난곡 신교통시스템 GRT(Guided Rapid Transit) 도입에 따른 운영방안 고찰

A Study on the Operation of Nangok GRT

정수영* Chung, Su-Young
안성진** An, Sung-Jin
박종혁*** ParK, Jong-Hyug

ABSTRACT

There has been an increasing demand of introducing innovative public transport modes meriting high flexibilities of a bus mode along with on-time accuracy and quality environment-friendliness of a rail mode, as it is considered to significantly contribute to reducing huge social expenditures on the traffic congestion and environmental pollution agenda, and to be an alternative solution to better the urban transport problems.

In order to comply with the need, Seoul Municipal Government has recently decided to build up GRT system of a new concept in Nangok area in Seoul, the first in its kind in Korea. The concession has been awarded to Seoul Metro.

This thesis will study and benchmark similar systems abroad under operation, and further review necessary requirements overall which would secure full readiness for the operation of Nangok GRT system.

1. 서 론

오늘날 도시교통 문제를 해결하고 도로교통의 혼잡과 환경오염 등 막대한 사회적 비용을 절감하기 위해서는 버스의 유연성과 철도의 정시성, 친 환경성 등 고품질의 서비스를 제공할 수 있는 신개념의 대중교통시스템이 필요하게 되었다. 이러한 교통수요 요구에 따라 서울시는 2009년 12월 개통을 목표로 관악구 신림동 난곡지역 난향초등학교에서 서울메트로 2호선 신대방역을 경유, 보라매공원을 순환하는 총 연장4.77km에 국내최초로 신교통시스템 GRT(Guided Rapid Transit)를 도입 하게 되었다. 신교통시스템 GRT는 차량, 전용선로, 정거장 및 환승센터, 자동운전 및 정밀정차시스템, 요금지불시스템, 차량/승객 정보시스템, 운영/유지관리시스템, 연료공급시설 등의 구성요소들이 유기적으로 결합된 시스템으로써 해외에서는 BRT(Bus Rapid Transit), BSRT(Bus Semi Rapid Transit), BWS(Bus Way System), GBS(Guide Bus System), RTT(Rubber Tired Trams) 등으로 개발되어 현재 유럽을 중심으로 운행 중이며 국내에서는 철도기술연구원에서 바이모달 시스템 등을 개발 중에 있어 GRT와 같은 신교통시스템 시대가 곧 도래 할 것이다.

이에 따라 해외 운행 사례 및 시스템을 비교, 분석하고 국내에 맞는 운영시스템, 자동운전 및 정밀정차시스템, 차량/승객 정보시스템, 연료공급시설, 지하철과의 환승 및 요금지불방식 등 시스템과 이용자 편의증진을 위한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 난곡 신교통시스템 GRT와 타 시스템의 특성 비교 및 운영시 필요한 제반 사항에 대하여 고찰하고자 한다.

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

2. 신교통시스템 GRT 특성

GRT시스템은 버스의 유연성과 철도의 정시성을 갖고 도로를 전용궤도로 사용하므로 궤도, 역설비, 신호시스템 등 인프라를 단순화 할 수 있어 건설비를 줄일 수 있는 최대 장점이 있다. 도시의 교통문제 해결 및 연계교통수단으로써 역할과 접근성이 좋아 교통 소외지구 교통난을 해소 할 수 있고, 고무바퀴 채용으로 저소음 저진동으로 승차감이 좋다. 전체차륜 조향이 가능하여 정류장 정차시 정밀정차 가능하며 저상형으로 승·하차 편리성 및 교통약자에게 편의성을 제공하는 특징이 있다.
타 교통수단과 비교해 보면 수송능력은 시간당 지하철 20,000~40,000명, 경전철 10,000~20,000명, 버스 2,500명, GRT는 10,000~15,000명 정도로 경전철과 버스의 중간 정도의 규모이다. 노선 건설비는 1km당 GRT 12~44억원, 경량전철 100~963억원, 지하철 405~2,027억 원 정도이다. 공사기간은 지하철 5~10년, 경량전철 3~5년, GRT 2~3년 정도로 공사기간에 따른 부대비용을 감안하면 GRT 건설비는 훨씬 더 경제적이다.

