

교통사고 감소를 위한 교차로에서 버스정류장간 적정 이격거리 산정 연구

Study on the Proper Separation Distance from Intersection to Bus Stop for Reducing Traffic Accidents

엄 대 룡* · 채 희 철** · 박 원 일*** · 윤 일 수****

* 주저자 : 도로교통공단 교통운영연구처 선임연구원
 ** 교신저자 : 도로교통공단 경기도지부 과장
 *** 공저자 : 한국운수산업연구원 연구위원
 **** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Daelyoung Eom* · Heechul Chae** · Wonil Park*** · Ilsoo Yun****

* Senior Researcher, Dept. of Transportation Operation, Korea Road Traffic Authority
 ** Traffic Safety Researcher, Dept. of Safety Facilities, Road Traffic Authority
 *** Research Fellow, Korea Research Institute of Transportation Industries
 **** Professor, Dept. of Transportation Eng, Ajou University

† Corresponding author : Heechul Chae, goldenchul@gmail.com

Vol. 21 No.2(2022)
 April, 2022
 pp.01~16

pISSN 1738-0774
 eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.2.1>

Received 6 January 2022
 Revised 27 January 2022
 Accepted 28 February 2022

© 2022. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

도시부 도로에서 버스정류장의 위치는 이용자가 이용하기 편리하고 버스의 정차가 기존 교통류에 주는 영향이 최소화되는 지점에 설치하여야 한다. 하지만 교차로로부터 버스정류장까지의 적정 이격거리에 대한 연구가 미흡하여 여유 공간 확보 등 현장여건에 따라 버스정류장의 위치가 결정되고 있다. 본 연구에서는 버스정류장 부근의 교통 및 기하구조 변수를 활용하여 교통사고 예측모형을 개발하였고, 최적화 기법을 통해 교통사고를 최소화시킬 수 있는 교차로로부터 버스정류장까지의 적정 이격거리를 산정하였다. 연구 결과, 교통량이 1,000대/시에서 3,000대/시 수준에서 주도로 차로수가 2~4차로인 도로구간에서는 버스정류장을 교차로에서 약 87~166m 정도 떨어진 미드-블록(mid-block) 형태로 설치하는 것이 적정하고, 주도로 차로수가 5~6차로인 구간에서는 교차로에서 약 42~97m 정도로 근접하게 설치하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

핵심어 : 버스정류장, 이격거리, 교통사고 예측모형, 최적화기법, 뉴턴-랩슨법

ABSTRACT

The location of the bus stop on urban roads should be installed at a point where it is convenient for users and the impact of bus stops on the traffic flow is minimized. However, the location of the bus stops is determined indiscriminately due to the lack of related research. Therefore, this study developed a traffic accident prediction model and calculated the proper separation distance for the bus stops through an optimization technique. The result of the study indicates that the bus stop can be installed in the form of a mid-block approximately 87 to 166 m away from the intersection in the road section. This result is valid if the number of main road lanes in the road section is 2 to 4 with a level of traffic from 1,000 to 3,000 v/h. In the section with 5 to 6 lanes, it is desirable to install a bus stop close to the intersection by about 42 to 97 m.

Key words : Bus stop, Separation distance, Traffic accident prediction model, Optimization technique, Newton-raphson method

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경

우리나라는 지난 60년 동안 비약적인 경제성장과 더불어 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 회원국으로서 세계적인 경제규모를 자랑하는 나라가 되었지만, 교통안전에 있어서는 아직 후진국 수준에 머무르고 있다고 해도 과언이 아니다. 예를 들어, 도로교통공단의 교통사고 분석시스템(TAAS)에서 집계한 우리나라 보행자 사고는 1,488명(2017~2019년 평균)으로서 전체 교통사고 사망자의 약 40%를 차지하고 있고, 이는 OECD 국가 평균인 20.5% 보다 2배 높은 수치이다. 따라서 우리나라는 특히 보행자 사고를 줄이기 위한 다각적인 노력이 절실한 상황이다.

이러한 시점에서 현 정부는 교통사고 사상자를 줄이는 것을 국정과제 중 하나로 삼아 “안전속도 5030” 정책 수립을 통한 제한속도 하향, 민식이법 통과로 인한 어린이보호구역 처벌 및 단속 강화, 사고 잦은 곳 개선사업 수행, 교통안전기본계획 및 교통안전시행계획 수립, 도로교통안전진단 확대, 교통운영체계 선진화 등 교통사고를 줄이기 위한 다양한 방안을 모색하여 추진해 오고 있다. 하지만, 여전히 궁극적인 목표인 “교통사고 제로화(Vision Zero)”를 달성하기 위해서는 앞으로도 다양한 방면의 연구와 제도적인 보완이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구도 그러한 노력의 일환으로 보행유발시설 중 하나인 버스정류장에서의 교통사고를 줄이기 위한 연구를 수행하게 되었다.

2) 연구의 필요성

교차로가 존재하는 도시부 도로에서 버스정류장의 위치는 이용자가 이용하기 편리하고 버스의 정차가 기존 교통류에 주는 영향이 최소화되는 지점에 설치하여야 한다. 일반적으로 신호교차로 인근의 경우, 이용자 측면에서는 버스정류장이 최대한 신호교차로와 가까이 있는 것이 이용하기 편리하고, 보행자의 무단횡단 등을 방지함으로써 보행자의 안전성에 우위에 있을 것으로 판단된다. 하지만 차량 측면에서는 버스정류장이 신호교차로와 가까이 설치되면 버스의 승·하차를 위한 정차에 의해 기존 교통류에 부정적인 영향을 미칠 수 있고, 교차로 인근에서의 차로 변경에 따른 차량간 상충이 증가하기 때문에 버스정류장은 최대한 교차로에서 멀리 설치하는 것이 차량의 안전성에서는 우위에 있을 것으로 생각된다.

KRITI(Korea Research Institute of Transportation Industries, 2010)에서는 2009년도 버스공제조합에 접수된 사고접수보고서를 기준으로 버스교통사고가 많이 발생한 지점을 분석한 결과, 총 25,341건 중 도로상에서 14,990건(59.2%), 버스정류장에서 5,465건(21.6%), 교차로 부근에서 4,410건(17.4%), 횡단보도 부근에서 476건(1.9%)이 발생한 것으로 집계되었다. 특히 도시부 도로에서 버스정류장이 교차로 인근에 위치하고 있는 특성을 고려할 때 버스교통사고의 약 39%가 교차로 인근 버스정류장에서 발생하고 있는 것으로 판단된다.

하지만 우리나라의 버스정류장 설치기준을 제시하고 있는 『도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙』에서는 교통의 안전성, 이용상의 편리성, 경제성을 충분히 고려하여야 한다는 정성적인 설치기준을 제시하고 있을 뿐, 보행자와 차량의 안전을 고려한 정량적인 설치 기준을 제시하지 못하고 있다. 미국의 TCRP Report 19 『Guidelines for the Location and Design of Bus Stops』(Fitzpatrick et al., 1996)에서도 버스정류장의 위치와 관련하여 버스정류장의 형태, 즉 원측(far-side stop), 근측(near-side stop), 미드-블록(mid-block stop) 형태에 대해서는 언급하고 있지만, 버스정류장의 적정 위치에 대한 정량적인 기준은 제시하지 못하고 있다.

