

버스정보시스템(BIS) 운행데이터를 이용한 실시간 지체시간 산정모형 구축

A Study on the Estimate Real Time Delay Model using BIS Data

이 영 우* 권 혁 준**
(Young-Woo Lee) (Hyuck-Jun Kwon)

요 약

본 연구는 버스정보시스템(BIS)의 운행데이터를 이용하여 신호교차로에서의 지체시간을 추정하기 위한 연구이다. 기존의 버스시스템에 첨단정보통신 기술을 접목한 BIS는 많은 지방자치단체에서 구축하여 운영 중에 있다. 그러나 기존에 구축된 BIS의 운영을 통해 실시간으로 수집되고 있는 운행데이터의 활용은 활발히 이루어지지 못하고 있다. 본 연구에서는 BIS 운행데이터를 이용하여 실시간으로 지체시간을 산정하여 도시교통관리, 교통정보를 제공에 활용하기 위한 기초적인 연구를 수행하고자 하였다. VISSIM 5.20을 활용하여 시뮬레이션 모형을 구축하였으며 버스정류장에서의 서비스 시간을 제외한 버스 통행시간과 일반차량 지체시간 간의 상관관계가 유의한 것으로 분석되어 거시적 통계모형인 회귀모형으로 구축하여 분석한 결과 직선회귀모형의 결정계수가 0.826으로 가장 높게 나타났다. 구축된 모형을 통계적으로 검증하기 위하여 현장조사 값과 모형추정 값으로 T-test를 실시한 결과 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

Abstract

This study is to estimate delay time model of signalized intersection by using travel data of Bus Information System. BIS, which applies the advanced information technology to an existing bus system, has been developing and operating in many cities. However, even though some useful traffic informations have been collected from BIS operation, utilization of real-time data to the traffic operation has not been promoted due to the inhomogeneity of modal speeds. Accordingly, in this study, a fundamental research is performed for traffic controls in urban areas and providing a traffic information throughout a methodology for estimating delay time using the data from BIS was developed. This delay time model setting bus travel time excluding service time of a bus stop as explanatory variables was constructed as a regression model, and the coefficient of determination of a linear regression model most highly appeared as 0.826. As a result of performing T-test with field survey values and model estimation values for verifying constructed models statistically, it was analyzed to be statistically significant in a confidence level of 95%.

Key words : BIS, Delay Time, Simulation, ITS, Link Travel Time

† 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0015233).

* 주저자 : 대구대학교 토목공학과 조교수

** 공저자 및 교신저자 : 대구대학교 일반대학원 박사과정

† 논문접수일 : 2011년 5월 26일

† 논문심사일 : 2011년 9월 26일

† 게재확정일 : 2011년 9월 27일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

버스정보시스템(BIS)은 현재 많은 도시에서 구축하여 운영하고 있으며 노선버스의 운행정보를 실시간으로 이용자에게 제공하고 있어 많은 시민들에게 긍정적인 평가를 받고 있다. 이러한 긍정적인 평가로 인하여 추가적으로 많은 도시에서 BIS의 도입을 추진하고 있다.

노선버스는 도시내 대부분의 주요도로를 주행하고 있으며 BIS는 도심의 주요도로를 주행하는 노선버스의 운행정보를 실시간으로 수집·관리하고 있기 때문에 BIS운행정보는 도시내 주요도로의 다양한 교통정보를 포함하고 있다. 따라서 BIS를 통해 실시간으로 수집되고 있는 각종 교통정보는 보다 많은 교통분야에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 지금까지 BIS 운행데이터는 버스 통행시간을 추정하고 버스와 관련된 정보를 제공하기 위한 연구에 국한되어 있어 버스시스템외의 도시교통관리를 위한 다양한 분야에 활용되지 못하고 있는 실정이다.

이러한 현실을 고려하여 본 연구에서는 BIS 운행데이터를 이용하여 보다 다양한 교통분야에 활용할 수 있는 방안에 대한 연구를 수행하고자 하였으며 특히 도시교통관리에 필수적으로 요구되는 효과적도인 지체시간을 산정하는 연구를 수행하였다.

