

서울시 간선급행버스시스템 해외 도시와 비교평가

고준호 이신해

International comparative study of Seoul BRT system



서울연구원
The Seoul Institute

연구책임

고준호

세계도시연구센터 센터장

연구진

이신해

교통시스템연구실 실장

김대진

교통시스템연구실 연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요약

서울 BRT 이용수요는 162개 도시 중 5위
BRT 시스템 운영수준은 상대적으로 낮아

BRT는 교통시설, 서비스, 기술이 결합된 혁신적 대중교통시스템

BRT는 다양한 교통시설, 서비스, 기술이 결합된 혁신적인 대중교통시스템이다. 흔히 BRT를 중앙버스전용차로로 혼동하는 경우가 있는데 국내외에서 정의하는 BRT는 다양한 구성요소가 포함된다. 국제 BRT 평가 매뉴얼(ITDP et al., 2014)에 따르면 BRT 시스템을 갖추기 위해서는 버스전용차로 이외에도 요금지불 시스템, 교차로 신호 처리, 노선계획, 추월차로 설치, 정류장 형태 등 다양한 요소를 고려해야 한다고 제시하고 있다. 최근 국내에서도 BRT 특별법을 제정하여 BRT에 대한 정의 및 설치기준을 새롭게 제시하였다. 이 법안에서는 중앙버스전용차로 설치 이외에도 교차로 처리, 정류소, 차고지, BMS(Bus Management System), BIS(Bus Information System), 전용차량 등 BRT의 다양한 구성요소에 대한 설치기준을 제시하고 있다.

이에 이 연구는 다양한 BRT 구성요소를 고려한 서울 BRT 시스템의 강점과 약점을 파악하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위해, 세계 상위 수준의 BRT를 구축한 도시의 시스템과 비교 분석을 수행하였으며 더욱 현실적인 분석을 위해 BRT를 구축한 도시들의 여건을 고려하였다.



[그림 1] BRT의 구성요소

서울 BRT 연장, 2014년 117.5km로 10년간 3배 확대 ‘세계 상위권’

서울시는 2004년 7월 대중교통체계 개편과 함께 대중교통 서비스 향상을 도모하고자 중앙버스전용차로를 도입하였다. 2004년 4개 구간 36.1km 연장의 중앙버스전용차로 설치를 시작으로, 약 10년 동안 서울시의 지속적인 노선확장 노력 결과, 2014년 기준 총 12개 구간 117.5km 연장으로 확대되었다. 그 결과, 서울시는 10년이라는 단기간에 자카르타, 리우데자네이루, 테헤란 등에 이어 세계에서 6번째로 많은 BRT 노선을 확보하는 도시가 되었다.

BRT 전용차로 측면에서 서울 BRT는 전일제로 운영되며 교차로 구간을 제외하고는 외부차량의 운행을 엄격히 제한하는 중급 수준인 것으로 파악된다. 보다 상급의 전용차로에서는 교차로에서도 고가도로 등의 입체시설을 설치하여 버스의 이동성을 높이고 있다. 반면, 보다 낮은 수준의 전용차로에서는 시간대별 혹은 구간별로 일반차량의 통행을 허용하기도 하여 버스의 이동성이 상대적으로 낮아진다.

BRT 이용수요도 세계 상위권 ‘버스요금 싸고 통합요금제 운영 때문’

서울 BRT는 타 도시들과 비교해서 매우 높은 수준의 이용수요를 보이고 있다. Global BRT data에 따르면 BRT 일일 수요가 집계된 162개 도시 중 서울은 세계 5위 수준인 것으로 나타났다. 서울이 이와 같이 높은 BRT 수요를 보이는 것은 기본적으로 서울의 BRT 연장이 길고, 그에 따라 BRT 구간을 운행하는 차량의 대수 또한 많기 때문인 것으로 보인다. 이와 더불어 BRT 전용차로가 주로 이용수요가 높은 구간을 따라 선정된 것으로 보이는데 이 또한 서울 BRT 이용수요를 높이는 데 기여하는 것으로 판단된다. BRT 구간 운행 버스의 하루 평균 재차인원은 일반버스에 비해서 두 배 정도 높으며, 특히 BRT 구간을 50% 이상 운행하는 버스의 경우에는 차이가 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 또 다른 측면에서, 서울 BRT 정류장의 개수는 서울시 전체 버스 정류장 수의 약 5%에 불과한 수준이나 이들 BRT 정류장에서 탑승하는 버스 승차인원은 전체의 34%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

BRT 이용수요에 영향을 미치는 요인 분석 결과 직관적으로 예측되었던 중앙버스전용차로, 추월차로 등의 BRT 공급 측면의 변수 이외에도 버스요금, 통합요금제 등의 BRT 운영 측면의

변수가 BRT 이용수요에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 서울 BRT의 경우 노선 연장은 긴 편이나 상급 BRT 수준에는 못 미치는 물리적 여건을 갖추고 있음에도 불구하고 서울 BRT 이용수요가 세계 상위권을 나타내는 것은 요인분석 결과에서 나타나듯이, 서울 BRT의 운영방법의 우수성에 있는 것으로 보인다. 서울 BRT의 경우 세계 평균보다 낮은 버스요금을 유지하고 있으며, 통합요금제 운영을 통한 버스 간 혹은 지하철로의 자유로운 환승이 이용수요 확대에 기여하고 있는 것으로 판단된다.

시스템 운영수준은 낮아...정류장 ‘초급’, 버스 통행속도 ‘중급’ 수준

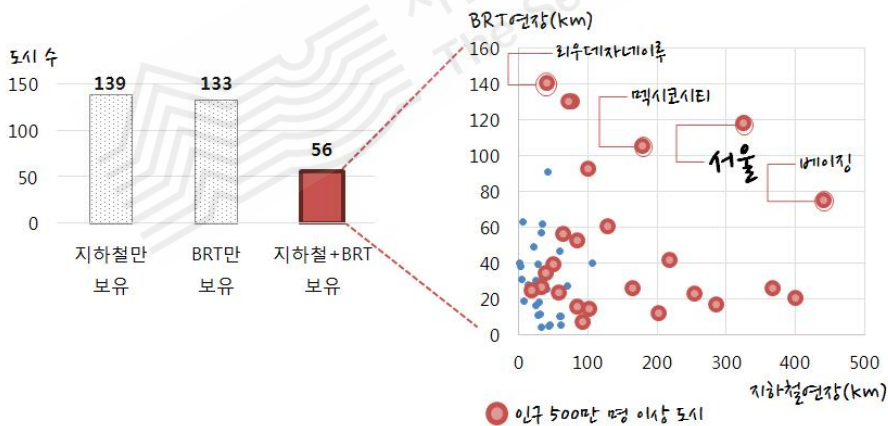
서울 BRT는 규모적인 측면에서 세계 상위권의 수준을 보이고 있는 반면 BRT 시스템 운영수준은 상대적으로 낮다. 특히 서울 BRT 정류장은 상대적으로 초급 수준으로 구축된 것으로 판단된다. 서울 BRT 정류장의 경우 선지불시스템(차량에 탑승하기 전에 폐쇄형 정류장에서 미리 요금을 지불)이 구축되어 있지 않으며 저상버스 보급률이 약 30% 수준에 머무는 등 시민들의 편리한 승하차 지원요소가 부족한 실정이다. 선지불시스템 및 저상버스는 승하차 시간을 단축시켜 버스의 정류장 내 체류시간을 줄여 버스 통행속도를 증가시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 한편, 중앙버스정류장 내 버스 승객의 대기 공간도 승객 수에 비해서는 상대적으로 협소한 실정이다.

서울의 경우, BRT 버스 평균통행속도가 조사된 전체 113개 도시 중 58위로 평균 수준의 버스 통행속도를 보이고 있다. 해외도시의 BRT 운영 특성 자료를 활용해 BRT 버스 통행속도에 영향을 미치는 요인 분석 결과를 바탕으로 서울 BRT의 버스 통행속도가 상위 수준에 미치지 못하는 이유를 파악할 수 있었다. 그 결과 버스추월차로 설치 미흡, 많은 대수의 BRT 차량 운영 및 많은 정류장 수가 버스 통행속도에 영향을 미치는 것으로 추정되었다. 정류장 수와 BRT 운행차량 대수는 서울처럼 BRT 이용수요가 많을 경우 단순히 버스 운행속도 향상을 위해 그 규모를 줄이는 것은 옳지 않다고 판단된다. 따라서 현시점에서 서울 BRT의 운행속도를 향상시키기 위해서는 추월차로를 적극적으로 도입할 필요가 있다. 해외도시 대상 비교분석 결과에 따르면, 추월차로 설치 시 일반적으로 약 19%의 버스 통행속도 향상을 기대할 수 있는 것으로 추정되었다.

서울은 지하철·BRT 연장이 균형적으로 구축된 ‘몇 안 되는 도시’

BRT를 보유하고 있는 세계 189개 도시 중 지하철 시스템이 구축되어 있는 도시는 56개 도시에 불과하다. 또한 이들 56개 도시의 BRT와 지하철 연장 분포를 살펴보면, 전반적으로 지하철 연장이 길수록 BRT 연장은 상대적으로 짧은 것으로 나타났다. 서울의 경우 BRT 연장과 지하철 연장 모두 세계 상위권에 속하는 몇 안 되는 도시(멕시코시티, 베이징 포함) 중 하나이며, 특히 서울은 지하철과 BRT 연장이 균형적으로 구축되어 있는 것으로 파악되었다.

지하철을 갖추고 있으면서 다수의 BRT 노선을 구축하고 있는 도시는 서울을 포함하여 전 세계 9개 도시인 것으로 파악되었다. 도시 BRT 유형별 대중교통 수단분담률의 차이를 분석한 결과 지하철과 네트워크형 BRT 노선을 갖춘 도시의 평균 대중교통 수단분담률은 42.5%로 타 도시들에 비해서 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 특히, 서울의 경우 대중교통 수단분담률은 65.6%로 지하철과 네트워크형의 BRT 노선을 갖춘 도시들 중에서도 상당히 높은 편에 속한다.



자료: Global BRT data, World Metro Database(metrobits.org)

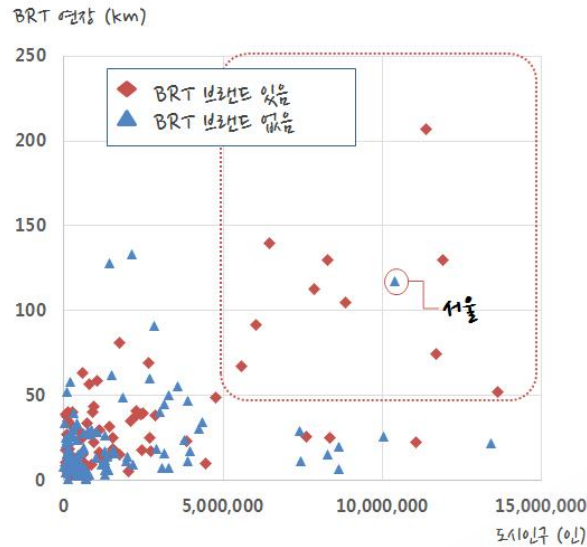
[그림 2] BRT 구축 도시의 지하철 시스템 구축 여부 및 지하철/BRT 연장 분포

BRT 브랜드·전용차량 도입하고 지하철과의 연계도 강화할 필요

2004년 대대적인 서울 대중교통체계 개편과 함께 도입되기 시작한 서울 BRT 시스템에 대한 해외 여러 도시들의 관심이 점차적으로 증대되고 있다. 기존 시가지를 대상으로 BRT 시스템이 이처럼 단기간에 도시 전역을 대상으로 구축된 사례는 서울을 포함하여 자카르타(인도네시아), 부에노스아이레스(아르헨티나) 등 몇몇 도시에 불과하기 때문이다. 다만, 이러한 도시들의 경우 최소한 중급 이상의 BRT 시스템을 구축한 반면, 서울의 경우에는 초급 수준의 시스템을 도입하여 왔다. 이로 인해 여전히 BRT 시스템 개선은 필요한 실정으로 향후 교통여건 변화에 따라 다양한 접근방법을 통해 업그레이드를 지속적으로 추진할 필요가 있다.

다만, 서울의 도로여건과 재정부담 등을 감안하였을 때 현실적으로 단기간에 서울시 전체 BRT 네트워크에 고급 시스템을 도입하는 것은 쉽지 않다. 따라서 서울 BRT가 점차적으로 발전할 수 있는 계기를 마련하고 국제적인 위상을 높이기 위해서 우선적으로 아래의 두 가지 방안을 고려해야 할 것으로 보인다.

첫 번째는 BRT 브랜드 및 BRT 전용차량 도입이다. 이를 위해 필요시 BRT 관리기구 등을 마련하고 이 기구가 주체가 되어 서울 고유의 BRT 브랜드 구축 사업을 추진할 수 있을 것이다. 또한 BRT 수송능력을 높이고 이미지를 제고하기 위해 BRT 전용차량을 도입할 필요가 있다. 이를 통해 서울 BRT의 이미지를 형상화하는 서울 고유의 BRT 브랜드 도입을 통해 BRT에 대한 인식을 보다 긍정적으로 전환시켜 서울 대중교통 시스템을 보다 업그레이드하는 데 기여할 수 있을 것으로 보인다. 세계 BRT 주요도시들은 자체적인 BRT 브랜드를 구축하여 운영 중이다. BRT를 구축한 전 세계 191개 도시 중 고유의 BRT 브랜드를 소유한 도시는 77개 도시에 이르며, 특히 인구 500만 명 이상, BRT 연장이 50km 이상인 11개 도시들을 기준으로 했을 경우 서울을 제외한 모든 도시들이 자체적인 BRT 브랜드를 보유하고 있는 것으로 나타났다.



자료: Global BRT data(<http://brtdata.org>)

[그림 3] BRT 도시인구-BRT 연장별 BRT 고유 브랜드 보유 여부

두 번째는 지하철-BRT 네트워크 지속 확장 및 연계 강화이다. 서울은 BRT와 지하철 연장이 동시에 대규모로 구축된 거의 유일한 도시이다. 다수의 BRT 노선과 지하철 네트워크를 확보한 서울의 대중교통 수단분담률은 매우 높은 편이다. 일반적으로 BRT를 도입한 대다수의 도시들이 BRT 혹은 지하철 중 하나의 시스템에 집중한 반면, 서울의 경우 두 가지 시스템을 균형적으로, 그리고 대규모로 발전시켜 왔기 때문에 이러한 긍정적 효과가 발생한 것으로 보인다. 따라서 서울 BRT는 앞으로도 이러한 BRT-지하철의 연계성을 지속적으로 강화해 나가야 할 것으로 보인다. 또한 이를 위해 버스-버스 혹은 버스-지하철 간에 보다 편리한 환승체계 및 통합요금 시스템 구축이 필요할 것으로 보인다.