표 1. 각 교통시스템 비교

구 분	GRT	경 전 철	지 하 철
수 송 량	10,000~15,000명/시	10,000~20,000명/시	20,000~40,000명/시
표정속도	30~40km/hr	30~40km/hr	30~40km/hr
건 설 비	12~44억원/km	100~963억원/km	405~2,027억원/km
공사기간	2~3년	3~5년	5~10년

3. 해외 신교통시스템 GRT 운영사례

해외에서는 BRT, BSRT, BWS, GBS, RTT 등 의 다양한 명칭으로 운영중에 있다. 버스나 트롤리버스를 기반으로 철도차량과 유사한 형태의 차량으로 개발 된 네델란드 APTS사의 Phileas시스템, IRISBUS사의 Civis 시스템과 철도차량을 기반으로 GRT 방식의 차량으로 개발된 Bombardier사의 TVR시스템, Lohr사의 Translohr시스템, 기존 노선버스에 기계식 안내 장치를 부착 전용궤도로 위를 가이드 레일의 안내에 따라 주행하는 가이드 버스 시스템이 있다. 각 시스템별 특징은 다음과 같다.

Phileas시스템은 자석센서막대(magnet sensor bar)에서 도로바닥에 설치된 자석을 인식, 미리 결정된 경로에 따라 자동운행이 가능하고 눈과 얼음 등 악천후 시에도 운행 가능하다. 정거장 정차시 초음파센서(ultrasonic sensor)를 이용, 차량과 플랫폼과의 거리를 측정해 정밀 정차가 가능하다. 차량편성은 2량 또는 3량을 한 단위로 구성할 수 있으며 LPG엔진과 배터리의 하이브리드 동력원으로 구동된다. 일반버스보다 축거리가 길어 도로주행에 필요한 회전반경과 정거장에서의 짧은 접안길이를 확보하기 위하여 차량을 이루는 모든 차륜이 독립적으로 조향된다. 차량과 전용궤도 사이의 전자기 안내 시스템에 의하여 자동운전과 반자동운전이 가능하다. 현재 네덜란드 아인트호벤에서 운행 중이다.

Civis시스템은 2량을 한 단위로 하며 디젤엔진과 배터리의 하이브리드 동력원으로 구동된다. 앞차륜만 조향이 가능하며 차량 지붕에 설치된 카메라가 전용궤도의 페인트 마커(안내선)를 고속 스캔한 영상정보에 따라 자동 운전하는 시스템으로 광학안내시스템 정상동작을 위해 눈과 얼음 등을 제거하여야 한다. 현재 프랑스 루앙(Rouen)과 미국 라스베가스에서 운행 중이다.

TVR시스템은 경량 전철운영 경험을 바탕으로 개발된 차량으로 동력은 가공선으로 공급되며, 교류전동기를 사용한 레일중앙 안내방식으로 2001년 2월 프랑스 낭시(Nancy)에서 최초로 운행을 시작했다. 법적으로 버스로 분리되어 차량번호판을 부착 운행하며, 무게는 공차시 25.2t, 최고속도 70km/h로 안내레일은 눈 얼음 등에 의한 문제를 최소화 하기위해 유압작동기를 사용한다.

Translohr시스템은 프랑스 끌레르몽-페랑시(Clermont-Ferrand)에서 운행 중이며 TVR의 유압 링크장치와 대비되는 중앙의 안내레일에 기계링크 장치를 사용한다. Translohr는 32개 좌석에 116명이 탑승 할 수 있고 차량길이 25m, 공차중량 19.5t, 차량길이 18~39m 사이에 다양하게 편성 할 수 있다. 승객 수송능력은 시간당 2,000~5,000명에 달하고 있다. TVR과Translohr는 모두 전차선으로부터 전력을 공급받는 시스템으로, 회차지점 또는 차고지 출입시, 짧은 거리에서는 내장된 배터리에 의하여 운전할 수 있다. 일반적으로 Phileas나 Civis에 비하여 차량 편성수를 늘려 차량 길이를 길게 하는 데는 더 유

연하다.