3) 연구의 목적

도시부 도로와 같이 교차로 간격이 짧은 단속류에서는 버스정류장 위치가 교통안전 및 교통운영에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 하지만 아직까지 교차로에서부터 버스정류장까지의 적정 이격거리에 대한 연구가 미흡하여 시공 상의 편의와 현장여건에 따라 버스정류장의 위치가 결정되고 있는 실정이다. 이로 인해 차대차 교통사고 뿐만 아니라 차대보행자 교통사고도 빈번하게 유발되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 교통사고 감소를 위한 교차로로부터 버스정류장까지의 적정 이격거리를 산정하는 것이다. 이를 위해 이번 연구에서는 단속류상 버스정류장 부근에서 발생한 교통사고 자료와 버스정류장 이격거리, 교통량 등의 자료를 수집하여 차대차, 차대보행자 교통사고 예측모형을 개발하고자 한다. 또한 개발된 두 가지 모형을 이용하여 최적화 기법을 통해 전체 교통사고를 최소화할 수 있는 버스정류장 적정 이격거리를 산정하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구의 시간적 범위는 2007년부터 2016년까지 총 10년이며, 공간적 범위는 해당 기간 내 경기도 교통사고 잦은 곳 대상지 약 400개소 중에서 교차로 인근에 버스정류장이 위치한 총 125개 교차로를 대상으로 한다(Road Traffic Authority, 2007~2016). 참고로, 본 연구에서 검토된 125개의 교차로는 모두 도시부 도로 상에 존재한다. 그리고, 본 연구에서 검토된 버스정류장은 가로변 버스정류장을 대상으로 하였다. 내용적 범위는 우선 교차로 인근에 위치한 버스정류장의 이격거리와 교통사고, 교통량, 차로운영, 신호운영 현황 등 도로 및 교통현황 자료를 수집하고, 이를 활용하여 교통사고 예측모형을 개발한 다음, 최적화 기법을 통해 전체 교통사고를 최소화할 수 있는 버스정류장 적정 이격거리를 산정하고자 한다. 연구의 수행절차는 연구 범위설정, 관련 이론 및 선행 연구 고찰, 연구방법론 선정, 자료수집 및 분석, 결론 등이다.

II. 관련 이론 및 선행 연구 고찰

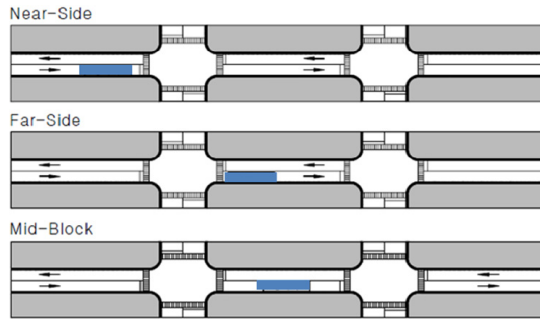
1. 버스정류장 형태

국내·외 버스정류장의 형태는 <Fig. 1>과 같이 먼저 교차로를 지나기 전에 정차하는 근측(near-side) 정류장, 교차로를 지나서 버스가 정차하는 원측(far-side) 정류장 그리고 교차로와 교차로 사이에 정차하는 미드-블록(mid-block) 정류장으로 구분된다(Rui and Seo, 2013). 『Guidelines for the Location and Design of Bus Stops』(Fitzpatrick et al., 1996)와 Seo(2003), Seok(2003)의 연구에서는 버스정류장의 형태에 따른 장·단점을 다양한 측면에서 제시하고 있는데, 이러한 내용을 정리하면 다음 <Table 1>과 같다. 버스정류장의 형태에 있어서는 각각의 장단점이 있기 때문에 각 지점의 교통현황 및 기하구조에 따라 버스정류장 형태를 결정하는 것이 적정하지만, 각 형태에 따라 교차로에서 버스정류장이 어느 위치에 설치되는 것이 적정한지에 대한 정량적 기준은 제시하지 못하고 있다.

2. 버스정류장 위치 관련 연구

버스정류장과 관련한 국외 연구를 살펴보면 다음과 같다. 우선 Jeng and Fallat(2003)은 버스정류장으로 인

해 보행자 사고가 도시부에서는 약 2%, 지방부에서는 약 3% 정도 증가하고, 보행자 측면에서 신호교차로에서 버스정류장과 횡단보도를 최대한 가까이 설치하는 것이 바람직한 반면, 차량운영 측면에서는 안전을 위해 교차로에서 멀리 이격시켜 설치하여야 한다고 주장하였다. Campbell et al.(2003)은 미국과 캐나다 등 몇 개 나라에서의 교통사고 분석 결과, 약 73% 정도의 보행자 상충이 버스정류장과 관련하여 발생하였다고 제시하면서 버스정류장은 보행자의 편의성과 안전성을 위한 위치에 설치하여야 한다고 주장하였다. Ibeas et al.(2010)와 Gleason(1975)은 버스노선과 교통 흐름상의 혼잡을 고려한 버스정류장 적정 위치에 관한 연구를 제시한 바 있다. Furth and San(2006)는 버스정류장의 교차로 전·후 설치에 따라 차량지체도가 약간 감소하고 증가하는 연구 결과를 제시하였다. Chien and Qin(2004)은 버스노선 및 위치와 관련하여 버스의 접근성 향상을 위한 수리적인 모델을 제시하였다.



Source: Rui and Seo(2013)

<Fig. 1> Bus Stop Types

<Table 1> Comparative Analysis of Bus Stop Locations

Type	Advantages	Disadvantages
Far Side Stop	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Minimize conflicts between right turning vehicles and buses ◦ Minimize sight distance problems on approaches to intersection ◦ Encourage pedestrians to cross behind the bus ◦ Creates shorter deceleration distances for buses since the bus can use the intersection to decelerate 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ May result in the intersections being blocked during peak periods by stopping buses ◦ May obscure sight distance for crossing vehicles ◦ May increase sight distance for crossing pedestrians ◦ May increase number of rear end accidents since drivers do not expect buses to stop again after stopping at a red light ◦ Could result in traffic queued into intersection when a bus is stopped in travel lane
Near Side Stop	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Minimizes interferences when traffic is heavy on the far side of the intersection ◦ Allows passengers to access buses closest to crosswalk ◦ Results in the width of the intersection being available for the driver to pull away from curb ◦ Eliminates the potential of double stopping ◦ Allows passengers to board and alight while the bus is stopped at a red light ◦ Provides driver with the opportunity to look for oncoming traffic, including other buses with potential passengers 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Increases conflicts with right-turning vehicles ◦ May result in stopped buses obscuring curbside traffic control devices and crossing pedestrians ◦ May cause sight distance to be obscured for cross vehicles stopped to the right of the bus ◦ May block the through lane during peak period with queuing buses ◦ Increase sight distance problems for crossing pedestrians
Mid Block Stop	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Minimize sight distance problems for vehicles and pedestrians ◦ May result in passengers waiting areas experiencing less pedestrian congestion 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Requires additional distance for no parking restrictions ◦ Encourages patrons to cross street at mid-block (Jaywalking) ◦ Increases walking distance for patrons crossing at intersections

