

중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로에서의 버스 포화교통류율 산정에 관한 연구

조한선^{1*} · 이재준²

¹ 한국교통연구원 교통안전·도로본부, ² 한국교통연구원 국가교통미래전략본부

Estimation of Bus Saturation Flow Rates at Signalized Intersections Including Exclusive Median Bus Lanes

CHO, Hanseon^{1*} · LEE, Jae-Joon²

¹ Dept. of Transport Safety and Highway, The Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

² Dept. of National Transport Strategic Planning, The Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

Abstract

Exclusive median bus lanes were installed to mitigate congestions on urban traffic networks. However, capacity analysis of signalized intersections having exclusive median bus lanes have not been provided in current capacity analysis process(analysis). This study aims to develop a method of capacity analysis for lane groups consisting of only buses at the signalized intersections having exclusive median bus lanes. Finding basic saturation flow rates for buses is critical since the operational characteristics between automobiles and buses are fairly different. A total of 8 intersections in Seoul were chosen as study sites. Saturation headways, distances between bus-stop and stopline, and grades of each approach were measured at the sites. It was found that the basic saturation headway and the basic saturation flow rate of buses were 3.27 s/veh and 1,100pc/h/ln, respectively. Adjustment factor for upstream bus-stop locations was estimated with 0.50 and 0.75 when the distances between bus-stop and stopline are 20m and 70m, respectively. This study explains that bus saturation flow rates are decreased in half if the bus stop locates within 20 meters from stop lines.

중앙버스전용차로는 도시부 교통망의 혼잡완화를 위해 확대설치되고 있음에도 현재 용량분석방법론에는 버스전용차로가 포함된 신호교차로 분석방법이 제공되지 않고 있다. 본 연구에서는 버스전용차로 차로군의 용량분석방법 개발의 핵심이 되는 버스의 기본포화교통류율 산정에 대해 연구하였다. 승용차와 버스는 운행특성이 현저히 다르기 때문에 버스의 기본포화교통류율 산정이 필요했으며 버스의 포화교통류율에 영향을 미치는 요인으로 상류부 버스정류장을 선정하였다. 중앙버스전용차로의 포화교통류율과 이격거리별 상류부 버스정류장의 영향을 파악하기 위해 현재 중앙버스전용차로가 설치되어 운영 중인 서울시내의 8개 교차로를 대상으로 포화차두시간, 접근로 구배 및 상·하류부 버스정류장 이격거리를 조사하였다. 분석결과 중앙버스전용차로의 기본포화차두시간은 3.27초/대이며, 기본포화교통류율은 1,100pc/h/ln임을 알 수 있었다. 상류부 버스정류장 보정계수는 이격거리별로 20m 이하일 경우 0.50, 70m 일 때 0.75 등으로 산정되었다. 즉, 상류부 버스정류장이 정지선으로부터 20m 이내에 있을 경우에는 중앙버스전용차로의 포화교통류율은 절반으로 감소하는 것을 알 수 있었다.

Key Words

Adjustment Factor, Basic Saturation Flow Rate, Bus-stop, Exclusive Median Bus Lanes, Saturation Headway
보정계수, 기본포화교통류율, 버스정류장, 중앙버스전용차로, 포화차두시간

* : Corresponding Author

h-cho@koti.re.kr, Phone: +82-31-910-3152, Fax: +82-31-910-3235

Received 5 March 2013, Accepted 28 May 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라 버스전용차로는 대도시 도로망의 정체해소와 대중교통육성정책의 일환으로 1995년 대전광역시에서 최초 시행 후 서울특별시, 고양시, 광주광역시 등에서 운영되고 있다. 중앙버스전용차로의 효과는 Yun B. (2008)에 의해 입증되었으며 서울시는 주요도로에 확대 설치할 예정이다. 이렇듯 도시부 주요간선도로에 점차 설치되는 중앙 버스전용차로는 신호교차로와 혼재되어 있지만 현재 용량분석방법론에는 버스전용차로 차로군 분석방법이 제시되지 않는 실정이다. 이런 이유로 실무에서는 버스전용차로가 포함된 신호교차로 분석시 버스교통량과 버스전용차로를 제외시킨 조건에서 교차로 서비스수준 분석이 이루어지고 있어 부정확한 용량분석 결과를 초래할 수 있다.

현재 도로용량편람의 신호교차로 분석절차에서는 차로군의 포화교통류를 산정 시 기본포화교통류를 (2,200 pcphgpl)에 버스를 포함한 중차량의 영향을 고려하기 위하여 중차량 비율과 중차량의 승용차환산계수를 이용하고 있다. 이는 승용차와 중차량이 혼용으로 이용되는 차로군에서의 포화교통류를 보정하기 위한 방법으로 버스만으로 구성된 차량군의 포화교통류를 분석을 적용하기에는 교통류 특성이 다르므로 버스만으로 구성된 버스전용차로의 포화교통류 산정이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 '중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로'에서 중앙버스전용차로의 운영에 영향을 미치는 요인들을 파악하여 버스전용차로 차로군 용량분석 방법 개발을 목적으로 한다. 본 연구는 국내외 도로용량편람의 연관분야를 고찰하고 연구방향을 설정한 후 현황조사 자료 분석 결과를 바탕으로 버스전용차로 차로군 분석 방법론을 제시하고 향후 연구방향을 제시함으로 구성되어 있다.

