

신교통 바이모달트램의 도시규모별 도입타당성 분석

The Feasibility Studies for Introducing Bimodal Tram System Based on Urban Scale

엄진기[†] · 성명준* · 김현웅* · 이준**

Jin Ki Eom · Myoung Joon Sung · Hyunwoong Kim · Jun Lee

Abstract The Bimodal Tram being developed in Korea is a new transit system that provides both benefits of rail and bus systems in terms of accessibility and fixed time schedule. This study accomplished a feasibility study for introducing the Bimodal Tram system by considering the travel demand and existing transit system at a city level based on its population. The feasibility of Bimodal Tram system varies depending on cities with respect to demographic scale, mode shares, and operational distances. The strategies introduced here will help any cities where transport agencies are trying to introduce the Bimodal Tram as a new transit system.

Keywords : Bimodal Tram, Economic Analysis

요 지 현재 국내에서 개발 중인 바이모달트램은 철도의 정시성과 버스의 접근성 등의 장점을 합친 신교통수단으로서 국내 도입에 따른 대중교통체계의 변화가 예상된다. 본 논문에서는 바이모달트램의 국내 도입전략에 대하여 도시 규모별 교통수요 및 노선의 특성을 고려한 도입전략에 대하여 분석하였다. 지자체별로 다양한 교통 및 대중교통체계가 존재하고 재정적 여건 등 도입여건이 다양함으로 바이모달트램을 일반적으로 적용할 수 있는 정책적 방안을 경제성 분석을 통하여 제시하였다. 본 논문의 결과는 지하철/경전철을 도입하려는 지자체의 재정적 부담을 덜고 경전철에 준하는 수송력과 친환경성을 갖춘 바이모달트램의 도입을 검토하는데 효과적일 것으로 판단된다.

주 요 어 : 바이모달트램, 경제성분석

1. 서 론

대중교통 수단으로서 철도는 철도역까지의 접근성 불편, 속도경쟁력 미비, 환승의 불편함, 승객서비스 저하 등 다양한 이유로 높은 친환경성에도 불구하고 그 동안 교통체계에서 차지하는 비중이 높지 않은 현실이다. 그러나 국가 교통정책의 패러다임이 ‘저탄소 녹색성장’ 및 ‘지속가능 발전’이라는 주제로 전환됨에 따라 철도를 포함한 친환경적인 대중교통 수단의 도입이 탄력을 받을 전망이다.

특히 지속적으로 증대될 교통혼잡 및 배기가스에 의한 환경오염 저감을 위한 대중교통활성화 정책의 일환으로 기

존 철도 및 버스의 단점을 보완하고 친환경적이고 비용효율적인 새로운 신교통수단의 도입이 필요한 시점이다. 현재 연구 개발중인 바이모달트램 시스템은 철도의 정시성과 버스의 유연성을 갖춘 시스템으로서 도입시 도시내 대중교통체계에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 본 논문에서는 신교통수단인 바이모달트램 도입을 위한 대중교통수단으로서의 기능 및 역할을 검토하며 바이모달트램의 도시규모별 도입방안을 검토하는데 연구의 목적이 있다.

2. 바이모달트램의 대중교통 위상

2.1 바이모달트램의 특성

바이모달트램은 CNG-하이브리드 구동방식으로 2량편성(18m)과 3량편성의 두가지 형태가 있어 수송수요에 탄력적인 대응이 가능한 수단이다.

[†] 정회원, 한국철도기술연구원, 철도교통물류연구소
TEL : (031)460-5467 FAX : (031)460-5021
E-mail : jkom00@krii.re.kr

* 한국철도기술연구원, 철도교통물류연구소

** 정회원, 한국철도기술연구원, 철도교통물류연구소

바이모달트램은 쾌적성, 안전성, 환경성, 에너지절감, 효율성, 교통약자 배려 등의 사회적 요구와 경량화, 친환경 에너지사용, 전자기 유도방식, 자동제어방식의 신기술이 접목되었다. 또한 트램의 장점인 정시성, 환경성, 에너지절감, 궤도운행에 의한 안전성, 대량수송 용이성과 버스의 장점인 경량성, 접근성, 유연성 등을 모두 채용하고 있다. 이러한 특성과 더불어 일반도로 및 전용도로를 모두 운행 가능한 장점으로 인하여 대중교통수단간 환승을 줄여줄 수 있기 때문에 대중교통을 활성화하려는 정부의 필요에 대응이 용이하다.

바이모달트램 시스템은 전자기 형태 전용선로의 유도방식을 채용하고 도로상에서 버스처럼 운행하기 때문에 철도와 버스의 2개의 교통수단을 결합한 형태를 지닌다. 이미지가 버스에 가깝지만 전용도로에서 무인운전이 가능하고 편성량수를 증대시켜 수송력 확보가 용이하다. 전용도로와 일반도로를 연속하여 주행할 수 있고 CNG 엔진과 모터가 결합된 하이브리드 구동방식을 채용하는 새로운 대중교통 시스템이다. 기존의 궤도버스와는 달리 소형의 안내륜을 채택하지도 않고 차량시스템이 버스보다는 트램과 유사하기 때문에 궤도버스와도 다르다.

