

## 버스정보시스템(BIS) 수집자료를 이용한 경로통행시간 추정

이영우\*

Lee, Young Woo\*

### A Study on Estimating Route Travel Time Using Collected Data of Bus Information System

#### ABSTRACT

Recently the demands for traffic information tend to increase, and travel time might one of the most important traffic information. To effectively estimate exact travel time, highly reliable traffic data collection is required. BIS(Bus Information System) data would be useful for the estimation of the route travel time because BIS is collecting data for the bus travel time on the main road of the city on real-time basis. Traditionally use of BIS data has been limited to the realm of bus operating but it has not been used for a variety of traffic categories. Therefore, this study estimates a route travel time on road networks in urban areas on the basis of real-time data of BIS and then eventually constructs regression models. These models use an explanatory variable that corresponds to bus travel time excluding service time at the bus stop. The results show that the coefficient of determination for the constructed regression model is more than 0.950. As a result of T-test performance with assistance from collected data and estimated model values, it is likely that the model is statistically significant with a confidence level of 95%. It is generally found that the estimation for the exact travel time on real-time basis is plausible if the BIS data is used.

**Key words :** Route Travel Time, Bus Information System, Intelligent Transport Systems, Travel Time Distribution, Regression Analysis

#### 초록

최근 각종 교통정보에 대한 요구수준이 높아지고 있으며 그 중에서도 도시 교통관리나 이용자 측면에서 통행시간 정보는 매우 유용한 것이다. 정확성 높은 통행시간의 추정을 위해서는 신뢰성 높은 교통데이터의 수집이 필수적으로 요구된다. 버스정보시스템(BIS)은 도시 주요도로를 운행하는 시내버스를 대상으로 통행시간 정보를 실시간으로 수집·관리하고 있어 경로통행시간 추정에 매우 유용한 데이터라 할 수 있다. 그러나 기존 BIS수집데이터는 시내버스의 운행과 관련된 정보를 생성하고 안내하는 기능에만 제한적으로 사용되고 있고 다양한 분야에 활용되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 BIS를 통해 실시간으로 수집되고 있는 데이터를 이용하여 경로통행시간을 추정하기 위한 연구를 수행하였다. 시내버스의 총 통행시간에서 버스정류장서비스시간을 제외한 통행시간을 설명변수로 경로통행시간 추정모형을 구축한 결과 결정계수( $R^2$ )가 모두 0.950이상이었으며 T-test를 통한 검정결과 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 따라서 각 가로별로 BIS를 통해 수집되고 있는 시내버스의 통행시간데이터를 설명변수로 이용하면 실시간 경로통행시간 추정이 가능할 것으로 판단된다.

**검색어 :** 경로통행시간, 버스정보시스템, 지능형교통체계, 통행시간분포, 회귀모형

\* 정회원 · 대구대학교 토목공학과 부교수 (Corresponding Author · Daegu University · lyw209@daegu.ac.kr)

Received August 1 2012, Revised September 27 2012, Accepted February 19 2013

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도로전광표지(VMS), 스마트폰 등 다양한 매체를 통한 교통정보 제공이 활발해지면서 신뢰성 높은 교통정보에 대한 요구가 높아지고 있고 그 중에서도 출발지에서 목적지까지의 경로통행시간 추정에 대한 필요성이 높아지고 있다. 그러나 정확성 높은 통행시간 추정에는 상당한 어려움이 있으며 정확성 높은 교통정보의 생성을 위해서는 필수적으로 교통상황에 대한 신뢰할 수 있는 실시간 교통데이터의 수집이 요구된다. 그러나 다양한 교통현상을 나타내는 데이터를 실시간으로 모두 조사하는 것은 매우 어려운 것이 현실이다.

최근의 버스정보시스템(BIS)의 운영은 이러한 교통정보수집 측면에서 매우 중요한 의미를 가진다. BIS는 도시의 시내버스를 대상으로 실시간 위치추적이 가능하며 도시의 주요가로를 주행하는 시내버스의 통행시간 정보를 실시간으로 수집·관리하고 있다. 시내버스는 일반차량과 동일한 도로조건, 교통조건, 신호조건에서 운행하고 있다. 따라서 BIS에서 수집되고 있는 데이터는 다양한 도로조건, 교통조건, 신호조건이 모두 반영된 데이터가 수집되고 있는 것으로 볼 수 있다.

그러나 지능형교통체계(ITS)의 한 분야인 BIS의 운영을 통해 수집된 유용하고 신뢰성 높은 데이터는 다양한 분야에 활용되지 못하고 BIS시스템의 운영에 제한적으로 이용되고 있다. 이는 ITS의 도입·운영 단계를 지나 시스템 간 통합운영 및 데이터 융합이라는 ITS발전방향과도 부합되지 못하는 것이다.

