

버스 정류장 정차시간 및 정시성에 영향을 미치는 요인에 관한 연구: 가로변 버스전용차로의 정류장을 중심으로

장재민¹ · 이영인¹ · 이근^{2*}

¹서울대학교 환경대학원 환경계획학과, ²홍익대학교 디자인학부

A Study on the Factors Affecting the Stopping Time and Punctuality of Bus Stop: A Case of Bus Stop by Roadside Bus Only Lane

JANG, Jae-Min¹ · LEE, Young-Inn¹ · LEE, Keun^{2*}

¹Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²International Design School for Advanced Studies, Hongik University, Seoul 04066, Korea

*Corresponding author: kleeoh@empal.com

Abstract

The Seoul metropolitan government introduced the bus information systems, bus rapid transit to increase travel speed and punctuality but still suffer from insufficiency. This paper delivers a study verifying the external factors at near the bus stops. The dependent variable was set to the standard deviation of (1) travel time and (2) travel time to and from the bus stop in this study. The independent variables were set to (1) the number of routes, (2) traffic volume by bus type, (3) the number of bus bays, (4) the possibility of passing, (5) the distance to crosswalks and intersections, and (5) the presence of residential road. The results showed that the most significant factors included the link section speed, number of bus bay, distance to crosswalk, and the possibility of passing.

Keywords: bus stop, punctuality, stopping time, transportation facilities, travel speed

초록

서울시 버스는 통행속도 및 정시성을 높이기 위해 BIS정보제공, 중앙버스전용차로, 간선급행 버스, 버스 우선 신호 등을 선보이며 서비스 개선에 큰 역할을 하였다. 하지만 버스의 통행속도 및 정시성을 높이기 위해서는 버스 정류장 정차시간에 영향을 미치는 정류장 인근 시설물의 개선이 필요하다. 본 연구는 버스정류장 정차시간 개선을 위해 정류장 인근 교통시설물 및 도로환경을 중심으로 영향변수를 도출하고자 한다. 종속변수는 버스정류장의 진·출입시간 및 진·출입시간의 표준편차를 선정하였고, 독립변수는 버스종류별 노선수, 버스종류별 통행량, 버스베이 개수, 횡단보도 및 교차로까지 거리, 앞지르기 가능 유무, 이면도로 존재 유무, 승차 및 하차인원, 해당링크구간 속도를 선정하였다. 분석결과 해당 링크의 속도, 버스베이개수, 횡단보도까지

J. Korean Soc. Transp.
Vol.35, No.3, pp.234-246, June 2017
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.3.234>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 24 March 2017

Revised: 20 April 2017

Accepted: 29 May 2017

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.

거리, 이면도로 유무, 앞지르기 가능 여부가 영향변수로 도출되었고, 진·출입시간의 표준편차는 교차로까지 거리, 횡단보도까지 거리, 이면도로 존재 여부가 선정되었다. 이처럼 버스 정류장 정차시간 및 정시성의 영향을 주는 변수는 다양한 요소가 도출되는 만큼 본 연구 결과를 통해 버스 정류장의 정차시간 및 정시성을 개선시킬 필요가 있다.

주요어: 버스정류장, 정시성, 정차시간, 교통시설물, 통행속도

서론

1. 연구의 배경 및 목적

서울시 버스는 2004년 버스체계 개편을 통해 서울시를 0부터 7까지 여덟개 권역으로 나누어 광역, 간선, 지선, 마을, 순환버스 체계를 구성하여 서울시 전역에 걸쳐 서비스를 제공 중에 있으며, 2009년에는 인천시까지 환승할인이 확대 시행되어 서울 및 수도권 전역에 걸쳐 환승서비스도 가능해졌다. 이 같은 버스체계 개편으로 버스 통행속도 및 버스 이용객을 증가시켰으며, 버스 준공영제의 실시로 버스회사들은 고용이 안정되어 운전기사들의 만족도 또한 상승되었다. 하지만 버스 수단분담 상승률은 연간 0.1%로 서울시의 주요 대중교통인 지하철 이용객의 상승률 0.5%/년 대비 낮게 나타나고 있다. 이는 버스의 정시성 확보 및 통행속도가 상대적으로 낮은 것이 주요원인으로 예상되는 만큼 버스의 BIS정보 제공, 중앙버스전용차로, 간선급행버스 도입, 버스우선 신호 등의 도입을 통해 버스정시성 및 통행속도를 개선시키기 위해 노력하고 있지만 이 역시 도로사정을 정확히 예측하기란 쉽지 않다.

레일 위를 운행하는 지하철과는 달리 버스가 운행하는 도로는 다양한 교통수단이 혼재된 환경인만큼 외부적인 제약조건의 영향을 고려하지 않을 수 없다. 이외 친환경 교통수단의 대표적인 자전거 이용률을 높이기 위해 도로 다이어트를 통한 자전거 전용도로의 확보로 도로의 혼잡은 더욱 가중되고 있는 상태이다. 또한 일부지역은 보행자 중심 도로를 지향하는 만큼 적정공간의 보행자 도로를 확보하고 있으며, 무단횡단 사고를 줄이기 위해 횡단보도 설치간격도 기존 200m에서 100m로 줄고 있으나 이는 자동차 운전자의 시각에서 비춰볼 때 교통 혼잡을 가중시켜며 통행속도를 저하시키는 요인으로 작용한다.