버스정류장과 관련한 국내 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. Noh(1990)는 버스정류장의 위치와 버스 혼입률의 변화에 따른 교통용량 변화를 정량적으로 파악한 결과, 교통용량 감소를 최소화하기 위한 버스정류장의 적정 위치는 교차로에서 70~90m라는 연구 결과를 제시하였다. Jang(1991)은 버스정류장 위치에 따라 교통축의 소통 능력이 어떻게 변하는지 현장조사와 시뮬레이션을 통해 설명하고, 버스 정류장의 위치와 버스 혼입률에 따라 도로의 용량변화를 정량적으로 계산하여 버스정류장의 위치를 제시하였다. Jeong(2008)은 변속차로에 버스정류장이 통합형태와 분리형태로 설치되어 있을 때, 차량들의 흐름을 파악하고 버스정류장 및 변속차로의 효율적인 적정길이 및 형태를 선정하여 버스 정류장을 일관성 있게 설치하는 방법에 대한 연구 결과를 제시하였다. 마지막으로 Ha et al.(2002)는 여러가지 변수가 고려된 신호교차로와 버스정류장의 최소 이격거리 산정식을 개발하여 「도로의 구조·시설에 관한 규칙」에서의 엇갈림길이와의 비교를 실시한 연구 결과를 제시하였는데, 교통량별로 약 30m에서 50m의 버스정류장 최소 이격거리를 제시하였다.

한편, Ko and Park(2019)은 안전한 보행환경 조성을 위해 보행자 교통사고와 주변 근린환경과의 공간계량 분석을 실시한 결과, 대중교통요인의 하나로서 버스정류장 수와 보행자 교통사고와의 상관성이 높은 것으로 분석하였으며, 대중교통시설 설계시 시인성을 고려하여야 한다고 주장하였다. Park(2019)은 사고가 일어날 뻔 했으나 인적, 물적 피해가 발생한 사고로 연결되지 않는 상황을 의미하는 near miss의 개념을 도입하여 near miss와 교통사고 발생지점의 공간적 관계를 분석하였다. 특히 버스정류장 거리를 300m 미만과 이상으로 구분하여 near miss 경험비율을 분석한 결과, 버스정류장 거리가 300m 미만일 때가 300m 이상일 때보다 near miss 경험이 적은 것으로 분석하였다.

3. 관련 문헌 고찰을 통한 시사점 도출

국내·외 버스정류장 위치와 관련한 기존 연구를 종합해보면, 버스정류장 적정 위치 또는 선정방법을 제시하는데 있어서 대부분 교통운영적인 측면을 고려한 연구가 수행되었다. 교통안전 측면을 고려한 연구의 경우에는 버스정류장과 교통사고와의 공간분석을 통해 버스정류장 수와 거리가 교통사고에 영향을 준다는 연구가 수행된바 있다. KRITI(Korea Research Institute of Transportation Industries, 2010)에서는 교차로에서 버스의 직진 또는 좌·우회전 시 주요 교통사고 원인으로서는 운전자의 전방 및 측방 주시태만으로 인한 사고가 가장 많은 것으로 분석하였다. 세부적으로 직진의 경우에는 급정차, 안전거리 미확보가 많았고, 좌·우회전시에는 안전거리 미확보, 신호위반으로 인한 사고가 많은 것으로 분석하였다. 이러한 분석결과는 교차로 인근에 설치된 버스정류장은 교통사고 위험을 야기하는 시설로서 작용할 수 있다는 것을 보여준다고 할 수 있다. 실제로 용인시에서는 버스정류장과 교차로 간 거리가 짧아 급좌회전으로 인한 접촉사고가 자주 발생하고 있는 교차로 2개소에 대해 버스정류장을 이설한 바 있다. 이러한 사례에서 볼 수 있듯이, 교차로 인근에 설치된 버스정류장은 교통사고를 야기하는 시설이라고 판단됨에 따라 이에 대한 연구가 필요하다.

교통안전 측면을 고려한 버스정류장 위치에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다. Yang et al.(2014)은 교차로에서 버스정류장 이격거리가 가까우면 가까울수록 무리하게 차로를 변경해야 함에 따라 교통사고 위험이 높으므로 적정거리를 유지하여야 한다고 주장하였다. Lee(2011)는 보행자 특성과 한계교통사고율을 예측하여 버스정류장 형태별 위치 선정 방안을 제시하였지만, Lee(2011)의 연구에서는 버스정류장의 위치에 따른 차대차 교통사고, 차대보행자 교통사고에 대한 영향을 고려하지 못한 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 다수의 연구가 진행된 교통운영 측면보다는 교통안전 측면에서 접근한 신호교차로에서의 버스정류장 적정 이격거리를 제시하고자 하는데, 특히 버스정류장의 이격거리에 따른 차대차 교통사고와 차대보행자 교통사고 특성을 고려한 버스정류장의 적정 이격거리를 제시하는데 다른 연구와의 차별성이 있다.

Ⅲ. 연구의 방법론 선정

신호교차로에서의 버스정류장 적정 이격거리 산정을 위한 연구수행 과정은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 과정은 버스정류장 인근에서 발생한 차대차 교통사고와 차대보행자 교통사고를 구분하여 수집하고, 버스정류장과 교차로와의 이격거리, 도로의 기하구조, 교통량 등 기초자료를 수집하는 과정이다. 교통사고 및 교통량 등 기초자료 수집을 위해서 도로교통공단에서 발행한 경기도 교통사고 잦은 곳 개선사업 보고서를 참고하였다. 2007년부터 2016년까지 총 10개년도 보고서를 활용하여 교차로 인근에 버스정류장이 위치한 총 125개 교차로에 대해 교통사고 및 기초 데이터를 수집하였다. 부족한 자료의 경우에는 현장조사를 통해 자료를 추가적으로 수집하였다.

두 번째 과정은 버스정류장 이격거리와 교통량, 기하구조 등 다양한 변수를 활용하여 차대차, 차대보행자 교통사고 예측모형을 개발하는 것이다. 교통사고 예측모형 개발에 있어서 Lim(1993)은 신호교차로에서 교통사고 예측모형을 개발하기 위해 교통사고 잦은 지점 147개소를 대상으로 교통량, 횡단보도 수, 교차각 등의 도로특성을 주요 변수로 활용하여 개발하였다. Chin and Quddus(2003)의 연구에서는 싱가포르의 52개 4지 교차로에서 교통량, 버스정류장, 단속카메라 등을 주요 변수로 활용하여 신호교차로 교통사고 예측모형을 개발하였다. Park et al.(2008)의 연구에서는 교통사고 예측모형과 관련한 연구의 흐름에 대해 과거에는 사고발생이 일정 추세를 따르는 선형 회귀 모형식으로 개발되었지만, 교통사고의 임의적 발생 및 불확실성을 고려한 비선형 회귀모형식이 최근 들어 많이 사용하고 있다고 하였다. Oh et al.(2014)의 연구에서는 교통사고 예측모형 개발에 주로 사용되는 회귀모형과 인공신경망, 구조방정식을 이용하여 교통사고 예측모형을 각각 개발하고 예측력을 비교하였다. 분석 결과, 인공신경망이 가장 높은 예측력을 보였지만, 검증력에서는 비선형 회귀모형식이 전용성에 있어 우수하다는 연구 결과를 제시하였다.