ITS의 7개 분야 중 여행자정보고급화, 교통정보유통활성화, 교통관리최적화 등의 분야의 발전에 필수적인 경로통행시간의 추정을 위해 BIS 수집데이터를 활용하는 것은 ITS의 발전방향과도 부합된다. 또한 도시교통관리자 입장에서는 경로통행시간 추정을 통해 ITS의 하부시스템인 VMS의 운영, 혼잡지역 우회유도 등 도시교통관리에 활용하고 운전자에게는 정확성 높은 경로통행시간 정보를 제공함으로써 만족도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 BIS를 통해 실시간으로 수집되는 시내버스의 통행시간 정보를 이용한 도시부 주요도로의 경로통행시간 추정을 통해 기존 ITS 수집자료의 활용성을 높이고 도시교통관리에 이용하고 운전자에게 신뢰성 높은 통행시간 정보를 제공하는데 활용될 수 있는 기초적인 연구를 수행하는데 목적이 있다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 목적인 경로통행시간의 추정을 위해서는 여러 개의 링크로 구성된 가로축을 주행하는 모든 차량의 통행시간 정보를 전수 조사하여야 한다. 따라서 현장조사를 통한 데이터의 수집은

현실적으로 불가능하다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 고려하여 조사데이터의 수집에 시뮬레이션 분석을 이용하였다. 현장여건을 충분히 반영한 분석을 위해 현재 BIS시스템이 구축되어 운영 중인 도시를 대상으로 3개 주요가로축 29개 링크의 도로조건, 신호조건을 현장 조사하여 시뮬레이션 모형구축에 그대로 반영하였으며 버스노선도 실제 운영 중인 시내버스의 경로, 배차시간 등을 반영하여 시뮬레이션을 실시하였다.

시내버스와 일반차량은 동일한 도로조건, 교통조건, 신호조건에서 주행하기 때문에 기본적으로 유사한 통행시간을 나타내게 된다. 그러나 시내버스와 일반차량의 통행시간 구성요소는 다소 차이가 있는데 그 중 가장 큰 차이를 나타내는 것이 버스정류장에서의 서비스시간이다. 시내버스의 통행시간에는 승객의 승·하차를 위한 버스정류장에서의 서비스 시간이 포함되기 때문에 일반차량과의 통행시간 차이가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 일반차량의 통행시간과 시내버스의 통행시간에서 정류장 서비스시간을 제외한 통행시간을 적용하여 회귀분석을 통해 거시적 경로통행시간 모형을 구축하였다.

## 2. 기존이론 및 선행연구 검토

### 2.1 기존이론 검토

도시부 단속류 도로를 대상으로 한 통행시간의 추정은 매우 복잡하며 도로조건, 교통조건, 신호운영조건 등 다양한 변수에 영향을 받는다. 단속류 가로의 통행시간에 큰 영향을 주는 요소들은 교차로와 관련된 요소들이기 때문에 Webster, Wardrop, Hutchinson 등 교차로의 지체시간을 미시적으로 분석한 기존 이론이 많다.

그러나 다양한 변수들이 복합적으로 영향을 주는 교차로에서 발생하는 현상을 미시적으로 모형화 하기는 상당히 어려우며 본 연구의 목적인 경로통행시간의 경우 이러한 교차로가 여러 개 연결되어 있기 때문에 미시적으로 정확한 추정모형을 구축하는 것은 거의 불가능한 실정이다. 따라서 통행시간 모형은 거시적인 설명변수를 기준으로 모형화하는 것이 일반적이다. 우리나라의 경우 도로용량편람에서 교통량, 구간길이 등을 변수로 하는 회귀모형을 제안하고 있고 다른 나라에서도 비교적 단순한 형태의 모형을 사용하고 있다.

미시적으로 다양한 요소들을 모두 분석하여 통행시간을 분석하는 것은 모형구축뿐 아니라 모형의 실제 적용에도 어려움이 있을 것으로 예상된다. 또한 너무 많은 변수들을 적용할 경우 실시간 조사를 위한 시스템 구축에도 문제가 발생된다.

또 다른 통행시간 추정기법에는 과거프로파일접근법, 칼만필터링과 같은 시계열 분석법, 신경망을 이용한 추정방법, 동적 통행배정

모형, 시뮬레이션 등 다양한 방법이 있다.

그러나 과거프로파일법은 과거 자료를 이용하기 때문에 실시간 통행시간 추정이 불가능하고 시계열모형은 개별노선에 적합한 모형을 구축해야 하고 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 동적 통행배정 모형이나 시뮬레이션 모형은 현실의 대형 교통네트워크에 적용하여 추정하는데 한계를 가지고 있다. 따라서 이러한 모형들은 현실에 적용하는데 문제점이 있다.

BIS시스템에서 실시간 수집되고 있는 시내버스의 운행데이터에는 링크구간, 교차로에서의 모든 교통상황이 잠재적으로 포함되어 있는 데이터이다. 따라서 본 연구에서는 BIS시스템에서 수집되는 버스운행 데이터를 이용하여 거시적인 경로통행시간 추정모형을 구축하고자 하였다.

