

자동차 전용도로 자율주행 데이터 분석을 통한 DSSAD 기록항목 도출

A Study of the DSSAD Data Elements Derivation through Autonomous Driving Data Analysis on Expressways

현 승 화* · 손 진 우** · 오 영 철*** · 유 병 용****

* 주저자 : 오토노머스에이투지 플랫폼개발본부 팀장

** 공저자 : 오토노머스에이투지 플랫폼개발본부 실장

*** 공저자 : 오토노머스에이투지 CTO

**** 교신저자 : 오토노머스에이투지 플랫폼개발본부 본부장

Seunghwa Hyun* · Jinwoo Son* · Youngchul Oh* · Byungyong You*

* Platform Development Division, AutonomousA2Z

† Corresponding author : Byungyong You, zealot@autoa2z.co.kr

Vol. 23 No.3(2024)
June, 2024
pp.97~106

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.3.97>

Received 21 December 2023
Revised 2 January 2024
Accepted 31 May 2024

© 2024. The Korean Society of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

Lv.4 이상의 자율주행차량의 주행 정보를 기록하는 자율주행 데이터기록장치(DSSAD)는 사고뿐만 아니라 차량의 상태에 대한 정보를 추가적으로 저장한다는 점에서 기존의 EDR과 차별점이 있으며, 이에 대한 기록항목을 도출하는 것은 추후 Lv.4 자율주행차량 상용화 시 발생할 수 있는 다양한 이벤트에 대응하기 위해 필수적이다. 이에 본 연구에서는 자율주행차량을 활용한 자동차전용도로 실증을 수행하고 수집된 위험상황 데이터를 분석하여 DSSAD의 기록항목을 도출하였다. 본 연구에서는 약 2년간 자동차전용도로 자율주행 실증을 수행하였으며, 그 과정에서 발생한 제어권 전환 상황을 수집, 분석하였고 그 결과 자동차전용도로에서의 제어권 전환은 차선 변경 상황에서 51.6%가 발생함을 확인하였다. 이를 통해 제어권 전환 상황 분석에 필요한 DSSAD 기록항목으로 차선 변경 상태 정보를 도출하였으며, 향후 제어권 전환 상황 분석 연구에 대한 시사점을 제시하였다.

핵심어 : 자율주행, 제어권 전환, DSSAD, DSSAD기록항목

ABSTRACT

The Data Storage System for Automated Driving(DSSAD) is a system that records driving information of Lv.4 or higher autonomous vehicles and is different from EDR that records car information in emergency situations. The study of DSSAD recordings is important for responding to various events that may occur in the future commercialization of Lv.4 autonomous vehicles. Therefore, in this study, we conducted a expressway automated driving demonstration and analyzed the collected data to derive the recording elements of DSSAD. During our two-year demonstration of autonomous driving on expressways, we collected and analyzed instances of disengagement. Our findings indicate that 51.6% of disengagement on expressways occurred during lane changes. From the study, we have identified DSSAD record elements for analyzing disengagement situations. Furthermore, implications of future research direction of disengagement analysis were presented.

Key words : Automated driving, Disengagement, DSSAD, DSSAD recording elements

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

자율주행차량은 조향, 가속, 감속 등의 제어를 수행하는 주체 및 주변 상황을 모니터링하는 정도에 따라 Lv.2 부분 자율화 시스템과 Lv.3 조건부 자율화 시스템, Lv.4 고도 자율화 시스템, Lv.5 완전 자율 시스템 등으로 구분된다. 자율주행 기술이 발달함에 따라 ACC¹⁾, LKAS²⁾와 같은 Lv.2 부분 자율화 시스템이 장착된 차량이 상용화되었으며 Lv.3 조건부 자율화 시스템의 경우 일부 상용화된 차량이 제한된 도로에서 주행되고 있다. 미국 캘리포니아 차량관리국(Department of Motor Vehicles, DMV)에서는 캘리포니아에서 운영되는 자율주행차량에 대한 자율주행차 시스템 개입을 보고받고 관리하는데, 자율주행차를 운영하는 기업에서 제출한 자율주행차 시스템 개입 보고서에는 차량의 기본 운영 정보 및 주행 거리, 제어권 전환 상황에 대한 상세 정보 등이 포함되어 있다. 그러나 시스템 개입 보고서는 시스템 개입의 발생 일시 및 장소, 개입의 주체, 운전자의 유무, 개입의 원인을 포함하고 있지만 개입의 원인에 대해서는 별도의 가이드가 없어 각 기업이 자유 형식으로 SW, HW의 이슈 혹은 다른 차량의 비정상적인 행위 등 원인에 대해서만 간략히 설명하므로 상황을 전체적으로 파악하기에는 어려움이 있는 상황이다(California DMV, 2023).