이처럼 도로 위는 차량 속도에 영향을 미치는 다양한 외적요인이 존재하는 만큼 도로의 가로변을 운행하는 버스 노선의 경우 통행시간을 예측하기는 더욱 어렵다. 서울시는 가로변전용차로의 단점을 보완한 버스중앙차선을 도입하고 있지만 도로면적 문제, 예산확보 문제 등으로 버스중앙차선과 가로변전용차로를 혼재하여 운영하고 있다. 도로의 가로변은 택시 승하차로 인한 혼잡, 트럭정차로 인한 혼잡, 이면도로에서 진출입하는 차량과 상충, 교차로 우회전 차량과의 상충 등이 추가로 발생하는 지역으로 가로변을 운행하는 버스 통행시간을 예측하기 위해서는 이러한 외적환경을 추가로 고려해야 버스의 정시성 및 통행속도를 높일 수 있다. 가로변차로는 외부요인에 많이 노출되는 만큼 가로변 차로를 운행하는 버스 속도에 영향을 미치는 요인을 시설물 관점에서 살펴 볼 필요가 있으며 이러한 요인을 규명하여 가로변 버스 전용차로 운영에 대한 효율적인 운영방안을 제시할 필요가 있다.

본 연구는 버스가 정류장에 진입한 뒤 승객을 태우고 진출하는 과정의 시간동안에 영향을 주는 변수를 도출하는 것으로, 영향변수로 일반적인 승하차 이용객수 뿐 아니라 정류장 인근 교통시설물 및 도로환경 등까지 범위를 확대하여 버스의 정시성과 통행속도를 저하시키는 영향변수를 도출한 뒤 이에 따른 시사점을 제시하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 절차

본 연구의 목적은 버스의 통행시간 가운데 버스 정류장의 진출입 소요시간을 기준으로 내적변수(승하차 이용객, 버스노선 수, 버스통행량 등) 및 외적변수(버스베이개수, 버스앞지르기 가능, 전방 횡단보도 교차로 유무, 이면도로 유무 등)의 영향에 따라 버스의 정시성과 통행속도를 저하시키는 영향변수를 도출하는 것이다. 연구 분석지역은 종로6가-종로2가를 선정하였고, 자료범위는 해당 지역을 통과하는 2016년 9월 27일 화요일(행사 및 이벤트 없는 평

일 기준) 기준 버스노선 9대(중간에 경로를 이탈하거나 진입하는 차량은 제외)의 BIS자료를 확보하였으며, 자료 내용은 버스 정류장을 진입하기 직전 버스도착시간 및 정류장을 출발 한 직후 버스출발시간을 기반으로 연구를 분석하였다.

정류장의 진출입 소요시간에 영향을 미치는 변수를 추정하기 위해 종속변수는 정류장을 진출입하는 버스의 통행시간(출발지체시간 포함) 및 통행시간 표준편차의 영향도(=통행시간 표준편차/평균 통행시간)를 선정하였다. 즉, 평균통행시간에 영향을 미치는 변수 및 평균통행시간의 편차에 영향을 미치는 변수를 분석하였다. 독립변수로는 버스종류(지선, 간선, 심야, 광역)별 노선수 및 통행량, 버스베이개수(버스정차대수), 앞지르기 가능, 횡단보도까지 거리, 교차로까지 거리, 이면도로 유무, 승차 및 하차인원, 해당링크구간 속도 등을 반영하여 영향변수를 도출하였다.

Table 1. Dependent variable and Independent variable

Dependent variable	Independent variable
STT= TOS - TIS	Number of lines and traffic volume per bus type (Red bus, Blue bus, Green bus, Late-night Bus)
STT: Bus travel time to and from bus stop	Number of bus bay
TOS : Time to get out of the bus stop	Possible to overtaking
TIS: Time to enter the bus stop	Distance to crosswalk (m)
	Distance to intersection (m)
	Whether or not local road
Standard deviation of STT	Riding and getting off (persons)
	The link section speed (km/h)

이론적 고찰 및 선행연구

1. 이론적 고찰

버스 통행시간은 Figure 1과 같다. 이동시간(T_1), 교차로 접근지체시간(T_2), 신호대기시간(T_3), 이동시간(T_4), 정류장 진입시간(T_5), 승·하차 시간(T_6), 출발지체시간(T_7)의 순서로 버스통행시간의 주기가 반복되고 있다.

이를 기반으로 버스 통행속도를 높이려면 T_1 , T_4 (자유통행시간)를 제외한 이외의 시간을 단축시킬 필요가 있다. 즉 T_2, T_3 는 신호시간에 영향을 받으며, T_5, T_6, T_7 는 버스정류장 위치 및 용량 등에 따른 환경적 요인에 영향을 미친다. 본 연구는 신호시간 이외 영향을 미치는 T_5, T_6, T_7 에 대한 영향변수를 도출하는 것으로 범위를 제한하였으며, T_5, T_6, T_7 에 영향을 미치는 환경적 요인을 고찰해 보면 Figure 2와 같다.

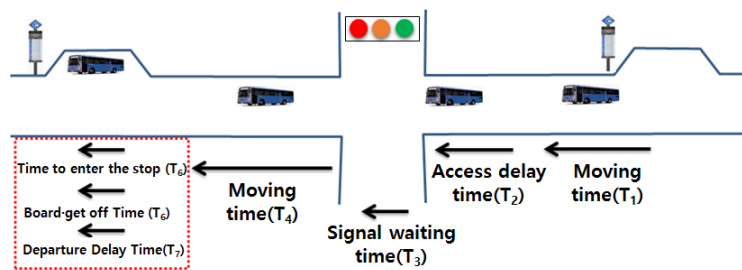


Figure 1. Bus travel time

버스정류장의 지체시간과 직접적으로 관련된 영향요인은 승·하차 인원수, 버스 종류 및 노선수, 버스베이개수, 앞지르기 가능 유무 등에 따라 영향을 미치며, 이외 구간에서는 인접 횡단보도 및 교차로까지 거리, 이면도로의 진·출입 차량, 해당링크 구간의 속도가 통행속도에 영향을 미치고 있다.

