

버스도착시간 추정모형의 신뢰도 향상방안 연구

김지수* · 박범진** · 노창균*** · 강원외****

Kim, Jisoo*, Park, Bumjin**, Roh, Chang-gyun***, Kang, Woneui****

Improve the Reliability Measures of Bus Arrival Time Estimation Model

ABSTRACT

In this study, we investigate to show the limitations of current bus arrival time estimation model based on each bus route, and to propose a bus arrival time estimation model based on a bus stop to overcome these limitations. Using the characteristic of bus arrival time calculated on travel time between two bus stops, we develop a model to estimate bus arrival times with the data of all buses traveling the same section regardless of bus route numbers. In the proposed model, an estimated arrival time is calculated by weighted moving average method, and verification between observed value and estimated time is performed on the basis of RMSE. Error was reduced by up to 20% compared to the existing models and the data update period was reduced by more than half that is related to the accuracy of bus arrival time information. We expect to solve the following problems with the suggested method: sudden increase or decrease in arrival time of the bus, the difference of the expected arrival times at the same stop between two or more buses having different route numbers, and impossibility of offering information of a bus if the bus is not operated with the designated schedule.

Key words : Bus arrival time, Travel time between bus stops, Weighted moving average method, Bus information system

초 록

본 연구는 현재 국내 BIS에서 버스도착시간 안내를 위해 개별노선 단위로 산정되고 있는 정류소간 통행시간 기반의 버스도착시간 추정 모형의 한계점을 제시하고, 이를 극복하기 위한 방안을 제시하였다. 정류소간 운행시간을 기반으로 산출되는 버스도착시간정보의 특성을 이용하여 버스노선번호에 관계없이 버스정류소에 도착한 동일 구간을 운행하는 모든 버스의 정보를 순서대로 이용하여 버스도착시간을 추정하는 버스도착시간 추정모형을 제안하였다. 제안한 모형은 실제 버스운행정보를 수집하여 RMSE를 기준으로 검증을 실시하였으며, 분석결과 오차는 기존 모형 대비 최대 20%가 감소하였고 버스도착시간정보의 정확도와 직결될 수 있는 데이터 업데이트 주기는 절반수준으로 감소하였다. 이를 통해 버스도착시간의 급격한 증가나 감소, 동일한 구간을 운행하는 다른 노선의 도착예정시간 차이, 운행계획과 다르게 운행시의 정보제공 불가함 등의 문제가 해결될 것으로 기대된다.

검색어 : 버스도착시간, 정류장 통행시간, 가중이동평균, 버스정보시스템

* 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실 연구원, 공학석사 (js.kim0331@kict.re.kr)

** 정회원·교신저자·한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실 수석연구원, 공학박사

(Corresponding Author·Korea Institute of Construction Technology·park_bumjin@kict.re.kr)

*** 연세대학교 스마트공간연구소 전문연구원, 공학박사 (rev1981@empas.com)

**** 정회원·한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실 선임연구위원, 공학박사 (yikang@kict.re.kr)

Received September 12, 2013/ revised October 8, 2013/ accepted November 5, 2013

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

Bus Information System (버스정보시스템, 이하 BIS)은 2000년 12월 부천시에서 국내 최초로 도입한 이래 대중교통분야의 대시민 대표 서비스로 자리잡고 있다. 특히 Intelligent Transportation Systems (지능형교통체계, 이하 ITS)의 확대 및 u-city건설 촉진에 의해 대시민 서비스 중 이용자 만족도가 가장 높게 평가되고 있는 BIS 및 Bus Management System (버스관리시스템, 이하 BMS)의 확대가 이루어지고 있다.

서울시의 경우, 서울시 대중교통안내에 따르면 2006년 12월 BIS 시범사업을 시행한 이래 2008년 12월~2009년 9월까지의 1단계사업, 2009년 10월부터 2010년 2월까지 2단계사업, 2010년 3월부터 2010년 2월까지 3단계사업을 진행하였으며, 4단계사업 (2011년 8월~2012년 2월)까지 총 659개소의 버스정보안내단말기를 설치하여 운영중에 있다. 사업을 진행하며 버스정보의 검출율이 향상되었으며, 버스도착시간 정확도(오차범위 ± 2 분 이내)를 94% 수준까지 향상시켰다.

Bus Information Terminal (버스정보안내단말기, 이하 BIT) 또는 개인휴대단말(스마트폰 등)을 통해 제공되고 있는 정보의 신뢰도는 시민의 서비스 만족도를 결정짓는 중요한 지표가 되고 있다. 이러한 이유로 BIS/BMS사업을 시작한 이래 지속적으로 제공 정보의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 지속되어 오고 있으며, 지자체에서는 지속적인 BIS/BMS 개선을 통해 정확도를 향상시켜오고 있다. BIT를 통해 제공되는 정보는 서울시 버스정보시스템(BIS) 4/5단계 구축사업 용역 입찰공고문에 제시된 기본 시스템 구성안을 기준으로 검토한 결과 Table 1과 같은 정보를 제공할 수 있다. 이러한 정보제공매체를 통해 제공할 수 있는 정보 중 기본정보에 해당하는 버스도착시간정보는 BIS/BMS 설치 및 운영의 목적이다.

