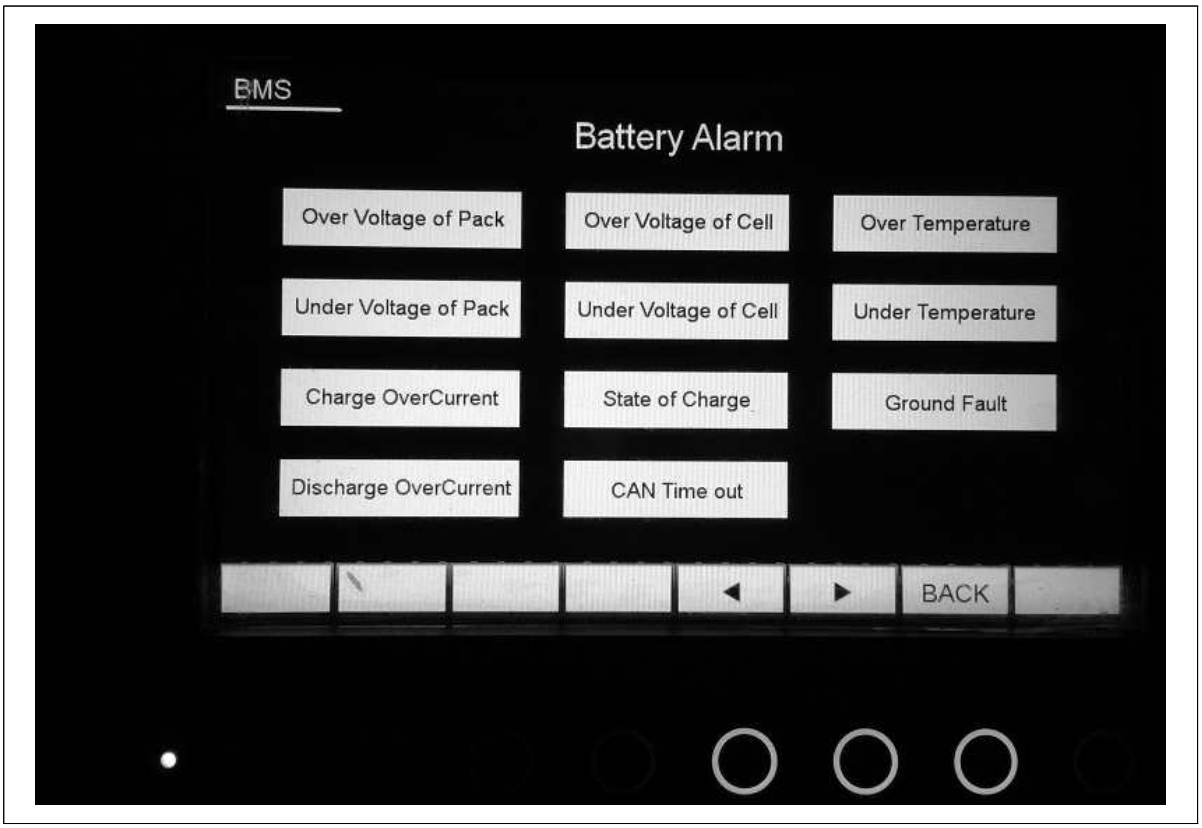
추진 장치들은 고압전원을 사용하기 때문에 안전한 동작을 확보하기 위해서 차량의 전원공급이 시퀀스에 맞게 동작이 되어야 한다. 각 시퀀스는 기동을 위한 스위치 입력에 따라서 적절하게 수행하도록 되어 있다. 기동 스위치는 총 4개이며 MAIN, IGNITION, ENGINE, EV-MODE가 있다. 먼저 MAIN스위치가 입력이 되면 차량의 24V전원을 인가하고, BMS가 동작한다. IGNITION스위치가 입력이 되면 나머지 제어장치들(DICO, ECAS, EBS, ECU)이 동작하여 차량의 기동을 준비하도록 한다. ENGINE스위치를 입력하면 먼저 BMS로부터 배터리 이상여부를 확인한 후, DICO로부터 추진 시스템 에러 확인을 한다. 이상이 없을 경우 Pre-charge 컨텍터 동작 후 일정 전압이 도달함을 확인한 후 메인 컨텍터를 동작시킨다. 모든 동작이 준비가 되면 엔진이 기동하도록 되도록 한다. 이와 같은 시퀀스 기능에 대해서 각각 적절히 동작 하는지 시험 진행을 한다.



<그림 3.150> 엔진 스위치 입력 시 시퀀스 동작 확인 시험

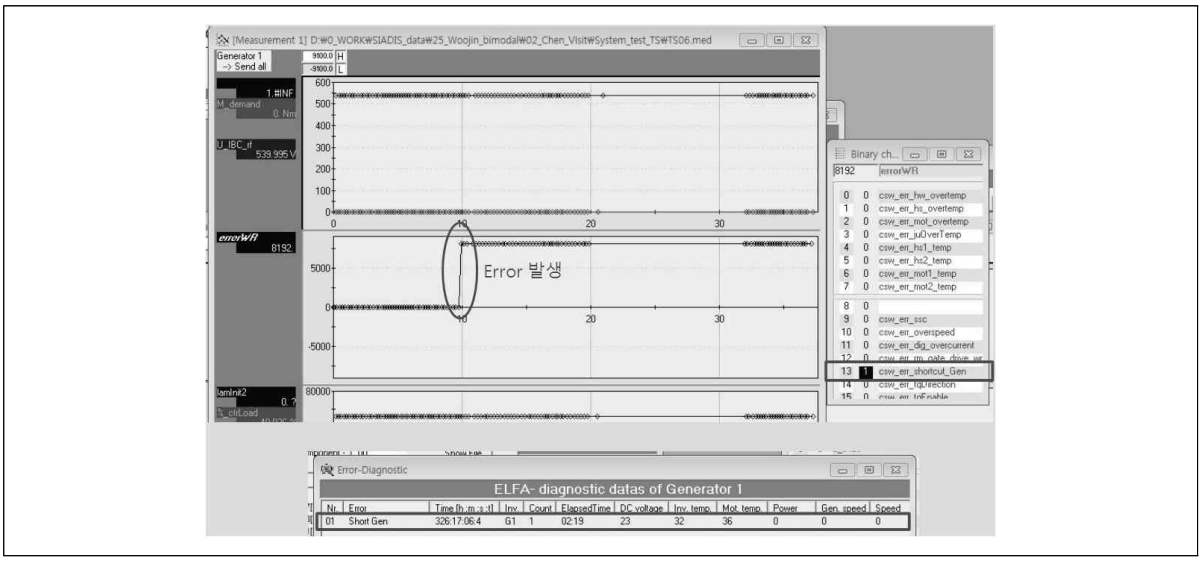
(5) 추진 관련 오류 발생 현시 시험

VCU의 역할 중 하나는 운전자에게 시각적인 정보를 메타클러스터 및 점검모니터를 통해 전달하는 것이다. 이때 차량의 속도 및 연료, 연비뿐만 아니라 차량의 상태를 확인하기 위한 경고등을 표시한다. 경고등은 여러 가지 상황에 따라서 발생하게 되는데, 바이모달 트램의 경우 배터리, 조향, 현가, 제동, 추진 등에 대한 오류 신호를 VCU로부터 받아 현시하도록 되어 있다. 각각의 오류들의 중요도에 따라 중고장 및 경고장을 구분하여 경고등을 현시하고, 특히 운행 중 중고장이 발생하게 되면 경우에 따라 적절한 동작을 통해 차량이 안전하게 정차할 수 있도록 프로그램이 되어 있다. 또한 다른 제어장치들로부터 오류 신호를 받으면 상태에 따라서 차량의 점검을 요구하고 기동이 되지 않도록 설정되어 있다. 또한 기기들의 이상 동작을 감지하였을 경우 출력을 제한하는 동작을 하도록 되어 있다. 이러한 고장 발생 감지는 차량의 안전성에 매우 중요한 사항이기 때문에 발생현시 시험이 필수적으로 진행되어야 한다.



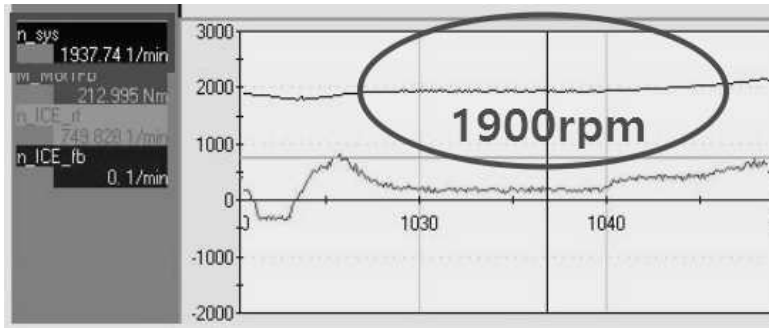
<그림 3.151> 점검모니터 고장 현시 확인 시험

차량에 오류가 발생되었을 경우 모니터에 현시뿐만 아니라 차량의 전원이 차단되거나 시동을 끈 경우에도 데이터는 그대로 남아 있어야 한다. 따라서 오류가 나타나게 될 경우 운전자가 언제든지 확인할 수 있도록 DICO의 비휘발성 저장 메모리인 Diagnostic Data에 저장이 되도록 하여, 그 기능의 동작 여부 시험을 하였다.



<그림 3.152> 오류 발생 시 데이터 저장 기록 확인 시험

차량이 발생된 고장뿐만 아니라 VCU 및 DICO에서 설정된 파라미터를 벗어나는 이상 동작에 대해서도 적절히 동작하는지 여부를 파악하는 시험도 진행되었다. 추진 모터의 경우 파라미터에 설정된 최대 회전속도 값에 맞춰 제대로 제한이 되어 최대회전속도가 넘지 않도록 하여 추진모터를 보호한다. 이와 같은 이상시험 동작은 실제로 진행하면 기기에 손상을 줄 수 있으므로 임시로 정상동작 범위를 한계치로 설정하여 동작시킨다. 즉, 추진모터의 테스트는 최대속도를 1900RPM으로 설정하여 이보다 RPM이 높아질 경우 고장 현시와 동시에 속도가 더 이상 높아지지 않도록 보호 동작 여부를 확인하는 시험이 진행되었다. 또한 추진모터의 최고속도, 최대 굴절 각 보호, 배터리 보호 시험 등 오류발생시 보호 동작 시험을 진행하였다.



주) Black : 추진 모터 회전속도

<그림 3.153> 최대회전속도 제한 시험 결과

(6) 추진 시스템 보완

바이모달 트램의 추진 시스템은 시험 운행을 진행하면서 몇 가지 보완사항이 진행되었다. 필요 보완사항은 다음과 같다.

- ○ 일정 부하 초과 시 엔진 기동
- ○ 모터 가속도 및 최대속도
- ○ 등판능력

각각의 항목들에 대한 상세 보완 내용은 다음과 같다.

(가) 일정 부하 초과시 엔진 기동

보완 전 바이모달 트램은 EV모드 구간인 SOC 60~70% 구간에서 모든 부하를 배터리로 사용하였다. 이때 부하가 커질 경우 배터리의 온도가 크게 오른다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 위한 해결방안으로 1초 이상동안 배터리에서 150A의 이상이 전류가 흘러 소비될 경우, 발전기를 작동시켜 주된 전원 공급은 발전기에서 담당하게 하여 배터리의 부하를 감소하도록 하였다. 즉, EV구간에서 특정 조건 하에 배터리뿐만 아니라 엔진-발전기를 동작시켜 배터리의 부하를 분담하도록 VCU 프로그램을 수정하여 배터리 온도 상승을 억제하도록 개선하였다.

```
IF gTimer1s.q THEN
    IF (DicoHCurEngMode = FALSE) AND (bms.State.Current < -150) THEN
        DicoHCurCnt := DicoHCurCnt + 1;
        IF DicoHCurCnt >= 1 THEN
            DicoHCurEngMode :=TRUE;
            DicoHCurCnt :=0;
        END_IF
    END_IF

    IF (DicoHCurEngMode = TRUE) AND (bms.State.Current > -50) THEN
        DicoHCurCnt := DicoHCurCnt + 1;
        IF DicoHCurCnt >= 3 THEN
            DicoHCurEngMode :=FALSE;
            DicoHCurCnt :=0;
        END_IF
    END_IF
END_IF

IF DicoHCurEngMode AND (bms.State.Soc > 50) THEN
    Dico.Cmd.bmsSOC := 50;
```

<그림 3.154> EV 모드시 VCU에 보완된 프로그램

<표 3.44> 일정 부하 최대시 엔진-발전기 작동 개선 사항

기존	개선안
SOC가 60%미만일 경우에만 엔진-발전기 작동(EV구간 시 엔진-발전기 미동작)	EV모드 구간인 SOC 60~70% 구간에서도 배터리에서 1초 이상, 150A 이상의 출력이 나갈 경우 엔진-발전기 작동

(나) 모터 가속도 및 회전속도 향상

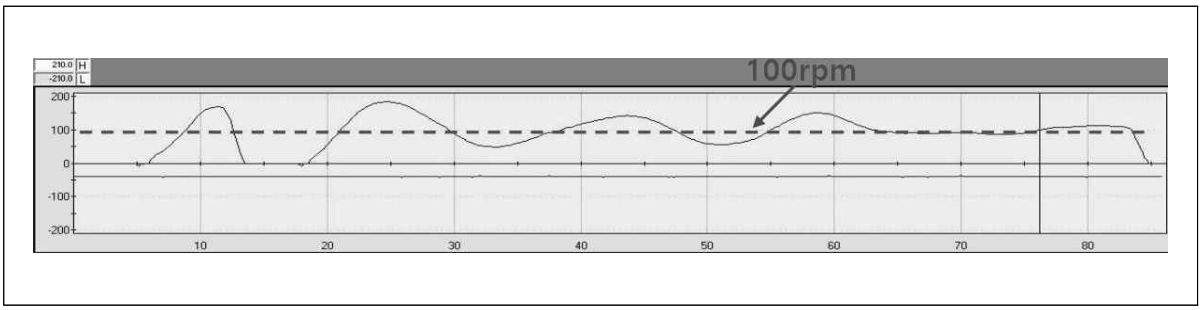
바이모달 트램의 최고속도 성능 목표는 80km/h이다 그러나 보완 전 바이모달 트램은 안전성 검증 단계였기 때문에 최고속도를 다소 낮춘 3150RPM(72km/h)으로 시험 운행이 진행되었다. 이후 안정성이 다소 검증 되어 목표치인 80km/h에 만족하기 위해 최고속도를 3450RPM으로 조정하였다. 모터 가속도 또한 시스템의 안전성 검증단계에서 다소 낮춰놓은 상태로 진행되었으며, 안정성 확인 후 모터 가속도를 기존 115RPM/s를 160RPM/s로 상향 개선하였다.

<표 3.45> 모터 가속도 개선 사항

기존	개선안
모터 최고 회전 속도 : 3150 rpm 모터 가속도 : 115 rpm/s	모터 최고 회전 속도 : 3450 rpm 모터 가속도 160 rpm/s

(다) 경사로 발차 조건 개선

보완 전 바이모달 트램은 일정 구배가 있는 경사로에 정차를 하였을 때, 다시 발차를 하면 가속페달을 밟지 않은 상태에서 기본 토크로 추진할 때 뒤로 밀리는 현상이 발생하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 기본 토크를 높여 뒤로 가속페달을 밟기 전에 밀리지 않도록 프로그램을 수정 보완 작업을 진행하였다. 기본 토크를 높이는 보완작업을 한 후에 경사로에서 가속페달을 밟지 않은 상태로 100RPM으로 추진하는 시험을 진행하여 차량이 뒤로 밀리지 않고 진행할 수 있도록 개선작업을 하였다.



주) Blue : 추진 모터 회전속도

<그림 3.155> 경사로 발차 시험 결과 그래프

제2절 인증획득

1. 자동차 인증

가. 자동차 안전인증 (국토교통부)

「자동차관리법」 제29조 1항 ‘자동차는 대통령령으로 정하는 구조 및 장치가 안전운행에 필요한 성능과 기준(이하 “자동차안전기준” 이라한다)에 적합하지 아니하면 운행하지 못한다.’ 라고 명시 되어 있으며, 이는 자동차안전기준을 만족하지 못하는 차량은 판매 및 등록이 불가능함을 의미한다. 이에 상용화를 진행하기 위하여 자동차 안전인증을 꼭 받아야만 한다.

나. 배출가스 및 소음인증 (환경부)

「대기환경보전법」 제48조 1항 ‘자동차제작자가 자동차를 제작하려면 미리 환경부장관으로부터 그 자동차의 배출가스가 배출가스 보증기간에 제작차 배출허용기준에 맞게 유질 될 수 있다는 인증을 받아야 한다.’ 및 「소음진동관리법」 제 31조 1항 ‘자동차제작자가 자동차를 제작하려면 미리 제작차의 소음이 제 30조에 따른 제작차 소음허용기준에 적합하다는 환경부장관의 인증을 받아야 한다.’ 라고 명시 되어 있다.

다. 결론

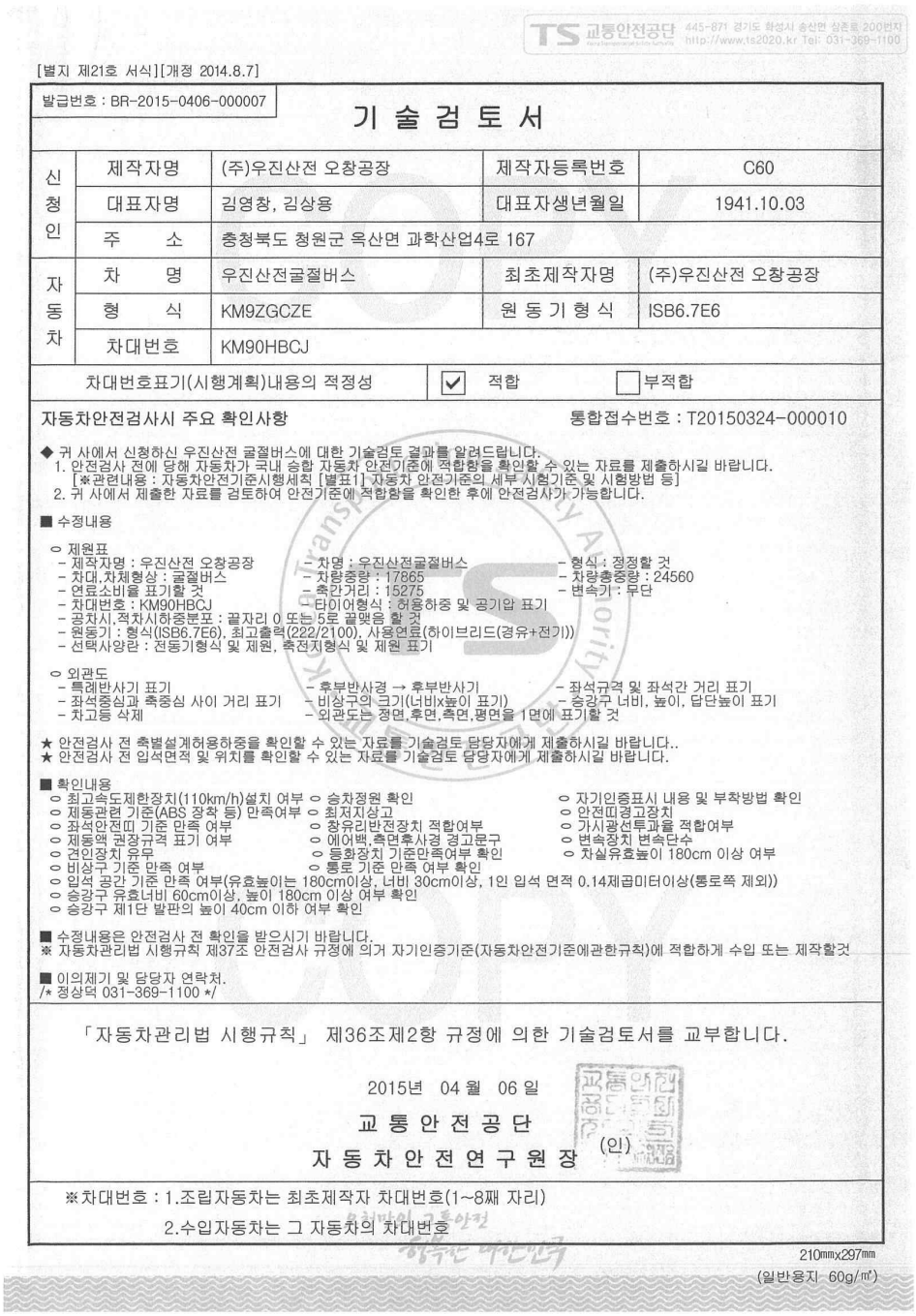
자동차를 개발 및 제작하여 판매 및 영업운전을 위한 등록을 하려면 위 인증을 받지 아니하고서는 판매 및 영업운전이 불가능하다. 이에 본 과제는 실용화 과제로서 차량의 판매 및 영업운전을 목적으로 하기에 자동차안전인증 와 배출가스 및 소음 인증을 받아야 한다.

2. 자동차 안전인증

가. 자동차 안전인증 개요

(가) 기술검토서

「자동차관리법」 제30조 제3항 및 동법 시행규칙 제35조 및 제36조에 의거 바이모달 트램의 제원, 중량 등을 제출하여 기술검토를 신청하였고, 안전도 확보를 위한 안전기준 및 관련 법령의 적합여부 등을 확인하기 위한 기술검토서를 발급받았다.



[별지 제21호 서식][개정 2014.8.7]

발급번호 : BR-2015-0406-000007

기 술 검 토 서

신청인	제작자명	(주)우진산전 오창공장	제작자등록번호	C60
	대표자명	김영창, 김상용	대표자생년월일	1941.10.03
	주 소	충청북도 청원군 옥산면 과학산업4로 167		
자동차	차 명	우진산전굴절버스	최초제작자명	(주)우진산전 오창공장
	형 식	KM9ZGCZE	원 동 기 형 식	ISB6.7E6
	차대번호	KM90HBCJ		
차대번호표기(시행계획)내용의 적정성		☑ 적합	☐ 부적합	

자동차안전검사시 주요 확인사항 통합접수번호 : T20150324-000010

◆ 귀 사에서 신청하신 우진산전 굴절버스에 대한 기술검토 결과를 알려드립니다.
1. 안전검사 전에 당해 자동차가 국내 승합 자동차 안전기준에 적합함을 확인할 수 있는 자료를 제출하시길 바랍니다.
[※관련내용 : 자동차안전기준시행세칙 [별표1] 자동차 안전기준의 세부 시험기준 및 시험방법 등]
2. 귀 사에서 제출한 자료를 검토하여 안전기준에 적합함을 확인한 후에 안전검사가 가능합니다.

■ 수정내용

○ 제원표
- 제작자명 : 우진산전 오창공장
- 차명 : 우진산전굴절버스
- 형식 : 정정할 것
- 차대.차체형상 : 굴절버스
- 차량중량 : 17865
- 차량총중량 : 24560
- 연료소비율 표기할 것
- 축간거리 : 15275
- 변속기 : 무단
- 차대번호 : KM90HBCJ
- 타이어형식 : 허용하중 및 공기압 표기
- 공차시,적차시하중분포 : 끝자리 0 또는 5로 끝맺음 할 것
- 원동기 : 형식(ISB6.7E6), 최고출력(222/2100), 사용연료(하이브리드(경유+전기))
- 선택사양란 : 전동기형식 및 제원, 축전지형식 및 제원 표기

○ 외관도
- 특례반사기 표기
- 후부반사경 → 후부반사기
- 좌석규격 및 좌석간 거리 표기
- 좌석중심과 측중심 사이 거리 표기
- 비상구의 크기(너비x높이 표기)
- 승강구 너비, 높이, 답단높이 표기
- 차고등 삭제
- 외관도는 정면,후면,측면,평면을 1면에 표기할 것

★ 안전검사 전 축별설계허용하중을 확인할 수 있는 자료를 기술검토 담당자에게 제출하시길 바랍니다..
★ 안전검사 전 입석면적 및 위치를 확인할 수 있는 자료를 기술검토 담당자에게 제출하시길 바랍니다.

■ 확인내용
○ 최고속도제한장치(110km/h)설치 여부
○ 승차정원 확인
○ 자기인증표시 내용 및 부착방법 확인
○ 제동관련 기준(ABS 장착 등) 만족여부
○ 최저지상고
○ 안전띠경고장치
○ 좌석안전띠 기준 만족 여부
○ 창유리반전장치 적합여부
○ 가시광선투과율 적합여부
○ 제동액 권장규격 표기 여부
○ 에어백,측면후사경 경고문구
○ 변속장치 변속단수
○ 견인장치 유무
○ 등화장치 기준만족여부 확인
○ 차실유효높이 180cm 이상 여부
○ 비상구 기준 만족 여부
○ 통로 기준 만족 여부 확인
○ 입석 공간 기준 만족 여부(유효높이는 180cm이상, 너비 30cm이상, 1인 입석 면적 0.14제곱미터이상(통로쪽 제외))
○ 승강구 유효너비 60cm이상, 높이 180cm 이상 여부 확인
○ 승강구 제1단 발판의 높이 40cm 이하 여부 확인

■ 수정내용은 안전검사 전 확인을 받으시기 바랍니다.
※ 자동차관리법 시행규칙 제37조 안전검사 규정에 의거 자기인증기준(자동차안전기준에관한규칙)에 적합하게 수입 또는 제작할것

■ 이의제기 및 담당자 연락처.
/* 정상덕 031-369-1100 */

「자동차관리법 시행규칙」 제36조제2항 규정에 의한 기술검토서를 교부합니다.

2015년 04월 06일

교 통 안 전 공 단

자 동 차 안 전 연 구 원 장 (인)

※차대번호 : 1.조립자동차는 최초제작자 차대번호(1~8째 자리)
2.수입자동차는 그 자동차의 차대번호

210mm×297mm
(일반용지 60g/㎡)

<그림 3.156> 기술 검토서

(나) 안전시험

바이모달 트램의 경우, 대형승합 굴절버스로 분류되어 기술검토서에 첨부된 20개 안전시험 항목을 아래 표와 같이 실시하여 자동차안전기준에 적합함을 확인하였다.[1)]

<표 3.46> 안전검사 시험항목

순번	자동차안전기준 시행세칙 No.	안전검사 시험항목	시험진행 방법
1	1	1. 충돌시 승객보호 시험	관련 증빙자료 제출
2	6	6. 좌석 및 그 잠금장치 강도시험	자동차안전연구원에서 시험실시
3	18	18. 좌석안전띠 부착장치 강도 시험	자동차안전연구원에서 시험실시
4	19	19. 견인장치 강도시험	자동차안전연구원에서 시험실시
5	21	21. 등화장치 광도시험	제조사 ECE인증서 제출
6	22	22. 운전자의 시계범위	자동차안전연구원에서 시험실시
7	23	23. 원동기 출력시험	제조사 시험성적서 제출
8	26	26. 소음방지장치 시험	교통환경연구소에서 시험실시
9	29	29. 승합화물특수자동차 제동능력시험	자동차안전연구원에서 시험실시
10	31	31. ABS 설치자동차 제동 능력시험	자동차안전연구원에서 시험실시
11	35	35. 조향성능시험	자동차안전연구원에서 시험실시
12	36	36. 최고속도제한장치 시험	자동차안전연구원에서 시험실시
13	37	37. 속도계 시험	자동차안전연구원에서 시험실시
14	38	38. 차실내장재 연소성 시험	자동차안전연구원에서 시험실시
15	41	41. 전자파적합성 시험	부산 테크노파크에서 시험실시
16	12	42. 경음기 소음시험	교통환경연구소에서 시험실시
17	17	47. 고전원전기장치 안전성 시험	자동차안전연구원에서 시험실시
18	48	48. 구동축전지 안전성 시험	제조사 시험성적서 제출
19	49	49. 자동차용 창유리 시험	제조사 KS인증서 제출
20	56	56. 공기압고무타이어 시험	제조사 시험성적서 제출

1) 고전원전기장치 안전성 시험의 경우 기술검토서의 안전시험 항목에서는 누락되었으나, 바이모달과 같은 하이브리드 차량에 필요한 안전시험으로 검토되어 추후 추가되었음

나. 안전인증시험 및 안전검사 결과

안전인증시험을 위한 안전검사 용역 결과 자동차안전연구원으로부터 모든 항목에 대해 만족함을 받았다.

<표 3.47> 안전검사 시험항목 요약

번호	자동차안전기준 시행세칙 No.	안전검사 시험항목	시험진행 방법	비고
1	6	6. 좌석 및 그 잠금장치 강도시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
2	18	18. 좌석안전띠 부착장치 강도 시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
3	19	19. 견인장치 강도시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
4	22	22. 운전자의 시계범위	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
5	29	29. 승합화물특수자동차 제동능력시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
6	31	31. ABS 설치자동차 제동 능력시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
7	35	35. 조향성능시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
8	36	36. 최고속도제한장치 시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
9	37	37. 속도계 시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
10	38	38. 차실내장재 연소성 시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족
11	47	47. 고전원전기장치 안전성 시험	자동차안전연구원에서 시험실시	만족

(가) 안전인증용역 결과

① 좌석 및 그 잠금장치 시험

시험 결과 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 시행세칙 [별표1]의 “06. 좌석안전띠부착장치 등 강도시험”에 따라 시험한 결과, 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제 97조에 기준에 적합함을 확인하였다.

<표 3.48> 좌석 및 그 잠금장치 시험 결과

좌석 및 잠금장치 위치		해당좌석무게 (kg)	하중방향	시험기준 및 적용하중					시험품 상태	판정
				좌석강도						
				좌석 평석	하중(kg)		유지시간(s)			
					기준	적용	기준	적용		
1열	운전석	[illegible]	전방	독립	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	이상 없음	만족



(a) 1열 좌석 시험 전 (b) 1열 좌석 시험 후

<그림 3.157> 좌석 및 그 잠금장치 시험 사진

② 좌석안전띠 부착장치 등 강도시험

「자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 시행세칙」 [별표1]의 “18. 좌석안전띠 부착장치 등 강도시험”에 따라 시험한 결과, 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제 103조의 제1항 내지 3항의 기준에 적합함을 확인하였다.

<표 3.49> 좌석 안전띠 부착장치 등 강도시험

좌석위치	안전띠 형식 및 위치		시험기준 및 적용하중				판정
			정하중시험				
	형식	위치	하중(kg)		유지시간(s)		
			기준	적용	기준	적용	
1열 운전석	3점식	어깨	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합
1열 운전석	3점식	골반	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합

③ 견인장치 강도시험

「자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 시행세칙」 [별표1]의 “19. 견인장치 강도시험”에 따라 시험한 결과, 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제 20조의 1호, 2호 및 4호의 기준에 적합함을 확인하였다.



(a) 1열 좌석안전띠 부착장치 시험 전　　(b) 1열 좌석안전띠 부착장치 시험 후

<그림 3.158> 좌석 안전띠 부착장치 등 강도시험 사진

<표 3.50> 견인장치 강도시험 결과

견인장치 위치	시험기준 및 적용하중 견고하고 확실하게 결합할 수 있고 견인할 때 진동 또는 충격 등에 의하여 연결된 상태가 분리되지 아니하는 구조이어야 하며 차량 중량의 1/2 이상의 힘에 견딜 수 있을 것.					판정
	견인장치 구조	하중방향	하중(kg)		시험품 상태	
			기준	적용		
전방	고정형	정면	9747.5	[illegible]		적합

④ 운전자의 시계범위 시험

운전자 시계범위 시험 결과 「자동차 안전기준에 관한 규칙 제 50조」의 기준에 적합함을 확인하였다.

<표 3.51> 운전자의 실외 후사경 시계범위 시험 결과

측정위치		측정값		판정
운전자 눈 위치에서 후방 4m의 노면 상에서의 좌측 너비(mm)	x ℓ	좌	[illegible]	적합
		우	[illegible]	
운전자 눈위치에서 후방 20m의 노면 상에서의 좌측 너비(mm)	x ℓ	좌	[illegible]	적합
		우	[illegible]	

<표 3.52> 곡률 반경 측정

시험위치	구면계 눈금(h)	곡률반경(cm)	평균 곡률 반경과의 차이(%)	판정
1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합
2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합
3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합
4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합
5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합
평균곡률반경		[illegible]		**적합**

<표 3.53> 차체전방 장애물 확인 장치

설치여부	장치명	판정
O	전방 확인용 모니터링 장치	적합



(a) 후방시계범위 (우측)

(b) 후방시계범위 (좌측)



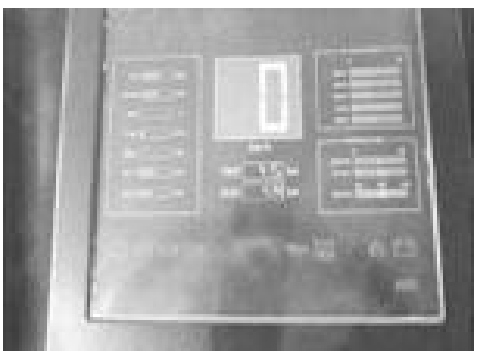
(c) 실외 후사경 문구표기

(d) 전방 장애물 확인 장치

<그림 3.159> 운전자의 시계범위 시험 사진

⑤ 승합자동차, 화물자동차 및 특수자동차의 제동능력 시험

승합자동차 화물자동차 및 특수자동차의 제동능력시험 종합결과 세부항목 기준에 적합함을 보였다.

시험자동차	 (a) 전면	 (b) 후면
	 (c) 좌면	 (d) 우면
시험장면	 (e) 일반제동성능시험	 (f) 고온제동성능시험
	 (g) 고장시 시험(전달장치)	 (h) 주차성능

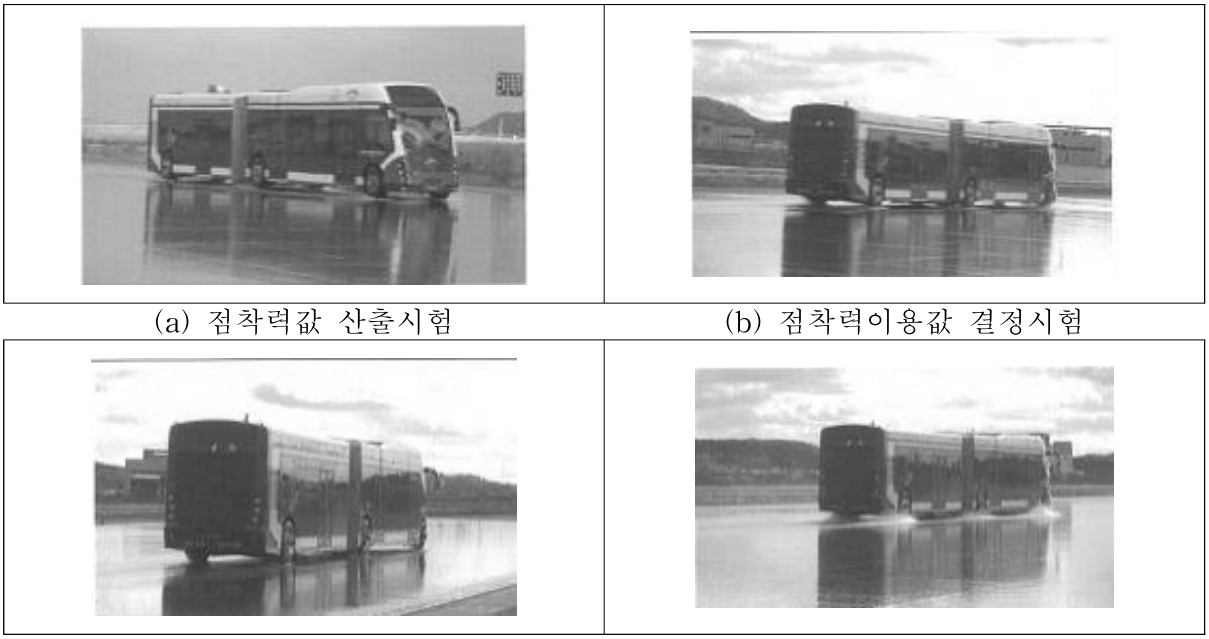
<그림 3.160> 승합자동차, 화물자동차 및 특수자동차의 제동능력 시험 사진

<표 3.54> 승합자동차, 화물자동차 및 특수자동차의 제동능력 시험 결과

시험항목			초기 브레이크 온도 (℃)	제동초 속도 (km/h)	교정 제동거리 (m)	최대 페달답력 (N)	평균최대 감속도 (m/s^2)	차선이탈 바퀴잠김 등	판정
길들이기					–			–	–
주제동장치의 제동능력	적차							없음	적합
	경적차							없음	적합
주제동장치의 제동능력확인	적차	0.3 Vmax						없음	적합
		0.55 Vmax							
		0.8 Vmax							
	경적차	0.3 Vmax						없음	적합
		0.55 Vmax							
		0.8 Vmax							
주제동장치의 고속제동능력	적차							없음	적합
	경적차							없음	적합
원동기정지시 주제동장치의 제동능력 (적차)								없음	적합
에너지원고장시 주제동장치의 제동능력	적차							없음	적합
	경적차							없음	적합
	경고등 위치, 색상 : 왼쪽하단 적색								적합
전달장치고장시 주제동장치의 제동능력	1축고장	적차						없음	적합
		경적차						없음	적합
	2축고장	적차						없음	적합
		경적차						없음	적합
	3축고장	적차						없음	적합
		경적차						없음	적합
	경고등 위치, 색상 : 왼쪽하단 적색								적합

⑥ ABS장치를 설치한 자동차의 제동능력 시험

ABS장치(바퀴잠김방지식 주제동장치)를 설치한 자동차의 제동능력 시험 결과 안전기준 제15조 제1호, 제2호, 제3호 및 ABS장치의 일반규정에 적합함을 보였다.



(a) 점착력값 산출시험 (b) 점착력이용값 결정시험

(c) 추가확인시험 (d) Zmals 확인시험

<그림 3.161> ABS장치를 설치한 자동차의 제동능력 시험

<표 3.55> 에너지 소비 시험 결과

시험항목	초기 브레이크 온도(℃)	제동 초속도 (km/h)	교정제동 거리(m)	최대페달 답력(N)	평균최대 감속도 (m/s2)	바퀴잠김/ 제동안정성	판정
건조로시험	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	없음	적합

<표 3.56> 점착력이용값 결정시험 결과

시험항목		점착력값			최대 제동률 (ZAL)	점착력 이용값 (ε)	판정
		전차축 (Kf)	후차축 (Kr)	KM			
적차	저마찰로	[illegible]	-	-	[illegible]	[illegible]	적합
	고마찰로	[illegible]	-	-	[illegible]	[illegible]	적합
경적차	저마찰로	[illegible]	-	-	[illegible]	[illegible]	적합
	고마찰로	[illegible]	-	-	[illegible]	[illegible]	적합

<표 3.57> ABS 장치 추가확인시험 결과

시험항목			초기 브레이크 온도(℃)	속도 (경계저점통과시)		최대 페달 답력 (N)	차선이탈 제동안전성 바퀴잠김 등	조향핸들 회전각 등	판정
				규정속도 (km/h)	실제속도 (km/h)				
바퀴잠김 방지식 주제동장치의 제동능력	적차	고마찰					적합	–	적합
							적합	–	적합
		저마찰					적합	–	적합
							적합	–	적합
	경적차	고마찰					적합	–	적합
							적합	–	적합
		저마찰					적합	–	적합
							적합	–	적합
고마찰에서 저마찰로 통과시 ABS장치의 제동능력		적차					적합	고마찰로에서 ABS장치 정상작동 확인	적합
							적합		적합
		경적차					적합		적합
							적합		적합
저마찰에서 고마찰로 통과시 ABS장치의 제동능력		적차					적합	감속도의 적절한 증가확인	적합
		경적차					적합		적합
비균일노면 통과시 ABS장치의 제동능력		적차					적합	적합	적합
		경적차					적합	적합	적합

⑦ 조향성능 시험

「자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 과한 시행세칙」[별표1]의 “35. 조향성능시험”에 따라 시험한 결과, 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제 14조 제1항 제 3호 내지 제 4호 및 제 89조 제 2항 기준에 적합함을 보였다.

<표 3.58> 직선주행성능 확인 시험 결과

구분	비정상적인 조향보정 유무	조향장치의 이상 진동 유무	판정 (적합/부적합)
정상상태	없음	없음	적합
고장상태	없음	없음	적합

<표 3.59> 선회성능 확인시험 결과

구분		선회 반지름 (m)	선회 속도 (km/h)	조향장치 이상진동 유무	선회원 변화	조향각 즉각적인 변화유무	판정 (적합/ 부적합)
정상 상태	시계방향	[illegible]	[illegible]	없음	증가	-	적합
	반시계방향	[illegible]	[illegible]	없음	증가	-	적합
고장 상태	시계방향	[illegible]	[illegible]	없음	-	없음	적합
	반시계방향	[illegible]	[illegible]	없음	-	없음	적합

<표 3.60> 조향복원성 확인시험 결과

구분		조향바퀴를 최대조향각의 절반까지 조향시킨 채로 최소 10 km/h 정속 주행시 조향조정장치의 조향 조종력 제거 후 선회원 변화	판정 (적합/ 부적합)
정상 상태	시계방향	선회원 증가	적합
	반시계방향	선회원 증가	적합

<표 3.61> 조향 조종력 측정 시험 결과

구분		선회 반지름 (m)	평균선회 속도 (km/h)	조향 조종장치 조종각(°)	최대조향 조종력(N)	조향 시간 (초)	판정 (적합/ 부적합)
정상 상태	시계방향	[illegible] 주)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합
	반시계방향	[illegible] 주)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합
고장 상태	시계방향	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합
	반시계방향	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합

주) 자동차총중량 5톤 초과 승합자동차 및 자동차총중량 12톤초과 화물 및 특수자동차로 선회반지름 12미터를 얻을 수 없는 경우 최대 조향각으로 실시함

<표 3.62> 직선주행성능 확인시험

구분	비정상적인 조향보정 유무	조향장치의 이상진동 유무	판정 (적합/부적합)
연동가변조향장치 고장상태	없음	없음	적 합

<표 3.63> 직선회 성능 확인시험

구분		선 회 반지름 (m)	선회 속도 (km/h)	조향장치 이상진동 유무	선회원 변화	조향각 즉각적인 변화유무	판정 (적합/ 부적합)
연동가변 조향장치 고장상태	시계 방향	[illegible]	[illegible]	없음	-	없음	적합
	반시계 방향	[illegible]	[illegible]	없음	-	없음	적합



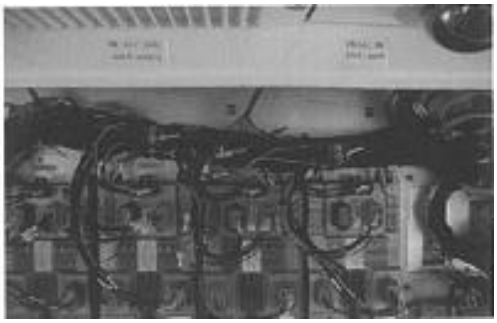
(a) 직선주행성능 시험



(b) 선회성능 및 조종력 시험



(c) 연동가변조향장치 - 2축 고장스위치



(d) 연동가변조향장치 - 3축 고장스위치

<그림 3.162> 조향성능 시험 사진

⑧ 최고속도제한장치 시험

「자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 시행세칙」 [별표1]의 “36. 최고속도제한장치 시험”에 따라 시험한 결과, 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제 110조의 2 기준에 적합함을 보였다.

<표 3.64> 가속 시험 결과

구 분		측정값	판 정	비 고
설정속도(km/h)		[illegible]	적합	Vstab ≤(Vset+Vset ×0.05) 또는 5km/h중 큰값) 및 110(90)km/h
안정속도(km/h)		[illegible]		
안정속도 최초 도달 후 적합기준 관련	최고속도(km/h)	[illegible]	적합	Vmax ≤ Vstab × 1.05
	최대 속도변화율(㎧)	[illegible]	적합	≤±0.5㎧
안정속도 최초 도달 후 10초이내 적합기준 관련	최대 속도변화량(km/h)	[illegible]	적합	≤(Vstab×0.04) 또는 2km/h중 큰값
	최대 속도변화율(㎧)	[illegible]		≤ ±0.2㎧
	해당기준 도달시간(초)	[illegible]		≤ 10초

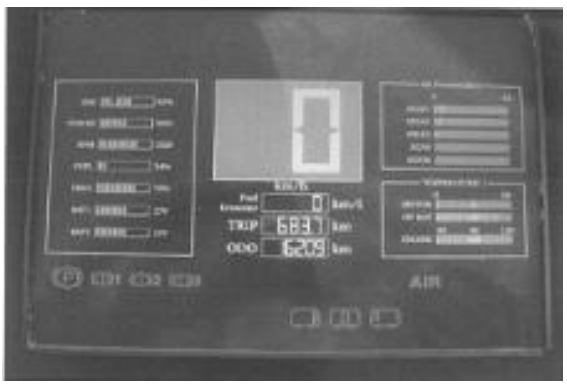
<표 3.65> 정속 시험 결과

회수	주행 거리	주행 방향	설정속도 (km/h)	평균속도 (km/h)	안정속도 (km/h)	판정	최종 판정	기준
1	400	+	[illegible]	[illegible]	[illegible]	적합	적합	Vstab ≤(Vset+Vset ×0.05) 또는 5km/h 중 큰값) 및 110(90)km/h 안정속도의 최대값과 최소값의 차이(km/h) ≤ 3km/h
		−		[illegible]				
2		+		[illegible]	[illegible]	적합		
		−		[illegible]				
3		+		[illegible]	[illegible]	적합		
		−		[illegible]				
4		+		[illegible]	[illegible]	적합		
		−		[illegible]				
5		+		[illegible]	[illegible]	적합		
		−		[illegible]				
안정속도간의 최대 편차 값(km/h)					[illegible]	적합		

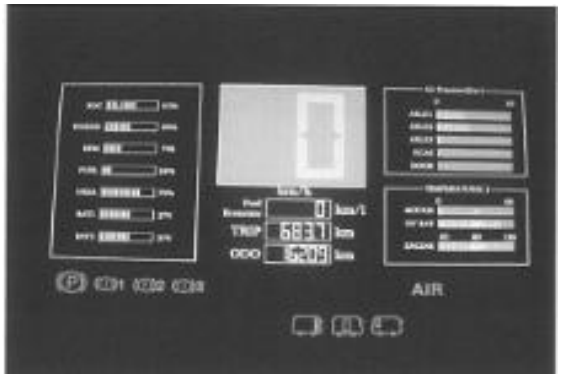
⑨ 속도계시험

「자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 시행세칙」[별표1]의 “37. 속도계 시험”에 따라 시험한 결과, 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제 110조 기준에 적합함을 보였다.

