

가상환경에서 OSM을 활용한 자율주행 실증 맵 성능 연구

백민혁* · 박진우* · 심중석* · 박성정** · 임용섭***,† · 최경호****,‡

Study on Map Building Performance Using OSM in Virtual Environment for Application to Self-Driving Vehicle

MinHyeok Baek*, Jinu Park*, JungSeok Shim*, SeongJeong Park**,
YongSeob Lim***,†, GyeongHo Choi****,‡

Key Words: Automated vehicle(자율주행차), Self-driving verification(자율주행 실증), HD map(고정밀 지도), Openstreetmap(OSM; 오픈 스트리트 맵), Virtual simulation(가상 시뮬레이션)

ABSTRACT

In recent years, automated vehicles have garnered attention in the multidisciplinary research field, promising increased safety on the road and new opportunities for passengers. High-Definition (HD) maps have been in development for many years as they offer roadmaps with inch-perfect accuracy and high environmental fidelity, containing precise information about pedestrian crossings, traffic lights/signs, barriers, and more. Demonstrating autonomous driving requires verification of driving on actual roads, but this can be challenging, time-consuming, and costly. To overcome these obstacles, creating HD maps of real roads in a simulation and conducting virtual driving has become an alternative solution. However, existing HD maps using high-precision data are expensive and time-consuming to build, which limits their verification in various environments and on different roads. Thus, it is challenging to demonstrate autonomous driving on anything other than extremely limited roads and environments. In this paper, we propose a new and simple method for implementing HD maps that are more accessible for autonomous driving demonstrations. Our HD map combines the CARLA simulator and OpenStreetMap (OSM) data, which are both open-source, allowing for the creation of HD maps containing high-accuracy road information globally with minimal dependence. Our results show that our easily accessible HD map has an accuracy of 98.28% for longitudinal length on straight roads and 98.42% on curved roads. Moreover, the accuracy for the lateral direction for the road width represented 100% compared to the manual method reflected with the exact road data. The proposed method can contribute to the advancement of autonomous driving and enable its demonstration in diverse environments and on various roads.

* 대구경북과학기술원, 융복합대학
 ** 대구경북과학기술원, 학제학과 석사과정
 *** 대구경북과학기술원, 로봇 및 기계전자공학과 교수
 **** 대구경북과학기술원, 학제학과 교수
 E-mail: minheak06@dgist.ac.kr
 †공동교신저자: yslim73@dgist.ac.kr
 ‡공동교신저자: ghchoi@dgist.ac.kr

1. 서론

미래 모빌리티 산업의 키워드 중 하나인 자율주행차는 여러 방면에서 연구가 이루어지고 있다. 자율주행 차는 2025년에는 본격적으로 시장에 출시될 것으로 전문가들은 예상하고 있으며, 2035년까지 연평균성장률이 85%

수준에 이를 것으로 전망하고 있지만, 본격적인 시장 출시에 앞서 선결되어야 하는 것들이 여러 가지가 있다. 특히, 자율자동차 개발을 위하여 투자되고 있는 막대한 노력에도 불구하고 기술개발 속도가 늦은 이유는 모든 자율자동차 실험을 실도로에서 실증을 통하여 진행하고 있기 때문이다. 이런 자율주행 자동차 개발 속도를 획기적으로 단축시킬 수 있는 방법은 가상환경을 통하여 개발중인 자율자동차 실차 실험을 수행하는 것이다.