일본의 가이드웨이 버스는 1989년 3월~6월 동안 개최된 아시아 태평양 박람회-후쿠오카에서 운행 된 것이 최초의 실용화 운행기록이다. 그 후 나고야시에서 2001년 3월 가이드웨이버스 시스템인 시다미선 유도리라인의 운행을 시작하였다. 이 노선의 가장 큰 특징은 도심부에서는 버스 전용의 고가궤도를 주행하는 가이드웨이버스 시스템을 일본에서 최초로 채용하여 도심부의 교통 정체에 영향을 받지 않고 정시성, 신속성이 우수하다. 최고운행 속도는 60km/h이며, 표정속도는 30km/h이다. 운전간격은 오전 피크시 3~5분, 주간 5~10분, 오후피크시 5분간격으로 운행되고 있다. 영업시간은 05시부터 23시까지로 평일 302회, 휴일 258회 운행 하고 있다. 가이드웨이 버스는 고가 전용궤도 구간에서는 궤도법의 적용을 받으며, 법규상으로는 노면 전차와 동일하다. 따라서 속도제한 표시가 있으며, 운전사는 무궤도전차 면허가 있어야 한다.

표 2. 외국의 신교통시스템 GRT 주요사양 비교

주요사양	APTS사/ Phileas	IRISBUS사/ Civis	Bombardier사/ TVR	Lohr사/ Translohr	나고야/ Guideway Bus
최대승객수	127~195	130	225	178	80
편성단위(량)	2~3	2	3	3	1
폭(m)	2.5	2.55	2.5	2.2	2.5
높이 (m)	3.1	3.22	3.22	2.95	3.128
길이(m)	18~24	18	24.5	25	10.75
바닥높이(m)	0.34	0.34	0.25	0.25	-
구동축수	2~3	2	2	2	-
추진시스템	LPG 하이브리드	디젤엔진 전동기	교류전동기	교류전동기	디젤엔진
안내방식	전자기안내	광학안내	중앙안내레일	중앙안내레일	측방안내궤도식
최소회전반경	11.8~11.2	12	12	11.9	-
주행궤도	전용궤도/ 일반도로	전용궤도/ 일반도로	전용궤도	전용궤도	전용궤도/ 일반도로
운전방식	자동운전	수동운전	수동운전	수동운전	자동/수동운전
가속도(㎧)	1.3	1.3	1	-	-
감속도(㎧)	1.3	1.4	1	-	-
최고속도(km/h)	80	75	70	70	60

그림 1. Phileas시스템

그림 2. Civis시스템

그림 3. Guideway Bus 시스템

그림 4. TVR 시스템

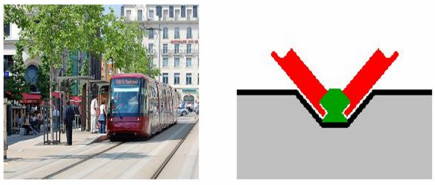

그림 5 Translohr 시스템

4. 난곡 신교통시스템 GRT 운영방안

4.1 도입배경 및 추진경위

관악구 난곡지역은 서울의 대표적 교통 취약지구로 난곡 길은 주변인구 53,440세대 131,923명('07.12 기준)으로 지역내 대부분 통행이 난곡 길에 집중되며 난곡 길을 통해서 지하철 정거장, 남부순환로 시흥대로와 연결되어 출퇴근시 교통체증이 극심한 지역이다. 난곡지역의 자동차 등록대수는 연평균 15.2% 증가추세에 있으며 향후 택지 개발로 교통난 악화가 예상되는 지역으로 교통난 해소와 지역 균형발전을 위해 서울시는 타당성 조사결과를 토대로 난곡지구(난향초등하교)에서 서울메트로 2호선 신대방역을 경유 보라매공원(병원) 까지 총 사업비 2,868억원을 투입, 총 연장 4.77km에 9개정거장, 차량대수 9대로 신교통시스템 GRT 사업을 추진하고 있다.

