

미래 교통환경 지원을 위한 차량 빅데이터 기반의 미시구간 속도정보 서비스 방안 연구

A Study on Vehicle Big Data-based Micro-scale Segment Speed Information Service for Future Traffic Environment Assistance

최강혁* · 정규수**

* 주저자 : 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부 박사후연구원

** 교신저자 : 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부 연구위원

Kanghyeok Choi* · Kyusoo Chong**

* Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Tech.

** Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Tech.

† Corresponding author : Kyusoo Chong, ksc@kict.re.kr

Vol. 21 No.2(2022)

April, 2022

pp.74~84

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.2.74>

2022.21.2.74

Received 26 January 2022

Revised 4 February 2022

Accepted 28 February 2022

© 2022. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요약

자율주행 관련 기술의 고도화와 함께 자율차와 비자율차가 혼재된 교통 환경이 예측됨에 따라서 미시구간의 차량 속도정보 예측은 안전한 교통 환경 구축에 가장 중요한 정보 중 하나로 판단되고 있다. 하지만, 현재 제공되는 링크 기준 미시구간 주행 속도는 속도 변화 구간을 정확하게 반영하지 못하는 한계가 있다. 본 연구에서는 미시구간 속도정보 서비스를 위한 개별 차량 빅데이터 기반의 공간 분할 방안을 제시한다. 본 연구에서는 차량 빅데이터를 이용한 동질속도구간 도출과 지오해시 기반의 단계적 구간 분할을 통하여 미시적 속도 정보 변화 지점을 분류하였다. 경부고속도로 경기지역에 대하여 제안된 방법을 적용한 결과 해당 구간 도로는 130 및 170개의 동질속도구간으로 세분되었다. 본 연구에서는 결과 분석을 통하여 제안된 방법은 기존 링크 기반 정보에 비하여 정밀하고 정확한 속도 정보 제공이 가능함을 제시하였으며, 개별 차량 빅데이터를 이용한 미시적 속도 정보 제공을 위한 구간 세분화가 필요함을 검증하였다.

핵심어 : 차량 빅데이터, 자율협력주행, 도로 링크, 미시구간 속도정보, 구간 분할

ABSTRACT

Vehicle average speed information which measured at a point or a short section has a problem in that it cannot accurately provide the speed changes on an actual highway. In this study, segment separation method based on vehicle big data for accurate micro-speed estimation is proposed. In this study, to find the point where the speed deviation occurs using location-based individual vehicle big data, time and space mean speed functions were used. Next, points being changed micro-scale speed are classified through gradual segment separation based on geohash. By the comparative evaluation for the results, this study presents that the link-based speed is could not represent accurate speed for micro-scale segments.

Key words : Vehicle big-data, Cooperative autonomous driving, Road link, Micro-scale speed information, Segment separation

I. 서론

최근 자율주행 차량 및 C-ITS(Cooperative Intelligent Transportation System) 개발이 가속화됨에 따라서 근 미래의 도로/교통 환경은 자율차와 비자율차가 혼재된 복잡한 형태가 될 것으로 예측되고 있다. 이에 V2X (Vehicle to everything) 통신 등을 통하여 획득될 수 있는 주변 차량 속성 정보의 정밀도 및 정확성을 확보하는 것이 중요해지고 있다(Ahn et al., 2000; Ho and Leem, 2019). 차량 속도 정보는 차량의 안전하고 쾌적한 운행을 지원하는 주요 속성 정보 중 하나로 정밀하고 정확한 차량 속도 정보 제공은 자율주행 및 C-ITS 구현에 있어 가장 중요한 요소 중 하나로 판단된다(Maduro et al., 2008; Vagamoor et al., 2019). 특히, 연속류와 차량의 고속 주행이 나타나는 환경에서는 예측하지 못한 상황에 대처할 수 있는 범위가 상대적으로 작기 때문에 주변 차량의 속도에 대한 정밀하고 정확한 정보 제공을 필요로 한다(Lee, 2021). 따라서 상대적으로 넓은 공간에 대한 정밀하고 정확한 차량 속도 정보를 제공하는 것은 복잡한 미래 교통 환경에서의 주행 안전성 확보에 중요하다.

다양한 센서의 차량 탑재가 일반화됨에 따라서 차량 센서에서 획득된 위치 기반 빅데이터는 도로 및 교통 환경 정보 제공에 활발히 활용되고 있다(Kim et al., 2015). 특히, DTG(Digital Tacho Graph)는 개별 차량 운행과 관련된 세밀한 정보를 제공한다는 점에서 보다 정밀한 미시 속도정보 생산에 적합한 것으로 판단된다(Kwon and Kim, 2018; Cho and Choi, 2017; Park, 2017). 위성측위시스템을 기반으로 한 DTG는 차량 위치 및 지점 속도 등의 정보를 연속적으로 제공한다는 점에서 루프 검지기 및 CCTV 등과 같은 VDS(Vehicle Detection System) 데이터와 차이를 나타낸다. VDS 데이터는 높은 정확도의 속도 정보를 제공한다는 장점이 있지만 다음과 같은 한계를 지닌다. 먼저, VDS는 설치 지점 인근의 정보만을 제공한다는 점에서 공간적 제약이 수반하며 세밀한 속도 변화 정보를 제공하기 힘들다(Lim et al., 2020; Lee et al., 2021). 즉, 고정형 센서로 구성된 VDS는 고정된 지점에서만 속도를 측정하고 속도의 시공간 분포를 정밀하게 나타내지 못한다(Wang et al., 2018). 또한, 루프 검지기 등은 도로 수명을 단축시킬 수 있으며 유지관리비용이 높다는 단점이 있으며, 이에 따라서 단계적인 폐쇄가 예측되기도 한다(An et al., 2016). 이와 같은 점에서 객체 단위 정보를 제공하며 향후 사용 증대가 기대되는 DTG는 정밀한 속도 정보 생산에 주요한 데이터로 활용될 수 있다.

