

자율주행을 위한 인프라의 정밀도로지도 적용 방안 연구*

전영재¹ · 박철우¹ · 원상연¹ · 이준혁^{1*}

Study on Applying New Infrastructure for Autonomous Driving in HD Maps*

Young-Jae JEON¹ · Chul-Woo PARK¹ ·
Sang-Yeon WON¹ · Jun-Hyuk LEE^{1*}

요 약

최근 자율주행에 관한 관심은 자율주행차량의 주행기술 개발과 함께 주행환경을 이루는 인프라 개발을 함께 고려하는 자율협력 주행이 주목을 받고 있다. 자율협력 주행의 개념에 따라 본 연구에서는 기존 정밀도로지도의 정보를 보완할 수 있는 자율주행을 위한 신규 인프라를 분석하고 해당 인프라를 정밀도로지도에 추가하는 방안을 연구하였다. 자율주행을 위한 신규 인프라는 개선 물리 시설물 2종과 센서 전용 물리 시설물 1종을 제시하였다. 정밀도로지도 분석 결과 분기점과 같은 정보는 거의 변화하지 않는 정보이지만 분기점에서 발생할 수 있는 장애물에 주의하라는 의미 전달을 위해 자율주행을 위한 인프라를 추가할 수 있을 것으로 예상된다. 이와 같이 자율주행을 위한 신규 인프라는 기존 도로 시설물이 수행하는 안내, 지시, 주의 환기 등의 역할을 지원해야 할 필요가 있다.

주요어 : 자율주행, 자율주행 인프라, 개선 시설물, 센서 전용 시설물, 정밀도로지도

ABSTRACT

Recently, interest in autonomous driving has drawn attention to autonomous cooperative driving, which considers the development of driving technology of autonomous vehicles and the development of infrastructure that constitutes a driving environment. According to the concept of autonomous cooperative driving, This study analyzes the new infrastructure for autonomous driving that can complement the information of existing precise road maps and adding HD map layer as the new infrastructure. The new infrastructure for autonomous driving presented two types of

2023년 10월 25일 접수 Received on October 25, 2023 / 2023년 11월 14일 수정 Revised on November 14, 2023 / 2023년 11월 21일 심사완료 Accepted on November 21, 2023

* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 22AMDP-C161924-02).

1 주식회사 지오앤 / Geo& Co. ltd.

* Corresponding Author E-mail:geo8487@geospace.com

improved facilities and one type of sensor only facility. Analysis of HD maps shows that information such as junction points rarely changes, but it is expected that infrastructure for autonomous driving can be added to convey the meaning of paying attention to obstacles that may arise at the junction. In this way, the new infrastructure for autonomous driving needs to support the roles of guidance, instruction, and attention that existing road facilities.

KEYWORDS : *Autonomous Driving, Infrastructure for Autonomous Driving, Improved Facility, Sensor Only Facility, High Definition Map*

연구배경 및 목적

최근 여러 분야에서 차세대 기술로 주목받고 있는 자율주행 기술은 센서를 통해 주변 상황을 인식하고 수집된 정보를 기반으로 차량을 제어한다. 센서 기술 및 수집된 데이터 처리 알고리즘의 발달이 이루어지고 있으나 완벽한 자율주행 기술의 구현에는 이르지 못하고 있어, 이를 인프라를 중심으로 하는 자율협력 주행(Co-operative Autonomous Driving)을 통해 보완하고자 하는 움직임이 지속되고 있다. 국내에서는 자율협력 주행 구현을 위해 자율주행차량과 시설물 간 통신, 정밀지도와 LDM(Local Dynamic Map), 자율주행차량 교통관제 등으로 구성된 협력 인프라를 기반으로 자율주행기술을 상용화하고자 하는 노력이 이어지고 있다(Kim and Park, 2022a).

자율주행차량에는 주변 상황을 영상으로 판단하기 위한 카메라, 거리를 측정하기 위한 라이다, 자율주행차량의 현재 위치를 판단하는 GNSS(Global Navigation Satellite System), 자율주행차량의 자세를 판단하는 IMU(Inertial Measurement Unit) 등의 센서가 장착된다. 그러나 강우 및 안개와 같은 악천후, GNSS 신호의 단절과 같은 상황에서는 이러한 센서들을 통한 주변 상황의 인지가 어려워질 수 있다. 카메라 센서의 경우 악천후 상황에서 사물의 인식이 어렵고, GNSS는 음영지역에서 정확한 위치정보를 제공하지 못한다는 단점이 있다. 이처럼 자율주행차량의 안전운행이 어려워질 수 있는 상황을 ‘핸디캡

상황’이라 한다. 이러한 핸디캡 상황에서 자율주행 도로 인프라를 자율주행차량이 인지하도록 함으로써 자율주행차량에 정보를 제공하는 방안을 고려할 필요가 있다(Jeon *et al.*, 2023).

자율주행차량에 장착되는 센서 중 라이다 센서는 현재 자율주행 기술 발전을 선도하고 있으며, 국내에서 시험 중인 자율주행차량 대부분은 카메라와 라이다를 융합하여 사용한다. 라이다 센서는 카메라와 비교할 때 조도의 영향을 적게 받아 주야간 성능의 차이가 적고, 3차원 형태로 물체를 감지하며 감지 정확도가 우수한 것으로 알려져 있다(Kim and Park, 2022b). 또한, 라이다 센서는 타 센서 대비 구축하는 데에 높은 비용이 필요하지만, 정확성이 우수하고 야간에도 그 성능을 유지하는 것으로 알려져 있다. 라이다 센서는 자율주행차량에 적용되어 동적인 물체의 인지나 현재 차량이 주행 중인 절대위치 파악 등에 활용되고 있다(Park and Kim, 2021).

