

센서 범위를 고려한 자율주행자동차 교차로 충돌 상황 시뮬레이션

이장우* · 이명수** · 정재일***,†

Intersection Collision Situation Simulation of Automated Vehicle Considering Sensor Range

Jangu Lee*, Myungsu Lee**, Jayil Jeong***,†

Key Words: AEB test simulation(자동긴급제동장치 테스트 시뮬레이션), Intersection simulation(교차로 시뮬레이션), Path Prediction model(경로예측모델)

ABSTRACT

In this paper, an automated vehicle intersection collision accident was analyzed through simulation. Recently, the more automated vehicles are distributed, the more accidents related to automated vehicles occur. Accidents may show different trends depending on the sensor characteristics of the automated vehicle and the performance of the accident prevention system. Based on NASS-CDS (National Automotive Sampling System-Crashworthiness Data System) and TAAS (Traffic Accident Analysis System), four scenarios are derived and simulations are performed. Automated vehicles are applied with a virtual system consisting of an autonomous emergency braking system and algorithms that predict the route and avoid collisions. The simulations are conducted by changing the sensor angle, vehicle speed, the range of the sensor and vehicle speed range. A range of variables considered vehicle collision were derived from the simulation.

1. 서론

최근 기술의 발전으로 자율주행 자동차에 대한 개발이 빠르게 진행되고 보급되고 있다. 이에 Euro NCAP⁽¹⁾에서는 자율주행 자동차의 안전성을 평가하는 프로토콜을 개발하고 자동차의 안전 등급을 부여하여 소비자들에게 차량의 안전도를 제공하고 있다. UNECE WP.29⁽²⁾에서도 GRVA를 구성하여 자율주행 자동차의 주행 시 발생할 문제에 대해 해결하기 위하여 규정을 발의 중에 있다. 또한 자율주행 자동차의 충돌사고를 예측하기 위하여 OSCCAR

프로젝트⁽⁴⁾에서는 각 국가의 사고 데이터를 수집하고 자율주행 자동차가 점차 보급됨에 따라 일반 차량과 자율주행 차량 간에 사고가 발생할 것을 예측하고 정리하였다. 이러한 미래의 사고 시나리오를 이용하여 한쪽 차량이 자율주행 자동차일 경우와 양쪽 차량이 자율주행 자동차일 경우를 시뮬레이션 하였고 이를 통해 미래의 사고를 예측하였다. 국내 교통안전분석시스템⁽⁴⁾(TAAS)를 통해 2016년부터 2019년 사이의 도로 형태별 교통사고를 보면 교차로에서 사고가 점차 증가하는 것을 확인할 수 있다. 점차 교차로에서 사고가 증가함에 따라 국내 자동차안전도평가 프로그램인 KNCAP⁽⁵⁾에서도 교차로 시나리오에서 자동차 안전도 평가를 실시하는 프로토콜을 진행 중에 있다. Kim⁽⁶⁾은 거리 센서를 기반으로 교차로 충돌 방어 성능 평가 연구를 수행하였으며, 사람이 인지하고 반응하는 시간

* 국민대학교 대학원 기계시스템공학과, 석사과정

** 교통안전공단 자동차안전연구원, 연구위원

*** 국민대학교 기계공학부, 교수

†교신저자, E-mail: jayjeong@kookmin.ac.kr

인 약 2.5초를 고려하였을 때 대부분의 교차로 시나리오에서 방어할 수 없는 것을 확인 하였다. Kim⁽⁷⁾은 카메라 센서와 레이더 센서를 이용하여 교차로 시나리오에서의 탐지성능을 평가하였다. 이에 대부분의 사고에서 센서의 제한된 시야각으로 인해 탐지가 불가능 한 것을 확인하였다. Woo⁽⁸⁾는 다양하고 복잡한 상황들에서 사물을 인식하고 판단, 대응해야 하는 문제점들을 통해 기술 발전 및 인프라 상황에 따른 KNCAP의 단계별 도입 및 시행 시기를 제안하였다. 이러한 교차로에서 발생하는 사고들을 방지하고자 현재 Euro NCAP에서는 자율주행 자동차의 AEB 시스템의 안전성을 평가하기 위해 후방 추돌 테스트, 오프셋 추돌 테스트를 수행하고 있으며, 최근에는 교차로 AEB 테스트도 진행하고 있다. 하지만 현재 교차로에서의 AEB 테스트 시나리오는 하나의 시나리오뿐이며, 이는 자율주행 자동차의 모든 교차로 상황의 안전성을 확보하기에는 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 교차로 상황의 안전성을 확보하고자 해외 및 국내 사고 데이터를 기반으로 교차로 시나리오를 도출하고, 자율주행 차량의 교차로 사고를 센서의 범위와 충돌 알고리즘에 차이에 따라 분석하였다. 먼저, 상대차량이 자율주행 자동차의 진로에 진입하면 충돌을 방지하기 위해 제동제어를 수행하는 모델 구축하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이 충돌 예측 알고리즘과의 비교를 위해 상대 차량과 시험 자율주행 차량의 경로를 3초 후까지 예측하여 제어하는 모델을 기반으로 주행 시뮬레이션을 진행하였다. 이 두 모델에 대한 시뮬레이션 결과 비교를 통하여 자율주행 자동차의 교차로 시나리오에 따른 충돌 여부를 판단하고 센서 각도 및 속도 조건에 따른 충돌 경향을 확인하였다.

