

# 중앙버스전용차로 용량산정에 관한 연구

Capacity determination of Median bus lane system

이용현

(서울대학교 환경대학원 석사과정, 0137yh@naver.com)

이영인

(서울대학교 환경대학원 교수, yilee@snu.ac.kr)

Key Words : 중앙버스전용차로, 용량, 시뮬레이션, 대기행렬, 전체구간

## 목 차

I. 서론	3. 연구방법론
1. 연구의 배경 및 필요성	IV. 분석결과
II. 선행연구 고찰	1. 시뮬레이션 입력자료
1. 서울특별시 중앙버스전용차로 설치 계획안	2. 가상적 상황에서 시뮬레이션 결과
2. KHCM의 가변버스 정차면 용량 산정	3. 현재 구간길이가 가장 긴 E 부분의 길이가 감소하였을 경우(340m→160m)
3. Transit capacity and quality of service manual에 의한 버스 전용차로의 용량산정	4. A구간의 유효녹색시간 비율을 달리 하였을 경우 (0.438→0.260)
4. '강남대로 중앙버스전용차로 시행에 따른 모니터링 결과'의한 중앙버스전용차로의 용량산정	5. 횡단보도의 유효녹색시간을 달리 할 경우. (0.1~0.6까지 변화시킴)
5. 이진우의'중앙버스전용차로의 용량산정에 관한 연구	V. 결론 및 향후 과제
III. 분석 방법론 정립	참고문헌
1. 기존연구와의 차이점	
2. 연구의 흐름	

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 필요성

중앙버스 전용차로의 정의는 '대도시의 중요한 교통수단인 버스에 통행 우선권이 주어지는 도로의 가운데 차로'이다. 즉 도로의 가운데 차로를 버스전용으로 운행할 뿐만 아니라 버스 정류소 또한 도로의 중앙에 설치함으로써 시민들이 안전하게 버스를 이용할 수 있게 한 것이다. 또한 가로변 전용차로와 달리 일반차량의 진입을 엄격히 제한함으로써 버스의 통행 우선권을 최대한 보장해 주는 시스템이다.

서울시는 수도권지역 승용차의 급격한 증가와 함께 시계 유출입 통행량의 증가로 인한 교통정체, 버스속도의 저하 등 날로 어려워지고 있는 서울의 교통문제 해소를 위해 버스중심의 대중교통 활성화에 그 중요성을 인식하고 버스서비스 개선을 위한 핵심 사업으로 버스체계 개편을 하여 왔다.

특히, 기존의 가로변 버스전용차로가 불법 주정차, 이면도로 유출입 차량, 교차로부 회전차량과의 상충 등 여러 가지 제약요인으로 인해 그 효과가 크게 저하되고 있어 버스의 속도향상과 정시성 확보 등 수송효율 증대를 위해 중앙버스전용차로를 서울 전역의 간선도로에 설치하였다.

그러나 시행초기에 여러 가지 문제점으로 인하여 중앙버스

전용차로에 대기행렬이 발생하는 구간이 생기게 되었고, 이용하는 시민들로부터 갖가지 불만들이 터져 나오기 시작 했다. 이에 대하여 전문가들은 중앙버스전용차로가 제대로 정착되려면 대중교통의 수익성, 배차 시간, 환승 시설 등에 대한 대책을 세워야 한다고 지적하고 있으며, 또한 BIS(버스정보시스템), BMS(버스관리시스템) 등의 첨단기술의 접목이 시급하다고 판단하고 있다. 그러나 이러한 시스템을 갖추기 위해서는 많은 비용과 충분한 시간이 필요한 만큼 현재의 상황을 정확히 판단하기 위해서는 중앙버스전용차로의 용량 산정에 대한 연구가 시급한 실정이다.

## II. 선행연구 고찰

### 1. 서울특별시 중앙버스전용차로 설치계획안

#### 1) 중앙버스전용차로의 선정기준

중앙버스전용차로의 선정기준은 시 외곽 주요도시와 도심 및 부도심을 연결하는 도로로서 고밀도 개발지를 경유하는 주요간선도로 고밀도 개발지를 경유하는 주요간선도로, 지하철 등의 대중교통 서비스가 열악하거나 버스이용수요가 많은 지역(버스통행량 시간당 150대 이상), 노면 교통 혼잡이 심하고 편도 3차로 이상 확보가 가능한 도로이다.

