

버스의 재차인원을 고려한 중앙버스전용차로 효과분석 방법에 관한 연구

A Study of Effectiveness Analysis Method of Exclusive Median Bus Lanes Considering Number of People in Buses

조 한 선 Cho, Hanseon | 정희원 · 한국교통연구원 교통안전 · 도로본부 연구위원 (E-mail : h-cho@koti.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to develop an effectiveness analysis method of exclusive median bus lanes, which is necessary in order to improve operation efficiency of exclusive median bus lanes.

METHODS : The operation characteristics of "signalized intersection including exclusive median bus lanes" and "normal signalized intersection" were investigated and the existing capacity analysis method was also reviewed to analyze the effectiveness of exclusive median bus lanes. Delay reduction of passengers using exclusive median bus lanes which can be considered as the benefit of exclusive median bus lanes and the number of people in buses were included in the proposed effectiveness analysis method.

RESULTS : It was found that the proposed method expresses properly the effectiveness of exclusive median bus lanes through performing sensitivity analysis and analyzing with the real data of the number of people in buses and passenger cars. It was also found that the proposed method demonstrates the effectiveness that measure of effectiveness of signalized intersections is changed to "sec/person".

CONCLUSIONS : It was concluded that the method is a proper effectiveness analysis method because it can reflect the benefit of passengers in buses.

Keywords

exclusive median bus lanes, capacity analysis, number of people in buses, measure of effectiveness, delay

Corresponding Author : Cho, Hanseon, Research Fellow
Department of Transport Safety and Highway, The Korea Transport Institute
315 Goyangdae-ro, 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

도시부 교통혼잡 문제가 날로 심해져가는 상황에서 서울시 등 대도시권을 중심으로 도심지 주차상한제 및 도심 혼잡통행료 징수 등 다양한 정책들을 시도하고 있으며, 그 중 가장 핵심이 되는 것으로는 중앙버스전용차로 도입이라 할 수 있다. 이는 버스의 속도 및 정시성을 향상시킴으로써 대중교통 이용을 활성화시키기 위한 방안으로 2004년 서울시를 시작으로 현재는 전국적으로

확대 설치되고 있는 상황이다. 중앙버스전용차로의 효과가 윤병조(2008)에 의해 입증되는 등 운영자 및 이용자의 평가 역시 긍정적이어서 중앙버스전용차로는 지속적으로 증가될 전망이다. 이렇듯 중앙버스전용차로는 시민 생활에 있어 하나의 중요한 도시교통 시설로 자리잡아가고 있으나 중앙버스전용차로의 정확한 효과를 분석할 수 있는 방법이 마련되어있지 않아, 이 시설의 운영상태 파악이나 효율적인 운영방안 마련에 걸림돌이

되고 있다. 특히, 도시교통 운영에 있어서 핵심이라 할 수 있는 신호교차로에서의 중앙버스전용차로의 효과 분석이 무엇보다도 중요한데, 기존 신호교차로의 용량분석 및 서비스수준 분석방법으로는 그 효과를 전혀 파악할 수 없는 실정이다. 지속적으로 중앙버스전용차로가 확대 설치되고 있는 상황에서 보다 효율적인 중앙버스전용차로 운영을 위해서는 우선 그 효과분석방법 마련이 반드시 필요할 것이다.

중앙버스전용차로의 효과를 분석하기 위해서는 우선 “중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로”와 “일반신호교차로”와의 운영 특성을 파악하여야 하는 것이 중요하다. 용량분석 차원에서 두 개 신호교차로의 가장 큰 차이는 “중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로”에는 버스만을 위한 버스전용차로가 있다는 것이다. 즉, “일반신호교차로”에서는 차종에 관계없이 모든 차종이 모든 차로를 이용할 수 있으나, “중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로”에서는 버스전용차로가 설치되어 있어 이 차로에는 버스만이 이용할 수 있다는 것이다. 이렇게 운영됨으로써 “중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로”에서 버스교통량이 일반차로의 차로별 평균교통량보다 적을 경우 교차로 전체의 효율은 떨어지게 된다. 즉 차로별 교통량분포가 일반차로와 전용차로가 달라지게 되면 차로별 차로이용률이 달라져 교차로의 효율이 저하되는 것이다. 이렇듯, 중앙버스전용차로가 설치되면 신호교차로의 성능은 떨어질 수 밖에 없다. 그러나 이와같은 결과는 중앙버스전용차로 설치로 인한 편익은 전혀 고려되지 않은 결과라 할 수 있을 것이다.

버스전용차로의 다른 특징은 버스전용차로를 설치함으로써 신호교차로의 전반적인 효율은 감소할 수 있지만, 버스의 지체가 감소함으로써 버스승객이 겪는 지체 또한 감소한다는 것이다. 그러므로 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로를 일반신호교차로와 같은 방법으로 분석했을 경우 버스의 지체가 감소함으로써 버스승객이 얻는 편익은 고려하지 못하고, 버스가 겪는 지체를 승용차가 겪는 지체와 같은 비중으로 처리함으로써 버스전용차로의 부의편익만을 고려하게 된다는 것이다. 그러므로, “중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로”의 용량분석방법과는 별개로 중앙버스전용차로의 효과를 측정하기 위해서는 버스승객에 대한 편익을 고려한 효과측정 방법론이 필요한 것이다.

