

# 실도로 주행 조건 기반의 자율주행자동차 고위험도 평가 시나리오 개발 및 검증에 관한 연구

정승환\* · 유제명\* · 정낙승\* · 유민상\*\* · 편무송\*\* · 김재부\*\*

## A Study on Development of High Risk Test Scenario and Evaluation from Field Driving Conditions for Autonomous Vehicle

Seunghwan Chung\*, Je Myoung Ryu\*, Nakseung Chung\*, Minsang Yu\*\*,  
Moo Song Pyun\*\*, Jae Bu Kim\*\*

*Key Words* : Autonomous Vehicle(자율주행자동차), Field Driving Conditions(실도로 주행 조건), Accident Data(사고 데이터), Evaluation Scenario(평가 시나리오), Accident Reconstruction(사고 재구성)

### ABSTRACT

Currently, a lot of researches about high risk test scenarios for autonomous vehicle and advanced driver assistance systems have been carried out to evaluate driving safety. This study proposes new type of test scenario that evaluate the driving safety for autonomous vehicle by reconstructing accident database of national automotive sampling system crashworthiness data system (NASS-CDS). NASS-CDS has a lot of detailed accident data in real fields, but there is no data of accurate velocity in accident moments. So in order to propose scenario generation method from accident database, we try to reconstruct accident moment from accident sketch diagram. At the same step, we propose an accident of occurrence frequency which is based on accident codes and road shapes. The reconstruction paths from accident database are integrated into evaluation of simulation environment. Our proposed methods and processor are applied to MILS (Model In the Loop Simulation) and VILS (Vehicle In the Loop Simulation) test environments. In this paper, a reasonable method of accident reconstruction typology for autonomous vehicle evaluation of feasibility is proposed.

### 1. 서론

최근 4차 산업혁명 시대가 시작되고 있는 시점에서 자동차 산업 새 시대 가장 큰 기술의 관심사는 기존 Advanced Driver Assistance Systems(ADAS) 기술의 고도화와 자율주행자동차의 개발 및 양산이다.

자율주행자동차의 기술 단계는 0부터 4까지, 총 다섯

단계로 나뉘지는데 이중 ADAS는 단계 1~2수준에 해당하며, 제한적 또는 완전한 자율주행의 경우는 단계 3~4로 구분하고 있다.<sup>(1,2)</sup> 이중 ADAS의 경우에는 각국에서 신차안전도평가(NCAP, New Car Assessment Program)라는 제도 및 프로토콜을 제시하여 자국 내 시장에 출시되는 차량 안정성의 수준과 정도가 일정 이상 유지될 수 있도록 평가 시나리오를 제시하고 평가 만족 여부를 안전성 등급으로 표기하여 소비자로 하여금 차량 선택의 기준이 될 수 있도록 제도화 하고 있다.<sup>(3-5)</sup> 이런 NCAP의 경우 각각의 첨단 운전자 보조 시스템이 갖춰야 할 최소 작동 조건에 대한 평가 시나리오를 제시하고 있으나, 이는

\* 현대자동차 ADAS성능개발팀

\*\* 현대자동차 법규인증1팀

E-mail : chungsh@hyundai.com

각 시스템의 시험, 검증 및 안정 성능 만족에 대한 표준화 및 정규화를 제시할 수 있을 뿐이다. 즉, 실제 차량이 주행하는 다양한 주행 조건 및 도로 환경에서 어느 수준의 안정 성능으로 사고를 회피 하거나 경감할 수 있는지를 판단할 수 있는 평가 시나리오가 되지 못하고 있다. 또한, 사고 시점을 기준으로 사고 발생전 ADAS 제어 개입으로 사고 회피를 최대화 했음에도 불구하고 사고 발생시 인체 상해 경감을 목적으로 하는 에어백 전개를 실시하는 능·수동통합안전 시스템에 대한 평가 및 검증 시나리오가 되고 있지 못한 실정이다. 최근까지 발표된 논문들의 대부분은 실도로 사고 유형 및 빈도들에 대한 교통 공학 관점의 사고 확률 및 위험도 분석이 대부분이다.<sup>(6-8)</sup> 이런 논문들에서 제시하고 있는 결과의 대부분은 다양한 지역별, 연령별 및 기후별 사고 발생에 대해 통계학적 근거를 기반으로 사고 원인 분석 및 사고 절감을 위한 제도를 선연적으로 제시할 뿐 차량 개발관점에서 활용이 불가능한 한계점을 가지고 있다.<sup>(9,10)</sup> 따라서, 본 연구에서는 실도로 사고 데이터 베이스를 활용하여 사고 상황을 주행 속도 예측의 관점으로 재구성하는 합리적인 방법과 예측된 속도를 차대차 주행 경로를 생성하고 시뮬레이션 및 실차 평가 시나리오로 활용하는 절차를 제안하고자 한다. 이런 절차와 방법을 통한 시험·검증 방법은 실도로에서 발생할 수 있는 사고 위험에 대한 자율주행 제어 전략, ADAS 제어 개입 및 한계 사항과 시험 평가의 우선 순위를 정할 수 있게 되고, FDC(Field Driving Conditions)에서 발생할 수 있는 다양한 조건에서의 검증이 가능하여 시험 평가 기술을 확보하는데 도움이 될 것으로 예상된다.

