

고속도로 교통정보 수집을 위한 V2X 차량비율 추정연구

A Study on the Estimation of the V2 X-Rate Ratio for the Collection of Highway Traffic Information

나성용* · 이승재** · 안상현*** · 김주영****

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정
 ** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수
 *** 공저자 : 서울시립대학교 컴퓨터공학과 교수
 **** 교신저자 : 서울시립대학교 도시과학연구원 연구교수

Sungyong Na* · Seungjae Lee** · Sanghyun Ahn*** · Jooyoung Kim****

* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul
 ** Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul
 *** Dept. of Computer Science., Univ. of Seoul
 **** Institute of Urban Science., Univ. of Seoul
 † Corresponding author : Jooyoung Kim, trafficplan@naver.com

Vol.17 No.1(2018)

February, 2018

pp.71~78

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits>

2018.17.1.71

Received 1 February 2018

Revised 11 February 2018

Accepted 23 February 2018

© 2018. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

교통은 점차 V2X와 자율주행자동차의 시대로 변화하고 있다. 교통상황에 대한 정확한 판단은 경로선택 또는 자율주행에 있어 중요한 지표이다. 정확한 교통상황을 파악하기 위한 방법으로 택시와 같은 프로브 차량을 이용하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이러한 방법은 프로브 차량의 특성에 따라 데이터가 편향될 수 있으며, 막대한 비용이 발생하는 문제점이 있다. V2X 차량은 이러한 문제점을 해결할 수 있으며, 무엇보다 실시간으로 교통정보를 수집하고, 배포가 가능할 것으로 판단된다. 모든 차량이 V2X 차량일 경우, 이러한 문제는 간단하게 해결될 것으로 기대된다. 하지만 일부만 V2X차량일 때는 대표성의 문제가 검토되어야 한다. 이를 위하여 가상의 네트워크와 교통류를 생성하였으며, SUMO 시뮬레이션을 통해 다양한 시나리오분석을 수행하였다. 교통량 수준에 따라 V2X 차량군과 Non-V2X 차량군 사이의 통행시간에 대한 통계적 검증을 수행하였다. 3~5% 이상으로 구성된 교통류 또는 110대/시 이상으로 V2X 차량이 구성된 교통류에서는 V2X 차량의 통행정보가 대표성을 띌 수 있다는 것을 확인하였다. 향후 다양한 네트워크 및 실제 상황에 대하여 적용하고자 한다.

핵심어 : V2X, Traffic_flow, ITS, SUMO, Traffic_data

ABSTRACT

Transportation is gradually changing into the era of V2X and autonomous cars. Accurate judgement of traffic conditions is an important indicator of route choice or autonomous driving. There are many ways to use probes car such as taxis, as a way to identify accurate traffic conditions. These methods may vary depending on the characteristics of the probe vehicle, and there is a problem with the cost. The V2X vehicle can solve these problems and collect traffic information in real time. If all vehicles are of V2X vehicle, these issues are expected to be resolved briefly. However, if the communication information of a V2X vehicle is represented by a traffic representative in a traffic with only V2X, the traffic information of some V2X vehicles will be able to collect traffic information. To accomplish this, a virtual network and transport were

created and various scenarios were performed through SUMO simulations. It has been analyzed that 3-5 % of V2 vehicles are capable of representative the road traffic characteristics. In the future, various follow-up studies are planned.

Key words : V2X, Traffic_flow, ITS, SUMO, Traffic_data

I. 서 론

스마트 시티, ITS(Intelligent Transportation System)은 최근의 자동차 IOT 기술의 발달로 현실과 가까워진 단어들이다. V2X는 자동차의 IOT 기술의 발달로 개별차량이 차량 주행정보, 소통정보를 수집하고 공유가 가능한 기술로 최신의 자동차 기술을 의미한다. 자동차 기술의 개발과 더불어 사람들의 실시간 교통정보에 대한 요구는 증가하고 있다. 기술의 발달은 실시간 교통정보를 수집하는 방법에 있어서도 변화를 가져왔다.