이는 버스 종류별로 승하시간에 영향이 높을 것을 추정되며(광역버스 승하차 시간 높음), 버스 노선수는 여러 대의 버스가 동시에 진입할 때 지체시간을 높이는 만큼 변수로 선정하였다. 버스베이 개수는 버스노선이 동시에 진입하였을 때 혼잡에 따른 영향을 판별하기 위한 변수이며, 앞지르기 가능 여부는 버스가 승객을 모두 탑승 시킨 뒤 앞의 대기차량에 의해 빠져나가지 못하는 현상에 따른 변수이다. 이외 횡단보도까지 거리는 정류장에서 출발한 버스가 횡단보도로 인해 대기하는 경우, 교차로까지 거리는 교차로부터의 대기차량(가로변 버스전용차로는 교차로에 근접 시 우회전 일반차량과 혼재되어 혼잡도가 가중됨)이 버스정류장까지 영향을 미치는 현상, 이면도로 유무는 이면도로에서 진출입하는 차량이 가로변 버스전용차로를 방해하는 요소, 링크구간의 속도는 버스가 앞지르기를 시행할 경우(교차로 진입 또는 앞 버스 추월 시)일반차로를 통해 앞지르기를 시행할 가능성이 높은 만큼 링크구간의 교통량보다는 혼잡도가 앞지르기의 확률에 영향을 미칠 것으로 추정되는 만큼 이를 고려하여 변수를 선정하였다.

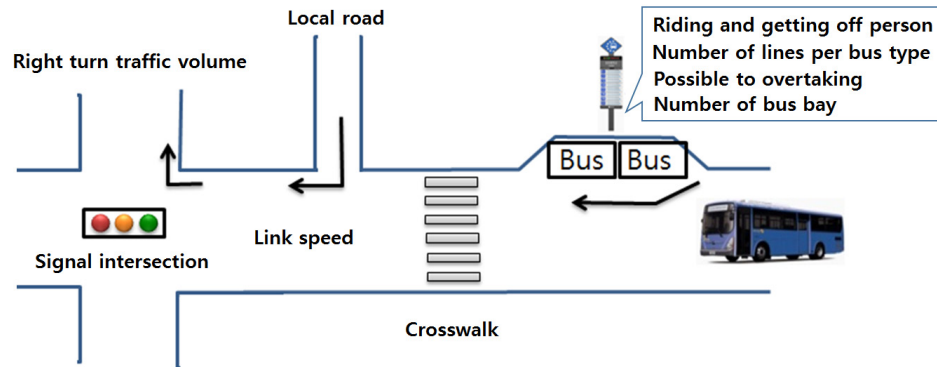


Figure 2. Factors affecting bus travel time

2. 선행연구 검토

Oh(2012)의 시내버스 정시성에 영향을 미치는 요인에 관한 연구에는 시내버스의 통행시간에 가장 큰 영향을 미치는 신호교차로 지체 및 정류장 지체시간 등을 줄여 버스 통행시간의 분산을 줄일 필요가 있음을 나타내고 있다. 분석결과 평일 오전첨두 시간대 통행시간 분산이 일반차로 구간보다 작게 나타났으며, 평일과 주말 모두 신호교차로 수와 차로당교통량에 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 연구는 시내버스 정시성 제고를 위해서 버스전용차로 운영 구간 확대, 신호교차로 지체시간 최소화를 통한 버스 정시성 확보가 필요함을 시사하고 있다.

Sung et al.(2014)의 버스 승하차시간 추정 모형 개발에는 승하차시간에 영향을 주는 변수를 승하차수, 입석자수, 상면 지상고를 선정하였으며, 이를 통해 총 승하차 시간 값의 도출 모형을 다중회귀모형을 통해 분석하였다. 분석결과 총 승차 시간의 경우는 승하차수, 입석자수, 상면 지상고 순으로 영향력이 나타났으며, 총 하차 시간의 경우는 하차자수, 상면 지상고 순으로 분석되었고, 두 개의 모형에서 독립변수들은 모두 종속변수와 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 모형을 통해 예측된 순수 승하차 시간은 기존의 버스정류장은 물론 TOD를 고려한 신도시 등의 신설 버스정류장 용량 산정에 유용할 것임을 시사하고 있다.

Kang and Kho(2006)의 버스승객의 승하차 패턴을 고려한 최적 정류장 수 산정모형 개발에는 우리나라 버스 노선의 정류장 수 및 간격 산정을 위해 전문가의 주관적인 판단에 의존하는 경우가 많음에 따라 본 연구는 수요를 승차와 하차로 구분하고 구분포에 따라 일정한 구간별로 서로 다른 최적 정류장 수와 간격을 탄력적으로 산출해 낼 수

있는 모형을 적립하고 있다. 그 결과 승차 혹은 하차수요에 비례하여 구간별 정류장 수가 탄력적으로 산출됨을 나타내고 있다.

Gim et al.(2014)의 버스도착시간 추정모형의 신뢰도 향상방안 연구는 정류소간 통행시간 기반의 버스도착시간 추정모형의 한계점을 제시하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시하고 있다. 연구 모형은 버스운행정보를 수집하여 RMSE를 기준으로 검증을 실행하였으며, 분석결과 오차는 기존 모형 대비 최대 20%가 감소하였고, 업데이트 주기는 절반정도로 감소하였다. 이를 통해 버스도착시간의 급격한 증가나 감소, 동일한 구간을 운행하는 다른 노선의 도착예정시간 차이, 운행계획과 다르게 운행시의 정보제공 불가함 등과 같은 문제가 해결될 것임을 제시하고 있다.

Yang et al.(2011)의 정시성을 통한 버스운행관리시스템의 평가에 관한 연구에는 버스의 운영특성이 정시성에 영향을 미치는 특성을 분석하였다. 종속변수는 광역, 간선, 지선버스의 정시성을 선정하였고, 독립변수로는 배차간격, 중앙버스전용차로 비율, 버스정류장 수, 운행거리, 버스 운행대수, 버스 이용객 수 등을 선정하였다. 분석결과 배차간격 및 버스운행대수는 모든 버스에 영향을 미쳤으며, 간선버스는 버스정류장 수가 추가로 영향력 미치는 것으로 나타났다.

