

S-BRT 운행행태를 고려한 저상버스의 정차시간 예측모형

신소명* · 이수범**† · 김영찬** · 박신형** · 유연승* · 최정훈***

A Estimation of Dwell Time of Low-floor Buses considering S-BRT Operation Behavior

S. M. Shin* · S. B. Lee**† · Y. C. Kim** · S. H. Park** · Y. S. Yu* · J. H. Choi***

†Corresponding Author

Soo Beom Lee
Tel : +82-2-6490-2824
E-mail : mendota@uos.ac.kr

Received : November 30, 2020

Revised : December 14, 2020

Accepted : January 15, 2021

Copyright©2021 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Abstract : This basic study introduces the concept of S-BRT and develops dwell time estimation models that consider road geometry and S-BRT characteristics for a signal operation strategy to meet the S-BRT's operational goal of high speed and punctuality. Field surveys of low-floor buses similar in shape to S-BRTs and data collection of passengers, station elements, vehicle elements, and other factors that can affect stop times were used in a regression analysis to establish statistically significant dwell time estimation models. These dwell time estimation models are developed by categorizing according to the locations of the signal or sidewalk that have the most impact on the dwell time. In this way, the number of people boarding and alighting the bus at the crowded door and the number of people boarding and alighting the bus at the front door considering the internal congestion was analyzed to affect the dwell time. The estimation dwell time models in this study can be used in the establishment of strategies that provide priority signals to S-BRTs.

Key Words : S-BRT, dwell time, low-floor bus, prediction, internal congestion

1. 서론

1.1 연구의 배경

현재 운영되고 있는 BRT는 전용차로의 불연속성, 일반 차량과의 동일한 수준의 신호 교차로 대기, 정류장 처리 용량 한계로 인한 병목현상 발생 등으로 버스의 신속성 및 정시성이 저해되고 있다. 이에 정부는 BRT 운영 문제를 해소하고자 정시성과 고속성을 목표로 하는 S-BRT를 도입하고자 한다.

S-BRT란 전행주행로, 교차로 우선처리, 수평승하차, 전용량 등 체계시설을 필수적으로 갖추어 평균통행속도와 정시성의 목표 수준이상으로 운행하는 BRT를 말한다. 이는 도시철도 시스템의 장점을 버스에 도입하는 최고급형 BRT를 의미한다. S-BRT는 급행기준 평균

운행속도가 35 km/h(일반 25 km/h)를 만족하여야 하며, 운행 스케줄 기준 출발 및 도착이 2분 이내 가능한 정시성을 확보하여야 한다¹⁾. 이러한 S-BRT의 운영목표에 부합하기 위해서는 버스가 교차로에서 정차하는 시간을 최소화하여 평균통행속도를 향상시켜야 한다. 이를 위해서는 버스가 정류장 내 정차시간을 산정 및 예측하여 최적의 신호 운영 전략을 구축하는데 활용되어야 한다. 버스의 정류장 내 정차시간 중에는 승하차시간의 비중이 가장 높지만, 정류장별 승하차시간은 유동적이기 때문에 그 외 정차시간에 미치는 차량 및 이용자 특성 등을 고려하여 정차시간을 예측하여야 한다.

도로용량편립²⁾에서 정차시간은 버스정류장에 정차해 있을 동안의 시간으로 버스의 바퀴가 멈추었다 출발하는 사이의 시간으로 정의하였다. 이는 Fig. 1과 같다.

*서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (Department of Transportation Engineering, University of Seoul)

**서울시립대학교 교통공학과 교수 (Department of Transportation Engineering, University of Seoul)

***서울시립대학교 교통공학과 학부생 (Department of Transportation Engineering, University of Seoul)

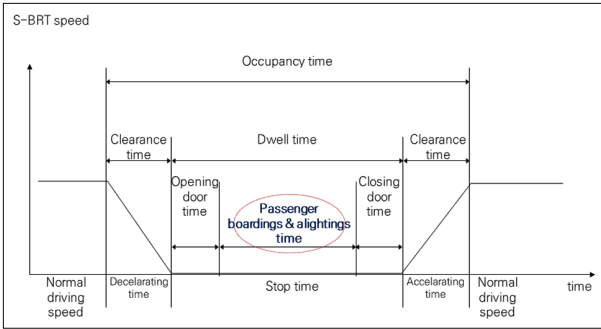


Fig. 1. Configuring the occupancy time of the bus at the station.

