

Localization Requirements for Safe Road Driving of Autonomous Vehicles

Sang-Hoon Ahn, Jong-Hoon Won[†]

Department of Electrical and Computer Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

ABSTRACT

In order to ensure reliability the high-level automated driving such as Advanced Driver Assistance System (ADAS) and universal robot taxi provided by autonomous driving systems, the operation with high integrity must be generated within the defined Operation Design Domain (ODD). For this, the position and posture accuracy requirements of autonomous driving systems based on the safety driving requirements for autonomous vehicles and domestic road geometry standard are necessarily demanded. This paper presents localization requirements for safe road driving of autonomous ground vehicles based on the requirements of the positioning system installed on autonomous vehicle systems, the domestic road geometry standard and the dimensions of the vehicle to be designed. Based on this, 4 Protection Levels (PLs) such as longitudinal, lateral, vertical PLs, and attitude PL are calculated. The calculated results reveal that the PLs are more strict to urban roads than highways. The defined requirements can be used as a basis for guaranteeing the minimum reliability of the designed autonomous driving system on roads.

Keywords: autonomous driving system, requirements, safety, integrity

1. INTRODUCTION

운전자 또는 승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자율주행차에 탑재되는 자율주행 시스템은 인지, 판단, 제어의 3단계를 거쳐 동작하고, Intelligent Transport System (ITS), Vehicle to Everything (V2X) communication 등의 인프라를 통해 주행 성능 및 안정성이 향상될 수 있다. 또한, 인프라와의 송수신 기술을 통해 자율차에 필요한 정보를 감지, 분석, 관리할 수 있다 (Hong 2015).

국제자동차공학회(SAE)는 조향 및 가·감속 제어능력, 주행환경 모니터링 능력, Dynamic Driving Task (DDT) 환경에서 위험 상황 대처능력, Operational Design Domain (ODD) 범위 등을 기준으로 자율주행 시스템의 기술 수준을 5개 레벨로 분류한다 (SAE 2021). 그러나 이 분류법은 정성적인 관점에서 바라본 측면이 있

으며, 안전기준을 포함한 법적인 요소에 대한 정의가 부족해 보완 연구가 필수적이다 (ERTRAC 2017, Lee et al. 2020).

국내에서는 국토교통부 산하 자동차 안전연구원을 주축으로 이에 대한 기초연구가 수행되고 있으며, 해외의 경우 'Euro-NCAP 2025 ROADMAP (ZERO 2017)'를 통해 점진적으로 안전한 자율주행을 위한 구체적인 시험 평가 및 절차가 개발되고 있다.

그간 자율주행 시스템에 대한 안전성 평가는 Advanced Driver Assistance System (ADAS) 요소 기술인 Autonomous Emergency Braking (AEB), Adaptive Cruise Control (ACC), Lane Keeping Assist System (LKAS)에 한 개별 안정성 평가가 진행되었으며, Euro NCAP 및 International Standard Organization (ISO)에서 각 기능 모듈별로 성능 테스트에 필요한 작동 범위 및 테스트 시나리오를 정의하였다 (Euro NCAP 2021). 각 기능 모듈 별 평가 규정 예로 ACC와 ABS는 차량의 주행 속도에 차이를 두어 이를 사전 제약조건으로 정의한다. 그 후 장애물 및 타겟에 대한 거동을 다양하게 발생시켜 조건에 따라 자차의 반응이 안전한 거동을 수행하는지를 평가한다. 평가 항목으로는 Time To Collision (TTC), 감속도, 충돌 유/무 등 주로 자율주행 시스템의 측위 성능으로 풀이가 가능한 항목에 관한 평가를 진행한다. 이는 LKAS도 마찬가지이며, LKAS는 곡선 및 직선구간에서 속도 제약조건을 정의한 뒤 자차의 가속, 정속주행 시 LKAS 기능이 차

Received Oct 17, 2022 Revised Oct 26, 2022 Accepted Oct 27, 2022

[†]Corresponding Author

E-mail: jh.won@inha.ac.kr

Tel: +82-32-860-7406

Sang-Hoon Ahn <https://orcid.org/0000-0002-9308-7349>

Jong-Hoon Won <https://orcid.org/0000-0001-5258-574X>

SAE Level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver Monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by <i>waring of intervention systems</i>	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the drivin environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system")monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Fig. 1. Summary of level of autonomy defined by SAE international in J3016 (SAE 2014).