II. 기존 문헌 고찰

중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로에 대한 용량분석방법도출을 위해 우리나라 도로용량편람 신호교차로 용량 분석방법과 미국 Highway Capacity Manual (HCM)의 용량 분석방법을 검토하여 중앙버스전용차로의 용량분석방법에서 고려해야 할 요인을 도출하고자 한다.

1. 도로용량편람

1) 기본포화교통류 및 중차량보정계수(f_{HV})

신호교차로의 용량분석에서 가장 기본이 되는 값은 기본포화교통류율이라 할 수 있으며, 우리나라 도로용량편람에서는 신호교차로에서 2,200pc/h/ln를 이상적인 상태의 포화교통류율로 적용하고, 우회전일 경우 1,900pc/h/ln를 사용하고 있다. 여기에 분석대상 차량군 중 버스 등의 중차량이 혼재되었을 경우 중차량 보정계수를 기본포화교통류율에 곱하여 포화교통류율을 보정한다.

중차량보정계수를 산정하기 위해서는 승용차환산계수와 중차량 비율을 이용하고 있으며, 연속류에서는 중차량을 소형, 중형, 대형으로 분류한 후 지형별로 다른 승용차환산계수(1.0-5.0)를 적용하고 있는 반면, 신호교차로에서는 중·소형 및 지형에 관계없이 하나의 승용차환산계수(1.8)를 적용하고 있다(식(1)).

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P(E_{HV} - 1)} = \frac{1}{1 + 0.8P} \quad (1)$$

여기서,

f_{HV} : 중차량 보정계수

P : 중차량의 실교통량에 대한 혼입비율

E_{HV} : 중차량 승용차환산계수(=1.8)

버스는 차량제원 및 성능에서 일반 승용차와 크게 다르기 때문에 기본포화교통류율의 차이를 보인다. 버스전용차로는 모든 차량이 버스로만 구성되어 있기에 기본 분석방법으로 버스차로군 분석 시 정확한 용량분석 결과를 기대하기 어려우므로 중앙버스전용차로의 기본포화교통류율은 별도로 구하는 것이 바람직 할 것이다.

2) 버스정류장 영향

도로용량편람상에 버스정류장의 영향은 우회전 차로 보정계수 산정 시 반영된다. 우회전 차로 보정계수 산정 시 직진환산계수(E_R)를 우선 산정해야 하는데, 직진환산계수(E_R) 산정 시 하나의 요인이 버스정차에 의한 노변마찰로 인한 포화차주시간 손실시간이며, 이를 구하기 위해서는 버스 정차로 인한 방해시간 (L_{bb})을 구해야 한다. 버스 정차로 인한 방해시간 (L_{bb})은 버스정류장의 위치가 정지선에서 75m이내에 있을 경우 이로 인해 증가

되는 우회전의 포화차두시간을 의미하며, 식(2)와 같이 정차 버스대수, 버스 1대 정차에 따른 포화차두시간 증가분 및 버스 정류장의 위치에 따라 결정된다.

$$L_{bb} = T_b \times l_b \times V_b \tag{2}$$

여기서,

- L_{bb} : 버스정류장으로 인한 시간당 손실시간(초)
- T_b : 버스 1대의 정차에 따른 포화차두시간 증분(초)
- l_b : 버스정류장 위치계수 = (75-1)/75
(단, 1은 정지선에서 버스정류장까지의 거리 (m)이며, 이 값이 75m이상이면 $l_b = 0$)
- V_b : 시간당 버스 정차대수

버스정류장으로 인한 포화교통류율 저하는 버스의 정차활동이 일어나는 차로에 대해서만 적용하며, 시간당 버스 정차대수가 10대 이하인 경우에는 영향이 없는 것으로 간주된다. 중앙버스전용차로 용량분석 시 버스전용차로 상에 버스정류장의 영향은 일반차로에서 보다 상당히 클 것으로 예상되는 바 이들의 영향은 버스전용차로의 포화교통류율 산정 시 반드시 고려되어야 할 것이다.

3) 차로군 분류

신호교차로 용량분석의 기초단위는 차로군(lane group)이며, 차로군은 이동류의 교통량 분포에 따라 달라질 수 있다. 차로군 분류 이후의 모든 계산은 차로군 별로 하기 때문에 차로군을 어떻게 결정하느냐에 따라 용량분석 결과가 달라질 수 있으므로 실제로 각각 차로의 운영실태를 정확히 파악하여 차로군을 결정하는 것이 매우 중요하다. 차로군 형성의 기본원칙은 서로 다른 현시에 진행되는 이동류는 별개의 차로군으로 분류하며, 같은 현시에 진행되는 서로 다른 이동류의 경우에도 교통량비(flow ratio : v/s) 또는 v/c비가 다르면 별개의 차로군으로 분류한다는 것이다. 즉, 좌회전 또는 우회전 차로를 직진이 공용하는 경우 교통량비가 직진차로와 평형상태를 이루면 해당 좌회전 또는 우회전 이동류는 직진과 같은 차로군을 형성한다고 볼 수 있다. 그러므로 중앙버스전용차로는 일반차로와 같은 현시에 진행하지만, 교통량비(flow ratio : v/s) 또는 v/c비가 다르므로, 중앙버스전용차로 용량분석 시 일반차로와 별개의 차로군으로 분류하여 분석하여야 한다.

