pISSN : 2508-3384 eISSN : 2508-3392
https://doi.org/10.22640/lxsiri.2021.51.1.39

Journal of Cadastre & Land InformatiX Vol.51 No.1 (2021)
한국국토정보공사「지적과 국토정보」제51권 제1호 2021년 6월 p. 39-51

다양한 정밀도로지도의 자율주행 적용을 위한 데이터 모델 변환 방안 연구

A Study on Data Model Conversion Method for the Application of Autonomous Driving of Various Kinds of HD Map

이민희* · 장인성** · 김민수***
Lee, Min-Hee · Jang, In-Sung · Kim, Min-Soo

Abstract

Recently, there has been much interest in practical use of standardized HD map that can effectively define roads, lanes, junctions, road signs, and road facilities in autonomous driving. Various kinds of de jure or de facto standards such as ISO 22726-1, ISO 14296, HERE HD Live map, NDS open lane model, OpenDRIVE, and NGII HD map are currently being used. However, there are lots of differences in data modeling among these standards, it makes difficult to use them together in autonomous driving. Therefore, we propose a data model conversion method to enable an efficient use of various kinds of HD map standards in autonomous driving in this study. Specifically, we propose a conversion method between the NGII HD map model, which is easily accessible in the country, and the OpenDRIVE model, which is commonly used in the autonomous driving industry. The proposed method consists of simple conversion of NGII HD map layers into OpenDRIVE objects, new OpenDRIVE objects creation corresponding to NGII HD map layers, and linear transformation of NGII HD map layers for OpenDRIVE objects creation. Finally, we converted some test data of NGII HD map into OpenDRIVE objects, and checked the conversion results through Carla simulator. We expect that the proposed method will greatly contribute to improving the use of NGII HD map in autonomous driving.

Keywords: Autonomous Driving, High Definition Map, Road Data Model, Data Conversion

1. 서론

최근 자율주행에서 핵심적인 역할을 수행하는 정밀도로지도에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 도로, 차로, 교차로, 도로 표지, 도로 시설물 등의 객체들로 구성된 정밀도로지도를 효과적으로 정의하기 위한 데이터 모델링 및 표준화 방안뿐만 아니라, 자율주행시스템에서의 실질적인 활용 및 도로 네트워크 분석 방안

* 대전대학교 컴퓨터공학과 학사과정 Department of Computer Engineering, Daejeon University
(first author: lmh2026@naver.com)
** 한국전자통신연구원 공간ICT연구실 실장 Urban and Spatial ICT Research Laboratory, ETRI (e4dol2@etri.re.kr)
*** 대전대학교 컴퓨터공학과 교수 Department of Computer Engineering, Daejeon University
(corresponding author: minsoo@dju.ac.kr)

에 대한 관심도 크게 증가하고 있다 (조국 외 2020; 조나혜 외 2018). 현재 표준 정밀도로지도 데이터 모델과 관련하여 ISO 22726-1(ISO 2019), ISO 14296(ISO 2016), HERE HD(High Definition) Live map, OpenDRIVE(Marius et al. 2019), NDS open lane model(NDS 2015), NGII HD map(국토지리정보원 2019) 등과 같이 다양한 국제 표준 또는 산업계 표준들이 활용되고 있다. 그러나, 이들 표준은 도로, 차로, 교차로, 도로 표지, 도로 시설물들을 표현하기 위한 데이터 모델링 측면에서 서로 큰 차이가 존재하여 다양한 정밀도로지도 데이터를 융합하여 자율주행에 활용하는 과정에서 많은 어려움이 발생하고 있다.

이에 본 연구에서는 자율주행에서 다양한 정밀도로지도의 효율적인 융합 및 활용을 지원할 수 있는 정밀도로지도 데이터 모델 간의 상호 변환 방안을 제시하고자 한다. 구체적으로 정밀도로지도 데이터 모델이 전혀 상이하며, 국내 자율주행에서 활용도가 높을 것으로 예측되는 국토지리정보원 정밀도로지도(NGII HD map)와 산업계에서 활발히 이용되는 OpenDRIVE 데이터 모델 간의 변환 방안을 제시하고자 한다. 실제로 NGII HD map은 데이터가 지속적으로 구축되어 국내에서 데이터에 대한 접근성이 우수하며, OpenDRIVE는 자율주행 시뮬레이션 등을 위한 산업계 표준으로 광범위하고 상세한 데이터 모델을 정의하고 있어 최근 활용도가 크게 증가하고 있다. 또한, NGII HD map은 항법 맵에서 이용되던 노드-링크 체계 중심의 데이터 모델링 방식인 반면에, OpenDRIVE는 정밀도로지도를 도로, 차로, 교차로, 도로 표지, 도로 시설물 들의 객체 중심 모델링 방식으로 완전히 상이한 데이터 모델을 가지고 있어 본 연구에서 변환을 위한 모델로 선정하였다.

본 연구의 데이터 모델 변환 과정에서는 NGII HD map을 구성하는 노드-링크 중심의 개별 레이어들과 OpenDRIVE를 구성하는 객체들 간의 1 : 1 매핑을 통하여 일차적인 변환을 수행하였으며, 1 : 1 매핑이 불가능한 경우에는 OpenDRIVE에 필요한 객체를 신규로 추가하거나 NGII HD map 레이어들의 속성정보를 융합하고 선형 변환하여 OpenDRIVE 객체 정보를 생성하는 방식으로 변환을 수행하였다. 끝으로 OpenDRIVE 데이터 모델로 변환된 결과는 Carla의 자율주행 시뮬레이터를 이용하여 검증을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 정밀도로지도 데이터 모델의 표준화, 고도화, 비교분석과 자율주행 적용 관련 다양한 연구 동향에 대하여 살펴보고자 한다. 3장에서는 NGII HD map과 OpenDRIVE 데이터 모델 간의 근본적인 차이점을 제시하고, 두 데이터 모델 간의 변환을 위한 매핑 방안과 매핑이 불가한 경우의 해결방안을 제안하고자 한다. 4장에서는 데이터 모델의 변환 결과와 Carla 시뮬레이터에 적용한 검증결과를 보여준다. 끝으로 5장에서는 본 연구의 결론과 향후 연구 방향에 대하여 제시한다.

