

# 버스베이 설치에 따른 통행시간비용 절감효과 분석 : 왕복 4차로 도로를 중심으로

이혁준<sup>1</sup> · 박종한<sup>2</sup> · 고준호<sup>3\*</sup> · 김동성<sup>4</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 도시대학원 석사과정, <sup>2</sup>한양대학교 도시대학원 박사과정, <sup>3</sup>한양대학교 도시대학원 교수,  
<sup>4</sup>서울연구원 서울공공투자관리센터 연구위원

## Travel Time Cost Saving Impacts by Installing Bus Bays on Four-Lane Roadway

LEE, Hyeokjun<sup>1</sup> · PARK, Jonghan<sup>1</sup> · KO, Joonho<sup>1\*</sup> · KIM, Dongsung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Master Course, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

<sup>2</sup>Ph.D. Candidate, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

<sup>3</sup>Professor, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

<sup>4</sup>Research Fellow, Seoul Public Investment Management Service, The Seoul Institute, Seoul 06567, Korea

\*Corresponding author: jko@hanyang.ac.kr

### Abstract

Recently, as the problem of subway congestion has intensified due to COVID-19, the need to ease the concentration of public transit share of subway through bus improvement has increased. Bus bay is a facility that is encouraged to be installed as part of transportation policy for public transportation, but in Korea, bus bay has several problems and is recognized as an example of transportation policy that prioritizes vehicle traffic, so it is time to discuss its necessity. Therefore, this study derived the quantitative effects of bus bay installation according to stop time and congestion, such as traffic change and travel time reduction benefits, and investigated conditions requiring bus bays through micro-simulations on two-way 4-lane road. As a result of the analysis, the traffic efficiency of general vehicles improved when the bus bay was installed, while the traffic efficiency of buses decreased, and this effect was greater when the congestion is high. The installation of the bus bay caused the benefit of travel time savings when the bus stop time was long due to crowded traffic conditions, but in most other cases, the negative benefit of travel time savings was caused. Considering that bus bays hinder the traffic flow of buses and cause negative benefit of travel time savings, it seems that bus bays should be avoided except for special conditions when installing bus stops.

**Keywords:** benefit of travel time savings, bus bay, bus, micro simulation, public transit, SUMO

### 초록

최근 코로나로 인해 지하철 혼잡도 문제가 심화됨에 따라 버스서비스의 개선을 통한 지하철 수단분담률 집중 완화의 필요성이 증가하였다. 버스베이는 대중교통에 대한 교통대책의 일환으로 설치가 장려되고 있는 시설이나 국내 연구사례에서 버스베이의 장단점을 심층적으로 연구한 사례는 드물다. 또한, 차량 통행을 우선시하는 교통정책의 실현 수단으로 설치되고 있어 그 필요성에 대한 논의가 요구되고 있기도 하다. 이에 본 연구는 왕복 4차로 도로를 대상으로 미시

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.41, No.5, pp.577-592, October 2023  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2023.41.5.577>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

#### ARTICLE HISTORY

Received: 21 July 2022

Revised: 29 August 2022

Accepted: 7 September 2023

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시물레이션을 통해 교통류 변화, 통행시간 절감편익 등 정차시간 및 혼잡도에 따른 버스베이 설치의 정량적인 효과를 도출하고 버스베이가 필요한 여건에 대해 알아보았다. 분석결과 버스베이 설치시 일반차량의 교통 효율은 향상되는 반면 버스의 교통 효율은 떨어지며 이 효과는 혼잡도가 높을 때 더 크게 나타났다. 버스베이 설치시 혼잡한 교통 상황에 버스 정차시간이 긴 경우 통행시간 절감편익을 발생시키나 그 외 대부분의 경우 통행시간 절감불편익을 발생시켰다. 버스베이가 버스의 교통흐름을 저해하는 점과 통행시간 절감불편익을 발생시키는 점을 고려하였을 때 왕복 4차로 도로에서 버스정류장 설치 시 특정한 상황을 제외하면 버스베이 설치가 반드시 편익을 가져오는 것은 아닌 것으로 보인다.

**주요어:** 통행시간비용 절감효과, 버스베이, 버스, 미시 시물레이션, 대중교통, SUMO

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

수도권 및 서울 등 대도시의 교통혼잡을 개선하기 위한 방안으로 대중교통의 이용이 꾸준히 장려되어 왔다. 서울 특별시 통계에 따르면 서울의 경우 대중교통 수단분담률이 65.1%로 높은 편이나 그 중 지하철의 수단분담률이 40.7%, 버스는 24.4%로 지하철의 수단분담률이 버스에 비해 월등히 높다. 이러한 불균형으로 인해 서울시의 출퇴근 시간의 지하철 혼잡도가 높은 편이며 특히 2호선의 지하철 혼잡도의 경우 2019년 기준 173%로 이는 열차 내 이동이 불가할 정도로 심각한 수준이다. 지하철 혼잡도의 개선에 대한 필요성은 이전부터 대두되어 왔으며(Kim et al., 2008) COVID-19 발발 이후 감염병의 확산에 대한 시민들의 우려가 커지면서 더욱 그 필요성이 증가하였다. 지하철의 혼잡도 개선을 위해서는 지하철의 대표적인 대체수단인 버스의 개선을 통한 지하철 수단분담률 집중의 완화가 필수적이다(Kim et al., 2015). 그러나 현재까지 버스 개선을 위한 여러 시도가 있었음에도 서울의 버스 수단분담률은 2010년 이후 꾸준한 하락세를 보이고 있는 상황이다.

버스 서비스 개선을 위한 여러 교통시설물 중 버스베이(Bus Bay)는 버스가 버스정류장에 정차할 때 타 교통수단과의 상충 등을 줄여 통행의 방해가 없도록 하기 위하여 주행로에서 벗어나 보도 측으로 별도의 정차공간을 확보한 교통시설로 시내버스 이용자가 안전하게 승하차를 할 수 있도록 한 공간이다(Ji, 2015). 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」에 따르면 버스베이는 고속도로, 도시고속도로, 주간선도로와 같이 주행속도가 높고 교통류의 혼란과 그로 인한 사고발생 위험이 예상되는 도로, 그 외에도 버스정류소 설치시 교통류 혼란, 도로서비스 수준이 설계서비스 수준보다 낮은 경우 설치하도록 되어있다. 「교통영향평가」지침에서는 대중교통에 대한 교통개선대책의 일환으로 버스정류장을 가급적 버스베이 방식으로 설치하도록 장려하고 있다. 실제로 서울시의 버스정류장 현황조사 결과에 따르면 2016년 기준 서울시의 가로변 버스정류장 493 개소 중 버스베이 정류장이 331개소로 가장 많은 비율을 차지하고 있다(Lee et al., 2016). 버스베이의 유형은 Figure 1에서 보여지는 것처럼 교차로와의 상대적 위치에 따라 3가지 유형(near-side, far-side, mid-block)으로 구분된다.

버스베이가 긍정적인 효과를 가져오기는 하지만, 일부 구간에서는 불법주정차, 교통사고, 버스 운전자의 버스베이 미진입 등 여러 문제점을 안고 있으며, 버스 이용자를 위한 시설이 아닌 일반차량의 통행에 지장을 주지 않기 위한 시설로 인식되고 있어 차량통행을 우선시하는 교통정책의 사례가 되고 있다(Ji, 2015). 교통정책의 방향이 자동차 중심에서 사람 중심으로 옮겨가는 현 시점에서 버스베이의 존재가 현재의 목적에 맞지 않는다면, 그 필요성에 대한 논의가 필요한 때라고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 사회적 편익 산출을 통해 버스베이 설치의 정량화된 효과를 도출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 국내 침두 시간대의 왕복 4차로 도로를 대상으로 미시시물레이션 분석을 통해 버스베이 설치 시 다양한 상황에서의 네트워크 성능 변화 및 통행시간비용 절감효과를 산출하고자 한다. 본 연구에서는 버스베이 설치로 인한 통행시간비용 절감효과를 측정하기 위해 버스베이 설치 전후 일반차량과 버스 탑승자의 통행비용 변화의 합을 버스베이 통행시간 편익으로 가정한다. 본 연구를 통해 도출되는 결과를 장래 버스베이 설치 여건 도출에 있어 참고자료로 활용할 수 있을 것이라 기대한다.