본 연구에서는 중앙버스전용차로의 편익이라 할 수 있는 버스 승객들의 지체시간감소와 버스의 재차인원을 감안한 효과분석방법을 개발하고자 한다.

2. 문헌고찰

중앙버스전용차로의 효과분석 방법론과 관련된 연구는 극히 제한적이며 본 장에서는 버스전용차로의 운영 효율성 향상을 위한 연구 위주로 검토해 보고자 한다.

임광수 외 1인(2006)은 가로변 버스전용차로와 중앙버스전용차로의 효율성에 대해 연구한 바 있으며, 가로변 버스전용차로의 한계를 지적하였으며, 중앙버스전용차로의 효율성을 높이기 위해 교차로 통과 버스전용차로(Queue jumping bus lane; QJBL)를 제안하였다. 시뮬레이션 분석을 통해 교차로 통과 버스전용차로를 이용함으로써 버스의 속도를 증가시키고, 교차로 지체 시간을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

서중환(2010)은 가로변 버스전용차로 운영에 따른 운영개선방안에 대한 연구를 수행하였으며, 버스전용차로 단속, 제도 및 운영관련 문제점을 중심으로 개선방안을 제시하였다. 단속과 관련해서는 전용차로내 긴급상황발생 시 돌발상황 관리시스템 도입과 전용차로 설치구간의 본선차로 혼잡을 최소화하기 위해 불법주정차 단속, 교통수요관리방안을 제안하였다. 제도 및 운영과 관련해서는 버스전용차로 운영시간대를 확대하고, 전용차로 운영시간에 택시의 가로변차로 진입을 금지시키며, 버스 또한 일반차로 이용금지 방안을 제안하였다.

김보겸 외 3인(2006)은 버스전용차로의 효율을 높이기 위한 교통신호 개선방안에 대해 연구하였으며, 버스전용신호 도입 시 교차로 정체를 최소화할 수 있는 신호설계방법을 제시하였다. 또한, 중첩현시 및 동시신호 등 Dual-Ring방식의 다양한 신호 운영방안에 대해 시뮬레이션을 통해 그 효과를 검증한 바 있다.

김정빈(2010)은 중앙버스전용차로 적용 시 버스교통량에 따른 통행속도 및 통행시간을 분석하여 중앙버스전용차로 적용 기준을 마련하였다. 시뮬레이션을 이용하여 분석하였으며, 중앙버스전용차로 도입으로 승용차의 통행속도는 감소한 반면, 버스의 통행속도는 증가한 것으로 나타나, 교차로 전반적인 효율을 위해서는 적정 버스 교통량이 요구된다는 것을 밝혔다.

김원호(2007)는 중앙버스전용차로 운영을 평가할 수 있는 지표를 개발하였으며, 통행시간, 정시성, 환승시간, 통행행태, 정류장 용량, 환승통행비용 및 수단전환율 등을 평가지표로 선정하였다. AHP 기법을 통해 평가지표 간의 비중을 설정하였으며, BMS데이터와 스마트카드 데이터로부터 대상노선에 대해 교통정보를 추출하여 이를 기반으로 각 노선에 대한 평가를 수행하였다.

홍연명(2009)은 중앙버스전용차로를 이용하는 버스 이용자들을 대상으로 이동단계별로 서비스수준 평가를 위한 평가모형과 이를 통합하여 전체적인 서비스평가모형을 개발하였다. 전반적인 서비스 만족도에 대한 영향은 이동단계, 환승단계, 접근단계 순으로 높게 나타났으며, 이는 중앙버스전용차로 시행이후 버스의 정시성이 높아졌으며 버스체계 개편으로 인해 다양한 서비스의 제공 및 전용도로상 운행으로 인해 안전성이 증대되었기 때문으로 판단하였다.

이와 같이 가로변 버스전용차로 및 중앙버스전용차로의 운영 실태를 파악하여 시스템과 제도 개선을 통해 효율성을 향상시키려는 연구와 시뮬레이션을 이용한 버스전용차로의 효과분석 위주의 연구가 대부분이었다. 본 연구에서 개발하고자 하는 버스전용차로의 효과분석 방법론 개발관련 연구는 없는 것으로 파악되었다.