목차

| | |
|--|----|
| 01 세계의 주요 교통체계로 자리 잡은 BRT | 2 |
| 1_짧은 도입 역사에도 세계 191개 도시에서 BRT 시스템 구축 | 2 |
| 2_다양한 서비스를 제공하는 BRT 시스템 | 4 |
| 3_도시여건을 반영한 BRT 국제 비교 필요 | 5 |
| 02 서울시 주요 대중교통수단으로 자리 잡은 BRT | 8 |
| 1_세계 6위의 BRT 연장 확보, 중급 수준의 BRT 인프라 구축 | 8 |
| 2_상급의 BRT 수준에는 못 미치는 정류장 | 10 |
| 3_방사형, 개방형의 BRT 네트워크 구축 | 12 |
| 4_버스 승객의 편의를 돕는 다양한 시스템 도입, 그러나 BRT 시스템 성능 향상을 위한 추가적 노력 필요 | 17 |
| 5_서울 BRT 이미지 제고를 위한 브랜드 도입 필요 | 21 |
| 6_세계 평균 수준의 서울 BRT 통행속도 | 23 |
| 7_상급 BRT 시스템 구축을 위한 제안 | 25 |
| 03 지하철 연계형의 새로운 모델을 제시하는 서울 BRT | 28 |
| 1_세계 상위권의 BRT 이용수요 | 28 |
| 2_서울의 버스 수요를 반영한 BRT 노선 선정 | 29 |
| 3_도시규모 대비 높은 수요와 연장 | 31 |
| 4_서울 BRT 수요가 높은 요인은 낮은 버스요금과 통합요금제 운영 | 33 |
| 5_지하철 연계형의 특성을 보이는 서울 BRT | 39 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 04 서울 BRT 브랜드 도입과 지하철 연계 강화 필요 | 44 |
| 1_BRT 브랜드 및 BRT 전용차량 도입 | 45 |
| 2_지하철-BRT 네트워크 지속 확장 및 연계 강화 | 46 |
| 3_도시별 BRT 특성에 대한 다양한 측면의 연구 필요 | 47 |
| 참고문헌 | 51 |
| Abstract | 52 |



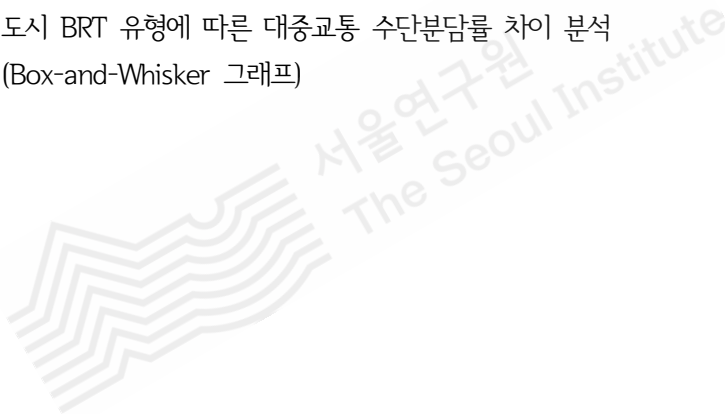
표

| | |
|---|----|
| [표 2-1] 도시 BRT 버스 운행속도 추정을 위한 회귀분석 변수 목록 | 24 |
| [표 2-2] 도시 BRT 일수요 추정 회귀분석 결과 | 24 |
| [표 3-1] 일반버스와 BRT 구간 버스 운행 현황 비교 | 30 |
| [표 3-2] 일반버스 정류장과 BRT 정류장의 승차인원 비교 | 30 |
| [표 3-3] 도시 BRT 일수요 추정을 위한 회귀분석 변수 | 33 |
| [표 3-4] 도시 BRT 일수요 추정 회귀분석 결과 | 34 |
| [표 3-5] 도시 BRT 노선 1km당 일수요 추정을 위한 회귀분석 변수 | 34 |
| [표 3-6] 도시 BRT 노선 1km당 일수요 추정 회귀분석 결과 | 35 |
| [표 3-7] 도시특성에 따른 BRT 네트워크 유형 분류 | 40 |
| [표 3-8] 도시 BRT 유형별 대중교통 수단분담률의 차이 분석 결과(ANOVA 분석) | 41 |
| [표 3-9] 도시 BRT 유형별 대중교통 수단분담률 차이 분석: 95% 유의수준의 사후검정 결과(TUKEY's test) | 42 |

그림

| | |
|---|----|
| [그림 1-1] 시기별 BRT, 지하철 구축도시 수 | 3 |
| [그림 1-2] 세계 BRT 도입 역사 | 3 |
| [그림 1-3] BRT의 구성요소 | 4 |
| [그림 2-1] 연도별 서울시 중앙버스전용차로 연장 현황 | 8 |
| [그림 2-2] 세계 도시별 BRT 노선 연장 순위 | 8 |
| [그림 2-3] 해외 주요 도시와 서울 버스전용차로의 형태 비교 | 10 |
| [그림 2-4] 해외 주요 도시와 서울의 BRT 승하차 및 정류장 시스템 비교 | 11 |
| [그림 2-5] BRT 네트워크의 구분 | 13 |
| [그림 2-6] BRT 운영 형태 구분 | 14 |
| [그림 2-7] 서울시 중앙버스전용차로 설치 현황(2015년 1월 기준) | 15 |
| [그림 2-8] 서울 BRT 개방형 버스노선 운영 예시 | 15 |
| [그림 2-9] 서울 BRT 버스의 중앙버스전용차로 구간 이용률 누적 분포 | 16 |
| [그림 2-10] 서울 BRT 시스템 구성요소 | 18 |
| [그림 2-11] 서울시 BRT 노선별 추월차로 설치 현황 | 19 |
| [그림 2-12] BRT 시스템 운행효율 향상을 위해 세계 각 도시에서 도입한 BRT 시스템 | 20 |
| [그림 2-13] 도시인구-BRT 연장별 BRT 고유 브랜드 보유 여부 | 21 |
| [그림 2-14] 세계 주요 도시의 BRT 브랜드 | 22 |
| [그림 2-15] 각 도시의 BRT 전용차량 | 22 |
| [그림 2-16] 도시별 BRT 버스 평균 통행속도 | 23 |
| [그림 3-1] 도시별 BRT 일수요 순위 | 28 |

| | |
|---|----|
| [그림 3-2] 서울 BRT 버스 및 일반버스 운영구간의 평균 재차인원 | 29 |
| [그림 3-3] 도시별 인구수와 BRT 일수요 | 31 |
| [그림 3-4] 도시별 인구수와 BRT 연장 | 31 |
| [그림 3-5] 도시면적 대비 BRT 노선 연장 순위(인구 100만 명 이상 도시 기준) | 32 |
| [그림 3-6] BRT 노선 1km당 BRT 일평균 수요 순위(인구 100만 명 이상 도시 기준) | 32 |
| [그림 3-7] BRT를 도입한 도시들의 인구/인구밀도 분포 | 36 |
| [그림 3-8] BRT 버스대수 및 운행대수 분포 | 36 |
| [그림 3-9] 세계 BRT 버스 요금 순위 | 37 |
| [그림 3-10] 세계 BRT 정류장 수 분포 | 38 |
| [그림 3-11] BRT 구축 도시의 지하철 시스템 구축 여부 및 지하철/BRT 연장 분포 | 39 |
| [그림 3-12] 도시 BRT 유형에 따른 대중교통 수단분담률 차이 분석 (Box-and-Whisker 그래프) | 41 |



01

세계의 주요 교통체계로 자리 잡은 BRT

- 1_ 짧은 도입 역사에도 세계 191개 도시에서 BRT 시스템 구축
- 2_ 다양한 서비스를 제공하는 BRT 시스템
- 3_ 도시여건을 반영한 BRT 국제 비교 필요

01 | 세계의 주요 교통체계로 자리 잡은 BRT

1_짧은 도입 역사에도 세계 191개 도시에서 BRT 시스템 구축

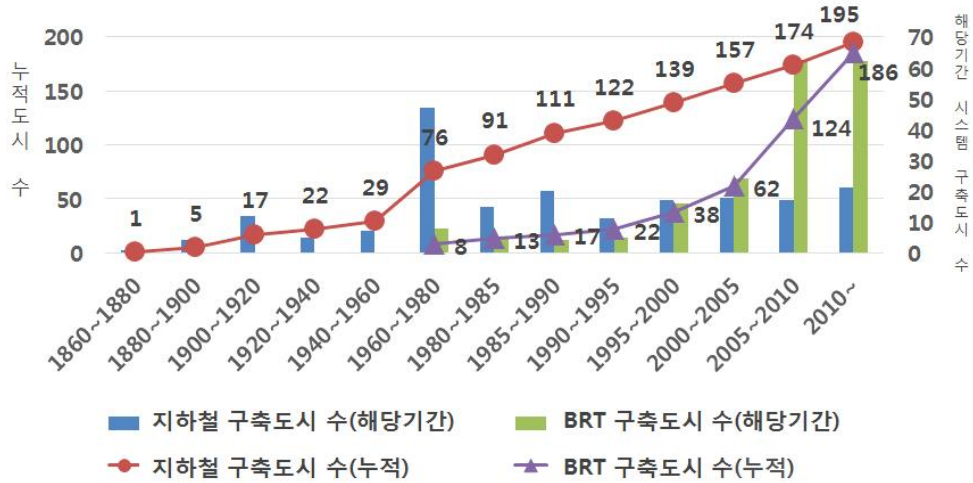
지속가능한 도시교통의 성공은 최적의 교통시스템 설계, 운영자와 소비자의 요구를 동시에 만족하는 서비스 제공에 달려 있다. 일반적으로 도시 대중교통 계획은 운영자와 소비자에게 합리적인 비용으로 좋은 서비스를 제공하는 것을 목표로 한다. 이러한 노력의 일환으로 세계 각 도시들은 각각의 도시 여건에 맞게 지하철, BRT(Bus Rapid Transit), LRT(Light Rail Transit), 트램 등 다양한 대중교통시스템을 도입하며 대중교통 이용률을 증대시키고자 노력해왔다.

특히, 1974년 브라질 쿠리치바의 BRT를 중심으로 하는 도시 대중교통체계 구축 성공을 계기로 세계 여러 도시에서 적극적으로 BRT를 도입하기 시작했다. 2000년대에 들어서 서울을 포함한 104개 도시에서 BRT가 도입되면서 BRT 시스템이 세계에서 주요한 대중교통시스템으로 자리를 잡아가고 있다. 상대적으로 저렴한 비용으로 고수준의 대중교통시스템을 제공할 수 있다는 장점으로 현재까지도 세계 여러 도시에서 BRT를 구축 중이거나 구축을 계획하고 있다.

전 세계적인 BRT 시스템 구축 결과 2014년 기준 세계 191개 도시에서 BRT를 운영하고 있다.¹⁾ 지하철이 1863년 런던에서 최초로 개통된 이래로, 2011년 기준 195개 도시에 구축된 것을 감안할 때²⁾ BRT 시스템의 경우 상대적으로 짧은 도입 역사에도 불구하고 단기간에 세계 주요 대중교통시스템으로 자리 잡았음을 알 수 있다.

1) Global BRT Data 기준(<http://brtdata.org>)

2) World Metro Data 기준



[그림 1-1] 시기별 BRT, 지하철 구축도시 수



[그림 1-2] 세계 BRT 도입 역사

2_다양한 서비스를 제공하는 BRT 시스템

BRT는 다양한 교통시설, 서비스, 기술이 결합된 혁신적인 대중교통시스템이다. 흔히 BRT를 중앙버스전용차로로 혼동하는 경우가 있지만 국내외에서 정의하는 BRT는 다양한 구성요소가 포함된다. 국제 BRT 평가 매뉴얼인 ITDP et al.(2014)에 따르면 BRT 시스템을 갖추기 위해서는 버스전용차로 이외에도 요금지불 시스템, 교차로 신호 처리, 노선계획, 추월차로 설치, 정류장 형태 등 다양한 요소를 고려해야 한다고 제시하고 있다.

최근 국내에서도 ‘간선급행버스 건설 및 운영에 관한 특별법(일명 BRT 특별법)’을 제정하여 BRT에 대한 정의 및 설치기준을 새롭게 제시하였다. 이 법률에서는 중앙버스전용차로의 설치 외에도 교차로 처리, 정류소, 차고지, BMS(Bus Management System), BIS(Bus Information System), BRT 전용차량 등 BRT의 다양한 구성요소에 대한 설치기준을 제시하고 있다. 또한 BRT 특별법은 기존의 중앙버스전용차로도 BRT로 정의될 수 있음을 시사하고 있다.



[그림 1-3] BRT의 구성요소

3_도시여건을 반영한 BRT 국제 비교 필요

이 연구에서는 서울과 세계 여러 도시의 BRT 시스템을 비교 평가하는 것을 목적으로 한다. 몇몇 국외 평가기관에서는 세계 여러 도시의 BRT 시스템 구성요소의 자원 및 운영현황을 조사하고 있으며 이를 바탕으로 도시별 BRT 평가를 수행하고 있다. 다만, 이러한 국외 평가기관들의 경우 각 도시의 BRT 평가 시, 시스템의 성능 및 운영현황에만 초점을 맞추고 있다. 그 결과 이러한 기관에서 평가한 도시 BRT의 점수는 도시여건과 상관없이 상급의 BRT 시스템을 도입한 도시들에게만 높은 평가 점수를 주고 있다.

그러나 BRT를 도입한 세계의 여러 도시들은 각각의 도시여건이 다르기 때문에 일률적인 기준에 의해 BRT 시스템을 평가하는 것은 무리가 있다. 따라서 BRT 시스템 평가 또한 이를 반영한 비교연구로 진행될 필요가 있다. 예를 들어, 쿠리치바(브라질)와 같이 도시계획 단계에서 도시 대중교통의 주요수단으로 BRT를 선택한 경우에는 상급의 BRT 시스템 도입이 상대적으로 수월하나 서울과 같은 기존 시가지에 상급의 BRT 시스템을 도입하기에는 도로의 여건 등이 여의치 않은 경우가 많다. 서울의 경우에는 지하철이 이미 서울 대중교통의 주요 역할을 담당하고 있으며 최근 도입된 BRT 시스템이 지하철 및 기타 대중교통수단을 보조하는 역할을 담당하고 있다.

따라서 이 연구에서는 도시여건을 반영한 서울 BRT 시스템의 국제 비교 연구를 위해 다음과 같이 연구를 진행하였다. 우선 물리적·운영적 특성을 중심으로 상급 BRT를 도입한 도시의 시스템과 비교하여 서울 BRT 시스템의 수준이 어느 정도인지 파악하였다. 이를 위해, BRT 시스템 국제 비교를 위한 객관적인 지표를 수집하였으며 정성적/정량적 분석을 통한 서울 BRT 시스템 구성요소의 장/단점 분석을 수행하였다.

다음으로 각 도시의 사회·경제 지표, 도시교통여건, BRT 시스템 구성요소들이 BRT 이용 수요에 어떠한 영향을 미치는지 요인 분석을 수행하였다. 이를 위해 각 도시의 각종 사회·경제 지표 및 도시교통여건에 관한 자료를 수집하였으며 이를 바탕으로 회귀분석을 수행하여 BRT 이용수요에 영향을 미치는 변수를 선정하였다. 또한 각 도시의 BRT 시스템을 유형별로 분류한 뒤 ANOVA 분석을 통해 BRT 시스템 유형별 대중교통 수단분담률의 차이 분석을 수행하였다.

02

서울시 주요 대중교통수단으로 자리 잡은 BRT

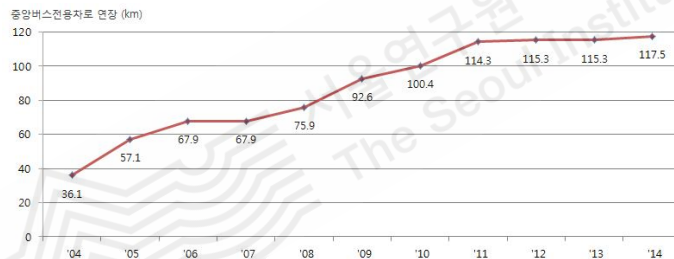
- 1_세계 6위의 BRT 연장 확보,
중급 수준의 BRT 인프라 구축
- 2_상급의 BRT 수준에는 못 미치는 정류장
- 3_방사형, 개방형의 BRT 네트워크 구축
- 4_버스 승객의 편의를 돕는 다양한 시스템 도입,
그러나 BRT 시스템 성능 향상을 위한
추가적 노력 필요
- 5_서울 BRT 이미지 제고를 위한 브랜드 도입 필요
- 6_세계 평균 수준의 서울 BRT 통행속도
- 7_상급 BRT 시스템 구축을 위한 제안

02 | 서울시 주요 대중교통수단으로 자리 잡은 BRT

1_세계 6위의 BRT 연장 확보, 중급 수준의 BRT 인프라 구축

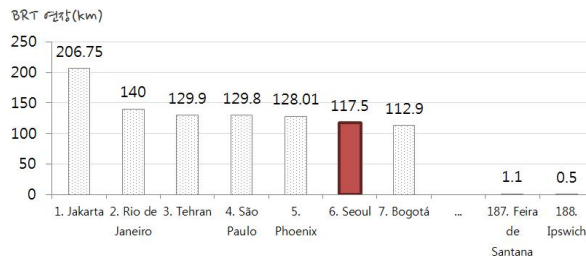
- 1) 2004년 버스체계 개편 이후 지속적으로 중앙버스전용차로 확대, 세계 6위권의 BRT 연장 확보

2004년 7월 서울은 대중교통체계 개편과 함께 대중교통 서비스 향상을 도모하고자 중앙버스전용차로를 도입하였다. 2004년 4개 구간 36.1km 연장의 중앙버스전용차로 설치를 시작으로 약 10년 동안 서울시의 지속적인 노선확장 노력 결과 2014년 기준 총 12개 구간 117.5km 연장으로 확대되었다. 그 결과 서울시는 10년이라는 단기간에 자카르타, 리우데자네이루, 테헤란 등에 이어 세계에서 6번째로 많은 BRT 노선을 확보하는 도시가 되었다.



