

■ 論 文 ■

신호교차로와 버스정류장간 이격거리 산정에 관한 연구

Determination of the Required Minimum Spacing between
Signalized Intersections and Bus-Bays

하 태 준

(전남대학교 토목공학과 조교수)

박 제 진

(전남대학교 토목공학과 박사수료)

임 혜 영

((주)동아기술공사 교통부 과장)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구 배경 및 목적
 - 2. 연구 범위 및 방법
 - II. 관련 문헌 고찰
 - 1. 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙
 - 2. 교통용량을 고려한 버스정류장 위치
 - 3. 버스정류장의 위치에 따른 장단점
 - III. 버스정류장과 신호교차로의 최소 이격거리 결정
 - 1. 유입부의 최소 이격거리 결정 (L_n)
 - 2. 유출부의 최소 이격거리 결정 (L_f)
 - IV. 모의실험에 의한 모형식의 비교 검증
 - 1. 모의실험에 의한 모형 결과 분석
 - 2. 기존 모형과의 비교 분석
 - V. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 신호교차로, 버스정류장, 대기행렬모형, 간격수락모형, 엇갈림길이, 이격거리

요 약

본 연구는 신호교차로의 부근에 위치한 버스정류장과 교차로 간의 최소 이격거리 산정을 목적으로 하였다. 교차로의 유입부에서는 버스가 승하차 서비스를 한 후 좌회전 차로로 진입하기 위해 필요한 거리를 기준으로 이격거리를 산정하였으며, 유출부에서는 좌회전한 버스가 정차를 위해 차로변경 하는 데 필요한 거리를 바탕으로 이론식을 전개하였다. 이를 위해 대기행렬모형과 간격수락모형이 이용되었다. 유도된 이론식을 이용하여 교통량 및 설계속도 등을 변수로 하는 모의실험을 실시한 후, 모의실험의 결과 값을 현재의 버스정류장 설치기준 중 교차로 부근의 설치위치에 관련된 기준인 엇갈림 길이의 계산 값과 비교하였다. 제안된 식들은 현재 설치된 정류장 위치의 적정성에 관한 개략적인 평가, 또는 신설하고자 하는 정류장의 위치선정에 도움이 될 것으로 기대된다. 그러나 본 연구를 통해 얻어진 이론식은 버스의 진행 각도, 버스의 속도, 신호조건 등 일부 변수의 설정을 단순화시켰다는 한계를 지니고 있다. 향후 본 연구와 관련하여 신호교차로에서의 버스 및 주변 교통류의 운행특성에 관한 보조연구가 실시된다면 보다 현실적이고 합리적인 버스정류장 설치기준을 마련할 수 있을 것이다.

1. 서론

1. 연구 배경 및 목적

신호교차로의 유입부에 인접하여 설치되어 있는 버스정류장을 운행하는 버스는 승객 승·하차 후 교차로에서 좌회전, 직진 혹은 우회전을 실시한다. 진행하고자 하는 차로로 접근하기 위해서는 반드시 차로변경이 필요한 경우가 있으며, 이 때 소요되는 거리 이상 교차로와 버스정류장은 적정 간격을 유지해야 한다. 마찬가지로 교차로의 유출부에서는 좌회전을 완료한 버스가 버스정류장으로 차로변경을 하는 데 필요한 거리가 필요하다. 그러나 현재 운영되는 버스정류장의 경우 교차로와의 거리가 불충분한 곳이 있으며, 이로 인해 지체 및 상충이 발생하는 등 교차로에 미치는 영향은 매우 크다. 이러한 이격거리의 부족현상은 기존 버스정류장에 노선이 신설되거나 변경될 경우에도 발생할 수 있다.

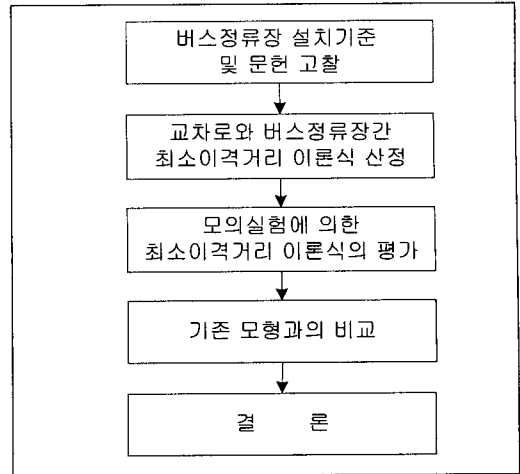
국내 기준에는 교차로 부근에 버스정류장 설치시 도로의 설계속도별로 필요 엇갈림길이 이상 이격토록 규정하고 있다.¹⁾ 그러나, 이때의 엇갈림 길이의 결정 변수는 단지 설계속도 뿐이기 때문에 신호교차로에 적용하기에는 무리가 따른다. 신호교차로의 경우에는 그 교통특성인 신호주기, 대기행렬길이 등에 의해 차로변경 거리가 변하므로 이에 대한 고려가 필요하다.

본 연구는 신호교차로 부근에서 좌회전 버스를 기준으로 하여 버스정류장과 교차로 사이의 최소 이격거리를 계산하는 일반적인 이론식 산정을 목적으로 하며 이론식 산정결과와 엇갈림길이에 의해 제시된 기존 규칙을 상호 비교 검토하여 버스운행특성을 반영한 새로운 기준을 제시하는데 목적이 있다.

