

발 간 등 록 번 호

11-1613000-002279-01

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()

국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

R&D/ 16CTAP-C114617-0

차량충돌 2차사고 방지 시스템의 안전하고 빠른 검증을 위한 실험플랫폼 개발 (차량 충돌 2차사고 시나리오 도출 및 실험 플랫폼 개발) 최종보고서

2018. 09. 03.

주관연구기관 / 부산대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

Construction & Transportation Technology
Advancement R&D Report

보고서 요약서

과제 고유 번호	16CTAP-C114 617-01	해당 단계 연구 기간	2016.06.24 - 2018.06.23	단계구분	1단계 /1단계
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	창조형 모험			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	차량 충돌 2차 사고 방지 시스템의 안전하고 빠른 검증을 위한 실험 플랫폼 개발 (차량 충돌 2차사고 시나리오 도출 및 실험 플랫폼 개발)			
연구책임자	안창선	해당단계 참여 연구원 수	총: 4명 내부: 4명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부:100,000천원 기업: 0천원 정부 외: 0천원 계:100,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 4명 내부: 4명 외부: 0명	총 연구개발비	정부:100,000천원 기업: 0천원 정부 외: 0천원 계:100,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	부산대학교 기계공학부			참여기업명	-
국제공동연구	상대국명:-			상대국 연구기관명:-	
위탁연구	연구기관명:-			연구책임자:-	
요약				보고서 면수 : 86	
- 연구의 목적은 사고 자료로부터 복합사고 발생형태를 분석하고, 이를 기반으로 충돌 2차 사고를 예방하는 시스템을 안전하고 효율적으로 검증할 수 있는 실험 플랫폼의 연구개발하는 것					
- 연구의 내용으로는 크게 충돌 2차 사고 발생 시나리오 도출과 충돌 2차 사고 검증을 위한 실험 플랫폼을 개발임					
- 충돌 2차 사고 발생 시나리오는 국내 및 해외 교통사고 자료로부터 2차 충돌 사례분석 및 주요 시나리오 10개 이상 도출 완료					
- 실 도로가 아닌 환경에서 사고를 실험적으로 검증할 수 있는 플랫폼 개발/제작 및 실험적 검증 완료하였음					
- 저마찰 노면과 차원해석 하는 방법론을 제시하였음					
- 차량이 미끄러지는 사고를 축소모형을 통하여 실험적으로 검증할 수 있음을 보였음					

< 국문 요약문 >

연구의 목적 및 내용	연구의 목적 : 사고 자료로부터 복합사고 발생형태를 분석하고, 이를 기반으로 충돌 2차 사고를 예방하는 시스템을 안전하고 효율적으로 검증할 수 있는 실험 플랫폼의 연구개발				
	연구의 내용 : 1. 충돌 2차 사고 발생 시나리오 도출 : 국내 및 해외 교통사고 자료로부터 2차 충돌 사례분석 및 주요 시나리오 10개 이상 도출 (시나리오별 인명 피해율 및 빈도 포함) - 충돌 2차 사고 검색 및 자료 확보 : 미국 NASS-CDS 데이터베이스, 국내 TAAS 교통사고 분석 시스템을 이용하여 자료 확보 - 2차 사고 분석 및 통계 : 2차 사고 사례 분석 및 빈도수 통계 - 대표 사고 유형 도출 : 충돌 2차 사고 발생 대표 시나리오 도출 - 실험 플랫폼 검증을 위한 충돌 2차 사고 발생 시나리오 개발 2. 충돌 2차 사고 검증 실험 플랫폼 개발 : 사고 발생 시나리오를 실 도로가 아닌 환경에서 실험적으로 검증할 수 있는 플랫폼 (축소 차량 3대 및 축소 도로환경) 개발/제작 및 실험적 검증 - 축소 차량 제작 : 안전성이 보장되고 반복재현성이 보장되는 축소 실험 플랫폼을 제작 - 원격 측정 환경 구성 : 무선으로 실험데이터를 저장 및 출력할 수 있는 시스템 구축 - 차원 해석을 통한 축소 모델 검증 방법 개발: 실제 크기에서의 실험과의 유효성을 보장하는 실험 및 결과 해석 방법 개발 - 축소 도로 환경 개발 : 차원해석의 변수를 조절할 수 있도록 하는 다양한 노면을 대응가능하게 하는 노면 구축 - 실험적 검증 : 개발된 실험플랫폼과 실제 실험의 유효성 검증 실험				
연구개발성과	1. 충돌 2차 사고 발생 시나리오 도출 : 국내 및 해외 교통사고 자료로부터 2차 충돌 사례분석 및 주요 시나리오 10개 이상 도출 (시나리오별 인명 피해율 및 빈도 포함) 2. 충돌 2차 사고 검증 실험 플랫폼 : 사고 발생 시나리오를 실 도로가 아닌 환경에서 실험적으로 검증할 수 있는 플랫폼 (축소 차량 3대 및 축소 도로 환경) 개발/제작 및 실험적 검증				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1. 기술적 활용 - 무인자동차 보급 이후 사고 형태에 대해서 예측하여 안전장치 개발 방향 제시 - 외부적 요인 사고에 능동적으로 대처할 수 있는 시스템에 대한 개념 제시 - 개발된 시스템 및 알고리즘을 실험환경에서 검증할 수 있는 플랫폼 제공 - 검증 플랫폼을 연구개발 과정에 활용하여 연구 속도 및 완결성 향상 - 횡 방향 사고에 대한 안전 시스템 개발 시 활용 2. 학문적 활용 - 마찰력의 영향이 큰 동적 시스템의 차원 해석방법 제시 - 크기 축소 및 시간 축소를 통한 실험 방안 제시 - 종 방향 및 횡 방향 차량 동역학, 타이어 모델에 대한 차원 해석제공 - 사고 유형 데이터를 활용하여 추가 연구 가능				
핵심어 (5개 이내)	2차 사고	실험 플랫폼	차원 해석	축소 차량	차량 안전

< SUMMARY >

Purpose & Contents	Purpose: To develop a scaled experimental platform to evaluate vehicle safety system that is designed to avoid secondary collisions in multiple vehicle involved severe accidents Contents: 1. Selecting scenarios for secondary collision: Analyzation of secondary collision accidents from domestic and US vehicle accident database, and selecting major accident scenarios including fatality rate and frequencies - Data search and collection of secondary collision accidents: US NASS-CDS database, Korean TAAS(Traffic Accident Analysis System) - Secondary collision analysis and statistics: case study and frequency statistics - Accident case selection : selection of mostly damaging and frequent accident cases - Creating representative secondary accident scenarios for evaluation of the experiment platform 2. Development of the experimental platform: Development of the experiment platform and environment that can be used for evaluating secondary collision avoidance systems in lab-environment not on real roads - Scaled vehicles : Develop a scaled vehicle that can guarantee safe experiment and reproductivity - Remote data acquisition system: Develop data acquisition system that can collect data remotely using Wifi, Bluetooth, Zigbee, or etc - Develop a method of analysis and experiment using the scaled system: Dimensional analysis to keep the validity between the real-sized system and the scaled system - Develop an adjustable scaled road for emulation of the phenomenon between a surface and a tire. - Experimental evaluation for the validity using real vehicle test data, simulation software, and the developed system				
Results	1. Representative secondary accident scenarios : Create more than ten major accident scenarios including fatality rate and frequencies 2. Experimental platform for evaluating secondary collision avoidance systems (3 units of scaled vehicles and scaled roads)				
Expected Contribution	1. Technical Contributions - Guiding the direction of active safety system development when autonomous vehicles penetrate the market - Build a active safety system concept that can avoid accidents caused by unexpected external events. - Provide a cost effective, safe, and rapid evaluation platform for dangerous accident cases - Accelerate the development pace and improve the research quality - Even can be used for evaluating other types of active safety systems 2. Academic Contributions - Dimensional analysis for dynamic system that is heavily affected by frictional forces - Provide an experimental method using the scaled system - Provide dimensional analysis for longitudinal and lateral vehicle dynamics and tire models - Provide processed accidents data for additional studies				
Keywords	second accident	experiment platform	dimensional analysis	scaled vehicle	vehicle safety

< List of Contents >

1. Research Outline	6
2. State of the art in the technology development	12
3. Contents and results of the research	14
4. Achievements and contributions in related area	73
5. Application plan of the R&D results	75
6. International scientific and technical information	76
7. Security Level for research products	79
8. Registered facility and equipment status on NTIS	80
9. Safety action at laboratory in the research process	81
10. Representative Research Results	82
11. Etc.	83
12. References	84

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	6
2. 국내외 기술 개발 현황	12
3. 연구 수행 내용 및 성과	14
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	73
5. 연구개발성과의 활용 계획	75
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	76
7. 연구개발성과의 보안등급	79
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	80
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	81
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	82
11. 기타 사항	83
12. 참고 문헌	84

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

구분	내용
최종 목표	복합사고 발생형태를 사고 자료로부터 분석하여, 충돌 2차 사고를 예방하는 시스템을 안전하고 효율적으로 검증할 수 있는 실험 플랫폼 연구 및 개발
세부 목표	- 충돌 2차 사고 발생 시나리오 도출 : 국내 및 해외 교통사고 자료로부터 2차 충돌 사례분석 및 주요 시나리오 10개 이상 도출 (시나리오 별 인명 피해율 및 빈도 포함) - 충돌 2차 사고 검증 실험 플랫폼 개발 : 사고 발생 시나리오를 실 도로가 아닌 환경에서 실험적으로 검증할 수 있는 플랫폼 (축소 차량 3대 및 축소 도로환경) 개발/제작 및 실험적 검증

2. 연구개발의 필요성

가. 충돌 2차 사고를 실험적으로 검증할 수 있는 기반 제공

충돌 2차 사고 방지 시스템의 검증을 위해서는 1차 사고를 일으켜야 하나 환경 구성 및 안전상의 이유로 인하여 실제 도로와 실 차량을 이용하여 실험적으로 검증하기 어렵다. 특히 충돌 2차 사고는 1차 충돌 사고와는 다르게 다수의 차량이나 제 3자를 고려해야 하고 1차 충돌 이후 차량이 옆으로 미끄러지거나 회전을 하는 등의 극단적인 비선형적 운동을 포함한다. 따라서 직선 충돌이나 차선변경 시 사고 등을 예방하는 시스템보다 훨씬 복잡하고 위험한 개발 실험이 요구된다. 한편 최근 들어 운전자 보조시스템 (ADAS)의 장착률 증가로 큰 추가 비용 없이 차량 주변 정보를 획득 할 수 있다. 이를 활용하여 충돌 2차 사고가 일어날 수 있는 상황을 종합적으로 판단 할 수 있는 기반이 마련되었다. 인사 사고율이 높은 충돌 2차 사고를 줄이려는 정책적인 이유와 ADAS 발전으로 인한 기술적기반이 마련되어 충돌 2차 사고 방지시스템의 개발 및 상용화를 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 학계에서는 알고리즘 개발을 수년 전부터 시도하고 있다. 그러나 앞서 언급하였듯이 실험적으로 검증할 수 있는 방법이 없어 시뮬레이션 및 HILS 검증만으로 알고리즘이 유효함을 밝히고 있다. 실제적으로 자동차 업계에서도 충돌 2차 사고를 모사하여 실험하는 것은 비용적으로 부담이 많으므로 실험 회수를 최소화하려 한다. 하지

만 실험적 검증 없이 실제 차량에 적용하기에는 알고리즘에 대한 신뢰성이 부족하다. 본 연구가 개발하려는 실험 플랫폼은 실험적으로 구현하기 어려운 충돌 2차 사고를 시나리오에 맞춰 구현할 수 있게 한다. 또한 반복성과 실험의 유효성을 보장하므로 학계뿐만 아니라 자동차업계에서도 초기 검증에 충분히 활용할 수 있을 것이다. 따라서 충돌 2차 사고에 대한 연구 속도를 향상시키고 신뢰성을 보장함으로써 알고리즘의 완결성을 높이는 효과를 준다. 또한 시장을 선점하는 것이 중요한 신기술 시장에서, 개발된 시스템의 빠른 검증은 산업 경쟁력 확보에 큰 도움이 될 것이다.

나. 충돌 2차 사고에 대한 정형화된 시험 방법이나 사고 유형의 정의 필요

추돌 방지 장치나 ESC 등은 정형화된 사고 형태나 시험 방법이 존재한다. 추돌 방지 장치나 Cruise Controller는 선행 차의 가감속 및 정지여부 등의 조합으로 시험형태가 존재하며 ESC등은 Single Lane Change, Double Lane Change, Fish-hook Test 등의 정형화된 시험 방법이 존재한다. 이렇게 다양한 상황에서 다양한 원인을 가지고 발생하여 다양한 결과를 내는 사고를 대비한 안전제어 시스템을 검증 및 개발하는 과정에서 대표성을 띄는 시험 방법과 사고 유형에 대한 정의가 필요하다. 그러나 충돌 2차 사고는 아직까지 정형화된 시험 방법이나 사고 유형에 대한 연구가 부족하다. 따라서 충돌 2차 사고 방지 시스템의 연구 개발 또한 대표적인 사고 시나리오가 필요하다. 이를 위해 사고 데이터를 대량으로 확보하여 사고 유형에 대하여 분류하고 이를 기반으로 하는 사고 시나리오의 정립이 필요하다. 이 연구는 충돌 2차 사고 방지 시스템의 검증에만 쓰이는 것이 아니라 다양하게 활용될 것으로 기대된다. 예를 들어 외부적 요인에 의한 사고가 발생하였을 시 능동적으로 대처할 수 있는 시스템에 대한 개념을 제시할 수 있다. 뿐만 아니라 무인자동차가 대량으로 보급되어질 이후, 사고 유형별 데이터를 활용하여 발생할 사고 형태에 대하여 예측이 가능하며 이를 예측함으로써 안전장치를 개발하는 방향을 제시할 수 있다.

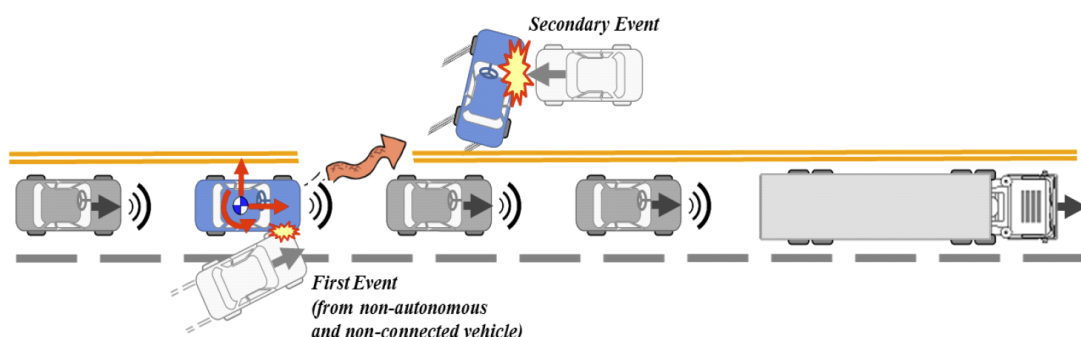


그림 1 무인 자동차가 개입된 충돌 2차 사고 예.

3. 연구개발 범위

가. 충돌 2차 사고 발생 대표 시나리오 도출

(1) 충돌 2차 사고 검색 및 자료 확보

차량용 능동 안전 시스템의 개발에는 대표성을 갖는 사고 유형이 필요하며 이를 모사한 주행을 통해 시스템을 개발 및 평가한다. 따라서 충돌 2차 사고를 방지하고 피해를 경감하는 시스템의 개발 및 실험을 위해서도 대표성을 갖는 사고 유형을 도출하여야 한다. 미국 NASS-CDS 데이터베이스는 사고 요인, 사고 차량, 사고 현황, 피해 정도를 나타내는 보고서와 함께 사진을 제공한다. 또한 국내의 TAAS 교통사고 분석 시스템은 전체 사고에 대한 통계자료를 제시한다. 그러나 데이터를 정확한 기준에 따라 분류하고 공개하는 NASS-CDS에 비해 국내 자료의 경우 전체 사고에 대한 정황만 공개할 뿐 데이터가 없다. 따라서 국내의 사고 정황과 유사한 미국의 사고를 선택하여 이를 기반으로 사고를 분석한다. 자료 분석을 위해 가능한 많은 사례를 수집하여 본 연구가 필요한 형태의 정보만을 담은 데이터베이스를 확보한다.

(2) 2차 사고 분석 및 통계

차량 사고는 그 유형과 원인에 따라 그에 따른 대처 방안이 달라진다. 특히 본 연구가 목표로 하는 2차 사고의 경우는 인명 사고를 동반할 뿐만 아니라 사고의 유형과 원인에 따라 발생 규모나 정도가 달라진다. 이는 알고리즘을 다양한 경우에 대하여 검증해야 한다는 의미이다. 모든 경우의 사고 형태에 대하여 검증은 불가능 하므로 사상율이 높고 빈도가 높은 사고에 대하여 분류 및 분석하여야 한다. 따라서 2차 사고에 대한 분류 및 통계가 중요하다. 먼저 NASS-CDS나 국내 자료 등에서 수집한 자료를 활용하여 사고 피해 사례 중 사상율이 큰 사고의 형태 및 환경에 대하여 분석한다. 그리고 사고가 발생한 상황을 파악하여 인명 사고별, 사고 유형별 및 원인별 등으로 분류하여 그에 따른 통계 자료를 구성한다.

(3) 대표 사고 유형 도출

여러 가지 충돌 2차 사고를 대표할 수 있는 시나리오를 추출하는 과정이다. 비슷한 사고 유형 별로 분류하게 되면 이는 거의 일정한 패턴 별로 비슷한 결과나 사람들의 대처 방안, 피해 정도가 발생한다. 2차 사고가 일어나는 대표적인 사고의 유형을 도출하고 유형별로 패턴을 결정한 후 포괄성을 띄는 사고 유형을 도출한다.

(4) 실험 플랫폼 검증을 위한 충돌 2차 사고 발생 시나리오 개발

개발된 실험 플랫폼을 검증하기 위해서는 2차 사고가 일어나는 상황을 실제적으로 구현

하여야 한다. 그러므로 2차 사고에 대한 대표 유형을 통하여 실험 플랫폼이 그 유형에 대한 원인을 실질적으로 구현할 수 있도록 유형 별 시나리오를 개발하여야 한다. 시나리오는 시뮬레이션 및 실험적 구현이 가능하도록 수치적으로 데이터를 생성하여 도출한다. 그리고 유형별로 사고를 예방하는 방법이 달라지므로 시나리오별로 구현되는 절차도 확보하여야 한다.

나. 충돌 2차 사고 실험 플랫폼 개발 및 검증

(1) 축소 차량 제작

본 연구팀은 축소 차량과 축소 도로를 이용하여 안전하고 효율적인 검증을 수행할 수 있는 실험 플랫폼을 제작하고자 한다. 플랫폼 개발을 위하여 먼저 축소 차량을 제작한다. 실차의 경우는 일반적인 실내 환경에서 사용하지 못하므로 실차와 같은 역할을 수행하도록 축소 차량을 이용하여 실험을 하여야 한다. 그러나 너무 작게 제작하면 외란의 영향을 많이 받고 실차 대비 축소 차량의 정보들이 비례한다고 보장할 수 없으므로 일관성이 유지되지 않는다. 또한 실차처럼 행동할 수 있도록 센서 및 액추에이터를 설치하여야 하므로 축소 차량의 크기를 어느 정도 보장하여야 한다. 본 연구팀은 일반적인 실내 환경을 고려하여 1/8 배의 축소 차량을 제작하고자 한다. 알고리즘 결과로 반영되는 차량의 거동을 표현하기 위하여 서스펜션과 조향을 포함한 차체와 같은 기구부를 설계하고 제작한다. 또한 모터와 배터리를 이용하여 차량의 동력시스템을 구현할 수 있도록 구성을 설계한다. 그리고 알고리즘을 축소차량에 적용하기 위한 제어보드와 제어 프로그램을 제작하고자 한다. 축소 차량의 구동, 제동, 조향 시스템은 원격으로 제어 가능한 구조로 설계하여 원격 조정 또는 자율 주행이 가능도록 한다.

(2) 측정 환경 구성

실차에서 실험 시 메인 제어기를 탑재하여 차량에서 얻은 정보를 활용하거나 차량에 알고리즘이 수행되도록 지시를 내린다. 하지만 축소 차량의 경우 메인 제어기를 직접 부착하게 되면 메인 제어기를 위한 공간이 따로 필요하므로 축소의 이점이 무의미해진다. 따라서 측정과 알고리즘 수행 및 차량 제어를 위하여 메인 제어기와 무선으로 통신하는 환경을 구축하여 운전자 및 측정시스템이 차 내부에 없는 실험이 가능하도록 하여야 한다. 메인 제어기와 무선 통신은 다수의 차량을 프로그램에 의해 한꺼번에 거동 시킬 수 있기 때문에 다수 차량이 개입된 상황을 쉽고 안전하게 구현할 수 있고, 일정한 환경에서 일정한 알고리즘 수행이 가능하므로 반복 재현성을 높일 수 있다. 본 연구팀은 시스템의 실시간 제어를 위하여 dSpace를 구축하고 있다. 따라서 dSpace와 차량 간의 무선 (Wifi 나 Zigbee 등) 기반 통신이 가능하게 하여 차량을 실시간으로 제어할 수 있도록 한다.

(3) 차원 해석을 통한 축소 모델 검증 방법 개발

축소모델을 이용한 실험은 충격량 감소, 속도 감소, 필요 공간 축소, 반복 재현성 보장 등 많은 효과가 있다. 예를 들어 충격량은 무게와 가속도의 곱에 비례하며, 무게는 길이의 세제곱에, 가속도는 길이 변화에 비례하므로 결과적으로 충격량은 길이의 변화의 네제곱에 비례한다. 만일 크기가 1/10로 준다고 하면 충격량은 1/10000로 줄어든다. 즉 훨씬 안전하고 실험 차량의 파손을 피할 수 있는 실험이 가능하다. 하지만 실크기 차량의 실험결과와의 유효성 보장여부가 불분명하다. 따라서 본 연구에는 시간 및 물리적 차원 해석을 통하여 축소 차량으로 구성되는 실험 플랫폼과 실제 차량으로 구성되는 실제 환경과의 유사성을 검증하여 축소 차량 실험 플랫폼의 유효성을 보장하려 한다.

(4) 축소 도로 환경 개발

실제 환경에서의 차량은 수십 km/h의 고속으로 주행을 한다. 충돌 2차 사고와 같은 실험 환경을 만들기 위해서는 차량의 실제 속도 이상이 요구된다. 그러나 그만한 속도를 실험 환경에서 가지기 힘들 뿐만 아니라 속도를 낸다 하더라도 충돌 환경을 만들기는 위험한 요소가 많다. 그러므로 저속에서 실험하여도, 실차에서 고속으로 달린 것과 같은 환경을 제작하여야 한다. 도로에서 차량에 가장 큰 영향을 미치는 것은 마찰계수다. 마찰계수 크기에 따라 타이어에 작용하는 힘이 달라지므로 차량의 거동을 결정짓는다. 마찰계수는 무차원이기 때문에 도로를 축소한다 하더라도 영향을 받지 않지만 축소 차량에 의해 타이어 힘이 네제곱 배로 축소하기 때문에 마찰계수가 작더라도 저속에서도 일찍 미끄러지는 효과를 낼 수 있다. 그러므로 적은 마찰계수를 가지는 재질, 얼음이나 Wet Jennite, Wet Epoxy, 테프론 등을 선정하고 적절한 노면의 형태를 만들어 축소 도로를 제작하여 위험하지 않은 속도에서 충분히 고속의 효과를 내도록 한다.

(5) 실험 플랫폼의 검증

충돌 2차 사고 예방 시스템 검증을 위한 실험 플랫폼이 실차 환경에서 실험하는 것을 대체 가능 여부에 대해 검증하는 단계가 필요하다. 플랫폼 검증은 크게 두 가지 단계로 수행하겠다. 첫 번째 단계는 컴퓨터 시뮬레이션 해석과 개발된 플랫폼의 실험 데이터, 그리고 확보된 실차 데이터 사이의 일관성을 통하여 검증한다. 그러나 충돌 후 2차 사고에 대한 데이터를 실제 상황에서 얻는 것은 어렵기 때문에 충돌이 없는 급격한 거동의 경우에 대해 비교를 수행하여 검증하도록 하겠다. 급격한 거동의 실차 데이터는 본 연구팀이 소유한 데이터를 이용토록 하겠다. 두 번째 단계는 실제 충돌의 경우에 대한 검증이다. 이 경우 실차 데이터를 확보하는 것은 불가능하여 2차 사고가 포함된 사고 영상으로부터 데이터를 추출하고 이 데이터와 개발된 플랫폼과의 데이터를 비교하여 평가하도록 하겠다. 실제차량과

실험 플랫폼의 유사도 분석을 위하여 종방향, 횡방향 속도, 횡미끄럼각, 요 레이트, 조향각을 비교하도록 하겠다.



그림 2 검증 방법.

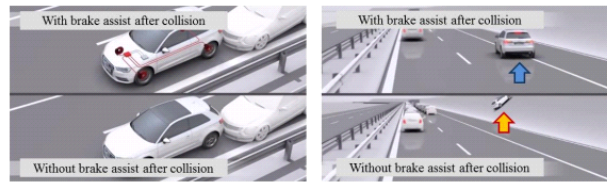
제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 현황

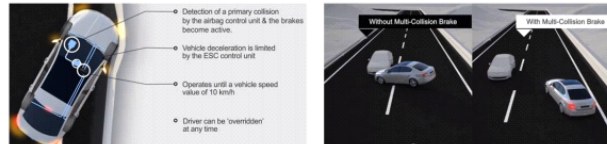
국내의 경우 산업계에서는 산업통상자원부의 지원을 받아 자동차 부품업체들이 2차 충돌 예방을 위한 센서 및 시스템 연구를 수행하고 있다. 하지만 아직까지 산업계에서는 조향장치를 적극적으로 이용하는 등의 연구는 존재하지 않고 주변 차량의 정보를 적극적으로 활용하는 경우도 드물다. 학계에서도 2차 사고에 대한 위험성이 대두되면서 관련 과제 및 연구가 진행되고 있고 산업계보다는 조향장치 등을 적극적으로 이용한 연구가 진행 중에 있다. 충돌 2차 사고에 대한 가장 일반적인 연구는 1차 충돌 후 차량의 자세를 유지하는 방법이다. 그러나 이들은 다수의 차량이 개입되어 있는 상황은 고려하지 않았다. 결정적으로 충돌 2차 사고에 대비하여 개발된 알고리즘 등을 실험적으로 검증한 사례는 본 연구팀의 조사 결과 단 하나의 경우도 없었다. 이는 충돌 2차 사고의 실험적 검증을 위해서는 고속으로 달리는 차들을 1차적으로 충돌 시켜야 하나 안전과 실험설계의 어려움 등의 이유로 실제로 구현하기 어렵기 때문이다. 대부분의 연구는 컴퓨터 시뮬레이션이나 HILS 실험 검증으로만 끝을 내고 있다.

2. 국외 현황

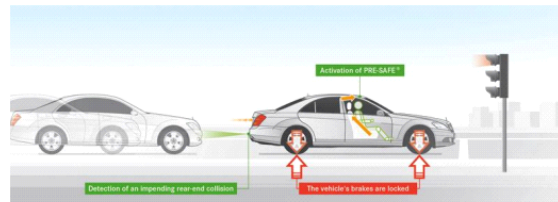
국외는 충돌 2차 사고에 대하여 국내보다 먼저 관심을 가지고 산업계나 학계에서 연구를 진행하였다. 그러나 이 역시 제한된 환경에서만 적용되는 방법이거나 다수의 차량이 개입되는 상황은 다루지 않았다. 가장 먼저 산업계에서 기존의 ESC 기능을 확장하여 충돌 안정성을 확보하는 시스템이 개발되었다. 폭스바겐이나 아우디, 스코다에서는 1차 충돌 후 바퀴 4개에서 브레이크를 자동으로 조절함으로써 2차 사고를 방지하는 다중 충돌 방지 브레이크 시스템을 실제 양산차에 적용하였다. 이는 브레이크만을 기반으로 하기 때문에 매우 제한된 운동 영역에서만 작동한다. 이 기능들은 차량의 종 방향 속도를 감소시켜 첫 충돌로 인한 운동 에너지를 줄임으로써 2차 충돌 가능성을 줄이는 효과를 얻지만 이는 제한된 상황에서만 작동하며 주변 차량을 인지하여 적극적으로 피하는 기능은 구현되어 있지 않다. 다임러에서 개발된 기술은 RADAR 센서를 이용하여 좀 더 적극적으로 충돌 2차 사고를 방지한다. 이 기술은 RADAR 센서로 곧 일어날 뒤쪽의 충돌을 추정하여 브레이크 제어 시스템을 작동시킨다. 그러나 이 기술 역시 직진 추돌 사항에 대해서만 제어하기 때문에 진정한 충돌 2차 사고에 대한 대응 기술이 아니다.



(a) Audi, Secondary Collision Brake Assist



(b) Skoda, Multi-Collision Brake



(c) Daimler, Pre-Safe Plus (Monitoring the traffic behind and applying brakes)

그림 3 산업계에서 개발된 충돌 2차 사고 방지 시스템.