2. 교차로 사고 데이터 분석

해외의 NASS 데이터를 기반으로 교차로 사고를 분석하였다. LEE⁽⁹⁾는 미국 도로교통안전국(NHTSA)의 NASS 데이터를 도로 유형별로 분석하였다. 도로 유형별 사고는 2632건이며 그중 도심 도로의 사고 건수는 1222건으로 전체 사고의 약 46%를 차지하고 자동차 전용도로는 699건으로 약 27%를 차지하고 있다. 교외 도로는 711건으로 전체 사고 중 약 27%를 차지하고 있으며 Table 1에 나타내었다. 도심도로 사고는 Table 2에 나타내었으며 도심도로 사고 중 십자 교차로의 사고가 876건으로 가장 많았으며, 십자 교차로 중 차량 단독 사고인 91건을 제외하고 직진 차량과 직진 차량 간의 충돌이 363건으로 십자 교차로

전체 사고의 46%로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 십자 교차로 사고 중 직진 차량과 직진 차량 간의 충돌을 충돌 방향에 따라 구분하였으며 직진 시 우측차로에서 오는 차량과의 직선 충돌 사례인 SC/RD-SC의 경우 188건, 좌측에서 오는 차량과의 직선 수직 충돌상황 시나리오인 SC/LD-SC의 경우 175건인 것을 확인하였고 Table 3에 표기하였다.

국내 사고의 경우, 국내 차대 차 사고 심층 분석 데이터⁽¹⁰⁾를 참고하였다. 총 200건의 교차로 충돌데이터이며 Table 4에 나타내었다. 200건의 사고 데이터중 가장 많이 발생

Table 1 Accident Frequency by Road Type on NASS

Accident frequency by road type		
도로유형	사고건수(건)	사고비율(%)
자동차 전용도로	699	27
도심도로	1220	46
교외도로	711	27

Table 2 Accident Frequency by Type of Urban Road on NASS

	도로형태	사고건수(건)	사고비율(%)
도심도로	십자 교차로	876	72
	세 갈래 교차로	310	25
	네 갈래 이상 교차로 및 기타	34	3

Table 3 Frequency of straight-straight collisions at inter-sections

십자 교차로	도로형태		건수(건)	비율(%)
	직진-직진 충돌	SC/RD-SC	188	24
		SC/LD-SC	175	22
기타		422	54	

Table 4 Car-to-Car accident analysis data in Korea

사고유형	심층분석 건수
LT/OD-SC	27
SC/OD-LT	26
SC/RD-SC	22
RT/OD-LT	22
SC/RD-LT	21
기타	82
합계	200

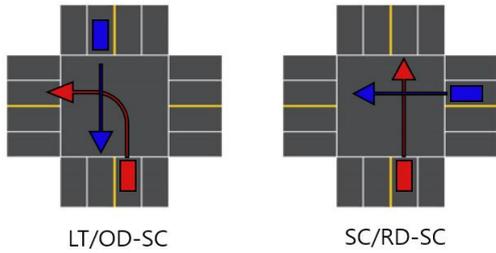


Fig. 1 Selected Left Turn/Opposite Direction-Straight Cross scenarios and Straight Cross/Right Direction-Straight Cross scenarios

한 유형은 좌회전 시 맞은차로 직진 충돌(LT/OD-SC) 시나리오이며, 이는 전체 분석 건수 중 27건으로 약 13%를 차지하고 있다. 두 번째로 많은 시나리오인 직진 시 맞은차로 좌회전 충돌(SC/OD-LT) 시나리오는 좌회전 시 맞은차로 직진 충돌(LT/OD-SC) 시나리오에서 두 차량의 위치를 반대로 구성한 시나리오며, 26건으로 약 13%를 차지하고 있다. 세 번째로 많은 시나리오는 직진 시 우측차로 직진 충돌(SC/RD-SC) 시나리오와 우회전시 맞은편차로 좌회전 충돌(RT/OD-LT)이며 22건으로 약 11%를 차지하고 있다. 직진 시 우측차로에서 좌회전 충돌(SC/RD-LT) 시나리오는 네 번째로 많은 시나리오며 21건으로 약 11%를 차지하고 있다.

