

## 신에너지 바이모달 트램 기술개발



목재균



윤희택

### 1. 기술개발의 필요성

우리나라에서는 1970년대부터 지금까지 서울 및 대도시를 중심으로 꾸준히 지하철을 건설하여 왔다. 그러나 서울의 지하철은 건설 당시 부담했던 과도한 건설비와 운영적자가 큰 문제가 되었으며, 다른 대도시에서도 동일한 문제로 인하여 지하철 건설계획이 수정되거나 대체되는 사례도 발생하고 있다. 이에 따라 먼저 건설비를 줄이기 위하여 차량의 크기를 작게 하거나 편성수를 줄이고자하는 방안이 제기되었다. 차량의 크기를 작게 하면 차량의 하중부하가 작아져 토공 비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 차량 편성수 또는 길이 축소에 따른 지하역사, 정비창 및 주차시설 등의 건설비용도 대폭 줄일 수 있게 된다. 또한 차량 단면이 작아지면 지하노선일 경우 터널 단면적이 작아지는 결과로 건설비를 낮출 수 있다.

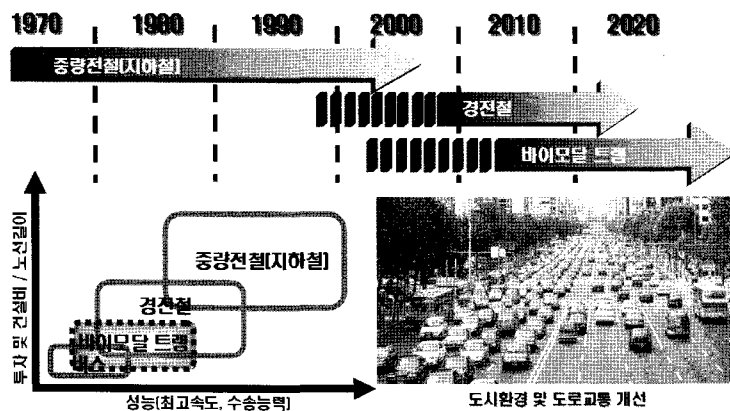
다른 한편으로는 운영비를 절약하는 방안으로서, 승무원을 대체하는 무인운전시스템과 역무설비의 자동화·무인화에 따른 인건비를 줄이는 방안이다. 이러한 목적으로 도입된 것이 AGT(Automated Guided Transit) 경량전철시스템이며, 현재 국내에서도 개발되어 시험운전 중에 있다.

목재균 : 한국철도기술연구원 바이모달수송시스템연구단, e-mail: jkmok@krii.re.kr, 직장전화: 031-460-5727, 직장팩스: 031-460-5649  
 윤희택 : 한국철도기술연구원 바이모달수송시스템연구단, e-mail: htyoon@krii.re.kr, 직장전화: 031-460-5383, 직장팩스: 031-460-5649

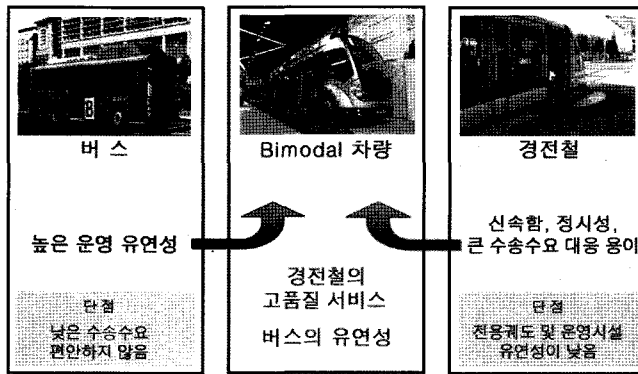
따라서 우리나라는 대도시 권역을 위하여 지하철, 경량전철 그리고 시내 버스로 대별되는 대중교통수단을 제공할 수 있는 제도와 기술을 갖고 있다.