학계에서는 미국 미시간 대학교에서 가벼운 1차 충돌 후 차선 이탈을 방지하는 알고리즘에 대한 연구가 수행되었으나 국내와 같이 다수의 차량이 개입된 사고에 대해서는 다루지 않았으며, 2차 충돌 시점에 대한 고려가 없었다. 또한 이 역시 컴퓨터 시뮬레이션 검증으로만 끝을 내었다. 이처럼 국외 산업계에서는 주로 직진 충돌 안정성만 고려한 시스템이 개발 중이며 학계에서는 실험환경이 보장되지 않아 충돌 2차 사고에 대한 실험적 검증은 없는 상태이다.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

충돌 2차 사고 발생 대표 시나리오 도출	충돌 2차 사고 검색 및 자료 확보
	2차 사고 분석 및 통계
	대표 사고 유형 도출
충돌 2차 사고 실험 플랫폼 개발 및 검증	축소 차량 제작
	측정 환경 구성
	차원 해석을 통한 축소 모델 검증 방법 개발
	축소 도로 환경 개발
	실험적 검증

1. 충돌 2차 사고 발생 대표 시나리오 도출

가. 충돌 2차 사고 검색 및 자료 확보

(1) 국내 자료

: TAAS, 통계청 등 공개된 자료 획득

차대사람·횡단충			
사고번호	2014112000100452	범규위반	안전운전불이행
발생일시	2014년 11월 20일 17시	가해운전자 차종	이륜
발생요일	목요일	가해운전자 성별	남
발생시군구	부산광역시 동래구 안락동	가해운전자 연령	70세
사고유형	차대사람·횡단충	가해운전자 상해 정도	상해없음
사망자수	1	피해운전자 차종	보행자
중상자수	0	피해운전자 성별	남
경상자수	0	피해운전자 연령	68세
부상신고자수	0	피해운전자 상해 정도	사망
노면상태	포장 - 건조	기상상태	맑음
도로형태	단일로 - 기타		
사고개요	#1오토바이가 온천천로 카페거리의 편도 1차로를 안락교(해운대 방면)에서 연산교(동래) 방면으로 주행하다 우측편 골목에서 나와 차도를 건너던 보행자를 오토바이로 충격하여 보행자가 머리부위가 땅에 떨어지며 충격되어 병원에 후송되어 치료 중에 6일만에 사망한 것임		

그림 4 공개된 사고 자료의 예

- 부상율과 단일 충돌 사건 위주로 자료 제공
- 2차 사고의 경우 기록 시 하나의 단일 충돌 사고라고 가정하고 기록하기 때문에 피해 정도만 간략하게 언급
- 사고 궤적, 자세한 충돌 부위 관련 자료는 제공하지 않음

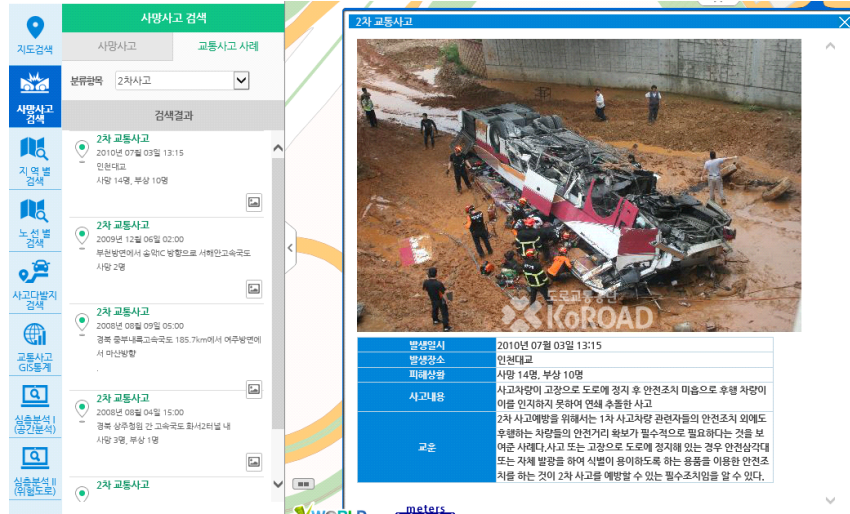


그림 5 국내에서 제공되는 다중 충돌 사고 데이터의 예

- 대신 다중 충돌 사고 치사율, 발생 추이 통계자료는 아래와 같이 제공

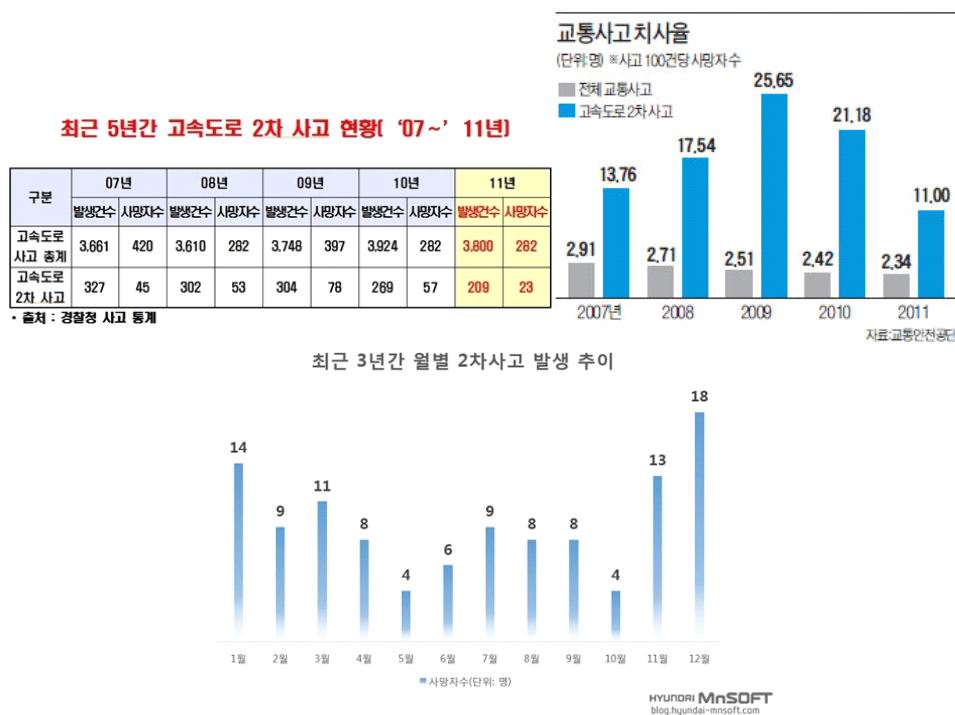


그림 6 국내 다중 충돌 사고 치사율 및 월별 발생 추이 데이터

- 이 같은 자료는 다중 충돌에 대한 정확한 분석이 힘들

(2) 국외 자료

: 미국 NASS-CDS에서 공개된 자료 획득

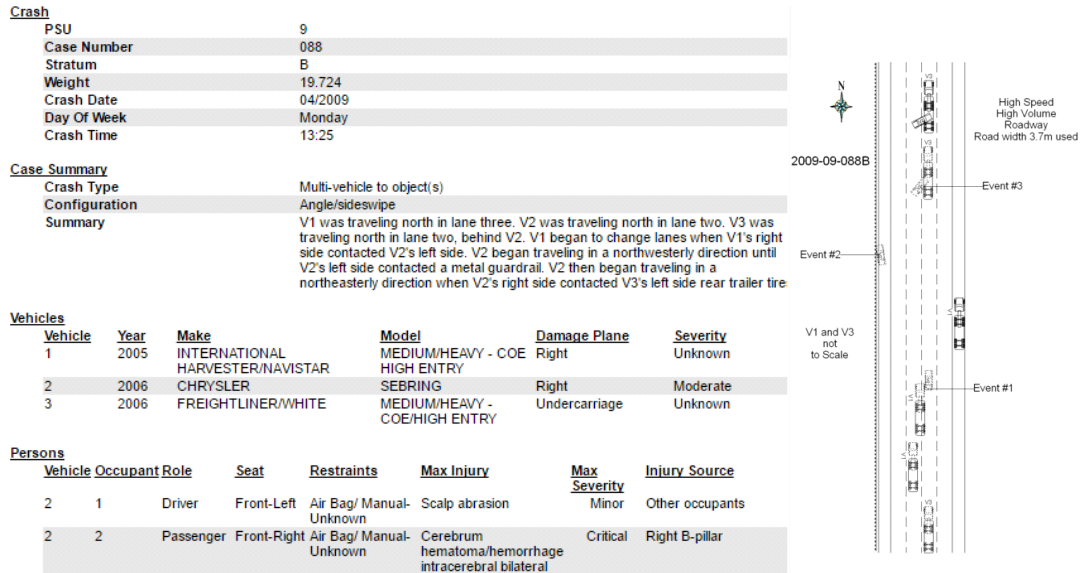


그림 7 NASS-CDS 사고 데이터의 예

- 사고 궤적, 자세한 충돌 부위, 사고 경위 제공
- 2015년 데이터 사고 데이터 중 2차 사고 데이터 수집
- 제공된 궤적 데이터를 바탕으로 데이터 재가공
- NASS-CDS는 상세 사고 경과 및 차량 정보를 제공하여 분석이 용이함
- 사고 데이터의 출처 : <https://crashviewer.nhtsa.dot.gov/LegacyCDS/Search>

표 1 국내와 미국 공개 데이터 비교

	TAAS	NASS-CDS
Information of vehicle	X	O
Scene diagram	X	O
Injury	O	O
Information of road	O	O
Damage plane	X	O
Severity of vehicle	X	O
Velocity	X	△

나. 2차 사고 분석 및 통계

(1) NASS-CDS에서 공개된 사고 사례 중 다중 충돌 사고 추출

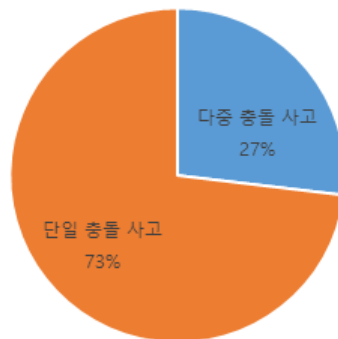


그림 8 사고 사례 중 다중 충돌 사고 발생 비율

- NASS-CDS에서 공개된 2012년, 2013년 및 2015년에 발생한 차량간 사고 5016건 중 추가 충돌 발생 사고 1348건

(2) 다중 충돌 사고 데이터 재가공

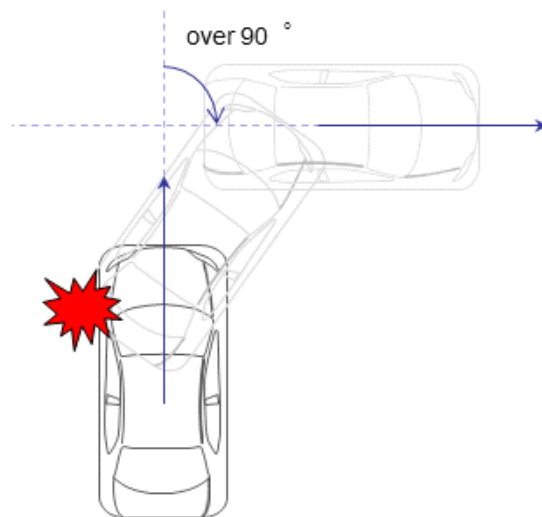
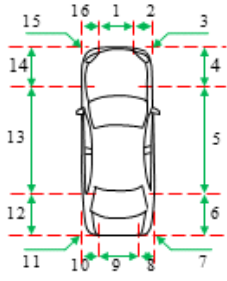


그림 9 자세 변화 기준

- 공개된 궤적 데이터를 분석하여 충돌 각도와 충돌 위치 정보 추출
- 도로 제한 속도 등 필요 데이터 추가
- 추가 충돌 분석을 위하여 자세 변화 기준 설정
- 자세 변화 기준은 그림 9와 같이 충돌 후 차량 자세 90도 이상 회전 여부

표 2 데이터 재가공 결과 및 재가공 기준

	Data reduction	Standard
Vehicle information	Vehicle model	-
	Type of accident vehicle	Bullet, target vehicle
Collision information	Point of collision	
	Impact direction	
	Severity	Vehicle severity(minor, moderate, severe)
	Sequence of accidents	Collision object, roll over, rotation, ...
Road information	Surface	Wet, snow, concrete, cement, ...
	Road type	Straight, corner(right, left), intersection, ...
	Speed limit	-

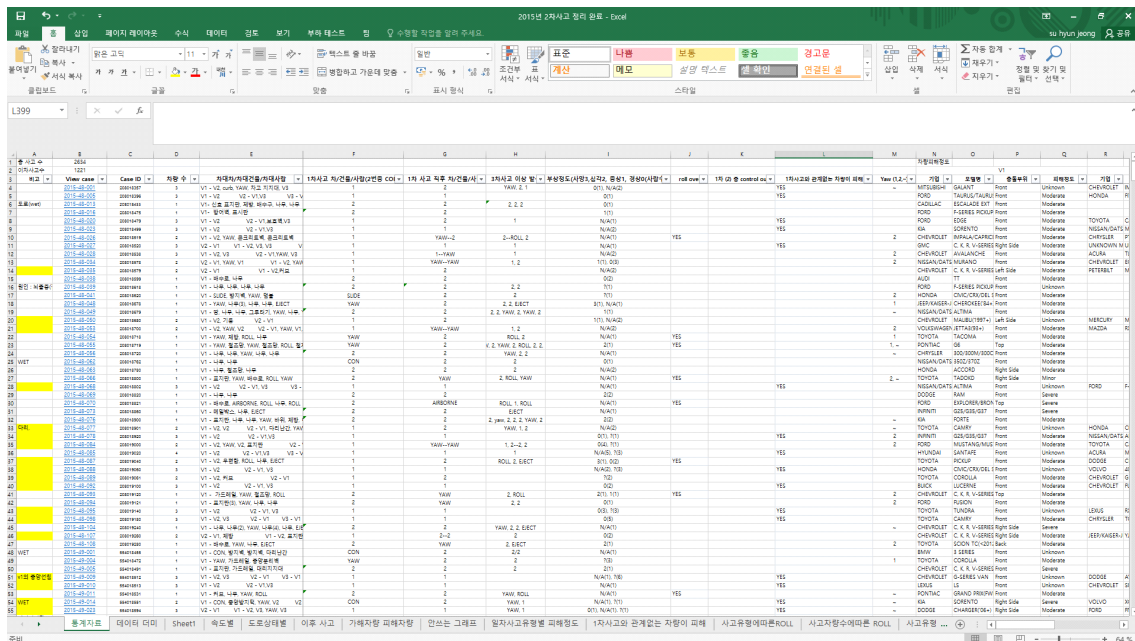


그림 10 데이터 재가공의 예

(3) 재 가공된 데이터 기반 분석 및 통계

(가) 차량 간 사고 분석

① 충돌 위치와 방향에 따른 차량 간 사고 빈도

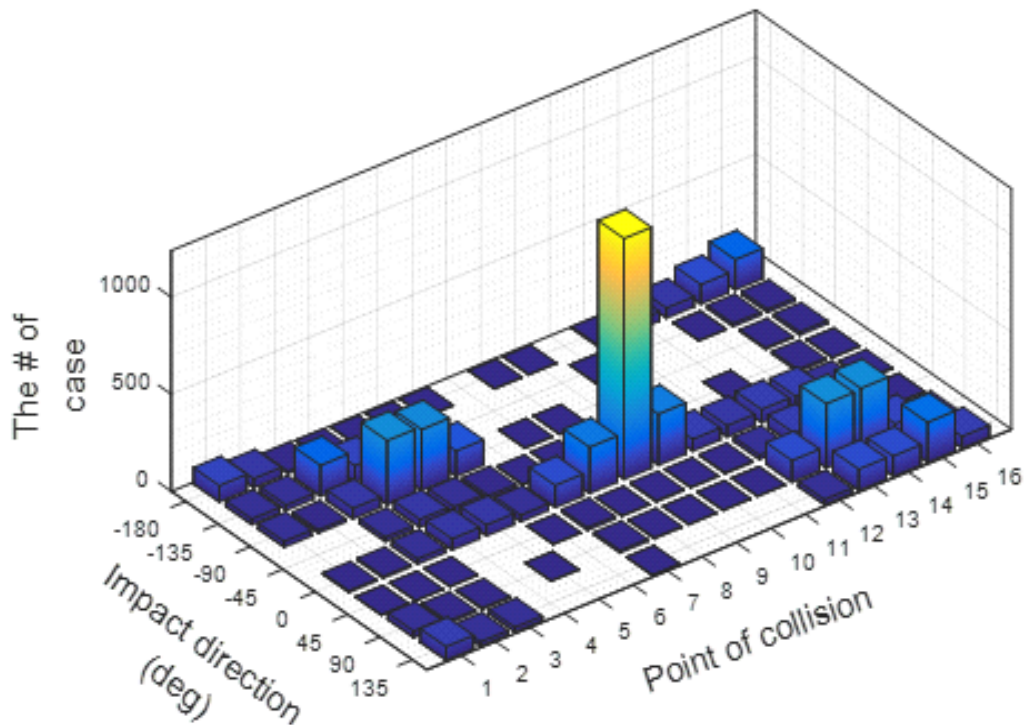


그림 11 충돌 위치와 방향에 따른 사고 수

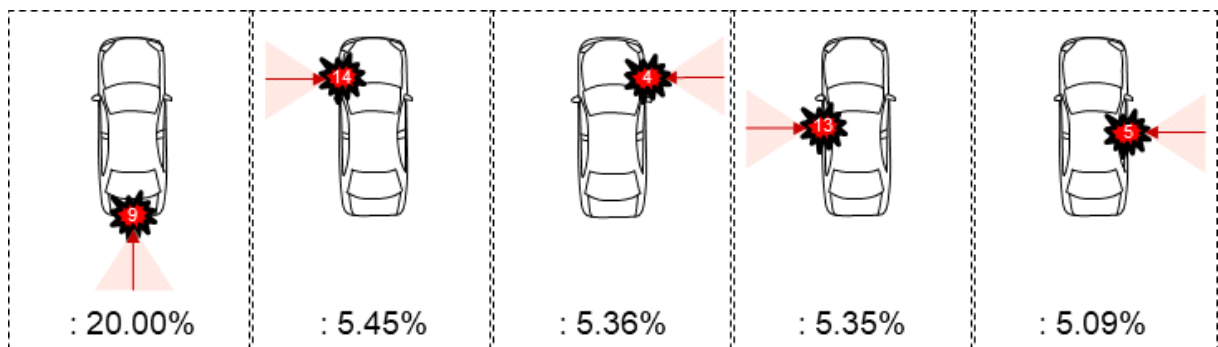


그림 12 사고 빈도가 높은 충돌 위치와 각도

- 그림 11은 충돌 위치와 방향에 대한 사고 빈도를 나타냄
- 그림 12은 빈도가 높은 사고를 차례대로 5 case 도식화
- 후방 추돌, 측면 직각 충돌 유형이 발생 빈도가 높음

② 충돌 위치와 방향에 따른 차량 간 사고 심각도

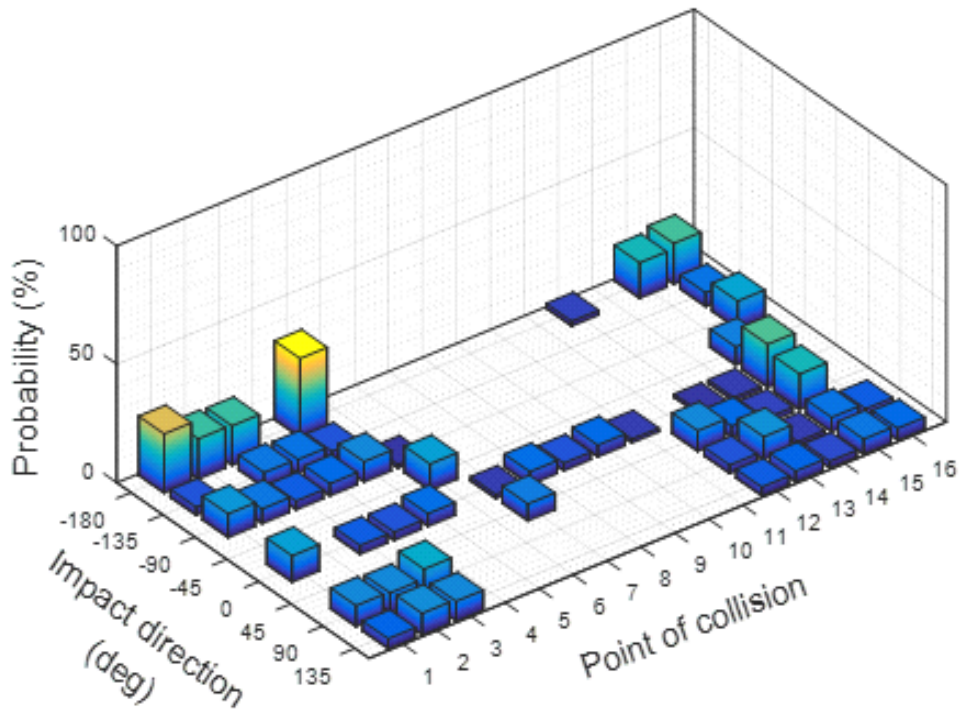


그림 13 충돌 위치와 방향에 따른 사고 심각도

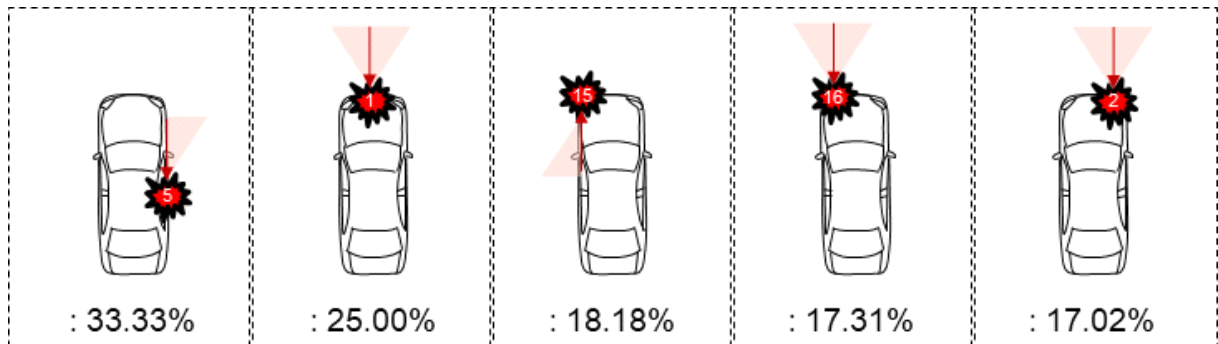


그림 14 사고 심각도가 높은 충돌 위치와 각도

- 그림 13은 각 충돌 위치 및 방향에 대한 위험 사고 비율을 나타냄
- 위험 사고 비율로 사고 심각도의 지표로 판별
- 그림 14는 사고 심각도가 높은 사고를 차례대로 5 case 도식화
- 주로 정면충돌과 전방, 후방에서의 측면 충돌 사고 유형이 사고 심각도가 높음
- 그림 12와 14를 비교해보면, 공통된 사고 유형이 없음
- 이는 사고 빈도와 사고 심각도는 연관성이 낮다고 해석할 수 있음

③ 자세 변화 여부와 사고 심각도의 연관성

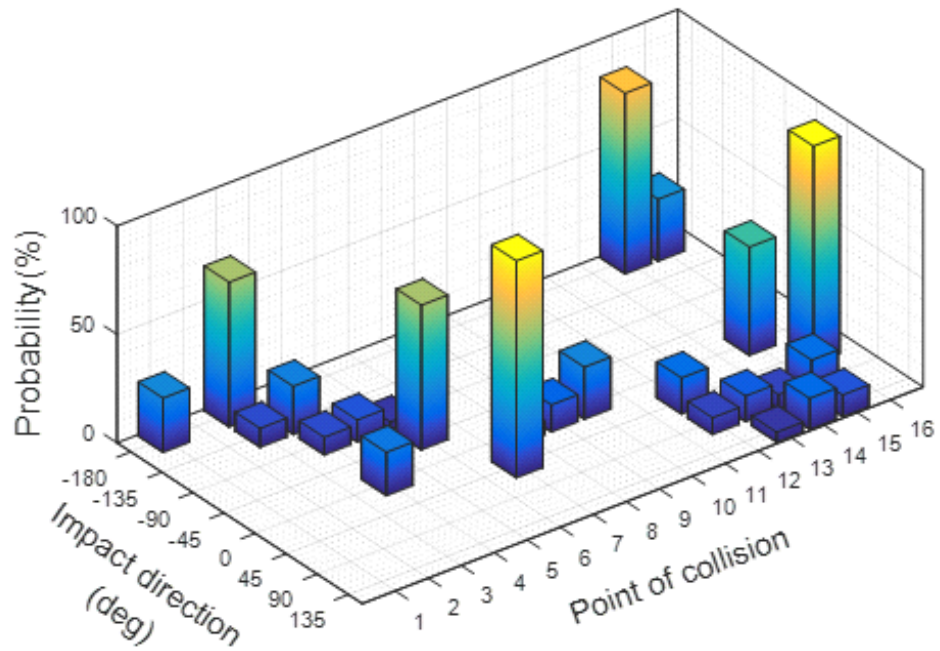


그림 15 자세가 변화할 경우 사고 심각도

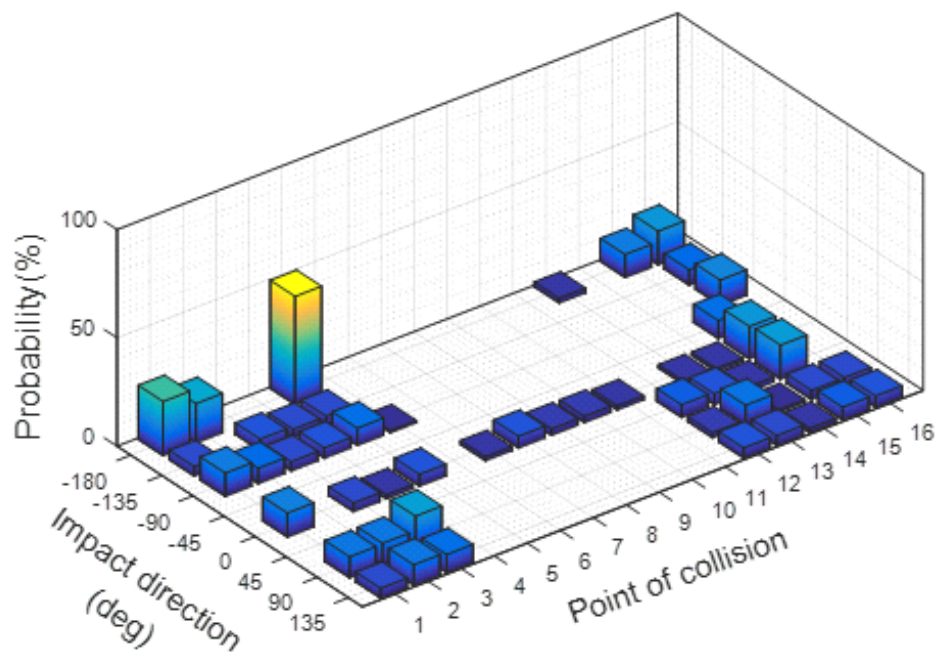


그림 16 자세가 변화하지 않을 경우 사고 심각도

- 그림 15와 그림 16은 자세 변화 유무에 따른 사고 심각도를 충돌 위치 및 각도별로 분류한 그래프
- 각 경우 사고 심각도는 자세 변화가 있을 경우 10.27%, 없을 경우 4.97%로, 자세 변화가 있을 경우가 두 배 이상 높음

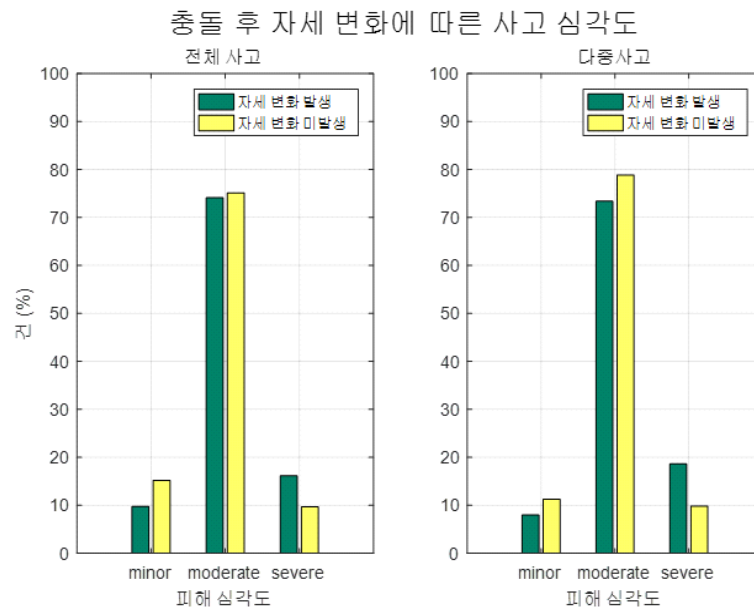


그림 17 충돌 후 자세 변화에 따른 심각도

- 그림 17은 충돌 후 자세 변화 유무에 따라 피해 심각도를 비교한 그래프
- 첫 충돌 대상이 차량이 아닌 경우를 포함한 전체 사고 데이터에서 추가 충돌 사고 시, 첫 충돌 발생 후 자세 변화가 발생한 경우가 그렇지 않은 경우에 대비하여 사고 심각도가 높음
- 분석 결과, 자세 변화는 사고 심각도를 높이는 요인이라 볼 수 있음