2. 관련 연구

최근 자율주행에 있어서 정밀도로지도가 차지하는 비중이 점차 증가함에 따라 ISO 14296, GDF5.1(ISO 2020), NDS open lane model, OpenDRIVE, HERE HD live map, NGII HD map 등의 다양한 정밀도로지도 데이터 모델이 발표되었으며, 이들 모델의 비교분석, 고도화, 자율주행 적용 방안 관련 다양한 연구들이 수행되고 있다.

우선 정밀도로지도 데이터 모델 고도화와 관련하여 김지수·문병섭(2016)은 국가 기본공간정보의 교통부문 레이어 분석을 통하여 규제선, 도로 경계선, 정지선, 차로중심선, 중앙분리대, 터널, 교량, 지하도로, 교통안전표지, 노면표시, 신호기의 11개 항목으로 구성된 정밀도로지도 모델을 제안하였다. 또한, 자율주행에서 수용할 수 있는 오차와 정밀도로지도 구축 과정에서 발생할 수 있는 오차를 검토하여 0.25m의 정밀도로지도 정확도를 제안하였다. 김병주 외(2017)는

Table 1. Summarized description of NGII HD map data model

Layer code_name	Type	Description
A1_Node	point	Driving route node created on stop line, road entry/exit point, start and end points of tunnel, bridge, overpass, underpass, tollgate
A2_Link	line	Driving route link connecting the driving route nodes
A3_Drivewaysection	polygon	Driveway facilities of tunnel, bridges, overpasses, underpass, autonomous driving prohibition area
A4_Subsidlarysection	polygon	Roadside facilities such as rest area
A5_Parkinglot	polygon	Parking lot in roadside facilities
B1_Safetysign	point	Traffic safety signs
B2_Surfacelinemark	line	Line-shaped road surface mark
B3_Surfacemark	polygon	Polygon-shaped road surface mark
C1_Trafficlight	point	Traffic light
C2_Kilopost	point	Sign indicating the distance from the starting point of the road
C3_Vehicleprotectionsafety	line	Safety facilities of central divider, guard rail, concrete barrier
C4_Speedbump	polygon	Speed bump
C5_Heightbarrier	line	Facilities with height restrictions, such as overpass and bridge
C6_Postpoint	point	Post point of traffic lights and traffic signs

ISO 14296 표준의 정밀도로지도 요구사항 및 데이터 모델을 NGII HD map 모델에 확대 적용하여 계층적 구조의 도로 객체 구성, 교차로 항목 추가, 도로 곡률/경사 반영 등을 포함하는 개선 방안을 제안하였다. 유재준·장인성(2019)은 ISO/TC 204 ITS WG3, ISO/TC 211, ISO/TC 204 JWG, OGC, NDS, NGII 등에서 발표된 정밀도로지도 표준 데이터 모델을 비교 분석하고 데이터 모델의 미래 개선 방향을 제시하였다. Poggenhans et al.(2018)은 차량과 보행자에 대한 다양하고 정확한 상황 정보 제공을 위하여 도로 객체에 대하여 차로 수준의 위치, 속성 및 위상정보를 포함하는 Lanelet2의 정밀도로지도 데이터 모델을 제안하였다. 이들 연구는 국내외의 다양한 정밀도로지도 표준에 대한 비교 및 분석을 통하여 정밀도로지도 데이터 모델의 구체적인 개선 방안을 다양하게 제안하고 있다.

정밀도로지도의 자율주행 적용 방안과 관련해서는 원상연 외(2020)가 GDF5.1, TOMTOM HD live map, HERE lane model, NGII HD map의 자율주행 활용성을 분석하기 위하여 한국도로공사, 한국국토정보공사, 지차체, 연구기관 등의 자율주행 연구에서 주로 활용하는 정밀도로지도 레이어 또는 객체들을 분석하였다. 분석 결과로 정밀도로지도는 자율주행을 위하여 항법 정보뿐만 아니라, 다양한 도로 시설물 정보도 반드시 포함해야 함을 제안하고 있다. 김민수(2020)는 도로, 차로, 교차로, 도로 표지, 도로 시설물의 5개 객체로 구성되는 정밀도로지도의 기준 데이터 모델을 제안하고, ISO 14296, NGII HD map, OpenDRIVE 표준에 대하여 기준 데이터 모델에 대한 적합성 분석을 수행하였다. 또한, 자율주행 활용성을 분석하기 위하여 각 표준의 세부 데이터 구성 항목, 데이터 전송 및 저장 형식 등을 상세하게 비교분석 하였다. 자율주행 활용성 분석 결과로는 OpenDRIVE가 기준 데이터 모

델에 대한 적합성과 자율주행 활용성이 우수하다고 제안하였다. 백창엽 외(2019)는 ISO 22726-1, ISO 14296, HERE HD live map, NDS open lane model, NGII HD map 표준 기준으로 자율주행 활용성을 높이기 위하여 국제 표준과 쉽게 호환 가능하며 국내 주행환경 요구사항과 법 제도 요구사항의 반영이 가능한 정밀도로지도 데이터 모델의 고도화 방안을 제안하였다. Kang and Magdy(2020)는 효율적인 자율주행 지원을 위하여 기존 항법 맵의 노드-링크 모델을 확장하여 크게 도로 네트워크 객체와 랜드마크 객체의 두 부분으로 구성된 정밀도로지도 데이터 모델을 제안하였다. 구체적으로 자율주행을 위한 도로 네트워크 객체는 각 차로의 집합으로 구성하였으며, 랜드마크 객체는 도로표지, 신호등, 건물 등의 시설물 정보들로 구성하였다. 나유승 외(2020)는 NGII HD map을 정밀 위치 측위, 경로계획, 자율주행 시뮬레이션 환경 구축, 차량제어 알고리즘의 자율주행 기술에 적용하였으며, 결론에서 자율주행 적용의 효율성을 위하여 차로 수준의 상세한 정보를 포함하는 Lanelet2 또는 OpenDRIVE 형식의 정밀도로지도가 필요함을 제안하였다. 이러한 정밀도로지도의 자율주행 적용 방안 관련 연구들은 자율주행 적용을 위하여 차로 수준의 상세한 도로정보가 필요할 뿐만 아니라, 주행환경에 존재하는 다양한 도로 시설물 정보에 대한 명확한 표현 방법도 필요함을 주장하고 있다.