1.2 연구의 목적

현재 S-BRT는 국내에 도입되어 있지 않기 때문에, S-BRT의 폐쇄형 정류장의 데이터를 확보할 수가 없다. 이에 본 연구에서는 향후 S-BRT 운영에 있어서 신호 운영 전략을 수립하는데 활용 될 수 있도록 S-BRT가 폐쇄형 정류장을 갖추고 정류장별 1개 이상의 추월차로를 확보하는 권고사항¹⁾을 고려하여 다른 버스의 영향을 받지 않는 버스 및 정류장 내 한번 정차해 있을 동안의 출입문 개폐시간과 승객의 승하차시간 합을 S-BRT의 정차시간과 같은 S-BRT의 도로기하구조, 특성 등을 고려한 정차시간 모형을 개발하는 것이 본 연구의 주목적이다.

2. 연구 방법

본 연구는 S-BRT와 유사한 형태로 운영되고 있는 현재 BRT 노선, 특히 S-BRT에 투입될 저상버스를 대상으로 정류장별 정차시간 데이터를 활용하여 S-BRT

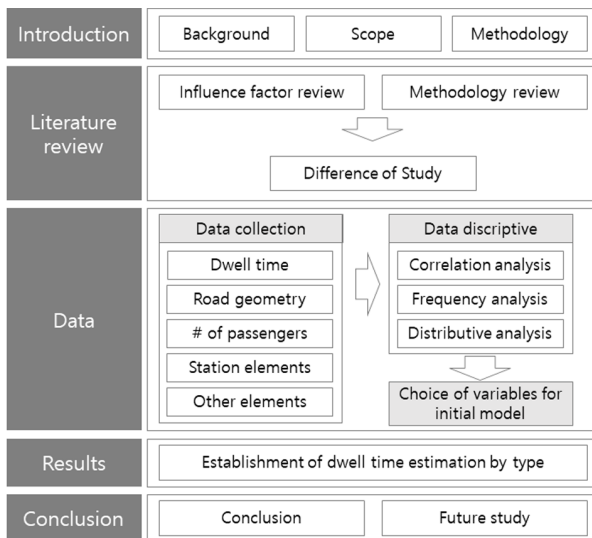


Fig. 2. Study of process.

의 정차시간 예측모형을 정립하고자 한다.

연구의 수행절차는 다음과 같다. 첫째, 연구의 범위 및 방법을 설정 후, 정차시간 산정 방법론의 문헌을 고찰한다. 둘째, 현장조사 계획을 수립 후, 현장조사를 통하여 자료를 수집한다. 셋째, 현장조사 데이터에 대해 상관분석, 빈도분석을 수행하여 부적정 변수를 삭제한다. 마지막으로, 기본 모형을 바탕으로 정차시간 예측모형을 정립한다. 이러한 과정을 그림으로 표현하면 Fig. 2와 같다.

3. 선행 연구 고찰

3.1 정차시간 산정 방법론

S-BRT의 정차시간 영향요소 및 분석 방법론을 고찰하기 위하여 S-BRT와 유사한 형태인 버스 및 BRT의 정차시간 관련 논문을 고찰하였다.

J. Xin et al.³⁾은 정차시간은 개폐시간과 승객 승하차시간으로 구분되며, 정차시간에 영향을 미치는 요소는 버스정류장의 특성 등에 따라 다른 것으로 분석되었다. 정차시간 예측 모형의 신뢰성을 증대시키기 위해 활용 가능한 데이터를 k-Nearest Neighbour(KNN) 알고리즘에 적용하였고, 하류부 정류장에서의 버스 정차시간을 예측하는 동적모형을 개발하였다. 그러나 일부 버스정류장은 교차로와 가까워 신호를 기다리는 시간을 체류시간으로 간주할 수 있다는 한계점을 보였다.

M. G. Emilio et al.⁴⁾은 스페인 마드리드의 27번 버스의 조사 데이터 값으로 다중회귀분석을 활용하여 버스 정차시간을 예측하였다. 그 결과, 정차시간 추정에 있어 가장 영향을 많이 끼치는 요소는 승차인원으로 나타났다. 승차인원이 20명 이상인 경우 정차시간이 30~116초로 가변성이 커 승차인원이 20명 미만일 경우에만 정차시간 산정모형의 정확성이 높은 것으로 나타났다. 정차시간 산정모형은 다음과 같다.

$$\log(td) = 0.6523[\log(Pb)] + 0.7984 \quad (1)$$

여기서, td: 정차시간, Pb: 승차인원

TRB⁵⁾에서는 Highway Capacity Manual을 통해 버스의 정차시간을 결정하는 주된 영향요인을 제시하였다. 승하차 인원, 적재량, 정류장 간격, 요금 지불 절차, 차량 종류, 선내 순환, 휠체어 및 자전거 탑승으로 제시하고 있다. 이중 선내 순환은 문이 2개 이상인 버스인 경우 뒷문을 통해서 출입할수록 있도록 하는 것으로, 승객의 혼잡을 줄일 수 있는 것을 의미한다. 특히 승하차 인원은 정차시간에 가장 큰 영향을 주는 요인으로

제시하고 있다.

