

중앙버스전용차로가 설치된 간선도로의 서비스수준 분석방법에 관한 연구

A Study of Level of Service Analysis Method of Arterials including Exclusive Median Bus Lanes

조 한 선 Cho, Hanseon
김 태 형 Kim, Taehyung

정희원 · 한국교통연구원 교통안전 · 도로본부 연구위원 (E-mail : h-cho@koti.re.kr)
정희원 · 한국교통연구원 미래교통창조경제본부 연구위원 (E-mail : thkim@koti.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this paper is to develop a methodology to estimate level of service of arterial including Exclusive Median Bus Lanes.

METHODS : On 6 Exclusive Median Bus Lanes routes in Seoul, bus travel time and number of bus-stop per km were investigated. Also whether or not passing lane exists at bus-stop was checked. Based on the data from sites, bus travel time was estimated according to length of segment, number of bus-stop per km and whether or not passing lane exists at bus-stop.

RESULTS : A bus travel time table was developed according to length of segment, number of bus-stop per km and whether or not passing lane exists at bus-stop. After bus travel speed and passenger car travel speed is estimated based on each travel time table and length of segment, two speeds are combined with weighted average speed using traffic volume of each lane group. Then weighted average speed is a measure of effectiveness of arterial including Exclusive Median Bus Lanes.

CONCLUSIONS : It can be concluded that the proposed methodology can estimate level of service of arterial including Exclusive Median Bus Lanes considering the operation characteristics of Exclusive Median Bus Lanes.

Keywords

exclusive median bus lanes, bus travel time, bus-stop, passing lane, weighted average speed of traffic volume

Corresponding Author : Cho, Hanseon, Research Fellow
Department of Transport Safety and Highway, The Korea Transport Institute
315 Goyangdaero, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 411-701, Korea
Tel : +82.31.910.3152 Fax : +82.31.910.3235
E-mail : h-cho@koti.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

서울시는 2004년에 대중교통 서비스 향상과 이를 통한 대중교통이용 활성화를 목적으로 버스체계의 전면적인 개편과 함께 중앙버스전용차로의 도입을 시작하였으며, 도입당시에는 4개축, 총연장 36.1km에 불과하였던 것이 2012년에 12개 축, 총연장 115.3km로 점차 확대되었다. 반면, 가로변버스전용차로는 2004년까지 전일

제 및 시간제 총 65개 구간, 총연장 170.9km로 운영되었으나 중앙버스전용차로의 도입 이후 감소추세를 보이고 있어 2011년에 총 44개 구간, 총연장 101.0km로 운영되고 있다. 도입이후 중앙버스전용차로의 효과가 여러차례 입증되는(윤병조, 2008) 등 운전자 및 이용자의 평가역시 긍정적이어서 중앙버스전용차로는 지속적으로 증가될 전망이다. 이렇듯 중앙버스전용차로는 하나

의 중요한 도시교통 시설로 자리 잡아가고 있으나 중앙버스전용차로에 대한 용량 및 서비스수준 분석방법 등이 마련되어 있지 않아 이 시설의 운영상태 파악 및 효율적인 운영에 지장을 주고 있는 형편이다. 서울시뿐만 아니라 전국적으로 중앙버스전용차로가 확대 설치되고 있는 상황에서 이 시설에 대한 용량분석방법 및 서비스수준 판정기준 마련이 시급한 실정이다.

도로용량편람 (MLTM, 2001)에 도시 및 교외간선도로의 용량 및 서비스수준 분석방법이 제시되어 있으므로, 중앙버스전용차로의 용량 및 서비스수준 분석방법을 개발하는데 있어서 기존방법과 일관성을 유지하는 것이 무엇보다도 중요하다 할 수 있다. 기본적으로는 기존의 용량 및 서비스수준 분석방법론을 준용하는 것을 원칙으로 하되, 중앙버스전용차로의 특성을 고려한 새로운 용량 및 서비스수준 분석방법이 개발되어야 할 것이다. 즉, 중앙버스전용차로가 설치된 간선도로를 도시 및 교외간선도로의 하나의 특수한 형태로 보고 중앙버스전용차로의 특성을 반영하는 방향으로 추진하는 것이 바람직할 것이다.

우선 “중앙버스전용차로가 설치된 간선도로”와 편람상의 “도시 및 교외간선도로”와의 운영특성을 파악하는 것이 중요하다. “중앙버스전용차로가 설치된 간선도로”가 “도시 및 교외간선도로”와 다른 점은 버스만이 이용할 수 있는 버스전용차로가 있다는 것으로 “도시 및 교외간선도로”에서는 모든 차로가 차종에 상관없이 공유되고 있으나, “중앙버스전용차로가 설치된 간선도로”에서는 1개의 차로가 버스전용으로 할당됨에 따라 이 차로들에 대해서는 승용차들이 사용할 수 없다는 것이다. 이럴 경우 차종별 교통량분포가 일반차로와 전용차로의 비율과 불일치할 경우 차로별 차로 이용률이 달라져 간선도로 전체의 효율은 떨어질 수 밖에 없다. 또한 중앙버스전용차로는 일반차로와 전혀 다른 운영특성을 보이고 있는데, 가장 큰 차이점은 중앙버스전용차로에는 버스정류장이 존재하며 버스는 반드시 버스정류장에 정차한다는 것이다. 즉, 일반차로는 도로등급 및 구간길이에 따라 순행시간이 큰 차이를 보이지만, 버스전용차로에서는 구간길이뿐만 아니라 구간 내 버스정류장의 유무 및 버스정류장 내 추월차로 유무가 버스의 순행시간에 지대한 영향을 미친다는 것이다. 그러므로 일반차로에 대해서는 기존의 도로등급 및 구간길이에 따른 순행시간을 이용하되, 버스전용차로에 대해서는 구간길이뿐만 아니라 버스정류장 및 추월차로의 유무에 따른 순행시간 산정이 필요하다. 이렇듯 “중앙버스전용차로가 설치된 간선도로”의 운영특성은 “도시 및 교외간선도로”

와 현저히 다르고 또한, 일반차로와 버스전용차로의 운영특성도 상당히 다르므로, 중앙버스전용차로만의 용량 및 서비스수준 분석을 위해서는 이러한 운행특성을 반드시 고려하여야 할 것이다.