2. 연구 범위 및 방법

신호교차로 유·출입부에 위치한 버스정류장을 대상으로 하며 좌회전 버스가 존재하는 신호교차로를 기준으로 한 이론식의 전개에 의거하여 최소 이격거리 산출모형을 개발하였다.

우선 버스정류장의 위치에 관련된 기준 및 연구문헌을 고찰한 후 유입부와 유출부 각각의 경우에 대한 이격거리 산정식을 유도하였다. 이격거리 산정모형식은 유출·입부 버스정류장으로 구분하여 주행특성 및



<그림 1> 연구수행흐름도

이론식을 적용하여 산출하였다. 그리고 실제 교통상황을 나타낼 수 있을 만한 변수들을 설정한 후 모의 실험을 실시한 결과값과 기존의 연속류에 적용되는 엇갈림 길이의 값을 비교하였다.

II. 관련 문헌 고찰

1. 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙

“도로의 구조·시설기준에 관한 규칙”은 일반도로에 설치하는 버스정류장의 구조 및 설계제원을 <표 1>과 같이 제시하고 있다.¹⁾ 일반도로 도시지역 교차점 부근에 버스정류장을 설치할 경우에는 설계속도별로 필요 엇갈림 길이 이상 떨어진 위치에 설치하도록 규정하고 있다.

<표 1> 버스정류장의 제원(일반도로)

설속도(km/h)	도시지역		
	60	50	40
감속차로길이(m)	20	15	12
버스정차로길이(m)	15	15	15
가속차로길이(m)	25	20	13
버스정류장길이(m)	60	50	40
엇갈림길이(m)	50	40	30

2. 교통용량을 고려한 버스정류장 위치

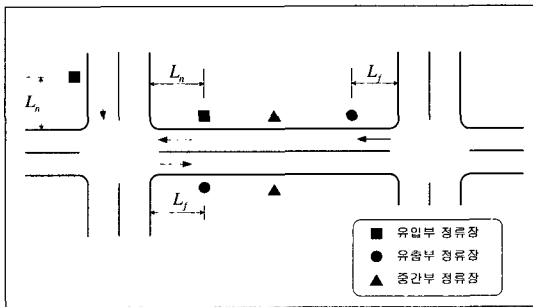
노만영(1990)³⁾은 버스의 정차가 교차로 교통용량에 어떤 영향을 미치는지에 관하여 연구하였으며, 버

스정류장의 설치위치(교차로와의 거리) 및 대형차 혼입율의 변화에 따라 교통용량 감소량을 산정하였다.

거리에 따른 지체도의 감소율 검토 결과 일정한 거리에 이르게 되면 급격한 변화를 보이게 되는데 이 지점을 버스정류장의 적정위치로 제안하였으며 연구대상 교차로(사당역주변)의 경우 유입부 정류장은 90m 내외, 유출부 정류장은 70m 내외가 적정위치인 것으로 결론내렸다.

3. 버스정류장의 위치에 따른 장단점⁵⁾

버스정류장은 그 위치에 따라 교차로 통과 전의 유입부 정류장(Near-Side Bus Stop), 교차로 통과 후의 유출부 정류장(Far-Side Bus Stop), 교차로와 교차로의 중간부분에 설치하는 블럭중간부 정류장(Mid-Block Bus Stop)으로 분류된다.



〈그림 2〉 정류장의 위치별 분류

① 유출부 정류장

이 유형의 정류장은 교차로에서의 시거가 제한되어 있거나 좌우 회전교통량이 비교적 많은 경우에 사용한다. 좌회전차량과 정차중인 버스의 상충을 감소시킬 수 있으며 정차버스 뒤로 횡단보도 설치시 보행자의 시야가 확보된다. 또한 출발버스가 타교통류와 합류하기가 용이하고, 교차로의 공간을 감소하는데 이용하므로 버스에 대한 짧은 감속거리를 제공한다. 그러나 침두시간에는 정차된 버스가 교차로 통과차량의 진행에 방해가 되며, 버스를 뒤따르는 차량과의 후미추돌사고가 증가하는 단점이 있다.

② 유입부 정류장

유출부의 교통량이 많을 경우에 적합하며, 보행자의 버스 이용에 효율적이다. 반면에 우회전교통량이

많은 교차로에는 교통혼잡을 가중시키고, 횡단 보행자의 시거를 방해한다. 또한 대기하는 버스로 인해 피크시 통과차량의 지체를 유발하기도 한다.

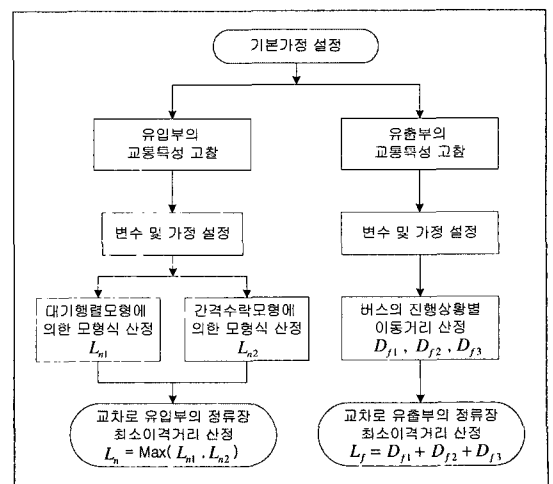
③ 블럭중간부 정류장

이 유형의 정류장은 일반적으로 여러 개의 버스노선이 통과함으로써 비교적 긴 승강장을 필요로 하는 도심부의 정류장 유형이다. 블럭중간부 정류장은 차량과 보행자 모두에게 시야방해 요소가 최소화되며 대기중인 승객들의 밀집을 최소화할 수 있는 장점을 가진다. 하지만, 노상주차가 허용된 곳에서는 상당구간에 대해 주차제한구역의 확보가 필요하며 횡단보도 이용 승객들의 보행거리가 길어짐으로 인해 무단횡단이 증가한다.