한편, 국토지리정보원은 자율주행차량의 지원을 위해 LDM 플랫폼의 레벨 1~2에 해당하는 정밀도로지도를 2016년 시범 구축하기 시작한 이래 지속해서 정밀도로지도의 구축 및 개선을 수행하고 있다. 정밀도로지도는 자차위치 결정, 경로 설정 및 변경, 도로교통 규제 등의 인지를 위한 자율주행 기본 인프라로 미래 자동차, 물류, 로봇 등의 분야에서 자율주행의 정확한 위치결정을 위한 핵심 인프라로 자리를 잡고 있다. 다양한 센서에서 감지하는 사물의 정확한 위치결정을 위해 정밀도로지도에 대한 의존도가 점차 증가하고 있고, 각종 변화정보의 감지 및

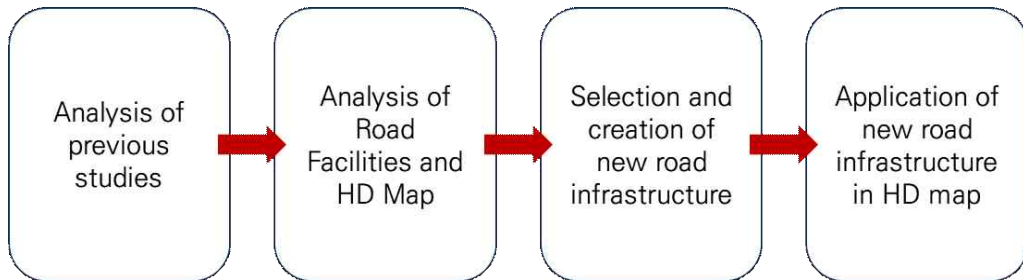


FIGURE 1. Flow Chart of this study

실시간 정보에 대한 융합으로 새로운 정밀지도 생성 기술에 대한 요구도 함께 증가하고 있다 (Won *et al.*, 2020).

인프라를 통해 자율주행차량의 자율주행을 보완한다는 자율협력 주행 개념에 따라 본 연구에서는 기존 도로교통 인프라와 자율주행을 보완하기 위한 신규 인프라에 대한 분석을 수행하고 이를 정밀도로지도에 적용하는 방안을 모색하고자 한다.

자율주행차량의 자율주행을 보조하기 위한 수단에는 센서 외에도 자율주행차량에 탑재된 정밀도로지도를 활용할 수도 있다. 현재의 정밀도로지도는 주행환경을 구성하는 여러 정보 중 변화하지 않는 정보 위주로 제공되고 있다. 정밀도로지도에 자율주행차량을 위한 인프라를 추가한다면 자율주행차량이 시설물을 정확하게 인지하지 못하는 상황에서 정밀도로지도에 포함된 자율주행차량을 위한 인프라 정보를 인지를 이용해 안전하고 원활한 주행이 가능하도록 할 수 있다. 이는 자율주행을 위한 인프라만 설치하는 것을 보완하여 주행안전성을 높이는 방안이 될 수 있다.

본 연구에서는 우선 자율협력주행과 관련된 선행연구를 분석하고, 기존의 도로 시설과 기존에 작성된 정밀도로지도의 현황을 분석함으로써 현재의 자율주행 환경에 대한 분석을 수행한다. 다음으로 자율주행을 위한 신규 도로 인프라를 선정하고 제작하는 과정에 대한 소개를 통해 신규 도로 인프라에 대한 분석을 수행한다. 마지막으로 정밀도로지도를 분석한 결과를 토대로 자율주행을 위한 신규 도로 인프라를 정밀도로

지도에 적용 시 발생할 수 있는 효과에 대해 논하고자 한다. 본 연구의 전체적인 흐름을 그림으로 표현하면 그림 1과 같다.

선행연구 분석

자율주행차량에 장착된 라이다 센서를 이용하여 시설물을 검지 및 인지하는 등의 자율협력주행과 관련한 선행연구를 분석해보면, 우선 Kim and Park(2022b)은 라이다 센서가 악천후 시 물체를 검지하는 능력을 맑은 날과 비교한 실험을 수행한 바 있다. 측정 결과 대상 물체가 흰색일 때보다는 검은색일 때 성능의 저하가 크고, 측정 거리가 멀어질수록 크게 발생한 것으로 나타났다. Park and Kim(2021)은 자율주행차량의 협력 인프라 중 하나인 도로표지판을 대상으로 라이다 센서의 검지 성능변화를 알아보는 연구를 수행한 바 있다. 색깔과 재질이 다른 도로표지판을 제작하여 실제 도로 환경에서 강우량을 통제된 테스트를 수행하였다. 실험 결과 모든 재질에서 강수량이 증가할수록 라이다의 성능지표가 감소하는 결과가 관측되었다. 이러한 성능검증을 통해 향후 센서의 시인성을 높이는 도로 시설물 제작에 활용할 수 있다.

현황 분석

자율주행을 위한 인프라를 그 목적에 맞도록 정밀도로지도에 추가하기 위해 우선 기존의 도로 시설과 기존 작성된 정밀도로지도 현황을 분석하였다.

1. 도로 시설 현황

센서를 통해 자율주행차량이 인식 가능한 표지 시설의 역할을 도출하기 위해 우선 기존 도로 시설물의 현황을 분석하였다. 분석 대상으로 기존 도로 시설물 중, 국토교통부에서 관리하는 도로표지, 경찰청에서 관리하는 교통안전표지, 그리고 국토교통부에서 관리하는 도로안전시설 중 시각적인 정보를 제공하는 기능을 수행하는 시선유도 시설을 선정하였다.

