

## 신교통시스템 도입을 위한 차량시스템에 관한 고찰

# An analysis on the railway vehicle system for the introduction of new transit systems

정수영\*  
Chung, Su-Young

안성진\*\*  
An, Sung-Jin

김표중\*\*\*  
Kim, Pyo-Jong

As the increased importance is placed on the new transit systems owing to the environmental pollution caused by the road traffic congestion, the policy for the introduction of the new transit systems as an alternative solution to ease the heavy burden of the construction expenses is being actively established. Since the explicit recognition of such transit systems and the review on the method of its adoption have been a pressing matter in the light of reducing the pending traffic congestion, the development of the rolling stock systems in modes of new transportation has been made in various ways taking into consideration the regional circumstances to alleviate traffic congestion, and offer a more efficient service with the application of their intrinsic characteristics. Such systems also have been developed as a mix of punctuality for railway systems operating on the runway and flexibility for buses.

This paper, therefore, deals in more detail with 3 modes of systems such as low-floor articulated buses, GRT(Guided Rapid Transit) and tram cars, and studies the overseas cases of the operation of those systems involving both negative and positive aspects.

### 국문요약

최근 국내에서도 대도시의 도로 교통 혼잡과 그로 인한 환경오염으로 인해 신교통시스템의 중요성이 증대하고 있는 가운데 기존 지하철의 과중한 건설비 및 운영비 부담을 대체할 수단으로서 신교통시스템의 도입에 대해 적극적인 정책을 수립하고 있는 실정이다.

현재의 도시교통의 문제점을 해결하고 미래 도시교통의 모습을 새롭게 만든다는 의미에서 신교통시스템에 대한 분명한 인식과 도입방안에 대한 검토가 시급한 시점으로, 신교통 차량시스템은 효율적인 서비스 제공 및 교통문제 해결을 위해 다양한 형태로 발전해 왔으며, 전용 주행로를 갖는 철도시스템의 장점인 정시성 및 안전성과 버스의 장점인 유연성을 만족시킬수 있는 시스템으로 개발되어 왔다.

본 논문에서는 신교통시스템 도입시 차량시스템 선정시 고려사항 및 기존노면 교통수단과 공용으로 주행로를 사용할 수 있는 차량시스템으로 저상굴절버스, 노면전차, GRT(Guided Rapid Transit, 유도 고속차량) 시스템의 해외운행 사례 및 시스템을 비교, 장단점을 중심으로 고찰 하고자 한다.

\* 서울메트로철도사업단 단장, 정회원  
E-mail : 19882@hanafos.com  
TEL : (02)6110-5820 FAX : (02)6110-5839

\*\* 서울메트로철도사업단 부장, 비회원

\*\*\* 서울메트로철도사업단 대리, 비회원

## 2. 차량시스템 선정과정 및 고려사항

### 2.1 시스템 선정과정

차량시스템 선정은 기존 대중교통수단과의 연계수송체계 및 효율적인 환승체계 수립이 용이해야하며, 지역여건과 장래계획, 통행패턴 및 통행량 변화 등을 고려하여 장래 예상되는 수송수요를 처리할 수 있는 수송능력이 있어야 하며, 건설기간 중 주변지역에 주는 환경적 악영향을 최소화시킬 수 있는 시스템이 필요하다. 신교통시스템 시스템 선정과정은 그림1과 같다.



그림1. 시스템 선정과정

### 2.2 시스템 선정시 고려사항

#### 2.2.1 경제적 측면

건설비 및 객관적인 수요예측을 통해 운영비에 대한 면밀한 경제성 분석이 선행 되어야 한다. 교통 수요분석에 의해 추출된 수송 수요를 정확하게 분석하기 위해서는 장래의 변화예측과 그 외 지역적·시간적인 특수성 등을 고려하여야 한다. 수요예측이 정확히 이루어지지 않으면 사후 운영시 재정악화의 원인이 된다. 교통수요를 바탕으로 수요예측을 시행 후, 침두시 최대 수송인원을 대상으로 열차운행계획을 수립하여야 한다. 이것을 근거로 차량 소요대수 및 편성수, 운행시격 등을 결정하여 운행에 소요되는 차량이 산정된다.