## 2. FOT 사고 데이터 베이스 종류

### 2.1. GIDAS 사고 데이터 베이스

독일에서는 안전한 교통 문화 조성을 위해 정부, 연방도로 공단 및 기업의 협업을 통한 GIDAS(German In-Depth Accident Study) 라는 이름의 ‘독일 교통사고 심층 조사’ 라는 대규모 데이터 베이스를 구축해 왔었고 여기에는 현장 조사, 사고 시뮬레이션, 피해자 신체 상해 정도 등의 정보를 기반으로 합리적인 안전 기준의 제·개정 근거로 활용하고 있는 것으로 확인된다. 여기 데이터 베이스는 사고 건당 별도의 사고 번호를 부여하고 사고를 구성한 차량과 사람을 구분하여 현장 조사, 상해 기록, 보고서 및 사고 재현 과정을 통해 위의 Fig. 1과 같이 데이터 베이스를 구축하게 된다. 이를 구성하는 입력 변수 데이터는 총



Fig. 1 German in-Depth Accident Study Database

30개의 카테고리에 2,500 여개로 구성된다.

### 2.2. SHRP-2 사고 데이터 베이스

SHRP(Strategic Highway Research Program)는 VTTI (Virginia Tech Transportation Institute) 주관 및 운영으로 '06~'15년 기간 동안 미국 6개 주의 운전자 3,000 여명을 대상으로 실도로 주행 데이터를 포함하고 있는 데이터 베이스이다. 실도로 주행 차량에는 아래의 Fig. 2와 같이 GPS, 전방 레이더, 3축 가속도계 및 실내·외 카메라 등이 장착되어 있어 차량의 당시 속도, 조향각 및 차로내 위치 정보와 방해차 주행 경로 및 운전자 상태 정보 등을 포함하고 있다.

SHRP-2 데이터 베이스는 사고 당시의 영상이 다양한 위치에서 확보되어 있어 갑작스런 방해 차량 출현, 도로 조건, 운전자 부주의 및 운전 미숙 등 사고 원인을 분석하는데 도움이 된다. 뿐만 아니라 사고 발생과 사고 유사 상

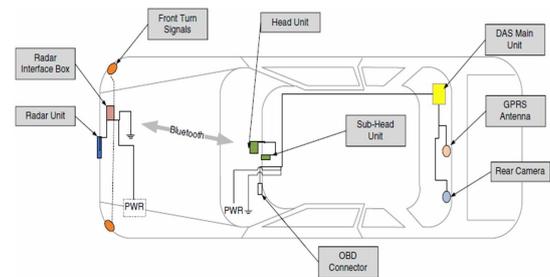


Fig. 2 Driving Vehicle Environments of SHRP-2 Database

황을 구분하고 있어 사고를 재구성하는데 가장 적합한 데이터 베이스 환경 조건을 갖추고 있다. 다만, 사고 다이어그램은 제공하고 있지 않아 데이터 계속 차량 전방에 설치된 레이더 데이터의 후 처리로부터 방해 차량의 경로를 재구성해야 하는 불편함을 가지고 있다.

### 2.3. NASS CDS 사고 데이터 베이스

미국 고속도로교통안전 위원회(NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration)에서는 '98년도부터 교통사고의 원인 분석 및 사회적 경제적 손실을 최소화 하고자 NASS CDS(National Automotive Sampling System Crashworthiness Data System)를 구축 및 운영하기 시작하였다. 이는 앞선 데이터 베이스와 달리 사고 발생일, 차량 파손도 및 사고 재구성을 통한 사고 상황 다이어그램을 무료로 제공하고 있어 활용도가 높다. SHRP-2 데이터 베이스와의 주요 차이점은 아래의 Table 1과 같다.

따라서 본 논문에서는 NASS CDS를 활용하여 사고 분류 방안 및 재구성에 대한 합리적인 방법을 소개한다. 또한, 사고 재구성된 시나리오를 시뮬레이션 및 실차 평가

환경에 적용하여 FOT 환경에서 ADAS 제어 개입 여부 및 한계 상황에 대한 수준을 파악한다. 이를 통해 고위험 공로 평가 시나리오의 유형 분류가 가능해지므로 자율주행 자동차 개발 방향 및 개발 우선 순위를 선정하는데 활용한다.

### 3. 사고 데이터 베이스 기반 사고 재구성

#### 3.1. 사고 및 도로 유형 분류 구조화

NASS CDS 데이터 베이스를 기반으로 사고 상황을 재구성하기 위해 사고 발생 빈도를 확인하는 사전 작업이 필요하며, 그 상세 절차는 Fig. 3과 Table 2에서 보는 바와 같다. 이 과정에서는 방대한 사고 데이터 중에서 사고를 재구성 (reconstruction)을 하기 위한 선별 과정을 포함하고 있으며, 본 논문에서는 차대차 사고에 한하여 재구성 범위를 한정 지었다. 본 연구에서는 '09~'10년의 사고 데이터 베이스를 분석 및 재구성의 기간으로 선정하였다. 사고 재구성 중 1단계 과정으로서 사고 유형과 도로 형태를 구분하는 작업이 선행되어야 한다. 이를 위해 기존 NHTSA에서 정의한 사고 유형 56종을 15종으로 단순화 하였다. 이런 간략화가 가능했던 이유는 사고 재구성 과정에서 시행착오법을 기반으로 사고후 두 차량의 최종 근사 위치를 찾기 위한 과정이 포함되고 있기 때문이다.