자료: 서울통계(<http://stat.seoul.go.kr>)

[그림 2-1] 연도별 서울시 중앙버스전용차로 연장 현황



주: 가로축의 숫자는 세계 BRT 노선 연장 순위를 의미함

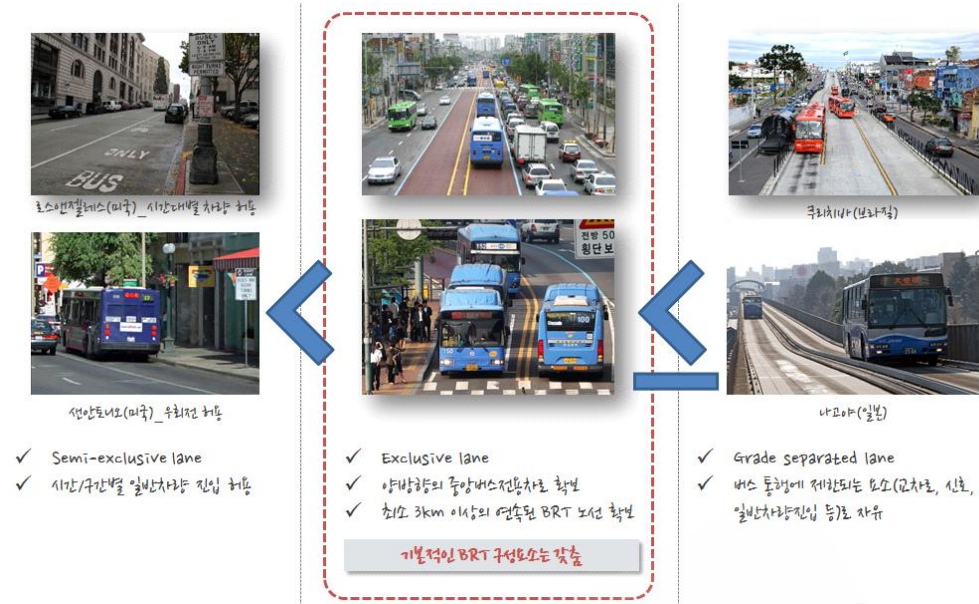
[그림 2-2] 세계 도시별 BRT 노선 연장 순위

2) 중급 수준의 BRT 전용차로

BRT 시스템 인프라 측면에서 서울 BRT는 중급 수준으로 구축되어 있다. ITDP et al.(2014)에 따르면 BRT 시스템으로 정의되기 위해서는 최소한 버스 전용의 통행권을 확보하는 버스 전용차로의 설치 여부, 버스전용차로가 중앙에 양방향으로 설치되어 있는지 등의 인프라 구축 여부를 주요 항목으로 제시하고 있다. 서울의 경우 외부차량의 통행을 엄격히 제한하고 최소 3km 이상의 연속된 버스전용차로가 설치되어 있어 버스전용차로의 설치 수준은 상당히 높은 편으로 판단된다.

다만, TCRP(2013) 보고서의 기준에 의하면 서울의 중앙버스전용차로는 전용차로(Exclusive)형 버스전용차로에 속한다. 이 보고서는 대중교통서비스 평가 부문에서 널리 활용되는 매뉴얼로 버스전용차로의 설치, 운영 환경에 따라 버스차로의 형태를 4가지 유형으로 구분하였다.

첫 번째 유형은 일반(Mixed traffic)형으로 독립된 버스전용차로가 존재하지 않고 모든 차량이 도로를 공유하는 형태로서 매우 낮은 등급의 형태이다. 두 번째 유형은 준전용차로(Semi-exclusive)형으로 특정 시간/구간에만 버스에 독립된 통행권을 부여하는 방식이다. 다음 [그림 2-3]에서의 로스앤젤레스(미국)의 경우처럼 시간대에 따라 일반차량의 진입을 허용하거나, 샌안토니오(미국)의 경우처럼 일부차량(우회전차량)에 한해서 버스차로의 진입을 허용하는 형태이다. 세 번째 유형은 전용차로형으로서 전 시간/구간에 독립된 버스 통행권을 부여하는 형태이다. 서울이 속한 전용차로형 버스전용차로는 물리적으로 도로가 구분되어 있지는 않으나 일반차량의 진입이 전면 금지되기 때문에 버스가 외부차량에 의해 영향을 받지 않아 버스의 통행속도가 증대될 수 있다는 장점이 있다. 마지막 유형은 입체분리(Grade separated)형으로 쿠리치바(브라질), 나고야(일본) 등 상급의 BRT 시스템을 운영하는 도시에서 채택하는 방식으로 버스전용차로가 연석 분리 혹은 고가 차로 등의 형태로 물리적으로 완전히 분리되어 일반차량의 진입이 불가능한 형태이다. 이 방식은 버스우선신호, 교차로 내 고가도로 설치 등 상급 BRT 시스템이 구축된 경우가 많으며 타 버스전용차로 형태와 비교할 때 상대적으로 높은 BRT 버스 운영 효율을 보인다. 다만, 이러한 형태의 BRT 인프라는 투자비용이 매우 높기 때문에 다수의 BRT 네트워크를 구축하기 어렵다. 또한 물리적으로도 설치가 쉽지 않아 도시계획 단계에서부터 BRT를 주 대중교통수단으로 고려한 몇몇 도시에서만 채택되는 방식이다.



[그림 2-3] 해외 주요 도시와 서울 버스전용차로의 형태 비교

2_상급의 BRT 수준에는 못 미치는 정류장

서울의 BRT 시스템은 긴 연장의 중앙버스전용차로 확보, 교통카드, 통합요금제, 교통환승센터 설치 등 중급 수준의 BRT 인프라 및 운영시스템을 보유하고 있다. 그러나 BRT의 주요 요소 중 서울 BRT 정류장의 경우 초급 수준으로 구축, 운영 중이다.

ITDP et al.(2014)에서 BRT 버스 통행속도 향상을 위해 중요한 요소로 보고 있는 선지불시스템(Off-board ticketing)은 현재까지 구축되어 있지 않다. 또한 버스 통행속도 향상 및 시민들의 원활한 승하차를 위한 요소인 정류장 동일 높이 승차(Platform-level boarding) 측면에서도 서울 BRT 정류장의 수준은 낮다. 서울의 저상버스 도입률은 30.6%로(2014년 3월 기준) 도입수준이 저조하며 타 도시들의 경우 BRT 정류장과 버스의 간격을 최소화하기 위한 버스 발판, Kassel curb³⁾ 등을 도입하기도 하였다.

3) Kassel curb란 독일 Kassel시에서 저상 버스가 운행되는 버스 정류장의 연석을 오목한 형태로 설치한 것을 말한다.

이와 더불어 버스 승객의 대기공간 측면에서도 서울의 BRT 버스 정류장은 상급 BRT 정류장을 구축한 칼리(콜롬비아), 광저우(중국) 등의 도시와 비교할 때 열악한 실정이다. 상급의 BRT 정류장을 구축한 이들 도시의 경우 일반적으로 정류장의 폭이 서울 BRT 보다 넓다. 또한 건축물 형태의 BRT 정류장을 건설하여 비, 바람 등의 기상환경으로부터 승객을 보호하거나 스크린 도어를 설치하여 승객의 안전을 고려하는 등의 노력을 기울여 왔다.

✓ 선지불시스템(X)
=> 승하차 시간 단축



쿠리치바(브라질)

✓ 저상버스 도입 저조
(저상버스 도입률: 30.6%,
2014. 3 기준)



멕시코시티(멕시코)

✓ 정류장 대기공간 부족,
안전시설 미비,
기상환경으로부터 보호(X)



서울



칼리(콜롬비아)

광저우(중국)

[그림 2-4] 해외 주요 도시와 서울의 BRT 승하차 및 정류장 시스템 비교

3_방사형, 개방형의 BRT 네트워크 구축

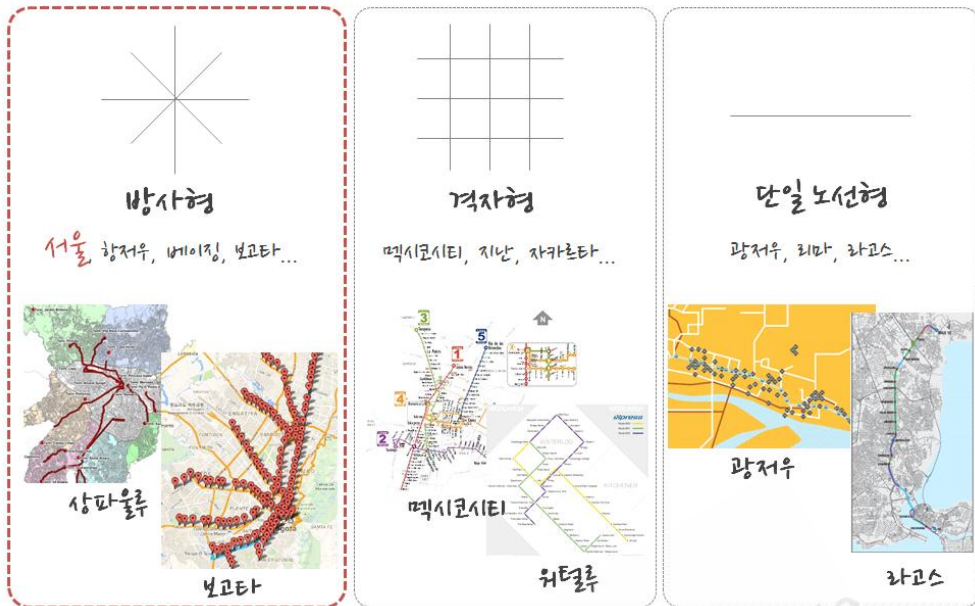
1) BRT 네트워크는 방사형/격자형/단일노선형, 노선 형태는 개방형/폐쇄형으로 분류

이 연구에서는 BRT가 구축된 전 세계 193개 도시의 BRT 네트워크 형태와 노선 형태를 분석하였으며, 분석 결과 BRT의 네트워크는 방사형/격자형/단일노선형의 세 가지 유형으로 구분될 수 있음을 확인하였다.

방사형의 BRT 네트워크는 서울을 포함한 상파울루(브라질), 베이징(중국) 등의 도시에서 채택한 방식으로 도심을 중심으로 BRT 노선이 도시 전역으로 확산되는 형태를 갖는 것이 특징이다. 방사형 BRT 네트워크의 특징은 도심지역을 기종점으로 하기 때문에 기본적으로 BRT 이용수요가 많다.

격자형의 네트워크는 멕시코시티(멕시코), 자카르타(인도네시아), 워털루(캐나다) 등의 도시에서 채택한 방식으로 도시의 가로망 체계가 격자형으로 구축된 도시에서 주로 설치된다. 상대적으로 BRT 수요가 방사형 네트워크에 비해서는 적지만 BRT 노선이 보다 넓은 지역을 서비스할 수 있다는 장점이 있다.

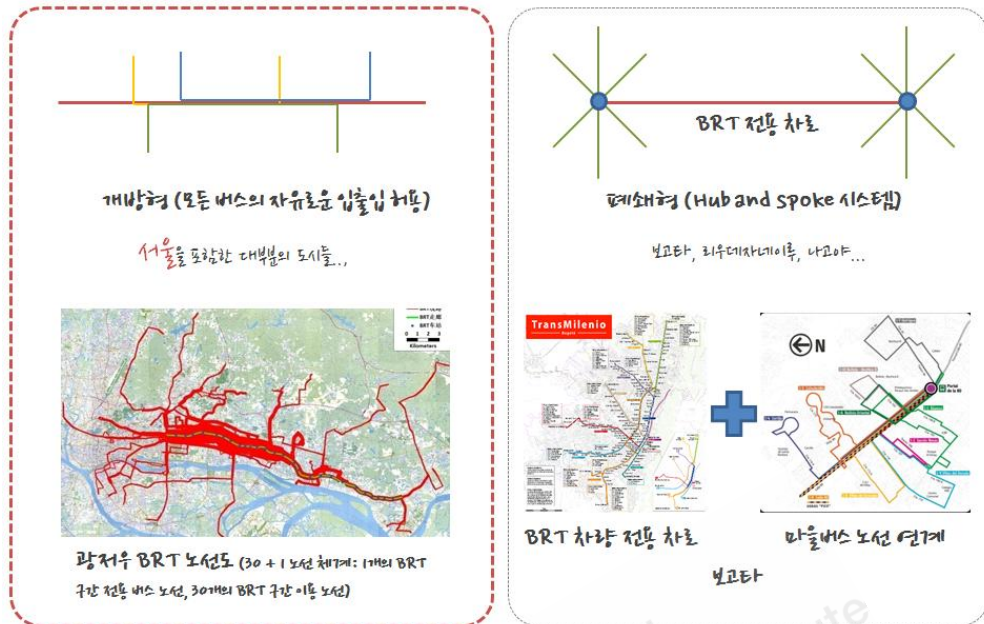
이와 더불어 광저우(중국), 리마(페루), 라고스(나이지리아) 등의 상당수의 도시들은 BRT 노선이 네트워크의 형태를 갖추지 못하고 단일노선 형태로 운영되고 있다. 단일노선형의 네트워크로 운영되는 도시들의 대부분은 BRT를 시범 도입하는 경우이나 광저우(중국), 나고야(일본)와 같은 도시들의 경우에는 1~2개의 노선만을 운영하지만 상급 BRT 시스템을 도입하여 운영의 효율성을 극대화하는 경우가 있다.



[그림 2-5] BRT 네트워크의 구분

또한, BRT 노선의 운영 형태는 개방형/폐쇄형으로 분류된다. 서울을 포함한 대부분의 도시들이 채택하고 있는 개방형은 BRT 전용차로를 설치하되, 시내버스의 BRT 전용차로 진출입을 자유롭게 허용하는 방식이다. 이러한 방식은 일부구간에서 버스수요가 집중되어 버스 지체를 유발하는 등 BRT 전용차로의 운영효율을 떨어뜨리는 단점이 있지만 많은 버스노선이 BRT 전용차로를 거쳐 도시 전역으로 운행될 수 있다는 장점이 있다. 개방형으로 운영되는 도시 중 광저우의 경우, 기본적으로 개방형의 노선 운영방식을 채택하지만 1개의 버스노선에 대해서는 BRT 구간만을 운행하는 방식을 채택하기도 하였다.

이와 더불어 보고타(콜롬비아), 리우데자네이루(브라질), 나고야(일본) 등 소수의 도시에서는 폐쇄형의 BRT 버스 노선 운영방식을 채택하고 있다. 폐쇄형은 기본적으로 BRT 전용차로에 BRT 전용차량만을 운행하며 몇몇 주요 거점에 간선/마을버스를 연계하는 허브 앤 스포크(Hub and spoke) 방식으로 운영된다. 이러한 폐쇄형 BRT 전용차로에는 BRT 차량을 제외한 버스 등 기타 차량의 통행이 제한되기 때문에 전용차로의 운영효율이 높다는 장점이 있다.



