

교통안전을 고려한 신호교차로 버스정류장 설치방법에 관한 연구

A Method for Locating Bus Stops Considering Traffic Safety at Signalized Intersections

이정환* · 권성대** · 박제진*** · 하태준****

Lee, Jung-Hwan · Kwon, Sung-Dae · Park, Je-Jin · Ha, Tae-Jun

Abstract

Currently, the only established criteria is on the location of bus stops on principal roads where uninterrupted flow mainly occurs. There are no clear guidelines on any method to locating bus stops considering the characteristics of bus operation and pedestrians. If the location or exterior of a bus stop is inappropriate, road users including bus drivers and pedestrians will be caused serious dangerous and inconvenience. In this study, the research below was performed in order to propose rational criteria for the location of bus stops integrated with or separated from speed-change lanes at signalized intersections considering smooth traffic flow and the characteristics of bus operation and pedestrians as well as traffic safety : First, the appropriate length of each of the near-side and far-side bus stops was calculated by categorizing bus stops to be constructed into those integrated with speed-change lanes and those separated from speed-change lanes. Secondly, the appropriate length of each of the bus stops divided into near-side bus stops and far-side bus stops and integrated with or separated from speed-change lanes was selected by considering the characteristics of pedestrians. Thirdly, whether the construction locations of bus stops were appropriate or not was determined based on the appropriate length of bus stops integrated with or separated from speed-change lanes, which was calculated and selected by considering traffic flow and the characteristics of pedestrians and considering traffic safety. The method for locating bus stops considering traffic flow, the characteristics of pedestrians, and traffic safety will be able to help suggestion criteria of bus stop and the location of safe and pleasant bus stops.

Keywords : bus stop, signalized intersection, queue length, gap acceptance, weaving, traffic safety

요 지

현재 버스정류장 설치기준은 연속류가 주를 이루는 간선도로에 대한 기준만 제시되어 있는 실정으로, 버스운행 특성과 보행자 특성을 고려한 버스정류장의 설치방법에 관한 명확한 기준이 전무하다. 특히, 버스정류장의 위치나 형태가 부적절하게 설치·운영될 경우, 버스운전자를 포함한 도로이용자는 물론 보행자에게도 큰 위험과 불편을 초래하게 된다. 이에 본 연구는 원활한 교통소통과 더불어 버스운행 특성과 보행자 특성, 그리고 교통안전을 고려한 신호교차로 버스정류장의 합리적인 설치방법을 제시하였다. 첫째, 버스정류장의 위치에 따라 유입부와 유출부로 구분하고, 버스정류장의 적정길이는 변속차로가 통합/분리된 형태에 따라 교통소통을 고려하여 산정하였다. 둘째, 다양한 유형의 버스정류장 적정길이는 보행자 특성을 고려하여 적정형태를 선택하였다. 셋째, 교통소통과 보행자 특성을 고려하여 산정된 버스정류장 길이에 대하여 교통안전을 고려하여 버스정류장 설치위치의 적정성 여부를 판단하였다. 본 연구에서 제시한 교통소통, 보행자 특성, 교통안전 등을 종합적으로 고려한 버스정류장 설치방법은 버스정류장 설치기준 제시 및 안전하고 쾌적한 버스정류장 조성에 이바지 할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 버스정류장, 신호교차로, 대기행렬, 간격수락, 엇갈림, 교통안전

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 지속가능한 저탄소 녹색성장의 정부 정책기조에 발맞춰 친환경 버스, 교통약자를 위한 저상형 버스가 운행 중에 있다. 또한, 운행 중인 버스의 실시간 위치나 운행상태 정보를 수집·가공·분석하여 승객, 운전자, 버스회사, 지방자치

단체에 유익한 정보를 제공하는 버스정보시스템(BIS : Bus Information System)이 도입되어 버스 이용 효율성은 보다 증대되고 있는 추세이다. 이와 더불어 버스의 원활하고 안전한 운행을 위해 교통운영적 측면은 물론 교통안전적 측면에서도 버스정류장의 설치 적정성을 판단할 수 있는 기준 및 설치방법이 수립된다면, 교통운영적 측면인 버스정시성 개선, 버스대기시간 감소효과는 물론 교통안전적 측면의 버스관련 교

*정회원 · 광주광역시 교통정책연구소 연구원 · 공학박사 (E-mail : spiceljh@korea.kr)

**전남대학교 토목공학과 · 박사수료 (E-mail : rnjs0124@nate.com)

***정회원 · 교신저자 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (E-mail : jjpark@ex.co.kr)

****정회원 · 전남대학교 토목공학과 교수 (E-mail : tjha@jnu.ac.kr)

통상층 및 교통사고도 저감되어질 수 있을 것으로 판단된다.

특히, 버스정류장의 위치나 형태가 부적절하게 설치·운영 되어질 경우, 버스운전자를 포함한 도로이용자는 물론 보행자에게도 큰 불편을 초래하게 된다. 현재 버스정류장 설치기준은 연속류가 주를 이루는 간선도로에 대한 기준만 제시되어 있는 실정으로, 도시의 교통여건에서 버스운행 특성과 보행자 특성을 고려한 버스정류장 설치방법에 관한 명확한 기준이 없는 것이 현실이다.

따라서, 변속차로와 통합 또는 분리되어 설치된 버스정류장에 대하여 교통소통 및 보행자 특성, 교통안전을 동시에 고려함으로써 안전하고 효율적인 교통처리가 가능한 새로운 버스정류장 설치방법의 정립이 필요하다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 교통소통 및 보행자 특성, 교통안전을 종합적으로 고려한 변속차로와 통합 또는 분리된 버스정류장의 설치방법을 제시함으로써 보다 안전하고 효율적으로 운영되는 신호교차로 버스정류장의 최적 설치방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

연구의 주요 수행내용은 다음과 같다. 첫째, 버스정류장에 대한 기존 문헌과 현행 기준들을 검토한다. 둘째, 신호교차로의 버스정류장 위치에 따라 유입부와 유출부로 구분한다. 셋째, 유입부와 유출부로 구분된 버스정류장은 변속차로와 통합 또는 분리된 형태로 재구분하여 각각의 버스정류장 적정길이를 산정한다. 넷째, 유입부와 유출부의 변속차로와 통합 또는 분리된 형태의 버스정류장은 보행자 특성을 고려하여 통합 또는 분리여부를 결정한다. 마지막으로 유입부와 유출부 버스정류장에 대해 교통안전을 고려한 설치적정성 여부를 판단한다.

1.3 연구의 범위

본 연구의 시간적 범위는 연구수행 기간인 2008~2009년이며, 공간적 범위는 버스정류장과 변속차로가 설치된 도시부 신호교차로를 대상으로 하였다.

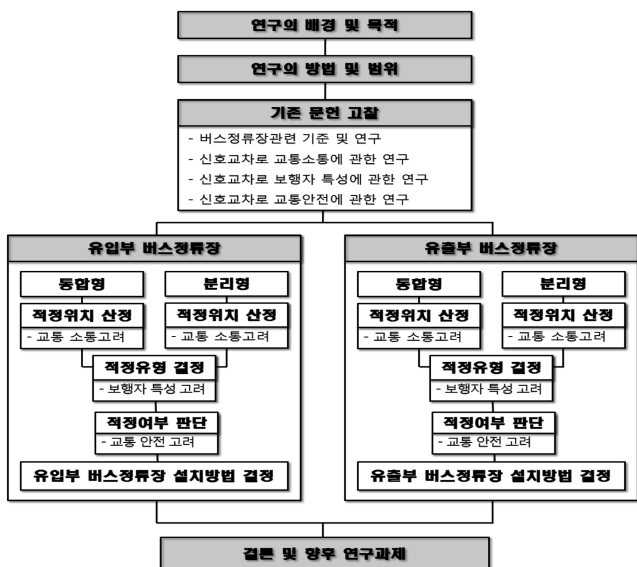


그림 1. 연구수행 흐름도

2. 기존 연구문헌 고찰

2.1 현행기준 검토

2.1.1 버스정류장 설치기준

“도로의 구조·시설기준에 관한 규칙”에서는 일반도로에 설치하는 버스정류장의 구조 및 설계제원을 표 1과 같이 제시하고 있다. 일반도로 도시지역 교차로 부근에 버스정류장을 설치할 경우에는 설계속도별로 필요 엇갈림길이 이상 떨어진 위치에 설치하도록 규정하고 있다.

2.1.2 버스정류장 설치유형

버스정류장은 그 설치위치에 따라 교차로 통과 전의 유입부 정류장, 교차로 통과 후의 유출부 정류장, 교차로와 교차로의 중간에 위치하는 블록중간 정류장 등으로 그림 2와 같이 분류된다.

