

중앙버스전용차로의 용량산정

A study on decision of the capacity of median bus lanes

이진우

(서울대학교 환경대학원, 석사과정)

이영인

(서울대학교 환경대학원 교수)

Key Words : (중앙버스전용차로, 정체, 용량)

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

II. 문헌고찰

III. 연구방법론

III. 적용

IV. 결론 및 향후과제

V. 참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

중앙버스전용차로란 도로의 가운데 차로를 물리적인 시설이나 차선으로 구분해 버스전용으로 제공함으로써 버스에 우선권을 주는 가장 강력한 방식으로 버스과 일반차량과의 마찰을 줄여 수송효율을 높이고 교통혼잡을 최소화하고 버스통행로를 도로중앙으로 이동함으로써 보도측 보행환경을 개선하는 방식이다.

서울시에서 2004년 7월 1일 이후 중앙버스전용차로제가 확대 실시됨에 따라 중앙버스전용차로의 용량산정에 대한 필요가 생겨나게 되었다. 버스의 속도 및 서비스향상이 중앙버스전용차로제의 취지인 것만큼 해당차로에서의 정체 발생하지 않도록 함이 중요하다. 이에 중앙버스전용차로가 수용할 수 있는 버스의 용량의 산정은 서울시의 중앙버스전용차로를 이용할 수 있도록 하는 서울시 버스의 한계, 그리고 서울의 지역에서 진입한 버스의 중앙버스전용차로 이용을 위한 한계 등을 정하는 교통계획에 도움을 줄 수 있을 것이다.

II. 문헌고찰

1. 중앙버스전용차로의 선정기준 및 설계의 기본방향¹⁾

서울특별시의 중앙버스 전용차로 설치계획안에 의하면 중앙버스전용차로의 선정기준 및 설계의 기본방향은 다음과 같다.

1) 중앙버스전용차로의 선정기준

중앙버스전용차로의 선정기준은 시 외곽 주요도시와 도심 및 부도심을 연결하는 도로로서 고밀도 개발지를 경유하는 주요간선도로, 지하철 등의 대중교통 서비스가 열악하거나 버스이용수요가 많은 지역(버스통행량 시간당150대 이상), 노면 교통혼잡이 심하고 편도 3차로 이상 확보가 가능한 도로이다.

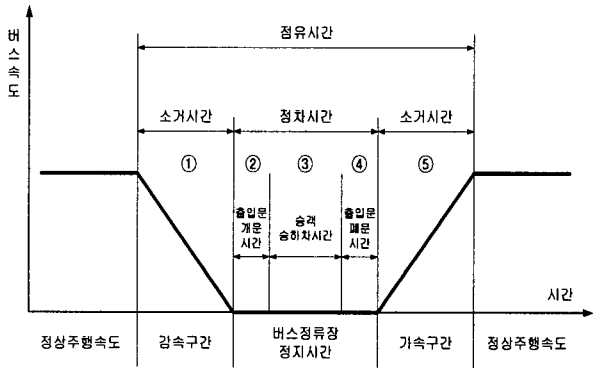
2) 설계의 기본방향

중앙버스전용차로 설계의 기본방향은 중앙정류장을 블록 또는 교차로당 1개소 설치를 원칙으로 하고 지선 정류장은 가로변에 통폐합유지(마을, 순환), 승강장 편의시설 고급화를 기본으로 하고 있다.

2. 버스전용차로의 용량분석²⁾

- 1) 서울시중앙버스전용차로 설치계획안
- 2) 건설교통부, 도로용량편람

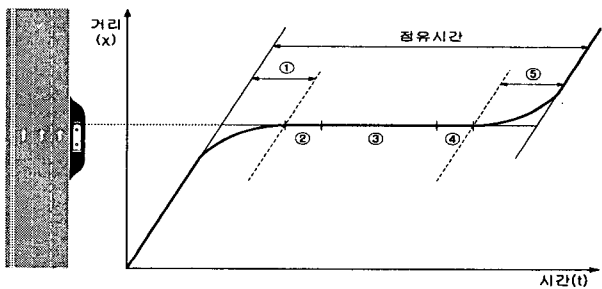
버스 전용차로의 용량은 일반적인 도로의 용량과는 달리 버스의 정차면 또는 정류장의 용량에 대한 분석이 필요하다. 건설교통부에서 발행한 도로용량편람에 의하면 버스 정차면 또는 정류장의 용량의 분석을 위해서는 용량에 영향을 주는 요인에 대한 분석이 필요한데 이러한 요소들 중 가장 중요한 요인은 버스의 정차면 점유 시간이고, 용량은 점유시간에 반비례한다.



