

■ 論 文 ■

노선그룹단위별 버스도착시간 추정모형 연구

Development of Bus Arrival Time Estimation Model by Unit of Route Group

노 창 균

(연세대학교 도시공학과 박사과정)

김 원 길

(한국도로공사 도로교통연구원
교통연구실)

손 봉 수

(연세대학교 도시공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - II. 기존모형 고찰
 - 1. 모형의 이론적 고찰
 - 2. 선행연구 고찰
 - III. 분석자료
 - 1. 분석자료의 선정
 - 2. 버스운행특성 분석결과
 - 3. 모형적용방안
 - IV. 모형의 정립 및 적용
 - 1. 관측 값(m) 및 가중치 선정
 - 2. 버스도착시간 추정모형 정립
 - 3. 검증방안
 - 4. 모형의 적용결과
 - V. 요약 및 결론
- 참고문헌

Key Words : 버스노선그룹, 버스도착시간, 정류소 통행시간, 가중이동평균, 버스정보시스템
Bus Route Group, Bus Arrival Time, Travel Time Between Bus Stop, Weighted Moving Average Method, Bus Information System

요 약

본 연구는 현재 국내 BIS에서 버스도착시간 및 정류소간 통행시간 산정을 위해 개별노선단위로 적용하고 있는 버스도착시간 추정 모형의 한계점을 제시하고, 이를 극복하기 위한 방안으로 버스의 진행 방향과 정류소 구간을 고려한 노선그룹단위 버스도착시간 및 구간통행시간 추정 알고리즘을 제시하였다. 서울시 BMS에서 수집되는 버스 운행자료를 활용하여 본 연구에서 제시된 모형의 신뢰성과 적정성을 평가하였다. 모형의 검증은 서울시에서 운행 중인 간선버스 노선 중 서대문역 → 독립문역 구간을 운행하는 노선을 대상으로 하였으며, 서울역방향(직진), 충정로방향(좌회전), 광화문방향(우회전) 등 버스노선을 진행방향과 구간별로 그룹화하여 모형에 적용하였다. 모형의 비교평가를 위해 RMSE를 효과적으로 하여 기존 개별노선단위 모형과 본 연구에서 제시한 노선그룹단위 모형을 비교한 결과, 관측 값의 개수가 4인 경우 구간별 평균 14.8, 관측 값의 개수가 5인 경우 구간별 평균 16.8의 차이로 본 연구에서 제시한 노선그룹단위 버스도착시간 및 정류소간 통행시간 추정모형이 기존 모형보다 우수한 것으로 분석되었다.

The convenient techniques for predicting the bus arrival time have used the data obtained from the buses belong to the same company only. Consequently, the conventional techniques have often failed to predict the bus arrival time at the downstream bus stops due to the lack of the data during congestion time period. The primary objective of this study is to overcome the weakness of the conventional techniques. The estimation model developed based on the data obtained from Bus Information System(BIS) and Bus management System(BMS). The proposed model predicts the bus arrival time at bus stops by using the data of all buses travelling same roadway section during the same time period. In the tests, the proposed model had a good accuracy of predicting the bus arrival time at the bus stops in terms of statistical measurements (e.g., root mean square error). Overall, the empirical results were very encouraging: the model maintains a prediction job during the morning and evening peak periods and delivers excellent results for the severely congested roadways that are of the most practical interest.