## 2) 설계의 기본방향

중앙버스전용차로 설계의 기본방향은 중앙정류장을 블록 또는 교차로 당 1개소 설치를 원칙으로 하고 있으며 지선정류장은 가로변에 통폐합유지(마을, 순환), 승강장 편의시설의 고급화를 기본으로 하고 있다.

## 2. KHCM의 가변버스 정차면 용량 산정

KHCM에서는 분석의 범위를 대중교통수단 중 큰 비중을 차지하고 있는 버스에 국한하고 이 중에서도 가장 대표적인 도시형버스와 좌석버스를 포함한 시내버스를 중심으로 용량 산정 방법론을 제시하고 있다.

대중교통수단의 용량은 교통수단의 차량크기와 이들의 운행시격(또는 운행빈도)에 좌우되며, 버스승객의 분포 및 차량 흐름의 상호작용을 반영하므로 도로용량산정에 비해 복잡하고, 또한 일정기간 동안 통행량을 수송할 충분한 차량, 승객의 적절한 쾌적도, 안전도, 동일한 도로를 사용하는 다른 차량의 통행량 등의 제약을 받는다.

특히 버스의 용량을 판단하는 여러 가지 요소들 중에서 비교적 계량화가 용이한 차내용량, 운행시격(운행빈도) 및 운행시간(서비스 제공시간), 정차면(berth) 용량, 그리고 정류장 용량의 4 가지 요소를 대상으로 제시하고 있다.

## 3. Transit capacity and quality of service manual에 의한 버스 전용차로의 용량산정<sup>1)</sup>

### 1) 가로변 버스전용차로의 용량 계산과정의 개요

가로변 버스전용차로의 용량은 정차면 용량, 정류장 용량, 버스전용차로의 용량으로 이루어져 있다.

① 정차면용량>Loading area bus capacity) = f(정차시간, 소거시간, 정차시간변수, Failure rate)

② 정류장용량>Bus stop vehicle capacity) = f(정차면수, 정차면의 디자인, Traffic control)

③ 버스전용차로의 용량>Bus facility capacity)

## 4. '강남대로 중앙버스전용차로 시행에 따른 모니터링 결과'의한 중앙버스전용차로의 용량산정<sup>2)</sup>

이 연구에서는 중앙버스전용차로의 용량을 크게 교차로부 처리 가능용량과 정류장부 처리 가능용량으로 구분하고 이 둘 중 작은 값을 중앙버스전용차로의 처리 가능용량으로 적용할 것을 제안하였다. 이론적인 근간은 Transit capacity and quality of service manual을 기본으로 하였다는 것은 논란의 여지가 없다.

이 연구에서는 중앙버스전용차로 정류장부 용량산정에 있어

서는 Transit capacity and quality of service manual에서 제시한 이용효율 최대치인 4면을 적용하였으며, Transit capacity and quality of service manual의 정류장 용량 산정법을 근간으로 계산 하였다. 또한 교차로부 용량산정은 현장 조사값을 근거로 도출하였으며, 둘 중 작은 용량을 강남대로 중앙버스전용차로의 용량으로 적용할 것을 제안 하였다.

## 5. 이진우의'중앙버스전용차로의 용량산정에 관한 연구<sup>3)</sup>'의 용량산정

중앙버스전용차로의 용량을 산정하기 위해서 산출되어야 할 각 용량들을 크게 정차면, 정류장, 교차로의 용량으로 보았다. 또한 정류장 용량에 단위구간, 즉 교차로에서 정류장간의 길이를 용량결정인자로 추가하여 최종 중앙버스전용차로의 용량을 결정 하였다.

이 연구에서 용량의 평가 기준이 되는 중앙버스전용차로의 용량은 Netsim의 시뮬레이션을 통한 중앙버스전용차로의 용량과 현재 강남대로측의 교통량이다. 그 이유는 현재 중앙버스전용차로의 정확한 용량을 산정할 수 있는 공식이나 경험적으로 산정된 용량의 수치가 없기 때문이다. 따라서 Netsim의 시뮬레이션 결과를 이상적인 상황에서의 용량으로 간주 하였다. 또한 Netsim의 시뮬레이션을 통한 거리별 중앙버스전용차로의 용량을 회귀식으로 표현한 후 이 결과와 강남역에서 교보빌딩사거리 구간의 용량이 같아지는 거리에 따른 Z값을 연역적으로 산출하였다. 여기서 계산된 Z값을 강남대로 측의 다른 구간에 적용시켰으며 여기에 현장의 상황을 고려한 정류장의 효율, 그리고 여러 다른 구간에 적용시킬 경우 Netsim 시뮬레이션 결과와의 차이가 최대가 되는 값을 토대로 안전율을 계산하여 적용하였다. 이렇게 구한 중앙버스전용차로의 용량에 본 연구에서 개발된 단위구간의 용량을 병합하여 길이에 따른 최소용량을 중앙버스전용차로의 용량으로 간주 하였다.

