

버스도착시간 추정모형 개발*

김원길** · 노창균*** · 허민국**** · 손봉수*****

A Development of Bus Arrival Time Estimation Model*

Wongil Kim** · Chang-Gyun Roh*** · Mingook Heo**** · Bongsoo Son*****

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

버스정보시스템(BIS, Bus Information System)은 첨단기술을 통해 수집된 버스 이용에 관한 정보를 실시간으로 버스 이용자에게 제공해 주는 대중교통체계의 일환이다. 예로써, 버스 이용자에게는 버스가 언제 오는지에 대한 정보를, 그리고 버스운전자에게는 앞·뒤차와의 간격을 알려준다. 버스관리시스템(BMS, Bus Management System)은 첨단기술을 통해 수집된 버스의 운행에 관한 정보를 버스운행 및 관리 주체들에게 제공해 주는 대중교통체계의 일환이다. 이러한 시스템들을 통해 대중교통 관련 서비스 수준의 고도화 및 교통운영의 효율성을 제고시킬 수 있다.

국내 대중교통관련 ITS시스템은 1997년 ITS 기본계획에 의해 우선순위를 두고 구축해야 하는 시설로 규정하고 있다. 과천시 1997년 국내 최초로 대중교통정보시스템을 구축한 바 있다. 이후

국내에서는 서울, 대구, 인천, 대전, 안양, 인천 등을 비롯한 여러 도시에서 BIS와 BMS를 구축하여 운영하고 있다. 또한, 최근에는 지자체별로 독자적으로 운영 중인 버스정보시스템의 한계를 극복하고 광역 대중교통 서비스 수요에 부응하고자 수도권 주요 간선도로를 중심으로 버스정류장 안내 단말기(BIT, Bus Information Terminal)를 확충하고 지자체별 서비스체계를 광역화하여 버스운행정보를 시·공간적 제약 없이 버스 이용자에게 제공하여 대중교통서비스 질을 향상시키기 위한 광역 BIS 사업도 수도권을 4개 권역으로 나누어 추진하고 있다.

버스 이용자들이 가장 선호하는 정보는 버스도착시간에 관한 정보이다. 따라서 실질적으로 BIS 및 BMS의 신뢰성을 좌우하는 가장 중요한 요소는 버스도착정보의 신뢰성 확보에 있다. 현재 이러한 정보는 일반적으로 정류장에 설치된 안내단말기, 인터넷, 휴대폰 서비스 등을 통해 제공된다.

최근 추진되고 있는 수도권 광역 BIS사업에서는 버스운행정보에 대한 정확도 목표수준으로

* 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(과제번호 07교통체계-지능07)에 의해 수행되었습니다.

** 연세대학교 도시교통과학연구소 책임연구원(Research Associate, Yonsei University)

*** 연세대학교 도시공학과 박사과정(Graduate Student, Yonsei University)

**** 연세대학교 도시공학과 석사과정(Graduate Student, Yonsei University)

***** 연세대학교 도시공학과 교수(Professor, Yonsei University), Corresponding Author(E-mail: sbs@yonsei.ac.kr, Tel: 02-2123-5891)

BIT 10개전 정류장의 버스도착시간 정보가 오차 범위 ± 3 분 이내에서 90%의 신뢰성을 확보할 것을 요구하고 있다. 또한 버스의 운행특성을 고려할 때 정류장, 교차로단위의 버스운행정보를 활용하여 주요 도로의 소통정보를 추정할 수 있는 버스 운행정보를 통한 일반차량 소통정보의 추정 또한 요구되고 있다. 그러나 버스의 운행정보를 가공하는데 있어서, 기존 시스템에서는 동일한 노선의 버스만을 대상으로 자료를 가공하고 있다. 즉, 경로가 같아도 노선이 다르면, 가공과정에서 자료를 공유하지 않고 있다. 그러나 노선이 서로 다르더라도 같은 경로 구간을 운행하는 버스는 운행상황이 같으므로 정보가공과정에서 자료를 공유하여 활용함이 유리하다.

