

〈응용논문〉

## 라이다 센서 기반 차량 측면 충돌 회피 시스템 개발

김 동 주<sup>1)</sup> · 김 문 식<sup>\*2)</sup>국립공주대학교 기계공학과<sup>1)</sup> · 국립공주대학교 지능형모빌리티공학과<sup>2)</sup>

## Development of a LiDAR Based Side Collision Avoidance System for Vehicles

Dongju Kim<sup>1)</sup> · Moonsik Kim<sup>\*2)</sup><sup>1)</sup>School of Mechanical Engineering, Kongju National University, Chungnam 31080, Korea<sup>2)</sup>Department of Intelligent Mobility Engineering, Kongju National University, Chungnam 31080, Korea

(Received 4 August 2025 / Revised 25 August 2025 / Accepted 27 August 2025)

**Abstract** : Blind spot detection(BSD) is a core function of advanced driver assistance systems(ADAS). It is designed to alert drivers to vehicles in side and rear blind zones. However, conventional BSD systems that rely on radar or ultrasonic sensors have limited fields of view(FoV), thus significantly restricting their ability to detect laterally approaching vehicles. This often results in sideswipe collisions, particularly involving vehicles in adjacent lanes. To address this challenge, this paper has proposed a LiDAR-based side collision avoidance(SCA) system to enhance lateral perception in driver assistance systems. The system estimates the time to side collision(TTSC) by analyzing relative lateral distance and velocity based on LiDAR point cloud data. Guided by the estimated TTSC, it could dynamically switch between two control modes: pre-collision avoidance(Pre-CA) and collision avoidance(CA). To validate the proposed method, a software-in-the-loop simulation(SILS) environment was developed, and a set of lane-change scenarios was designed to assess its ability to detect potential side collisions and perform evasive maneuvers.

**Key words** : Blind spot detection(사각지대 검출), LiDAR sensor(라이다 센서), Side collision avoidance(측면 충돌 회피), Time to side collision(측면 충돌 소요 시간), Advanced driver assistance systems(첨단 운전자 보조 시스템)

## 1. 서론

차량 교통 사고 유형 중 두 차량이 측면끼리 충돌하는 Sideswipe 사고는 차량의 좌우 측면에 존재하는 사각지대가 주요 원인이다. 이 유형의 사고는 두 차량이 동시에 같은 차로로 차로 변경을 하거나 차로가 병합되는 상황에서 빈번하게 발생한다. 미국 도로 교통 안전국인 NHTSA에서 발행한 연간 교통 안전 실태 보고서에 의하면, Sideswipe 사고가 전체 사고 수인 580만 건의 6%를 차지하는 것을 Fig. 1을 통해 알 수 있다.<sup>1)</sup> Sideswipe 사고는 다른 사고 유형에 비해 상대적으로 적은 비율을 차지하나, 고속주행 환경에서의 측면 충돌은 차량의 횡방향 안정성이 급격하게 악화되어 심각한 피해를 초래할 수 있다.

이에, 차량의 측후방 사각지대 영역에 존재하는 장애물을 검출하여 충돌 위험성을 경고하는 BSD(Blind Spot Detection) 시스템이 개발되었다. BSD 시스템은 ADAS(Advanced Driver Assistance Systems)의 일종으로, 측후방으로부터 접근하는 타 차량을 감지하고, 충돌 위험을 판단하여 운전자에게 청각적 또는 시각적으로 경고를 하는 시스템이다. 기존의 BSD 시스템은 주로 레이더나 초음파 센서를 기반으로 구현되어 왔으며, ISO 17387에 명시된 사각지대 영역을 중심으로 감지 기능을 수행하였다.<sup>2)</sup> 그러나, Fig. 2에 도시된 바와 같이, 센서의 FoV(Field of View) 제한으로 인한 위험 영역이 존재하며, 횡방향으로 접근하는 차량에 대해 인지가 어려운 한계점을 갖는다. BSD 시스템과 관련된 다양한 연구들이 진행

\* A part of this paper was presented at the KSAE 2023 Fall Conference and Exhibition

<sup>\*</sup>Corresponding author, E-mail: mskim2@kongju.ac.kr<sup>\*</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

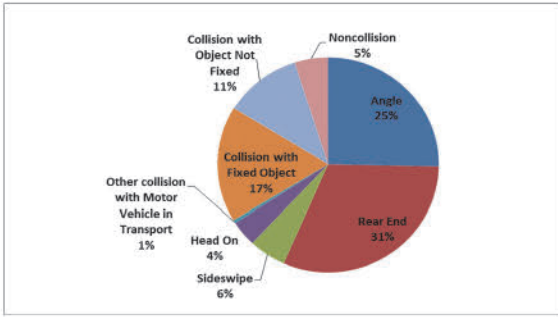


Fig. 1 Relative occurrence of accident types reported by NHTSA

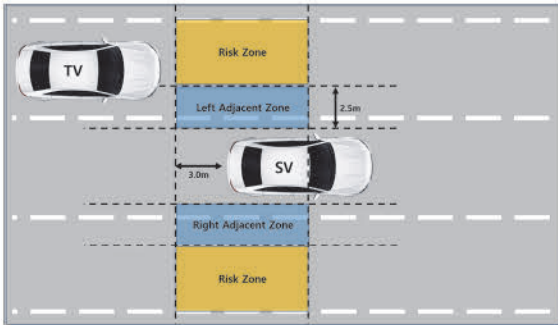


Fig. 2 Diagram of BSD sensing zones and risk areas

되어 왔지만, 대부분 지속적인 객체 추적이나 실시간 충돌 회피 판단 기능이 미비한 경우가 많았다. 특히, 인접 차로 너머에서 차로 변경을 시도하는 차량까지 감지하는 기능은 대부분의 시스템에서 고려되지 않았다.<sup>3-7)</sup>

따라서, 본 논문에서는 차량의 측면 사각지대 문제를 극복하기 위해 라이다 센서 기반의 SCA(Side Collision Avoidance) 시스템을 제안한다. SCA 시스템은 최근 자율 주행 분야에서 널리 활용되고 있는 라이다 센서를 활용하여 횡방향으로 접근하는 주변 차량 정보를 검출한다.<sup>8)</sup> 검출한 정보를 기반으로 측면 충돌 소요 시간을 계산하고, 충돌 위험도를 판단하여 차량 간 측면 충돌을 회피하고자 한다.

