

자율주행시스템 운행지원을 위한 도로 인프라 측면의 위험 요소 관리 방안

A Study on the Method for Managing Hazard Factors to Support Operation of Automated Driving Vehicles on Road Infrastructure

김 규 옥* · 최 정 민** · 조 선 아***

* 주저자 및 교신저자 : 한국교통연구원 미래차연구센터 선임연구위원

** 공저자 : 한국교통연구원 국가교통DB센터 연구위원

*** 공저자 : 한국교통연구원 모빌리티전환연구본부 연구원

Kyuok Kim* · Jung Min Choi** · Sun A Cho***

* Center for Future Vehicles, Korea Transport Institute

** Center for Korea Transport Database(KTDB), Korea Transport Institute

*** Dept. of Mobility Transformation, Korea Transport Institute

† Corresponding author : Kyuok Kim, kko@koti.re.kr

Vol. 21 No.2(2022)
April, 2022
pp.62~73

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.2.62>

Received 21 January 2022
Revised 14 February 2022
Accepted 15 March 2022

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

요 약

각국의 자율주행시스템 기술개발 경쟁이 심화함에 따라 정부도 자율주행시스템의 시장 진입을 전방위에서 지원하고 있다. SAE(Society of Automotive Engineers) 3단계 기술은 운전자가 위험 상황을 회피해야 하고, 4단계 기술은 자율주행시스템 스스로 위험 상황에 대응할 수 있어야 한다. 이에 따라, 공공부문은 도로 위험 상황을 모니터링하고, 도로 인프라 정보를 운전자와 자율주행시스템에 제공하여 대응할 수 있도록 지원할 필요가 있다. 본 연구는 도로 인프라 위험 요소를 자율주행시스템의 ODD(Operational Design Domain) 특성에 따라 모니터링 대상별 위험 요소를 세분화하고, 각 위험 요소가 차량에 미칠 영향에 따른 위험도 등급화 및 평가 방안을 제시하였다. 위험 상황 발생 시 자율주행차의 운행 특성을 시뮬레이션하고, 위험 요인 특성과 물리적인 차량 조건 사이의 영향 관계를 파악하여 등급화함으로써 위험도를 평가할 수 있다. 또한 수집된 모니터링 정보는 관리 센터와 공유하고, 요소별 특성에 따른 노드 혹은 링크 형태로 정밀지도에 표출하여 위치정보와 위험도 등급 등 종합적 관리가 가능한 모니터링 체계를 정립할 것을 제안하였다.

핵심어 : 자율주행시스템, 도로 인프라, 운행지원, 위험 요소

ABSTRACT

As the competition among the autonomous vehicle (AV, here after) developers are getting fierce, Korean government has been supporting developers by deregulating safety standards and providing financial subsidies. Recently, some OEMs announced their plans to market Lv3 and Lv4 automated driving systems. However, these market changes raised concern among public road management sectors for monitoring road conditions and alleviating hazardous conditions for AVs and human drivers. In this regards, the authors proposed a methodology for monitoring road infrastructure to identify hazardous factors for AVs and categorizing the hazards based on their level of impact. To evaluate the degrees of the harm on AVs, the authors suggested a methodology for managing road hazard factors based on vehicle performance features including vehicle body, sensors, and algorithms. Furthermore, they proposed a method providing AVs and road management authorities with potential risk information on road by delivering them on the monitoring map with node and link structure.

Key words : Automated Driving System, Road Infrastructure, Driving Assistance, Hazardous Factor

I. 서론

1. 개요

세계 각국의 자율주행시스템 기술개발 경쟁이 심화하고 있다. 우리나라도 점차 치열해지는 세계 자율주행시스템 시장에서 경쟁우위를 갖기 위해 관련 산업을 지원하고 있으며, 기술개발과 실증사업에 대한 투자를 확대하고 있다. 승용자동차에 적용된 자율주행시스템은 SAE(Society of Automotive Engineers) 3단계 수준으로 상용화가 이루어지고 있다. SAE 3단계 기술은 자율주행 상태에서 운행 중 제어권 전환이 이루어지면 그 이후 인간 운전자가 대응하게 된다. 하지만, 서비스 실증이 활발한 4단계 이상의 자율주행차는 위험 상황에 대한 대응을 스스로 해야 한다. 현재 4단계 자율주행시스템 기술은 다양한 도로교통 상황에서 스스로 안전하게 운행할 수 있을 정도의 수준에 도달했다고 보기는 아직 한계가 있다. 이는 자율주행 센서 기술과 판단 알고리즘 등이 인간의 인지·판단 능력을 대체할 수 있는 수준이라고 보기 어렵기 때문이다. 이에 따라 4단계 자율주행시스템의 안전한 도로 운행을 위해서는 차량에 적용되는 센서와 판단 알고리즘 성능을 보완할 수 있도록 도로 인프라의 지원이 필요하다.

