

고속도로 교통정보 취득을 위한 프루브 차량 비율 산정 연구

Rate of Probe Vehicles for the Collection of Traffic Information on Expressways

김지원* · 정하림** · 강성관*** · 윤일수****

* 주저자 : 아주대학교 교통공학과 석사과정
 ** 공저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정
 *** 교신저자 : 한국도로공사 건설처 차장
 **** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수

Jiwon Kim* · Harim Jeong** · Sungkwan Kang*** · Ilsoo Yun**

* Dept. of Transportation Eng., Ajou University
 ** Dept. of Transportation System Eng., Ajou University
 *** Construction Div. Korea Expressway Corporation
 † Corresponding author : bawoo72@ex.co.kr

Vol.18 No.6(2019)

December, 2019
pp.262~274

pISSN 1738-0774
 eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.6.262>

Received 3 November 2019
 Revised 27 November 2019
 Accepted 24 December 2019

© 2019. The Korea Institute of
 Intelligent Transport Systems. All
 rights reserved.

요약

본 연구에서는 영동 고속도로 용인IC ~ 양지IC 구간을 대상으로 미시교통시뮬레이션 모형인 VISSIM을 이용하여 고속도로 교통정보 취득을 위한 프루브 차량 최소 비율을 추정하고자 한다. 실험을 위하여 일반상황과 유고상황을 고려한 7,200 가지의 시나리오를 생성하였다. 하지만, 모든 시나리오를 실험을 통해 수행하기에는 어려움이 있어 라틴 하이퍼큐브 샘플링(Latin Hypercube sampling) 방법을 사용하여 40 가지의 시나리오를 채택하였다. 이를 통해 얻은 개별차량의 1초당 데이터를 얻어 프루브 차량 비율을 세분화하여 평균통행시간 분포를 통계적으로 비교 분석 해본 결과 일반 상황에서는 고속도로 교통정보 취득을 위한 프루브 차량의 최소 비율이 1%였고 유고상황에서는 45%로 산정되었다. 또한 시나리오 분석 결과 25%의 프루브 차량 정보를 가지고 유고상황 시나리오 교통상황 중 70%를 충족시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

핵심어 : 차세대지능형교통체계, 교통정보, 프루브 차량, VISSIM, 라틴 하이퍼큐브 샘플링

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the minimum proportion of probe vehicles for obtaining expressway traffic information using VISSIM, a micro traffic simulation model, between Yongin IC and Yangji IC on Yeongdong Expressway. 7,200 scenarios were created for the experiment, and 40 scenarios were adopted using the Latin hypercube sampling method because it was difficult to perform all the scenarios through experiments. The reliability of the experiment was improved by adding a situation when the general situation and the accident situation exist. In the experiments, the average travel time of probe vehicles at different market penetration rates were compared with the average travel time of the entire vehicles. As a result, the minimum market penetration rate of probe vehicles for obtaining expressway traffic information was found to be 45%. In addition, it is estimated that 25% market penetration rate of probe vehicle can meet 70% of traffic situations in accident scenario.

Key words : Cooperative Intelligent transport systems, Traffic information, Probe vehicle, VISSIM, Latin-hypercube sampling

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

도시 인구 과밀 현상을 위해 전 세계적으로 정보통신기술(Information and Communication Technologies, ICT) 기반 교통문제 해결에 중점을 둔 첨단 교통시스템 구축이 핵심과제이다. 이는 교통상황 모니터링 체계, 첨단 주차 시스템, 공유 자동차 및 자전거, 첨단 대중교통 시스템 등의 미래교통 시스템으로 구성된다. 자동차의 기술의 발달 또한 교통정보를 수집하는 방법에 있어서 변화를 가져왔다. V2X 통신기술을 탑재한 프루브 차량을 이용하여 실시간으로 차량 스스로 정보를 수집하고 스스로 정보를 보낼 수 있게 되었다. 이러한 미래교통 시스템 구축을 위해서는 차세대 지능형 교통시스템(Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS)의 도입이 요구된다(Yoon, 2018). C-ITS는 차량이 주행 중 운전자에게 주변 교통상황과 사고 위험 정보를 실시간으로 제공하는 시스템이다(Kim, 2016).

국내에서는 C-ITS 도입을 위해 사업을 추진하고 있다. 2012년에는 자동차, 도로교통 분야 ITS계획 2020을 수립하였으며, 국가 경쟁력 강화 위원회에서 차세대 ITS 인프라 확대를 추진하였다. 2013년에는 차세대 ITS 기본계획을 수립하였으며 대전-세종 주요도로에 시범사업을 실시하였다. 현재에는 고속도로 일부, 서울시, 제주도에서 실증사업이 실시되고 있다.