○ 최고속도 : 73.6km/h



(a) 주간



(b) 야간

s [m]	t [s]	v [km/h]
0.0	0.00	73.2
100.0	4.91	73.3
200.0	9.82	73.2

1회 (+) 방향

s [m]	t [s]	v [km/h]
0.0	0.00	73.2
100.0	4.90	73.5
200.0	9.78	73.7

2회 (+) 방향

s [m]	t [s]	v [km/h]
0.0	0.00	73.7
100.0	4.89	73.8
200.0	9.77	73.8

3회 (+) 방향

s [m]	t [s]	v [km/h]
0.0	0.00	73.9
100.0	4.88	73.7
200.0	9.76	73.7

1회 (-) 방향

s [m]	t [s]	v [km/h]
0.0	0.00	74.0
100.0	4.86	73.8
200.0	9.73	73.9

2회 (-) 방향

s [m]	t [s]	v [km/h]
0.0	0.00	73.2
100.0	4.91	73.1
200.0	9.84	73.0

3회 (-) 방향

(c) 최고속도 시험 결과

<그림 3.163> 속도계 시험 사진

<표 3.66> 속도계 시험 결과

지시속도		40km/h			최고속도의 80% (60km/h)		
실제 속도	측정값	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	평균값	[illegible]			[illegible]		
지시오차		[illegible]			[illegible]		
판 정		적합			적합		

⑩ 차실내장재 연소성 시험

시험 결과 차실내장재 시험결과 이상 없음 결과를 받았다.

<표 3.67> 차실내장재 연소성 시험 결과

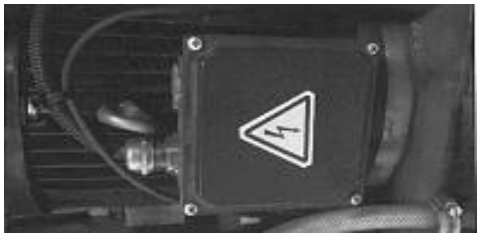
번호	시 편 명	시 편 재 질	거리 (D)	시간 (T)	속도 (B)	판정
1	측면 판넬	FRP	-	-	-	A
2	윈도우 몰딩 패킹	고무	-	-	-	B
3	운전석 내장판 1	FRP	-	-	-	A
4	운전석 내장판 2	FRP	-	-	-	A
5	운전석 내장판 3	FRP	-	-	-	A
6	운전석 내장판 4	FRP	-	-	-	A
7	단부 내장판 1	FRP	-	-	-	A
8	단부 내장판 2	FRP	-	-	-	A
9	객실 손잡이	손잡이(ABS) 벨트 (열가소성 수지)	-	-	-	A
10	객실 의자	플라스틱	-	-	-	B
11	단열재	E-GLASS	-	-	-	A
12	바닥재 1	합성고무+평활재	-	-	-	A
13	바닥재 2	합성고무+평활재	-	-	-	A
14	냉방장치 덕트	알루미늄+엘라민폼	-	-	-	A
15	안전벨트	폴리에스터	[illegible]	[illegible]	[illegible]	B
16	휠 하우징 커버	FRP	-	-	-	A
17	출입문 고무	고무	-	-	-	B
18	라운드 시트	스펀지+패브릭	-	-	-	B
19	스티어링 하부	열가소성 엘라스토머	-	-	-	A

⑪ 고전원전기장치 안전성 시험

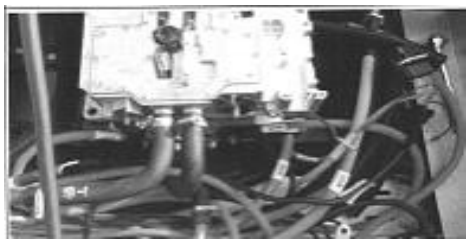
고전원전기장치 안전성 시험 결과 자동차 안전기준 제 18조의 2 기준에 적합함을 보였다. 기준은 Pre-Charge Box, AWS Pump, DCU 배선, 인버터 배선, 에어컨 및 구동축전지 등, 고전원전기장치의 노출 도전부가 전기적 샤시와 배선, 용접 또는 볼트 등의 방법으로 전기적으로 접속되어 있어야 하며, 노출 도전부와 전기적 샤시 사이의 저항은 0.1Ω 미만이어야 한다.



(a) Pre-Charge Box



(b) AWS Pump



(c) DCU 배선



(d) 인버터 배선



(e) 에어컨



(f) 구동축전지

<그림 3.164> 고전원 전기장치 안전성 시험 사진

(나) 성적서 제출

안전인증 시험에서 일부 항목에 대해서는 성적서를 제출하여 인증 받았다.

- ○ 원동기 출력시험 – 제조사 시험성적서 제출
- ○ 등화장치 광도시험 - 제조사 ECE 인증서 제출
- ○ 자동차용 창유리 시험 – 제조사 KS인증서 제출
- ○ 공기압 고무타이어 시험 – 제조사 시험성적서 제출
- ○ 구동축전지 안전성시험 – 제조사 시험성적서 제출
- ○ 충돌시 승객보호 시험(전복시험) – 관련 증빙자료 제출

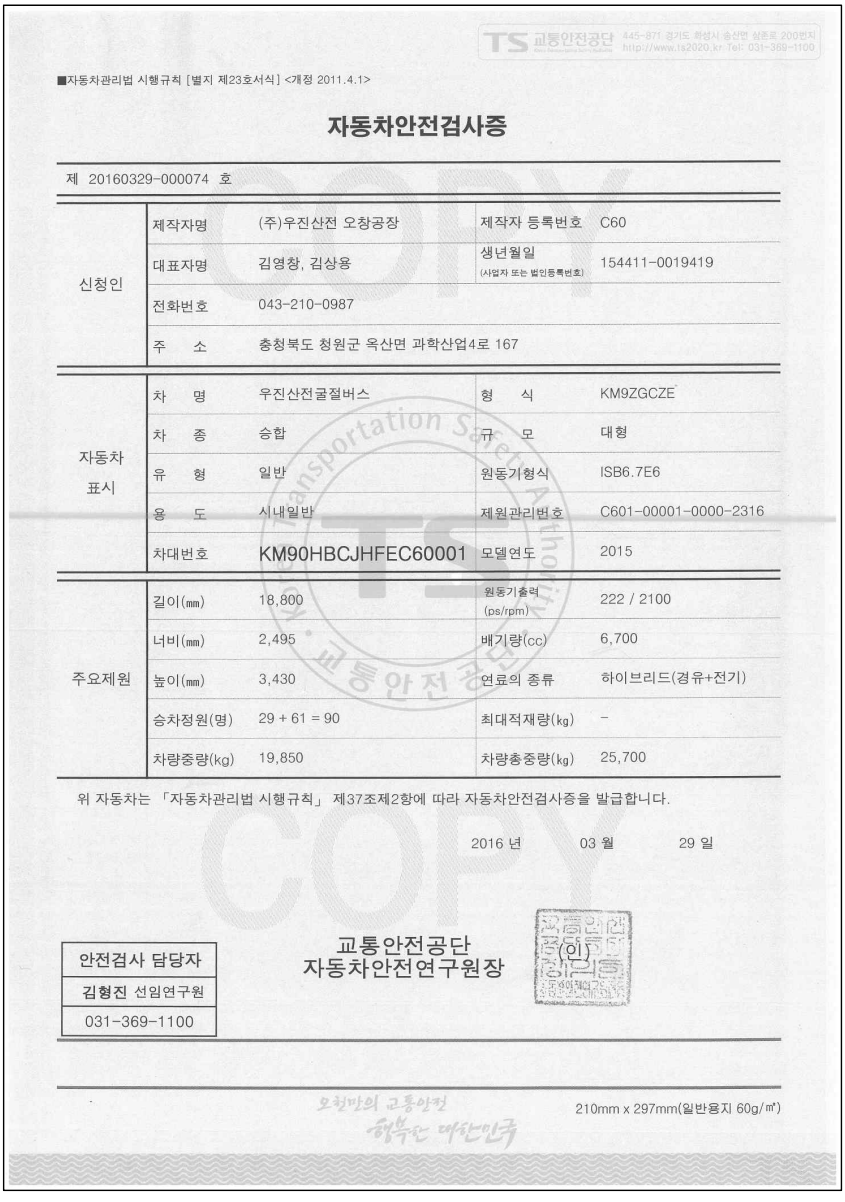
(다) 기타 시험

안전인증 시험에서 일부 항목에 대해서는 교통환경연구원 등에서 시험을 실시 후 성적서를 제출하여 인증을 받았다.

○ 소음방지장치/경음기 시험 – 교통환경연구원에서 시험 실시 후 성적서 제출
○ 전자파 적합성 시험 – 부산테크노파크에서 시험 실시 후 성적서 제출

(라) 안전검사

안전시험 완료 후 중량측정, 제원측정 등 바이모달 트램의 안전검사를 실시하였다.



■자동차관리법 시행규칙 [별지 제23호서식] <개정 2011.4.1>

자동차안전검사증

제 20160329-000074 호

신청인	제작자명	(주)우진산전 오창공장	제작자 등록번호	C60
	대표자명	김영창, 김상용	생년월일 (사업자 또는 법인등록번호)	154411-0019419
	전화번호	043-210-0987		
	주 소	충청북도 청원군 옥산면 과학산업4로 167		
자동차 표시	차 명	우진산전굴절버스	형 식	KM9ZGCZE
	차 종	승합	규 모	대형
	유 형	일반	원동기형식	ISB6.7E6
	용 도	시내일반	제원관리번호	C601-00001-0000-2316
	차대번호	KM90HBCJHFEC60001	모델연도	2015
주요제원	길이(㎜)	18,800	원동기출력 (ps/rpm)	222 / 2100
	너비(㎜)	2,495	배기량(cc)	6,700
	높이(㎜)	3,430	연료의 종류	하이브리드(경유+전기)
	승차정원(명)	29 + 61 = 90	최대적재량(kg)	-
	차량중량(kg)	19,850	차량총중량(kg)	25,700

위 자동차는 「자동차관리법 시행규칙」 제37조제2항에 따라 자동차안전검사증을 발급합니다.

2016 년 03 월 29 일

안전검사 담당자
김형진 선임연구원
031-369-1100

교통안전공단
자동차안전연구원장 (인)

210mm x 297mm(일반용지 60g/㎡)

<그림 3.165> 안전검사증

3. 자동차 환경인증

가. 자동차 환경인증 개요

환경시험은 환경부로부터 받는 인증으로써, 배기가스 및 소음에 대한 기준을 만족하는 차량임을 인증한다. 바이모달 트램은 유로-6 디젤 엔진을 장착한 차량으로써, 유로-6 기준에 맞음을 인증하였다. 또한 소음도 기준 이하로 적합함을 받음으로써 차량의 소음 절감 성능을 인증 받았다.

① 배출가스 기준

바이모달 트램은 유로-6 디젤 하이브리드 추진 시스템을 가지고 있기 때문에 「대기환경보전법」 제 48조 제 1항에 따라 디젤 엔진에 대한 배출가스 기준을 만족해야 한다. 해당 기준에 대해서는 다음과 같다.

<표 3.68> 환경인증 배출가스 기준

구분	배출가스 시험 결과 (g/kWh)						
	CO	NOx	HC	NH3	PM	PN (3/kWh)	CO2
WHSC	1.5	0.4	0.13	10	0.01	8x1011	-
WHTC	4.0	0.46	0.16	10	0.01	6x1011	-

② 소음 기준

바이모달 트램은 「소음·진동 관리법」 제 31조 제 1항에 따라 다음과 같은 소음 기준을 만족해야 한다.

<표 3.69> 환경인증 소음 기준

소음 시험 기준 (dB(A), dB(C))		
가속주행 소음	배기소음	경적소음
80	105	112

행복한 대한민국을 여는 정부3.0

환 경 부

수신 (주)우진산전 오창공장
(경유)
제목 (주)우진산전 오창공장 제작자동차 배출가스 및 소음 인증 통보

1. (주)우진산전 오창공장 인증신청서 제804-805(2015.11.18)호와 관련입니다.

2. 귀 사에서 제출한 인증 신청 자료를 검토한 결과 「대기환경보전법」 제48조제1항 및 「소음·진동관리법」 제31조제1항에 따라 배출가스 및 소음 인증서를 붙임과 같이 교부하오니 인증 조건 및 관련 법령을 철저히 준수하여 주시기 바랍니다.

3. 또한, 「대기환경보전법」 제48조제2항 및 「소음·진동관리법」 제31조제2항에 해당되는 경우에는 반드시 변경인증 및 변경보고해 주시기 바라며, 같은 법의 해당 배출허용기준이 변경될 때에는 즉시 동 인증서를 반납하여 주시기 바랍니다.

가. 인증 대상 자동차

차명 (형상)	형식 (용도)	엔진형식 (차종)	사용연료 (배기량)	최대출력 (변속기)	총중량 (공차중량)	인증번호
우진산전 굴절버스 (버스형)	KM9ZGCZE (시내일반)	IS86.7E6 (대형승용)	경유 (6,690cc)	280ps/2,100rpm (없음)	25,995kg (19,495kg)	배출가스 : GMY-WJ-14-02 소 음 : GMJ-HS-14-02

나. 시험결과 [배출가스 : '14년 대형승용 기준, 소음 : '06년 기준]

구분		배출가스 시험결과(g/kWh)							소음 시험결과(dB(A),dB(C))		
		CO	NOx	HC	NH_3 (ppm)	PM	PN (#/kWh)	CO_2	가속주행 소음	배기소음	경적소음
허용기준	WHSC	1.5	0.4	0.13	10	0.01	8×10^{11}	-	80	105	112
	WHTC	4.0	0.46	0.16	10	0.01	6×10^{11}	-			
시험결과	WHSC	[illegible]									
	WHTC	[illegible]									

붙임 : 제작자동차 배출가스 및 소음 인증서 각 1부. 끝.

<그림 3.166> 배출가스 및 소음 인증 통보

나. 환경인증 결과

(가) 배출가스 시험 결과

바이모달 트램에 적용된 엔진은 DOC(산화촉매)+DPF(매연포집필터)+SCR(선택적환원촉매)의 기술이 적용되어 있다.

① DPF(Diesel Particulate Filter)

DOC와 DOPF가 일체된 형태이며, ECM에서 Soot 적체량 모니터링, 재생 시기와 모드 등을 조절하기 위한 온도 및 차압 센서를 설치하였다. 유로-6의 연속재생 DPF로써 재생지수는 미적용 되었으며, 산화촉매 전/후단, DPF 후단에 배기가스 온도센서를 적용하였다. 비정상적인 수트로딩 상태 배압이 6g/L 이상일 때 강제 재생이 개시하고, DPF 차압에 따른 경고등이 구분되고, DPF 차압이 6g/L 이상인 경우 강제 수동 재생스위치가 사용될 수 있도록 적용되었다.

② SCR (Selective Catalytic Reduction)

2개의 NOx 센서가 적용되어 NOx 레벨 정확도 확보, 엔진 및 환경조건에 따른 유레아 분사량 제어 성능이 향상 되었다. SCR 탱크의 레벨과 분사량 모니터링 기능이 적용되어 유레아 탱크 레벨값과 분사량 계산값 과의 편차가 50%이상 차이날 경우 오작동 판정이 되도록 되어 있다.

③ OBD 진단기능 강화

유로-6 OBD 기준이 적용되어, 오작동 판단기준을 초과하지 않고 배출가스에 영향을 주는 부품에 대해 진단하도록 되어 있다. 촉매제 품질 감시 강화하여 희석 등 부적절한 요소수 사용에 관한 모니터링이 강화되었다. NOx 저감장치 오작동 또는 OBD 임의조작 발생시 (1단계) OBD 경고등과 추가 경고등 점등, (2단계) 25% 이하로 토크 제한, (3단계) 최대 차속 20km/h로 제한하도록 하였다. NOx 센서를 전/후단에 적용하여 NOx 저감 효율 진단을 강화하였다. DPF 압력센서를 적용하여 담체 누락, 막힘, 누기, 재생효율 등 진단할 수 있도록 하였다. 전기적인 부품 및 센서류 오작동 진단기능이 강화되었다. 바이모달 트램 배출가스 시험 결과 허용기준에 만족함을 보였고, 앞으로 2016년 양산계획에 따라 수시검사를 시행할 예정이다.

(앞쪽)

인증번호(Certificate No.) : GMY-WJ-14-02

자동차배출가스 인증서
(Certificate of Motor Vehicle Emission)

신청자	업체명(Company Name) (주)우진산전 오창공장	성명(대표자)(Representative) 김영창, 김상용
	주소(Adress/Head Office) 충북 청주시 흥덕구 옥산면 과학산업4로 167	전화번호(Tel) 043-210-0935
	사업장소재지(Address/Plant) 충북 청주시 흥덕구 옥산면 과학산업4로 167	전화번호(Tel) 043-210-0935

인증사항 (Certification Items)

자동차제원(Vehicle Specifications)

자동차명칭(형상) (Model Name, Body Type)	자동차형식(용도) (Vehicle Type, Use)	엔진형식 (Engine Type)	차종 (Category)	사용연료 (Fuel Type)	제작사 (Manufacturer)
우진산전 굴절버스 (버스형)	KM9ZGCZE (시내일반)	ISB6.7E6	대형승용	경유	(주)우진산전 오창공장
엔진배기량 (Engine Displacement)	**최대출력 (Maximum Power)**	**변속기 (Transmission Type)**	**차량총중량 (Gross Vehicle Weight)**	**공차중량 (Curb Weight)**	**선택사양 (Option)**
6,690cc	280ps/2,100rpm	없음	25,995kg	19,495kg	-

배출가스 방지장치 부착내용 (Emission Control Device)	엔진 : Common Rail(분사압 증가), VGT, EGR 후처리시스템 : DOC+DPF+SCR
동일차종(Type of Variant)	"뒤쪽 기재(Refer to the Opposite Page)"

인증조건(Conditions of Certification)

1. 「대기환경보전법」 제51조에 따라 결함시정에 대비하여 자동차 구입에 대한 기록관리를 철저히 하여야 합니다.
(Keep thorough records pertaining to vehicle purchase in preparation for correction of defects pursuant to Article 34 of Air Environment Preservation Act.)
2. 자동차배출가스 관련부품이 제성능을 유지하게 하기 위하여 사용자의 정비지침 제공 등 필요한 조치를 하여야 합니다.
(Take necessary measures, for example providing maintenance instructions to vehicle owners, to maintain whole functions of emission control devices.)
3. 「대기환경보전법」 제55조에 해당하는 경우에는 이 인증이 취소될 수 있습니다.
(This certification can be cancelled in case it corresponds to the provisions of Article 35 of Air Environment Preservation Act.)
4. 배출가스적용기준 및 열화계수(Emission Limits & Deterioration Factor)

항목	CO	HC	NOx	NH_3	PM	PN	Mode
배출가스적용기준(Emission Limits)	1.5	0.13	0.4	10	0.01	8×10^{11}	WHSC
	4.0	0.16	0.46	10	0.01	6×10^{11}	WHTC
열화계수(DF)	1.3	1.3	1.15	-	1.05	1.0	-

「대기환경보전법」 제48조제1항 및 같은 법 시행규칙 제66조제1항에 따라 인증합니다.
(We hereby grant a certification pursuant to Para. 1, Article 32 of Air Environment Preservation Act and Article 71 of its Enforcement Regulation.)

2016년 1월 일
(Year / Month / Date)

환 경 부 장 관
Minister of Environment, The Republic of Korea

210mm×297mm[백상지(150g/㎡)]

<그림 3.167> 배출 가스 인증서

(나) 자동차 소음 시험 결과

자동차 소음 시험 결과「소음·진동 관리법」 제 31조 제 1항 및 같은 법 시행규칙 제 33조 제 1항 본문에 따라 인증을 받았다.

[별지제14호 서식] (앞쪽)

인 증 번 호	자동차소음인증서		
제GWJ-HS-14-02호			
①성 명(명 칭)	(주)우진산전 오창공장	②성명(대표자)	김영창, 김상용
③주 소	충북 청주시 흥덕구 옥산면 과학산업4로 167 (전화번호 043-210-0935)		
④사업장소재지	충북 청주시 흥덕구 옥산면 과학산업4로 167 (전화번호 043-210-0935)		

인증사항

⑤ 자 동 차 제 원

자동차명칭 (형 상)	자동차형식 (용 도)	엔진형식	차 종	사용연료	제작사
우진산전 굴절버스 (버스형)	KM9ZGCZE (시내일반)	ISB6.7E6	대형승용	경유	(주)우진산전 오창공장
엔진배기량	최대출력	변속기	차량총중량	공차중량	선택사양
6,690cc	280ps/2,100rpm	없음	25,995kg	19,495kg	-

⑥소음 방지장치 부착내용	엔진 : Common Rail(분사압 증가), VGT, EGR 후처리시스템 : DOC+DPF+SCR
⑦동 일 차 종	"뒷면 기재"

인 증 조 건

1. 자동차 소음관련 부품이 제 성능을 유지하게 하기 위하여 사용자의 정비지침 제공 등 필요한 조치를 하여야 합니다.
2. 「소음·진동관리법」 제34조에 해당하는 경우 본 인증이 취소될 수 있습니다.

「소음·진동관리법」 제31조제1항 및 같은 법 시행규칙 제33조제1항 본문에 따라 인증합니다.

2016년 1월 일

환 경 부 장 관 (인)

210mm×297mm(인쇄용지(특급) 120g/m²)

- 5 -

<그림 3.168> 소음 인증서

제3절 차량 성능시험 및 지자체 시범운행

1. 내구성 주행테스트

바이모달 트램의 예비 주행 시험을 통한 차량의 내구성 및 실 노선 투입 시 발생될 수 있는 문제에 대해 미리 보완하고 현 개발 사양에 대한 검증을 위해 내구성 평가를 위한 주행 시험을 실시하였다.

시험 노선은 차량이 운행되는 실제 도로(고속도로, 국도, 지방도, 시내도, 등판로)를 이용하였으며, 차량이 운행될 수 있는 시간에 따라서 짧게는 왕복 36km 구간으로부터 길게는 왕복 100km까지 이르는 시험 운행이 진행되었다.

일반적으로 시험 운행 시에는 승객의 만차 하중 조건을 가정하여 100명 기준 6.5톤의 중량을 바이모달 트램 내에 적재하여 운행하였다.

가. 내구 시험 노선 설정

내구 시험 노선을 설정하기 위하여 차량 제작사 인근 도로를 분류하여 운행을 하였다. 차량 운행은 만차 하중조건으로 하였으며, 차량에 Strain Gauge를 장착하여 차량에 전해지는 가혹도를 측정하였다. 부착위치는 바디 9개 포인트와 프레임 5개 포인트에 부착하여, 도로별 가혹도를 측정하였다. 또한 각 노선에 대한 운행 문제점 및 주행 가능 여부에 대하여도 확인 하였다.

(1) 기본 노선 시험 운행 (차량제작사 - 공항노선 - 타 도시 IC)

기본 노선의 주행거리는 약 70km로 평균 1시간 20분정도 소요된다. 노선의 특징은 대부분의 도로가 왕복 4차선 이상의 도로이며, 도로의 길이가 길고 주간에는 통행하는 차량이 많지 않아 시험 운행하기에 적합하다. 국도로 구성된 기본 노선의 경우 차량의 가감 및 최고속도 주행이 가능하며, 주행 조건에 대한 내구성 평가에 적합함을 보였다. 차량의 가혹도 부분에서는 고속도로를 1이라고 하였을 때 5.5배의 가혹도를 보였다.

○ 기간 : 2015년 9월 ~ 2016년 1월
○ 시험 구간 : 왕복 70km, 1시간 20분 소요
○ 주요 시험항목 : 차량 가감 및 최고속도 주행 시험
○ 평균가혹도 : 5.5배 (고속도로를 1로 기준)

(2) 혼합 노선 시험 운행 (차량제작사 - 도시 순환 도로)

혼합 노선의 주행거리는 약 56km의 거리로 다소 짧지만 주행하는데 2시간정도 소요되는 구간이다. 시내 순환 도로로 구성된 혼합노선에는 차량이 다른 노선에 비해 많은 것이 특징이다. 또한 일부 구간에서는 구배가 존재하는 언덕을 오르는 구간도 존재한다. 차량의 지속적인 시험을 통해 안전성이 어느 정도 확보가 되었을 때 시내 주행을 목표로 하여 차량이 자주 다니는 외곽도로를 주행하도록 하였다. 차량의 가혹도는 고속도로 기준 1.7배로 기본노선 보다 가혹도가 낮게 나왔다. 원인분석 결과 외곽도로 개통 후 1년 이내의 신규도로로써 아스팔트 포장 상태가 매우 좋아 상대적으로 가혹도가 낮은 것으로 판단되어 진다.

○ 기간 : 2015년 10월 ~ 2015년 11월
○ 시험 구간 : 56km, 2시간 소요
○ 주요 시험항목 : 구배 및 시내 주행 전 안전성 확보
○ 평균가혹도 : 1.7배 (고속도로를 1로 기준)

(3) 혼잡 노선 시험 운행 (차량제작사 - 근교 역)

혼잡노선의 주행거리는 왕복 약 36km로 운행시간은 약 40분정도 소요된다. 차량 제작사로부터 거리가 가깝고 실제 운영되는 버스노선의 일부 구간이기 때문에 차량의 시험운행을 하는 노선으로 선정하였다. 1회 운행 시 짧게는 1회에서 최대 4회까지 노선 운행을 반복하여 시험운행이 진행되었다. 혼잡노선에서는 차량의 정체가 심하며, 또한 일반 시내노선의 경우 회전구간이 많아 시내구간에서의 운행가능여부를 확인 할 수 있었다. 바이모달 트램에는 AWS System이 적용되어 있어 시내 구간의 회전에도 큰 문제가 없음을 확인 하였다. 차량의 가혹도 부분에서는 시내구간이 가감속 및 과속 방지턱 등 주행에 불리한 조건이 많아 고속도로에 비하여 11.9배 높게 나타났다.

○ 기간 : 2015년 11월 ~ 2016년 3월
○ 시험 구간 : 왕복 36km, 왕복 40분 소요
○ 주요 시험항목 : 혼잡노선 주행 및 회전 구간 신뢰도 시험
○ 평균가혹도 : 11.9배 (고속도로를 1로 기준)

(4) 구배 노선 시험 운행 (차량제작사 - 인근 경사로)

구배 노선은 제작사 인근 경사로 구간으로 차량의 등판능력 및 주행성능을 확인하기 위하여 설정 하였다. 거리는 왕복 30km로 운행시간은 약 30분 소요가 된다. 등판로의 차량의 가혹도는 고속도로 1기준 5.1배로 상대적으로 높지 않았다. 이는 등판로 구간에서는 상대적으로

속도가 낮은 편에 속하므로 차량에 주는 가혹도는 크지 않는 것으로 판단된다. 다만 모터의 부하율이 높아져 배터리와 엔진의 발열로 혹서기 주행시험이 필요하며, 향후 차량의 냉각성능 시험노선으로 이용할 예정이다.

○ 기간 : 2015년 12월 ~ 2016년 3월
○ 시험 구간 : 왕복 30km, 30분소요
○ 주요 시험항목 : 구배 중 높은 부하에서의 주행시험
○ 평균가혹도 : 5.1배 (고속도로를 1로 기준)

(5) 고속주행 노선 시험 운행 (차량제작사 - 고속도로)

고속주행 노선은 차량이 고속 항속 주행 시 차량 주행성능 시험 및 내구시험에 적합한 노선으로 바이모달 트램의 최고속도인 80km/h로 시험을 진행하였다. 고속 장거리 노선임을 고려하여 승객의 승차감 확인을 위해 소음 진동 시험을 진행하였으며, 고속 회전에 따른 구동장치의 내구성 및 발열 시험노선으로 설정하였다. 가혹도는 본 고속주행노선을 기준 1로 설정하여 진행하였다.

○ 기　　간 : 2016년 3월
○ 시험　구간 : 왕복 55km, 1시간 소요
○ 주요 시험항목 : 최고속도 항속 주행 시 소음 및 진동 시험
○ 평균가혹도 : 1배 (기준)

(6) BRT 노선 시험 운행 (차량제작사 - BRT노선 - 타도시)

BRT 노선은 실제 운영되는 BRT노선을 지나 타 도시로 왕복하는 노선으로, 거리는 약 100km이고 주행시간은 2시간 10분정도 소요된다. 신규 BRT 노선과 시내주행을 함으로써 차량이 실제 운행하는 같은 도로 환경에서 시험이 진행되었다. BRT 노선은 내구시험로 선정에는 무관하나 현재 건설되어 있는 BRT노선을 주행하여 차량의 문제점 등을 확인하기 위하여 주행시험을 실시하였다. 차량의 가혹도는 고속도로 기준 1.7배로 고속도로와 큰 차이가 없었으며, 대부분 전용노선으로 도로의 관리가 철저하여 차량에 전해지는 가혹도가 낮았다.

○ 기간 : 2016년 1월
○ 시험 구간 : 왕복 100km, 2시간 10분소요
○ 주요 시험항목 : BRT노선 주행 시험(장거리)
○ 평균가혹도 : 1.7배 (고속도로를 1기준)

(7) 각 노선별 시험 운행 결과

(가) (1)~(6)까지의 노선은 정체구역을 포함하는 시내로, 고속주행 위주의 고속도로 및 국도, 신교통수단의 BRT 전용 노선, 구배가 있는 등판로 등 모든 노선에서의 운행을 마쳤으며, 운행에 문제가 없음을 확인하였다. 이는 바이모달 트램이 BRT전용 노선만을 다닐 수 있는 차량이 아닌 일반 시내 도로 및 국도, 고속도 주행하는데도 문제가 없음을 의미한다.

(나) 위 노선의 결과를 토대로 우리는 내구 시험로를 설정 하였고 그 노선을 통하여 차량의 내구성을 확인하기로 하였다.

나. 내구시험 평가 및 결과

(1) 내구 시험

(가) 시험 개요

① 바이모달 트램에 계측장비를 설치하여 6개 노선의 가혹도를 측정한다.

② 6개 노선의 가혹도를 취합하여 바이모달 트램 전용의 내구시험로를 설정한다.

(나) 시험 방법

① 강도가 취약하다고 판단되는 Frame 및 Body 부위에 각각 필요 수량에 따라 Strain Gauge를 부착한다.

② 비교도로는 KATECH 기준 도로별 주행 비율 표준을 사용 한다.
(고속 22%, 국도 17.8%, 지방도 8.2%, 시내도 50%, 비포장로 2%)

③ 기준 도로와 같은 구간을 설정하여, 차량을 운행한 후 Strain 값을 취득 한다.

④ 당사에서 지정한 가혹 도로를 주행하여 Strain 값을 취득 한다.

⑤ 측정된 Strain 각 재질에 맞는 S-N Curve를 이용하여 내구 수명을 계산한다.

○ 각 위치별 Strain 값이 상이할 것이며, 내구수명도 차이가 있을 것이나 계산의 편의를 위하여 평균값을 취하여 결과 값을 산정한다.

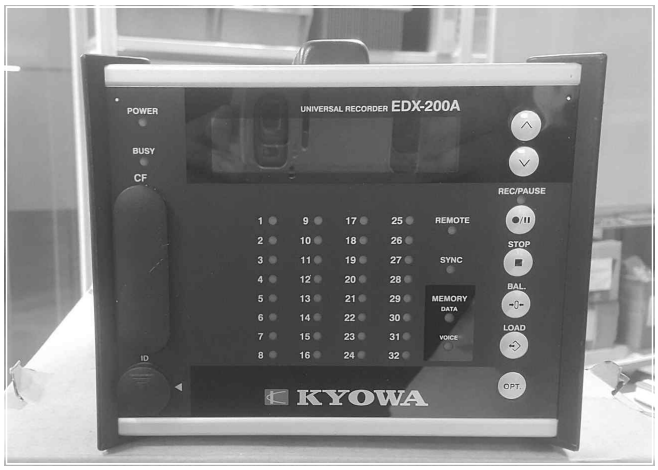
(다) 시험로 및 시험장비

① 측정 시험로

- 고속도로, 국도, 지방도, 시내도, 등판로

② 측정 장비

- Real Time Strain Data Acquisition Device : (KYOWA사 EDX-200A)



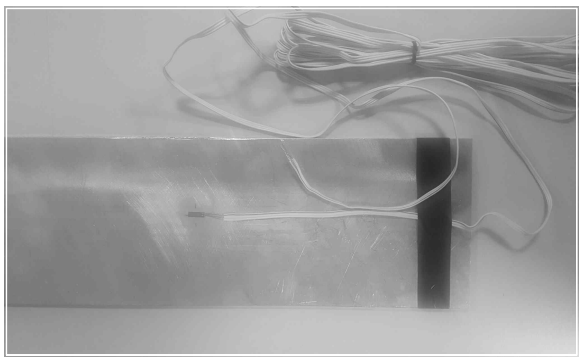
<그림 3.169> 계측 장비 (KYOWA사 EDX-200A)

- Strain Gauge

· a. KYOWA사 KFG-5-120-C1-23L5M3R (ALUMINUM 용 / BODY 부착)

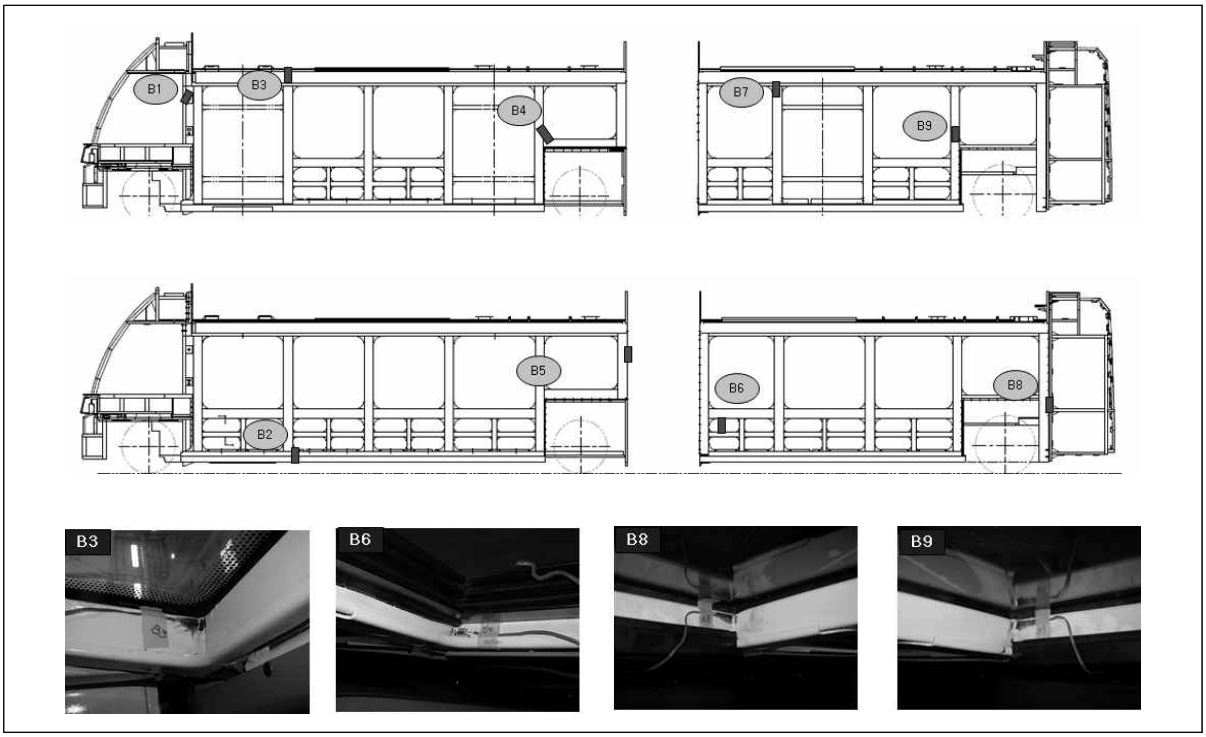
· b. KYOWA사 KFG-5-120-C1-11L5M3R (STEEL 용 / FRAME 부착)





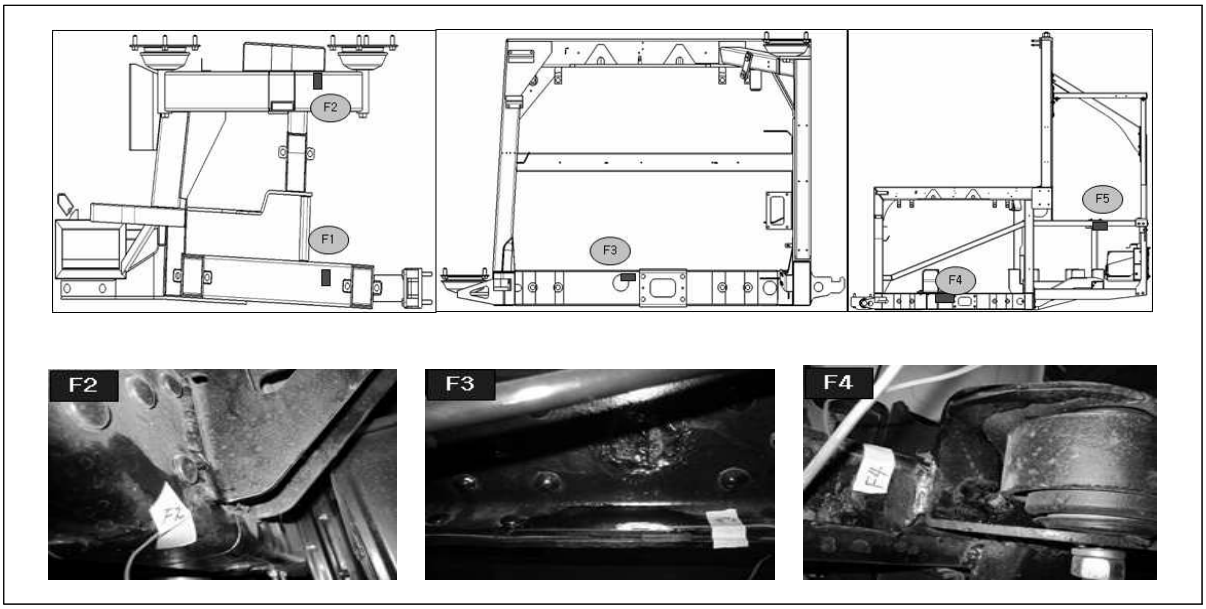
<그림 3.170> Strain Gauge

○ 차체



<그림 3.171> Strain Gauge 부착위치 (차체)

○ 프레임



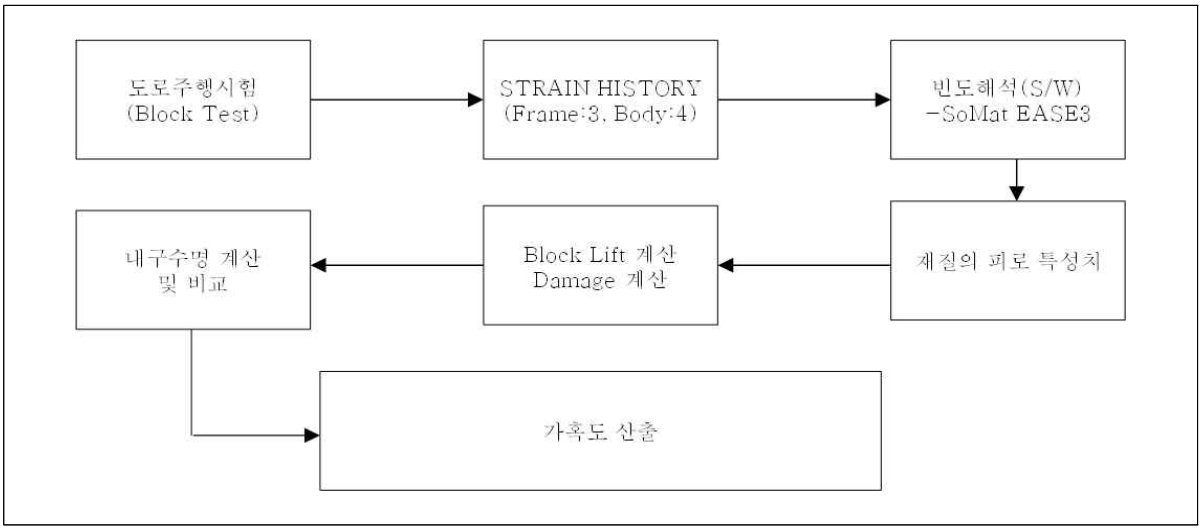
<그림 3.172> Strain Gauge 부착위치 (프레임)

(라) 가혹도 계산 방법 및 Flow Chart

① 계산 방법

- Strain Level별 Count 측정 (Rain Flow법) – 적차상태
- S-N Curve 입력 : Body = Class "W", Frame = Class "E" (BS540 규격)
- Damage(누적 손상계수) 계산 : Minnor Rule 적용
- Field 내구수명(km) = 1/Damage(Field)

② 피로해석 Flow Chart



<그림 3.173> 피로도 해석 플로우 차트

(마) 시험 결과 및 총합 내구 도로 선정

<표 3.70> 내구 도로 특성표

구분		고속도로	국도	지방도	시내도	등판로	비포장로	총거리	Damage Total	표준도로 대비 가혹도
표준도로 (기준)	비율(%)	22.0	17.8	8.2	50.0		2.0		3.323E-05	1
	속도(km/h)	90~100	70~80	50~60	50~60		20			
총합내구도로	비율(%)	15.3	36.6	31.8	11.5	4.9			7.591E-05	2.3
	거리(km)	10	24	20.8	7.5	3.2	-	65.5		
	속도(km/h)	75	70	60	50	40				

※ 비포장로의 가혹도는 근교에 비포장로가 존재하지 않아 고속도로의 20배 가혹도로 임의 지정하여 계산하였다.

① 총합내구도로의 거리는 세종특별자치시 BRT 노선 1회 왕복 65km를 기준으로 일 4회, 월 25일 운행하여 10년 780,000km를 달성하는 것을 기준으로 하며, 총합내구시험로를 339,130km를 주행하여야 한다.

② 총합내구시험로 : 65.5km (소요시간 약 1시간 30분)

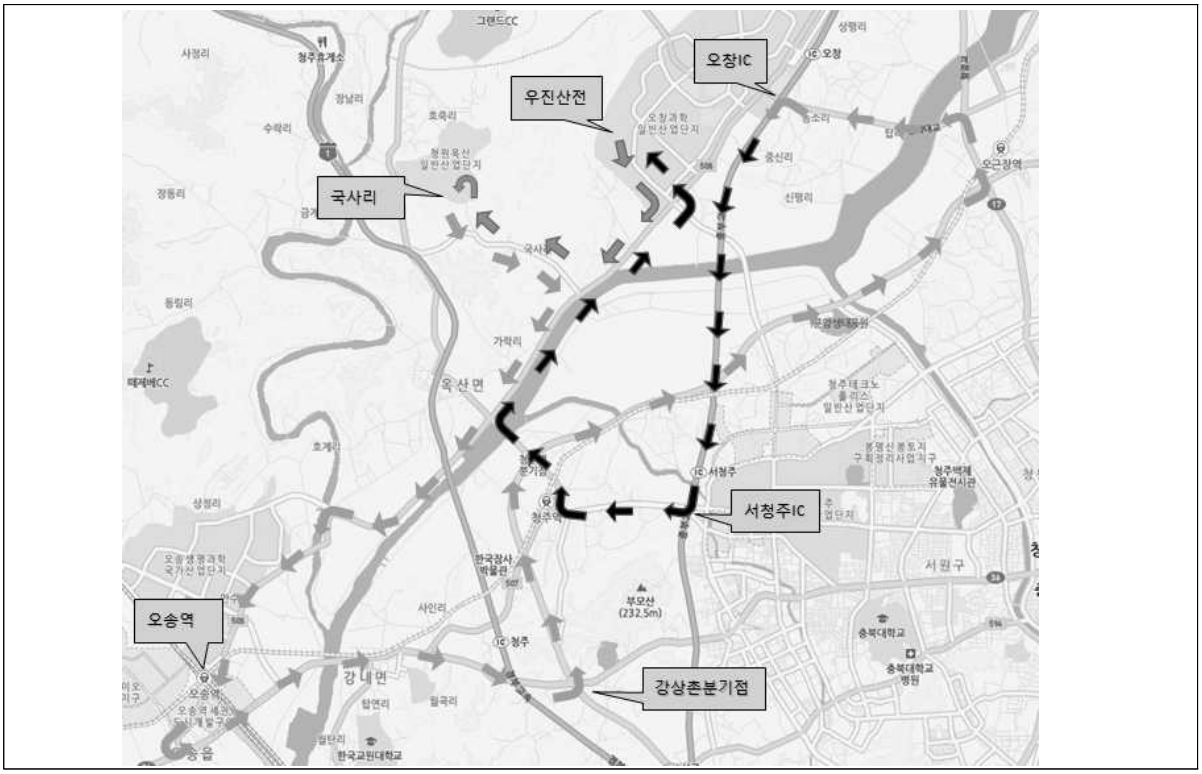
오창공장 → 엘지로(2km) → 국사리입구(4.3km) → 청원옥산 일반산업단지(7.5km)

→ 국사리 입구(11km) → 오송역(21km) → 강상촌분기점(27.5km) →

오창IC(45.5km) → 서청주IC(55.5km) → 옥산교차로(58.6km) → 오창공장(65.5km)

③ 총합내구 339,130km를 달성하기 위하여 선정된 구간을 총 5,177회 운행하여야 한다. 현재 168회 운행 중이며, 이는 11,004km를 운행하였으며 표준환산을 하면 25,309km를 주행하였음을 의미한다. 시험은 내년 연말까지 진행할 예정이며 매 10만 km(표준 환산)마다 정비를 실시할 예정이다.

※ 현재 당사에는 시험로가 없어 일반도로를 구간을 설정하다 보니 가혹도가 낮다. 향후 신공장 건설시 비판로, 비포장로, 표준악로 등을 건설하여 가혹도를 높이고 그로 인하여 시험 기간을 줄일 수 있도록 검토 중이며, 자동차안전연구원 주행시험장의 비포장로를 이용하여 내구시험을 하는 것을 계획 중이다.



<그림 3.174> 내구시험 노선도

(바) 내구시험 점검항목

① 운행 마일리지에 따른 정기적인 점검을 통하여 차량의 상태를 정밀 하게 점검 한다. 내구시험으로 인한 차체 및 프레임의 균열을 중점적으로 확인을 하며, 또한 구동계통의 오일 누유 및 소모량을 꼼꼼히 점검 한다. 차량의 문제점 발생 시 원인파악 이후 차량을 수정하여 시험을 실시한다.