기존 도로 시설물 중 도로표지는 「도로법」 제55조(도로표지) 및 「도로표지규칙」에 근거하여 도로 이용자가 도로 시설을 쉽게 이용하고 원하는 목적지까지 쉽게 도착할 수 있도록 도로의 방향, 노선, 시설물 및 도로명의 정보를 안내하는 도로의 부속물이다. 도로표지는 그 기능에 따라 경계표지, 이정표지, 방향표지, 노선표지, 안내표지로 구분할 수 있다. 도로표지의 표지판, 글자 및 지주의 규격 및 서식과 같은 세부 규정은 각각에 대한 별표를 따른다.

교통안전표지는 「도로교통법」 제4조(교통안전시설의 종류 및 설치관리기준 등)에 근거하여 야간이나 기상 상태 등과 관계없이 교통안전시설이 운전자나 보행자의 눈에 잘 띄도록 설치기준이 정해져 있다. 「도로교통법 시행규칙」에 따른 교통안전표지 중 주의표지는 도로 상태가

위험하거나 도로 또는 그 부근에 위험물이 있는 경우에 필요한 안전조치를 할 수 있도록 이를 도로 이용자에게 알리는 역할을 한다. 규제표지는 도로교통의 안전을 위하여 각종 제한금지 등의 규제를 할 때 이를 도로 이용자에게 알리는 역할을 한다. 지시표지는 도로의 통행 방법, 통행 구분 등 도로교통의 안전을 위하여 필요한 지시를 할 때 도로 사용자가 이에 따르도록 알리는 역할을 한다.

도로안전시설 중 시선유도 시설은 「도로법」 제2조의 도로부속물로서 도로 끝 및 도로선형을 명시하여 주간 및 야간에 운전자의 시선을 유도하기 위하여 설치하는 시설로, 「도로안전시설 설치 및 관리지침 - 시선유도 시설 편」에 설치 및 관리기준을 명시하고 있으며, 그 종류에는 시선유도표지, 갈매기 표지, 표지병 등이 있다.

도로 시설물을 설치하는 근거는 각 시설물의 운영 주체에 따라 도로법 및 부속 규정(국토교통부), 도로교통법 및 부속 규정(경찰청)으로 나누어진다. 규격은 도로표지와 시선유도 시설은 관련 규정에 따라 다양한 종류의 시설물 규격이 제시되어 있다. 교통안전표지 또한 다양한 종류의 규격을 갖고 있으나 모든 표지판이 가로 600mm, 세로 600mm 크기의 사각형 크기를 초과하지 않도록 구성되어 있다.

기존 도로 시설물의 현황 분석 내용을 종합하

TABLE 1. Existing Road Facility Status

	Road Sign	Traffic Safety Sign	Gaze Guidance Facility
Legal Basis	Road Law Road Sign Rules	Road Traffic Act Road Traffic Act Enforcement Rule	Road Law Road Safety Facility Installation and Management Guidelines
Type	Landmark Milestone Direction Sign Route Sign Guide Sign	Caution Sign Regulatory Sign Instruction Sign	Line of Sight Sign Chevron Alignment Sign Road Stud Obstacle Target Marker Structural Painting and Hatch Marks Gaze Induction Rod
Definition	Road appendages that guide information on road directions, routes, facilities and road names	Signs displaying cautions regulations and instructions necessary for traffic safety	Facility for guiding the driver's gaze as a road accessory under Article 2 of the Road Law
Specification	Depending on what is defined in the relevant regulations	Signs within 600mm in width and 600mm in height	Depending on what is defined in the relevant regulations
Function	Instruction	Attention and Instruction	Attention

면 표 1과 같다. 각각의 기능을 분석해 보면, 도로표지는 거리, 방향 등의 안내 기능을 수행한다. 규제표지와 지시표지는 그 종류는 다르지만, 특정 행동을 지시한다는 공통적인 역할을 한다. 시선유도 시설은 운전자의 시선을 유도함으로써 주의를 환기하는 역할을 한다. 이처럼 기존의 도로 시설물은 안내, 지시, 운전자의 주의를 환기하는 역할을 한다. 자율주행을 위한 신규 도로 인프라는 이러한 기존 도로 시설물의 역할을 지원하고 자율주행차량의 안전 운행을 위한 목적으로 활용되어야 할 것으로 판단된다 (Jeon *et al.*, 2023).

2. 정밀도로지도 현황

정밀도로지도는 차로 수준의 도로망 및 도로 시설물 정보에 대해 높은 정밀도로 구축된 지도이다. 정밀도로지도는 자율주행차량의 차량 측위 보조, 경로 안내, 차량 궤적 생성 등에 이용된다(Lee and Kim, 2022). 본 연구에서 참조한 정밀도로지도는 국토지리정보원에서 제공하

는 정밀도로지도를 사용하였다. 국토지리정보원의 정밀도로지도에서 제공하고 있는 데이터 모델은 다음의 세 가지로 정의할 수 있다. 첫째, 차로 수준의 도로지도를 기술하기 위한 핵심 클래스, 속성 및 이들 간의 개념적 관계와 둘째, 도로 주변의 표지 및 시설들의 종류와 위치에 대한 클래스 및 이들 사이의 개념적 관계 그리고 셋째, 상기한 클래스에서 활용되는 코드리스트에 대한 정의가 그것들이다. 국토지리정보원에서 제공하는 정밀도로지도는 도로 위 공간정보 대부분이 구축되어 있었고, 레이어 연계성을 고려하여 다양한 기관이 유용하게 활용할 수 있도록 구성되어 있다(Won *et al.*, 2020).