이와 같이, 기존 연구들은 자율주행에서 정밀도로지도의 활용성과 적용성을 높이기 위하여 데이터 모델 표준화 및 고도화 등의 다양한 연구를 수행하여 왔다. 본 연구에서는 이러한 정밀도로지도의 활용성과 관련하여 NGII HD map의 자율주행 적용을 위한 구체적인 방안을 제안하고자 한다. 구체적으로 항법 맵의 노드-링크 체계를 확장한 NGII HD map 데이터 모델은 기존 연구에서 보듯이 자율주행에 직접 활용하기에 많은 어려움이 존재한다. 이에, 본 연구에서는 NGII HD map을 다양한 도로상황 정보 표현이 가능하고 최근 자율주행 시뮬레이션 등에서 활발히 이용되고 있는 OpenDRIVE로의 데이터 모델 변환을 통하여 자율주행 활용 방안을 제안한다.

3. 정밀도로지도 데이터 모델 변환

본 장에서는 NGII HD map 모델에서 OpenDRIVE 모델로의 구체적인 변환 방안을 제시한다. 먼저 NGII HD map과 OpenDRIVE 모델에 대한 상세한 비교분석을 통하여 변환 과정에서의 문제점을 도출하고, 이후 이들 문제점을 해결하기 위한 방안을 제시한다.

3.1. 정밀도로지도 데이터 모델 간 비교분석

NGII HD map은 기존 항법 맵의 도로에 대하여 정의된 노드-링크 체계를 개별 차로로 확장한 데이터 모델을 구성하고 있다. Table 1에서 보듯이, NGII HD map은 전체 14개의 개별 레이어로 구성되어 있다. 첫째, 각 차로의 주행 경로를 노드와 링크로 표현하는 A1~A2 레이어를 정의하고 있다. 주행 경로 노드는 차로 상의 정지선, 진출입 차로의 시종점, 터널, 교량, 고가차도, 지하차도의 시종점 등에 대하여 생성된다. 둘째, 터널, 교량, 고가차도, 지하차도 등과 같은 도로 시설과 주차장, 휴게소 등의 도로변 시설을 위하여 A3~A5 레이어를 정의하고 있다. 셋째, 도로상의 교통안전표지와 노면표시를 위하여 B1~B3 레이어를 정의하고 있으며, 끝으로 신호등, 킬로포스트, 방호안전시설, 과속방지턱, 장애물, 지주 등을 표현하기 위하여 C1~C6 레이어를 정의하고 있다.

이에 비하여 OpenDRIVE는 정밀도로지도를 크게 도로(Road)와 교차로(Junction) 객체로 구분하고 각 항목에 포함되는 세부 항목들을 계층적으로 정의하고 있다. Table 2에서 Road 객체는 도로에 포함되는 기준선(Planview), 고도정보(Elevation profile), 측면정보(Lateral profile), 차로정보(Lanes), 시설물(Objects),

교통표지 및 신호등(Signals), 도로표면(Surface) 등을 위한 객체를 계층적으로 정의하고 있다. Junction 객체는 교차로 내의 각 차로 간의 연결정보(Connection)와 차로 우선순위(Priority)를 표현하기 위한 객체를 계층적으로 정의하고 있다. 구체적으로 살펴보면, Road 객체는 Planview, Elevation profile, Lateral profile, Lanes, Signals, Objects 등의 하위 객체를 포함하고 있다. Planview는 도로중심선을 의미하며, 직선, 호, 나선, 3차 다항식으로 표현될 수 있다. Elevation profile과 Lateral profile은 도로중심선에 대하여 각각 진행 방향의 표고 정보와 횡축 방향의 표고 정보를 의미하며 실제 환경과 유사한 3차원 모델링을 표현하기 위하여 각각 3차 다항식으로 표현된다. Lanes는 도로를 구성하는 차로들을 우선 중앙선(Center), 좌측차로 그룹(Left), 우측차로 그룹(Right)으로 구분하여 정의하며, Lanesection은 각 차로 그룹에 대하여 교차로 시종점, 좌우회전 차로 생성 지점, 다른 도로 진출입 지점 등을 이용하여 구분되는 차로

Table 2. Summarized description of OpenDRIVE data model

Object name	Level	Description
OpenDRIVE	0	The overall enclosing tag of the OpenDRIVE file
|-Road	1	Main containers of road data set
|-Type	2	Definition about road type(rural, town, motorway, pedestrian, bicycle, ...)
|-Planview |	2	Definition of the road reference line(road centerline) using line, spiral, arc, and cubic polynomial geometry
|-Elevationprofile	2	Definition of the road elevation along the reference line(cubic polynomial)
|-Lateralprofile	2	Definition of the road surface along the reference line(cubic polynomial)
|-Lanes	2	Definition of road cross sections with respect to the lanes
|-Lanesection	3	Definition of road cross sections including the numbers and types of lanes
|-Left/Center/Right	4	Definition of left, center and right lanes under a lane section
|-Lane |	5	Definition of the actual lanes using link, width, border, road mark, material, visibility, speed, access, height, and rule
|-Link |	6	Definition of the predecessor/successor information for navigation on a per-lane basis
|-Width	6	Definition of the lane width with a cubic polynomial function
|-Roadmark	6	Definition of the lane border style with type, weight, color, width, ...
|-Material	6	Definition of the lane surface with friction and roughness
|-Speed	6	Definition of the lane's maximum allowed speed
|-Objects	2	Main containers for all objects along a road
|-Object |	3	Definition of 3D objects of pole, tree, barrier, building, parking space, crosswalk, street lamp and etc using outlines, material, repeat, and so on
|-Tunnel	3	Definition of the tunnel with length, name, type, and so on
|-Bridge	3	Definition of the tunnel with length, name, and type
|-Signals	2	Definition of signs and signals along a road
|-Junction	1	Main containers of junction data set
|-Connection	2	Definition of all possible connections between roads meeting at a junction
|-Priority	2	Definition of the priority of connecting roads in junction

그룹 영역을 정의한다. 또한, Lanes에 속하는 개별 차로(Lane)들은 차로 간 연결(Link), 차로 폭(Width), 차로표지(Roadmark), 차로표면(Material), 차로 제한속도(Speed) 등의 정보를 상세하게 정의한다. Objects는 도로상에 존재하는 다양한 객체들로서 터널, 교량, 기둥, 나무, 장벽, 건물, 주차공간, 횡단보도, 가로등 등을 정의하며, Signals는 교통안전표지 및 신호등 객체를 정의한다.