효과적도(Measures of Effectiveness, MOE)는 도로의 교통상황을 나타내는 지표이다. 실시간으로 정보를 주고 받는 C-ITS 도입을 위해서는 MOE를 정확히 측정하는 것이 중요하다. C-ITS의 구성요소 중 하나인 차량단말기는 차량 정보를 노변기지국 또는 주변차량에 송·수신하는 역할을 한다. 차량단말기가 부착된 차량이 많을수록 MOE 측정을 위한 데이터를 많이 수집할 수 있기 때문에 이를 가능한 한 많은 차량에 부착하는 것이 이상적이다. 이러한 차량을 커넥티드 차량(Connected Vehicle, CV)라 하며, WAVE 등 V2X통신기술을 이용하여 인프라와 연결된 차량을 의미한다. 하지만 차량 단말기 설치비용이 과다하고 설치 도중 차량이 손상되는 등의 문제로 부착 대상 차량을 모집하는 데에 어려움이 따르기 때문에 현재로서는 모든 차량에 단말기를 부착하는 것이 어렵다.

이에 본 연구에서는 미시교통시물레이션을 통해 고속도로를 구현하여 데이터를 수집한 후 통계 분석하여 고속도로 교통정보 취득을 위한 CV의 비율인 고속도로 교통정보 수집을 위한 프루브(probe) 차량 최소 비율을 추정하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 다양한 교통 환경에서 고속도로 교통정보 수집을 위한 프루브 차량 비율을 산정하기 위하여 미시교통시물레이션 모형을 사용하였다. 시물레이션 정산을 위해 사용한 실제 데이터의 시간적 범위는 2018년이며 공간적 범위는 영동 고속도로 용인IC ~ 양지IC 구간을 대상으로 한다. 네트워크 구축에는 미시교통시물레이션 프로그램 VISSIM ver10.0을 이용하였다. 연구를 위한 MOE로는 공간평균속도, 평균 통행시간을 선택하였다.

본 논문의 2장에서는 라틴 하이퍼큐브 샘플링과 MOE에 관한 국내·외의 자료를 고찰하였고 관련 연구 결과를 정리하였다. 3장에서는 미시교통시물레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 테스트 베드를 구축하고 시물레이션을 수행하였다. 4장에서는 수집된 데이터로 프루브 차량 비율을 산정하고, 5장에서는 결론을 기술하였다.

II. 관련 이론 및 연구 고찰

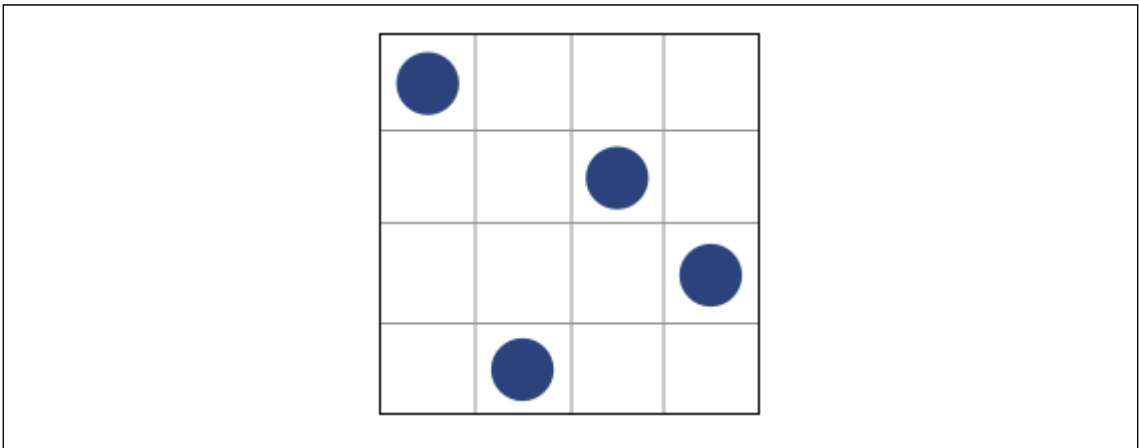
1. 관련 이론 고찰

1) 라틴 하이퍼큐브 샘플링

라틴 하이퍼큐브 샘플링(Latin Hypercube sampling, LHS)은 표본 추출 방법 가운데 하나로 다차원 분포로부터 매개변수 값의 무작위 샘플을 생성하는 방법이다(Mease, 2006). 합리적으로 정확한 결과 얻기 위해 필요한 실행 횟수를 대폭 줄일 수 있기 때문에 Monte Carlo 시뮬레이션 보다 널리 사용된다. <Fig. 1>과 같이 각 행과 열에 하나의 샘플이 있는 라틴 사각형 디자인을 기반으로 한다. 라틴 하이퍼큐브 샘플링은 비교적 일관성 있게 샘플링 되고 전반적으로 고른 분포의 표본을 추출하고자 할 때 사용하게 된다. 절차로는 먼저 $N \times M$ 행렬 P 의 각 열을 독립적으로 1부터 N 까지의 수를 랜덤하게 배열하여 얻고 $P = (P_{ij})$ 라 표시한다. $N \times M$ 개의 W_{ij} , $i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, M$ 는 각각 독립적으로 0에서 1사이의 균일분포($U[0,1]$)를 따르는 확률변수이고 P 와 독립이라고 가정할 때, W_{ij} 의 값은 다음과 같다.

$$X_{ij} = F_j^{-1}[N^{-1}(P_{ij} - 1 + W_{ij})], \quad i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, M \dots\dots\dots (eq.1)$$

위의 절차에서 P_{i1}, \dots, P_{iM} 는 각 확률변수 X_1, \dots, X_M 의 i 번째 뽑힌 값이 좌표계에서 어떤 방(cell)에 속하는가를 나타내고 W_{i1}, \dots, W_{ij} 는 그 방에서 어떤 곳에 위치하는가를 나타낸다.