자율주행을 위한 신규 도로 인프라를 정밀도로지도에 적용하기 위해 우선 국토지리정보원에서 제공하는 정밀도로지도의 현황을 분석하였다. 국토지리정보원에서 제공하는 정밀도로지도는 차선(규제선, 도로경계선, 정지선, 차로 중심선), 도로 시설(중앙분리대, 터널, 교량, 지하차도), 표지 시설(교통안전표지, 노면표지, 신호기) 정보를 3차원으로 제작한 전자지도이다. 국토

TABLE 2. Layers of HD Map

Layer Name	Item	Description	Form
A1_NODE	Road Node	Points connecting driving route links	Point
A2_LINK	Road Link	Part of the vehicle driving route	Line
A3_DRIVWAYSECTION	Driveway	Information about a section of a road	Polygon
A4_SUBSIDIARYSECTION	Subsidiary Section	Other types of subsections that do not belong to vehicle segments	Polygon
A5_PARKINGLOT	Parking Lot	Parking lot existing in subsections (set of parking slots)	Polygon
B1_SAFETYSIGN	Safety Sign	Traffic safety signs defined in the Road Traffic Act and Road Traffic Act Enforcement Rule	Polygon
B2_SURFACELINEMARK	Surface Line Mark	Line-type regulatory signs among road markings	Line
B3_SURFACEMARK	Surface Mark	Non-line-type regulatory signs among road markings	Polygon
C1_TRAFFICLIGHT	Traffic Light	A device installed on the road to instruct passing vehicles or people to stop and detour	Point
C2_KILOPOST	Kilopost	Kiloposts installed on highways	Point
C3_VEHICLEPROTECTIONSAFETY	Vehicle Protection Safety Facility	Facility information installed to prevent a vehicle from departing in the wrong direction or to prevent a direct collision with a structure	Line
C4_SPEEDBUMP	Speedbump	Facility information installed to prevent the speeding of passing vehicles and suppress the entry of passing vehicles	Polygon
C5_HEIGHTBARRIER	Height Barrier	Information on various facilities that impose height restrictions that must be referred to when driving	Line
C6_POSTPOINT	Postpoint	Information on signal poles, transportation facility poles, etc.	Point

지리정보원 제공 정밀도로지도의 레이어는 표 2의 목록과 같이 제공되고 있다(National Geographic Information Institute, 2021).

국토지리정보원 정밀도로지도의 레이어를 살펴보면, A1_NODE 및 A2_LINK는 실제로는 존재하지 않지만, 자율주행차량의 운행 보조를 위해 작성한 가상의 레이어임을 확인할 수 있다. A3_DRIVEWAYSECTION과 A4_SUBSIDIARYSECTION의 경우 특정한 구역을 표시하고 있으나 해당 구역의 표시가 도로 상에 물리적으로 나타나 있지는 않으므로 이 역시 가상의 레이어라 볼 수 있다. 이 외의 나머지 레이어들은 대상이 물리적으로 존재하는 것을 표현한 레이어라 할 수 있다.

자율주행을 위한 신규 도로 인프라 분석

자율주행을 위한 신규 도로 인프라는 그 종류에 따라 개선 물리 시설물과 센서 전용 물리 시설물로 구분된다. 개선 물리 시설물은 기존의 도로교통 시설물로 활용되고 있는 시설물 중 원래의 설치목적을 훼손하지 않는 범위 내에서 일

부 재질 및 형태를 변경함으로써 자율주행 시 사람의 눈과 센서의 검지를 통해 시인성을 향상한 시설물이다. 센서 전용 물리 시설물은 기존의 도로 교통시설물로 제작된 적이 없으며, 자율주행차량에 탑재되는 센서에 대한 시인성을 강화하기 위해 새롭게 개발되는 시설물이다. 센서 전용 물리 시설물은 자율주행차량의 센서에서만 인지되는 모양 및 패턴을 통해 자율주행차량의 안전 주행을 지원하는 도로교통 시설물로 기존 차량 운전자의 운행에 있어 위화감을 주지 않아야 한다는 조건이 있다(Jeon *et al.*, 2022).

1. 개선 물리 시설물

개선 물리 시설물은 인프라를 구성하는 도로 시설물을 대상으로 자율주행차량의 여러 센서 중 라이다 센서에 대응이 가능한 시설물 위주로 선정을 고려하였다. 기존 인프라는 운전의 주체인 사람의 육안에 대한 기준으로 제작되었기 때문에, 자율주행차량의 육안 역할을 하는 라이다 센서를 활용하기 위해서 센서 특성에 맞는 시설물이 필요한 것으로 판단되었다.

다음으로 물리 인프라의 도로교통 시설물 목

TABLE 3. Comparison of RGB images and intensity images of candidate facilities

Type	RGB Image	Intensity Image
Protective Fence		
Curb		

TABLE 3. Continued

Type	RGB Image	Intensity Image
Street Lamp		
Temporary Protective Wall		
Gaze Guide Rod		
Traffic Cone		
Pillar		

록을 기반으로 물리적 개선이 필요한 도로 시설물을 선정하였다. 도로 시설물 중에서 국토교통부에서 제작한 도로안전시설 설치 및 관리지침서에 포함되어있는 시설물 중 라이다 센서로 효과를 볼 수 있을 것으로 판단되는 시설물 7종을 개선 시설물 후보로 선정하였다.

개선 시설물 후보 7종의 현황을 파악하기 위해 MMS의 라이다와 카메라를 통해 획득한 포인트 클라우드 및 파노라마 영상을 활용한 분석을 수행하였다. 개선 시설물 후보 7종에 대한 RGB 영상과 Intensity 이미지 비교는 표 3에서 보는 바와 같다.

현황자료 분석 결과 밝은 색상이나 재질이 위치하는 부분을 스캔할 시 상대적으로 높은 반사강도로 식별되는 경향을 보였다. 방호울타리, 연석과 같이 연속되는 선형 시설물의 레이저 스캔 결과가 상대적으로 양호한 편으로 나타났지만, 교통콘, 시선 유도봉, 지주는 반사지가 위치하는 부분 외의 몸체 대부분이 라이다 센서에 잘 인식되지 않고, 가로등은 주변 환경으로 인해 라이다 센서를 통한 식별이 어려운 것으로 확인되었다.