즉, NASS CDS에서 분류하고 있는 충돌후 정차, 중·형 이동 등의 최종 위치 상세 구분이 재구성 과정 중에 확

Table 1 Comparison NASS CDC and SHRP-2

| 구분       | NASS CDS   | SHRP-2        |
|----------|------------|---------------|
| 기간       | '79 ~ 현재   | '06 ~ '15     |
| 지역       | 美 전지역      | 美 6개주         |
| 자료       | 경찰청        | Virginia Tech |
| 사용료      | 무료         | 유료            |
| 규모       | 5,000/year | 8,000         |
| 사고 지역    | ●          | ●             |
| 사고 시간    | ●          | ●             |
| 사고 날짜    | ●          | ●             |
| 사고 유형    | ●          | ●             |
| 사고 영상    | X          | ●             |
| 사고 요약    | ●          | ●             |
| 사고 다이어그램 | ●          | X             |
| 속도 변화량   | ●          | X             |
| 운전자 정보   | ●          | ●             |
| 운전자 영상   | X          | ●             |
| 차량 제조사   | ●          | ●             |
| 차량 CAN   | X          | ●             |
| 차선/차로 정보 | X          | ●             |
| 주변 차량 정보 | X          | ●             |

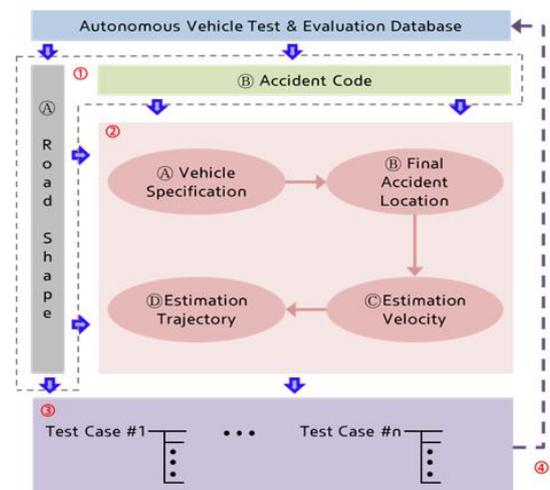


Fig. 3 Classification and Reconstruction Process of Accident Database

인이 가능하기에 구분이 불필요하게 된다. 그 다음으로 도로 형태를 구분하게 되는데 크게는 일반로와 교차로의 두 가지 구성으로, 세부적으로는 직선로, 곡선로 및 진입로 등 총 20개 종류의 도로로 분류하였다. 이렇게 새롭게 정의된 사고 유형과 도로 형태를 기반으로 사고 발생 건수를 확인하고 재구성을 선별하는 결정 과정에 기준으로 활용하였다. 사고 재구성 2단계는 차량의 충돌 지점 및 충돌시 차량에 발생한 충격량을 예측하기 위해 차량 제원값을 결정해야 한다. 본 연구에서는 사고 경로 예측 상용들의 경우 제조사별 차량 제원값을 제공하고 있어 이를 활용하였다. 또한, 충돌후 최종 예측 위치까지 이동이 가능한 차량의 주행 속도와 경로를 도출한다.

3단계는 최종 평가 및 검증 시나리오를 도출하는 과정으로서 충돌이 발생하지 않았을 경우와 충돌이 발생했을 경우의 경로 두 가지를 추출 하게 된다. 충돌이 발생했을 때의 경로는 주행 속도를 추정하기 위함이며, 충돌이 발생하지 않았을 경우의 주행 경로는 실제 해당 평가 시나리오로 활용하기 위함이다. 즉, 충돌후 최종 위치까지 이동한 거리는 충격량에 의해 운전자 요구 주행 의도가 훼손된 경로 이므로 평가 시나리오가 될 수 없기 때문이다.

마지막4 단계는 FOT 실도로 사고 데이터 베이스 시나리오에 재구성된 사고 시나리오를 추가 하는 절차로서 평가 시나리오가 확대 및 강화하기 위한 과정이 된다. 위의 과정으로부터 재구성된 시나리오가 피드백 형태로 대규모 데이터 베이스에 추가되고, 이는 신규 시스템을 도입

Table 2 4-Phase Process of Accident Reconstruction

| 단계 | 내용   |
|----|--|
| ①  | 사고 데이터 베이스 다운로드 후 재분류<br>[분류#1] Accident Code (15개)<br>[분류#2] Road Shape (20개)   |
| ②  | 시행착오법 기반 사고 재구성<br>[과정#1] 차량 사양 선정 (ex: 크기, 무게)<br>[과정#2] 충돌후 최종 위치 확인<br>[과정#3] 두 차량 예측 주행 속도 도출<br>[과정#4] 두 차량 예측 주행 경로 도출 |
| ③  | 테스트 케이스 재정립<br>[과정#1] 충돌 발생시<br>: 시간, 종/횡방향 위치 좌표<br>[과정#2] 충돌 미발생시<br>: 시간, 종/횡방향 위치 좌표<br>[과정#3] 평가 시나리오 도출 및 재구성          |
| ④  | 자율주행자동차 평가 데이터 베이스 강화<br>[추가#1] 자율차 평가 시나리오 DB 추가<br>[추가#2] 사고 위험도 DB 재분석  |

함으로써 감소된 사고 유형 분석이 가능해진다. 이를 통해 사고 절감 및 회피를 위해 강화된 자율주행자동차와 ADAS 설계 목표가 명확히 예측되고, 수준별 평가 시나리오도 정확히 반영할 수 있는 선환 구조 형성이 가능해진다.

### 3.2. 사고 재구성 유형 및 관계식

본 논문에서는 두 차량의 충돌후 최종 정차 위치를 직관적으로 표현하기 벡터 연산을 적용한다. 두 차량의 위치는 “초기 속도 → 충돌 → 최종 위치 판단” 순으로의 결정하게 된다.