교통정보를 수집하기 위하여 검지기를 이용하는 방법과 프로브 차량을 이용하는 방법 등이 있었으나 실시간 정보와는 거리가 있는 정보수집 방법이었다. 기술의 발달로 점차 실시간에 가까운 정보를 수집하기 위한 방법이 개발되어 왔다. 자동차의 센서 기술과 V2X 통신기술의 발달은 자동차 스스로 정보를 수집하고 정보를 보낼 수 있는 것을 가능하게 하였다.

본 연구에서는 V2X자동차를 이용한 실시간 교통정보 수집방법은 검토해보고자 한다. 연속류에서 V2X차량을 이용하여 수집된 교통정보가 해당 링크의 교통류 특성을 대표하기 위한 조건을 확인하고자 한다. V2X를 이용한 실시간 교통정보 수집은 별도의 교통정보 수집을 위한 별도의비용이 필요하지 않으며, 모든 도로 구간에 대한 교통정보를 수집할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 교통정보 수집

교통정보 수집은 자동차의 경로선택 및 경로안내 정보를 제공하기 위한 중요한 과정이다. 막히지 않는 경로정보를 제공을 통한 개인의 통행시간 단축뿐만 아니라 효율적인 교통량 분배를 통하여 사회적 평형으로 접근하기 위한 가장 첫 번째 과정이라고 할 수 있다.

현재의 경로정보는 노면상의 검지기와 영상검지기(CCTV) 장치를 주로 이용하였다. 또한 실제 도로를 주행하는 Probe차량을 이용한 교통량 및 교통 밀도 측정방법이 이루어졌다. 하지만 이러한 정보수집 방식은 오류도 많이 발생하며, 시스템 설치 및 운영비용이 발생하는 문제점이 있다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 ITS, GIS를 이용한 개선 연구가 진행되었다. 하지만 이러한 연구들은 ITS와 GIS를 통하여 기존의 검지기 정보를 보완해주는 역할, 또는 기존 장비를 보완하여 설치 및 운영 비용을 절감시켜주는 경우에 한정된 경우가 많았다.(Leow et al., 2008). Kong et al.(2009)는 루프 검지기와 택시 프로브 차량의 GPS장비를 이용하여 차량 밀도와 평균 속도를 추정하는 방법을 제시하였다. Sohn and Hwang(2008)은 도로 주변의 핸드폰 신호를 추적하여 교통량, 교통밀도를 추정하는 방법을 제안하였다. Ma et al.(2011)은 V2I 통신기술과 검지기를 이용하여 통행속도를 분석하였다.

그 외 Jerbi et al.(2007)은 다차로 도로를 다양한 셀 사이즈로 나누어 차량 밀도를 측정하는 방법을 제안하였으며, 프로브 차량을 이용하여 평균 통행속도, 밀도를 측정하였다. Panichapiboon and Pattara-atikom(2008)은 셀 사이즈를 이용하였지만, 프로브 차량 주변의 차량 비율로 차량 밀도를 추정하는 방법을 연구하였다.

국내에서는 프로브 차량을 이용하거나, 검지기, CCTV와 같이 지점검지를 대상으로 한 수집시스템을 이용

하였으며, 최근 AVI(Automatic Vehicle Identification), Beacon과 같은 구간검지 기반의 수집시스템을 이용하고 있다. 현재에는 주로 CNS(Car Navigation System), Website, ARS, 스마트폰 등을 통한 교통정보 시스템을 이용하여 교통정보를 수집, 제공하고 있다. 또한, DSRC(Dedicated Short Range Communication), 무선랜(Wireless Local Area Network) 통신, WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 등과 같은 무선통신 기술을 개발되어 V2X를 이용한 교통정보 수집의 가능성을 높여주고 있다.