이와 같은 분석 결과를 통해 물리적 개선이 필요하며 선형으로 설치되어 라이다를 통해 패턴을 인식하기 쉬운 연석을 첫 번째 개선 물리 시설물로 선정하였다. 도로교통법상 연석은 ‘차도와 보도를 구분하는 돌’이라 정의하고 있다(National Police Agency, 2023). 연석은 도로에서 차량이 넘어갈 수 없는 최종 경계를 알려주는 시설물로 그 중요성이 높으며, 회색 계열의 색상을 사용하여 검은색의 도로 포장부와 구분되어 라이다 신호의 검지에 유리하다.

나머지 한 종류로 선정한 장애물 표적 표지는 공개 DB로부터 도출된 후보 시설물에는 포함되지 않으나, 안전 운행을 위해 도로의 다양한 지점에 많은 수량이 설치되어 있고 육안에 의한 시인성 향상이 필요한 시설물로 판단하였다. 장애물 표적 표지는 시인성 향상 시설의 일종으로 차량 전조등의 빛을 반사체를 통해 재귀반사 시킴으로써 운전자에게 위험물이 있다는 정보를 전달하기 위해 설치한다. 국토교통부의 도로안

전시설 설치 및 관리지침 - 시선 유도시설 편의 시인성 증진 안전시설 부분에서는 장애물 표적 표지를 ‘중앙분리대 시점 부, 지하차도의 기둥 등에서 운전자에게 위험물이 있다는 정보를 반사체로 구성된 표지를 통해 전달할 목적으로 설치하는 시설’이라 정의하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022). 장애물 표적 표지는 장애물이 시작되는 시점에서 1회 설치하는 반복성이 없는 시설물로 충돌 방지를 위한 명확한 메시지를 전달할 수 있고, 단거리 검지에 적합하여 본 연구를 통해 개선하기 쉬운 시설물로 판단하였다.

개선 장애물 표적 표지는 기존 장애물 표적 표지의 시인성 향상을 목표로 하고 있다. 기존의 장애물 표적 표지는 설치 위치에 따른 회색 계열의 배경색과 황색의 반사체가 대비되지 않아 기존 차량의 운전자들이 인식하기 어렵고 우천, 안개와 같은 핸디캡 상황에서 더욱 구분하기 어렵다. 설치목적에 비추어 보았을 때 시인성이 떨어지는 장애물 표적 표지의 성능 개선과 함께 자율주행차량이 라이다 센서를 이용하여 인지하도록 하였다.

2. 센서 전용 물리 시설물

센서 전용 물리 시설물은 기존 도로 시설물과는 달리 자율주행차량만을 위한 시설물로 자율주행차에 일정한 정보를 제공하는 역할을 한다. 이상적인 상황에서 자율주행차량은 주행 과정에서 영상, 레이더, 라이다 등의 센서를 이용하여 자율주행차량의 위치, 진행 방향 주행속도 등을 스스로 결정하여 운행하는 AI 판단 기능이 원활하게 작동하지만, 악천후 상황이나 야간 등의 핸디캡 상황에서 이와 같은 센서를 통해 입력되는 데이터가 AI 판단 기준을 충족하지 못하는 경우가 발생한다. 센서 전용 물리 시설물은 이러한 핸디캡 상황에서 라이다 센서를 활용하여 자율주행차량의 안전 운행 및 독립적 운행을 위한 정보를 제공하는 시설물이다.

센서 전용 물리 시설물인 복잡 구간 표지는 자율주행차량에 한정하여 정보를 제공하기 위한

목적의 시설물로, 기존의 교통안전표지 분류에 따르면 지시표지의 성격을 갖는다. 교통안전표지 설계 기준에 따른 지시표지는 청색 바탕에 백색 기호를 사용한다. 복잡 구간 표지는 대표적인 핸디캡 상황인 공사 구간, 복잡 구간, 신호 단절구간 등에서 자율주행차량에 정보를 제공하기 위한 목적으로 제작되었으므로 기존 설계 기준과 달리 검정 바탕에 청색 기호를 사용하였다. 센서 전용 물리 시설물이 교통안전표지의 기준을 모두 따르게 되면 기존 교통안전표지와 함께 운전자에게 새로운 정보를 제공하게 되어 혼동을 일으킬 수 있어 이를 배제하고자 하였다.

자율주행을 위한 신규 도로 인프라 제작

개선 물리 시설물 샘플은 각각 3회에 걸쳐서

제작하였다. 제작 내용을 요약하여 나타내면 표 4와 같다. 실제 제작한 개선 연석 샘플은 그림 2에, 실제 제작한 개선 장애물 표적 표지 샘플은 그림 3에 나타나 있다.

센서 전용 신규 물리 시설물인 복잡 구간 표지 시작품은 3회에 걸쳐서 제작하였다. 복잡 구간 표지는 라이다 센서를 이용하여 세그먼트의 개수를 인식하게끔 디자인하였다. 1차 시작품은 반사면에 청색, 황색, 백색을 적용하여 3가지 디자인으로 구분하여 제작하였다. 1차 시작품 제작 시에는 공사 구간, 곡선구간, 신호 단절구간에 설치하는 것으로 구분하였다. 2차 시작품은 라이다 센서의 인지 성능 향상을 위해 중앙 분할 선형의 폭 디자인을 수정하여 청색, 백색, 황색 배경으로 제작하였다. 2차 시작품부터는 1차 시작품과 같은 위치에 설치하되, 디자인은 세그먼트 두 개로 구분되는 하나의 디자인으로