III. 버스정류장과 신호교차로의 최소 이격거리 결정

본 연구는 유입부와 유출부의 버스정차대(Bus Bay)가 존재하는 정류장을 대상으로 하며, 이론식 산정을 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- 차중구성은 버스를 제외한 나머지는 모두 승용차로 구성되었다.
- 교차로와 버스정류장 사이에서 버스의 다른차량은 차로변경을 하지 않는다.
- 교차로의 도착교통량은 용량을 초과하지 않는다.



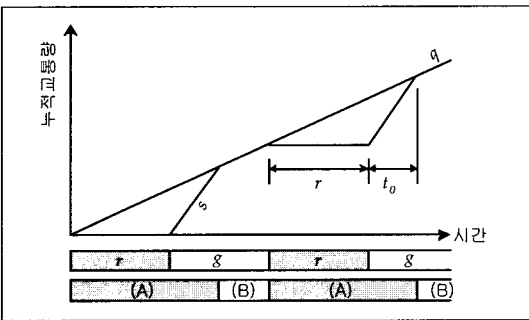
〈그림 3〉 정류장 이격거리 산정 과정

버스정류장 최소 이격거리 모형은 크게 유입부와 유출부를 분리하여 산정한다. 유입부 버스정류장 교통특성상 대기행렬모형, 간격수락모형을 이용하였으며 유출부 버스정류장은 버스의 진행방향별 이동거리를 산정하였다.

1. 유입부의 최소 이격거리 결정 (L_m)

1) 개요

신호교차로에서의 교통류는 신호에 의해 그 흐름이 통제된다. 그 결과 녹색신호를 기다리는 차량들의 대기행렬이 생기게 되고, 대기행렬은 각 주기마다 생성과 소멸을 반복하게 된다. 이러한 대기행렬 모형은 <그림 4>와 같다.⁴⁾



<그림 4> 대기행렬 모형

여기서,

- q : 도착률
- r : 유효적색시간
- g : 유효녹색시간
- t_0 : 대기행렬 소멸시간
- s : 대기행렬 진행률

대기행렬 유무에 따라 시간대를 크게 (A)와 (B) 둘로 구분할 수 있는데, 유입부의 버스정류장 이격거리 두가지 경우에 의해 산정된 값 중 큰 값을 사용하도록 한다.

① 시간구간(A)

유효적색시간의 시작시부터 접근로에 도착하는 차량들은 대기행렬을 형성하게 되며, 이 대기행렬의 길이는 유효적색시간이 끝나는 순간까지 길어진다. t_0 의

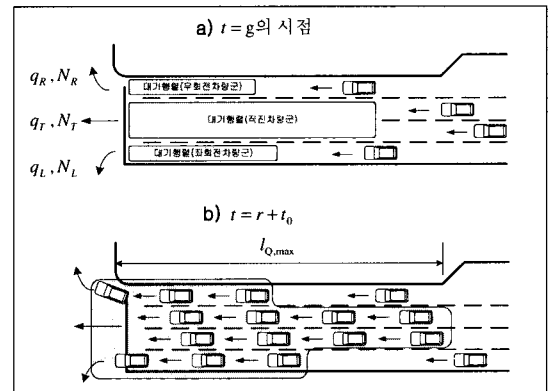
구간은 대기행렬의 앞 차량부터 교차로를 진행률 s 의 속도로 빠져나가는 시간대이다.

② 시간구간(B)

유효녹색시간에서 대기행렬 소멸시간을 제외한 시간으로 교통류는 교차로에 도착함과 동시에 통과를 하게 되어 도착분포 특성을 그대로 유지하면서 주행하게 된다.

2) 대기행렬 길이를 이용한 방법(L_m)

- 기본가정
 - 차량길이와 대기 차간간격은 일정하다.
 - 진행률(Discharge Rate, s)은 일정하다.
 - 차량도착률은 일정하다.



<그림 5> 대기행렬길이와 버스정류장 위치

시간구간 A($r + t_0$)인 신호등이 적색인 경우에 해당하며 본선 교차로 정지선에 대기하고 있는 대기행렬 길이가 버스정류장보다 후방에 위치할 경우 버스는 진행을 못하며 대기행렬길이가 버스정류장이전까지 소멸된 후에야 버스가 차로변경이 가능하다. 이론전개는 교차로에서의 최대 대기행렬길이를 차로군별로 산정후 이 길이보다 더 많이 이격토록 한다.

