

정시성 확보를 위한 버스노선 당 적정 운행시간 산정 연구

Study on the Optimum Route Travel Time for Bus to Improve Bus Schedule Reliability

김민주* · 이영인**

* 주저자 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 교통학전공 석사

** 교신저자 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 교수

Min ju Kim* · Young ihn Lee**

* Transportation studies Group, Department of Environmental Planning, Seoul National University

** Department of Environmental Planning, Seoul National University

† Corresponding author : Young Ihn, Lee. yilee@snu.ac.kr

Vol.16 No.6(2017)

December, 2017

pp.112~123

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.6.112)

2017.16.6.112

요약

정부의 대중교통활성화 정책과 이용자들의 승용차에서 버스나 지하철로의 수단 전환으로, 대중교통의 정확한 배차시간과 도착시간의 확보가 중요해졌다. 서울시에서 제공하는 버스운행관리시스템(BMS : Bus Management System) 자료를 이용하여, 실시간 버스위치, 배차간격, 운행이력 등의 정보를 알 수 있다. 본 연구에서는 BMS 자료를 이용하여 안전운행을 하면서 정시성도 확보할 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 다른 연구와는 다르게, 버스 정류장 사이 구간을 5개의 지점과 6개의 시간으로 나누어, 각각의 시간을 BMS 자료를 이용하여 산정하였다. 또한, 각 시간에 영향을 주는 주된 원인을 살펴보고, 요소별 평균, 표준편차, 변동계수를 이용하여 정류장 별 정시성과 안전성, 이동성을 모두 확보한 버스 노선의 적정 운행시간을 제안하였다.

핵심어 : 버스정시성, 노선운행시간, 안정성, BMS 자료, 대중교통운영

ABSTRACT

The accurate forecasting of the public transportation's transit and arrival time has become increasingly important as more people use buses and subways instead of personal vehicles under the government's public transportation promotion policy. Using bus management system (BMS) data, which provide information on the real-time bus location, operation interval, and operation history, it is now possible to analyze the bus schedule reliability. However, the punctuality should always be considered together with the operation safety.

Therefore, this study suggests a new methodology to secure both reliability and safety using the BMS data. Unlike other studies, we calculated the bus travel time between two bus stops by dividing the total travel length into 6 sections using 5 different measuring points. In addition, the optimal travel time for each bus route was proposed by analyzing the mean, standard deviation and coefficient of variation of the each section's measurement. This will ensure the reliability, safety and mobility of the bus operation.

Key words : Bus Schedule Reliability, Bus Schedule, Safety, BMS data, Operation of Public Transportation

Received 3 July 2017

Revised 3 August 2017

Accepted 4 September 2017

© 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

I. 서 론

1. 연구배경

승용차 이용의 증가로 도로혼잡 및 환경오염, 교통사고의 위험이 나날이 증가하면서, 대중교통활성화 정책과 같은 정부의 노력과 이용자들의 버스와 지하철로의 수단 전환이 발생하고 있다. 2015년 기준, 우리나라 교통수단별 수단분담률을 살펴보면, 지하철 및 철도가 39.3%, 버스가 26.5%, 승용차가 23%로, 사람들이 승용차보다 대중교통을 더 많이 이용하는 것을 알 수 있다. 또한 대중교통 통합요금제가 시행된 2007년 이후로 대중교통이용률은 점점 증가했다. 지하철의 경우 지속적으로 이용률이 증가한 반면, 버스의 경우는 2010년까지는 버스 수단분담률이 증가하였으나, 그 이후로는 계속적으로 감소하는 추세이다. 이러한 통계는 대중교통 이용자들이 접근성이 높은 버스보다 이동성이 높은 지하철을 더 선호하는 것을 나타내며, 이동성이 중요한 수단선택의 원인임을 유추할 수 있다(Seoul Metropolitan Government, 2017). 정확한 배차시간과 도착시간은 대중교통을 이용하는 승객의 만족도에 많은 영향을 미치는 요인이다. 하지만, 지하철에 비해 버스는 실시간 도로상황에 영향을 많이 받기 때문에 정시성 확보가 어려운 편이다.

이러한 불편함을 극복하기 위해 서울시는 ‘버스운영관리시스템(BMS : Bus Management System)’를 구축해 버스의 실시간 정보를 수집하여, 운행이력, 배차간격 등을 제공하여 이용자에게 향상된 서비스를 제공하고 있다. 또한, 실시간 도로상황에 따라 정류장 도착시간이 변하는 버스의 특징을 고려하여, 2006년 12월부터 2008년 8월까지 ‘버스정보안내단말기(BIS : Bus Information System)’를 시범사업으로 설치하였고, 2014년 12월까지 869개소에 설치를 완료하였다(Seoul Metropolitan Government, 2016). 버스정보안내단말기는 버스에 GPS수신기와 무선통신 장치를 설치하여 버스의 운행상황을 실시간으로 파악하여 버스위치, 운행상태, 배차간격, 도착예정 시간 등의 정보를 제공하는 시스템이다.