TABLE 4. Details of Producing Improved Facilities

	Sample of Improved Curb	Sample of Improved Obstacle Sign
1st	Improving detection and recognition performance of curbs Application of reflective module with ultra-high brightness reflective paper attached	Change the background color, reflector material, size, and placement of existing obstacle target signs Improved purpose of improving visual detection ability
2nd	Addressing functional safety impairment issues Added angle adjustment function to derive optimal reflection angle	Alleviating the overlap phenomenon that appeared in the first test Reflection of design by adjusting reflector spacing
3rd	Optimal reflection angle of 20 degrees applied through indoor and performance tests Fabrication of 4 and 8 modules with reflective surfaces made of granite	Alleviating the overlap phenomenon that appeared in the second test Reflection of design by adjusting reflector size and spacing



FIGURE 2. Sample of Improved Curb

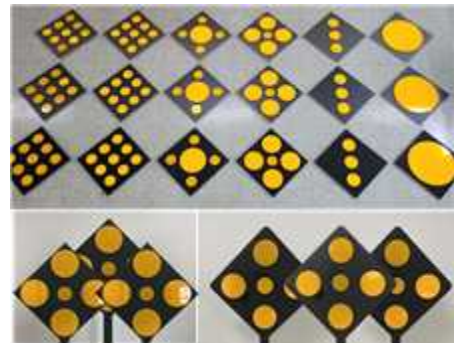


FIGURE 3. Sample of Improved Obstacle Sign



FIGURE 4. Sample of Complex Section Sign

통일하였다. 3차 시작품은 표지판 테두리 디자인을 포함하고 1차 및 2차 시작품의 인지 테스트 수행 결과를 바탕으로 청색으로 바탕색을 선정하여 제작하였다. 복잡 구간 표지 시작품은 그림 4에서 보는 바와 같다.

자율주행을 위한 도로 인프라의 정밀도로지도 적용

1. 정밀도로지도 데이터 항목 분석

국토지리정보원에서 제공하는 정밀도로지도는 총 14개의 레이어가 제공된다. 각 레이어는 공통으로 갖는 필드와 고유한 필드가 존재한다. 우선 공통으로 갖는 필드의 내용을 분석하면 표 5에서 보는 바와 같다.

공통되는 필드는 고유식별자, 권역 코드, 사업자(컨소시엄) 정보, 취득 날짜, 버전, 비고, 갱신 이력 유형, 갱신 이력 설명의 8가지 필드이다. 해당하는 필드는 고유식별자를 제외하면 대

체로 제조사, 갱신 일자, 갱신 이력 등 대체로 메타데이터에 해당하는 내용이라 할 수 있다. 고유한 필드는 대체로 해당 레이어를 코드리스트로 구분한 상세 유형과 해당 레이어가 참조하는 노드 및 링크, 차로에 대한 정보를 포함하고 있다.

2. 자율주행을 위한 도로 인프라를 통한 정보 제공

정밀도로지도의 레이어를 분석해 본 결과, 공통 필드들은 정밀도로지도의 구축과 관련된 정보(메타데이터)를 포함하고 있고, 개별 필드는 시설물의 형태나 종류를 코드리스트 형식으로 제공하고, 각 시설물을 참조하는 차선 또는 링크에 대한 정보를 포함하고 있다. 이러한 정보들은 해당 도로구간이 존재하는 동안에는 변동이 되지 않는 정보들이 추가 되는 것으로 파악되었다.

TABLE 5. Common Fields of HD map Layers

Field Name	Description	Remark
ID	Identical Description	Unique identifier for classification and management by object *Layer name(2 digit)+Update Date(3 digit)+Identification code(1 digit) +Unique number(6 digits)
AdminCode	Administrative Code	Administrative district code
Maker	HD Map Maker	Builder(Consortium)
UpdateDate	Updated Date	Date of acquisition(update)
Version	Version	Description of build version in string(2015, 2018, 2021)
Remark	Remark	Description of special features
HistType	History Type	Layer name(2 digit)+Identification code(3 digit)
HistRemark	History Remark	Description of HistType



FIGURE 5. Sample of HD maps

기존 설치하는 장애물 표적 표지의 경우 교각, 지하차도 및 고가차도의 분기점, 중앙 버스 전용차로 내 버스정류장 초입부 등 상당히 많은 위치에 설치되지만 일반 차량의 운전자는 해당 방향으로 운전할 가능성이 매우 낮아 대체로 이를 잘 인식하지 못하는 경향이 있다. 이러한 시설을 통해 자율주행차량이 시설물을 인지하게 함으로써 전방에 분기되는 지점이 있으니 장애물에 주의하라는 의미를 부여할 수 있다. 또한 기존 정밀도로지도에서는 이러한 정보를 제공하지 않고 있고, 이러한 시설은 한번 설치하면 거의 변화되지 않기 때문에 정밀도로지도에 추가하는 것도 가능할 것으로 전망된다.

그림 5는 국토지리정보원에서 샘플로 제공하는 대구광역시 북구 만평네거리 주변의 정밀도로지도와 인터넷 지도와 중첩하여 나타낸 것이다. 그림 6은 그림 5에서 붉은색 사각형으로 표시한 지역의 거리뷰 이미지를 나타낸 것으로 해당하는 분기점에 교통안전표지(직진 및 우회전 표지)와 함께 장애물 표적 표지가 위치하는 것을 확인할 수 있다. 해당 위치의 정밀도로지도에는 교통안전표지가 면형(polygon)으로, 지주가 점형(point)으로 표현되어 있다. 장애물 표적 표지에 대한 별도의 표현은 존재하지 않는다.

여기에 자율주행차량을 위한 개선된 장애물 표적 표지를 장착하고 그 정보를 정밀도로지도상에 추가한다면 자율주행차량이 주행하는 과정에서 라이다 센서를 통해 해당 표지를 검지하여 전방에 장애물(분기점)이 있다는 신호를 받아들



FIGURE 6. Obstacle Sign in Street

일 수도 있고, 만일 라이다 센서에 오류가 발생하여 표지를 검지하지 못할 때도 정밀도로지도에 해당 시설물이 표현되어 있어 이를 인지하게 되면 표지를 검지한 것과 같은 효과를 부여할 수 있어 표지를 검지하지 못하는 상황에서도 자율주행차량의 원활한 주행을 가능하게 할 수 있다.