따라서 버스도착시간정보의 신뢰도가 BIS/BMS의 신뢰도를 결정한다고 할 수 있다.

그러나 현 버스도착시간 산출방안의 특성에 의해 버스의 정류장 도착시간이 맞지 않는 등의 문제로 인해 BIS/BMS의 신뢰도 또한 감소할 수 있다. BIT를 통해 제공되고 있는 버스도착시간정보를 기준으로 현장에서 체험한 오류는 다음과 같다.

- ① 버스도착시간이 급격히 증가하거나, 감소함
- ② 동일한 정류장에 위치한 두 노선버스의 다음 정류장 도착시간이 서로 다름
- ③ 동일노선버스가 운행계획과 다르게 운행시 정보 제공이 불가
능함(운영자 개입으로 수정함)

이러한 오류는 버스노선을 기준으로 버스도착시간을 추정하는 알고리즘상의 방법론적 문제로 판단된다. 이러한 문제는 Roh et al. (2010) 등 기존 신뢰도 향상 연구에서 제시한 모형에서도 동일하게 나타날 수 있다. 현재 적용하고 있는 버스도착시간 추정모형을 검토하고, 버스정류장 기준의 버스도착시간 추정모형을 개발, 검증 을 통해 BIS/BMS의 신뢰도 향상을 위해 버스도착시간 추정모형의 정확도 향상방안을 제시하였다.

1.2 연구의 내용

본 연구는 BIS의 핵심 정보인 버스도착시간의 신뢰도 향상을 위한 방안으로 기존에 활용하고 있는 버스도착시간 가공 알고리즘을 검토하고, 제공정보의 신뢰도 향상을 위한 방안으로 버스정류장 기반 버스도착시간 추정모형을 제시하였다. 국내외 문헌고찰을 통해 적용하고 있는 버스도착시간 가공 알고리즘인 신경망(neural networks), 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 칼만필터링(kalman filter algorithms), 퍼지(fuzzy), 자기회귀(auto regression), 가중 이동평균(weighted moving average) 등의 장·단점을 우선 검토하고, 버스의 운행특성 등을 고려하여 최적의 버스도착시간 가공 알고리즘을 선정하였다. 선정된 알고리즘을 통해 도출되는 버스도착시간 정보의 정확도 향상을 위한 방안결정을 위해 실제 서울시 TOPIS를 통해 수집된 버스도착시간 정보를 적용하여 가장 오차(Root Mean Square Error ; RMSE)가 작은 버스도착시간 가공 방안을 결정하였다(Wikipedia, 2013).

버스도착시간 정보를 가공하기 위해서는 BIS를 통해 수집되는 버스의 정류장 도착시간 정보 또는 정류장 출발시간 정보 등을 활용한다. 본 연구에서는 서울 TOPIS의 정보를 활용하였으며, 버스의 정류장 출발시간 정보를 기준으로 산정하였다.

2. 기존 평가방안 고찰

2.1 버스도착시간 추정 알고리즘 검토

버스도착예정시간 산출을 위한 모형으로 검토되거나 사용되고 있는 것으로는 Silcock (1981), Ceder (2007), Kim et al.

Table 1. BIT Service

Classification	Service
Basic Information	Bus arrival time
	Metro real-time service
Traffic Information	Integrated public transport information
	Bus delay·congestion information
	Transportation transfer information
	Alternative transportation information
Additional Information	Weather and air pollution information
	Social network (SNS) service

(2009)을 포함한 기존 연구를 통해 검토한 결과 칼만필터링 기법(kalman filter algorithms), 신경망모형(neural networks), 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 퍼지모형(fuzzy), 자기회귀모형(auto regression), 가중이동평균법(weighted moving average) 등이 있으며 이중 가장 많이 활용되는 모형은 칼만필터링 기법, 신경망모형 및 가중이동평균법이다.

이중 칼만필터링은 다양한 상황에 적용이 가능하나 자료가 부족할 경우 처리가 불가능하다는 문제점을 가지고 있으며, 가상의 상황을 설정하고 분석함으로써 상대적으로 실제 상황 대비 신뢰도가 떨어진다는 단점을 가지고 있다.

신경망 모형은 입력 및 출력값이 방대하여 일부 데이터에 의해 발생 가능한 오류가 적다는 장점이 있다. 그러나 많은 변수를 동시에 고려해야 하는 모형의 구조적 형태에 의해 신속한 대응 및 결과 추정이 어려우며 버스노선 또는 정류장의 변경 및 운행패턴의 변화 발생시 학습을 재시행해야 한다는 단점이 있다.

서울시를 포함하여 최근 구축된 BIS 및 BMS사업 및 광역 BIS 사업 등의 경우에는 가중이동평균법을 적용한 사례가 많으며, 정확도 또한 가중이동평균법이 Table 2와 같이 제시한 University of Seoul (2005)의 연구에서 확인한 바와 같이 오차(MARE 및 MAE (mean absolute error))가 가장 작음을 제시하였다.