### 2.2 관련 연구 검토

김영찬 등(2007년)은 도시간선도로에서 COSMOS 기반 실시간 통행시간 추정 모형 연구에서 과포화 교통환경에서 순행시간과 교차로 신호제어에 의해 발생하는 지체시간을 가지고 전체 구간에 대한 통행시간을 추정하는 모형을 개발하였다. 지점검지기의 속도를 이용하여 링크순행시간을 추정하였고 대기행렬 길이를 이용하여 초기대기차량을 추정하는 모형을 개발한 후 HCM 2000의 지체식에 적용하여 지체시간을 추정하였다. 다양한 교통상황을 시뮬레이션하기 위해 VISSIM 프로그램을 사용하여 추정모형과 통행시간 추정방법을 평가하였다. 이 연구는 현실 적용의 타당성 여부에 대한 연구를 향후 과제로 제시하고 있으며 연구대상이 독립교차로에 제한되어 있는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구의 목적인 경로통행시간 추정과 차이가 있다.

최기주 등(2006년)은 Transit GPS Data를 이용하여 링크통행시간 추정 알고리즘을 개발하였다. 이 연구를 통해 Transit GPS Probe를 이용하여 통행시간을 산출함에 있어 Bus Probe는 Taxi에 비해 상대적으로 조밀한 주기당 통행시간 정보를 생성하였으나 링크별 근소한 신뢰수준의 차이에도 불구하고 Bus Probe는 Taxi에 비해 평균적으로 낮은 신뢰수준을 나타낸 것으로 제시하고 있다. 따라서 Bus Probe와 Taxi Probe의 통행시간 비율을 주기당 변수로 생성하여 실시간데이터와 과거 데이터로 보정하는 휴리스틱한 알고리즘을 개발하였다. 이 연구는 서울을 대상으로 한 것으로 지방의 다른 도시들의 경우 Taxi 보정을 위한 샘플수 확보에 어려움이 있을 수 있고 링크를 기본 분석단위로 적용하고 있는 점에서 한계를 가지고 있다.

박신형 등(2006년)에서는 BIS데이터를 이용하여 버스의 실시간 통행시간을 예측하였는데 이 연구는 정류장을 노드로, 정류장간을 링크로 네트워크를 구성하였다. 따라서 BIS데이터를 활용한다는 측면에서는 유사하지만 네트워크 측면에서는 본 연구자가 수행하고자 하는 연구와 근본적인 차이가 있다. 또한 시내버스의 통행시

간에 교차로의 대기시간 및 정류장의 정차시간이 모두 포함되기 때문에 첨두시와 비첨두시의 교통량에 따른 특성이 잠재적으로 반영되어 있다는 점을 장점으로 제시하였다.

정영재 등(2005년)은 구간검지체계의 통행시간 정보를 이용하여 신호제어 알고리즘을 개발하는 연구를 수행하였다. 구간검지체계로부터 개별차량의 구간통행시간을 산출하여 대기행렬을 추정하고 이를 이용하여 신호제어를 수행하는 알고리즘을 연구하였다.

이 연구는 구간검지체계를 이용하지만 검지기가 설치되어 있는 장소에서의 시·중점 검지체계이기 때문에 최근 BIS에서 사용되고 있는 GPS를 이용하여 1sec단위로 위치데이터가 수집되는 구간검지체계에 비하면 정밀도가 떨어지는 방법이다.

### 3. 자료수집 및 방법

본 연구는 BIS시스템 운영을 통해 수집되는 시내버스의 실시간 통행시간 데이터를 이용하여 도시부 가로의 경로통행시간을 추정하기 위한 연구이다. 따라서 BIS시스템이 구축되어 운영 중인 울산광역시 주요간선도로인 삼산로, 태화로, 중앙로를 대상으로 연구를 수행하였다.

삼산로는 13개 링크로 구성되어 있으며 울산광역시의 신도심을 통과하는 도로이며 태화로는 11개 링크로 구성되어 있으며 구도심을 통과하기 때문에 교통여건이 삼산로와는 다소 차이가 있다. 그리고 중앙로는 5개의 링크로 구성되어 있다.

현장조사를 통해 차로수, 링크길이 등 도로기하구조와 신호운영 등을 조사하였으며 3개 가로를 운행하고 있는 모든 시내버스의 운행경로, 배차시간 등을 전수 조사하였다.

도로조건, 신호운영조건 등은 현장조사를 통해 조사하여 연구를 수행할 수 있으나 가로를 통행하는 차량들의 통행시간은 현장조사를 통해 전수 조사하기에 현실적인 어려움을 가지고 있다. 그리고

Table 1. Survey Result for Routes of Study

St.	St.Samsan	St.Taehwa	St.Chungang
Number of Link	13	11	5
Length of Link (m)	139 ~ 340 mean:246	97 ~ 519 mean:226	187 ~ 469 mean:325
Number of Lane (oneway)	4 ~ 5	2	2 ~ 3
Cycle Time (sec)	170 ~ 180	130 ~ 150	170 ~ 180
Number of Bus Stop	forward: 10 reverse: 8	4	6
Number of Bus Route	39	25	29
Mean of Bus Dispatch Time	50min	56min	43min

다양한 교통조건의 변화를 현장조사를 통해 분석하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 교통조건은 다양한 시나리오를 적용하여 시뮬레이션 분석을 실시하였다.

