

미시적 교통 시뮬레이션을 활용한 LDM 기반 도로·교통정보 활성화 구간 변화에 따른 정보 이용 효율성 평가

김희경* · 정연식** · 박재형***

Kim, Hoe Kyoung*, Chung, Younshik**, Park, Jaehyung***

Evaluation of Road and Traffic Information Use Efficiency on Changes in LDM-based Electronic Horizon through Microscopic Simulation Model

ABSTRACT

Since there is a limit to the physically visible horizon that sensors for autonomous driving can perceive, complementary utilization of digital map data such as a Local Dynamic Map (LDM) along the probable route of an Autonomous Vehicle (AV) is proposed for safe and efficient driving. Although the amount of digital map data may be insignificant compared to the amount of information collected from the sensors of an AV, efficient management of map data is inevitable for the efficient information processing of AVs. The objective of this study is to analyze the efficiency of information use and information processing time of AV according to the expansion of the active section of LDM-based static road and traffic information. To carry out this objective, a microscopic simulator model, VISSIM and VISSIM COM, was employed, and an area of about 9 km x 13 km was selected in the Busan Metropolitan Area, which includes heterogeneous traffic flows (i.e., uninterrupted and interrupted flows) as well as various road geometries. In addition, the LDM information used in AVs refers to the real high-definition map (HDM) built on the basis of ISO 22726-1. As a result of the analysis, as the electronic horizon area increases, while short links are intensively recognized on interrupted urban roads and the sum of link lengths increases as well, the number of recognized links is relatively small on uninterrupted traffic road but the sum of link lengths is large due to a small number of long links. Therefore, this study showed that an efficient range of electronic horizon for HDM data collection, processing, and management are set as 600 m on interrupted urban roads considering the 12 links corresponding to three downstream intersections and 700 m on uninterrupted traffic road associated with the 10 km sum of link lengths, respectively.

Key words : Autonomous driving, Local dynamic map, Electronic horizon, Information use efficiency, Microscopic simulation model

초록

자율주행을 위한 센서들이 인지할 수 있는 공간적 영역은 한계가 존재하기 때문에, 안전하고 효율적인 자율주행을 위해 LDM (Local Dynamic Map)과 같은 디지털 도로·교통정보의 보완적 활용을 제안하고 있다. 비록 자율주행 차량의 센서들로부터 수집되는 정보량에 비해 이러한 도로·교통정보의 양은 상대적으로 미미할 수 있지만, 자율주행 자동차(Autonomous Vehicle, AV)의 효율적 정보처리를 위해 도로·교통정보의 효율적 관리는 불가피하다. 본 연구는 LDM 기반 정적 도로·교통정보의 활성화 구간(electronic horizon 혹은 e-horizon)의 확장에 따른 자율주행 차량의 정보 이용과 정보처리 시간의 효율성을 분석하고자 하였다. 분석을 위해 미시적 시뮬레이션 모델인 VISSIM과 VISSIM

* 동아대학교 도시공학과 교수 (Dong-A University · hoekim@dau.ac.kr)

** 교신저자· 영남대학교 도시공학과 부교수 (Corresponding Author · Yeungnam University · tpgist@yu.ac.kr)

*** 메타빌드(주) SW연구본부 본부장 (Metabuild Co. Ltd. · jhpark@metabuild.co.kr)

Received December 7, 2022/ revised December 13, 2022/ accepted December 18, 2022

COM을 적용하였다. 시뮬레이션을 위해 이질적 교통류(연속류, 단속류)는 물론 다양한 도로 기하구조가 포함된 부산광역시 주요 구들을 포함한 약 9 km × 13 km 영역을 선정하였다. 또한, 자율주행 차량에서 활용되는 LDM 정보는 ISO 22726-1 기반으로 구축된 자율주행 전용 정밀 지도(High-definition Map, HDM)를 참고하였다. 분석 결과, e-horizon 영역이 증가함에 따라 단속류 도로에서 짧은 링크들이 집중적으로 인식되고 링크 길이의 합이 증가하는 반면, 연속류 도로에서는 인식되는 링크의 개수는 상대적으로 적지만 소수의 긴 링크들이 인식됨에 따라 링크 길이의 합이 크게 나타나고 있다. 따라서, 본 연구는 저속의 단속류 도로에서는 12개 링크를 기준으로, 그리고 고속의 연속류 도로에서는 링크 길이의 합 10 km를 기준으로 HDM 데이터의 수집, 가공, 처리를 위한 e-horizon의 영역은 각각 600 m와 700 m가 가장 적절한 것으로 나타났다.

검색어 : 자율주행, 동적 지도 정보, 정보 활성화 구간, 정보 이용 효율성, 미시적 시뮬레이션 모델

1. 서론

최근 자율주행 자동차 개발을 위해 다양한 센서가 개발되어 활용되고 있다. 대표적으로 레이더 센서, 라이다 센서, 카메라 기반 영상 센서 등이 포함된다. 차량에 장착되어 운영되는 이들 센서의 기능과 성능은 지속적으로 개선되고 있지만, 이들 센서가 인지할 수 있는 영역은 비교적 짧은 범위로 제한된다. 따라서 평면선형, 종단선형, 제한속도 등 도로의 기하구조 혹은 속성이 급하게 변화될 경우, 안전한 주행과 효율적인 연료 사용을 위해 보다 넓은 공간의 도로 정보가 요구된다. 또한 주행 중 경로를 급하게 수정하게 될 경우, 자율주행 자동차는 주행 구간 이외 대안 경로에 대한 도로 기하구조 및 속성정보를 보다 넓게 인식함으로써 안전한 주행 및 효율적인 연료 활용이 가능하다.