결과의 타당성을 검증하기 위하여 두 가지 방법을 사용하였다.

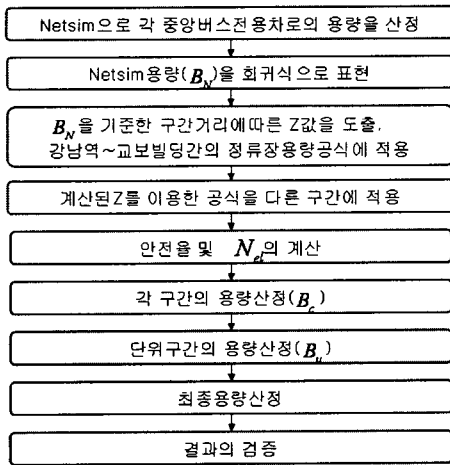
첫째, 현재 강남대로측의 중앙버스전용차로의 오후 첨두시간의 교통량을 기준하여 각각의 구간에 어느 정도의 대기행렬이 발생하고 이에 의한 지체가 발생하는 지를 파악하여 각 구간에서 용량은 현재 교통량 이상, 혹은 그 이하라고 평가할 수 있다.

둘째, 강남대로측의 중앙버스전용차로와 교통조건, 신호조건, 기하조건을 동일하게 사용하여 Netsim을 이용하여 시뮬레이션을 통한 용량을 산정하고 이를 이상적 기준으로 사용하는 것이다.

1) TCRP Report 100 Transit capacity and quality of service manual 2nd Edition, 2003

2) "강남대로 중앙버스전용차로 시행에 따른 모니터링 결과"는 울림건설 주식회사와 신성엔지니어링에서 제출된 보고서이다.

3) 2006년 서울대학교 환경대학원 도시계획학 석사학위 논문



<그림 1> 이진우 연구흐름도

### III. 분석 방법론 정립

#### 1. 기존연구와의 차이점

본 연구에서는 기존의 논문에서 고려되지 않은 PF(연동계수), 대기행렬길이 등을 고려하였으며, 기존의 용량산정 구간(정차면용량)과는 달리 교차로와 교차로 전체의 구간을 용량산정 구간으로 설정 하였다는 것에 차이를 둘 수 있다.

<표 3> 기존연구와의 차이

	정차면 용량	FR (Failure Rate)	정차시간분포	구간길이	Storage 용량	PF (연동계수)	대기행렬길이	구간별 용량
KHCM	○							
TCRP	○	○	○					
이진우	○	○	○	○	○			
본연구	○	○	○	○	○	○	○	○

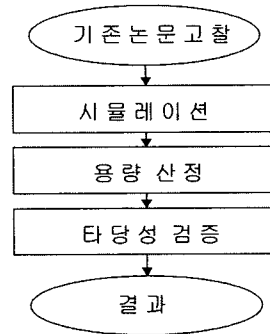
본 연구에서는 기존의 '강남대로 중앙버스전용차로 시행에 따른 모니터링 결과' 보고서에서 제시한 용량산정방법과 이진우의 '중앙버스전용차로의 용량산정에 관한 연구'에서 제시된 용량산정 방법을 참고하여 새로운 용량 산정 방법을 제시 하였다.

'강남대로 중앙버스전용차로 시행에 따른 모니터링 결과'에서는 중앙버스전용차로의 용량산정을 위하여 크게 교차로부의 처리가능용량과 정류장부의 처리가능용량으로 구분하여 산정한 후에 용량이 작은 값을 중앙버스 전용차로의 처리가능용량으로 적용할 것을 제안하였다.