내구시험 점검항목 ○계획 ● 실행

순	점검항목		점검 시기						비 고
			최초	2만 km	5만 km	10만 km	15만 km	종료	
1	중량	공차	●						인증 기준 적합
		적차	●						인증 기준 적합
2	최저 지상고	공차	●					○	인증 기준 적합
		적차	●	●	○	○	○	○	인증 기준 적합 (2만 km 주행 후 차이 없음)
3	휠 얼라이먼트	공차	●					○	인증 기준 적합
		적차	●		○	○	○	○	인증 기준 적합
4	연비		●					○	자체 연비 시험 완료
5	가속 성능		●					○	가속 성능 만족
6	요소수 소모율		●					○	이상 없음
7	엔진오일 소모율		●			○		○	이상 없음
8	냉각수 소모율		●		○	○	○	○	이상 없음
9	브레이크 패드 및 라이닝		●	●	○	○	○	○	1축 패드 4mm 감소 / 양호 (최초 30mm / 11mm 이하 교체)
10	출입문 개폐력		●					○	이상 없음
11	타이어 마모량		●	●	○	○	○	○	마모량 상시 체크하여 타이어 교체
12	각종 전기 장치 이상 작동 유무		●	●	○	○	○	○	발생 시 조치 후 양산설계에 반영
13	각종 조작 장치 이상 작동 유무		●	●	○	○	○	○	발생 시 조치 후 VCU 개선 프로그램 반영
14	각종 소음 및 진동 유무		●	●	○	○	○	○	최초 소음측정 후 조치 조치 후 인증범위 적합
15	차체 크랙 및 절손 유무		●	●	○	○	○	○	이상 없음
16	각종 오일 누유 여부 - 엔진오일 및 냉각수 - 연료 및 요소수 - 파워스티어링 오일		●	●	○	○	○	○	감속기 기어박스 오일 누유 조치 (오일실 개선) 개선사항 양산설계 반영
17	벨로우즈 처짐 유무		●		○	○	○	○	이상 없음

* 상세 점검 및 교환 관련 유지보수 사항은 유지보수 매뉴얼 참고

<그림 3.175> 내구시험 점검항목 및 조치사항

(사) 내구성 시험 결론

① 주행 패턴 및 노선별 주행 시험과 내구 시험노선의 운행을 토대로 바이모달 트램의 시내 및 고속 주행에 문제가 없음을 확인 하였다.

② 차량의 일일 점검 및 정기 점검을 통하여 차량의 주요 부품의 내구성에 문제가 없음을 확인하였다.

③ 차량 내구성 이외의 빗물 유입 및 프로그램 오류 등은 사양 변경 및 프로그램 수정으로 모두 완료 되어 현재는 운행에 문제가 없음을 확인 하였다.

④ 차량의 정비 지침에 따른 정기적인 정비와 각종 소모품 (오일 및 필터류 등)교체를 통한다면 20만km까지 차량운행에 문제가 발생되지 않을 것으로 판단된다.

2. 차량의 성능 개선 및 실노선 운행 평가

2016년 3월 31일부터 현재까지 세종특별자치시 BRT 노선에서 바이모달 트램 실용화 차량의 영업시범운영을 실시하고 있다. 바이모달 트램의 실용화 이후 양산시 실제 이용객이 탑승한 상황에서의 차량의 안정성과 편의성은 양산대비 중요한 과제이며 이를 위해서 영업시범운행 중 일반 내구 시험을 실시하여 차량을 보완하고 있다.

(가) 영업노선 주행 연비 시험

① 시험 개요

- 세종특별자치시 BRT 노선을 주행하면서 실 연비를 측정한다.

② 시험 방법

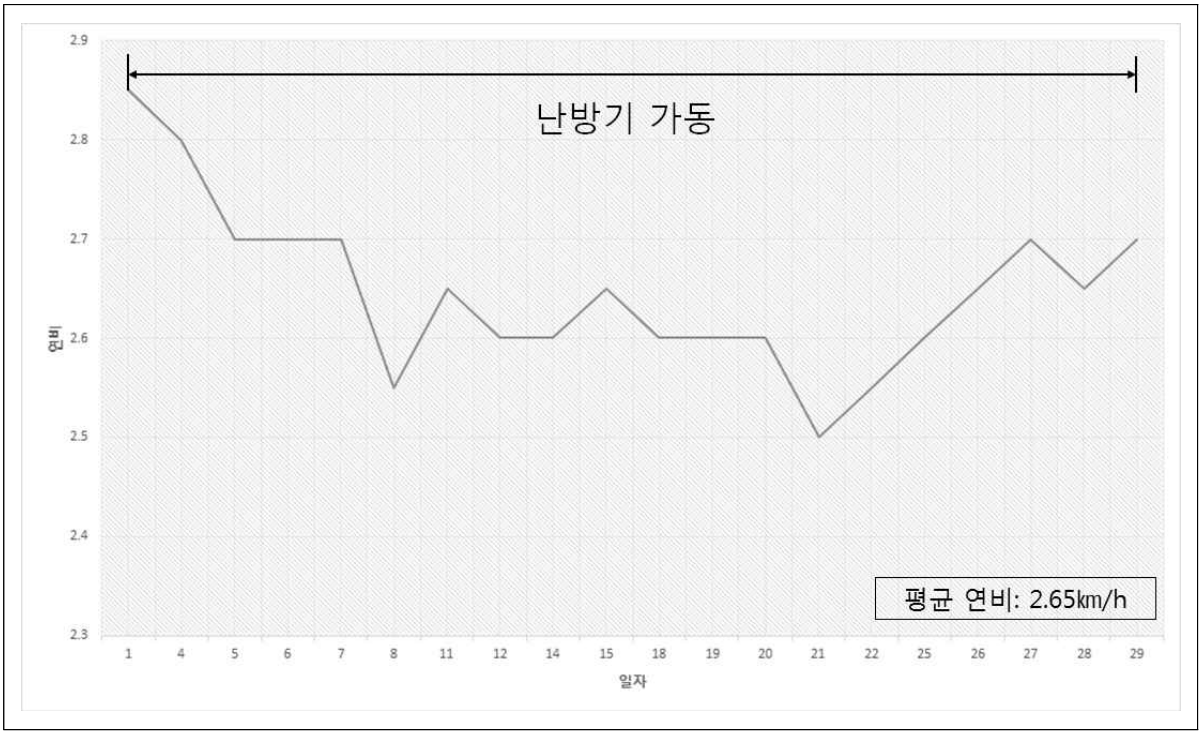
- 하루 2회 세종특별자치시 BRT노선을 주행한 거리 대비 소모된 연료를 측정하여 기록한다. (2016년 4월 1일부터 2016년 6월 30일까지)

③ 시험 결과

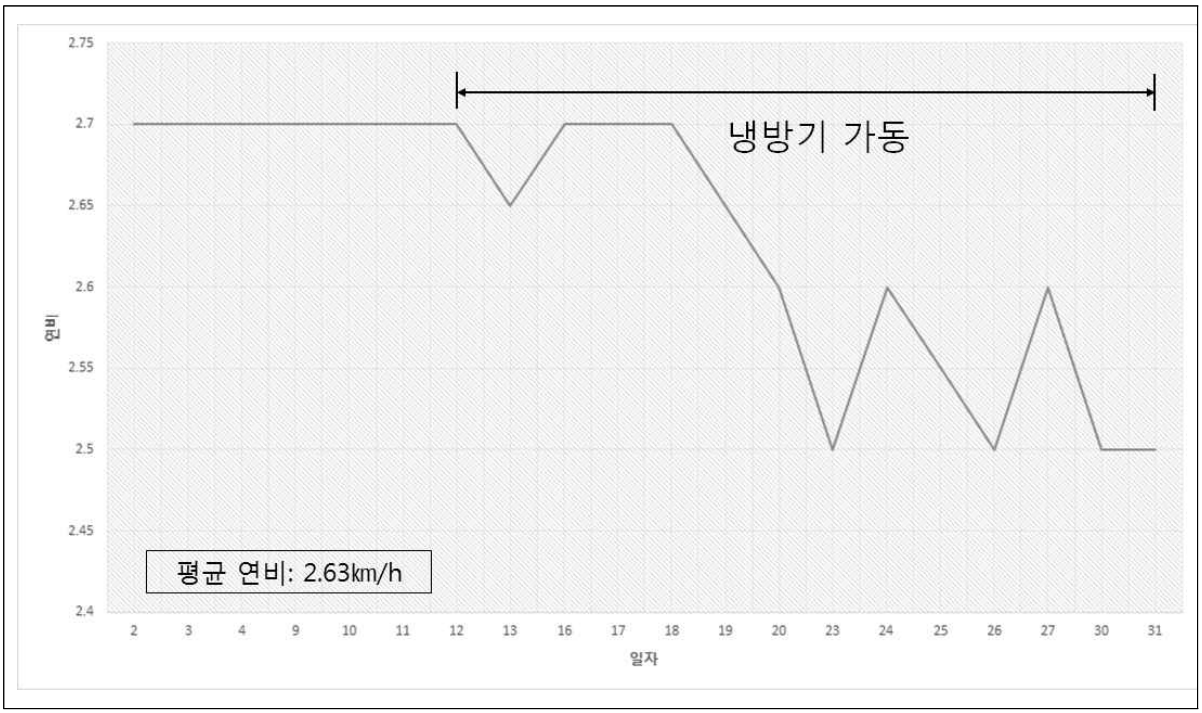
<표 3.71> 세종특별자치시 시험 주행 연비 측정 결과

시험 주행 월	4월	5월	6월
평균연비 (㎞/ℓ)	2.65	2.63	2.37
운행일수 (일)	20	20	20
공조장치 사용현황	하루 2회 운행 기준		
	외기 조건: 6℃~29℃ (세종특별자치시 기준) 공조 장치: 난방기 가동	외기 조건: 10℃~31℃ (세종특별자치시 기준) 공조 장치: 냉방기 가동	외기 조건: 16℃~32℃ (세종특별자치시 기준) 공조 장치: 냉방기 가동

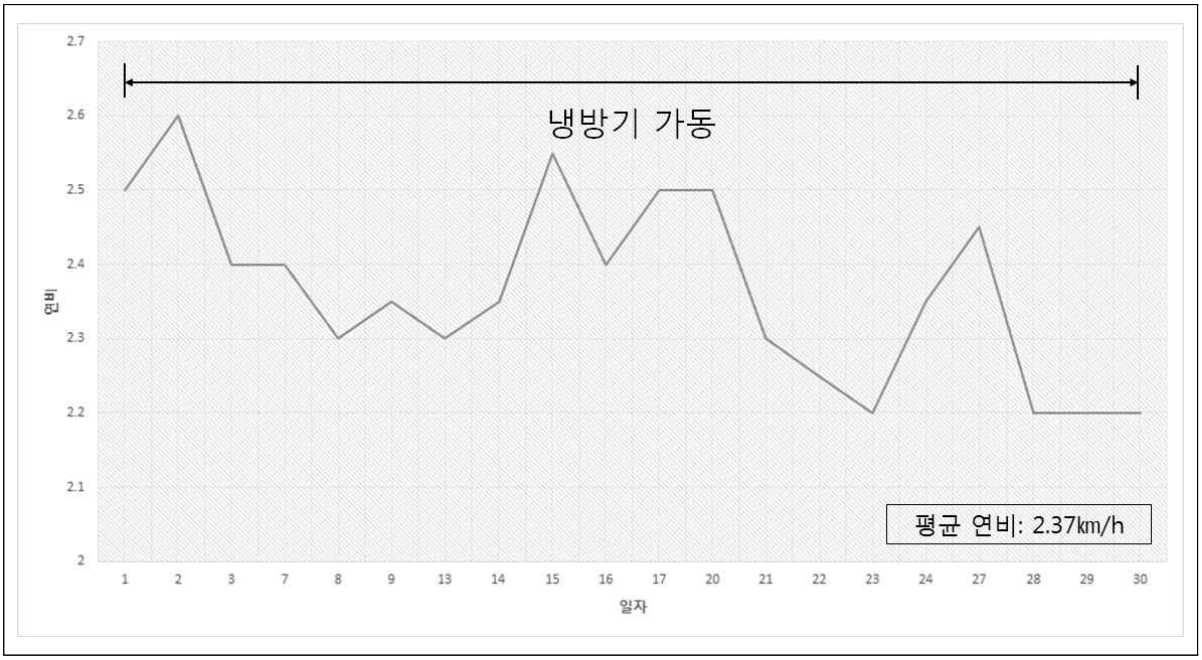
※ 6월 평균탑승객이 4월 대비 평균 15명, 5월 대비 평균 10명가량 적음에도 6월 평균 연비가 낮은 이유는 에어컨 사용량 증가 때문.



<그림 3.176> 실 연비 측정 결과 (4월)



<그림 3.177> 실 연비 측정 결과 (5월)



<그림 3.178> 실 연비 측정 결과 (6월)

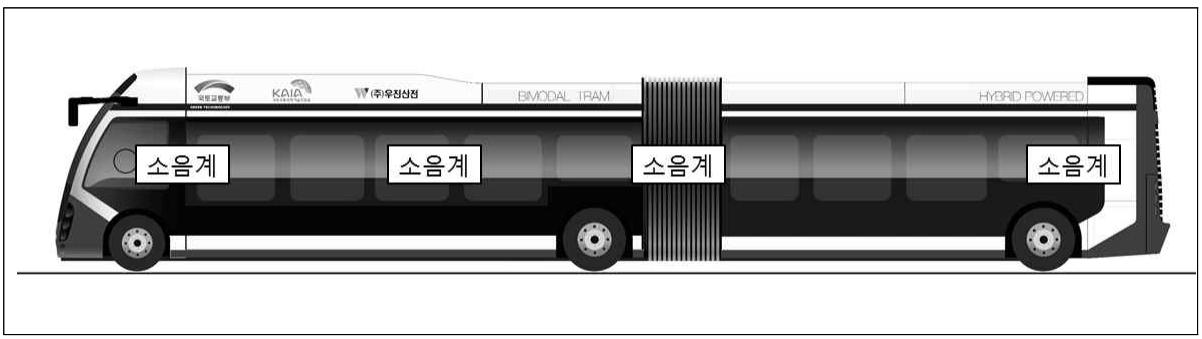
(2) 실제 영업노선 주행 소음 시험

① 시험 개요

- 바이모달 트램 운행중 차량에서 발생되는 소음을 측정하여 차량의 실내 소음 기준을 확인한다.

② 시험 방법

- 세종특별자치시 BRT노선을 주행하며 발생되는 실내 소음을 확인하기 위해 실내에 소음기를 설치하고 기록한다. 소음기의 설치 위치는 운전석, 2도어 부근, 벨로우즈, 차량 후위 4곳에 소음기를 설치한다.



<그림 3.179> 소음계 장착 위치



<그림 3.180> 소음계 측정 장치(testo 816)

○ 4월 이용객 현황을 기준으로 이용객이 가장 많은 목요일 오전 운행, 금요일 오후 운행 시 소음을 측정한다.

○ 세종특별자치시 BRT노선을 운행하며 구간별 소음을 측정한다. (각 구간 중 임의의 한 곳을 측정한 뒤 세 구간의 평균값을 기록한다.)

- 1구간: 오송역~세종특별자치시 구간
- 2구간: 세종특별자치시 구간
- 3구간: 세종특별자치시~반석역 구간

③ 시험 결과

- 현재 자동차 실내 소음에 관한 기준이 없는 관계로 철도 차량의 실내 허용 소음 기준인 80dB을 기준으로 한다. (도시철도차량의 성능시험에 관한 기준 제5조 제1항 제9호 [별표23] “소음시험” <개정 2008.8.7.>)

<표 3.72> 소음 시험 측정 결과 표

측정일	5/10 오전	5/11 오후	5/17 오전	5/18 오후	5/24 오전	5/25 오후
운전석	56.6	55.3	58.2	57.1	56.2	57.9
2도어 부근	60.1	61.1	60.9	62.3	62.1	60.6
벨로우즈	63.4	62.7	64.5	63.1	64.6	64.4
차량 후위	65.1	69.5	66.2	68.4	68.8	67.2



(a) 운전석 (b) 2도어 부근 (c) 벨로즈 (d) 차량 후위

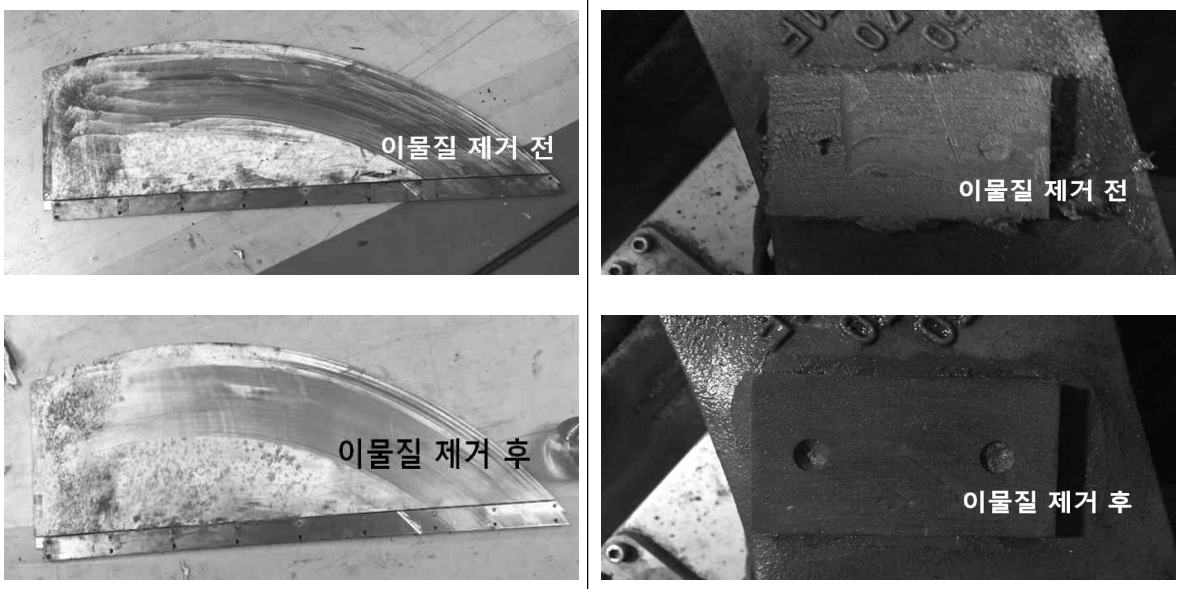
<그림 3.181> 각 위치에 따른 소음 측정

○ 시험 결과 측정 부위 4곳 모두 80dB이하로 측정되었다. 그러나 차량 후위로 갈수록 소음량이 증가하는 추세이며 이를 보완하고자 벨로우즈 하부 관절부(Articulation) 소음과 엔진 구동 소음을 개선하였다.

○ 벨로우즈 하부 관절부 소음 보완

<표 3.73> 벨로우즈 하부 관절부 소음 방지 보완 개선 작업

소음 발생 원인	○ 차량 회전 또는 굴절시 바이모달 트램의 관절부(Articulation)에서 이물질 유입으로 인한 마찰 소음 발생
개선 방안	① 관절부 분해 후 커버와 하부 고정부 사이의 이물질 제거 ② 정비지침서의 관절부 항목에 해당 내역을 명시하여 관리함 (30,000km당 1회 관절부 내부 이물질 제거)



(a) 관절부 커버 (b) 관절부 하부 고정부

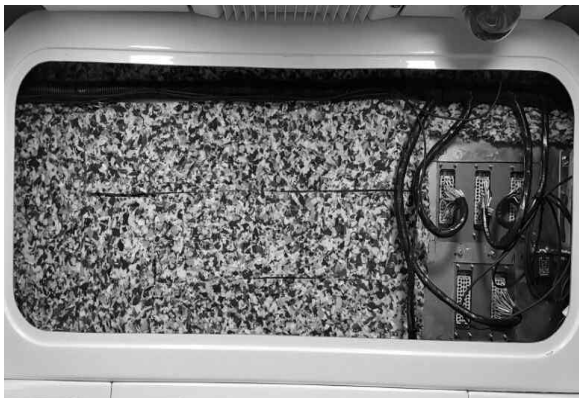
○ 엔진 구동 소음

<표 3.74> 엔진 구동 소음 방지 개선 작업

소음 발생 원인	○ 엔진 구동 소음에 대한 보완 미비
개선 방안	○ 차량 실내와 엔진룸 사이에 방음재를 보강하여 소음 감소



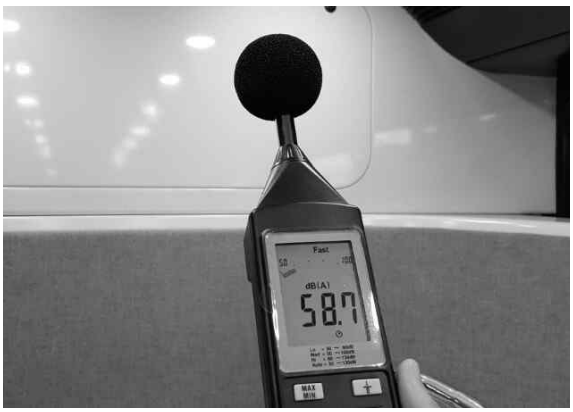
(a) 엔진룸에 방음재 보강 전



(b)엔진룸에 방음재 보강 후



(a) 엔진룸 방음재 보강 전 dB측정



(b) 엔진룸 방음재 보강 후 dB측정

<그림 3.185> 엔진 구동 소음 방지 보완 작업 후 시험 결과

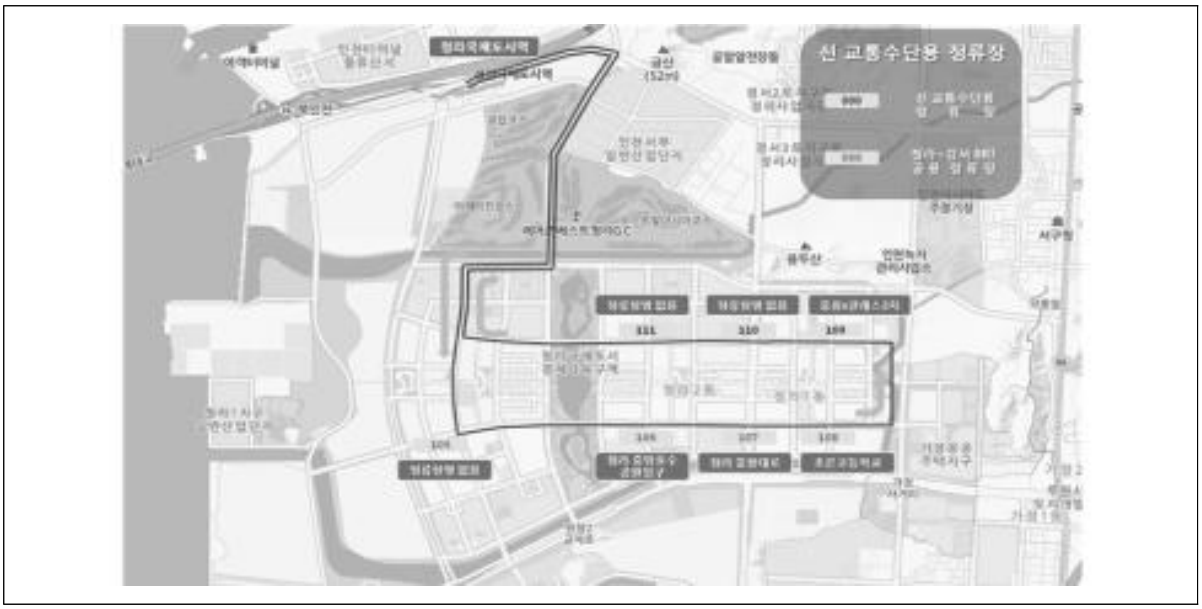
3. 지자체 시범운행

바이모달 트램의 내구성 성능시험을 통하여 차량의 기술적 품질 향상과 다양한 도로사정에서 운행 가능여부를 시험한 것과 병행하여 실제 영업 운행을 대비하여 이용객들의 편의성 및 요구 사항을 반영하고자 인천광역시 청라 국제도시와 세종특별자치시에서 실증 시범운행을 실시하였다.

가. 인천광역시 청라 국제도시 시범운행

(1) 청라 국제도시 시범운행 개요

해당 시험 운행은 2015년 8월 24일부터 9월 2일까지 청라 국제도시에서 시험 운행을 하였다. 청라 국제도시 전시 및 시험운행을 통한 효용성 및 안전성 제고하고, 주민 요구사항을 반영하고자 시험 운행을 실시하였다.



<그림 3.186> 청라국제도시 시험 운행 노선

- 기간: 2015년 8월 ~ 2015년 9월
- 시험 구간 : 14km, 30분소요

(2) 청라 국제도시 시험 운행 결과

청라 국제도시 시험 운행 중 하루 50km씩 주행하고, 행사지로 이동하면서 오창과 인천 청라지구 왕복 거리 340km를 주행하여 행사기간 동안 총 740km를 주행하였다. 탑승인원은 약 324명이며, 전시관람 인원은 약 165명으로 집계되었다. 운행 기간 종료 후 KBS, OBS, 동아일보, 경향신문, 네이버뉴스 등 주요방송 및 일간지에서 청라 국제도시의 바이모달 트램 시범운행 및 도입계획 추진 관련한 기사가 보도되었다. 탑승자 및 관람자는 차량의 첨단고급화에 공감하고, 청라에서 조속히 운행되기를 요망하는 반응이 있었다.



<그림 3.187> 청라국제도시 시험 운행

나. 세종특별자치시 시범운행

(1) 세종특별자치시 시범운행 개요

세종특별자치시에 공급할 목적으로 추진되는 '바이모달 트램 실용화사업' 을 통하여 제작된 바이모달 트램 실용화 모델 차량은 효용성 및 안전성에 대한 주민의식을 제고하고, 주민의 원활한 대중교통 이용과 편의를 위하며, 차량의 사양 보완 및 납품계약 체결을 위하여 시험 운행이 진행되었다. 2016년 1월 16일 사전 주행을 실시하였으며, 2016년 3월 31일부터 6월 30일까지 약 90일 동안 세종특별자치시 BRT 노선에서 1단계 시범 운행을 실시하였다.



<그림 3.188> 세종특별자치시 BRT 노선 정보

- ○ 운행기간 : 2016. 3. 31 ~ 2016. 6. 30 (3개월)
- ○ 차량 : 실용화 개발 2호 차량 (환경인증 및 내구성 시험용 차량)

※ 안전인증 검사 차량인 실용화 개발 1호 차량은 예비 차량으로 활용

- ○ 노선 : 오송역 - 정부세종청사 - 첫마을 - 반석역 (순환)
- ○ 차고지 : ㈜우진산전 오창공장
- ○ 운행거리 : 214km/1일

(노선 편도 32km-4회, 차고지 편도 18km-4회, 요금정산 및 주유 편도-7km 2회)

(2) 세종특별자치시 BRT 노선 주행 조건

① 노선 총 길이: 왕복 약 64km



<그림 3.189> 세종특별자치시 BRT 노선

② 노선 구간별 주행 속도

<표 3.75> 노선 구간별 주행 속도

승강장명	오송역	도램마을	정부세종청사북측	정부세종청사남측	성남고	나성동	첫마을	고속시외버스터미널	반석역
거리(km)	출발	16.3	1.4	0.6	0.4	1.3	0.8	1.7	9.8
평균속도(km/h)	출발	70~80	30~60	30~60	30~60	30~60	30~60	30~60	70~80
승강장명	**반석역**	**고속시외버스터미널**	**첫마을**	**나성동**	**성남고**	**정부세종청사남측**	**정부세종청사북측**	**도램마을**	**오송역**
거리(km)	출발	9.8	1.7	0.8	1.3	0.4	0.6	1.4	16.3
속도(km/h)	출발	70~80	30~60	30~60	30~60	30~60	30~60	30~60	70~80

③ 이용객 현황

<3월, 4월>

월요일		화요일		수요일		목요일		금요일	
28		29		30		31	221 명	1	282 명
						주간	170 명	주간	111 명
						야간	51 명	야간	171 명
4	279	5	236 명	6	319 명	7	241 명	8	251 명
주간	167 명	주간	119 명	주간	196 명	주간	154 명	주간	139 명
야간	112 명	야간	117 명	야간	123 명	야간	87 명	야간	112 명
11	288 명	12	245 명	13	제20대 총선	14	274 명	15	232 명
주간	186 명	주간	117 명	주간		주간	176 명	주간	125 명
야간	102 명	야간	128 명	야간		야간	98 명	야간	107 명
18	214 명	19	292 명	20	148 명	21	290 명	22	294 명
주간	117 명	주간	191 명	주간	148 명	주간	180 명	주간	172 명
야간	97 명	야간	101 명	야간	명	야간	110 명	야간	122 명
25	250 명	26	276 명	27	248 명	28	263 명	29	257 명
주간	152 명	주간	177 명	주간	128 명	주간	147 명	주간	138 명
야간	98 명	야간	99 명	야간	120 명	야간	116 명	야간	119 명

<그림 3.190> 세종특별자치시 BRT 이용객 현황 (3월, 4월)

<5월>

월요일		화요일		수요일		목요일		금요일	
2	276 명	3	280 명	4	310 명	5	어린이날	6	임시공휴일
주간	164 명	주간	104 명	주간	200 명	주간		주간	
야간	112 명	야간	176 명	야간	110 명	야간		야간	
9	262 명	10	248 명	11	248 명	12	292 명	13	285 명
주간	148 명	주간	146 명	주간	145 명	주간	195 명	주간	159 명
야간	114 명	야간	102 명	야간	103 명	야간	97 명	야간	126 명
16	88 명	17	265 명	18	254 명	19	266 명	20	269 명
주간	명	주간	165 명	주간	156 명	주간	164 명	주간	153 명
야간	88 명	야간	100 명	야간	98 명	야간	102 명	야간	116 명
23	94 명	24	303 명	25	250 명	26	271 명	27	259 명
주간	명	주간	152 명	주간	162 명	주간	153 명	주간	146 명
야간	94 명	야간	151 명	야간	88 명	야간	118 명	야간	113 명
30	278 명	31	273 명						
주간	173 명	주간	159 명						
야간	105 명	야간	114 명						

<그림 3.191> 세종특별자치시 BRT 이용객 현황 (5월)

<6월>

월요일		화요일		수요일		목요일		금요일	
				1	310 명	2	253 명	3	271 명
				주간	188 명	주간	147 명	주간	136 명
				야간	122 명	야간	106 명	야간	135 명
6	현충일	7	170 명	8	243 명	9	242 명	10	
주간	명	주간	170 명	주간	144 명	주간	145 명	주간	명
야간	명	야간	명	야간	99 명	야간	97 명	야간	명
13	268 명	14	259 명	15	280 명	16	255 명	17	273 명
주간	168 명	주간	154 명	주간	174 명	주간	169 명	주간	148 명
야간	100 명	야간	105 명	야간	106 명	야간	86 명	야간	125 명
20	245 명	21	171 명	22	237 명	23	277 명	24	241 명
주간	155 명	주간	171 명	주간	141 명	주간	163 명	주간	137 명
야간	90 명	야간	명	야간	96 명	야간	114 명	야간	104 명
27	270 명	28	216 명	29	269 명	30	112 명		
주간	172 명	주간	125 명	주간	159 명	주간	112 명		
야간	98 명	야간	91 명	야간	110 명	야간	명		

<그림 3.192> 세종특별자치시 BRT 이용객 현황 (6월)

<표 3.76> 세종특별자치시 BRT 평균 이용객 현황

주간운행 평균 이용객수 (명)	주간 이용객수		
	155		
	3월, 4월 이용객수	5월 이용객수	6월 이용객수
	153	158	154
야간운행 평균 이용객수 (명)	야간 이용객수		
	109		
	3월, 4월 이용객수	5월 이용객수	6월 이용객수
	110	111	105

(3) 세종특별자치시 BRT 노선 운행 결과

세종특별자치시에 오송역과 반석역 사이 BRT노선 운행을 3달간 진행하였고, 그 기간 중 2016년 5월 4일에 이용자 대상을 상대로 설문조사를 실시하였다. 세종특별자치시 BRT 이용 관련 설문조사의 응답자 기본사항으로 성별은 40.7%가 여자, 59.3%가 남자로 조사되었으며, 응답자 거주지는 76.7%가 비 세종특별자치시, 23.3%가 세종특별자치시로 조사되었다. 이 중 전체 응답자의 96.6%가 바이모달 트램 이용에 관하여 보통이상의 만족도를 보였으며 불편 사

항으로는 운행횟수, 좌석 수 및 배치, 소음 및 진동 순으로 답변되었다. 이러한 이용객 불편사항에 관하여 양산을 준비시 고려할 필요가 예상된다.

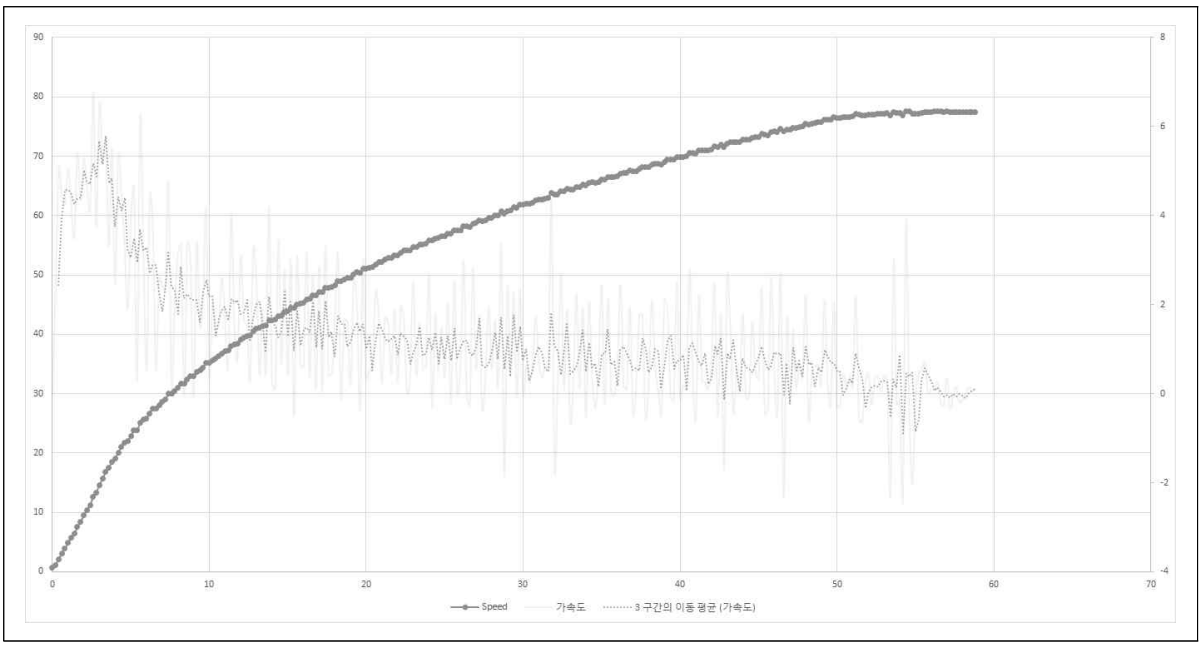
4. 차량 구동성능 및 효율적 연비 확보를 위한 시스템 최적화

가. 차량 구동성능 시험

구동시스템은 차량의 성능을 좌우하는 것으로써, 승객의 안전과 차량의 원활한 주행을 위한 중요한 요소이다. 이에 대한 성능을 검증하기 위해 가속도, 연비 및 최고속도에 대해서 시험을 진행하였다.

(1) 가속도 시험

가속도 시험은 법규에 명시되어 있는 시험이 아니므로, 자체 시험을 진행하여 결과를 도출하였다.



<그림 3.193> 가속 성능 그래프 (시간/속도-가속도)

(가) 시험 방법

○ 차량을 만차 상태에서 시험하며, 위 시험은 만차 상태로 진행
○ 속도를 측정하기 위한 장비를 사용하며, CAN통신 장비를 사용
○ 차량을 정지한 상태에서 75km/h까지 최대 가속으로 주행 시험을 진행
○ 7회의 시험 데이터로 평균
○ 시험 노선은 KATRI P.G 내 고속 주회로 및 직선로에서 시험

(나) 시험 결과

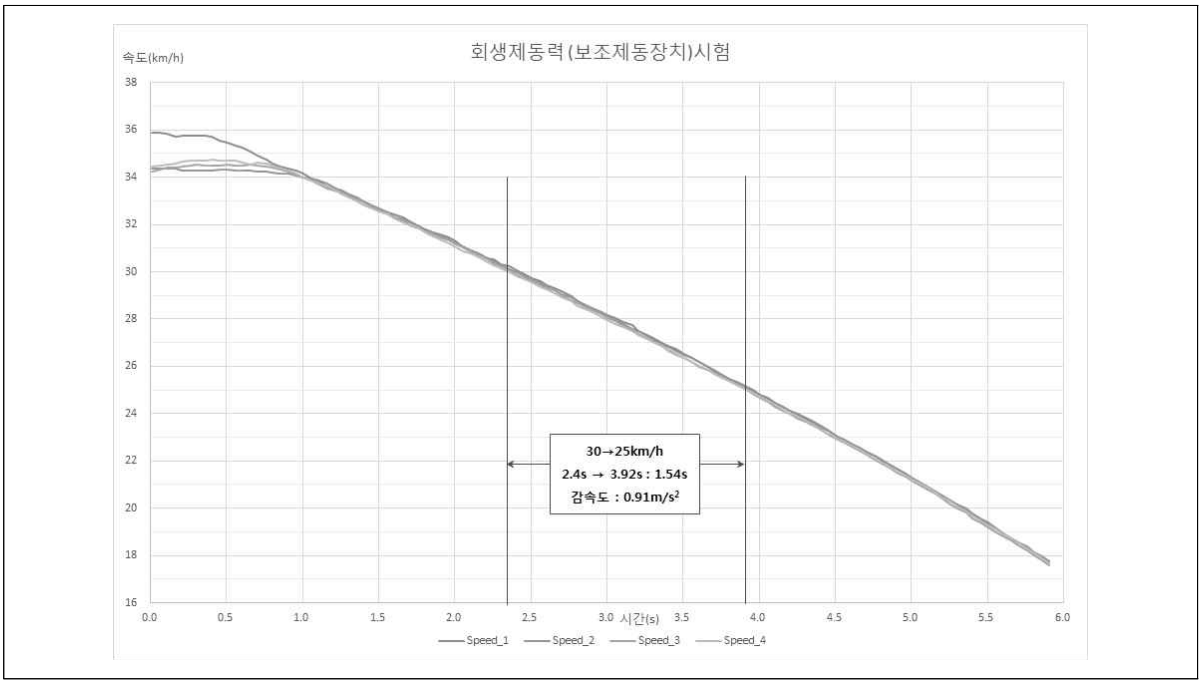
가속성능은 만차 상태로 차량이 정지한 상태에서 75km/h 까지 최대 가속으로 자체 주행 시험을 진행하여 확인하였다. 총 2회의 시험이 진행되었으며, 시험 노선은 KATRI P.G 내 고속 주회로 및 직선로에서 시험하였다. 30km/h까지 도달하는데 걸리는 시간은 평균으로 하여 7.34초정도 걸렸음을 확인하였다.

<표 3.77> 가속 성능

No.	도달속도(km)	도달 시간(s)	가속도(m/s2)	비고
1	30	7.34	1.135	7회 평균
2	60	27.86	0.598	
3	70	39.64	0.490	
4	75	46.89	0.444	

(2) 회생제동시험

회생제동시험은 용역시험 이전에 자체 시험을 진행하였고, 이후 안전인증 용역시험에서 시험항목에 포함되어 시험을 진행하였다.



<그림 3.194> 회생제동력 시험 그래프

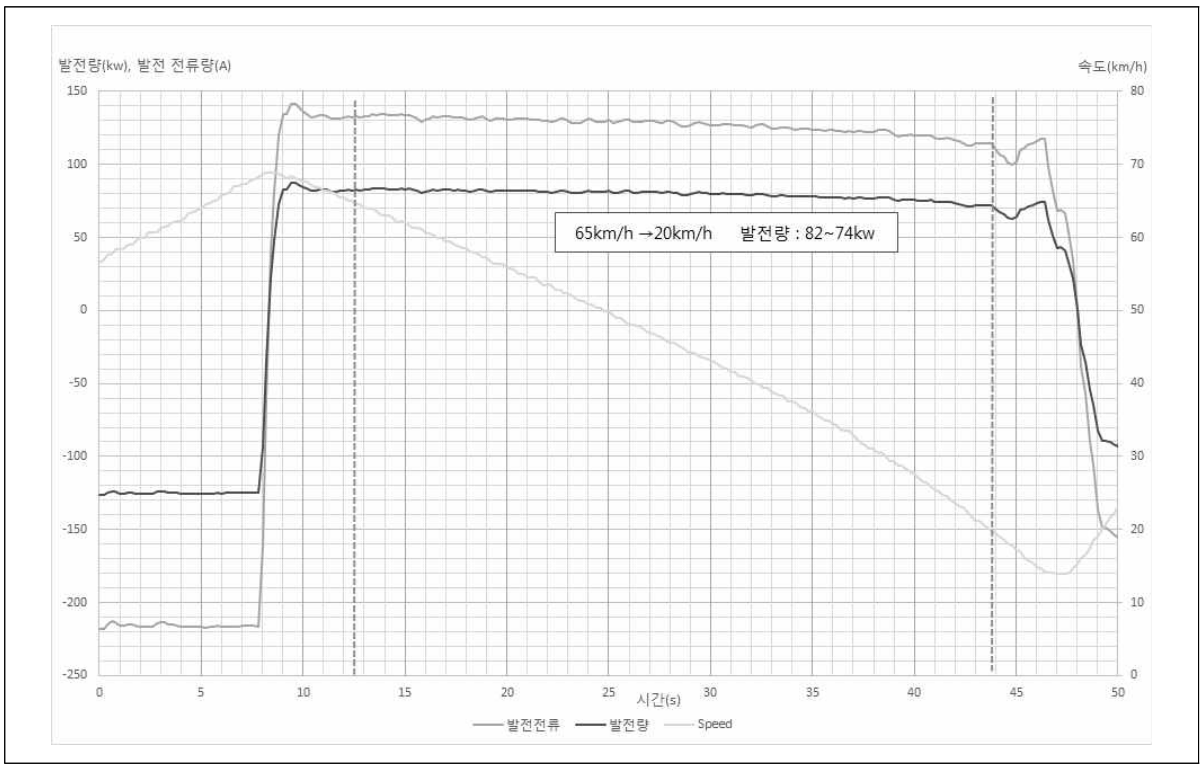
(가) 자체 회생제동 시험 결과

① 회생 제동력 시험

적차 및 경적차 상태에서 시험하였으며, 속도 약 35km/h에서 회생제동을 발생시켜 제동이 되도록 시험을 진행하였다. 총 4회의 시험을 진행하였으며, 18km/h 이하로 되는데 6초정도 걸려, 회생제동에 의한 감속도는 0.91m/s^{2}임을 확인하였다.

② 회생제동 시 발전량 시험

경적차 상태에서 시험 하였으며, 속도는 약 70km/h에서 회생제동 시켜 20km/h까지 제동되도록 시험을 진행 하였다. 총 6회 시험을 진행 하였으며, 65km/h에서 40km/h까지는 82kW로 일정하며, 40km/h에서 20km/h까지는 발전량이 다소 감소한 80~74kW의 발전을 하는 것을 확인 하였다. 또한 오르막과 내리막에서 같은 량을 발전하는 것을 확인 하였으며, 오르막과 내리막길의 차이는 제동 시간의 차이가 남을 확인 하였다.



<그림 3.195> 회생제동 시 발전량 시험 그래프

(나) 안전인증 용역 시험에 의한 회생 제동 시험 결과

안전인증 용역 시험을 통해서 회생 제동 시험을 진행하였다. 시험조건 및 방법은 아래와 같다.

① 감속도 측정장비 사용하여 시험

○ 감속초속도는 30±5km/h로 설정

○ 시험자동차가 30km/h 초과의 속도로 주행할 때 가속페달을 해제시킴
- 리타더레버의 작동으로 30±5km/h의 속도에서 감속도를 측정

② 속도 측정장비를 사용하여 시험

○ 최고속도 30km/h (V1)에서 리타더를 작동시켜 5km/h의 속도가 감속되는 시간을 측정하여 아래의 산식으로 제동 감속도를 산출(V1 30 km/h에서 V2 25km/h까지의 시간을 측정)

○ 제동감속도(㎧) $f = \frac{1.39}{t}$ t=속도 V1에서 V2까지의 소요시간(s)

(3) 최고속도

바이모달 트램 최고속도 목표는 80km/h로 하였고, 계산결과 이론상 최대 속도는 81.1km/h이다.

$$\text{최고속도}(km/h) = \frac{60 \times 2\pi \times \text{타이어하중반경} \times \text{구동모터최대회전수}}{1000 \times \text{감속비}}$$

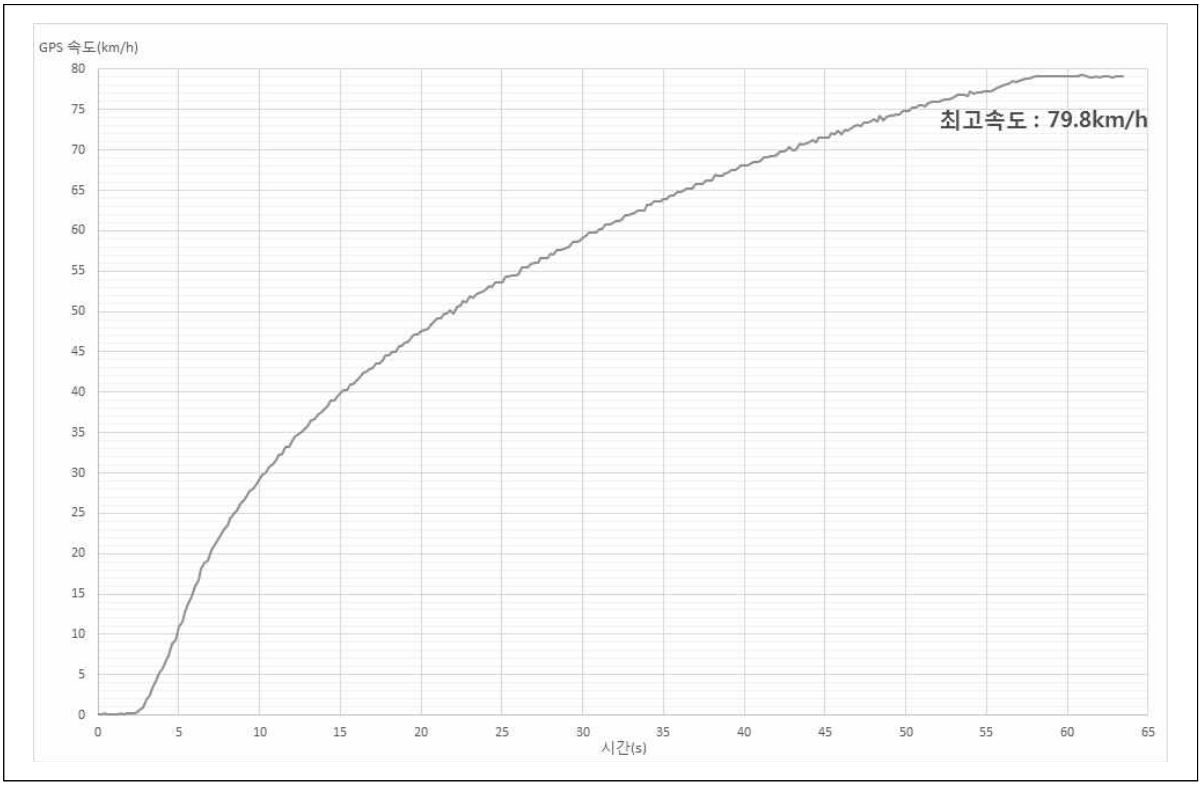
여기서,

타이어하중반경: 0.528m

구동모터 최대 회전수: 3500rpm

감속비: 8.59

위 식에 근거하여 바이모달 트램의 최고 속도를 계산하면 81.1 km/h 이 된다. 그러나 추진모터를 3500RPM이상으로 구동 시 모터 보호를 위한 보호 동작이 일어남으로 내리막 등에서 차량의 속도가 증가되는 부분을 감안하여 Motor Speed를 3450RPM으로 제한을 하였다. 이에 현재 차량이 가속 할 수 있는 최대 속도는 3450RPM을 감안한 79.9 km/h(실제 차속)이다. Meter Cluster에 표현되는 지시속도는 “자동차 및 자동차부품의 성능과 기준의 관한 규칙 110조” 에 의거 실제 속도보도 높게 표현 하여야 한다. 이에 약 2~3km/h(속도에 따라 상이) 높게 지시 한다. 현재 바이모달 트램에 표시 되는 최고속도는 84km/h이다. 아래 그래프는 자동차안전연구원 주행시험로에서 GPS로 측정한 최고속도 이다.