이러한 배경으로 차량 경로 안내, 즉 차량 내비게이션 분야에서는 지도 정보를 단순히 경로 안내 이외 안전한 도로 및 교통정보의 제공, 효율적인 운행 지원을 위해 활용하고자 노력해 왔다. 즉, 도로의 기하구조, 제한속도, 차로수와 같은 정보를 지도 데이터를 통해 주행 중 사전에 인지하게 하는 이른바 Electronic Horizon (e-horizon) 혹은 ADAS (Advanced Driver Assistance System) horizon 개념으로 발전시켜 왔다. 이 개념은 자율주행 기술이 발전함에 따라 더욱 주목받고 있다. 전술한 바와 같이, 자율주행을 위해 차량에 장착된 센서들의 주행 공간 인식 거리는 제한되기 때문에, 지도 정보를 보조적으로 활용한다면 자율주행 차량의 인지 영역은 보다 확장되어 안전하고 효율적인 자율주행을 가능하게 할 것이다.

한편, 자율주행을 위해 차량에 장착되어 운영되는 센서들로부터 수집되는 자료의 양은 매우 방대하며, 이들 자료를 지체없이 실시간으로 분석하여 자율주행에 활용해야 한다. 따라서 자율주행 자동차 내부에서 처리되는 자료의 규모는 상상을 초월하는 수준이 될 것이다. 컴퓨터의 연산장치, 그래픽 카드, 메모리 등의 하드웨어 기술이 발전되어 이러한 자료의 처리는 가능한 수준이 되었지만, 여전히 자료의 효율적인 처리는 지속적으로 연구되는 주제가 되고 있다. 안전하고 효율적인 자율주행을 위해 보조적으로 활용될 수

있는 도로 및 교통관련 지도 정보의 규모는 이들 센서 자료의 규모에 비해 상대적으로 매우 미미할 수 있지만, 이들 자료의 효율적 처리는 자율주행 자동차의 전체 자료 처리와 분석에 도움이 된다 (Kang et al., 2022; Varnhagen, 2017).

따라서 본 연구는 자율주행 자동차의 주행 중 활성화되어야 할 도로 구간의 영역과 자료의 처리에 대한 효율성을 분석하고자 한다. 기본적으로 도로의 유형(연속류, 단속류)과 자율주행 자동차의 운행 속도(고속주행, 저속주행)에 따라 활성화되어야 할 도로 구간의 영역은 다를 것으로 판단되며, 자율주행 자동차의 운행 특성에 따른 효율적인 도로 및 교통정보의 활성화 구간에 대한 분석이 요구된다. 이를 위해 다양한 도로 구간의 특성이 반영된 부산광역시 주요 구들을 포함한 약 9 km × 13 km 영역에 대하여 미시적 시뮬레이션 모델인 VISSIM과 VISSIM COM 기반 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 분석에 활용된 도로 및 교통정보는 ISO 22726-1 기반 자율주행 전용으로 구축된 실제 고해상도 디지털 맵(High-definition Map, HDM)의 규모를 참조하였다.

2. 문헌고찰

2.1 정적 자료 기반 e-horizon

최초의 e-horizon은 2006년 독일의 Siemens VDO사가 Adaptive Cruise Control (ACC) 기능을 개선하기 위해 BMW5 시리즈에 적용되었다(Varnhagen, 2017). 초창기 ACC는 선형 차량이 도로에서 사라졌을 때, 급격한 커브 길에서 갑작스런 차량의 가속현상이 발생하는 한계가 존재했었다. BMW는 e-horizon 정보를 활용하여 도로의 선형이나 출구 정보 등을 제공하여 이처럼 위험한 상황이 발생하는 지역에서의 가속을 줄이고자 하였다. 이러한 개념의 e-horizon은 BMW 자체 프로토콜, 데이터 모델 및 API (Application Programming Interface)를 기반으로 하였기 때문에, 유럽의 지능형교통체계(Intelligent Transportation System, ITS) 조직인 ERTICO (European Road Transport Telematics Implementation Coordination)에서는 첨단운전자보조시스템(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)의 정보교환에 필요한 인터페이스

시양을 다루기 위해 ADASIS (ADAS Interface specifications) 포럼을 조직하였다. 이 조직에서는 e-horizon 관련 개방형 표준화 데이터 모델 및 구조를 정의하며, 이들 자료의 접근이 가능한 개방형 표준 API를 정의한다. 즉, 현재 우리가 말하는 e-horizon 개념을 정의한 것이다.

2014년 ADASIS에서 정의한 e-horizon은 단순히 지도의 속성 정보를 고려하여 최대 직선거리 8,192 m (13 bit)에서 32 bit 수준이었다(Varnhagen, 2017). 그러나 자율주행을 위해서는 정밀지도 즉, 차로 단위의 도로 속성, 도로의 경계, 도로 시설, 표지판 등의 정보가 포함되고 과거 미터 단위의 해상도에서 센티미터 단위의 정밀한 HDM이 필요하며, 나아가 동적으로 변하는 정보가 필요하게 되었다. 이를 위해 기존 데이터 속성값의 범위와 크기는 더욱 증가하게 될 것이며, ADASIS 포럼에서는 이러한 속성정보로 차량의 위치, 속도, 방향, 현재 통행하고 있는 도로의 유형, 차로 수, 평면선형의 곡선 반지름, 경사도, 고도, 전방 교차로, 제한속도, 잠재적 정지지점, 그 외 다양한 도로관련 정보가 포함될 것으로 예상하였다(Varnhagen, 2017). Eckerle et al.(2017)는 e-horizon 개념을 대형 트럭에 적용할 경우, 엔진의 가감속, 기어 사용 등을 통해 4.6 ~ 6.8 %의 연비 개선 효과가 발생할 것으로 보고하였다.