2차원 평면 상의 단위(normal) 벡터와 각도 계산으로부터 이동 거리와 차량의 헤딩 각도를 구할 수 있게 된다. Ego 차량과 방해 차량이 5가지 충돌 유형에 대한 최종 위치 결정 관계식은 Table 3과 같다.

사고 재구성을 위해서는 다양한 주행 조건이 고려되어

Table 3 Accident Reconstruction Type and Equations

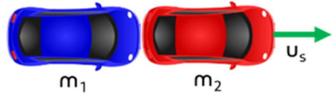
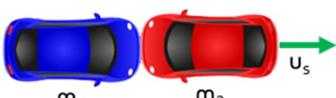
| 충돌 유형#1 : 후방 충돌 |  |
|-----------------|--|
| [충돌전]           |   |
| [충돌후]           |  |
| [관계식]           | $u_s = \left( \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}, 0 \right)$                        |
| 충돌 유형#2 : 전방 충돌 |  |
| [충돌전]           |  |
| [충돌후]           |  |
| [관계식]           | $u_s = \left( \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}, 0 \right)$                        |

Table 3 Accident Reconstruction Type and Equations (Continued)

| 충돌 유형#3 : 입사각 후방 충돌 |   |
|---------------------|---|
| [충돌전]               |   |
| [충돌후]               |   |
| [관계식]               | $u_s = \left( \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 \cos \alpha}{m_1 + m_2}, \frac{m_2 v_2 \sin \alpha}{m_1 + m_2} \right)$ |
| 충돌 유형#4 : 후방 충돌     |   |
| [충돌전]               |   |
| [충돌후]               |   |
| [관계식]               | $u_s = \left( \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}, \frac{m_2 v_2}{m_1 + m_2} \right)$                                   |
| 충돌 유형#5 : 입사각 측면 충돌 |   |
| [충돌전]               |   |
| [충돌후]               |   |
| [관계식]               | $u_s = \left( \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 \cos \alpha}{m_1 + m_2}, \frac{m_2 v_2 \sin \alpha}{m_1 + m_2} \right)$ |

야 하지만, 본 논문에서는 사고 유형의 정규화를 위해 아래와 같은 3가지 가정하에 재구성을 실시한다.

- [가정#1] 도로 노면의 마찰력 계수 : 0.9
- [가정#2] 운전자 및 승객 인원 무게 : 0.0kg
- [가정#3] 도로 상하 및 좌우 구배 각도 : 0.0deg

#### 4. NASS 데이터 베이스 사고 재구성

##### 4.1. 사고 및 도로 유형 분류 구조화

NASS CDS 데이터 베이스의 사고 유형 분류를 위해 본 논문에서 새롭게 정의한 사고 유형 15개와 도로 유형 20개는 Fig. 4와 같다. 특히 도로 유형의 경우 대분류 4개, 소분류 19개로 세분화 하였다. 이런 분류 기준으로 NASS CDS 데이터 베이스 중 '09~'10년 기간 동안 발생한 사고 건수를 재분류 한 결과는 Fig. 5와 같다. 사고 발생 건수로 나열을 해보면 Table 4와 같으며, FCA-JC/JT System(Forward Collision Avoidance assist - Junction Turning / Junction Crossing)이 개발될 경우 해당 사고에 대한 회피 및 피해가 경감 될 것으로 예상되고, FCA 기본 기능만으로도 상당수의 사고를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

##### 4.2. 사고 재구성 절차 및 결과

이번 연구에서 사용한 사고 경로 재구성 프로그램은 PC-Crash 적용하였고, NASS CDS에서 제공하는 사고 다이어그램에 가상의 두 차량을 위치 시키고, 앞에서 설

|  |  |  |  |     |  |
|--|--|--|--|-----|--|
|  |  |  |  |     |  |
|  |  |  |  | ... |  |
|  |  |  |  |     |  |
|  |  |  |  | ... |  |