2.2 버스정류장에 관한 연구

2.2.1 버스정류장 위치 및 용량산정에 관한 연구

2.2.1.1 노만영(1990)

교통용량 감소를 계량화할 수 있는 평가기준을 설정하여, 버스정류장의 위치와 버스 혼입률의 변화에 따른 교통용량 변화를 정량적으로 파악하고, 버스정류장의 적정위치 및 버스 혼입률을 접근방향별로 제시하였다. 또한 용량분석은 유입부와 유출부 정류장으로 분류하여 산정함으로써 기존의 US-HCM 모형에서 나타나는 근사치의 값을 현실화하였다.

2.2.1.2 장경환(1991)

버스 정차로 인한 교통축의 교통소통 능력의 감소량이 정류장의 위치에 따라 어떻게 변하는지 현장조사와 컴퓨터 모의실험을 통해 설명하고, 교통용량 감소량을 계량화할 수 있는 평가기준을 설정하였다. 또한, 버스정류장의 위치와 버스 혼입률의 변화에 따른 교통축의 교통용량 변화를 정량적으로 계산하여 버스정류장의 적정위치를 제시하였다.

표 1. 버스정류장의 제원(일반도로)

설계속도 (km/hr)	지방지역				도시지역		
	80	60	50	40	60	50	40
감속차로길이(m)	35(95)	25	20	20	20	15	12
버스정차로길이(m)	15	15	15	15	15	15	15
가속차로길이(m)	40(140)	30	25	25	25	20	13
버스정류장길이(m)	90(250)	70	60	60	60	50	40
엇갈림길이(m)	80	50	40	30	50	40	30

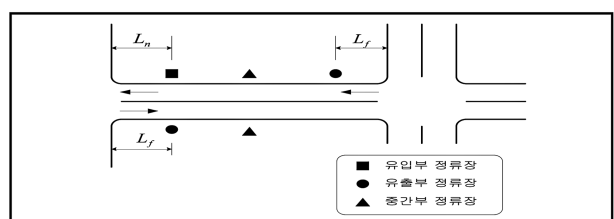


그림 2. 버스정류장의 위치별 분류

2.2.1.3 하태준(2002)

버스 운행특성을 고려한 버스정류장의 최적 위치 및 교차로와의 최소간격에 관한 기준마련의 첫 단계로 신호교차로와 버스정류장간의 거리가 적정치 이하가 되지 않도록 하는 최소 이격거리 산정식을 제시하였다.

2.3 보행자 추정에 관한 연구

2.3.1 보행자도로 보행수요 추정에 관한 연구

2.3.1.1 Jahanbalhsh Behnam and Bharat G. Patel(1977)

Milwaukee의 CBD(Central Business District)에서 평일 06:00~18:00 시간대 보도 보행량과 토지이용특성을 조사하여 보도 보행량 예측모형을 개발하였다.

2.3.1.2 이영인(1986)

서울시 상업지역인 명동을 대상으로 각 시설에서의 면적이나 점포를 기준으로 다중회귀모형을 이용하여 보행발생량을 예측하였다. 또한, 보행 통행량 배분을 위해 중력모형을 이용하여 보행발생량 예측모형을 제시하였다.

2.3.1.3 이재춘(1994)

서울시 주거지역인 강남, 송파 아파트단지의 보행추정모형을 다중회귀분석을 통해 정립하였다.

2.3.2 횡단보도 보행량 예측에 관한 연구

2.3.2.1 Davis et al.(1988)

1986년 7월에 Washington D.C의 신호 또는 무신호교차로 8곳과 단일로(Mid-block) 6곳에서 07:00~19:00 시간대 5분 간격으로 횡단보도 보행량을 조사하였다. 조사된 자료를 정리한 후 통계적 처리를 통해 시간당 횡단보도 보행량을 예측하는 모형을 제시하였다.

2.3.2.2 하태준(2003)

신호교차로 주변의 토지이용특성과 횡단보도 보행량을 조사하여 횡단보도 보행유출입량 추정모형을 구축하였다. 추정된 횡단보도 보행유출입량을 중력모형의 마찰계수와 구역간 조정계수, 그리고 대각횡단 보행비율을 적용하여 횡단보도 보행경로별로 보행량을 분포시킴으로써 목표년도(보행자사고 발생 시점 또는 장애)의 횡단보도 보행량 추정방법을 제시하였다.

2.4 교통안전에 관한 연구

2.4.1 교통사고 확률모형에 관한 연구

2.4.1.1 TRB Special Report 214(1987)

도로변침범사고 예측모델의 기본구조 연간 도로변사고 예측건수, 도로변 침범 후 위험내재지역으로 들어갈 확률, 위험내재지역으로 들어간 후 충돌확률, 충돌 후 충돌심각성이 사고라 판단될 수 있는 확률을 곱하여 제시하였다.

2.4.1.2 Mak(1986)

Mak은 실제 교통사고 자료를 바탕으로 침범각과 침범속도에 대해 일변량 분포로써 여러 가지 이론적 분포 중에서 Gamma 분포가 가장 적합하다고 판단하여, Gamma 분포에 대한 일반식을 제시하였다.

2.4.1.3 박제진(2003)

지방부 2차로 도로의 직선부에 대한 중앙선침범사고 예측모델을 개발하였고, 그 연장선에서 지방부 2차로 및 4차로 도로의 직선부, 곡선부에 대한 중앙선침범사고 예측모델의 개발을 통해 중앙선침범사고에 대한 사회적 비용을 산정하였다.

2.5 선행연구의 시사점

선행연구 검토 결과, 버스소통이나 보행자 특성, 버스정류장과 변속차로의 통합 및 분리에 관한 종합적인 연구는 수행되어진 적이 없는 것으로 확인되었다. 특히, 버스정류장 적정위치 산정에 있어서 교통안전 측면을 고려한 연구는 전무하다. 따라서 교통소통 및 보행자 특성, 교통안전을 동시에 고려한 신호교차로 변속차로에 통합 또는 분리되어 설치된 버스정류장 위치 및 형태에 대한 연구가 절실히 요구되며, 본 연구를 통해 안전하고 합리적인 버스정류장 설치기준 수립이 가능할 것으로 판단된다.

3. 유입부 버스정류장 적정위치 및 형태 결정

3.1 방법론

본 장에서는 유입부 버스정류장의 적정위치 및 형태를 결정하게 된다. 이를 위해 교통소통, 보행자 특성, 교통안전 등을 종합적으로 고려하고, 기본가정을 수립한다. 기본가정을 토대로 연구의

- ① 가정 1: 도시부 도로를 대상으로 한다.
- ② 가정 2: 버스를 제외한 모든 차종은 승용차로 구성된다.
- ③ 가정 3: 버스 이외의 차량은 차로변경을 하지 않는다.
- ④ 가정 4: 도착교통량은 용량을 초과하지 않는다.
- ⑤ 가정 5: 교차로 간격은 충분히 이격되어 있다.
- ⑥ 가정 6: 좌회전차로 및 유턴구간은 고려치 않는다.

이상의 가정을 토대로 연구의 방법론은 그림 3과 같이 제

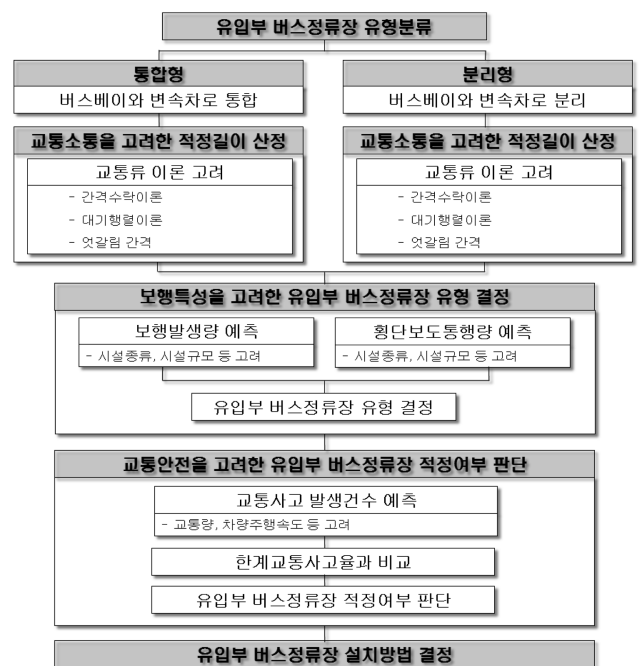


그림 3. 연구의 방법론(유입부)

시하였다.