[그림 2-6] BRT 운영 형태 구분

2) 방사형, 개방형의 형태로 운영되는 서울 BRT

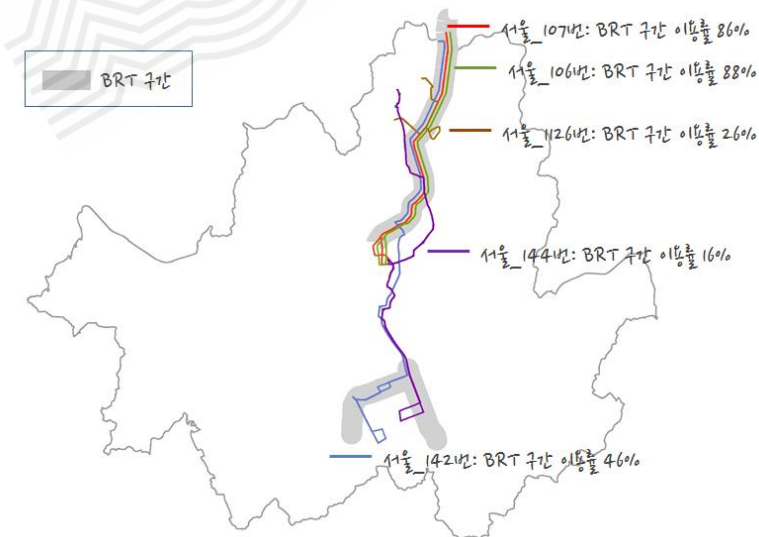
서울 BRT 노선의 특징은 서울 도심을 기종점으로 도시 전역으로 확산되는 방사형의 네트워크가 구축되었다는 점이다. [그림 2-7]에서 보는 바와 같이 서울시는 종로/중구 도심을 중심으로 중앙버스전용차로가 서울 전역에 걸쳐 방사형으로 구축되어 있다. 이와 더불어 향후 서울시는 기구축되어 있는 방사형 BRT 네트워크의 연결성을 확보하고자, 도심 내 BRT 미 연결구간에 대해서 중앙버스전용차로를 추가 구축하고 또한 강남 구간에 대해서는 방사형 네트워크를 보조하는 격자형 BRT 네트워크를 구축하는 계획을 수립하였다.



자료: 서울시 내부자료

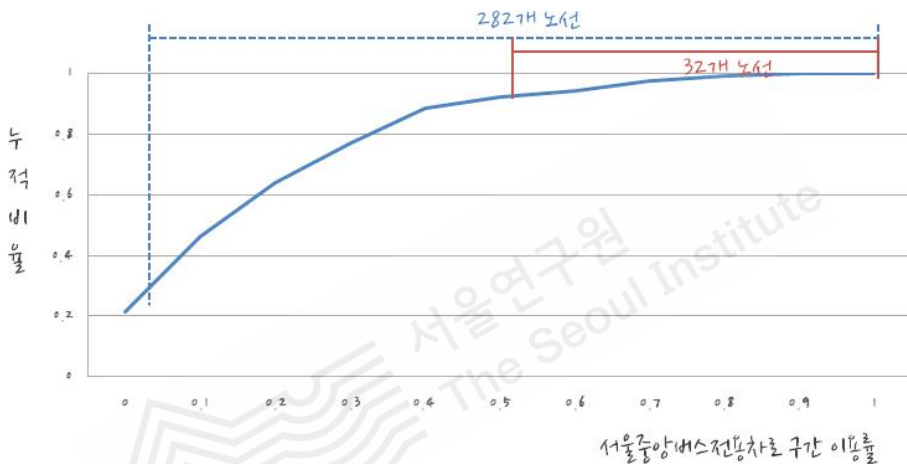
[그림 2-7] 서울시 중앙버스전용차로 설치 현황(2015년 1월 기준)

서울시의 BRT 버스노선은 개방형으로 운영되고 있다. 서울시의 경우에는 BRT 전용차로만을 운행하는 BRT 전용차량이 현재까지 도입되어 있지 않으며 아래 [그림 2-8]에서 보는 바와 같이 여러 서울 시내버스노선이 하나의 중앙버스전용차로 구간을 운행함을 알 수 있다.



[그림 2-8] 서울 BRT 개방형 버스노선 운영 예시

서울시 중앙버스전용차로 구간을 운행하는 서울시 전체 시내버스노선의 개수는 2014년 기준 282개⁴⁾이다. 이들 노선 각각에 대해 노선이 통과하는 구간을 살펴본 결과 전체 노선 구간 중 중앙버스전용차로 구간을 50% 이상 운행하는 노선의 수는 32개에 불과한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 버스노선이 집중된 도심부에 버스중앙차로가 설치되지 못한 점 등에 기인할 수 있을 것으로 보인다. 한편, 노선별로 낮은 중앙버스전용차로 이용률은 개별 이용자 관점에서는 버스 중앙차로가 충분히 활용되고 있지 못하고 있다는 인상을 줄 수 있을 것으로 보인다.



주: 중앙버스전용차로 구간 이용률 = 중앙버스차로 운행구간 길이/버스노선 전체 운행구간 길이

[그림 2-9] 서울 BRT 버스의 중앙버스전용차로 구간 이용률 누적 분포

4) 서울연구원, 2014, 「버스 운행 및 이용정보 GIS 배포자료」를 활용하여 서울시 중앙버스전용차로를 운행하는 버스노선의 수를 산정하였다.

4_버스 승객의 편의를 돕는 다양한 시스템 도입, 그러나 BRT 시스템 성능 향상을 위한 추가적 노력 필요

1) 버스 승객의 편의를 돕는 다양한 BRT 지원 시스템 도입

서울 BRT는 중앙버스전용차로 확장과 더불어 교통카드, 교통환승센터, 실시간 버스 운행 정보 제공 등 다양한 BRT 보조 시스템을 도입하여 서울 시민들의 BRT 버스 이용 편의를 도모하여 왔다.

2004년 추진된 서울 시내버스의 노선 체계 개편으로 서울시의 모든 시내버스는 광역/지선/간선/마을버스로 구분되며, 서울시를 0부터 7까지 여덟 개의 구역으로 나눠서 이를 토대로 버스의 번호체계를 구성하였다. 서울 시내버스 노선 체계 개편은 관리기관의 버스 운영효율화를 도모하고 시민들에게는 자신들이 원하는 버스를 보다 쉽게 찾을 수 있도록 하였다.

또한 서울시 대중교통체계 개편과 더불어 2003년 7월부터 추진된 신교통카드시스템 구축 사업은 교통카드 사용 시 교통카드 충전 등의 시민불편을 최소화하기 위한 노력으로 추진되었다. 이후, 서울시의 교통카드 이용률은 지속적으로 증가하여 서울의 대중교통 교통카드 결제율(버스, 전철)은 2014년 2월 기준 99%에 달하였다.⁵⁾ 교통카드 이용률의 증대는 버스 승하차 시간을 단축시켜 서울 시내버스의 운행속도 향상에도 기여하였다.

이와 더불어 서울은 버스 운행 관리 시스템을 구축하여 버스의 정시성 향상 및 버스 운행 효율을 높이는 노력을 기울이고 있다. 또한 실시간 버스운행 정보 제공 시스템을 구축하여 시민들에게 유용한 정보를 제공함으로써 시민들이 편리하게 버스를 이용할 수 있도록 하고 있다.

⁵⁾ 서울정책아카이브(<https://seoulsolution.kr>)



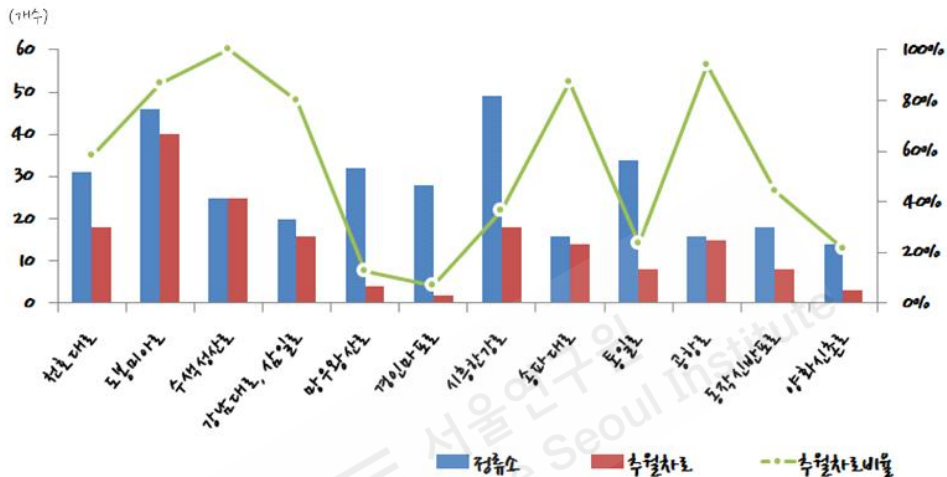
[그림 2-10] 서울 BRT 시스템 구성요소

2) BRT 속도 향상과 연계교통체계 구축 필요

이와 같이, 서울은 시민들의 버스 이용 편의를 돕는 다양한 시스템을 도입하여 왔으나 BRT 시스템의 성능 향상을 위한 구성요소 도입은 미흡한 실정이다. 상급의 BRT를 도입한 세계 주요도시들은 BRT 시스템의 질적 향상을 도모하는 다양한 서비스를 도입, 운영하고 있다. 몇몇 도시에서는 BRT 버스의 교차로 통행을 원활히 하기 위해 교차로 버스 우선신호 시스템을 도입하여 왔다. 서울의 경우에도 유턴, 좌회전 금지를 도입하였으며 이러한 시도는 버스의 통행속도를 높이는 데 기여해 왔다. 그러나 한편에서는 유턴, 좌회전 금지는 버스의 교차로 지체를 줄이기 위한 최소한의 조치이며 BRT 버스의 속도를 증대하기 위해서 버스전용신호 도입도 고려해 볼 필요가 있음을 지적하고 있다.

또한, 상급의 BRT를 도입하고 있는 도시들의 경우 양방향 4차로의 BRT 노선을 구축하거나, 정류장에 추월차로를 도입하여 BRT 버스의 정류장 대기지체를 최소화하는 노력을 하고 있다. 서울의 경우에도 BRT 정류장의 버스 지체에 대한 많은 시민들과 전문가들의 지속적인 요구에 부응하여, 지속적으로 추월차로를 확보하여 왔다. 2015년 기준 서울시 BRT 노선의 추월차로 설치율은 52%로 절반이 넘는 BRT 정류장에 추월차로가 설치되어 있는 것으로 나타났다. 그러나 일부구간에서는 침두시 버스의 집중으로 인해 여전히 극심한 정류장

내 버스자체가 발생하고 있다. 따라서 버스 자체가 심각하게 발생하는 BRT 정류장을 대상으로 추월차로를 지속적으로 확대 도입할 필요가 있다. 다만, 일반차량의 교통량이 많고 도로의 여유 공간이 충분하지 않은 일부 구간에는 여건상 버스전용신호 도입 및 추가적인 버스차로 확보가 현실적으로 매우 어려운 실정이다. 따라서 물리적 시설 개선 이전에 운영체제 효율화 등 소프트웨어적 측면의 개선방향을 강구할 필요성이 있다.



자료: 서울시 내부자료(2015)

[그림 2-11] 서울시 BRT 노선별 추월차로 설치 현황

광저우(중국), 보고타(콜롬비아) 등의 도시에서는 자전거를 BRT 접근 수단으로 이용하는 시민들을 위해 자전거세어링 시스템을 연계 도입하거나 자전거 주차시설을 적극적으로 도입하고 있다. 이들 도시들의 경우, BRT 노선이 간선급행의 역할을 담당하고 최종 목적지까지의 통행을 자전거로 보완하도록 하였다. 또한 몇몇 도시에서는 자전거의 통행권 확보를 위해 추가적으로 자전거 전용도로를 설치하기도 하였다. 서울시에는 아직 BRT 연계교통체계에 대한 심도 있는 고민이 이루어지지 않은 것으로 보인다. 현장여건에 따라 이러한 연계교통체계가 필요한 지역에 대해서는 서울시 특성에 맞는 시스템을 도입할 필요가 있을 것으로 판단된다.

보고타(콜롬비아)와 같은 도시에서는 장거리 버스 승객에게 보다 빠른 서비스를 제공하고자 급/완행의 버스 노선을 운영 중에 있다. [그림 2-12]의 (e)에서 보는 바와 같이, 보

고타의 BRT 버스노선은 급행과 완행 노선으로 이원화되어 있다. 급행 노선의 경우 BRT 정류장 중 일부 정류장만을 경유하도록 설계가 되어 있다. 서울시 BRT 노선구간에 있어서도 이러한 운영방식의 도입 필요성 및 타당성이 있는 구간을 찾아내어 시민들에게 새로운 서비스를 제공할 수 있을 것이다.



(a) 버스전용신호: 라스베이거스(미국)



(b) 버스추월차로: 보고타(콜롬비아)



(c) 자전거셰어링: 광저우(중국)



(d) 자전거 주차시설: 보고타(콜롬비아)

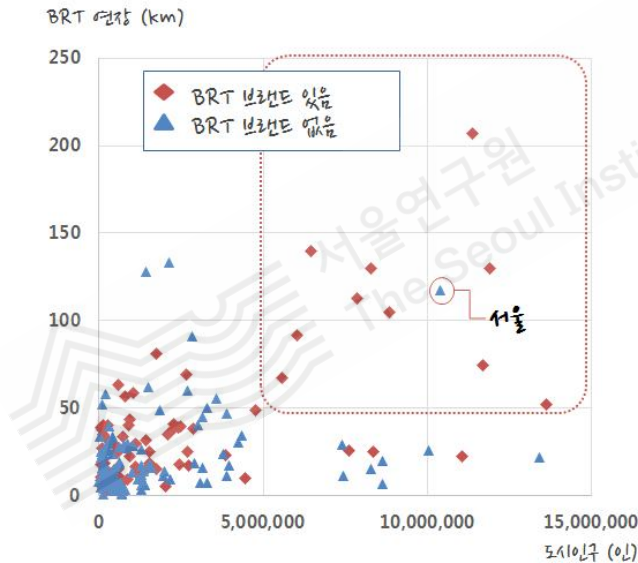


(e) 급/완행 BRT 노선도: 보고타(콜롬비아)

[그림 2-12] BRT 시스템 운영효율 향상을 위해 세계 각 도시에서 도입한 BRT 시스템

5_서울 BRT 이미지 제고를 위한 브랜드 도입 필요

세계 BRT 주요도시들은 상급의 BRT 시스템 도입을 위한 노력 이외에도 해당 도시의 BRT 이미지 제고를 위한 노력을 기울이고 있다. 하나의 브랜드로 통합된 BRT 시스템 운영은 높은 수준의 BRT 서비스를 제공하는 중요 요소 중 하나이다. Global BRT data와 연구진의 추가조사를 기반으로 각 도시의 고유 BRT 브랜드 보유 여부를 조사해본 결과 BRT를 구축한 전 세계 191개 도시 중 고유의 BRT 브랜드를 소유한 도시는 77개 도시에 이른다. 특히 인구 500만 명 이상, BRT 연장이 50km 이상인 11개 도시들을 기준으로 했을 경우 서울을 제외한 모든 도시들이 자체적인 BRT 브랜드를 모두 보유하고 있는 것으로 나타났다.



자료: Global BRT data(<http://brtdata.org>)

[그림 2-13] 도시인구-BRT 연장별 BRT 고유 브랜드 보유 여부

이와 더불어 상급 BRT 시스템을 운영하고 있는 몇몇 도시에서는 대용량 수송이 가능하고 일반 버스와는 차별화된 디자인을 갖는 BRT 전용차량을 도입하여 BRT에 대한 이미지 제고를 위해 노력해왔다. 특히, 리우데자네이루(브라질), 광저우(중국) 등은 BRT 버스의 통행속도 향상 및 용량 증대를 위해 승하차가 동시에 가능한 3개 이상의 출입문을 보유한 BRT 전용 굴절버스를 도입하여 운영 중에 있다.