<그림1-정류장에서 버스의 점유시간 구성>

버스 정차면 또는 정류장에서 버스의 점유시간은 정차면에 진입하기 위한 차량의 감속 및 진입 시간, 출입문 개폐시간, 승객 승하차시간(요금정수방법, 계단높이 등에 따라 다름) 그리고 본 도로로 진입시간 등으로 구성된다.

이러한 점유시간의 구성 및 정의를 시공도상 버스정류장에서 버스궤적과 속도변화의 그림을 통해 살펴보면 <그림2>와 같다.



<그림2-시공도상 버스정류장에서의 버스궤적>

III. 연구방법

1. 연구방법

1) 중앙버스전용차로 용량산정의 인자

중앙버스전용차로의 용량을 산정하기 위해서 필요한 인자로는 크게 버스의 정상주행속도, 버스의 가속도, 점유시간, 진입부 교차로의 버스 수, 정류장 및 진출부 교차로의 직진 녹색시간, 정류장의 길이 등을 말할 수 있다.

(1) 정상주행속도

버스가 일정속도로 가속하다가 등속운동 한다고 가정했을 때의 속도이다. 즉 최고속도이다. 이 속도에 따라 버스의 링크통행시간이 달라진다.

(2) 가속도

버스가 정지상태에서 출발시, 혹은 정지를 위해 감속시 가속, 감속하게 되는데 이에 따라서 링크의 통행시간이 달라진다.

(3) 점유시간

한 버스가 정류장 정차면을 이용하는데 점유하는 시간으로 정차시간과 소거시간의 합으로 표현된다. 용량분석에 있어서 가장 큰 변수가 된다.

① 정차시간

출입문을 여닫는 시간+승객승하차시간

② 소거시간

버스가 정류장의 빈 정차면에 진입하는데 소요되는 시간과 정차면을 사용한 후에 다음 버스가 이용할 수 있도록 비워주는 데 소요되는 시간의 합으로서 버스가 정차면에 진출입하는데 필요한 가,감속시간이 큰 비중을 차지한다.

(4) 진입부 교차로의 버스 수

해당 직진 녹색시간동안 링크에 진입하는 버스의 수에 따라서 정류장의 대기행렬을 해당링크가 소화할 수 있는지 여부가 결정된다.

(5) 정류장 및 진출부 교차로의 직진 녹색시간

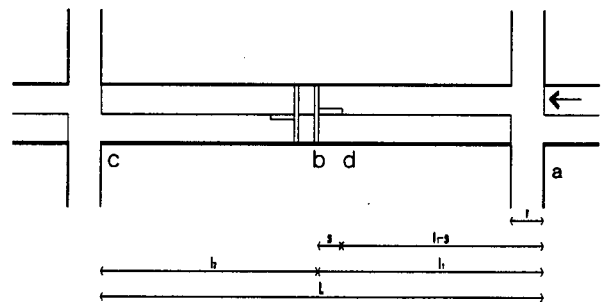
녹색시간의 길어질수록 해당링크의 대기행렬을 소화할 수 있는 능력이 커지겠으나 교차로의 현시를 고려해야 한다.

(6) 정류장의 길이

정차면수(=정류장의 길이/12m)가 많을수록 승하차로 인한 버스의 대기행렬이 줄어들게 된다.

2) 방법론 설정

버스전용차로의 용량은 버스정류장의 용량뿐만 아니라 도로의 기하구조 및 신호시간에 의해서 크게 좌우된다. 본 연구에서는 버스전용차로의 용량을 진입부 교차로로부터 유입되는 버스용량, 정류장의 대기차량 용량 및 유출버스 용량, 진출부 교차로의 대기차량 용량 및 유출버스 용량의 관계식으로 산출하였다.