1. 교통정보 수집

교통정보는 이용자들의 편의를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 공공 측면에서 도로교통정책에 활용할 수 있고 사회적 비용을 절감할 수 있기 때문에, 공공과 민간에서 교통정보 수집 및 제공하기 위한 다양한 노력을 기울이고 있다.

서울시교통정보센터(TOPIS)에서는 GPS가 탑재된 카드택시 3,100대를 활용하여 GPS 자료를 수집하고 있으며, 총 1,430km의 도로 구간정보를 수집하고 있다. 현재는 연평균 약 76억건의 교통정보를 빅데이터를 구축하여 활용하고 있다. 서울도시고속도로 교통정보관리센터에서는 차량점지기(VDS), 구간검지기(DSRC), CCTV, 도로기상정보시스템(RWIS)를 이용하여 교통정보를 수집하고 있다. 수집된 교통정보는 저장된 원시자료를 통해 신뢰성 검토 후 이상데이터 및 누락자료 보정, 데이터 가공과정을 수행하고 있다.

경기도 교통정보센터에서는 기존에는 시험차량 주행법을 활용하였으나 2012년 이후 민간통신기업을 활용하여 속도를 조사하고 있다. 민간에서는 UTIS(Urban Traffic Information System)와 같이 Probe차량에 설치된 통신장치와 도로변에 설치된 노변기지국 간의 실시간 양방향 통신을 활용하거나 네비게이션이용 차량을 통하여 교통정보를 수집하고 있다.

민간 네비게이션 회사인 ‘아이나비’에서는 실시간 교통정보 아이나비 사용자 DB와 통계 교통정보 아이나비 사용자 DB를 활용하여 정보를 수집하는 것으로 조사되었다. 네비게이션 단말기가 주행정보를 일정시간마다 전송하여 실시간 교통정보를 수집하며, SD카드에 저장된 통행DB를 수집하여 아이나비 자체의 사용자 DB를 구축하였다. 동시에 Probe차량을 이용하여 정보를 보완 검증하여 신뢰도를 확보한다.

SK-Planet의 T-map은 버스, 택시, 이용자들의 실시간 GPS정보와 기지국 정보를 이용하여 실시간 교통정보를 생성하고 있다. 동부 NTS는 동부익스프레스 고속버스 차량, Probe 택시 GPS정보를 수집 가공하여 높은 품질의 교통정보를 제공하고 있다.

모바일 네비게이션 어플리케이션인 ‘김기사’는 자체적으로 수집한 빅데이터를 가공하여 어플리케이션을 통해 정보를 제공하고 있으며, 사용자의 모바일에서 실시간 전송받은 위치 및 속도 정보를 바탕으로 해당지역의 교통정보를 재가공하여 교통정보를 제공한다. (민간 교통정보 수집 시스템 구축 및 활용방안 연구, KOTI, 2014)

국내 공공 및 민간기관에서는 위와 같은 교통정보 수집을 위해 Probe 차량을 운행하고 있으며, 수집된 정보를 가공, 보정하여 교통정보를 실시간에 가깝게 제공하는 것으로 조사되었다. 통신회사인 SK와 KT를 중심으로 모바일 기기를 통한 교통정보를 수집하고 있다.

1) 프로브차량 조사법

교통정보를 수집에 있어서 프로브 차량을 이용한 조사 방법은 중요성을 갖는다. 프로브 차량의 주행 기록을 통하여 교통정보를 수집하거나, 택시나 택배차량같이 항상 도심을 주행하는 영업용 차량의 주행기록을 통하여 교통정보를 수집하는 방법이다. V2X를 이용한 실시간 교통정보 수집방법은 V2X차량을 프로브 차량

으로 설정하여 교통정보를 수집한다는 측면에서 유사성을 가질 수 있기 때문에 프로브 차량 조사방법에 대하여 검토해보도록 한다.