지체시간은 신호교차로 분석이나 신호제어 및 최적신호시간을 결정하는 중요한 효과적도이며 통행배정이나 차량경로 설정에 필수적인 지표이다. 그러나 현재 한정된 인원을 투입하거나 비전문가인 교통조사원을 투입하여 지체시간 조사를 실시하고 있는 실정이며 따라서 조사 자료의 정확도 확보에 어려움이 있는 실정이다.

BIS 수집데이터를 이용하여 실시간으로 도시가로의 지체시간을 산정할 수 있다면 도시교통관리에 많은 도움이 될 것으로 예상되며 기존 BIS시스템의 활용도를 극대화시키고 시스템의 효율을 증대시키는 효과를 기대할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 BIS시스템에서 실시간 수집되고 있는 노선버스의 운행데이터를 분석한 후 일반차량의 통행특성과 비교·분석하여 지체시간 산정에 대한 연구를 수행하였으며 최종적으로 BIS 운행데이터를 이용하여 실시간으로 지체시간을 산정하는 모형을 구축하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 현재 BIS시스템이 구축되어 운영 중인 도시의 주요간선도로를 대상으로 하였으며 본 연구 대상 가로는 총 13개 링크로 구성되어 있다.

모형의 구축을 위한 자료의 수집 및 분석은 일반차량의 지체시간 데이터를 충분히 확보하기 위해 연구대상 가로를 대상으로 시뮬레이션 분석을 실시하였다.

분석대상 가로를 하루동안 운행하는 모든 노선버스를 대상으로 BIS시스템에서 실시간 수집되는 데이터의 항목을 분석한 결과 다양한 항목이 수집되고 있으나 본 연구에서 산정하고자 하는 지체시간에 대한 항목은 포함되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 BIS시스템에서 수집되고 있는 항목 중 지체시간과 가장 상관성이 높을 것으로 예상되는 버스통행시간 항목을 설명변수로 이용하기 위해 시뮬레이션을 통해 노선버스의 통행시간과 일반차량의 지체시간 데이터를 수집하여 상관성을 분석한 후 거시적 모형인 회귀분석을 통해 지체시간 산정모형을 구축하였다.

구축된 모형의 통계적 검증 및 적용성에 대한 분석을 위해서 분석대상 가로의 하루 동안 운행된 모든 노선버스에 대한 BIS실시간 수집데이터와 수집된 BIS 운행데이터와 동일한 날짜에 실험차량 주행조사법을 이용하여 현장조사 된 데이터를 활용하여 분석을 수행하였다.

구축된 모형에 BIS 수집자료를 적용하여 지체시간을 산정하고 현장조사를 통해 수집된 실험주행차량의 지체시간을 비교·분석하는 방법으로 구축된 모형의 적합성에 대한 통계적 검증을 실시하였다.

II. 이론적 고찰

1. 기존이론 검토

도시부 도로의 교통소통 상태를 측정하고 도로의 운영상태를 설명해 주는 주요 효과척도로 교차로의 지체가 일반적으로 사용되고 있다. 지체에 대한 정의는 다양한 방법이 있으나 기본적으로 정지지체와 접근지체로 구분할 수 있다.

정지지체는 교차로 신호의 영향으로 차량이 교차로 접근부에서 완전히 정지한 시간을 의미하는 것으로 차량이 신호기의 적색시간 동안 완전히 정지한 시각과 차량이 가속하려고 시작하는 시각의 차로 계산된다.

접근지체는 정지지체에 차량이 교차로를 통과할 때 신호의 영향으로 인해 순행속도로 진행되지 못하고 속도가 느려짐에 따라 발생하는 가·감속 지체를 포함한 지체로 정의할 수 있다.

교차로의 지체를 나타내기 위해서는 접근지체가 더 정확한 개념으로 인정되지만 측정상의 어려움으로 인해 정지지체를 조사하여 사용하는 것이 일반적이며 HCM에서는 개략적으로 접근지체를 정지지체의 1.3배로 제시하고 있다[1].

지체를 산정하는 모형으로는 Webster, Akcelik, V.F Hurdle 등 있으며 지체와 관련된 기존이론은 대부분 접근지체로 구성되어 있다[2,3].

지체모형은 대부분 신호주기, 녹색시간 등 신호 운영 현황과 관련된 변수와 교통류율, 용량 등 교통량과 관련된 변수를 이용하여 산정하고 있다.