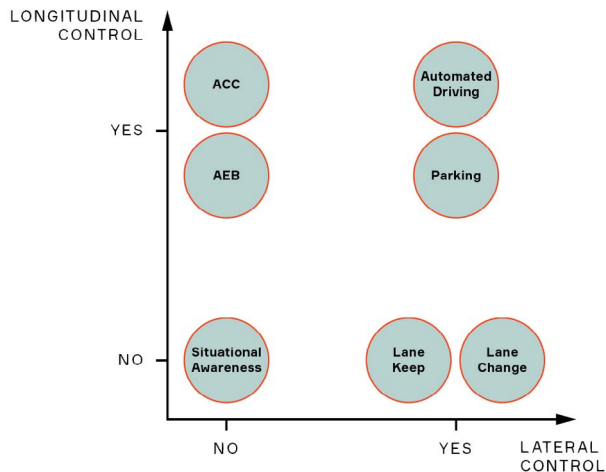


Fig. 2. Classification of ADAS from a control system perspective (Mobility insider 2020).

선의 이탈 유/무로 안정성 평가를 수행한다 (Lim et al. 2017).

소개한 ACC, ABS, LKAS는 Fig. 1의 자율주행 레벨 구분으로 본다면 자율주행 Lv.2에 속하는 ADAS이며, 이보다 더 복잡한 ODD가 정의된 자율주행 ADAS는 Lv.3 이상으로 두 시스템은 Automatic Driving System (ADS)가 모든 DDT 작업을 수행한다는 근본적인 차이가 존재한다 (SAE 2014). 그 이후의 Lv.3에서 Lv.5에 속하는 ADAS는 ODD 영역에 관한 차이만 존재하기에 Lv.2에서 발전한 Lv.3 ADAS를 설계하고 기능의 무결성을 입증하는 것이 자율차의 발전 단계에 있어 가장 어려운 단계에 속한다.

이때, 높은 자동화 수준에 속하는 ADAS는 차량의 제어시스템 관점에서 바라본다면 Fig. 2와 같이 낮은 자동화 수준의 ADAS가 온전히 동작하는 것을 전제조건으로 두고 있다. 즉, 높은 자동화 수준의 ADAS는 그 이하 레벨의 ADAS가 모두 무결하게 기능해

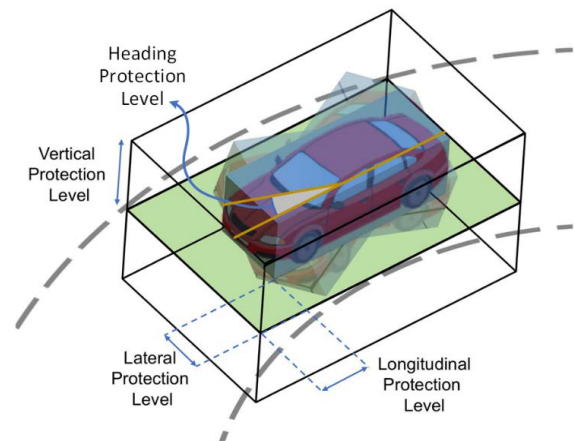


Fig. 3. Definition of localization protection levels for automotive applications (Reid et al. 2019).

Table 1. Specifications by road type in Korea.

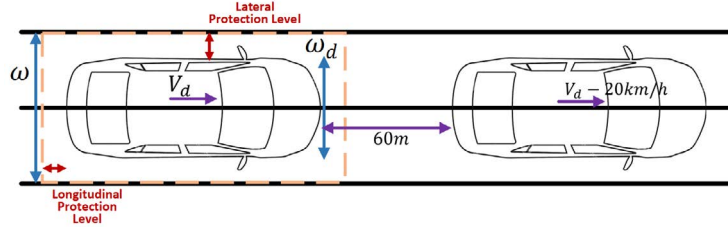
	Design speed (km/h)			Design lane width (m)
	Maximum	Average	Minimum	
Highway	120	100	80	3.50
Local road	80	60	40	3.25

야 한다. 따라서 높은 자동화 수준 ADAS의 설계 요구사항을 정의하는데 하부 ADAS 모듈의 요구사항을 차용하는 것이 가능하다. 따라서 논문에서는 하부 ADAS 모듈 중 Fig. 2에서 표기된 자율차 시스템에 있어 종방향 및 횡방향제어 정도를 평가하는데 주요하게 사용되는 ACC, AEB, LKAS의 지역화 성능 요구사항을 기반으로 높은 자동화 수준의 ADAS의 측위 요구사항 지표를 제안하고자 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 국내 ADS 안정성 평

Table 2. Specifications by vehicle type in Korea.