본 연구에서는 중앙버스전용차로 운영에 영향을 미치는 요인들을 파악하여 이를 용량 및 서비스수준 분석과정에 반영하는 방향으로 중앙버스전용차로의 용량 및 서비스수준 분석방법을 개발할 것이다.

2. 기존문헌 고찰

기존의 “중앙버스전용차로가 설치된 간선도로”에 대한 용량 및 서비스수준 분석방법은 없으며, 본 연구에서 처음으로 개발하는 상황으로 “도시 및 교외간선도로”의 용량 및 서비스수준 분석방법과 관련연구를 검토해 봄으로써 중앙버스전용차로의 용량 및 서비스수준 분석방법에서 고려해야 할 요인을 도출해 보고자 한다. 또한, 중앙버스전용차로의 용량 및 서비스수준 분석방법론과 관련된 연구는 극히 제한적인 관계로 버스전용차로의 운영효율성에 관한 연구 위주로 검토해 보고자 한다.

2.1. 도로용량편람

도로용량편람에서의 “도시 및 교외간선도로” 서비스수준 분석절차에 따른 방법론 및 버스전용차로 분석과 관련이 있는 사항들을 중심으로 검토해 보고자 한다.

2.1.1. 1단계 : 분석대상 간선도로의 설정

서비스수준 평가 준비작업으로 분석대상 간선도로의 위치와 총 연장을 정확하게 설정하고, 대상도로의 교통흐름에 영향을 줄 수 있는 기하구조(진·출입로 설치밀도, km당 신호교차로수 등), 교통조건(자유속도(kph), 보행자밀도 등) 및 주변개발정도 등 주변환경을 조사수집한다. 중앙버스전용차로가 설치된 간선도로 서비스수준 분석을 위해서는 이 단계에서 일반차로뿐만 아니라 버스전용차로의 기하구조, 운영요소 등의 주요 특성들을 조사·수집해야 할 것이다.

2.1.2. 2단계 : 간선도로 유형 결정

간선도로의 기능, 설계수준 및 도로여건에 따라 유형을 구분하며, 기능과 설계수준에 따라 분류한 다음 도로여건에 따라 분류하게 된다. 간선도로의 기능과 설계수준은 고규격, 중간규격, 저규격으로 분류되며, 기능적

분류를 위한 검토항목은 이동성의 중요정도, 접근관리 수준, 연결도로 등급, 주요통행목적 등이고, 설계수준별 분류를 위한 검토항목은 진·출입로 설치밀도, km당 신호교차로수, 자유속도(kph), 보행자밀도, 주변개발정도 등이다. 도로여건은 양호와 보통으로 구분되며, 그 기준은 편도차로수가 된다.

중앙버스전용차로 운영에 영향을 미칠 수 있는 주요 변수는 버스정류장 수, 추월차로 설치여부 등이 있으며 이러한 변수들이 간선도로 유형 설정절차에 반드시 포함되어야 할 것이다.

2.1.3. 3단계 : 간선도로 분석구간별 분류

간선도로 분석의 기본단위는 구간(신호교차로에서 다음 신호교차로까지 한 방향의 길이)이며, 중앙버스전용차로가 포함된 간선도로의 경우에도 기존의 분류방법을 동일하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

2.1.4. 4단계 : 순행시간 산정

도로주행 시 교통량이 어느 정도 이상일 경우 차량들은 무리를 지어서 주행하게 되고, 이 때 교통류의 차량 상호간 내부마찰과 도로변 주·정차, 버스정류장, 유입교통 등 측면마찰의 영향에 의해 주행속도는 감소하게 된다. 즉, 신호등으로 인한 지체시간을 제외한 링크를 주행하는데 걸리는 시간을 순행시간이라 하며, 이때의 속도를 순행속도라 하고, 이는 자유속도보다는 낮은 값을 갖는다. 순행시간과 더불어 교차로 접근지체를 이용하여 간선도로 평균통행속도를 산정하게 되며, 순행시간은 도로유형별, 구간거리별, 노면마찰의 정도별로 km당 구간 순행시간을 산정하여 Table 1과 같이 제시하고 있다. 측면마찰 정도는 Table 2에서와 같이 버스정류장 수(개/km)와 진·출입로 수(개/km)에 의해서 결정된다. 구간길이가 1km 이상일 경우 순행속도는 도로유형 및 노면마찰 정도에 따라 50.0~72.0km/h로 자유속도의 63%~90%로, 구간길이가 0.1km 이하일 경우는 20.2km/h~41.9km/h로 자유속도의 25%~52%로 제시되어있다. 즉, 구간길이가 길수록 순행속도는 증가하게 되고, 증가폭은 감소하는 경향이 있다.

현재 주요 노면마찰요인으로 버스정류장 수(개/km)가 포함되어 있어, 버스전용차로의 경우에도 기존의 순행시간 산정방법을 동일하게 적용할 수 있을 것으로 판단되며, 추가로 추월차로의 유무도 순행시간에 결정적인 영향을 미칠것으로 기대되므로 이의 영향도 포함시켜야 할 것이다.