차로군 분류(Lane Grouping)에 의해 각 이동류별 침두시간 교통량이 q_L, q_T, q_R 라고 하자. 그리고 차로군이 각각 N_L, N_T, N_R 개의 차로로 이루어져 있다고 하면 대기행렬이 소멸되는 마지막 차량의 교차로에서부터의 위치, 즉 교차로 유입부의 버스정류장 최소이격거리는 식(1)과 같다.

$$L_{m1} = l_c \times q_j \times (r_j + t_{0,j}) \times \frac{1}{N_j} \times \frac{1}{f_{LU,j}} \quad (1)$$

여기서, $t_{0,j} = \frac{q_j r_j}{s_j - q_j} \times \frac{1}{N_j}$

$l_{Q, \max}$: 교차로에서 대기행렬 마지막 차량까지의 거리

l_c : 차량길이 + 차간간격

q_j : 차로군 j 의 도착교통량

g_j : 차로군 j 의 유효녹색신호시간

s_j : 차로군 j 의 진행률

r_j : 차로군 j 의 유효 적색시간

$f_{LU,j}$: 차로군 j 차로이용계수

위의 계산을 통해 차로군 중에서 가장 긴 대기행렬이 결정된다. 차로이용계수(Lane Utilization Factor, f_{LU})는 차로군 내의 차로별 교통량이 현실적으로 동일하지 않음을 반영한 계수이며, 참고로 US-HCM의 차로이용계수 f_{LU} 기본값⁶⁾은 <표 2>와 같다.

<표 2> US-HCM의 차로이용계수(f_{LU})

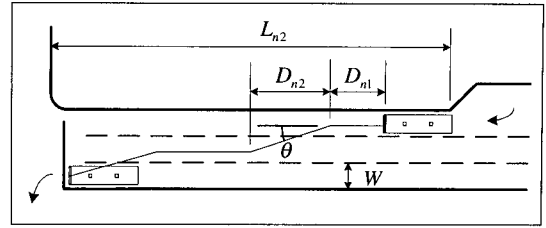
차로군	차로수	f_{LU}
직진 및 좌회전 공용	1	1.000
	2	0.952
	3	0.908
좌회전 전용	1	1.000
	2	0.971
우회전 전용	1	1.000
	2	0.885

3) 간격수락모형을 적용한 방법(L_{m2})

• 기본가정

- 버스는 정류장을 출발하여 교차로를 통과할때까지 일정한 속도로 주행한다.
- 버스의 차로변경각도는 일정하다.
- 주변교차로의 영향이 없는 독립적인 교차로이며 차량도착은 포아송분포를 따른다.

간격수락 모형은 교통류가 연속적인 시간구간 B ($g - t_0$)에 적용 가능하며, 이러한 신호시간 동안에 버스가 정류장을 떠나 교차로에서 좌회전하기 위해서



<그림 6> 유입부 좌회전 버스의 진행경로

는 인접차로 교통류의 차두간격 중 임계수락간격 τ 보다 큰 간격을 기다려 차로변경을 해야 한다. 그 후 버스는 좌회전 가능 차로까지 도달하기 위해 <그림 6> 처럼 수차례에 걸쳐 직진진행과 차로변경을 반복하게 된다. 직진진행의 길이(D_{m1})는 인접차로의 교통량과 속도 등에 따라 변하며, 차로변경거리(D_{m2})는 버스의 진행각도와 차로폭의 함수가 된다.

(1) 간격수락 주행거리(D_{m1})

주도로의 교통량이 q 인 포아송분포로 도착하는 교통류를 횡단하기 위해 정지상태의 부도로 차량은 주도로의 차두간격 중 임계수락간격 τ 가 나타날 때까지 기다려야 한다. 이러한 횡단교통이 기다려야 하는 평균시간 \bar{t}_w 는 식(2)와 같다.⁴⁾

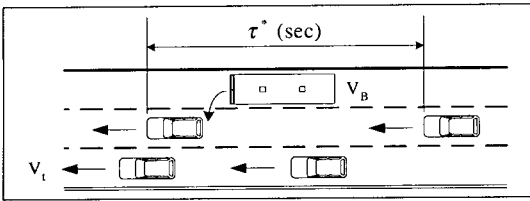
$$\bar{t}_w = \frac{\int_0^\tau tqe^{-qt} \cdot dt}{\int_\tau^\infty qe^{-qt} \cdot dt} = \frac{1}{qe^{-q\tau}} - \left(\frac{1}{q} + \tau\right) \quad (2)$$

이와 비슷하게, 차로변경을 하고자 하는 차량은 임계수락간격보다 큰 인접차량의 차두간격을 이용하여 차로변경을 할 수 있다. 하지만 본 연구의 경우는 버스가 일정속도를 갖고 있어서 상대적 임계수락간격이 변하고 차로변경의 기회와 차로변경 전 대기시간 또한 달라진다.

이동하고자 하는 인접차로 차량의 주행속도를 V_T 라 하고 시간간격 τ 인 두 차량간의 차두거리를 l_r 라 하면 식은 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\bar{t}_w = \frac{1}{qe^{-q(l_r/V_T)}} - \left(\frac{1}{q} + \frac{l_r}{V_T}\right) \quad (3)$$

여기서 \bar{t}_w 는 임계수락간격이 나타나기를 기다렸다가 차로변경을 하는 버스들의 평균 대기시간이며, 이



(그림 7) 주행중인 버스의 임계수락간격

때의 버스는 정지한 상태로 가정한 것이다.

버스가 차로 변경의 기회를 탐색하면서 서행하는 속도 V_B 를 갖게 되면 상대속도는 작아지고 버스를 기준으로 하는 인접차량의 상대적인 차두시간은 커지게 된다. 따라서 임계수락 시간 τ 가 생기기 위한 거리 l_τ 는 작아진다.