그림 3과 같이 본 연구는 다음과 같은 순서로 진행된다. 첫째, 신호교차로에서 버스정류장의 위치에 따라 유입부와 유출부로 구분한다. 둘째, 본 장에서는 유입부를 대상으로 하며, 유입부 버스정류장은 변속차로의 형태에 따라 통합형과 분리형으로 분류하고, 유형별로 교통소통을 고려한 적정길이를 각각 산정한다. 셋째, 산정된 버스정류장의 적정길이는 보행자 특성을 고려하여 통합형과 분리형 중 적정유형을 결정하게 된다. 넷째, 결정된 유입부 버스정류장은 교통안전을 고려하여 적정성 여부를 최종 결정한다.

3.2 교통소통을 고려한 유입부 버스정류장 위치 산정

교통소통을 고려한 유입부 버스정류장의 위치는 유입부 형태를 버스정류장과 변속차로의 통합형과 분리형으로 구분하여 적정위치를 산정한다(그림 4).

3.2.1 유입부 통합형 버스정류장 위치 산정

유입부 통합형 버스정류장 위치산정에 있어 교통여건과 버스의 운행행태를 고려하여 산정하게 되고, 이를 2가지 유형([Case1], [Case2])으로 구분한다. [Case 1]은 버스정류장 정차 후 직진 또는 우회전을 실시하는 경우이며, [Case 2]는 정차 후 좌회전을 실시하는 경우이다.

3.2.1.1 유입부 통합형 버스정류장 위치 [Case 1]

버스가 정류장에서 승객을 승·하차 후 출발 시 본선의 차량이 감속차로에 진입하려 할 경우에 엇갈림이 발생하게 된다. 따라서 최적거리는 버스정류장 및 감속차로의 각 제원과 엇갈림 길이의 합으로 이루어진 모형으로 나타낼 수 있으며 식 (1)과 같이 표현된다.

$$L_n(a_1) = B_L + W_L + D_L \quad (1)$$

B_L : 버스정류장 길이(m)

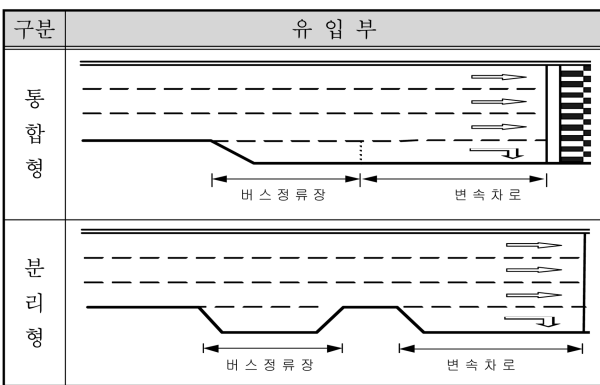


그림 4. 신호교차로 유입부 버스정류장 유형별 분류

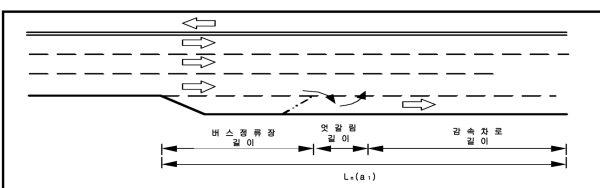


그림 5. 유입부 통합형 버스정류장 위치 [Case 1]

W_L : 엇갈림 길이(km/hr)

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

D_L : 감속차로 길이(km/hr)

V_w : 엇갈림교통량(대/hr)

V_{nw} : 비엇갈림교통량(대/hr)

V : 엇갈림구간 전체 교통량(대/hr)

S_w : 엇갈림차량의 평균속도(km/hr)

S_D : 설계속도(km/hr)

N : 엇갈림 차로수

3.2.1.2 유입부 통합형 버스정류장 위치 [Case 2]

유입부 통합형 버스정류장 위치 [Case 2]는 버스가 정차 후 차로변경하여 좌회전차로에 진입하는 경우이다. 그림 6과 같이, 버스가 정류장에서 정차 후 출발할 때 버스와 본선에서 우회전 하려는 차량 간에 엇갈림이 발생하게 된다. 또한, 버스가 좌회전을 실시할 경우, 본선에 진입하여 인접 차로의 임계수락 간격보다 큰 차두간격을 이용하여 차로변경 후 좌회전 차로까지 도달하게 된다. 그리고 좌회전 대기행렬이 존재하는 차량군의 후미에 멈춰 서게 된다. 따라서 엇갈림, 간격수락, 대기행렬 등을 고려하여 나타낼 수 있다.

식 (2)는 그림 6과 같이 버스정류장 길이, 엇갈림 길이, 간격수락 길이, 대기행렬 길이 등을 고려한 유입부 통합형 버스정류장 위치 [Case 2]의 모형식이다.

$$L_n(a_2) = B_L + W_L + GA_{1L} + QU_L \quad (2)$$

B_L : 버스정류장 길이(m)

GA_{1L} : 유입부 간격수락 길이(m)

$$GA_{1L} = D_{f1} + D_{f2} + D_{f3}$$

D_{f1} : $\max[nW/\tan\theta, (V_{B,w}^2 - V_{B,0}^2)/2a]$

$V_{B,0}$: 버스의 초기속도

n : 버스의 차로변경 횟수

W : 차로폭

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

$$\overline{t_{B,w}} = [1/(q_R e^{-q_R \tau^*})] - [\tau^*/(1 - e^{-q_R \tau^*})]$$

$$\tau^* = [(V_R - V_B)/V_T] \cdot \tau$$

D_{f3} : $\max(W/\tan\theta, V_{B,w}^2/2a)$

W_L : 엇갈림 길이(m)

QU_L : 대기행렬 길이(m)

$$L_{n1} = l_c \times q_j \times (r_j + t_{0,j}) \times \frac{1}{N_j} \times \frac{1}{f_{LUj}}$$

$t_{0,j}$: $[q_j r_j / (s_j - g_j)] \times 1/N_j$

$l_{Q,max}$: 교차로에서 대기행렬 마지막 차량까지의 거리

l_c : 차량길이 + 차간간격

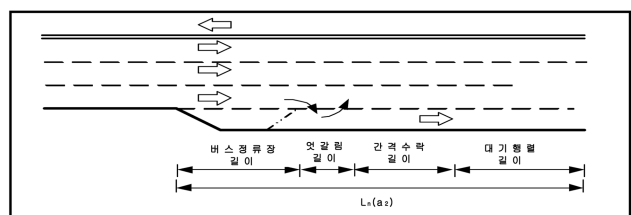


그림 6. 유입부 통합형 버스정류장 위치 [Case 2]

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} : 차로이용계수

3.2.1.3 유입부 통합형 버스정류장 위치 산정

유입부 통합형 버스정류장 위치 산정을 위해 도로와 교통 운영 특성을 고려하여 모형을 도출한다. 버스정류장 제원, 대기행렬 이론, 간격수락 이론 등을 적용하여 적정길이를 산정하고, 각 경우를 상호 비교하여 보다 더 큰 값을 나타내는 모형식을 선택하도록 한다. 또한, 해당 모형식은 엇갈림 길이보다 길게 나타나므로 규정에도 적합하다 할 수 있다. 유입부 통합형 버스정류장 위치 산정방법은 표 2와 같다.

3.2.2 유입부 분리형 버스정류장 위치 산정

3.2.2.1 유입부 분리형 버스정류장 위치 [Case 1]

버스와 변속차로가 분리된 경우도 2가지 경우로 나뉘어서 적정위치를 산정한다. [Case 1]의 경우, 유입부 통합형과 같이 버스가 정차 후 직진 또는 우회전을 실시하는 경우이다. 즉, 그림 7과 같이 버스정류장에서 출발한 버스가 본선 재진입 시 본선에서 우회전 하려는 차량과 엇갈림이 발생하게 되고, 버스는 다시 변속차로로 진입 후, 우회전을 하게 되는 경우이다.