2. US Highway Capacity Manual

1) 기본포화교통류율 및 증차량보정계수(f_{HV})

US Highway Capacity Manual(TRB, 2000) 신호교차로 편에서는 1,900pc/h/ln를 이상적인 상태의 포화교통류율로 이용하고 있으며, 우리나라와는 달리 우회전일 경우 별도의 고려 없이 같은 값을 사용하고 있다. 증차량보정계수는 증차량 비율과 증차량 승용차환산계수를 이용하며, 연속류에서는 증차량을 2가지(트럭/버스, 레크레이션 차량)로 분류한 후 지형별로 다른 승용차환산계수(1.2-4.5)를 적용하고 있는 반면, 신호교차로에서는 중·소형 및 지형에 관계없이 하나의 승용차환산계수(2.0)를 적용하고 있다. 증차량 승용차환산계수가 2.0이라는 의미는 증차량의 운행특성 상 승용차의 약 50%정도의 성능을 보임으로 해서 교차로의 효율을 약 50% 감소시킨다는 의미로 이해될 수 있다. 이것은 우리나라의 경우보다 증차량의 영향을 다소 크게 보는 것이라 할 수 있다.

2) 버스정류장 영향

도로용량편람의 경우 우회전 차로 보정계수를 산정할 때 버스 정차로 인한 방해시간(L_{bb})을 고려하여 포화교통류율 산정 시 간접적으로 반영이 되지만, US Highway Capacity Manual (USHCM)의 경우 버스 정차로 인한 영향을 바로 버스정류장 보정계수로 만들어 직접 포화교통류율 산정 시 반영하고 있다. 버스정류장 보정계수는 우리나라와 같이 버스정류장의 위치가 정지선에서 75m이내에 있을 경우에만 고려하며 식(3)과 같이 시간당 버스정차대수, 차로군의 차로수 및 주기당 평균 방해시간 14.4초를 이용하여 산정한다. 시간당 250대 이상일 경우는 250대로 간주하며, 이 경우 버스정류장 보정계수 값은 0이 되어 우회전 차로군의 포화교통류율은 0이 된다.

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N} \tag{3}$$

여기서,

- N : 차로군의 차로수
- N_B : 버스 정차대수(대/시)

3) 차로군 분류

도로용량편람과 차로군 분류의 기본원칙은 유사하나 USHCM에서는 도로용량편람에서 제시하듯이 차로군의 분류를 위한 수식 대신 기본 개념만을 제공하여 구체적인 차로군 분류는 분석가의 몫으로 남겨두고 있다. 차로군을 분류하는데 일반적으로 적용되는 개념은 다음과 같다.

- 공용좌회전 차료가 없는 경우 전용 좌회전 차로는 독립된 차로군을 형성한다. 공용좌회전 차료가 있는 경우는 직진과 좌회전 교통량비에 따라 결정된다. 우회전 일 경우도 마찬가지이다.

- 전용 좌회전이나 전용 우회전차료가 있는 접근로의 다른 차로들은 독립된 차로군을 형성한다.

- 공용좌회전 또는 공용우회전 차로의 경우 직진과 회전 교통량의 비율을 이용해서 실질적으로 전용회전차로처럼 사용되는지 공용으로 사용되는지 결정을 하여야 한다.

III. 연구 방향 설정

기존 문헌고찰에서 검토하였듯이 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 용량산정 및 서비스수준 판정을 위해서 추가적으로 고려하여야 할 요소로는 버스전용차로의 기본포화교통류율, 버스정류장 위치에 따른 포화교통류율 영향 및 차로군 분류방법이라 할 수 있다. 본 장에서는 이 요소들에 대한 연구 방향을 설정하려 한다.

1. 중앙버스전용차로의 기본포화교통류율

현재 신호교차로의 용량 및 서비스수준 분석방법론에서는 직진차로에 대해 기본포화교통류율 $2,200pc/h/ln$ 을 적용하고 있으며, 이 값에 중차량의 영향을 고려하기 위해 중차량 승용차환산계수 1.8과 중차량의 비율을 고려한 중차량보정계수를 곱하여 포화교통류율을 산정하고 있다. 중차량 비율이 감소할수록 중차량보정계수는 증가하며 중차량 비율이 0일 경우 중차량보정계수는 1이 되어 기본포화교통류율에 아무런 영향을 주지 않으며, 중차량 비율이 1일 경우 중차량보정계수는 0.56이 되어 포화교통류율이 기본포화교통류율의 56%정도로 감소하게 된다. 또한 중차량 승용차환산계수가 1.8이라는 의미는 중차량의 운행특성 상 승용차의 약 56%정도의 성능을 보임으로 해서 교차로의 효율을 약 56% 감소시킨다는 의미로 이해될 수 있다.