가상환경 내에서의 자율주행 자동차 검증은 실차 기반 검증보다 비용과 시간을 획기적으로 축소할 수 있으며, 안전이 확보된 상태에서 다양한 시나리오를 구현할 수 있어 자율주행 자동차 개발 및 검증 실험에 필수적이다. 이때, 실제 환경을 구현하는 정밀지도는 가상환경기반 검증에 필수적인 요소이고, 실제와 같은 도로환경이 구현되어야 한다. 최근 정밀지도의 중요성이 부각되면서 많은 연구들이 도로정보의 실시간 업데이트와 정밀지도 자동구축 시스템에 초점을 맞추어 진행되고 있다. 특히 안정성 측면에서 정밀지도는 높은 정밀도를 바탕으로 자율주행차 연구에서 여러 형태로 사용되고 있다. 정밀지도란 도로, 보행자 인도, 건물과 교통, 그리고 주변환경 등의 정보를 오차 범위 센티미터(cm)급으로 포함한 지도이고 자율주행차의 경로 생성 및 주행 알고리즘 등 다방면으로 사용된다.⁽¹⁾ Yijun et al.(2022)에서는 정확도를 더 높이기 위해 CNN(Convolutional Neural Network)를 제안하여 도로 폴리곤을 계산하기도 하며,⁽²⁾ Donghoon et al.(2020)에서는 ADAS(Advanced Driver Assistance System)를 사용하여 데이터를 측정하는 다양한 방식들을 제안하고 있다.⁽³⁾ 그러나, 기존 정밀지도 제작방식은 Mobile Mapping System(MMS) 장비 기반의 고정밀 데이터를 사용하며, 제작에 많은 시간이 소요됨으로 다양한 환경을 적용하기에는 어려움이 따른다. 현재 제일 정확하고 널리 쓰이는 방식 중 하나인 Geographic Information System(GIS) 데이터를 사용하여 제작하는 방식이다. 이는 직접 LiDAR와 위성 벡터데이터, 위성사진 등을 사용하여 이를 3차원화 시키는 방식으로, 이를 위해서는 필수적으로 LiDAR를 자율자동차에 장착함으로써 매우 큰 규모의 연구가 아니면 진행할 수 없다. Choi et al.(2020)에서는 본 한계를 명시하면서 항공사진을 활용한 정밀도로지도 구축을 제시하였고,⁽⁴⁾ Kitae et al.(2021)에서도 본 문제점을 지적하여 저비용으로 구축할 수 있는 Crowdsourced 데이터를 사용하여 정밀지도를 업데이트할 수 있는 방법을 제시하였다.⁽⁵⁾ 이러한 방법들은 기존 방법보다 저렴한 방식으로 제작할 수 있다는 장점이 존재하지만 다양한 장소에서 자율주행을

실증할 경우, 각 장소마다 정밀지도를 제작하여야 하는 현실적으로 큰 어려움이 있다. 이러한 면은 가상환경에서 자율주행 실증에 대해 접근성을 낮추는 역효과를 낳는다.

본 연구에서는 이를 해결하기 위해 고정밀 데이터 대신에 오픈 소스 기반의 접근성이 높은 데이터들과 시뮬레이터, 맵 에디터를 사용함으로써 자율자동차를 실험하고자 하는 장소의 도로를 간편하게 생성하여 접근성과 정확도가 높은 새로운 자율주행 실증 맵 제작 방식을 제안해 가상환경에서 효율적인 실험을 진행하고자 한다. 따라서 본 논문에서는 가상환경에서 자율주행 자동차의 성능 검증을 보다 정확하고 접근성이 좋은 새로운 정밀지도 제작방식인 OpenStreetMap(OSM) 방식을 제안하고, 제작된 지도를 기반으로 가상환경에서 기초적인 성능을 확인하고자 한다.

2. 시뮬레이션 및 지도 데이터

2.1. 시뮬레이션 선정

연구 목적에 부합하도록 접근성이 높은 오픈소스 시뮬레이션을 대상으로 검토하였으며, CARLA, SUMMIT, SVL, PG Drive, Airsim 등 총 5개의 오픈소스 시뮬레이터를 적용센서, 주변환경, 부속장치 적용등을 고려하여 비교하였다. 본 연구에서는 접근성이 용이한 실증 맵을 통하여 자율자동차 성능 연구를 위하여 지도 제작이 자유롭고 완전히 독립적이어야 한다. 데이터 수집을 위해 자율주행 실증에 필요한 많은 센서, 최소 depth와 RGB camera, LiDAR 지원하는 시뮬레이션을 선택하였다. 본 연구의 목적인 높은 접근성의 맵 제작뿐 아니라 추후 연구를 위해 다양한 환경에서의 실증을 진행하고자 함을 추가적인 선정 기준으로 잡았다. 이 경우 CARLA, SUMMIT, SVL이 조건을 만족하지만 지속적인 추가 연구를 위해, 시뮬레이션 역시 현재 지속적인 업데이트가 가능하여야 하므로 Table 1과 같이 CARLA와 SUMMIT을 최종 비교하였다.