Fig. 4 Accident and Road Type Classification

실도로 주행 조건 기반의 자율주행자동차 고위험도 평가 시나리오 개발 및 검증에 관한 연구

|         |                   | 2010년도 - NHTSA 사고 유형 분석                        |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   |      |        |  | 합계 (대) | 비율 |
|---------|-------------------|--|--|--|-----------------------------|--------------------------------|---|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|--|-----------------------------|-------------------|------|--------|--|--------|----|
| 도로 유형   | 코드 유형             | D00, D21, D22, D23<br>정방향 충돌 사고<br>(양방향 차량 충돌) | D24, D25, D26, D27<br>정방향 충돌 사고<br>(양방향 차량 충돌) | D28, D29, D30, D31<br>정방향 충돌 사고<br>(양방향 차량 충돌) | E34, E35<br>제어 실패<br>전방향 충돌 | E38, D39<br>차량 충돌<br>회차기 및 교차로 | F44, F45, F46, F47<br>동행자로 가로편향<br>충돌사고 | G50, G51<br>직진 충돌사고 | H50, H59<br>회차기 충돌<br>회차기 및 교차로 | H55, H61<br>회차기 충돌<br>회차기 및 교차로 | H64, H65, H66, H69<br>직진 충돌사고 | J70, J71, J72, J73<br>직진 차량충돌<br>회차기 | K76, K77, K78, K79<br>TBD 회차기충돌<br>회차기 | K80, K81, K82, K83<br>TBD 회차기충돌<br>회차기 | L86, L87, L88, L89<br>회차기충돌 | M82, M83<br>충돌 사고 |      |        |  |        |    |
| 1. 일반로  | (A) 직진            | 412  | 156  | 196  |                             | 2                              | 112                                     | 106                 |                                 |                                 | 80                            | 2                                    | 2                                      | 4                                      |                             | 2                 | 1074 | 18.68% |  |        |    |
|         | (B) 회차            | 56   | 24   | 20   |                             |                                | 38                                      | 118                 |                                 |                                 | 52                            | 4                                    |  |  |                             | 2                 | 314  | 5.46%  |  |        |    |
| 상차로     | (C) 좌회차           |  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   | 0    | 0.00%  |  |        |    |
|         | (D) 좌회차(회차기 포함)   | 224  | 22   | 80   |                             | 2                              | 10                                      | 28                  | 2                               |                                 | 260                           | 28                                   | 54                                     | 306                                    | 28                          | 6                 | 1050 | 18.26% |  |        |    |
|         | (E) 직각충돌          | 2  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 | 6                             |                                      |  | 10                                     |                             | 2                 | 26   | 0.45%  |  |        |    |
|         | (F) 좌회차           |  |  |  |                             |                                |   |                     | 2                               |                                 | 4                             |                                      |  | 2                                      |                             |                   | 10   | 0.17%  |  |        |    |
|         | (G) 도회차           | 10   |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 | 12                            |                                      |  | 4                                      | 12                          |                   | 38   | 0.66%  |  |        |    |
| 2. 고가도로 | (H) 직각충돌          | 26   | 6  | 4  |                             |                                | 4                                       | 2                   |                                 |                                 | 28                            | 2                                    |  | 38                                     | 16                          |                   | 126  | 2.19%  |  |        |    |
|         | (I) 좌회차           | 228  | 24   | 38   | 2                           |                                | 22                                      | 30                  |                                 |                                 | 542                           | 30                                   | 58                                     | 186                                    | 896                         | 4                 | 2060 | 35.83% |  |        |    |
|         | (J) 도회차           | 40   | 4  | 8  |                             |                                | 2                                       |                     |                                 |                                 | 52                            | 2                                    | 8                                      | 20                                     | 44                          |                   | 180  | 3.13%  |  |        |    |
|         | (K) 직각충돌          | 2  |  |  |                             |                                |   | 6                   |                                 |                                 | 4                             |                                      | 4                                      | 4                                      | 2                           |                   | 22   | 0.38%  |  |        |    |
|         | (L) 좌회차           | 60   | 6  | 8  |                             |                                | 8                                       | 6                   |                                 |                                 | 114                           | 4                                    | 24                                     | 56                                     | 210                         |                   | 496  | 8.63%  |  |        |    |
|         | (M) 도회차           | 14   | 4  | 2  |                             |                                | 2                                       |                     |                                 |                                 | 46                            | 6                                    |  | 22                                     | 26                          |                   | 122  | 2.12%  |  |        |    |
|         | (N) 회차기충돌(회차기 포함) |  |  |  |                             |                                | 2                                       |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   | 2    | 0.03%  |  |        |    |
|         | (O) 기형(회차기충돌)충돌   | 30   |  | 2  |                             |                                | 6                                       | 2                   |                                 |                                 | 26                            |                                      |  | 6                                      | 20                          | 26                | 118  | 2.05%  |  |        |    |
|         | (P) 직각충돌          | 13   | 6  | 4  |                             | 2                              | 16                                      | 2                   |                                 |                                 |                               |                                      | 4                                      | 2                                      | 4                           |                   | 53   | 0.92%  |  |        |    |
|         | (Q) 직각충돌          | 14   | 10   | 6  |                             |                                |   | 14                  | 2                               |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   | 48   | 0.83%  |  |        |    |
| 3. 전용도로 | (R) 직각충돌          |  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   |      |        |  |        |    |
|         | (S) 직각충돌          |  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   |      |        |  |        |    |
|         | (T) 직각충돌          |  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   |      |        |  |        |    |
|         | (U) 직각충돌          |  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   |      |        |  |        |    |
| 4. 기타   | (V) 직각충돌          |  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   |      |        |  |        |    |
|         | (W) 직각충돌          |  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   |      |        |  |        |    |
|         | (X) 직각충돌          |  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   |      |        |  |        |    |
|         | (Y) 직각충돌          |  |  |  |                             |                                |   |                     |                                 |                                 |                               |                                      |  |  |                             |                   |      |        |  |        |    |
| 합계 (대)  | 1133              | 262  | 368  | 2  | 6                           | 234                            | 312                                     | 2                   | 0                               | 1232                            | 82                            | 166                                  | 682                                    | 1254                                   | 14                          | 5749              |      |        |  |        |    |
| 비율      | 19.71%            | 4.56%  | 6.40%  | 0.03%  | 0.10%                       | 4.07%                          | 5.43%                                   | 0.03%               | 0.00%                           | 21.43%                          | 1.43%                         | 2.89%                                | 11.86%                                 | 21.81%                                 | 0.24%                       |                   |      |        |  |        |    |