	Width (m)	Height (m)	Length (m)	Well base (m)	Front over hang (m)	Rear over hang (m)	Minimum turning radius (m)
Passenger car	1.7	2.0	4.7	2.7	0.8	1.2	6.0
Compact car	2.0	2.8	6.0	3.7	1.0	1.3	7.0
Full-size sedan	2.5	4.0	13.0	6.5	2.5	4.0	12.0
Semi-trailer	2.5	4.0	16.7	Front: 4.2 Rear: 9.0	1.3	2.2	12.0

**Fig. 4.** Bounding box geometry in a straight road.

가 규정과 ISO 정의 문서를 바탕으로 ADAS 기능이 국내 도로환경에서 안전하기 기능하기 위한 지역화 성능 요구사항을 설계한다. 지역화 성능 요구사항은 Horizontal, Vertical, Attitude 세가지 항목으로 나뉘며 각각 차량의 Protection Level (PL)을 산출한다. ACC, AEB, LKAS 평가방식이 기술된 ISO 정의 문서에는 평가를 위한 주행 시나리오 설명이 있으며, 해당 시나리오에 국내 도로 구조 및 시설 기준에 관한 규칙을 적용, 국내 상용화를 목적으로 한 자율주행 차량 및 시스템에 적합한 PL을 제시한다. 3장은 결론으로 위 제시한 세부 PL을 국내 고속도로 및 지방도로의 중위 주행속도를 기준으로 요약 후 설계한 PL에 대한 적용 범위 및 향후계획에 대해 기술한다.

2. DEFINING AUTONOMOUS DRIVING SYSTEM REQUIREMENTS

2.1 Overview of National Requirements Definition of Korea

국내의 자율주행 차량의 운행 요건 및 시험운행의 규정 및 절차는 「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」과 「자율주행자동차의 안전운행요건 및 시험운행 등에 관한 규정」을 근거로 자율주행 임시운행 면허 발급 및 안정성 평가가 수행되고 있다. 이 중 세부규정인 시험운행 확인 방법 및 기준에는 자율주행 차량의 안정성 및 시스템 신뢰도를 총 6가지 모드로 나누어 평가할 것과 기준에 대해 기술하고 있으며, 평가기준을 요약한다면 ADAS 기능 중 AEB, ACC, LKAS가 6가지 모드로 확장된 ODD 범위 내에서 정상적으로 동작 가능한가로 볼 수 있다. 즉, 전방 차량 혹은 장애물과의 충돌 유/무와 차선 이탈 유/무로 시스템의 안정성을 평가할 수 있기에 평가 기준을 Fig. 3과 같이 3차원 경계 상자 내의 PL (Heading PL, Vertical PL, Lateral PL, Longitudinal PL)로 정의할 수 있다. 위 4가지 PL은 언급한 ADAS (AEB, ACC, LKAS) 기능이 온전하게 기능하기 위한 최소 측위 성능 영역이다.

위에서 정의한 PL은 자율차가 어느 지역에서 운용되는지에 따라 영향을 받는다. 국내의 고속도로 및 지역도로 운용을 목적으로 한 자율주행 시스템은 국내 도로 현황을 반영하여 PL을 정의해야 하기에 국토교통부에서 고시한 설계기준과 도로 설계속도를 Tables 1, 2로 정리 및 참조하여 PL의 설계 근거자료로 활용하였다.

2.2 Horizontal Protection Level

Longitudinal PL과 Lateral PL을 함께 설계하기 위한 Horizontal PL은 도로 기하학 구조가 직선도로(Straight road), 곡선도로(Curve)인지에 따라 다르게 설계해야 한다. 이는 직선도로는 ADAS - AEB (ISO 22733 2021)와 ACC (ISO 15622 2018)의 Straight road capability test를 충족해야 하나, 곡선도로는 ADAS - ACC 및 LKAS (ISO 11270 2014)의 Curve capability test를 만족해야 하기 때문이다. 따라서 도로 형상별로 나누어서 Horizontal PL을 계산한다.