본 연구는 이러한 자료공유의 유리한 활용방안을 기존 모형에 적용하는데 주안점을 두고 있다. 즉, 개별 버스의 진행방향에 관계없이 같은 구간을 운행하는 버스에 대해서는 공통적으로 정류소간 통행시간 및 소통정보를 추정하는 모형을 개발하였다.

2. 연구의 범위 및 내용

본 연구는 현재 국내 BIS에서 버스도착시간 및 정류장간 통행시간 산정을 위해 개별노선단위로 적용하고 있는 버스도착시간 추정 모형의 한계점을 지적한 후, 이를 극복하기 위한 방안으로 직진, 좌회전, 우회전 등 버스의 진행 방향과 정류소 구간을 고려한 노선그룹단위 버스도착시간 및 구간 통행시간 추정 알고리즘을 제시하고, 서울시 BMS에서 수집되는 버스 운행자료를 활용하여 본 연구에서 제시된 모형의 신뢰성과 적정성을 평가하였다. 본 연구 범위는 다음과 같다.

첫째, 직진, 좌회전, 우회전 등 버스의 진행방향과 정류소 구간별로 동일 방향, 구간을 운행하는 버스로 구성되는 노선그룹단위 버스도착시간 및 정류소간 소요시간을 추정하기 위해 가중이동평균법을 이용한 모형을 제시하였다.

둘째, 노선그룹단위의 버스도착시간 추정 모형 적용결과와, 기존 노선단위 모형에 의하여 추정된 결과 및 실측 자료를 이용한 비교를 통해 모형의 신뢰성을 검증하였다.

모형의 검증 및 평가를 위하여 서울시 정류소 중 서대문역 주변을 운행하는 버스노선을 대상으로 버스의 운행 방향 및 정류소에 따라 노선을 그룹화 하였다. 서울시 BMS의 2009년 5월 19일(화요일) 운행 자료를 활용하여 노선그룹단위의 버스도착시간을 산출하였다. 본 연구에서는 버스의 운행방향별로 노선그룹으로 구분하고, 기존 연구에서 가장 신뢰성이 높은 모형으로 나타난 가중이동평균법을 적용하여 실제 버스의 통행시간과 기존 노선단위 모형, 그리고 본 연구에서 제시하는 노선그룹단위 모형과의 비교를 통해 모형을 검증하였다.

II. 기존 모형의 고찰

국내외적으로 버스도착시간 추정에 관한 연구는 다양한 방법으로 시도된 바 있다. 버스도착시간 추정에 관한 연구에서는 주로 칼만필터링, 신경망모형 및 비모수 회귀분석이 주를 이루었으며, 최근 구축된 버스정보시스템에서는 이동평균법을 기반으로 한 추정모형이 주로 사용되었다.

Son et al.(2004)은 버스정류장 구간을 하나의 링크로 분석했던 기존의 연구와 달리 버스정류장으로부터 신호교차로 정지선까지의 버스통행시간

과 신호교차로에서의 정지시간을 고려한 신호교차로부터 다음 버스정류장까지의 버스통행시간으로 나누어 버스정류장간의 버스통행시간을 예측하는 방법을 개발하였다. 각 구간의 링크 통행시간예측은 칼만필터링 기법을 사용하여 예측하였으며, MRE, RSE, MAX의 세 가지 통계적인 방법을 사용하여 모형의 오차를 분석하였다. 서울시를 대상으로 현장조사와 모의실험을 적용한 결과, 기존의 방법에 비해 200% 이상 예측 정확도가 향상된 것으로 나타났다.

김태곤 외(2009)는 버스운행특성에 따라 지수평활법, 가중평활법 및 칼만필터링을 적용하여 최적의 단위구간 통행시간 예측모형을 개발하였다. 이 연구는 각 예측모형을 바탕으로 구간별 최적모형을 조합한 통합모형을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다. 그러나 이러한 모형은 노선의 구간별 가공방안이 별도로 구축되어야 하는 한계가 있다.