(나) 다중 충돌 사고 분석

① 충돌 위치와 각도에 따른 다중 충돌 사고 빈도

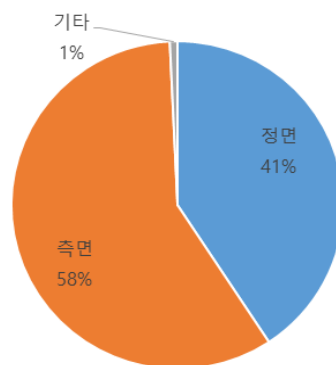


그림 18 다중 충돌 사고의 첫 충돌 유형

- 첫 충돌이 측면 충돌일 시 58%의 비율로 다중 충돌 사고를 발생시킴

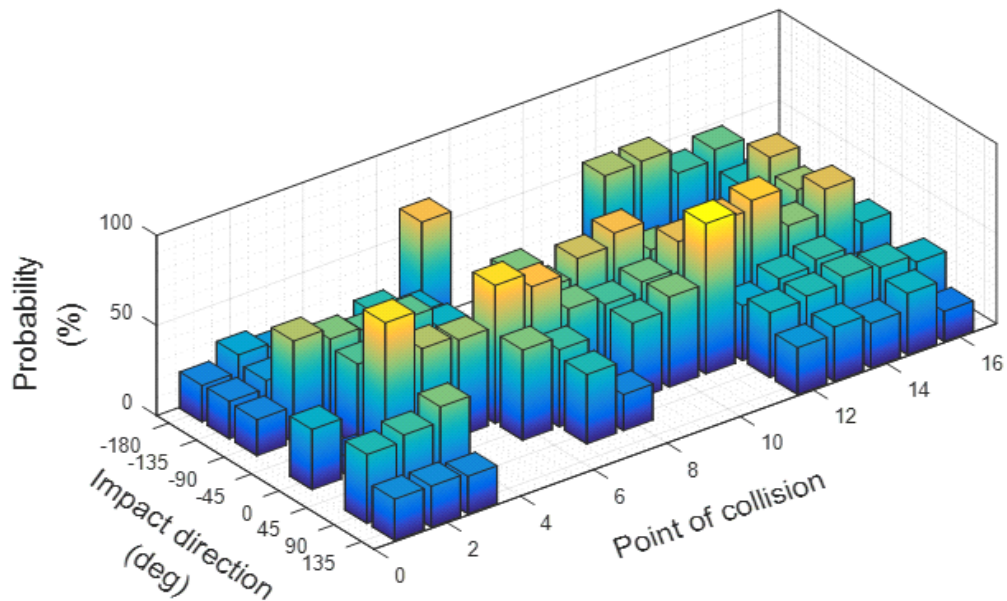


그림 19 충돌 위치 및 각도에 따른 다중 충돌 사고 발생 비율

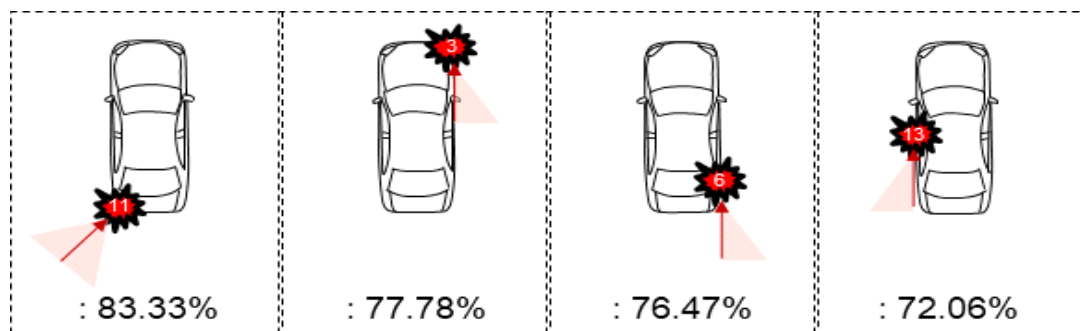


그림 20 다중 충돌 사고 발생 비율이 높은 충돌 위치와 각도

- 그림 19는 충돌 위치와 충돌 각도에 따라 다중 충돌 사고 발생 비율을, 그림 20은 다중 충돌 사고 발생 비율이 높은 유형을 차례대로 5 case를 보여줌
- 전, 후방에서 발생하는 측면 충돌들은 70% 이상 높은 비율로 다중 충돌 사고를 발생시킴

② 충돌 위치와 방향에 따른 다중 충돌 사고 심각도

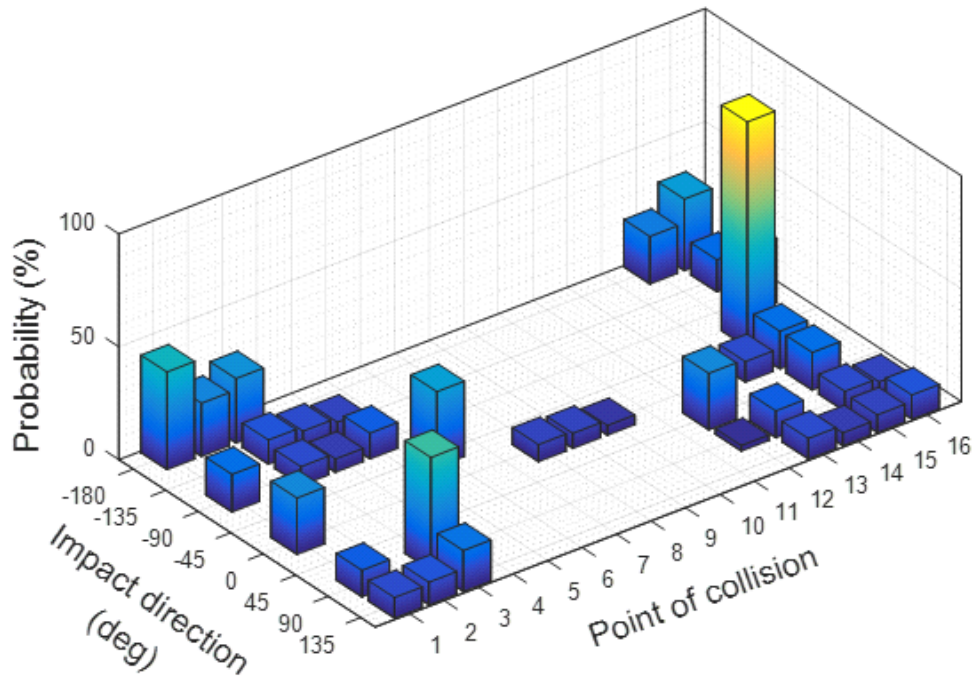


그림 21 단일 충돌 사고의 사고 심각도

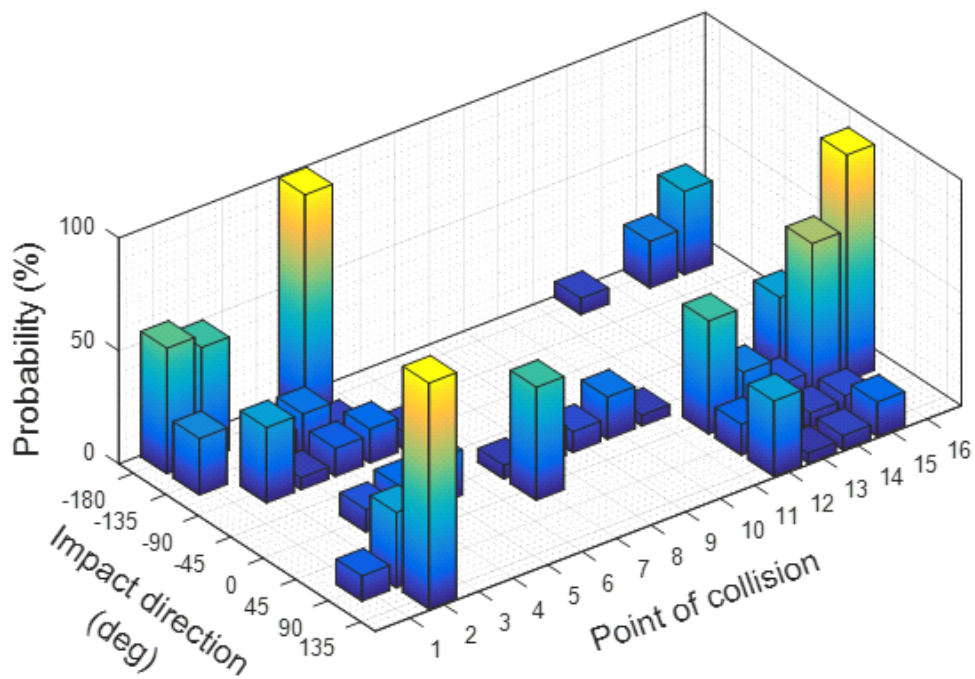


그림 22 다중 충돌 사고의 사고 심각도

- 그림 21, 그림 22는 각각 단일 충돌 사고와 다중 충돌 사고의 사고 심각도를 충돌 위치와 각도별로 분류한 그래프
- 두 그래프 모두 전방 및 측방 충돌에서 심각도가 높음
- 모든 충돌 위치 및 방향에서 다중 충돌 사고가 단일 사고보다 심각도가 높음

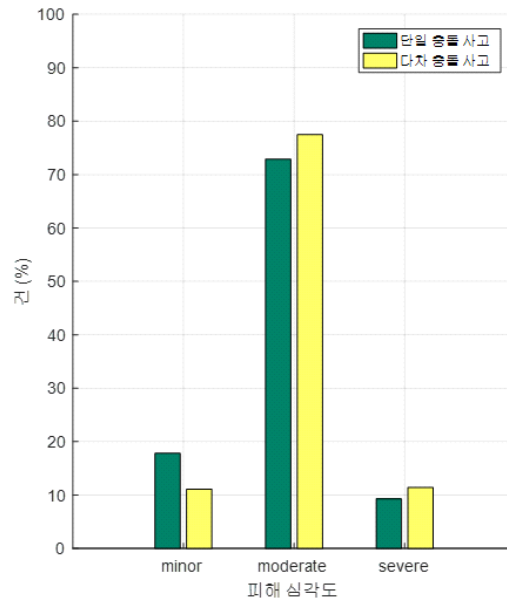


그림 23 단일 충돌 사고와 다중 충돌 사고의 피해 심각도

- 그림 23은 단일 충돌 사고와 다중 충돌 사고의 피해 심각도를 비교한 그래프
- 사고 심각도가 높은 사고 비율은 다중 충돌 사고가 12.06%, 단일 충돌 사고가 9.18%로 다중 충돌 사고가 더 높음
- 사고 심각도가 낮은 사고 비율은 다중 충돌 사고가 10.37%, 단일 충돌 사고가 17.89%로 다중 충돌 사고가 더 낮음
- 따라서, 다중 충돌 사고는 사고 심각성에 영향을 미치는 요인으로 볼 수 있음

③ 자세 변화와 다중 충돌 사고의 연관성 도출

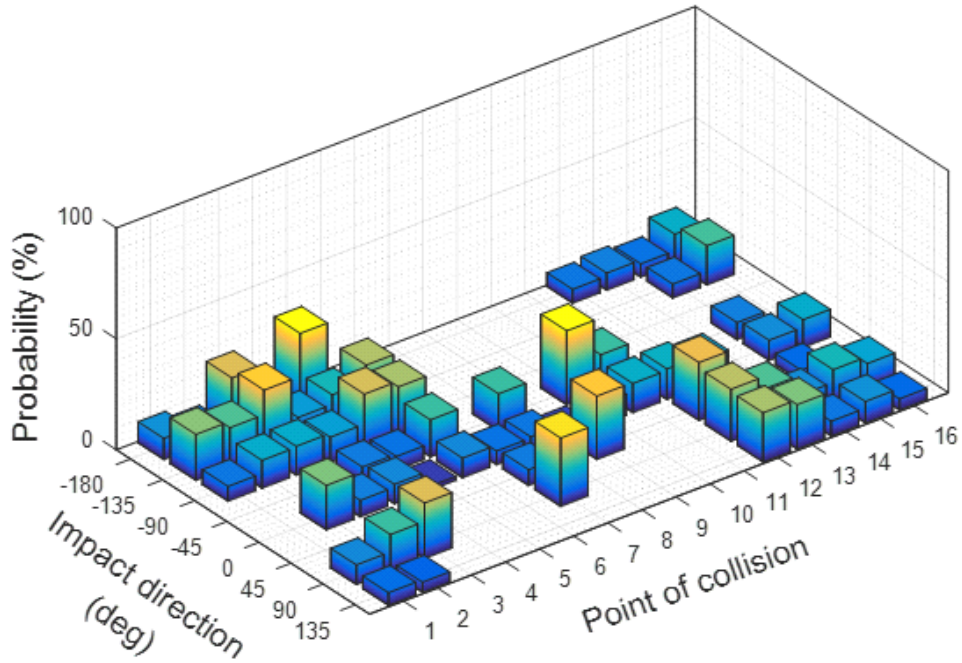


그림 24 충돌 위치, 각도에 따른 자세 변화가 발생한 비율

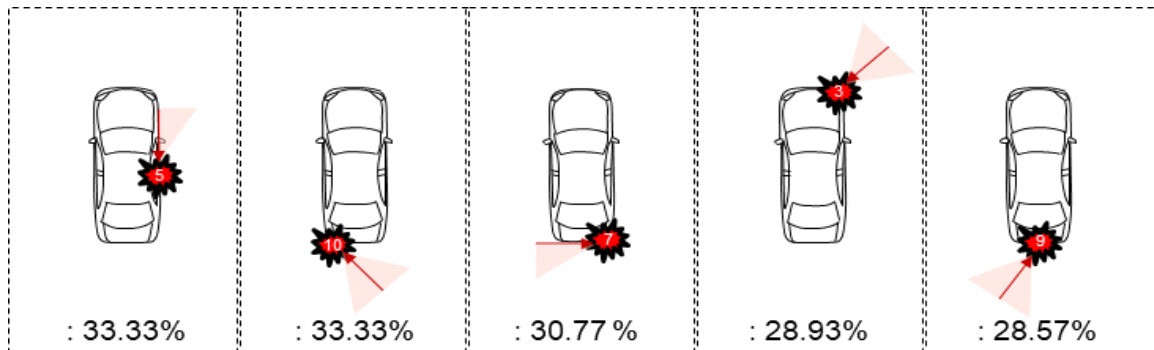


그림 25 자세 변화가 일어난 비율이 높은 충돌 위치와 각도

- 그림 24는 충돌 위치 및 각도에 따라 자세 변화가 발생한 비율을 나타낸 그래프
- 전, 후방에서의 측면 충돌일 때 자세 변화 비율이 높음
- 그림 25는 자세 변화 비율이 높은 유형을 차례대로 5개 도식화
- 비율이 높은 5 경우 중 피해 차량의 모서리에 충돌한 경우가 3개
- 주로 전, 후방의 측면 충돌로 다중 충돌 사고 발생 유형과 유사함
- 따라서 자세 변화가 일어날수록 다중 충돌의 가능성이 높을 것으로 예상

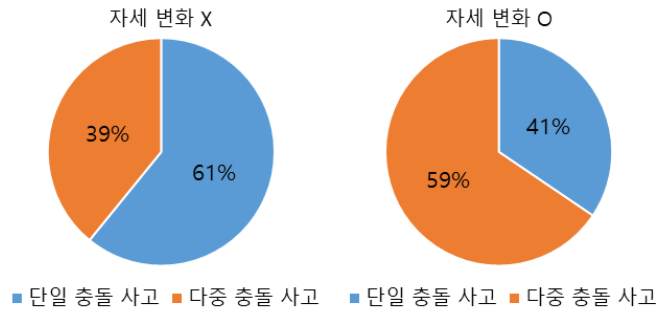


그림 26 자세 변화 유무에 따른 다중 충돌 비율

- 자세 변화 유무에 따른 단일/다중 충돌 사고의 비율 분석을 통한 자세 변화와 다중 충돌 사고의 연관성 도출
- 자세 변화 발생 사고 중 다중 충돌 사고가 59%를 차지함
- 자세 변화가 없는 사고 중 다중 충돌 사고는 39%를 차지함
- 자세 변화 여부는 다중 충돌을 발생시키는 요인이라고 해석 할 수 있음

다. 대표 사고 유형 도출

(1) 대표 사고 유형 분류를 위한 도로 유형별 사고 분석

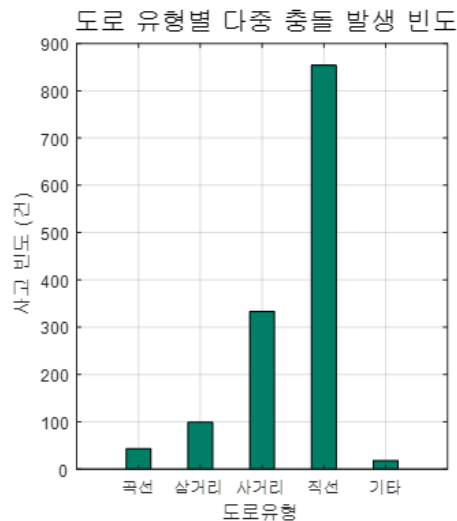


그림 27 도로 유형별 다중 충돌 발생 빈도

- 첫 충돌 시 충돌 위치와 각도는 도로 유형에 영향을 받음
- 그림28은 다중 충돌 발생 빈도를 도로 유형에 따라 분류한 그래프
- 곡선 길은 직선 도로의 유형과 유사하기 때문에 직선 도로 유형과 통합
- 도로 유형별 다중 충돌은 직선 도로인 경우가 제일 많고, 사거리, 삼거리, 곡선 순
- 각 도로 유형, 직선도로, 사거리, 삼거리 별로 충돌 위치 및 각도에 따라 사고 빈도 분석

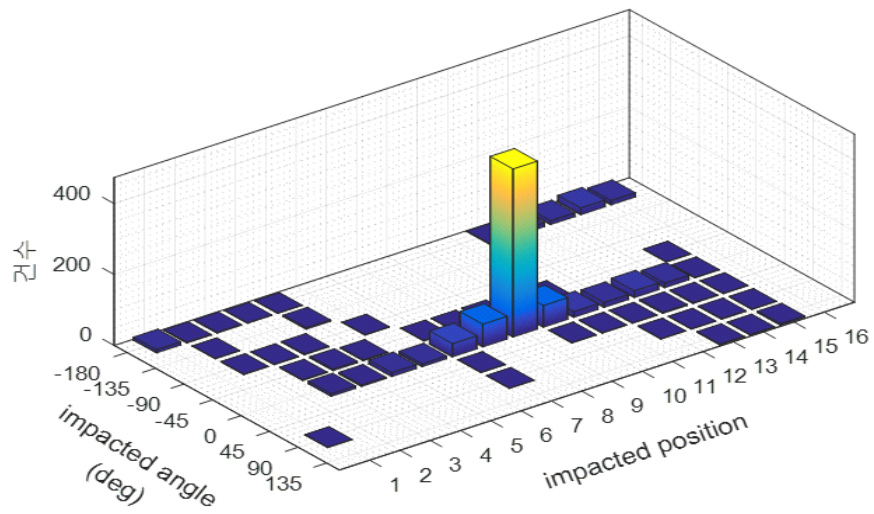


그림 28 직선 도로에서의 다중 충돌 사고 빈도

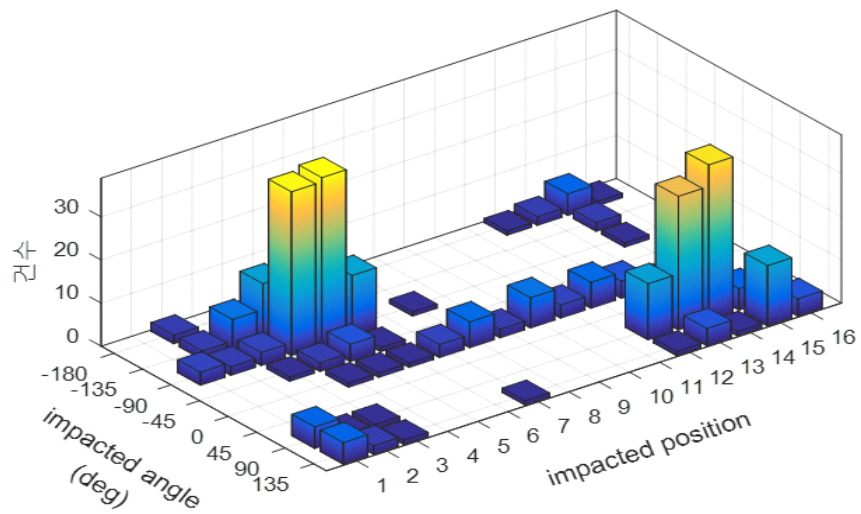


그림 29 사거리에서 다중 충돌 사고 빈도

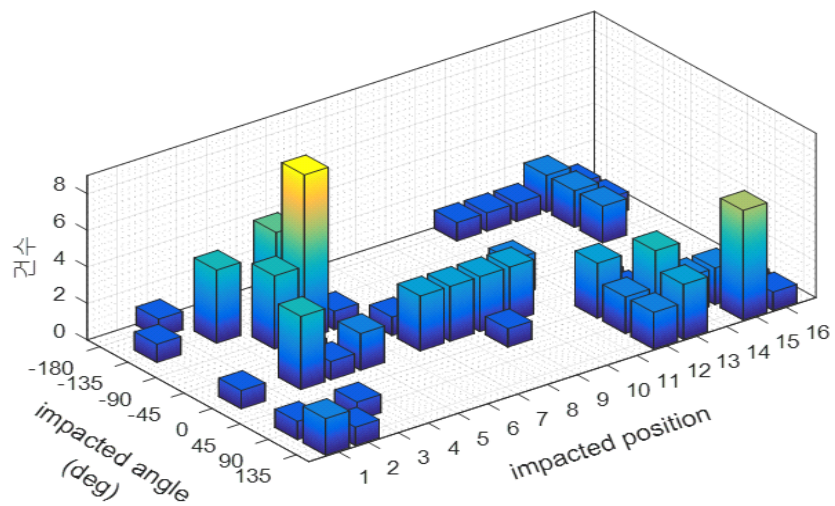


그림 30 삼거리에서의 다중 충돌 사고 빈도

- 직선 도로에서의 충돌 유형 분석 결과, 직선 도로에서의 다중 충돌 사고는 후방 추돌이 주를 이룸
- 사거리에서의 충돌 유형 분석 결과, 사거리에서의 다중 충돌 사고는 측면 직각 충돌이 주를 이룸
- 삼거리에서의 충돌 유형 분석 결과, 삼거리에서의 다중 충돌 사고는 후방, 전방에서의 측면 충돌 빈도가 높음
- 분석 결과로부터 빈도와 특징을 고려하여 대표 사고 유형 도출
- 직선, 사거리, 삼거리 유형에서의 다중 충돌 발생 빈도를 반영하여, 대표 사고 유형을 각각 5 : 3 : 2 비율로 도출

(2) 도출된 대표 사고 유형

(가) 직선 도로 대표 사고 유형

① 유형 1

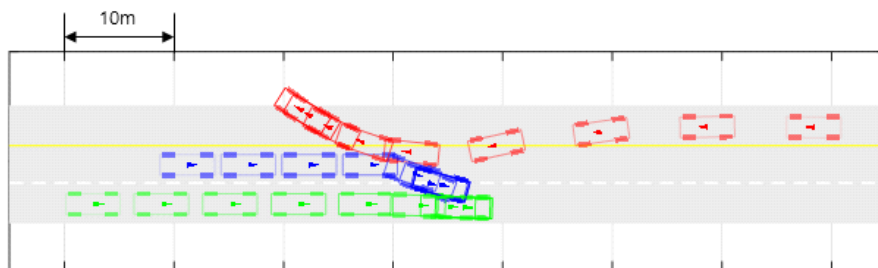


그림 31 직선 도로 대표 사고 유형 1

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 청색 차량의 반대편에서 중앙선을 침범하여 청색 차량의 전방과 충돌

추가 충돌 : 청색 차량이 옆 차선의 녹색 차량과 충돌

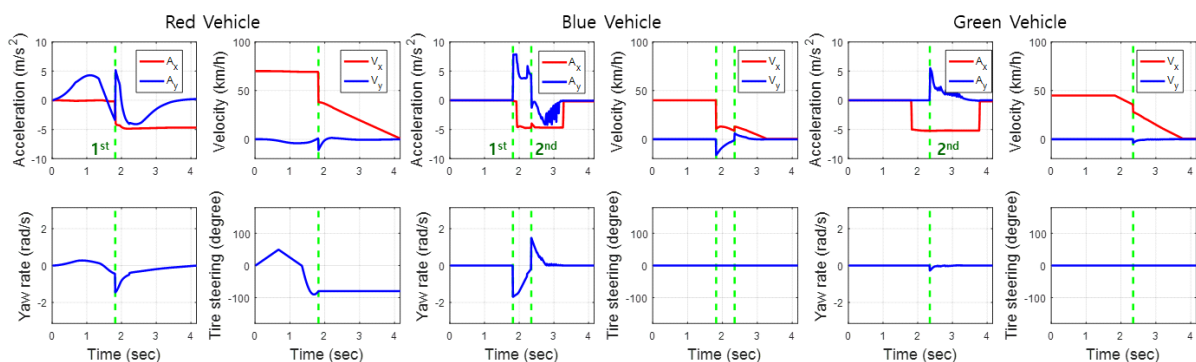


그림 32 직선 도로 대표 사고 유형 1의 동역학 데이터

- 전방 충돌은 대부분 중앙선 침범이 원인
- 직선 도로의 경우 충돌 이후 옆 차선에 가까이 주행 중인 차량이 있어 다중 충돌 사고로 이어지는 유형이 많음
- 그림 33은 직선도로 대표 유형 1의 사례

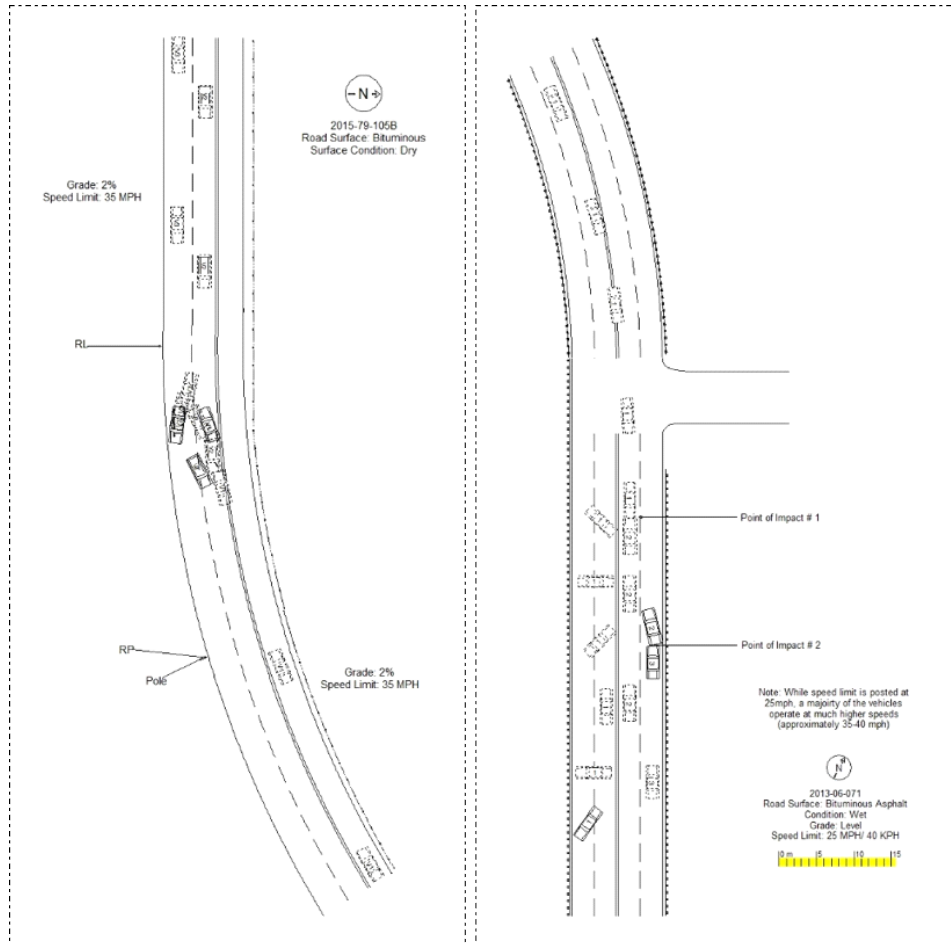


그림 33 직선 도로 대표 사고 유형 1의 사례

- 표 3은 직선 도로 유형 1의 목록

표 3 직선 도로 유형 1의 사고 사례

사고 유형	NASS-CDS 사고 사례
직선 도로 1	2015-49-133, 2015-05-044, 2012-72-028, 2013-13-013, 2013-45-038, 2013-45-125, 2013-81-148, 2012-82-071, 2012-81-027, 2012-79-122