3.2. 정밀도로지도 데이터 모델 변환 방안

OpenDRIVE는 자율주행 시뮬레이션을 위한 데이터 모델로서 NGII HD map에 비하여 상세한 데이터 모델을 정의하고 있다. 본 절에서는 정밀도로지도 데이터 모델 변환과 관련하여 Figure 1과 같이 NGII HD map에 정의된 14개의 레이어를 OpenDRIVE 객체로 변환하는 구체적인 방안을 제시하고자 한다. Figure 1은 데이터 모델 변환 방안을 크게 NGII HD map 레이어를 OpenDRIVE 객체로 단순 변환하는 conversion 방안, NGII HD map에는 레이어로 정의되어 있으나 OpenDRIVE에는 정의되지 않은 객체를 신규로 추가하는 creation 방안, NGII HD map 레이어들의 데이터를 융합하고 변환하여 OpenDRIVE 객체로 변환하는 transformation 방안으로 구분하고 있다.

먼저 conversion은 4가지 경우로 구분되는데, conversion 1은 NGII HD map의 A3~A5 레이어들을 OpenDRIVE의 Object, Tunnel, Bridge 객체로 변환하는 것을 의미한다. 구체적으로 A3~A5에 포함된 고가차도, 지하차도, 휴게소, 졸음쉼터, 주차슬롯을 Object 객체로 변환하며, 터널과 교량은 각각 Tunnel과 Bridge 객체로 변환하는 것을 의미한다. conversion 2는 NGII HD map B1 레이어의 교통안전표지를 OpenDRIVE의 Signals 객체로 변환하는 것을 의미한다. 여기서, 국내 표준인 NGII HD map과 국제 표준인 OpenDRIVE 데이터 모델에 정의된 교통안전표지 유형에서의 차이가 존재하며, 이러한 차이를 극복하기 위하여 OpenDRIVE Signals 객체에 국내에서 정의된 교통안전표지 유형을 일부 추가한 이후에 변환을 수행한다. conversion 3은 먼저 NGII HD map B2 레이어에서 노면선의 색과 넓이 등의 스타일 정보를 정의하는 노면선표시를 OpenDRIVE Roadmark 객체로 변환하는 것을 의미한다. B2 레이어의 노면선표시

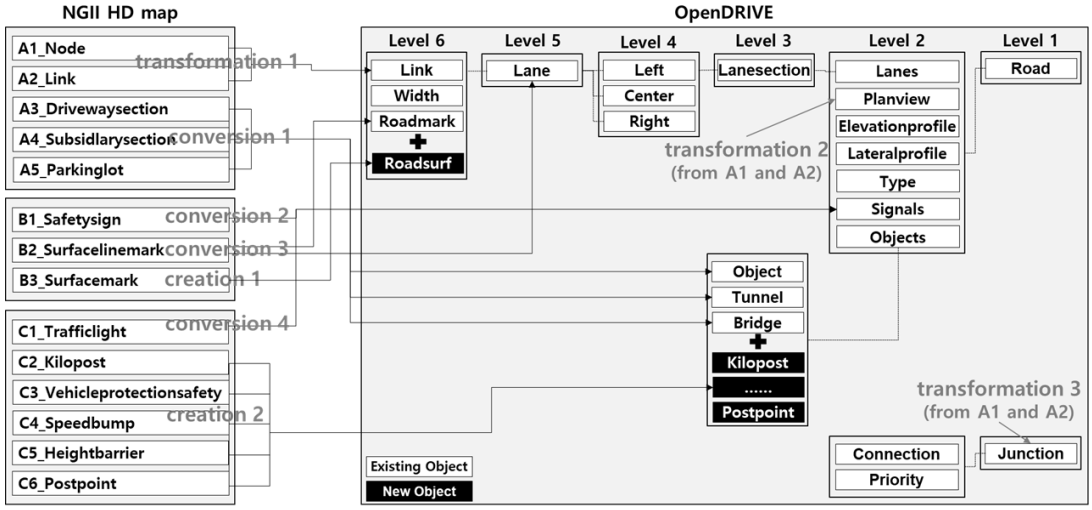


Figure 1. NGII HD map data model to OpenDRIVE data model conversion plan

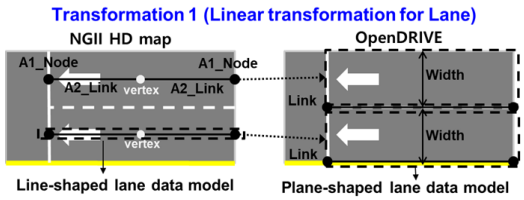


Figure 2. Implementation details of transformation 1 for OpenDRIVE Lane object creation

에서 Roadmark 객체 변환은 정의된 사양에 따라서 용이하게 변환이 가능하다. 다만, Roadmark 객체는 Lane 객체 내에 정의되어야 하므로 B2 레이어의 노면선표시가 어느 차로에 속하는지 변환 전에 미리 알아야 한다. 이에 conversion 3에서는 B2 레이어의 속성정보에 포함되는 해당 노면선의 좌우측 차로의 L_LinkID와 R_LinkID 정보를 이용하여 해당 노면선이 매핑되는 정확한 차로를 먼저 결정한 이후에 Roadmark로의 변환을 수행한다. 이외에도 B2 레이어에서 중앙선, 차선, 가변차선, 버스전용차선, 진로변경제한선 등을 의미하는 Kind(선규제 유형) 속성정보는 OpenDRIVE Lane 객체의 Type(유형) 속성으로 변환된다. conversion 4는 NGII HD map C1 레이어의 신호등을 OpenDRIVE의 Signals 객체로 변환하는 것을 의미한다. 여기서도 OpenDRIVE Signals 객체에 국내표준인 NGII HD map에만 정의된 신호등 유형을 일부 추가한 이후에 변환을 수행한다. 이러한 conversion 방안은 NGII HD map 레이어를 OpenDRIVE 객체로 단순 매핑하여 변환하는 과정으로 비교적 쉽게 구현이 가능하다.

