

V2I 오작동에 의한 자율주행자동차의 위험성 분석

Hazard Analysis of Autonomous Vehicle due to V2I Malfunction

안대룡* · 신성근** · 백윤석*** · 이혁기****

* 주저자 및 교신저자 : 자동차부품연구원 자율협력주행연구센터 연구원

** 공저자 : 자동차부품연구원 자율협력주행연구센터 연구원

*** 공저자 : 자동차부품연구원 자율협력주행연구센터 연구원

**** 공저자 : 자동차부품연구원 자율협력주행연구센터 선임연구원

Dae-ryong Ahn* · Seong-geun Shin** · Yun-soek Baek** · Hyuck-kee Lee**

* Cooperative Automated Vehicle Research Center, Korea Automotive Technology Institute

** Cooperative Automated Vehicle Research Center, Korea Automotive Technology Institute

† Corresponding author : Dae Ryong Ahn, drahn@katech.re.kr

Vol.18 No.6(2019)

December, 2019

pp.251~261

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.6.251>

2019.18.6.251

Received 18 November 2019

Revised 29 November 2019

Accepted 3 December 2019

© 2019. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

최근 자율주행자동차의 개발이 활발하게 진행되면서 더욱 안전하고 쾌적한 주행을 위해 V2V, V2I 등 V2X 서비스를 활용하는 자율주행시스템의 중요성이 높아지고 있다. 환경 센서에 기반한 부분 자율주행자동차는 장착된 센서의 인식 거리를 벗어나는 영역에 대한 예측 및 판단과 센서가 감지하기 힘든 비정형 물체에 대한 대응에 한계가 있다. 따라서 센서 감지 성능의 한계를 개선하고 보다 안전하고 쾌적한 주행을 위한 V2X 서비스 활용은 중요하다. 하지만 V2X의 잘못된 정보 제공으로 인한 자율주행자동차의 사고 위험도 존재할 수 있어 이를 방지하기 위한 기술의 적용 또한 고려되어야 할 것이다. 본 논문에서는 ISO-26262 Part3 프로세스를 활용하고 HARA를 수행하여 V2X 중에서 차량과 인프라의 통신을 활용한 V2I 오작동에 의한 자율주행자동차의 위험원을 도출하고 주요 V2I 사용례의 오작동 시뮬레이션 및 실차 시험을 기반으로 ASIL 등급을 산정하였다.

핵심어 : V2I, 오작동, 자율주행자동차, HARA, 시뮬레이션, ASIL

ABSTRACT

The importance of autonomous driving systems that utilize V2X services such as V2V(Vehicle to Vehicle) and V2I(Vehicle to Infrastructure) for safer and more comfortable driving is increasing with the recent development of autonomous vehicles. Partly autonomous vehicles based on environmental sensors have limitations for predicting and determining areas beyond the recognition distance of the mounted sensors and in response to atypical objects that are difficult to detect. Therefore, it is important to utilize the V2X service to improve the limit of sensor detection performance and to make driving safer and more comfortable. However, there may be an accident risk of autonomous vehicles due to incorrect information provided by V2X. Thus, the application of technology to prevent this needs to be considered. In this paper, we used the ISO-26262 Part3 Process and performed HARA (Hazard Analysis and Risk Assessment) to derive the risk sources of autonomous vehicles due to V2I malfunctions by using the communication between vehicles and infrastructure among V2X. We also developed ASIL ratings based on the simulations and real vehicle tests of the malfunctions of major cases of using V2I.

Key words : V2I, Malfunction, Autonomous Vehicle, HARA, Simulation, ASIL

I. 서론

1. 개요

최근 자율주행자동차의 기술개발이 큰 이슈로 떠오르면서 유럽, 미국 등 선진국에서는 자율주행자동차의 기술 개발과 상용화에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며 자율주행자동차의 시험주행 및 법규를 개발하고 있다.(Chae et al., 2016) 자율주행 기술이 고도화 되면서 자동차는 ICT 기술과 융합하여 자동차의 지능이 향상되는 방향으로 발전하고 있다(Oh, 2018). 특히 차량이 모든 것('X')과 통신하는 개념의 V2X에는 차량과 차량(V2V), 차량과 인프라(V2I), 차량과 보행자(V2P) 등이 있으며 각 정보를 차량에 부착된 통신모듈을 통해 송수신한다(Ryu et al., 2019). V2X를 활용한 자율주행자동차는 일반 자율주행자동차보다 더욱 많은 정보를 바탕으로 자율주행자동차의 센서 커버리지 밖의 영역에 대해 긴급 상황, 공사구간 및 정체구간 정보, 사고차량 정보 등을 활용하여 더욱 편리하고 안전한 주행을 수행한다.