식 (3)은 유입부 분리형 버스정류장 위치 [Case 1]의 모형식으로, 버스정류장 길이, 엇갈림 길이, 감속차로 길이 등을 고려하여 나타낸 것이다.

$$L_n(b_1) = B_L + W_L + D_L \quad (3)$$

B_L : 버스정류장 길이(m)

표 2. 유입부 통합형 버스정류장 위치 산정 결과

구분	고려된 변수	모형식
[Case 1]	버스정류장 길이 엇갈림 길이 감속차로 길이	$L_n(a_1) = B_L + W_L + D_L$
[Case 2]	버스정류장 길이 엇갈림 길이 간격수락 길이 대기행렬 길이	$L_n(a_2) = B_L + W_L + GA_{1L} + QU_L$
최종산정	두 경우를 고려한 모형식	$L_n(a) = \text{Max}(L_n(a_1), L_n(a_2))$
변수 설명	B_L : 버스정류장 길이(m) GA_{1L} : 유입부 간격수락 길이(m) W_L : 엇갈림 길이(m) QU_L : 대기행렬 길이(m) D_L : 감속차로 길이(m)	

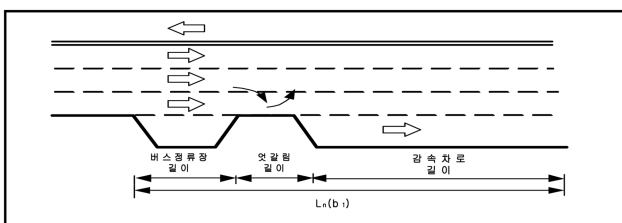


그림 7. 유입부 분리형 버스정류장 위치 [Caes 1]

W_L : 엇갈림 길이(m)
 D_L : 감속차로 길이(m)

3.2.2.2 유입부 분리형 버스정류장 위치 [Case 2]

유입부 분리형 버스정류장 위치 [Case 2]는 버스가 정차 후 좌회전을 실시하는 경우이다. 그림 8과 같이 버스가 정류장에서 본선으로 진입할 때 본선의 차량과 엇갈림이 발생한다. 그 후, 인접차로의 임계수락을 통하여 차로변경을 하게 되며, 대기행렬 길이 안까지 차로변경을 완료하게 된다. 최적거리 산정은 버스정류장 길이, 간격수락 길이, 엇갈림 길이, 간격수락 길이, 대기행렬 길이의 합으로 이루어진 모형이며, 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_n(b_2) = B_L + GA_{1L} + W_L + GA_{1L} + QU \quad (4)$$

B_L : 버스정류장 길이(m)

GA_{1L} : 유입부 간격수락길이(m)

W_L : 엇갈림 길이(m)

QU_L : 대기행렬 길이(m)

3.2.2.3 유입부 분리형 버스정류장 위치 산정

유입부 분리형 버스정류장 위치 산정 역시 상기 제시한 유입부 혼합형과 동일하게 표 3과 같이 상호 비교하여 최대 값을 나타내는 모형식의 값을 선택하게 된다. 또한 해당 모형식은 엇갈림 길이보다 길다고 볼 수 있으므로 규정에도 적합하다고 할 수 있다.

3.3 보행자 특성을 고려한 유입부 버스정류장 유형 결정

본 절에서는 통합형과 분리형, 두 유형으로 분류되어 산정

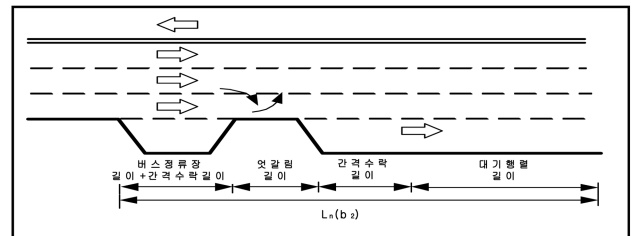


그림 8. 유입부 분리형 버스정류장 위치 [Case 2]

표 3. 유입부 분리형 버스정류장 위치 산정 결과

구분	고려된 변수	모형식
[Case 1]	버스정류장 길이 엇갈림 길이 감속차로 길이	$L_n(b_1) = B_L + W_L + D_L$
[Case 2]	버스정류장 길이 간격수락 길이 엇갈림 길이 대기행렬 길이	$L_n(b_2) = B_L + GA_{1L} + W_L + GA_{1L} + QU$
최종산정	두 경우를 고려한 모형식	$L_n(b) = \text{Max}(L_n(b_1), L_n(b_2))$
변수 설명	B_L : 버스정류장 길이(m) W_L : 엇갈림 길이(m) D_L : 감속차로 길이(m) B_L : 버스정류장 길이(m) GA_{1L} : 유입부 간격수락길이(m) W_L : 엇갈림 길이(m) QU_L : 대기행렬 길이(m)	

된 유입부 버스정류장에 보행자 특성을 고려하여 유형을 결정하게 된다. 이를 위해 다음의 가정을 설정하였다.

- ① 가정 1 : 보행발생량과 버스이용자의 비율은 비례한다.
- ② 가정 2 : 시설물 종류에 관계없이 보행자 수에 따른 버스이용자 비율은 일정하다.
- ③ 가정 3 : 버스이용에 따른 환승 등은 고려하지 않는다.
- ④ 가정 4 : 교통약자, 보행안전 등은 고려하지 않는다.

유입부에 설치된 버스정류장의 유형 결정은 보행자 특성, 횡단보도 통행량을 고려하여 통합형과 분리형 중 적절한 형태를 선택해야 한다. 이 때, 통합형은 상대적으로 교차로와 인접하고, 분리형은 교차로와 이격된 형태이다. 즉, 교차로에서 이격된 가로구간의 보행발생량이 상대적으로 높을 경우, 통합형에 비해 교차로에서 이격되어 있는 분리형으로 결정한다. 그러나 교차로 횡단보도 보행량이 높을 경우, 교차로와 인접한 통합형으로 결정하게 된다.

3.3.1 보행발생량 예측

가로구간의 보행발생량을 예측하는데 있어서 상업지역과 주거지역을 분류하여 예측하게 한다. 예측모형은 상업지역의 경우 이영인(1986)이 개발한 모형을 활용하고, 주거지역의 경우 이재춘(1994)의 모형을 활용하였다.

3.3.2 횡단보도 보행량 예측

횡단보도의 보행량을 예측하기 위해 하태준(2003)이 개발한 모형을 활용하였으며, 주거지역, 상업지역 등 다양한 용도를 고려한 개별모형을 활용하였다.

3.3.3 유입부 버스정류장 유형 결정

가로구간과 횡단보도 보행량을 예측하여 보행량이 상대적으로 많이 발생하는 위치와 인접한 버스정류장의 형태로 결정한다. 이상과 같이 버스정류장 유형결정을 위한 과정을 표 4와 같이 나타내었다.

3.4 교통안전을 고려한 유입부 버스정류장 적정성 여부 판단

유입부 버스정류장은 교통안전을 고려하여 적정성 여부를 판단하게 된다. 유입부 버스정류장에서 정차한 버스는 버스정류장을 떠난 후 교차로에서 좌회전, 직진 또는 우회전을 실시하게 된다. 이 때 버스가 정류장에서 교차로로 이동 시 버스의 교통사고 발생확률이 가장 높은 경우는 좌회전을 실시하는 경우라고 할 수 있다. 다른 경우에 비해 차로변경횟수가 많아 주변 진행차량과의 상충이 높고, 사고로 이어질 확률이 가장 높기 때문이다. 따라서 본 절에서는 버스가 유입부 버스정류장에서 정차 후 좌회전을 실시하기 위해 교차로로 접근하면서 차로변경 시 발생하는 교통사고 예측모형을 제시한다. 그리고 해당 모형을 통해 제시된 교통사고는