앞서 확인한 데이터를 활용하여 시뮬레이션에 필요한 두 가지 시나리오를 도출하였다. 시나리오는 해외 데이터와 국내 데이터에서 각각 빈도가 높은 대표 케이스 하나를 선정하였으며, NASS 데이터에서 분석한 도심도로 십자교차로 중 가장 많은 사고 건수를 가지고 있는 SC/RD-SC와 국내 사고 데이터 중 가장 빈도가 높은 LT/OD-SC 시나리오를 선정하였다. 선정된 시나리오를 도식화하여 Fig. 1과 같이 나타내었다. 선정된 시나리오에서 빨간색 차량을 자기차량(Ego vehicle)으로 정의하고 파란색 차량을 타겟차량(Target vehicle)으로 정의하였다.

3. 경로예측 모델 및 AEB 모델

3절에서는 자율주행자동차가 센서로부터 얻은 정보들을 기반으로 경로를 예측하는 모델에 대해 설명한다. 경로예측모델로는 물리 기반 모델인 Constant Velocity(CV) 모델과 Constant Turn Rate Velocity(CTRV) 모델을 이용하였다. CV 모델은 식 (1)과 같이 차량의 yaw rate를 반영하지 않는 직선운동에서 적합한 모델이며, CTRV 모

Table 5 Yaw rate vaule on Cut-in test

실험 Case	Yaw rate (deg/s)
1	2.16
2	2.04
3	1.98
4	2.25
5	2.19
6	2.28
Average	2.15

델은 식 (2)와 같이 차량의 요레이트(yaw rate)를 반영하여 회전운동을 나타내는데 적합한 모델이다.

본 논문에서는 CV 모델과 CTRV 모델을 이용하여 경로를 예측하였으며, 주행상황에 맞춰 모델이 전환되도록 설계하였다. 모델 간 전환이 되는 기준은 Park⁽¹¹⁾의 끼어들기 실험 중 직선 구간에서의 yaw rate의 범위를 확인하고 이 범위를 포함할 수 있는 값을 선정하였다. 기준 값은 Table 5와 같이 선정된 총 6번의 실험을 통해 도출한 요레이트의 평균 값인 2.15deg/s를 이용하였다.

CV 모델과 CTRV 모델을 이용하였고 Kim⁽⁶⁾의 연구에 따르면 사람이 인식하고 제동하는데 까지 2.5초로 가정하였고, Lee⁽¹²⁾의 연구 자료에 따르면, 차량 6종의 위험을 알리는 경고 시스템의 발생 시간은 충돌 전 평균 약 2.88초다. 따라서 이를 포괄할 수 있는 예측범위를 갖추기 위해 이를 통해 두 차량의 시간 별 예측 포인트는 0.3초씩 10개의 점을 표기하여 총 3초의 경로를 예측하고 표기하였다. 예측된 포인트를 기준으로 경로를 폴리곤화 하였으며, Convex hull 알고리즘과 민코스키 차이 (Minkowski difference)를 이용하여 두 차량의 예측 경로가 교차하는지 판단하였다. 민코스키 차이를 이용하여 두 차량의 폴리곤화된 경로의 차를 구하여 새로운 좌표를 구할 수 있으며, Convex hull 알고리즘을 통해 좌표 점들의 최외곽 포인트를 연결시켜 새로운 도형을 생성하였다. Convex hull 알고리즘과 민코스키 차이를 이용하여 형성한 도형이 원점을 포함하고 있으면 충돌, 아니면 미 충돌로 판단할 수 있다. Fig. 2와 Fig. 3에 Convex hull 알고리즘과 민코스키 차이를 이용한 예시를 도식화하여 나타내었다.

AEB(Autonomous Emergency Braking)는 자동긴급제동장치로 위험을 인지하여 사고를 방지하거나 최소화하는 기능이다. 본 논문에서 AEB는 TTC(Time To Collision)을 기반으로 작동하며, 사고를 방지하기 위하여 AEB 시스템의 작동 범위를 현재 Ego 차량의 속도(V_{Ego})를 제동 시