한편, e-horizon 정보 기반 경로를 구성할 경우, 운전 중 발생할 수 있는 다양한 상황에 대하여 대안 경로를 고려할 수 있다. 따라서 하류부의 연속되는 도로 구간을 연결하여 다양한 대안 경로를 탐색하며 운행할 수 있다. 이 경우, Varnhagen(2017)은 자료의 처리를 위한 작업량이 상당하며, 주행 경로 전방의 최대 직선거리를 2 km 수준으로 설정할 경우, 경로 구축을 위해 최대 25~30초 수준이 소요되는 것으로 분석하였다. 따라서 도로 주행 조건에 따른 e-horizon 구간의 효율적 운영이 불가피하다고 할 수 있다.

2.2 실시간 자료 기반 e-horizon

전술한 e-horizon은 정적인 자료를 기반으로 운영되는 개념과 사례에 대한 것이다. 그러나, 교통상황, 기상상황과 같은 실시간으로 변화하는 자료를 포함하는 개념으로 e-horizon은 발전하고 있다(Huber and Grossner, 2017). 연구진은 대형 화물차량에 실시간 e-horizon을 활용할 경우, 최대 연비 감소율을 계산하기 위해 네 가지 주행 시나리오에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 동적인 e-horizon 활용은 연료 사용량을 큰 폭으로 감소시키는 것으로 나타났으며, 전방에 정체 상황이 발생할 경우 0.4~0.9 리터의 연료를 절약할 수 있는 것으로 나타났다. 특히, 정지와 출발이 반복되는 극심한 정체 상황(Stop-and-Go)에서는 42 ~ 46 %의 연료 소모량을 감소시키는 것으로 나타났다.

최근, Milton et al.(2019) 연구진은 교통 시뮬레이터인 SUMO (Simulation of Urban Mobility)를 활용하여 동적 e-horizon의

효과를 평가하였다. 이 실험에서 연구진은 시공간적 영역의 구성을 위해 공간적으로는 250 m, 시간적으로는 60초를 활용하였다. 도로 소통상황에 따라 차량의 속도에는 편차가 발생하였으며, 속도 편차 ($\pm 5 \sim 10$ km/h)에 따라 연료소모는 2.56 ~ 5.23 %까지 감소하는 것으로 분석되었으며, 통행시간은 1.2 ~ 1.63 %까지 감소하는 것으로 나타났다.

한편, 최근 전 세계적으로 조명을 받고 있는 자율주행 자동차 (Autonomous Vehicle, AV) 관련 기술을 위해 차량 자체의 센서 (레이더, 라이다, 영상 센서 등) 기술뿐만 아니라 동적인 e-horizon 기술이 자율주행의 핵심 기술이 될 것으로 예상된다(Varnhagen, 2017). 성공적인 자율주행 자동차의 운영을 위해서는 기존 e-horizon 개념이 적용되는 디지털 맵과 차별되는 HDM이 필요하다.

2.3 자율주행을 위한 HDM

현재 개발 중인 자율주행 자동차(Autonomous Vehicle, AV)는 운전자의 역할을 차량 스스로가 판단하고 제어하며 운행하는 차량으로, 주행 중 도로 주변의 상황 판단을 위해 센서 기술(레이더, 라이다, 카메라 등) 개발에 집중해 왔다. 그러나 전술한 바와 같이, 이들 센서의 검지 영역은 매우 제한적이기 때문에, 급격히 변화하는 도로의 기하구조, 돌발상황 등에 대응하기 위한 추가 정보의 제공은 AV가 직면한 상황의 판단에 도움을 주게 될 것이다. 이러한 추가 정보는 수 cm 이내의 정확도를 가지는 HDM을 통해 보완이 가능하다. 도로의 차로, 도로 폭 및 가장자리 위치, 신호, 표지판, 노면표시, 가로등 등 대부분의 도로 시설물에 대한 정확한 위치정보와 속성정보를 포함한다. 또한, 일시적 도로의 공사, 차로 차단, 교통상황 등과 같은 동적인 정보도 포함할 수 있으며, 도로의 운행 규칙(제한 속도, 추월금지 등), 도로의 포트 홀, 낙하물, 공사 구간, 교통사고와 같은 이벤트 정보가 포함되기도 한다. 이러한 정보는 정보의 특성에 따라 레이어(layer)로 구분하여 관리하는 것이 일반적이다.

매우 정교한 정적 정보와 더불어 동적 정보를 포함한 HDM의 용량은 기존 디지털 맵과 비교할 수준은 아닐 것으로 예상된다. HDM의 구축 기관과 활용 목적에 따라 다른 형식으로 구축되어왔다. 예를 들어, Table 1에서 ISO 22726-1 (ISO, 2019), 내비게이션 데이터 표준(Navigation Data Standard, NDS) 협회의 Open-LaneModel (NDS, 2022), 자동화측정시스템 표준화 협회(Association for Standardization of Automation and Measuring System, ASAM)의 OpenDRIVE (Open Dynamic Road Information for Vehicle Environment) (ASAM, 2022), 그리고 국내 국토지리정보원의 HDM (NGII, 2022) 등이 구축되었다. 그러나 이들 지도는 도로 구간, 차로, 교차로, 도로표지, 도로 시설물 등을 표현하기 위한 데이터 모델링 측면에서 서로 차이가 존재하는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2021).

