교통체계효율화사업 제3차년도 최종보고서

04-교통핵심-B01

차세대 첨단 인공지능 에어백 개발 3차년도 최종보고서

2007. 8. .

주관연구기관 / 현대자동차(주)
협동연구기관 / 자동차성능연구소
/ 현대모비스(주)
위탁연구기관 / 한국항공대학교
/ 이든기술(주)

건 설 교 통 부
한국건설교통기술평가원

Construction & Transportation R&D Report

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “차세대 첨단 인공지능 에어백 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007 . 8 . .

주관연구기관 : 현대자동차(주)
대표이사 김 동 진
협동연구기관 : 자동차성능연구소
연구소장 임 종 진
협동연구기관 : 현대모비스(주)
대표이사 한 규 환
위탁연구기관 : 한국항공대학교
산학협력단장 조 성 준
위탁연구기관 : 이든기술(주)
대표이사 이 주 영

■ **총 괄 연 구 책 임 자**	/	선임연구원	임장묵	과제 총괄 책임
■ 주관연구기관 참여연구원	/	선임연구원	박형욱	주관 실무 책임
(현대자동차주식회사)		연구원	홍석호	주관 실무 과제
■ 협동연구기관 참여연구원	/	연구위원	윤경한	협동 연구 책임
(자동차성능연구소)		선임연구원	전준호	협동 실무 책임
■ 협동연구기관 참여연구원	/	이사대우	김익환	협동 연구 책임
(현대모비스주식회사)		책임연구원	강병수	협동 실무 책임
■ 위탁연구기관 참여연구원	/	부교수	김원규	위탁 연구 책임
(한국항공대학교)				
■ 위탁연구기관 참여연구원	/	대표이사	이주영	위탁 연구 책임
(이든기술주식회사)				

요 약 문

Ⅰ. 제 목 : 차세대 첨단 인공지능 에어백 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 기존 에어백 기술로는 대응할 수 없는 자동차 충돌 관련 국제적인 동향에 탄력적인 대응이 필요하며, 안전 욕구 증대에 따른 차세대 승객 보호 장구의 필요성이 대두되었다.

○ 충돌 사고에 의한 사망자 및 부상자의 발생으로 사회적인 비용이 과다 지출되고 있는 상황이며, 외국 기술에 대한 의존에 따라 신차 개발 정보의 초기 유출, 개발 일정 지연 및 막대한 개발 비용, 기술료가 외국 업체로 흘러 들어가고 있다.

○ 현재와 같이 국내 자동차 업체에서 외국의 에어백 개발 업체에게 일임하는 방식으로 에어백을 개발하게 되면 기술의 종속이 더욱 심화될 것이며, 독자 개발 기술의 축적은 점점 더 어려워지게 된다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1차년도 : 독자 알고리즘 개발, 시스템 설계 등 분야별 기술력 확보
2차년도 : 개발된 관련 기술을 기반으로 양산 적용 가능성 검토
3차년도 : 관련 기술을 확보하여 에어백 개발 차량 적용 및 양산 준비

○ 충돌 판별 알고리즘, 성능 확인 Test Matrix 구성, 시스템 자체 개발을 통한 양산 준비
○ 실차 시험 대체 가능한 해석 신뢰도 확보, ACU 양산 적용을 위한 신뢰성 평가, 센서/ACU 전문 업체를 육성하여 차세대 첨단 에어백 개발

가. 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 개발

○ 전개/비전개 조건 결정

○ Crash Severity 분석
○ Firing Decision Logic 구성
○ Crash Severity 알고리즘 구성
○ 전방센서 위치별 개발 시험 결과 분석
○ 전방센서 위치별 에어백 알고리즘 Calibration
○ 정면 및 측면 에어백 전개 로직 구성
○ 정면 및 측면 에어백 충돌 판별 알고리즘 구성
○ 측면센서 위치별 개발 시험 결과 분석
○ 측면센서 위치별 에어백 알고리즘 Calibration
○ PIT 시험 (Pulse Injection Test)

나. 에어백 시스템 설계 능력 확보
○ 모듈 성능 조건 결정
○ Low Risk Deployment 성능 평가
○ 에어백 시스템 단품 성능 평가
○ Low Risk Deployment, Suppression 방법 설정
○ 구속 장치 사양 결정
○ 충돌 시험 상세 계획 수립 (Test Condition)
○ 에어백 오작동 방지를 위한 악의 시험
○ 실차 정면 충돌 확인 시험
○ 측면 센싱, 중형 세단 정면 충돌 시험
○ 정면 및 측면 실차 충돌 Test Matrix 구성
○ 측면 충돌 시험 상세 계획 수립 (Test Condition)
○ 측면 에어백 오작동 방지를 위한 악의 시험
○ 실차 정면 및 측면 충돌 확인 시험
○ 실차 동적 전복 충돌 시험

다. 승객 상해 수준 및 차체 충돌 성능 평가
○ 승객 상해 연구
○ 해석 모델 정도 향상을 위한 단품 시험 및 해석

○ 해석 정도 향상 및 설계 반영
○ 해석 결과 database 구성
○ 비정형 승객 상해 해석 기법 마련
○ 해석 신뢰도 향상을 위한 산포 해석
○ 동적 전복 (Rollover) 차량 거동 해석

라. 전장 시제품 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인
○ ACU 시제품 구성/설계/제작/평가
○ 에어백 시스템 구성을 위한 센서 선정
○ 개발된 부품의 단품 신뢰성 및 양산 적용성 평가
○ 실차 성능 및 신뢰도 검증 시험
○ 실차 전자파 (EMC) 시험

마. 에어백 개발 과제의 경제성 평가 분석
○ 도입 시나리오의 적절성
○ 경제성 평가 결과의 현실성

Ⅳ. 연구개발결과

○ 연차별 과제 보고 워크샵 총 회 개최, 분야별(알고리즘/전장/시스템/시험/해석 등) 소그룹 회의 등
○ 국내 특허 총 11건 출원 (Yaw Rate 센서 값을 이용한 에어백 전개 알고리즘 구현 외)
○ 해외/국내 논문 발표 (20th Enhanced Safety Vehicle 1건, 건교부 성과포럼 등 국내 4건)

가. 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 개발
○ 충돌 유형 및 속도별 조건에 의한 전개/비전개 조건 결정 완료
○ 실차 충돌 승객 상해 분석에 의한 Crash Severity 분석 완료
○ 충돌 유형 및 속도별 조건에 의한 Firing Decision Logic 구성 완료
○ Time Based 어드밴스드 에어백 정면 알고리즘 구성 완료
○ 실차 충돌 시험 및 Rough Road, Misuse 시험 결과 분석 완료

○ 개발된 알고리즘을 이용한 전방센서 위치별 Calibration 실시 완료
○ 충돌 유형 및 속도별 조건에 의한 에어백 전개 로직 구성 및 구현 완료
○ 정면 및 측면 에어백 알고리즘 구성 및 검증 완료
○ 정면 및 측면 실차 충돌 시험의 센서 위치별 개발 시험 결과 분석 완료
○ 독자 개발된 알고리즘을 이용한 측면 센서 위치별 Calibration 수행 완료
○ 정면 및 측면 에어백 알고리즘의 정상 동작 확인을 위한 Pulse Injection 시험 완료

나. 에어백 시스템 설계 능력 확보
○ LRD, 슬레드, 실차 시험을 위한 설계 사양 결정 완료
○ Static OOP 8회 수행 및 분석 완료
○ 에어백 모듈 및 인플레이터 등 단품 성능 평가 완료
○ 대상 차종 Low Risk Deployment 및 Suppression 방향 설정 완료
○ 양산 중인 차종의 기본 사양을 Base로 적용
○ 슬레드 및 실차 충돌 시험 상세 계획 수립 완료
○ 에어백 오작동 방지를 위한 악의 시험 수행 완료
○ 실차 정면 충돌 확인 시험 수행 완료
○ 측면 센싱, 중형 세단 정면 충돌 시험 수행 완료
○ 정면 및 측면 대차 및 실차 충돌 시험 Test Matrix 구성 및 수행 완료
○ 측면 충돌 시험 상세 계획 및 시험조건 구성 완료
○ 측면 에어백 오작동 방지를 위한 악의 시험 수행 및 검증 완료
○ 실차 정면 및 측면 충돌 확인 시험 수행 완료
○ 실차 동적 전복 충돌 시험 수행 완료

다. 승객 상해 수준 및 차체 충돌 성능 평가
○ 충돌 유형별, 충돌 속도별 승객 상해 수준 평가 기법 연구 완료
○ 해석 모델 정도 향상을 위한 단품 시험 및 해석 수행 완료
○ 승객 상해 모델 구성 완료, 해석-시험 간 Correlation 완료
○ 해석 결과에 의한 해석 모델 및 결과 등 database 구축 완료
○ 비정형 승객 상해 해석 기법 부분 개발 완료
○ 해석 신뢰도 향상을 위한 산포 해석 수행 완료

○ 동적 전복 (Rollover) 차량 거동 해석 기법 1단계 수립 완료

라. 전장 시제품 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인

○ ACU 시제품 구성/설계/제작/평가 및 검증 완료

○ 전방 센서, 시트 벨트, 시트 위치 감지 센서 등 센서 선정 완료

○ 개발된 부품의 단품 신뢰성 및 양산 적용성 평가 완료

○ 실차 성능 및 신뢰도 검증 시험 완료

마. 에어백 개발 과제의 경제성 평가 분석

○ 도입 시나리오의 적절성 연구 분석 완료

○ 경제성 평가 결과의 현실성 평가 분석 완료

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

1. 활용 목표 : 독자 에어백 알고리즘의 양산 차종 적용

가. 참여 부문 - 자동차 업체, 전장 부품 업체 공동 참여

나. 개발 구도 - 독자 에어백 알고리즘 기반 전장 ACU/센서 단품 개발 및 실차 평가

다. 양산 계획 - 양산 적용 목표 차종 선정 후 양산 검증 업무 동시 추진

2. 개발기술의 활용전략 및 방법

가. 연도별 활용계획

(1) 2008 - ACU/센서 단품 설계 및 검증

(2) 2009 - 알고리즘 1차/2차 평가 및 검증

(3) 2010 - 양산 적용 차종 출시

나. 추진체계

(1) 자동차 업체 - 독자 알고리즘 적용, 실차 성능 평가

(2) 전장 부품 업체 - 전장품 설계/개발 및 부품 성능 평가

3. 활용성과 측정

가. 성과내용 - 독자 에어백 알고리즘의 양산 차종 적용

나. 성과측정(확인) 방법 - 독자 에어백 알고리즘 성적서 (Calibration Report)

다. 성과근거 자료 - 양산 적용 차종 생산 대수 및 설계 반영 도면

4. 기대효과

가. 국내 독자 기술의 양산 적용으로 자동차 안전도 향상 및 상품 경쟁력 확보

나. 독자 기술의 양산 적용 확대에 따른 기반 기술 확보 및 기술/경제적 파급 효과

다. 독자 기술의 양산 적용에 따른 원가 절감 (기술료 절감 등) 및 기술적 의존성 탈피

S U M M A R Y

(영 문 요 약 문)

Development of Advanced Airbag System

Background

According to social costs increase caused by traffic accidents, vehicle safety regulations which can't be fulfilled with conventional airbag system, require more safe vehicle design to manufacturers, and include provisions dealing with female and infants. But current vehicle development process is governed by foreign airbag component company, confidential information about new car under developing can't be avoided extruding to other company and we can't have any chance to make our own system and technologies.

To meet these strengthened requirements timely, we must have our own new technologies about advanced airbag system, especially airbag algorithm, system design and must consider about general safety vehicle specifications, too.

Contents

Base technology establishment like airbag algorithm, system design etc.

1) Frontal and side advanced airbag algorithm development
2) System design process establishment of advanced airbag system
3) Evaluation of occupant injury and crash characteristics
4) Prototype and pilot design, manufacturing and testing of airbag control unit and sensors
5) Cost and benefits research of advanced airbag development

Results

3rd Year kick off and final work shop meetings.

3 domestic patents ("Airbag deployment algorithm with yaw rate sensor value" etc.)

20th Enhanced Safety Vehicle Conference 2007 ("The Application of CAE in the Development of Airbag Restraint System Performance for a Certain Vehicle")

1) Advanced airbag algorithm

Firing decision logic design and verification, Crash severity analysis, Crash severity algorithm design and evaluation

2) Advanced airbag system design

Frontal and side crash test matrix and detailed test conditions construction.

3) Occupant injury and vehicle crash simulation

Occupant injury and crash severity research, Occupant simulation technique development, Test-Simulation correlation, Analysis results database.

4) Electronics

Airbag control unit prototype and pilot design, manufacturing and performance test, Electronic sensor and system construction, Airbag control unit specification establishment, Hardware and software development

5) Economic Analysis

Cost and benefits research of advanced airbag development

Plan

As a result of advanced airbag system development, new developed advanced airbag system can be adopted to North America exporting vehicle where strengthened safety regulations are being

currently into effect. In addition, developed system can be adopted to another region(ex. Europe and Domestic etc.), we can have an advantage over other company and other component technologies. And finally, through domestic and original independent advanced airbag system technologies, we can follow up international new technologies and influence outputs to related industries.

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· 8

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 77

제1절 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 개발 / 78

제2절 시스템 선행 설계 능력 확보 / 172

제3절 실차 시험 결과 / 333

제4절 차체/승객 충돌 해석 결과 / 425

제5절 전장 시제품 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인 / 534

제6절 에어백 개발 과제의 경제성 평가 연구 / 593

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 647

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 652

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 654

제 7 장 참고 문헌 ····· 679

C O N T E N T S

(영 문 목 차)

Chapter 1 Introduction ····· 1

Chapter 2 Review for Current Airbag Technologies ····· 8

Chapter 3 Research Contents and Results ····· 77

1. Development of Advanced Airbag Algorithm / 78
2. Advanced Airbag System Design / 172
3. Airbag Sensing Crash Tests / 333
4. Occupant Injury and Crash Analysis / 425
5. Electronics Design and Evaluation / 534
6. Economic Analysis / 593

Chapter 4 Achievement, Expectation and Application ····· 647

Chapter 5 Application of Results and Future Plan ····· 652

Chapter 6 Airbag International Conferences ····· 654

Chapter 7 References ····· 679

제1장 서 론

제1절 연구개발의 필요성

제2절 연차별 연구개발 목표 및 내용

제3절 연구개발 추진전략 및 추진체계

제1장 서 론

제1절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

○ 기존 에어백 기술로는 대응할 수 없는 자동차 충돌 관련 국제적인 동향에 탄력적인 대응이 필요하며, 안전 욕구 증대에 따른 차세대 승객 보호 장구의 필요성이 대두되었다.

○ 강화된 충돌 관련 법규에는 유아, 어린이, 여성 운전자 보호 성능을 포함하는 어드밴스드 에어백 시스템 개발을 요구하고 있다.

○ 이러한 국제적인 요구에 대처하기 위해서는 독자적인 신기술을 확보해야 하며, 특히 알고리즘 및 센서 분야를 포함한 에어백 시스템 전반에 관한 설계 기술 축적이 매우 중요하다.

○ 에어백 시스템 개발 과정에 필요한 시험 및 해석의 필요성 또한 증대되고 있기 때문에, 관련 기술의 향상을 도모할 수 있다.

2. 경제·산업적 측면

○ 충돌 사고에 의한 사망자 및 부상자의 발생으로 사회적인 비용이 과다 지출되고 있는 상황이며, 외국 기술에 대한 의존에 따라 신차 개발 정보의 초기 유출, 개발 일정 지연 및 막대한 개발비용, 기술료가 외국 업체로 흘러들어가고 있다.

3. 사회·문화적 측면

○ 현재와 같이 국내 자동차 업체에서 외국의 에어백 개발 업체에게 일임하는 방식으로 에어백을 개발하게 되면 기술의 종속이 더욱 심화가 될 것이며, 독자 개발 기술의 축적은 점점 더 어려워지게 된다.

제2절 연차별 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발의 최종목표

가. 북미 법규 대응을 위한 어드밴스드 에어백 알고리즘 독자 기술 개발

나. 독자 알고리즘을 탑재한 ACU 시제품 개발 및 시스템 설계

2. 연차별 연구개발 목표 및 내용

가. 1차년도 : 독자 알고리즘 개발, 시스템 설계 능력 등 분야별 기술력 확보

- ○ 전개/비전개 조건 및 Crash Severity 분석, 모듈 성능 조건 결정 (Low Risk Deployment 등)
- ○ Test Matrix 최적화를 통한 시험 차량 대수 축소, ACU 시제품 구성/설계, 에어백 시스템 구성을 위한 센서 선정

나. 2차년도 : 개발된 알고리즘과 시스템 설계 능력으로 양산 적용 가능성 검토

- ○ Firing Decision Logic 구성, 단품 성능 양산성 평가 (Suppression 방법 등)
- ○ 승객 상해 연구/ 해석 결과의 데이터베이스 구성, ACU 시제품 신뢰성 평가, 선정된 센서 단품 성능 시험

다. 3차년도 : 관련 기술을 확보하여 에어백 개발 차량 적용 및 양산 준비

- ○ 충돌 판별 알고리즘, 성능 확인 Test Matrix 구성, 시스템 자체 개발을 통한 양산 준비
- ○ 실차 시험 대체 가능한 해석 신뢰도 확보, ACU 양산 적용을 위한 신뢰성 평가, 센서/ACU 전문 업체를 육성하여 차세대 첨단 에어백 개발

구분	연구개발 목표	연구개발내용 및 범위
1차년도 (2004.08~ 2005.08)	① 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 개발	전개/비전개 조건 및 Crash Severity 분석
	② 시스템 설계 능력 확보	모듈 성능 조건 결정, Low Risk Deployment
	③ 승객 상해/충돌 성능 평가	시험 차량 대수 축소, 승객 상해 연구
	④ 센서/ACU 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인	ACU 시제품 구성/설계 에어백 시스템 구성을 위한 센서 선정
2차년도 (2005.08~ 2006.08)	① 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 개발	Firing Decision Logic 구성
	② 시스템 설계 능력 확보	단품 성능 평가, Suppression 방법
	③ 승객 상해/충돌 성능 평가	해석 정도 향상, 해석 결과 D/B 구성

	④ 센서/ACU 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인	ACU 시제품 신뢰성 평가 선정된 센서 단품 성능 및 양산성 평가
3차년도 (2006.08~ 2007.08)	① 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 개발	플랫폼별 충돌 판별 알고리즘 플랫폼별 Test Matrix 구성
	② 시스템 설계 능력 확보	시스템 자체 개발을 통한 양산성 검토
	③ 승객 상해/충돌 성능 평가	해석 신뢰도 향상 방안 마련
	④ 센서/ACU 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인	ACU 양산 적용을 위한 신뢰성 평가 센서/ACU 전문 업체 육성

<table>
<tr><th>개발 단계
개발 항목</th><th>1차년도 (선행 개발)</th><th>2차년도 (양산 검토)</th><th>3차년도 (양산 준비)</th></tr>
<tr><td></td><td>'04.08~'05.08</td><td>'05.08~'06.08</td><td>'06.08~'07.08</td></tr>
<tr><td rowspan="2">어드밴스드 에어백
독자 알고리즘 개발</td><td colspan="2">전개/비전개 조건 및 Crash Severity 분석</td><td>충돌 판별 알고리즘</td></tr>
<tr><td colspan="2">Firing Decision Logic 구성</td><td>Test Matrix 구성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">시스템 설계 능력 확보</td><td colspan="2">모듈 및 인플레이터 성능 요구 조건 결정 및
단품 성능 평가</td><td rowspan="2">시스템 자체 개발을 통한
당사 양산 차량 적용성 검토</td></tr>
<tr><td colspan="2">Low Risk Deployment 및 Suppression
성능 만족 방법 결정</td></tr>
<tr><td rowspan="2">승객 상해 수준 및
차체 충돌 성능 평가</td><td colspan="2">해석 정도 향상을 통한 초기 시험 차량 대수 축소</td><td rowspan="2">실차 시험 대체 가능한
해석 신뢰도 확보</td></tr>
<tr><td colspan="2">독자 알고리즘 구성을 위한 승객 상해 연구 및
해석 결과 D/B 구성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">센서/ACU 설계 능력 확보
및 신뢰성 확인</td><td colspan="2">ACU 시제품 구성/설계 및 신뢰성 평가</td><td>ACU 양산 적용을 위한
신뢰성 평가</td></tr>
<tr><td colspan="2">에어백 시스템 구성을 위한 센서 선정 :
FIS, OCS, STPS 등</td><td>센서/ACU 전문 업체 육성</td></tr>
</table>

<그림 1-2-1> 연차별 추진 계획

3. 3차년도(최종년도) 연구개발 목표 및 내용

가. 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 개발

○ 정면 및 측면 에어백 전개 로직 구성

○ 정면 및 측면 에어백 충돌 판별 알고리즘 구성

○ 측면센서 위치별 개발 시험 결과 분석

○ 측면센서 위치별 에어백 알고리즘 Calibration

○ PIT 시험 (Pulse Injection Test)

나. 에어백 시스템 설계 능력 확보

○ 정면 및 측면 실차 충돌 Test Matrix 구성

○ 측면 충돌 시험 상세 계획 수립 (Test Condition)

○ 측면 에어백 오작동 방지를 위한 악의 시험

○ 실차 정면 및 측면 충돌 확인 시험

○ 실차 동적 전복 충돌 시험

다. 승객 상해 수준 및 차체 충돌 성능 평가

○ 해석 모델 정도 향상을 위한 단품 시험 및 해석

○ 비정형 승객 상해 해석 기법 마련

○ 해석 신뢰도 향상을 위한 산포 해석

○ 동적 전복 (Rollover) 차량 거동 해석

라. 전장 시제품 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인

○ ACU 시제품 설계/제작/평가

○ 개발된 부품의 단품 신뢰성 및 양산 적용성 평가

○ 실차 성능 및 신뢰도 검증 시험

○ 실차 전자파 (EMC) 시험

마. 에어백 개발 과제의 경제성 평가 분석

○ 도입 시나리오의 적절성

○ 경제성 평가 결과의 현실성

제3절 연구개발 추진전략 및 추진체계

1. 연구개발의 추진전략

가. 산・학・연 공동 연구 개발

○ 자동차 업체에서 과제 총괄 기획, 개념 정립, 시험 평가 기술 개발, 시스템 요구사항 설정, 체계 종합, 에어백 센싱 시험 결과 분석 및 평가 기준 마련 등을 담당

○ 학계 등은 알고리즘 통계적 분석 연구, 해석 정도 향상을 위한 방안 마련 등을 위탁 개발

○ 자동차 부품 업체는 에어백 시스템 설계, 개발 및 단품 위주의 자체 제작, 에어백 시스템에 사용되는 센서, ACU 등 전반적인 전장 부품의 설계・제작 등을 담당

○ 연구 기관은 시험 평가 방법 및 기준 연구, 단품 및 실차 시험 평가를 실시하고, 결과 분석 및 개선안 제시



<그림 1-3-1> 연구개발 추진전략

2. 연구개발 추진체계



<그림 1-3-2> 연구개발 추진체계

제2장 국내·외 기술개발 현황

제1절 안전 법규의 변화 양상

제2절 관련 기술 요약 (자동차 충돌 안전)

제2장 국내·외 기술개발 현황

제1절 안전 법규의 변화 양상

1. 새로운 안전법규

가. EDR (Event Data Recording)

그간 진행한 NTSB(National Transportation Safety Board)의 연구 결과를 근거로 한 권고에 따라 NHTSA에서는 2004년 6월 14일에 EDR에 관한 NPRM(Notice of Proposed Rulemaking)을 발표하였다.

한편, GM에서는 운전자와 조수석의 에어백 전개에 대한 데이터(차량 속도, 엔진 rpm, 엔진 throttle opening, 브레이크 작동 여부, 운전자 벨트 착용 여부 등)를 충돌 5초 전부터 기록하고 종방향 충돌 신호(longitudinal acceleration signal)를 충돌 후 300 msec 동안 기록하는 EDR을 개발하였다. 다른 자동차업체와 달리 GM의 경우에는 상용화된 프로그램이 있어서 이를 이용하여 EDR의 정보를 손쉽게 복원할 수 있다[Brophy, 2005].

Ford에서는 운전자와 조수석의 에어백 전개에 관한 데이터(80 msec의 횡, 종방향 충돌 신호, dual stage air bag deployment strategy, 안전벨트 착용 여부, pretensioner 작동 여부, 운전자 의자 위치 정보)를 기록하는 EDR을 개발하였다. 또한, F-150 pickup에 NHTSA accelerometer, IWIEDR, CriveCam EDR, G Tech EDR을 장착하여 30 mph rigid barrier 시험을 수행하면서 가속도 센서에서 측정한 충돌 신호와 각 EDR에서 복원한 충돌 신호를 비교하였는데 IWI EDR이 가장 근접한 신호를 제공하였다.

나. NPRM for FMVSS214

FMVSS214에 폴 충돌 시험을 추가하는 NPRM을 2004년 5월 17일에 발표하였고, 2006년 12월에 확정하였다. 이 충돌 시험에서는 20 mph의 속도로 254 mm rigid pole에 75° 각도로 충돌하게 된다. 이 시험에서 사용할 더미는 ES-2re(Rib

Extension)와 SID-IIs Build Level D Side Impact ATD인데 더미에 대한 확정 법규를 2006년 12월에 발표하였다. 이 더미는head accelerometers (3), rib deflection (3), abdominal load cells (3), lumbar spine accelerometer 및 pubic load cell을 가지고 있다. 상해 기준치로는 HIC_{36} < 1000, rib deflection < 35 ~ 44 mm(actual displacement TBD), abdominal force < 2400 ~ 2800 N(actual force TBD), lower spine acceleration < 82 g, pubid symphysis peak force < 6000 N이다. 이 시험에서 사용할 5^{th} %ile dummy는 Title 49 CFR, Part 572에 기록될 예정이다.

다. Vehicle Dynamics Sensing

NHTSA와 Insurance Institue for Highway Safety의 조사에 의하면 ESC(Electronic Stability Control)에 의하여 자동차 사고가 30 % 정도 감소하였다. 따라서, NHTSA에서는 ESC의 장착을 의무화하는 법규를 제정하려는 노력이 진행되고 있으며, 조만간 ESC의 장착이 법제화될 것으로 전망하고 있다. 뿐만 아니라 EDR(Event Data Recording)의 기능을 확충하려고 하고 있으며 현재 ESC에는 EDR 기능이 없으므로 ACU에 EDR 기능을 강화하려고 하고 있다.

자동차 3사에서도 이와 걸맞는 움직임을 보이고 있다. Chrysler에서는 2006년도부터 모든 SUV에 ESP(Electronic Stability Program, ESC)를 장착한다고 발표(2004. 11. 24.)하였고, Ford와 GM도 ESP를 standard로 장착하는 SUV와 van의 차종수를 점차 증가하겠다고 발표(2004. 11.12.)하였다.

이와 같은 자동차 3사, NHTSA, 그리고 IIHS의 움직임을 고려할 때 ESC의 장착이 법제화되는 것은 시간 문제이며, 단순히 ESC 기능 뿐만 아니라 자동차의 동적 상태를 모두(3 translational accelerations, 3 rotational rates) 측정하고 이를active safety system 및 passive safety system에 적용하게 되는 것도 시간 문제이다.

제2절 관련 기술 요약

(자동차 충돌 안전 관련 주요 정보 요약)

1. 자동차 예방 안전 기술 동향 (1/2) (원전 : Nikkei Mechanical 2003/08)

가. Pre-crash safety 기술의 목적과 실용화 배경

- 충돌하기 전에 브레이크나 시트벨트 등의 안전 장비를 작동시키는 Pre-crash safety(예방 안전) 기술이 실용화 된 배경에는 사고의 대부분이 운전자의 부주의에서 일어나는 것이기 때문이다. 이 기술의 목적은 차에도 '눈'과 '귀'를 탑재함으로써 운전 조작을 보조하는 것이다. 그러나 어디까지 보충이 가능한 것이고 또 어느 정도가 적당한지 가늠하기가 어렵다.

- 앞차와 충돌할 듯 하면 자동적으로 브레이크를 걸어주는 차가 등장하였다. Honda가 2003년 6월에 발매한 신형 "Inspire"<그림1>가 바로 그것이다. Toyota도 브레이크까지는 걸지 못하지만 시트 벨트를 감거나 브레이크의 유압을 올려 충돌에 대비하는 시스템을 2003년 2월에 발매한 신형 "Harrier"<그림2>에 탑재하였다.

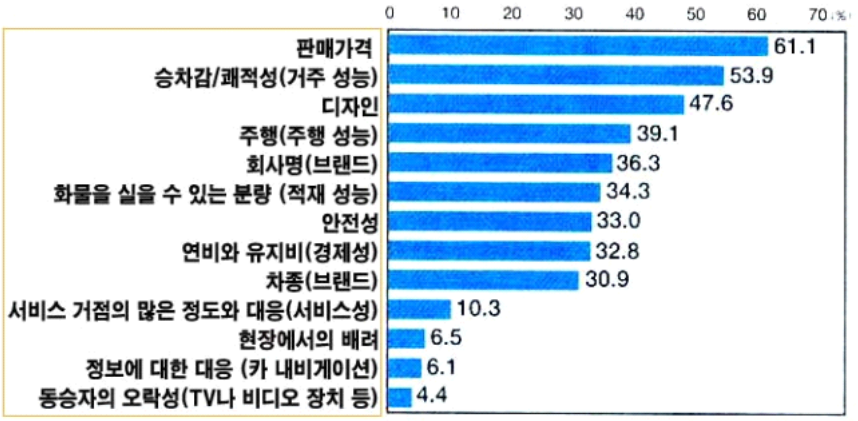


<그림 1>Honda의 신형 "Inspire" 충돌이 불가피하다고 판단되면 자동으로 브레이크를 걸어 감속하는 Pre-crash safety기술을 탑재함.



<그림 2>Toyota 신형 "Harrier"
충돌할 듯 하면 시트벨트를 조이고 브레이크 유압이 올려 긴급 제동에 대비하는 Pre-crash safety기술을 탑재함.

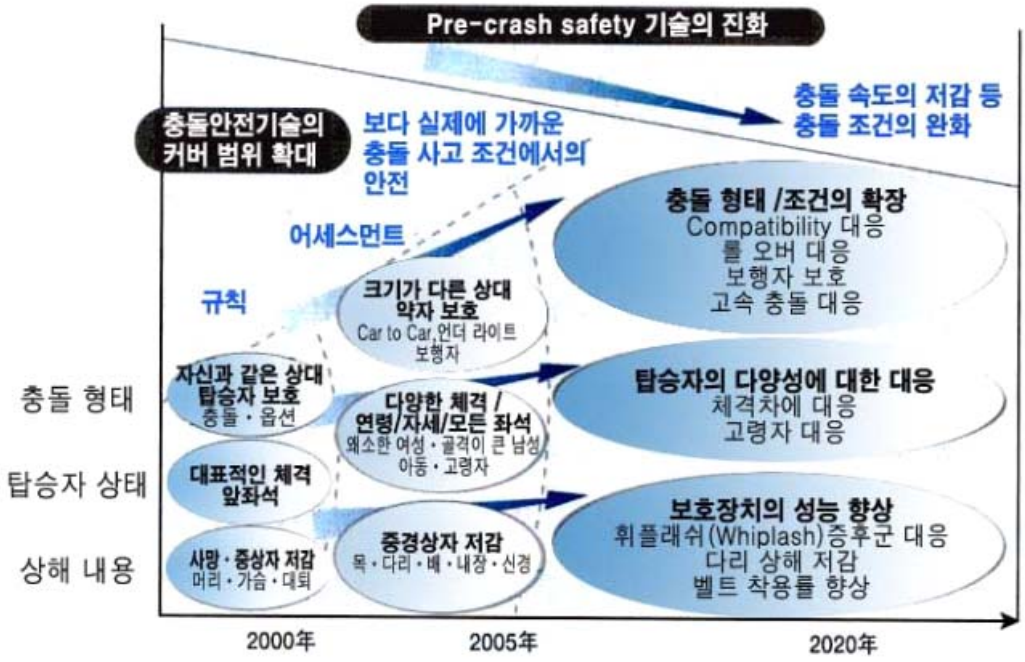
- Honda와 Toyota 뿐이 아니다. DCX와 Nissan도 방식은 다르나 충돌 전에 탑승자를 고정시켜 상해를 줄이는 기술을 개발 완료하였다. 이와 같이 각사가 Pre-crash safety 기술의 실용화를 서두르는 것은 '안전성'이 차를 선택하는데 있어 커다란 포인트 중 하나가 되기 때문이다. 닛케이BP컨설팅社가 2002년 4월에 발표한 '차의 정보화 시장 조사'에 의하면 마이카 선정시의 중요 포인트로써 안전성은 '연비와 유지비' '환경에 대한 배려'보다 높은 7위로 선정되었다<그림3>.



<그림3>마이카 선정시 중시 포인트 안전성은 7위로, '연비'나 '환경'보다 순위가 높음. 〔닛케이BP컨설팅 '자동차의 정보화 시장 조사'(2002)에서〕

- 지금까지도 각 자동차 회사는 ABS, 에어백, 프리텐셔너 장착 시트벨트, 충돌 안전 차체 등의 안전 장비를 앞다투어 탑재해 왔다. 특히 충돌 안전 차체에 대해서는 국토교통성이 '자동차 평가'로써, 충돌 시험 결과를 공개해 별의 개수로 평가하도록 한 후부터는 회사 간의 경쟁이 더욱 뜨거워지고 있는 듯 하다.

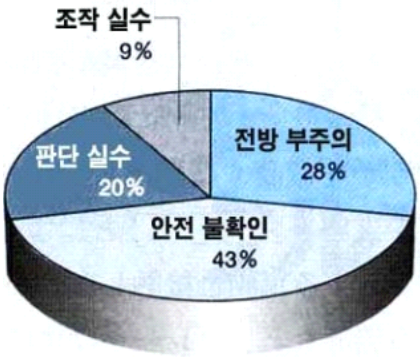
- 이미 일정 수준에는 도달했다고 생각되는 충돌 안전성이지만 각 사는 앞으로도 진화의 끈을 늦추지 않을 것으로 보인다. Toyota 차량기술본부 제1 차량기술부 차량안전기술총괄부 주사인 쿠즈마키氏는 '향후 크기나 질량이 다른 차량 간의 충돌에서도 안전성을 확보하는 Compatibility의 개념과 보행자 보호, 보다 고속에서의 충돌 안전성, 다양한 체격 조건의 탑승자라도 안전성을 확보하는 것이 중요하다<그림4>. 동시에 지금까지는 어떻게 해서든 사망자를 줄인다는 개념이었지만, 앞으로는 중상자와 경상자의 수도 가능한 한 줄이는 방향으로 진행하고 있다'고 말한다.



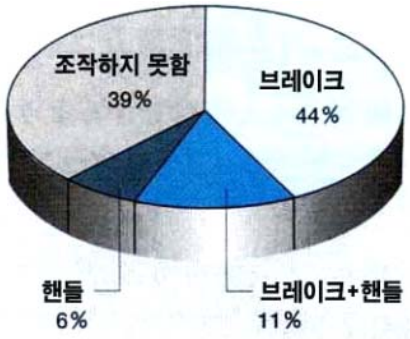
<그림 4>충돌 안전 기술의 진화 방향 다양한 충돌 형태, 탑승자의 상태에 대응하고 상해의 정도를 낮추는 방향으로 가고 있다. 한편, Pre-crash safety 기술의 진화가 충돌 속도의 저하 등 충돌 조건의 완화에 기여함.

- 중상자나 경상자 수를 줄이려면 충돌 후의 대책만으로는 한계가 있다. 충돌을 사전에 감지하여 충돌 속도를 떨어뜨리거나 탑승자를 사전에 고정시키는 것이 가능하다면 보다 탑승자의 상해를 줄일수 있지 않을까. 이러한 시점에서 고안된 것이 Pre-crash safety 기술이다.

- 자동차사고 종합연구센터(ITARDA)의 조사에 의하면 사망·중상 사고의 약 70%는 전방 부주의와 안전 확인의 불충분 등 이른바 '뒤늦은 認知'에서 일어난다고한다<그림5>. 또, '전면 충돌 사고에서 운전자가 어떠한 사고 회피 동작을 하는가'라는 조사에서는 '아무 조작도 하지 않는다'는 경우가 40%나 되었다<그림6>. 결국 사고의 대부분은 부주의에서 발생하고 게다가 사고에 직면하면서도 사고 회피 동작을 전혀 하지 못했다는 운전자가 상당수 존재한다는 것이다. 만약 이러한 사고 차량에 Pre-crash safety 기술이 탑재되어 있다면 탑승자의 상해를 줄이는효과가 있을 것으로 기대된다.



<그림5>사망 · 중상 사고의 원인
전방 부주의와 안전 불확인을 합쳐 70%를 넘음. (교통사고종합분석센타의 2001년 데이타에서)

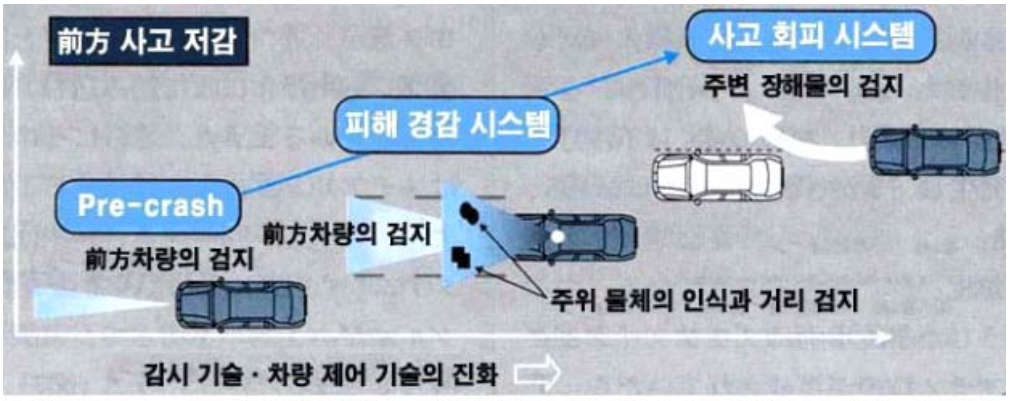


<그림6>전면 충돌시 회피 동작
아무런 조작도 하지 못한 운전자가 40%나 됨. (교통사고종합분석센타의 2001년 데이터에서)

- 이러한 예방 안전의 관점은 이전부터 생각해 왔던 아이디어였다. 그러나 이를 실현하기 위해서는 주변 상황을 감시하는 '눈'과 '귀', 그리고 자동차가 충돌하려는 상황에 있는지를 판단하는 '두뇌'에 해당하는 기능이 필요하다. 그런데 최근의 IT 기술 진보에 의해 드디어 상품에 탑재하는 일이 가능해졌다.
- 현재의 기술은 충돌하려는 상황을 운전자에게 경고하거나 시트벨트를 조이는 기능 또는 브레이크를 걸어 감속하는 단계에 머물고 있으나 앞으로는 보다 적극적으로 사고를 회피하는 방향으로 진화될 것으로 예상된다.

나. 스티어링 조작에 의한 사고 회피 시스템

- Toyota는 이번 "Harrier"에서 차가 자동적으로 브레이크를 작동시키는 것을 보류하였지만 가까운 미래에는 Honda와 마찬가지로 브레이크 조작에까지 본격적으로 뛰어들 것을 검토중이다. 게다가 그 전에 스티어링 조작을 보조함으로써 장해물을 피하는 '사고 회피 시스템'도 생각하고 있다. 즉 차가 핸들을 꺾어 사고를 피할 수 있게 해주는 것이다<그림7>.



<그림7>Pre-crash safety 기술의 진화 방향 전면 차량을 검지하여 시트벨트를 조이는 등 현재(좌)와 같은 상황에서 전방 차량 이외에 주위의 장해물의 상황도 감시하게 되고(중앙), 나아가서는 스티어링의 제어에 의해 충돌을 피할 수 있게(오른쪽) 하는 것을 목표로 함.

- 스티어링 조작에 의해 장해물과의 충돌을 피하기 위해서는 그 전제로써 스티어링을 조작하여 차량이 어느 방향으로 진행해야 하는 것인가를 판단하는 기능, 진행방향에 장해물이 없는가를 확인하는 기능, 자신이 진로를 변경함에 따라 후방에서 오는 차량과 접촉하지는않을지 확인하는 기능 등 브레이크 조작에 의해 피해를 줄이는 시스템보다도 상당히 고도의 상황 판단 기능이 요구된다.
- 이러한 기능을 실현하기 위해서는 현재의 예방 안전 기술과 같이 전방을 감시하는 것 뿐만 아니라 차량 주위 전체를 감시할 수 있도록 여러대의 레이더와 카메라에 의한 감시가 필요하게 된다.
- 때문에 우선은 이러한 주변 정보를 수집하는 기능을 포함한 그 다음 단계에서 '차가 스티어링을 조작하게 된다'는 순서를 밟게 될 것 같다. 차가 스티어링을 조작한다고 하면 상당히 미래적인 기술이라는인상을 주지만 실제로는 차가 운전자의 스티어링 조작을 보조하는 안전 장비가 이미 실용화되고 있다.
- Nissan이 2001년 1월에 발매한 "Cima"에 탑재한 'Lane keep Support System(차선 유지 지원 장치)'와 Honda가 2002년 10월에 발매한 "Accord"에 탑재한 'HiDS'라 부르는 운전 지원 시스템이 그것이다. 이들 시스템은 CCD카메라와 CMOS카메라에 의해 주행 차선의 영상을 촬영하고 이 영상을 처리하면서 도로상의 차선을 인식한다. 차선 중앙을 유지하는데 필요한 스티어링 토크를 계산하고, 파워스티어링을 구동하는 유압과 모터를 제어함에 따라 운전자가 차선을 유지하기 위한 조작량이 대폭적으로 줄어든다는 시스템이다.
- 차가 자동적으로 핸들을 꺾어주는 것은 아니지만 조금이라도 스티어링을 조작한다면 조작에 필요한 토크를 어시스트해 준다. 더불어 차선에서 이탈될 듯한 스티어

링 조작을 하려고 하면 그것에 거스르는 큰 토크를 발생시키기 때문에 상당히 편하게 차선을 유지할 수 있는 시스템이다.

- 차가 스티어링을 움직이게 하여 차량의 안전성을 향상시키는 시스템은 충돌 사고의 회피보다도 그 보다 먼저 차의 운전성을 향상시키는 목적으로 우선 실용화 될 것이라고 한다.

- Toyota는 현재 "Estima Hybrid"에 코너링 중에 스핀하는 것을 방지하는 VDM (Vehicle Dynamics Management)이라는 시스템을 탑재하고 있다. Toyota가 종전에 똑같은 목적으로 실용화하고 있던 VSC(Vehicle Stability Control)는 코너링 중에 스핀하게 될 때 차량이 4륜 브레이크를 독립적으로 제어하여 스핀을 방지하는 것이다. VDM에서는 4륜의 구동력을 제어하는 이 기능을 추가한 것이 포인트이다. 스핀할 것 같은 상태가 되면 작동하기 시작하는 VSC에 비해 VDM은 스핀하려고 하는 것을 미연에 방지하여 보다 부드러운 코너링을 가능하게 한다.

- Toyota는 앞으로 VDM 기능에 스티어링 조작을 보조하는 기능을 추가할 방침이다. 코너링 중에 스핀할 것 같으면 베테랑 운전자는 순간적으로 돌고 있는 방향의 역방향으로핸들을 꺽는다. 이른바 'counter(역핸들)'라는 동작을 말한다. 사람이 했던 이 counter 동작을 차가 하도록 하는 아이디어이다.

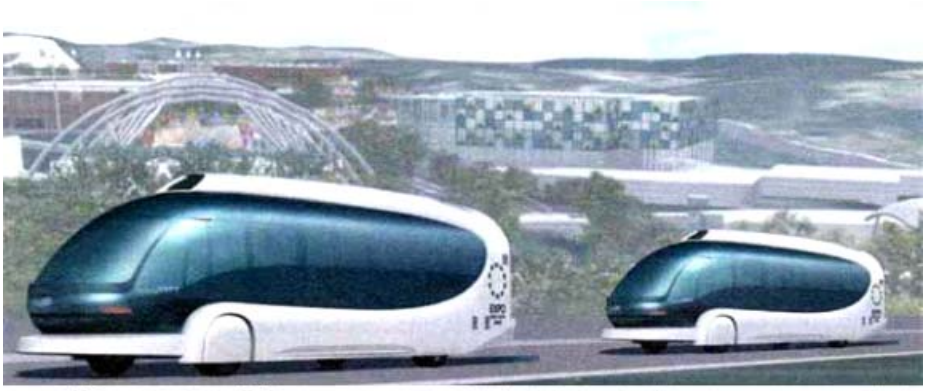
- 브레이크 조작도 스티어링 조작도 차가 대신 해주게 된다면 가까운 미래에 '자동으로 운전해주는 차'가 실용화 되는 것은 아닌가하고 자연히 예상할 수 있다. 그러나 실제로 현실까지의 길은 멀다.

- Honda는 이번 "Inspire"에서 실현한 기능을 '추돌 경감 브레이크'라 부르고, '어디까지나 운전자의 브레이크 조작을 보조하기 위한 것'(Honda 이바라키연구소 C4 개발 블록 연구원 오다카氏)으로 간주하고 있다. 실제로 "Inspire"의 카탈로그에 '추돌 경감 브레이크(CMS)는 추돌을 자동으로 회피하거나 자동으로 정지하는 시스템은 아닙니다. CMS의 기능에는 한계가 있습니다'라고 명시해 두고 있다.

다. Pre-crash safety 기술을 이용한 자동 운전

- 자동차 회사가 Pre-crash safety 기술이 자동 운전으로의 첫단계로 간주되는 것을 경계하는 이유 중 하나에는 업계 전체의 가이드 라인이 있다. 본래 이러한 Pre-crash safety 기술은 국토교통성이 자동차 회사 13개社 및 학식 경험자 등과 추진하는 국가 프로젝트 'ASV(선진 안전 자동차) 프로젝트' 내에서 개발이 진행되어 왔다.

- ASV는 전자 기술을 응용함으로써 자동차를 지능화하여 사고 예방과 회피 능력 향상에 도움이 되게 하는 것으로 제1기(1990년부터 5개년 계획), 제2기(1995년부터 5개년 계획)가 종료되고 2005년까지의 5개년 계획인 제3기 계획도 완료되었다. Pre-crash safety 기술은 ASV 프로젝트의 제2기 계획 중에 개발되었다.
- 프로젝트를 진행하는 ASV 검토회에서는 시스템 그 자체 개발 외에 이러한 시스템이 어떻게 추진되어야 할 것인가를 검토해 왔다. 이 결과를 '운전 지원에 대한 생각'으로 정리하여 2003년 6월 하순부터 7월 하순에 걸쳐 Public comment를 모집하였다.
- 여기에는 '운전자가시스템에 과도한 의존이나 불신 없이 적정한 신뢰를 얻을 수 있도록 시스템이 배려되어 있는 것'이라는 항목이 포함되어있다. 결국 인간은 이 시스템에 과도하게 의존하게 되어 운전을 소홀히 해서는 안된다는 것을 이 항목이 경고하고 있는 것이다.
- 실제로 자동 운전은 현행 법규에서는 불가능하다. 왜냐면 경찰청 관할의 도로 교통법 제70조에 '운전자의 의무'로써 '차량 운전자는 해당 차량 등의 핸들 및 브레이크 기타 장치를 확실하게 조작하고, 도로와 교통 및 해당 차량 등의 상황에 따라 타인에 해를 끼치지 않는 속도와 방법으로 운전해야 한다'고 정해져 있기 때문이다.
- 도로 이외의 부분까지 포함되는 모든 도로상에서 무인 운전이 가능하게 되는 기술 개발은 확실히 아직 상당한 시간이 걸릴 듯 하다. 고속 도로상에서의 자동 운전조차 '외부의 쓴소리를 배재하기 위해서는 자동 운전하는 차의 전용 라인을 만들지 않으면 어려울 것'이라고 Honda의 오다카氏는 지적한다.
- 그러나 조금씩 자동 운전을 목표로 한 기술이 결실을 맺기 시작하고 있다. Toyota는 'IMTS(Intelligent Multimode Transit System)'의 도입을 2003년 7월에 발표하였다<그림 4>. 이는 일본국제박람회에 일정 구간의 이동용으로써 전용 도로를 무인 자동 운전하는 시스템이다.
- 이러한 시스템은 주행로 중앙에 매설된 자기(磁氣) 이정표를 따라 자동 운전되는 버스 3대가 대열 주행하는 것(선두 차량에는 승무원이 탑승)이다. 운전 표시에 근거하여 역 정지·발차도 포함하여 자동적으로 속도 제어·정지 동작을 한다. 차량간의 통신과 지상 신호 장치에 따라 자동적으로 브레이크 제어하여 충돌을 예방하는 기능도 갖추고 있다.



<그림 8>IMTS 예상도 Toyota가 아이치에서 열리는 EXPO2005 에서 운행 예정인 자동 무인 운전버스.

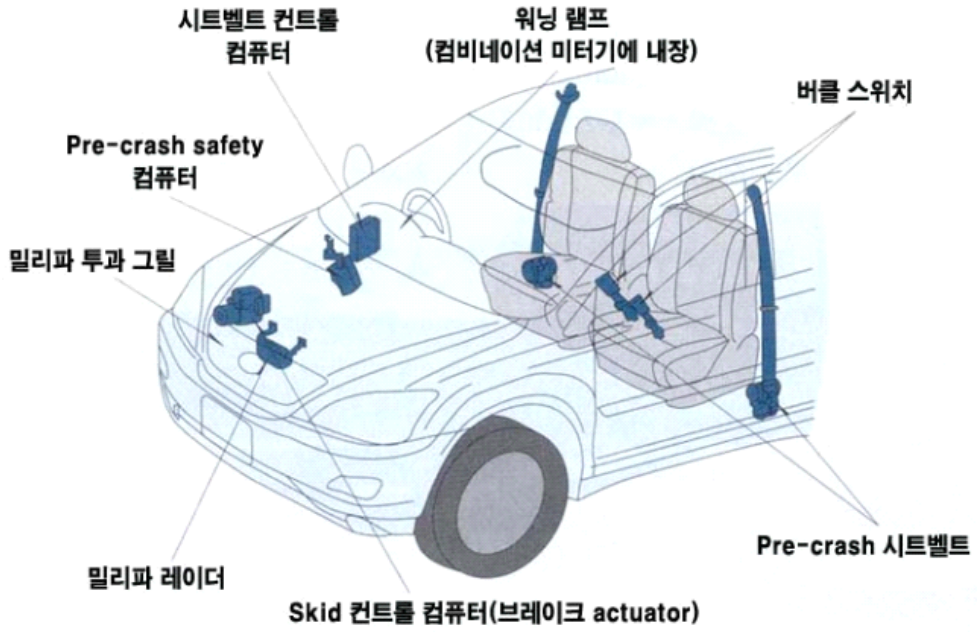
- 철도와 비교하면 레일, 변전 설비 등이 필요 없고 건설 비용과 보수 비용이 저렴한 것 이외에 차량의 최소 회전 반경이 작으며 경사진 곳을 오르는 능력이 높은 점 등의 특징이 있다고 한다. 또 IMTS의 차량은 전용 도로에서는 자동 운전이 가능하지만, 일반 도로에서는 운전자가 직접 운전을 하는 것도 가능하기 때문에 노선 설정의 선택 폭이 넓다는 것도 장점이다.
- 일반 도로에서의 무인 운전은 이러한 전용 도로에서의 경험을 거듭한 다음에 이루어지게 된다. 우선은 고속 도로에 전용 레일을 두고 주행 차량도 버스와 트럭으로 한정하고 주행 코스도 정해진 지점만 왕복하는 것뿐이다. 게다가 완전한 자동 운전이 아닌 선두 차량은 인간이 운전하고 뒤따르는 여러대의 무인 차량과 대열 주행한다. 최초의 공공 도로에서의 자동 운전은 이러한 한정된 조건에서 출발하게 될 것이다.

2. 자동차 예방 안전 기술 동향 (2/2) (원전 : Nikkei Mechanical 2003/08)

- 충돌을 피할수 없다고 판단하면 브레이크를 작동시키는 Honda와 오히려 브레이크 작동을 보류한 Toyota. 이는 같은 Pre-crash safety 시스템이라해도 방향이 나뉘어져 있다. 그러나 그 배경이 되는 사고 방식에는 그다지 차이가 없다. 즉 '사람의 동작을 차가 도와주는 것이 기본으로써 사람의 의지를 거스르면 안된다는 것'이다. 또한 값비싼 레이더를 탑재하지 않은 간편한 시스템을 우선 실용화는 회사도 있다.

가. Toyota "Harrier"에 탑재된 Pre-crash 시스템의 구성

- Toyota와 Honda의 Pre-crash safety 시스템의 구성은 둘 다 아주 비슷하다. Toyota가 "Harrier"에 탑재한 시스템은 차체 전방에 장착한 밀리파 레이더와 충돌을 사전에 판단하는 컨트롤 유니트 'Pre-crash 컴퓨터', 충돌 전에 시트벨트를 조이는 'Pre-crash 시트벨트', 브레이크를 밟으면 금방 제동력이 발생하는 'Pre-crash 기어 시스템'으로 구성되어 있다<그림1>.



<그림1>Toyota가 "Harrier"에 탑재한 Pre-crash safety 시스템의 구성

- 밀리파 레이더는 전파를 발신하여 반사파가 되돌아올 때까지의 시간으로 장해물과의 거리를 구하고, 또 도플러 효과에 의한 반사파의 주파수 변화로 장해물과의 상대 속도를 구한다. 이 레이더는 약 150m 앞까지의 장해물을 포착한다.

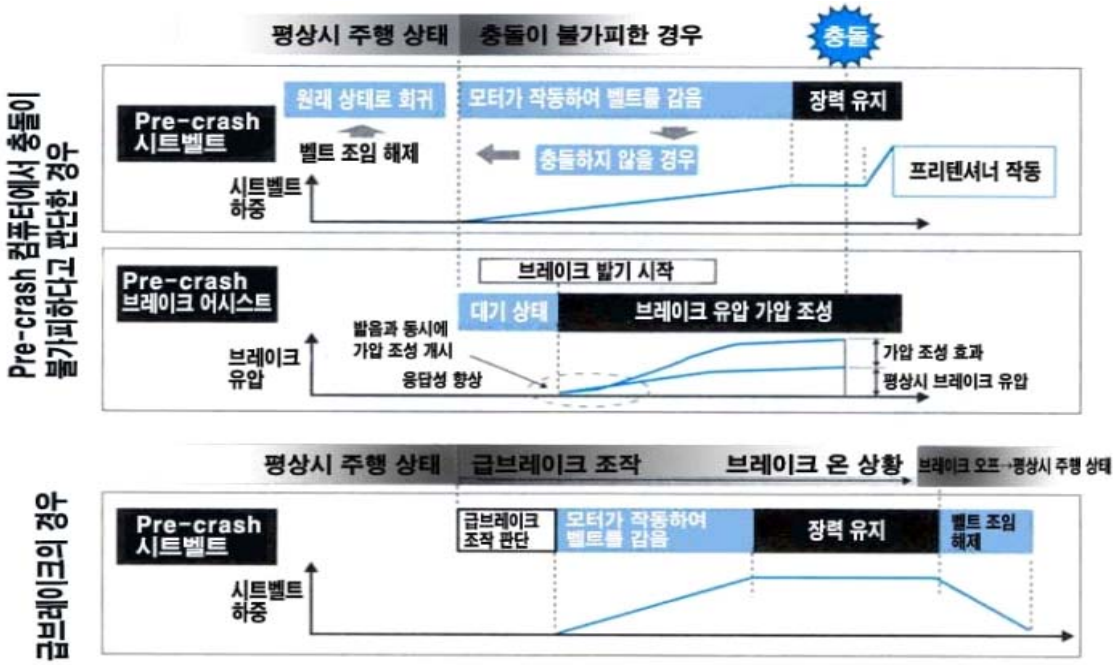
- 컨트롤 유니트(제어 장치)로 자기 차의 속도와 진로, 운전자의 운전 조작 등의

상황으로부터 자신의 차가 선행차나 맞은편에서 오는 차, 대형 장해물들과 충돌할 것인지를 판단한다. 이 컨트롤 유니트가 충돌을 피할 수 없다고 판단하면 느슨한 시트벨트를 충돌 전에 모터로 감아 탑승자를 고정시킨다.

- 컨트롤 유니트가 충돌 판단을 내리는 것은 충돌 약 1초전이다. 그리고 전용 모터를 사용하여 0.3~0.4초만에 시트벨트의 느슨함을 조인다. 그 후 실제로 충돌했을 경우는 기존의 프리텐셔너가 달린 시트벨트와 마찬가지로 화약의 폭발력으로 시트벨트를 급속하게 감아 강한 힘으로 시트의 탑승자를 고정시킨다.

- 충돌하기 전에 시트벨트의 느슨함을 없애 두면 그 후에 프리텐셔너가 달린 시트벨트로 강하게 조이는 효과가 높아진다. 모터에 의한 시트벨트의 작동은 화약에 의한 작동과 달리 몇번이나 작동이 가능하다는 이점이 있으나 현 시점에서는 조임 속도가 빠르지 않아 실제로 충돌한 뒤 조이는 것은 소용이 없다. 때문에 모터와 화약 양쪽을 준비할 필요가 있다고 한다.

- 한편 Pre-crash 브레이크 어시스트는 컨트롤 유니트가 충돌을 피할 수 없을 것으로 판단하면 브레이크 어시스트가 언제라도 작동할 수 있도록 시스템 내의 유압 펌프를 작동시켜 유압을 올려둔다. 그러므로 가볍게 브레이크를 밟는 것만으로도조기에 커다란 제동력을 발생할 수 있다<그림2>.



<그림2>Toyota의 Pre-carsh safety 시스템의 동작 충돌이 예견되면 시트벨트를 조여서 탑승자를 고정함과 동시에 브레이크 어시스트의 유압을 올림. 충돌이 예견되지 않더라도 급브레이크를 밟으면 시트벨트를 조이는 동작을 준비함.

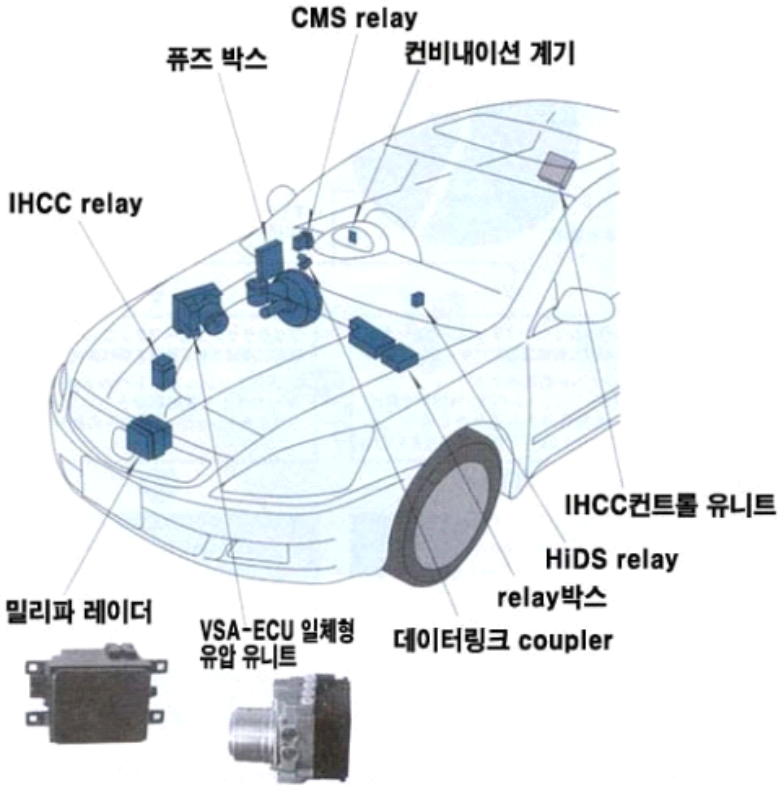
- 보통의 브레이크 어시스트는 브레이크 페달을 밟는 속도가 빠르면 긴급 제동으로 인식하고 거기서부터 펌프를 작동시켜 브레이크의밟는 힘을 전자 제어로 보조한다. 이에 대해 이번 Pre-crash 브레이크 어시스트는 브레이크 페달을 밟기 전부터 브레이크 어시스트를 작동시켜 브레이크 조작에 대한 응답성을 높인 것이 종전과는 다른 점이다.

- 또, 레이더 등으로 충돌을 예견하지 못했을 경우라도 운전자가 브레이크를 강하게 밟으면 평상시대로 브레이크 어시스트가 작동하는 것은 물론 Pre-crash 시트벨트가 작동하여 충돌에 대비해 탑승자를 고정하는 기능도 갖추고 있다.

- Toyota는 이번 시스템이 보급된 경우의 교통 사고 사망자 저감 효과를 계산하였다. 이것에 의하면, 일본의 교통 사고 사망자수 9,066명(1999년) 중 자동차에 승차중일 때의 사망은 43%이다. 이 중 이번 시스템으로 충돌을 예견할 수 있다고 보는 경우는 연간 약 70명, 이번 시스템으로 충돌을 예견하지 못해도 급브레이크에 의해 Pre-crash 시트벨트가 작동되리라고 보는 경우는 연간 약 35명으로 합해서 연간 약 100명의 사망자를 줄일 가능성이 있다고 한다.

나. Honda Pre-crash 브레이크 시스템의 특징

- Honda의 Pre-crash safety 시스템도 구성은 대부분 Toyota와 동일하다. 밀리파 레이더도 충돌을 사전에 판단하는 'IHCC 컨트롤 유니트', 충돌 전에 시트벨트를 감아주는 E-프리텐셔너와 'E-프리텐셔너 제어 ECU', 충돌을 피할 수 없다고 판단하면 브레이크를 작동시켜서 감속하는 'VSA-ECU 일체형 유압 유니트' 등으로 구성되어 있다<그림3>.



<그림3>Honda "Inspire"에 탑재한 Pre-crash safety 시스템의 구성

- 밀리파 레이더를 사용하여 충돌할 것인가를 사전에 판단하는 점은 Toyota와 같지만 Honda의 경우는 충돌을 피할 수 없다고 판단하면 차량이 자동적으로 브레이크를 걸어 감속하는 것이 특징이다. 단순히 제동력을 부가하는 것만이 아니라 충돌할 것으로 판단하면 이를 운전자에 전달하는 방법에도 연구가 필요하다. 예를 들면, 40㎞/h의 상대적 속도차가 있는 앞차에 근접했을 경우 시스템은 다음과 같이 작동한다<그림4>.



<그림4>Honda의 추돌 경감 브레이크 'CMS'의 작동 상황 앞에서 주행하는 차에 접근하면 우선 경고하고 추돌 회피가 곤란하다고 판단되면 브레이크에 의한 감속으로 충돌 속도를 경감함.

- 충돌이 예상되는 약 3초 전에 상당하는 거리에 근접하면 우선 '딩동'하고 경보음이 나고 동시에 계기판 중앙에 'BRAKE'라는 경고 표시가 점화된다. 이렇게 드라이버에게 청각과 시각적으로 충돌 위험성을 경고하여 충돌 회피를 촉진한다. 더욱이 충돌 2초전에 상당하는 거리까지 근접한 경우는 자동적으로 브레이크를 가볍게 걸어가면서 시트벨트를 2~3회 감아주어 체감적으로 경고를 한다.
- 이 시점에서 운전자가 브레이크를 밟으면 긴급 제동으로 판단하고 브레이크 어시스트를 순간적으로 작동시켜 운전자의 회피 조작을 지원한다. 그러나 충돌 0.7초 전에 상당하는 거리가 되면 제어 유니트가 충돌 회피는 곤란하다고 판단하고 시트벨트를 강하게 감아 느슨함을 없애 충돌에 대비함과 동시에 자동적으로 강하게 브레이크를 걸어 충돌 속도를 저감한다. 그러나 차량이 정지할 때까지 계속해서 제동력을 유지하는 것은 아니다.
- 자동적으로 브레이크를 걸 것인가 걸지 않을 것인가에 대해서 Toyota와 Honda의 선택은 갈라졌다. 브레이크를 자동적으로 작동시키는 기능을 보류한 이유를 Toyota 차량기술본부의 쿠즈마키氏는 다음과 같이 설명한다. '사람이 하는 동작을 차가 보조한다라는 것이 기본이다. 자동적으로 브레이크를 건다는 것은 아무래도 사람의 정서에 반하는 것을 차가 해버릴 가능성을 내포하고 있다. 예를 들어 추돌을 피하는 경우에는 브레이크를 거는 것 보다도 핸들을 꺾어 피하는 편이 빠르다.

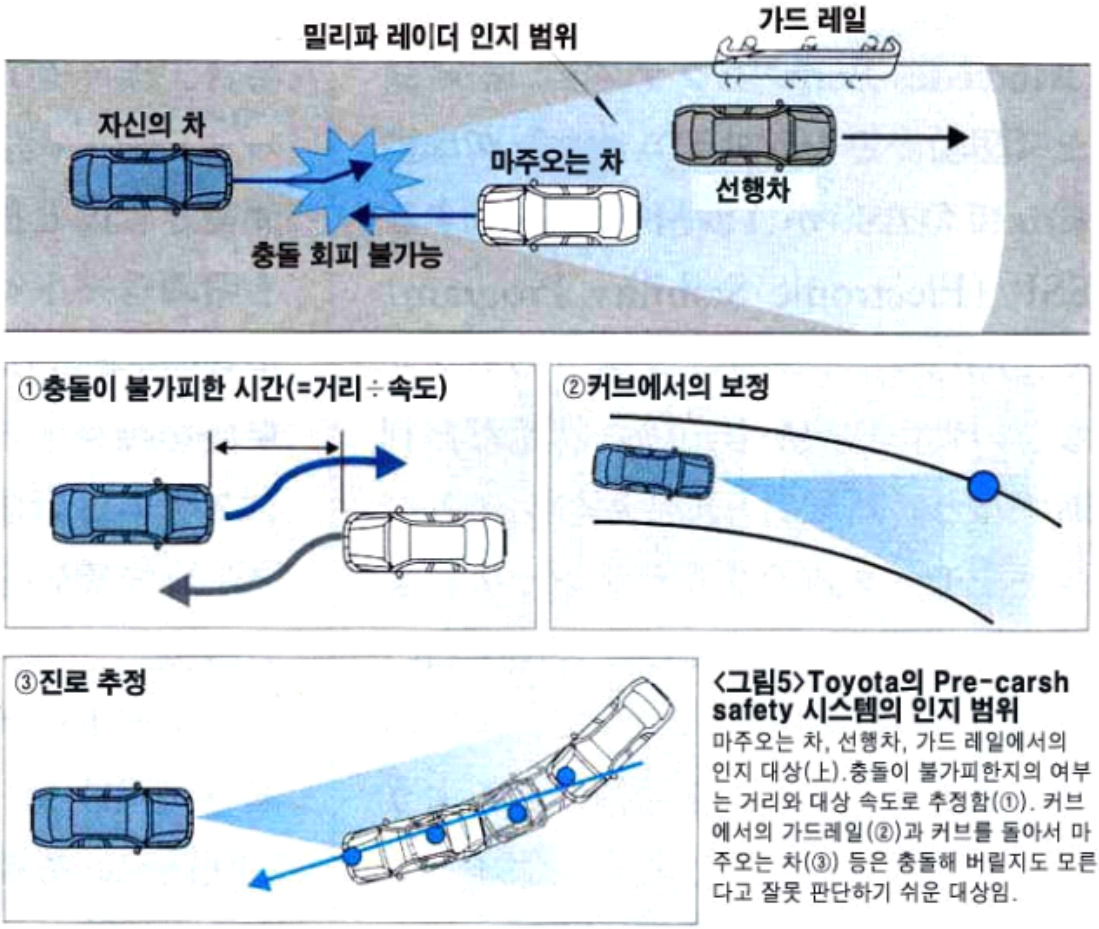
이때는 감속하는 것이 최선이 아닐 수도 있다′

- 한편 Honda도 감속 동작은 하지만 시스템에 대한 개념은 Toyota와 큰 차이가 없다. ′운전자가 핸들 조작 등으로 충돌을 피하려는 경우에 차가 마음대로 정지하는 것은 운전자의 의지에 反할 수도 있다′(Honda 이바라키연구소 오다카氏). 바로 이것이 감속은 하지만 정지까지는 하지 않는 이유이다′

다. 브레이크 시스템의 인지 대상 구분에 있어 양사의 차이점

- Toyota, Honda가 고심한 것은 충돌 가능성이 있는 장해물과 그렇지 않을 것을 어떻게 구분하는가 하는 것이다. 여기에는 Toyota와 Honda의 차이가 명확하게 나타난다. Honda는 충돌할 것 같은 상황이 되면 자동적으로 브레이크를 거는 ′CMS′를 ′추돌 경감 브레이크′라고 부르고 카탈로그 등에서도 추돌시의 충격을 경감하는 기능만을 강조하고 있다. 자동차가 관여된 사고 전체의 30% 이상을 추돌이 차지하고 있어 건 수로는 가장 많다.

- 이에 비해 Toyota는 선행차 뿐만이 아니라 반대편에서 오는 차나 정지되어 있는 차, 도로상의 장해물까지 인식의 대상으로 하고 있다<그림5>.