무인으로 운영되는 Lv.4 고도 자율화 시스템이 장착된 차량의 시스템 개입 상황은 운영자(Operator)와 목격자가 현장에 없는 경우 차량의 데이터만을 활용해 시스템 개입 상황을 재구성하고 개입의 원인을 규명해야 하는 실정이다. 운영설계영역(ODD³⁾)내의 모든 상황에 대한 의사결정을 시스템이 수행하는 Lv.4 자율주행차량은 무인으로 운영되는 경우 블랙박스 영상, EDR⁴⁾ 데이터를 활용하는 방식만으로는 시스템 개입 및 사고 상황 재구성, 책임소재 규명에 한계가 있을 수밖에 없다. 또한 최근 발생한 크루즈의 무인 자율주행차량 도로 점거와 같이 자율주행차량으로 인해 발생한 이슈에 대한 원인 규명 역시 기존의 사고가 발생한 뒤 진술을 중심으로 영상 및 EDR 데이터를 확인하는 방식으로는 한계가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 자율주행차량의 모니터링 및 시스템 개입 상황 분석을 위한 데이터 저장 시스템으로 DSSAD⁵⁾를 법 제도화하기 위한 노력이 다방면으로 진행되고 있으며, DSSAD 기록항목 도출을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. UNECE(United Nations Economic Commission for Europe)는 WP.29에서는 관련 법규(Regulation)를 제정하기 위한 EDR/DSSAD IWG(Informal Working Group)을 운영하고 있으며, 자율주행 기록장치에 사고원인 및 책임소재 규명을 위한 운행 데이터의 항목 및 기록 방법을 논의하고 있다. 미국 자동차공학회에서는 SAE J3197이라는 표준을 통해 사고원인 규명을 위한 최소한의 자율주행 데이터 기록 항목으로 타임스탬프, 트리거 종류, 환경적 요인, 어노테이션 된 영상(Annotated Image), 자율주행 모드 및 제어 사항, 기록 완료 플래그, 제어권 전환 요청 사항 등을 제시한다. 그러나 이러한 사항은 자율주행차량의 움직임을 설명하기 위한 최소한의 항목일 뿐, 자율주행차량과 주변 도로 이용자들 간의 상황을 종합적으로 파악하고 시스템 개입의 원인을 규명하기에는 부족함이 있다. 본 논문은 자율주행시스템 개입 상황 및 주행 상황 분석을 통해 Lv.4 이상의 자율주행시스템에 필요한 DSSAD 기록 항목을 추가로 제안하고, 제안된 기록 항목 기반 상황 재구성을 통해 효과성을 검증하고자 한다. 이를 위해 Lv.3 자율주행 시스템 차량 4대를 활용하여 약 2년간 국내 자동차전용도로 4곳에서 실증한 실도로 데이터를 활용하였다.

1) ACC : Adaptive Cruise Control, 적응형 정속 주행장치

2) LKAS : Lane Keeping Assistant System, 차선 유지 보조 시스템

3) ODD : Operational Design Domain, 운영 설계 영역

4) EDR : Event Data Recorder 이벤트 데이터 기록 장치

5) DSSAD : Data Storage System for Automated Driving, 자율주행 데이터 기록장치

2. 관련 연구

캘리포니아 DMV에서는 자율주행 시스템 개입 보고서 뿐만 아니라 충돌 사고 발생 보고서를 함께 공개하고 있는데, 공개된 데이터를 활용해 도로 및 교통 관리자 측면에서 자율주행차량의 운행 위험도를 평가하기 위한 요소를 도출하는 연구들이 수행되고 있다. Kim의 연구에서는 2019년부터 2022년까지 4년 동안 신고된 자율주행차량 충돌 보고서와 Lv.4 이하 자율주행차의 운행 환경을 정의하는 운영설계영역(ODD) 요소를 고려하여 자율주행차량 및 일반차량을 대상으로 위험 요소를 도출하였으며, 위험 요소를 기반으로 자율주행차량의 운행 위험도를 평가하기 위한 모델을 개발하였다(Kim et al., 2023). 위험 요소로는 ODD형태에 따라 5개 분류 체계에서 17개의 운행 위험 영향요인이 도출되었으며, 각 위험 영향요인에 대한 등급화 및 설문조사를 통한 가중치 할당이 수행되었는데, 도로 선형이 가장 가중치가 높게 분석되었고 돌발상황 정보, 교통정보, 안전 시설물 고장 및 훼손, 사고다발지역 여부 등이 주요 운행 위험요소로 분석되었다. 또한 이런 위험요소와 더불어 자율주행자동차의 교통사고 책임소재 규명을 위한 기록항목에 대한 연구도 활발히 진행되고 있는데, Park의 연구에서는 일반 자동차의 사고기록장치인 EDR이 장착된 차량의 사고사례를 분석해 대표 사고 유형을 추출하여 사고 발생에 대한 선제적 대응 시나리오가 개발되었다(Park et al., 2023). 특히 기존의 EDR과 CCTV, DTG⁶⁾ 정보만으로는 정확한 시스템 개입의 판단이 어려워 로그 데이터의 저장이 필요하다는 주장을 제기하였다.