C. Csiszar et al.⁶⁾은 과거 데이터를 활용하여 버스 정차시간을 산정한 결과, 승하차 인원, 시간대, 날씨, 차량 바닥 높이가 정차시간의 영향요소로 나타났다.

Kang et al.⁷⁾은 서울시를 중심으로 대표적인 차량 형태인 지역 순환버스, 도시형 입석버스 및 좌석버스로 형태를 구분하여 이론적인 요인들을 분석한 결과, 요금 지불 형태, 문의 개수, 문의 폭, 버스정류장 형태 및 종류가 정차시간에 영향을 주는 것으로 분석하였다.

F. Li et al.⁸⁾은 중국 창저우에서 운영 중인 BRT의 데이터를 이용해 회귀분석으로 비선형 모델을 구축하였다. 정차시간의 영향요소로는 문의 개수, 승하차인원, 승객 당 지연시간, 적재량으로 나타났다.

A. Kathuria et al.⁹⁾은 BRT 정류장에서 승객이 버스에 탑승하기 위해 걸어가는데 걸리는 시간, 즉 정차시간을 증가시키는 버스 손실시간(BLT; Bus Lost Time)을 고려하였고, 회귀모형을 통해 정차시간 모형을 개발하였다. 정차시간 모형은 다음과 같다.

$$DT = Pa \times ta + Pb \times tb + BLT \quad (2)$$

여기서, Pa: 하차인원, ta: 하차시간, Pb: 승차인원, tb: 승차시간, toc: 문개폐시간, BLT: 정류장에서 버스에 탑승하는 시간

Tirachini. A.¹⁰⁾은 호주 시드니의 두 지역 내의 버스를 대상으로 정차시간을 예측하였다. 정차시간에 미치는 영향을 분석하기 위하여 버스 계단의 유무 및 요금 지불형태에 따라 분류하였으며, 다중회귀분석을 활용하였다. 분석 결과, 이용권을 사용하여 요금을 지불하지 않는 승객의 탑승시간은 평균 1.46초로 카드나 현금으로 지불 할 때보다 최소 3배 이상 짧은 것으로 나타났다.

앞서 살펴본 선행연구들에서 정차시간에 미치는 요인들은 승객, 정류장, 차량 및 도로환경 등 기타요인으로 제시하였다. 분석 모형으로는 대부분의 연구에서 회귀모형을 활용하여 예측모형을 산정하였다. 종합적인 선행연구의 고찰결과는 Table 1과 같다.

3.2 S-BRT의 운행형태

국토교통부¹⁾에 따르면, S-BRT는 전용주행로, 교차로 우선처리, 수평 승하차, 전용차량 등의 시설을 갖추어야 한다.

국토교통부에서 제시한 S-BRT의 체계시설은 권고기준으로 변동될 여지가 있으므로, 본 논문에서는 S-BRT는 전용차로 또는 전용 정류장만을 운행하며, S-BRT는 추월차로를 확보하고, S-BRT의 정류장은 3면 이상의 정차면 수를 확보하여 다른 노선의 버스에 영향을 받지 않으며, 저상버스라는 전제로 가정을 하였다.

3.3 기존 연구와의 차별성

기존에 수행된 정차시간 예측연구는 대부분 신호기의 위치 등 도로 기하구조는 고려하지 않았으며, 승객과 차량과 관련된 영향요소를 고려하여 연구가 수행되었다. 또한 일반 버스 및 BRT를 대상으로 정차시간 관련 연구가 진행되어 국내 현황을 반영한 S-BRT 정차시간 연구는 미비하다.

이에 본 연구는 S-BRT가 도입되기 전의 기초 연구로 기존 BRT를 대상으로 하여, S-BRT의 운행형태 등을 고려하여 향후 도입될 S-BRT의 정차시간을 예측한 점에서 차별성이 있다고 할 수 있다.

4. 자료의 수집 및 기초통계분석

4.1 데이터 수집

4.1.1 S-BRT 정차시간 영향요소

본 연구에서는 기존 문헌검토 결과를 바탕으로 정류장에서 버스의 점유시간 구성으로 한 영향요인에 추가적으로 승객의 승하차에 영향을 줄 수 있는 횡단보도 및 신호기 위치 등을 고려하였다.