바이모달트램은 Dual Mode 버스와 유사한 운영형태를 지닌 대중교통시스템이라 할 수 있다. 디젤과 전기의 두가지 동력으로 운행하는 Dual Mode 버스는 1970년대에 개발되었는데, 도심 특정노선의 간선구간이나 터널구간에서 트롤리버스처럼 운행하고 이외 구간에서는 디젤버스로서 운

행되었다. 특히, 대기오염과 저소음이 요구되는 통행량이 매우 많은 도심의 구간과 전차선 투자에 비용이 많이 소요되는 저밀도 교외지역을 연결하는 통합노선에서의 운행이 가능하게 되었다. Dual Mode 버스는 시애틀에서 운영된 바 있고, 보스톤의 BRT Silver Line도 같은 방식으로 운영되고 있다. 이러한 방식은 도시교외에서는 보행자 중심지역에서 청정운영의 개념을 갖고 낮은 투자비로 통행하게 하면서 도심에서는 고투자 구간을 운행할 수 있는 장점이 있다. 그러나 Dual Mode 버스는 각 차량이 각각의 제어장치를 갖게 하여 중량화와 복잡성의 문제를 야기시켰고 결국 굴절버스 형식만이 이용되었다. 유사한 크기와 수명(15~20년)을 지닌 트롤리버스에 비해 비용이 2~3배 크다는 단점이 있다. 결국 이러한 고비용과 도심에서의 유인운전의 단점에 의해 보급이 확대되지 못하였다.

바이모달트램 또한 이러한 기술개발의 연속선상에서 개발된 도시 대중교통시스템이라 할 수 있는데 버스, LRT 및 AGT 등 경량전철, 그리고 BRT와 유사한 특성을 지니고 있다. 바이모달트램과 BRT간의 유사성은 독립된 ROW (Right of Way)를 지니고 있고 BRT의 버스전용로나 버스차선처럼 물리적 보호와 통제와 같은 기술적 요구사항이 동일하며 설치기간이 비교적 짧고 서비스 지역의 확장 정도가 유사하다. 또한 AGT와 유사한 중규모의 용량을 지닌다. 현재는 CNG를 원료로 사용하기 때문에 BRT처럼 운행노선상에서 소량의 배출과 소음이 발생한다. AGT처럼 ROW A등급의 구간에서는 완전자동운전이 가능하여 시각

Table 1. BRT 및 AGT와의 특성 비교

특성		일반버스	BRT	바이모달트램	AGT
시스템 구성	ROW	C	B(C, A)	B(A), C	A
	지지방식	도로	도로	궤도	궤도
	유도방식	운전	운전	유도	유도
	추진방식	내연기관	내연기관	하이브리드	전기
	차량제어	운전자/시각	운전자/시각	운전자/무인	무인
	차량 편성(량)	1	1	2-3	1-4
	편성 용량(명)	80-120	80-180	90-150	100-1,000
노선	노선수	다수	소수	소수	극소수
	배차간격	장/중/단	중/단	장/중/단	중/단
	정거장 간격(m)	80-300	200-600	500-1,000	250-1,000
	환승	소수	소수/다수	소수/다수	다수
시스템 특성	투자비(km당)	소	중	중	대
	운영비(인-km당)	중	중	소	소
	이미지	다양	양호	양호/우수	우수
	여객흡인력	제한	양호	양호/우수	우수
	토지이용의 효과	낮음	보통	보통	보통

표상의 예상치 못한 변화에 유연하게 조정이 가능하다.

바이모달트램과 타 수단과의 차이점은 바이모달이 추진 장치가 하이브리드 타입이어서 BRT 차량보다 성능이 우수하다. AGT는 선로가 설치되어 있는 노선에서만 운영이 가능하기 때문에 타 교통수단과 환승이 불가피한 반면, 바이모달트램은 전용로와 일반로에서 모두 운영가능하기 때문에 환승회수가 줄어든다. AGT처럼 전용터널이나 교량을 건설하지 않기 때문에 AGT 보다 초기투자비용이 매우 저렴하여 보다 많은 지역에서 유사한 서비스를 제공할 수 있으며 터널이나 고가구조물이 없기 때문에 도시교통 환경에 보다 적합하다. 또한 AGT처럼 전용로를 설치할 경우 도심지에서 접근성이 좋고 고용량 서비스를 제공해 줄 수 있다. AGT는 ROW A등급에서만 운영되지만 바이모달트램은 B 등급 내지 C등급에서도 가능하며 AGT에 비해 속도, 서비스 빈도, 안전도가 낫다.