이러한 기존 모형식들은 동일한 조건하에서 산정결과가 다소 차이를 보이고 있으며 Webster의 경우에는 correction term으로 인하여 포화도가 1.0에 근접할수록 분모가 0에 수렴하여 overflow dealy가 무한대에 수렴하는 문제점을 가지고 있다.

또한 기존 모형식들은 포화도에 영향을 크게 받을 수밖에 없는 구조로 구성되어 있어 도착교통류의 패턴에 따라 큰 차이를 나타내게 되므로 도착교통류율을 얼마나 현실적으로 표현하느냐에 따라 모형식의 신뢰성이 좌우된다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 분석시간을 세분화하여 가능한 도착교통류 패턴이 현실성을 갖도록 하는 방법을 생각할 수 있는데 HCM2000에서는 도착교통류율의 변화를 반영할 수 있도록 신호 교차로의 도착곡선 패턴을 타입별로 세분화하여 모형식에 반영하도록 제시하고 있다.

그러나 이러한 미시적인 지체시간 산정모형은 실시간으로 복잡하게 변화하는 교통현상을 정확하게 모형화하기에는 한계가 있으며 따라서 간편한 형태의 거시적인 모형을 사용하기도 하는데 대표적인 것이 우리나라 도로용량편람에서 포화도(v/c), 교통량 등을 변수로 하는 회귀모형이다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 실시간 교통조건을 반영하고 있을 것으로 예상되는 BIS시스템의 실시간 주행데이터를 이용하여 기존 지체모형의 한계를 극복하고 실시간으로 지체시간을 산정할 수 있는 거시적 지체모형을 구축하고자 한다.

2. 선행연구 검토

BIS와 관련된 선행연구는 대부분 노선버스의 통행시간예측과 이를 통한 도착안내시간 예측을 위한 연구에 국한되어 있는 실정이다.

최장욱(2001)은 BIS 자료를 이용한 버스통행시간을 예측하였다. 이 연구는 부천시의 BIS를 이용하여 버스통행시간 예측모형을 구축하고 통행시간 예측력을 추정하였으며 역전과 알고리즘을 이용한 신경망이론을 사용하여 버스통행시간을 예측하였다[4].

박신형 외 2명(2006)은 정류장을 노드로 구성하고 정류장간을 링크로 구성한 네트워크를 구축하여 각 노선 및 해당 노선의 차량별로 수집된 BIS 운행데이터의 정류장 도착시각을 기반으로 버스의 실시간 예상 통행시간을 예측하였다. 또한 노선버스의 통행시간에는 교차로의 대기시간 및 정차시간과 같은 변수들이 모두 포함되어 있기 때문에 교통조건, 도로조건, 신호운영조건 등에 따른 특성이 반영되어 있다는 견해를 제시하고 있다[5].

이영우(2010)는 BIS 운행데이터를 이용하여 상류부 교차로에서 동일한 녹색신호시간에 링크로 진입

하여 운행 중인 교통류가 하류부교차로에서 정차하지 않고 통과하는 차량과 황색 및 적색신호로 인하여 정차하여 적색신호시간동안 대기하였다가 통과하는 크게 두 개의 군집형태로 나누어 실시간 일반차량 링크통행시간 추정모형을 구축하였다[6,7]. 이 연구결과를 살펴보면 링크의 통행시간은 결과적으로 교차로에서의 지체로 인해 통행시간이 2개의 군집으로 구분된다는 사실을 알 수 있으며 따라서 BIS시스템에서 수집되고 있는 데이터를 이용하여 교차로에서의 지체시간을 산정할 수 있는 가능성을 확인할 수 있다.

