



# 피해차량용 능동안전 시스템 개발을 위한 차대차 사고 시나리오 설계

정수현·김주희·안창선\*

부산대학교 기계공학부

## Design of Car-to-car Accident Scenarios for Development of Active Safety System for Target Vehicle

Suhyun Jeong · Juhui Gim · Changsun Ahn\*

School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

(Received 22 November 2017 / Revised 10 January 2018 / Accepted 19 January 2018)

**Abstract** : Most active safety systems are designed to prevent mistakes and unstable maneuver that may result in accidents. Therefore, existing active safety systems are designed for bullet vehicles in car-to-car collisions. No active safety features that can protect target vehicles from unexpected collisions are available in the market yet. This study analyzed accident data with respect to target vehicles and presents the most frequent types, most severe types of accidents as well as the types of accidents resulting in multiple events. Furthermore, based on the analysis, some representative accident scenarios are extracted from the database to aid in the development of active safety features for target vehicles.

**Key words** : Active safety(능동안전), Target vehicle(피해차량), Accidents analysis(사고분석), Collision avoidance(충돌회피), Accident severity(사고 심각도), Accident frequency(사고빈도), Multi-accidents(다중사고)

### 1. 서론

양산차에 ADAS(Advanced Driver Assist System) 관련 센서 및 액추에이터의 장착 확대에 의해 관련 기능 및 부가 기능의 급격한 발전이 이루어지고 있다. 특히 사고를 능동적으로 방지하는 AEB(Autonomous Emergency Brake), ACC(Adaptive Cruise Control), LKAS(Lane Keeping Assist System) 등의 능동안전시스템의 발전이 두드러진다.<sup>1)</sup> 하지만 위와 같은 시스템 들은 가해차량 입장에서 운전자의 실수를 판단하고 예방하여 사고를 방지하는 시스템으로 주변차량의 실수 및 부주의로 인하여 발생하는 사고를 피해차량의 입장에서 방지해주는 시스템은 아니다.

근래 고속도로에서 졸음운전 차량에 의한 사고가 대형사고로 이어진 사례를 통하여 알 수 있다시피, 자 차량이 예상하지 못하는 방향에서 주변 차량이 일으키는 사고는 자 차량의 운전자가 적절히 대응하지 못하고 대부분 다중사고의 형태로 이어지는 경우가 많다.

이와 같은 이유로 피해차량용 능동안전시스템을 개발하려는 연구가 점차 늘어나고 있다.<sup>2-9)</sup> 대표적인 사례로는 1차 충돌 후 피해차량이 과도한 횡 미끄러짐 각을 갖지 않도록 하거나 현재 차선에서 벗어나는 것을 최대한 줄여주는 목적을 가진 충돌 후 자세제어에 관한 연구가 있었다.<sup>2-5)</sup> 또한 자차량과

\*Corresponding author, E-mail: sunahn@pusan.ac.kr

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.

주변 차량의 미래 경로를 예측하여 충돌 가능여부 및 충돌확률 등을 계산하여 안전한 경로로 주행하도록 하는 연구 등도 있었다.<sup>6-9)</sup> 이와 같은 연구들은 임의의 사고사례나 가상의 사례를 기반으로 연구되고 알고리즘이 개발 및 검증되었다.

대표적인 능동안전 시스템인 ESC(Electronic Stability Control)는 Elk test 또는 DLC(Double Lane Change)등의 주행 시나리오를 기반으로 시스템의 개발 및 검증을 수행한다. 이는 ESC의 작동이 요구되는 상황이 가장 잘 발생하고, 실제로 차량의 횡적 안정성이 떨어지는 사고가 가장 빈번히 발생하는 경우이기 때문이다. AEB의 경우도 표준화된 후방 충돌 시나리오를 기반으로 제품의 개발 및 검증이 이루어지고 있다.<sup>10)</sup>

ADAS 기술의 통합 시스템인 자율주행 자동차 시스템 또한 안전 성능 평가를 위해 시나리오 개발이 요구되고 있고 관련 연구가 진행 중이다.<sup>11)</sup> 하지만 이러한 시나리오들은 차 차량이 가해차량으로 가정하는 시나리오들로 구성되어있다.

피해차량 용 능동안전 시스템의 경우 아직 양산화된 제품이 존재하지 않고, ADAS시스템을 적극적으로 활용한 제품이 존재하지 않기 때문에 표준화된 개발 및 검증 시나리오가 존재하지 않는다. 본 연구에서는 피해차량 용 능동안전 시스템 개발 시 활용할 수 있도록, 피해차량의 입장에서의 사고의 원인, 형태 별 사고 빈도 및 사고 심각도를 분석하고 이를 기반으로 가장 대표적인 사고 시나리오를 추출

하도록 하겠다. 이렇게 개발된 사고 분석 결과는 피해차량 용 안전시스템을 개발을 위한 타당성의 근거가 될 수 있을 뿐만 아니라, 안전시스템 알고리즘의 작동 방식 및 개발 방향에 도움이 될 것이다. 또한 개발된 시나리오는 안전시스템 개발 시 필요한 대표 케이스 및 검증 케이스로서의 역할을 할 것이다.

본 연구에서는 피해차량의 입장에서 사고를 분석하기 위하여 방대한 사고 관련 데이터베이스에서 관련 데이터를 추출 및 재가공하여 분석하고 이를 통하여 시나리오를 추출한다. 사고 정보를 통계학적으로 분석하여 차대차 사고 및 다중사고의 주요 발생 유형을 토대로 심각도가 높은 시나리오를 설계한다.

