

링크 공간평균속도 신뢰성 확보를 위한 프로브 차량 데이터 적정 수집주기 산정 연구

Probe Vehicle Data Collecting Intervals for Completeness of Link-based Space Mean Speed Estimation

오 창 환* · 원 민 수** · 송 태 진***

* 주저자 : 충북대학교 도시공학과 석사과정

** 공저자 : 한국교통연구원 AI·빅데이터연구팀 부연구위원

*** 교신저자 : 충북대학교 도시공학과 조교수

Chang-hwan Oh* · Minsu Won** · Tai-jin Song***

* Dept. of Urban Eng., Chungbuk National University

** Division for Research of AI and Big Data, The Korea Transport Institute

*** Dept. of Urban Eng., Chungbuk National University

† Corresponding author : Tai-jin Song, tj@chungbuk.ac.kr

Vol.19 No.5(2020)

October, 2020
pp.70~81

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.5.70>

Received 25 May 2020
Revised 4 June 2020
Accepted 8 September 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

GPS가 탑재된 차내 단말기, 스마트폰에서 방대하게 수집되는 초 단위 위치(위·경도) 데이터는 교통 분야에 다양하게 활용되고 있다. 이러한 데이터는 공공의 교통관련 의사결정자들과 교통서비스를 개발·제공하는 민간회사들에게 운전자들의 행태와 교통흐름을 미시적으로 파악할 수 있게 한다. 특히, 속도 데이터는 통행시간 예측에 주요한 정보로 활용되며, 해상도 높은 데이터 기반의 고차원 서비스 개발에 이용되고 있어 신뢰성있는 정보의 확보가 요구된다. 그럼에도 불구하고 링크별 속도 산출 시 각기 다른 저장, 수집주기 등을 기준으로 사용하고 있어 정보 활용에 있어 신뢰성을 담보하기 어렵다. 본 연구의 목적은 차내 단말기를 장착한 프로브 차량 데이터를 수집해 링크 공간평균속도를 산출하고 동일 구간 및 시간대의 영상기반 공간평균속도와 비교분석을 통해 오차율을 도출하는 것이다. 수집주기와 실제 속도 상황에 따른 오차율을 분석한 결과 8초 이내 수집주기에서 95% 신뢰수준을 보였으며 이를 공간평균속도 산출 시 신뢰성확보를 위한 적정 수집 주기로 제안했다. 해당 결과는 향후 커넥티드 환경에서 수집될 핵심 정보들의 신뢰성 확보와 서비스 개발 시 기초 정보로 활용될 것으로 기대해본다.

핵심어 : 자율협력주행, 협력형 지능형교통체계, 차세대 ITS, 안전서비스

ABSTRACT

Point-by-point data, which is abundantly collected by vehicles with embedded GPS (Global Positioning System), generate useful information. These data facilitate decisions by transportation jurisdictions, and private vendors can monitor and investigate micro-scale driver behavior, traffic flow, and roadway movements. The information is applied to develop app-based route guidance and business models. Of these, speed data play a vital role in developing key parameters and applying agent-based information and services. Nevertheless, link speed values require different levels of physical storage and fidelity, depending on both collecting and reporting intervals. Given these circumstances, this study aimed to establish an appropriate collection interval to efficiently utilize Space Mean Speed information by vehicles with embedded GPS. We conducted a comparison of

Probe-vehicle data and Image-based vehicle data to understand PE(Percentage Error). According to the study results, the PE of the Probe-vehicle data showed a 95% confidence level within an 8-second interval, which was chosen as the appropriate collection interval for Probe-vehicle data. It is our hope that the developed guidelines facilitate C-ITS, and autonomous driving service providers will use more reliable Space Mean Speed data to develop better related C-ITS and autonomous driving services.

Key words : Big Data, Probe-vehicle Data, Space Mean Speed, Local Dynamic Map

I. 서 론

4차산업혁명 시대가 도래되면서 교통카드, 내비게이션, 스마트폰, GPS(Global Positioning System) 등 ICT 기술에 접목된 기기로부터 이동 및 흐름을 파악할 수 있는 다양한 빅데이터들이 폭발적으로 생성되고 있다. 이러한 빅데이터들은 이용자에게 보다 정확하고 효율적인 서비스를 개발·제공할 수 있는 기반을 제공함으로써 교통산업의 패러다임을 변화시키고 있다. 특히 내비게이션 서비스는 이미 오래전부터 정보가 누적되어 양질의 데이터를 확보하고 있다. 차내 단말기나 휴대폰에서 사용되는 실시간 내비게이션 서비스는 GPS와 연결되어 초당 이동(point-by-point) 정보를 생성시킨다. 해당 데이터는 운영서버로 일정 주기에 따라 송신되며, 내비게이션 서비스뿐만 아니라 미시적 운전자 행태 및 교통흐름을 파악해 고해상도의 교통운영, 교통정책 및 계획의 수립 등에도 활용가능성이 높다(Lee et al., 2015). 또한, 앱을 기반으로 생성된 데이터를 통해 이용자 측면에서 보다 효과적인 경로 탐색, 비즈니스 모델 개발에도 이용이 가능하다. 특히, 공공에서는 지능형교통체계 검지기에서 수집되는 공간적 정보의 한계를 보완하고자 민간 회사의 내비게이션 데이터를 수집해 정보를 가공하고 있다. 민간에서는 공공정보와 연계해 내비게이션 앱 기반의 다양한 미시적 정보 서비스를 개발하고 있으나 포인트 형태의 원천 데이터(raw data)가 아닌 링크 단위로 제공되는 가공 정보들을 사용한다.