## 2. SCA 시스템

본 논문에서 제안하는 SCA 시스템은 차량의 상단부에 장착된 라이다 센서를 기반으로 하여 측면 충돌 위험도를 판단하고, 최종적으로 종·횡방향 제어를 통해 측면 충돌을 회피하는 시스템이다. SCA 시스템은 측면 충돌 위험 판단을 하기 위한 파라미터로 횡방향 상대 거리와 측면 충돌 소요 시간인 TTSC(Time to Side Collision)를 도출하여 활용한다. SCA 시스템은 횡방향 상대 거리와 TTSC에 따라 충돌 위험도를 판단하고, 제어 모드는

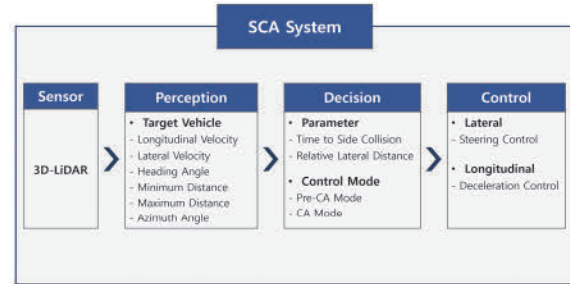


Fig. 3 Conceptual diagram of the SCA system

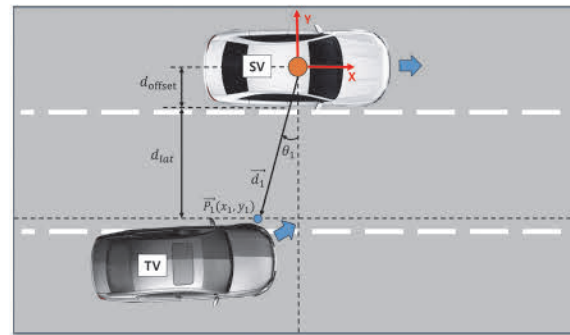


Fig. 4 Conceptual diagram of TTSC

Pre-CA(Pre-Collision Avoidance) 모드와 CA(Collision Avoidance) 모드로 구성된다. 이를 기반으로 각 모드에 따라 차량의 종·횡방향 제어를 수행하여 측면 충돌을 방지한다. 횡방향 상대 거리와 TTSC를 반영한 제어 모드는 Pre-CA 모드와 CA 모드로 구성되며, 각 모드에 따라 차량의 종·횡방향 제어를 수행한다. SCA 시스템에 대한 개념도는 Fig. 3과 같다.

### 2.1 충돌 위험 판단 요소

#### 2.1.1 측면 충돌 소요 시간(TTSC)

일반적으로 차량의 종방향 제동에 관여하는 시스템인 긴급 제동 보조 시스템(AEB: Autonomous Emergency Braking)은 충돌 위험을 판단하는 지표로 TTC(Time to Collision)를 활용한다. TTC는 주행 중인 차량이 전방 장애물과의 충돌이 발생하기 전까지의 시간을 나타내는 파라미터로, TTC가 작은 값을 가질수록 충돌이 임박한 상황임을 의미한다.<sup>9)</sup> 측면 충돌 소요 시간인 TTSC는 앞서 언급한 TTC를 응용한 개념이며, SCA 시스템에서 측면 충돌 위험도를 나타내는 지표 중 하나이다. TTSC는 횡방향 상대 거리와 횡방향 상대 속도를 반영하여 측면 충돌까지 걸리는 시간을 계산하여 구할 수 있다.

Fig. 4는 TTSC를 산출하기 위해 필요한 자차와 장애물 간의 기하학적 관계를 나타낸다. SV(Subject Vehicle)의 루프에 라이다 센서가 장착되어 있으며, 기준 좌표계로

활용한다.

TTSC를 정량적으로 산출하기 위한 과정은 다음과 같다. 라이다 센서로부터 생성된 자차 주변의 포인트 클라우드 중에서 TV(Target Vehicle)까지의 최근접점인  $\vec{P}_1$ 을 추출하고, 이 위치를 기준으로 상대 거리 벡터  $\vec{d}_1$ 을 정의한다. 추출한 점  $\vec{P}_1$ 은 라이다 센서의 로컬 좌표계에서의 위치 벡터  $(x_1, y_1)$ 로 표현할 수 있으며, 식 (1)과 같이 나타낸다. 여기서  $d_1$ 은 센서의 원점으로부터 점  $\vec{P}_1$ 까지의 거리,  $\theta_1$ 은 센서의 Y축 기준으로  $d_1$ 과 이루는 각도이다.

$$\vec{P}_1(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ y_1(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1(t) \sin\theta_1(t) \\ d_1(t) \cos\theta_1(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