V2X에 사용되는 표준 SAE J2735는 무선 액세스를 위한 5.9GHz 단거리 통신(DSRC(Dedicated Short Range Communication)/WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)을 활용하기 위한 Message Set을 소개하고 있으며 Message의 코딩 규칙 및 프레임 워크, 메시지 구성 및 내용을 설명하고 있다(SAE J2735, 2016). V2X Message Set을 활용하여 자율주행을 위한 각종 서비스를 구현한다. DSCR는 차량을 위한 무선 전용 이동 통신으로 ITS 서비스를 제공하기 위한 통신 수단의 하나이며 WAVE는 WLAN 기술을 기반으로 자동차 환경에 맞도록 수정한 기술로 DSCR 기술 중 하나라고 할 수 있다.

본 논문에서는 자율주행자동차를 위한 V2X 중에서 차량과 인프라의 통신을 활용하는 V2I(Vehicle to Infrastructure)의 주요 Use Case를 소개하고 ISO-26262 Part3 프로세스를 활용한 HARA(Hazard Analysis and Risk Assessment) 방법을 이용한 자율주행자동차를 위한 V2I 오작동에 대한 위험성 분석을 수행하여 도출된 주요 위험원에 대한 시뮬레이션 및 실차 시험을 통해 ASIL 등급을 산정하였다. 2장에서는 자율주행자동차를 위한 V2I use case 기반의 주요 기능 및 오작동, 차량 수준의 위험원을 도출하였고, 3장에서는 주요 위험원에 대한 시뮬레이션 환경과 시뮬레이션 결과를 도출하였으며 마지막 4장에 결론을 작성하였다. 본 논문에서는 자율주행자동차의 센서 및 시스템은 정상적인 상태로 가정하였으며 모든 차량은 자율주행시스템 또는 안전 시스템이 탑재된 자동차로 가정하였으며 V2I에 대한 오작동 상황만을 한정하였다.

II. 기능 및 오작동 정의 및 차량 수준 위험원 도출

본 장에서는 ISO-26262 Part3 Concept Phase 프로세스를 활용하여 V2I 통신 기반의 자율주행자동차의 기능 및 오작동을 정의하고 HAZOP을 활용하여 오작동을 도출하였다. HAZOP 기법은 No or Not, Incorrect, More, Less 등과 같은 가이드워드들을 기반으로 시스템의 여러 상태와 결합되어 설계의도에서 벗어날 수 있는 이상 현상들을 식별하여 위험원의 발생을 찾게 되는 개념이다(Hwang et al., 2010). 기능은 자율주행자동차의 제어기의 기능을 제외한 V2I 제공 서비스의 Use Case에 대한 내용을 중심으로 정의하였다.

1. 자율주행자동차를 위한 V2I의 기능 정의

자율주행자동차를 위한 V2I의 주요 기능은 아래 Table 1과 같이 정의하였으며 주로 전방 도로에 떨어진 장애물 정보, 교차로에서 상충 회피를 위한 신호 정보 및 교차로 진입 차량정보, 횡단보도의 이동체 정보 제공으로 정의하였다.

<Table 1> Function definition

Function	Description
Providing an obstacle information	Providing information for avoidance of obstacle(atypical obstacle)
Providing entry vehicle information at the Non-signal/unprotected intersection	Providing information between vehicles going straight and left turning at the intersection
Providing traffic signal information	Providing intersection signal information for collision accident avoidance
Providing moving object information at the crosswalk	Provides information on pedestrian, Cyclist, motorcycle on crosswalks without signals

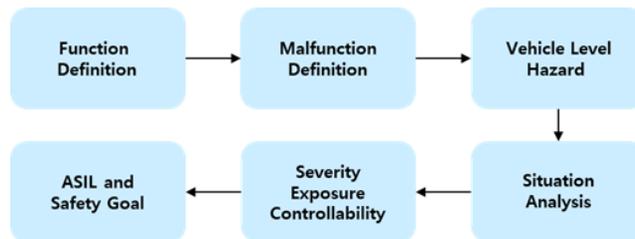
2. V2I 제공 서비스 기반 오작동 정의

오작동 정의는 HAZOP 기법을 활용하였으며 <Table 1>에서 도출한 기능 중 주요 위험원을 내포하고 있는 기능에 대한 오작동 도출을 수행하였다. HAZOP의 Guide words 중 미수행을 의미하는 No or Not 과 오수행 및 잘못된 수행을 의미하는 Incorrect를 이용하여 아래 <Table 2>와 같이 주요 오작동을 도출하였다.