<Fig. 1> Latin Hypercube sampling Concept

2) 평균 통행속도

평균 통행속도는 대상지의 소통상황을 나타내는 MOE 중에 하나이다. 평균 통행속도 측정 시 통행류의 특성에 따라 측정 방법을 달리 적용한다. 본 연구의 대상지인 고속도로와 같은 연속류의 경우 데이터가 수집되는 검지기는 구간에 따라 차로별 특성을 고려하여 통행속도를 도출해야 한다. 통행속도에는 두 가지 종류가 있다. 먼저, 시간평균속도(time mean speed, TMS)는 특정 시간 동안 어느 지점 또는 짧은 구간을 통과한 차량들 각각의 속도를 산술평균한 값을 말한다. 그리고 특정 시간 동안 도로의 구간을 통과한 모든 차량들이 주

행한 거리를 걸린 시간으로 나눈 속도를 공간평균속도(space mean speed, SMS)라고 한다. SMS는 모든 차량의 속도가 같을 경우에는 TMS와 같게 나타나며, 이외의 경우에는 항상 TMS보다 작게 나타난다. 아래 식은 TMS를 이용하여 SMS를 추정하는 식이다(Do, 2014). 본 연구에서는 연속류의 특성을 고려하여 평균 통행속도로써 SMS를 효과적으로 선정하였다.

$$\bar{\mu}_{TMS} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{n} \dots\dots\dots (Eq. 2)$$

$$\bar{\mu}_{SMS} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i/n} = \frac{1}{1/n \sum_{i=1}^n t_i} \dots\dots\dots (Eq. 3)$$

여기서, $\bar{\mu}_{TMS}$: 시간평균속도
 $\bar{\mu}_{SMS}$: 공간평균속도
 n : 차량대수

3) 평균 통행시간

통행시간은 교통정보 중에서 가장 대표적이고 이용자 선호도가 높은 정보로서 ‘어떤 구간을 통행하는데 걸리는 시간’을 의미하고 그 시간 동안 해당 구간의 시·공간적 정체 상태의 변화를 경험한 결과라고 할 수 있다. 첫째, 속도를 이용하여 해당 구간의 거리를 동 구간을 통과한 차량들의 평균주행속도로 나누어 통행시간을 얻어내는 방법이 있다. 둘째, 해당 구간을 통행한 차량의 통행시간을 직접 수집하여 이용하는 방법이 있다.

4) 상관분석

상관분석이란 하나의 변수가 다른 변수와의 어느 정도 밀접한 관련성을 갖고 변화하는가를 알아보기 위해 사용하는 통계학의 분석 방법이다. 상관관계는 명목척도, 서열척도, 등간척도, 비율척도로 특정된 변수들 간의 관련성을 알아보기 위한 것으로 각 변수가 연속형인지 범주형인지 먼저 파악해야한다. 상관관계의 크기는 상관계수(Correlation coefficient) 라는 값으로 정량화해서 나타낼 수 있다. 상관계수는 모두 -1 ~ 1 사이의 값을 가지며 1에 가까워질수록 양의 상관관계 -1에 가까워질수록 음의 상관관계를 보인다고 할 수 있다.

스피어만 상관계수(Spearman’s correlation)는 상관관계를 분석하고자 하는 두 연속형 변수의 분포가 심각하게 정규분포를 벗어난다거나 또는 두 변수가 서열척도 자료일 때 사용하는 값이다. 선형적인 상관관계를 나타내지 않고 한 변수가 증가할 때 다른 변수가 증가하는지 감소하는지에 대한 관계만을 나타내는 것이 대표적인 비모수(non-parametric) 상관계수이다. 스피어만 상관계수는 ‘스피어만의 순위 상관계수(Spearman’s rank correlation)’, 스피어만 로우(Spearman’s rho)등의 다른 이름으로도 사용한다(Kwon, 2001). 본 연구에서는 프루브 차량의 최소비율에 대한 정규성을 검사해본 결과 비정규분포로 나타났다. 따라서 비모수적 검정(non parametric test)인 스피어만 상관계수를 사용하였다.

크루스칼 - 왈리스(Kruskal-wallis test) 검정은 아노바(Anova)검정과 같이 셋 이상의 그룹간의 유의한 차이를 보는 방법이다. 정규성을 만족한다면 모수적인 방법인 Anova를 선택하고 그렇지 않다면 비모수적 방법인 크루스칼 - 왈리스 검정을 선택한다. 따라서 본 연구에서는 셋 이상의 명목형 변수인 ‘차단 위치’와 최소비율 간의 통계적 유의성을 검증해보기 위해 크루스칼 - 왈리스 검증을 하였다. 가설설정은 아래와 같이 설정한다.

- 귀무가설(H0) : 모든 그룹간의 차이가 없다.
- 대립가설(H1) : 모든 그룹간의 차이가 있다.

