

BMS 데이터를 활용한 링크단위 여행시간 산출방안에 관한 연구

An Estimation of Link Travel Time by Using BMS Data

전 옥 희* 안 계 형** 현 철 승*** 홍 경 식*** 김 현 주**** 이 철 기*****
(Ok-Hee Jeon) (Gye-Hyeong Ahn) (Cheol-Seung Hyun) (Kyung-Sik Hong) (Hyun-Ju Kim) (Choul-Ki Lee)

요 약

현재 UTIS는 수도권 22개 지자체에 노변기지국 1,150개소, 차량내장치 51,000여대를 구축하여 교통정보를 수집, 제공하고 있으나, UTIS 사업의 안정화 및 결측구간을 최소화 하기 위해서는 교통정보 수집원의 확대 및 이를 통한 UTIS 교통정보의 질 제고가 필수적이다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위한 방편으로 수도권에 구축되어 운영중인 BIS(Bus Information System)를 기반으로 하여 실시간으로 수집되는 BMS 데이터를 이용한 일반차량의 링크 통행시간 추정모형 개발을 통해 UTIS 결측 구간의 정보제공에 활용하고자 한다.

이를 위해 수원시(경수대로, 중부대로 구간), 안양시(홍안대로 구간)의 전용차로 여부에 따른 일부 구간을 선정하여 각각의 Case별 BMS 자료와 UTIS 교통정보와의 모형 추정 및 검증 실시하였다. 그 결과 Case2, 4, 6, 8의 경우 UTIS 소통정보와 추정값 간의 신뢰도가 높게 나타났으며, Case 3, 5의 경우 큰 오차로 인해 UTIS 결측구간의 소통정보를 대체하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서 대상구간의 도로운영 조건 및 상황에 맞추어 신뢰도가 높은 모형식을 적용 할 필요가 있다.

핵심어 : UTIS 데이터, BMS 데이터, 평균통행속도, 다중회귀분석, UTIS 결측구간

ABSTRACT

Now, UTIS collects and provides traffic information by building RSE 1,150(unit) and OBE about 51,000(vehicle). it's inevitable to enlarge traffic information sources which use to improve quality of UTIS traffic information for Stabilizing UTIS's service. but there are missing data sections. And, In this study as a way to overcome these problems, based on BIS(Bus information system) installed and operating in the capital area to develop normal vehicle's link transit time estimation model which is used realtime collecting BMS data, we'll utilize the model to provide missing data section's information.

For these problem, we selected partial section of suwon-city, anyang-city followed by drive only way or not and conducted model estimating and verification each of BMS data and UTIS traffic information. Consequently, Case2,4,6,8 presented highly credibility between UTIS communication data and estimated value but In the Case 3,5 we determined to replace communication data of UTIS' missing data section too hard for large error. So we need to apply high credibility model formula adjusting road managing condition and the situation of object section.

Key words : UTIS Data, BMS Data, Average Travel Speed, Multiple Regression Analysis, Missing Interval of UTIS

* 주저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원
** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 연구위원
*** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원
**** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 위촉연구원
***** 공저자 및 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수
† 논문접수일 : 2014년 03월 25일
‡ 논문심사일 : 2014년 05월 13일
‡ 게재확정일 : 2014년 06월 17일

I. 서 론

UTIS는 “도시지역 광역교통정보 기반확충 사업”의 핵심 시스템으로서, 2009년 부터 인천시를 시작으로 과천, 부천, 서울, 안산, 용인, 시흥, 안양, 광명, 파주, 성남 등 수도권 22개 도시가 준공을 완료하고 서비스를 개시한 상태이다. 또한, 실시간 교통정보 제공을 위해 노변기지국 1,150개소, 차량내장장치 51,000여대를 구축하여 교통정보를 수집 및 제공하고 있으나, UTIS 교통정보의 품질향상 및 결측구간의 발생으로 인한 문제점은 해결해야할 요소이다.

이를 해결하기 위해서는 차량내장장치(OBE)의 추가 구축을 통한 정보 수집원의 확대가 필요하지만 지자체간의 협의, 금전적인 문제 등으로 당장 구축하기에는 어려운 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 문제점을 극복하고 신뢰성이 향상된 정보제공을 위한 방안으로 서울, 인천 및 경기도 전 노선버스 약 2만 여대에 구축 운영 중인 BMS(Bus Management System)를 이용하여 교통량 특성 및 차로운영방식 등을 고려한 일반차량의 링크 단위 통행시간을 추정모형 개발을 통해 UTIS 결측구간에 활용하고자 한다.

이를 위해 수원시와 안양시의 전용차로 여부에 따른 일부 구간을 선정하여 Case 구분을 통한 각각의 회귀분석 모형을 산출하였으며, 동일한 구간을 대상으로 추정값과 실시간 소통정보와의 비교를 통해 모형의 검증은 실시하였다.