<그림5>Toyota의 Pre-carsh safety 시스템의 인지 범위
마주오는 차, 선행차, 가드 레일에서의 인지 대상(上).충돌이 불가피한지의 여부는 거리와 대상 속도로 추정함(①). 커브에서의 가드레일(②)과 커브를 돌아서 마주오는 차(③) 등은 충돌해 버릴지도 모른다고 잘못 판단하기 쉬운 대상임.

- 경상 사고까지 포함한 발생 건 수 전체를 보면 확실히 추돌 사고가 많은 것은 사실이지만 사망자와 중상자가 발생하는 사고에서는 단독사고, 정면충돌, 좌측이나 우측으로 꺾을 때의 사고 등이 많다. 때문에 이러한 사고도 인지의 대상에 포함시켰다고Toyota의 쿠즈마키氏는 말한다.
- 그러나 이러한 다양한 사고 형태에 대응시키려고 하다 보니 충돌 가능성이 있는지 어떤지의 판단이 매우 어려워진다. 예를 들면 커브를 돌고 있는 도중에 도로 옆 전신주가 서 있는 경우 자신의 진로에 방해물이 있다고 판단해 버릴 가능성이 있다. 이러한 실수를 예방하기 위해서 Toyota는 충돌의 위험이 있는지를 판단하는 재료로써 차가 코너링 중인지 어떤지를 Yaw-rate센서나 운전자가 스티어링을 조작하고 있는지 여부를 검지하는 스티어링센서의 정보도 Pre-crash safety 컴퓨터에 입력하고 있다.
- 왜냐면 스티어링의 조타각이나 Yaw-rate센서로부터의 정보로 자신의 차가 어느

방향으로 진행하려고 하는지를 추정하여 장해물과 충돌할지 어떨지를 다각적으로 판단하려는 이유 때문이다. 자신의 차가 우회전시에 맞은편 차가 근접해 오는 듯한 상황도 마찬가지이다.

- 다른 경우로써 커브를 돌아서 마주오는 차선의 차량도 충돌 위험이 있을 것으로 판단할 가능성이 있다. 때문에 Toyota의 충돌 추정 알고리즘은 레이더에서의 수신 신호 1회만으로 충돌할 것인가 말 것인가를 판단하는 것이 아니라 수차례의 수신 신호로 대상의 진로를 추정하여 충돌 여부를 판단하도록 되어있다.

- 그러나 이러한 추정 알고리즘에 의한 판단에서도 오인의 가능성을 제로로 할 수는 없다. 때문에 "Harrier"의 기술 설명서 등에서 Toyota는 이러한 경우에서는 '충돌의 가능성은 없어도 Pre-crash 시트벨트나 Pre-crash 브레이크 어시스트가 작동하는 경우가 있다'라는 문장을 덧붙였다.

- Honda의 CMS에서도 반대편 방향의 차나 도로 위 장애물 등을 시스템 인지 대상으로 하고 있다. 그러나 카탈로그 등에 강조하지 않는 이유는 충돌 이 외에서는 시스템이 유효하게 작동하지 않을 경우도 많을 것이라고 생각하기 때문이다. 예를 들어 갑자기 마주오는 차가 나타났을 경우 등에는 시스템이 대응할 수 없다. 이렇게 대응이 불가능한 경우가 많은 케이스에 대해서 효능을 강조하면 운전자에게 잘못된 기대를 갖도록 만들어 버린다. 바로 이점을 Honda는 우려했다.

- 덧붙여 '추돌 사고는 한눈을 파는 것이 원인의 대부분인 것에 대해, 코너링 중이나 우회전시 운전자가 앞을 안보고 않다는 등의 상황은 생각하기 어렵다' (Honda의 오다카氏)라는 이유도 있었다.

라. Toyota와 Honda의 Pre-crash safety가 안고 있는 공통 문제

- 그러나 Honda와 Toyota의 Pre-crash safety 시스템이 공통적으로 안고 있는 문제는 비용이 높다는 것이다. Honda의 CMS와 E-프리텐셔너는신형 "Inspire"의 최고급 등급 'Avanzare'에만 탑재된다. 이 등급은 그 아래 등급과 비교하여 55만엔이 비싸다. 오디오, 전동 선쉐이드 등 그 외 장비 차이도 포함되어 있다고해도 40만엔 정도는 Pre-crash 시스템에 쓰여지고 있는 듯하다.

- Toyota도 예방안전 시스템에 대해서는 레이더식의 크루즈 컨트롤, 사이드 에어백, 커텐 에어백과 세트로 옵션 가격을 설정하고 있어 단품 가격은 알 수 없다. Toyota에 의하면 '실질적으로는 32만엔 정도'라고 말한다.

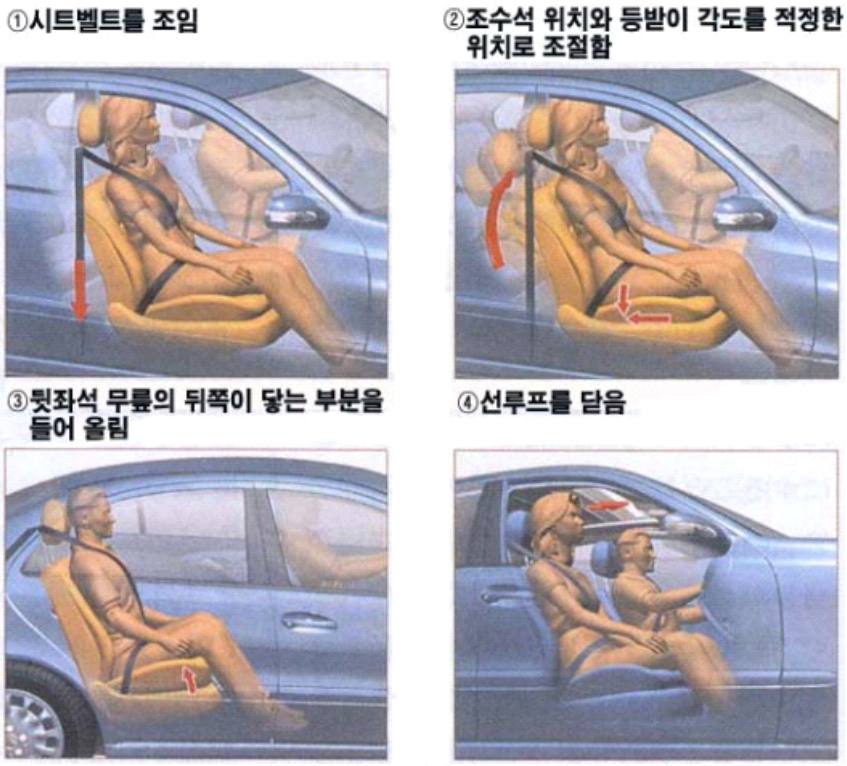
- Honda와 Toyota의 시스템이 고가인 최대 원인은 밀리파 레이더의 값이 비싸기

때문이다. 밀리파 레이더를 일반 생활기기로 응용한 예가 이제까지 없었던 것이 그 이유이다. 지금까지 선행차와의 거리를 일정하게 유지하는 기능을 갖춘 크루즈 컨트롤 시스템에서는 선행차와의 거리를 측정하기 위하여 레이저를 사용하는 예가 많았다. 밀리파 레이더보다 저렴하기 때문이다.

- 그러나 레이저를 사용한 차간거리의측정은 비와 눈 등의 기후에 감도가 크게 좌우된다. 따라서 차의 안전성을 좌우하는 센서로서는 기후에 좌우되기 어려운 밀리파 레이더가 필요하다고 각 자동차 메이커는 판단한 것이다.

- 한편 보급을 중시하여 높은 비용의 레이더를 사용하지 않고 보다 간편한 시스템을 실용화 한 회사도 있다.

- DCX는 'PRE-SAFE'라 부르는 안전 장치를 개발하여 2002년 가을에 부분 개량한 고급차 'Mercedes-Bentz S 클래스'에 탑재하였다. 이 시스템은 레이더를 탑재하고 있지는 않으나 옆으로 미끄러짐을 방지하는 ESP(Electronic Stability Program)와 ABS, 브레이크 어시스트 센서 등 동작 상황에서 위험한 상태라고 판단되면 운전석과 조수석의 시트벨트를 모터식의 프리텐셔너에 의해 충돌 전에 감아주고 조수석의 등받이 각도를 원래대로 돌려 에어백이 최대한의 효과를 발휘할 수 있도록 탑승자의 자세를 최적화한다<그림6>.



<그림6>PRE-SAFE의 기능 충돌을 예견하면 시트벨트를 조이는 등 탑승자의 상해를 억제함.

- 게다가 충돌시에 뒷좌석의 탑승자가 전방으로 튕겨나가는 것을 방지하기 위해 뒷부분 시트의 무릎 뒷편이 닿는 부분을 윗쪽을 향해 전동으로 들어올리거나, 자동차가 옆으로 미끄러지기시작하면 썬루프를 자동적으로 닫는 기능도 갖추고 있다. DCX의 조사에의하면 도로 자동차 사고의 2/3는 충돌하면 운전자가 인식하는 순간부터 실제로 충돌하기까지 수초간으로 비교적 긴 시간이 걸린다고 한다. 이 몇 초 사이에 운전자가 사고를 인지하고 사고를 회피할수 있도록 하는 것이 이 시스템의 목적이라 할수 있다.

- 그 후 Nissan도 2002년 12월, 드라이버의 브레이크 조작을 검지하여 브레이크를 밟는 속도와 밟는 양에서 충돌을 피할 수 없을 것으로 판단한 경우 모터식의 프리텐셔너에서 운전석과 조수석의 시트벨트를 감아 탑승자를 고정시키는 시스템 '긴급 브레이크 감응형 Pre-crash 시트벨트'를 개발하고 2003년에 발매하는 고급차에 탑재할 것을 발표했다. Nissan은 충돌 후 프리텐셔너가 작동하기 전에 모터로 시트벨트를 감는 기술로 기본 특허를 일본과 미국 그리고 독일에서 취득하고 Toyota에도 그 특허를 제공하고 있다. 이른바 Pre-crash 시트벨트의 本家인 것이다.

- Toyota의 쿠즈마키氏도 레이더의 비용이 비싼 상황에서는 보급 가격대의 차종에 레이더 없이 Pre-crash safety 안전 기술을 도입하는 것은 '충분히 생각할 수 있다'고 말한다.
- 그러나 당초에는 레이더 없이 실용화를 노리던 Nissan이 최근 들어서 방향을 전환하고 있다는 정보도 있다. 他社가 레이더 부착 Pre-crash safety 기술을 실용화하는 것을 보고, 최초로 실용화하는시스템은 레이더를 장착함으로써 선행하겠다는 것이다. 그것이 사실이라면 일본의 자동차회사 3社 모두가 레이더식을 갖추게 되는 것이다.

3. 목표는 부딪히지 않는 자동차 (1/4) (원전 : Automotive Technology 2005 winter)

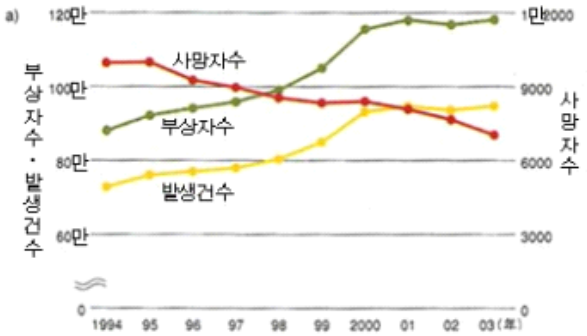
Part1. 왜 지금 "부딪히지 않는 자동차"인가?~ "교통사고 제로"를 목표로 한 각사의 다양한 어프로치~

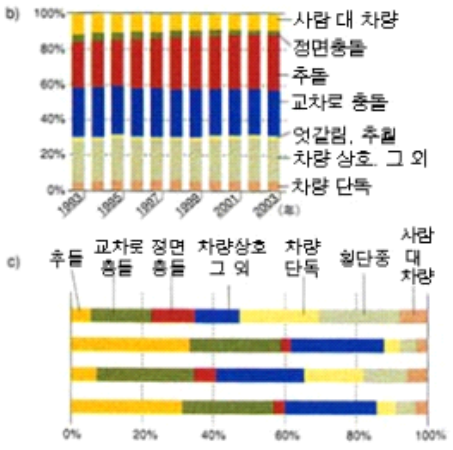
- 자동차메이커들이 "교통사고 제로에 도전하겠다."라고 선언하기 시작했다. 물론 그 길은 아직 멀다. 그러나 교통사고 건수가 계속 늘어나고 있는 지금, 수수 방관하고 있을 수는 없다. 레이더 및 카메라를 탑재하여 인간의 실수를 보완하는 기술이 잇달아 실용화되고, 한정된 조건에서 보행자를 인식하는 기술도 탑재가 시작되었다.

가. "추돌" "보행자"가 과제

- 교통사고가 계속 늘어나고 있다. 2003년 일본의 교통사고는 약 94만 8천건, 부상자는 약 118만 1천명으로 최근 9년간 각각 30%나 늘어났다.(그림1) 사망자수는 감소 경향을 보이고 있으나, 그래도 2003년에 약 7천 7백명이 희생되었다. 교통사고와 사망자수를 줄이는 것은 자동차메이커에게 있어서 최우선의 과제다.

그림1 교통사고의 실태
(a) 계속 증가하고 있는 교통사고. 사망자는 감소하고 있으나, 교통사고와 부상자는 계속 늘고 있다. (b) 교통사고의 상황별 비율. (c) 사망사고 등의 상황.
출전은 경찰청의 '교통사고 발생 상황의 추이'





- 2003년의 교통사고 발생 상황을 분류해보면, 앞서가는 차에 대한 "추돌"이 가장 많았고(31.1%), 교차점 등에서의 "충돌사고"가 그 뒤를 잇는다(25.8%). 한편 사망사고에서는 차내에서의 사망이 50%에 조금 못미치는 수치로 가장 많고, 보행중 사망도 30%를 차지하고 있으며 그 중60%는 "횡단중"에 피해를 입었다. 사고건수 및 사망자수를 줄이기 위해서는 "추돌"과 "교차로 충돌사고" 및 "횡단중인 보행자와

차량의 충돌"을 피하기 위한 노력이 필요하다.

- 계속 늘고 있는 사고에 대해 국토교통성과 자동차메이커가 수수 방관하고 있었던 것은 아니다. 1990년대 초부터 자동차를 고기능화함으로써 사고를 미연에 방지하는 ASV(선진안전자동차)를 개발, 순차적으로 실용화해왔다. 국토교통성은 ASV를 실용화함으로써 사고 및 중상자를 30%정도 경감할 수 있다는 계산도 냈다.(그림2) 유저도 ASV에 기대를 걸고 있으며, 80%가 ASV에 찬동(賛同)한다고 대답했다.

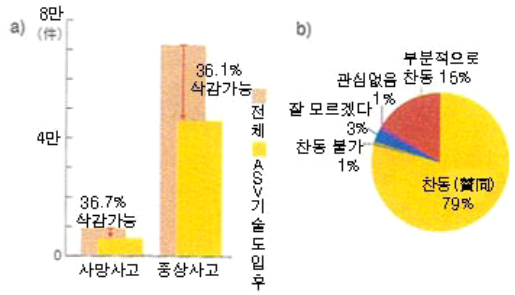


그림2 ASV(선진안전자동차)의 효과 예측과 기대
(a) ASV기술에 의한 효과 예측(국토교통성 1998년). 사망사고 및 중상사고를 30% 줄일 수 있다고 예측. (b) ASV에 대한 유저의 기대(국토교통성 2003년). 80%는 찬동한다고 대답.

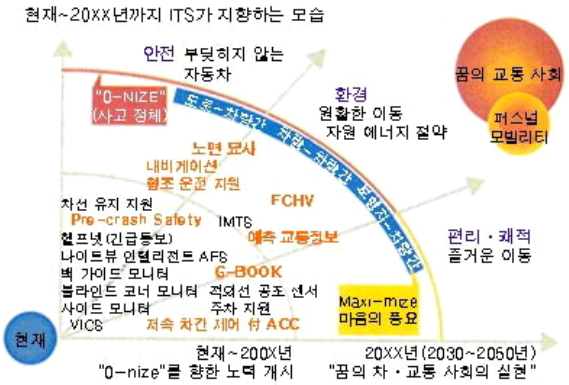


그림3 장래의 자동차가 지향하는 방향 (Toyota)
사고 및 정체가 없는 "제로나이즈"를 향한 노력은 막 시작되었을 뿐이라고 한다.

- 이러한 가운데 Toyota는 안전장비를 충실히 하는 방법 등으로 교통사고와 사상자를 제로로 만드는 목표 "0-NIZE"(제로나이즈)를 내걸었다.(그림3) 동사는 현재, 앞서가는 차와의 거리를 레이더로 검지하여 충돌 여부를 검지하는 "Pre-crash Safety System"이나 컴컴한 길에서도 앞쪽의 시계를 확보하는 적외선 카메라 "나이트뷰" 등을 실용화 하고 있다. 제로나이즈에 있어서 지금은 겨우 출발 지점에 선 단계다. 원대한 목표이기는 하지만, 자동차메이커가 "사고 제로"를 내세운 것은 획기적이라고 할 수 있다.

- 유저는 ASV와 같이 사망사고를 예방하는 자동차 뿐만이 아니라, 안심하고 운전할 수 있는 자동차도 바라고 있다. 대부분의 유저가 평상시 운전에서 "주차가 어렵다", "도로가 좁다" 등의 불편을 느끼고 있기 때문이다. 사고를 당하지 않는 것 뿐만 아니라, 장애물과 충돌하지 않는 차를 바라는 유저의 니즈도 높다.

나. 비용인가, 성능인가

- 상대가 자동차인가, 보행자인가 혹은 장애물인가 하는 차이는 있지만, "부딪히지 않는 자동차"를 실현하기 위한 핵심 기술이 센서 기술이라는 것은 공통된다. Nissan, Toyota, Honda는 선행차 추종 기능을 실현하기 위해 1990년대 후반부터 레이더를 자동차에 탑재하기 시작했다. 2003년 이후에는 레이더의 기능을 저속(低速) 추종 및 Pre-crash Safety System에까지 활용하게 되었다.

- 선행차 추종이나 Pre-crash Safety 등 각사의 안전 장비는 언뜻 보기에 큰 차이가 없는 듯 보인다. 그러나 센서를 사용하는 방법에 있어서는 의외로 큰 차이가 있다.(그림4)

- 특히 대조적인 것이 Nissan과 Toyota다. Nissan은 "안전장비는 보급할 때야말로 그 의미가 있다."라는 생각에서 저가격화를 중시한다. 이 때문에 한 대의 레이더로 복수의 안전기능을 실현하고 있다.(그림5) 선행차와의 충돌을 피할 수 없는 경우에 자동 브레이크를 거는 "인텔리전트 브레이크 어시스트", 충돌의 가능성이 높아졌을 경우 가볍게 브레이크를 거는 "브레이크 어시스트(프리뷰 기능 포함)", 저속 추종(10~40km/h)에서 고속 추종(40~100km/h)까지의 "인텔리전트 크루즈 컨트롤"이다.

- 또, 동사는 레이더로써 레이저 레이더를 사용하고 있다. 레이저 레이더의 가격은 밀리파 레이더의 1/3 정도로 낮은 것이 매력이다. "고기능이라도 가격이 높아서는 널리 보급 되지 않는다. 저가격으로 제공하여 사고를 조금이라도 경감하는 것에 의미가 있다."(Nissan 선행차량본부 주관 시로이시氏)

- 한편 Toyota는 다소 가격이 높아도 레이저 레이더와 밀리파 레이더 두 개를 사용하여 기능마다 용도를 구분하여 사용하고, Pre-crash Safety에서 레이더와 카메라를 조합하여 정밀도를 높인 인식 시스템도 채용하고 있다.(그림6)



그림4 안전장비에서 각사가 사용하는 레이더
선행차에 대한 추종기능, 선행차와의 충돌 여부를 판단하는 Pre-crash Safety 등에서 사용하는 레이더의 종류.

그림5 Nissan의 주요 레이더 변천
처음에는 밀리파레이더였으나, 비용이 저렴한 레이저레이더로 변경했다. 장래적으로는 자동 정지 및 자동 발진으로 진화시키고 싶다고 한다. 또, 차선 이탈 경보용 카메라로 레이저레이더를 조합한 시스템을 검토하고 있다.

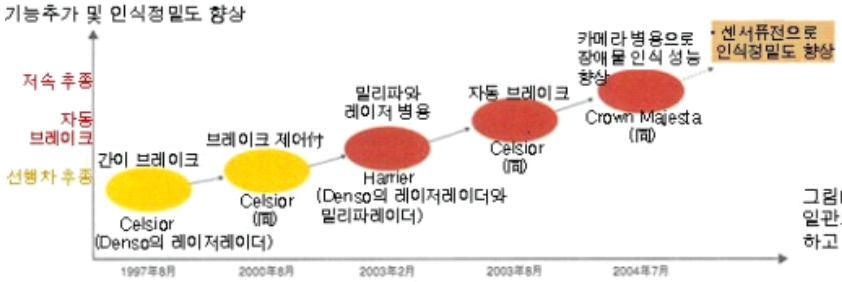


그림6 Toyota의 주요 레이더 변천
일관되게 Denso의 레이더를 채용하고 있다.

- 동사는 당초 선행차 추종용으로써 레이저 레이더를 사용하고 있었는데, 2003년 2월 "Harrier"에서 Pre-crash Safety에 대응한 것을 계기로 레이저 레이더와 밀리파 레이더 양쪽을 사용하기 시작했다. Pre-crash Safety를 장비한 차량은 선행차 추종에도 밀리파 레이더를 사용하며, 그렇지 않은 차량은 선행차 추종에 레이저 레이더를 사용한다.

- 또, 2004년 7월에 발매한 "Crown Majesta"에서는 그 때까지의 선행차 추종 기능(40~100km/h)에 세계 최초로 저속 추종 기능(0~30km/h)을 더했다. 레이저 레이더의 검지각(角)을 넓힘으로써 레이저 한 대로 저속 추종에서 고속 추종까지 대응했다.

- 레이저 레이더는 파장이 밀리파 레이더에 비해 짧기 때문에 우천시에 약하다고 알려져있다. 이 때문에 Toyota는Pre-crash Safety System에는 밀리파 레이더를 사용하고 있다. "레이더에는 장단점이 있기 때문에 기능에 따라 센서를 구분하여 사용했다. 앞으로는 복수의 센서를 조합하여 인식 정밀도의 향상을 도모하고 싶다."라는 방침이다.

- 그 예가 "Crown Majesta"의 Pre-crash Safety System다. 종래의 밀리파 레이더에 차선유지 지원 시스템용 카메라를 조합함으로써 장애물의 인식 정밀도를 향상시켰다. 충돌할 것인가, 하지 않을 것인가를 보다 이른 단계에서 검지할 수 있다고

한다.

- Toyota와 같이 복수의 센서를 조합하는 "센서 퓨전"에 의해 인식 성능을 향상시키고자 하는 움직임은 Nissan에서도 찾아볼 수 있다. 그러나 새로운 기능을 만들어 내는데 새로운 센서를 도입하는 것이 아니라, 하나의 센서를 복수의 기능으로 공용(共用)하여 하드웨어의 비용 상승을 피하면서 기능의 향상을 도모한다는 방침이다.

- 예를 들어 동사가 북미에서 2004년 말에 발매한 "Infiniti FX45"는 차선 이탈 경보용으로 카메라(30만화소 흑백)를 갖추고 있는데, "장래적으로는 이 카메라와 레이저 레이더를 조합한 새로운 시스템을 도입하고 싶다."라고 한다.

- 한편, 선행차 추종 및Pre-crash Safety System에서 밀리파 레이더를 채용하고 있는 Honda는 지금 현재 차량의 전방 장애물 인식에 관해서는 센서 퓨전은 생각하고 있지 않다고 한다.(그림7) 타사와 같이 차량 전방의 인식에 힘을 쏟는 것 보다는 센서로 감시하는 범위를 넓히는 것을 중시하고 있기 때문이다. "자동차 사고는 측방 및 후측방으로부터의 충돌도 있다. 전방의 인식 정밀도를 더 높이는 일에 비용을 들이는 것 보다도 레이더를 차의 측방 및 후측방에 탑재하는 것이 효과가 있다."라는 생각이다.

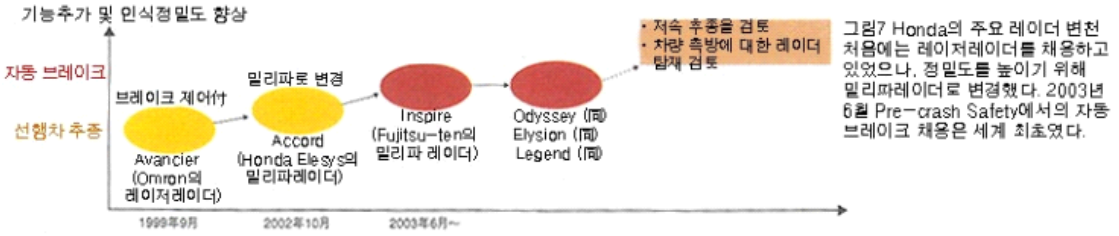


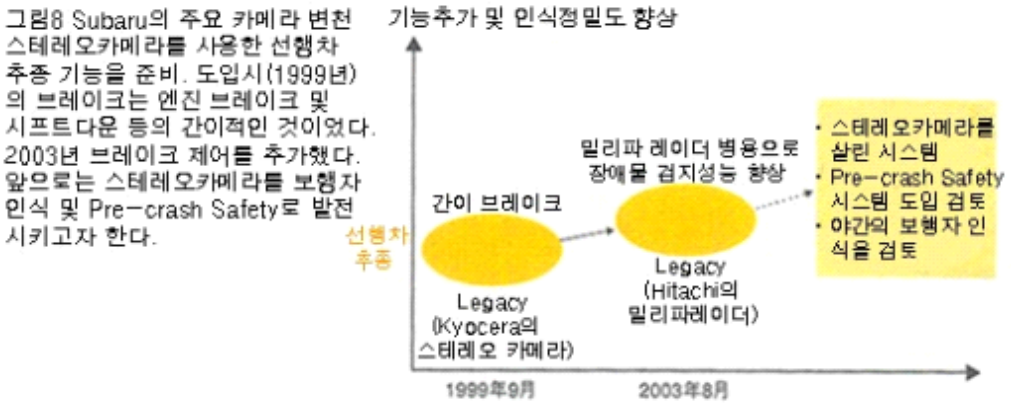
그림7 Honda의 주요 레이더 변천
처음에는 레이저레이더를 채용하고 있었으나, 정밀도를 높이기 위해 밀리파레이더로 변경했다. 2003년 6월 Pre-crash Safety에서의 자동 브레이크 채용은 세계 최초였다.

다. 카메라로 보행자 인식

- Subaru는 레이더가 아닌 카메라를 사용한 안전기술을 추구하고 있다. 동사는 스테레오 카메라를 이용한 선행차 추종 기능을 타사보다 앞서 상품화 했다.

- Subaru는 타사와 같이 레이더를 중심으로 하는 것이 아니라 "모든 안전기능을 스테레오 카메라 중심으로 전개한다"는 방침이다. 1999년 9월에 발매한 "Legacy"에서 스테레오 카메라를 채용하여 선행자 추종을 시작했다. 그러나, 우천시에는 카메라의 화상이 선명하지 않아 선행차를 인식하기 어려운 경우가 있었기 때문에, 2003년 8월부터는 밀리파 레이더까지 탑재하게 되었다. 그래도 카메라로 우선 선행차를 인식하고, 잘 안보이는 부분을 레이더로 보충한다는 방식이었다.

- Toyota도 Pre-crash Safety System에서 카메라와 밀리파 레이더를 조합하고 있는데, "Toyota는 레이더를 중심으로 하며 레이더가 검지하기 어려울 때 카메라를 사용하지만, 당사는 카메라를 중심으로 하고 밀리파가 보완을 한다는 점이 다르다."(Subaru)

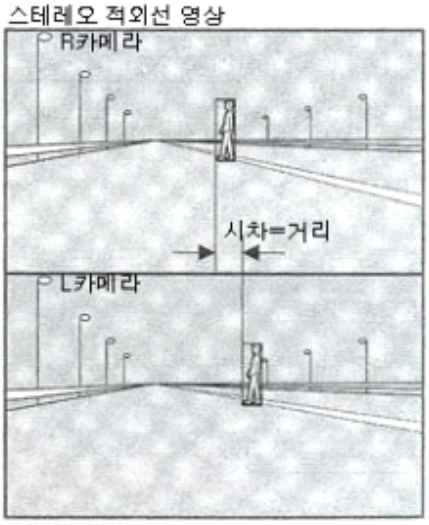


※ 대상물까지의 거리를 측정하는 삼각측량법

- 카메라로 촬영한 대상물까지의 거리를 측정하는 대표적인 방법이 "삼각측량법"이다.(그림) 스테레오 카메라에서는 Subaru의 "ADA", Honda의 "인텔리전트 나이트비전 시스템" 등이 채용하고 있으며, 단안(單眼) 카메라에서는 Aisin社가 개발중인 "차세대 주차 어시스트 시스템"이 채용하고 있다.
- 삼각측량법은 두 대의 카메라간의 거리, 카메라의 집점 거리, 좌우의 카메라에 비치는 대상물의 차이를 토대로 카메라에서 대상물까지의 거리를 산출한다. 단안 카메라로도 카메라를 이동시킴으로써 거리를 측정할 수 있다는 점에서, 카메라의 이동량을 알 수 있다면 스테레오 카메라에서 필요한 숫자와 맞춰 거리를 산출할 수 있다.
- 스테레오 카메라에 의한 측량법은 카메라간의 거리가 짧으면 산출하는 대상물까지의 거리의 정밀도가 낮아진다. 또, 카메라의 위치가 어긋나도 정밀도가 떨어진다. 자동차의 진동 및 흔들림 등에 강한 설계가 필요하다.

삼각측량법의 원리
Honda의 인텔리전트 나이트비전 시스템을 예로 든 그림

스테레오 적외선 영상



측거(測距), 위치 검출



4. 목표는 부딪히지 않는 자동차 (2/4) (원전 : Automotive Technology 2005 winter)

Part2. 차량 인식 기술~ 충돌 저감에서 충돌 회피로 진화하는 자동 브레이크~

- 교통사고의60%를 차지하는 "추돌"과 "교차로 충돌사고"에 대한 노력이 본격화 되고 있다. 특히 지금까지 인프라 정비 없이는 어렵다고 여겨져왔던 "교차로 충돌 사고"를 줄이는 시스템은 새롭다. 자동 브레이크의 기능도 충돌 경감에서 충돌 회피로 진화되고 있다. 브레이크를 보다 이른 타이밍에서 작동시키는 방법 등으로 사고를 방지한다.

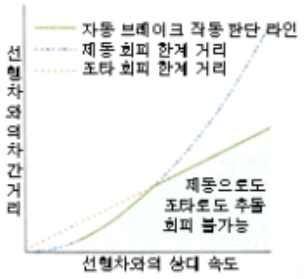
가. 장애물의 인식이 한계로

- 현재 각사가 실용화 하고 있는 Pre-crash Safety System은 자동차에 탑재된 레이더가 전방의 장애물과의 거리를 검지하여 충돌의 가능성이 나오면 운전자에게 경고를 준다. 결국 어떻게 해도 충돌을 피할 수 없는 상태가 되면, 약 0.6초 전에 자동 브레이크를 작동시킨다는 흐름이다.(그림1)

그림1 자동 브레이크가 작동하기까지의 흐름(Honda의 경우)
충돌 약 3초 전에 경보를 울리고, 충돌 약 1.8초 전에 가벼운 브레이크를 작동한다. 충돌을 피할 수 없게 되는 약 0.6초 전에 자동 브레이크를 작동시킨다.



그림2 자동 브레이크의 작동범위
자동 브레이크가 작동하는 것은 스티어링도 브레이크도 조작할 수 없는 상태. 국토교통성의 기술지침에 따른 것이다.
(Nissan 자료로부터)



- 이 "0.6초"라는 숫자는 "운전자가 조종 불능이 되기 때문에 자동 브레이크를 걸어도 좋다"라는 국토교통성의 기술 지침에 기반한 것이다. 이는 운전자가 스티어링도 브레이크도 조작할 수 없는 시간이라고 한다.(그림2)
- 충돌 직전의 자동 브레이크는 2003년 여름에 각 메이커가 일제히 채용했다. 2003년 6월에 Honda가 "Inspire"에서 세계 최초로 실용화한 것에 이어, 2003년 8월에는 Toyota가 "Celsior"에, Nissan이 "Cima"에 각각 탑재했다.
- 각사의 자동 브레이크는 자동차가 충돌할 때의 충격을 완화하는 역할을 한다. 유감스럽게도 장애물에 부딪히기 전에 자동차를 멈추는 것이 아니다. 감속도는 10~20km/h 정도에 그치기 때문에, 60km/h로 주행하고 있을 때는 충돌 직전에

40~50km/h 정도까지 감속하는 것에 지나지 않는다.

- 이상(理想)을 말하자면, 겨우 0.6초간이기는 해도 보다 강력한 브레이크를 걸어 속도를 더욱 줄이는 것이다. 그러나 자동차메이커 각사는 강력한 자동 브레이크를 단행하지 못하고 있다.

- 그 최대 이유는 레이더가 반드시 장애물의 위치를 정확히 파악할 수 있는 것은 아니라는 점이다.(그림3) 예를 들어 밀리파 레이더는 선행차의 차체 후부로부터의 반사파를 받아 선행차의 위치를 판단한다. 그러나 자동차의 후부는 복잡한 형상을 하고 있기 때문에, 반사파를 한결같이 검출할 수 없다. 이 때문에 선행차의 위치는 대략적일 수 밖에 없다. 한편, 레이저 레이더는 선행차의 리플렉터로부터의 반사파를 검출하고 있기 때문에 선행차의 위치나 크기를 인식하기 쉽다. 그러나 비나 안개 등 기후의 영향을 받으면 성능이 저하된다.

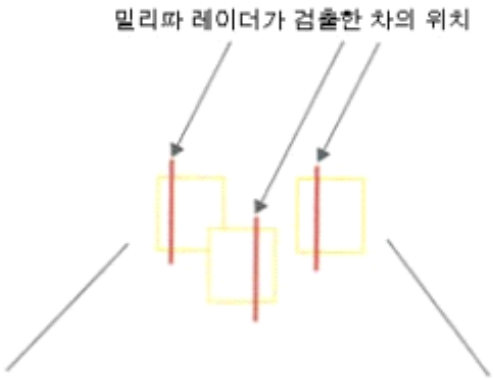


그림3 밀리파 레이더가 검출한 선행차의 위치
세로선이 밀리파 레이더가 검지한 선행차의 위치. 세로선이 반드시 자동차의 중심이라고는 할 수 없으며, 자동차의 좌단에서 우단까지의 어딘가가 반사되고 있는 것이다. 자동차 후부의 형상은 복잡하기 때문에 반사광이 불규칙하다.

- "밀리파 레이더와 레이저 레이더는 각각 장단점 분야가 있으며, 둘 다 완전하지는 않다."(Denso 안전주행기술1부 부장)

- 레이더가 선행차의 위치나 거리를 정확히 측정했다고 해도 선행차와 충돌한 것인가 아닌가를 예측하는 것은 어렵다. 실제로는 자신의 차와 충돌 상대의 차가 서로 움직이고 있기 때문에 충돌하느냐 마느냐는 최후의 최후까지 알 수 없다. "충돌할 것 같다고 판단했는데 선행차가 충돌 직전에 속도를 높여 충돌하지 않는 경우도 있다."(Honda)

나. 오작동을 피한다

- 이와 같이 장애물을 인식하기 어렵다는 것은 자동 브레이크가 오작동의 가능성

도 숨기고 있다는 것을 나타낸다. 예를 들어 커브를 돌고 있을 때, 벽면이나 마주 오는 차를 장애물로 인식하여 자동 브레이크가 오작동하는 일도 있을 수 있다. "오작동을 일으켜도 안전을 확보할 수 있도록…"이라는 것이 자동 브레이크를 막고 있는 이유다.

- 자동 브레이크를 강하게 하기 위해서는 장애물의 인식 정밀도를 높이는 것이 필요하다. 그러나 Nissan과 Honda는 전방 장애물의 인식 정밀도 향상에 대해서, 비용에 어상반한 효과를 기대할 수 없다는 생각에서 개발의 우선순위는 낮다고 한다. "충돌을 피할 수 없는 상황에서의 대응에 큰 비용을 들여봤자 사고 전체의 경감 효과는 낮다. 오히려 이른 단계에서 효과적으로 경고를 함으로써 운전자가 깨닫게 하는 편이 사고를 경감할 수 있는 가능성이 있다."(Honda)

- 한편, 비용은 다소 들더라도 인식 정밀도를 높이는 일에 힘을 쏟고 있는 것이 Toyota다. 밀리파 레이더와 차선유지지원시스템용 카메라를 조합하여 장애물의 인식 정밀도를 높이고 있다. 동사는 우선 2003년 8월에 발매한 "Celsior"에 레이더 단체(單體)에 의한 자동 브레이크를 도입했고, 2004년7월에 발매한 "Crown Majesta"에는 차선유지지원시스템용 카메라와 레이더의 양쪽을 사용하여 장애물을 고성능으로 인식하는 기능을 갖추었다. 반대편에서 차선을 넘어 다가오는 경우와 같이 충돌할지 안할지가 애매한 상황에서도 잘 판단할 수 있다. 그러나 장애물의 인식 정밀도 향상을 진행하고 있는 Toyota도 자동 브레이크의 힘 자체는 아직 타사의 수준에 머물고 있다.

다. 0.6초로는 너무 짧아

- 각사의 자동 브레이크가 10~20km/h 정도의 감속에 머물고 있는 이유에는 장애물을 정확히 인식하기 어렵다는 것 외에도 자동 브레이크의 작동 시간이 짧다는 이유가 있다.

- 0.6초간의 브레이크로 감속하는 것에는 한계가 있다. 또한 레이더의 검지각은 최대가 36°정도이기 때문에, 선행차가 대각선 전방에서 접근해올 경우에는 인식이 늦어져 자동 브레이크를 걸 시간은 0.6초 보다도 짧아지는 경우가 있다.

- 국토교통성은 각사의 자동 브레이크 사용법을 보고 문제가 없을 것 같으면 자동 브레이크의 시간을 늘리는 것도 검토하고 있다. 현재의 0.6초를 0.7초나 0.8초로 해

서 자동 브레이크를 거는 시간을 길게 하고, 충돌을 피할 수 없는 상황에서의 피해를 경감하는 것이 목적이다.

- Nissan은 자동 브레이크를 보다 이른 단계에서 작동시킴으로써 충돌을 회피하는 시스템을 개발중이다. 2003년 12월의 기술설명회에서 발표한 시스템은 레이저 레이더로 장애물을 검지하여 운전자가 브레이크를 밟지 않으면, 현행의 시스템보다도 이른 단계에서 자동 브레이크를 걸어 차를 5km/h까지 감속시키는 것이다. 운전자가 충돌 직전에 브레이크를 밟으면 충돌을 피할 수 있다.

- Nissan은 브레이크에 의한 충돌 회피 뿐만이 아니라 브레이크를 걸었을 때에 장애물을 피하기 쉽게 하는 시스템도 개발하고 있다. 예를 들어 브레이크를 걸면서 장애물을 피하려고 스티어링을 오른쪽으로 조작했을 때, 브레이크력의 배분을 전륜의 우측은 강하게, 전륜의 좌측은 약하게 함으로써 결과적으로 운전자가 의도하는 방향으로 꺾기 쉽게 하는 것이다.

라. 광각(廣角)의 레이더로 검지

- 자동 브레이크가 저속 추종 기능 등에 사용되게 됨으로써, 레이더에 요구되어지는 성능도 변화되어 왔다. 지금까지의 레이더는 주로 먼 곳의 선행차를 검지하는 것을 전제로 하고 있었기 때문에 검지각(檢知角)은 15°정도였다. 그러나 저속 추종 기능 등에 의해 보다 근거리에 있는 선행차의 인지가 실용화됨으로써 레이더도 30° 정도의 광각(廣角)이 되었다. 저속 주행시는 근거리의 옆 차선으로부터 끼어드는 경우가 발생하기 때문에 넓은 검지각이 요구되어진다.

- Denso가 개발한 레이저 레이더는 광각을 검지할 수 있도록 1매의 수광(受光)렌즈에 집점거리가 다른 두 개의 렌즈를 조합한 것이다.(그림4) 120m 정도까지는 16°이지만, 근거리인 35m 정도까지는 36°를 검지할 수 있다.

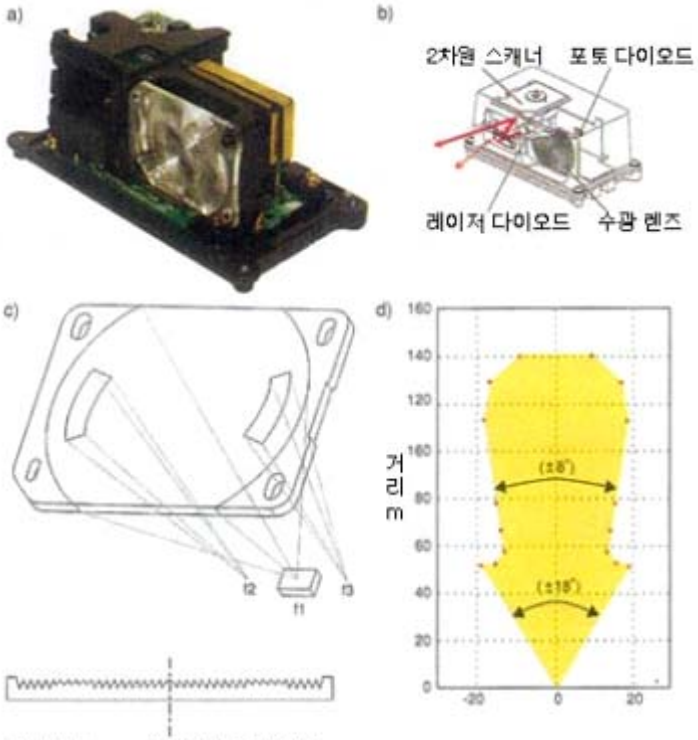


그림4 Denso의 레이저 레이더
(a)본체 (b)구조. 2차원 스캐너로부터 레이저를 조사(照射)하여 수광 렌즈로 반사광을 받는다. (c)수광 렌즈에는 집점거리가 다른 부분이 있다. (d)검지범위. 근거리는 ±18°원거리는 ±8°

- 동사는 밀리파 레이더도 개발하고 있으며, "비용 삭감을 진행함으로써 앞으로 해외에 레이저 레이더 및 밀리파 레이더를 보급시키고 싶다. 레이더의 성능은 환경에 따라 크게 바뀌는데, 세계에서 통용되는 레이더로 하고 싶다."라는 계획이다.
- 한편 Omron의 레이저 레이더는 보행자라도 장애물로 검지할 수 있을 정도의 감도(感度)가 특징이다. 검지각은 종래의 배(倍)인 30°다. 앞으로는 레이더의 인식성능 향상 및 레이더와 카메라를 조합한 인식을 진행해 갈 것이라고 한다. "레이더 그 자체에는 한계가 있다. 레이더로 방향을 검지하여 카메라가 물체를 인식하는 방법 등이 효과가 있다. 그렇지만 카메라와 레이더를 같이 탑재할 수 없는 차종도 있기 때문에 레이더 단체(單體)의 성능 강화도 계속 진행할 것이다."라는 방침이다.(Omron)

마. 교차로 충돌사고까지

- 이와 같이 교통사고에서 가장 많은 "추돌"을 막기 위한 기술 개발과 상품화는 각

메이커가 진행하고 있다. 그러나 그 다음으로 많은 교차로 충돌사고에 대한 효과적인 대책은 없었다. 교차로에서의 사고는 충돌 직전까지 상대가 보이지 않는다는 점에서 도로측의 인프라를 정비하지 않으면 대책은 어려울 것이라고들 말해왔다. Toyota가 2004년 10월 "제11회 ITS 세계회의"에서 발표한 "레이저 촉각(觸角) 운전 지원"은 교차로 충돌사고를 경감하고자 하는 것이다.(그림5)

- 레이저광을 노면에 합계 20군데 조사(照射)하여 레이저가 늘어선 형상을 차재 카메라로 항시 인식한다. 레이저가 전방의 보행자나 장애물에 닿으면, 레이저광이 늘어선 형상이 변화하기 때문에 장애물이 있다고 판단하여 운전자에게 주의를 촉구함과 동시에 브레이크를 작동한다. 또, 교차점 등에서는 같은 시스템을 탑재한 다른 자동차가 조사한 레이저를 인식하는 것도 가능하다. 교차로의 보행자도 레이저광을 알아차리고 사고를 방지하는 효과를 기대할 수 있다.



그림5 Toyota가 개발중인 '레이저 촉각 운전 지원'
(上)프론트 윈도우상에 2대의 레이저 조사기가 있다.
이것으로 지면을 비추고 프론트 윈도우 중앙의 카메라로
레이저의 형상을 파악한다. (中)이용하고 있는 모습
(下)보행자를 조사(照射)한 경우

※ 자동 정지를 시야에 넣은 저속 추종 기능

- 자동 브레이크를 발전시킨 기능으로 저속(低速) 추종 기능이 있다. Toyota가

2004년 7월에 발매한 "Crown Majesta", Nissan이 2004년 10월에 발매한 "Fuga"는 레이더를 사용한 저속역에서의 추종기능을 탑재했다. Honda는 2004년 8월에 개최한 기술 미팅에서 개발중인 시스템을 발표했지만, 상품화에 대해서는 검토중이라고 했다.

- 저속 추종기능은 선행차와의 차간 거리가 짧기 때문에, 지금까지의 고속역에서의 추종 보다도 성능이 높은 레이더가 요구되어진다. Toyota, Nissan 모두 선행차를 검출할 수 있도록 광각 레이더를 채용했다.

- 실용화가 시작된 저속 추종기능이지만, Toyota와 Nissan은 이용 범위(일반도로에서의 이용 여부) 및 대응 속도 등에 있어서 다소 차이를 보이고 있다.(표)

	Toyota	Nissan
이용범위	자동차 전용도로	자동차 전용도로와 일반도로
적용속도	30km/h~0km/h. 정지후 3초 내 크립으로 움직이기 시작. (지금까지는 고속역 40km/h~100km/h 만)	40km/h~10km/h (지금까지는 고속역 40km/h~100km/h 만)
시동용 스위치	스위치를 전환할 필요가 있음	스위치 전환은 없음

Toyota와 Nissan의 저속 추종 기능의 차이

- Toyota는 저속 추종 기능의 이용을 자동차 전용도로에 한정시키고 있다. "일반도로에서는 자동차의 앞을 보행자나 자동차가 가로지르기 때문에 위험하다."라는 것이 그 이유다. 자동차 전용도로라면 일반도로에 비해 커브가 비교적 완만하기 때문에 선행차의 추종도 안정적으로 가능하다. 보행자나 자전거가 옆에서 뛰어들어올 가능성도 거의 없다.

- 이에 비해 Nissan의 시스템은 자동차 전용도로 뿐만이 아니라 일반도로에서도 사용할 수 있다. "운전의 주체는 어디까지나 운전자다. 저속 추종 시스템은 자동운전이 아니다. 평상시와 마찬가지로 운전자가 주위에 주의를 기울일 필요가 있다."라고 설명한다.

- Toyota 시스템의 최대 특징은 전방의 차가 정지하면 따라서 정지한다는 점이다. 그러나 국토교통성의기술 지침에서 완전한 정지는 명시하고 있지 않기 때문에, 정지 후 3초 이내에 AT의 크립(creep)으로 움직이기 시작한다. 운전자가 정지했다고 착각하지 않도록 하기 위해서다. 한편 Nissan은 "0km/h까지 대응하면 운전자는 자동차가 알아서 멈추어준다고 착각한다."라는 배려에서 시스템의 가동조건은

10km/h 이상으로 설정했다. 차의 속도가 5km/h를 밑돌면 시스템은 해제된다.

- 시스템 기능의 차이로 사용편리성 또한 다르다. Toyota는 고속 추종과 저속 추종에서 시스템이 다르기 때문에 각각의 스위치를 준비했다. "저속시는 앞의 차가 멈추면 따라서 멈추지만, 고속시에는 운전자가 브레이크를 밟지 않으면 선행차와 충돌해버린다. 이 차이를 운전자들이 의식할 수 있도록 스위치를 나누었다."라고 한다. Nissan의 시스템은 고속역과 저속역 모두 자동차가 정지하지 않기 때문에, 유저가 이 부분에 대해서 의식하지 않고 사용할 수 있도록 했다.

- Toyota와 Nissan의 사고방식은 다르지만, 운전자가 저속 추종 기능을 안전하게 사용한다는 것이 어느 정도 실증(實證)되면 "자동정지, 자동발진에까지 발전시키고 싶다."라고 한다.(Nissan) 자동차메이커 각 사가 참가하고 있는 국토교통성의 워킹 그룹에서도 저속 추종 기능을 발전시킨 자동정지, 자동발진이 검토되고 있다고 한다.

5. 목표는 부딪히지 않는 자동차 (3/4) (원전 : Automotive Technology 2005 winter)

Part3. 보행자 인식 기술~ 우선 야간용을 실용화, 도로 횡단중의 사고를 줄인다~

- 교통사고 사망자의 30%는 보행자이며, 그 중 60%는 도로를 횡단중에 사고를 당한다. 현재의 레이더로는 보행자를 검지할 수 없기 때문에, 각사는 카메라를 사용한 인식 시스템의 개발에 몰두하고 있다. Honda가 야간 인식 시스템을 실용화하고 있고, Daimler Chrysler 등도 개발을 진행하고 있다.

가. 보행자 인식의 난점

- 카메라에 의한 보행자 인식은 Honda가 2004년 10월에 발매한 "Legend"에서 야간용 시스템을 세계 최초로 실용화했다. 타사는 이제부터 상품화를 검토하려고 하는 단계이다.

- 보행자 인식기능의 상품화가 어려운 것에는 크게 두가지 이유가 있다. (1)보행자 인식 알고리즘의 미발달, (2)프로세서의 처리 성능 부족이다.

- 첫번째 인식 알고리즘에 관해서는 현재 결정적인 수단이 되는 방식이 없다. 인식 알고리즘은 부품메이커나 전기메이커, 학술기관이 논문 및 시작(試作) 시스템을 발표하고 있다. 그러나 "인간의 움직임은 복잡하다. 어떤 상황에서는 인식할 수 있지만, 또 다른 상황에서는 인식할 수 없는 수준으로는 실용화에 도달하지 못한다." (Nissan 종합연구소 주간연구원 타카하시氏)

- 스테레오 카메라에 의한 선행차의 인식을 재빨리 실용화한 Subaru도 "자동차는 사이즈가 크고, 움직임도 안정되어 있기 때문에 인식하기 쉬웠다. 보행자 인식에 대해서도 노력은 하고 있으나, 아직 사용할 수 있는 수준에는 도달하지 못했다."(同社 제어개발그룹 주사 토가와氏)라고 한다.

- Toyota도 스테레오 카메라를 이용한 보행자 인식의 개발에 힘쓰고 있으나, 실용화의 전망은 서지 않았다.

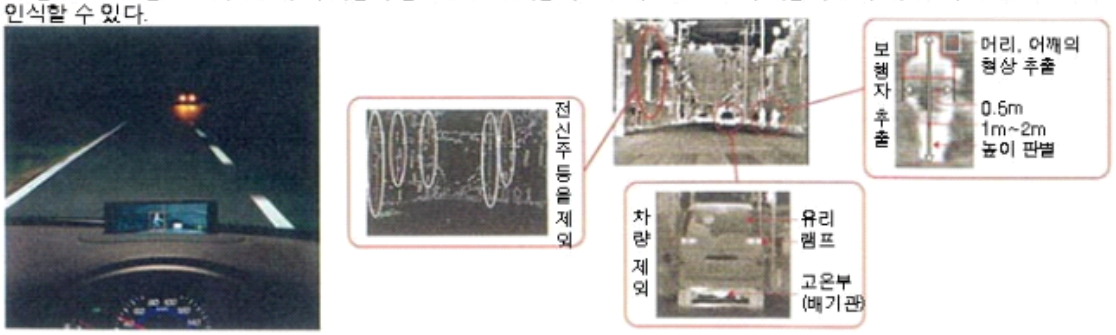
- 보행자 인식의 실용화가 어려운 두번째 이유는 방대한 처리가 필요하기 때문에 프로세서의 능력이 따라잡지 못한다는 것이다. 대학의 연구실에서 고속 컴퓨터를 사용하여 보행자 인식이 가능한 알고리즘을 개발했다 하더라도, 차재(車載) 컴퓨터로 실행하여 처리가 제 때 되지 않는다면 의미가 없다.

- 보행자 인식을 실용화하기 위해 필요한 것은 "복수의 알고리즘을 조합하여 정밀도를 높이고, 인식 범위의 역치(threshold value)를 한층 처리가 가벼워지도록 최적으로 설정하는 것."(Nissan의 타카하시氏) 보행자의 화상인식은 적은 자원을 사용하면서도 현명한 판단이 요구되어진다는 것이다.
- 이를 의문시하는 의견도 있다. 도대체 운전자에게 보행자의 존재를 알리는 의미가 있느냐 하는 것이다. 운전자는 항상 전방을 보고 운전하고 있기 때문에, 보행자가 있으면 인식하는 것이 보통이기 때문이다. "보행자 천국과 같은 곳에서 지상에 10명 이상의 보행자가 걷고 있을 때나 육교의 위에 보행자가 있을 때라도 화상인식으로 운전자에게 알릴 필요가 있는 것일까?"(Nissan 선행차량 개발본부 주관 시라이시氏)라는 견해도 있다.

나. 형상 인식인가 패턴 매칭인가

- 화상처리를 이용하여 보행자를 인식하는 알고리즘에는 주로 2종류가 있다.
- Honda가 실용화한 "인텔리전트 나이트비전 시스템"과 같이 신체적인 형상을 이용하는 것.(그림1) 그리고 Daimler Chrysler나 Mitsubishi Fuso가 개발중인 시스템과 같이 패턴 매칭을 이용하는 것이다.(그림2)

그림1 Honda의 보행자 인식 시스템 '인텔리전트 나이트비전 시스템'
(좌) 열을 방출하고 있는 보행자를 검출한다. (우) 패턴 매칭이 아니라 신체의 형상을 판단함으로써 보행자로 인식한다. 같은 온도라도 물체가 다르면 방출량이 다르다. 열의 방출량을 강조하도록 화상 처리함으로써 물체와 물체, 부품과 부품의 경계선이 선명해지고, 전신주나 자동차 등의 판단이 가능하게 된다. 예를 들면, 자동차의 유리, 램프, 배기관을 각각 인식할 수 있다.



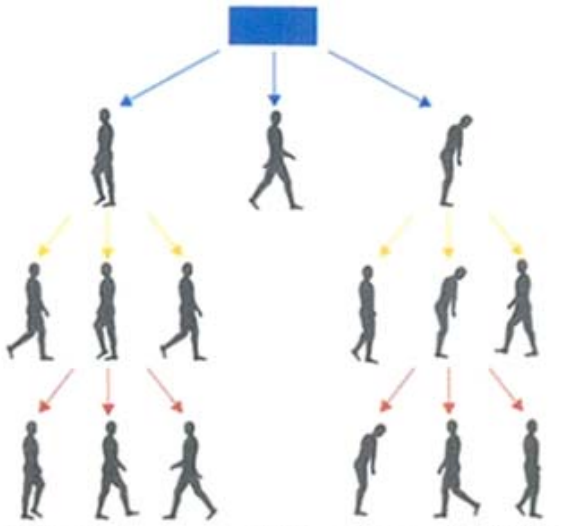


그림2 Daimler Chrysler와 Mitsubishi Fuso의 보행자 인식 시스템
보행자로 예상되는 장애물을 검출하면 패턴과 대조하여 보행자인지 아닌지를 판단한다.

- Honda의 시스템은 형상적인 특징이 있는지 아닌지로 보행자를 인식하고 있다. 원(原)화상의 장애물에서 전신주나 차량을 제외한 것에 대하여 "머리나 어깨의 형상이 있는가" "폭이 0.5m 정도" "높이가 1~2m" 등으로 판정하여 보행자라고 인식한다. "템플릿(template) 형상을 만들어 원화상과 비교하는 방식은 처리의 부하(負荷)가 크기 때문에 채용하지 않았다."(同社 주임연구원 츠지氏)라고 한다.
- 한편, Daimler Chrysler와 Mitsubishi Fuso가 개발중인 것은 보행자 형상의 템플릿을 많이 만들어 보행자로 예상되는 물체의 형상과 대조하여 판정하는 것이다. 모든 템플릿과 대조하는 것은 시간이 걸리기 때문에 대표적인 템플릿으로 대략적으로 구분하여 효율적으로 검출할 수 있도록 알고리즘을 연구했다고 한다.
- 이들 시스템은 모두 삼각측량법의 원리를 사용하여 장애물까지의 거리를 측정하고 있다. 큰 차이점은 Honda가 원적외선을 방사하고 있는 물체를 보행자일 가능성이 있는 장애물로 판단하여 인식을 시작하는 것에 반해, Daimler Chrysler와 Mitsubishi Fuso의 인식 방법은 우선 화면상의 모든 점을 거리화상으로 고친 후, 장애물인 듯한 것을 선택하여 최종적으로 보행자인지 아닌지를 판정하고 있다는 점이다.

다. Honda는 야간으로 한정

- Honda의 "인텔리전트 나이트비전 시스템"은 야간의 보행자 사망 사고의 경감을 노리고 개발된 것이다. 보행자를 검지하면 전용 윈도우로 운전자에게 알린다. 同社의 조사에서 보행자 사고의 70%는 야간이라고 되어 있기 때문에 보행자를 검지하는 효과는 크다고 생각했다고 한다.

- 인텔리전트 나이트비전 시스템을 개발하는데 즈음하여 同社가 주목한 것이 고령자의 사고다. 개발 책임자인 츠지氏는 "야간 사고의 희생자를 분석해본 결과, 고령자가 많다는 사실에 놀랐다. 처음에는 고령자가 정말로 갑자기 튀어나오거나 하는 것인지 의문을 가졌다."라고 한다. 조사를 진행하는 사이에 고령자는 걷는 속도가 느려서 자동차를 알아차려도 곧바로 끝까지 다 건널 수 없다는 것을 알았다.(그림 3)

- 왜 이와 같은 일이 일어나는 것일까? 보행자는 주간(晝間)이라면 자동차의 속도를 시각적으로 판단할 수 있으나, 밤에는 자동차의 헤드라이트만으로 거리감을 파악하기 어렵다. 자동차가 어느 정도 자신에게 다가와 있는지를 파악하지 못하고 보행자는 길을 횡단하게 된다. 인적이 드문 직선 길이라면 운전자도 갑자기 사람이 길을 건널 것이라고는 생각하지 않을 것이다.

- 그 결과, 운전자는 전방의 보행자의 발견이 늦어져, 고령자가 길을 완전히 횡단하기 전에 사고를 만나는 경우가 많았다고 한다.

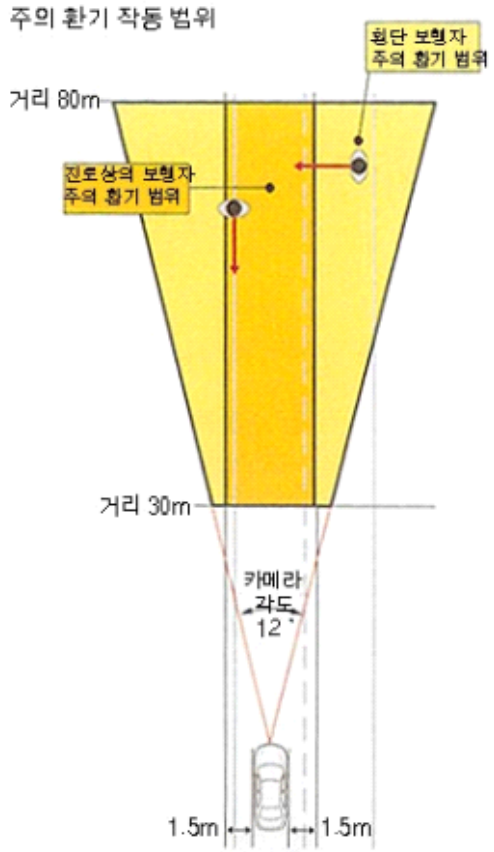


그림3 Honda 보행자 인식 시스템의 검지 범위
횡단하고 있는 보행자와 도로를 걷고 있는 보행자를 인식

- 고령자의 보행속도를 1m/s, 도로폭이 6m라고하면, 길을 완전히 건너기까지는 6초를 필요로 한다. 자동차가 60km/h(17m/s)로 주행하고 있다면 보행자가 있는 지점 100m 정도 앞에서 깨닫지 않으면 안된다. 헤드라이트가 미치는 거리는 30m 정도이기 때문에, 헤드라이트 앞의 어둠을 비추어줄 카메라가 필요하다고 판단했다.
- 적외선 카메라 채용에 즈음하여 의식한 것이 "영상의 재현성(再現性)"이라고 한다. 운전자가 보고 있는 풍경에 가까운 화상을 제공하면서도 보행자가 있으면 운전자에게 경고하는 구조가 효과가 있다고 생각했다.
- 보행자의 인식성능을 향상시키기 위해서는 보행자가 방출하고 있는 파장으로 압축하여 검출하는 방법도 있으나, 일부러 파장을 한정하지 않았다고 한다. "운전자에게 인간만을 보여줘도 길의 어느 지점에 있는지를 알 수 없다. 도로나 간판 등도 보이도록 해서 보행자가 상대적으로 어디에 있는지를 인식하기 쉽도록 했다."라고 한다. 시스템이 검출하는 파장의 범위가 넓은 만큼, 여러가지 장애물이 보이게 되어 인식은 어려워진다. 그러나 온도가 서로 비슷한 것이라도 형상이 명확하도록화

상처리 하고 있다고 한다. 전신주나 자동차도 인식하여 제외한 후, 보행자인가 아닌가를 인식하는 일이 가능하게 되었다.

- 적외선 카메라에는 근적외선과 원적외선의 두가지 타입이 있다. 타사에서 근적외선 카메라로 야간의 시계를 제공하고 있는 것에 대해서는 "운전자에게 시계를 제공한다는 점은 높이 평가할 수 있으나, 보행자를 알리는 기능이 없기 때문에 도입 효과가 적다."라고 평가한다. 또 "마주오는 차가 같은 시스템을 탑재하고 있으면 간섭을 받게 되어 보기 어려워지기 때문에 편의성이 한정된다."고 한다.

- Honda는 야간의 사망자 사고를 줄이고자 하고 있지만, 적외선 카메라나 원적외선 카메라에 연연하지는 않는다. "다이나믹 레인지가 넓은 CMOS 카메라를 사용하여, 근적외선의 레이저를 조사(照射)하여 보행자를 검지하는 방식 등도 가능성이 있는 것은 아닐까? 간섭과 같은 문제 없이 화상이 안정되게 보이는 것이라면 검토하고 싶다."라는 의향이다.

라. Daimler Chrysler는 패턴 매칭

- Daimler Chrysler와 Mitsubishi Fuso가 개발중인 보행자 인식 시스템은 "패턴매칭"이라 불리는 방법으로 보행자를 인식한다. 패턴 매칭은 전형적인 보행자의 형상을 작성해두고, 카메라가 포착한 장애물의 형상과 대조하여 보행자인지 아닌지를 인식하는 방법이다.

- 2004년 11월에 개최된 "제38회 동경 모터쇼"에서 Mitsubishi Fuso는 스테레오 카메라를 이용한 보행자 인식 시스템을 선보였다.(그림4) 기본적으로 주간 보행자 인식 시스템이지만, 헤드라이트를 하용하면 야간에도 이용 가능하다. Daimler Chrysler가 승용차용으로 개발중인 시스템을 Mitsubishi Fuso가 트럭 탑재용으로 변경했다. 기본적인 인식 알고리즘은 Daimler Chrysler의 것과 같다.

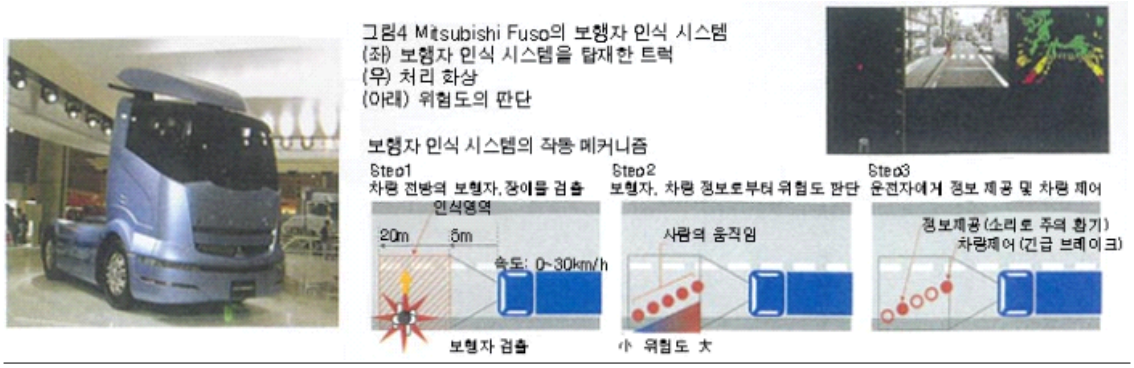


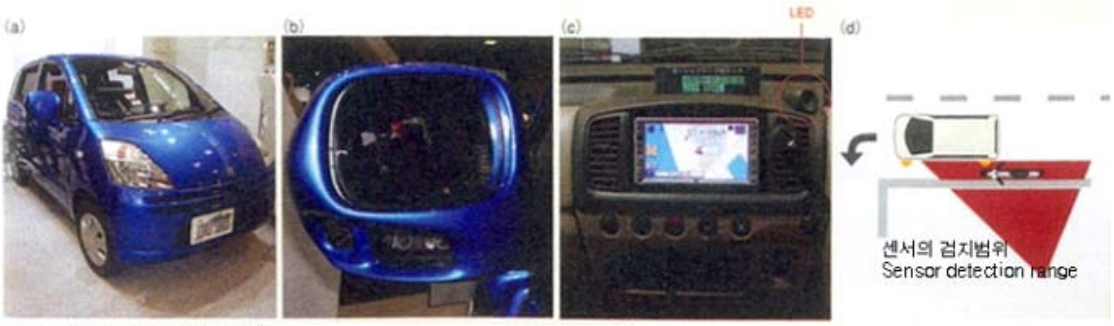
그림4 Mitsubishi Fuso의 보행자 인식 시스템
(좌) 보행자 인식 시스템을 탑재한 트럭
(우) 처리 화상
(아래) 위험도의 판단

- Mitsubishi Fuso의 보행자 인식 시스템은 프론트 윈도우 하부에 설치한 스테레오 카메라(1만화소 정도의 CCD 두 대)를 사용하여, 비교적 근거리(차량 전방 5m~20m)에 있는 보행자를 인식한다. 보행자의 템플릿은 약 1만 종류 준비했다고 한다. 인식 가능한 차속도는 30km/h 이하의 저속역(低速域)으로 설정했다. "국내의 버스나 트럭 관련 교통사고를 조사해보면, 보행자가 피해를 입은 경우가 많다. 보행자 피해는 차속력 10~20km/h 부근에서 일어나고 있다."(同社 개발본부 전자기술부 매니저 야마모토氏)라는 이유에서다.

- 이 시스템의 특징은 패턴 인식을 고속으로 실시하기 위해 보행자인지 아닌지를 계층적으로 나누어 판단하도록 했다는 것이다. 인식성능은 1초간 4~15회. 1회의 인식으로 보행자 1명을 인식할 수 있다. 코트를 입고 있거나 스커트를 입고 있는 사람 등도 가능하다. 장래적으로는 보행자의 위험도에 따라 자동 브레이크를 작동하는 Pre-crash Safety System 및 경고음을 울려 운전자에게 주의를 촉구하는 시스템을 지향한다고 한다.

※ Suzuki는 2륜차 인식

- 패턴 매칭을 이용한 인식법을 채용하고 있는 것은Daimler Chrysler와 Mitsubishi Fuso만이 아니다. Suzuki도 패턴 매칭을 이용하여 차재(車載) 카메라로 2륜차를 인식하는 기술을 개발하고 있다.(그림)



Suzuki가 개발중인 2륜차 인식
패턴 매칭을 이용하여 2륜차인지 아닌지를 판단. (a)2륜차 인식기능을 탑재한 시작차. 2004년 10월 ITS 세계회의에서 선보였다. (b)사이드 미러에는 3대의 CCD를 내장 (c)2륜차가 접근하면 LED로 운전자에게 알림 (d)사이드미러에 내장된 카메라가 검지하는 범위.

- Suzuki의 시스템은 자동차의 사이드미러에 3대의 카메라를 내장하여 자동차의 좌측을 빠져나가려고 하는 2륜차를 인식하는 것이다. 자동차가 왼쪽으로 꺾을 때 충돌의 위험이 있으면 경고한다.
- 이 시스템의 특징은 비용을 억제한 인식 시스템이라는 점이다. 2륜차까지의 거리 검지용으로 2대의 스테레오 카메라, 2륜차 인식용으로 1대의 카메라를 사용한다. 거리 검출에 밀리파 레이더를 사용하면 비용이 너무 많이 들기 때문이다.
- 조수석 뒤쪽에서 2륜차가 접근해오면, 스테레오 카메라(10만화소 미만의 흑백)로 바이크까지의 거리를 측정한다. 동시에 나머지 1대의 카메라(30만화소컬러)로 바이크인지 아닌지를 화상인식으로 판정한다. 바이크가 접근하고 있을 때 운전자가 깜빡이를 넣지 않고 왼쪽으로 꺾으려고 하면, 인스트루먼트 패널에 장착된 전용 LED로 운전자에게 경고한다. 2륜차인지 아닌지는 스테레오 카메라가 산출한 거리에 따라, 준비된 템플릿의 형상과 대조하여 판단한다.
- Suzuki는 경자동차가 주력 상품이기 때문에 카내비게이션을 갖추지 않은 경우가 많아 "운전자에게는 화상을 보여주지 않고 LED로 주의를 환기하도록 했다."고 한다.