creation은 두 정밀도로지도 데이터 모델 간의 차이로 인하여 NGII HD map 레이어에 대하여 OpenDRIVE에 정의되지 않은 신규 객체를 추가한 이후에 변환하는 방안으로, 크게 NGII HD map B3 레이어와 C2~C6 레이어에 대하여 각각 신규 객체를 추가하여 변환하는 2가지 경우로 구분된다. creation 1은 NGII HD map에서 횡단보도, 진행방향 등과 같이 면 형태의 노면표시를 나타내는 B3 레이어에 대하여 OpenDRIVE에 Roadsurf 객체를 신규로 추가하고 변환을 수행하는 것을 의미한다. OpenDRIVE 모델은 선형태의 노면표시를 위한 Roadmark 객체는 포함하고 있으나, 면 형태의 노면표시를 위한 객체는 정의하지 않고 있다. 이에 OpenDRIVE 모델에 기존 Roadmark와 동일한 계층인 Lane의 하위 객체로 Roadsurf를 신규로 추가한 이후에 B3 레이어의 변환을 수행한다. creation 2는 NGII HD map 모델에서 킬로포스트, 차량방호안전시설, 과속방지턱, 높이장애물, 지주를 표현하는 C2~C6 레이어에 대하여 OpenDRIVE에 신규 객체를 추가하고 변환을 수행하는 것을 의미한다. 구체적으로 OpenDRIVE는 도로 주변 시설물과 관련하여 일반적인 Object, Tunnel, Bridge 객체만을 정의하고 있는 반면에, 국내 표준인 NGII HD map은 C2~C6의 다양한 도로 주변 시설물을 정의하고 있다. 여기서, C2~C6 레이어를 OpenDRIVE 모델의 일반적인 Object 객체로도 변환이 가능하나, C2~C6 레이어에 각각 포함된 속성정보는 변환이 거의 불가능하다. 이에 creation 2에서는 OpenDRIVE에 C2~C6 레이어에 1 : 1로 대응되는 Kilopost, Vehicleprotectsafety, Speedbump, Heightbarrier, Postpoint 객체를 신규로 추가한 이후에 변환을 수행한다. 이러한 creation 방안도 NGII HD map 레이어에 대하여 동일한 형태의 OpenDRIVE 객체만 추가하고 변환을 수행하기 때문에 구현이 용이하다. 다만, 기존 OpenDRIVE 표준 사양과 호환성에 일부 문제가 있을 수 있다.

끝으로 transformation은 NGII HD map에서 여러 개의 레이어로부터 데이터들을 추출하여 융합하고 변환하여 OpenDRIVE 객체로 변환하는 방안으로 conversion과 creation에 비하여 상대적으로 복잡한 구현과정이 요구되며, Figure 1에서 3가지의 transformation을 정의하고 있다. transformation 1은 Figure 2에서 보듯이 NGII HD map의 A1 레이어와 A2 레이어로부터 차로 데이터를 추출하고 선형 변환

하여 OpenDRIVE Lane 내의 Link 객체를 생성하는 것을 의미한다. 여기서, NGII HD map 모델은 차로를 표현하기 위하여 차로 중심에 위치하는 선 형태의 데이터 모델을 구성하는 반면, OpenDRIVE는 차로 전체에 대하여 면 형태의 데이터 모델을 구성하기 때문에 transformation 1은 이러한 차이를 극복하여 변환을 수행해야 한다. 이에 transformation 1은 NGII HD map의 A1 레이어와 A2 레이어로부터 추출된 차로 중심에 위치한 선 형태의 데이터를 차로의 가장 왼편으로 선형 변환을 수행하여 OpenDRIVE Link 객체를 생성하고 이후 해당 Link에 Width 정보를 추가하여 면 형태의 OpenDRIVE Lane 객체를 생성한다. 이러한 transformation 1 과정은 도로 내에 위치하는 모든 개별 차로에 대하여 수행된다. transformation 2는 Figure 3에서 보듯이 NGII HD map의 A1 레이어와 A2 레이어로부터 차로 데이터를 추출하고 도로의 중심으로 선형 변환하여 OpenDRIVE Planview 객체를 생성하는 것을 의미한다. OpenDRIVE 모델은 정밀도로지도 표현을 위하여 기준선으로 절대 위치정보를 포함하고 있는 Planview의 도로중심선을 정의해야 한다. 이후, 차로, 교차로, 도로시설물 등의 모든 객체들은 Planview에 대한 상대적인 위치로 표현된다. 그러나, NGII HD map 모델은 도로중심선을 표현하는 레이어를 정의하지 않고 있다. 이에 transformation 2는 NGII HD map에 속한 A1과 A2 레이어의 모든 데이터에서 속성정보를 이용하여 1 차로 데이터를 추출하고 이를 도로 중심으로 선형 변환하여 OpenDRIVE Planview 객체를 생성하는 과정을 수행한다. transformation 3은 NGII HD map의 A1 레이어와 A2 레이어의 속성정보를 이용하여 교차로를 구성하는 Node와 Link 데이터들을 각각 추출하고 이들 Node와 Link 데이터를 매칭시켜 OpenDRIVE Junction 객체를 생성하는 것을 의미한다. 여기서, OpenDRIVE 모델은 교차로를 위하여 Junction 객체를 정의하고 있는 반면에, NGII HD map 모델은 교차로 레이어를 별

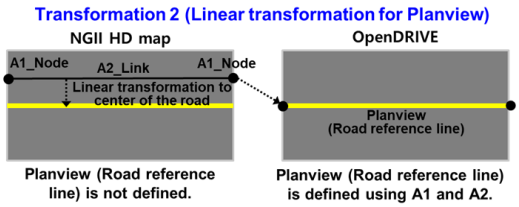


Figure 3. Implementation details of transformation 2 for OpenDRIVE Planview object creation

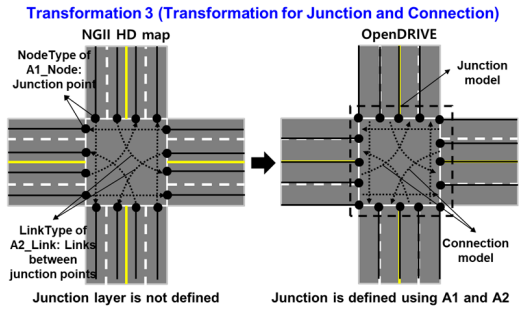


Figure 4. Implementation details of transformation 3 for OpenDRIVE Junction object creation

도로 정의하지 않고 있다. 구체적으로 Figure 4와 같이 NGII HD map은 A1 레이어의 NodeType 속성을 이용하여 해당 노드가 교차로와 인접한 노드인지를 표현하고 있으며, A2 레이어의 LinkType 속성을 이용하여 해당 링크가 교차로 내의 연결 링크인지를 표현하고 있다. 이에 transformation 3은 이러한 A1에 속한 모든 Node들의 NodeType 속성정보를 조사하여 모든 교차로들의 각 차로별 진입점 정보를 추출하고 A2에 속한 모든 Link들의 LinkType 속성정보를 조사하여 교차로 내에서 각 진입로 간의 연결정보를 추출하여 최종적으로 OpenDRIVE에서 교차로 내의 차로 간 연결정보를 표현하는 Connection 객체와 Connection 객체를 포함하는 Junction 객체를 생성한다. 이러한 transformation 3은 모든 Junction 객체를 생성하기 위하여 A1 레이어와 A2 레이어의 전체 Node와 Link 데이터에 대하여 빠짐없이 수행되어야

하며, 이러한 수행작업은 데이터 변환 시간이 길게 소요될 뿐만 아니라, 구현과정도 복잡하여 변환된 결과에 대한 검증이 더욱 중요하다.