II. 이론적 고찰

1. 선행연구 고찰

이영우 등(2004)은 통행시간 개선을 위한 신호운영조건, 도로기하조건 등에 대한 개선을 효율적으로 수행하기 위해 링크통행 특성을 좀 더 미시적으로 구분하였다. GPS 장착차량의 특정구간 주행실험을 통해 링크구간 내 차량의 통행행태에 대해 분석하였으며, 그 결과 연속적인 정규분포형태가 아닌 두 개의 군집형태로 나뉘어 통행시간 분포가 나타

난다고 제시하였다. [1]

황호현(2005)은 간선도로 상에서 버스의 평균 링크통행시간으로부터 일반 차량의 평균 링크통행시간을 추정하는 모형을 다중회귀분석을 통해 개발하였다. 이 때, 버스의 가·감속시간을 6초로 일괄 적용하였으며 버스전용차로의 유무에 따라 링크통행시간이 달라짐을 고려하여 버스전용차로 실시 구간, 버스전용차로 비실시 구간, 버스전용차로 실시와 비실시 전체 구간으로 구분해 모형을 추정하였다. [2]

임혜진 등(2005)은 버스통행시간을 일반차량 통행시간을 변환시키는데 있어서 각 CASE에 맞는 모형식 개발 및 실제 일반차량 통행시간과의 비교를 통해 통계적 적합성을 검증하였다. [3]

김지수(2006)는 버스와 일반차량의 다른 주행패턴을 고려하여 버스전용중앙차로 구간에서 수집된 버스운행속도자료를 이용해 일반차량의 운행속도를 추정하고자 했으며, 이를 바탕으로 실시간 소통정보 제공의 향상을 기대하였다. [4]

- 독립변수 : 구간의 간/지선 버스의 15분 단위 버스 구간평균속도, 각 링크 내 버스정류장 개수, 횡단보도 개수

- 종속변수 : 링크별 15분 승용차 구간평균속도

권강훈(2010)은 BIS의 버스통행시간 데이터 분석을 통하여 3가지 군집으로 분류하였으며, 실험차량 주행법을 이용하여 현장조사 한 링크통행시간 데이터와의 상관관계를 직선모형, 지수모형, 2차곡선모형을 이용하여 각각의 추정모형을 구축 및 비교하였다.[5]

Paratha Chakroborty, Shinya Kikuchi(2003)는 버스통행 특징을 고려하여 일반 차량의 링크통행시간을 추정하는 모형을 개발하였다. 침두시, 비침두시로 구분하고 간선도로 유형에 따라 나누어 회귀분석 모형을 통해 예측하였으며, 분석 시에는 가감속에 따른 시간은 정차시간에 포함되는 것으로 가정하였다. [6]

2. 시사점

링크통행시간은 교통조건, 도로조건, 신호운영조

건 등에 의해 많은 영향을 받지만, 다양한 요소들을 모두 분석하여 링크통행시간을 미시적으로 분석하는 것은 모형구축에서 뿐만 아니라 실제 적용에도 어려움이 따른다.

이러한 문제를 피하기 위해 거시적인 모형을 사용할 때에는 다양하게 영향을 미치는 변수들을 선별하여 링크통행시간에 중요한 변수를 가지고 모형을 구축하는 것이 필요하다.

구간의 연구결과를 살펴보면, BMS시스템과 관련된 연구로는 실시간을 수집하여 가공하는 데에 초점이 맞추어져 버스통행시간을 추정하고 제공하기 위한 연구에 집중되어 있는 경향을 보이며, BMS 데이터를 이용하여 다른 교통 현상의 분석이나 활용에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

또한, 대부분의 연구에서 링크통행시간 추정을 위해 회귀분석 모형을 적용하고 있다. 특히 버스통행시간을 이용하여 일반차량의 링크통행시간을 추정하는 연구에서 적용된 변수로는 버스의 링크통행시간, 일반차량의 링크통행시간, 버스 교통량, 일반차량 교통량, 정류장 수, 버스전용차로 유무가 있으며 일부 연구에서 버스정류장의 형태, 횡단보도 수를 변수로 적용하여 분석한 점이 특이사항이다.

그러나 위의 변수를 종합적으로 분석하여 적용한 회귀분석 모형은 전무하기 때문에 다양한 Case 설정을 통해 UTIS 결측구간의 링크통행시간 추정 및 보정자료로서 본 연구에서 분석해 보고자 한다.

III. 자료수집 및 분석

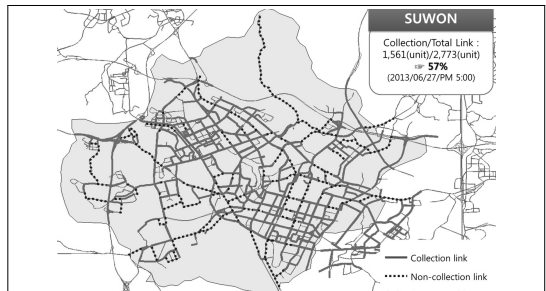
1. 지자체별 BMS 데이터와 일반차량 운행정보 관련 자료 수집

결측구간이란 교통정보시스템 운영중에 수집시스템의 이상으로 연속적으로 정보를 수집할 수 없는 경우 발생하며, 교통정보시스템에서 정보수집이 없는 도로구간을 뜻한다. 이때 정보제공을 어떻게 할 것인가는 시스템 운영전략상 중요한 문제로서, 본 연구에서는 하나의 방안으로 실시간으로 수집되고 있는 BMS 데이터를 이용하여 UTIS 결측구간의

링크통행속도를 추정하고자 한다.

따라서 BIS 시스템의 실시간 수집 데이터를 확보할 수 있는 수원시와 안양시의 특정 구간을 대상으로 노선버스의 실시간 운행데이터 수집 및 UTIS 통행속도 데이터를 수집하였다.

<그림1>과 같이 UTIS 소통정보를 수집·조사한 결과 붉은색 링크로 표시된 수집구간이 전체구간 대상으로 약 57%에 달하여 약 43%의 결측구간이 나타났다. 실시간 BMS 데이터를 이용해 UTIS 결측구간을 대체하여 정보제공 시 이용자에게 더 많은 소통정보를 제공할 것으로 예상된다.