도로교통 안전을 확보하기 위한 도로 인프라 자동화 기술은 도로 위에서 발생하는 다양한 환경 변화를 신속히 감지하고, 관련 정보를 자동차 운전자 혹은 자율주행시스템에 전달하여 환경 변화에 대비할 수 있도록 하는 기술이라고 할 수 있다. 현재 상용화된 도로 인프라 기술은 운전자 지원을 목적으로 하고 있다. 즉, 도로 인프라는 도로 위의 위험 환경과 요인을 감지하여 운전자에게 정보를 제공한다. 하지만, 자율주행시스템은 운전자와는 다른 상황 인지 체계를 갖추고 있고, 정보를 입수하는 방식 또한 운전자의 방식과 다르다. 인간의 운전 행위에는 직감이라는 과학적 설명이 어려운 능력이 개입되나, 자율주행시스템의 의사결정 과정에는 확률이 개입된다. 자율주행시스템은 안전할 확률이 높은 쪽의 제어 전략을 선택하게 되며, 이를 뒷받침할 인지 정보의 정확도에 따라 제어성능이 결정된다. 이에 따라 자율주행시스템의 운행 중에 직면할 수 있는 다양한 도로교통 환경 중 자율주행시스템의 위험 환경을 사전에 인지하고 대응할 수 있도록 도로의 위험 요소를 정의할 필요가 있다. 도로관리 기관은 도로교통 상황을 모니터링하고 신속히 대응하여 위험 완화 조치를 하는 한편, 도로 인프라 위험 정보를 제공하여 운전자(3단계 자율주행시스템) 혹은 4단계 이상 자율주행시스템이 대응할 수 있도록 지원할 필요가 있다.

본 연구에서는 자율주행시스템 관점에서 도로 운행 중에 발생할 수 있는 위험 요소를 정의하고, 위험의 정도를 평가하는 방법에 대해 살펴보고자 한다. 또한, 사고 예방과 위험 회피를 위한 도로 운영 방안과 도로 운행 위험 정도 등의 정보를 활용하는 방안을 마련해 보고자 한다.

II. 선행 연구 분석

1. 선행 연구 분석

자율주행시스템의 도로 인프라 위험 요소를 정의하고, 이를 도로 운영 전략과 알고리즘에 적용한 선행연구를 중심으로 살펴보았다. 도로 인프라 측면의 위험 요소는 인간 운전자와 자율주행시스템 모두에 위험이 되는 요소이다. 도로 노면 상태와 기상 악조건은 자동차 운전자와 자율주행시스템의 운행 안전성에 영향을 미칠 수 있다. 이 두 가지 요소는 카메라의 영상 정보를 바탕으로 도로 표식을 인지하는 자율주행시스템에도 정확한 상황 인지를 방해하는 요소로 작용할 수 있다. Sauter(2015)는 인간 운전자를 대상으로 한 시뮬레이션

실험을 통해 강우, 야간 등과 같은 기상 악조건 상황에서 도로 표시의 가시성이 저하된 원인을 증명하였다. 이는 노면 상의 수분층이 입사광을 반사하며, 차선 광학 면이 광학 효율성을 변경시키기 때문으로 분석하였다. 이러한 결과는 카메라 센서로 도로 표시를 인지하는 자율주행시스템 차량의 운행에도 악조건으로 작용할 수 있다.

자율주행시스템이 도로 인프라의 위험 요소를 인지하고 이를 회피하여 주행할 수 있는 전략을 수립하기에 적합한 알고리즘 개발 연구가 진행되고 있다. 도로의 위험을 인지하는 방법론과 관련하여 Masino et al.(2017)은 도로 상태를 인지하는 방법으로 학습 알고리즘을 개발하였다. Masino et al.(2017)은 도로 인프라의 상태 정보를 취득하는 차량용 센서 성능의 다양성으로 인해 단일 성능 기준과 분류 방법을 제시하기 어렵고 데이터를 처리하기 위해 긴 시간이 소요되는 단점이 있다고 설명하였다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 비학습 차량과 학습 차량의 운행 궤적을 비교하여 안정적인 운행을 할 수 있는 데이터 학습 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 차량간 도로 표면 인프라 정보를 교환하는데 효과적인 것으로 분석되었다.

빅데이터 분석을 통해 위험 요소를 정의하고, 이를 바탕으로 의사 결정하는 방법에 관한 연구가 수행되었다. Mohamed et al.(2021)는 자율주행차가 도로 주행 중에 직면할 수 있는 물리·환경·통신 등 다양한 조건을 고려하여 위험을 관리하는 의사결정 모델을 제안하였다. 제안된 모델은 MCDM(Multi-criteria decision-making), AHP(Analytic Hierarchy Process), MABAC(Multi-Attributive Border Approximation Area comparison) 등의 통합모델이며, 하드웨어, 통신보안, 기상 조건, 운영비용 등 10가지 위험 요소를 선정하여 위험 관리 우선순위를 결정하는 방법으로 모델을 검증하였다. Szénási(2021)는 전통적인 위험 요소 관리 알고리즘의 한계를 보완하고, 이를 자율주행차 운영 알고리즘에 적용하기 위한 시사점을 제시하였다. 이를 위해 교통사고 데이터를 기반으로 사고 밀도가 높은 지점을 추출하여, 노면 상태, 가시성, 이벤트 발생 등 환경적 요인을 변수로 하는 사고점수 산출 식을 도출하였다. 또한, 가능한 모든 사고패턴을 고려한 알고리즘을 개발하여 자율주행시스템을 지원해야 함을 주장하였다.