6. 목표는 부딪히지 않는 자동차 (4/4) (원전 : Automotive Technology 2005 winter)

Part4. 장애물 인식 기술

~단안(單眼) 카메라로 3차원 인식, 근거리용 레이더의 개발도 진행~

- 보행자나 다른 차량과의 충돌만큼은 심각하지 않지만, 좁은 길에서 전신주에 긁히거나, 주차장에서 벽에 범퍼를 가볍게 부딪힌 경험을 해본 사람은 많을 것이다. 이러한 인간의 작은 조작 실수를 보조해주는 기능의 개발도 활발히 진행되고 있다.

가. 차세대 주차 지원 시스템

- 주차장이나 좁은 도로에서 차가 부딪힐지 아닐지를 같이 차에 타고 있던 동승자가 내려서 운전자를 유도하는 것은 자주 볼 수 있는 광경이다. 센서가 동승자 대신 운전자를 유도하고, 운전자의 "감"에 기대고 있었던 조작을 보조하는 "스치지 않는 자동차"가 실현된다면, 고마움을 실감할 일이 많을 것이다. 오히려 "자동차 및 보행자와 충돌하지 않는" 기능보다도 고마움을 느끼는 사람이 많을지 모른다.

- Aisin Seiki社는 주차 위치를 자동 검출하여 스티어링 조작 및 브레이크 조작, 액셀러레이터 조타(操舵)까지 보조하는 기능을 갖춘 "차세대 주차 보조 시스템"을 개발중이다.(그림1)



그림1 Aisin Seiki社가 개발중인 차세대 주차 보조 시스템 ITS 세계회의에서 선보였다. 차량 전방, 후방, 좌우의 사이드 미러 합계 네 대의 단안 카메라를 갖추고 있다. 단안 카메라로 입체물을 인식할 수 있으며, 네 대의 카메라를 이용함으로써 차량 주위 전체(거의 360°)를 인식할 수 있도록 했다.

- 同社가 Toyota와 공동개발한 현행 시스템은 Toyota가 "Prius"에서 "IPA (Intelligent Parking Assist)"로써 채용하고 있다. IPA에서는 운전자가 모니터상에서 주차 위치를 수동으로 설정할 필요가 있었으나, 차세대 시스템에서는 이 수고를 덜 수 있게 된다.
- 또, "Prius"에서는 브레이크 조작이 운전자의 일이었으나, 차세대 시스템에서는 자동차가 이 조작까지 담당한다. 아직 제공처가 결정되지 않은 상태이며 "Toyota를 포함, 폭넓게 제공처를 찾고 있는 단계"라고 한다.
- 차세대 시스템에서는 카메라의 화상처리 기능을 활용함으로써 주차 위치를 자동 검출한다. 종렬(縱列) 주차시에 운전자가 어디에 차를 세울 것인지 망설이는 일이 없어지고, "세우려고 했더니 너무 좁아서 차가 들어가지 않았다" 등과 같은 일도 피할 수 있다.
- 또한 同社는 차세대 시스템에서 주차시의 운전 조작도 대폭으로 경감하고자 하는 생각이다. IPA는 크립(creep) 주행과 스티어링 조작 지원에 의한 주차지원에서 브레이크의 조작이 운전자의 일이었다. 차세대 시스템에서는 브레이크와 액셀러레이터 조작의 지원도 조합할 계획이다. "기본적으로는 크립 주행을 계속하겠지만, 지금까지 크립 주행만으로는 어려웠던 오르막길이나 단차가 있는 길에서는 액셀러레이터 조작도 행함으로써 사용편리성을 향상시키고자 한다."라고 한다.
- 차세대 시스템은 자동 주차 시스템을 이미지하는 것이지만, 同社는 어디까지나 지원 시스템으로써 설정하고 있다. "운전자가 승차하고 있지 않아도 주차 조작을 대행해 준다면 자동 주차지만, 어디까지나 운전자가 승차하고 있다는 것이 조건"이기 때문이다. 또 기본적으로는 카메라로 외계(外界)를 인지하여 장애물을 검출하고 있지만 "돌발적으로 뛰어드는 보행자 등은 운전자가 확인할 필요가 있다."라며 운전자 주체의 시스템이라는 것을 강조한다.

나. 우선은 법 규제 해결해야

- 차세대 시스템의 실현을 위해서는 주차시의 지원 시스템을 위한 법규제를 해결할 필요가 있다. "Prius"를 상품화할 때, 스티어링 조작의 지원은 인가 받았다고 한다. 그러나 차세대 시스템에서 계획하고 있는 주차시의 액셀러레이터와 브레이크 조작의 지원은 법규제의 개정을 기다리지 않으면 안된다.
- Aisin Seiki社는 2003년과 2004년에 Toyota 및 Nissan이 잇달아 실용화한 저속

추종 기능의 확대 해석으로 이들의 법규제를 해결하고자 하는 계획이다. 저속 추종은 30~40km/h 이하의 속도 영역에서 선행차를 따라가는 기능이며, 운전자의 브레이크 및 액셀러레이터, 스티어링 조작을 지원한다.

- "저속 추종시의 액셀러레이터 조작 지원은 운전자가 앞을 보고 있을 때를 상정하고 있다. 이 시스템에서는 운전자가 뒤를 보고 있으므로 다른 해석이 필요할지도 모른다."

- 실용화에 즈음해서는 성능면이나 가격면에서도 문제가 있다. 프로세서의 처리 성능이 클럭주파수로1GHz 정도가 필요하게 된다는 점이다. 현행 "Prius"에서 사용하고 있는 것은 40MHz 정도. 어플리케이션을 복수의처리로 나누어 각 처리마다 개별의프로세서를 할당하는 멀티 프로세서 구성의 채용 및 각 처리마다 전용 반도체를 할당하거나 회로구성을 수정함으로써 해결해가고 싶다고 한다.

다. 궤적을 추정하여 경고

- Toyota가 2004년 9월에 발매한 미니밴 "Isis"는 좁은 길에서 스치듯 지나가는 조작을 지원하는 "클리어런스 소나(clearance sonar)"(스티어링 감응식)를 탑재했다. (그림2) 프론트 범퍼에 비치한 네 대의 초음파 센서가 스티어링의 타각(舵角) 정보를 토대로 장애물에 부딪힐 것인지 아닌지를 운전자에게 알린다.

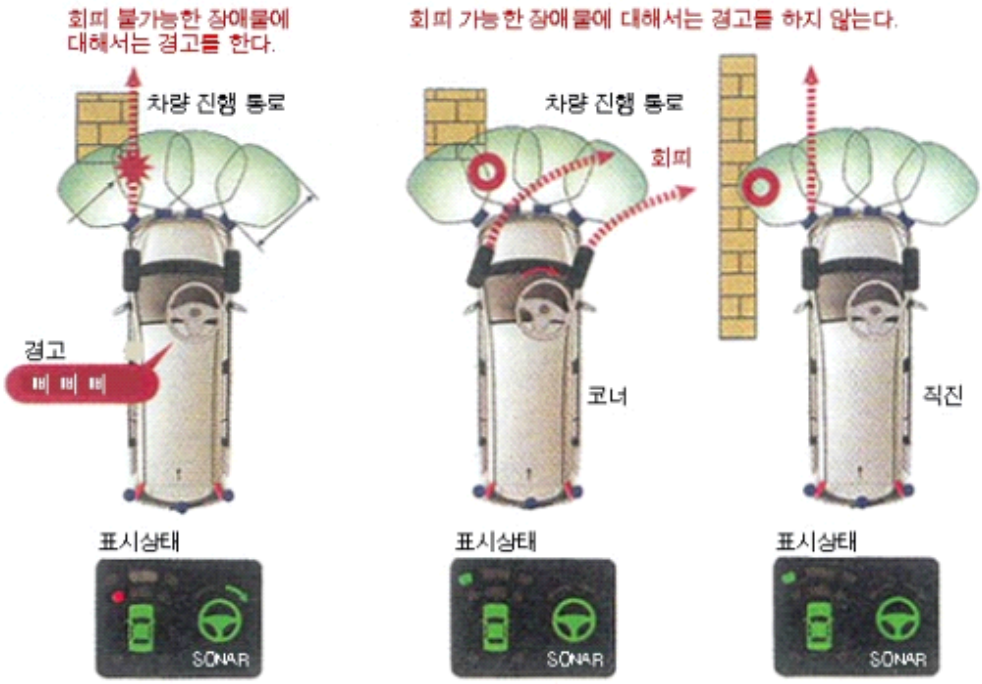


그림2 Toyota 미니밴 "Isis"
초음파 센서와 스티어링 타각에 의해 스칠 것인지 아닌지를 산출하여 운전자에게 알린다.

- 초음파 센서로 장애물에 대한 충돌을 경고하는 시스템은 이전에도 있었다. "Isis"의 시스템이 새로운 것은, 스티어링의 타각과 연동시켜 자동차의 궤적(軌跡)을 추정하는 기능을 담았다는 것이다.
- 지금까지의 초음파 센서는 차량 전방 1m정도까지의 장애물이라면 모두 검지하여 운전자에게 경고했다. 이 때문에 차량 좌전방에 장애물이 있고 오른쪽으로 핸들을 꺾고 있어서 그대로 스치지 않고 통과할 수 있는 경우에도 거리가 가까워오면 경고음이 울렸다. "Isis"에서는 스티어링 조작으로 피할 수 있는 경우에는 경고음을 울리지 않도록 하여 조작성을 높였다.

라. 저속에서 고속까지 대응

- 이와 같이 현재의 "스치지 않는 기능"의 실현에는 카메라와 초음파 센서가 사용되는 경우가 많다. 그러나 원거리에서 근거리 검지용까지 기능마다 센서를 탑재하면 센서의 수만 늘어날 뿐이다. 그래서 Hitachi는 근거리의 스치지 않는 기능에서 원거리의 인식까지 커버하는 새로운 레이더를 개발중이다.(그림3)

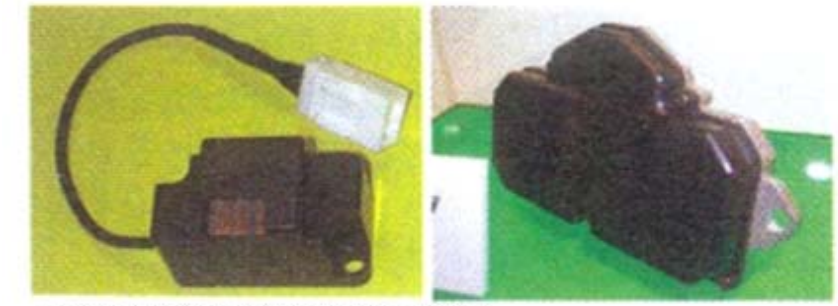


그림3 근거리를 검출할 수 있는 레이더
(a)Hitachi가 개발중인 76GHz대의 밀리파 레이더
(b)미츠비시 전기가 개발중인 24GHz대의 마이크로파 레이더

- 同社는 현재 76GHz대의 밀리파 레이더를 자동차회사에 제공하고 있는데, 한 대로 주차 지원에서 Pre-crash Safety까지 대응 가능한 차세대 밀리파 레이더를 개발중이다. 동시에 밀리파 레이더를 소형화함으로써 범퍼나 사이드미러에도 내장할 수 있는 크기로 만든다.

- 그 외에, 저속·근거리로 기능을 압축한 레이더도 개발중이다. "저속 추종에서 주차 지원까지를 커버하는 것으로, 기능을 압축함으로써 저렴한 가격에 제공하고 싶다."라고 Hitachi 오토모티브 시스템 그룹의 EMS 본부 치프 프로젝트 리더인 타카노氏는 말한다.

- 근거리용 레이더에 대해서는 구미(歐美)의 자동차 메이커가 중심이 되어 SARA(Short range Automotive Rader frequency Allocation)라는 단체를 만들었다. SARA는 UWB(초광대역무선)의 기술을 이용한 24GHz대 마이크로파 레이더의 실용화를 노린 것이다. UWB는 1GHz 정도의 광대역의 주파수를 사용한다는 점에서 몇 cm정도의 근거리 장애물을 검지할 수 있다. 일본 국내에서는 미츠비시전기가 SARA 규격의 마이크로파 레이더의 개발을 진행하고 있다.

- Hitachi가 개발하고 있는 저속·근거리용 레이더는 SARA가 진행하고 있는 레이더보다도 각도 검지성능이 높고, 안테나 사이즈를 소형화할 수 있다고 한다. 밀리파帶(76GHz)는 마이크로파帶(24GHz)에 비해 주파수가 3배라서 파장을 1/3으로 짧게 할 수 있기 때문이다. 같은 각도를 검지할 경우 파장이 짧으면 안테나의 면적도 작게 할 수 있다. 결과적으로 마이크로파帶와 비교하여 밀리파帶의 안테나는 세로 1/3*가로 1/3으로, 1/9로 작게 만들 수 있다고 한다. 그 외에도 "SARA 규격은 복수의 레이더로 하나의 장애물을 검지하는데, Hitachi의 레이더는 한 대의 레이더로 장애물을 검지할 수 있다."는 특징이 있다.

※ 단안(單眼) 카메라에의한 3차원 인식

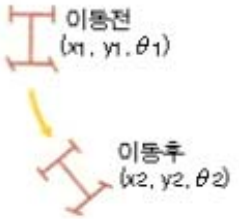
- Aisin Seiki社가 개발중인 "차세대 주차 보조 시스템"의 열쇠가 되는 것이 스테레오 카메라(두 대의 카메라)가 아닌 단안(單眼) 카메라로 3차원 입체물을 인식하는 기술이다. 차량 주변을 3차원 인식함으로써 주차 지원은 물론, 저속 운전시의 운전 지원 시스템 등에 응용할 수 있다. 카메라 한 대로도 기본적인 주차 지원 시스템은 가능하지만, 차량의 전후좌우에 총 4대를 탑재함으로써 보다 많은 사용법이 가능하다고 한다.
- 同社는 이미 단안의 후방 카메라를 사용한 주차 지원 시스템이나 차선 이탈 경보 시스템을 시판차에 탑재하고 있다. "기존의 후방 카메라를 사용하기 때문에 차량 디자인의 변경이나 전용 카메라의 도입은 필요없다. 소프트웨어의 추가만으로 신기능을 도입할 수 있어 채용이 간단하다는 것이 메리트다."(同社 3차원 인식 시스템 담당자)
- 同社는 주차 지원용 카메라는 3차원 인식 기능을 갖추어야 한다고 주장한다. 기존의 후방 카메라를 사용한 주차 지원 시스템에서는 시점을 자동차 위에서 본 것처럼 화상 변환하는 경우가 많았다. 이 변환 시스템을 사용하면 흰선이나 경계선이 직선으로 보이기 때문에 보기 쉬워지지만, 일부 화상이 비뚤어지는 경우가 있다. 예를 들어 주차하려고 한 장소의 옆에 자동차가 멈춰있을 경우 차를 지면 모양으로 밖에 인식할 수 없기 때문에, 변환된 화상에서는 자동차라고는 구별도 되지 않는 물체로써 표시된다. 만약 카메라가 3차원 인식 기능을 갖추고 있다면, 입체물은 입체물로써 인식하여 화상 변환할 수 있기 때문에 자연스러운 형태로 운전자에게 보여줄 수 있다고 한다. 또 3차원 인식이 가능하게 되면, 진로상의 장애물과 어느 부분이 부딪힐 것인지를 표시하는 일까지 가능하다.(그림A)
- 그런데, 단안 카메라로 어떻게 3차원의 입체를 인식하는 것일까? 실은 인식 방법 자체는 스테레오 카메라와 같은 삼각측량법이다. 스테레오 카메라와의 차이는 스테레오 카메라라면 카메라를 움직이는 일 없이(자동차를 이동하는 일 없이) 대상물까지의 거리를 측정할 수 있는데 반해, 단안 카메라를 사용하는 경우는 카메라를 이동시키지 않으면(자동차를 이동시키지 않으면), 대상물까지의 거리를 측정할 수 없다는 점이다. 단안 카메라에서는 카메라의 이동전과 이동후의 2점에 있어서 카메라의 이동량과 화상 안의 특징점의 이동량을 산출하여 3차원 입체물을 인식하고 있

기 때문이다.

- 카메라의 이동량은 ABS의 차륜속(車輪速) 센서로부터 구한다.(그림B) "단안 카메라로 거리를 측정하기 위해서는 자동차가 이동하지 않으면 안된다. 그러나 멈춰 있는 상황에서 장애물을 인식할 필요성은 낮다. 한 대의 카메라로도 이만큼 가능하다는 것을 실증(實證)하고 싶었다."



그림A 3차원 인식에 의한 판정
전방의 장애물에 스칠 것인지 아닌지를 판단하면, 스틸 부분을 운전자에게 표시하는 것이 가능.



그림B 단안 카메라에 의한 입체물 인식법
차륜속 센서의 변화분으로 계산한다. 이동하기 전과 이동한 후에서 카메라가 얼마나 움직였나를 계산할 수 있다. 이에 장애물이 얼마나 움직였는가를 가미함으로써 장애물까지의 거리를 산출할 수 있다.

- 화상의 특징점의 검출은 Tomasi-Kanade법을, 추적은 Lucas-Kanade법을 각각 기초로 한 방법을 적용했다. 둘 다 화상처리의 세계에서는 일반적인 산출법이다. 이들 화상처리 기술을 토대로 차륜속 센서와 조합한 시스템이 同社만의 방법이라고 한다.

- 그러나 실제로는 다른 화면에서의 특징점이 동일한지 아닌지를 판정하는 일이 어렵기 때문에 가까이 있는 다른 점을 같은 점으로 잘못 인식하는 경우가 있다. 거리의 정밀도 목표는 오차2.5%다. 60% 이상의 특징점은 오차 이내로 판정할 수 있다고 한다. 예를 들어 2m 앞의 물체를 검출했을 때, 검출한 특징점의 60%는 5초 정도 이내의 오차에 들어있다는 것이 된다.

7. 자동차의 新世紀 (1) - 환경기술, 안전기술이 재편을 좌우한다. (원전 : 일경산업신문 '06/10/20)

가. 미래카 개발, 근본으로부터 변화

(1) Toyota, 기술력이 재편을 좌우

- 세계적인규모로 진행되고 있는 환경규제 강화와 안전 의식 고양이 자동차 업계의 세력도를 바꿔 놓으려 하고 있다. 기존 기술의 연장선에서는 환경 성능과 안전성능을 궁극적으로 높인 '미래 카'의 개발은 어렵다. 전자기술, 정보 기술을 구사해 자동차에 '지능'을 갖게 하고 소재 부문도 함께 자동차를 만드는 방법을 근본부터 바꿀 필요가 있다. 그렇게 할 수 있는 자동차 회사, 자동차 부품 회사만이 세계 재편의 승자가 될 수 있을 것이다.

- '환경 규제의 강화로 타사가 기술을 사러 오는 시대가 될 것이다'. 1996년 Toyota의 오쿠다 히로시(?田碩)사장(당시, 현재는 상담역)은 사내에서 이렇게 선언하며 세계 최초의 양산형 하이브리드카 "Prius"의 발매를 1997년에서 1년 앞당겼다. 계획대로 에코카의 선두를 달리며, Ford 등이 Toyota의 하이브리드 기술을 탑재하고 있다.
- 그리고 10년이 지난 지금, 환경 기술은 자동차 회사의 생존을 좌우하는 경영 자원이 되었다. 배출 가스 절감 등의 환경 규제는 일본, 미국, 유럽에서 2009 년 전후에 일제히 강화된다. 그 규제를 단독으로 넘을 수 있는 자금력과 기술력을 가지고 있는 기업은 적다. 결렬된 GM과 Nissan-Renault 연합의 제휴 교섭에서도 연료전지차나 디젤 엔진 등 환경 기술의 공동 개발이 목적 중의 하나였다.
- 1990년대에 풍부한 자금력을 배경으로 규모의 확대를 목표로 세계 재편을 주도한 GM, Ford는 원유가 상승에 따라 저연비차 시프트에 대한 대응이 늦어 경영 부진이 심각해졌다. 환경 기술이 세계 재편의 키워드가 되는 가운데 일본 회사가 선행하는 구도가 선명해졌다.
- 하이브리드카에서 선행하고 있는 Toyota는 풍부한 자금력을 연료전지차를 포함한 전(全)영역의 환경 대응차 개발로 돌린다. 향후, 자동차 연료의 주류가 석유계로부터 무엇으로 바뀌어도 대응할 수 있는 파워트레인을 준비한다. 자동차 재편의 주도권을 계속 잡겠다는 전략이다.

(2) Honda, 기술 개발의 독립노선 관철하나 환경 기술은 '오픈'

- Honda는 독립 노선을 관철하는 한편으로 환경 기술에 관해서는 '오픈'(후쿠이 타케오 : 福井威夫 사장)이라고 하며, 타사와의 기술 제휴에 대해서 유연한 자세를 보인다. 9월에 공개한 차세대 연료전지차에서는 다른 회사가 고전하고 있는 스택(발전 장치)의 소형화나 구동 모터의 고출력화를 실현했다. 2008년부터 일본과 미국에서 리스 판매를 시작한다. 후쿠이 사장은 '연료전지차가 지구 온난화와 에너지 문제에 대응하는 궁극적이며 필수적인 기술이 될 것'이라고 강조한다. 여기에서 주도권을 잡으면 자동차 업계의 키플레이어가 될 가능성이 크다.

(3) 각사의 연료 개발

- Toyota와 Honda에서 공통되는 것은 '자동차'와 '연료'라는 두 방면에서의 기술 개발이다. Toyota는 showa shell 및 신일본석유와 이산화탄소(CO2) 배출량이 적은 대체 연료를 공동 개발한다. Honda는 종래에는 버렸던 식물의 줄기나 잎으로부터 에탄올을 제조하는 바이오 기술의 기초를 확립했다. 단지 자동차 회사만으로는 대응할 수 없는 분야도 있어, Toyota의 와타나베 카츠아키(渡?捷昭) 사장은 '에너지 관련 기업과의 관계도 깊게 해 간다'고 타업종과의 제휴의 가능성을 지적한다.
- 해외세력도 수수 방관하지는 않았다. BMW는 수소를 직접 연소시키는 수소 자동차를 07년 4월에 세계에서 처음으로 리스 판매한다. GM은 연료 전지차의 2011년 상업화를 예상하여 내년 가을부터 미국에서 100대 이상의 대규모 시험을 시작한다.

(4) 환경 기술 둘러싼 트럭 업계 재편

- 트럭 업계도 규모 확대를 위한 재편에서부터 환경 기술을 둘러싼 세계 재편이 진행되고 있다. 금년 4월에 세계에서 처음으로 트럭 연비 규제가 일본에서 시작된 것을 시작으로 세계의 고객과 기업이 환경이나 연비를 기준으로 회사를 선별할 가능성이 높아질 것으로 고려된다. 일본 자동차 회사는 디젤 기술이나 하이브리드 기술에서 선행하고 있기 때문에 해외 대기업과의 제휴가 가속될 것으로 보인다.
- DCX는 MMC와 자본 제휴를 해소하는 한편 Mitsubishi-fuso를 04년에 자회사화하여 연비 효율을 큰폭으로 향상시킬 수 있는 하이브리드 기술을 수중에 넣

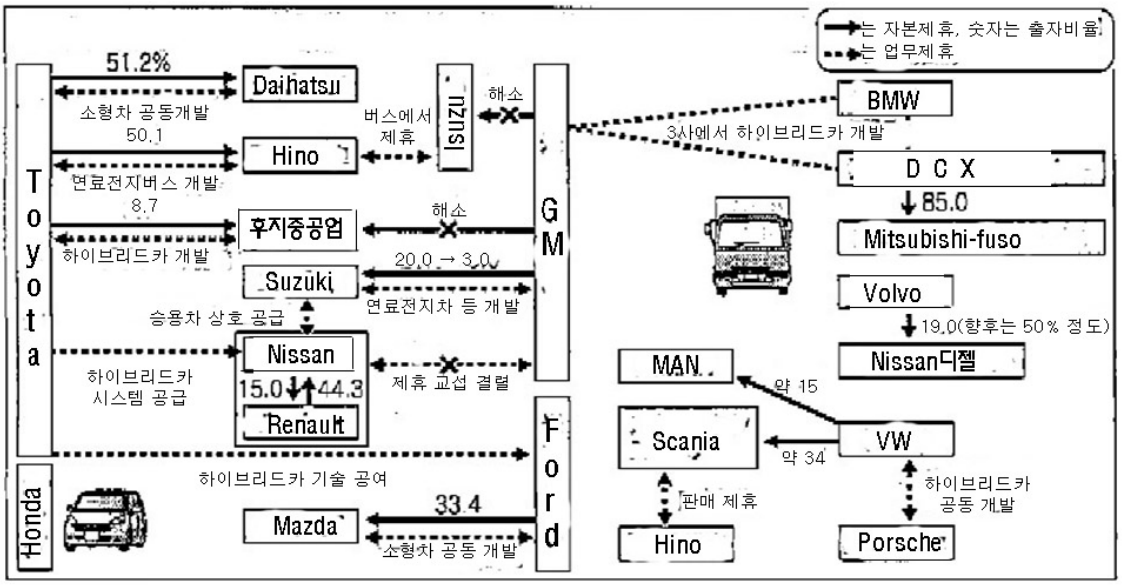
었다.

- Volvo가 Nissan이 보유하는 Nissan디젤공업의 전주(全株)를 취득하는 것도 환경 기술의 공동 개발이 목적의 하나다.
- 한편 GM 그룹으로부터 이탈한 Isuzu의 디젤 엔진 기술에 관심을 보이는 회사도 있다. 세계의 자동차 대기업이 생존을 걸고 총력전에서 기술개발에 도전한다.

(5) 안전 기술

- 하나 더 향후 재편의 열쇠를 잡을 것 같은 것이 바로 안전 기술이다. 자동차의 세기라고 한 20세기. 세계에서는 수백만명이 교통사고로 생명을 빼앗겼다. 일본 국내에서는 음주 운전에 의한 사망 사고가 잇따라 사회 문제가 되고 있다. 자동차 회사가 기업을 존속시키기 위해서는 20세기의 '부정적인 유산'을 질질 끌어서는 안 된다.
- 안전 기술 실용화에는 자동차 이외의 업계와의 제휴를 빠뜨릴 수 없다. Nissan이 10월에 카나가와현(神奈川?)에서 시작한 교통사고를 막는 고속도로 교통시스템(ITS) 실험에는 Matsushita나 NTT DoCoMo 등 타업종이 참가한다. 향후 자동차의 안전 기술이 진화하는데에 수반하여 자동차와 타 업종의 자본 및 업무 제휴가 증가할 것으로 보인다.
- 90년대의 자동차의 세계 재편은 유럽과 미국 회사가 자본 제휴를 통해서 규모 확대를 목표로 했다. '환경', '안전'이 여는 자동차의 신세기. 그곳에서의 기술 쟁탈전이 재편의 초점이 될 것은 틀림없다.

<환경기술을 축으로 한 일본, 미국, 유럽 회사의 주요 자본 및 업무 제휴>



나. 계열 재편

(1) 고도 기술 둘러싸고 제 2막으로…

- 1999년, Nissan Revival Plan(NRP)을 시작으로 '계열 재편'이 새로운 단계에 들어갔다. Toyota나 Honda가 경영 통합이나 출자 강화로 계열 회사의 규모 확대를 도모하는 한편 펀드나 상사(商社) 등 새로운 자금의 출자자도 대두했다. 환경 기술, 안전 기술의 고도화에 수반하여높은 기술을 보유하고 있는 부품 회사들을 둘러싼 움직임이 가속되고 있다.

- 구(舊) Nissan계열이었던 에어백 대기업, 일본프라스토는 작년 7월에 Honda의 출자를 받아 들였다. 현재 Honda는 발행필 주식의 20·6%를 보유하는 최대 주주이다. Honda가 노린 것은 안전 기술의 요점이라고도 할 수 있는 에어백 개발을 자사 계열에 수중에 넣는 것이었다. 개발력이 있는 부품 회사를 산하에 두는 것으로서 노하우를 흡수하여 안전 기술에서 타사보다 선행하려는 기대가 있다.

- Honda는 그 밖에도 충돌시의 안전 확보에 중요한 역할을 담당하는 차체용 프레스 부품에서 Kikuchi프레스공업과 Marujun에의 출자를 확대했다. 4월에는 Hirata와 H1도 발족했다. 종래는 부품 회사에 출자하는 것에는 소극적이었지만, 환경 성능과 안전성이 높은 기술이 요구되고 있기 때문에 핵심 부품 회사에서는 필요에 따라서 '기술, 사람, 자본을 투입해 나간다'(후쿠이 타케오 : 福井威夫 사장)

는 방침으로 방향을 전환했다.

- 환경, 안전 기술의 고도화에 수반하여 부품 회사의 개발 부담도 늘어나고 있다. 부담에 견딜 수 있을 만한 재무 기반과 수익력이 요구되고 있다. Toyota계에서 전동 파워 스티어링을 다루는 Jtekt도 코요정공(Koyo Seiko)과 도요타공업기계가 합병해 1월에 발족했다. Toyota의 기술개발과 해외 전개를 따라 잡으려면 경영 체질을 강화하기 위한 합병이 불가결했다.

(2) 펀드가 재편의 중개역으로…

- 기술은 있지만 규모에 뒤떨어지는 독립계 메이커를 둘러싸고는 펀드가 재편의 중개역으로서 움직인다. Asahi Tech의 Metaldyne(미시간주) 매수를 주도한 RHJ International은 부품 업계에서 새로운 투자처를 찾기 위하여 의욕을 보이고 있다.

- RHJ는 같은 업종을 모으고, 제휴시키는 것으로 상승효과를 얻는 '롤업'이라는 방법을 자랑으로 여긴다. 향후에는 안전 기술의 분야에서 독립계 메이커에 출자해, 재편을 하게 할 가능성도 있다.

<계열을 둘러싼 최근의 주요 움직임>

	기업명	사업분야	계열	재편 움직임
▽ 2004년				
10월	도요타방직	내장 부품	Toyota	도요타방직, Araco(내장부문), Takanichi가 합병하여 발족
▽ 2005년				
5월	Kikuchi프레스 공업	차체용 골격 부품	Honda	Honda가 출자 비율을 8.3%에서 20.7%로 인상
7월	일본 프라스토	에어백	구 Nissan → Honda	Honda가 제 3자 할당증자를 맡아 최대 주주로
▽ 2006년				
1월	Jtekt	전동 파워 스티어링	Toyota	Koyo seikou, 도요타공기(工機)가 합병하여 발족
3월	Yuushin	전장 부품	독립계열	RHJ인터내셔널이 제 3자 할당증자를 맡아 최대 주주로
9월	Asahi Tech	주조 부품	독립계열, RHJ가 최대주주	Metaldyne매수를 발표

- 자동차에 있어서 중요도를 더하는 안전 기술. 부품 회사를 둘러싸고 타사보다 앞장서려고 하는 자동차 회사와 투자 기회를 살피는 펀드. 안전 기술을 둘러싼 쟁탈전은 아직도 시작되었던 바로 직후라고 말할 수 있을 것이다.

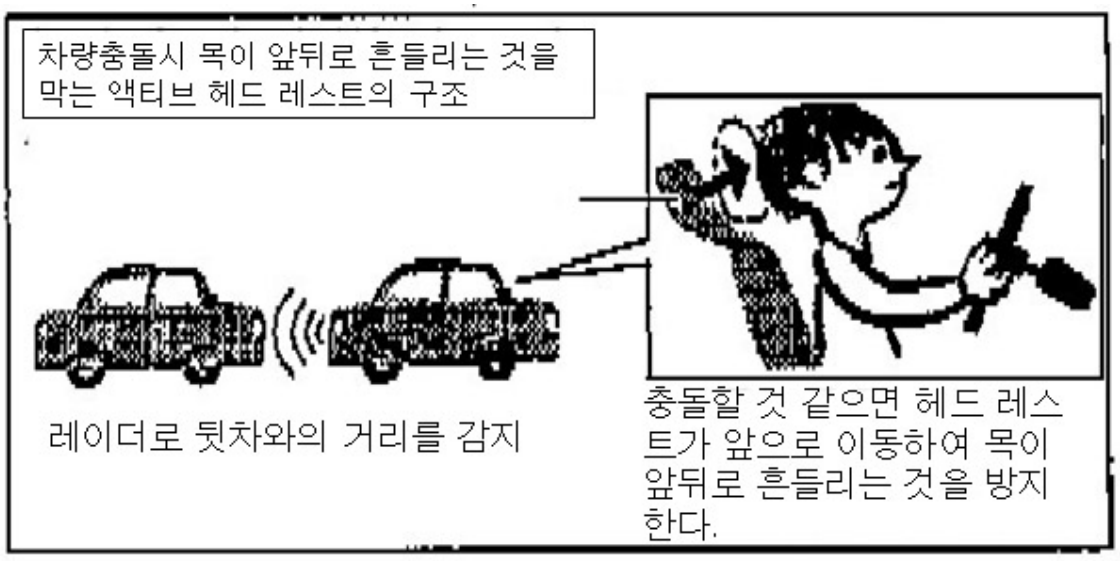
8 자동차의 新世紀 (2) - 안전기술과 통신기술 (원전 : 일경산업신문 '06/10/20)

가. 충돌 안전 경합

(1) 앞뒤로 흔들려서 입는 상해를 시트가 경감

- '사고를 내지 않는 차'의 개발이 가속되는 한편, 사고를 당했을 때를위한 충돌 안전 성능도 고도화되고 있다. 자동차, 자동차 부품 회사는 시트, 에어백등의 개량을 진행시켜 탑승자뿐만이 아니라 보행자의 피해를 경감하는 기능의 실용화를 서두른다.

- Toyota가 9월에 발매한 "LS460"에는 세계 최초의 충돌 안전 기술이 많이 적용되어 있다. 도요타방직은 충돌시 앞뒤로 흔들려서 입는 타박 상해를 경감시키는 시트를 Toyota와 공동 개발했다. 차체 후부에 부착된 센서가 차간거리를 감시하여, 충돌을 피할 수 없다고 판단되면 헤드 레스트가 운전자와 탑승자의 머리에 붙게 되며 앞으로 밀어내, 피해를 최소한으로 막는다.



<액티브 헤드 레스트의 구조>

- 향후에는 시트도 충격을 감지하는 센서와의 연결이 불가결하다. 단, 중량 센서나 ECU(전자 제어장치)등이 탑재되면 시트에 걸리는 부하가 높아지기 때문에 함부로 중량을 늘리면 연비가 악화된다. 그렇기 때문에 경량화와의 양립이 요구된다.

- Tachi-S는 시트의 프레임(골격)의 설계를 재검토해, 5년 전과 비교해 30% 경량화한 뒤 강도도 50% 높이는 것에 성공했다. 동사(同社)는 3모델 정도에 이 기술을 포함시켜, 세계 시장에 투입할 계획이다.

- 거의 모든 차에서 표준 장착되는 에어백. Takata는 에어백과 시트 벨트의 기술을 융합시킨 '에어 벨트'의 개발에 임하고 있다. 긴급시에는 시트 벨트가 순간적으로 부풀어 올라 에어백의 역할을 한다. 장착시의 쾌적성을 향상시키는 것이 과제이다.

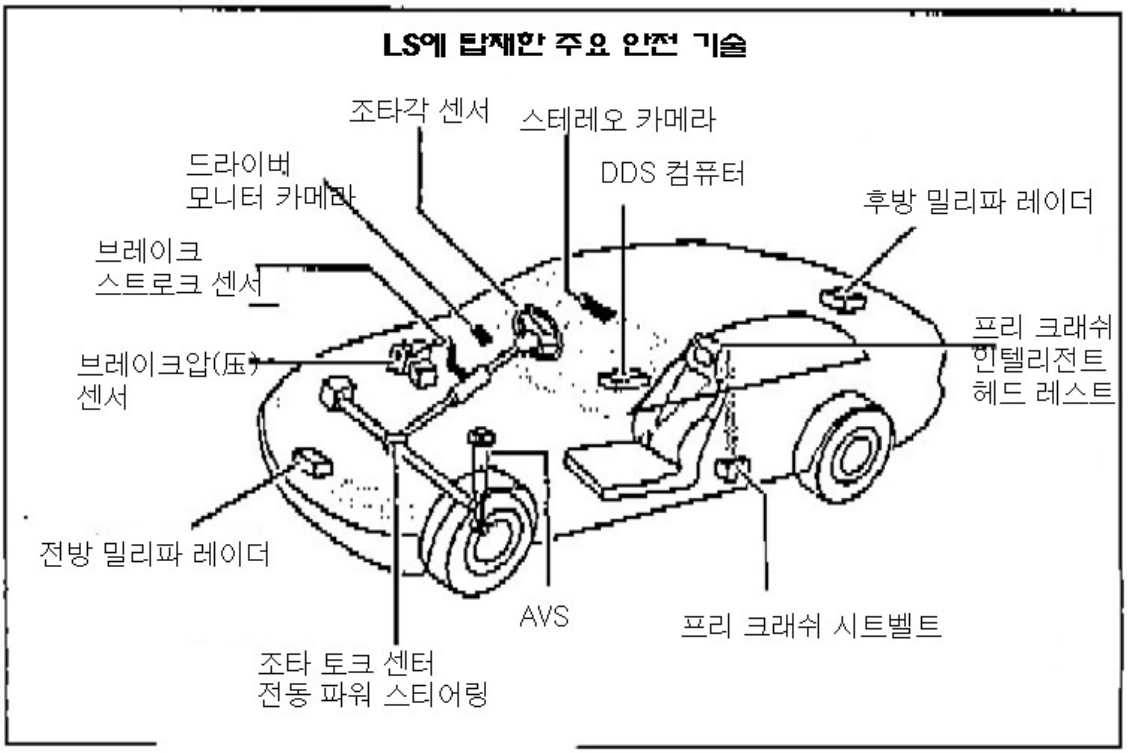
(2) 보행자를 충돌의 충격에서 지켜내는 구조 개발

- 완성차 회사가 다음 단계에서 목표로 하는것은 보행자를 충돌의 충격으로부터 지키는 구조이다.
- Honda는 '팝업 후드'라고 불리는 시스템을 일본 국내에 투입하는 것을 목표로 한다. 보행자와 충돌하면 보닛이 부상하여, 엔진 등의 딱딱한 부분에 머리가 부딪치는 것을 막는다. 가속도 센서와 차륜 속도 센서에서 검지한 뒤, 보닛을 부상시켜약 10cm의 완충 공간을 만들어 낸다.
- Nissan도 차 밖에서 순간에 부풀어 올라 A필러(프런트 글래스의 양쪽 가장자리 기둥)를 가리고 충격을 완화시키는 에어백의 개발을 진행시키고 있다. 이러한 보행자 보호 기구의 개발에는 부품 회사가 깊게 관여하고 있다.
- 충돌로부터 승무원이나 보행자를 지키는 기능은 고도화되어 완성차 회사와 부품 회사가 단독으로 개발하기는 어렵다. 센서 등 전자 기술의 비중도 높아져 타 업종과의 교류가 한층 요구되고 있다.

(3) 충돌 회피 "LS460"의 비장의 카드

- 교통사고 제로라는 자동차 사회의 이상을 목표로 '부딪치지 않는자동차'의 실용화가 조금씩 현실성을 띠어 왔다. Toyota가 06년 9월 발매한 고급차 브랜드 Lexus의 기함 차종 "LS460"은 충돌 회피 성능을 높인 최첨단 '프리 크래쉬 세이프티 시스템' 등 세계 최초의 안전 기술을 많이 탑재했다. 특히 각사가 고도의 기술을 투입하는 고급차 시장에서는 향후, 안전 성능의 우열에 의해 상품력이 크게 좌우될 것 같다.

- "LS460"의 안전 기술의 특징 중 하나가 전방의 장애물뿐만이 아니라 보행자도 검지해 드라이버의 충돌 회피 제동을 지원하는 '프리 크래쉬 세이프티 시스템'이다. 1-10밀리미터의 전파 레이더에서 보행자를 검지하면, 갑작스러운 핸들 조작을 하더라도차량의 안정성을 유지하면서 충돌을 회피할 수 있도록 서스펜션 등을 전동 제어해 회피 조작을 지원하는 구조이다. 자동브레이크를 걸어 충돌 속도도 저감시킨다.
- 스티어링 주변에는 드라이버의 얼굴 방향을 검지하는 카메라를 설치한다. 드라이버가 정면을 향하지 않은 경우에는 통상보다 빠른 타이밍에 경보를 울리고 주의를 재촉한다.
- 지금까지 보행자 검지는 어려웠다. 하지만 1-10밀리미터 전파 레이더에서 검지한 정보와 스테레오 카메라에 의한 입체물 인식 정보를 조합하는 방식을 적용하여 세계에서 처음으로 보행자 검지가 가능해졌다.
- '추돌 프리 크래쉬 세이프티 시스템'도 세계에서 최초로 탑재하는 기술이다. 1-10밀리미터의 전파레이더에서 후방 차량과의 거리나 상대 속도 등을검지한다. 추돌될 가능성이 높아지면 위험 표식 점멸 등으로 후방 차량에 위험을 알린다. 부딪힌 후 앞뒤로 흔들려 생기는 타박상 등의 충격을 완화하기 위해 헤드레스트도 자동으로 적절한 위치로 움직인다.



<LS 탑재 주요 기술>

- 또 하나의 특징이 도로 상황에 맞는 운전을 지원하는 시스템이다. 예를 들면 '레인 키핑 어시스트'는 고속도로 주행 시에 도로의 흰선을 카메라로 인식하여 전동 파워 스티어링을 제어하여 차량이 차선의 중앙 부근을 주행하기 쉽게 스티어링 조작을 지원한다. 차선을 일탈했을 때에 드라이버에게 경고하는 기능도 탑재했다.

- "LS460"의 안전 기술이 상징하는 것은 안전기술 개발의 초점이 종래의 에어백 등 충돌 후의 탑승자 보호에서 사고 회피 등 예방 안전으로 이동하고 있다는 것이다. Toyota는 '예방 안전 기술의 향상이 향후의 경쟁력의 원천의 하나가 될 것'이라며, 현재 Denso나 Aisin정기(精機) 등 그룹 차원에서 기술의 고도화를 진행시킨다.

(4) 해외 고급차 회사도 안전 기술을 중요시

- 안전 기술을 중요하게 여기는 것은 해외의 고급차 회사도 마찬가지이다. DCX가 05년 가을에 발매한 Mercedes Benz의 최상급 모델 "S class"는 전방의 장애물을 마이크로파로 검지하는 충돌 방지 시스템 'Stop and Go Assistance'를 탑재했다. BMW는 적외선을 이용해 야간주행시의 시인성을 높이는 '나이트 비전'을

적용했다.

- Nissan이나 Honda 등 일본 회사도 고급차를 중심으로 충돌 방지 시스템을 잇따라 적용하고 있다.

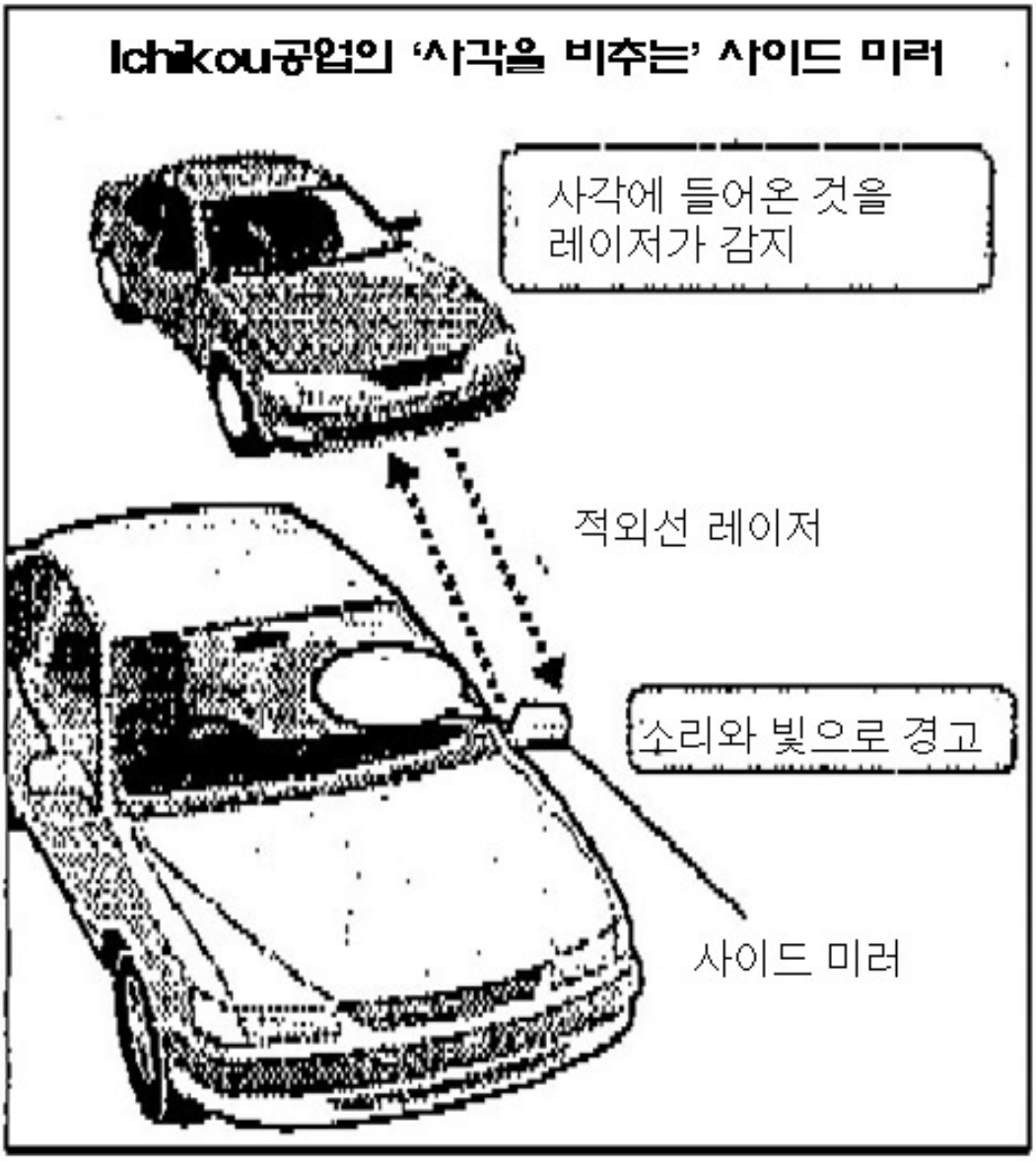
(5) 향후의 과제는 고급차 이외의 보급

- 향후의 과제는 고급차 이외의 보급이다.Toyota의 와타나베 카츠아키(渡?捷昭) 사장은 '안전 기술이 모든 차에 되지 않는 이상 교통 사고가 제로인 사회의 실현은 어렵다'며 양산차에 표준 장착하는 것이 필요하다고 보고 있다. 하지만 "LS460"에서도 안전 기술의 대부분이 옵션으로, 약 100만엔의 부담이 필요하다.향후에는 안전성능을 높이면서 얼만큼 원가를 낮출 수 있는지가 경쟁력을 크게 좌우할 것 같다.

나. 없어지는 사각

(1) 미러에서 사각 감지

- 미러에서는 ichikou공업이 운전 중에 진로 변경 등을 할 때, 간과하기 십상인 사각에 들어간 차나 오토바이의 존재를 운전자에게 알리는 기술을 개발했다.알려 주는 것은 사이드 미러에 붙인 레이더이다. 운전기사가 직접인식할 수 없고, 미러도 비출 수 없는 범위를 감시해, 사각에 차 등이 들어가면 소리와 빛으로 운전자에게 알린다.



<사각을 미추는 사이드 미러>

(2) 「빛」진화로 넓어지는 시야

- 자동차의 헤드 램프나 미러가 보이는 시야가 넓어지고 있다. AFS(자동배광가변 시스템)는 차의 움직임을 먼저 확인할 수 있고, 반응속도가 빠른 LED(발광다이오드)헤드 램프도 실용화가 가깝다. 램프뿐만이 아니라 미러도 전자화가 되고 있는 가운데 존재감이 커지고 있다. 완성차 회사가 '안전'이라는 부가가치를 추구하는 가운데 부품 회사는 새로운 기술을 탑재하여 차량 적용을 목표로 한다.

- AFS는 센서와 마이크로컴퓨터로 구성되어 있으며, 차의작동 상황이나 주변 환경에 따라 자동적으로 빛의 양이나 방향을 바꾼다. 빛을 가장 적합하게 쬐는 것으로 안전성을 높이는 구조이다. 예를 들면 핸들을 돌리면 램프가 자동적으로 움직여 차가 방향 전환할 쪽을 비추는 구조이다.
- 현재까지 상품화된 것은 가로 방향만으로 움직이는 램프. 07년에는 '등화기의 보안 기준'이 완화될 전망으로, 이 규제 완화로 상하 방향에도 적용시킬 수 있게 되어 보다 세세한 제어가 가능해진다.
- koito제작소는 Denso 등과 공동으로 카내비게이션 시스템과 연동하는 AFS 개발을 진행시킨다. 터널에 가까워지면 점등하고, 밝은 거리에 들어가면 빛을 경감시키는 시스템이다. 지도 정보를 읽어내면 핸들을 돌리기 전에 방향을 먼저 찾아 비추는 것도 가능하게 된다.

- 램프의 광원 그 자체도 진화한다. 차세대 주인공으로 여겨지고 있는 LED 헤드램프. 기존 제품에 비해 가볍고, 전력 절약, 긴 수명이라고 하는 특징을 가져 연비 개선에 공헌하는 점만이 주목받기 쉽상이지만, 반응도가 높은 점도 강점이다. AFS과 조합하면 세세한 제어가 가능하게 된다. 스탠리전기는 LED 광원을 제조하여, 실용화를 기다린다.
- LED 헤드 램프는 Toyota의 Lexus에서 07년 봄 발매 신형 하이브리드카 "LS600h"에 처음으로 탑재된다고 하는데, 비용이 낮아지면 단번에 헤드 램프의 주류가 될지 모른다.
- 차체에 탑재되는 센서나 카메라의 수는 해마다 계속 증가하고 있다. 진화하는 안전 기술은 시각, 청각 등 운전자의 오감의 한계를 보충한다. '자신의 차를 하늘에서 보는 감각으로 운전하는'시대도 그렇게 멀지 않다고 한다.

다. 통신 기술

(1) 차의 전자화로 통신 기술 개발 가속

- 06년 10월 초 치바시의 마쿠하리 messe에서 열린 디지털 가전"@및 IT(정보기술) 기기의 상품 전시회 'CEATEC Japan 2006'. 초박형 TV나 차세대 DVD 등 최첨단 기기가 진열된 가운데 전기회사가 출품한 차량용 기기나 부품도 관람자의 주목을 끌었다. 안전성과 제어의 편리성을 높이기 위한통신기술에서 전기 회사,

디바이스 회사의 제품 투입이 가속되고 있다.

- Matsushita는 DSRC(협역무선)라고 부르는 로(路)-차(車)간의 통신기술을 응용한 다기능형 자동요금수수 시스템(ETC) 차량용 기기를 개발했다. DSRC를 응용한 서비스가 본격화될 것으로 여겨지는 2009년도를 목표로 제품화시킬 계획이다. 전기 기기에서 기른 개발 능력과 통신 인프라의 제조/판매할 수 있는 종합력을 지렛대로 사업의 확대를 노린다.
- 지금까지의 차량용 ETC기기는 고속도로의 요금 수수가 주요한 기능이었지만, DSRC을 이용하면 근린의 교통 정보의 취득이나 주유소에서의 전자 결제가 가능해진다. 예를 들면 시야가 나쁘고, 교통사고가 일어나기 쉬운 장소에 카메라를 설치해, DSRC으로 근린을 주행하는 자동차에 정보를 보내면, 사고를 미리막을 수 있게 되어 안전성능이 높아진다.

- 차내 통신기술의 개발도 진행된다. 반도체 회사인 르네사스테크놀로지는 차내LAN(구내 정보통신망)의 차세대 규격 'FlexRay'에 대응한 시작(試作) 카트를 제작했다. 액셀레이터와 스티어링, 브레이크를 제어하는 자사의 마이크로컴퓨터를 탑재하고 있다. 드라이버의 조종을 전기 신호로 변환시키고, 자동차의 바퀴 부분이나 그 주변 기구를 작동시킨다.
- FlexRay의 통신 속도는 매초 10MB로 현재의 차내 LAN의 대략 10배이다. 스티어링의 회전에 맞추어 차바퀴를 기울이는 동작은 현행 규격에서는 어색함이 눈에 띄지만, FlexRay에서는 부드럽게 전할수 있다. 와이어나 기구 부품이 불필요해지기 때문에 자동차의 경량화나 안전 기술과의 융합으로 연결될 것으로 보인다.

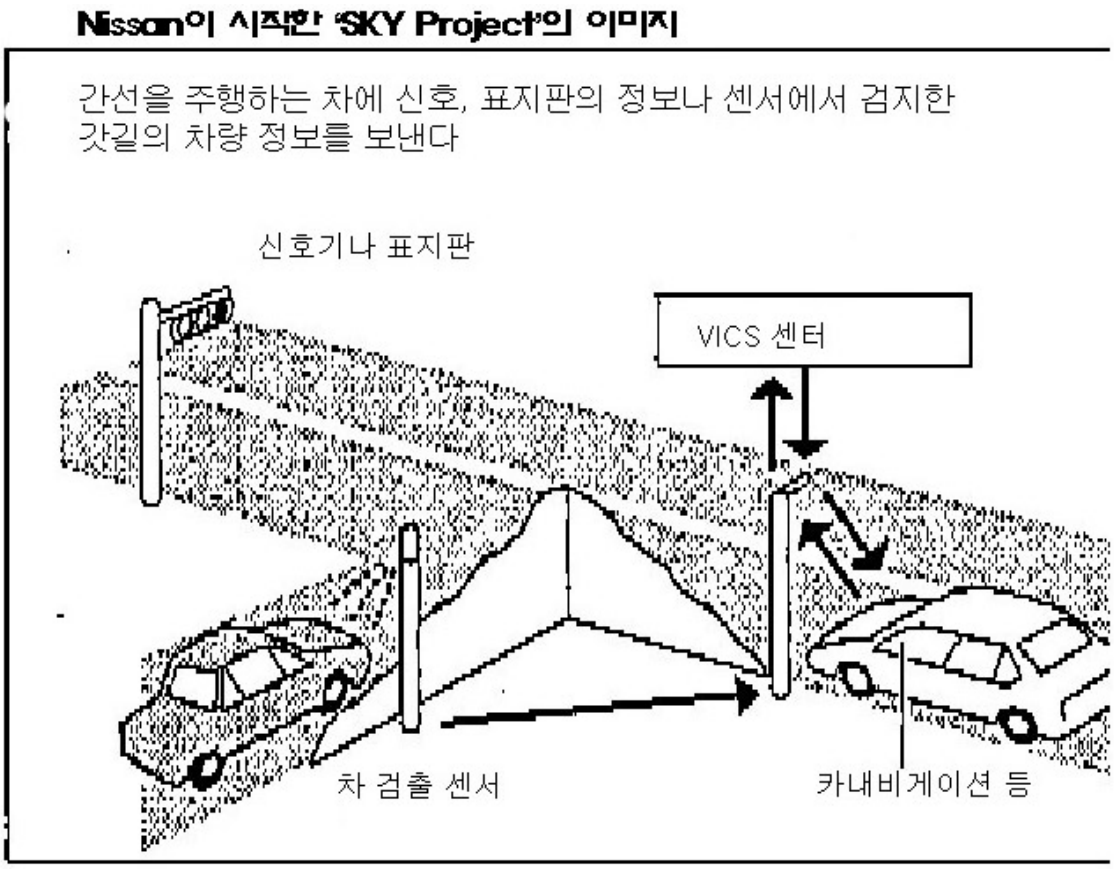
- 급속히 진행되는 자동차의 전자화는 전기 회사와 디바이스 회사에 있어서 큰 비즈니스 찬스이다. Fuji키메라에 의하면, 2011년의 차량 전장품의 세계 시장규모는 환경 대책이나 정보 통신 전용에서만 13조 8060억엔으로 05년에 비해 28% 증가될 것으로 예상된다. Clarion 매수를 결정한 Hitachi제작소는 2010년도에 자동차 사업 매상고 1조엔을 목표로 하고 있다

라. ITS

(1) 2010년 실용화에 실험

- 교통사고 방지나 정체 완화로 연결되는 고속도로 교통시스템(ITS)의 보급이 가까워지고 있다. Nissan이 06년 10월부터 일반 시민 참가형 ITS 실험을 시작한 것 외에 Toyota나 Honda도 같은 실험을 계획하고 있다. 2010년까지 일본 정부가 ITS을 사용한 안전운전 지원 시스템 실용화를 목표로 하고 있으며, 자동차 회사도 실용화를 향해서 라스트 스퍼트를 시작했다.

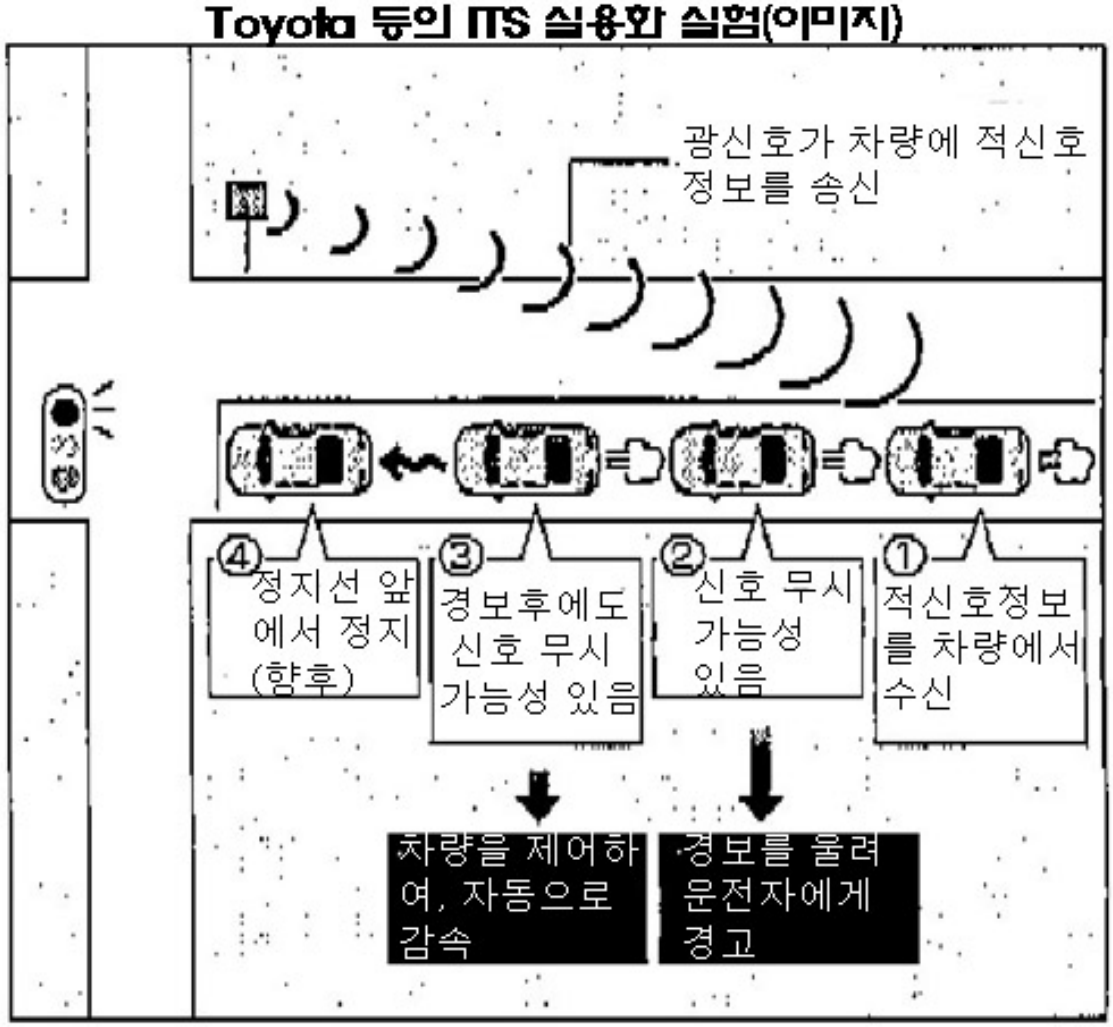
- Nissan이 Matsushita, NTT DoCoMo, 경찰청등의 협력을 얻어 요코하마시에서 시작한 ITS 실험 'SKY 프로젝트'에는 약 1만명의 일반 시민이 참가한다. 교통 정보의 제공에 사용되고 있는도로 통신설비 '광신호'나 카내비게이션 시스템이라는 기존의 인프라를 활용한다. '향후의 일도 생각하여, 보급하기 쉬운구조를 의식하여 개발했다'(IT&ITS 개발부의 후쿠시마 마사오(福島正夫)씨)고 한다.
- 전망이 좋지 않은 교차점이나 잘 보이지 않는 신호, 일시 정지의 표지 등 사고가 일어나기 쉬운 장소에 광신호를 설치했다. 감속하지 않고 차가 가까워지면 카내비게이션의 화면이나 소리로 위험을 운전자에게 알리는 구조이다. 실험은 07년 말까지 계속해 2010년에 상용화를 목표로 하고 있다.



<Nissan의 ITS 실험 'Sky 프로젝트'>

- Toyota는 아이치현 도요타시와 공동으로, ITS의 실용화 실험을 가까운 시일내에 시작한다. 운전 기사가 신호를 무시하는 등 교통 규칙을 위반하거나 잘못된 판단을 하여 잘못된 조작을 해 사고 발생의 위험성이 높아지면, 광신호등이 전용 차량기기와 통신하여, 차량을 자동 제어하여 감속시킨다. 향후에는 정지선 앞에서 정차시키는 일도 시야에 넣고 실험을 진행시킨다.
- 국도에서 ITS을 활용한 차량 제어 실험을 하는 것은 세계 최초라고 한다. Toyota는 07년도까지의 2년간 실험용 시스템 개발에 50억엔 남짓을 투자해, 2010년에 실용화하는 것을 목표로 한다.
- Toyota는 나고야(名古屋)대학과 함께 카내비게이션과 ITS 등 정보계를 제어하는 기본 소프트(OS) 개발의 산학 프로젝트도 시작했다. 개발하고 있는 OS는 정보계에 머무르지 않고, '달리고, 멈추고, 방향을 전환하는' 차의 기본 기능과도 제휴시킬 생각이다. 카내비게이션이나 차 밖과의 통신으로부터 얻을 수 있던 교통

정보를 기초로 브레이크나 핸들을 자동적으로 움직이는 것도 가능하게 될 것이라고 한다.



<Toyota의 ITS 실용화 실험>

- 차량용 단말도 진화한다. 07년에는 자동요금수수 시스템(ETC)에서 사용되고 있는 통신규격을 사용해, 차끼리 통신도 할 수 있는 차량용 단말이 등장할 전망이다. 마주치자마자나는 사고나 우회전 하려고 하고 있는 차와 직진 하는 차와의 정면충돌 등도 피할 수 있다. Matsushita 등 전기 회사가 실용화를 위한 개발을 진행시키고 있다.

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 어드밴스드 에어백 알고리즘 선행 개발

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 선행 개발

1. 전개/비전개 조건 결정

에어백, 프리텐셔너와 같은 승객구속장치의 전개/비전개는 기본적으로 승객의 상해가 최소가 되도록 작동하여야 한다. 예를 들면 20마일 정면충돌이고 안전벨트를 장착한 상황에서 5% 여성일 경우에 대하여 다음과 같은 4가지 상황이 있다고 가정을 할 때, 이중에서 승객상해가 최소가 되는 조건으로 구속장치가 동작하여야 한다.

①에어백과 프리텐셔너를 비전개시킨 경우,

②프리텐셔너는 전개, 에어백은 비전개 시키는 경우,

③프리텐셔너 전개, 에어백 저압전개의 경우,

④프리텐셔너 전개, 에어백 고압전개의 경우

본 과제의 경우 Dual Stage Inflator를 적용함에 따라 1차(Low) Output과 2차(High) Output 전개 Threshold가 구분되며, 또한 벨트 착용/미착용 조건의 Threshold로 구분하였다. Threshold 상세 구분은 다음과 같다.

- ○ 운전석/조수석 동시 벨트 미착용 조건에서는
  - No Fire Threshold
  - Must Fire Low Output Threshold
  - Must Fire High Output threshold로 설정 되고,
- ○ 운전석/조수석 동시 벨트 착용 조건에서는
  - Belt Pre-Tensioner No Fire Threshold
  - Belt Pre-Tensioner No Fire Threshold
  - Airbag No Fire Threshold
  - Must Fire Low Output Threshold
  - Must Fire High Output threshold로 설정되었다.
- ○ 운전석 또는 조수석의 어느 한쪽만 벨트를 착용(다른 한쪽이 벨트를 미착용)한

조건

- 1차 Threshold는 운전석/조수석 모두 벨트 미착용 조건과 동일하게 적용하고,
- 2차 Threshold는 각각 벨트 착용조건과 미착용 조건에 부합하도록 적용되었다.

STPS (Seat Track Position Sensor)의 위치정보에 따라 시트 전방위치에서는 High Output이 미전개 (High Output Disabled) 되도록 하였다.

이와 같은 고려사항을 반영하여 과제 대상 차량에 대하여 충돌 유형별, 승객 유형별, 충돌 속도별 조건에서의 승객구속장치 전개/비전개 조건을 얻을 수 있었다.

2. 충돌 심각도(Crash Severity) 분석

더미 종류 2가지 (M: 50% male, F: 5% female), 벨트조건 2가지 (Belted, Unbelted)에 대한 총 4가지 조건(M/B, F/B, M/UB, F/UB)에서 가능한 구속조건(NF, PT, 1st, 2nd)의 산술적 조합의 개수는 4×4×4×4=256가지이다. 이중에서 다음과 같은 5가지 경우를 제외하게 되면 <표 3-1-1>과 같이 6단계로 모든 구속장치 전개조합을 표현할 수 있다.

1. Unbelted 조건에서 프리텐셔너 전개(PT)조건 불가

2. 저속에서 Male/Female 경계치 동일하게 설정

3. Female의 경우에는 에어백을 고압전개시키지 않음

4. Unbelted의 경우, 동일조건의 belted와 비교하여 저압전개(1st)와 고압전개(2nd) 시점이 같거나 빠름

5. 동일한 severity level에서 구속장치 전개조건이 2단계 이상 차이날 수 없음

(ex: NF NF 1st 1st 또는 PT PT 2nd 2nd 등)

이러한 6단계의 충돌 심각도를 전개/비전개 조건 테이블에 적용하면 GRAY 영역에서 인접 LEVEL이 중복되면서 LEVEL0부터 LEVEL5가 순차적으로 배열된다. 따라서, 알고리즘에서 충돌 심각도를 분석한 결과가 LEVEL4로 나왔다면 승객조건(ex: Male)과 벨트조건(ex: UB)에 따라서 2nd로 에어백을 전개시키도록 시스템을 구성하면 된다.

<표 3-1-1> 충돌 심각도 구분

M/B	F/B	M/UB	F/UB		SEVERITY
NF	NF	NF	NF	→	LEVEL 0
PT	PT	NF	NF	→	LEVEL 1
PT	PT	1ST	1ST	→	LEVEL 2
1ST	1ST	1ST	1ST	→	LEVEL 3
1ST	1ST	2ND	1ST	→	LEVEL 4
2ND	1ST	2ND	1ST	→	LEVEL 5

3. Crash Severity 알고리즘 설계

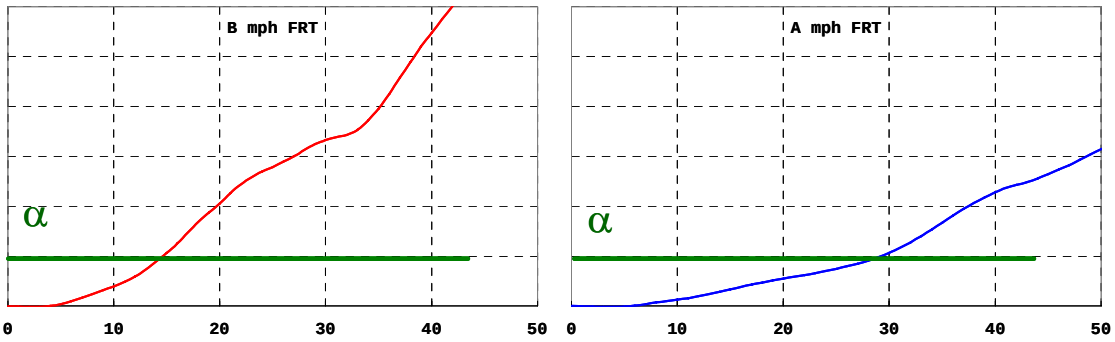
가. 타사 알고리즘 분석

프리텐셔너, 에어백과 같은 승객구속장치의 전개여부 및 전개시점 결정은 기본적으로 승객의 상해가 최소가 되도록 결정하여야 한다. 그러나 사고 발생 실시간에 승객상해 해석을 수행하여 시점을 결정하는 것은 현실적으로 불가능하다. 이에 대한 대안으로 충돌특성을 잘 감지할 수 있는 위치에 장착된 센서로부터 측정된 신호 또는 이 신호가 가공된 값이 설정된 임계값을 넘는 시점에 에어백을 전개시키는 방법이 주로 사용된다. 이러한 임계값 설정방법에는 임력신호에 상관없이 미리 설정된 임계값을 사용하는 정적 임계값(static threshold) 방법과, 입력신호에 따라 임계값이 변하는 동적 임계값(dynamic threshold) 방법이 있다. 타사 알고리즘을 이러한 분류법에 따라 나누어보면, K사, A사는 정적 임계값을 사용하고, B사, S사는 동적 임계값을 사용한다.