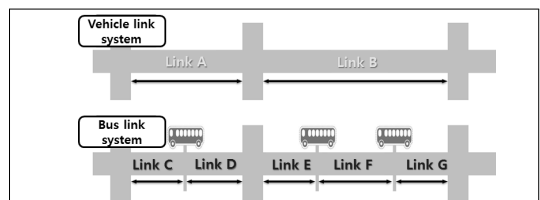


<그림 1> 수원시 BMS데이터 활용 시 소통정보 제공 범위
<Fig. 1> The range to offer Traffic information in case of using data of Suwon's BMS

2. 단위링크의 구성

BIS에서 노드는 교차로와 정류장이므로 교차로와 정류장, 정류장과 정류장 사이를 하나의 단위링크로 정의하고 있으나, 일반 도로의 경우 노드는 교차로이므로 그 사이를 링크로 정의하였다.

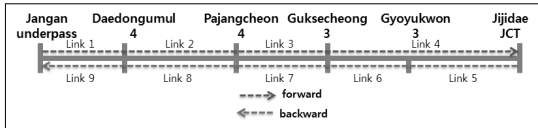
따라서 본 연구에서는 <그림 2>와 같이 버스와 일반차량의 단위구간링크를 동일화시켰으며, 구간



<그림 2> 단위링크 구성방법
<Fig. 2> The method to compose unit link

및 현황은 다음과 같다.

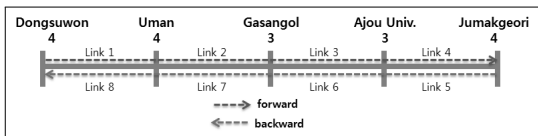
- 경수대로 구간
 - 버스전용차로 미설치 구간으로 일방향 구간길이는 2.79km, 양방향 9개의 단위링크로 구성하였으며 화물차 구성비가 높은 것이 특징이다.



〈그림 3〉 경수대로 분석구간
 〈Fig. 3〉 The analysis section of Gyeongsu-daero

〈표 1〉 분석구간 현황(경수대로)
 〈Table 1〉 The situation of analysis section (Gyeongsu- daero)

Link	Length (m)	Lane (lane)	Intersection	Cross walk	Bus Stop	Bus of Bay
1	546	3	2	2	1	X
2	913	3	4	3	3	X
3	259	3	0	0	1	X
4	1,067	3	2	3	1	X
5	710	3	2	1	1	X
6	369	3	1	1	0	X
7	259	3	0	0	1	X
8	913	3	4	3	2	X
9	546	3	2	2	1	X

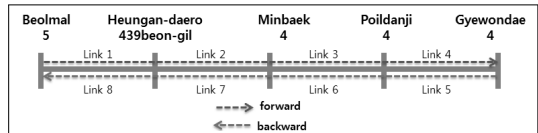


〈그림 4〉 중부대로 분석구간
 〈Fig. 4〉 The analysis section of Jungbu-daero

〈표 2〉 분석구간 현황(중부대로)
 〈Table 2〉 The situation of analysis section (Jungbu-daero)

Link	Length (m)	Lane (lane)	Intersection	Cross walk	Bus Stop	Bus of Bay
1	537	4	1	1	3	○
2	254	4	0	0	1	X
3	338	4	1	1	1	X
4	151	4	0	0	2	X
5	151	4	0	0	0	X
6	338	4	1	1	2	X
7	254	4	0	0	2	X
8	539	4	1	1	2	X

- 중부대로 구간
 - 버스전용차로 설치 구간으로 일방향 구간길이는 1.28km, 양방향 8개의 단위링크로 구성하였으며 통과하는 노선버스가 많은 것이 특징이다.
- 흥안대로 구간
 - 버스전용차로 설치 구간으로 일방향 구간길이는 1.91km, 양방향 8개의 단위링크로 구성하였으며 5차로의 광로인 것이 특징이다.



〈그림 5〉 흥안대로 분석구간
 〈Fig. 5〉 The analysis section of Heungan-daero

〈표 3〉 분석구간 현황(흥안대로)
 〈Table 3〉 The situation of analysis section (Heungan-daero)

Link	Length (m)	Lane (lane)	Intersection	Cross walk	Bus Stop	Bus of Bay
1	407	5	1	2	1	X
2	582	5	1	1	1	X
3	502	5	0	2	1	X
4	420	5	0	1	1	X
5	425	5	0	1	1	X
6	502	5	0	2	2	X
7	581	5	1	2	1	X
8	404	5	1	2	2	X

3. 자료의 분석

분석대상 중 버스전용차로 미설치 구간인 경수대로와 설치 구간인 흥안대로의 일반차량과 버스의 단위 구간 평균 통행속도를 비교하였다.

먼저 경수대로의 분석결과 정방향(장안지하차도→지지대교차로)구간의 경우 일반차량이 버스보다 평균 7.4% 높게 나타났으며 역방향(지지대교차로→장안지하차도)구간의 경우 18.7% 높게 나타났다.

이는 버스전용차로 미설치구간으로써 회전차량 및 버스정류장 주변에서의 불법주정차 및 조업주차 등의 영향이 크게 작용하여 버스의 통행속도를 낮추는 요인으로 보인다.