[그림 2-14] 세계 주요 도시의 BRT 브랜드

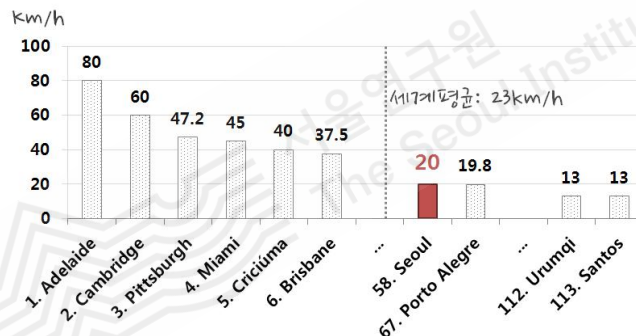


[그림 2-15] 각 도시의 BRT 전용차량

6_세계 평균 수준의 서울 BRT 통행속도

1) 세계 평균 수준의 서울 BRT 통행속도

BRT 버스의 평균 통행속도는 BRT 버스의 운행효율을 가장 쉽게 확인할 수 있는 지표이다. 서울의 경우 BRT 버스 평균 통행속도가 조사된 전체 113개 도시(Global BRT Data 기준) 중 58위로 평균 수준의 버스 평균 통행속도를 보이고 있다. 보다 구체적으로 살펴보면 서울 BRT의 버스 평균 통행속도는 20km/h(2012년 중앙버스전용차로 평균 통행속도, 서울통계)로 세계 평균 23km/h보다는 다소 낮은 수준이다. 그러나 매우 높은 수준의 통행속도를 보이는 BRT 시스템은 지역 간을 연결하는 고속의 도로축에 설치된 경우가 대부분이므로 서울 BRT처럼 도시 내부 통행을 처리하는 시스템과는 분리해서 볼 필요가 있다.



주: 가로축의 숫자는 세계 BRT 버스 평균 통행속도 순위를 의미

자료: Global BRT data(<http://brtdata.org>)

[그림 2-16] 도시별 BRT 버스 평균 통행속도

2) 서울 BRT 통행속도가 낮은 요인은 버스추월차로 설치 미흡, 많은 BRT 차량대수와 정류장 수

서울 BRT의 통행속도가 낮게 나타나는 요인을 확인하기 위해 세계 BRT 버스 통행속도에 영향을 미치는 요인 분석을 수행하였다. 분석은 세계 BRT 버스 통행속도 자료와 관련된 도시별 BRT 시스템 통계자료를 활용하였으며, 종속변수에 자연로그를 취한 회귀분석을 수행하고 표준화 계수를 산정하였다. 분석 결과 BRT 버스 통행속도에 유의확률 0.1에서

유의하게 영향을 미치는 변수로 km당 정류장 수, 추월차로 설치 여부, BRT 운행 차량대수가 선정되었다.

분석결과를 바탕으로 서울 BRT의 버스 통행속도가 낮게 나타나는 이유를 확인할 수 있다. 서울 BRT의 경우 타 도시에 비해 정류장 수와 BRT 운행차량대수가 많다. 또한 서울의 경우 추월차로가 설치된 중앙버스정류장의 비율은 50% 수준에 머물고 있다. 정류장의 수와 BRT 운행차량의 대수는 서울처럼 BRT 이용수요가 많을 경우 단순히 버스 운행속도 향상을 위해 그 규모를 줄이는 것은 옳지 않다고 판단된다. 따라서 현시점에서 서울 BRT의 운행속도를 향상하기 위해서는 추월차로를 적극적으로 도입할 필요가 있다. 분석결과에 따르면 추월차로 설치 시 일반적으로 약 19%의 버스 통행속도 향상을 기대할 수 있다.

[표 2-1] 도시 BRT 버스 운행속도 추정을 위한 회귀분석 변수 목록

| 구분 | 변수 목록 |
|------|---|
| 종속변수 | 도시별 BRT 평균속도(km/h) |
| 설명변수 | 중앙차로, 추월차로 설치 여부, BRT 운행차량대수, BRT 정류장 수, 선지불시스템 구축 여부, 인구밀도, 통합제어센터 구축여부, 환승센터 개수 |

[표 2-2] 도시 BRT 일수요 추정 회귀분석 결과

| 변수 | 계수 | 표준화계수 |
|----------------|-----------|--------|
| Ln(km당 정류장 수) | -0.297*** | -0.509 |
| 추월차로 설치 여부 | 0.188** | 0.223 |
| Ln(BRT 운행차량대수) | -0.032** | -0.168 |
| 상수항 | 3.091*** | - |

주: 1. Adjusted $R^2 = 0.318$, 샘플 수 = 78

2. ***: 0.01 수준에서 유의, **: 0.05 수준에서 유의, *: 0.1 수준에서 유의함

7_상급 BRT 시스템 구축을 위한 제안

앞서 살펴보았듯이 서울 BRT의 시스템 성능을 높이고 나아가 서울 BRT의 국제적 위상을 높이기 위해서는 여러 방면으로 시스템을 보완할 필요가 있다. 다만, 단기간에 상급 BRT 시스템으로 도약하기 위해서는 공간적/재정적인 제약요건이 존재하기 때문에 단계적으로 개선해 나갈 필요가 있다. 서울은 상급 BRT를 도입한 몇몇 도시들에 비해서 도로 공간이 협소하여 BRT 전용차로 혹은 여유 있는 정류장 공간을 확보할 수 있는 여지가 거의 없는 상황이다. 또한 서울의 대규모 BRT 네트워크를 단기간에 전부 상급 BRT 시스템으로 바꾸기 위해서는 엄청난 재정 부담이 따른다. 따라서 서울 BRT 시스템의 향상을 위해서는 단계적인 접근이 필요하며 본 절에서는 서울 BRT가 발전하기 위해서 우선적으로 도입해야 할 요소에 대해서 몇 가지를 제안하였다.

첫째, 서울 고유의 BRT 브랜드를 구축할 필요가 있다. 서울 BRT를 통합 관리하고 서울 BRT의 이미지를 형상화하는 서울 고유의 BRT 브랜드가 구축되어 있지 않은 상황에서 서울 BRT 시스템은 중앙버스전용차로 운영이라는 소극적인 수준의 시스템이라는 이미지에서 벗어나기 힘들 것으로 보인다. 따라서 하나의 BRT 브랜드에서 유기적으로 관리되는 시스템이 구축되어야 서울 BRT의 국제적 이미지 또한 상승될 것으로 보인다.

둘째, BRT 구간만을 운행하는 BRT 전용차량을 부분적으로 도입할 필요가 있다. 서울의 BRT 시스템은 완전 개방형으로 거의 모든 시내버스의 중앙버스차로 진입이 가능한 형태이다. 비록 버스 노선계획 등을 통해서 중앙버스전용차로를 이용하는 서울 시내버스의 수를 제한하고는 있으나 여전히 많은 수의 시내버스가 중앙버스전용차로를 운행하면서 버스 통행속도 저하를 유발하고 있다. 이를 해결하기 위해서는 상급의 폐쇄형 BRT 시스템을 도입하여 과도한 버스 통행을 제한하고 전용차량만이 BRT 전용구간을 이용할 수 있도록 하는 방안이 고려될 수 있다. 다만, 서울의 모든 BRT 구간에 상급의 폐쇄형 BRT 시스템을 도입하는 것은 현실적으로 어려우므로 버스 이용수요가 많은 1~2개의 BRT 노선에 대해서 시범사업 형태로 진행하는 방안을 고려할 수 있다.

03

지하철 연계형의 새로운 모델을 제시하는 서울 BRT

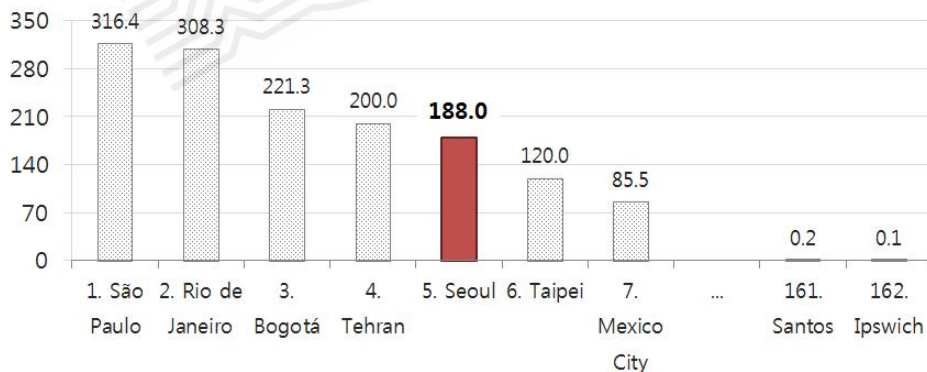
- 1_ 세계 상위권의 BRT 이용수요
- 2_ 서울의 버스 수요를 반영한 BRT 노선 선정
- 3_ 도시규모 대비 높은 수요와 연장
- 4_ 서울 BRT 수요가 높은 요인은 낮은 버스요금과 통합요금제 운영
- 5_ 지하철 연계형의 특성을 보이는 서울 BRT

03 | 지하철 연계형의 새로운 모델을 제시하는 서울 BRT

1_세계 상위권의 BRT 이용수요

제2장에서는 주로 BRT 시스템 측면에서 서울 BRT와 세계 주요 도시의 BRT를 비교하였다. 분석 결과, 시스템 측면에서 서울 BRT는 상급 BRT를 구축한 도시들에 비해서 시스템의 수준이 상대적으로 낮게 나타났다. 그럼에도 불구하고 서울 BRT는 타 도시들과 비교해도 매우 높은 수준의 수요를 보이고 있다. Global BRT data에 따르면 BRT 일일 수요가 집계된 162개 도시 중, 서울은 세계 5위 수준인 것으로 나타난다. 서울이 이와 같이 높은 BRT 수요를 보이는 것은 기본적으로 서울의 BRT 연장이 길고 그에 따라 BRT 구간을 운행하는 차량의 대수 또한 많기 때문으로 보인다. 하지만 앞서 언급하였듯이 상대적으로 낮은 수준의 BRT 시스템으로 운영됨에도 불구하고 높은 BRT 이용수요를 보이는 것에는 서울의 도시여건(타 교통현황, BRT 네트워크형태, 인구규모 등)이 영향을 미친 것으로 보인다. 따라서 본 장에서는 서울의 도시특성을 고려한 BRT 수요 비교 분석을 수행하였다.

일수요(만 명)



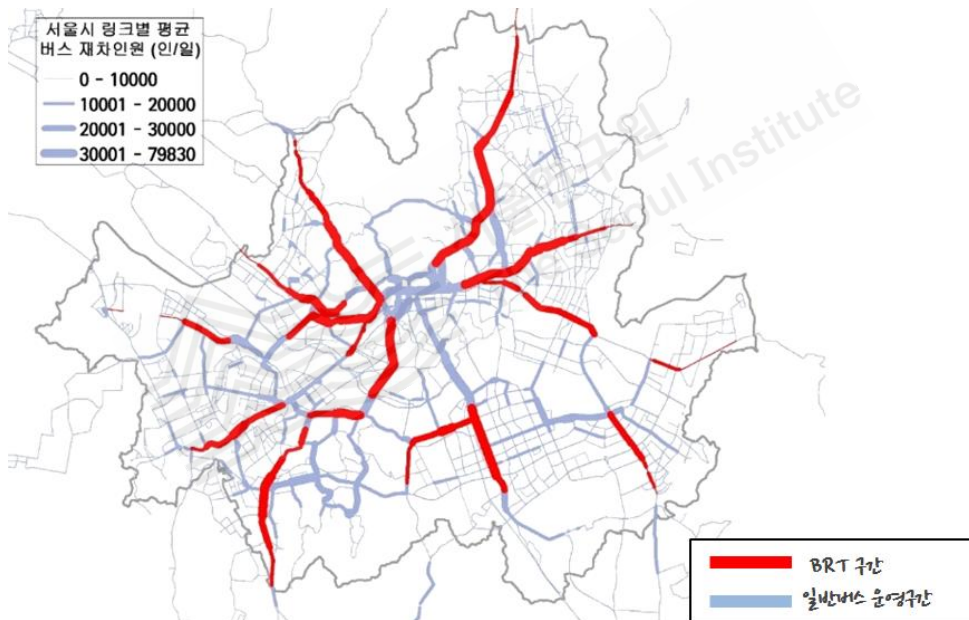
주: 서울의 BRT 일수요는 2014. 9. 19. ~ 2014. 10. 11. 기준의 스마트카드 자료를 활용하였으며, 서울시 중앙버스정류장의 승차인원을 기준으로 재산정한 결과임

자료: Global BRT data(<http://brtdata.org>)

[그림 3-1] 도시별 BRT 일수요 순위

2_서울의 버스 수요를 반영한 BRT 노선 선정

BRT 전용차로 구간 선정은 BRT의 성공에 있어서 중요한 요소이다. 일반적으로 버스 수요가 많은 구간에 BRT 노선을 설치해야 BRT 시스템 투자비용 대비 효과를 극대화할 수 있다. ITDP et al.(2014)에서도 BRT 전용차로 구간이 버스 수요 상위 10개 지점에 설치되어 있는지 여부를 BRT 시스템 평가의 중요한 요소로 보고 있다. 서울연구원(2014) 자료를 바탕으로 BRT 버스와 일반버스 노선의 평균 재차인원을 분석한 결과를 나타낸 [그림 3-2]를 살펴보면, BRT 구간의 평균 버스 재차인원은 일반버스 운영구간에 비해서 상대적으로 높음을 알 수 있다. 즉, 서울의 BRT 전용차로는 서울의 버스 이용수요 패턴을 잘 반영하여 그 구간이 설정된 것으로 판단된다.



[그림 3-2] 서울 BRT 버스 및 일반버스 운영구간의 평균 재차인원

또한, [표 3-1]에서 보는 바와 같이 BRT 구간 운행 버스의 하루 평균 재차인원은 일반버스에 비해서 두 배 정도 높으며 특히 BRT 구간을 50% 이상 운행하는 버스의 경우에는 차이가 더 크게 나타남을 알 수 있다. 또 다른 측면에서 버스전용차로 운행은 버스 이용자 수를 늘리는 효과가 있음을 암시한다고도 볼 수 있다.

[표 3-1] 일반버스와 BRT 구간 버스 운행 현황 비교

| 구분 | 일반버스 (BRT 제외) | BRT 구간 운행버스 (BRT 구간 50% 이상 이용 노선) |
|------------------|------------------|--------------------------------------|
| 버스노선 수 | 79 | 282(50) |
| 하루 평균 재차인원(인/일) | 1,041 | 2,171(2,793) |
| 첨두시 평균 재차인원(인/시) | 105 | 136(172) |

주: 첨두시는 오전 8~10시에 서울 지역을 운행한 버스차량을 기준으로, 1시간 평균 첨두시를 유동적으로 계산한 결과임

자료: 서울연구원(2014)

BRT 정류장의 개수는 서울시 전체 버스 정류장 수의 약 5%에 불과한 수준이나 이들 BRT 정류장에서 탑승하는 버스 승차인원은 전체의 34%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 즉, 버스 승차인원이 많은 구간에 서울시 BRT 정류장이 적절하게 배치되어 있음을 알 수 있다.

[표 3-2] 일반버스 정류장과 BRT 정류장의 승차인원 비교

| 구분 | 일반 버스 정류장(A) (BRT 포함) | BRT 정류장(B) | B/A |
|-----------------|--------------------------|------------|-------|
| 정류장 개수 | 6,126 | 334 | 5.4% |
| 일평균 승차인원(만 명/일) | 558 | 188 | 33.7% |

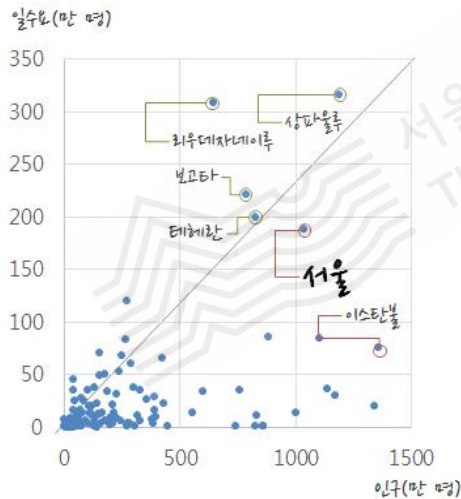
자료: 스마트카드 자료, 분석기간: 2014. 9. 19. ~ 2014. 10. 11.

