Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 34, No. 6: 1851-1861/ December, 2014
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.6.1851

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Transportation Engineering 교통공학

프로브 자료의 특성을 고려한 단속류의 구간 통행속도 산출에 관한 연구

정연탁* · 정헌영**
Jeong, Yeon Tak*, Jung, Hun Young**

A Study on Calculation of Sectional Travel Speeds of the Interrupted Traffic Flow with the Consideration of the Characteristics of Probe Data

ABSTRACT

This study aims to calculate reliable sectional travel speeds with the consideration of the characteristics of the probe data collected in the interrupted traffic flow. First, in order to analysis the characteristics of the probe data, we looked into the distribution of the sectional travel times of each probe vehicle and compared the difference in the sectional travel speeds of each probe vehicle collected by DSRC. As a result, it is shown that outliers should be removed for the distribution of the sectional travel times. However, The comparison results show that the sectional travel speeds from the DSRC probe vehicles are not significantly different. Finally, based on the distribution characteristics of the sectional travel speeds of each probe vehicle and the representative values counted during a collection period, we drew the optimal outlier removal procedure and evaluated the estimation errors. The evaluation results showed that the DSRC sectional travel speeds were found to be similar to the observed values from actually running vehicles. On the contrary, in the case of the sectional travel speeds of intra-city bus, it was analyzed that they were less accurate than the DSRC sectional travel speeds. In the future, it will be necessary to improve BIS process and make use of the travel information on intra-city buses collected in real time to find various ways of applying it as traffic information.

Key words : DSRC, Traffic information, Interrupted traffic flow, Probe data, Outlier

초 록

본 연구는 단속류에서 수집된 프로브 자료의 특성을 고려하여 신뢰성 있는 구간 통행속도를 산출하는 것을 목표로 하고 있다. 먼저, 프로브 자료의 특성을 분석하기 위하여 각 프로브 차량의 구간 통행시간 분포를 살펴보았고, 단거리전용통신(DSRC)을 통해 수집된 프로브 차량별 구간 통행속도 차이를 비교하였다. 그 결과, 구간 통행시간의 분포는 이상치를 제거하여야 하는 것으로 나타났다. 하지만, DSRC 프로브 차량의 구간 통행속도는 뚜렷한 차이가 없는 것으로 나타났다. 끝으로, 프로브 차량의 구간 통행속도 분포 특성과 수집 주기 동안에 집계된 대표값을 토대로 본 연구에서는 최적의 이상치 제거 절차를 도출하였고, 추정 오차를 평가하였다. 평가 결과, DSRC 구간 통행속도는 실 주행차량의 관측값과 유사한 값으로 나타났다. 반면에, 시내버스 구간 통행속도의 경우는 DSRC 구간 통행속도보다 덜 정확한 것으로 분석되었다. 향후 BIS 프로세스 개선과 실시간으로 수집되는 시내버스의 운행정보를 이용하여 도로소통정보로도 활용할 수 있는 다양한 방안을 모색할 필요가 있다.

검색어 : 단거리 전용 통신, 교통정보, 단속류, 프로브 자료, 이상치

* 정회원 · 부산광역시 교통정보서비스센터 주무관 (Busan Metropolitan City Transportation Information Center · spulse@korea.kr)
** 정회원 · 교신저자 · 부산대학교 도시공학과 교수 (**Corresponding Author** · Pusan National University · huyjung@pusan.ac.kr)

Received July 14, 2014/ **revised** July 27, 2014/ **accepted** August 21, 2014

Copyright ⓒ 2014 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 급속한 경제성장을 바탕으로 과거와는 몰라보게 국민의 생활수준이 높아졌고, 사회·경제·문화 활동도 매우 활발해졌다. 이로 인하여 교통수요도 꾸준히 증가하였으며, 이는 교통량의 증가를 초래하여 교통혼잡, 교통사고, 환경오염 등의 교통문제를 유발하게 되었다.

이러한 교통문제를 해결하기 위한 전통적인 방안으로는 도로의 신설 및 확장 등이 있으나, 이러한 방안은 한정된 재원으로 인하여 한계가 있었다.

반면, 최근에는 정보통신기술의 발달을 계기로 저비용 고효율의 지능형 교통체계(ITS: Intelligent Transport Systems)가 대안으로 등장하였다.

대표적인 성공 사례로는 전자요금징수시스템(ETCS: Electronic Toll Collection System, 이하 하이패스)과 버스정보시스템(BIS: Bus Information System)이다.

이중 하이패스는 2000년 6월 성남, 청계, 판교 등 3개의 개방식 요금소에 처음 설치된 이후 2007년 12월 전국의 고속도로로 전면 확대 시행되었다. 이로 인하여 운전자가 무정차로 통행료를 지불하게 됨으로 인하여 통행시간이 줄어들게 되었다. 아울러 연료의 소비와 이산화탄소 배출량을 저감하는데도 기여하게 되었다.

이렇게 하이패스 시스템이 고속도로와 유료도로에도 확대 설치되면서 이를 이용하는 차량의 비율도 2007년 12월 16.0%에서 2011년 5월 53.1%로 급속히 증가하고 있는 실정에 있다.[1] 이처럼 하이패스가 성공적으로 정착함에 따라 이를 응용하여 단거리 전용통신(DSRC: Dedicated Short Range Communication) 교통정보 수집시스템도 개발되었다.

특히 DSRC는 하이패스 이용차량을 프로브 차량으로 활용하여 도로 구간의 자·정체 상황을 신속하게 검지하지 못하는 기존 지점검지기의 한계를 극복할 수 있는 시스템으로, 고속도로뿐만 아니라 부산, 대구, 울산, 대전 등 교통정보센터를 운영하는 주요 지방자치단체에도 구축하여 운영 중이다.

아울러 BIS는 부산광역시를 비롯하여 전국 50여개 지방자치단체에서 구축되어 대중교통 이용 시민에게 시내버스 운행정보, 정류장 도착정보를 제공함으로써 시내버스 운행의 정시성 및 안전성 제고를 통한 편의를 제공함은 물론 대중교통 중심으로의 교통환경 조성에도 기여하고 있다.

부산광역시도 2003년 BIS 시범사업을 시작으로 2007년 부산·양산·김해 간 광역 BIS, 2008년 버스정보관리시스템을 구축하는 등 BIS 개선사업을 지속적으로 추진하고 있다. 이처럼 ITS는 전자제어 및 통신 등 첨단교통기술을 활용하여 프로브 차량 등으로부터 얻어진 운행 자료를 수집·분석·가공한 후 서비스 되는 교통정보의 제공과 시내버스의 운행정보도 제공함으로서 교통문제를 적극적으로 해결해 나가고 있다.

하지만 이러한 일련의 과정에서 가장 중요시되는 것은 이들 교통정보에 대한 신뢰성을 확보하는 것이라 할 수 있다.

이에 본 연구는 부산광역시 일반도로의 단속류를 대상으로 프로브 차량의 특성을 고려한 신뢰성 있는 구간 통행속도를 산출하고자 한다.

이를 위하여 프로브 차량별 구간 통행시간의 특성을 분석하여 이상치 제거의 최적 절차를 도출하고자 하였다.