지역주민들은 지하철 2호선 신대방역과 지선처럼 연계된는 GRT를 건설하고 기존 버스업체보다는 공공성,신뢰성을 중시하여 공기업인 서울메트로가 운영 하기를 요구하였고, 2008년 1월25일 서울시로부터 난곡신교통시스템 GRT사업 운영기관으로 서울메트로가 선정되었으며, 서울메트로에서는 GRT운영준비를 위하여 GRT 사업부를 출범하여 2009년 12월 개통 목표에 맞추어 신교통시스템 GRT 사업 운영준비를 추진하고 있다.

난곡 신교통시스템 GRT는 대중교통의 육성 및 촉진에 관한 법률 제2조5호에 의거 간선버스에 해당된다. 운영시 여객자동차 운송 사업법을 적용받고 GRT차량은 자동차 관리법 제3조 및 동법 시행규칙 제2조에 의거 승합 자동차로 규모는 1편성 2대로 대형으로 분류된다.

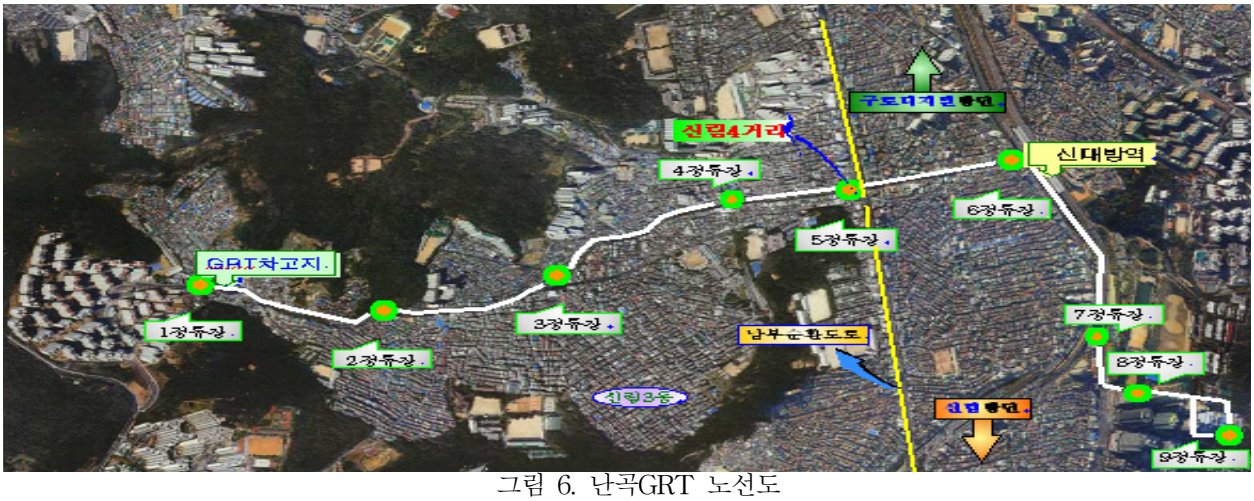

그림 6. 난곡GRT 노선도

4.2 입석밀도에 따른 최대승차인원 산정

수송력의 크기는 입석밀도에 의하여 좌우되며 입석밀도는 승객의 편의성과 쾌적성 서비스측면의 만족도를 결정하는 중요한 요소로 작용한다. 국내 도시철도표준지침에 의한 4.3명/㎡ 및 자동차안전기준에 관한규칙 7명/㎡ 과 유럽 4명/㎡ 및 8명/㎡ 기준으로 27.7분을 적용하여 산정한 최대 승차인원 및 운전시격, 차량대수는 표 3과 같다.