이렇듯 일반차로 기본포화교통류율 및 중차량 승용차 환산계수(1.8) 등을 이용한 기존의 용량분석방법을 적용하여 버스전용차로의 포화교통류율을 산정하는 방법이 있을 수 있을 것이다. 이 경우 버스전용차로의 기본 포화교통류율은 $1,232v/h/ln (=2,200pc/h/ln \times 0.56)$ 이 된다. 이러한 방법은 승용차와 중차량이 혼재되어있는 교통류에서 중차량의 성능이 승용차에 비해 떨어지는 영향을 감안한 것으로, 일반차로에서 중차량이 교통류 전체에 미치는 영향과 버스전용차로에서 중차량이 교통류 전체에 미치는 영향이 같다는 가정하에서는 적절한 방법일 것이다. 그러나 각 차종이 혼재되어 있는 교통류에서의 중차량의 영향과 중차량만으로 구성된 교통류에서의 중차량의 영향이 같다고 보장할 수 없는 상황을 고려할 때, 보다 정확한 버스전용차로의 기본포화교통류율을 구하기 위해서는 버스전용차로에서 버스의 포화교통류율 직접 측정하여 구하는 방법이 바람직 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 중차량 승용차환산계수 및 중차량보정계수의 산정과정을 거치지 않고 바로 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 중앙버스전용차로에서 버스의 포화차두시간 조사를 통해 버스만으로 구성된 차랑군의 기본포화교통류율을 산정할 것이다.

2. 버스정류장의 영향

버스전용차로의 흐름에 가장 크게 영향을 미치는 요인은 교차로 부근의 버스정류장이라 할 수 있다. 일반신호교차로의 우회전 차로 분석 시와 마찬가지로 버스정류장의 위치는 정지선과 가까울수록 그 영향이 클 것이고 어느 정도 거리 이상에서는 영향이 없을 것으로 판단되므로, 버스정류장의 위치별로 그 영향을 분석하여야 할 것이다.

기본포화교통류율 산정에 이용된 포화차두시간 측정은 이미 버스정류장을 통과하여 대기행렬에 포함된 버스만을 대상으로 하기 때문에 버스정류장에서의 정차 영향이 반영되지 않는다. 그러므로, 교차로 정지선으로부터 버스정류장 이격거리와 포화교통류율의 상관정도를 분석하여 버스정류장의 영향권을 설정할 것이다. 최종적으로는 교차로 정지선으로부터의 이격거리에 따른 버스정류장의 영향을 반영하는 버스정류장 영향 보정계수를 산정할 것이다.

3. 차로군 분류

신호교차로 용량분석의 기초단위는 차로군이므로 적

정한 차로군의 분류는 신호교차로 용량분석 시 매우 중요하다. 기존의 차로군 분류 방법 상 차로군은 이동류를 기준으로 분류하는 것이 원칙이나, 버스전용차로에서의 이동류가 직진으로 이루어졌다고 하더라도 일반차로의 직진교통류와는 상당히 다른 특성을 가지므로 버스전용차로를 하나의 독립된 차로군으로 분류하여 분석하는 것이 정확한 분석결과를 가져올 것이다. 본 연구에서는 버스전용차로를 일반차로의 직진 교통류와 분리된 별도의 차로군으로 처리한다.

IV. 분석 절차 및 분석결과

1. 조사지점 선정

기본포화교통류율을 산정하기 위해서는 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로에서 차두시간을 조사하여야 하며, 차두시간 측정을 위한 교차로는 중앙버스전용차로가 설치된 교차로 중 교차로 정지선으로부터 상류부 및 하류부 버스정류장까지 충분히 이격되어 있어 전용차로를 주행하는 버스가 버스정류장의 영향을 받지 않는 곳이어야 한다. 이를 위해서는 버스정류장의 영향을 받지 않는 이격거리의 기준을 정립하는 것이 필요하다. 따라서 신호교차로 정지선으로부터의 버스정류장 이격거리별로 버스의 포화차두시간을 조사한 뒤 이를 바탕으로 버스정류장의 영향권을 설정하여야 한다.

본 연구에서는 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차

Table 1. Study intersections for saturation headway

Intersection	Direction	Upstream Distance from Stopline (m)	Downstream Distance from Stopline (m)	Grade (%)
Seoul Athletic Association	A	278	463	- 0.5
	B	512	167	1.7
Shinchon Station	A	125	219	- 7.3
	B	69	283	8.2
Deungchon	A	380	287	- 1.8
	B	402	274	2.1
Nonhyun Station	A	536	189	5.6
	B	305	434	- 5.2
Jamsil Station	A	20	804	- 2.3
	B	823	285	1.7
Seokchon Lake	A	312	512	1.4
	B	553	556	- 2.0
Seokchon Station	A	233	175	0.0
	B	226	192	1.3
GarakMarket Station	A	265	426	1.9
	B	482	248	- 0.3

로 중 대기행렬이 충분한 교차로를 대상으로 차두시간을 조사하였으며, 이를 정지선으로부터 정류장까지의 이격 거리에 따라 분류하여 버스정류장의 영향권을 설정하고자 하였다. 또한, 교차로의 경사도(%)가 포화교통류율에 미치는 영향을 고려하기 위해 교차로의 경사도를 조사하였다. 포화차두시간을 측정된 신호교차로와 각 교차로에서의 상류부·하류부 버스정류장 이격거리 및 경사도는 Table 1과 같다. 진행방향은 본 연구의 목적 상 중요하지 않은 요소이므로, 구체적인 방향은 명시하지 않기로 하였다.