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

I. 서론

국내 대중교통관련 ITS시스템은 1998년 과천시에서 국내 최초로 대중교통정보시스템을 구축한 이후 서울, 대구, 인천, 대전, 안양 등을 비롯한 지자체에서 BIS 및 BMS를 구축하여 운영하고 있다. 이를 통하여 버스정보는 버스정류소안내단말기(이하 BIT, Bus Information Terminal)를 통하여 도착예정버스의 현재 위치, 도착예정시간 등을 중심으로 시민에게 제공되고 있다. 이러한 정보 중 버스이용자들이 가장 선호하는 정보는 버스도착시간에 관한 정보로, 버스도착정보의 신뢰성에 의하여 BIS/BMS의 이용자 신뢰성이 결정된다고 할 수 있다. 버스도착시간정보의 오차기준을 만족시키기 위해서 대부분의 지자체에서 동일노선의 버스운행정보를 활용한 가중이동평균법을 사용하고 있다. 현재 적용중인 가중이동평균법을 이용한 버스도착시간추정모형은 버스의 배차간격, 정류소간 운행중에 발생 가능한 돌발상황에 의하여 예측된 버스의 도착예정시간의 신뢰성이 떨어지게 되며, 실시간으로 버스정보의 오류수정 및 업데이트가 불가능하다. 이러한 오류를 최소화 하고, 정보의 업데이트를 용이하게 하기 위하여 최근 버스의 노선그룹단위별 버스도착시간 가공방안이 연구되고 있으며, 본 연구에서는 버스의 진행방향을 고려한 노선그룹단위별 버스도착시간 추정모형보다 신뢰성이 높은 정보를 생성할 수 있는 버스노선의 특성을 반영한 모형을 개발하였다.

본 연구는 현재 국내 BIS에서 버스도착시간산정을 위하여 적용하고 있는 개별노선단위 버스도착시간 추정모형 및 버스진행방향을 고려한 노선그룹단위의 버스도착시간 추정모형의 한계점을 검토하고, 이를 극복하기 위하여 버스노선의 특성인 배차간격을 반영한 버스도착시간 추정모형을 제시하였다.

II. 기존연구 고찰

1. 모형의 이론적 고찰

버스도착예정시간을 산출함에 있어 국내에 가장 많이 적용된 방안은 칼만필터링, 신경망모형 및 가중이동평균법이다. 각 모형의 장단점은 다음과 같다.

칼만필터링은 다양한 상황에 적용이 가능하다는 가장 큰 장점을 가지고 있다. 따라서 초기의 BIS/BMS에는 칼

만필터링 기법을 활용하여 버스도착예정시간을 산출하는 알고리즘을 적용하였다. 그러나, 자료가 부족할 경우 처리가 불가능하다는 문제점을 가지고 있으며, 가상의 상황을 설정하고 분석함으로써 상대적으로 신뢰도가 떨어진다는 단점이 있다.

신경망 모형은 많은 데이터를 바탕으로 분석하므로 일부 데이터에 의한 오류발생정도는 작다. 그러나 많은 변수를 고려해야 하는 문제로 인하여 신속한 대응 및 결과 추정이 어려우며, 노선 또는 정류소의 변경이나 운행 패턴 변화시 재학습을 수행해야 한다는 단점이 있다.

최근에 가장 많은 지자체에서 적용하고 있으며, 본 연구에서 적용한 가중이동평균법은 관측 값의 가중치를 두어 이동평균법을 적용한 것으로, 최근의 관측 값에 보다 큰 가중치를 부여하여 현재의 소통상황을 반영한 예측값을 산출할 수 있도록 한다. 가중이동평균법을 이용한 버스도착시간(M_{w_n}) 추정 및 가중치 적용방법은 식(1)과 같다.

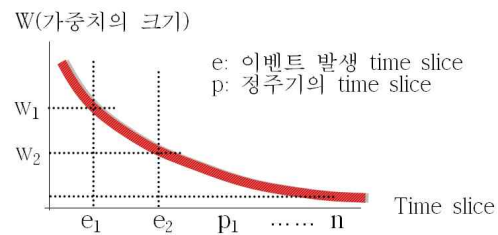
$$M_{w_n} = \frac{(w_1e_1 + w_2e_2 + w_3p_3 + \dots + w_n e_n)}{(w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n)} \quad (1)$$

w_n : 과거 n 번째 이벤트 및 임의주기의 가중치

e_n : 과거 n 번째 이벤트 발생시 도착소요시간

p_n : 과거 n 번째 임의주기의 도착소요시간

본 연구에서는 t 시점까지의 관측 값에 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 부여하였으며, 모형의 적용은 김원길 외 3인의 버스도착시간 추정모형 개발(2009) 연구를 기초로 하였다.