배차정시성은 인가 배차간격 대 실제 배차간격의 일치 정도를 의미하며, 현재 시내버스의 운행정시성을 평가하는 지표로 이용되고 있다. 2013년 기준 서울시 시내버스 배차 정시성은 93.9%로 높은 편이지만, 시민들이 느끼는 서비스 수준은 생각보다 낮은 편이다. 배차간격이 긴 버스나, 버스 도착시간이 정확하지 않는 경우에는 이동수단으로 버스를 선택하기가 불안하다. 어플리케이션이 발달하면서 버스 도착시간을 알려주는 앱이 등장하여 불편함이 감소되기는 했지만, 규칙적인 버스 운행시간의 확보를 통해 시민들의 버스 신뢰도와 만족도를 높이는 노력이 필요하다(Seoul Metropolitan Government, 2016).

2. 연구목적 및 필요성

버스의 정시성을 확보하기 위해서는 지하철과 같이 모든 정류장에 도착 시간을 설정하여 정시성을 확보하는 것이 노선 정시성 확보 측면에서는 가장 바람직하다. 하지만, 모든 정류장의 정시성 확보는 신호대기나 도로상황, 날씨의 영향 등과 같은 다양한 요인으로 인해 현재 버스운영체계에서는 한계가 있다. 정시성을 맞추기 위해서 무리하게 빠른 속도로 운행하거나, 신호를 위반하는 등의 위험한 행위가 발생할 수 있기 때문에 정시성은 안전성과 함께 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 안전운행을 하면서 정시성도 확보할 수 있는 방안과 합리적인 노선 운행시간을 제시하고자 한다.

II. 선행연구 고찰

1. 관련연구

1) 버스 정시성 평가

Oded(2014)는 스웨덴 스톡홀름을 대상으로 정시운행 운영계획 필드실험을 실시하였다. 이 연구는 차두간격 변동계수(CV(h) : Headway Coefficient of Variance), 차간간격 유지(HA : Headway Adherence), 평균 과잉대기시간(EWT : Average Excess Waiting Time) 등의 지표를 이용하여 분석하였으며, 승하차 승객수를 고려하지 않고 버스 차간간격 정시성에만 집중하여 분석하였다. 버스 정시성을 증가시키기 위해 승객 대기시간과 혼잡도를 줄이고, 더 나은 용량 활용과 높은 운영 정시성이 필요하다고 결론 지었다.

David et al.(2010)은 영국 런던지하철을 대상으로 교통카드 데이터를 이용해 서비스 신뢰성을 측정하였다. 이 연구에서는 정시성을 평가하기 위한 지표로 통행시간 95%의 값에서 통행시간 중간값을 뺀 값인 완충시간(RBT : Reliability Buffer Time)을 사용하였다. 또한, 노선 단위의 정시성을 기종점간의 정시성과 통행수를 이용하여 분석하였으며, 통행시간을 승강장 대기시간, 승하차시간, 차내 통행시간, 운행중단으로 인한 지연시간 등 요소별로 나누어 분석하였다.

Nelson(2012)은 스위스 취리히 버스노선 31의 신뢰성을 평가하기 위해서, 자동 차량 위치 데이터(AVL)의 실시간 정보를 이용하여 버스 속도 및 소요시간, 차두간격 등을 분석하였다. 버스 도착지연이 가장 크게 발생하는 곳은 교차로가 있는 곳이며, 버스차량 우선 신호가 존재함에도 불구하고 교차로에서 가장 심한 지연이 일어나는 것으로 나타났다. 따라서 충분한 회복 시간을 가지고 운행시간을 설정하는 것이 정시성 향상에 가장 크게 기여할 것으로 보았다.

Lee et al.(2008)은 첨단대중교통체계(APTS : Advanced Public Transit System) 자료인 교통카드 자료와 BMS 자료, BIS자료를 이용하여 서울시 버스 서비스 수준을 평가하기 위한 정시성 지표를 개발하였다. 정시성 지표는 실제 배차간격을 이용하여 설정하였으며, 차고지 배차 정시성, 운행 중 차량 몰림 비율, 도착시간 준수율을 분석하였다. 현재 서울시는 도착시간 준수율을 위해 운전자에게 정류소 도착시간표를 제공하지만, 버스는 도로상황에 많은 영향을 받기 때문에 서울시 목표인 80%에 도달하지 못해 대안이 필요한 것으로 나타났다.

Ko et al.(2005)은 서울시 BMS자료를 이용하여 버스 정시성을 산출하고 정시성 지표 특성을 분석하였다. 또한 버스 서비스수준을 평가하기 위한 정시성 지표를 개발하였으며, 개발한 정시성 지표를 서울시 22개 노선 운행결과에 적용하였다. 그 결과 일요일이 정시성이 가장 높게 나타났고, 노선 연장이 길수록, 정류장 수와 승객수요가 많을수록 정시성이 감소하는 등의 다양한 결론을 도출하였다.