또한 교통정보 검지기를 설치 및 운영을 위한 예산 절감 차원에서 BIS를 통한 시내버스 운행정보도 이용하여 도로소통정보로 활용할 수 있는지도 검토하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 부산광역시 일반도로의 단속류 중 버스전용차로가 존재하는 충렬대로의 안락→미남 구간과 버스전용차로가 없는 반송로의 연산→금사 구간을 대상으로 하였다.

연구의 방법은 먼저 DSRC와 BIS 관련 선행 연구에 대하여 살펴보았다. 그 다음으로 버스전용차로 존재 여부에 따른 DSRC 프로브 차량의 분포 특성을 분석하기 위하여 비모수적 통계분석(Non-parametric Statistical Analysis)인 Mann-Whitney 검정을 수행하였다.

이후 프로브 차량별 구간 통행속도와 대표값의 분포 특성을 분석하여 최적의 이상치 제거 절차를 도출하였다.

끝으로 이상치 제거 후 가공한 DSRC 구간 통행속도와 BIS를 통하여 수집된 시내버스의 구간 통행속도가 실 주행차량의 관측값과 어느 정도의 오차가 있는지를 평가하였다.

2. 이론적 고찰 및 사례 연구

2.1 DSRC 관련 연구

Kwon (2009)은 여주 폐도 시험도로와 경부선 서울~수원 구간에서의 DSRC에 대한 성능 평가를 수행하였다.

그 결과, 대표값은 중앙값, DSRC 설치 간격은 약 3.37km일 경우 교통정보의 오차가 적게 나타났다고 분석하였다. 또한 수집주기 5분, 신뢰수준 5%(상하위 각 2.5% 범위에 해당하는 데이터를 제거)인 경우와 표준편차 범위를 벗어나는 데이터를 제거하는 가공 알고리즘에 의하여 추정된 파라미터를 적용하였을 때 오차가 가장 적다고 제시하였다.

1) 국토해양부(2011), 지능형교통체계 기본계획 2020

Shim (2011) and Park (2012)은 경부고속도로의 버스전용차로 구간에서 수집된 DSRC 교통자료의 특성을 분석한 결과, 버스전용차로가 없는 구간에서는 승용차와 버스의 통행시간에 차이가 없었으나, 버스전용차로 운영구간에서는 혼잡시에 버스와 승용차의 통행시간 차이가 크게 나타났으며, 구간길이가 길어질수록 차이가 증가하는 것으로 분석하였다. 따라서 버스전용차로 운영구간에서는 버스와 승용차를 구분할 필요가 있다고 밝혔다.

Cho (2012)는 DSRC 각 구간별 속도분포를 분석한 후 평균값과 최빈값, 중위값을 대표값으로 산출하여 상호 비교하였으나, 구간별로 속도차가 불특정하게 나타났고, 대표값들 간의 일련의 상관관계를 찾아내지 못하였다.

Jung (2011)은 프로브 차량수와 표준오차의 상관관계를 분석한 결과, 일정 수준 이상의 표본에서는 표준오차가 크게 작아지지 않음을 밝혔다.

또한 혼잡상황에서는 신호대기 횟수가 많아지면서, 편차가 일정부분 상쇄되며, 도시부 도로에서는 평균값을 대표값으로 사용하는 것이 적절하다고 제시하였다.

Ren (2013)은 단속류는 연속류에 비하여 이상치의 발생요인이 더 많다고 지적하였으며, 첨두시의 수집 데이터가 비첨두시에 비하여 더 신뢰성이 있다고 밝혔다.

2.2 BIS 관련 연구

Kim (2008)은 안양시를 대상으로 영상검지기에서 수집된 일반차량의 속도와 BIS를 통하여 수집된 버스정보를 활용하여 일반차량의 구간 속도정보를 산출하였다.

버스정보와의 속도차 관계를 파악하기 위하여 다중회귀모형식을 사용하였으며, 버스전용차로 시행 여부, 정류장 개소수, 정류장 밀도, 구간거리, 서비스 시간, 버스주행속도를 변수로 설정하였다. 신뢰도 검증 결과, 예측치와 실측치의 차이가 없는 것으로 분석되었다고 밝혔다.

Bin et al. (2013)은 버스정보를 이용한 교통류 패턴 인식 방법을 적용하여 버스정보가 구간 통행속도 정보로 활용될 수 있는지를 검토하였다.

그 결과, 버스정보는 고가부가 존재하는 경우에는 신뢰도가 떨어지지만, 도로구간의 기하구조에 특이사항이 없다면, 구간의 통행속도 정보로 이용할 수 있다고 밝혔다.

Lee (2013)는 울산시 BIS에서 수집된 버스정보를 활용하여 경로통행시간 추정을 위한 연구를 수행하였다.

그 결과, 시내버스의 구간 통행시간에서 서비스 시간을 제외한 후 일반차량의 구간 통행시간과 비교했을 때 분포특성이 유사하였고, 상관성이 매우 높았다고 밝혔다.

2.3 기존 연구의 한계 및 시사점

기존 DSRC 연구는 고속도로 위주로 다양한 연구가 진행되었으나, 단속류를 대상하는 한 연구는 그에 비하여 적은 편이다.

특히 고속도로를 대상으로 한 DSRC 연구에서는 프로브 차량별 통행특성에 대한 연구가 존재하나, 단속류의 연구에서는 전혀 다루어지지 않고 있다.

이에 본 연구는 부산광역시 일반도로의 단속류 중 버스전용차로가 존재하는 도로와 존재하지 않는 도로를 대상으로 DSRC 프로브 차량별 통행특성 분석을 시도하였으며, 프로브 차량별 분포와 대표값의 분포 특성을 분석하여 이상치 제거의 최적 절차를 도출하였다.

아울러 BIS와 관련한 기존 연구에서 나타난 시내버스 운행정보도 도로소통정보로 활용이 가능하다는 결과를 토대로 부산광역시 BIS를 통하여 수집된 시내버스의 운행정보도 신뢰성 있는 도로소통정보로의 활용이 실질적으로 가능한지도 함께 검토하였다.

3. 부산광역시 교통정보시스템 고찰

DSRC 교통정보수집시스템은 하이패스 단말기, 노변 기지국, 교통정보센터로 구성되며, 세부 절차는 Fig. 1과 같다.