<그림 1> 가중 이동평균법의 가중치 선정

2. 선행연구 고찰

Son et al.(2004)의 연구에서는 버스정류소 사이의 구간을 하나의 링크로 분석했던 기존의 연구와는 달리

버스정류소로부터 신호교차로의 정지선까지의 버스통행 시간과 신호교차로에서의 정지시간을 고려한 신호교차로 부터 다음 버스정류소까지의 버스통행시간으로 나누어 버스정류소간의 버스통행시간을 예측하는 방법을 개발하였다. 각 구간의 링크 통행시간예측은 칼만필터링 기법을 사용하였으며, 모형의 추정치와 실측값과의 차이를 평가하기 위해서 MRE, RSE, MAX의 세 가지 통계적인 오차분석방법을 사용하였다. 서울시를 대상으로 현장 조사와 시뮬레이션을 통해 모형을 적용한 결과, 기존의 전통적인 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. 각 예측모형을 바탕으로 구간별 최적모형을 조합한 통합모형을 제시하는 것으로 목적으로 하고 있다. 그러나 이러한 모형은 노선의 구간별 가공방안이 별도로 구축되어야 하는 한계가 있다.

본 연구의 기초연구인 김원길 외 3인(2009)의 연구에서는 직진, 좌회전, 우회전 등 버스의 진행방향과 정류소 구간별로 동일방향 및 구간을 운행하는 버스로 구성되는 노선그룹단위 버스도착시간 및 정류소간 소요시간을 추정하기 위해 가중이동평균법을 이용한 모형을 제시하였다. 노선그룹단위의 버스도착시간 추정모형 적용결과, 기존 노선단위 모형에 의하여 추정된 결과 및 실측 자료를 이용한 비교를 통해 모형의 신뢰성을 검증하였다. 그러나 단순히 버스의 진행방향별 그룹으로 인하여 개별 노선버스의 특성이 반영되지 못하는 한계가 있다. 버스의 운행특성이 상이한 노선으로 인하여 타 노선버스의 도착예정시간이 과대 또는 과소추정되어 오차가 증가하였다.

버스도착시간 추정에 관한 연구는 국내외에서 BIS / BMS구축 및 ITS 서비스제공을 위한 정보생성을 위하여 다양한 방안으로 진행되어 오고 있다. 그러나 이러한 연구는 다양한 방안을 통하여 버스도착시간을 추정하는데 목적을 두고 있으며, 기존의 연구에 대한 정확도를 높이는 연구는 한정되어 왔다. 본 연구에서 검토한 김태곤 외(2009) 및 김원길 외 3인(2009)의 연구에서 제시하고 있는 추정모형은 현재 운영중인 지자체의 버스노착시간 추정모형의 정확도를 높이는데 목적을 두고 있다. 그러나 두 논문은 위에서 제시한 바와 같이 적용에 있어서 어려움이 있거나 버스운행특성을 고려하여 정확도를 개선할 수 있는 방안이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 버스운행특성으로 정류소 서비스시간 및 배차시간 검토를

통한 버스도착시간추정모형의 정확도를 높이는 방안을 제시하고자 하였다.

III. 분석자료

1. 분석자료의 선정

버스의 운행노선은 크게 중앙버스전용차로를 이용하는 노선과 노변정류소간을 이동하는 노선으로 구분할 수 있다. 중앙버스전용차로를 이용하는 노선버스의 경우 정류소 상류부에 위치한 신호교차로의 영향이 크며, 해당 신호에 의하여 버스가 군집(platoon)을 이루어 정류소에 도착하는 현상을 보인다. 이로 인하여 중앙버스전용차로를 이용하는 버스의 도착시간의 경우 진행방향별 그룹화한 가중이동평균법을 사용할 경우 오차를 최소화한 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다. 본 연구에서는 주변 교통류 또는 버스노선 특성이 도착예정시간 산출에 큰 영향을 미칠 것이라 판단되는 노변정류소를 중심으로, 중로이상의 도로가 교차하는 신호교차로 중 침두시정체가 발생하는 서대문역 → 독립문역 구간을 분석대상가로로 선정하였다.