2) BMS자료 활용

Mazloumi et al.(2011)은 호주 멜버른의 246번 노선의 6개월간 정류장 출도착시간을 이용하여 버스통행시간과 변동성을 예측하기 위한 모형을 제시하였다. 변동성은 신호교차로 지체, 기상상황 등으로 인한 영향이 크게 나타났고, 통행시간은 신뢰도 구간을 통해 변동성 반영이 가능하며 예측 정확도를 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다. 향후 승하차 수요를 반영하고, 이력자료로 사용한 통행시간 예측의 정확도를 검증할 필요성이 있다고 하였다.

Bertini and El-Genidy(2004)는 미국 Oregon 주의 광역 교통구역에서 운영 중인 버스운영모니터링시스템(BDS : Bus Dispatch System)을 이용하여 대중교통 통행시간 모형을 제시하였다. 이를 이용하여 TriMet의 14번 노선에 적용하여 평균 통행시간 모형을 제시하고, 정차시간과 승하차 승객 수간의 관계를 도출했다. 이

모형을 통해 정류장의 통합, 승하차 시간 단축과 같은 효과를 추정할 수 있으며, 버스 서비스를 개선하기 위한 방안이 버스 통행시간에 어떠한 영향을 미치는지 평가할 수 있을 것이라고 언급하였다.

Jung and Oh(2013)는 BMS 자료를 활용하여 청주시 시내버스 운행특성 및 정시성 지표를 분석하였다. 청주시 11개의 노선의 일주일 자료를 이용하여 정시성을 분석하였고, 그 결과 실제 노선 운행시간과 시간표상 운행시간의 차이가 발생하여, 운영계획표의 현실적인 개선이 필요하다고 하였다. 또한 BMS자료의 특징과 연구 활용가치가 높은 점을 언급하여 앞으로 BMS자료를 이용한 연구 필요성을 강조하였다

Oh et al.(2009)은 이용자 입장에서의 정시성을 평가하는 것을 목적으로, 2005년 6월 15일 오전 침두시 동안의 33개 노선자료를 이용하여 배차간격을 분석하였다. 배차간격이 정시성에 영향을 미치는 요인으로 보고, 재차간격 분석을 통해 정시성을 분석하였으며, 자료포락분석기법을 이용하여 여러 개의 개별 정시성 지표들을 하나로 통합하는 방법을 제시하였다.

2. 시사점

버스 정시성을 확보하기 위해 여러 국가에서 다양한 방법으로 정시성을 평가하고있으며, 버스 정시성에 영향을 미치는 다양한 시간 요소와 이와 관련된 지표를 개발하여 정시성을 향상 시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 버스 정류장 출도착시각, 배차간격 등을 실시간으로 알 수 있는 BMS자료를 이용하여 실제 버스 운행시간과 예측된 버스 운행시간을 비교하였고, 예측 운행시간은 운행시간에 영향을 주는 요인을 고려하여 추가 시간을 고려한 운행시간으로 설정해야 정시성을 향상시킬 수 있다고 하였다. 또한 BMS자료는 버스 서비스 향상을 위한 자료로 이용될 수 있으며, 이를 통해 대중교통 정책평가 및 수립에 기여할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 서울시 BMS 자료를 이용하여 현재 버스 통행시간의 편차를 분석하고, 편차발생요인을 조정하여 안전성과 정시성을 모두 확보할 수 있는 노선 운행시간을 산정하고자 한다.

Ⅲ. 노선 정시성 평가 방법론

1. 정류장간 버스 운행시간 요소

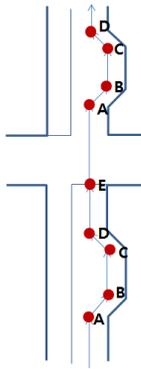
본 연구에서는 버스 통행시간의 편차 발생요인 및 영향을 분석하기 위해 버스가 정류장간 이동을 할 때, 통행시간을 총 5개의 지점으로 구분하였다. 버스 정류장간 통행시간을 6개의 요소, 정류장 진입시간, 개문시간(승객 승하차시간), 정류장 진출시간, 주행속도 통과시간, 신호대기시간, 주행속도 통과시간으로 세분화하였다. 버스 정류장 출도착시각, 배차간격, 버스 위치 등을 실시간으로 알 수 있는 BMS자료를 이용하여 실제 버스 운행시간과 예측된 버스 운행시간을 비교할 수 있다. 정류장 간 통행시간은 정류장에서의 대기시간과 두 정류장 간 통행시간으로 이루어진다. 이를 식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$T_j = T_{d_j} + T_{b_j} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 = t_{a(j+1)} - t_{a_j} \quad (1)$$

T_j : 정류장 간 통행시간

T_{d_j} : j 번째 정류장에서의 대기시간, T_{b_j} : j 번째 정류장과 $j+1$ 번째 정류장 간 통행시간

$t_{a(j+1)}$: $j+1$ 번째 정류장에 도착한 시간, t_{a_j} : j 번째 정류장에 도착한 시간



〈Fig. 1〉 Points of Bus Travel

〈Table 1〉 Travel Time Type

Travel Time	Section	Time Type
Waiting Time	t_1	A~B
	t_2	B~C
	t_3	C~D
Driving Time	t_4	D~E
	t_5	E
	t_6	E~A