TTSC에 반영되는 횡방향 상대 거리  $d_{lat}$ 는 최근접 점  $P_1$ 까지의 거리  $d_1$ 과 센서의 Y축 기준 각도  $\theta_1$ 을 이용해서 구한다. 이때, 라이다 센서와 SV 표면까지의 거리인  $d_{offset}$ 을 제외해 주었으며, SV가 급격한 조향을 하지 않는다고 가정하여 고정된 값을 적용하였다. 이에 따라 횡방향 상대 거리는 식 (2)를 통해 구할 수 있다.

$$d_{lat}(t) = |y_1(t)| - d_{offset} \quad (2)$$

TTSC 산출을 위해 필요한 횡방향 상대 속도  $v_{lat}$ 는 라이다 센서에서 측정된  $\vec{P}_1$ 의 횡방향 위치 성분  $y_1$ 의 시간 변화율로 정의된다. 본 연구에서는 이 위치 성분의 변화량을 일정 시간 간격  $\Delta t$ 에 대해 차분하여 횡방향 속도를 근사하였으며, 식 (3)과 같이 표현된다.

$$v_{lat} = \frac{y_1(t) - y_1(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (3)$$

따라서, TTSC는 식 (2)에서 도출한 횡방향 상대 거리와 식 (3)에서 도출한 횡방향 상대 속도를 이용하여 구할 수 있다. 최종적으로 TTSC를 구하는 수식은 식 (4)로 나타내며, 계산된 TTSC는 측면 충돌 위험도를 판단하는 주요 파라미터로 사용된다.

$$TTSC(t) = \frac{d_{lat}(t)}{v_{lat}(t)} \quad (4)$$

### 2.1.2 횡방향 상대 거리

본 논문에서 제안한 SCA 시스템에서는 측면 충돌 위험 판단을 위한 파라미터로 TTSC 뿐만 아니라 횡방향 상대 거리도 활용한다. 즉, 횡방향 상대 거리가 짧아 측면 충돌 위험이 있음에도 불구하고, 횡방향 상대 속도가

매우 작아 TTSC가 무한히 커지는 경우에 대응하기 위함이다. 횡방향 상대 거리의 기준은 우리나라 도로의 폭을 고려하여 설정하였다. 국토교통부령 제 922호, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙에 따르면, 지방 지역과 도시 지역의 설계속도 100 km/h 이상의 차로 폭은 최소 3.5 m가 되어야 한다고 규정하고 있다.<sup>10)</sup> 따라서, 측면 충돌 위험을 판단하는 파라미터 중 하나인 횡방향 상대 거리는 최소 차로 폭 3.5 m를 응용하여 선정하였다. 횡방향 상대 거리에 대한 상세 기준은 Fig. 5를 활용하여 2.2절에서 서술한다.

## 2.2 차량 제어 모드

측면 충돌 회피를 위한 차량 제어 모드는 앞서 언급한 TTSC와 횡방향 상대 거리를 반영하여 구성하였다. 제어 모드는 종방향 감속 제어를 수행하는 Pre-CA 모드와 횡방향 제어를 수행하는 CA 모드로 구성되며, 전환 조건과 관련된 상세 내용은 2.2.3절에서 서술한다.

### 2.2.1 사전 충돌 회피 모드(Pre-CA Mode)

Pre-CA 모드는 상대 차량과의 측면 충돌 위험이 예상될 때, 주행 중인 차로를 유지하면서 종방향 감속을 통해 측면 충돌을 회피하는 모드이다. 급격한 감속은 교통 상황과 주행 안정성에 부정적 영향을 줄 수 있으므로, 안정적인 주행을 위해 제한된 종방향 가속도의 기준이 요구된다. Pre-CA 모드에서는 이를 고려하여 적응 순항 제어 시스템(ACC: Adaptive Cruise Control)과 관련된 국제 표준 문서인 ISO 15622를 참고하여 종방향 가속도 기준을 적용하였다. 이 표준에서는 차량이 20 m/s 이상의 속도로 주행 시, 평균 자동 가속도는  $-3.5 \text{ m/s}^2$ 를 넘지 않아야 한다고 명시되어 있다.<sup>11)</sup> 이에 따라, Pre-CA 모드 진입 후, 감속 과정에서의 종방향 가속도는  $-3.5 \text{ m/s}^2$ 이내가 되도록 차량의 제동 값을 설정하였다.<sup>12)</sup>

### 2.2.2 충돌 회피 모드(CA Mode)

CA 모드는 Pre-CA 모드를 수행하였음에도 측면 충돌 위험이 지속될 때, 스티어링 조향을 통해 충돌을 회피하는 모드이다. 최근 연구<sup>13)</sup>에서도 종방향 제동만으로는 충돌 회피가 불가능한 상황에서 스티어링 조향을 활용한 회피 전략이 제안된 바 있으며, 이는 본 연구에서 설정한 CA 모드의 개념적 배경과 일치한다. 그러나, 과도한 스티어링 조향은 차량의 요(Yaw) 안정성을 저하시켜 주행 안정성을 해칠 수 있으므로, 이에 대한 횡방향 가속도 제한 기준이 필요하다. 본 연구에서는 차량 자율 조향에 관한 국제 규정인 UN Regulation No. 79를 참고하여 횡방향 최대 가속도를 제한하였다. 해당 규정에 따르면, 10

km/h 이상 130 km/h 이하의 주행 속도 구간에서 차량의 최대 횡방향 가속도는  $3 \text{ m/s}^2$  이하여야 한다고 명시되어 있다.<sup>14)</sup> 이에 따라 CA 모드 진입 후, 스티어링 조향 과정에서의 횡방향 가속도가 이 기준을 초과하지 않도록 애 커먼 조향 구조 기반의 조향 값을 적용하였다.<sup>15-17)</sup>

### 2.2.3 제어 모드 전환 조건

TTSC를 활용한 제어 모드 전환 조건은 도로교통공단 교통과학연구원의 ‘실시간 상태 정보 제공에 따른 운전자 행태 분석’ 연구보고서를 근거로 Table 1과 같이 설정하였다.<sup>18)</sup> 해당 연구에 따르면, 운전자가 위험을 인식하고 적절한 회피 행동을 결정하여 조치하기 전까지의 시간이 0.7초에서 1.0초가 소요된다는 결론을 도출하였다.