차량과 통신할 수 있도록, Robot Operating System(ROS)를 지원하는 다양한 조건을 만족하는 시뮬레이션으로 CARLA와 SUMMIT을 선정하였다. Table 1에서 나타난 것처럼 CARLA와 SUMMIT 모두 기본적인 센서와 주변환경에 대한 구현 옵션은 유사하지만 부수적장치(Other Features)에 대한 면에서, SUMMIT이 개인 모빌리티에 해당하는 자전거 및 전동바이크의 단순 기능만으로는 CARLA보다 많은 조건을 구현하지만, SUMMIT의 경우 CARLA를 기반으로 개발되었기 때문에 확장성이 더 넓은 CARLA를 선정하였다.

Table 1 Features comparison in each simulator⁽⁶⁾

	CARLA	SUMMIT
Sensors	Depth camera, RGB camera, optical flow camera, semantic segmentation camera, DVS, collision detector, lane invasion detector, obstacle detector, gnss, IMU, radar, semantic LiDAR	Depth camera, RGB camera, optical flow camera, semantic segmentation camera, DVS, collision detector, lane invasion detector, obstacle detector, gnss, IMU, radar, semantic LiDAR
Environ. features	Lighting, fog, cloudiness, precipitation, ambient occlusion	Lighting, fog, cloudiness, precipitation, ambient occlusion
Other features	RoadRunner map customization, traffic and pedestrian behaviour	RoadRunner map customization, traffic and pedestrian behaviour, aggression, traffic attentiveness. Has motorcycle, bus, bicycle assets
Special		Built upon CARLA

2.2. 맵 데이터 선정

맵 제작을 위한 고려사항은 사용자의 접근성과 편리함, 데이터의 정확도, 그리고 처리해야 하는 데이터 양을 고려하고자 하였다. 이와 같은 네가지의 변수를 지도제작 항목으로 고려하여 Table 2에 나타내었으며, 자세한 설명은 아래와 같다.

Table 2 Feature comparison of map data

	Manually	GIS	OSM	Company
Data type	Real road data	Measure data	Aerial photography, GPS, User support	Measure data
Make type	Manual	Auto	Auto	Auto
Accuracy	Real data	Depends on data accuracy	Depends on measurement accuracy	Depends on data accuracy
Korea map	O	O	O	X
Reference	Plenty	Less	Very plenty	Very less

GIS data making: 국내의 경우 국토지리정보원 데이터 베이스에서 벡터 데이터와 위성사진을 받을 수 있으나, 점군 데이터와 고도데이터의 경우 매우 복잡한 절차와 방대한 데이터를 통하여 받아야 하는 단점이 있다. 또한 접근성이 높은 벡터데이터의 정확도가 명확하지 않다. 모든 도로에 GIS data가 존재하지 않기 때문에, 간편하게 자율주행 지도를 제작하기에는 매우 불편하다. 또한 GIS data는 도로의 윤곽만을 보여주기 때문에, 결국 수동으로 직접 제작해야 하기 때문에 편의성 면에서도 장점이 매우 적다.

기업지도: 기업지도(이하 Company)의 경우, 대부분 국내 데이터를 제공하지 않는 경우가 많다. TomTom의 경우 국내 데이터는 제공하지 않는다. HERE의 경우 국내 지도에 대해서 무료로 공개된 데이터가 존재하지 않고, Zenrin의 경우도 일본 도로에 대해서만 데이터가 존재한다. 따라서 다양한 도로 데이터를 얻기에 적합하지 않으므로 배제하였다.

Manually making: Manually making 지도제작 방법은 도로의 모든 구간에 대한 폭, 길이, 고도나 기울기 등 모든 정보를 정확히 알고 있다면 제일 정확하다. 하지만 모든 도로에 대한 정확한 정보 확보의 어려움, 전부 수동으로 제작하는 방식의 비효율성으로 본 연구에 부적합하여 배제하였다.

