

레벨 4 자율주행자동차의 기능과 특성 연구

이광구* · 용부중* · 우현구*[†]

A Study on Functions and Characteristics of Level 4 Autonomous Vehicles

Gwang Goo Lee*, Boojoong Yong*, Hyungu Woo*[†]

Key Words: Automated driving system(자율주행시스템), Level classification(레벨 분류), Driver replacement(운전기능 대체), Emergency response(응급 상황 대처), Connected driving performance(협력 주행 기능)

ABSTRACT

As a sales volume of autonomous vehicle continually grows up, regulations on this new technology are being introduced around the world. For example, safety standards for the Level 3 automated driving system was promulgated in December 2019 by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government. In order to promote the development of autonomous vehicle technology and ensure its safety simultaneously, the regulations on the automated driving systems should be phased in to keep pace with technology progress and market expansion. However, according to SAE J3016, which is well known to classify the level of the autonomous vehicle technologies, the description for classification is rather abstract. Therefore it is necessary to describe the automated driving system in more detail in terms of the 'Level.' In this study, the functions and characteristics of automated driving system are carefully classified at each level based on the commentary in the Informal Working Group (IWG) of the UN WP29. In particular, regarding the Level 4, technical issues are characterized with respect to vehicle tasks, driver tasks, system performance and regulations. The important features of the autonomous vehicles to meet Level 4 are explored on the viewpoints of driver replacement, emergency response and connected driving performance.

1. 서론

최근 자동차산업 발전의 큰 흐름은 자율주행기술과 전기자동차용 동력시스템 기술로 분류할 수 있다. 후자는 자동차에 의해 기인하는 환경적인 악영향을 최소화하기 위한 노력인 반면, 전자는 운전자의 편의성과 주행안전성 향상을 목표로 하고 있다. 2000년대 자동차제작사의 경쟁력은 엔진으로 대표되는 기존 동력 전달 장치를 대체할 수 있는 하이브리드 또는 전기자동차기술 확보 여부에 의

해 평가되었다. 하지만 2010년대 중반 이후 인공지능으로 대표되는 제어기술과 자동차에 탑재된 통합 센서-액추에이터 시스템을 최적화하여 융합할 수 있는 기술적 진보가 이루어지면서, 자율주행시스템의 기술 수준이 자동차기업의 경쟁력 지표로 자리 잡고 있다. 이에 따라 최근 국내 제작사를 포함한 전 세계 모든 자동차제작사들이 자율주행자동차의 양산을 위한 기술개발 노력에 전력을 기울이고 있다.

자율주행자동차 기술을 사회적으로 수용하기 위해서는 체계적인 준비가 필요하다. 우선 자율주행자동차가 운행될 수 있도록 물리적인 도로 공간을 지능형 교통 인프라가 갖춰진 운영설계영역(Operational Design Domain,

* 경일대학교 기계자동차학부, 교수

[†]교신저자, E-mail: hgwoo@kiu.ac.kr

ODD)으로 구축해야 한다. 또한 자율주행자동차가 운행될 수 있는 제도적인 뒷받침이 요구된다. 즉 자율주행시스템이 운전 제어권을 행사할 수 있는 법적 근거인 안전기준을 제정함과 동시에, 안전기준이 자율주행시스템의 기술적 진보를 가로막는 규제가 되지 않도록 세심하게 조율되어야 한다. 따라서 자율주행자동차의 사회적 수용 과정에는 기술 발전의 수준에 보조를 맞추어 단계적이면서 통합적인 대응이 필요하다.

국제자동차공학회는 J3016 보고서에서 기술 발전의 수준에 따라 자율주행시스템을 5개 레벨(Level)로 분류하였다.⁽¹⁾ 하지만 레벨은 표준화된 규범이라기보다는 설명 중심으로 정의되어 있고, 안전기준을 포함한 법적인 요소보다는 기술적인 관점에 중심을 두고 있다. 또한 각 레벨에서 달성할 수 있는 자율주행시스템의 최대 기능보다는 최소 기능으로 분류하고 있기 때문에, 개별 자율주행자동차의 레벨 설정에 모호성이 발생할 수 있다. 따라서 자율주행기술의 수준을 정의하는 J3016 보고서를 보완 연구한 주식 형태의 보고서들이 존재한다.^(2,3)

2019년 12월 말에 대한민국 국토교통부는 자율주행시스템의 정의를 신설하고 그에 대한 안전기준을 별도의 장으로 마련한 ‘자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙’ 일부 개정령 안을 공표하였다.⁽⁴⁾ 동 개정령 안의 안전기준은 레벨 3 수준의 자율주행시스템(부분 자율주행시스템)에 해당한다. 이는 해외 선진기업이 레벨 3 수준의 자율주행자동차를 양산하기 시작한 시점에서 매우 시의 적절한 기준 도입이다. 하지만 수년 내에 레벨 4 수준의 자율주행자동차(조건부 완전자율주행시스템) 양산계획을 발표하고 있는 선진 자동차제조사들의 동향을

고려한다면, 추가적인 안전기준 제정을 위한 노력이 요구되는 상황이다.