또한, 신호 교차로 상황에서 신호 등화 상태를 인지하고 브레이크 페달로 발이 이동하여 제동력을 발휘하기까지의 시간을 분석한 결과, 60대 이상 고령 운전자의 평균 인지 반응 시간은 2.1073초로 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 Pre-CA 모드의 전환 조건으로 가장 늦은 반응 시간인 60대 운전자의 평균값(2.1073초)을 반영하였다.

CA 모드는 충돌 위험 상황에서 긴급하게 스티어링 조향을 수행하는 모드이다. 본 연구에서는 Pre-CA 모드에서의 종방향 감속을 통해 운전자가 위험을 인식했다고 가정하고, 운전자의 회피 행동 결정 시간을 고려하여 CA 모드의 전환 조건을 1.0초 이하로 설정하였다.

Pre-CA와 CA 모드는 TTSC와 함께 횡방향 상대 거리를 측면 충돌 위험 판단 지표로 활용한다. 이를 설명하기 위해 Fig. 5를 참조하였다. 주행 차량의 폭은 3.5 m이며, SV와 TV가 각 차량의 중심을 따라 주행한다고 가정하였다. SV의 전폭을 1.9 m로 설정하면, SV 외측과 인접 차

Table 1 Transition condition for control modes

Modes	Transition condition
Pre-CA Mode	$(1 < TTSC [s] \leq 2.1)$ or $(0.8 \leq d_{lat} [m] < 1)$
CA Mode	$(TTSC [s] \leq 1)$ or $(d_{lat} [m] < 0.8)$

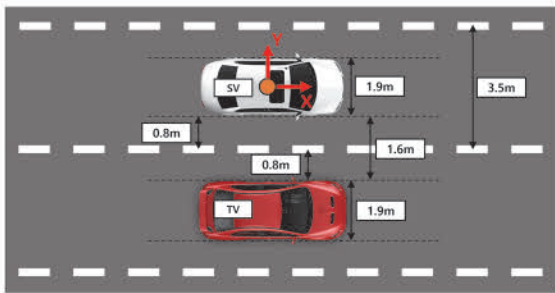


Fig. 5 Vehicle-lane geometry for relative lateral distance

중심선 사이의 거리는 약 0.8 m가 된다. TV가 차선을 넘어 진입을 시도할 경우 두 차량 간 측면 간격은 약 0.8-1.0 m이며, 이미 진입한 경우에는 약 0.8 m로 줄어든다.

따라서, Pre-CA 모드는 TV가 진입을 시도하는 상황에서 충돌 회피를 위해 횡방향 상대 거리를 0.8-1.0 m 구간으로 설정하였고, CA 모드는 TV가 이미 진입한 상황에서 회피 제어를 수행하기 위해 0.8 m 미만으로 설정하였다.

## 3. 시뮬레이션 수행 및 결과

### 3.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안한 SCA 시스템의 성능 검증은 SILS (Software-in the Loop Simulation) 환경에서 수행되었으며,

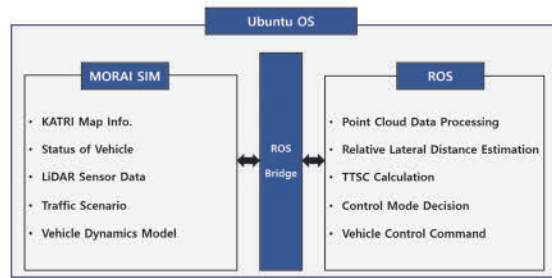


Fig. 6 Simulation environment

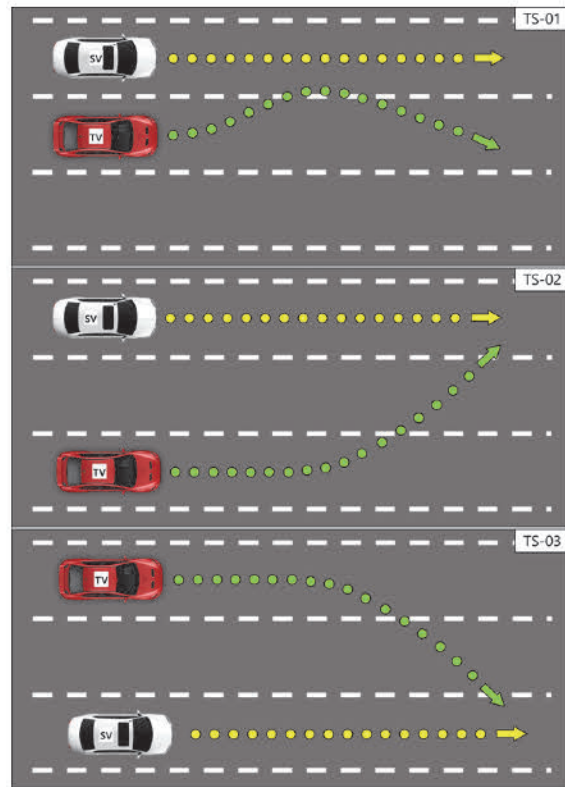


Fig. 7 Test scenario

전체 환경 구성은 Fig. 6과 같다. 시뮬레이션 환경은 Ubuntu 18.04 운영체제상에 구축하였으며, 개발 코드는 ROS Melodic 환경에서 Python 언어로 구현하였다.<sup>19)</sup> 주행 시뮬레이션은 MORAI 社의 MORAI Sim: Drive를 사용하였으며, 타 차량 인식을 위한 라이다 센서를 자차 상단부에 장착하였다.<sup>20)</sup> 센서의 장착 위치는 차량 후륜 차축의 중심이 원점이 되며, 차량의 전방 방향이 X축, 차량의 측면 방향이 Y축의 좌표계를 갖는다. 라이다 센서는 원점을 기준으로 X: 1.2 m, Y: 0 m, Z: 1.3 m의 위치에 장착하였다.