시스템 별 수송수요에 따르면 위의 세가지 교통수단이 대중교통체계에서 요구하는 영역을 충분히 소화할 수 있어 보이지만, 자가용 수요를 위의 세가지 대중교통 수요로 흡수하여 도로교통의 완화를 기대는 어렵다. 따라서 수요의 이동(shift)을 위해서는 세가지 교통수단 사이에 존재하는 물리적인 장벽과 정보적인 장벽을 없애야 하며, 한편으로는 세가지 대중교통의 장점을 극대화 시킬 수 있는 새로운 퓨전모드의 수송수단이 필요하다.

이를 위한 퓨전모드의 대중교통 수송수단은 운영의 유연성, 승차에 편리한 접근성, 시스템 구축비용의 경제성 그리고 원하는 시간 또는 예정된 시간에 이용할 수 있는 정시성을 동시에 만족시키는 시스템이다. 이와 관련하여 버스는 대부분의 장점을 갖고 있는 반면 정시성에 한계가 있음을 알 수 있다. 문제는 정시성을 어떻게 극복하는가에 있으며, 이를 위하여 철도가 갖는 정시성의 운행체계에 버스와 유사한 시스템을 적용하는 것이 효과적일 수 있다. 그러나 현재의 버스를 그대로 적용할 경우에는 수송량, 편의성, 안전 및 정시성에 대하여 원하는 만큼의 효과를 기대하기 어렵다. 따라서 지하철이나 경량전철처럼 안전 및 정시성을 갖는 운영체계에 적합하고, 전용궤도와 일반도로를 모두 주행할 수 있는 바이모달(Bimodal: 철도모드+버스모드) 형태의 차량을 개발하여 적용할 필요가 있다. 또한 현재 운행되는



〈그림 1〉 우리나라의 대중교통수단



〈그림 2〉 버스와 트램의 합성시스템인 바이모달 트램

획일적인 구조와 차량외형을 다양한 도시미관과 잘 어울리도록 함으로써 타고 싶은 마음이 들도록 할 필요가 있다. 그리고 엔진의 배출물이 도심지 공해의 주된 원인이 되기 때문에 엔진의 배출물을 대폭 줄이거나 배출물이 없는 무공해 동력원에 의하여 구동되는 차량이 필요하다. 또한 교통약자의 승하차가 편리하도록 차량 답면을 초저상으로 하여 정거장 높이에 맞추고 지하철과 같이 정거장에 정밀하게 정차시켜 유모차, 카트 및 휠체어가 계단없이 유연하게 탑승할 수 있어야 한다.

## 2. 해외의 기술동향

해외에서도 우리의 요구사항과 유사한 차량을 개발하여 최근 들어 시험 운전 또는 영업운전을 시작하였다. 현재 유럽을 중심으로 개발된 차량은 버스를 기반으로 철도차량과 유사하게 개발된 차량과 철도차량을 기반으로 버스와 유사하게 개발된 차량으로 구분할 수 있다.

트롤리버스로부터 철도차량 형태로 개발된 것은 네델란드 APTS사의 Phileas시스템과 프랑스 Irisbus사의 Civis시스템이다. Phileas는 2량, 3량 및 4량까지를 한 편성으로 구성할 수 있으며 LPG엔진과 배터리의 하이브리드 동력원으로 구동된다. 일반버스보다 축거가 길어 도로주행에 필요한 회전반경과 정거장에서의 짧은 접안길이를 확보하기 위하여 차량을 이루는 모든 차륜이 독립적으로 조향된다. 또한 차량과 전용궤도 사이의 전자기



〈그림 3〉 해외의 바이모달 형태의 차량

안내시스템에 의하여 자동운전과 반자동운전이 가능하다. Civis는 2량 고정단위로 하며 디젤엔진-발전기에 의한 휠-인 모터로 구동된다. 앞 차륜만 조향이 가능하며 전용궤도의 페인트 마커를 고속스캔한 영상정보를 따라 반자동운전이 가능하다.

철도차량, 특히 노면전차로부터 바이모달 형태로 개발된 것은 Bombardier사의 TVR시스템과 Lohr사의 Translohr시스템이다. 이것들은 모두 전차선으로부터 전력을 공급받는 시스템이며, 회차지점 또는 차고 진출입 시의 짧은 거리에서 내장된 배터리에 의하여 운전될 수 있다. 고무차륜이지만 전용궤도 중심에 설치된 안내레일을 따라 운전된다.