본 논문에서는 레벨 4 자율주행자동차의 안전기준 제정을 위한 기초 연구로서, 레벨 3과 비교하여 레벨 4 기술을 특징짓는 기능 및 특성을 분석하고자 한다. 특히 자동차, 운전자, 기준에 대한 고려사항 측면에서 레벨 4의 기술적 문제점들을 검토하였다. 또한 운전 제어권 전환, 비상 대응 및 협력주행 성능의 관점에서 레벨 4 수준을 충족시키는 자율주행시스템의 중요 기능과 기준제정에 대하여 고찰하였다.

2. 자율주행시스템의 수준 정의 및 양산 동향

2.1. 자율주행시스템의 수준 정의

국제자동차공학회가 J3016 보고서에서 제시한 자율주행시스템 기술수준의 분류기준은 조향과 가·감속 제어 능력, 주행환경의 모니터링 능력, 동적주행작업(Dynamic Driving Task, DDT) 환경에서 위험상황대처능력(fallback), ODD의 범위 등이다. Table 1은 J3016 보고서에 정의된 자율주행시스템의 레벨 기준과 각 단계별 시스템의 제어권 범위를 정리한 것이다.^(1,2) 첨단운전자지원시스템(Advanced Driver Assistance System, ADAS)을 갖추었으나 자율주행자동차로 분류되지 않는 레벨 0로부터 완전 자율주행자동차인 레벨 5까지의 분류는 5개의 기준이 이용된다. 다음 세부 항목은 단계별 시스템 분류 기준에 대해 설명한다.

Table 1 Levels of driving automation provided by SAE Report J3016

Level	Name	Execution of steering & acceleration/deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)
0	No Automation	Human driver	Human driver	Human driver	N/A
1	Driver Assistance	Human driver & system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
3	Conditional Automation	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	System	System	System	All driving modes

2.1.1. 조향 및 가·감속 제어의 지속성

자율주행자동차로 분류되기 위한 첫 번째 특성 기준은 ‘조향 및 가·감속 제어의 지속성(Sustainability)’이다. 2000년대 이후 도입된 자동차안전시스템은 수동안전기술에서 능동안전기술로 발전하며 ADAS로 통합되었다. ADAS는 자동 긴급 제동(Automatic Emergency Braking, AEB), 차로 이탈 경고(Lane Departure Warning, LDW), 전방 충돌 방지 보조(Forward Collision-Avoidance Assist FCA), 후측방 충돌 회피 지원(Active Blind Spot Detection, ABSD) 등의 세부 안전기술로 구성된다.

주행안전을 위하여 ADAS 기술이 적용되었다고 하더라도, 조향과 가·감속을 일시적으로 제어하며 간헐적으로 운전 관여하는 경우는 자율주행자동차로 분류하지 않는다(레벨 0). 가장 낮은 수준인 레벨 1 자율주행자동차로 정의되기 위해서는 ‘운전자를 보조(Driver Assistance)’하여 조향과 가·감속을 ‘지속적’으로 제어할 수 있는 시스템이 적용되어야 한다.

2.1.2. 종 방향과 횡 방향의 동시 제어

자동차 주행에 필요한 종 방향(가·감속) 및 횡 방향(조향) 주행 제어 기능 중 한 방향의 제어만 가능하면 레벨 1로 분류된다. 이에 필요한 기술로는 종 방향의 어댑티브 크루즈제어(Adaptive Cruise Control, ACC)와 횡 방향의 차로 유지 보조 시스템(Lane Keep Assistance System, LKAS)이 있다. 만약 ‘두 방향으로 자동차의 주행을 동시에 제어’할 수 있다면(Simultaneous Motion Control), 레벨 2에 해당하고 자율주행에 필요한 가장 기본적인 임무를 수행할 수 있게 된다. 따라서 레벨 2에서는 시스템이 운전자의 보조 기능으로부터 벗어나 본격적으로 ‘부분 자율(Partial Automation)’ 주행 기능을 갖추게 된다.

2.1.3. 사물 및 사건 상황의 인지 및 대응능력

레벨 2 자율주행시스템과 비교하여 레벨 3 시스템이 갖는 중요한 기능은 ‘사물 및 사건의 인지 및 대응(Object and Event Detection and Response, OEDR)’ 능력이다. 레벨 2에서는 운전자가 운전 상황을 모니터링 해야 하므로, 운전석에서 부차적인 행위를 할 수 없다. 하지만 레벨 3에서는 자율주행시스템이 운전 상황을 인지하고 대응할 수 있는 능력을 갖고 있기 때문에 운전자는 운전 이외의

다른 부차적인 행위를 할 수 있는 여유를 갖게 된다.