먼저, 하이패스 단말기를 장착한 차량이 노변 기지국의 통신

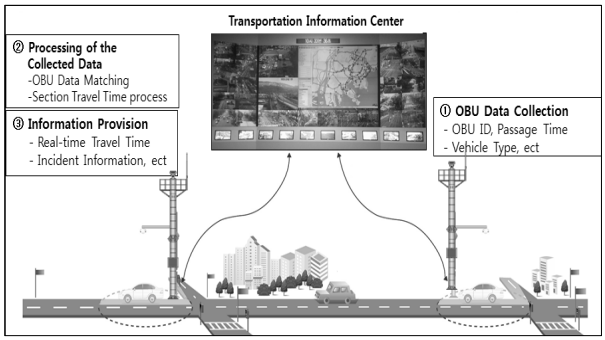

Fig. 1. Process of DSRC

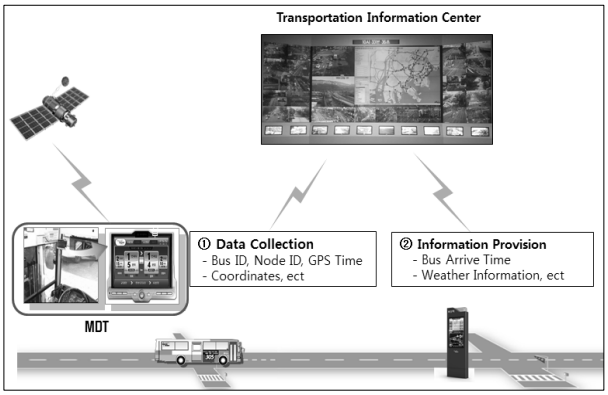

Fig. 2. Process of BIS

영역을 통과하면 단거리 전용 통신을 통하여 하이패스 단말기의 기본정보와 트랜잭션 정보가 교통정보센터로 전송되고, 교통정보센터에서는 수집된 자료를 매칭(Matching)하여 구간 통행속도를 산출하게 된다.

Fig. 2는 부산광역시 BIS에 대한 세부 절차이다.

BIS는 위성항법장치(GPS: Global Positioning System)가 탑재된 무선데이터 터미널(MDT, Mobile Data Terminal)에서 버스의 위치 좌표를 수신하여 MDT 내에 탑재된 데이터베이스에서 노드에 해당되는 버스정류장과 교차로 좌표를 비교하여 이벤트를 발생시킨다. 이러한 이벤트 정보는 코드분할다중접속(CDMA: Code Division Multiple Access) 통신을 통하여 센터로 전송한다.

이후 교통정보센터에서는 MDT로부터 수집한 위치정보를 가공하여 노드→노드, 노드→정류장, 정류장→정류장, 정류장→노드의 속도 정보를 생성한 후 실시간 버스도착정보를 버스정보안내기에 기상정보 등과 같이 제공한다.

그러나 부산광역시 BIS는 버스정류장과 교차로의 도착에 대한 이벤트 정보만 수집하고 있고, 출발에 대한 이벤트 정보는 수집하고 있지 않아 버스정류장에서 승객 승·하차를 위한 서비스 시간은 산출되고 있지 않다.

4. 교통정보 수집 데이터 분석

4.1 교통정보 수집 현황

Fig. 3은 본 연구의 범위에 설치된 DSRC의 설치 지점과 버스전용차로 운영 구간을 나타내고 있다.

도로별 DSRC 설치 개소를 살펴보면, 버스전용차로가 존재하는 충렬대로의 안락→미남 구간은 3개, 버스전용차로가 없는 반송로의 연산→금사 구간은 4개가 설치되어 운영 중이고, 버스전용차로는 오전 7시~9시, 오후 5시30분~8시30분까지 운영하고 있다.

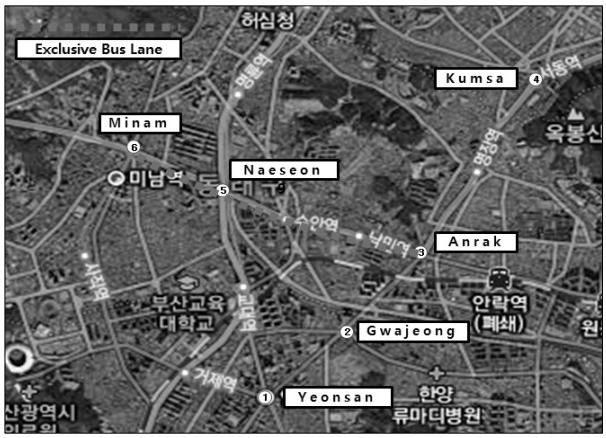

Fig. 3. Location of DSRC and Exclusive Bus Lane

Table 1. Counts of Travel Times for Each Section (as of May 28, 2014)

Direction	Distance (km)	one way road	DSRC		BIS
			Passenger car	Bus	Intra-City Bus
Yeonsan→Gwajeong	1.0	2	3,700	21	204
Gwajeong→Anrak	1.0	2	3,567	27	203
Anrak→Kumsa	2.1	2	2,547	29	157
Kumsa→Anrak	2.1	2	2,874	19	82
Anrak→Gwajeong	1.0	2	4,082	15	193
Gwajeong→Yeonsan	1.0	2	3,029	19	209
Minam→Naeseong*	0.9	3	6,141	206	203
Naeseong→Anrak*	1.8	3	4,117	85	122
Anrak→Naeseong*	1.8	3	2,138	33	146
Naeseong→Minam*	0.9	3	6,046	87	219

*Exclusive Bus Lane

Table 1은 2014년 5월 28일 수집된 구간별 프로브 차량을 통하여 생성된 구간 통행시간의 건수이다.

여기서 시내버스는 DSRC의 구간 통행시간과 비교하기 위하여 DSRC 설치 구간 내에서 우회, 회차, 배차시간 준수를 위하여 잠시 정차하는 노선은 제외하고 이 구간을 정확하게 경유하는 노선만을 대상으로 하였다.

프로브 차량별 구간 통행시간의 생성은 승용차, 시내버스, 일반버스[2)]의 순서로 나타났다.

특히 미남→내성, 내성→미남 구간이 각각 6,141건, 6,046건으로 가장 많은 구간 통행시간을 생성되었는바, 이는 동래구, 금정구, 해운대구 지역에서 남해고속도로를 이용하기 위해 해당 구간을 경유하기 때문이다.

4.2 버스전용차로 설치 여부에 따른 통행특성 분석

4.2.1 버스전용차로가 없는 구간에 대한 분석

Fig. 4는 버스전용차로가 없는 반송로 중 안락→금사 구간의 프로브 차량별 구간 통행시간 분포이다.

전체적인 분포와 프로브 차량별 분포를 비교해 보면, 승용차는 전 시간대에 걸쳐 지연 차량이 다수 분포해 있으며, 이는 해당 구간 내에서 신호 운영의 영향을 받았거나, 주·정차 후 운행한 프로브 차량으로 판단된다.

반면, 일반버스와 시내버스는 전체분포와 비슷한 분포로 나타났으며, 특히 시내버스는 해당 구간 내 버스정류장의 승객 승·하차를 위한 서비스 시간이 있음에도 불구하고 전체적인 흐름과 동일하게 나타났다.

2) 일반버스란 한국도로공사 차종분류에 따른 3종 차종인 33인승 이상 승합차 중 하이패스를 장착한 차량을 말한다.

이는 해당 구간이 편도 2차로로 차로수가 적어, 시내버스 버스정류장 서비스 시간이 승용차 프로브 차량의 구간 통행시간에 영향을 미친 것으로 판단된다.

4.2.2 버스전용차로가 있는 구간에 대한 분석

Fig. 5는 버스전용차로가 존재하는 충렬대로 중 내성→안락 구간의 프로브 차량별 구간 통행시간 분포이다.

전반적인 분포는 오전·오후 첨두시간대에 구간 통행시간이 증가하는 추세로 나타나 도로소통상황을 잘 반영하고 있으나, 승용차 프로브는 전 시간대에 걸쳐 지연차량이 다수 분포해 있다.