이와 같은 새로운 대중교통시스템은 Bus Rapid Transit-BRT, Bus Semi Rapid Transit, Busway System, Rubber-Tired Trams, Bus Based Transitway, Rubber-Tired Rapid Transit-RT2 등으로 알려져 있다.

### 3. 기술개발사업

건설교통부에서는 교통약자에게 실질적인 대중교통이용권을 부여할 수 있고 대중교통을 활성화하여 도로의 혼잡을 완화시킬 수 있는 퓨전모드의

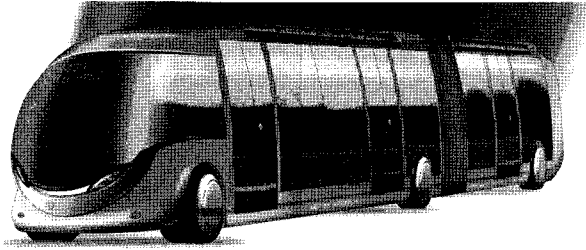
대중교통수단인 '신에너지 바이모달 트램'을 보급하기 위한 연구개발을 추진하고 있다. 먼저 바이모달 차량개발을 위하여 국가교통핵심기술개발사업을 통하여 2003년부터 2009년까지 약 430억원(정부 290억원)의 연구개발비를 투입하고 있으며, 이에 더하여 금년부터 2011까지 약 209억원(정부 182억원)을 투입하여 바이모달 트램의 운영시스템 및 인프라 요소를 개발하고 이것을 시험선에 통합하여 시연함으로써 효과를 입증하는 실증연구도 착수하였다.

사업의 추진체계에 있어서는 2006년부터 국가교통핵심기술개발사업을 분야별로 특성화시켜 연구단 형태로 추진함으로써 사업추진의 집중과 실용화를 위한 효과적인 추진체계를 갖추게 되었다. 본 사업은 국가교통핵심기술개발사업의 5개 연구단 중에서 「신에너지 바이모달 수송시스템연구단」에서 한국철도기술연구원이 주관연구기관이 되어 다수의 협동기관과 대학을 통하여 추진되고 있다.

본 사업에서 개발되는 바이모달 트램이 갖추어야 할 요구사항은 다음과 같다.

- 도시미관 및 수요자의 요구에 부합하기 위한 복합소재 차체 구현
- 전용궤도와 일반도로의 혼합형 선로에 효과적인 Bimodal 구조
- 2,500~7,000명/방향/시간의 수송력을 갖는 도시형 대중교통수단
- 추돌에 대한 안전 및 사계절 정밀정차를 위한 자동운전이 가능한 차량
- 교통약자의 승하차가 용이한 전체 길이가 초저상 구조
- 전체차륜의 독립조향에 의하여 정거장 길이가 최소가 되도록 하는 구조
- 초 저공해 또는 무공해 동력원으로 구동하는 추진시스템에 의한 주행
- 경제성과 안전성이 확보된 운영시스템(신호, 정보) 및 인프라(전용궤도, 전용정거장)
- 시험선에서의 시스템 통합과 성능 및 기능관련 효과입증
- 시스템 사양의 표준화 및 국가적 지원제도 마련을 위한 연구

바이모달 트램을 개발하기 위하여 2004년까지 차량의 개념설계, 2005년도에 차량의 기본설계 및 하위시스템에 대한 상세설계를 수행하였다. 2006년도에는 하위시스템별로 제작과 개발되지 않는 구성품에 대한 발주



〈그림 4〉 개발되는 신에너지 바이모달 트램

가 이루어 졌다. 2007년도에는 하위시스템별 시험평가를 통하여, 2008년도에는 하위시스템이 통합되어 하이브리드(엔진+2차 전지) 구동의 바이모달 트램이 완성될 것이다. 따라서 하이브리드로 구동되는 차량은 2009년도 전반부에 시험선에서 시운전을 시작하게 된다. 연료전지로 구동되는 바이모달 트램은 2009년도에 제작되어 2010년도에 시험선에서 시운전을 시작하게 된다.