이렇듯 DSSAD의 위험 요소 도출 및 사고유형의 구분이 중요한 이유는 UNECE EDR/DSSAD IWG에서 DSSAD의 목적을 ‘연구(Research), 모니터링(Monitoring), 책임소재 확인(Liability, Legal responsibility)’으로 EDR과 차별화 했기 때문이다(UNECE, 2019). 이에 사고분석 뿐만 아니라 자율주행차량에서 발생가능한 위험상황을 모니터링 하기 위한 기록항목 도출 연구가 다양하게 진행되고 있다(UN, 2021). 자율주행차량에서 생성되는 데이터는 평균적으로 시간당 수백 기가바이트에서 수십 테라바이트로 EDR과 달리 DSSAD는 이러한 데이터를 수 개월 동안 저장하고 있어야 하므로 이러한 데이터를 모두 저장하는 것은 물리적 한계가 있을 뿐만 아니라 DSSAD의 목적에 부합하지 않는다. 그러므로 자율주행차량에서 생성되는 데이터 중 사고 분석 뿐만 아니라 연구, 모니터링, 책임소재 확인을 위해 저장되어야 하는 기록항목에 대한 우선순위를 할당하는 것이 매우 중요한 상황으로 사고 분석 및 책임소재 규명을 위한 필수 데이터 도출을 위한 연구가 필요하다. Waymo Safety Report에 따르면 Waymo는 2023년까지 4000만 마일 이상의 자율주행 실적을 보유하고 있으며 그 과정에서 발생한 시스템 개입과 사고에 대한 분석, 시뮬레이션 결과 등을 논문으로 공개하고 있다(Waymo, 2021). 특히 2020년에 발표한 논문에서는 2019년부터 2020년까지 수집된 610만마일의 자율주행 테스트 중 발생한 접촉 사고 18건과 모의 접촉 사고 29건(실제 상황에서는 운전자가 개입했지만 개입하지 않았다면 어떻게 되었을지를 시뮬레이션 한 결과 가상으로 발생한 사고)를 분석하였다(Waymo, 2020). 그 외에도 다양한 국가와 기관에서의 자율주행 기술 개발을 위한 실도로 실증이 수행되고 있으나 그 와중에 발생한 시스템 개입 상황 및 안전성에 대한 분석은 Waymo를 제외하고는 공개된 데이터가 없는 실정이며 특히 국내의 실도로 자율주행 안전성 평가 및 분석 결과는 전무한 상황이다. Lee의 연구에서는 이러한 문제점을 기반으로 실도로 기반 자율주행자동차 주행안전성 평가를 위한 방법론이 제시되었다(Lee et al., 2021). 해당 연구에서는 자율주행자동차의 안전성을 실도로에서 평가하기 위한 기초 내용을 정의하였으며 이에 기반하여 ‘경로 계획의 적절성’, ‘차량의 기능 안전, 성능 안전, 고장 안전, 사이버보안’, ‘주행안전성’의 3가지 평가 방향을 제시하고 평가 방법의 구조와 절차를 제안하였다. 그러나 이 역시 평가 방법론에 대한 연구라는 한계는 있다.

6) DTG : Digital Tacho Graph, 디지털 운행기록장치

3. 연구 방법론

이에, 본 연구에서는 자율주행차량의 DSSAD에 기록되어야 할 항목을 도출하기 위하여 국내에서 자동차 전용도로에 대한 자율주행 실증을 수행하고 그 데이터를 분석하여 운전자 개입이 발생하는 주요 위험 상황을 도출하였으며, 위험 상황을 분석하기 위한 기록항목을 도출하고 그 효과성을 검출하였다.



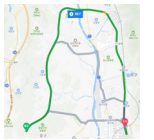





II. 자동차 전용도로 자율주행 실증 데이터 분석

1. 자동차 전용도로 자율주행 실증 개요

도심로와 자동차 전용도로에서는 주행 속도, 주변 차량의 주행 행태 뿐만 아니라 자율주행차량이 대처해야 하는 상황의 종류 등에 차이가 있어 각각의 상황별로 자율주행 데이터 기록 항목 연구를 독립적으로 진행할 필요가 있다. 또한 Lv.3 자율주행차량의 상용화가 고속도로 주행보조(Highway Driving Assist, HDA) 시스템을 중심으로 진행되고 있는바, 본 연구에서는 주행 속도 및 제한속도가 상대적으로 빠르면서 상용화 우선순위가 높은 자동차 전용도로에서의 자율주행 실증 데이터 분석을 수행하였다.