## 2. 사고 표본

한국의 도로교통공단은 TAAS(Traffic Accident Analysis System)라는 시스템으로 사고 자료들을 공개하고 있으나, 각 사고 분류 별 부상자 위주의 통계 자료만 제공하고 있다. 상세 정보가 공개된 자료는 차량 종류, 사고 유형이 간단하게 기입되어있고, 다중충돌 시 1차 충돌이후의 정보는 확인할 수 없다. 반면 미국의 도로교통안전국 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)는 지난 20년간 미국에서 발생한 차량 사고 데이터를 수집하고 데이터베이스화하여 국내 데이터베이스보다 훨씬 다양한 정보를 공개하고 있다. NHTSA는 Fig. 1과 같이 각 사고의 사고차량 상세정보, 사고 궤적, 탑승자 부

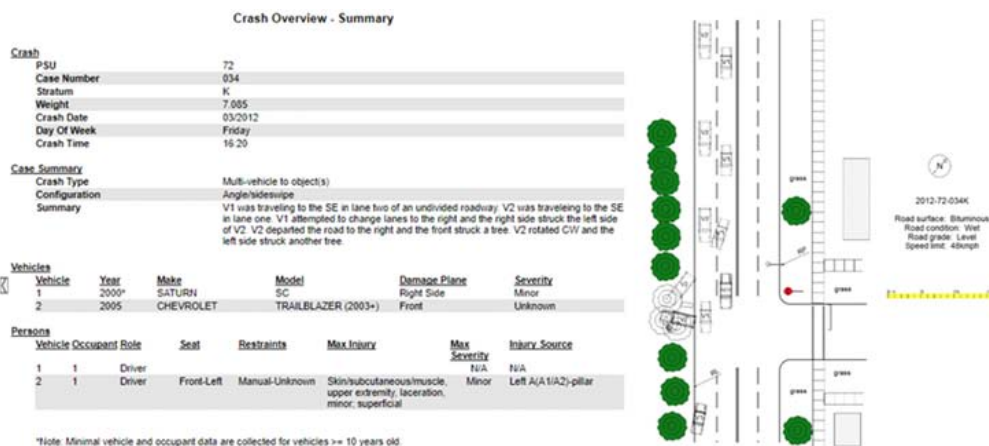


Fig. 1 Example of NASS-CDS, NHTSA

상정보, 주변 도로 환경 등의 상세정보를 수집하여 NASS(National Automotive Sampling System)라는 이름으로 공개하고 있다.

NASS는 General Estimates System(GES)와 Crashworthiness Data System(CDS) 두 가지 시스템으로 구성되어 있다. 이 중 CDS는 피해 상황에 대한 정보를 상세하게 기록한 시스템이다.<sup>12)</sup> 해당 자료들은 경찰청 사고 데이터를 기반으로 무작위화한 사고 표본에 대한 자세한 데이터로 구성되어 있다. 해당 자료를 수집하기 위해, 현장 조사팀이 충돌 지점에서 사고 현장을 직접 조사하고 사고 피해자들과 인터뷰, 의료 기록을 검토하여 사고 심각성을 확인한다. 이후 NASS의 품질 관리 표준을 통과하면 데이터베이스에 해당 표본이 영구적으로 기록된다. 해당 정보는 NHTSA에서 교통 안전 문제를 파악하고, 차량 간의 충돌 데이터를 기반으로 차량 안전 시스템 설계 및 평가에 사용되고 있다. 해당 자료들을 토대로 다양한 교통사고 원인 분석이 이루어지고 있으며, 관련 연구들에 활용되고 있다.<sup>13,14)</sup> 본 연구 또한 NHTSA의 NASS-CDS 데이터를 토대로 필요한 정보를 추출하여 재가공한다.

### 3. 자료 분석

실제 사고 데이터에 기반하여 사고 시나리오를 설계하기 위하여 데이터를 분석하여 통계적인 기반을 만들어야 한다. 이를 위해 공개된 사고 표본들을 분석에 필요한 항목과 그렇지 않은 것들로 구분하고 사용하기 위한 자료를 문서화하는 작업이 필요하다. 데이터베이스는 제공하는 정보가 자세하고 다양한 방면 문자기반으로만 제공하고 어떤 양식도 제공하지 않으므로 본 연구에서 필요한 표형식의 양식으로 문서화 하였다. 데이터베이스가 제공하는 자료 중 최근 3년(2012, 2013, 2015)간의 전체 9586건의 사고를 추출하여 분석하였다. 사고 표본들을 아래 3.1절의 지표를 기준으로 데이터 전처리를 수행하였다.

#### 3.1 데이터 전처리

NASS-CDS는 ‘차대차’, ‘차 대 보행자’, ‘차 대 교통물체’, ‘차 대 이륜전동기’ 등 모든 유형의 교통사

고 자료를 모두 포함한다. 본 연구에서는 ‘차대차’ 사고만을 대상으로 자료를 추출하였다.

사고 시나리오를 설계하기 위하여 다음과 같은 지표를 기준으로 자료를 재가공하였다. 주어진 데이터베이스의 사고 요약과 사고 사진 및 궤적을 참고하여 사고 발생순서 및 피해차량/가해차량을 기입하였다. 사고 발생 순서에는 충돌 물체, Yaw 회전 각도, Roll over 여부, 조향 상실 여부 등을 상세히 기입하였다. 각 사고 차량의 모델, 주요 충돌 면, 심각성을 기입하였고, 사고 궤적을 참고하여 첫 충돌 사고 시 피해차량의 충격 위치(Point of collision)를 추가로 기입하였다. 해당 지점을 구분하기 위한 지표는 Fig. 2에 나타내었다. 또한 충돌 각도는 피해차량을 기준으로 뒤쪽에서 오는 충격은 0도, 왼쪽에서 오는 충격은 90도, 앞쪽에서 오는 것은 180도의 기준으로 표기하였다. 단, 각도는 45도 단위의 해상도를 가진다. 예를 들어 180도는  $180 \pm 22.5$ 도의 충돌 각도를 대표한다. 사고 주위 환경으로 도로 선형 유형, 도로 표면 및 해당 구역의 속도 제한을 기입하였다. 사고 직전 차량 속도 자료가 있을 경우 추가로 기입하였다.

#### 3.2 분석

재가공한 자료를 기반으로 시나리오 설계에 필요한 1) 전체 차대차 사고를 분석하고 이 후 2) 단일사고(두 차량만이 개입된 사고)와 다중사고(다수의 차가 개입되고 복수의 사고가 일어나는 경우)로 구분한 사고 유형별 분석을 실시하였다.

##### 3.2.1 전체 차대차 사고 분석

분석 대상 전체 교통사고 9586건 중 차대차 사고는 6185건으로 64.52%를 차지하고 있다. Fig. 3에는 재가공한 자료로부터 차대차 사고 중 충돌 부위 및 각도 별 사고 발생 빈도 및 사고 심각도 확률을 추출하여 이를 도시하였다. NASS-CDS는 사고 심각도를 차량 피해를 기준으로 Minor, Moderate, Severe로 구분하고 있으며, Fig. 3에서 심각도 확률은 주어진 유형에서 Severe 사고가 차지하는 비율을 의미한다.