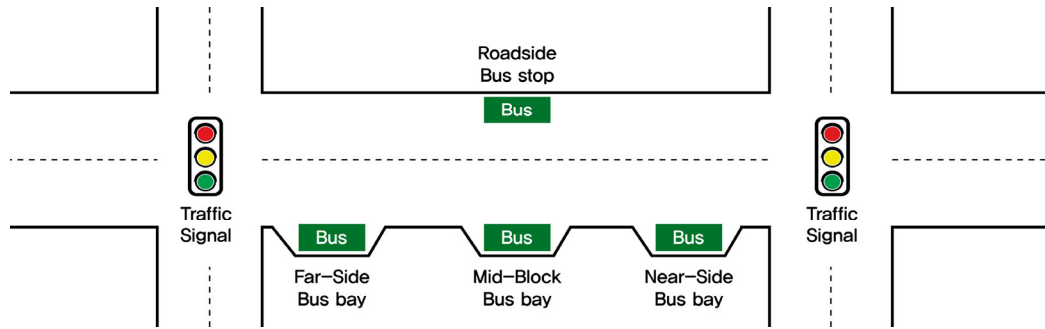


Figure 1. Bus stop types based on the relative locations to intersections

## 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 가로변 버스정류장이 설치된 왕복 4차로이며 첨두시 양 노선의 혼잡정도가 상이한 서울시 구로구 오리로 일대의 일부 구간을 연구대상지로 하였다. 오리로는 양 노선에 6개의 가로변 버스정류소가 설치되어 있으며, 오후 첨두시간 기준 상행노선이 매우 혼잡하고 하행노선은 원활한 교통류 특성을 가지고 있다. 이에 첨두시 교통류 특성이 상이한 양 노선 모두를 연구 범위에 포함시켜 교통상황이 혼잡한 경우와 원활한 경우에 버스베이 설치가 교통류에 미치는 영향을 각각 분석하고자 하였다. 시간적 범위는 오후 첨두시간인 2020년 11월 25일 수요일 18시-19시로 설정하였다. 분석대상 도로구간 차로수 및 버스정류소 위치와 같은 구체적인 특성은 Figure 2에서 살펴볼 수 있다.

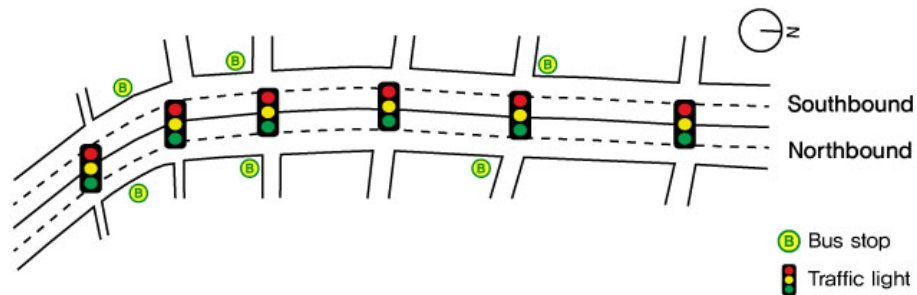


Figure 2. Study area

본 연구는 버스정류소가 교통류에 미치는 영향 및 시뮬레이션에 대한 이론적 고찰, 연구 방법론 구축, 버스베이 설치에 따른 네트워크의 성능 변화 및 통행시간 절감편의 산출 순으로 진행된다. 첫 번째로, 버스정류소가 교통류에 미치는 영향에 대한 연구 동향을 파악하였다. 또한, 연구의 방법론적 기반인 미시 시뮬레이션 분석에 대한 선행연구와 버스 운영에 대한 연구사례 검토를 통해 분석 방법에 대하여 고찰하였다. 두 번째로, 연구대상 네트워크 범위를 설정하고 본 연구에서 적용할 차량 특성 결정 및 버스를 포함한 차량통행을 배정하였다. 이를 바탕으로 미시적 시뮬레이션 모델인 SUMO를 활용하여 기존 가로변정류소와 버스베이 설치 시나리오에 대한 미시 시뮬레이션 환경을 각각 구축하였다. 더불어 정차시간, 재차인원, 시간가치 기준 및 버스베이 통행시간비용 산출방법을 결정하였다. 마지막으로 정차시간 및 교통량, 버스베이 설치 유무에 따른 네트워크 성능 및 차종별 교통류 변화를 측정하고 이를 기반으로 통행시간비용 절감효과를 산출하여 결론을 도출하였다. 이러한 연구방법론은 개별차량의 거동을 분석하는 마이크로 교통시뮬레이션 결과를 도로사용자(개인차량 운전자, 버스승객)의 통행특성과 연계시켜 분석한다는 점에서 기존 연구와는 차별화된다. 즉, 차량의 거동 특성을 차량에 탑승한 이용자와 연계시켜 분석해 최종적으로는 차량이 아닌 이용자 관점에서 결과를 도출한다고 해석할 수 있다.

## 선행연구

### 1. 버스정류소가 교통류에 미치는 영향에 대한 연구

버스정류소에 버스가 정차하게 되면 일종의 병목현상으로 작용할 수 있고 이는 도로 성능에 심각한 영향을 미칠 수 있다(Zhao et al., 2007). Luo et al.(2018)은 간격(gap)이론과 대기열 이론을 사용하여 다양한 조건의 버스정류소에서 연석차로의 잠재적 용량을 측정하고자 하였다. 그들이 제시한 새로운 모델은 버스정류소가 연석차로에 미치는 영향을 정량화하였고 잠재적 용량을 계산하였다. Zhao et al.(2007)은 2차선 CA(Cellular Automata) 모델을 사용하여 신호교차로와 버스 정류장의 위치에 따라 달라지는 도로용량 감소를 분석하였다. 연구 결과 버스정류장이 교차로에서 멀어질수록 교통류의 흐름을 방해하는 효과가 커지며 가까운 경우 여러 부정적인 효과가 작아지는 것으로 나타났다.

버스베이는 버스가 버스베이에 진입하고 진출할 때 주행차로에서 주행하는 차량을 방해하기 때문에 차도의 용량에 큰 영향을 미치며 버스 수요가 버스베이 용량을 초과하는 경우 베이를 점유하고 있는 버스가 베이 밖으로 나갈 때까지 일부 버스가 이동 차선에서 대기하여 차량 이동을 방해하게 된다(Mushule, 2012). Zhang et al.(2018)은 중국의 8개 버스 정류장의 데이터를 수집하여 4가지의 일반적인 유형의 버스정류장의 영향을 평가하였다. 분석결과 자전거 도로를 포함하는 버스베이가 차량 통행에 가장 적은 영향을 미치지만 가장 많은 도로공간을 차지하는 것으로 나타났다. Koshy et al.(2005)은 다양한 교통류 상황에서 교통류 특성에 대해 가로변 정류소와 버스베이 정류소가 미치는 영향을 측정하였다. 연구 결과, 버스베이가 없는 경우 특정 교통량 수준을 넘어서면 도로의 서비스 수준이 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

버스베이에 버스가 진입하고 진출하는 것은 인접한 차로와 상충을 일으키게 되어 안전성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. Ding et al.(2015)은 CA 모델을 통해 버스정류장 근처의 자동차와 자전거가 혼합된 교통류의 안전성을 측정하고자 하였다. 연구 결과, 안전성 측면에서 혼잡한 교통상황에서는 교통혼잡을 줄일 수 있는 버스베이가, 원활한 교통상황에서는 가로변 버스정류소가 적합한 것으로 나타났다. Hu et al.(2021)은 CA 모델을 기반으로한 새로운 모델을 제시하고 이를 통해 버스베이가 인접차로에 미치는 영향을 교통효율과 안전성 측면에서 분석하고자 하였다. 연구 결과, 버스베이를 출입하는 버스에 의해 인접차로의 안전과 교통효율 모두 부정적 영향을 받는 것으로 나타났다.