본 연구에 사용된 시뮬레이션 프로그램은 VISSIM 5.20이며 현재 유럽을 비롯한 여러 나라에서 교통류 분석프로그램으로 활용되고 있는 프로그램으로 다양한 도로조건, 신호조건, 교통조건을 반영한 분석이 가능하여 교통공학, 교통계획 측면에서 유효성이 검증된 프로그램이다.

본 연구에서는 분석의 현실성을 충분히 확보하기 위해 현존하는 도로의 기하구조, 신호운영 현황을 현장조사를 통해 수집하여 시뮬레이션 모형에 적용하였으며 시내버스의 운행현황도 현재 운영 중인 데이터를 그대로 적용하였다.

현장조사 결과를 반영한 시뮬레이션 분석결과를 BIS시스템에서 수집된 실제 시내버스의 운행데이터와 비교·분석하여 시뮬레이션 모형을 현실과 유사하게 동기화시켜 시뮬레이션 모형의 신뢰성과 현실성을 확보하기 위해 노력하였다.

구축된 모형에 포화도(v/c)를 0.4~1.0까지 0.1씩 변화시켜 교통량의 변화에 따른 시내버스와 일반차량의 통행시간 데이터를 분석하였다.

#### 4. 경로통행시간 추정 모형 구축

##### 4.1 통행시간 특성 분석

본 연구는 경로통행시간에 관한 연구로 동일한 도로조건, 신호운영조건, 교통조건에서 통행하는 시내버스의 운행데이터를 이용하여 일반차량의 통행시간을 추정하기 위한 연구이다. 같은 가로에서도 방향별로 각각 조건이 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 각 가로별, 방향별로 구분하여 총 6개의 경로를 대상으로 연구를 수행하였다.

삼산로의 경우 남부경찰서→삼산사거리 구간을 정방향, 삼산사거리→남부경찰서 구간을 반방향, 태화로는 신성배관→로얄예식장 구간을 정방향, 로얄예식장→신성배관 구간을 반방향, 중앙로는 남부교회→이진아파트 구간을 정방향, 이진아파트→남부교회 구간을 반방향으로 총 6개의 경로로 구분하였다.

BIS시스템에서 실시간 수집되고 있는 시내버스의 통행시간을 이용하여 경로통행시간을 추정하기 위해서 시내버스와 일반차량의 통행시간 특성을 분석할 필요가 있다. 시내버스와 일반차량은 모두 동일하게 주어질 도로조건, 신호운영조건, 교통조건에서 통행하기 때문에 미시적으로 발생하는 다양한 조건들은 시내버스의 통행특성에 잠재적으로 반영된 것으로 볼 수 있다. 이는 박신행외 2명(2006년)의 기존 연구에서도 제시된 바 있다.

그러나 시내버스의 통행시간 구성에서 일반차량의 통행시간

구성과 분명히 차이가 발생하는 요소가 있는데 바로 승객의 승·하차를 위한 정류장에서의 서비스 시간과 가·감속특성의 차이이다.

$$BT = CT_B + BST + DT_B$$

$$= CT_B + (T_B + a_B) + (DT + a_B) \quad (1)$$

$$RT = CT_R + DT_R$$

$$= CT_R + (DT + a_R) \quad (2)$$

- 여기서,  $BT$  : 시내버ست통행시간,
- $RT$  : 일반차량통행시간
- $CT$  : 링크순행시간
- $DT$  : 교차로지체시간
- $BST$  : 버스정류장서비스시간
- $T_B$  : 버스정류장 정지시간
- $a_B$  : 시내버스 가·감속시간
- $a_R$  : 일반차량 가·감속시간

현재 구축되어 운영 중인 울산광역시 BIS시스템의 실시간 수집데이터의 구성요소를 분석한 결과 각 링크별 순행시간, 교차로별 서비스시간, 버스정류장서비스시간은 별도로 수집되고 있는 것으로 나타났다. 그러나 가·감속에 따른 영향은 별도로 수집되고 있지 않았다.

가·감속 특성은 교통량에 따라 시내버스와 일반차량의 통행시간에 영향을 미치게 된다. 링크구간에서의 주행시간은 교통량이 적을 때는 가·감속 특성에 의해 시내버스와 일반차량의 주행시간의 차이가 크게 발생하게 되며 교통량이 많아 혼잡할 때는 오히려 급격한 가·감속이 불가능하여 시내버스와 일반차량의 주행시간의 차이가 미소해진다. 그러나 교차로에서의 지체시간은 다양한 신호운영조건에 따라 변화하며 링크구간에서의 다양한 통행방향 요인으로 인한 가·감속의 영향이 발생할 수 있다. 주행시간, 순행시간, 교차로지체시간까지 고려한 통행시간은 이러한 다양한 요소들을 모두 포함하여 나타난다.