Table 2. Accuracy of Bus Arrival Time Estimation Algorithms

Classification	MARE (%)	MAE (Sec)
Moving Average	24.8	33.6
Weighted moving average 1	18.9	21.7
Weighted moving average 2 (improved model)	12.4	15.1
Auto regression 1	14.2	18.0
Auto regression 2 (improved model)	13.7	16.9
Neural networks	14.8	19.4
Genetic algorithm	17.1	20.9
Fuzzy	17.9	21.6

2.2 버스정류장 지체시간 모형

최근 승하차 시간, 신호주기, 버스전용차로의 유무 등 버스의 운행에 영향을 미치는 교통요인이 매우 다양화 되었으며, 이로 인해 버스도착시간 추정의 오차가 증가하였다. Lee et al. (2010)의 연구에서는 이러한 오차의 원인이 되는 교통여건의 변화를 반영시키기 위해 버스지체시간을 별도로 산출하고, 이를 정류장별 버스지체시간을 예측하여 정류장별 버스도착시간을 예측하는 방법을 제안하고 있다. 정류장 지체시간 모형은 확률적 접근방법인 마코브

체인 과정을 이용하였으며, 제한한 방법으로 산출한 결과는 가중이동평균법을 적용한 경우보다 오차율이 낮은 것으로 분석하였다.

여기서 버스정류장 지체시간 모형을 산정하기 위해 적용한 버스지체시간의 정의는 ‘주어진 배차간격에 대한 앞뒤차간 도착시간차’로 산출하였다. 그러나 서울시와 같이 배차시간표가 없이 운영되는 노선의 경우, 계획시간 대비 도착시간의 차이를 이용하여 적용하는 버스정류장 지체시간 모형을 적용하기 어려울 뿐만 아니라, 버스노선별 특성이 반영되지 못할 가능성이 있다. 즉, 정류소별로 지체시간을 각각 산정하여 해당 정류소에 도착하는 버스에 지체시간을 반영하는 방안의 경우 동일한 시간에 이용 승객의 수가 서로 상이한 두 노선이 존재한다고 가정할 때 두 노선의 정류소 지체시간(승객 승하차 시간 등)을 동일하게 적용하는 것은 오차를 증가시킬 수 있다.

버스정류장 지체시간을 결정하는 것은 크게 2가지로 볼 수 있다. 승객의 승하차 시간과 교통소통상황이 바로 그것이다. 승객의 승하차 시간은 승하차 승객수 및 노약자의 승하차 여부에 의해 결정될 가능성이 가장 크다. 교통소통상황의 경우에는 승객의 승하차가 완료되었음에도 불구하고 도로교통상황(정체상태)에 의해 버스가 정류장을 빠져나가지 못하여 버스정류장 지체시간을 증가시킬 수 있다.

이러한 상황 중 승하차 시간은 시간, 장소 및 버스노선 등에 관계없이 불규칙한 성격이 매우 크다. 승하차 인원수에 의한 변동요인만이 어느 정도 예측이 가능할 뿐, 그 이외 노약자의 탑승 여부 및 승객수에 대한 예측은 불가능하기 때문이다.

그에 반해 도로교통상황은 해당 시간의 동일한 정류소를 통과하는 차량은 모두 동일한 지체상황을 경험할 것이며, 이를 고려한 버스도착시간 모형을 개발할 경우에는 버스도착시간의 오차를 상당히 줄일 수 있다.

2.3 노선그룹단위별 버스도착시간 추정모형

연구의 배경에서 제시한 기존 버스도착시간 추정모형의 한계인 버스도착시간의 급격한 증가 또는 감소의 문제를 해결하기 위해 Roh et al. (2010)의 연구에서는 다음과 같은 방안을 제안하였다. 버스도착시간 추정모형으로 기본 알고리즘은 상기 검토한 버스도착시간 추정모형 중 가장 오차가 작게 나타난 가중이동평균법을 사용하였다.

타 연구와의 가장 큰 차이는 동일한 노선버스의 도착시간만을 이용하여 다음 도착할 버스의 도착시간을 추정하는 기존 방법과는 달리, 버스도착시간 추정에 사용되는 버스의 정류소 도착시간 정보를 버스의 이동경로 기준단위를 기준으로 분류한 노선그룹 단위별로 구분하여 산출하는 방안을 제시하였다는 것이다. 노선그룹단위별 버스도착시간 추정모형에서 정류장 지체시간은 Fig. 1과 같이

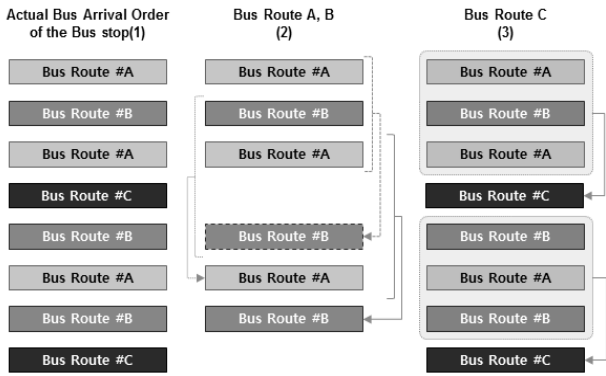


Fig. 1. Bus Arrival Time Estimation Model by Unit of Route Group (Example, m = 3)