3. 자율주행을 위한 도로 인프라의 정밀도로지도 적용

상기한 분석 내용을 토대로 자율주행을 위한 도로 인프라를 정밀도로지도에 적용하기 위한 DB(안)를 도출하고자 한다. 자율주행을 위한 도로 인프라를 정밀도로지도에 추가하는 방법으로는 기존 레이어에 자율주행을 위한 도로 인프라를 추가하는 방법과 자율주행을 위한 도로 인프라를 표현하기 위한 레이어를 별도로 추가하는 방법이 있다.

기존 레이어에 추가하기 위해서는 자율주행을 위한 도로 인프라 중 유사한 영역에 대한 자료를 구축하고 있는지를 확인해야 할 필요가 있다. 개선 물리 시설물 2중 중 연석에 관한 내용은 C3_VEHICLEPROTECTIONS SAFETY(차량 방호 안전시설) 레이어의 시설유형 중 한 부분으로 구축하고 있다. 다만 해당 레이어는 차량 방호시설 및 도로의 경계를 나타내는 선형으로 구축되어 있어, 본 연구에서 제시하는 자율주행 차량에 정보를 제공하기 위한 목적의 연석을 해당 형태의 레이어로 사용하기에는 적합하지 않은 것으로 판단하였다. 장애물 표적 표지에 대

TABLE 6. Applying New Infrastructure for Autonomous Driving in HD map Layers

Field Name	Description	Remark
ID	Identical Description	Unique identifier for classification and management by object *Layer name(2 digit)+Update Date(3 digit)+Identification code(1 digit) +Unique number(6 digit)
AdminCode	Administrative Code	Administrative district code
Type	Facility Type	<Codelist> 1 : Improved Curb, 2 : Improved Obstacle Sign 3 : Complex Section Sign
LinkID	Link UFID	Link UFID referenced by the facility
Ref_Lane	Reference Lane	Land referenced by the facility
Coordinate	Coordinate	Coordinates of the facility
ComplexInfo	Complex Section Information	<Codelist> 0 : Etc, 1 : Curve Section, 2 : Signal Disconnection Section, 3 : Construction Section
Section	Section	<Codelist> 1 : Starting point, 2 : Midpoint, 3 : Terminal
IsPermanent	Permanent Facility Code	<Codelist> 0 : Permanent Facility, 1 : Temporal Facility
TimeLimit	Time Limit	Time limit until YYYY-MM-DD
Maker	HD Map Maker	Builder(Consortium)
UpdateDate	Updated Date	Date of acquisition(update)
Version	Version	Description of build version in string(2015, 2018, 2021)
Remark	Remark	Description of special features
HistType	History Type	Layer name(2 digit)+Identification code(3 digit)
HistRemark	History Remark	Description of HistType

해서는 정밀도로지도에서 해당 내용을 구축하지 않고 있는 것으로 확인된다. 센서 전용 신규 물리 시설물은 기존에 존재하지 않던 시설물이기 때문에 해당 내용과 유사한 내용 역시 정밀도로지도에서 구축하고 있지 않은 것으로 판단된다.

이처럼 기존 레이어에 추가하기에는 자율주행을 위한 인프라가 기존의 시설물과 그 성격이 다르거나, 기존에 구축하고 있지 않아 기존 레이어에 추가하는 것이 불가능한 상황이기 때문에 새로운 레이어를 추가하여 자율주행을 위한 도로 인프라를 표현해야 할 필요가 있다. 자율주행을 위한 인프라를 정밀도로지도에 적용하기 위해 가칭 C7_AUTONOMOUSFACILITY 레이어를 추가하였고 그 내용은 표 6과 같다.

C7_AUTONOMOUSFACILITY 레이어에는 기존 정밀도로지도의 공통 필드 외에 8개의 필드를 추가하였다. 우선 시설물의 형태(Type)를 코드리스트로 지정하여 자율주행을 위한 인프라의 종류를 입력하게 하였다. 다음으로 해당 시설이 참조하는 차로 정보가 필요하므로 시설물이 위치하는 차로의 링크 UFID(LinkID)와 해

당 차로의 번호를 참조하도록 하였다. 다음으로 좌표 정보를 제공하도록 하였다. 향후 센서 전용 물리 시설물을 통해 자율주행차량의 현재 측위를 바로잡는 방안 역시 고려하고 있으므로 시설물이 위치하는 정확한 좌표에 대한 정보가 제공되어야 할 필요가 있다. 좌표는 해당 시설물의 중심 또는 지주와 지면이 닿는 부분의 중심을 기준으로 하고 좌표계는 정밀도로지도 및 자율주행차량 탑재용 지도 간에 같은 좌표계(UTM-K)를 사용할 수 있도록 할 예정이다. 다음으로 복잡 구간 정보(ComplexInfo)에 대한 레이어를 추가하였는데, 본 연구에서 제시한 복잡 구간 표지의 종류에 따라 곡선구간, 신호 단절구간, 공사 구간 및 기타 구간에 대한 정보를 코드리스트로 추가할 수 있도록 하였다. 다음은 구간에 대한 정보로, 설치하는 시설물에 따라 한 곳에만 설치하는 때도 있고, 시점과 중간 점, 종점을 구분하여 여러 개를 설치하는 때도 있어 이를 구분하기 위해 코드리스트로 추가하였다. 다음은 설치된 자율주행을 위한 인프라가 영구적으로 설치되었는지, 일시적으로 설치 후 철거

할 예정인지 여부를 코드리스트로 추가하였다. 마지막으로 설치된 자율주행을 위한 인프라가 일시적으로 설치한 시설일 경우 그 설치기간에 관한 내용을 추가하였다.