비선형 회귀분석 모형에는 포아송 회귀분석과 음이항 회귀분석이 많이 사용된다(Park et al., 2019). 포아송 회귀분석에서 사용하는 포아송 분포는 특정시간 또는 구간에 어떤 사건이 발생하는 경우 그 사건의 발생 횟수를 측정하는 확률분포이다(Lee, 2011). 음이항 회귀분석은 각 분포의 분산이 같아야 한다는 포아송 회귀분석의 제약조건을 완화시키는데 사용한다(Park et al., 2008). 교통사고 예측모형에 있어서 포아송 회귀분석은 추정된 자료의 평균을 실제자료의 분산이 초과하면 과분산으로 나타난다. 과분산은 조사되지 않은 다른 성질의 구간이 다양한 결과를 나타내기 때문이며, 음이항 회귀분석은 사고 자료가 과분산일 때 일반적으로 사용한다(Ha et al., 2002). 이러한 포아송 분포와 음이항 분포를 이용하여 모형을 구축할 때 두 개의 모형 중 한 가지를 선택하게 되는데, 이를 판별하기 위해서는 다음과 같은 Equation 1이 사용된다. Equation 1에서 $\alpha=0$ 이라면, 과분산이 존재하지 않고 음이항 분포는 극한치에서 포아송 분포로 합치된다. 만약 $\alpha>0$ 이라면, 과분산이 존재하고 음이항 모형이 포아송 모형에 비하여 선호된다. 그러므로 실증분석에서 $\alpha=0$ 인지 여부에 대한 통계적 검증은 과분산에 대한 검증일 뿐만 아니라 모형 선택을 위한 검증으로 사용될 수 있다(Park et al., 2008).

$$Var [n_i] = E[n_i]1 + \alpha E[n_i] \dots\dots\dots (1)$$

모형의 적합도 검증은 우도비(ρ^2)를 사용하였다. 우도비는 McFadden의 결정계수라고도 불리며 0과 1사이의 값을 갖는데, 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 평가되며, 회귀분석의 결정계수와는 달리 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다(Ha et al., 2002). 우도비 산정은 Equation 2와 같다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)} \dots\dots\dots (2)$$

$$\overline{\rho^2} = \frac{(N-K)}{N} \rho^2$$

마지막으로 세 번째 과정은 개발된 차대차, 차대보행자 교통사고 예측모형을 이용하여 교통사고를 최소화 하는 목적함수식을 만들고 최적화 기법을 통해 교차로에서 버스정류장 적정 이격거리를 산정하는 것이다. Lim(2003)은 최적화 문제는 극대화 문제와 극소화 문제를 포괄하는 개념으로 일반적으로 극치값을 구하는 문제라고 정의하였다. 또한 최적화 문제는 크게 선형문제와 비선형문제로 구분되며, 여기서 비선형문제는 목적함수나 제약조건식 중 1개 이상이 비선형인 경우를 말한다고 하였다. 교통안전 부문에서 최적화 문제를 활용한 연구 사례를 보면, Daniel(2016)의 연구에서는 차량속도 1km/h의 감소는 사고 심각도를 3% 줄이는 결과를 가지고 온다는 연구 결과를 토대로 교통사고위험을 줄이고, 차량과속단속으로 인한 효과를 최대화하기 위해 최적화 기법을 활용하였다. 하지만 아직까지 교통사고 예측모형을 이용하여 최적화 기법을 통해 교통사고를 줄이는 연구는 수행된 바 없는 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 비선형 회귀모형 함수인 교통사고 예측모형에서 버스정류장 이격거리를 주 변수로 활용하여 1차원 최적화 문제로 접근하였으며, 다양한 최적화 기법 중 Newton-raphson method를 이용하여 차대차, 차대보행자 교통사고를 최소화하는 버스정류장 적정 이격거리를 산정하였다. <Table 2>는 Newton-Raphson method의 step을 표현한 것이다.

<Table 2> Newton-Raphson Method Step

Step 0	Initianization Iteration n=1 Randomly Initialize value : x^n, ϵ
Step 1	Calculate value $\nabla z(x^n)$ Calculate $\nabla^2 z(x^n) \rightarrow$ Calculate $[\nabla^2 z(x^n)]^{-1}$ If $\nabla z(x^n) \approx 0$ as Stop, or Go [Step 2]
Step 2	Update x^n value $x^{n+1} = x^n - [\nabla^2 z(x^n)]^{-1} \times \nabla z(x^n)$
Step 3	Deciding Convergence $ z(x^{n+1}) - z(x^n) < \epsilon$
Step 4	n=n+1 as Go [Step 1]

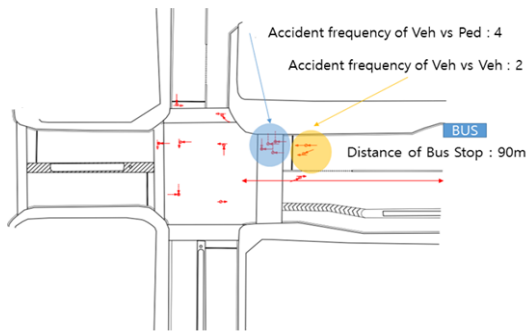
IV. 자료 수집 및 분석

1. 자료 수집

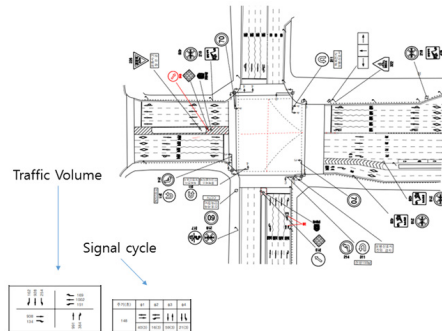
도로교통공단에서 발행하는 교통사고 잦은 곳 개선사업 보고서를 통해 교통사고 및 교통량 등 기초자료를 수집하였다. <Fig. 1>과 <Fig. 2>는 교통사고 잦은 곳 개선사업 보고서에 수록된 지점의 사고유형도와 교통량, 신호주기, 기하구조 현황을 나타낸 것이다. 이와 같은 자료를 활용하여 버스정류장이 위치한 방향에서의 차대차, 차대보행자 교통사고 건수를 수집하였고, 교차로에서 버스정류장까지의 이격거리와 방향별 교통량, 차로수 등 기초자료를 수집하였다. 세부적으로 <Fig. 2>의 사고유형도를 보면, 버스정류장 부근에서 차대차 교통사고는 2건, 차대보행자 교통사고는 4건이 발생한 것으로 나타났으며, 버스정류장 이격거리는 교차로

에서 약 90m정도 떨어져 있는 것으로 조사되었다. <Fig. 3>에서와 같이 버스정류장은 주접근로에 위치하고 있어 주접근로의 방향별 교통량과 신호주기, 차로운영 현황과 좌회전, 우회전 차로 유무에 대한 자료를 수집하였다. 또한 교차로 기하구조 특성을 고려하기 위해 부접근로의 차로수도 수집하였다.

2007년부터 2016년까지 총 10개년도 교통사고 잦은 곳 개선사업 대상지 중 총 125개소에 대한 자료를 수집하였다. <Table 3>은 각 항목별로 수집된 자료의 최소값과 최대값, 평균, 표준편차를 정리한 것이다. 특히 버스정류장 위치의 경우 교차로에서 최소 10m에서 최대 187m까지 이격되어 있는 것으로 조사되었고, 교차로의 형태상 3지와 4지 교차로에서 직진, 좌회전, 우회전이 불가능한 교차로의 차로운영을 반영할 때 각 방향별 교통량의 최소값이 0으로 수집되었으며, 각 교차로별 전체 교통량 합에 있어서 최소값과 최대값을 제시하였다.