4. 정밀도로지도 데이터 모델 변환 결과

본 장에서는 3.2절에서 제시한 데이터 모델 변환 방안에 대한 구현결과를 제시한다. 구현결과는 Figure 5와 같이 NGII HD map의 Shape 레이어에서 OpenDRIVE 객체로 변환된 Xodr 파일을 생성하고, 이를 Carla 시뮬레이터에 적용하여 가시화하는 과정으로 제시한다. Figure 5에서 NGII HD map 모델의 예제 데이터로는 여의도 지역의 Shape과 DBF 데이터를 이용하였으며, C# 으로 데이터 모델 변환 모듈을 구현하여 OpenDRIVE 모델의 Xodr 객체를 생성하였으며, Xodr 객체의 가시화를 통한 검증은 Carla 0.9.9.4 버전과 Python API를 이용하여 구현하였다. 구체적으로 데이터 모델 변환 모듈은 Figure 5와 같이 NGII HD map의 Shape 및 DBF 데이터 Import 모듈, OpenDRIVE 모델의 핵심 객체를 구성하는 Planview, Lanes, Junction 생성을 위한 transformation 모듈, OpenDRIVE 모델의 다양한 도로 시설물 객체를 구성하는 Roadmark, Object, Tunnel, Bridge 생성을 위한 conversion 모듈, Roadsurf, Vehicleprotectsafety, Speedbump 등의 신규 객체 추가를 위한 creation 모듈로 구성된다. 특히, 본 연구에서는 프로토타입 수준의 연구결과로서 데이터 변환 모듈과 관련하여 OpenDRIVE 데이터 모델의 Road 객체와 Junction 객체 생성에 가장 중요하면서 구현이 복잡한 transformation 모듈 중심의 구현결과를 제시한다.

Figure 5에서 보듯이, transformation 모듈에서는 1단계로 OpenDRIVE 모델에서 정밀도로지도의 기준이 되는 도로 중심선으로 절대 위치정보를 포함하는 Planview 객체를 가장 먼저 생성한다. Planview 객체 생성 모듈은 3.2절에서 제시된 transformation 2 알고리즘을 이용하여 구현된다. Figure 6은 여의도 지역의 NGII HD map 데이터에 대하여 transformation 2 구현 모듈에 의하여 변환 생성된 Planview 객체의 Xodr

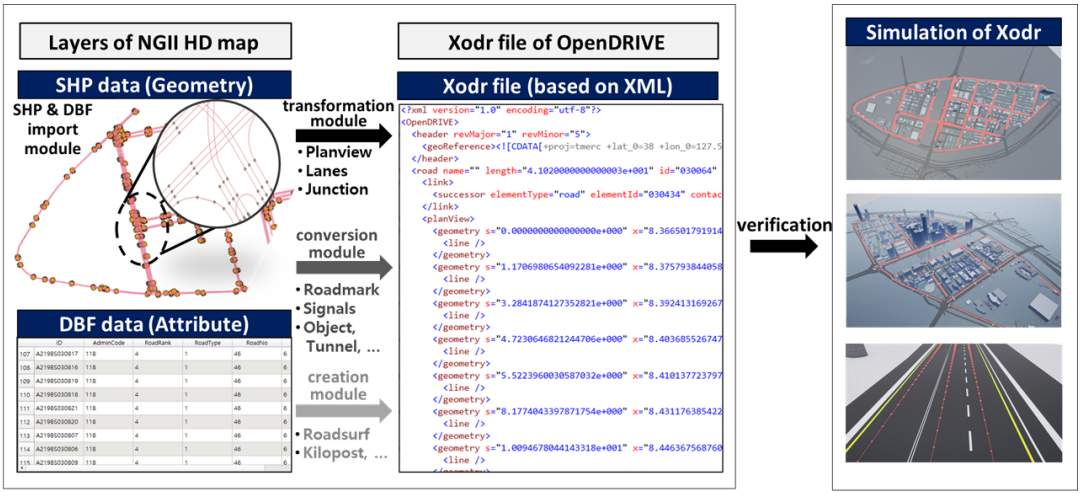
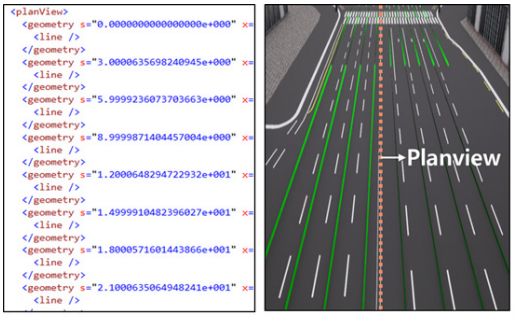
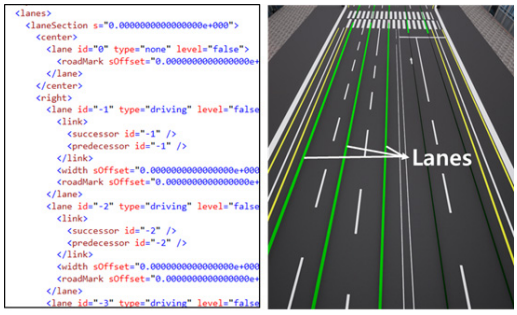


Figure 5. Implementation of the import, conversion, creation, and transformation module from NGII HD map data model to OpenDRIVE data model



(a) (b)

Figure 6. Transformation result to Planview object (a) Xodr file (b) Carla-based visualization



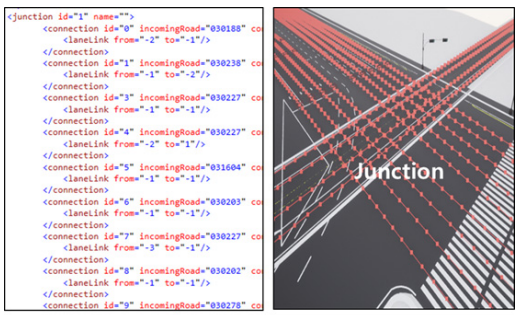
(a) (b)

Figure 7. Transformation result to Lanes object (a) Xodr file (b) Carla-based visualization

파일과 Carla API로 구현된 가시화 결과를 보여준다. Figure 6을 보면, NGII HD map의 A1과 A2 레이어로부터 차로 데이터를 추출하고 선형 변환하여 Planview 객체를 성공적으로 생성하였음을 알 수 있다.