<그림 3.196> 최고속도 시험 그래프

나. 효율적 연료 소비율 확보를 위한 시스템 최적화

자동차안전연구원의 주행 시험장에서 연비측정을 실시하였다. 바이모달 트램은 직렬형 하이브리드 차량으로 추진용 배터리의 SOC량에 따라서 엔진의 구동 회전수가 달라지며 그에 따라 연료(디젤)가 소모된다.

<표 3.78> 연비 시험조건

No.	SOC 범위	엔진 회전수(rpm)	주행모드	비고
1	70% ~ 60%	0	EV모드	평균거리/SOC량 5km/20%
2	60% ~ 70%	1610	일반 충전	
3	60% 이하	1700	고속 충전	

주) SOC 70.4%충전 시 엔진은 정지하며, SOC 59.6%에서 엔진이 동작함

<표 3.79> 엔진 회전수에 따른 연비 측정

엔진 회전수 (rpm)	주행거리 (m)	연료소비량 (cc)	연비 (km/l)	1km당 SOC 충전(%)	비고
0	500	0	(SOC 0.8%)	0	60km/h 정속운전
1610	870	260	3.341	0.4	
1700	970	330	2.940	0.8	

위 기준의 근거로 60km/h 정속운행 시 만 충전 상태에서 7km 주행 후 SOC 59.4%에서 엔진이 동작을 하며, 이때 SOC가 60%이하이므로 1700 RPM으로 동작을 하였다. 엔진 RPM 1700일 경우 1km 주행 후 약 0.8%의 SOC가 충전이 되므로 이후에는 1610 RPM 으로 낮아지며, 1610 RPM에서는 1km 주행 시 약 0.4% 충전되었다. 위 DATA를 근거로 계산을 하면 SOC 만 충전상태에서 60km/h 정속운전을 할 경우 10km 주행 시 0.94ℓ, 20km 주행 시 3.98ℓ, 30km 주행 시 6.95ℓ, 34km 주행 시 8.12ℓ소모되며 엔진은 다시 정지하게 되었다. 결론은 만충전시 60km/h로 주행을 하면 34km 주기로 발전과 방전을 반복하게 되며 이때의 연비는 4.19km/ℓ이다.

<표 3.80> 연비 시험 결과

NO.	엔진Speed (rpm)	소모/충전 SOC(%)	총 SOC (%)	연비 (km/ℓ)	주행거리 (km)	연료소비량 (cc)	비고
1	0	0	70.6	-	0	-	
2	0	-11.2	59.6	-	7	-	엔진Start
3	1700	+0.8	60.2	2.940	1	340	
4	1610	+10.4	70.6	3.341	26	7,782	엔진Stop
총 계					**34**	**8,122**	

5. 사업화 대상지 운영 인프라와의 시스템 통합 검토

가. 바이모달 트램 시스템 구성요소[2)]

바이모달 트램은 바퀴굴림식 신교통 시스템으로서 혼잡한 도시의 내부를 자유롭게 주행하고, 저상화를 통해 교통약자의 편리한 승하차를 도모하고, 이용수요에 따라 탄력적인 운영이 가능한 새로운 대중교통 수단이다.

바이모달 트램은 노면형 신교통수단으로서 경전철 등에 비해 레일과 전력공급시설이 필요없고, 구조물과 차량기지 규모를 경량화 하여, 저비용으로 신속하게 인프라 구축 가능하다. 또한 친환경 신교통 시스템으로서 유로-6 기준을 만족하는 하이브리드 디젤 차량의 적용을 통하여 대기오염, 교통소음 등 도시환경문제 개선할 수 있다. 교통약자의 이동성 확보 및 모든 승객의 편리성 증진을 위한 바이모달 트램은 일반도로에서의 주행이 가능할 뿐만 아니라, 철도와 같은 전용 궤도시스템의 구현을 통하여 정시성 및 안전성이 확보가 가능하다.

바이모달 트램은 지역별 차량의 편성을 다양화 하여 지역의 특성에 맞는 운행을 할 수 있으며, 저상차량으로 승객의 승하차가 수월하여 이용만족도를 높일 수 있다. 기존의 버스보다는 대량의 인원을 수송할 수 있으며, 100% 저상화를 통한 교통약자 이동편의 증진이 가능하다.

바이모달 트램 시스템은 제공하는 특성 및 서비스 수준에 따라 “일반형”, “신교통형”, “자율주행형”으로 구분할 수 있다. 하지만, 바이모달 트램 시스템을 도입하고자 하는 지자체의 교통여건 및 도로상황을 고려하여 필요한 기능을 추가 또는 축소하는 등의 운영상의 융통성을 적용할 수 있다.

<표 3.81> 시스템 유형 구분

유 형	제공 특성	장 점	단 점
일반형	- 혼용차로 또는 일부 전용차로 - 수동운전 - 혼용정류장	- 대량수송 - 편의성	- 일반 버스와의 차별성이 부족
신교통형	- 전용차로 또는 전용도로 - 수동운전 - 전용정류장	- 대량수송 - 편의성 - 신속성	- 도로시설과 차량의 높은 가격
자율주행형	- 전용도로 - 자동운전 - 전용 폐쇄형 정류장	- 대량수송 - 편의성 - 신속성 - 정시성	- 높은 가격과 자동운전의 법 제도 미흡

2) 바이모달 트램 시스템 구성 요소 및 시스템 유형 구분은 국토교통부 훈련 제739호「간선급행버스체계(BRT) 기술」과 무관하게 본 연구에서 정의한 내용임

바이모달 트램 시스템의 설치형식은 바이모달 트램 계획 시 도입될 지역의 도로 및 교통여건과 기능적 요구수준에 따라 결정될 것이다. 바이모달 트램 시스템은 신교통형 BRT 유형으로 전용도로 및 입체처리 등을 기본으로 하나, 일반도로상의 전용차로 및 우선 신호처리 등을 적용할 수 있다. 간선급행버스체계(BRT)의 유형별 설치형식을 기반으로 바이모달 트램 시스템의 설치형식을 다음과 같이 정의할 수 있다.

<표 3.82> 시스템의 설치 형식

등 급	차량	주행로	교차로	정류장	환승 시설	운영관리 시스템	자동운전 시스템	권장평균 통행속도 (km/h)
일반형	전용차량	혼용차로/ 일부 전용차로	부분입체/ 우선처리	개방형/ 반개방형	일부 포함	전용 시스템	수동운전	20 이상
신교통형	전용차량	전용차로/ 전용도로	입체화	폐쇄형/ 반개방형	포함	전용 시스템	수동운전	35 이상
자율 주행형	전용차량	전용도로	입체화	폐쇄형	포함	전용 시스템	수동/ 자동운전	35 이상

주1) 신교통형은 전용차로 및 전용도로, 자율주행형은 전용도로를 원칙으로 하되, 정류장을 제외하고 무정차가 가능한 경우를 포함함

2) 교차로 우선처리는 지역여건에 따라 연동 및 대중교통 우선 신호 처리함

3) 환승시설의 “일부포함”의 경우 환승센터는 물론 평면상의 도로변 환승시설도 포함함

4) 운영관리시스템은 바이모달 트램 차량, 전용도로, 정류장 등을 운영센터에서 제어 및 통제가 가능하고 운영센터와 연계한 요금징수체계, 정보안내체계를 통합하여 운영되는 시스템임

본 연구에서 새롭게 정의한 바이모달 트램 시스템의 상세 내역은 다음과 같다.

<표 3.83> 시스템의 상세 내역

구분			내용
차량	바이모달 트램		- 바이모달 트램의 특성인 대량 수송이 가능한 굴절형 차량 (2량 1편성) - 교통약자 이동편의 증진법에 의거 교통약자 우선의 편의성을 제공할 수 있는 차량
	자율주행형 바이모달 트램		- 자율주행, 정밀정차 및 수평승하차가 가능한 차량
주행로	전용도로		- 대상 도로구간 전체를 입체화한 바이모달 트램 전용도로로, 자율주행에 필요한 시설을 설치한 도로 - 도로중앙부에 친환경소재를 적용한 친환경 전용도로
	전용차로	도시	- 노선 축 상의 도로 대부분을 전용화 하되, 통행속도가 유지되는 경우, 일부구간을 혼용 운영함
		지방	- 상습적으로 지·정체 되거나 바이모달 트램 및 일반 대중교통 수요가 많은 구간을 전용화함
		IC	- 상습 지·정체 IC 연결로, 톨게이트, 본선 접속부, 접속도로 연결구간을 전용화 함
교차로	입체화		- 전 구간 내 교차지점을 지하차도, 고가도로화 함
	우선처리		- 연동신호, 바이모달 트램 우선 신호 등을 통해 바이모달 트램 전용차량을 우선 처리함
정류장	정류장 형 태	폐쇄형	- 이용자 안전과 기후 영향을 최소화하여 쾌적한 휴식공간을 제공할 수 있는 향상된 정류장 형태임. - 승객안전도어(스크린도어, 차단바), 요금징수체계 등 설치
		반개방형	- 폐쇄형과 개방형의 혼합 형태로 승객안전도어가 설치된 정류장 형태임
		개방형	- 일반 정류장에 설치되는 개방된 형태의 기본형 쉘터
	요금지불 형식	정류장 지불형	- 차량탑승전 정류장에서 요금을 지불하는 형태로서 승차와 정차시간을 단축할 수 있는 형태임
		차량 지불형	- 차량탑승시 요금을 지불하는 형태로서 정류장 용량이나 이용승객이 적을 경우 유리한 형태임
환승시설	환승정류장 또는 환승센터		- 바이모달 트램간 또는 다른 수단 간의 연계수송 및 환승 활동을 지원하는 환승정류장 또는 환승시설임.
운영관리 시스템	운영센터		- 바이모달 트램 운영요원에 의해 차량, 정류장, 운행정보 등의 운행관리가 이루어지는 공간 - 도시 내 종합운영센터, BRT운영센터 등의 관련시설 내부에 연계하여 설치할 수 있음.
	운행관리시스템		- 바이모달 트램의 정시성, 안전성 증대를 위해 차량, 정류장, 인프라를 종합적으로 운행관리, 제어 및 정보안내 등을 담당하는 종합적인 운영관리시스템임.
자동운전 시스템	자기유도장치 및 자동운전시스템		- 바이모달 트램의 자동운전, 정밀정차 및 수평승하차를 운행제어하는 주행항법시스템 - 자동운전, 반자동운전, 수동운전 모드로 운행 가능
권장평균 통행속도 (km/h)	일반형		- 단속류의 주행여건을 가지므로 20km/h 이상을 권장함
	신교통형 / 자율주행형		- 연속적으로 전 구간 분리된 주행로이므로, 도시철도에 준하는 35km/h 이상을 권장함

바이모달 트램 시스템 구성요소는 전용차량, 주행로(전용도로 또는 전용차로), 정류장, 차고지, 환승시설, 운영관리시스템, 자동운전시스템 등으로 구분한다. 각 구성요소에 대한 요약 설명은 다음과 같다.

<표 3.84> 시스템 구성요소

항목	내용
전용차량	-이용자의 편의성, 친환경성, 도로 규격과의 부합 등을 고려 -「자동차 안전기준에 관한 규칙」, 「교통약자의 이동편의증진법」 상의 세부기준과 도로설계 기준에 부합되는 차량제원을 만족 -차량의 제원과 도로와의 기하학적 구조와 부조화가 발생하지 않도록 함 -친환경 동력 시스템(CNG, 클린디젤, 전기 등)을 갖춤 -차량교체 시에는 가급적 친환경 차량을 구매하여 운행
주행로	-바이모달 트램이 운행하도록 건설된 전용도로 또는 전용차로를 뜻함 -일반형 시스템의 주행로의 경우는 혼용차로 또는 일부 전용차로가 가능 -신교통형 시스템의 주행로는 전용통행권 확보가 가능한 전용차로 및 전용도로를 설치하는 것을 원칙
정류장	-외부와의 분리형태, 요금징수체계 등에 따라 개방형, 반개방형 및 폐쇄형으로 구분됨. 정류장 디자인은 바이모달 트램 시스템의 독자성(identity)을 표현 할 수 있는 디자인을 적용하여 설계하여야 한다. -기본적인 주요 시설요소로는, 쉘터 및 외부구조물, 승객안전도어(스크린도어, 차단바등), 승하차 공간, 정보안내시설이 있으며, 추가적으로 냉난방시설, 요금징수시설 등을 고려할 수 있음
차고지	-원활한 차량정비 및 운행지원 업무가 이루어 질 수 있도록 검수고, 종합 관리동 등의 시설물과 검수설비 등을 갖추어야 함 -차고지 배치계획은 운전특성, 검수장비간의 관계, 정비계획 및 동선체계 등을 고려하여야 함
환승 시설	-바이모달 트램 시스템과 타 교통수단간의 편리하고 안전한 환승이 이루어지도록 필요한 시설 구비 필요 -환승시설 설계에 관한 사항은 「간선급행버스체계(BRT) 설계지침」, 「복합환승센터 연계환승시설 설계편람」 등을 준용하여야 한다.
운영관리 시스템	-효율적인 바이모달 트램 시스템의 운영을 위해 운영센터, 운행관리체계, 정류장운영체계 및 긴급 상황 대비체계, 유지관리체계, 정보안내체계 등을 포함 -운영관리시스템은 정시성, 안전성, 시설의 신뢰성을 확보하는 등 일정수준의 서비스수준을 만족할 수 있도록 하며, 주요 설계기준은 「간선급행버스체계(BRT) 설계지침」을 준용

나. 사업화 대상지 인프라와의 시스템 통합 검토

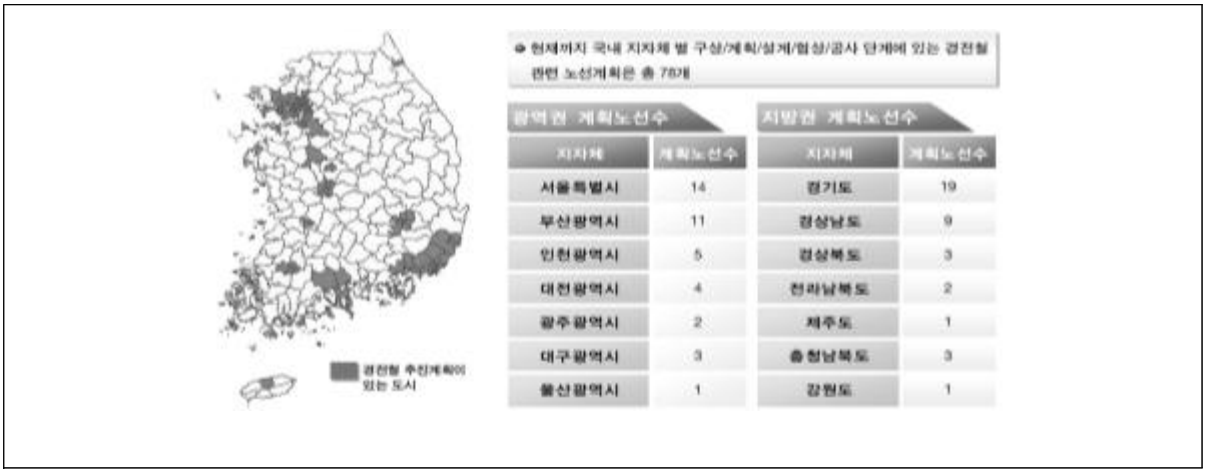
바이모달 트램의 사업화 대상지는 상업운전 환경에서의 운영특성과 실용화 환경 등을 고려하여, 바이모달 트램 운행 도입에 용이한 후보지역을 선정하고, 적정성 등 타당성 검토가 진행되었다. 신교통수단이 적용될 수 있는 후보지역을 검토 결과, 세종특별자치시를 사업화 대상지로 선정하여, 해당지역의 운영 인프라에 대해 검토하였다.

(1) 후보지역 선정

바이모달 트램의 사업화 대상지역 후보지는 관련기관의 신교통 도입 계획과 사업추진 의지 등을 바탕으로 다음과 같은 검토기준을 마련하여 적용가능 후보지역을 검토하였다.

- ○ 해당 지역의 사업추진 현황을 고려한 시범사업 추진 가능 시기
- ○ 해당 지역의 도입가능 공간 및 기반시설 수준(전용도로 설치 가능성 등)
- ○ 해당 지역의 바이모달 트램 운영계획 및 방식(전용, 혼용 등)
- ○ 해당 지역의 바이모달 트램 운행효과 및 수요 등 운행효과
- ○ 시범운행이후 바이모달 트램 노선의 확장운행 가능성 여부
- ○ 해당 지자체의 시범운행 사업추진 의지 정도 등

전국 주요 지자체를 중심으로 현재 구상중인 신교통 도입관련 계획을 조사한 결과, 다수의 지자체에서 신교통수단 도입을 구상하고 있다.



자료: 신교통 시스템의 도입성공을 위한 제언, 손영진, 서울메트로, 2008. 2

<그림 3.197> 주요 지자체별 신교통 시스템 도입 추진계획 검토

이를 통하여 신교통수단이 적용될 수 있는 사업지역을 검토한 결과, 세종특별자치시를 우선검토 가능한 후보지역으로 선정하였다.

(2) 세종특별자치시 특성

바이모달 트램이 도입하고자 하는 지자체의 지역여건을 반영하기 위해서는 해당 지역에 대해 인프라 구성요소, 인구 및 BRT노선 특징에 대해 검토가 필요하다. 먼저 세종특별자치시의 인프라 구성요소를 검토한 결과 다음과 같다.

<표 3.85> 세종특별자치시 BRT 인프라 구성요소

항목	내용
주행로	-일반 도로 및 BRT노선으로 이루어져 있음
정류장	-개방형 정류장
요금지불 형식	-차량탑승시 요금을 지불하는 형태
환승시설	-오송역, 반석역, 세종터미널에서 대중교통연계수송형 환승센터 운행
평균 통행속도	-시내 주행시 20km/h 이상 -BRT노선에서 연속적으로 전구간 분리된 주행로이기 때문에 35km/h 이상

인프라 구성요소는 바이모달 트램이 해당 지역에 투입 요건이 충족하는지 판단되어 진다. 세종특별자치시는 일반 도로 및 BRT노선 주행로를 가지고 있고, 개방형 정류장을 사용하여 차량탑승시 요금을 지불하는 후불 요금 지불 형식을 갖추고 있다. 바이모달 트램은 BRT노선뿐만 아니라 일반도로에서 주행이 가능하고, 요금지불 형식에 구애받지 않기 때문에 세종특별자치시 도입에 문제가 없다.

도입 대상지의 인구수는 수송인원 증대와 교통 혼잡도의 증가로 인한 바이모달 트램의 도입의 필요성에 영향을 끼친다. 세종특별자치시는 2014년 12월 기준 세종특별자치시의 인구는 158,844명이며, 연평균 증가율이 15.1%로 높은 증가율을 보이고 있다. 이는 이용수요가 높아짐에 따라서 수송인원이 많은 바이모달 트램의 도입 필요성이 높아지게 된다.

<표 3.86> 세종특별자치시 및 주변도시 인구 현황

(단위 : 명)

구분	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	연평균증가율
세종특별자치시	80,118	81,068	83,504	84,710	115,388	124,615	158,844	214,343	15.09%
대전광역시	1,495,048	1,498,665	1,518,540	1,530,650	1,539,154	1,547,609	1,547,467	1,531,287	0.34%
청주시	644,223	648,598	661,793	668,199	672,849	679,301	841,982	842,950	3.92%
공주시	127,391	126,542	127,260	127,025	119,157	118,236	113,621	113,057	-1.69%
청원군	148,063	149,783	152,944	158,369	154,780	155,002	-	-	0.92%

자료 : 세종통계 홈페이지, 각 시군별 통계연보 및 통계청

주1) 세종특별자치시 2007~2011년은 연기군 자료임(세종특별자치시 2012년 7월 출범)

2) 공주시는 2014년 인구현황을 제시하지 않으며, 청원군은 2014년 7월 청주시와 통합되어 2014년 자료를 제시 하지 않음

2014년 12월 기준 자동차 등록대수는 세종특별자치시 67,800대로 연평균 증가율이 17.56%로 높은 편이다.

<표 3.87> 자동차 등록대수 추이

(단위 : 대)

구분	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	연평균 증가율
세종특별자치시	29,999	31,387	32,637	34,222	47,580	52,889	67,880	93,078	17.56%
대전광역시	539,233	553,857	572,372	584,435	594,738	606,283	621,035	632,954	2.32%
청주시	227,388	234,047	244,555	251,984	257,560	265,545	354,230	-	7.67%
공주시	45,851	47,593	49,467	51,051	48,691	49,834	50,316	51,140	1.57%
청원군	62,571	65,662	68,826	73,346	72,769	75,323	-	-	3.78%

자료 : 세종통계 홈페이지, 각 시군별 통계연보 및 통계청

주1) 세종특별자치시 2007~2011년은 연기군 자료임(세종특별자치시 2012년 7월 출범)

2) 청원군은 2014년 7월 청주시와 통합되어 2014년 자료를 제시 하지 않음

세종특별자치시는 인구 및 자동차 등록대수가 매년 증가하고 있다. 이에 대처하기 위하여 대중교통중심의 교통인프라 구축을 목표로 하여 세종특별자치시의 환상형 대중교통중심축을 23km구축하여 세종특별자치시의 상징성, 경제성 등을 갖춘 BRT를 도입하였다. 환상형 대중교통중심축을 중심으로 생활권별 정류장과 환승시설을 배치하며, 신교통형 BRT를 활용하여 대중교통분담률을 높이고자 하여 대중교통중심도로의 총 교차로 계획은 75개소이며, 그 중 3지 교차로는 24개소, 4지 교차로는 51개소로 계획하였다. 교차로 처리계획은 폐쇄교차로 44개소, 지하차로 상부 교차로(BRT지하차도 분리)는 17개소, 고가차도 하부 교차로(BRT 지하차도 분리)는 6개소, 제한적 폐쇄교차로(대중교통중심도로 횡단 직진교통류만 허용)는 8개소이다.

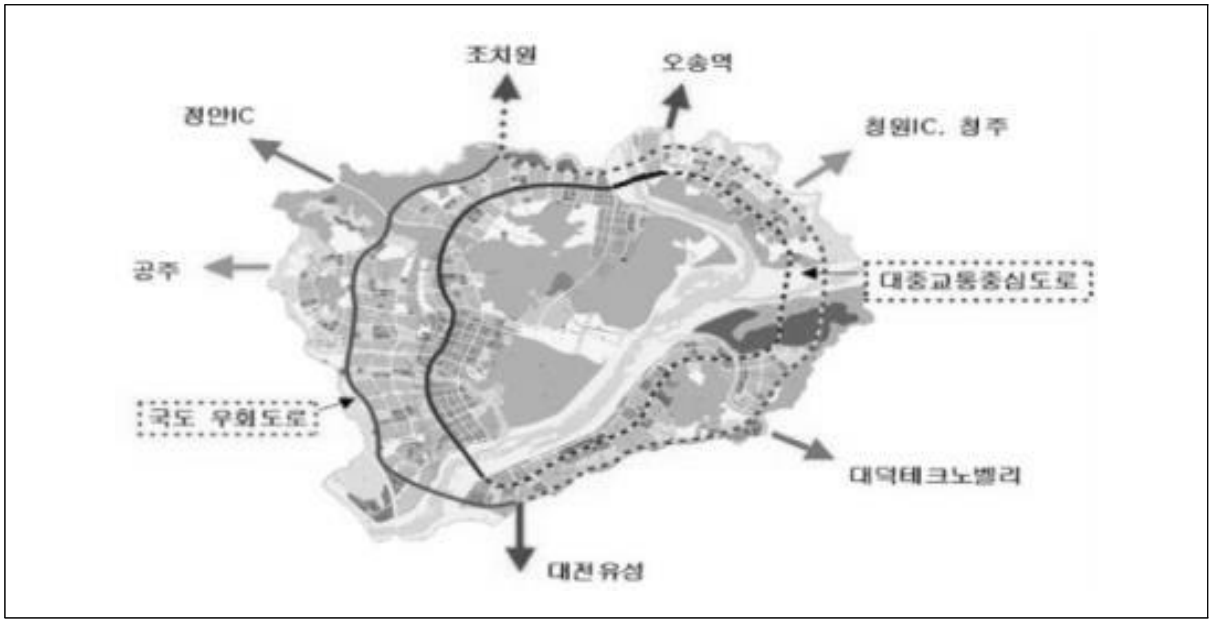
(가) 도시교통체계 구축사업

세종특별자치시의 도시교통체계 구축과 관련해서는 대중교통중심도로와 외곽순환도로가 추진 중이며, 다음은 도시교통체계 구축사업을 나타내었다.

<표 3.88> 도시교통체계 구축사업

노선명	총 연장(㎞)	개통 연장(㎞)	사업 완료
대중교통중심도로	22.9	16	’15. 12월
외곽순환도로(서측구간)	28.1	12	’20년 이후

자료) 행정중심복합도시 홈페이지의 건설현황(www.macc.go.kr)



자료) 행정중심복합도시 홈페이지의 건설현황(www.macc.go.kr)

<그림 3.198> 도시교통체계 구축사업도

(나) 단계별 개발계획[3)]

① 초기 활력단계 (2007～2015)

○ 도입기능 : 중앙행정기능(2012～2014), 정부출연 연구기능(2012), 국제교류 및 문화기능, 도시행정기능, 대학기능

○ 공간범위 : 장남평야 서측 및 대평뜰 일대

○ 유입인구 : 15만인(누적 : 15만인)

○ 개발방향 : 대중교통중심도로의 완성, 기존 기반시설의 이용 및 접근성 제고

② 자족적 성숙단계 (2016～2020)

○ 도입기능 : 의료·복지기능, 첨단지식기반기능

○ 공간범위 : 대상지 전반

○ 유입인구 : 15만인(누적 : 30만인)

○ 개발방향 : 자족기능 중심의 개발확대, 도시 전반적 기반시설의 확대설치

③ 완성단계 (2021～2030)

○ 도입기능 : 기존 도입기능의 완비

○ 공간범위 : 대상지 전반

○ 유입인구 : 20만인(누적 : 50만인)

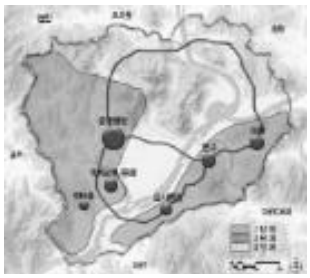
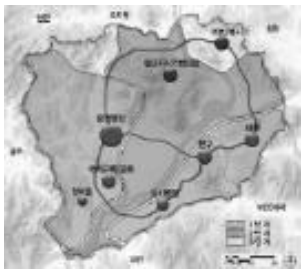
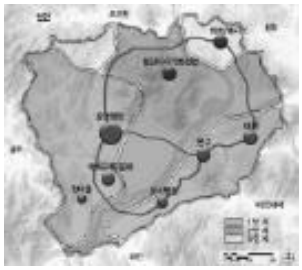
○ 개발방향 : 주거지 확충, 도시 전반적 기반시설의 완비

3) 세종특별자치시(행정중심복합도시) 대중교통체계 수립 연구, 행정중심복합도시건설청, 2011

<표 3.89> 행복도시 개발 계획

구분	기간	유입인구 (누적인구)
1단계	2007년~2015년	15만인
2단계	2016년~2020년	15만인 (30만인)
3단계	2020년~2030년	20만인 (50만인)

자료) 행복도시 건설사업 개발 계획, 행복청

<1단계 : 2007년 ~ 2015년>	<2단계 : 2016년 ~ 2020년>	<3단계 : 2021년 ~ 2030년>
		

자료) 행복도시 건설사업 개발 계획, 행복청

<그림 3.199> 행복도시 개발 계획

(3) 세종특별자치시 건설 및 운영 중인 BRT 현황

(가) 건설 및 운영 중인 BRT 현황

① 신교통형 BRT 간선교통체계 구축 방안

세종특별자치시 광역권 지방 대중교통 기본계획」에서는 신교통형 BRT 간선교통체계 구축 방안을 수립하였다. 전용차로망으로 1순환축과 5개의 방사축(조치원, 유성, 대전역, 오성, 공주)을 계획하고 있다.

<표 3.90> 건설 및 운영 중인 행복도시 BRT 현황

노선명	운영구간	관내연장 (km)	노선연장 (km)
순환형	대중교통중심도로	22.9	22.9
오송BRT	대중교통중심도로~오송역	5.5	21.2
유성BRT	대중교통중심도로~반석동	6.3	27.2
대전BRT	대중교통중심도로~대전역방면	5.8	26
조치원BRT	대중교통중심도로~조치원역	7.6	20.06
공주BRT	대중교통중심도로~공주방면	6.4	30.2

자료) 세종특별자치시 광역권 지방대중교통기본계획, 세종특별자치시, 2013, 09



자료) 세종특별자치시 광역권 지방대중교통 계획, 세종특별자치시, 2013

<그림 3.200> 세종특별자치시 BRT 현황 및 계획 노선도

광역 간선급행버스 운행노선은 대전역~정부세종청사~오송역 구간으로 당초 대전역~세종특별자치시에서 이용객 편의와 지역 경제 발전 등을 위해 오송역까지 확대하기로 하였다. 대전역~정부세종청사~오송역 광역 간선급행버스의 운행시기는 대전광역시가 사전절차(세부운행계획 수립, 업체 선정, 면허, 차량 구매, 차량 내부장치 설치 및 시험운행 등)를 고려하여 정하기로 하였다.

② BRT 간선교통체계 운영 현황

현재 운행 중인 BRT는 990번 노선으로 반석역-첫마을 2단지-정부세종청사-오송역을 운행하며, 1일 71회를 운영한다. BRT의 평일 배차간격은 최대 5분~10분(출퇴근시간 5분으로 단축)으로 단축하였다.





(a) BRT 정거장(오송역)



(b) BRT 정거장 (세종시)

<그림 3.201> 세종특별자치시 BRT 990번 운행 노선 및 BRT 운행 사진

(나) BRT 이용객 증가 추세

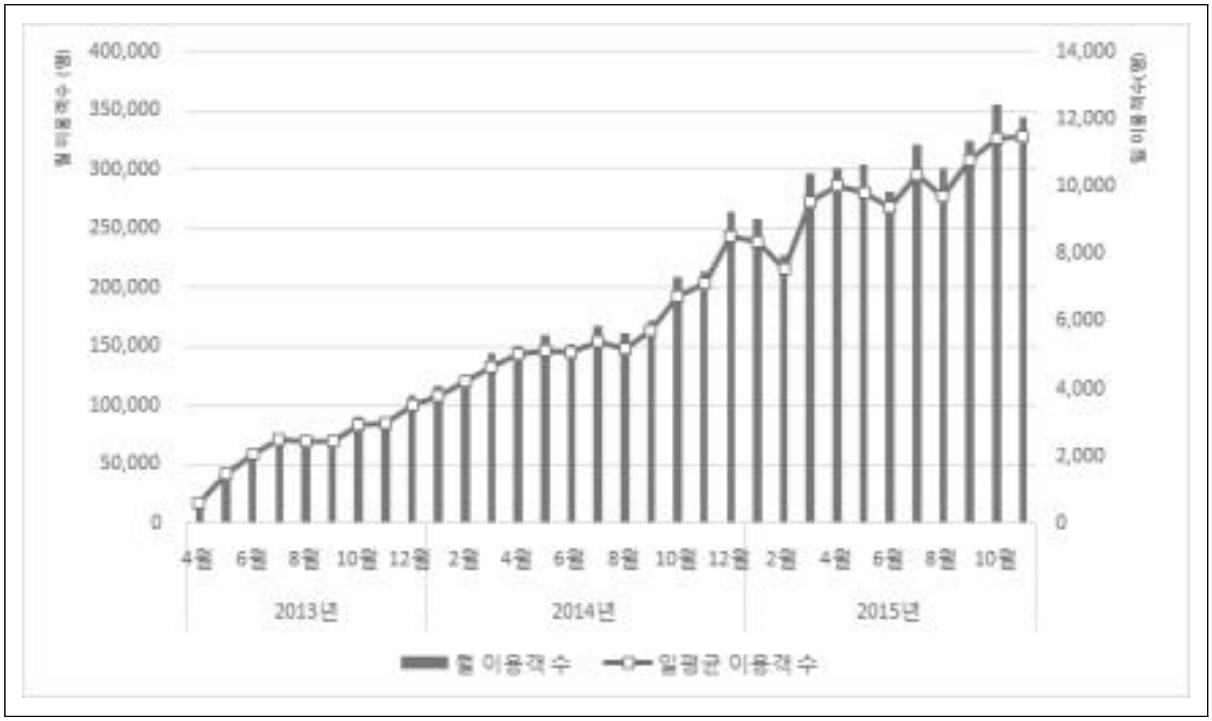
2013년 4월 15일 이후로 행복도시의 BRT 이용객의 수는 꾸준히 증가하고 있으며 2015년 11월까지 누적 이용객은 598만명, 1일 이용객은 11,483 여명으로 집계되었으며, 이는 초기 이용객의 7.8배에 해당하는 수치이다.

<표 3.91> 세종특별자치시 BRT 이용객 수 현황

(단위 : 명)

구분	2013년			2014년				2015년		
	5월	9월	12월	3월	6월	9월	12월	4월	7월	11월
월 이용객 수	45,770	73,018	109,480	144,642	152,239	171,868	263,417	300,438	310,343	34,488
일평균 이용객 수	1,476	2,434	3,532	4,666	5,074	5,729	8,497	10,015	10,334	11,483
누적 이용객 수	5,981,139									

자료) 행복중심복합도시건설청 내부자료



<그림 3.202> 행복도시 BRT 이용객 현황

(다) 세종특별자치시 순환 BRT 개요

세종특별자치시의 「세종시 광역권 지방대중교통계획(2013~2016)」(세종특별자치시, 2013)에 따라 순환 BRT는 환상형 대중교통중심도로로 약 23km의 연장으로 이루어 져 있다. 계별 구축 계획에 따르면 3단계에서 대중교통중심도로인 순환 BRT가 완성 된다. 순환 BRT는 세종특별자치시 내의 수송을 목적으로 하고 있는 BRT 노선으로 다음과 같은 특징을 필요로 한다.

- ○ 빠른 승하차가 필요
- ○ 다수의 이용객이 입석 가능 및 안전성 확보가 필요
- ○ 교통약자의 접근성용이 필요

내부순환 BRT노선은 환상형 대중교통중심도로의 서측구간과 동측구간 중 행복도시청사 접근도로구간에 BRT노선을 운영하며, 단계별로 대중교통중심도로 전 구간에 BRT노선을 운영하도록 계획하고 있다.

(4) 세종특별자치시 BRT노선 운행 설문조사

바이모달 트램의 사업 대상지 중 바이모달 트램이 현재 시험 운행되고 있는 세종특별자치시 BRT 노선에 대한 객관적인 타당성 검토를 위하여, 바이모달 트램 일반 탑승객 들을 대상으로 설문을 실시하였다.

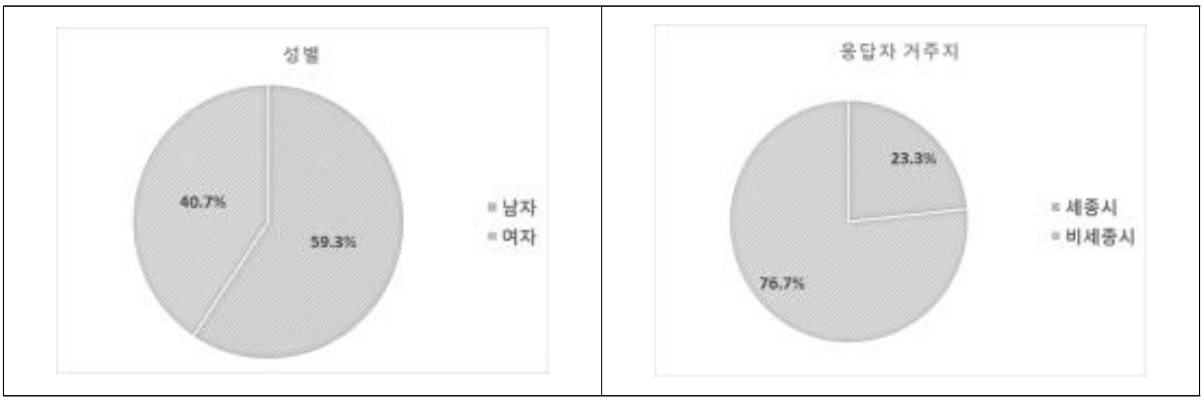
(가) 조사의 개요

세종특별자치시에서 시범 운행 중인 바이모달 트램의 이용자 만족도 및 고객 니즈를 파악하여 이를 바이모달 트램 개발 및 운영 전략 수립에 관한 기초자료로 사용하기 위하여 설문조사를 실시하였다. 주요 설문 내용으로는 설문자의 개인 속성(성별, 연령대 등), 이용자 만족도, 신교통수단 속성별 우선순위, 바이모달 트램 개선 요구사항 등이 있다.

- ○ 설문조사 일시 : 2016년 5월 4일(수) 07:00~19:00
- ○ 설문조사 장소 : 세종특별자치시 주요 BRT 정류장
- ○ 설문조사 내용 : BRT 이용 만족도 및 바이모달 트램 만족도 등 조사
- ○ 설문조사 부수 : 총150부

(나) 조사 결과

세종특별자치시 BRT 이용 관련 설문조사의 응답자 기본사항으로 성별은 40.7%가 여자, 59.3%가 남자로 조사하였다. 응답자 거주지는 76.7%가 비세종특별자치시, 23.3%가 세종특별자치시로 조사되었으며 이는 세종특별자치시에 업무차 방문하는 비율이 높아서 그런 것으로 판단된다.

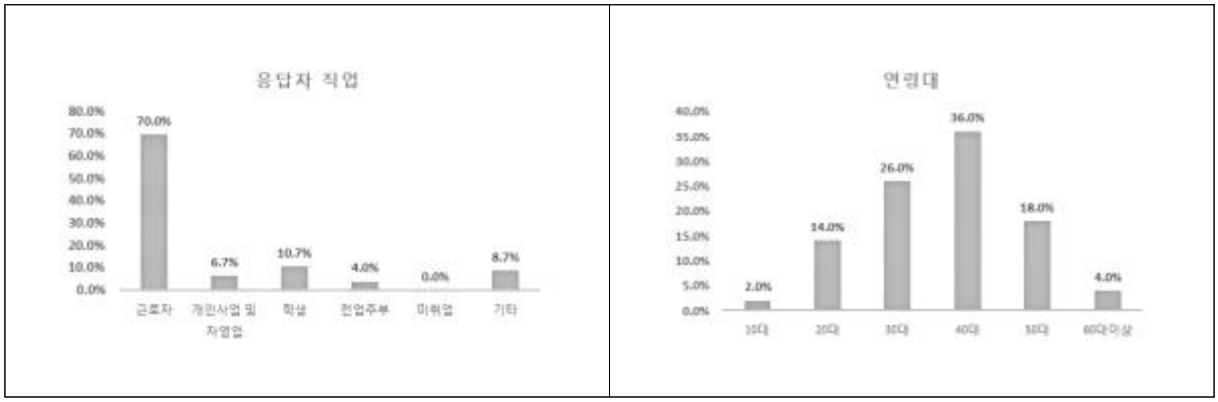


(a) 성별 (b) 응답자 거주지

<그림 3.203> 설문 응답자 성별 및 응답자 거주지

응답자의 직업은 근로자가 70%로 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음은 학생이 10.7%로 나타났다. 기타 응답자의 대부분은 공무원 또는 연구원으로 조사되었다.

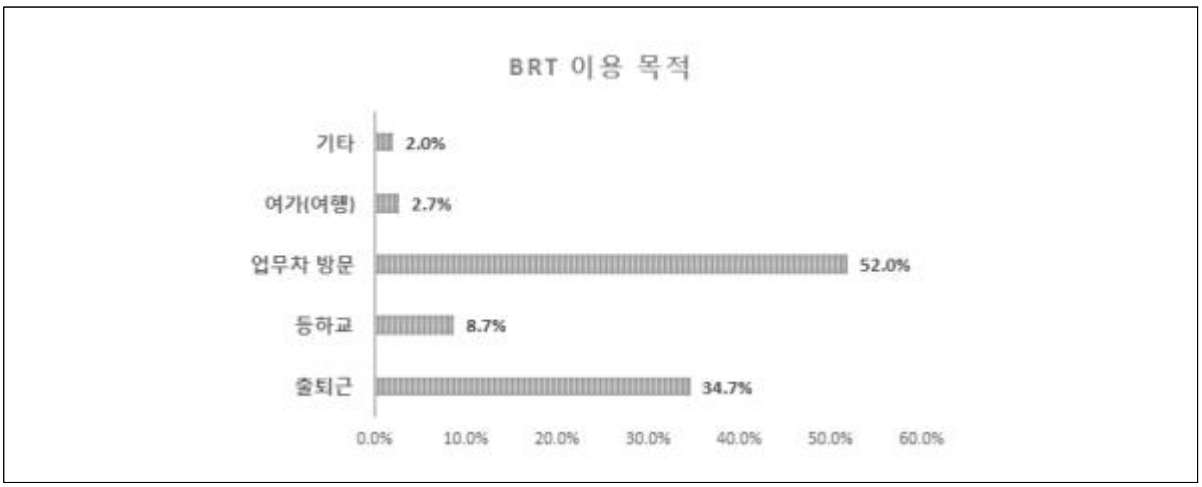
연령대는 40대가 30.6%로 가장 높으며, 다음으로 30대가 26.0%로 나타났다.



(a) 응답자 직업 (b) 연령대

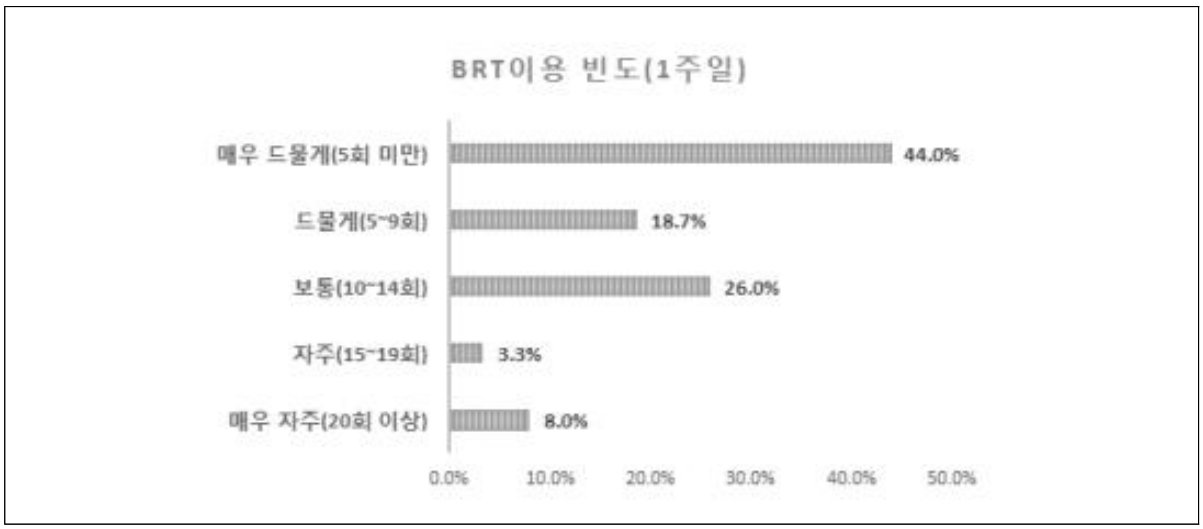
<그림 3.204> 응답자 직업 및 연령대

BRT(990번 버스)의 주요 이용 목적과 관련하여서는 응답자의 52.0%가 업무차 방문으로 가장 높았으며, 다음으로 출퇴근이 34.7%로 조사되었다. 기타는 2.0%로 가장 낮았으며 친지 또는 부모님 방문으로 조사되었다.