2. 중앙버스전용차로의 기본포화교통류율 산정

1) 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 포화차두시간 측정

8개 신호교차로의 양방향 16개 구간을 조사하였으며, 대기행렬 내의 4번째까지의 차량은 차두시간에 출발순실시간을 포함하게 되므로, 주기 당 대기행렬이 5대 이상인 경우만을 분석하여 상류부 정류장의 영향권 설정 및 기본포화교통류율 산정 등에 이용하였다(Pearson Higher Education, Inc., 2010). Table 2에서 보듯이 포화차두시간은 약 3.5초/대에서 4.0초/대까지가 주를 이루고 있으며, 상류부 버스정류장 이격거리가 짧은 신촌

Table 2. Saturation headway and saturation flow rate of study intersections

Intersection	Direction	Upstream Distance from Stopline (m)	Downstream Distance from Stopline (m)	Max. Queue Size (veh)	Saturation Headway (s/veh.)	Saturation Flow Rate (v/ln/h)
Seoul Athletic Association	A	278	463	11	3.97	906
	B	512	167	10	3.99	902
Shinchon Station	A	125	219	10	4.42	814
	B	69	283	10	5.34	674
Deungchon	A	380	287	6	3.68	977
	B	402	274	8	4.06	887
Nonhyun Station	A	536	189	8	4.63	778
	B	305	434	10	3.95	911
Jamsil Station	A	20	804	10	7.80	462
	B	823	285	7	3.86	932
Seokchon Lake	A	312	512	15	3.51	1.027
	B	553	556	15	3.51	1.025
Seokchon Station	A	233	175	11	4.04	892
	B	226	192	13	4.00	899
GarakMarket Station	A	265	426	6	3.85	936
	B	482	248	11	3.95	911

역 교차로의 양방향 구간과 잠실역 교차로의 A방향 구간은 포화차두시간이 4.42-7.80초/대로 다른 곳에 비해 긴 포화차두시간을 보이고 있다. 이 세 구간은 상류부 정류장의 이격거리가 짧아 버스정류장에서 정차 등의 영향을 받은 것으로 판단된다. 논현역 A방향의 경우 포화차두시간은 4.63초/대로 나타났으나, 이는 상·하류부 버스정류장 이격거리가 길어 정류장의 영향이라기보다는 비교적 가파른 구배(5.6%)에 의한 영향이라 판단되었다.

2) 상류부 영향 구간 분류

조사한 신호교차로 중 일부 구간은 상류부 버스정류장의 영향을 받고 있는 것으로 판단됨에 따라, 방향별 구간을 각각 상류부 버스정류장의 영향권 구간과 영향을 받지 않는 기본구간으로 분류할 필요가 있다. 본 연구에서는 간선급행버스체계(BRT) 설계지침(MLTM, 2010)에서 명시한 버스의 정차공간(15m)을 각 구간의 최대 대기행렬 길이에 곱한 값보다 상류부 정류장의 이격거리가 짧은 구간을 “상류부 영향 구간”으로 분류하였고, 그보다 상류부 정류장의 이격거리가 길며, 경사도가 2.0%를 초과하지 않는 구간을 “기본구간”으로 분류하였다. 버스의 정차공간(15m)과 조사지점 중 최대 대기행렬인 15대를 기준으로 상류부 버스정류장 이격거리가 225m(=15×15) 이상일 경우 녹색현시 동안 버스정류장의 영향으로 인해

발생하는 추가 지체시간은 없게 것으로 가정하였다. Table 3은 “기본구간”과 “상류부 영향 구간”을 구분해 놓은 것으로 포화차두시간은 경사도 보정을 한 값이다.

기본구간으로 설정된 7개 신호교차로의 11개 접근로에서 대기행렬이 5대 이상인 443주기를 분석대상으로 하였다. 이를 분석한 결과 대기행렬 순서에 의한 차두시간은 Figure 1과 같으며, 녹색현시가 시작됨에 따라 차두시간이 감소하여 5번째 이후 수렴하는 형태를 나타냈으며 기본구간의 포화차두시간은 3.90초/대로 추정되었다.

상류부 영향 구간은 총 86주기가 조사되었으며, 대기행렬 순서에 의한 차두시간은 Figure 2와 같이 대기차량이 진행함에 따라 일정한 값으로 수렴하지 않으며, 특별한 추이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

오히려 후순위의 대기차량(7-9th)에 의한 차두시간이 가장 길게 나타나는 등 기본구간의 차두시간 추이와는 전혀 다른 양상을 보였다. 이에 비해 교차로 정지선으로부터 상류부 버스정류장의 이격거리가 125m인 신촌역 교차로 A방향 접근로는 이격거리가 길어 어느정도 기본구간과 패턴이 비슷하게 나타나 상류부 버스정류장의 영향권이 125m 전후에 위치할 것으로 추정하였다. 버스정류장이 정지선으로부터 지근거리에 위치해 있을 경