이 때의 차두거리를 l_τ^* 라 하면 이동중인 버스가 차로 변경을 하기 위해 대기해야 하는 평균시간($\overline{t_{B,w}}$)은,

$$\overline{t_{B,w}} = \frac{1}{q e^{-q(l_\tau^*/V_T)}} - \left(\frac{1}{q} + \frac{l_\tau^*}{V_T} \right) \quad (4)$$

여기서, q 는 차로의 교통량이며 τ 시간동안의 버스 이동거리를 l_B 라 하면,

$$l_\tau^* = l_\tau - l_B = (V_T - V_B)\tau \quad (5)$$

따라서, 버스의 평균 대기시간은,

$$\overline{t_{B,w}} = \frac{1}{q e^{-q\tau}} - \left(\frac{1}{q} + \tau \right) \quad (6)$$

$$\tau^* = \frac{V_T - V_B}{V_T} \tau \quad (7)$$

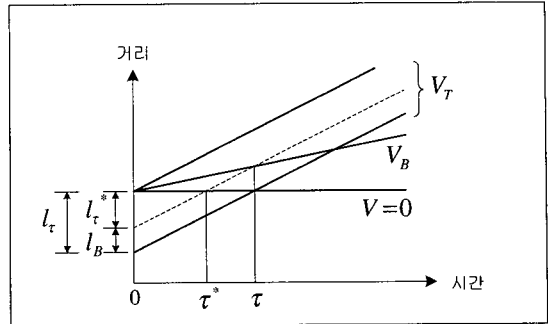
이 때의 버스 주행거리

$$D_{n1} = V_B \times \overline{t_{w,B}} \quad (8)$$

(2) 차로변경거리 (D_{n2})

버스가 차로변경을 시작하여 그 행위를 완료하는데 필요한 차로 길이는 식(9)와 같다.

$$D_{n2} = \frac{W}{\tan \theta} \quad (9)$$



(그림 8) 상대속도를 고려한 임계수락간격

여기서, W : 차로폭(m)

θ : 버스의 차로변경 각도

(3) 간격수락모형을 적용한 유입부 버스정류장 최소 이격거리 (L_{n2})

간격수락모형을 적용한 유입부 버스정류장의 이격거리는 버스가 좌회전 가능 차로에 진입하기 위해 필요한 차로변경횟수가 n 일 때, 교차로에서부터 버스정류장까지의 최소 이격거리는 식(10)과 같다.

$$L_{n2} = \sum_{i=1}^n (D_{n1,i} + D_{n2,i}) \quad (10)$$

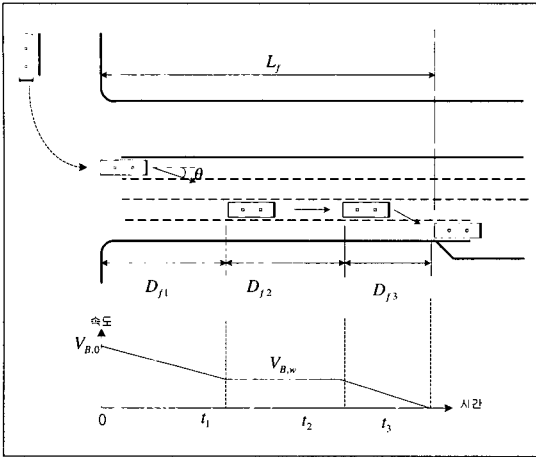
4) 유입부의 최소 이격거리 결정 (L_n)

유입부의 최소 이격거리는 신호교차로 특성에 따라 대기행렬 유무별로 산정한 이격거리를 상호 비교하여 최대값을 선택한다. 교통량이 많을 경우에는 상대적으로 L_{n1} 이 커지고, 차로수가 많을 경우에는 L_{n2} 가 커지게 된다.

$$L_n = \text{Max}(L_{n1}, L_{n2}) \quad (11)$$

2. 유출부의 최소 이격거리 결정 (L_f)

유출부에 위치한 버스정류장에는 교차로를 통과하는 버스가 감속을 하여 정차하게 된다. (그림 9)에서 교차로를 좌회전하여 통과한 버스는 버스정류장에 도달하기 위해 다른 버스보다 차로변경을 많이 해야 하며 대향접근로에서 우회전하여 진입하는 차량들의 흐름과 엇갈림을 실시해야 버스정류장에 도달할 수 있다. 따라서 유출부 버스정류장과 교차로와의 간격은



〈그림 9〉 유출부 좌회전 버스의 정차

이러한 좌회전버스의 주행특성을 고려한 거리 이상이 되어야 한다.

버스가 좌회전하여 정류장까지 도달하는 과정을 다음과 같이 시간대별로 묘사할 수 있다.

- $0 < t < t_1$: 버스가 좌회전 후 θ 의 각도와 a 의 감속도로 진행하여 속도 $V_{B,w}$ 를 갖게 되고 정류장으로 부터 두번째 차로까지 도달.
- $t_1 < t < t_2$: 버스가 $V_{B,w}$ 의 등속도로 진행하면서 임계수락간격을 찾는 데 걸리는 평균대기시간.
- $t_2 < t < t_3$: 버스가 간격수락을 하여 차로변경을 시작한 후 버스정류장까지 도달하고 그 속도가 '0'이 되는 데 걸리는 시간.