Table 1. Results of review of factors influencing dwell time

Characteristic	Bus				BRT	
	Emilio M. G. (2012)	TRB (2000)	Csiszar C. (2017)	Kang. Y. G. (2000)	Li. F. (2013)	Kathuria A (2016)
Passenger	Number	O	O	O	O	O
	Delay time				O	
	Wheelchair and bicycle		O			
	Age				O	
Station	Size and type				O	
	Interval		O			
	Loss time					O
Bus	Payment method				O	
	Number of door		O		O	
	Width of door				O	
	Floor level			O		
	Bus type		O			O
Other	Traffic volume		O			
	Time			O		
	Weather			O		

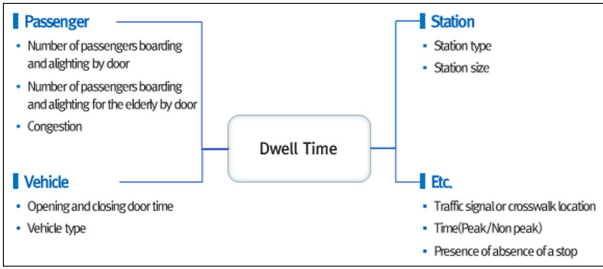


Fig. 3. Factors affecting dwell time.

세부적으로 승객 관련 요소로는 각각의 문별 승하차 인원 및 교통약자 인원, 차내혼잡도로 하였으며, 차량의 관련 요소로는 개폐문 시간 및 차량종류, 정류장 관련 요소로는 정류장의 종류(가rob변 정류장 혹은 중앙버스정류장) 및 정류장의 크기, 도로기하구조 등 기타 요소로는 횡단보도 혹은 신호기의 위치, 시간대, 정차유무로 도출하였다. Fig. 3은 본 연구에서 정차시간에 영향을 주는 요소를 정리한 그림이다.

4.1.2 현장조사

정차시간 변동을 설명하기 위하여 수요가 다양한 노선을 지나는 420번 버스 중 S-BRT에 도입될 버스 형태인 저상버스만을 조사대상으로 하였다.

일반적으로 가장 많은 날씨인 맑은 날을 대상으로 하고, 승하차인원의 다양성을 위하여 2020년 7월 16일 오전 오후 첨두시 및 비첨두시 시간대에 2명이 차량 내부에 탑승하여 앞서 도출한 정차시간에 영향을 주는 요소를 정류장별로 조사하였다. 스마트 카드데이터와 BIS 데이터의 정보를 활용할 수 있으나, 앞 차로 인한 정차 여부, 문별 승하차인원 등은 현장조사만으로 가능하기에 현장조사 데이터를 활용하였다. 이때의 조사자 2명의 위치는 Fig. 4와 같다.

영향요소 중 차내혼잡도는 버스의 승하차시 미치는 영향요소로 해당 정류장에서 문이 열리기 직전의 좌석에 앉아 있는 승객 수와 차내에 서있는 승객수를 조사

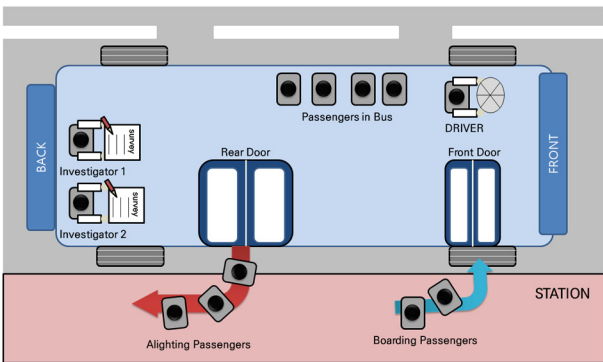


Fig. 4. Investigator position.

하였으며, 정차유무는 신호에 의한 것인지 혹은 앞차 승객의 승하차 등으로 인한 정차인지를 구분하여 조사하였다. 횡단보도 위치는 서울특별시 시내버스정류소 등의 정비 및 관리 조례에 따라 정차범위인 표지판 또는 승차대가 설치된 곳으로부터 20 m 이내에 정류장의 앞에 횡단보도 혹은 신호기가 위치하였는지를 조사하였다.

4.2 유형구분

S-BRT는 S-BRT의 궁극적인 운영목표인 정시성과 고속성에 부합하기 위하여 S-BRT의 운영상황에 맞춰 우선신호를 제공하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 도로기하구조 요소인 신호기와 횡단보도 위치에 따라 유형을 구분하였다. 이는 조사 대상인 서울시 조례에 따라 승차대로부터 20 m 이내에 승하차가 가능하므로 이를 도로기하구조의 특성으로 반영하였다. 이에 본 연구에서 구분한 유형 1은 정류장 전방 20 m에 신호기 및 횡단보도가 없는 것이고, 유형 2는 정류장 전방 20 m에 신호기 및 횡단보도가 있는 것이다.