표 4. 유입부 버스정류장 유형 결정

구 분	내 용	
STEP 1 : 가로구간 보행량 예측	상업지역(백화점) : $P_0 = 130,956 + 0.78864V_1 - 0.1396V_4 - 199.43V_5$ 상업지역(사무실) : $P_0 = -1,525 + 1.3739V_6 + 0.0644V_1$ 상업지역(판매시설) : $P_0 = 836 + 1.52V_1 + 19.2513V_3 + 0.04V_4$ 상업지역(호텔) : $P_0 = 4,379 + 0.044V_1$ 주거지역 : $Y = -13.692415 + 0.002787X_1 + 44.95214X_2 + 12.169267X_3 + 45.186592X_4 + 33.734831X_5$	
	<ul style="list-style-type: none"> · P_0 : 이용인수(인) · V_1 : 연상면적(m^2) · V_2 : 단위면적당 매출액(원/평) · V_3 : 점포수(개소) · V_4 : 평당 매출액(원/평) · V_5 : 대중교통시설까지의 시간거리(초) · V_6 : 상근자수(인) 	<ul style="list-style-type: none"> · Y : 침두시 10분간 보행량 · X_1 : 단지 내 인구 · X_2 : 학교진입구의 유무 · X_3 : 단지출입구의 개소 · X_4 : 버스정류장의 유무 · X_5 : 지하철역 출입구의 유무
STEP 2 : 횡단보도 보행량 예측	<ul style="list-style-type: none"> ■ 상업구역 : $Y_A = 14.547 + 6.985 \times 10^{-3}X_9 + 55.728X_{15} + 0.154X_1$ $Y_P = -11.969 + 7.707 \times 10^{-3}X_9 + 62.435X_{15} + 0.178X_1 + 1.534 \times 10^{-2}X_5$ ■ 주거구역 : $Y_A = -87.335 + 67.373X_{15} - 0.479X_{16} + 0.444X_{10} + 1.201 \times 10^{-2}X_3 + 6.492 \times 10^{-2}X_1$ $+ 2.998 \times 10^{-2}X_4$ $Y_P = -37.841 + 58.443X_{15} + 1.426 \times 10^{-2}X_3 + 5.943 \times 10^{-2}X_1 + 0.209X_{10}$ ■ 혼합구역 : $Y_A = 123.886 + 0.477X_{10} + 4.48 \times 10^{-3}X_9 - 1.1 \times 10^{-2}X_7$ $Y_P = 230.654 + 0.275X_{10} - 8.6 \times 10^{-3}X_6 - 1.2 \times 10^{-2}X_7 + 4.8 \times 10^{-2}X_5$ 	
	<ul style="list-style-type: none"> · Y_P : 보행유출량 · Y_A : 보행유입량 · X_1 : 가구수 · X_2 : 병상수 · X_3 : 학생수 · X_4 : 좌석수 · X_5 : 운동시설 연상면적(m^2) · X_6 : 일반업무시설 연상면적(m^2) · X_7 : 공공업무시설 연상면적(m^2) · X_8 : 숙박시설 객실수 	<ul style="list-style-type: none"> · X_9 : 판매시설 연상면적(m^2) · X_{10} : 판매시설 점포수 · X_{11} : 주유소 주유기수 · X_{12} : 공장 연상면적(m^2) · X_{13} : 기차 평균1일수송량(명/일) · X_{14} : 버스 평균1일수송량(명/일) · X_{15} : 버스정류장 수 · X_{16} : 주차장 주차면수 · X_{17} : 관광휴게시설 연상면적(m^2) · X_{18} : 전시시설 연상면적(m^2)
STEP 3 : 버스정류장 유형 선택	$P_0 \geq Y_P + Y_A$	분리형 정류장 선택 ※ 주요시설물이 통합형에 인접한 경우 통합형 선택
	$P_0 < Y_P + Y_A$	통합형 정류장 선택

한계교통사고율과 비교하여 한계교통사고율에 비하여 높을 경우 교통사고의 위험이 높음에 따라 버스정류장이 부적절하다고 판단한다.

3.4.1 유입부 버스 교통사고 예측

3.4.1.1 교통사고 예측모형

버스의 교통사고예측모형 구축을 위해 차량제원, 운전자의 주행행태, 도로조건 등을 고려하여 기본가정을 수립하였다.

- ① 가정 1: 버스의 길이와 폭 : 13×2.5m, 차로폭 : 3.5m
- ② 가정 2: 버스와 주변 진행차량을 포함한 모든 주행차량은 등속 주행한다.
- ③ 가정 3: 버스는 차로변경시 주행한다.
- ④ 가정 4: 버스는 차로변경시 후 일체의 제어를 하지 않는다.
- ⑤ 가정 5: 버스를 제외한 모든 차량은 해당 차로의 중앙으로 주행한다.
- ⑥ 가정 6: 주변 진행차량은 버스의 차로변경에 대해 일체의 제어를 하지 않는다.
- ⑦ 가정 7: 차량의 진행 및 차두간격분포는 음지수분포를 이룬다.

차량 사이의 시간간격을 다루는 유용한 분포로 알려진 음지수분포를 차두간격분포로 가정하였으며, 그림 9는 도로의 차로폭과 차량의 제원(길이 폭)에 대한 가정을 도시화한 것이다.

3.4.1.2 예측모형 기본구조

버스의 교통사고 예측모형의 기본구조는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 차로를 변경하여 진행하는 버스와 주행차로 차량과의 충돌확률과 차로수의 곱으로 이루어진다.

식 (6)은 버스가 마지막 차로에서 1차로(중앙선에 가까운 차로)를 향해 이동하는 것을 기준으로 하였다.

$$Ex(A_e) = N \cdot P(A_{s(1)} | E_{s(1)}) \quad (6)$$

$Ex(A_e)$: 연간 버스사고 예측건수

$s(1)$: 주행 1차로 (Subjective Lane (1))

N : 차로 수

$P(A_{s(1)} | E_{s(1)})$: 주행차로 침범 후 주행차로 차량과의 충돌확률

3.4.1.3 버스와 주행차로 차량의 충돌확률

버스와 주행차로 차량의 충돌확률은 간격수락 이론을 적용

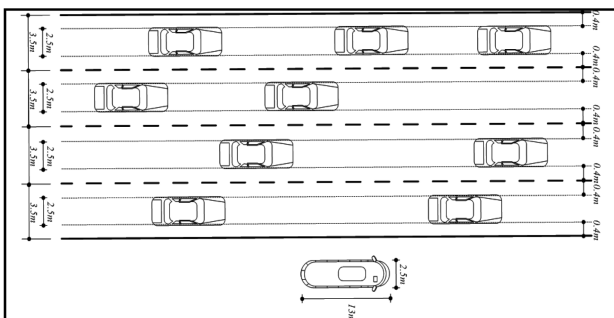


그림 9. 차로폭과 차량제원에 대한 가정

함은 물론 버스의 침범각과 침범속도 등을 고려하여 나타내었다. 버스와 주행차로 차량과의 충돌확률을 구하기 위해서는 주행차로 교통류를 적절한 차두간격 분포함수로 가정하고, 버스가 주행차로 차량과 충돌하는 범위 및 주행차로 차량 사이를 통과하는 범위 사이의 임계시간을 계산하여야 한다. 임계시간이 계산되면 임계시간보다 작은 차두간격을 가진 차량은 충돌하게 되고, 임계시간보다 큰 차두간격을 가진 차량은 충돌없이 통과하게 된다.

① 주행차로 차량의 차두간격분포

일반적으로 교통공학에서 임의 도착하는 차량 사이의 간격과 같은 연속변수를 설명하는데 유용한 분포식은 음지수분포로 알려져 있다. 간격수락이론을 설명하는 데도 음지수분포를 사용하고 있어 본 연구에서도 음지수 분포를 사용하여 주행차로 차량과의 충돌에 적용하였다. 주행차로 차량의 도착간격을 나타낼 음지수분포의 일반식은 식 (7)과 같다.

$$f(t_{s(1)}) = \lambda_{s(1)} \cdot \exp(-\lambda_{s(1)} \cdot t_{s(1)}) \quad (7)$$

$\lambda_{s(1)}$: 주행 1차로 평균 차량도착률

$$\lambda_{s(1)} = N/T$$

$$= r_{ts(1)} \cdot ADT$$

$$= r_{ts(1)} \cdot ADT \cdot (1/(24 \times 60 \times 60))$$

$$= (r_{ts(1)} \cdot ADT)/(86,400) \text{ (대/sec)}$$

$t_{s(1)}$: 시간간격

N : 도착 차량대수

T : 조사시간

ADT : 일평균교통량(Average Daily Traffic) (대/일)

$r_{ts(1)}$: 주행차로 차량비율(Traffic Ratio of Subjective Lane (1))

주행차로 차량의 차두간격분포, 즉 임계시간 $t_{cs(1)}$ 보다 차두간격이 작을 확률은 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$P(h \leq t_{cs(1)}) = 1 - \exp(-\lambda_{s(1)} \cdot t_{cs(1)}) \\ = 1 - \exp\left(-\frac{r_{ts(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot t_{cs(1)}\right) \quad (8)$$

$\lambda_{s(1)}$: 주행차로 평균차량도착률

$r_{ts(1)}$: 주행차로 차량비율

$t_{cs(1)}$: 주행차로 상에서의 임계시간

② 주행 1차로 상의 충돌내재구간 주행거리

주행차로 상의 충돌내재구간 주행거리는 주행차로 주행차

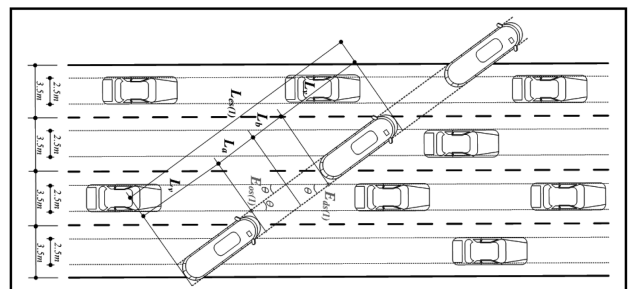


그림 10. 주행차로 상의 충돌내재구간 주행거리(유입부)