Lee et al.(2010)의 신호교차로를 고려한 버스링크통행시간 예측에 관한 연구에는 대부분 버스링크의 끝단부나 시작부는 신호교차로로 이루어져 있으나 기존 연구에는 이에 대한 영향을 충분히 고려하지 못하였으며 본 연구는 신호대기에 의한 오차를 최소화 할 수 있는 버스링크통행시간 예측을 위한 모형식을 개발하고 있다. 신호시간의 특성을 반영하기 위해 녹색신호시간, 교차로까지의 평균 링크순행시간, 신호대기를 경험하는 구간 및 신호대기를 경험하지 않는 구간으로 나누어 신호시간에 대한 영향을 최대한 고려하고 있다, 이를 통해 신호대기 유무에 따른 신호교차로에서의 버스링크통행시간 예측 오차를 최소화 할 수 있는 예측 모형식을 제안하였다.

Lee et al.(2010)의 버스지체시간을 활용한 버스도착시간 예측에는 버스도착시간은 승하차 시간, 신호주기, 버스 전용차로의 유무 등 다양한 교통여건으로 인해 버스 정시성에 대한 오차를 발생시키고 있음에 따라 본 연구에서는 다양한 교통여건을 반영하는 버스지체시간을 산출하여 정류장별 버스지체시간을 예측하고, 이를 이용하여 정류장별 버스도착시간을 예측하고 있다. 본 연구는 많은 변수를 고려하지 않으면서 버스도착시간을 예측할 수 있는 확률적 접근방법을 사용하고 있다.

Noh et al.(2009)의 노선그룹단위별 버스도착시간 추정모형 연구에는 국내는 버스 도착시간정보의 오차기준을 만족시키기 위해서 가중이동평균법을 사용하고 있지만 이를 이용한 버스도착시간 추정모형은 버스의 배차간격, 정류소간 운행 중에 발생 가능한 돌발 상황 등을 반영하지 못해 도착예정시간의 신뢰성이 낮아지게 되며, 또한 실시간으로 버스정보의 오류수정 및 업데이트가 불가능한 단점을 가지고 있음을 나타내고 있다. 이러한 오류를 최소화하고, 정보의 업데이트를 편리하게 시행하기 위해 버스의 노선그룹 단위별 버스도착시간 가공방안이 연구되고 있음에 따라, 본 연구는 버스의 진행방향을 고려한 노선그룹단위별 버스도착시간 추정모형을 통해 보다 신뢰성이 높은 정보를 생성할 수 있는 버스노선의 특성을 반영한 모형을 개발하고 있다.

기존 사례연구를 살펴보면 버스승하차 시간에 영향을 미치는 변수는 차량특성, 운행특성, 버스종류 등이 영향을 미치고 있으며, 버스 도착시간 및 정시성의 정확도를 높이기 위해 버스카드데이터 및 신호시간 특성 기반, 정류장간 이동시간 보정 등에 따라 다양한 기법이 연구되고 있다. 그러나 이러한 변수 이외에 버스 정시성 및 도착시간에 영향을 주는 변수는 버스정류장 인근 시설물(버스베이개수 및 정류장의 버스 노선수, 정류장 전방 횡단보도 및 이면도로의 유무 등)에 따라 큰 영향력을 미치나 이러한 시설물들을 고려한 연구는 미비하였다. 본 연구는 버스 정시성 및 정차시간에 영향을 미치는 변수를 승하차 이용객 이외, 교통시설물 및 주변 환경까지 범위를 확대시켜 영향력을 도출하는 것으로 이를 통해 버스 정시성 및 통행속도를 높일 수 있는 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

현황 및 자료분석

1. 현황분석

서울시의 버스노선은 Table 2와 같다. 버스 노선수는 약 360개로 지선버스, 간선버스, 광역버스 순으로 높은 순위를 나타내며, 차량대수는 총 약 7,500대로 간선버스, 지선버스, 광역버스 순으로 높은 순위를 나타내고 있다.

Table 2. Bus route status in Seoul

Division		2013	2014	2015
Number of bus routes(Total)		361	358	355
Number of buses(Total)		7,485	7,485	7,482
Red Bus	Number of routes	11	11	11
	Number of buses	250	250	249
Blue Bus	Number of routes	122	121	122
	Number of buses	3,703	3,690	3,698
Green Bus	Number of routes	215	214	211
	Number of buses	3,462	3,473	3,474
Yellow Bus	Number of routes	4	4	3
	Number of buses	25	25	14
Late-night Bus	Number of routes	9	8	8
	Number of buses	45	47	47

Table 3. Characteristics of bus routes in Seoul

Division	Number of routes (buses)	Route distance(Round trip)			Dispatch time (minute)	Average operations per unit (Times/day)	Average time per unit (minute)
		Longest (km)	Shortest (km)	Average (km)			
Red Bus	11	95	56	74	15	5	174
Blue Bus	122	100	28	50	9	5	179
Green Bus	215	67	3	28	11	8	113
Yellow Bus	4	24	11	16	16	9	71

서울시 버스 정류장의 개수는 약 6,000개로 가로변 버스전용차로 정류장이 95%, 중앙 버스전용차로 정류장이 5%를 차지하고 있다.