Table 2. Type of dwell time prediction model

Characteristic	Type
No crosswalk/signal within 20 meters in front of the stop	type 1
Crosswalk/signal within 20 meters in front of the stop	type 2

4.3 자료의 기초통계분석

4.3.1 기초통계분석

조사한 버스는 총 24대로, 총 68개의 정류장별 정차시간을 분석한 결과, 유형 1은 561개의 데이터, 유형 2는 490개의 데이터 중 앞 차 또는 신호 등으로 인한 정차로 인한 데이터를 제외하고 유형 1은 312개, 유형 2는 195개의 데이터를 본 연구에 활용하였다.

조사한 데이터 중 정확한 데이터만을 분석에 사용함으로써 본 연구에서 사용된 독립변수는 ‘정차시간’, ‘승하차시간’, ‘정차면 수’, ‘승차인원’, ‘하차인원’, ‘승하차인원 중 더 많은 인원’, ‘붐비는 문에서의 승객 수’, ‘차내 착석인원’, ‘차내 입석인원’, ‘내부인원’, ‘정류장 종류(가rob변 및 중앙차로) 10개로, 유형별 독립변수들의 기초통계분석 결과는 Table 3과 같다.

유형 1의 정차시간은 평균 13.76초이며, 유형 2의 정차시간은 평균 17.10초로 정류장 전방 20 m 이내에 신호기 및 횡단보도의 유무의 차이를 보였다. 추가적으로 정류장 유형만 일부 차이가 있었으나, 다른 승하차 승객, 내부인원 등은 유형별로 크게 차이는 없는 것으로 나타났다.

Table 3. Data description

	Characteristic	Average	Standard deviation	Min.	Max.
Type 1	Dwell time	13.76	6.08	0.00	59.00
	Passenger boarding & alighting time	8.29	4.19	0.00	23.00
	Number of loading area	0.77	1.60	0.00	8.00
	Boarding passengers	2.12	2.06	0.00	9.00
	Alighting passengers	1.89	1.94	0.00	9.00
	Larger number of passengers between boarding and alighting	3.12	2.01	0.00	9.00
	Number of passenger of crowded doors	3.12	2.00	0.00	9.00
	Internal congestion_seat	14.93	6.06	2.00	24.00
	Internal congestion_standing room	1.57	3.04	0.00	18.00
	Passenger in bus	16.50	7.95	2.00	42.00
	Type of station (Road side : 0. Central lane : 1)	0.03	0.16	0.00	1.00
Type 2	Dwell time	17.10	10.22	0.00	82.00
	Passenger boarding & alighting time	9.31	5.60	0.00	35.00
	Number of loading area	2.73	1.81	0.00	5.00
	Boarding passengers	2.46	2.95	0.00	17.00
	Alighting passengers	2.32	2.49	0.00	15.00
	Larger number of passengers between boarding and alighting	3.63	2.95	0.00	17.00
	Number of passenger of crowded doors	3.62	2.91	0.00	15.00
	Internal congestion_seat	16.76	5.68	3.00	24.00
	Internal congestion_standing room	2.19	3.98	0.00	28.00
	Passenger in bus	18.96	8.53	3.00	52.00
	Type of station (Road side : 0. Central lane : 1)	0.65	0.48	0.00	1.00

4.3.2 상관분석

독립변수 간 상관도가 높은 변수들은 다중공산성 문제가 발생하기 때문에 상관도가 높은 변수 중에서 의미가 있을 것으로 판단되는 변수만을 분석에 포함하여야 한다. 그 결과, ‘승차인원’과 ‘하차인원’, ‘승하차인원 중 많은 인원’은 ‘문별 승하차인원의 합 중 많은 인원’과 상관성이 높게 나타났으며, 내부혼잡과 관련된 변수 중에서 ‘좌석에 앉아 있는 인원’과 ‘입석인원’은 ‘내부인원’과 상관성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 모형 구축 시 ‘문별 승하차인원 합 중 많은 인원’과 승객의 승하차 시 경로를 방해할 수 있는 ‘차량 내부인원 중 입석인원’, ‘정류장 종류’ 등을 변수로 포함하였다. 상관분석 결과는 Table 4와 같다.

5. 모형구축 결과 및 해석

정차시간의 변화에 가장 큰 영향을 주는 요소는 정류장 앞에 횡단보도 혹은 신호기의 유무로, 횡단보도 혹은 신호기의 위치가 정류장 앞에 위치하는 경우와 그렇지 않은 경우로 유형을 구분하여 정차시간 예측모형을 개발하였다.