〈표 4〉 전용차로 미설치구간의 시간대별 통행속도 비교
 〈Table 4〉 The comparison of hourly travel speed of not to implement bus of lane

Section	Time	Vehicle (km/h)	Bus (km/h)	Rate of Variation(%)
forward	13:00~15:00	32.7	30.2	-8.2
	18:00~20:00	31.0	29.1	-6.5
	Total Average	31.9	29.7	-7.4
backward	13:00~15:00	33.0	28.0	-17.9
	18:00~20:00	26.3	22.0	-19.5
	Total Average	29.7	25.0	-18.7

홍안대로의 분석결과 정방향(별말오거리→계원대사거리) 구간의 경우 버스의 통행속도가 일반차량에 비해 평균 16.4% 높게 나타났는데, 이것은 버스전용차로 시행으로 인하여 다른 주변 영향이 작용하지 않기 때문으로 판단된다.

반면 역방향(계원대사거리→별말오거리) 구간의 경우 버스전용차로의 시행에도 불구하고 일반차량의 통행속도가 버스보다 2.7% 높게 나타났으나 그 차이가 비첨두시 1.1km/h, 첨두시 0.6km/h로 작은 차이를 보였다.

〈표 5〉 전용차로 설치구간의 시간대별 통행속도 비교
 〈Table 5〉 The comparison of hourly travel speed of implement bus of lane

Section	Time	Vehicle (km/h)	Bus (km/h)	Rate of Variation(%)
Forward	13:00~15:00	32.6	37.4	12.9
	18:00~20:00	27.8	34.6	19.8
	Total Average	30.2	36.0	16.4
Backward	13:00~15:00	31.5	30.4	-3.8
	18:00~20:00	34.8	34.2	-1.6
	Total Average	33.1	32.3	-2.7

IV. 모형의 개발 및 검증

1. 모형 개발의 개요

BMS 자료를 통한 버스통행속도를 이용하여 UTIS 걸측구간의 통행속도를 추정하는 모형을 다중회귀분석을 통해 개발하고자 한다.

기존 연구의 경우 1개의 버스노선을 선정하여 전용차로 설치 여부에 따라 구간을 나누어 15분, 30분

단위의 평균통행속도를 통해 분석하였으나, 수집한 데이터의 수가 적고 버스통행속도를 일반화하는데 어려움이 있을 것으로 예상하였다.

따라서 본 연구에서는 이를 보완하고자 5분 단위의 정보 업데이트를 통하여 실시간 소통정보를 제공하는 UTIS에 맞추어 BMS도 링크별 5분 단위 평균통행속도를 구함으로써 기존연구의 한계를 극복하고자 하였다.

또한 신뢰도 높은 모형식의 개발을 위하여 하나의 변수를 이용하여 일반차량의 통행속도를 추정하는 것이 아닌 다양한 독립변수와 더미변수를 사용함으로써 다각도의 측면에서 고려하였다.

1) Case 설정

버스의 평균통행속도에 영향을 미칠 것으로 판단되는 버스전용차로 설치 여부, 해당 링크를 이용하는 교통량의 변화로 평균통행속도에 영향을 줄 것으로 판단되는 첨두 및 비첨두 조건에 대하여 다양한 조합을 통해 Case를 설정하였다.

또한 본 연구에서 분석하는 모든 구간의 data를 고려하여 통합적인 하나의 모형을 개발함으로써 Case1~Case8 까지 세분화된 모형식과 비교해 보고자 했다.

〈표 6〉 Case 설정
 〈Table 6〉 The set-up of Case

Classification	Description
CASE1	To implement exclusive bus lane data
CASE2	Not to implement exclusive bus lane data
CASE3	Peak data
CASE4	Non-peak data
CASE5	Peak & to implement exclusive bus lane data
CASE6	Peak & not to implement exclusive bus lane data
CASE7	Non-peak & to implement exclusive bus lane data
CASE8	Non-peak & not to implement exclusive bus lane data
CASE9	Total link data

2) 모형 변수의 설정

(1) 종속변수

2013년 5월 9일, 6월 18일, 7월 16일 경수대로 구간, 2013년 6월 18일 홍안대로 구간, 2013년 7월 16일 중부대로 구간에 대하여 UTIS 데이터를 이용한 링크소통정보를 5분 단위로 적용하였다.

- Auto Travel Speed(ATs) = 5분 단위 일반차량 평균통행속도(km/h)

(2) 독립변수

종속변수인 일반차량의 5분 단위 평균통행속도와 동일한 구간 및 일시의 BMS 데이터를 이용하여 버스의 5분 단위 평균통행속도를 독립변수로 적용하였으며, 그 밖에 현장조사 결과를 바탕으로 다음과 같이 적용하였다.

승/하차 승객수의 경우 버스의 통행시간을 지연시키는 중요한 요소이지만 향후 시스템에 가공하여 적용시키기에는 어려움이 있으므로, 버스정류장수를 이용해 승/하차 승객수, 정류장 정차시간 등이 동일하다는 전제하에 독립변수 지표로 사용하였다. 또한 신호교차로수, 횡단보도수, 차로수의 경우 버스와 승용차의 속도에 영향을 미치는 요소이기 때문에 독립변수로 선정하였다.

- Bus Travel Speed(BTS) = 5분 단위 버스 평균통행속도(km/h)
- Bus Stop(BS) = 단위링크별 버스정류장수 (개)
- Signalized Intersection(SI) = 단위링크별 신호교차로수 (개)
- Cross Walk(CW) = 단위링크별 횡단보도수(개)
- Lane(L) = 단위링크별 차로수 (개)

(3) 더미변수

버스 Bay 유/무, 버스전용차로 유/무, 침두·비침두 여부의 경우 통행시간의 패턴에 차이가 생길 것으로 판단하여 각각을 더미변수로 선정하였으며 Case별로 적용되는 변수에는 차이가 있다.