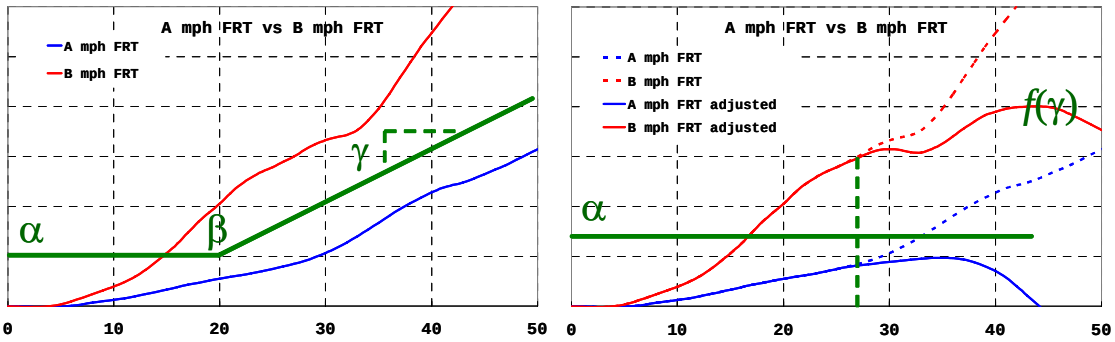
① K사 알고리즘

<그림 3-1-1>과 같이 전개조건인 충돌신호(왼쪽)와 비전개조건인 충돌신호(오른쪽)가 있을 때 임계값을 상수 α로 설정하면 모든 신호에 대하여 어느 순간에서는 임계값을 넘어서는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 임계값을 <그림 3-1-2>의 왼쪽 그래프에서 보는 바와 같이 파라미터에 의해 정의될 수 있는 직선 또는 곡선의 조합으로 임계값을 설정하여 전개조건신호와 비전개조건신호를 구분할 수 있다. 이와 같이 충돌신호는 그대로 사용하고 임계값 그래프를 변형하는 방법을 역으로 생각하면, <그림 3-1-2>와 같이 임계값을 직선으로 사용하고 충돌

신호를 변형하는 방법이 있을 수 있다. 이 두 가지 방법은 표현법의 차이일 뿐 결과는 동일하다고 할 수 있으며, K사에서는 후자의 방법을 사용하였다.



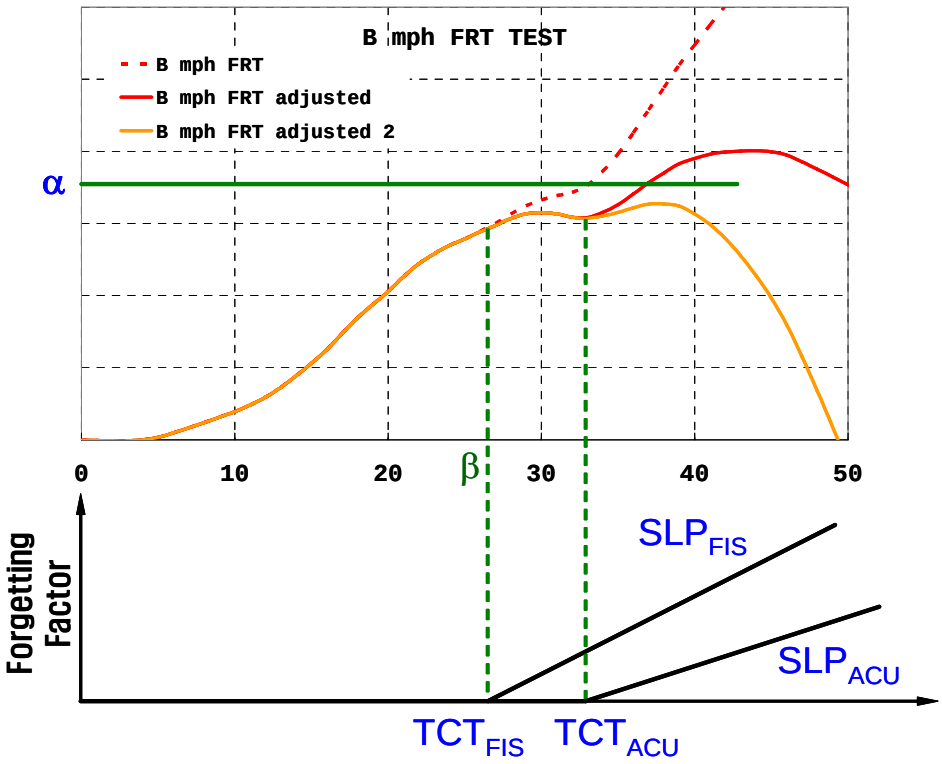
<그림 3-1-1> 전개조건충돌과 비전개조건 충돌



<그림 3-1-2> 임계값 설정방법

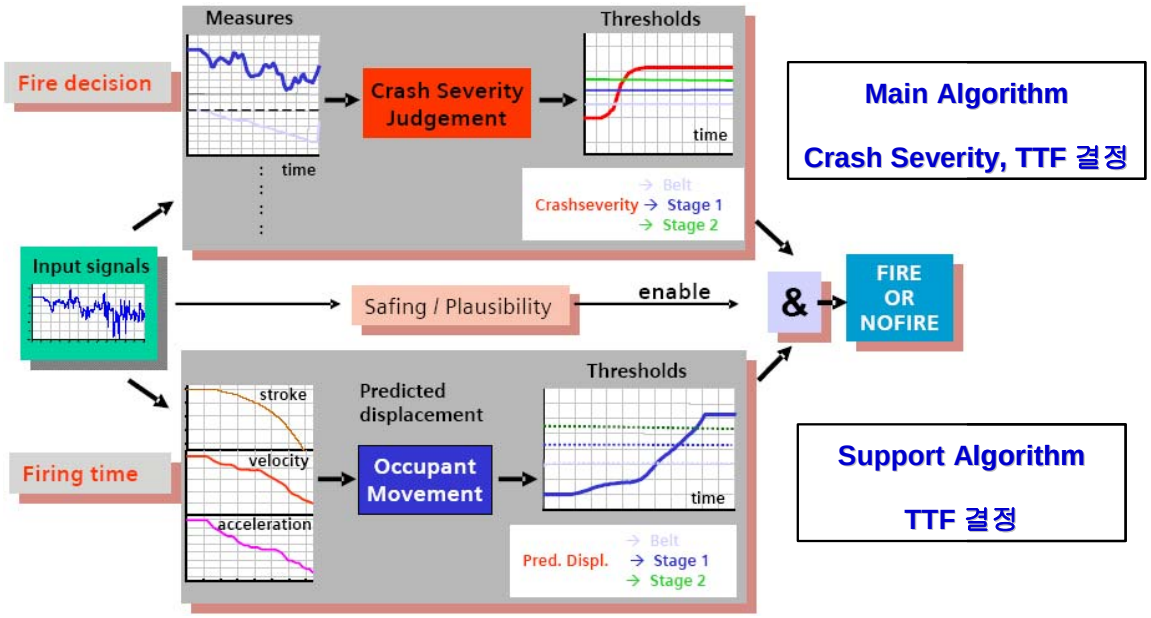
K사에서 사용한 충돌신호 변경방법은 <그림 3-1-3>에 나타내었다. 전방센서 신호가 전방센서 임계값을 넘어서는 시간인 TCT_{FIS} 시점부터 충돌신호에 변형을 주기 시작하며, ACU센서가 ACU 임계값인 α를 넘어서는 TCT_{ACU} 시점부터는 전방센서에 의한 인자와 ACU센서에 의한 인자를 중복하여 충돌신호를 변형한다.

K사에서는 충돌유형, 물리적 특성 등을 나타내는 10여 가지 알고리즘 변수를 이와 같은 방법으로 변형한 후 적절한 논리회로를 구성하여 구속장치 전개 여부 및 전개시점을 결정한다.



<그림 3-1-3> 충돌신호 변경방법

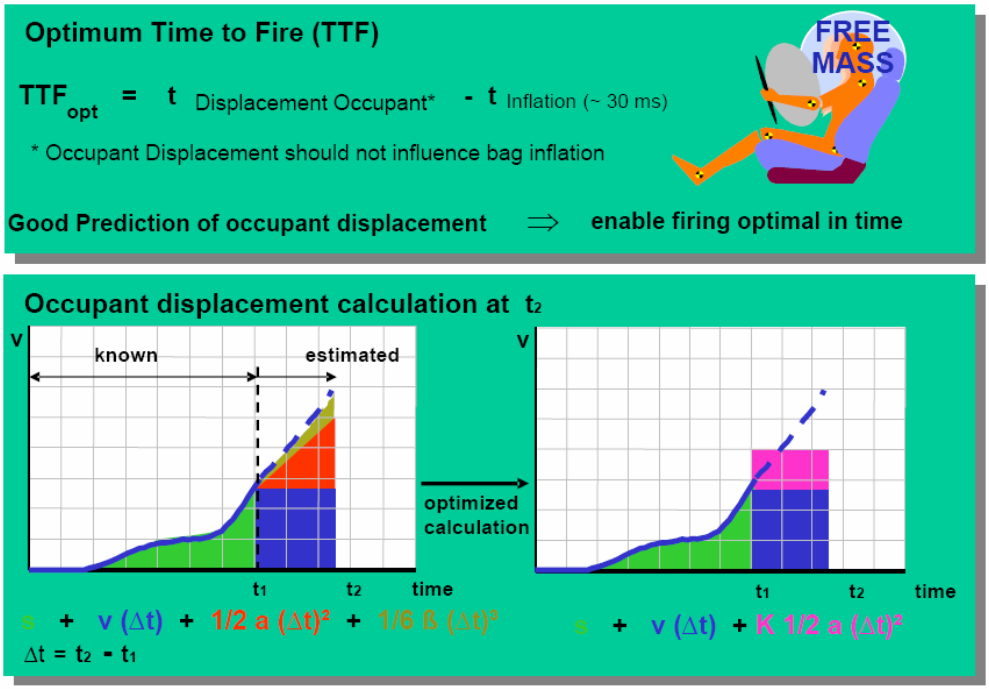
② S사 알고리즘



<그림 3-1-4> S사 알고리즘의 구성

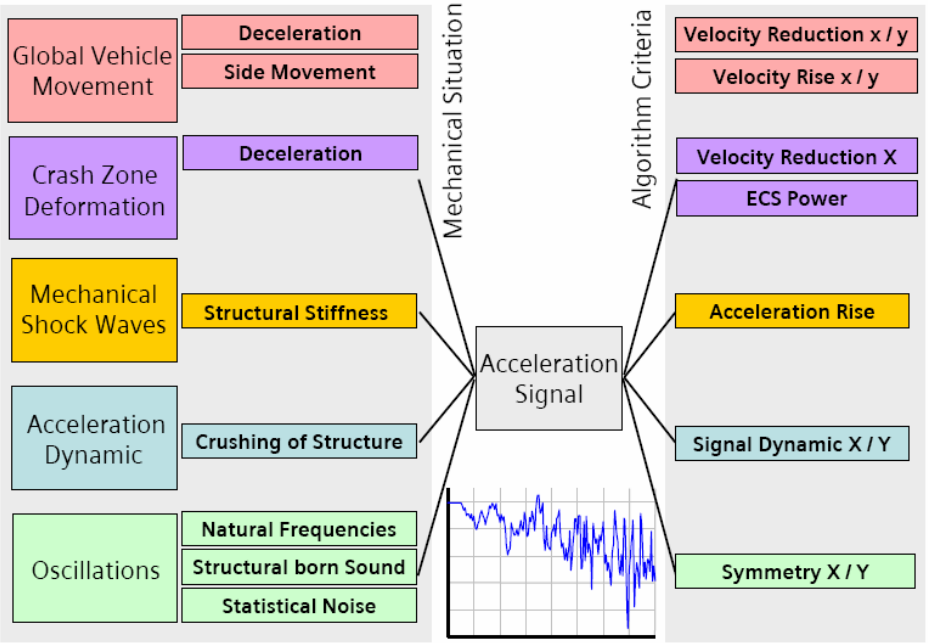
S사 알고리즘은 <그림 3-1-4>에서 보는 바와 같이 crash severity와 TTF를 결정하는 주

알고리즘 부분과 TTF결정에 보조 정보를 제공하는 보조 알고리즘으로 구성되며, 에어백 시스템의 오류방지를 위한 Safing/Plausibility 부분이 있다. 보조 알고리즘에서 사용되는 predicted displacement는 승객의 거동을 예측하는 변수로서 5''-30msec 법칙을 사용하였다. <그림 3-1-5>



<그림 3-1-5> Predicted displacement

주 알고리즘과 보조 알고리즘에서는 <그림 3-1-6>과 같이 센서에서 측정된 가속도 신호를 변형하여 차량의 움직임, 충돌부위의 변형, 기계적 충격파, 가속도 신호의 역동성 및 신호의 진동측성과 같은 물리량을 계산하여 사용한다.



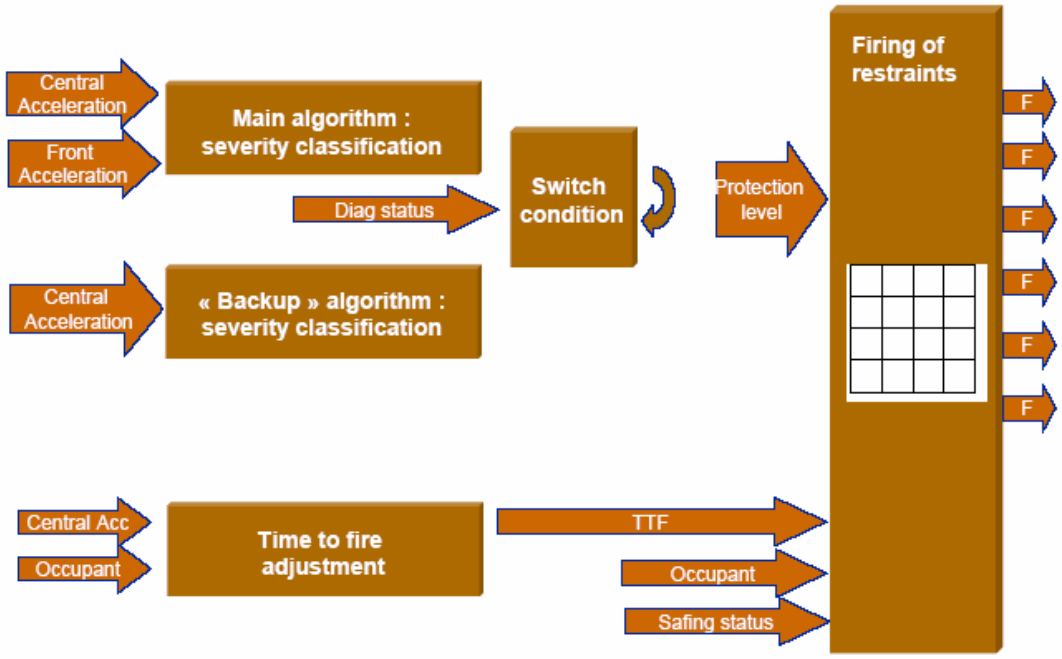
<그림 3-1-6> S사 알고리즘 변수

③ A사 알고리즘

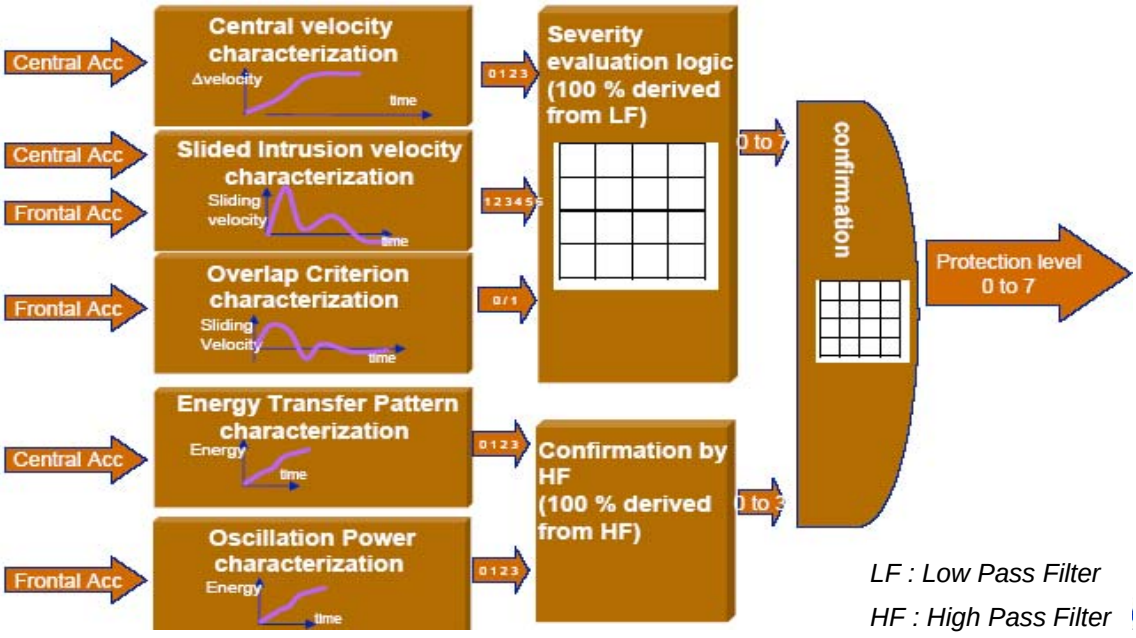
A사 알고리즘은 <그림 3-1-7>에서 보는 바와 같이 ACU 센서신호(Central Acceleration)와 전방센서신호(Front Acceleration)를 이용하여 충돌정도를 구분하는 주 알고리즘부분과 점화시간을 결정하는 부분, 전방센서가 유효한 신호를 주지 못할 경우를 대비하여 ACU 신호만으로 작동하는 백업 알고리즘의 세부분으로 구성되어 있다.

주 알고리즘에서는 ACU 센서신호 또는 전방센서신호를 이용하여 속도 등의 물리량을 계산하며 이를 근거로 0~7까지의 8단계로 충돌정도를 구분한다. <그림 3-1-8>

충돌정도를 구분하는데 사용되는 변수는 central velocity, slided intrusion velocity, overlap criterion, energy transfer pattern, oscillation power가 있으며, 각 변수의 특징과 관련 수식은 <표 3-1-2>에 정리하였다.



<그림 3-1-7> A사 알고리즘의 구성



<그림 3-1-8> Main algorithm

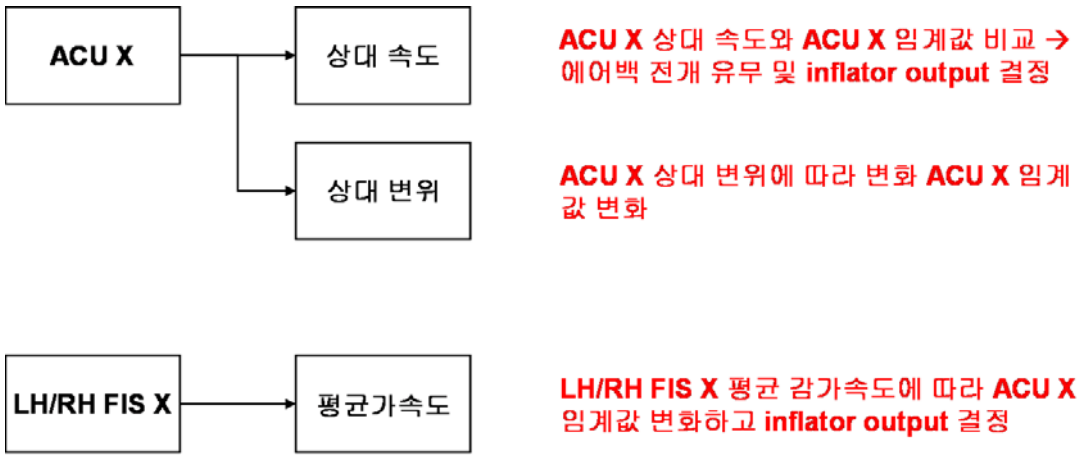
<표 3-1-2> 알고리즘 변수

Criterion	Characteristics	Equation
Center Velocity	Measure Energy at Center Tunnel Confirms Major Event Aids in Discrimination of misuse	$V_c(t) = \int_0^t Acc_{cent}(u)du$
Front Sensor SIV (Sliding Intrusion Vel.)	Measures difference between Front and Center signal Aids discrimination of stiff barriers from soft	$SIV_{EFS}(t) = \int_{t-SW}^{t} (Acc_{EFS}(u) - \gamma Acc_{cent}(u))du$ $\gamma = 0 \text{ or } 1$
Front Sensor Overlap	Measures difference between both Front signals Aids discrimination of offset from frontal	$OC = SIV_{EFS\,left} - SIV_{EFS\,right}$
Center ETP (Energy Transfer Pattern)	Measures center energy present in medium frequencies Confirmation deployment event Aids discrimination of misuse and abuse	$ETP(t) = \int_0^t \left\| \frac{d(Acc_c)}{dt}(u) \right\| du$
Front Oscillation Power	Measures front energy present in medium frequency Helps discrimination of center pole and overrides	$OP(t) = \int_0^t \left| Acc_{FRSU\,left}(u) \right| du + \int_0^t \left| Acc_{FRSU\,right}(u) \right| du$

④ T사 알고리즘

평균가속도, 속도, 변위를 이용하여 에어백 전개 유무 및 충돌 정도를 결정한다.

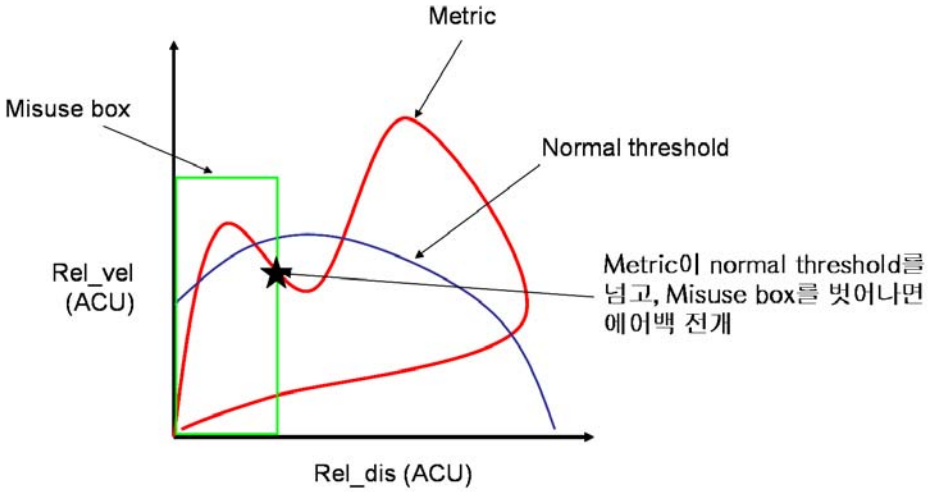
(가) 신호처리: 상대속도. 상대변위, 평균 가속도



<그림 3-1-9> T사 Metric 변수 계산

(나) 기본 에어백 전개 시점 판정

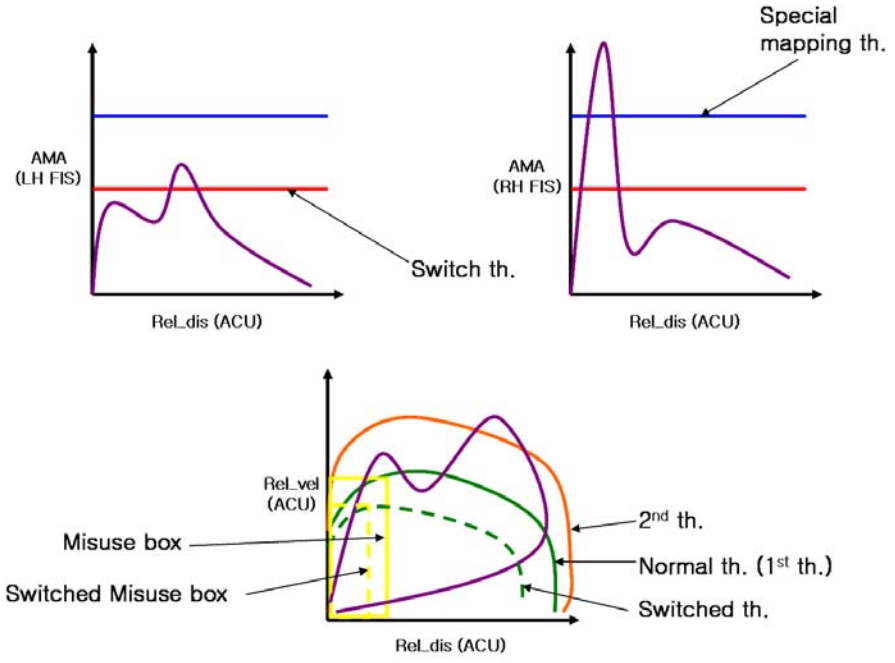
Metric이 Normal Threshold를 넘은 적이 있고, Misuse Box를 벗어난 시점(별표)에서 에어백을 전개한다.



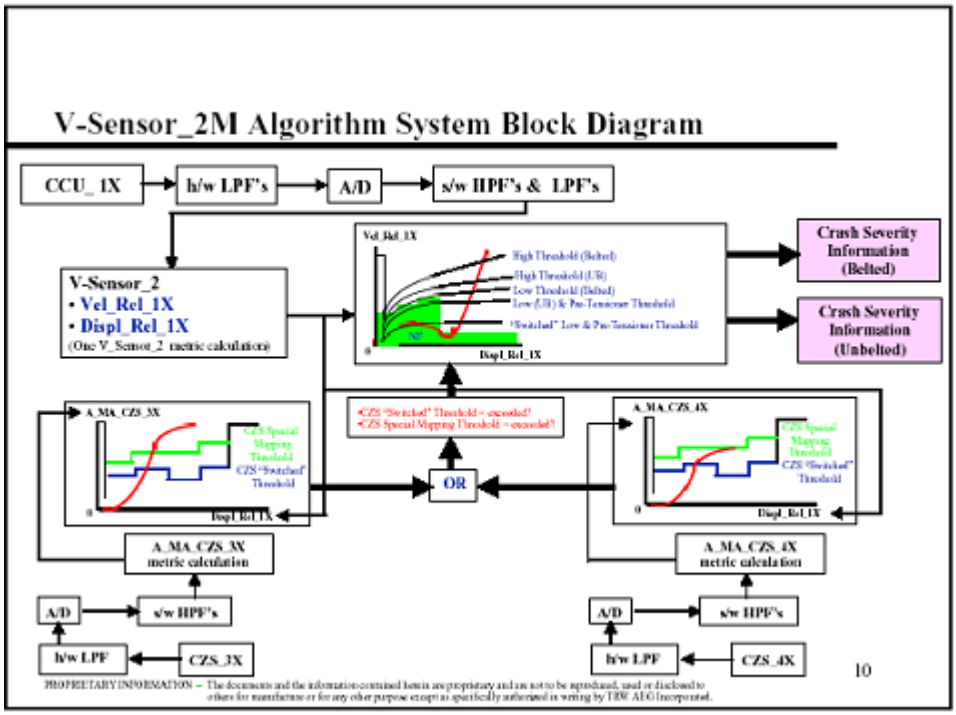
<그림 3-1-10> 기본 에어백 전개 시점

(다) 알고리즘 Metric Plot

FIS에 의한 충돌 구분/정도 판정 방법 적용과 Metric의 Threshold 초과여부에 따라 에어백 전개 여부 Inflator 출력을 결정한다.



<그림 3-1-11> T사 알고리즘 Metric Plot>

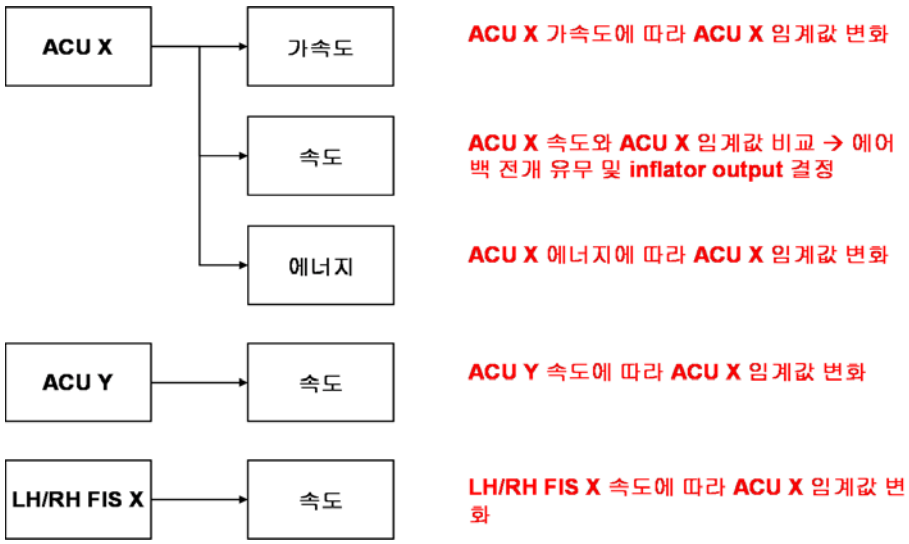


<그림 3-1-12> T사 알고리즘 블록도

⑤ B사 알고리즘

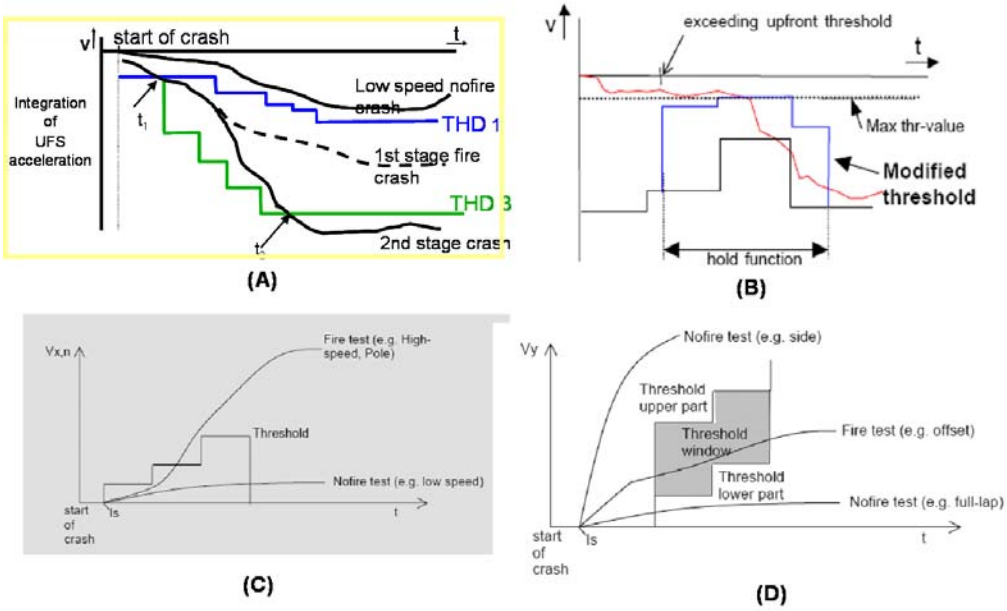
시간 BASE 알고리즘으로, ACU X를 이용 가속도, 속도, 에너지값을 구하여 에어백 전개 유무 및 충돌 정도를 결정하고, FIS를 이용 속도값을 구하여 ACU X를 보조 한다.

(가) 기본 변수



<그림 3-1-13> B사 Metric 변수 계산

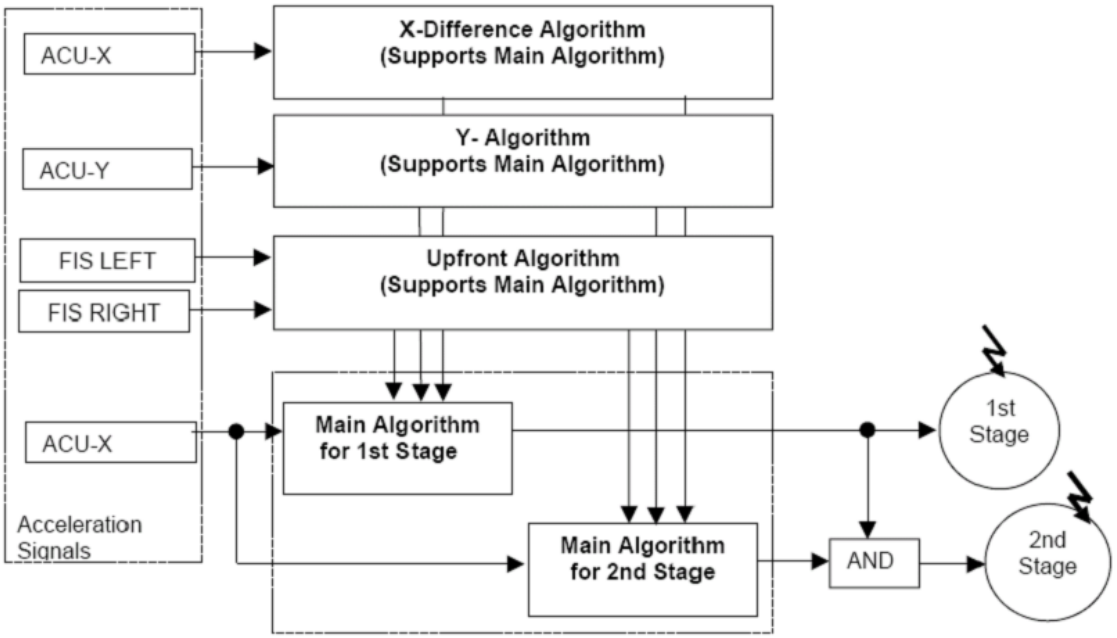
(나) 알고리즘 개요



<그림 3-1-14> B사 Metric Plot

Metric Plot에 대한 기본적인 내용은 다음과 같다.

- (A) 전방센서에 의한 1차/2차 CRASH 시점 결정
- (B) 전방센서에 Threshold trigger 시, ACU X에 대한 Threshold 변경 (trigger시점 단축)
- (C) X-Difference 알고리즘을 이용 충돌유형 구분에 사용: HighSpeed/Pole 충돌
- (D) ACU Y 알고리즘을 이용 충돌 유형 구분에 사용: Offset 충돌



<그림 3-1-15> 알고리즘 구성

나. TIME BASED 알고리즘 개발

① 알고리즘 흐름

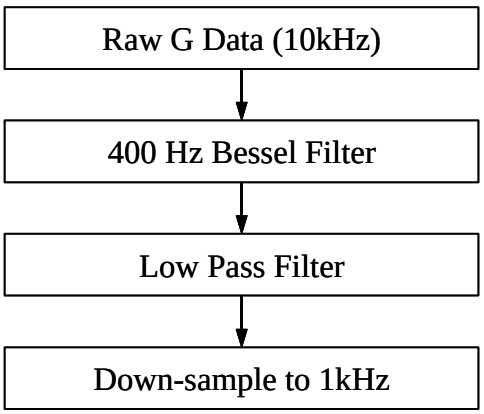
양산차량의 센싱 위치에 부착된 정밀한 계측용 센서의 측정값(Raw G Data)은 <그림 3-1-16>에서 보는 바와 같이 antialiasing 필터로 고주파 성분을 제거하고 down sampling 과정을 거친 후 어드밴스드 에어백 알고리즘의 입력값으로 사용된다. Antialiasing 필터로는 베셀 필터를 사용하였다. 이와 같이 처리된 1kHz 가속도 시험데이터가 특정한 임계값을 넘게 되면 어드밴스드 에어백 알고리즘이 실행된다.

<그림 3-1-17>에서 algorithm filtering process를 거친 1kHz 데이터가 설정된 임계값을 넘는 시간이 t_s이며 이 값은 충돌속도가 빠를수록 작은 값을 가진다. 알고리즘에서는 크게 다음과 같은 3단계를 거친다.

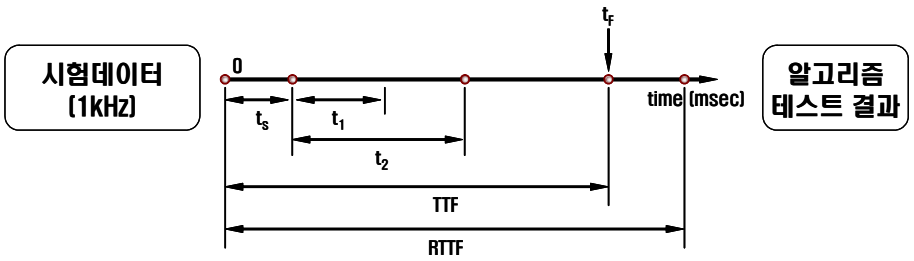
(1) 충돌유형 판별: 충돌유형별로 센싱된 가속도의 개형, 승객상해 및 차체변형 특성이 다르기 때문에 각기 다른 임계값 설정이 필요함. <그림 3-1-17>의 알고리즘 흐름에서 보면 t_s~t_1, t_2 시간에 결정되며, t_1, t_2는 충돌유형 판별에 사용되는 센서들의 유효성, 요구점화시간(RTTF) 등을 고려하여 결정됨.

(2) 충돌 심각도(severity) 판별: 충돌 정도에 따라 pretensioner 전개, 에어백 저압/고압 전개를 결정.

(3) 승객구속장치 전개 시점 결정: 적정 시점에 승객구속장치를 작동시켜 승객상해가 최소가 되도록 하여야 하며, 요구점화시간 이전에 전개되어야 함. <그림 3-1-17> t_F



<그림 3-1-16> Algorithm Filtering Process



t_s: 알고리즘 시작 시간, 약 2~6msec, 충돌속도가 빠를수록 작아짐

t_1: 충돌유형구분에 소요되는 시간, $f_{ct1}(ACUX, ACUY, FISLH, FISRH)$

t_2: 충돌유형구분에 소요되는 시간. $f_{ct2}(ACUX, ACUY)$

t_F: 알고리즘에서 FIRE 신호 발생 (설정된 임계값을 넘을 때)

<그림 3-1-17> Algorithm Flow

② 요구점화시간(RTTF: Required Time To Fire) 결정

요구점화시간(RTTF: Required Time To Fire) 산출방법으로는 125mm-30msec 조건을 사용하였는데, 이는 승객이 전방으로 125mm 움직이기 30msec 이전에 에어백을 점화하여야 한다는 조건이다. 50th %ile 남자(중간 체격의 남자)와 완전히 전개된 에어백과의 간격이 대개 125mm이고 에어백이 점화된 후 전개될 때까지 소요되는 시간이 약 30msec이므로, 125mm-30msec 조건은 백 슬랩(bag slap) 현상을 방지하기 위한 조건이라고 할 수 있다. 승객이 125mm 움직일 때의 시간은 충돌시험에서 얻어진 영상 사진을 분석하여 결정할 수도 있고 차체 파형의 속도 변화를 다시 한 번 적분하여 계산할 수도 있다. 어드밴스드 에어백 알고리즘에서 결정된 점화시간(TTF)은 ①이와 같이 결정된 요구점화시간보다 빨라야 하며, ②너무 이른 시간에 점화되면 에어백 압력이 저하되어 충분한 충격 완충효과를 얻을 수 없기 때문에 적정 시점에 점화되어야 한다.

<표 3-1-3>은 X차종에 대하여 계산된 요구점화시간이다.

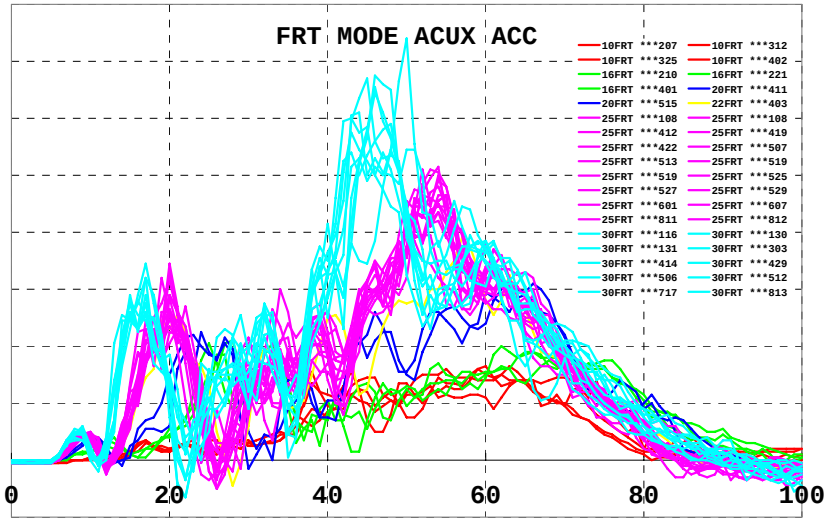
<표 3-1-3> 요구 점화 시간

		CRASH TYPE(VELOCITY, MPH)					RTTF's(ms)
NO	DATE	FRT	LOB	ROB	CTP	OFF	
1	200*/**/**	10					36
2	200*/**/**	10					36
3	200*/**/**	12					28
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
19	200*/**/**			28			26
20	200*/**/**	30					15
21	200*/**/**		30				23

③ 알고리즘 변수 (Metric)

에어백 알고리즘에서 사용하는 변수는 가속도 센서(ACUX, ACUY, FIS_LH, FIS_RH)의 측정값을 <그림 3-1-16> 과정을 거친 후 적분, moving average, 절대값 등을 취하여 구하며, 자세한 계산법과 변수의 의미는 다음과 같다.

(1). $digit(n)$: <그림 3-1-18>을 이용하여 계산한 1kHz의 가속도 값



<그림 3-1-18> 정면충돌유형의 $digit(n)$

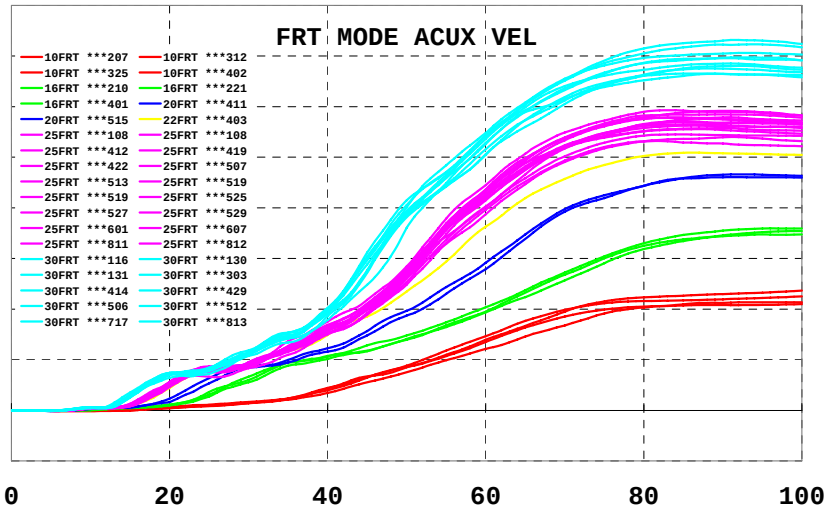
(2) $velocity(n)$: $velocity(n-1)+digit(n)\times sampling\ time(1ms)$

속도는 사고정도(severity)를 나타내는 가장 기본적인 변수

가속도 신호를 1회 적분하여 구하며 가속도를 필터링한 효과가 있음

자동차의 충돌 순간의 속도로부터 줄어드는 속도량

충돌유형별로 그래프를 그려보면 <그림 3-1-19>와 같이 속도 순서대로 정배열 되는 경향을 보임

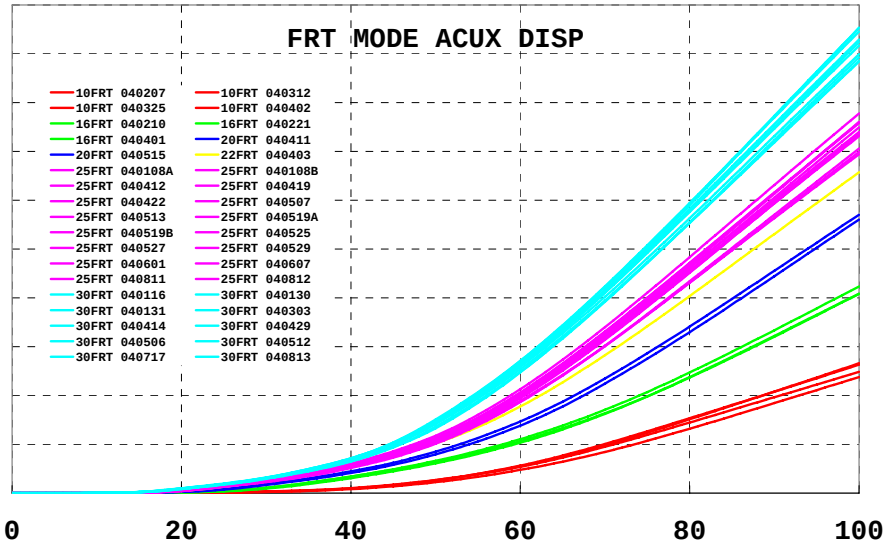


<그림 3-1-19> 정면충돌유형의 $velocity(n)$

(3). $displacement(n)$: $displacement(n-1)+velocity(n)\times sampling\ time(1ms)$

충돌 지점의 변위로, 가속도 신호를 2회 적분하여 구함

<그림 3-1-20>에서 보는 바와 같이 속도변수에 비하여 신호의 시간 지연이 큼(20msec 이후부터 신호가 나타남)

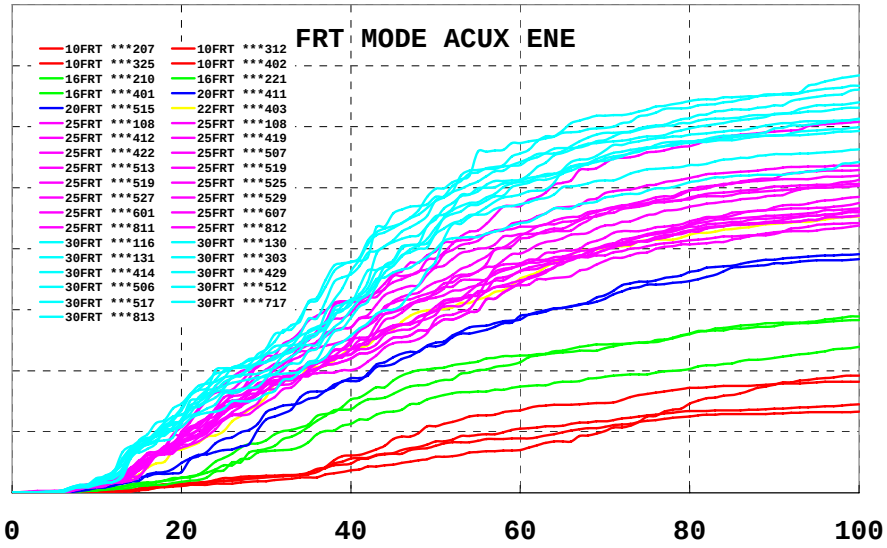


<그림 3-1-20> 정면충돌유형의 $displacement(n)$

(4). $energy(n)$: $energy(n-1)+|digit(n)-digit(n-1)|$

충격량을 변별하는 변수

가속도 신호의 변동량(oscillation)을 표현함



<그림 3-1-21> 정면충돌유형의 $energy(n)$

(5). $predicted\ displacement(n)$: $displacement(n)+velocity(n)\times time\ span(30ms)$

30ms 예상변위,

알고리즘에서 TTF를 결정하는 변수로 사용할 수 있음

(6). $|G(n)|$: $|G(n-1)|+|digit(n)|$

음의 가속도까지 고려한 변수

가속도보다는 민감하고 속도보다는 둔감한 경향

(7). $sign(G^2(n))$: $sign(G^2(n))+sign(digit(n))\times digit^2(n)$

가속도의 절대값과 유사 (음의 가속도까지 고려한 변수)

가속도 차이를 확대한 개념으로 사용되는 변수

(8). $G_{ave}(n)$: $\sum_{i=1}^{N} digit(i)/\sum_{i=1}^{N} i$

일정시간까지의 가속도의 합을 샘플링개수로 나눈 가속도의 평균

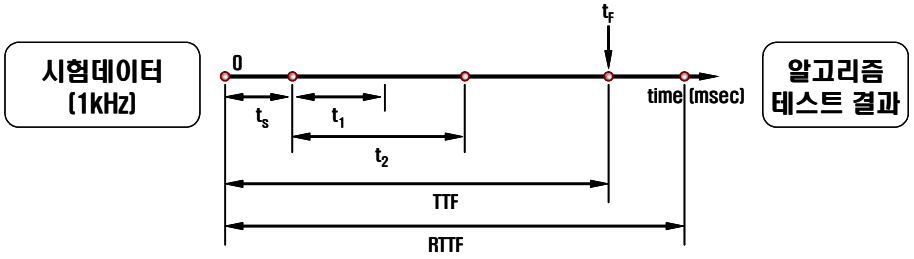
(9). $V_{ave}(n)$: $\sum_{i=1}^{N} velocity(i)/\sum_{i=1}^{N} i$

일정시간까지의 속도의 합을 샘플링개수로 나눈 속도의 평균

신호의 시간지연(time delay)이 많이 생기는 단점이 있음

④ 충돌유형 구분

센싱된 가속도는 충돌유형별로 그래프의 개형, 승객상해 및 차체변형 특성이 다르기 때문에 각기 다른 임계값 설정이 필요하다. 이를 위해서는 각 위치에서 계측된 센서신호를 이용하여 충돌유형을 구별하는 과정이 필요하다. <그림 3-1-24>의 알고리즘 흐름에서 보면 충돌유형 구별은 t_s~t_1, t_2 시간에 결정되며, t_1, t_2는 충돌유형 판별에 사용되는 센서들의 유효성, 요구점화시간(RTTF) 등을 고려하여 결정된다.



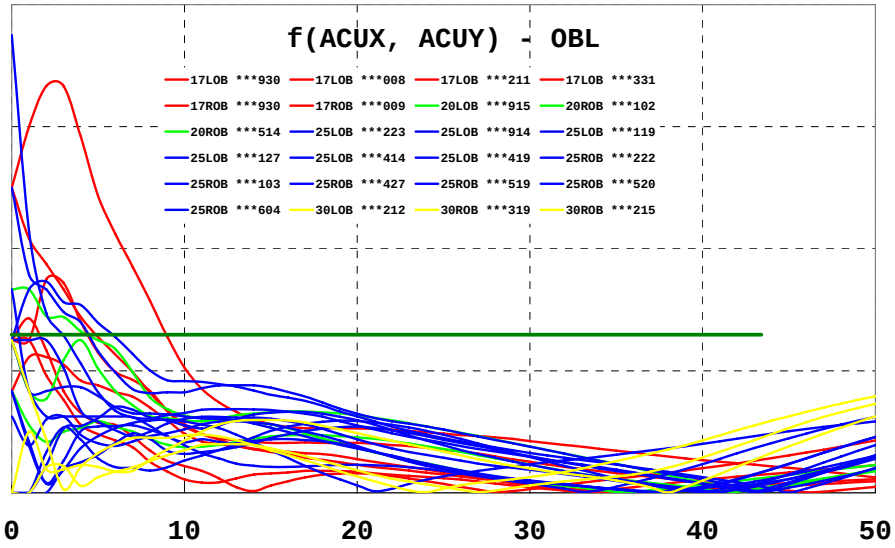
t_s: 알고리즘 시작 시간,

t_1: 충돌유형구분에 소요되는 시간, $f_{ct1}(ACUX, ACUY, FISLH, FISRH)$

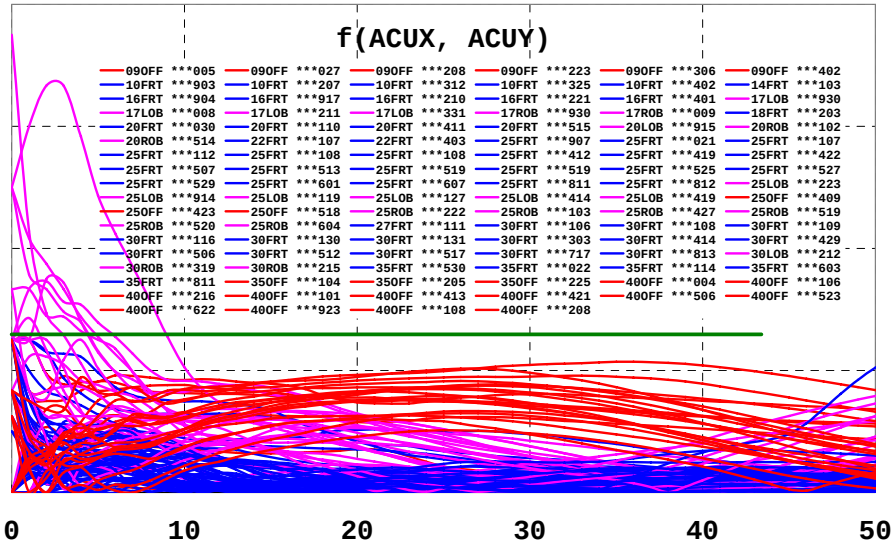
t_2: 충돌유형구분에 소요되는 시간. $f_{ct2}(ACUX, ACUY)$

<그림 3-1-22> Algorithm Flow

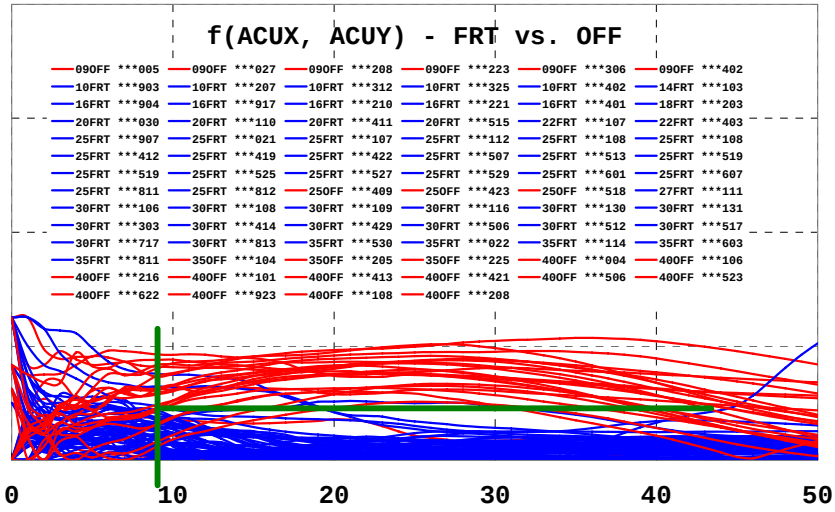
t_s~10msec 시간 영역에서의 충돌유형판별함수는 <그림 3-1-23>에서 보는 바와 같이 저속경사충돌의 경우가 고속경사충돌에 비하여 상대적으로 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 이는 <그림 3-1-24>에서 보는 바와 같이 저속경사충돌유형을 정면 및 편심충돌유형과 구분이 가능하게 한다.



<그림 3-1-23> 저속경사충돌과 정면/편심충돌유형의 구분



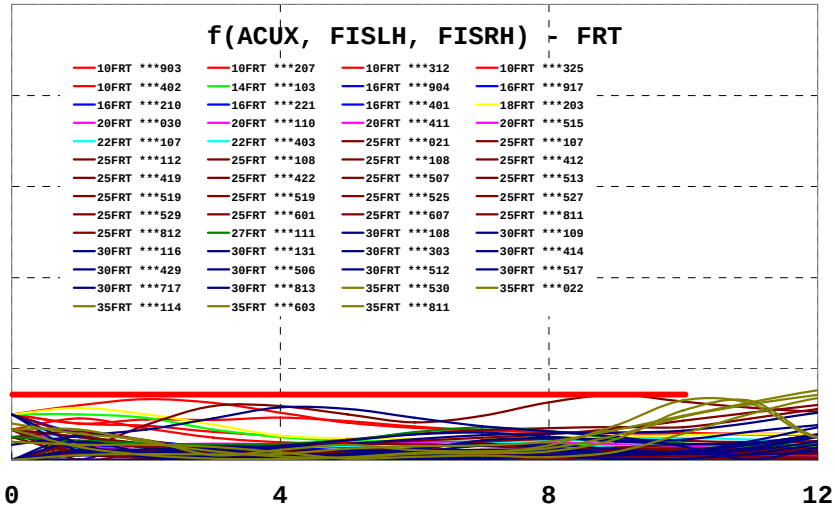
<그림 3-1-24> 저속경사충돌과 정면/편심충돌유형의 구분



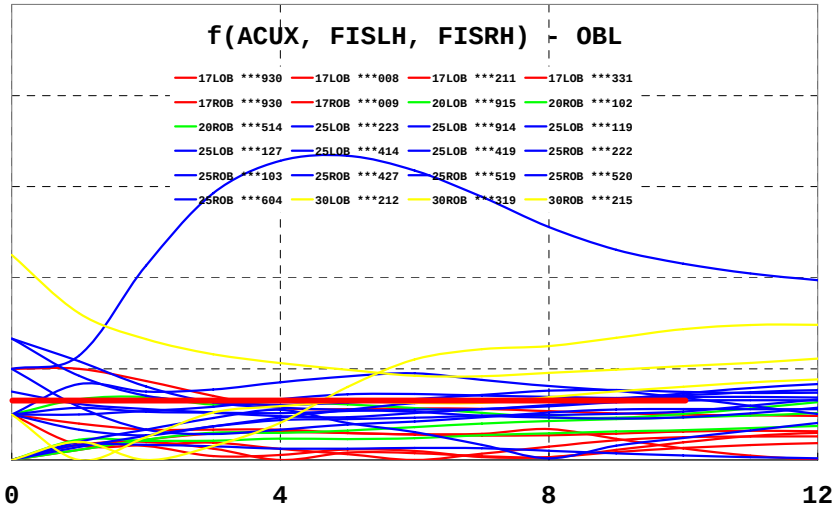
<그림 3-1-25> 정면충돌유형과 편심충돌유형의 구분

동일한 충돌유형판별함수를 이용하여 정면충돌유형과 편심충돌유형을 구분하는 것은 9~10msec 이후의 함수개형을 분석하면 가능하다. <그림 3-1-25>에서 보는 바와 같이 정면충돌유형은 편심충돌유형에 비하여 RTTF시간영역 내에서 작은 함수값을 갖으며, 이를 이용하여 정면/편심 충돌유형을 구분할 수 있다.

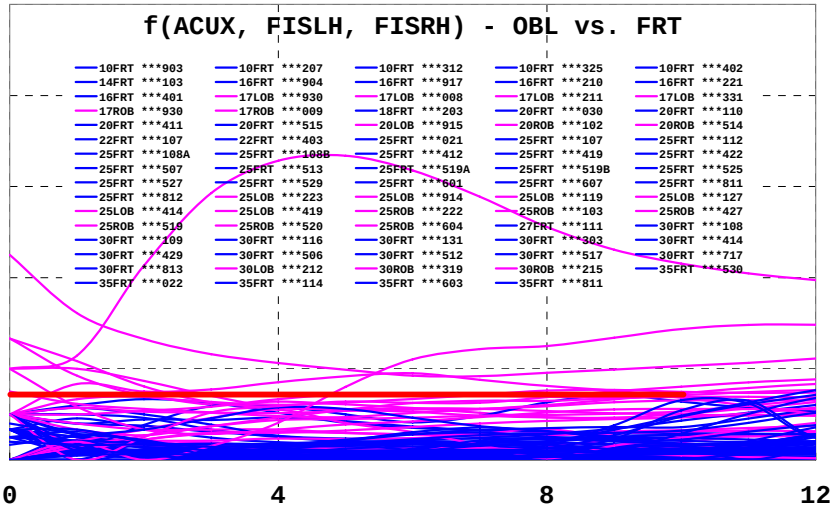
앞서 설명한 저속경사충돌과 다른 유형의 충돌 구분은 설명하였다. 따라서 고속경사충돌의 판별법이 필요하다. 이를 위하여 전방센서신호를 이용한 충돌유형판별함수를 사용하였으며 전방충돌센서의 경우 충돌 초기에 파손되거나 장착부위가 변형되어 유효한 값을 얻기 힘든 경우가 발생하기 때문에 제한된 시간영역(대략 10msec)에서 사용하였다. <그림 3-1-26>을 보면 전방센서 신호를 이용한 충돌유형판별함수가 정면충돌유형에서 특정 임계값 이하임을 알 수 있으며, <그림 3-1-27>를 보면 동일 함수가 고속경사충돌의 경우에 대해서는 임계값을 넘음을 알 수 있다. 이는 두 가지 충돌유형을 하나의 그래프로 표현한 <그림 3-1-28>에 잘 나타난다.



<그림 3-1-26> 정면충돌에서의 속도별 충돌유형판별함수의 특성



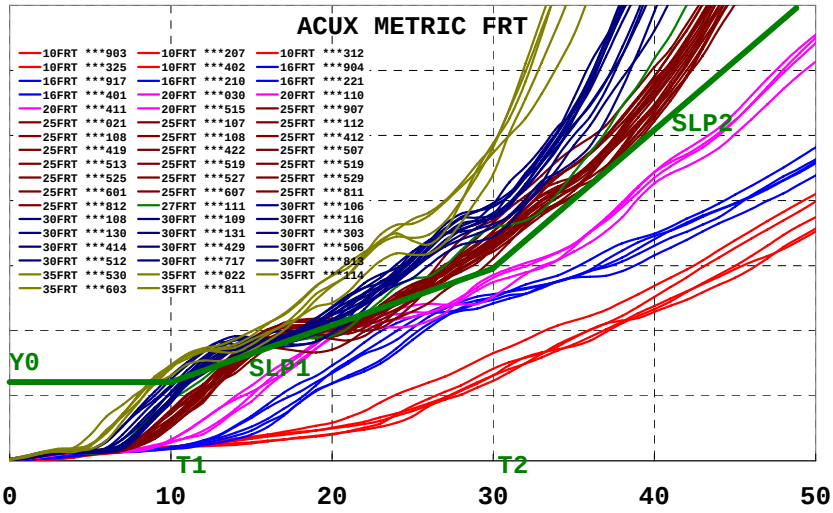
<그림 3-1-27> 경사충돌에서의 속도별 충돌유형판별함수의 특성



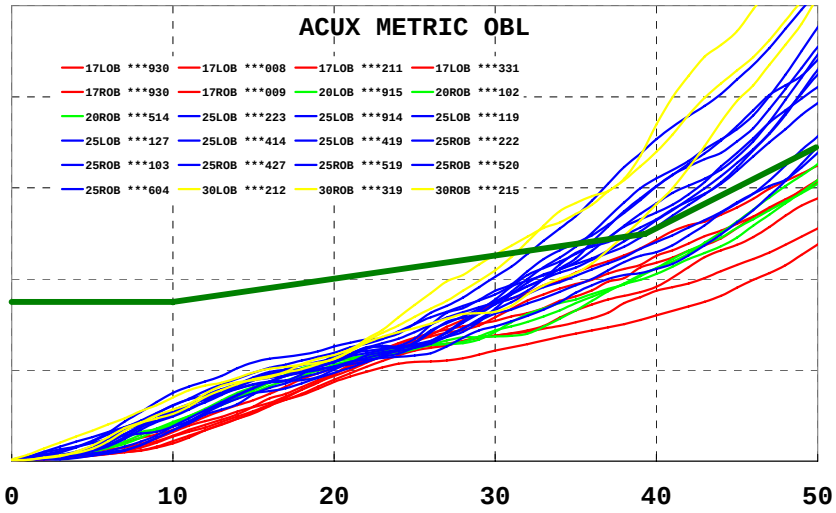
<그림 3-1-28> 고속경사충돌과 정면충돌유형의 구분

⑤ 승객구속장치 전개 시점 결정

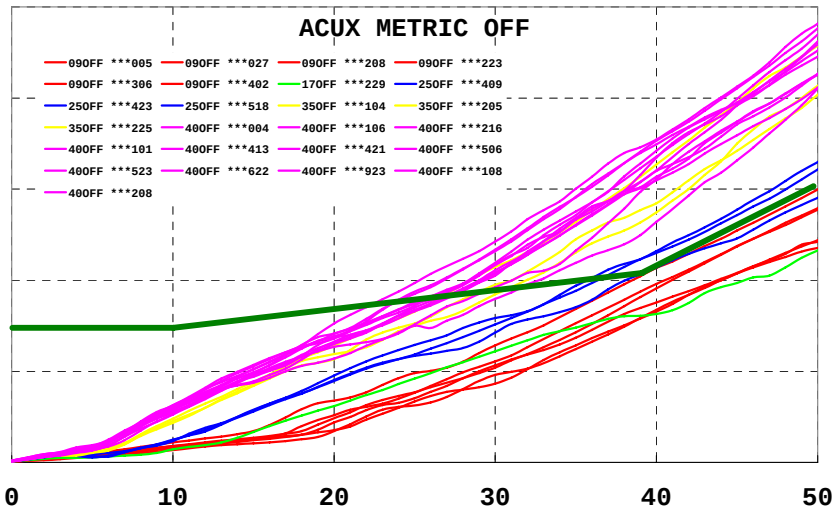
센싱된 가속도는 충돌유형별로 그래프의 개형, 승객상해 및 차체변형 특성이 다르기 때문에 승객구속장치 전개 시점에 이용되는 임계값은 충돌유형별로 각기 다르게 설정하여야 다양한 법규 및 상품성 조건들을 동시에 만족시키는 것이 가능하다. 앞서 충돌유형구분 방법은 상세히 기술하였으며, 각 충돌유형별 TTF 임계값 설정방법의 예는 <그림 3-1-29> ~ <그림 3-1-31>에 나타내었다. 각 유형별로 5개의 변수(Y0, T1, T2, SLP1, SLP2)를 사용하여 임계값을 표현하였으며, 센서 신호가 이 직선들을 넘어서는 시점이 충돌유형/속도별 요구점화시점 이전이 되도록 변수 값들을 설정하여야 한다.



<그림 3-1-29> 정면충돌유형의 TTF 임계값



<그림 3-1-30> 경사충돌유형의 TTF 임계값



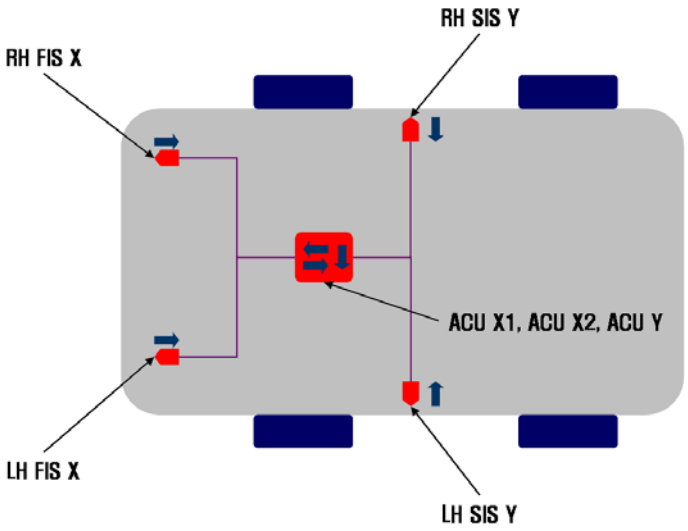
<그림 3-1-31> 편심충돌유형의 TTF 임계값

다. NON-TIME BASED 알고리즘 개발

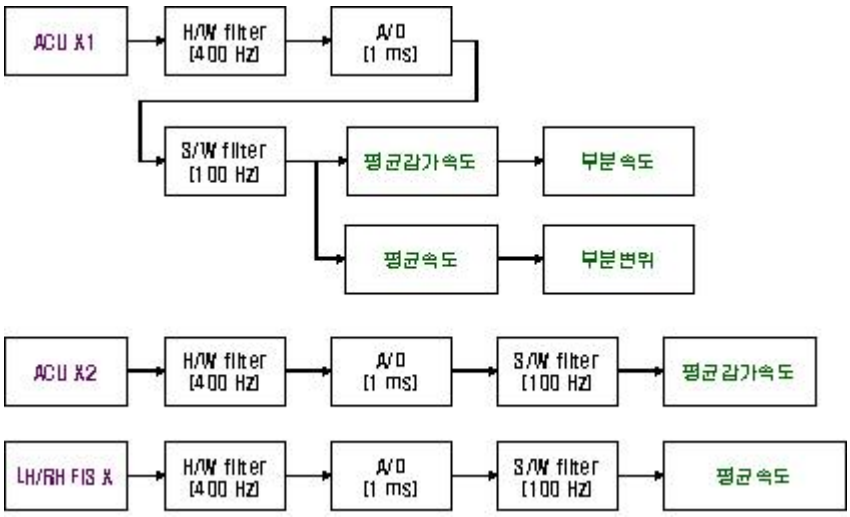
(1) 신호 처리: ACU X1, ACU X2, FIS

차량충돌 시 기본 입력인 가속도 값을 이용하여 평균 감가속도/부분속도, 평균속

도/부분변위, 평균 감가속도, 평균속도를 계산하여 이를 충돌 알고리즘의 기본 변수로 사용한다.