가공된 링크 데이터는 회사마다 산출 방법, 집계주기 등이 상이하므로 표준화된 속도 정보가 제공될 수 없다. 즉, 해당 데이터가 갖는 정확한 의미를 파악할 수 없어 데이터의 신뢰성 및 안전성을 판단하는 데 한계가 있는 실정이다. 이러한 배경하에 본 연구에서는 차내 단말기 혹은 스마트폰에서 생성되는 GPS 데이터에서 공간평균속도를 산출 시 신뢰성을 확보할 수 있는 적정 초당 위치 데이터 수집주기를 찾아 제안하고자 한다. 이를 위해 프로브 차량 데이터(Probe Vehicle Data, PVD)를 이용한 수집주기별 링크 공간평균속도를 산출하고 동일 구간에 영상기반의 공간평균속도 데이터를 비교했다. 실험결과를 통해 신뢰성 판단을 위한 오차율(Percentage Error)을 도출하고 기하급수적으로 늘어나는 GPS 속도데이터의 활용 및 관리의 효율성을 증진하기 위한 적정 수집주기를 정립했다. 오차율에 따라 신뢰수준이 95% 이하인 경우를 적정 수집주기로 채택하고 해당 프로브 차량 데이터의 수집주기가 몇 초일 때, 링크 공간평균속도가 의미가 있는지를 확인했다. 본 연구를 위해 2장에서는 관련된 문헌 고찰을 통해 신뢰성 확보 수준과 관련된 연구의 한계점을 살펴보고 기존 연구와의 차별성을 제시했다. 3장에서는 본 연구에서 활용한 연구 방법론을 기술했다. 실험 설계에 대한 단계별 설명은 4장 내에 상세히 설명되어있으며, 5장에서는 실험 결과를 기반으로 본 연구의 결론을 기술했다.

II. 문헌 고찰

1. 관련 문헌 고찰

교통 네트워크에서 의미 있는 링크 이동정보를 추정하기 위해서는 프로브 차량 데이터를 이용해야 한다 (Srinivasan and Jovanis, 1996). 여기서 프로브 차량 데이터란 교통 데이터를 실시간으로 수집하도록 설계된 차량을 말한다. 따라서 본 연구에서는 GPS가 탑재된 프로브 차량을 기반으로 한 링크 속도 산출 방법론에 대한 기존 연구를 고찰하고 수집주기를 기준으로 해당 데이터의 신뢰성 확보를 위한 연구를 탐색했다.

<Table 1> Literature Review

Authors	Contents
Long Cheu et al. (2002)	This study was conducted for a reliability analysis with various scenarios by adjusting the rate of probe vehicles out of total traffic flows. The result pointed out that the rate of 15% gives the most accurate traffic information among the scenarios.
Nanthawichit et al. (2003)	A method for short-term travel time predication was introduced based on probe vehicle data. It utilized Kalman filter method and proposed fidelity of real traffic condition under connected network and conventional ITS network (the loop detector surveillance environment).
Sananmongkhonchai et al. (2008)	This study proposed an algorithm for link average speed estimation using probe vehicles data. The algorithm applied a position-based to estimate travel distance from a origin to a destination from the vehicles' log (latitude and longitude). The comparison result shows that the error in average speed is 8kph between the estimated data developed by this study and a link speed data.
Chang et al. (2010)	They suggested a new methodology to estimate the link space mean speed using instantaneous speed data collected from Taxis with embedded GPS. The estimated space mean speed was compared with the speed data collected from taxis. The error rate of the two values was calculated for reliability determination. As a result, 23.7% of errors occurred.
Wenjuan et al. (2011)	This study was conducted for a comparison of space mean speed estimated by the instantaneous speed collected from vehicles with embedded GPS and from loop detectors. It turned out that the instantaneous speed was sufficiently accurate when estimating link speed and travel time.
Matthew et al. (2012)	This study has been conducted for the reliability analysis of instantaneous speed data by frequency of vehicles with embedded GPS. It conducted eighty experiments to measure reliability of instantaneous speed during acceleration, deceleration, and uniform velocity. Reliability was measured by calculating the correlation between frequency (5Hz, 10Hz) and instantaneous speed of GPS. The confidence level was measured within 90%, and the instantaneous speed was up to 6 times higher than 5Hz when the frequency of GPS was 10Hz.
Xiaoyun et al. (2014)	This study was conducted for the reliability analysis of traffic data using bicycles, cars and buses with embedded GPS. Reliability was assessed based on data such as the position, speed and altitude of the vehicle, which indicated that the error between the speed collected from GPS and the actual speed increased with the higher the speed of vehicles.
Jenelius and Koutsopoulos (2015)	They suggested a methodology that complements the difference between the time mean speed and the space mean speed used in conventional transportation engineering using the probe vehicle data. They found two ways that using probe vehicles sampled by time to directly estimate the travel time model. first, all segment unit travel times are overestimated since low speed observations because of the finite path constraint. Second, the unit travel time of all but last traversed segment will be overestimated while the last traversed segment will be under will be underestimated.
Kim et al. (2019)	This study was considered for refer to the utility of probe vehicle data when acquiring highway traffic information. They estimated the minimum ratio of probe vehicles to collect highway traffic information using VISSIM. Simulation experiments were conducted using 40 scenarios. As a result, the minimum rate of probe vehicles for acquiring highway traffic information was calculated at 1% in general situations and 45% in special situations.