### 2. 버스 시뮬레이션에 관한 연구

버스 운영 모형은 일반적으로 미래의 도로교통 시스템 상태를 예측하고 제어 전략을 시뮬레이션하는 데 사용된다(Hickman, 2001). 버스 운영 모형들 중 가장 많이 사용되는 것은 정적 모형이다. 정적 모형에서는 각 링크의 통행 시간 또는 통행 속도는 결정되어있다고 가정하며 또한 버스 이동 시간은 확률적 분포를 따른다고 가정한다(Daganzo, 2009). CA(Cellular Automata) 모델은 이산 변수를 사용하여 버스 시스템의 동적 특성을 모델링하며 일반적으로 개별 버스의 가속, 감속, 정지 및 주행으로부터 발생하는 버스의 역동성을 설명하는 것을 목표로 한다.(O'loan et al., 1998; Chowdhury et al., 2000). 이러한 특성으로 인해 CA 모델은 버스 노선 운영 시뮬레이션에 사용되기에 적합하나 전체적인 네트워크의 흐름을 설명하는 데에는 적합하지 않다. 교통류의 흐름을 반영할 수 있는 버스 운영 모형에는 교통 추종 모형이 있다. 버스 운영 모형은 차량 추종모형에서 영감을 받아 버스들 간의 추종에서 기인하는 상호 작용을 기반으로 구축되었으며 버스가 전체 교통 흐름의 일부라는 근거 하에 주변 교통과의 상호작용으로부터 버스 운행의 역학을 도출한다(Kieu et al., 2019).

이러한 특성으로 인해 교통 추종 모형을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 다양한 연구들이 있다. Cats et al.(2010)은 교통 추적 시뮬레이션 모델의 구성 요소로 모델을 이용하였다. Toledo et al.(2010)은 현재, 최대 및 최소 교통 밀도를 바탕으로 버스 평균 속도를 추정하는데에 모델을 이용하였다. Hans et al.(2015)은 교통 추종 모델을 이용하여 교통 신호와 교통 흐름을 통해 버스 통행 시간을 추정하였다. 뿐만 아니라 Aimsun, Vissim, SUMO등과 같은 교통

미시 시뮬레이션 패키지들도 교통 추종모형을 이용한 버스운행을 추가하였다.

기존 연구들을 살펴본 결과 버스정류소로 인한 영향을 분석하는 다양한 연구들이 진행되고 있음을 알 수 있었다. 그러나 버스정류소에 관한 기존 연구들은 도로 용량, 버스정류장 유형별 설계 조건, 인접차로에 대한 영향 등에 대한 연구들이 대부분이며 버스정류소의 경제성에 대한 분석 사례는 미비한 실정이다. 버스 시뮬레이션에 관한 연구들을 살펴보면 정차시간 및 승하차 인원에 대해서는 확률 분포를 통한 임의 값을 이용하는 경우가 많으며 버스 운행 모형으로는 주로 CA 모형을 이용하여 전체적인 네트워크 흐름을 효율적으로 반영하지 못하였다. 한편, 최근에는 국내외에서 버스베이를 주제로 하는 연구사례가 매우 적어 최근 유사연구 사례가 흔치 않은 상황이다. 이러한 이유로는 버스베이의 교통공학적 효과성은 이미 다양한 연구에 의해 밝혀져 추가 연구의 필요성이 크지 않아 나타나는 현상으로 추정된다.

본 연구는 기존 연구와 달리 버스베이 설치 여부에 따라 변화하는 도로구간의 성능 변화를 미시적 시뮬레이션을 활용해 측정하고, 그 결과를 승용차와 버스 이용자 모두를 고려해 통행시간비용 절감 측면에서의 거시적 효과를 통해 측정하고자 하였다. 교통류 모사 모형으로는 CA모형이 아닌 교통 추종 모형을 이용하여 버스와 일반차량을 포함하는 교통흐름을 효율적으로 반영할 수 있도록 하였다. 또한, 보다 현실적인 분석을 위해 임의 값이 아닌 대상지의 실제 버스 정차시간과 승하차 인원을 고려하였다.

## 연구방법론

### 1. 분석의 개요

본 연구에서는 링크 별 차량 주행거리 및 주행속도 산정, 개별 차량의 파라미터 변경 등을 위해 미시적 분석을 수행하였다. 미시적 분석을 위한 도구로는 SUMO(Simulation of Urban MObility)를 활용하였다. SUMO는 구성된 교통수요가 주어진 도로망을 어떻게 움직이는지를 보여주는 다모듈-미시교통 시뮬레이션으로 신호등 평가, 경로 선택과 경로 변경, 차량 간 커뮤니케이션, 교통량 예측, 교통모니터링 방법 평가 등 다양한 교통분석이 가능하기 때문에 독일, 영국, 호주 등 다양한 국가에서 프로젝트나 논문에서 활용하고 있다(Lee et al., 2021). SUMO를 통한 시뮬레이션 분석과정은 네트워크 구축, 신호체계 구축, OD Matrix 구축, 통행배정의 네 단계로 진행되었다. 시뮬레이션 분석을 통해 산출한 네트워크 성능변화를 기반으로 시간가치, 버스 재차인원을 통해 통행시간비용 절감효과를 산출한다. Figure 3은 연구의 흐름을 정리한 것이다.

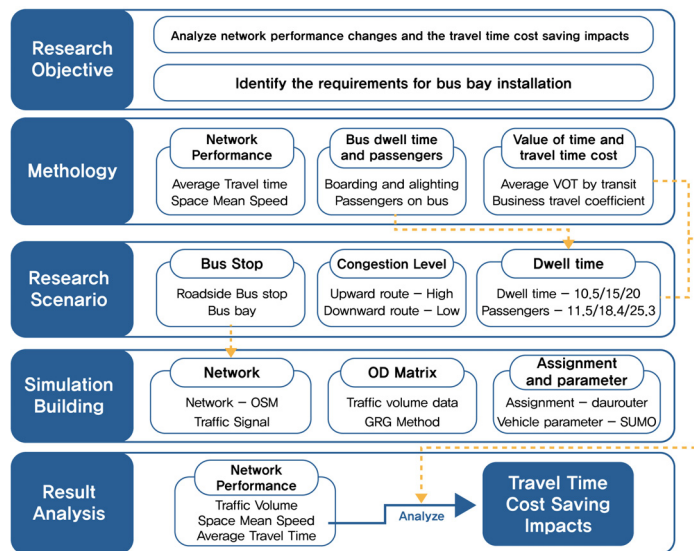


Figure 3. Overall research flow, study area

## 2. 분석의 방법

### 1) 네트워크 성능

버스 정차시간 변화와 버스베이 설치 유무에 따른 네트워크 성능의 변화를 측정하기 위해 통과 교통량, 통행속도, 통행시간을 산출하였다. 지표 산출에 있어 시뮬레이션 상 1시간 동안 네트워크에 진입하여 목적지까지 통행을 완료한 차량만을 대상으로 하였으며 버스와 일반 차량을 구분하여 각각 산출하였다. 통행시간은 전체 통행 차량의 평균 통행시간을 산술평균으로 산출하였고 통행속도의 경우 저속차량에 의한 평균통행속도 과추정을 방지하고 구간속도를 측정하기 위해 각 차량의 평균속도를 기반으로 공간평균속도(Space Mean Speed)를 사용하였다. 본 연구에서 이용한 공간평균속도 산정식은 Equation 1과 같다.

$$\bar{\mu}_s = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \tag{1}$$

여기서,  $\bar{\mu}_s$  : 공간평균속도

$\mu_i$  : 차량 i의 평균속도

$n$  : 차량 대수

### 2) 버스 정차시간 및 재차인원

버스가 교통류에 미치는 영향을 측정하기 위해서는 버스의 정차시간을 설정해야한다. 버스의 정차시간은 승객 승하차 시간과 출입문 개폐시간으로 이뤄져있다. 승하차 시간은 출입문이 열린 후 승객이 승하차하기 시작한 시간부터 승하차 완료 후 출입문이 닫힐 때까지의 소요시간을 의미한다. 본 연구에서는 도로용량편람(2013)의 출입문 개폐시간 및 승객 승하차시간 기준을 참고하여 분석에 사용하였다. 자세한 승하차시간 기준은 Table 1과 같다.