대한민국은 도로교통법에서 자동차전용도로를 ‘자동차만 다닐 수 있도록 설치된 도로’로 정의하며, 고속도로는 ‘자동차의 고속 운행에만 사용하기 위하여 지정된 도로’로 정의하여 자동차전용도로의 하위 개념으로 설명하고 있다. 이에 본 연구는 고속도로를 포함하는 자동차전용도로에서의 실증을 위해 실증 지역을 선정하였으며 그 내용을 <Table 1>에 정리하였다. 고속도로 구간에 IC를 포함하도록 경로를 설정하여 분기, 합류 상황이 포함되도록 하였으며 회전고가교 형태의 JC를 포함하였다. 세종의 경우 BRT 버스전용차로에서 일반 시내버스와 같이 승객 운송 서비스를 실증하였고, 대구와 울산에서는 자율주행 기술 실증을 수행하였다. 실증은 2022년 1월부터 2023년 10월까지 약 22개월간 승용차 및 중형버스를 기반으로 제작된 자율주행 차량 총 15대가 활용되었다.

<Table 1> Autonomous Vehicle Trial on Expressways

	Anyang	Sejong	Ulsan	Daegu
Route				
	Cheonggye IC ~ Hagui JC ~ Pyeongchon IC	Osong Station ~ SejongOsong-ro	Leeye-ro ~ Autovalley-ro	Technopolis-ro
	6.5km One way (13km round trip)	11km One way (22km round trip)	22km One way (44km round trip)	12.8km One way (25.6km round trip)
Speed Limit	100kph	80kph	80kph	80kph
Vehicle	Carnival KA4	Apollo 900	Lestar	Sonata DN8
				

2. 실증 결과

1) 누적 실증 운행 결과

22개월간 수행된 자동차 전용도로 자율주행 실증은 <Table 2>와 같이 누적 주행거리 77,156.5km(자율주행 72,170.6km, 수동주행 4,985.9km), 누적 주행 시간 1799.5시간(자율주행 1608.2시간, 수동주행 191.3시간) 분량으로 자율주행의 비율은 거리 기준 93.5%, 시간 기준 89.4%에 해당한다.

2) 평균 주행 속도 분석

자동차전용도로의 구간별 제한속도 및 합류/분기, 교통 정체 등의 요인으로 인해 자율주행모드의 평균 주행 속도는 61.8kph였으며, 도로 제한속도와 별개로 교통 흐름에 맞게 자율주행이 수행되었는지 교통 관점에서 분석하기 위하여 <Table 3>과 같이 지자체의 교통 정보 시스템에서 제공하는 도로의 평균 주행 속도와 자율주행차량의 평균 주행 속도를 비교하였다. 그 결과 자율주행차량은 고속도로를 제외하고는 제한속도를 준수하며 일반 교통류와 최대 7.3%의 평균속도 오차 범위 내에서 주행하였다. 반면 고속도로의 경우 일반 차량의 평균 주행 속도가 79.5 kph인 데 반해 자율주행차량의 평균 주행 속도는 55.4kph로 30% 가량 낮은 속도로 주행한 것으로 나타났다. 이는 자율주행차량이 고속도로 IC/JC를 주행하며 합류, 분기 또는 고속 상황에서 차선 변경을 보수적으로 운행하기 때문으로 추정되며, 이를 확인하기 위하여 시스템 개입이 발생한 상황에 대한 분석을 수행하였다. 시스템 개입은 자율주행차량이 외부 또는 내부 요인으로 인해 DDT를 수행하지 못하는 경우 운전자 또는 시스템이 개입한 상황으로, 고속 상황에서의 차선변경 및 합류, 분기 등의 상황이 자율주행차량의 평균 주행 속도를 낮춘 원인으로 추론할 수 있으며 그 원인을 분석하는 경우 자동차전용도로에서 자율주행차량이 처하는 위험 상황에 대한 원인을 규명하고 안전성을 높이기 위한 대책을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

<Table 2> Automated Driving Data by Speed

Speed(kph)	Mileage	Ratio
0 - 10	392.2	0.5%
10 - 20	816.3	1.1%
20 - 30	2,096.3	2.9%
30 - 40	6,588.8	9.1%
40 - 50	19,323.8	26.8%
50 - 60	5,997.3	8.3%
60 - 70	18,056.6	25.0%
70 - 80	17,915.6	24.8%
80 - 90	846.4	1.2%
90 - 100	136.9	0.2%
Total	72,170.6	100%

<Table 3> Average Speed of Road and AV

Route	Road Avg. Speed[kph]	AV Avg. Speed [kph]	Speed Limit [kph]
Cheonggye IC ~ Hagui JC ~ Pyeongchon IC	79.5 ⁷⁾	55.4	100
Osong Station ~ SejongOsong-ro	75.5 ⁸⁾	78.5	80
Leeye-ro ~ Autovalley-ro	69.2 ⁹⁾	65.9	70
Technopolis-ro	66 ¹⁰⁾	61.2	80

7) 경기도 교통정보센터 (<https://gits.gg.go.kr/>)

8) 세종특별자치시 교통정보현황 (tdata.sejong.go.kr)

9) 울산교통관리센터 (<https://its.ulsan.kr/>)