량의 폭에 대하여 침범차량의 좌측 앞 범퍼가 주행차로를 진입 후 주행 차로 중앙의 주행차량 쪽으로 진입하는 시점의 침범차량길이를 포함한 것으로부터 침범차량의 우측 뒷 범퍼가 주행차로 차량의 폭을 완전히 통과하는 시점의 침범차량길이를 포함한 거리를 말하고, 단순히 거리만을 구하기 위해 도형의 기하학적 조건을 이용하여 일반 수식을 도출하고자 한다. 그림 10은 버스가 주행차로 침범 후 충돌내재구간을 주행한 거리를 도시화한 것이며, 이를 토대로 주행거리를 산정하면 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{es(1)} = L_a + L_b + 2L_v = \frac{L_w}{\sin\theta} + \frac{L_w}{\tan\theta} + 2L_v = L_w \cdot \cot\frac{\theta}{2} + 2L_v \quad (9)$$

L_v : 차량의 길이(4.7m)

L_w : 차량의 폭(1.7m)

θ : 침범각(5,10,15,20,25,30°)

L_a, L_b : 침범차량 궤적의 $E_{os(1)} \sim E_{ds(1)}$ 구간 통과거리

③ 주행차로 상의 충돌내재구간 주행시간

버스의 주행차로 상에서의 주행시간은 충돌내재구간을 통과하는데 소요되는 시간을 의미한다. 침범차량이 등속으로 주행한다고 가정하였으므로 주행차로 주행시간은 주행거리를 도로조건에 적용할 특정속도로 나누어서 구할 수 있다. 주행차로 주행시간은 식 (10)과 같이 정리된다. 주행시간은 주행차로 상의 차량의 분포에 대하여 충돌여부를 판단하는 임계 시간을 의미하게 된다.

$$t_{s(1)} = t_{cs(1)} = \frac{L_{es(1)}}{V(km/h)} = \frac{3.6L_{es(1)}}{V(m/sec)} = \frac{3.6}{V} (L_w \cdot \cot\frac{\theta}{2} + 2L_v) \quad (sec) \quad (10)$$

$L_{es(1)}$: 주행 1차로 상의 충돌내재구간에서의 주행거리(m)

L_w : 차량의 폭(2.5m)

L_v : 차량의 길이(13m)

θ : 침범각(5,10,15,20,25,30°)

④ 버스와 주행차로 차량의 충돌확률

버스가 주행차로를 넘어 주행할 때 주행차로 차량과 충돌할 것인지 아니면 주행차로 차량 사이를 충돌 없이 통과할 것인지의 여부는 버스에 대한 주행차로 주행시간을 구한 후 주행차로 차량의 차두간격분포와 비교하여 판단할 수 있다. 그러나, 버스가 일정한 각으로 침범하지 않고 다양한 각도로 침범하고 있고, 침범각에 따른 침범빈도가 동일하지 않기 때문에 이에 대한 고려가 이루어져야만 한다.

버스와 주행차로 차량과의 충돌확률은 주행차로 차량의 차두간격분포에서 충돌확률을 구하고, 이 확률값에 침범차량의 각분포에 가중치를 두어 이들에 대한 값을 합산함으로써 식 (8)의 $t_{cs(1)}$ 을 이용하여 식 (11)을 도출할 수 있다.

$$P(A_{s(1)}|E_{s(1)})$$

$$= \sum_{i=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ts(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{3.6}{V} (L_w \cdot \cot\frac{\theta_i}{2} + 2L_v) \right] \right) \cdot p_i \right] \quad (11)$$

$r_{ts(1)}$: 주행차로 차량비율

p_i : 침범확률(0.48,0.20,0.12,0.08,0.05,0.07)

⑤ 예측모델 제시

교통사고의 주요 요소인 교통량과 속도를 토대로 버스의 사고 예측모델은 주행 차로 변경 후 주행차로 진행차량과의 충돌확률로 구성되므로 식 (12)와 같이 정리할 수 있다.

$$Ex(A_e) = N \cdot P(A_{s(1)}|E_{s(1)}) = N \cdot \sum_{i=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ts(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{3.6}{V} (L_w \cdot \cot\frac{\theta_i}{2} + 2L_v) \right] \right) \cdot p_i \right] \quad (12)$$

$Ex(A_e)$: 연간 버스교통사고 예측건수

$P(A_{s(1)}|E_{s(1)})$: 차변경 후 주행차로 진행차량과의 충돌확률

ADT : 일평균교통량(Average Daily Traffic)

$r_{ts(1)}$: 주행 1차로 차량비율

$r_{ts(2)}$: 주행 2차로 차량비율

V : 차량속도(km/h)

L_w : 차량의 폭(2.5m)

L_v : 차량의 길이(13m)

θ_i : 침범각(5,10,15,20,25,30°)

p_i : 침범확률(0.48,0.20,0.12,0.08,0.05,0.07)

N : 차로수

3.4.2 한계교통사고율 예측

상기 내용과 같이 구축된 버스의 교통사고 예측모델을 통한 버스 교통사고건수는 식 (13)과 같이 교통사고율로 환산하여 한계교통사고율과 비교함으로써 버스정류장의 적정성 여부를 판단하게 된다.

$$R_c = R_a + K \sqrt{\frac{R_a}{M}} + \frac{1}{2} \cdot M \quad (13)$$

R_c : 대상지역의 한계 교통사고율

R_a : 유사한 도로에서의 평균 교통사고율

K : 유의수준에 따른 계수

M : 대상지역의 교통사고 노출량

$$= [\text{일평균교통량} \cdot 365 \cdot \text{도로구간길이} \cdot \text{연수}] / 10^6$$

교통사고율이 한계교통사고율보다 높을 경우, 교통사고의 위험이 매우 높다고 판단할 수 있다. 따라서 버스정류장 위치는 교통사고율이 한계교통사고율보다 낮은 경우에 안전측면에서 적절하다고 판단하게 된다.

3.4.3 유입부 버스정류장 적정성 여부 판단

유입부에 설치된 버스정류장에서 정차한 버스는 교차로로

표 5. 유의수준에 따른 확률계수

구분	내용					
R	0.001	0.005	0.0075	0.050	0.075	0.100
K	3.090	2.576	1.960	1.645	1.440	1.282
적용도로	-	주요도로	-	일반도로	-	보조도로

표 6. 유입부 버스정류장 적정성 여부

구분	내용
STEP 1. 버스교통 사고예측	$Ex(A_e) = N \cdot \sum_{i=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ts(i)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{3.6}{V} \left(L_w \cdot \cot \frac{\theta_i}{2} + 2L_v \right) \right) \right] \cdot p_i \right]$
STEP 2. 버스교통 사고율산정	$AR(\text{교통사고율}) = \frac{\text{교통사고건수} \times 1,000,000}{365 \times \text{연수} \times \text{일평균교통량}}$
STEP 3. 한계교통 사고율산정	$R_c = R_a + K \sqrt{\frac{R_a}{M} + \frac{1}{2}} \cdot M$
STEP 4. 버스정류장 적정성 여부판단	$AR \geq R_c \rightarrow$ 버스정류장 부적절 $AR < R_c \rightarrow$ 버스정류장 적절
변수 설명	$Ex(A_e)$: 연간 버스교통사고 예측건수 N : 차로수 $P(A_{s(1)})E_{s(1)}$: 차변경 후 주행차로 진행차량과의 충돌확률 ADT : 일평균교통량(Average Daily Traffic) $r_{ts(1)}$: 주행 1차로 차량비율 $r_{ts(2)}$: 주행 2차로 차량비율 V : 차량속도(km/h) L_w : 차량의 폭(2.5m) L_v : 차량의 길이(13m) θ_i : 침범각(5,10,15,20,25,30°) p_i : 침범확률(0.48,0.20,0.12,0.08,0.05,0.07) R_c : 대상지역의 한계 교통사고율 R_a : 유사한 도로에서의 평균 교통사고율 M : 대상지역의 교통사고 노출량

이동하면서 차로변경을 하게 된다. 이 과정에서 발생할 수 있는 교통사고건수를 예측하고, 예측된 교통사고건수는 교통사고율로 계산되어 한계교통사고율과 비교하게 된다. 버스의 교통사고율이 한계교통사고율과 비교하여 낮은 수치가 나와야 안전에 문제가 없다고 할 수 있으므로 유입부 버스정류장은 적정하다고 판단하게 된다. 이와 같이 교통안전을 고려한 유입부 버스정류장 적정성 여부는 표 6과 같은 단계를 거쳐서 판단하게 된다.