Table 1. Bus dwell time

Door Opening and Closing Time (sec)	Passenger Boarding and Alighting Time (sec/person)				
	Boarding Time				Alighting Time
	No Standing Passenger		Standing Passenger Exist		
Card	Cash	Card	Cash		
3.0	3.2	4.0	4.2	4.5	1.5

버스의 승하차시간 및 버스 탑승인원의 시간가치 산정을 위해 평균 승하차 인원 및 평균 재차인원을 추정하였다. 서울시 열린데이터광장에서는 서울시 버스노선별 정류장별 시간대별 승하차인원정보를 제공하고 있다. 이 데이터를 활용해 분석 대상지 내에 존재하는 6개 버스 정류장을 지나는 4개의 버스 노선을 대상으로 18시-19시 사이의 정류장 당 해당 평균 승하차 인원을 추정하였다. 추정결과 버스 승차인원이 적어 승차인원은 승하차시간에 영향을 미치지 못했다. 따라서 승하차시간은 하차인원의 수에 따라 결정되는데 대상지 평균 하차인원은 5인이며 그에 따른 승하차시간은 7.5초가 되어 버스 정차시간은 10.5초이다. 또한, 교통카드 빅데이터 통합정보시스템에서 제공하는 ‘노선별 차내 재차인원’ 데이터에서 분석 대상지 내의 6개 정류장의 1개월간 평일 18시-19시 사이의 재차인원 정보를 추출하여 평균 재차인원을 산출한 결과, 대상지의 평균 재차인원은 11.5인으로 나타났다.

### 3) 시간 가치

본 연구에서는 Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2017)의 수단별 평균 통행시간가치(수도권)을

시간가치 산정의 기초자료로 활용하였다. 수단별 평균 통행시간가치의 자세한 수치는 Table 2와 같다. 승용차 시간가치의 경우 기존 평균 시간가치에 편익보정지수(소비자물가지수)를 104.85%(2021년 기준)를 적용하여 사용하였다. 하지만 버스의 경우 본 연구에서 해당 재차인원에 차등을 주기 때문에 해당 평균 시간가치를 그대로 이용할 수 없어 재차인원 따른 시간가치 기준을 별도로 산정하기 위해 업무 통행 보정계수를 설정하였다. 본 연구에서 정의한 업무 통행 보정계수는 전체 버스 재차인원을 비업무 목적으로 통행으로 가정했을 때의 버스 1대당 시간가치와 업무 목적 통행을 고려했을 때의 버스 1대당 시간가치의 비율이다. 따라서 버스의 해당 시간가치는 재차인원과 편익보정지수를 적용한 비업무 목적 통행 시간가치 그리고 업무 통행 보정계수의 곱이다. 본 연구에서 최종적으로 적용한 자세한 시간가치는 Table 3과 같다.

**Table 2. Average value of time**

Contents	Private Vehicle		Bus	
	Commuting	Non-Commuting	Commuting	Non-Commuting
# of Passenger	0.22	1.02	1.23	13.26
Value of Time (won)	22,775	9,748	17,260(1person) 22,775(0.23person)	5,011
Value of Time (won/veh·h)	5,011	9,943	22,498	66,446
2013 Average Value of Time (won/veh)		14,954		88,944
2017 Average Value of Time (won/veh)		15,702		93,391

source : Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2017)

**Table 3. Average value of time for this study**

Contents	Private Vehicle (won/veh)	Bus (won/person)
2021 Average Value of Time (won)	16,487	5,525
		Commuting purpose correction factor
		1.225

**4) 버스베이 통행시간 절감효과 측정**

본 연구에서는 통행시간 절감편익 산출방법론을 차용한 버스베이 통행시간 편익의 산출을 통해 버스베이 설치 시 발생하는 통행시간비용 절감효과를 측정하였다. 버스베이 통행시간 편익은 버스베이 설치 전후 각 링크의 차종별 총 운행시간에 차종별 시간가치를 적용하여 총 통행시간 비용을 산출하고 버스베이 설치 전후의 총 통행시간 비용 차이를 통해 산출하였다. 버스베이 통행시간 편익 산출에 사용한 식은 Equation 2와 같다(Korea Development Institute, 2008).

$$VOTS = VOT_{\text{버스베이 미설치}} - VOT_{\text{버스베이 설치}} \tag{2}$$

여기서,  $VOT = \left\{ \sum_l \sum_{k=1}^2 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times 365$

$T_{kl}$  : 링크  $l$ 의 차종별 통행시간

$P_k$  : 차종별 시간가치

$Q_{kl}$  : 링크  $l$ 의 차종별 통행량

$k$  : 차종 (1: 일반차량, 2: 버스)

### 5) 분석 시나리오 구성

본 연구의 시나리오는 크게 현 상태인 베이스 시나리오와 버스베이 설치 시나리오로 구성된다. 또한, 교통류에 직접적인 영향을 미치는 버스 정차시간 변화에 따른 교통량 변화 통행속도와 통행시간 증감을 측정하고 버스베이 설치의 사회적 편익을 분석하기 위해 Table 4와 같이 버스 정차시간에 따른 세부 시나리오를 구성하였다. 버스 정차시간은 버스 이용 수요에 따라 달라지기 때문에 이를 반영하기 위해 현 상태보다 이용객이 증가하는 경우를 상정하여 세부 시나리오를 구성하였다. 버스 이용 수요가 증가하여 승하차 인원이 증가하므로 재차인원은 이에 비례하여 증가하는 것으로 가정하였으며 증가한 버스 정차시간은 Table 1의 승하차시간 기준을 적용하여 산정하였다. 세부 시나리오 별 각 항목의 자세한 수치는 Table 5와 같다. 실제로는 버스 노선, 정류장, 시간대에 따른 승하차 인원 및 재차인원에는 차이가 있으나 본 연구에서는 각 버스 및 정류장의 승하차인원과 재차인원이 평균값과 같다고 가정하였다.

**Table 4. Simulation scenario setting**

Contents	Type of Bus stop	Bus Dwell Time (second)
Scenario 1	Roadside Bus Stop	10.5, 15, 20
Scenario 2	Indented Bus Bay	

**Table 5. Simulation parameters**

Contents	Bus Dwell Time (second)	# of Boarding and Alighting Passengers	# of in-Vehicle Passengers
Case 1 (Base)	10.5	5	11.5
Case 2	15	8	18.4
Case 3	20	11	25.3

## 3. 시뮬레이션 구축

### 1) 네트워크 및 신호체계 구축

SUMO의 도로망 속성의 Input은 위치와 차로 수, 우선도, 제한속도, 연결, 신호체계 등으로 구분된다(Lee et al., 2021). 네트워크의 기초자료로는 무료 지도 서비스인 오픈스트리트맵(www.openstreetmap.org)에서 제공하는 도로망 파일을 활용하였다. 이후 네이버지도 지적편집도 등과 기초 네트워크의 비교 검토를 통해 SUMO의 NetEdit 프로그램을 활용하여 차로 수, 제한속도를 수정하는 등 도로망을 재구축하였다. 도로망의 위치 및 우선도는 오픈스트리트 맵 사이트에서 제공하는 자료를 활용하였고 도로의 제한속도는 서울중심부 제한속도인 50km/h로 설정하였다. 버스정류장과 신호제어기의 위치는 네이버지도를 활용하여 네트워크에 반영하였다. 신호체계는 서울지방경찰청의 '표준 신호제어기 데이터베이스'의 평일 오전 8시-9시의 교차로 신호체계를 활용하여 각 교차로의 현시, off-set 등을 설정하였다. Figure 4와 같이 대상지 네트워크를 구축한 후 이를 기반으로 버스베이를 설치하였을 때의 네트워크를 구축하였다. 버스베이 네트워크는 Figure 5와 같이 버스정류장 6개소의 도로변에 버스만이 통행 가능한 버스베이 차로를 추가하는 방식으로 기존 네트워크를 수정하여 구축하였다. 대상지 내 버스정류장의 위치는 상행노선의 경우 근측(near-side) 2개, 미드블록(mid-block)이 1개로 총 3개이며 하행노선의 버스정류장의 위치는 근측, 원측, 미드블록이 각각 1개씩 총 3개이다.