3_도시규모 대비 높은 수요와 연장

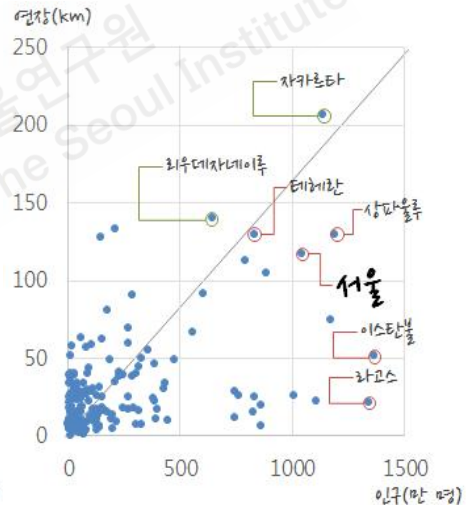
1) 도시인구규모 대비 높은 수요와 연장

앞서 언급하였듯이, 서울의 BRT 수요는 세계 5위권으로 매우 높은 수준이다. 다만, 이러한 결과는 서울의 인구규모가 상대적으로 크기 때문에 자연스럽게 BRT의 수요 또한 높게 나타나는 현상으로 보이기 쉽다. 따라서 인구규모 대비 BRT 수요를 살펴볼 필요가 있다. [그림 3-3]을 살펴보면, BRT 수요 최상위권 도시인 상파울루(브라질), 리우데자네이루(브라질), 보고타(콜롬비아), 테헤란(이란)(이들 도시는 [그림 3-3] 그래프의 대각선 위에 분포함) 등을 제외하고는 서울의 BRT 수요는 인구규모를 고려하더라도 상대적으로 높은 편이다.

한편, BRT 연장 측면에서도 자카르타(인도네시아), 리우데자네이루(브라질), 테헤란(이란) 등을 제외하고는 서울이 인구규모 대비 BRT 연장을 많이 확보한 도시인 것으로 나타난다.



[그림 3-3] 도시별 인구수와 BRT 일수요



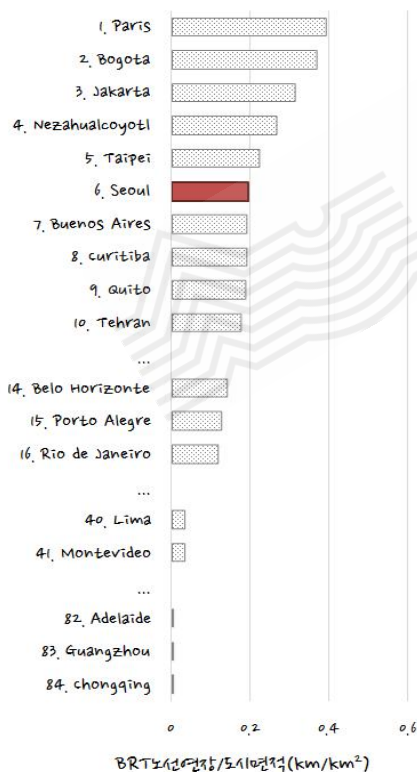
[그림 3-4] 도시별 인구수와 BRT 연장

2) 도시면적 대비 높은 연장 구축, 높은 노선당 BRT 이용수요

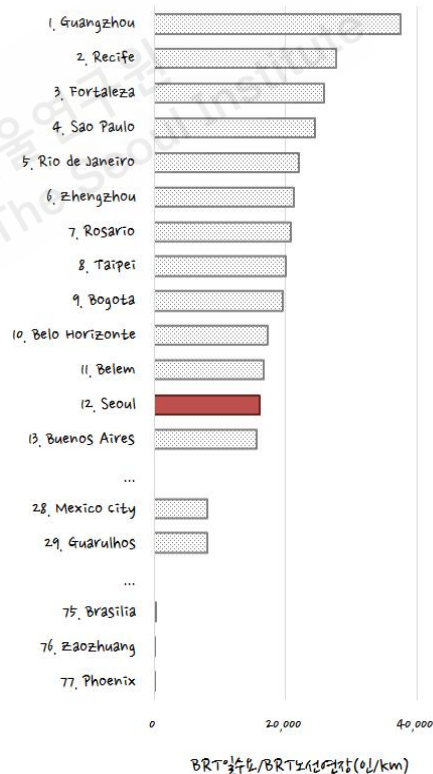
도시의 BRT 연장은 도시의 규모와 관련이 있다. 도시 규모가 클수록 대중교통노선이 공급되어야 하는 지역이 늘어나기 때문에 BRT 연장 또한 대규모로 구축되어야 할 필요성이

있다. 이러한 측면에서 도시면적 대비 서울 BRT의 연장이 어느 수준인지 확인할 필요가 있다. 아래 [그림 3-5]에서 살펴보면, 도시면적 대비 서울 BRT 연장은 인구 100만 명 이상 84개 도시 중 6위로 나타나 도시면적 대비 BRT 연장이 높게 나타남을 알 수 있다.

앞서 언급하였듯이, 서울 BRT 일일 총 수요는 188만 명/일로 세계 5위를 기록하여 매우 높은 수준으로 나타났다. 다만, 이 수치는 단순 총량을 비교한 것으로 개별 BRT 노선의 수요를 비교하여야만 서울 BRT 노선의 수송능력을 제대로 파악할 수 있다. 이를 위해 BRT 노선 1km당 BRT 일평균 수요를 산정하였으며 인구 100만 명 이상 77개 도시 기준 서울 BRT의 순위는 12위로 여전히 높은 수준으로 나타났다. 다만, BRT 일일 총 수요가 세계 5위였던 점을 감안하면 서울 BRT 개별 노선의 수송능력은 세계 상위권 도시 수준에는 미치지 못하는 것으로 나타났다.



[그림 3-5] 도시면적 대비 BRT 노선 연장 순위
(인구 100만 명 이상 도시 기준)



[그림 3-6] BRT 노선 1km당 BRT 일평균 수요
순위(인구 100만 명 이상 도시 기준)

4_서울 BRT 수요가 높은 요인은 낮은 버스요금과 통합요금제 운영

1) BRT 이용수요는 도시특성, 공급수준, 운영수준에 의해 결정

본 절에서는 중급 이하 수준의 서울 BRT의 이용수요가 높게 나타나는 영향 요인을 파악하기 위해 도시별 BRT 일수요를 종속변수로 하는 회귀분석을 수행하였다. 설명변수에는 도시특성, BRT 공급 및 운영 수준 변수를 추가하였으며 유의한 변수를 선정하기 위해 단계선택(Stepwise selection) 방법을 채택하였다(제거확률 0.1).

단계선택 분석 결과 도시 BRT 일수요에 유의확률 0.1에서 유의한 영향을 미치는 변수로 차량대수, 인구수, 버스기본요금, 통합요금제 운영, BRT 노선 수가 선정되었다. 또한 모형의 표준화 계수 분석 결과 도시 BRT 일수요에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 공급수준 변수인 차량대수로 나타났다. 기본적으로 도시 BRT 일수요가 많을수록 차량 보급대수가 증가하기 때문에 위의 변수가 가장 큰 영향요인으로 나타난 것으로 보인다. 특히, 버스요금과 통합요금제 운영 여부가 유의한 변수로 나타난 것으로 보아 경제적 요인도 BRT 수요의 주요한 영향요인인 것으로 보인다. 또한, BRT 노선 수 변수가 유의하게 나타난 것으로 보아 BRT 네트워크 효과(BRT 노선 수가 증가할수록 노선 간 환승이 보다 자유로워져 지리적 이용범위가 넓어짐)가 발생하는 것으로 보인다.

[표 3-3] 도시 BRT 일수요 추정을 위한 회귀분석 변수

| 구분 | | 변수 |
|------|------|---|
| 종속변수 | | 도시별 BRT 일일 총 수요(인/일) |
| 설명변수 | 도시특성 | 인구, 지하철 연장/노선 수, GDP |
| | 공급수준 | 차량대수, BRT 노선 수, 중앙버스전용차로 설치율, 추월차로 설치 여부 |
| | 운영수준 | 버스요금, 통합요금제, 통합운영기관 유무, 실시간 정보 제공, 정류장 간격 |

[표 3-4] 도시 BRT 일수요 추정 회귀분석 결과

| 변수 | 계수 | 표준화계수 | 평균 | 표준편차 |
|-----------------|-----------|--------|-----------|-----------|
| Ln(차량대수: 대) | 0.779*** | 0.678 | 220.934 | 534.627 |
| Ln(인구수: 명) | 0.162** | 0.134 | 1,953,027 | 2,852,577 |
| Ln(버스기본요금: USD) | -0.2** | -0.114 | 1.502 | 1.230 |
| 통합요금제 운영 | 0.383** | 0.106 | 0.551 | 0.499 |
| BRT 노선 수 | 0.067** | 0.106 | 2.112 | 2.534 |
| 상수항 | 12.696*** | | | |

주: 1. Adjusted $R^2 = 0.812$, 샘플 수 = 112

2. ***: 0.01 수준에서 유의, **: 0.05 수준에서 유의, *: 0.1 수준에서 유의함

3. 평균, 표준편차는 변수에 로그를 취하지 않은 값임

이와 더불어 BRT 노선 km당 수요에 영향을 미치는 영향요인 파악을 위해 위의 분석과 마찬가지로 단계선택을 적용한 회귀분석을 수행하였다. 분석 결과, 앞선 BRT 일수요 분석 모형과 마찬가지로 차량대수, 인구, 버스요금, 통합요금제 운영 여부, BRT 노선 수가 유의한 변수로 나타났으며 여기에 km당 정류장의 개수가 추가되었다.

[표 3-5] 도시 BRT 노선 1km당 일수요 추정을 위한 회귀분석 변수

| 구분 | | 변수 |
|------|------|---|
| 종속변수 | | 노선 1km 평균 BRT 일수요(인/일/km) |
| 설명변수 | 도시특성 | 인구밀도, 지하철 연장/노선 수, GDP |
| | 공급수준 | 노선당 차량대수, BRT 노선 수, 중앙버스전용차로 설치율, 추월차로 설치 |
| | 운영수준 | 버스요금, 통합요금제, 통합운영기관 유무, 실시간 정보 제공, 정류장 간격 |

[표 3-6] 도시 BRT 노선 1km당 일수요 추정 회귀분석 결과

| 변수 | 계수 | 표준화계수 | 평균 | 표준편차 |
|------------------------------|-----------|--------|--------|---------|
| Ln(노선당 차량대수 : 대) | 0.699*** | 0.586 | 95.469 | 197.922 |
| Ln(버스기본요금: USD) | -0.294*** | -0.209 | 1.502 | 1.230 |
| Ln(Km당 정류장 수) | 0.522*** | 0.186 | 1.705 | 1.028 |
| 통합요금제 운영 | 0.459** | 0.157 | 0.551 | 0.499 |
| BRT 노선 수 | 0.077** | 0.152 | 2.112 | 2.534 |
| Ln(인구밀도: 인/km ²) | 0.162* | 0.114 | 5,677 | 20,056 |
| 상수항 | 3.344*** | | | |

주: 1. Adjusted $R^2 = 0.630$, 샘플 수 = 109

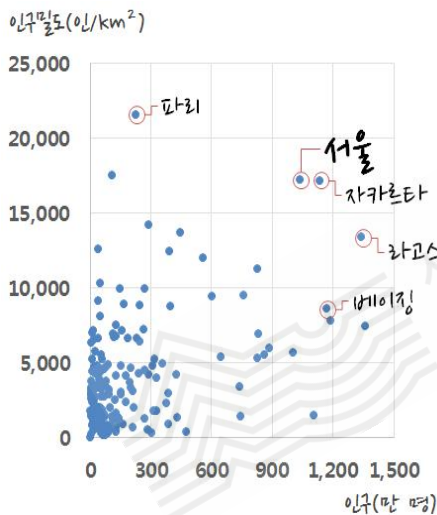
2. ***: 0.01 수준에서 유의, **: 0.05 수준에서 유의, *: 0.1 수준에서 유의함

3. 평균, 표준편차는 변수에 로그를 취하지 않은 값임

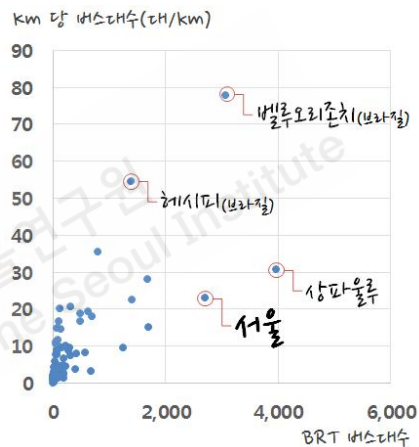
앞의 두 모형 결과를 통해 직관적으로 예측되었던 중앙버스전용차로, 추월차로 등의 BRT 공급 측면의 변수 이외에도 버스요금, 통합요금제 등의 BRT 운영 측면의 변수가 BRT 이용 수요에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 앞서 분석된 바와 같이, 서울 BRT는 노선 연장은 긴 편이나 상급 BRT 수준에는 못 미치는 물리적 여건을 갖추고 있는 것으로 파악되었다. 그럼에도 불구하고 서울 BRT 이용수요가 세계 상위권을 나타내는 것은 앞의 통계적 모형이 설명하고 있는 것처럼 운영방법의 우수성에 있는 것으로 보인다. 즉, 세계 평균보다 낮은 버스요금을 유지하고 있으며 통합요금제 운영을 통한 버스 간 혹은 지하철로의 자유로운 환승이 이용수요 확대에 기여하고 있는 것으로 판단된다. 지하철 연계형의 광범위한 BRT 네트워크를 확보하고 있으며 저렴한 통합요금제를 시행하는 서울 BRT는 상급 BRT를 운영하고 있는 도시와는 차별화된 형태의 BRT 시스템인 것으로 평가될 수 있을 것이다.

2) 높은 인구수, 인구밀도, BRT 버스대수가 서울 BRT 이용수요 증대에 기여

앞의 회귀분석 결과에서 나타나듯이 인구와 BRT 운행차량대수가 도시의 BRT 이용수요를 결정하는 데 중요한 요소로 작용하고 있다. [그림 3-7]에서 보는 바와 같이 서울의 인구와 인구밀도는 BRT를 도입한 도시들 중에서도 매우 높은 편에 속한다. 즉, 서울 BRT를 이용할 수 있는 잠재적인 수요가 상당히 많다는 것을 의미한다. 또한 [그림 3-8]에서 보는 바와 같이 서울의 경우 BRT 차량 운행대수가 세계 3위권이며 km당 버스운행대수 또한 세계 상위권에 속한다. 즉, 서울의 많은 잠재적인 BRT 수요를 다량으로 보급된 서울 BRT 버스가 상당 부분 처리하고 있음을 나타내고 있다.



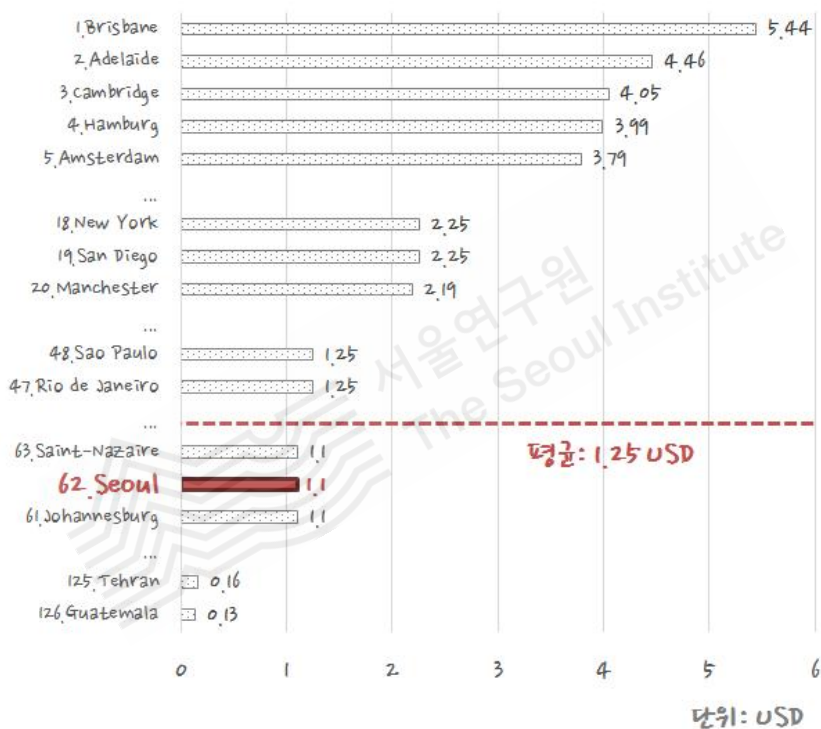
[그림 3-7] BRT를 도입한 도시들의 인구/인구밀도 분포



주: 서울 버스대수는 서울시 간선버스 3,459대에 BRT 버스 노선 비율(282개 노선/361개 노선)을 적용하여 산정함

[그림 3-8] BRT 버스대수 및 운행대수 분포

3) 서울의 낮은 BRT 버스요금, 통합요금제가 서울 BRT 이용수요 증대에 기여
 앞의 회귀분석결과에서 나타나듯이 버스요금은 BRT 이용수요의 중요한 영향요인이다. 서울의 경우 버스 운행 요금이 [그림 3-9]에서 보이는 바와 같이 전 세계 평균보다 낮은 수준으로 제공되고 있어 서울 BRT 이용수요를 높이는 요인으로 작용하고 있다. 이와 더불어 서울은 시내버스, 지하철을 연계하는 통합 환승시스템을 구축하여 시민들이 더 저렴한 대중교통요금으로 서울 대중교통서비스를 이용할 수 있도록 하고 있다.