<Fig. 2> Traffic accident type



<Fig. 3> Traffic status chart

<Table 3> Results of Data Collection

Variables			Min.	Max.	Avg.	Std
Frequency	Accident frequency for intersection(number)	Vehicle vs. Vehicle	0	5	1.34	1.31
		Pedestrian vs. Vehicle	0	4	0.57	0.82
Distance	Distance of bus stop from intersection(m)		10	187	47.20	35.88
Volume	Traffic volume(vph)	Total	129	5220	1258.22	954.17
		Thru	0	4716	1005.90	924.40
		Left turn	0	1031	146.20	169.64
		Right turn	0	567	106.13	123.17
No. of Lane	Number of lanes for each approach(lanes)	Major Minor	1	6	3.02	1.15
			1	5	1.95	1.01
Lane Left	Presence of left turn lane(none=0, yes=1)		0	1	0.58	0.50
Lane Right	Presence of right turn lane(none=0, yes=1)		0	1	0.37	0.50
Cycle Length	Signal cycle length of intersection(second)		75	322	159.34	48.53

2. 상관분석 및 다중공선성 분석

교통사고 예측모형 개발을 위한 변수 선정을 위해 변수들 간의 상관분석을 실시하였다. 상관분석 결과는 <Table 4>와 같다. 차대차 교통사고의 경우 버스정류장 이격거리와는 음의 상관관계(-0.426), 전체 교통량(직

진, 좌회전, 우회전)과는 양의 상관관계(0.593)가 있는 것으로 분석되었으며, 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다. 반면에 차대보행자 교통사고의 경우 버스정류장 이격거리와는 양의 상관관계(0.573), 주도로 차로수와도 양의 상관관계(0.510)가 있는 것으로 분석되었으며, 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다.

<Table 4> Result of Correlation Analysis

		Frequency (vehicle)	Frequency (Ped)	Distance	Cycle Length	Left Volume	Thru Volume	Right Volume	Total Volume	No. of Major Lane	No. of Minor Lane	Lane Left	Lane Right
Frequency (vehicle)	Pearson	1	-0.287	-.426*	0.146	-0.031	-0.051	0.029	.593**	-0.240	-0.101	-0.053	0.219
	Significance probability	-	0.112	0.015	0.425	0.865	0.780	0.875	0.000	0.186	0.581	0.772	0.228
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Frequency (Ped)	Pearson	-0.287	1	.573**	-0.141	-0.010	0.062	0.280	-0.204	.510**	0.281	-0.088	0.119
	Significance probability	0.112	-	0.001	0.440	0.958	0.735	0.121	0.262	0.003	0.120	0.632	0.517
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Distance	Pearson	-.426*	.573**	1	-.438*	0.077	0.046	.373*	-0.301	.435*	-0.050	0.135	-0.079
	Significance probability	0.015	0.001	-	0.012	0.674	0.802	0.035	0.094	0.013	0.784	0.461	0.667
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Cycle Length	Pearson	0.146	-0.141	-.438*	1	-.489**	0.000	-0.181	0.140	-0.130	-0.002	-.435*	.351*
	Significance probability	0.425	0.440	0.012	-	0.005	0.998	0.321	0.444	0.478	0.989	0.013	0.049
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Left Volume	Pearson	-0.031	-0.010	0.077	-.489**	1	0.000	-0.010	0.174	0.049	0.258	.577**	-0.144
	Significance probability	0.865	0.958	0.674	0.005	-	0.998	0.958	0.340	0.788	0.153	0.001	0.433
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Thru. Volume	Pearson	-0.051	0.062	0.046	0.000	0.000	1	0.082	0.276	0.084	-0.196	-0.065	-0.204
	Significance probability	0.780	0.735	0.802	0.998	0.998	-	0.655	0.127	0.646	0.282	0.723	0.263
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Right Volume	Pearson	0.029	0.280	.373*	-0.181	-0.010	0.082	1	-0.006	0.157	0.152	-0.045	0.171
	Significance probability	0.875	0.121	0.035	0.321	0.958	0.655	-	0.973	0.391	0.407	0.807	0.350
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Total Volume	Pearson	.593**	-0.204	-0.301	0.140	0.174	0.276	-0.006	1	-0.035	-0.036	0.048	-0.106
	Significance probability	0.000	0.262	0.094	0.444	0.340	0.127	0.973	-	0.850	0.847	0.795	0.562
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
No. of Major Lane	Pearson	-0.240	.510**	.435*	-0.130	0.049	0.084	0.157	-0.035	1	0.300	0.210	0.141
	Significance probability	0.186	0.003	0.013	0.478	0.788	0.646	0.391	0.850	-	0.095	0.250	0.443
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
No. of Minor Lane	Pearson	-0.101	0.281	-0.050	-0.002	0.258	-0.196	0.152	-0.036	0.300	1	0.241	0.253
	Significance probability	0.581	0.120	0.784	0.989	0.153	0.282	0.407	0.847	0.095	-	0.184	0.162
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Lane Left	Pearson	-0.053	-0.088	0.135	-.435*	.577**	-0.065	-0.045	0.048	0.210	0.241	1	0.021
	Significance probability	0.772	0.632	0.461	0.013	0.001	0.723	0.807	0.795	0.250	0.184	-	0.907
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Lane Right	Pearson	0.219	0.119	-0.079	.351*	-0.144	-0.204	0.171	-0.106	0.141	0.253	0.021	1
	Significance probability	0.228	0.517	0.667	0.049	0.433	0.263	0.350	0.562	0.443	0.162	0.907	-
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

상관분석 결과에서 보듯이 버스정류장 이격거리에 따라 차대차 교통사고와 차대보행자 교통사고가 서로 상반되게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 즉 버스정류장 이격거리가 교차로에서 가까울 경우 차대차 교통사

고의 경우 발생빈도가 높게 나타나는데 반해 차대보행자 교통사고는 낮게 발생한 것을 알 수 있다. 반면에 버스정류장 이격거리가 교차로에서 멀 경우 차대차 교통사고 발생빈도는 낮지만, 차대보행자 교통사고 발생 빈도는 높게 나타난다는 결과를 확인할 수 있다.

상관분석 결과를 토대로 교통사고 예측모형을 개발하기에 앞서 독립변수 간에 서로 영향을 주는지 확인하고자 다중공선성 분석을 실시하였다. 다중공선성 분석은 분산확대지수(variance inflation factor, VIF)를 이용하였다. 통계적으로 볼 때 VIF가 10이하면 독립변수 간에 다중공선성 문제가 없기 때문에 변수를 제거하지 않고 다중회귀분석을 실시할 수 있다(Kand and Kim, 2013). 분석 결과, 상관분석을 통해 선정된 모형별 모든 변수의 VIF가 10이하로 다중공선성 문제가 발생하지 않았으며, 해당 독립변수 간의 상관 정도가 낮아 교통사고 예측모형 구축시 부정적 영향이 없을 것으로 판단된다. 독립변수의 다중공선성 분석 결과는 <Table 5>와 같다. 교통량의 경우 분석의 효율성을 높이기 위해 교통사고와의 상관성이 낮은 직진, 좌회전, 우회전 교통량은 제외하고 상관성이 높고 유의성이 있는 전체 교통량만 다중공선성 분석을 실시하였다. 다중공선성 분석 결과, 모든 변수의 VIF 값이 10 이하로 도출되어 다중공선성 문제는 없는 것으로 확인되었다.