결 론

본 연구는 핸디캡 상황에서 자율주행차량의 안전 운행에 도움을 줄 수 있도록 자율주행을 위한 인프라로 개발된 개선 물리 시설물과 센서 전용 물리 시설물을 분석하였다. 자율주행을 위한 신규 인프라를 분석하기 전 기존 도로 시설물에 대한 현황을 분석하여 신규 인프라가 기존 도로 시설물이 수행하는 안내, 지시, 주의 환기 등의 역할을 지원해야 한다는 결론에 도달했다. 개선 물리 시설물은 기존의 도로교통 시설물로 활용되고 있는 시설물 본래의 설치목적은 훼손하지 않는 범위 내에서 일부 재질 및 형태를 변경하여 시인성을 향상한 시설물로, 개선 연석과 개선 장애물 표적 표지의 두 종류의 샘플을 제시하였다. 센서 전용 물리 시설물은 기존 시설물과는 다른 형태를 보이는 자율주행차량만을 위한 시설물로 자율주행차량에 일정한 정보를 제공하기 위한 목적을 가지며, 복잡 구간 표지 시작품을 제시하였다.

자율주행을 위한 신규 도로 인프라를 정밀도로지도에 적용하기 위해 국토지리정보원에서 제공하는 정밀도로지도를 분석해 본 결과 정밀도로지도에서는 분기점과 같은 장애물 정보나 주의해야 할 곡선구간 등의 정보가 제공되지 않고 있다. 이러한 점을 보완하기 위해 자율주행을 위한 도로 인프라를 정밀도로지도 레이어의 형태로 추가하는 방안을 모색해 보았다.

본 연구의 향후 수행과제로는 자율주행을 위한 인프라를 정밀도로지도에 추가함으로써 발생할 수 있는 갱신의 문제를 해결하는 방안이 있을 수 있다. 일례로 공사 구간의 경우 공사 상황에 따라 수시로 변동이 발생할 수 있는데, 이러한 변동이 발생할 때마다 해당 구간에 위치하는 시설물에 대한 정보 변동을 적용하기 위해 MMS와 같은 현장 조사 장비를 동원하여 정밀

도로지도를 갱신하는 것은 비효율적이라 할 수 있다. 시설물의 인식을 향상을 위해 실제 실험을 통해 시설물 형상을 인식하는 방안에 관한 연구를 수행하는 방향으로 보완해야 할 것으로 예상된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Jeon, Y.J., C.W. Park, J.W. Kim and J.H. Lee, 2023. Study on the Material Characteristics of Improved and Virtual Facility for Autonomous Vehicles. The Journal of the Korea Contents Association, 22(12):171-179 (전영재, 박철우, 김진우, 이준혁, 2022. 자율주행차를 위한 개선 및 가상 시설물의 재질 특성 연구. 한국콘텐츠학회지 22(12):171-179).
- Jeon, Y.J., J.W. Kim, C.O. Kwon and J.H. Lee, 2023. Deriving the Role of Sign Facilities Recognized by Autonomous Vehicles. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 26(1): 1-10 (전영재, 김진우, 권찬오, 이준혁, 2023. 자율주행차량이 인식 가능한 표지 시설의 역할 도출. 한국지리정보학회지 26(1):1-10).
- Kim, J.Y. and B.J. Park, 2022a. A Research of Factors Affecting LiDAR's Detection on Road Signs: Focus on Shape and Height of Road Sign, Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 21(4):190-211 (김지윤, 박범진, 2022a. 도로표지에 대한 LiDAR 검지영향요인 연구: 도로표지의 모양과 높이를 중심으로, 한국 ITS학회논문지, 21(4):190-211).
- Kim, J.Y. and B.J. Park, 2022b. A Study of LiDAR's Detection Performance Degradation in Fog and Rain Climate, Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 21(2):101-115 (김지윤, 박범진, 2022b. 안개 및 강우 상황에서의 LiDAR 검

- 지 성능 변화에 대한 연구, 한국ITS학회논문지, 21(2):101-115).
- Lee, E.I. and D.H. Kim, 2022. Serialization Method for large spatial data transmission of High Definition Map, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 25(4):32-48 (이은일, 김덕호, 2022. 정밀도로지도의 대용량 공간데이터 교환을 위한 직렬화 기법 설계. 한국지리정보학회지 25(4):32-48).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022. Road Safety Facility Installation and Management Guidelines - Gaze Guidance Facility, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Ordinance No.681 (국토교통부, 2022. 도로안전시설 설치 및 관리지침 - 시선유도시설 편, 국토교통부령 제681호).
- National Geographic Information Institute, 2021. Description and Guidance of HD Map (국토지리정보원, 2021. 정밀도로지도 설명 및 안내 자료).
- National Police Agency, 2023. Road Traffic Act, Law No. 18741 (경찰청, 2023. 도로교통법, 법률 제19158호).
- Park, B.J. and J.Y. Kim, 2021. A Study of LiDAR's Performance Change by Road Sign's Color and Climate. Journal of Korea Institute of Intelligence. Transportation System 20(6):228-241 (박범진, 김지윤, 2021. 도로시설물의 색깔 및 기상 환경에 따른 LiDAR의 성능변화 연구. 한국ITS학회논문지 20(6):228-241).
- Won, S.Y., Y.J. Jeon, H.W. Jeong and C.O. Kwon, 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):1-20 (원상연, 전영재, 정현우, 권찬오, 2020. 자율주행자동차 실주행 지원을 위한 표준 정밀도로지도 비교 및 활용 레이어 분석. 한국지리정보학회지 23(3):132-145). **KAGIS**