OSM(OpenStreetMap): OSM의 경우, 오픈소스 지도 서비스로, 국내 도로에 대하여 매우 업데이트와 피드백 등이 올라오는 활발한 서비스가 제공되고 있다. “Pokemon Go”나 애플, 적십자회, 재난현장 등에서 사용할 정도로 다른 상용 데이터와 비해서도 큰 차이가 없는 정확도를 가지고 있다. 또한 다양한 회사가 OSM을 사용한 상업 서비스를 제공하고 있어 높은 신뢰도를 가졌다.⁽⁷⁾ 또한 원하는 지역을 입력한 뒤, 내보내기를 통해 원하는 지역을 드래그하여 지도 데이터를 매우 간편하게 받을 수 있다.

임의의 원하는 도로를 원하는 면적만큼 제작 가능한 장점과, CARLA에서 지원하는 맵 에디터와 높은 호환성을 보여 간편하게 도로를 자동적으로 제작해준다는 점이 원하는 지역의 가상환경 지도를 생성하고자 하는 연구의 목적과 제일 적합하여 본 방식을 채택하였다.

따라서 본 연구에서는 상대적으로 연구가 덜 진행되었지만 원하는 지역의 지도를 자동으로 제작되는 OSM을 통하여 제작한 지도를 많은 문헌에서 인용되어진 Manually making에 의하여 제작된 지도를 기준으로 정확도를 비교/분석하고자 하였다.

3. CARLA/OSM 자율주행 실증 맵 제작

3.1. 타겟 도로 선정

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 한국에서 자율주행 실증 시험장으로 활용되고 있는 지능형자동차부품진흥원(KIAPI)의 고속주회로를 지도제작 장소로 선정하였다. 본 도로의 경우 Table 3과 같이 실제 도로의 정확한 수치가 제공되는 도로이기 때문에 Manually making(이하 manual map) 방법으로 제작한 지도를 실제도로 정보와 비교하였다. Table 3에 나타난 바와 같이 주도로의 직선도로 길이는 1500 m, 그리고 커브길은 100 m로 구성되어 있으며, 도록폭은 편도 3차선으로 구성되어 있다. 이와 같은 도로환경은 자율주행 실증을 위한 종방향 및 횡방향 제어 시나리오를 구현하기 용이하여 향후 제작되는 지도를 기반으로 차량성능 데이터를 비교하기에도 용이할 것으로 판단하였다.

4. 결과 및 토의

CARLA에서 공식 지원하는 지도 제작 도구인 RoadRunner를 사용해 맵을 제작하였다. RoadRunner는 Mathworks 사에 등록되어 있어 연구에 사용하기에 용이하기 때문에 지도 제작을 진행하였다.

4.1. 지도제작 방법

자율주행 지도를 제작하는 큰 틀은, 크게 지도 데이터 수집, JOSM을 사용한 수정, RoadRunner를 통한 지도 제작으로 나눌 수 있다.

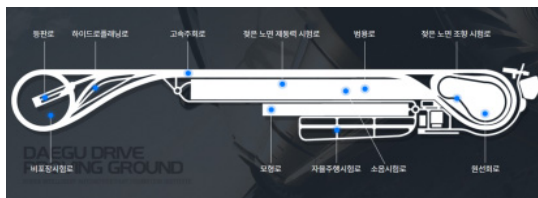


Fig. 1 KIAPI Proving ground image capture⁽⁸⁾

Table 3 High speed circuit course specification⁽⁸⁾

	Straight road	Bank road	Width of road
Length / curvature	1500 m	R=100 m	3-lane one way
Superelevation	0°	30°	

a) 지도 데이터 수집

OSM 지도에서 원하는 영역을 설정하여 Fig. 2와 같이 이를 .osm format으로 추출할 수 있다. 본 연구에서는 KIAPI의 PG를 대상으로 진행하였다.

b) JOSM을 사용한 수정

그대로 추출한 지도 데이터의 경우, 농지 및 인도, 차도가 아닌 골목길 등 모든 지도 데이터를 포함하고 있으므로 불필요한 데이터를 제거하여야 한다. OSM의 extensible editor인 JOSM을 사용하여 수정한다.

c) RoadRunner에서 CARLA map으로 제작

JOSM에서 수정한 .osm file을 roadRunner에서 최종적으로 Fig. 3과 같이 CARLA 양식에 맞게 맵을 제작한다. 이 과정에서 차선길이 및 도로 폭과 같은 자료를 추가하며, GPS data, Lane의 차선 길이 및 재질 등을 설정한다.