산정된다. 일반적인 버스(침두시간의 배차간격이 10분 이하)의 경우 배차간격이 긴 버스(Route C)를 제외하여 버스도착시간을 추정하며(Fig. 1의 Route A, B), Route C와 같이 배차간격이 긴 버스의 경우 모든 버스를 이용하여 버스도착시간을 추정한다. 이와 같은 추정방법을 선택한 이유는 배차간격이 긴 버스의 경우 동일한 노선버스 2대가 도착할 때 까지 시간간격이 길어, 해당 시간간격 사이에 발생할 수 있는 교통상황의 변화 등에 의해 추정된 버스도착시간의 오차가 커질 수 있기 때문이다.

가중이동평균을 적용하기 위해 적용한 관측값(m)의 경우, RMSE 분석결과 m=4를 적용할 때 가장 작은 오차가 발생하였으며, 이때의 평균 오차는 23초로 나타났다. 버스의 정류장 지체시간은 버스 정류장 도착시간을 기준으로 수집된 데이터를 이용하여 분석하였기 때문에 분석시간에 모두 포함하여 분석되었다.

BIT를 통해 제공되는 버스도착시간 정보는 BMS를 목적으로 구축된 시스템에 의해 산출되는 버스의 운행시간 정보를 제공한다. 따라서 버스승객보다는 BMS 운영자가 필요로 하는 정보 중심으로 이루어져 있다고 할 수 있다. BMS의 대표적인 기능 중 하나인 버스운전자에게 앞차, 앞앞차, 뒤차, 뒤뒤차와의 거리 및 시간정보를 제공하여 배차간격 및 운행간격을 조정하기 위해 정보를 산출하고 있다. 이로 인해 현재의 버스도착시간 정보는 버스의 운행간격을 기준으로 산출 및 제공되고 있다. 즉, 동일한 노선버스 중 운행예정인 노선을 기 통과한 버스(보통 3대)의 이력정보를 이용하여 버스도착시간을 추정한다. 따라서 버스의 정류장 도착시간 정보는 동일한 노선버스를 대상으로 정보를 가공하고 있으며, 이로 인해 동일한 버스정류장에 위치한 서로 다른 노선버스의 다음 정류장 도착시간이 서로 다르게 제공될 수 있다.

또한 배차계획과는 다른 운행행태가 나타날 경우에는 BIT를 통해 제공되는 정보에 오류가 발생할 수 있다. 버스의 고장 또는 운행상의 문제로 인해 배차계획과는 달리 대차 또는 버스운행순서가 역전될 경우 BIS/BMS 상 순서에 따라 현재 운행되고 있는

버스의 정보가 표출되지 않고 운행이 중단되거나 고장 등으로 정차된 버스의 위치정보를 이용한 버스정보를 제공하게 된다. 이러한 정보는 버스정류장의 대기 승객에게 혼란을 줄 수 있다.

이와 같이 버스노선 기반의 버스도착시간 추정모형이 갖는 한계는 이와 같이 제공되는 정보의 신뢰도를 떨어뜨릴 수 있다. 본 연구에서는 Roh et al. (2010)의 연구에서 제시한 노선그룹단위별 버스도착시간 추정모형의 오류를 최소화 할 수 있는 방안으로 버스정류장 기반의 버스도착시간 추정모형을 개발하였다.

3. 정류장 기반 버스도착시간 추정모형

3.1 정류장 기반 버스도착시간 추정모형 개요

버스도착시간을 추정하는 모형은 버스의 노선을 기준으로 버스도착시간을 예측하는 형태로 연구되어 왔다. 이러한 문제로 인해 동일한 버스정류장에 위치한 두 개의 다른 노선 버스의 다음 정류장까지 도착시간이 서로 다르게 추정되는 오차가 발생한다. 이러한 오차를 없애기 위해 본 연구에서는 버스도착시간을 추정함에 있어 기본 원칙을 정류장을 기준으로 산정하는 방안을 제시하였다.

정류장을 기준으로 버스도착시간을 산정하는 방안은 다음 Fig. 2와 같다. Roh et al. (2010)에서 제안한 버스의 노선그룹단위별 버스도착시간 추정모형을 이용하여 정류장간 운행 소요시간을 각각 산정한다. 이를 적용하여 동일한 정류장에 위치한 버스의 경우 동일한 다음 정류장 도착예정시간을 부여받는다. 새로운 노선 또는 동일노선의 버스가 도착할 경우, 해당 버스의 정보를 추가하여 정류장간 운행 소요시간정보를 업데이트 한다. 즉, 기존의 방안과 가장 큰 차이로, 기존에는 동일한 노선 버스중심으로 해당 노선이 정류소에 도착하는데 소요되는 시간을 추정하는데 중점을 둔 반면, 본 연구의 핵심은 노선버스에 관계없이 현 시점에서 두 정류소사이 통행에 얼마나 시간이 소요되는지에 중점을 두고 있다.