3. 연구방향 설정

중앙버스차로의 긍정적인 효과는 버스의 지체를 최소화하여 이를 통해 버스이용률을 높이는 것이라 할 수 있다. 즉, 승용차의 지체는 다소 증가하더라도 버스의 지체를 감소시킨다는 측면에서 효과를 측정해야 할 것이다. 버스 지체가 감소함에 따라 버스 승객이 겪는 지체 감소를 측정하기 위해서는 기존의 차량대수만을 고려한 효과척도(초/대)로는 곤란하고 버스 재차인원을 감안한 효과척도가 필요할 것이다. 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 운영 특성상 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 효과척도를 일반신호교차로와 같은 “초/대”로 사용한다면 즉, 승용차와 버스의 지체를 같은 비중으로 처리한다면(정확히 버스는 승용차의 1.8배) 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 효율은 일반신호교차로의 효율보다 떨어지거나 가장 이상적인 경우(일반차로 및 버스전용차로의 차로별 교통량이 같은 경우)에도 같을 수 밖에 없다. 그러므로 버스전용차로의 효과를 측정하기 위해서는 버스 지체에 대한 비중을 높여야 할 것이며, 그 방법으로 차종별 재차인원을 고려할 수 있도록 기존의 효과척도인 “초/대”를 “초/인”으로 효과척도를 전환하는 방안을 고려할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 신호교차로의 효과척도를 “초/인”으로 할 경우 버스전용차로의 효과를 평가할 수 있는지의 여부와 효과척도를 “초/인”으로 할 경우의 문제를 검토한 후 효과척도를 “초/대”로 하되, 버스의 재차인원을 고려할 수 있는 방안을 마련하고자 한다.

4. 중앙버스전용차로의 효과 측정 방법론

중앙버스전용차로의 효과를 평가하기 위한 방법론을 개발하기 위해서는 우선 버스의 재차인원 고려를 위하여 신호교차로의 효과척도를 “초/인”으로 하는 경우와 기존의 “초/대”로 하는 경우의 지체시간을 비교를 해 봐야 할 것이다. 본 장에서는 기존의 지체시간 산정식인 Eq. (1)을 이용하여 각각의 경우 지체시간을 비교해 봄으로써 효과척도를 “초/인”으로 할 경우 버스전용차로의 효과를 평가할 수 있는지의 여부를 판단해 보고자 한다.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (1)$$

여기서,

d : 차량 당 평균제어지체(초/대)

d_1 : 균일 제어지체(초/대)

PF : 신호연동에 의한 연동보정계수

d_2 : 임의도착과 과포화를 나타내는 증분지체로서, 분석기간 바로 앞 주기 끝에 잔여차량이 없을 경우(초/대)

d_3 : 추가지체로서, 분석기간 이전에 잔류한 과포화 대기행렬로 인한 지체(초/대)

우선 중앙버스전용차로를 설치함으로써 일반신호교차로의 지체가 어떻게 변화하는지를 파악하기 위해 간단한 샘플을 만들어 보았다. 교차로 관련 기하구조, 신호 및 교통량 조건은 다음과 같다. 편의상 1개 접근로와 직진 교통류만을 대상으로 한다.

- 차로 수: 3차로
- 신호주기 140초, 녹색현시 80초
- 승용차 직진교통량 2,000대/시, 버스 직진교통량 200대/시

또한, 분석의 단순화를 위해 초기대기행렬은 없으며, 연동보정계수는 1.0, 분석기간 1시간으로 가정하였다. 이러한 가정 하에 “일반신호교차로”와 “중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로”에서의 효과척도 “초/대”와 “초/인”을 적용하여 각 교차로의 지체시간을 산정해 보고자 한다.

4.1. 일반신호교차로의 경우

차량당 평균 지체시간을 산정하기 위해서는 우선 용량을 구해야 하며, 용량을 구하기 위해서는 포화교통류

율을 먼저 구해야 한다. 용량을 구한 후 바로 지체식을 이용하여 지체시간을 구할 것이다. 지체시간 산정 절차는 다음과 같다.

① 포화교통류율(S_i)

포화교통류율은 기본 포화교통류율(2,200pcphgpl), 차로수 및 각종 보정계수를 이용하여 산정한다. 직진일 경우만을 고려했으므로 좌·우회전 차로 보정계수는 1.0 이고, 차로폭 보정계수 및 경사 보정계수도 모두 이상적인 조건인 1.0으로 가정하였다. 중차량보정계수는 버스의 비율 약 9% (0.09= 200/2,200)와 중차량 승용차 환산계수 1.8을 적용하여 Eq. (2)와 같이 구하였다.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P(E_{HV} - 1)} = \frac{1}{1 + 0.09(1.8 - 1)} = 0.93 \quad (2)$$

이와 같은 계수들을 이용하여 포화교통류율을 산정하면 Eq. (3)과 같이 6,153vphg 이다.

$$s_i = 2,200 \times 3 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.93 = 6,153(\text{vphg}) \quad (3)$$

② 용량(c) 및 포화도(X)

차로군의 용량은 Eq. (4)와 같이 산정하며 포화교통류율에 주기와 녹색현시 비율을 곱하여 산정하며, 차로군의 용량은 3,516vph이며, 포화도(X)는 0.63(=2,200/3,516)이다.

$$c_i = S_i \times \frac{g_i}{C} = 6,153 \times \frac{80}{140} = 3,516(\text{vph}) \quad (4)$$

③ 균일지체(d_1)

균일지체(d_1)는 Eq. (5)와 같이 20.0초/대이다.