단, 버스의 진행각도, 감속도, 간격수락 대기시 버스의 속도는 일정하다고 가정한다.

1) D_{f1} 의 계산

일반적인 신호현시를 고려해 볼 때, 버스가 좌회전하여 진입하는 접근로로 동시에 진입가능한 차량은 대향차로에서 우회전하는 차량들 뿐이다. 이 우회전 차량이 버스정류장을 통과할 때까지 최의측차로만을 이용한다고 가정하면 버스는 그러한 우회전 차량들이 진행하는 차로의 바로 좌측차로까지는 방해없이 차로변경을 할 수 있다. 이 때 필요한 차로 길이는 다음의 두 경우를 고려하여 그 중 긴 값을 사용해야 한다.

- 경우 1 : 버스가 속도 $V_{B,w}$ 에 도달하기 전에 차로변경을 완료한다.
- 경우 2 : 버스가 차로변경을 완료하기 전에 속도 $V_{B,w}$ 에 도달한다.

따라서, 이 때 필요한 길이는

$$D_{f1} = \max\left(\frac{nW}{\tan \theta}, \frac{V_{B,w}^2 - V_{B,0}^2}{2a}\right) \quad (12)$$

여기서,

- $V_{B,0}$: 버스의 좌회전 후 초기속도
- n : 버스의 차로변경 횟수
- W : 차로폭

2) D_{f2} 의 계산

버스가 임계수락간격을 발견하여 차로변경을 시작하기까지 주행하는 거리는 유입부의 간격수락거리와 동일한 방법으로 계산된다.

$$\overline{t_{B,2}} = \frac{1}{q_R e^{-q_R \tau^*}} - \left(\frac{1}{q_R} + \tau^*\right) \quad (13)$$

$$\tau^* = \frac{V_R - V_B}{V_R} \tau$$

$$D_{f2} = V_{B,w} \times \overline{t_{B,2}}$$

3) D_{f3} 의 계산

버스의 속도가 $V_{B,w}$ 에서 감속도 a 로 진행하여 나중 속도가 '0'이 되는데 필요한 거리와 θ 의 각도로 차로 변경하는 데 필요한 거리를 비교하여 큰 값을 사용한다.

$$D_{f3} = \max\left(\frac{W}{\tan \theta}, \frac{V_{B,w}^2}{2a}\right) \quad (14)$$

4) 유출부의 버스정류장 최소 이격거리

앞서 계산된 D_{f1} , D_{f2} , D_{f3} 를 합산하여 교차로 유출부의 버스정류장이 필요로 하는 교차로 이격거리 L_f 를 구한다.

$$L_f = D_{f1} + D_{f2} + D_{f3} \quad (15)$$

IV. 모의실험에 의한 모형의 비교 검증

1. 모의실험에 의한 모형 결과 분석

1) 모의실험 환경설정

모형식의 적용을 위해 몇 가지 교통조건들의 일정한 값으로 설정하고 교통량, 버스의 속도, 버스의 차로변경, 진행각도 등 중요한 변수들은 여러 가지 값의 변수로 설정하여 모의실험을 실시하였다.

〈표 3〉 모의실험을 위한 설정 환경

입력변수	설정값					
차로폭 (W)	3.5m					
대기행렬차두거리 (l _c)	5m					
임계수락간격 (τ)	3초					
버스의 감속도 (a)	3m/s ²					
신호시간 (r, g)	r=90 초, g=30 초					
진행률 (s)	1.800(대/시/차로)					
차로이용계수 (f _{LU})	0.95					
접근로 차로수	3 차로					
차량평균주행속도 (V _T , V _R , V _{B,0})	60m/s					
버스의 속도 (V _B , m/s ²)	20	30	40			
차로당 교통량 (q, 대/시/차로)	100	200	300	400		
버스의 차로변경각도 (θ, °)	5	10	15	20	25	30

2) 모의실험결과

설정값들을 앞서 제시한 이격거리 산정식을 통하여 계산한 후 그 결과를 〈표 4〉, 〈표 5〉, 〈표 6〉에 나타내었다.

(1) 유입부 이격거리

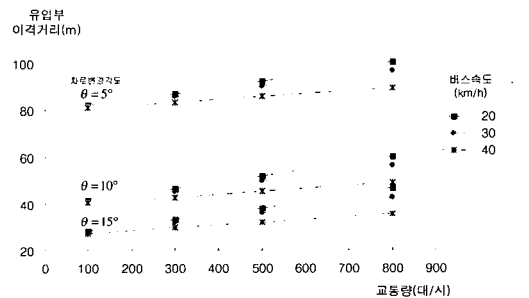
대기행렬모형을 이용한 유입부 버스정류장 이격거리는 주요변수인 교통량에 따라 이격거리가 큰 폭으로 변화하는 것을 알 수 있다.