레벨 3 자율주행자동차는 시스템에 정의된 운영설계영역(ODD) 내의 모든 동적주행작업(DDT)에 대응할 수 있는 능력을 확보하고 있다. 만약 운전자가 부차적인 활동을 하고 있다면, 시스템은 운전자에게 기대하지 않고 긴급 제동을 수행할 수 있다. 또한 시스템이 주행 제어권 전환을 요구한 상황에서 인간 운전자가 일정 시간 동안 제어권을 전환 받지 못하는 경우에는 최소위험조건(Minimal Risk Condition, MRC)으로 전환하거나 전환을 시작할 수 있어야 한다. 따라서 전체적으로는 위험 상황을 제외한 ‘조건부 자율(Conditional Automation)’ 운전이 가능하다.

2.1.4. 위험상황 대응능력

운영설계영역 내의 모든 동적주행작업을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 시스템이 ‘모든 위험 상황에 대비(Fallback)’할 수 있다면 레벨 4 자율주행시스템으로 분류된다. 시스템에 의해 설계된 운전영역(ODD) 내에서는 모든 결정을 시스템이 수행하며, ODD 경계에 도달하기 전까지는 운전자에게 제어권 전환을 요청하지 않는 ‘고도 자율(High Automation)’ 운전을 할 수 있다. 레벨 4 자율주행자동차는 운전자가 긴급 위험 상황에 대해 경계상태를 유지하지 않고 여러 가지 다양한 부차적인 활동을 할 수 있기 때문에, 일반 소비자가 상상하는 자율주행자동차의 의미에 부합하는 단계로 인식될 수 있다.

2.1.5. 운영설계영역의 범위

시스템의 ‘운영설계영역 범위에 제한이 없고 전 운전 구간’에서 자율주행이 활성화된다면, 레벨 5 자율주행시스템으로 분류된다. 운영설계영역의 제한이 없기 때문에 ‘운전자’가 아니라 ‘승객’의 개념에 해당하며, 따라서 전 운전 구간에서 주행과 관련된 어떠한 환경에서도 모니터링 할 필요가 없다. 따라서 레벨 5 시스템에서 인간은 모든 운전 구간에서 자유롭게 부차적인 활동을 할 수 있는 ‘완전 자율(Full Automation)’ 운전 상태를 경험할 수 있다.

2.2. 자율주행자동차의 양산 동향

자율주행자동차 기술의 수준이 제작사의 경쟁력 지표가 되면서, 주요 글로벌 자동차 제작사들은 자율주행자

차의 양산에 박차를 가하고 있다. 초기에 기술 중심의 일부 소형 자동차 제작사들이 주도하던 자율주행자동차 분야는 최근 들어 주요 양산기업제작사들의 각축장이 되고 있다. Table 2와 같이 현재 시점(2020년)의 자율자동차 시스템의 양산기술 수준은 레벨 2에서 레벨 3으로의 전환시기이다.⁽⁵⁾ 레벨 2 수준의 최초의 양산 자동차는 2014년으로 거슬러 올라가며, 현재는 글로벌 선도 자동차제작사에 의해 다수의 양산 모델이 시장에 출시된 상태이다. 2018년부터는 레벨 3 수준의 자율주행자동차가 양산되고 있다.

일부 자동차제작사들은 이미 레벨 4 수준의 자율주행 시스템의 공용 도로(Public roads)용 임시 면허를 취득한 후, 테스트 운행을 수행하고 있다. 업계의 전문가들에 의하면, 빠른 경우 2021년에 최초의 레벨 4 수준의 자율주행시스템이 양산될 것으로 예측하고 있다.⁽⁵⁾ 레벨 3과 레벨 4의 차이점은 ‘모든 위험 상황에 대한 대비(Fallback)’ 능력의 유무이지만, 레벨 3도 운전자가 일정 시간 동안 제어권을 전환 받지 못하는 경우에는 MRC로 전환하거나 전환을 시작할 수 있는 능력을 갖춰야 한다.⁽¹⁾ 따라서 레벨 3 자율주행자동차에서는 운전자와 시스템 사이에 혼란스러운(tricky) 제어권 전환 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 피하고자 일부 자동차기업이나 Waymo와

같은 기술 중심 기업은 레벨 3을 생략한 채, 바로 레벨 4 시스템을 개발하는 전략을 구사하고 있다.⁽⁵⁾

레벨 5 자율주행시스템(완전 자율주행시스템)은 현재 콘셉트 자동차 수준의 기술이 존재하지만, 일부 기술의 경우는 아직 이론적으로만 제시된 상태이다. 전기자동차를 선도하는 기술 중심의 제작사인 Tesla는 2020년까지 레벨 5 자율주행자동차 양산을 선언했지만, 미국 도로교통안전국(NHTSA)은 최소 2025년은 되어야 레벨 5 자율주행자동차가 양산될 수 있을 것으로 예상하고 있다.⁽⁵⁾

3. 레벨 4 자율주행시스템의 핵심 기능과 특성

3.1. 레벨 3 및 레벨 4 자율주행시스템의 차이점

자동차안전기준조화를 위한 UN/ECE(경제위원회) 산하 국제회의체인 WP29의 ITS/AD(Intelligent Transport Systems / Automated Driving) 분야 전문가회의(Informal Working Group, IWG)는 SAE의 J3016 기준을 재해석하여 레벨에 따른 자율주행에 대하여 정의하였다.⁽³⁾ 자율자동차 및 운전자의 과업, 기준제정에 대한 고려사항 측면에서 레벨 3과 레벨 4를 상세 비교하면 다음 세부 항목 같다.