BIS와 관련된 연구는 선행연구에서도 알 수 있듯이 점점 발전 되고 있으나 통행시간을 추정하고 제공하기 위한 비슷한 형태의 연구가 대부분으로 BIS 운행데이터를 다른 교통현상 분석이나 다양한 활용방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

이정범(2001)은 우리나라의 현장 데이터를 적용하여 대기행렬과 자유속도에 따른 가·감속 고려한 지체보정계수와 지체모형을 산정하는 연구를 수행하였다. 신호교차로에서 가·감속을 고려한 접근지체를 구하기 위해 접근로에 차량이 정지할 때까지 걸리는 감속시간과 정지한 차량이 처음의 자유속도로 돌아가기까지 걸리는 가속시간을 현장으로부터 산출하여 지체값을 산정한 후 HCM 2000의 모형식과 비교·분석하였다[8]. 이 연구는 소형 승용차만을 이용하였으며 회전차량을 제외한 직진 차량만으로 구성되어 일반적인 값이라 하기에는 다소 무리가 있으며 대부분의 다른 지체산정 연구와 같이 접근지체를 이용한 결과로 모형을 산정하는 측면에서 본 연구와는 차이가 있으며 실시간으로 지체시간을 산정하고자 하는 본 연구와 차별성을 가진다.

III. 자료수집 및 방법

본 연구는 BIS시스템의 실시간 수집데이터를 이용하여 교차로의 지체시간을 산정하기 위한 연구로 기본적으로 BIS시스템의 데이터가 필수적으로 필요하며 또한 일반차량의 교차로에서의 지체시간에 대한 현장조사가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 현재 BIS가 구축되어 운영 중인 울산광역시 하부 동안의 BIS 데이터를 모두 확보하였으며 일반차량의 교차로 지체시간을 실험 차량 주행조사법을 이용하여 수집된 BIS 데이터와 동일한 날짜에 현장조사를 통해 조사하였다.

분석대상 교차로는 울산광역시의 도심 주요간선 도로인 삼산로의 13개 링크이며 도로의 기하구조, 신호운영 현황에 대한 조사도 실시하였다.

수집된 데이터는 방대한 양이긴 하지만 다양하게 변화하는 교통상황을 모두 반영하는 데는 한계가 있었으며 주어진 가로의 기하구조 및 신호운영 조건에서의 교통조건 변화를 모두 구현하기에는 한계가 있었다.

따라서 본 연구에서는 교통량의 변화에 따른 영향을 반영한 지체시간 산정모형 구축을 위해 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하였다. 시뮬레이션 시나리오에 따라 다양하게 포화도(v/c)를 변화시켜 데이터를 수집하였으며 시뮬레이션 결과로 수집된 데이터를 이용하여 모형을 구축하고 BIS데이터 및 현장조사데이터를 이용하여 모형을 검증하는 방식으로 연구를 수행하였다.

본 연구에서 사용한 시뮬레이션 소프트웨어는 현재 유럽을 비롯한 70여 국가에서 교통류 분석프로그램으로 활용되고 있으며 도시교통과 대중교통 적용 모형에 시뮬레이션 모형을 근간으로 하여 차량의 통행시간과 평균통행속도, 교통량에 따른 지체도 등 다양한 측면에서 측정이 가능하며 차량의 구성과 교통신호 등을 분석할 수 있고 교통공학계획 측면에서 유효성이 검증된 VISSIM 5.20을 사용하였다.

시뮬레이션 모형구축은 현실에 부합하는 모형을 구축하기 위하여 본 연구의 대상가로인 울산광역시 삼산로를 적용하였으며 시뮬레이션 상의 배경은 위성지도인 *.bitmap file과 *.dwg file을 사용하였다. 신호운영현황은 울산광역시 ITS 하부시스템인 실시간 신호제어시스템에서 수집된 데이터를 적용하였다. 시뮬레이션 분석을 위하여 수집된 데이터를 바탕으로 <표 1>과 같이 시뮬레이션 시나리오를 구성하였다.

〈표 1〉 시뮬레이션 시나리오
(Table 1) Simulation scenario

구 분	내 용
차량 속도	58~68km/h (평균 60km/h)
버스 교통량	55 대/hr
포화도	0.4~1.0 (0.1씩 증가)
시뮬레이션 시간	3600초 (위명업 600초)
분석척도	통행시간, 지체시간

구축된 모형의 검증에 필요한 BIS데이터를 살펴 보면 GPS위성을 기반으로 하는 위치추적시스템을 이용하고 있으며 실시간으로 노선버스의 운행계적을 1초단위로 수집하고 있다. GPS를 통해 수집된 버스 위치정보는 무선데이터 통신을 통해 실시간으로 ITS운영센터로 전송되고 센터에서 분석 및 가공하여 다양한 정보를 생성한 후 유·무선으로 정보를 제공하고 있다.