가·감속에 의한 시간은 BIS시스템에서 수집되는 순행시간, 교차로서비스시간, 버스정류장서비스시간에 이미 포함되어 있으며 BIS에서 수집되고 있는 실시간 수집데이터를 이용하여 경로통행시간을 추정하고자 하는 본 연구의 목적을 고려할 때 시스템에서 가·감속시간이 별도로 수집되고 있지 않아 가·감속시간을 변수로 도입하여 모형을 구축하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 거시적 통행시간 모형을 구축하고자 하는 본 연구의 특성을 고려할 때 그 크기도 미소한 것으로 판단되어 분석에 반영하지 않았고 버스정류장에서 서비스 시간만을 고려하였다. 시내버스의 총 통행시간에서 정류장 서비스시간을 제외한 통행시간을 산출하여 일반차량의 통행시간과 비교·분석하고 이를 설명변수로 하여 모형을 구축하였다.

다음으로 시내버스와 일반차량의 통행시간 구성요소 분석과정을 거쳐 도출된 각각의 통행시간에 대한 분포특성을 분석한 결과 전반적으로 시내버스와 일반차량의 분포가 유사한 형태를 나타내는 것으로 분석되었으나 평균통행시간의 차이는 노선별로 다소 차이가 발생하였다. 삼산로의 경우 평균통행시간의 차이가 가장 큰 것으로 나타났으며 중앙로의 경우 상대적으로 평균통행시간의 차이가 작은 것으로 분석되었다. 이는 가로구간의 전체 길이(링크의 수)의 차이로 판단된다. 또한 각 구간별 범위는 신호주기에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다.

#### 4.2 경로통행시간 추정 모형 구축

시내버스의 통행시간과 일반차량의 통행시간의 구성요소 검토 결과를 바탕으로 시내버스의 통행시간에서 버스정류장서비스시간을 제외한 통행시간과 일반차량의 통행시간을 비교·분석하여 경로 통행시간 모형을 구축하였다.

각 가로별로 도로조건, 신호운영조건이 다르고 동일가로에서도

방향별로 교통여건이 서로 상이할 수 있다. 또한 모형에 적용하기 위해 각 가로별, 방향별로 동일한 조건에서 통행하는 BIS 데이터를 수집할 수 있기 때문에 모형을 가로별, 방향별로 구분하여 분석하였으며 경로의 구성은 각 가로별로 구간을 최소 링크 2개에서 1개씩 누적하여 링크 3개, 4개 ... 경로전체로 구분하여 데이터를 구축하였으며 각 구간별 일반차량과 시내버스 통행시간 데이터를 이용하여 회귀분석을 통해 거시적 경로통행시간 모형을 구축하였다. 본 모형의 설명변수는 시내버스의 통행시간에서 정류장서비스시간을 제외한 통행시간이다. 이 통행시간은 BIS시스템에서 실시간으로 수집되고 있어 각 가로별, 방향별로 데이터를 적용할 수 있기 때문에 경로별, 방향별로 별도의 모형구축을 통해 모형의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

모형을 구축하기 위해 시내버스와 일반차량의 통행시간 데이터를 이용하여 산포도를 작성한 결과 각 가로별로 일정한 추세를 나타내는 것으로 분석되었다. 산포도 및 추정 모형식을 Fig. 1 ~ Fig. 6에 나타내었다.

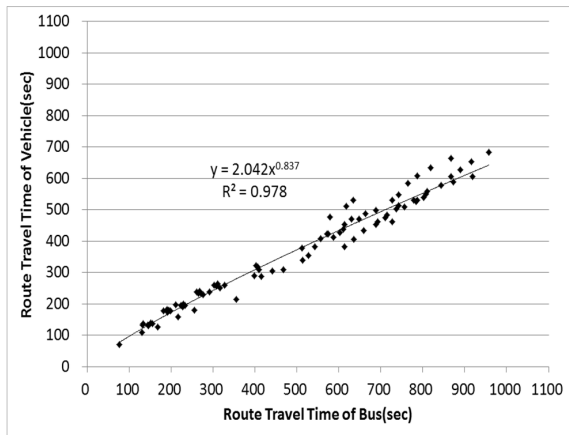


Fig. 1. Scatter Diagram of St.Samsan(forward)

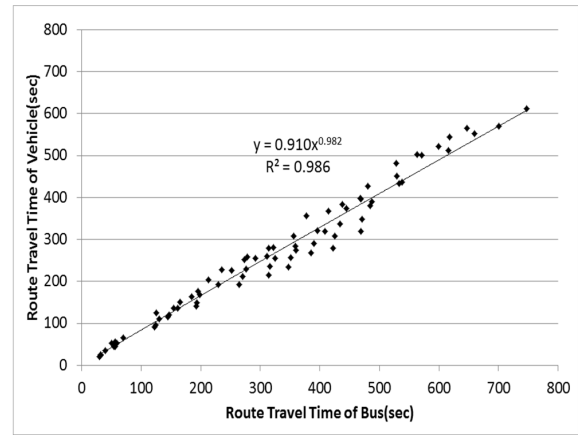


Fig. 3. Scatter Diagram of St.Taehwa(forward)