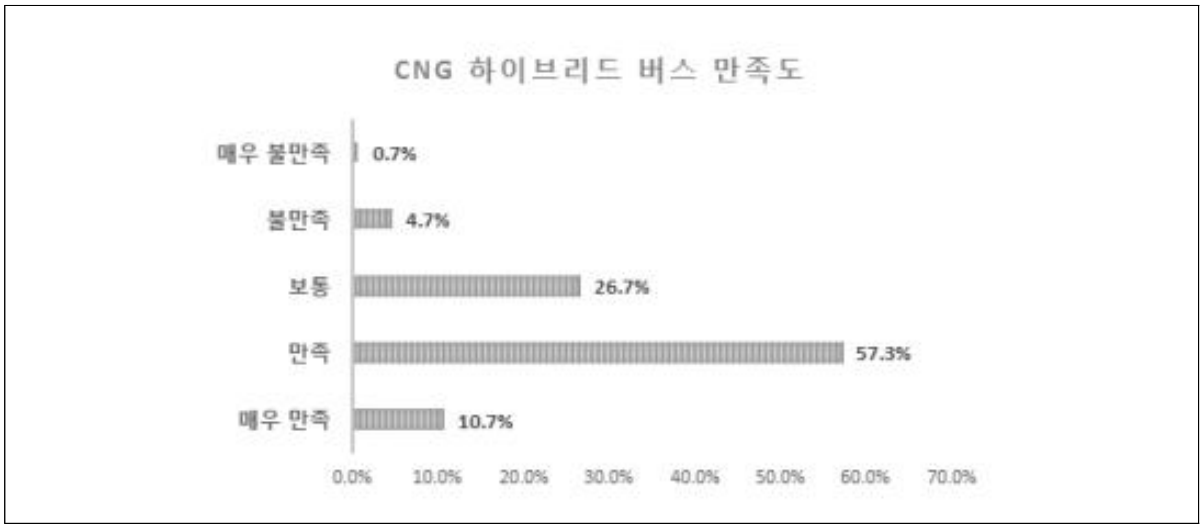
<그림 3.205> BRT 이용 목적

BRT(990번 버스)의 이용 빈도(1주일 기준)와 관련하여서는 응답자의 44%는 매우 드물게(5회 미만) 이용하는 것으로 나타났으며, 이는 업무차 방문자 비율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 보통(10~14회)이 26.0%로 조사되고 자주(15~19회)는 3.3%로 가장 낮게 조사되었다.



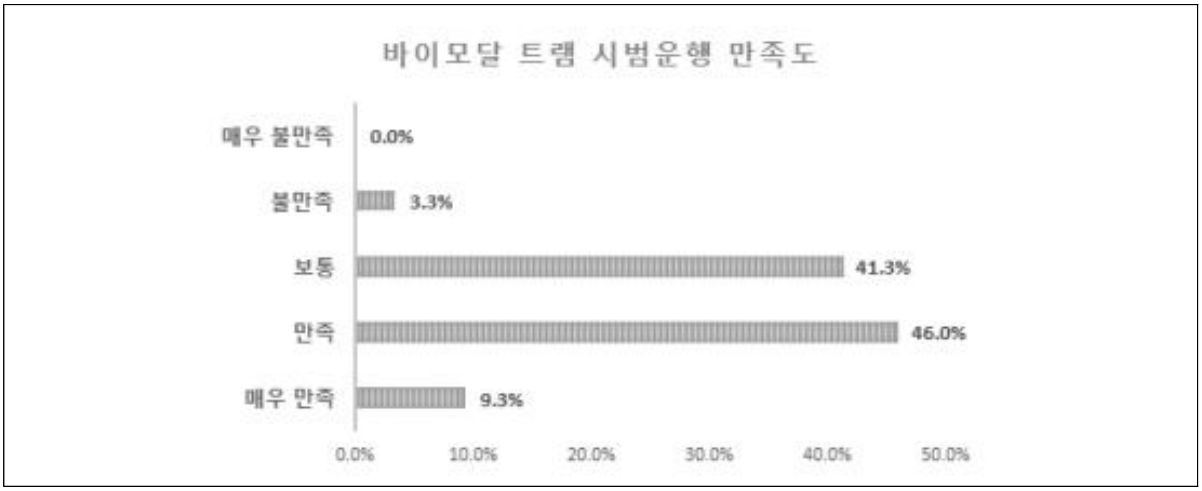
<그림 3.206> 1주일 기준 BRT 이용 빈도

기존 BRT 차량인 CNG 하이브리드 버스의 만족도와 관련하여서는 응답자의 57.3%가 만족을 선택하였으며, 보통은 26.7%이며, 매우만족이 10.7%로서 전체 응답자의 94.7%가 보통 이상으로 응답하였으며, 불만족을 선택한 응답자는 5.4%였다.



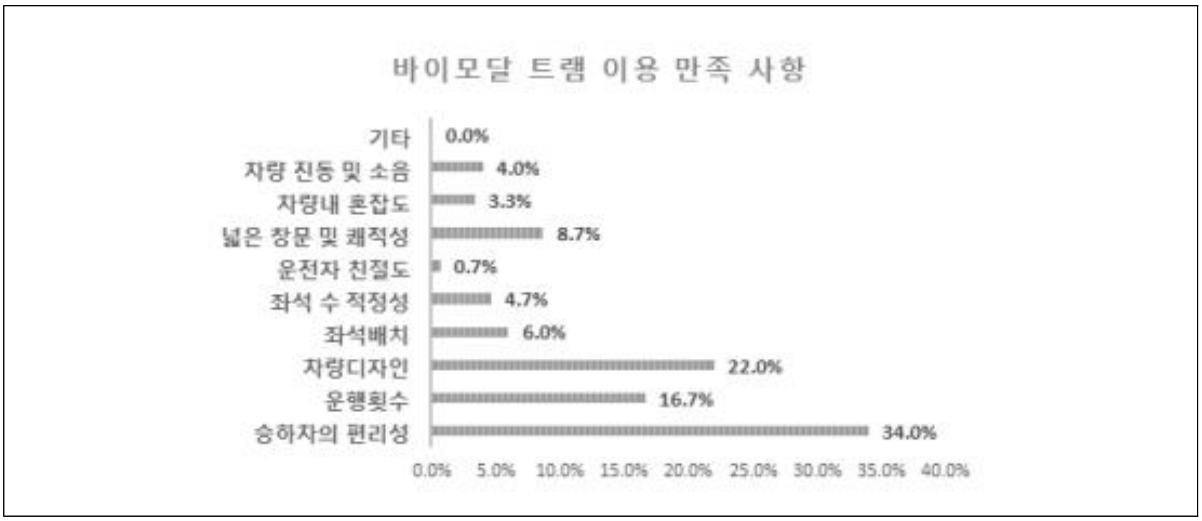
<그림 3.207> CNG하이브리드 버스 만족도

바이모달 트램의 시범 운행 만족도와 관련하여서는 응답자의 46.0%가 바이모달 트램 시범 운행에 만족하는 것으로 나타났으며, 보통을 선택한 응답자는 41.3%, 매우 만족이 9.3%로서 전체 응답자의 96.6%가 보통이상으로 응답하였으며, 매우 불만족을 선택한 응답자는 없으며, 불만족을 선택한 응답자는 3.3%였다.



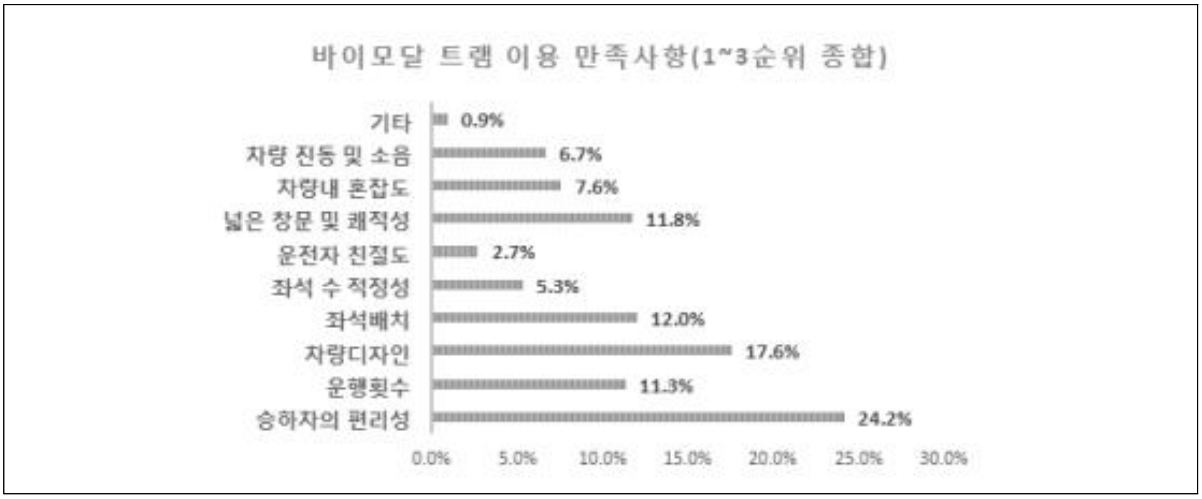
<그림 3.208> 바이모달 트램 시범운행 만족도

바이모달 트램 이용 시 만족하는 사항(1순위 기준)과 관련하여서는 바이모달 트램 이용 시 가장 만족하는 사항으로 응답자의 34.0%가 승하차의 편리성을 선택하였고, 그 다음으로 응답자의 22.0%가 차량디자인을 선택하였다.



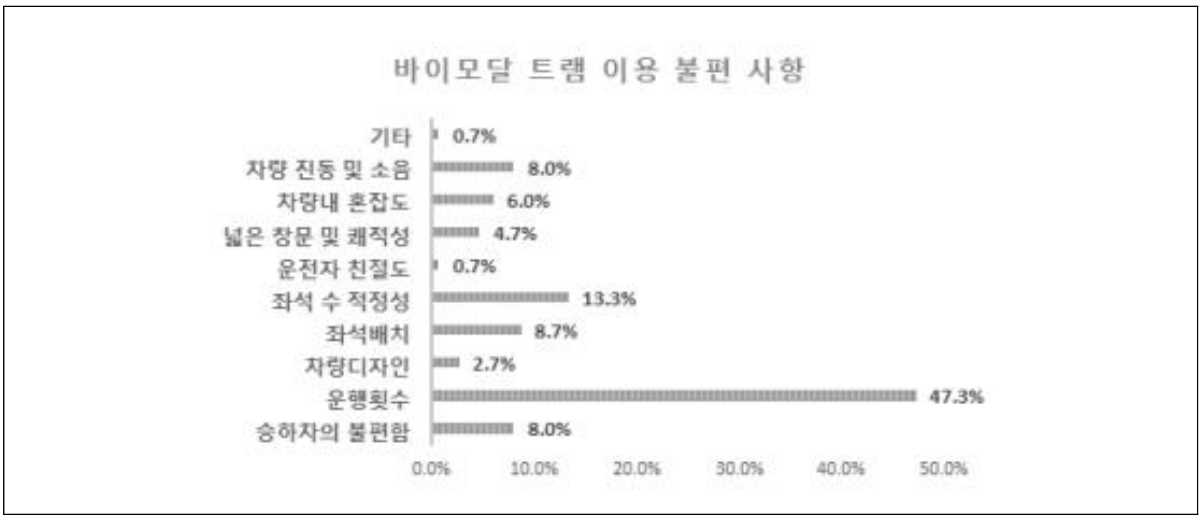
<그림 3.209> 바이모달 트램 이용 만족사항(1순위 기준)

바이모달 트램 이용 시 만족하는 사항(1~3순위 종합)와 관련하여서는 바이모달 트램 이용 만족사항을 1~3순위를 종합하여 산정 결과 승하차의 편리성이 24.2%로 가장 높았으며, 그 다음은 차량디자인 17.6%, 기타는 무응답 0.9%이었다.



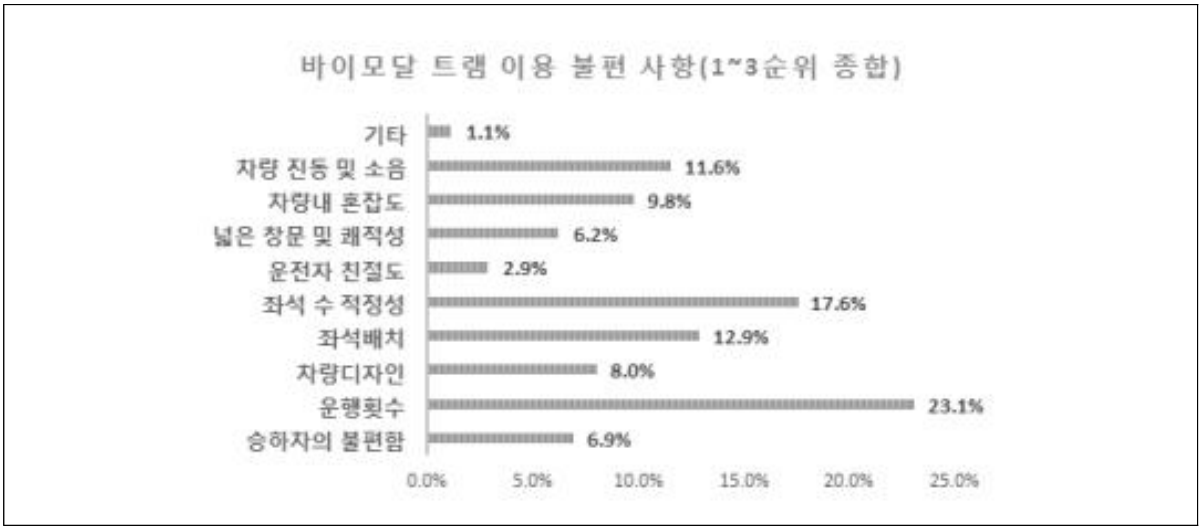
<그림 3.210> 바이모달 트램 이용 만족사항(1~3순위 종합)

바이모달 트램 이용 시 불편한 사항(1순위 기준)와 관련하여서는 바이모달 트램 이용 시 불편한 사항으로 운행횟수를 선택한 응답자는 47.3%로 가장 높았고, 그 다음으로 좌석 수의 적정성이 13.3%로 조사되었다.



<그림 3.211> 바이모달 트램 이용 불편사항(1순위 기준)

바이모달 트램 이용 시 불편한 사항(1~3순위 종합)와 관련하여서는 바이모달 트램 이용 불편 사항을 1~3순위를 종합하여 산정 결과 운행횟수가 23.1%로 가장 높았으며, 그 다음은 좌석 수 적정성이 17.6%, 기타는 무응답으로 1.1%이었다.



<그림 3.212> 바이모달 트램 이용 불편사항(1~3 순위 종합)

바이모달 트램에 대한 개선사항 또는 기타의견으로는 다음과 같았다. 가장 많은 개선사항이 바이모달 트램의 운행 횟수 증가로 나타나 바이모달 트램에 대한 이용자들의 기대가 높고 바이모달 트램의 사업성 및 상업화 전망은 좋은 것으로 판단된다. 하지만 일부 개선이 필요한 사항이 도출되었으며 본 연구를 통해 적극적으로 수용되었음을 밝힌다.

- ○ 바이모달 트램의 운행 횟수 증가 요청(16명)
- ○ 출퇴근 배차간격 조정 요청(1명)
- ○ 바이모달 트램의 코너링 시 불안정(1명)
- ○ 좌석의 불편함(딱딱함)(1명)[4)]
- ○ 좌석수 부족(2명)
- ○ 차량진동 및 소음 개선(1명)
- ○ 바이모달 트램을 홍보하여 관광자원으로 활용(1명)
- ○ 안내방송 개선(1명)

4) 설문조사 이후 바이모달 트램의 좌석이 부드러운 재질로 개선되었음

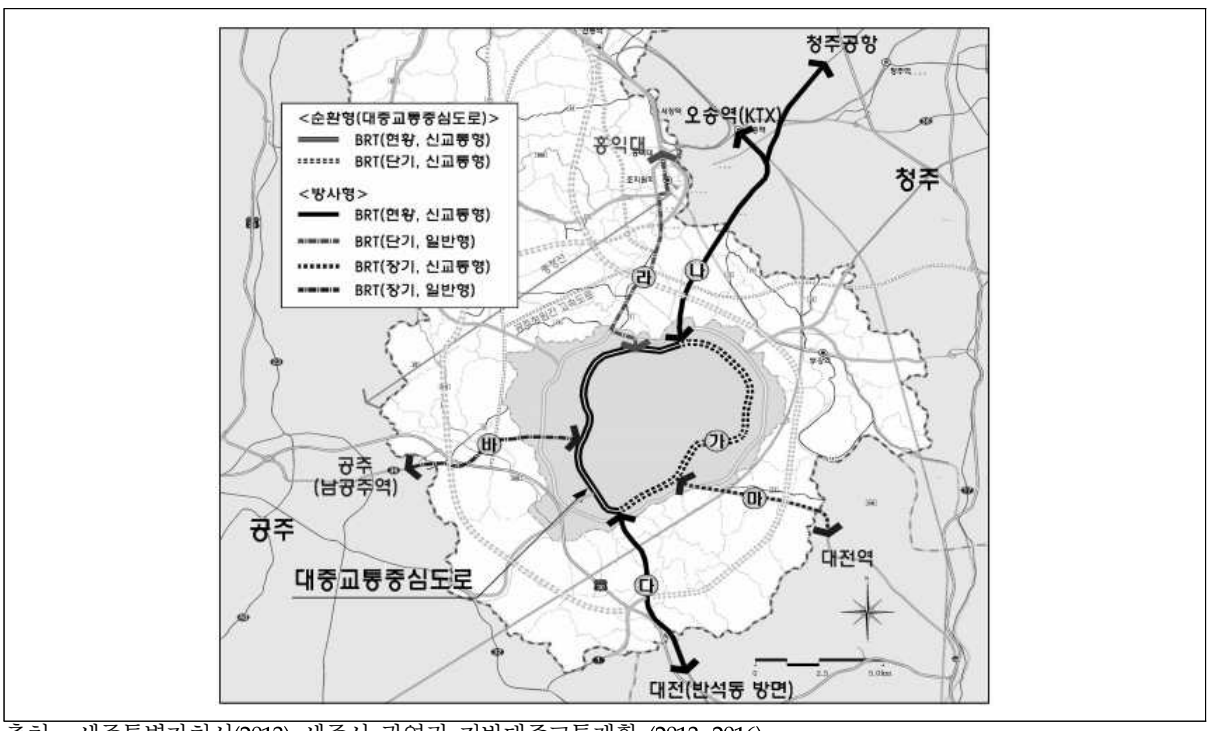
다. 향후 사업화 대상지 검토

바이모달 트램의 향후 사업화 대상지를 검토하기 위해 청라국제도시, 대전광역시, 세종특별자치시, 경북 도청이전 신도시, 동대구 역세권 개발 지역, 기타 지역 및 기존 BRT 운영지역에 대해 검토하였다.

(1) 세종특별자치시

「세종시 광역권 지방대중교통계획(2013~2016)」(세종특별자치시, 2013)에 따르면 노선 연장 22.9km에 해당하는 순환형 대중교통중심도로는 신교통형 BRT 도입 예정구간이다. 현재 순환형 대중교통중심도로에서는 기존의 버스 시스템을 이용한 BRT 노선이 운행 중에 있다. 향후 순환형 대중교통중심도로가 완성되는 시점이 도래하게 되면 기존 버스차량 뿐만 아니라 바이모달 트램과 같은 신교통수단을 이용한 혼합운영이 가능할 것으로 판단된다.

세종특별자치시에서는 순환형 대중교통중심도로 뿐만 아니라 순환형 대중교통중심도로 ~공주(20.06km), 순환형 대중교통중심도로~대전역(26km) 노선에 신교통형 BRT 도입이 예정되어 있다. 따라서 해당 구간에 바이모달 트램을 이용한 BRT 시스템 구축이 가능할 것으로 예상되며, 또한 현재 BRT 노선이 운행 중인 순환형 대중교통중심도로~오송역(21.2km), 순환 대중교통중심도로~반석동(27.2km) 노선의 경우에도 바이모달 트램을 이용한 노선 운영이 가능할 것으로 판단된다.



출처 : 세종특별자치시(2013) 세종시 광역권 지방대중교통계획 (2013~2016)

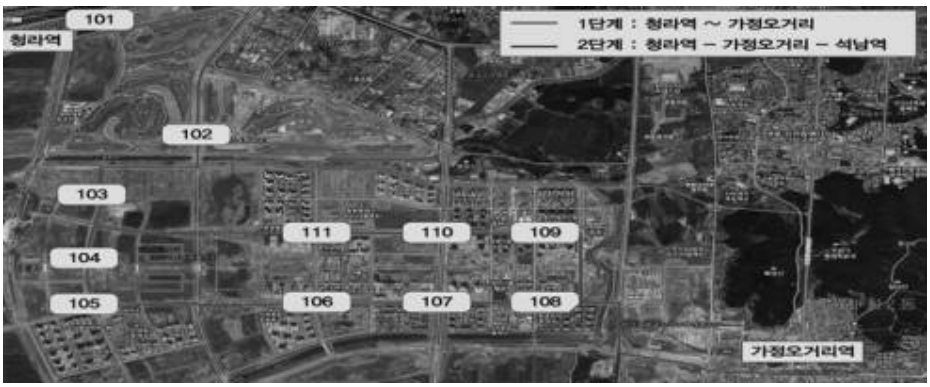
<그림 3.213> 세종특별자치시 대중교통중심도로 구축 사업

(2) 청라국제도시

청라국제도시는 인천시 서구 경서동, 연희동, 원찬동 일원에 위치하며, 면적 : 17.8㎢, 인구 75,110명(2014년 9월말 기준)이 거주하고 있다. 청라국제도시의 계획인구는 2020년에 90,000명이고 바이모달 트램을 신교통수단으로 도입하는 것을 염두에 두고 도시개발이 이루어졌다. 계획 중인 신교통수단의 개요는 다음과 같다.

○ 노선 길이(왕복 노선 연장)
- 1단계 : 18.4km (청라역~가정오거리역)
- 2단계 : 23.6km(청라역~석남역)

○ 총 운행대수 : 14대(1단계), 16대(2단계)



<그림 3.214> 청라국제도시 신교통수단 예정 노선

도시설계 시 바이모달 트램과 같은 신교통수단의 도입을 고려하였기 때문에 바이모달 트램의 도입 및 운영에 필요한 기반시설(전용차로, 전용 정거장, 대중교통우선교통신호 등)이 잘 갖추어져 있고 주민들의 도시 이미지 증대에 대한 기대감도 높은 것으로 조사되었다.

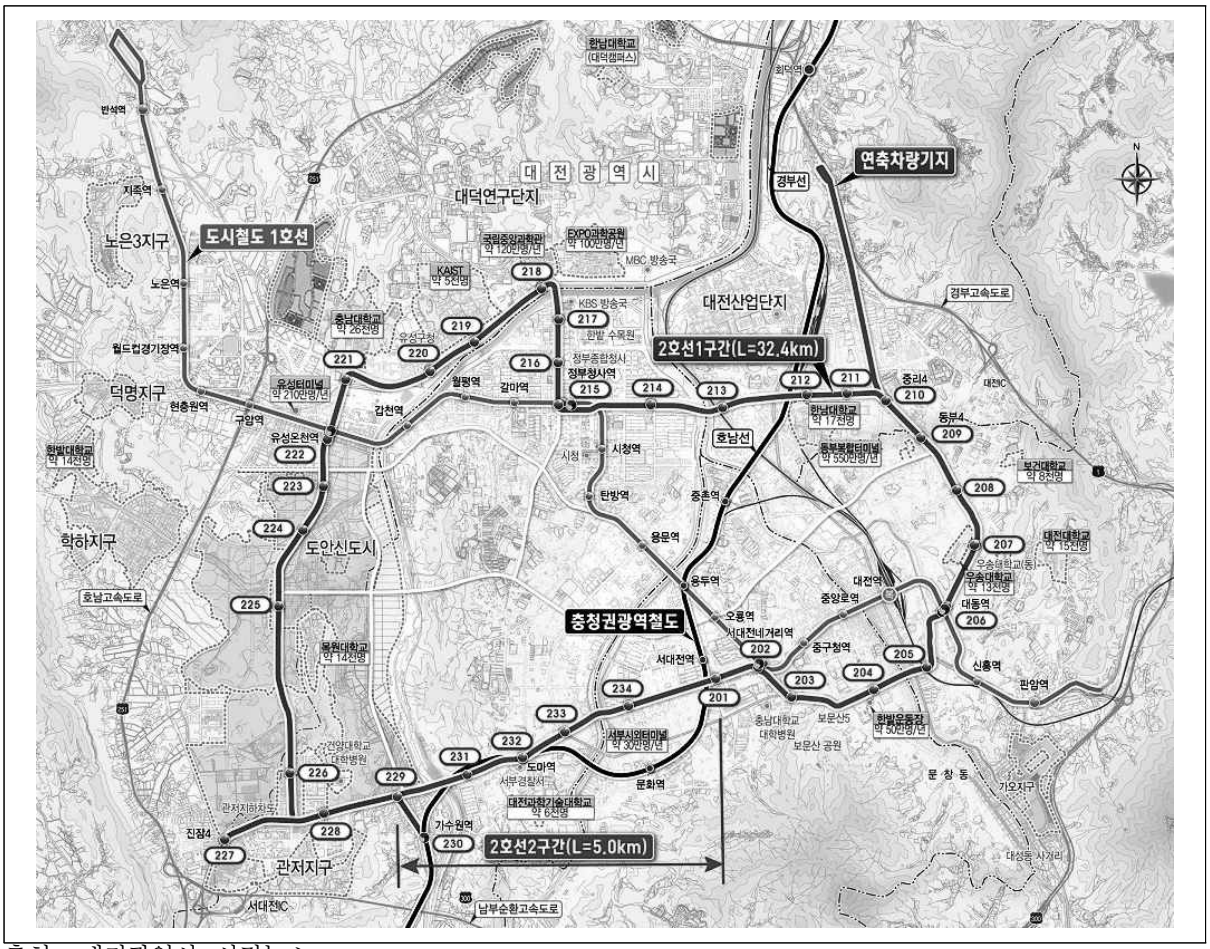


<그림 3.215> 청라국제도시 신교통수단 기반 시설

현재 신교통수단 도입과 관련하여 관련 기관인 인천경제자유구역청 및 인천광역시 그리고 청라국제도시 주민 간의 도입될 신교통수단의 종류, 도입 시기, 도입 방식 등과 관련된 구체적인 논의가 진행 중에 있다. 이와 관련하여 청라국제도시 신교통수단으로서 바이모달 트램의 선정이 매우 유력한 것으로 판단된다.

(3) 대전광역시

대전광역시는 도시철도 2호선 건설방식 결정을 위해 1단계 전문가회의, 2단계 시민 의견수렴, 3단계 종합검토 및 결정 순으로 계획을 마련할 예정이다. 오랜 기간 동안 대전 지하철 2호선 차종 선정과 관련된 논의가 진행되었으며, 후보 차종으로는 노면트램, 자기 부상, 바이모달 트램 등이 고려된 바 있다. 최종적으로는 2016년 10월에 대전도시철도 2호선은 '노면전차(트램)'로 확정되어 기본계획 변경 안이 국토교통부에 제출되었다. 하지만, 여전히 높은 구축비용 등이 걸림돌로서 작용하고 있으며, 바이모달 트램이 대안으로서 충분히 고려될 수 있는 것으로 판단된다. 실질적으로 본 연구진이 대전광역시 관계자와 지속적인 미팅을 통해 바이모달 트램과 관련된 자료와 정보를 지속적으로 제공한 바 있다. 또한 앞으로도 지속적인 관심을 둘 필요가 있는 지역으로 판단된다.

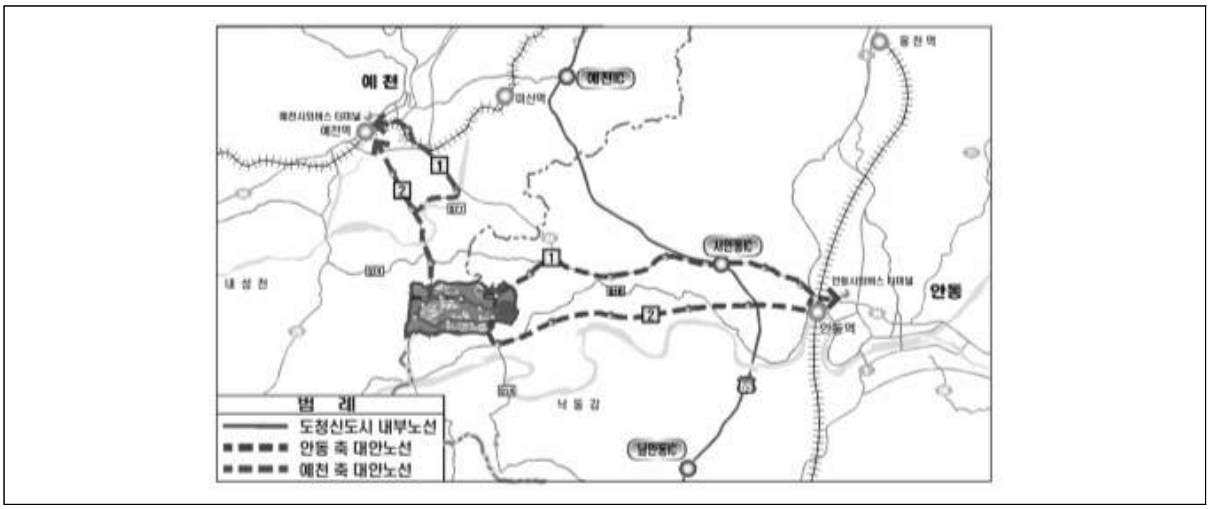


출처 : 대전광역시, 시정뉴스
(http://www.daejeon.go.kr/drh/drhStoryDaejeonView.do?boardId=blog_0001&menuSeq=1479&ntatcSeq=1075722)

<그림 3.216> 대전광역시 2호선 노선도

(4) 경북 도청이전 신도시

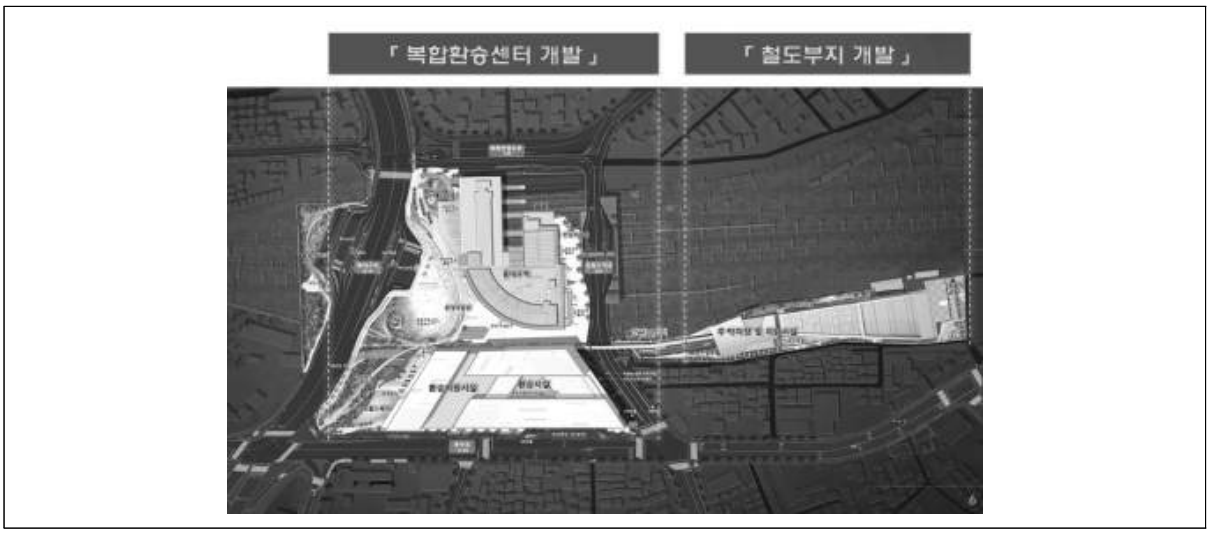
경북 도청이전 신도시는 안동시 풍천면과 예천군 호명면 일원에 부지면적 10.966㎢로 2027년까지 인구 10만 명을 목표로 단계별로 개발 계획을 가지고 있다. 도청이전 신도시의 교통부문 목표는 '대중교통 중심의 명품 녹색교통도시' 조성이며, 도입 노선은 제반여건을 고려하여 내부순환노선과 외부노선(안동축, 예천축)으로 구상된다. 이에 따라 명품 녹색교통도시의 이미지에 부합하는 신교통 수단인 바이모달 트램을 적극 홍보한 바 있다.



<그림 3.217> 경북 도청신도시 예정 순환노선도

(5) 동대구 역세권 개발

동대구역세권 개발의 일환으로 동대구역 복합환승센터 개발이 원활히 추진 중이며, 부산 센텀시티(293,906㎡)를 상회하는 규모의 개발로 대규모 교통유발 예상된다. 기존 도시철도와의 연계로 도입 효과 극대화 및 대중교통 활성화 유도가 가능한 노선 검토되며, 동대구로의 동대구역(1호선환승)~범어네거리(2호선환승) ~ 궁전맨션삼거리(3호선 환승)~두산오거리 구간 우선 검토되었다.

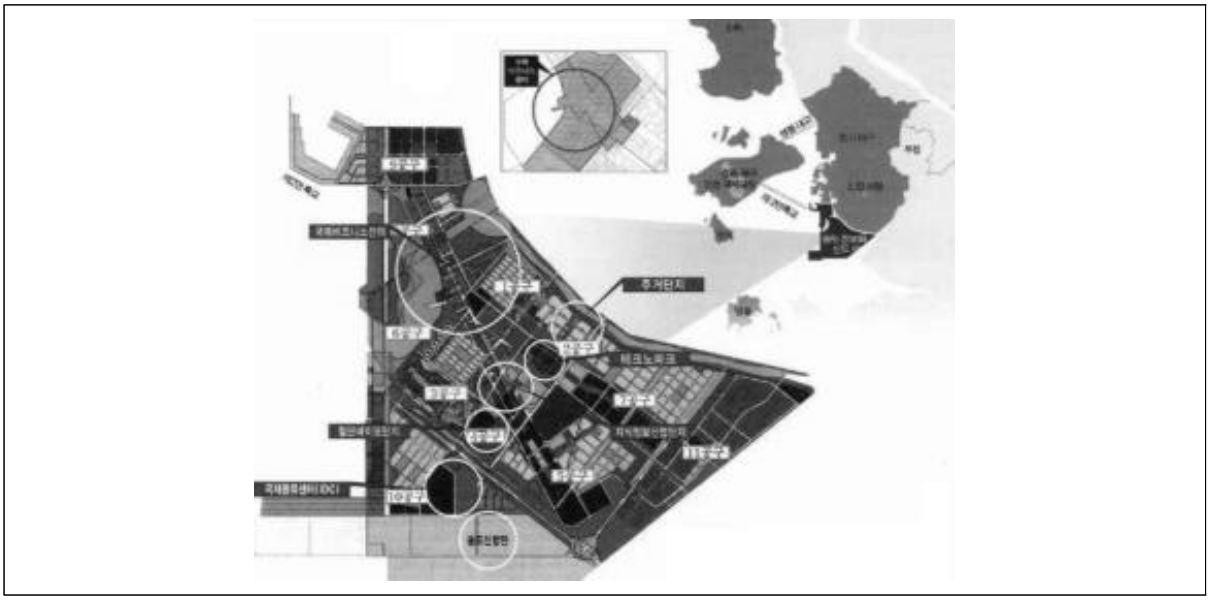


<그림 3.218> 동대구역 환승센터 개발안

(6) 기타 지역

(가) 송도신도시 구축사업

송도신도시 동춘동지선 535만평의 내부도로망으로 바이모달 트램 도입을 검토 중이다.



<그림 3.219> 송도신도시 구축사업

(나) 경기도 화성그린시티 조성사업

시화 남측 간척지 일원, 남측간석지 1,654만평에 친환경 복합도시를 개발하고 송산전철역에서 송산도심간 13km 구간에 바이모달 트램 도입을 검토 중이다.



<그림 3.220> 경기도 화성그린시티 조성사업

(다) 평택 국제평화도시 구축사업

경기도 평택시 서정, 고덕면 일대 528만평에 고덕 국제화지구에 바이모달 트램 도입을 검토 중이다.



평택신도시 개요

- **면적**: 528만평
- **위치**: 경기도 평택시 서정, 고덕면 일대
- **주택**: 6만3000가구 공급
- **추진일정**: 2007년말 개발계획 수립
  2008년말 실시계획 수립
  2009년말 주택분양
- **특징**: 외국대학 유치 및 61개 제조업 공장 신·증설 허용(전체면적의 15.6%)

주택건설계획

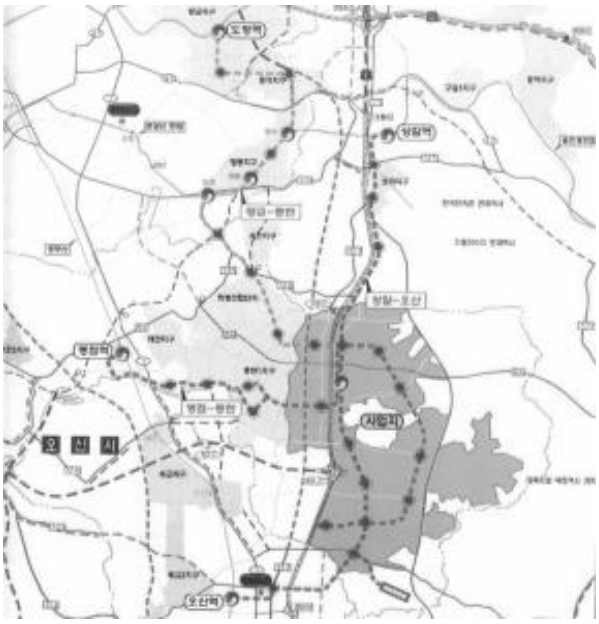
구분		주택건설	
		세대수(호)	비율(%)
계		63,000	100.0
단독주택		4,600	7.3
연립/다세대		1,250	2.0
아파트	소계	57,150	90.7
	60㎡ 이하	25,430	40.4
	60~85㎡	16,250	25.8
	85㎡ 초과	15,470	24.5

※개발계획 및 실시계획 수립과정에서 변경 가능

<그림 3.221> 평택 국제평화도시 구축사업

(라) 동탄2지구 택지개발사업

동탄2지구 택지개발사업에 신교통수단도입 타당성검토를 시행하였으며, 이 때 바이모달 트램 도입을 검토하였다.



<그림 3.222> 동탄2지구 택지개발사업

(7) 기존 BRT 운영지역

(가) 청라 ~ 강서 BRT

청라 ~ 강서 BRT는 당초 계획한 우선신호 체계도 구간 내 교차로 총 22곳 중 5곳에만 버스우선신호를 설치하였다. 청라~강서 BRT는 40분 내로 계획한 운행시간이 1시간 이상 소요되며 BRT 평균속도는 지하철 평균시속의 절반수준인 25km/h 정도이며 일반차량의 교통량이 급격히 증가하는 첨두시에는 일반 버스우선차량과 BRT 차량 간 속도는 비슷한 실정이다. 이에 따라 바이모달 트램과 같은 대용량 BRT 교통수단의 투입을 검토할 필요가 있다.

(나) 천호 ~ 호남 BRT

천호대로의 포화교통량에 따른 지체가 발생되며 BRT 우선 신호 지점 1~2곳을 제외한 모든 구간의 기존 신호체계 유지로 인해 신호연계 문제가 발생하고 있으며 현재는 일반적인 중앙버스전용차로 수준인 실정이다. 기존 BRT 교통수단의 포화에 따라서 보다 대용량의 BRT 교통수단의 투입이 필요한 실정이며, 이에 따라 바이모달 트램이 대안으로서 고려될 수 있다.

(다) 고양 BRT

첨두시 일반차량의 교통량이 증가하여 기본적으로 발생하는 지체 및 기존의 교통시설 이용연계와 같은 문제로 BRT 버스우선신호 운영을 유지하는 것이 어려운 실정이다. 따라서 대량수송이 가능하고 교통수요에 따라서 탄력적으로 운영이 가능한 BRT 신교통수단을 검토 중에 있다. 이에 따라 바이모달 트램이 대안으로서 검토될 수 있다.

제4절 상용화 추진 방안 수립

1. 고객 니즈를 반영한 다양한 상용화 방안 구성

가. 차량 인증을 통한 신뢰성 확보

앞서 살펴본 바와 같이 과거 굴절버스 운영 사례 및 바이모달 트램의 세종특별자치시 시범운행 사례를 통해서 국가 R&D를 통해 새롭게 국내에서 개발된 바이모달 트램 차량 자체에 대한 신뢰성에 대한 불신이 존재하는 것을 확인하였다.

당장 이러한 불신을 상쇄시킬 방법이 존재하지 않기 때문에 이 문제에 대한 단계적인 접근이 필요하다. 단기적으로는 본 과업을 통해서 시범운행 등에서 도출된 문제점을 해결하고, 교통안전공단을 통한 차량 안전에 대한 인증을 완료하고 이를 언론에 적극적으로 홍보하여 일반 시민 및 공무원들의 의식 전환을 도모할 필요가 있다. 중기적으로는 향후 계획되어 있는 시범운행을 통해 차량 고장 내역 및 유지보수 내역을 공개함으로써 차량 유지관리에 대한 투명성을 확보하여 불신을 줄여나갈 필요가 있다. 그리고 장기적으로는 바이모달 트램을 구매한 수요처에 대한 철저한 AS를 통해 바이모달 트램에 대한 수요처 시민 및 공무원의 불만 요인을 줄여 바이모달 트램의 실질적인 신뢰성을 확보할 필요가 있다. 참고로, 이베코 굴절버스의 경우 LG상사가 수입하였으나 AS를 위한 후속조치가 미흡하여 차량고장 시 장기 방치되는 경우가 발생한 바 있다.

나. 작은 성공을 통한 선순환 구조 확보

바이모달 트램은 새롭게 도입되는 교통수단이며 또한 시범 사업을 통해서 많은 문제점이 도출된 바 있기 때문에 도입 초기부터 폭발적인 인기 및 수요를 기대하기 어렵다. 특히, 공무원 사이에 새로운 교통수단을 도입하는 데 따른 두려움이 존재할 수 있기 때문에 소규모라 하더라도 성공사례가 필요하다.

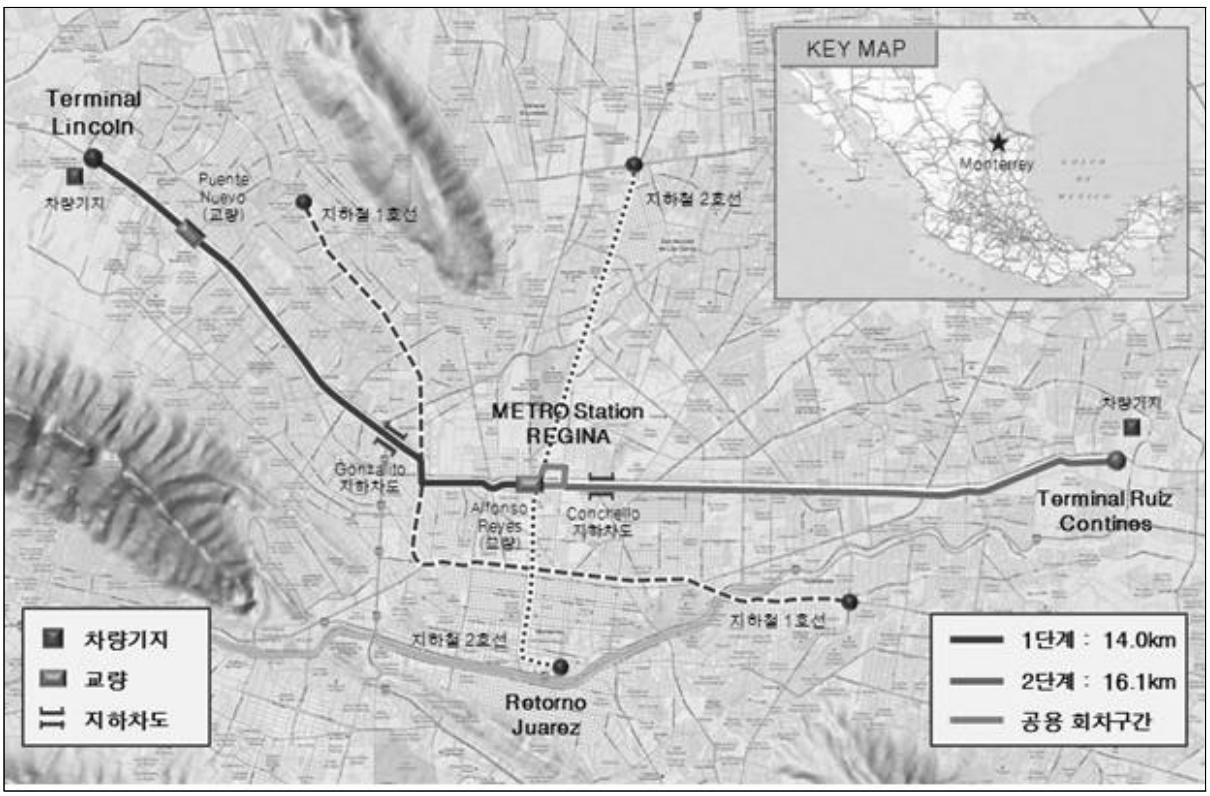
예를 들어, 청라국제도시에 바이모달 트램이 성공적으로 운영되고 바이모달 트램의 장점이 부각되면 다른 지자체 공무원 및 시민들의 관심을 유도할 수 있고, 이러한 관심이 새로운 수요처를 발생시킬 수 있고, 바이모달 트램의 대량 생산이 가능해질 것으로 기대된다.

또한 새로운 교통수단에 대한 기술적 불신 및 우려가 존재하는 점을 고려하여 도입 초기에는 바이모달 트램 제조사가 이러한 기술적인 보장을 강하게 제시함으로써 바이모달 트램 도입 주체의 부담을 줄여줄 필요가 있는 것으로 판단된다.

다. 해외 시장 검토

멕시코, 케냐, 캄보디아 등 해외 시장에 대해 도입 운영 검토를 진행 하였다. 해외 시장은 해당 지역 노선 특성에 따라 다양한 운영 전략 수립이 필요하다. 멕시코 동북부 몬테레이시는 전체 30.1km의 노선에 대해 고려하였으며, 장래 이용수요 변화에 능동적인 대처를 위해 2개 노선 분리 운영이 검토되었다. 멕시코 서북부에 위치한 티후아나시는 18.0km의 환승 4개소를 포함한 노선에 대해서는 티후아나강 제방 상단 양안에 노선 구축하여 양방향 운영을 검토하였다. 케냐 나이로비는 공항과 도심지역 연계를 통한 관광객 이동편의 제공을 목적으로, 캄보디아는 씨엠립 공항과 도심 및 앙코르와트 이동편의 제공 및 관광객 증가 예상에 따른 단계별 계획 수립을 검토하였다. 중국 소주시에서는 소주시와 태호리조트의 연계와 청전관리구역에 맞는 친환경 교통시스템 도입을 목표로 하며, 카타르 도하 웨스트 베이에는 주요지점 연계를 통해 2개의 별도 순환노선 운영에 이용효율 극대화를 목표로 검토하였다. 마지막으로 쿠웨이트 Sabah Al-Salem 대학도시에 남녀 캠퍼스 구분에 따른 노선 분리 운영 및 장래 지하철 노선과의 환승을 고려하여 노선계획을 수립하였다.