본 연구에서 적용한 가중이동평균법은 관측값에 동일한 가중치를 적용하여 사용하는 단순이동평균법과는 달리 각 관측값에 서로 다른 가중치를 부여하여 최종 평균계산에 사용한다. 가중이동평균은 T시점까지 m기간의 관측값에 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 부여한 가중 평균으로, 가중이동평균에 의한 시점(T+1)에서의 예측값은

$$F_{T+1}^{(w)} = w_T Y_T + w_{T-1} Y_{T-1} + w_{T-2} Y_{T-2} + \dots + w_{T-m+1} Y_{T-m+1} = M_T^{(w)} \quad (1)$$

여기서, Y = 시계열자료

w = 가중치

과 같이 산정된다.

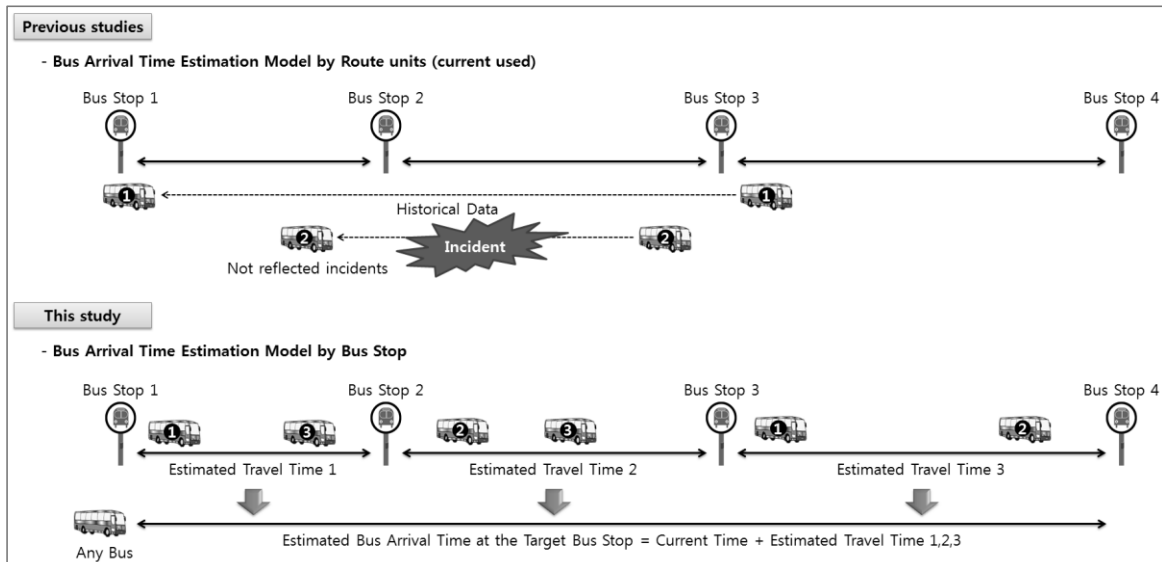


Fig. 2. Bus Arrival Time Estimation Model by Bus Stop

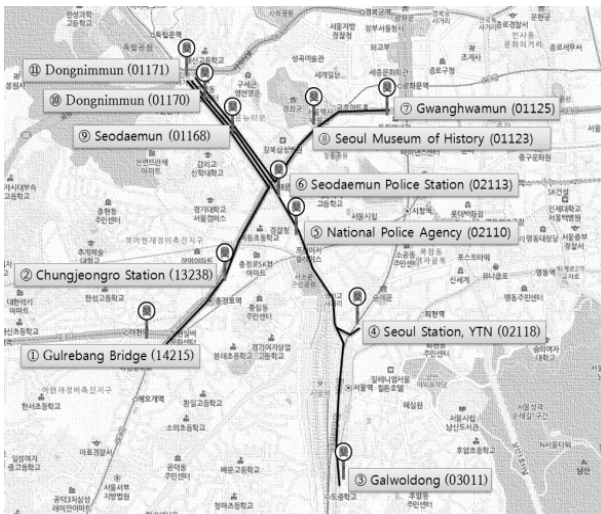


Fig. 3. Bus Route Map of the Analysis Model

3.2 분석대상 노선 선정

본 연구에서는 주변 교통류 또는 버스노선 특성이 도착예정시간 산출에 큰 영향을 미칠 것이라 판단되는 노변정류소를 중심으로, 종로이상의 도로가 교차하는 신호교차로 중 첨두시 정체가 발생하는 서대문역 → 독립문역 구간을 분석대상 가도로 선정하였다.

모형의 분석대상구간은 Fig. 3과 같이 서울역방향(직진), 충정로방향(우회전), 광화문방향(좌회전) 등 버스노선을 진행방향과 구간 별로 그룹화가 가능하다. 모형 도출을 위하여 2009년 5월 19일(화요일, 평일)의 서울 TOPIS의 BMS자료를 활용하였다(Seoul Transport Operation & Information Service, 2013).