정확한 차량 속도정보 생산은 기존 다양한 연구들을 통하여 다양한 방법론이 제시된 바 있다. Han et al.(2016)은 레이더 검지기의 차량계적 정보를 이용하여 고속도로 공간평균속도 산출방법을 비교한 바 있다. Ko et al.(2021)은 기존 영상 기반 교통 분석 기법들의 경우 연속적인 미시적 교통 분석이 힘들다는 점을 제시하고, 드론 영상 기반의 미시적 교통 분석 방법론을 검토하였다. 이를 위하여 그들은 드론 영상을 활용하여 속도, 교통량, 및 밀도 등의 정보를 추출하였다. Han and Kim(2017)은 DTG 데이터 기반의 링크 평균 통행시간을 도심네트워크 혼잡분석에 활용하였다. 그들은 링크의 고유번호에 따라서 차량의 통행시간을 5분단위로 집계하여 평균통행시간을 산출한 바 있다. Wang et al.(2018)은 상하이 간선도로 구간에서 속도와 차량 출동 사고 간의 관계 분석을 위하여 GPS 데이터를 이용하여 노드-링크에 대한 공간평균속도를 도출한 바 있다.

이와 같은 기존 연구들은 사용된 데이터에 적합하고 정밀한 속도정보 생산이 가능한 합리적 방법론을 제시하였지만 다음과 같은 점에서 한계를 지닌다. 먼저, 노변기지국, 루프 검지기, CCTV, 프로브카를 이용하여 수집된 데이터를 도로 중심선 기준의 정적인 링크를 기준으로 제공하고 있기 때문에 실제 속도 변화 구간과 일치하지 않거나 속도 특성을 나타내는 속도 동질구간으로 표현되지 않을 수 있다. 다음으로, 노드-링크를 기준으로 생산된 속도정보는 미시 구간의 특성을 정확히 반영하기 힘들다. 특히 연속류도로와 같이 긴 길이의 링크가 자주 나타나는 경우 노드-링크 기준의 속도정보는 정밀도가 크게 하락할 수 있다. 또한, 이동플랫폼 영상을 기반으로 한 방법의 경우, 지속적인 관련 데이터 확보와 상시 관측이 힘들다는 단점이 있다(Ko et

al., 2021). 마지막으로, 개별 차량 빅데이터와 맵을 매칭시키는 point-to-point, point-to-curve 및 curve-to-curve 등과 같은 기존 접근법들은 데이터와 지점 간의 거리에 따라 오차가 발생할 수 있다는 단점이 있다(Bernstein and Kornhauser, 1996; White et al., 2000).

차량 빅데이터에 대한 공간 매칭과 관련된 기존 연구들은 일반적으로 고정된 그리드를 기반으로 하고 있다. Zhao et al.(2019)은 트럭 속도 예측을 위하여 60m 크기의 그리드를 기반으로 GPS 데이터 매핑을 수행하였으며, Ibarra-Espinosa et al.(2019)은 교통흐름 및 속도에 대한 지역모델 데이터 생성을 위하여 고정 그리드에 차량 GPS 정보를 매핑한 바 있다. Liu et al.(2017)은 도시 교통 혼잡에 대한 공간 패턴 분석을 위하여 그리드 기반의 노드 용량 부족, 병목 현상 및 교차로 혼잡패턴 분석을 수행한 바 있다. 이와 같은 기존 연구들은 모두 고정된 크기의 그리드를 기반으로 하고 있기 때문에 정확도가 그리드 크기에 의존적이라는 한계를 지닌다. 또한 정밀도 확보를 위하여 그리드의 크기를 최소화할 경우 빅데이터 처리 속도가 확보되지 않을 수 있다는 단점이 있다. 따라서, DTG 빅데이터를 기반으로 정확한 속도 정보를 제공하기 위해서는 공간과 데이터 간 정확하고 효율적인 매칭 방법론이 확보되어야 한다.