<그림3-도로의 기하구조>

버스전용차로의 최대 수용용량(C)은

$$C = \text{Max}\{(C_{sto1})_n\}$$

여기서,

$(C_{out1})_n$: 주기n 일때 지점i 에서의 버스유출용량

$(C_{in1})_n$: 주기n 일때 지점i 에서의 버스유입용량

$(C_{sto1})_n$: 주기n 일때 지점i 에서의 대기버스용량

또한, 교차로의 통과 교통용량은 다음 식을 이용하여 산출하였다.

$$v = v_0 + at$$

$$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

여기서, v_0 =버스의 초기속도

v =버스의 속도

a =가감속을 위한 버스의 가속도

t =버스의 이동시간

s =버스의 이동거리

위식과 주어진 가정을 바탕으로 한 주기에 교차로a에 진입하는 버스대수를 점차 늘려가며 버스가 도로를 점유하는 정도를 파악하며 어떤 시간에, 어디서 정체가 일어나는지 파악한다.

3)계산과정

다음과 같이 용량의 변동을 모형화하면 다음과 같다.

단계1 : 진입부 교차로에서 직진 녹색시간동안 유입되는 버스대수의 결정

$$(C_{out1})_n = m$$

단계2 : 정류장에 진입하는 버스의 용량결정

$$(C_{in2})_n = (C_{out1})_n$$

단계3 : 정류장에 대기하는 버스의 용량결정

$$(C_{sto2})_n = (C_{sto2})_{n-1} + (C_{in2})_n - (C_{out2})_n$$

단계4 : 정류장 신호의 녹색시간동안 진출하는 버스용량과 진출부 교차로에 진입하는 버스대수의 결정

$$(C_{in3})_n = (C_{out2})_n$$

단계5 : 진출부 교차로에 대기하는 버스의 용량 결정

$$(C_{sto3})_n = (C_{sto3})_{n-1} + (C_{in3})_n - (C_{out3})_n$$

단계6 : 대기버스용량과 링크별 최대 대기버스용량의 비교

$$(C_{sto2})_n > (C_{sto2})_{max}$$

$$(C_{sto3})_n > (C_{sto3})_{max}$$

여기서, $(C_{sto2})_{max}$ =링크의 길이/버스의 길이

$(C_{sto3})_{max}$ =링크의 길이/버스의 길이

단계7 : 버스전용차로의 최대용량산정

유입되는 버스의 용량m을 한대씩 점차 증가시

키면 단계6에서 $(C_{sto2})_n > (C_{sto2})_{max}$ 이거나 혹은

$(C_{sto3})_n > (C_{sto3})_{max}$ 인 시점이 생기게 된다. 이는

유입되는 버스용량이 m대일때 주기n에서 정류장, 혹은 진출부 교차로에 대기중인 버스의 대기행렬이 링크의 길이를 초과함을 뜻하므로 버스전용차로는 유입되는 버스 m대를 소화할 수 없다. 따라서 버스전용차로의 최대용량은 m-1대가 된다.

이때 각 지점에서 진출하는 버스의 용량은 다음의 함수로 표현된다.

$$(C_{out2}) = f(DW, GT, LT, CT, WT, a, v_{max})$$

$$(C_{out3}) = f(GT, LT, WT, a, v_{max})$$

여기서, DW : 정차시간

GT: 녹색신호시간

CT: 소거시간

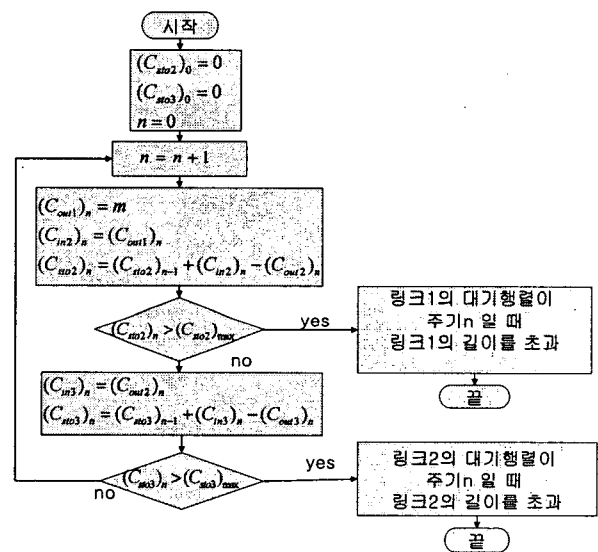
a : 가속도

v_{max} : 최고속도

WT : 앞차 출발 후 뒤차가 출발하는데 걸리는 시간간격

LT : 대기차량길이를 고려한 링크 통행시간

위의 내용을 순서도로 표시하면 <그림4>와 같다.