Table 1. Examples of HDM Models

	High Definition Road Map	ISO22726	NDS OpenLandModel	ASAM OpenDRIVE
Institution	National Geographic Information Institute (NGII)	ISO/TC204 WG3	NDS Association	ASAM
Application areas	Determination of vehicle location, route selection and change, and regulatory identification	Autonomous driving	Navigation and autonomous driving	Simulation of autonomous driving
Status	Updated version release (May, 2021)	Developing	Added lane information to NDS 2.5.4 (Dec., 2018)	Released 1.7.0 (Aug., 2021)

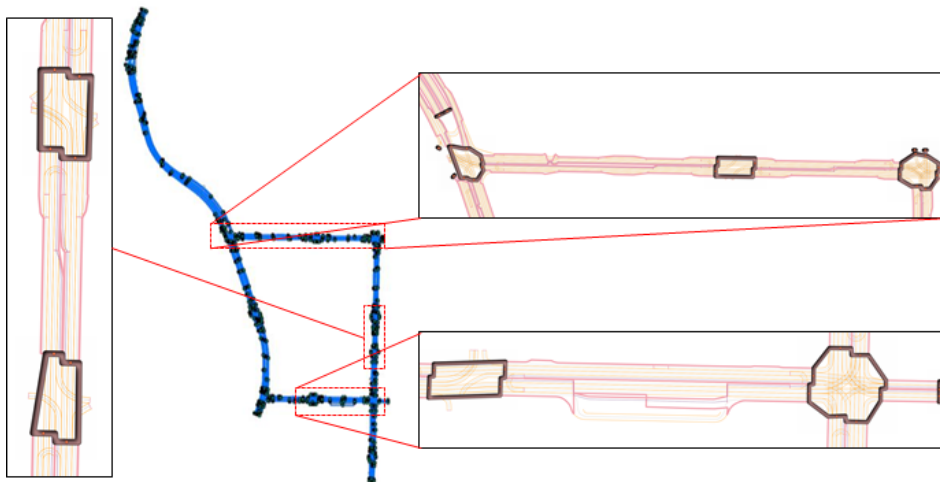


Fig. 1. Example of HDM Encoded in the Pankyo area, Sunnam

최근 자율주행기술개발혁신사업단에서 추진하고 있는 도로교통 융합신기술 사업에서는 자율주행 지원을 위해 HDM을 구성하였다. Fig. 1에서 연구진은 경기도 성남시 판교 일대 약 9.3 km 구간에 대하여 국토지리정보원 HDM을 ISO 77726-1 형식으로 보완 및 변환 작업을 완료하였다. 그 결과 전체 도로 구간에 대한 데이터 크기는 약 3.5 Mb 수준에 이르는 것으로 나타났다.

3. 시뮬레이션 환경 구축

본 연구는 HDM 기반 AV 차량의 주행 경로상의 링크 정보를 인식 거리에 따른 링크 수와 링크의 길이를 미시적 시뮬레이션 기법으로 평가하여 교통류(연속류, 단속류)의 특성에 따른 적정 링크 정보를 평가하고 있다. 이를 위해 본 연구는 최근 자율주행 자동차 관련 시뮬레이션 연구에 주로 사용되는 미시적 시뮬레이션 모델인 VISSIM과 VISSIM COM (Component Object Model)을 활용하였다(Asadi et al., 2019; Beza et al., 2022; El-Hansali et al., 2021; Gazder et al., 2020; Malibari et al., 2022; Patel et al., 2019; Zeidler et al., 2019).

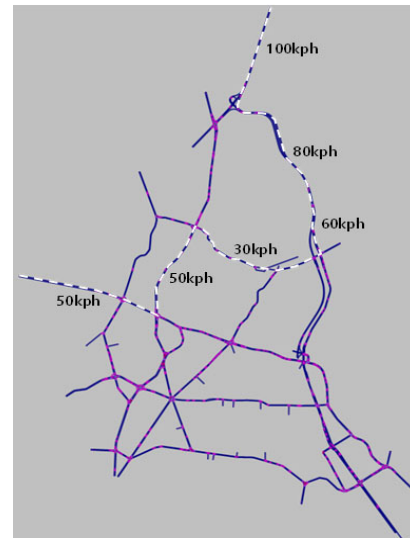


Fig. 2. VISSIM Study Network, Some Area of Busan Metropolitan City

3.1 시뮬레이션 파라미터 정의

본 연구는 Fig. 2와 같이 다양한 교통류가 혼재된 부산광역시 부산진구, 연제구, 수영구, 동래구, 금정구의 일부 구간을 포함하는

Table 2. Summary of Used Simulation Parameters

Parameter	Description	Note
Network size	9 km × 13 km	Busan Metropolitan City
Network characteristics	(Un)interrupted flows	Uninterrupted flow (60 kph, 80 kph, 100 kph)
		Interrupted flow (30 kph, 50 kph)
Simulation time resolution	0.05 sec	
Simulation time	About 20 min.	Travel time of selected vehicle until leaving
AV recognition distance	100 m ~ 1,000 m by 100 m increment	Ten cases
Number of links	926	
MOE	Number of recognized links	Unit : numbers
	Sum of recognized link distances	Unit : meter

약 9 km × 13 km 범위의 네트워크를 구축하고 도로의 기능과 유형에 따라 다양한 실제 제한 속도(30 kph, 50 kph, 60 kph, 80 kph, 100 kph)를 적용하였다. 또한, 단속류 구간에서의 교통신호 정보는 공공기관의 협조를 통해 구축하였다. 교통류를 연속류와 단속류로 정의하는 방식은 도로의 제한속도를 기준으로 하였으며, 오전 첨두시간을 대상으로 다양한 교통류를 주행하는 차량을 특정하여 분석에 활용하였다. 효과척도는 e-horizon의 변화에 따른 AV 인식범위 내의 링크 수와 링크 길이의 합으로 정의하였다. Table 2는 본 연구에서 사용되는 시뮬레이션 파라미터와 정의를 나타낸다.