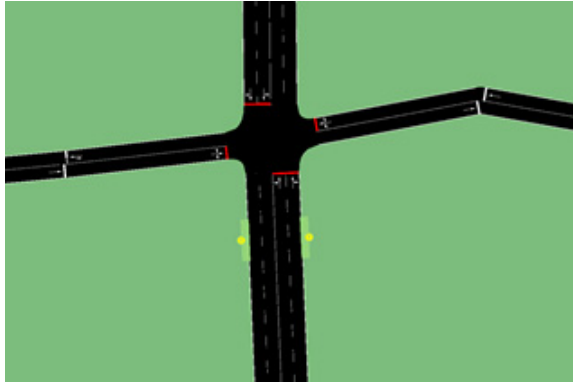


Figure 4. Simulation network (roadside bus stop)

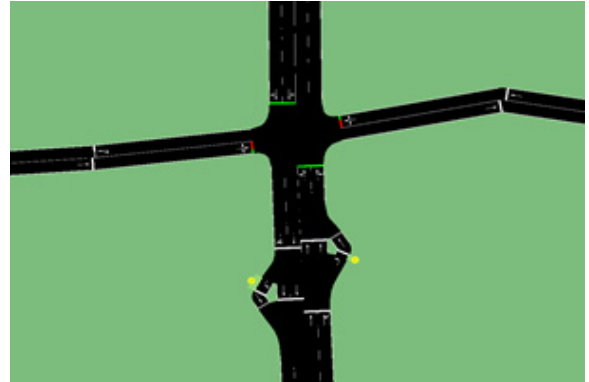


Figure 5. Simulation network (indented bus bay)

## 2) OD Matrix 구축

본 연구에서는 시뮬레이션에 사용할 교통량 및 경로 자료를 구축하기 위해 분석 시간대의 대상지 지역 일대 교통량 자료를 가공하여 OD Matrix를 제작하였다. 오리로 도로축의 18-19시 교통량은 상행노선 1221대, 하행노선은 926대 수준이다. 버스를 제외한 차량의 경우 교통량 조사 자료를 기반으로 네트워크에 진입하는 교통류를 경로에 따라 비율대로 나눈 뒤 파생되는 다양한 기종점의 경우의 수를 GRG 비선형 알고리즘을 이용, 각 링크 별 진출 교통량에 근사하도록 최적화하였다. 버스의 경우 실제 대상지를 지나는 버스들의 경로 및 차량 비율을 반영하여 OD Matrix를 구축하였다.

## 3) 통행 배경 및 차량 속성

SUMO에서 차량 속성의 Input 값은 차량 경로와 차종별 특성으로 나뉜다. 버스를 제외한 차량들의 차량 경로의 경우 OD Matrix를 기반으로 SUMO의 daurouter 툴의 기능을 이용하여 기본적인 경로 및 시간대별 통행량 분포 설정을 통해 통행을 배경한 후 실제 경로와 상이하게 배경된 통행을 추후에 조정하였다. 버스의 통행배정의 경우 실제 대상지 일대를 지나는 버스들의 경로 및 배차 간격을 반영하여 배경하였다.

본 연구에서의 차종은 승용차, 소형트럭(5톤급), 중형 화물차(10톤 이상 급), 대형 화물차(24톤 이상 급), 버스로 구분된다. 버스를 제외한 각 차량들의 최대속력, 감가속 능력, 최소차간거리(Min Gap) 등의 차종별 특성의 경우 SUMO에서 제공하는 Vehicle Type Parameter Default의 기본 값을 이용하였으며 동일 차종의 특성은 모두 동일한 것으로 간주하였다. 버스 특성의 경우 국내에서 버스로 많이 이용되는 ‘현대 뉴 슈퍼에어로 시티’의 차량 제원을 참고하였다. 트럭 및 화물차의 차량길이의 경우 차종별로 다양하기 때문에 국내 화물차량들의 제원을 참고하여 설정하였다. 대형차량들의 경우 소형 차량들에 비해 최대 속력과 감가속 능력이 낮다. 최소차간거리는 정차시의 차간거리로 모든 차량의 최소차간거리는 2.5m로 동일하다. 자세한 차량속성은 Table 6과 같이 설정하였다.

Table 6. Vehicle parameter used in simulation

Contents	Max Speed	Accel	Decel	Length	Min Gap	Sigma
Car	200km/h	2.9m/s <sup>2</sup>	4.5m/s <sup>2</sup>	4.3m	2.5m	0.5
Truck	130km/h	1.3m/s <sup>2</sup>	4.0m/s <sup>2</sup>	8.0m	2.5m	0.5
Semitrailer	130km/h	1.1m/s <sup>2</sup>	4.0m/s <sup>2</sup>	10.0m	2.5m	0.5
Trailer	130km/h	1.0m/s <sup>2</sup>	4.0m/s <sup>2</sup>	16.0m	2.5m	0.5
Bus	85km/h	1.2m/s <sup>2</sup>	4.0m/s <sup>2</sup>	11m	2.5m	0.5

※sigma: Driver imperfection(0-1)

## 분석결과

### 1. 네트워크 성능

시뮬레이션 분석을 통해 버스베이 설치 유무와 버스 정차시간에 따른 네트워크 성능의 변화를 분석하였다. 본 연구의 대상지인 오리로는 18시-19시에 상행선이 혼잡하고 하행선이 비교적 원활한 특성을 보여 두 노선을 각각 분석하였다. SUMO Simulator의 특성상 시뮬레이션 진행시 최초 네트워크는 비어있는 상태이기 때문에 분석은 교통류 특성이 반영될 수 있도록 시뮬레이션 결과 30분 이후부터의 1시간 동안의 교통류를 대상으로 진행하였다. 또한, 분석결과가 과대, 과소 추정되지 않도록 분석의 대상이 되는 차량은 도로축을 따라 운행한 차량 중 네트워크에 진입, 진출을 완료한 차량들만을 대상으로 하였다.

#### 1) 교통량 및 통행속도

교통량 분석 결과는 Table 7에서 볼 수 있듯 혼잡한 노선의 경우 시간당 일반차량은 1151대, 버스는 36대이며 원활한 노선의 경우 시간당 일반차량은 878대, 버스는 24대로 나타났다. 양 노선 모두 정차시간 및 버스베이 설치에 따른 유의미한 차이를 보이지 않았고 정차시간 15초, 20초의 경우 버스베이 설치 시 상행선에서 일반차량의 통행량이 1대 증가하는 정도의 차이가 나타났다.

Table 7. Traffic volume

Dwell Time		10.5 second				15 second				20 second			
Congestion Level		High		Low		High		Low		High		Low	
Bus stop	General	Roadside	Indented	Roadside	Indented	Roadside	Indented	Roadside	Indented	Roadside	Indented	Roadside	Indented
Vehicle	1151	1151	878	878	1150	1151	878	878	1150	1151	878	878	878
Bus	36	36	24	24	36	36	24	24	36	36	24	24	24
Total	1187	1187	902	902	1186	1187	902	902	1186	1187	902	902	902

unit : veh/h

평균 통행속도는 Table 8에서 볼 수 있듯이 기본적으로 혼잡한 상행선에 비해 원활한 하행선의 통행속도가 약 9km/h 정도 높았으며 버스 정차시간이 길어질수록 양 노선 모두 차종에 관계없이 통행속도가 감소하는 경향을 보였다. 버스베이 미설치 시에는 혼잡한 상행선의 경우 버스와 일반 차량의 평균 통행속도가 정차시간에 따라 약 16-18km/h 대로 서로 비슷하였으나 원활한 하행선의 경우 버스의 정차시간으로 인해 일반 차량에 비해 버스의 평균 통행속도가 약 7-8km/h 더 느린 것으로 나타났다.

