

# 바이모달 트램 운영인프라 기술개발 및 활용방안

## The Development status of technology and efficient utilization of operational and infrastructure elements for Bimodal Tram

윤희택†  
Hee-Taek Yoon

박영곤\*  
Young-Kon Park

목재균\*  
Jai-Kyun Mok

### ABSTRACT

Recent increases in the road and rail infrastructure, but the urban traffic problems such as accidents, congestion are increasing. The reason is that the high cost and lack of accessibility of railway transportation, the low quality of road services, and efficient transport links, etc.. The developments of a variety of policy and technical means are being performed to solve these problems. Among them, the Bimodal Tram which is combined low-cost of bus and high service quality of railway transportation is attracting attention.

In this paper, the development status of technology and efficient utilization of operational and infrastructure elements for the operational efficiency, safety and passenger comfort of Bimodal Tram is studied.

### 1. 서론

최근 도로와 철도의 인프라는 증가하고 있는 반면, 사고, 혼잡, 정체 등 도심지 교통문제는 날로 증가하고 있다. 여기에는 철도의 높은 비용과 접근성 부재, 도로의 질 낮은 서비스, 그리고 효율적 연계교통 수단 부족 등 여러 가지 요인이 있으며, 이를 해결하기 위한 여러 가지 정책적, 기술적 수단들이 개발, 시행 중에 있다. 이 중에서 최근 바이모달 트램과 같이 철도와 버스의 장점을 결합한 저비용·고품질의 신교통수단이 부각되고 있다.

바이모달 트램은 버스의 경제성과 유연성, 철도의 정시성을 결합한 신교통수단으로 저렴한 인프라 비용 대비 자동운전 및 정밀정차, 수평승하차, 고품질의 승차감, 접근성과 같이 도시교통 환경 측면에서 고품질의 대중교통 서비스를 제공함으로써 도시 규모와 수송수요, 지역적 특성 등에 따른 다양한 사회적 요구를 해소하는데 기여하게 될 것이다.

바이모달 트램의 운행 효율성과 안전성, 승객편의성을 보장하기 위해서는 고품질의 차량과 운영관리 시스템, 전용선로, 정거장 같은 운영인프라 요소의 적절한 도입과 조합이 필요하다. 바이모달 트램 운영관리시스템은 차량, 운전자, 승객, 인프라의 실시간 감시와 제어를 통한 운행 효율과 안전성을 극대화하고, 승객 편의를 보장하며, 정거장은 승객의 전체 이동시간 중에서 차량과 함께 가장 많이 머무는 곳으로서 단순한 승하차 공간만이 아닌 전체 서비스 품질을 결정하는 중요한 요소이다. 전용선로는 자동운전을 통한 정시성 확보를 위한 필수 요소이며, 사업비의 대부분을 차지하는 비용의 결정 요소일 뿐만이 아니라 승차감, 도심지 미관 등을 좌우한다.

본 연구에서는 이상과 같이 바이모달 트램의 운행 효율성, 안전성, 승객 편의성을 보장하고, 비용, 도시미관 등을 결정하는 운영 및 인프라 요소의 개발 현황과 효율적 활용방안에 대하여 알아보았다.

† 정희원, 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단, 책임연구원  
E-mail : htyoon@krri.re.kr  
TEL : (031)460-5383 FAX : (031)460-5024

\* 정희원, 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단, 책임연구원

## 2. 운영·인프라 기술개발

바이모달 트램은 철도의 운행특성을 기반으로 하지만, 운영 및 인프라 요소를 결합하여 정시성 등 서비스 질을 향상시킨다는 점은 간선급행버스체계(BRT)와 유사한 특징이라고 할 수 있다. 즉 바이모달 트램은 차량, 전용선로, 통행권을 보장하기 위한 교차로, 요금지불방식, 정거장, 운영관리시스템 등 각종 운영 및 인프라 요소의 결합정도에 따라 서비스 수준과 비용이 결정된다. 즉, 적절한 운영 인프라 요소의 개발과 적용을 통하여 70~80% 이상을 차지하는 전체 도입 비용을 절감할 수 있으며, 운행효율 향상, 사고 방지, 승객 편의 향상 등을 기대할 수 있다.