표 3. 최대 승차인원 및 운전시격, 차량대수 비교

구 분	입 석 밀 도			
	4.3명/㎡	7명/㎡	4명/㎡	8명/㎡
최대 승차인원(명)	96	137	91	152
운행시격(분)	3.6	5.2	3.5	5.8
차량대수(대)	8	6	8	5
비 고	국내		유럽	

4.3 GRT 차량대수 산정

차량소요대수는 국내의 입석밀도 기준을 전제로 첨두시와 비첨두시의 승차인원을 예측하여 이용승객의 편의성 및 안전성을 고려한 적정한 차량대수, 운전시격을 기본으로 첨두시 최대 재차인원1,583명/hr, 비첨두시 최대 재차인원465명/hr(2027년 기준), 총연장 4.77km 1회차 시간 42.5분, 승객 1인당 중량 65Kg/인, 입석면적15.07㎡, 좌석31석 (APTS사 Phileas 18차량 기준)을 적용으로 차량대수에 따른 운전시격, 1시간 운행대수, 최대승차인원, 입석밀도를 아래 표 4와같이 비교 산정 하였다. 표4 결과를 토대로 난곡 GRT 차량 대수는 국내 입석밀도 기준 7.0명/㎡ (자동차안전기준에 관한규칙 제28조②항)에 부합하고, 난곡 GRT 수송 예측 요인을 감안 해 볼때 9대로 운행 하는 것이 적정 하다.

표 4. 최대 승차인원, 운전시격, 입석밀도 비교

구 분	8대 기준시	9대 기준시	10대 기준시
운전시격	55.3분(42.5분/8대)	44.7분(42.5분/9대)	4.25분(42.5분/10대)
1시간 운행대수	111.3대(60분/5.3분)	12.76대(60분/4.7분)	14.1대(60분/4.25분)
최대승차인원	140명(1583명/hr/11.3대)	124명(1583명/hr/12.76명)	113명(1583/명/hr14.1명)
입석인원	109명	93명	82명
입석밀도	77.23명/㎡(109명/15.07㎡)	66.17명/㎡(93명/15.07㎡)	55.44명/㎡(82명/15.07㎡)

4.4 운행시간 및 횟수

난곡 신교통시스템 GRT는 4.77km로 9개정거장 1편성2대로 운행예정이다. 차량 운행계획은 이미 정해진 시각대로 운전하는 것이 바람직하지만 교차로 신호, 횡단보도 보행자의 지체, 사고, 재해 등에 의한 지연이나 평상시 여객의 승·하차, 공사에 의한 서행 등에 의하여 일시적으로 지연되는 시간과, 승객 편의 등을 고려하여 난곡 신교통시스템 GRT 운행계획은 평일 피크시 (오전 07~09시, 오후 17~19시) 5분, 휴일 피크시 7분, 그 외 10분간격으로 운행예정이다. 영업시간은 서울메트로 2호선 신대방역과 연계수송을 위한 야간1시간 연장 운행실시로 평일 오전5시~익일1시 까지 144회 운행 하고, 휴일에는 오전5시~24시 까지 124회 운행 예정이다. 피크시 9개정거장 1회왕복 시간은 약42.5분 소요되며 승객폭주시 운행시격 한계, 고장발생시 견인차 출동 및 사고기동반 운영 등 대책이 필요하다.

표 5. 운행시간대별 운행시격 및 운행횟수

구 분		운행시간	시 격(분)	시간당 운행횟수	일일 운행횟수
평일	첨두시	07 - 09 17 - 19	5	48	144
	비첨두시	05 - 07 09 - 17 19 - 01	10	96	
토/일(공)휴일	첨두시	07 - 09 17 - 19	7	34	124
	비첨두시	05 - 07 09 - 17 19 - 24	10	90	

4.5 기본 근무체계

근무시간은 주5일 40시간을 적용하여 사령, 배차, 차량정비는 통상일근 8시간으로 하고, 운전자의 경우 1일 2교대로 하며 근무주기, 운행시격, 운행횟수 등을 사전비교 분석하여 개통시 승객 추이에 따라 운전운행 방안을 탄력적으로 적용해야 한다. 휴게시간 및 월 근무시간은 아래 표6과 같다.