주: 세로축의 숫자는 세계 BRT 버스 요금 순위를 의미함

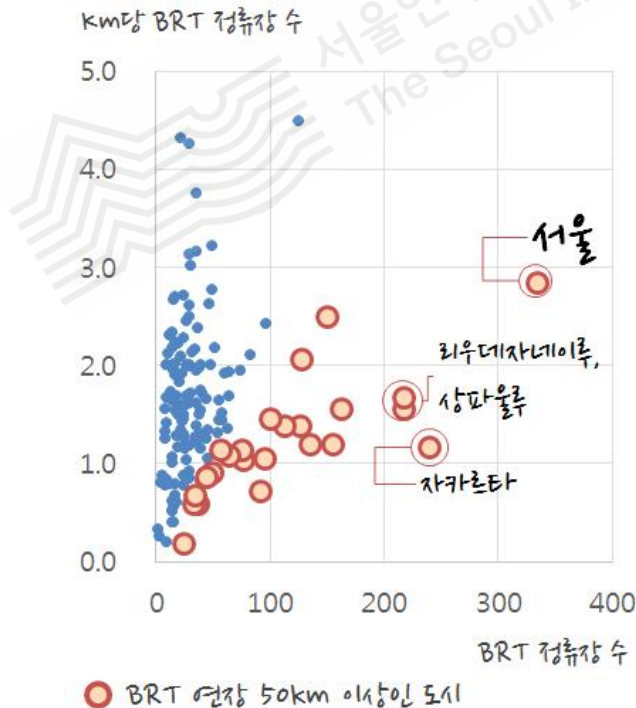
자료: Brtdata.org

[그림 3-9] 세계 BRT 버스 요금 순위

4) 세계 1위의 BRT 정류장 수는 서울 BRT 이용수요 증대에 기여

또한 앞의 분석결과에서 나타나듯이 BRT 정류장의 수는 BRT 이용수요 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다. BRT 정류장이 많이 분포할수록 시민들의 BRT 접근성은 향상될 수 있기 때문이다. 서울의 BRT 정류장 수는 334개소로 세계 2위를 차지하고 있는 자카르타의 정류장 수 240개소보다도 약 100개 정도 많다. 또한 km당 BRT 정류장 수는 BRT 연장 50km 이상인 도시를 기준으로 해도 세계 1위로 나타났다. 이처럼 서울시 전역에 걸쳐 다수 분포하고 있는 서울 BRT 정류장이 서울 BRT 이용수요 증대에 기여하고 있음을 시사하고 있다.

한편, 많은 정류장 수는 잦은 정차로 버스의 통행속도를 떨어뜨릴 수 있음을 앞서 지적하였다. 따라서 상반된 관계에 있는 통행속도 혹은 접근성의 균형을 어떻게 맞출 건지에 따라 BRT 정류장 설치 및 운영계획은 달라질 수 있다. 이번 연구의 분석결과에 따르면 서울의 BRT는 통행속도보다는 접근성에 보다 높은 가중치를 두고 있는 것으로 평가된다.



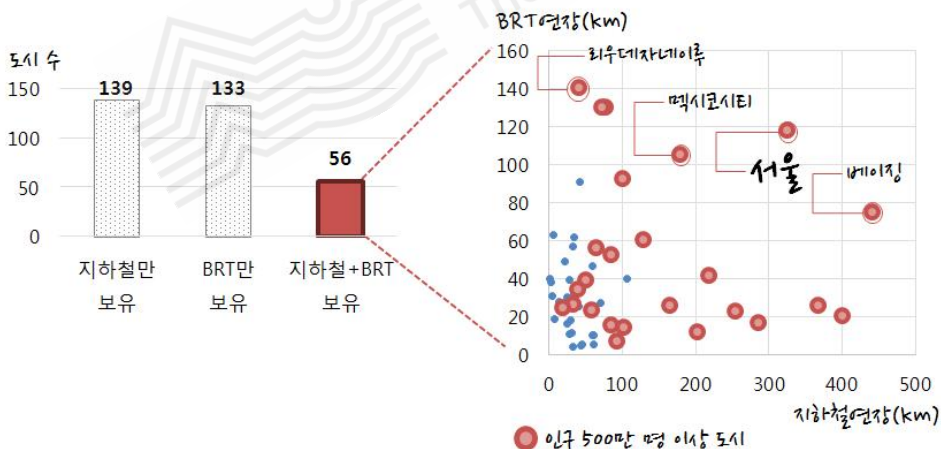
[그림 3-10] 세계 BRT 정류장 수 분포

5_지하철 연계형의 특성을 보이는 서울 BRT

1) 지하철과 BRT를 동시에 대규모로 구축한 도시는 서울을 포함한 일부 도시에 한정

기본적으로 BRT 수요는 타 경쟁교통수단(지하철, 승용차 등)의 구축환경에 의해 영향을 받는다. 예를 들어 북미지역처럼 승용차 이용 여건이 양호한 지역에서 BRT 수요를 확보하기는 쉽지 않다. 반대로 고급 대중교통수단인 지하철이 잘 구축되어 있지 않은 남미지역의 경우 상대적으로 BRT 수요를 쉽게 확보할 수 있다.

[그림 3-11]에서 보는 바와 같이 BRT를 보유하고 있는 189개 도시 중 지하철 시스템을 보유하고 있는 도시는 56개 도시에 불과하다. 또한 이들 56개 도시의 BRT와 지하철 연장 분포를 살펴보면, 전반적으로 지하철 연장이 높을수록 BRT 연장은 상대적으로 낮게 나타남을 알 수 있다. 서울의 경우 BRT 연장과 지하철 연장 모두 세계 상위권에 속하는 몇 안 되는 도시(멕시코시티, 베이징) 중 하나이며, 특히 서울은 지하철과 BRT 연장이 균형적으로 구축되어 있음을 알 수 있다.



자료: Global BRT data, World Metro Database(metrobits.org)

[그림 3-11] BRT 구축 도시의 지하철 시스템 구축 여부 및 지하철/BRT 연장 분포

2) 대중교통 수단분담률이 상대적으로 높은 지하철-BRT 네트워크를 구축한 서울

지하철과 BRT는 상급 대중교통시스템으로서 이 두 시스템의 구축은 대중교통 수단분담률을 높이는 데 큰 기여를 한다. 또한 이러한 상급 대중교통시스템의 노선이 확장될수록 노선 간 환승이 가능해지므로 그 효과가 더욱 크게 나타난다. 본 절에서는 지하철 연계형의 BRT 시스템 구축의 네트워크 효과를 확인하고자 지하철과 BRT의 네트워크 형태에 따른 도시 BRT 유형을 [표 3-7]과 같이 분류하였다. 지하철이 구축된 도시의 경우 지하철 연계형, 반대로 지하철이 없는 도시의 경우 BRT 중심형으로 정의하였다. 또한 각 유형에 대해 지하철 또는 BRT의 노선 개수가 3개 이상인 경우 네트워크형, 3개 미만인 경우에는 단일노선형으로 정의하였다.

[표 3-7] 도시특성에 따른 BRT 네트워크 유형 분류

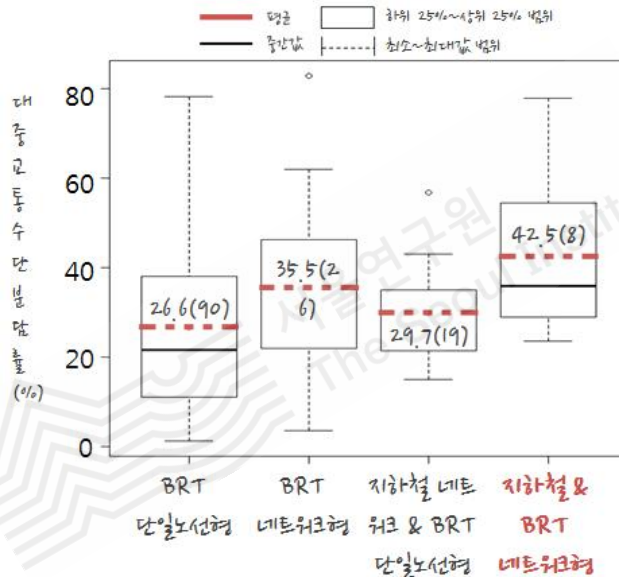
| 유형 분류 | | 분류기준 | 도시 수 |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------|
| 지하철 연계형 BRT | 지하철 & BRT 네트워크형(SN) | 지하철 노선 ≥ 3 , BRT 노선 ≥ 3 | 9 |
| | 지하철 네트워크 & BRT 단일노선형(SC) | 지하철 노선 ≥ 3 , BRT 노선 < 3 | 23 |
| BRT 중심형 | BRT 네트워크형(BN) | 지하철 노선 < 3 , BRT 노선 ≥ 3 | 34 |
| | BRT 단일노선형(BC) | 지하철 노선 < 3 , BRT 노선 < 3 | 125 |

도시 BRT 유형 분류 결과 지하철 & BRT 네트워크형으로 분류된 도시는 서울을 포함하여 전 세계 9개 도시뿐이다. 도시 BRT 유형별 대중교통 수단분담률의 차이를 분석한 결과, 크게 지하철 & BRT 네트워크형, BRT 네트워크형, 지하철 네트워크 & BRT 단일노선형, BRT 단일노선형의 순으로 나타났다. 지하철 & BRT 네트워크형의 평균 대중교통 수단분담률은 42.5%이며, 서울의 경우 65.6%(2012년 기준, 서울통계)로 서울의 대중교통 수단분담률은 같은 유형 내에서도 상당히 높은 편에 속한다.

여러 집단 간의 평균 차이 분석인 ANOVA 분석 결과 유의수준 5%에서 집단 간의 평균

차이가 있음이 검증되었다. 또한 ANOVA의 사후분석인 TUKEY's test 분석 결과 지하철 & BRT 네트워크형과 BRT 단일노선형의 대중교통 수단분담률의 평균 차이가 95% 수준에서 유의하게 나타났다. 이를 통해 서울과 같은 지하철 & BRT 네트워크형의 대중교통 수단분담률이 통계적으로 유의하게 높음을 알 수 있다.

4절의 서울 BRT 노선 1km당 BRT 수요가 상급 BRT 시스템에 비해 상대적으로 낮게 나타난 것과 비교할 때 지하철과 BRT의 연계효과가 서울의 대중교통 수단분담률을 높이는 작용을 한 것으로 보인다.



주: 수송분담률이 조사된 도시 기준. 박스 안의 숫자는 평균(샘플 수)임

[그림 3-12] 도시 BRT 유형에 따른 대중교통 수단분담률 차이 분석(Box-and-Whisker 그래프)

[표 3-8] 도시 BRT 유형별 대중교통 수단분담률의 차이 분석 결과(ANOVA 분석)

| | df | 제곱합 | 평균제곱 | F | 유의확률 |
|------|-----|--------|--------|-------|--------|
| 집단-간 | 3 | 3,038 | 1012.7 | 3.003 | 0.0326 |
| 집단-내 | 139 | 46,868 | 337.2 | - | - |
| 합계 | 142 | 49,906 | - | - | - |

[표 3-9] 도시 BRT 유형별 대중교통 수단분담률 차이 분석: 95% 유의수준의 사후검정 결과(TUKEY's test)

| 구분 | 평균 차 | 하한값 | 상한값 | 유의확률 |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| BN-BC | 8.873932 | -1.75746 | 19.50533 | 0.136634 |
| SC-BC | 3.109357 | -8.94612 | 15.16483 | 0.907986 |
| SN-BC | 15.90278 | -1.71358 | 33.51913 | 0.09243 |
| SC-BN | -5.76458 | -20.1762 | 8.647019 | 0.726179 |
| SN-BN | 7.028846 | -12.2765 | 26.33417 | 0.779647 |
| SN-SC | 12.79342 | -7.33127 | 32.91812 | 0.352587 |

주: SN은 지하철 & BRT 네트워크형, SC는 지하철 네트워크 & BRT 단일노선형, BN은 BRT 네트워크형, BC는 BRT 단일노선형



04

서울 BRT 브랜드 도입과 지하철 연계 강화 필요

- 1_ BRT 브랜드 및 BRT 전용차량 도입
- 2_ 지하철-BRT 네트워크 지속 확장 및 연계 강화
- 3_ 도시별 BRT 특성에 대한 다양한 측면의 연구 필요

04 | 서울 BRT 브랜드 도입과 지하철 연계 강화 필요

2004년 대중교통체계 개편과 함께 도입된 서울 BRT는 어느덧 도입된 지 10년이 넘어 네트워킹의 지속적인 확장과 시스템 개편으로 서울시 대중교통의 주축으로 자리를 잡았다. 앞서 살펴본 바와 같이, 서울 BRT는 규모적인 측면에서 세계 상위권의 BRT 수요와 연장을 자랑하고 있다. 서울 BRT의 도입 시기가 상대적으로 늦음에도 불구하고 이렇게 단기간에 대규모의 BRT를 구축한 것은 괄목할 만한 성과로 평가될 수 있다.

그러나 그동안 지속적인 발전을 거듭해온 서울 BRT는 새로운 전환 시점을 맞이하고 있다. 네트워크의 지속적인 확장에도 불구하고 상급 BRT 시스템을 도입한 해외 여러 도시들과 비교할 때 서울 BRT 시스템은 여전히 개선할 점이 많은 것으로 판단된다. 서울 BRT의 경우 선지불시스템, 버스 전용신호, 추월차로, 급/완행 시스템 등의 미흡으로 통행속도 측면에서 한계를 보이고 있다. 물론 이러한 한계가 서울시 도로 및 교통여건이 갖고 있는 제약에 의해서 발생되고 있는 것이기는 하나 새로운 도약을 위해서 가능한 부분에 대해서는 지속적인 보완이 필요할 것으로 보인다. 한편, 서울의 BRT 정류장 수는 해외도시와 비교했을 때 매우 많은 편으로 이용수요를 끌어올리는 데는 기여한 것으로 보이나 또 다른 측면에서는 버스의 통행속도를 낮추는 양면성이 있는 것으로 평가된다. 따라서 통행속도와 접근성(높은 접근성으로 인한 이용수요 증대효과)의 적정 조합을 찾아 정비하는 방안에 대한 고민도 필요할 것으로 보인다.

최근, 2004년 대대적인 서울 대중교통체계 개편과 함께 도입되기 시작한 서울 BRT 시스템에 대한 해외 여러 도시들의 관심이 점차적으로 증대되고 있다. 기존 시가지를 대상으로 BRT 시스템이 이처럼 단기간에 도시 전역을 대상으로 구축된 사례는 서울을 포함하여 자카르타(인도네시아), 부에노스아이레스(아르헨티나) 등 몇몇 도시에 불과하기 때문이다. 다만, 이러한 도시들의 경우 최소한 중급 이상의 BRT 시스템을 구축한 반면 서울의 경우에는 초급 BRT 수준의 시스템을 도입하여 왔다. 이로 인해 해외 타 도시에서 더 나은 시스템을 도입할 경우 앞으로 서울 BRT의 국제적인 위상을 지속적으로 유지하기가 어려워질 수 있을 것이다.