3.1.1. 자율주행자동차의 과업(Vehicle Tasks)

레벨 3과 레벨 4의 ‘자율주행자동차’가 수행하는 과업의 특징을 Table 3에 정리하였다.⁽³⁾ 레벨에 따른 두 종류의 자율주행시스템의 주요 차이점을 굵은 활자체로 표시하였다. 레벨 3과 비교하여 레벨 4 자율주행자동차가 갖는 가장 중요한 특징은 운영설계영역 내의 사건에 대응하여 스스로 ‘모든 결정’을 내릴 수 있도록 운전 환경을 모니터링 할 수 있는 능력이 요구된다는 점이다. 사건의 예로는 응급차량의 출현과 이에 대한 대응능력도 포함된다. 이는 도심도로에서 발생할 수 있는 다양한 사건에 대한 이미지 및 음향 정보를 인간 운전자가 인지할 수 있는 수준까지 처리할 수 있어야 함을 의미한다.

높은 수준의 주행 환경 모니터링 능력을 바탕으로 레벨 4 자율주행자동차는 설계 조건이나 경계 조건이 더 이상 맞지 않는다면 자동적으로 비활성화 될 수 있으며, 운전자에게 제어권 전환을 요구하지 않고도 차량을 최소위험조건으로 전이시킬 수 있다. 이는 자율주행시스템을 해제하기 전에 운전자에게 제어권 전환을 요구하는 레벨 3 자율주행자동차의 과업과 비교하여 분명한 차이점을 갖

Table 2 Timeline of self-driving cars in mass production

	Manufacturer (Technology)	Year	Manufacturer (Technology)	
		2021	BMW (Personal CoPilot)	Level 3
		2020	Mercedes (Drive Pilot)	
Level 2	Nissan Skyline (ProPilot 2.0)	2019		
		2018	Audi A8 (AI Traffic Jam Pilot)	
	BMW 5 Series (Driving Assistant Plus) Volvo XC60 (Pilot Assist II) Cadillac CT6 (Super Cruise)	2017		
	Mercedes E-Class (Distronic Plus)	2016		
	Tesla Model S (Autopilot)	2014		

레벨 4 자율주행자동차의 기능과 특성 연구

Table 3 Difference of vehicle tasks between Level 3 and Level 4⁽³⁾

	Level 3	Level 4
	Execute longitudinal(accelerating/braking) and lateral (steering) portions of the DDT when activated.	
1	Shall monitor the driving environment for operational decisions when activated.	Shall monitor the driving environment for any decisions happening in the ODD including emergency vehicles.
2	Permit activation only under conditions for which it was designed. System deactivated immediately at the request of the driver. However the system may momentarily delay deactivation when immediate human takeover could compromise safety.	
3	System automatically deactivated only after requesting the driver to take-over with a sufficient lead time; may-under certain, limited circumstances-transition (at least initiate) to MRC if the human driver does not take over. It would be beneficial if the vehicle displays used for the secondary activities were also used to improve the human takeover process.	Shall deactivate automatically if design/boundary conditions are no longer met and must be able to transfer the vehicle to a MRC. May also ask for a transition demand before deactivating.
4	Driver availability recognition shall be used to ensure the driver is in the position to take over when requested by the system. Potential technical solutions range from detecting the driver's manual operations to monitoring cameras to detect the driver's head position and eyelid movement.	Driver availability recognition shall be used to ensure the driver is in the position to take over when requested by transition demand. This can however be lighter solutions than for level 3 because the system is able to transfer the vehicle to a MRC in the ODD.
5	Emergency braking measures must be accomplished by the system and not expected from the driver (due to secondary activities).	

는 특징이다. 레벨 3과 동일하게 운전자의 가용성 인지 (Driver availability recognition) 능력을 갖추고 있지만, 운영설계영역에서 레벨 4 자율주행자동차는 어떤 상황에서도 최소위험조건으로 전이 가능하므로 레벨 3에 비해서 운전자의 가용성 인지 능력은 상대적으로 중요도가 떨어진다.