2. 관련 연구 고찰

Juan et al.(2015)은 신호화된 도시부도로에서 정확한 MOE를 추정하기 위한 커넥티드 차량의 최소 시장점유율을 결정하고자 하였다. 평균속도, 정지횟수, 가속소음, 지체와 같은 MOE의 추정방법을 제시하였고, 그 다음 불포화 및 과포화 조건에서 MOE를 정확하게 추정하기 위한 시장 점유율을 평가하였다. 또한 교통상황, 신호 설정, 샘플링 지속 시간 및 MOE 가변성의 함수로 정확한 MOE 추정을 보장하기 위해 최소 CV 시장 점유율을 결정하는 방법을 제안하였다. 그 결과로 다양한 교통조건에서 최소 시장 점유율이 대부분의 MOE에 대해 1% 이내에서 추정될 수 있음을 보여주었다.

Na et al.(2018)은 일부만 V2X차량일 때의 대표성 문제 검토를 위해 가상의 네트워크와 교통류를 생성하였으며, SUMO 시뮬레이션을 통해 시나리오 분석을 수행하였다. 그리고 교통량 수준에 따라 V2X 차량군과 Non-V2X 차량군 사이의 통행시간에 대한 통계적 검증을 시행하였다. 그 결과, 3-5% 이상으로 구성된 교통류 또는 110대/시 이상으로 V2X차량이 구성된 교통류에서 V2X 차량의 통행정보가 대표성을 떨 수 있다는 것을 확인하였다.

Lee et al.(2016)은 차세대 신호제어시스템을 위해 대기행렬길이의 산출을 목적으로 하였으며 특히, 기존 검지체계의 한계인 과포화 상황에 중점을 두었다. 실시간으로 수집되는 개별차량 위치 정보를 좌표로 변환하여 최소제공범을 이용한 회귀모형에 적용하여 직선 식을 추출하였고 이를 충격파 모형에 적용하였다. 추출된 대기행렬 길이와 통행시간과의 상관분석을 실시한 결과 높은 상관관계를 보이는 것을 확인하였다. Ko(2002)는 링크통행시간 자료를 수집하는 시스템에서 소요 프로브차량대수에 영향을 주는 요소를 규명하고, 최적의 소요 프로브차량대수를 결정하는 모형을 개발하였다. 소요 프로브차량대수 결정 기준으로는 링크당 평균 통행시간 자료 수, 프로브차량 밀도의 최소 확률, 그리고 자료 미수집 링크의 허용비율의 3가지를 정의하였다.

Kim et al.(2008)은 GPS를 이용하여 개별차량의 주행궤적을 추출하고 V2V를 이용한 교통정보수집 방안을 제시하였다. 이를 위하여 AIMSUN으로 개별차량의 통행 자료를 추출하고 몬테카를로 시뮬레이션 기반의 평가체계를 개발하였다. 분석 결과, 이 방안이 정상교통류에서 낮은 오차율을 갖는 것을 확인하였다. 또한 낮은 시장점유율과 짧은 통행시간 산출주기에서도 정확도가 높은 것으로 분석되었으며, 신뢰성 있는 추정을 위해 교통상황별로 통신반경을 다르게 적용하는 것을 제안하였다. 그리고 차량 간 통신에 있어 주변 건물의 영향이 상당히 큰 것을 확인했으며, 주행속도 80kph에서 대향차량과의 통신이 가능한 것을 보여주었다.