<그림4>

IV.결과의 적용

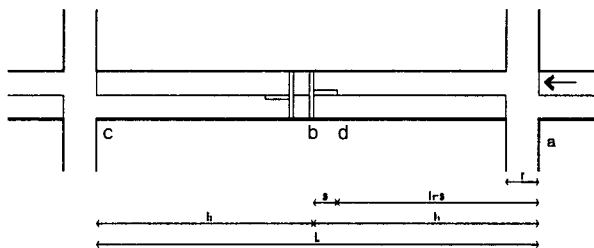
1. 실험환경

1) 대상구간의 선정

본 연구의 대상구간은 중앙버스전용차로가 설치된 도로로서 두개의 신호교차로 사이에 하나의 버스정류장을 포함하고 있는 구간을 그 대상으로 하였다. 또한, 수 계산을 위한 수치의 대입은 대상구간과 동일한 조건을 갖춘 강남역에서 강남교보빌딩 앞까지의 구간을 선정하였다.

2) 현장조건

(1) 기하구조



<그림5>

<그림5>에서 $L=850m$, $l_1=430m$, $l_2=420m$, $s=40m$, $r=160m$

(2) 각지점의 신호현시

	진입부 교차로(a)	정류장(b)	진출부 교차로(c)
← → (직진녹색시간)	60	110	50
주기	150	160	150
OFFSET	0	30	60

여기서, 윗셋은 진입부교차로(a)의 직진 녹색신호가 시작되는 시간을 기준으로 한다.

3) 가정 및 전제조건

- ① 최초 교차로 진입차량의 차두시간은 2.5초이다.
- ② a_n 대의 버스가 진입한다고 하면 버스는 $a_1 \sim a_5$ 까지 2.8m/s씩 초기속도가 증가한다.
- ③ 버스의 길이는 12m (정차시 버스간의 간격을 고려)
- ④ 정차 후 출발 시 가속도 $a = \pm 2m/s^2$
- ⑤ 구간 내 최고속도는 50km/h (약 14m/s) 이며 이 속도에 도달 후 정차를 위한감속 시까지 버스는 등속 운동 한다.
- ⑥ 승객의 승하차를 위한 시간은 대당 15sec를 가정하였다.
- ⑦ 버스승강장의 길이는 40m이고 승강장에서 승객을 승하차 시킬 수 있는 버스대수는 3대이다.
- ⑧ 모든 버스는 승하차를 위한 승객이 있고 3대가 진출

후 대기한 3대가 승강장에 차례로 진입한다.

⑨ 버스는 앞 차량이 출발 후 1초 후에 출발한다.

⑩ 교차로 간 윗셋은 60초, 교차로와 정류장 횡단보도 신호 간 윗셋은 30초로 한다.

⑪ 대향 중앙버스전용차로의 정류장에 위치한 신호시간은 b에 위치한 신호시간과 같고 흐름에 거의영향을 주지 않으므로 이를 무시한다.

2. 동일 연동값을 가지는 주기

연동값(윗셋)은 진출입부 교차로의 직진녹색시간과 버스정류장에 설치되어있는 신호등의 녹색신호시간 차에 의하여 결정된다.

중앙버스전용차로의 연동값을 확보하기 위해서는 동일 주기의 원칙이 적용되어야 한다. 즉, 진출입부교차로 및 정류장의 신호주기가 동일할 때 고정된 연동값을 확보할 수 있다. 그러나 신호주기가 다를 때는 연동값은 신호주기가 진행됨에 따라 규칙적으로 변화한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$(m-1)C_1 = (n-1)C_2$$

여기서, C_i : 신호등 i의 신호주기

m, n : 정수

주기가 서로 다를 경우에는 진출입부교차로 혹은 정류장의 신호주기의 정수배가 일치할 때 적정연동이 가능하다. 본 연구에서는 신호주기가 서로 다른 값을 가지도록 설정하여 분석하였다.

진입부교차로의 신호와 정류장 신호간 윗셋이 30초라면 진입부교차로a의 주기와($C_1=150$ 초) 정류장신호주기($C_2=160$ 초)를 이용하면 처음의 상황이 똑같이 반복되기 위한 주기를 구할 수 있다.($m=17, n=16$)

즉, 진입부교차로(a)에서의 신호를 기준으로 할 때 17번째 주기에서 다시 진입부교차로 신호와 정류장의 신호간 연동값은30초가 된다.