<그림 3-1-32> 에어백 센싱 시스템

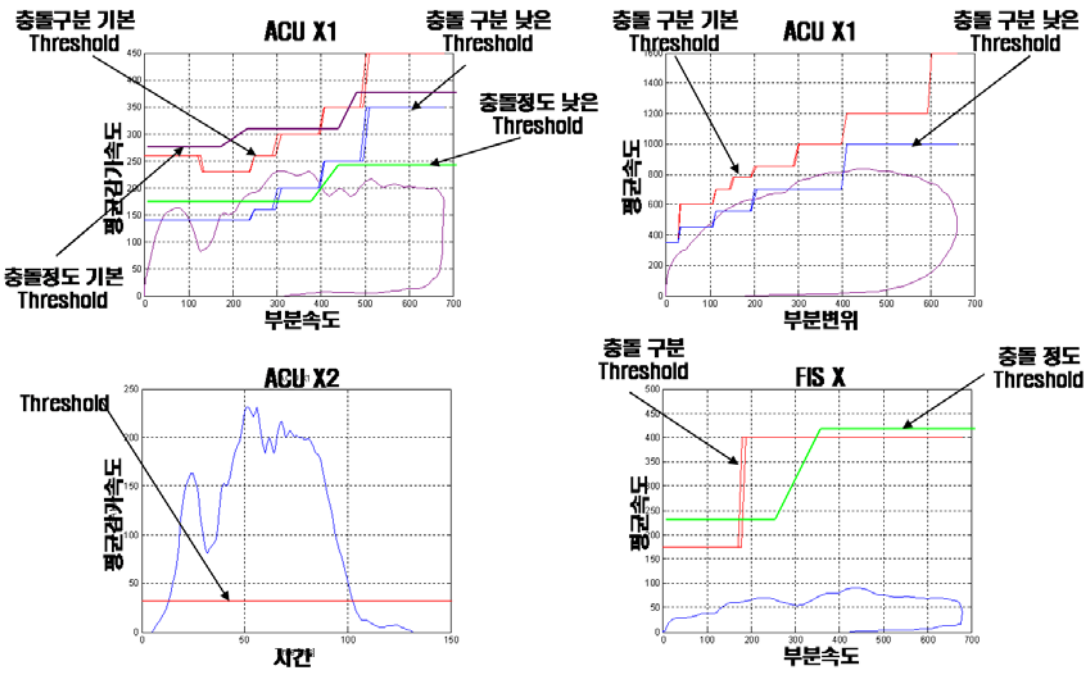


<그림 3-1-33> ACU X1/X2, FIS 신호 처리

(2) 충돌 구분 및 충돌 정도 Threshold 결정

기본변수를 알고리즘에 적용하여 충돌 구분(전개 여부) 및 충돌 정도(1차/2차 전

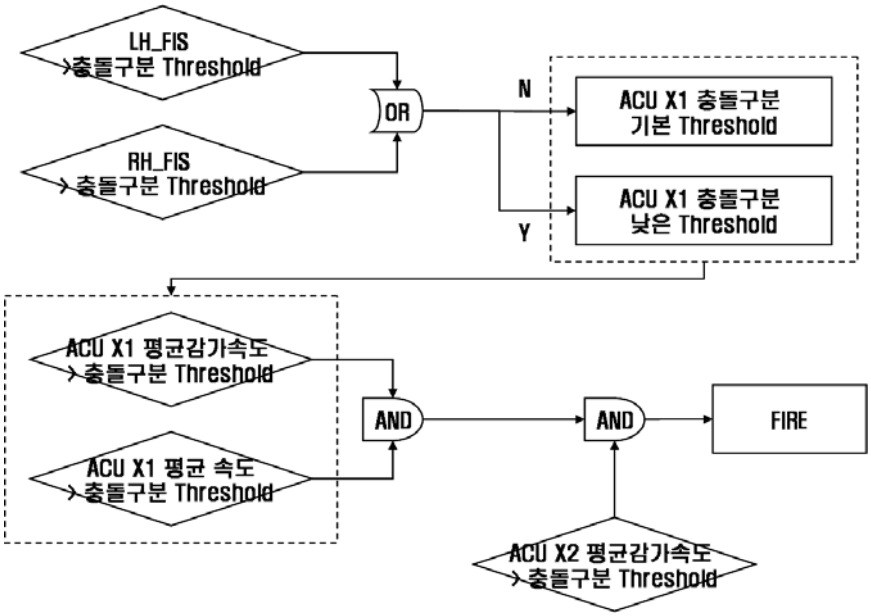
개 구별)의 Threshold를 결정한다.



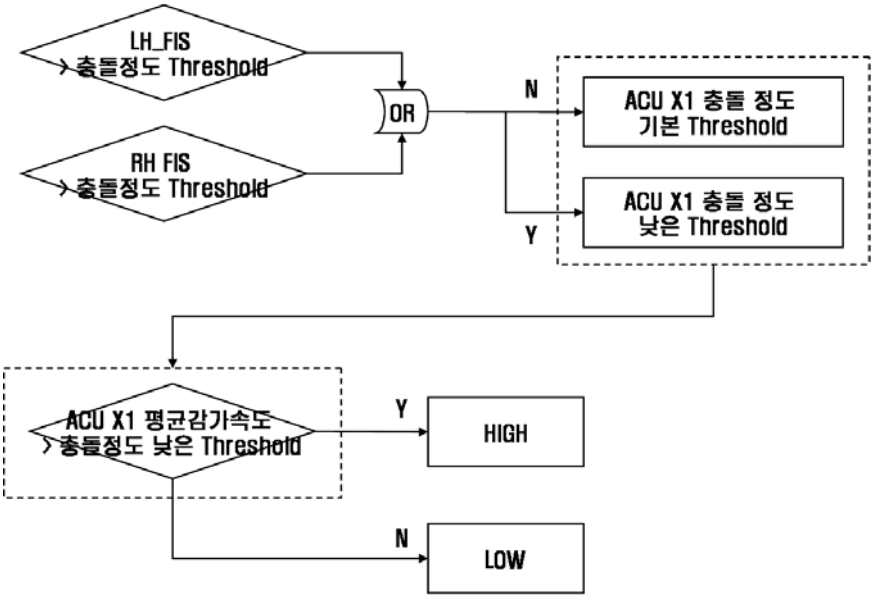
<그림 3-1-34> 충돌 구분 및 충돌 정도 Threshold

(3) 전개 로직

충돌 구분 및 충돌 정도 알고리즘을 이용하여 에어백 전개로직을 구현한다.



<그림 3-1-35> 충돌 구분 알고리즘



<그림 3-1-36> 충돌 정도 알고리즘

4. 기존 차량 충돌 데이터 적용 및 검증

가. TIME BASED 알고리즘

본 과제에서 개발한 어드밴스드 에어백 정면 알고리즘을 중형 및 소형 세단차량에 적용하였다. 두 차종에 대하여 충돌속도별, 충돌유형별로 10여회 이상의 실차 충돌시험을 실시하여 얻어진 ACU(ACUX, ACUY) 및 전방센서(FISLH, FISRH)의 가속도신호를 이용하여 개발된 알고리즘의 변수값들을 설정하였다. 알고리즘 변수설정은 입력받은 센서 신호의 진폭오차에 대하여 10%, H/W CUTOFF 주파수의 오차에 대하여 10%, 신호입력의 시간오차에 대하여 1msec까지 고려하여 요구점화시간 및 구속장치 전개조건을 만족하도록 설정하였다.

나. NON-TIME BASED 알고리즘

중형 세단차량의 실차 충돌 데이터를 이용하여 Calibration을 수행하여 TTF(Time to fire)를 계산하였다.

5. Rough Road 및 Misuse 데이터 입수 및 분석

가. TIME BASED 알고리즘

충돌 속도 및 충돌 유형이 규정되어 있는 법규 및 상품성 실차 충돌시험조건에서의 구속장치 작동여부 확인 이외에도, 일상 주행 중에 접할 수 있는 구속 장치가 전개되지 않아야 하는 가혹 운전조건에서의 비전개 확인 시험도 구속 장치의 신뢰성 확인을 위해 반드시 필요한 과정이다. 이러한 가혹조건시험은 <표 3-1-4>에 나열한 40여 가지 이상의 시험들이 있다.

본 과제에서는 중형 세단차량에 대하여 rough road, misuse 시험을 하였을 때 측정된 가속도 신호를 이용하여 가혹운행조건에서의 구속장치 신뢰도를 확인하였다. 확인 결과 모든 시험에 대하여 구속장치 비전개를 확인 하였으며, 입력 신호의 오차를 고려한 시뮬레이션에서는 ACUX 가속도 신호를 157% 증폭 입력한 경우에도 모든 조건에서 비전개 됨을 확인하였다.

<표 3-1-4> Rough Road, Misuse 신뢰성 확인 결과

Test Description	Speed (kph)	Braking	Result
Cobblestone Lane	64 kph	Y	200%
Cobblestone Lane	48 kph	Y	**193%**
MGA Pothole Lane	40 kph	N	200%
MGA Pothole Lane	40 kph	Y	**188%**
480mm Pothole Lane - Driver Side	40 kph	N	200%
480mm Pothole Lane - Driver Side	40 kph	Y	200%
…	…	…	…
…	…	…	…
180mm Curb 0 deg. Impact	25 kph	N	200%
180mm Curb 80 deg. Impact	48 kph	N	**200%**
90 mm Curb 0 deg. Impact	60 kph	N	200%
90 mm Curb 0 deg. Impact	60 kph	Y	**200%**
90 mm Curb 45 deg. Impact Left Side	60 kph	N	200%
90 mm Curb 45 deg. Impact Left Side	60 kph	Y	200%
300 mm Gravel Ditch	40 kph	N	200%
300 mm Gravel Ditch	40 kph	Y	200%
Sleeping Policeman	50 kph	N	200%
Sleeping Policeman	50 kph	Y	200%
100mm Wooden Beam	32 kph	N	200%
100mm Wooden Beam	32 kph	Y	200%
Korean Bump	40 kph	Y	200%
Gravel Heap	40 kph	N	**167%**
300 mm Massot Ramp	56 kph	N	**181%**
175mm Rail Crossing	32 kph	N	**170%**
Deer impact	80 kph	N	**158%**

나. NON-TIME BASED 알고리즘

중형세단차량의 Rough Road 및 Misuse Data를 Calibration에 적용하여 No Fire 결과를 획득한 결과이다.

<표 3-1-5> Rough Road 및 Misuse Data 처리 결과

Filename	Test Description	Speed (kph)	Braking?	Margin
NF-C01	Cobblestone Lane	64 kph	Y	-
NF-C02	Cobblestone Lane	48 kph	Y	-
NF-C03	MGA Pothole Lane	40 kph	N	-
NF-C04	MGA Pothole Lane	40 kph	Y	-
NF-C05	480mm Pothole Lane - Driver Side	40 kph	N	2.0
NF-C06	480mm Pothole Lane - Driver Side	40 kph	Y	-
NF-C07	760mm Pothole Lane - Passenger Side	40 kph	N	-
NF-C08	760mm Pothole Lane - Passenger Side	40 kph	Y	-
NF-C09	Bodytwist Lane	60 kph	N	-
NF-C10	Bodytwist Lane	40 kph	Y	-
NF-C11	Sine Wave	70 kph	Y	-
NF-C12	Gravel Road	80 kph	N	2.0
NF-C13	Barrel Hoop Lane	56 kph	Y	2.0
NF-C14	Barrel Hoop Lane	50 kph	N	-
NF-C15	Spot Patch	60 - 80 kph	Y	-
NF-C16	Spot Patch	50 kph	N	-
NF-C17	2nd Washboard	64 kph	N	-
NF-C18	2nd Washboard	48 kph	Y	-
NF-C19	Tramp Road	48 kph	Y	-
NF-C20	Hop Road	48 kph	N	-
NF-C21	Hop Road	48 kph	Y	-
NF-C22	Chatterstrip	64 kph	Y	-
NF-OB01	130mm Curb 0 deg. Impact	25 kph	N	-
NF-OB02	130mm Curb 80 deg. Impact	48 kph	N	-
NF-OB03	180mm Curb 0 deg. Impact	25 kph	N	-
NF-OB04	180mm Curb 80 deg. Impact	48 kph	N	-
NF-OB05	90 mm Curb 0 deg. Impact	60 kph	N	-
NF-OB06	90 mm Curb 0 deg. Impact	60 kph	Y	-
NF-OB07	90 mm Curb 45 deg. Impact Left Side	60 kph	N	-
NF-OB08	90 mm Curb 45 deg. Impact Left Side	60 kph	Y	-
NF-OB09	300 mm Gravel Ditch	40 kph	N	-
NF-OB10	300 mm Gravel Ditch	40 kph	Y	-
NF-OB11	Sleeping Policeman	50 kph	N	-
NF-OB12	Sleeping Policeman	50 kph	Y	-
NF-OB13	100mm Wooden Beam	32 kph	N	-
NF-OB14	100mm Wooden Beam	32 kph	Y	-
NF-OB15	Korean Bump	40 kph	Y	-
NF-OB16	Gravel Heap	40 kph	N	-
NF-OB17	300 mm Massot Ramp	56 kph	N	-
NF-OB18	175mm Rail Crossing	32 kph	N	-
NF-OB19	Deer impact	80 kph	N	-

5. 국외 에어백 알고리즘 기술 동향 및 분석

○ 에어백 개발 A 업체(현대 모비스와 기술 제휴)

시스템 엔지니어링, 센서 개발 및 알고리즘 개발 수행, 당사 차종에 적용 중

○ 에어백 개발 B 업체(주식회사 만도 인수)

시스템 엔지니어링, 센서 개발 및 알고리즘 개발 수행, 당사 차종에 적용 중

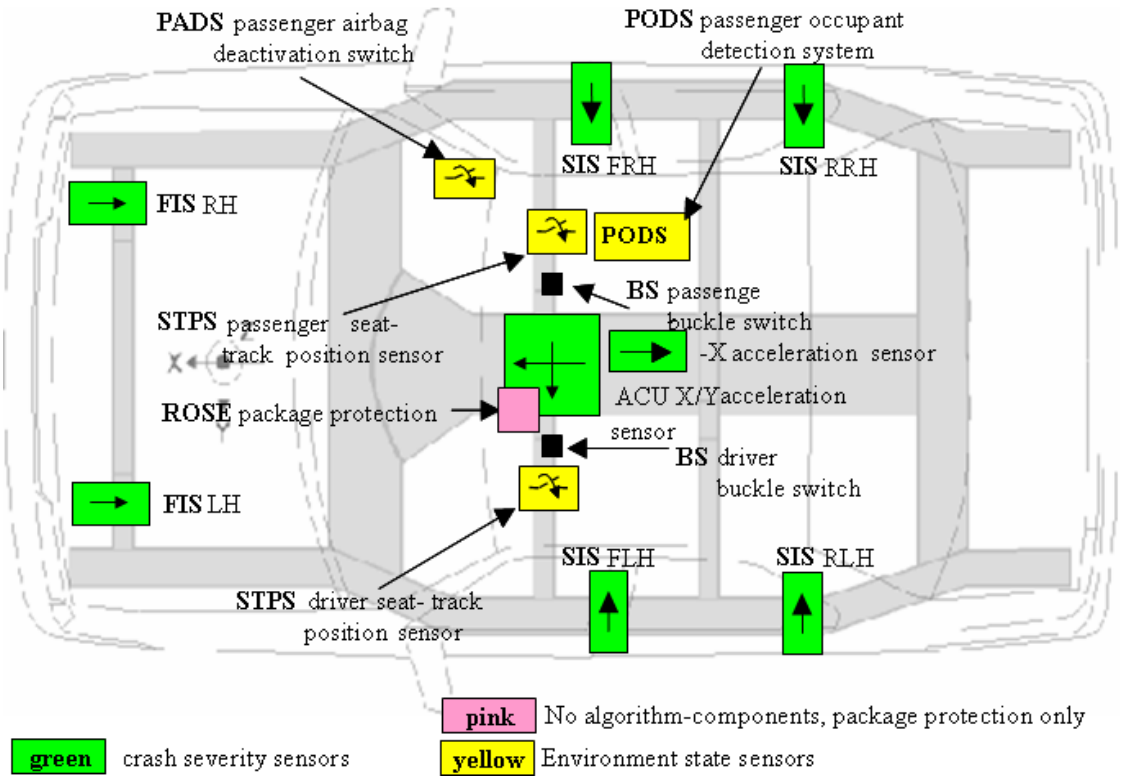
○ 에어백 개발 C 업체(주식회사 성우 인수)

시스템 엔지니어링, 센서 개발 및 알고리즘 개발 수행, 당사 차종에 적용 중

○ 외국 자동차 업체들은 에어백 핵심 분야인 알고리즘 관련하여 이미 기술을 보유하고 있거나 자체 기술 연구 중이며, 에어백 개발 업체에게 일정 부분만을 개발하도록 하는 부분 용역 개발 시스템을 갖추고 있음.

가. 에어백 알고리즘 개발 'A' 업체

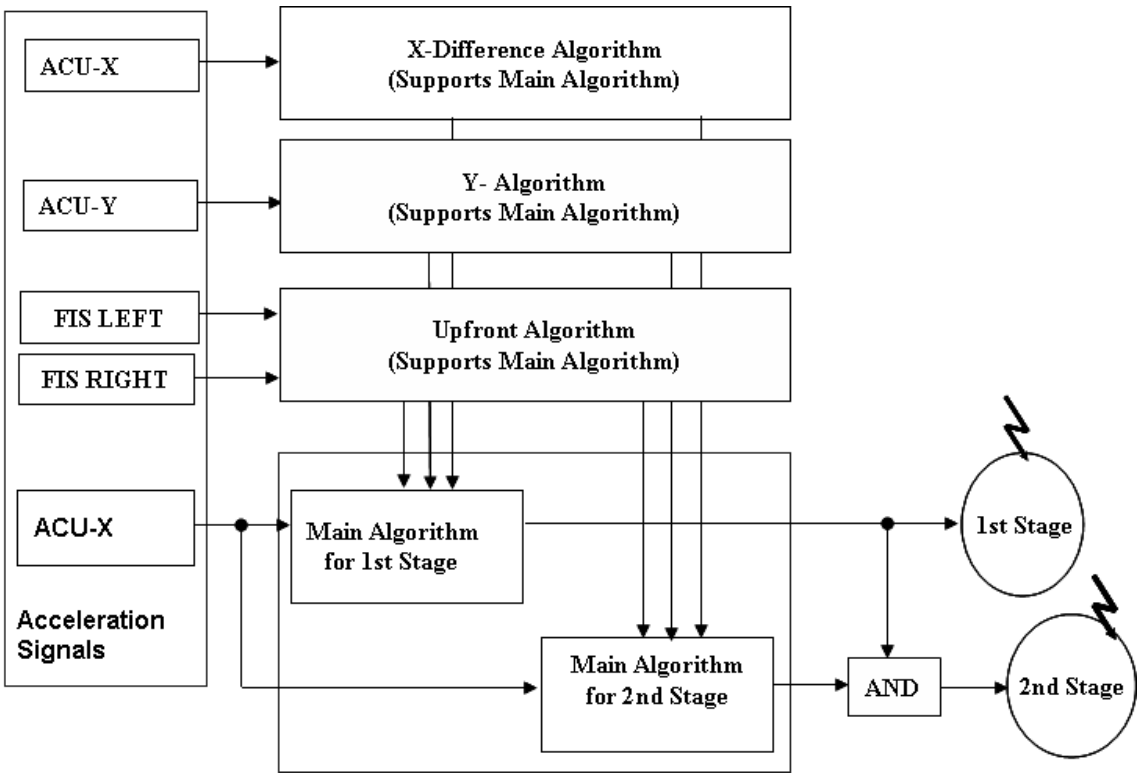
1) System Overview - Sensor



2) Sensor Overview

Name/Type/Direction	Location/Direction	Purpose
CRASH SEVERITY SENSING		
ACU Central X/Y acceleration	ACU 내부 X: 전방, Y: 좌측	X: 전방 충돌 정도, Ring-memory 기능 (|X| 알고리즘) Y: 전방 측면/후방 측면 Plausibility, Y 알고리즘
-X Central X acceleration	ACU 내부 -X: 후방	전방 충돌plausibility
FIS 2 Upfront accelerometers (UFS2)	성능 최적화 위치에 검토 후 결정 X: 전방	전방 충돌 정도, 충돌 정도 분류
SIS Front 2 Front side accelerometers Left/Right (PAS4)	좌우측 B-pillar base Y : 좌측, -Y : 우측	전방 측면 충돌 정도 후방 측면 충돌 Plausibility
SIS Rear 2 Rear side acceleration Left/Right (PAS4)	좌우측 C-pillar base Y : 좌측, -Y : 우측	후방 측면 충돌 정도 Plausibility for front-side impacts.
ROSE (no algorithm) ROSE angular rate sensor	In ACU on tunnel	Rollover 감지
ROSE (no algorithm) ROSE Y/Z accelerometer	In ACU on tunnel	Rollover 정도 분류 Rollover Plausibility

3) Algorithm Structure



4) Algorithm Structure

	알고리즘	Threshold 개수
Main Algorithm	Main Algorithm 1st stage	2 (WB, UB)
	Main Algorithm 2nd stage	2 (WB, UB)
Support Algorithm	FIS-Algorithm	4 (1st /2nd WB,UB)
	Y-Algorithm	4 (1st /2nd WB,UB)
	Xdiff-Algorithm	2 (1st WB,UB)

5) Algorithm Criteria

Algorithm Criteria	Equation	Remark
Velocity (dV) ACU-X	$V_x(T) = \int_{startofcrash}^{T} A_x(t)dt$	
Filtered acceleration ACU-X (Dynamic Main Threshold)	$A_x^{filtered} = Filter(A_x)$	• For Dynamic Threshold • Combined filter: 1) Hammer blow protection 2) Slew rate-filter 3) A-reduction-filter 4) Hold time

6) Main Algorithm

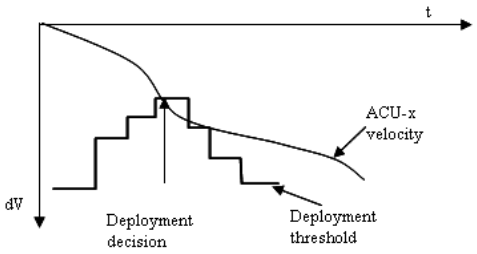
1st stage deployment decision

$$V_x(T) = \int_{startofcrash}^{T} A_x(t)dt > THD_{1st}^{k}(T)$$

1st stage threshold

$$THD_{1st}^{k}(T) = CH_1^{k}(A_x^{filtered}(T)) + \max(Support_{fis}^{k}(T), Support_1^{k}(T), Support_{Xdiff}^{k}(T))$$

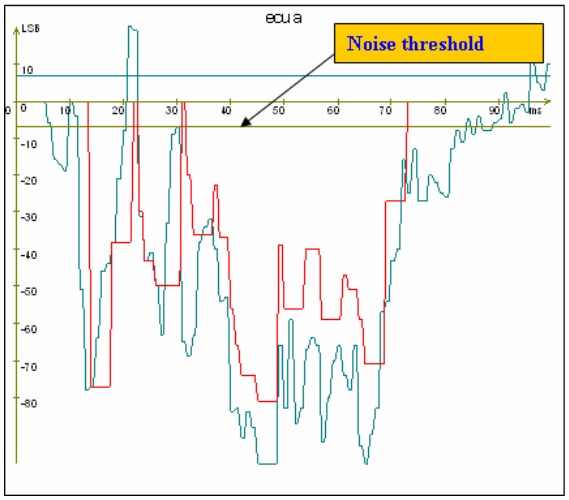
Dynamic threshold:



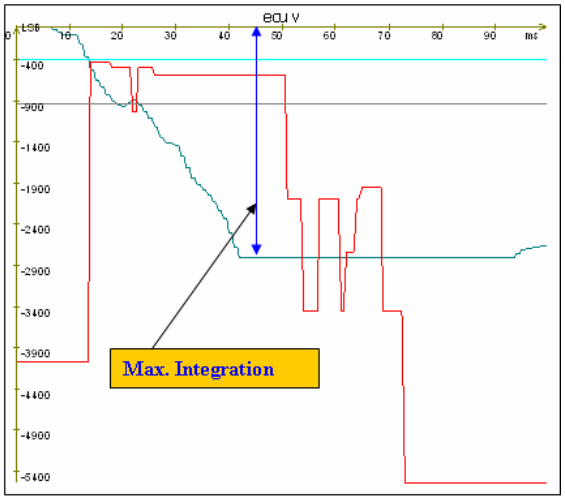
Support from accompanying functions to include information of:

- -early recognition by FIS
- -crash type (offset, angle,..)
- -barrier stiffness
- -dynamic (crash energy)

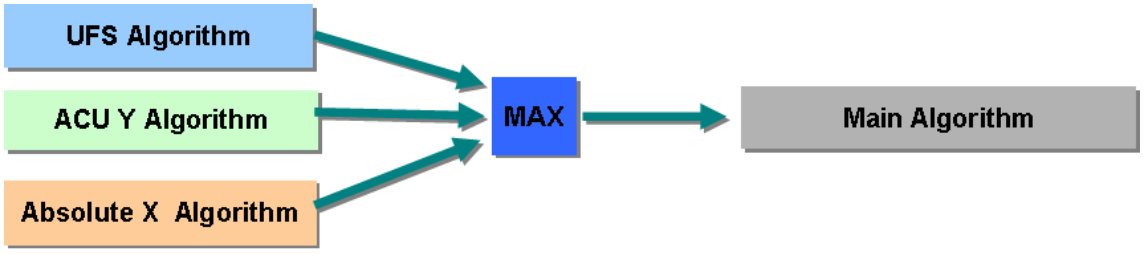
Noise Threshold



Maximum Integration



7) Support Algorithm

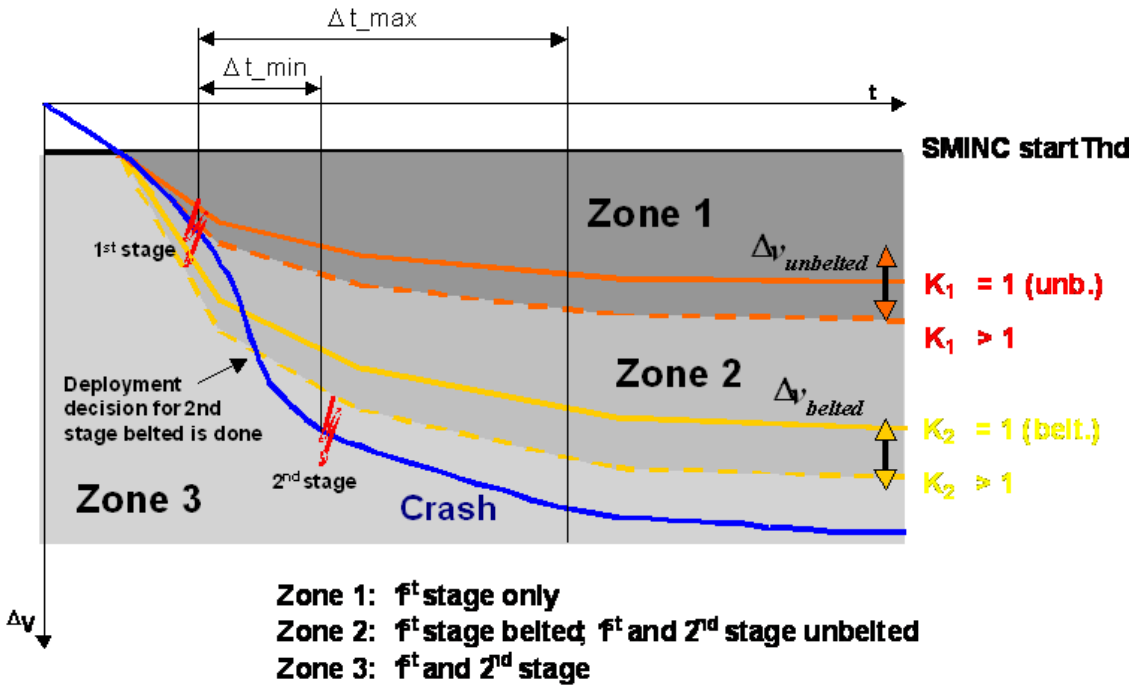


Addon = Max(Addon_FIS , Addon_Y , Addon_XDiff)

UFS (Up Front Sensor)	**FIS 가속도와 속도값 이용**
ACU Y	**Integrating |ACU_Y|**
Absolute X *	**integrating |ACCt – ACCt-1| between window width**

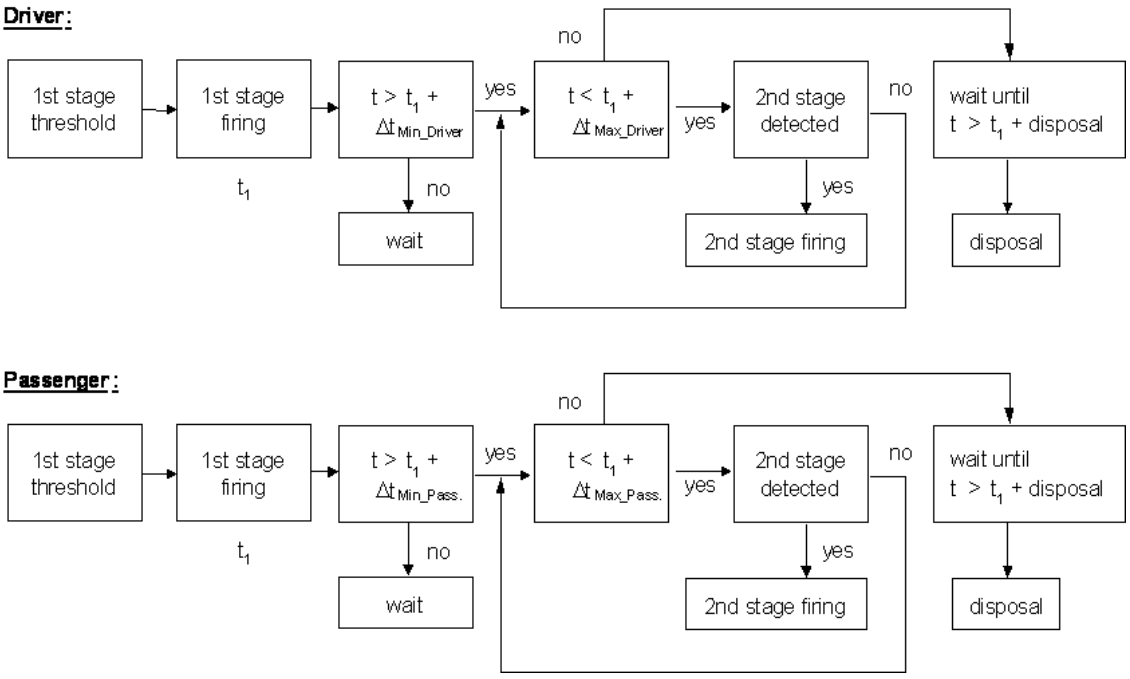
$$*: V_x(t) = \int_{Tstart}^{T} |A_x(t) - A_x(t-1)|\,dt \quad , n(T - Tstart)\ is\ parameter \quad (Window\ \ width)$$

8) 2nd Stage Deployment Logic

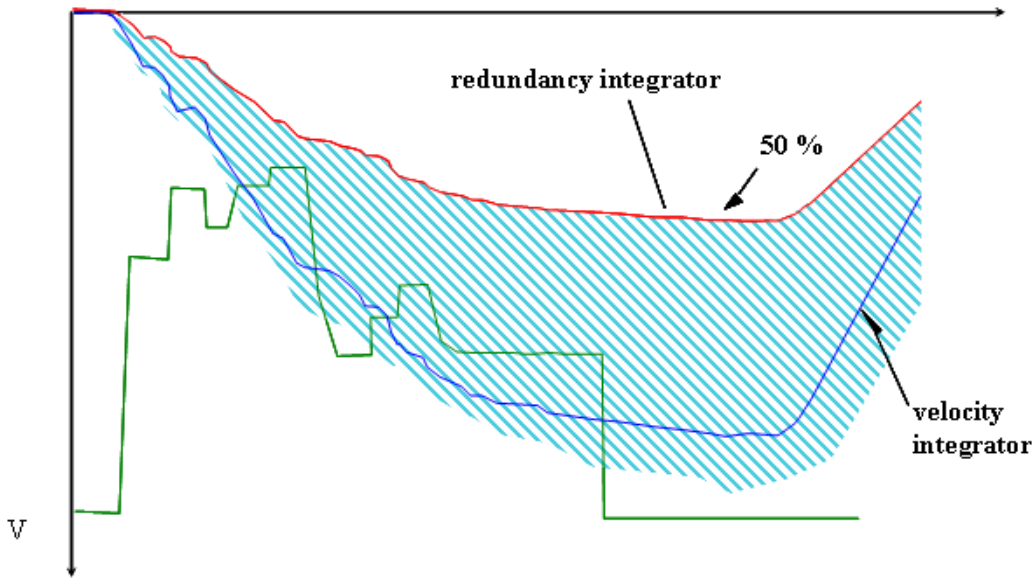


Zone 1: 1st stage only
Zone 2: 1st stage belted; 1st and 2nd stage unbelted
Zone 3: 1st and 2nd stage

Thresholds ($\Delta v_{unbelted}$ Δv_{belted}) are individual adjustable

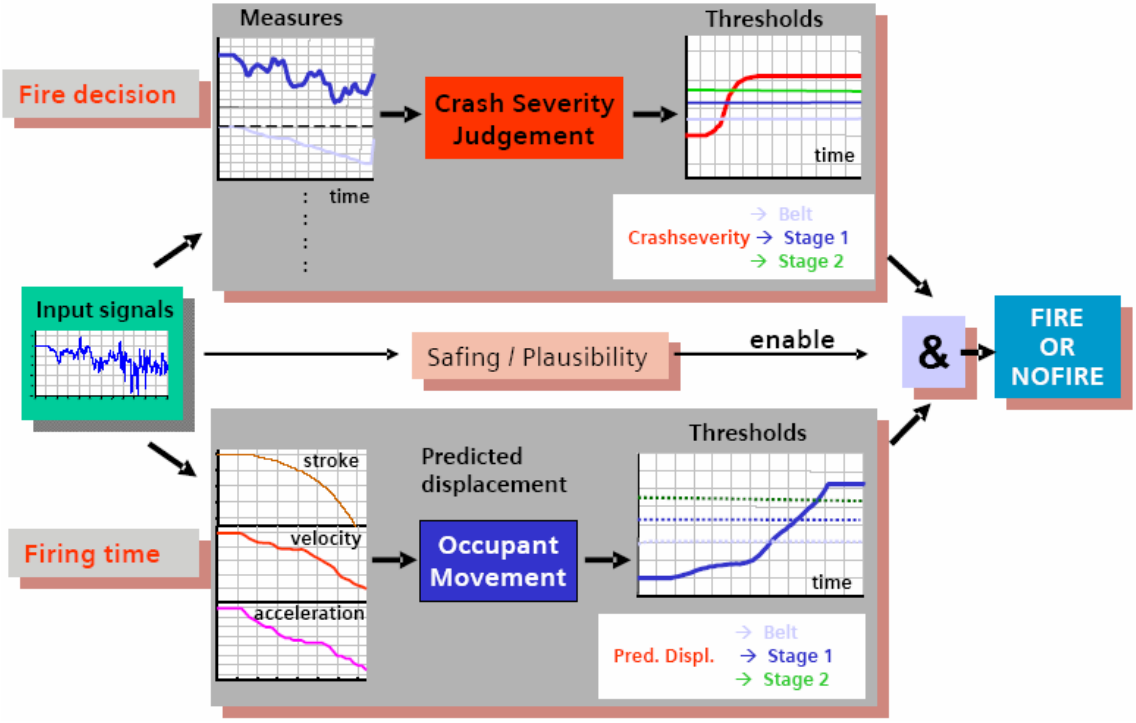


9) Safing Logic

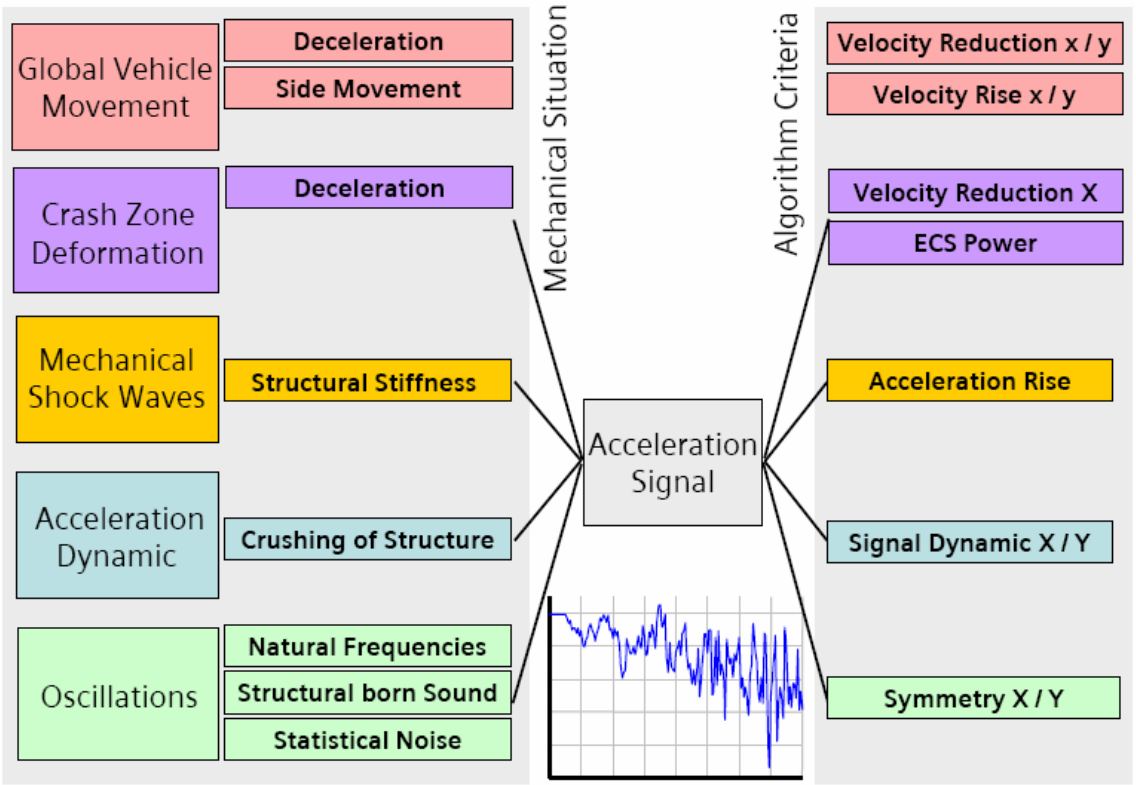


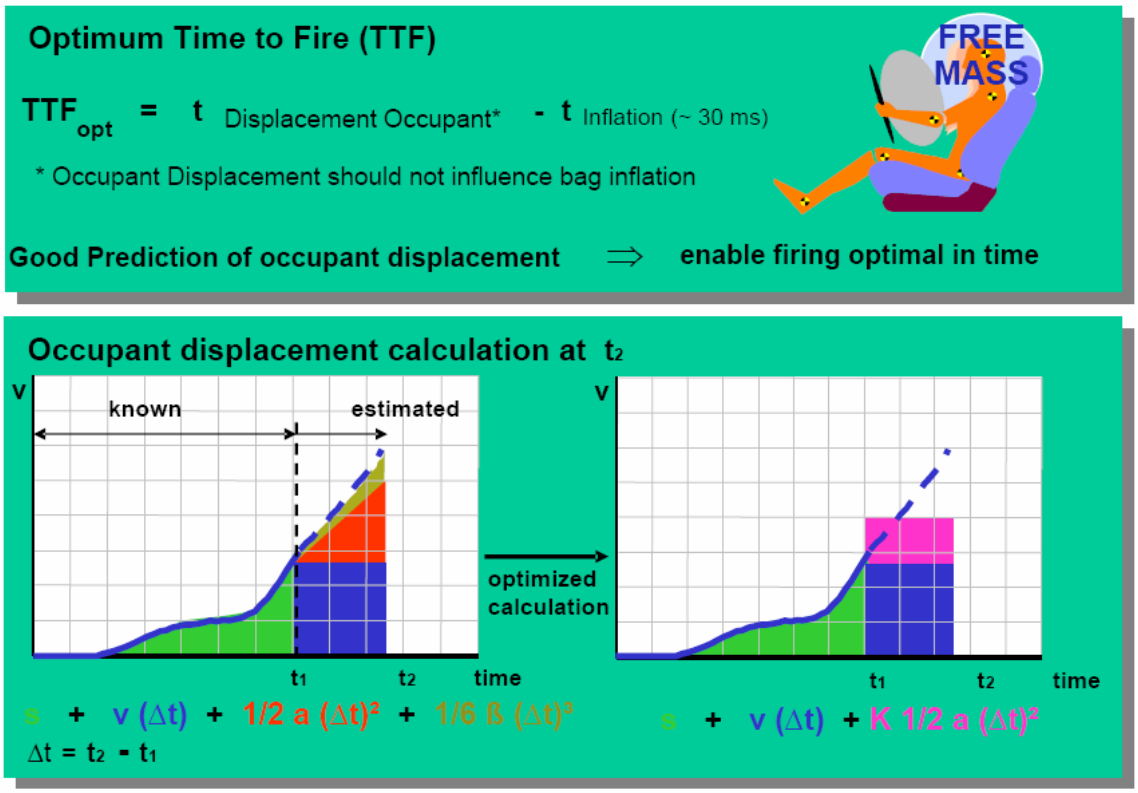
나. 에어백 알고리즘 개발 'B' 업체

1) Algorithm Structure

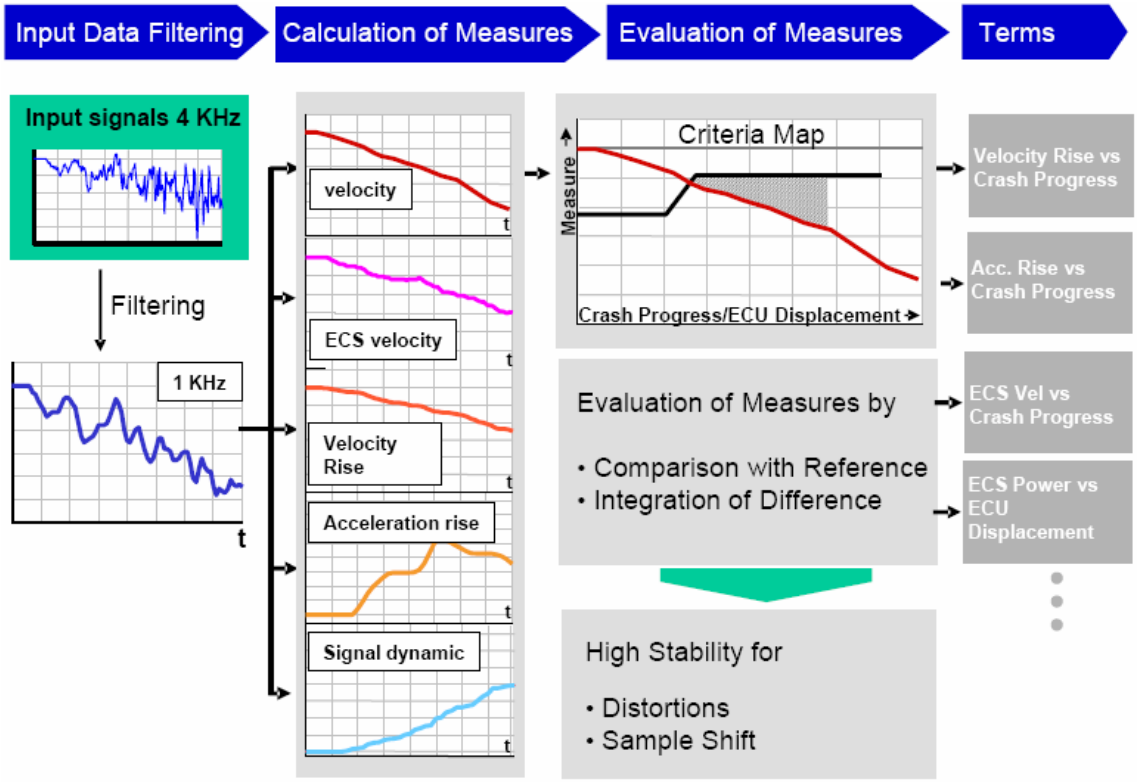


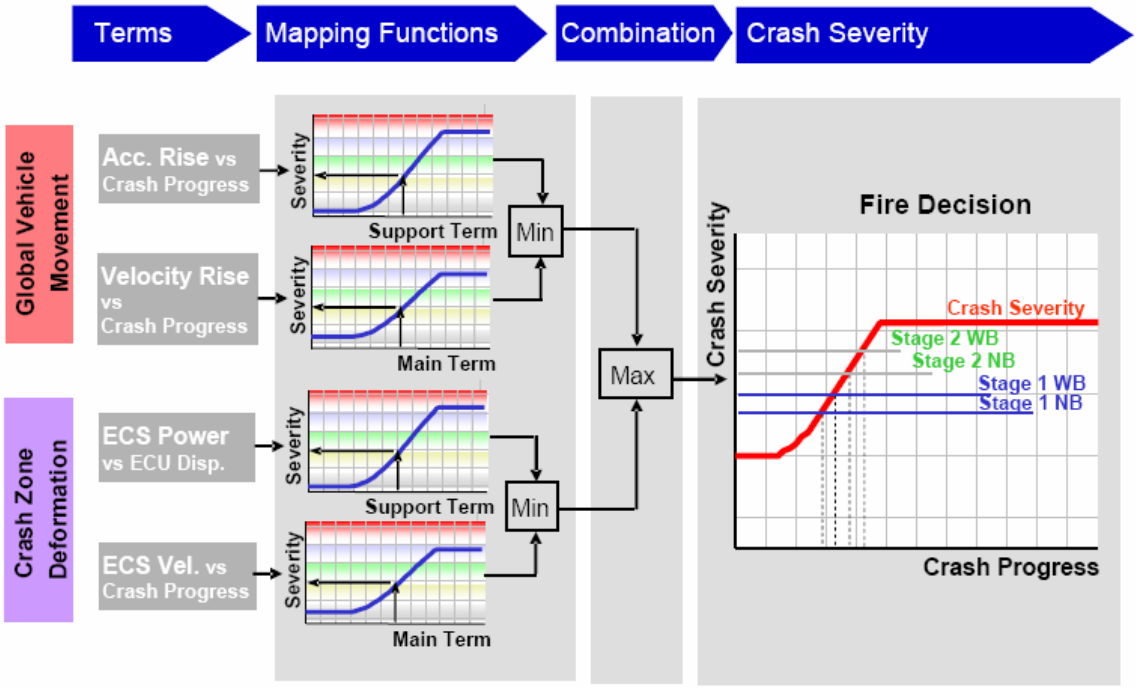
2) Algorithm Criteria





3) Main Algorithm

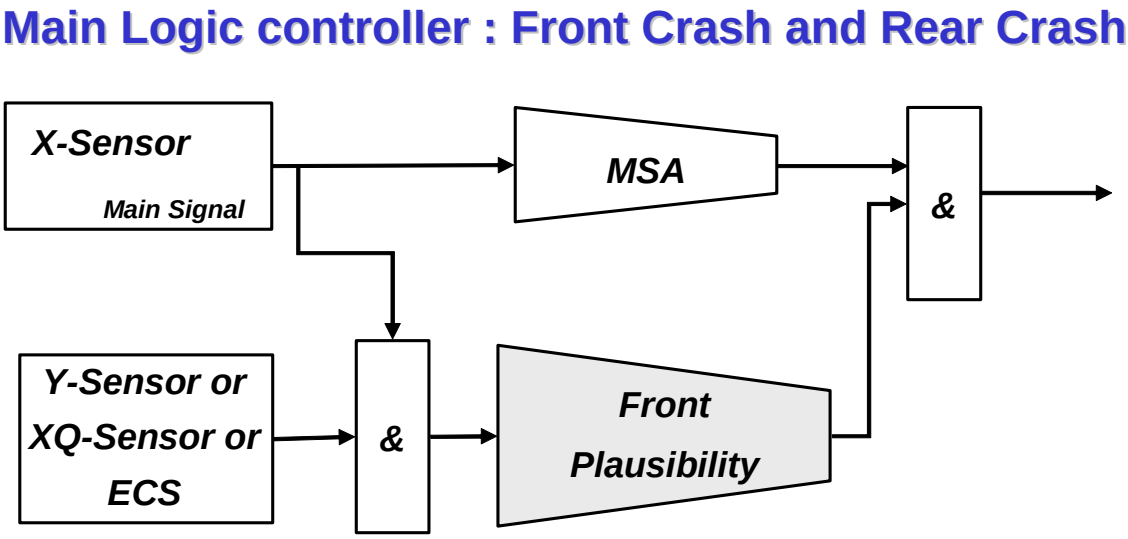


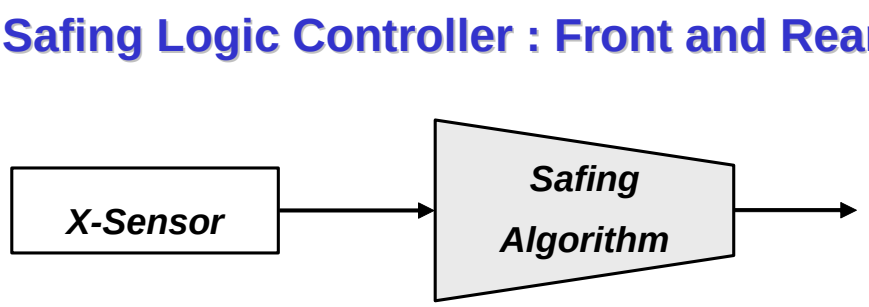


4) Firing Control

Actuator	*Predicted Displacement*	*Crash Severity*	*Dependency*	*Delay*	
				Min	*Max*
Pretentioner-1	**Thresh 1**	**Thresh 1**	**None**	**0**	**0**
Pretentioner-2	**Thresh 1**	**Thresh 1**	**Pretentioner-1**	**T_PT_MIN**	**T_PT_MAX**
AB DR 1 Unbelted	**Thresh 1**	**Thresh 2**	**None**	**0**	**0**
AB PA 1 Unbelted	**Thresh 1**	**Thresh 3**	**None**	**0**	**0**
AB DR 2 Unbelted	**Thresh 1**	**Thresh 4**	**AB DR 1 Unbelted**	**T1**	**T2**
AB PA 2 Unbelted	**Thresh 1**	**Thresh 5**	**AB AS 1 Unbelted**	**T1**	**T2**
AB DR 1 Belted	**Thresh 2**	**Thresh 6**	**Pretentioner-1**	**0**	**0**
AB PA 1 Belted	**Thresh 2**	**Thresh 7**	**Pretentioner-1**	**0**	**0**
AB DR 2 Belted	**Thresh 2**	**Thresh 8**	**AB DR 1 Belted**	**T1**	**T2**
AB PA 2 Belted	**Thresh 2**	**Thresh 9**	**AB AS 1 Belted**	**T1**	**T2**

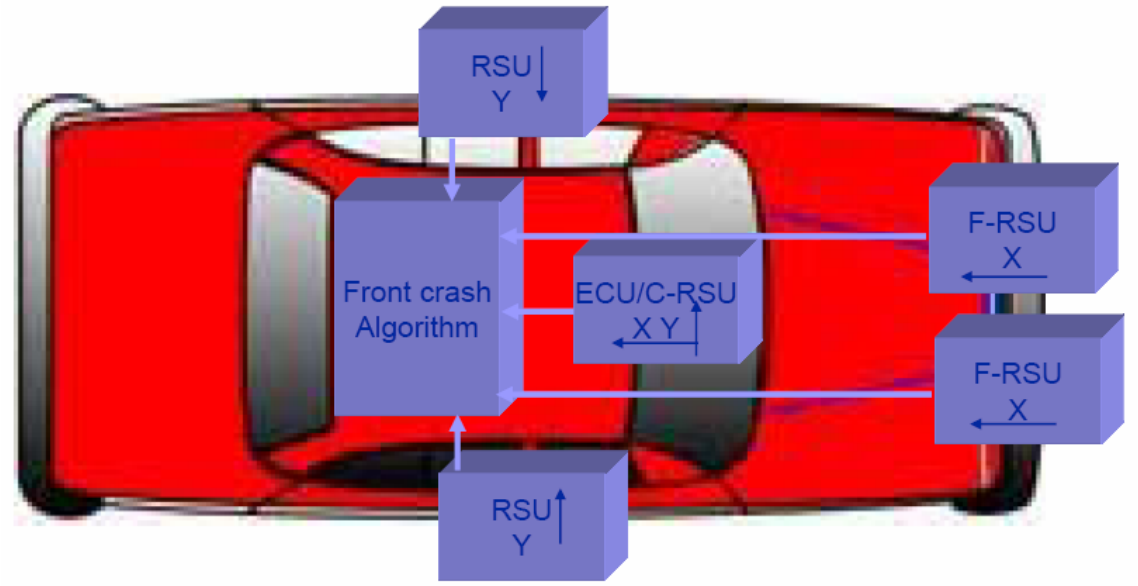
5) Safing Logic



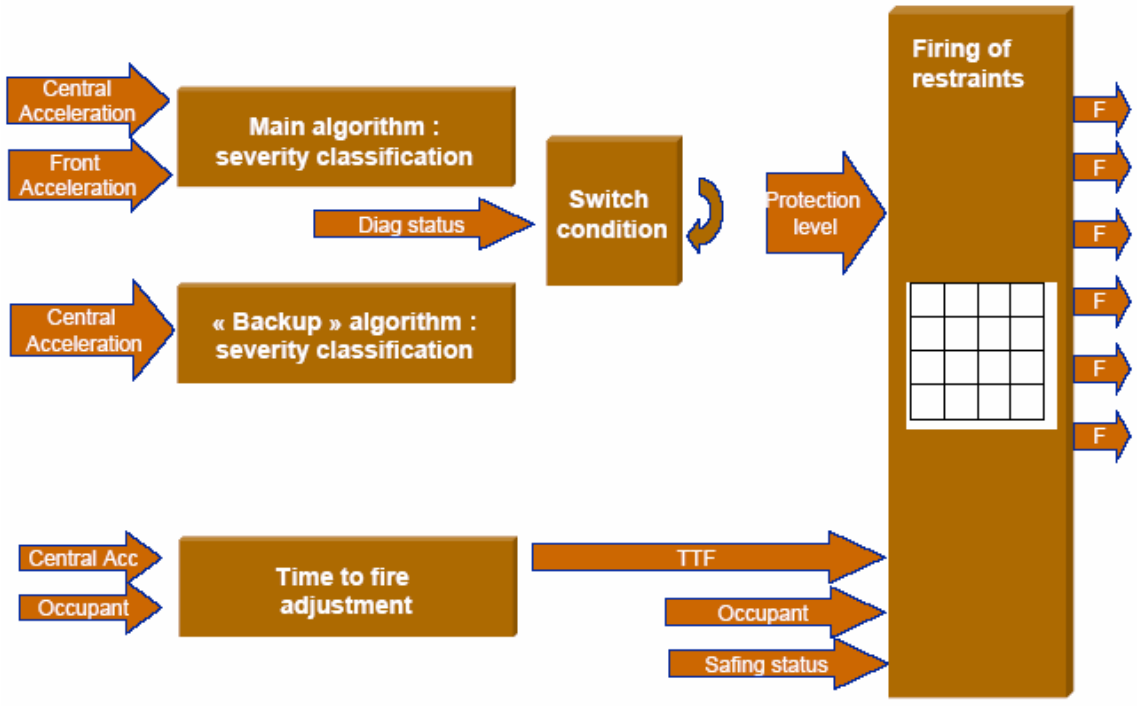


다. 에어백 알고리즘 개발 'C' 업체

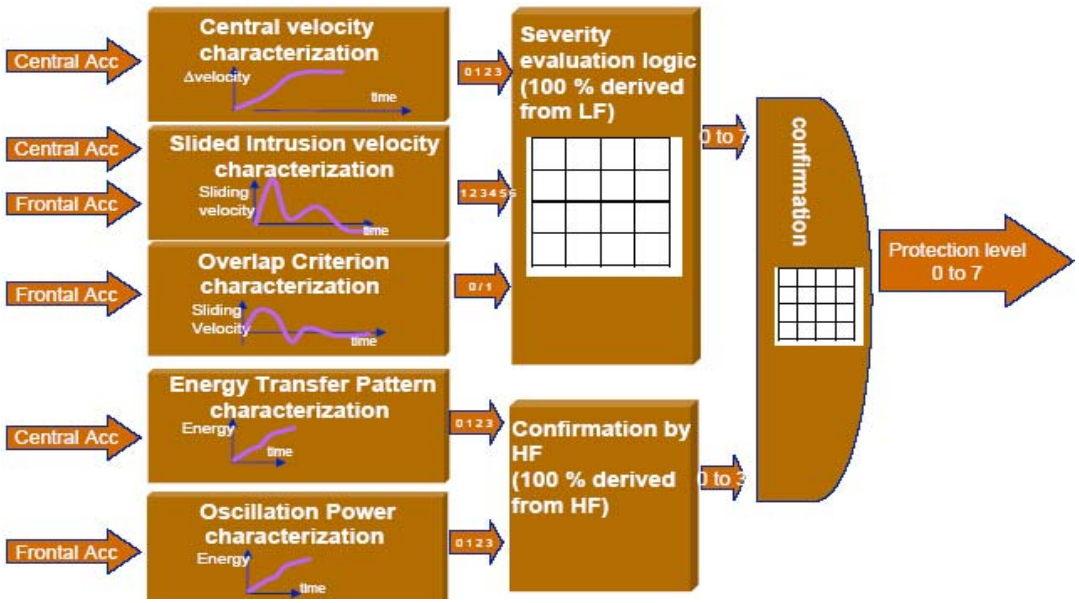
1) System Overview - Sensor



2) Algorithm Structure



3) Main Algorithm

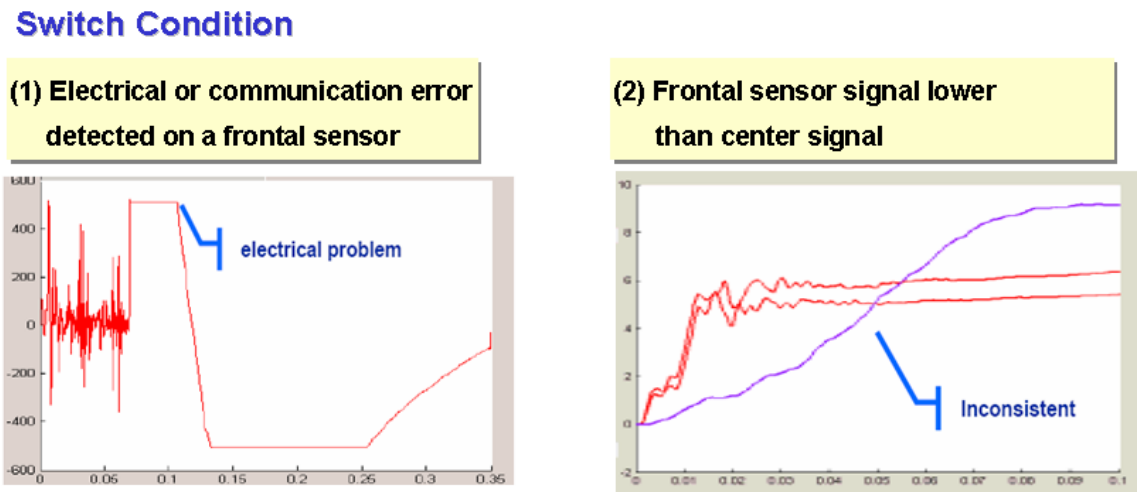


4) Algorithm Criteria - Main Algorithm

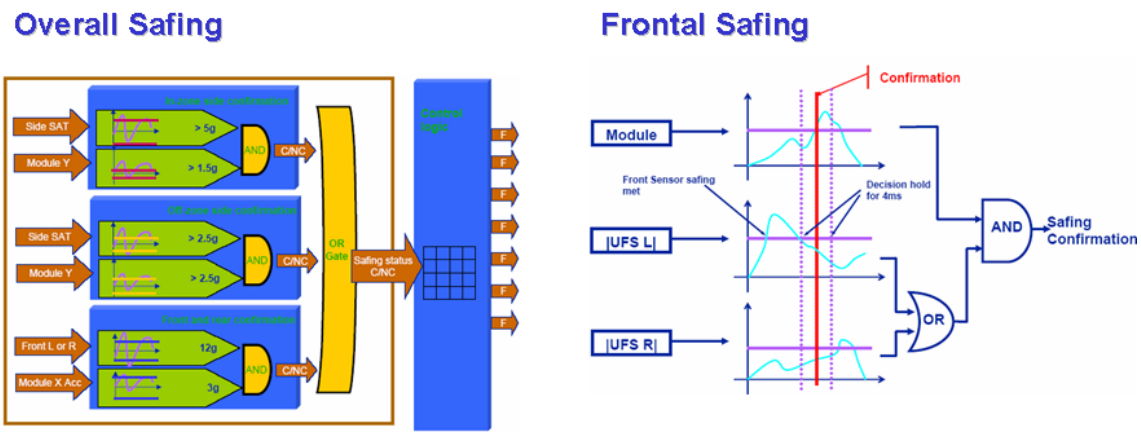
Criterion	*Characteristics*	*Equation*
Center Velocity	?Measure Energy at Center Tunnel ?Confirms Major Event ?Aids in Discrimination of misuse	$V_c(t) = \int_0^t Acc_{cent}(u)du$
Front Sensor SIV (Sliding Intrusion Vel.)	?Measures difference between Front and Center signal ?Aids discrimination of stiff barriers from soft	$SIV_{EFS}(t) = \int_{t-SW}^{t} (Acc_{EFS}(u) - \gamma Acc_{cent}(u))du$ $\gamma = 0 \text{ or } 1$
Front Sensor Overlap	?Measures difference between both Front signals ?Aids discrimination of offset from frontal	$OC = SIV_{EFS\,left} - SIV_{EFS\,right}$
Center ETP (Energy Transfer Pattern)	?Measures center energy present in medium frequencies ?Confirmation deployment event ?Aids discrimination of misuse and abuse	$ETP(t) = \int_0^t \left\| \frac{d(Acc_c)}{dt}(u) \right\| du$
Front Oscillation Power	?Measures front energy present in medium frequency ?Helps discrimination of center pole and overrides	$OP(t) = \int_0^t \left\| Acc_{FRSU\,left}(u) \right\| du + \int_0^t \left\| Acc_{FRSU\,right}(u) \right\| du$

Criterion	*Characteristics*	*Equation*
Occupant Displacement	• Predict occupant position • Adjusts deployment time, if needed	$OD(t) = D_c(t+\Delta T) = D_c(t) + \Delta T V_c(t) + \frac{(\Delta T)^2}{2} Acc_c(t)$

5) Backup Algorithm

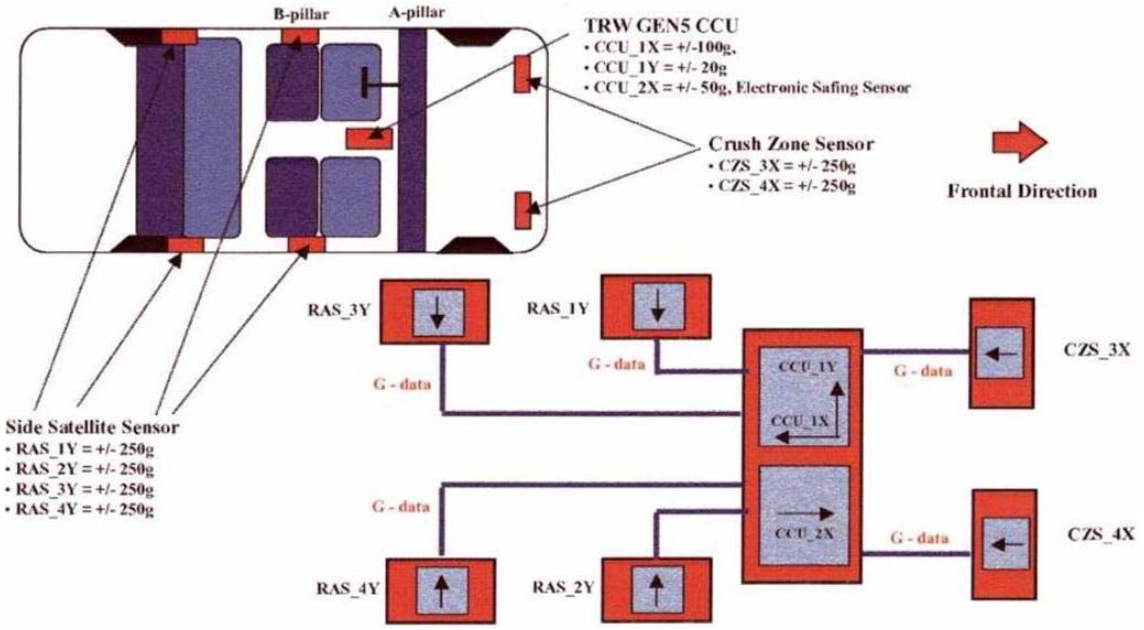


6) Safing Logic

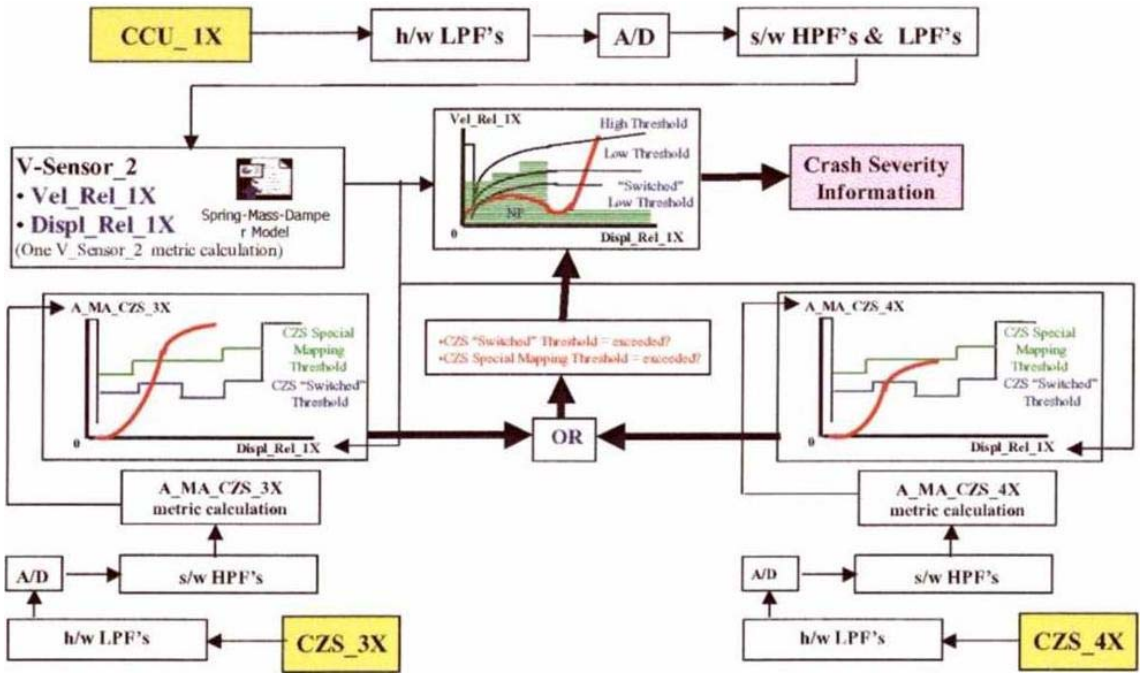


라. 에어백 알고리즘 개발 'D' 업체

1) System Overview - Sensor

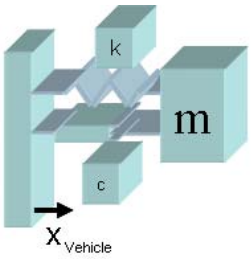


2) Algorithm Structure



3) Algorithm Criteria

Equation of Motion : $x'' + (c/m)x' + (k/m)x = a$ ..... *(1)*



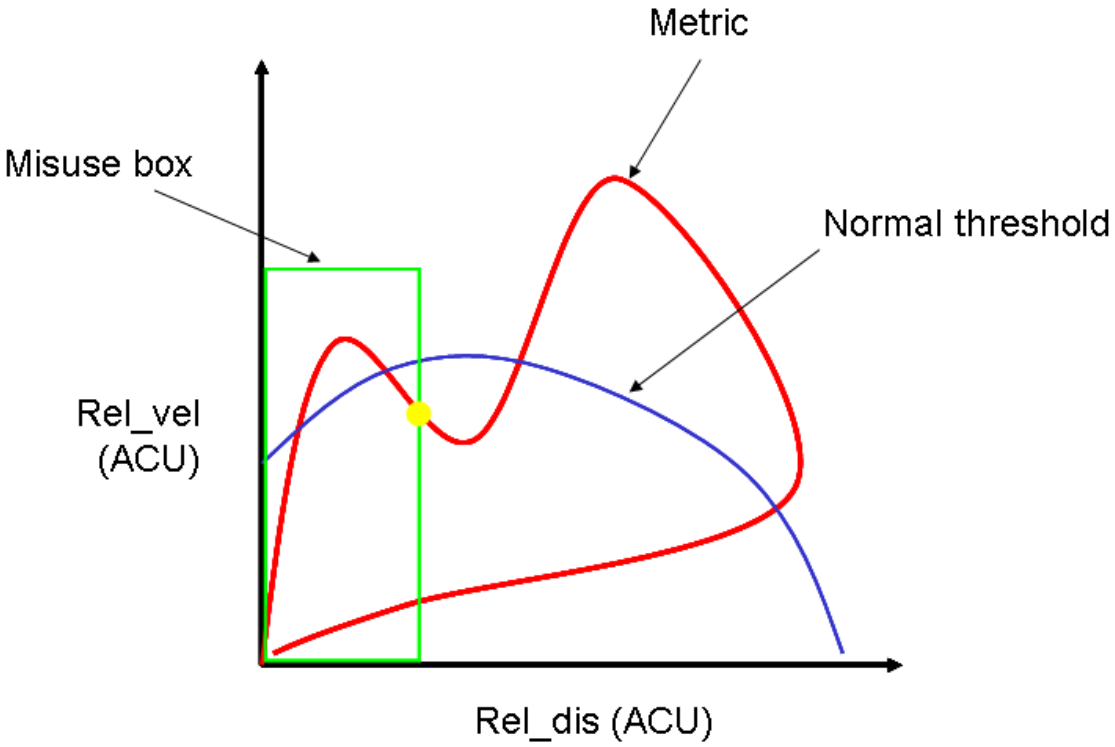
Acceleration Moving Average :