Fig. 5 Classification and Reconstruction Process of Accident Database

Table 4 Results Analysis of Accident Database

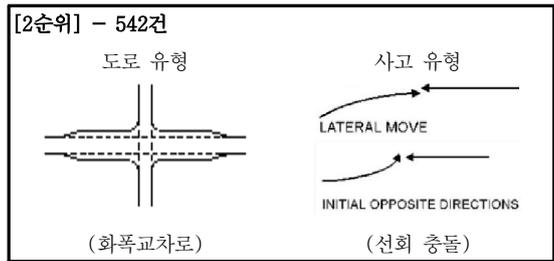
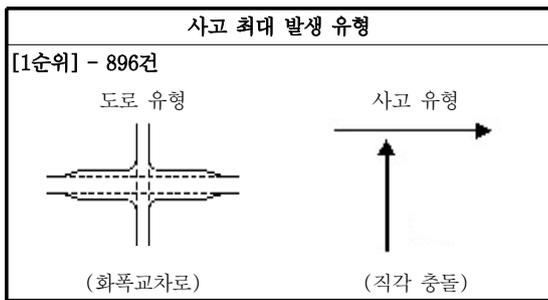
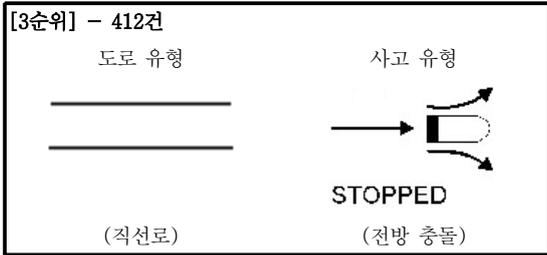


Table 4 Results Analysis of Accident Database (Continued)



명한 바와 같이 시행착오법을 적용하여 주행 속도를 예측하였다. 그 한 예로 Fig. 6과 같은 T형 단순출입로에서 발생한 선회 충돌 사고에 대해 재구성을 실시하였다. NASS CDS 사고 코드로는 2014-09-047에 해당하고, 본 연구에서 정의한 영역으로는 사고 발생 4순위 해당하게 된다.

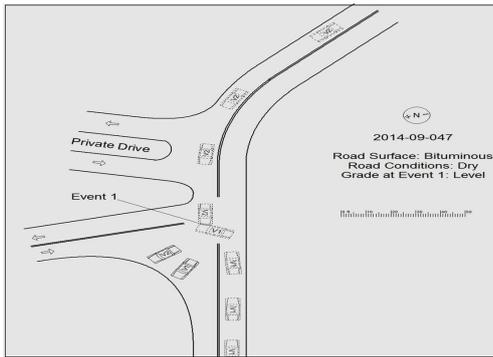


Fig. 6 Real Accident Diagram in NASS CDS Database

재구성 데이터는 복수대의 차량에 충돌이 발생한 위치를 기준으로 사고전 2 Point, 사고후 1 Point를 Fig. 7과 같이 추정하였다. 여기는 충돌 지점을 기준으로 Time,

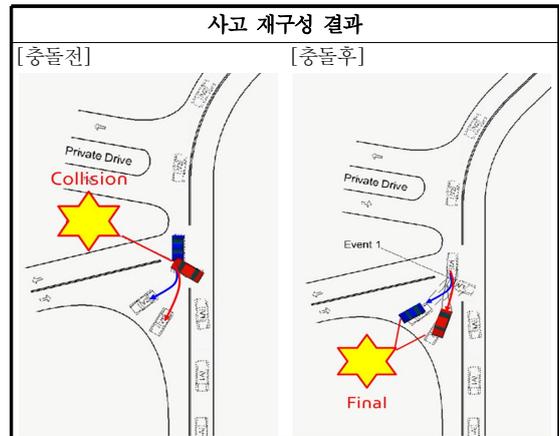
|        | Vehicle #1 (Ego Vehicle)    |                |                |                |                     |              |
|--------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|--------------|
|        | Time (s)                    | X-position (m) | Y-position (m) | Velocity (m/s) | Heading Angle (deg) | Time Gap (s) |
| TP-1   | -1.73                       | 28.367362      | -58.05075      | 5.50001        | 91.326965           |              |
| TP-2   | -0.87                       | 28.099177      | -53.330073     | 5.50001        | 96.939342           | 0.86         |
| TP-3   | 0                           | 26.198308      | -49.059725     | 5.50001        | 149.402646          | 0.87         |
| TP-4   | 2.43                        | 23.436683      | -55.45393      | 0.125555       | 251.006828          | 2.43         |
| TP-4-1 | 2.43                        | 21.636957      | -46.936075     | 0.138553       | 158.816227          | 2.43         |
|        | Vehicle #2 (Target Vehicle) |                |                |                |                     |              |
|        | Time (s)                    | X-position (m) | Y-position (m) | Velocity (m/s) | Heading Angle (deg) | Time Gap (s) |
| TP-1   | -1.73                       | 34.642069      | -14.743724     | 19.50001       | -131.020312         |              |
| TP-2   | -0.87                       | 25.964524      | -28.921414     | 19.50001       | -107.036805         | 0.86         |
| TP-3   | 0                           | 24.875598      | -45.776611     | 19.50001       | -90.37115           | 0.87         |
| TP-4   | 2.43                        | 18.820945      | -53.749316     | 0.171728       | -148.541019         | 2.43         |
| TP-4-1 | 2.43                        | 25.124059      | -84.333695     | 12.229735      | -89.530704          | 2.43         |

Fig. 7 Reconstruction of Accident Driving Path

X-좌표, Y-좌표, 속도, heading 각도 및 시간차 정보를 가지고 있으며, 충돌이 발생하지 않았을 경우의 X-좌표, Y-좌표 및 heading 각도도 추정하여, 운전자 요구 주행시나리오가 포함하고 있다. TP(Target Point)-4의 경우 최종 충돌후 위치를 결정하는 좌표와 속도 이고, TP4-1의 경우는 충돌하지 않았을 경우의 경로를 나타낸다. 즉, 최종 실도로 사고 데이터 기반의 시나리오는 “TP-1 → TP-2 → TP-3 → TP-4-1”으로 구성된다.