이는 해당 구간에 주요교차로(CI: Critical Intersections)인 동래교차로의 신호 운영(신호주기 150~180초)으로 인하여 적색 신호시의 정지시간을 포함한 프로브 차량과 그렇지 않은 프로브 차량이 혼재되어 있기 때문이다.

반면, 일반버스는 비교적 전체적인 분포의 중심에 위치하고 있었으며, 시내버스는 상위에 분포하고 있었다.

Fig. 4와는 달리 해당 구간이 버스전용차로가 운영되고 있는 구간임에도 불구하고 시내버스의 분포가 상위에 위치해 있는 것은 해당 구간 내 버스정류장이 다수 존재함과 동시에 버스 이용승객도 많은 곳으로 승객 승·하차시간인 서비스 시간도 증가하기 때문이다.

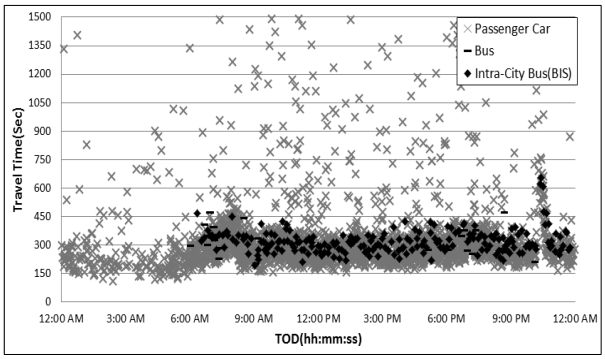

Fig. 4. Distribution of Sectional Travel Times (Anrak→Kumsa)

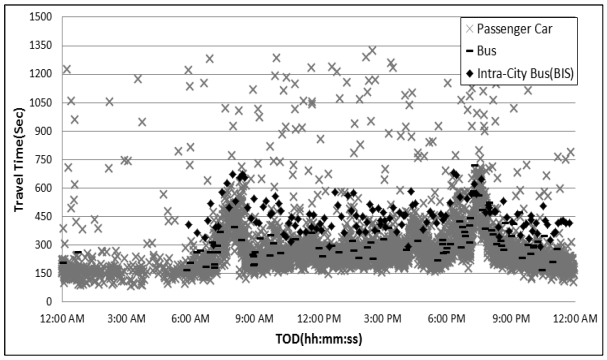

Fig. 5. Distribution of Sectional Travel Times (Naeseong→Anrak)

4.3 DSRC 프로브 차량별 통계적 차이 검정

일반적으로 단속류의 통행분포는 신호 운영의 영향, 구간 내 주·정차 후 운행 등으로 인하여 정규분포를 하지 않는다고 밝혀져 있다(Lee and Lee, 2002; Choi, 2012).

이에 본 연구에서는 5분 수집 주기 동안 수집된 자료에 대해 Shapiro-Wilk 검정을 이용하여 정규성 검정을 수행하였다. 신뢰수준은 95%, 유의수준은 0.05로 설정하여, SPSS (PASW Statistics) 18.0 통계 패키지를 사용하였다.

Table 2는 각 구간에 대한 정규성 검정의 결과이다.

도로별로 살펴보면, 반송로는 평균 66.8%, 충렬대로는 평균 39.8%에서 정규분포를 이루고 있고, 구간별로는 미남→내성 구간이 11.1%만 정규분포인 것으로 나타나는 등 단속류의 통행분포는 정규분포를 하지 않는 것으로 파악되었다.

이에 본 연구는 프로브 차량별 구간 통행속도의 통계적 차이를 비모수적 통계분석인 Mann-Whitney 검정을 통해 살펴보았다.

이때의 가설은 아래와 같다.

귀무가설 H_0 : $\mu_{P-Car} = \mu_{Bus}$ (1)

대립가설 H_1 : $\mu_{P-Car} \neq \mu_{Bus}$ (2)

where, μ_{P-Car} : 승용차만으로 산출된 구간 통행속도
μ_{Bus} : 일반버스만으로 산출된 구간 통행속도

Mann-Whitney 검정의 대상구간은 Table 1의 버스전용차로 운영구간 4개 중 표본수가 적은 안락→내성 구간을 제외한 3개 구간을 선정하였다.

Table 2. Result of Normality Test for Each Section

Road Name	Direction	Normal Distribution Percentage	Average Percentage
Bansong-ro	Yeonsan→Gwajeong	77.8%	66.8%
	Gwajeong→Anrak	54.2%	
	Anrak→Kumsa	78.9%	
	Kumsa→Anrak	65.3%	
	Anrak→Gwajeong	65.3%	
	Gwajeong→Yeonsan	59.7%	
Chungnyeol-daero	Minam→Naeseong*	11.1%	39.8%
	Naeseong→Anrak*	62.5%	
	Anrak→Naeseong*	64.8%	
	Naeseong→Minam*	20.8%	

*Exclusive Bus Lane

Table 3. Result of Mann-Whitney Test for Each Section

Direction	Mann-Whitney U	Z	Asymp. sig
Minam→Naeseong	972.5	-1.316	0.188
Naeseong→Anrak	282.5	-1.016	0.310
Naeseong→Minam	241.0	-1.777	0.076

Table 3은 구간별 Mann-Whitney 검정 결과로서, 모든 구간에서 근사 유의확률이 0.05보다 크게 나타나 DSRC 프로브 차량별로 산출된 구간 통행속도는 거의 차이가 없다는 귀무가설 H_0가 채택되었다.

이는 고속도로와 달리 단속류에서는 버스전용차로가 일반버스의 구간 통행속도에 영향을 끼치지 않는다는 결론을 얻을 수 있다. 따라서 단속류에서는 버스전용차로의 존재 여부에 관계없이 수집된 프로브 차량을 가공해도 무방할 것으로 판단되었다.

4.4 DSRC 구간 통행속도와 대표값 분포 특성

앞서 Figs. 4 and 5에서 살펴본 바와 같이, 단속류에서는 지연차량이 매우 많이 분포해 있음을 알 수 있었다. 이러한 지연차량은 이상치로서 대표값을 왜곡할 수 있기 때문에 제거할 필요가 있다.

본 연구에서는 수집된 프로브 차량 중 이상치를 판정하기 위하여 5분 수집 주기별 표본수 그리고 개별 프로브 차량의 구간 통행속도와 5분 수집 주기 대표값의 분포를 비교·분석하였다.

Fig. 6은 전체 구간에 대한 5분 수집 주기별 표본수의 분포이다.

5분 수집 주기별 평균 표본수는 약 12.8대이었으나, 327개 수집 주기(11.4%)에서는 0대, 93개 수집 주기(3.2%)에서는 1대, 121개 수집 주기(4.2%)에서는 2대인 것으로 나타났으며, Fig. 6의 타원에 표시된 새벽시간대에 집중되어 있는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 전체 구간에 대한 5분 수집 주기 대표값의 분포이다.

5분 수집 주기의 대표값 중 최고값은 연산→과정 구간에서 오전 2시 10분에 79km/h로 나타났다.

반면, 최소값은 오전 1시30분, 2시45분, 4시 30분에 안락→내성, 과정→연산, 미남→내성 구간에서 6km/h로 나타났으며, 이 때 수집 주기의 표본수는 단 1건이었다.