앞서 본 연구에서 S-BRT의 운영형태에 대해 가정한 부분들을 적용하면, S-BRT에 신호우선권을 제공하기 때문에 버스가 신호로 인해 정차는 하지 않는다. 또한, S-BRT의 정류장에는 충분한 정차면 수 및 추월차로를 확보하고 있기에 다른 노선의 버스에 의한 영향을 받

Table 4. Correlations analysis results

	Characteristic	Dwell time	Boarding & Alighting time	Seat	Standing room	Inner passenger (Seat+Standing room)	Passengers in crowded door	larger number of passengers between boarding and alighting
Type 1	Dwell time	1	0.734	0.179	0.219	0.221	0.619	0.621
	Boarding & Alighting time	0.734	1	0.217	0.235	0.256	0.775	0.777
	Seat	0.179	0.217	1	0.468	0.941	0.241	0.240
	Standing room	0.219	0.235	0.468	1	0.739	0.239	0.237
	Inner passenger (Seat+Standing room)	0.221	0.256	0.941	0.739	1	0.275	0.274
	Passengers in crowded door	0.619	0.775	0.241	0.239	0.275	1	0.999
	larger number of passengers between boarding and alighting	0.621	0.777	0.240	0.237	0.274	0.999	1
Type 2	Dwell time	1	0.583	0.223	0.247	0.264	0.478	0.478
	Boarding & Alighting time	0.583	1	0.263	0.354	0.340	0.838	0.836
	Seat	0.223	0.263	1	0.544	0.920	0.346	0.345
	Standing room	0.247	0.354	0.544	1	0.829	0.456	0.472
	Inner passenger (Seat+Standing room)	0.264	0.340	0.920	0.829	1	0.443	0.450
	Passengers in crowded door	0.478	0.838	0.346	0.456	0.443	1	0.999
	larger number of passengers between boarding and alighting	0.478	0.836	0.345	0.472	0.450	0.999	1

지 않는다. 따라서 본 연구에서는 승객의 승하차로 인하여 발생하는 시간과 문 개폐시간으로만 정차시간이 구성되므로, 종속변수를 승하차시간으로 하여 회귀모형을 개발하였다.

회귀분석은 설명변수들의 변화로부터 종속변수의 변화를 예측하는 분석기법이다. 이는 종속변수에 영향을 주는 조건들을 고려하여 인과 관계를 모델링 하는 연구에 많이 활용되고 있다. 본 연구의 주목적이 종속변수인 정차시간에 영향을 주는 요소들인 설명변수들을 고려하여 정차시간의 변화를 예측하는 것이기 때문에 회귀분석이 적합하다고 판단하였다. 또한 머신러닝의 선형모델은 예측은 빠르나, 계수의 값들에 대한 설명력이 명확하지 않은 단점이 있기에 S-BRT 정차시간의 기초연구인 본 연구에서는 변수들간의 설명력을 중점적으로 볼 수 있는 회귀분석이 적합하다고 판단하였다. 이에, 회귀분석을 위한 분석툴로 SPSS 26을 이용하였다. 본 연구에서의 버스정류장(j)에 도착하는 버스(n)의 승하차시간을 DT_n^j 라고 정의하면, 이는 다음과 같은 독립변수에 의해서 결정된다.

$$DT_n^j = f(P_n^j, \lambda_n^{j-1}) \quad (3)$$

여기서, DT_n^j : 버스정류장 j에 도착한 버스 n의 승하차시간

P_n^j : 버스 n이 버스정류장 j에 도착했을 때 앞문과 뒷문 중 뽐비는 문에서의 승하차인원의 합

λ_n^{j-1} : 버스 n이 버스정류장 j-1에서 승하차를 모두 마친 후 j 정류장 도착 직전의 입석인원

정류장 종류인 가로변과 중앙차로는 문헌검토 결과 중요한 요소로 분석되었으나, 횡단보도 또는 신호기 위치로 유형을 구분한 것이 도로기하구조의 영향요소가 포함되었다고 판단하여 독립변수에서는 제외하였다.

문헌검토 및 현장조사 등을 고려한 회귀분석 모형 개발에서 가장 큰 영향요인으로는 승하차인원으로 가정하였고, 입석인원이 승하차시 영향을 줄 수 있다는 가정 하에 식 (4)와 같은 기본 모형을 적용하였다. 그러나 입석인원이 없을 경우에는 해당 데이터 값이 0인 경우가 발생하므로 문별 승하차인원과 내부 혼잡도를 함께 고려할 경우에는 내부인원을 활용하였다.

$$DT_n^j = \beta_0 + \beta_1 P_n^j + \beta_2 \lambda_n^{j-1} + \beta_3 FP_n^j \delta_n^{j-1} + \beta_4 BP_n^j \delta_n^{j-1} \quad (4)$$