Table 3. Classification of intersections based on upstream bus-stop

Sections	Intersection	Direction	Upstream Distance from Stopline (m)	Saturation Headway (s/veh.)	Saturation Flow Rate (v/ln/h)
Basic Section	Seoul Athletic Association	A	278	3.97	906
		B	512	3.81	946
	Deungchon	A	380	3.68	977
	Jamsil Station	B	823	3.65	986
	Seokchon Lake	A	312	3.40	1,058
		B	553	3.51	1,025
	Seokchon Station	A	233	4.04	892
		B	226	3.88	928
	GarakMarket Station	A	265	3.65	986
		B	482	3.95	911
Nonhyun Station	B	305	3.95	911	
Section for Upstream Bus-stop	Shincheon Station	A	125	4.42	814
		B	69	4.44	810
Jamsil Station	A	20	7.80	462	
Out of Basic Section*	Nonhyun Station	A	536	4.07	883
		B	402	3.88	928

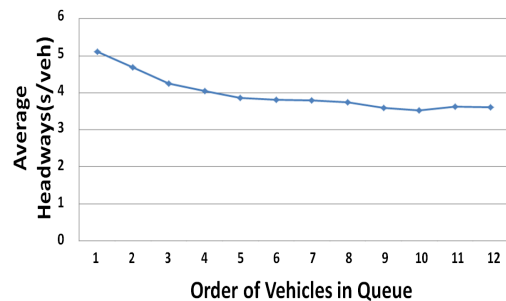


Figure 1. Average headway according to order of queue in basic sections

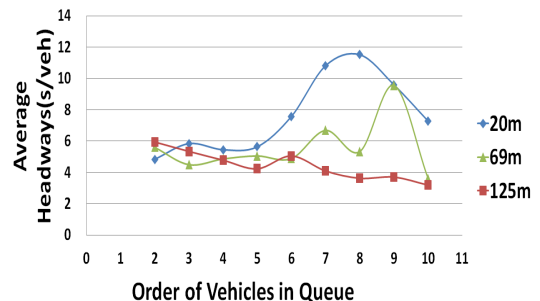


Figure 2. Average headway according to order of queue in sections for Upstream Bus-stop

우 녹색현시 동안 승객의 승하차를 위해 버스가 정차해야 하기 때문에 포화차두시간 곡선추이가 비정상적인 형태를 보이는 것으로 분석된다. 그러므로, 상류부 버스정류장 영향 분석을 위한 포화차두시간 측정 시에는 기본 구간 포화차두시간 측정 시 적용하였던 대기행렬 중 5번째 이후 차량이라는 기준은 의미가 없다. 5번째 이전 대기차량들이 겪는 출발손실시간은 승객의 승하차를 위해 버스가 겪는 정차시간에 포함된다고 보고 대기행렬 순서에 상관없이 모든 차량을 대상으로 하는 것이 합리적인 판단일 것이다.

3) 하류부 영향의 배제

교차로 정지선으로부터 하류부 버스정류장까지의 이격거리가 짧을 경우 버스정류장에 정차를 하기위한 감속에 영향을 미칠 수 있다. 간선급행버스체계(BRT) 설계지침에서는 교차로 통과 후 정류장(Far-side bus stop)의 경우 교차로로 대기행렬이 늘어서는 spill-back의 우려가 있다고 명시하고 있다. 하지만 본 연구의 대상 신호교차로 중 교차로 통과 후 바로 정류장이 설치 되어있는 교차로는 없었고 최소 약 165m 이상의 거리에 하류부 버스정류장이 위치하고 있다. 이는 간선급행버스체계(BRT) 설계지침에서 명시한 버스의 정차공간(15m)을 고려할 때 최소 11대의 버스가 정차할 수 있는 거리로 포화교통류율에 영향을 미쳤다고 판단하기 어렵다. 또한, 상류부 버스정류장의 영향을 받은 교차로를 제외한 기본구간의 포화차두시간을 하류부 버스정류장의 이격거리에 따라 나타낸 Figure 3을 보면, 조사된 신호교차로의 자료만으로는 하류부 버스정류장의 이격거리에 따른 영향을 뚜렷하게 찾아보기 힘들어 본 연구에서는 하류부 정류장의 영향은 없는 것으로 판단하였고, 이에 하류부 버스정류장의 영향권은 설정하지 않았다.

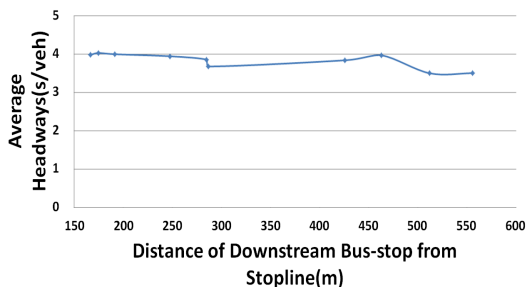


Figure 3. Saturation headway according to distance of downstream bus-stop

4) 버스정류장 위치에 따른 영향권 설정

앞서 검토한대로 버스정류장 위치에 따른 영향권은 상류부 버스정류장의 영향권만을 설정하기로 하였다. 버스정류장 위치에 따른 영향권 설정은 Figure 4와 같이 상류부 영향 구간과 기본구간의 모든 포화차두시간값을 활용하여 각 구간의 이격거리에 따른 차두시간을 설명하는 추세식을 찾은 후 두 회귀선의 교차점을 상류부 버스정류장의 영향을 받는 한계점으로 설정하였다.