Transformation 모듈은 2단계로 OpenDRIVE 모델에서 Road 객체 내의 개별 차로 간의 연결정보를 표현하는 Link 객체를 생성한다. 자율주행에서 각 차로에 대한 Link 객체가 생성되어야 차로 집합을 의미하는 Lanes 객체 생성이 가능하며, Lanes 객체가 생성되어야 Road 객체 생성이 가능하므로 Link 객체는 필수적으로 요구되는 작업이다. 이러한 Link → Lane → Lanes 객체의 생성 모듈은 3.2절에서 제시된 transformation 1 알고리즘을 이용하여 구현된다. Figure 7은 여의도 지역의 NGII HD map 데이터에 대하여 transformation 1의 구현 모듈에 의하여 변환 생성된 Lanes 객체의 Xodr 파일과 Carla API로 구현된 가시화 결과를 보여준다. Figure 7을 보면, NGII HD map의 A1과 A2 레이어로부터 추출한 각 차로 정보를 이용하여 Lanes 내의 Link 객체를 성공적으로 생성하였음을 볼 수 있다.

transformation 모듈은 3단계로 OpenDRIVE 모델의 교차로를 표현하기 위한 Junction 객체를 생성한다. 실제 자율주행에서 교차로 정보는 반드시 요구되는 정보로서 이러한 Junction 객체 생성은 Road 객체



(a) (b)

Figure 8. Transformation result to Junction object (a) Xodr file (b) Carla-based visualization

생성과 더불어 필수적으로 요구된다. Junction 객체 생성 모듈은 3.2절에서 제시된 NGII HD map에서 A1과 A2 레이어의 일부 속성으로만 표현되는 교차로 정보를 변환하여 OpenDRIVE의 Junction 객체를 생성하는 transformation 3 알고리즘을 이용하여 구현된다. Figure 8은 여의도 지역 데이터에 대하여 transformation 3의 구현 모듈에 의하여 변환 생성된 Junction 객체의 Xodr 파일과 Carla API로 구현된 가시화 결과를 보여준다.

Conversion 구현 모듈에서는 3.2절에서 제시된 conversion 1~3 방안을 구현하며, NGII HD map에 정의된 A3~A5 레이어와 B1~B2 레이어를 1 : 1 매핑하여 Object, Tunnel, Bridge, Signals, Roadmark 객

체로 변환한다. 이러한 conversion 1~3 구현 모듈은 NGII HD map 데이터를 OpenDRIVE 객체로 단순 변환하기만 하면 된다. Creation 구현 모듈에서는 OpenDRIVE 객체로 매핑이 불가능한 NGII HD map의 Postpoint, Surfacelinemark, Speedbump, Kilopost, Heightbarrier, Vehicleprotectsafety 레이어에 대하여 1 : 1 매핑이 가능하도록 OpenDRIVE 객체를 신규로 추가하고 변환을 수행한다. creation 구현 모듈도 OpenDRIVE 객체로의 단순 변환만을 필요로 하기 때문에 구현이 간단하다고 할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 자율주행에서 이용되는 정밀도로지도 데이터 모델 간의 변환 방안을 제안하였다. 특히, NGII HD map 모델을 자율주행 시뮬레이션 등에서 활용도가 급증하고 있는 산업계 표준인 OpenDRIVE 모델로 변환하는 방안과 일부 구현결과를 제시하였다. 구체적으로, NGII HD map의 OpenDRIVE 모델 변환을 위한 단순 매핑의 conversion, 신규 객체 생성의 creation, 데이터 융합 및 선형 변환의 transformation 방안을 제안하였으며, 이후 여의도 데이터를 이용하여 OpenDRIVE Xodr 파일을 생성하고 Carla 기반 가시화를 통하여 transformation 방안의 데이터 모델 변환 결과를 제시하였다. 본 연구결과는 NGII HD map 데이터 모델에 대한 정밀한 분석 및 구체적인 변환 방안과 부분적인 변환 결과를 제공함으로써, 향후 다양한 유형의 정밀도로지도 모델로의 변환을 통한 NGII HD map의 활용도를 높이는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

다만, 본 연구결과는 프로토타입 수준으로 transformation 모듈 중심의 변환 결과를 제시하고 있으며, 여의도 지역의 일부 테스트 데이터에 대하여 수행된 정성적인 변환 결과만 제시하고 있는 단점을 가지고 있다. 또한, NGII HD map에서 OpenDRIVE 모델로의 변환 방안만을 제시하고 있는 단점을 가지고 있다. 이에 향후 연구에서는 conversion, transformation, creation의 변환 방안에 대한 정확도 기준을 마련하고 다양한 테스트 데이터에 대한 정확도 측정을 통하여 정량적인 분석을 수행하고자 한다. 또한, OpenDRIVE 뿐만 아니라, GDF, NDS open lane model 등의 다양한 정밀도로지도 모델로의 변환 연구와 자율주행 적용 관점에서 정밀도로지도 데이터 모델 구성 방안과 다양한 3차원 입체모형과의 융합 방안(김민수·박두열, 2020)에 대한 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음 [21ZR1200, DNA 기반 국가지능화 핵심 기술 개발].

참고문헌

References

국토지리정보원. 2019. 정밀도로지도 구축 매뉴얼.

NGII. 2019. *High Definition Map Construction Manual.*

김민수. 2020. 자율주행 서비스를 위한 다양한 정밀도로지도 데이터 모델 비교분석 연구. 대한공간정보학회지. 28(4):79-88.

Kim MS. 2020. Comparative Study of Various Kinds of HD Map Data Models for Autonomous Driving Service. *Journal of the Korean Association for Geospatial Information Science.* 28(4):79-88.

김민수, 박두열. 2020. 입체모형 활용 현황, 수요 및 구축 비용을 고려한 실현 가능한 3차원 입체모형 구축 방안 연구. 지적과 국토정보. 50(1):215-229.

Kim MS, Park DY. 2020. A Study on Feasible 3D

Object Model Generation Plan Based on Utilization, Demand, and Generation Cost. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(1):215-229.