칼만필터링은 다양한 상황에 적응이 가능하나 자료가 부족할 경우 처리가 불가능하다는 문제점을 가지고 있으며, 가상의 상황을 설정하고 분석함으로써 상대적으로 신뢰도가 떨어진다는 단점이 있다. 또한, 신경망 모형은 많은 입력과 출력값을 바탕으로 분석하므로 일부 데이터에 의한 오류발생 정도는 작다. 그러나 많은 변수를 고려해야 하는 문제로 인하여 신속한 대응 및 결과 추정이 어려우며, 노선 또는 정류소의 변경이나 운행패턴 변화시 재학습을 수행해야 한다는 단점이 있다.

국내 지자체에서 버스도착시간 추정에 사용하고 있는 알고리즘의 종류 및 정확도는 <표 1>과 같다(서울시립대학교, 2005).

<표 1> 버스도착시간 추정알고리즘의 정확도 분석결과

구 분	MARE(%)	MAE(초)
단순이동 평균	24.8	33.6
가중이동 평균	18.9	21.7
가중이동 평균개선	12.4	15.1
AR_1	14.2	18.0
AR_2	13.7	16.9
신 경 망	14.8	19.4
칼만필터	17.1	20.9
퍼 지	17.9	21.6

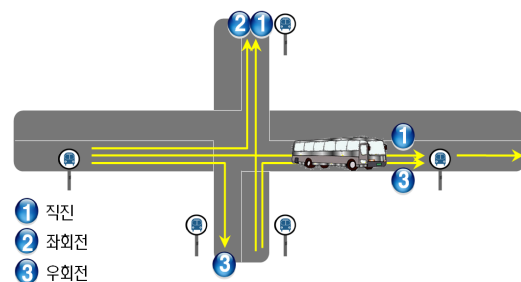
III. 새로운 모형의 구축

1. 기본 가정

모형 전개를 위해 서로 다른 노선을 운행하지만, 동일한 시간대에 동일 구간을 운행하는 버스의 운행특성은 같다고 가정하였다.

2. 모형의 전개

정류소를 출발한 버스는 <그림 1>과 같이 노선별로 ① 직진, ② 좌회전, ③ 우회전 등 진행방향과 서비스를 위해 정차하는 정류소에 따라 여러 개의 노선그룹으로 구분된다.



<그림 1> 버스의 진행방향과 서비스 정류소에 따른 노선 그룹단위 구분

정류소 k 에 도착하는 버스의 노선그룹 S^k 는 이전 정류소의 진행방향에 따라 직진(a), 좌회전(b), 우회전(c) 등 3가지의 버스노선그룹으로 구분된다. 또한, 진행방향별 버스노선그룹 S_i^k 는 각 버스노선 $B_{i,j}^k$ 으로 구성된다.

$$\begin{aligned} S^k &\supset S_a^k, S_b^k, S_c^k \\ S_a^k &\supset B_{a,1}^k, B_{a,2}^k, \dots, B_{a,l}^k \\ S_b^k &\supset B_{b,1}^k, B_{b,2}^k, \dots, B_{b,m}^k \\ S_c^k &\supset B_{c,1}^k, B_{c,2}^k, \dots, B_{c,n}^k \end{aligned}$$

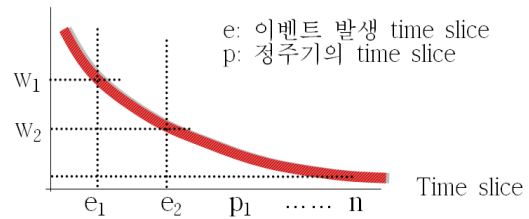
S^k = 정류소 k 의 버스노선그룹
 S_i^k = i 진행방향에서 정류소 k 에 도착하는 버스노선그룹
 $B_{i,j}^k$ = 정류소 k 에 도착하는 버스노선그룹 i 의 j 번째 버스노선