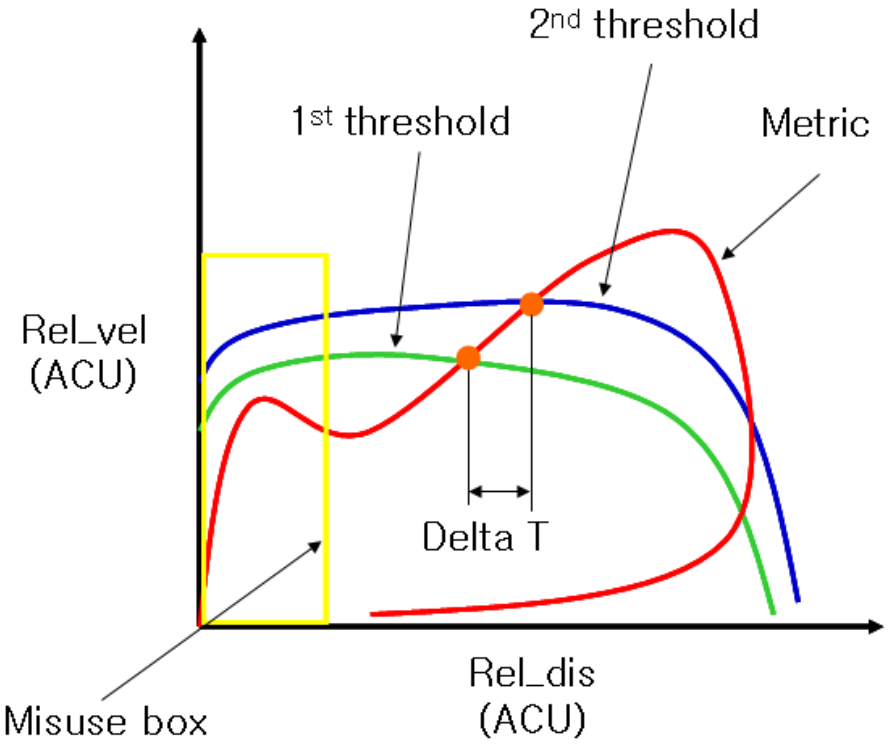
$$A_MA = (a(i) + a(i-1) + a(i-2) + \ldots + a(i-n+2) + a(i-n+1))/n$$

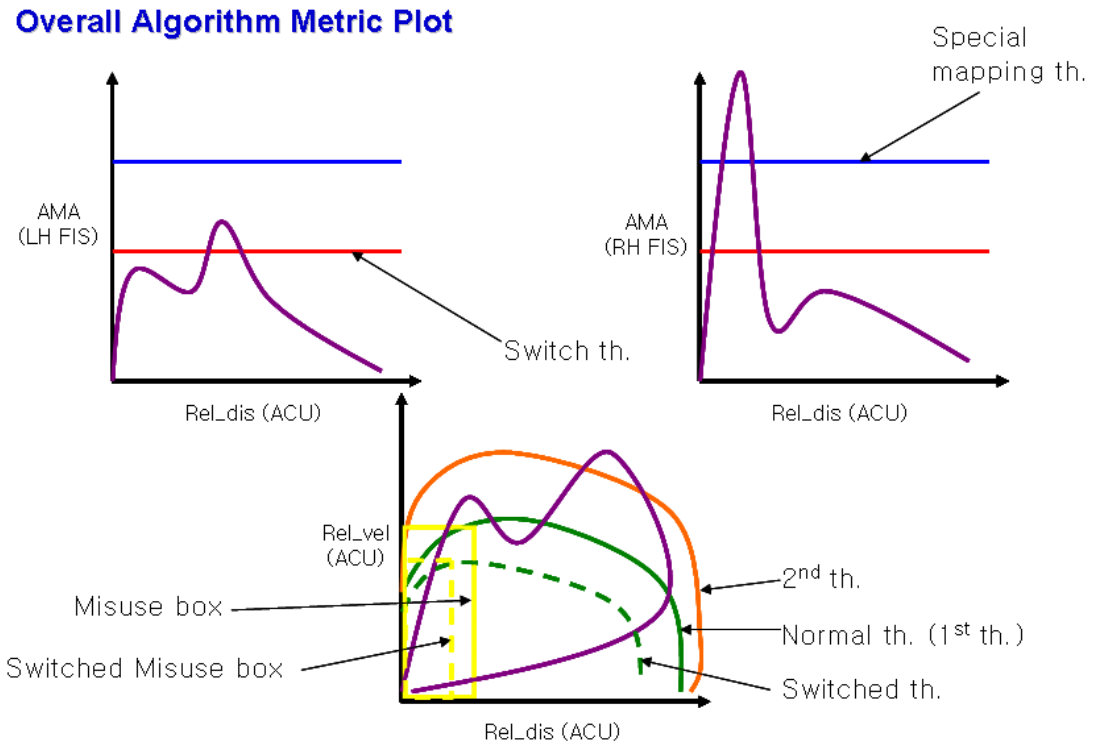
Algorithm Criteria	*Equation*	*Remark*
Vel_Rel_1X	x` of Eq.(1)	**Main Algo.**
Displ_Rel_1X	x of Eq.(1)	**Main Algo.**
A_MA_CZS_3(4)X	Acceleration of Moving Average	**Main Algo.**
A_MA_CZS_2X	Acceleration of Moving Average	**Safing Logic**

4) Main Algorithm

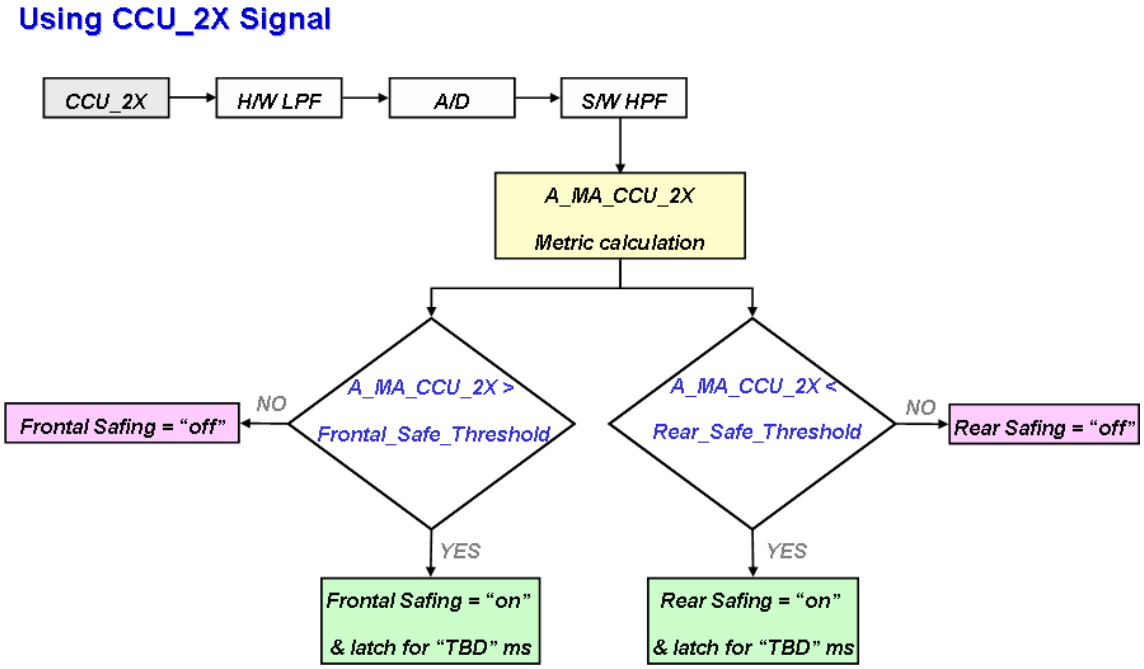
1st Stage Deployment







5) Safing Logic



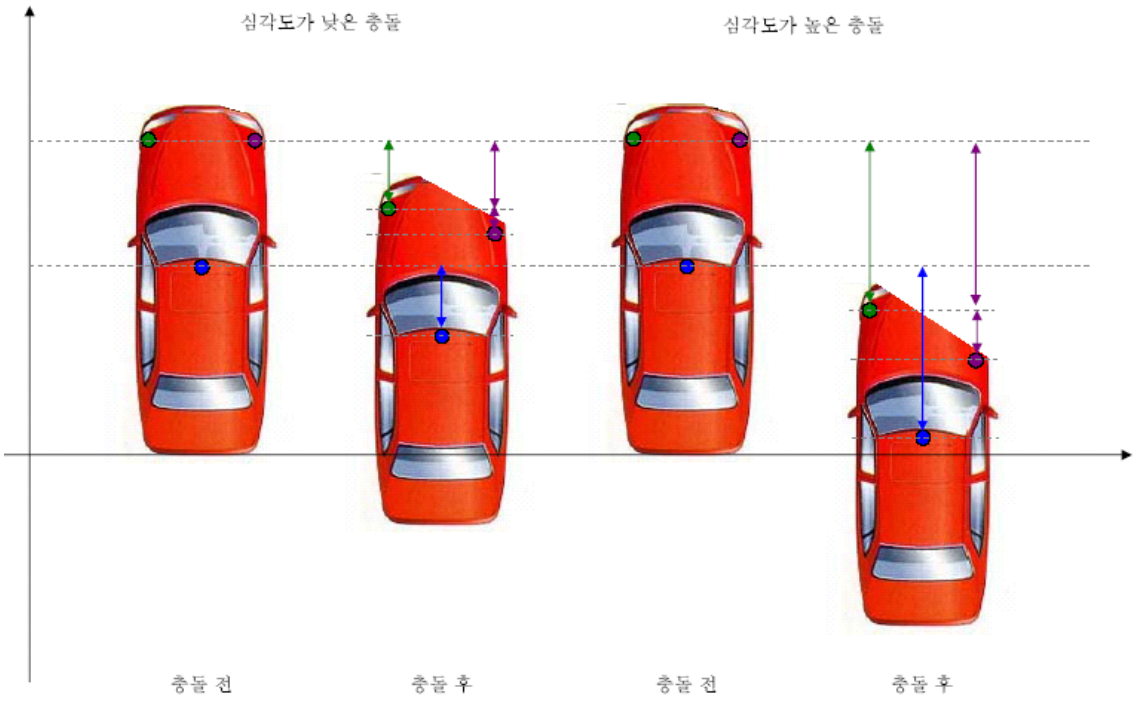
6. Crash Severity 알고리즘 구성

가. TIME BASED 알고리즘

정면 충돌 시 발생하는 차량과 승객의 거동을 분석하고 이를 신뢰성 있게 일반화하여 advanced airbag algorithm에 적용하고 설계하였다.

① 정면 충돌 시 차량 및 승객 거동

정면 충돌 시 차량은 충돌 장애물에 의해 감속되고 차량 내 승객은 차량과 동일한 거동을 보이게 된다. 또한 충돌 장애물과 직접적으로 접촉하게 되는 차량 전반부에는 차체의 변형이 발생하게 된다.
심각도가 낮은 충돌의 경우 승객의 거동량이 적어서 차량 내부 구조물과의 접촉에 의한 상해가 적거나 없고 차량 전반부의 차체 변형량도 적다.
하지만 심각도가 높은 충돌의 경우 승객의 거동량이 커서 차량 내부 구조물과의 접촉에 의한 상해가 크고 차량 전반부의 차체 변형량 또한 크다.

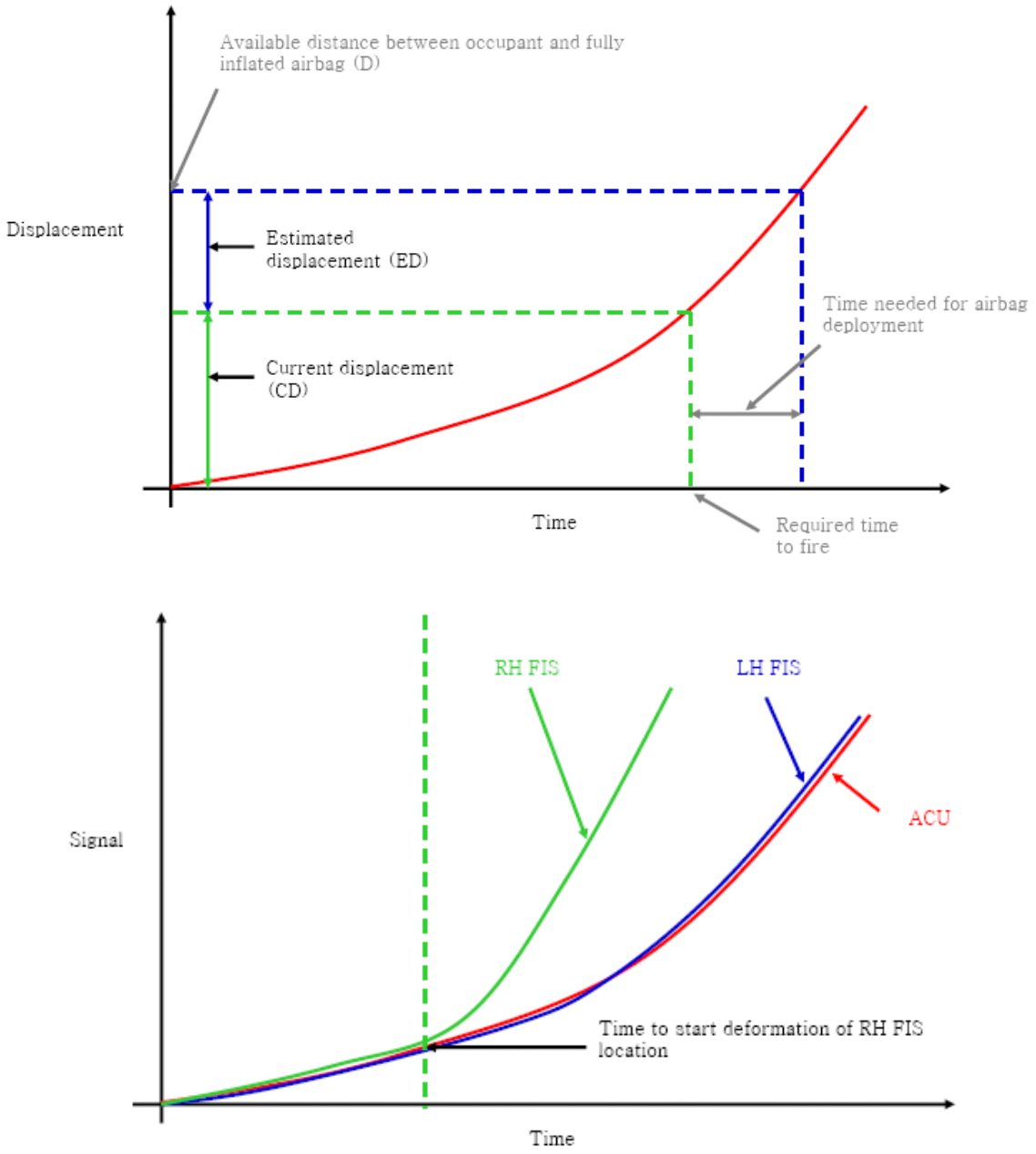


② Advanced airbag algorithm 구성 및 개념

승객의 거동량을 계산하여 적절한 시간에 적절한 압력으로 airbag을 전개시키는 main algorithm과 차량 전반부의 차체 변형량을 계산하여 main algorithm이 더욱 좋은 성능을 발휘하도록 보조하는 FIS algorithm으로 구성되어 있다.

(1) Main algorithm

정면 충돌 시 airbag은 승객의 거동에 따라 적절하게 전개되어야 하고 airbag의 적정 전개 시간은 승객의 거동과 airbag의 만개 시간을 바탕으로 계산할 수 있다. Airbag은 승객이 초기 승객 위치와 만개된 airbag 사이의 거리를 움직인 시간에서 airbag 만개 시간을 뺀 시간에 전개되어야 한다. 그래야만 승객이 만개된 airbag에 의해 적절하게 보호될 수 있다. 승객의 거동은 ACU (Airbag Control Unit) 위치에서의 변위를 계산하여 계산할 수 있다. 하지만, 실제 충돌이 발생하여 algorithm이 동작할 경우 현재의 감가속도만을 얻게 되고 airbag은 승객이 초기 승객 위치와 만개된 airbag 사이의 거리를 움직인 시간에서 airbag 만개 시간을 뺀 시간에 전개되어야 하므로 airbag이 만개되는 시간동안 승객의 거동이 얼마나 발생할 지를 미리 예측해야 한다. 즉, airbag은 변위와 예측 변위의 합이 초기 승객 위치와 만개된 에어백 사이의 거리가 되는 시점에 전개되면 된다. Airbag이 전개되지 않아도 될 정도의 심각도가 낮은 충돌이나 험로/장애물 주행 시 에는 승객의 거동이 없거나 작고 따라서 변위와 예측 변위가 없거나 작게 발생하므로 airbag을 신뢰성 있게 미전개 시킬 수 있다. Airbag이 전개는 되어야 하나 승객의 거동이 작게 발생하는 것은 충돌 심각도가 작고, 승객의 거동이 크게 발생하는 것은 충돌 심각도가 크다는 것이다. 따라서, Airbag이 전개는 되어야 하나 승객의 거동이 작을 경우는 Airbag을 저압으로 승객의 거동이 클 경우에는 airbag을 고압으로 전개하면 더욱 좋은 승객 보호 성능을 얻을 수 있다. 위에서 언급한 바와 같이 승객의 거동은 ACU의 변위 및 예상 변위로 계산이 가능하다. 따라서 ACU의 변위 및 예상 변위가 크게 발생하면 고압으로, ACU의 변위 및 예상 변위가 작게 발생하면 저압으로 에어백이 전개되도록 제어한다.



(2) FIS algorithm

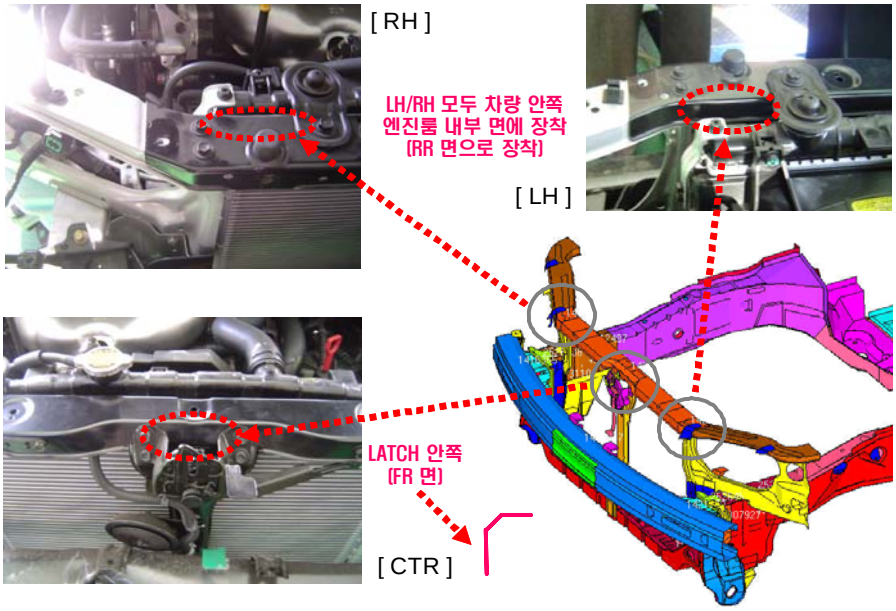
Airbag을 적절히 전개하기 위하여 algorithm에 승객의 거동을 고려하는 것 외에 차체의 거동 및 변형량을 반영하면 더욱 좋은 성능을 얻을 수 있다. Airbag이 전개되지 않아도 될 정도의 심각도가 낮은 충돌이나 험로/장애물 주행의 경우 FIS (Front Impact Sensor) 위치에 변형이나 밀림 현상, ACU 위치에 밀림 현상은 없거나 작다. 반면 airbag이 전개되어야 하는 심각도가 높은 충돌의 경우 FIS 위치에 변형

및 밀림 현상, ACU 위치에 밀림 현상이 크게 발생한다. 심각도가 높은 충돌일 수록 FIS 위치에 변형 및 밀림 현상, ACU 위치에 밀림 현상은 더욱 크게 발생한다. 승객 거동에 따른 airbag 압력 결정과 마찬가지로 airbag이 전개는 되어야 하나 FIS 위치에 변형 및 밀림 현상, ACU 위치에 밀림 현상이 작게 발생하는 것은 충돌 심각도가 작고, FIS 위치에 변형 및 밀림 현상, ACU 위치에 밀림 현상이 크게 발생하는 것은 충돌 심각도가 크다는 것이다. 따라서, airbag이 전개는 되어야 하나 FIS 위치에 변형 및 밀림 현상, ACU 위치에 밀림 현상이 작을 경우는 airbag을 저압으로, FIS 위치에 변형 및 밀림 현상, ACU 위치에 밀림 현상이 클 경우에는 airbag을 고압으로 전개하면 더욱 좋은 승객 보호 성능을 얻을 수 있다.

7. 전방센서 위치별 개발시험 결과 분석

가. 실차 개발시험 TEST MATRIX 및 시험조건 설정

어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 국산화 개발을 위하여 충돌유형별 속도별로 실차시험을 실시하였다. Test Matrix 설정 기준은 해당 차종(당사준중형 차량)의 개발 당시에 에어백 개발을 위해 설정하였던 시험 종류를 사용하였고, 당사 및 시험 기관의 시험 회수를 조절하여 최소한의 시험으로 Test Matrix가 구성되도록 하였다.



<그림 3-1-41> 전방 센서 장착 후보지 RAD SUPR UPR

나. 전방센서 장착 후보지 선정

전방 센서 장착 후보지는 국내외 양산 차량의 장착위치를 검토하여 RAD SUPT UPR 3지점(좌, 우, 중앙), RAD SUPT LWR 3지점(좌, 우, 중앙), Bumper B/Beam 3지점(좌, 우, 중앙), FR S/MBR INR 2지점(좌, 우), FR S/MBR OTR 2지점(좌, 우) 등 각 시험 항목당 4개 범주 13지점을 선정하였다. <그림 3-1-41>는 전방 센서 위치의 4개 범주 중 대표적인 위치인 RAD SUPT UPR 지점의 전방 센서 장착 후보지를 나타낸다.

다. 충돌 속도/위치별 유효 데이터 분석

RAD SUPT LWR CTR 및 B/Beam CTR 부위에서는 손실되지 않은 유효 데이터 숫자가 다른 부위에 비해 현저하게 떨어지는데 이는 중앙 부위가 충돌의 직접적인 영향을 받는 부위이기 때문인 것으로 추측되며, FR S/MBR INR/OTR 부위도 RAD SUPT나 Bumper B/Beam에 비해 손실되는 신호 개수가 많음을 알 수 있다.

충돌 유형 및 속도별 관찰 결과는 정면의 경우 고속으로 갈수록 손실 개수가 많아지는데, 손실되는 시점이 전방 센서의 유효 데이터 시간(RTTF: Required Time To Fire)을 벗어난 시점이기 때문에 신호 구분 성능에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 그 외 경사나 옵셋 등의 경우는 정면에 비해 높은 유효 데이터 비율을 나타낸다.

라. 비전개 조건과 저압 전개 조건 비교

<표 3-1-6>에서는 비전개 조건 정면 시험 결과와 저압 전개 조건 시험 데이터로 비교 분석한 결과를 나타낸다.

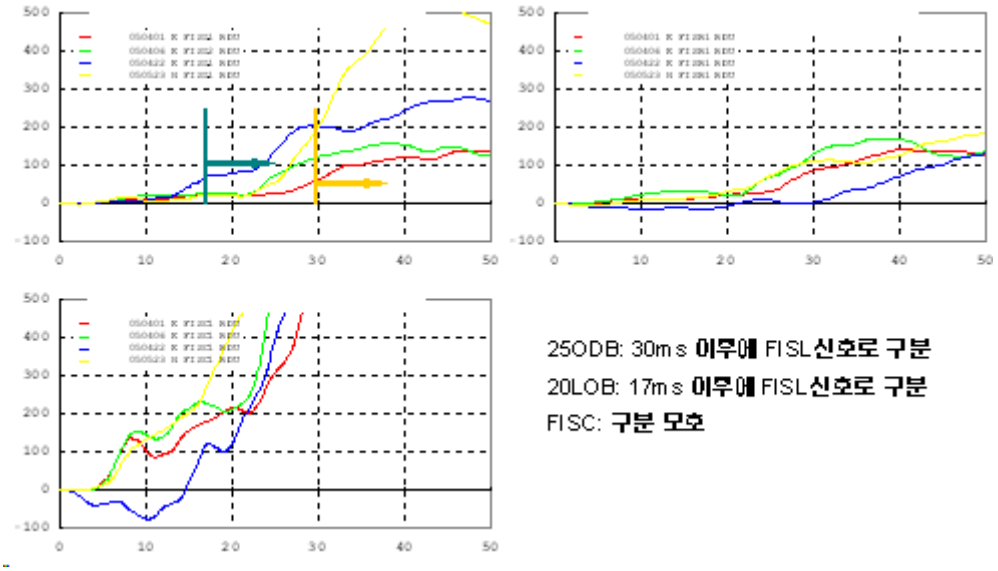
RAD SUPT UPR/LWR 및 Bumper B/Beam 위치에서는 FIS-L/R 신호를 이용하면 옵셋, 경사 등 모두 구별이 가능하였고, 기존 양산 차량의 주된 전방센서 위치인 FR S/MBR INR/OTR 위치에서는, 옵셋의 경우 신호 손실로 판단이 불가능 하였다. <그림 3-1-42>

FIS-CTR 신호는 전체 후보지 위치에 걸쳐 구분능력이 떨어졌으며, Crash Severity가 심하지 않아 충돌심각도 구분이 어려운데 이것은 해당 차종의 특성에 기인한 것으로 판단된다.

마지막으로 구분 시간 측면에서는 충돌 특성상 가장 먼저 충돌하는 부위인 Bumper B/Beam 에서의 신호로 가장 먼저 구분이 가능하였고, 순차적으로 RAD SUPT LWR, RAD SUPT UPR의 순서를 나타낸다.

<표 3-1-6> 비전개 조건과 저압 전개 조건 비교

	RAD. SUP. UPPER		RAD. SUP. LOWER		BACK BEAM		S/MBR INNER	S/MBR OUTER
	FIS-L/R	FIS-C	FIS-L/R	FIS-C	FIS-L/R	FIS-C	FIS-L/R	FIS-L/R
	FIS-L 구분 가능 (30ms ~)	구분 모호	FIS-L 구분 가능 (16ms ~)	25ODB Fail	FIS-L 구분 가능 (16ms ~)	신호 역전	25ODB Fail	25ODB Fail
	FIS-L 구분 가능 (17ms ~)	구분 모호	FIS-L 구분 가능 (8ms ~)	20LOB Fail	FIS-L 구분 가능 (8ms ~)	신호 역전	FIS-L/R 구분 가능 (8ms ~)	FIS-L 구분 가능 (7ms ~)
	FIS-L 구분 가능 (25ms ~)	구분 모호	FIS-L 구분 가능 (30ms~)	구분 모호	FIS-L 구분 가능 (10ms ~)	구분 모호	신호 역전	구분 모호
	구분 모호		구분 모호					



<그림 3-1-42> 비전개 조건 vs 저압 전개 조건 (RAD UPR)

마. 저압 전개 조건과 고압 전개 조건 비교

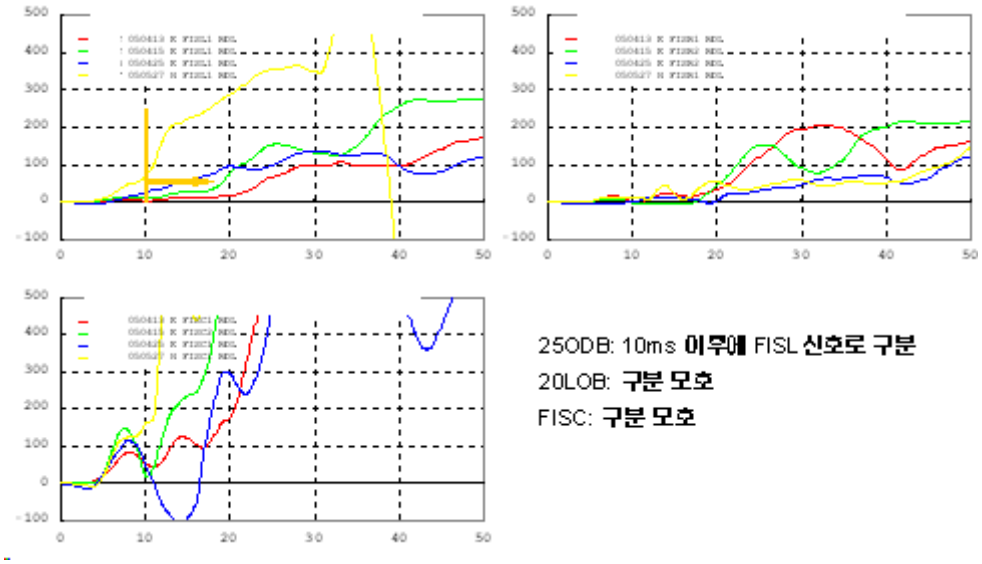
<표 3-1-7>에서는 저압 전개 조건 시험 결과와 고압 전개 조건 시험 데이터로 비교 분석한 결과를 나타낸다.

RAD SUPT UPR 위치에서는 FIS-L/R 신호를이용하면 옵셋/경사 등의 충돌 유형을 모두 구별하는 것이 가능하였고, RAD SUPT LWR 위치에서는 FIS-L/R 신호를 이용하면 옵셋

만 구별이 가능하였고 그 외는 구별이 불가능하였다. <그림 3-1-43> Bumper B/Beam 위치에서는FIS-L/R 신호를 이용하면 옵셋 및 경사는 구별이 가능하였다. FR S/MBR INR/OTR 위치에서는 정면 충돌 시험의 FIS 후보지 중에서 손실된 센서 신호가 많아서 분석이 불가능하였다.

<표 3-1-7> 저압 전개 조건과 고압 전개 조건 비교

	RAD. SUP. UPPER		RAD. SUP. LOWER		BACK BEAM		S/MBR INNER	S/MBR OUTER
	FIS-L/R	FIS-C	FIS-L/R	FIS-C	FIS-L/R	FIS-C	FIS-L/R	FIS-L/R
	FIS-L 구분 가능 (21ms ~)	구분 모호	FIS-L 구분 가능 (10ms ~)	구분 모호	FIS-L 구분 가능 (10ms ~)	구분 모호	16/18FRT Fail	16/18FRT Fail
	FIS-L 구분 가능 (25ms ~)	구분 모호	구분 모호	구분 모호	FIS-L 구분 가능 (8ms ~)	구분 모호	16/18FRT Fail	16/18FRT Fail
	FIS-L 구분 가능 (11ms ~)	27 CTP Fail	27CTP FIS-L Fail FIS-R 역전	구분 모호	FIS-L틀가 FIS-R모호	구분 모호	16/18FRT Fail	16/18FRT Fail



<그림 3-1-43> 저압 전개 조건 vs 고압 전개 조건 (RAD LWR)

FIS-CTR 신호는 비전개 조건과 저압 전개조건 비교에서와 마찬가지로 전체 후보지 위치에 걸쳐 구분 능력이 떨어짐을 알 수 있었다.

바. 속도별/위치별 신호 비교

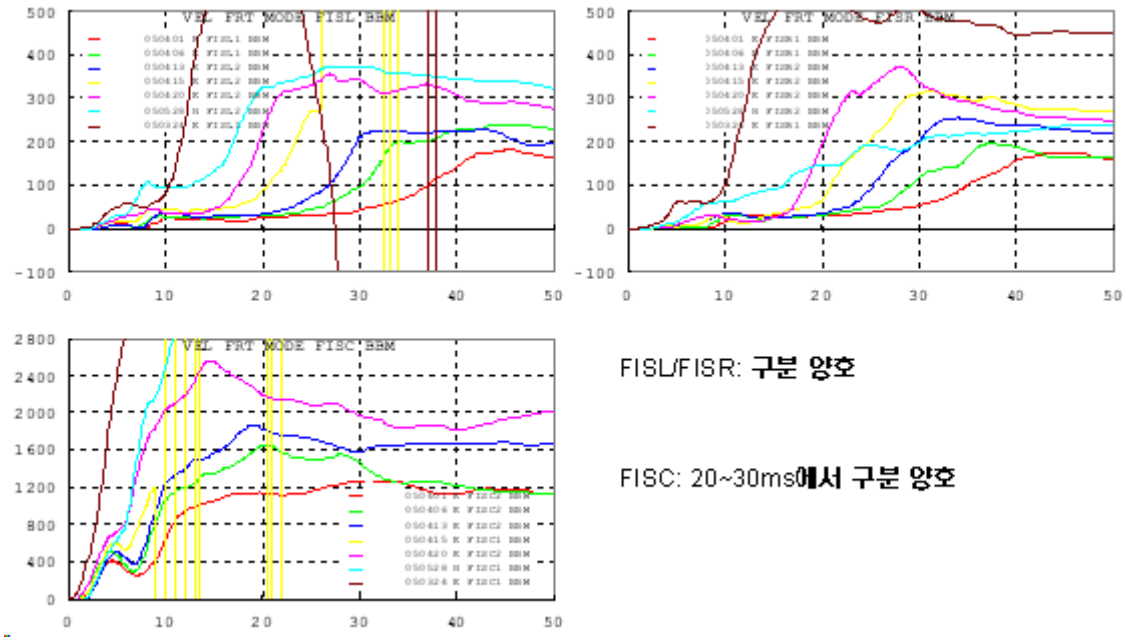
먼저, 동일한 전방 센서 장착 후보지에서 충돌 속도별 신호의 크기가 충돌 심각도 순으로 선형

성을 가지는지를 평가해 보았다.

<표 3-1-8>.에 나타난 바와 같이 RAD SUPT UPR 및 LWR 위치에서는 FIS-L/R 신호를 이용하면 속도별로, 즉 충돌 심각도 순으로 정배열을 이룸으로서 신호 구분 성능이 매우 좋음을 알수 있었지만, FIS-CTR는 구분 성능이 모호하였다. Bumper B/Beam 위치에서는 FIS-L/R 뿐만 아니라 FIS-CTR 위치에서도 구분 성능이 양호하였다. <그림 3-1-44>

<표 3-1-8> 동일 위치 속도별 신호 비교

	RAD. SUP. UPPER	RAD. SUP. LOWER	BACK BEAM	S/MBR INNER	S/MBR OUTER
FIS-L	정배열 (15ms~) RAD LWR에 비해 20~30ms 에서 구분 양호	정배열 (15/20ms~)	정배열 (15/20ms~)	Fail 25FRT > 35FRT	
FIS-R				정배열	Fail 나머지 정배열
FIS-C	저속 에서 구분 모호	저속 에서 구분 모호	20~30ms에서 구분 양호		



<그림 3-1-44> FRT 속도별 FIS Bumper B/Beam

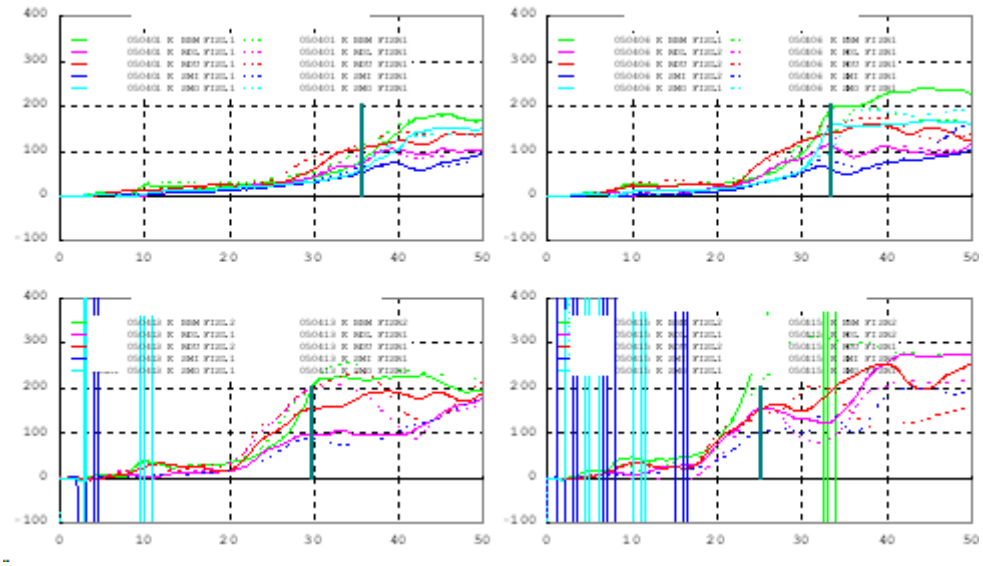
FR S/MBR INR/OTR 에서는 정면 충돌 시험 신호가 손실된 경우가 많아서 완전하게 비교하기는 어려웠지만, 25마일 정면이 35마일 정면보다 크거나(INR), 25마일 보다 커서(OTR)

충돌 심각도(Crash Severity)별로 정배열을 이루어야 한다는 전방 센서의 기본적인 조건조차도 만족시키기가 어려움을 알 수 있었다.

그 다음에는 동일한 충돌 속도에서 전방 센서 후보지별로 신호를 비교하여 보았다. 정면 시험의 경우에는 예상한 결과대로 최대값이 Bumper B/Beam에서 가장 크고 RAD UPR/LWR, FR S/MBR INR/OTR의 순서로 나타났다. (표 3-1-9, 그림 3-1-45)

<표 3-1-9> 동일 속도 위치별 신호 비교

	RAD. SUP. UPPER	RAD. SUP. LOWER	BACK BEAM	S/MBR INNER	S/MBR OUTER
FRT	**최대값** : Bumper B/Beam ≥ RAD (UPR/LWR) ≥ FR S/MBR (INR/OTR)				
OBL ODB CTP	**경향 파악 어려움**				



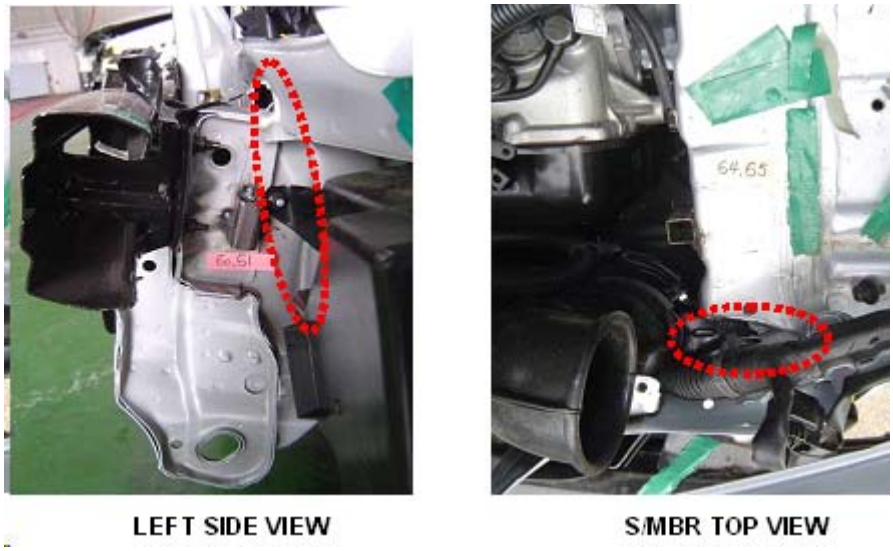
<그림 3-1-45> FIS 위치별 신호 FRT

사. 실차 시험 차체 변형 비교

FR S/MBR의 변형 형상을 비교해 보면, FR S/MBR INR 센서는 대변형 뒷부분에, OTR 센

서는 대변형 앞부분에 위치하였다. 각 후보지에서 측정된 가속도를 적분한 속도를 비교해보면 OTR 위치에서 더 빠르고 큰 Peak 값을 가진다. (그림 3-1-46)

FR S/MBR INR 좌측 센서는 비드(대변형 부위) 뒷부분, 우측 센서는 비드 근처에 위치하였다. 가속도를 적분한 속도를 비교하면 우측 위치에서 보다 빠르고 큰Peak 값을 갖는다. (그림 3-1-47)



<그림 3-1-46> FR S/MBR INR vs OTR 변형 비교





<그림 3-1-47> FR S/MBR INR LH vs RH 비교

결론적으로, 전방 센서는 국부적으로 변형하는 부위, 혹은 그 앞쪽 부분에 위치할 때 신호 구분 성능이 가장 좋아짐을 알 수 있다.

그 밖에 충돌 유형별로 비교하면, 정면 모드에서는 FIS-CTR 값이 다른 위치에 비해 두드러지며 충돌 초기 가속도 Peak 시점이 충돌 속도에 비례하였다. 경사 시험에서는 FIS-CTR 값이 일정 시간 동안 작은 가속도 값을 유지하며, 옵셋에서는FIS-CTR 위치에서 높은 가속도 값을 보이며 그 다음으로는 Left 값이 높게 나타난다.

8. 전방센서 위치별 에어백 알고리즘 CALIBRATION

가. 알고리즘 1을 이용한 CALIBRATION

① Calibration Set & Conditions

정면 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘에서 이용한 Calibration Set은 실차 충돌 시험 14회 (과제 1차년도 13회 시험 및 양산 개발 시험 1회) 및 Rough Road & Misuse 시험 94회 (Constant Road Test 25회, Obstacle 22회, Static Test 47회) 데이터를 이용하였다.

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
1	C09AS	Cobblestone Lane @ 40 kph w/brake	185%
2	C11AS	MGA Pothole Lane @ 40 kph w/brake	180%
: :	: :	: :	: :
5	O17AS	300 mm Gravel Ditch @ 40 kph w/o brake	125%
: :	: :	: :	: :

<표 3-1-10> Bumper B/Beam Calibration

② Bumper B/Beam 위치에서의 Cal. 결과

저압 전개 조건 정면에서 84.3% No Fire 가 발생하였고, 저압 조건인 정면에서는 40% 고압 전개가 발생하였다. 그 밖에도 20마일 경사, 25마일 옵셋 등에서 요구 조건을 충족하지 못하였다. Misuse에서는 O17AS, O20AS 등에서 150% 이하의 margin을 나타내었다. <표 3-1-10>

③ RAD SUPT LWR 위치에서의 Cal. 결과

저속 정면, 20마일 경사, 25마일 옵셋 등에서 에어백 압력 조건및 RTTF 요구 조건을 만족하지 못하였고, Misuse에서는 O17AS, O18AS, O20AS에서 150% 이하 margin을 기록하였다. <표 3-1-11>

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
1	C09AS	Cobblestone Lane @ 40 kph w/brake	185%
2	C11AS	MGA Pothole Lane @ 40 kph w/brake	180%
: :	: :	: :	: :
6	O18AS	300 mm Gravel Ditch @ 40 kph w/brake	130%
: :	: :	: :	: :

<표 3-1-11>. RAD SUPT LWR Calibration

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
1	C09AS	Cobblestone Lane @ 40 kph w/brake	190%
2	C11AS	MGA Pothole Lane @ 40 kph w/brake	180%
3	C15AS	760 mm Pothole @ 40 kph w/brake	190%
: :	: :	: :	: :

<표 3-1-12> RAD SUPT UPR Calibration

④ RAD SUPT UPR 위치에서의 Cal. 결과

RAD SUPT UPR 위치에서도 다른 위치와 마찬가지로 저속 정면, 20마일 경사, 25마일 옵셋 및 Misuse O17AS, O20AS 에서 요구 조건을 충족하지 못하였다. <표 3-1-12>

⑤ FR S/MBR INR 위치에서의 Cal. 결과

FR S/MBR 위치에서는 저속 정면 시험의 FIS-LH 신호가 손실되어, FIS-RH 신호를 FIS-LH 대신 사용하여 Calibration을 수행하였다. 그 결과 저속 정면, 20마일 경사, 25마일 옵셋 등 다소 많은 충돌 조건에서 요구 불만족이 나타났으며, 특히 25마일 옵셋에서는 FIS-LH 데이터가 손실되어ACU-Y 데이터를 사용하여 성능을 보완하였지만 20% 정도의 고압 전개가 발생하였다. misuse O17AS, O20AS에서도 150% 이하의 margin을 보였다. <표 3-1-13>

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
1	C09AS	Cobblestone Lane @ 40 kph w/brake	185%
2	C11AS	MGA Pothole Lane @ 40 kph w/brake	180%
3	C15AS	760 mm Pothole @ 40 kph w/brake	190%
: :	: :	: :	: :

<표 3-1-13> FR S/MBR INR Calibration

⑥ Calibration 결과 종합

FIS 후보지 별로 Calibration된 결과를 객관화된 수치로 종합하여 비교하기 위해 충돌 조건 및 각 요구 조건에 대하여 가중치를 부여하였다. 우선 충돌 조건에 대해서는 정면 비전개 조건 및 법규 조건인 저압 전개 조건에 "5"의 가중치를 부여하였고, 25마일 옵셋 및 Misuse 조건에

"4" 등 순차적으로 가중치를 부여하였고, 각 요구 조건에 대해서는 불만족 비율 및 misuse margin 부족분에 따라서 0부터 5점까지의 가중치를 차등 부여하였다.

후보지별 Calibration 비교 결과, 실차 충돌 시험에서는 RAD SUPT UPR 및 LWR가 가장 좋은 점수가 나왔으며, misuse에서는 RAD SUPT LWR를 제외한 3 후보지가 모두 같은 점수를 얻었다. 따라서 수치화된 후보지별 Calibration 성능 비교 결과는 RAD SUPT UPR 위치가 상대적으로 가장 우월한 위치임이 Calibration 결과에서도 다시 한번 확인되었다. <표 3-1-14>

ITEM	가중치	BACK BEAM	POINT	RAD. LOWER	POINT	RAD. UPPER	POINT	S/MBR INNER	POINT	NOTE
NF Margin	5	1.48	5	1.48	5	1.48	5	1.59	5	
16FRT LOW Margin	5	1.38	5	1.38	5	1.37	5	1.38	5	
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
Σ가중치 X POINT	-	81		87		87		74		
C09AS	4	185%	4	185%	4	190%	4	185%	4	Cobblestone lane @ 40 kph w/brake
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
O18AS	4	200%	5	130%	3	200%	5	200%	5	300mm gravel ditch @ 40 kph w/brake
Σ가중치 X POINT	-	100		92		100		100		

<표 3-1-14> FIS 위치별 Cal. 결과 종합 비교

나. 알고리즘 2를 이용한 CALIBRATION

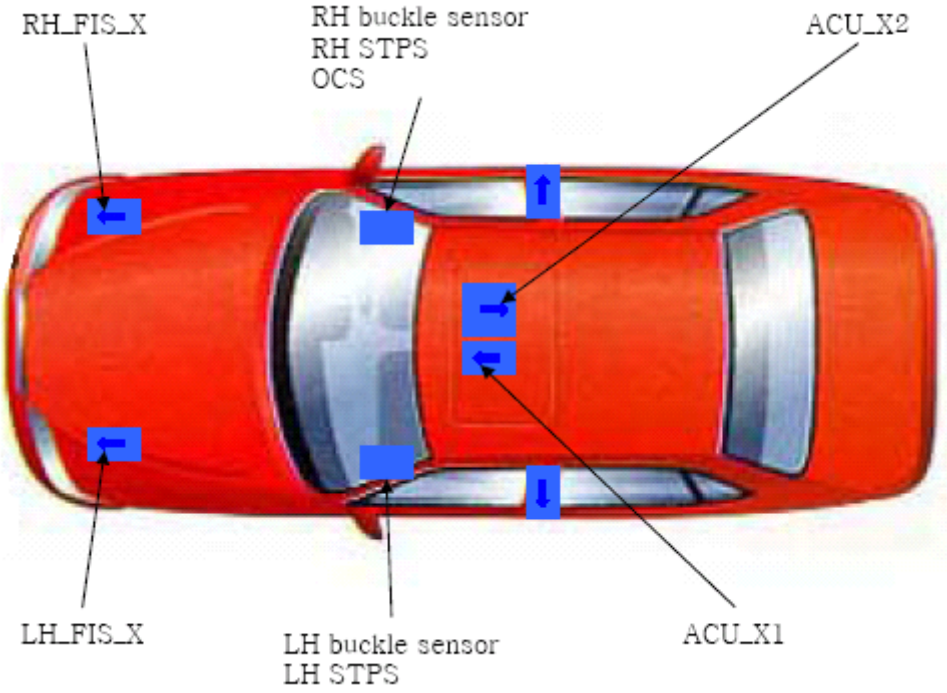
① Sensing system

Advanced airbag algorithm과 calibration 시 적용된 sensing system과 이에 따른 전개 조건은 다음과 같다.

Buckle sensor를 적용하여 buckle sensor의 정보에 따라 승객이 buckle을 착용할 경우는 pretensioner를 동작시키고, buckle을 착용하지 않았을 경우는 pretensioner를 동작시키지 않도록 설정하였다.

STPS (Seat Track Position Sensor)를 적용하여 STPS의 위치 정보에 따라 seat가 전방에 위치할 경우 high output이 미전개 되도록 설정하였다.

또한, OCS (Occupant Classification System)를 적용하여 OCS의 정보에 따라 조수석에 승객이 없거나 어린 아이가 탑승하고 있을 경우에는 조수석 airbag의 전개를 금지하도록 설정하였다.



② 전개 logic

Calibration simulation 시 적용된 전개 조건은 아래와 같다.

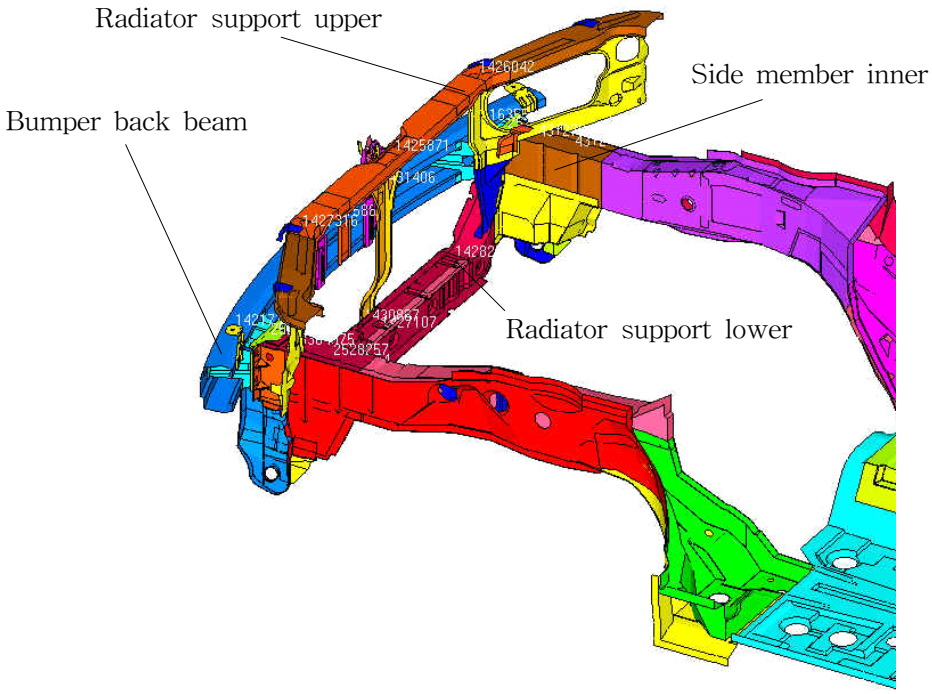
Dual stage inflater를 적용함에 따라 low output과 high output 전개 threshold가 구분된다.

No fire threshold는 frontal 항목, Must fire low output threshold는 frontal 항목, Must fire high output threshold 로 설정되었다.

Calibration simulation에 사용한 crash test data는 총 14항목으로 20mph oblique, 25mph frontal, 25mph oblique, 25mph ODB, 35mph frontal, 40mph ODB 등이다.

③ Calibration simulation 결과

Advanced airbag algorithm을 이용하여 calibration simulation을 수행하였다. FIS (Frontal Impact Sensor) 위치에 따라 4 종류의 calibration simulation을 수행하였고, 그 위치는 radiator support upper, radiator support lower, bumper back beam, side member inner이다.



(1) Radiator support upper FIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF		TTF			
		1st	2nd	1st			2nd
				Min	Nom	Max	
1	frontal	NF	NF	NF	NF	NF	NF
2	frontal	GZ	GZ	33	36/37	NF	NF/LOW
3	frontal	MF	LOW	24	25/31	35	LOW

(2) Radiator support lower FIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF		TTF			
		1st	2nd	1st			2nd
				Min	Nom	Max	
1	frontal	NF	NF	NF	NF	NF	NF
2	frontal	GZ	GZ	33	36/37	NF	NF/LOW
3	frontal	MF	LOW	27	29/31	35	LOW

(3) Bumper back beam FIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF		TTF			
		1st	2nd	1st			2nd
				Min	Nom	Max	
1	frontal	NF	NF	NF	NF	NF	NF
2	frontal	GZ	GZ	33	36/37	NF	NF/LOW
3	frontal	MF	LOW	29	30/31	35	LOW

(4) Side member inner FIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF		TTF			
		1st	2nd	1st			2nd
				Min	Nom	Max	
1	frontal	NF	NF	NF	NF	NF	NF
2	frontal	GZ	GZ	33	36/37	NF	NF/LOW
3	frontal	MF	LOW	29	30/31	35	LOW

상기 4 종류의 calibration simulation 검토 결과 radiator support upper 및 radiator support lower FIS를 이용한 calibration simulation은 frontal 및 ODB 항목에 대해서는 좋은 성능을 보였지만 oblique 항목에 대해 좋은 결과를 보이지 못했다. Bumper back beam 및 side member inner FIS를 이용한 calibration simulation은 frontal, ODB 및 oblique 항목 전반에 걸쳐 좋은 결과를 나타냈다. 이에 calibration simulation 결과와 FIS 장착성 및 신뢰성 등을 전반적으로 고려하여 대상 차종에 대한 최적의 FIS 위치는 side member inner로 선정하였고, 이를 기준으로 PIT (Pulse Injection Test)를 진행하였다.

9. 2차년도 PIT(PULSE INJECTION TEST)

설계된 advanced airbag algorithm이 ACU (Airbag Control Unit) 내에서 정상적으로 작동하는지 ACU 내에서 동작한 advanced airbag algorithm이 calibration simulation 결과와 같은 결과를 보이는지를 검증하기 위하여 PIT를 수행하였다. Calibration simulation에 이용된 crash test data를 ACU와 FIS에 직접 주입하여 ACU가 도출하는 결과와 calibration simulation 결과가 일치하는지를 비교하였다.

ACU 동작에 필요한 시간과 PIT 장비 자체가 갖는 노이즈 등에 의해 calibration simulation 결과와 PIT 결과는 최대 1.5ms 정도의 오차가 발생할 수 있다. 본 과제에서 수행한 calibration simulation 결과와 PIT 결과의 차이가 상기 오차 범위 내에 존재했으므로

calibration simulation 결과와 PIT 결과가 정확히 일치한다고 볼 수 있다. 따라서, PIT 수행을 통해 advanced airbag algorithm 및 calibration이 ACU 내에서 정상적으로 수행됨을 확인하였다.

10. 국외 측면 에어백 알고리즘 기술 동향 및 분석

○ 에어백 개발 '가'업체

시스템 엔지니어링, 센서 개발 및 알고리즘 개발 수행, 당사 차종에 적용 중

○ 에어백 개발 '나'업체(주식회사 만도 인수)

시스템 엔지니어링, 센서 개발 및 알고리즘 개발 수행, 당사 차종에 적용 중

○ 에어백 개발 '다'업체(주식회사 성우 인수)

시스템 엔지니어링, 센서 개발 및 알고리즘 개발 수행, 당사 차종에 적용 중

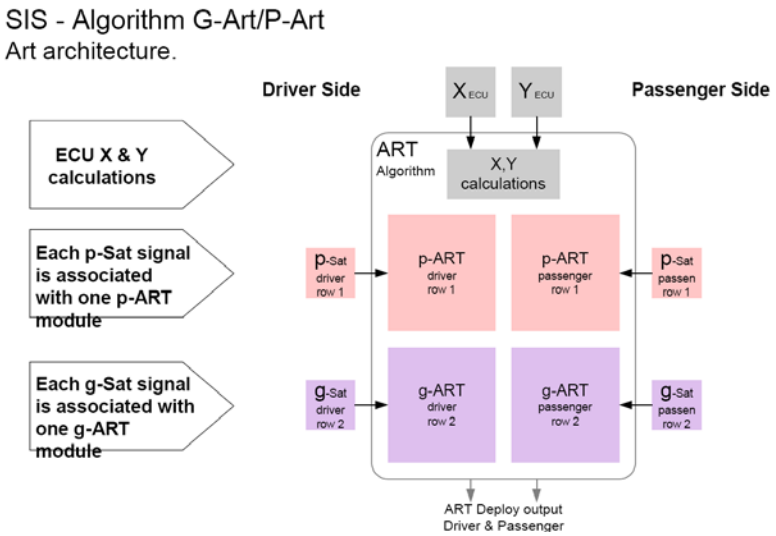
○ 에어백 개발 '라'업체(현대 모비스와 기술 제휴)

시스템 엔지니어링, 센서 개발 및 알고리즘 개발 수행, 당사 차종에 적용 중

○ 외국 자동차 업체들은 에어백 핵심 분야인 알고리즘 관련하여 이미 기술을 보유하고 있거나 자체 기술 연구 중이며, 에어백 개발 업체에게 일정 부분만을 개발하도록 하는 부분 용역 개발 시스템을 갖추고 있음.

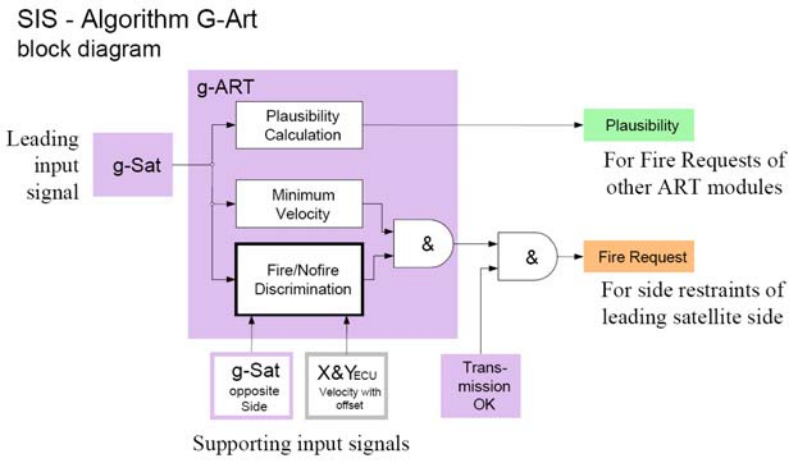
가. 측면 에어백 알고리즘 개발 'A' 업체

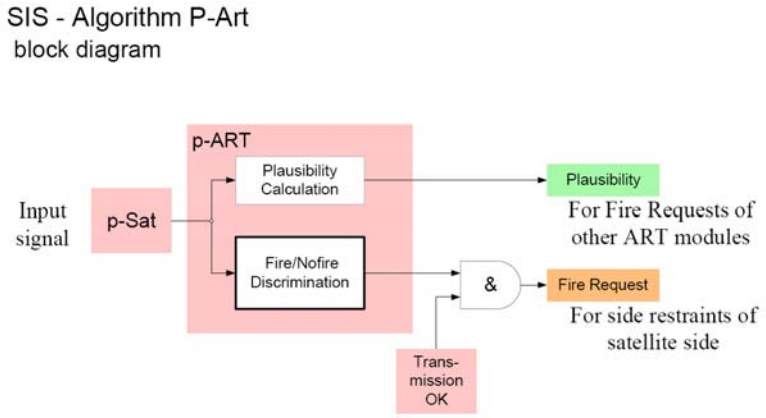
1) System Overview - Sensor



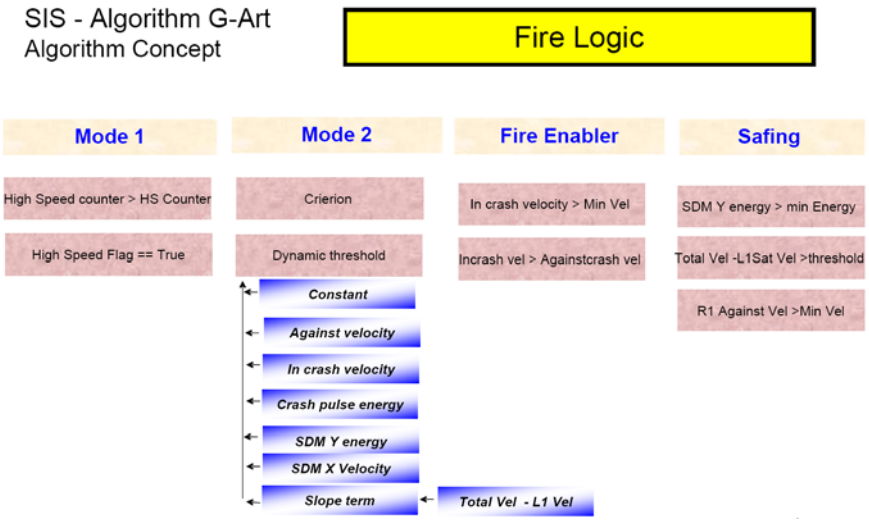
<그림 3-1-48 'A' 업체 측면 에어백 시스템>

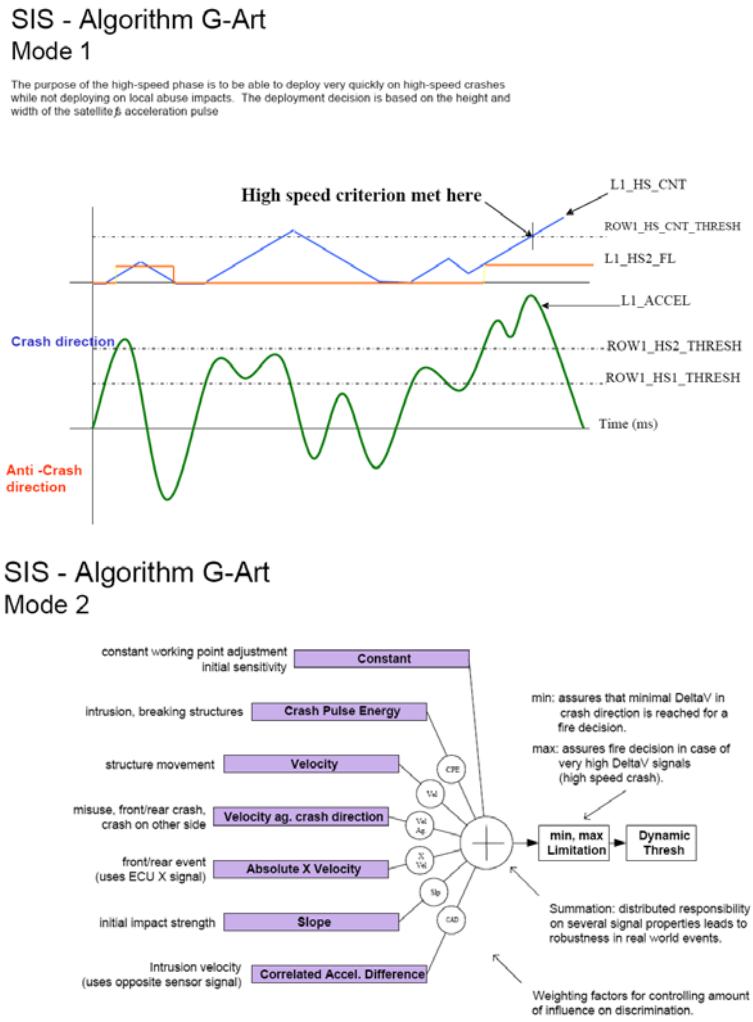
2) Algorithm Structure





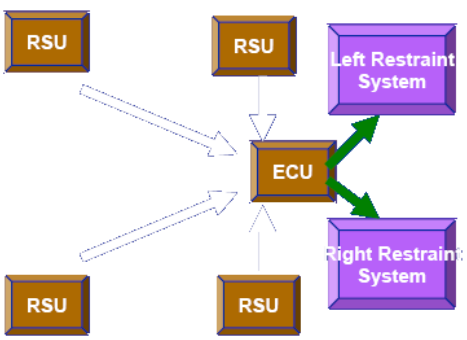
3) Algorithm Criteria





나. 측면 에어백 알고리즘 개발 'B' 업체

1) System Overview - Sensor

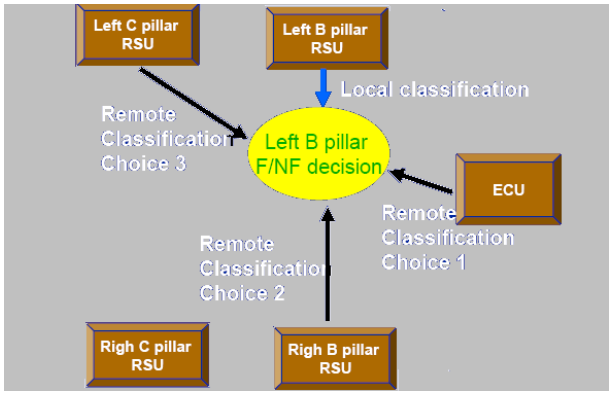


RSU: REMOVE SENSOR UNIT

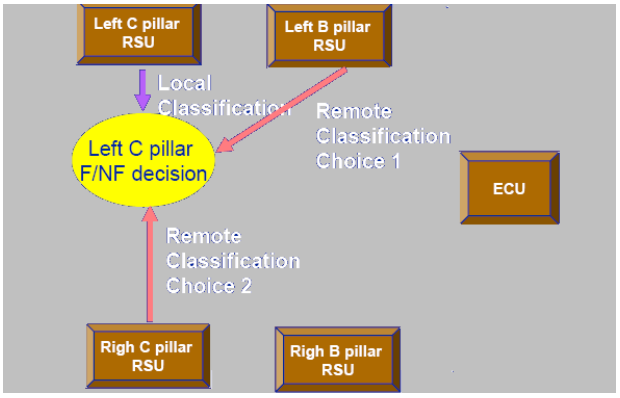
<그림 3-1-49 'B' 업체 측면 에어백 시스템>

'B' 업체의 측면 에어백 시스템은 차량 중앙부위의 ECU에 장착된 센서와 2개 또는 4개로 구성된 RSU로 구성된다.