Table 3. Bus Stop of Validation and Results of route selection

Class.	Bus Stop / ID	# of Bus
⑤	National Police Station (02110)	701, 702A, 702B, 703, 750A, 750B, 752
⑦	Gwanghwamun (01125)	370, 470, 471, 601, 720, 704
⑧	Seoul Museum of History (01123)	370, 470, 471, 601, 704, 710, 720
⑨	Seodaemun (01168)	171, 370, 470, 471, 601, 701, 702A, 702B, 703, 704, 710, 720, 750A, 750B, 752
⑩	Dongnimmun (01170)	370, 470, 601, 703, 710, 750A, 750B
⑪	Dongnimmun (01171)	171, 471, 701, 702A, 702B, 704, 720, 752

분석은 오전첨두시(07:00~09:00), 비첨두시(12:00~14:00), 오후첨두시(17:00~19:00)를 대상으로 하였으며, Fig. 1의 노선도 중 최종 분석대상 노선은 Table 3과 같이 총 6개 정류장을 대상으로 15개 노선을 선정하였다. 이들 데이터를 이용하여 버스노선에 중점을 둔 버스도착시간 산정모형과 본 연구에서 제시한 버스정류소 중심의 버스도착시간 산정모형의 오차를 비교하여 모형의 우수성을 검토하였다.

3.3 관측값의 개수(m) 및 가중치

버스의 도착시간 추정을 위해 가중이동평균법 적용하였다. 본 연구에서는 관측 값의 개수(m)별로 가중치를 적용하여 분석하였다. 관측값의 개수(m)는 버스도착시간에 미치는 영향이 크다. 관측값

의 개수(m)가 증가할 경우, 그만큼 버스도착시간 가공에 사용되는 데이터가 증가하는 반면 개수만큼의 버스가 통과하는데 소요되는 시간이 점차 증가하므로 돌발상황 또는 교통상황 변화에 둔감해질 수 있다. 특히 버스노선단위로 분석될 경우, 관측값의 개수(m)가 증가함에 따라 m=5로 설정할 경우 버스배차간격이 10분이라 가정 하면 총 50분 동안 통과한 버스의 평균소요시간값을 버스도착시간으로 제공하게 된다. 반면 관측값의 개수(m)가 작아질 경우, 비정상적으로 운행한 특정버스의 이력정보가 버스도착시간정보의 특성으로 반영될 수 있으므로 이 또한 제공정보의 오류를 증대시킬 수 있다.

본 연구에서는 정류장 기반으로 버스도착시간을 산정하므로 노선버스의 배차간격은 중요하지 않다.

따라서 관측값의 개수가 증가하여도 분석시간이 길지 않다. 분석에 적용한 값은 Tabel 4와 같이 적용하였다. RMSE가 가장 작게 도출된 값을 관측 값의 개수(m) 및 가중치로 적용하여 결론으로 제시하였다.

가중치는 가장 최근에 도착한 버스에 가장 큰 가중치를 부여하며, 가장 낮은 가중치를 부여한 데이터는 새로 수집된 데이터가 발생할 경우 분석에서 제외하는 형태로 버스도착시간정보를 생성하게 된다.

4. 모형의 적용 결과

4.1 모형의 적용 결과 검증방안

버스도착시간 예측 값과 실제 관측 값 사이의 오차를 비교분석하기 위한 지표로 RMSE를 사용하였다. RMSE는 시계열모형에서 일반적으로 사용하는 오차검증 방법으로, 정밀도 측정에 적합하다고 알려져 있다. 각각의 차이값은 잔차(residual)이라고 하며, 평균 제곱근 편차는 잔차들을 하나의 측도로 종합할 때 사용한다(Lee, 2007).

추정치 θ 에 대한 추정량 $\hat{\theta}$ 의 평균 제곱근 편차를 평균 제곱오차의 제곱근으로 정의할 때

$$RMSE(\hat{\theta}) = \sqrt{MSE(\hat{\theta})} = \sqrt{E((\hat{\theta} - \theta)^2)}$$

이다. 편의추정량에서 평균 제곱근 오차는 분산의 제곱근, 즉 표준오차가 되며, 버스정류장에 도착하는 버스의 운행시간을 랜덤 벡터로 표현하면

$$\theta_1 = \begin{bmatrix} x_{1,1} \\ x_{1,2} \\ \vdots \\ x_{1,n} \end{bmatrix} \text{ and } \theta_2 = \begin{bmatrix} x_{2,1} \\ x_{2,2} \\ \vdots \\ x_{2,n} \end{bmatrix}$$

이고, 식은

$$RMSE(\theta_1, \theta_2) = \sqrt{MSE(\theta_1, \theta_2)^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}}$$

와 같다. 이를 이용하여 정류장 도착시간 추정결과와 실제 버스의 도착시간을 비교하여 정보의 정확도 향상정도를 측정하여 비교하였다.