또한 6km/h 다음으로 낮은 최소값은 6.1km/h로 내성→미남 구간과 과정→연산 구간에서 각각 오전 7시 40분, 7시 55분에 나타났다. 이때 표본수는 각각 20건, 21건이었다.

Fig. 8은 전체 구간에서 수집된 개별 프로브 차량의 구간 통행속도 분포이다.

개별 프로브 차량의 구간 통행속도 중 최고값은 연산→과정, 내성→미남 구간에서 오전 6시 18분과 7시34분에 87km/h로 나타났다.

반면, 최소값은 5km/h로 전 구간에 분포하였으나, 새벽시간대에도 다수 분포하여 있었다.

이상으로 DSRC 프로브 차량별 분포 특성을 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 표본수가 매우 적은 경우, 수집된 프로브가 신호의 영향을 받은 프로브 차량인지 아닌지가 명확하지 않아 도로소통상황을 제대로 반영하기 어려울 뿐만 아니라 교통정보 전체에 대한 신뢰성도 떨어질 수 있었다.

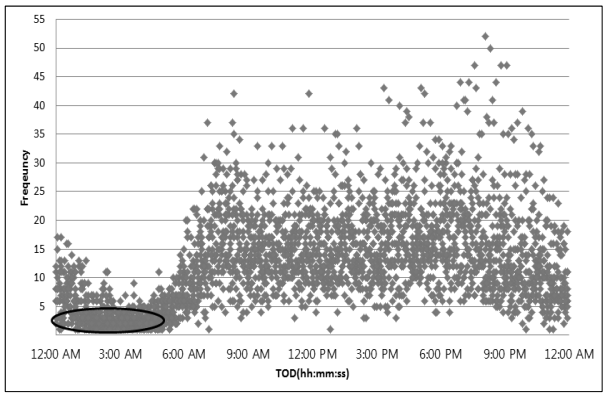

Fig. 6. Distribution of Probe Counts for 5min Collection Period

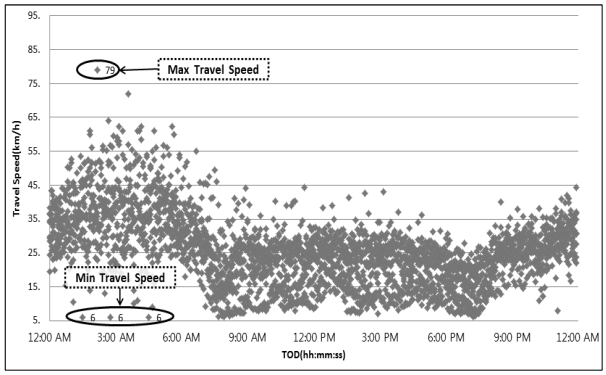

Fig. 7. Distribution of Representative Value

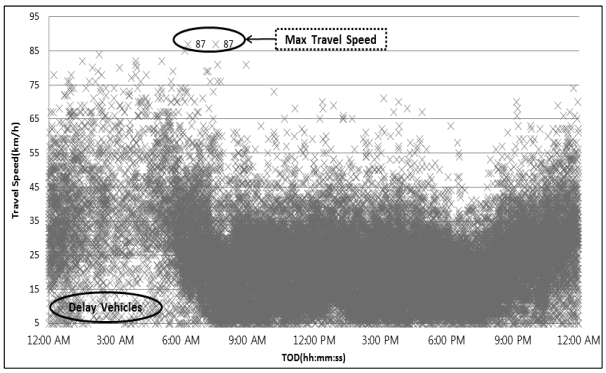

Fig. 8. Distribution of Sectional Travel Speeds for all Sections

특히 단속류에서는 수집 주기 동안 표본수가 단 1건인 경우, 이를 통하여 산출된 구간 통행속도는 대표성이 매우 낮으므로, 해당 주기의 대표값을 생성하기 보다는 과거 이력자료를 활용하는 방안을 모색할 필요가 있다.

둘째, 프로브 차량의 구간 통행속도와 5분 수집 주기 대표값의 분포 특성을 통하여 정상치와 이상치를 구분할 수 있는 이상치 제거 절차가 필요한 것으로 나타났다.

5. DSRC 구간 통행속도 산출

5.1 구간 통행속도 산출 절차 도출

지금까지 DSRC 프로브 차량의 특성을 분석한 결과를 토대로 도로의 소통상황을 대표할 수 있는 구간 통행속도의 산출 절차를 다음과 같이 제안하고자 한다.

첫째, 5분 수집 주기 동안 수집된 표본수가 단 1건이면 이 값은 제외하는 것이 타당하다고 본다.

이는 단속류에서는 연속류에서와 달리 신호 운영의 영향으로 양봉의 형태 또는 좌우로 치우친 단봉이 나타나(Lee and Lee, 2002; Choi, 2012), 해당 프로브 차량의 구간 통행시간에 적색 신호의 정지시간이 포함되었는지에 따라 대표값이 크게 달라질 수 있기 때문이다.

만약, 단 1건의 표본을 이용하여 대표값을 산출할 경우, Fig. 7에서처럼 새벽시간대에 6km/h의 극심한 도로정체 상황이 발생하는 것으로 나타날 수 있다.

둘째, 개별 프로브 차량의 구간 통행시간으로 산출된 구간 통행속도의 최대값과 최소값을 상수값으로 설정하여 극단적인 프로브 차량의 구간 통행속도는 이상치로 판정하여 제거해야 한다.

앞서 Figs. 7 and 8에서 살펴본 구간 통행속도의 분포 특성을 고려하여 볼 때, 본 연구에서는 최대값 80km/h, 최소값 5km/h를 제안하고자 한다. 여기서 최소값 5km/h 이하의 구간 통행속도가 관측은 될 수 있으나, 이러한 상황은 DSRC 구간 내의 모든 교차로에서 막힘 현상(Spill Back)이 발생하여 모든 프로브 차량의 구간 통행시간에 지체시간(Time Lag)이 포함되고 있음을 의미한다(Oh et al., 2004)고 할 수 있을 것이다. 이러한 값을 제거하지 않을 경우, DSRC 구간 내에서 주정차한 차량, 고장 차량의 구간 통행시간까지 교통정보로서 과다하게 포함될 수 있기 때문이다.

셋째, 중위값(Median)과 중위편차를 활용한 중위절대편차법을 통하여 이상치를 제거하고자 한다.

이는 단속류에서의 이상치 제거 시 특정범위를 지정하여 이상치를 제거하는 백분율법(Percentile Method), 사분위 편차법(Quartile Deviation Method) 그리고 평균과 표준편차를 이용한 신뢰구간법 등을 사용할 경우, 정상적인 프로브 차량의 자료도 이상치로 판정되어 제거될 수 있는 문제가 있다(Jeong et al., 2013). 그러나 중위절대편차법은 자료의 분포를 가정하지 않아도 되는 이상치 제거방법으로, 비대칭성 분포를 가지는 표본에 대해서도 중위값을 이용하여 이상치를 제거할 수 있다(Do et al., 2008; Jeong et al., 2013).