(1) 멕시코 몬테레이



<그림 3.223> 멕시코 몬테레이 노선

○ 위치 : 멕시코 동북부 몬테레이시

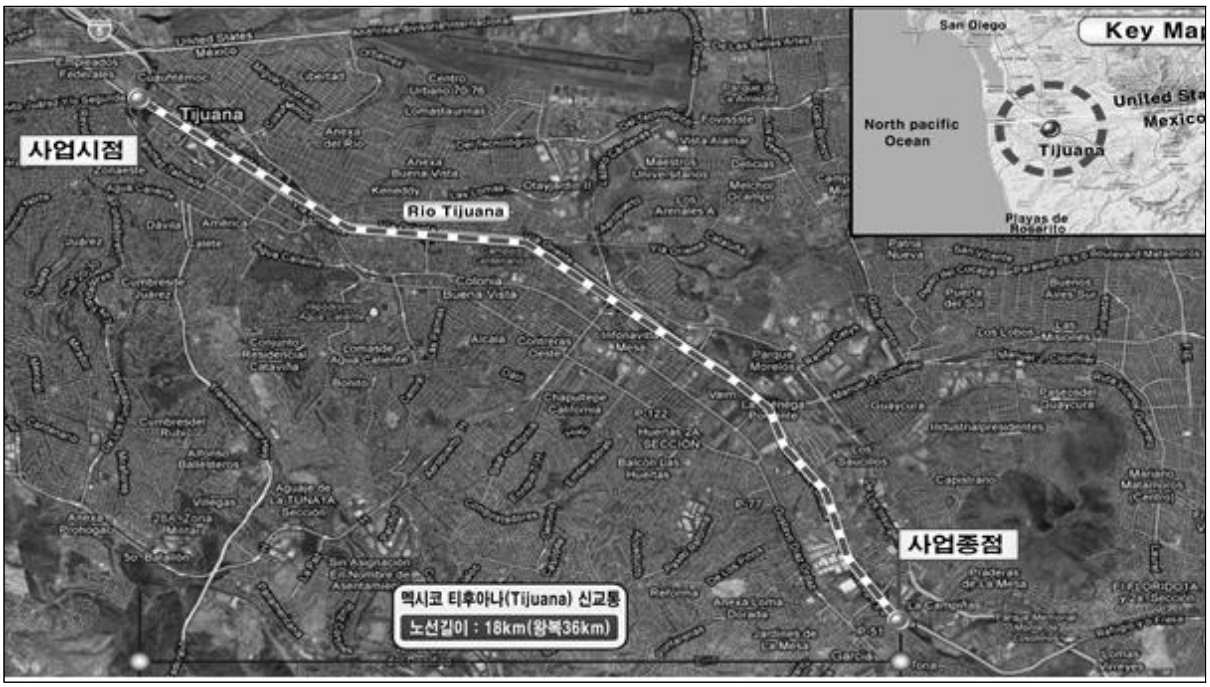
○ 사업규모

- 전체연장 : 30.1㎞ (Lincoln ~ Regina ~ Ruiz Contines)
- 정거장 : 44개소 (환승 2개소 포함), 차량기지 : 1개소

○ 노선특성

- 장래 이용수요 변화에 능동적인 대처를 위한 2개 노선 분리운영

(2) 멕시코 티후아나



<그림 3.225> 멕시코 티후아나 노선

○ 위치 : 멕시코 서북부 티후아나시

○ 사업규모

- 전체연장 : 18.0㎞ (San Ysidro ~ El Refugio)
- 정거장 : 32~36개소 (환승 4개소 포함)

○ 노선특성

- 티후아나강 제방 상단 양안에 노선 구축하여 양방향 운영

(3) 케냐 나이로비



<그림 3.227> 케냐 나이로비 노선

○ 위치 : 케냐 나이로비

○ 사업규모

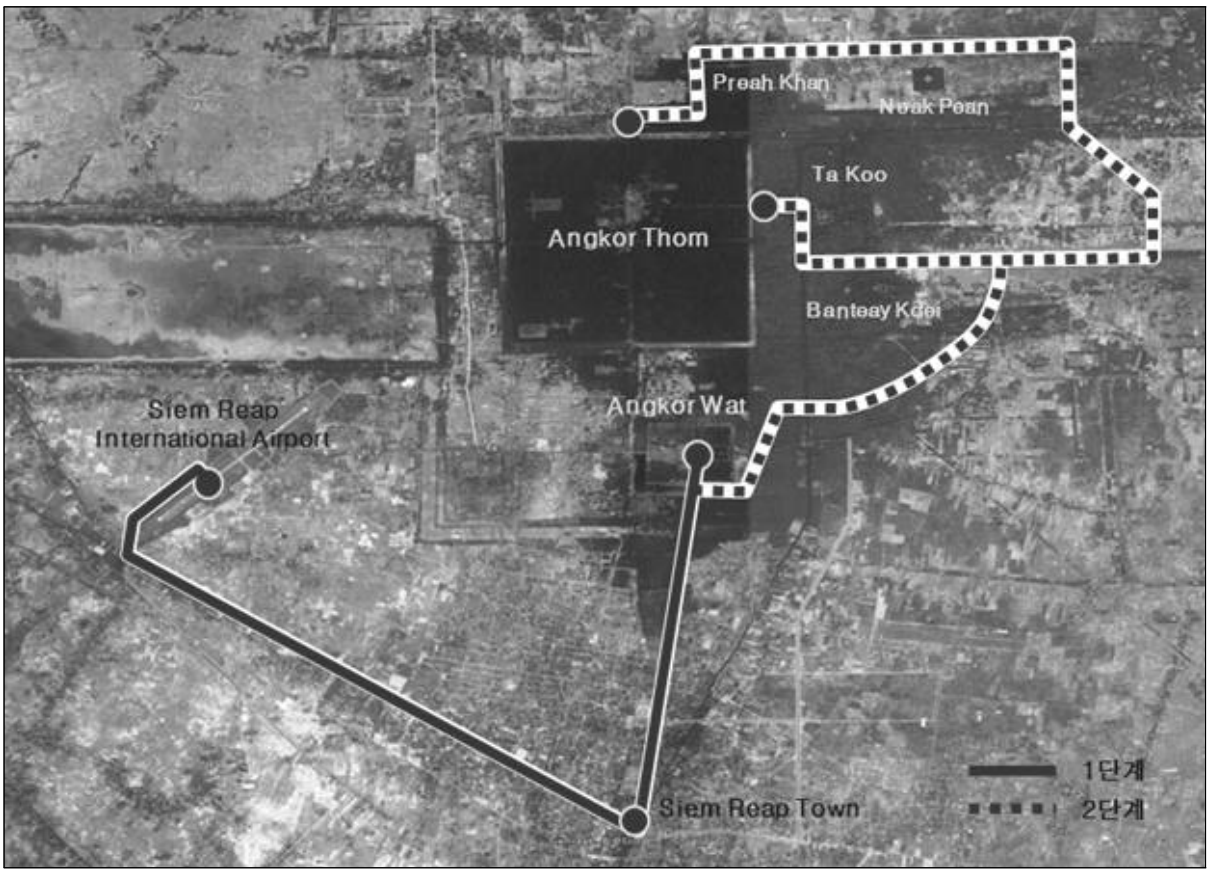
- 노선 1안 연장 : 16.5㎞ (공항 ~ Mombasa Rd. ~ 광장)

- 노선 2안 연장 : 17.2㎞ (공항 ~ Jogoo Rd. ~ 광장)

○ 노선특성

- 나이로비 공항과 도심지역 연계를 통한 관광객 이동편의 제공

(4) 캄보디아



<그림 3.229> 캄보디아 씨엠립 노선

○ 위치 : 캄보디아 씨엠립

○ 사업규모

- 전체연장 : 13.0㎞ (씨엠립 공항 ~ 도심 ~ 앙코르와트)

○ 노선특성

- 씨엠립 공항과 도심 및 앙코르와트 연계를 통한 이동편의 제공

- 앙코르와트 관광객 증가 예상에 따른 단계별 계획 수립

(5) 중국 소주



<그림 3.231> 중국 소주시 태호리조트 노선

○ 위치 : 중국 소주시 태호리조트

○ 사업규모

- 1단계 계획 : 연장 4.0㎞ (환승센터 ~ 태호문화논단)

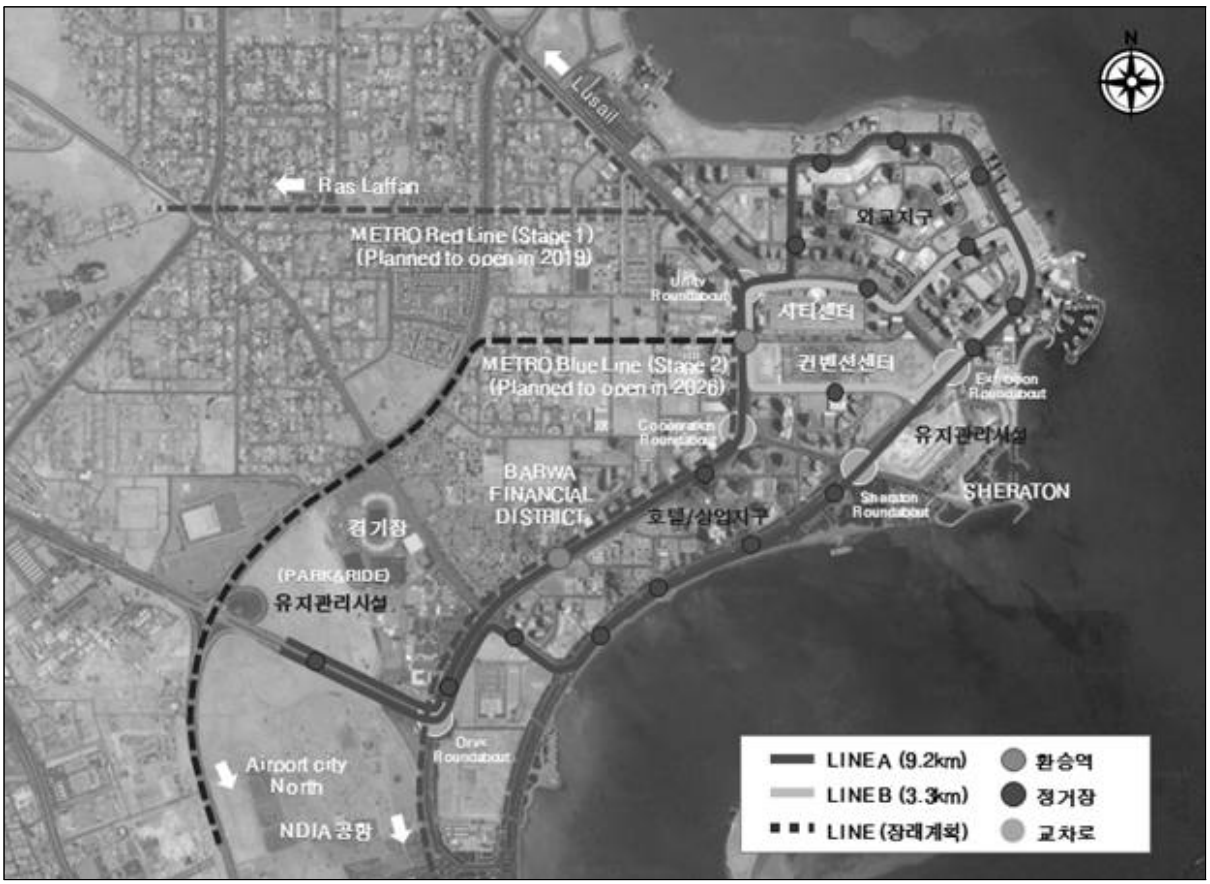
- 2단계 계획 : 연장 5.9㎞ (환승센터 ~ 태호문화논단 ~ 휴양소)

○ 노선특성

- 소주시와 태호리조트의 연계를 통해 이용객 교통편의 제공

- 청정관리구역에 걸맞는 친환경 교통시스템 도입

(6) 카타르 도하



<그림 3.233> 카타르 도하 웨스트베이 노선

○ 위치 : 카타르 도하 웨스트베이

○ 사업규모

- 1단계 계획 : 연장 9.2㎞ (웨스트베이 주요지점 연결순환)

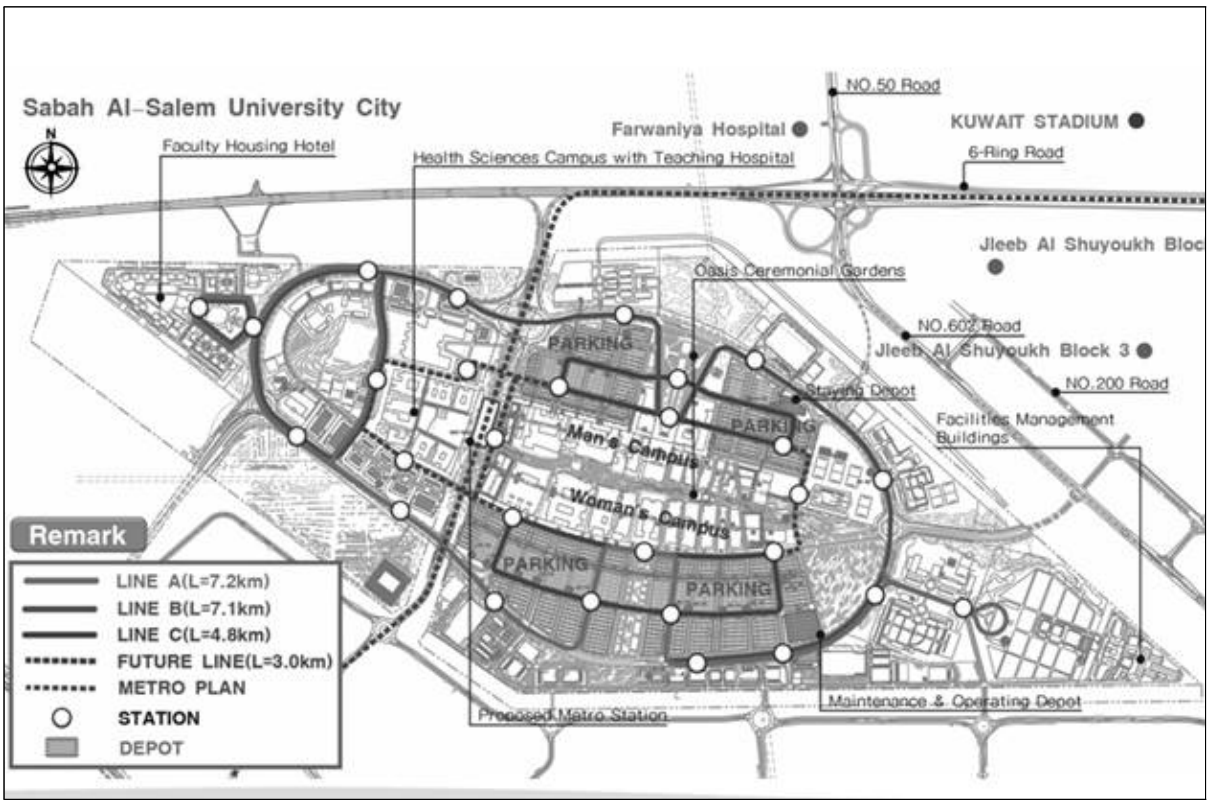
- 2단계 계획 : 연장 3.3㎞ (웨스트베이 중심지역 내부순환)

○ 노선특성

- 웨스트베이 주요지점 연계를 통한 이동편의 제공

- 2개의 별도 순환노선 운영에 따른 이용효율 극대화

(7) 쿠웨이트



<그림 3.235> 쿠웨이트 Sabah Al-Salem 대학도시 노선

○ 위치 : 쿠웨이트 Sabah Al-Salem 대학도시

○ 사업규모

- 외부순환노선 연장 : 7.1~7.2㎞ (대학 주요지점 연계)
- 내부순환노선 연장 : 4.8㎞ (각 캠퍼스내 주요시설 연계)

○ 노선특성

- 대학 내 남녀 캠퍼스 구분에 따른 노선 분리 운영
- 장래 지하철 노선과의 환승을 고려한 노선계획 수립

2. 운영 및 유지보수 체계 구축 및 매뉴얼 작성

가. 바이모달 트램 운영 방안

현재 대도시권에서는 출퇴근시간과 같은 첨두시간대에 교통량 집중 현상이 발생하고 있으며, 대중교통 이용자 또한 출퇴근 시에 집중되는 경향을 보인다. 이와 같은 첨두시간 대중교통 이용객 수의 증가는 대기시간 증가 및 대중교통의 차내 혼잡도를 가중시키는 결과를 초래하게 된다. 이를 해결하기 위한 방안으로 배차간격 단축을 생각해볼 수 있다. 하지만 배차간격을 단축하게 되면 차량 증가에 따른 도로의 정체는 더욱 심화될 것이며, 운수사업자의 보유 차량 대수 또한 한정되어 있기 때문에 쉽지 않은 문제이다. 따라서 이러한 부정적인 요인을 최소화 할 수 있는 방안으로 대중교통 수송 용량 증대를 생각해볼 수 있다.

바이모달 트램의 경우 일반 버스차량에 비해서 약 2배를 수송할 수 있는 우수한 승객 수송 능력을 보유하고 있다. 따라서 대중교통 이용자가 많은 노선 또는 첨두시간대에 바이모달 트램을 운영하게 되면 동일한 배차간격이라고 하더라도 이용자들의 대기 시간을 감소시킬 수 있으며, 차내 혼잡도 또한 상당부분 완화할 수 있을 것으로 예상된다.

하지만 운수사업자의 경우 바이모달 트램의 높은 차량 구입 가격으로 인하여 해당 노선 운영 차량 전체를 바이모달 트램으로 운영하기에는 재정적 부담이 따르기 마련이다. 이러한 부담을 완화시키기 위해서는 해당노선의 운행 차량을 바이모달 트램과 일반 버스차량을 혼용하여 운영하는 방안을 생각해 볼 수 있다. 예를 들면 첨두시와 비첨두시의 수송수요 변화를 고려하여 첨두시에는 바이모달 트램을 운행하고, 비첨두시에는 일반 버스차량을 운행하는 것이다. 이처럼 기존에 운행중이던 일반 버스차량과 바이모달 트램을 혼용하여 운영할 경우 차량 구입에 따른 재정적 부담을 다소 완화할 수 있을 것이다. 또한 승객의 대기시간 감소, 차내 혼잡도 완화에 따른 이용자 만족도 및 안락감 증가와 같은 대중교통 이용자의 이용편의를 증진시킬 수 있을 것으로 예상된다.

바이모달 트램의 경우 기존에 운행 중인 일반 차량들에 비해서 차량의 길이가 긴 특징을 가지고 있다. 이러한 바이모달 트램 운행으로 인하여 발생할 수 있는 영향을 분석하기 위하여 미시교통시뮬레이션을 이용한 분석을 수행하였다. 서울시 간선버스 노선을 대상으로 분석한 결과 바이모달 트램 운행에 따른 네트워크 파급효과는 크지 않았지만 혼잡한 구간 및 승차인원이 많은 정류장의 경우 평균 속도, 평균 대기지체가 개선되는 것으로 분석되었다. 따라서 대중교통 이용자가 집중되는 시간대 또는 노선에 바이모달 트램을 운행할 경우 도로의 정체 및 차내 혼잡도를 완화할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 타 차종과는 다른 차량 길이로 인하여 상충에 따른 이동성 저하가 발생할 수 있으므로 우선 버스전용차로가 시행 중인 간선급행버스(BRT)노선을 중심으로 운영하고, 추후 시설 개량을 통한 점진적인 확대 운영이 필요할 것이다.

나. 바이모달 트램 지원 방안 확보

(1) 시설에 대한 지원

바이모달 트램의 원활한 도입을 위해서는 바이모달 트램을 위한 시설 설치비용, 바이모달 트램 운영비용 그리고 바이모달 트램 차량 구입비용에 대한 재정적 지원이 필요하다. 바이모달 트램은 기존 대형CNG버스에 비하여 수송능력, 대기 오염 물질 배출량 등에서 많은 장점을 갖고 있으므로 기존 대형CNG저상버스와 동등 이상의 재정적 지원을 하는 것이 타당하다. 따라서 바이모달 트램의 운영을 위한 시설의 종류 및 지원 방안과 관련하여 정류장, 도로시설 및 기타시설에 대하여 설치 주체를 명확히 할 필요가 있다.

<표 3.92> 시설 지원 방안

시설의 종류	지원 근거	지원 방안
전용 및 혼용 정류장	- 정확한 지원 근거 없음 - 일반적인 정류장의 경우 도시계획 시설로 간주하여 관할 지자체에서 설치하고 있음	- 「바이모달 트램 설계 잠정지침」상에 대중교통시설로 정의하여 관련 지자체가 설치할 수 있는 근거 마련
도로시설 (마그네틱 포함)	- 관련 근거 및 사례 없음	- 지침 상에 대중교통시설로 정의하여 관련 지자체가 설치할 수 있는 근거 마련
기타 시설	-	- 해당 주체를 구분하여 지원방안 제시 필요

「대중교통 육성 및 이용촉진에 관한 법률」 제10조(대중교통수단의 우선통행을 위한 조치) 및 제12조(대중교통육성을 위한 재정지원)에서 시설물 설치에 대한 지원 근거 존재한다. 즉, 대중교통수단의 우선통행을 위한 조치 중 “간선급행버스체계의 구축”에 해당하고, 대중교통육성을 위한 재정지원 중 “환승시설 등 대중교통시설의 확충·개선”에 해당한다.

제도개선과 관련된 사항으로서 바이모달 트램 운영을 위한 시설에 대한 지원은 지자체가 부담하는 경우와 개발사업자가 부담하는 경우로 구분할 수 있다. 기존 시가지 도로에 바이모달 트램을 도입할 경우 도로의 관리 주체인 지자체에서 관련시설을 설치하는 것이 바람직하다. 하지만 신도시 개발의 일환으로 신설도로에 바이모달 트램을 도입할 경우 개발사업자(예, LH공사 등)에서 바이모달 트램 관련 시설을 설치하도록 하는 것이 바람직하다. 이러한 사항을 「바이모달 트램 설계 잠정지침」 등에 분명히 명시함으로써 향후 시설 공사비 부담에 대한 갈등을 미연에 방지할 필요가 있다. 단, 바이모달 트램 전용으로 운영하게 될 경우 운송 사업자에게 특혜를 준 것으로 인식될 수 있으므로 법적 근거와 함께 지원 방안을 「바이모달 트램 설계 잠정지침」에 명확히 기재할 필요가 있다.

(2) 운영비에 대한 지원

기존 버스의 경우 적자결손보조(재정지원)를 하고 있다. 2001년 6월부터 버스업계의 경영 애로로 인한 업체도산, 노선운행중단, 노사 갈등과 파업 등에 대한 대책으로 농어촌버스, 시내버스, 시외버스 업체를 대상으로 재정지원을 실시하고 있다. 이때 국비의 지원규모는 버스업계가 부담하는 교통세 부담금의 50% 수준을 기준으로 시도별로 분배하되 50% 이상의 자체 재원을 확보한다. 또한 지방비 지원은 지방세 수입을 재원으로 한다. 적자결손보조의 경우 모든(일반면허 보유) 버스운송사업자가 신청이 가능하다. 하지만 지원하는 방식은 해당 지자체 적용하는 대중교통시스템에 따라 상이할 수 있다.

○ 버스 지원의 종류 및 지원 내용: 서울특별시 사례
- 서울시의 경우 수내버스 체계개편으로 시내버스 운영이 수입금공동관리제로 변경됨에 따라, 총 운송비용 대비 총 운송수입금 부족액 보전
- '여객자동차운수사업법 제50조 및 동법 시행규칙 제94조', '여객자동차운수사업의 재정지원 및 한정면허 등에 관한 조례 제3조', '연도별 시내버스 재정지원계획'을 근거로 재정지원

○ 버스 지원의 종류 및 지원 내용: 경기도의 경우
- 교통취약지역을 운행하는 공영버스에 대한 재정지원은 「오지도서 교통지원사업 운영지침(국토교통부 훈령 제616호)」에 근거하여 운영결손금을 지원함(도비 30%, 시군70%)

<표 3.93> 경기도 버스 지원 현황

지원의 종류	지원 근거	지원 방안	비고	경기도 사례
적자 노선 보조	「여객자동차운수사업법」 50조	– 「여객자동차운수사업법」 50조에 근거하여 "자동차의 고급화·다양화" 및 "수익성 없는 노선의 운영"을 근거로 지원할 수 있는 방안 강구	– 적자노선, 벽지명령노선 등 – 절차 · 표준원가 산정 · 수익금조사(카드) · 적자규모 산정 · 손실 보상(광역시 및 도에서 보상규모 결정)	경기도의 경우 모든 적자노선버스에 대하여 분권교부세 50%, 시군부담금 50%로 보조
청소년 할인 보조	「여객자동차운수사업법 시행규칙」 94조	– 지원 가능	– 건당 70원을 분권교부세 및 지자체 예산으로 지원	도 40%, 시군부담금 60%로 보조
환승 할인 보조	–	– 지원 가능	– 환승 할인의 경우 지자체와 <통합요금제>에 대한 합의가 있을 시 지원 받을 수 있음 – 지방 조례로 결정할 사항임	도 30%, 시군부담금 70%로 보조

따라서 바이모달 트램을 운영하는 경우 기존의 대중교통수단과 동일한 운영비에 대한 재정지원을 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 하지만, 운영비 지원에 따른 도덕적 헤이와 특혜 시비를 방지하기 위한 조치가 필요하다.

(3) 바이모달 트램 구입비에 대한 지원

바이모달 트램 구입비는「대기환경보전법」,「교통약자의 이동편의 증진법」,「간선급행버스체계의 건설 및 운영에 관한 특별별」에 의하여 지원이 가능하다.

- ○「대기환경 보전법」제58조(저공해자동차의 운행 등)
- ○「교통약자 이동편의 증진법」제14조(노선버스의 이용 보장 등)
- ○「교통약자 이동편의 증진법」시행령 제14조(저상버스 등의 운행 대수 등)
- ○「간선급행버스체계의 건설 및 운영에 관한 특별별」시행령 27조(국가의 재정지원)

기존 지원의 사례도 있다. 대형 CNG저상버스로 교체 시 재정지원을 하고 있다.

<표 3.94> 버스 구입 재정 지원 금액

구 분	재정지원 금액	재정부담 비율
① CNG버스에 대한 지원	18,500,000원	국비(50%), 도비(25%), 시/군비(25%)
② 저상버스 구입에 따른 지원	98,700,000원	국비(50%), 도비(15%), 시/군비(35%) [특별시의 경우 국비 40%, 지자체 60%]

주: 2011년도 기준 금액임. 참고로, 2012년 기준 저상버스 구입비는 약 1억9천6백만 원임

하지만 바이모달 트램의 높은 구입가를 고려할 때「교통약자 이동편의 증진법」시행령 제14조 및 「간선급행버스체계의 건설 및 운영에 관한 특별별」시행령 27조를 수정하여 지자체 부담을 줄여주는 것이 필요하다.[5] 참고로 바이모달 트램의 편당 수송능력은 대형저상버스의 수송능력의 약 1.7배에 달한다.

---

5) 현재 청라국제도시에서 바이모달 트램을 도입함에 있어 쟁점이 되는 사항도 이와 관련이 있음. 현재 초기 바이모달 트램 도입 비용의 경우는 LH공사의 비용으로 충당하나, 바이모달 트램의 내구연한(현재, 9년이며 2년 연장 가능할 것으로 판단됨)이 완료되었을 때 새로운 바이모달 트램은 인천경제자유구역청 또는 인천시의 비용으로 충당하여야 하기 때문에 해당 지자체 및 시민들로서는 큰 부담으로 작용함. 따라서 바이모달 트램의 경우 차량 구입 가격 자체가 높기 때문에 차량 구입 가격에 대한 국가 재정지원 비율을 높일 필요가 있음. 차량 구입 가격에 대한 국가 재정지원 비율을 높이게 되면 자연스럽게 운영비 보조에 대한 부담도 줄어들게 됨. 왜냐하면 운영비 중 큰 부분을 차지하는 것이 차량의 감가상각비이기 때문임.

○ (기존) 저상버스 도입에 대한 국가와 지방자치단체 부담비율 정의

○ (변경) 바이모달 트램 도입에 대한 국가와 지방자치단체 부담비율 추가

<표 3.95> 바이모달 트램 차량 구입 지원제도 변경 안: 「교통약자 이동편의 증진법」 시행령 제14조

기존	변경(안)
제14조(저상버스 등의 운행 대수 등) ① 법 제14조제2항에서 "대통령령으로 정하는 대수"란 다음 각 호의 구분에 따른 대수를 말한다. 1. 특별시와 광역시: 운행하려는 버스 대수의 2분의 1 2. 시(특별시와 광역시는 제외한다)와 군: 운행하려는 버스 대수의 3분의 1 ② 법 제14조제4항 후단에 따른 저상버스 도입 비용에 관한 국가와 지방자치단체의 부담비율은 다음 각 호의 구분과 같다. 1. 특별시: 국가 40퍼센트, 지방자치단체 60퍼센트 2. 제1호 외의 지방자치단체: 국가 50퍼센트, 지방자치단체 50퍼센트	제14조(저상버스 등의 운행 대수 등) ① 법 제14조제2항에서 "대통령령으로 정하는 대수"란 다음 각 호의 구분에 따른 대수를 말한다. 1. 특별시와 광역시: 운행하려는 버스 대수의 2분의 1 2. 시(특별시와 광역시는 제외한다)와 군: 운행하려는 버스 대수의 3분의 1 ② 법 제14조제4항 후단에 따른 저상버스 도입 비용에 관한 국가와 지방자치단체의 부담비율은 다음 각 호의 구분과 같다. 1. 특별시: 국가 40퍼센트, 지방자치단체 60퍼센트 2. 제1호 외의 지방자치단체: 국가 50퍼센트, 지방자치단체 50퍼센트 ③ 법 제14조제4항 후단에 따른 저상버스 중 바이모달 트램 도입 비용에 관한 국가와 지방자치단체의 부담비율은 다음 각 호의 구분과 같다. 1. 특별시: 국가 70퍼센트, 지방자치단체 30퍼센트 2. 제1호 외의 지방자치단체: 국가 85퍼센트, 지방자치단체 15퍼센트

<표 3.96> 바이모달 트램 차량 구입 지원제도 변경 안: 「간선급행버스체계의 건설 및 운영에 관한 특별법」 시행령 27조

기존	변경(안)
제27조(국가의 재정지원) 법 제32조에 따라 국토교통부장관은 다음 각 호의 구분에 따라 체계건설사업에 필요한 비용을 보조하여야 한다. 1. 광역간선급행버스체계: 총사업비용의 50퍼센트 2. 광역간선급행버스체계가 아닌 간선급행버스체계 가. 수도권(서울특별시·인천광역시 및 경기도를 말한다) 지역: 총사업비용의 25퍼센트 나. 수도권 외의 지역: 총사업비용의 50퍼센트	제27조(국가의 재정지원) 법 제32조에 따라 국토교통부장관은 다음 각 호의 구분에 따라 체계건설사업에 필요한 비용을 보조하여야 한다. 1. 광역간선급행버스체계: 총사업비용의 50퍼센트 2. 광역간선급행버스체계가 아닌 간선급행버스체계 가. 수도권(서울특별시·인천광역시 및 경기도를 말한다) 지역: 총사업비용의 25퍼센트 나. 수도권 외의 지역: 총사업비용의 50퍼센트 3. 저상버스 중 바이모달 트램을 기반으로 하는 간선급행버스체계 가. 수도권(서울특별시·인천광역시 및 경기도를 말한다) 지역: 총사업비용의 70퍼센트 나. 수도권 외의 지역: 총사업비용의 85퍼센트

(4) 도입을 위한 행정적 절차 마련

(가) 바이모달 트램 운영 방식

바이모달 트램에 적용 가능한 노선버스 운영 방식은 공영제, 민영제 그리고 부분공영제가 있다. 민영제의 경우 재정 지원 민영제, 그리고 부분공영제의 경우 노선관리형이 적절한 것으로 판단된다.

<표 3.97> 바이모달 트램에 적용 가능한 운영방식

운영 방식		내용	비고
공영제		· 정부가 버스운영체계를 소유 및 운영	– 지자체가 공단 등을 설립하여 운영
민영제	순수 민영제	· 민간 사업자에 의해 완전 독립채산방식으로 운영	
	재정 지원 민영제 (영구면허)	· 민영기반에서 대중교통수단인 버스 교통의 안정적인 서비스제공을 위해 부분적으로 적자노선 운영에 정부 및 지자체가 보조금을 지급하는 형태	– 기존 운영 중인 대부분의 버스에 적용됨
준공영제 (부분공영제)	노선관리형 (한정면허)	· 버스노선의 면허 및 운영권을 정부 및 지자체가 소유하고 버스운송사업자는 일정기간만 주어진 노선에 대해 버스를 운행하는 방식으로 경쟁입찰에 의해 버스사업에게 위임하는 형태	· 최저보조금 입찰제 : 버스노선의 운영권을 정부가 소유하고 노선 당 적자 보조액에 대하여 입찰에 부쳐 버스운송사업자를 선정하고 노선 운영권을 일정기간 동안 부여하는 형태 · 총비용 입찰제 : 노선운행에 소요되는 총비용에 대하여 입찰에 부쳐 일반적으로 최저액을 제시한 버스운송사업체에 노선운영권을 일정기간 동안 부여하는 형태
	수입금관리형	· 정부가 수입금을 관리하고 노선별 운송실적과 원가를 정산해서 적자노선에 대해서도 원가를 배분하는 형태	· 서울시에서 운영 중인 형태임
	위탁관리형	· 정부가 버스운송사업조합, 법인 또는 민간 버스운송사업자에게 특정한 노선에 대해 차량구입, 손실보상 등 재정적인 지원과 함께 운영을 위탁하는 형태	

바이모달 트램 운영방식 선정 시 유의할 사항이 있다. 바이모달 트램 운영 초기 불확실성을 고려하여 운영비에 대한 재정지원이 가능한 대안이 필요하다. 하지만 과다한 특혜 부여에 따른 도덕적 헤이를 방지하기 위해 노선관리권을 지자체가 갖는 형태가 적절하다.

(5) 운송업자 인허가 내용

(가) 인허가 내용

시내버스 운송 사업을 경영하기 위해서는「여객자동차 운수사업법」제4조제1항에 규정하는 바와 같이 면허가 필요하다. 동법 제4조 제2항에 따라 면허를 받는 때에 노선을 정하도록 하고 있다.

(나) 면허의 종류

바이모달 트램과 관련된 면허의 종류에는 영구면허와 한정면허가 적용될 수 있으며, 각 면허의 특징은 다음과 같다.

○ 영구면허 : 일반적인 시내버스 등에 적용되는 면허로서 영구적임
- 직행좌석형, 좌석형, 일반형에 대한 면허를 받기 위해서는 버스운송사업법 시행규칙 제12조에 정하는 바와 같이 면허신청서를 작성하고, 사업계획서 · 사업용 고정자산 총액 및 그 구체적인 내용을 적은 서류 · 차고 관련한 토지 소유권 및 사용권 증명서류 · 노선도 · 법인관련 서류 · 자동차매매계약서 등 자동차 확보사실 증명서류 등을 첨부하여 신청서 제출
- 관할관청은 동법 시행규칙 제16조 제1항에 따라 제출된 서류를 심사한 후 면허요건에 적합하다고 인정하면 그 시설 확인일시를 신청인에게 통보하고, 시설실사 결과 그 요건을 충족하면, 관할관청은 시내버스 운송 사업에 대한 면허(일반면허)를 지급 하여야 함.(단, 동법 시행규칙 제16조 제2항에 따라 그 면허처분에 지역실정과 운송질서 확립 등을 위하여 필요한 경우 조건을 붙일 수 있음)

○ 한정면허 : 「여객자동차 운수사업법」은 제4조 제3항에서 면허나 등록을 하는 때에 업무의 범위나 기간을 한정하여 발급하는 면허가 한정면허라고 규정하고 있음
- 「여객자동차 운수사업법 시행규칙」제17조에 따른 한정면허를 발급하는 경우
· 여객의 특수성 또는 수요의 불규칙성 등으로 인하여 노선운송사업자가 노선버스를 운행하기 어려운 경우
· 수익성이 없기 때문에 노선운송사업자가 운행을 기피하는 노선으로서 관할관청이 법에 의해 보조금을 지급하려는 경우
· 버스전용차로의 설치 및 운행계통의 신설 등 버스교통체계 개선을 위하여 시 · 도 조례로 정한 경우
· 신규노선에 대하여 운행형태가 광역급행형인 시내버스 운송 사업을 경영하려는 경우
- 한정면허 발급 절차로는 관할관청이 한정면허를 발급하려는 때에는 운행노선 · 운행대수 · 서비스 수준 · 면허기간 · 보조금의 지급 등 한정면허에 필요한 사항을 정하여 공고하여 대상자를 선정함

- 대상 노선의 선정 절차 및 방법 그 외에 필요한 사항은「여객자동차 운수사업법 시행규칙」제17조 제2항에 따라 시·도 조례로 정할 수 있도록 하고 있음
- 한정면허의 기간은 동법 시행규칙 제17조 제3항에 정하는 바에 따라 6년 이내로 정하고 있음

(다) 운송사업자 기준

「여객자동차 운수사업법 시행규칙」제14조 1항에 의하면 법 제5조제1항에 따라 여객자동차 운송사업자가 갖추어야 할 최저 면허기준 자동차 대수(시 기준 30대), 보유 차고 면적(대형버스의 경우 대당 최저 36㎡ ~ 40㎡), 운송 부대시설(사무실 및 영업소, 정류소, 차고설비 및 차고부대시설, 휴게실, 교육훈련시설) 등의 기준을 갖추어야 한다.

○ 자동차 대수(시 기준 30대)
- 「여객자동차 운수사업법 시행규칙」 제14조 2항 3호에 의하면 한정면허를 하는 경우 면허기준 대수를 적용하지 아니할 수 있음
- 「간선급행버스체계의 건설 및 운영에 관한 특별법 시행규칙」 제10조 1항 별표 1에 의하면 간선급행버스체계 운송사업자로 지정 받은 경우, 간선급행버스체계 운송사업의 면허기준 차량 대수는 법 제5조에 따라 국토교통부장관 또는 시·도지사가 수립한 간선급행버스체계 개발계획에서 정한 전용차량의 도수 또는 법 제7조 제1항에 따라 국토교통부장관 또는 시·도지사의 승인을 받은 간선급행버스체계 실시계획에서 정한 전용차량의 대수로 정의하고 있음

○ 보유 차고 면적(대형버스 또는 간선급행버스의 경우 대당 최저 36㎡ ~ 40㎡)
- 「간선급행버스체계의 건설 및 운영에 관한 특별법 시행규칙」 제10조 1항 별표 1및「여객자동차 운수사업법 시행규칙」 별표2 비고4에 따르면 한정면허를 받은 운송사업자가 자기 소유 외의 주차장·차고시설 등을 한정면허기간이 끝날 때까지 전용으로 사용하는 계약을 체결한 경우에는 위 기준에 맞는 것으로 본다고 명시되어 있음

·동칙 비고 8에 의하면 보유 차고의 면적기준은 차고의 위치, 보유한 자동차의 종류, 자동차의 원활한 출입 여부 등을 고려하여 대당 면적기준의 범위를 관할 관청이 정하도록 함

(라) 운전자 면허의 조건

「도로교통법」에 의거하여 1종 대형면허로 바이모달 트램 운전 가능하다. 과거 서울시에서 운행되었던 굴절버스의 경우에도 1종 대형면허로 운행한 바 있다.

<표 3.98> 차량 운전자 면허 조건

관련 법 및 규정	관련 내용	적용 사항
도로교통법	- 자동차의 정의 "철길이나 가설된 선을 이용하지 아니하고 원동기를 사용하여 운전되는 차" - 운전자 면허 사항 - 도로의 주행 및 전용차로	1종 대형면허에 해당함
도로교통법시행규칙	- 운전자 면허 사항	1종 대형면허에 해당함

하지만, 바이모달 트램 추가 교육에 대한 필요성이 존재한다. 일반버스와 달리 2량이 연결되어 있고 바이모달 트램의 제원 및 조향 특성, 전기동력차량의 제동 및 가속, 각종 운전석에 부착된 전자장비 등이 일반차량과 상이하여, 적응훈련이 반드시 필요하다.

다. 바이모달 트램 유지보수 방안

바이모달 트램의 유지보수를 위해서는 경고 및 지시등을 우선 확인하고 이후 A/S체계로 넘어가야 한다. 또한 바이모달 트램의 경고등 및 표시등을 확인하여 점검해야한다. 바이모달 트램 기능 이상시 발생하는 경고등은 다음 표와 같다.

<표 3.99> 기능 이상 경고등

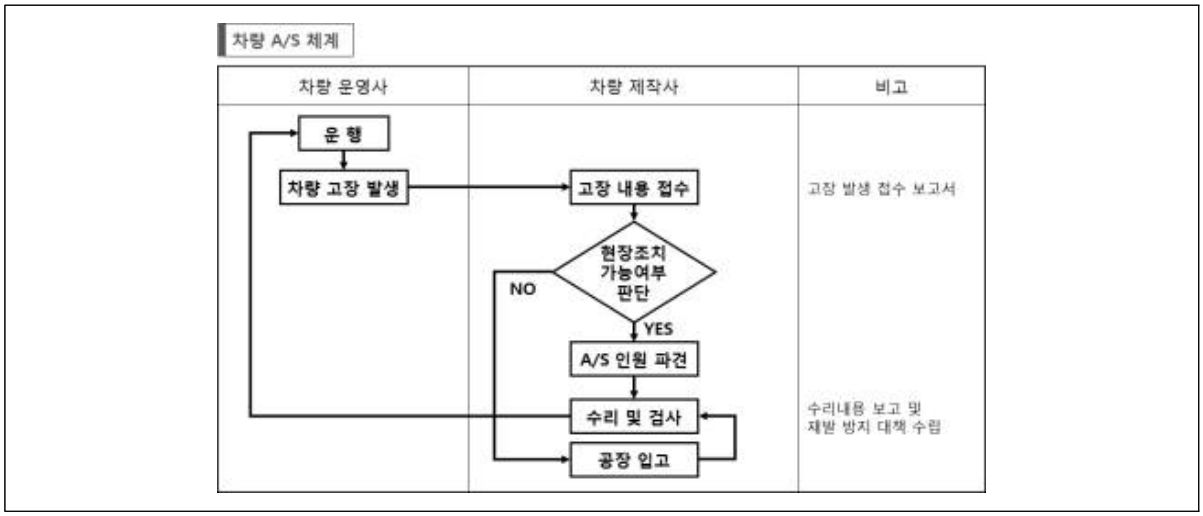
구분	경고등	내용
1축 제동 공기압 경고등(적색)	(!)1 (!)2 (!)3	- 각 축의 에어탱크 공기압이 약 5.3bar 이하가 되면 점등됨 - 또한 이 때 경고음이 울림
EBS, ABS 경고등 (황색)	EBS ABS	- 시동을 “ON” 하면 몇 초간 점등되었다가 소등됨. 계속경고등이 점등되면 ABS 장치에 이상이 발생한 것이므로 가까운 서비스협력업체에 점검 및 정비를 받아야 함. 주행 중 ABS 경고등 점등되면 다음과 같은 조치 필요 · 안전한 장소에 차를 세우고 엔진을 정지시킴 · 다시 엔진 시동하면 경고등이 점등 되었다가 몇 초 후 소등되면 이상이 없음 - 경고등이 소등되지 않는 경우 또는 주행후 다시 경고등이 점등되는 경우에는 ABS 장치의 고장이므로 점검 및 정비를 받아야함
EBS 경고등 (적색)	EBS	- EBS 계통의 고장발생시 점등됨
엔진 과열 경고등 (적색)		- 냉각수 온도가 너무 높을 때 경고등이 점등됨. 이때 운행을 중지하고 엔진을 공회전 하면서 엔진을 식힌 후 냉각계통을 점검해야함
오일 경고등 (적색)		- 엔진 윤활계통내의 오일 압력이 저하되었을 때 또는 오일 필터 엘리먼트가 막혔을 때 점등됨 - 램프가 점등된 경우는 신속하게 오일 필터 엘리먼트를 교환해 줄 필요가 있음 - 운행 중 점등된 경우는 유압의 이상 저하이므로 즉시 정비하여야 함
ECAS 체크 경고등 (적색)	ECAS CHECK	- ECAS 계통의 고장발생시 점등됨
에어 서스펜션 경고등 (적색)	AIR	- 에어 서스펜션 계통의 고장발생시 점등됨
추진모터 경고등 (적색)		- 정상적인 경우에는 KEY ON시 소등됨. 만약 KEY ON후에도 점등되어 있으면 고장일 수 있으므로 지정 정비협력업체에서 점검 및 정비를 받아야함
24V배터리 경고등 (적색)		- 운행시 24v 충전계통에 고장을 일으킨 경우 점등되며, 점등되었을 경우는 충전회로를 점검해야함
엔진 경고등 (황색)		- 엔진 계통의 고장발생시 점등됨

<표 계속>

구분	경고등	내용
엔진 체크등 (황색)		- 정상적인 경우 램프에 점등된 후 소등됨. 계속 점등될 경우는 엔진 또는 속도제한장치 고장일 수 있으므로 차량 운행을 멈추시고 지정 정비협력업체에서 점검 및 정비를 받아야함
엔진 정지등 (적색)		- 엔진에 중대한 이상이 발생하여 더 이상 운전이 불가능할 때 점등됨
유레아(요소수) 경고등 (황색)		- 요소수에 문제가 있을 때 점등됨
PM 강제 재생 경고등 (황색)		- DPF내 일정량 이상의 PM제거를 위해 PM강제 재생 스위치를 작동시키면 점등됨
배기가스 온도 과열 경고등 (황색)		- 배기가스 온도가 과다할 경우 점등됨
1번 출입문 열림 경고등 (적색)		- 1번 출입문이 완전하게 닫혀 있지 않을 경우 점등됨
2번 출입문 열림 경고등 (적색)		- 2번 출입문이 완전하게 닫혀 있지 않을 경우 점등됨
3번 출입문 열림 경고등 (적색)		- 3번 출입문이 완전하게 닫혀 있지 않을 경우 점등됨
냉각수 경고등 (적색)		- 엔진 내부와 라디에이터내의 냉각수량이 부족 시 점등됨. 차량을 정지시킨 후 냉각수량 및 누수여부를 확인한 후 부족시 보충하여야함
조향장치 경고등 (적색)		- 조향장치 계통의 고장발생시 점등됨
AWS 경고등 (적색)	AWS	- AWS장치의 고장발생시 점등됨

출처 : 바이모달 트램 취급 설명서(우진산전, 2016)

차량의 원활한 유지관리를 위하여 차량 도입 시A/S 체계를 명확히 갖추어야 한다. 다음 그림은 차량 A/S 체계를 나타내고 있다.