또한, TTSC가 100초 이상으로 산출되는 경우에는 측면 충돌 위험성이 없는 것으로 판단하여 TTSC의 상한 기준을 100초로 설정하였다.

### 3.2 테스트 시나리오(Test Scenario, TS)

SCA 시스템의 성능을 평가하기 위해 Fig. 7과 같이 세 가지의 테스트 시나리오를 설계하였다. TS-01은 TV의 운전자가 차로 변경을 시도하던 중, 측면 사각지대에 위치한 SV를 뒤늦게 인지하여 원래의 차로로 복귀하는 상황을 가정한 시나리오로, 두 차량의 주행 속도는 50 km/h로 설정하였다. TS-02는 TV의 운전자가 좌측 사각지대에 위치한 SV를 인지하지 못한 채 차로 변경을 지속하는 상황을 모사한 시나리오이다. TS-02의 차량 주행 속도는 TS-01과 동일하게 50 km/h로 설정하였다. TS-03은 TV의 운전자가 우측 사각지대에 위치한 SV를 인지하지 못한 채 차로 변경을 지속하는 상황을 모사한 시나리오이다.

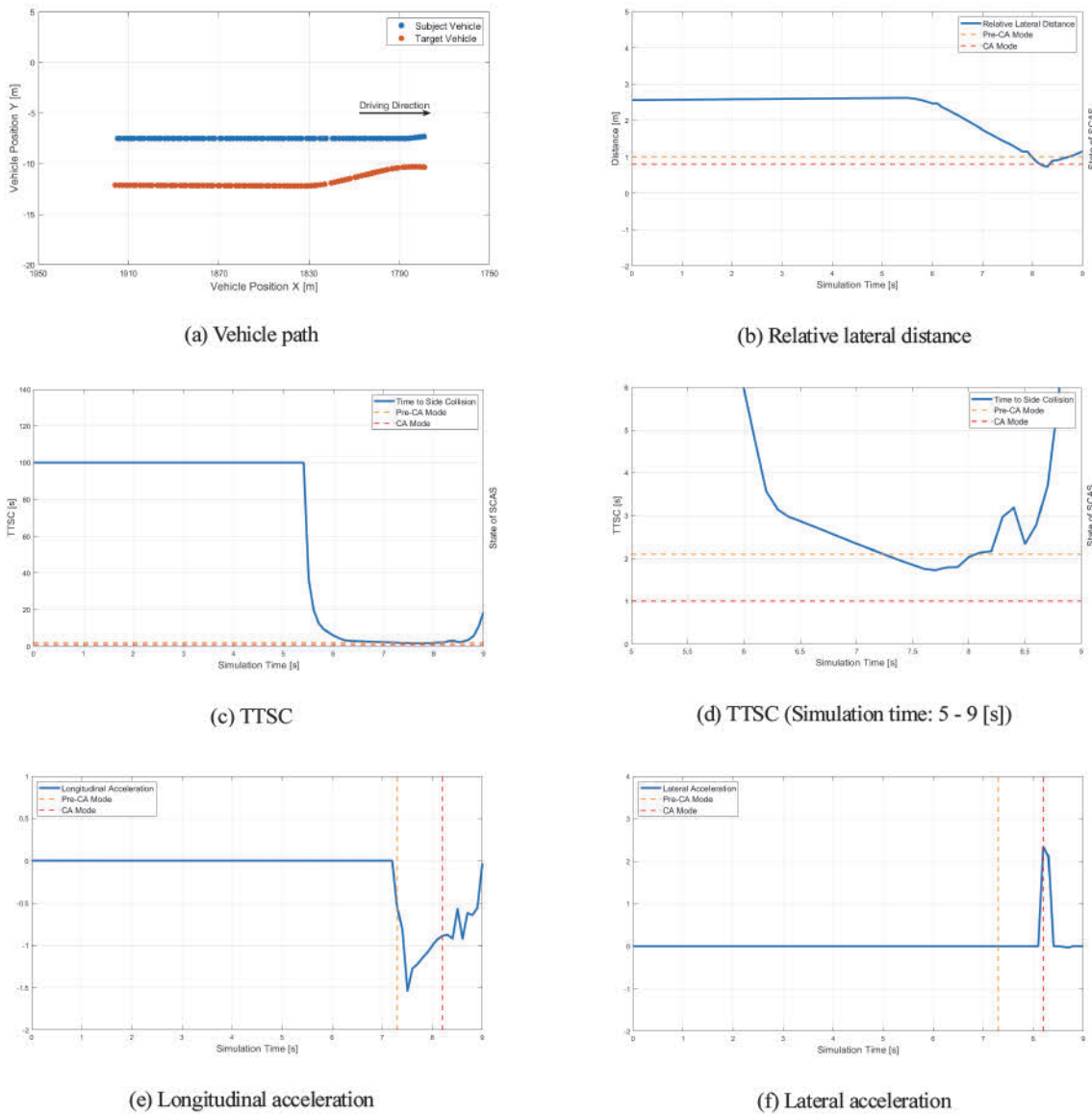


Fig. 8 Results of test scenario-01 for the side collision avoidance system(SCAS)

이와 같은 상황은 고속도로 진출입로에서 빈번하게 발생하며, 이러한 특성을 고려하여 차량 주행 속도는 80 km/h로 설정하였다.