아래의 Eq. (3)은 중위절대편차의 공식이다.

$$MAD = \alpha \times median|X_i - median(X)| \tag{3}$$

$$Z_i^{MAD} = \frac{|X_i - median(X)|}{MAD} \tag{4}$$

$$Z_i^{MAD} > Z_{cut} = 2 \tag{5}$$

where, MAD : 중위절대편차(Median absolute deviation)
X_i : X 데이터 그룹에서의 i번째 데이터
$median(X)$: X 데이터 그룹에서의 중위값
α : 정규 분포화하기 위한 조정계수(1.4826)
Z_i^{MAD} : MAD에 의한 표준점수(Z Score)
Z_{cut} : 제거변수(Cut-off Value)

여기서 Z_{cut}은 신호 운영의 영향을 받았거나, 주·정차 후 운행하는 프로브 차량으로 인하여 전일 시간대에 걸쳐 지연차량이 다수 분포해 있음을 고려하여 2를 적용하였다(Ki et al., 2011).

이상의 이상치 제거 절차를 요약하면, Fig. 9와 같다.

넷째, 지수평활법(Exponential Smoothing)을 사용하여 최종 구간 통행속도를 생성한다.

이는 Fig. 6에서 살펴본 바와 같이, 새벽 시간대에는 표본수가 매우 적은 실정으로 인하여 Fig. 7의 새벽시간대에 관측된 지연차량이 정상치로 판정되어 구간 통행속도가 산출될 수 있다.

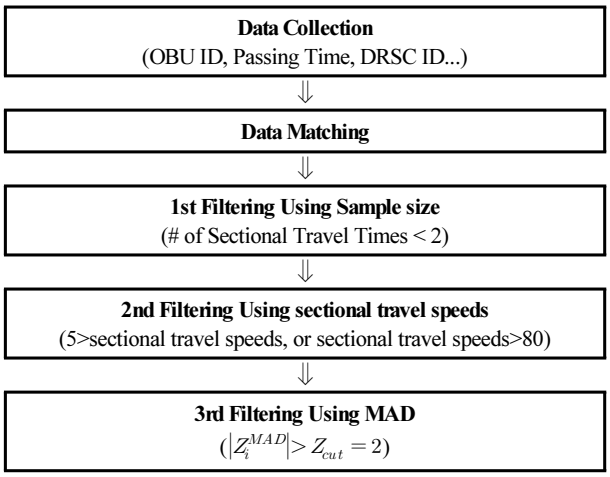

Fig. 9. Process of Filtering

그 결과로 이전 수집 주기와 현 수집 주기의 대표값간 편차가 매우 크게 나타나, 해당 구간의 교통상황이 급변하는 형태로 교통정보가 제공될 수 있어, 이러한 상황을 방지하고자 평활화 과정을 거쳐 최종 구간 통행속도를 산출할 필요가 있다.

아래의 Eq. (6)은 지수평활법의 공식이다.

$$V_t^s = \alpha \cdot V_t + (1-\alpha) \cdot V_{t-1}^s \tag{6}$$

where, V_t^s = t 시점의 평활 구간 통행속도
V_t = t 시점의 집계 구간 통행속도
V_{t-1}^s = $t-1$ 시점의 평활 구간 통행속도
α = 평활 계수(0.3)

5.2 구간 통행속도의 이상치 및 정상치 모색

Fig. 10은 앞서 도출된 이상치 제거 절차(1단계~3단계)를 Fig. 5에서 살펴본 내성→안락 구간에 적용한 결과, 이상치로 판정된 프로브의 분포이다.

새벽 시간대에는 지연 차량과 과속 차량, 주간 시간대에는 전체분포의 상·하위에 위치한 프로브 차량이 이상치로 판정되었음을 알 수 있다.

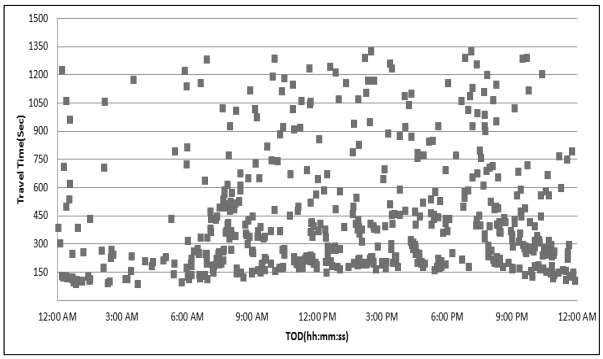

Fig. 10. Distribution of Outlier (Naeseong→Anrak)

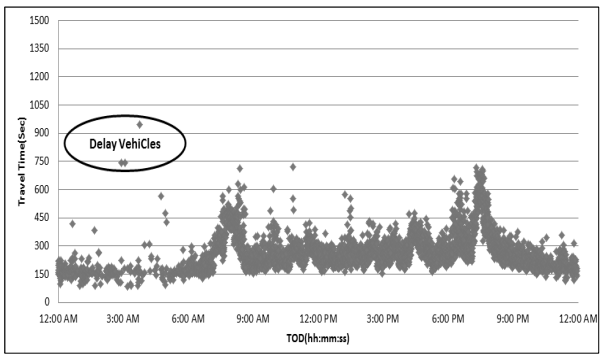

Fig. 11. Distribution of Normal Data (Naeseong→Anrak)

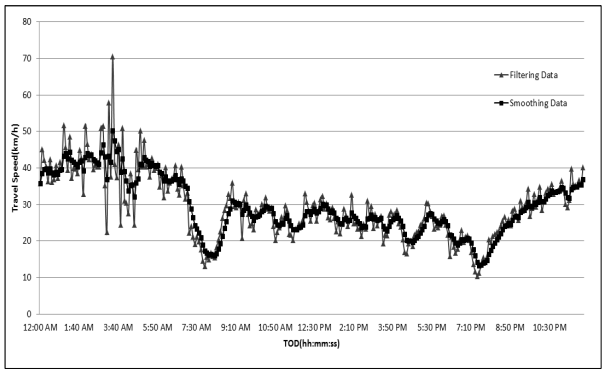

Fig. 12. Filtering Data and Smoothing Data (Naeseong→Anrak)

Fig. 11은 Fig. 10과 반대로 정상치로 판단된 프로브의 분포이다.

전반적인 분포의 흐름에서 오전·오후 첨두 시간대에 구간 통행시간이 증가하는 추세로 나타나 도로소통상황을 잘 나타내고는 있으나, 새벽 시간대에 지연차량이 정상치로 판정된 것을 알 수 있다.

이는 표본수가 적게 수집되었기 때문에 나타난 결과로서, 이러한 자료를 통하여 구간 통행속도를 가공할 경우에는 이전 수집 주기와 현 수집 주기의 구간 통행속도간 편차가 매우 크게 나타날 수 있으며, 해당 구간이 단속류임을 감안할 때 제대로 된 도로소통상황을 반영하지 못하는 결과를 낳을 수도 있다.

이에 본 연구는 새벽 시간대처럼 수집 주기간 급변하는 상황을 방지하기 위하여 평활화 과정을 수행하였다.

Fig. 12는 내성→안락 구간에 대하여 이상치만 제거한 자료를 통하여 생성한 구간 통행속도와 이를 평활화한 구간 통행속도를 비교한 것이다.