선행연구 고찰 결과, 기존 검지기 방식의 공간평균속도와 프로브 차량 속도 데이터 비교분석을 통해 속도 차이점을 결과로 도출하는 연구가 대부분이다. 아울러, 해당 링크에 프로브차량의 비율에 따라 속도의 신뢰성과의 연관성을 분석한 연구 사례도 존재했다. 이를 위해 가상 시뮬레이션 실험을 통한 연구결과를 도출하기도 했다.

2. 기존 연구와의 차별성

현재 방대하게 수집되는 GPS 기반 차량 위치 데이터는 단말기별 속도 생성 집계주기가 상이해 정확한 데이터를 산출하는데 어려움이 존재한다. 그럼에도 불구하고 대부분의 선행연구에서는 일정 집계주기에 따라 공간평균속도를 산출했다. GPS가 탑재된 차량으로부터 수집되는 순간속도 데이터의 신뢰성을 평가하는 연구가 있었지만, 이는 GPS 장치의 주파수별 변화를 요인으로 판단했으며, 수집주기 변화를 요인으로 활용한 연구 사례는 발견되지 않았다. 속도가 상이한 구간에서 링크 공간평균속도 산출 시 신뢰성과의 상관관계를 살펴본 연구 또한 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 수집주기별로 상이한 프로브 차량 공간평균속도와 동일 구간에 가상 시뮬레이션이 아닌 현실성이 반영된 실측값을 활용한 영상기반 공간평균속도를 비교하는 실험설계를 통해 오차율을 도출하고자 한다. 수집주기별 데이터 비교분석을 수행해 공간평균속도의 신뢰성을 확보할 수 있는 적정 수집주기를 정립한다.

III. 연구 방법론

프로브 차량 공간평균속도와 영상기반의 차량 공간평균속도 데이터를 비교하는 실험설계 후, 해당 속도 데이터의 신뢰성 판단을 위한 오차율을 도출한다. 오차율에 따라 신뢰수준이 95% 이하인 경우, 해당 수집주기를 프로브 차량 데이터의 적정 수집주기로 채택하고자 한다.

1. 공간평균속도 산출

공간평균속도는 “어느 시간 동안 도로구간을 통과한 모든 차량들이 주행한 거리를 주행한 시간으로 나눈 속도”로 정의된다(May, 1990). 본 연구에서는 앞선 정의를 토대로 GPS가 내장된 프로브 차량 데이터 기반의 링크 공간평균속도를 산출했다. 특정 구간을 통과하는 차량의 공간평균속도는 차량의 총 주행거리를 차량의 총 주행시간으로 나눈 값으로 산출할 수 있으며 이는 수식 (1)과 같다.

$$\bar{u}_s = \frac{\text{차량 총 주행거리}}{\text{차량 총 주행시간}} = \frac{d}{n \sum_{i=1}^n \frac{d}{u_i}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u_i}} \quad (1)$$

여기서, \bar{u}_s : 공간평균속도(km/h),

d : 차량 총 주행 거리(m),

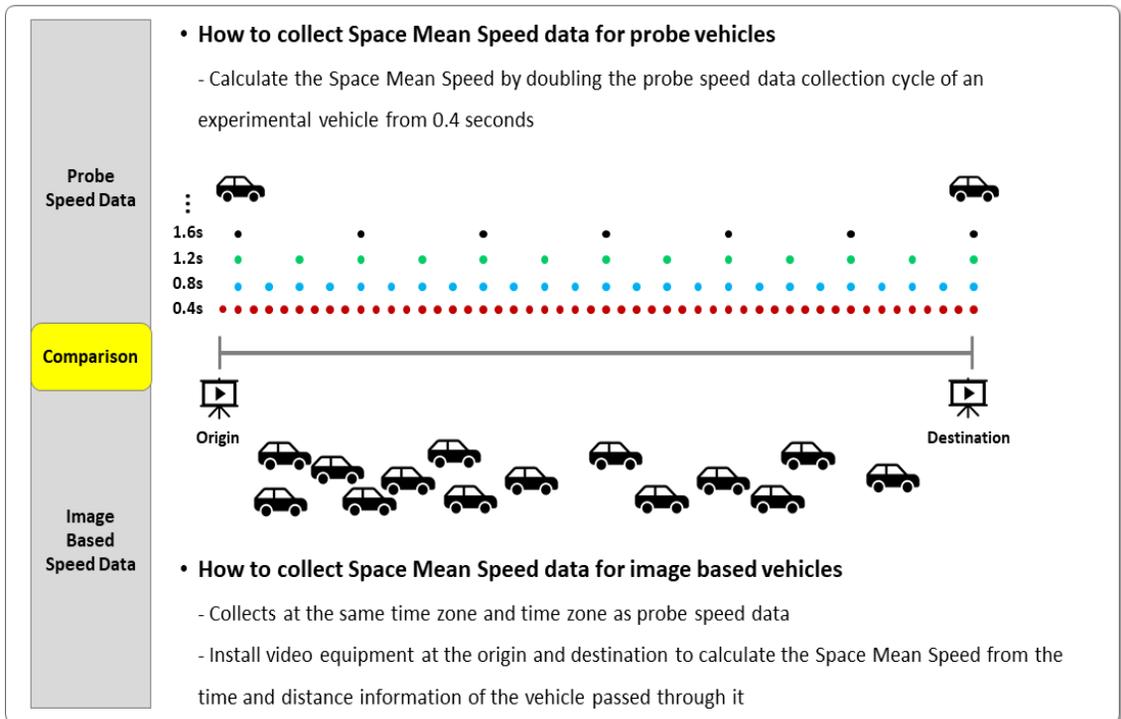
n : 총 차량 대수(대), 그리고

u_i : i 번 차량의 속도(km/h).