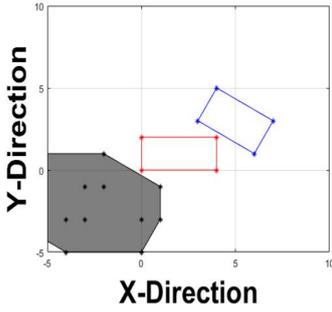


Fig. 2 Non-collision example based on Minkowski difference

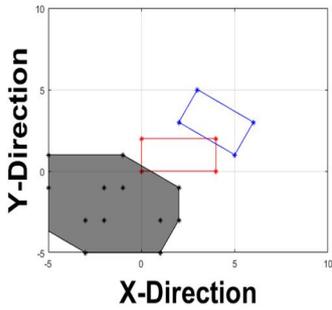


Fig. 3 collision example based on Minkowski difference

발생되는 최대 감속도(a_{min})으로 나누어 제동시간을 선형적으로 도출하여 적용하였다. a_{min} 의 값은 Park⁽¹¹⁾에서 나타난 실험 감속도와 같이 $-1g$ 로 설정하였다. 이때 구해지는 제동시간은 AEB가 작동해야 하는 임계값(TTC_{thd})으로 사용하였다. Ego 차량의 계측을 통해 계산되어지는 TTC_{cal} 는 앞에서 설명한 경로예측모델을 이용하여 충돌 예측 지점을 확인하고 현재 내 차량에서 충돌 예측 지점까지의 거리를 Ego 차량의 속도로 나누어 도출하였다. 이를 기반으로 $TTC_{cal} \leq TTC_{thd}$ 와 같이 차량이 제동하여 멈추는 데까지의 시간보다 현재 차량이 경로예측을 통해 계산한 충돌까지의 남은 시간이 작거나 같아지면 AEB를 작동시키도록 설계하였고 작동범위를 붉은 색 포인트로 표기하였다. 경로예측의 좌우측 범위는 센서의 노이즈 및 차량의 크기를 고려하여 Fig. 4와 같이 차량중심으로 부터 1.45m 떨어진 경계로 구성하였다. 경로예측모델과 AEB모델을 이용한 예시를 Fig. 5에 도식화하여 나타내었다. Fig. 5의 1번 그림은 Ego 차량이 Target 차량을 인식하고 경로를 예측하는 상황이며, 2번 그림은 경로예측을 통해 도출한 충돌 포인트에 AEB 작동 영역이 도달한 상황이다. 3번과 4번 그림은 각각 AEB 작동 후 제동 및 정지하는 상황이다.

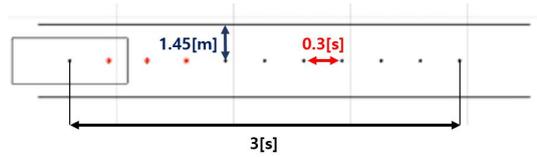


Fig. 4 Path prediction range

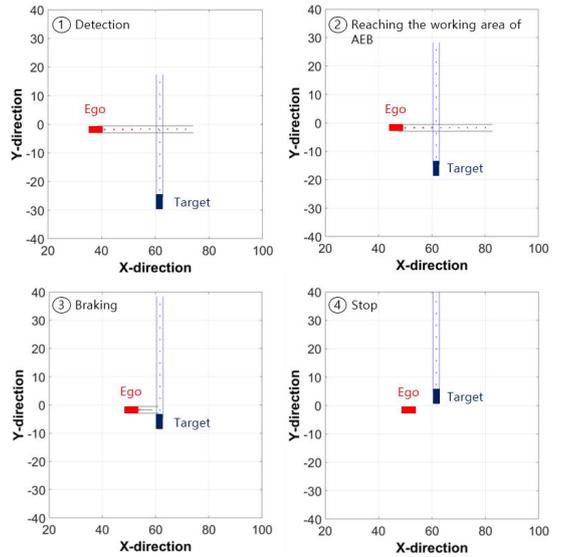


Fig. 5 Example of a path prediction model

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ v \\ \psi \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(t) + v(t)\cos(\psi(t)\Delta t) \\ y(t) + v(t)\sin(\psi(t)\Delta t) \\ v(t) \\ \psi(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ v \\ \psi \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(t) + \frac{v(t)}{\dot{\psi}(t)}\sin(\psi(t)\Delta t) - \sin(\psi(t)) \\ y(t) + \frac{v(t)}{\dot{\psi}(t)}\cos(\psi(t)\Delta t) + \cos(\psi(t)) \\ v(t) \\ \psi(t) + \dot{\psi}(t)\Delta t \\ \dot{\psi}(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

x : x -position [m]
 y : y -position [m]
 v : Velocity [m/s]
 ψ : Yaw [rad/s]
 $\dot{\psi}$: Yawrate [rad/s²]
 t : Time [s]

4. 시뮬레이션 환경 구성 및 진행 방법

시뮬레이션은 주행 시뮬레이션 프로그램인 CarMaker를 사용하여 차대 차 교차로 환경을 구성하였다. 교차로는 십자 교차로로 구성하였으며, 차선의 폭은 3.5m로 설정하였다. 날씨, 온도, 바람 등의 환경 변수는 CaMaker에서 제공하는 기본(Default) 값을 이용하였으며, 평균 기온 20°C,