3.2 시뮬레이션 구현 방식

본 연구는 VISSIM의 사용자 인터페이스인 VISSIM COM을 이용하여 차량의 발생, 새로운 링크에서의 경로변경과 차량의 속도 제어뿐만 아니라 시뮬레이션 시간 0.05초 단위 차량의 주행 링크, 위치, 속도 등을 도출하는 과정을 구현하였다. 또한 AV의 다양한 인식 거리(즉, e-horizon) 내에 포함되는 링크의 속성(링크의 수, 링크 길이의 합)을 분석하였다.

Fig. 3은 시뮬레이션의 전반적인 구현방식을 나타내고 있다. 구체적으로 살펴보면, AV 차량을 발생한 후 해당 차량이 네트워크를 진출할 때까지 시뮬레이션 시간인 0.05초 단위로 AV 차량을 이동시키면서 지속적으로 인식 거리 내에 포함되는 링크의 수와 링크 길이의 합을 확인하고 새로운 링크에 진입할 경우 차량의 경로를 재정의하고 개별 링크에 정의된 제한속도를 AV 차량에 적용한다.

4. 시뮬레이션 결과 분석

본 연구에서 AV는 주어진 경로를 주행하게 되며, 이 과정에서 도로의 유형과 전방 인식 거리인 e-horizon 영역 내 링크 수와

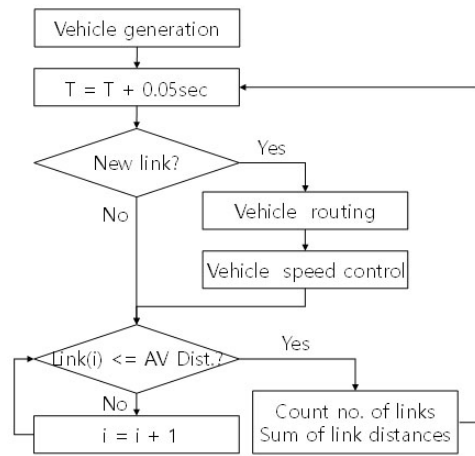


Fig. 3. Simulation Flow Chart

링크 길이의 합을 통해 HDM 데이터의 효율적 처리를 위한 최적의 e-horizon을 도출하고자 하였다.

4.1 링크 수와 링크 길이의 합

Fig. 4는 0.05초 단위 시뮬레이션 시간(X축)에 따른 AV의 e-horizon 영역 내 링크 수(Fig. 4(a))와 링크 길이의 합(Fig. 4(b))을 나타낸 것이다. Fig. 4(a)에서 크게 네 곳에서 e-horizon 영역에 따라 링크의 개수가 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났으며, 세 군데에서는 영역에 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 AV의 e-horizon 영역이 증가함에 따라 좀 더 이른 시점에 링크를 인식하고, 좀 더 오랜 시간 동안 인식되는 것으로 나타났다. 즉, AV의 e-horizon 영역이 길어짐에 따라 빠르게 링크를 인식하고, 상대적으로 장시간 링크 정보를 보유함으로써 AV 자체 메모리에는 비효율적이라고 할 수 있다.

Fig. 4(b)에서 개별 링크의 길이가 상이하여 AV의 e-horizon 영역이 증가하더라도 링크 길이의 합에 관한 결과는 Fig. 4(a)의

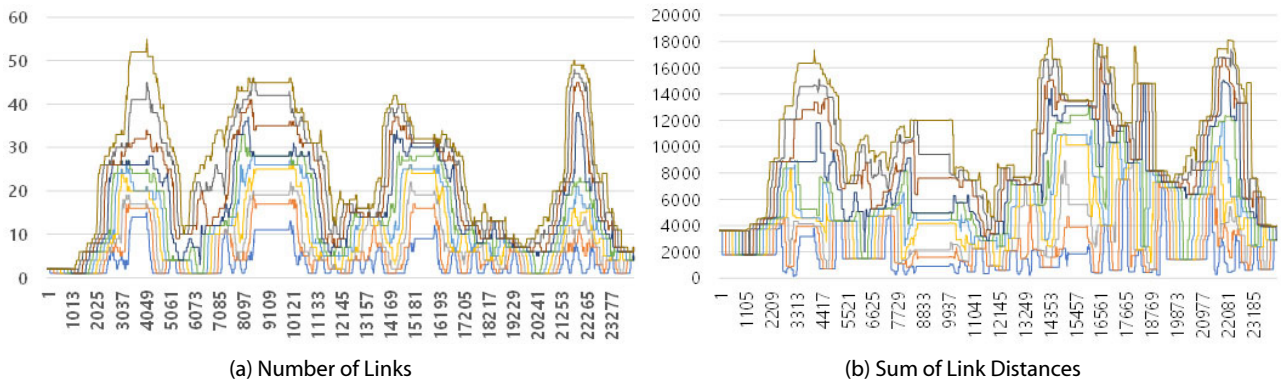


Fig. 4. Number of Links and Sum of Link Distances based on Simulation Time and E-horizon Range