Table 2. BRT, 바이모달트램, AGT의 특성 평가

구 분	BRT	바이모달트램	AGT
차량성능 및 여객편의성	좋음	우수함	우수함
투자비용	높음	중간 수준	매우 높음
건설기간	짧음	중간 수준	보통
운영비용	적은 승객량에 비해 적음	많은 승객량에 비해 적음	많은 승객량에 비해 적음
시스템 이미지 및 여객흡인력	좋음	중간 수준	훌륭함
대기오염 및 소음	상당함	낮은 소음수준	직접적 오염 없음 낮은 소음수준
토지개발과의 상호작용	한정됨	한정됨	상관관계 높음

2.2 바이모달트램의 대중교통 위상

새로운 교통수단이 도입되어 기존의 교통수단과 유사한 서비스를 제공하는 경우, 경쟁이 불가피하게 되고 경쟁력이 없는 교통수단은 기능이 축소된다. 그러나 성능이 다른 교통수단이 기존 교통수단과 경쟁을 하게 된다면 두 교통수단을 통한 효율적 대중교통체계의 운영이 곤란해지므로 이는 바람직하지 않다. 따라서 대중교통을 활성화하고 기존의 교통수단을 보완하는 차원에서 새로운 교통수단이 도입되어야 할 필요가 있다. 이러한 관점에서 바이모달트램 시스템은 버스와 중량전철로 위계가 양분화되어 있는 우리나라 대도시 대중교통시장과 버스만으로 이루어진 중소도시 대중교통시장에서 기존 대중교통수단과 조화로운 역할 수행을 하여야 한다.

바이모달트램은 기존 대중교통수단과 시설적, 운영적 측면에서 차이가 보이고 있다. 일반버스 보다는 성능이 향상되고, 중량전철 보다는 낮으면서도 경량전철과는 비슷한 수준의 성능을 지니고 있다. 바이모달트램은 2~3량시 차량 정원이 90~150명으로 설계되어 경량전철과 비슷한 수준을 보여주고 있다. 고무차륜을 이용하는 장점으로서 급곡선과 급구배에서도 운행이 가능하고, 기존 도로를 활용하기 때문에 노선설계에 있어 제약이 거의 없다.

바이모달트램의 대중교통시장의 위상을 정립하기 위해 대중교통수단과의 시스템적 특성인 ROW 등급, 유도방식, 견인방식, 제어방식, 차량용량별 주요 구성요소에 따라 대중교통수단별로 관계를 살펴보면 Fig. 1과 같다. 각 구성요소는 저성능에서 고성능까지 2~3 단계를 지닌다. 바이모달트램은, ROW¹⁾는 B등급이고, 지지방식은 고무차륜, 유도방식은 운전/유도, 추진장치는 CNG엔진+모터(향후 연료전지 사용), 차량제어는 유인/자동, 차량용량은 2-3량 기준(굴절차량 타입) 90~150명, 편성은 2~3량이다.[1] 일반버스가 고무차륜의 소규모 용량인데 비해, 바이모달트램은 성능이 이와 비슷하거나 향상된다. 반면, A나 B등급의 ROW를 지닌 대부분의 시스템은 유도 장치, 철제차륜(때로는 고무차륜), 전기추진방식을 지니고 차량규모와 편성수가 자유롭다.

하지만 도로부분의 운영시 차로의 잠식이나 일부교차로에서 지상구조물을 필요로 하여 BRT보다 높은 비용이 드는 단점이 있다.

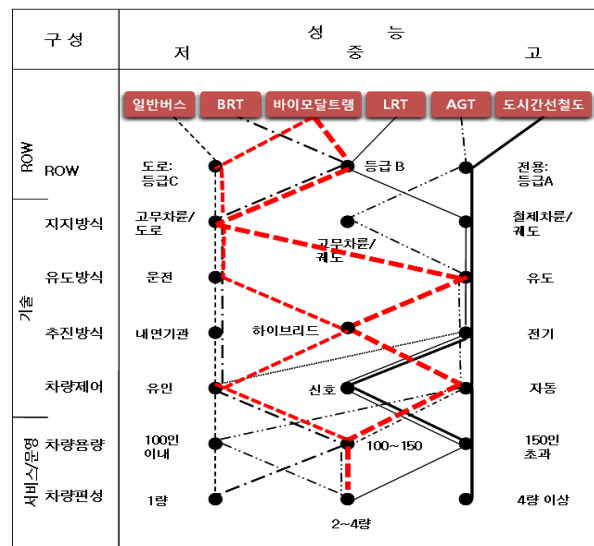


Fig. 1. 대중교통수단의 물리적 기술적 형태

1) ROW(Right-of-Way)는 구간에 대하여 통행우선권을 가지는 도로를 나타내며 A등급의 경우 모든 구간의 통행우선권을 갖으며 C등급의 경우는 시스템자체가 통행우선권을 갖지 못함.

3. 바이모달트램의 도입 적정성 분석

바이모달트램의 도입검토를 위한 방법으로는 투입된 제원과 투자효율성간의 관계를 검토할 수 있는 분석방법이 활용되어야 하므로, 사회경제적 편익을 중심으로 사업타당성분석에 활용되는 경제성분석기법 중 비용대편익비(B/C ratio) 산정을 기준으로 도입가능영역의 적정성을 개략적으로 분석하였다.