2.2.1 Horizontal protection level in straight road

직선도로에서의 Horizontal PL을 ADAS - AEB와 ACC의 Straight road capability test를 만족하기 위하여 Fig. 4와 같이 도로 기하학 변수 중 차로 폭 ω 와 설계 기준 차량 폭 ω_d 의 상관관계를 활용한 상황을 설계한다. 위 상황에서 Straight road capability test 기준을 충족하기 위해 자율주행 차량 주행속도 v_d 와 중력가속도 g , Perception-Identification-Emotion-Volition (P.I.E.V) t , 노면과 타이어 간의 미끄럼 마찰 계수 f 를 고려해 Eqs. (1, 2)를 설계한다 (ISO 15622 2018, ISO 22733 2021).

$$\text{Lateral PL} = (\omega - \omega_d)/2 \quad (1)$$

$$\left\{ \left(\frac{v_d}{3.6} t + \frac{v_d^2}{2 \times g \times f \times (3.6)^2} \right) - \left(\frac{(v_d - 20)^2}{2 \times g \times f \times (3.6)^2} \right) \right\} \quad (2)$$

Table 3. Lateral & longitudinal PL requirements for local roads and highways in straight road.

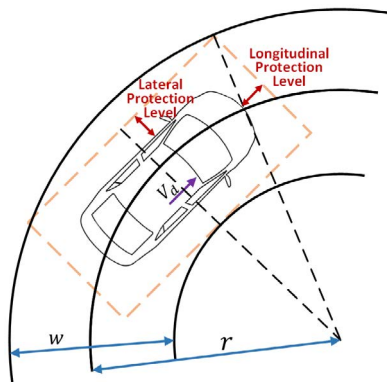
			Longitudinal PL		
			Maximum design speed (m)	Average design speed (m)	Minimum design speed (m)
Passenger car	Highway	0.90	33.35	38.12	42.89
	Local road	0.78	42.89	47.66	52.43
Compact car	Highway	0.75	33.35	38.12	42.89
	Local road	0.63	42.89	47.66	52.43

Table 4. Lateral & longitudinal PL requirements for highways in curve.

		Design speed: 120 km/h		Design speed: 100 km/h		Design speed: 80 km/h	
Superelevation (%)		Lat. PL (m)	Lon. PL (m)	Lat. PL (m)	Lon. PL (m)	Lat. PL (m)	Lon. PL (m)
Passenger car	6	0.894	1.768	0.891	1.771	0.885	1.776
	7	0.894	1.769	0.890	1.772	0.884	1.776
	8	0.893	1.769	0.890	1.772	0.883	1.778
Compact car	6	0.744	1.248	0.740	1.251	0.734	1.256
	7	0.743	1.248	0.740	1.251	0.733	1.256
	8	0.743	1.249	0.739	1.251	0.732	1.257

Table 5. Lateral & longitudinal PL requirements for local road in curve.

		Design speed: 80 km/h		Design speed: 60 km/h		Design speed: 40 km/h	
Superelevation (%)		Lat. PL (m)	Lon. PL (m)	Lat. PL (m)	Lon. PL (m)	Lat. PL (m)	Lon. PL (m)
Passenger car	6	0.762	1.478	0.749	1.489	0.714	1.517
	7	0.761	1.479	0.748	1.490	0.709	1.521
	8	0.760	1.479	0.747	1.490	0.702	1.526
Compact car	6	0.612	0.884	0.598	0.895	0.563	0.923
	7	0.611	0.884	0.597	0.896	0.557	0.927
	8	0.610	10.895	0.596	0.897	0.550	0.933

**Fig. 5.** Bounding box geometry in curve.

여기서 P.I.E.V는 통신 지연시간을 고려하여 0.15 s로 가정하며 (Lee & Park 2014), 미끄럼 마찰계수는 자율주행 시스템이 탑재되는 대상 차량을 승용 및 승용차로 한정해 0.8을 적용한다 (Jung et al. 2017).

직선도로의 고속도로 및 일반도로 주행환경에서 Lateral PL과 Longitudinal PL은 Table 3과 같이 정리할 수 있다. Lateral PL의 경우 차로 폭 w 가 고속도로 및 지방도로가 각각 3.5 m, 3.25 m이고, 설계 기준으로 사용한 승용차와 준중형 승용차의 폭 w_d 가 각각 1.7 m, 2.0 m이기에 Eq. (1)에 따라 결과값을 산출할 수 있다. 차량 폭이 넓은 준중형 승용차가 지방도로를 주행할 시 Lateral PL이 가장 엄격하게 산출됨을 알 수 있다. 다음으로 Longitudinal PL의 경우 Eq. (2)에서 차량 폭이 활용되지 않기에 차중에 무관하

게 Longitudinal PL을 설계할 수 있다. 설계속도는 고속도로의 경우 120~80 km/h를, 지방도로는 80~40 km/h를 20 km/h 단위로 적용하였다. 계산 결과 Longitudinal PL은 설계 속도가 낮은 경우 일수록 넓은 영역이 PL에 속함을 알 수 있다.