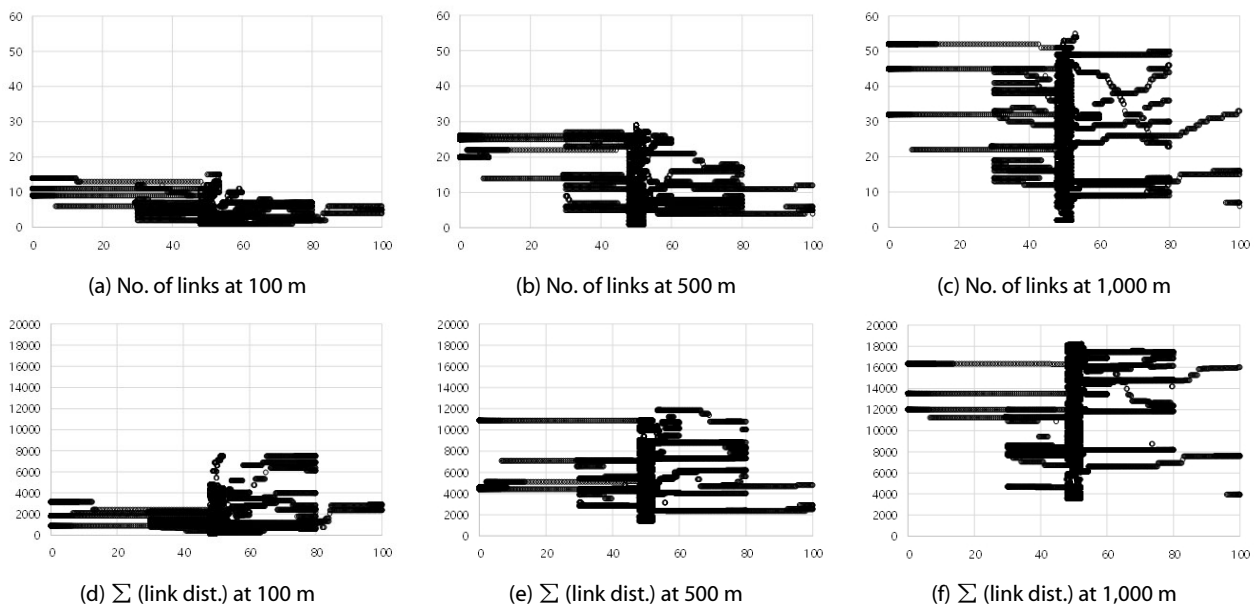


Fig. 5. Number of Links and Sum of Link Distances based on Vehicle Speed and E-horizon Range

링크 수와는 달리 직접적인 설명력이 부족하다. 따라서, AV의 e-horizon 영역에 따른 링크의 개수나 링크의 길이 관점에서 HDM의 데이터양과 데이터 처리 효과를 평가할 필요가 있다.

Fig. 5는 0.05초 단위 시뮬레이션 시간에 따른 AV 차량의 속도(X축)와 e-horizon 영역 내(100 m, 500 m, 1,000 m) 링크 수(Figs. 5(a)~5(c))와 링크 길이의 합(Figs. 5(d)~5(f))을 분석한 결과를 나타내고 있다. 또한 단속류 도로의 제한속도인 50 kph를 기준으로 50 kph 이하의 통행속도(travel speed)는 단속류(interrupted traffic flow)로 그 이상은 연속류(uninterrupted traffic flow)로 정의하였다.

Fig. 5(a)~5(c)에서 50 kph 주변 속도에서 가장 많은 링크들이 인식되고 있으며 인식 거리가 늘어남에 따라 인식범위에 포함되는 링크의 개수가 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 더불어 30 kph

이하 1,000 m 인식 거리(Fig. 5(c))에서 짧은 링크들이 집중적으로 인식되는데 이는 전형적인 단속류 도로의 특성이라고 할 수 있다. 반면 80 kph 이상 1,000 m 인식 거리(Fig. 5(c))에서 인식되는 링크의 개수는 상대적으로 적으며 이는 연속류(도시)고속도로의 특성으로 이해할 수 있다.

Fig. 5(d)~5(f)에서 e-horizon 영역이 증가함에 따라 링크 길이의 합이 증가하고 있으며, 이는 단속류 도로(속도 50 kph 이하)의 신호교차로와 연결되는 짧은 링크들이 집중적으로 인식되기 때문이다. 또한, 80 kph 이상의 연속류 도로에서는 링크의 개수와 달리 링크 길이의 합이 크게 나타났다.