본 논문에서는 주요 분석환경을 다음과 같이 전제하여 분석을 수행하고자 하였다. 첫째, 도시지역은 동일한 개발밀도 및 교통수요를 가진 지역으로 교통수요 분포가 균등하고 토지이용상의 영향이 없는 상태로 가정하였다. 둘째, 분석시스템별 적용은 동일한 노선입지 및 통과조건을 전제로 차로축소 등의 교통영향은 없는 것으로 가정하였으며 따라서 도로교통 지정체관련 비용발생은 하지 않는다. 마지막으로 검토지역에는 분석시스템외의 다른 도시철도시스템에 대한 입지 및 계획 등이 없으며, 이에 따른 영향은 고려하지 않는 것으로 하였다.

3.1 도시규모별 분류

바이모달트램의 도입검토를 위한 도시규모별 유형을 분류하기 위해서 다음과 같은 다양한 도시특성을 고려할 수 있다.

- 도시적 요소 : 도시공간구조, 도시형태, 도시특성 및 성격 등
- 도시인구적 요소 : 인구규모, 인구밀도, 인구구조 등
- 도시교통적 요소 : 교통수요, 교통특성, 교통체계 형성 구조 등

이처럼 다양한 도시특성요소들을 중심으로 본 논문에서는 국내외 관련연구자료 등에서 일반적인 활용되는 도시규모 분류방법을 살펴보고 신뢰성 있는 자료의 수집 및 분석, 활용가능성 등을 감안하여 객관적이며 구체적인 분류기준으로 활용될 수 있는 인구규모를 적정 도시규모 분류기준으로 선정하였다. 도시규모별 유형 분류는 Table 3과 같다.

Table 3. 도시규모별 유형 분류 검토

구분	분류 기준	국내 해당 도시
도시유형I	• 인구규모 500만명 이상	서울
도시유형II	• 인구규모 200~500만명	인천, 부산, 대구
도시유형III	• 인구규모 100~200만명	수원, 대전, 울산, 광주
도시유형IV	• 인구규모 50~100만명	고양, 안양, 안산, 용인, 성남, 부천, 천안, 청주, 창원, 포항, 전주, 제주

주 : 통계청, 인구통계자료, 2007 [2]

3.2 분석항목 검토

도시규모별 도입가능영역 검토를 위한 주요 영향요소는 바이모달트램의 수송수요와 사업비, 투자효율성 등에 직접적인 연관성이 높은 항목을 검토한 결과, 도입대상지역의 교통수요, 노선 및 시스템 특성, 비용(건설 및 운영비) 등의 항목을 도출하였으며, 이를 다시 정리하여 수송분담률, 노선연장, 시스템 등 3개 영향요소를 선정하였다. 수송분담률 분류기준은 국내, 국외의 연구 자료를 검토하여 수송분담률의 최소, 최대치를 설정하여 이를 일정수준별로 세분화하여 분석하였다. 국내 도시의 인구분포 특성을 감안하여 도시유형을 인구규모에 따라서 분류를 하였으며 도시별 수단분담률을 산정하였다.

신교통시스템 시설연장과 관련하여 국내 주요 도시의 신교통시스템 도입계획자료를 검토한 결과, 시설연장 분포는 약 10.7~23.7km 수준으로 나타났으며, 평균시설연장은 약 15km 수준으로 검토되었다. 신교통시스템 및 도시철도를 현재 도입 운영중에 있는 해외도시의 경우, 일본은 평균 13.9km, 유럽은 15.8km, 미국은 18.7km으로 나타났고, 세계평균은 약 16.4km 수준으로 대체로 1개 노선이 평균 20km를 넘지 않는 것으로 검토되었다. 따라서, 본 논문에서는 평균적인 도시권내 신교통시스템 시설연장을 약 15km 수준으로 선정하고, 분석시스템의 특성 등을 감안하여 이를 상한치로 시설연장 분류기준을 하향 세분화하였다.

Table 4. 분석영향요소 분석기준

구분	분석기준
분석시스템	바이모달트램, 간선급행버스(BRT), 경량전철(LRT)
수송분담률	2.5%, 5%, 7.5%, 10% (최소, 최대분담율 적용)
시설규모(연장)	5km, 10km, 15km

3.3 분석유형별 수송수요 검토

본 논문에서는 수도권 대표도시를 선정하여 도시별 도로km당 평균통행량을 산정하여 각 도시유형별로 산정하였다. 이는 「2006년 수도권가구통행실태조사」 [3]를 통한 서울시정개발연구원에서 OD 및 Network 배포한 자료를 사용하여 EMME/3를 사용하여 수도권 Traffic Assignment한 결과를 가지고 도시내부의 통행량/km를 산정하였다. 도시유형별 결과값은 Table 3과 같다.

먼저 도시유형별 분류를 5개로 하였지만 분석한 자료가 수도권을 중심으로 한 자료이기 때문에 수도권 도시를 선정하였으며 추정된 결과는 다음과 같다.