4. 유출부 버스정류장 적정위치 및 형태 결정

본 장에서는 유입부와 마찬가지로 교통소통, 보행자특성, 교통안전 등을 종합적으로 고려하여 유출부 버스정류장의 적정위치 및 형태를 결정하였다. 세부적인 방법론 역시 유입부 버스정류장 적정위치 및 형태 결정 방식과 동일하게 진행하였다.

4.1 교통소통을 고려한 유출부 버스정류장 위치 산정

교통소통을 고려한 유출부 버스정류장 위치는 유입부와 마찬가지로 유출부 형태를 버스정류장과 변속차로의 통합형과 분리형으로 구분하여 적정위치를 산정하였다. 그리고 버스의 진행행태에 따라 2가지 Case로 구분하여 버스정류장 위치를 산정하였다.

4.1.1 유출부 통합형 버스정류장 위치 산정

유출부 통합형 버스정류장 위치 산정에 있어서는 2가지 유형([Case 1], [Case 2])으로 구분한다. [Case 1]은 버스가 버스정류장에 정차 후 직진 또는 우회전을 실시하는 경우이

고, [Case 2]는 정차 후 좌회전을 실시하는 경우이다. 유입부는 버스가 정차 후 가속하여 교차로로 진행되는 형태임에 반해 유출부는 교차로에서 감속하여 정차하는 형태이다.

4.1.1.1 유출부 통합형 버스정류장 위치 [Case 1]

[Case 1]은 버스가 후방 교차로에서 직진 또는 우회전 후 1차로가 아닌 2~3차로 등의 차로로 진입하여 버스정류장에 접근하는 형태로써 차로변경 횡수가 상대적으로 적다. 이와 같은 경우 버스는 가속하여 본선으로 진입하는 차량과 엇갈림이 발생한다. [Case 1]은 버스정류장 및 감속차로의 각 제원과 엇갈림 길이의 합으로 이루어진 모형이다. 또한, 유출부 통합형 버스정류장 위치 [Case 1]의 모형식은 식 (15)와 같다.

$$L_f(a_1) = B_L + D_L + A_L \quad (15)$$

B_L : 버스정류장 길이(m)

W_L : 엇갈림 길이(m)

A_L : 가속차로 길이(m)

4.1.1.2 유출부 통합형 버스정류장 위치 [Case 2]

[Case 2]는 1차로에서 버스정류장으로 접근하는 형태이다. 교차로를 좌회전으로 통과하여 1차로로 진입한 버스는 버스정류장에 도달하기 위해 직진이나 우회전을 하여 교차로를 통과한 다른 차량들 보다 차로변경횡수가 많게 된다.

차로변경을 하던 도중 가속차로에서 본선으로 재진입하는 차량과 엇갈림이 발생하게 되고, 그 후 버스는 정류장에 도달하게 된다. 간격수락 길이, 엇갈림 길이, 버스정류장 길이의 합으로 이루어진 유출부 통합형 버스정류장 위치 [Case 2] 모형은 식 (16)과 같다.

$$L_f(a_2) = GA_{2L} + W_L + B_L \quad (16)$$

W_L : 엇갈림 길이(m)

B_L : 버스정류장 길이(m)

GA_{2L} : 유출부 간격수락길이(m)

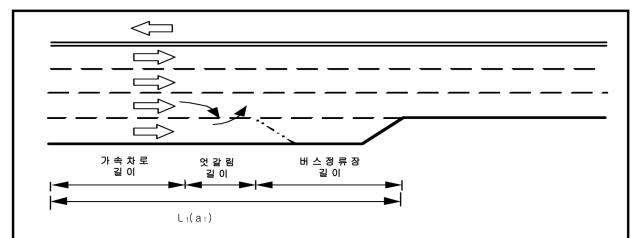


그림 11. 유출부 통합형 버스정류장 위치 [Case 1]

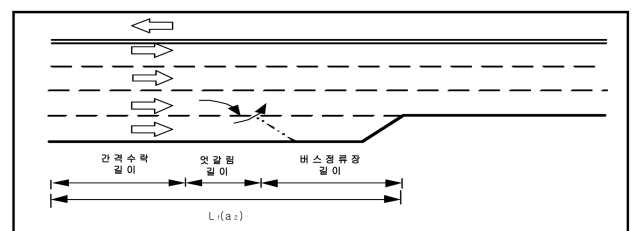


그림 12. 유출부 통합형 버스정류장 위치 [Case 2]

표 7. 유출부 통합형 버스정류장 위치 산정 결과

구분	고려된 변수	모형식
Case 1	버스정류장 길이 엇갈림 길이 가속차로 길이	$L_f(a_1) = B_L + D_L + A_L$
Case 2	간격수락 길이 엇갈림 길이 버스정류장 길이	$L_f(a_2) = GA_{2L} + W_L + B_L$
최종산정	두 경우를 고려한 모형식	$L_f(a) = \text{Max}(L_f(a_1), L_f(a_2))$
변수 설명	B_L : 버스정류장 길이(m) W_L : 엇갈림 길이(m) A_L : 가속차로 길이(m) GA_{2L} : 유출부 간격수락길이(m)	

4.1.1.3 유출부 통합형 버스정류장 위치 산정

유출부 통합형 버스정류장 위치 산정을 위해 도로와 교통 운영 및 특성을 고려한 모형을 도출하였다. 버스정류장 제원, 대기행렬 이론, 간격수락 이론 등을 적용하여 적정길이를 산정하고, 유출부도 유입부와 동일하게 산정된 값을 상호 비교하여 보다 큰 값을 나타내는 모형식을 선택하게 된다. 이를 정리하면 표 7과 같다.

4.1.2 유출부 분리형 버스정류장 위치 산정

4.1.2.1 유출부 분리형 버스정류장 위치 [Case 1]

직진 또는 우회전을 실시한 후 교차로를 통과한 버스는 본선 재진입시 본선의 차량과 엇갈림이 발생하고, 그 후 버스는 버스정류장으로 진입한다. 버스정류장 및 감속차로의 각 제원과 엇갈림 길이의 합으로 이루어진 모형을 그림 13 과 같이 나타내었다. 또한, 유출부 분리형 버스정류장 위치 [Case 1]의 모형은 식 (17)과 같다.

$$L_f(b_1) = A_L + W_L + B_L \quad (17)$$

- B_L : 버스정류장 길이(m)
- W_L : 엇갈림 길이(m)
- A_L : 가속차로 길이(m)

4.1.2.2 유출부 분리형 버스정류장 위치 [Case 2]

교차로 통과 후 1차로에서 버스정류장에 도달하기 위해 진행되는 버스는 직진이나 우회전을 하여 2, 3차로로 진행되는 버스보다 차로변경횟수가 많게 된다. 이에 좌회전하여 버스정류장까지의 임계수락간격과 버스정류장 길이를 고려한 유출부 분리형 버스정류장 위치 [Case 2]의 모형은 식 (18)과 같다.

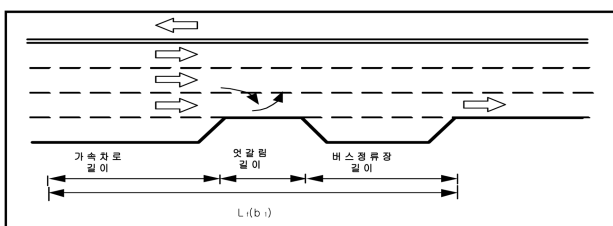


그림 13. 유출부 분리형 버스정류장 위치 [Case 1]

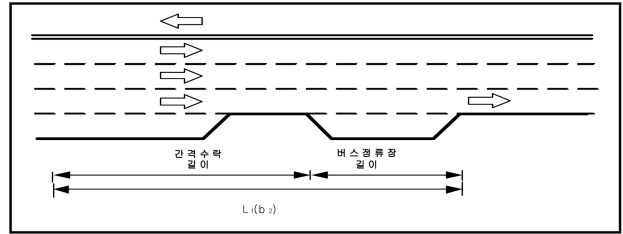


그림 14. 유출부 분리형(Case 2)

$$L_f(b_2) = GA_{2L} + B_L \quad (18)$$

B_L : 버스정류장 길이(m)

GA_{2L} : 유출부 간격수락길이(m)

4.1.2.3 유출부 분리형 버스정류장 위치 산정

유입부 통합형과 동일한 조건하에 모형을 도출하고, 버스정류장 제원, 대기행렬 이론, 간격수락 이론, 엇갈림 길이 등을 적용하여 적정길이를 산정한다. 상호 비교하여 최대값을 나타내는 모형식을 선택하여 유출부 버스정류장 적정길이를 산정한다. 유출부 분리형 산정과정을 표 8과 같이 나타내었다.