4.2 평균 링크 수와 평균 링크 길이의 합

Fig. 6은 차량 속도(X축)와 AV의 e-horizon 영역(Y축)에 따른

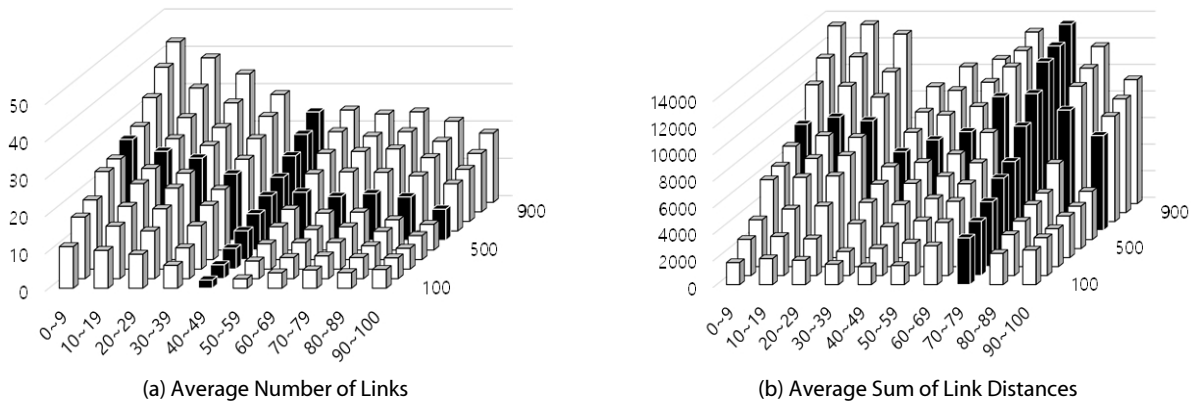


Fig. 6. Average Number of Links and Sum of Link Distances based on Vehicle Speed and E-horizon Range

평균 링크 수(Fig. 6(a))와 평균 링크 길이의 합(Fig. 6(b))을 나타낸다. Fig. 6(a)에서 속도가 늘어남에 따라 평균 링크 수가 줄어드는 반면, AV의 e-horizon 영역이 늘어남에 따라 평균 링크 수가 증가하는 것을 알 수 있다. AV가 인지하는 도로의 거리와 관계없이 신호교차로로 구성된 저속의 단속류 도로에서는 고속의 연속류 도로보다 더 많은 링크들이 인식되고 있다.

Fig. 6(b)에서 Fig. 6(a)의 결과와는 달리 저속과 고속에서 AV가 인지하는 도로의 거리가 늘어남에 따라 평균 링크 길이의 합이 증가하는 것을 알 수 있다. 저속의 경우 짧은 링크들이 다수 인식됨에 따른 결과이고 고속의 경우 (도시)고속도로로 구성된 상대적으로 소수의 긴 링크들이 인식되기 때문이다.

결론적으로 저속의 단속류 도로에서는 링크의 수를 중심으로, 그리고 고속의 연속류 도로에서는 링크 길이의 합을 기준으로 HDM 데이터의 수집, 가공, 처리를 위한 적정 범위를 제시해야 할 것으로 판단된다. 구체적으로 단속류 도로(속도 40 ~ 49 kph)에서는 하류부 전방과 좌우 교차로를 포함하는 12개 링크를 기준으로 600 m의 e-horizon 영역을 정의하고 연속류 도로(70 ~ 79 kph)의 경우 주행 중인 링크와 주변 링크를 포함한 링크 길이의 합 10 km를 기준으로 700 m의 e-horizon 영역을 정의할 수 있다.

5. 결론

AV 개발의 주요 목적은 편리성, 효율성, 안전성 등 다양하다. 이중 인간이 운전하며 발생시키는 실수로 인한 교통사고는 전체 교통사고의 90 % 이상이라는 것이 일반적인 통계이다. 이러한 AV 기술 중 핵심 기술은 운전자의 시각적인 능력에 해당하는 레이더, 라이더, 카메라 센서의 개발이다. 현재 이들 센서가 인지할 수 있는 공간적인 영역은 매우 제한적이라는 단점으로 도로의 기하구조와 주변 환경에 대한 정보를 지도에 담아 센서 정보와 융합하여 자율주행을 완성하고자 하는 시도가 진행되었다.

e-horizon은 지도 기반 도로 및 교통정보를 AV에 활용하여 AV의 효율적 운행과 안전한 운행을 보장하고자 추진되었다. 2000년대 정적 정보를 기반으로 시작되었으나, 최근에는 동적 정보와 고정밀 디지털 지도, 즉, HDM 기반 정보를 활용하고 있다. 기존 문헌에 나타난 것처럼, 대부분 e-horizon 관련 연구는 연료 소모 감소 분석 부분에 집중되어 있다. 또한 현재 자율주행을 위한 HDM에 대한 표준 규격이 제정되지 않아, 기관별 구축 목적에 따라 미미한 차이를 유지하며 HDM을 구축하는 것으로 조사되었다. 즉, 연료 효율적이고 안전한 AV 운영을 위해 e-horizon이 중요한 역할을 하리라는 것은 인정하지만, AV 자체적으로 정보의 효율적인 처리를 위한 최적 e-horizon에 관한 연구보다는 HDM 구축에 더 많은 노력이 진행되고 있는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 AV의 주행 중 활성화되어야 할 도로 구간의 영역과 자료의 처리에 대한 효율성을 평가하기 위해 다양한 도로 구간의 특성이 포함된 부산광역시 주요 구들을 포함한 약 9 km × 13 km 영역에 대하여 미시적 시뮬레이션 모델인 VISSIM과 VISSIM COM을 이용하여 e-horizon의 변화에 따른 AV 인식범위 내의 링크 수와 링크 길이의 합을 분석하였다. 분석 결과, AV의 e-horizon 영역이 증가함에 따라 빠르게 링크를 인식하고, 상대적으로 장시간 링크 정보를 보유함으로써 AV 자체 메모리에는 비효율적이라고 할 수 있다. 또한, 제한속도 50 kph 이하인 단속류 도로에서 e-horizon 영역이 증가함에 따라 짧은 링크들이 집중적으로 인식되고 링크 길이의 합이 증가하는데, 이는 전형적인 단속류 교통류의 특성이라고 할 수 있다. 반면 연속류의 특성을 지닌 도로에서 e-horizon 영역이 증가할 경우 인식되는 링크의 개수는 상대적으로 적지만 소수의 긴 링크들이 인식됨에 따라 링크 길이의 합이 크게 나타나고 있다.