Table 5. 분석유형 1일 가능 예측 수송수요
 (단위: 인/일)

구 분	대표 도시	통행량 /km	수송분담률			
			2.5%	5.0%	7.5%	10.0%
도시유형I	서울	36,327	908	1,816	2,725	3,633
도시유형II	인천	26,632	666	1,332	1,997	2,663
도시유형III	수원	26,319	658	1,316	1,974	2,632
도시유형IV	용인	24,787	620	1,239	1,859	2,479

3.4 분석기준 검토

바이모달트램의 도입영역검토는 경제성분석 방법론을 중심으로 비용대편익비(B/C ratio)을 중심으로 검토하며, 분석기간은 개통 후 30년을 원칙으로 동일하게 적용하였으나 초기사업기간인 설계 및 공사기간은 시스템별 특성을 고려하여 바이모달트램 3년, 간선급행버스(BRT) 2년, 경량전철(LRT) 5년을 기준으로 분석하였다.

① 평가기준 : 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 방법론 참조[4]

- 사회적 할인율 : 5.5% 적용
- 분석기간 : 개통 후 30년 (설계기간+공사기간+운영기간 30년)
- 설계기간 : BRT 1년, 바이모달트램 1년, 경량전철(LRT) 2년 전제
- 공사기간 : BRT 1년, 바이모달트램 2년, 경량전철(LRT) 3년 전제
- 설계 및 공사기간에 따라 비용투입요율 적용

Table 6. 사업의 연차별 사업비 투입율(5년)
 (단위 : %)

구 분	1년	2년	3년	4년	5년	계
공사비 투입비	5	15	25	35	20	100

주 : 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침(제4판), 2004

- 바이모달트램과 BRT는 3년은 30%, 40%, 30%로 2년은 50%, 50%로 사업비를 연도별 적용
- 일반적인 조건을 중심으로 세금 등 부가적인 사항은 미 반영
- 평가 범위 : 비용대편익비(B/C ratio) 분석범위를 고려한 영역 검토
- 경제성분석 기법 : 비용편익분석법
- 평가결과 B/C ≥ 1.0을 상회하는 영역을 기준으로, 다른 시스템간의 연계성 및 영역특성 등을 감안하여 추가적인 분석범위를 검토·반영

경제성분석에서 일반적으로 활용되는 예비비를 본 논문에서는 고려하지 않았다. 본 논문에서 활용된 시스템별 km당 사업비 자료를 정리하면 다음과 같다.

Table 7. 시스템별 km당 사업비 검토
 (단위: 억원/km)

구 분	간선급행버스(BRT)	바이모달트램	경량전철(LRT)
km당 사업비	50	200	700

주 : 기존연구를 중심으로 바이모달트램 사업비 검토

분석유형별 사업비 추정을 위한 산정식을 검토하면 다음과 같다.

- 분석유형별 사업비 = 시스템별 건설비 + 부대비
- 분석유형별 시스템 건설비 = 시스템별 km당 사업비 × 시설연장
- 분석유형별 시스템 부대비 = 시스템별 건설비 × 산정요율(3.0~4.5%)
- 분석유형별 투입요율 : 예비타당성조사 연도별 비용투입 자료 활용

3.5 분석유형별 차량구입비 추정

본 논문에서 활용된 분석유형별 차량구입비는 일반적인 시스템별 차량구입가격에 분석유형별 소요 차량수를 개략적으로 산정하여 적용하였다. 또한 시스템별 내구년한을 검토하여 운영기간중의 차량교체비용을 반영하였다.

- 분석시스템별 차량구입비 : 차량구입비는 차량운영계획 및 좌석배치, 편성수 등 운영조건과 제작사의 특성에 따라 비용의 범위가 매우 다양하므로, 국내외 관련 연구사례를 중심으로 평균적인 수치를 적용을 원칙으로 하였다.
- 분석시스템별 내구년한 : 경량전철(LRT)는 도시철도관련규정에 의거하여 내구년한을 25년으로 전제하였으며, 간선급행버스(BRT)는 도로교통관련 규정에 의거하여 내구년한을 10년으로 전제하였다.

바이모달트램의 경우, 본 논문에서는 안정적인 평가분석을 위해 도시철도보다는 도로교통관련 내구년한을 적용하였다.

Table 8. 시스템별 차량구입가격 및 내구년한 검토
 (단위: 억원/량, 편성, 년)

구 분	간선급행버스(BRT)	바이모달트램	경량전철(LRT)
차량구입가격	1.7	12.5	20
내구년한	10	10	25

주 : 현대엔지니어링, 신에너지 바이모달 저상굴절차량 시스템의 국내 도입 적용성 검토, 2008[5]

Table 9. 분석유형별 소요 차량수 산정결과 검토

(단위: 대, 편성/년)

구 분	수송 분담율	간선급행버스(BRT)			바이모달트램			경량전철(LRT)		
		5km	10km	15km	5km	10km	15km	5km	10km	15km
도시유형 I (서울)	2.5%	6	11	15	6	11	15	6	11	15
	5.0%	6	11	19	6	11	15	6	11	15
	7.5%	6	14	27	6	11	15	6	11	15
	10.0%	6	17	37	6	11	19	6	11	18
도시유형 II (인천)	2.5%	6	11	15	6	11	15	6	11	15
	5.0%	6	11	15	6	11	15	6	11	15
	7.5%	6	11	21	6	11	15	6	11	15
	10.0%	6	14	27	6	11	15	6	11	15
도시유형 III (수원)	2.5%	6	11	15	6	11	15	6	11	15
	5.0%	6	11	15	6	11	15	6	11	15
	7.5%	6	11	21	6	11	15	6	11	15
	10.0%	6	14	27	6	11	15	6	11	15
도시유형 IV (용인)	2.5%	6	11	15	6	11	15	6	11	15
	5.0%	6	11	15	6	11	15	6	11	15
	7.5%	6	11	19	6	11	15	6	11	15
	10.0%	6	13	25	6	11	15	6	11	15

분석유형별 차량구입비 산정을 위한 소요차량수 검토는 위에서 검토된 차량운영계획 수립방법을 토대로 시설 규모 및 시스템특성, 수송수요 등에 따라 다음과 같이 분석하였다.