4.2 보행자 특성을 고려한 유출부 버스정류장 유형 결정

본 절에서는 유입부와 마찬가지로 [Case 1], [Case 2]의 두 가지 유형으로 분류되어 산정된 유출부 버스정류장 형태 결정시 보행자 특성을 고려하였다.

보행자 특성을 고려한 방법은 유입부와 동일하게 진행한다. 즉, 표 4와 같이 유입부와 동일한 모형식을 이용하여 보행 발생량 예측, 횡단보도통행량 예측 등을 고려한 후 혼합형과 분리형 중 해당위치와 인접한 버스정류장 형태를 선택하도록 한다.

4.3 교통안전을 고려한 유출부 버스정류장 적정성 여부 판단

유입부와 같이 유출부 버스정류장도 교통안전을 고려하여 적정성 여부를 판단하게 된다. 좌회전, 직진, 우회전을 실시하여 교차로를 통과한 버스는 차로변경을 통해 유출부 버스정류장에 진입하게 된다. 이 때 버스가 교차로에서 정류장으로 이동 시 버스의 교통사고 발생확률이 가장 높은 경우는 1차로에서 버스정류장으로 이동하는 경우라고 할 수 있다.

표 8. 유출부 분리형 버스정류장 위치 산정 결과

구분	고려된 변수	모형식
Case 1	가속차로 길이 엇갈림 길이 버스정류장 길이	$L_f(b_1) = A_L + W_L + B_L$
Case 2	간격수락 길이 버스정류장 길이	$L_f(b_2) = GA_{2L} + B_L$
최종산정	두 경우를 고려한 모형식	$L_f(a) = \text{Max}(L_f(a_1), L_f(a_2))$
변수 설명	B_L : 버스정류장 길이(m) W_L : 엇갈림 길이(m) A_L : 가속차로 길이(m) GA_{2L} : 유출부 간격수락길이(m)	

다른 경우에 비해 차로변경횟수가 많아 주변 진행차량과의 상충확률이 가장 높기 때문이다. 유출부에서도 유입부에서 제시한 모형을 활용하여 교통사고를 예측하게 되며, 유입부와 같이 버스정류장 적정성 여부 판단과정은 표 6과 같이 유사한 모형식으로 나타낼 수 있다. 교통안전을 고려한 유출부 버스정류장 적정성 여부 판단과정은 다음과 같다.

첫째, 버스의 교통사고예측모형을 통해 버스교통사고건수를 예측한다.

둘째, 버스교통사고건수는 교통사고율로 산정한다.

셋째, 버스정류장 주변의 한계교통사고율을 산정한다.

넷째, 버스의 교통사고율과 한계교통사고율을 비교하여 적정성 여부를 판단한다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1 결 론

본 연구에서는 신호교차로에서 버스정류장의 위치에 따라 유입부와 유출부로 구분하고, 교통소통을 고려하여 통합형 및 분리형 버스정류장의 적정위치를 산정하였다. 또한 변속차로와 통합 또는 분리되어 설치된 버스정류장에 대하여 보행자 특성과 교통안전 측면을 종합적으로 고려하여 교통처리보다 효율적인 버스정류장 설치방법을 제시하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 설치위치에 따라 유입부와 유출부로 구분된 버스정류장은 변속차로가 통합 또는 분리된 형태로 구분하여 각각의 적정길이를 산정한다. 교통소통을 고려한 적정길이는 대기행렬이론, 엇갈림이론, 간격수라이론 등 교통공학 이론을 활용하여 다양한 설치형태별로 산정한다.

둘째, 유입부와 유출부로 구분하여 변속차로와 통합 또는 분리된 형태의 버스정류장 적정길이는 보행자 특성을 고려하여 적정형태를 선택한다. 여기에서 보행특성은 보행발생량을 산정하여 고려하게 된다. 보행량은 횡단보도 통행량과 가로구간 보행량으로 구분하고, 상업지역과 주거지역으로 구분하여 각각 산정한다. 유입부 통합형과 분리형 중 보행발생량이 높은 구간에 인접한 버스정류장을 선택하게 된다.

셋째, 교통소통과 보행자 특성을 고려하여 산정된 변속차로와 통합 또는 분리된 버스정류장의 길이는 교통안전을 고려하여 적정성 여부를 판단하게 된다. 버스의 교통사고를 예측하기 위하여 버스의 차로변경 시 발생할 수 있는 이론 모형식을 구축하여 교통사고건수를 예측한다. 교통사고건수는 교통사고율로 환산하여 한계교통사고율과 비교함으로써 버스정류장 설치적정성 여부를 판단하게 된다.

본 연구에서 제시한 교통소통, 보행자 특성, 교통안전 등을 종합적으로 고려한 버스정류장 설치방법은 버스정류장 주변의 교통소통 및 보행자 편의, 교통안전을 향상시키는 물론 향후 안전하고 쾌적한 버스정류장의 설치를 기대해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

5.2 향후 연구과제

본 연구는 시간적공간적 한계 등으로 인하여 연구의 범위가 제한된 바, 이를 보완하기 위하여 다음과 같이 향후 연

구내용을 제안하고자 한다.

첫째, 본 연구에서 제시한 버스정류장 설치방법론을 토대로 향후 버스정류장 설치기준 또는 설계기준의 제정립이 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 변속차로와 버스정류장 길이 및 형태, 적정설치여부 판단기준은 이론적(수학적) 방법론으로 정립되어진 결과이다. 따라서 향후 버스정류장 형태 및 형식의 최적화를 위해 버스이용자의 개별행태 및 보행자특성 등을 감안함으로써 보다 합리적이고 현실적인 버스정류장 설치방법론 수립이 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 대중교통 중심의 정부시책으로 인하여 현재의 버스정류장은 지하철과 택시 등과 연계할 수 있는 다양한 형태로 발전하고 있으므로, 버스이용자의 이동동선 및 환승 등 다양한 행태를 고려한 연구가 추가되어야 할 것으로 판단되며, 보행사고와 자전거, 교통약자 등에 관한 사항도 더불어 보완되어야 할 것이다.

넷째, 보행자 행태를 고려함에 있어 보행발생량과 버스이용자가 비례한다고 가정하였으나, 시설물의 위치나 종류, 주변여건 등에 따라 보행발생량이 각기 다를 것이고, 각각의 시설물에서 발생하는 보행자 특성에 따라 버스 이용특성 역시 다르게 나타날 수 있으므로 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

다섯째, 본 연구에서는 버스정류장의 위치를 산정함에 있어서 교차로 간 길이가 충분히 길 것으로 가정하고 연구를 진행하였지만, 실제 도시부 주요도로는 교차로 간격이 짧은 뿐만 아니라 진출입구가 많이 존재한다. 또한, 좌회전차로 및 유턴구간 등도 존재함에 따라 교차로 간격 및 진출입구, 좌회전차로 및 유턴구간 등 현실상의 도로여건도 충분히 고려하여야 할 것으로 판단된다.

마지막으로, 본 연구의 결과에 따라 교통소통 및 안전성, 보행편의 등에 대한 정량적인 효과검토가 미흡한 실정임에 따라 이와 같은 내용이 보완되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2008년 선정 이공분야 하반기 기초연구과제지원사업의 연구비지원(학술진흥재단)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 건설교통부(2008) 도로설계편람.
- 건설교통부(2008) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침.
- 노만영(1990) 버스 정차가 교차로 교통용량 감소에 미치는 영향 연구, 석사학위논문, 서울대학교.
- 도철웅(2002) 교통공학원론(상), 청문각.
- 원제무, 최재성(2000) 교통공학, 박영사.
- 이영인(1986) 보행수요 예측모형의 정립 및 적용에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교.
- 이재춘(1994) 보행량추정모형에 관한 연구, 석사학위논문, 경원대학교.
- 장경환(1991) 간선가로의 버스정류장 위치 선정에 관한 연구, 석사학위논문, 전남대학교.
- 하태준, 박제진, 임혜영(2002) 신호교차로와 버스정류장 이격거리 산정에 관한 연구, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제20권 제

4호, pp. 73~82.

하태준, 김정현, 박제진(2003) 신호교차로 횡단보도 보행량 추정
에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제21권 제3호,
pp. 121~134.

박제진(2003) 비용-효율적인 중앙분리대 설치여부 판단기준 개발
에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제23권 제4D
호, pp. 515~526.

King K. Mak (1986) Real-World Impact Conditions for Run-off-

the-road Accident, TRR 1065, National Research Council.

Designing Safer Roads (1987) Practices for Resurfacing, Restora-
tion, and Rehabilitation, 「TRB Special Report 214」. Trans-
portation Research Board, National Research Council,
Washington, D.C.

(접수일: 2011.4.4/심사일: 2011.4.11/심사완료일: 2011.4.11)