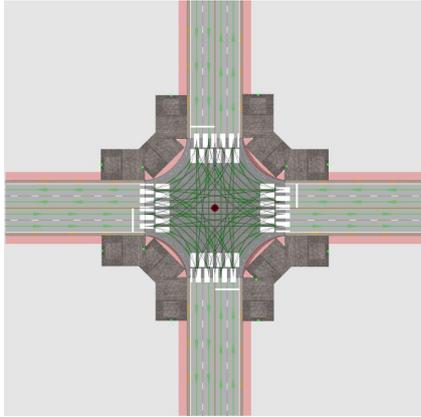


Fig. 6 Intersection environment diagram

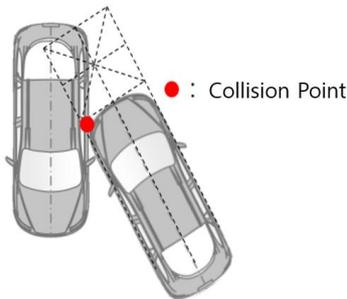


Fig. 7 Left Turn/Opposite Direction—Straight Cross Scenario Collision Points

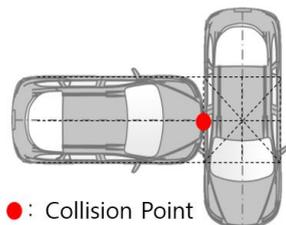


Fig. 8 Straight Cross/Right Direction—Straight Cross Scenario Collision Points

공기밀도 1.205kg/m³, 대기압 1.013bar, 습도 60%, 태양 복사열 400 W/m², 강수량 0mm/h와 같이 설정하였다. 또한 차량의 속도에 영향을 미칠 수 있는 신호 체계는 없다고 가정하였으며, 교차로에서 보행자들과 건물들로 인해 센서의 시야가 가려지는 것을 구현하기 위해 Fig. 6과 같이 도로를 따라 건물을 배치하여 센서의 시야를 차단하였다. 차대 차 교차로 시나리오에서 차량의 충돌 포인트는 차량의 위치, 차량의 속도에 영향을 받기 때문에 사전에 결정할 필요가 있었으며, NHTSA에서 발표한 보고서⁽⁵⁾와 OSCCAR 프로젝트를 참고하여 Fig. 7과 Fig. 8과 같이 차량의 중앙에 충돌하도록 충돌 포인트를 구성하였다.

차량 모델과 센서 모델은 CarMaker에서 제공하는 모델을 사용하였다. 차량 모델은 BMW5이며, 전장은 4.93m, 전폭은 1.8m, 전고는 1.48m인 모델이다. 센서는 CarMaker에서 제공하는 카메라 센서(Camera sensor), 물체센서(Object sensor), 관성센서(Inertia sensor)를 사용하였다. 물체센서는 이상적인 센서로 물체의 거리 및 속도 등을 측정하는 용도로 사용하였으며 차량 객체를 인식할 수 있는 카메라 센서와 차량의 위치, 속도, 가속도 등을 확인할 수 있는 관성센서를 사용하였다. 센서의 장착위치는 차량의 후사경 앞부분에 장착하였다. 카메라의 감지 성능은 기본 값으로 설정하였다.

시뮬레이션은 두 가지 모델을 이용하여 진행하였다. 첫 번째 모델은 CarMaker 센서의 기본 기능을 이용한 모델이며, Target 차량이 Ego 차량이 주행하는 경로에 진입하면 제어하는 모델이며 A모델이라 지칭하였다. 두 번째로 경로 예측을 이용하여 충돌 지점을 예측하고 AEB를 작동시키는 모델이며 B모델이라 지칭하였다. 시나리오의 두 차량의 속도 조건은 각각 10km/h, 20km/h, 30km/h, 40km/h, 50km/h으로 변화시켜가며 총 25개의 케이스를 시뮬레이션 하였다. 추가적으로 Table 6과 같이 다기능

Table 6 Multi Function Camera Specification

Specification	
System	Operation cycle: 20 fps Initial Buffer: 200 ms Operation Temperature: -35~58°C
Camera HW	FOV: 100° × 39.3° , Resolution: 17 MP
Functions	LDW, LKA, HBA, Driver Attention Warning, Traffic Sign Recognition, AEB (Vehicle/PED/Cyclist)

센서 범위를 고려한 자율주행자동차 교차로 충돌 상황 시뮬레이션

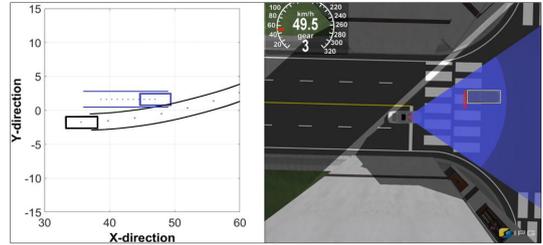
카메라(Multi-Function Camera) 센서의 범위 100°를 기준으로 $\pm 30^\circ$ 각도 차이의 범위를 선정하였고, 센서 각을 70°, 80°, 90°, 100°, 110°, 120°, 130°로 각도를 10°씩 변화시켜가며 모델 당 각각 350건 총 700건의 선정된 시나리오를 시뮬레이션을 진행하였다.