Table 1. Travel Time per Km According to Length of Segment for Normal Aterials

(sec/km)

Type of Road	I		II		III	
	High	Low	High	Low	High	Low
Side Friction of Segment (km)						
Length						
≤ 0.1	108	86	143	102	178	119
≤ 0.2	80	66	100	75	119	85
≤ 0.3	71	59	85	67	99	74
≤ 0.4	66	56	77	63	88	69
≤ 0.5	63	54	73	60	83	65
≤ 0.6	61	53	70	58	79	63
≤ 0.7	60	52	68	57	75	62
≤ 0.8	59	51	66	56	74	61
≤ 0.9	58	50	65	55	72	60
> 0.9	58	50	65	54	72	58

Table 2. Criteria of Degree of Side Friction

Type of Road	I		II		III	
	High	Low	High	Low	High	Low
Side Friction						
Factor						
No. of Bus-Stop per km	> 2	≤ 2	> 2	≤ 2	> 2	≤ 2
No. of slip road per km	> 2	≤ 2	> 3	≤ 3	> 4	≤ 4

2.1.5. 5단계 : 교차로 접근지체 산정

교차로 접근지체는 평균통행속도 산정 시 반드시 필요하며, 도로용량편람의 신호교차로편에 제시되어 있는 방법론을 이용하되 신호교차로편의 분석방법론과 다른 하나는 신호교차로간 보행자 횡단신호를 고려한다는 것이다. 중앙버스전용차로가 포함된 간선도로의 경우에도 대부분 보행자 횡단을 위한 보행자 횡단보도 및 횡단신호가 존재하므로 도로용량편람에서 제시하는 신호교차로간 보행자 횡단신호 보정계수(f_{cw})를 적용하면 될 것으로 판단된다.

2.1.6. 6단계 : 간선도로 평균통행속도 산정

4단계에서 구한 순행시간, 5단계에서 구한 교차로 접근지체 및 구간길이를 이용하여 간선도로의 구간별 또는 간선도로 전체구간의 평균통행속도를 산정한다.

2.1.7. 7단계 : 서비스수준 평가

도로유형별로 6단계에서 구한 평균통행속도를 이용하여 간선도로의 서비스수준을 평가한다. 서비스수준 평가기준은 Table 3과 같고, 중앙버스전용차로가 포함

된 간선도로의 경우에도 기존의 서비스수준 평가기준을 동일하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Criteria of Level of Service for Normal Arterials

Type of Road	I	II	III
Range of Free Flow Speed(km/h)	85 ~ 75	75 ~ 65	65 ~ 55
Criteria of Free Flow Speed(km/h)	80	70	60
Level of Service	Travel Speed (km/h)		
A	≥ 67	≥ 60	≥ 49
B	≥ 51	≥ 46	≥ 39
C	≥ 37	≥ 33	≥ 29
D	≥ 28	≥ 25	≥ 20
E	≥ 21	≥ 18	≥ 12
F	≥ 10	≥ 10	≥ 8
FF	≥ 6	≥ 6	≥ 5
FFF	< 6	< 6	< 5

2.2. 버스전용차로의 운영효율성에 관한 연구

우선 가로변 버스전용차로 운영개선방안으로 버스전용차로 단속, 제도 및 운영관련 문제점을 중심으로 개선 방안을 제시한 연구가 있다(서중환, 2010). 이 연구에서는 단속과 관련해서는 전용차로내 긴급상황발생 시 돌발상황 관리시스템 도입과 전용차로 설치구간의 본선차로 혼잡을 최소화하기 위해 불법주정차 단속, 교통수요 관리방안을 제안하였다. 구체적인 방안으로는 버스전용차로 운영시간대를 확대하고, 전용차로 운영시간에 택시의 가로변차로 진입을 금지시키며, 버스 또한 일반차로 이용금지 방안을 제안하였다.

가로변 버스전용차로와 중앙버스전용차로의 효율성을 비교하고 중앙버스전용차로의 효율성을 높일 수 있는 방안에 대한 연구가 있었으며(임광수 외 1인, 2006), 이 연구에서는 가로변 버스전용차로의 한계를 지적하였고, 중앙버스전용차로의 효율성을 높이기 위해 교차로 통과 버스전용차로(Queue jumping bus lane, QJBL) 도입을 제안하여 그 효과를 입증하였다. 현실적인 문제로 현장에 적용하여 시험은 못하였으며, 시뮬레이션 분석을 통해 교차로 통과 버스전용차로를 이용함으로써 버스의 속도를 증가시키고, 교차로 지체시간을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

또한, 버스전용차로의 효율을 높이기 위한 방안으로 교통신호체계 개선의 필요성에 관한 연구도 있었으며(김보겸 외 3인, 2006), 이 연구에서는 버스전용신호 도입

시 교차로 정체를 최소화할 수 있는 신호설계방법을 제시하였다. 구체적인 방안으로 중첩현시 및 동시신호 등 Dual-Ring방식의 다양한 신호 운영방안에 대해 제안하였으며 시뮬레이션을 통해 그 효과를 검증하였다.

중앙버스전용차로의 운영효율성 제고를 위해서는 중앙버스전용차로 운영을 평가할 수 있는 방법 정립이 선행되어야 한다는 주장과 함께 중앙버스전용차로의 운영 평가를 위한 지표개발에 대한 연구가 있었다(김원호, 2007). 운영평가 지표로는 통행시간, 정시성, 환승시간, 통행행태, 정류장 용량, 환승통행비율 및 수단전환율 등을 선정하였다. AHP기법을 통해 평가 지표간의 비중을 설정하였으며, BMS데이터와 스마트카드 데이터로부터 대상노선에 대해 교통정보를 추출하여 이를 기반으로 각 노선에 대한 평가를 수행하였다.

중앙버스전용차로의 운영효율성 평가에 대한 다른 연구로는 중앙버스전용차로를 이용하는 버스 이용자들을 대상으로 이동단계별로 서비스수준 평가를 위한 평가모형과 이를 통합하여 전체적인 서비스평가모형 개발에 대한 연구가 있었다(홍연명, 2009). 전반적인 서비스 만족도에 대한 영향은 이동단계, 환승단계, 접근단계 순으로 높게 나타났으며, 이는 중앙버스전용차로 시행 이후 버스의 정시성이 높아졌으며 버스체계 개편으로 인해 다양한 서비스의 제공 및 전용도로상 운행으로 인해 안전성이 증대되었기 때문으로 판단하였다.

또한, 중앙버스전용차로 적용 시 버스교통량에 따른 통행속도 및 통행시간을 분석하여 중앙버스전용차로 적용 기준을 마련한 연구가 있었다(김정빈, 2010). 다양한 교통량 시나리오와 시뮬레이션을 이용하여 분석하였으며, 중앙버스전용차로 도입으로 승용차의 통행속도는 감소한 반면, 버스의 통행속도는 증가한 것으로 나타났으며, 교차로 전반적인 효율을 위해서는 적정 버스 교통량이 요구된다는 것을 밝혔다.