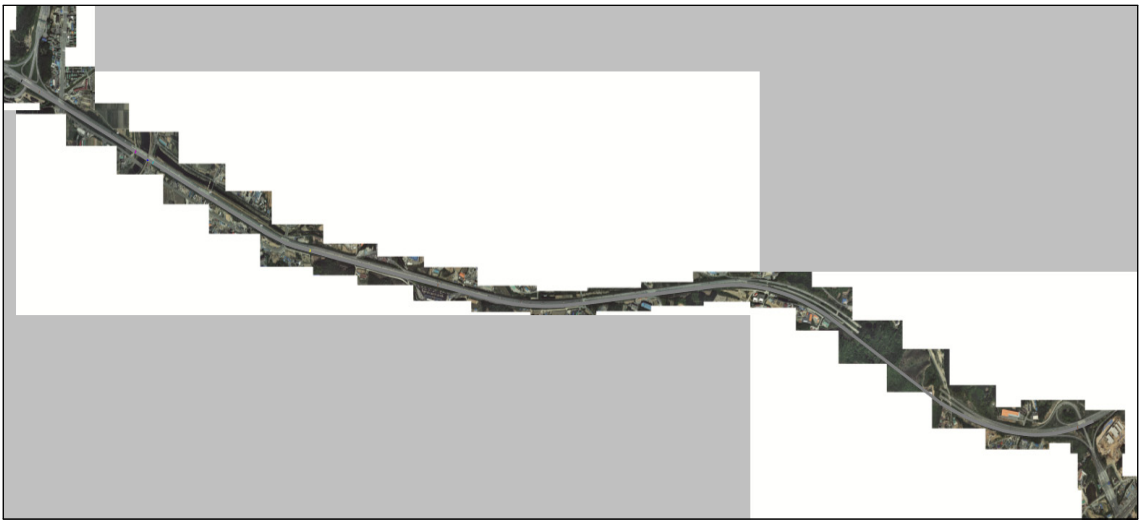
3. 기존 연구와의 차별성

기존에 이용되고 있는 검지기 방식의 교통 정보 수집은 검지기가 설치되어 있는 지점만의 교통 정보를 수집하므로 도로의 전반적인 교통 정보를 얻기에는 부족함이 있었다. 이러한 점을 극복하고자 4차 산업혁명의 주요 화제 중 하나인 C-ITS가 실제 현실에 적용되어 갈 상황을 위하여 실시간 데이터 수집이 가능한 최소 CV 프루브 차량 비율 산정하고자 한다. 또한 일반상황뿐만 아니라 도로에서 일어나는 교통사고와 같은 유고 상황을 고려하여 7,200 가지의 시나리오를 생성하여 실험의 신뢰성을 향상시켰다. 하지만, 모든 시나리오를 실험을 통해 수행하기에는 어려움이 있어 라틴 하이퍼큐브 샘플링(Latin Hypercube sampling) 방법을 사용하여 40 가지의 시나리오를 채택하였다.

Ⅲ. 시뮬레이션 수행 및 결과 분석

1. 시뮬레이션 수행

본 연구를 수행하기 위해 먼저 미시교통시뮬레이션 모형을 구축을 위해 선정한 구간인 영동고속도로의 용인 IC ~ 양지 IC 구간의 고속도로의 다음(Daum)지도와 고속도로 공공데이터 포털의 VDS데이터를 통해 실제 교통량, 속도 등의 데이터를 수집하였다. 수집한 데이터를 가지고 교통량을 입력하고 속도를 조정하여 정산하였다. 이렇게 구축된 네트워크는 다음 <Fig. 2>과 같다.



<Fig. 2> Test Site

<Table 1>은 네트워크 구축을 위한 미시적 모형 시뮬레이션 파라미터를 제시한다. 시뮬레이션 내 시간 간격은 1초로 4500초간 시뮬레이션을 수행하지만 데이터 수집은 900초부터 4,500초까지로 한 시간 동안의 데이터를 수집한다. 도로는 일 방향 4차로 도로로 구축한다. 일반 상황의 차량은 소형차 3,683대, 중차량 996대로 총 4,679대의 교통량을 입력하였다. 여기서 중차량은 한국도로공사 통행량 징수를 위한 차종분류 기준에 의해 2종부터 5종까지의 차량을 말한다. 참고로 조사 당시 해당구간의 서비스수준(level of service, LOS)은 'C' 이다.

<Table 1> Parameters for Simulation

Parameters	Values
Simulation frequency	1 second
Simulation duration	0~4,500 seconds
Expressway type	4-lane expressway
Expressway length	8,349 m
No. of vehicles	4,679 v/h

2. 시나리오 선정

실험의 신뢰성을 높이기 위해 일반상황과 유고상황의 시나리오를 생성하였다. 여기서 말하는 유고상황이란 교통사고 등 도로에서 일어나는 돌발 상황을 말한다. 이를 위해 고장차량을 생성하여 일부 차로가 일정 시간동안 차단된 상황으로 특별한 이벤트 때문에 교통량이 증가하거나 감소하였을 상황을 구현하였다. 유고 상황에 대한 조건을 ‘차단 차로’, ‘차단 위치’, ‘차단 시간’, ‘소형 차량 교통량 변화’, ‘중차량 교통량 변화’로 다섯 가지로 정하여 총 7,200 가지(3 가지×3 가지×8 가지×10 가지×10 가지)의 시나리오를 생성하였다. 하지만 모든 시나리오를 실험을 통해 수행하기에는 어려움이 있어 라틴 하이퍼큐브 샘플링 방법을 Python 3.6으로 작성하여 40 가지의 시나리오를 선정하였다. 선정된 시나리오는 다음 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Selected Scenarios for Accident Situations

Scenario No.	No. of closed lanes	Location of closure	Closure duration (min.)	Volume change in small-sized vehicle (%)	Volume change in heavy vehicle (%)	Scenario No.	No. of closed lanes	Location of closure	Closure duration (min.)	Volume change in small-sized vehicle (%)	Volume change in heavy vehicle (%)
1	2	front	15	10	35	21	2	rear	35	30	45
2	1	middle	20	15	25	22	3	rear	15	10	45
3	2	front	25	20	30	23	3	middle	35	60	5
4	3	middle	35	30	20	24	1	rear	10	5	40
5	3	rear	25	20	10	25	3	middle	5	0	10
6	1	rear	10	5	40	26	1	front	10	5	35
7	3	rear	15	10	15	27	1	middle	30	25	30
8	3	front	10	5	10	28	3	rear	35	30	20
9	2	front	15	10	45	29	2	rear	40	35	0
10	2	rear	25	20	5	30	3	middle	5	0	45
11	1	front	30	25	20	31	2	rear	5	0	0
12	1	middle	5	0	35	32	2	front	30	25	25
13	2	middle	40	35	40	33	3	middle	15	10	25
14	1	middle	35	30	20	34	3	middle	20	15	35
15	2	front	5	0	15	35	3	front	25	20	30
16	2	rear	30	25	40	36	3	front	25	20	5
17	1	middle	20	15	25	37	1	rear	40	35	15
18	1	front	20	15	0	38	1	front	5	5	30
19	2	rear	40	35	5	39	3	middle	20	15	0
20	1	front	40	35	15	40	2	middle	30	25	10