② 유형 2

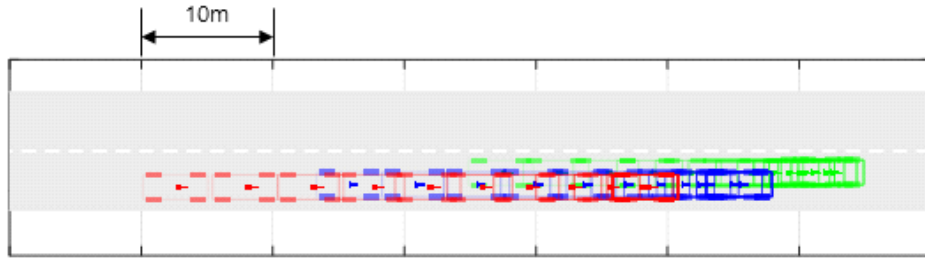


그림 34 직선 도로 대표 사고 유형 2

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 정차중인 청색 차량에 후방 추돌

추가 충돌 : 청색 차량이 앞으로 밀리면서 녹색 차량과 충돌

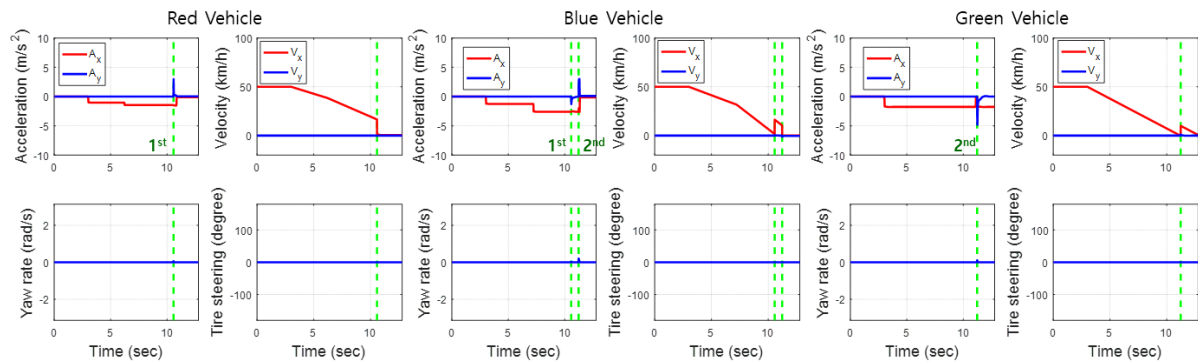


그림 35 직선 도로 대표 사고 유형 2의 동역학 데이터

- 직선 구간의 데이터 중 82.2%가 본 유형과 같은 후방 추돌
- 본 유형은 피해 차량이 2차 충돌에 관여하는 유형

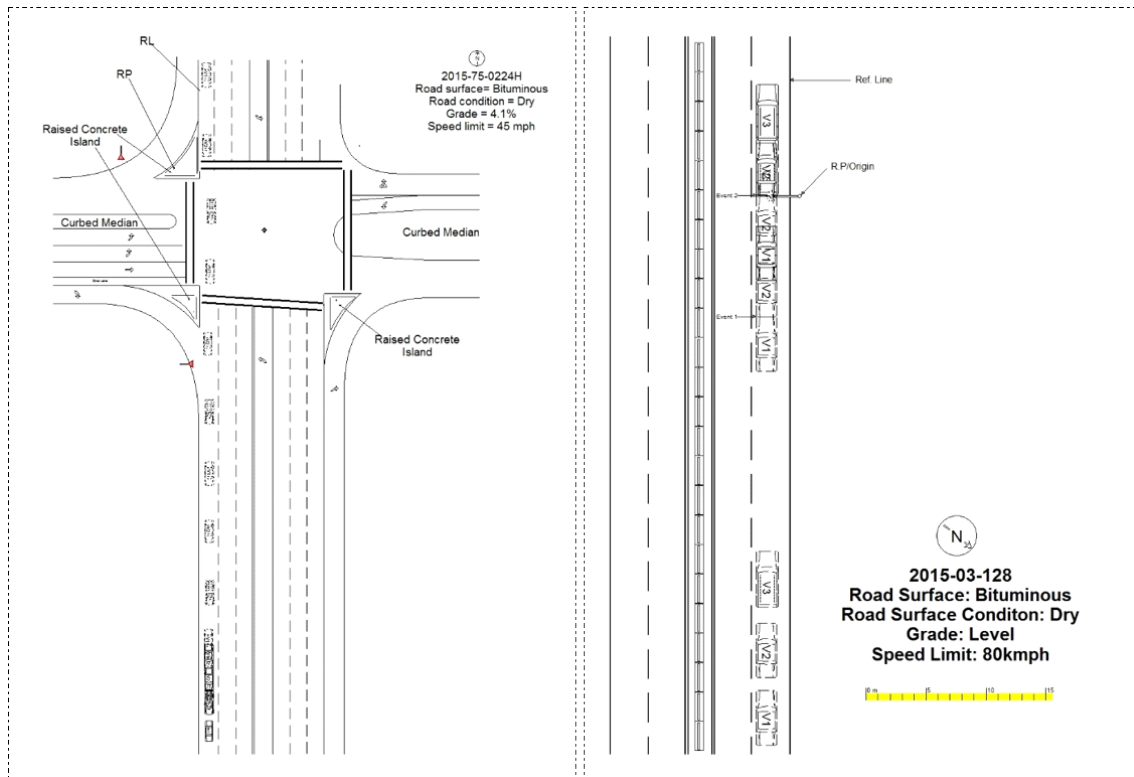


그림 36 직선 도로 대표 사고 유형 2의 사례

- 표 4는 직선 도로 유형 2의 목록

표 4 직선 도로 유형 2의 사고 사례

사고 유형		NASS-CDS 사고 사례			
직선 도로	2	2015-48-005,	2015-48-020,	2015-48-023,	2015-48-068,
		2015-48-085,	2015-48-088,	2015-48-095,	2015-49-010,
		2015-49-070,	2015-49-071,	2015-49-073,	2015-49-087,
		2015-49-097,	2015-49-129,	2015-49-137,	2015-49-138,
		2015-49-147,	2015-72-005,	2015-72-025,	2015-72-041,
		2015-72-062,	2015-73-020,	2015-73-024,	2015-73-029,
		2015-73-041,	2015-74-041,	2015-75-020,	2015-75-024,
		2015-75-025,	2015-75-028,	2015-75-032,	2015-76-065,
		2015-78-079,	2015-79-018,	2015-79-019,	2015-79-042,
		2015-79-054,	2015-79-059,	2015-79-070,	2015-79-073,
		2015-02-005,	2015-03-029,	2015-03-059,	2015-03-069,
		2015-03-078,	2015-03-086,	2015-03-101,	2015-03-102,
		2015-03-108,	2015-03-111,	2015-03-128,	2015-04-020,
		2015-04-056,	2015-04-105,	2015-05-004,	2015-05-018,
		2015-05-023,	2015-05-047,	2015-05-069,	2015-05-120,
		2015-05-123,	2015-05-139,	2015-05-141,	2015-05-145,
		2015-08-002,	2015-08-003,	2015-08-033,	2015-08-048,
		2015-08-063,	2015-08-080,	2015-08-093,	2015-08-097,
		2015-11-058,	2015-12-034,	2015-12-041,	2015-12-058,
		2015-12-064,	2015-41-008,	2015-41-060,	2015-41-089,
		2015-41-104,	2015-41-109,	2015-41-123,	2015-41-126,
		2015-41-129,	2015-41-155,	2015-43-005,	2015-43-006,
		2015-43-023,	2015-43-028,	2015-43-037,	2015-43-041,
		2015-43-052,	2015-43-126,	2015-45-028,	2015-45-039,
		2015-45-072,	2015-45-074,	2015-45-075,	2015-45-116,
		2015-45-119,	2015-45-132,	2015-79-098,	2015-79-112,
		2015-79-134,	2015-79-146,	2015-79-151,	2015-81-005,

		2015-81-008,	2015-81-025,	2015-81-039,	2015-81-051,
		2015-81-060,	2015-81-067,	2015-81-068,	2015-81-084,
		2015-81-085,	2015-81-093,	2015-81-097,	2015-81-109,
		2015-81-112,	2015-81-130,	2015-81-131,	2015-82-014,
		2015-82-022,	2015-82-026,	2015-82-050,	2015-82-052,
		2015-82-054,	2015-82-060,	2012-02-069,	2012-02-077,
		2012-03-029,	2012-03-030,	2012-03-040,	2012-03-051,
		2012-03-095,	2012-03-101,	2012-04-007,	2012-04-055,
		2012-04-062,	2012-04-077,	2012-04-102,	2012-05-002,
		2012-05-024,	2012-05-043,	2012-05-055,	2012-05-057,
		2012-05-070,	2012-05-074,	2012-05-075,	2012-05-077,
		2012-05-090,	2012-05-096,	2012-06-049,	2012-06-071,
		2012-06-078,	2012-06-093,	2012-06-102,	2012-08-011,
		2012-08-023,	2012-08-058,	2012-08-083,	2012-08-086,
		2012-08-092,	2012-08-141,	2012-08-145,	2012-08-157,
		2012-09-001,	2012-09-010,	2012-09-035,	2012-09-042,
		2012-09-043,	2012-09-064,	2012-09-067,	2012-09-093,
		2012-09-097,	2012-09-107,	2012-09-115,	2012-11-021,
		2012-11-038,	2012-11-043,	2012-11-077,	2012-11-085,
		2012-11-105,	2012-11-112,	2012-11-114,	2012-11-119,
		2012-11-123,	2012-12-005,	2012-12-027,	2012-12-041,
		2012-12-060,	2012-12-089,	2012-12-111,	2012-12-158,
		2012-13-036,	2012-13-061,	2012-13-080,	2012-13-082,
		2012-41-003,	2012-41-044,	2012-41-050,	2012-41-058,
		2012-41-065,	2012-41-083,	2012-41-090,	2012-41-129,
		2012-41-165,	2012-41-172,	2012-41-176,	2012-41-185,
		2012-43-024,	2012-43-035,	2012-43-076,	2012-43-080,
		2012-43-103,	2012-43-122,	2012-43-138,	2012-43-163,
		2012-43-171,	2012-43-173,	2012-43-175,	2012-43-185,
		2012-43-187,	2012-43-193,	2012-43-201,	2012-43-205,
		2012-43-215,	2012-45-015,	2012-45-016,	2012-45-040,
		2012-45-049,	2012-48-003,	2012-48-010,	2012-48-011,
		2012-48-024,	2012-48-035,	2012-48-037,	2012-48-069,
		2012-48-105,	2012-48-153,	2012-48-155,	2012-49-034,
		2012-49-069,	2012-49-076,	2012-49-105,	2012-49-111,
		2012-49-116,	2012-49-120,	2012-49-141,	2012-49-150,
		2012-49-180,	2012-49-183,	2012-49-193,	2012-49-202,
		2012-49-211,	2012-72-014,	2012-72-026,	2012-72-065,
		2012-72-087,	2012-72-116,	2012-72-134,	2012-73-062,
		2012-73-074,	2012-73-112,	2012-73-152,	2012-73-156,
		2013-02-028,	2013-02-043,	2013-02-056,	2013-02-085,
		2013-03-020,	2013-03-038,	2013-03-047,	2013-03-049,
		2013-03-054,	2013-03-071,	2013-03-093,	2013-03-098,
		2013-03-115,	2013-04-020,	2013-04-021,	2013-04-032,
		2013-04-037,	2013-04-076,	2013-04-088,	2013-04-089,
		, 2013-04-104,	2013-05-003,	2013-05-015,	2013-05-016,
		2013-05-025,	2013-05-028,	2013-05-030,	2013-05-034,
		2013-05-036,	2013-05-037,	2013-05-080,	2013-05-101,
		2013-05-122,	2013-05-127,	2013-06-044,	2013-06-054,
		2013-06-067,	2013-06-073,	2013-06-086,	2013-06-090,
		2013-06-105,	2013-06-108,	2013-06-128,	2013-08-029,
		2013-08-044,	2013-08-053,	2013-08-057,	2013-08-063,
		2013-08-068,	2013-08-083,	2013-08-097,	2013-08-107,
		2013-08-112,	2013-08-113,	2013-08-119,	2013-08-123,
		2013-08-124,	2013-08-127,	2013-08-134,	2013-08-142,
		2013-09-005,	2013-09-045,	2013-11-044,	2013-11-058,
		2013-12-002,	2013-12-011,	2013-12-021,	2013-12-056,
		2013-12-058,	2013-12-078,	2013-12-088,	2013-13-032,
		2013-13-036,	2013-13-091,	2013-13-097,	2013-41-017,
		2013-41-026,	2013-41-029,	2013-41-061,	2013-41-075,
		2013-41-076,	2013-41-121,	2013-41-128,	2013-41-142,
		2013-41-143,	2013-41-147,	2013-41-148,	2013-41-150,
		2013-41-164,	2013-43-005,	2013-43-015,	2013-43-023,
		2013-43-056,	2013-43-076,	2013-43-101,	2013-43-119,
		2013-43-145,	2013-43-155,	2013-43-159,	2013-45-001,

		2013-45-004, 2013-45-011, 2013-45-082, 2013-48-022, 2013-48-047, 2013-48-050, 2013-48-062, 2013-48-079, 2013-48-092, 2013-48-096, 2013-48-104, 2013-48-140, 2013-48-146, 2013-49-001, 2013-49-002, 2013-49-024, 2013-49-026, 2013-49-053, 2013-49-072, 2013-49-078, 2013-49-098, 2013-49-106, 2013-72-065, 2013-72-080, 2013-72-097, 2013-72-100, 2013-72-103, 2013-72-116, 2013-72-132, 2013-72-142, 2013-72-152, 2013-72-159, 2013-72-161, 2013-72-163, 2013-72-167, 2013-72-171, 2013-72-172, 2013-72-174, 2013-72-182, 2013-72-193, 2013-73-003, 2013-73-093, 2013-73-099, 2013-73-128, 2013-74-009, 2013-74-021, 2013-74-026, 2013-74-091, 2013-74-120, 2013-74-131, 2013-75-006, 2013-75-012, 2013-75-036, 2013-75-046, 2013-75-072, 2013-75-073, 2013-75-077, 2013-75-081, 2013-75-089, 2013-76-096, 2013-78-010, 2013-78-060, 2013-78-161, 2013-79-037, 2013-79-038, 2013-79-046, 2013-79-049, 2013-79-062, 2013-79-101, 2013-79-112, 2013-79-120, 2013-79-146, 2013-79-170, 2013-81-001, 2013-81-010, 2013-81-041, 2013-81-050, 2013-81-051, 2013-81-056, 2013-81-087, 2013-81-089, 2013-81-097, 2013-81-107, 2013-81-123, 2013-81-131, 2013-81-135, 2013-81-158, 2013-81-162, 2013-82-029, 2013-82-051, 2013-82-059, 2013-82-099, 2013-82-124, 2012-82-151, 2012-82-137, 2012-82-135, 2012-82-134, 2012-82-091, 2012-82-073, 2012-82-065, 2012-82-064, 2012-82-053, 2012-82-034, 2012-82-032, 2012-82-029, 2012-81-162, 2012-81-159, 2012-81-155, 2012-81-152, 2012-81-138, 2012-81-130, 2012-81-123, 2012-81-111, 2012-81-103, 2012-81-071, 2012-81-028, 2012-81-023, 2012-81-011, 2012-79-153, 2012-79-145, 2012-79-135, 2012-79-131, 2012-79-116, 2012-79-090, 2012-79-085, 2012-79-045, 2012-79-037, 2012-79-030, 2012-79-002, 2012-78-174, 2012-78-127, 2012-78-047, 2012-78-033, 2012-78-025, 2012-78-012, 2012-78-004, 2012-76-143, 2012-76-064, 2012-76-028, 2012-75-119, 2012-75-098, 2012-75-095, 2012-75-060, 2012-75-051, 2012-75-041, 2012-75-037, 2012-75-016, 2012-74-071, 2012-73-170
--	--	--

③ 유형 3

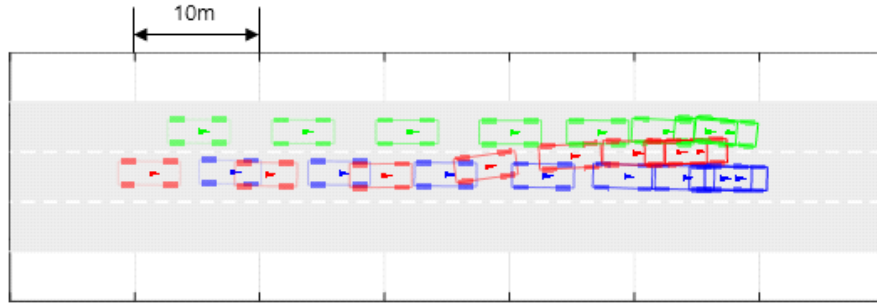


그림 37 직선 도로 대표 사고 유형 3

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 감속하는 청색 차량을 피하려다 후면 충돌

추가 충돌 : 적색 차량이 옆으로 밀리면서 옆 차선의 녹색 차량과 충돌

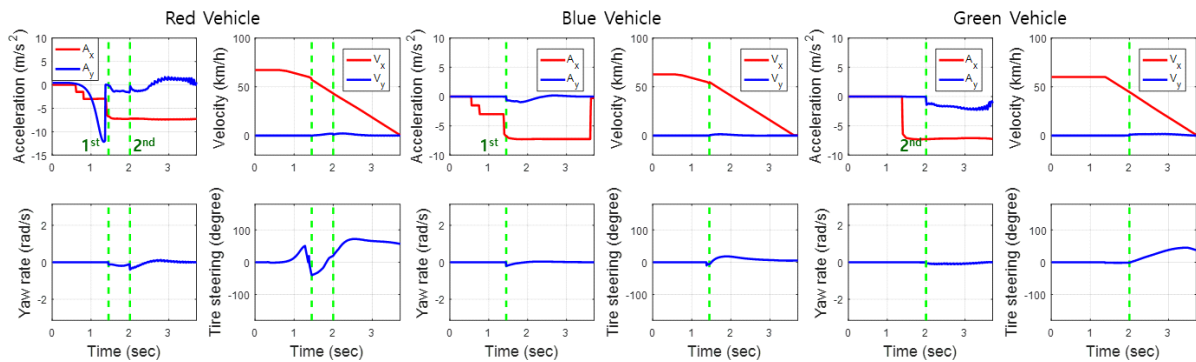


그림 38 직선 도로 대표 사고 유형 3의 동역학 데이터

- 직선 구간에서 후방 추돌을 제외한 대표유형으로, 주로 뒤 차량이 앞 차량을 피하거나 차선 변경 시 타 차선 차량과 충돌하는 유형

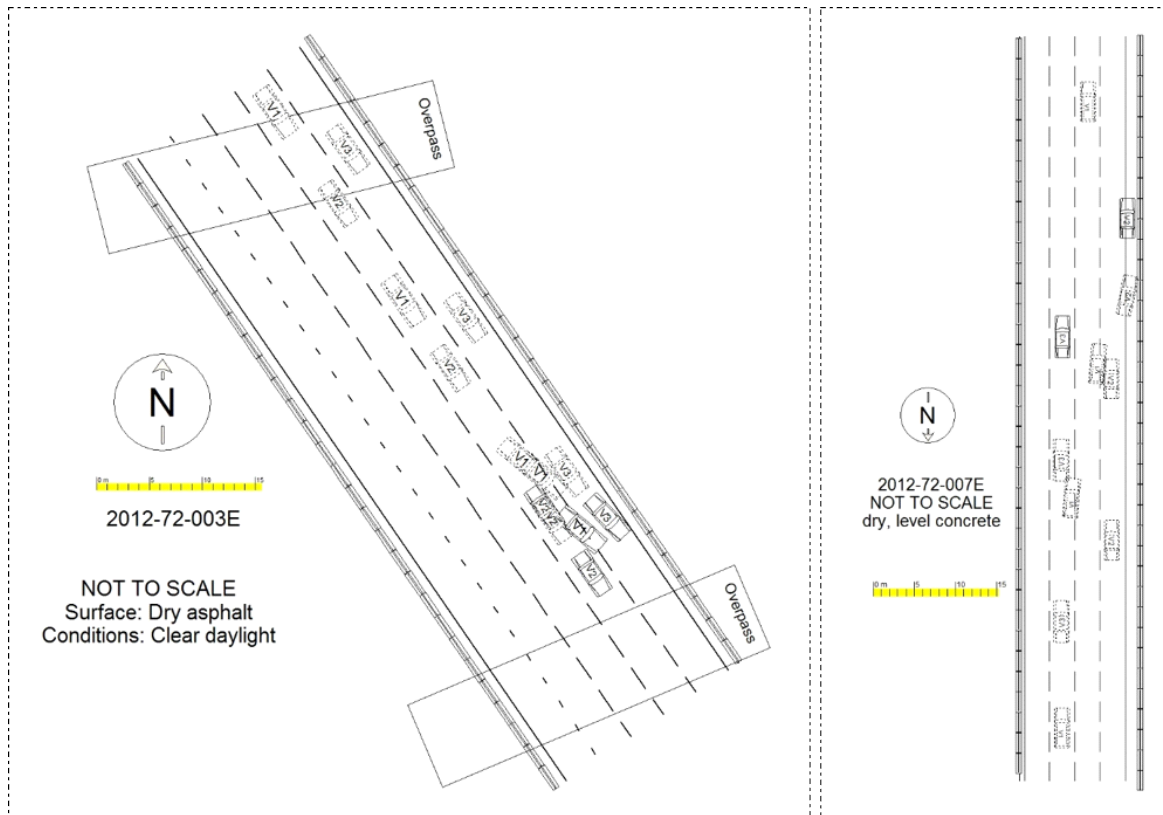


그림 39 직선 도로 대표 사고 유형 3의 사례

- 표 5는 직선 도로 유형 3의 목록

표 5 직선 도로 유형 3의 사고 사례

사고 유형		NASS-CDS 사고 사례
직선도로	3	2015-49-150, 2015-75-064, 2015-03-114, 2015-08-066, 2015-41-133, 2015-43-051, 2015-43-135, 2015-81-106, 2012-09-025, 2012-43-147, 2012-49-002, 2012-49-153, 2012-72-003, 2012-72-007, 2012-73-081, 2013-03-122, 2013-05-067, 2013-06-011, 2013-11-083, 2013-11-115, 2013-41-104, 2013-41-112, 2013-43-063, 2013-72-103, 2013-78-032, 2012-82-075, 2012-82-068, 2012-73-163

④ 유형 4

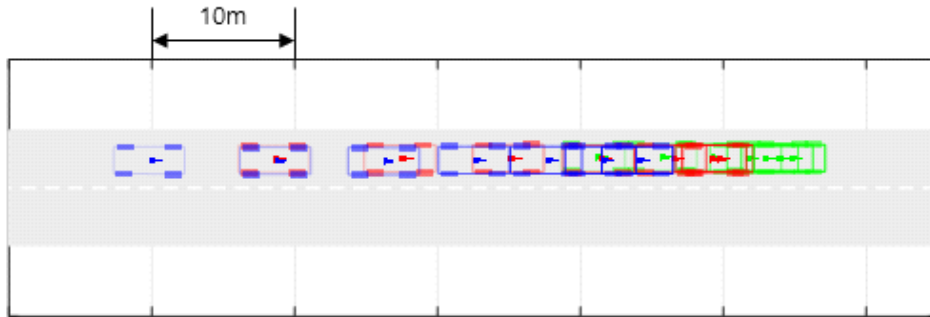


그림 40 직선 도로 대표 사고 유형 4

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 정지 상태인 녹색 차량을 후방에서 추돌

추가 충돌 : 뒤따라오던 청색 차량이 적색 차량을 후방에서 추돌

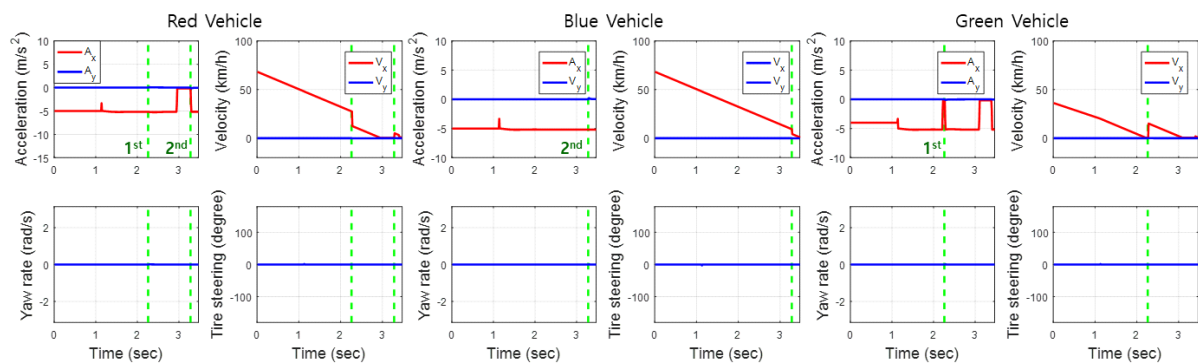


그림 41 직선 도로 대표 사고 유형 4의 동역학 데이터

- 유형 2와 유사한 후방 추돌 유형이나, 피해 차량이 추가 충돌에 관여하지 않음

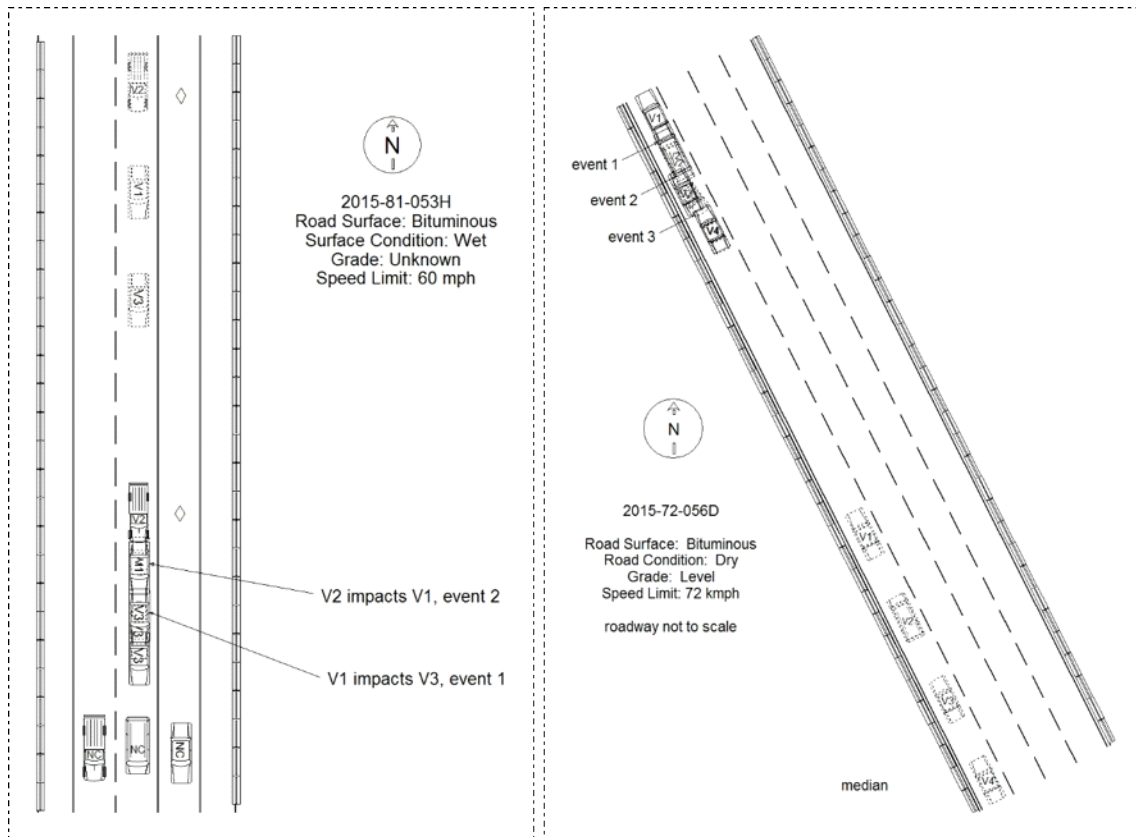


그림 42 직선 도로 대표 사고 유형 4의 사례

- 표 6은 직선 도로 유형 4의 목록

표 6 직선 도로 유형 3의 사고 사례

사고 유형		NASS-CDS 사고 사례
직선 도로	4	2015-49-049, 2015-03-037, 2015-05-063, 2015-06-011, 2015-41-028, 2015-41-112, 2015-43-011, 2015-81-053, 2012-08-129, 2012-08-136, 2012-08-159, 2012-41-031, 2012-43-165, 2012-49-059, 2012-73-145, 2013-03-060, 2013-03-080, 2013-04-026, 2013-05-094, 2013-06-017, 2013-12-067, 2013-72-103, 2013-74-011, 2013-74-094, 2013-78-164, 2013-79-169, 2013-81-063, 2012-81-077, 2012-79-054

⑤ 유형 5

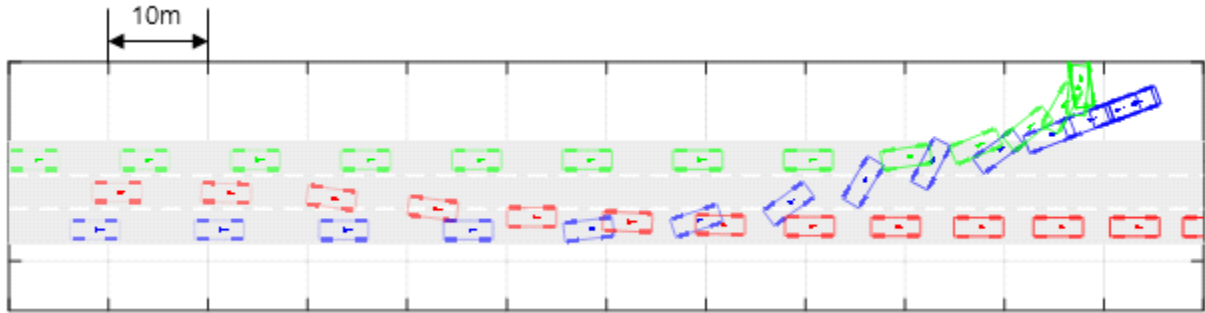


그림 43 직선 도로 대표 사고 유형 5

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 우측 차선 변경 시도 중 우측 차선에 있던 청색 차량의
우측 후면과 충돌

추가 충돌 : 청색 차량이 두 차선 건너 주행 중인 녹색 차량과 추가 충돌

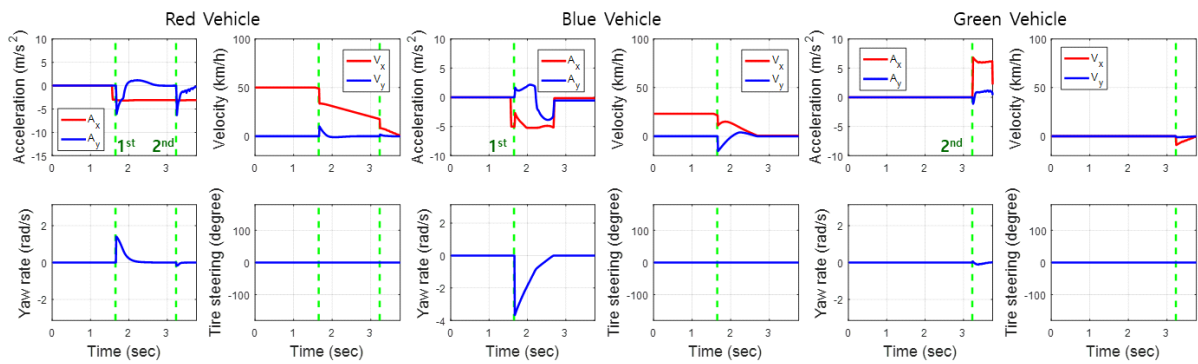


그림 44 직선 도로 대표 사고 유형 5의 동역학 데이터

- 첫 충돌 후 피해 차량의 큰 자세변화로 인한 다중 충돌 발생
- 후방 추돌 시 피해 차량이 다중 충돌 사고에 참여한 사고 유형 중 빈번히 발생하는 유형