모형의 분석대상구간은 <그림 2>와 같이 서울역방향(직진), 충정로방향(좌회전), 광화문방향(우회전) 등 버스노선을 진행방향과 구간별로 그룹화가 가능하다. 모형 도출을 위하여 2009년 5월 19일(화요일, 평일)의 서울시 BMS 수집자료를 활용하였다. 해당 구간을 운행하는 버스의 노선별 특성은 <표 1>과 같다.



<그림 2> 모형의 검증노선

<표 1> 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 진행방향에 따라 직진 7개, 우회전 7개, 좌회전 1개 노선이 있다. 해당 노선중 진행방향을 기준으로 모형구축이 가능한 구간 내 정류소는 전체 11개 중 6개 정류소로, 각 정류소 및 정류소를 운행하는 노선은 <표 2>와 같다. 본 연구에서 도출하고자 하는 모형인 노선

<표 2> 검증대상 정류소 및 노선 선정 결과

구분	정류소명	정류소ID	해당 정류소 운행노선
⑤	경찰청앞	02110	701, 702A, 702B, 703, 750A, 750B, 752
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 3> 진행방향 및 정류소 구간별 운행노선 그룹화 결과

구간	운행노선	노선수	교차로회전구분
⑤→⑨	701 702A 702B 703 750A 750B 752	7	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	-

그룹단위 버스도착시간 추정 모형은 해당구간을 복수의 노선이 운행해야 검증이 가능하므로 정류소 구간별 운행노선이 4개 미만인 구간은 검증대상에서 제외하였다. 이에 따라 도출된 진행방향 및 정류소 구간별 운행노선의 그룹화 결과는 <표 3>과 같다.

2. 버스운행특성 분석결과

버스도착시간 추정모형에 버스운행특성을 고려하기 위하여 버스의 정류소 도착시간에 영향을 미칠 수 있는 버스운행특성인 배차간격 및 정류소 서비스시간을 분석하였다. 분석된 결과를 바탕으로 보다 정류소도착시간에 직접적으로 영향을 미칠 수 있으며 특정 기준으로 분류가 가능한 버스운행특성요인을 구분하기 위하여 분석을 실시하였다.

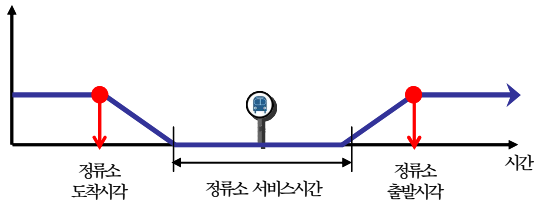
수집자료를 분석한 결과, 배차간격은 <표 4>과 같이 나타났다. 분석구간에서 평균배차간격은 평균 9.2분의 배차간격을 유지한 채 운행되고 있다. 배차간격이 긴 노선은 기존의 단일노선그룹단위의 버스도착시간추정모형으로 버스도착시간을 추정할 경우 변화한 교통상황을 반영하지 못하는 문제점을 내포하고 있다. 또한 배차시간이 긴 노선을 포함하여 노선그룹단위로 버스도착시간을 추정할 경우 도착예정인 버스의 도착예정시간이 과소 또는 과대 추정될 가능성이 있다. 따라서 특정 기준에 따른

<표 4> 노선별 평균배차간격

방향	노선	평균배차간격	방향	노선	평균배차간격
직진	701	8분	우회전	370	8.5분
	702A	5분		470	7.5분
	702B	14.5분		471	7.5분
	703	11.5분		601	6.5분
	750A	8분		704	12.5분
	750B	8.5분		710	11.5분
	752	12분		720	9분
좌회전	171	7.5분	전 노선 : 평균 9.2분		

<표 5> 정류소별 서비스 시간 분석결과

정류소명	서비스시간			
	최대(초)	최소(초)	평균(초)	표준편차
⑤ 경찰청앞	176	8	57.8	30.1
⑦ 광화문	94	10	41.8	14.4
⑧ 서울역사박물관	110	15	50.8	20.3
⑨ 서대문	175	17	65.0	24.0
⑩ 독립문	222	14	53.5	34.2
⑪ 독립문	161	8	48.0	22.5



<그림 3> 정류소 서비스 시간의 기준

노선그룹단위 버스도착시간추정모형을 구축하여야 한다.