프로브 차량은 특정시간과 공간을 대표하는 차량으로, 일반적으로 택시, 버스, 승용차 등 다양한 차량을 이용할 수 있다. 프로브 차량은 운영이 용이해야하며, 일반자동차의 운행특성을 반영해야한다. 택시는 도시 내 통행을 대표할 수 있지만, 정차시간, 대기시간, 교대시간 등 일반차량과는 다른 특성을 나타내며, 버스는 전용차로를 이용하는 구간에서는 일반차량의 특성을 반영할 수 없다. 일반 승용차를 프로브 차량으로 이용하는 것이 가장 효과적인 것이지만, 개인차량을 일괄적으로 운영할 수 없는 단점이 있다.

또한, 프로브 차량의 지역적 분포도 중요하다. 넓은 지역의 교통상황을 수집하기 위하여 넓게 분포되어야 하지만 이는 비용의 증가를 가져오기 때문에 효과적이라고 할 수 없다.(Ko, 2002) 이러한 측면에서 V2X 통신이 가능한 차량을 프로브 차로 이용하는 것을 비용 및 운영 측면에서 효과적일 수 있으며, 일반 자동차의 운행특성을 반영할 수 있다는 점에서 기존의 프로브 차량 조사방법과의 차이점이라고 할 수 있다.

기존의 Probe차량을 이용한 조사 방법은 Probe 차량이 지나간 이후의 정보를 수집하는 방법으로 실시간에 가까운 정보를 수집할 수밖에 없는 한계점이 있다. 자율주행 자동차와 ITS에서 실시간 교통정보 활용의 중요한 점점 더 증가할 수밖에 없기 때문에 V2X차량을 이용한 실시간 교통정보 수집은 교통정보 수집에 있어 중요한 역할을 수행하게 될 것으로 판단된다.

2) V2V기반 교통정보 수집 연구

V2X를 이용한 기존연구로는 Hong(2008)의 연구가 대표적인 연구로 미시적 시뮬레이션 모델인 AIMSUN을 이용하여 시뮬레이션 하여 차량의 추행궤적자료 추출하였으며, V2V기반 교통정보 수집 시스템을 분석하기 위하여 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 적용하였다. 연구 결과에서도 V2V기반의 교통정보수집시스템이 교통상황을 정확하게 모니터링 할 수 있는 것으로 판단하였다. 본 연구와 마찬가지로 실제 도로가 아닌 가상의 공간에 대한 시뮬레이션 결과를 통해 실험할 수밖에 없는 한계점이 있었다.

그러나 V2X를 이용한 교통정보 수집연구는 신호교차로에서의 신호제어, 교통사고감지를 통한 안전모니터링의 분야로 확대되었으며, 도로 교통정보 수집과 관련된 연구는 국내에 많이 진행되지 못하였다.

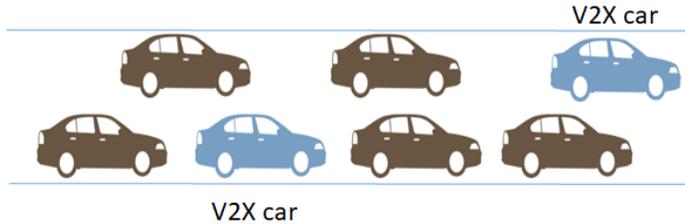
III. 교통특성에 따른 적정 V2X차량 비율추정

본 연구에서는 교통상황 정보를 수집하기 위하여 V2X를 이용하는 방안을 검토하기 위하여 기존의 교통상황 정보 수집 방법에 대하여 검토해 보았다. V2X 통신차량을 이용한 교통상황 정보 수집은 프로브 차량을 이용한 조사방법과 근거리무선통신을 이용한 조사방법을 결합한 방법으로 설명이 가능하다. 기존의 프로브 차량의 역할을 V2X통신차량이 수행하며, 근거리 통신을 통하여 주변 RSU나 다른 V2X차량에 정보를 제공함으로써 보다 정확한 교통상황에 대한 검지가 가능하다. 그렇기 때문에 앞서 언급한대로 V2X차량의 주행정보가 해당 도로의 교통류를 대표할 수 있는지, 대표성을 띄기 위해서 몇 %의 V2X차량이 해당 구간에 주행중일 필요가 있는지에 대하여 시뮬레이션을 통하여 분석해보고자 한다.