이에 본 연구는 상대적으로 긴 링크 길이를 나타나는 고속도로 등의 연속류도로를 대상으로 선정하고 DTG 데이터를 이용하여 미시구간 속도정보를 효율적으로 생산하기 위한 방법론 제시를 목적으로 한다. 이에 본 연구에서는 DTG 데이터를 이용하여 시간평균속도(TMS)와 공간평균속도(SMS)를 계산하고 이들 간의 비교를 통하여 도출된 동적 동질속도구간 기반의 정보 제공 방법론을 제시한다. 일반적으로 운전자에게 서비스되는 속도 정보는 정해진 구간에 대한 평균값 등이 사용되며 평균속도는 TMS와 SMS로 구분된다. TMS 및 SMS는 각각 어느 시간 동안 도로상의 어느 점 또는 짧은 구간을 통과하는 모든 차량들의 속도를 산술평균한 속도, 어느 시간 동안 도로 구간을 통과한 모든 차량들이 주행한 거리를 걸린 시간으로 나눈 속도를 의미한다(Do, 2009). 이때, TMS는 SMS에 비하여 일반적으로 높게 나타나며 구간 안의 모든 차량이 동일한 속도로 이동하는 이상적인 상황에서 두 속도는 같은 값을 나타낸다. 따라서 TMS와 SMS의 유사도는 해당 구간 차량들의 속도의 동질성을 판단할 수 있도록 한다. 본 연구의 TMS와 SMS 유사도 평가는 두 속도 간의 관계식을 기반으로 수행되었으며, 기존의 다양한 연구들에서는 경험적 분석을 통하여 고속도로 또는 국도에서 차량의 TMS와 SMS 간의 관계를 선형으로 정의한 바 있다(Drake et al., 1965). Garber and Hoel(2002)는 고속도로에서의 TMS 및 SMS 간의 선형관계를 경험적으로 밝힌바 있으며, Leong and Azahar는 말레이시아 국도에서의 두 속도 간의 선형관계를 도출한 바 있다. 또한, Kim et al.(2017)은 루프 검지기에서 측정된 지점 속도를 이용하여 추정된 TMS와 SMS 간의 관계를 제시한 바 있다. 그들은 추정된 속도와 실제 이동 속도 간에 선형 관계가 있음을 제시하였다.

본 연구에서는 개별 차량에서 수집되는 위치정보가 포함된 빅데이터를 이용하여 세분화된 미시구간에 대한 보다 정확한 속도 정보 제공이 가능한 서비스 방법론을 제시하고자 하며, 본 논문은 다음과 같이 진행된다. 먼저 2장에서는 연구에 사용된 DTG 데이터에 대한 설명이 제공된다. 다음으로, 동질속도를 도출하는 방법 및 공간 분할 방법에 대하여 설명한다. 3장에서는 본 연구의 실험 결과가 제시되고 이에 대하여 분석한다. 마지막으로, 4장에서는 본 연구의 의의와 향후 연구 계획 등을 제시한다.

II. 연구 방법

1. 연구 데이터

본 연구는 차량 속도 변화를 기준으로 상대적으로 거리가 긴 도로 구간을 분할하고 구간별 차량의 속도정

보를 도출하는 것을 목적으로 한다. 따라서 도로의 구간 길이와 제한속도를 기준으로 대상 도로를 선택하였다. 즉, 구간 길이가 상대적으로 짧고 제한속도가 낮으며 단속류에 따른 교통 흐름의 변화가 있는 도시지역 도로 보다는 구간 길이가 상대적으로 길고 제한속도가 높아 연속류의 분·합류부, 사고, 비반복적 정체가 발생하는 고속도로를 연구 대상으로 선정하였다.

본 연구의 실험에는 화물차 DTG 정보가 사용되었으며 그 이유는 다음과 같다. 먼저, 화물차 DTG 정보는 현실적으로 확보가 어려운 자율차 및 웨어카에 비하여 상대적으로 데이터 확보가 용이하다. 다음으로, 연구 대상지인 고속도로의 경우 화물차는 택시나 버스에 비하여 상대적으로 많은 양의 DTG 데이터를 확보할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 연속류도로에서 충분한 양의 데이터 확보가 가능한 화물차 DTG 자료를 활용하였다. <Table 1>은 본 연구에서 사용된 DTG 데이터의 구체적인 내용을 보여준다. DTG 데이터는 <Table 1>과 같이 차량번호(CARNUM), 속도(SPEED), WGS84 좌표계 기준의 차량 위치(WGS84_X 및 WGS84_Y), GNSS 방위각(AZIM), 가속도(ACCEL_X, ACCEL_Y) 그리고 시간 정보(TIME) 등으로 구성된다.

본 연구에서는 고속도로 노선별 데이터의 추출을 위하여 지능형교통체계관리시스템의 표준노드링크를 사용하였다. 실험에는 경부고속도로 경기지역의 951개 노드와 2133개 링크가 사용되었으며 <Table 2>는 사용된 노드-링크 데이터의 예시를 보여준다. 노드-링크 데이터는 각 링크의 ID, 시작 및 종료 노드의 ID, 링크의 노선 수, 도로 번호와 이름, 제한속도 그리고 각 링크의 길이와 같은 정보를 포함하고 있다.