3.1.2. 운전자의 과업(Driver Tasks)

레벨 3과 레벨 4의 자율주행자동차에서 ‘운전자’ 과업의 특징을 Table 4에 정리하였다.⁽³⁾ 레벨 3의 경우 자율주행시스템이 요구할 수 있는 제어권 전환 요청에 대응할 수 있도록 운영설계영역에서도 충분한 경계상태를 유지해야 한다. 또한 자동차의 경고나 기계적 고장 및 긴급차

Table 4 Difference of driver tasks between Level 3 and Level 4⁽³⁾

	Level 3	Level 4
1	Determine when activation or deactivation of the automated driving system is appropriate.	
2	Does not need to execute the longitudinal, lateral driving tasks and monitoring of the environment for operational decisions in the ODD.	Does not need to execute the longitudinal, lateral driving tasks and monitoring of the environment in the ODD.
3	Shall remain sufficiently vigilant as to acknowledge the transition demand and, acknowledge vehicle warnings, mechanical failure or emergency vehicles (increase lead time compared to level 2).	May be asked to take over upon request within lead time. However the system does not require the driver to provide fallback performance under the ODD.
4	May turn his attention away from the complete dynamic driving task in the ODD but can only perform secondary activities with appropriate reaction times. It would be beneficial if the vehicle displays were used for the secondary activities.	May perform a wide variety of secondary activities in the ODD.

량 인지 등도 운전자가 대처해야 할 목록에 포함된다. 반면 레벨 4의 경우에는 비록 제어권 전환 요청을 받을 수는 있지만, 운영설계영역에서는 모든 위험상황에 대해 자율주행시스템이 대처할 수 있으므로 고도의 경계상태를 유지할 필요가 없다.

주행 환경에 대한 운전자의 경계수준의 차이는 운전 이외의 부차적인 활동 범위에 영향을 미친다. 레벨 3의 경우 운영설계영역 내에서 동적주행작업으로부터 주의를 돌릴 수도 있지만, 적절한 시간 내에 복귀할 수 있는 부차적인 활동만을 할 수 있다. 반면 운영설계영역 내에서는 운전자가 고도의 경계상태를 유지할 필요가 없는 레벨 4의 경우 훨씬 다양한 부차적인 활동을 할 수 있다. 높은 기술 수준의 레벨 4 자율주행자동차의 경우에는 운전자의 도움 없이 도심도로에서 서틀 기능을 수행할 수 있기 때문에, 운전자가 반드시 운전석에 착석할 필요가 없을 것으로 예상된다.

3.1.3. 기준 제정에 대한 고려사항

Table 5는 WP29의 ITS/AD 분야 전문가회의가 제안한 레벨 3과 레벨 4의 기준 제정에 대한 고려사항을 정리한 것이다.⁽³⁾ 레벨 4의 경우 ‘모든’ 돌발 상황에 대한 판단과 결정을 위하여, 종 방향(가·감속)과 횡 방향(조향) 제

어를 위해 주행 환경의 모니터링을 포함하는 규정이 필요함을 제안하고 있다. 즉 종 방향과 횡 방향 제어를 통해 단순 주행을 위하여 환경을 모니터링 하는 레벨 3과는 달리, 레벨 4에서는 응급차량의 출현과 같이 실제 도로환경에서 존재할 수 있는 다양한 돌발 상황에 대한 대응능력이 기준 제정에 고려되어야 한다.

또한 설계 및 경계 조건이 더 이상 만족되지 않는 경우에, 가급적이면 차선의 바깥쪽으로 차량을 최소위험조건으로 자동 이동할 수 있는 기능을 확인할 규정이 필요하다. 한편 운영설계영역의 경계에서 시스템이 제어권 전환을 요구할 때, 운전자가 제어권을 전환 받을 위치에 있는지 확인할 수 있는 운전자 가용성 인식 기능을 위한 규정이 고려되어야 한다. Table 4에서와 같이 레벨 4 자율자동차의 운전자는 운영설계영역에서 레벨 3과 비교하여 훨씬 더 자유롭게 부차적인 활동을 할 수 있으므로, ‘운영설계영역’에서 운전자 가용성 인식 기능은 레벨 3과 비교하여 상대적으로 느슨하게 규정할 수 있다.

3.2. 레벨 4 자율주행시스템의 특징

2019년 12월 말에 신설된 ‘자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙’ 제3절 자율주행시스템의 안전

Table 5 Difference of consideration of vehicle regulation between Level 3 and Level 4⁽³⁾

	Level 3	Level 4
1	Consider which regulatory provision for longitudinal (accelerating, braking) and lateral control (steering) are necessary including the monitoring of the driving environment.	Consider which regulatory provision for longitudinal (accelerating, braking) and lateral control (steering) are necessary including the monitoring of the driving environment for any decisions happening in the use case (for example Emergency vehicles).
2	Consider regulatory provision to ensure the system: i) Permits activation only under conditions for which it was designed, and ii) Deactivates immediately upon request by the driver. However the system may momentarily delay deactivation when immediate driver takeover could compromise safety.	
3	Consider regulatory provision to ensure the system automatically deactivates only after requesting the driver to take-over with a sufficient lead time; including – under certain, limited circumstances – transition (at least initiate) to minimal risk condition if the driver does not take over. It would be beneficial if the vehicle displays used for the secondary activities were also used to improve the human takeover process.	Consider regulatory provision to ensure the system automatically transfer the vehicle to a minimal risk condition preferably outside of an active lane of traffic if design/boundary conditions are no longer met.
4	Consider regulatory provision for driver availability recognition is used to ensure the driver is in the position to take over when requested by the system.	Consider regulatory provision for driver availability recognition is used to ensure the driver is in the position to take over when requested by the system transition demand at the end of the ODD.
5	Consider regulatory provision for emergency braking measures by the system.	