수송수요는 도시인구 및 수송분담율을 기준으로 산정된 1일 가능 수송수요를 기준으로, 첨두율(12%)을 적용하여 첨두시 수송수요를 산정하였다.

최대혼잡구간수요는 노선계획 및 도입지역 토지이용패턴, 교통수요 등에 따라 판단되나, 본 논문에서는 일관성 있는 분석을 목적으로 첨두시 수송수요에 방향별 분포비(50%), 구간집중률(40%)를 전제로 하여 동일한 밀도로 가정하여 추정하였다.

차량운영계획은 혼잡률 150%, 운행(표정)속도 30km/시를 기준으로 산정하였으며, 첨두시 배차간격은 서비스제공 및 시스템 특성 등을 감안하여 최소 1.5분~5분 사이에서 혼잡률을 분석유형별로 적용하였다.

분석시스템별 차량 및 편성정원은 간선급행버스(BRT) 45인, 바이모달트램 90인, 경량전철(AGT) 100인을 기준으로 적용하였으며 소요차량수 산정을 위한 예비율은 약 12%를 기준으로 적용하였다. 분석유형별 소요차량수 산정 결과는 Table 9와 같다.

3.6 분석유형별 운영비 추정

본 논문에 적용되는 분석유형별 시스템별 운영비는 국내

신교통시스템 도입관련 분석사례를 검토하여 시스템별로 km당 운영비 원단위를 추출하여 시설연장 특성을 적용하였다.

간선급행버스(BRT) 운영비는 청라-화곡, 하남BRT 등 관련 운영비 산정자료를 기준으로 검토하였으며 바이모달트램은 국내 적용사례가 부족한 관계로 난곡GRT, 노면전차 국내사업 운영비 자료를 중심으로 검토하였다. 그리고 경량전철(AGT)은 국내사업의 운영비 자료를 기준으로 검토하였다. 시스템별 운영비는 노선 및 정거장 계획특성, 차량운영계획 및 운영요원계획 등 사업계획 및 도입환경에 따라 시스템별로 매우 다양하게 적용될 수 있으므로, 추후 구체적인 사업검토 적용시에는 이에 대한 추가적인 조사 및 면밀한 검토가 요구된다.

Table 10. 시스템별 km당 운영비 원단위 검토

(단위: 억원/년)

구 분	간선급행버스(BRT)	바이모달트램	경량전철(LRT)
운영비	3.3	9.2	17.6

주 : 기존연구를 중심으로 원단위 비용 산정, 시스템별 운영비는 시스템 및 노선 등 사업계획, 도입지역의 환경 등 분석 특성에 따라 상이할 수 있음.

또한 본 논문에서는 국내 관련 연구자료에서 검토된 시설연장규모에 따른 운영비용의 분포특성[6]을 바탕으로 분

석유형별 시설연장에 따라 각각 일정 보정률을 반영하여, 다음과 같은 산정식을 통해 분석유형별 운영비를 산정하여 반영하였다.

- 분석유형별 시스템별 운영비 = 시스템별 km당 운영비 원 단위 × 시설연장(km) × 연장보정률
- 시설연장별 보정률 : 5km 118%, 10km 100%, 15km 95% 적용 (관련연구사례의 운영비 특성 자료를 토대로 재산정하여 반영함)

3.7 편익추정

국내 신교통시스템 도입과 관련된 검토사례를 중심으로 편익추정을 위한 원단위를 추정하여 이를 반영하는 방법을 적용하였다. 또한, 일반적인 신교통시스템 편익을 산정할 경우, 시스템 및 도입지역의 특성에 따라 편익이 산정되는 범위가 다양하고, 같은 시스템 간에도 노선 및 운영특성에 따라 상호 다른 규모의 편익이 산정될 수 있다.

본 논문에서는 평가목적 중심을 분석시스템간의 도입 도시유형별 적정성을 일관성 있게 검토할 수 있는 범위에서 검토에 반영된 편익은 시스템별로 유사한 특성을 갖고 있는 것으로 전제하였으며, 특히, 간선급행버스(BRT)의 경우 기존의 도로구간을 공용하거나, 기존 도로구간의 차로를 축소하여 운영함으로써 일반적인 신교통시스템 도입 시 예상되는 편익 외에 추가적으로 기존 차로축소에 따른 마이너스 편익요소가 발생하기도 하는데 이를 간선급행버스(BRT)시스템 분석시 반영할 경우, 타 시스템과의 형평성 있는 분석에 제약이 있을 것으로 사료되었다.