<그림 3.237> 차량 A/S 체계도

라. 바이모달 트램 품질 보증

바이모달 트램은 자동차 관련 제반 법 규정에 적합하도록 설계 및 제작되었으므로 다음과 같이 보증하며, 보증기간은 신차 출고일로부터 적용되며 기간 또는 주행거리 중 먼저 도래한 것을 보증기간의 만료로 간주한다.

(1) 한국형 저상버스 표준모델 보증기간

<표 3.100> 한국형 저상버스 표준모델 보증기간

구 분		보증 기간			비고
제조사	구동방식	차체 및 일반부품	엔진 및 동력전달 주요부품	냉난방장치	
A사	디젤	2년/4만km	엔진 : 3년/10만km 동력 : 3년/6만km	2년/4만km (1년이내 주행거리 무관)	
	CNG	2년/4만km	엔진 : 2년/20만km 동력 : 3년/6만km	2년/4만km (1년이내 주행거리 무관)	
	CNG 하이브리드	2년/4만km	엔진 : 3년/20만km 동력 : 3년/6만km	2년/4만km (1년이내 주행거리 무관)	* 하이브리드 전용부품 : 3년/30만km
* 하이브리드 전용부품 : 고전압 배터리, 구동모터, 인버터, 직류변환장치(컨버터), HPCU(하이브리드 전력제어모듈) * 배출가스 관련부품 : 디젤(2년/16만km), CNG(2년/20만km)					
B사	디젤	2년/4만km	3년/6만km	2년/4만km (1년이내 주행거리 무관)	
	CNG	2년/4만km	엔진 : 2년/20만km 동력 : 3년/6만km	2년/4만km (1년이내 주행거리 무관)	
* 배출가스 관련부품 : 디젤, CNG(2년/16만km)					
C사	CNG	2년/4만km	엔진 : 3년/6만km 동력 : 3년/6만km	2년/4만km (1년이내 주행거리 무관)	* CNG 관련부품 : 3년/20만km
	전기	2년/4만km	동력 : 3년/6만km	2년/4만km (1년이내 주행거리 무관)	* 전기구동 전용부품 : 3년/10만km
* 전기구동 전용부품 : 구동전동기, 인버터, 서메이션 기어, 축전지(1년) * 배출가스 관련부품 : CNG(2년/16만km)					

(2) 바이모달 트램 품질 보증 기간

바이모달 트램 바디는 내부식성이 강한 알루미늄 소재를 적용하였고, 철도차량의 구조와 제작방법이 동일하여 바이모달 트램 차체의 내구 연한은 15년으로 연장하는 것을 추진하고 있다. 또한 스틸 차량 대비 경량화로 인하여 차량 주행성능에 유리하고 구동장치의 수명을 연장할 수 있었다. 실내 의장품(트림)도 철도차량의 화재 기준에 만족하는 불연소재의 FRP 및 알루미늄 압출재 사용으로 화재시 승객의 보호 및 유지보수가 편리한 소재를 적용 하였다. 바닥재 또한 철도차량과 동일한 구조로 알루미늄 더블스킨 상면에 평활재 및 리노륨을 적용하여 소음 차단 및 빗물 유입에 의한 변형 및 부식을 방지 하였다. 엔진 발전기는 제작사의 IQA를 통하여 바이모달 트램 엔진룸 구조의 장착조건에 대한 확인을 통하여 엔진 설치의 최적화에 대한 평가를 받았다. 기어박스 및 차축은 VDL사의 차량에 적용하여 운영되고 있는 실적이 있는 제품으로 국내 노선의 가속도 및 최대속도를 고려하여 적용 하였다. 배터리는 한국형 저상버스 표준모델에 적용 사례가 있고 자동차 안전연구원의 시험 및 인증을 획득한 배터리를 적용 하였다. 양산시 바이모달 트램의 품질 보증기간은 다음과 같으며, 품질 보증기간은 유지보수 매뉴얼에 반영하였다. 별도로 최초 공급되는 초도차량의 보증 기간은 운영사 및 수요처와 별도 협의하여 진행 예정이다.

<표 3.101> 바이모달 트램 품질 보증 기간

구 분	보증 기간 및 부품		비고
	보증 기간	부품	
차체	4년/8만km	· 알루미늄 소재의 차체	* A사 저상버스 기준 2배
일반부품	2년/4만km	· 일반 부품 (소모품 제외)	* A사 저상버스 기준 동등
엔진 발전기	3년/30만km	· 엔진 · 발전기	* A사 저상버스 기준 동등
구동 전동기	3년/30만km	· 전동기 · 인버터(INVERTER)	* A사 저상버스 기준 동등
기어박스 차축	3년/6만km	· 기어박스 · 차동장치 · 액슬 하우징 · 액슬 축	* A사 저상버스 기준 동등
추진 배터리	3년/30만km	· 배터리, BMS	* A사 저상버스 기준 동등
냉난방장치	2년/4만km	· 에어컨, 히터	단, 최초 12개월은 주행거리 무관

3. 실용화를 위한 홍보전략 수립

가. 지속적인 노출 및 홍보 방안

과거 세종특별자치시에서 바이모달 트램 시범운행 당시 시제차량의 잦은 고장으로 인하여 바이모달 트램의 신뢰성에 대한 의문이 제기되고 있다. 당시 잦은 고장의 원인은 완성차가 아닌 성능 평가를 위한 시제차량을 무리하게 운행한 점과 유지보수 경험 부족으로 분석되었으나, 바이모달 트램 자체가 문제가 있는 것으로 시민들 사이에서 인식되고 있다. 따라서 이러한 불신 및 선입견을 제거하기 위해서는 보다 적극적이고 긍정적인 언론 노출, 시승 행사 그리고 홍보가 필요할 것으로 판단된다.

또한 바이모달 트램이 새롭게 도입되는 대중교통수단이므로 실질적인 도입 시 거부감을 줄일 필요가 있다. 따라서 지속적으로 언론 등에 노출시킴으로써 바이모달 트램에 대한 친숙함을 제고할 필요가 있다.

나. 기존 노출 및 홍보 노력 평가

바이모달 트램의 홍보 및 노출 노력은 주로 TV 및 신문을 통해서 수행된다. 이러한 노력에도 불구하고 시범운행 시 바이모달 트램 고장과 같은 사건 발생 시 집중적으로 부정적인 노출이 발생하였다.



출처: KBS 뉴스(2014. 10. 19일자)

<그림 3.238> TV를 통한 노출 사례 I



출처: 국토교통부 공식 블로그(http://korealand.tistory.com/1020)

<그림 3.239> 정부 홈페이지를 통한 홍보 사례



<그림 3.240> 개인 블로그를 통한 노출 사례



출처: YTN 뉴스 (2012. 5. 10일자)

<그림 3.241> TV를 통한 노출 사례 Ⅱ



출처: 친환경도시로의 첫걸음, 바이모달 트램(https://www.youtube.com/watch?v=Oa48DUkcWAI)

<그림 3.242> 바이모달 트램 홍보 동영상

바이모달 트램 관련하여 한국철도학회 등에서 다양한 학술논문이 발표 및 게재되었다. 지금까지 발표된 학술발표용 논문 및 학회지용 논문이 대부분 시스템 구축 및 설계에 집중되어 있고, 바이모달 트램 도입 효과 및 타당성 관련 논문이 지극히 부족하다. 현재 필요한 논문은 아래 표와 같은 기술적 논문 보다는 바이모달 트램 보급을 위한 전략 또는 도입 효과 분석과 관련된 논문이 필요하다.

<표 3.102> 바이모달 트램 관련 학술발표 및 논문

학회명	형태	제목	년도
한국철도학회	논문집	바이모달 트램의 추진장치 성능 모의	2009
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 전용선로의 기하구조 설계방안 연구	2012
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 도입을 위한 제도 개선 연구	2009
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 도입 효과 분석에 관한 연구 : BRT와의 비교분석을 중심으로	2010
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 전용 정거장 배치 및 시설 연구	2012
한국철도학회	학술발표대회	도시계획을 고려한 바이모달 트램의 위상정립에 관한 연구	2009
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 군집주행의 천이기동 시나리오를 위한 통신 기반 제어 알고리즘 개발	2013
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 중련주행을 위한 다물체 동특성 해석	2014
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 군집주행 안정성 및 성능향상을 위한 통신 기반 제어 알고리즘 개발	2013
전력전자학회	논문지	바이모달 트램용 직렬형 하이브리드 추진시스템 개발	2011
한국자동차공학회	논문집	바이모달 트램의 후진주차보조 알고리즘 개발에 관한 연구	2009
한국구조물진단 유지관리공학회	논문집	바이모달 트램(Bimodal Tram) 전용교량에 적용된 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 거동특성 분석에 관한 실험 및 해석적 연구	2011
한국철도학회	논문집	샌드위치 복합재 적용 바이모달 트램 차체의 설계검증을 위한 구조 성능 시험 및 해석적 비교 연구	2009
한국구조물진단 유지관리공학회	논문집	바이모달 트램(Bimodal Tram) 전용교량에 적용된 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 거동특성 분석에 관한 실험 및 해석적 연구	2011
대한전기학회	학술발표대회	바이모달 트램의 초기위치 탐색	2010
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램(Bimodal Tram) 활성화를 위한 법정비 방안	2010
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 직렬형 하이브리드 추진계 성능검토	2008
대한전기학회	학술발표대회	바이모달 트램의 실시간 시뮬레이터 프로그램 개발	2009
대한전기학회	학술발표대회	바이모달 트램의 저주파 전자계 환경에 대한 연구	2010
오토저널	논문지	바이모달 트램의 개발 현황과 활용방안	2010
한국철도학회	논문집	바이모달 트램 운행 안전성 확보를 위한 SWMM 융설 모듈 적용성 평가	2008

<표 계속>

학회명	형태	제목	년도
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 재해시 운영관리에 관한 연구	2008
철도저널	논문지	바이모달 트램의 전과정에 걸친 환경영향에 관한 정량적 분석	2008
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램을 위한 차로 · 승강장의 위치 및 독립주행보장 정도에 따른 효율적 운영방안	2010
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 제동장치 특성 분석	2009
정보 및 제어 심포지엄	논문집	원형보간을 이용한 바이모달 트램용 경로 생성 기법	2009
한국자동차공학회	학술발표대회	바이모달 트램 개발 및 활용	2013
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 곡선 선회폭에 관한 연구	2011
대한전기학회	학술발표대회	바이모달 트램 안내제어기의 강인성 평가	2010
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 직렬형 하이브리드 추진시스템 계측장비 개발	2010
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 시험선 구축에 관한 연구	2009
한국철도학회	학술발표대회	교통공학적 측면에서 바이모달 트램의 특성 연구	2011
한국자동차공학회	학술발표대회	바이모달 트램 운행모드에 따른 조향 특성	2013
한국철도학회	학술발표대회	대중교통체계에서 바이모달 트램의 기능과 역할	2008
한국정밀공학회	논문집	신에너지 바이모달 트램 차량 시스템 상세설계	2007
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 차량용 차체 및 실내의장의 설계사양	2008
전기학회	논문지	전자파의 집중도를 이용한 바이모달 트램의 전자파 차폐 성능 분석	2011
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 안전 운행을 위한 웹기반 재해관리 시스템 Prototype 버전 개발	2009
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 거동을 요구사항으로 고려한 전차륜 조향 시스템 테스트에 관한 연구	2009
한국정밀공학회	학술발표대회	신에너지 바이모달 트램 차량 개발 현황	2007
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 승차감 시험	2011
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 직렬형 하이브리드 추진 전원장치 시험	2009
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 운영인프라 기술개발 및 활용방안	2010
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 위치 인식 방법 및 정밀 정차 구현	2009
한국ITS학회	학술발표대회	바이모달 트램을 위한 전용 신호 시스템 개발	2008
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 기준접지 불균등전위에 따른 영향분석	2011
한국정밀공학회	논문집	바이모달 트램 차량용 통합계측시스템 구축	2009
한국방재학회	논문지	신교통수단 바이모달 트램의 안전운행에 관한 연구	2007
대한교통학회	학술발표대회	바이모달 트램 개발현황 및 실용화	2009
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램용 구동시스템 서브프레임의 안정성 평가	2009
한국정밀공학회	논문집	바이모달 트램의 ASW ECU 테스트 플랫폼을 위한 조향반력장치에 관하 연구	2008

<표 계속>

학회명	형태	제목	년도
대한기계학회	학술발표대회	바이모달 트램의 횡풍에 대한 동적특성 해석	2008
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 안전성 확보를 위한 웹기반 재해관리 시스템의 개선	2009
한국정밀공학회	논문집	바이모달 트램 스웡아웃 억제 방법	2011
한국정밀공학회	학술발표대회	바이모달 트램 차량의 승객 진동피폭 평가	2010
한국철도학회	학술발표대회	HILS와 RBT를 이용한 바이모달 트램 AWS ECU의 통합 테스트에 관한 연구	2009
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 구동축 서브프레임에 적용된 용접 사각관의 굽힘 특성 평가	2008
대한전자공학회	학술발표대회	자율주행시스템 : 바이모달 트램 & 클로소이드 V 1	2013
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 조향시스템 성능 평가	2010
한국정밀공학회	학술발표대회	바이모달 트램용 AWS ECU 시험 평가	2010
한국정밀공학회	학술발표대회	바이모달 트램의 쿨링장치 개발	2013
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램용 감속기어장치의 무부하 성능평가	2008
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 견인장치 개발	2012
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 운행을 위한 도심지 고가구조물 기초형식 개발	2008
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 모의운행지역에서의 강우에 대한 노선침수 예측	2007
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 실용화에 관한 기초 연구	2010
한국정밀공학회	학술발표대회	바이모달 트램용 2단 감속기어장치의 개선설계	2009
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 교차로 설계방안 연구	2012
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 전용선로 포장 형태에 따른 온도의 영향	2010
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 재해관리 시스템 입력자료 구축을 위한 AV2SWMM 모듈 개발	2008
한국정밀공학회	학술발표대회	바이모달 트램 차체 이상소음 분석	2013
한국철도학회	학술발표대회	겨울철 융설을 대비한 바이모달 트램 재해관리 시스템의 SWMM 모형 적용성 평가	2008
한국철도학회	학술발표대회	MVB 통신을 이용한 바이모달 트램의 직렬형 하이브리드 추진계 성능측정	2010
한국철도학회	학술발표대회	HILS를 이용한 바이모달 트램 조향장치 성능 평가	2009
한국철도학회	학술발표대회	수도권 주요축별 바이모달 트램 적용성 평가	2010
한국기계공학회	논문지	바이모달 트램의 전기 제어 장치용 냉각장치에 관한 연구	2014
한국철도학회	학술발표대회	LID 개념 적용으로 인한 유출 감소 특성 가능성 분석 및 바이모달 트램 전용노선에서의 적용성 검토	2008
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램의 기준경로 주행방법	2008
대한기계학회	학술발표대회	바이모달형 저상굴절 차량의 승차감 평가	2010
한국철도학회	학술발표대회	바이모달 트램 운행을 위한 운영기반시스템 개발에 관한 연구	2007

다. 노출 및 홍보 방법 및 모니터링 수단

바이모달 트램의 노출 및 홍보를 위한 접근 방법은 크게 다섯 가지 형태로 구분된다.

- ○ 관련 이벤트 발생 시 언론(TV, 라디오, 신문 및 인터넷)을 통해 노출 시키는 방식
- ○ 시승행사 등을 통해 시민들이 직접 경험해 보고 접촉하는 방식
- ○ 학술논문 등을 통해 전문가 그룹에 바이모달 트램을 전파하는 방식
- ○ 바이모달 트램 홍보 자료(홍보 리플렛, 홍보 브로슈어, 홍보 동영상, 홍보 이미지) 제공
- ○ 블로그 등을 통한 홍보

상기 세 가지 방식을 적절하게 활용하여 공무원 및 일반 시민들 사이에 불신을 제거하고, 전문가 그룹에게 바이모달 트램의 특징 및 장점을 알리는 것이 필요하다. 이러한 노력을 통해 바이모달 트램 도입의 공감대를 형성함으로써 공무원들이 바이모달 트램을 도입을 고려할 때 긍정적인 요소로 작용할 수 있도록 노력할 필요가 있다.

4. 실용화를 위한 가격 분석

가. 가격 분석의 배경 및 목적

(1) 가격 분석의 배경

국내 BRT 노선에 투입된 신교통수단 도입을 위한 연구들이 진행되고 신교통수단 도입에 대한 요구가 높아짐에 따라 바이모달 트램에 대한 관심이 고조되고 있다. 하지만 배터리 교환형 전기버스, 무선충전 전기버스(OLEV) 등 다양한 경쟁수단들이 개발되고 있으며, 해외에서 이용되고 있는 이층버스가 국내에 도입되는 다양한 노력이 진행되고 있다.

또한 일반 버스에 비해 높은 가격 및 신뢰성, 개발 지연 등으로 인해 청라국제도시, 세종특별자치시 등에 원활한 도입이 난항을 겪고 있다. 이를 위해서는 바이모달 트램 제품 성능뿐 만 아니라 가격에서도 경쟁력이 필요하며, 적정가격을 분석하기 위해 바이모달 트램 가격분석서를 작성할 필요가 있다.

(2) 가격 분석의 목적

본 연구의 목적은 바이모달 트램이 청라국제도시, 세종특별자치시 등 잠재적 국내 시장에 투입되었을 경우 상대적인 가격 경쟁력을 확인하고자 한다. 또한 바이모달 트램의 경제성을 파악하고 가격의 적정성을 확인하고자 한다.

나. 바이모달 트램 경쟁수단 조사

BRT 노선을 중심으로 하고 신교통수단 도입에 대한 수요가 증가하고 있으며, 바이모달 트램의 경쟁 신교통수단의 재원 파악은 중요한 기초자료로 활용될 수 있다. BRT 노선의 특성상 궤도 교통수단인 경량전철, AGT, LIM, 모노레일, 자기부상열차 등은 적용되기 어려운 특성을 고려하여 검토대상에서 제외한다.

본 연구에서는 BRT 신교통수단으로 논의 되고 있는 친환경형 및 대량 수송에 특화된 신교통수단을 차량의 규격별로 일반형, 굴절형, 이층형으로 나누어 특성을 조사 및 분석한다. 선정된 신교통수단별로 비용, 친환경성, 안전성 및 기능성, 편의성, 도시비전 부합성, 도입 용이성을 파악하였다.

가격은 바이모달 트램이 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음은 수소연료전지버스로 나타났다. 도입 용이성 중 국내 생산 가능성은 굴절버스와 이층버스를 제외한 모든 차량들이 국내 생산이 가능한 것으로 나타났으며, 수소연료전지버스의 경우 아직 시범운행중이다.

바이모달 트램과 유사한 외형 및 운행조건에서 운행 가능한 굴절버스의 경우 바이모달 트램 대비 가격이 절반 수준이지만, 승객들의 안전하고 편리한 대중교통을 이용하기 위해서 바이모달 트램에는 다음과 같은 사양이 적용되어 있다.

<표 3.103> 일반 굴절버스 및 바이모달 트램 시스템 비교

구분	바이모달 트램	굴절버스	비고
바디 소재	· 알루미늄 합금 압출재	· 스틸	· 내 부식성이 강한 소재로 차령 연장 가능
구동시스템	· 하이브리드 시스템 · 엔진발전기 · 모터 · 배터리 · 추진 인버터 · 감속기(차동기어 포함)	· 엔진 · 변속기 · 차동기어	· 하이브리드 시스템 적용으로 연비 증대 및 회생에너지 저장 가능
액슬	· 독립현가 액슬	· 리지드 액슬	· 주행안전성 증대
전차륜 조향시스템	· 전차륜 조향 시스템 (AWS)	· 1축 조향	· 회전시 점유 폭이 작아 주변차선 침범 없음
내장재	· 알루미늄 합금 압출재 · FRP	· 플라스틱, 목재, steel 류	· 난연소재 적용
보조시스템	· 보조 인버터 · 보조 모터	· 엔진 벨트 구동	· 에어컨 및 공기압축기 간헐적으로 구동 및 제어 가능
출입문	· 플러그인 도어	· 더블 글라이딩 도어	· 도어개폐에 따른 승객거주 공간 확보

유지관리는 수소연료전지버스, 굴절버스, 이층버스는 유지관리의 용이성이 다른 신교통수단 차량에 비해 떨어지는 것으로 나타났다.

<표 3.104> 차량별 특성 및 규격 종합 비교

대분류	중분류	일반형					굴절형		2층버스
		CNG 하이브리드 버스	전기 버스	무선충전 전기버스	배터리 교환형 버스	수소연료전지 버스	바이모달 트램	굴절 버스	
친환경성	CO2 배출량 [g/km]	1.040	0	0	0	0	1.040 (유로-6 기준)	-	-
	4대 오염물질 배출량 [g/km]	4.51	0	0	0	0	4.51 (유로-6 기준)	-	-
	연비	2.3 km/m^3	0.98 km/kWh	0.57 km/kWh	0.80 km/kWh	시범 운행중	2.0 km/L	2.9 km/L	2.71 km/L
안전성 및 기능성	최고속도 [km/h]	100	100	85	80	103	80	70	110 (80~90 제한)
	등판능력 [%]	30	30	30	30	-	20	23	32.3
편의성	저상면적 [m^2]	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	23.9	-	-
	교통약자 접근성	O	O	O	O	O	O	O	△
도시 비전 부합성	수요 대응성	총 51명	총 48명	총 48명	총 49명	총 54명	총 90명	총 70명	총 72명
	도시비전과의 정합성	친환경성 (중) 국내 기술개발	친환경성 (대) 국내 기술개발				친환경성 (중), 대용량 수송가능, 국내 기술개발	대용량 수송가능	
도입 용이성	국내 생산 가능성	O	O	O	O	△	O	X	X
	유지관리 용이성	O	O	O	O	△	O	△	△

다. 가격분석을 위한 비교 대상 선정

본 연구의 바이모달 트램 가격분석시 비교를 위한 신교통수단을 일반형, 굴절형, 이층형에서 각각 한 가지씩 선택하였다.

- ○ 일반형 : CNG 하이브리드
- ○ 굴절형 : 바이모달 트램
- ○ 이층형 : 이층버스

라. 수익 및 비용 산정

(1) 수익 산정

경제성 분석을 위하여 세종특별자치시의 순환 BRT의 장래 수요를 이용하여 산정하였다.

- ○ 순환 BRT 장래 수요(가법모형 적용) : 34,069(명/일)
- ○ 버스 요금 : 1150원(현재 버스 카드 요금을 적용)

필요 차량대수의 경우 첨두시 배차간격(5분), 회차여유시간 10분, 속도 48km/h로 운영했을 때 필요한 최소 차량수이며, CNG하이브리드는 16대와 32대를 구분하여 산정하였다.

<표 3.105> 차량별 수익 산정 결과

구분	CNG하이브리드	CNG하이브리드	바이모달 트램	이층버스
필요대수(대)	16	32	16	16
버스요금(원)	1,150			
순환선 장래 수요(명/일)	34,069			
일일 수익(원/대)	2,448,709	1,224,355	2,448,709	2,448,709

(2) 비용 산정

경제성 분석을 위한 비용 산정은 일일 표준 운송원가를 산정하였다. 장래 수요분석을 통해 예측된 2030년 기준의 BRT 수요와 노선길이를 이용하여 교통수단별 비용을 산정하였다. 차량 가격, 운전원 인건비, 정비비, 감가 상각비 등은 기존 문헌을 참고하여 산출하였다.

바이모달 트램의 경제성 분석을 위해서는 기본적인 항목들에 대한 원가 산정이 필요하다. 본 연구에서 경제성 분석에 사용한 각종 원가 산정의 내용은 다음과 같다.

○ 감가상각비의 경우 바이모달 트램의 차령은 15년을 적용, 나머지는 9년을 적용함
○ 바이모달 트램 보조금은 국토부 저상버스 보조금 추가 1억원(현행 1억→2억원), 환경부 0.4억원 지원으로 적용
○ 바이모달 트램 1편성(100명) 대비, 일반 CNG버스 및 하이브리드 버스 1대(50명)으로 운송원가 비교시 타 차량의 원가를 2배로 계산해야 함(이층버스, 굴절버스 제외)
○ 차량가격: 부가가치세 제외 금액
○ 바이모달 트램 보험료: 32,876원/일 (최대 12,000,000원/년)
○ CNG하이브리드 보험료: 24,229원/일 (충남 시내버스 동부화재 기본보험료(대형) 2014년 12월말 기준)
○ 감가상각비(일) : 차량구매비(차량가격-보조금) / 내구연한 / 365일 적용
  · 바이모달 트램의 경우 3년 주기로 배터리 교체가 필요하므로 차령 15년 적용 시 차량구매비에 배터리 교체(4회) 비용 16,000만원(부가가치세 제외 금액) 추가
○ 연료비 산정
  - 주행조건: 371km/일
  - CNG 하이브리드 연비: 2.3km/㎥
  · CNG 하이브리드버스 운행 시범사업 효과분석 및 실증연구, 2012, 환경부
  - 바이모달 트램 연비: 2.0km/L
  · 세종특별자치시 주행에 따른 실 주행 연비 측정 결과
  - 연료가격: CNG 694.99원/㎥, 경유 1,220.24원/L
  · 한국천연가스차량협회 기준('16.12.27)
  - 예비율: 30%
  - 산정방법: {(주행조건*연료가격)/연비}+예비율
○ 운송원가 산정: 운전원 인건비+연료비+정비비+감가상각+보험료+일반관리비

다음 표는 바이모달 트램을 포함하여 차량별 표준운송원가 산정결과를 보여주고 있다.

<표 3.106> 차량별 표준 일일 운송원가 산정 결과

(단위 : 원/대)

구 분	CNG하이브리드 (1대)	CNG하이브리드 (2대)	바이모달 트램	이층버스
차량가격	286,200,000	572,400,000	1,523,636,364	409,090,910
보조금	140,000,000	280,000,000	240,000,000	-
차량 실 구매가	146,200,000	292,400,000	1,283,636,364	409,090,910
운전원 인건비	214,524	429,048	214,524	214,524
연료비	145,736	291,473	294,261	235,409
정비비	32,047	64,094	92,309	95,231
감가상각	44,505	89,011	234,454	124,533
보험료	24,229	48,458	32,827	91,782
일반관리비 등	69,024	138,048	70,439	70,439
운송원가/일	530,066	1,060,131	938,814	831,918

주: 차량 가격은 조사 당시 추정 금액임.

차량별 표준 일일 운송원가 산정결과 바이모달 트램은 938,814원/대로 나타났으며 CNG하이브리드는 530,066원/대로 나타났다. 즉 바이모달 트램이 최근 도입된 CNG하이브리드 저상버스 1대에 비해서는 운송원가 측면에서 약 77% 비싼 것으로 나타났으며, CNG하이브리드 저상버스 2대에 비해서는 12% 저렴한 것으로 분석되었다

마. 경제성 비교 및 민감도 분석

(1) 경제성 비교

본 연구에서는 앞서 산정된 차량별 표준운송원가와 2030년 수익 산정 결과를 바탕으로 B/C 분석을 수행하였으며, 또한 차내 혼잡률을 제시하고자 한다. 산정 결과 CNG 하이브리드의 B/C는 4.62로 가장 높게 나타났으나, 차내 혼잡률이 91%로 이용객을 불편을 초래할 수 있으며, 수요가 조금만 증가해도 만족시킬 수 없다. 바이모달 트램의 경우 B/C가 2.61이며, 차내 혼잡률이 49%로 이용객의 불편이 없으며 수요의 변화에 대응이 용이한 것으로 파악된다.

<표 3.107> 차량별 경제성 분석 결과

구분	CNG하이브리드(16대)	CNG하이브리드(32대)	바이모달 트램(16대)	이층버스(16대)
일일비용(원/일)	530,066	1,060,131	936,814	831,918
일일수익(원/대)	2,448,709	1,224,355	2,448,709	2,448,709
B/C	4.62	1.15	2.61	2.94
첨두시 차내 혼잡률[1)]	91%	46%	49%	65%

주 1) : 혼잡률은 행복도시 BRT 운행 신교통수단 도입방안 연구(행정중심복합도시 건설청, 2015)를 참고함

특히, 최근 바이모달 트램과 많이 비교되고 있는 이층버스와 비교할 때 혼잡률 측면에서 바이모달 트램이 우수한 것으로 판단된다. 다만, 본 분석 결과가 모든 경우에 적용될 수는 없으나, 과거 바이모달 트램의 운영이 과도하게 비싸다는 선입견이 잘 못 되었음을 보여주고 있다는 측면에서 중요한 정책적 판단 근거로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

(2) 차량가격에 따른 경제성 민감도 분석

본 연구를 통해서 바이모달 트램의 사업 생산의 기반이 구축되었으나, 현재까지 바이모달 트램의 양산이 확정된 것은 아니다. 따라서 바이모달 트램의 가격은 향후 대량 생산 및 부품 국산화를 통해서 하락할 가능성이 충분하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 바이모달 트램 가격 하락에 따른 경제성을 파악하고자 민감도 분석을 수행하였다.

본 바이모달 트램 가격분석서의 차량별 일일 표준운송원가에서 차량가격(배터리 4회 교체비용 포함) 및 감가상각비를 제외한 보조금, 운전원 인건비 등은 고정하고 분석하였음을 밝힌다. 차량가격 변화에 따른 민감도는 연간 양산 차량대수 100대 기준 4,500만원씩 감소(부가가치세 포함 시 5,000만원)하는 시나리오를 구성하여 분석하였다.

바이모달 트램 가격별 운송원가 산정 결과 배터리 교체비용을 포함한 차량 가격이 13.4억일 경우 B/C는 2.70으로 가장 높게 나타났다. 즉, 향후 양산 및 대량 생산을 통해서 바이모달 트램의 가격을 내릴수록 바이모달 트램의 경쟁력은 크게 강화됨을 확인할 수 있다.

<표 3.108> 대량생산을 고려한 바이모달 트램 가격별 경제성 민감도 분석 결과

(단위 : 원)

구 분	1,343백만원	1,388백만원	1,433백만원	1,478백만원	1,523백만원
운송원가(원/일)	905,937	914,156	922,376	930,595	938,814
일일수익(원/일)	2,448,709				
B/C	2.70	2.68	2.65	2.63	2.61

주: 제시된 금액은 차량 가격(부가가치세 제외)+배터리 교체비용(부가가치세 제외 16,000만원)

앞서 산정된 바이모달 트램 가격별 운송원가를 잠재적 경쟁 수단들과 비교하였다. 비교 결과 마찬가지로 B/C는 CNG하이브리드(16대)가 가장 높으나 차내 혼잡율이 높은 것으로 나타났다. 특히, 바이모달 트램은 13.4억원일 경우 B/C는 2.71이며 차내 혼잡율은 49%로 나타났다. 다시 말해, 바이모달 트램 가격이 4,500만원씩 낮아짐에 따라 B/C는 약 1% 증가하는 것으로 나타났다.

<표 3.109> 차량별 경제성 분석 및 바이모달 트램 가격 민감도 분석 결과

구분		일일비용(원/일)	일일수익(원/대)	B/C	차내 혼잡률
CNG하이브리드(16대)		530,066	2,448,709	4.62	91%
CNG하이브리드(32대)		1,060,131	1,224,355	1.15	46%
이층버스		831,918	2,448,709	2.94	65%
바이모달 트램	1,523백만원	936,323	2,448,709	2.62	49%
	1,478백만원	928,104		2.64	
	1,433백만원	919,885		2.66	
	1,388백만원	911,666		2.69	
	1,343백만원	903,447		2.71	

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제1절 연구개발 목표 및 달성도

1. 차량 개조

가. 실용화를 위한 기술요구사항 및 성능수준 도출

나. 인증획득을 위한 시제 1, 2호 차량의 설계보완 및 차량 개조

다. 유로-6 디젤엔진 적용 및 추진배터리 시스템 최적화

라. 가격경쟁력 확보를 위한 구성부품 개발

2. 인증 획득(시제 1, 2호)

가. 자동차 안전인증 검사 및 시험(교통안전연구원)

나. 환경인증 (국립환경연구원)

3. 시운전 및 차량 내구성 평가(시제 2호)

가. 일반도로 및 고속도로에서의 가혹조건 주행테스트

나. 차량 구동성능 및 효율적 연비확보를 위한 시스템 최적화

다. 사업화 대상지에서의 시범운행 및 차량 전시

4. 상용화 추진 방안 수립

가. 고객니즈를 반영한 바이모달 트램의 기술적, 경제적인 대응 방안 제시

나. 바이모달 트램 상용화를 위한 적용 타당성 분석 및 예상효과 분석

다. 시범운행 결과를 바탕으로 한 정량적 및 정성적 효과 분석

라. 지자체 및 지역 주민 의견을 반영한 바이모달 트램 계획 및 설계시 고려사항 및 방법 도출

마. 바이모달 트램 실용화를 위한 도입 및 운영 관련 행정 절차, 차량 구입 및 운영 관련 재정적 지원 방안, 관련 법규 개선 방안 도출

제2절 관련 분야 기여도

본 사업에서 개발되는 분야별 기술은 일반도로와 전용노선을 주행할 수 있는 BRT 차량개발 기술로서, 바이모달 트램 성능시험 및 관련 인프라에 대한 연구를 수행하였다. 성능시험과정에서 분석된 문제점을 바탕으로 각 구성품들에 대한 개선사항을 도출하여 차량 개발에 적용하는 연구가 이루어졌다. 바이모달 트램에 적용된 유로-6 하이리드 엔진, 전차륜조향장치(All wheel steering), 전자기적 자동운전장치(Automated guidance system)등의 최첨단 기술로서, 철도차량뿐만 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 규격화를 통하여 가격 안정화 및 보급률 증대에 기여할 것으로 기대된다.

<표 4.1> 관련 분야 기여도

연구 개발 목표	관련분야 기여
시스템 운영기술 개발	- 실용화 개발 차량의 성능을 종합적으로 개선시켰고 시험선 및 도로주행 시험을 지속적으로 모니터링하면서 차량의 완성도를 높임 - 바이모달 트램 시제차량에 대한 유지관리 매뉴얼(정비 지침서)은 타 시스템의 실용화를 위한 기술향상에 기여할 것으로 기대
실용화 요소기술 개발	- 직렬형 하이브리드 차량의 주요기기인 엔진과 발전기의 고장발생을 사전에 예측하여 고장발생시 우려되는 인적, 물적 손실을 방지할 수 있는 기술적 토대 제공
제작차량 주행시험	- 국내 도로 여건에 부합하는 굴절 차량의 제작 및 유지보수의 기술 향상에 기여
공인기관 안전시험	- 굴절 차량의 제동 및 조향 성능 시험을 통한 제작 기술 및 성능 시험 노하우 축적에 기여
차량고장 이력관리	- 차량제작 및 차량운행의 이력을 관리함으로서 향후 차량 운행할 때 발생할 수도 있는 문제점에 대응할 수 있을 것으로 판단
상세설계 및 제작	- 초저상 차량 시스템 기술개발의 체계적 기술력 확보 및 수입 대체 효과를 통한 기술 경쟁력 확보에 기여 - 감속구동장치의 개발을 통해 모터에 의한 동력전달 시스템에 대한 설계/해석 및 시험평가기술, 구동시스템 제작기술 확보하였고, 이를 통해 향후 모터를 통한 동력전달 시스템 개발 시 이를 활용하여 적용 가능 - 국내 자동차 업체에 신 차량 개발 동기를 유발하고, 기본 시스템을 발전시키는 계기가 되며 고가의 철도 차량을 대체할 교통수단 개발에 앞장설 수 있다고 판단

<표 계속>

연구 개발 목표	관련분야 기여
제작사양 검증	– 유로-6 디젤 하이브리드 차량의 개발 기술 향상 기여 – 실차 적용시험을 통해 측정/분석된 결과를 바탕으로 향후 모터를 통한 동력전달 시스템 개발 시 활용 가능 – 상시 실시간 모니터링 시스템: 차량 내외에 설치된 영상 전송장치를 이용하여 차량의 운행현황을 실시간 감시 또는 과거 이력 영상을 조회 가능
성능시험 (추진, 제동)	– 개선된 직렬형 하이브리드 추진시스템을 적용하고, 시험선 및 일반도로에서 성능을 확인. 직렬형 하이브리드 추진시스템 장착 차량의 시험 및 평가기술 향상에 기여할 것으로 기대 – 성능시험 결과는 바이모달트램 실용화 모델의 기초자료로 활용가능하며, 굴절차량 및 철도차량 시험 및 평가기술 향상에 기여할 것으로 기대
차량시험 및 차량운영	– 내구성 주행을 통한 차량의 주요 장치의 안정화 설계 및 제작 기술력을 확보, 개선하여 국산화를 통한 기술 경쟁력을 증진에 기여 예상 – 시범선 운행을 통한 차량의 운영 체계 및 문제점에 대한 유지보수 기술의 습득을 통하여 효율적인 차량 운영의 체계화에 기여 – 바이모달 트램의 안전성 향상시험을 통한 안전기준 수립 및 시험 방법은 새로운 교통시스템의 시험 기준 활용에 기여
바이모달 트램 시장 분석서	– 고객의 니즈 파악 및 분석을 통해 신교통수단으로서 바이모달 트램의 성공적인 도입 및 상용화에 기여할 것임. – 전문가와 이용자가 중요하게 생각하는 요소를 정량적으로 측정하여 신교통수단인 바이모달 도입 시 참고자료로 활용에 기여
바이모달 트램 가격분석서	– 바이모달 트램과 경쟁 수단과의 경제성 비교를 통해 지자체의 바이모달 트램 도입 시 레퍼런스로 활용 가능 – 가격분석을 통한 경제성 분석 기초자료 제공 및 경제적인 대응 방안 제시에 기여 예상
바이모달 트램 설계 및 운영 지침	– 신교통수단인 바이모달 트램의 원활한 도입을 위한 방안을 제시할 것으로 기대 – 차량의 상용화를 위한 기존 및 신규 노선에 대한 효과분석 매뉴얼로 활용에 기여 예상

제5장 연구개발성과의 활용계획

제1절 연구개발 결과물의 활용방안

상기의 연구개발 결과물을 정리하면 다음과 같다.

<표 5.1> 연구개발 결과물 현황

연구개발 결과물	주요 특징
실용화 개발차량	유로-6 환경기준 만족, 시제차 문제점 개선
환경인증서	환경시험 기준 만족
안전인증 용역 보고서 및 안전검사 성적서	안전시험 기준 만족
바이모달 트램 시장분석서	바이모달 트램에 대한 시장 가치 분석
바이모달 트램 가격분석서	바이모달 트램 경제성 분석 기초자료 제공을 위한 가격 분석
바이모달 트램 설계 및 운영지침	바이모달 트램 도입을 위한 필요한 사항 제시

1. 대용량 및 고급 BRT 신교통수단 제공

국내 교통혼잡 완화 및 온실가스 배출 감소를 위하여 도입된 간선급행버스체계(Bus Rapid Transit, BRT)가 성공적으로 정착함에 따라 보다 고급스럽고 친환경적인 BRT 신교통수단에 대한 수요가 증가되고 있다. 이에 따라 다양한 BRT 신교통수단에 대한 연구개발 및 도입이 진행되어져 왔다. 이러한 노력의 일환으로 바이모달 트램이 본 연구를 통하여 상용화 단계에 이르게 되었다. 본 연구를 통해서 개발된 바이모달 트램은 바퀴굴림식 신교통 시스템으로서 혼잡한 도시의 내부를 자유롭게 주행하고, 저상화를 통해 교통약자의 편리한 승하차를 도모하고, 대량수송이 가능한 새로운 대중교통 수단이다. 바이모달 트램은 기존 버스에 비해 더욱 많은 사람들을 편리하게 수송할 수 있고, 기존 중전철, 경전철 등의 수혜를 받을 수 없는 시민들에게 고급형 대중교통 서비스를 제공할 수 있다. 이러한 바이모달 트램의 장점을 기반으로 현재 세종특별시, 청라국제도시 등에서 도입을 준비 및 고려중에 있다. 이러한 바이모달 트램의 수요처에 고급스럽고 친환경적인 BRT 신교통수단인 바이모달 트램을 제공함으로써 지역 시민의 이동편의성을 증진시킬 뿐만 아니라 도시이미지 향상에도 활용될 수 있도록 신뢰성 있는 바이모달 트램을 제공하고자 한다. 또한 세종특별시 등에서 바이모달 트램이 성공적으로 운영되고 바이모달 트램의 장점이 부각되면 다른 지자체 공무원 및 시민들의 관심을 유도할 수 있고, 이러한 관심이 새로운 수요처를 발생시킬 수 있고, 바이모달 트램의 대량 생산이 가능해질 것으로 기대된다.

2. 대용량 BRT의 자동운전 및 친환경 동력시스템 핵심기술 개발을 위한 플랫폼 제공

최근 자율주행 자동차 관련 기술이 발전하고 관심이 고조됨에 따라 기존 대중교통수단에 자율주행 기술을 접목시켜 대중교통 서비스를 향상시키고자 하는 노력이 국내외에서 진행 중에 있다. BRT 등 대중교통수단에 자율주행 기술을 적용하기 위해서는 높은 신뢰성과 안전성이 필요하며, 적합한 평가가 이루어져야 한다. 이러한 노력의 일환으로 대용량 바이모달 트램의 자동운전 및 친환경 동력시스템 핵심기술 개발이 기획 준비 중에 있으며, 본 연구에서 개발된 바이모달 트램을 기반으로 대중교통수단에서의 실용화 기반구축을 도모할 수 있다. 대용량 BRT(바이모달 트램)의 자동운전 및 친환경 동력시스템 핵심기술 개발이 개발된다고 하면 BRT 시스템의 혁신적인 발전과 친환경성 증대에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 바이모달 트램 상용화 역량 강화에 활용

세종특별시 등에 대한 판매 계약조건(기술/부품지원, 품질보증 및 유지보수체계)에 따른 상용화계획을 보완하여 상용화를 위한 준비를 완료하고 유지보수 능력을 강화하여 바이모달 트램의 시장 안착할 수 있도록 하고자 한다. 또한 자체 및 정부의 중소기업지원사업을 통하여 바이모달 트램에 사용된 부품 중 주요 부품에 대하여 부품국산화를 추진함으로써 버스 등의 개발 역량을 강화하는 데 활용할 예정이다.

가. 부품 규격화 확보 방안

(1) 규격화 문서

바이모달 트램에 사용되는 부품 및 기술에 대한 규격화를 설정하여, 부품의 치수, 성능, 재질, 시험방법 등을 통일화 및 단순화를 하였다. 이를 규격화 문서를 작성하여 주요 부품 규격화를 관리 하였다. 다음 표는 바이모달 트램 부품 및 기술 규격화 문서 목록이다.

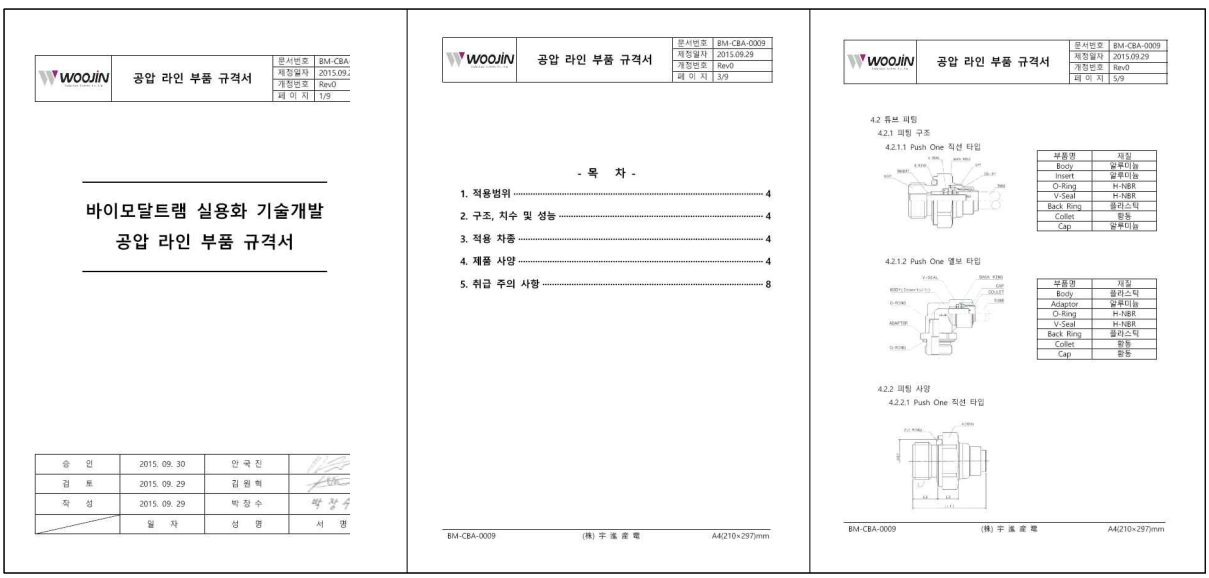
<표 5.2> 규격화 문서 목록 표

순	문서번호	제목	대분류	파트	배포일자	매수
1	BM-FBA-0001	도장 규격서	규격서/절차서	의장	15.1/22	14매
2	BM-EBA-0002	배터리 사양서	규격서/절차서	전장	15. 6/24	16매
3	BM-SBA-0003	알루미늄 바디 압출재 규격서	규격서/절차서	바디	15. 6/30	17매
4	BM-SBA-0004	알루미늄 바디 용접 공정작업 절차서	규격서/절차서	바디	15. 6/30	14매
5	BM-CGA-0005	서브프레임 치수 검사 기준서	시험/검사	샤시	15. 6/30	59매
6	BM-FBA-0006	객실내장판 부품 규격서	규격서/절차서	의장	15. 9/23	14매
7	BM-FBA-0007	출입문 작업지침서	규격서/절차서	의장	15. 9/24	35매
8	BM-EDA-0008	추진시스템 튜닝 및 검사 완료보고서	보고서	전장	15. 9/29	71매

<표 계속>

순	문서번호	제목	대분류	파트	배포일자	매수
9	BM-CBA-0009	공압 라인 부품 규격서	규격서/절차서	샤시	15. 9/29	9매
10	BM-SAA-0010	알루미늄 차체 구조해석 검토서	설계검토서	바디	15. 9/29	27매
11	BM-SDA-0011	기존품 성능향상 보고서 (알루미늄 차체)	보고서	바디	15. 9/29	28매
12	BM-FBA-0012	단열재 제작규격서	규격서/절차서	의장	15.12/21	6매
13	BM-FBA-0013	차실내장재 연소성 시험 기준서	기준서	의장	15.12/21	10매
14	BM-FBA-0014	유리 규격서	규격서/절차서	의장	15.12/21	35매
15	BM-FBA-0015	루프 알루미늄 내장재 규격서	규격서/절차서	의장	15. 12/21	11매
16	BM-FBA-0016	외부 FRP 부품 규격서	규격서/절차서	의장	15. 12/21	8매
17	BM-FBA-0017	승객의자 제작규격서	규격서/절차서	의장	15. 12/21	7매
18	BM-FBA-0018	평활재 제작규격서	규격서/절차서	의장	15. 12/22	12매
19	BM-EBA-0019	DCU,PSU(Aux.inverter)사양서	규격서/절차서	전장	15. 12/28	9매
20	BM-EBA-0020	바이모달 트램 추진시스템 및 고압장치 사양서	규격서/절차서	전장	15. 12/28	9매
21	BM-EBA-0021	VCU-GLASSPANEL 사양서	규격서/절차서	전장	15. 12/28	8매
22	BM-EBA-0022	실내 DOWN LIGHT 규격서	규격서/절차서	전장	15. 12/28	7매
23	BM-FAA-0023	FRP 소재/공법 기술동향	설계검토서	의장	15. 12/31	24매
24	BM-QGA-0024	완성차량 검사 지침서	시험/검사	공통	15. 12/31	47매
25	BM-EBA-0025	디지털 타코미터 규격서	규격서/절차서	전장	15. 12/30	9매
26	BM-FBA-0026	통로연결막 제작 규격서	규격서/절차서	의장	15. 01/05	10매
27	BM-EDA-0027	기존품 성능향상 보고서(방송/표시기/CCTV선정)	보고서	전장	15. 01/05	19매
28	BM-FDA-0028	기존품 성능향상 보고서(스텐션 폴)	보고서	의장	16. 01/12	7매

부품 규격화 문서에는 규격화에 필요한 규격 및 재질 등을 서술하도록 하여 통일된 규격을 제시하도록 하였다.