표 6. 근무형태 및 근무시간

분야	근무형태		근무시간	휴게 시간	실근무 시간	월근무 시간
사령,배차	통상일근		09:00~18:00	1시간	8시간	174
운전기사	교대근무 (1일2교대)	전반	05:00~15:00	1시간	8시간	174
		후반	15:00~01:00	1시간	8시간	

4.6 차량 운전방식

난곡 신교통시스템 GRT차량은 기존의 저상 굴절버스에 ITS(Information Technology System)기술을 접목하여 전용도로상에서 자동운전이 가능하도록 함으로써 안전성 및 정시성을 향상시킨 시스템으로 국내 관련 법규에 적합하고, 현지 조건에 부합 해야 한다. 차량 출입문과 정거장 사이를 50mm 내외의 정밀정차가 가능하고, 안전을 위하여 엔진의 회전속도, 구동바퀴의 회전속도, 노면의 상태 등에 따라 자동으로 최적의 주행조건으로 조정하는 굴절제어 시스템을 갖추어야 한다. 난곡 여건에 적합한 GRT차량의 주요 제원 및 성능은 아래 표 7과 같다.

GRT차량 운전방식은 무인운전이 원칙이며 사고에 대비한 안전요원탑승을 계획 하였으나, 난곡 GRT 노선구간의 주변 여건상 좌회전 허용 교차로 7개를 포함한 횡단보도 23개소로 장애요소가 많고 세계적으로 완전무인으로 운행하고 있는 GRT차량 시스템이 없음을 감안하여 자동운전 시스템은 차량 출입문과 정거장 사이를 50㎜ 내외로 정차시키는 정밀정차 제어로만 활용하고 유인운전 방식으로 하는 것이 안전운행 측면에서 적합하다.

표 7. 차량 주요제원 및 성능

구 분	기 준
전장(L)×전고(H)× 전폭(W)	19,000mm이내 × 4,000mm이하 × 2,500mm이하
최소회전반경	바깥 쪽 앞바퀴 자국의 중심선을 따라 측정시 12m이내
최저지상고	120mm
정원	100명 이상(좌석:35~40석)
최고속도	70km/h 이상
등판능력	20% 이상
사용연료	천연가스(CNG)
배기량	7000CC 이상
조향장치	자동유도장치 부착:자동운행시 정류장과 출입문간격 50mm 내외
자동유도 시스템	자기 또는 광학방식
장애자 편의시설	Wheel Chair 공간 확보
제동장치	유압 또는 공기식, ABS 장착

4.7 GRT 정거장

난곡 GRT정거장은 총 9개소에 설치되고, 관악구의 상징인 철쭉을 추상화한 패턴을 이용하며, 모듈화된 패턴을 Punched Steel과 Print Glass 등에 적용하여 관악구의 상징적인 이미지를 표현한다. 정거장은 2개 Type으로 설치되며 기둥부재를 최소화하고 지붕을 띄워 정거장의 구조와 안정성을 확보하는

Type A와 격자로 역인 철판구조를 이용하여 기둥과 지붕을 하나의 입체로 디자인한 Type B로 구분된다.

GRT 정거장의 위치는 신교통수단 이용자 확보, 운행시간 증감에 영향을 미칠 수 있으며, 기존 버스 정거장과의 관계 및 노선버스 유지 여부, 민원의 최소화 등 여러가지 복합적인 검토가 필요하다. 난곡 GRT 정거장 간격은 기존 버스 정류장의 위치 및 주변지역의 교통량, 이용자의 편의성, GRT의 최소 운행 간격과 운행속도를 고려하여 최대 0.93km, 최소 0.32km 평균 0.58km 간격으로 설치 하는 것이 적당하다.