10) 대구시 교통종합정보 (<https://car.daegu.go.kr/>)

3) 시스템 개입 분석

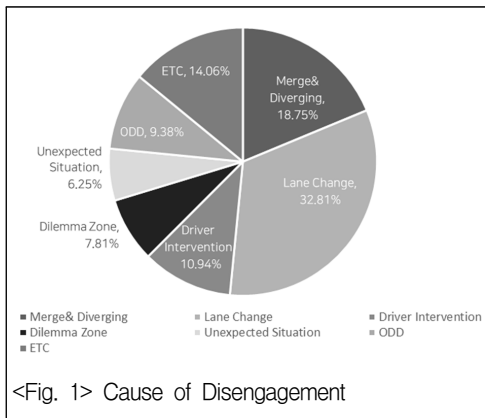
시스템 개입(Disengagement)은 자율주행차량이 주행 중 제어기 또는 운전자에 의해 제어권이 전환되는 것을 의미하며, 시스템 개입이 발생한 원인을 분석하는 것은 자율주행차량이 주행 중 ODD를 이탈하여 시스템이 대처하지 못하는 상황에 처했거나, 교통류 등의 이유로 운전자가 제어권을 전환해야 했던 상황에 대한 이해를 돕기 위함입니다. 모든 시스템 개입 상황은 로그로 기록되어야 한다. 본 연구에서 활용한 자율주행차량은 자율주행 시스템에 이상 징후가 발생한 경우 시스템이 자동으로 운전자에게 제어권 전환 알람을 주고 제어권을 전환할 수 있도록 구성하였으며, 운전자가 제어권 전환을 원하는 경우 조향, 가속페달, 감속페달, 비상정지 버튼의 4가지 방법을 통해 자율주행 모드를 해제할 수 있도록 구성하였다.

본 연구의 실증 동안 발생한 시스템 개입을 동일한 시스템으로 진행한 도심로의 시스템 개입과 비교한 결과는 아래 <Table 4>와 같다. 자동차전용도로와 도심로에서 발생한 시스템 개입의 76.1%가 도심로에서 발생하였으며, 나머지 23.9%가 자동차 전용도로에서 발생하여 자동차전용도로는 도심로 개입 횟수의 31% 수준임을 확인할 수 있었다. 이는 자동차전용도로가 차속이 빠른 반면 주행 환경이 단순하다는 특성이 반영된 것으로 분석될 수 있다. 이를 통해 고속 주행 및 IC/JC에서의 운전자 개입이 상대적으로 빈번했음을 확인할 수 있다.

<Table 4> Disengagement Ratio by Road Type

	Mileage	Driving Time	Disengagement
Urban	47,269.0	53.1%	76.1%
Express way	72,170.2	46.9%	23.9%
Total	119,439.2	3,430.4 Hour	100%

자동차전용도로에서 발생한 시스템 개입 중 시스템 오류(HW/SW 이슈)를 제외하고 차량 외부 요인으로 인해 발생한 상황을 분석하기 위하여 시스템 개입이 발생한 상황에 대한 센서 원시(Raw) 데이터와 차량 데이터가 저장된 로그 데이터를 활용하였으며, 이를 활용해 시스템 개입이 발생한 상황을 분석한 결과는 <Fig. 1>과 같고, 각각에 대한 상황의 예시는 <Table 5>에서 정의한 바를 따른다.



<Fig. 1> Cause of Disengagement

<Table 5> Cause of Disengagement

Cause	Description
Merge, Diverging	Merge or Diverging
Lane Change	Cut-in, Lane Change
Driver Intervention	Traffic flow, To avoid the risk
ODD	Out of ODD (Heavy snow, wind)
Dilemma Zone	Traffic signal changes over the intersection
Unexpected Situation	Jaywalking, Illegal parking, reckless driving
Etc.	Road Shape Change, construction

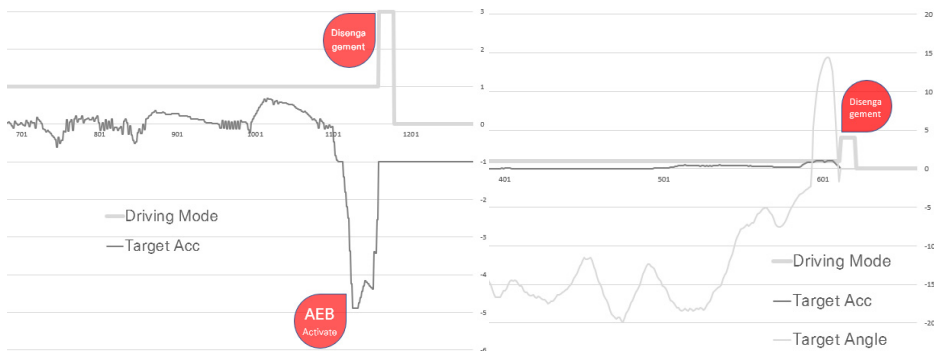
<Fig. 1>과 같이 가장 많은 시스템 개입을 야기한 상황은 차선 변경 상황이 32.81%를 차지했으며 합류, 분