본 연구에서는 정류소 도착시간을 산출하기 위한 방법으로 대부분의 국내 지자체에서 사용하고 있으며, 서울시립대학교(2005)의 버스도착시간 추정모형별 정확도 비교분석결과 가장 정확도가 높은 것으로 나타난 가중이동평균법을 적용하였다. 가중이동평균법은 관측 값에 동일한 가중치를 사용하는 단순이동평균법과는 달리 실제로 서로 다른 가중치를 각각의 관측 값에 부여한다. 즉, 최근의 관측 값은 과거의 관측 값에 비해 예측 값에 많은 영향을 미치므로 가중치의 크기가 보다 큰 값을 적용하게 된다. 버스운행에 영향을 미치는 교통상황은 시간에 따라 변화하므로, 가장 최근의 관측 값이 예측 값에 가장 유사한 분포를 가질 가능성이 크다. 가중이동평균법을 이용한 버스도착시간(M_{w_n}) 추정 및 가중치 적용방법은 다음과 같다.

$$M_{w_n} = \frac{(w_1 e_1 + w_2 e_2 + w_3 p_3 + \dots + w_n e_n)}{(w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n)}$$

w_n = 과거 n 번째 이벤트 및 임의주기의 가중치
 e_n = 과거 n 번째 이벤트 발생시 도착소요시간
 p_n = 과거 n 번째 임의주기의 도착소요시간

W(가중치의 크기)



〈그림 2〉 가중 이동평균법의 가중치 선정

본 연구에서는 t 시점까지의 관측 값에 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 부여하였다. 가중이동평균에 의한 시점 $t+1$ 에서 이동류 방향 k 를 운행한 버스 i 의 도착시간 예측 값 버스도착시간 예측 값은 $F_{t+1,i,k}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_{t+1,i,k} &= \omega_t Y_{t,i,k} + \omega_{t-1} Y_{t-1,i,k} + \\ &\quad \dots + \omega_{t-m+1,i,k} Y_{t-m+1,i,k} \end{aligned}$$

$$\sum \omega_i = 1$$

ω_i = 가중치

$Y_{t,i,k}$ = 시점 t 에서 이동류방향 k 를 운행한 버스 i 의 도착시간 관측값

m = 관측 값의 개수

가중이동평균법은 관측 값의 개수 및 가중치의 크기에 따라 예측 값에 대한 오차가 결정된다. 관측 값의 개수를 얼마로 설정하느냐 하는 문제는 버스가 운행하는 대상구간의 특성에 따라 달리 적용되어야 한다. 동일한 노선그룹을 운행하는 버스노선수가 많아서 정보갱신주기가 짧다면 상대적으로 큰 관측 값의 개수를 설정하여 자료의 일시적인 변동을 완화할 수 있다. 이와 반대로 동일한 노선그룹을 운행하는 버스노선수가 적거나 정보갱신주기가 상대적으로 길다면, 교통상황 등의 운행조건 변화 등에 대응하기 위하여 상대적으로 짧

은 관측 값의 개수로 운영되어야 한다.

IV. 모형의 실증결과 분석

1. 모형의 적용변수

본 연구에서의 모형 적용대상 도로는 서울 도심지역으로, 하나의 노선그룹단위에 최소 4개에서 최대 8개의 버스노선이 포함되어 있다. 이를 고려하여 <표 2>와 같이 관측 값의 개수(m)를 4와 5로 각각 구분하여 그에 적합한 가중치를 조정하여 모형에 적용하였다.

<표 2> 관측 값의 개수 및 가중치 적용

분석시간	m	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	$\sum \omega_i$
오전첨두 (7시-9시)	4	0.1	0.2	0.3	0.4	-	1
	5	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	
비첨두 (12시-14시)	4	0.1	0.2	0.3	0.4	-	
	5	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	
오후첨두 (17시-19시)	4	0.1	0.2	0.3	0.4	-	
	5	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	