2.2.2 Horizontal protection level in curve

곡선구간에서의 Lateral & Longitudinal PL은 ACC, LKAS 평가 시나리오 중 Curve capability test를 만족시켜야 하며, 도로 기하학 구조 중 편경사 설계정보와 도로 평면곡선 반지름 설계정보를 활용한다. 이때 적용되는 수식은 Horizontal Protection Level in Straight road와 동일하나 도로 기하학은 Fig. 5로 달라진 환경에서 설계를 진행한다.

편경사 정보 및 도로 평면곡선 반지름 정보를 활용하여 Tables 4, 5를 계산할 수 있다. 도로구조에서 편경사는 주행 승차감과 운전자의 안전 및 결빙으로 인한 미끄럼 방지 등으로 인해 법령상으로 편경사의 최소 최대 범위를 6~8%로 좁게 규정하고 있다. 이는 편경사가 차량의 주행환경에 끼치는 영향을 최소화하기 위한 것으로 곡선구간에서의 Longitudinal PL은 도로 설계속도에 주요한 영향을 받는다.

2.3. Attitude Protection Level – Heading

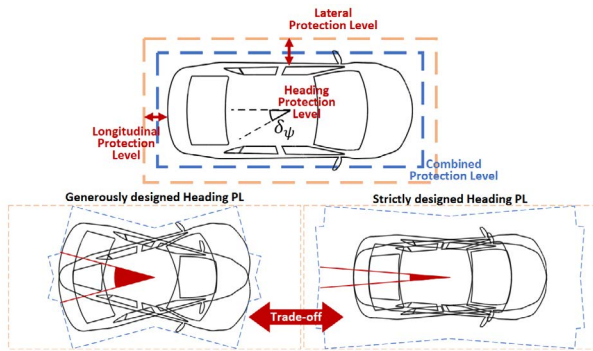
자율주행 시스템의 Attitude PL을 설계하는데 있어 주요한 영향인자는 Yaw, Yaw rate, Side slip angle 등이다 (Cho et al. 2007). 위 인자들 중 평상시의 주행안정성에 영향을 주는 인자

Table 6. Localization requirements for highway in Korea.

	Design speed: 120 km/h		Design speed: 100 km/h		Design speed: 80 km/h		Head PL (degree)
	Lat _{com} PL (m)	Lon _{com} PL (m)	Lat _{com} PL (m)	Lon _{com} PL (m)	Lat _{com} PL (m)	Lon _{com} PL (m)	
Passenger car	0.786	1.723	0.782	1.726	0.776	1.731	1.5
Compact car	0.632	1.203	0.628	1.205	0.622	1.211	1.5

Table 7. Localization requirements for local road in Korea.

	Design speed: 100 km/h		Design speed: 80 km/h		Design speed: 60 km/h		Head PL (degree)
	Lat _{com} PL (m)	Lon _{com} PL (m)	Lat _{com} PL (m)	Lon _{com} PL (m)	Lat _{com} PL (m)	Lon _{com} PL (m)	
Passenger car	0.728	1.465	0.715	1.476	0.675	1.507	0.5
Compact car	0.577	0.885	0.563	0.882	0.523	0.914	0.5

**Fig. 6.** Heading PL definition and trade-off relationship between heading PL and horizontal PL.

는 Yaw로 대부분의 차량 제어기는 차량 횡방향 안전성을 향상시키는데 집중하여 시스템을 설계한다. 따라서 Attitude PL의 Yaw, Pitch, Roll 항목 중 Yaw (Heading) 항목에 대한 PL 설계를 수행한다.