- Bus of Lane(BOL) = 버스전용차로 유/무 (유=1, 무=0)

- Bus of Bay(BOB) = 버스 Bay 유/무(유=1, 무=0)
- Peak or Nonpeak(PON) = 침두·비침두 여부 (침두=1, 비침두=0)

2. 모형의 개발

CASE 별 모형은 각각의 조건에 따라 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 분석하였으며, 독립변수가 2개 이상이기 때문에 다중회귀분석을 사용하며 통계적 유의도가 낮은 독립변수를 제외하는 단계선택방법을 통하여 모형을 개발하였다.

본 연구에서는 유의확률과 비교 시 95% 신뢰수준인 0.05 이상일 경우에 대해 통계적으로 유의하지 않다고 판단하여 모형 추정식에서 제외하였고, 결정계수(R²)값이 1에 근접할수록 회귀선이 표본을 설명하는데 유용한 것으로 판단하였다. 또한, 공차한계의 역수인 VIF(Variance Inflation Factor; 분산확대지수) 값을 통해 각각의 회귀계수별 다중공선성 여부를 확인하였다.

1) 전용차로 여부를 고려한 모형

Case 1의 경우 2번의 단계선택을 통해 모형을 제시하였으며, 각 변수들의 VIF가 1.008로 10보다 현저하게 작아 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단된다. 또한, 결정계수를 통하여 본 회귀식이 종속변수 Y에 대하여 총변동의 42.9%를 설명하였다.

〈표 7〉 전용차로 여부에 따른 모형추정 결과
(Table 7) The result of model estimation (whether bus lane or not)

CASE	Variables	Coefficient	t-value	p-value	VIF	R ²	F-value
1	Constant	20.939	25.641	.000	-	.429	.038
	BTS	.394	15.422	.000	1.008		
	BOB	3.877	2.083	.038	1.008		
$ATS = 20.939 + 0.394 \cdot BTS + 3.877 \cdot d_{bob}$							
2	Constant	12.673	8.959	.000	-	.531	.046
	BTS	.513	14.504	.000	1.090		
	BS	2.038	4.852	.000	1.031		
	PON	-1.343	-2.007	.046	1.060		
$ATS = 12.673 + 0.513 \cdot BTS + 2.038 \cdot BS - 1.343 \cdot d_{pon}$							

Case 2의 경우 3번의 단계선택에 의해 5분 단위 버스 평균통행속도와 정류장수, 첨두·비첨두 여부 변수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 각 변수들의 VIF가 1에 근접하여 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단되었으며, 결정계수를 통하여 본 회귀식이 종속변수 Y에 대하여 총변동의 53.1%를 설명하였다.

2) 첨두·비첨두 조건을 고려한 모형

Case 3의 경우 4번의 단계선택을 통해 <표 7>과 같은 모형이 제시되었으며, 각 변수들의 VIF가 최대 1.439로 10보다 현저하게 작아 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단된다. 또한, 결정계수를 통하여 본 회귀식이 종속변수 Y에 대하여 총변동의 61.7%를 설명하고 있다.

Case 4의 경우 4번의 단계선택에 의해 5분 단위 버스 평균통행속도와 단위구간 내 신호교차로 수, 전용차로 유무, Bay 유무 변수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 각 변수들의 VIF가 1에 근접하여 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단되며, 결정계수를 통하여 본 회귀식이 종속변수 Y에 대하여 총변동의 40.8%를 설명하였다.

3) 전용차로 여부와 첨두·비첨두 조건을 고려한 모형

Case 5의 경우 2번의 단계선택을 통해 회귀모형을 제시하였으며, 각 변수들의 VIF가 1.001로 10보다 현저하게 작아 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단된다. 또한, 결정계수를 통하여 본 회귀식이 종속변수 Y에 대하여 총변동의 63.3%로써 9개의 모형 추정식 중 가장 높은 설명력을 보인다.

Case 6의 경우 3번의 단계선택을 통해 모형을 제시하였으며, 각 변수들의 VIF가 최대 2.408로 10보다 현저하게 작아 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단된다. 또한, 결정계수를 통하여 본 회귀식이 종속변수 Y에 대하여 총변동의 55.9%를 설명하였다.

Case 7의 경우 2번의 단계선택에 의해 5분 단위 버스 평균통행속도와 단위구간 내 신호교차로 수에 대한 변수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 각 변수들의 VIF는 1.010로 10보다 현저하게 작아 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단되는 반면, 결정계수를 통하여 본 회귀식이 종속변수 Y에 대하여 총변동의 37.2%를 설명함으로써 다른 회귀식에 비하여 다소 낮은 설명력을 보였다.