Table 4. Number of bus stops in Seoul

Year	Number of bus stops			Number of Bus Operators
	Total	Roadside Bus Only Lane	Central Bus Only Lane	
2010	5,086	292	66	5,378
2011	5,712	299	66	6,011
2012	5,712	342	66	6,054
2013	5,712	346	66	6,058
2014	5,712	347	66	6,059

Table 5. Traffic sharing rate and traffic volume in Seoul

	Division	Total	Car	Bus	Subway, railroad	Taxi	Etc
1996	Traffic volume	27,800	6,829	8,358	8,183	2,901	1,529
	Share ratio	100	24.6	30.1	29.4	10.4	5.5
2002	Traffic volume	29,680	7,983	7,705	10,285	2,195	1,513
	Share ratio	100	26.9	26.0	34.6	7.4	2.1
2006	Traffic volume	31,196	8,188	8,616	10,839	1,959	1,592
	Share ratio	100	26.3	27.6	34.7	6.3	5.1
2010	Traffic volume	31,155	7,502	8,746	11,289	2,236	1,382
	Share ratio	100	24.1	28.1	36.2	7.2	4.4
2014	Traffic volume	32,690	7,461	8,831	12,741	2,219	1,437
	Share ratio	100.0	22.8	27.0	39.0	6.8	4.4



Figure 3. Analysis section(Jongno 2 - Jongno 6)

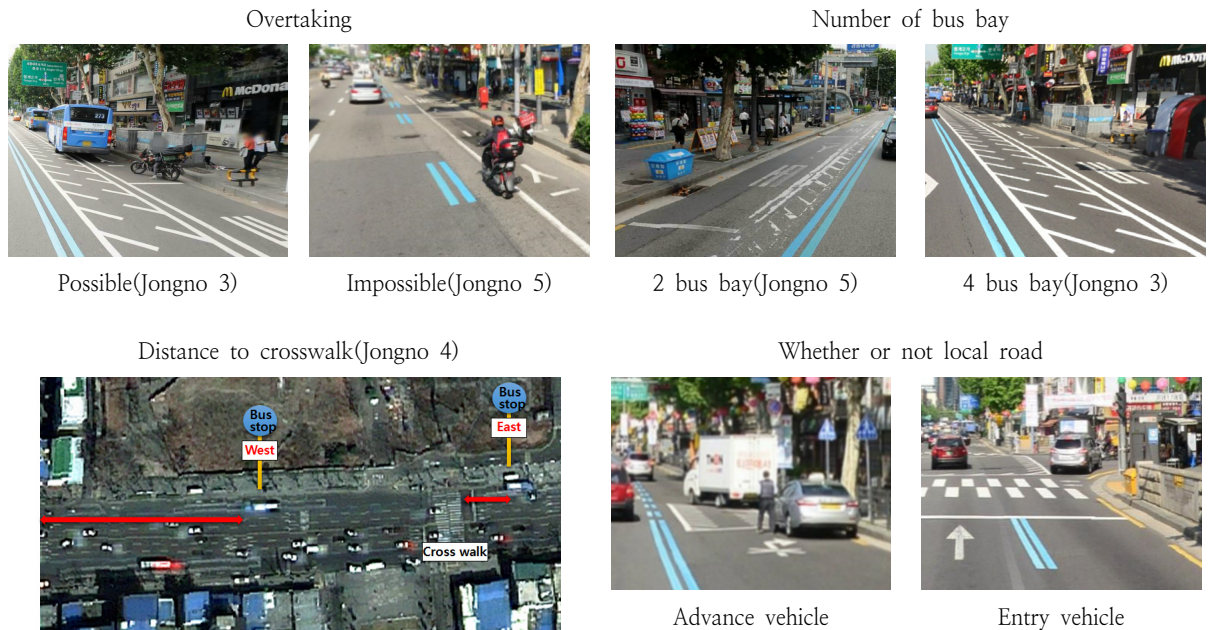


Figure 4. Analysis region's data collection standard (Jongno 2 - Jongno 6)

서울시 교통수단 분담률은 지하철, 버스, 승용차 순을 보이고 있으며, 지하철은 연간 0.5%, 버스는 연간 0.1%의 상승률을 보이고 있다.

2. 자료분석

분석구간(종로2가-종로6가)을 운행하는 버스현황은 Figure 3, Table 6과 같으며 중간에 경로를 이탈하거나 합류하는 버스는 회전교통량에 영향을 받아 분석대상에서 제외하였다. 버스노선수가 가장 많은 종로 3가를 제외한 모든 정류장에서 두 개의 정류장이 운행되고 있으며, 버스베이는 종로 3가에 버스노선이 많은 만큼 베이 개수도 가장 많은 수치를 보이고 있다. 앞지르기 가능한 종로3, 4가는 가능하나 이외 구역은 불가능한 것으로 나타났으며, 버스정류장 전방 이면도로 유무, 횡단보도까지 거리, 교차로까지 거리, 해당구간의 전체 링크통행 속도는 Table 7과 같이 선정하였다.

Table 6. Analysis section status 1 (Jongno 2 - Jongno 6)

Division		Jongno 2		Jongno 3	Jongno 4		Jongno 5		Jongno 6	
		West	East	-	West	East	West	East	West	East
Bus to analyze	Bus number	103,260 270,271 370,720 721	101,201 262 262,270 271,370 720,721	101,103 201,260 262,270 271,370 720,721	201,260 262,270 271,370 721	101,103	201,260 262,270 271	101,103 370,720 721	103	101,201 260,262 270,271 370,720 721
	Number of routes	7	3	10	7	2	5	5	1	9
Number of routes by bus type (lines)	Green	1	1	2	1	1	2	0	2	2
	Blue	14	4	16	8	8	5	5	4	10
	Red	0	8	1	1	0	1	0	0	1
	Total	15	13	19	10	9	8	5	6	13
Traffic volume by bus type (traffic/day)	Green	0	325	39	39	0	0	39	0	39
	Blue	2,254	451	2,378	1,095	1,283	593	793	515	1,283
	Red	98	0	98	0	98	0	98	198	210
	Total	2,352	776	2,515	1,134	1,381	593	930	713	1,532
Number of bus bay		3	2	4	3	2	2	2	2	2
Distance to crosswalk (m)		150	300	30	200	30	200	50	50	50
Distance to intersection (m)		150	300	200	200	280	280	100	50	200
Possible to overtaking (0:No, 1:Yes)		0	0	1	1	1	0	0	0	0
Whether or not local road (0:No, 1:Yes)		0	0	1	1	0	0	0	0	0
Link section speed (km/h)	morning	28	28	19	36	36	39	39	30	30
	Daytime	23	23	20	35	35	34	34	26	26
	afternoon	23	23	16	30	30	41	41	24	24
	Average	26	26	23	35	35	33	33	29	29