정류소별 승하차 인원수와 밀접한 연관을 갖는 정류소별 및 버스노선별 버스의 정류소서비스시간은 <표 5> 및 <표 6>와 같이 최대 222초가 소요되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 정류소 주변의 지정체로 인하여 버스가 정류소에서 서비스 완료 후 출발하지 못하고 정류소 주변의 교통류에 합류한 상황이 발생한 것으로 추정된다. 이는 <그림 3>의 정류소 서비스시간 종료후 정류소 출발이벤트가 발생하는 시각까지의 시간이 해당 구간의 통행시간에 포함되어야 함에도 불구하고 서비스시간으로 추정된 시스템 오류로 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.

3. 모형적용방안

버스의 노선그룹의 기준을 정류소 서비스 시간을 기준으로 산정한 기준 연구에서는 일정 값을 기준으로 각 노선버스를 유사한 서비스 시간을 기준으로 그룹화 하였으나, <표 6>의 결과와 같이 해당 구간의 노선별, 정류소별 서비스시간을 분석한 결과 동일한 정류소의 동일노선 버스의 서비스시간의 표준편차가 매우 크게 나타났다.

<표 6> 노선별, 정류소별 서비스시간 분석결과

정류소명	노선별 서비스시간 (평균/표준편차)												
	171	370	470	471	601	701	702	703	704	710	720	750	752
⑤ 경찰청앞	-	-	-	-	-	643/287	471/266	583/384	-	-	-	588/277	643/280
⑦ 광화문	-	408/101	427/119	-	-	-	-	-	456/226	417/123	395/151	-	-
⑧ 서울역사박물관	-	534/226	445/149	-	525/207	-	-	-	625/220	483/251	480/171	-	-
⑨ 서대문	637/269	640/279	574/262	632/153	615/280	641/108	728/242	675/250	730/200	554/251	664/336	667/162	679/252
⑩ 독립문	-	512/194	510/285	-	687/591	-	-	-	-	511/353	-	479/204	-
⑪ 독립문	522/365	-	-	449/204	-	451/268	372/84	-	445/206	-	513/230	-	686/354
통합	587/317	524/221	489/218	537/201	603/373	579/245	526/258	629/322	568/239	490/254	518/250	580/230	670/289

따라서 본 연구에서는 버스도착예정시간 산출모형 적용의 용이성 및 신뢰도 향상을 위하여 정류소 서비스시간은 배제하고 평균배차시간을 기준으로 한 노선그룹단위의 분석 모형을 정립하였다.

평균배차간격이 긴 노선은 배차간격에 의해 노선단위 분석시 현재의 교통상황을 반영하지 못한다는 한계점이 있다, 따라서 이러한 배차간격이 긴 노선으로 인한 버스도착시간추정모형의 신뢰도 향상을 위한 방안이 필요하며, 배차간격이 긴 노선으로 규정하기 위한 기준이 정립되어야 한다.

본 연구에서는 평균배차간격 10분을 기준으로 구분하였으며 이는 해당구간의 평균배차시간 9.2분을 초과한 노선을 구분하기 위하여 선정된 결과이다. 즉, 배차간격이 긴 노선의 경우 변화하는 교통상황을 실시간으로 반영하지 못하여 발생할 수 있는 오류를 내포한 데이터이므로 평균배차간격이 10분을 초과한 노선은 배차간격에 의해 노선단위 분석시 현재의 교통상황을 반영하지 못한다고 가정하였다.

평균배차시간을 기준으로 구분한 결과 <표 4>와 같이 10분을 초과한 노선은 701, 704, 710, 752 등 총 4개 노선으로 분석되었다. 4개 노선을 제외한 9개 노선은 버스노선과 관계없이 정류소 도착순서대로 노선그룹단위별 도착예정시간을 산출하였다. 평균배차시간을 고려하여 버스도착시간 추정방안은 모형의 정립 및 적용에서 제시하였다.