#### 2.2.2 기술적 측면

차량시스템은 도입지역의 지형 및 기후 등의 특성 분석을 통해 가장 적합한 시스템을 선정하여야 한다. 또한 장래 신교통시스템의 발전추세 및 기술발전 등을 고려하여, 국내기술의 활용 가능성과 운행 안전성, 유지보수의 용이성 등을 검토 후 표준화, 국산화, 기술이전의 용이성 등 기술적 측면을 고려해야한다. 해외 의존도가 높을 경우 부품의 내구성 저하, 유지보수비용 증가 및 부품조달에 어려움이 생길 수 있다.

#### 2.2.3 이용자 및 환경적 측면

양질의 대중교통서비스를 위해 승객의 요구 충족을 위해 정시성 및 안전성 향상, 운전시격의 단축, 소음 및 진동의 최소화등이 중요하며, 효율적인 연계체계 및 환승체계 구축으로 접근성 및 환승이 용이 해야 한다. 기존 도심의 이미지와 조화를 이루며, 각종 환경적 악영향을 줄 수 있는 매연, 소음, 진동 등이 최소화 되어야 한다.

### 3. 기존 노면을 이용한 차량시스템의 개념 및 유형분류

신교통시스템 도입시 노면 중앙에 교각을 건설하면 소음,진동의 증가 및 도시미관이 저해되며, 지하터널을 건설하면 건설비가 증가한다. 따라서 기존 도로를 확장해 타 교통수단과 공용으로 주행로를 사용하여, 정시성 및 안전성을 갖는 차량시스템으로 저상굴절버스, 노면전차(tram), GRT의 3가지 시스템을 비교하면 다음과 같다.

#### 3.1 저상굴절버스

기존 버스차량은 지상에서 바닥까지의 높이가 80~90cm에 달했는데 비해, 저상굴절버스는 25~40cm 정도까지 낮춰 제작되고 있다. 또한 일부 차량은 정차 시에 공기압을 통해 높이를 추가로 낮출 수도 있다. 이러한 낮은 높이는 휠체어를 이용하는 장애인과 유모차를 이용하는 유아의 부모 및 많은 짐을 든 사람과 높은 계단을 오르기 내리기 힘든 교통약자 등이 기존 버스에 비해 훨씬 편리하게 이용할 수 있다.

저상굴절버스의 가장 큰 장점은 무게중심이 낮아 안정성이 크고, 휠압력이 낮으며, 최대속도가 빠르고 교통약자의 접근이 쉽다는 것이다. 또한, 저상굴절버스의 단점으로는 차량제작이 어려우며, 대량으로 제작되지 않기 때문에 구입비가 일반 버스에 비해 비싸다. 일반적으로 굴절버스는 비굴절버스와 동일한 엔진을 사용하는데, 이는 늘어난 중량으로 인해 가속도를 저하시키고, 경사지가 많은 도시의 경우 차량이 쉽게 과열되어 정지하는 등 화재의 우려가 있고, 일반버스보다 길이가 길어 회차로나 교차로 운행시 회전반경이 크다.

#### 3.2 노면전차(트램 - tram car)

노면전차는 전차선에 의해 전력을 공급받아 도로와 분리된 노면 또는 전용궤도 위를 주행하는 저상형 대중교통 시스템으로 환경오염 완화, 도로혼잡 해결 및 에너지 절감 등의 효과가 있어 관심의 대상이 되고 있다.