Date: Link speed(Seoul), Traffic volume(Seoul Topis), Other status data(www.naver.com),

분석구간(종로2가-종로6가)을 운행하는 버스노선이 각 버스 정류장에서 진·출입 하는데 소요되는 평균통행시간, 통행시간의 표준편차, 통행시간 영향도 및 승하차인원은 Table 8과 같다.

Table 7. Analysis section status 2 (Jongno 2 - Jongno 6)

Bus stop name	Bus number	①Average travel time (second)	②Standard deviation of travel time (second)	③Travel time influence figure (=②/①)	Boarding person (persons/month)	Getting off person (persons/month)	Boarding · Getting off person (persons/month)
Jongno 6 (E)	101	48	21	44%	3,303	7,282	10,585
	201	47	22	47%	1,488	3,500	4,988
	260	58	24	41%	7,441	8,920	16,361
	262	52	23	45%	4,791	7,543	12,334
	271	56	23	41%	9,924	10,451	20,375
	370	50	27	55%	4,209	16,192	20,401
	720	55	25	46%	10,081	5,993	16,074
	721	54	23	43%	9,151	13,020	22,171
Jongno 6 (W)	103	82	28	35%	2,491	7,885	10,376
Jongno 5 (E)	101	33	8	25%	3,905	5,974	9,879
	262	46	22	49%	6,076	4,095	10,171
	370	33	9	27%	5,334	9,482	14,816
	720	36	11	31%	11,252	4,535	15,787
	721	38	11	29%	10,323	7,716	18,039
Jongno 5 (W)	103	33	8	26%	5,593	3,375	8,968
	201	37	19	51%	2,086	2,021	4,107
	260	48	22	46%	6,231	5,552	11,783
	271	49	23	47%	8,818	6,310	15,128
Jongno 4 (E)	201	31	17	55%	1,064	2,812	3,876
	260	34	17	51%	3,043	5,609	8,652
	262	31	12	39%	1,359	6,850	8,209
	271	34	17	48%	2,815	7,912	10,727
	370	28	17	58%	710	8,561	9,271
	720	34	19	57%	3,423	5,821	9,244
	721	36	18	51%	2,698	6,895	9,593
	Jongno 4 (W)	101	31	13	43%	1,533	6,313
103		29	13	43%	1,760	4,864	6,624
Jongno 3	101	53	26	50%	2,663	12,882	15,545
	103	52	27	51%	3,385	10,017	13,402
	201	49	24	48%	2,612	3,882	6,494
	260	56	26	47%	6,891	9,276	16,167
	262	56	26	46%	8,268	8,233	16,501
	271	56	25	44%	12,341	10,176	22,517
	370	49	24	50%	2,749	12,629	15,378
	720	56	25	45%	11,388	7,228	18,616
	721	55	25	46%	11,485	9,913	21,398
	Jongno 2 (E)	262	47	21	43%	4,623	9,367
101		41	12	30%	1,940	3,337	5,277
201		46	20	43%	7,118	7,076	14,194
Jongno 2 (W)	103	39	12	30%	2,259	7,695	9,954
	260	45	15	32%	12,413	8,349	20,762
	271	47	15	32%	19,749	9,697	29,446
	370	41	13	31%	3,314	11,542	14,856
	720	47	17	36%	16,872	6,586	23,458
	721	46	14	31%	16,275	9,929	26,204

결과분석

1. 버스 정류장 진출입 통행시간

버스 정류장 진출입 통행시간에 영향을 미치는 변수를 추정하기 위해 다양한 독립변수를 적용한 뒤 SPSS를 통해 영향변수를 도출하였다. 종속변수로는 버스정류장의 진출입 평균통행시간을 사용할 것이며, 독립변수는 버스노선 수(개), 버스통행량(대), 버스베이개수(면), 횡단보도까지 거리(m), 교차로까지 거리(m), 대기버스 추월공간 확보(유, 무), 이면도로(유, 무), 링크속도(km/h)를 사용하여 영향변수를 도출 할 것이다.

SPSS 다중 회귀식의 단계선택법(0.5진입, 1.0제거)을 통해 분석한 결과 아래와 같다. 모형요약에서 R제곱 및 조정된R제곱은 0.61-0.65를 보이며, 더빈왓슨도 약 2.1을 나타내고 있다. 분산분석결과 유의수준도 0.00으로 모형의 적합함을 보이고, 채택된 모든 변수는 유의수준 95%의 신뢰구간에서 유의함을 나타내고 있으며, VIF도 10미만으로 다중공선성에는 문제가 없다.