본 연구에서는 V2X차량의 구성비에 따른 평균 통행시간, 통행속도를 비교해보았다. 시뮬레이션 프로그램은 SUMO(Simulation of Urban Mobility)프로그램을 이용하였다. SUMO는 오픈소스 프로그램으로 대규모 네트워크 분석이 가능한 교통시뮬레이션 프로그램이다. Veins는 V2X시뮬레이션을 실행하기 위한 오픈소스 프레임워크로 Event-Based 네트워크 시뮬레이터인 OMNet++와 교통시뮬레이션 SUMO를 연결시켜주는 프레임워크로 활용하였다.

1) 교통시뮬레이션 설정

본 연구에서는 2차로 고속도로를 공간적 배경으로 설정하였으며, 교통량과 V2X 차량의 구성비율에 따른 실험결과를 비교하였다. 2차로 연속류의 도로네트워크를 구성하였으며, 임의의 교통류를 생성하였다. 아래 그림과 같이 V2X차량은 일반차량 사이를 주행하는 것으로 가정하였으며, 군집운행은 하지 않는 것으로 설계하였다. 교통류는 승용차, SUV, 트럭이 혼재된 교통류로 설정하였다. 총 링크 길이는 10km, 2차로 도로이며, 교통량은 2,000대/시, 3,000대/시, 4,000대/시로 각각 설정하였으며 V2X차량 비율이 각각 10%, 7%, 5%일 때의 평균 통행시간을 기준으로 결과를 비교해 보았다.



<Fig. 1> traffic_flow with V2X-Vehicle

교통량 수준에 따른 통행시간의 분포는 다음과 같이 분석되었다. 전체 차량군, V2X 차량군, V2X를 제외한 차량군 3개의 그룹을 대상으로 통행시간과 통행속도에 대한 집단에 대한 비교 검증을 실시하였다. 우선 교통량 2,000대/시 규모 일 때, V2X 차량이 10% 수준일 때의 통행시간 분포를 통계적으로 비교하였다. 1,993대중 V2X차량은 207대, 나머지 차량은 1,786대로 구성된 교통류에서 V2X 차량군과 Non-V2X 차량군 두 그룹에 대하여 T-test를 실시하였다. 우선 두 그룹의 등분산 가정을 실시하였다. P-value는 0.444로 0.05보다 큰 값으로 두 그룹의 분산이 같다는 점을 확인하였다. 등분산 가정된 두 그룹에 대한 t-검정 결과 P-value값이 0.320으로 0.05보다 큰 것으로 분석되어 두 그룹의 평균이 같은 것을 통계적으로 확인할 수 있었다.

<Table 1> F-test to compare two variances v2x 10% ratio

Volume 1,993veh/h	V2X-Group(10%)	Non-V2X-Group(90%)
Average	781.6135	782.6943
Standard Distribution	234.1218	216.9911
# of observation	207	1786
dgree of freedom	206	1785
f-ratio	1.078946	
P(F<=f)	0.222211	
f-rejection value	1.179099	

<Table 2> T-test v2x 10% ratio

Volume1,993veh/h	V2X-Group(10%)	Non-V2X-Group(90%)
Average	781.6135	782.6943
Standard Distribution	234.1218	216.9911
# of observation	207	1786

pooled variance	218.7635
hypothesis mean difference	0
degree of freedom	1991
t statistics	-0.99521
P(T<=t) one-tailed tests	0.159877
one-sided tests by t critical value	1.645619
P(T<=t) two-tailed tests	0.319755
two-sided tests by t critical value	1.961156