이와 같이 가로변 버스전용차로 및 중앙버스전용차로의 운영실태를 파악하여 시스템과 제도개선을 통해 효율성을 향상시키려는 연구와 시뮬레이션을 이용한 버스전용차로의 효과분석위주의 연구가 대부분이었다. 본 연구에서 개발하고자 하는 버스전용차로의 용량 및 서비스수준 분석방법론 개발관련 연구는 없는 것으로 파악되었다.

3. 연구방향 설정

USHCM 2010(TRB, 2010)에서는 도시 및 교외간선

도로의 서비스 수준 분석방법론을 전면적으로 개정하여 교통량 및 신호현시를 고려한 새로운 방법론을 제시하고 있으나, 본 연구에서는 기존의 방법론을 개정하는 것은 곤란하고 기존의 도로용량편람 상의 분석방법론을 준용하되 중앙버스전용차로에 대한 서비스 수준 분석방법론과 일반차로와 중앙버스전용차로의 서비스 수준을 통합하여 하나의 값으로 제시하는 방법에 대해서만 연구를 수행하기로 하였다.

버스의 순행속도에 영향을 줄 수 있는 요소로는 주변부의 토지이용, 도로의 기하구조, 횡단보도의 유무, 노변마찰 등 다양한 요소들이 존재할 수 있다. 기존 간선도로의 분석에서는 구간의 길이와 노변마찰만이 버스의 순행시간에 영향을 주는 것으로 가정하고 있고, 노변마찰은 버스정류장과 진출입로의 개수에 의해서 결정되는 구조로 이루어져 있다. 그리고 교차로 접근지체를 계산하는 과정에서 횡단보도의 영향을 고려하여 보정계수를 삽입하는 형태를 취하고 있다.

중앙버스전용차로가 설치된 간선도로의 분석도 이와 유사한 절차를 따라야 한다면 결국 도로구간의 길이와 버스 운행의 마찰요인들 간 조합에 의해서 순행시간이 결정되는 구조가 바람직할 것이다. 이 경우 도로구간의 길이는 기존 간선도로 분석에서 제시한 100미터 단위의 구분 기준을 따르면 될 것이다. 하지만 버스운행의 마찰요인은 기존 간선도로 분석과 다를 수 있는데, 우선 본 연구에서는 중앙버스전용차로만을 분석의 대상으로 하고 있기 때문에 진출입로의 개수는 고려요소에서 제외되는 것이 바람직하다. 반면 추월차로는 기존 간선도로의 순행시간 분석에서는 고려되고 있지 않지만, 그 유무에 따라서 버스전용차로의 운영효율에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소인 만큼 버스운행의 마찰요인 중 하나로서 고려할 것이다.

또한 버스정류장은 기존 간선도로의 순행시간 분석에서도 노변 마찰요인 중 하나로서 고려되고 있는데, 중앙버스전용차로가 설치된 간선도로의 경우에는 버스정류장의 개수도 영향을 미칠 수 있지만, 해당 정류장 내에 포함되어 있는 정차면수에 따라서도 영향을 받을 가능성이 있다. 하지만 국내 대부분의 버스정류장에는 2~3개의 정차면이 거의 동일하게 설치되어 있어 정차면수의 변화에 따른 순행시간의 차이를 분석하기가 현실적으로 불가능하기 때문에 본 연구에서는 버스정류장의 개수만을 고려하기로 하였다. 이 때 버스정류장 개수를 산정하는 기준으로서 기존 도로용량편람의 간선도로 부분에서는 해당 구간 내에 있는 정류장 개수를 직접 사용

하지 않고 대신 km 당 개수로 변환된 값을 적용하여 노변마찰 정도를 판단하는데 사용하고 있다. 그런데 이러한 방식을 중앙버스전용차로가 설치된 간선도로에 그대로 적용할 경우 거의 일정한 간격으로 존재하는 버스전용차로의 정류장 위치특성상 구간거리의 차이에 관계없이 거의 비슷한 값으로 정류장 개수가 결정되는 문제가 있다. 즉 버스정류장의 개수 차이가 버스운행의 마찰 정도를 구분 짓는 요소로서 작용하지 못하는 결과를 초래하는 경우가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 정류장을 km 당 개수로 변환하지 않고 실제 존재하는 개수 자체를 그대로 사용하였다.

마지막으로 교차로 접근지체 계산과정에서 요구되는 신호교차로 간 보행자 횡단보도는 중앙버스전용차로가 설치된 간선도로의 분석에서도 유사한 형태로 영향을 줄 수 있기 때문에 버스의 운행속도 산정 시 고려요소 중 하나로서 포함시키는 것이 바람직하고 이용방법은 기존의 간선도로 분석과정에서 사용되었던 보정계수에 의한 방법을 그대로 사용하면 될 것이다.

4. 분석방법절차 및 분석결과

4.1. 조사지점 선정

현장조사의 목적은 현재 국내에서 시행 중인 버스전용차로가 설치된 간선도로의 서비스수준 분석방법론 개발을 위한 기초자료를 수집하는 것이다. 현장조사를 수행하기에 앞서 서울교통정보센터(Seoul Transport Operation and Information Service: TOPIS)에서 제공하는 자료를 이용하여 서울시의 중앙버스전용차로에 대한 버스노선, 버스정류장 위치 및 버스정류장 별 노선수 등을 파악하였다. 또한, TOPIS 자료와 위성사진자료를 이용하여 신호교차로 간격, 정류장 수, 추월차로 유무 등 중앙버스전용차로의 순행속도에 영향을 미칠 수 있는 기하구조를 조사하였으며, 순행시간 조사가 가능한 중앙버스전용차로 노선을 파악하여 Table 4와 같이 총 6개 노선을 선정하였다. 조사일정은 2012년 3월~5월에 걸쳐 비 침두시간대인 오후 2시부터 4시까지 실시하였고 조사내용은 중앙버스전용차로 노선 내에 주요지점 도착, 출발, 통과시간으로 선정하였다. 중앙버스전용차로 노선 내에 주요지점은 버스정류장, 횡단보도, 교차로 정지선, 교차로 끝지점 등이 포함된다. 조사방법은 조사원이 중앙버스전용차로를 운행하는 버스에 탑승하여 버스운행경로를 동영상으로 녹화하는 방법으로 조사를 수행하였다.