분석결과 버스정류장에 진출입 하는 시간에 영향을 미치는 변수는 다음과 같다. 낮 시간의 해당 링크 속도가 빠를 수록 시간은 감소되는 것으로 나타났으며, 이는 버스가 교차로에 접근 시 일반차량의 우회전으로 인한 앞지르기, 버스정류장에서의 버스간의 앞지르기 등은 가로변 전용차선을 벗어나 일반차선을 통해 이루어지는 특성이라 일반차선의 교통 혼잡이 적을수록 버스소통도 원활해지는 것으로 판단된다. 버스베이가 많을수록 정차시간은 낮아졌으며,

Table 8. Model summary

R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error of the Estimate	Statistic variation					Durbin-Watson
				R ² variation	F variation	df1	df2	Significance level F variation	
.809	.654	.610	6.65166	.049	5.513	1	39	.024	2.115

Table 9. ANOVA

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	3260.937	5	652.187	14.741	.000
Residual	1725.536	39	44.245		
Total	4986.474	44			

Table 10. Coefficients

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	116.855	14.909		7.838	.000		
Daytime speed	-1.570	.295	-.888	-5.331	.000	.320	3.128
Number of bus bay	-9.782	3.610	-.746	-2.710	.010	.117	8.534
Distance to crosswalk	-.043	.014	-.339	-3.191	.003	.787	1.271
Whether or not local road (0:No, 1:Yes)	16.640	5.908	.679	2.816	.008	.153	6.557
Possible to overtaking (0:No, 1:Yes)	-8.430	3.590	-.392	-2.348	.024	.318	3.147

$$\text{Bus stop time(second)} = -1.57 * \text{Daytime speed (km/h)} - 9.782 * \text{Number of bus bay} - 0.043 * \text{Distance to crosswalk (m)} + 16.64 * \text{Whether or not local road (Yes, No)} - 8.43 * \text{Possible to overtaking (Yes, No)} + 116.855$$

횡단보도까지의 거리는 멀어질수록 음의 값이 나타나는데 이는 버스정류장에서 횡단보도가 멀수록 영향이 적게 미치는 것으로 판단된다. 이면도로가 존재할 시 정차시간을 증가시키며, 앞지르기가 가능한 버스정류장의 경우 정차 시간을 감소시키는 것으로 나타났다.

2. 통행시간 영향도

버스정류장의 진출입 시간의 편차가 클수록 정시성에 영향을 미친다는 가정 하에 종속변수를 버스정류장 통행시간 표준편차의 영향도(=정류장 진출입 통행시간의 표준편차/정류장 진출입 평균 통행시간)을 적용하였으며 독립변수는 버스 정류장 진출입 통행시간의 분석과정과 동일한 변수를 적용하였다.

SPSS 다중 회귀식의 단계선택법(0.5진입, 1.0제거)을 통해 분석한 결과 다음과 같다. 모형요약에서 R 제곱 및 조정된 R 제곱은 0.55-0.58을 보이며, 더빈왓슨도 약 2.2를 나타내고 있다. 분산분석 결과 유의수준도 0.00으로 모형의 적합함을 보이고, 채택된 모든 변수는 유의수준 99%의 신뢰구간에서 유의함을 나타내고 있으며, VIF도 10미만으로 다중공선성에는 문제가 없다.

버스정류장 통행시간 편차의 비중에 영향(통행시간 영향도)을 미치는 변수는 다음과 같다. 교차로까지의 거리는 멀어질수록 양의 값을 나타내는데 이는 정류장에서 교차로의 신호에 근접할수록 급출발을 하여 통과하려는 운전자의 행태가 반영 된 것으로 판단된다. 횡단보도까지의 거리는 멀어질수록 음의 값을 보이는데 이는 횡단보도 인근에 정류장 존재 시 횡단보도에 대기하는 보행자가 자신의 버스를 타려고 무리하게 횡단하는 경우 버스는 정지할 수 있기 때문에 영향 받을 가능성이 높을 것으로 판단된다. 이면도로의 존재유무 역시 통행시간의 편차에 영향을 미치는 것으로 도출되었다.

Table 11. Model summary

R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error of the Estimate	Statistic variation					Durbin-Watson
				R ² variation	F variation	df1	df2	Significance level F variation	
.761	.578	.548	.05949	.036	3.476	1	41	.069	2.236

Table 12. ANOVA

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1990,847	3	663.616	18.754	.000
Residual	1450,834	41	35.386		
Total	3441.681	44			

Table 13. Coefficients

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity statistic	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	27.305	3.041		8.978	.000		
Distance to intersection (m)	.093	.014	.683	6.419	.000	.909	1.100
Distance to crosswalk (m)	-.053	.012	-.499	-4.582	.000	.867	1.154
Whether or not local road (0:No, 1:Yes)	3.945	2.116	.194	1.864	.069	.951	1.052

Travel time impact (%) = 0.093*Distance to intersection (m) - 0.053*Distance to crosswalk (m) + 3.945* Whether or not local road (Yes, No) + 27.305

결론

1. 결론 및 시사점

본 연구는 버스의 정시성 및 도착시간에 영향을 미치는 요인에 관한 연구로 가로변 버스전용차로의 정류장을 중심으로 정류장을 진출입 하는 버스 정차시간에 영향을 미치는 변수를 도로 기하구조 및 도로 시설물의 관점에서 분석하였다.

종속변수는 버스정류장을 진출입하는 통행시간 및 통행시간 표준편차의 영향도를 선정하였으며, 독립변수는 버스종류(일반버스, 광역버스)별 노선수, 버스통행량(일반버스, 광역버스), 버스베이 개수(버스정차대수), 앞지르기 가능 유무, 횡단보도까지 거리(m), 교차로까지 거리(m), 이면도로 존재 유무, 승차 및 하차인원(인), 해당링크구간 속도(km/h)를 선정하였다.

분석결과 버스정류장을 진출입하는 통행시간은 해당 링크의 속도, 버스베이개수, 횡단보도까지 거리, 이면도로 유무, 앞지르기 가능 여부가 영향변수로 도출되었다. 이는 버스가 교차로에 접근 시 가로변 버스전용차로에 일반차량 우회전의 대기현상으로 인해 일반차로를 침범한 앞지르기, 버스정류장에서 버스간의 앞지르기 시행에 따라 일반차로 침범 등이 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 버스베이가 많고, 앞지르기가 가능한 버스정류장일 수록 통행시간이 낮아진 만큼 이를 다시 한번 설명해 준다. 이외 횡단보도가 멀수록 영향이 적게 미치는 것으로 나타났다.