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

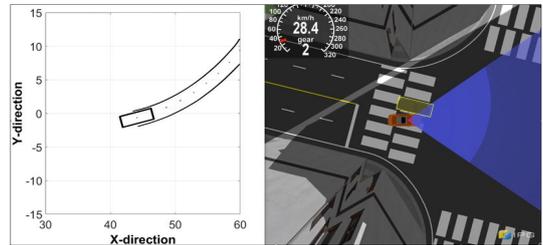
A모델과 B모델의 시뮬레이션 결과를 분석하였다. Fig. 9와 Table 7을 보면 LT/OD-SC 시나리오에서 A모델을 적용했을 때, 모든 센서 각도에서 같은 충돌 횟수 및 케이스를 갖으며, 자기 차량의 속도 50km/h과 타겟 차량의 속도가 각각 10km/h, 20km/h 2가지 속도 케이스에서 충돌이 발생하였다. 이는 전체 25건의 사고 중 8%를 차지하며 충돌이 발생한 원인은 Ego 차량이 직진 주행 중 회전하게 되어 주행 경로가 변경되는 데 Fig. 10(a)와 같이 AEB 작동 영역 중간에 Target 차량이 인식되어 충분한 제동거리를 확보하지 못하고 Fig. 10(b)와 같이 자기차량이 타겟 차량의 측면에 충돌하였다.

SC/RD-SC 시나리오에서 A모델을 적용하면 마찬가지로 Fig. 11과 Table 8과 같이 모든 센서 각도에서 같은 충돌 횟수 및 속도 케이스를 갖으며, 12건의 사고가 발생하

였다. 이는 전체 25건의 사고 중 48%를 차지하고 자기차량과 타겟차량의 속도가 빠를수록 충돌하는 경향을 확인하였다.



(a) AEB operating situation



(b) Collision situation

Fig. 10 Left Turn/Opposite Direction-Straight Cross scenario Ego vehicle 50 km/h-Target vehicle 10 km/h, Sensor 70° simulation using model A

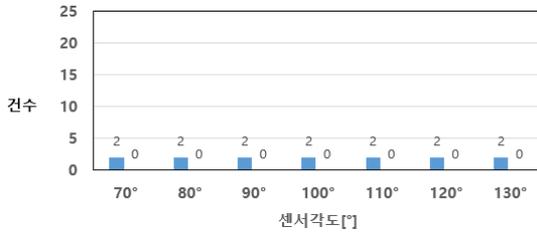


Fig. 9 Comparison of number of collisions per sensor angle at Left Turn/Opposite Direction-Straight Cross Scenario

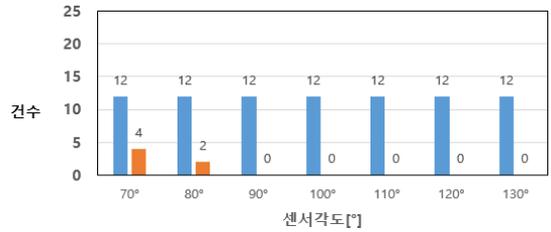


Fig. 11 Comparison of number of collisions per sensor angle at Straight Cross/Right Direction-Straight Cross scenario

Table 7 Collision according to velocity change in Left Turn/Opposite Direction-Straight Cross scenarios (sensor angles 70 degrees, model A)

70°	Target 차량 속도 [km/h]					
		10	20	30	40	50
Ego 차량 속도 [km/h]	10	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-
	30	-	-	-	-	-
	40	-	-	-	-	-
	50	V	V	-	-	-

Table 8 Collision according to velocity change in Straight Cross/Right Direction-Straight Cross scenarios (sensor angles 70degree, model A)

70°	Target 차량 속도 [km/h]					
		10	20	30	40	50
Ego 차량 속도 [km/h]	10	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	V	V
	30	-	-	V	V	V
	40	-	-	V	V	V
	50	-	V	V	V	V

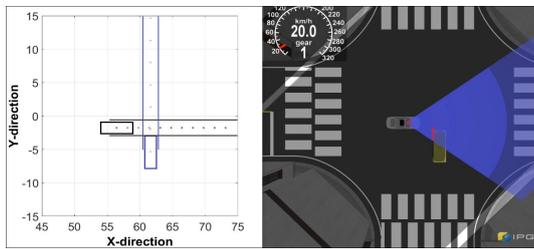
충돌이 발생하는 주요 원인은 자기차량의 주행 경로에 타겟차량이 진입했을 때 제어하기 때문에 Fig. 12(a)와 같이 AEB를 작동시켰을 때는 이미 정지하는 제동거리보다 더 가까이 Target 차량이 위치해 있어 충분한 제동을 하지 못하고 Fig. 12(b)와 같이 충돌하는 것을 확인하였다.

LT/OD-SC 시나리오에서 B모델을 적용하면 Fig. 13과 Table 9와 같이 모든 센서 각도에서 충돌을 회피하는 것을 보여주었다. 그 이유는 자기차량의 반대편에서 타겟 차량이 접근해 오는 것이기 때문에 센서를 통해 계측하여 경로를 예측하고 있으며, 이를 통해 Fig. 13(a)처럼 충돌 포인트를 계산하고 미리 AEB를 작동시켜 Fig. 13(b)와

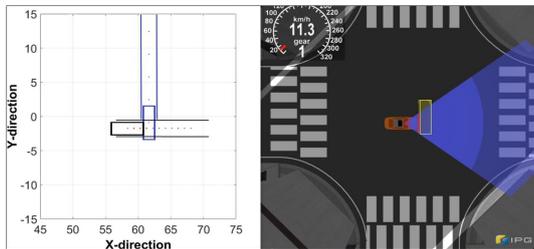
같이 충돌이 발생하지 않았다.