2. 버스 운행시간 요소별 계산식

1) 버스정류장 내 대기시간

버스정류장에서 대기시간은 버스 한 대가 정류장에 진입할 때부터 승객의 승차와 하차가 모두 일어난 다음 정류장을 모두 빠져나갈 때까지의 시간을 말한다. 식 (2)의 T_{dj} 는 j 번째 정류장에서의 대기시간으로 정류장에서 출발한 시간(t_{dj})에서 정류장에 도착한 시간(t_{aj})의 차를 이용해 산정할 수 있다. 이는 본 연구에서 구분한 6개의 시간 요소 중 t_1, t_2, t_3 으로 이루어진다.

$$T_{dj} = t_{dj} - t_{aj} = (t_1 + t_2 + t_3) \tag{2}$$

(1) 버스 차량의 개문시간(승객 승하차 시간) (t_2)

t_2 로 표기한 버스 차량의 개문시간은 버스정류장에서 승객이 승하차 하는데 필요한 최소시간으로, 승객 100% 승차 소요시간 또는 100% 하차 소요시간을 계산하여 가장 큰 값을 최소 필요시간으로 가정한다. 버스 차량 개문시간은 승객 1명당 승하차 시간과 승하차 승객 수에 의해 결정된다. 승하차 승객 수는 ‘서울시 버스노선별 정류장별 시간대별 승하차 인원’ 자료를 이용한다(Seoul Metropolitan Government, 2016).

승객 승하차 시간은 도로용량편람의 ‘도시형 버스 승객유형별 승하차 시간 산정 방법론’ 중에서 교통카드를 이용하고, 입석 승객이 없는 경우의 시간을 따른다고 가정한다(Korea Highway Capacity Manual, 2013).

$$t_2 = \text{Max}[n_{on} \times p_{on} \text{ or } n_{off} \times p_{off}] = \text{Max}[n_{on} \times 3.2 \text{ or } n_{off} \times 1.5] \tag{4}$$

n_{on} : 승차 승객 수, p_{on} : 승차 시간($p_{on} = 3.2$)

n_{off} : 하차 승객 수, p_{off} : 하차 시간($p_{off} = 1.5$)

〈Table 2〉 Get On/Off Time by Passenger Type

	Get On Time(sec)			Get Off Time (sec)
	Smart Card	No Cash Change	Cash Change	
No Standing Passengers	3.2	3	5	1.5
Standing Passengers	4.2	4	5	

(2) 정류장 진입시간 및 진출시간 (t_1, t_3)

정류장의 진입시간 및 진출시간은 버스가 정류장에 들어서고 나갈 때의 감가속 시간과 관련 있다. 따라서 식(2)에서 구한 T_{dj} 에서 정류장 정차시간을 제외하면 감가속 시간을 구할 수 있다.

$$t_1 \text{ (or } t_3) = \frac{(T_{dj} - t_2)}{2} \tag{5}$$

2) 버스정류장 간 통행시간 분석

버스정류장 간 통행시간 T_{bj} 는 정류장에서 출발한 시간(t_{dj})과 다음 정류장에 도착한 시간($t_{a(j+1)}$)의 차를 구하면 알 수 있다. 정류장과 다음 정류장 사이를 하나의 링크로 생각하고, 각각의 링크 당 t_4, t_5, t_6 값을 모두 더한 값이 버스정류장 간 통행시간이다. t_4, t_6 는 주행속도 및 차량 간섭에 의한 지체시간을 나타낸다. 신호 대기시간인 t_5 는 서울시 교차로 TOD자료를 이용하여 시간을 구할 수 있으나, 자료 구득의 한계로 본 연구에서는 정류장에서 교차로까지 걸리는 시간으로 t_4 와 함께 고려한다. $t_4 + t_5$ 는 정류장 진출시간에서 교차로를 통과하기 전까지의 시간이고, t_6 은 교차로를 통과한 이후 다음 정류장 까지 진행한 시간이다.

$$T_{bj} = t_{a(j+1)} - t_{dj} = (t_4 + t_5 + t_6) \tag{6}$$

T_{bj} : j 번째 정류장과 $j+1$ 번째 정류장 간 통행시간

$t_{a(j+1)}$: $j+1$ 번째 정류장에 도착한 시간, t_{dj} : j 번째 정류장에서 출발한 시간

3. 버스 노선 총 통행시간

버스 한 노선 당 총 통행시간은 각각의 정류장에서의 대기시간과 각 정류장에서 다음 정류장까지 걸리는 시간을 더해서 알 수 있다. 원래는 노선 총 통행시간이 t_1 부터 t_6 까지 모든 요소 시간을 더한 값이어야 하지만, t_2 에서 승하차 시간을 가정하였기 때문에, 실제 노선 총 통행시간인 T'_j 와 모든 정류장과 링크의 t_1 부터 t_6 까지 값을 더한 것과 차이가 발생한다.

$$T'_j = \sum_1^n [(j\text{번째 정류장에서의 대기시간}) + (j \sim j+1\text{번째 정류장까지 통행시간})] = t_{dn} - t_{a1} \tag{7}$$