<Table 2> Major malfunction definition

Num	Major Malfunction	Description
MF1	Not providing information of an obstacle	Not providing information of an obstacle(atypical obstacle)
MF2	Incorrect providing information of obstacle	No obstacle's in forward road, but providing informations is with obstacle
MF3	Not providing entry vehicle information at the non-signal/unprotected intersection	Not providing information a straight or left turn vehicle in the opposite lane
MF4	Not providing signal information	Not providing signal information to surrounding vehicles
MF5	Incorrect providing signal information	Real signal is red(blue) light but it carries a blue(red) light signal
MF6	Not providing moving object of unsigned crosswalk	Not providing moving object information or non-signal crosswalk
MF7	Incorrect providing moving object's at the crosswalk	No moving object in non-signal crosswalk, but information is provided with moving object

3. HARA 분석



<Fig. 1> HARA Process

<Table 1>과 <Table 2>에서 정의한 기능 및 오작동을 이용하여 아래 <Table 3>과 같이 HARA 분석을 수행하였다. HARA는 <Fig. 1>과 같이 기능에 대한 정의와 오작동, 차량 수준의 위험원을 도출하고 Situation Analysis를 통해 어떤 주행환경에서 위험원이 도출되는지 분석하고 최종적으로 자동차 안전 무결성 수준인 ASIL을 결정하는데.(Han et al., 2017) ASIL은 Severity, Exposure, Controllability의 등급을 조합하여 산정한다. 상해 심각도를 나타내는 Severity 등급은 S0, S1, S2, S3로 나타내며 S0는 사고 시 상해가 없는 것을 뜻하며 S3는 생명이 위독하거나 사망에 이르는 치명적인 상해를 나타낸다. 노출 빈도를 나타내는 Exposure 등급은 E1, E2, E3, E4로 구분되며 E1은 매우 낮은 발생 빈도를 나타내고 E4는 매우 높은 발생 빈도를 나타낸다. 마지막으로 Controllability는 Malfunction이 발생했을 시 제어 가능성을 나타내는 지표로 C0, C1, C2, C3로 구분되며 C0는 누구나 제어가 가능한 상태를 나타내고 C3는 제어가 불가능한 상태를 나타낸다. HARA 수행 시 Severity 등급은 SAE J2980 (SAE, 2015)의 속도 변화(ΔV) 별 Severity 산정법을 참고하여 3장에서 작성한 시뮬레이션 결과를 활용하여 산정하였고 Exposure 등급은 ISO-26262 Part3 문서(ISO-26262 Part3, 2018)의 Appendix에 포함되어있는 Exposure 예시를 참고하였고 Controllability는 자율주행자동차임을 고려하여 운전자는 제어에 관여를 하지 않으므로 모두 C3로 산정하였다.

<Table 3> Hazard Analysis and Risk Assessment

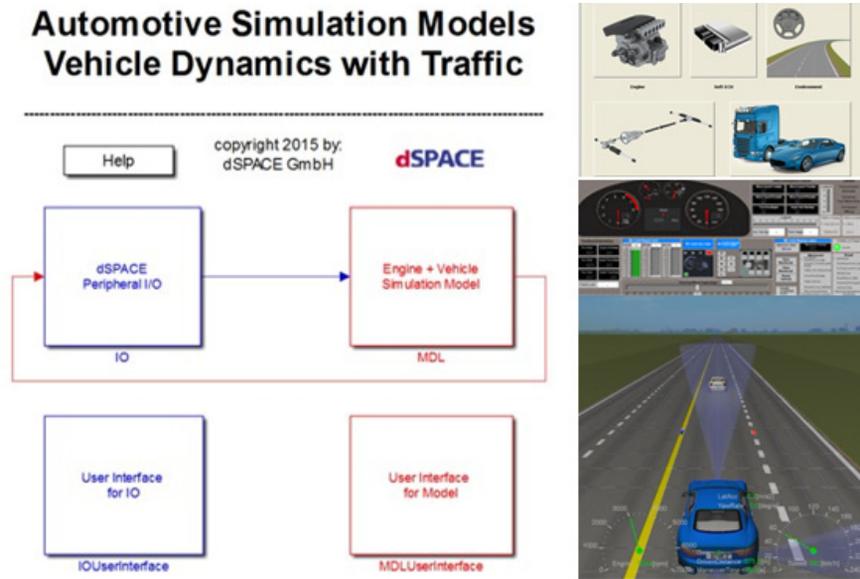
Num	Hazard	Road	Situation Analysis	S	E	C	ASIL
MF1	Hazard due to absence of obstacle information	Highway	While driving at 100km/h on a highway straight road, ahead road is an atypical vehicle in front of the vehicle that has damaged its shape due to an accident, but the no provide warning of the stationary vehicle(obstacle), so vehicle is collided with a atypical vehicle.	S3	E1	C3	A
MF2	Hazard due to incorrect obstruction information	Highway	While driving at 100km/h on a highway straight road, ahead road is no stopping vehicle and obstacles in front, but provide warning of the stationary vehicle(obstacle) in front of the driving lane, and the rear vehicle collides with the rear due to unintended deceleration.	S0 S1	E1	C3	QM
MF3	Hazards due to absence of intersection entry vehicle information	City Intersection	While driving at low speed at city intersections, for left turn, but no provide information of vehicles going straight on the opposite side of the intersection, so late deceleration and collides.	S0 S1	E4	C3	QM B
MF4	Hazard due to absence of signal information	City Intersection	While driving at 60km/h at an intersection, the signal at the front intersection is a stop signal, but information is not supported, ignoring the stop signal and entering the intersection and colliding with the user at the other intersection.	S0 S1	E4	C3	QM B
MF5	Hazard due to incorrect signal information	City Intersection	While driving at 60km/h near the intersection, the signal at the front intersection is a stop sign, but it is incorrectly provided as a starting signal and enters the intersection due to a signal violation and collides with other intersection users.	S0 S1	E4	C3	QM B
			While driving at 60km/h near the intersection, the signal at the front intersection is a starting sign, but it is incorrectly provided as a stop signal, decelerate for the stop before entering the intersection, causing the rear vehicle to crash.	S0 S1	E4	C1	QM
MF6	Hazard due to absence of moving object information	No Signal Crosswalk	While driving at 60km/h near a non-signal crosswalk, the vehicle collides with the moving object because it does not provide information about the moving object crossing the crosswalk outside the sensor's recognition range.	S3	E2	C3	B
MF7	Hazard due to incorrect moving object information	No Signal Crosswalk	While driving at 60km/h near a non-signal crosswalk, there is no moving object in the non-signal crosswalk, but it provides information that the moving object is crossing, causing the vehicle to decelerate and cause a collision of the rear vehicle.	S0 S1	E2	C1	QM