<Table 1> Specification of used truck DTG data

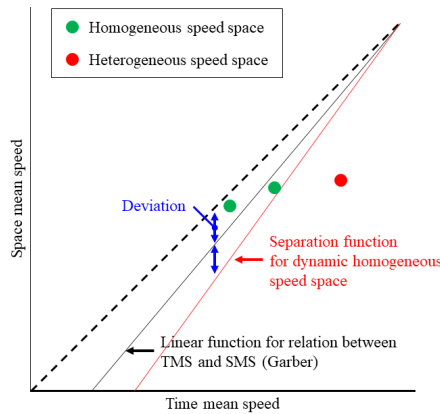
Time	April 1 - 30, 2018 (one month)							
Region of interest (road)	Expressway in Gyeonggi-do							
Data size	Approx. 3.13TB (Approx. 22.35 billion files, one-second interval)							
Number of vehicle	2775							
Sample of DTG data	CARNUM	SPEED	WGS84_X	WGS84_Y	AZIM	ACCEL_X	ACCEL_Y	TIME
	XXXXXXXXPBC004723	103.00	213530.59	489018.55	162.00	0.00	0.00	18041009004900
	XXXXXXXXPBC004723	102.00	213539.09	488991.60	162.00	0.00	0.00	18041009005000
	XXXXXXXXPBC004723	102.00	213547.32	488964.75	163.00	0.00	-0.70	18041009005100
	XXXXXXXXPBC004723	102.00	213555.55	488937.91	162.00	0.00	-0.80	18041009005200
	XXXXXXXXPBC004723	102.00	213563.78	488911.18	163.00	0.00	0.00	18041009005300
	XXXXXXXXPBC004723	102.00	213572.10	488884.12	163.00	0.00	-0.70	18041009005400
	XXXXXXXXPBC004723	101.00	213580.42	488857.28	163.00	0.00	0.00	18041009005500
	XXXXXXXXPBC004723	100.00	213588.65	488830.33	162.00	0.00	-0.90	18041009005600
	XXXXXXXXPBC004723	100.00	213596.80	488803.71	162.00	0.00	-0.10	18041009005700
XXXXXXXXPBC004723	99.00	213604.67	488777.20	163.00	0.00	-1.00	18041009005800	

<Table 2> Specification of node-link data for Gyeongbu Expressway (Gyeonggi-do)

Field name	Attribute	Sample of node-link data									
LINK_ID	link ID	LINK_ID	F_NODE	T_NODE	LANES	ROAD_NO	ROAD_NAME	CONNECT	MAX_SPD	LENGTH (m)	
F_NODE	start node ID	2310797700	2310002700	3020165900	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	3778.74	
T_NODE	end node ID	2310798300	2310003201	2140353400	5	1	Gyeongbu Expressway	0	110	477.50	
LANES	number of lanes	2310798400	2310321400	2310003201	5	1	Gyeongbu Expressway	0	110	675.12	
ROAD_NO	road number	2310798800	2310014000	2140353100	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	1309.72	
ROAD_NAME	name of road	2310799800	2430021200	2310014000	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	5279.16	
MAX_SPD	Maximum speed limit	2060358400	2060002901	2450041200	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	2792.50	
LENGTH	Length of link	2333346400	2330159900	2330120400	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	3542.25	
		2334286500	2330120000	2330500500	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	1563.24	
		2334288800	2440036000	2330159900	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	600.12	
		2430056800	2140352800	2430021200	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	3360.21	
		2440060500	2440037800	2440036000	5	1	Gyeongbu Expressway	0	110	328.58	
		2440063100	2440040400	2440037800	5	1	Gyeongbu Expressway	0	110	344.91	
		2440069800	2440040400	2440042700	5	1	Gyeongbu Expressway	0	110	4304.95	
		2440116900	2440042500	2440042800	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	699.12	
		2440119800	2440042600	2440042500	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	119.29	
		2440120000	2440042300	2440042600	5	1	Gyeongbu Expressway	0	110	1945.06	
		2440180900	2440042300	2440042200	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	1200.15	
		2440200500	2440042200	2450041300	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	3144.22	
		2450086200	2450041300	2450041500	4	1	Gyeongbu Expressway	0	110	778.78	

2. 구간 분할 조건

본 연구에서는 TMS와 SMS를 이용하여 동질속도구간(HSS: Homogeneous Speed Space)을 도출하였다. 즉, TMS와 SMS의 유사도를 동질속도를 판별하는 기준으로 하여 구간 분할을 수행하였다. 이때, 두 속도 간의 유사도 임계값은 TMS와 SMS 간의 관계함수로 결정되었다. <Fig. 1>은 본 연구의 HSS 도출 방법을 보여준다. <Fig. 1>의 검정색 점선은 TMS와 SMS가 동일한 지점, 검정색 실선은 TMS와 SMS간의 선형 관계함수를 보여주며 파란색 화살표는 두 선형식 간의 차이를 보여준다. 이때, HSS 분리 함수는 선형관계 함수에서 편차만큼 떨어진 선형식으로 결정되며 이는 <Fig. 1>의 빨간색 선분과 같다. 최종적으로, <Fig. 1>의 초록색 점과 같이 TMS와 SMS 값의 유사도가 분리 함수 내부에 들어오는 구간은 HSS로 결정된다.