Mohamed et al.(2021)과 Szénási(2021)이 위험 요소가 발생할 수 있는 상황과 관련된 데이터를 추적하고 이를 회피하는 방법을 학습하는 알고리즘을 개발한 것이었다면, Lei et al.(2021)은 인지한 위험 요소를 회피하는 운행 알고리즘을 개발하였다. Lei et al.(2021)은 bat-pigeon 알고리즘을 활용하여 도로의 파손을 인지한 자율주행차가 파손 정도와 특성을 고려하여 차량 속도를 조절하고, 이를 회피하는 최적 운행 경로를 도출할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

한편, 자율주행시스템 관점의 도로 인프라 위험을 완화하는 방안으로 물리 인프라를 개선하는 방안과 디지털 인프라 구축의 필요성을 제기한 연구, 그리고 원활한 통신 유도를 위한 도로 인프라 개선을 주장한 연구가 수행되었다. Yuyan et al.(2019)는 커넥티드카와 자율주행차를 위한 도로 인프라 개선 방향을 논의하였다. 도로 기하구조 간소화와 자율주행시스템이 판독 가능한 형태의 표지판 등 물리 인프라 요소들이 지향해야 할 방향과 V2X(Vehicle to Everything) 통신 시스템 활용 활성화를 위한 도로 디지털 인프라 정보구축의 필요성을 강조하였다. Kara et al.(2016)은 도로 네트워크 운영에 대한 CAV(Connected Automated Vehicle)의 의미를 다룬 보고서에서 원활한 CAV 운영을 위한 도로변 장치의 교체(7~10년 주기) 및 센서를 통한 수명관리의 필요성을 언급하였다. 또한 긴급상황, 날씨 정보 등 실시간 데이터의 공유 시스템을 구축하는 등 이벤트 관리 전략 및 과제를 제안하였다.

이상 살펴본 선행연구에서는 기상 변화가 도로 노면 상태에 미치는 원인을 규명하였으나 이러한 노면 상태가 운전자가 아닌 카메라 센서에 미치는 영향을 분석한 것은 아니다. 또한, 자율주행 시스템의 위험 요인을 인지하는 알고리즘 (Masino et al., 2017)과 주요 위험 요인을 선정하고 이를 회피하기 위한 운행 전략 알고리즘(Lei et al., 2021)을 개발하였으나 위험의 정도에 따른 대응 방안을 설명하는 데 한계가 있다. 반면,

Mohamed et al.(2021)의 연구에서 선정한 10가지 위험 요소는 사이버 공격에 따른 위험 요소를 가정하고 있어 도로의 물리적 위험 요인 측면의 고려는 부족하다고 할 수 있다. 또한, Szenasi(2021)는 축적된 교통사고 데이터를 분석하여 상습 사고 발생 지역의 특성을 분석하였으나, 자율주행차에 미치는 영향을 평가하기에는 부족하다. 마지막으로 Yuyan et al.(2019)와 Kara et al.(2016)가 제시한 위험 요소 완화를 위해 도로 인프라 기하구조를 개선하는 방안과 도로 시설 장치의 교체와 도로 환경 데이터 구축 방안을 제안하고 있으나, 축적된 정보를 자율주행 시스템과 관리자에게 제공하는 방안을 제시하기에는 부족하다.

본 연구는 자율주행시스템에 위협으로 작용하는 도로 인프라의 요소를 정의하고, 위험도를 분류하여 등급화하고, 관련 정보를 제공하는 방안을 살펴보고자 한다. 도로 인프라 환경과 자동차라는 물리적 한계에 따른 위험 요소와 자율주행시스템 특성으로 인해 발생하는 위험 요소를 바탕으로 도로 인프라 요소별 위험 요인을 구별하고 자동차와 시스템 특성에 따른 위험도 영향 평가 방안을 마련한다는 점에서 다른 연구와 차이가 있다. 또한 본 연구는 도로 인프라별 위험도와 관련 정보를 제공하는 방안을 제안하였다.

Ⅲ. 도로 인프라 위험 요소 평가와 도로 운영 방안

1. 도로 인프라 위험 요소 정의 및 요구사항 정의

자율주행차의 위험 상황의 원인은 차량 자체의 문제와 외부 요인에 의한 문제가 있을 수 있다. 자율주행차 자체의 문제로 인한 위험 상황은 인지·판단·제어의 과정에서 발생할 수 있다. 자율주행차 이외의 문제로 인한 위험 상황은 인프라 측면에서 발생한 위험 상황이 자율주행차에 영향을 미치는 경우이다. Wang et al.(2020)에 따르면 미국 자율주행차 관련 사고 중 자율주행차 이외의 원인으로 발생한 경우가 전체의 91%에 해당한다고 했다. 자율주행차 위험 요소는 도로 인프라와 운행환경, 돌발 상황, 디지털 인프라 성능 등에 따른 문제로 구분할 수 있다.

도로 인프라 측면의 위험 요소는 도로포장 불량과 파손, 도로 표지와 기하구조 불량 등이 될 수 있다. 신호등 고장, 기상 악화 등의 운행환경 변화도 자율주행시스템의 안전에 영향을 미칠 수 있다. 돌발 상황은 사면 붕괴, 도로 침수, 폭설, 결빙 등으로 인해 발생한다. 또한, 교통사고, 고장 차량, 공사 구간, 불법 주정차 차량, 보행자와 자전거 이용자 등에 의해서도 돌발 상황이 발생하며, 자동차 운행 안전에 영향을 미칠 수 있다.

자율주행시스템은 V2X 통신을 통해 다양한 정보를 받게 되는데, 통신의 단순 불량, 통신두절 등의 상황이 발생하면 과도한 통신 지연으로 자율주행에 위협이 될 수 있다. 또한 자율주행시스템의 측위에 중요한 역할을 하는 GPS(Global Positioning System) 기능의 오류와 LDM(Local Dynamic Map)과 인지 정보의 정합성 오류로 인한 위협이 발생할 수 있다.