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]} = \frac{0.5 \times 140 \left(1 - \frac{80}{140}\right)^2}{1 - \left[\min(1, 0.63) \frac{80}{140}\right]} \quad (5)$$

= 20.0(초/대)

④ 증분지체(d_2)

증분지체(d_2)는 Eq. (6)과 같이 0.9초/대이다.

$$d_2 = 900T \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{4X}{cT}} \right]$$

$$= 900 \cdot 1 \left[(0.63-1) + \sqrt{(0.63-1)^2 + \frac{4 \cdot 0.63}{3,516 \cdot 1}} \right] \quad (6)$$

= 0.9(초/대)

⑤ 차량당 평균 지체시간

차량당 평균 지체시간은 균일지체와 증분지체의 합인 20.9초/대(=20.0+0.9)이며, 이 차로군에 대해 효과척도를 “초/인”으로 전환할 경우, 재차인원에 상관없이 20.9초/인이 된다. 이는 각 차량이 겪는 지체가 20.9초일 경우 그 차량들 안의 개개인이 겪게 되는 지체도 역시 20.9초이기 때문으로 다음과 같이 구할 수 있다. 승용차의 재차인원을 1.25인/대, 버스의 재차인원을 15.26인/대로 적용할 경우(KOTI, 2010), 승용차 승객이 겪는 총 지체는 52,171초(2,000×1.25×20.9)이고, 버스 승객이 겪는 총 지체는 63,691초(200×15.26×20.9)이다. 각 차종별 총 지체의 합을 총 재차인원으로 나누면 인당 평균 지체시간 20.9초/인(=(52,171+63,691)/(2,500+3,052))이 산정되어 20.9초/대와 같게 된다.

4.2. 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 경우

모든 가정은 “일반신호교차로”와 같게 하고, 3차로로 구성된 직진차로군을 1차로의 버스전용 직진차로군과 2차로의 승용차 직진차로군으로 분류하였다. 이 경우 “승용차 차로군”과 “버스전용 차로군”에 대해 각각 지체시간을 산정한 후 이를 합치는 과정이 필요할 것이다.

4.2.1. 승용차 차로군

① 포화교통류율(S_i)

포화교통류율은 기본 포화교통류율(2,200pcphgpl), 차로수 및 각종 보정계수를 이용하여 산정하며, 이 경우 차로수는 3차로에서 2차로로 변경되었고, 버스는 모두 버스전용차로를 이용하므로 중차량보정계수는 1.0이 된다. 그러므로, 승용차 직진차로군의 포화교통류율은 Eq. (7)과 같이 4,400vphg 이다.

$$s_i = 2,200 \times 2 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 4,400(\text{vphg}) \quad (7)$$

② 용량(c) 및 포화도(X)

승용차 직진차로군의 용량은 포화교통류율에 주기와 녹색현시 비율을 적용하여 Eq. (8)과 같이 2,514vph로

나왔으며, 포화도(X)는 $0.80(=2,000/2,514)$ 이다.

$$c_i = S_i \times \frac{g_i}{C} = 4,400 \times \frac{80}{140} = 2,514 \text{ (vph)} \quad (8)$$

③ 균일지체(d_1)

균일지체(d_1)는 Eq. (9)와 같이 23.6초/대이다.

$$d_1 = \frac{0.5 \times 140 \left(1 - \frac{80}{140}\right)^2}{1 - \left[\min(1, 0.80) \frac{80}{140}\right]} = 23.6 \text{ (초/대)} \quad (9)$$

④ 증분지체(d_2)

증분지체(d_2)는 Eq. (10)과 같이 2.7초/대이다.

$$d_2 = 900 \cdot 1 \left[(0.80 - 1) + \sqrt{(0.80 - 1)^2 + \frac{4 \cdot 0.80}{2,514 \cdot 1}} \right] = 2.7 \text{ (초/대)} \quad (10)$$

⑤ 차량당 평균 지체시간

차량당 평균 지체시간은 26.3초/대(=23.6+2.7)이며, 이 경우도 마찬가지로 효과척도를 “초/인”으로 전환할 경우, 재차인원에 상관없이 26.3초/인이 된다.

4.2.2. 버스전용 차로군

① 포화교통류율(S_i)

버스전용차로에서 버스의 포화교통류율은 1,100vphg이며(MLTM, 2013), 이는 버스만의 포화차두시간을 이용하여 산정한 포화교통류율이고 버스전용차로의 교통량은 버스만으로 구성되어있으므로, 중차량보정계수는 따로 적용할 필요가 없다. 그러므로, 1.0을 적용하여 Eq. (11)과 같이 1,100vphg가 된다.

$$s_i = 1,100 \times 1 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 1,100 \text{ (vph)} \quad (11)$$

② 용량(c) 및 포화도(X)

버스전용 직진차로군의 용량은 포화교통류율에 주기와 녹색현시 비율을 적용하여 Eq. (12)와 같이 629vph로 나왔으며, 포화도(X)는 $0.32(=200/629)$ 이다.

$$c_i = S_i \times \frac{g_i}{C} = 1,100 \times \frac{80}{140} = 629 \text{ (vph)} \quad (12)$$

③ 균일지체(d_1)

균일지체(d_1)는 Eq. (13)과 같이 15.7초/대이다.

$$d_1 = \frac{0.5 \times 140 \left(1 - \frac{80}{140}\right)^2}{1 - \left[\min(1, 0.32) \frac{80}{140}\right]} = 15.7 \text{ (초/대)} \quad (13)$$

④ 증분지체(d_2)

증분지체(d_2)는 Eq. (14)와 같이 1.3초/대이다.

$$d_2 = 900 \cdot 1 \left[(0.32 - 1) + \sqrt{(0.32 - 1)^2 + \frac{4 \cdot 0.32}{629 \cdot 1}} \right] = 1.3 \text{ (초/대)} \quad (14)$$

⑤ 차량당 평균 지체시간

차량당 평균 지체시간은 17.0초/대(=15.7+1.3)이며, 이 경우도 마찬가지로 효과척도를 “초/인”으로 전환할 경우, 재차인원에 상관없이 17.0초/인이 된다.