노면전차의 차량형식은 보편적으로 관절형 대차를 통해 편성되며, 저상굴절 버스 및 GRT 는 『CN G』 연료 저장고가 필요한 반면, 노면전차는 변전소 설비가 있어야 한다.. 전차선은 보편적으로 시가지 상층에 설치하는 방식으로 건설되는데 이는 도시미관저해와 안전상의 문제를 야기하여 노면전차 확대 보급에 장애요인이 되고 있으나, 최근 급전구간을 블록화하여 운행구간만 선택적으로 전력을 공급하는 개량형 제3궤조방식 등의 기술 발전으로 장애요소를 극복하고 있다. 궤도는 부설후 수정작업이 어려워 부설시 신중한 검토가 필요하다. 현재 운행중 노면전차는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor, 절연 게이트 양극성 트랜지스터)에 의한 인버터 제어방식 및 소음진동 감소를 위해 탄성차륜을 채택 하고 있으며, 신형노면전차들은 차량의 저상화로 승객들의 승하차가 편리하도록 배려하고 있다. 노면전차의 정거장을 도로 중앙에 설치 할 경우, 정거장과 접근할 수 있는 횡단보도등이 필요하며, 버스 전용중앙차로 설치 사례와 같이 도로교통망의 재정비가 필요하고, 기존 노면교통수단과 갖은 경합이 불가피하다. 노면전차의 장단점 및 외국의 노면전차 주요사양은 비교 검토는 표1과 표2와 같다.

표1. 노면전차(트램)의 장단점 비교

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>○노면 위에 건설하므로 건설이 용이하고, 공사비가 저렴하다.(약200억원/km당)</li> <li>○차량의 바닥을 낮춤으로서 승·하차가 편리하고 접근성이 뛰어나며, 특히 노약자 및 휠체어 등을 이용하는 장애인의 이용이 용이하다.</li> <li>○승·하차 시간이 단축되고 최고 주행속도가 80km/h 이상도 가능하여 표정속도가 향상되었다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○기존 대중교통의 체계가 완료된 곳이나, 도로 교통 체증이 심한 도심지역에 건설 할 경우 기반 구축이 어렵다.</li> <li>○도심지내 낮은 전차선 설치로 안전 및 도시미관을 저해할 우려가 있다.</li> <li>○도로 점유율이 높아 기존의 좁은 도로에는 적용이 제한적이다. (왕복운행시 약 2개 차로 점유)</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>○탄성차륜을 채용하여 소음, 진동이 적은 쾌적한 교통수단이다.</li> <li>○정거장 설비, 구조물 설비가 간단하고, 시설유지 관리가 편리하다.</li> <li>○자동차와 함께 주행하므로 기존 신호로도 운행 가능하여 신호시스템을 단순화할 수 있다.</li> <li>○연접차량 적용으로 회전반경이 작고, 구배 등판능력 및 가감속도 성능이 우수하다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○겨울철 분기기에 동결방지 장치를 하여야 하며, 노면의 제설대책이 필요하다.</li> <li>○기존 도로의 활용이 어려운 경우에는 추가용지 확보에 따른 과도한 용지보상비가 발생한다.</li> <li>○도시혼잡지역에서는 타교통 수단과 주행로 공유로 노면의 교통체증을 가중시킬 우려도 있다.</li> </ul>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

표2. 외국의 노면전차 주요사양 비교

시스템명	EuroTram	Sirio	Citadis
사진			
차량제원	W2.4×H3.1×L33.1	W2.4×H3.4×L35.35	W2.4×H3.3×L32.4
최고속도	60km/h	60km/h	60km/h
승객정원	290명	285명	303명
편성수	4량 1편성	4량 1편성	5량 1편성
집전방식	상부 카타너리	상부 카타너리	상부 또는 하부 카타너리
최급기울기	6%	6%	6%
유도방식	레일+철제차륜	레일+철제차륜	레일+철제차륜
운전방식	1인운전	1인운전	1인운전
제작사	Adtranz	Ansaldo Breda	Alstom
운영현황	프랑스 스트라스부르크	이탈리아 밀라노	프랑스 리옹(Lyon)