상류부 영향 구간 및 기본구간 추세식의 교차점은 상류부 버스정류장의 이격거리가 127m로 나타났으며, 본 연구에서는 각각의 이격거리별 데이터가 충분히 없기 때문에 가급적 보수적으로 용량을 분석한다는 차원에서 상류부 버스정류장의 영향권을 가능한 길게 설정하는 것이 바람직하리라는 판단하에 상류부 버스정류장 위치에 따른 영향권을 130m로 설정하였다.

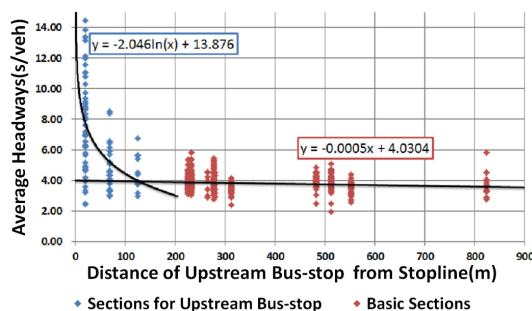


Figure 4. Influence area based on distance of upstream bus-stop

5) 버스전용차로의 기본포화교통류율 산정

중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로의 용량분석을 위해서는 버스전용차로의 포화교통류율을 산출하여야 하며, 이를 위해 중앙버스전용차로의 기본포화교통류율이 필요하다. 중앙버스전용차로의 기본포화교통류율을 산정하기 위해서는 외부 및 내부요인의 영향을 받지 않는 이상적인 상황에서의 버스전용차로의 포화차두시간을 측정하여야 한다. 하지만 현실에서 차두시간을 측정할 때 이상적인 상황에서 측정하는데 한계가 있으므로, 본 연구에서는 중앙버스전용차로와 동일한 조건에서 일반차로의 차두시간을 측정하여 이를 바탕으로 중앙버스전용차로와 일반차로의 포화차두시간의 상대적 비율을 적용하여 중앙버스전용차로의 기본포화교통류율을 산정하고자 한다.

중앙버스전용차로 기본구간의 포화차두시간은 3.90

초/대로 산출되었고 일반차로의 포화차두시간은 2개 신호교차로의 4개 접근로를 대상으로 중차량을 포함하지 않은 255주기를 분석하여 2.00초/대로 산출되었다. 중앙버스전용차로 기본구간과 일반차로의 상대적인 포화차두시간 비율은 $0.51 (= 2.00 / 3.90)$ 로, 이를 신호교차로의 기본포화교통류율 $2,200pc/h/ln$ 에 곱하여 중앙버스전용차로의 기본포화교통류율을 식(4)와 같이 산정하였다.

$$SFR_B = SFR_p \times \frac{SH_p}{SH_B} = 2,200pc/h/ln \times \frac{2.00}{3.90} \quad (4)$$

$$= 1,122v/h/ln \approx 1,100v/h/ln$$

여기서,

SFR_B : 중앙버스전용차로의 기본포화교통류율($v/h/ln$)

SH_B : 중앙버스전용차로의 포화차두시간(초/대)

SFR_p : 일반차로의 기본포화교통류율($pc/h/ln$)

SH_p : 일반차로의 포화차두시간(초/대)

위와 같이 $1,122v/h/ln$ 으로 산출되었으나, 도로용량 편람에서 용량분석에 사용하기 위한 값으로 이를 십의 자리를 절삭하여 중앙버스전용차로의 기본포화교통류율은 $1,100 v/h/ln$ 으로 산정하였다. 그러므로, 측정치인 3.90초/대는 이상적인 조건에서의 포화차두시간이 아니라 조사지점의 기하구조하에서의 포화차두시간이라 할 수 있으며, 기본포화교통류율 산정을 위한 이상적인 조건에서의 포화차두시간은 $3.27초/대 (= 3,600/1,100)$ 라 할 수 있다.

3. 상류부 정류장 영향 보정계수(f_{ub}) 산정

기존의 신호교차로의 용량분석 방법론은 포화교통류율 산출을 위해 기본포화교통류율에 좌·우회전 차로 보정계수, 차로폭 보정계수, 접근로 경사 보정계수, 중차량 보정계수를 적용하여 보정하도록 되어있다. 중앙버스전용차로의 포화교통류율 산출 시에도 이러한 기하구조 요인을 반영하여 보정계수를 적용하여야 할 것이다.

그러므로, 상류부 버스정류장에 의한 기본포화교통류율 감소량을 이격거리에 따른 상류부 정류장 영향 보정계수로 전환하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 상류부 버스정류장의 영향권을 설정하였으며, 도출된 상류부 영향 구간의 추세식을 이용하여 상류부 정류장 영향

보정계수(f_{ub})를 산정하고자 한다. 상류부 영향 구간으로 조사된 상류부 버스정류장의 이격거리는 20m, 69m, 125m로 이를 20m, 70m, 130m으로 구분하여 보정계수 값을 제시하도록 하였다. 상류부 정류장 영향 보정계수의 산출과정은 다음과 같이 이격거리별로 포화차두시간을 산정한 후 이를 기본포화차두시간과의 비율을 이용하여 구할 수 있을 것이다. 이 때 기본포화차두시간은 상류부 버스정류장 이격거리별 포화차두시간과 비교해야 하므로 이상적인 조건일 경우의 3.27초/대 대신에 현장 측정치인 3.90초/대를 이용하는 것이 바람직할 것이다.