이러한 이유로 최근 BRT나 바이모달 트램을 도입하거나 운영 중인 네덜란드, 프랑스, 남미 여러 국가를 중심으로 도입과 운영비용을 줄이고, 서비스 수준을 향상시킬 수 있는 운영 및 인프라 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내에서는 국가R&D사업을 통하여 차량을 비롯하여 전용선로, 고가구조물, 정거장, 운영관리시스템, 전용신호시스템 등 관련 기술을 개발하여 신뢰성 제고를 위한 시험평가를 수행 중에 있다. 여기서는 주요 운영 인프라 요소인 전용선로와 고가구조물, 정거장, 운영관리시스템에 대한 개발현황과 활용방안에 대하여 알아보하고자 한다.

### 2.1 친환경 전용선로

전용선로는 도입비용의 가장 큰 부분을 차지하며, 통행권 보장을 통한 정시성 확보를 위해서도 매우 중요하다. 전용선로를 개발할 경우에는 공용기간 중 통과하는 차량의 주행과 하중특성, 노상토의 환경영향, 시공성, 공사비용, 환경성 등을 종합적으로 고려하여야 한다.

바이모달 트램 차량은 일정한 주행면을 따라 자동 주행하며, 차량 중량은 25.7ton, 축중은 6~10ton 정도이다. 차량하중이 일정한 포장면에 반복적으로 작용함으로써 포장면의 소성변형이 발생할 가능성이 크며, 이로 인하여 마그네틱바의 탈락과 소성변형으로 인한 포장면의 유지보수 주기 등을 고려하여 콘크리트 포장형식을 채택하였다. 콘크리트 포장면의 폭은 차량의 횡방향 주행오차(20cm)와 차량하중으로 인한 파손, 차선이탈을 방지하기 위한 여유를 고려하였다. 콘크리트 포장형식은 콘크리트 슬래브가 보구조로 작용하여 차량하중을 직접 지지하는 구조로 구조안전성, 내구성, 시공성 등을 고려하여 단면 두께를 결정하였다. 콘크리트 포장으로 인한 차량 주행소음 감소, 열섬효과와 저감을 위한 방안으로 주행면을 제외한 나머지 노면공간에는 잔디식재를 통한 녹지 공간을 조성하였다. 이 외에도 철근에 의한 자기장의 간섭문제 등을 고려한 배근방안과 향후 시험평가를 통한 최적단면의 산정을 위하여 테이퍼와 직단면 형식, 그리고 분리단면 형식을 개발하였다. 급속시공을 통하여 도심지 교통혼잡을 최소화하기 위한 프리캐스트 콘크리트 슬래브 포장의 1 section의 길이는 운반성을 고려하여 6m로 하였다. 프리캐스트 콘크리트 포장단면의 시공단차를 줄이기 위한 방법으로 에어백 시공법을 개발하여 적용하였다.

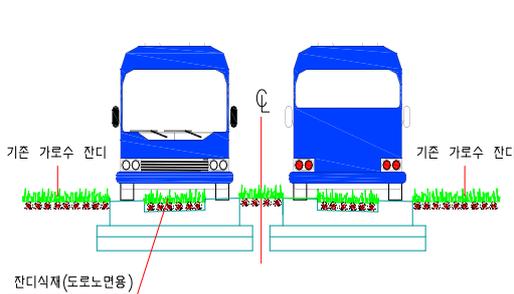


그림 1. 친환경 전용선로

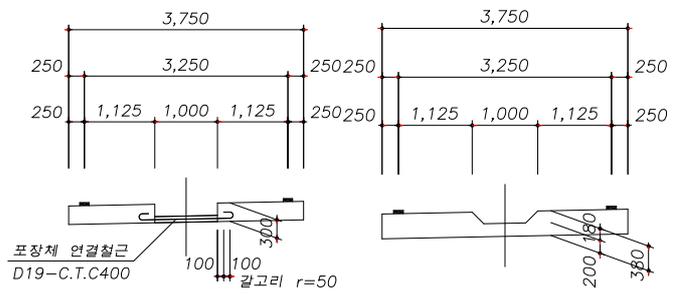


그림 2. 친환경 전용선로 단면

## 2.2 고가구조물

고가구조물은 바이모달 트램 통행권 확보를 위한 중요한 요소이지만, 조망권 저해, 공사에 따른 혼잡 등으로 인한 민원으로 시공상 어려움도 있다. 현재 시공되는 고가구조물은 대부분 PSC 거더교, 프리플렉스 거더교, 강합성 판형교 및 강합성 박스거더교 등이며, 대부분 폐쇄형 상부구조로 조망권을 침해하고, 도시미관을 저해한다는 의견이 지배적이다. 이에 따라 독일 등 선진국을 중심으로 도시미관을 향상시키고, 시공 및 유지관리가 용이한 다양한 형식의 고가구조물을 개발하여 적용하고 있다.