### 3.3 GRT(Guided Rapid Transit·유도 고속차량)

버스와 경전철의 장점을 딴 새로운 형태의 대중교통 수단인 GRT는 중앙분리대 옆에 있는 폭 2.5m 전용차로를 고무바퀴로 달리는 신교통수단을 말한다. GRT는 노면운행이 가능한 고무바퀴가 달린 차량에 운행유도장치를 부착해 무인운전도 가능하다는 장점이 있다. 운행정보제공시스템과 사전요금지불방식, 수평승하차 시설 등을 갖춘 정거장을 설치해 기존 도시철도와 같은 정시성과 신속성, 편리성 등을 확보할 수 있다.

#### 3.3.1 자동유도장치 및 동력장치

궤도형 교통수단의 가장 큰 특징은 정해진 전용궤도를 달린다는 것이다. 이것은 원하는 방향으로 가기는 어렵다는 단점이 있지만, 주행안정성을 가져온다는 장점이 있다. 도시철도가 한치의 오차도 없이, 플랫폼의 정해진 위치에 정확하게 정차하는 이유가 바로 전용궤도가 있기 때문이다. GRT차량에도 차량의

방향 조절을 위한 유도장치를 장착하고 있다. 유도를 위해서는 감시카메라를 이용한 광학적 방법이나, 자기장을 이용한 방법을 사용하고 있다. 그리고, 지금까지의 버스연료는 대부분 디젤엔진을 사용하고 있어서, 매연과 진동으로부터 자유롭지 못했다. 현재 개선된 것이 친환경적인 압축천연가스(CNG)를 사용하는 방식으로 그림2와 같다.

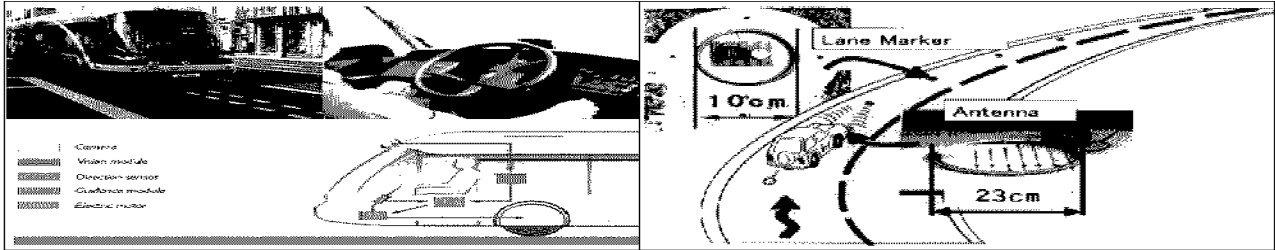


그림2. GRT차량의 광학 유도 주행

### 3.3.2 GRT차량의 국내 연구사례

국내에서는 2004년 서울의 저상굴절버스 도입에 이어 국토해양부의 수도권 GRT 차량 도입이 계획중이며, GRT 차량의 수요가 늘고 있어, 이에 걸맞는 GRT차량 개발이 시급한 상황이다. 특히 서울시는 대표적인 교통혼잡지역인 난곡지역에서 신대방 전철역과 보라매공원(병원)구간 4.77km에 광학 또는 자기장을 이용한 운행유도장치를 부착한 고무차륜 신교통시스템을 도입하여 운행 할 예정이다. 현재 한국철도기술연구원에서 국토해양부 주관의 국가교통핵심기술개발사업으로 바이모달시스템을 진행하고 있는데, 그중에 “도시형 연료전지 궤도차량 개발”사업이 바로 GRT차량 개발사업과 유사하다. 또한 국내 실정에 맞는 전용선로, 정거장 및 환승센터, 자동운전 및 정밀정차시스템, 사전요금지불시스템, 차량/승객 정보시스템, 운영/유지관리시스템, 연료공급시설 등의 구성요소들을 개발하고, 전용시험선로와 테스트베드의 구축을 통해 개발품의 성능검증을 실시 할 예정으로, 신교통시스템에 대한 경제적이고, 안전한 그리고 친환경적인 운행환경이 마련되게 될 것이다.