Table 8. Average speed

Dwell Time		10.5 second				15 second				20 second			
Congestion Level		Heavy		Light		Heavy		Light		Heavy		Light	
Bus stop	General	Roadside	Indented	Roadside	Indented	Roadside	Indented	Roadside	Indented	Roadside	Indented	Roadside	Indented
Vehicle	18.9	19.57	27.45	28.64	17.99	19.45	27.21	28.49	16.69	19.73	25.96	27.96	27.96
Bus	18.73	13.25	20.5	16.31	17.95	13.4	19.49	16.31	16.05	12.87	18.07	15.23	15.23
Total	18.87	19.3	27.2	28.07	17.98	19.18	26.92	27.94	16.67	19.42	25.66	27.36	27.36

unit : km/h

버스베이 설치 전후를 비교해보면 일반 차량의 경우 통행속도가 증가하고 버스는 통행속도가 감소하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 Table 9에 나타나듯이 혼잡한 노선의 경우 더욱 강하게 나타난다. 또한, 버스 정차시간이 길어질수록 버스베이 설치 시 일반 차량의 통행속도 증가율이 더 커지는 반면, 버스의 통행속도 감소율은 정차시간이 길어질수록 감소하는 경향을 보였다.

**Table 9. Average speed % change from installation of the indented bus bay**

Dwell Time	10.5 second		15 second		20 second	
	High	Low	High	Low	High	Low
Congestion Level						
General Vehicle	3.5%	4.3%	8.5%	4.7%	18.2%	7.7%
Bus	-29.3%	-20.4%	-25.3%	-16.3%	-19.8%	-15.7%
Total	2.3%	3.2%	6.7%	3.8%	16.5%	6.6%

## 2) 통행 시간

평균 통행시간 분석 결과는 Table 10과 같으며 평균 통행속도와 유사한 양상을 보인다. 혼잡한 상행선이 원활한 하행선에 비해 평균 통행시간이 길었으며 양 노선 모두 버스 정차시간이 길어질수록 통행시간이 증가하는 경향을 보였다. 버스베이 미설치 시 상행선의 경우 버스와 일반 차량의 통행시간이 비슷했고 하행선의 경우 버스 정차시간으로 인해 버스에 비해 일반차량의 평균 통행시간이 더 짧았다.

**Table 10. Average travel time**

unit : second

Dwell Time	10.5 second		15 second		20 second	
	High	Low	High	Low	High	Low
Congestion Level						
Bus stop	Roadside	Indented	Roadside	Indented	Roadside	Indented
General Vehicle	271.9	264.2	178.1	170.6	285.7	265.8
Bus	266.3	405.3	237.3	321.5	277.8	400.8
Total	271.7	269.3	179.6	174.7	285.4	274.3

버스베이 설치 전후를 비교했을 때 버스의 평균 통행시간은 증가하였고 일반 차량의 평균 통행시간은 감소하였으며 이러한 경향은 혼잡한 상행선에서 더 크게 나타났다. 마찬가지로, Table 11, Figure 6에서 볼 수 있듯이 버스 정차시간이 길어질수록 일반 차량의 평균 통행시간 감소율은 증가하였으며 버스의 평균 통행시간 증가율은 감소하였다.

**Table 11. Average travel time % change from installation of the indented bus bay**

Dwell Time	10.5 second		15 second		20 second	
	High	Low	High	Low	High	Low
Congestion Level						
General Vehicle	-2.8%	-4.2%	-7.0%	-4.5%	-14.9%	-7.2%
Bus	52.2%	35.5%	44.3%	28.8%	34.3%	27.9%
Total	-0.8%	-2.8%	-3.8%	-3.3%	-13.4%	-5.9%

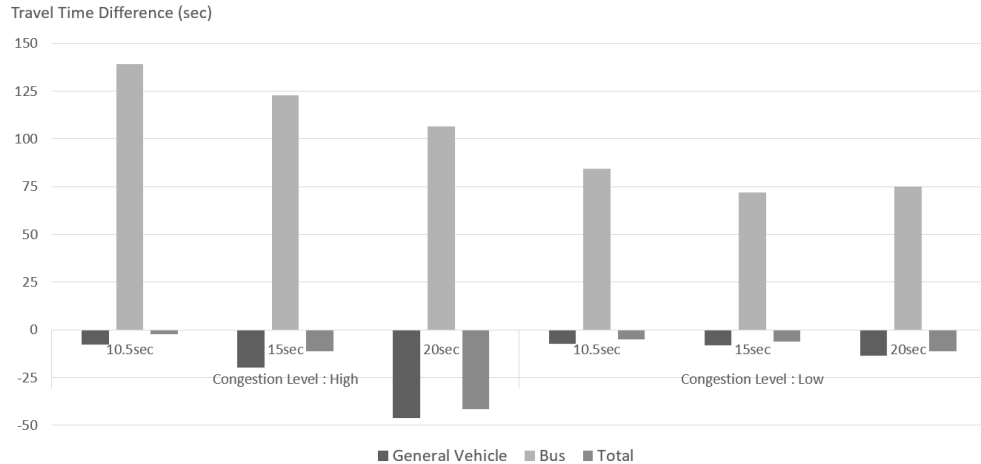


Figure 6. Average travel time difference from installation of the bus bay

### 3) 교통류 변화

버스베이 설치 전후로 버스정류소가 교통류에 미치는 영향을 살펴보았다. 버스베이 설치 시 버스의 경우 버스베이에 정차한 후 버스베이를 빠져나가 주행차로로 재진입하는 과정에서 본선 교통량이 많아 재진입까지 수락가능 간격(acceptable gap)을 탐색하며 정차하는 시간이 길어지기 때문에 평균 통행속도가 감소하고 평균 통행시간은 길어지는 효과가 나타났다. 혼잡한 노선의 경우 높은 밀도로 인해 본선의 차량 간격이 거절간격(rejected gap)인 경우가 더 빈번해져 버스가 본선으로 진입하는 것이 더욱 힘들어지기 때문에 버스베이로 인한 효과가 더욱 크게 나타났다. 반면, 일반 차량의 경우 기존에는 버스의 도로변 정류장 정차로 인해 한 차로를 점유하여 대기열이 길어지는 효과를 나타냈으나 버스베이 설치로 인해 버스가 버스베이로 진입하게 되면서 버스가 주행차로를 점유하지 않기 때문에 소통이 원활해지는 양상을 보였으며 마찬가지로 혼잡한 노선에서는 그 효과가 더 강하게 나타났다.

버스의 정차시간에 따라서 버스베이 설치가 미치는 영향의 정도가 다르게 나타났다. 일반차량의 경우 가로변 버스정류소에서는 버스의 정차시간이 길어질수록 병목효과 시간이 길어지기 때문에 정차시간이 길어질수록 버스베이 설치로 인한 혼잡해소 효과가 크게 나타났다. 버스의 경우 버스정류소의 형태와는 관계없이 정차시간이 길어질수록 자체적으로 통행시간이 증가하기 때문에 가로변 버스정류소에서는 버스정차시간이 길어질수록 통행시간이 증가하는 양상을 보인다. 그러나 버스베이의 경우 특히, 혼잡한 노선에서는 정차시간에 관계없이 기본적인 버스베이 체류시간이 20초보다 긴 경우가 많았기 때문에 버스 정차시간의 증감에 큰 영향을 받지 않았다.