<Fig. 1> Separation function derivation

본 연구에서는 분리함수 도출에 Garber and Hoel(2002)이 제시한 관계함수가 사용되었다. TMS와 SMS간의 관계 함수는 <Table 3>과 같이 다양한 연구들을 통하여 제시된 바 있다. 하지만 본 연구는 고속도로(freeway) 데이터를 대상으로 수행되었다는 점에서 국도를 대상으로 한 모델(Drake, Leong)이나 고속도로 일부 구간에 대한 실험을 통하여 도출된 모델(Wang)은 상대적으로 본 연구에 적합하지 않은 것으로 판단하였다. 본 연구에서 사용된 Garber의 관계식은 수식 1과 같으며, 최종적으로 HSS 분리함수는 수식 2와 같이 도출되었다.

$$SMS = 1.035 TMS - 3.666 \dots\dots\dots (1)$$

$$SMS = 1.070 TMS - 7.332 \dots\dots\dots (2)$$

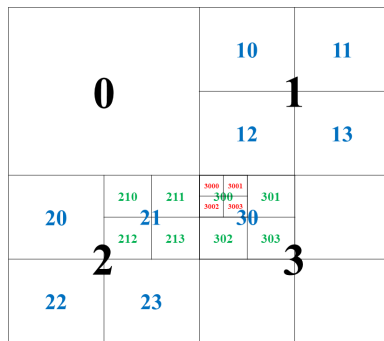
<Table 3> Conventional Linear functions for relation between TMS and SMS

Author	Coefficients ($\bar{v}_s = \alpha \bar{v}_t - \beta$)		Target road
	α	β	
Garber(2002)	1.035	3.666	Freeway
Wang(2000)	1.014	2.389	Freeway
Leong(2011)	1.016	1.704	2-lane highway
	1.021	2.528	Multi-lane
Drake(1967)	1.026	3.042	Highway

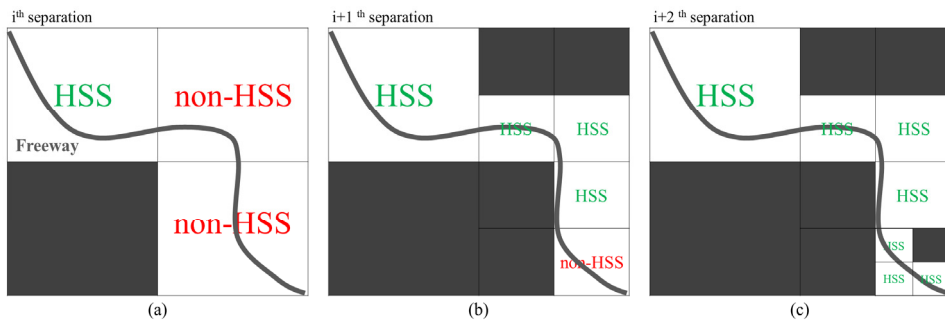
3. 동적 구간 분할 방법

본 연구에서는 연구 대상지에 대한 공간 분할을 지오해시(geohash) 알고리즘을 기반으로 수행하였다. 지오해시 알고리즘은 대상지 그리드화 및 문자열 인코딩을 위한 방법론으로, 대상지에 대한 단계적 4등분(2×2)을 통하여 계층적인 그리드 맵을 작성한다. <Fig. 2>는 지오해시 알고리즘의 내용을 보여준다. 그림의 검정색 숫자는 1회 분할된 대상지의 코드를 보여주며, 파란색, 초록색 그리고 빨간색 글씨는 각각 2회, 3회, 4회 분할을 통하여 생성된 그리드의 코드 번호를 보여준다. 본 연구에서는 한국을 포함하는 경도 126° - 130° 및 위도 34° - 38° 구간을 지오해시 알고리즘을 이용하여 분할하였다.

본 연구에서는 HSS 여부 판별에 따라 구간 분할의 계층을 결정하는 동적 구간 분할을 수행하였다. 즉, TMS 및 SMS를 기반으로 한 분할함수를 이용하여 각 그리드의 HSS 여부를 판단한다. 이때, HSS로 판단된 그리드는 분할을 멈추게 되며 HSS가 아닌 것으로 판단된 그리드에 대해서는 추가 분할이 진행된다. <Fig. 3>은 동적 구간 분할 방법의 구체적인 내용을 보여준다. i번째 분할을 통하여 <Fig. 3(a)>와 같이 그리드가 분할되면 도로가 존재하지 않는 구간은 분할에서 먼저 제외된다. 이후 각 그리드의 HSS 여부가 판별되고 비-HSS에 대한 추가 분할이 <Fig 3(b)>와 같이 진행된다. 이와 같은 분할은 <Fig 3(c)>와 같이 모든 구간이 HSS로 구분되거나 분할 횟수가 설정된 최대 임계치가 될 때까지 반복된다. 본 연구에서는 최소 분할 횟수를 5회로 설정하였으며, 최대 분할 횟수는 12회로 결정되었다. 이는 5회 이하로 분할된 그리드는 지나치게 큰 영역을 담당하게 되고, 12회 이상 분할된 그리드는 평균 100m 이하의 도로를 포함하게 되어 고속도로 미시구간 속도정보 제공에 부적합한 것으로 판단하였기 때문이다.