IV. 모형의 정립 및 적용

1. 관측 값(m) 및 가중치 선정

본 연구에서의 모형 적용대상 도로는 서울 도심지역으로, 하나의 노선그룹단위에 최소 4개에서 최대 8개의 버스노선이 포함되어 있다. 이를 고려하여 관측 값의 개

<표 7> 관측 값(m)의 갯수 및 가중치 적용

m	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	$\sum \omega_i$
4	0.1	0.2	0.3	0.4	-	1
5	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	

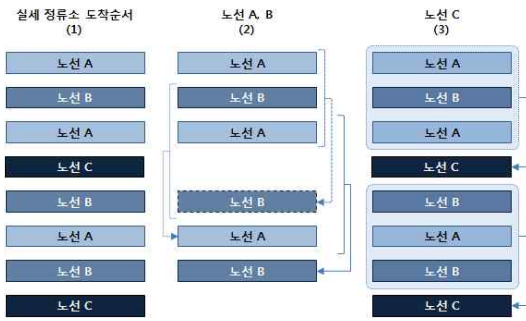
수(m) 및 가중치를 선정하였다. 각 지자체에서 버스도착시간 추정시 가중이동평균법 적용을 위한 관측 값의 선정 및 가중치 선정은 해당 데이터를 기준으로 최소의 오차를 발생시키는 가중치를 선정 및 적용하고 있다. 본 연구에서는 관측 값의 개수별로 다양한 가중치를 적용하여 분석한 결과 최소의 오차율을 나타낸 <표 7>의 결과와 같이 관측 값(m) 및 가중치를 적용하였다.

2. 버스도착시간 추정모형 정립

기존 개별노선단위 버스도착시간 추정모형의 경우 동일 노선의 버스도착이벤트 발생시각을 기준으로 도착 예정인 버스의 도착예정시간을 추정하게 된다. 이 경우 정류소간 신호교차로가 위치한 경우 교차로 통과시간에 따라 추정된 버스도착시간의 오차가 매우 크게 작용하게 된다. 이러한 오차는 데이터 업데이트주기를 짧게 함으로써 최소화 할 수 있으며 이를 위하여 동일 구간을 운행하는 모든 노선의 정류소 도착이벤트 발생시각을 기준으로 버스도착시간을 추정하였다. 단순 노선그룹단위 버스도착시간 모형으로 신호교차로에 의하여 발생 가능한 오차는 줄일 수 있으나 일부 배차간격이 긴 노선에 의하여 해당 노선버스가 도착한 이후 도착예정인 버스의 경우 배차간격이 긴 버스의 영향으로 추정된 버스도착시간에 여전히 오차가 존재하게 된다.

본 연구에서는 단순 노선그룹단위 버스도착시간 추정 모형에서 이러한 버스운행특성을 고려하기 위하여 배차시간을 기준으로 노선그룹단위 버스도착시간 모형을 수립하여 적용한 모형을 개발하였으며 이는 다음과 같다.

<그림 4>는 가상의 정류소에 도착하는 버스노선이 총 3개이며 해당 노선 중 노선 C는 배차시간을 10분 이상인 버스이다. 기존 개별노선단위 모형의 경우 노선 A의 도착예정버스의 정류소 도착시간의 추정에는 해당 정류소를 통과한 노선 A 버스의 정보만을 이용하여 도착시간을 추정한다. 단순 노선그룹단위 모형의 경우 (1)과 같이 노선번호와 관계없이 해당 정류소에 도착한 순서대로 정류소 도착이벤트 발생시각을 이용하여 도착예정인 버스의 버스도착시간을 추정한다.