재구성된 사고 경로를 확인해 보면 두 차량의 주행 속도는 19.8(km/h)와 70.2(km/h)로 예측되었다. 두 차량의 주행 경로를 확인해 보면 발생 지점인 TP-4에서 heading 각도가 갑자기 증가하는 것을 확인할 수 있으며, TP-4-1로부터 선형적인 heading 각도로부터 당초 운전자 요구 경로 또한 정상적으로 추정이 되었음을 확인할 수 있다. 또한, 추정된 속도와 경로로 주행할 경우 충돌후 최종 위치에 정착하는 결과로부터 사고후 거동 변화가 잘 예측되었음을 확인할 수 있었고, 그 상세 사고 재구성 결과는 Table 5에서 확인할 수 있다.

Table 5 Result of Accident Reconstruction



4.3. MIL / VIL 환경 시나리오 검증

사고 상황이 재구성된 시나리오를 MILS(Model In the Loop Simulation)와 VILS(Vehicle In the Loop Simulation) 환경에 적용하여 ADAS 제어 개입에 따른 사고 회피 성능을 확인하였다.

두 검증 환경에 적용된 FCA 제어 알고리즘의 경우 회피 가능성을 검증하기 위해 설계한 선형 알고리즘이 적용되었고, 레이더 센서의 경우 인식거리 200(m) / FOV(Field

of View) 10(deg), 인식거리 50(m) / FOV 45(deg)로 설정하였다. FCA 제어 알고리즘은 남→북 방향으로 주행하는 차량에 적용하였으며, 주행 속도는 19.8(km/h)이고, 방해 차량은 70.2(km/h)로 FCA 없이 주행하게 하였다. 그 결과 Table 6과 같이 FCA 장착 차량에서 긴급 제동명령이 개입되어 사고를 회피할 수 있었으며, 정지 거리 약 2.1(m) 정도로 예측할 수 있었다. VILS 평가 결과는 Table 7과 같으며 MILS와 동일한 FCA 제어 알고리즘을 적용하였고 방해차량과 충돌이 발생하지 않았다.

FCA 선행 검증 제어 알고리즘의 경우 MILS와 동일한 형태인 MatLab/Simulink 환경에서 설계된 것을 사용하였으며, MicroAutoBox에 업로드 및 제어 개입을 통해 검

Table 6 Accident Reconstruction - MILS Test Validation

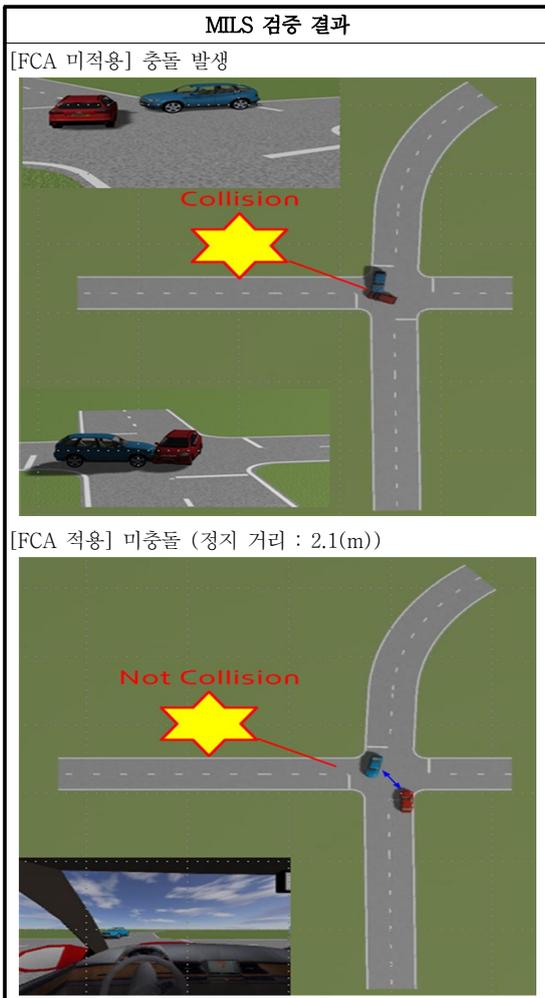


Table 7 Accident Reconstruction - VILS Test Validation



증하였다. VILS 검증 결과 정지 거리는 약 0.95(m)로 예측 되었으며, 이는 실험 환경 특성상 사고 재구성 속도 유지의 어려움과 실차 결과 분포 영향도로 확인된다. 또한, VILS 환경의 경우 주행 속도가 운전자 성향별로 상이하게 되어 정확한 사고 위치에 충돌이 발생하기 어려운 한계점을 가지고 있어, 목표 차량의 주행 속도별 적응형 속도 제어 알고리즘을 별도로 설계 및 적용하여 평가 환경의 강건성을 확보하였다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 실도로 공로에서 발생하는 고위험도 시나리오를 자율주행자동차와 ADAS 시험 평가 및 검증 시나리오로 구성하기 위한 절차와 방법을 개발하고 제안하

였다. 이번 연구에서 소개한 무료의 사고 데이터 베이스 선정, 사고 및 도로 유형 분류의 구조화, 재구성 절차와 생성된 시나리오를 MILS 또는 VILS 환경에서 검증할 경우 다양한 실도로 주행 조건의 평가가 가능하다는 것을 증명하였다.