Table 1은 사고 빈도 순 상위 5개의 유형을 나타내고 있다. 사고 발생 빈도 도표에서 가장 빈번하게 발생하는 사고는 후방 추돌 사고(충돌 부위 : 9, 충돌

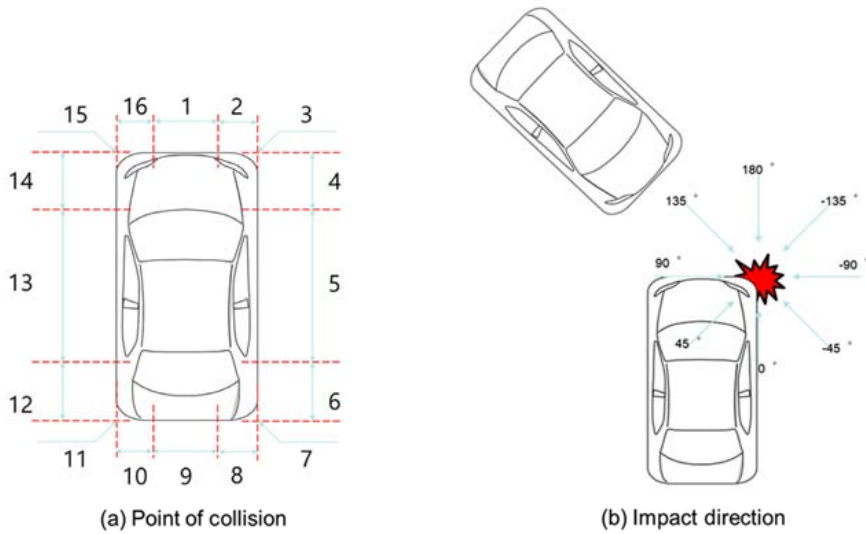


Fig. 2 The collision type: (a) Point of collision, (b) Impact direction

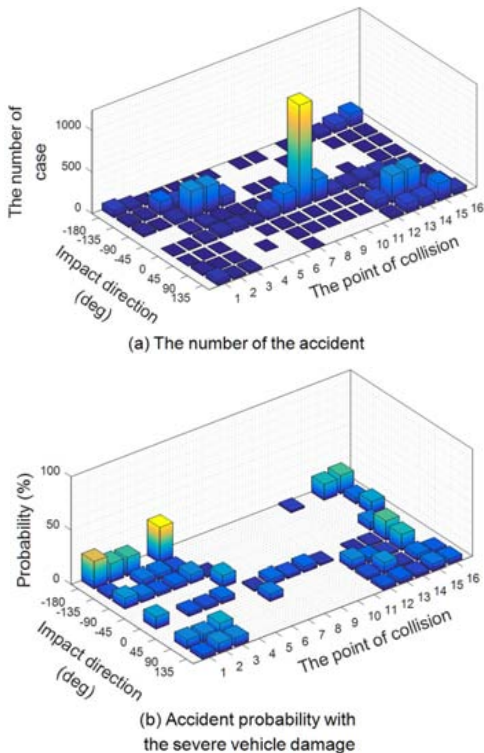


Fig. 3 Accident probability

각도 : 0°) 임을 알 수 있다. 다음으로 좌측의 직각 측면 충돌(충돌 부위 : 14, 충돌 각도 : 90°)이 많이 발생하고, 우측 직각 충돌(충돌 부위 : 4, 충돌 각도 : -90°)

Table 1 Top 5 types of car-to-car accident frequency

	Point of collision / Impact direction (%)	Probability
1	9/0 °	20.25%
2	14/90 °	5.42%
3	4/-90 °	5.36%
4	13/90 °	5.33%
5	5/-90 °	5.22%

이 다음을 차지하고 있다. 후방 추돌 사고가 전체 차대차 사고 중 1/3을 차지하는 정도로 빈번한 사고라는 것은 AEB가 다른 시스템 대비 양산이 먼저 이루어지고 안전도 테스트에서 높은 등급을 받기 위한 필수 기능으로 정해진 것을 뒷받침해준다. 또한 다음으로 자주 벌어지는 사고 유형인 측면 충돌의 경우 대부분 교차로 등에서 일어나는 사고로서 Euro-NCAP에서 교차로 사고 방지 기능의 의무화 흐름도 이를 통해 이해할 수 있다.

Table 2의 사고 심각도의 경우, 가장 심각도가 높은 사고는 앞쪽에서 오는 차량에 의해 일어난 측면 방향 충돌 사고(충돌 부위 : 5, 충돌 각도 : -180°)이고 대부분이 중앙선을 넘어서 피해차량의 측면을 비스듬하게 충격한 경우이다. 다음으로 심각도가 높은 사고는 정면충돌 사고(충돌 부위 : 1, 충돌 각도 : -180°), 측면에서 앞쪽을 타격한 사고(충돌 부위 : 15, 충돌 각도 : 0°)순이다. 이러한 사고 유형은 빈도 통

Table 2 Top 5 types of car-to-car accident severity

	Point of collision / Impact direction (%)	Severity
1	5/-180°	33.3%
2	1/-180°	23.68%
3	15/0°	18.18%
4	15/-180°	17.24%
5	2/-180°	17.07%

계에서는 매우 낮은 유형이었다. 이러한 두 통계 결과를 통해 빈도가 높은 사고가 꼭 위험도가 높은 사고는 아님을 알 수 있다.

사고 빈도와 Severe 확률을 비교했을 때 후방 충돌과 직각 중앙 측면 충돌은 빈도에 비해 사고 심각도가 낮은 것을 알 수 있다. 그에 반면, 서로 반대 방향으로 향하여 부딪힐 경우 빈도는 낮으나 큰 피해를 입을 확률이 높은 것을 볼 수 있다. 측·후방 충돌의 경우 사고 시 상대 속도가 높지 않거나 범퍼를 통한 충돌이 많아 충격량이 감소되어 차량 피해가 높지 않는 것으로 판단된다.

전체 충돌 후 진행방향의 각도 변화가 큰 경우 중 Severe 사고 발생 확률은 10.27 %이고, 각도 변화가 작을 경우 중 Severe 사고 발생 확률은 4.97 %이다. 이는 사고 후 진행방향의 각도변화와 사고 심각도가 상관관계가 있음을 보여준다. Fig. 4는 각 유형 별 충돌 후 차량의 진행 방향의 각도 변화가 크게 발생하는 경우와 그렇지 않은 경우 Severe 확률을 나타낸 것이다. 각도 변화가 클 경우 측면 충돌이 Severe 확률이 높은 것을 볼 수 있다. 그 중 사선으로 충돌하는 경우가 직각 측면 충돌보다 심각도가 높다. 각도 변화가 작을 경우 정면충돌이 Severe 확률이 높은 것을 볼 수 있다. 정면충돌의 경우 다른 충돌 유형보다 상대속도가 크기 때문에 심각도가 높은 것으로 판단된다. 후방 충돌은 각도 변화가 작을 경우 심각도가 매우 낮게 나오지만, 각도 변화가 클 경우 심각도가 높아지는 것을 볼 수 있다. 측면 사고와 후방 충돌의 결과를 통해 각도 변화가 클 경우 추가적인 충돌 혹은 사고가 발생하여 사고 피해에 영향을 미쳤거나 차량의 회전을 발생할 만큼 충격량이 컸을 것으로 예측된다.