4. 변동성 비교

총 통행시간에 가장 영향을 많이 주는 시간을 알기 위해 변동계수와 표준편차를 이용한다. 표준편차는 각 변량이 평균을 중심으로 흩어진 정도를 의미하며, 이를 통해 분산의 정도를 표시하는 척도로 표준편차를 이용한다. 여기서 표준편차 값이 작으면 각 변량들이 평균치를 중심으로 가까이 분포되어 있으며, 표준편차 값이 크면 각 변량이 평균치에서 멀리 분포되어 있는 것을 의미한다.

$$\sigma^2 = E[(x_i - \bar{x})^2] = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 p_i, \text{ 단, } \bar{x} = E(x_i) = \sum_{i=1}^n x_i p_i \tag{8}$$

p_i : 각 변량 확률(상대도수), \bar{x} : 변량 x_i 의 평균, σ : 표준편차

변동계수(CV : Coefficient of Variance)란 표준편차의 산술평균에 대한 상대적인 크기를 나타내는 척도로 여러 다른 종류의 통계집단이나 같은 집단이라도 평균이 크게 다를 경우 분포를 비교하기 위한 척도로 사용된다(Lee et al., 1999).

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (9)$$

CV : 변동계수, σ : 표준편차, \bar{x} : 평균

5. 계획한 노선별 운행시간과 실제 노선 통행시간 비교

실제 노선 총 평균통행시간인 T'_j 와 본 연구에서 산정한 정류장 별 최대 소요시간을 비교하여, 정류장 별 최대 소요시간이 더 크면 정시성과 안전성을 모두 확보하는 것이라고 볼 수 있다.

$$\text{if } T_s \geq \frac{T'_j}{n} \text{ then True} \quad \text{Else False} \quad (10)$$

T_s : 계획된 노선 총 운행시간, T'_j : 실제 노선 총 통행시간, n : 운행 버스 대수

IV. 적용 및 검증

1. 자료의 구조

본 연구에서 이용하는 자료는 서울시 BMS 자료로, 각각의 노선이 지나는 버스정류장에 운행버스의 정류장 도착시간 및 정류장 출발시간을 실시간으로 알려준다. BMS 자료는 많은 양의 자료를 실시간으로, 다양한 형태로 제공하며 이는 버스 운영을 위한 정책을 수립하는데 필수적인 자료이다.

본 연구에서는 이 자료를 이용하여 정류장에서의 대기시간, 감가속시간, 주행시간 등을 알아본다. 또한 노선이 운행하는 경로에 위치한 교차로에서의 버스의 실제 통과시간 자료를 이용하여 정류장 간 통행시간을 세분화하였다.

2. 분석 대상

본 연구에서는 서울시에서 운행 중인 전체 410개의 버스 노선 중에서 면목동에서 상암동(용마문화복지센터↔월드컵파크7단지)까지 운행하는 경성여객의 271번 버스노선의 2016년 9월 27일 화요일의 운행 자료를 이용하여 버스노선의 정시성에 대해 분석한다. 서울시 교통정보센터에 따르면, 271번 버스는 총 46대의 버스가 하루 총 185회로, 한 노선의 총 운행시간은 2시간 30분, 배차간격은 최소 5분에서 최대 10분까지로 운행되고 있다(Seoul Topis, 2016).

본 연구에서는 하루 동안의 버스 운행 중에서, 271번 버스가 지나는 정류장 중에서 동대문(홍인지문) 정류장의 오전 침두시(오전 8시~오전 9시)를 대상으로 선정하고 이 시간대의 버스운행 자료를 이용한다. 버스가 회차하는 '월드컵파크 7단지'에서는 회차로 인한 운행시간이 보통 정류장간 운행시간보다 높은 시간이 나타나기 때문에, 왕복이 아닌 '용마문화복지센터'에서 '월드컵파크 7단지' 정류장으로의 방향만을 고려한다. 동대문(홍인지문)의 오전 침두시(오전 8시~9시)에 운행하는 버스는 총 11대이다. 표기의 편의상 본 연구에서는 정류장명 대신, 용마문화복지센터에서 월드컵파크7단지까지의 각각의 정류장을 순서대로 1부터 61번으로 표기하였다.

3. 적용 및 결과

제 3장 2절에 제시한 식에 의해 11대의 버스의 버스정류장 간 운행시간, 대기시간, 통행시간과 요소시간을 정류장별로 구할 수 있다. 표기의 편의를 위해 11대의 버스 중 하나의 버스 ‘서울75사 4023’의 결과만 표로 제시하였다.

이용 자료에 나오지 않는 버스차량 개문시간(t_2)은 연구자의 가정에 따라 소요시간이 달라진다. 본 연구에서는 271번 버스의 정류장 별 승하차 시간은 ‘서울시 버스노선별 정류장별 시간대별 승하차 인원’과 도로용량편람에 표기된 승하차 시 소요시간을 참고하였다. 승차 시 소요시간은 3.2초, 하차 시 소요 시간은 1.5초로 가정하였다. 한 정류장에 도착하는 버스의 승하차 시간 중에서 가장 최대의 값을 t_2 로 계산하였다.