Ⅲ. 시뮬레이션 및 실차 시험 환경 및 결과

본 장에서는 2장에서 도출한 Malfunction에 대해 Severity 등급을 산정하기 위한 시뮬레이션 환경 및 시나리오, 시험 결과를 정리하였다. Severity 산정을 위한 충돌 속도는 아래 식 (1)(Kim et al., 2016)과 같다. 여기서 Δv 는 추돌 차량의 속도 변화를 나타내고, m_1 은 추돌 차량의 질량, m_2 는 피추돌 차량의 질량, v_1 은 추돌 차량의 추돌 시 속도, v_2 는 피추돌 차량의 추돌 시 속도를 나타낸다(Ahn et al., 2018). 충돌 시 반발계수 등의 조건은 고려하지 않았으며 충돌 속도 및 아래 식 (1)의 속도 변화만을 고려하였다.

$$\Delta v = \frac{m_1}{m_1 + m_2}(v_1 - v_2) \quad (1)$$

1. 시뮬레이션 및 실차 시험 환경



<Fig. 2> Simulation Environment

시뮬레이션 환경은 dSPACE 사의 ASM(Automotive Simulation Models)에서 기본으로 제공되는 차량 모델과 ControlDesk, ModelDesk, MotionDesk을 활용하여 구성하였으며, 차량에 부착된 센서의 FOV는 120deg(+/-60deg)로 설정하였고 긴급제동 시스템인 AEB등 안전 시스템이 탑재된 자율주행자동차를 사용하였다. ASM은 Matlab/Simulink 기반으로 동작하며 <Fig. 2> 중간의 Model Desk와 ControlDesk와 연동하여 모델 설정 및 시뮬레이션 설정을 수행하여 <Fig. 2> 우측의 MotionDesk를 통해 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다.

실차 시험 환경은 아래 <Fig. 3>과 같이 구성되어있으며 DGPS를 활용하여 차량과 더미를 이송하는 장치를 연동하여 테스트하도록 구성하였다. DGPS를 이용하여 현재 차량의 위치를 계산하고 차량과 더미 이송 장치의 원점, 즉 더미와의 충돌 위치를 계산하여 시험 차량의 속도 및 거리에 따라 자동으로 더미가 이송되도록 하는 환경을 구성하여 시험을 진행하였다. 여기서 차량과 더미 이송장치는 무선 WIFI 통신을 활용하여 더미 이송에 필요한 정보를 주고받는 구조로 구성하였다.