또한 이진우의 '중앙버스전용차로의 용량산정에 관한 연구'에서는 실제 정류장부의 처리가능용량은 교차로의 신호시간 및 대기행렬, 그리고 정류장으로 가기위한 횡단보도 및 보행자를 위해 설치된 신호등의 현시 및 Off-set등에 의하여 영향을 받는다고 보고 이를 연구의 반영하였고, 교차로에서 정차면까지의 거리에 따른 failure rate을 용량산정에 포함시켰다.

본 연구에서는 '강남대로 중앙버스전용차로 시행에 따른 모니터링 결과'에서 제시한 구간용량에서 용량이 제일 작은 값이 중앙버스 전용차로의 처리가능용량이 된다는 것을 전제로, 이진우의 '중앙버스전용차로의 용량산정에 관한 연구'에서 제시된 방법론에서 보다 차별화된 방안을 제시하고자 한다.

#### 2. 연구의 흐름

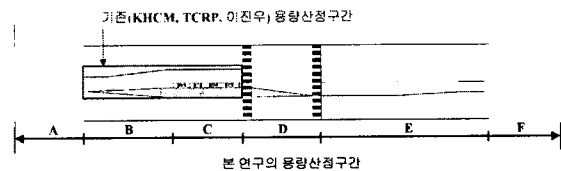


<그림 2> 연구흐름도

본 연구에서는 기존의 논문을 고찰하고, 일반적인 상황을 가상적으로 시뮬레이션하여, 그 자료를 바탕으로 각 방법론의 용량을 산정함을 목표로 한다.

이렇게 산정된 용량을 바탕으로 현실에서 일어날 수 있는 여러 상황을 시뮬레이션 하여, 그 결과로부터 본 연구의 타당성을 입증하는 것을 목표로 한다.

#### 3. 연구방법론



<그림 3> 본 연구의 용량산정구간

본 연구에서는 중앙버스 전용차로의 용량을 위와 같이 A~F까지 6개의 구간으로 나누었다.

위의 그림과 같이 기존(KHCM, TCRP, 이진우) 용량 산정 구간과는 달리 본 연구에서는 교차로와 교차로 사이 전체의 구간을 용량 산정구간으로 한다. 그 이유는 A~F 중 어느 한 구간의 용량이 감소하게 되면 A~F의 모든 구간의 소통이 원활하게 진행되지 않기 때문이다.

각 구간의 용량 산정 방법은 다음과 같다.

C구간의 경우에는 버스의 정차시간, 소거시간, 정차시간변수, failure rate등의 변수가 이용되는 정차면용량>Loading area bus capacity)과 정차면수, 정차면의 디자인, Traffic control등의 변수가 이용되는 정류장 용량>Bus stop vehicle capacity)에 추월차선을 고려한 용량이 함께 고려되어야 한다.

A,F는 교차로용량이다. 교차로용량의 경우 KHCM의 신호

교차로에 제시된 용량산정식을 이용한다. B,D,E의 경우는 버스전용차로 용량이다. 즉 차로용량이며, 이는 Transit capacity and quality of service manual의 가로변 버스전용차로 용량산정식을 따른다. C의 경우 정차면 용량과 정류장용량으로 나누어진다. 이는 Transit capacity and quality of service manual의 용량 산정식을 기본으로 한다.

<표 4> 용량산정 위치 및 적용가능 식

구 간	적용가능 식
A, F	KHCM의 신호교차로에 제시된 용량산정식
B,D,E	Transit capacity and quality of service manual의 가로변 버스전용차로 용량산정식
C	Transit capacity and quality of service manual의 정차면, 정류장용량 산정식

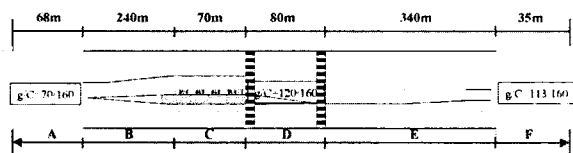
본 연구에서 가장 중점적으로 연구하고자 하는 것은 기존의 중앙버스전용차로의 용량산정 방법론보다 거시적인 접근법을 사용하는 것이다. 기존의 연구에서 용량산정을 개별적으로 시행한 것에 비해 본 연구에서는 복합적인 용량 산정방법을 제시한다.

중앙버스전용차로의 용량을 산정함에 있어서 기본적으로 전제하고 있는 것은 크게 진입용량과, 진출용량, Storage용량을 하나의 덩어리로 보는 것이다.