기 상황이 전체 시스템 개입의 18.75%를 차지하며 2번째로 많은 원인이 되었다. 합류, 분기 상황 역시 차선 변경이 필요한 상황으로 확장해 본다면 전체 운전자 개입의 51.56%가 차선 변경 상황에서 발생함을 확인할 수 있었다. 그 외의 요인으로는 차로를 침범하는 주변 차량에 대응하는 위험 상황 대비를 위한 운전자의 선 개입이 10.94%, ODD 이탈이 9.38%, 자동차전용도로 진입/진출 시 존재하는 교차로에서의 딜레마존 상황이 7.81%, 무단횡단이나 불법주정차, 난폭운전 등을 포함하는 돌발상황이 6.25%, 공사, 변경된 도로 구조 등을 포함하는 기타가 14.06%의 원인으로 분석되었다.

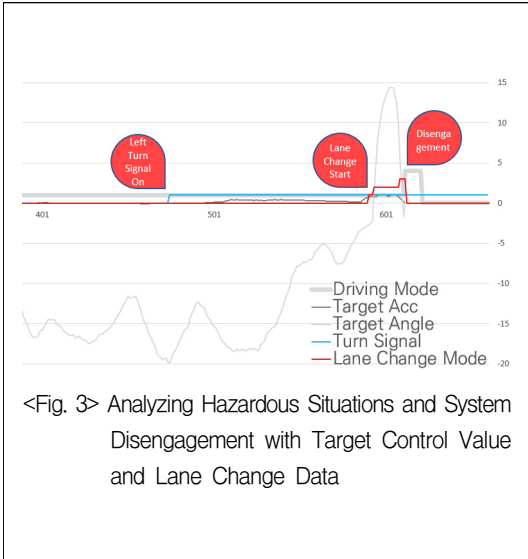
Ⅲ. DSSAD 기록항목 도출 및 효과성 검증

2절에서 분석된 자동차 전용도로 실증 결과를 바탕으로 자율주행차량 시스템 개입의 가장 큰 원인이 되는 상황은 합류, 분기를 포함하는 차선 변경 상황임을 확인하였다. 이에, 본 절에서는 자율주행차량의 시스템 개입 상황 분석 및 모니터링을 위한 데이터 기록 항목을 도출하고 그 효과를 검증해 본다.

자율주행차량은 차량에 부착된 센서를 활용해 주변 객체를 인지하고, 이를 기반으로 주변 객체의 위치와 속도 정보를 분석하여 주변 객체와 상호작용하는 차량의 지역 경로(Local Path)를 생성한다. 이후 생성된 지역 경로를 따라 주행하기 위한 중/횡방향의 목표 제어값이 도출되면 그 목표값을 따라 차량을 제어하기 위한 피드백 제어를 통해 경로를 추종한다. 그 과정에서 자율주행차량은 카메라, 라이다, 레이더, GPS와 같은 센서의 원시(Raw) 데이터와 여러 센서를 활용해 검출한 객체의 ID, 위치, 속도, 위치, 자율주행 모드 등 차량의 상태 데이터를 수집한다. DSSAD는 이러한 데이터를 활용해 사고가 발생하거나 차량이 위험 상황에 처한 경우 그 원인을 파악하고 책임소재를 규명하는 것을 목적으로 하는데, 원인과 책임소재를 규명하기 위해서는 자율주행차량의 의도를 파악하는 것이 가장 핵심이라 할 수 있다. 자율주행차량의 의도를 확인할 수 있는 요소로 중/횡방향 제어 목표값이 가장 활발하게 사용되고 있으나 해당 값만으로는 운전자 개입과의 연계성을 파악하기에는 한계가 있다. 예를 들어 시간에 따른 중/횡방향 제어 목표값과 주행 모드의 변화를 나타내는 <Fig. 2>에서는 왼쪽 상황과 같이 종방향 감속도가 큰 AEB 전개로 인해 발생한 운전자 개입을 판단할 수 있는 경우와 우측 상황과 같이 횡방향 목표 가속도의 변화가 크에도 이것이 어떻게 운전자 개입과 연계되는지는 확인이 어려운 사례도 다수 존재한다. 이에, 중/횡방향 제어 목표값 외에 운전자의 개입의 원인을 파악하기 위한 추가적인 데이터가 필요하다 할 수 있다. 아울러 센서의 원시 데이터는 저장 용량의 한계로



<Fig. 2> Analyzing Hazardous Situations and System Disengagement with Target Control Value
(Left : Easy to Understand, Right : Hard to Understand)