Table 4. Study Sites

Exclusive Median Bus Lanes Route	Length (km)	Starting and Ending Points	No. of Segments
Goyang-Susaekro	22.4	Daewha Satation - Severance Hospital	46
		Severance Hospital - Daewha Satation	45
Norayngjinro	2.8	Daebang Station - Sangdo Tunnel	7
		Sangdo Tunnel - Daebang Station	7
Dobong-Miaro	15.8	Dobongsan Station - Seoul University Hospital	28
		Hansung University - Dobongsan Station	26
Songpadaero	5.6	Jamsil Bridge - Jangji Bridge	11
		Jangji Bridge- Jamsil Bridge	11
Yanghwa-Shinchonro	5.2	Hapjeong Satation- Ewha University Station	7
		Ewha University Station - Hapjeong Station	7
Cheonho-Hajeongro	7.6	Yongdu Satation - Samil Gas Station	11
		Samil Gas Station - Yongdu Station	11

4.2. 순행시간 산정방법

도로용량편람의 도시 및 교외간선도로 편에서는 순행 시간은 차량들이 무리를 이루어서 이동하거나 측면 마찰을 받을 때 지체되는 시간이 반영된 것으로 신호등·감속지체와 정지지체의 영향은 받지 않으며 순행하는 시간으로 이 때의 속도는 자유속도보다 낮은 값을 갖는 것으로 정의하였다. 중앙버스전용차로의 순행시간 역시 측면 마찰은 반영되어야 하고 신호등으로 인한 가감속 지체와 정지지체는 제외되어야 할 것이다. 중앙버스전용차로의 마찰요인에는 버스정류장, 버스정차면, 횡단 보도 그리고 측면마찰을 감소시켜주는 추월차로가 있으나 본 연구에서는 버스정류장과 추월차로만을 고려하기로 하였다. 버스정차면은 중앙버스전용차로의 정차면이 대부분 2~3면으로 정차면에 따른 속도차이가 발생하지 않기 때문에 제외하였으며 횡단보도는 중앙버스전용차로에만 있는 것이 아니라 일반차로에도 존재하나 기존 도시 및 교외간선도로의 순행시간 마찰요인에는 횡단보도가 포함되지 않았으므로 일관성을 유지하기 위하여

중앙버스전용차로에서도 횡단보도를 제외하였다.

중앙버스전용차로 현장조사자료를 이용하여 순행시간을 산출하기 위해서는 2가지 단계를 거쳐야 한다. 첫 번째는 단위분석구간 당 평균주행시간을 산출하는 단계이고 두 번째는 주행시간에서 신호등으로 인한 감속지체와 정지지체를 제외하여 순행시간만을 산출하는 단계이다. 첫 번째 단계에서 산출하는 단위분석구간 당 평균주행시간에는 버스정류장 지체, 횡단보도 지체, 신호교차로 지체가 포함된 시간으로 현장조사자료를 이용하여 산출이 가능하다. 두 번째 단계에서 산출하는 단위분석구간 당 순행시간은 신호에 의한 가감속지체와 정지지체를 제외해야 한다. 여기서 유의해야 할 점은 현장조사 시 정지지체는 측정이 가능하지만 가감속지체는 측정이 어렵다는 것이다. 일반적으로 신호에 의한 제어지체는 정지지체시간의 1.3로 알려져 있으나(Relly 외 2인, 1976), 이 관계를 이용하여 제어지체시간 산정 시 정지지체시간 크기에 따라 가·감속에 의한 지체시간이 비 정상적으로 커짐에 따라 현실에 적용하기 곤란하며, 또한, 가·감속에 의한 지체시간은 정지지체 시간 크기와는 무관할 것으로 판단되기 때문에 현장조사를 통해 가·감속에 의한 지체시간을 파악하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 대상구간에서 교차로 지체를 겪지 않은 버스의 최소주행시간과 교차로 지체를 겪은 버스의 총주행시간 및 정지지체시간을 이용하여 Eq. (1)과 같이 가·감속에 의한 평균지체시간을 산정하기로 하였다.

$$CD_{AA} = TT_{WD} - TT_{WOD} - SD \quad (1)$$

여기서,

CD_{AA} : 가·감속에 의한 평균지체시간(초)

TT_{WD} : 교차로 지체를 겪은 버스의 총 주행시간(초)

TT_{WOD} : 교차로 지체를 겪지 않은 버스의 주행시간(초)

SD : 정지지체시간(초)

모든 버스에 대해 Eq. (1)을 이용하여 가·감속에 의한 지체시간을 구한 후 개별 데이터의 지체시간 편차를 줄이기 위해서 신호에 의한 가·감속지체를 전체 중앙버스전용차로 노선의 평균값인 교차로 당 17.05초를 적용하기로 하였다.

또한, 버스의 총 주행시간에서 교차로 지체시간을 제거한 주행시간에는 버스정류장 정차로 인한 지체시간이 포함되어 있다. 버스정류장 정차로 인한 버스의 지체시

간은 개별 버스간에도 편차가 크지만 링크별 편차가 너무 커서 이를 그대로 반영하여 버스의 주행시간을 산정할 시 링크 길이에 따른 영향보다 오히려 버스정류장 정차시간에 영향을 더 받을 수 있다. 본 연구에서는 이러한 버스정류장 지체시간의 편차를 줄이기 위해 버스정류장 정차시간을 전체 중앙버스전용차로 노선의 평균값인 정류장 당 21.29초를 적용하기로 하였다. 이때, 버스정류장에 의한 가·감속지체시간을 산정하기 위해서는 정류장 정차없이 통과하는 버스에 대한 통행시간 자료가 요구되나, 현장 조사 시 이와 같은 자료를 구하기 어려워 버스정류장에서 발생하는 버스의 가·감속시간은 교차로에서 발생하는 버스의 접근지체시간을 활용하기로 하였다.