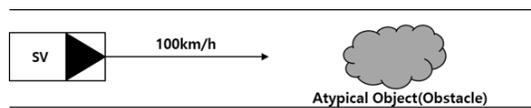
<Fig. 3> Real Vehicle Test Environment

2. 시뮬레이션 및 실차 시험 시나리오

시뮬레이션 및 실차 시험 시나리오는 도출된 Malfunction 별 Situation Analysis 내용을 반영하여 시나리오를 도출하였으며 정지차량(장애물)에 대한 경고 미수행 및 오수행, 비신호 비보호 교차로에서 회전/직진 차량 간 정보 제공 미수행, 교차로에서 신호 정보 지원 미수행 상황 등 <Table 2>에 정의된 Malfunction 별 시나리오를 도출하여 시뮬레이션 및 실차 시험을 진행하였다.

1) MF1 시나리오

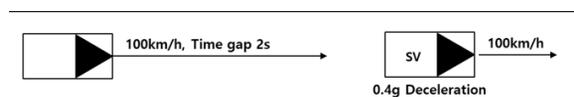
고속도로를 100km/h의 속도로 주행 중 전방에 센서가 인지하지 못하는 비정형 장애물 또는 낙하물이 위치해 있지만 V2I 오작동으로 장애물 및 낙하물 정보를 받지 못해 충돌하는 시나리오로 아래 <Fig. 4>과 같이 도식화하였다. 비정형 장애물은 차량의 센서에 의해 감지되지 않아 제동 없이 충돌하게 하였고, 충돌 물체의 질량에 따라 충돌 차량의 속도 변화는 달라지지만 고속도로 주행 상황 중 치명적인 경우를 도출하기 위해 비정형 물체의 질량은 충돌 차량의 질량은 같다고 가정하여 $\Delta v = 50\text{km/h}$ 로 Severity는 가장 높은 등급인 S3로 산정하였다.



<Fig. 4> Collision of atypical object

2) MF2 시나리오 (시뮬레이션)

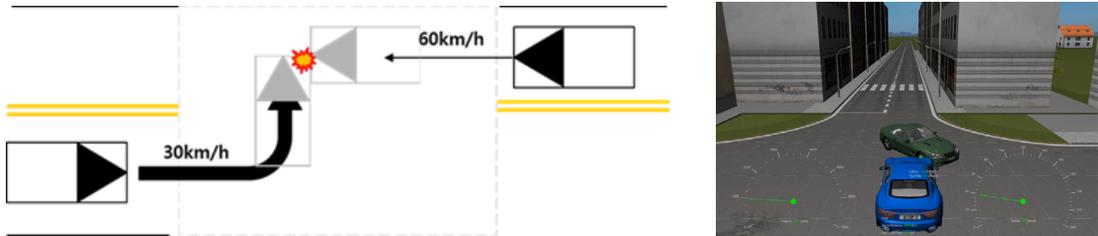
고속도로 직선로에서 100km/h의 속도로 주행 중 전방에 장애물이 없지만 V2I의 오작동으로 전방에 장애물이 있다는 정보로 인해 감속하는 시나리오로 아래 <Fig. 5>와 같이 도식화하였다.



<Fig. 5> Subject vehicle deceleration

3) MF3 시나리오 (시뮬레이션)

MF3 시나리오는 아래 <Fig. 6>와 같이 시내 비신호/비보호 교차로에서 좌회전하는 차량과 반대편 차로에서 직진하는 차량과의 충돌상황을 모사하는 시나리오로 충돌 오프셋은 직진 차량의 50%로 설정하였고 주행 속도는 좌회전 차량이 저속인 30km/h, 직진 차량이 60km/h의 속도 설정하였다.



<Fig. 6> Collision at intersection and simulation scene

4) MF4, MF5 시나리오 (시뮬레이션)

MF4 시나리오는 <Fig. 7>과 같이 신호 교차로에서 신호정보 미제공에 따른 다른 교차로 진입 차량과의 사고를 모사하는 시나리오로 두 차량 모두 60km/h의 속도로 교차로에 진입하고 충돌 오프셋은 50%로 설정하였다. MF5 시나리오는 잘못된 신호정보로 인한 교차로 진입차량과의 충돌로 신호정보 미제공에 따른 교차로 진입 차량과의 충돌 상황인 MF4와 같은 Hazard를 갖는다. 따라서 시뮬레이션 결과 또한 동일하다.