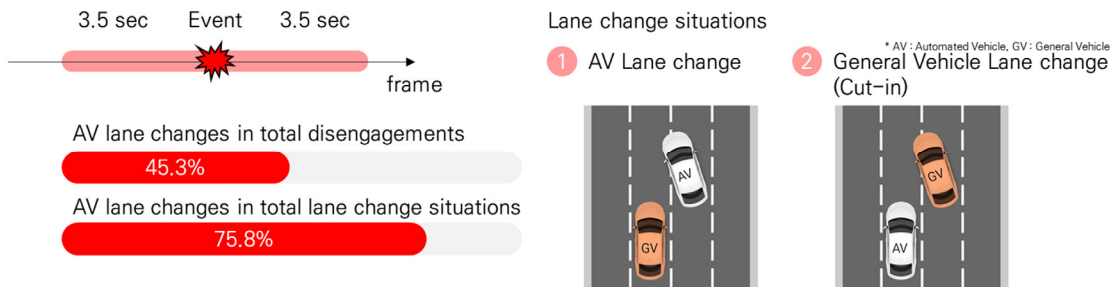
<Table 6> Lane Change Parameter

Value	Description
Driving Mode	0 : Manual Driving
	1 : Automated Driving
	2 : Disengagement with Steering
	3 : Disengagement with Accel.
	4 : Disengagement with Brake
	5 : Disengagement with E-Stop
Turn Signal	0 : Off / 1 : Left / 2 : Right
Lane Change Mode	0 : Lane Keeping(Lane Change Condition Check, Risk Determination, Lane occupancy, Target Vehicle Check etc)
	1 : Try to Lane Change(Acceleration)
	2 : Changing Lanes(Acceleration and Steering)
	3 : Lane Change Cancel

모든 정보를 포함하기 어려워 제한된 데이터를 활용해 자율주행차량의 시스템 개입 원인과 책임소재를 분석해야만 하는 상황이다. 이에 본 논문에서는 자율주행차량에서 시스템 개입이 가장 많았던 차선 변경 상황에 대한 의도를 나타낼 수 있는 항목을 도출하였으며 사례 분석을 통해 그 효과성을 검증하였다.

자율주행차량에서 관리되는 데이터는 제조사의 운영 전략에 따라 상이하므로 DSSAD에 저장되는 데이터는 제조사에 무관하게 저장될 수 있는 데이터여야 한다. 이에, 각 제조사에서 관리하는 개별 데이터 외에 자율주행차량이 도로교통법을 준수하며 주행하기 위해 필수적인 데이터에 기반한 DSSAD 기록 항목이 필요하다. 도로교통법 제38조의 ②에 따르면 차선을 변경하거나 좌/우회전을 하는 경우, 그 행위를 하려는 지점에 이르기 전 30미터(고속도로에서는 100미터) 이상의 지점에서 방향지시기 또는 등화의 조작이 필수이며, 자율주행차량 역시 도로교통법에 명시된 내용을 준수하기 위해서는 ‘방향지시기(Turn Signal)’ 제어 정보가 반드시 관리되어야 한다. 이를 활용해 차선 변경 상황을 차로 유지의 관점에서 구분한 차선 변경 모드(Lane Change Mode) 정보를 활용하는 경우 <Fig. 2>에서와 같이 횡방향 제어 목표값의 변화만으로는 판단할 수 없었던 차량의 주행 의도를 파악하여 자동차전용도로에서 가장 많이 발생하는 운전자 개입 상황인 차선 변경, 합류/분기 상황에 대한 위험 상황을 이해할 수 있다. <Fig. 2>의 우측과 동일한 상황을 방향지시기(Turn Signal) 정보 및 차선 변경 모드(Lane Change Mode)정보를 함께 활용하여 분석한 결과는 <Fig. 3>과 같다. 자율주행차량의 데이터는 100ms 주기로 수집, 처리, 저장되므로 10개의 frame이 1초에 해당한다고 이해할 수 있다. 자율주행모드(Driving Mode 1)로 달리는 차량은 왼쪽으로 차선을 변경하기 위하여 방향지시등을 켜고(475 frame, Turn Signal 0 → 1) 차선 변경 가능 여부를 판단하다가 차선 변경이 가능하다고 판단되는 시점에 차선 변경을 시도(590 frame, Lane Change Mode 0 → 1)하고 차선 변경을 진행하였음(593 frame, Lane Change Mode 1 → 2)을 그래프를 통해 알 수 있다. 1.5초간의 차선 변경 도중 외부 요인에 의해 횡방향 제어 목표값이 급변하며 차선 변경이 취소되었고(608 frame, Lane Change Mode 2 → 3) 운전자의 브레이크 조작에 의한 시스템 개입이 발생하였다(612 frame, Driving Mode 1 → 4). 이처럼 방향지시기 정보 및 차선 변경 모드 정보를 활용하면 자동차전용도로에서 가장 빈번한 시스템 개입의 원인인 차선 변경 상황에 대해 주변 객체 정보가 없는 상황에서 자율주행차량의 의도를 데이터로서 파악할 수 있음을 확인할 수 있다.