① 상류부 버스정류장 이격거리 20, 70, 130m 적용하여 포화차두시간 산출

- i) 버스정류장 이격거리 20m : 포화차두시간 = $-2.046 \times \ln(20) + 13.876 = 7.75$ 초/대
- ii) 버스정류장 이격거리 70m : 포화차두시간 = $-2.046 \times \ln(70) + 13.876 = 5.18$ 초/대
- iii) 버스정류장 이격거리 130m : 포화차두시간 = $-2.046 \times \ln(130) + 13.876 = 3.92$ 초/대

② 기본구간의 포화차두시간 3.90초/대를 이용하여 상류부 정류장 영향 보정계수(f_{ub}) 산출

- i) 버스정류장 이격거리 20m : $f_{ub} = 3.90 / 7.75 = 0.50$
- ii) 버스정류장 이격거리 70m : $f_{ub} = 3.90 / 5.18 = 0.75$
- iii) 버스정류장 이격거리 130m : $f_{ub} = 3.90 / 3.92 = 1.00$

이와 같이 산정한 상류부 버스정류장 영향 보정계수를 정리하면 Table 4와 같으며, 추세식의 유의성을 고려하여 20m 이하의 이격거리를 갖는 신호교차로에서는 동일하게 0.50을 적용하고, 20-70m, 70-130m 구간에 버스정류장이 위치하는 경우 보간법을 사용하여 보정계수 값을 산출하도록 한다.

Table 4 Adjustment factor for upstream bus-stop (f_{ub})

Distance of Upstream Bus-Stop (m)	≤ 20	70	≥ 130
f_{ub}	0.50	0.75	1.00

V. 결론

본 연구에서는 지속적으로 증가하고 있는 중앙버스전용차로를 포함한 신호교차로의 정확한 용량산정 및 서비스수준 분석을 위한 방법론을 개발하였다. 일반차량과 버스의 특성차이로 인해 중앙버스전용차로에서 별도의 버스 기본포화교통류율 산정의 필요성을 도출하였으며 버스의 포화교통류율에 영향을 미치는 요인으로 상류부 버스정류장을 선정하였다. 또한, 중앙버스전용차로의 포화교통류율과 이격거리별 상류부 버스정류장의 영향을 파악하기 위해 현재 중앙버스전용차로가 설치되어 운영 중인 서울 시내의 8개 교차로를 대상으로 포화차두시간, 접근로 구배 및 상·하류부 버스정류장 이격거리를 조사하였다.

방대한 현장조사 자료를 분석한 결과 중앙버스전용차로의 기본포화차두시간은 3.27초/대로 나타났으며, 기본포화교통류율은 1,100pc/h/ln임을 알 수 있었다. 상류부 버스정류장 보정계수는 이격거리별로 20m 이하일 경우 0.50, 70m일 때 0.75 등으로 산정되어 상류부 버스정류장이 정지선으로부터 20m 이내에 있을 경우, 중앙버스전용차로의 포화교통류율은 거의 절반으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 중앙버스전용차로의 용량분석방법을 정립함으로써 중앙버스전용차로가 설치된 신호교차로 용량분석 시 보다 객관적이고 현실적인 용량분석 및 서비스수준 판정이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발한 용량분석 방법론은 신호교차로에 중앙버스전용차로가 설치되어 있을 경우의 용량분석을 위한 것으로, 개발된 방법대로 용량분석 시 일반 신호교차로보다 용량은 감소할 것이다. 그러므로 중앙버스전용차로를 설치함으로써 신호교차로 용량의 변화 등은 파악이 가능하나, 중앙버스전용차로의 설치효과라 할 수 있는 버스 승객의 증가와 버스 승객의 지체시간 감소 등의 편익은 분석이 불가능하다. 중앙버스전용차로의 활성화를 위해서는 향후 이러한 편익을 포함한 중앙버스전용차로의 효과분석 방법론 개발도 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2001)(도로용량편람(2차개정)), Highway Capacity Manual (2nd Edition), Gyeonggi-do, Korea, pp.209-275.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), Design Guideline of Bus Rapid Transit (BRT)(간선급행버스체계(BRT) 설계지침), Gyeonggi-do, Korea, pp.86-100.

Peason Higher Education, Inc. (2010), Traffic Engineering (4th Edition), New Jersey, U.S.A., p.466.

Transportation Research Board (2000), Highway Capacity Manual, Washington, D.C., U.S.A., pp.16-1-16-87.

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, Korean Society of Road Engineers, pp.139-147.

알림 : 본 논문은 한국ITS학회 2013년 춘계학술대회 (2013.5.11)에서 발표된 내용을 수정·보완 작성, “도로용량편람 개정 및 보완연구 보고서(한국건설기술연구원, 한국교통연구원,2012.12)”의 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

- ☞ 주 작성자 : 조한선
- ☞ 교신저자 : 조한선
- ☞ 논문투고일 : 2013. 3. 5
- ☞ 논문심사일 : 2013. 4. 30 (1차)
- 2013. 5. 9 (2차)
- 2013. 5. 28 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2013. 5. 28
- ☞ 반론접수기한 : 2013. 10. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필