2. 도로 인프라 위험 요소 및 등급화 방향

자율주행시스템이 도로 운행 중 직면할 수 있는 위험 상황은 도로 구조적인 문제로 인해 발생한 상황과 더불어 도로 시설의 변형이 차량에 영향을 미치는 상황이 있다. 도로의 구조적인 문제는 도로를 건설하는 데 자율주행차의 특성이 반영되지 않았기 때문에 발생한 문제라고 할 수 있다. 도로의 구배와 경사각도, 교차로의 구조 등은 운전자가 직접 제어할 때도 위협의 요소가 될 수 있으며, 자율주행 센서와 알고리즘 등 자율주행시스템의 특성에 따라 차량에 가해지는 위험도가 다르다고 할 수 있다.

<Table 1>은 자율주행시스템 운행에 영향을 미칠 수 있는 도로 인프라 위험 요소와 영향이 미치게 될 자율주행 시스템 요소, 그리고, 이러한 위험 요소를 등급화하기 위한 방향을 제시하고 있다. 자율주행시스템의 운행에 영향을 미치는 도로 측면의 위험 요소에는 도로 시설물, 도로교통 환경, 디지털 인프라, 통신 등의 특성에 따라 가해지는 위험 요인을 포함한다. 도로 노면 상태와 노면 표시의 변형, 교통 표시의 변형과 다른 시설물과의 혼선, 도로 노면 상태의 변형, 도로 시설물의 변형 등이 이에 해당한다.

<Table 1> Directions for Classifying Road Infrastructure Risk Factors

ODD features	Road Monitoring Infrastructure		Monitoring Info.	Hazardous Factor (vehicle/sensor/network)	Info. Features	Direction for Classifying Level of Hazardous Factors
Physical Infra.	Road Pavement	Pavement condition	Pothole, Bump	Sensors, Vehicle	Static	Performance of vehicle body and sensors (functional performance algorithm performance)
		Road surface condition	Dry, Wet, Icy, Snowy	Sensors, Vehicle	Dynamic	Performance of vehicle body and sensors(functional performance algorithm performance)
		Ponds	Existence of water ponds	Sensors, Vehicle	Dynamic	Performance of vehicle body and sensors(functional performance algorithm performance)
	Road Marks	Lanes	Quality of Lane marks	Sensors	Static	Performance of vehicle sensing the target factors
		Temporary lanes, Shoulder, Miscellaneous road marks	Existence of marks, Quality of lane marks	Sensors	Static	Performance of vehicle sensing the target factors
	Traffic Mark	Cautions and marks	Installment and operation of marks	Sensors	Static	Performance of vehicle sensing the target factors
	Subsidiary Facilities	Guardrail median strip, Lane regulation bar	Damage	Sensors	Static	Performance of vehicle sensing the target factors
	Traffic Signal	Intersection traffic signal	Normal operation	Sensors, Communication network	Dynamic	Performance of vehicle sensing the target factors
		Signal info V2X	Normal operation of V2X messages, Strength of signal	Communication network	Dynamic	Performance of algorithm and communication terminal equipment
	Digital Infra.	High Definition Map	Facility alteration info	Alteration info. on high definition map	Communication network	Static
Events		Road construction, Traffic accidents, Pedestrian	Occurrence, Location, feature, Road blocking, etc.	Sensors	Static	Sensors, Performance of algorithm
Digital Mark		LED signboard	Fliker, LDM prior map configuration	Sensors, Communication network, Algorithm	Static	Sensors, Performance of algorithm
Local Dynamic Map		LDM message	Configuration of traffic condition, Events, etc.	Sensors, Communication network, Algorithm	Dynamic	Sensors, Performance of algorithm

<Table 1> Directions for Classifying Road Infrastructure Risk Factors (continuation)

ODD features	Road Monitoring Infrastructure		Monitoring Info.	Hazardous Factor (vehicle/sensor/network)	Info. Features	Direction for Classifying Level of Hazardous Factors
Environment	Weather	Wind, Rain, Snow, Temperature	Wind speed, Intensity of rainfall, Visibility distance, Temperature	Sensors	Dynamic	Performance of sensors
	Atmospheric Particle	Fog, Smog, Dust	Visibility distance	Sensors	Dynamic	Performance of sensors
	Lights	Street light, Head light, Sun light location	Light strength	Sensors	Dynamic	Performance of sensors
Limitation of Area/Operation	Traffic Control Area	Dynamic traffic control, Variable speed control, Exclusive lane	LDM configuration	Sensors, Communication network, Algorithm	Dynamic	Sensors, Performance of algorithm
		Passenger stop/freight loading area	Existence of operation	Sensors	Dynamic	Sensors, Performance of algorithm
	Street Park	Dedicated parking area, Illegal parking	Existence of street, illegal parking	Sensors	Dynamic	Sensors, Performance of algorithm
	Construction	Road construction	Location, Duration, Traffic control facility, V2X	Sensors, Communication network	Dynamic	Performance of sensors, Communication terminal, Algorithms
Objects	Breakdown Car	Break down car	Location	Sensors	Dynamic	Sensors, Performance of algorithm
	Miscellaneous Objects	Miscellaneous objects	Location	Sensors	Dynamic	Sensors, Performance of algorithm
	Trees	Blocking road signs, marks	Location, Status	Sensors	Dynamic	Sensors, Performance of algorithm
Connectivity	V2X	Road-side equipment	Through put, Latency, Signal blockage	Communication network	Dynamic	Performance of communication terminal equipment
	Geographical Location Info	GPS, GLONASS, Galileo, Beidou	Signal strength number of satellite	Communication network	Dynamic	Performance of GPS receiver, Location estimation algorithm