그림 7. Type A

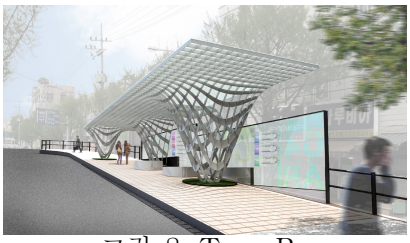

그림 8. Type B

4.8 환승 및 요금지불방식

난곡 신교통시스템 GRT 개통시 서울메트로 2호선 신대방역 이용승객은 48,000명('08.3)에서 65,000명('09.12)으로 증가가 예상되며 이에 따른 승·하차 및 환승이 용이하고 승객안전과 교통 약자 이용편의 증진을 위한 환승체계 및 요금지불방식시간당이 마련되어야 한다. 환승방안으로는 서울메트로 2호선 신대방역과 신대방 GRT 정거장은 약 20m 이격거리를 두고 있어 환승통로는 물론 환승센터 신축이 필요하다. 환승센터 내에는 GRT 승·하차 게이트, RF 1회용 승차권, 우대권 발급, 정산기능을 갖춘 통합형 발매기 설치가 요구되나, 이에 따른 예산이 과다 소요되고 설치에 따른 기술적 검토가 필요하다.
GRT요금은 수도권 대중교통 통합요금(통합 환승할인)제가 적용 될 것이며 GRT 운행관리는 BMS(Bus Management System) 방식으로 실시간으로 관리한다.

현재 교통카드 시스템은 버스용 교통카드 단말기와 철도용 교통카드 단말기가 운영되고 있으며, 난곡 GRT의 경우 버스용 교통카드 단말기를 GRT차량내에 설치(승차 단말기 1대, 하차 단말기 5대) 한 후, 요금 징수 등 정산을 GPS(위성항법장치: Global Positioning System)기능을 이용, 실시간으로 송수신 하여 GRT 운행에 지장이 없도록 구축되어야 한다.

5. 결론

서울과 대도시의 인구 집중율이 높은 우리나라 도시 도로교통은 교통 혼잡과 환경오염 등으로 인해 확장이 어렵고, 지하철은 정시성, 안전성, 친환경적인 장점은 있으나 공사기간이 길고 건설비가 많이 드는 단점이 있다. 최근 도시교통문제를 해결하기위해 서울, 부산을 비롯한 많은 지방자치단체에서 경전철을 건설 및 추진 중에 있으나 재정 자립도가 낮은 지방 자치 단체에서 투자비가 1km당 400~500억원이 소요되는 경전철을 건설하기에는 재정적 부담이 크다. 따라서 낮은 건설비용과 친환경성 버스와 같은 유연성을 유지하면서도 지하철 및 경전철의 정시성을 제공 할 수 있는 신교통시스템 GRT를 대안으로 제시하고자 한다.

참고자료

1. "난곡신교통수단(GRT)건설 기본 및 실시설계 종합보고서", ('07.8)서울시지하철건설본부
2. "KRRI 철도기술총서 제2호 도시철도시스템 기술의 이해",한국철도기술연구원 지음
3. "간선급행버스(BRT) 설계지침(안)", 2005.12, 건설교통부
4. "자동차안전기준에 관한규칙"
5. "대중교통의 육성 및 촉진에 관한 법률"
6. "자동차 관리법"

7. http://blog.naver.com/ykpark85?Redirect=Log&logNo=150028222726
8. 교통 기술과 정책 제3권4호 2006년“신에너지 바이모달 트램 기술개발” 목재균, 윤희택-대한교통학회
9. 윤희택 외, “바이모달트램 운행을 위한 운영기반시스템 개발에 관한 연구”, 철도학회 ‘08년 춘계 학술발표 대회
10. 박광복 외, “우리나라 경전철 도입 현황과 개선방안에 관한 연구”, 철도학회 ‘03년 추계 학술발표 대회
11. 목재균 외, “AGT와 버스의 혼용시스템에 대한 고찰”, 철도학회 ‘03년 추계 학술발표 대회
12. “난곡신교통수단 GRT차량구매 입찰제안서 평가 기준”, 서울시 도시기반시설본부