<그림 4> 배차시간을 고려한 노선그룹단위 버스도착시간 산출방안 (예시, m=3)

본 연구에서 제시한 배차시간을 고려한 노선그룹단위 버스도착시간 추정모형은 노선 A, B의 도착시간은 (2)와 같이 배차시간이 기준치보다 긴 노선 C를 제외한 노선의 도착시간을 이용하여 도착시간을 산출하고, (3)과 같이 노선 C의 도착시간은 노선 A, B를 모두 포함하여 도착시간을 산출한다. 이러한 모형은 기존 모형의 한계인 신호교차로의 영향을 최소화하기 위하여 해당 구간을 운행하는 버스데이터를 모두 활용함에 따라 데이터 업데이트 주기를 최소화 할 수 있다. 또한 배차간격이 긴 노선으로 인한 오차를 줄일 수 있으므로 현재 적용중인 버스도착시간 추정모형이 내포하고 있는 오류를 모두 최소화 할 수 있다고 판단된다. <그림 4>에서 제시된 → 는 하단에 위치한 버스의 도착시간을 추정하는데 사용되는 데이터 흐름을 의미한다.

3. 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 추정값과 단순 노선그룹단위 버스도착시간 모형에 의한 추정값, 본 연구에서 적용한 배차시간을 고려한 노선그룹단위 버스도착시간 모형에 의한 추정값 등 3개 모형에 의하여 추정된 값과 관측값의 오차를 분석하였다.

신호교차로 및 횡단보도에서의 대기시간 등 버스의 정류소간 통행시간 변동에 미치는 영향을 최소화하기 위해서 구간통행시간 추정이 완료된 시점을 기준으로 노선 그룹 중 해당 구간을 가장 최근에 통과한 버스 3대의 통행시간 실측값을 평균하여 비교·검증하였다.

4. 모형의 적용 결과

본 연구에서는 기존 모형인 개별노선단위의 버스도착 시간 추정방안과 단순 노선그룹단위 버스도착시간추정방안 및 본 연구에서 제시한 평균배차시간을 고려한 노선 그룹단위 버스도착시간 추정방안을 비교 및 검토하였다. 모형은 모두 가중이동평균법을 사용하였으며, 가중이동 평균법의 관측 값의 개수에 따라 구분하여 분석하였다.

개별노선단위 모형, 단순 노선그룹단위 버스도착시간 모형, 평균배차시간을 고려한 노선그룹단위 버스도착시간 모형 모두 오후첨두시에 가장 큰 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 이는 분석대상 구간에서 오후첨두시의 통행속도가 가장 낮고, 이로 인하여 서대문교차로의 신호운영에 의하여 동일한 구간의 통행시간의 분산이 크게 나타났기 때문이다.

각 정류소 구간별 예측 값과 실측 값의 오차분석결과는 <표 8>, <표 9>와 같다. 본 연구에서 제시한 평균배차시간을 고려한 노선그룹단위 모형은 개별 노선단위 모형보다 4개 경우(bold 처리 및 *표기된 구간 및 시간대)를 제외한 26개 구간 및 시간대에서 오차가 작은 것으로 나타났다. 단순 노선그룹단위 모형과의 분석비교 결과 운영 처리된 20개 경우에서 보다 정확도가 높은 것으로 분석되었다.

비첨두시에는 단순 노선그룹단위 모형과 평균배차시간을 고려한 노선그룹단위 모형의 결과차이가 크지 않다. 이는 비첨두시에 운영되는 버스는 배차간격준수율이

<표 8> 관측 값의 갯수가 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
단순 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
평균배차 시간을 고려한 노선 그룹단위 모형	⑤→⑨	38.8	93.7	*21.1
	⑦→⑧	14.7	18.9	23.3
	⑧→⑨	20.1	38.7	21.3
	⑨→⑩	2.2	10.1	6.9
	⑨→⑪	8.5	*23.8	11.0

<표 9> 관측 값의 갯수가 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
단순 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
평균배차시간을 고려한 노선 그룹단위 모형	⑤→⑨	36.0	99.2	*20.7
	⑦→⑧	13.1	17.5	22.7
	⑧→⑨	18.8	36.8	20.2
	⑨→⑩	1.8	9.3	6.4
	⑨→⑪	7.9	*23.6	10.3

높고, 정류소간 통행시간이 유사하게 나타나기 때문이다. 오후첨두시 경찰청앞(⑤)→서대문(⑨)의 경우 평균 배차시간을 기준으로 분류한 701번 노선버스의 비정상적 운영에 의하여 큰 오차값(약 90초)이 발생하였다.