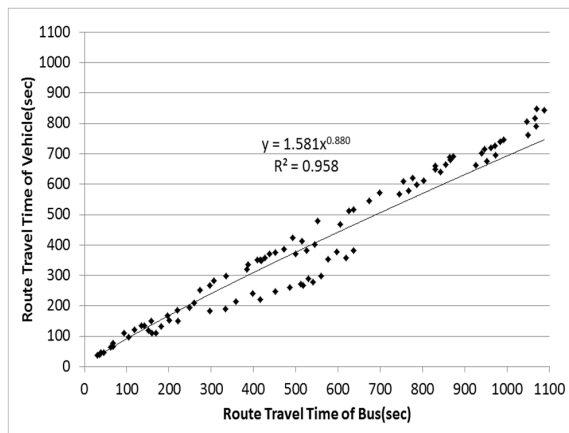


Fig. 2. Scatter Diagram of St.Samsan(reverse)

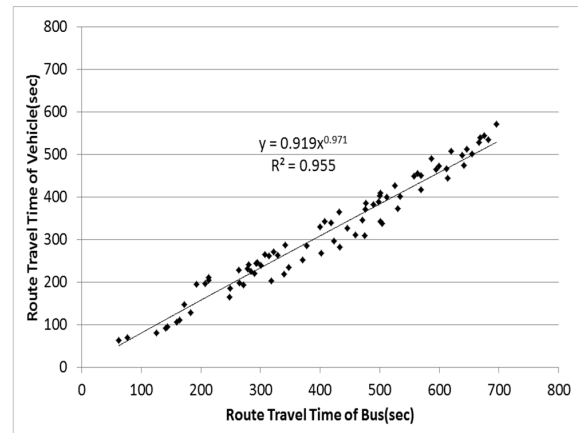


Fig. 4. Scatter Diagram of St.Taehwa(reverse)

각 가로별·방향별로 시내버스의 통행시간을 설명변수로 경로 통행시간을 추정하기 위한 회귀모형을 구축한 결과 거듭제곱모형이 대부분 0.950이상의 높은 결정계수( $R^2$ )를 나타내는 것으로 분석되었다.

### 4.3 추정모형의 통계적 검정

본 연구결과 추정된 모형의 신뢰성을 통계적으로 검정하기 위해 통계소프트웨어 PASW Statistics 18을 이용하여 대응표본 비모수 검정을 실시하였다. 모형구축결과와 추정모형의 통계적 검정결과 유의수준을 정리하면 Table 2와 같다.

통계적 검정 결과를 살펴보면 각 가로별·방향별로 구축된 6개 모형의 유의확률이 모두 0.05보다 큰 것으로 분석되어 영가설을 유지하는 것으로 분석되었다.

즉, 설명변수로 사용된 시내버스의 통행시간과 일반차량의 경로통행시간 추정모형의 추정값 사이의 차이가 있다고 할 수 없다.

따라서 95%신뢰수준에서 구축된 모형이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

Fig. 7은 구축모형의 추정값과 시뮬레이션 조사값의 차이를 분포로 나타낸 그래프이다.

구축모형을 이용한 추정값과 시뮬레이션 조사값의 차이를 비교한 결과 전체경로의 통행시간에 대한 최대오차량이 신호주기 1주기 이하로 나타났다.

전체의 85%의 오차량이  $\pm 40\text{sec}$ 이하로 분석되었으며 95%가  $\pm 70\text{sec}$ 이하로 나타나 전반적으로 높은 추정력을 가지는 것으로 분석되었다.

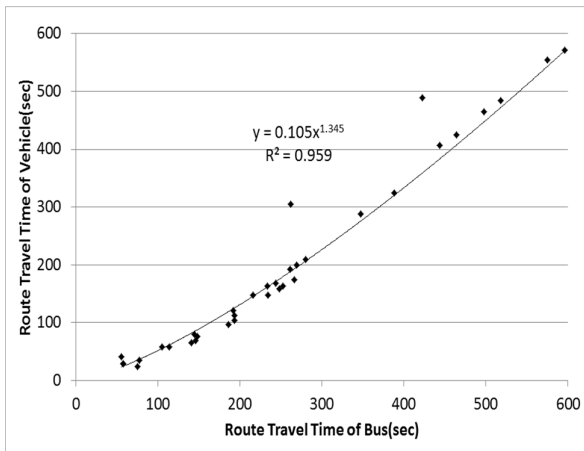


Fig. 5. Scatter Diagram of St.Chungang(forward)

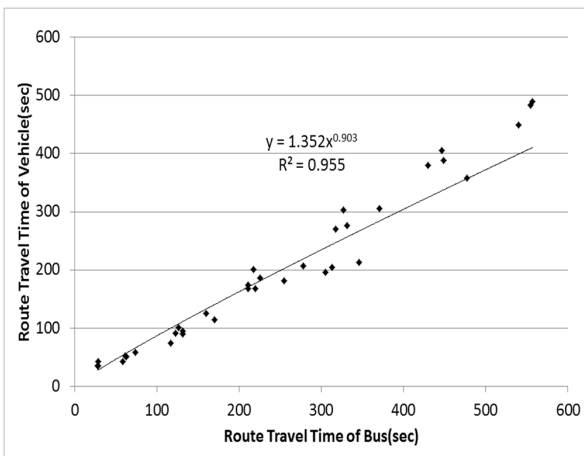


Fig. 6. Scatter Diagram of St.Chungang(reverse)