<Table 5> Multi-collinearity Analysis of Independent Variables

Independent Variables	Vehicle Model	Pedestrian Model
	VIF	VIF
Distance	1.036	1.031
Total Volume	1.098	2.536
No. of Major Lane	2.076	1.056
No. of Minor Lane	1.984	1.853
Left Lane	2.567	1.976
Right Lane	3.013	2.765
Cycle Length	1.506	1.968

3. 교통사고 예측모형 개발

1) 차대차 교통사고 예측모형

교통사고 예측모형은 차대차 교통사고 예측모형과 차대보행자 교통사고 예측모형으로 구분하여 개발하였다. 변수에 대한 다중공선성 분석을 통해 VIF가 10 이하로 나타나 7가지 모든 변수를 독립변수로 활용하여 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 개발하였다. 그 결과 <Table 6>과 같이 나타났는데, 과분산에 대한 검증 결과 음이항 모형에서 α 값의 p-value가 0.9578로 $\alpha=0$ 이라는 귀무가설을 기각하지 못하고 채택하게 되어 포아송 회귀모형이 적합한 것으로 분석되었다. 변수 7개를 모두 사용할 경우 통계분석의 간결성 원칙에 위배되기 때문에 가능하면 적은 수의 독립변수를 사용하여 최상의 효과를 보기 위해 후진제거법을 이용하여 p-value 기준으로 설명력이 낮은 변수들을 제거하여 축소모형을 구축하였다.

차대차 교통사고 예측모형에서는 기존 7개의 변수 중 이격거리(distance)와 전체교통량(total volume)을 제외하고, 나머지 5개 변수 모두 p-value가 0.05보다 크게 나타나 설명력이 낮은 것으로 판단되어 설명력이 높은 2개의 변수만을 활용하여 모형을 개발하였다. 이격거리와 전체교통량 2개의 변수를 사용하여 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형 2가지를 모두 개발한 결과는 <Table 7>와 같다. 과분산에 대한 검증 결과 음이항 모형에서 α 값의 p-value가 0.930으로 $\alpha=0$ 이라는 귀무가설을 기각하지 못하고 채택하게 되어 포아송 회귀모형

이 적합한 것으로 분석되었다. 따라서 최종적으로 차대차 교통사고 예측모형은 포아송 회귀모형을 이용하여 개발하였고, 이는 Equation 3과 같다.

$$Y_{(vehicle)} = \exp(-3.5739 - 0.0122x_1 + 0.6308x_2) \dots\dots\dots (3)$$

Where, $Y_{(vehicle)}$: No. of vehicle-to-vehicle traffic accidents

x_1 : Distance

x_2 : Total volume

<Table 6> Regression Analysis Results of Vehicle Model with All Independent Variables

Types	Poisson Regression Model			Negative Binomial Regression Model		
	Coeff.	t-ratio	p-value	Coeff.	t-ratio	p-value
Constant	-3.1239	-3.0358	0.0001	-2.5893	-3.6892	0.0001
Distance	-0.0109	-4.1680	0.0000	-0.00819	-4.2380	0.0001
Total Volume	0.5158	4.5960	0.0000	0.4859	4.9682	0.0002
No. of Major Lane	-0.0089	-5.3859	0.1050	-0.0076	-5.1568	0.1253
No. of Minor Lane	-0.0075	-5.9850	0.1232	-0.0057	-5.4593	0.1452
Left Lane	-0.0038	-6.1053	0.0959	-0.0026	-6.3258	0.0879
Right Lane	0.0093	5.1359	0.0859	0.0059	4.8792	0.0925
Cycle Length	0.0159	4.9857	0.1529	0.0167	4.5468	0.1325
α				0.0000	0.0579	0.9578

<Table 7> Poisson and Negative binomial regression analysis result of Vehicle model

Types	Poisson Regression Model			Negative Binomial Regression Model		
	Coeff.	t-ratio	p-value	Coeff.	t-ratio	p-value
Constant	-3.5739	-3.9130	0.0001	-3.1693	-4.1596	0.0002
Distance	-0.0122	-4.8630	0.0000	-0.0211	-4.6490	0.0000
Total Volume	0.6308	5.0560	0.0000	0.1101	4.7111	0.0000
α				0.0000	0.0870	0.9301

2) 차대보행자 교통사고 예측모형

차대보행자 교통사고 예측모형도 차대차 교통사고 예측모형과 동일하게 변수에 대한 다중공선성 분석을 통해 VIF가 10 이하로 나타나 7가지 모든 변수를 독립변수로 활용하여 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 개발하였다. 그 결과 <Table 8>과 같이 나타났는데, 과분산에 대한 검증 결과 음이항 모형에서 α 값의 p-value가 0.8459로 $\alpha=0$ 이라는 귀무가설을 기각하지 못하고 채택하게 되어 포아송 회귀모형이 적합한 것으로 분석되었다. 차대보행자 모형에서도 차대차 교통사고 예측모형과 동일하게 후진제거법을 이용하여 p-value 기준으로 설명력이 낮은 변수들을 제거하여 축소모형을 구축하였다.

차대보행자 교통사고 예측모형에서는 기존 7개의 변수 중 이격거리(distance)와 주도로 차로수(no. of major lanes)를 제외하고, 나머지 5개 변수 모두 p-value가 0.05보다 크게 나타나 설명력이 낮은 것으로 판단되어 설명력이 높은 2개의 변수만을 활용하여 모형을 개발하였다. 이격거리와 주도로 차로수 2개의 변수를 사용하여 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형 2가지를 모두 개발한 결과는 <Table 9>와 같다. 과분산에 대한 검증

결과, 음이항 모형에서 α 값의 p-value가 0.770으로 $\alpha=0$ 이라는 귀무가설을 기각하지 못하고 채택하게 되어 포아송 회귀모형이 적합한 것으로 분석되었다. 따라서 최종적으로 차대보행자 교통사고 예측모형은 포아송 회귀모형을 이용하여 개발하였고, 이는 Equation 4와 같다.

$$Y_{(pedestrian)} = \exp(-2.7756 + 0.0092x_1 + 0.4908x_3) \dots\dots\dots (4)$$

Where, $Y_{(pedestrian)}$: No. of vehicle-to-pedestrian traffic accidents
 x_1 : Distance
 x_3 : No. of major lane

<Table 8> Regression analysis results of Pedestrian model with all independent variables

Types	Poisson Regression Model			Negative Binomial Regression Model		
	Coeff.	t-ratio	p-value	Coeff.	t-ratio	p-value
Constant	-3.1156	-6.3592	0.0000	-3.0692	-4.9535	0.0001
Distance	0.0098	4.7896	0.0000	0.01123	3.7620	0.0040
Total Volume	-0.0178	-3.5986	0.0985	-0.02687	-4.4124	0.0946
No. of Major Lane	0.4569	4.5980	0.0000	0.2187	3.9582	0.0140
No. of Minor Lane	0.0251	4.2685	0.1052	0.0421	4.3548	0.1052
Left Lane	-0.0048	-4.9574	0.0869	-0.0088	-4.4568	0.0769
Right Lane	0.0123	4.3265	0.1185	0.0192	4.6558	0.1074
Cycle Length	-0.0218	-3.9856	0.0959	-0.0318	-4.1598	0.0829
α				0.0916	0.3529	0.8459