2. 적정수집주기의 판단을 위한 오차율 산출

신뢰성 판단을 위한 오차율은 대한수학회(Korean Mathematical Society)에서 제공하는 공식을 따르며, 프로브 차량 공간평균속도 데이터와 영상기반 차량 공간평균속도 데이터를 비교·분석하여 산출한다. 우선 프로브 차량 공간평균속도 데이터는 0.4초의 수집주기를 시작으로 두 배씩 순차적으로 늘려가며 데이터를 수집한 후 수식 (1)을 이용해 공간평균속도를 산출했다. 0.4초를 최소 수집 주기로 선택한 이유는 1초씩 생성되는 일반적인 프로브 차량 데이터보다 미시적인 데이터를 활용하고자 했으며, 공통적인 수집주기의 배수를 설정하여 대표성 있는 수집주기를 찾고자 했다.

영상기반 차량 공간평균속도는 전자의 운행과 동일 시간대 및 구간에서 출발지와 도착지에 영상장비를 설치해 이를 통과한 차량의 시간, 주행거리 정보를 이용해 산출했다. 속도 데이터 비교는 <Fig. 1>과 같은 방법으로 진행되며, 두 방법에서 산출된 공간평균속도 값을 비교해 오차율을 계산했다. 그 후 최종적으로 신뢰성 판단을 실시했다. 오차율의 산출식은 다음 수식 (2)와 같다



<Fig. 1> A Schematic Experimentation for Comparison of a Link-based Space Mean Speed

$$PE = \frac{|SMS_{probe} - SMS_{IB}|}{SMS_{IB}} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

여기서, PE : 공간평균속도의 오차율(%)
 SMS_{Probe} : 프로브 차량 기반의 공간평균속도(km/h), 그리고
 SMS_{IB} : 영상 기반의 공간평균속도(km/h)

3. 실험설계 절차

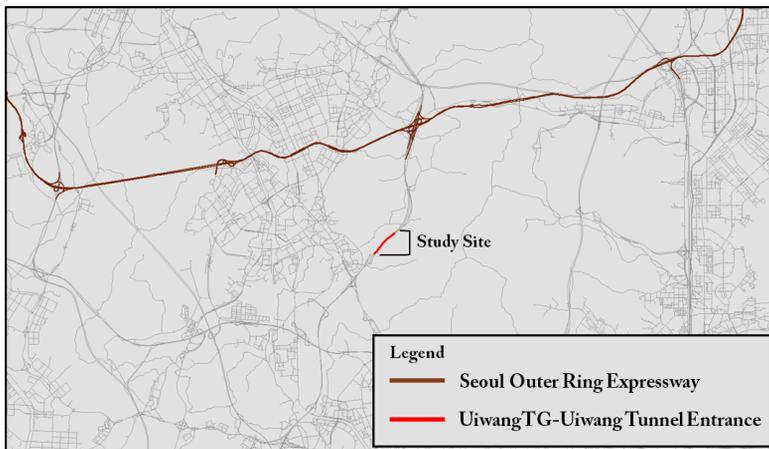
실험설계는 전문적인 오차율 산출 방법 순서에 따라 단계별로 분리된다. 우선 실험설계의 대상 도로를 선정한 후, 수집주기별 프로브 차량 공간평균속도와 영상기반 공간평균속도를 수집한다. 영상기반 데이터는 수집된 프로브 차량 데이터와 동일 구간과 시간대의 출발지와 도착지에서 식별된 차량을 촬영해 수집한다. 수집된 각 공간평균속도 데이터의 비교분석을 통해 오차율을 도출한다. 오차율이 신뢰구간 95% 내의 수준에 해당하는 주기를 적정 수집주기로 정립한다. 이를 단계별로 정리하면 다음과 같다.

- Step 1: 프로브 차량 속도데이터 탐색을 기반으로 한 실험설계 구간 선정,
- Step 2: 프로브 차량 속도 데이터 수집,
- Step 3: 영상기반 차량 속도 데이터 수집,
- Step 4: 수집주기별 프로브 차량 기반 공간평균속도와 영상기반 차량 공간평균속도의 비교분석, 그리고
- Step 5: 속도 균질별 오차율 분석을 통한 적정 수집주기 정립.