4.2. 지도제작 결과

지능형자동차부품진흥원으로부터 제공된 고속주회로의 실제 도로 정보를 토대로 작성된 manual map의 경우, 실

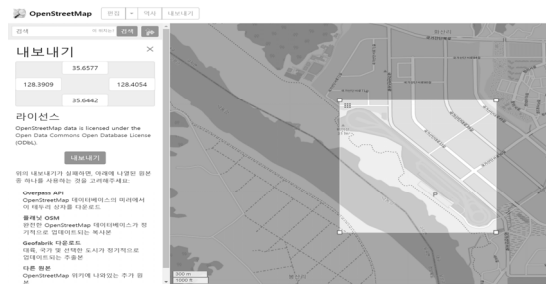


Fig. 2 KIAPI OSM import capture

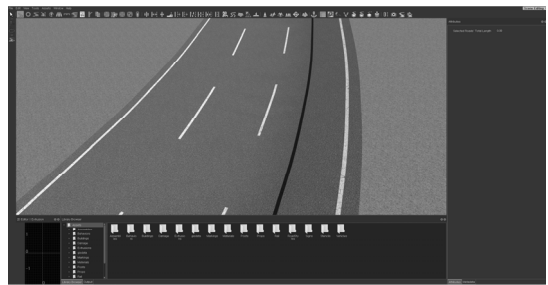


Fig. 3 RoadRunner map editor

제 도로길이 및 커브길의 곡률데이터가 실제 도로길이 및 곡률 데이터 정보와 일치함을 확인하였다. 이를 통해 Fig. 4의 manual map을 제작하였다. 또한 진흥원의 자료를 토대로 작성한 OSM을 통해 구현한 맵 Fig. 5(이하 OSM map)을 RoadRunner 상에서 도로길이, 커브길 곡률 데이터와 비교하였다. 직선부의 경우, Table 4와 같이 manual map의 경우 1500 m, OSM map의 경우 1474.19 m로, OSM에 의해 제작된 지도의 도로길이는 실제 데이터와 약 98.28%의 매우 높은 정확도를 보였으며, 도로 폭의 경우는 두 제작지도 모두 3.5 m로 동일하였다.

뱅크부의 곡률의 경우, Table 4에서 나타난 바와 같이 manual map의 경우 100 m이고, OSM map의 경우 98.42 m로, 실제 데이터와 98.42%의 일치율을 보여 직선부와 비슷한 높은 일치율을 보였다. 뱅크부의 기울기의 경우는 30°로 동일하였다. 결론적으로 오차율이 모든 구간에서 2%로 균일하기 때문에, OSM 방식의 실증 지도제작이 적합하다고 판단하였다.

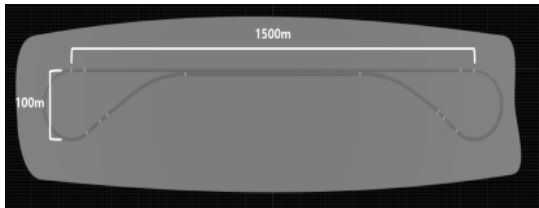


Fig. 4 KIAPI high speed circuit map using manual map

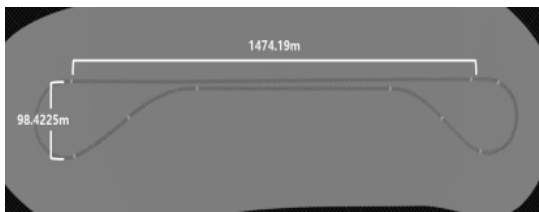


Fig. 5 KIAPI high speed circuit map using OSM data (OSM map)