<Table 9> Poisson and Negative binomial regression analysis result of Pedestrian model

Types	Poisson regression model			Negative binomial regression model		
	Coeff.	t-ratio	p-value	Coeff.	t-ratio	p-value
Constant	-2.7756	-6.6300	0.0000	-2.1340	-4.7921	0.0000
Distance	0.0092	4.4090	0.0000	0.0131	2.7620	0.0050
No. of Major Lane	0.4908	4.1760	0.0000	0.3170	2.3831	0.0170
α				0.0821	0.2921	0.7703

개발된 차대차 교통사고 예측모형과 차대보행자 교통사고 예측모형의 적합도 검증을 위해 우도비(ρ^2)를 산출한 결과 차대차 모형은 0.2625, 차대보행자 모형은 0.3321로 산출되었다. 우도비가 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도라 할 수 있기 때문에 개발된 모형도 적합도에 있어서 적절한 것으로 판단된다.

4. 버스정류장 적정 이격거리 산정

개발된 차대차 교통사고 예측모형과 차대보행자 교통사고 예측모형을 이용하여 교통사고를 최소화할 수 있는 버스정류장 이격거리 산정을 위해 최소화기법을 활용하였다. 최소화기법의 목적 함수는 Equation 5와 같다. 최소화기법을 통해 교차로로부터 버스정류장간 적정 이격거리 산정을 정량적으로 제시하기 위해 주도

로 차로수는 조사된 교차로의 주도로 차로수에 따라 1차로에서부터 6차로까지 구분하였다. 또한 전체 교통량은 조사된 교차로의 평균 교통량과 표준편차를 고려하여 1,000대에서부터 5,000대까지 구분하였다. 뉴턴-랩슨 기법을 통한 버스정류장 적정 이격거리를 산정하는 과정은 <Table 2>에서 제시한 스텝에 따라 임의의 초기값 x_1^n 은 50m로 산정하였으며, 수렴조건은 ϵ 은 0.1로 설정하여 분석하였다. 2개의 사고예측모형을 더한 $z(x_1)$ 를 1차 미분값과 2차 미분값을 이용하여 초기의 x_1^n 값을 업데이트한 x_1^{n+1} 을 산정하여 수렴조건에 따라 수렴성 판단을 하였고, 수렴조건 미충족시 반복하는 과정을 통해 수렴된 x_1^{n+1} 값, 즉 교차로로부터 버스정류장간 적정 이격거리를 산정하였다.

$$\text{Min } z(x_1) \dots\dots\dots (5)$$

$$z(x_1) = \sum_{i=1}^2 Y_i$$

$$Y_1 = \exp(-3.5739 - 0.0122 \times x_1 + 0.6308 \times x_2)$$

$$Y_2 = \exp(-2.7756 + 0.0092 \times x_1 + 0.4908 \times x_3)$$

- Where, Y_1 : No. of vehicle-to-vehicle traffic accidents
- Y_2 : No. of vehicle-to-pedestrian traffic accidents
- x_1 : Distance
- x_2 : Total volume
- x_3 : No. of major lane

최소화기법을 통해 산정된 버스정류장 적정 이격거리는 전체교통량과 주도로 차로수에 따라 아래의 <Table 10>과 같이 분석되었다. 최소화기법을 통해 버스정류장이라는 하나의 변수를 산정하는 비교적 단순한 과정이기 때문에 반복횟수는 5~6번 정도에서 수렴하는 것으로 나타났다.

분석결과를 보면, 주도로 차로수가 증가할수록 교차로로부터 버스정류장간 이격거리가 감소하는 것으로 나타났고, 전체 교통량이 증가할수록 교차로로부터 버스정류장간 이격거리가 증가하는 것으로 분석되었다. 조사된 교차로의 전체교통량과 주도로 차로수의 평균과 표준편차 등을 고려할 때 일반적으로 도시부 교차로에서 교통량은 1,000(대/시)에서 3,000(대/시), 주도로 차로수가 2~4차로라고 가정할 때, 전체교통량과 주도로 차로수에 따라 버스정류장간 이격거리는 교차로에서부터 87~166m까지 떨어져 있어야 하는 것으로 분석되었다. 하지만 연구 결과를 실제 현장에 적용해 볼 때, 교차로로부터 버스정류장간 이격거리가 100m 이상일 경우 보행자 측면에서는 교차로 횡단거리가 증가하기 때문에 보행편의성이 저하될 개연성이 높고 무단횡단 등으로 인한 교통사고가 발생할 수 있다. 따라서 교통량 수준이 1,000대/시에서 3,000대/시 수준에서 주도로 차로수가 2~4차로인 도로구간에서는 버스정류장을 교차로로부터 이격하되, 보행자들이 안전하게 횡단할 수 있는 횡단보도를 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 특히 주도로 차로수가 적다면 횡단보도를 추가로 설치하더라도 교통흐름에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단됨에 따라 버스정류장 이격과 더불어 횡단보도 설치를 반드시 고려하여야 할 것으로 판단된다. 반면에 주도로 차로수가 5~6차로인 대로 또는 광로에서는 상대적으로 교차로에 근접하게 버스정류장을 설치하여 보행자의 편의성과 안전성을 동시에 확보하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

<Table 10> Proper Distance of Bus Stop from Intersection

No. of Major Lane Total Volume	1	2	3	4	5	6
1,000	156	132	110	87	65	42
2,000	176	154	131	108	85	62
3,000	188	166	143	120	97	74
4,000	197	174	151	128	105	82
5,000	203	181	158	135	112	89

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 버스정류장의 적정 이격거리를 산정하기 위해 우선적으로 버스정류장 인근에서 발생한 차대차 교통사고와 차대보행자 교통사고를 구분하여 데이터를 수집하였고, 교통량, 버스정류장 이격거리, 차로수 등 다양한 기하구조 변수에 대한 자료를 수집하였다. 수집된 자료를 이용하여 상관분석을 실시하여 버스정류장의 이격거리와 교통사고와의 관계를 규명하였고, 상관성이 있는 변수를 선정 및 활용하여 차대차 교통사고와 차대보행자 교통사고로 구분하여 교통사고 예측모형을 개발하였다. 그리고 교통사고 예측모형을 통해 전체적인 사고 발생 건수를 나타내는 목적식을 설정한 후, 최적화 기법을 이용하여 전체 교통사고 발생 건수를 최소화시킬 수 있는 이격거리를 산정하였다.