마찬가지로 정류장의 신호와 진출부교차로(c)의 윗셋시간이 30초라면 진출부교차로의 주기와($C_3=150$ 초) 정류장신호주기($C_2=160$ 초)를 이용하면 처음의 상황이 똑같이 반복되기 위한 주기를 구할 수 있다.

즉, 진입부교차로(a)에서의 신호를 기준으로 할 때 16번째 주기에서 다시 정류장의 신호와 진출부교차로의 신호간 연동값은 30초가 된다.

3. 적용 및 용량산정

본 장에서는 앞에서 정립한 모형을 대상구간에 적용하였다. 본 연구에서는 진입부 교차로에서 버스가 5대부터 15대까지 점진적으로 증가하는 경우를 설정하여 용량을 산정하였다.

버스의 유입조건을 5대에서 15대까지 점진적으로 증가시켜 분석한 결과 12대까지는 앞막힘 정체가 발생하

지 않았으며 13대부터는 8번째 주기에서 앞막힘 정체가 발생하였다.

1)유입부 교차로에서 12대의 버스진입 시

아래 표에서,

Ta : a를 출발하는 버스의 시간

Tb : a를 출발하여 정류장을 향하여 처음 정지하는 데 걸리는 시간

Tab : Ta+Tb

DW : 승하차시간+정류장의 대기버스가 정류장내로 진입하는 시간

Tbt : Tab+DW

Tc : b를 출발하여 c를 통과하는 시간, 혹은 c를 향하여 정지하는데 까지 걸린 시간

주기의 구분은 유입부 교차로(a)의 신호주기를 기준으로 하였다.

(1)주기1

	Ta	Tb	Tab	DW	Tbt	정류장 출발시간	Tc	Ttotal	c정지선통과, 혹은 대기차량 출발시간	c정지선 에서거리
a1	0	37.71	37.71	15	52.71	52.71	33.5	86.21		
a2	2.5	35.6	38.1	16	54.1	54.1	34.36	88.46		
a3	5	33.76	38.76	17	55.76	55.76	35.22	90.98		
a4	7.5	32.2	39.7	43	82.7	82.7	37	119.7		12
a5	10	30.93	40.93	44	84.93	84.93	37	121.93		24
a6	12.5	29.93	42.43	45	87.43	89.43	37	126.43		36
a7	15	29.07	44.07	73	117.07	117.07	34.42	151.49		48
a8	17.5	28.21	45.71	74	119.71	119.71	34.42	154.13		60
a9	20	27.36	47.36	75	122.36	122.36	34.42	156.78		72
a10	22.5	26.5	49	103	152		33.5	223.5		
a11	25	25.64	50.64	104	154.64		34.36	225.36		
a12	27.5	24.79	52.29	105	157.29		35.22	227.22		

버스a1~3 : c 정지선통과

버스a4~9 : c 정지선 대기

버스a10~12 : 정류장대기

버스a10~12 : c 정지선 통과

(2)최대 대기버스 수 및 대기행렬길이

위와 같은 방법으로 각주기당 정류장과 진출부교차로의 대기버스수와 대기행렬길이를 구하면 다음과 같다.

주기	정류장대기 버스대수	정류장 대기 행렬길이(m)	교차로 대기 버스대수	교차로 대기 행렬길이(m)
1	3	36	0	0
6	12	144	12	144
17	3	36	0	0

주기6의 버스 f_n 의 경우

f1~12 : 정류장 대기

f1~12 : c 정지선대기

위와 같은 식으로 계산하면 정류장의 최대 대기행렬은 버스12대로 약144m 이며 이는 주기6,7,8에서 나타난다. 마찬가지로 진출부교차로의 정지선c에서의 최대 대기행렬역시 버스12대로 약144m이며 이것역시 주기6,7,8에서 나타난다.

이상 표기하지 않은 주기에 대해서는 버스의 통행에 문제가 없으므로 제시하지 않겠다.

(3)주기17

주기17의 버스 q_n 의 경우

버스q1~3 : c 정지선 통과

버스q3~9 : c 정지선 대기

버스q10~12 : 정류장대기

버스q10~12 : c 정지선 통과

주기17의 결과를 주기1과 비교하면 동일함을 알 수 있다. 위에서 진출부교차로와 정류장 신호간의 윤셋이 처음 반복되는 주기는 17주기임을 밝혔다.

여기서 주기1과 17의 패턴이 같으므로 이후 주기1~17이 계속 반복된다. 따라서 해당구간은 12대의 버스유입량을 소화할 수 있다.