따라서 본 논문에서는 시스템별 편익을 평균적인 개념에

서 유사 시스템의 편익의 범위를 동일한 수준으로 적용하는 것으로 전제하였다.

편익산정을 위한 원단위 추정은 국내 신교통시스템 사업 중 바이모달트램과 유사한 시스템 성격을 갖고 있는 노면전차, GRT 등의 최근 검토사례(성남 경전철, 울산경전철, 난곡GRT, 인천연수신교통시스템 등)를 조사하여, km·인당 편익추정 원단위를 산정하여 분석하였다.

- 분석유형별 편익추정 = km·인당 편익추정 원단위 (0.000793억원/km·인) × 시설연장(km) × 1일 가능 수송수요

산정된 분석유형별 편익은 개통년도부터 최종목표년도인 개통 후 30년까지 교통수요 변화가 없다는 가정 하에 동일한 편익을 반영하였으며 분석시스템별 시스템 도입특성에 따라 편익이 시스템별로 다를 수 있으나, 본 논문에서는 차로축소 등의 영향이 없다는 가정 하에서 동일한 환경을 기준으로 시스템간 상호비교를 검토하였다.

본 논문에서의 편익추정은 바이모달트램의 도입가능영역을 검토하기 위한 포괄적인 개념에서 접근하였으므로 추후 바이모달트램의 구체적인 사업적용을 검토할 경우에는 도입대상지역의 도로망체계, 수송분담률, 도로교통량 등에 대한 외부환경을 반영하여 합리적인 수준에서의 편익추정 및 분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

3.8 분석결과

분석유형별 신교통시스템의 도입가능영역을 검토한 결과를 정리하면 Table 11과 같으며 바이모달트램의 도입가

Table 11. 분석유형별 도입가능영역(B/C>1.0) 특성 검토(시설연장별 분류)

구 분	수송 분담율	간선급행버스(BRT)			바이모달트램			경량전철(LRT)		
		5km	10km	15km	5km	10km	15km	5km	10km	15km
도시유형 I (서울)	2.5%	0.45	0.99	1.52	0.13	0.28	0.43	0.05	0.10	0.15
	5.0%	0.91	1.97	3.01	0.26	0.56	0.86	0.10	0.20	0.31
	7.5%	1.36	2.93	4.43	0.39	0.84	1.29	0.14	0.30	0.46
	10.0%	1.82	3.87	5.78	0.52	1.12	1.69	0.19	0.40	0.61
도시유형 II (인천)	2.5%	0.33	0.72	1.11	0.10	0.21	0.32	0.04	0.07	0.11
	5.0%	0.67	1.45	2.23	0.19	0.41	0.63	0.07	0.15	0.22
	7.5%	1.00	2.17	3.29	0.29	0.62	0.95	0.11	0.22	0.34
	10.0%	1.33	2.86	4.33	0.38	0.82	1.26	0.14	0.29	0.45
도시유형 III (수원)	2.5%	0.33	0.71	1.10	0.09	0.20	0.31	0.03	0.07	0.11
	5.0%	0.66	1.43	2.20	0.19	0.41	0.62	0.07	0.15	0.22
	7.5%	0.99	2.14	3.26	0.28	0.61	0.94	0.10	0.22	0.33
	10.0%	1.32	2.83	4.28	0.38	0.81	1.25	0.14	0.29	0.44
도시유형 IV (용인)	2.5%	0.31	0.67	1.04	0.09	0.19	0.29	0.03	0.07	0.10
	5.0%	0.62	1.35	2.07	0.18	0.38	0.59	0.07	0.14	0.21
	7.5%	0.93	2.02	3.08	0.27	0.57	0.88	0.10	0.21	0.31
	10.0%	1.24	2.67	4.05	0.36	0.76	1.17	0.13	0.27	0.42

능영역은 도시유형I(인구규모 500만명)에서 수송분담률 7.5% 이상이며 노선연장이 10km 이상인 경우, 도시유형 II, III, IV에서 수송분담률 10% 이상이며 노선연장이 15km 이상이면 수도권도시에 적용가능 할 것으로 분석되었다.

이들 경우로 볼 때 바이모달트램의 적용가능 수준은 도로연장이 최소 10km 이상, 수단분담률 7.5% 이상이 되어야 가능할 것으로 분석되었으며 1일 수송수요를 기준으로 살펴보면, 노선연장 15km의 경우 35,000 이상 수준으로 분석되었다.

도시규모별 도입가능영역에 대한 분석결과, 바이모달트램은 도시유형II(인구규모 200만명)~IV(인구규모 50만명) 사이 지역에서 노선연장이 15km 이상인 주간선교통수단으로써, 도시유형I(인구규모 500만명) 지역에서는 수송분담 특성에 따라 주간선 및 보조간선교통으로 도입이 가능할 것으로 분석되었다.