본 연구에서는 GPS 위치데이터를 분석 및 가공하여 생성된 정보를 이용자에게 제공하기 직전의 분석데이터를 활용하여 연구를 수행하였다.

지체시간에 대한 조사는 현장조사를 통해 수집하였으며 현장조사방법은 실험차량 주행조사법을 이용하였다. 구체적인 조사방법을 살펴보면 승용차에 GPS수신기를 장착하고 조사대상 구간인 삼산로를 주행하면서 GPS 위치데이터를 1초 간격으로 조사하였다. 조사데이터는 PDA에 연결시켜 저장한 다음 후처리를 통해 링크 구간에서의 지체시간을 분석하였다.

현장조사의 시간적범위는 침두시간과 비침두시간으로 구분하여 조사하였으며 침두시간은 17~18시에 조사하였으며 비침두시간은 12~13시에 조사를 실시하여 총 2시간 동안 조사를 수행하였다.

IV. 신호교차로 지체모형 구축

1. 시뮬레이션 결과와 BIS데이터 비교

본 연구에서는 시뮬레이션 결과가 충분히 현실을 반영할 수 있도록 하기 위해 현재 운영 중인 도

시가를 대상으로 충분한 현장조사를 실시하였으며 조사된 데이터를 바탕으로 현실과 가능한 유사한 도로조건, 교통조건, 신호운영조건이 되도록 시뮬레이션을 구축하였다.

시뮬레이션 분석을 통해 수집된 데이터가 현실을 충분히 반영하고 있는지 검토하기 위해 시뮬레이션을 통해 수집된 통행시간 분포와 실제 대상가로를 주행한 노선버스의 통행시간 분포를 대응표본이 어떤 동질성이 유지된다는 가정을 바탕으로 한 대응표본 T검정을 통해 통계적 검증을 실시하였다.

분석결과 총 13개 링크 모두 통계적으로 차이가 없다는 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 나타나 시뮬레이션이 현실을 충분히 반영하고 있는 것으로 나타났다. 분석결과는 <표 2>와 같다.

〈표 2〉 시뮬레이션 데이터의 통계적 검정
(Table 2) Statistical significance test for simulation data

구 간	대 응 차		t	유의 확률 (양쪽)
	평 균	평균의 표준오차		
남부경찰서 →달동사거리	-2.2500	1.16501	-1.931	.068
달동사거리 →태화신협	-2.000	.66728	-.300	.768
태화신협 →한샘학원	-9.500	1.16184	-.818	.424
한샘학원 →동평사거리	-7.000	.70375	-.995	.332
동평사거리 →상호신용금고	-5.000	.99868	-.501	.622
상호신용금고 →번영사거리	.6500	.41215	1.577	.131
번영사거리 →목화예식장	.2000	.91938	.218	.830
목화예식장 →UBC사거리	.0000	1.26491	.000	1.000
UBC사거리 →롯데호텔	.6500	.48273	1.347	.194
롯데호텔 →터미널사거리	.1000	.70300	.142	.888
터미널사거리 →시장사거리	.3500	2.15367	.163	.873
시장사거리 →시장후문	.5500	.76253	.721	.480
시장후문 →삼산사거리	.5000	.84760	.590	.562

2. 추정모형 구축

서비스시간을 제외한 버스 통행시간과 일반차량 지체시간의 특성분석 결과에 따르면 두 변수 사이에 상관성이 있을 것이라 판단된다. 따라서 서비스시간을 제외한 버스 통행시간과 일반차량 지체시간 간의 직접적인 연관성을 알아보기 위하여 통계소프트웨어인 PASW Statistics 18.0을 이용하여 Pearson의 상관분석을 실시하였다.

각 링크마다 서비스시간을 제외한 버스 통행시간과 일반차량 지체시간을 산술평균하여 상관분석을 실시한 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 상관분석 결과
<Table 3> Result of a correlation analysis

구 분		서비스시간을 제외한 버스통행시간	일반차량 지체시간
서비스시간을 제외한 버스 통행시간	상관계수	1	.909**
	유의확률 (양쪽)		.000
	N	91	91
일반차량 지체시간	상관계수	.909**	1
	유의확률 (양쪽)	.000	
	N	91	91

** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함.

Pearson 단순상관계수는 0.909이고 유의확률이 0.000이므로 유의한 관련성이 있는 것으로 분석되었다. 유의성 검정 결과 유의수준 0.01에서 유의하므로 두 변수간의 상관관계는 매우 유의한 것으로 나타났다.