Fig. 5는 차대차 사고 시 차량의 각도 변화가 발생한 확률을 충돌 위치와 방향으로 세분화하여 나타

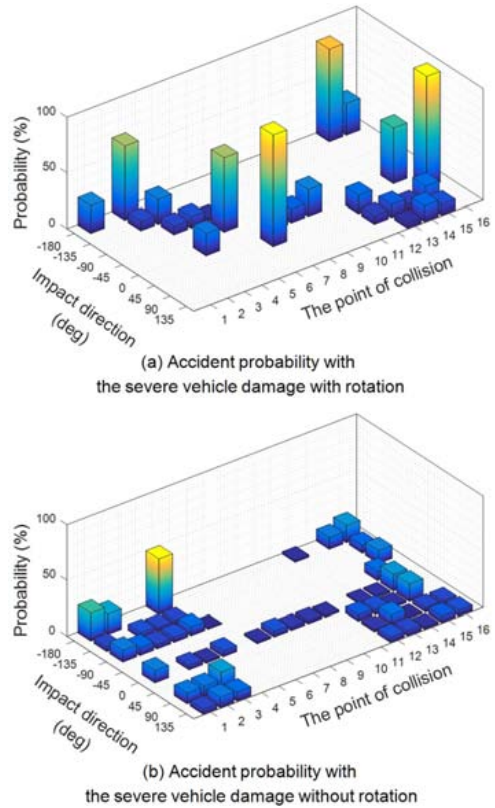


Fig. 4 The probability of severity

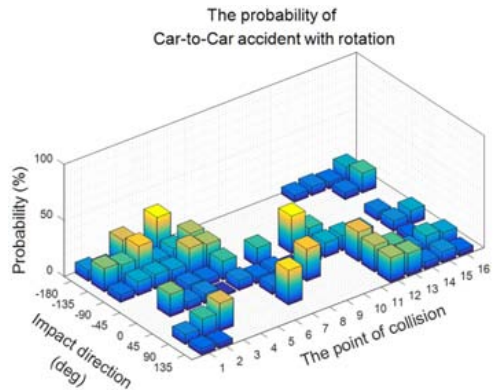


Fig. 5 The probability of car-to-car accident with rotation

낸 것이다. 전체 차대차 사고 중 10.51 % 사고에서 피해차량에 각도 변화가 발생하였다. 관련 도표를 보면 측면의 양 끝 방향으로 충돌하는 유형이 평균보다 각도 변화가 생길 확률이 높은 것을 볼 수 있다. 후방 충돌의 경우 각도 변화 확률이 매우 낮지만, 만일 가해차량이 사선으로 충돌할 경우 확률이 높은



것을 볼 수 있다. 이는 측면 충돌과 같이 충돌 방향과 진행 방향이 달라 모멘트가 발생하기 쉬워 이런 경향을 강하게 가진다.

차대차 사고의 유형 별 분석을 크게 정면, 측면, 후방의 경우로 살펴보면 후방 추돌은 사고 발생 빈도는 높으나 사고 심각도는 매우 낮은 편이다. 각도 변화 확률이 낮지만, 각도 변화가 발생할 경우 Severe 확률이 높아지는 것을 알 수 있다. 정면충돌은 사고 발생 빈도는 매우 낮으나 발생 시 Severe 확률이 매우 높다. 하지만 각도 변화가 동반될 경우 그렇지 않은 경우보다 Severe 확률이 낮은 것을 볼 수 있다. 측면 사고는 발생 확률이 높은 편으로 심각도 또한 높다. 측면 사고 중 직각 중앙 충돌이 그 외 측면충돌보다 Severe 확률이 낮은 편이다. 또한 각도가 변할 확률이 높을수록 사고 심각도가 Severe가 될 확률이 높다.

3.2.2 사고 유형 별 분석(단일사고 및 다중사고)

차대차의 사고는 두 차량만이 개입된 단일 사고로 끝나는 경우도 있지만 많은 경우 다수의 차량이 개입되고 복수의 사고가 이어지는 다중사고의 형태도 다수 존재한다. Table 3은 차대차 사고 중 단일 사고 및 다중사고에 대한 통계를 나타낸 것이다. 사고 건 수 비율을 살펴보면 다중 사고는 차대차 사고 중 41.21 %로 단일 사고 비율과 큰 차이가 없다. 단일 사고 중 유효한 피해를 보인 사고는 1742건으로 Severe 비율은 9.18 %, Minor 비율은 17.89 %를 차지하고 있다. 반면 다중사고 중 유효한 피해를 보인 사고는 1418건으로 Severe 비율은 12.06 %, Minor 비율은 10.37 %를 차지하고 있다. 즉, 다중사고 발생 시 단일사고보다 큰 피해를 입을 가능성이 높다.

Table 3 Statistics for the single events and multi events in car-to-car accidents

	Number of accidents (ratio, %)	Number of effective accidents	Number of severe accidents (ratio, %)	Number of minor accidents (ratio, %)
Single accident	3636 (58.79 %)	1742	160 (9.18 %)	311 (17.89 %)
Multiple accident	2549 (41.21 %)	1418	159 (12.06 %)	133 (10.37 %)
Total	5496 (100 %)	-	-	-