IV. 미시교통시물레이션 모형 구축 및 시나리오 생성

1. 미시교통시물레이션 모형 구축

본 연구에서는 시물레이션 네트워크를 40 가지의 시나리오로 구현하기 위한 VISSIM의 Com-interface 기능을 사용하였으며 일정한 시간동안 일정한 위치에 속도가 0kph인 차량을 생성하였다가 제거하는 방법으로 차로를 차단하는 상황을 만들었다. 이에 대해 Python 3.6으로 작성한 예시 코드는 다음 <Fig. 3>과 같다.

```

for SimStep in range(0, End_of_simulation):
    if SimStep == 910:
        veh_1= Vissim.Net.Vehicles.AddVehicleAtLinkPosition(100, 1, 2, 316, 0)
        veh_2= Vissim.Net.Vehicles.AddVehicleAtLinkPosition(100, 1, 3, 316, 0)

    if SimStep == 1510:
        veh_1.SetAttValue('DesSpeed',100)
        veh_2.SetAttValue('DesSpeed',100)

    Vissim.Simulation.RunSingleStep()
    
```

<Fig. 3> Python-based Com-interface

2. 데이터 가공 및 결과 분석

각각 시나리오를 구현하여 개별 차량들의 1초당 위치와 속도 데이터를 분석하였다. 분석 대상 차량은 모든 링크를 분석시간 내에 통과한 차량들로만 선정하였다. 일반상황과 유고상황에서의 시나리오 별로 이 차량들의 데이터(1초로 저장된 차량의 위치 좌표)를 수집한 후 통행시간을 산출하였다. 여기서 1초 단위로 저장된 차량의 위치 좌표가 정확히 통행시간 산출 시작 지점 및 종료 지점과 일치하지 않기 때문에 1초 단위 차량의 위치 좌표와 보간법을 사용하여 정확한 시작 지점과 종료 지점 간의 통행시간을 산출한 후 평균통행시간을 계산하였다. 링크를 통과한 전체 차량의 평균통행속도와 차량을 임의적으로 뽑은 점유율별 평균통행속도를 비교하고자 통행속도의 차를 구하였다. 또한 이를 단일표본 t-test를 수행하여 프루브 차량 최소 비율을 산정해보았다.

<Table 3> SNS Difference by Market Penetration Rate

Market penetration rates	SMS	DFF with 100
1%	85.53231	0.620223
2%	85.65474	0.742653
3%	85.18867	0.276584
4%	84.68487	0.227215
5%	84.47191	0.440174
10%	84.47939	0.432699
20%	84.73476	0.177328
30%	84.77252	0.139564
50%	84.92208	0.009993
70%	85.02016	0.108078

1) 일반상황

먼저 일반 상황에서의 분석 결과이다. 비율별로 t-검정을 해본 결과 <Table 4>과 같이 1%부터 20%까지 모든 점유율에서 p-value가 0.05보다 크게 분석되어 유의성이 있다는 결론을 내릴 수 있다. 따라서 일반상황일 때는 프루브 차량이 1% 이상만 되어도 고속도로에서 교통정보 취득이 가능한 것으로 나타났다. 실제 데이터로 정산을 한 시뮬레이션의 교통흐름이 매우 안정적인 교통류를 가지고 있어 교통정보 취득에 필요한 최소 비율이 매우 낮은 것으로 판단된다.

<Table 4> P-value by Market Penetration Rate

Market penetration rates	P-value
1%	0.167
2%	0.339
3%	0.239
4%	0.247
5%	0.239
10%	0.263
15%	0.704
20%	0.353

2) 유고상황

앞에서 선정된 40 가지의 유고상황 시나리오에서의 교통정보 취득을 위한 프루브 차량 최소 비율을 산정하기 위한 실험을 진행하였다. 모든 시나리오를 점유율별로 단일표본 t-검정을 해본 결과 p-value가 0.05 이상 이 나오는 비율을 최소비율로 채택하였다. 하지만 시나리오 9번에서는 점유율 1%~2%에서는 유의하게 나타났지만 점유율 3%~20%에서는 유의하게 나타나지 않았다. 이러한 경우에는 p-value가 연속적으로 안정되게 0.05 이상이 나오는 비율인 30%를 최소비율로 채택하였다. 특히 시나리오 28번은 4차로 중에서 3개의 차로를 35분 동안 차단하고 소형차 교통량은 35%, 중차량 교통량은 20% 증가된 상황으로 가장 안 좋은 교통류 흐름을 가지고 있다. 따라서 프루브 차량의 최소 비율이 45%로 가장 높은 수치를 나타냈다. 또한 나머지 시나리오에서는 1%부터 40%까지 다양하게 나타났다. 따라서 고속도로 교통정보 취득을 위한 프루브 차량의 비율은 최소 45%는 되어야 모든 상황에서의 교통정보를 파악할 수 있는 것으로 판단된다. 전체적인 실험 결과의 요약은 <Table 5>에 정리되어 있다.