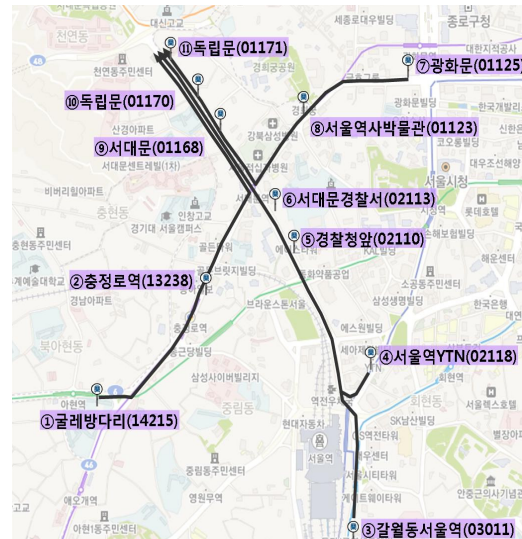
2. 모형의 검증방안

버스도착시간 예측 값과 실제 관측 값 사이의 오차를 비교·분석하기 위한 지표로 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Squared Error)를 사용하였다. RMSE는 시계열모형에서 일반적으로 사용하는 오차검증 방법으로, 기존 개별노선단위 도착시간 모형에 의한 추정 값과 본 연구에서 적용한 노선그룹단위 버스도착시간 모형에 의한 추정 값 대비 관측 값의 오차를 분석하였다.

모형의 검증을 위해 사용한 시점 t 에서 이동류 방향 k 를 운행한 버스 i 의 통행시간 관측 값인 $Y_{t,i,k}$ 는 신호교차로 및 횡단보도에서의 대기시간 등 버스의 정류소간 통행시간 변동에 미치는 영향을 최소화하기 위해서 구간통행시간 추정이 완료된 시점을 기준으로 노선그룹 중 해당 구간을 가장 최근에 통과한 버스 3대의 통행시간 실측값을 평균하여 비교·검증하였다.

3. 모형의 검증노선

모형의 검증을 위해서 서울시에서 운행 중인 간선버스 노선 중 서대문역→독립문역 구간을 운행하는 노선을 대상으로, <표 3>과 같이 서울역방향(직진), 충정로방향(좌회전), 광화문방향(우회전) 등 버스노선을 진행방향과 구간별로 그룹화하여 모형에 적용하였다. 모형검증 노선은 <그림 3>과 같다. 모형검증을 위한 자료는 2009년 5월 19일(화요일, 평일)의 서울시 BMS 수집자료를 활용하였다.



<그림 3> 모형의 검증노선

〈표 3〉 노선별 진행방향 및 배차간격
(서대문역→독립문역 구간, 평일 기준)

방향	노선	배차간격	방향	노선	배차간격
직진	701	6~10분	우회전	370	5~12분
	702A	4~6분		470	5~10분
	702B	12~17분		471	5~10분
	703	10~13분		601	5~8분
	750A	4~12분		704	10~15분
	750B	4~13분		710	8~15분
	752	6~18분		720	6~12분
좌회전	171	5~10분			

분석시간대는 오전첨두시(07:00~09:00), 비첨두시(12:00~14:00), 오후첨두시(17:00~19:00)로 각각 구분하여 노선 및 정류소별 버스 도착시간, 출발시간 자료를 활용하여 모형 적용 및 분석을 수행하였다.

서울시 간선버스 중 서대문역→독립문역 구간을 운행하는 노선은 전체 15개로, 〈표 3〉과 같이 진행방향에 따라 직진 7개, 우회전 7개, 좌회전 1개 노선이다. 모형의 검증을 위한 검증대상 구간 내 정류소는 전체 11개이며, 각 정류소를 운행하는 노선은 〈표 4〉와 같다. 또한, 검증대상구간은 동일한 간선버스라고 하더라도 〈표 5〉와 같이 승하차를 위해 정차하는 정류소가 노선별로 다르다. 이를 고려하여 진행방향별로 정차하는 정류소에 따라 세부그룹으로 나누어 모형에 적용하였다. 본 연구모형인 노선그룹단위 버스도착시간 추정 모형은 해당구간을 복수개의 노선이 운행해야 검증이 가능하므로 정류소 구간별 운행노선이 4개 미만인 구간은 검증대상에서 제외하였다. 검증대상 구간은 〈표 5〉와 같이 전체 11개 중 5개 구간으로 선정하였다.