버스정류장이 교통류에 미치는 영향은 그 위치에 따라서도 다른 양상을 보였다. 근측(near-side) 버스정류장의 경우 정지선에서 가깝기 때문에 더 큰 효과가 나타난다. 기존 도로변 정류장의 경우 버스가 정지선 근처의 차로를 점유하여 일반차량의 통행을 막기 때문에 일종의 병목현상을 발생시켜 충격파(shock wave)를 만들어냈다. 버스베이 정류장에서는 이러한 현상은 사라지지만 정지선에서 버스베이가 가깝기 때문에 본선 대기열에 의 버스의 버스베이로의 진입, 본류로의 재진입 자체가 불가능해져 버스의 대기시간이 매우 길어지는 현상이 발생했다. 반면, 원측(far-side) 버스베이의 경우 정지선에서 떨어져 있기 때문에 본선의 대기열에 의해 버스의 버스베이 진입, 진출이 영향을 받지 않아 보다 원활한 운영양상을 보였다.

## 2. 통행시간비용 절감효과

시뮬레이션 결과를 기반으로 버스베이 통행시간 편익을 산출하였다. 우선, 버스베이 설치시 정차시간, 차종, 노선별로 1시간 동안의 편익을 산출하였으며 그 결과는 Table 12와 같다. 일반 차량은 버스베이 설치시 통행시간 절감편익이 발생하며 버스 정차시간이 증가함에 따라 시간당 편익이 증가하는 경향을 보인다. 혼잡한 노선의 경우 정차시

간에 따라 시간당 편익이 각각 4.2만원, 10.4만원, 24.1만원 발생하며 원활한 노선의 경우 시간당 편익이 각각 3만원, 3.3만원, 5.4만원 발생하여 혼잡한 노선이 원활한 노선 대비 큰 편익이 발생하며 정차시간 증가에 따른 편익 증가 폭도 더 큰 것으로 나타났다.

**Table 12. Benefits of travel time savings (1hour)**

Dwell Time	10.5 second			15 second			20 second		
	High	Low	Total	High	Low	Total	High	Low	Total
General Vehicle	4.2	3.0	7.2	10.4	3.3	13.6	24.1	5.4	29.5
Bus	-10.8	-4.4	-15.2	-15.3	-6.0	-21.3	-18.2	-8.6	-26.8
Total	-6.6	-1.4	-8.0	-5.0	-2.7	-7.7	5.9	-3.1	2.7

unit : 10,000 won

버스는 버스베이 설치시 불편익이 발생하며 정차시간이 증가함에 따라 불편익이 증가하는 경향을 보인다. 혼잡한 노선의 경우 정차시간에 따라 시간당 불편익이 각각 10.8만원, 15.3만원, 18.2만원 발생하며 원활한 노선의 경우 시간당 불편익이 각각 4.4만원, 6만원, 8.6만원 발생하여 일반차량과 마찬가지로 혼잡한 노선이 원활한 노선 대비 큰 불편익이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 일반차량과 달리 버스의 정차시간 증가에 따른 불편익 증가 폭은 재차인원 증가로 인한 불편익 증가 폭 증가 효과와 통행시간 증가율 감소로 인한 편익 증가 폭 감소효과가 상충한다. 재차인원 증가는 일정하기 때문에 상대적으로 정차시간에 따른 통행시간 증가율 감소가 큰 혼잡노선의 경우 불편익 증가폭이 감소하였고 통행시간 증가율 감소가 작은 원활노선의 경우 불편익 증가폭이 증가하였다.

전체 차량의 버스베이 통행시간 편익은 일반 차량의 통행시간 편익과 버스의 통행시간 불편익의 차이에 따라 결정된다. 대부분의 경우 버스베이 설치시 버스의 불편익이 일반차량의 편익보다 크기 때문에 해당 노선의 통행시간 절감불편익이 발생하나 버스 정차시간 20초에 혼잡한 노선인 경우에는 유일하게 일반 차량의 편익이 더 크기 때문에 해당 노선의 버스베이 통행시간 편익이 발생하였다. 이는 혼잡노선에 버스베이 설치시 버스 정차시간이 증가함에 따라 일반차량의 통행시간 감소율이 증가하는데 비해 버스의 통행시간 증가율은 감소하여 일반 차량의 편익 증가 폭은 증가하나 버스의 불편익의 증가 폭은 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

버스베이 설치시 분석 대상지의 18시-19시 첨두시간대 1시간 동안의 네트워크 버스베이 통행시간 편익은 버스 정차시간에 따라 8만원 가량의 불편익이 발생하거나 2.7만원의 편익이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 통행이 원활한 경우 버스베이 설치시 버스 정차시간에 관계없이 불편익이 발생한다는 결과와 하루 중 혼잡시간이 한정적이라는 것을 고려했을 때 버스베이 설치시 네트워크 통행시간비용 증가효과가 발생할 것으로 판단된다.

## 결론 및 향후연구과제

### 1. 결론

본 연구는 미시 시뮬레이션 분석을 통해 국내 도시부 도로에서 버스베이 설치에 따른 교통류의 변화와 통행시간 비용 절감효과 분석을 수행하였다. SUMO를 활용하여 오리로의 현 도로 상황과 근접한 시뮬레이션 환경을 구축하였고 이를 바탕으로 버스베이 설치시의 네트워크를 별도로 구축하였다. 시뮬레이션 분석을 통해 버스베이 설치시 교통류 변화를 도출하였고 도출된 값을 바탕으로 버스 정차시간에 따른 재차인원, 시간가치를 적용하여 통행시간 절감편익을 도출하였다. 이 연구는 특히 차량을 대상으로 수행한 시뮬레이션 결과를 차량운전자와 버스승객 수와 같은 도로 이용자를 고려하여 해석함으로써 미시적 분석과 거시적 분석을 결합하였다는 점에도 의의가 있다.

분석결과 교통량에는 큰 변화를 보이지 않았으나 평균 통행속도의 경우 혼잡한 상행선의 변화가 월등히 컸으며 상행선 기준 버스베이 설치시 일반 차량의 평균 통행속도는 버스 정차시간 10.5초, 15초, 20초일 때 각각 3.5%,

8.5%, 18.2% 증가하였고 버스의 평균 통행속도는 각각 29.3%, 25.3%, 19.8% 감소하였다. 평균 통행시간도 마찬가지로 혼잡한 상행선의 변화가 월등히 컸으며 상행선 기준 버스베이 설치시 일반 차량의 평균 통행시간은 버스 정차시간 10.5초, 15초, 20초일 때 각각 2.8%, 7.0%, 14.9% 감소하였고 버스의 평균 통행시간은 각각 55.2%, 44.3%, 34.3% 증가하였다. 버스 정차시간 별 노선별 버스베이 통행시간 편익은 정차시간 20초일 때 혼잡노선을 제외하고는 모두 불편익이 발생하는 것으로 나타났으며 버스 정차시간 별 전체 노선의 침두시간 시간당 버스베이 통행시간 편익은 정차시간 10.5초, 15초에서는 동안 8만원, 7.7만원의 불편익, 정차시간 20초에서는 2.7만원의 편익이 발생하였다.

버스베이 설치하는 버스가 정차하며 주행차로를 점유하여 일반 차량의 소통을 방해하던 영향을 해소하는 반면 버스의 주행차로 재진입을 어렵게 하여 일반 차량의 통행을 원활하게하고 버스의 통행은 어렵게 하는 효과를 나타냈다. 일반 차량의 경우 버스 정차시간이 길어질수록 버스베이 설치시 소통 방해 해소효과가 크게 나타나지만 버스의 경우 버스 정차시간이 길어질수록 버스베이 설치시 통행시간 증가율이 감소한다. 이로 인해 혼잡한 노선에서 버스 정차시간이 길어짐에 따라 일반차량의 통행시간비용 절감효과가 버스의 통행시간비용 증가효과보다 커져 전체적인 통행시간비용 증가효과가 발생한다.