4.2.3. 승용차 차로군과 버스전용 차로군 통합

중앙버스전용차로를 설치함으로써 승용차의 지체는 20.9초/대에서 26.3초/대로 증가하였지만, 버스의 지체는 20.9초/대에서 17.0초/대로 감소하였다. 이 두개의 차로군을 통합하여 하나의 접근로에 대한 지체시간을 산정하기 위하여 차종별로 지체시간을 가중평균하면 Eq. (15)와 같이 약 25.5초/대로 중앙버스전용차로 설치 이전과 비교하여 지체시간은 전반적으로 약 4.6초/대 증가한 것으로 나타난다.

$$\frac{26.3 \times 2,000 + 17.0 \times 200}{2,000 + 200} = 25.5 \text{ (초/대)} \quad (15)$$

이는 중앙버스차로 설치에 대한 부의 효과만이 고려되고 긍정적인 효과는 배제한 분석의 결과이며, 중앙버스차로의 긍정적인 효과를 반영하기 위해 효과척도를 승용차 및 버스의 재차인원을 감안한 “초/인”으로 하여 재산정하면 Eq. (16)과 같이 21.2초/인이 된다.

$$\frac{26.3 \times (2,000 \times 1.25) + 17.0 \times (200 \times 15.26)}{(2,000 \times 1.25) + (200 \times 15.26)} = 21.2 \text{ (초/인)} \quad (16)$$

즉, 승객의 입장에서 보면, 중앙버스전용차로를 설치함에 따라 승용차 승객 2,500명(=2,000×1.25)은 인당 약 5.4초(=26.3-20.9)의 손실을 보는 반면, 버스 승객 3,052명(200×15.26)은 인당 약 3.9초(=20.9-17.0)의 이익을 얻으므로 버스전용차로 설치의 목적에 부합한다고 할 수 있다.

4.3. 교통량에 따른 민감도 분석

위의 예에서는 버스전용차로를 설치함으로써 차로군 전체의 지체시간이 0.3초/인(=21.2초/인-20.9초/인) 증가하였지만, 이는 승용차 및 버스의 교통량에 따라 충분히 달라질 수 있을 것이다. 버스교통량이 증가하면 차로군 전체의 인당 지체시간은 감소할 것이고, 버스교통량이 감소하면 반대로 인당 지체시간은 증가할 것이다. 즉, 버스전용차로의 효과는 버스 및 승용차의 교통량뿐만 아니라 각 차종의 재차인원에 따라 크게 영향을 받을 것이다. 본 절에서는 각 차종의 재차인원은 고정시키고, 각 차종의 교통량에 따른 버스전용차로의 효과 변화를 파악하기 위하여 승용차 및 버스의 교통량을 변수로 민감도 분석을 시행하였다.

현실적인 교통량이라 할 수 있는 승용차교통량 수준을 500대/시에서 500대/시 간격으로 3,000대/시까지 하였고, 버스교통량 수준을 50대/시에서 50대/시 간격으로 250대/시까지 하였다. 교통량 변화에 따른 “일반 신호교차로”의 지체시간은 Table 1, “중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로”의 지체시간은 효과적도 별로 Table 2 및 Table 3과 같다.

Table 1. Delay of Normal Intersections According to Traffic Volume (sec/veh, sec/person)

Bus	Passenger cars	500	1,000	1,500	2,000	2,500
	50	14.2	15.6	17.3	19.4	22.2
100	14.5	15.9	17.6	19.9	22.9	
150	14.7	16.2	18.0	20.4	23.5	
200	15.0	16.5	18.4	20.9	24.3	
250	15.2	16.8	18.8	21.4	25.1	

Table 2. Delay of Intersections Including Exclusive Median Bus Lanes According to Traffic Volume (sec/veh)

Bus	Passenger cars	500	1,000	1,500	2,000	2,500
	50	14.6	16.9	20.3	26.0	59.9
100	14.7	16.9	20.2	25.8	59.0	
150	14.9	16.9	20.1	25.6	58.3	
200	15.4	17.1	20.2	25.5	57.6	
250	16.0	17.4	20.3	25.5	57.0	

Table 3. Delay of Intersections including Exclusive Median Bus Lanes According to Traffic Volume (sec/person)

Bus	Passenger cars	500	1,000	1,500	2,000	2,500
	50	14.2	15.8	18.6	23.4	51.6
100	14.7	15.8	17.9	21.9	45.7	
150	15.5	16.3	17.9	21.3	41.8	
200	16.6	17.1	18.4	21.2	39.2	
250	18.0	18.2	19.2	21.6	37.6	

일반신호교차로의 지체시간은 각 차종의 교통량변화에 따라 14.2초/대~25.1초대로 나타났으며, 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 지체시간은 14.6초/대~59.9초/대로 평균 약 38.9%가 증가하는 것으로 나타났으며, 승용차 교통량이 증가할수록 일반신호 교차로 지체시간의 거의 2배 이상 늘어났다.