### 3.3 테스트 시나리오-01(TS-01) 결과

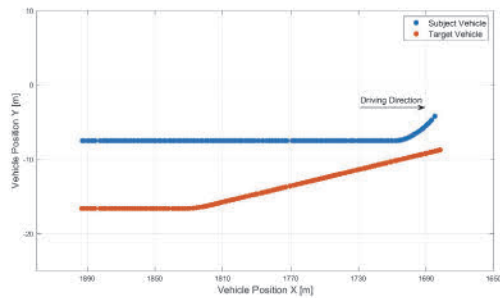
Fig. 8은 첫 번째 시나리오에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. Fig. 8의 (a)에서는 SV와 TV의 주행 경로와 제어 모드에 따른 SV의 회피 궤적을 확인할 수 있다. Fig. 8의 (b), (c), (d)는 측면 충돌 위험을 판단하는 횡방향 상대 거리와 TTSC의 산출 결과를 보여주는 그래프이다. TV가 SV의 주행 차로로 차로 변경을 시도하면서 TTSC와 횡방향 상대 거리가 모두 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 측면 충돌 위험도가 증가하여 Pre-CA 모드와

CA 모드에 진입하였으며, 최종적으로 CA 모드에서 SV의 횡방향 회피가 이루어진 것을 알 수 있다.

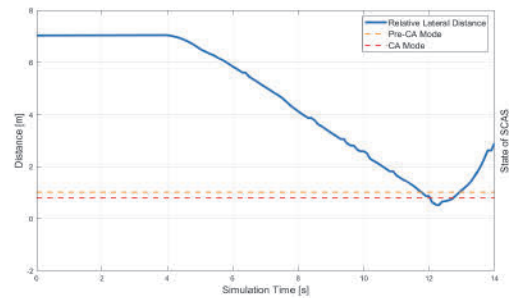
또한, Fig. 8의 (e)와 (f)는 SV가 사전에 정의한 종방향 및 횡방향 가속도 제한치 이내에서 제어되었음을 나타낸다. 특히, 시뮬레이션 시간 기준 7.3초에서는 횡방향 상대 거리가 Pre-CA 모드 전환 조건에 도달하지 않았음에도 TTSC가 임계값을 만족하여 Pre-CA 모드로 진입하였고, 종방향 제어에 대한 회피 동작이 수행된 것을 확인하였다.

### 3.4 테스트 시나리오-02 (TS-02) 결과

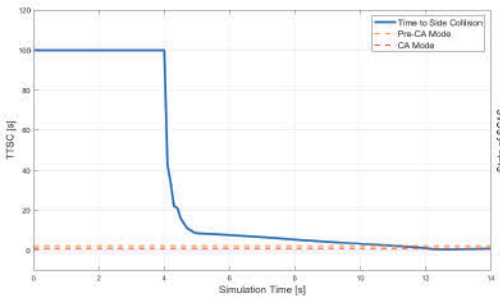
Fig. 9는 두 번째 시나리오의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. Fig. 9의 (a)에서는 TV가 연속적으로 차로변경을



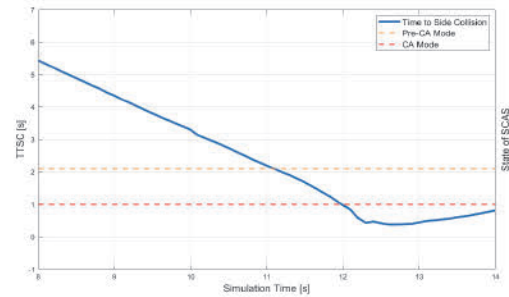
(a) Vehicle path



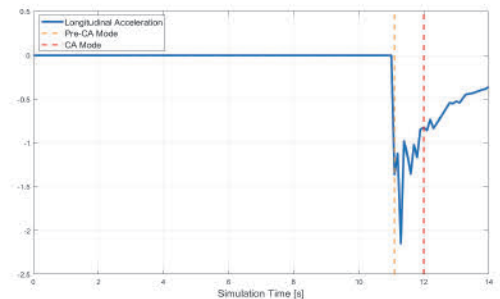
(b) Relative lateral distance



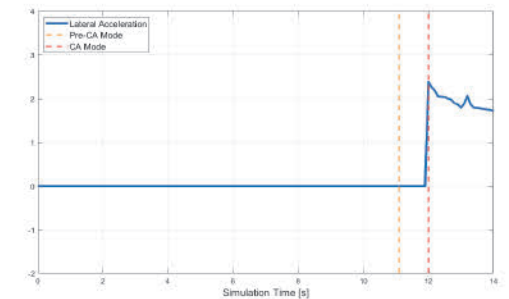
(c) TTSC



(d) TTSC (Simulation time: 8 - 14 [s])



(e) Longitudinal acceleration



(f) Lateral acceleration

Fig. 9 Results of test scenario-02 for the side collision avoidance system(SCAS)

수행하고, 이에 대응하여 SV가 횡방향 제어를 수행하는 주행 경로를 확인할 수 있다. Fig. 9의 (b), (c), (d)는 횡방향 상대 거리 및 TTSC의 산출 결과를 나타내며, TV의 지속적인 차로 변경으로 인해 Pre-CA 모드와 CA 모드의 전환 조건을 충족하는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션 시간 기준, 11.1초와 11.8초에서는 횡방향 상대 거리 조건보다 TTSC가 먼저 임계값에 도달하여 Pre-CA 모드와 CA 모드가 순차적으로 활성화 되었다.