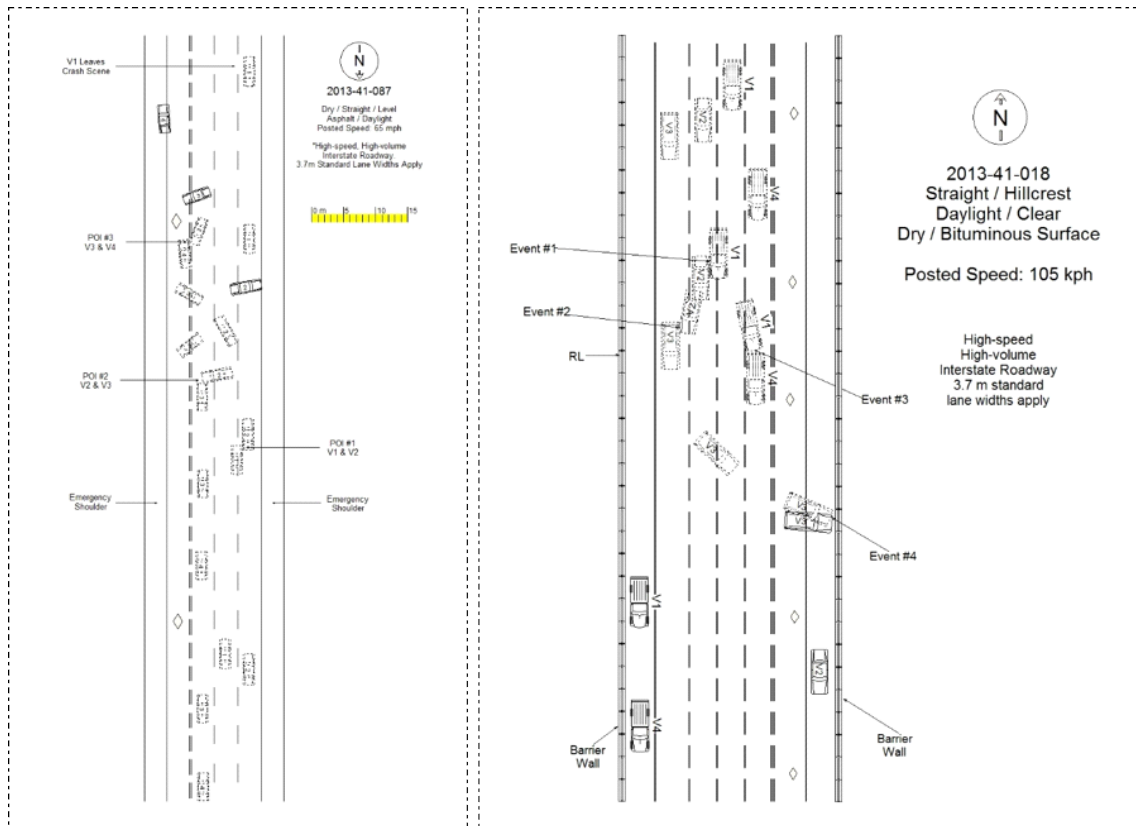


그림 45 직선 도로 대표 사고 유형 5의 사례

- 표 7은 직선 도로 유형 5의 목록

표 7 직선 도로 유형 5의 사고 사례

사고 유형		NASS-CDS 사고 사례
직선 도로	5	2015-73-022, 2015-74-017, 2015-79-003, 2015-03-067, 2015-41-039, 2015-79-117, 2012-12-197, 2012-41-119, 2013-02-032, 2013-03-110, 2013-41-018, 2013-41-077, 2013-41-087, 2013-41-116, 2013-74-115, 2012-79-064

(나) 사거리 대표 사고 유형

① 유형 1

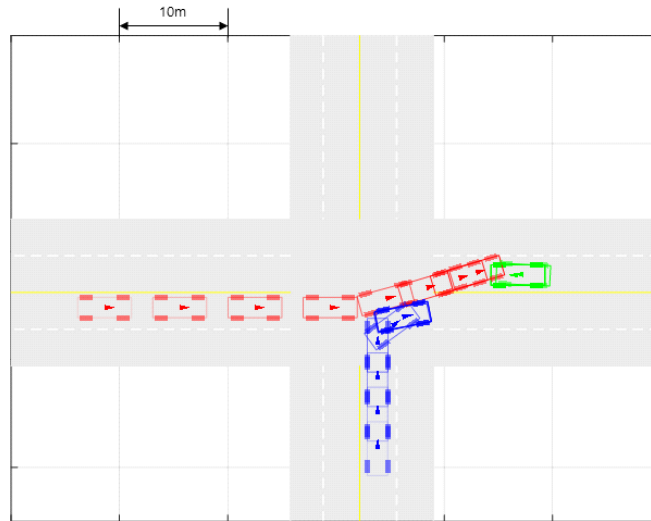


그림 46 사거리 대표 사고 유형 1

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 직선 주행 중인 청색 차량을 측면 충돌

추가 충돌 : 좌측으로 밀린 적색 차량이 신호 대기 중이던 녹색 차량과 충돌

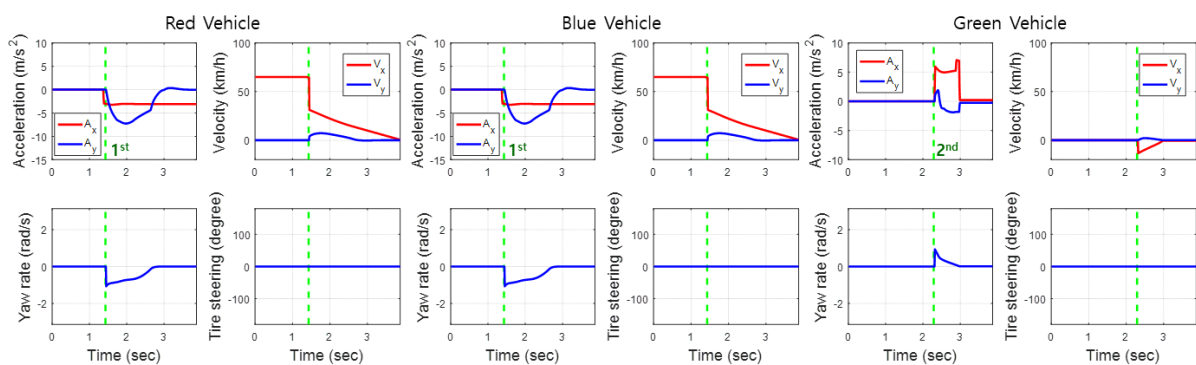


그림 47 사거리 대표 사고 유형 1의 동역학 데이터

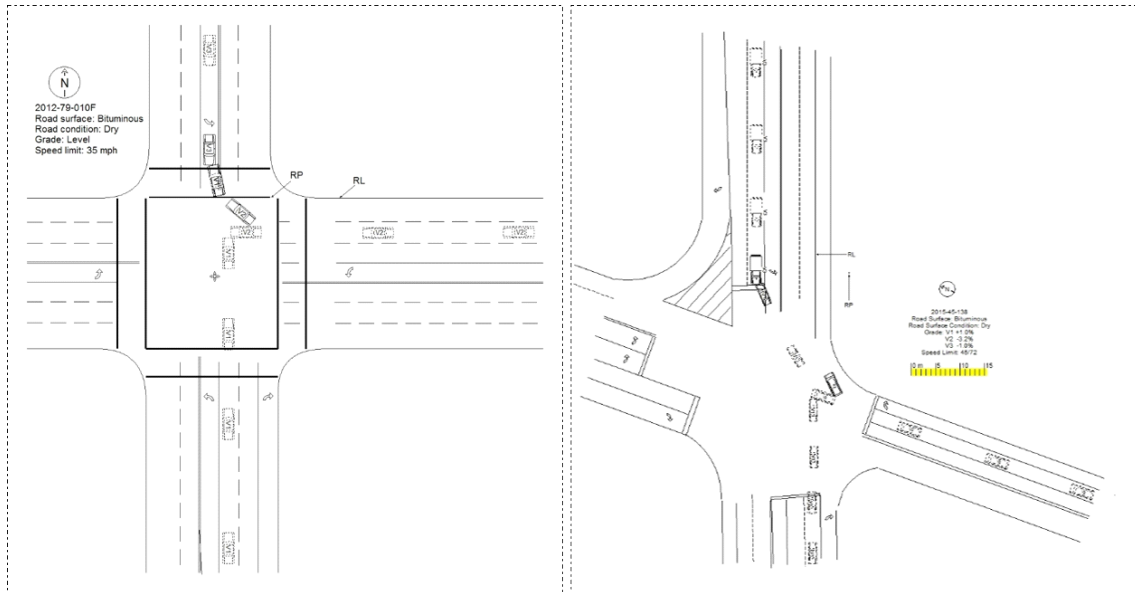


그림 48 사거리 대표 사고 유형 1의 사례

- 표 8은 사거리 유형 1의 목록

표 8 사거리 유형 1의 사고 사례

사고 유형		NASS-CDS 사고 사례
사거리	1	2015-05-056, 2015-05-090, 2015-08-104, 2015-41-048, 2015-81-048, 2012-03-046, 2012-04-042, 2012-11-032, 2012-11-072, 2012-12-061, 2012-43-021, 2012-49-095, 2012-72-085, 2013-12-017, 2013-13-080, 2013-43-092, 2013-49-018, 2013-72-102, 2013-72-126, 2013-73-127, 2013-74-032, 2013-74-056, 2013-76-061, 2013-78-024, 2013-79-044, 2013-81-067, 2013-82-060, 2012-79-010

② 유형 2

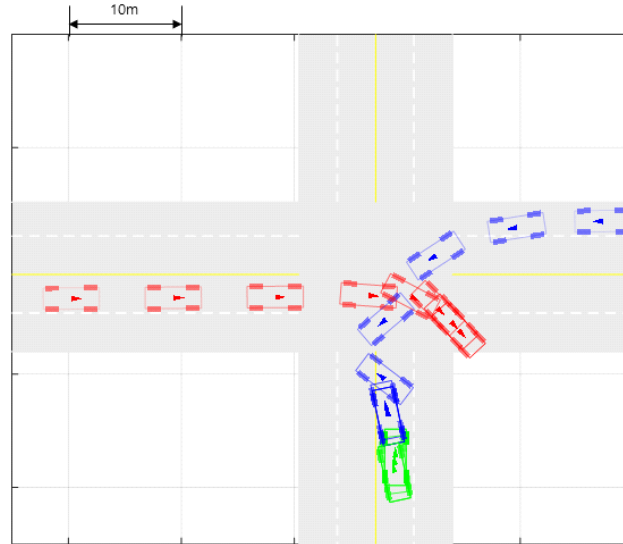


그림 49 사거리 대표 사고 유형 2

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 좌회전 중인 청색 차량의 좌측 후면 충돌

추가 충돌 : 청색 차량이 신호 대기 중인 녹색 차량과 충돌

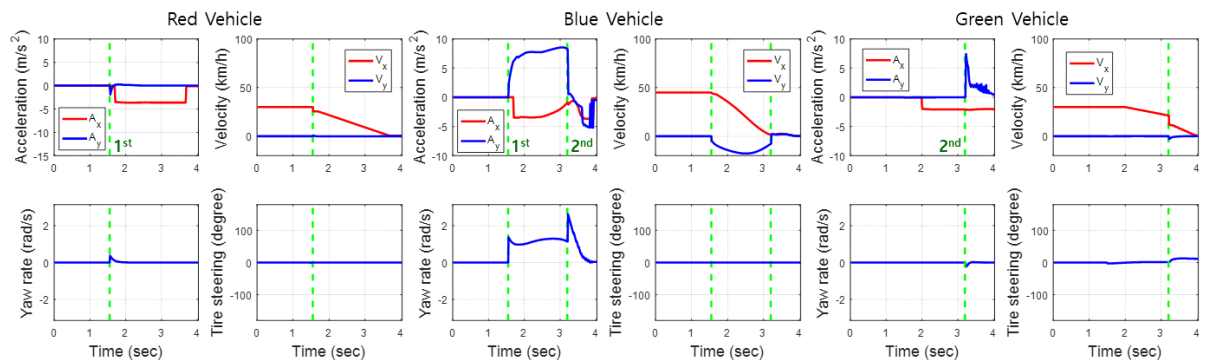


그림 50 사거리 대표 사고 유형 2의 동역학 데이터

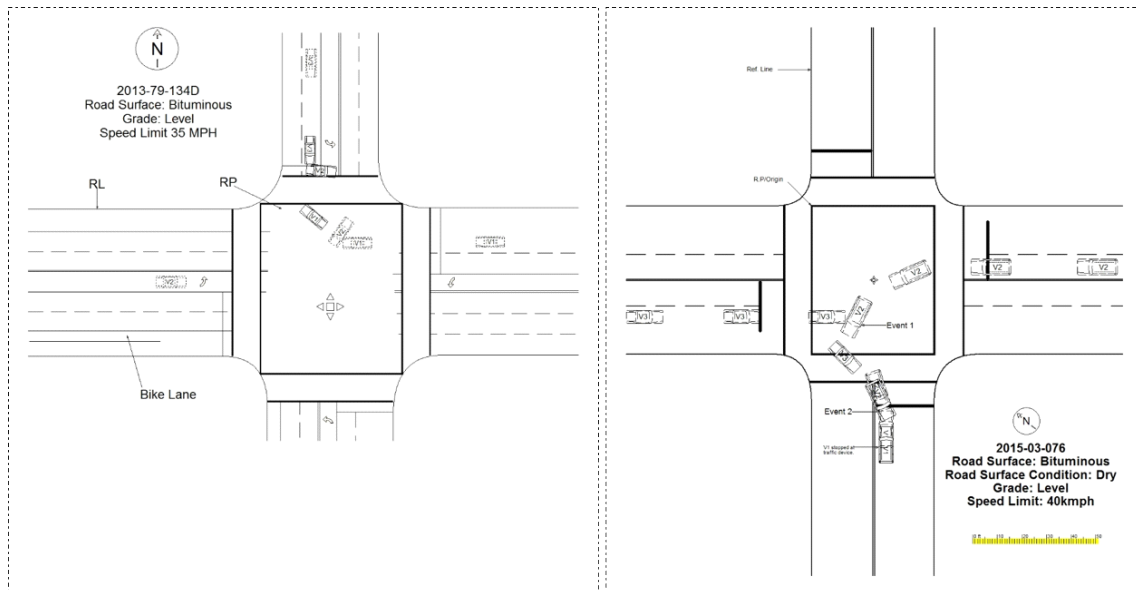


그림 51 사거리 대표 사고 유형 2의 사례

- 표 9는 사거리 유형 2의 목록

표 9 사거리 유형 2의 사고 사례

사고 유형		NASS-CDS 사고 사례
사거리	2	2015-49-044, 2015-49-053, 2015-73-032, 2015-73-070, 2015-74-009, 2015-74-014, 2015-79-090, 2015-03-076, 2015-03-123, 2015-05-031, 2015-05-046, 2015-11-029, 2015-43-013, 2015-45-061, 2015-45-138, 2015-79-139, 2015-82-061, 2012-04-052, 2012-06-066, 2012-09-020, 2012-12-192, 2012-41-016, 2012-41-159, 2012-49-003, 2012-72-048, 2012-73-146, 2013-03-123, 2013-05-006, 2013-06-089, 2013-13-025, 2013-48-037, 2013-74-105, 2013-79-044, 2013-79-134, 2012-82-016, 2012-79-029, 2012-75-128, 2012-75-106, 2012-75-034, 2012-74-080, 2012-74-027

③ 유형 3



그림 52 사거리 대표 사고 유형 (다가가다)

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 직진하던 녹색 차량의 좌측면과 충돌

추가 충돌 : 녹색 차량이 시계 반대 방향으로 돌면서 녹색 차량 맞은편의 청색 차량과 충돌

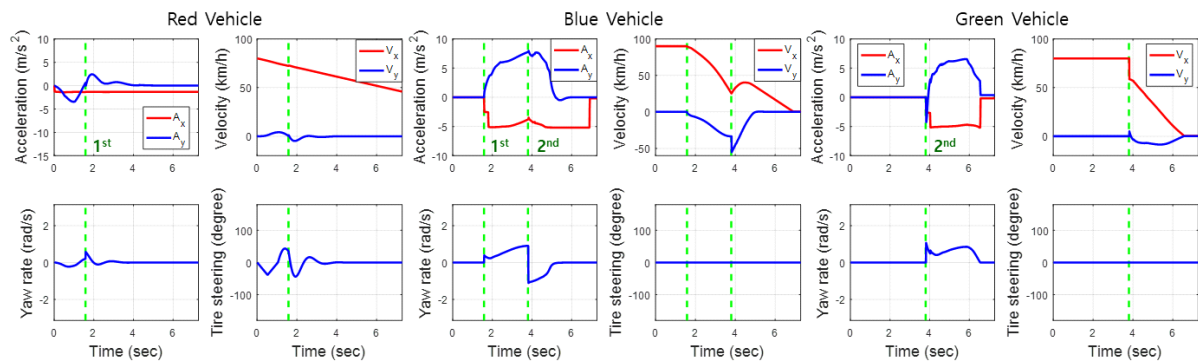


그림 53 사거리 대표 사고 유형 3의 동역학 데이터

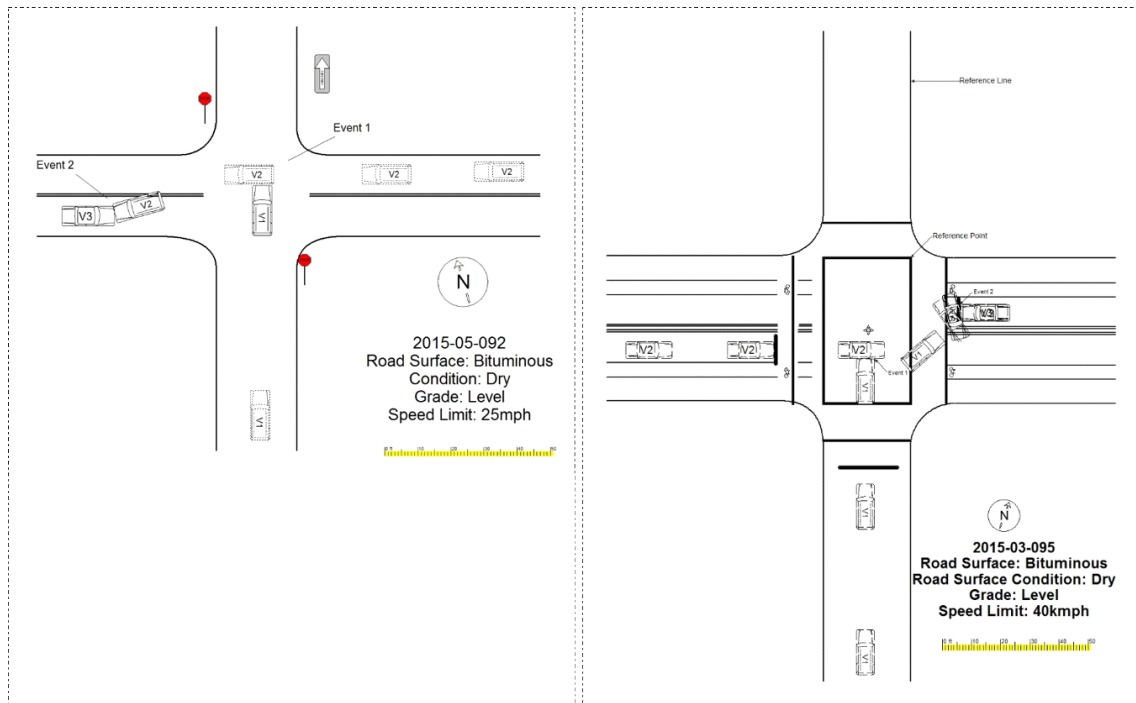


그림 54 사거리 대표 사고 유형 3의 사례

- 표 10은 사거리 유형 3의 목록

표 10 사거리 유형 3의 사고 사례

사고 유형		NASS-CDS 사고 사례
사거리	3	2015-48-078, 2015-49-023, 2015-49-035, 2015-72-026, 2015-74-051, 2015-75-044, 2015-78-105, 2015-03-095, 2015-05-092, 2015-41-120, 2015-45-055, 2015-79-114, 2012-03-002, 2012-03-013, 2012-12-105, 2012-43-039, 2012-43-159, 2012-43-179, 2012-48-056, 2012-48-119, 2012-49-149, 2012-73-118, 2013-03-106, 2013-12-130, 2013-43-058, 2013-48-017, 2013-72-170, 2013-73-009, 2013-74-046, 2013-81-003, 2012-79-050, 2012-78-144, 2012-74-038

(다) 삼거리 대표 사고 유형

① 유형 1

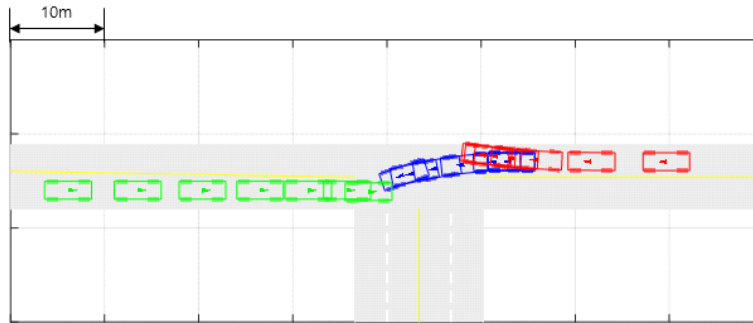


그림 55 삼거리 대표 사고 유형 1

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 좌회전 신호 대기 중인 청색 차량 후방을 추돌

추가 충돌 : 청색 차량이 앞으로 밀리며 반대 차선에서 직진 중인 녹색 차량과
2차 충돌

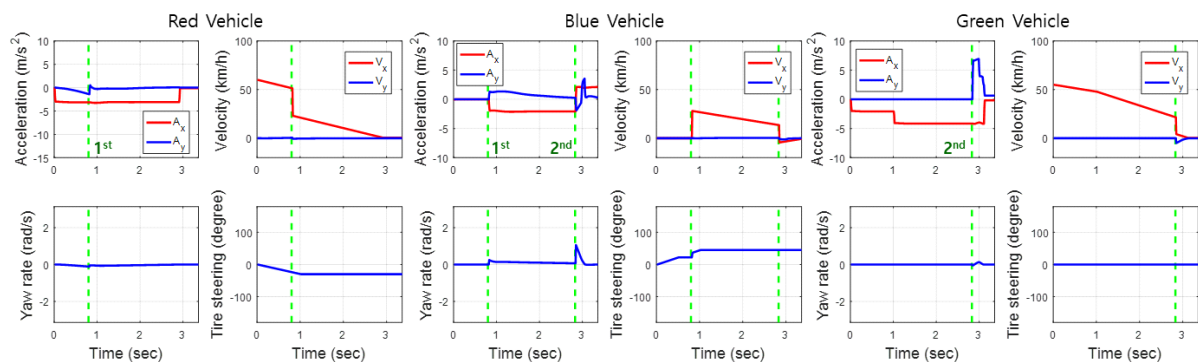


그림 56 삼거리 대표 사고 유형 1의 동역학 데이터

- 삼거리의 경우, 첫 사고가 후방 추돌인 경우의 대부분이 본 유형에 해당됨

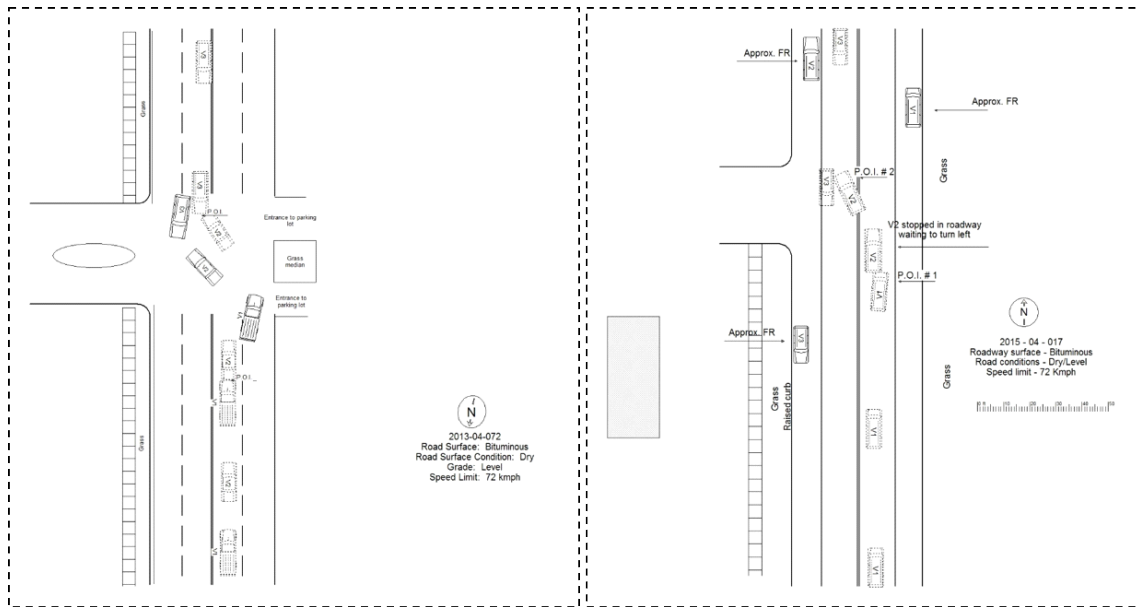


그림 57 삼거리 대표 사고 유형 1의 사례

- 표 11은 삼거리 유형 1의 목록

표 11 사거리 유형 3의 사고 사례

사고 유형		NASS-CDS 사고 사례
삼거리	1	2015-04-017, 2015-04-059, 2012-05-042, 2013-04-072

② 유형 2

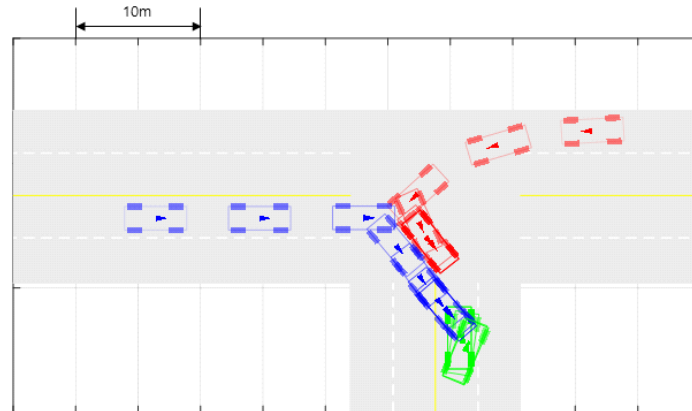


그림 58 삼거리 대표 사고 유형 2

- 충돌 상황

일차 충돌 : 적색 차량이 좌회전 하여 직진 중인 청색 차량과 정면충돌

추가 충돌 : 청색 차량이 신호 대기 중인 녹색 차량과 충돌

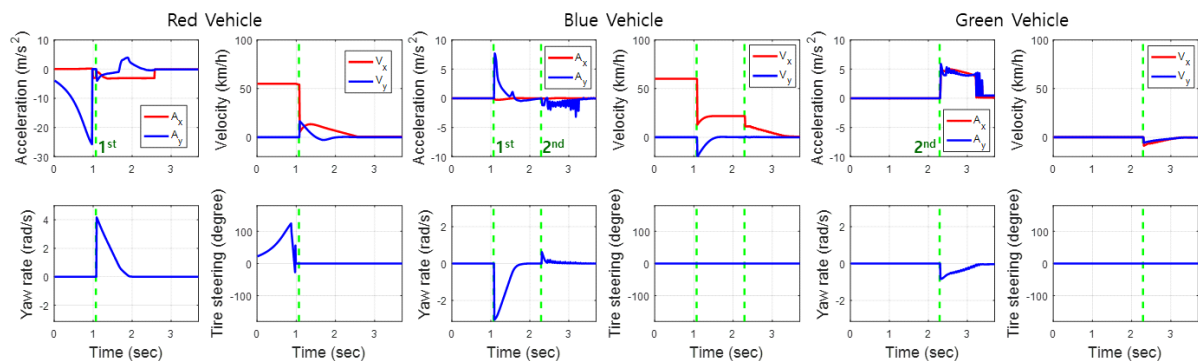


그림 59 삼거리 대표 사고 유형 2의 동역학 데이터

- 삼거리의 경우, 정면충돌이 다중 충돌로 이어지는 경우의 대부분이 본 유형에 해당됨
- 전체 삼거리 사고 중에서는 건수가 적음

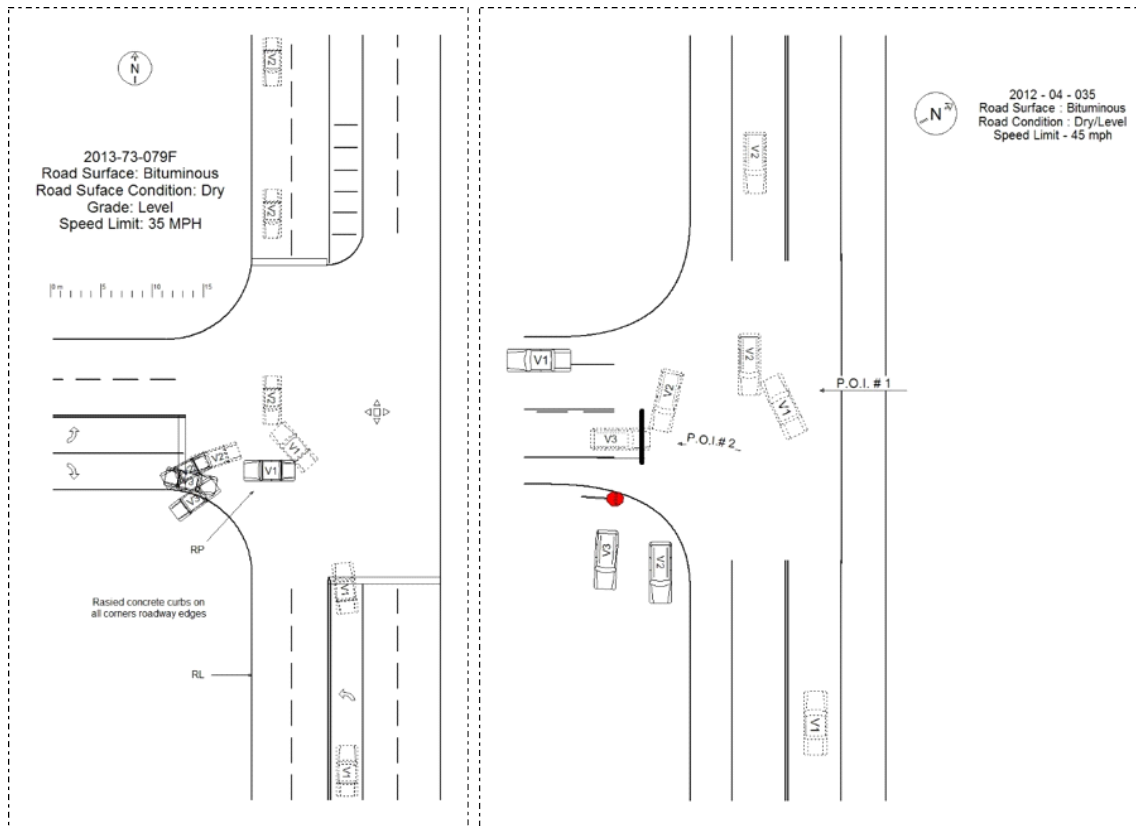


그림 60 삼거리 대표 사고 유형 2의 사례

- 표 12는 삼거리 유형 2의 목록

표 12 삼거리 유형 2의 사고 사례

사고 유형		NASS-CDS 사고 사례
삼거리	2	2015-79-061, 2015-02-042, 2015-04-005, 2015-05-051, 2015-08-112, 2015-45-015, 2015-79-123, 2012-04-035, 2012-08-175, 2012-09-084, 2012-11-131, 2012-12-013, 2012-43-027, 2012-43-192, 2013-05-019, 2013-72-067, 2013-73-079, 2013-74-048, 2013-74-101, 2013-79-141