여기서, DT_n^j : 버스정류장 j에 도착한 버스 n의 승하차시간

P_n^j : 버스 n이 버스정류장 j에 도착했을 때 앞문과 뒷문 중 뽐비는 문에서의 승하차인원의 합

λ_n^{j-1} : 버스 n이 버스정류장 j-1에서 승하차를 모두 마친 후 j 정류장 도착 직전의 입석인원

FP_n^j : 버스 n이 버스정류장 j에 도착했을 때 앞문으로의 승하차인원의 합

BP_n^j : 버스 n이 버스정류장 j에 도착했을 때 뒷문으로의 승하차인원의 합

δ_n^{j-1} : 버스 n이 버스정류장 j-1에서 승하차를 모두 마친 후 j 정류장 도착 직전의 내부인원

회귀분석 모형을 개발하는 과정에서 통계적으로 중요하지 않은 변수들을 제외하기 위하여 단계적 회귀분석(Stepwise Regression) 방법을 사용하였다. 따라서 기본 모형을 바탕으로 변수의 유의확률이 0.050보다 작은 변수만 통계적으로 유의하다고 간주되었고, 유의한 변수들만이 유형 1과 2의 모형 식에 포함되었다.

유형 1의 모형 식은 식 (5)와 같으며, 수정된 결정계수($\overline{R^2}$)가 0.626으로 62.6%의 설명력을 나타내었다. ‘뽐비는 문에서의 승하차인원의 합(P_n^j)’은 $\beta_1=1.350$ ($p<.001$), ‘앞문으로의 승하차인원의 합(FP_n^j)’은 $\beta_3=0.019$ ($p<.001$)로 나타나 정차시간 산정에 유의한 영향을 미친다고 할 수 있다.

$$DT_n^j = 3.345 + 1.350 P_n^j + 0.019 FP_n^j \delta_n^{j-1} (\overline{R^2}=0.626) \quad (5)$$

Table 5. Regression statistical analysis for the dwell time model(Type 1)

R^2	$\overline{R^2}$	Standard Error of Regression	Durbin-Watson
0.629	0.626	2.56	1.795
Dependent Variable DT_n^j			
Independent Variable	Estimated Coefficient	Standard Error	t-Statistic
β_0	3.345	0.270	0.000
P_n^j	1.350	0.092	0.000
$FP_n^j \delta_n^{j-1}$	0.019	0.004	0.000

유형 2의 모형 식은 식 (6)와 같으며, 수정된 결정계수($\overline{R^2}$)가 0.716으로 71.6%의 설명력을 나타내었다. ‘뽐비는 문에서의 승하차인원의 합(P_n^j)’은 $\beta_1=1.302$ ($p<.001$), ‘앞문으로의 승하차인원의 합(FP_n^j)’은 $\beta_3=0.015$ ($p<.001$)로 나타나 정차시간 산정에 유의한 영향을 미친다고 할 수 있다.

$$DT_n^j = 3.795 + 1.302 P_n^j + 0.015 FP_n^j \delta_n^{j-1} \quad (R^2 = 0.716) \quad (6)$$

Table 6. Regression statistical analysis for the dwell time model(Type 2)

R^2	$\overline{R^2}$	Standard error of regression	Durbin-watson
0.719	0.716	2.99	1.926
Dependent Variable DT_n^j			
Independent variable	Estimated coefficient	Standard error	t-Statistic
β_0	3.795	0.356	0.000
P_n^j	1.302	0.119	0.000
$FP_n^j \delta_n^{j-1}$	0.015	0.005	0.000

유형 1과 유형 2의 정차시간 모형 식에 살펴보면, ‘입석인원’ 및 ‘뒷문 승하차인원’, ‘내부인원’ 변수는 유의확률이 0.050보다 작아 단계적 회귀분석 중 독립 변수에서 제외되었다. 반면, 이 과정에서 ‘봄비는 문에서의 승하차인원의 합’과 ‘내부혼잡도를 고려한 앞문으로의 승하차인원의 합’이 독립변수로 포함되었다. 이는 우리나라는 첨두시간대 내부혼잡으로 인해 탑승이 어려운 경우 앞문으로 승차하지만, 이를 제외한 경우에는 대부분 앞문 승차, 뒷문 하차 형태 승하차가 이루어져 있어 승차 시에 앞문에서의 내부혼잡도가 보다 중요한 요인으로 고려된 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구는 S-BRT의 도입을 위한 기초연구로, S-BRT의 운행형태를 고려하여 서울 시내의 저상버스를 대상으로 승하차인원, 승객 특성, 차량특성, 정류장 특성 및 도로기하구조 등의 변수를 현장조사를 통해 수집하여 정차시간 예측모형을 개발하였다. 모형 개발을 위해 정차시간에 영향을 미치는 요소들의 인과관계를 설명하기 위해 기존 연구에서도 널리 활용된 회귀분석을 활용하였다.