<Table 5> Minimum Market Penetration Rate by Scenarios

Scenario No.	Minimum Market Penetration Rate (%)	Scenario No.	Minimum Market Penetration Rate (%)
1	25%	21	30%
2	10%	22	2%
3	25%	23	40%
4	30%	24	25%
5	10%	25	2%
6	10%	26	10%
7	1%	27	25%
8	25%	28	45%
9	30%	29	10%
10	1%	30	30%
11	15%	31	25%
12	1%	32	30%
13	10%	33	4%
14	1%	34	35%
15	25%	35	1%
16	5%	36	1%
17	10%	37	1%
18	30%	38	30%
19	15%	39	1%
20	40%	40	35%

또한 <Table 6>는 점유율별로 유고상황 시나리오 중 몇 퍼센트를 충족시킬 수 있는지를 보여준다. 따라서 점유율이 25%라면 25%의 프루브 차량 정보를 가지고 유고상황 시나리오 교통상황 중 70%를 충족시킬 수 있는 것으로 판단된다.

<Table 6> Scenario Satisfaction by Market Penetration Rate

Market penetration rate(%)	Scenario coverage (%)
45	100
40	97.5
35	92.5
30	87.5
25	70

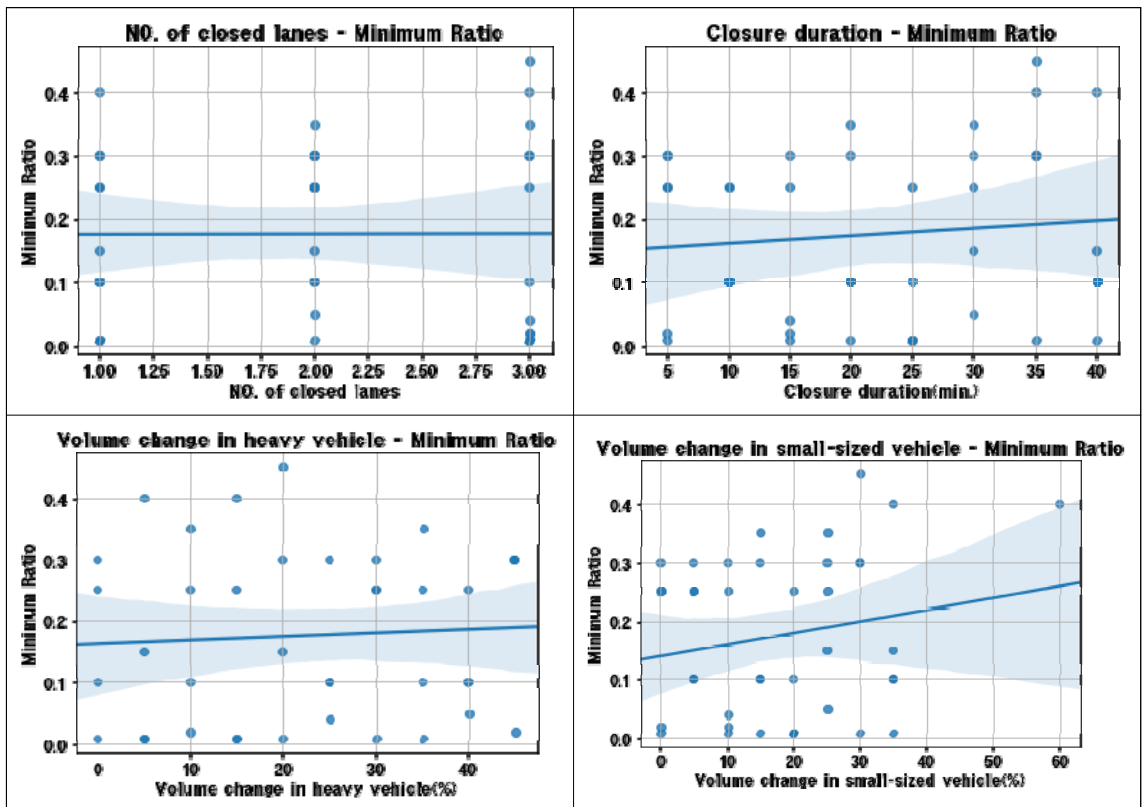
3) 상관분석

위의 결과처럼 최소비율을 산정하였는데 이러한 결과가 시나리오의 다섯 가지 조건들과 어떠한 관계가 있는지 분석해보았다.