버스베이 설치하는 대부분의 경우 통행시간비용을 증가시키나 혼잡한 교통류에 버스 정차시간이 길어지는 경우 통행시간비용이 절감될 수 있다. '2020 서울특별시 교통량 조사 보고서'에 따르면 침두시간의 교통량 비율은 6.2%이며 하루 중 교통이 혼잡한 시간을 출퇴근 시간 4시간이라고 가정했을 때 침두시간의 교통량은 하루 교통량의 25%가 채 되지 않는다. 이러한 점을 감안했을 때 대부분의 경우 버스베이 설치하는 통행시간비용을 증가시킬 것으로 보이며 설치비용을 감안한다면 사회적 비용은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 분석결과를 보았을 때 왕복 4차로 도로에서 버스정류장 설치 시 버스베이 형식은 대부분의 경우 지양하되 교통이 혼잡한 시간의 비중이 크고 버스 정차시간이 긴 지역에 한해서는 원측(far-side) 버스베이의 설치를 고려하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 더 나아가, 버스베이가 일반차량의 교통흐름을 원활하게 하고 버스의 교통흐름을 저해하는 것을 고려하였을 때 대중교통 중심의 교통정책으로 패러다임이 옮겨지는 현 시점에서는 지역에 따라 기존에 설치된 버스베이를 보도로 다시 돌리는 것도 고려해 보아야 할 것이다.

## 2. 향후 연구과제

본 연구의 한계점을 보완하고 보다 체계적인 연구를 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

첫째, 본 연구에서는 혼잡상황의 양방향 4차로의 직선도로에서 분석을 진행하였다, 보다 범용적인 연구를 위해서는 다양한 서비스 수준과 교통량 그리고 다양한 네트워크 규모의 분석대상지에서 버스베이 설치의 효과를 추정하는 등 추가적인 분석이 필요하다.

둘째, 본 연구에서는 버스의 재차인원을 단순히 승하차인원과 비례할 것으로 가정하였다. 또한 각 버스 및 정류소의 승하차인원 및 정차시간을 대상지 평균과 같다고 가정하였으나 실제로는 매 버스마다, 정류소마다 정차시간과 재차인원이 다르며 이는 네트워크 성능 및 통행시간비용 절감효과에 영향을 미친다. 따라서, 보다 현실적인 연구를 위해 빅데이터 분석 등을 통해 버스 재차인원을 보다 엄밀하게 추정하고 시뮬레이션 과정에서 각 정류소 별 정차시간과 버스 별 승하차인원, 재차인원에 차등을 주거나 버스의 운행에 따른 승객의 변화를 실시간으로 반영하는 등 추가적인 분석이 필요하다.


셋째, 본 연구에서는 버스가 2대 이상 정차 시 후행 버스가 먼저 출발이 불가하거나 버스베이 규모의 한계로 인해 선행버스 장시간 정차시 후미버스가 정류소 진입이 불가한 점 등 분석과정에서 시뮬레이션 상의 한계가 존재했다. 또한 버스베이의 위치를 고정한 상태로 분석을 진행하여 버스정류소의 위치에 따른 영향을 충분히 반영하지 못했다. 보다 명료한 분석을 위해 버스정류소 진출입에 대한 추가적인 알고리즘을 적용하고 다양한 규모 및 위치의 버스베이를 사용한 연구가 필요하다.


넷째, 본 연구에서는 미시적 측면에서 버스베이 설치 시 발생하는 버스의 통행시간비용 절감효과를 분석하였기 때문에 거시적 측면의 통행시간 절감편익을 산출하지 못했다. 향후, 주변 네트워크의 영향을 고려한 거시적인 범위의 분석을 통해 버스베이 설치 시 발생하는 통행시간 절감편익을 보다 엄밀하게 산정하는 연구가 필요하다.


## 알림


본 논문은 제 86회 대한교통학회 학술대회(2022.4.22)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성한 것입니다.

## ORCID

LEE, Hyeokjun  <http://orcid.org/0000-0001-5246-3216>

PARK, Jonghan  <http://orcid.org/0000-0003-0829-8238>

KO, Joonho  <http://orcid.org/0000-0002-0426-3356>

KIM, Dongsung  <http://orcid.org/0000-0002-3594-5093>

## REFERENCES

- Cats Oded, Burghout W., Toledo T., Koutsopoulos H. (2010), Mesoscopic Modeling of Bus Public Transportation, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2188, 9-18.
- Chowdhury Debashish, Desai R. C. (2000), Steady-states and Kinetics of Ordering in Bus-route Models: Connection with the Nagel-Schreckenberg Model, *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 15, 375-384.
- Daganzo Carlos F. (2009), A Headway-based Approach to Eliminate Bus Bunching: Systematic Analysis and Comparisons, *Transportation Research Part B: Methodological*, 43, 913-921.
- Ding H., Wang W., Luo T., Yang Z., Li Y., Li Z. (2015), Cellular Automata Based Modeling for Evaluating Different Bus Stop Designs in China, *Journal of Advanced Transportation*.
- Hans, Etienne, Chiabaut N., Leclercq L., Bertini R. L. (2015), Real-time Bus Route State Forecasting Using Particle Filter and Mesoscopic Modeling, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 61, 121-140.
- Hickman M. D. (2001), An Analytic Stochastic Model for the Transit Vehicle Holding Problem, *Transportation Science*, 35(3), 215-237.
- Hu X., Liu T., Hao X., Su Z., Yang Z. (2021), Research on the Influence of Bus Bay on Traffic Flow in Adjacent Lane: Simulations in the Framework of Kerner's Three-phase Traffic Theory, *Physica A*, 563.
- Ji W. S. (2015), A bus bay that is not used by buses, *Issue&Analysis*, 192, 1-23.
- Kieu L., Ngoduy D., Malleson N., Chung E. (2019), A Stochastic Schedule-following Simulation Model of Bus Routes, *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 7.
- Kim J. H., Han S. Y., Lee W. D. (2008), Review of the Congestion Status of the Subway Station, *Korean Society for Railway, Proceedings of 2008 Spring Conference*, 1810-1816.
- Kim K. W., Kim D. W., Noh K. S., Lee J. Y. (2015), An Exploratory Study on Improvement Method of the Subway Congestion Based Big Data Convergence, *Journal of Digital Convergence*, 13, 35-42.

- Korea Development Institute (2008), Study on Modification and Supplementation of Standard Guidelines for Preliminary Feasibility Studies for Roadway and Railway Projects (5th ed.),
- Koshy R. Z., Arasan V. T. (2005), Influence of Bus Stops on Flow Characteristics of Mixed Traffic, *Journal of Transportation Engineering*, 131, 640-643.
- Lee C. J., Lee O. S., Hwang D. Y., Lee M. H., Lee Y. S. (2016), A Study on the Improvement of Bus Bay and the Integration of Bus Stop for the Improvement of Bus Stop Environment, Seoul Metropolitan Transportation Office.
- Lee H. J., Park J. H., Ko J. (2021), Estimation of Carbon Emissions Reductions by the Penetration Rates of Autonomous Vehicles for Urban Road Network, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 20(6), 162-176.
- Luo Q., Zheng T., Wu W., Jia H., Li J. (2018), Modeling the effect of bus stops on capacity of curb lane, *International Journal of Modern Physics C*, 29.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017), Guidelines for Investment Evaluation of Transportation Facilities.
- Mushule N. K. (2012), Bus Bay Performance and Its Influence on the Capacity of Road Network in Dar Es Salaam, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5, 107-113.
- O'loan O. J., Evans M. R., Cates M. E. (1998), Jamming Transition in a Homogeneous One-dimensional System: The Bus Route Model, *Physical Review E*, 58.
- Toledo Tomer, Cats O., Burghout W., Koutsopoulos H. N. (2010), Mesoscopic Simulation for Transit Operations, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18, 896-908.
- Zhang J., Li Z., Zhang F., Qi Y., Zhou W., Wang Y., Zhao D., Wang W. (2018), Evaluating the impacts of bus stop design and bus dwelling on operations of multitype road users, *Journal of Advanced Transportation*.
- Zhao X., Gao Z., Jia B. (2007), The Capacity Drop Caused by the Combined Effect of the Intersection and the Bus Stop in a CA Model, *Physica A*, 385, 645-658.