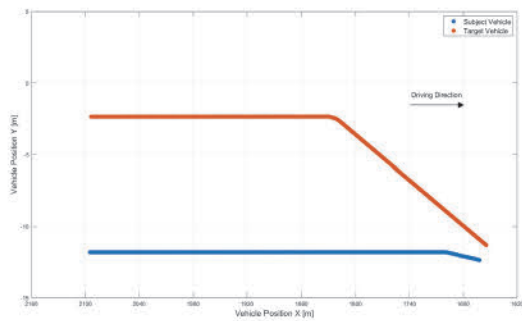
또한, Fig. 9의 (e)와 (f)를 통해 제어 모드 전환 이후, SV의 종방향 감속과 횡방향 조향 제어가 제한된 가속도 범위 이내에서 안정적으로 수행되었음을 확인할 수 있

다. 본 시나리오는 기존 BSD 시스템으로는 감지하기 어려운 연속 차로 변경 상황을 모사한 것으로, 제안한 SCA 시스템이 이러한 조건에서도 안정적으로 대응하여 충돌을 효과적으로 회피할 수 있음을 입증하였다.

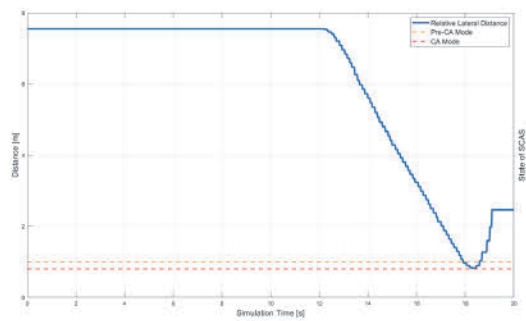
### 3.5 테스트 시나리오-03(TS-03) 결과

Fig. 10은 세 번째 시나리오의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. Fig. 10(a)는 TV가 우측 사각지대에 위치한 SV를 인지하지 못하고 1차로에서 3차로까지 연속적인 차로 변경을 하는 상황임을 보여준다.

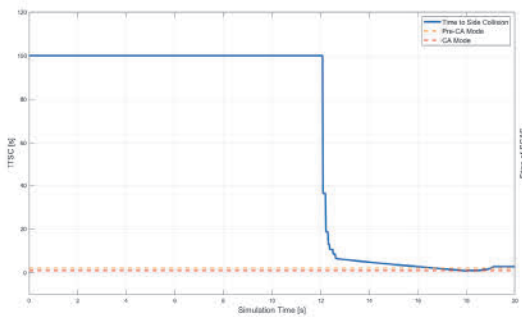
Fig. 10(b)는 횡방향 상대 거리를, Fig. 10(c)과 (d)는



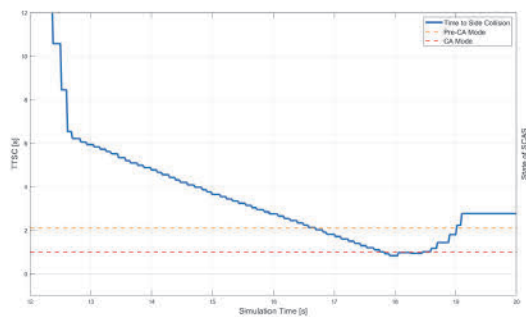
(a) Vehicle path



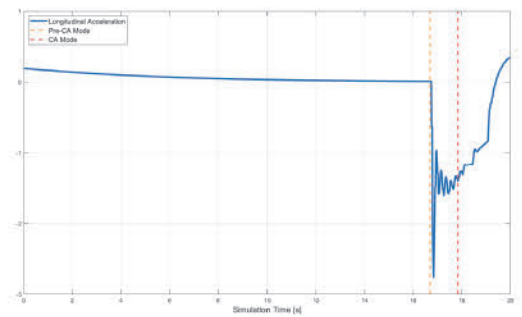
(b) Relative lateral distance



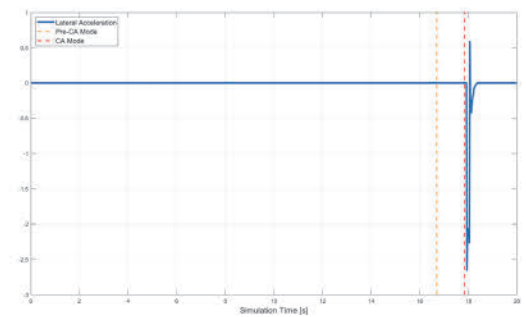
(c) TTSC



(d) TTSC (Simulation time: 12 - 20 [s])



(e) Longitudinal acceleration



(f) Lateral acceleration

Fig. 10 Results of test scenario-03 for the side collision avoidance system(SCAS)

TTSC 결과를 나타낸다. 본 시나리오에서는 CA 모드에 대한 횡방향 상대 거리 기준이 충족되지 않았으며, TTSC 값의 급격한 감소에 따라 제어 모드 전환이 이루어졌다. 특히, 시뮬레이션 시간 기준 16초~18초 구간에서 TTSC가 임계값에 도달함에 따라 Pre-CA 모드와 CA 모드가 순차적으로 활성화되었다. Fig. 10(e)와 (f)는 제어 모드 전환 이후 중·횡방향 제어 결과를 나타내며, 가속도 제한 범위 내에서 안정적으로 수행됨을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 제안한 SCA 시스템이 고속도로 진출입로와 같은 우측 사각지대 상황에서도 안정적으로 충돌을 회피할 수 있음을 입증한다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 TTSC를 기반으로 한 차량 측면 충돌 회피(SCA) 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 개발한 평가 시나리오를 바탕으로 SIL 환경에서 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다. 본 논문에서 제안한 TTSC는 기존의 TTC 개념을 확장하여 새롭게 정의한 지표이며, 이를 제어 모드의 전환 조건에 적용한 결과 측면 충돌 회피가 성공적으로 수행되었음을 확인하였다. 본 연구의 결론 및 향후 연구 방향은 다음과 같다.