2) Algorithm Structure



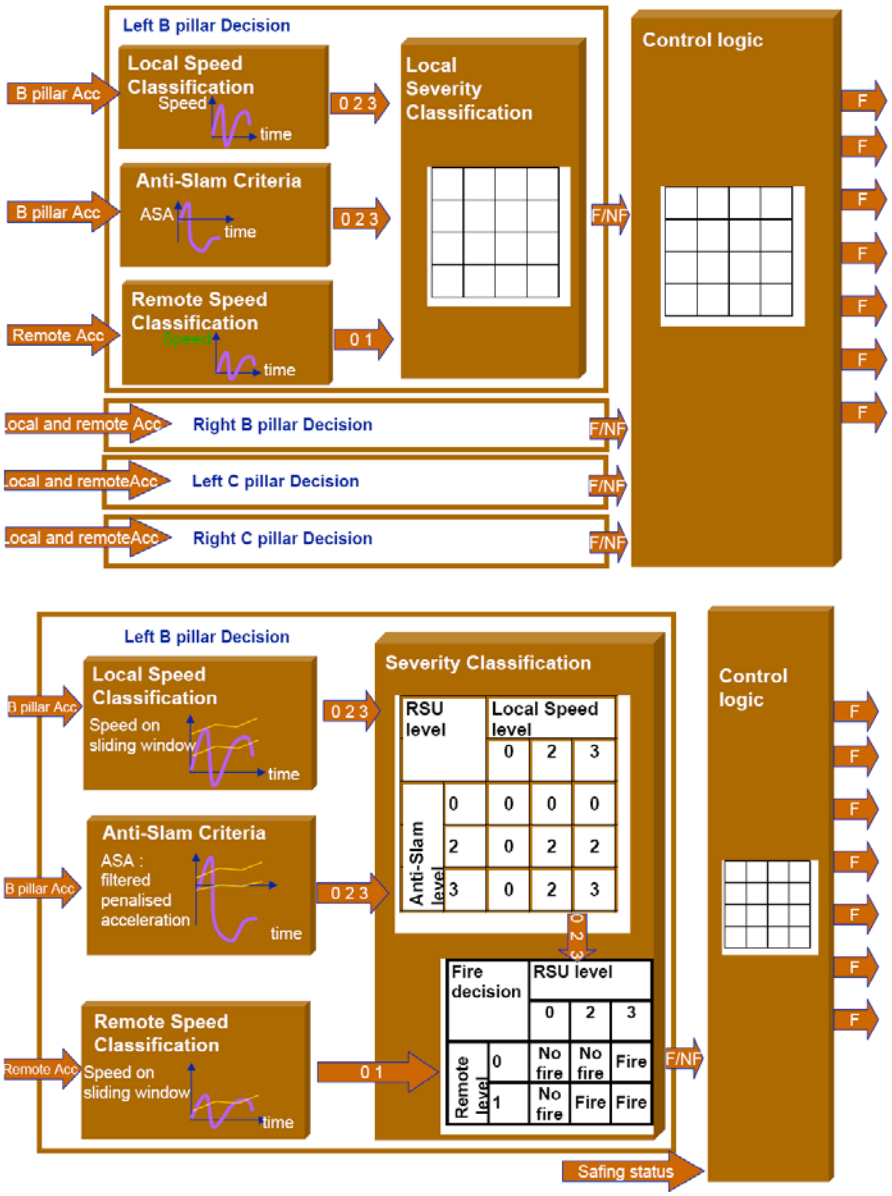
<그림 3-1-50> B pillar F/NF decision



<그림 3-1-51> C pillar F/NF decision

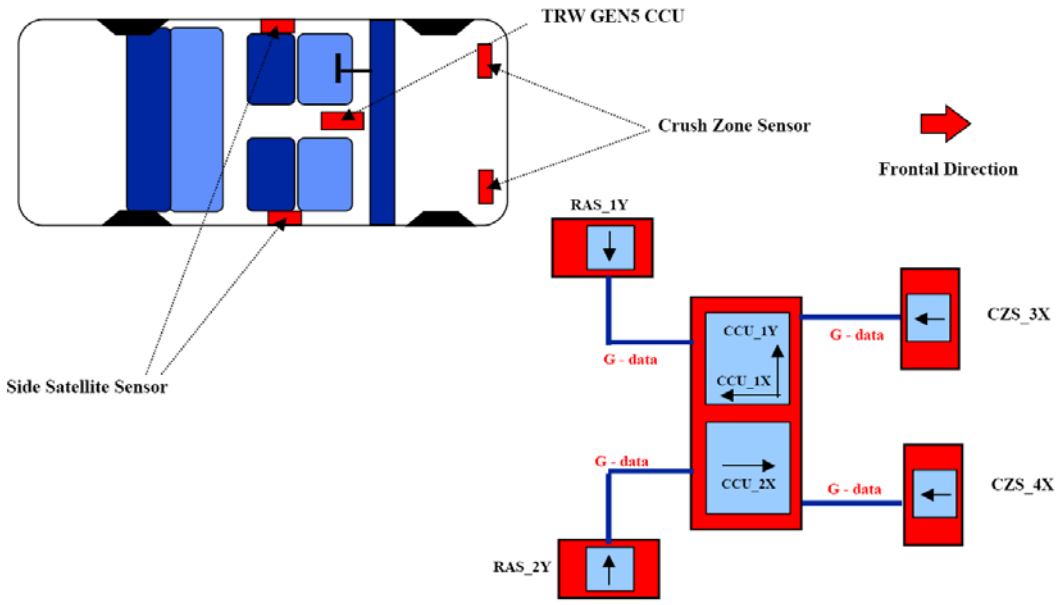
<그림 3-1-50>에서 보는 바와 같이 b-pillar 부위의 측면충돌인 경우에는 해당 부위에 마운팅된 측면센서(RSU)와 차량의 구조(신호 전달경로)에 의해 선택된 safing/plausibility 확인용 센서(choice 1/2/3)를 조합하여 측면에어백 전개여부를 결정한다. C-pillar 부위의 측면충돌의 경우도 이와 유사한 방식으로 결정된다. 즉, <그림 3-1-51>에서 보는 바와 같이 c-pillar 충돌부위에 장착된 측면센서(RSU)와 safing/plausibility 확인용 센서(choice 1/2)를 조합하여 측면에어백 전개여부를 결정한다.

3) Main Algorithm



다. 에어백 알고리즘 개발 'C' 업체

1) System Overview - Sensor



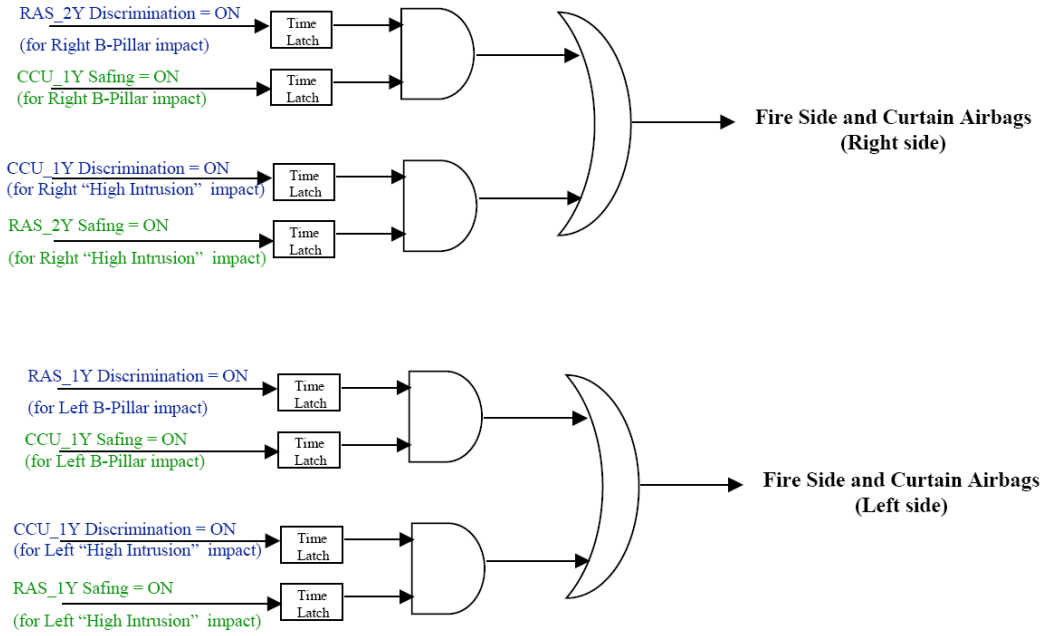
<그림 3-1-52 'C'업체 시스템 개요>

2) 측면 센서 개요

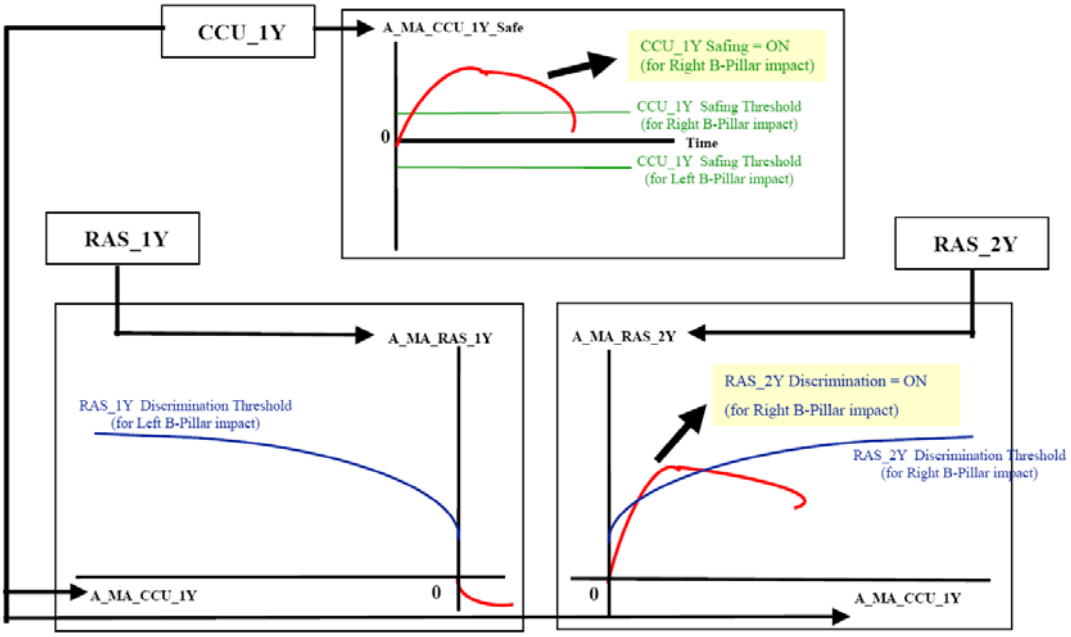
Name/Type/Direction	Location/Direction	Purpose
ACU Central Y acceleration	ACU내부 Y:좌측	Y: 전방 측면/후방 측면 Plausibility
RAS: Remote Acceleration Sensor	좌우측 B/C-pillar	전방 측면 충돌정도 후방 측면 충돌 plausibility

3) Algorithm Structure

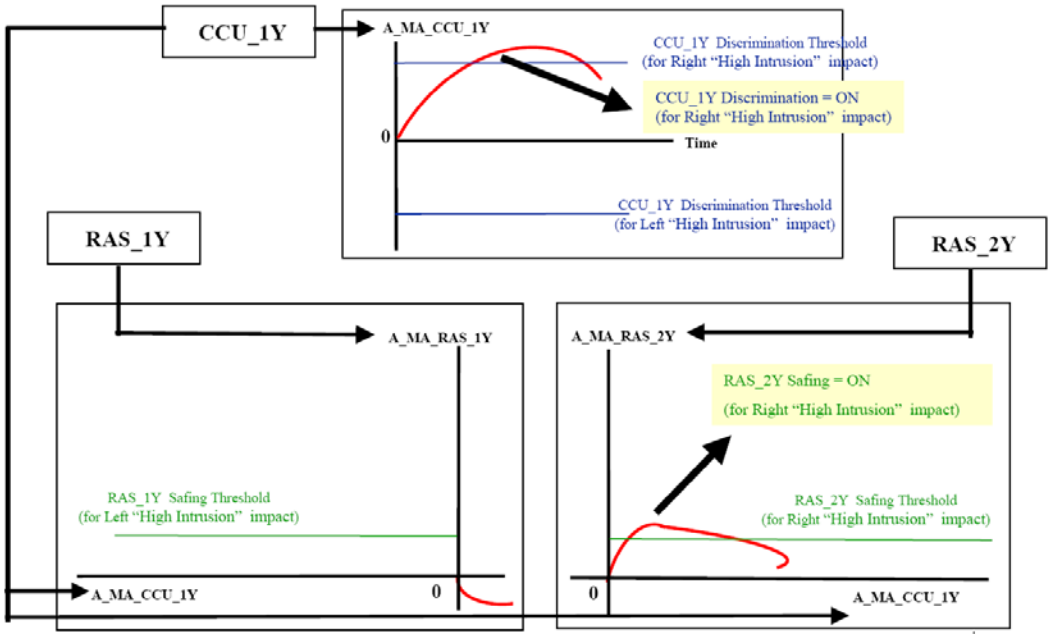
'C'업체 알고리즘은 <그림 3-1-53>에서 보는 바와 같이 ACUY 센서와 RAS 센서를 상호 교차로 주센서/SAFING 센서 역할을 한 경우에 대하여 OR조건으로 논리조합을 한 후 측면 에어백 전개 여부를 결정한다. <그림 3-1-54>은 RAS 센서가 주센서, ACUY 센서가 SAFING 센서인 경우에 대한 측면알고리즘 실행도 이며, <그림 3-1-55>은 ACUY 센서가 주센서, RAS 센서가 SAFING 센서인 경우의 측면알고리즘 실행도이다.



<그림 3-1-53> 'C'업체 알고리즘 구성



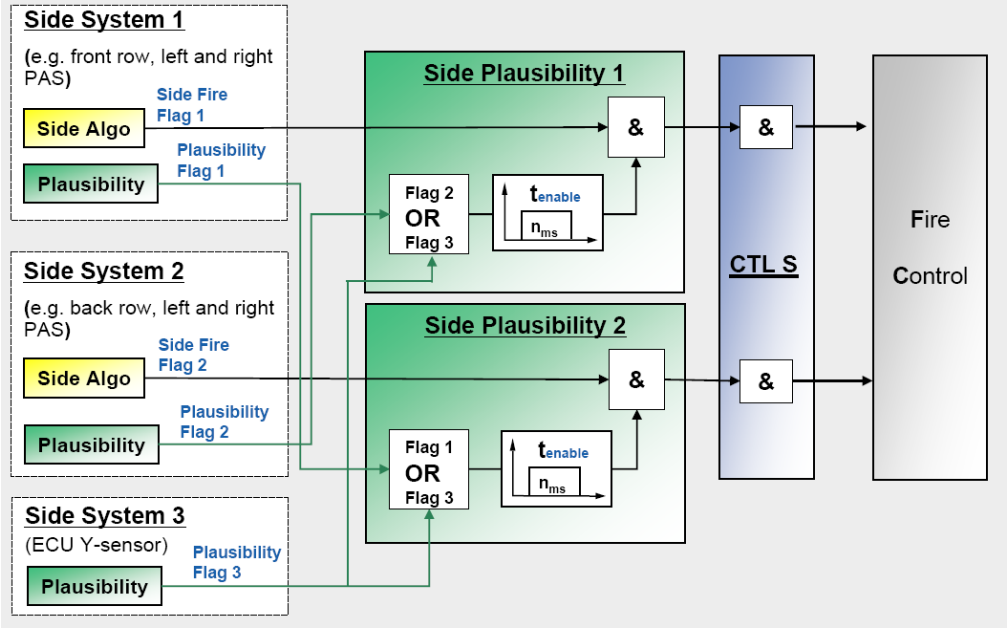
<그림 3-1-54> 'C'업체 알고리즘 구성-b/pillar 충돌 경우



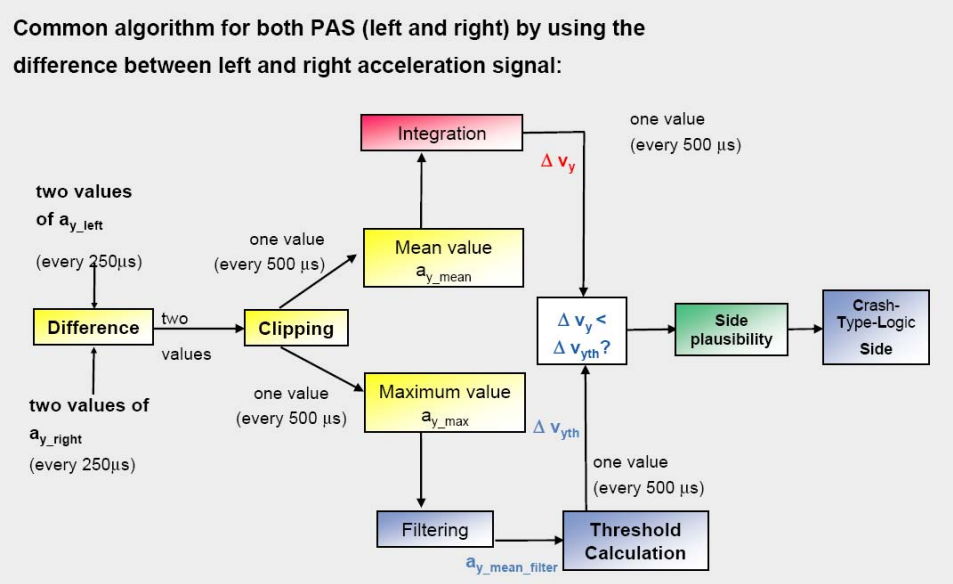
<그림 3-1-55> 'C'업체 알고리즘 구성-high intrusion 충돌 경우

라. 측면 에어백 알고리즘 개발 'D' 업체

1) Algorithm Structure

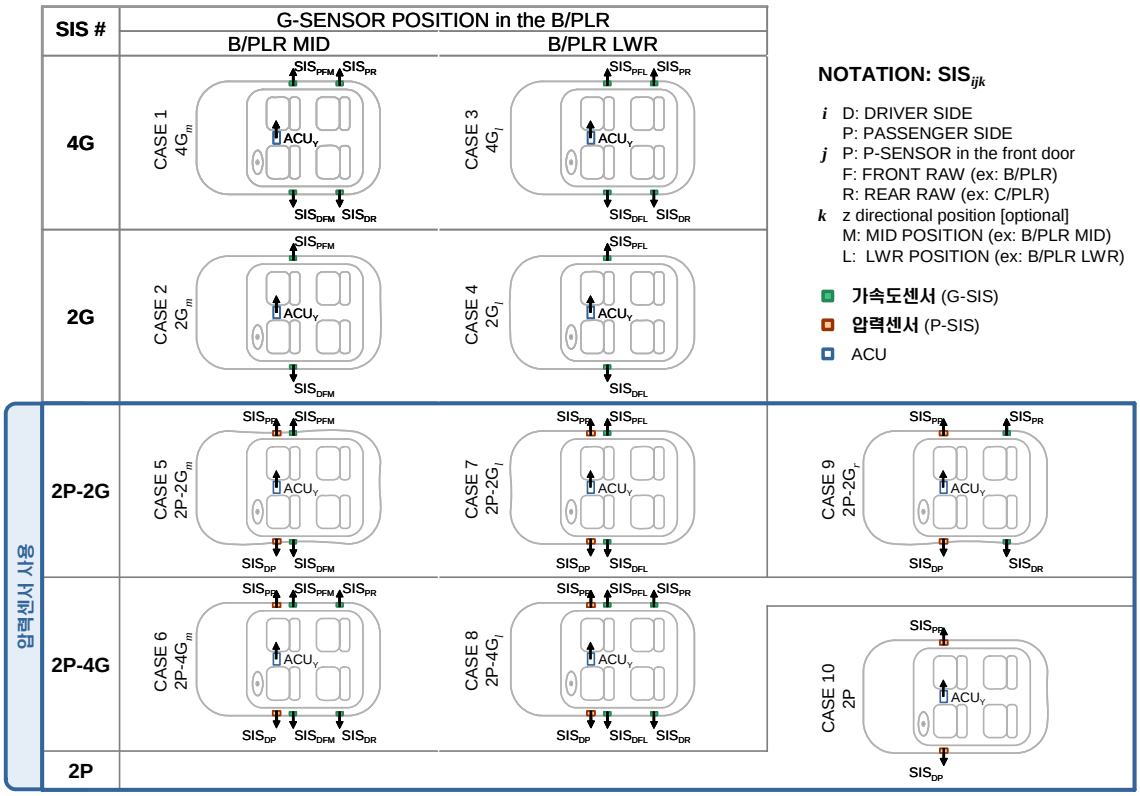


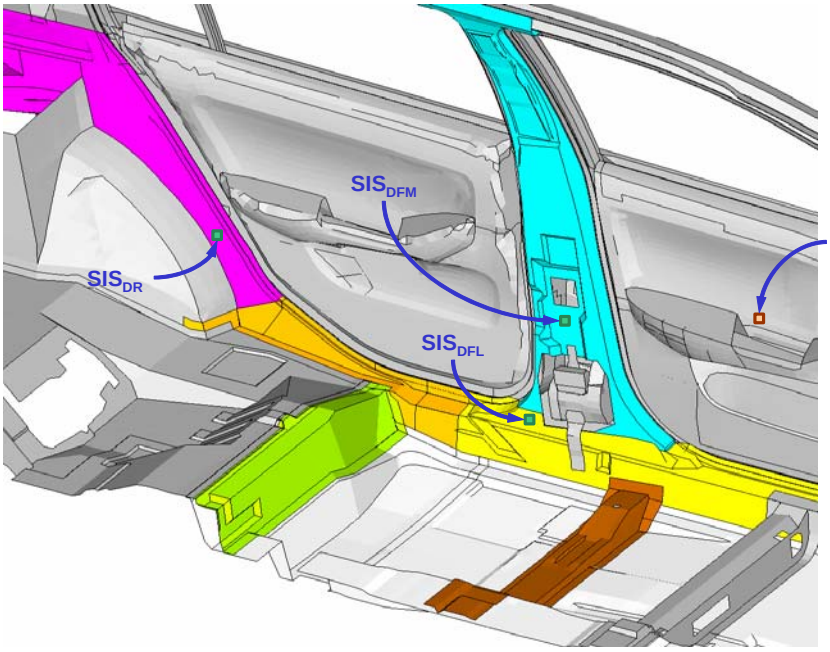
2) Algorithm Criteria



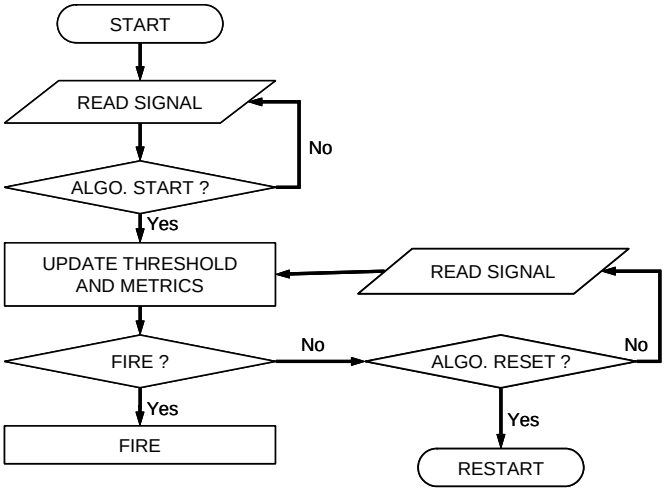
11. 측면 에어백 알고리즘 구성 (1)

1) 센서의 위치 및 종류

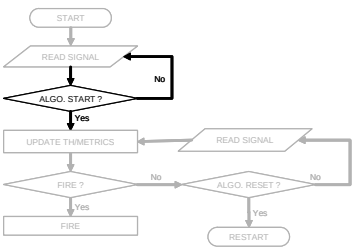


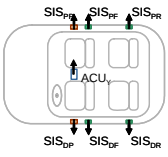


2) 측면 알고리즘의 구조



① 측면 알고리즘 시작 조건

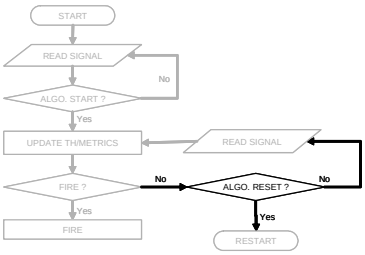




	SIS 2P-4G version
DRV-Side Algorithm	MAX(|SIS_{Dj}^{acc}|) ≥ **TH_{SG}** or |SIS_{DP}^{p}| ≥ **TH_{SP}**
PAS-Side Algorithm	MAX(|SIS_{Pj}^{acc}|) ≥ **TH_{SG}** or |SIS_{PP}^{p}| ≥ **TH_{SP}**
SIS**를 위치에 따라 선택적으로** DISABLE **하면** 2G, 4G, 2P, 2P-2G, 2P-4G**로** CAL. **가능**	

j = F, R

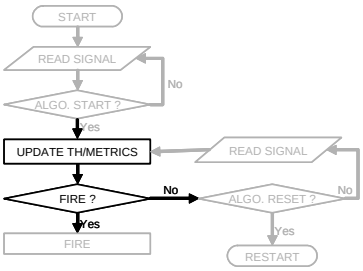
② 측면 알고리즘 RESET 조건

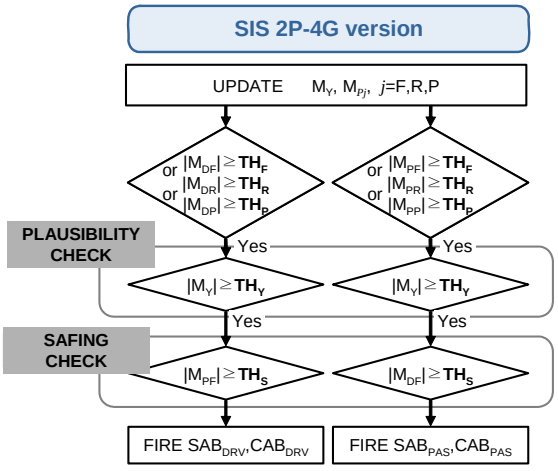


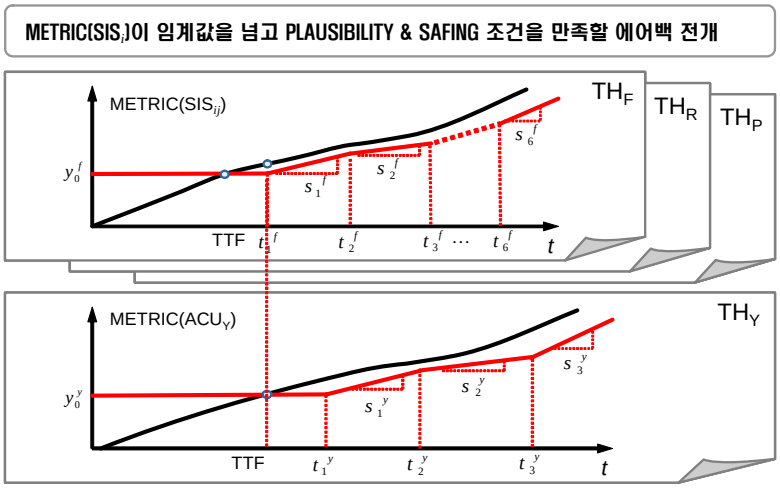
	SIS 2P-4G version
DRV-Side Algorithm	① $\lvert ACU_Y^{acc} \rvert \le \mathbf{TH_{RY}}$ ② $MAX(\lvert SIS_{Dj}^{acc} \rvert) \le \mathbf{TH_{RG}}$ ③ $\lvert SIS_{DP}^{P} \rvert \le \mathbf{TH_{RP}}$
PAS-Side Algorithm	① $\lvert ACU_Y^{acc} \rvert \le \mathbf{TH_{RY}}$ ② $MAX(\lvert SIS_{Pj}^{acc} \rvert) \le \mathbf{TH_{RG}}$ ③ $\lvert SIS_{PP}^{P} \rvert \le \mathbf{TH_{RP}}$
	①, ②, ③**을 연속 N_R회 만족하면** RESET, SIS**를 위치에 따라 선택적으로** DISABLE **하면** 2G, 4G, 2P, 2P-2G, 2P-4G**로** CAL. **가능**

j = F, R

③ 측면 에어백 전개시간 결정







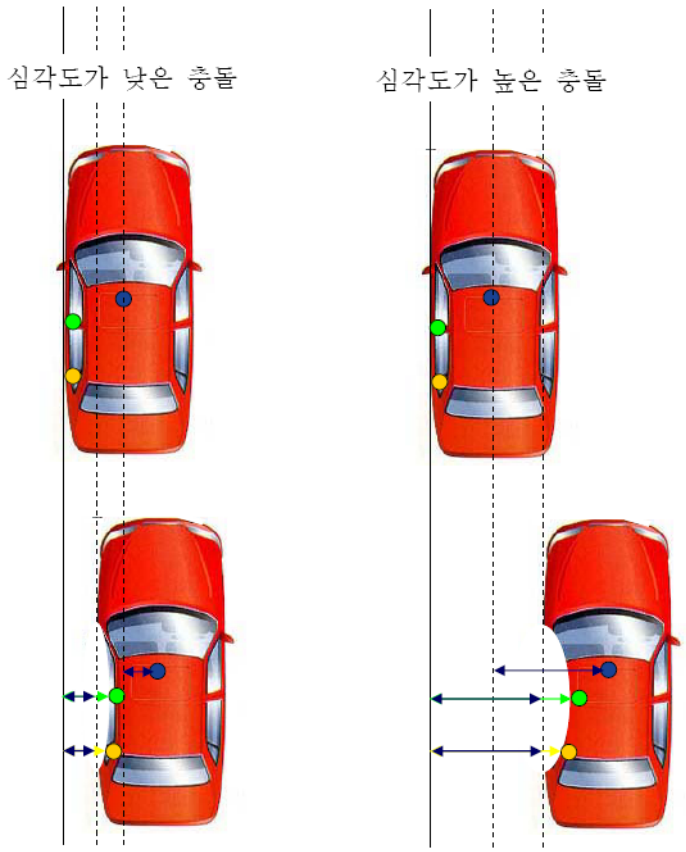
12. 측면 에어백 알고리즘 구성 (2)

측면 충돌 시 발생하는 대표적 물리적 현상인 차량의 변형과 거동을 분석하고 이를 신뢰성 있게 일반화하여 side airbag algorithm에 적용하고 설계하였다.

가. 측면 충돌 시 차량의 변형 및 거동

측면 충돌 시 차량은 충돌 장애물에 의해 감속되고 충돌 장애물과 직접적으로 접촉하게 되는 차량 충돌 측면부에는 차체의 변형이 발생하게 된다.

심각도가 낮은 충돌의 경우 차량의 거동량이 적거나 없고 차량 충돌 측면부의 차체 변형량도 적거나 없다. 하지만 심각도가 높은 충돌의 경우 차량의 거동량이 크고 차량 충돌 측면부의 차체 변형량 또한 크다.



나. Side airbag algorithm 구성 및 개념

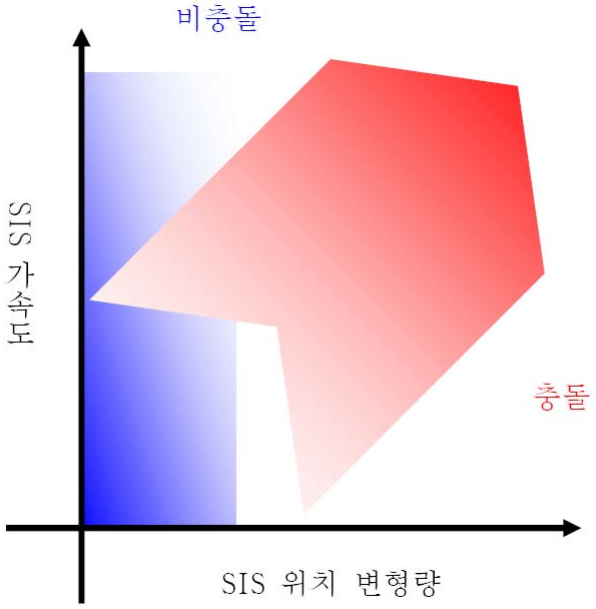
차량 충돌 부위의 변형량을 계산하는 제 1 algorithm과 차량 충돌 부위의 변형량과 차량의 거

동량을 계산하는 제 2 algorithm으로 구성되어 있다. 제 1 algorithm과 제 2 algorithm의 계산 결과를 동시에 고려하여 side airbag 전개 유무 및 전개 시간을 결정한다.

(1) 제 1 algorithm

측면 에어백이 전개되지 않아도 될 정도의 심각도가 낮은 충돌이나 험로/장애물 주행 혹은 차량의 문 세게 닫기 등 측면 에어백이 전개 되서는 안 되나 오전개 가능성이 있는 조건의 경우 SIS(Side Impact Sensor, 측면 충돌 감지 센서) 위치에서 강한 감가속도가 발생할 수는 있으나 SIS 위치에 변형량은 없거나 작다. 반면 측면 에어백이 전개되어야 하는 심각도가 높은 충돌의 경우 SIS 위치에서 강한 감가속도가 발생할 뿐만 아니라 SIS 위치에 변형량 또한 크게 발생한다. 심각도가 높은 충돌일수록 SIS 위치에 변형량은 더욱 크게 발생한다.

상기 내용을 바탕으로 SIS위치의 변형량을 반영한 변수를 계산하여 측면 에어백 전개/미전개, 전개 시간을 신뢰성 있게 결정하였다.

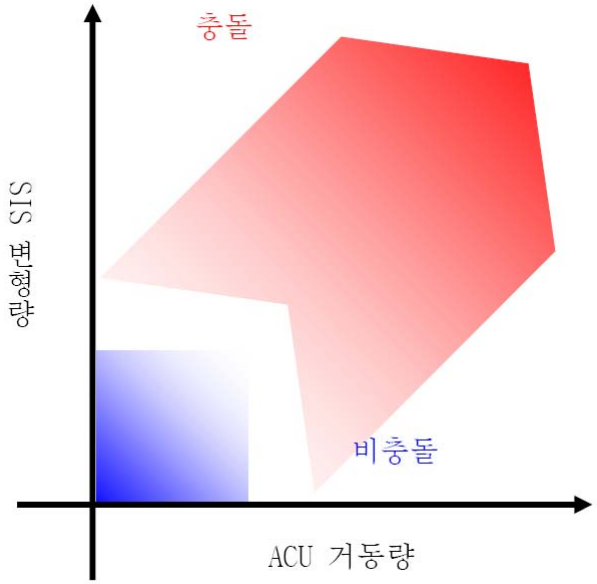


(2) 제 2 algorithm

측면 에어백이 전개되지 않아도 될 정도의 심각도가 낮은 충돌이나 험로/장애물 주행 혹은 차량의 문 세게 닫기 등 측면 에어백이 전개 되서는 안되나 오전개 가능성이 있는 조건의 경우 SIS(Side Impact Sensor, 측면 충돌 감지 센서) 위치에서 강한 감가속도가 발생할 수는 있으

나 SIS 위치에 변형량이나 ACU 위치에 거동량은 없거나 작다. 반면 측면 에어백이 전개되어야 하는 심각도가 높은 충돌의 경우 SIS 위치에서 강한 감가속도가 발생할 뿐만 아니라 SIS 위치에 변형량, ACU 위치에 거동량이 크게 발생한다. 심각도가 높은 충돌일 수록 SIS 위치에 변형량, ACU 위치에 거동량은 더욱 크게 발생한다.

상기 내용을 바탕으로 SIS위치의 변형량 및 ACU위치의 거동량을 반영한 변수를 계산하여측면 에어백 전개/미전개, 전개 시간을 신뢰성 있게 결정하였다.



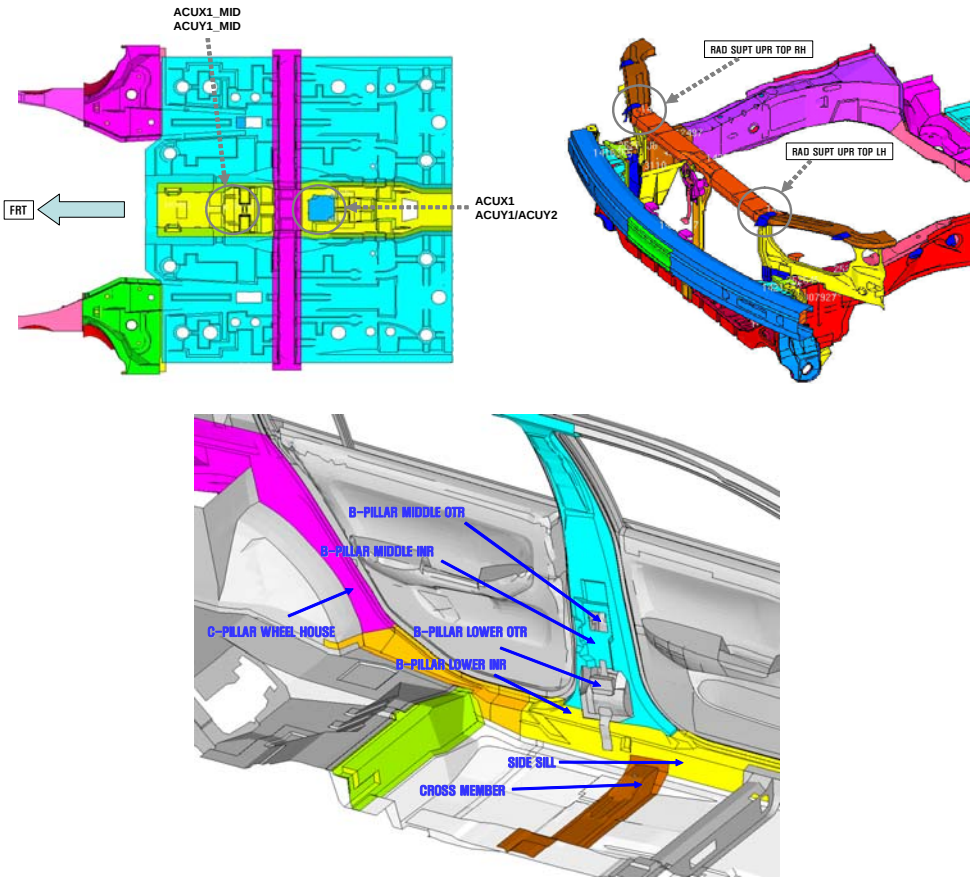
13. 측면센서 위치별 개발시험 결과 분석

가. 실차 개발시험 TEST MATRIX 및 시험조건 설정

측면에어백알고리즘 개발을 위하여 충돌유형별 속도별로 실차시험을 실시하였으며 상세 조건은 <표 3-1-15>와 같다. Test Matrix 설정 기준은 해당 차종(당사준중형 차량)의 개발 당시에 에어백 개발을 위해 설정하였던 시험 종류를 사용하였고, 당사 및 시험 기관의 시험 회수를 조절하여 최소한의 시험으로 Test Matrix가 구성되도록 하였다.

<표 3-1-15> 실차 개발시험 Test Matrix 및 시험 조건

		A kph 북미측면	B kph 북미측면	55 kph 내수측면	C kph 유럽측면	D kph 유럽측면
DATE		'06/05/15	'06/05/18	'06/05/10	'06/05/12	'06/05/15
BELT	DRV	BELTED	BELTED	BELTED	BELTED	BELTED
	REAR(L)	BELTED	BELTED	-	-	-
TYPE		북미측면	북미측면	유럽측면	유럽측면	내수측면
목적		센싱	센싱	센싱	센싱	내수측면



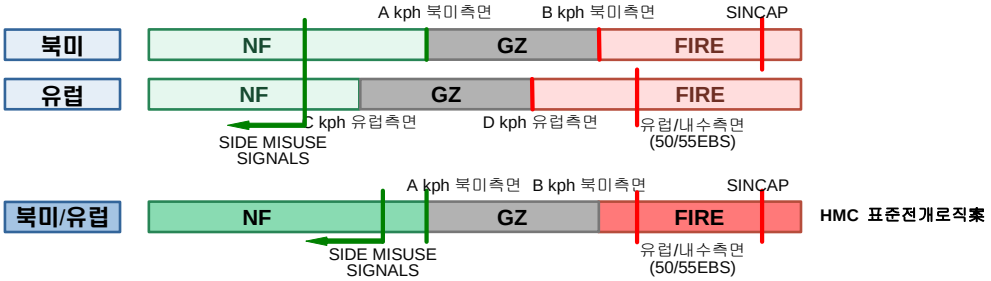
<그림 3-1-56> 센서 장착 위치

나. 측면센서 장착 후보지 선정

측면센서 장착 후보지는 국내외 양산 차량의 장착위치를 검토하여 ① B-PILLAR MID INNER, ② B-PILLAR MID OUTER, ③ B-PILLAR LOWER INNER, ④B-PILLAR LOWER OUTER, ⑤ SIDE SILL, ⑥ CROSS MEMBER, ⑦C-PILLAR WHEEL HOUSE의 7위치를 선정하였다. <그림 3-1-56>는 운전석 부위에 장착된 측면센서의 후보위치를 나타낸다.

다. 충돌속도/센서위치별 센서신호 비교

<그림 3-1-57>은 지역별 전개로직을 나타내고 있다. 수출 최대 지역인 북미와 유럽 각각의 경우에 대하여 측면 에어백 전개/비전개 임계속도를 설정할 수 있으며, 이러한 구분의 실효성을 판단할 수 있는 지표 3가지를 <표 3-1-16>에 나타내었다. 첫 번째 지표는 북미 지역 시험인 A, B에서의 측면센서 신호(속도 등의 변수) 차이의 최대값이고, 두 번째 지표는 측면백 전개시험인 유럽 D 시험의 신호가 측면백 비전개시험인 북미 A신호보다 커지는 시간과 에어백 전개요구시간(RTTF) 간의 시간차이이며, 세 번째 지표는 A/D 시험간의 RTTF에서의 신호 차이이다.

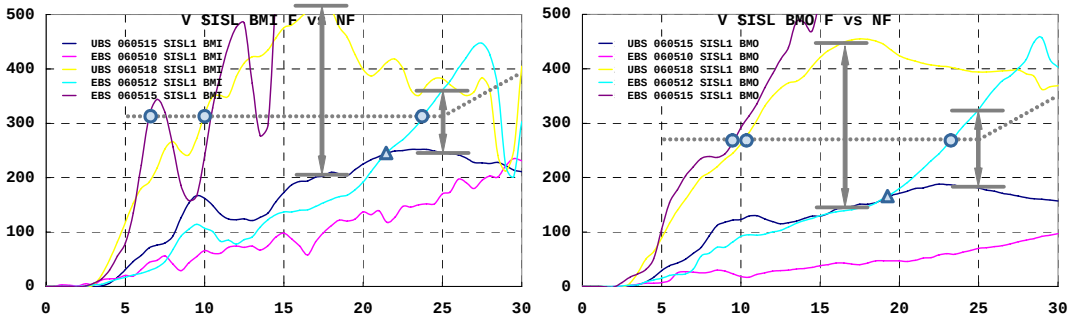


<그림 3-1-57 지역별 전개로직 案>

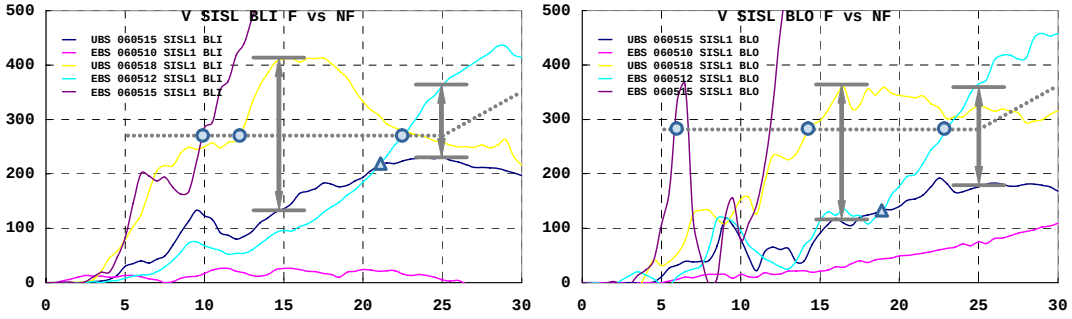
<표 3-1-16 지역별 전개로직 지표>

		유럽측면 THRESHOLD CHECK 有	HMC표준전개로직案	
CAL. SET	NF CONDITION	**A UBS,** C EBS, **MISUSE SIGNALS**	**A UBS, MISUSE SIGNALS**	IIHS 신측면 및 측면POLE 고려 필요
	Fire CONDITION	D EBS, **B UBS, 50/55EBS, SINCAP**	**B UBS, 50/55EBS, SINCAP**	
PERFORMANCE INDEX		$(V_{B\ UBS}-V_{A\ UBS})_{MAX}$	$(V_{B\ UBS}-V_{A\ UBS})_{MAX}$	PERFORMANCE INDEX를 기준으로 SIS위치 비교 (첨부 5/6)
		$t_{D\ EBS>A\ UBS}$ < RTTF		
		$(V_{D\ EBS}-V_{A\ UBS})_{t=25ms}$		

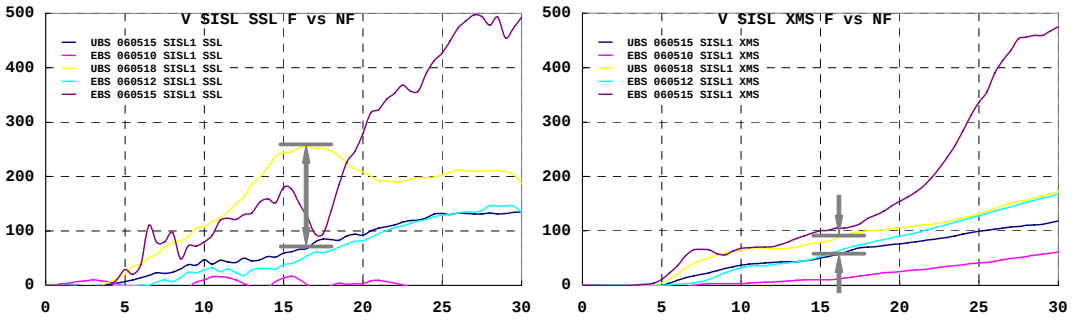
UBS (USA BARRIER SIDE): **북미측면**, EBS (EU BARRIER SIDE): **유럽측면**



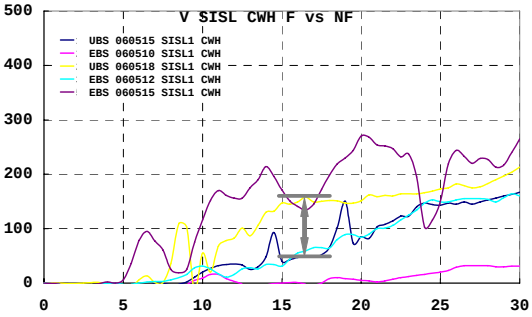
<그림 3-1-58 충돌속도/센서위치별 센서신호 비교>



<그림 3-1-59 충돌속도/센서위치별 센서신호 비교>



<그림 3-1-60 충돌속도/센서위치별 센서신호 비교>



<그림 3-1-61 충돌속도/센서위치별 센서신호 비교>

<표 3-1-17> 충돌속도/센서위치별 센서신호 비교 결과>

		C EBS	D EBS	55 DBS	A UBS	B UBS	INDEX1 ↓	INDEX2 ↑	INDEX3 ↑	GRADE
RTTF		X	25	9	X	25				
Estimated TTF	B/PLR MID INR	X	23	7	X	10	22	115	327	G
	B/PLR MID OTR	X	23	9	X	11	19	145	306	G
	B/PLR LWR INR	X	22	10	X	12	22	130	276	G
	B/PLR LWR OTR	X	23	6	X	14	18	190	250	G
	SIDE SILL	X	-	-	X	-	-	-3	187	NG
	SEAT X/MBR	X	-	-	X	-	-	30	30	NG

UBS (USA BARRIER SIDE): **북미측면**
EBS (EU BARRIER SIDE): **유럽측면**

INDEX1: TIME(D EBS>A UBS)
INDEX2: Signal difference between D EBS and A UBS at 25ms
INDEX3: $(B\ UBS\text{-}A\ UBS)_{MAX}$

앞서 기술한 3가지 지표에 의해서 센서신호를 비교하면 B/PLR 부위에 센서를 부착하여 센싱하는 것이 SIDE SILL이나 SEAT X/MBR에 부착하는 경우보다 더 좋은 전개/비전개 신호 구분성을 갖는 것으로 판단되며, B/PLR에서의 부착부위 (MID/LWR)는 실제 측면 알고리즘을 CALIBRATION하여서 비교하고자 한다.

14. 측면센서 위치별 측면알고리즘 CALIBRATION

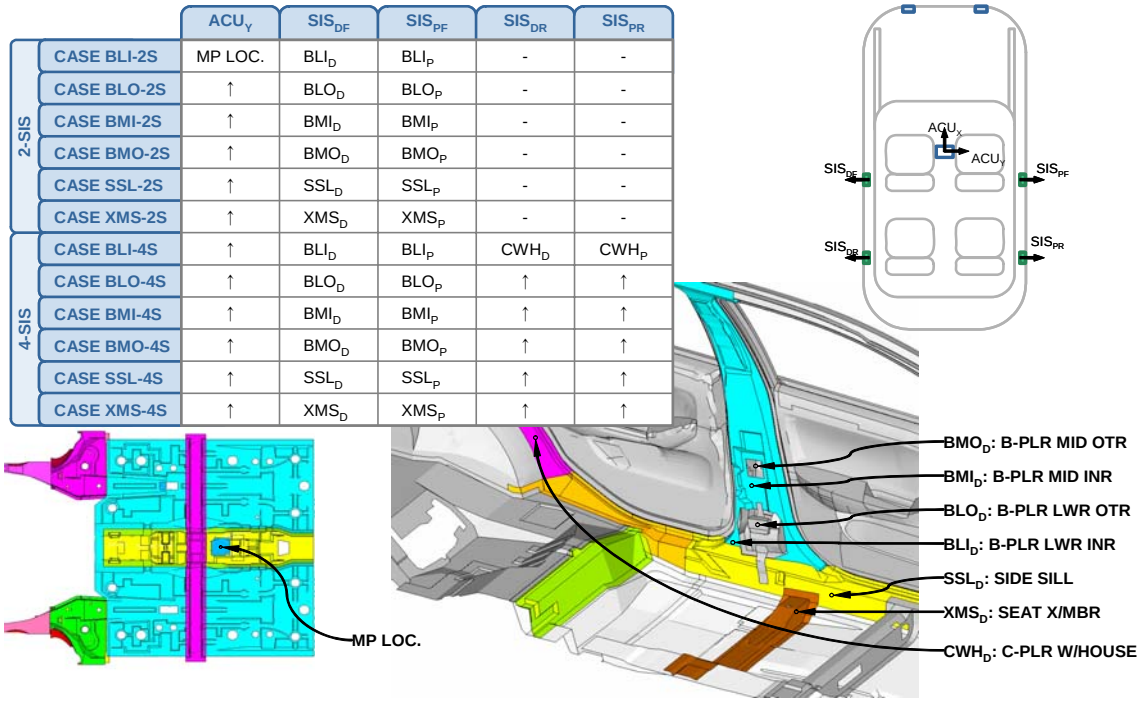
가. 측면 알고리즘(1)을 이용한 CALIBRATION

① Calibration Set & Conditions

측면에어백 독자 알고리즘에서 이용한 Calibration Set은 실차 충돌 시험 5회 및 Rough Road & Misuse 시험 94회(Constant Road Test 25회, Obstacle 22회, Static Test 47회) 데이터를 이용하였다. <표 3-1-18>

		A kph **북미측면**	B kph **북미측면**	55 kph **내수측면**	C kph **유럽측면**	D kph **유럽측면**
DATE		'06/05/15	'06/05/18	'06/05/10	'06/05/12	'06/05/15
BELT	DRV	BELTED	BELTED	BELTED	BELTED	BELTED
	REAR(L)	BELTED	BELTED	-	-	-
TYPE		북미측면	북미측면	유럽측면	유럽측면	내수측면
목적		센싱	센싱	센싱	센싱	내수측면

		ACU_Y	SIS_{DF}	SIS_{PF}	SIS_{DR}	SIS_{PR}
2-SIS	CASE BLI-2S	MP LOC.	BLI_D	BLI_P	-	-
	CASE BLO-2S	↑	BLO_D	BLO_P	-	-
	CASE BMI-2S	↑	BMI_D	BMI_P	-	-
	CASE BMO-2S	↑	BMO_D	BMO_P	-	-
	CASE SSL-2S	↑	SSL_D	SSL_P	-	-
	CASE XMS-2S	↑	XMS_D	XMS_P	-	-
4-SIS	CASE BLI-4S	↑	BLI_D	BLI_P	CWH_D	CWH_P
	CASE BLO-4S	↑	BLO_D	BLO_P	↑	↑
	CASE BMI-4S	↑	BMI_D	BMI_P	↑	↑
	CASE BMO-4S	↑	BMO_D	BMO_P	↑	↑
	CASE SSL-4S	↑	SSL_D	SSL_P	↑	↑
	CASE XMS-4S	↑	XMS_D	XMS_P	↑	↑



<표 3-1-18> Cal. Set & Conditions

② B/PLR LOWER 위치에서의 Cal. 결과

(BLI-2S, BLO-2S, BLI-4S, BLO-4S)

	TEST	INFLATOR NF	INFLATOR FIRE	REQ.	TTF MIN	TTF NOM	TTF MAX	RTTF	NOTE
BLI-4S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.15 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.0	8.5	9.5	25.0	Fire margin 0.51 ↓
	D EBS	0	35	FIRE	20.0	21.0	23.0	25.0	Fire margin 0.68 ↓
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.0	9.0	
BLO-4S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.34 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.5	10.0	12.0	25.0	Fire margin 0.59 ↓
	D EBS	0	35	FIRE	20.5	22.0	23.5	25.0	Fire margin 0.65 ↓
	55 EBS	0	35	FIRE	9.0	9.5	11.5	9.0	

1. Amplitude variation: -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15%
2. Time shift variation: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
BLI-4S	ALL	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上
BLO-4S	S04AS	LF Door Slam - 178mm high, 25 kph	185%
	Others	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上

	TEST	INFLATOR		REQ.	TTF			RTTF	NOTE
		NF	FIRE		MIN	NOM	MAX		
BLI-2S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.15 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.0	8.5	9.5	25.0	Fire margin 0.51 ↓
	D EBS	0	35	FIRE	20.0	21.0	23.0	25.0	Fire margin 0.68 ↓
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.0	9.0	
BLO-2S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.34 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.5	10.0	12.0	25.0	Fire margin 0.59 ↓
	D EBS	0	35	FIRE	20.5	22.0	23.5	25.0	Fire margin 0.65 ↓
	55 EBS	0	35	FIRE	9.0	9.5	12.0	9.0	

1. Amplitude variation: -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15%
2. Time shift variation: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
BLI-2S	ALL	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上
BLO-2S	S04AS	LF Door Slam - 178mm high, 25 kph	185%
	Others	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上

③ B/PLR MID 위치에서의 Cal. 결과

(BMI-2S, BMO-2S, BMI-4S, BMO-4S)

	TEST	INFLATOR		REQ.	TTF			RTTF	NOTE
		NF	FIRE		MIN	NOM	MAX		
BMI-4S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.22 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.46 ↑
	B UBS	0	35	FIRE	8.5	9.0	9.5	25.0	Fire margin 0.52 ↓
	D EBS	0	35	FIRE	21.5	23.5	25.0	25.0	Fire margin 0.81 ↓
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.5	9.0	
BMO-4S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.31 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.5	9.0	9.5	25.0	Fire margin 0.54 ↓
	D EBS	0	35	FIRE	22.0	23.0	25.0	25.0	Fire margin 0.83 ↓
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.5	9.0	

1. Amplitude variation: -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15%
2. Time shift variation: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
BMI-4S	S04AS	LF Door Slam - 178mm high, 25 kph	195%
	S10AS	LH FR/R door Slam - 178mm high, F door 25 kph, R door 24 kph	180%
	Others	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上
BMO-4S	S45AS	68kg shopping cart at LH SIS, 25 kph	195%
	Others	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上

	TEST	INFLATOR		REQ.	TTF			RTTF	NOTE
		NF	FIRE		MIN	NOM	MAX		
BMI-2S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.22 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.46 ↑
	B UBS	0	35	FIRE	8.5	9.0	9.5	25.0	Fire margin 0.52 ↓
	D EBS	0	35	FIRE	21.5	23.5	25.0	25.0	Fire margin 0.81 ↓
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.5	9.0	
BMO-2S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.31 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.5	9.0	9.5	25.0	Fire margin 0.54 ↓
	D EBS	0	35	FIRE	22.0	23.0	25.0	25.0	Fire margin 0.83 ↓
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.5	9.0	

1. Amplitude variation: -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15%
2. Time shift variation: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
BLI-2S	S04AS	LF Door Slam - 178mm high, 25 kph	195%
	S10AS	LH FR/R door Slam - 178mm high, F door 25 kph, R door 24 kph	180%
	Others	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上
BLO-2S	S45AS	68kg shopping cart at LH SIS, 25 kph	195%
	Others	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上

④ 기타 위치에서의 Cal. 결과

(SSL-2S, XMS-2S, SSL-4S, XMS-4S)

	TEST	INFLATOR		REQ.	TTF			RTTF	NOTE
		NF	FIRE		MIN	NOM	MAX		
SSL-4S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.50 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.0	9.5	12.0	25.0	Fire margin 0.59 ↓
	D EBS	35	0	FIRE	NF	NF	NF	25.0	
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.0	9.0	
XMS-4S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.19 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.0	9.0	10.0	25.0	Fire margin 0.62 ↓
	D EBS	9	26	FIRE	NF	15.5	21.0	25.0	
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.5	9.0	

1. Amplitude variation: -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15%
2. Time shift variation: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
SSL-4S	ALL	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上
XMS-4S	S45AS	68kg shopping cart at LH SIS, 25 kph	160%
	Others	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上

	TEST	INFLATOR NF	INFLATOR FIRE	REQ.	TTF MIN	TTF NOM	TTF MAX	RTTF	NOTE
SSL-2S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.50 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.0	9.5	12.0	25.0	Fire margin 0.59 ↓
	D EBS	35	0	FIRE	NF	NF	NF	25.0	
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.0	9.0	
XMS-2S	A UBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF margin 1.19 ↑
	C EBS	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	
	B UBS	0	35	FIRE	8.0	9.0	10.0	25.0	Fire margin 0.62 ↓
	D EBS	9	26	FIRE	NF	15.5	21.0	25.0	
	55 EBS	0	35	FIRE	7.5	7.5	8.5	9.0	

1. Amplitude variation: -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15%
2. Time shift variation: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4

	TEST	DESCRIPTION	MARGIN
SSL-2S	ALL	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上
XMS-2S	S45AS	68kg shopping cart at LH SIS, 25 kph	160%
	Others	Static Test 45回, Constant Road Test 25回, Obstacle Test 26回	200% 以上

⑤ Calibration 결과 종합

<표 3-1-19> SIS 위치별 Cal. 결과 종합 비교

	평가항목	목표	4SIS / 2SIS B-PLR LWR INR	B-PLR LWR OTR	B-PLR MID INR	B-PLR MID OTR	SIDE SILL	SEAT X/MBR
SIDE TEST	A UBS	O	O	O	O	O	O	O
	C EBS	O	O	O	O	O	O	O
	B UBS	O	O	O	O	O	O	O
	D EBS	O	O	O	O	O	X	Δ
	55 EBS	O	O	Δ	O	O	O	O
	62 UBS	O	O	O	O	O	O	O
MISUSE	S02AS	↑	O	185%	O	O	O	O
	S04AS	↑	O	O	195%	O	O	O
	S10AS	↑	O	O	180%	O	O	O
	S45AS	↑	O	O	O	195%	O	160%
MARGIN	A UBS NF margin	↑	1.15	1.34	1.22	1.31	>1.50	1.19
	C EBS NF margin	↑	>1.50	>1.50	1.46	>1.50	>1.50	>1.50
	BUBS Fire margin	↓	0.51	0.59	0.52	0.54	0.59	0.62
	D EBS Fire margin	↓	0.68	0.65	0.81	0.83	X	0.95

HMC 측면알고리즘을 calibration한 결과 측면가속도센서를 side sill에 부착한 경우에 측면 백 전개조건인 유럽측면충돌 D시험에서 비전개되어 요구조건을 만족하지 못하였으며, seat x/mbr에 장착한 경우에도 전개요구조건을 만족하지 못하는 경우가 발생하였다. 그리고

B/PLR LOWER OUTER의 경우에는 55kph 내수측면충돌시험에서 전개조건은 모두 만족하였으나 RTTF를 만족하지 못하는 경우가 일부 발생하였다. 따라서 calibration 결과 선택가능한 측면센서 부착가능위치는 B/PLR LOWER INNER, B/PLR MID INNER, B/PLR MID OUTER이며, 장착된 센서의 안전성을 고려하여 OUTER panel에 장착한 경우인 B/PLR MID OUTER를 배제하면 B/PLR LOWER INNER, B/PLR MID INNER를 최종 후보지로 선정할 수 있다.

나. 측면 알고리즘(2)를 이용한 CALIBRATION

Side airbag algorithm을 이용하여 calibration simulation을 수행하였다. SIS (Side Impact Sensor) 위치에 따라 6 종류의 calibration simulation을 수행하였고, 그 위치는 B-PILLAR LOW INNER SIS & C-PILLAR SIS, B-PILLAR LOW OUTER SIS & C-PILLAR SIS, B-PILLAR MID INNER SIS & C-PILLAR SIS, B-PILLAR MID OUTER SIS & C-PILLAR SIS, CROSS MEMBER SIS & C-PILLAR SIS, SIDE SILL SIS & C-PILLAR SIS이다.

(1) B-PILLAR LOW INNER & C-PILLAR SIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF	TTF		
			Min	Nom	Max
1	북미 측면	NF	NF	NF	NF
2	유럽 측면	NF	NF	NF	NF
3	북미 측면	25	7.4	7.7/8.1	8.5

(2) B-PILLAR LOW OUTER & C-PILLAR SIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF	TTF		
			Min	Nom	Max
1	북미 측면	NF	NF	NF	NF
2	유럽 측면	NF	NF	NF	NF
3	북미 측면	25	12.6	14.1/14.5	15.9

(3) B-PILLAR MID INNER & C-PILLAR SIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF	TTF		
			Min	Nom	Max
1	북미 측면	NF	NF	NF	NF
2	유럽 측면	NF	NF	NF	NF
3	북미 측면	25	7.6	8.3/10.2	11.0

(4) B-PILLAR MID OUTER & C-PILLAR SIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF	TTF		
			Min	Nom	Max
1	북미 측면	NF	NF	NF	NF
2	유럽 측면	NF	NF	NF	NF
3	북미 측면	25	7.4	7.7/8.1	11.1

(5) CROSS MEMBER & C-PILLAR SIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF	TTF		
			Min	Nom	Max
1	북미 측면	NF	NF	NF	NF
2	유럽 측면	NF	NF	NF	NF
3	북미 측면	25	8.3	8.7/9.1	9.5

(6) SIDE SILL & C-PILLAR SIS 이용 시 calibration simulation 결과

No.	Test event	RTTF	TTF		
			Min	Nom	Max
1	북미 측면	NF	NF	NF	NF
2	유럽 측면	NF	NF	NF	NF
3	북미 측면	25	12.4	13.1/13.5	13.9

상기 6 종류의 calibration simulation 검토 결과 모든 위치에 대하여 저속 충돌 항목, 고속 충돌 항목, 험로/장애물 주행 항목 전반에 걸쳐 좋은 결과를 나타냈다. 상기 calibration simulation 결과와 SIS 장착성 및 신뢰성 등을 전반적으로 고려하여 대상 차종에 대한 최적의 SIS 위치는 B-PILLAR MID INNER SIS & C-PILLAR SIS로 선정하였고, 이를 기준으로 PIT (Pulse Injection Test)를 진행하였다.

15. 3차년도 PIT(PULSE INJECTION TEST)

가. 측면 알고리즘(1)을 이용한 PIT 시험

설계된 측면에어백알고리즘이 ① ACU (Airbag Control Unit) 내에서 정상적으로 작동하는지와 ② ACU 내에서 동작한 측면에어백알고리즘이 calibration simulation 결과와 같은 결과를 보이는지를 검증하기 위하여 PIT를 수행하였다. Calibration simulation에 이용된 crash test data를 ACU와 SIS에 직접 주입하여 ACU가 도출하는 결과와 calibration simulation 결과가 일치하는지를 비교하였다. 본 시험을 위해 사용한 측면센서 데이터는 B/PLR LOWER INNER 부위에서 계측된 데이터를 이용하였다.

ACU 동작에 필요한 시간과 PIT 장비 자체가 갖는 노이즈 등에 의해 calibration simulation 결과와 PIT 결과는 최대 1.0 ms 정도의 오차가 발생할 수 있다. 본 과제에서 수행한 calibration simulation 결과와 PIT 결과의 차이가 상기 오차 범위 내에 존재했으므로 calibration simulation 결과와 PIT 결과가 일치한다고 볼 수 있다. 따라서, PIT 수행을 통해 측면에어백알고리즘이 ACU 내에서 정상적으로 수행됨을 확인했다.

<표 3-1-20> Calibration simulation vs. PIT 결과 - 측면알고리즘(1)

				COMPUTER SIMULATION					PIT TEST‡		
	TEST	REQs		INFLATOR		TTF			TTF		
		INFL	RTTF	NF	FIRE	MIN	NOM†	MAX	MIN	AVE	MAX
B/PLR LWR INNER	## UBS	NF	NF	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF
	## EBS	NF	NF	35	0	NF	NF	NF	NF	NF	NF
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	55 EBS	FIRE	9.0	0	35	7.0	**7.5/8.0**	8.0	**7.9**	**8.2**	**8.4**

CONDITIONS OF COMPUTER SIMULATION
1. Amplitude variation(%): 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115
2. Time shift variation(ms): 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4
† NOM: Amplitude 100%, Time shift 0.0~0.4ms

CONDITIONS OF PIT TEST
‡ PIT TEST condition: Amplitude 100%, Time shift 0.0~0.4ms

나. 측면 알고리즘(2)를 이용한 PIT 시험

설계된 side airbag algorithm이 ACU (Airbag Control Unit) 내에서 정상적으로 작동하는지 ACU 내에서 동작한 side airbag algorithm이 calibration simulation 결과와 같은 결과를 보이는지를 검증하기 위하여 PIT를 수행하였다. Calibration simulation에 이용된 crash

test data를 ACU와 SIS에 직접 주입하여 ACU가 도출하는 결과와 calibration simulation 결과가 일치하는지를 비교하였다.

Calibration simulation vs. PIT 결과

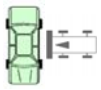
No.	Test event	RTTF	Simulation 결과	PIT 결과
1	북미 측면	NF	NF	NF
2	유럽 측면	NF	NF	NF
3	북미 측면	25	8.3/10.2	8.5/10.8

ACU 동작에 필요한 시간과 PIT 장비 자체가 갖는 노이즈 등에 의해 calibration simulation 결과와 PIT 결과는 최대 1.0ms 정도의 오차가 발생할 수 있다. 본 과제에서 수행한 calibration simulation 결과와 PIT 결과의 차이가 상기 오차 범위 내에 존재했으므로 calibration simulation 결과와 PIT 결과가 정확히 일치한다고 볼 수 있다. 따라서, PIT 수행을 통해 side airbag algorithm 및 calibration이 ACU 내에서 정상적으로 수행됨을 확인했다.

16. 실차확인시험 및 RECALIBRATION

가. 실차 확인시험 항목

시험목적	시험항목	3차년도	비고
알고리즘 CAL.성능확인시험 압력센서데이터확보 (확인시험)	A UBS	'07/01/26	측면센싱시험
	B UBS	'07/01/31	측면센싱시험
	C EBS	-	측면센싱시험
	D EBS	'07/01/23	측면센싱시험
	55DBS	'07/01/26	내수상품성
알고리즘 RECAL. 데이터확보 압력센서데이터확보 (개발시험)	29EPS	'07/02/02	유럽상품성(Euro NCAP)
	62UBS	'07/02/12	북미상품성 (SINCAP, NHTSA)
	50UBI	'07/02/09	북미상품성 (신측면, IIHS),
	32UPA	'07/02/08	북미법규 (10년9월적용예정)

	EBS/DBS	UBS	EPS/UPS	UPA
SIDE TEST NOTATION				

ⓐⓑ①②③
ⓐⓑ: CRASH SPEED (측면충돌 KPH)
① 지역코드: U=북미, E=유럽, D=국내, ② 유형코드: B=Barrier, P=Pole, C=Car to Car
③ 기타: R=RH side, W=RR Wheel, I=IIHS신측면, A=경사충돌, S=90도 충돌

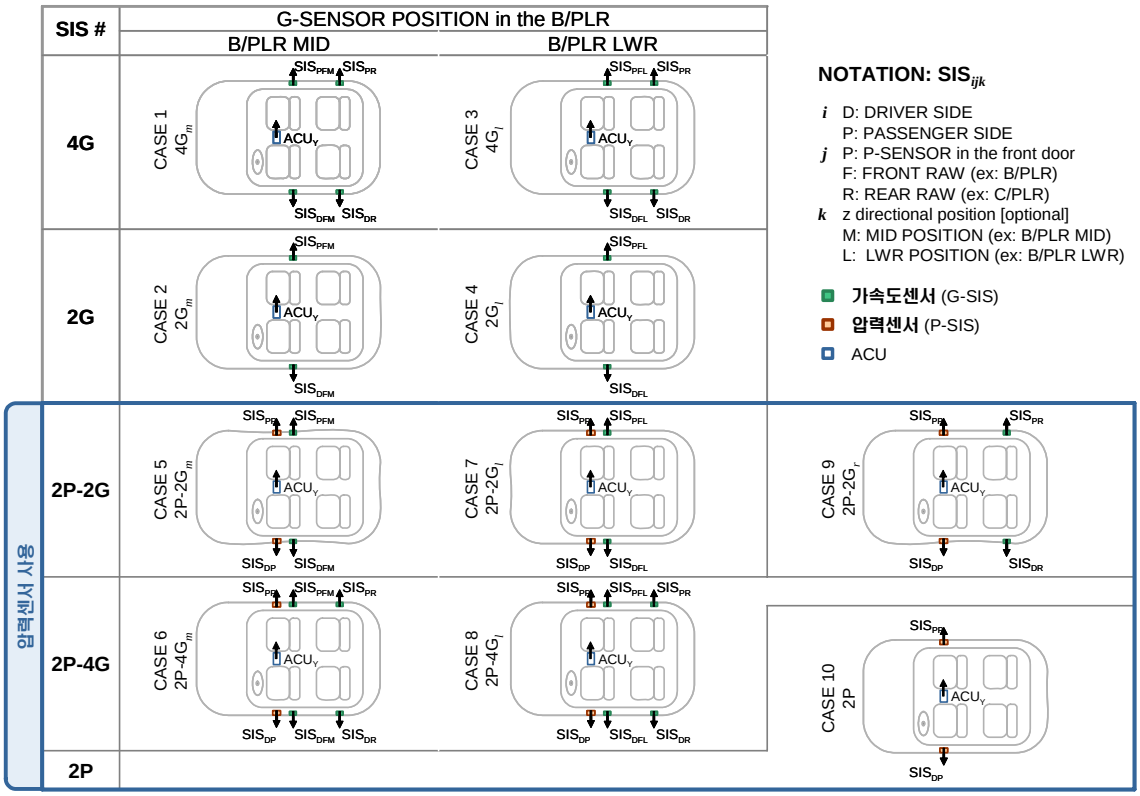
나. 측면알고리즘(1) 실차 확인시험 결과

실차 확인시험 5회를 실시한 결과, computer simulation, PIT 검증과 부합되는 결과를 얻었으며 이는 설계요구조건인 인플레이터 전개/비전개 상태, 측면백 전개요구시간(RTTF)을 모두 만족하는 것으로 확인되었다. 확인 시험과 별도로 2차년도 개발시험에서 실시하지 못했던 추가항목 4회를 실시하였으며 이 시험을 포함한 RECALIBRATION 결과를 다음 소단원에서 나타내었다.