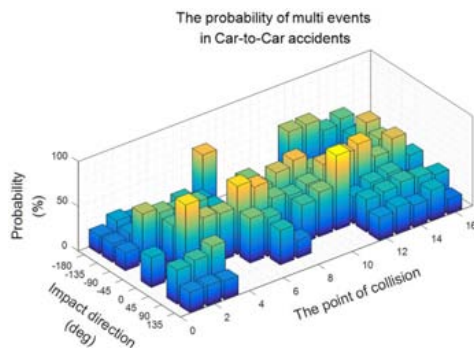


Fig. 6 The probability of multi events in car-to-car accidents

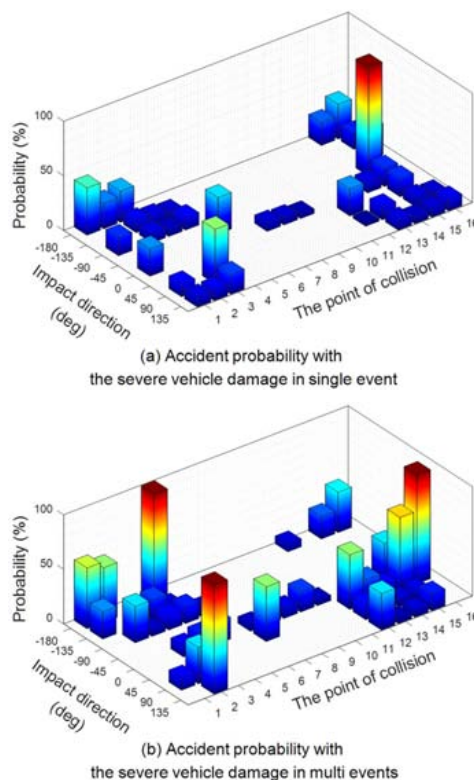


Fig. 7 The severity probability of single event and multi event

Fig. 6은 전체 차대차 사고 중 다중사고 발생 확률 도표이다. 해당 도표를 통해 모서리 부분에 충돌하거나 측면에 충돌할 경우 다중사고가 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 경향을 보이는 이유는 측면 충돌은 차량의 차선 이탈을 유도하는 경우가 많기 때문으로 보인다.

다음으로 단일 사고 및 다중사고 발생 시 유형 별 심각도 확률을 Fig. 7에 나타냈다. 단일 사고와 다중

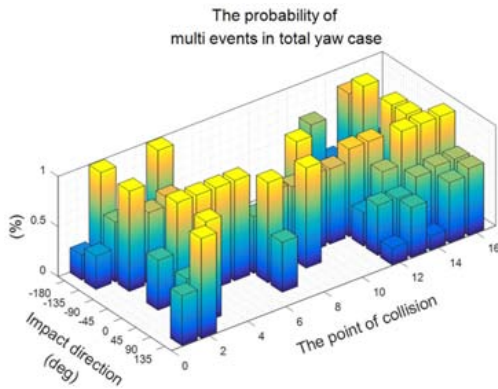


Fig. 8 The probability of multi events with the rotation

사고 모두 전방에 충돌이 있을 경우와 측 방향으로 부딪힐 경우 심각도가 높게 나오는 것을 알 수 있다. 두 사고 모두 비슷한 유형을 가지지만, 다중사고에서 대체적으로 심각도가 높게 나온 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 차대차 충돌 이후 차량 각도 변화가 동반된 경우 중 다중 사고로 이어진 확률을 나타낸 것이다. 측 방향으로 충돌 시 단일 사고에서도 각도 변화가 발생하는 것을 알 수 있으나 대부분의 각도 변화는 다중사고인 경우가 많은 것을 확인 할 수 있다. 각도 변화를 동반한 전체 사고 중 단일 사고가 40.92%, 다중 사고가 59.08%를 차지하고 있다. 단일 사고 내 각도변화 발생 확률은 7.32%, 다중사고 내 각도변화 발생 확률은 15.06%이다. 즉 이러한 결과를 통해 각도변화는 다중사고 발생에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

#### 4. 대표 사고 시나리오 추출

데이터 분석을 통해 얻은 결과를 토대로 단일 사고 및 다중사고의 대표 사고 시나리오를 결정한다. 해당 사고의 사고 발생 빈도와 사고 심각도가 높을 수록 대표 시나리오로서 가중치를 주었다.

##### 4.1 전체 차대차 사고

단일 사고의 대표 유형은 사고 발생 빈도와 Severe 확률에 기반하여 도출하였다. 단일 사고의 대표 시나리오를 Fig. 9에 나타내었다. (a)는 차대차 사고 중 높은 발생 비율을 가진 대표 유형을 나타낸 것이다. 이는 사고의 발생 빈도 통계를 바탕으로 도

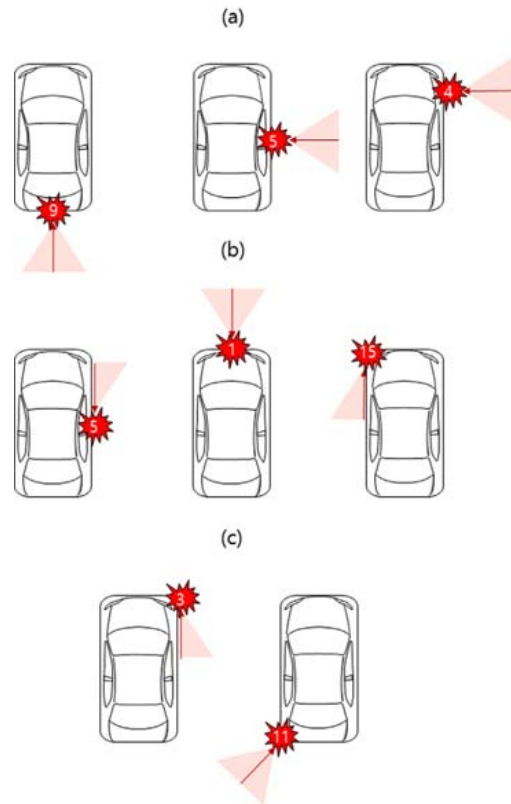


Fig. 9 The representative accident cases: (a) Based on frequency, (b) Based on severity, (c) Based on possibility of multi accidents

출되었다. 후방 추돌과 측면 직각 충돌이 전체 사고의 약 50%를 차지하고 있다. 측면 직각 충돌은 측면 중앙을 부딪히는 유형과 타이어 앞, 뒤 측면 구간을 부딪힌 경우로 나눌 수 있다. (b)는 차대차 사고 Severe 확률 그래프를 기반으로 하여 사고 대표 유형을 도출한 결과이다. 심각도 확률이 60% 이상인 경우를 분석한 결과 두 차량의 주행 방향이 반대인 경우 및 횡방향 미끄러짐을 동반하는 측면 충돌이 많은 것을 알 수 있었다. 이러한 결과에 따라 3가지 유형을 대표 유형으로 설계하였다. (a)와 (b)의 두 대표 유형들은 공통된 유형은 존재하지 않는다.