<Fig. 2> Concept of geohash algorithm



<Fig. 3> Dynamic segment separation method

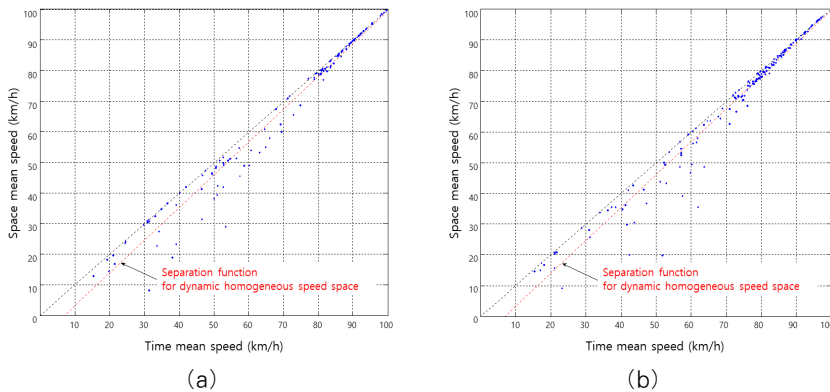
Ⅲ. 결과 및 분석

본 연구에서는 경부고속도로 경기지역에 대한 DTG 데이터를 이용하여 동질속도공간 기반의 미시구간 속도가 도출되었다. 먼저, 동적 분할의 결과는 <Table 4>와 같으며 최종 도출된 HSS의 숫자는 상행 130, 하행 170개로 나타났다. 상행 및 하행선에 관계없이 12회 분할을 통하여 HSS로 결정된 구간의 수가 가장 많았으며, 12회 분할 공간의 경우 다른 구간에 비하여 상대적으로 큰 SMS 차이를 나타내었다. 이와 같은 결과는 제안된 HSS기반의 동적 구간 분할이 대상 고속도로의 미시 구간에 대한 속도 정보를 적절하고 효율적으로 제공할 수 있음을 보여준다. 즉, 제안된 동적 구간 분할 방법은 구간의 길이가 길지만 동질한 속도 정보를 나타내는 구간은 분할을 최소화하여 속도정보 구축/제공의 효율성을 확보하고 미시 구간에서 속도 변화가 나타나는 경우에는 구간을 세분화하여 정밀한 속도 정보를 제공할 수 있도록 한다.

<Fig. 4>는 동질속도구간 별 TMS와 SMS의 분포(파란색 점)를 보여주며, 그림의 빨간색 점선은 HSS 분할 함수를 나타낸다. 그림을 통하여 대부분의 구간 평균속도가 동질속도에 해당되는 검정색 및 빨간색 점선 사이에 위치하고 있음을 알 수 있다. 분할함수 외부에 나타나는 일부 구간의 경우 12회의 분할에도 동질속도가 나타나지 않았으며, 이는 고속도로 진입로를 포함하거나 사고가 발생한 구간 등으로 판단된다.

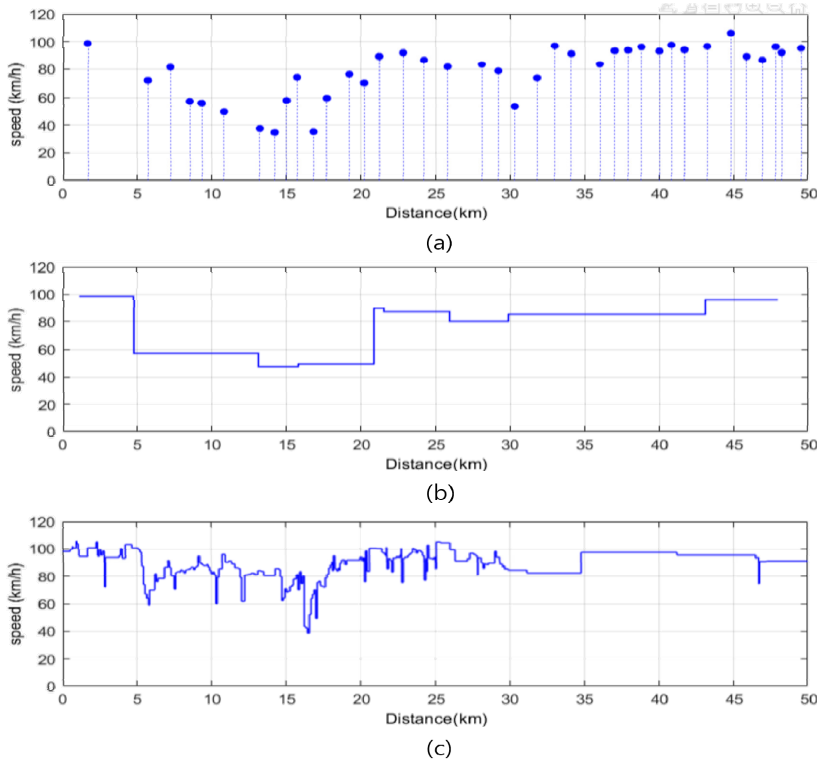
<Table 4> Estimated vehicle speeds for separated micro-scale segments

Number of separation	Northbound lane			Southbound lane		
	Number of segments	Average number of data	Average segment speed (km/h)	Number of segments	Average number of data	Average segment speed (km/h)
5	5	1070.00	86.82	2	1714.50	80.33
6	-	-	-	1	769.00	85.80
7	5	324.00	88.52	2	1157.50	88.73
8	6	354.83	89.17	6	255.17	78.80
9	5	180.80	86.61	6	260.00	84.30
10	8	91.75	83.75	13	112.77	76.58
11	10	29.44	86.78	33	56.79	82.64
12	91	32.48	56.88	107	34.36	61.69



<Fig. 4> Micro-scaled speed, (a) Northbound lane, (b) Southbound lane

본 연구에서는 <Fig. 5>와 같이 한국도로공사에서 공공데이터포털을 통하여 제공하는 속도 데이터를 이용하여 제안된 방법의 정확도 검증이 수행하였다. <Fig. 5(a)>는 연구대상지의 VDS에서 수집된 속도 정보이며, <Fig. 5(b)>는 콘존 속도 그리고 <Fig. 5(c)>는 본 연구 결과를 보여준다. 그림을 통하여 제안된 방법을 이용한 속도가 콘존 속도에 비하여 보다 정밀한 정보를 제공하고 있음을 알 수 있으며, 비연속적인 VDS 정보에 비하여 제안된 방법은 보다 정밀하고 연속적인 속도정보를 제공할 수 있음을 확인할 수 있다.