즉, A~F 구간은 모두 진입용량, 진출용량, Storage용량을 가지고 있고, 이중 임계용량 Min(진입용량, 진출용량, Storage용량)이 그 구간의 용량이 된다. 이렇게 산출된 A~F까지의 용량은 가장 작은 임계용량 Min(A~F)가 버스전용차로의 용량이 되는 것이다.

## IV. 분석결과

### 1. 시뮬레이션 입력자료



<그림 4> 시뮬레이션 입력자료

<표 5> 시뮬레이션 입력 변수

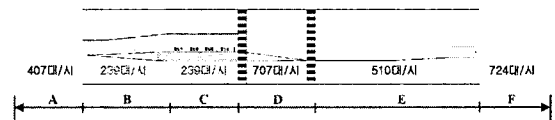
Tc (소거시간)	Td (정차시간)	h (차두간격)	R (정차면용량 보정계수)	Nel (유효정차 면수)
6초	30초	2.9초	0.881	0.881
Cv (정차시간 변동계수)	Fr (우회전보 정계수)	toffset(오프셋)	FR (Failure Rate)	z (표준정규 변수)
0.660	1.0	0초	0.33534	0.412

### 2. 가상적 상황에서 시뮬레이션 결과



<그림 5> 시뮬레이션 상황

가상적으로 중앙버스 전용차로를 구축하고 시뮬레이션 하여, 각 방법론의 용량을 구하여 본 결과는 다음과 같다.



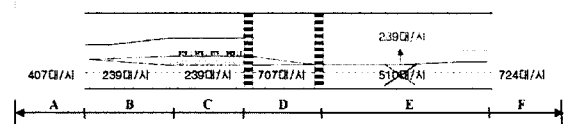
<그림 6> 가상 시뮬레이션 용량산정 결과

<표 6> 가상시뮬레이션 용량산정 결과

KHCM	TCRP	이진우	본 연구
271 대/시	239대/시	262대/시	239대/시

여기서 TCRP의 임계용량과 본 연구의 임계용량이 같은 것으로 나타난 것은 가상 시뮬레이션의 입력 변수들이 이상적인 상황을 고려하여 입력하였기 때문에, C구간의 TCRP 가로변 버스전용차로 용량 산정식의 값이 그대로 도출 된 것으로 파악 된다.

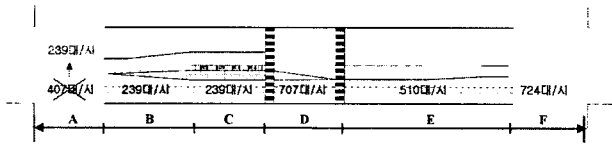
### 3. 현재 구간길이가 가장 긴 E 부분의 길이가 감소 하였을 경우(340m→160m)



<그림 7> 구간길이 증가 시 용량산정 결과

E구간의 길이가 340m에서 160m로 감소되었을 경우 본 연구의 E구간의 용량은 510대/시에서 239대/시로 변화였다. 만약에 E구간의 길이가 160m이하로 감소 될 경우 본 연구에서 버스전용차로의 임계용량은 B, C 구간이 아닌 E 구간이 될 것이다. 즉 기존의 연구에서 고려되지 않았던 구간의 용량이 감소함으로써 버스전용차로의 용량이 감소 할 수 있음을 알 수 있으며, 이는 본 연구가 타당함을 나타내 준다.

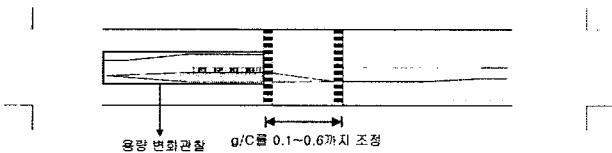
4. A구간의 유효녹색시간 비율을 달리 하였을 경우 (0.438→0.260)



<그림 8> 교차로 유효녹색시간 비율 증가시 용량산정결과

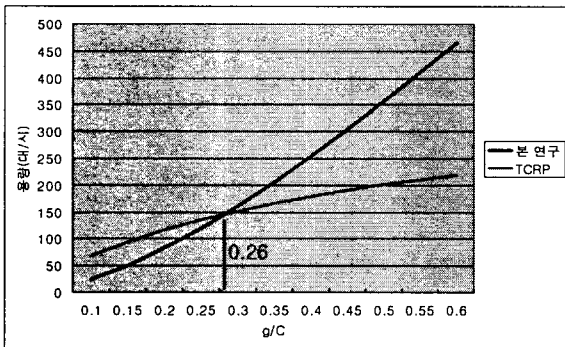
A구간의 유효녹색시간의 비율을 0.438에서 0.260으로 줄였을 경우 A구간의 용량은 407대/시에서 239대/시로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 유효녹색시간의 비율을 0.260이하로 줄일 경우 임계용량은 A구간의 용량이 되는 것을 알 수 있다.