S-BRT를 운영하는데 있어서 우선신호 시스템은 S-BRT의 궁극적인 운영목표인 정시성 및 고속성 위한 필수요소이다. 이를 위해서는 버스의 정차시간이 정확하게 예측되어야 신호운영전략을 수립할 수 있다. 이때 정차시간이 실시간으로 예측되어야 하므로 정확한 데이터와 간단한 계산식을 활용되어 예측이 가능하도록 해야 추후 실증 등에서 적용이 용이하다. 이에 본 연구에서는 기존문헌 및 현장조사 결과 등을 검토하여 정차시간에 미치는 주요 요인을 승하차인원 및 내부혼

잡도로 가정하였으며, 승하차 특성을 고려하여 앞문과 뒷문의 내부혼잡도를 변수로 반영하여 모형을 개발하였다. 개발한 모형은 각 62.6%, 71.6%의 설명력을 나타내었고, 독립변수는 모두 99%의 신뢰수준에서 통계적으로 유의함을 보였다.

본 연구에서 개발한 정차시간 예측모형이 통계적으로 정확도가 입증되어 S-BRT의 우선신호를 제공하는 전략 수립에 기초 연구로서는 활용이 될 수는 있겠지만, 현장에 적용되기에는 향후 연구로 보완되어야 할 점이 있다. 이는 S-BRT의 우선신호 시스템을 구축하는데 있어서 현장조사를 기반으로 한 데이터만으로 모형을 구축하였기 때문에 전체적인 신뢰도에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 신뢰도를 향상시켜 현장에 적용 가능한 모형을 구축하기 위해서는 교통카드 데이터 및 버스 출도착 관리 시스템 데이터, 신호주기 등이 실시간으로 수집한 데이터를 모형에 적용하여 더욱 정확한 승하차 시간 예측이 가능해야 할 것으로 판단된다.

또한 현재는 S-BRT가 국내에 운영되고 있는 사례가 없어 S-BRT 체계시설의 권고 사항인 폐쇄적 정류장, 출입문 3개 이상의 대용량 버스, 사전요금지불 시스템, 우선신호 시스템 등에 대한 데이터 수집이 어렵기 때문에 이를 모형으로 구현 및 적용하기 위한 향후 연구가 필요하다. 추후 시범사업 등을 통해 실증시의 데이터를 활용하면 보다 정확한 S-BRT의 정차시간을 예측할 수 있는 모형을 정립할 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로, 본 연구에서는 다른 연구와의 차별점으로 기하구조를 구분하여 정차시간에 대한 영향요소 도출 및 정차시간을 예측하였으나, 영향요소가 동일하게 도출되었으므로 향후 연구에서는 가로변과 중앙차로를 구분하여 정차시간을 예측하거나, 통합모형으로 정차시간을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement: This research was supported by a grant from the Development of S-BRT Priority Signal and Safety Management Technology Program funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport of Korea [grant number 20SBRT-C158062-01].

References

- 1) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Guideline of Super Bus Rapid Transit”, 2019.
- 2) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Korea Highway Capacity Manual 2013”, 2013.
- 3) J. Xin and S. Chen, “Bus Dwell Time Prediction Based on

- KNN”, *Procedia Engineering*”, Vol. 137, pp. 283-288, 2016.
- 4) E. M. González, M. G. Romana and O. M. Álvaro, “Bus Dwell-Time Model of Main Urban Route Stops”, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2274, Issue 1, pp. 126-134, 2012.
 - 5) TRB, “Highway Capacity Manual”, 2000.
 - 6) C. Csiszár and Z. Sándor, “Method For Analysis and Prediction of Dwell Times at Stops in Local Bus Transportation”, *Transport*, Vol. 32, Issue 3, pp. 302-313, 2017.
 - 7) Y, G. Kang, S. Y. Go and J. S. Seo, “An Analysis on Bus Dwell Times”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 2000.
 - 8) F. Li, Z. Duan and D. Yang, “Dwell Time Estimation Models for Bus Rapid Transit Stations”, *Journal of Modern Transportation*, Vol. 20, No. 3, pp. 168-177, 2012.
 - 9) A. Kathuria et al., Examining Bus Lost Time Dynamics for a Bus Rapid Transit Station”, *Journal of Public Transportation*, Vol. 19, No. 2, pp. 168-182, 2016.
 - 10) A. Tirachini, “Bus Dwell Time : The Effect of Different Fare Collection Systems, Bus Floor Level and Age of Passengers”, *Transportmetrica A: Transport Science*, Vol. 9, Issue 1, pp. 28-49, 2013.