<Table 7> Correlation Coefficient and P-Value Between Variables and Minimum Ratio

Types	Correlation coefficient (rs)	p-value
No. of closed lanes	-0.10	0.952
Closure duration (min.)	.106	0.516
Volume change in small-sized vehicle (%)	.139	0.392
Volume change in heavy vehicle (%)	.097	0.552

<Table 7>은 40 가지 시나리오에 대해 다섯 가지 변수들 중에 연속형에 포함되는 네 가지의 변수와 최소 비율 간의 상관계수를 나타낸 것이다. 최소비율에 대해 정규성을 검사해본 결과 비정규분포로 나타났다. 따라서 비모수적 검정(non parametric test)인 스피어만 상관계수를 구하였다. 상관분석 결과 ‘차단 차로수’, ‘차단 시간’, ‘소형 교통량 변화’, ‘중차량 교통량 변화’ 변수 모두 상관계수(rs)가 0.15미만으로 상관관계가 매우 약한 것으로 나타났다. 또한 명목형 변수인 ‘차단 위치’와 최소비율 간의 통계적 유의성을 검증해보기 위해 비모수적 검정인 크루스칼 - 월리스 검정을 하였다. 그 결과 근사 유의 확률이 0.337로 그룹간의 차이가 없다는 귀무가설을 채택하여 ‘차단 위치’와 최소비율간의 유의성은 없는 것으로 나타났다. 모든 변수와 최소비율 간의 상관관계가 없다고 나온 결과는 샘플수가 적어서 나온 결과로 추정된다. 다음 <Fig. 4>은 연속형 변수들과 최소비율간의 산점도 그래프를 나타낸 것이다.



<Fig. 4> Scatter plot graph

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 영동 고속도로 용인IC ~ 양지IC 구간을 대상으로 VISSIM을 이용하여 고속도로에서 교통정보 취득을 위한 프루브 차량 비율을 추정하여 비교 결과를 제시하였다. 실제 해당 구간과 동일하게 네트워크를 구현하고 고속도로 공공데이터 포털에서 얻은 실제 데이터로 정산을 하였다. 일반상황과 40 가지 유고상황 시나리오를 추가하여 Com-interface를 이용하여 실험을 진행하였다. 이를 통해 얻은 개별차량의 1초당 데이터를 이용하여 프루브 차량 비율을 세분화하여 평균통행시간 분포를 통계적으로 비교 분석 해본 결과 고속도로 교통정보 취득을 위한 프루브 차량의 최소 비율이 일반상황에서는 1%였고 유고상황에서는 45%로 산정되었다. 또한 25%의 프루브 차량 정보를 가지고 유고상황 시나리오 교통상황 중 70%를 충족시킬 수 있는 것으로 판단되었다. 하지만 본 연구에는 몇 가지 한계가 존재한다. 첫 번째, 버스전용차로가 없는 비교적 단순한 고속도로 구간을 대상으로 실험하여 다른 고속도로에 적용하기에는 한계가 있다. 두 번째, 본 연구는 7,200 가지의 시나리오 중에서 40 가지를 추출하여 실험했기 때문에 모든 상황의 교통정보를 대표할 수는 없어 샘플링 된 시나리오 개수를 더 늘린다면 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 추가로 해당 구간에 있는 휴게소의 진출입 차량까지 고려한다면 더 정확한 결과를 얻을 것이다. 마지막으로 유고상황에 대한 조건을 ‘차단 차로’, ‘차단 위치’, ‘차단 시간’, ‘소형차량 교통량 변화’, ‘중차량 교통량 변화’로 한정했는데 현실적인 환경조건인 눈, 비와 같은 날씨의 영향, 밤 과 낮과 같은 조도 조건과 도로 공사 구간의 길이와 위치를 더 추가한다면 실험의 결과에 대한 신뢰성이 향상 될 것이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 국토교통부 교통물류연구사업 'V2X기반 화물차 군집주행 운영기술 개발(과제번호 : 19TLRP-B147674-02) 과제 지원에 의해 수행되었습니다. 본 논문은 2019년 한국ITS학회 춘계학술대회에 게재되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

REFERENCES

- Do C. W.(2014), *Principles of Traffic Engineering*, Chung Moon Kak.
- Hong S. P., Oh C., Kim W. K., Kim H. M. and Kim T. H.(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.
- Jean A. C., Christofa E. and Skabardonis A.(2015), “Connected Vehicle Penetration Rate for Estimation of Arterial Measures of Effectiveness,” *Transportation Research Part C*, vol. 60, pp.298-312.
- Kim J. Y. and Kim J. T.(2016), “Analysis of the effect on Road Network with Communication Failure Rate of C-ITS Information System for Rear-end Collision Avoidance,” *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 5, pp.71-82.
- Ko S. Y.(2002), “A Model Development of Probe Cars for Travel Time Data Collection,” *Journal of*

Korean Society of Transportation, vol. 20, no. 4, pp.177-185.

Kwon S. H.(2001), *Basic Statistic Analysis*, Freeacademy.

Lee Y. J., Hwang J. S. and Lee C. K.(2016), "Study on Queue Length Estimation sing GPS Trajectory Data," *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 3, pp.45-51.

Mease D. and Bingham D.(2006), "Latin Hyper Rectangle Sampling for Computer Experiments," *Technometrics*, vol. 48, pp.467-477.

Na S. Y., Lee S. J., Ahn S. H. and Kim J. Y.(2018), "A Study on the Estimation of the V2 X-Rate Ratio for the Collection of Highway Traffic Information," *Journal of the Korea institute of intelligent transport systems*, vol. 17, no. 1, pp.71-78.

Yoon T. K.(2018), "Effective Introduction of Next-generation Advanced Transportation System for Smart City," *Krish Policy Brief*, no. 666.