##### 4.2 다중 사고

다중 사고의 대표 시나리오를 Fig. 9(c)에 나타내었다. 전체 차대차 사고 중 다중사고 발생 확률이 70% 이상인 경우, 다중 사고가 많이 발생한 것으로 간

주한다. 사고 건수가 현저히 적은 유형은 제외하였다. 다중 사고가 일어날 확률이 높은 사고는 차량의 주행에 총 4가지 유형이 도출되고 이중 좌우 대칭적인 형태의 사고를 묶으면 다중사고가 많이 발생하는 경우는 2가지 유형으로 볼 수 있다.

### 5. Case Study

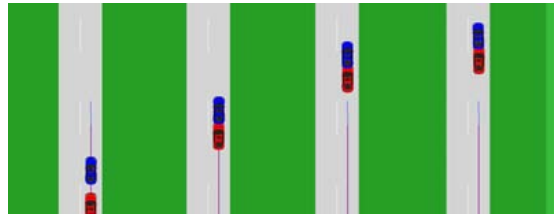
차량 충돌 시뮬레이션 프로그램인 PC-crash를 사용하여 대표 유형들의 충돌 및 충돌 후 경향을 살펴 보았다. 시뮬레이션 시 차량 모델은 Full-size sedan을 사용하였고, 주행 속도는 55 km/h로 통일하고 운전자의 조향 및 가속은 변하지 않는다고 가정하였다. 후방에서 충돌하는 유형에서는 가해차량 속도를 65 km로 설정하였다. 탑승자는 65 kg의 운전자만 탑승한 것으로 가정하였다. 시뮬레이션 분석은 피해차량을 기준으로 한다.

#### 5.1 전체 차대차 사고

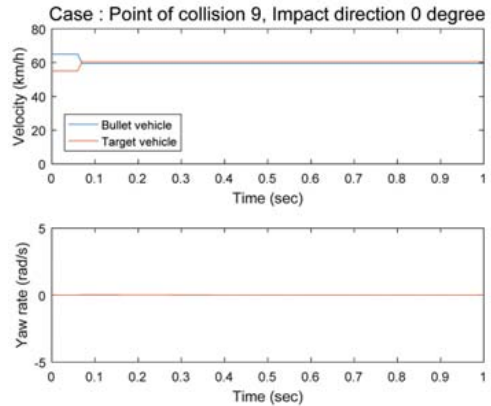
Figs. 10, 11, 12는 사고 빈도에 따른 차량 대표 유형 시뮬레이션 결과이다. 충돌 직후 속도 변화를 살펴보면 변화 폭이 5 ~ 20 km/h로 나타난다. 각 속도는 측면 충돌인 유형 2, 3의 경우 충돌 직후 4 rad/s의 큰 변화량이 생기지만 후방 추돌의 경우 각 속도는 거의 생기지 않는다. 즉, 측면 직각 충돌의 경우 Yaw 회전이 발생하기 쉬우며 후방 추돌보다 속도 변화량이 크다. 이는 속도 변화량은 충격량과 비례하므로 측면 직각 충돌이 후방 추돌보다 심각도가 높은 것으로 예상할 수 있다. 측면 충돌 중 양 끝 지점에 충돌이 일어날 경우 중앙에 충돌한 경우 보다 차체가 더 많이 회전한다.

Figs. 13, 14, 15는 사고 심각도에 따른 차량 대표 유형 시뮬레이션 결과이다. 우선 유형 1, 2의 속도 변화를 살펴보면 20 ~ 40 km/h의 큰 속도 변화 폭을 보인다. 이는 차량에 큰 충격량이 가해지므로 심각도가 높은 것을 알 수 있다. 유형 1, 2의 각속도 변화는 3 ~ 4 rad/s으로 높은 회전력이 발생하는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과는 3.2.1절에서 차대차 사고를 분석한 결과와 매우 유사하게 나오는 것을 알 수 있다. 충돌 후 결과와 자료 분석을 통해 사고 빈도 대표 유형은 빈도는 높으나 피해가 낮은 것을 알 수 있다.

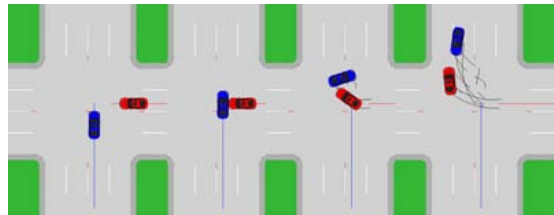


(a) Accident trajectory

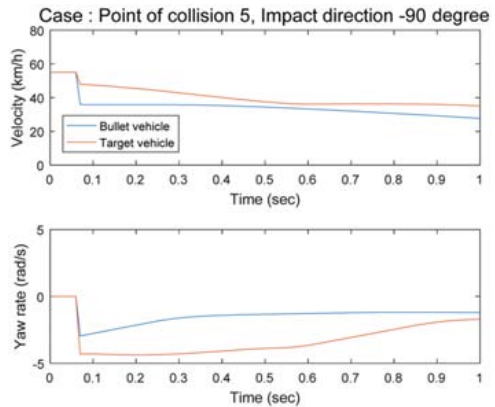


(b) Velocity and yaw rate with respect to time

Fig. 10 The representative scenario 1 for the accident frequency



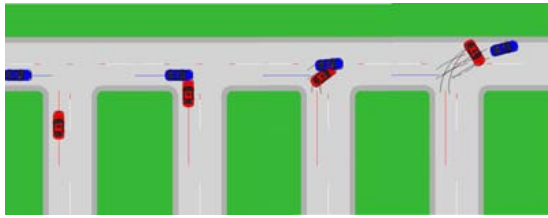
(a) Accident trajectory



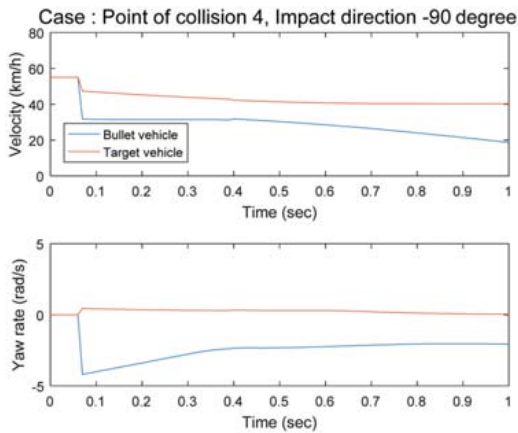
(b) Velocity and yaw rate with respect to time