Table 4 Comparison between OSM map vs manual map

	OSM map	Manually map
Length	1474.19 m (98.28%)	1500 m (100%)
Width	3.5 m (100%)	3.5 m (100%)
Curve	98.4225 m (98.42%)	100 m (100%)
Slope	30° (100%)	30° (100%)

4.3. 시뮬레이션 실증 결과

고속주회로의 도로길이의 수치적 비교와 더불어 OSM map이 자율주행 실증에 적합한 지도 데이터로써 가능한지 자료검토가 필요하다. 따라서, CARLA 시뮬레이션을 통해 manually making에 의한 지도 도로와 OSM 방식에 의한 지도에서 동일한 조건으로 자율주행 시뮬레이션을 진행함으로써 결과를 비교하였다. 디지스트에서 자율자동차로 개조한 현대의 IONIQ electric⁽⁹⁾의 사양을 사용하고 주행 속도는 70km/h로 3차로 중 2차로에서 주행하였다. 자율자동차의 yaw값 과 조향 데이터를 비교한 그래프는 각각 Fig. 6과 Fig. 8이고, OSM과 Manual Map을 활용하였을 때 자율자동차의 yaw값이 제일 차이가 많이 나는 부분을 확대하여 Fig. 7로 나타내었다. Manual map과 OSM map의 yaw값을 평균제곱근 편차(Root-mean-square deviation)를 통해 계산하였다.

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (x_{1,t} - x_{2,t})^2}{T}} \quad (1)$$

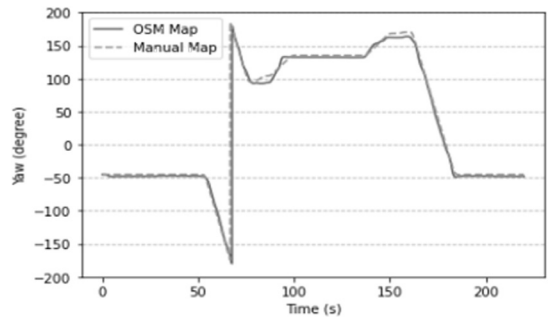


Fig. 6 Vehicle of yaw on manual map and OSM map

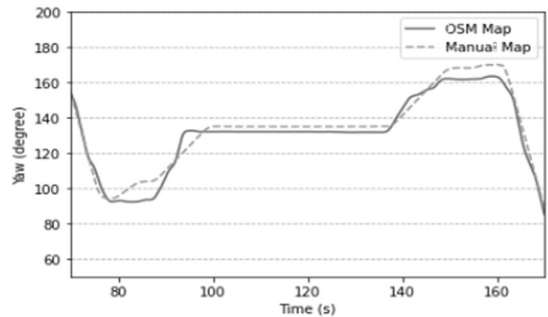


Fig. 7 Vehicle of yaw on manual map and OSM map xlim (70, 170) ylim (50, 200)

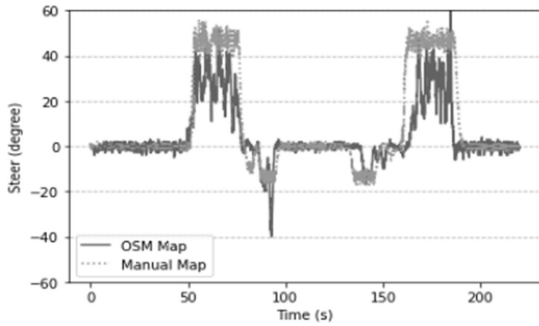


Fig. 8 Vehicle of steer on manual map and OSM map

$$NRMSD = \frac{RMSE}{y} \quad (2)$$

식 (1)을 통해 자율자동차의 yaw 값을 계산한 결과는 1.052이고, 이를 식 (2)로 계산해 백분율로 나타내면 0.79%, 시뮬레이션에서 두 맵의 인식 및 실 주행 결과의 편차가 0.79%로 정확도가 매우 높음을 알 수 있다. 조향값의 경우, Fig. 8의 데이터를 기반으로 식 (1)로 계산한 값은 4.503 이고, 이를 같은 방식으로 정규화하여 나타내면 28.16%의 편차율을 가진다. 이를 통해 해석하면, 시뮬레이션 상에서 두 맵이 유사하다고 해석되어 유사한 yaw 값을 가지지만, Table 4에서 나타난 바와 같이 길이, 곡률 데이터의 차이로 인해 조향값이 차이가 더 생긴 것으로 보인다.