Case 8의 경우 2번의 단계선택에 의해 5분 단위

<표 8> 첨두·비첨두 조건에 따른 모형추정 결과
<Table 8> The result of model estimation (Peak or Non-peak)

CA SE	Variables	Coefficient	t-value	p-value	VIF	R ²	F-value
3	Constant	12.020	10.892	.000	-	.617	.008
	BTS	.504	17.429	.000	1.012		
	BS	3.207	6.006	.000	1.439		
	CW	-.947	-2.659	.008	1.433		
	BOL	3.577	5.860	.000	1.009		
$ATS = 12.020 + 0.504 \cdot BTS + 3.207 \cdot BS - 0.947 \cdot CW + 3.577 \cdot d_{bol}$							
4	Constant	17.755	15.504	.000	-	.408	.049
	BTS	.398	14.318	.000	1.017		
	SI	.804	2.792	.006	1.442		
	BOB	3.694	1.975	.049	1.031		
	BOL	2.464	3.557	.000	1.456		
$ATS = 17.755 + 0.398 \cdot BTS + 0.804 \cdot SI + 3.694 \cdot d_{bob} + 2.464 \cdot d_{bol}$							

<표 9> 첨두·비첨두시 전용차로 여부에 따른 모형추정 결과
<Table 9> The result of model estimation (Peak or Non-peak & whether bus lane or not)

CA SE	Variables	Coefficient	t-value	p-value	VIF	R ²	F-value
5	Constant	16.981	11.303	.000	-	.633	.003
	BTS	.430	12.888	.000	1.001		
	BS	2.637	2.992	.003	1.001		
$ATS = 16.981 + 0.430 \cdot BTS + 2.637 \cdot BS$							
6	Constant	9.583	5.470	.000	-	.559	.000
	BTS	.562	11.143	.000	1.077		
	BS	3.921	4.498	.000	2.302		
	SI	-1.079	-2.217	.029	2.408		
$ATS = 9.583 + 0.562 \cdot BTS + 3.921 \cdot BS - 1.079 \cdot SI$							
7	Constant	20.837	17.998	.000	-	.372	.027
	BTS	.374	10.835	.000	1.010		
	SI	1.541	2.226	.027	1.010		
$ATS = 20.837 + 0.374 \cdot BTS + 1.541 \cdot SI$							
8	Constant	16.564	8.740	.000	-	.420	.019
	BTS	.418	8.503	.000	1.037		
	BS	1.373	2.380	.019	1.037		
$ATS = 16.564 + 0.418 \cdot BTS + 1.373 \cdot BS$							

버스 평균통행속도와 버스 정류장수에 대한 변수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 각 변수들의 VIF는 1.037로 10보다 현저하게 작아 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단되며, 결정계수를 통해 회귀식이 종속변수 Y에 대하여 총변동의 42.0%를 설명하는 것으로 나타났다.

4) 모든 조건을 고려한 모형

Case 9의 경우 3번의 단계선택에 의해 5분 단위 버스 평균통행속도와 정류장수, 전용차로 유무 변수가 통계적으로 유의하며, 각 변수들의 VIF가 1에 근접하여 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단된다. 또한, 결정계수를 통하여 본 회귀식이 종속변수 Y에 대하여 총변동의 50.2%를 설명하였으며 회귀계수의 적합성을 검증하는 F 통계량의 경우도 유의수준 값이 0.000으로 매우 유의한 것으로 나타났다.

<표 10> 전체구간에 대한 모형추정 결과
<Table 10> The result of model estimation about the total link

Case	Variables	Coefficient	t-value	p-value	VIF	R ²	F-value
9	Constant	14.959	18.411	.000	-	.502	.000
	BTS	.450	22.017	.000	1.020		
	BS	1.346	4.403	.000	1.016		
	BOL	2.567	6.118	.000	1.005		
$ATS = 14.959 + 0.450 \cdot BTS + 1.346 \cdot BS + 2.567 \cdot d_{bol}$							

3. 모형의 검증

각각의 Case 별 구축된 모형추정식을 대상으로 실제 현실을 어느 정도 묘사할 수 있는지에 대한 검증을 실시하기 위하여 동일 구간에 대해 다른 날짜인 10월 29일의 BMS 데이터와 UTIS 데이터를 가공하였으며 사용한 검증방법은 다음과 같다.

- 평균제곱오차(RMSE : Root Mean Square Error) : 값이 클수록 실측값(T_k)과 예측값($\overline{T_k}$) 간의 오차가 커짐

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum (T_k - \overline{T_k})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (식 1)$$

- 평균절대오차 백분율(MAPE : Mean Absolute

Percentage Error) : 값이 작을수록 실측값(T_k)과 예측값($\overline{T_k}$)의 차이가 작음

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{T_k - \overline{T_k}}{T_k} \right| \times 100 \quad (식 2)$$

- 균등계수(EC : Equivalent Coefficient) : 1에 근접할수록 기준값에 근접함

$$EC = 1 - \frac{\sqrt{\sum (T_k - \overline{T_k})^2}}{\sqrt{\sum T_k^2} + \sqrt{\sum \overline{T_k}^2}} \quad (식 3)$$

1) 전용차로 여부를 고려한 모형

전용차로 여부에 따라서 Case 1, 2를 검증비교했을 때 Case2(전용차로 미설시구간)의 평균절대오차 백분율(MAPE)이 17.2%로 낮게 나타나 실제 UTIS 소통정보와의 오차가 작았으며, Case1(전용차로 설치구간)의 경우 평균절대오차 백분율(MAPE)이 27.7%로 상대적으로 예측력이 떨어졌다.

모형으로부터 산출된 통행속도의 패턴 분석 결과 Case2는 실제 UTIS 소통정보 자료와 유사한 패턴을 나타내고 있으며, Case1의 경우 약 ±8(km/h) 범위 내에서 과대 및 과소 추정되는 것으로 나타났다.