〈표 4〉 유입부 이격거리(대기행렬모형, L_m)

교통량(대/시/차로)	L _m (m)
100	13.9
200	29.5
300	47.3
400	67.5

〈표 5〉 유입부 이격거리(간격수락모형, L_{st})

V _B (km/h)	q (대/시/차로)	버스의 차로변경각도에 따른 이격거리(m)					
		5°	10°	15°	20°	25°	30°
20	100	82.3	42.0	28.4	21.5	17.3	14.4
	200	84.6	44.3	30.7	23.8	19.6	16.7
	300	87.1	46.8	33.2	26.3	22.1	19.2
	400	89.6	49.3	35.7	28.8	24.6	21.7
30	100	81.9	41.6	28.0	21.1	16.9	14.0
	200	83.9	43.6	30.0	23.1	18.9	16.0
	300	85.9	45.6	32.0	25.1	20.9	18.0
	400	87.9	47.6	34.1	27.2	22.9	20.1
40	100	81.1	40.8	27.2	20.4	16.1	13.2
	200	82.3	42.0	28.4	21.5	17.3	14.4
	300	83.4	43.1	29.6	22.7	18.4	15.6
	400	84.6	44.3	30.7	23.8	19.6	16.7



〈그림 10〉 간격수락모형에 의한 유입부 이격거리

간격수락모형을 이용한 유입부 버스정류장 이격거리로써 버스속도, 교통량, 버스 차로변경각도에 대한 변화값을 산정하였으며 특히 결과값에 가장 많은 영향을 주는 요소는 버스의 차로 변경 각도이다. 즉 차로변경각도가 커질수록 이격거리가 짧아지며 교통량에는 비례하는 것으로 나타났다.

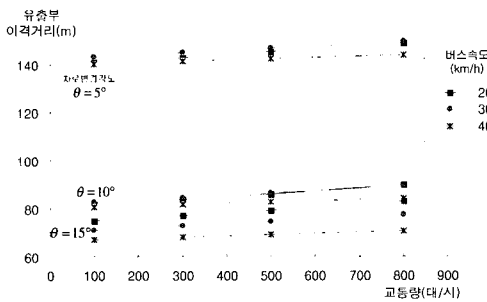
(2) 유출부 이격거리

유출부 버스정류장 모의실험결과 주요변수인 차로변경각도와 교통량에 비례하는 것으로 나타났다.

유출부 이격거리 산정결과 버스의 차로변경 각도별로 그룹을 이루며 버스속도 20km/h가 다른 속도들에 비해 교통량이 증가함에 따라 기울기가 급격하게 나타났으며 각도가 커질수록 이격거리가 길게 산정되었다.

〈표 6〉 유출부 이격거리(L_f)

V_B (km/h)	q (대/시/차로)	버스의 차로변경각도에 따른 이격거리(m)					
		5°	10°	15°	20°	25°	30°
20	100	121.1	62.1	55.3	51.9	49.8	48.3
	200	122.3	63.3	56.5	53.1	51.0	49.5
	300	123.5	64.5	57.7	54.3	52.2	50.7
	400	124.8	65.8	59.0	55.6	53.5	52.0
30	100	121.0	60.5	48.7	47.2	47.2	47.2
	200	121.9	61.5	49.7	48.2	48.2	48.2
	300	122.9	62.5	50.7	49.2	49.2	49.2
	400	124.0	63.5	51.8	50.3	50.3	50.3
40	100	120.6	60.8	47.3	46.9	46.9	46.9
	200	121.1	61.4	47.8	47.4	47.4	47.4
	300	121.7	62.0	48.4	48.0	48.0	48.0
	400	122.3	62.6	49.0	48.6	48.6	48.6



〈그림 11〉 유출부 이격거리

이상과 같이, 버스정류장 위치 선정시 유출입부 이격거리가 확보되어야 하며 교통량이 많거나 교차로 간격이 짧아 이격거리가 충분히 확보되지 않는 구간에는 좌회전 버스정류장 설치를 가급적 배제하는 것이 교통류 소통에 유리할 것으로 판단된다.

2. 기존 모형과의 비교 분석

이격거리 추정결과의 평가를 위한 목적으로 기존 규정한 엇갈림길이와 모의실험 결과를 비교 검토하였다. 적용모형식은 연속류의 도로용량 평가식으로 다소 한정된 자료를 바탕으로 만들어져 연구범위인 신호교차로의 교통상황과 다소 상이하다. 하지만 신호교차로 녹색시간 중 대기행렬이 없는 시간은 연속류의 상태로 볼 수 있어 상호 비교하였다.

연속류의 도로에서 엇갈림길이를 구하기 위해 식은 식(16)과 같다.²⁾

$$L_w = \left[0.128 \left(1 + \frac{V_w}{V_w + V_{nw}} \right)^2 \left(\frac{V}{N} \right)^{1.18} \frac{(S_w - 30)}{(S_D - S_w)} \right]^{1.2} \quad (16)$$

여기서,

L_w : 최소 엇갈림 길이(m)

V_w : 엇갈림교통량(대/시)

V_{nw} : 비엇갈림교통량(대/시)

V : 엇갈림구간 전체 교통량(대/시)

S_w : 엇갈림차량의 평균속도(km/h)

S_D : 설계속도(km/h)

N : 차로수

기본적인 환경을 〈표 7〉과 같이 설정하여 모의실험을 실시한 후 연구모형과 기존모형을 비교하였다. 유입부 버스정류장의 경우 본 연구의 결과는 교통량에 따라 변화폭이 작은 반면 엇갈림길이에 의한 결과값은 교통량에 보다 민감하였으며, 본 연구의 결과가 기존 엇갈림길이에 의한 이격거리보다 길게 산정되었다. 유출부 이격거리의 엇갈림길이에 의한 산정값은 20m 미만으로 대체적으로 짧게 산출되었으나 본 연구에서 제시한 진행상황별 주행특성을 고려한 이격거리는 전체적으로 그보다 큰 값을 보였다.