결론적으로, 교통류의 특성에 따라 HDM 데이터의 수집, 가공, 처리를 위한 적정 범위를 차별적으로 제시해야 할 것으로 판단된다. 예를 들면, 저속의 단속류 도로에서는 링크의 수 그리고 고속의

연속류 도로에서는 링크 길이의 합을 기준으로 판단해야 할 것이다. 구체적으로 단속류 도로는 하류부 전방과 좌우 교차로를 포함하는 12개 링크 그리고 연속류 도로는 주행 중인 링크와 주변 링크를 포함하는 링크 길이의 합 10 km를 기준으로 e-horizon 영역을 각각 600 m와 700 m로 정의할 수 있다. 마지막으로, 본 연구는 실도로와 직접 연계된 교통정보를 활용하고 있지 못 하며, 최대 e-horizon 영역을 1,000 m로 제한하고 있다는 연구의 한계가 존재한다. 향후 연구에서는 실도로 주행을 통한 AV의 정적 그리고 동적 교통정보 처리방안과 연산 속도 등에 대한 제사가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 클라우드 소싱 기반의 디지털 도로·교통 인프라 융합 플랫폼 기술 개발 과제(KAIA22 AMDP-C161924-02)의 지원을 받아 수행되었음.

References

- Asadi, F. E., Anwar, A. K. and Miles, J. C. (2019). "Investigating the potential transportation Impacts of Connected and Autonomous Vehicles." *The Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVe)*, Graz, Austria, pp. 1-6.
- Association for Standardization of Automation and Measuring System (ASAM) (2022). *ASAM OpenDRIVE*, Available at: <https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/> (Accessed: November 28, 2022).
- Beza, A. D., Zefreh, M. M., Torok, A. and Mekonnen, A. A. (2022). "How PTV vissim has been calibrated for the simulation of automated vehicles in literature?." *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2022, pp. 1-18.
- Eckerle, W., Sujjan, V. and Salemm, G. (2017). *Future challenges for engine manufacturers in view of future emissions legislation*, SAE Technical Paper 2017-01-1923.
- El-Hansali, Y., Farrag, S., Yasar, A., Shakshuki, E. and Al-Abri, K. (2021). "Using surrogate measures to evaluate the safety of autonomous vehicles." *The Proceedings of The 18th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC)*, Leuven, Belgium, pp. 151-159.
- Gazder, U., Alhalabi, K. and Alazzawi, O. (2020). "Calibration of autonomous vehicles in PTV VISSIM." *The Proceedings of 3rd Smart Cities Symposium (SCS 2020)*, Online Conference, pp. 39-42.
- Huber, T. and Grossner, T. (2017). "Future CO₂ legislation and innovations to reduce TCO - using continental innovation truck as an example - evaluation of photovoltaic system and coasting technology." *In Nutzfahrzeuge 2017 - Commercial Vehicles 2017*, Truck, Bus, Van, Trailer, 1ed.; GmbH, V. D. I. W., Ed. VDI Verlag: Düsseldorf, pp. 79-102.
- International Organization for Standardization (ISO) (2019). *Intelligent transport systems - dynamic data and map database specification for connected and automated driving system applications - part 1: architecture and logical data model for harmonization of static map data*, ISO/AWI TS 22726-1.
- Kang, C. M., Chung, Y. S. and Park, J. H. (2022). "A framework for calculating the spatiotemporal activation section of LDM-Based autonomous driving information." *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, KSCE, Vol. 42, No. 4, pp. 519-526 (in Korean).
- Lee, M. H., Jang, I. S. and Kim, M. S. (2021). "A study on data model conversion method for the application of autonomous driving of various kinds of HD map." *Journal of Cadastre & Land Informatix*, Vol. 51, No. 1, pp. 39-51 (in Korean).
- Malibari, A., Higatani, A. and Saleh, W. (2022). "Assessing the impacts of autonomous vehicles on road congestion using microsimulation." *Sensors*, Vol. 2022, No. 22, pp. 1-15.
- Milton, G., Fiquet, F., Wijesinghem, A., Noble, A. and Fussey, P. (2019). "Efficiency improvements for commercial vehicles through dynamic electronic horizon." *In: Siebenpfeiffer, W. (eds) Heavy-Duty-, On- und Off-Highway-Motoren 2018. Proceedings*, Springer Vieweg, Wiesbaden.
- National Geographic Information Institute (NGII) (2022). *High definition road map*, Available at: <https://www.ngii.go.kr/eng/content.do?sq=124> (Accessed: November 28, 2022).
- Navigation Data Standard (NDS) (2022). *Open lane model*, Available at: <https://www.openlanemodel.org/> (Accessed: November 28, 2022).
- Patel, A. D. (2019). *Estimating the effect of connected and autonomous vehicles (CAVs) on capacity and level of service at freeway merge segments*, MS Thesis, Civil Engineering at the University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA, pp. 1-67.
- Varnhagen, D. (2017). *Electronic horizon: A map as a sensor and predictive control*, SAE Technical Paper 2017-01-1945.
- Zeidler, V., Buck, S. H., Kautzsch, L. and Vortisch, P. (2019). "Simulation of autonomous vehicles based on wiedemann's car following model in PTV vissim." *The Proceedings of Transportation Research Board 98th Annual Meeting*, Washington, DC, USA, pp. 1-14.