도로용량편람의 대중교통편에 버스 가·감속시간이 제시되어 있으나, 제시된 버스 가·감속시간은 버스전용차로와 일반차로에 대한 구분이 없으며, 또한, 버스전용차로와 일반차로는 차종구성비가 다르고 도로주행특성 및 운영특성이 다르므로 버스전용차로의 정류장에서 발생하는 가·감속시간과 일반차로의 정류장에서 발생하는 가·감속시간은 다를 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 버스전용차로의 정류장에서 발생한 버스 가·감속시간을 대중교통편에 제시된 버스 가·감속시간으로 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단되어 대중교통편에 제시된 버스 가·감속시간을 사용하지 않았다.

5. 조사결과 및 버스 순행시간 산정

5.1. 조사결과

5.1.1. 중앙버스전용차로 노선별 평균 주행속도

중앙버스전용차로 6개 노선을 조사한 결과는 Table 5와 같으며, km 당 평균 정류장 수는 1.61개, 정류장 당

Table 5. Number of Bus-Stop per Km, Number of Stopping Lots per Bus-Stop and Travel Speed of Study Sits

Exclusive Median Bus Lanes Route	Length of Route (km)	Number of Bus-Stops per Km	Number of Stopping Lots per Bus-Stop	Travel Speed (km/h)
Goyang-Susaekro	22.4	1.43	2.62	42.7
Norayngjinro	2.8	1.89	2.89	26.7
Dobong-Miaro	15.8	1.57	2.24	25.0
Songpadaero	5.6	1.66	3.54	27.7
Yanghwa-Shinchonro	5.2	1.56	3.50	19.9
Cheonho-Hajeongro	7.6	1.55	2.47	27.0
Average	-	1.61	2.88	28.2

정차면수는 2.88면, 주행속도는 평균 28.2km/h으로 조사되었다. 정류장 밀도는 노량진로가 1.89개/km로 가장 높았으며 고양수색로가 1.43개/km로 가장 낮은 것으로 나타났다. 정류장 당 평균 정차면수는 송파대도가 3.54면/정류장으로 가장 많았으며 천호하정로가 2.47면/정류장으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 평균 주행속도는 고양수색로가 42.7km/h로 가장 높게 나타났으며 양화신촌로가 19.9km/h로 가장 낮은 주행속도를 보이는 것으로 조사되었다.

5.1.2. 중앙버스전용차로 노선별 지체시간

중앙버스전용차로 6개 노선의 평균 정류장 정차시간은 Table 6과 같이 송파대도가 평균 33.3초로 가장 높았으며, 천호하정로가 평균 14.6초로 가장 낮은 정차시간을 보였다. 평균 교차로 정지지체는 송파대도가 77초/대로 가장 높게 나타났으며 노량진로가 33.3초/대로 가장 낮은 교차로 정지지체를 보이는 것으로 나타났다.

Table 6. Stoppage Time and Delay Time According to Exclusive Median Bus Lanes Route

Exclusive Median Bus Lanes Route	Ave. Stoppage Time at Bus-Stop (sec)	Ave. Delay Time at Intersections (sec/veh)
Goyang-Susaekro	19.3	47.2
Norayngjinro	24.6	33.3
Dobong-Miaro	20.6	52.5
Songpadaero	33.3	77.0
Yanghwa-Shinchonro	15.4	53.3
Cheonho-Hajeongro	14.6	41.5
Average	21.29	50.8

5.1.3. 중앙버스전용차로 노선별 자유속도

중앙버스전용차로 6개 노선의 자유속도는 Table 7과 같이 평균 71.8km/h로 나타났으며 고양수색로

Table 7. Free Flow Speed According to Exclusive Median Bus Lanes Route

Exclusive Median Bus Lanes Route	Free Flow Speed(km/h)
Goyang-Susaekro	82.8
Norayngjinro	66.1
Dobong-Miaro	65.8
Songpadaero	74.7
Yanghwa-Shinchonro	80.8
Cheonho-Hajeongro	60.5
Average	71.8

(82.8km/h)와 양화신촌로(80.8km/h)가 80km/h 이상으로 나타났으며 송파대로가 74.7km/h로 70km/h 이상으로 나타났고 노량진로, 도봉미아로, 천호하정로가 60km/h 이상으로 조사되었다.

5.2. 버스 순행시간 산정

분석구간별 km 당 버스 순행시간 산정은 4장에서 정립한 방법대로 개별 데이터의 주행시간에서 실제 버스 정류장 정차시간 대신 버스정류장 평균 정차시간을 반영하였고 실제 신호에 의한 정지체와 평균 가감속지체를 제외한 값으로 산정하였으며 그 결과는 Table 8과 같다. 중앙버스전용차로 유형별 구간별 순행시간은 추월차로 무, 정류장 수 2의 경우를 제외하고 모든 유형에서 분석구간 간격이 클수록 순행시간은 감소하는 것으로 산정되었다.

Table 8. Travel Time per Km According to Length of Segment Based on Measured Data

(sec/km)

Travel Time	Without Passing Lane			With Passing Lane	
	No. of Bus-Stop			No. of Bus-Stop	
Length of Segment (km)	0	1	2	1	2
≤ 0.1	83				
≤ 0.2	85	213			
≤ 0.3	74	198		157	
≤ 0.4	77	164		153	
≤ 0.5	62	140		135	
≤ 0.6	70	129		122	
≤ 0.7	56	132		107	
≤ 0.8			176	124	
≤ 0.9				114	139
≤ 1.0		117			
≤ 1.1				100	134
≤ 1.2					
≤ 1.3					129
≤ 1.4					124

버스전용차로 기하구조 조사결과 분석구간 500m 내에 2개의 정류장이 존재하는 경우가 없었고 간선급행버스체계 설계지침(MLTM, 2010)에 제시된 도시부 정류장 설치간격도 최소 500m 이상으로 설치하도록 되어 있으므로 분석구간 500m 내에 2개의 정류장이 존재하는 경우에 대해서는 고려하지 않았다. 또한 정류장과 관계없이 추월차로가 독립적으로 존재하는 버스전용차로

도 현재 일반적이지 않기 때문에 분석대상에서 제외하였다.