2. 충돌 2차 사고 실험 플랫폼 개발 및 검증

가. 축소 차량 제작

(1) 기구부 설계 및 제작

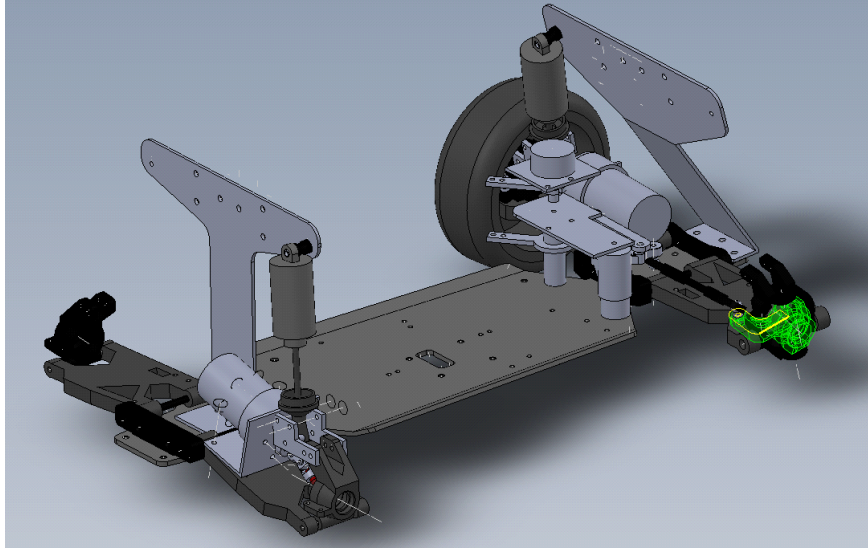


그림 61 축소 차량 기구부 설계

- 실차처럼 구동하도록 센서 및 액추에이터 설치 가능한 1/8 배의 축소 차량 설계
- 바퀴 구동 모터 공간을 확보를 위해 맥퍼슨 스트럿 서스펜션으로 변경/설계
- 조향각 측정 센서 마운트 설계
- 최종 3대의 차량 완성

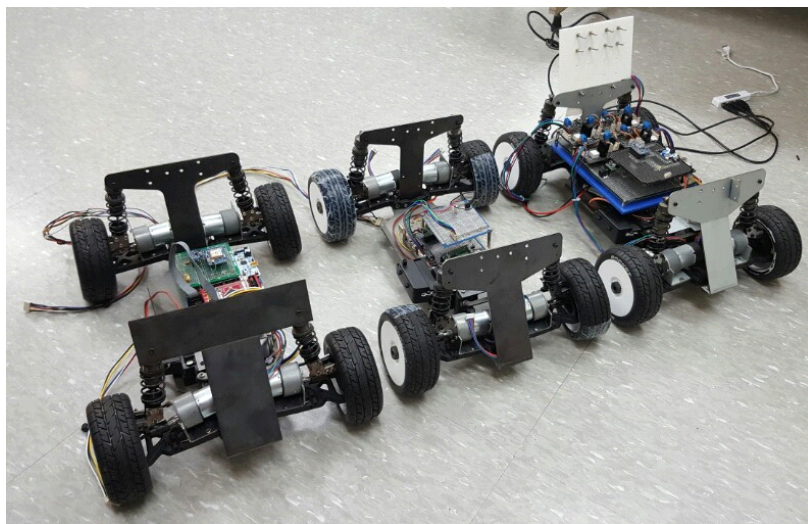


그림 62 완성된 1/8 스케일 축소 차량

(2) 제어 보드 설계 및 제작

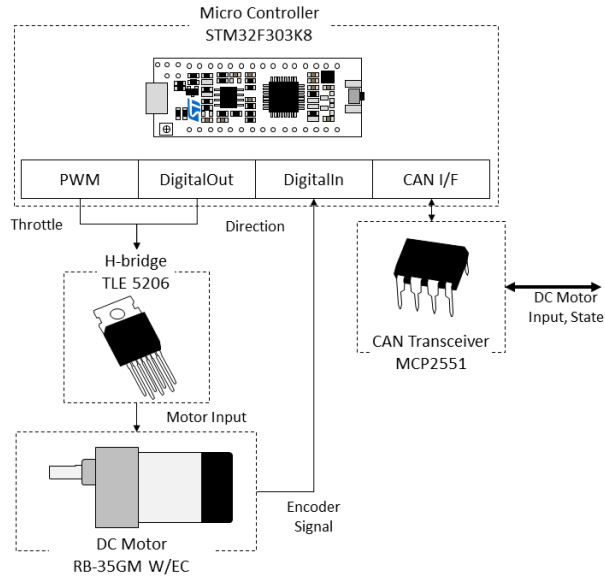


그림 63 축소 차량 바퀴 구동 모터 제어부 구성

- 축소 차량 바퀴를 모터로 구동하는 차량 동력 시스템 설계
- 바퀴 구동 모터를 제어하기 위해 각 모터마다 마이크로 컨트롤러를 할당
- H-bridge로 PWM 신호를 증폭하여 바퀴 구동 모터 출력을 제어 및 디지털 출력으로부터 바퀴 구동 모터 방향을 제어하도록 설계
- 전류 관측기를 설계하여 모터 입력 전류를 피드백 하도록 설계
- 2상 자기식 엔코더로 모터 속도 값을 피드백 하도록 설계

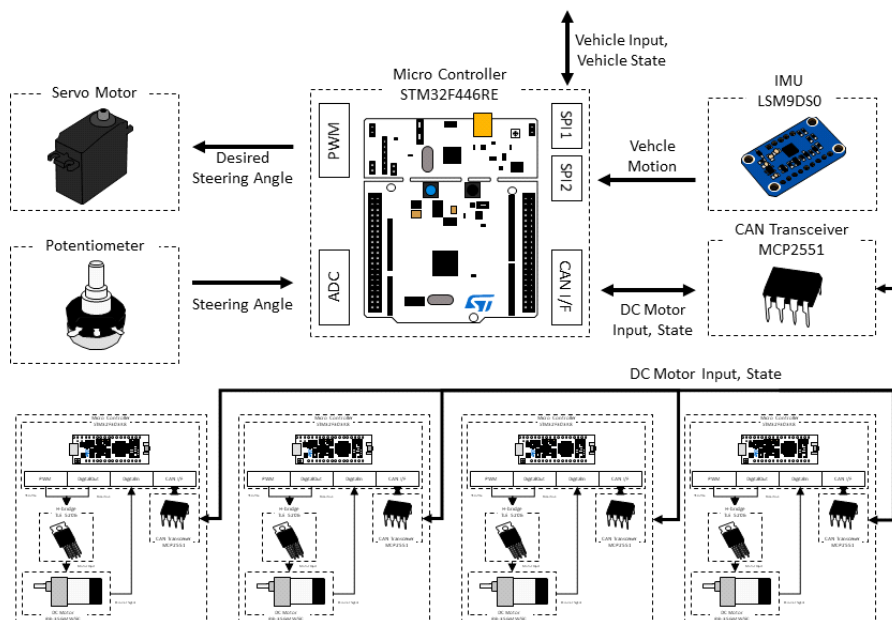


그림 64 축소 차량 제어부 구성

- CAN bus로부터 모터 입력 수신 및 CAN bus에 모터 상태 정보 송신하도록 설계바
 쿼 구동 모터 제어를 축소 차량 제어부로부터 분리하여 통신 성능 향상
- 조향각 피드백 및 조향 모터 제어
- SPI 통신을 통해(Master) IMU 센서로부터 차량 운동 상태 피드백
- SPI 통신을 통해(Slave) 차량 상태 송신 및 제어 명령 수신

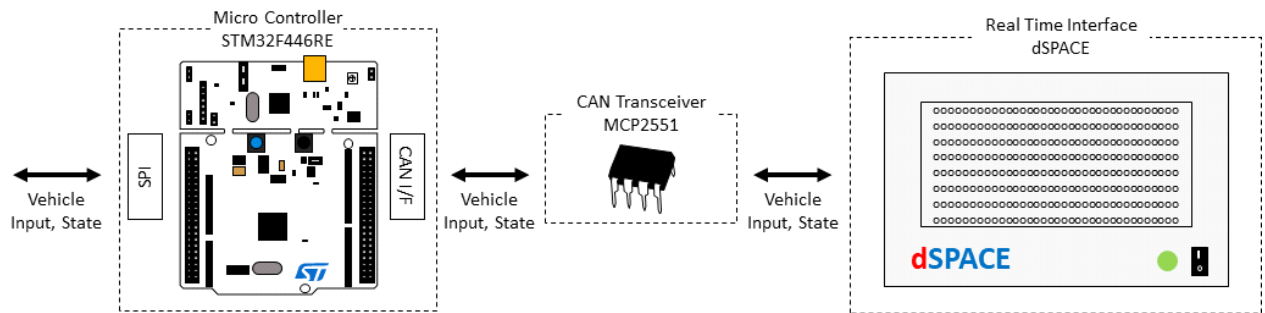


그림 65 Real Time Interface dSPACE와 연결된 하드웨어 구조

- 마이크로 컨트롤러로 차량 정보 수신 및 명령 송신
- Real Time Interface dSPACE와 마이크로 컨트롤러를 CAN bus로 연결



그림 66 제작된 제어 보드

(3) 축소 차량 제어 S/W 개발

- Real Time Interface dSPACE가 차량 정보를 수신하여 필요에 따라 구현된 알고리즘
 으로 차량 제어 정책을 결정하고, 요구되는 속도, 조향각을 계산하여 송신하는 구조
- 모터 토크는 전류 관측기를 통해 피드백된 값의 기반으로 PI 제어기를 통해 입력 전
 압 계산
- 모터 속도는 2상 자기식 엔코더로부터 피드백된 값을 기반으로 IP PI 제어기를 통해
 입력 전류 계산

- 조향각은 Potentiometer를 통해 피드백된 값을 기반으로 PID 제어기를 통해 제어

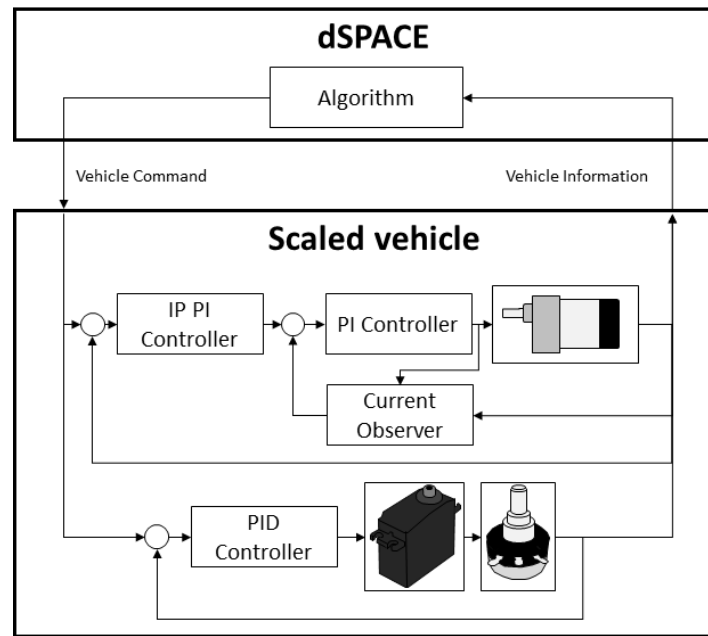


그림 67 축소 차량 제어 S/W 구조

나. 측정 환경 구성

(1) 위치 피드백을 위한 영상 처리 시스템 구축

- 충분한 크기의 해상도, FPS를 지원하는 global shutter 방식 카메라 선정 (2048x1536, 118 FPS)
- 필요 화각을 고려하여 광각 렌즈 선정 (Focal length 3.5mm, F1.4 - F1.6)
- 광각 렌즈로 인한 영상 왜곡 보정

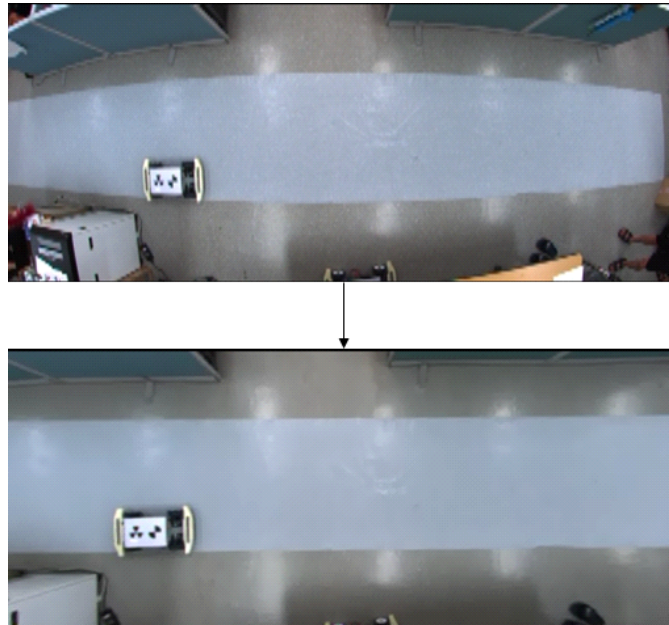


그림 68 영상 왜곡 보정 결과

- 축소 차량 위치와 방향 정보를 추출하기 위해 차량마다 각기 다른 수의 날개를 지닌 대칭형 마커 설치

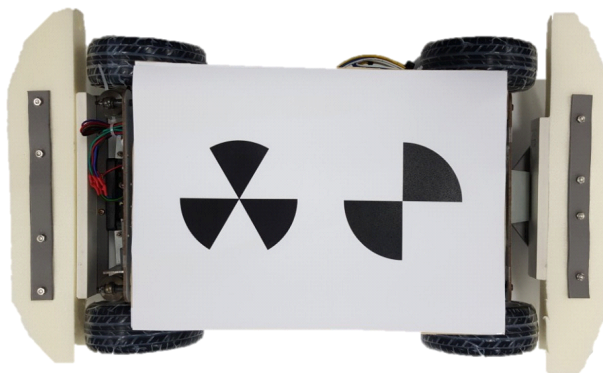


그림 69 축소 차량에 설치된 마커

- 날개 수에 의해 각도 도메인에서의 주파수가 정해진다는 특성을 고려하여 푸리에 변환 기반 대칭형 마커 검출 필터 구현
- 푸리에 변환은 특정 도메인 신호를 특정 주파수를 가진 복소 신호와 컨볼루션하여, 신호의 특정 주파수 성분의 크기와 위상을 알 수 있음
- 푸리에 변환 식을 영상 정보에 적용할 수 있도록 특정 주파수를 가진 복소 신호를 2차원에 매핑
- 매핑된 복소 신호의 크기 값을 기반으로, 중심으로부터 적당한 거리에 있는 화소 정보를 주로 사용할 수 있도록 가중치를 설정하여 원하는 필터 생성

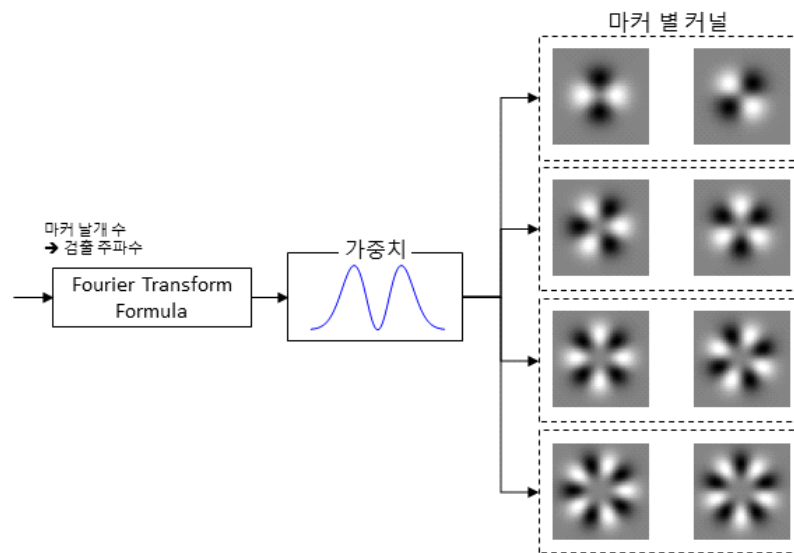


그림 70 각 마커별 필터 생성 개념

(2) 통신 기반 측정 환경 구성

- 통신 기반 측정 환경 구성을 위해 영상처리부 및 Real Time Interface가 분리된 시스템 구축
- 리눅스를 사용하는 임베디드 시스템 Raspberry Pi 3B와 Wi-Fi Dongle을 사용하여 무선 통신 시스템 구축
- 영상 처리 시스템은 내장된 Wi-Fi 장치를 사용
- 무선 통신 시스템의 지연시간을 감소시키기 위하여 수신 확인(Acknowledgement) 과정이 없는 UDP/IP 방식 통신 사용
- 통신용 마이크로 컨트롤러와 Raspberry Pi 간 정보 교환을 위한 SPI 통신 인터페이스 구현

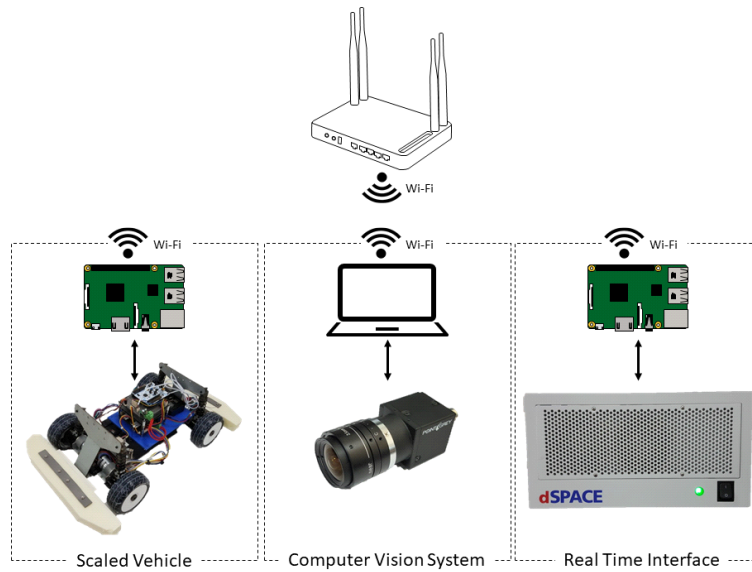


그림 71 구성된 측정 환경 구조

다. 축소 도로 환경 개발

- 2차 사고 발생 경우를 축소 환경으로 실험을 위해서는 저 마찰 노면 필요
- 일반 아스팔트의 마찰 계수(0.8)를 1/8배 축소 차량으로 구현하기 위해서, 0.1 이하의 마찰계수를 지닌 재질 선정 필요
- 운동하는 물체에 마찰력만 가하여 측정된 가속도를 이용하여 마찰 계수 추정

$$F = ma = m\mu$$

- 축소 차량의 타이어를 고정한 후 순간적인 힘으로 축소 차량을 밀었을 때 축소차량이 정지할 때까지의 가속도 측정

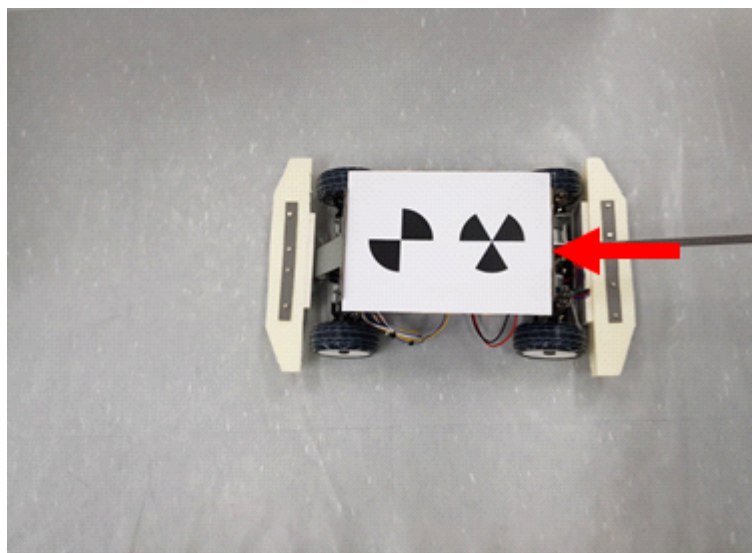


그림 72 저 마찰 노면과 타이어간 마찰 계수 측정 실험 (실험환경 : 테프론)

- 저 마찰 재질 : 강마루, 테프론, 테프론+윤활유 / 차량의 타이어 재질 : 일반 고무, 테프론 의 경우에 대하여 실험

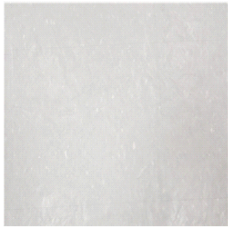
저 마찰 재질	   강마루 테프론 테프론 + 윤활유
타이어 재질	  일반 고무 테프론

그림 73 실험 환경 구축을 위한 바닥 및 타이어 재질

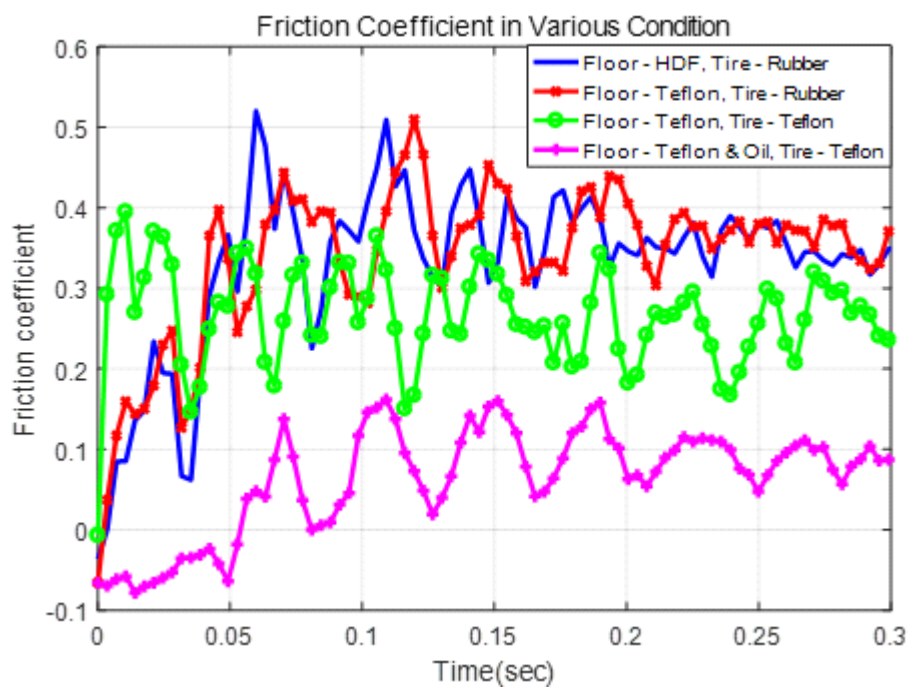


그림 74 실험 환경에 따른 추정된 마찰 계수

표 13 실험 환경에 따른 평균 마찰 계수

실험 환경		평균 마찰 계수
저 마찰 재질	타이어 재질	
강마루 (HDF)	고무	0.3680
테프론	고무	0.3665
테프론	테프론	0.2607
테프론 + 윤활유	테프론	0.0972

- 그림 73는 각 실험 환경에 따라 마찰 계수 추정 결과
- 각 실험 환경에 따라 추정된 마찰 계수의 평균 마찰 계수를 표 13에 정리
- 저 마찰 재질 : 테프론 + 윤활유 / 타이어 재질 : 테프론의 경우가 평균 마찰 계수 0.0972로 목표 마찰 계수보다 낮음을 확인

라. 차원 해석을 통한 축소 모델 검증 방법 개발

- 시간 및 물리적 차원 해석을 통하여 축소 차량 실험 플랫폼의 유효성 보장
- 선형 시스템에서 모델이 축소되는 경우, 시스템의 물리량은 길이와 질량의 비 또는 거듭 곱의 배로 결정
- 각 물리량에 대한 축소 차량과 실제 차량의 비율을 표 14에 정리

표 14 물리량에 따른 축소차량/실제차량 비율

물리량	축소차량/실제차량 비율
질량	M
길이	L
속도	L
힘	ML
토크	ML^2
타이어 강성	ML
미끄럼 율	1
미끄럼 각	1
타이어 노면 마찰계수	1
중력가속도	L

- 차량 충돌과 같은 급격한 차량 운동 변화 시에는 타이어의 비선형적 특성이 고려되어야 함
- 따라서 타이어에 대한 요소도 차원 해석 필요
- 타이어가 미끄러지는 비선형적인 구간의 경우 타이어 횡력이 마찰력에 영향을 받음

- 마찰력은 마찰계수(μ)와 타이어 수직항력(N)에 비례하며 수직항력(N)은 중력가속도(g)의 영향을 받음

$$F_f = \mu N = \mu mg$$

- 따라서 타이어의 마찰력은 마찰계수, 중력가속도를 이용하여 차원해석 가능

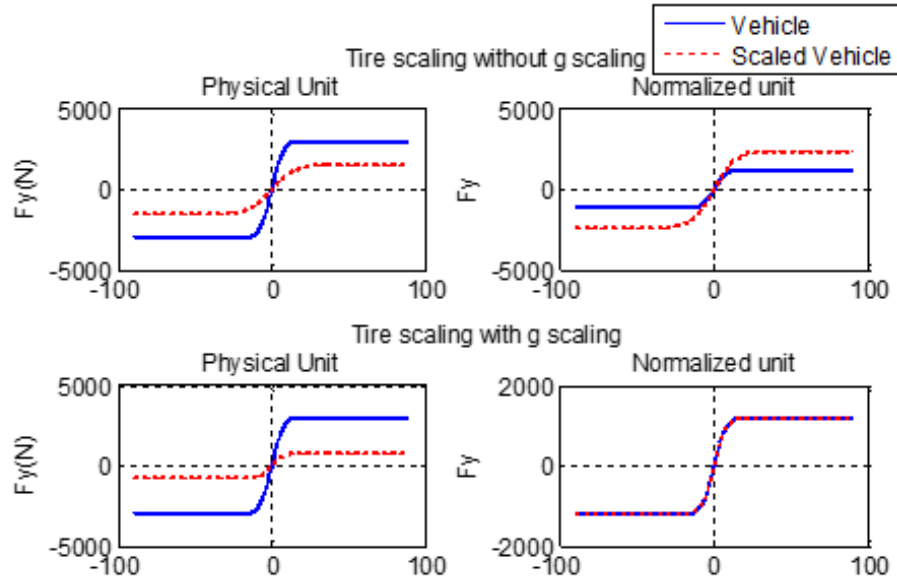


그림 75 중력가속도 축소 여부에 따른 비선형 타이어 모델의 차원해석 결과

- 그림 74는 중력가속도 축소여부에 따라 타이어의 차원 해석한 결과로, 중력가속도를 이용하여 타이어 유효성 검증
- 하지만 중력 가속도는 축소가 불가능하므로, 다음 방법들을 연구

(1) 마찰계수 축소를 통한 축소차량 유효성 검증

- 간단한 타이어 모델을 활용하여 유효성 검증
- 사용한 타이어 모델: Brush 타이어 모델

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} &= F \frac{1}{\sigma} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{bmatrix}, \\ F &= \begin{cases} \mu mg 3\theta\sigma - 3(\theta\sigma)^2 + (\theta\sigma)^3 & \text{for } \sigma \leq \sigma_{sl} \\ \mu mg & \text{for } \sigma > \sigma_{sl} \end{cases}, \\ \theta &= \frac{2c_p a^2}{3\mu mg}, \sigma = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_y)^2}, \\ \sigma_x &= \frac{\kappa}{1+\kappa}, \sigma_y = \frac{\tan\alpha}{1+\kappa}, \sigma_{sl} = \frac{1}{\theta} \end{aligned}$$

- 중력가속도(g)는 타이어와 노면간의 마찰계수(μ)와 곱의 형태로 항상 결합

- 타이어 노면간의 마찰계수를 축소하는 방법으로 차원해석을 시행할 경우 중력가속도를 축소한 것과 같은 효과 획득 가능
- 마찰계수 축소 시 물리량에 따른 축소 차량과 실제 차량의 비율을 표 15에 정리

표 15 마찰계수 축소 시 물리량에 따른 축소차량/실제차량 비율

물리량	축소차량/실제차량 비율
질량	M
길이	L
속도	L
힘	ML
토크	ML^2
타이어 강성	ML
미끄럼 율	1
미끄럼 각	1
타이어 노면 마찰계수	$\mu = L$
중력가속도	1