4.2 정류소별 버스도착시간 추정정보의 정확도

Table 4에서 제시한 관측값의 개수(m)에 따른 가중치를 부여하여 정류소별 버스도착시간을 추정하였다. 기존의 버스도착시간 추정방법에 의해 산출된 버스도착시간의 RMSE와 본 연구에서 제시한 버스정류장 기반 버스도착시간 정보의 RMSE를 비교한

Table 4. Observations(m) and Weight

m	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	$\sum \omega_i$
4	0.10	0.20	0.30	0.40	-	1
5	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	

Table 5. Result of Model Analysis

m	Bus Route	RMSE (average)			
		Current (line based)		Suggest (bus stop based)	
		m=4	m=5	m=4	m=5
Peak time (AM)	⑤ → ⑨	64.4	69.5	54.1	43.0
	⑦ → ⑧	22.7	22.0	20.1	18.9
	⑧ → ⑨	26.4	27.4	24.3	23.8
	⑨ → ⑩	3.0	2.9	2.3	2.2
	⑨ → ⑪	12.3	12.4	12.0	11.5
	Average	25.8	26.8	22.6	19.9
Peak time (PM)	⑤ → ⑨	126.5	153.6	114.0	119.2
	⑦ → ⑧	27.2	27.1	26.0	25.0
	⑧ → ⑨	61.5	63.6	52.5	51.8
	⑨ → ⑩	14.4	14.8	12.9	12.6
	⑨ → ⑪	21.5	23.7	17.4	17.8
	Average	50.2	56.6	44.6	45.3
Non-peak	⑤ → ⑨	20.6	21.8	19.2	19.7
	⑦ → ⑧	30.9	28.3	29.1	28.6
	⑧ → ⑨	30.7	30.7	27.2	25.5
	⑨ → ⑩	12.2	12.6	11.5	11.1
	⑨ → ⑪	16.0	15.4	15.6	14.6
	Average	22.1	21.8	20.5	20.0
Total average		32.7	35.1	29.2	28.4

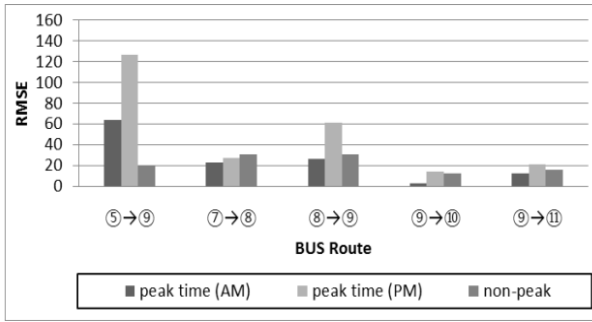


Fig. 4. Average RMSE Value (Current, m=4)

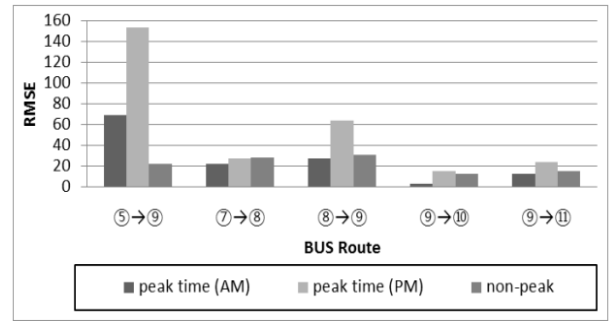


Fig. 5. Average RMSE Value (Current, m=5)

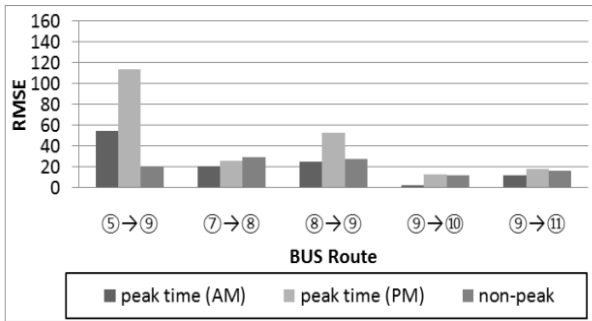


Fig. 6. Average RMSE Value (Suggest, m=4)

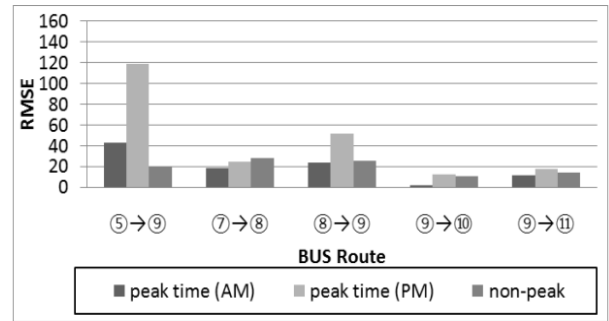


Fig. 7. Average RMSE Value (Suggest, m=5)

결과는 Table 5와 같다. 기존의 버스도착시간 추정방식에서는 관측값의 개수(m)이 작을수록 버스도착시간 정보의 오차가 작게 나타났다. 특히 교통상황의 변화가 많이 관측되는 침두시간에 오차가 더 적게 발생하였으며, 이는 교통상황 변화에 따라 버스의 정류장간 운행이 불규칙하여 정보의 갱신주기를 짧게 할 경우 오차가 감소하였기 때문으로 분석된다.