〈표 4〉 검증대상 정류소 및 노선

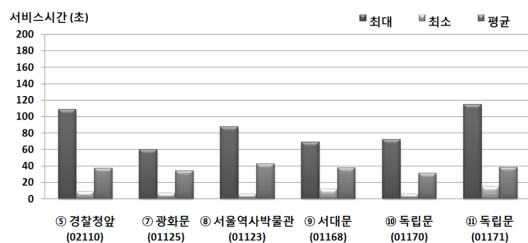
구분	정류소명	정류소ID	해당 정류소 운행노선
①	굴레방다리	14215	171
②	충정로역	013238	171
③	갈월동 서울역	03011	750A, 750B, 752
④	서울역 YTN	02118	701, 702A, 702B, 703
⑤	경찰청앞	02110	701, 702A, 702B, 703, 750A, 750B, 752
⑥	서대문 경찰서	02113	703
⑦	광화문	01125	370, 470, 471, 601, 720, 704
⑧	서울역사 박물관	01123	370, 470, 471, 601, 704, 710, 720
⑨	서대문	01168	171, 370, 470, 471, 601, 701, 702A, 702B, 703, 704, 710, 720, 750A, 750B, 752
⑩	독립문	01170	370, 470, 601, 703, 710, 750A, 750B
⑪	독립문	01171	171, 471, 701, 702A, 702B, 704, 720, 752

〈표 5〉 진행방향 및 정류소 구간별 운행노선 그룹화 결과

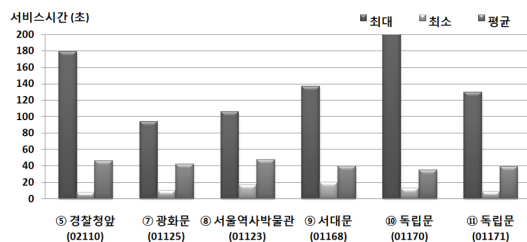
구간	운행노선	노선수	회전구분	검증대상
①→②	171	1		
②→⑨	171	1	좌회전	
③→⑤	750A 750B 752	3		
④→⑤	701 702A 702B 703	4		
⑤→⑥	703	1		
⑤→⑨	701 702A 702B 703 750A 750B 752	7	직진	✓
⑥→⑨	703	1	직진	
⑦→⑧	370 470 471 601 704 720	6		✓
⑧→⑨	370 470 471 601 704 710 720	7	우회전	✓
⑨→⑩	370 470 601 703 710 750A 750B	7		✓
⑨→⑪	171 471 701 702A 702B 704 720 752	8		✓

4. 수집자료 분석

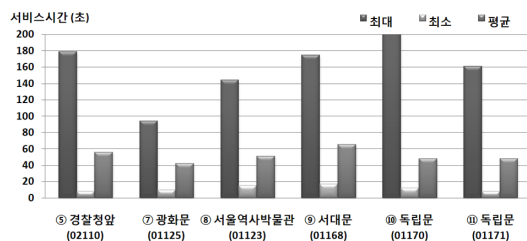
수집자료를 분석한 결과, 정류소별 승하차 인원 수와 밀접한 연관을 갖는 정류소별 서비스시간은 일부 정류소에서 서비스시간이 지나치게 높은 것으로 분석되었다. 특히 오후첨두시와 비첨두시의 경우, <그림 5>, <그림 6>과 같이 일부 정류소에서 최대 180초 이상의 서비스시간이 소요되는 것으로 나타났다.



<그림 4> 정류소별 서비스시간 분석결과
(오전첨두 07:00~09:00)



<그림 5> 정류소별 서비스시간 분석결과
(비첨두 12:00~14:00)

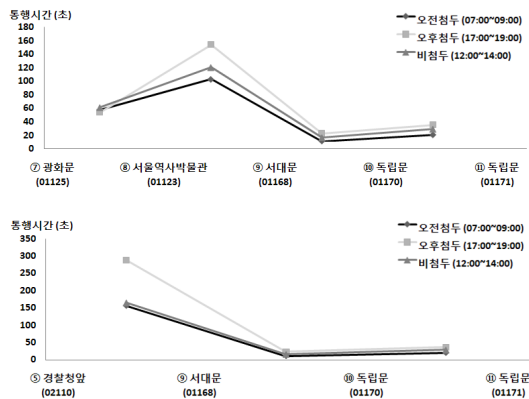


<그림 6> 정류소별 서비스시간 분석결과
(오후첨두 17:00~19:00)