도로 인프라의 위험 요소는 인간 운전자에게도 위험 요소로 작용할 수 있으나, 어떤 경우 자율주행시스템의 운행에만 영향을 미칠 수 있는 요인이 있다. 이는 차량에 적용된 센서와 알고리즘의 특성에 따라 인지능력이 크게 달라질 수 있기 때문이다. 모니터링이 필요한 도로 인프라는 시간의 경과에 따라 자연스럽게 품질이 변화하는 인프라로 도로포장 상태, 도로 및 교통 표지가 이에 해당한다. 가드레일, 중앙분리대, 차로 규제 봉 등과 같은 도로 부대시설은 외부의 충격에 의한 손상으로 품질이 변화할 수 있고, 신호등의 경우 신호제어의 물리적 노후와 통신 장애 등에 따른 오류가 발생할 수 있다. 이상의 모니터링 대상 인프라의 특성은 차량에 장착된 센서, 차체, 통신, 판단 및 제어 알고리즘 등에 영향을 미치며, 위험 요소의 제거에 걸리는 시간에 따라 정적 요소와 동적 요소로 구분할 수 있다. 이러한 특성을 고려하여 위험도를 등급화하기 위해 위험 영향 요소와 정보의 특성에 따라 위험도 평가 요소와 방법을 구분해 볼 수 있다.

3. 도로 인프라 위험 요소별 위험도 평가 방법

<Table 1>에 제시한 방향과 같이 도로 인프라의 위험도를 등급화하기 위해서는 자율주행 시스템 특성을

고려하는 것뿐만 아니라 차량의 물리적 한계를 고려해야 한다. 자율주행시스템 차량의 안전성을 검토하기 위해서는 현행 「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙」(이하 자동차 규칙)을 검토할 필요가 있다. 현행 자동차 규칙은 자율주행 자동차 안전성 확인 방법과 자동차의 물리적 안전 성능 기준을 규정하고 있다. <Table 2>는 자동차 규칙에서 규정하고 있는 부분 자율주행자동차의 안전성을 확인하기 위한 세부 시험 항목이다. 자동차 규칙에서 정하는 부분 자율주행시스템의 성능 확인 시험 요구 기능은 차로 유지 성능, 차로 내 장애물 충돌 방지 성능, 전방 차 추종 성능, 차로변경 및 끼어들기 대응 성능, 차로변경 후 나타난 장애물 대응 성능, 센서의 감지 범위 성능이다. 시험은 목표 대상물인 자동차, 보행자, 장애물에 대응한 자율주행시스템의 안전성을 평가하고 있다. 그러나, <Table 2>와 같이 현재 자율주행차의 안전성을 확인하는 시험에서는 도로 인프라를 고려하지 않고, 도로상에 나타난 동적 정보에 대응하여 자율주행차가 안전하게 목표 대상물을 회피할 수 있는가에 집중하고 있다.

한편, 자율주행 차량의 물리적 한계를 평가하기 위해 자동차 규칙에서 제시하고 있는 일반 자동차의 물리적 한계에 대한 기준을 고려할 필요가 있다. 자동차 규칙에서는 도로 운행 중에 발생할 수 있는 최소 위험 상황을 회피할 수 있는 성능을 갖출 것을 요구한다. 주 제동장치의 급제동 정지거리 및 조작성 기준에는 차량의 운행 속도에 따른 급제동 정지거리, 주차 제동장치의 제동 능력과 조작성 기준에서는 차량의 무게, 조작 방식에 따른 기준을 두고 있다. 자동차의 등판능력은 사고 예방을 위한 자동차의 등판능력 측정 방법을 규정하고 있고, 이밖에 최고속도 측정, 관성 제동장치 제동 능력, 최소 회전 반경, 최대안전 경사 각도의 측정 방법과 안전기준을 제시하고 있다. 그러나 일반 자동차의 물리적 한계 기준 역시 도로 기하구조와 환경의 영향을 고려하고 있지 않다는 단점이 있다. 이는 일반인 운전자가 도로 환경을 인지하고 대응할 수 있다는 기본 가정이 있기 때문으로 판단된다.

그러나 현재 수준 자율주행시스템의 인지 센서와 알고리즘은 인간 운전자와 다르게 도로의 물리적 환경을 인지하고 대응하기에는 한계가 있다. 자율주행시스템의 물리적 한계에 영향을 미치는 모니터링 대상의 인프라는 도로포장 상태와 도로상의 객체이다. 포트 홀, 노면 상태에 따른 마찰력 변화는 차량의 물리적 기능에 영향을 미쳐 사고를 유발할 수 있기 때문이다. 현행 자동차 안전기준에서 요구하는 자동차 성능으로 대응할 수 없는 위험 요인의 정도를 파악하기 위해서는 시뮬레이션 실험을 통해 위험도를 등급화할 필요가 있다. 특히, 자율주행시스템만을 위해 새롭게 디자인하여 안전기준 특례 적용을 받아 실증 운행하고 있는 자율주행차의 경우 새로운 기준 마련이 필요한 실정으로 이들 차량의 물리적 한계를 검토할 필요가 있다.