바이모달 트램 고가구조물은 바이모달 트램 이미지와의 부합성, 도시미관, 시공성, 경제성 등을 고려하여 하이브리드 강관 트러스 합성형으로 결정하였다. 강관 트러스 합성형 교량은 강관 트러스 주형과 바닥판을 결합한 형식으로 기존의 강합성형 교량에 비해 기술적인 면에서 혁신적인 형태이며, 간결함과 투시성이 우수하여 산악, 하천 등의 자연경관과 조화를 이룰 수 있는 장점이 있다.

상부구조는 차량하중의 크기를 고려하여 일반 도로교보다 슬림화하거나 거더 개수를 줄일 수 있다. 또한 마그네틱 센서에 의한 자기 유도되는 차량의 운행 특성을 고려하여 차량 축 하중이 재하되지 않는 비구조 슬래브 부를 제거한 구조(Block Out 또는 Open Type)로 하였다. 슬래브의 비구조 부분을 제거하는 경우, 합성형 교량의 슬래브 사하중이 지배적인 요인을 고려할 때, 이를 경감시킴으로서 보다 경제적인 교량설계를 가능케 한다.



그림 3. 강관 트러스 합성형 교량  
(Korntal-Munchingen Bridge, 독일)

## 2.3 무인 운영방식의 스마트 정거장

정거장은 차량과 함께 승객이 가장 오랜 시간 머무는 공간으로 전체 시스템의 서비스 품질을 좌우하며, 도심지 미관에도 커다란 영향을 미치는 요소이다. 기존의 쉘터형 정거장은 차량의 정밀정차 시 승객의 안전사고 우려가 있으며, 혹서기나 혹한기 시 승객에게 큰 불편을 초래하기도 한다. 승객을 대상으로 한 각종 범죄도 발생하고 있으며, 차량의 가감속으로 인해 발생하는 타이어 분진은 인체에 매우 유해한 것으로 보고된 바도 있다. 결국 정거장의 품질은 자가용 보다는 대중교통을 선택하도록 유도하는 주요한 정책수단이 되고 있으며, 이러한 이유로 국내·외 여러 국가들은 기존 쉘터형 정거장의 단점을 보완한 다양한 형태의 정거장을 개발하거나, 운용하고 있다.

바이모달 트램 정거장은 보안기술과 첨단 IT기술이 집적된 새로운 개념의 무인 운영 솔루션 정거장으로 차량 운행특성, 승객의 안전과 편의성, 운행 효율성, 시공성, 도심지 미관 등을 종합적으로 고려하여 개발하였다. 운영센터에서 정거장 내 모든 기기의 컨트롤이 가능하며, 기본 모듈은 공장에서 제작하고 현장에서는 간단한 조립과 Plug-in 방식으로 모든 전기, 통신시설이 작동하도록 함으로써 운영과 설치 비용을 최소화하고, 균일한 품질 확보가 가능하도록 하였다. 정거장 바닥면의 높이는 정밀정차 허용범위(차량진행방향  $\pm 5\text{cm}$ , 차량 진행 직각방향  $\pm 5\text{cm}$ )를 고려하여 수평승하차가 가능하도록  $320 \pm 10\text{mm}$  (플랫폼  $70\text{mm}$  포함)로 하였다. 또한 출입, 대기, 운영 공간 등 기본 모듈의 조립방법에 따라 여러 가지 크기와 형태의 제작이 가능함으로써 다양한 수요에 탄력적으로 대응할 수 있도록 하였다. 또한 그림 4와 같이 승객의 안전과 편의성을 극대화한 밀폐형, 접근성을 극대화하고, Barrier-free 방식의 개방형, 두 가지의 기능을 조합한 반밀폐형 등 다양한 솔루션을 개발하였다. 신속한 승하차를 위한 사전지불식 승차권 발매기와 개표기, 승객의 안전을 위한 슬라이딩 도어, 차량 운행정보시스템, 냉난방 공조시스템 등 다양한 편의시설을 적용하였다. 또한 정거장 전 구간 휠체어 사용이 용이하도록 하였으며, 정거장 내에 유도블럭, 점자, 문자, 음성을 통한 교통약자의 편의시설도 도입하였다.