효과적도가 “초/인”일 경우 “중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로”의 지체시간은 14.2초/인~51.6초/인으로 일반신호교차로의 경우 보다 평균 약 20.7%가 증가하는 것으로 나타났으며, 교통량이 증가할수록 증가폭도 증가하는 것으로 나타났다. 효과적도를 “초/대”로 했을 경우에는 교통량에 관계없이 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 지체시간은 일반신호교차로의 지체시간보다 항상 증가하는 것으로 나타난 반면, 효과적도를 “초/인”으로 했을 경우 Table 4와 같이 차종별 교통량에 따라 지체시간이 증가 또는 감소하는 것으로 나타나 버스전용차로의 편익 및 부의편익이 모두 반영되어 버스전용차로의 효과를 측정하기 위한 적정한 효과적도로 고려할 수 있을 것이다.

Table 4. Delay Difference between Normal Intersections and Intersections including Exclusive Median Bus Lanes According to Traffic Volume (sec/person)

Bus	Passenger cars	500	1,000	1,500	2,000	2,500
	50	0.06	-0.22	-1.29	-3.96	-29.35
100	-0.23	0.11	-0.28	-2.04	-22.83	
150	-0.85	-0.06	0.08	-0.93	-18.25	
200	-1.69	-0.57	0.02	-0.36	-14.92	
250	-2.76	-1.35	-0.38	-0.21	-12.49	

4.4. 조사치를 이용한 방법론 검증

승용차 및 버스의 교통량은 변화가 없다고 가정하고, 시간대별로 실제 조사된 각 차종의 재차인원을 반영하

여 재차인원 변화에 따른 지체시간 변화를 비교해 봄으로써 효과적도를 “초/인”으로 할 경우 중앙버스전용차로의 효과를 검증해 보고자 한다.

Table 5는 현장조사를 통해 수집된(KOTI, 2010) 시간대별 차종별 재차인원 변화에 따른 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 인당 평균제어지체 변화를 보여주고 있다. 일반신호교차로 서비스수준 분석 방법을 적용한 경우 평균제어지체(초/인)가 재차인원에 관계없이 모든 시간대에 20.9초/인으로 나타난 반면 중앙버스전용차로를 설치한 신호교차로의 서비스수준 분석 방법을 적용한 경우 평균제어지체(초/인)가 재차인원에 따라 20.3~21.9초/인으로 다르게 나타남을 알 수 있다. 특히, 출퇴근 첨두 시 상대적으로 버스 이용객들이 많은 시간대(7시~9시, 17시~19시)에는 중앙버스전용차로의 설치로 인해 전체 신호교차로 평균제어지체(초/인)가 감소하는 것으로 나타났다. 그 이외의 시간대에서도 비록 교차로 전체의 지체시간은 약 0.74초/인 증가하지만, 버스 승객측면으로 보면 지체시간은 약 3.8초 감소한 것으로 나타나 버스전용차로의 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히, 비첨두시인 오전 9시~10시의 경우, 차종별 이용승객 측면으로 보면 승용차 승객 2,480명의 제어지체가 26.3초/인으로 일반신호교차로 제어지체보다 5.5초/인 증가하였으나, 버스 승객 3,174명의 제어지체가 17.0초/인으로 일반신호교차로 제어지체 보다 3.8초/인 감소하였다. 즉, 상대적으로 더 많은 승객들이 제어

지체 감소의 편익을 보게 되는 것으로 분석되어 중앙버스전용차로 설치로 인한 버스이용자들의 편익을 증진시키고, 대중교통 활성화를 통한 버스 이용률 증가의 목적에 부합한다고 볼 수 있을 것이다.

4.5. 효과적도 검토 및 조정

신호교차로에서 “초/인”은 버스전용차로의 편익 및 부의편익을 모두 반영할 수 있는 적절한 효과적도로 고려할 수 있는 반면, 비록 버스전용차로의 효과를 측정하기 위한 효과적도이긴 하지만, 용량 및 서비스 수준 분석 시와 비교 시 편익을 위해서라도 기존과 다른 효과적도를 사용한다는 것은 바람직하지 못할 것이다. 그러므로 가급적 기존의 효과적도인 “초/대”를 사용하면서 버스전용차로의 특성을 고려할 수 있는 방법을 개발하여야 할 것이다. 여기서 전체는 버스전용차로의 부의편익인 차량당 지체시간이 증가하는 현상은 효과적도 “초/대”를 사용함으로써 반영되었다고 보고, 버스전용차로의 편익인 버스승객의 지체시간 감소를 반영하는 방법만을 고려하면 될 것이다. 그러기 위해서는 승용차와 버스의 재차인원이 반드시 고려되어야 할 것이다. 버스승객의 지체시간 감소를 반영하기 위해서는 버스의 지체시간을 줄이는 방향으로 지체도공식에서 하나의 팩터인 포화도($X=v/c$)를 낮추면 될 것이다. 지체시간을 낮추는 방법으로는 교통량(v)을 줄이거나 용량(c)을 증대시켜주는 방법이 있을 수 있으나, 버스전용차로의 효과측정을 위