예를 들면, 포트 홀이 발생한 경우, 포트 홀의 크기에 따른 위험도를 등급화하기 위해서는 차량의 무게, 운행 속도, 최대안전 경사 각도에 따라 개별 차량에 미치는 영향을 고려해야 한다. 기상 악화로 발생하는 노면 마찰 계수의 변화 역시 차량의 무게, 운행 속도 등을 함께 고려해야 한다. 또한 이러한 노면 상태의 변화가 운행 차량에 미치는 영향의 정도는 도로의 기하구조에 따라 차량에 미치는 영향이 달라진다. 이러한 특성이 있는 도로 모니터링 인프라의 위험도 등급화를 위해서는 차량의 물리적 성능, 센서의 기능과 알고리즘의 성능을 검토할 필요가 있다.

자율주행시스템에 가해지는 위험의 정도는 센서의 성능과 환경의 인지·판단 알고리즘의 품질에 따라 달라질 수 있다. 센서와 알고리즘의 조합에서 센서의 품질이 알고리즘의 결과에 큰 영향을 미치며, 결과적으로 자동차 운행 안전에 영향을 미치게 된다. 환경조건, 도로 운영에 따른 요소, 노면 상의 객체, 도로 표지, 부대 시설과 신호등의 운행 상태는 일반적인 상황에서는 운전자의 시각 정보를 바탕으로 주행 판단을 하게 된다. 그러나 일정 수준을 넘어서는 상황에서는 인간 운전자와 자율주행시스템 모두에게 위험 요소로 작용하게 된다. 물론 자율주행시스템은 인간 운전자의 인지·판단 능력을 능가하는 차량을 개발하는 것이 목표이나, 현재 개발 단계에 있는 3~4단계 자율주행차의 안전한 운행을 지원하기 위해서는 인프라 정보 제공이 필요하다.

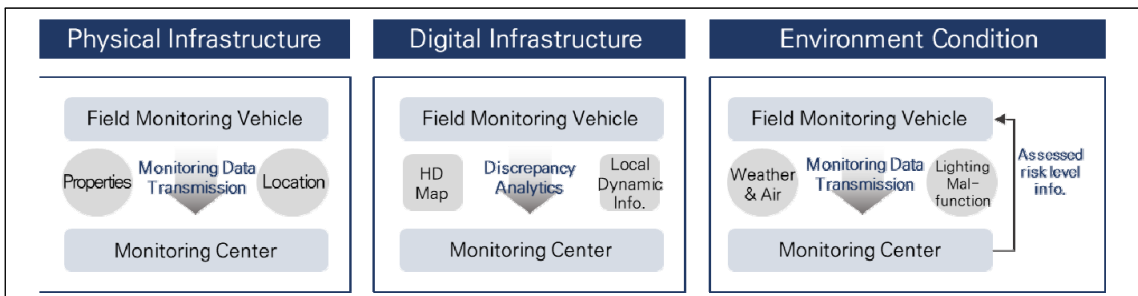
<Table 2> Safety test items for partially automated vehicle

Category	Specific test items	Target Objects						
		Non	Vehicle		Pedestrian		Obstacle	
		crash avoid cond.	crash avoid cond.	non-crash avoid cond.	crash avoid cond.	non-crash avoid cond.	crash avoid cond.	non-avoid cond.
Lane keeping performance	Verify vehicle performance for lane keeping and stability function	◎	◎					
	Verify vehicle behavior responding to a target vehicle approaching lateral direction from the next lane		◎					
Crash avoidance performance for vehicles, pedestrians, and other objects	Verify vehicle behavior responding to a target vehicle in steady state		◎					
	Verify vehicle behavior responding to a target pedestrian in steady state				◎			
	Verify vehicle behavior responding to a target pedestrian crossing a crosswalk				◎			
	Verify vehicle behavior responding to a target object blocking the lane						◎	
	Verify vehicle behavior responding to a target object partially blocking the lane						◎	
	Verify vehicle behavior responding to multi-objects posed in the lane consecutively		◎				◎	
Performance for forward car following	Verify vehicle behavior responding to a front target vehicle for keeping safety distance when it decelerates		◎					
	Verify vehicle safety when following front vehicles within the same lane (laterally located vehicle)		◎					
Performance for responding to target Vehicle for their lane changing and merging in	Verify vehicle behavior responding to a target vehicle for merging in front of ego vehicle		◎	○				
	Verify vehicle behavior responding to a target vehicle for merging in front of ego vehicle with steady speed		◎	○				
	Verify vehicle behavior responding to a target vehicle for merging in front of ego vehicle while decelerating		◎	○				
Performance for responding to objects appeared right after the front vehicle has changed its lane to next	Verify vehicle behavior responding to objects appeared right after the front vehicle has changed its lane to next		◎		◎		◎	
Performance for sensing area	Verify vehicle performance for sensing straight road		◎					
	Verify vehicle performance for sensing curved road		◎					
◎	Test to decide whether the test vehicle comply or not comply							
○	Test to evaluate strategy for avoiding crash (minimal risk operation, etc.)							
Note: Criteria of compliance responding to a crash avoidance condition: crash avoidance Criteria of compliance responding to a inevitable crash condition : mitigate crash impact (By evaluating minimal risk operation strategy)								

전술한 현행 자동차 안전기준은 실험환경에서 요구하는 최소 안전 기준으로 도로 운행 중 도로 인프라의 위험 상황에 직면하였을 때 차량에 적용된 센서와 알고리즘이 대상 위험 요소를 인지하고 판단하여, 차량이 가동하는 상태를 시뮬레이션 방법을 통해 고찰하고, 차량의 특성에 따른 위험 요소의 위험도를 등급화 할 필요가 있다.