현장조사를 통해 수집된 데이터를 이용하여 중앙버스전용차로 유형별 분석구간별 순행시간을 도출하였지만 자료수집의 한계로 인해 누락된 부분이 많기 때문에 이러한 부분을 보정하여 순행시간을 산정해야 한다. 본 연구에서는 자료를 보정하는 방법으로 중앙버스전용차로 유형별로 모형식을 산출하여 유형별 분석구간별 순행시간을 산정하였다. 그리고 추월차로 무, 정류장수 2의 경우 분석구간 간격이 0.8km인 구간만 데이터가 존재하므로 추월차로 무, 정류장수 1의 유형을 이용하여 순행시간을 산정하였다.

Table 9. Estimation Model of Travel Time Each Type of Exclusive Median Bus Lanes

Type	Model	R ²
Without Passing Lane, Bus-Stop 0	$y = 9.0995\ln(x) + 39.654$	0.638
Without Passing Lane, Bus-Stop 1	$y = 9.3522\ln(x) + 9.6343$	0.952
Without Passing Lane, Bus-Stop 2	$y = 4.5549\ln(x) + 12.098$	0.894
With Passing Lane, Bus-Stop 1	$y = 9.7879\ln(x) + 11.382$	0.833
With Passing Lane, Bus-Stop 2	$y = 6.8555\ln(x) + 10.642$	0.962

Table 10. Travel Time per Km According to Length of Segment

(sec/km)

Travel Time	Without Passing Lane			With Passing Lane	
	No. of Bus-Stop			No. of Bus-Stop	
Length of Segment (km)	0	1	2	1	2
≤ 0.1	91	374	N/A	316	N/A
≤ 0.2	78	223		198	
≤ 0.3	73	181		163	
≤ 0.4	69	159		144	
≤ 0.5	66	146		133	
≤ 0.6	64	136	175	124	157
≤ 0.7	63	129	168	118	150
≤ 0.8	61	124	162	113	145
≤ 0.9	60	119	158	109	140
≤ 1.0	59	116	154	106	136
≤ 1.1	59	112	151	103	133
≤ 1.2	58	110	148	101	130
≤ 1.3	57	107	145	99	128
≤ 1.4	57	105	143	97	125

추월차로 무, 정류장수 2의 유형은 추월차로 무, 정류장수 1의 유형에서 정류장 수만 1개가 증가하였으므로 추월차로 무, 정류장수 1의 유형에 정류장 1개에 대한 지체시간을 더해주는 방법으로 보정을 하였으며, 정류장 1개에 대한 지체시간은 버스정류장 평균 정차시간 21.29초와 버스정류장 가감속지체 17.05초(신호에 의한 가감속지체와 같다고 가정함)를 합한 38.34초로 계산하여 반영하였다. 중앙버스전용차로 단위구간 당 순행속도를 산정하기 위한 유형별 모형식은 Table 9와 같으며 모형식 결과인 단위구간 당 순행속도를 단위거리 당 순행시간으로 환산한 값은 Table 10과 같다.

중앙버스전용차로의 순행시간은 추월차로 무, 정류장수 0일 경우 “도시 및 교외간선도로” 1등급의 평균순행시간보다 약 8.5% 증가한 것으로 나타났으며, 추월차로 무, 정류장수 1일 경우에는 약 170.1% 증가하여 버스정류장의 영향이 어느 정도인지 가늠할 수 있었다. 또한, 추월차로 유, 정류장수 1일 경우에는 약 80.1% 증가하는데 그쳐 추월차로의 영향도 대단함을 알 수 있었다. Fig. 1은 Km 당 순행시간 테이블을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 분석구간의 길이가 길어질수록 Km 당 순행시간은 완만하게 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

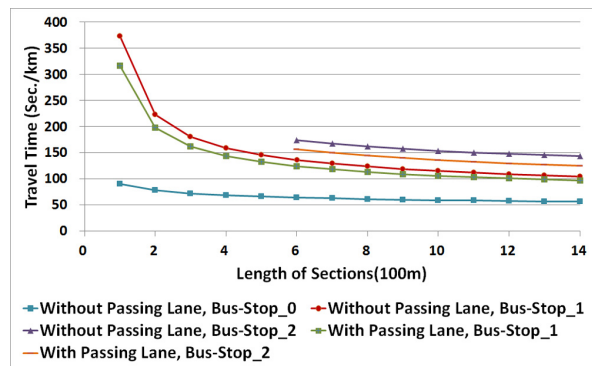


Fig. 1 Travel Time per Km According to Length of Segment

5.3. 버스전용차로가 설치된 간선도로 서비스수준 분석방법

중앙버스전용차로가 설치된 간선도로의 서비스수준 분석방법은 기존의 방법을 따르되 특별히 고려되어야 할 사항들에 대해서만 정리하고자 한다.

우선 고려하여야 할 것이 버스전용차로의 유형을 결정하는 단계이다. 버스전용차로도 결국은 전체 간선도로의 일부분이기 때문에 버스전용차로의 유형결정은 기본적으로 기존 도로용량편람 도시 및 교외간선도로 부

분에서 제시되었던 간선도로의 유형결정과정을 그대로 따라서 결정하도록 해야 할 것이다. 즉 버스전용차로의 유형을 결정할 때 간선도로 유형 분류표를 이용하여 결정하되, 버스전용차로의 기능 특성상 고규격이나 저규격에 포함되기 보다는 중간규격 범주에 포함될 가능성이 높고 더욱이 링크 편도 3차로 이상의 양호한 도로여건을 갖추고 있어야 한다. 따라서 버스전용차로의 도로 유형은 I 하나만으로 분류되는 것이 타당할 것이고 이러한 점을 반영하여 본 연구에서는 이러한 도로유형을 버스전용차로 유형이라는 독립된 도로유형으로 분류하여 서비스수준 결정과정에서 사용하고자 한다.