### 3.3.3 GRT차량의 해외 연구사례

네델란드 APTS(Advanced Public Transport Systems)사는 아인트호벤 공항과 도심을 연결하는 2~3량 1편성의 Phileas GRT차량을 운행 하고 있으며, LNG나 디젤엔진을 이용하여, 생산 및 저장된 전기로 모터를 구동하는 하이브리드 방식을 사용하고 있으며, 속도를 줄일때 발생하는 전기를 다시 저장하여 사용하는 회생제동을 사용하는 등 철도의 장점을 많이 채택하였다. 또한 도로바닥에 4m 간격으로 설치된 자석에 의해 자동유도가 가능한 미래형 교통수단이다

프랑스 Lohr사에서 개발한 Translohr는 프랑스와 이탈리아 등에서 운행되고 있으며, 고무바퀴를 이용하고, 바닥에 설치된 한가닥의 중앙궤도를 통해 유도된다. 기본적으로 전차선에서 전기를 공급받아 운행하는 방식이며, 대용량 배터리를 이용하여 달릴 수도 있는 유연성 있는 시스템이다.

Civis시스템은 2량을 한 단위로 하며 디젤엔진과 배터리의 하이브리드 동력원으로 구동된다. 앞차륜만 조향이 가능하며 차량 지붕에 설치된 카메라가 전용궤도의 안내선을 고속 스캔한 영상정보에 따라 자동 운전하는 시스템으로 광학안내시스템 정상동작을 위해 눈과 얼음 등을 제거하여야 한다. 현재 프랑스 루앙(Rouen)과 미국 라스베가스에서 운행 중이며 해외 GRT 차량 주요사양 비교는 표3과 같다.

표3. 해외 GRT 차량 주요사양 비교

시스템명	APTS사/Phileas	Lohr사/Translohr	IRISBUS사/Civis
차량 사진			
차량 제원	W2.5× H3.1× L18	W2.2× H2.95× L25	W2.55× H3.22× L18
승객 정원	127~195명	178명	130명
운전 방식	1인 수동·자동운전	1인 수동운전	1인 수동운전
안내 방식	전자기안내	중앙안내레일	광학유도
동력 원	CNG, LNG 및 디젤	교류전동기	디젤, 가솔린, 전기
주행 제도	전용제도/일반도로	전용제도	전용제도/일반도로
바닥 형식	저상차량	저상차량	저상차량
최고속도(km/h)	80	70	75
운영 현황	Eindhoven, 네덜란드	L'Aquila, 이탈리아	라스베가스, 미국

#### 4. 차량시스템 비교분석

국내에 도입되는 난곡GRT는 여객자동차 운수사업법이 적용 될 예정이며, 차량내구연한 9년으로 운용 할 수 있으며, 노면전차는 도시철도법을 적용하며, 차량내구연한 25년이상으로 운용 될 수 있다. 이와 같이 운용면에서 GRT와 노면전차는 서로 다른 내구연한을 갖고 있어, 효율적인 서비스 제공 및 교통문제 해결을 위해 발전해 오고 있다. 차량 시스템별 주요 특성을 아래 표5에서 비교해 보고자 한다.