Fig. 11 The representative scenario 2 for the accident frequency



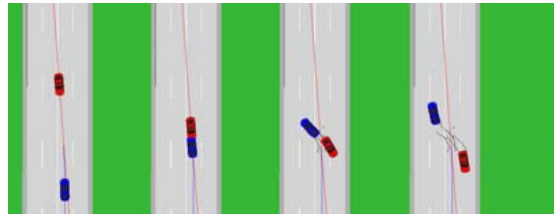


(a) Accident trajectory

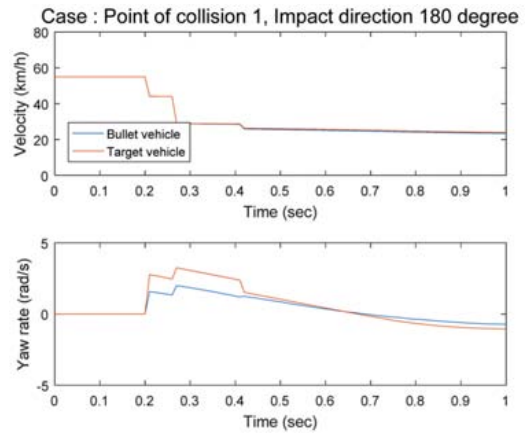


(b) Velocity and yaw rate with respect to time

Fig. 12 The representative scenario 3 for the accident frequency

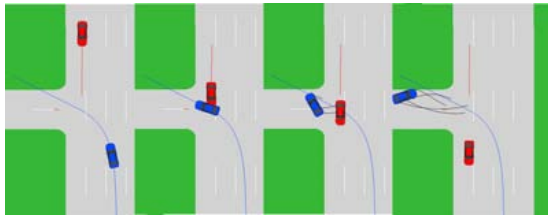


(a) Accident trajectory

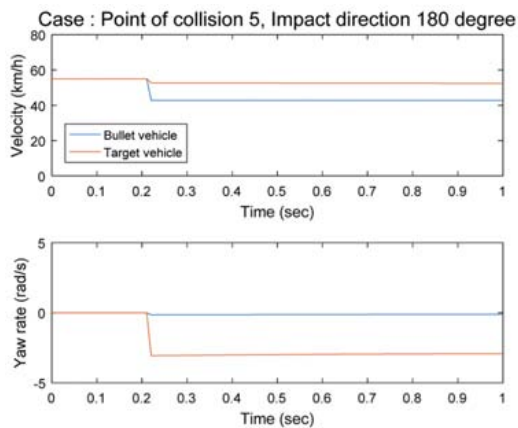


(b) Velocity and yaw rate with respect to time

Fig. 14 The representative scenario 2 for the severe accidents

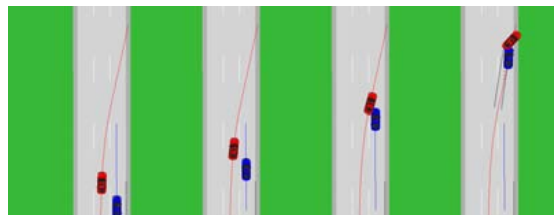


(a) Accident trajectory

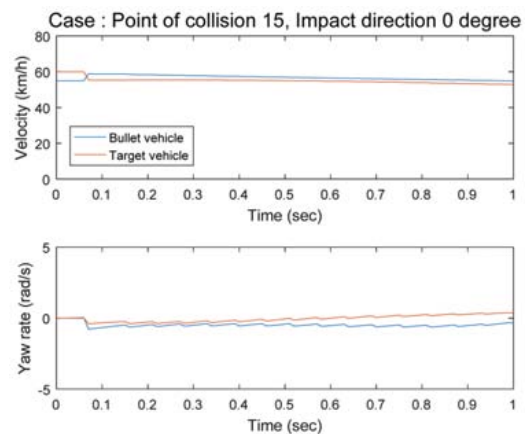


(b) Velocity and yaw rate with respect to time

Fig. 13 The representative scenario 1 for the severe accidents



(a) Accident trajectory



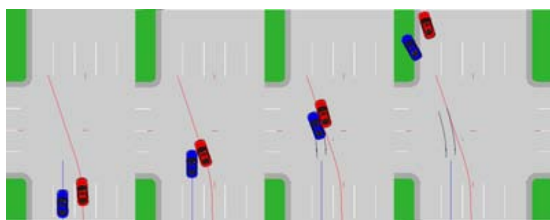
(b) Velocity and yaw rate with respect to time

Fig. 15 The representative scenario 3 for the severe accidents

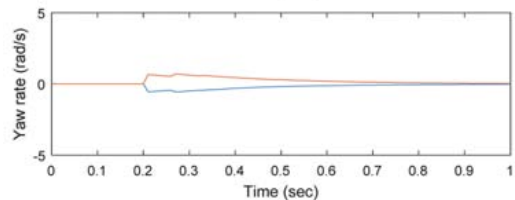
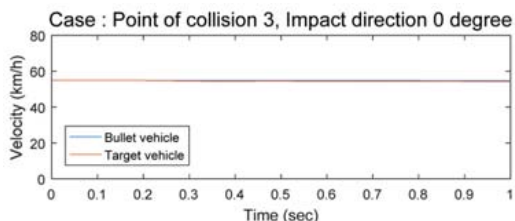
심각도 대표 유형 시뮬레이션 결과 자료 분석 대로 심각도가 높은 것으로 판단되기에 대표 유형으로서 신뢰성을 확인할 수 있다.

### 5.2 다중 사고

4.2 절에서 구한 다중사고 대표 유형 중 사고 확률이 70% 이상인 두 유형에 대해 Case study를 하였다. Figs. 16, 17은 다중사고 대표 유형 시뮬레이션 결과이다. 다중 대표 유형에서 속도 변화는 2~5 km/h 정도로 적다. 충돌 후 이전의 속도가 유지되는 경향이 높은 것을 알 수 있다. 이는 첫 충돌의 충격량이 낮은 것을 의미한다. 자료 분석에서는 다중사고의 심각도가 단일 사고보다 높았다. 이러한 시뮬레이션 결과를 통해 다중사고의 심각도는 첫 충돌이 원인이 아니라 추가적인 충돌로 인해 심각도가 높아진 것으로 예상할 수 있다. 즉, 추가적인 충돌을 예방할 수 있으면 전체 차량사고의 심각도를 낮출 수 있을 것이다. 다음으로 각속도는 0~1 rad/s의 변화량을 가진다. 두 대표 유형은 측면 사고임에도 불구하고