일반차로와 버스전용차로의 순행시간을 각각의 기준에 따라 산정 후 이 두 개의 차로군을 하나로 통합하는 과정이 필요할 것이다. 순행시간 산정표를 이용하여 각각의 평균통행속도와 두 개 차로군의 교통량을 적용하여 Eq. (2)와 같이 가중평균하는 방법을 이용하는 것이 바람직할 것이다. 기존방법과 다른 점은 버스전용차로를 포함한 간선도로의 서비스수준 평가를 위해서는 일반차로와 버스전용차로 각각의 교통량을 필요로 한다는 것이다.

$$Speed_{segment} = \frac{3,600 \times (V_{bus} + V_{others}) \times \text{구간길이}}{V_{bus} \times T_{bus} + V_{others} \times T_{others}} \quad (2)$$

여기서,

$Speed_{segment}$: 중앙버스전용차로가 설치된 간선도로 분석구간의 평균통행속도(km/h)

T_{bus} : 중앙버스전용차로 분석구간의 통행시간(초)

T_{others} : 일반차로 분석구간의 통행시간(초)

V_{bus} : 중앙버스전용차로 분석구간의 침투 시 교통량(대/시)

V_{others} : 일반차로 분석구간의 침투 시 교통량(대/시)

3,600 : 속도를 km/h로 환산하기 위한 환산계수

6. 결론

2004년 도입이후 중앙버스전용차로는 하나의 중요한 도시교통 시설로 자리 잡아가고 있으나 중앙버스전용차로에 대한 용량 및 서비스수준 분석방법 등이 마련되어 있지 않아 이 시설의 운영상태파악 및 효율적인 운영에 지장을 주고 있어 이 시설에 대한 용량 및 서비스수준

분석방법 마련이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 필요성에 의해 중앙버스전용차로의 용량 및 서비스 수준을 분석하기 위한 방법론을 개발하였다

“중앙버스전용차로가 설치된 간선도로”의 용량 및 서비스수준을 분석하기 위해서 도로용량편람 상에서 정의하고 있는 “도시 및 교외간선도로”와의 운영특성 상 차이를 파악하고, 기존방법론을 준용하되 그 차이가 반영될 수 있게끔 방법론을 개발하였다. 중앙버스전용차로와 일반차로의 운영상 가장 큰 차이는 중앙버스전용차로에는 버스정류장이 존재하여, 일반차로에서의 순행시간은 도로등급 및 구간길이에 영향을 받으나, 버스전용차로에서는 구간길이보다 구간 내 버스정류장의 유무 및 버스정류장 내 추월차로 유무가 버스의 순행시간에 더 많은 영향을 미친다는 것이다. 일반차로에 대해서는 기존의 도로등급 및 구간길이에 따른 순행시간표가 마련되어 있으므로 이를 이용하기로 하였으며, 중앙버스전용차로에 대해서는 현재 운영 중인 서울시의 6개 노선에서의 조사를 통해 버스전용차로의 구간길이뿐만 아니라 버스정류장 및 추월차로의 유무에 따른 순행시간을 산정하였다.

“중앙버스전용차로가 설치된 간선도로”의 서비스수준을 분석하기 위해서는 중앙버스전용차로와 일반차로 각각에 대해 순행시간표를 이용하여 각각의 순행속도를 산정한 뒤 이를 통합하는 과정이 필요하며, 본 연구에서는 중앙버스전용차로와 일반차로 각각의 교통량을 이용한 가중평균값을 이용하기로 하였다. 중앙버스전용차로가 설치된 간선도로의 서비스수준 결정은 기존 도로용량편람의 간선도로 서비스수준 결정기준을 준용하는 것으로 하고, 중앙버스전용차로가 설치된 간선도로의 서비스수준 결정기준으로서 간선도로유형 I의 기준을 준용하여 사용하기로 하였다. 다만 향후 추가적인 연구를 통하여 중앙버스전용차로가 설치된 간선도로만의 서비

스 평가기준을 정립할 수 있도록 보완하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

References

- Hong, Y., (2009), “The development of service evaluation model for transferring process of bus user in Seoul”, Thesis of Myongji University
- Kim, B., Kim, S., Kim, Y., Kim, J., (2006), “Development of Determining Technique of Optimum Signal Time of Intersections On Median Exclusive Bus Lane using Bus-only Signal” *Korean Society of Transportation*, Vol.24, No. 5.
- Kim, J., (2010), “A study of Establish Criterion of Median Bus Lanes for Application”, Thesis of Dankook University
- Kim, W., (2007), “A Development of Measure for Operational Effectiveness of the Exclusive Median Bus Lane”, Seoul Institute
- Lim, K., Shin, U., (2006), “A Study on Intersection Passing Bus Lane At An Signalized Intersection”, *Capital Region Research*, Vol. 3, pp.71~81.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, (2001), “Highway Capacity Manual”
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2010), *Design Guideline of Bus Rapid Transit(BRT)*, Gyeonggi-do, Korea
- Relly, W. R., Gardner, C. C., and Kell, J. H., (1976.), “A Technique for Measurement of Delay at Intersections”, Federal Highway Administration, Reports FHWA-RD-76-135, FHWA-RD-136, and FHWA-RD-137, Washington D.C.,
- Seo, J., (2010), “A Study on the Operation Improvement of Exclusive Bus Lane: In case of the Gwang-ju metropolitan area”, Dissertation of Honam University
- Transportation Research Board(2010), *Highway Capacity Manual*, Washington, D.C., U.S.A.
- Yun, B.(2008), Change in Road Traffic Demand after the Operation of Exclusive Median Bus Lane in Seoul, *J. Korea Soc. Road Eng.*, Vol.10 No. 3, pp.139-147
- (접수일 : 2013. 3. 11 / 심사일 : 2013. 3. 18 / 심사완료일 : 2013. 10. 1)