Table 2. Route Travel Time Estimation Model

St.	Model
Samsan (forward)	$RT = 2.042(BT - BST)^{0.837}$ $R^2 = 0.978$ significant level : 0.303
Samsan (reverse)	$RT = 1.581(BT - BST)^{0.880}$ $R^2 = 0.958$ significant level : 0.130
Taehwa (forward)	$RT = 0.910(BT - BST)^{0.982}$ $R^2 = 0.986$ significant level : 0.168
Taehwa (reverse)	$RT = 0.919(BT - BST)^{0.971}$ $R^2 = 0.955$ significant level : 0.333
Chungang (forward)	$RT = 0.105(BT - BST)^{1.345}$ $R^2 = 0.959$ significant level : 0.612
Chungang (reverse)	$RT = 1.352(BT - BST)^{0.903}$ $R^2 = 0.955$ significant level : 0.441

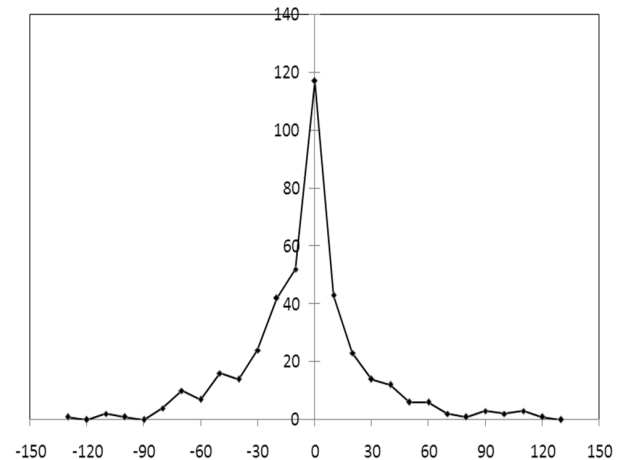


Fig. 7. Errors of Simulation and Model

## 5. 결론

지능형교통체계(ITS)는 이미 많은 도시에서 구축되어 교통시스템 전체의 효율을 높이고 도시교통의 관리자측면, 이용자측면에서 매우 유용한 시스템으로 인정받고 있다.

특히 버스정보시스템(BIS)는 이용자 만족도가 상당히 높은 ITS 시스템 중 하나로 많은 도시에서 구축되어 운영 중이며 새롭게 도입을 추진하는 도시도 많이 있다. 그러나 지금까지 BIS는 bus와 관련된 정보만 생성하여 이용자에게 제공하는 해당시스템에 한정된 서비스만을 제공하였다.

BIS는 도시부 대부분의 주요간선도로를 주행하고 있는 시내버스의 운행데이터를 실시간으로 수집하고 있어 이를 활용하여 시내버스와 관련된 정보뿐 아니라 VMS 등 ITS의 다른 정보제공시스템과 연계하면 교통정보를 제공하기 위한 기초적인 데이터로 충분한 가치가 있으며 도시교통관리의 기초데이터로도 활용될 수 있을 것이다.

그러나 지금까지 이러한 노력들이 매우 부족한 실정이었으며 따라서 본 연구에서 BIS시스템에서 수집되고 있는 시내버스의 실시간 운행데이터를 활용하여 도시부 가로의 경로통행시간 추정을 위한 연구를 수행하였다.

연구결과 시내버스의 통행시간은 일반차량과 통행시간의 구성에서 다소 차이가 있었는데 대부분 정류장서비스시간으로 인한 차이로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 시내버스의 총통행시간에서 정류장서비스시간을 제외한 통행시간을 산출한 후 일반차량과 통행시간 분포를 비교·분석한 결과 분포특성이 유사한 것을 알 수 있었다.

BIS시스템이 구축되어 운영 중인 울산광역시 3개 주요 도시부 간선도로를 방향별로 나누어 총 6개의 경로를 대상으로 분석한 결과 정류장서비스시간을 제외한 시내버스의 통행시간과 일반차량의 통행시간의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 각 노선별, 방향별로 정류장서비스시간을 제외한 시내버스의 통행시간을 설명변수로 하는 경로통행시간 추정모형을 구축하였다.

구축된 모형의 결정계수( $R^2$ )는 모두 0.950이상으로 나타났으며 신뢰성 검토를 위해 실시한 대응표본 비모수 검정 결과 통계적으로도 유의한 것으로 분석되었다. 구축된 모형을 이용한 추정값에 대한 오차분석을 실시한 결과 최대오차가 신호주기 1주기이하로 나타났으며 85%의 오차량이  $\pm 40\text{sec}$ 이하, 95%의 오차량이  $\pm 70\text{sec}$ 이하로 나타나 여러 개의 링크로 구성되어있고 최대통행시간이 상당히 긴 경로통행시간임을 감안할 때 매우 높은 추정력을 가지는 것으로 나타났다.