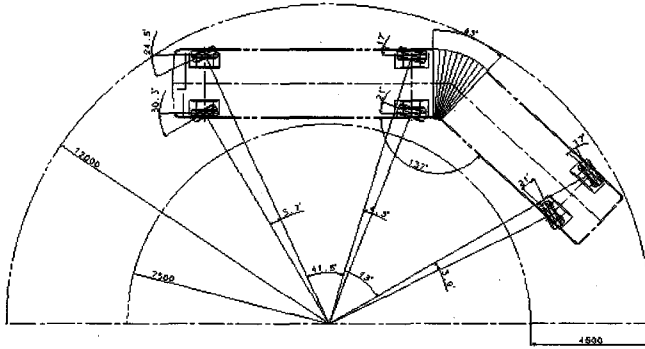
시험선에서의 시스템 통합 및 성능·기능관련 효과입증을 위해서는 2007년에 국내에 적합한 시험선 설치 지역을 선정하여 기본설계를 하여야 한다. 시험선은 바이모달 트램의 제반성능을 입증하기에 적합하여야 하며, 효과입증 후 연장 상업운영이 가능한 지역을 대상으로 우선 선정할 예정이다.

#### 1) 도시미관을 고려한 차체개발

현재의 도로교통을 이루는 주요 수송수단은 승용차와 버스이다. 이 중 버스는 운송업자의 요구사항만 고려되기 때문에 획일적인 외형과 최소한의 편의시설을 갖추고 있다. 대중교통이 활성화되려면 도심지의 환경과 노선특성을 고려하여 디자인된 차량이 필요하며, 이러한 차량은 승객에게 타고 싶은 마음이 생기게 할 것이다. 이를 위하여 최근 해외로부터 적용되기 시작한 재료가 복합소재 차체이다. 우리나라에서도 철도차량에 적용하기 위한 연구개발을 수행하고 있지만, 본 사업에서 개발되는 차량을 위한 차체로서는 고유한 설계기술과 제작기술을 개발하여 원가를 낮추고, 대중교통으로서의 안전성능을 향상시켜야 한다.

## 2) 정거장 길이를 최소화하고 정밀정차가 가능한 초저상 축 개발

대중교통은 가능한 초저상으로 이루어져야 한다. 초저상은 교통약자의 탑승을 쉽게 할 뿐만 아니라 일반 승객의 신속한 탑승을 가능하게 한다. 따라서 교통약자에게 대중교통 이용권 부여라는 국민복지 측면과 탑승시간을 줄임으로써 경영수지 개선효과를 기대할 수 있는 핵심기술이다. 일반적으로 휠을 독립적으로 회전시키는 모터(Motor)의 위치에 따라 휠-인 모터방식과 휠-아웃 모터방식이 있다. 휠-인 방식인 경우에는 특수목적의 광폭 타이어, 발열 및 스프링 하중량 부하관련 문제를 해결하여야 하며, 휠-아웃 방식인 경우에는 차량 내부공간을 축소시키는 단점을 갖고 있다. 휠-인 방식은 각 차륜의 독립적인 조향이 불가능하므로 정거장 길이 및 회전반경을 최소화하기 위하여 바이모달 트램은 휠-아웃 모터방식을 개발하여 적용하게 된다.



〈그림 5〉 최소 회전반경을 얻기 위한 차륜의 독립조향

## 3) 공해문제를 근본적으로 해결할 수 있는 동력원 적용기술 개발

대도시의 도심지 공해문제를 개선시키거나 해결하기 위해서는 대형 차량의 배출물을 줄여야 한다. 따라서 바이모달트램은 우선적으로 초저공해를 위한 천연가스 엔진과 2차 전지의 하이브리드 추진시스템이 개발되어 실용화를 위하여 적용될 것이며, 다음으로 대용량 연료전지를 천연가스 엔진과

대체시켜 무공해 동력원에 의한 대중교통시스템을 완성하게 될 것이다. 수송용 연료전지는 산업자원부와 과학기술부에서 연구개발 사업을 진행 중에 있으며, 본 사업에서는 개발된 수송용 연료전지를 우리의 차량사양에 적합하도록 대용량화하는 기술과 시스템 적용기술을 개발하여 차량에 적용하게 된다.