차선 변경 정보를 활용하는 방법론에 대한 범용성을 검증하기 위하여 22개월간 수행된 자동차전용도로 자율주행 실증 데이터에서 시스템 개입이 발생한 상황 전후 7초에 대한 주행 기록 중 자율주행차의 차선 변경이 발생한 상황을 <Fig. 4>의 좌측과 같이 수집한 결과, 시스템 오류를 제외한 개입의 45.3%가 차선 변경 모드가 0이 아닌 차선 변경 시도/진행/취소 중인 상태였다. 또한 차선 변경으로 인해 발생한 시스템 개입은 <Fig. 4>의 우측과 같이 일반 차량의 급격한 차선 변경(Cut-in)으로 인해 자율주행차가 감속하는 상황과 자율주행차의 차선 변경 중 일반 차량이 접근하는 상황으로 구분될 수 있는데, 전자의 경우 종방향 가속도 정보를 활용해 분석이 가능한 상황이었으며 후자의 경우 기존의 차량 제어 정보로는 원인 분석 및 책임소재 규명이 어려운 상황이었다. 이에, 차선 변경 정보를 활용하는 것이 기존 자동차전용도로에서 발생한 시스템 개입 상황을 분석하는데 효과적임을 확인할 수 있다.



<Fig. 4> Disengagement situations over lane change

IV. 결 론

본 연구는 무인화가 가능한 Lv.4 이상의 자율주행차량의 시스템 개입 상황을 분석하기 위한 DSSAD 기록 항목 도출의 필요성이 커짐에 따라 자동차 전용도로에서의 자율주행 실증을 통해 수집된 데이터를 분석하여 시스템 개입 상황을 분석하기 위한 DSSAD 기록 항목을 도출하는 것을 목표로 하였다. 이에, 2022년 1월부터 2023년 10월까지 22개월간 수행된 자동차전용도로 자율주행 실증을 통해 수집된 시스템 개입 상황 중 시스템 오류를 제외한 차량 외부 요인으로 인해 발생한 상황을 분석하였으며 그중 51.56%가 차선 변경 상황임을 확인하였다. 자동차 전용도로에서 발생한 시스템 개입의 과반수를 차지하는 차선 변경 상황을 효과적으로 분석하기 위한 기록 항목으로 본 논문에서는 방향지시등 정보와 차선 변경 상태정보를 제시하였으며, 수집 데이터를 통해 해당 정보를 활용해 자율주행차량의 거동을 센서 데이터가 없는 상황에서도 유추할 수 있음을 확인하였다. 자율주행차량에서 수집되는 방대한 양의 데이터를 모두 저장하는 것은 물리적 한계가 뒤따르므로 기록 항목에 대한 우선순위를 할당하는 것이 중요하며, 데이터의 용량을 고려하여 센서의 원시 데이터가 없는 상황에서도 자율주행차량의 행태를 최소한으로 파악하기 위한 기록 항목의 발굴이 필요한 상황이며, 추후에는 자동차전용도로 뿐만 아니라 일반 도심로를 포함하는 전체 범위에서의 시스템 개입 상황을 분석하기 위한 기록 항목의 도출이 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(RS-2021-KA162419, 자율주행기술 개발혁신사업).

REFERENCES

- California DMV(2023), *2022 Autonomous vehicle disengagement reports CSV*.
- Cho, M. J.(2021), "Trend of analysis technology for the vehicle data recorder and autonomous driving accidents," *Transportation Technology and Policy*, vol. 18, no. 6, pp.47-51.
- Kim, S. W., Kwon, J. K., Hwang, J. S., Lee, S. S. and Lee, C. K.(2023), "A study on the development of driving risk assessment model for autonomous vehicles using fuzzy-AHP," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 22, no. 1, pp.192-207.
- Lee, Y. T., Kim, Y. J., Jeong, H. R., Yoo, H. S. and Yun, I. S.(2021), "Study on the development of methodology for evaluation of driving safety of automated vehicles on real roads," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 20, no. 6, pp.280-298.
- Park, J. J., Jeon, O. Y., Park, J. W. and Lee, J. H.(2023), "A preliminary study of the recorded data in the conventional vehicles to identify the responsibility for the autonomous vehicle accidents," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 31, no. 8, pp.637-642.
- Society of Automotive Engineers International(2021), *Automated driving system data logger J3197_202107*, pp.1-16.
- UNECE(2019), *Comparison between Event Data Recorder (EDR) and Data Storage System for Automated Driving(DSSAD)*, p.1.
- United Nations(2021), *UN regulation No. 157 - Automated Lane Keeping Systems(ALKS)*, pp.19-20.
- United Nations(2021), *UN regulation No. 160 - Event Data Recorder(EDR)*, pp.9-12.
- Waymo(2020), *Waymo public road safety performance data*, arXiv preprint arXiv:2011.00038.
- Waymo(2021), *Waymo safety report*, pp.11-47.