Heading PL은 Fig. 6으로 표현했듯이 Horizontal PL와 Trade-off 관계에 놓여 있으며, Heading PL 기준을 여유롭게 적용하면, Fig. 6의 combined PL 경계 상자가 작아져 이로 인한 Horizontal PL의 기준이 엄격 해진다. 따라서 적절한 Heading PL의 설계로 Horizontal PL의 마진을 확보해야 한다. 이때, ADAS - LKAS 기능의 성공 실패 판별요인으로는 차선 이탈을 주요하게 보고 있으며, 작동 제한 조건으로 차선 유지 동작 중 횡방향 가속도 및 가속도(jerk) 값이 각각 3 m/s^2 , 5 m/s^3 을 넘지 않는 것을 정의하고 있다 (ISO 11270 2014). 논문에서 제안하는 Lateral PL은 LKAS 기능의 전제조건에 속하며, Heading PL은 LKAS의 제한 조건을 반영하기에 좀 더 critical 요구사항에 속한다. 따라서 Heading PL보다 Lateral PL이 더 여유로운 마진을 갖을 수 있도록 Fig. 6의 엄격하게 설계한 Heading PL 조건에 가깝도록 각 PL을 설계한다.

Trade-off 관계를 고려하지 않은 상태의 Horizontal PL 경계 상자를 $X=[x,y,z]^T$ 라 정의한다면 Trade-off 관계를 고려한 경계 상자는 $X'=[x',y',z']^T$ 로 나타낼 수 있다. 두 bound box 사이의 관계식은 회전행렬 R을 사용하여 Eqs. (3-5)로 정리할 수 있다. Heading PL을 설계하기 위한 Heading 한계 각도는 $\delta\psi$ 이며, Lateral PL과 Longitudinal PL은 수식의 편의를 위해 각각 δ_{lat} , δ_{lon} 으로 표기한다.

**Fig. 7.** Height limit clearance.

$$X = R(\pm\delta\psi)X' \quad (3)$$

$$R(\pm\delta\psi) = \begin{bmatrix} \cos(\pm\delta\psi) & -\sin(\pm\delta\psi) \\ \sin(\pm\delta\psi) & \cos(\pm\delta\psi) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_d + 2\delta_{lat} \\ l_d + 2\delta_{lon} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 Trade-off 관계를 가장 높게 반영하면 $\pm\cos(\pm\delta\psi) \rightarrow 1$, $\pm\sin(\pm\delta\psi) \rightarrow \delta\psi$ 로 근사화가 가능하며, 이를 활용하여 Eqs. (6, 7)과 같이 Trade-off를 반영한 Lat_{com} PL, Lon_{com} PL의 범위를 산출할 수 있다.

$$X' = \begin{bmatrix} 1 & -\delta\psi \\ \delta\psi & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \delta_{lat} &\geq \text{Lat}_{\text{com}} \text{ PL} \geq \delta_{lat} - (\delta_{lon} + l_d/2)\delta\psi \\ \delta_{lon} &\geq \text{Lon}_{\text{com}} \text{ PL} \geq \delta_{lon} - (\delta_{lat} + \omega_d/2)\delta\psi \end{aligned} \quad (7)$$

Heading PL은 Reid et al. (2019)의 경우 주행안정성과 승차감을 고려하여 고속도로 1.5°, 일반도로 0.5°를 권장하고 있다. 이를 적용하여 편경사 7% 상황에서의 곡선 주행구간에서 Lat_{com} PL, Lon_{com} PL, Head PL은 Tables 6, 7과 같다.

2.4. Vertical Protection Level

자율주행 시스템의 요구사항 PL 중 Vertical PL은 Fig. 7과 같이 고가도로 혹은 상부 구조물로 인하여 높이 제한이 발생한 저층부 도로주행시 차량이 몇 번째 층을 주행하는지 파악하는 요소로 활용된다. 국내 도로 기하학의 차도 시설한계 높이는 4.5 m 이상으로 규정하고 있으나 집산도로 혹은 국지도로의 지형 상황 등으로 인해 부득이한 경우 4.2 m, 소형차도 혹은 대형자동차

Table 8. Localization requirements in Korea.

	Highway - 100 km/h		Local road - 80 km/h		Head PL		Vertical PL (m)
	Lat _{com} PL (m)	Lon _{com} PL (m)	Lat _{com} PL (m)	Lon _{com} PL (m)	Highway (degree)	Local road (degree)	
Passenger car	0.782	1.726	0.675	1.507	1.5	0.5	1
Compact car	0.628	1.205	0.523	0.914			

의 교통량이 현저히 적고 대형자동차가 우회가 가능한 경우에는 3 m까지 허용하고 있다. Reid et al. (2019)와 Rehl & Gröchenig (2021)은 수직기준 안정성의 확보는 잠재적 모호성을 제거하기 위해 시설한계 높이에 임의 계수 K 를 곱하여 모호성의 제거를 제안하고 있다. 이를 수식으로 표현하면 Eq. (8)과 같다.

$$\text{Vertical PL} = \text{min. vertical clearance} \times K \quad (8)$$

최소 시설한계 높이는 3 m이고 논문에서는 K 를 보수적으로 산정하여 0.33을 Eq. (8)에 적용, Vertical PL을 1 m로 제안하고자 한다.