<Fig. 7> Collision at intersection and simulation scene

5) MF6 시나리오 (실차 시험)

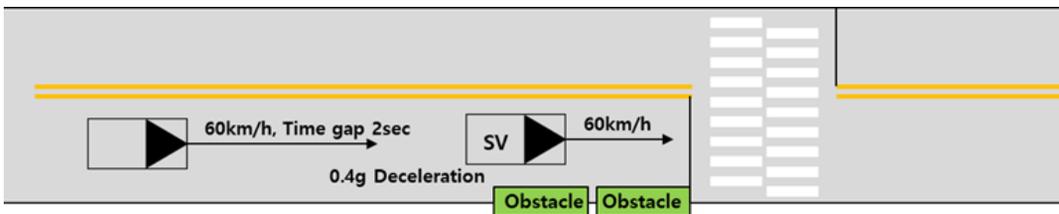
MF6은 비신호 횡단보도에서의 횡단 이동체 정보의 부재로 인한 충돌 상황을 모사하였다. 기본적인 시나리오는 <Fig. 8>과 같이 센서가 인지하지 못하는 영역에서 횡단하는 보행자를 나타내었다. 보행자의 속도는 5km/h의 속도로 충돌 오프셋은 차량 범퍼의 중심인 50%로 설정하였다. 이는 Euro NCAP의 AEB VRU Test Protocol의 시나리오 중 CPNC-50(Euro NCAP, 2019)과 동일한 시나리오로 설정하였다. Euro NCAP은 세계적으로 신뢰도 및 객관성이 높은 테스트 프로토콜로 시나리오 제작 시 사고 데이터 및 통계 자료를 기반으로 만들기 때문에 Euro NCAP의 CPNC-50 시나리오가 비신호 횡단보도에서의 횡단 이동체에 대한 충돌 상황을 모사하기에 적절하다고 판단하였다.



<Fig. 8> Collision at non signal cross walk

6) MF7 시나리오 (시뮬레이션)

MF7 시나리오는 비신호 횡단보도에서 횡단 이동체가 없지만 있는 것으로 잘못 정보를 제공하여 차량이 감속하여 후방 추종 차량의 추돌을 유발하는 상황으로 아래 <Fig. 9>과 같다.



<Fig. 9> Collision at non signal cross walk

3. 시뮬레이션 및 실차 시험 결과

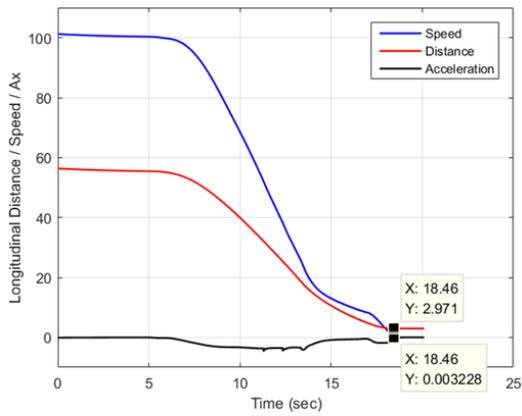
시뮬레이션 결과는 아래 <Fig. 10>부터 <Fig. 14> 및 <Table 4>와 같이 충돌 속도가 도출되었으며 위의 식 (1)에 의해 Δv 가 계산되었고 이에 따른 Severity가 산정되었다. MF2 시뮬레이션 결과인 <Fig. 10>을 보면 V2I 모듈의 오작동으로 전방 차량이 감속하였지만 후방에서 ACC 기능을 통해 추종하는 차량은 전방 차량의 감속을 감지하여 약 18.46초에 전방 차량과의 거리를 약 2.97m 남기고 정지하여 충돌을 회피하였다.

MF3 시뮬레이션의 결과인 <Fig. 11>의 경우 60km/h의 속도로 교차로 진입중 반대 차로에서 30km/h의 속도로 좌회전하는 차량을 발견 후 약 3.8초 경 AEB가 작동하여 속도가 약 35km/h로 감속한 상태로 4.7초 경 충돌하였다.

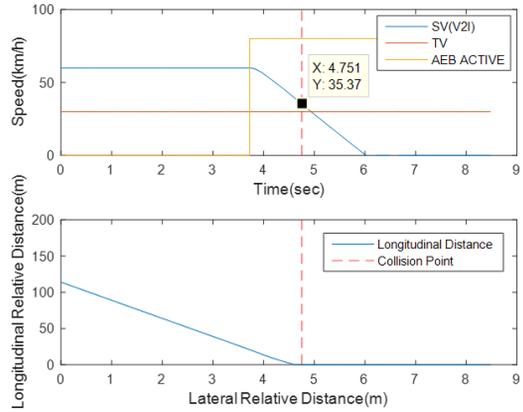
MF4 및 MF5의 시뮬레이션의 결과인 <Fig. 12>의 경우 교차로의 다른 방향에서 진입하는 차량을 종/횡방향으로 약 20m 지점에서 감지하여 약 2.1초 경 AEB를 통해 약 18km/h까지 감속하여 교차로에 진입한 차량과 3.44m의 거리를 남기고 충돌을 회피한 것으로 나타났다.