교통량이 2,000대/시 규모일 경우 V2X차량의 구성비가 10%로만 구성되더라도 통계적으로 V2X 차량군과 Non V2X 차량군은 통계적으로 같은 것으로 분석되었다. 이에 V2X 차량 구성비를 5%로 축소하여 적용해본 결과 5%에서는 F-검정에서 두 그룹의 분산이 같이 않은 것으로 분석되었다. V2X 구성비를 확대하여 7%를 적용하였을 때, 두 집단이 통계적으로 동일한 것으로 분석되었다.

<Table 3> F-test to compare two variances

Volume 1,993veh/h	V2X-Group(5%)	Non-V2X-Group(95%)	V2X-Group(7%)	Non-V2X-Group(93%)
Average	781.6135	782.6943	781.7299	782.6449
Standard Distribution	234.1218	216.9911	235.228	217.6156
# of observation	207	1786	137	1856
degree of freedom	206	1785	136	1855
f-ratio	1.078946		1.080933	
P(F<=f)	0.222211		0.253903	
f-rejection value	1.179099		1.217194	

<Table 4> T-test V2X 5% and 7% ratio

Volume1,993veh/h	V2X-Group(5%)	Non-V2X-Group(95%)	V2X-Group(7%)	Non-V2X-Group(93%)
Average	781.7299	698.9037	781.7299	782.6449
Standard Distribution	235.228	53543.5	235.228	217.6156
# of observation	137	1889	137	1856
pooled variance	49961.52		218.8187	
hypothesis mean difference	0		0	
degree of freedom	2024		1991	
t statistics	4.188002		-0.69868	
P(T<=t) one-tailed tests	1.47E-05		0.242417	
one-sided tests by t critical value	1.645607		1.645619	
P(T<=t) two-tailed tests	2.93E-05		0.484833	
two-sided tests by t critical value	1.961137		1.961156	

교통량을 2,000대/시의 규모에서 3,000대/시, 4,000대/시로 혼잡도를 높여 분석을 수행해보았다. 분석결과 교통량이 증가하더라도 V2X 차량의 비율이 10%일 경우에는 도로의 소통상황을 대표하는 교통정보를 수집할 수 있는 것으로 분석되었으며, 3,000대/시 규모에서는 4% *p-value*가 0.0436, 4,000대/시 규모에서는 3%에서 *P-value*가 0.040로 각각 0.05이하로 통계적으로 다른 집단으로 구분된다. V2X차량이 각 교통량에 대하여 수치적으로는 5%, 4%, 3%이며 교통량으로 110대/시 이상으로 구성된 교통류에서는 V2X 차량을 통해 수집된 교통정보가 해당 링크의 통행특성을 대표할 수 있는 것으로 분석되었다.

〈Table 5〉 F-test to compare two variances for 3,000veh/h and 4,000veh/h

	3,000veh/h		4,000veh/h	
	V2X-Group(5%)	Non-V2X-Group(95%)	V2X-Group(7%)	Non-V2X-Group(93%)
Average	783.525	783.2081	783.4455	782.063
Standard Distribution	243.596	207.2285	206.653	233.9125
# of observation	120	2878	110	3890
degree of freedom	119	2877	109	3889
f-ratio	1.175495		0.883463	
P(F<=f)	0.0218		0.020016	
f-rejection value	1.228367		0.785983	