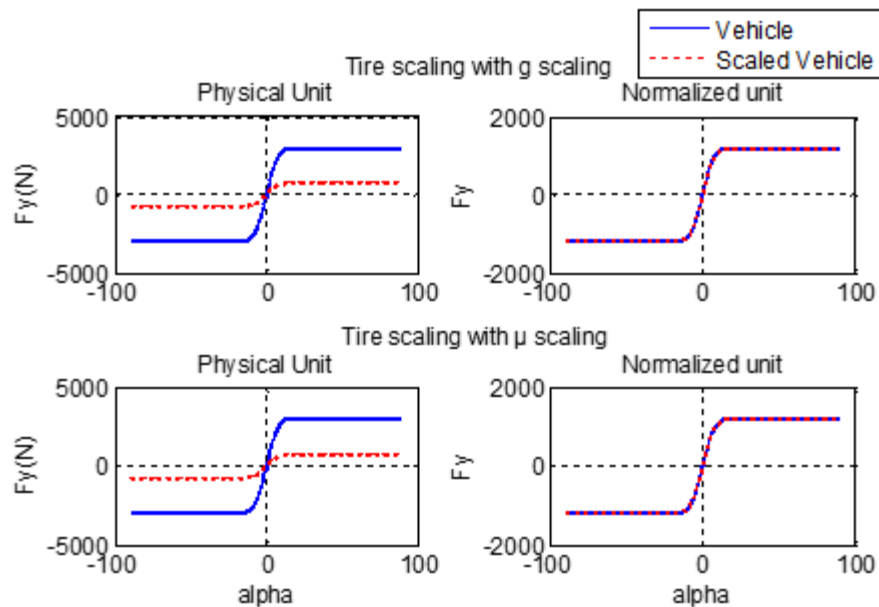


그림 76 중력가속도 축소와 마찰계수 축소에 따른 비선형 타이어 모델의 차원해석 비교

- 마찰계수 축소에 따른 차원해석 결과 중력가속도 축소의 경우와 동일하다는 것을 그림 75를 통해 검증
- 마찰계수 축소에 따른 차량 동특성 비교를 위해 실제 크기 차량과 1/8 축소 차량을 모델링하여 시뮬레이션 진행
- 마찰계수 축소 관계식

$$\frac{m_s}{m} = M, \frac{l_s}{l} = L, \frac{F_s}{F} = ML, \frac{F_{z,s}}{F} = M\mu, \frac{I_s}{I} = ML^2, \\ \frac{c_{p,s}}{c_p} = \frac{M}{L}, \frac{V_s}{V} = L, \frac{A_s}{A} = L^2, \frac{\rho_s}{\rho} = \frac{M}{L^3}.$$

- 중력가속도를 축소하는 대신 마찰계수를 1/8배 축소

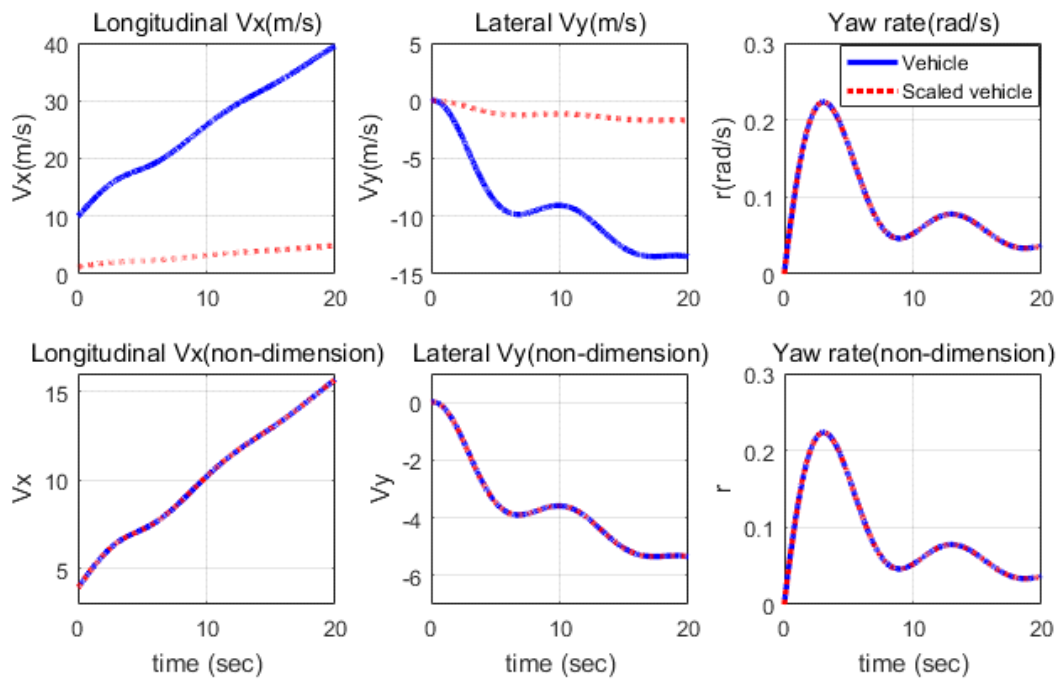


그림 77 마찰계수 축소에 따른 차량 동특성 차원해석 비교

- 그림 76은 마찰계수 축소에 따른 차량 동특성의 차원 해석을 비교한 그래프
- 정규화 전에는 실제 크기 차량의 종속도와 횡속도가 1/8 축소 차량보다 8배 큼
- 무차원 수로 정규화한 경우 실크기 차량과 축소 차량의 종속도, 횡속도, 요 레이트가 동일함

(2) 시간 비율 축소를 통한 축소차량 유효성 검증

- 중력가속도의 단위는 m/s^2 이므로 시간 비율을 축소하여 차원해석 가능
- 시간 비율을 축소하는 방법으로 차원해석을 시행할 경우 중력가속도를 축소한 것과 같은 효과 획득 가능
- 시간 비율 축소 시 물리량에 따른 축소 차량과 실제 차량의 비율을 표 16에 정리

표 16 시간 비율 축소에 따른 축소차량/실제차량 비율

물리량	$\frac{\text{축소차량}}{\text{실제차량}}$ 비율
질량	M
길이	L
시간	T
속도	L/T
힘	ML/T^2
토크	ML^2/T^2
타이어 강성	ML/T^2
미끄럼 율	1
미끄럼 각	1
타이어 노면 마찰계수	1
중력가속도	1

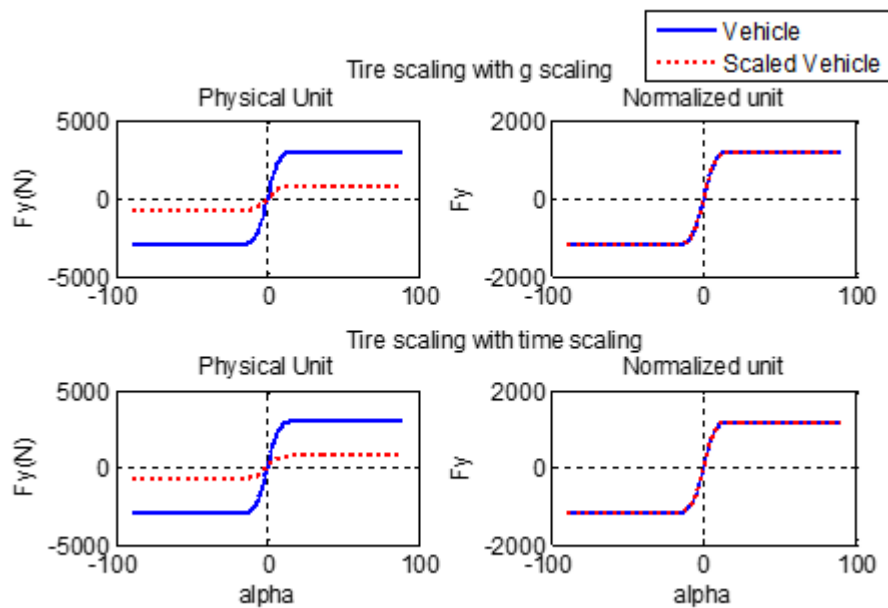


그림 78 중력가속도 축소와 시간 비율 축소에 따른 비선형 타이어 모델의 차원해석 비교

- 시간 비율 축소에 따른 차량 동특성 비교를 위해 실제 크기 차량과 1/8 축소 차량을 모델링하여 시뮬레이션 진행
- 시간 비율 축소 관계식

$$\frac{m_s}{m} = M, \frac{l_s}{l} = L, \frac{F_s}{F} = \frac{ML}{T^2}, \frac{I_s}{I} = ML^2,$$

$$\frac{c_{p,s}}{c_p} = \frac{M}{LT^2}, \frac{V_s}{V} = \frac{L}{T}, \frac{A_s}{A} = L^2, \frac{\rho_s}{\rho} = \frac{M}{L^3}.$$

- 중력가속도 축소 대신 시간 비율을 $\sqrt{2}$ 배 축소

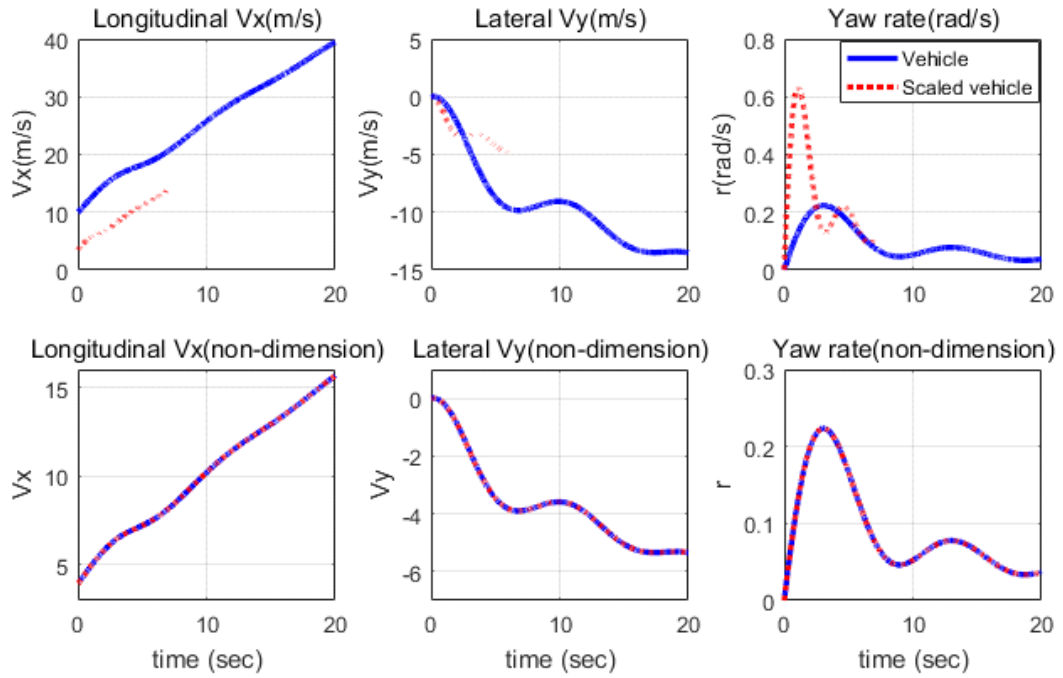


그림 79 시간 비율 축소에 따른 차량 동특성 차원해석 비교

- 그림 78은 시간비율 축소에 따른 차량 동특성의 차원 해석을 비교한 그래프
- 정규화 전에는 축소 차량 실험이 $\sqrt{2}$ 배 빨리 진행됨을 확인
- 무차원 수로 정규화한 경우 실험 시간 및 실크기 차량과 축소 차량의 종속도, 횡속도, 요 레이트가 동일함

마. 실험적 검증

- 실험 플랫폼 검증을 통한 실차 환경에서의 실험 대체 가능 여부 검증
- 검증은 실차 데이터와 컴퓨터 시뮬레이션, 개발된 실험 데이터 간 교차 검증 이용

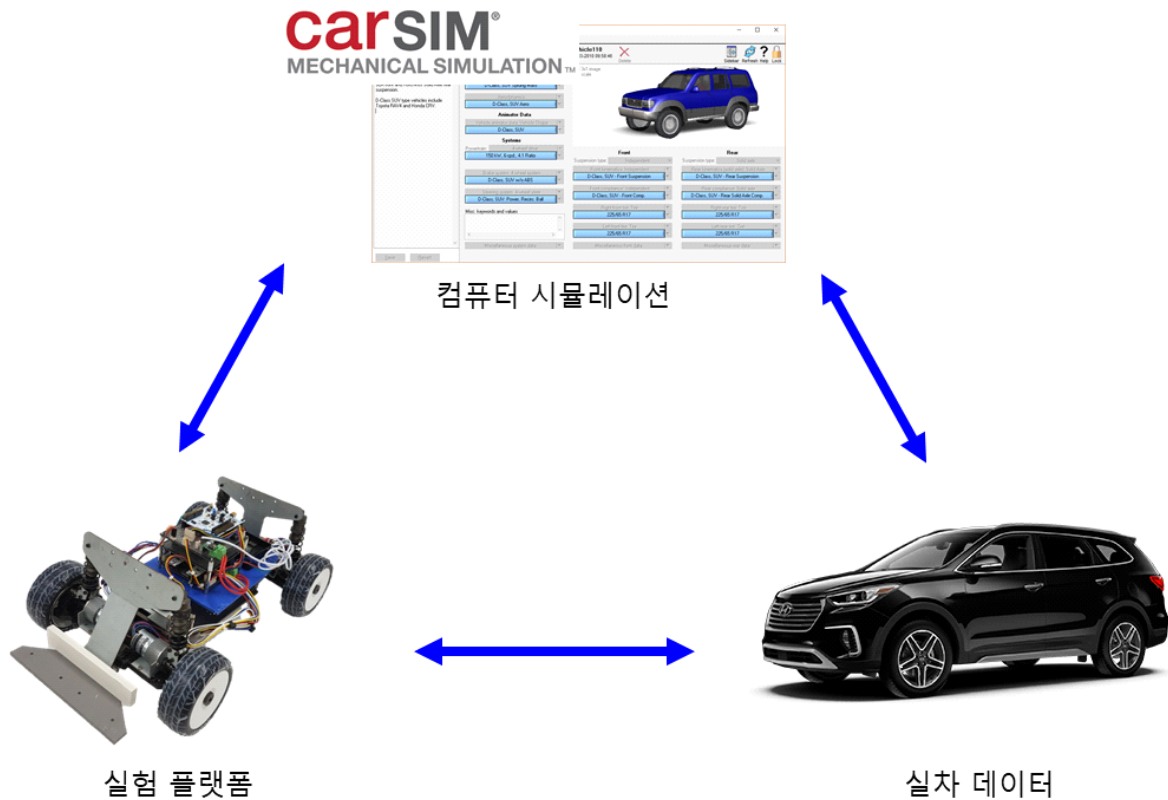


그림 80 실험 플랫폼 검증을 위한 교차 검증 방법

(1) 실차 데이터와 컴퓨터 시뮬레이션간의 검증

- 확보된 실차 데이터와 컴퓨터 시뮬레이션 해석간의 일관성 검증 필요
- 컴퓨터 시뮬레이션으로 차량 동역학 해석 프로그램인 Carsim 사용
- 급격한 거동에 대한 비교 분석 진행
- 다양한 조향 입력에 대한 실험 데이터 결과 비교 분석

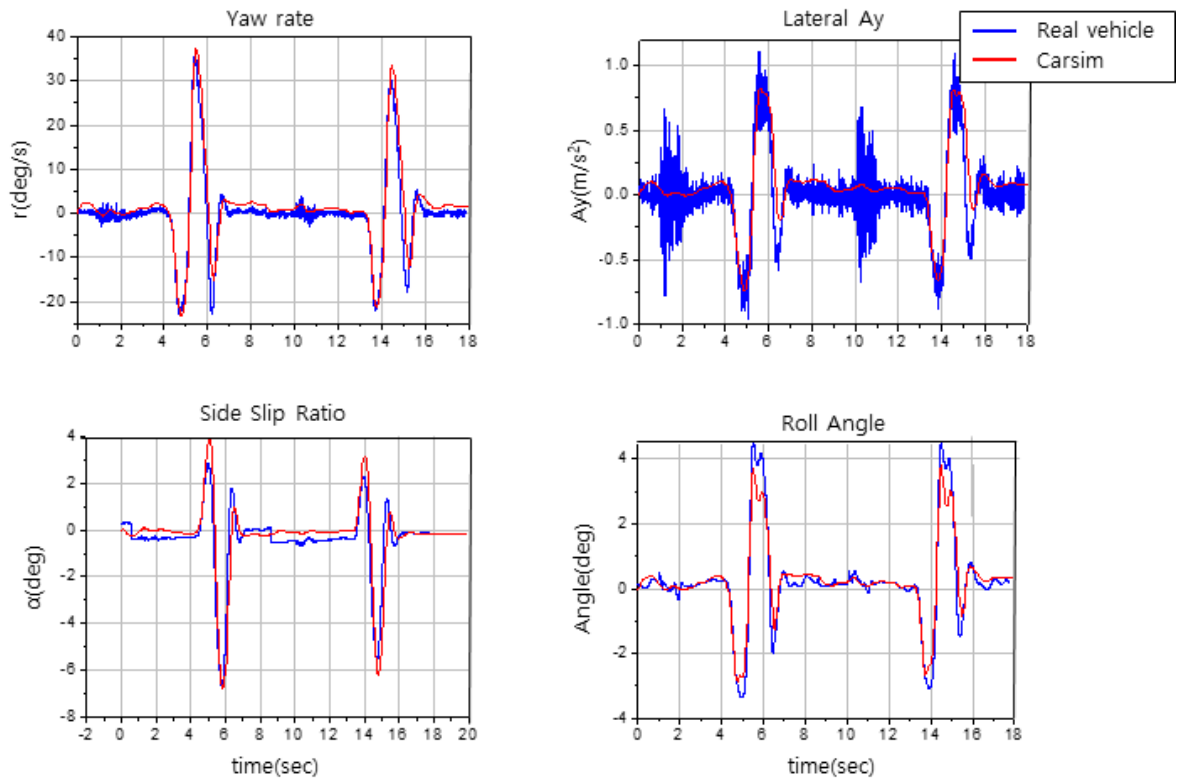


그림 81 Lane Change Steer에 대한 실차 데이터와 Carsim 해석 결과

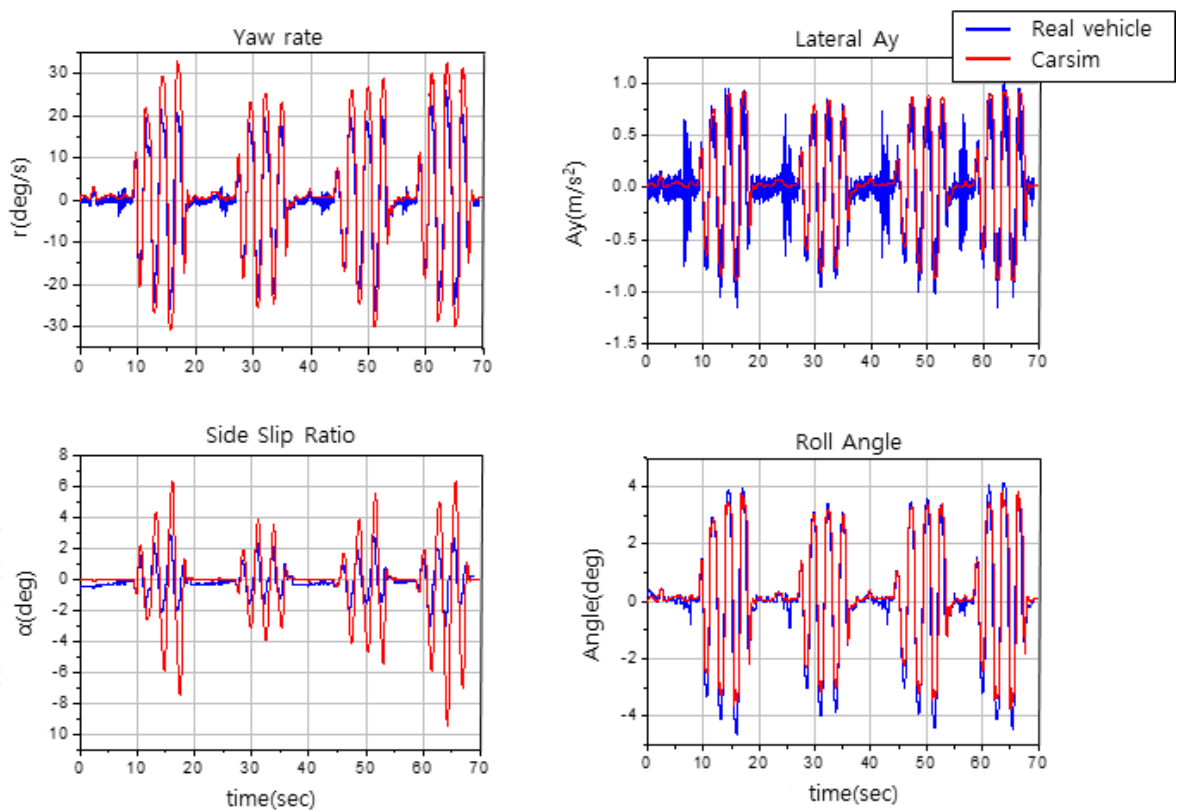


그림 82 Slalom Steer에 대한 실차 데이터와 Carsim 해석 결과

- Lane Change Steer와 Slalom Steer 두 환경에 대하여 검증한 결과를 그림 80과 81에 정리
- 같은 조향 입력에 대한 실제 차량 및 Carsim의 요 레이트와 횡가속도, Side Slip Ratio, 롤각이 일관성을 가짐

(2) 개발된 플랫폼과 컴퓨터 시뮬레이션간 검증

(가) 마찰계수 축소의 경우에 대한 검증

- 충돌 후 2차 사고 예방 시스템 검증을 위한 실험 플랫폼과 컴퓨터 시뮬레이션 (Carsim)간의 검증 진행
- 축소 차량 실험 환경으로 저 마찰 재질 : 테프론 / 타이어 재질 : 테프론 경우 적용

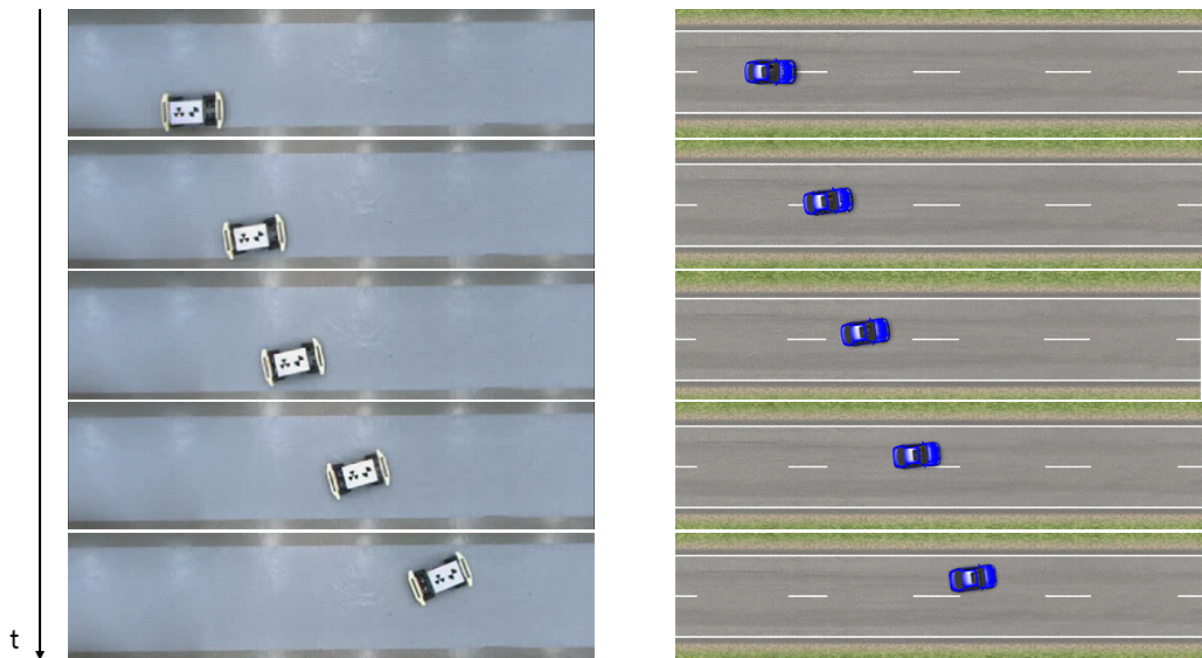


그림 83 실험플랫폼과 Carsim 기반 마찰계수 축소 검증

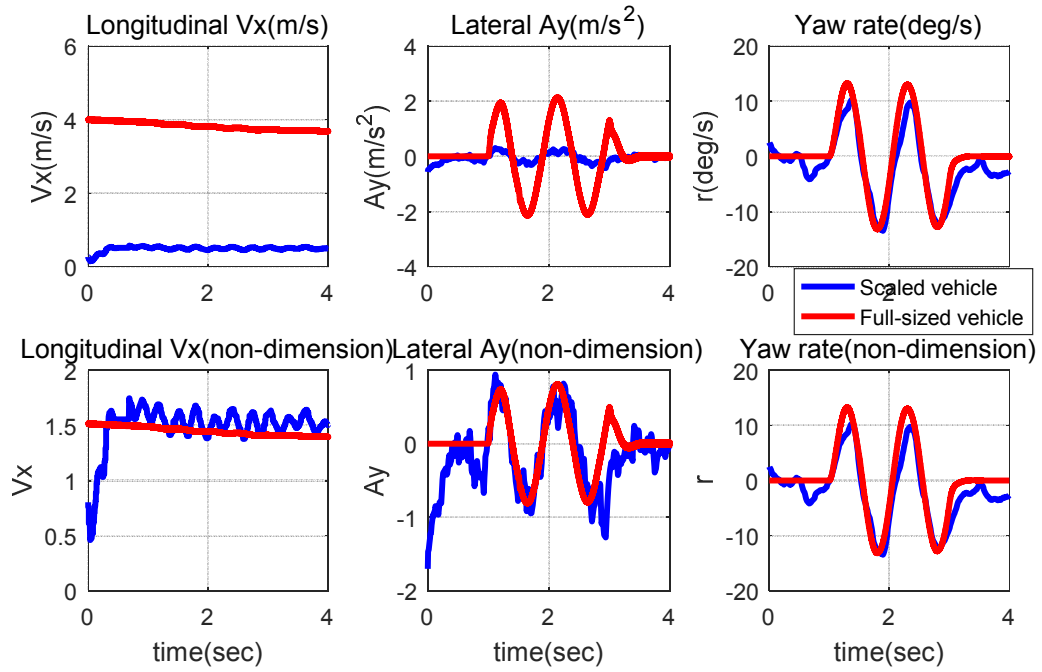


그림 84 마찰 축소 실험에 대한 결과

- 해당 실험에 대한 결과를 그림 83에 정리
- 물리적 차원에서는 Carsim 차량의 속도 및 가속도가 축소 차량 대비 8배 큼
- 무차원 수로 정규화한 경우 Carsim 차량과 축소 차량의 종속도, 횡가속도, 요 레이트가 유사한 것을 확인

(가) 시간 비율 축소의 경우에 대한 검증

- 시간 비율 축소 검증을 위해 시간 비율을 2배 축소한 상황에서의 검증 진행

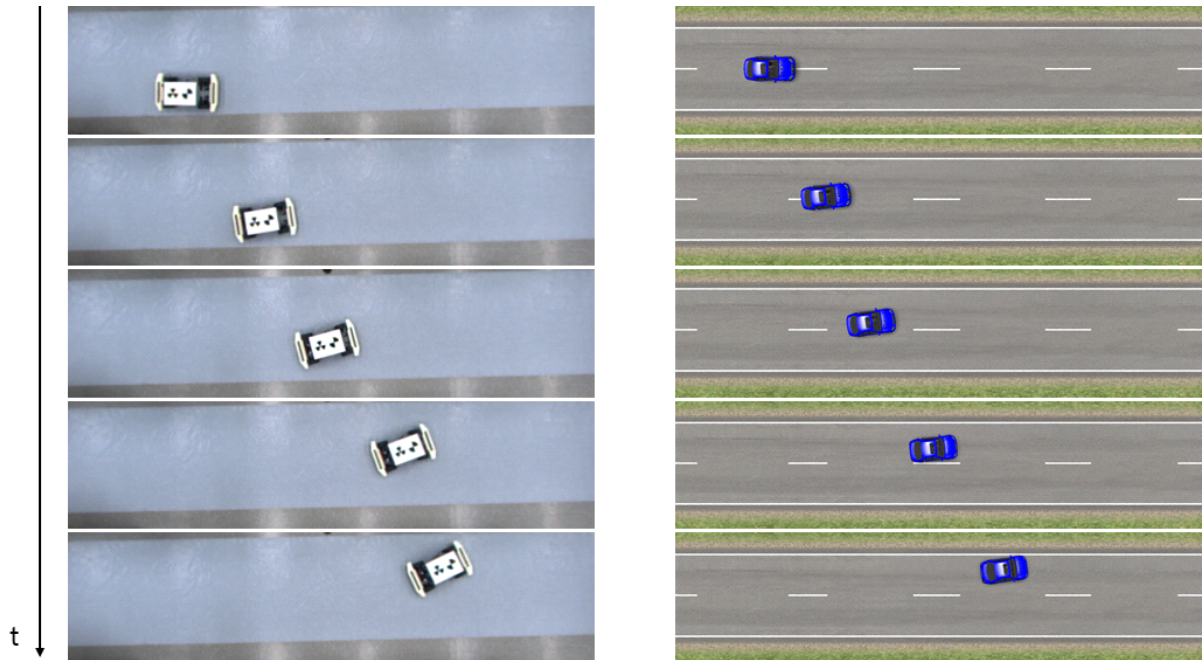


그림 85 실험플랫폼과 Carsim 기반 시간 비율 축소 검증

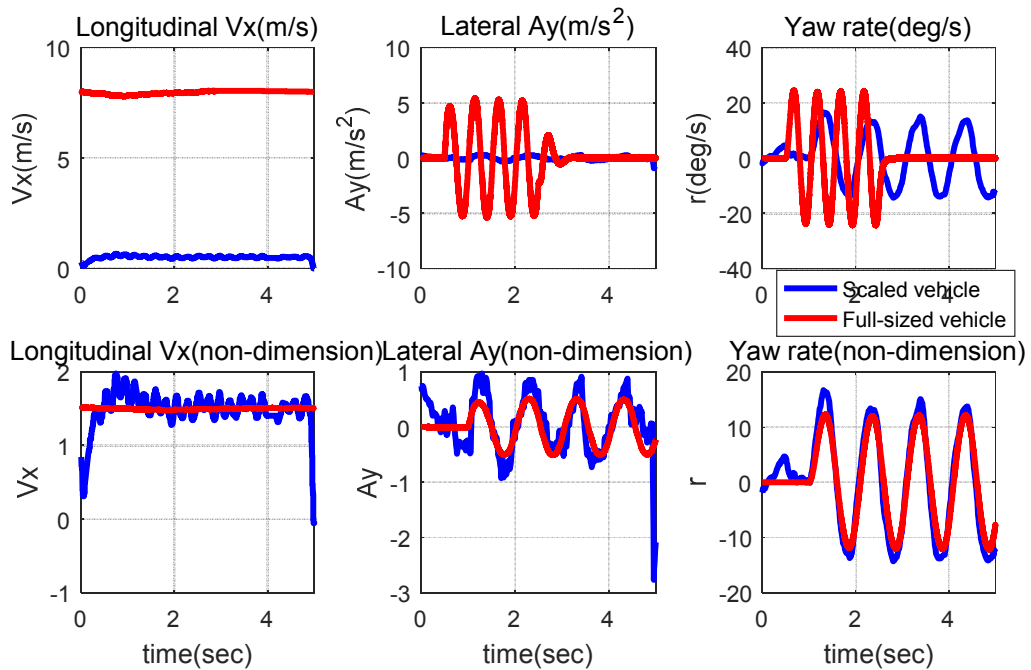


그림 86 시간 비율 축소에 대한 결과

- 해당 실험에 대한 결과를 그림 85에 정리
- 물리적 차원에서는 Carsim 차량 실험이 축소 차량 실험보다 2배 빠르게 진행됨

- 또한, Carsim 차량과 축소 차량의 데이터 값 비교 시 속도는 $8\sqrt{2}$ 배, 횡가속도는 16배, 요 레이트는 $\sqrt{2}$ 배 큼
- 무차원 수로 정규화한 경우 Carsim 차량과 축소 차량의 종속도, 횡가속도, 요 레이트가 유사한 것을 확인