<Fig. 5> Accuracy evaluation for estimated speed (a) VDS speed, (b) conzone speed, (c) estimated speed using the proposed method

<Table 5>는 연구 대상지의 일부 구간에 대한 링크 기준 속도와 동적 동질속도구간 기반 속도를 비교하여 보여준다. 링크의 길이가 약 1.9km인 2440120000 구간의 경우 링크 기반 평균속도(Table 5 (A))는 51.56km로 제공되었다. 반면, 본 연구에서는 해당 링크를 총 17개의 구간으로 분할하여 정밀한 속도 정보를 제공하고 있으며, 분할된 구간의 속도는 최대 93.49에서 최소 35.52km/h로 나타났다. 2440119800 및 2440116900 구간의 경우 링크의 짧은 길이에 의하여 구간 간 속도 차이가 상대적으로 작게 나타났으나, 그럼에도 구간 별 최대 8.65 및 13.79km/h 수준의 속도 차이를 보이며 단일 속도로 표시된 링크 속도에 비하여 높은 정밀도를 나타내었다. 한편, 링크 기반 평균속도(Table 6 (A))와 구간별 속도를 이용하여 계산된 평균 속도(Table 5 (B))는 각 링크 별로 4.58, 3.62, 및 0.22km/h 수준의 작은 차이를 보였다. 이를 통하여 본 연구에서 제안된 동적 HHS 기반의 미시구간 속도는 기존의 링크 기반 체계에도 적용이 가능할 것으로 판단될 수 있다.

<Table 5> Comparison between link-based and segment based speed

Link ID	Length (m)	Link		Segment		A-B (km/h)
		mean speed (km/h) (A)	length (m)	mean speed of HHS segment (km/h)	mean speed (km/h) (B)	
2440120000	1945.06	51.56	129	93.49	56.14	4.58
			108	86.10		
			108	84.54		
			108	71.93		
			108	60.11		
			108	62.19		
			108	62.30		
			108	51.89		
			108	46.20		
			108	41.74		
			108	46.54		
			108	49.75		
			108	44.53		
			108	35.99		
			2440119800	119.293		
93	35.98					
2440116900	699.118	28.57	15	35.98	28.79	0.22
			108	32.02		
			108	25.95		
			108	22.19		
			108	29.98		
34	26.60					

IV. 결 론

본 연구는 개별 차량에서 수집되는 DTG 빅데이터를 이용하여 세분화된 미시구간에 대한 보다 정밀한 도로 정보를 제공하는 방법 제시를 목표로 한다. 이에 본 연구에서는 시간평균속도와 공간평균속도의 관계를 이용하여 구간의 동질속도 여부를 판단하고 계층적인 구간 분할을 통하여 동적 동질속도 구간을 도출하는 방법론을 제시하였다.

본 연구에서는 정부고속도로 경기지역의 약 345km 구간에서 수집된 화물차의 DTG 빅데이터에 대하여 제안된 방법을 적용하였다. 제안된 방법은 VDS 및 콘존 속도에 비하여 정확하고 연속적인 속도 정보 제공에 우수한 성능을 나타내었으며, 링크 기반의 속도 정보에 비하여 정밀하고 세분화된 속도 정보를 제공할 수 있

었다. 또한, 본 연구에서는 제안된 방법은 기존 링크 기반의 속도 정보 제공 체계와도 연계되어 사용될 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서 제시된 개별 차량 빅데이터를 이용한 구간 세분화 기반의 미시적 속도정보 도출 방법론은 보다 정확한 속도 정보를 효율적으로 제공할 수 있다는 점에서 실시간 미시구간 속도정보 서비스에 활용 가능할 것으로 판단된다. 즉, 자율주행차량, 커넥티드카, 웨어카 등과 같은 일반 차량 주행 정보를 이용한 교통정보 집계, 분석, 구간 분할, 제공 효율성 개선에 기여할 수 있을 것이다. 또한, 자율차 및 비자율차의 혼합 주행 환경에서 차량 안전운행을 지원하는 주요 정보로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후, DTG 빅데이터의 표본 수에 따른 추정 속도의 신뢰도에 대한 분석을 통하여 본 연구의 활용성을 더욱 증대시키고자 한다.