다만, 서울의 도로여건과 재정부담 등을 감안하였을 때 현실적으로 단기간에 서울시 전체 BRT 네트워크에 고급 시스템을 도입하기에는 쉽지 않다. 따라서 서울 BRT가 점차적으로 발전할 수 있는 계기를 마련하고 국제적인 위상을 높이기 위해 우선적으로 도입해야 할 두 가지 방안을 제시하였다.

1_BRT 브랜드 및 BRT 전용차량 도입

앞서 언급하였듯이, 서울을 제외하면 대규모의 BRT 네트워크와 도시인구를 확보한 도시에서는 모두 자체적인 BRT 브랜드를 갖고 있다. 자체적인 BRT 브랜드를 보유하고 있다는 의미는 단순히 BRT 로고를 부착한 차량이 버스전용차로를 운행한다는 의미에 국한되는 것이 아니다. BRT 브랜드를 소유하고 있는 도시들의 경우 대부분 독립된 BRT 관리 기구가 존재한다. 이러한 BRT 관리 기구는 BRT 전체 노선을 통합적으로 계획 및 관리하여 BRT 차량의 효율적 운영을 돕고 있다. 이와 더불어 BRT 브랜드를 소유한 대부분의 도시들은 BRT 전용차량을 운영하고 있다. 이러한 도시에서 운영 중인 BRT 전용차량은 BRT 브랜드 로고가 부착되어 있으며 일반 시내버스와 비교하여 상급 버스(굴절버스, 저상버스)의 형태로 운행된다. 이와 더불어 이러한 도시들의 BRT 전용버스는 BRT 전용구간만을 운행하기 때문에 일반 버스노선과는 다른 고급 버스의 이미지를 표출하고 있다. 또한, 이러한 도시들 대부분이 전용버스와 상급의 BRT 시스템을 운영하고 있어 그 수송능력은 타 도시에 비해 높은 편이다.

BRT의 브랜드화, 이와 동시에 BRT 전용차량의 투입은 단기적으로는 도시 BRT의 이미지를 향상하는 역할을 수행하며 나아가 상급 BRT 시스템 도입의 발판을 마련하는 데 도움을 줄 수 있다. 서울 BRT는 광범위한 BRT 네트워크를 보유하고 있음에도 불구하고 현재까지 서울 시민들에게 서울 BRT의 이미지는 단순한 중앙버스전용차로 이미지에 한정되어 있다. 현재의 인프라 구축 수준에서 단기간에 BRT의 이미지를 향상시키는 방법은 BRT의 브랜드화가 가장 효과적인 방안인 것으로 보인다. 또한, 점진적인 물리적 개선을 통해 서울 BRT의 이미지와 성능을 동시에 향상시킬 수 있을 것이다.

2_지하철-BRT 네트워크 지속 확장 및 연계 강화

상급 BRT시스템을 도입한 도시들에 비해 상대적으로 낮은 수준의 BRT 시스템으로 운영되고 있음에도 불구하고 서울 BRT는 세계 5위의 BRT 수요를 확보하고 있다. 이는 도시 인구가 많고 인구밀도가 높아 서울 BRT의 잠재적인 수요가 많다는 도시 규모적 특성과 더불어 서울이 그동안 대규모의 BRT 네트워크를 구축하고 버스 서비스 공급을 지속적으로 유지한 노력에 기인하는 것으로 보인다.

다만, 세계 5위권의 도시 BRT 총 일일수요 대비 km당 BRT 수송인원은 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 보아 서울 BRT의 단위 노선당 수송능력은 다소 미흡한 것으로 나타났다. 따라서 운영효율을 높이기 위한 고용량의 차량 공급, 물리적 혹은 비물리적 방법을 활용한 버스정류장 용량 확충 등의 노력이 필요할 것으로 보인다.

서울은 BRT와 지하철 연장이 동시에 대규모로 구축된 거의 유일한 도시이다. 다량의 BRT & 지하철 네트워크를 확보한 서울은 BRT & 지하철 네트워크형 도시들의 평균 대중교통 수단분담률인 42.5%를 훨씬 뛰어넘는 64.3%를 보이고 있다. 즉, 서울은 BRT와 지하철의 균형적인 네트워크 구축과 함께 통합요금제 구축, BRT-BRT, BRT-지하철, 지하철-지하철 간의 환승시스템을 구축하여 대중교통시스템 전반의 총 수요를 높이는 형태의 대중교통시스템을 구축하고 있는 것으로 보인다. 이는 도시교통의 전체적인 측면에서 타 도시들과는 대비되는 새로운 형태의 BRT 시스템을 보유하고 있음을 암시한다. 결론적으로 BRT를 도입한 대다수의 도시들이 BRT 혹은 지하철 중 하나의 시스템에 집중한 반면, 서울의 경우 두 가지 시스템을 균형적으로 그리고 대규모로 발전시켜 왔다. 서울 BRT는 앞으로도 이러한 대규모 연계성을 지속적으로 강화해 나가야 할 것으로 보인다. 이를 위해 버스-버스 혹은 버스-지하철 간에 보다 편리한 환승체계 및 통합요금시스템 구축이 필요할 것으로 보인다.

3_도시별 BRT 특성에 대한 다양한 측면의 연구 필요

이 연구에서는 BRT 시스템과 수요 특성을 중심으로 BRT 국제 비교 연구를 수행하였다. 이를 통해, 이 연구는 서울 BRT의 위상을 파악하고 서울 BRT가 발전하기 위한 여러 방안을 제시하였다. 다만, 이 연구는 제한적인 BRT 데이터 수집 여건에서 분석이 수행되어 몇몇 한계를 나타냈다. 따라서 이러한 한계를 극복하고 좀 더 객관적인 BRT 국제 비교 평가를 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

BRT를 도입한 각각의 도시들은 BRT를 도입하게 된 배경이 다르다. 쿠리치바의 경우 도시계획 단계에서부터 BRT를 도시의 주된 교통체계로 설정하였으므로 BRT 최초 도입 시기부터 상급의 BRT 시스템을 계획하여 구축하였다. 반대로 서울의 경우에는 BRT 노선 계획 당시 이미 도시형태가 상당히 결정되었으며 BRT 노선이 자리하게 될 도로의 폭이 여의치 않아 상대적으로 낮은 수준의 BRT 시스템으로 계획되었다. 또한 서울 BRT가 최초 도입될 당시 이미 상당히 많은 지하철 노선이 구축되어 있었기 때문에 서울 BRT는 도시의 주된 대중교통체계로 설계되기보다는 지하철을 보조하거나 병행하여 대등하게 서비스하는 역할을 담당하도록 설계되었다. 다만, 서울의 경우에는 BRT 시스템을 지원하는 버스정보시스템, 스마트카드 등 다양한 ITS 시스템을 도입하여 소프트웨어적인 성능을 높이기 위해서도 상당한 노력을 기울여왔다.

이처럼 각각의 도시들은 도시여건에 맞춰 BRT 시스템의 수준 및 역할을 달리 구축하여 왔다. 따라서 향후 연구에서는 각 도시들의 BRT 도입 배경을 면밀히 조사하여 각 도시별 BRT 시스템의 구축 특성을 탐구해 볼 필요성이 있다. 이를 위해서는 BRT를 구축한 해외 주요 도시의 담당자 면담 및 광범위한 자료 수집 노력이 필요할 것으로 보인다.

이 연구에서는 지하철과 BRT가 동시에 네트워크 형태로 운영되는 도시의 경우 대중교통 수단분담률이 높게 나타나는 경향이 있음을 파악하였다. 이 결과에서 나타나듯이 일반적으로 지하철과 BRT의 연계는 대중교통이용률을 높이는 것으로 판단할 수 있으나 이러한 도시들의 경우에도 지하철과 BRT의 환승체계는 상이하게 나타난다. 특히, 광저우의 경우에는 지하철-BRT 간 환승 시 지하에서 지하철 혹은 BRT로 직접 환승이 가능하다. 반면 서울의 경우 기본적으로 지하철-BRT 환승 시 지하철 역사 혹은 BRT 정류장을 벗어나

다시 타 수단으로 환승해야 되는 번거로움이 있으며 일부구간에서는 지하철-BRT 간의 환승거리가 상당히 길다. 이러한 환승체계의 차이는 대중교통 수단분담률의 차이를 유발할 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 지하철과 BRT를 동시에 운영하는 도시들의 환승체계를 면밀히 확인해 볼 필요가 있다.

또한, 도시별 BRT 경제성에 대한 비교 분석이 필요하다. 앞서 설명하였듯이 세계 각 도시는 각자의 상황에 맞춰 도시여건에 맞는 BRT 시스템을 구축하여왔다. 그 결과 도시별 BRT 구축 및 운영비용은 도시별 BRT 구축 수준에 따라 상이하게 나타난다. 예를 들어 상급 BRT 시스템을 도입한 나고야의 경우 km당 BRT 인프라 구축비용이 46.5백 만 USD(2007년 기준)인 반면, 상대적으로 저수준의 BRT를 도입한 라고스의 경우 km당 BRT 인프라 구축비용이 1.7백 만 USD(2010년 기준)로 상당한 차이를 보이고 있다.⁶⁾ 그럼에도 불구하고 나고야의 km당 이용수요는 1,324인/일/km이고 라고스의 경우 9,091인/일/km로 저수준으로 운영 중인 라고스의 BRT 이용수요가 더 높게 나타난다. 특히, 서울의 경우에는 km당 BRT 인프라 구축비용이 0.9백 만 USD(2009년 기준)이며, km당 이용수요는 16,000인/일/km로 나타나 서울은 BRT 비용투자 대비 효과가 매우 큰 것으로 나타났다.⁷⁾

이러한 결과는 BRT 이용수요가 단순히 BRT 인프라 수준에만 영향을 받지 않는다는 것을 보여주는 예라고 할 수 있다. 이 연구에서는 세계 각 도시의 BRT 구축 및 운영비용에 관한 자료 부족으로 관련된 연구를 진행하지 못하였으나 향후 연구에서는 해외 도시와의 자료 협조를 통해 BRT 비용투자 대비 효과를 측정해 보는 것도 필요할 것으로 생각된다.

이 연구에서는 제한적인 자료 범위 내에서 세계 도시의 BRT 성능 평가를 위해 BRT 버스의 평균 통행속도를 주된 성과지표로 채택하였으나 향후 연구에서는 다양한 객관적 평가지표를 개발하여 분석의 질을 높일 필요가 있다. 예를 들면 대중교통 서비스의 중요한 요소인 정시성과 관련한 지표를 활용할 필요가 있다. 상대적으로 높지 않은 서울 BRT 버스의 통행속도에도 불구하고 서울 BRT가 시민들에게 높은 만족도를 보이는 이유 중

6) 출처: Global BRT Data

7) 출처: 수도권교통본부, 2009, 서울시 중앙버스전용차로 운영 연구

하나는 서울 버스의 정시성이 높기 때문일 것이다. 이처럼 버스의 정시성은 버스의 통행속도만큼 BRT를 평가하는 중요한 잣대가 될 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 정시성 지표와 같은 다양한 객관적 평가지표를 반영하여 BRT 국제 비교 평가를 수행할 필요가 있다.



참고문헌

- 국토교통부, 2010, 간선급행버스체계(BRT) 설계지침.
- 국토교통부, 2014, 대중교통의 육성 및 이용촉진에 관한 법률(약칭: 대중교통법).
- 국토교통부, 2014, 간선급행버스 건설 및 운영에 관한 특별법안.
- 서울연구원, 2014, 버스 운행 및 이용정보 GIS 배포자료.
- 수도권교통본부, 2015, 「신규 교통사업분야 발굴 및 BRT사업 재검증·활성화 방안 연구」.
- 한국교통연구원, 2007, 「간선급행버스체계(BRT) 운영체제의 기초연구」.
- Wirasinghe, S. C., Kattan, L., Rahman, M. M., Hubbell, J., Thilakaratne, R. and Anowar, S., 2014, **Bus rapid transit - a review**.
- ITDP, Rockefeller Foundation, BARR, ClimateWorks, giz, icct, UNEP, 2014, **The BRT Standard**
- Transportation Research Board, 2013, **Transit Capacity and Quality of Service Manual**, TCRP Report 165.
- 서울정책아카이브(<https://seoulsolution.kr>)
- 서울통계(<http://stat.seoul.go.kr>)
- Global BRT Data(<http://brtdata.org>)
- Institute for Transportation & Development(<https://www.itdp.org/>)
- The Transport Politic(www.thetransportpolitic.com/)
- WorldBRT(<http://www.chinabrt.org/defaulten.aspx>)
- World Metro Database - metrobits.org(<http://mic-ro.com/metro/index.html>)

Abstract

International comparative study of Seoul BRT system

Joonho Ko · Sinhae Lee · Daejin Kim

This research performs an international comparative evaluation in order to understand Seoul BRT(Bus Rapid Transit)'s global position and its development strategies.

The city of Seoul introduced median exclusive bus lanes in July, 2004 in order to restructure the public transportation system and improve public transportation service. Installed on 4 corridors with a length of 36.1km in 2004, exclusive median bus lanes have increased remarkably over the past 10 years. As of 2014, Seoul has 117.5 kilometers of median bus lanes over 12 corridors. As a result, Seoul city became the world's sixth-largest BRT lane city among 191 cities studied.

When it comes to physical features of BRT, the level of Seoul's BRT infrastructure is relatively lower than cities with high-level BRT systems. For example, the Seoul BRT has not introduced an off-board fare collection system, and the percentage of low floor BRT buses is relatively low. In addition, the average travel speed of Seoul BRT buses is just ranked at 58th among 113 cities. From the factor analysis, factors that could be slowing down Seoul's BRT bus travel speed are lack of passing lanes and large numbers of BRT buses and stations. Nevertheless, the demand of BRTs in Seoul is significantly high; Seoul's demand is ranked 5th among 162 cities studied. Basically, this is due to population; BRT length and buses in Seoul are much higher than other cities. Additionally, from the regression and ANOVA models developed in this study, it was found that low bus fare, integrated fare systems and subways connected to the BRT network also affect the

high demand of BRTs in Seoul.

This study proposes two approaches as a way to upgrade the Seoul BRT system in a short period of time. Firstly, Seoul needs to introduce a BRT brand and unique BRT buses that can be easily differentiated from buses using the regular system. This would contribute to improving the image and performance of the Seoul BRT system. Secondly, consistently expanding the BRT network is needed so that the current subway system is effectively connected to the BRT network.



Contents

01 | World major public transportation system: BRT

- 1_BRT system has been developed in 191 countries in a relatively short-term
- 2_BRT system offers various services
- 3_International comparative studies are needed considering city conditions

02 | Major public transportation system in Seoul: BRT

- 1_World's sixth BRT length and intermediate level of BRT infrastructure
- 2_Low level of BRT Stations
- 3_Radial and open BRT network
- 4_Adopting various BRT system for passengers' convenience, but need extra efforts to upgrade BRT system
- 5_Necessity to introduce a BRT brand
- 6_Average level of BRT travel speed
- 7_Suggestions toward an advanced BRT system

03 | A new model of BRT system connected to subway network

- 1_Demand for BRT system
- 2_BRT route selection reflecting bus demand profile
- 3_Relatively higher BRT demand and system length considering city size
- 4_Low level of fare and integrated tolling system contributing to the high demand of BRT
- 5_BRT system effectively connected to subway network

04 | Seoul needs to introduce a BRT brand and strengthen its subway connection

- 1_Need to introduce a BRT brand and BRT buses
- 2_Need to expand BRT and subway networks, strengthening the connection between them
- 3_Need further research on BRT system characteristics



서울연 2015-PR-04

서울시 간선급행버스시스템
해외 도시와 비교평가

발행인 _ 김수현

발행일 _ 2015년 6월 30일

발행처 _ 서울연구원

ISBN 979-11-5700-070-8 93530 6,000원

06756 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

본 출판물의 판권은 서울연구원에 속합니다.