2)유입부 교차로에서 13대의 버스진입 시

위와 같은 방법으로 계산하면 진출부교차로의 대기행렬은 정류장에서 진출부교차로까지의 링크가 그 용량을 해당주기까지 모두 소화한다.

주기	정류장대기 버스대수	정류장 대기 행렬길이(m)	교차로 대기 버스대수	교차로 대기 행렬길이(m)
6	9	108	9	108
7	10	120	-	-
			-	-

(1)주기6

주기6에 진입하는 버스 f_n 의 경우

f1~4 : 정류장 대기

f1~4 : c 정지선 대기

f5~13 : 정류장 대기

f5~13 : c 정지선 대기

위와 같이 계산하면 주기5와 6에 이은 차량 6~14의 12대 차량에 의해서 진출부교차로 정지선 c의 최대 대기행렬이 만들어진다.

이상 표기하지 않은 주기에 대해서는 버스의 통행에 문제가 없으므로 제시하지 않겠다

(2)주기7

주기7에 진입하는 버스 g_n 의 경우

$g1^3$: 정류장 대기

$g4^13$: 정류장 대기 (10대=120m)

(3)주기8

주기8에 진입하는 버스 h_n 의 경우

$h1^13$: 정류장대기 (13대=156m)

전 주기에서 정류장에 10대 대기하고 있고 $g13$ 이 움직이기 전에 모든 차량이 대기행렬에 합류한다. 이때 $h13$ 이 l_1-r (270m)의 길이를 초과(276m)하므로 해당구간은 유입버스13대를 소화할 수 없다.

3)분석결과와 정리

위와 같이 현장적용결과를 분석하면 다음 표와 같다.

진입차량 대수	최대대기 행렬발생지점	최대대기 행렬길이	최대대기행렬 발생주기	유입버스 소화여부
12	정류장, 교차로	144m	6,7,8	가능
13	정류장	276m	8	불가

즉, 진입부교차로에서 유입되는 버스가 12대인 경우 대상교차로는 이 유입용량을 소화할 수 있으나 유입되는 버스가 13대인 경우 8번째 주기에서 버스정류장의 대기행렬의 길이가 정류장과 진입부교차로까지의 링크 길이를 초과하게 된다. 즉 해당구간의 버스중앙차로의 최대용량은 12대가 된다.

IV.결론 및 향후과제

1.결론

본 연구는 중앙버스전용차로가 설치된 입의의 구간에 대하여 해당구간이 소화할 수 있는 버스의 용량과 정체구간의 선정을 위해서 실행되었다. 이에 상응하는 특정구간 강남역에서 강남교보빌딩 앞까지의 구간을 선정하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 강남역에서 강남교보빌딩까지의 중앙버스전용차로가 소화할 수 있는 최대버스유입량은 12대이다.
- 2)진입하는 버스가 13대인 경우 진입부교차로신호의 주기를 기준으로 할 경우 8번째 주기에서 버스정류장에서 정체가 누적되어 결국 진입부의 교차로를 침범하게 된다.

2.향후과제

- 1) 중앙버스전용차로의 구간선정을 강남역에서 강남교보빌딩까지로 한정하였고, 신호시간 역시 해당구간의 21시30분경의 특정한 경우를 선택하여 행하였기 때문에 입의의 구간에서의 일반성을 확보하지 못하였다.
 - 2) 중앙버스전용차로의 용량에 매우 큰 영향을 미치는 승강장의 길이(승강장에서 승객을 승하차시킬 수 있는 버스대수와 연관), 승객의 승하차시간 역시 구간에 따라, 그리고 시간대에 따라 불규칙한데 이를 고려하지 못하였다.
 - 3)실제 정류장에서 버스마다 승하차시간이 다르며, 뒤차가 승하차시간이 짧은 경우 앞차를 추월하여 출발하는데 이를 고려하지 못하였다.
 - 4)링크의 길이가 긴 경우와 짧은 경우 버스의 최고속도에 차이가 나게 되나 이를 등속으로 가정하여 현실과 차이가 있다.
- 전술한 바와 같이 연구에서 적용하지 못한 문제점들의 보완이 필요할 것이다.

V.참고문헌

- 1.서울특별시, "중앙버스전용차로 설치계획(안)", 2003
- 2.건설교통부, 도로의 구조, 시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
- 3.건설교통부, 도로용량편람, 2004
- 4.박창수, 권용석, 도시교통공학론, 2002