이러한 현상은 정류소 주변의 지·정체로 인하여 버스가 정류소에서 서비스 완료 후 출발하지 못하고 정류소 주변의 교통류에 합류한 상황이 발생하였기 때문인 것으로 추정된다. 이는 정류소 서비스시간이 아닌 해당 구간의 통행시간에 포함되어야 함에도 불구하고 서비스시간으로 추정된 시스템 오류로 판단된다. 문제해결을 위해 향후 버스의 개문센서 등과의 시스템 연동을 통해 실제 정류소 서비스시간과 정류소간 통행시간을 정확히 구분, 추정하여야 하며, 이는 버스운행정보의 신뢰성 확보를 위해 중요한 사항이라 판단된다. 본 연구에서는 이러한 시스템 오류를 극복하고자 특정 정류소에서의 서비스시간이 비정상적으로 긴 경우 정보수집 오류자료로 판단하였다. 모형적용시 정류소 서비스시간이 60초 이상인 경우 비정상 자료로 판단, 분석대상에서 제외하고 비교·검증을 수행하였다.

정류소간 통행시간을 분석한 결과, 오후첨두시(17:00~19:00)가 통행시간이 가장 큰 것으로 나타났다. 신호교차로를 통과하게 되는 경찰청앞→서대문의 경우 오후첨두시에 평균 300초의 통행시간이 소요되며, 오전첨두(07:00~9:00)와 비첨두시(12:00~14:00)에는 150초로 정류소간 거리가 가장 긴 서울역사박물관→서대문의 경우보다 2배정도 통행시간이 더 소요되는 것으로 분석되었다. 이는 서대문사거리의 신호시간 영향이 교차로 통과시간에 반영된 결과로 추정된다.

교차로를 통과하는 서울역사박물관→서대문과 경찰청앞→서대문의 경우를 제외하고 시간대와 상관없이 유사한 통행시간 분포를 보이고 있으며, 첨두시의 경우 오후첨두시가 오전첨두시보다 큰 통행시간을 보인다.



〈그림 7〉 정류소별 평균통행시간 분석결과

5. 모형의 적용결과

본 연구에서는 기존 모형인 개별노선단위의 버스도착시간 추정방안과 본 연구에서 제시한 노선그룹단위 버스도착시간 추정방안을 비교 및 검토하였다. 두 모형은 모두 가중이동평균법을 사용하였으며, 가중이동평균법의 관측 값의 개수에 따라 구분하여 분석하였다.

〈표 6〉 관측 값의 개수가 4인 경우의 RMSE 분석결과

구분		RMSE		
		오전첨두	오후첨두	비첨두
개별 노선단위 모형	⑤→⑨	62.2	205.0	19.8
	⑦→⑧	23.1	27.2	29.9
	⑧→⑨	33.3	60.1	30.1
	⑨→⑩	3.1	20.9	12.2
	⑨→⑪	12.3	21.5	14.9
노선 그룹단위 모형	⑤→⑨	38.9	108.0	16.7
	⑦→⑧	15.8	19.1	21.5
	⑧→⑨	23.5	34.2	23.9
	⑨→⑩	2.5	15.1	8.2
	⑨→⑪	9.3	23.8	10.8

〈표 7〉 관측 값의 개수가 5인 경우의 RMSE 분석결과

구분		RMSE		
		오전첨두	오후첨두	비첨두
개별 노선단위 모형	⑤→⑨	61.3	222.4	20.6
	⑦→⑧	22.5	26.9	27.9
	⑧→⑨	34.4	62.7	30.6
	⑨→⑩	3.0	21.7	12.7
	⑨→⑪	12.3	23.7	14.0
노선 그룹단위 모형	⑤→⑨	35.6	116.7	15.7
	⑦→⑧	14.3	17.2	21.5
	⑧→⑨	20.9	33.0	22.2
	⑨→⑩	2.1	14.5	7.4
	⑨→⑪	8.6	23.6	10.2

개별노선단위 모형과 노선그룹단위 모형 모두 경찰청앞→서대문 구간에서 오후첨두시에 가장 큰 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 이는 평균통행시간분석의 결과에 나타난 바와 같이 교차로에서의 신호운영 영향에 따라 버스도착시간 추정 결과의 오차가 결정되기 때문으로 판단된다.