실차시험을 진행한 MF6 시나리오의 경우 아래 <Fig. 13>과 같이 약 60km/h의 속도로 주행 중 약 종방향 8.7m 지점에서 횡단하는 보행자를 감지하고 약 0.13초 후 AEB를 동작시켰지만 AEB 동작 0.5초 후 약 32km/h의 속도로 보행자와 충돌한 것으로 나타났다.

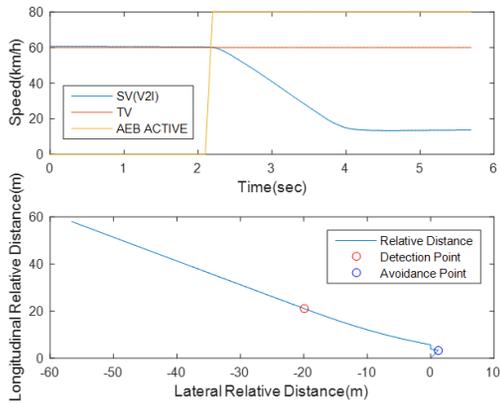
마지막 시나리오인 MF7인 경우 MF2의 시나리오와 마찬가지로 전방 차량의 감속을 감지하여 약 11.47초 경 전방 차량과의 거리 약 2.90m를 남기고 정지하여 충돌을 회피하였다.



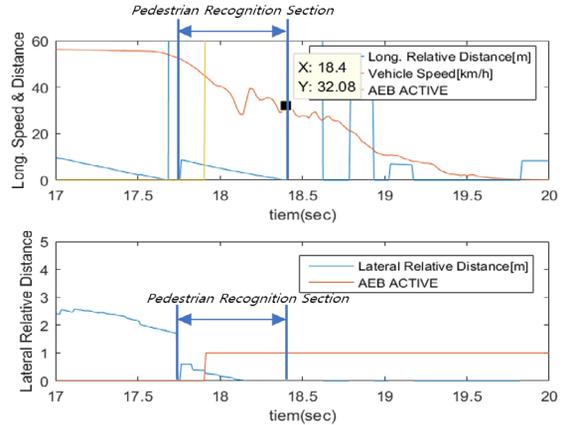
<Fig. 10> MF2 Simulation result



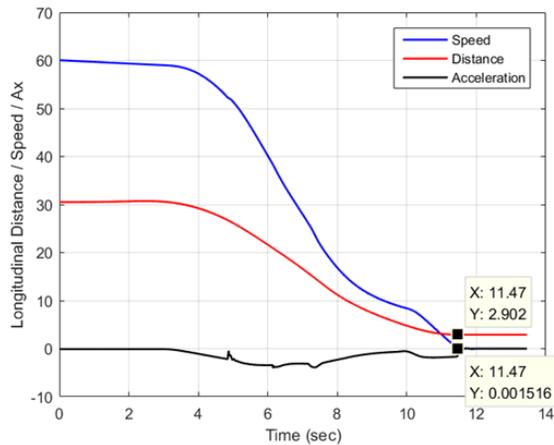
<Fig. 11> MF3 Simulation result



<Fig. 12> MF4, MF5 Simulation result



<Fig. 13> MF6 Real vehicle test result



<Fig. 14> MF7 Real vehicle test result

<Table 4> Simulation result

Malfunction Scenario	Collision Speed	Remaining Distance	ΔV (Delta-V)	Severity
MF1 (Car to Car)	100km/h	0	50km/h	S3
MF2 (Car to Car)	0	2.97m	0	S0
MF3 (Car to Car)	35km/h	0	17.5km/h	S1
MF4/MF5 (Car to Car)	0	3.44m	0	S0
MF6 (Car to Pedestrian)	32km/h	0	32km/h	S3
MF7 (Car to Car)	0	2.90m	0	S0