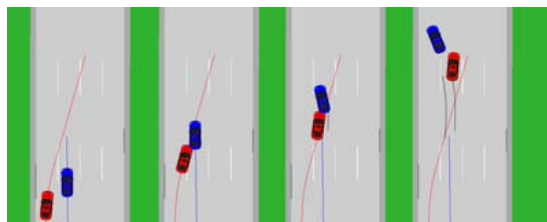


(a) Accident trajectory

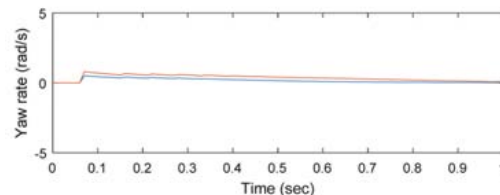
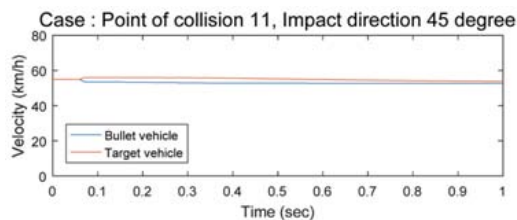


(b) Velocity and yaw rate with respect to time

Fig. 16 The representative scenario 1 for the multi event accidents



(a) Accident trajectory



(b) Velocity and yaw rate with respect to time

Fig. 17 The representative scenario 2 for the multi event accidents

고 5.1절에서 본 측면 사고들에 비하여 변화량이 적은 것을 알 수 있다. 이는 충돌이 Side-slip으로 이어져 두 차량이 서로의 움직임을 방해하기 때문이다. 이러한 강제적인 힘이 차량의 경로가 도로 밖으로 향하도록 유도하고 이는 추가 충돌을 유발한다.

## 6. 결론

본 논문은 미국의 교통사고 데이터를 기반으로 빈도별 심각도별 중요 사고를 분석하였으며 이를 기반으로 대표 사고 시나리오를 추출하였다. 후방 추돌, 측면 중앙 충돌이 최빈 사고 형태이며 이에 대응하려는 능동안전 시스템이 이미 양산 또는 개발 중인 것으로서 분석이 유효함을 보였다. 심각도가 높은 사고는 충돌 시 상대 속도가 높거나(정면충돌), 피해차량의 자세 변화를 일으켜 추가적인 사고를 일으키기 쉬운 형태의 충돌(오프셋 충돌) 등의 형태로 나타났다. 본 연구에서는 구체적인 통계 수치 이외에도 이를 기반으로 개발 및 검증 시 사용할 수 있

도록 대표 충돌 시나리오를 추출하였다. 또한 다중 사고에서 동반되는 차량 상태 변화가 차량 회전각 변화임을 사고 자료를 기반으로 검증하였다. 다중 사고를 유발하는 대표적인 사고 시나리오도 추출하였다. 추출된 시나리오들은 차량 충돌 소프트웨어를 통하여 차량자세변화 및 충격량(속도변화)을 분석함으로써 사고 데이터 기반으로 내린 결론과 일치함을 보였다.

이 연구로 얻어진 통계 자료는 본 연구팀의 후속 연구인 피해차량용 능동안전시스템의 제어알고리즘의 판단 부분에 쓰일 예정이며, 대표 시나리오는 알고리즘 개발 과정 및 검증 과정에 쓰일 예정이다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(과제번호 17CTAP-C114617-02)에 의해 수행되었습니다.

## References

- 1) T. Yoshida, H. Kuroda and T. Nishigaito, "Adaptive Driver-assistance Systems," Hitachi Review, Vol.53, No.4, pp.212-216, 2004.
- 2) B. Kim, Optimal Vehicle Motion Control to Mitigate Secondary Crashes after an Initial Impact, Ph. D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, 2015.
- 3) D. Kim, T. Kang, B. M. Soh, J. Kwon, T. Hwang, J. Hwang, K. Jeong and K. Park, "Estimation of Lateral Offset and Drift Angle for Application in Secondary Collision Avoidance System," Int. J. Automotive Technology, Vol.18, No.1, pp.137-146, 2017.
- 4) D. Yang, T. Gordon, B. Jacobson, M. Jonasson and M. Lidberg, "Optimized Brake-based Control of Path Lateral Deviation for Mitigation of Secondary Collisions," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol.225, No.12, pp.1587-1604, 2011.
- 5) J. Zhou, Active Safety Measures for Vehicles Involved in Light Vehicle-to-vehicle Impacts, Ph. D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, 2009.
- 6) S. Bonnin, F. Kummert and J. Schmüdderich, "A Generic Concept of a System for Predicting Driving Behaviors," International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.1803-1808, 2012.
- 7) I. B. Yang, S. G. Na and H. Heo, "Intelligent Algorithm based on Support Vector Data Description for Automotive Collision Avoidance System," Int. J. Automotive Technology, Vol.18, No.1, pp.69-77, 2017.
- 8) J. Borenstein and Y. Koren, "Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.19, No.5, pp.1179-1187, 1989.
- 9) S. Moon and K. Yi, "Multi-Vehicle Adaptive Cruise Control with Collision Avoidance in Various Transitions," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.966-971, 2009.
- 10) Y. Choi, S. Kim, J. Jung and J. Yoon, "A Study on the Applicability of AEBS according to Radar Angle Using PC-Crash and Traffic Accident Database," Transactions of KSAE, Vol.25, No.6, pp.691-701, 2017.
- 11) H. Chae, Y. Jeong, K. Yi, I. Choi and K. Min, "Safety Performance Evaluation Scenarios for Extraordinary Service Permission of Autonomous Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.24, No.5, pp.495-503, 2016.
- 12) G. A. Radja, National Automotive Sampling System-crashworthiness Data System, 2011 Analytical User's Manual, NHTSA, No.DOT HS 811 675, 2012.
- 13) A. F. Tencer, R. Kaufman, C. Mack and C. Mock, "Factors Affecting Pelvic and Thoracic Forces in Near-side Impact Crashes: A Study of US-NCAP, NASS, and CIREN Data," Accident Analysis & Prevention, Vol.37, No.2, pp.287-293, 2005.
- 14) J. Augenstein, E. Perdeck, J. Stratton, K. Digges and G. Bahouth, "Characteristics of Crashes that Increase the Risk of Serious Injuries," Annual Proceedings / Association for the Advancement of Automotive Medicine, Vol.47, pp.561-576, 2003.