기준은 [별표 27]에서 레벨 3 시스템(부분 자율주행시스템)의 주행 도로 조건을 정의하고 있다.⁽⁴⁾ 이에 따르면, ‘보행자와 자전거 탑승자의 통행이 금지되어’ 있고 ‘중앙 분리대 등 반대방향으로 이동하는 교통수단을 물리적으로 분리하는 시설을 갖춘 도로’로 규정하고 있다. 즉 레벨 3은 고속도로나 자동차 전용도로와 같은 주행 환경을 운영설계영역으로 고려한다.

반면 레벨 4 자율주행시스템은 도심도로에서의 주행을 고려하고 있기 때문에, 레벨 3과 비교하여 훨씬 더 복잡한 운영설계영역에서 주행능력을 갖추어야 한다. 자동차 기업에 따라서 레벨 4 시스템의 운영설계영역에 차이가 있겠지만, 기본적으로는 중앙 분리 시설이 없는 환경에서 자전거나 보행자를 고려해야 하며, 교통신호등뿐만 아니라 경찰 등의 수신호를 인지하여 대응할 수 있고, 긴급자동차나 통학버스 등을 구분할 수 있도록 설계해야 한다. 이러한 레벨 4 자율주행자동차의 운영설계영역 확장에 따라, 레벨 4의 안전기준 제정 과정에서 고려되어야 할 특징적인 기능을 정리하면 다음 세부 항목과 같다.

3.2.1. 운전자 역할 대행의 확장

레벨 4 자율주행자동차는 운영설계영역에서 운전자에게 제어권 전환을 요청하지 않기 때문에, 레벨 3과 비교하여 훨씬 강화된 주행환경 모니터링 능력이 요구된다. 우선 레벨 3에서는 요구되지 않는 패턴화된 이미지 및 음향 신호 해석 능력이 필요하다. 예를 들면 응급차량이나 경찰차의 사이렌 소리를 인지할 수 있어야 하며, 예상할 수 없는 교통 혼잡 구간에서 경찰 등의 수신호를 파악할 수 있어야 한다.

주행 환경 모니터링에서 가장 힘든 사항은 정량화하기 어려운 도로 참여자들의 의지를 파악하는 것이다. 레벨 4 자율자동차가 목표로 삼는 도심도로 주행에서는 여러 형태의 보행자가 나타날 수 있다. 만약 건널목 신호를 무시하고 무단횡단을 시도하는 보행자 중에서 청년층과 노인층은 같은 조건에서도 다른 행동을 할 수 있다. 청년층은 자신들의 보행속도를 확신하고 도로 횡단을 시도할 확률이 높다. 한편 노인층의 일부는 주변 환경에 대한 주의력이 낮아서 무작정 도로 횡단을 시도할 수도 있다. 따라서 레벨 4 자율자동차는 도로 참여자들의 행동의지를 파악하고 주행 판단에 반영할 수 있는 능력이 요구된다.

운전자 역할 대응과 관련된 레벨 4 자율자동차의 또 다른 특징은 운영설계영역 내에서는 운전자 없는 주행이 가능하기 때문에 사용자들이 셔틀 기능으로 활용할 수도

있다는 점이다. 예를 들어, 부모가 바쁜 상황에서 자녀들의 등하교용으로 레벨 4 자율자동차를 셔틀로 사용할 수도 있다.

3.2.2. 위험상황 대처능력의 확대

레벨 4 시스템의 경우 비록 운전자가 자율주행시스템의 해제 권한을 항상 갖고 있지만, 운영설계영역에서는 어떤 비상상황에서도 운전자에게 운전 제어권 전환을 요구하지 않으므로 레벨 3보다는 더 많은 응급상황에 대응할 수 있도록 다수의 최소위험조건에 대한 정의가 요구된다. 예를 들어 갓길 없는 도로나 편도 1차로의 열악한 주행환경에서 최소위험조건을 어떻게 정의할 것인가는 레벨 4 자율자동차의 특징적 기능이 될 것이다.

운전자를 대신한 주행환경 모니터링으로 도로 내 이상 상황(정지자동차, 낙하물체, 도로작업구간 인지, 병목구간 사전 대응)과 돌발 상황(전방자동차의 급감속 및 급정지, 갑작스런 끼어들기, 전방자동차의 차로변경 후 갑자기 나타난 장애물 등)에 대처할 수 있는 능력은 기본적으로 갖추어야 한다. 또한 레벨 4 자율자동차의 운행에서 기인한 응급상황도 고려되어야 한다. 예를 들면 주변의 자동차와 간단한 접촉 사고가 난 경우를 대비하여 주행 중 발생 가능한 미세한 충격감지 능력을 갖추어야 한다. 만약 제어권을 자율주행시스템이 갖고 있는 상태에서 충격을 감지하지 못하고 계속 주행하면 도주치상죄(뺑소니)에 해당될 수도 있다.