〈표 6〉, 〈표 7〉에 제시한 바와 같이, 각 정류소 구간별 예측 값과 실측 값의 오차분석결과, 관측 값의 개수가 4인 서대문→독립문의 오후첨두시를 제외한 모든 경우에서 노선그룹단위 모형이 개별노선단위 모형보다 오차가 작은 것으로 나타나 노선그룹단위 모형이 기존에 사용 중인 개별노선단위 모형보다 정확도가 높은 것으로 분석되었다. 노선그룹단위 모형간의 비교결과, 관측 값의 개수를 5로 적용한 모형이 관측 값의 개수를 4로 적용한 모형보다 오차가 작은 것으로 도출되었다. 이는 관측 값의 개수가 증가함에 따라 교차로 및 신호의 영향이 충분히 반영되었음을 의미한다.

V. 결 론

본 연구에서는 기존 개별노선단위의 버스도착 시간 및 정류소간 통행시간 정보의 신뢰성 제고를 위하여 동일 구간을 운행하는 버스노선을 하나의 그룹으로 묶어서 정류소 출발·도착 이벤트 발생에 따라 해당 노선그룹의 정보를 추정하는 버스노선 단위 버스도착시간 및 정류소 통행시간 추정모형을 제시하였다. 모형 평가, 검증을 위하여 서울시 BMS의 정류소별 출·도착정보 등의 수집자료를 활용하여 비교, 분석하였다. 본 연구에서 모형의 비교평가를 위해 효과적으로 사용한 RMSE 측면에서 기존 개별노선단위 모형과 본 연구에서 제시한 노선그룹단위 모형을 비교해 보면, 관측 값의 개수가 4인 경우 구간별 평균 13.6, 관측 값의 개수가 5인 경우 구간별 평균 16.2의 차이로 본 연구에서 제시한 노선그룹단위 버스도착시간 및 정류소간 통행시간 추정모형이 보다 우수한 것으로 분석되었다.

앞에서 BMS 수집 자료 분석결과와 같이, 정류소 서비스시간에는 교통량 증가 등 정류소 주변의 지·정체로 인하여 버스가 정류소에서 서비스 완료 후 출발하지 못하고 정류소 주변에서 지·정체 교통류에 합류한 시간이 포함되어 있다. 특히, 첨두 시간에 이러한 비정상적인 정류소 서비스시간이 수집되는 경우가 더 많은 것으로 나타났다. 신뢰성 있는 버스운행정보의 수집 및 제공을 위해 이러한 시스템 운영상의 오류는 향후 버스 개문센서 등과의 시스템 연동을 통해 실제 정류소 서비스시간과 정류소간 통행시간을 정확히 구분하여 수집되도록 하여야 한다.

노선그룹단위 모형을 적용함에 있어 광역, 간선, 지선, 순환 등 버스유형에 따라 구간통행특성이 서로 상이할 수 있으므로 노선그룹단위를 정의할 때 이에 대한 고려가 필요하다. 또한, 향후 정류소-정류소 및 정류소-교차로 등 교통류의 진행방향별로 구분 추정된 버스운행정보와 버스운행 특성 등을 고려하여 교차로-교차로 단위의 일반 차량 소통정보 생성을 위한 관련 연구 등이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- 김태곤 · 안현철 · 김승길, 2009, “실시간 BIS자료를 이용한 간선도로의 버스도착시간 예측모형구축에 관한 연구”, 『대한토목학회논문집』 제29권 제1D호, 1~9
- 서울시립대학교, 2005, 『안양 BIS 통행시간 예측알고리즘 개선 및 개발 최종보고서』.
- 이종협, 2007, 『시계열분석과 응용』, 자유아카데미.
- Son, Bongsoo, Hyung Jin Kim, Chi-Hyun Shin, and Sang-Keon Lee, 2004, “Bus Arrival Time Prediction Method for ITS Application”, *Lecture Note in Computer Science*, Vol. 3215, 88~94.