이런 고위험도 주행 시나리오를 자율주행자동차와 ADAS 차량의 평가 시나리오로 적용할 경우 주행 상황에서 발생하는 다양한 주행 조건에 대한 제어 능력, 한계 사항 및 최소한의 대응 능력 등을 신속하게 검증할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, Field Driving Conditions을 바탕으로 하는 시나리오 분류 및 정규화 과정에 활용이 가능할 것으로 판단한다.

ADAS NCAP 평가 시나리오 만으로는 실제 공로 주행 조건을 포함 수 없는 한계 사항의 대안과 자율주행 자동차 사용자 요구 만족 개선에도 도움이 될 것으로 예상된다. 향후 계획으로는 본 논문에서 제안한 Fig. 8과 같은 사고 재구성에 절차에 확률 분포가 포함된 평가 시나리오를 정규화 과정을 통해 도출하고 다음과 같은 절차를 거쳐 자율주행자동차 검증 시나리오 확대 적용할 예정이다.

1) 사고 데이터 베이스의 ‘사고 번호’를 도로 형태와

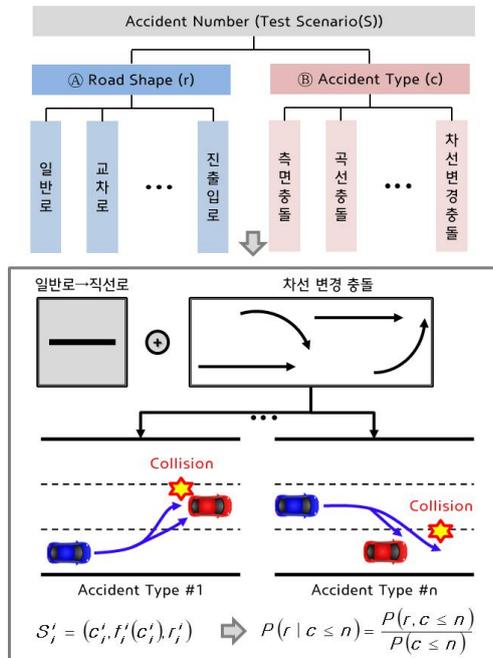


Fig. 8 Accident Database Classification Type and Reconstruction Process

사고 유형으로 분류한다.

- 2) 도로 형태와 사고 유형의 조합으로 충돌 형태를 구분하여 시나리오로 구성한다.
- 3) 구성된 시나리오를 MILS 및 VILS의 주행 경로로 입력하여 자율주행 제어 이벤트 개입 여부를 검증한다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비 지원(과제번호 : 17TLRP-B117135-02)에 의해 수행 되었습니다.

## 참고문헌

- (1) Adit Joshi, “Hardware-in-the-Loop (HIL) Implementation and Validation of SAE Level 2 Autonomous Vehicle with Subsystem Fault Tolerant Fallback Performance for Takeover Scenarios”, SAE 2017-01-1994, 2017.
- (2) Helene G. Moorman, Andrea Niles, and Caroline Crump, Audra Krake, Benjamin Lester, Laurene Milan, Christy Cloninger, David Cades, and Douglas Young, “Lane-Keeping Behavior and Cognitive Load with Use of Lane Departure Warning”, SAE 2017-01-1407, 2017.
- (3) Michael Holland, Jonathan Gibb, Kacper Bierzanowski, Stuart Rowell, Bo Gao, Chen Lv and Dongpu Cao, “Virtual Test Design and Automated Analysis of Lane Keeping Assistance Systems in Accordance with Euro NCAP Test Protocols”, SAE 2017-01-0429, 2017.
- (4) Sagar Kirtany, Vinay Kaul, Sushant Rai, Vijender Kumar Saini, Parmeet Singh, and Pankaj Shyoran, “An Integrated Test Suite for Verification and Validation of Advanced Driver Assistance Systems”, SAE 2016-28-0216, 2016.
- (5) S. Chung and H. Lee, “Vehicle Sideslip Estimation and Compensation for Banked Road”, International Journal of Automotive Technology, Vol. 17, No. 1, 63~69, 2016.
- (6) Yufan Zeng, Xichan Zhu, “Critical Driving Scenarios Extraction Optimization Method Based on China-FOT Naturalistic Driving Study Database”, SAE

- 2018-01-1628, 2018.
- (7) Dietmar Otte, Martin Urban and Heiko Johannsen, "The New Approach of In-Depth-Accident-Investigation based on the Methodology for Traffic Accident Database on Scenarios TADS", SAE 2018-01-1628, 2018.
- (8) Seunghwan Chung, Je Myoung Ryu, Nakseung Chung, Minsang Yu, Moo Song Pyun, Jae Bu Kim, "A Study on Reconstruction Typology of Scenario for Autonomous Vehicle Evaluation", KASA 2018 Fall Conference, 2018.
- (9) Hamezh Alzu'bi, Brian Dwyer, Sarika Nagaraj, Martin Pischinger, Alanna Quail, "Cost Effect Automotive Platform for ADAS and Autonomos Development", SAE 2018-01-0588, 2018
- (10) Kusano KD and Gabler HC, "Comparison and Validation of Injury Risk Classifiers for Advanced Automated Crash Notification Systems", Traffic Injury Prevention v15, pp. 126~133, 2014.