기존 버스도착시간 추정방법 대비 본 연구에서 제시한 버스도착시간 추정방법의 오차는 관측값의 개수(m) 4인 경우 10.6%의 오차 감소, 관측값의 개수(m) 5인 경우 19.1%의 오차 감소가 발생하였다.

Figs. 4~7은 버스정류장별 오차율을 현재 적용방안과 본 연구 제안방안, 관측값(m)의 개수별로 구분하여 도식화한 결과이다.

버스정류장을 기준으로 버스도착시간을 추정할 경우, 분석에 활용할 수 있는 버스의 개수가 많이질수록 오차가 감소(오차, m=4 > m=5)하는 것으로 분석되었다. 그러나 버스정류장에 도착하는 버스를 노선번호에 관계없이 분석에 사용하므로 실제 버스도착시간 데이터의 업데이트 주기는 본 연구에서 제안하는 방법이 현 적용방안 평균 1,954초에서 765초로 절반 이하 수준으로 감소하여 급변하는 교통상황에 대해서도 적절히 반영한다. 따라서 가장 오차가 크게 발생하는 오후 침두의 RMSE의 경우 오차가 약 20%까지 감소하는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 정류장에 도착하는 버스의 도착시간정보를 추정하여 제공하는 BIS/BMS의 정확도를 향상시키기 위한 방안을 제시하였다. 이를 위해 기존에 버스노선번호 단위로 정보를 산출하는 방안과는 달리 버스정류소별로 소요시간을 각각 산출하여 버스도착시간 정보를 산출하는 방안을 도출하였다. 버스 노선에 관계없이 대상 정류소간을 통행하는 모든 버스의 통행시간 정보를 이용하여 관측값의 개수(m)을 5로 적용한 가중평균법을 적용하여 버스도착시간을 추정하였다. 이를 검증하기 위해 서대문사거리 일대의 데이터를 수집하여 분석에 활용하였다.

본 연구에서 제안하는 방안으로 버스도착시간을 추정할 경우 최대 20%의 발생오차를 감소시킬 수 있는 것으로 도출되었으며, 동일한 정류소에서 동시에 출발한 버스는 현재와는 달리 동일한 버스도착시간 정보를 제공할 수 있다. 또한 버스도착시간정보를 산출하기 위해 적용하는 버스정보의 업데이트 주기를 절반수준으로 감소시킬 수 있으며, 이로 인해 급변하는 교통상황에 대해서도 충분히 반영하여 버스도착시간을 추정한 후 이용자에게 제공할 수 있다.

버스도착시간 추정모형의 신뢰도 향상방안으로 버스 이용자에게 제공되는 버스도착예정시간의 오차를 감소시킬 수 있는 방안

으로 버스정류장 기반의 버스도착시간 추정방안을 제시하였다. 그러나 버스의 운영측면(BMS)에서는 현재 적용하고 있는 버스노선 기반의 관리방안이 보다 적합하다. 즉, 본 연구에서 제시한 방안은 버스노선에 관계없이 정류소 통행시간을 산출하는 반면, BIS측면에서는 동일한 버스 노선의 배차시간 간격 조정 등을 위해서는 버스노선 기반의 버스도착시간 간격의 정보가 반드시 필요하기 때문이다. 따라서 본 연구에서 제시한 방안을 이용하여 버스노선 단위의 정보 신뢰도를 향상시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(차세대 도로교통정보 서비스 고도화 기술 개발)의 연구비 지원으로 수행하였습니다.

References

- Ceder, A. (2007). *Public transit planning and operation*, Elsevier, Oxford.
- Kim, T. G., Ahn, H. C. and Kim, S. G. (2009). "Predictive modeling of the bus arrival time on the arterial using real-time bis data." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 29, No. 1D, pp. 1-9 (in Korean).
- Lee, J. (2007). *Time series analysis and applications*, Freedom Academy Pub. Co., Seoul, Korea (in Korean).
- Lee, S. H., Mun, B. S. and Park, B. J. (2010). "The bus arrival time prediction using bus delay time." *Journal of the Korean Society of Transportataion*, Vol. 28, No. 1, pp. 125-134 (in Korean).
- Roh, C. G., Kim, W. G. and Son, B. (2010), "Development of bus arrival time estimation model by unit of route group." *Journal of the Korean Society of Transportataion*, Vol. 28, No. 1, pp. 135-142 (in Korean).
- Seoul Transport Operation &Information Service (2013). *Bus information*, Available at: topis.seoul.go.kr/renewal/traffic/BusInfo.jsp (Accessed: July 19, 2013) (in Korean).
- Silcock, D. T. (1981). "Measures of operational performance for urban bus services." *Traffic Engineering and Control*, Vol. 22, No. 12, pp. 645-648.
- University of Seoul (2005). *IMprovement and development of bis travel time estimation algorithm in Anyang*, Final Report, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea (in Korean).
- Wikipedia (2013). *Root-mean-square deviation*, Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/RMSE> (Accessed: July 7, 2013).