SC/RD-SC 시나리오에서 B모델을 적용하면 Fig. 14와 Table 10과 같이 70°에서 4건, 80°에서 2건, 90°이상의 각도에서는 모든 속도 케이스에서 충돌을 회피하는 것을 확인하였다. 70°에서 발생하는 4건의 사고의 경우, Fig. 14(a)와 같이 Ego 차량에 장착되어 있는 Camera 센서 영역 밖에 Target 차량이 있어 인식하지 못해 경로예측을 하지 못하고 Fig. 14(b)와 같이 Ego차량의 AEB 작동영역 안쪽으로 타겟차량이 진입하기 때문에 Fig. 14(c)와 같이 타겟차량 좌측면에 충돌하는 것을 확인하였다.

또한 80°에서 발생하는 2건의 사고의 경우도 마찬가지로

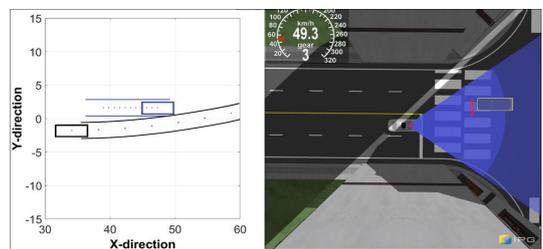


(a) AEB operating situation

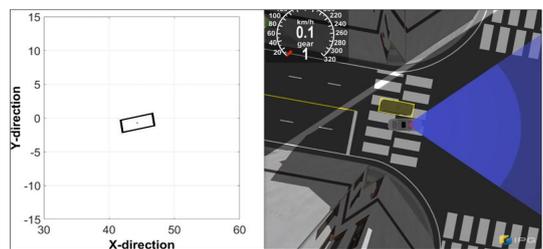


(b) Collision situation

Fig. 12 Straight Cross/Right Direction–Straight Cross scenario
Ego vehicle 20 km/h–Target vehicle 40 km/h, Sensor 70° simulation using model A



(a) AEB operating situation



(b) Collision situation

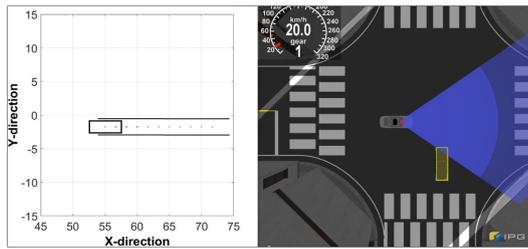
Fig. 13 Left Turn/Opposite Direction–Straight Cross scenario
Ego vehicle 50 km/h–Target vehicle 10 km/h, Sensor 70° simulation using model B

Table 9 Collision according to velocity change in Left Turn/
Opposite Direction–Straight Cross scenarios (sensor angles 70 degree, model B)

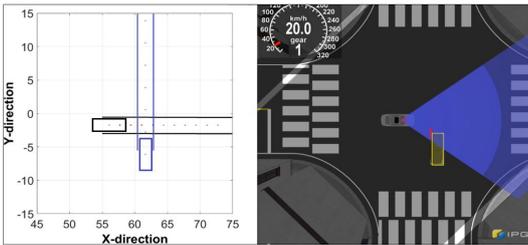
70°	Target 차량 속도 [km/h]					
		10	20	30	40	50
Ego 차량 속도 [km/h]	10	–	–	–	–	–
	20	–	–	–	–	–
	30	–	–	–	–	–
	40	–	–	–	–	–
	50	–	–	–	–	–

Table 10 Collision according to velocity change in Straight Cross/
Right Direction–Straight Cross scenarios (sensor angles 70 degree, model B)

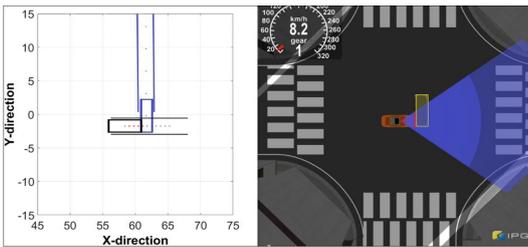
70°	Target 차량 속도 [km/h]					
		10	20	30	40	50
Ego 차량 속도 [km/h]	10	–	–	–	–	V
	20	–	–	–	–	V
	30	–	–	–	–	V
	40	–	–	–	–	V
	50	–	–	–	–	–



(a) Sensor blind spot



(b) AEB operating situation



(c) Collision situation

Fig. 14 Straight Cross/Right Direction–Straight Cross scenario
Ego vehicle 20 km/h–Target vehicle 40 km/h, Sensor
70° using model B

로 70°보다 넓은 영역을 보고 있어서 충돌 횟수가 줄었지만 여전히 남은 충돌 케이스의 경우 Camera 센서 영역 밖에 Target 차량이 있기 때문에 인식하지 못하고 충돌하는 것을 확인하였다.