IV. 실험설계

1. Step 1: 프로브 차량 속도데이터 탐색을 기반으로 한 실험설계 구간 선정

본 연구는 향후 혼잡 상황에 대한 연구를 진행하기 앞서 비혼잡 상황에 대한 연구를 선행하고자 했다. 따라서, 실험구간을 선정함에 있어 동일 링크 내 혼잡 상황과 원활 상황을 모두 실험해야 하므로 첨두·비첨두 구간이 같이 존재하는 지역을 실험구간으로 선정하고자 했다. 해당 구간을 선정하기 위해 프로브 차량을 이용하여 잦은 혼잡이 발생하는 서울외곽순환고속도로를 시간대별로 주행하며 속도 데이터를 취득했다. 측정 결과, 서울외곽순환도로의 인접도로인 학의JC-판교JC 구간 진입 전 의왕톨게이트-의왕터널입구의 약 1.5km 구간에서 일부 시간대에 혼잡이 발생되지 않는 것을 확인했으며 본 연구의 실험 대상 도로로 선정했다. 선정된 대상 도로는 <Fig. 2>와 같다.



<Fig. 2> Study Site: Uiwang TG-Uiwang Tunnel Entrance

2. Step 2: 프로브 차량 속도 데이터 수집

대상 도로인 의왕톨게이트-의왕터널입구의 약 1.5km구간에서 평일을 기준으로 오전 8시10분-8시30분의 시간대, 1.5개월 동안의 기간(2019. 06. 24~2019. 08. 05)에 걸쳐 프로브 차량 속도 데이터를 수집했다. 단, 강우, 교통사고, 돌발상황 등의 특수 상황을 제외한 총 21일간(월 6일, 화 5일, 수 4일, 목 4일, 금 2일) 측정된 데이터를 활용하였다. 수집주기는 0.4초부터 두 배씩 늘려가며 측정했으며 수식 (1)을 이용한 공간평균속도를 산출했다. 해당 속도 값과 이를 산술평균한 값(*)의 산출 결과는 다음 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Comparison of Space Mean Speed by Data Collecting Interval

Date	Space Mean Speed (km/h)							
	0.4 sec	0.8 sec	1.6 sec	3.2 sec	6.4 sec	12.8 sec	25.6 sec	51.2 sec
6/24(Mon)	63.47	63.97	63.86	63.32	63.51	63.72	64.65	57.31
6/25(Tue)	70.94	70.14	70.22	69.90	69.79	68.52	69.81	63.37
6/26(Wed)	64.58	64.38	64.42	64.12	63.83	62.27	62.24	59.56
6/27(Thu)	73.92	74.02	74.13	74.26	73.75	74.62	73.84	74.28
7/1(Mon)	79.07	79.06	79.11	79.01	78.78	78.06	76.69	76.59
7/2(Tue)	82.63	82.73	82.68	82.53	82.40	81.91	82.47	79.48
7/8(Mon)	76.96	76.86	76.77	76.77	76.37	75.68	78.73	74.48
7/9(Tue)	86.19	86.29	86.06	85.79	85.29	84.07	81.62	83.56
7/10(Wed)	73.26	73.54	73.56	73.23	73.10	70.40	69.95	64.45
7/11(Thu)	96.22	95.93	95.89	95.78	95.37	95.09	91.35	92.21
7/15(Mon)	83.83	84.03	84.01	84.12	84.38	84.49	86.25	80.78
7/16(Tue)	88.09	87.86	87.45	87.32	87.55	86.56	83.28	85.32
7/19(Fri)	83.40	82.65	82.70	82.81	82.95	82.44	84.20	80.78
7/22(Mon)	86.48	86.48	86.30	86.33	85.10	84.93	79.20	78.83
7/24(Wed)	70.60	70.72	70.80	70.96	71.00	69.79	70.59	68.74
7/25(Thu)	72.61	72.36	72.27	72.23	72.06	71.33	71.66	72.67
7/30(Tue)	78.21	78.23	78.25	77.85	77.76	77.23	77.72	72.78
7/31(Wed)	63.81	63.81	63.77	63.85	63.72	61.86	62.48	61.16
8/1(Thu)	72.64	72.69	72.37	71.71	71.92	71.96	73.24	69.74
8/2(Fri)	78.33	78.96	79.05	79.01	78.78	78.50	79.19	81.13
8/5(Mon)	88.83	88.49	88.30	88.07	87.95	86.84	83.34	82.92
Mean Speed*	77.81	77.77	77.71	77.57	77.40	76.68	76.31	73.39

3. Step 3: 영상기반 속도 데이터 수집

영상기반 속도 데이터는 프로브 차량 데이터 공간평균속도와 동일한 구간 및 시간대의 출발지와 도착지에서 통과한 차량 정보를 촬영하여 수집했다. 출발지점인 의왕 톨게이트와 도착지점인 의왕터널 입구를 통과한 차량번호와 출발지점 통과시간, 도착지점 통과시간을 수집했다. 영상기반 데이터 속도는 영상에서 식별된 개별 차량의 주행시간과 거리의 산정을 통해 개별차량의 공간평균속도를 계산하고, 이를 토대로 전체 차량에 대한 공간평균속도를 산출했다.

개별차량 식별은 출발지와 도착지 각각 1대의 촬영 장비를 설치해 영상에서 촬영된 차량번호를 기준으로 동일 차량을 식별했다. 출발지점에서 출발시간과 도착지점에서 도착시간 정보를 수집해 구간 통행시간을 계산하며, 통행거리는 영상카메라 시점에서 중점을 뺀 거리인 1.51km이다. 개별차량의 공간평균속도는 도착시간과 출발시간의 차를 이동거리로 나눈 값을 사용하며 전체차량의 공간평균속도는 개별차량 공간평균속도의 합을 총 통과 차량 수로 나눠 산출했다. 총 차량의 통행시간 산출 결과는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Vehicles' Travel-time Collected by Image Sensing Technology

Vehicle Num	Departure-time	Arrival-time	Travel-time
5#9#	8:00:04	8:01:14	0:01:10
7#3#	8:00:08	8:01:21	0:01:13
6#9#	8:00:17	8:01:26	0:01:09
2#1#	8:00:20	8:01:31	0:01:11
9#9#	8:00:21	8:01:32	0:01:10
3#4#	8:00:23	8:01:37	0:01:14
...