<그림 5.1> 규격화 문서 내용 구성

(2) 정기점검 주기표

정기점검 주기표는 바이모달 트램 취급설명서 안에 포함되어 있으며, 바이모달 트램의 부품에 대해 정기점검 주기표를 제시하였다. 이를 통해 각 부품에 대한 정기적인 점검을 하여 주기적으로 차량의 유지보수 및 관리를 하도록 권장하도록 하였다.

정기점검

정기점검 주기표

● 배출가스 제어 항목 ○: 점검, 조정, 보충 ●: 교환 △: 청소 혹은 배출

점검내용		점검주기(km)							비고
		최초 1,000	최초 5,000	매10,000	매20,000	매40,000	매60,000	매100,000	
엔진오일 엔진오일 필터	ISF 6.7 엔진		●		●				일일점검
연료필터 교환	연료필터	● (매 500시간 운행 또는 6개월 또는 20,000km마다 교환)							
	프리필터								
연료탱크 내 불순물 배출				△					
연료 호스 점검		○ (매 50,000km마다 점검)							
에어 클리너 엘리먼트 교환		● (매 6개월 또는 60,000km마다 교환)							
팬 벨트 교환		○ (100,000km 점검 이후, 매 10,000km 마다 점검, 이상시 교환)							가혹시수시점검
밸브 간극 점검 및 조정			○			○			소음발생시점검
매니폴드, 엔진지지부 등의 볼트 재조임		○				○			
엔진작동상태(시동, 공회전상태, 가속상태, 최고속도)		○		○					일일점검
흡입 공기량 센서 세척		△ (매 6개월 또는 60,000km마다 세척)							
예열 플러그 기능 점검						○			
인터쿨러부의 오일 빼기							△		
SCR SUPPLY MODULE 메인필터 교환		● (매 150,000km 마다 교환)							
배기가스 점검			○	○					

주의) 1. 검증되지 않은 연료(첨가제)는 주유하지 마십시오.
2. 연료 부족 시 고압펌프에 손상을 초래하여 배출가스에 악영향을 미칠 수 있습니다.

<그림 5.2> 배출가스 제어 항목에 대한 점검 주기표

● 일반적인 항목 ○: 점검, 조정, 보충 ●: 교환 △: 청소 혹은 배출

점검내용	점검주기(km)							비고
	최초 1,000	최초 5,000	매10,000	매20,000	매40,000	매60,000	매100,000	
냉각수 점검 및 교환	● (2년 또는 매 40,000km마다 교환)							
각종 오일 누유, 냉각장치의 누수여부	○		○					일일점검
기어박스 오일	● (최초 8,000km 이후, 매 1년 또는 40,000km마다 교환)							
프로펠러 샤프트 커플링의 조임상태	○ (매 25,000km 마다 점검)							
프로펠러샤프트 유니버셜조인트 그리스 주입	○ (매 25,000km 마다 주입)							
프런트액슬 및 리어액슬 균열 및 변형점검				○				
프런트, 리어 휠허브베어링 손상 및 유격점검	○			○				
휠 스터드볼트, 너트 조임 및 상태점검	○		○ (매5,000km마다 점검(타이어 교환후 50~100km 주행후 재조임))					
타이어 위치 교환	● (매 15,000km 마다 점검)							
전 차륜 정렬상태 점검(사이트슬립)	○				○			
쇽업소버의 오일누유 또는 손상점검	○(매5,000km마다 점검)							
현가장치의 손상 및 헐거움 점검	○(매5,000km마다 점검)							
파워스티어링 오일		○	● (매 100,000km마다 교환)					
조향장치 오일누유 및 오일량 점검	○ (매5,000km마다 점검)							
스티어링 휠 유격 및 링키지 헐거움(엔진구동상태에서)		○			○			

<그림 5.3> 일반적인 항목에 대한 점검 주기표1

● 일반적인 항목 ○: 점검, 조정, 보충 ●: 교환 △: 청소 혹은 배출

점검내용	점검주기(km)							비고
	최초 1,000	최초 5,000	매10,000	매20,000	매40,000	매60,000	매100,000	
냉각수 점검 및 교환	● (2년 또는 매 40,000km마다 교환)							
각종 오일 누유, 냉각장치의 누수여부	○		○					일일점검
기어박스 오일	● (최초 8,000km 이후, 매 1년 또는 40,000km마다 교환)							
프로펠러 샤프트 커플링의 조임상태	○ (매 25,000km 마다 점검)							
프로펠러샤프트 유니버셜조인트 그리스 주입	○ (매 25,000km 마다 주입)							
프런트액슬 및 리어액슬 균열 및 변형점검				○				
프런트, 리어 휠허브베어링 손상 및 유격점검	○			○				
휠 스터드볼트, 너트 조임 및 상태점검	○		○ (매5,000km마다 점검(타이어 교환후 50~100km 주행후 재조임))					
타이어 위치 교환	● (매 15,000km 마다 점검)							
전 차륜 정렬상태 점검(사이트슬립)	○				○			
쇽업소버의 오일누유 또는 손상점검	○(매5,000km마다 점검)							
현가장치의 손상 및 헐거움 점검	○(매5,000km마다 점검)							
파워스티어링 오일		○	● (매 100,000km마다 교환)					
조향장치 오일누유 및 오일량 점검	○ (매5,000km마다 점검)							
스티어링 휠 유격 및 킹키지 헐거움(엔진구동상태에서)		○			○			

<그림 5.4> 일반적인 항목 대한 점검 주기표2

■ 가혹조건 ○: 점검, 조정, 보충 ●: 교환 △: 청소 혹은 배출

점검내용		점검방법	점검주기
엔진오일, 엔진오일필터	ISF 6.7 엔진	●	최초 5,000km 교환후, 매 15,000km 또는 6개월마다 교환
에어클리너 엘리먼트 교환		●	매 6개월 또는 50,000km 마다 교환
공조장치용 에어필터		●	상태에 따라 수시점검, 이상이 있으면 교환
V-리브드 벨트		●	상태에 따라 수시점검, 이상이 있으면 교환
디스크브레이크 디스크 및 패트		○	수시점검
각 보디 샤시 부분, 프레임볼트 재조임		○	수시점검

※ 가혹시란 :

1) 짧은 거리를 반복운행
2) 장시간 공회전 또는 장거리 저속운행
3) 잦은 정지 및 출발 등이 반복되는 도로 조건 운행
4) 산길, 오르막, 내리막 주행
5) 트레일러 견인
6) 섭씨 32도 이상의 온도에서 교통 체증이 심한 곳 운행
7) 먼지, 진흙, 비포장, 자갈, 해변 등 거친도로 또는 소금 성분이 뿌려진 도로를 운행 시

▶장치별 특성으로 인해 일부 장치가 동일한 점검기간내에 있다하더라도 점검 또는 교환의 거리가 서로 다를 수 있습니다.

▶ 시간과 주행 거리 중 먼저 도래하는 것을 기준으로 하여 교환 또는 점검·정비를 하십시오.

<그림 5.5> 가혹조건 시 점검 주기표

나. 부품 국산화 전략

(1) 부품 국산화의 필요성

바이모달 트램은 친환경 신교통수단으로써 유로-6 디젤-엔진을 탑재한 하이브리드 방식의 구동을 하는 차량이다. 최근 실용화 개발 연구를 통해 바이모달 트램을 개발하면서 해당 연구에 대한 결과로써 한국형 바이모달 트램으로 2개의 차량이 완성되었다. 하지만 바이모달 트램 실용화 기술개발 과제를 진행하면서 한정된 기간 안에 개발이 요구되었기 때문에 개발 기간이 긴 부품에 대해서 과제기간 동안 국산화 개발을 한다는 것은 많은 어려움이 있었다. 1단계 개발차량을 실용화에 적합한 차량으로 개조하기 위해 설계 및 제작, 인증시험까지 짧은 기간에 수행하기 위해서 일부 도입 부품을 사용하였다. 교통안전공단의 안전 인증 및 국립환경과학원의 환경 인증을 받기 위해서 국내 법규를 만족하는 차량 개발을 위해 도입 부품의 커미셔닝도 필요한 상황이었기 때문에 주요 부품의 국산화가 어려운 실정이었다.

향후 A/S 부품 공급에 대응하고 국내 법규를 만족하는 차량을 제작하기 위해서는 부품 국산화가 필요하며, 정부의 중소기업지원사업을 통한 부품 국산화 개발로 인하여 고가의 바이모달 트램 제작비용을 낮춰 저렴한 가격으로 차량을 제공할 수 있다. 또한 부품 국산화를 통해 핵심기술의 원천기술의 확보를 할 수 있어 차량 제작 기술의 역량을 강화를 도모하며 기술적인 경쟁력을 확보할 수 있다. 차량의 문제점이 생길 경우 국내에서 차량제작사 및 부품 개발사에서 직접 대응이 가능하여 문제 해결이 쉽고 빠르게 된다.

(2) 부품 국산화 전략

먼저 국산화를 하고자 하는 바이모달 트램에 사용된 주요 부품들을 선정하여 연구 범위를 선정한다. 해당 부품들에 대해서 국산화를 위한 시장성, 가격경쟁력, 동향분석을 통해 국산화 개발의 타당성 검증을 한다. 또한 해당 부품 관련 특허, 논문, 기술 동향을 살펴 최신 기술력을 도입할 수 있도록 한다. 정책동향을 분석하고 국내 정책에 유불리함을 따져 유리한 조건을 활용하고 불리한 점을 개선할 수 있도록 한다. 국산화 부품들에 대한 우선순위를 정하고 세부적인 선정을 거쳐 국산화 가능성에 대해 사전 타당성을 검토한 후 향후 국산화 개발을 위한 목표를 수립하고 개발연구에 착수할 수 있도록 한다.

(가) 1단계: 부품 선정

1차로 바이모달 트램에 사용되는 주요 부품 중 도입품들을 선정 한다. 2차로 세부적으로 국산화 가능성을 분석하여 우선순위로 분류한다. 3차로 인증, 기술 개발 가능성 및 경쟁력을 분석하여 세부 부품 선정을 한다. 먼저 바이모달 트램 주요 도입품들은 다음과 같다.

<표 5.3> 주요 도입품 목록표

부품	제조사	주요기능
추진모터	Siemens	정격 200kW 영구자석형 동기모터
추진인버터	Siemens	300~700Vdc을 460Vac으로 변환
보조인버터	Siemens	300~700Vdc을 400Vac으로 변환
AWS	VDL	전 차륜 조향 시스템
브레이크	WABCO	브레이크 시스템(3개축 제어)
현가시스템	WABCO	차량의 높낮이 제어(틸팅기능 포함)
엔진	Cummins	최대 209kW 유로-6 디젤엔진
발전기	Siemens	정격 140kW 동기발전기
도어	Ventura	플러그인 타입 도어

이중에 세부적인 국산화 가능성 분석을 통하여 국산화 우선순위를 정한다. 우선순위를 정하기 위해 다음과 같은 조사를 수행하도록 한다.

① 국내외 동향분석: 부품의 국산화를 위해서는 해외 제품들과 국내 제품들에 대한 비교 분석이 이루어져야 한다.

② 시장성 조사: 바이모달 트램 뿐만 아니라 다양한 시장에 진출하여 적용될 수 있는지 사전 조사가 필요하다. 더불어 해당 기술에 대해서 기업 및 국가, 지자체에서의 필요한 기술 수요를 예측하고 조사한다.

③ 가격경쟁력: 연구 개발을 통해 국산화로 만들어진 부품이 해외 부품대비 가격경쟁력이 있는지 분석이 필요하다.

④ 특허, 논문 동향: 해당 부품 기술에 대해서 기존의 특허 및 논문 동향을 살펴 부품에 대한 관심 및 선호도를 알아본다.

⑤ 기술동향: 부품에 적용되는 기존의 기술을 조사하여 최신 기술을 적용할 수 있도록 한다.

⑥ 정책동향 분석: 부품에 대한 국내외 관련 정책을 살피고 도입에 필요한 전략을 세울 수 있도록 한다.

(나) 2단계: 우선순위 결정

각 아이템에 대한 우선순위를 결정하기 위해 비전 및 기술발전 시나리오, 기술로드맵 작성, SWOT분석 결과 등을 고려하여 개발환경 요구사항을 도출한다. 국산화 아이템에 대한 목표 및 최종성과물을 설정하고 평가 및 중복 검토 등을 통해 우선순위를 도출한다.

(다) 3단계: 개발과제 기획

국산화 개발 타당성을 검토가 마친 가능성 있는 아이템에 대해 연구 목표 및 범위를 설정하고 해당 목표 달성을 위한 추진방안을 수립한다. 세부 항목에 대해 사전타당성을 면밀히 검토하여 개발에 착수할 수 있도록 하고, 활용방안 및 실용화 추진방안을 제시할 수 있도록 한다.

(라) 4단계: 국산화 기술 개발, 시험

설계, 제작, 조립, 기능시험의 단계를 통하여 해당 부품의 국산화 기술개발을 수행한다. 기능시험 단계에서 국산화 부품의 설계 및 성능검증을 한다. 기능 시험단계에서 필요한 보완점을 확인하여 설계에 반영하도록 한다. 품질 보증을 위한 내구성 시험을 수행한다.

(마) 5단계: 인증 및 실용화

해당 부품이 국내 법규 사양에 맞는지 인증 시험을 거쳐 국산화 제품의 실용화를 추진할 수 있도록 한다.

다. 연구성과 활용가능성 및 사업화 계획

(1) 연구성과 활용가능성

실용화 개발과제의 성과물은 실용화 차량 1호 및 2호, 시장분석조사서, 가격분석서, 설계 및 운영지침이다. 그 중에 실용화 차량의 경우 2단계 실용화 개발 사업을 통해서 새롭게 개조되었으며, 바이모달 트램 2호차는 현재 세종특별시 BRT노선에서 영업운행을 진행하고 있다. 2017년 투입 예정인 세종특별자치시 BRT 노선에서의 운행은 지난 3월부터 혹서기를 지나면서 발생된 문제를 보완했으며, 과제 종료 후에도 내년 차량 투입 전까지 세종시 BRT 영업노선에 투입하여 이용객의 불편을 해소할 뿐만 아니라, 다가올 혹한기에 차량의 내구성 시험을 병행하여 발생된 문제에 대해서 차량을 보완할 예정이다. 이를 위하여 발생될 차량의 문제를 예상하여 1호 차량 및 단품으로 시험을 진행하여 실제 발생되는 문제에 대한 보완대책을 마련할 예정이다.

1호 차량은 바이모달 트램의 도입을 추진하는 지자체에서 전시운행 및 시범운행을 통해 홍보활동을 지속하고 있으며, 일반도로 및 고속도로 등의 정해진 내구성 시험 노선에서 지속적인 내구성 시험을 통하여 차량에 발생되는 문제점에 대한 보완 작업을 진행하고 있다. 향후 양산 차량의 품질확보를 위하여 차량 내구시험 및 중요 부품에 대한 시험을 지속적으로 내구성 시험 및 보완을 할 예정이다.

또한, 미래형 신교통수단 개발 사업으로 추진 예정인 대용량 BRT 차량의 연료다변화, 3량 이상의 다량편성 구성의 차량 개발 및 자동운전 실용화를 추진할 경우, 실용화 차량을 이용하여 개발 기간 및 개발 비용을 낮추고 기술개발 및 양산시기를 단축시키기 위해 적용할 예정이다.

(2) 사업화 계획

실용화 개발과제를 통하여 차체 재질 변경, 추진시스템 변경, 개선된 양산 부품 적용으로 차량의 가격이 30% 이상 낮아졌음에도 불구하고, 차량의 가격에 대한 문제 재기가 되는 것은 바이모달 트램은 전차륜 조향시스템, 하이브리드 추진시스템 등의 여러 가지 시스템을 탑재한 신교통 시스템으로 일반 버스 두 대를 연결한 굴절버스와 많은 차이가 있다. 그러나 바이모달 트램의 외형이 굴절버스와 유사하여 차량의 가격이 비싸다는 인식으로 수요처에서 차량 가격의 인하를 요청하고 있다. 그러나 바이모달 트램은 일반 버스와 달리 대량으로 생산할 수 있는 차량이 아니며, 일부 부품이 해외에서 수입되는 부품으로 차량의 가격경쟁력을 추가로 확보할 수 없는 상황이다. 이를 해결하고 여러 지자체의 투입을 위해 바이모달 트램의 양산을 가능할 수 있도록 조립라인을 개선 중에 있으며, 기존 소량의 부품 수급을 확대하여 대량으로 부품을 공급하여 가격경쟁력을 확보하기 위해 노력하고 있다.

아울러, 해외에서 공급되는 주요 부품들에 대한 국산화를 진행하고 있다. 국내 기술수준이 해외에 비해 낮지 않은 수준이기 때문에 개발에는 문제가 없으나 제작 수량이 확보되지 않으면 부품 가격을 낮추는 것은 한계가 있다. 제작 수량의 확보가 무엇보다 중요하다 할 수 있다.

부품의 대량 생산 및 구매를 위해서 차량의 공급을 확대해야 한다. 바이모달 트램의 경우 높은 차량가격으로 일반 운수업자에게 판매가 어려운 실정이다. 바이모달 트램 경제성 검토 자료에 의하면 바이모달 트램 1편성이 일반 버스 2대와 비교하여 내구연한 최대 11년을 비교했을 경우에도 경제적 이익이 더 많은 것으로 확인할 수 있다. 이는 차량의 운전자 1명의 인건비 절감 및 하이브리드 시스템으로 인한 연료비 절감과 더불어 장치의 유지보수 비용 절감으로 확인될 수 있다. 그러나 차량의 초기 도입비용이 일반 버스 도입비용 보다 크기 때문에 일반 운수업자들은 구매하기 어려운 상황이다. 이를 위해 차량 구입에 대한 문제해결을 위하여 리스제도나 차량 및 부품 보증기간 확대 등과 같이 여러 방법으로 구매비용에 대한 부담을 줄이려고 노력하고 있다.

바이모달 트램의 활성화를 위하여 경전철 및 노면전차를 검토하는 지자체를 상대로 차량 및 인프라 구축 등의 경제성 측면을 제시하고, 일반도로 주행이 가능한 이동 편리 및 활용도 증가를 제안하고 있다. 현재 논의되고 있는 지자체의 경우 여러 가지 이유로 바이모달 트램의 도입을 희망하고 있으며, 시험운행을 요청하여 실용성을 확인하고자 하는 곳이 많다. 예를 들어 대전광역시의 경우 내부 BRT 노선과 세종시를 연계하는 BRT 노선에 바이모달 트램 도입을 검토하여 바이모달 트램이 시범운행 예정이며, 강원 랜드의 경우 급경사지 및 한랭 지역의 열악한 외부 조건에 투입된 일반 차량의 문제로 인하여 내부 셔틀을 바이모달 트램으로 검토하고, 금년 12월 혹한기에 차량을 투입하여 시험운행 예정에 있다. 아울러, 교통 수요로 인하여 경전철 투입이 어려운 지자체의 경우에는 실제 운행 노선에서 바이모달 트램을 시범 운행하여 투

입 가능성을 확보하도록 진행하고 있다. 이와 같이 바이모달 트램의 보급을 위하여 경전철이나 노면전차 도입을 검토하는 지자체에 홍보활동 및 시범운행에 실용화 차량을 활용할 예정이다.

국내 도입과 함께 바이모달 트램의 수출을 위해서도 지속적이고 다양한 노력이 진행될 계획이다. 최근 지구온난화를 극복하기 위한 대안으로서 녹색성장 및 TOD 개념 확산이 국제적으로 진행되고 있다. 이러한 기조에 발맞추어 국내의 발달된 ICT를 도시개발에 접목한 스마트 시티 건설 사업에 대한 국제적 관심이 고조되고 있다. 스마트 시티 구현을 위해서는 효율적인 대량 대중교통수단이 필수적이며, 스마트 시티에 적합한 대량 대중교통수단으로서 바이모달 트램이 충분히 활용가능하다. 따라서 ODA 등을 통해서 추진되는 해외 스마트 시티 건설 사업들에 바이모달 트램을 결합함으로써 기존에 국내에서 수급이 불가하였던 대량, 고성능, 고급 BRT 교통수단을 바이모달 트램으로 대체할 수 있을 것이다. 이러한 노력은 국내 스마트 시티 기술의 국제화 및 바이모달 트램 상업화 모두에게 긍정적으로 작용할 수 있다.

마지막으로 바이모달 트램이 새로운 형태의 대중교통수단으로 시장에 등장하였기 때문에 바이모달 트램에 대한 관련 정보가 부족한 부분이 있다. 따라서 바이모달 트램을 고려하는 관련 공무원, 운수사업자 등에 바이모달 트램과 관련한 충분한 정보를 제공할 수 있는 자료를 준비할 필요가 있다. 본 사업을 통해서 개발된 바이모달 트램 실용화 차량 외에 기타 성과물인 바이모달 트램 시장분석조사서, 가격분석서, 설계 및 운영지침 등은 바이모달 트램의 도입을 검토하고 있는 지자체 및 운수사업자에게 제공하여 내부적으로 검토할 수 있는 자료로 제공될 예정이다. 이와 더불어 시장의 요구에 따라서 필요한 자료를 지속적으로 개발하여 제공할 예정임을 밝히고자 한다.

(3) 부품별 구체적 전략

(가) 추진 모터

바이모달 트램은 직렬 하이브리드 시스템으로 엔진-발전기로와 배터리로부터 전기에너지를 추진모터에 전달하여 동력을 발생시킨다. 이때 사용되는 추진모터는 Siemens사로부터 공급받은 정격 200kW, 최대 240kW급의 영구자석형 동기모터를 사용하고 있다. 모터의 출력은 최대 속도 및 구배능력, 가속능력과 같은 성능과 관련이 있다. 또한 영구자석형 동기모터 타입은 역률이 좋아 효율이 좋다는 장점을 가지고 있다. 현재 국내 시장에 유통되고 있는 국산 모터 경우 차량 제작사 및 실수요자로 부터 신뢰성을 인정받지 못하고 있는 현실에서 바이모달 트램 실용화 개발차량에는 기 실적이 있는 도입부품 적용하였다. 해외 제조사인 Siemens사의 모터를 사용하고 있기 때문에 향후 타 일반버스 대비 바이모달 트램의 양산수량에 제한에 있어, 제품 구매량의 한계로 다량의 구매자에 비해 고가로 구매하는가 하면 공급자로부터 기술지원을 제대로 받지 못하는 사례가 발생되어, 신제품 기술 개발 및 국내외 마케팅에 어려움을 느끼고 있는 실정이다. 또한 A/S 발생 시 즉각적인 대응이 어렵다는 단점을 지니고 있다. 현재 산업적, 기술적 측면에서 현황을 재분석하고, 인버터 제작 및 운용 기술이 있는 우진산전에서 자체 기술력으로 PMSM을 개발하기 위해 제작에 필요한 설비 투자를 확대하고 있으며, 기존 제품보다 고온, 방수, 방진, 진동이 심한 주행 노선의 환경을 고려하여 성능을 향상시킬 예정이다. 또는 보다 작은 크기로 개발하여, EV버스에 적용이 가능토록 개발을 추진하고 있다. 따라서 전량 해외도입품의 국산화로 외화 절감 및 원가 절감 예정이다. 또한 국산화를 통하여 동일 사양의 개발품 또는 국내 제조사 부품 적용 시 A/S등 서비스에 대한 빠른 대응 및 경제적인 효과를 기대할 수 있다.

(나) 추진 및 보조 인버터

바이모달 트램 실용화 개발차량에 사용되는 추진 인버터는 300~700Vdc 전압을 받아 460Vac으로 변환하는 고용량 인버터이다. 추진 인버터는 총 3개이며, 2개는 추진모터를 구동하거나 회생 제동시에 배터리 충전을 위하여 전압을 변환하여 공급하는 역할을 한다. 나머지 1개는 발전기에 연결되어, 엔진-발전기에서 발생하는 전기에너지를 다른 인버터에 공급하거나 배터리를 충전할 수 있도록 되어 있다. 보조인버터는 300~700Vdc을 400Vac으로 변환하는 장치로써, 고압의 전원으로 모터를 구동하여 공기압축기 및 유압 펌프를 작동시키는 역할을 한다. 각각의 인버터는 전압과 주파수를 동시에 가변할 수 있는 VVVF 인버터로써 모터의 속도 및 토크를 동시에 제어하여 전 속도 영역에서 최대 출력을 낼 수 있도록 제어가 가능하다. 추진 인버터는 모터와 발전기의 전력을 제어하며, 보조 인버터는 각 장치별 사양에 따라서 다르다. 따라서 개별 인버터마다 요구되는 토크나 속도가 각각 다르기 때문에 요구하는 사양에 따라 속도와 전류를 조절해야 한다. 즉, 각각의 인버터마다 적절한 파라미터 튜닝이 필요하다. 하

지만 바이모달 트램을 개발할 때는 Siemens사 인버터를 사용하기 때문에 튜닝과 같은 기술적인 지원을 즉각적으로 받기에는 어려움이 있다. 또한 인버터에서 나타나는 오류 및 고장 신호가 나타날 때에 신속한 분석 및 조치가 힘들고, 향후에 A/S에도 많은 시간이 소요될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 현재 기존 철도 차량에 다수 납품된 실적품인 인버터 설계 및 제조 기술력을 바탕으로 개발, 설계, 제작, 설치 및 유지 보수에 이르는 안정적인 시스템 구축하여, 바이모달 트램 개발차량 전용의 인버터를 개발 진행 중에 있다. 인버터 시스템을 자체 개발 하여 적용하게 되면, 노선 및 차량 분류에 따라 최적화된 차량 성능 튜닝 및 진단, 시험 등을 일원화하여 검토 및 대응을 할 수 있는 장점이 있다. 추진 시스템의 전반적인 통합 제어가 자체 기술력으로 가능하게 됨에 따라 차량 성능에 대한 신뢰성도 확보될 것으로 예상한다. 즉, 추진 및 보조 인버터의 국산화를 통하여 동일 사양의 국내 제품 또는 개발을 하면 튜닝과 같은 기술적 지원과 A/S를 빠르게 대응하여 시간 및 경제적 효과를 얻을 것으로 기대된다.

(다) AWS

바이모달 실용화 기술개발 차량에서 회전반경 및 차량 점유 폭을 줄이는 핵심 기술인 AWS는 전 차륜의 조향을 가능하게 하는 시스템이다. 바이모달 트램은 일반 굴절버스와 비교하여 차량의 주행 안전성 및 실내 저상면적을 넓게 하기 위해서 축간거리가 긴 특징이 있지만, 국내 자동차 안전기준을 만족하기 위해서는 최소 회전반경이 12m 이내 이어야 한다. 또한 일반 차량들과 혼재되어 있는 노선 주행 시 차량이 선회할 때 넓은 차량 점유 폭으로 인한 주변차량의 운행에 방해가 되지 않도록 해야 한다. AWS는 제어장치와 각 축의 센서 및 조향을 가능하게 하는 유압 시스템으로 구성되어 있으며 초기 바이모달 트램 시제차량과 달리 현재 실용화 기술개발 차량에 적용된 AWS 시스템은 이중계로 구성되어 있다. 솔레노이드 밸브 고장시 시스템 작동불가에 대한 개선사항으로 2중 유압회로를 적용하여 두 밸브중 하나의 밸브가 작동이 불가하더라도 시스템 구현에는 문제가 없도록 회로를 구성하였다. 그리고 대중교통 시스템 안정성 확보를 위해 시제품 제작 및 설치, 단품 및 완성차 시험에 이르기 까지 신뢰성 확보가 필요하다.

(라) 브레이크 시스템-표준부품 적용

차량의 제동에 필요한 브레이크 시스템은 WABCO사의 브레이크 시스템을 사용하고 있다. 브레이크는 차량의 공차중량, 만차중량, 감속에 의한 무게중심이동으로 축중 변화 등에 따라 필요 제동력은 다르다. 브레이크를 이루는 구성요소는 브레이크 밸브, 릴레이 밸브, 브레이크 챔버, 브레이크 디스크, 패드, 공기압축기, 공기탱크 등으로 구성되어 있다. 제어장치는 ABS시스템이 적용되어 있다. ABS는 주행중 감속 시에 바퀴의 회전수를 센서를 통하여 제동시에 바퀴의 잠김을 감지하고 바퀴의 잠김에 의한 슬립으로 스티어링 휠 조작의 위험을 회피하기 위

해 브레이크를 일시적으로 풀어주고 다시 제동을 하는 것을 반복하도록 한다. 국내에서는 이러한 총괄적인 시스템을 만들어 납품하는 업체는 전무하여, 브레이크 패드나 페달 등의 일부 부품에서는 국내 표준 부품 적용이 필요하다.

(마) 현가시스템

바이모달 트램에 적용된 현가 시스템은 차량의 높낮이를 조절할 수 있도록 하는 것으로, WABCO사의 제품을 사용하였다. 현가장치는 차량의 하중을 지지하고 프레임과 차축을 연결하는 기능과 함께 차량 주행중에 발생하는 노면진동을 차체로 직접 전달되지 않도록 흡수하는 중요한 역할을 하는 장치로서 승차감과 조정안정성을 동시에 만족해야 한다. 높이 조절은 주행조건에 따라 3가지의 모드가 있으며, 탑승객이 승하차하기 쉽도록 한쪽으로 기울어지는 닐링 모드도 구현하였다. 각 축마다 높이를 조절해주는 공기스프링과 공기압을 제공해주는 공기압축기, 높이 센서, 제어시스템 등으로 구성되어 있다. 국내에서 이와 같은 전체 시스템을 개발하고 적용할 수 있는 제품을 찾기가 어렵지만 각각의 장치들에 대해서 국내 규격화 부품을 적용 가능할 것으로 보인다.

(바) 엔진 및 발전기

바이모달 트램 실용화 기술개발 과제 차량 개발 도입 시기에 배출가스 규제 기준인 유로-6 기준에 만족하는 국내 CNG 및 디젤 엔진이 전무하였다. 해외 실적이 있는 커민스 제품으로 바이모달 트램 실용화 개발차량에 적용하였고, 발전기 및 커플링 또한 해당 엔진과 시스템 엔지니어링 실적품인 Siemens 제품으로 적용하게 되었다. 현재는 국내 엔진제작사에서 제작한 유로-6 디젤 엔진 시제품이 테스트중이며, 이는 주행 및 내구성 테스트를 거쳐, 제품 및 완성차 인증을 받아야 하기 때문에 시간적, 비용적 제약이 따른다. 따라서 전문적인 기술력과 고비용 필요한 부품인 만큼 우진산전에서 자체 개발하는 것보다는 전문적인 국내 엔진 제조사에서 상용화 된 제품을 향후 사용하는 것으로 검토할 계획이다.

(사) 도어

바이모달 트램 실용화 기술개발 차량에 적용된 도어는 Ventura사의 플러그인 타입 도어이다. 플러그인 타입 도어의 특징은 도어가 바깥으로 나와 미끄러지며 좌우 양쪽으로 슬라이딩 되어 열리는 방식이다. 차내 승객거주공간을 방해하지 않고, 안전하다는 장점이 있다. 도어는 승객의 승하차시 안전을 위한 안전 기능들도 포함되어 있다. 끼임이 발생되었을 때 자동으로 열려야 하며, 고장 및 사고시에 수동으로 개폐가 가능해야 한다. 또한 차량이 속도가 일정 이상이 되면 문이 열리지 않도록 해야 한다. 안전 기능 등과 같은 제어 시스템은 차량의 VCU와 CAN통신을 통해 도어의 상태와 차량의 상태 정보를 서로 주고받아야 정상적으로 동작할 수 있다. 이러한 기술적인 지원이 요구되지만, 바이모달 트램은 도입부품을 적용하여 해외 엔지니

어들의 지원을 받아야 하였기 때문에 시간과 경제적인 소모가 컸다. 현재 차량 제작사에서 도어의 자체개발은 힘들기 때문에 국내 표준 부품 적용할 필요성이 있다. 국내 표준 부품을 사용하게 되면 빠른 기술적인 지원과 보다 낮은 부품단가로 인한 경제적인 장점을 취할 것으로 기대된다.

제2절 실용화를 위한 해결과제

안전인증 및 환경인증을 통하여 차량의 성능을 검증하였고, 내구성 테스트를 통하여 차량의 안전성을 확인하였다. 하지만 도로주행을 통한 내구성 테스트 과정에서 여러 가지 문제점이 나타났다. 내구성 테스트를 진행하여 꾸준한 성능 개선을 하고, 양산설계로의 반영이 필요하다.

1. 첨두시 및 비첨두시 수송수요 변화 등을 고려한 분석

대도시권의 교통특성을 살펴보면 주로 오전 및 오후 첨두에 해당하는 출퇴근시간에 버스를 비롯한 대중교통 이용이 집중되며, 그 외의 비첨두 시간에는 상대적으로 이용객 수가 적다. 특히 수도권의 경우에는 이와 같은 현상이 두드러지게 나타난다.

현재 수도권은 점점 광역화되고 있으며, 통근거리 또한 증가하고 있는 실정이다. 따라서 기존 버스차량으로는 이러한 출퇴근 수요를 감당하기 어려운 실정이며, 이에 따라서 기존 버스차량에 비해서 수송 능력이 우수한 버스의 도입이 시급하다. 이와 같은 수도권 출퇴근 교통 문제 해결을 위하여 광역 이층버스가 시범운행 중에 있으며, 대용량 수송능력으로 인하여 이용자들에게도 긍정적인 평가를 얻고 있다.

이처럼 현재의 버스차량으로 첨두시 출퇴근 수송수요를 감당하기 어려운 지역에서는 바이모달 트램과 같은 대용량 버스차량의 도입이 필요할 것으로 예상된다.

첨두시와 비첨두시에 수송수요의 변화가 비교적 큰 지역의 경우 비첨두시 바이모달 트램을 운행할 때 기존 버스차량에 비해서 운행비용이 과다하게 소요될 가능성이 있다. 따라서 첨두시와 비첨두시의 수송수요 차이가 적고, 상시 이용자가 많은 지역의 경우 바이모달 트램의 도입이 효과적일 것으로 예상된다.

첨두시와 비첨두시의 수송수요 차이가 비교적 큰 경우에도 기존 버스차량과 바이모달 트램을 혼용하여 운행할 경우 출퇴근 수요를 효과적으로 처리할 수 있으며, 비첨두시 차량 운행비용을 상당 부분 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

이처럼 바이모달 트램은 첨두시와 비첨두시의 수송수요의 변화가 큰 지역과 작은 지역 모두 효과적으로 운영될 수 있을 것이다. 하지만 수송효율 향상 및 운행비용 절감을 위해서는 첨두시와 비첨두시에 대한 정확한 수송수요 예측이 선행되어야 하며, 이를 통한 적정 운행 대수 산정이 필요할 것으로 판단된다.

2. 대도시 대중교통체계 내 활용 방안

바이모달 트램 도입을 위한 전략 부분에서 기존 대도시 간선버스 대체를 포함한 새로운 활용방안 등을 보완하고자 본 연구에서는 서울시 특정 구간에 바이모달 트램을 투입하였을 때 발생하는 영향을 미시교통시뮬레이션 모형을 이용하여 분석하였다.

미시교통시뮬레이션 모형을 이용하기 위해서 바이모달 트램이 원활하게 운행할 수 있는 중앙버스전용차로구간인 일부 구간내의 주요 교차로 및 가로에 대해 기하구조, 교통량, 교통신호운영자료, 버스 운행 자료를 수집하여 미시교통시뮬레이션 모형인 VISSIM을 이용하여 구축하였다.

바이모달 트램 투입에 대한 영향을 분석하기 위해 바이모달 트램 운영 시나리오를 모든 노선이 버스인 현황과 한 노선을 바이모달 트램으로 대체하는 대안1로 구성하였다. 또한, 각 시나리오에 일반차량 교통량 및 버스 배차간격에 값에 변화를 주어 시뮬레이션을 수행함으로써 각 대안이 교통량 변화에 얼마나 더 효과적으로 적응 하는지를 살펴보았다.

미시교통시뮬레이션 모형인 VISSIM은 다양한 효과척도(MOE)를 산출 할 수 있다. 본 연구에서는 일반 버스와 바이모달 트램이 대도시 가로에 미치는 영향을 분석하기 위해 네트워크 평균차량지체(초/대)와 네트워크 평균속도(km/h), 지점평균속도(km/h)를 이용하였다.

미시교통시뮬레이션 모형을 분석하여 산출된 네트워크 평균차량지체와, 네트워크 평균속도를 현황과 비교한 결과, 전체적으로 바이모달 트램을 투입하였을 경우 발생하는 네트워크 파급효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 지점별 평균속도 및 대기지체 비교 결과, 바이모달 트램을 투입하더라도 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 하지만 특히 혼잡하고 승하차 인원이 많은 정류장을 포함한 구간에서는 대안1의 평균 속도와 평균대기지체가 현황에 비해 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

분석결과를 종합하면 혼잡한 정류장에서 승하차 인원이 많은 버스노선을 바이모달 트램으로 변경할 경우 바이모달 트램의 특징인 신속한 이용자(장애인 포함) 탑승으로 인하여 바이모달 트램의 정차시간을 단축할 수 있으며, 이러한 정차시간 단축을 통하여 전체적으로 버스전용차로 및 일반차로의 이동성(mobility)을 개선할 수 있다. 하지만 버스전용차로가 단절된 구간에서는 바이모달 트램의 크기로 인해 일반차량과의 상충이 커지고, 이로 인해 이동성이 저하될 수 있음을 확인하였다.

결론적으로 바이모달 트램은 전체적으로 버스전용차로의 이동성을 향상 시킬 수 있으며, 대도시 간선버스가 버스전용차로를 이용하는 경우 바이모달 트램으로 대체시 이동성을 향상 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3.「바이모달 트램 잠정지침」수정 보완

대도시권의 광역교통난 해소와 대중교통 이용 활성화를 위한 간선급행버스체계(BRT) 구축 사업의 원활한 추진을 위하여 2006년 12월 「간선급행버스체계(BRT) 설계지침」(건설교통부, 2006)이 제정되었으며, 2010년 개정을 거쳐 2016년 「간선급행버스체계의 건설 및 운영에 관한 특별법」제17조 1항 및 「대중교통의 육성 및 이용촉진에 관한 법률」제2조 제5호에 의거하여 「간선급행버스체계시설의 기술기준(국토교통부 훈령 제739호)」이 개정되었다.

「간선급행버스체계시설의 기술기준(국토교통부 훈령 제739호)」에서는 BRT 도입을 위한 일반사항, 도로, 환승시설, 운영관리시스템에 대하여 기준을 제시하고 있다.

일반사항에서는 기본적인 고려사항, 시설계획 및 설계절차, 시설 유형 및 운영 기준, 등급기준, 차량, 서비스 및 운행 기준, 브랜드 구축 등과 관련한 사항에 대하여 기준을 제시하고 있다. 도로에서는 주행로, 정류장, 진출입부 연결로, 교차로, 부속시설(전용톨, 교통안전 및 교통관리 시설), 포장, 유지관리와 관련된 사항을 규정하고 있으며, 환승시설에서는 시설 설계 및 처리 방안을 제시하고 있다. 마지막으로 운영관리시스템에는 운영센터를 비롯한 운행관리 및 정보안내 시스템, 요금징수 시스템, 단속 시스템 등 BRT 운영과 관련된 전반적인 내용을 포함하고 있다.

「간선급행버스체계시설의 기술기준(국토교통부 훈령 제739호)」에서는 BRT 시스템에 적합한 차량에 대해서 전용차량에 대한 전반적인 가이드라인을 제공하고 있으며, 전용차량의 종류는 일반형과 신교통형으로 구분되어 있다. 이 중 신교통형 전용차량은 국토교통부장관이 정하여 고시하도록 되어 있다. 바이모달 트램의 상용화를 위해서는 신교통형 전용차량 지정을 위한 절차 확인이 필요하며, 이를 통해서 바이모달 트램을 신교통형 전용차량으로 지정해야 한다. 또한 바이모달 트램의 운행 여건을 감안하여 현행 기술수준에 대한 기준을 바이모달 트램의 운영이 가능하도록 수정 및 보완할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4. 지속적인 내구성 시험을 통한 바이모달 트램 차령 연장

본 연구에서 개발된 바이모달 트램은 체계적인 내구성시험을 통해서 다양한 형태의 차량 오류 및 문제점을 발견하였고 이에 대한 차량개선사항을 도출한 바 있다. 하지만, 본 과업이 종료된 후라도 지속적인 내구성 시험을 통해서 본 연구의 수행 기간 동안 발견하지 못한 문제점이 있으면 지속적으로 개선할 필요가 있다. 또한 본 연구를 통해서 축적된 내구성 시험 자료를 바탕으로 향후 바이모달 트램 차령 연장을 체계적으로 추진할 필요가 있다.

제6장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

바이모달 트램의 실용화를 위해 본 연구를 통해서 개발된 대표적인 실적은 다음과 같다.

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Study on the Feasibility of Introducing Bimodal Tram	EASTS	바이모달 트램 소개 및 장단점 및 도입효과를 해외에 소개	동아시아 교통학회		2015.09.11	사사 미표기	
2	논문	행복도시 BRT 이용현황과 시민 만족도 조사	대한교통학회	BRT 고객의 요구사항 및 개선방안 제시	춘계 대한교통학회 학술대회		2016.02.19	단독사사	
3	논문	BRT 신교통수단 도입을 위한 법·제도 개선 방안에 관한 연구	대한교통학회	신교통수단 도입을 위한 법제도 개선방안 제시	춘계 대한교통학회 학술대회		2016.02.19	단독사사	
4	논문	GAO Report/BRT Standard Scoring을 이용한 BRT 평가에 관한 연구	한국ITS학회	국제 BRT 평가기준 검토 및 발전방향 제시	춘계 ITS학회 학술대회		2016.4.29	단독사사	
5	논문	AHP를 이용한 행복도시 BRT 신교통수단에 관한 연구	한국ITS학회	신교통수단 전문가 AHP 수행 및 수단 선호도 평가 수행	춘계 ITS학회 학술대회		2016.4.29	단독사사	
6	논문	바이모달 트램 개발을 위한 차량 제어 장치(VCU)의 하드웨어 시스템 설계 및 적용	2015년도 한국철도학회 춘계학술대회	바이모달 트램 개발 과정에 적용한 VCU기술 설계 및 적용	2015년도 한국철도학회 춘계학술대회		2015.5.21		
7	기타	바이모달 트램 실용화 개발차량	㈜우진산전	실용화를 위한 차량 안전인증 획득	자동차 안전 연구원		2016.03.29		

제7장 참고 문헌

1. 간선급행버스체계 설계지침, 국토교통부, 2010
2. 대전광역시, 시정뉴스 (http://www.daejeon.go.kr/drh/drhStoryDaejeonView.do?boardId=blog_0001&menuSeq=1479&ntatcSeq=1075722)
3. 바이모달 트램 개발을 위한 차량 제어 장치(VCU)의 하드웨어 시스템 설계 및 적용, 우진산전, 2015
4. 세종시 광역권 지방대중교통계획(2013~2016), 세종특별자치시, 2013
5. 세종특별자치시(행정중심복합도시) 대중교통체계 수립 연구, 행정중심복합도시건설청, 2011
6. 신에너지 바이모달 저상굴절차량 운영시스템 기반기술 개발 연구보고서, 국토교통부, 2007
7. 신에너지 바이모달 저상굴절차량 운영시스템기반기술개발 연구보고서, 국토교통부, 2008
8. 신에너지 바이모달 수송시스템 개발 연구보고서, 국토교통부, 2009
9. 신에너지 바이모달 저상굴절 차량 개발, 국토교통부, 2010
10. 신에너지 바이모달 저상굴절차량개발 연구보고서, 국토교통부, 2008
11. 신에너지 바이모달 저상굴절차량개발 연구보고서, 국토교통부, 2009
12. 신에너지 바이모달 수송시스템 개발 연구보고서, 국토교통부, 2010
13. 신에너지 바이모달 수송시스템 개발 최종보고서, 국토교통부, 2013
14. 행복도시 BRT 이용현황과 시민 만족도 조사, 아주대학교, 2016
15. 행복도시 BRT 운행 신교통수단 도입방안 연구, 행정중심복합도시 건설청, 2015
16. AHP를 이용한 행복도시 BRT 신교통수단 선정에 관한 연구, 아주대학교, 2016
17. BRT 신교통수단 도입을 위한 법·제도 개선방안에 관한 연구, 아주대학교, 2016
18. DC-AC Auxiliary Inverter, SIEMENS, 2012
19. e-Bus 배터리 팩 사양서, 피엠그로우, 2014

20. EIA Annual Energy Outlook 2009

21. Economic Valuation of the Bimodal Tram, 아주대학교, 2015

22. ELFA2 Traction Inverter, SIEMENS, 2014

23. GAO Report / BRT Standard Scoring을 이용한 BRT 평가에 관한 연구(세종특별자치시를 중심으로), 아주대학교, 2016

24. Generator 1FV5168-8WS24, SIEMENS, 2012

25. Installation Instructions Process and Dialogue Module PDM360NG, ifm, 2014

26. Motor 1DB2022-1N06, SIEMENS, 2015

27. 신교통 바이모달 트램의 도시규모별 도입타당성 분석, 한국철도학회논문집, 2009

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구보고서입니다.

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

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.