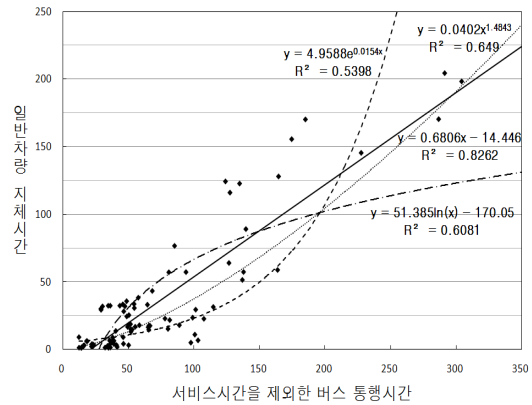
서비스시간을 제외한 버스 통행시간과 일반차량 지체시간의 상관분석 결과에 따라 두 변수 간의 상관관계가 매우 높은 것으로 나타나 서비스시간을 제외한 버스 통행시간을 설명변수로 하는 일반차량 지체시간 산정이 가능할 것으로 판단된다.

BIS가 구축되어 운영 중인 울산광역시외곽의 삼산로와 동일한 네트워크를 구축하여 산출되어진 서비스를 제외한 버스 통행시간을 설명변수로 거시적 분석 모형인 회귀모형을 구축하였으며 모형구축은 산

점도 분석과 선형 및 곡선추정 회귀분석 위해서 PASW Statistics 18.0을 활용하여 수행하였다.

지체시간 산정모형을 구축하기 위하여 설명변수인 서비스시간을 제외한 버스 통행시간과 목적변수인 지체시간의 상관관계를 네가지 모형을 적용하여 회귀분석을 실시하였다.

<그림 1>은 서비스시간을 제외한 버스 통행시간과 지체시간의 상관관계를 회귀분석한 결과로 나타낸 그래프이다.



<그림 1> 지체시간 산정모형 구축결과
<Fig. 1> Estimation result of delay model

<그림 1>을 살펴보면 설명변수의 증가율에 따라 목적변수의 증가율이 일정한 직선의 형태에 가까운 것으로 나타났다.

교통소통 상황이 양호한 경우에는 높은 가속력으로 차량이 주행하면서 지체시간이 존재하지 않지만 교통소통 상황이 열악해질수록 통행시간이 증가하고 따라서 지체시간이 증가하는 직선의 형태를 나타내는 것으로 판단된다.

네가지 모형의 회귀분석을 실시한 결과 직선모형의 결정계수(R^2)가 0.826으로 가장 높게 나타났으며 다음으로 거듭제곱모형, 로그모형, 지수모형의 순으로 분석되었다.

따라서 본 연구에서는 회귀분석 결과를 바탕으로 식 (1)과 같이 직선모형을 지체산정모형으로 제시하였다.

$$D = 0.6806(B_i - BS_i) - 14.446$$

(단, $D \leq 0$ 이면 $D=0$) (1)

여기서, D : 지체시간
 B_i : 버스 통행시간
 BS_i : 버스정류장 서비스시간

3. 추정모형의 통계적 검증

본 연구결과 구축된 지체시간 추정모형을 통계적으로 검증하기 위해 실시간으로 수집되고 있는 BIS 운행데이터와 현장조사를 통해 수집된 지체시간을 이용하여 분석하였다. 현재 구축되어 운영 중인 BIS에서 실시간으로 수집되고 있는 버스 통행시간 데이터에서 버스 서비스시간을 제외한 후 모형에 적용하고 산출된 모형 추정 값과 실험차량 주행조사법으로 현장조사한 지체시간 값을 비교·분석하여 검증을 실시하였다.

본 연구결과 추정된 모형의 신뢰성을 통계적으로 검증하기 위해 통계소프트웨어인 PASW Statistics 18.0을 이용하여 T-test를 실시하였다.