<Table 3>에서 제시된 통행시간과 차량의 평균 통행거리(1.51km)를 이용해 개별차량의 공간평균속도를 산정한 결과는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Space Mean Speed of Vehicles Passing through the Experimental Link

Vehicle Num	Departure-time	Arrival-time	Travel-time	Travel Length(km)	Space Mean Speed(km/h)
5#9#	8:00:04	8:01:14	0:01:10	1.51	77.43
7#3#	8:00:08	8:01:21	0:01:13	1.51	74.24
6#9#	8:00:17	8:01:26	0:01:09	1.51	78.55
2#1#	8:00:20	8:01:31	0:01:11	1.51	76.34
9#9#	8:00:21	8:01:32	0:01:11	1.51	76.34
3#4#	8:00:23	8:01:37	0:01:14	1.51	73.24
...

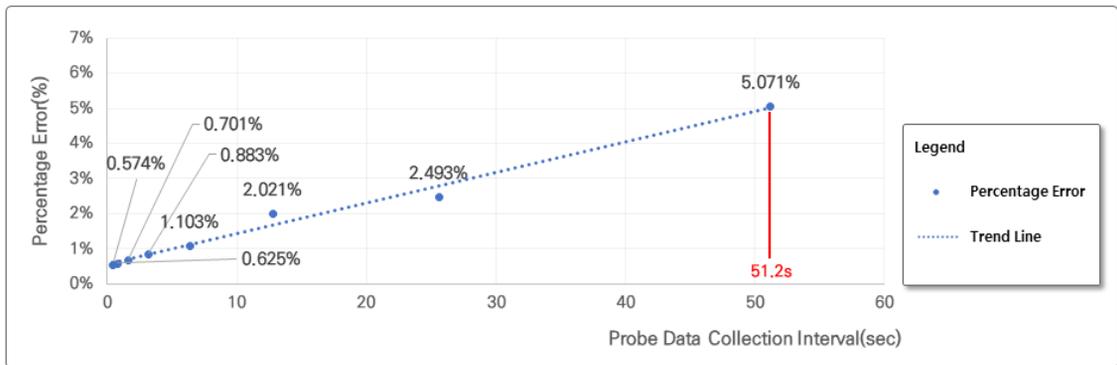
영상카메라로 차량을 식별한 결과, 출발지점 영상에서 번호판이 식별된 차량의 수는 680대, 도착지점 영상에서 번호판이 식별된 차량의 수는 691대이며 미식별 차량 618대를 포함해 총 통과차량의 수는 1,989대가 검지되었다. 이 중 출발지와 도착지에서 동일한 번호판이 식별된 차량의 수는 차종별 승용차 289대, 화물차 54대, 버스 13대로 총 356대이다. 식별된 차량의 공간평균속도는 76.50km/h로 산출되었으며 본 연구의 Step 2에서 사용된 프로브 차량은 승용차 단일 차종이므로 특수차량, 화물차량, 버스를 제외한 승용차 289대를 분석에 활용했다. 해당 구간 내 승용차의 공간평균속도는 식별된 총 차량의 공간평균속도보다 약 1.8km/h 높은 78.26km/h로 계산되었다.

4. Step 4: 수집주기별 프로브 차량 공간평균속도와 영상기반 차량 공간평균속도의 비교분석

<Table 5> Estimated Speed Difference between Probe-based and Image-based

Division	Space Mean Speed(km/h)							
	0.4 sec	0.8 sec	1.6 sec	3.2 sec	6.4 sec	12.8 sec	25.6 sec	51.2 sec
Probe Data	77.81	77.77	77.71	77.57	77.40	76.68	76.31	74.29
Image-based Data	78.26							
Speed Difference**	-0.45	-0.49	-0.55	-0.69	-0.86	-1.58	-1.95	-3.87
Percentage Error(%)***	0.574	0.625	0.701	0.883	1.103	2.021	2.493	5.071