2019년 12월에 제정된 레벨 3 부분자율주행시스템의 안전기준에 따르면, 위험최소화운행이 수행되는 동안 운전자가 운전조작을 재개하지 않는 경우 자동으로 주행 차로 내에서 안전하게 정지시키도록 되어 있다.⁽⁴⁾ 레벨 4의 경우 운전자의 운전조작과 관계없이 운영설계영역에서는 기본으로 위험최소화조건으로 이행한다. 다만, 레벨 4가 주로 주행하게 될 도심도로에서는 충돌 사고가 발생할 가능성이 높고, 이 경우에는 자율자동차가 위험최소화조건으로 전환된 이후에도 충돌 충격에 의해 운전자가 반응하지 못할 수도 있다. 따라서 레벨 4 자율자동차의 경우 비상상황이라고 판단될 수 있는 조건에서는 협력주행을 위해 자체적으로 탑재하게 될 통신 단말기를 이용하여 비상 신호(emergency call)를 발신할 수도 있다.

3.2.3. 협력주행능력

레벨 3과 달리 레벨 4는 도심도로에서의 협력주행 능

력을 갖추고 있어야 한다. 이에 따라 주행 중에는 언제나 차대차(Vehicle to Vehicle) 또는 차대인프라(Vehicle to Infra)의 원활한 통신이 필요하다. 또한 통신 두절 상태에 대비하기 위하여, 시스템에 장착된 각종 센서로부터 자체적으로 확보한 영상 및 음향 신호를 기반으로 주변 환경을 충분히 인지할 수 있어야 한다. 차대차 또는 차대인프라 통신을 활용하여 데이터의 송수신에 항상 준비되어 있어야 하므로, 시스템의 사이버 보안이 큰 문제가 될 수 있다. 따라서 통신 단말기의 보안과 간섭을 실시간으로 점검할 수 있는 기능을 갖춰야 한다.

운영설계영역 내에 존재하는 통신 인프라 환경이 갖춰지지 않은 작은 도로에서 레벨 4 자율자동차가 어떻게 대처할 것인지도 이슈가 될 수 있다. 운영설계영역에서 배제함으로써 운전자에게 제어권 전환을 요청할 것인지, 아니면 자체적으로 통과할 수 있는 자율주행 알고리즘을 적용할 것인지에 따라 레벨 4 자율자동차의 성능이 크게 차이날 수 있다.

또한 협력주행에 문제가 발생할 수 있는 응급상황 대처 능력도 레벨 4 자율자동차의 특징적인 기능이 될 수 있다. 만약 차로 수가 적은 좁은 도로에서 접촉사고가 발생하여 차로의 일부만 사용할 수 있다면, 주위의 자동차와 우선순위를 결정하고 통과하는 방법이 매우 중요하다. 특히 자율주행시스템이 장착되지 않고 인간이 운전하는 일반 자동차와 어떻게 협력할 것인지에 대한 능력이 레벨 4의 자율주행능력을 평가하는 지표가 될 수 있다.

3.3. 레벨 4 자율주행시스템의 안전기준 고찰

자율주행자동차와 같은 신기술은 아직 발전 초기 단계에 있기 때문에 강력한 안전 기준을 제정하면 기술의 발

전을 저해할 수 있다. 따라서 자율주행자동차 기술을 선도하고 있는 미국이나 유럽은 유연한 방식의 프레임워크를 제시하고 있다.^(6,7) 하지만 3.2절에서 서술된 자율주행자동차의 특징적 기능들의 안전을 확보하기 위해서는, 기준에 대한 사전 논의가 필요하다.

Table 6은 본 연구에서 고려한 레벨 4 자율주행시스템의 대표 기능들을 정리하여 보여주고 있다. 이러한 기능들의 안전을 위해서는 우선 ① 도심도로 자율협력주행시스템의 성능에 대한 기준이 필요하다. 이는 2019년 12월에 제정된 레벨 3 부분자율주행시스템의 안전기준에 대한 [별표 27]의 ‘자동차로유지기능의 성능기준’과 유사하다. 하지만 레벨 3과는 달리 도심에서의 협력주행 성능기준이 포함되어야 하며, 상이한 제어권 전환요청에 따라 운전자와 시스템 간 상호작용, 위험최소화운행, 비상운행기준이 Table 6의 주요 기능을 포함해야 한다. 또 다른 기준으로는 ② 주행환경 모니터링에 대한 기준이 레벨 3보다 강화되어야 한다. 특히 운전자 대행 역할이 확장되고 위험상황 대처능력이 확대되므로, 이러한 기능의 안전을 확보할 수 있는 외부 주행환경 인식 능력에 대한 기준 마련이 필요하다.