5. 결론

본 연구는 기존 자율주행 실증에 쓰이는 HD맵의 매우 높은 정밀성과 한계성으로 인한 접근성 문제를 오픈소스인 CARLA와 OSM을 사용하여 접근성을 매우 용이하게 하면서 자율주행 실증으로 가용될 수 있는 맵 제작을 제안하고 그 성능을 검증하였다. 그 결과 도로의 수치적 데이터는 약 98%의 일치율을 보였고, 실제 시뮬레이션에서는 manual map과 비교하여 0.79%의 편차를 보여, OSM map이 충분히 자율주행 실증 맵으로 검증될 수 있음을 보였다.

다만 이는 시뮬레이션 상의 manual한 데이터와 OSM으로 만든 맵에서 시뮬레이션한 데이터만을 나타내는 것이다. 시뮬레이션은 두 도로를 거의 같은 도로로 판단하지만, 실제 자율주행 자동차의 주행 데이터와 비교하여야 더욱 확실한 검증이 될 것이다. 따라서 추후 연구에서 실

제 자율주행 자동차로 주행한 데이터와 시뮬레이션을 비교함으로써 더욱 정확한 검증을 거칠 계획이다. 따라서 향후 연구에서 OSM을 통한 도로 데이터뿐만 아니라 주위 건물, 고도데이터, 지형 텍스처 등을 추가하여 더욱 정확한 맵을 오픈소스 등의 높은 접근성을 가진 자료들로 제작함으로써 기존의 고정밀 자율주행 실증이 아닌, 자율주행 실증의 최소 기준이 될 수 있는 지표를 제시하고자 한다.

참고문헌

- (1) Jaeseung Kim and Yoo Hyoung Gon, 2019, "A necessary element of autonomous driving; 3D HD-map", Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 37, No. 9, pp. 23~27.
- (2) Y. Wei, F. Mahnaz, O. Bulan, Y. Mengistu, S. Mahesh and M. A. Losh, 2022, "Creating Semantic HD Maps From Aerial Imagery and Aggregated Vehicle Telemetry for Autonomous Vehicles", in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 23, No. 9, pp. 15382~15395, doi: 10.1109/TITS.2022.3140423.
- (3) Shin Dong Hoon, Park Kang Moon and Park Man Bok, 2020, "High Definition Map-Based Localization Using ADAS Environment Sensors for Application to Automated Driving Vehicles", Applied Sciences, Vol. 10, No. 14, 4924.
- (4) Choi Tae Seok, Yoon Ha Su, Choi Yun Soo, Lee Won Jong and Chang Soo Young, 2020, "A Study on High Definition Road Map Construction Using Aerial Photography", Journal of Korean Society for Geospatial Information Science, Vol. 28, No. 3, pp. 69~76.
- (5) K. Kim, S. Cho and W. Chung, 2021, "HD Map Update for Autonomous Driving With Crowdsourced Data", in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. KKK6, No. 2, pp. 1895~1901.
- (6) Oussama Saoudi, Ishwar Singh and Hamidreza Mahyar, 2022, "Autonomous Vehicles: Open-Source Technologies, Considerations, and Development", arXiv preprint arXiv:2202.03148, pp. 3~5.

- (7) OpenStreetMap Wiki, 2022.09.11, URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Commercial_OSM_Software_and_Services.
- (8) Korea intelligent automobile parts promotion institute, 2022.07.13., URL: http://www.kiapi.or.kr/sub02/sub01_02.php?sid=2&page_num=&skey=&sval=&mode=.
- (9) Hyundai IONIQ Electric specification, 2022.09.30, URL: <https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/ioniqelectric/spec>.