4. 도로 인프라 정보 제공 방향

도로 위험도를 관리하기 위해서는 도로 상황을 모니터링하고 이를 지도에 표시할 수 있어야 한다. <Fig. 1>은 도로 인프라 위험 요소 정보를 제공하고, 이를 관리하기 위한 시나리오이다. 도로 인프라의 위험 요소는 모니터링 차량을 통해 센터에 전달된다. 즉, 모니터링 차량은 자율주행시스템의 센서 정보, 운행 정보와 위치정보를 모니터링 센터에 전달한다. 디지털 인프라의 위험 요소는 모니터링 차량에 입력된 정밀도로 지도와 비교하여 상이점이 발견된 경우, 관련 도로 네트워크 정보를 센터에 전송한다. 디지털 표지 등 동적 정보의 경우 정보의 정합성을 판별하여 상이점이 발견되면 해당 정보를 센터에 전송한다. 기상 및 대기 상태, 조명 불량 등 환경조건의 경우 모니터링 차량이 센터에 전송하고, 센터에서 관측 결과의 위험도를 평가하여 모니터링 차량에 전송한다. 이렇게 전송된 정보는 인프라 모니터링 대상의 지도에 표시되어 상황판에 표시되고, 자율주행 차량이 활용할 수 있도록 정밀 도로 지도 위에 표시할 수 있는 정보를 제공한다.



<Fig. 1> Management Scenarios for Hazardous Road Infra Info Provision

인프라 모니터링 대상의 지도구성 방안은 도로 교통지도의 노드 링크 체계로 제공할 수 있다. <Table 3>과 같이 인프라 모니터링 요소의 특성에 따라 지도의 링크와 노드로 표시할 수 있다. 링크는 도로 인프라 중 도로의 선형에서 발생하는 모니터링 요소이고, 노드는 도로 인프라 중 도로 시설물 등에서 발생하는 모니터링 요소라고 할 수 있다. 링크로 구성될 수 있는 도로 인프라에는 도로포장, 도로 표시 등이 있고, 노드에 표시되는 인프라는 교통 표지, 부대시설, 신호등이 될 수 있다.

모든 도로 모니터링 인프라 정보는 고정밀 지도 위에 표시할 수 있는 GPS 좌표값과 평가된 위험도 등급 정보를 함께 가지고 있어야 한다. 나아가 링크에 표시된 인프라의 위험도 수준이 높고 도로 점유율이 높은 경우 위험 요소가 제거될 때까지 해당 위험 요소의 좌표점이 있는 링크는 노드로 변환되어 차선 단위의 LDM 노드 링크 체계로 제공할 수 있다. 이를 바탕으로 자율주행차는 경로상에 발생하는 위험 요소를 회피하여 최적 경로를 갱신하여 운행하게 된다.

<Table 3> Directions for map design for road infrastructure monitoring

ODD features	Road monitoring infrastructure		Monitoring Info	Map design factors	
Physical infra.	Road pavement	Pavement condition	Pothole, Bump	Link	Node
		Road surface condition	Dry, Wet, Icy, Snowy	○	
		Ponds	Existence of water ponds	○	
	Road marks	Lanes	Quality of Lane marks	○	
		Temporary lanes, Shoulder, Miscellaneous road marks	Existence of marks, Quality of lane marks	○	
	Traffic mark	Cautions and marks	Installment and operation of marks	○	
	Subsidiary facilities	Guardrail median strip, Lane regulation bar	Damage		○
Traffic signal	Intersection traffic signal	Normal operation		○	
	Signal info V2X	Normal operation of V2X messages, Strength of signal		○	
Digital infra.	High definition map	Facility alteration info	Alteration info. on high definition map		○
	Events	Road construction, Traffic accidents, Pedestrian	Occurrence, Location, feature, Road blocking, etc.	○	○
	Digital mark	LED sign board	Fliker, LDM prior map configuration	○	
	Local dynamic map	LDM message	Configuration of traffic condition, Events, etc.		○
Environment	Weather	Wind, Rain, Snow, Temperature	Wind speed, Intensity of rainfall, Visibility distance, Temperature		○
	Atmospheric particle	Fog, Smog, Dust	Visibility distance		○
	Lights	Street light, Head light, Sun light location	Light strength		○
Limitation of area/operation	Traffic Control Area	Dynamic traffic control, Variable speed control, Exclusive lane	LDM configuration	○	
		Passenger stop/freight loading area	Existence of operation	○	
	Street Park	Dedicated parking area, Illegal parking	Existence of street, illegal parking	○	
Construction	Road construction	Location, Duration, Traffic control facility, V2X	○		
Objects	Breakdown Car	Break down car	Location		○
	Miscellaneous Objects	Miscellaneous objects	Location		○
	Trees	Blocking road signs, marks	Location, Status		○
Connectivity	V2X	Road-side equipment	Through put, Latency, Signal blockage		○
	Geographical location info	GPS, GLONASS, Galileo, Beidou	Signal strength number of satellite		○