〈표 7〉 기존 모형과의 비교를 위한 환경 설정

입력변수	설정값
버스의 차로변경 각도(θ)	15°
차로수(N)	3차로
설계속도(S_D)	60m/s ²
엇갈림 교통량(V_w)	40pcu
버스의 주행속도(S_w)	40m/s ²
비엇갈림 교통량(대/시/차선)	100 200 300 400

〈표 8〉 엇갈림 길이(L_w)와 유입부 이격거리(L_n)와의 비교

교통량(대/시/차로)	본 연구에서 제시한 이격거리, L_n (m)	기존 기준으로 계산된 이격거리, L_w (m)
100	27.2	12.8
200	29.5	21.8
300	47.3	30.9
400	67.5	39.9

〈표 9〉 잇갈림 길이(L_w)와 유출부 이격거리(L_f)와의 비교

교통량 (대/시/차로)	본 연구에서 제시한 이격거리, $L_f(m)$	기존 기준으로 계산된 이격거리, $L_w(m)$
100	47.3	6.7
200	47.8	9.7
300	48.4	12.8
400	49.0	15.8

V. 결론 및 향후 연구과제

버스정류장 설치기준에 사용되고 있는 “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙”의 잇갈림 길이에 관한 규정은 연속류에 적용하기 위한 모형이며 신호교차로 적용에서도 실제의 교통운행특성을 고려치 못한 모형을 적용함에 따라 신호교차로에 인접하여 설치되는 버스정류장 이격거리의 정확한 산정이 어려운 실정이었다. 특히 좌회전버스의 차로변경 행태에 따른 적용 모형이 없어 이에 대한 고려가 필요하였다.

따라서 본 연구에서는 좌회전 버스가 존재하는 신호교차로를 대상으로 버스운행특성을 반영한 모형을 개발하는 것을 연구목적으로 하였으며, 연구수행 내용을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 유입부 버스정류장 이격거리는 신호교차로의 신호 상황과 교통류 특성을 감안하여 대기행렬모형과 간격수락모형을 기반으로 모형식을 산정·제시하였다. 대기행렬모형식은 차로이용계수를 고려하여 산정하였으며 간격수락모형식은 차로변경각도, 속도 등을 고려하여 단계별로 산출하였다.
- 2) 유출부 버스정류장 이격거리는 진행차로별 주행특성을 3단계로 분류하여 각 모형식을 제시하였으며 3단계 결과 값의 합으로 이격거리를 산출토록 하였다.
- 3) 개발된 모형식을 모의실험하여 비교·평가하기 위해 일반적인 신호교차로 상황을 가정하여 변수값으로 설정하였다. 또한 이론식 산정결과와 잇갈림 길이에 의해 제시된 기존 규칙을 상호 비교 검토하여 이론식의 타당성을 검증하였다.
- 4) 개발 모형식과 기존 모형식(잇갈림길이)을 비교·평가한 결과 대체적으로 개발 모형식이 길게 산정되었다.

그러나 연구를 수행하면서 몇 가지 한계점이 발견되었으며, 이러한 한계점 및 향후 연구과제는 다음과 같다.

우선 버스의 차로 변경에 있어서 운전자의 행태를

고려하지 못하였다. 본 연구에서는 버스 차로 변경시 차로 변경 각도 및 속도 변화 등에 대하여 기본 가정을 제시하였으나 실제로 차로 변경 각도의 경우 운전자 및 도로·교통상황에 따라 변하므로 일정 값을 적용하기에는 무리가 있어 향후 심도 있는 연구를 통해 추가적인 운전자 행태를 고려한 모형의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

또한 가정을 통하여 교차로의 용량이 초과되거나 신호가 연동되는 교차로 상황을 배제하였기 때문에 이러한 경우에 적용이 제한적이다. 그리고 좌회전 버스 자체의 운행패턴에 초점을 둔 나머지 좌회전 버스의 교통량의 증가에 따른 버스 상호간의 영향이 고려되지 못하였다.

이러한 문제점을 보완하고 현실과 좀더 유사한 모형식 산정을 위하여 버스의 교통특성이 포함된 교차로의 차량도착에 관한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부(2001), “도로의 구조 시설 기준에 관한 규칙”.
2. 건설교통부(1992), “도로용량편람 연구조사(제2, 3단계) 제3단계 최종보고서”.
3. 노만영(1990), “버스정차가 교차로에 교통용량 감소에 미치는 영향 연구”, 서울대학교 환경대학원 공학석사학위논문.
4. 도철웅(2000), “교통공학원론(상)”, 박영사.
5. Fitzpatrick, K., Hall, K., Perkinson, K., Nowlin L., and Koppa Y. (1996), “Guidelines for the Location and Design of Bus Stops, National Cooperative Highway Research Program Report 19”, National Research Council, Wshington, D.C.
6. Transportation Research Board(2000), “Highway Capacity Manual”.

✉ 주 작 성 자 : 하태준

✉ 논문투고일 : 2002. 1. 18

논문심사일 : 2002. 3. 13 (1차)

2002. 4. 1 (2차)

2002. 8. 1 (3차)

2002. 8. 2 (4차)

심사판정일 : 2002. 8. 2

✉ 반론접수기간 : 2002. 12. 31