승하차 시간을 가정할 때, 승차 소요시간이 카드 결제와 입석승객이 있는 4.2초가 아닌, 카드로 결제하고 입석 승객이 없는 3.2초로 가정하였는데, 이는 만약 4.2초를 승차시간으로 할 경우 대기시간보다 승하차 시간이 더 긴 경우가 발생하기 때문에 이를 고려하여 승차시간을 3.2초로 가정하였다.

<Table 3> Number of Passengers and Get On/Off time per No. 271 Bus Stop(t_2)

(sec)

Bus Stop Number \ Bus ID		Bus ID							
		1~2	2~3	...	30~31	31~32	...	59~60	60~61
서울 75사 4023	Boarding	5	5	...	0	1	...	0	0
	Getting Off	0	0	...	3	3	...	10	0
	t_2	16	16	...	4.5	4.5	...	15	0

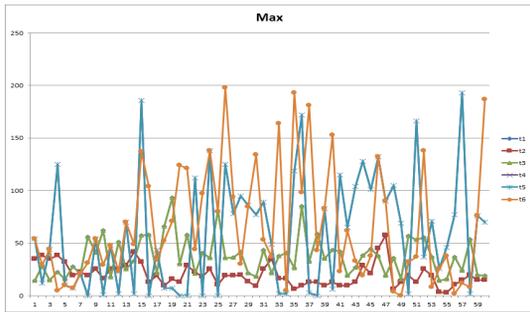
<Table 4> Travel Time Between Bus Stops

(sec)

Bus Stop Number \ Bus ID	서울75사 4023							
	$T_{dj}(=t_1+t_2+t_3)$	t_2	t_1, t_3	$T_{bj}(=t_4+t_5+t_6)$	t_4+t_5	t_6	$T_j(=T_{dj}+T_{bj})$	
1~2	34	16	9	44	44		78	
2~3	38	16	11	17	6	11	55	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
30~31	34	4.5	14.75	74	56	18	108	
31~32	92	4.5	43.75	47	17	30	139	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
59~60	36	15	10.5	19	19		57	
60~61	104	0	52	101	29	72	205	

제 3장 2절의 식에 의해 추정된 각각의 통행시간과 요소별 소요시간은 <Table 4>와 같다. 여기서 버스 정류장 간 통행시간(T_{bj})은 정류장과 정류장 사이에 교차로가 존재하는 경우와 그렇지 않은 경우 소요시간의 차이가 크게 나타난다. 그 이유는 교차로에서의 신호대기 시간이 정시성에 많은 영향을 미치기 때문이다. 따라서 각각의 정류장 사이에 있는 교차로를 고려하여 버스정류장과 교차로 사이의 시간을 세분화한다. <Table 4>에서 버스 정류장 1~2와 같이 정류장 간 통행시간(T_{bj})이 하나의 시간인 경우에는 교차로가 없는 구간이고, 버스 정류장 2~3과 같이 통행시간이 정류장에서 교차로, 교차로에서 다음 정류장까지의 시간으로 구분되는 경우에는 교차로가 존재하는 구간인 것이다. 마지막 정류장 60~61 구간의 버스 정류장은 버스가 회차하는 구간이기 때문에 다른 정류장보다 대기시간이나 통행시간이 높다.

노선운행시간에 가장 영향을 많이 미치는 요소 시간은 정류장별 평균 시간이 가장 크게 나오는 요소로 t_6 와 t_4, t_5 , 교차로에서 정류장까지의 주행시간과 정류장에서 교차로까지의 주행시간, 신호대기시간이 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 각 요소 시간의 분포를 알아보기 위해 모평균의 표준편차를 비교해보면, 가장 표준편차의 값이 큰 시간은 t_4, t_5 와 t_6 으로 나타난다. 요소 시간별 평균값과 표준편차가 가장 큰 t_6 와 t_4, t_5 는 정류장간 통행시간을 나타내고, 이는 시간대별 도로상황의 영향과 신호주기에 따른 신호대기시간으로 인해 크게 나타났음을 알 수 있다.



<Fig. 2> Maximum per Operating time Element



<Fig. 3> Mean and Standard deviation of Maximum Operating time

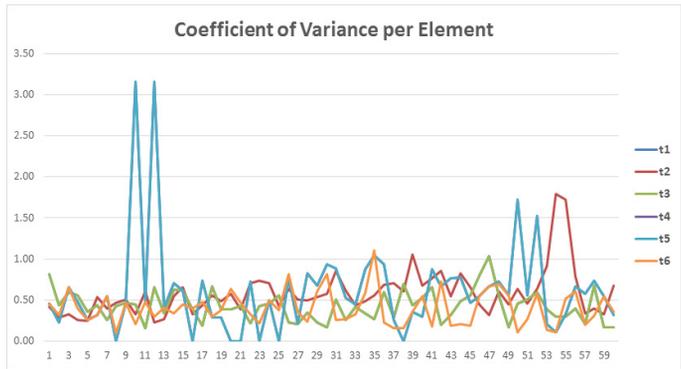
또한, 운행시간요소별 정류장과 노선별로 얼마나 변동성을 가지는지를 확인하기 위해, 요소 시간별 평균값과 표준편차 값을 이용하여 변동계수를 계산하였다. 가장 변동성이 큰 시간은 t_4, t_5 와 t_2 로 나타났다. 이러한 결과가 나타난 원인은 교차로의 유무와 교차로에서의 신호시간, 그리고 정류장 별 승차차 인원 때문에 통행시간 영향을 많이 받기 때문에 변동성이 크게 나타났다.