평활화한 결과, 새벽 시간대에 급변하는 상황이 비교적 완만한 형태로 나타나 일반도로의 단속류 흐름을 잘 보여주고 있다.

5.3 추정 오차 평가

지금까지 부산광역시 단속류를 대상으로 DSRC를 통하여 수집된 프로브 차량과 BIS를 통하여 수집된 시내버스의 통행 특성을 살펴보았다.

또한 DSRC 프로브 차량별 특성 분석을 토대로 이상치 제거의 최적 절차를 도출하였고, 평활화 과정을 거쳐 최종 구간 통행속도를 생성하였다.

아울러 DSRC 구간 통행속도와 시내버스의 구간 통행속도가 실 주행차량의 관측값을 기준으로 어느 정도의 오차가 있는지도 평가하였다.

이 때 실 주행차량은 각 도로구간에 설치된 모든 DSRC 검지기를 통과한 프로브 차량으로서, 이 차량의 구간 통행속도는 평균속도로 주행하였다고 가정하였다.

추정 오차의 평가를 위한 지표는 기준값과 관측값의 차이를 기준값에 대한 비율로 비교하기 위하여 평균절대오차백분율(MAPE)을, 기준값과 관측값의 차이를 정량적으로 평가하기 위하여 평균제곱근오차(RMSE)를 사용하였다.

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i}}{N} \times 100$$

where, Y_i : 실 주행차량의 구간 통행속도(기준값)
X_i : DSRC 혹은 시내버스의 구간 통행속도(관측값)
N : 표본수

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{n} (Y_i - X_i)^2}}{N} \quad (7)$$

where, Y_i : 실 주행차량의 구간 통행속도(기준값)
X_i : DSRC 혹은 시내버스의 구간 통행속도(관측값)
N : 표본수

Table 4는 DSRC 구간 통행속도에 대한 구간별 MAPE와 RMSE의 결과이다.

DSRC 구간 통행속도에 대한 전체 평균 MAPE는 14.0%로 나타나, 차량 검지기 성능 평가에 제시된 평가척도[3]를 준용하여

Table 4. Result of MAPE (%) and RMSE (DSRC)

Direction	Day		Am peak		Off-Peak		Pm peak	
	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
Yeonsan→Gwajeong	15.9	5.3	17.7	6.8	11.7	4.7	17.1	3.9
Gwajeong→Anrak	14.4	2.8	17.5	3.7	6.3	2.1	17.0	2.5
Anrak→Kumsa	9.8	3.1	9.2	3.1	9.3	3.2	10.5	3.1
Kumsa→Anrak	9.2	2.5	8.4	2.3	7.4	2.4	10.9	2.7
Anrak→Gwajeong	14.7	3.9	13.2	3.1	13.5	4.4	16.9	4.0
Gwajeong→Yeonsan	17.9	3.2	16.6	2.7	19.9	3.2	17.3	3.6
Minam→Naeseong*	15.2	3.1	24.3	5.1	11.4	2.1	11.8	1.4
Naeseong→Anrak*	10.7	2.9	15.2	4.2	5.8	2.0	11.1	2.3
Anrak→Naeseong*	14.3	2.6	17.0	2.8	10.1	1.9	15.6	2.9
Naeseong→Minam*	18.0	3.0	22.1	2.3	16.2	2.6	16.4	3.6
Average	14.0	3.3	16.1	3.6	11.2	2.9	14.4	3.0

*Exclusive Bus Lane

Table 5. Result of MAPE (%) and RMSE (Intra-City Bus, BIS)

Direction	Day		Am peak		Off-Peak		Pm peak	
	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
Yeonsan→Gwajeong	39.7	15.0	49.0	22.4	41.7	14.0	32.4	7.9
Gwajeong→Anrak	24.3	5.8	23.5	4.9	31.6	7.9	20.2	4.6
Anrak→Kumsa	15.4	5.1	11.1	2.7	15.5	5.7	17.9	5.8
Kumsa→Anrak	22.6	7.1	27.7	7.5	24.8	8.5	14.3	4.7
Anrak→Gwajeong	19.2	5.8	23.2	6.7	18.3	6.4	17.3	4.5
Gwajeong→Yeonsan	24.3	4.7	16.4	3.2	25.6	5.2	26.9	5.0
Minam→Naeseong*	13.5	3.5	19.8	5.9	13.3	3.2	10.4	1.5
Naeseong→Anrak*	36.6	9.9	31.8	6.8	45.0	13.3	33.1	8.1
Anrak→Naeseong*	17.8	3.9	16.9	3.3	15.6	3.2	19.8	4.6
Naeseong→Minam*	17.3	3.3	20.6	2.2	16.1	3.2	16.6	3.8
Average	23.1	6.4	24.0	6.6	24.7	7.1	20.9	5.1

*Exclusive Bus Lane

3) 국토교통부 고시 제2013-255호「ITS 사업시행지침」

보면, 중급 수준으로 평가되었고, 정량적 차이인 RMSE는 3.3km/h로 매우 적은 편인 것으로 나타났다.

구간별로는 금사→안락 양방향 구간이 해당 구간 내 주요 교차로(CI)가 존재하지 않고, 차로가 편도 2차로로 비교적 적음으로 인하여 프로브 차량별 편차가 적었기 때문에 상급 수준으로 평가되었다.

반면, 연산교차로, 미남교차로, 내성교차로 등 주요 교차로(CI)가 존재하는 구간에서는 신호운영의 영향으로 적색 신호시간을 포함한 차량과 그렇지 않은 차량으로 인하여 중급 수준으로 평가되었다.

Table 5는 BIS를 통하여 수집된 자료로 산출한 시내버스의 구간 통행속도에 대한 구간별 MAPE와 RMSE의 결과이다.

시내버스의 구간 통행속도에 대한 전체 평균 MAPE는 23.1%로 나타나 중하급 수준으로 평가되었으며, RMSE도 6.4km/h로 나타나 DSRC의 구간 통행속도에 비하여 정확도가 매우 낮은 것으로 분석되었다.

구간별로는 연산→과정 구간의 MAPE가 39.7%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 내성→안락 구간의 MAPE가 36.6%으로 나타났다.

이처럼 연산교차로, 미남교차로, 내성교차로 등 주요 교차로(CI)가 있는 구간의 정확도가 낮은 것은 신호운영의 영향과 더불어 해당 구간 내의 버스정류장들이 시내버스와 도시철도의 환승 수요가 많은 곳으로, 시내버스의 승객 승·하차를 위한 서비스 시간도 많이 소요되어 구간 통행시간이 증가하였기 때문이다.

특히 버스전용차로가 운영 중인 4개 구간 중 내성→안락 구간을 제외한 나머지 3개의 구간은 버스전용차로 운영 시간대보다 운영하지 않는 비첨두 시간대에 RMSE 차이가 더 낮은 것으로 나타났다.

이 또한 오전·오후 첨두 시간대에 시내버스 이용 수요의 증가로 인하여 시내버스의 승객 승·하차를 위한 서비스 시간이 증가하기 때문이다.