관측값의 개수가 5로 적용한 모형이 4로 적용한 모형보다 오차가 작으며, 이는 관측 값의 갯수가 증가함에 따라 교차로 및 신호의 영향이 충분히 반영되었음을 의미한다.

V. 요약 및 결론

BIS/BMS에 적용 및 활용하기 위한 버스도착시간 산출모형은 적용이 쉽고 높은 신뢰도가 확보되어야 한다. 이러한 관점에서 정류소 서비스시간을 기준으로 분류한 노선그룹단위모형에 의한 버스도착시간 추정모형은 적용이 어렵다는 단점을 가지고 있으며, 개별 노선단위 버스도착시간 추정모형은 정확도가 낮다.

본 연구에서는 버스도착시간 추정모형의 신뢰성 향상을 위한 방안으로 평균배차시간을 고려한 노선그룹단위 버스도착시간 추정모형을 제시하였다. 모형 평가, 검증을 위하여 서울시 BMS의 정류소별 출·도착정보 등의 수집자료를 활용하여 비교, 분석하였으며, 비교평가를 통한 검증을 위해 효과적으로 RMSE를 사용하였다. 개별노선단위 모형과 비교검증 결과, 관측값의 갯수가 4(m=4)인 경우 구간별 평균 14.8, 관측값의 갯수가 5(m=5)인 경우 구간별 평균 16.8의 차이로 정확도가 높은 것으로 분석되었다. 개별노선단위모형과 비교검증 결과 관측값의 갯수에

따라 각각 평균 1.2($m=4$), 1.28($m=5$)의 보다 높은 정확도를 갖는 것으로 분석되었다.

실측치와의 발생오차(약 23초)를 최소화하여 보다 정확도 높은 버스도착시간을 추정하기 위해서는 버스의 정류소 서비스시간을 명확히 구분하여 실제 정류소간 소통시간을 산출할 수 있어야 한다. 이는 향후 버스 개문센서 등과의 시스템 연동을 개선이 가능할 것으로 판단된다.

버스의 정류소 도착시간 추정을 위하여 서대문사거리를 중심으로 데이터 수집을 실시하였으며, 해당 데이터를 기준으로 본 연구에서 제시한 모형의 우수성을 입증하였다. 따라서 특정 구간의 버스운행특성이 일부 포함될 수 있으며 이러한 특성에 의하여 타 지역 및 구간에서는 본 연구에서 제시한 결과보다 낮거나 높은 오차율이 나타날 수 있다. 따라서 광역버스가 포함된 버스중앙차로구간에 대한 버스도착시간의 신뢰도 향상방안을 포함한 다양한 지역 및 구간에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 정류소간 길이가 긴 광역노선 또는 시외구간을

운행하는 버스의 버스도착시간 추정을 위해 일반차량 소통정보를 활용하여 버스도착예정시간정보를 보정하는 방안 등에 대한 연구 등이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 김원길·노창균·허민국·손봉수(2008), “버스도착시간 추정모형 개발”, 서울도시연구, 제10권 제2호, pp.3~18.
2. 김태곤·안현철·김승길(2009), “실시간 BIS자료를 이용한 간선도로의 버스도착시간 예측모형구축에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, 제29권 제1D호, pp.1~9.
3. 이종협(2007), “시계열분석과 응용”, 자유아카데미
4. Bongsoo Son, Hyung Jin Kim, Chi-Hyun Shin, Sang-Keon Lee(2004), “Bus Arrival Time Prediction Method for ITS Application”, Lecture Note in Computer Science Vol. 3215, pp.88~94.

✉ 주 작 성 자 : 노창균

✉ 교 신 저 자 : 노창균

✉ 논문투고일 : 2009. 11. 29

✉ 논문심사일 : 2009. 12. 24 (1차)

2010. 1. 5 (2차)

✉ 심사판정일 : 2010. 1. 5

✉ 반론접수기한 : 2010. 6. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필