BIS 운행데이터에서 서비스시간을 제외한 버스 통행시간을 구축된 모형에 대입하여 산출된 지체시간값과 현장조사를 통해 조사된 지체시간값으로 연구가설을 설정하였으며 분석결과는 <표 4>와 같다.

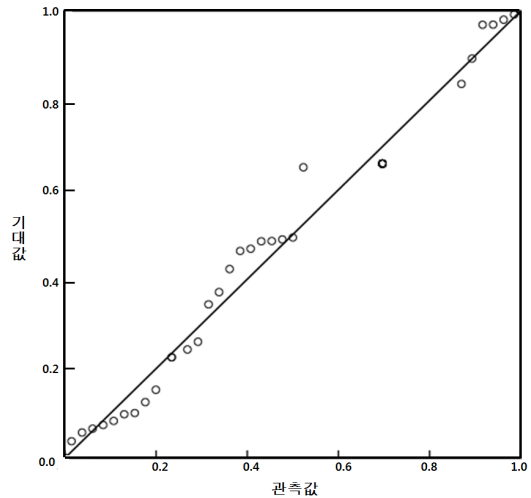
<표 4> 구축모형의 통계적 검증(T-Test) 결과
 <Table 4> T-Test result for estimation model

구 분		D	
대 응 차	평균	-.93400	
	표준편차	33.50142	
	평균의 표준오차	4.73782	
	차이의 95% 신뢰구간	하한	-10.45500
		상한	8.58700
t		-.197	
자유도		49	
유의확률(양쪽)		.845	

T-Test를 수행한 결과 P-value가 $\alpha=0.05$ 보다 큰 것으로 분석되었다. P-value가 0.05보다 크면 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 연구가설인 모형추정 값과 현장조사 값이 차이가 없다는 것을 의미한다.

따라서 본 연구결과로 구축된 추정모형은 통계적으로 유의하다는 것을 증명하고 있는 것이다. 즉, 모형추정 값과 현장조사 값은 차이가 없으므로 95% 신뢰수준에서 추정값이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

<그림 2>는 BIS 운행데이터 중 버스 통행시간 데이터에서 버스 서비스시간을 제외시킨 후 모형에 적용하여 산출된 모형추정 값과 실험차량 주행조사법으로 현장조사한 일반차량 지체시간 값의 차이를 P-P도표로 나타낸 것이다.



<그림 2> 모형추정값과 현장조사값의 P-P도표
 <Fig. 2> P-P graph of model and field survey

P-P 도표를 살펴보면 관측값은 현장조사 값을 말하며 기대값은 데이터의 분포나 확률 등에서 기대하는 값으로 모형추정 값을 말한다. 관측값과 기대값이 동일하다면 정규분포를 따른다고 말할 수 있다. 따라서, 현장조사 값과 모형추정 값의 지체시간의 차이 값들이 $y=x$ 직선에 가깝게 분포하기 때문에 정규성의 가정을 만족한다고 할 수 있다.

V. 결 론

BIS는 실시간으로 방대한 교통관련 데이터를 수집하고 있으나 버스 통행시간 추정, 버스 도착시간 예정 등 BIS의 기본 기능과 관련된 분야에서만 사용되고 다양한 교통분야에 활용되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 BIS가 운영 중인 울산광역시의 삼산로를 대상으로 실시간 수집되고 있는 BIS데이터를 이용하여 지체시간을 산정하기 위한 연구를 수행하였다. 도시내 링크구간의 다양한 교통량 변화를 반영한 분석을 위해 VISSIM 5.20을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션의 현실 반영정도를 분석하기 위해 시뮬레이션 결과와 BIS데이터를 통계적으로 검정한 결과 시뮬레이션 모형이 현실을 충분히 반영하는 것으로 분석되었다.

이를 바탕으로 시뮬레이션을 통해 수집된 데이터를 분석하여 노선버스의 통행시간 데이터를 설명변수로 하는 교차로 지체시간 산정모형을 구축하였으며 실시간 BIS 운행데이터와 현장조사 한 지체시간 값으로 지체산정모형을 검증하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Pearson의 단순 상관분석 결과에 따르면 서비스시간을 제외한 버스 통행시간과 일반차량 지체시간의 단순 상관계수는 0.909이고 유의확률이 0.000이므로 유의한 관련성이 있는 것으로 분석되었다. 유의성 검정결과 유의수준 0.01에서 유의함으로 두 변수간의 상관관계는 유의한 것으로 나타났다.