3. CONCLUSIONS

자율주행 시스템에 있어 측위 성능 요구사항은 해당 시스템이 탑재된 차량의 신뢰성 및 안정성을 입증하는데 주요한 요소로 작용한다. 이에 자율주행 시스템의 지역화 기능을 담당하는 항법 모듈은 지원 인프라와 ADS가 제어하는 센서를 통해 고도화하는 방안에 대한 연구는 그간 많이 진행되었으나, 최소 안정성 및 정확도에 대한 설계 기준이 모호하여 시스템 설계비용이 과 투자되는 경향이 종종 발생한다.

본 논문에서는 ADAS 평가기준을 근거로 최소 안정성 및 정확도에 대한 PL 설계를 진행하였다. 선정된 ADAS는 자율주행 시스템에 있어 자율주행 레벨 Lv.0~2에 속하는 낮은 자동화 수준의 기능 모듈이나 ISO 및 NCAP 등과 같이 여러 단계에서 명확한 안정성 평가 기준을 제시하여 이에 따른 PL 설계 근거를 수집하기 용이한 점이 있다. 또한, Lv. 3~5에 속하는 높은 자동화 수준의 ADAS도 위 낮은 자동화 수준의 기능 모듈 ADAS에서 정의한 ODD 범위에서 자율주행 시스템이 안정적으로 작동하는 것을 기초로 하기에 High-Level ADAS의 확장된 ODD 범위에서도 설계한 PL을 적용하는 것이 가능하다.

논문에서 설계한 Fig. 2의 4가지 세부 PL (Heading PL, Vertical PL, Lateral PL, Longitudinal PL)을 국내 고속도로 및 지방도로의 중위 주행속도를 기준으로 요약하면 Table 8과 같다. 세부 PL의 중요도를 본다면 Lateral PL과 Longitudinal PL은 각각 LKAS와 ACC&AEB의 기능 전제조건에 속하는 차로 유지와 전방 장애물 거리 유지 및 충돌 방지에 속한다. 따라서 해당 PL을 최 우선적으로 중요하게 준수해야 하며, 다음으로 Heading PL은 LKAS의 기능 제한조건에 속하며, 차량의 승차감과 연관되기에 그 다음으로 중요하게 생각해야 한다. Vertical PL은 ADAS 정의에서는 별도로 언급되지 않는 수직 조건 정확도에 대한 요구사항이며, 다층 구조의 도로를 주행하는 특수한 환경에 대한 대응조건에 속한다. 따라서 Vertical PL은 타 PL과는 연관성이 적은 측면이 있어 중요

도를 판별하기 어려운 측면이 있다.

위 PL별 중요도를 고려하여 설계한 요구사항은 자율주행 시스템의 항법기능에 집중하여 설계했기에 추후 연구를 통하여 시스템의 안정도 및 무결성의 보장에 더 엄격한 평가기준을 도입하여 발전시켜 나가고자 한다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Korea Institute of Police Technology (KIPoT) grant funded by the Korea government (KNPA) (No.092021D75000000).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ahn S. H. & Won, J. H. contributed to the design and implementation of the research, to the analysis of the results and to the writing of the manuscript. Conceptualization, Ahn S. H. and Won J. H.; methodology, Ahn S. H. and Won J. H.; software, Ahn S. H.; hardware, Ahn S. H.; validation, Ahn S. H. and Won J. H.; formal analysis, Ahn S. H. and Won J. H.; investigation, Ahn S. H.; resources, Ahn S. H. and Won J. H.; data curation, Ahn S. H.; writing—original draft preparation, Ahn S. H.; writing—review and editing, Ahn S. H. and Won J. H.; visualization, Ahn S. H.; supervision, Won J. H.; project administration, Won J. H.; funding acquisition, Won J. H.

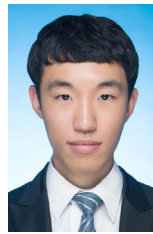
CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Cho, W. K., Yi, K. S., & Yoon, J. Y. 2007, Unified Chassis Control for Improvement of Vehicle Lateral Stability. In Proceedings of the KSME Conference, The Korean Society of Mechanical Engineers, May 30, 2007, Busan, Korea, pp.1126-1131. [https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=NPAP08306982&dbt=NPAPERTRAC Working Group 2017, Automated Driving Roadmap, \[Internet\], cited 2017, available from https://www.](https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=NPAP08306982&dbt=NPAPERTRAC Working Group 2017, Automated Driving Roadmap, [Internet], cited 2017, available from https://www.)