도입대상지역에 따라 교통체계 등의 추가적인 연구가 요구되나, 분석결과를 중심으로 도시규모별 적정시스템 도입을 검토하면, 도시유형II, III, IV 지역에서는 해당지역의 계획수송 분담특성에 따라 주요 대중교통시스템으로 간선급행버스(BRT) 또는 바이모달트램+간선급행버스(보조연계) 시스템을 도입하는 것이 가능할 것으로 검토되며 도시유형 I 지역에서는 바이모달트램+간선급행버스(보조연계) 시스템을 도입하는 것이 바람직할 것으로 검토되었다.

4. 결론

본 논문에서는 바이모달트램의 대중교통수단으로서의 기능 및 역할검토와 도입을 위한 다양한 고려사항을 교통서비스 및 도시계획 측면에서 분석하였다. 따라서 향후 국내 도시의 다양한 기능적 측면에 부응할 수 있는 도입전략에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

바이모달트램은 대중교통수단으로서의 역할은 시스템 성능상 일반버스의 고용량화 및 서비스빈도 증대, 경량전철의 저용량화 및 서비스빈도 증대가 요구되는 상황에서의 도입이 적합하므로, 바이모달트램의 position은 BRT와 유사하다고 판단된다. 그러나 바이모달트램은 전자궤도 유도 방식에 의한 정시성 확보, 하이브리드 추진방식에 의한 친환경성, 전용도로 뿐만 아니라 일반도로와의 운행이 가능하여 환승이 적게 발생하는 편리성 강화 등의 장점을 지니고 있어, BRT보다는 다양한 용도로의 활용이 예상된다. 결론적으로, 주요 대중교통수단에 대해 고유 적용범위가 존재하는데, 경량전철과 중량전철처럼 인접한 수단들간에 일부 영역이 부분적으로 겹치게 된다. 하지만, 범위가 너무

먼 경우에는 경쟁하는 것이 아니라 보완해야 하는 관계가 된다. 또한 도시대중교통에 있어 단독의 최적시스템은 없음을 보여준다. 도시 통행을 위한 여건과 요구조건은 매우 다양하여, 교통체계는 하나의 복합환승교통체계 내에서 여러 가지의 대등한 교통수단으로서 구성되어야 하는 것이다.

하나의 효율적 대중교통체계내에서 BRT, 바이모달트램, 경량전철은 상호 보완하는 관계가 아니라, 도시여건에 따라 선택가능한 대안으로서 고려되어야 할 것이다. 따라서 바이모달트램의 도입을 위해서는 정책적으로 바이모달트램이 대중교통서비스에 있어 버스수단과 차별화되는 대중교통 수단임을 강조할 필요가 있으며 다음과 같은 도입 전략이 필요할 것으로 판단된다.

- 바이모달트램은 고급교통수단으로서 도시내 간선기능을 할 수 있는 노선에 적용될 필요가 있으며 기존철도(전철/지하철) 노선이 이미 포화(예, 150% 이상)가 되어 있는 노선에 적용 가능
- 각 지자체의 BRT노선대안 중 버스의 서비스 용량을 넘어서거나 타 수단과의 연계성에 문제가 발생할 경우 적용 가능
- 전철/지하철과의 전용궤도 설치를 통한 직결 연계로 환승의 편리성 개선이 필요한 경우
- 경전철을 계획하고 있는 도시의 경전철의 경제적 타당성이 낮으며 버스수단으로 처리하기에는 혼잡한 경우(1.0(버스)<B/C<1.0(경전철))
- 바이모달트램의 특성을 살려 주거밀집지역, 상업지구의 경우는 지하로 나머지 노선구간과 도시 외곽구간의 경우는 지상을 이용하는 방법으로 접근하되 승객의 접근성을 높이고 비용을 최소화 할 수 있도록 추진
- 지역주민의 경우 지하철역의 건설은 교통수단으로서의 필요성이 아닌 지가상승요인으로 인식하기 때문에 지상역사 보다는 지하역사 건설을 통한 수단선호도 확보

향후 바이모달트램 도입을 위한 현실적인 적용방안 연구를 통해 다양한 도시의 여건과 교통특성을 고려한 시나리오 분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 윤희택 외(2008), “대중교통체계에서 바이모달트램의 기능과 역할.”
2. 통계청(2007), “인구통계자료.”
3. 서울시정개발연구원(2006) “2006 수도권 가구통행실태조사.”
4. KDI(2004), “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침

(제4판.)”

5. 현대엔지니어링(2008), “신에너지 바이모달 저상굴절차량 시스템의 국내도입 적용성 검토.”
6. 김훈(2007), “도시철도 시스템 평가방안 정립 및 활용방안,” 한국교통연구원.
7. 서울시정개발연구원(2004), “첨단버스체계 BRT 계획과 적용.”
8. 국토해양부(2008), *BRT 편람*.
9. 한국교통연구원(2008), “신에너지 바이모달 수송시스템 교통부문 지원기술개발.”
10. 도로교통(2005), “국내외 BRT 동향 및 도입방안.”
11. 한국교통연구원(2009), 지자체 BRT 계획과 추진방안 세미나.

접수일(2009년 10월 14일), 수정일(2009년 11월 25일),
게재확정일(2009년 12월 7일)