IV. 결 론

자율주행시스템에 관한 관심이 높아지고 기술개발이 고도화됨에 따라 자율주행시스템 운영·관리 전략 수립의 중요성이 커지고 있다. 특히 자율주행시스템은 입력된 데이터를 바탕으로 의사결정을 내리기 때문에 어떤 정보를 공유할 것인가에 대한 신중한 고민이 필요하다. 도로 주행에 필요한 모든 정보를 수집하고 공유할 수 있는 체계가 이상적이지만, 아직 센서와 알고리즘이 인지하기 어려운 요소들이 분명히 존재하고 있고, 주변 환경에 따라 인지능력의 일관성 유지에 어려움을 겪을 수도 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 자율주행시스템 운영에 위험 영향을 미칠 수 있는 요소들을 정의하고 평가 방법을 제시하였다. 또한 도로 인프라 위험 요소 운영 및 관리를 위한 정보 제공 방안을 살펴보았다.

도로 인프라 위험 요소로는 ODD 특성에 따라 물리 인프라, 디지털 인프라, 환경조건, 구역 및 운영 제한, 객체, 연결성의 6개 항목으로 분류하였다. 항목별 모니터링 인프라를 세분화하고, 정보의 특성에 따라 위험도 평가 요소와 방법을 구분하였다. 이러한 위험 요소들은 현행 자동차 안전기준에 따른 성능으로 대응하기에는 한계가 있으므로, 시뮬레이션 실험 등을 통해 각 요인이 자율주행시스템에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다. 특히 자율주행차의 경우 안전기준 특례 적용을 받아 실증 운행 중이므로 새로운 기준 마련에 대한 필요성이 높다. 예를 들어 포트홀, 크랙 등 위험 상황 발생 시 자율주행차의 거동과 안전 특성을 시뮬레이션으로 구현하고, 해당 위험 요인의 세부적인 특성과 자율주행차의 무게, 속도 등과 같은 조건 사이에 어떤 영향 관계가 있는지 등을 파악하여 등급화함으로써 위험도를 평가할 수 있다. 마지막으로 각 모니터링 인프라로부터 수집된 정보는 관리 센터와 공유되며, 각 요소는 특성에 따라 링크 또는 노드 형태로 지도에 표시된다. 또한 위치정보와 위험도 등급 정보를 종합적으로 관리할 수 있는 모니터링 체계를 정립할 것을 제안하였다.

본 연구에서 제시한 도로 인프라의 위험도가 실제 자율주행시스템의 운행에 얼마만큼의 영향을 주는지에 대한 현장 실증과 분석이 필요하며, 위험도에 대해 검증할 수 있는 방법론도 필요하다. 도로 인프라의 모니터링 유형과 차량의 센서 민감도 등 다양한 조건에서 도로 모니터링 위험도를 평가하기 위한 시뮬레이션 연구가 필요하다. 또한, 도로 위험도를 표출할 수 있는 지도의 노드와 링크 체계, 정보 전달 체계 등 시스템 구현을 위한 연구 등도 향후 연구가 필요한 분야이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 자율주행 기술개발 혁신사업의 연구비 지원(과제 번호: 21AMDP-C161991-01)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Kara, K., Prateek, B., Stephen, D. B., Michael, L., Pavle, B., Jia, L., Tejas, C., Tianxin, L., Lewis, C., Lisa, L. O., Gleb, D., Aqshems, N., John, H., Michele, S., Rebecca, H., Duncan, S., Paul, A. and Dan, F.(2016), *Implications of Connected and Automated Vehicles on the Safety and Operations of Roadway Networks_A Final Report*, Center for Transportation Research, The

University of Texas at Austin.

- Lei, T., Luo, C., Sellers, T. and Rahimi, S.(2021), “A bat-pigeon algorithm to crack detection-enabled autonomous vehicle navigation and mapping”, *Intelligent Systems with Applications*, vol. 12, 200053, pp.1-13.
- Masino, J., Thumm, J., Frey, M. and Gauterin, F.(2017), “Learning from the crowd: road infrastructure monitoring system”, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 4, no. 5, pp.451-463.
- Mohamed, A., Abdullah, G., Nour, M., Ahmed, A. and Nissreen, E.(2021), “A Security by design decision making model for risk management in autonomous vehicles”, *IEEE*, vol. 9, pp.107657-107679.
- Pike, M., Barrette, T. and Carlson, P.(2018), *Evaluation of the Effects of Pavement Marking Characteristics on Detectability by ADAS Machine Vision*, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Washington, DC.
- Sauter, G.(2015), “Recommendation Handbook: Rainvision”, *European Commission Directorate-General for Mobility and Transport (EC DG MOVE)*.
- Szénási, S.(2021), “Analysis of historical road accident data supporting autonomous vehicle control strategies”, *PeerJ Computer Science*, vol. 7, pp.1-25.
- Wang, J., Huang, Y. and Zhao, J.(2020), “Safety of autonomous vehicles”, *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2020, 8867757, pp.1-13, doi: 10.1155/2020/8867757
- Yuyan, L., Miles, T., Quanxin, S. and Ruiyu, K.(2019), “A systematic review: Road infrastructure requirement for Connected and Autonomous Vehicles (CAVs)”, *Journal of Physics Conference Series*, vol. 1187, no. 4, 1187 042073.