표5. 차량시스템 비교

구 분	저상굴절버스	노면전차	GRT
차륜형태	고무타이어	철제차륜	고무타이어
주행권 확보	공용	전용	전용, 부분공용
1량 당 차량정원	60~80	50~120	80~150
1편성 차량 수	2	2~6	2~3
첨두시 편도수송능력	1,600~2,000	5,000~30,000	1,600~10,000
운행간격(분)	7~9	0.5~2	5
최대운행속도(km/h)	100	60~80	100
관련 법령	여객자동차 운수사업법	도시철도법 및 철도안전법	여객자동차 운수사업법
차량내구연한	9년	25~30년	9년
노면 설치방식	-	레일 또는 버스비퀴 모양의 홈 설치	자기막대 또는 광학선 설치
요금지불방식	차량내 요금지불방식	지하철요금 지불방식	차량내 요금지불방식
신호체계	버스전용차선 신호체계	우선신호체계 등은 가능함	전용신호체계 불가능
차량정비	-	철도산업기술력 확보 용이	새로운 시스템 교육 필요
차량동력	CNG	전기식	CNG
차량유지관리비	-	15억	35억원
정거장 및 시스템 유지관리비	-	255억원 (전주 경전철 적용)	62억원 (철도기술원 자료)
동력비	-	52억원(전주 경전철 적용)	34억원(아인트호벤 자료)

## 6. 결 론

기존 노면을 이용한 차량시스템으로 저상굴절버스, 노면전차 및 GRT에 대해 비교 검토하였다. 우리나라에서의 대중교통수단은 철도, 지하철, 버스로 분류 할 수 있다. 저상굴절버스는 일반적인 버스와 유사한 대중교통수단이지만, 노면전차와 GRT차량은 지하철의 연장노선이나 대체수단으로서, 지하철에 비하여 접근성과 경제성에서 큰 장점을 갖는다. 반면 저상굴절버스는 노면전차와 GRT차량에 비해 접근성은 우수하지만, 교통혼잡으로 인해 정시성이 크게 떨어지는 단점이 있다. 노면전차는 대중교통의 체계가 완료된 곳이나, 도로 교통체증이 극심한 도심지역에 건설 할 경우 기반 구축에 어려움은 있으나, 노면전차와 GRT의 운영비 산출은 유지보수 비용은 GRT가, 차량내구연한에 따른 추가비용 발생은 노면전차가 우위를 점하고 있어 단순비교가 곤란하다고 볼 수 있다.

라서 최적의 차량시스템 도입을 위해서 운영자 측면에서는 다른 조건이 동일하다는 전제하에 비용이 저렴한 시스템을 선정하고, 이용자 측면에서는 장기적인 도시교통계획에 맞추어 다른 교통수단과의 연계 환승을 고려한 향상된 접근성 등 경쟁력 우위의 고객 서비스를 제공하여야 하며, 기술적 측면에서는 원활한 유지보수를 위해 차량시스템 및 부품의 국산화를 통한 안정적인 운영 기반이 마련되어야 할 것이다

차량시스템 선정시 고려해야 할 사항으로 향후의 불균형적인 수송수요를 바로 잡고, 지역환경 및 특성에 적합한 효율적이고 비용절감적인 계획으로 수정·보완이 반드시 검토되어야 한다. 또한, 우리 실정에 맞는 신교통시스템 선정은 환경친화적이며, 수요에 탄력적으로 대응할 수 있는 차량시스템으로서 정립이 필요한 시기가 도래 되었다고 본다.

### 참고자료

1. 목재균·장세기·윤희택·우윤석, AGT와 버스의 혼용시스템에 대한 고찰
2. 난곡신교통수단(GRT)건설 기본 및 실시설계 종합보고서”, (‘07.8)서울시지하철건설본부
3. 신종현·김시곤, 신도시건설에 따른 신교통수단 시스템 선정방안
4. 박수명·이진호 신교통시스템 도입시 고려사항
5. 원제무, 도시교통론, 박영사, 1997
6. 이진영·원제무 공저, 교통정책, 박영사, 1997
7. 박창수·권용석 공저, 도시교통공학론, 도서출판 꾸벅, 2002
8. 권기욱, 도시와 교통, 태림문화사, 1997
9. 건설 교통부 육상 교통국 경량전철의 특성 및 장점, 2000
10. 교통개발 연구 도시규모와 특성에 맞는 대중교통체계 선택기준에 관한 연구, 2004.11