Table 5. Comparison of Delay between Normal Intersections and Intersections including Exclusive Median Bus Lanes According to Time of Day

Time of Day	Traffic Volume (vph)		Number of Passenger in Vehicle (person/veh)		Delay of Normal Intersection (A) (sec/person)	Delay of Intersections including Exclusive Median Bus Lanes (sec/person)			
	Passenger cars	Bus	Passenger cars	Bus		Passenger cars	Bus	passenger car + bus (B)	(A)-(B)
7~8	2,000	200	1.21	17.46	20.9	26.3	17.0	20.9	0.02
8~9	2,000	200	1.23	19.84	20.9	26.3	17.0	20.6	0.27
9~10	2,000	200	1.24	15.87	20.9	26.3	17.0	21.1	-0.25
10~11	2,000	200	1.24	12.11	20.9	26.3	17.0	21.7	-0.88
11~12	2,000	200	1.24	11.9	20.9	26.3	17.0	21.8	-0.92
12~13	2,000	200	1.24	12.65	20.9	26.3	17.0	21.6	-0.78
13~14	2,000	200	1.25	11.7	20.9	26.3	17.0	21.8	-0.98
14~15	2,000	200	1.24	11.31	20.9	26.3	17.0	21.9	-1.04
15~16	2,000	200	1.25	12.46	20.9	26.3	17.0	21.7	-0.83
16~17	2,000	200	1.26	15.9	20.9	26.3	17.0	21.2	-0.29
17~18	2,000	200	1.28	18.82	20.9	26.3	17.0	20.8	0.06
18~19	2,000	200	1.27	23.04	20.9	26.3	17.0	20.3	0.52

해 관측된 교통량을 변화시킨다는 것은 용량분석 방법의 틀을 깨는 것이 될 수 있으므로 바람직하지 못하다. 또한, 용량을 증대시키기 위해서는 포화교통류율을 증대시켜야 하나, 기존의 용량분석 틀에서 지체도공식을 그대로 사용하면서 포화교통류율을 버스의 재차인원을 고려하여 조절한다는 것 역시 비현실적일 것이다.

효과적도 “초/대”의 의미는 차량당 겪는 평균제어지체시간으로, 지체도공식이 유도되는 과정을 살펴보면 알 수 있듯이, 여기에는 승용차와 버스의 구분이 없고 단지 해당 지체시간을 의미한다. 즉, 지체시간 30초/대란 승용차도 해당 30초의 지체시간을 겪고 버스도 대상 30초의 지체시간을 겪는다는 것이다. 여기에는 승용차의 지체가 10초 감소하건 버스의 지체가 10초 감소하건 편익은 똑같다는 의미가 담겨있다. 차종별 재차인원을 고려하면 버스의 10초 감소가 훨씬 큰 편익이므로 버스 전용차로군과 승용차 차로군을 통합하여 지체시간을 산정하는 과정에서 버스와 승용차의 재차인원을 고려하면 이 영향을 반영할 수 있을 것이다. 앞의 예에서 버스 전용 차로군과 승용차 차로군을 통합하여 지체시간을 구할 때 승용차와 버스의 대수를 이용하여 Eq. (15)과 같이 계산하였다.

지금 논의의 초점은 버스의 재차인원이 승용차의 재차인원보다 많다는 것을 어떻게 차로군 통합과정에서 반영하느냐는 것이다. 즉, $(26.3 \times 2,000)$ 의 의미는 2,000대의 승용차가 각각 26.3초의 지체를 겪는다는 것으로 총 승용차 승객은 $2,500 (= 2,000 \times 1.25)$ 인 이고, (17.0×200) 의 의미는 200대의 버스가 각각 17.0초의 지체를 겪는다는 것으로 총 버스승객은 $3,051 (= 200 \times 5.26)$ 인 이다. 버스 교통량이 포함된 항에 차종별 재차인원을 고려하기 위해 차종별 재차인원비율을 적용하면 답은 쉽게 찾을 수 있을 것이다. 버스의 재차인원은 15.26인이었고, 승용차의 재차인원은 1.25인이었으므로, 재차인원 비율은 $12.24 (= 15.26 / 1.25)$ 이다. 그러므로 Eq. (15)에서 버스의 재차인원을 고려하기 위해서는 12.24을 사용하면 될 것이고 Eq. (15)는 Eq. (17)과 같이 바뀔 것이다. 즉, 효과적도를 “초/인”으로 했을 경우와 같은 값을 갖게 됨을 알 수 있다.

$$\frac{(26.3 \times 2,000) + (17.0 \times 200 \times 12.24)}{2,000 + (200 \times 12.24)} = 21.2(\text{초/대}) \quad (17)$$