<Table 5> the Maximum Value and the Coefficient of Variance per Element

(sec)

Bus Stop Section	Maximum Value						Total
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	
1~2	15(0.81)	35(0.42)	15(0.81)	54(0.46)			118
2~3	28(0.44)	38(0.29)	28(0.44)	12(0.23)		29(0.31)	136
3~4	15(0.60)	35(0.32)	15(0.60)	44(0.65)			109
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30~31	18(0.17)	9(0.58)	18(0.17)	77(0.94)		134(0.82)	256
31~32	44(0.51)	26(0.86)	44(0.51)	89(0.88)		53(0.26)	255
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
58~59	54(0.68)	20(0.40)	54(0.68)	2(0.73)		8(0.31)	137
59~60	20(0.17)	15(0.33)	20(0.17)	76(0.55)			130
60~61	19(0.17)	15(0.68)	19(0.17)	70(0.32)		187(0.36)	310
Mean	37	20	37	60	60	67	-
Standard Deviation	18	11	18	54	54	54	-

* The coefficient of variance per element is shown in parentheses.



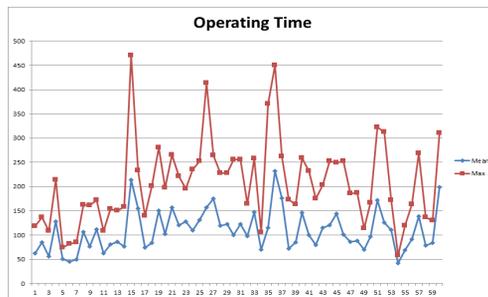
<Fig. 4> Coefficient of Variance per Operating time Element

버스의 운행시간은 정시성 확보를 위해 과속 및 신호위반 등의 위험 운전을 방지하여 정시성과 안전성을 모두 보장하기 위해, 정류장 별 요소 운행시간의 최댓값만으로 운행시간을 산정하였다. 안전성이 보장되지 않은 정시성은 승객의 서비스 질을 더 떨어트릴 것이므로, 안전성이 가장 우선적으로 고려되어야 한다. 최댓값은 <Table 5>와 같고, 정류장별 최대 소요시간을 노선 운영시간으로 설정하여 적정 운행시간을 산정하면 3시간 27분 14초가 나온다. 대상 시간에 현재 운행 중인 271번 노선은 총 11대로, 각각의 버스가 차고지를 출발하여 마지막 정류장까지 걸리는 시간은 <Table 6>과 같다. 총 11대의 버스의 평균 운행시간인 T_j' 은 1시간 50분 59초이다. 본 연구에서 산정한 적정 운행 시간인 3시간 27분 14초와 현재 평균 운행시간인 1시간 50분 59초와 비교했을 때, 적정 운행 시간이 약 1시간 40분정도가 더 걸리는 것으로 나타났다.

버스 운행시간의 증가는 정시성과 안전성을 확보하기 위해서는 불가피하지만, 운행시간 요소 6가지 중에서 평균 시간과 표준편차가 큰 t_4, t_5 와 t_6 를 조절하여 버스 운행시간을 단축할 수 있다. 이를 통해 버스의 정류장 정시도착이 가능하고, 이는 승객의 정류장에서의 대기시간을 줄임으로써 만족도와 이용률을 높이는 방안이 될 것이다.

<Table 6> Average Travel Hours for Route

Bus ID	서울75사 4023	서울74사 1201	...	서울74사 1240	서울74사 1230	Average(T_j')
Total Travel Hours	1:55:01	1:55:16	...	1:49:56	1:50:16	1:50:59



<Fig. 5> Comparison of Operating Time

<Table 7> Comparison with Travel Time

	Distance	Time	Speed
Average Time	52.44km/2=21.22km	1:50:59	11.47km/h
Maximum Time		3:27:14	6.14km/h

V. 결론 및 향후과제

본 연구는 정류장 별 예정된 시간에 버스가 정시에 도착하여, 이용자의 대기시간을 최소한으로 줄이는 것을 목표로 한다. 이를 이용하여 현재 점차 감소하고 있는 버스이용률과 서비스수준을 높이는데 기여할 수 있을 것이다. BMS 자료를 이용하여 버스의 정류장별 운행시간 및 교차로 통과시간 등을 확인하고, 이를 이용하여 버스의 통행시간을 세분화하였다. 또한 정시성 향상을 위해 요소 시간별 평균, 표준편차, 변동계수를 계산하여, 노선 운행시간 변동에 가장 많은 영향을 미치는 요소 시간을 알아보았다.