- 1) 라이다 센서를 활용하여 차량의 횡방향으로 접근하는 타 차량을 검출하고, 검출 정보를 기반으로 측면 충돌 소요 시간인 TTSC를 새롭게 정의하였다.
- 2) TTSC와 횡방향 상대 거리를 제어 모드의 전환 조건으로 활용하여 Pre-CA 모드와 CA 모드를 설계하였으며, 국제 표준 및 국제 규제를 기반으로 한 가속도 한계 내에서 중·횡방향 제어가 이루어짐을 입증하였다.
- 3) 라이다 센서는 포인트 클라우드 데이터에 의존하는 만큼, 악천후나 센서 표면 오염 시 장애물 검출 성능이 저하될 수 있다. 이를 보완하기 위해 향후 연구에서는 카메라, 레이더 등 다중 센서 융합 및 V2X 기반의 장애물 검출 기법을 적용하는 전략이 필요하다.
- 4) 본 연구는 가상 시뮬레이션을 통해 제안 알고리즘의 성능을 검증하였다. 그러나, 실제 도로 환경에서의 적용성을 높이기 위해서는 차량에 탑재된 센서의 종류와 장착 위치를 반영한 장애물 검출 로직 설계가 필요하다. 또한, 센서-ECU-액추에이터 간 통신 지연과 응답 시간을 종합적으로 고려하는 후속 연구가 진행되어야 한다.

#### 후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT)의 연구비 지원에 의한 연구임(운전

자 맞춤형 Seamless 자율주행 제어권 통합관리 시스템 기술 개발', '20024908').

#### References

- 1) NHTSA and US DOT, Traffic Safety Facts, NHTSA, 2012.
- 2) International Organization for Standardization, ISO 17387:2008 Intelligent Transport Systems—Lane Change Decision Aid Systems—Performance Requirements and Test Procedures, 2008.
- 3) G. Liu, L. Wang and S. Zou, "A Radar-Based Blind Spot Detection and Warning System for Driver Assistance," IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, pp.1-4, 2017.
- 4) Y. Zhang, X. Zhu, Y. Bu, W. Ding and Y. Lu, "Detection System of Truck Blind Area Based on YOLOv3," Proc. of the 11th International Conference on Computer Engineering and Networks, Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol.808, pp.99-108, 2022.
- 5) D. J. Kim, Y. C. Kim, D. H. Jung and M. S. Kim, "Ultrasonic Sensor Based Side Collision Avoidance System for Autonomous Vehicle," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.2171-2172, 2022.
- 6) T. Miekkaala, P. Pykkönen, M. Kuttila and A. Kyytinen, "Benchmarking of LiDAR-Based VRU Detection System for Heavy Vehicle Blind Spot," Proc. of the 17th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), pp.299-303, 2021.
- 7) M. Y. Yoon, S. H. Kim, M. H. Son, D. S. Yun, K. S. Boo and H. S. Kim, "Development of the Blind Spot Detecting System for Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.17, No.2, pp.34-41, 2009.
- 8) D. J. Kim, A Study on TTSC Based Vehicle Side Collision Avoidance System Using LiDAR Sensor, M.S. Thesis, Kongju National University, Chungcheongnam-do, Korea, 2024.
- 9) S. Choi, "The Importance of Advanced Emergency Braking System and Directions for Technical Development," Auto Journal, Vol.44, No.5, pp.53-56, 2022.
- 10) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Infrastructure and Transport Ordinance No.922: Rules Regarding Road Structure and Facility Standards, Main Road Division, 2021.
- 11) International Organization for Standardization, ISO 15622:2018 Intelligent Transport Systems—Adaptive

- Cruise Control Systems—Performance Requirements and Test Procedures, 2018.
- 12) R. H. Wortman and T. C. Fox, “An Evaluation of Vehicle Deceleration Profiles,” *Journal of Advanced Transportation*, Vol.28, No.3, pp.203-215, 1994.
  - 13) J. I. Park, S. H. Lee and S. K. Kim, “A Development of Evasive Steering Assist Control System Based on Vehicle Side-Slip Angle Estimation,” *Transactions of KSAE*, Vol.28, No.9, pp.653-658, 2020.
  - 14) United Nations Economic Commission for Europe, Regulation No.79: Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with Regard to Steering Equipment, 2018.
  - 15) J. M. Snider, *Automatic Steering Methods for Autonomous Automobile Path Tracking*, Carnegie Mellon University, CMU-RI-TR-09-08, Pittsburgh, PA, 2009.
  - 16) S. Kim, *Vehicle Dynamics*, Seoul, Jinsaem Media, 2002.
  - 17) J. Balkwill, *Performance Vehicle Dynamics: Engineering and Applications*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2017.
  - 18) E. J. Choi and H. M. Han, *Driver Behavior Analysis by Providing Real-Time Signal Status Information*, Seoul, Jinhon M&B, 2023.
  - 19) Open Robotics, ROS Documentation, <https://wiki.ros.org>, 2024.
  - 20) D. J. Kim, Y. C. Kim, D. H. Jung, D. G. Han and M. S. Kim, “Development of Side Collision Avoidance System Using Lidar Sensor,” *KSAE Annual Conference Proceedings*, pp.1693-1699, 2023.