이는 기존의 효과적도인 “초/대”를 사용함으로써 일관성을 유지하고, 버스의 재차인원이 승용차의 재차인

원보다 많음으로써 발생하는 편익을 반영할 수 있어 버스 전용차로를 포함한 신호교차로의 지체시간 산정방법으로 적절하리라 판단된다. 그러므로, 버스 전용차로의 지체시간과 일반차로의 지체시간을 통합하는 과정에서 Eq. (18)과 같이 버스 교통량에 버스와 승용차의 재차인원 비율을 곱해 줌으로써 버스 전용차로와 일반차로를 포함한 접근로의 지체시간을 산정할 수 있을 것이다.

$$D_{Approach} = \frac{(D_p \times V_p) + (D_B \times V_B \times \frac{Occu_B}{Occu_p})}{V_p + (V_B \times \frac{Occu_B}{Occu_p})} \quad (18)$$

여기서,

$D_{Approach}$: 버스 전용차로를 포함한 접근로의 지체 시간(초/대)

D_p : 일반차로 지체시간(초/대)

V_p : 일반차로 교통량(대/시)

D_B : 버스 전용차로 지체시간(초/대)

V_B : 버스 전용차로 교통량(대/시)

$Occu_p$: 승용차 재차인원(인/대)

$Occu_B$: 버스 재차인원(인/대)

5. 결론

전국적으로 중앙버스 전용차로는 지속적으로 증가하고 있으나 그동안 확대보급에만 신경을 써 오느라 중앙 버스 전용차로의 효율성 제고에는 그다지 큰 관심을 기울이지 못한 실정이다. 중앙 버스 전용차로의 효율적인 운영을 위해서는 무엇보다도 이 시설의 효과를 정확히 분석하는 것이 중요할 것이나, 현재로는 그 방법론조차 없는 상황으로 중앙 버스 전용차로의 효과 분석 방법론 개발이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 필요성에 의해 중앙 버스 전용차로의 효과를 분석하기 위한 방법론을 개발하였다. 중앙 버스 전용차로의 효과를 분석하기 위해서 “중앙 버스 전용차로가 설치된 신호교차로”와 “일반 신호교차로”와의 운영 특성 상 차이점을 파악하고 기존 용량 및 서비스 수준 분석 방법 검토를 통해 중앙 버스 전용차로의 효과 분석을 위해 필요한 요인을 도출하였다.

버스 전용차로 설치의 목적은 버스의 지체를 감소시킴으로써 버스 승객이 겪는 지체 또한 감소시킨다는 것이라 할 수 있다. 버스 전용차로 설치로 이와 같은 목적은

달성될 수 있지만, 버스전용차로의 특성 상 신호교차로 전반적으로는 오히려 그 효율을 저하시킬 수 있다. 기존의 용량 및 서비스수분 분석방법으로는 신호교차로 효율이 저하되어 전반적으로 교차로 지체시간이 증가되는 현상은 반영되지만, 버스의 지체시간이 감소하여 보다 많은 버스 승객이 얻는 편익은 반영할 수 없다. 이는 버스가 겪는 지체를 승용차가 겪는 지체와 같은 비중으로 처리함으로써 발생하는 문제로 차종별 재차인원을 고려함으로써 해결될 수 있다. 본 연구에서는 “중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로”의 용량분석방법과는 별개로 중앙버스전용차로의 효과를 측정하기 위해서 버스 승객에 대한 편익을 고려한 효과측정 방법론을 개발하였다.

기존 용량 및 서비스수준 분석방법을 준용하되 버스전용차로와 일반차로를 통합하는 과정에서 버스의 재차인원과 승용차의 재차인원의 비율을 적용하는 방법론을 개발하였으며, 이 방법론은 신호교차로의 효과척도를 “초/인”으로 바꾸는 효과를 발휘함으로써 버스 승객이 얻을 수 있는 편익을 반영할 수 있어 중앙버스전용차로의 효과를 적절히 반영할 수 있다고 판단된다.

본 연구에서는 효과분석 방법론의 타당성을 증명하기 위해 간단한 네트워크를 사용하였지만, 실용성을 확보하기 위해서는 향후 보다 현실적인 조건을 고려한 연구가 필요할 것이다. 또한, 본 연구에서 제안한 방법론은 버스와 승용차가 완전히 분리되어 있는 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로에서만 적용될 수 있으며, 버스와 승용차가 혼재되어있는 가로변버스전용차로가 설치된 신호교차로에는 적용하기 곤란할 것이다. 이는 가로변버스전용차로가 설치된 신호교차로에서는 우회전 승용차가 버스전용차로를 이용함으로써 승용차와 버스의

지체시간을 별도로 산정할 수 없기 때문에 가로변버스전용차로의 효과를 분석하기 위해서는 별도의 방법론이 필요할 것이라 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, (2013), “*Highway Capacity Manual*”
- 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
- The Korea Transport Institute, (2010), “*A Study of Household Travel Survey Actualizing*”
- 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. 13 / 심사일 : 2013. 3. 18 / 심사완료일 : 2013. 4. 17)