<표 11> 전용차로 여부에 따른 검증 결과
<Table 11> The result of verification to depend on whether bus of lane or not

Classification	N	RMSE	MAPE	EC
CASE1	354	9.250	27.7%	0.784
CASE2	401	7.734	17.2%	0.819

2) 첨두·비첨두 조건을 고려한 모형

Case 3, 4를 검증비교 했을 때 Case4(비첨두시간)의 평균절대오차 백분율(MAPE)이 16.3%로 낮게 나타나 실제 UTIS 소통정보와의 오차가 작았으며, Case3(첨두시간)의 경우 평균절대오차 백분율(MAPE)이 30.1%로 오차의 비율이 높아 다소 낮은 예측력을 보였다.

모형으로부터 산출된 통행속도를 분석한 결과 Case4(비첨두시간)의 경우 일부 구간에서 과소 추정되는 것으로 보이지만 실제 UTIS 소통정보 자료와 유사한 패턴을 나타내고 있으며, Case3(첨두시간)의

경우 약 $\pm 7(\text{km/h})$ 범위 내에서 과대 및 과소 추정되는 것으로 나타났다.

〈표 12〉 침두·비침두 조건에 따른 검증결과
 〈Table 12〉 The result of verification to depend on conditions of peak or non-peak

Classification	N	RMSE	MAPE	EC
CASE3	371	9.570	30.1%	0.763
CASE4	384	7.997	16.3%	0.824

3) 전용차로 여부와 침두·비침두 조건을 고려한 모형

전용차로 여부와 침두·비침두 조건에 따라서 Case 5, 6, 7, 8을 검증비교 했을 때 Case8(비침두시간+전용차로 미실시구간)의 평균절대오차 백분율(MAPE)이 14.8%로 본 연구에서 고려한 9가지의 Case 중 실제 UTIS 소통정보와의 오차가 가장 낮게 나타났으며, Case6(침두시간+전용차로 미실시구간)과 Case7(비침두시간+전용차로 실시구간)의 경우 각각 18.2%, 18.6%로 낮은 오차범위에 속하였다.

반면, Case5(침두시간+전용차로 실시구간) 모형의 경우 MAPE 값이 41.3%로 오차의 비율이 매우 높게 나타나 실제 UTIS 소통정보 자료와의 예측값 간에 큰 차이를 보이고 있어 해당 구간에 대한 추정정도의 경우 Case9(전체구간)의 모형식을 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

모형으로부터 산출된 통행속도를 분석한 결과 Case6, Case7, Case8의 경우 대체적으로 실제 UTIS 소통정보 자료와 유사한 패턴을 나타내고 있으며, Case5의 경우 약 $\pm 10(\text{km/h})$ 범위 내에서 과대 및 과소 추정되는 것으로 나타났다.

〈표 13〉 전용차로 여부 및 침두·비침두에 따른 검증결과
 〈Table 13〉 The result of verification to depend on conditions of peak or non-peak and whether bus of lane or not

Classification	N	RMSE	MAPE	EC
CASE5	178	11.056	41.3%	0.726
CASE6	193	7.331	18.2%	0.814
CASE7	176	8.658	18.6%	0.812
CASE8	208	7.623	14.8%	0.832

4) 모든 조건을 고려한 모형

모든 조건을 하나의 모형식으로 고려한 Case9의 경우 평균제곱오차(RMSE)가 8.656, 평균절대오차 백분율(MAPE)이 22.5%로 나타났으며 $\pm 7(\text{km/h})$ 범위 내에서 과대 및 과소 추정되는 것으로 나타났다.

〈표 14〉 전체구간에 대한 모형 검증결과
 〈Table 14〉 The result of verification about the total link

Classification	N	RMSE	MAPE	EC
CASE9	755	8.656	22.5%	0.799

모형의 검증결과에 대하여 평균절대오차 백분율(MAPE)을 대상으로 오름차순정렬을 통해 분석한 결과 Case1~Case8까지 세분화된 모형식 중 일부 모형은 모든 조건을 고려한 모형에 비해 신뢰도가 떨어지는 것으로 나타났다.

즉, 모형의 예측력을 고려하였을 때 Case1(전용차로 실시구간), Case3(침두시간), Case5(침두시간 + 전용차로 실시구간)의 모형식을 사용하여 UTIS 결측구간의 일반차량 통행속도를 추정하는 것 보다는 Case9(전체구간)의 모형식을 사용하는 것이 나은 것으로 판단된다.

〈표 15〉 평균절대오차 백분율 비교 결과
 〈Table 15〉 The comparing result of MAPE

Classification	MAPE	MAPE (CASE9-CASE <i>i</i>)
CASE1	27.7%	5.2%
CASE2	17.2%	-5.3%
CASE3	30.1%	7.6%
CASE4	16.3%	-6.2%
CASE5	41.3%	18.8%
CASE6	18.2%	-4.3%
CASE7	18.6%	-3.9%
CASE8	14.8%	-7.7%
CASE9	22.5%	-

V. 결론 및 향후 활용방안

본 연구에서는 UTIS 결측구간을 극복하기 위한 방편으로 서울, 인천 및 경기도 전 노선버스 약 2만 여

대에 구축 운영 중인 BMS(Bus Management System)를 기반으로 하여 실시간으로 수집되는 BMS 데이터를 일반차량의 링크 단위 여행시간 추정에 활용하고자 하는 목적으로 수행되었다.

먼저 실시간으로 수집되고 있는 BMS 자료와 일반차량 프로브 정보와의 상관관계를 도출하고, 이를 토대로 UTIS 소통정보 결측구간의 통행속도 추정을 위하여 버스통행시간에 영향을 미칠 것으로 판단되는 침두·비침두 여부, 전용차로 설치 여부에 따라 9가지 형태의 세분화 된 모형을 개발하였다.