연구 결과, 교통량 수준이 1,000대/시에서 3,000대/시 수준에서 주도로 차로수가 2~4차로인 도로구간에서는 버스정류장을 교차로로부터 약 87~166m 정도 이격시켜 미드-블록 형태로 설치하는 것이 적정하고, 주도로 차로수가 5~6차로인 구간에서는 교차로에서 약 42~97m 정도 이격시켜 상대적으로 근접하게 설치하는 것이 바람직하다는 연구 결론에 도달하였다. 단, 교차로로부터 버스정류장간 이격거리가 100m 이상일 경우 보행자 측면에서는 교차로 횡단거리가 증가하기 때문에 보행편의성이 저하되고, 무단횡단 등으로 인한 교통사고가 발생할 개연성이 높기 때문에 보행자들이 안전하게 횡단할 수 있는 횡단보도를 설치하는 것이 바람직하다는 연구결과를 제시하였다. 본 연구 결과는 무분별하게 설치되고 있는 버스정류장의 적정 설치 범위를 정량적으로 제시함으로써 교통안전을 고려한 버스정류장 계획 및 운영에 있어 조금이나마 도움이 되리라 판단된다.

하지만 기초자료 수집의 한계로 교통사고 예측모형이 현실을 제대로 반영하지 못한 점과 버스정류장 형태를 가변차로 정류장에만 한정되어 분석한 점, 도로 및 교통안전시설물을 고려하지 못한 점 등은 본 연구의 한계점이라고 할 수 있다. 특히 차대보행자 교통사고 예측모형의 경우 보행량이 주요 변수로 채택되어야 하지만, 현실적으로 정확한 보행량을 조사하지 못한 한계점이 있다. 또한 전체 교통사고를 나타내는 목적식을 설정하는데 있어서 차대차 교통사고와 차대보행자 교통사고의 심각도에 대한 고려가 필요한데, 교통사고 심각도를 고려하지 못한 한계점도 있다.

따라서 향후 연구에서는 보다 정확한 교통사고 예측모형 개발을 위해 중앙차로 정류장에 대한 기초자료 수집 등 더 풍부한 자료를 구축하여야 하고, 특히 보행량에 대한 고려가 반드시 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 보행량 관련 자료를 수집하지 못하여 보행량을 독립변수로 포함시키지 못한 연구의 한계를 가진다. 향후 차대보행자 교통사고 예측모형 개발 시 보행량 산정을 위해 교통카드 또는 통신사 데이터를 활용하

는 방안도 고려할 수 있다. 그리고 단순히 교통사고 발생건수보다는 교통사고 심각도에 대한 고려를 통해 심각도에 따른 교통사고 가중치를 고려한 버스정류장 적정 이격거리를 산정하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 보행자들의 행태에 영향을 미치는 추가적인 요소로서 주변 토지이용, 무단횡단방지시설 설치 여부 등을 독립변수로서 추가하는 연구도 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 임대룡이 작성 중인 박사학위 논문의 일부 내용을 이용하여 작성되었습니다.

REFERENCES

- Campbell, B. J., Zegeer, C. V., Huang, H. H. and Cynecki, M. J.(2003), *A Review of Pedestrian Safety Research in the United States and Abroad*, Final Report, Part 2. Crashes Involving Pedestrian, FHWA-RD-2003-042.
- Chien, S. I. and Qin, Z.(2004), "Optimization of bus stop locations for improving transit accessibility", *Transportation Planning and Technology*, vol. 27, no. 3, pp.211-227.
- Chin, H. C. and Quddus, M. A.(2003), "Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections", *Accident Analysis & Prevention*, vol. 35, no. 2, pp.253-259.
- Fitzpatrick, K., Hall, K., Perdition, D. and Nowlin, L.(1996), Guidelines for the location and design of bus stops, *Transit Cooperative Research Program Report 19*, Transportation Research Board, National Council, Washington, DC, pp.22-23.
- Furth, P. G. and San Clemente, J. L.(2006), "Near side, far side, uphill, downhill: impact of bus stop location on bus delay", *Transportation Research Record*, vol. 1971, no. 1, pp.66-73.
- Gleason, J. M.(1975), "A set covering approach to bus stop location", *Omega*, vol. 3, no. 5, pp.605-608.
- Ha, T. J., Park, J. and Lim, H.(2002), "Determination of the required minimum spacing between signalized intersections and Bus-Bays", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 20, no. 4, pp.73-82.
- Hailemariam Kassa, D.(2016), "A road traffic speed accidents optimization model", *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, vol. 3, no. 12, pp.4919-4922.
- Ibeas, Á., Dell'Olio, L., Alonso, B. and Sainz, O.(2010), "Optimizing bus stop spacing in urban areas", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 46, no. 3, pp.446-458.
- Jang, K. H.(1991), *A Study on the Selection of Bus Stop Locations on Arterial Roads*, Chonnam National University.
- Jeng, O. J. and Fallat, G.(2003), *Pedestrian Safety and Mobility Aids for Crossings at Bus Stops*, Department of Transportation, The State of New Jersey, No. FHWA-NJ-2003-013.

- Jeong, J. B.(2008), *A Study on Design Method of Bus Bay and Auxiliary Lanes at Signalized Intersection*, Chonnam National University.
- Kand, B. S. and Kim, G. S.(2013), *Statistical Analysis of Social Science*, Hannarae Academy.
- Ko, D. W. and Park, S. H.(2019), “Neighborhood Environmental Characteristics Affecting Pedestrian-Vehicle Crashes in School Zones”, *The Journal of the Korea Contents Association*, vol. 19, no. 10, pp.179-189.
- Korea Research Institute of Transportation Industries(2010), *Analysis of the cause of bus traffic accidents and preventive measures*, pp.134-140.
- Lee, J. H.(2011), “A Method for Locating Bus Stops Considering Traffic Safety at Signalized Intersections”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 31, no. 4, pp.527-539.
- Lim, K. W.(2003), *Transportation Network Analysis*, Seoul National University
- Lim, Y. T.(1993), *An Analysis of Traffic Accidents due to Road Characteristics*, Yonsei University.
- Noh, M. Y.(1990), *A study on the effect of bus stop on the reduction of traffic capacity at intersection*, Seoul National University.
- Oh, J. T., Yun, I., Hang, J. W. and Han, E.(2014), “A Comparative Study On Accident Prediction Model Using Nonlinear Regression And Artificial Neural Network, Structural Equation for Rural 4-Legged Intersection”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 32, no. 3, pp.266-279.
- Park, J. I.(2019), “Spatio-temporal Characteristics between Near miss and Traffic Accidents and Factors affecting Near miss”, *Journal of Environmental Studies*, vol. 64, pp.169-170.
- Park, J. T., Lee, S. B., Kim, J. W. and Lee, D. M.(2008), “Development of a traffic accident prediction model for urban signalized intersections”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 4, pp.99-110.
- Park, W. L., Kim, K. H., Park, S. M. and Yun, I.(2019), “Study on Development of Bus Traffic Accident Prediction Models and Safety Rating according to Driver’s Working Conditions”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 37, no. 4, pp.322-337.
- Road Traffic Authority(2007-2016), *Improvement project for frequent traffic accidents*.
- Rui, W. and Seo, M. J.(2013), “A Performance Evaluation of Bus Stop Placements near Signalized Intersection by a Microscopic Traffic Simulation”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 10, pp.1270-1280.
- Seo, J. S.(2003), *Study on the Capacities of Bus and Bus Stop*, Myongji University.
- Seok, J. S.(2003), *A study on the environment improvement of old city bus station*, The Incheon Institute, pp.45-56.
- Yang, J. H., Kim, E. C. and Choi, E. J.(2014), “A Study on Installation of Near-side Bus Stops for Efficient Operation of Left Turn at Signal Intersections in Urban Commercial Areas”, *Journal of Transport Research*, vol. 21, pp.27-39.