그림 4. 다양한 형태의 바이모달 트램 정거장

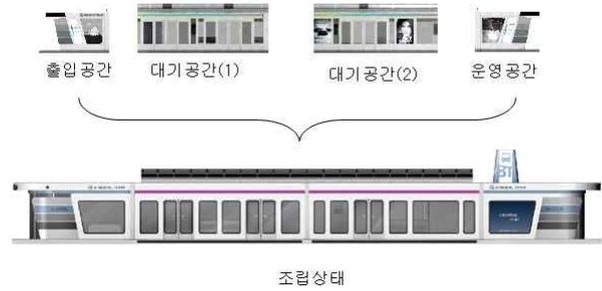


그림 5. 모듈화 조립 개요

또한 운영센터와 정거장간의 연계 네트워크를 통하여 화재 등 비상시에 실시간 안내방송을 할 수 있다. 즉, 광전식(연기)감지기를 통해서 연기가 감지되면 화재감지 컨트롤러(PFCB)에서 자동 감지하여 자가 네트워크망을 통해서 운영센터에 화재발생 정보를 전송하는 동시에 시각경보기와 음성/문자 방송을 통하여 승객에게 알림으로써 신속한 대처가 가능하도록 하였다. 대기공간 (1), 대기공간 (2)에는 기본 소화설비를 비치하여 승객에 의한 긴급 화재진압도 가능하도록 하였다.

정거장 내에 공급되는 전기를 안정적이고 효율적으로 관리하기 위하여 전자계량기, UPS, 배전반을 통해 정거장의 장비와 기기를 보호하고, 단전시에는 주요 장비에 일정시간 동안 장비에 전원을 공급함으로써 정거장 운영의 단절을 최소화하도록 하였다. 또한 정거장의 소비전력 및 전원장치의 상태정보를 실시간으로 운영센터에 제공하도록 하였다. 냉난방시스템은 실외기, 실내기 2조, 485 통신장치로 구성되고, 정거장 서버를 통해 운영센터에서 제어, 관리가 가능하도록 하였다. 또한 환기시스템은 매연에의 노출을 막아주며, 정거장내의 오염된 실내공기를 외부로 배출하거나 필터를 통하여 신선한 공기를 공급함으로써 쾌적한 실내 환경을 유지되도록 하였다.

## 2.4 운영관리시스템

바이모달 트램 운영관리시스템은 자동운전의 차량제어기능, CCTV를 통해 전 노선 및 차량, 정거장을 실시간으로 감시한다는 점에서 기존의 BMS/BIS와 차별화 된다. 즉, 시스템 구성요소를 통합 제어, 감시하고, 돌발상황 발생 시 차량 운영을 센터에서 실시간 원격 제어가 가능하다는 점에서 기존 시스템과 큰 차이점을 보인다. 바이모달 트램 운영관리시스템은 크게 통합운영센터와 정보 수집 및 제공을 위한 차량, 정거장 및 도로 정보 관리 단말과 이를 연결해주는 유무선 통신망으로 이루어진다.

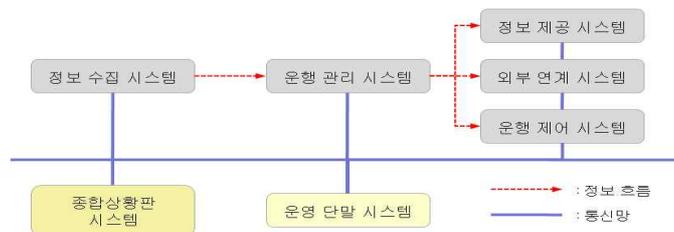


그림 6. 통합 운영 센터의 시스템 구성

운영관리시스템은 바이모달 트램의 운행 정보를 실시간 수집 가공하여 노선 별 배차정보, 운행 상태, 차량 상태, 돌발상황 등을 파악하여 실시간으로 지도상에 표시한다. 운행제어시스템은 차량 사고 등의 돌발상황이 발생할 경우 승객의 안전을 확보하기 위하여 센터에서 차량의 운영을 제어하거나, 정거장 등 관련 시설물을 제어하는 역할을 한다. 정보제공시스템은 운전자나 단말 운영자가 요구하는 실시간 데이터 정보를 제공하거나, 승객의 편의를 위하여 차량 위치정보, 도착 예정시간 등의 안내정보를 제공한다. 정보수집시스템은 선로나 정거장에 설치된 CCTV 및 센서 등을 통하여 차량과 승객, 노선 현장의 정보를 수집한다. 외부연계시스템은 관련 외부시스템의 정보를 수집하거나, 외부시스템에서 본 시스템에

정보를 요청할 경우 해당 시스템과 연계하여 정보를 제공한다. 운영단말시스템은 통합운영시스템 관리, 산출 데이터 관리, 돌발 상황 관리 등을 수행하며, 종합상황판시스템은 통합운영시스템의 모든 정보를 운영자에게 표출하는 역할을 한다. 기타 서브시스템으로는 강우와 강설 대비 재해예방시스템과 차량과 시설물 유지관리시스템 등이 있다.