5. 횡단보도의 유효녹색시간을 달리 할 경우. (0.1~0.6까지 변화시킴)



<그림 9> 횡단보도 유효녹색시간 변화

마지막으로 횡단보도의 유효녹색시간을 달리 할 경우 B, C 구간의 용량이 어떻게 변화 하는 지를 관찰 하였다.



<그림 10> 횡단보도 유효녹색시간 변화 시 용량 산정 그래프

그 결과  $g/C$  가 증가 할수록 본 연구의 용량식에 의한 용량이 TCRP의 용량보다 크게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 즉  $g/C$ 가 증가할수록 횡단보도에 의한 대기행렬길이가 길어져서 B, C 구간의 용량에 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

즉, 본 연구는 기존의 용량산정식에서 반영하지 못하는 대기행렬에 의한 용량감소 효과도 반영하는 것으로 파악 되었다.

V. 결론 및 향후 과제

1. 결론

본 연구에서 가상네트워크를 구축하고 시뮬레이션을 실행하여 본 결과, 기존 논문에서 반영하지 못했던 부분에 대해 본 연구는 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

특히 기존의 버스전용차로의 용량 산정이 정차면의 용량을 산정하는 것으로 이루어져 왔으나, 본 연구에서는 그 구간을 교차로와 교차로 사이 전 구간으로 확대하였다. 시뮬레이션을 실시한 결과 정차면 이외의 구간에서의 교통, 기하구조 조건이 이상적이지 않을 시에 용량 감소가 일어나 지체가 발생함으로써 버스전용차로 전체의 용량 감소가 일어나는 것을 확인하였다.

또한 본 연구에서는 기존에 고려하지 않았던 대기행렬길이를 고려함으로써, 대기행렬에 의한 지체를 반영하는 것으로 나타났다.

2. 향후 과제

본 연구는 실험의 편의상 가상네트워크를 구축하여 시험하였으나, 향후에는 강남대로축의 버스전용차로를 대상으로 현장 DATA를 바탕으로 검증 하는 것을 목표로 한다.

그러나 용량산정의 정확한 표준식이 마련되어 있지 않은 현 시점에서 현장 DATA를 이용하여 검증하는 것은 어려운 일이라고 판단되나, 현장의 교통조건, 신호조건, 기하구조 조건 등을 면밀히 파악하고, 현상을 관찰한다면 용량의 타당성을 어느 정도 검증할 수 있으리라 본다.

참고문헌

1. 건설교통부, 도로용량편람, 2004.
2. 건설교통부, 도로의 구조, 시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000.
3. 경기개발연구원, 경기도 버스전용차로제 운영개선 방안, 2001. 9.
4. 경기개발 연구원, 경기도 BRT 시스템의 문제점과 개선방향, 2003, 10.
5. 도철웅, 교통공학원론, 1996.
6. 박창수, 권용석, 도시교통공학론, 2002.
7. 울림건설 주식회사, 강남대로 중앙버스전용차로 시행에 따른 모니터링 결과, 2004.
8. 김경환, 오윤표, 김석주, Estimating the capacity of a bus berth (버스 정류장의 용량산정), 제3차 한-중 국제학술회의 발제논문 1996. 6, pp. 66-75
9. 서울특별시, 중앙버스전용차로 설치계획(안), 2003.
10. 이진우, 중앙버스전용차로 용량산정에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 도시계획학 석사 논문

11. TRB, Highway capacity manual, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
12. TRB, TCRP REPORT 100: Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, National Research Council, Washington, D.C., 2003.
13. Kenneth J. Dueker, Tomas J. Kimpel and James G. Strathman, Determinants of bus dwell time, Journal of public transportation, Vol.7, No.1, 2004, pp. 23-31.
14. Li, S., Median bus lane design in Vancouver, BC: The #98 B-Line. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2003, pp. 3-14.