레벨 4의 경우 Table 6에서 정리된 바와 같이 차대차 및 차대인프라 통신 환경이 필요하므로, ③ 외부와의 실시간 통신 성능에 대한 기준이 추가로 필요하다. 통신 관련 기준에는 일시적으로 통신이 두절되었을 때, 레벨 4 자율주행시스템의 안전 확보 기준도 함께 포함되어야 한다. 아울러 ④ 자율주행자동차를 지원하는 교통관제센터의 기준이 포함될 수도 있다.

도심도로에서 주행하는 레벨 4 자율자동차는 레벨 3에 비해 훨씬 복잡한 센서 시스템과 로직을 갖춰야 한다. 따라서 시스템에서 발생할 수 있는 ⑤ 고장을 자체적으로

Table 6 Characteristic functions of Level 4 automated driving system

	Characteristic functions
Driver replacement	<ul style="list-style-type: none"> • Ability to perceive patterned visual and sound signals • Ability to understand dynamic intentions of road participants • Safe shuttle function in the ODD
Emergency response	<ul style="list-style-type: none"> • Development of multiple MRC transfer methods to cope with various emergency situations • Ability to respond to accidents caused during automated driving • Emergency call function in the condition that the driver does not respond for a certain period of time after moving to MRC
Connected driving performance	<ul style="list-style-type: none"> • Readiness for data transfer using V2X(vehicle-to-vehicle or vehicle-to-infra) communication, and its cyber security • Connected driving capability in emergency situations with limited lanes • Harmonization on the road with cars driven by humans

진단할 수 있는 기술 여부에 대한 기준이 필요하다. 레벨 4 자동차의 주행 환경 특성상 작은 고장이 큰 사고로 이어질 수 있으므로, 고장의 종류별로 구분하고 경우에 따라서 안전 모드로의 전환 여부에 대한 기준이 고려되어야 한다. 고장 진단 기준과 함께 혹시 발생할 수도 있는 사고의 분석을 위하여, ⑥ 자동기록 장치에 대한 기준이 마련되어야 한다. 기록 장치는 자율주행자동차의 운전조건 뿐만 아니라 주변 환경의 모니터링 결과도 함께 포함될 필요가 있다.

4. 결 론

레벨 4 자율주행자동차의 안전기준 제안을 위한 선행 연구로서 자율주행자동차의 레벨 기준에 따른 차이점을 분석하고, 레벨 3 대비 레벨 4 자율자동차의 특징적인 기능들을 분류하였다. 또한 레벨 4가 갖는 기능들의 안전을 확보하기 위한 기준의 범주를 검토하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국제자동차공학회의 J3016 보고서가 제시한 자율주행자동차의 레벨 기준에 따르면 레벨 3 대비 레벨 4를 규정하는 가장 큰 특징은 동적주행작업 환경에서 위험상황대처를 사람이 아닌 자율주행시스템이 수행하는 것이다.
- 2) 레벨 3과 비교하여 레벨 4 자율주행시스템의 핵심 기능과 특성을 자율주행자동차의 과업, 운전자의 과업, 안전기준 제정에 대한 고려사항 측면에서 분석하였으며, 그 결과로부터 레벨 4 자율주행시스템의 특징적인 기능 사례를 운전자 역할 대행의 확장, 위험상황 대처능력의 확대, 협력주행능력 관점에서 분류하였다.
- 3) 레벨 4 자율주행시스템의 특징적인 기능에 대한 안전 확보 방법을 고찰한 결과에 의하면, ① 도심도로 자율협력주행시스템의 성능기준, ② 주행환경 모니터링에 대한 기준, ③ 외부 차량이나 인프라와의 실시간 통신 성능에 대한 기준, ④ 자율주행자동차를 지원하는 교통관제센터에 대한 기준, ⑤ 시스템의 고장 진단에 대한 기준, ⑥ 자동주행기록 장치에 대한 기준 등이 필요하다.

후 기

본 연구는 국토교통부 ‘도심도로 자율협력주행 안전·인프라 연구’ 사업의 연구비 지원(과제번호 20PQOW-B152473-02)에 의해 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) SAE Int., 2018, “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles”, Recommended Practice J3016 (Revised).
- (2) ERTRAC Working Group, 2017, “Automated Driving Roadmap”, Version 7.0.
- (3) Informal Working Group on Intelligent Transport Systems/Automated Driving, 2017, “A proposal for the Definitions of Automated Driving under WP.29 and the General Principles for developing a UN Regulation on automated vehicles”, UN/ECE/TRANS/WP.29/2017/145.
- (4) 첨단자동차기술과, 2019, “자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙: 제3절 자율주행시스템의 안전기준”, 국토교통부.
- (5) Phillips, T., 2019, “Infographic: How far away are self-driving cars”, Automotive iQ, (<https://www.automotive-iq.com/autonomous-drive/infographics/infographic-how-far-away-are-self-driving-cars>).
- (6) NHTSA, 2018, “Automated Vehicle 3.0: Preparing for the Future of Transportation”, US Department of Transportation.
- (7) ECE/TRANS/WP.1, 2019, “Guidelines on the Exemption Procedure for the EU Approval of Automated Vehicles”, UN.