각각의 Case에 따라 다양한 독립변수를 고려하였으며, 모형의 설명력을 높이기 위해 단계분석을 실시한 결과 최소 37.2%, 최대 63.3%의 범위 내에서 종속변수 Y를 설명하는 것으로 나타났다.

개발한 모형을 대상으로 검증을 실시한 결과 Case2(전용차로 미설시구간), Case4(비침두시간), Case6(침두시간+전용차로 미설시구간), Case8(비침두시간+전용차로 미설시구간)의 경우 평균절대오차 백분율(MAPE)이 20% 미만, 균등계수(EC)가 0.8 이상으로 UTIS 소통자료와 추정값 간의 신뢰도가 높게 나타났다.

반면 Case3(침두시간), Case5(침두시간+전용차로 미설시구간)의 경우 평균절대오차 백분율(MAPE) 값이 30% 이상에 해당하기에 개발된 모형식을 이용하여 UTIS 결측구간의 소통정보를 제공하기에는 다소 무리가 있다고 할 수 있다. 이때, Case3과 5의 모형을 대체할 수 있는 Case9(전체구간)의 모형식을 사용하여 결측구간의 소통정보를 제공할 수 있다.

이처럼 예측하고자 하는 도로운영 조건 및 상황에 맞추어 신뢰도가 높은 모형식을 적용한다면 보다 정확한 UTIS 결측구간의 링크통행속도를 제공할 것으로 예상된다.

실제로 UTIS 결측 구간의 경우 프로브차량으로부터 전송받은 데이터의 부족으로 발생할 수 있기 때문에 통행량이 많지 않은 결측구간을 대상으로 본 연구의 추정모형을 적용하는 연구를 고려할 필요성이 있다.

더불어 향후 각 지방자치단체와의 활발한 연계를 통하여 추가 지점을 대상으로 모형식을 개선시

킨다면, 좀 더 정확한 링크 단위 여행시간을 추정할 것으로 기대된다.

또한, BMS 데이터를 일반차량 통행속도로 가공하는데 있어서 다양한 변수로 작용 할 수 있는 중앙버스전용차로, 버스 승하차승객 수 고려 등은 향후 연구진행을 통해 발전시켜야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] Y. W. Lee, C. M. Lim, "Distribution characteristic analysis for link travel time using GPS data", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 22, no. 5, pp.7-17, Oct., 2004
- [2] H. H. Hwang, "Estimating travel time on urban arterials using bus travel time data", *Graduate School of The University of Seoul Thesis for Degree of Master*, 2005
- [3] H. J. Lim, Y. T. Son, W. T. Kim, "A Study on estimation of car travel time by using bus travel time", *The journal of the Korea institute of intelligent transport systems*, vol. 4, no. 3, pp.23-31, Dec., 2005
- [4] J. S. Kim, "Estimating the travel speed of passenger cars by using BMS data", *Graduate School of The University of Yonsei for Degree of Master*, 2007
- [5] G. H. Kwon, "A Study of estimate to link travel time model using traveling data of bus information system", *Graduate School of The University of Daegu for Degree of Doctor*, 2010
- [6] Paratha Chakroborty, Shinya Kikuchi, Estimating travel time on urban corridors using bus travel time data, 2003
- [7] S. H. Park, Y. J. Jung, C. H. Kim, "Development and evaluation of real-time travel time forecasting model: nonparametric regression analysis for the Seoul transit system", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol.24, no.1, pp.109-120, Feb., 2006

저자소개



전 옥 희 (Jeon, Ok-Hee)

2006년 4월 ~ 현재 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원
 1997년 8월 : 홍익대학교 도시계획과 석사(교통공학 전공)
 1995년 2월 : 홍익대학교 도시계획과 학사
 e-mail : bearrara@koroad.or.kr
 연락처 : 02-2230-5254



안 계 형 (Ahn, Gye-Hyeong)

2002년 ~ 현재 : 도로교통공단 교통과학연구원 연구위원
 1997년 7월 ~ 2002년 12월 : 교통개발연구원 책임연구원
 1997년 5월 : University of Texas at Austin 토목공학과 박사(교통공학전공)
 1986년 2월 : 서울대학교 환경대학원 도시계획학 석사(교통공학전공)



현 철 승 (Hyun, Cheol-Seung)

1995년 6월 ~ 현재 : 도로교통공단 선임연구원
 2003년 2월 : 성균관대학교 기계설계과 박사
 1994년 2월 : 성균관대학교 기계설계과 석사
 1992년 2월 : 성균관대학교 기계설계과 학사



홍 경 식 (Hong, Kyung-Sik)

2006년 ~ 현재 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원
 2010년 ~ 현재 : 서울대학교 건설환경공학부 박사수료
 2003년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사(전자공학전공)



김 현 주 (Kim, Hyun-Ju)

2013년 6월 ~ 현재 : 도로교통공단 위촉연구원
 2013년 3월 ~ 2013년 5월 : 아주대학교 교통연구센터 연구원
 2013년 2월 : 아주대학교 건설교통공학과 석사(교통공학전공)
 2011년 2월 : 아주대학교 교통시스템공학과 학사(교통공학전공)



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)

2004년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수
 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선 기획실장 및 COSMOS 추진 기획단장
 2000년 : 미국 Texas A&M University Texas Transportation Institute Visting Scholar 과정
 1998년 2월 : 아주대학교 공학박사(교통공학전공)
 1991년 2월 : 아주대학교 공학석사(교통공학전공)