교차로 LT/OD–SC, SC/RD–SC 시나리오에서 경로 예측모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행을 수행하였다. 충돌이 발생하는 원인은 센서에서 타겟차량을 인식 했을 때, AEB가 작동하지만 제동거리가 충분하지 않아 충돌하는 케이스들이다. 센서 각도 90° 이상에서부터 모든 사고를 회피하고, 속도를 기준으로 보면 Target 차량의 속도 40km/h 이하일 때는 모든 충돌을 회피하는 것을 확인하였다. 이를 통해 교차로에서의 안전한 센서 영역은 최소 90° 이상이며, 40km/h이하의 주행속도일 때 안전할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 논문에서는 교차로 상황에서의 자율주행자동차의 주행 모델, 센서 각도 그리고 속도가 미치는 영향을 확인하기 위해 경로 예측 모델을 이용하여 자율주행자동차의 교차로 충돌 사고 시뮬레이션을 진행하였다. 해외의 NASS 데이터와 국내 보험사 데이터를 이용하여 한 차량 좌회전 시 반대편 방향에서 직진(Left Turn/Opposite Direction–Straight Cross) 시나리오와 한 차량 직진 주행 시 우측에서 직진(Straight Cross/Right Direction–Straight Cross) 시나리오를 도출하였다. 시뮬레이션은 CarMaker를 통해 교차로 환경을 구성하였고 Constant Velocity 모델과 Constant Turn Rate Velocity 모델을 기반으로 경로예측모델을 설계하였다.

자율주행기능은 AEB기능만을 이용하였고, AEB모델은 TTC(Time To Collision)을 기반으로 제동거리를 고려하여 설계하였다. 두 차량의 속도는 각각 10km/h~50km/h 까지, 센서 각도는 70°~130°까지 10단위씩 증가시켜 가며 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과 경로 예측 모델을 이용한 경우, 센서 범위가 넓어질수록 사고를 방지하는 경향을 확인하였으며, 자기차량의 주행경로에 진입 시 제동 제어하는 모델에 비해 최대 48%의 사고를 줄일 수 있었다. 또한 한 차량 좌회전 시 반대편 방향에서 직진(Left Turn/Opposite Direction–Straight Cross), 한 차량 직진 주행 시 우측에서 직진(Straight Cross/Right Direction–Straight Cross) 두 시나리오에서 90°이상의 센서 각도를 가지면, 모든 사고를 회피하는 것을 확인하였으며, 두 차량의 속도 모두가 40km/h 이하에서 충돌을 회피하는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

This research was supported by a grant (code 21PQOW–B152616–03) from R&D Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

참고문헌

- (1) EuroNCAP, 2021, “TEST PROTOCOL – AEB Car-to-Car systems”, Vol 3.0.3.
- (2) UNECE WP.29 GRVA, 2019, “ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.2”. Inducer Blades by Finite Elements”,

- Journal of Spacecraft, Vol. 8, No. 6, pp. 657~664.
- (3) OSCCAR, 2020, "Accident data analysis – remaining accidents and crash configurations of automated vehicles in mixed traffic", Vol. 1.
 - (4) 교통안전분석시스템, <http://taas.koroad.or.kr/>
 - (5) 자동차 안전도 평가, www.kncap.org
 - (6) 김정윤, 탁세현, 김예은, 여화수, 2017, "거리 센서 시스템의 교차로 충돌 방어 성능 평가", 대한교통학회 학술대회지, 323~327.
 - (7) 김예은, 탁세현, 김정윤, 여화수, 2017, "교차로 주요 사고 시나리오에 대한 비전 센서와 레이더 센서의 사고 예방성능 평가", 한국ITS학회 논문지, 16(5), 96~108.
 - (8) 우현구, 2021, "A Study on Assessment Items and Considerations for Development of KNCAP of Automated Driving System", 자동차안전학회지, 102~110.
 - (9) 이빈희, 2018, "자동비상제동장치의 메타모델링을 통한 충돌방지 위험 인지 방법론", 석사학위논문, 국민대학교.
 - (10) 박요한, 2020, "국내 도심부 교통사고 심층 분석 기반 위험상황 유형 도출 연구", 삼성교통안전문화연구소.
 - (11) 박영걸, 2016, "자동비상제동장치가 장착된 자율주행 2단계 차량의 끼어들기 상황의 안전성 평가 방법론", 박사학위논문, 국민대학교.
 - (12) 이진교, 2013, "중방향 충돌 회피 성능 개선을 위한 AEB와 CDC의 통합제어에 관한 연구", 석사학위논문, 국민대학교.