본 연구결과는 BIS시스템에서 실시간으로 수집되고 있는 시내버스의 운행데이터를 이용한 경로통행시간 추정이 충분히 가능하

며 향후 도시교통관리, 교통정보의 제공 등에 충분히 활용될 수 있다는 것을 보여주고 있다.

그러나 본 연구는 버스전용차로, 버스전용신호 등이 설치운영되고 있지 않는 도시를 대상으로 한 연구이다. 버스전용차로, 버스전용신호를 이용하여 통행하는 시내버스는 완전히 다른 통행특성을 나타낼 것으로 예상할 수 있다. 따라서 버스전용차로, 버스전용신호가 운영되고 있는 도시를 대상으로 수집된 BIS데이터를 이용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구결과는 분석대상 경로에 대한 평균통행시간을 추정한 결과이다. 하나의 평균통행시간이 해당 경로의 통행시간을 대표하기는 하지만 다양하게 나타나는 통행시간을 모두 대표하기에는 무리가 있을 수 있다. 따라서 다양한 통행시간을 확률적으로 추정하여 정보를 제공할 필요가 있을 것으로 생각된다. 본 연구결과를 바탕으로 확률적 통행시간 정보를 제공하기 위한 후속 연구도 진행되어야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

또한 본 연구결과를 바탕으로 신뢰성 높은 경로통행시간의 추정이 이루어지면 ITS의 다른 하부시스템을 통한 다양한 교통정보제공 방안과 혼잡지역 우회유도 등 도시교통관리를 위한 방법 등 본 연구의 활용과 관련된 추가적인 연구도 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0064506)

## References

- Choi, K., Hong, W.-P., Choi, Y.-H. (2006). "A travel time estimation algorithm using transit gps data." *Journal of The Korean Society of Civil Engineering*, Vol. 26, No. 5D, pp.739-746 (in Korean).
- Jang, J. H., Baik, N., Kim, S.-H., Byun, Sang Cheol. (2004). "Dynamic travel time prediction using avi data." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 22, No. 7, pp. 169-175 (in Korean).
- Jung, Y. J., Kim, Y., Baek, H. S. (2005). "Development of the signal control algorithm using travel time informations of sectional detection systems." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 23, No. 8, pp. 181-191 (in Korean).
- Kim, J. J., Rho, J. H., Park, D. (2006). "On-line departure time based link travel time estimation using spatial detection system." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 24, No. 2, pp. 157-168 (in Korean).
- Kim, Y., Lee, E. M. (2007). "The estimation of link travel time for oversaturated intersections from cosmos detector data." *Journal of The Korean Society of Civil Engineering*, Vol. 27, No. 2D, pp. 189-198 (in Korean).

- Lee, C., Park, H. Y., Kho, S. Y. (2002). "Prediction of path travel time using kalman filter." *Journal of The Korean Society of Civil Engineering*, Vol. 22, No. 5D, pp. 871-880 (in Korean).
- Lee, H. S., Chon, K. S. (2009). "A path travel time estimation study on expressways using tcs link travel time." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 27, No. 5, pp. 209-221 (in Korean).
- Lee, Y.-I., Lee, J.-H. (2001). "A study on link travel time estimating methodology for traffic information service (Determination of an adequate sample size)." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 20, No. 3, pp. 55-67 (in Korean).
- Park, S. H., Jeong, Y. J., Kim, Tschangho John. (2006). "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 (in Korean).
- Yoo, B. S., Kang, S. P., Park, C. H. (2005). "Travel time estimation based on mobile information." *Journal of The Korean Society of Civil Engineering*, Vol. 25, No. 1D, pp. 23-30 (in Korean).
- Dion, F. and Rakha, H. (2006). *Estimating dynamic roadway travel times using automatic vehicle identification data for low sampling rates*, Transportation Research Part B, Vol. 40, No. 9.
- Giovanni Huisken. and Eric C. van Berkum. (2003). *A comparative analysis of short-range travel time prediction methods*, TRB 82nd Annual Meeting.
- Hellinga, B. and Gudapati, R. (2000). "Estimating travel times from different data sources for use in ATMS and ATIS." *Proceedings of the ITE District 1 & 7 Joint Annual Conference held in Niagara Falls, Ontario, May 6*.
- Steven I. Chien, Xiaobo Liu. and kaan Ozbay. (2003). *Predicting travel times for the south jersey real-time motorist information system*, TRB 82nd Annual Meeting.
- Steven I-Jy Chien and Chandra Mouly Kuchipudi. (2003). *Dynamic travel time prediction with Real-Time and historic data*, Journal of Transportation Engineering.
- Z. Wall, D.J. Dailey. (1999). *An algorithm for predicting the arrival time of mass transit vehicles using automatic vehicle location data*, In Presentation and Review 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board.