2. 지체시간 산정모형은 거시적 통계모형인 회귀모형을 적용하였으며 버스통행시간(B_i)에서 버스정류장서비스시간(BS_i)를 제외한 값을 설명변수로 직선모형, 지수모형, 거듭제곱모형, 로그모형 등을 적용하여 분석하였다. 분석결과 직선모형이 0.826으로 가장 높은 결정계수 나타내는 것으로 분석되었다.

3. 교통소통 상황이 양호한 경우에는 높은 가속능력으로 차량이 주행하면서 지체시간이 존재하지 않지만 교통소통 상황이 열악해질수록 통행시간이

증가하고 따라서 지체시간이 증가하는 직선의 형태로 나타낸 것으로 판단된다.

4. 구축된 추정모형의 통계적 검증을 위해 T-Test를 실시하였다. 분석결과 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 나타나 95% 신뢰수준에서 추정모형이 통계적으로 유의한 결과를 나타내는 것으로 분석되었다. 추정모형을 이용한 추정값과 현장조사 결과값을 P-P도표 나타낸 결과 현장조사 값과 모형추정값의 지체시간의 차이 값들이 $y=x$ 직선에 가깝게 분포하기 때문에 정규성의 가정을 만족하는 것으로 분석되었다.

본 연구결과는 BIS에서 실시간으로 수집되고 있는 데이터를 이용하여 신호교차로에서의 일반차량 지체시간을 추정하고 도시교통관리, 교통정보의 제공 등에 충분히 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서 BIS자료는 충분한 데이터를 확보하였으나 일반차량의 지체시간은 실험차량조사법에 의해 수집되어 링크를 통행하는 많은 차량의 데이터를 확보하지 못해 대표성을 확보하는데 다소 미흡한 한계를 가지고 있으며 시뮬레이션 분석에서 교통량의 변화만을 반영한 한계를 가지고 있다.

링크를 통행하는 버스는 다양한 도로조건, 교통조건, 신호조건에 따른 영향을 잠재적으로 포함하고 있을 것으로 예상되지만 향후 노선버스의 운행에 영향을 미치지 못하면서 신호교차로의 지체시간에 영향을 줄 수 있는 다양한 변수들에 대한 도입을 통해 다중공선성의 문제가 발생하지 않으면서 보다 정확한 추정이 가능한 모형 구축을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual," United States, 2000.
- [2] V.F Hurdle, "Signalized Intersection Delay Model," TRR, no. 841, 1984.
- [3] R. Akcelik, "The Highway Capacity Manual delay formula for signalized intersection," *ITE Journal*,

- pp.32-34, March 1988.
- [4] 최장욱, “BIS자료를 이용한 버스통행시간에 대한 연구,” 미간행 명지대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2001.
- [5] 박신형, 정연정, 김창호, “비모수 회귀분석을 이용한 실시간 통행시간 예측기법 개발 및 평가,” *대한교통학회지*, 제24권, 제1호, pp.109-120, 2006. 2.
- [6] 이영우, “버스정보시스템(BIS) 운행자료를 이용한 링크통행시간 추정,” *대한토목학회논문집(D)*, 제30권, 제3D호, pp.241-246, 2010. 5.
- [7] 이영우, 임채문, “GPS수집자료를 이용한 링크통행시간 분포 특성 분석,” *대한교통학회지*, 제22권, 제5호, pp.7-17, 2004. 10.
- [8] 이정범, “가·감속을 고려한 신호교차로 지체산정,” 미간행 단국대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2001.

저자소개



이 영 우 (Lee, Young-Woo)

2002년 : 대구대학교 공학박사 졸업(교통공학전공)

2007년 3월 ~ 현 재 : 대구대학교 공과대학 토목공학과 조교수



권 혁 준 (Kwon, Hyuck-Jun)

2011년 : 대구대학교 일반대학원 공학석사 졸업(토목공학전공)

2011년 3월 ~ 현 재 : 대구대학교 일반대학원 박사과정