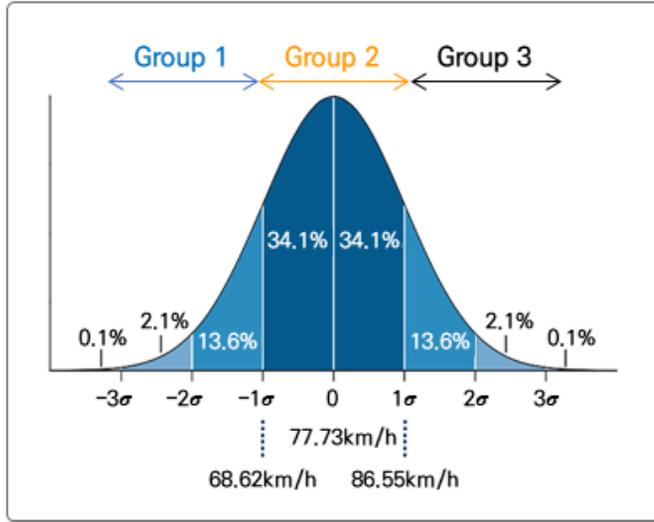
영상 카메라를 통해 수집된 승용차 기준의 공간평균속도와 프로브 차량에서 수집주기별로 계산된 공간평균속도 값을 비교해 공간평균속도의 차, 오차율을 계산한 결과는 <Table 5>와 같다. **는 프로브 차량 공간평균속도와 영상기반 차량 공간평균속도의 차, ***는 수식 (2)를 이용해 산정된 오차율이다. 분석결과 수집주기가 짧을수록 영상기반 공간평균속도값에 근사함을 알 수 있으며, 수집주기가 길수록 해당 값과 멀어지는 것으로 나타났다. <Fig. 3>은 수집주기와 오차율 간의 상관관계를 도식화한 결과이며 양의 방향으로 선형 추세를 따라 증가하는 것으로 나타났다. 추세를 따라 연결한 결과 프로브 차량의 데이터 수집주기가 51.2초일 경우를 기점으로 오차율은 5%를 초과했다. 따라서, 약 51초 이상일 시 95%의 신뢰수준을 벗어나는 것이 확인되었다.



<Fig. 3> Percentage Error by Probe Data Collection Interval

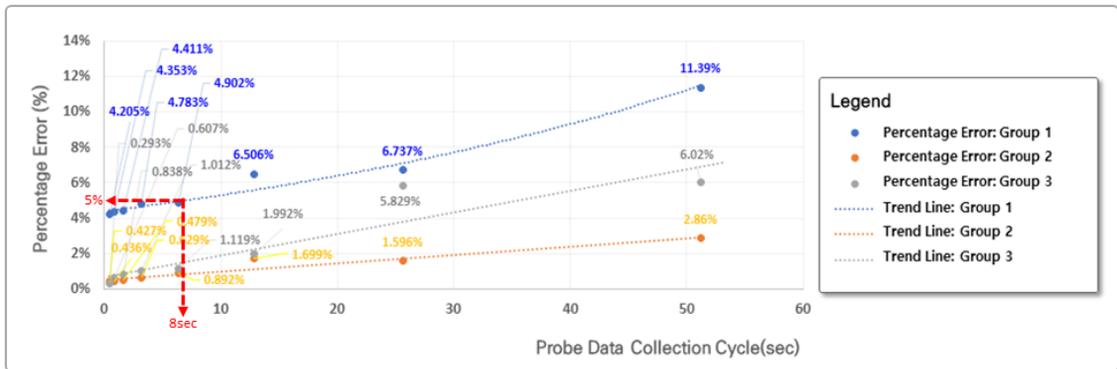
5. Step 5: 속도 군집별 오차율 분석을 통한 적정 수집주기 정립

<Table 2>에 제시된 프로브 차량 공간평균속도는 날짜·요일별로 주행속도의 차이가 있었다. 따라서 본 연구에서는 속도 군집별 비교를 통해 적정수집주기를 탐색할 필요가 있다고 판단하여 공간평균속도를 3개의 군집으로 나누어 수집주기 오차율을 산출했다. 속도 평균값과 표준편차(σ)에 따라 하위속도그룹(1그룹), 평균속도그룹(2그룹), 상위속도그룹(3그룹)의 3개 군집으로 구분하여 비교분석했다. 속도 데이터가 정규분포를 이루고 있다는 가정하에 프로브 차량 공간평균속도 10를 기준으로 계산된 속도 평균값과 표준편차는 각각 77.73km/h, 8.81km/h이며 이를 기준으로 구분해 도식화한 결과는 <Fig. 4>와 같다.



<Fig. 4> Clustering by Probe Vehicle Space Mean Speed

1그룹, 2그룹, 3그룹의 속도별 구분 기준은 각각 68.62km/h 이하, 68.62km/h~86.55km/h, 86.55km/h 초과이며, 군집별 속도의 평균은 62.99km/h, 78.26km/h, 91.31km/h이다. 군집별 오차율을 도식화한 결과는 <Fig. 5>와 같다.



<Fig. 5> Percentage Error by Clustering Probe Data Collection Interval

프로브 차량 공간평균속도의 군집별 오차율 탐색 결과, 1그룹의 최솟값과 최댓값은 각각 4.205%와 11.39%, 2그룹은 0.427%와 2.86% 그리고 3그룹은 0.293%와 6.02%로 모든 그룹에서 수집주기가 증가함에 따라 오차율은 양의 방향으로 선형관계를 가지는 것으로 확인되었다. 분석 결과, 2그룹에서 가장 낮은 오차율이 산출되었으며, 모든 그룹에서 수집주기가 약 8초일 경우를 기점으로 오차율은 5%를 초과했다. 다시 말해, 8초 이내의 수집주기에서 오차율이 95%의 신뢰수준을 가졌으며 이를 프로브 차량 속도 데이터의 적정 수집 주기로 선정하고자 한다.

V. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 내비게이션에서 폭발적으로 생성되고 있는 GPS가 탑재된 차내 단말기 데이터 기반으로 제공되는 정보들의 신뢰성 확보를 위한 기초연구를 수행했다. 이 중 기존 연구들에서는 진행하지 않았던 원천 데이터의 수집주기별 공간평균속도를 비교했다. 현실 상황에서 실제 데이터 기반의 연구를 수행하기 위해 고속도로 약 1.5km 구간을 실험설계 구간을 선정했다. 프로브 차량 데이터에서 계산된 공간평균속도와 영상 카메라에서 수집된 공간평균속도 비교분석을 통해 데이터 수집주기별 오차율을 분석했다. 분석결과, 수집주기가 증가함에 따라 오차율은 선형관계를 보이는 것으로 확인되었으며 약 51초 이내의 시간대에서 95%의 신뢰수준을 갖는 것을 알 수 있었다. 또한, 해당 데이터는 요일·날짜별 상이한 속도 분포를 가진 것을 고려해 속도를 기준으로 3개의 그룹으로 구분한 군집 분석을 실시했다. 그 결과, 8초 이내의 수집주기에서 95%의 신뢰수준을 나타내는 것으로 확인하였으며 이를 차내 단말기 속도 데이터의 적정 수집주기로 선정했다.

본 연구를 토대로 수행해야 할 향후 연구 과제는 수집된 데이터의 시간적 범위 오차, 영상카메라에서 수집된 데이터의 정확성 확보 두 가지로 여겨지며 세부내용은 다음과 같다. 먼저, 실험설계 내 프로브 차량과 영상카메라로부터 수집된 데이터는 동일한 구간 및 시간대에 취득했지만 같은 날짜 기준의 데이터가 반영되지 않아 보다 정확한 비교를 하지 못한 것이 한계점으로 남았다. 마지막으로 영상기반 차량 공간평균속도 데이터는 기준점에서 개별 차량을 정확히 식별한 차량에 비해 미식별된 차량의 수가 많으므로 영상장비의 보완 및 확충을 통해 누락된 데이터의 확보가 필요하다. 또한, 분석에 활용된 프로브 차량은 승용차이기 때문에 영상기반 속도데이터 내 포함된 화물차, 버스 등의 특수차량을 제외했으므로 이를 보완한 차종별 추가 분석을 통해 보다 정확한 수집주기의 정립이 요구된다.

본 연구는 GPS가 탑재된 차내 단말기 데이터로부터 기하급수적으로 수집되는 교통 빅데이터의 효과적인 운영 및 관리의 필요성에 따라 해당 데이터의 신뢰성 있는 링크 속도 정보를 산출하기 위한 차량 단말기 속도 데이터의 적정 수집주기를 산정하는데 그 목적과 의의가 있다. 앞서 언급한 한계점을 감안하고도 본 연구의 결과를 활용할 시 민간업계에서 각각 상이하게 유통되고 있는 GPS 속도 데이터의 수집주기 표준화를 위한 유의미한 지표로서 활용될 수 있을 것으로 생각되며 GPS 데이터의 활용성을 높여 다양한 연구 및 향후 커넥티드 환경에서 수집될 핵심 교통 정보들의 신뢰성 확보와 서비스 개발 시 기초 정보로써 활용될 수 있을 것으로 기대해본다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 교통물류연구개발사업의 연구비지원(20TLRP-B148671-03)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Chang A., Jlang G. and Niu S.(2010), "Traffic Congestion identification Method Based on GPS Equipped Floating Car," *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, p.1070.
- Jenelius E. and Koutsopoulos H. N.(2015), "Probe Vehicle Data Sampled by Time Or Space:"

- Consistent Travel Time Allocation and Estimation,” *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 71, pp.120-137.
- Kim J., Jeong H., Kang S. and Yun I.(2019), “Rate of Probe Vehicles for the Collection of Traffic Information on Expressways,” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 18, no. 6, pp.262-274.
- Lee B. J., Jung J. K., Oh S. H. and Kim K. H.(2015), *Analysis of Urban Mobility based on ITS Big Data and Its Application for Transportation Policies*, Korea Research Institute for Human Settlements, p.1.
- Long C. R., Xie C. and Lee D.(2002), “Probe Vehicle population and Sample Size for Arterial Speed Estimation,” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 17, pp.53-60.
- May A. D.(1990), *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall, pp.127-130.
- Nanthawichit C., Nakatsuji T. and Suzuki H.(2003), “Application of Probe-Vehicle Data for Real-Time Traffic-State Estimation and Short-Term Travel-Time Prediction on a Freeway,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1855, p.49.
- Sananmongkhonchai S., Tangamchit P. and Pongpaibool P.(2008), “Road Traffic Estimation from Multiple GPS Data using Incremental Weighted Update,” *ITS Telecommunications, ITSIT 2008, 8th International Conference on*, pp.62-66.
- Srinivasan K. K. and Jovanis P. P.(1996), “Determination of Number of Probe Vehicles Required for Reliable Travel Time Measurement in Urban Network,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1537, p.15.
- Varley M. C., Fairweather L. H. and Aughey R. J.(2011), “Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion,” *Journal of Sports Sciences*, vol. 30, pp 121-127.
- Xiaoyun Z., Kenneth C. and Johan H.(2014), “Reliability of GPS based traffic data: An experimental evaluation,” *Working Paper*, Borlänge: Högskolan Dalarna. doi:10.13140/2.1.2960.2242.
- Zhao W., Goodchild A. V. and McCormack E. D.(2011), “Evaluating the Accuracy of Spot Speed Data from Global Positioning Systems for Estimating Truck Travel Speed,” *Transportation Research Record*, vol. 2246, no. 1, pp.104-107.