- ertrac.org/uploads/images/ERTRAC_Automated_Driving_2017.pdf
- Euro NCAP 2021, Euro NCAP AEB Test Protocol, [Internet], cited 2021, available from <https://cdn.euroncap.com/media/62794/euro-ncap-aeb-c2c-test-protocol-v303.pdf>
- Hong, Y. S. 2015, Functional and safety evaluation methods of autonomous vehicles, Monthly KOTI Magazine on Transport, 213, 13-18. <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06589187>
- ISO 11270. 2014, Intelligent transport systems - Lane keeping assistance systems (LKAS) - Performance requirements and test procedures, [Internet], cited 2014, available from <https://www.iso.org/standard/50347.html>
- ISO 15622. 2018, Intelligent transport systems-adaptive cruise control systems-performance requirements and test procedures, [Internet], cited 2018, available from <https://www.iso.org/standard/71515.html>
- ISO 22733. 2021, Road vehicles-Test method to evaluate the performance of autonomous emergency braking systems, [Internet], cited 2021, available from <https://www.iso.org/standard/73761.html>
- Jung, S. W., Moon, Y. J., Lee, S. Y., & Hwang, K. Y. 2017, Impacts of Automated Vehicles on Traffic Flow Changes. The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 16, 244-257. <https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.6.244>
- Lee, G. G., Yong, B., & Woo, H. 2020, A Study on Functions and Characteristics of Level 4 Autonomous Vehicles, Journal of Auto-vehicle Safety Association, 12, 61-69. <https://doi.org/10.22680/kasa2020.12.4.061>
- Lee, S. K. & Park, S. Y. 2014, Estimation of PIEV (Perception-Identification-Emotion-Volition) on Unlit Highway by Driving Simulator, In Proceedings of the Korea Contents Association Conference, June 26-28, 2014, Jeju, Korea, pp.243-244. <http://www.koreascience.or.kr/article/CFKO201431749164013.j>
- Lim, H., Chae, H., Lee, M., & Lee, K. 2017, Development and Validation of Safety Performance Evaluation Scenarios of Autonomous Vehicle based on Driving Data, Journal of Auto-vehicle Safety Association, 9, 7-13. <https://doi.org/10.22680/KASA.2017.9.4.007>
- Mobility insider 2020, What Are the Levels of Automated Driving?, 2020, [Internet], cited 2020, available from <https://www.aprive.com/en/insights/article/what-are-the-levels-of-automated-driving>
- Rehrl, K. & Gröchenig, S. 2021, Evaluating Localization Accuracy of Automated Driving Systems, Sensors, 21, 5855. <https://doi.org/10.3390/s21175855>
- Reid, T., Houts, S., Cammarata, R., Mills, G., Agarwal, S., et al. 2019, Localization Requirements for Autonomous Vehicles, SAE Intl. J CAV, 2, 173-190. <https://doi.org/10.4271/12-02-03-0012>
- SAE 2014, Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. Publication J3016_201401. Society of Automotive Engineers, [Internet], cited 2014, available from https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/
- SAE 2021, Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles-. Publication J3016_202104. Society of Automotive Engineers, [Internet], cited 2021, available from https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/
- ZERO 2017, Euro NCAP 2025 roadmap, In pursuit of vision, [Internet], cited 2017, available from <https://cdn.euroncap.com/media/30700/euroncap-roadmap-2025-v4.pdf>



Sang-Hoon Ahn is M.S., Ph.D., Combined M.S., Ph.D. of the Autonomous Navigation Laboratory at Inha University, Korea. He received B.S. degree from the same university in 2017. His research interests are autonomous driving.



Jong-Hoon Won received the Ph.D. degree in the Department of Control Engineering from Ajou University, Korea, in 2005. After then, he had worked with the Institute of Space Application at University Federal Armed Forces (UFAF) Munich, Germany. He was nominated as Head of GNSS Laboratory in 2011 at the same institute, and involved in lectures on advanced receiver technology at Technical University of Munich (TUM) since 2009. He is currently an associate professor of the Department of Electrical Engineering at Inha University. His research interests include GNSS signal design, receiver, navigation, target tracking systems and self-driving cars.