#### 4) 자동운전이 가능한 전자기 안내시스템 개발

대중교통이 정시성을 확보하기 위해서는 전용궤도로 주행하는 것이 필수적이다. 또한 전용궤도의 건설비는 가능한 저렴하여야 경쟁력이 있다. 건설비는 추돌에 대한 안전을 확보하는 조건하에 전용궤도의 폭이 작을수록 낮아질 수 있다. 이것을 위하여 필수적인 것이 자동운전과 이것을 위한 안내시스템이다. 일반도로와 전용궤도를 주행할 수 있는 바이모달 트램을 위한 안내시스템은 광학적인 방법과 전자기적인 방법이 있다. 눈과 비가 많고, 때로는 페인트 마커를 인식하기 어렵게 할 수 있는 장애물(낙엽 등) 출현이 잦은 조건에서는 전자기적인 방법이 적합하므로 개발되는 차량에는 자석마커의 인식으로 자동운전이 가능한 안내시스템을 적용하게 된다.

### 4. 기대효과 및 적용성

본 사업에서 개발되는 바이모달 트램은 노면의 전용궤도에서 지하철 수준의 표정속도를 달성할 수 있다. 또한 부득이한 경우 기존도로를 주행함으로써 접근성을 크게 향상시킬 수 있고, 시스템 구축비용을 대폭 줄일 수 있다. 기존도로에서도 우선신호체계와 연동시키면 신속한 도로 대중교통 서비스를 실현할 수 있다. 수송능력 측면에서는 경량전철과 버스의 중간 규모의 수송수요에 대응할 수 있다. 바이모달 트램은 정거장에서의 정밀정차를 통하여 유모차 및 쇼핑카트의 탑승 및 하차가 편리하므로 지금까지 짧은 거리의 대규모 쇼핑몰이나 의료센터에 대한 자가용 승객을 대부분 수용할 수 있다. 차량은 전자기 안내방식에 의하여 자동운전이 가능하므로 비교적 좁은 전용도로에서 운행가능 하므로 그 만큼 도로 이용효율을 높일 수 있고 건설비도 절약할 수 있다. 또한 자동운전에 따른 악천후 시의 추돌사고를 예방



할 수 있다. 또한 바이모달 트램은 초저공해 수단인 하이브리드 동력에 의하여 구동되거나, 무공해 동력원인 연료전지에 의하여 구동되므로 도심의 디젤매연을 원천적으로 차단하여 쾌적한 도시 생활환경을 조성할 수 있다.

우리나라의 대부분의 신도시 건설은 대중교통이 전무한 상태에서 대중교통에 대한 중장기 계획이 없이 주민의 수송수요에 따른 노선버스를 운영해 왔으며, 대용량 고품질 대중교통인 지하철에 대한 서비스는 입주 후에도 10년 이상 소요되었다. 또한 장기간의 건설기간에 따른 막대한 혼잡비용뿐만 아니라 노선을 지나는 도시 인프라를 다시 건설할 정도의 노력과 추가비용이 요구되어 왔다. 그러나 바이모달 트램은 도시계획 당시 대중교통계획에 반영되기만 하면 1~2년 내의 빠른 기간에 시스템을 구축하고 입주와 동시에 대중교통 서비스가 가능하다. 비용측면에서는 노면전차 구축 비용의 30~40% 정도로도 고품질 트램수준의 서비스를 제공할 수 있다.

현재까지 바이모달트램의 실용화 전초기지로는 화곡-청라 노선, 송도 정보화신도시 및 연기 행정중심복합도시가 시기적으로나 첨단 정보화를 추구하는 지역의 개발특성 측면에서 가능한 지역으로 검토되고 있다.