(3) 사고 상황에 대한 교차검증

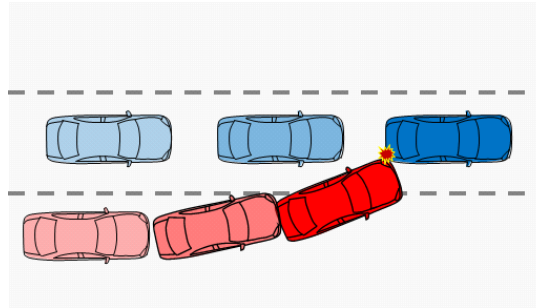


그림 87 우측 후방 충돌 사고 시나리오

- 축소 차량과 컴퓨터 시뮬레이션 데이터 비교하여 사고 상황 시뮬레이션 검증
- 대표 사고 시뮬레이션으로 우측 후방 충돌 사고를 선정

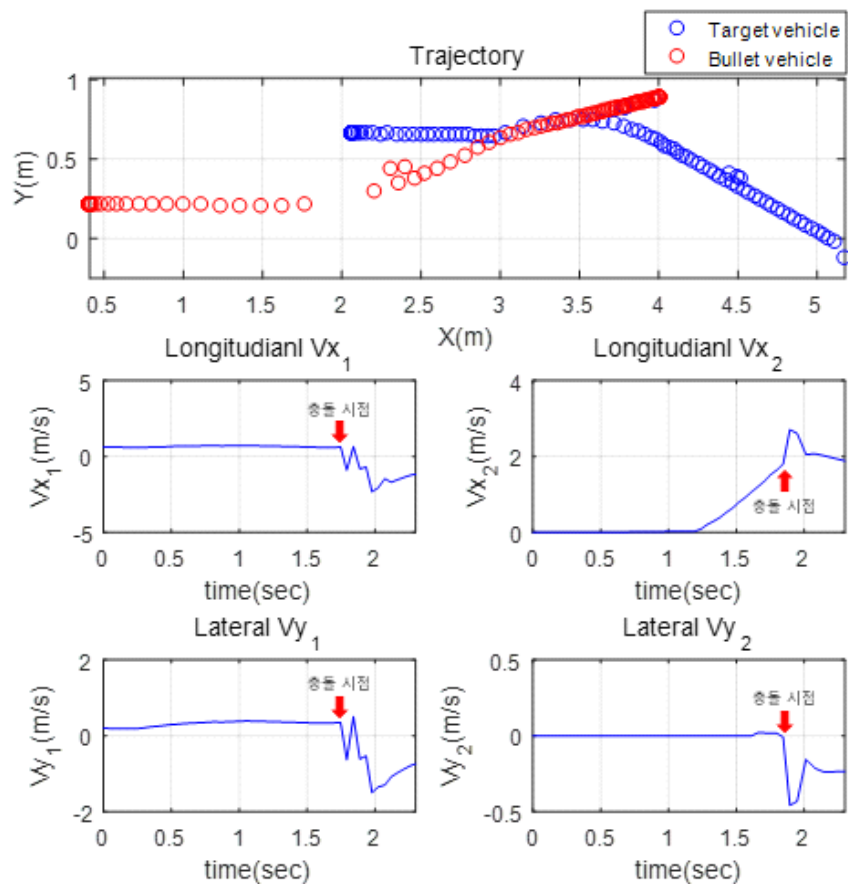


그림 88 실험 플랫폼 영상 처리 시스템 기반 위치 및 종·횡속도

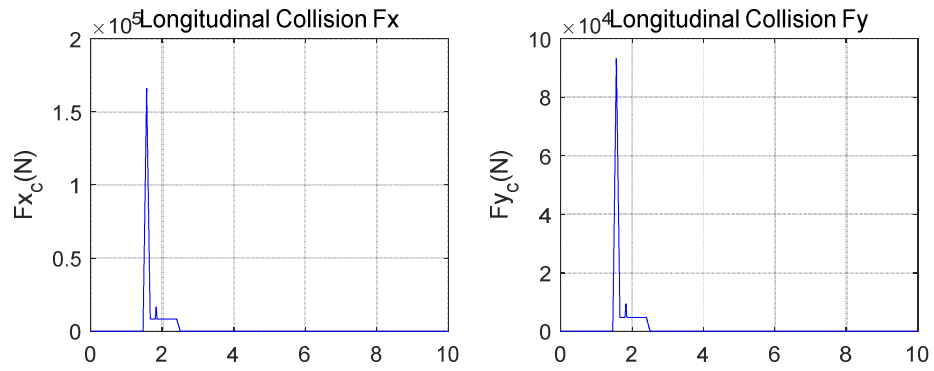


그림 89 우측 후방 충돌 시 충격량

- 그림 88은 실험 플랫폼 영상 처리 시스템을 통해 얻은 위치와 위치로부터 추출된 중, 횡 속도
- 추출된 중 속도, 횡속도를 이용하여 사고 시 중, 횡방향에 대한 충격량 계산
- 실제 축소차량 기반 충돌 실험 결과와, 계산된 충격량을 활용한 시뮬레이션 결과 비교

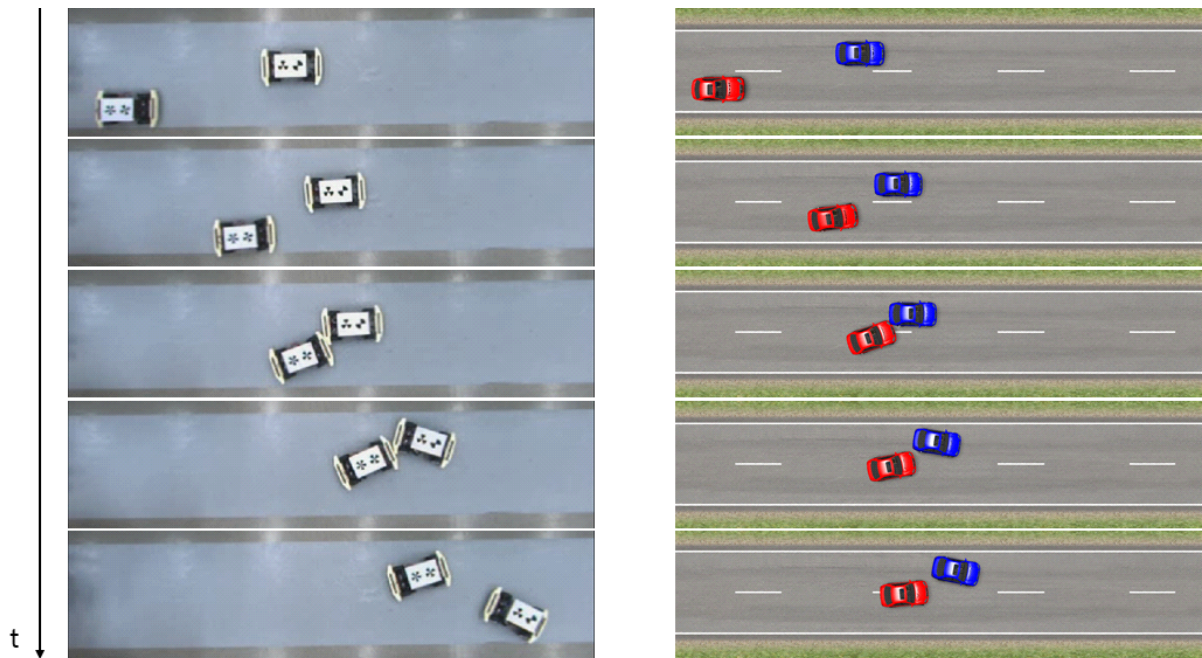


그림 90 실험플랫폼과 Carsim 기반 충돌 사고 시나리오 검증

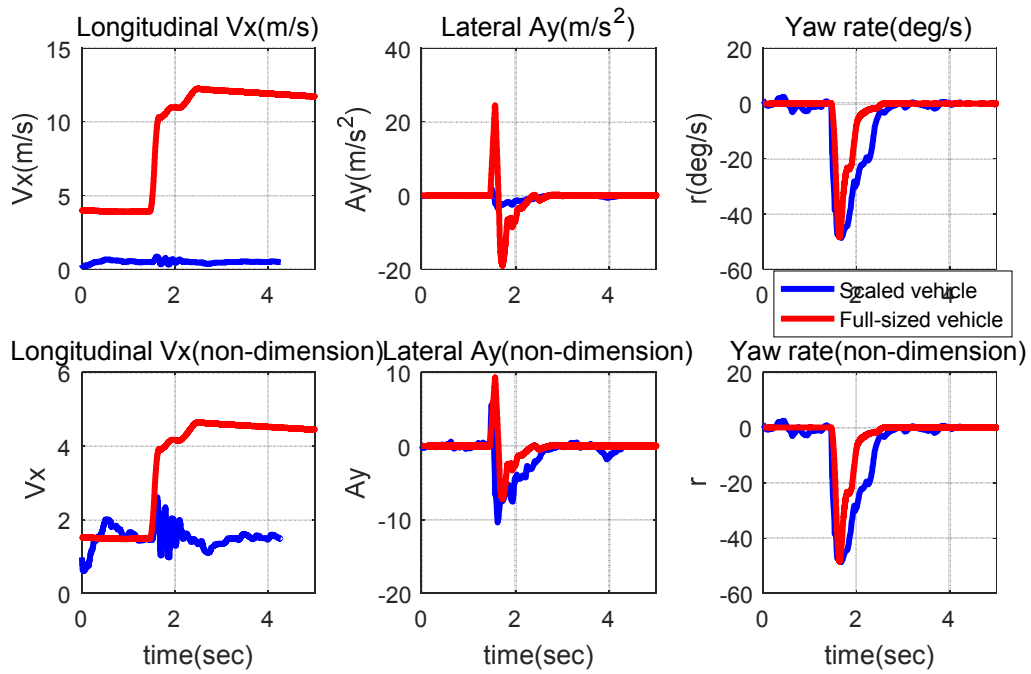


그림 91 충돌 사고 시나리오에 대한 결과

- 그림 90은 충돌 사고 시나리오에 대한 결과
- 물리적 차원에서는 Carsim 차량의 속도 및 가속도가 축소 차량 대비 8배 증가함
- 무차원 수로 정규화한 경우 Carsim 차량과 축소 차량의 종속도, 횡가속도, 요 레이트가 유사함을 확인
- 횡가속도와 요 레이트의 RMSE가 각각 2.4775, 7.8840으로 피크 값 대비 적은 값을 확인

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

	연구내용	달성도	비고
충돌 2차 사고 발생 대표 시나리오 도출	충돌 2차 사고 검색 및 자료 확보	100%	
	2차 사고 분석 및 통계	100%	
	대표 사고 유형 도출	100%	
	충돌 2차 사고 발생 시나리오 개발	100%	
충돌 2차 사고 실험 플랫폼 개발 및 검증	축소 차량 제작	100%	
	측정 환경 구성	100%	
	차원 해석을 통한 축소 모델 검증 방법 개발	100%	
	축소 도로 환경 개발	100%	
	실험적 검증	100%	

2. 관련 분야 기여도

최근 AEB등과 같이 적극적으로 사고를 방지하는 기능을 가진 자동차들이 출시 되고 있다. 하지만 이런 기술들을 갖춘 자동차라 할지라도 100% 사고를 방지할 수는 없다. 이러한 기술들은 해당 차량이 다른 차량을 충돌하는 것을 방지하는 기능에 집중되어 있으며, 주로 직진 주행 상황에서 작동하도록 개발되었다. 이는 운전자의 실수나 차량의 미끄러짐과 같이 가해 차량으로서의 사고 유발을 예방하는 기술이며, 외부의 요인에 의한 사고에 대한 대처 기술이 아니다. 1차 사고에 의해 횡방향으로 미끄러지는 등의 예상하지 못하는 거동을 하는 차량에 의한 사고는, 예를 들어 그림 1과 같이 가벼운 1차 충돌 후 발생하는 차량의 거동을 운전자가 제어하지 못하여, 다중 충돌을 발생시켜 큰 인명 피해를 일으킬 수 있다. NHTSA의 자료에 따르면 충돌사고의 30% 이상이 1차 충돌 후 추가 충돌이 일어나는 복합사고의 형태이며, 이런 복합사고의 경우 70% 이상이 다른 차량에 의해 충돌이 추가적으로 발생하는 경우였다. 또한 차량 충돌사고로 인한 인명 사고의 85%는 측면 충돌이 원인으로 나타났다. 따라서 충돌 2차 사고는 인명사고 가능성이 매우 높은 사고

유형이다.

이와 같은 사고를 막기 위한 안전기능을 추가하려면 사고 유형의 분류 및 개발환경이 조성되어야한다. 본 연구개발에서 제시한 방법론을 통하여 안전기능을 개발한다면, 개발 기간 단축을 통하여 기술 경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

본 연구의 결과물은 시뮬레이션이나 HILS장치로만 검증하는 충돌 2차 사고를 실험적으로 검증할 수 있는 기반으로 사용될 수 있다. 따라서 기존연구의 검증 완결성 및 연구 속도를 올릴 수 있다. 또한 단지 실험 플랫폼만을 개발하는 것만이 아닌, 자동차가 개입된 사고의 형태 및 환경에 대하여 분석을 수행하고, 그 결과로부터 차량이 대응해야 할 상황에 대해 식별하여 제공하므로 관련연구에 기본 자료로 활용될 수 있다. 구체적으로 본 연구 결과물의 활용방안은 다음과 같다.

1. 기술적 활용

- 무인자동차 대량 보급 이후 사고 형태에 대해서 예측하여 안전장치 개발 방향제시
- 외부적 요인에 의한 사고에 능동적으로 대처할 수 있는 시스템에 대한 개념 제시
- 개발된 시스템 및 알고리즘을 실험환경에서 검증할 수 있는 플랫폼 제공
- 검증 플랫폼을 연구개발 과정에 활용하여 연구 속도 및 완결성 향상
- 횡방향 사고에 대한 안전 시스템 개발 시 활용
- 산업체와 충돌 2차 사고 방지 관련 연구를 공동 진행하여 후속 연구에 활용
- 소프트웨어적인 시뮬레이션 개발 이후 실차적용 전에 검증할 수 있는 실험 장치로 활용 가능

2. 학문적 활용

- 동적 시스템의 차원 해석방법 제시
- 크기 축소 및 시간 축소를 통한 실험 방안 제시
- 종 방향, 횡 방향 차량 동역학, 타이어 모델에 대한 차원 해석제공
- 사고 유형 데이터를 활용하여 발생된 시나리오와 데이터를 활용하여 추가 연구 가능
- 검증 플랫폼을 통한 신뢰성 있는 충돌 2차 사고 방지 알고리즘 개발

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 충돌 방지를 위한 새로운 기술 도입

가. 미국

- 센서 융합 인지 기술, IT 융합 기술 개발 등에 집중하여 자율 주행 자동차 관련 기술 확보 중
- 자율주행 자동차 및 ADAS 시스템을 위한 실 도로 실증 평가를 수행하는 동시에 법 제정 검토 등을 통해 기술 현실화 단계 진입
- GM의 경우 2017년까지 상용 자율 주행 기술을 접목한 캐딜락의 발표를 선언하는 등 개발된 기술의 상용화 추진
- NHTSA의 V2X 관련 법 제정 추진 및 VSC계열 프로젝트 수행 등 V2X 관심 증가
- 글로벌 통신, 자동차 기업들이 5G 기반 커넥티드 카, 자율 주행 차량 연구를 위해 참여하는 5GAA에서 5G 기반 차량 솔루션 개발, 표준화 및 인증 사업, 실용화 전략 수립 진행 중

나. 유럽

- 유럽은 안전 기술 분야에서 세계 최고의 기술력을 바탕으로 세계 시장을 선도하며 안정세를 유지함
- AEB, 시내 주행 저속 충돌 방지 시스템, 보행자 인식 및 충돌 방지 시스템 기술 상용화 중
- Vodafone, Bosch, Huawei가 독일에서 LTE 기반 V2X 기술 테스트 시행 중
- 2017년, Benz E Class에 V2X 장비를 탑재한 상태로 상용화
- ADAS, HMI 분야의 원천 기술을 보유하며 안정세 유지 진행 중

다. 중국

- 정부의 지원으로 자율 주행 및 ADAS 시스템을 정책적으로 육성하여 기술 개발에 집중
- 한국을 비롯한 국내외 스마트카 분야 고급인력을 흡수하여 기술 축적 후 해외시장 진출 노력

2. 충돌 위험 평가 기술

- 미국에서는 NHTSA의 사고 상세 보고서, NASS-CDS의 사고 전반 데이터를 공개함으로써 이를 분석하여 미국 현황에 맞는 차량 알고리즘 검증이 이루어지고 있음
- 유럽의 경우, EURO-NCAP의 종, 횡 방향 안전도 지수 기준에 대한 위험 지수 및 평가 방법 제시
- Volvo, BMW, Daimler 등의 완성차 업체 및 뮌헨 대학교, 버클리 대학교 등의 연구 기관에서 차량의 미래 궤적과 TTC, TTR기반 충돌 위험 평가 연구 진행
- MIT, 시드니 대학교, 영국 콜롬비아 대학교, 오하이오 대학교 등에서 사고 사례 전반 데이터를 바탕으로 비정상적인 거동을 분석하여 실제 거동과의 비교를 통해 위험 평가 연구 진행

3. 충돌 예측 및 거동 예측

- Volvo, GM, BMW와 같은 완성차업체 및 버클리 대학교 등에서 동역학 모델 기반 거동 예측 연구 진행
- Daimler와 울름 대학교, 버클리 대학교, 카를스루에 대학교 등에서 운동학 모델 기반 거동 예측 연구 진행
- Daimler와 빌레펠트 대학교, MIT 등에서 운전자 의도 기반 거동 예측 연구 진행
- 뮌헨 대학교, 울름 대학교, 시드니 대학교 등에서 자 차량뿐만 아니라 여러 차량에 대한 거동 예측 연구와 차량 간 상호작용을 고려한 차량 거동 예측 연구 진행
- 미네소타 대학교, 시드니 대학교 등의 연구기관에서 사례 기반 차량 경로 예측 알고리즘 연구 진행

4. 충돌 회피 기술

- Mercedes-Benz에서는 PRE-SAFE ® Brake, 환경 센서 기반 보행자 인식 및 경고, AEB 기능 및 환경 센서 기반 운전자가 페달을 밟지 않더라도 자동으로 최적의 제동압 제어를 통해 충돌을 회피하는 기술(Collision Prevention Assist Plus) 제공
- Ford 및 Mercedes-Benz에서 환경 센서 기반 조향 제어를 통한 능동적인 충돌 회피 기술 개발 및 상용화

- AEB 및 CPA기능을 내장한 Mercedes-Benz의 GLE 클래스가 미국 고속도로 안전보험협회가 실시한 충돌테스트에서 최고등급 TSP+를 획득
- BMW 5 시리즈의 경우, 사각 지대에 있는 차량과의 측면 충돌 방지를 위한 경고 및 조향 제어 기능과 앞선 차가 급브레이크 시, 최대 160km/h 하에서도 동작 가능한 차선으로 바뀌는 회피 보조기능 기술 탑재
- Mitsubishi Fuso, Mobileye의 비전기반 모든 속도에서 최대 2.7초 전에 전방 충돌 요소를 감지 및 충돌 경고를 해주는 시스템을 중형 트럭에 탑재
- Apple은 머신러닝과 컴퓨터 비전을 자율 주행 차량에 적용함으로써 Collision Avoidance of Arbitrary Polygonal Obstacles 기술 보유

5. 추가 충돌 방지 기술

- 미국의 Michigan 대학교, 스웨덴의 Chalmers 대학교에서 충돌 발생 시 추가 충돌 발생 방지 연구 수행
- Continental에서 충돌 후 자세 제어(Post Crash Braking Technology) 기술 개발 및 적용 추진 중

제7장. 연구개발성과의 보안등급

창조형 모험의 성격을 가진 연구로서 보안연구로 규정할 사항에 해당되지 않음

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

연구개발과제 수행에 따른 안전 조치 이행을 위해 온라인 연구실 안전교육을 시행

번호	성명	과정
1	김주희	온라인 연구실 안전교육[2017 2학기]
2	김주희	온라인 연구실 안전교육[2018 1학기]
3	최완식	온라인 연구실 안전교육[2017 2학기]
4	최완식	온라인 연구실 안전교육[2018 1학기]
5	박예영	온라인 연구실 안전교육[2017 2학기]
6	박예영	온라인 연구실 안전교육[2018 1학기]

제 201800010호



연구실 사이버 안전교육 이수필증

소속 : 기계공학부
성명 : 김주희

학년 : 4

위 사람은 본교 연구실 안전정보망에서 실시한 2017년 연구실 안전교육[2학기]을 수료하였으므로 이에 이수필증을 수여함.

2018년 7월 11일

부산대학교 총장

제 201800010호



연구실 사이버 안전교육 이수필증

소속 : 기계공학부
성명 : 김주희

학년 : 4

위 사람은 본교 연구실 안전정보망에서 실시한 2018년 연구실 안전교육[1학기]을 수료하였으므로 이에 이수필증을 수여함.

2018년 7월 11일

부산대학교 총장

제 201800010호



연구실 사이버 안전교육 이수필증

소속 : 기계공학부
성명 : 최완식

학년 : 3

위 사람은 본교 연구실 안전정보망에서 실시한 2017년 연구실 안전교육[2학기]을 수료하였으므로 이에 이수필증을 수여함.

2018년 7월 11일

부산대학교 총장

제 201800010호



연구실 사이버 안전교육 이수필증

소속 : 기계공학부
성명 : 최완식

학년 : 3

위 사람은 본교 연구실 안전정보망에서 실시한 2018년 연구실 안전교육[1학기]을 수료하였으므로 이에 이수필증을 수여함.

2018년 7월 11일

부산대학교 총장

제 201800010호



연구실 사이버 안전교육 이수필증

소속 : 기계공학부
성명 : 박예영

학년 : 3

위 사람은 본교 연구실 안전정보망에서 실시한 2017년 연구실 안전교육[2학기]을 수료하였으므로 이에 이수필증을 수여함.

2018년 7월 11일

부산대학교 총장

제 201800010호



연구실 사이버 안전교육 이수필증

소속 : 기계공학부
성명 : 박예영

학년 : 3

위 사람은 본교 연구실 안전정보망에서 실시한 2018년 연구실 안전교육[1학기]을 수료하였으므로 이에 이수필증을 수여함.

2018년 7월 11일

부산대학교 총장

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	MPC-based steering control for backward-driving vehicle using stereo vision	부산대학교	교신	International Journal of Automotive Technology	1.264	2017.10.01	단독사사	SCIE
2	논문	피해차량용 능동안전 시스템 개발을 위한 차대차 사고 시나리오 설계	부산대학교	교신	한국자동차 공학회 논문집	-	2018.03.01	단독사사	연구재단 등재지
3	특허	축소 환경에서 차량 미끄러짐 실험에 대한 방법	부산대학교		대한민국	-	2016.12.28	단독사사	출원
4	특허	차량 미끄러짐 시뮬레이션 방법 및 장치	부산대학교		대한민국	-	2017.08.04	단독사사	등록

제11장. 기타 사항

해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

- [1] Euro NCAP, Audi Secondary Collision Brake Assist, Euro NCAP Advanced, Rewrod 2012
- [2] Euro NCAP, Skoda Multi-Collision Brake, Euro NCAP Advanced, Rewrod 2013
- [3] Mercedes-Benz, PRE-SAFE® PLUS
- [4] KoROAD, Traffic Accident Analysis System (taas.koroad.or.kr)
- [5] NHTSA, National Automotive Sampling System, Crashworthiness Data System, (crashviewer.nhtsa.dot.gov)
- [6] 경찰청, 경찰교통사고통계, 최근 5년간 고속도로 2차 사고 현황 ('07~' 11년) (www.police.go.kr)
- [7] 교통안전공단, 교통사고 치사율, (tmacs.kotsa.or.kr)
- [8] 현대엠엔소프트, 최근 3년간 월별 2차사고 발생 추이 (blog.hyundai-mnsoft.com/807)
- [9] Augenstein, Jeffrey, et al, "Characteristics of crashes that increase the risk of serious injuries," Annual Proceedings/Association for the Advancement of Automotive Medicine, Vol. 47, Association for the Advancement of Automotive Medicine, 2003
- [10] Tencer, Allan F, et al, "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, 2018
- [11] 정수현, 김주희, 안창선, "피해차량용 능동안전 시스템 개발을 위한 차대차 사고 시나리오 설계" 한국자동차공학회논문집, Vol.25, No.2, pp.229-239, 2018
- [12] 박정순, "통계적 기법을 이용한 교통사고 특성분석", 지역정책연구, Vol. 21, No. 1, pp.81-97, 2010
- [13] Y. Xie, K. Zhao, and N. Huynh, "Analysis of driver injury severity in rural single-vehicle crashes" Accident Analysis & Prevention, Vol. 47, pp.36-44, 2012
- [14] S. Mishra, M. Golias, A. Sarker, and A. Naimi, "Effect of Primary and Secondary Crashes: Identification, Visualization, and Prediction", 2016
- [15] H. Yang, B. Bartin, and K. Ozbay, "Investigating the characteristics of

secondary crashes on freeways" in 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, Vol. 2, 2013

- [16] S. L. Stucki and D. J. Biss, "A study of the NASS-CDS system for injury/fatality rates of occupants in various restraints and a discussion of alternative presentation methods", Annual Proceedings/Association for the Advancement of Automotive Medicine, Vol. 44, pp.93, 2000
- [17] C. Xu, P. Liu, B. Yang, and W. Wang, "Real-time estimation of secondary crash likelihood on freeways using high-resolution loop detector data", Transportation research part C: emerging technologies, Vol. 71, pp.406-418, 2016
- [18] Travis, W.E., et al. "Using scaled vehicles to investigate the influence of various properties on rollover propensity", in American Control Conference, 2004
- [19] Son, C.W. and C. Ahn. "Vehicle backward driving control with obstacle avoidance", in Control, Automation and Systems (ICCAS), 2015
- [20] Polley, M., A. Alleyne, and E.D. Vries, "Scaled vehicle tire characteristics: dimensionless analysis", Vehicle System Dynamics, Vol. 44. No. 2, pp.87-105, 2006
- [21] Longoria, R.G., A. Al-Sharif, and C.B. Patil, "Scaled vehicle system dynamics and control: a case study in anti-lock braking", International Journal of Vehicle Autonomous Systems, Vol. 2, No. 1-2, pp.18-39, 2004
- [22] Liburdi, A., "Development of a Scale Vehicle Dynamics Test Bed", Electronic Theses and Dissertations, 2010
- [23] Haeryip Sihombing, M.S., Mohd. Yuhazri Yaakob, and Vimau Rau Aparow, "Sensors Configuration for Small Scale Autonomous Ground Vehicle", Researches and Applications in Mechanical Engineering Vol. 2, June 2013
- [24] Behrendt, K., "Vehicle Guidance System for Scaled Vehicles through Simple Road Networks Based on External Camera Information", CES SEMINAR, MATHCCES AND IKA, RWTH AACHEN, 2014
- [25] Verma, R., D.D. Vecchio, and H.K. Fathy, "Development of a Scaled Vehicle With Longitudinal Dynamics of an HMMWV for an ITS Testbed", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 13, No. 1, pp.46-57, 2008
- [26] Buckingham, E., "On Physically Similar Systems; Illustrations of the Use of Dimensional Equations", Physical Review, Vol. 4, No. 4, pp.345-376, 1914

차량충돌 2차사고 방지 시스템의 안전하고 빠른 검증을 위한 실험플랫폼 개발 (차량 충돌 2차사고 시나리오 도출 및 실험 플랫폼 개발) 최종보고서

초판 1쇄 인쇄 2018년 9월 27일

초판 1쇄 발행 2018년 10월 4일

저 자 안 창 선

발 행 인 전 호 환

발 행 처 부산대학교 출판부

주소 - 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길2(장전동)

전화 - (051) 510 - 1932~3

전송 - (051) 512 - 7812

등록 - 제카 11-2 1992. 9. 10.

비매품

ISBN 978-89-7316-598-8 93550

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.