김병주, 강병주, 박유경, 권재현. 2017. ISO 14296 기반의 자율협력주행지원 등을 위한 정밀지도의 개선 방안에 관한 연구. 한국ITS학회논문지. 16(1):131-146.

Kim BJ, Kang BJ, Park YK, Kwon JH. 2017. A Study on the Improvement Method of Precise Map for Cooperative Automated Driving based on ISO 14296. *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*. 16(1):131-146.

김지수, 문병섭. 2016. 자율주행을 위한 정밀도로지도의 구축항목과 정확도 수준. 교통 기술과 정책. 13(4):42-50.

Kim JS, Moon BS. 2016. Contents and Accuracy of Lane-Level Road Map for Autonomous Driving. *Transportation Technology and Policy*. 13(4):42-50.

나유승, 김상권, 김영수, 박준용, 정지민, 조기춘, 이성진, 조성진, 선우명호, 오종민. 2020. 자율주행 자동차를 위한 정밀도로지도 활용성 검증. 한국자동차공학회논문집. 28(11):797-808.

Na YS, Kim SK, Kim YS, Park JY, Jeong JM, Jo KC, Lee SJ, Cho SJ, Sunwoo MH, Oh JM. 2020. HD Map Usability Verification for Autonomous Car. *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*. 28(11):797-808.

백창엽, 박수홍, 강우빈. 2019. 국내 주행 환경에 적합한 자율주행용 정밀도로지도 데이터 모델 설계. 대한공간정보학회지. 27(6):13-25.

Baek CY, Park SH, Kang WB. 2019, Korean HD Map Data Model Design for Autonomous Vehicles. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*. 27(6):13-25.

유재준, 장인성. 2019. 정밀도로지도 표준화 동향. TTA 저널. (184):2-8.

Ryu JJ, Jang IS. 2019. HD Map Standaradization Trend. *TTA Journal*. (184):2-8.

원상연, 전영재, 정현우, 권찬오. 2020. 자율주행자동차 실주행 지원을 위한 표준 정밀도로지도 비교 및 활용 레이어 분석. 한국지리정보학회지. 23(3):132-145.

Won SY, Jeon YJ, Jeong HW, Kwon CO. 2020. A Comparison of Korea Standard HD Map for Actual Driving Support of Autonomous Vehicles and Analysis of Application Layers. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 23(3):132-145.

조국, 이종민, 김종서, 민규식. 2020. 자율주행과 공간정보의 빅데이터 기반 연계성 분석을 통한 동향 및 예측에 관한 연구. 지적과 국토정보. 50(2):101-115.

Cho K, Lee JM, Kim JS, Min GS. 2020. A study on trends and predictions through analysis of linkage analysis based on big data between autonomous driving and spatial information. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(2):101-115.

조나혜, 전철민, 강영옥. 2018. 도로 네트워크를 따른 교통사고 핫스팟의 시각화. 지적과 국토정보. 48(1):201-213.

Cho NH, Jun CM, Kang YO. 2018. A Visualization of Traffic Accidents Hotspot along the Road Network. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 48(1):201-213.

ISO. 2016. ISO 14296:2016 *Intelligent Transport Systems - Extension of Map Database Specifications for Applications of Cooperative ITS.*

ISO. 2019. ISO/AWI TS 22726-1 *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. 2020. ISO 20524-2:2020 *Intelligent Transport Systems-Geographic Data Files(GDF) GDF5.1-Part 2: Map Data Used in Automated Driving Systems, Cooperative ITS, and Multi-modal Transport*.

Kang Y, Magdy A. 2020. HiDaM: A Unified Data Model for High-definition(HD) Map Data. In *Proceedings of the IEEE International Conference of Data Engineering*, 20-24 April 2020, Dallas, USA. 26-32.

Marius D, Esther H, Andreas B. 2019. OpenDRIVE Format Specification Rev 1.5. *VIRES Simulationstechnologie GmbH*.

NDS. 2015. *Navigation Data Standard-Open Lane Model Documentation*.

Poggenhans F, Pauls J, Janosovits J, Orf S, Naumann M, Kuhnt F, Mayr M. 2018. Lanelet2: A High-Definition Map Framework for the Future of Automated Driving. In *Proceedings of the IEEE International* Conference of Intelligent Transport Systems, 4-7 November, Maui, USA. 1672-1679.

2021년 5월 5일 원고접수(Received)
2021년 6월 7일 1차심사(1st Reviewed)
2021년 6월 21일 2차심사(2nd Reviewed)
2021년 6월 28일 게재확정(Accepted)

초 록

최근 자율주행에서 도로, 차로, 교차로, 도로 표지, 도로 시설물 등을 효과적으로 표현하기 위한 표준화된 정밀도로지도의 데이터 모델링과 더불어 실질적인 적용을 위한 관심이 크게 증가하고 있다. 현재 ISO 22726-1, ISO 14296, HERE HD Live map, NDS open lane model, OpenDRIVE, NGII HD map 등의 다양한 국제 표준 또는 산업계 표준 모델들이 활용되고 있으나, 이들 간의 모델링 방식에서 큰 차이가 존재하여 다양한 표준의 정밀도로지도를 융합하여 활용하는데 많은 어려움이 존재한다. 이에 본 연구에서는 자율주행에서 다양한 정밀도로지도 표준 모델들의 효율적인 융합 활용을 지원하기 위하여 정밀도로지도 모델 간의 변환 방안을 제안하고자 한다. 구체적으로, 국내에서 접근이 용이한 국토지리정보원 정밀도로지도 모델과 산업계에서 활발히 이용되고 있는 OpenDRIVE 모델 간의 변환 방안을 제안하고자 한다. 제안된 방안은 NGII HD map의 각 레이어와 OpenDRIVE의 객체 간 단순 변환을 수행하는 방안, OpenDRIVE에 신규 객체를 생성하는 방안, 그리고 선형 변환 및 데이터 융합을 이용하여 NGII HD map 데이터를 OpenDRIVE 객체로 변환하는 방안으로 구성된다. 끝으로 NGII HD map에서 OpenDRIVE로 변환된 결과 데이터에 대하여 Carla 시뮬레이터를 이용한 가시화를 통하여 검증을 수행하였다. 이러한 NGII HD map 모델의 변환 방안은 향후 자율주행에서 NGII HD map의 활용도를 높이는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 자율주행, 정밀도로지도, 도로 데이터 모델, 데이터 변환