IV. 결론

본 연구에서는 자동차 센서기술과 V2X 통신기술을 활용하여 자동차에서 수집된 개별 차량의 통행데이터를 통하여 현재 주행중인 도로의 교통정보를 수집하는 방법을 검토해 보았다. V2X차량을 이용한 교통정보 수집에서 가장 중요하게 생각한 부분은 V2X 차량을 통하여 수집된 교통정보가 해당 도로의 통행특성을 대표할 수 있는가를 판단하는 것이었다. 이를 확인하기 위하여 가장 단순한 직선형 연속류 상황을 가정하여 실험을 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 또한, V2X 통신상태는 최상으로 모든 V2X차량간 통신은 100% 성공하는 것으로 가정하였다. V2X 통신의 전달범위와 수신율 등 실험 결과에 영향을 미칠 수 있는 요소들은 많이 있지만, 본 실험에서 V2X 통신기술까지 평가하는 것은 한계가 있기 때문에 본 연구에서는 교통량 수준과 V2X차량의 구성비만을 변수로 적용하였다. 실험결과 혼잡상황에서는 3%이상, 소통이 원활한 상태에서는 5%이상일 경우 V2X차량들의 교통정보가 해당 링크의 통행특성을 대표할 수 있는 것으로 분석되었으며, 교통량측면에서는 110대/시 이상의 V2X 차량이 지나갈 때, 대표성을 띄는 것으로 확인할 수 있었다.

이를 통하여 기존의 프로브 차량이나 검지기, 영상검지기를 활용하는 기존의 교통정보 수집 방법보다 V2X차량을 이용할 경우, 보다 적은 비용과 노력으로 보다 실시간에 가까운 교통정보를 수집할 수 있을 것이라는 가능성을 확인할 수 있었다. 향후 V2X 차량의 시장점유율이 5%이상, 10% 이상일 경우 대부분의 연속류 도로에서 V2X 차량만으로 교통정보 수집이 가능할 것으로 본다. V2X자동차 시장의 확대는 이러한 정보의 수집 기능을 더욱 정확한 정보를 수집하여 실시간으로 활용할 수 있을 것으로 예측한다.

다만, 본 연구에서는 단순한 직선형 연속류를 대상으로 시뮬레이션하여 실험이 단순하여 실험 결과를 곧바로 현실에 적용하기엔 한계가 있다. 복잡한 네트워크 문제, 교차로 문제, 신호 제어 등 다양한 조건을 반영한다면 실험 결과에 차이가 발생할 가능성이 높기 때문에 향후 다양한 교통상황에 대하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국연구재단(2015-R1A2A2A04005646) 이공분야 기초연구사업의 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- Hong S. P.(2008), “Designing A V2V based Traffic Surveillance System and Its Functional Requirements,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 4, pp.251-264.
- Jerbi M., Senouci S., Rasheed T. and Thamri-Doudane Y.(2007), “An infrastructure-free traffic information system for vehicular networks,” *IEEE VTC*, pp.2086-2090.
- Kong Q. J., Li Z., Chen Y. and Liu Y.(2009), “An approach to urban traffic state estimation by fusing multisource information,” *IEEE Trans. on Intell. Transp. Syst.*, vol. 10, no. 3, pp.499-511.
- Lee C. W.(2014), “A Study on the Establishment and Application of the Private Transport Information Collection System,” KOTI.
- Leow W. L., Ni D. and Pishro-Nik H.(2008), “A sampling theorem approach to traffic sensor optimization,” *IEEE Trans. on Intell. Transp. Syst.*, vol. 9, no. 2, pp.369-374.
- Ma Y., Chowdhury M., Sadek A. and Jaihani M.(2009), “Real-time highway traffic condition assessment framework using vehicle-infrastructure integration (VII) with artificial intelligence (AI),” *IEEE Trans. on Intell. Transp. Syst.*, vol. 10, no. 4, pp.615-627.
- Panichpapiboon S. and Pattara-atikom W.(2008), “Evaluation of a neighbor-based vehicle density estimation scheme,” *ITS Telecomm.*
- Sohn K. and Hwang K.(2008), “Space-based passing time estimation on a freeway using cell phones as traffic probes,” *IEEE Trans. on Intell. Transp. Syst.*, vol. 9, no. 3, pp.559-568.