통행시간 표준편차의 영향도는 교차로까지 거리(m), 횡단보도까지 거리(m), 이면도로 존재 여부가 영향변수로 도출되었다. 교차로까지의 거리는 멀어질수록 양의 값을 나타내는데 이는 정류장이 교차로에 근접할수록 급출발을 하여 교차로를 통과하려는 운전자의 행태가 반영 된 것으로 판단된다. 횡단보도까지의 거리는 멀어질수록 음의 값을 보이는데 횡단보도에 대기하는 보행자가 버스를 타기위해 무리하게 횡단하는 경우 버스는 근접한 횡단보도에 영향 받을 가능성이 높을 것으로 판단된다. 이면도로의 존재유무 역시 통행시간의 편차에 영향을 미치는 것으로 도출되었다.

본 연구의 결과를 통해 가로변전용차로를 운행하는 버스에 영향을 미치는 요인은 다양하게 도출되었다. 본 연구의 결과를 기반으로 가로변전용차로에 위치한 버스정류장을 운영하는 전략방법은 Figure 5와 같다. 버스정류장은 충분한 버스베이 개수 및 앞지르기가 가능한 도로 설계를 통해 버스 정차시간을 늘리는 요인을 줄일 필요가 있겠다. 이외 이면도로에서 진출하는 차량이 가로변 버스전용차로를 막고 서는 가능성이 높은 만큼 이면도로를 진입만 허용되는 일방통행으로 운영할 필요가 있겠다. 버스 정류장 정면의 횡단보도로 인해 정차시간이 길어지는 만큼 횡단보도를 버스정류장 뒤에 설치하여 운영하는 방안도 고려된다. 마지막으로 교차로 거리에 대한 영향도 근접할수록 정차시간은 줄게 나타나나 이는 신호체계 및 우회전 교통량을 반영하여 고려할 필요가 있겠다.

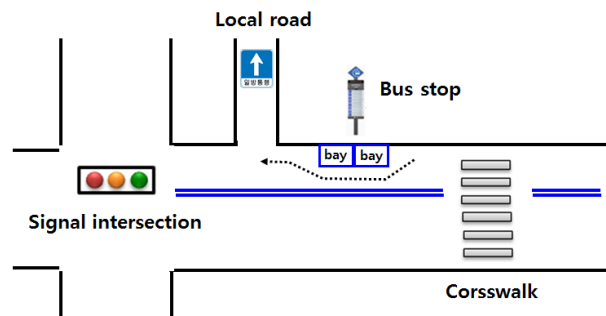


Figure 5. Bus stop improvement plan

2. 향후연구

본 연구는 버스 정시성에 영향을 미치는 변수를 도로 기하구조 및 도로 시설물의 관점에서 분석하였다. 분석구간을 데이터 구득의 한계로 종로2가-종로6가의 가로변버스전용차로 구간으로 한정 한 만큼 분석범위에 대한 한계가 나타났다. 하지만 종로2가-종로6가 구간은 다양한 기하구조가 존재하며, 버스정류장도 동일 링크 상에 2개가 존재하는 만큼 연구사례 구간으로는 하나 이상의 가치를 수행하는 것으로 판단된다. 이외 가로변 전용차선의 버스 통행을 방해하는 이면도로의 진출입 교통량 및 교차로의 우회전 교통량, 택시 및 불법주정차에 대한 데이터를 반영하여 보다 정밀한 연구가 필요할 것이다. 이러한 연구가 추가 시행 된다면 버스정류장에서의 정차시간을 줄임에 따라 정시성을 개선을 통해 버스통행속도를 높여 버스이용률도 상승 될 것으로 판단된다.

알림: 본 논문은 대한교통학회 제 76회 학술발표회(2017.02.17.)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

- Gang J. R., Kho S. Y. (2006), Development of Optimal Number of Bus-stops and Inter-stop Space Estimation Model Based on On-Off Patterns of Passengers, J. Korean Soc. Transp, 24(1), Korean Society of Transportation, 97-108.
- Kim J. S., Park B. J., Roh C. G., Kang W. E. (2014), Improve the Reliability Measures of Bus Arrival Time Estimation Model, J. Korean Soc. Civil Eng, 24(1), Korean Society of Civil Engineers, 597-604.
- Lee C. H., Park Y. J., Kang K. P. (2010), Prediction of Bus-Link Travel Time Considering Signal Phases, The 62nd Conference of KST, Korean Society of Transportation, 743-748.
- Lee S. H., Mun B. S., Park B. J. (2010), The Bus Arrival Time Prediction Using Bus Delay Time, J. Korean Soc. Transp, 28(1), Korean Society of Transportation, 125-134.
- Noh C. G., Kim W. G., Son B. S. (2010), Development of Bus Arrival Time Estimation Model by Unit of Route Group, J. Korean Soc. Transp, 28(1), Korean Society of Transportation, 135-142.
- Oh H. J. (2012), Study on the Factors Influencing the Punctuality of Inner City Bus Operation, A Master's Thesis, Department of Urban Planning and Transportation Engineering Graduate School Keimyung University.
- Seong M. E, Choi K. C., Shin K. W., Chung W. H., Lee K. J. (2014), An Empirical Model for Estimating Bus Boarding and Alighting Time, J. Korean Soc. Transp, 32(2), Korean Society of Transportation, 152-161.
- Yang D. Y., Choi J. S., Kim S. Y., Sung H. J., Kim S. K. (2011), Analysis of Bus Management System Evaluation by Reliability, Conference paper, Korean Society of Road Engineers.