더욱이 현재 부산광역시 BIS에서는 시내버스의 승객 승·하차를 위한 서비스 시간을 별도 산출할 수 없으므로 BIS의 운행정보를 구간 통행속도로 활용할 경우 신뢰성 문제가 제기될 수 있다.

그러므로 향후 BIS 프로세스 개선을 통해 실시간으로 수집되는 시내버스의 운행정보를 이용하여 도로소통정보로 활용할 수 있는 다양한 방안 등을 모색할 필요가 있다.

6. 결 론

교통문제를 저비용 고효율의 방법으로 해결하고자 ITS가 등장하였으며, ITS를 통하여 신뢰성 있는 교통정보를 생성하는 것은 그 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 부산광역시 단속류를 대상으로 ITS를 통하여 수집되고 있는 자료로서 신뢰성 있는 구간 통행속도를 산출하고자 프로브 차량별 분포와 특성을 분석하였고, 이상치 제거의 최적 절차를 도출하였다.

또한 BIS를 통하여 수집되는 시내버스의 운행정보도 도로소통정보로 활용할 수 있는지를 검토하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 버스전용차로에서 프로브 차량별 구간 통행속도를 비모수적 통계분석인 Mann-Whitney 검정을 수행한 결과, 구간 통행속도가 거의 차이가 없는 것으로 분석되었다.

이는 단속류에서의 버스전용차로는 일반버스의 구간 통행속도에 크게 영향을 끼치지 않아 단속류에서는 버스전용차로의 존재 여부에 관계없이 구간 통행속도를 산출하여도 무방한 것으로 나타났다.

둘째, 신뢰성 있는 교통정보를 생성하기 위해서 이상치 판정 기준을 도출하였고, 3단계 이상치 제거 절차를 거쳐 신뢰성 있는 자료를 구축하고자 하였다.

셋째, 새벽 시간대처럼 프로브 차량이 부족한 경우에도 도로소통 상황을 정확히 반영하기 위하여 평활화 과정을 거쳐 최종 구간 통행속도를 도출하였다.

그 결과, 실 주행차량의 구간 통행속도와 생성된 구간 통행속도가 유사함을 확인하였다.

넷째, BIS를 통하여 산출된 시내버스의 구간 통행속도는 DSRC의 구간 통행속도에 비하여 정확도가 매우 낮은 것으로 나타나, 부산광역시의 BIS를 통하여 수집된 시내버스의 운행정보를 도로소통정보로 활용하기 위해서는 BIS 프로세스 개선과 추가 연구가 필요한 것으로 나타났다.

본 연구가 일반도로의 단속류에서 프로브 차량별 구간 통행속도 차이의 유무, 이상치 제거의 최적 절차, 아울러 BIS를 통해 수집된 시내버스의 운행정보를 비교·분석한 것은 타 지방자치단체의 해당 시스템 구축 및 운영에 실질적인 도움이 되리라 판단된다.

특히 그동안 고속도로를 대상으로 한 DSRC 연구에서만 프로브 차량별 통행특성에 대한 연구가 이루어진 점을 감안해 볼 때, 본 연구는 일반도로의 단속류에서 버스전용차로의 운영구간에 대한 프로브 차량별 통행특성을 비교·분석하였다는 점에서 본 연구의 의의가 매우 크다고 하겠다.

그러나 프로브 차량이 적은 경우에는 신뢰성 있는 구간의 통행속도 산출이 어려워 루프 검지기의 자료를 이용하여 구간 통행속도로 활용하는 등의 연구가 함께 이루어지지 않아 아쉬움으로 남는다.

또한 BIS를 통하여 수집된 시내버스의 운행정보는 버스정류장에서 승객 승·하차를 위한 서비스 시간이 산출되고 있지 않은 관계로 실증적인 분석이 이루어지지 않고 있기 때문에 향후 BIS 프로세스 개선과 실시간으로 수집되는 시내버스의 운행정보를

이용하여 도로소통정보로 활용할 수 있는 연구가 필요한 것으로 나타났다.

References

Bin, M. Y., Moon, J. B. and Lim, S. K. (2013). "A Study on the travel speed estimation using bus information." *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 12, No. 4, pp. 1-10 (in Korean).

Cho, Y. U. (2012). *A study on improving speed data reliability of DSRC vehicle Information collecting equipment*, Master's Thesis, AJOU University (in Korean).

Choi, D. W. (2012). *Determine optimal aggregation interval for travel time estimation on rural interrupted traffic flow considering traffic flow characteristics*, Master's Thesis, University of Science and Technology (in Korean).

DO, M. S., Lee, H. M. and Namkoong, S. (2008). "Outlier filtering and missing data imputation algorithm using TCS data." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 26, No. 4, pp. 241-250 (in Korean).

Jeon, S. M. (2012). *A congestion detection algorithm based on expressway DSRC data*, Master's Thesis, AJOU University (in Korean).

Jeong, Y. J., Park, H. S., Kim, B. H. and Kim, Y. C. (2013). "Combined filtering model using voting rule and median absolute deviation for travel time estimation." *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 12, No. 6, pp. 10-21 (in Korean).

Jung, M. C. (2011). *A study on the construction of traffic information system in the urban road using hi-pass DSRC data*, Master's Thesis, University of Seoul (in Korean).

Ki, Y. K., Ahn, G. H., Kim, E. J. and Bae, K. S. (2011). "Imputation model for link travel speed measurement using UTIS." *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 10, No. 6, pp. 63-73 (in Korean).

Kim, W. T. (2008). *A study on the link travel speed information generation based on the cluster analysis using BIS information*, Ph.D. Dissertation, Myong-Ji University (in Korean).

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT) (2008). *A study on evaluation and reliability improvement of ITS information* (in Korean).

Kwon, H. J. (2009). *The traffic information processing system using dedicated short range communication*, Ph.D. Dissertation, AJOU University (in Korean).

Kwon, H. J., Lee, J. J., Lee, S. W., Lee, J. K. and Kim, Y. D. (2009). "A study on the traffic information system development using DSRC." *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 8, No. 6, pp. 13-22 (in Korean).

Lee, Y. I. and Lee, J. H. (2002). "A study on section travel time estimating methodology for traffic information service." *journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 20, No. 3, pp. 55-67 (in Korean).

Lee, Y. W. (2013). "A study on estimating route travel time using collected data of bus information system" *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, The Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, No. 3, pp. 1115-1122 (in Korean).

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2011). *Intelligent transport systems 2020* (in Korean).

Oh, G. D., Park, E. M. and Kim, S. Y. (2004). "Implementing advanced traffic information system using dedicated short range communication." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 22, No. 2, pp. 165-175 (in Korean).

Park, J. H. (2012). *Development of an outlier filtering technique considering DSRC data characteristics*, Master's Thesis, AJOU University (in Korean).

Ren, Y. (2013). *A study on evaluation of optimal road side equipment spacing in interrupted traffic states*, Master's Thesis, Dong-A University (in Korean).

Roh, H. J. (2008). *Multivariate analysis theory and practice*, Hyungseul (in Korean).

Shim, S. W. (2011). *An expressway path travel time estimation model using DSRC travel data*, Ph.D. Dissertation, AJOU University (in Korean).

The Korea Institute of Intelligent Transport Systems (2008). *Traffic infromation engineering*, Cheongmoongak (in Korean).