REFERENCES

- Ahn, J. W., Park, T. J., Kweon, T. J. and Han, C. S.(2000), "A path tracking control algorithm for autonomous vehicles", *Journal-Korean Society of Precision Engineering*, vol. 17, no. 4, pp.121-128.
- An, G. H., Go, G. Y., Jeong, Y. J. and Park, S. Y.(2016), "Development of Smart Signal Operation System", *Journal of Korean Society of Road Engineers*, vol. 18, no. 3, pp.35-39.
- Bernstein, D. and Kornhauser, A.(1996), An introduction to map matching for personal navigation assistants, *Technical Report*, New Jersey TIDE Center.
- Cheon, S. H., Kim, J. W., Kim, S. M. and Kim, C. S.(2015), "Current status of big data in the transportation sector, limitations, and future tasks", *Monthly Korea Transport Institute Magazine on Transport*, vol. 2015, no. 7, pp.49-57.
- Cho, W. and Choi, E.(2017), "DTG Big Data Analysis for Fuel Consumption Estimation", *Journal of Information Processing Systems*, vol. 13, no. 2, pp.285-304.
- Do, C. W.(2009), *Transportation Engineering Principle* (3rd ed.), Cheungmungak, pp.53-59.
- Drake, J., Schofer, J. and May, A.(1965), "A statistical analysis of speed-density hypotheses", *Highway Research Record*, vol. 154, pp.53-87.
- Garber, N. J. and Hoel, L. A.(2002), *Traffic and Highway Engineering* (3rd ed.), Cengage Learning, pp.173-176.
- Han, E., Kim, S. B., Rho, J. H. and Yun, I. S.(2016), "Comparison of the Methodologies for Calculating Expressway Space Mean Speed Using Vehicular Trajectory Information from a Radar Detector", *Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 3, pp.34-44.
- Han, Y. and Kim, Y.(2017), "A study of measuring traffic congestion for urban network using average link travel time based on DTG big data", *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 5, pp.72-84.
- Ho, W. C. and Leem, C. S.(2019), "Modeling of Digital Lane Marking System to Improve Positioning Accuracy for Autonomous Driving Vehicle", *Journal of Digital Contents Society*, vol. 20, no. 12, pp.2455-2466.
- Ibarra-Espinosa, S., Ynoue, R., Giannotti, M., Ropkins, K. and De Freitas, E. D.(2019), "Generating Traffic Flow and Speed Regional Model Data Using Internet GPS Vehicle Records", *MethodsX*,

vol. 6, pp.2065-2075.

- Kim, D., Jung, T. and Yi, K. S.(2015), “Lane Map-based Vehicle Localization for Robust Lateral Control of an Automated Vehicle”, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 21, no. 2, pp.108-114.
- Kim, H., Kim, Y. and Jang, K.(2017), “Systematic relation of estimated travel speed and actual travel speed”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 10, pp.2780-2789.
- Ko, E. J., Kim, S. H. and Kim, H. J.(2021), “Microscopic Traffic Analysis of Freeway Based on Vehicle Trajectory Data Using Drone Images”, *Transportation Technology and Policy*, vol. 20, no. 6, pp.66-83.
- Kwon, M. and Kim, Y. S.(2018), “Analysis of Traffic Flow Characteristics Using Taxi DTG Big Data”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 36, no. 6, pp.415-428.
- Lee, S. K.(2021), “The Development Direction of Highway C-ITS for Smart Autonomous Driving”, *Transportation Technology and Policy*, vol. 18, no. 5, pp.4-6.
- Lee, S., Chang, H. and Kang, T.(2021), “Analysis Method for Speeding Risk Exposure using Mobility Trajectory Big Data”, *Journal of the Society of Disaster Information*, vol. 17, no. 3, pp.655-666.
- Leong, L. V. and Azahar, A. M.(2011), “Estimating Space-Mean Speed for Rural and Suburban Highways in Malaysia”, *In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 8, p.295.
- Lim, D. H., Ko, E. J., Seo, Y. H. and Kim, H. J.(2020), “Spatiotemporal Traffic Density Estimation Based on Low Frequency ADAS Probe Data on Freeway”, *Transportation Technology and Policy*, vol. 19, no. 6, pp.208-221.
- Liu, Y., Yan, X., Wang, Y., Yang, Z. and Wu, J.(2017), “Grid Mapping for Spatial Pattern Analysis of Recurrent Urban Traffic Congestion Based on Taxi GPS Sensing Data”, *Sustainability*, vol. 9, no. 4, p.533.
- Maduro, C., Batista, K., Peixoto, P. and Batista, J.(2008), “Estimating Vehicle Velocity Using Rectified Images”, *In Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, vol. 2, pp.551-558.
- Park, J. I.(2017), “Road Policy Utilization Plan of Vehicle Driving Route Big Data”, *Korea Research Institute for Human Settlements POLICY BRIEF*, vol. 624, pp.1-8.
- Vegamoor, V. K., Darbha, S. and Rajagopal, K. R.(2019), “A Review of Automatic Vehicle Following Systems”, *Journal of the Indian Institute of Science*, vol. 99, no. 4, pp.567-587.
- Wang, X., Zhou, Q., Quddus, M. and Fan, T.(2018), “Speed, speed variation and crash relationships for urban arterials”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 113, pp.236-243.
- White, C. E., Bernstein, D. and Kornhauser, A. L.(2000), “Some map matching algorithms for personal navigation assistants”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 8, no. 1-6, pp.91-108.
- Zhao, J., Gao, Y., Yang, Z., Li, J., Feng, Y., Qin, Z. and Bai, Z.(2019), “Traffic speed prediction under non-recurrent congestion: Based on optimized deep learning algorithms and GPS data”, *IEEE Access*, vol. 7, pp.9116-9127.