<Table 4>의 시뮬레이션 결과를 정리하면, MF1의 경우 센서가 인식하지 못하는 비정형 물체와의 충돌로 속도의 감속 없이 충돌하여 ΔV 가 50km/h로 Severity는 S3로 도출하였다. MF2의 경우에는 V2I 모듈의 오작동이 일어났지만 자율주행시스템 및 센서는 정상 작동하므로 전방 차량의 감속에 반응하여 감속을 수행하고 충돌을 회피하였다. 따라서 충돌은 일어나지 않으며 Severity는 S0로 도출하였다. MF3의 경우 교차로에 진입하는 차량을 발견하였지만 AEB 시스템만으로 충돌을 회피하기가 어려웠으며 60km/h로 주행 중 약 35km/h의 속도로 충돌하여 ΔV 는 17.5km/h로 Severity는 S1으로 도출하였다. MF4/MF5의 경우 다른 교차로에서 진입하는 차량을 센서가 감지하여 AEB를 통해 차량이 감속하여 충돌을 회피한 경우로 Severity는 S0로 도출하였다. MF6의 경우 센서의 인식범위 밖에서 횡단하는 보행자와의 충돌이 발생했으며 AEB를 통해 60km/h의 속도에서 32km/h의 속도로 감속했지만 높은 충돌 속도로 Severity는 S3로 도출되었다. 마지막 MF7의 경우 V2I 모듈의 이동체 정보 제공 오수행으로 전방 차량이 감소하는 경우 후방차량의 자율주행 시스템은 정상적으로 동작하므로 전방 차량의 감속에 반응하여 속도를 감속시켜 충돌을 회피하여 Severity는 S0로 도출하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 ISO-26262 Part3 프로세스 기반의 위험원 분석과 일부 시뮬레이션을 통해 자율주행자동차를 위한 V2I의 기능 및 오작동 정의를 수행하고 차량 수준의 Hazard를 도출하고, 주요 위험 시나리오에 대한 시뮬레이션 및 실차 시험을 통해 위험성에 대한 분석을 수행하였다. 자율주행자동차를 위한 V2I의 주 기능은 교차로 부근 및 교차로에서의 주변 차량에 대한 정보와 교차로 진입차량 정보 제공, 도로 장애물 또는 낙하물에 대한 정보, 비신호/비보호 교차로에서 맞은편 차량의 정보 제공 등이다. V2I의 오작동으로 인해 정보 제공이 잘못된다면 사고로 이어질 수 있으며 위험성이 높은 것으로 분석 되었지만 도출된 오작동에 의한 시뮬레이션 시나리오 중에서 잘못된 신호정보 제공(MF4, MF5)으로 인한 교차로 내의 충돌 상황은 충돌방지 지원시스템인 AEB(Automatic Emergency Braking)시스템에 의해 사고를 회피할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 AEB와 같은 안전 시스템에도 불구하고 사고를 회피하지 못하는 교차로내의 MF3, MF6 상황에 대해서는 V2I정보가 제대로 들어왔다면 미연에 제동을 통해 사고를 회피할 수 있었을 것이다. 따라서, V2I 모듈뿐만 아니라 차량에서도 V2I 오작동에 대비한 안전 대책이 확보되어야 한다. 또한 본 연구에서 도출한 시나리오는 수많은 시나리오 중 일부에 지나지 않고 Worst Case 정도의 내용과 일부 가정을 통해 연구를 진행하였다. 따라서 추후에 더욱 많은 상황에 대한 시나리오 도출과 이에 따른 시뮬레이션이 추가로 필요하다고 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(19PQOW-B152473-01)으로 수행된 연구임.

REFERENCES

- Ahn D. R., Shin S. G., Park K. H., Choi I. S. and Lee H. K.(2018), “Functional Safety Concept Design and Verification for Longitudinal Driving Assistance System of an Autonomous Vehicle,” *Transaction of KSAE*, vol. 26, no. 2, pp.149-158.
- Chae H. S., Jeong Y. H., Yi K. S., Choi I. S. and Min K. C.(2016), “Safety Performance Evaluation Scenarios for Extraordinary Service Permission of Autonomous Vehicle,” *Transactions of KSAE*, vol. 24, no. 5, pp.495-503.
- Euro NCAP(2019), *Test PROTOCOL - AEB VRU systems*.
- Han S. Y., Jeong S. H. and Go H. Y.(2017), “A Study on Hazard Analysis and Risk Assessment for Autonomous Driving,” *Proceedings of the KSAE 2017 Autumn Conference*, pp.1470-1476.
- Hwang J. G., Jo H. J., Han C. H., Cho W. S., Ahn J. and Ha D. M.(2010), “A Study on the Hazop-KR for Hazard Analysis of Train Control Systems,” *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 13, no. 4, pp.396-403.
- ISO-26262(2018), *Road vehicles - Functional safety - Part3: Concept Phase*.
- Kim D. B., Yun K. D., Park H. S., Ha Y. S. and Park J. C.(2016), “A Case Study on Speed Analysis of the rear-end Collision Accident,” *Transactions of KSAE*, vol. 24, no. 6, pp.724-729.
- Oh H. S.(2018), “Vehicle V2X Communication Technology Trends,” *Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 40, no. 12, pp.32-35.
- Ryu H. J., Lee D. G., Kim T. J., Moon S. G. and Shim H. C.(2019), “Study on the utilization V2X through K-City case,” *Proceedings of the KSAE 2019 Spring Conference*, pp.770-770.
- SAE J2735(2016), *Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary*.
- SAE J2980(2015), *Considerations for ISO 26262 ASIL Hazard Classification*.