운행시간에 가장 많은 영향을 주는 요소 시간은 교차로에서 정류장까지의 시간과 정류장에서 교차로까지 걸리는 시간으로, 정류장부터 교차로까지의 주행시간과 교차로에서의 신호대기시간이다. 이는 신호주기에 따라 운행시간의 차이가 많이 나고, 도로상황에 영향을 많이 받는 버스의 특성 때문이다.

따라서 향후 정시성을 확보하기 위해서는, 정시성에 미치는 영향이 큰 요소 시간을 반영하여 버스 운행시간을 계산하고, 그에 맞는 정류장 별 버스도착시간 시간표를 만들어 정시성을 확보할 수 있다. 그 중 영향을 많이 주는 신호대기시간의 경우에는 신호주기를 변화시켜 버스 정시성을 확보할 수 있고, 주행시간의 경우에는 버스전용차로 설치 및 도로상황 개선 등을 통해 정시성을 확보할 수 있다. 하지만 모든 정류장에서의 정시성을 확보하는 것은 꽤 오랜 시간이 걸릴 것이다. 따라서 단기적으로는 승하차인원이 많은 정류장을 분석하여 거점으로 삼고, 거점별 도착시간표를 제공할 수 있다.

본 연구는 승하차시간을 입석승객이 없는 경우로 가정하고 계산하였지만, 침두시의 경우 대부분 입석승객이 있는 경우기 때문에 가정의 오류가 있다. 또한 승하차시간과 정류장대기시간을 이용하여 정류장 진입시간, 정류장 진출시간을 동일한 값으로 계산하였지만, 실제로는 도로환경에 따라 정류장 진출입시간이 다르게 나타나므로, 조금 더 현실적으로 계산할 필요성이 있다.

하지만 자율주행시대가 머지않은 오늘날, 자율주행 대중교통이 등장하면, 계획된 시간에 맞춰서 버스가 알아서 주행할 것이고, 군집주행이 활성화 되면서 이용자가 더 편리하게 버스를 이용할 수 있을 것이다. 따라서 미래에는 정시성뿐만 아니라, 이동성, 안전성, 접근성까지 모두 확보된 버스를 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 연구는 스마트교통복지재단재단의 학술연구비(과제번호 STWF-2016-4) 지원으로 수행되었음. 본 논문은 ITS 춘계학술대회 학술발표 내용을 수정·보완하여 투고한 논문임.

REFERENCES

Bertini R. L. and El-Geneidy A. M.(2004), “Modeling Transit Trip Time Using Archived Bus

- Dispatch System Data,” *Journal of transportation engineering*, vol. 130, no. 1, pp.56-67.
- David L. U., John A., Rabi M. and Nigel W.(2010), “Service reliability measurement using automated fare card data: Application to the London underground,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2143, pp.92-99.
- Jung Y. I. and Oh S. J.(2013), “Analysis of On-time Performance in Cheongju Bus Transit Using BMS Data,” *Chungbuk Research Institute*, vol. 24, no. 2, pp.43-56.
- Ko S. Y., Park J. S. and Kim E. H.(2005), “A Development of Punctuality Index for Bus Operation and Analysis of its Characteristics,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 23, no. 2, pp.131-141.
- Lee H. S., Lim J. S., Jung Y. J. and Kim Y. C.(2008), “Bus Reliability Management Policy and Evaluation of Seoul Metropolitan Based on APTS Data,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 7, no. 2, pp.1-12.
- Lee K. S., Ahn S. C., Kim G. H. and Kim W. C.(1999), *Introduction to Statistics*, Free Academy(Seoul), p.30.
- Mazloumi E., Rose G., Currie G. and Sarvi M.(2011), “An Intergrated Framework to Predict Bus Travel Time and Its Variability Using Traffic Flow Data,” *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, no. 2, pp.75-90.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013), *Korea Highway Capacity Manual(KHCM)*, Korea, p.597.
- Nelson C.(2012), “Quantifying public transport reliability in Zurich,” *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, no. 274, pp.114-125.
- Oded C.(2014), “Regularity-driven bus operation: Principles, implementation and business models,” *Transport Policy*, vol. 35, pp.223-230.
- Oh M. Y., Jung C. Y. and Shon E. Y.(2009), “Analysis on Reliabilities of Seoul’s Trunk Bus Lines Using BMS Data(though Data Envelopment Analysis),” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 27, no. 1, pp.63-71.
- Seoul Metropolitan Government, <http://bus.go.kr/UseInfo.jsp?main=1>, 2016.11.24.
- Seoul Metropolitan Government, <http://opengov.seoul.go.kr>, 2016.11.28.
- Seoul Metropolitan Government, <http://socialindex.seoul.go.kr/represent30Indicator/view.do?metricGrpId=P000211&fid=&mid=C002250>, 2016.11.19.
- Seoul Metropolitan Government, <http://traffic.seoul.go.kr/archives/289>, 2017.06.12.
- Seoul Topis, <http://topis.seoul.go.kr>, 2016.12.09.