## 2.5 시험선 구축

연구개발 단계 이후 현장 적용성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 전체 시스템에 대한 상용화 수준에서의 운영 시험평가가 필요하다. 시험선에서는 상용화 운영환경을 가정하여 사전적으로 시스템 설계, 구축이 이루어지며, 이후 차량에 대한 단품시험과 시스템 성능시험, 운영 및 인프라 요소에 대한 성능시험과 연계운행을 통한 시스템 성능시험이 순차적으로 실시 될 예정이다.

전용선로의 연장은 시험선 부지면적과 차량 시험속도, 자동과 수동 운행환경 등을 고려하였으며, 최적 단면의 산정을 위하여 다양한 단면형식을 설치하였다. 이 외에도 하이브리드 강관 트러스 고가구조물, 모듈형 정거장(밀폐형), 통합운영센터 1개소, 전용신호시스템, 기타 부대시설을 설치하였다. 그리고 설치된 운영 인프라 개발품의 성능평가를 위한 계측시스템을 구축하였다.

표 1. 시험선 구축 개요

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전용선로 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 면적 : 약 6,800㎡, 폭원 : B=3.75~7.0m</li> <li>- 연장 : L=1,282.1m (전용선로 : 487.67m 포함)</li> </ul> </li> <li>• 전용 고가구조물(선로형 슬래브 포함) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 교량형식 : hybrid 강관 트러스교</li> <li>- 연장 : L=16.7m, 폭원 : B=8.7m</li> </ul> </li> <li>• 모듈형 정거장(밀폐형) 1식</li> <li>• 통합운영센터 1개소</li> <li>• 전용신호시스템 1set</li> <li>• 기타 부대공</li> </ul>
---



그림 7. 시험선 개요도

## 3. 활용방안

운영 인프라 요소는 구축 및 운영비용과 서비스 수준을 결정하는 중요한 요소이며, 기존 도로를 활용하거나, 신설하는 등의 현장 여건, 수송수요, 도입, 운영비용, 운영방식, 수요자 요구 등을 종합적으로 고려하여 효과적으로 활용하는 것이 바람직하다. 전용선로와 고가구조물은 통행권 확보를 통한 정시성 확보, 비용절감, 도심지 미관 등 교통 환경적 측면, 정거장은 대기 및 승하차시 승객의 편의성과 안전 등 서비스 품질을 결정하는 요소이다. 또한 운영관리시스템은 차량, 인프라의 운영 및 유지관리, 재해 예방 및 복구 등 시스템 전반의 운영효율을 좌우하는 요소이다.

바이모달 트램은 향후 대도시의 보조간선수단, 중소도시의 간선수단으로 활발한 도입이 예상된다. 간선수단은 대용량 수단으로 정시성 확보가 매우 중요하며, 이를 위한 운영 인프라 요소의 도입이 필수적이라 할 수 있다. 차량과 운영 인프라 요소의 효율적인 결합은 비용과 운행 효율이라는 상반된 가치의 접점을 찾는 노력으로부터 가능해질 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다(06교통핵심B01).

## 참고문헌

1. “신에너지 바이모달 수송시스템 개발”, 연구보고서, 국토해양부/한국건설교통기술평가원, 2009.
2. “신에너지 바이모달 수송시스템 개발”, 기획보고서, 국토해양부/한국건설교통기술평가원, 2007
3. 이강원 외, “신개념 모듈형 스마트정거장시스템의 구축에 관한 연구”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.120-125, 2008
4. 박영곤 외, “바이모달 트램 시험선 구축에 관한 연구”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.1015-1019, 2009
5. 배을호 외, “녹색 신교통 시스템 바이모달트램의 운영을 위한 선로형 프리캐스트 콘크리트 OPEN 슬래브의 설계 및 시공”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.1003-1008, 2009
6. 엄진기 외, “신교통 바이모달 트램의 도시규모별 도입 타당성 분석”, 한국철도학회 논문집, 제12권 제6호, pp.1067-1075, 2009