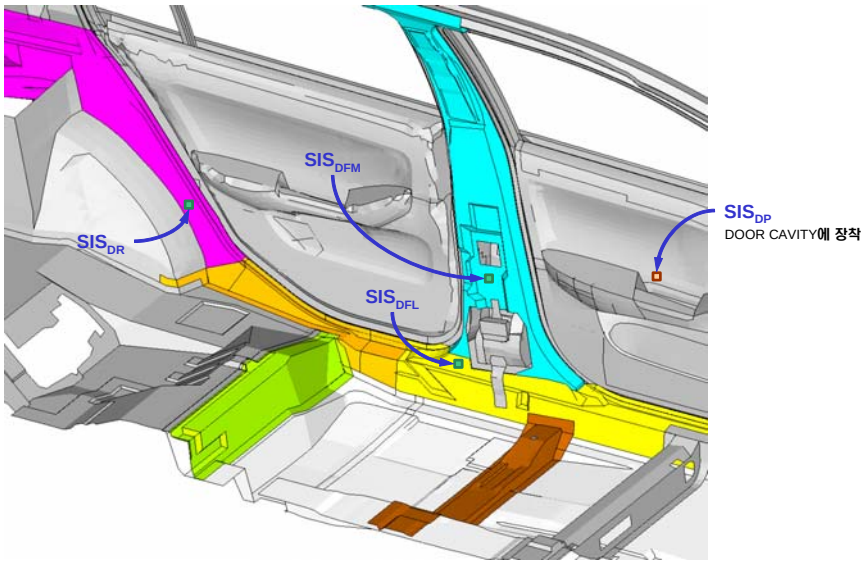
① 추가시험항목 4회를 포함한 RECALIBRATION

측면 가속도 센서를 B/PLR MID와 C/PLR W/HOUSE에 부착한 4G 경우에 대한 결과와, 가속도 센서를 B/PLR LOWER와 C/PLR W/HOUSE에 부착한 4G 경우에 대한 결과에 대한 설명이다. RECALIBRATION을 실시한 결과 B/PLR MID에 센서를 부착한 경우에 대해서 설계요구조건을 만족하는 결과를 얻었다(측면폴 충돌시험 제외). 측면 폴 충돌시험의 경우는 가속도 센서를 이용한 시스템에서는 RTTF 요구조건을 만족시키는 것이 힘든 것으로 판단되며, 앞열 도어의 중공부(CAVITY)에 압력센서를 장착한 시스템으로 대응 가능할 것으로 추정된다. 다음 소단원에서는 압력센서를 이용한 CALIBRATION을 가능한 센서 조합별로 수행한 결과를 기재하였다.

② 압력센서를 이용한 CALIBRATION



<그림 3-1-62 압력센서를 이용한 CALIBRATION CASE 6가지>



<그림 3-1-63 센서 위치>

<표 3-1-21 센서 조합별 CALIBRATION 결과 비교>

CAL. SET		SIS 장착위치			CAL. 결과	
		압력센서	가속도센서		실차충돌시험 항목	MISUSE 항목‡
CASE 1:	2P-2G$_m$	FRT DOOR CAVITY	B/PLR MID	X	RTTF 요구조건 만족	MISUSE 시험에서의 에어백 미전개 추가 확인 필요
CASE 2:	2P-4G$_m$			C/PLR		
CASE 3:	2P-2G$_l$		B/PLR LWR	X		
CASE 4:	2P-4G$_l$			C/PLR		
CASE 5:	2P-2G$_r$		X	C/PLR		
CASE 6:	2P			X		

다. 측면 알고리즘(2) 실차 확인시험 결과

2차년도에 설계된 advanced algorithm과 calibration parameter 및 3차년도에 설계된 side algorithm과 calibration parameter를 탑재한 ACU를 이용하여 실차 확인 시험을 실시하였다. 이는 실제 차량에서 algorithm이 sensor의 입력을 받아 동작하고 우리가 기대하는 출력을 산출하는지 확인하기 위함이다.

9회의 실차 확인 시험을 실시했으며 항목은 29kph side pole, 64kph front offset pole, 55kph EU side, 32kph angle side pole, 50kph US side, 62kph US side이다.

Calibration simulation vs. 실차 시험 결과

No.	Test event	RTTF	Simulation 결과	실차 시험 결과
1	북미 측면(1)	NF	NF	NF
2	북미 측면(2)	NF	8.3/10.2	8.5

실차 확인 시험 결과 simulation 및 PIT로부터 얻은 결과와 유사한 결과를 보였으며 이를 통해 advanced algorithm 및 side algorithm이 예상한 대로 정확히 동작했음을 확인하였다.

제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과

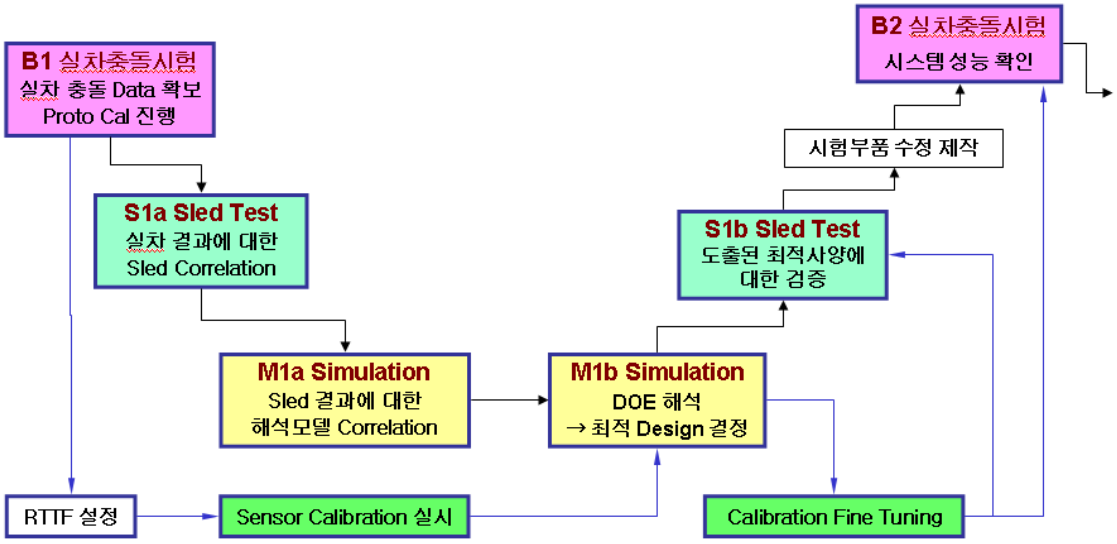
제2절 시스템 선행 설계 능력 확보

제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제2절 시스템 선행 설계 능력 확보

1. 구속 장치 사양 결정

LRD(Low Risk Deployment) 시험, 슬레드 시험, 실차 시험을 위한 구속 장치 설계 사양을 결정하기 위하여 시스템 개발 및 성능검증의 대상이 되는 Base 차량(기존차량)의 정보를 바탕으로 한 사전 해석 및 모의충돌시험(Sled 시험) 단계가 필요하다. 아래 <그림 3-2-1>은 인공지능형 에어백 시스템 (어드밴스드 에어백 시스템)의 시작단계 성능개발을 위한 기본적인 개발 프로세스를 설명한 내용이다.



<그림 3-2-1> 인공지능형 에어백 시스템 시작단계 성능개발 기본 프로세스

본 과제에서는 독자적인 에어백 시스템 설계기법의 확보 및, 특히 독자 충돌알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 그 대상으로 현재 양산중인 차종을 개발 Base 차종으로 선정하였으며, 1차년도 업무 초반에는 B1 실차충돌시험 단계 및 S1a Sled 시험단계 업무가 주로 수행되었다. B1 실차시험 단계에서는 충돌 알고리즘 성능개발을 위하여 여러 곳의 전방충돌감지센서 (Frontal Impact Sensor)위치 후보지에 센서를 장착하여 차량의 충돌 Pulse Data를 확보하였으며, S1a Sled 실시를 위한 Dummy 상해

Data를 확보하였다. S1a Sled 단계는 실차시험과 Sled시험의 상관성 확보를 위한 시험으로, 이 단계에서 확보된 Sled Set-Up을 향후 충돌 알고리즘 및 구속 장치의 성능 개발 및 검증 시에 계속 활용하게 된다.
초기단계인 B1 실차 및 S1a Sled 시험에 사용된 구속 장치 (Airbag Module 및 Seat Belt System)의 사양은 현재 북미의 어드밴스드 에어백 법규를 만족하여 양산중인 차종의 기본 사양을 Base로 적용하였으며, 그 주요 내역은 다음과 같다.

[운전석 에어백]
- Cover 재질 : Tekron 4300 - D88A
- Cover 사양 : Hook 체결방식, "I" 형 Tear Seam 적용, Rivet 체결 Metal Emblem
- Cushion 재질 : 315d 60x60, Coated
- Cushion 크기 : 685mm Diameter
- Tether 길이 및 방향 : 250mm, 12시 & 6시
- Vent Hole 크기 : 2X45mm
- Inflator 사양 : KSSI Dual TAB1, Pyro Type, 225/150 kpa (60 L Tank)
- Magnesium Housing 적용

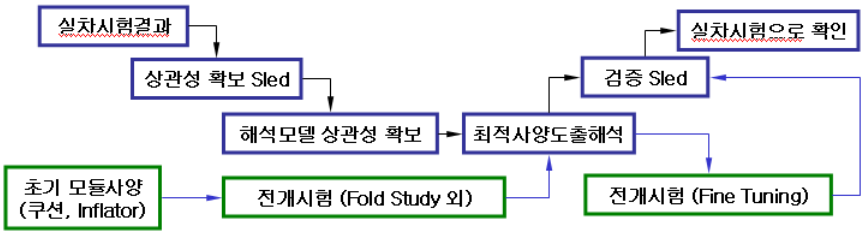
[조수석 에어백]
- Door Type : Instrument Panel Integrated 형
- Cushion 재질 : Uncoated 630d 41x41 (기본재질), Coated 630d 41x41 (Heat Sheild)
- Cushion 크기 : 110 Liter Volume
- Tether 사양 : 2-Tether, 255 mm, 325 mm
- Vent Hole 크기 : 2X45mm
- OPF (Occupant protection Flap) 재질 : Coated 630d 41x41
- OPF 사양 : 길이 610mm, 내측 장착
- Inflator 사양 : ARC Dual APH, Hybrid Type, 490/370 kpa (60 L Tank)
- Steel Housing 적용

[Seat Belt]

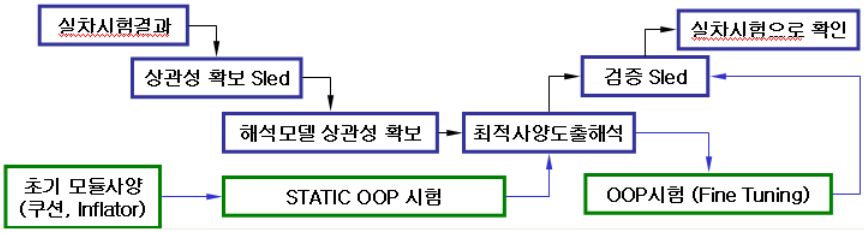
- Autoliv, Pretensioner 및 Load Limiter (4kN) 적용

상기 구속 장치 사양은 B1 실차충돌시험과 S1a Sled 시험 시에 사용되게 되며, M1a 상관성 확보 해석 및 M1b 최적설계사양 해석을 통하여 최적화된 사양을 검증한 후 S1b Sled 시험 시에는 최적화된 구속 장치 사양이 적용될 예정이다. 그러나 본 과제에 적용되는 Base 차량 자체의 차체구조 및 충돌 Pulse 자체가 변경되지 않으며, 다만 독자 충돌 알고리즘 적용에 따른 Calibration 성능 (구속 장치 전개시점) 만 변경될 예정이므로, 전반적인 구속 장치 사양의 변경 폭은 크지 않을 것으로 예상된다. 아래 그림은 각각 '구속 장치 최적성능 확보를 위한 Module 성능 개발 프로세스', 'Low Risk 전개성능 확보를 위한 Static OOP 시험 프로세스', '구속 장치와 충돌 센싱의 최적성능 확보를 위한 Required Time To Fire 제시 프로세스' 에 대하여 별도로 설명한 내용이다.

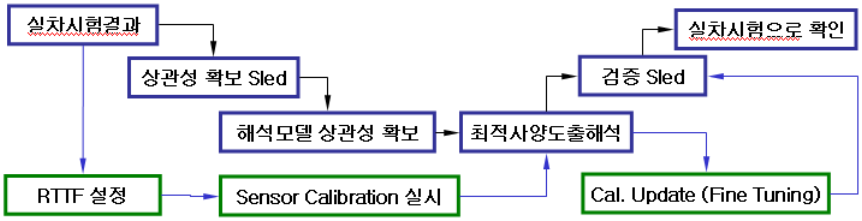
▪ **구속장치 최적성능 확보를 위한 에어백 모듈 전개시험 (Fold Study, Cushion Shape Study 용)**



▪ **Low Risk Deployment 성능 확보를 위한 Static OOP시험 실시**



▪ **각 시험조건별 구속장치 최적성능 확보를 위한 Required Time to Fire 제시**

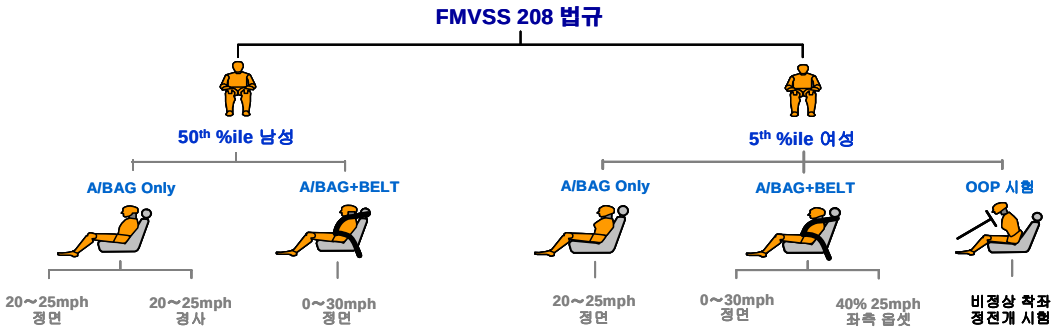


2. Low Risk Deployment 성능 평가

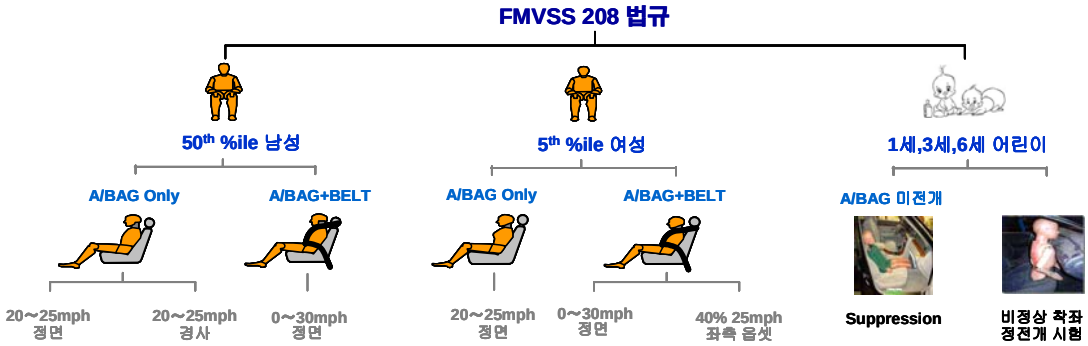
북미 법규 FMVSS 208에는 운전석 5% 여성승객에 대한 비정상 착좌 위치에서의 <그림 3-2-2> Low Risk Deployment와 조수석 1세, 3세, 6세에 대한 Low Risk Deployment <그림 3-2-3> 시험을 규정하고 있으며 또한 Low Risk Deployment 시험은 Suppression, 즉 승객 감지 센서를 통해 승객이 비정상 위치 또는 어린이의 탑승을 감지하고 에어백을 전개시키지 않는 기술이 적용될 경우 실시하지 않아도 된다는 규정도 포함되어 있다.

그러나 본 과제에서는 현재 일반적으로 운전석에는 승객감지 센서가 없어 운전석 5% 여성에 대한 Low Risk Deployment 시험과, 조수석에 대한 안전도 확보 차원에서 승객감지 센서가 어른으로 판단할 수 있는 6세 어린이에 대한 Low Risk Deployment 시험을 실시하였다.

그리고 이하 Low Risk Deployment, 비정상 착좌자세 정전개 시험, 그리고 OOP 시험은 모두 동일한 시험에 대한 명칭임을 밝혀둔다.



<그림 3-2-2> FMVSS 208 운전석 법규 규정



<그림 3-2-3> FMVSS 208 조수석 법규 규정

1) 시험결과

가. 5% 여성 운전석 시험 결과

(1) 미국 법규 FMVSS 208 상해 규제 만족 함.

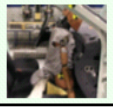
(2) 상세 시험 결과

No.	더미 자세	HIC_{15}	CST-g [3ms]	CST-D [mm]	NECK		Femur
					Ten. / Com. [N]	Mre / Mrf / Nce / Ncf	LH / RH
규제치		700	60	52	2070 / 2520	1	6.8(kN)
1	CHIN ON MODULE 	6	8.3	7.7	1065 / 15	0.47 / 0.19 / 0.05 / 0.00	0.15/0.22
2		5	8.2	6.3	994 / 19	0.31 / 0.20 / 0.05 / 0.00	0.11/0.11
3	CHIN ON RIM 	6	19.4	21.5	977 / 49	0.47 / 0.04 / 0.08 / 0.03	0.2/0.55
4		3	10.7	14.9	903 / 50	0.38 / 0.05 / 0.06 / 0.02	0.19/0.55

나. 6세 어린이 운전석 시험 결과

(1) 미국 법규 FMVSS 208 상해 규제 만족 함.

(2) 상세 시험 결과

No.	더미 자세	HIC_{15}	CST-g [3ms]	CST-D [mm]	NECK	
					Ten. / Com. [N]	Mte / Mtf / Nce / Ncf
규제치		700	60	40	1490 / 1820	1
1	HEAD ON I/P 	53	12.5	1.6	54 / 1069	0.12 / 0.14 / 0.50 / 0.41
2	CHEST ON I/P 	70	6.6	4.0	183 / 987	0.02 / 0.21 / 0.50 / 0.54
3		245	14.8	4.5	794 / 766	0.77 / 0.38 / 0.08 /0.38

2) 결 론

가. 5% 여성 운전석 시험 결과 : 미국 법규 기준 만족 함.

나. 6세 어린이 조수석 시험 결과 : 미국 법규 기준 만족 함.

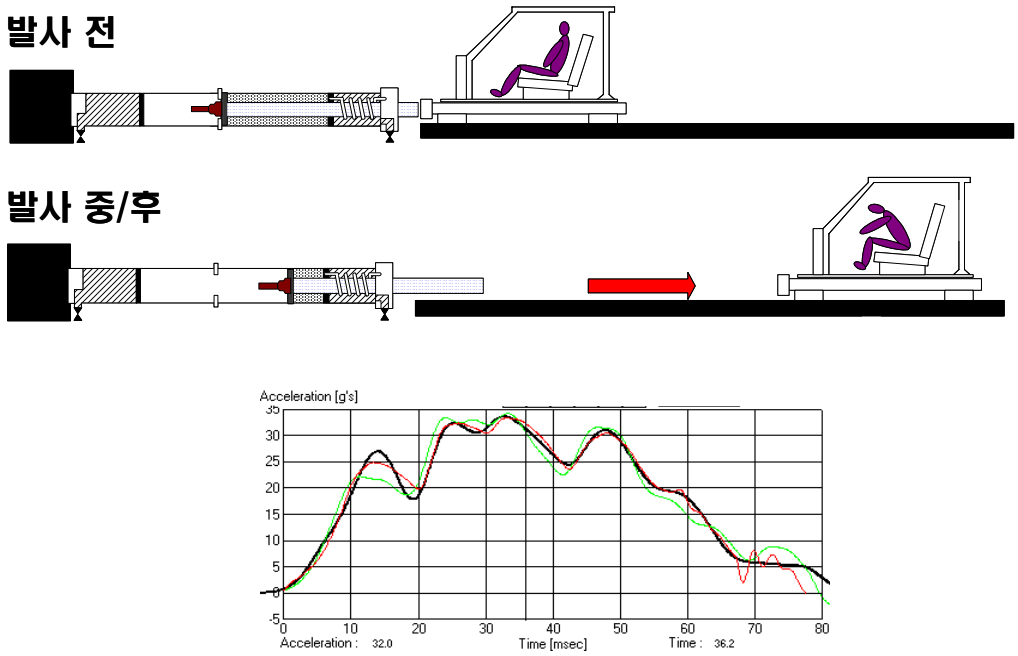
다. 2차년도 과제 수행 중 에어백 사양 변경 시 재시험 실시 예정.

3. Test Data 자료 수집 및 분석 (SLED 시험)

모의 충돌시험 (SLED 시험)은 실차 충돌을 모사하여 승객상해를 연구하는 시험이며, 본 과제에서의 모의 충돌시험 목적은 실차 충돌을 대신하여 향후 에어백 TTF(에어백 전개시점)를 변경 시 실차 충돌 시험 전에 인체상해의 변경 정도를 사전에 확인할 수 있도록 실차 상관성 시험을 실시하여 비교 기준을 설정하고, 컴퓨터 해석을 위한 데이터를 확보를 목적으로 시험을 실시하였다.

모의 충돌시험기의 원리는 관성의 원리를 이용한다. <그림 3-2-4>와 같이 시험장비가 실차충돌 펄스의 가속도로 Buck(변형이 없도록 차체를 보강한 Fixture)을 후방으로 발사하면 승객은 관성에 의해서 전방으로 이동하여 실차 충돌에서 나타나는 승객거동을 재현하는 원리이다.

모의 충돌시험기의 장점은 실차 충돌 시 발생하는 차체의 변형이 없이 승객 거동을 재현할 수 있어, 내장부품만을 교환하여 반복 시험할 수 있고, 시험 시간이 짧아 부품 사양 변경 시 단시간 및 저가에 충돌 성능을 검증할 수 있는 장점을 가지고 있다.

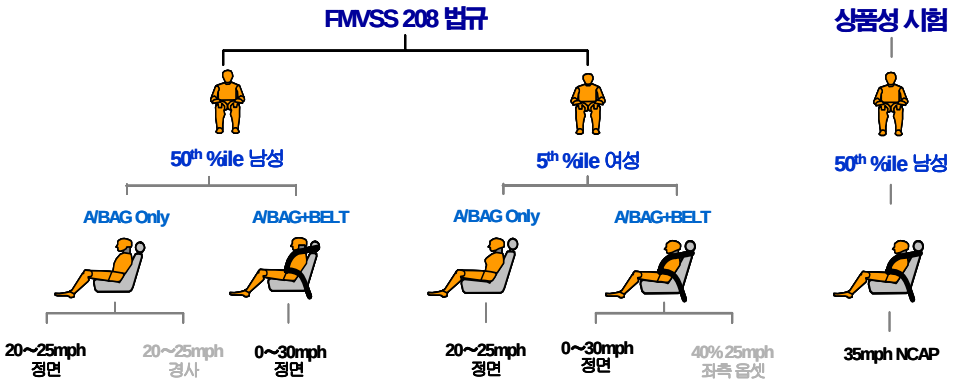


<그림 3-2-4> 모의 충돌시험기 (SLED 시험장비) 원리

1) 시험 계획

가. 미국 법규 FMVSS208 시험 중 정면충돌과 NCAP 시험 <그림 3-2-5>

나. 저속 충돌 (16, 18mph)에서의 상해 성능 시험 추가



<그림 3-2-5> 미국 법규 및 상품성 시험 계획

다. 시험 계획 횟수

시험 속도	시험 조건		비고	시험 횟수 (계획)
	더미 종류	구속 조건		
저속(1)	50th %ile 남성	Unbelted	에어백 미전개	1
	5th %ile 여성	Unbelted	에어백 미전개	1
저속(2)	50th %ile 남성	Belted	에어백 미전개	1
	5th %ile 여성	Belted	에어백 미전개	1
중속(1)	50th %ile 남성	Unbelted	에어백 저압전개	2
			에어백 고압전개	1
25mph	50th %ile 남성	Unbelted	에어백 고압전개	3
	5th %ile 여성	Unbelted	에어백 저압전개	3
30mph	50th %ile 남성	Belted	에어백 고압전개	2
	5th %ile 여성	Belted	에어백 저압전개	2
35mph	50th %ile 남성	Belted	에어백 고압전개	3
	5th %ile 여성	Belted	에어백 고/저압전개	3

2) 시험 결과

가. 시험 진행 현황

시험 속도	시험 조건		비고	시험 횟수	
	더미 종류	구속 조건		계획	실적
저속(1)	50th %ile 남성	Unbelted	에어백 미전개	1	-
	5th %ile 여성	Unbelted	에어백 미전개	1	-
저속(2)	50th %ile 남성	Belted	에어백 미전개	1	-
	5th %ile 여성	Belted	에어백 미전개	1	-
중속(1)	50th %ile 남성	Unbelted	에어백 저압전개	2	-
			에어백 고압전개	1	-
25mph	50th %ile 남성	Unbelted	에어백 고압전개	3	3
	5th %ile 여성	Unbelted	에어백 저압전개	3	1
30mph	50th %ile 남성	Belted	에어백 고압전개	2	2
	5th %ile 여성	Belted	에어백 저압전개	2	2
35mph	50th %ile 남성	Belted	에어백 고압전개	3	2
	5th %ile 여성	Belted	에어백 고/저압전개	3	-

- 30mph 50th %ile 남성 시험 1회 Fail (에어백 전개 이상)

나. 상세 시험 결과

(1) 25mph 50th %ile 남성 시험결과

- 운전석 골반 및 가슴 거동이 실차와 상이 함.
- 조수석 거동은 실차와 유사하나 더미 머리의 앞 유리 접촉 발생
- 추가 상관성 시험 필요

(2) 25mph 5th %ile 여성 시험결과

- 운전석 거동경향 실차와 유사 함.
- 조수석 거동경향 실차와 유사하나 가슴의 I/P 접촉 재현 못함

(3) 30mph 50th %ile 남성 시험결과

- 운전석, 조수석 거동경향 실차와 상이 함. 추가 상관성 시험 필요

(4) 30mph 5th %ile 여성 시험결과

- 운전석, 조수석 거동 경향 실차와 유사 함.

(5) 35mph NCAP 50th %ile 남성 시험결과

- 운전석, 조수석 거동 경향 실차와 다름.
- 추가 상관성 시험 필요 함.

3) 결 론

가. 시험 결과

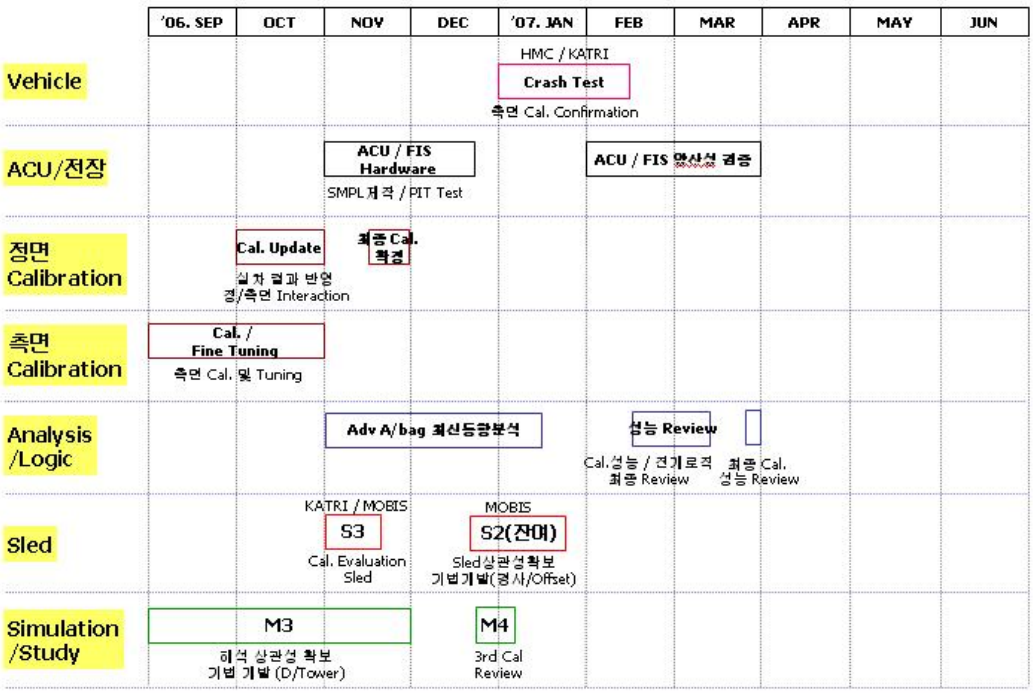
1) 총 23회 중 10회 시험 실시함.

2) 실차 충돌 시 더미 거동 경향을 재현 하지 못함

3) 실차 충돌 데이터 중, 데이터 이상 부분 확인 및 상관성 시험에 필요한 추가 데이터 입수 후 추가 상관성 시험 진행 완료

4. 충돌 시험 상세 계획 수립 (Test Condition)

기 설명된 '인공지능형 에어백 시스템 시작단계 성능개발 기본 프로세스' 에 따라 상세 개발 프로세스를 아래와 같이 정하였다.



<그림 3-2-6> 인공지능형 에어백 시스템 성능개발 상세 프로세스

또한 기본차종에 적용된 북미 어드밴스드 에어백 법규를 고려한 구속 장치 전개 로직 및 Threshold Speed, 주요 성능검증 조건들을 아래 <그림 3-2-7>에 도시하였다.

<table>
<tr><td colspan="3">구분 \ 속도[MPH]</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>비고</td></tr>
<tr><td rowspan="4">시트트랙
7 Notch
전방</td><td rowspan="2">Unbelted</td><td>Deploy</td><td colspan="3">No Fire</td><td colspan="5">Low</td><td></td></tr>
<tr><td>Gray</td><td></td><td></td><td>Low</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Belted</td><td>Deploy</td><td colspan="2">No Fire</td><td colspan="3">P/T</td><td colspan="3">Low</td><td></td></tr>
<tr><td>Gray</td><td></td><td>P/T</td><td></td><td colspan="2">Low</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">시트트랙
8 Notch
후방</td><td rowspan="2">Unbelted</td><td>Deploy</td><td colspan="3">No Fire</td><td colspan="2">Low</td><td colspan="2">High</td><td></td></tr>
<tr><td>Gray</td><td></td><td></td><td>Low</td><td></td><td>High</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Belted</td><td>Deploy</td><td colspan="2">No Fire</td><td colspan="3">P/T</td><td colspan="2">Low</td><td>High</td><td></td></tr>
<tr><td>Gray</td><td></td><td>P/T</td><td></td><td colspan="2">Low</td><td>High</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">시트트랙
7 Notch
전방</td><td rowspan="2">Belted/
Unbelted
(DR/PA)</td><td>Deploy</td><td colspan="2">No Fire</td><td>P/T</td><td colspan="5">Low</td><td rowspan="2">Unbelted
/Belted
(DR/PA)</td></tr>
<tr><td>Gray</td><td></td><td>P/T</td><td>Low</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">시트트랙
8 Notch
후방</td><td rowspan="2">Belted/
Unbelted
(DR/PA)</td><td>Deploy</td><td colspan="2">No Fire</td><td>P/T</td><td colspan="4">Low</td><td>High</td><td rowspan="2">Unbelted
/Belted
(DR/PA)</td></tr>
<tr><td>Gray</td><td></td><td>P/T</td><td>Low</td><td></td><td></td><td>High</td><td></td></tr>
</table>

<그림 3-2-7> 인공지능형 에어백 구속 장치 전개 로직 및 Threshold Speed

기본차종의 경우 Dual Stage Inflator를 적용함에 따라 Primary(Low) Output 전개 Threshold와 Secondary(High) Output 전개 Threshold가 구분되며, 벨트 착용 및 미착용 조건의 Threshold를 구분하였다. 이는 Belt Buckle Sensor로부터의 벨트 착용 여부 관련 정보를 ACU (Airbag Control Unit)에서 판단하여 Crash Severity 판정이 가능한 충돌 알고리즘에서 구현 가능하다. 운전석 또는 조수석의 어느 한쪽이 벨트를 착용하고 다른 한쪽이 벨트를 미착용한 조건에서는 Primary Threshold는 운전석/조수석 모두 벨트 미착용 조건과 동일하게 적용하며, Secondary Threshold는 각각 벨트 착용조건과 미착용 조건에 부합하도록 적용되었다. 상기 전개 로직 에서는 STPS (Seat Track Position Sensor)의 위치정보에 따라 시트 전방위치에서는 High Output이 미전개 (High Output Disabled) 되도록 하였다.

따라서 상기 전개로직 및 Threshold Speed를 적용할 경우, 소요되는 충돌시험조건을 아래와 같이 고려해 볼 수 있다.

[북미 FMVSS 208 (Phase 1) 법규 성능 관련 필수 시험 항목]

- 정면 25mph, 50% Dummy, Belt 미착용, (High Output)
- 정면 25mph, 5% Dummy, Belt 미착용, (Low Output)
- 정면 50% Dummy, Belt 미착용, (Low Output)

- 좌/우 30 Deg. 경사 25mph, 50% Dummy, Belt 미착용, (High Output)
- 좌/우 30 Deg. 경사 20mph, 50% Dummy, Belt 미착용, (Low Output)
- 40% Offset 25mph, 5% Dummy, Belt 착용, (Low Output)
- 정면 30mph, 50% Dummy, Belt 착용, (High Output)
- 정면 30mph, 5% Dummy, Belt 착용, (Low Output)

[북미 NCAP 및 IIHS 관련 필수 시험 항목]
- NCAP : 정면 35mph, 50% Dummy, Belt 착용, (High Output)
- IIHS : 40% Offset 40mph, 50% Dummy, High Output, Belt 착용, (High Output)

[법규 및 기타 조건들을 고려한 센싱 및 충돌 알고리즘 Calibration 관련 필수 시험 항목]
- Flat Barrier 정면충돌
- 좌/우 30 deg. 경사충돌
- Offset 충돌

상기의 충돌시험 소요와 확보된 시험차량, Due Care 항목인 Center Pole 조건 등을 고려하여 B1단계 실차 충돌시험 최소소요 항목을 선정하였다.
시험 계획은 개발 초기 단계의 최소 소요 실차시험 항목을 반영한 것이며, Rough Road & Abuse 시험 등 각종 Due Care 항목들 및 몇가지 성능확인을 위한 시험항목들이 제외되어 있다.
B1 실차시험 결과를 바탕으로 하여, 주로 승객 상해와 관련된 필수 조건들에 대한 실차 - Sled 상관성 확보가 필요하며, 주요 정면 벨트 미착용 조건들과 NCAP 등의 조건들을 포함하여 S1a단계 Sled 시험 최소소요 항목을 선정하였다.

5. Low Risk Deployment, Suppression 방법 설정

가. 어드밴스드 에어백 시스템 개발 사례

1) BMW

BMW에서는 OOP 더미(혹은 승객)에 대한 low risk deployment와 안전 벨트를 착용하지 않은 더미(혹은 승객)에게 high air bag power를 제공해야 하는 것을 주된 설계 목표로 선정하였다[Werkmeister, 2003]. 이를 위하여 CRABI in RFCS에 대해서는 presence suppression을, 그리고 OOP의 3살, 6살, 그리고 5th %ile 더미 (혹은 승객)에 대해서는 low risk deployment를 시행하기로 결정하였다. 이렇게 하면 낮은 충돌 속도 (dv < 20 mph)의 사고에서 안전 벨트를 착용하지 않은 승객을 적절히 보호할 수 있게 된다.

Low risk deployment에서 기준 상해치를 만족시키기 위하여 에어백의 folding pattern을 바꾸어 punch-out force를 감소시켰고, dual stage 인플레이터의 출력을 최대 50% 감소시켰다. 또한, top mount로 선택하고 air bag 전개 각도를 조절하였으며 air bag module 커버가 다단계로 찢어지도록 하였다.

OC 시스템은 여러 개의 pressure sensitive ink로 이루어진 OC-3 mat를 사용하였다. 각 ink cell은 작용 하중에 따라 저항값이 변하고 이 저항을 측정함으로써 압력 패턴을 얻을 수 있으며, 이 압력 패턴을 분석하여 OC 분류를 수행한다. 따라서, 이 OC-3 mat는 IEE에서 개발한 OC 시스템과 매우 흡사하다. 특기할 것은 OC-3 mat를 이용하여 5th %ile 더미(혹은 승객)와 50th %ile 더미(혹은 승객)을 구별할 가능성(아직도 100% 신뢰도가 있는 것 같지 않다)이 있으며, 이를 바탕으로 낮은 속도의 충돌의 경우 안전 벨트를 착용하지 않은 5th %ile 더미(혹은 승객)에게는 low risk deployment를 실행하고50th %ile 더미(혹은 승객)에게는 high airbag 출력을 실행하여 50th %ile 더미(혹은 승객)가 IP나 windshield에 접촉하지 않도록 설계하였다.

결론적으로 BMW의 어드밴스드 에어백 설계 방안을 정리하면 다음과 같다.

- RFCS에 대해서는 presence suppression, 그리고 3살, 6살, 5th %ile OOP에 대해서는 low risk deployment를 실행
- Low risk deployment에서 상해치를 만족시키기 위하여 folding pattern을 바꾸고, top mount를 이용하였으며 air bag deployment 각도를 조절하였고 module cover가 두 번 이상에 걸쳐 찢어지게 하였다.
- 낮은 속도의 충돌의 경우 안전 벨트를 착용하지 않은 5th %ile 더미(혹은 승객)에게는 low risk deployment를 시행하고 50th %ile 더미(혹은 승객)에게는

high airbag 출력을 시행한다.

2) Ford Motor Company

Ford Motor Company에서는 현재 Delphi의 bladder를 이용하여 승객을 분류하고 있으나 특별히 습도가 변함에 따라 승객 분류의 결과가 일정하지 않아서 어려움을 겪고 있다고 한다. 이에 따라 Takata에서 개발한 strain gauge를 이용한 승객 분류 시스템의 사용을 검토 중에 있는데, Delphi의 bladder 시스템보다 나은 평을 받고 있다. 하지만, bladder보다 패키징의 어려움이 크고 의자 밑에 물질이 끼어 들면 제대로 승객 분류를 할 수 없으며 주행 도중에 신호의 진동을 적절히 처리하지 못하는 문제가 남아 있다고 한다 [Ford 통계 담당자]. 또한, 지금 현재로서는 3살과 6살 더미에 대하여 low risk deployment option을 택하고 있으나 앞으로는 suppression option을 택할 가능성이 있다 [Ford 통계 담당자].

Ford Motor Company에서 개발 중인 어드밴스드 에어백 시스템의 경우 다음과 같은 안전장치의 장착 여부를 검토하고 있다. 즉, 운전자(D)석에는 adaptive vent(AV), adaptive load limiter(ALL), side impact curtain(SIC), side thorax airbag(STA), pretensioner(PT), dual depth airbag(AB1, AB2), deployable steering column(DSC)의 장착 여부를 검토하고 있으며, 조수(P)석에는 deployable steering column 대신에 adaptive tether(AT)의 장착 여부를 검토하고 있다.

3) Big 3

현재의 OC 시스템이 6 살 혹은 3살 더미(혹은 승객)와 5th %ile 더미(혹은 승객)을 정확하게 구별하지 못하므로 3살과 6살 더미의 경우에는 low risk deployment와 suppression을 동시에 만족시키고 있으며, CRABI의 경우에는 주로 suppression을 택하고 있다. 하지만, CRABI의 경우 실제 사고에서 에어백이 작동하지 않아 소송이 제기될 것을 우려하여 low risk deployment 시험을 수행하고 있다.

특기할 것은, 만약 high air bag output으로 CRABI의 상해치를 만족시킬 수 있다면 weight sensor가 필요하지 않게 된다. 왜냐하면, unbelted 50th 16 mph rigid barrier test에서 결정되는 에어백 출력으로 3살과 6살 더미에 대하여 low risk deployment를 시험하도록 규정되어 있으므로 unbelted 50th 16 mph rigid barrier test에서 확실하게 low level의 에어백 출력이 결정되도록 ACU를 설계하면 3살과

6살 더미에 대한 시험 조건을 충분히 만족시킬 수 있기 때문이다. 따라서, 안전부품업체나 Big 3는 high air bag output으로 CRABI의 상해치를 만족시키는 에어백 개발에 역점을 두고 있다.

Low risk deployment에서 상해치를 만족시키는 에어백 기술은 주로 가스를 버리거나 승객의 좌우로 분사시키는 방법과 tether를 이용하거나 에어백의 패턴과 folding을 바꾸어 에어백 쿠션이 승객을 때리는 punch out force가 작게 되도록 하는 geometrical control을 사용하고 있다. Daimler-Chrysler에서는 knee airbag의 사용을 검토하고 있고, GM에서는 active tether 에어백의 사용을 검토하고 있으며, Ford에서는 adaptive load limiter, adaptive vent와 active tether가 있는 에어백의 사용을 검토하고 있다.

GM의 dual depth 에어백 개발 내용에서 언급한 바와 같이 FMVSS208에서 규정한 unbelted 50th %ile rigid barrier full frontal crash(20 25 mph)에 대하여 high air bag power를 구현하지 못하는 경우가 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 full frontal crash를 판별하고 알고리즘의 임계값이 차량의 속도에 따라 변하는 충돌 정도 알고리즘을 개발하고 있다.

4) Big3와 기타 자동차업체

일부 2004년 모델 차량의 승객 에어백의 위험성을 줄이기 위한 static test의 option을 다음의 표와 같이 정하였다[Prasad, 2005].

<표 3-2-1> 2004년 모델 차량의 Static Test Option

Vehicle	Passenger Suppression System	Mount
2004 Honda Accord	Suppression for 12MO, 3YO; LRD for 6YO	Top
2004 Honda Odyssey	Suppression for 12MO, 3YO; LRD for 6YO	Top
2004 Chevy Avalanche	Suppression	Front
2004 Jeep Liberty	Suppression	Front
2004 Ford Taurus	Suppression	

나. 종합 안전 시스템 (Integrated Safety System)

1) Delphi Automotive System

Delphi Automotive System이 제안한 종합 안전 시스템의 작동 단계는 크게 avoidable zone과 mitigation zone으로 나눌 수 있다[Rohr, 2000]. Avoidable zone은 사고를 미연에 방지할 수 있는 단계로 주로 운전자에게 경고를 보내는 경고 단계와 충돌을 방지하고자 하는 충돌 방지 단계로 나눌 수 있다. 경고 단계에서는 low tire pressure warning, impending rollover warning, lane/roadway departure warning, parking assistance/warning, back-up assistance/warning, blind-spot warning, rear-end collision warning, lane change warning 등의 조치가 행하여진다. 또한, 충돌 방지 단계에서는 automatic stopping, automatic lane change, lane keeping, chassis and suspension control, vehicle rollover prevention, X-by-wire (steer, brake, throttle) 등의 조치가 행하여진다.

Mitigation zone은 충돌을 피할 수 없는 단계(collision unavoidable state)와 사후 처리 단계(post event state)로 나눌 수 있다. 충돌을 피할 수 없는 단계에서는 승객 보호를 위한 여러 장치(에어백, 프리텐셔너, 니볼스터 에어백, 사이드 에어백, 커튼 백 등)가 작동되며 적절히 승객을 보호하기 위하여 pre-crash sensing의 필요성이 대두되고 있다. Pre-crash sensing은 에어백, 프리텐셔너와 같이 충돌 직후에 작동하는 안전 장치가 적절히 작동하도록 도와 줄 수 있을 뿐만 아니라 가역적인 니볼스터와 같이 충돌 이전에 작동하는 안전 장치의 작동을 위하여 절대적으로 필요하다. 사후 처리 단계에서는 에어백이 작동하였는지, 자동차가 전복되었는지, 연료가 누출되었는지, 화재가 발생하였는지, 승객이 몇 명인지, 승객이 살아 있는지 여부에 관한 정보를 텔레매틱스 시스템을 통하여 관련 기관에 보고하는 단계이다. 이와 같은 사후 처리가 정확히 수행되기 위해서는 적절한 센서를 개발하는 것도 중요하지만 사고에 견디는 텔레매틱스 시스템을 구축하는 것이 무엇보다도 중요하다.

2) BMW's Integrated Safety Systems

BMW는 active safety system과 passive safety system 및 post crash notificatin system 등을 종합적으로 개발하고 있다[Werkmeister, 2003]. 2.4.1에서 언급한 바와 같이 active safety system인 HMI iDrive 시스템, active headlight, adaptive

brake light, active steering 시스템 등을 개발하였으며, 3.2.1에서 언급한 passive safety system을 개발하였다.

특기할 것은 BMW가 post crash notification system인 automatic crash notification(ACN) system을 개발하였으며, 이 분야에서 선도적인 입지를 구축한 것으로 여겨진다. BMW ASSIST라고 총칭하는 시스템에는 navigation과 telecommunication 그리고 ACN이 모두 지원된다. 에어백이 전개되었거나 강한 후방 충돌 사고가 발생하면 자동으로 VIN과 자동차의 위치(GPS)가 BMW ASSIST emergency call center로 전달되고, 즉각적으로 통화가 이루어진다. 사고가 심각하다고 확인되면 BMW ASSIST emergency call center에서 의료진에 즉각 연락하게 된다. BMW ASSIST는 사고에 강건하여야 하므로 crash-safe battery, 추가 스피커 및 차량 내부에 설치된 emergency call atenna 등이 필요하다. 현재 BMW에서는 미국 마이애미 의과대학 내에 있는 William Lehman Injury Research Center와 연구를 진행하여 사고 차량 내의 승객의 상해 정도를 예측할 수 있는 방안을 완성하였으며 이를 바탕으로 Advanced ACN를 개발하여 시험 중에 있다. 상해 정도를 예측할 수 있는 정보는 다음과 같다.

- 정확한 사고 위치 GPS 좌표값, 주행 방향
- 차량 상황 침수, 화재, 연료 누출 여부
- 승객 상황 승객 수, 차량 밖으로 승객이 튀어 나갔는지의 여부
- 심각한 상해의 가능성 충돌 정도, 충돌 방향, 충돌 모드, 안전벨트 착용여부

3) Mercedes-Benz's Integrated Safety System

Mercedes-Benz는 integrated safety system을 개발하여 MY 2003 S-class에 적용하였다고 발표하였다[Schöneburg, 2003]. 이 종합안전시스템은 pre-crash phase, crash phase, post-crash phase에 대하여 pre-safe, individual safety, care-safe라는 시스템을 작동하도록 되어 있다. Pre-safe system은 급제동을 하거나 understeering 혹은 oversteering 이 발생하면 reversible belt pretensioner를 작동시켜서 승객을 일찍 구속하고 의자의 위치를 교정하며 썬루프를 닫는다. 특별히, 승객(조수석, 뒤 의자는 선택 사항) 의자의 등받이를 수직 상태로 환원시키고, 의자 쿠션의 각도를 증가시키며, 조수석 의자가 너무 앞에 있으면 이를 뒤로 움직인다. 앞으로는 장애물과의 거리와 상대 속도를 측정하고 이를 바탕으로 사고의 가능성

을 평가하며 사고가 임박할 경우 pre-safe 시스템을 작동시킬 수 있도록 개선할 예정이다. 또한, 사고가 임박할 경우 창문을 닫고 상황에 따라 벨트의 하중을 조정하며 active interior padding(예를 들어active head restraint, active seat side bolster, active door padding, active B-pillar padding, active knee protection)을 설치할 예정이다.

Pre-tensioner나 에어백이 작동하게 되면 care-safe 시스템이 작동하게 되고 이에 따라 다음과 같은 작동이 자동으로 수행된다.

- 연료 펌프가 정지한다.
- 문의 잠금장치가 풀린다.
- Hazard warning flasher가 켜진다.
- 현재 선택사항인 TELE-AID가 작동하여 서비스 센터에 경보 메시지가 전달되고 서비스 센터에서는 구조를 요청한다.

향후에는 서비스 센터와 승객 사이의 통화를 가능하게 하여 승객과 사고에 대한 자세한 정보를 수집하고 구조대에게 이를 통보할 예정이다.

사고 방지 혹은 정도 감소(accident avoidance/mitigation)를 위하여 현재 사용되고 있는 운전자 보조 시스템(driver assistance system)으로는 ESP, brake assist, ACC, flashing brake light 등이 있다[Schöneburg, 2005]. 1998년도부터 2002년도 사이에 조향 상실에 의한 사고 통계를 보면 ESP를 장착한 Mercedes-Benz 사고 차량이 12%로서 평균인 17% 내지 20%보다 낮게 보고되어 ESP의 효과를 입증하고 있고, brake assist system도 사고율을 크게 감소시키는 것으로 보고되었으며, flashing brake light는 급제동시 후방 운전자의 반응시간을 0.2초 정도 감소시키는 것으로 시험에서 입증되었다.

또한, Pre-safe 시스템의 작동으로 운전자와 차체 내부의 거리가 좀 더 확보되어 머리와 목 등의 상해치가 20 내지 50% 감소할 것으로 예상하고 있다. 이와 같은 Pre-safe 시스템은 차량 주변의 상황을 좀 더 잘 파악하기 위하여 두 개의 레이더 센서(long range 77 GHz, short range 24 GHz)를 장착할 것이며, 사고가 불가피하다고 판단될 경우에는 승객의 의지와 관계없이 자동으로 부분 제동(partial braking)을 시행할 것이다. 또한, 사고 이전에 충돌 속도를 계산하고 이를 충돌 정도를 예측하는데에 사용하는 방안도 모색 중이다.

6. 대차(sled) 시험 결과 (1차년도)

가. 시험목적

북미 법규 대응을 위하여 충돌 및 충돌모의 시험연구를 통한 첨단 인공지능 에어백 독자기술 개발 위함

나. 시험조건

NO	TEST MODE	Test Condition		Remaks	비 고
		Dummy	Restraints		
1 ~ 4	35mph	50%, 5% Dummy 사용	Belted	Airbag High output	총 4회
5 ~ 8	30mph	50%, 5% Dummy 사용	Belted	Airbag High (또는) Airbag Low output	총 4회
9 ~ 12	25mph	50%, 5% Dummy 사용	Unbelted	Airbag High (또는) Airbag Low output	총 8회
13 ~ 14	중속	50%, 5% Dummy 사용	Unbelted	Airbag High (또는) Airbag Low output	총 3회

<표 3-2-2> Sled 시험 현황(총괄)

NO	TEST MODE	Test Condition		Remaks	비 고
		Dummy	Restraints		
1	35mph	50th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	AV35M050518
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
2	35mph	50th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	AV35M050520
		5th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
3	35mph	5th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	AV35M050523
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
4	35mph	5th%ile(운전석)	Belted	Airbag Low output	AV35M050524
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
5	30mph	50th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	1회
		5th%ile(조수석)	Belted	Airbag Low output	
6	30mph	50th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	1회
		5th%ile(조수석)	Belted	Airbag Low output	
7	30mph	5th%ile(운전석)	Belted	Airbag Low output	1회
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
8	30mph	5th%ile(운전석)	Belted	Airbag Low output	·1회
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
9	25mph	50th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag High output	2회
		5th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag Low output	
10	25mph	50th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag High output	2회
		5th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag Low output	
11	25mph	5th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag Low output	2회
		50th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag High output	
12	25mph	5th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag Low output	2회
		50th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag High output	
13	중속	50th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag High output	2회
		50th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag High output	
14	중속	50th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag Low output	1회
		50th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag Low output	

<표 3-2-3> Sled 시험 세부 현황

7. 대차 시험 장치 (1차년도)

가. Sled Test 장비

1) 발사장치, 데이터 Acquisition system, 디지털고속카메라

2) 센　　서 : 가속도계, Neck Load Cell , Seat belt Displacement

3) 인체모형 : Hybrid Ⅲ 50/ ,5%ile

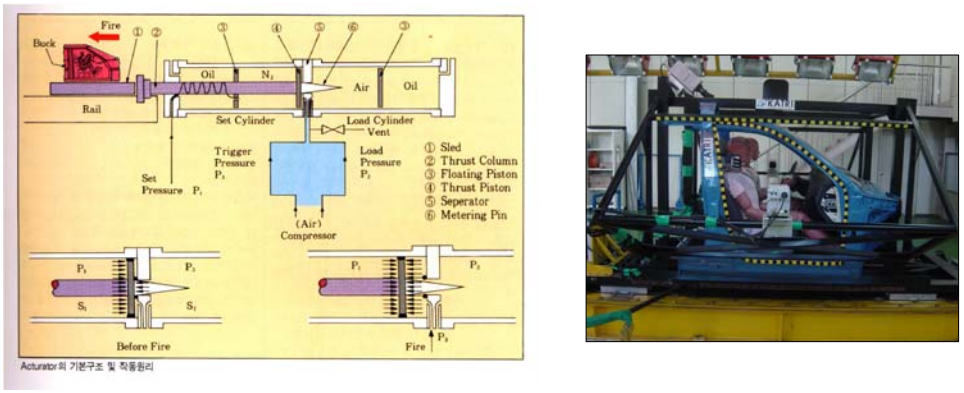
나. Sled 시험장치 사양

1) Sled 시험 장치

자동차 및 그 부품의 동하중 시험을 위한 sled 장치의 주요 구성은 아래 <표 3-2-4>와 같으며, <그림 3-2-8>과 같은 시험장치(발사장치)를 사용하였다.

시 험 장 치	특 징
충돌모의 시험장치	직경 12인치 공압식 가속 추진형
센 서 (가속도 측정)	- 가속도 파형 측정용 가속도계 100g(2개), 5g(2개) 설치 - 측정율(sampling rate) : 초당 10,000개 - Class 60에 적합한 가속도 주파수 등급 - 시험속도 : 측정된 가속도(100g 사용)을 적분하여 산출
고속 카메라	초당 1,000장(인체모형 거동 촬영)

<표 3-2-4> Sled 시험장치의 주요 구성



<그림 3-2-8> 충돌모의 시험장치

2) 데이터 계측 시스템

Sled시험의 데이터 계측시스템(NA33)은 <그림 3-2-9>와 같으며 센서로부터의 신호를 계측하는 데이터 계측장비와 계측한 데이터를 분석하는 데이터 분석 장비로 나눌 수 있다. 데이터 계측장비는 측정센서인 가속도계, 하중계, 모멘트계 등으로부터 얻어진 신호는 증폭기에서 증폭되고 채널 주파수등급 1000 (CFC 1000)으로 필터링(6-pole bessel filter)한 후 데이터 샘플링 주파수10kHz이고 해상도 16bit인 아날로그/디지탈 변환기(A/D converter)를 거쳐 증폭기내에 내장되어 있는 메모리에 저장된다. 저장된 데이터는 내장배터리 유지하에서 일정기간 보존되며, 새로운 데

이터를 수집하지 않는 한 LAN Cable을 통해 언제나 다시 다운로드 받을 수 있다.



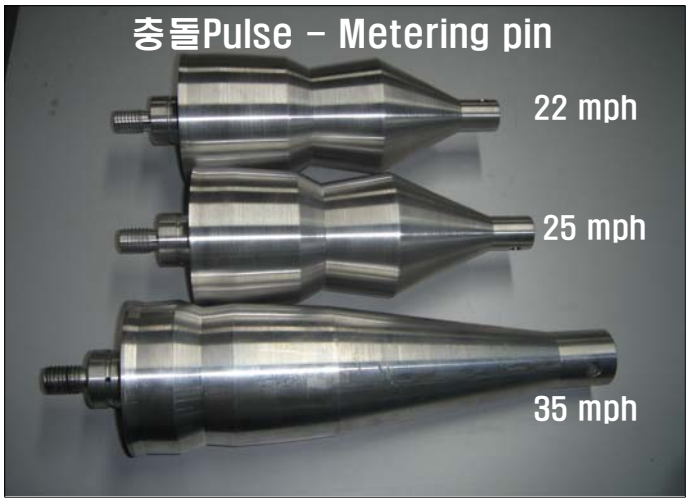
<그림 3-2-9> 데이터 계측 시스템(NA33)

3) 에어백 TTF 시스템 (FAM-Adapter)

에어백 점화채널인 디지털 출력신호의 계측을 위해 필요한 시스템으로 NA33 시스템의 점화 펄스로 발생되어지는 디지털 출력신호를 변함없이 FAM-Adapter 출력을 가능 게 함

4) 미터링 핀(Metering Pin)

실차의 파형을 발생시키기 위해 미터링 핀을 제작 사용하였으며 본 시험에서는 속도별 Metering Pin을 설계·제작하여 사용하였다.



<그림 3-2-10> 미터링 핀

5) Seat belt Displacement

Seat belt 의 SPOOL-OUT을 측정하기 위한 센서로 NA33 시스템의 계측장비를 이용하여 측정하며 운전석 및 조수석에 설치하였음

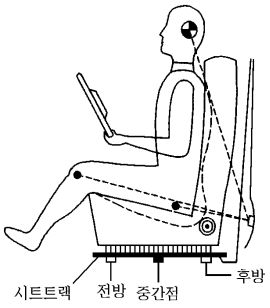
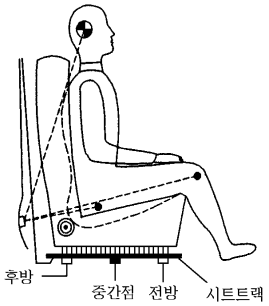


<그림 3-2-11> Seat belt Displacement

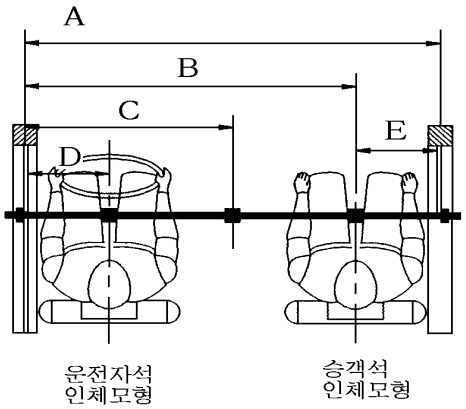
8. 인체모형 착석위치 및 관련 데이터 (1차년도)

시험에 대한 인체모형(dummy) 착석위치 등은 다음과 같은 조건에서 시험을 실시

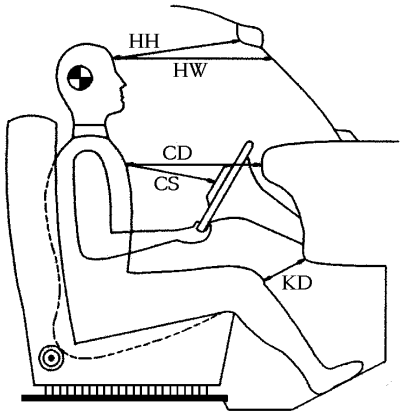
1) 인체모형의 착석위치(Hybrid Ⅲ 50 %ile)

운전자석 Seat Track : 중간 인체모형 번호 : __ 형식 : Hybrid Ⅲ 50 %ile 머리 _____ 표적 ___ mm 무릎 ___640___ 연결부___ mm 둔부점_____ (대략)___ mm		승객석 Seat Track : 중간 인체모형 번호 :___ 형식 : Hybrid Ⅲ50 %ile 머리 ___°___ 표적 ___ mm 무릎 _____640 연결부___ mm 둔부점_____ (대략)____ mm	

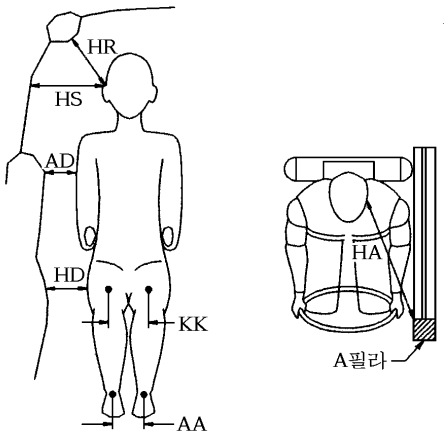
A = 1440 mm
B = 1080 mm
C = 720 mm
D = 360 mm
E = 360 mm



구 분	운전자 (mm)	승 객 (mm)
HH	295	295
HW	491	540
CD	520	518
CS	290	-
KDL	180	175
KDR	115	165
TA	-	-
SA	-	-



구 분	운전자 (mm)	승 객 (mm)
HR	260	259
HS	-	-
AD	-	-
HD	-	-
KK	330	280
AA	220	220
HA	-	-



HH = 머리에서 앞면유리위쪽 전면부

HW = 머리에서 앞면유리

CD = 가슴에서 계기판넬

CS = 가슴에서 조향핸들

KD = 무릎에서 계기판넬

TA = 가슴 각도

SA = 좌석등받이 각도

HR = 머리에서 천정측면

HS = 머리에서 옆면유리

AD = 팔에서 문

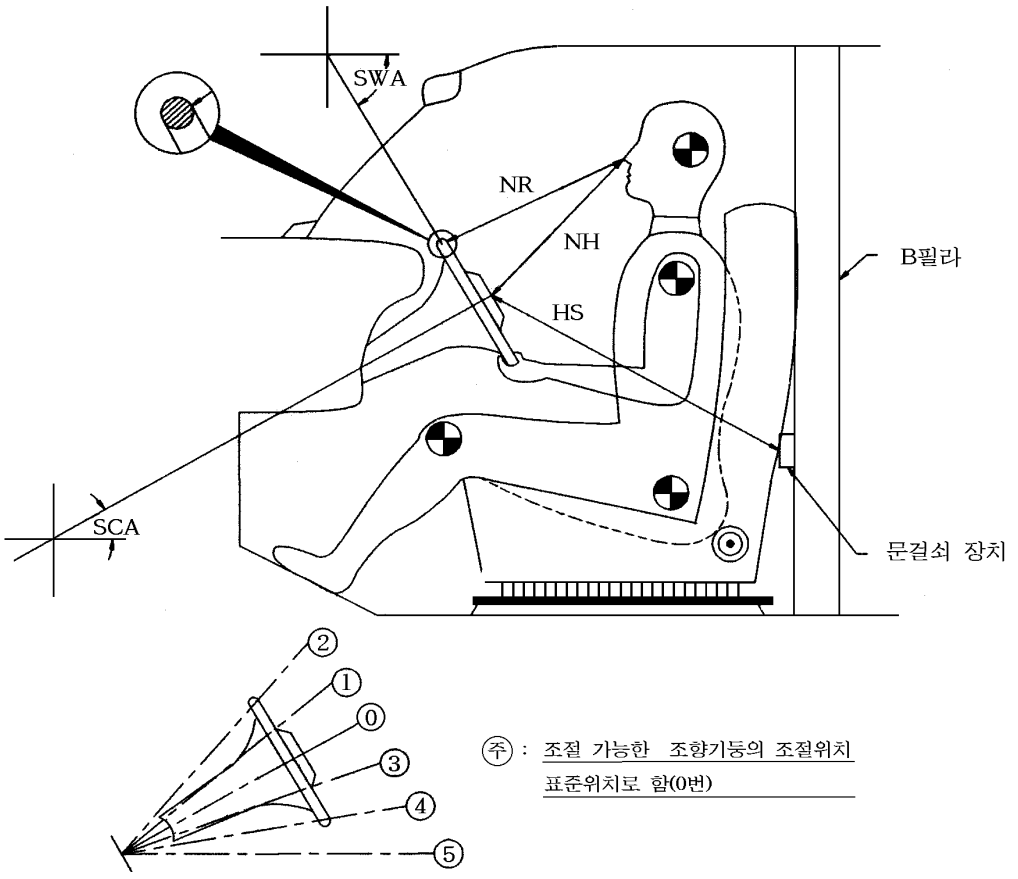
HD = 엉덩이에서 문

KK = 무릎에서 무릎

AA = 발목에서 발목

HA = 머리에서 A-필라

주 : 가슴과 좌석등받이 각도는 상대적으로 수직임.



구 분	내 용	측 정 치 (mm)
NR	코에서 조향핸들	390
NH	코에서 조향축 중심	-
HS	조행핸들 중심에서 문 걸쇠고리	-
SCA	수평 길이방향에 대한 조향축 각도	24.5°
SWA	수평 길이방향에 대한 조향핸들 각도	-

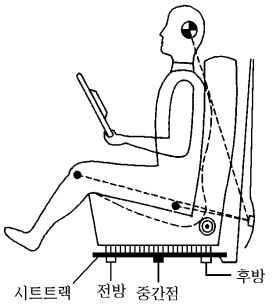
2) 인체모형의 착석위치 (Hybrid Ⅲ5%ile)

운전자석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :__ 형식 : Hybrid Ⅲ5%ile

머리 _____
표적 ___ mm

무릎 __730___
연결부___ mm

둔부점_____
(대략)___ mm

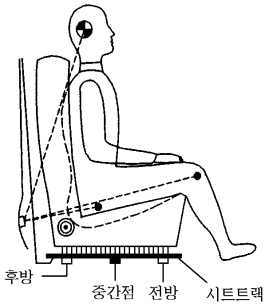


승객석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :__ 형식 : Hybrid Ⅲ5%ile

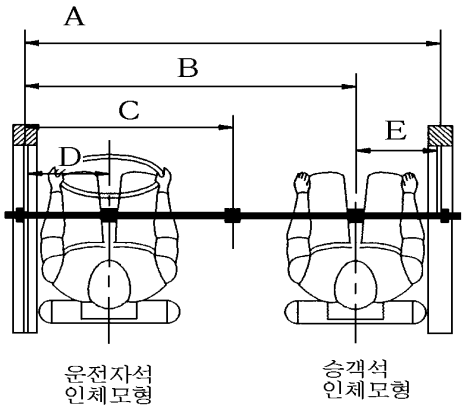
머리 ____°
표적 ___ mm

무릎 __730_____
연결부___ mm

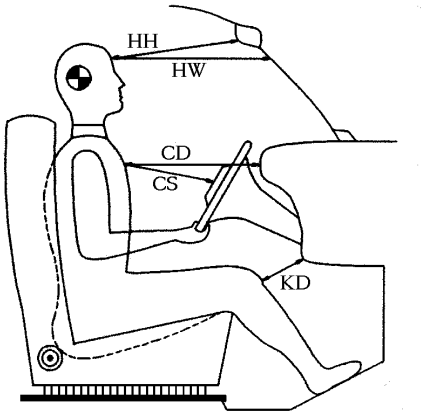
둔부점_____
(대략)___ mm



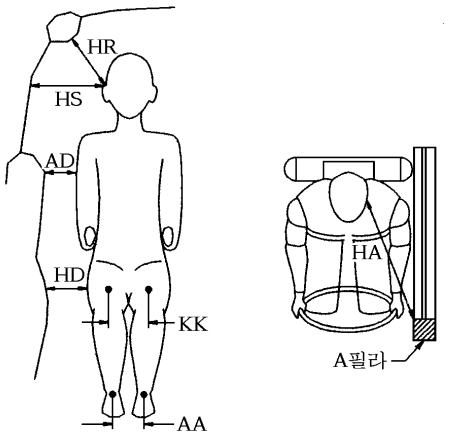
A = 1440 mm
B = 1080 mm
C = 720 mm
D = 360 mm
E = 360 mm



구 분	운전자 (mm)	승 객 (mm)
HH	240	287
HW	520	560
CD	430	450
CS	295	-
KDL	105	105
KDR	105	103
TA	-	-
SA	-	-



구 분	운전자 (mm)	승 객 (mm)
HR	295	310
HS	-	-
AD	-	-
HD	-	-
KK	170	171
AA	-	-
HA	-	-



HH = 머리에서 앞면유리위쪽 전면부

HW = 머리에서 앞면유리

CD = 가슴에서 계기판넬

CS = 가슴에서 조향핸들

KD = 무릎에서 계기판넬

TA = 가슴 각도

HR = 머리에서 천정측면

HS = 머리에서 옆면유리

AD = 팔에서 문

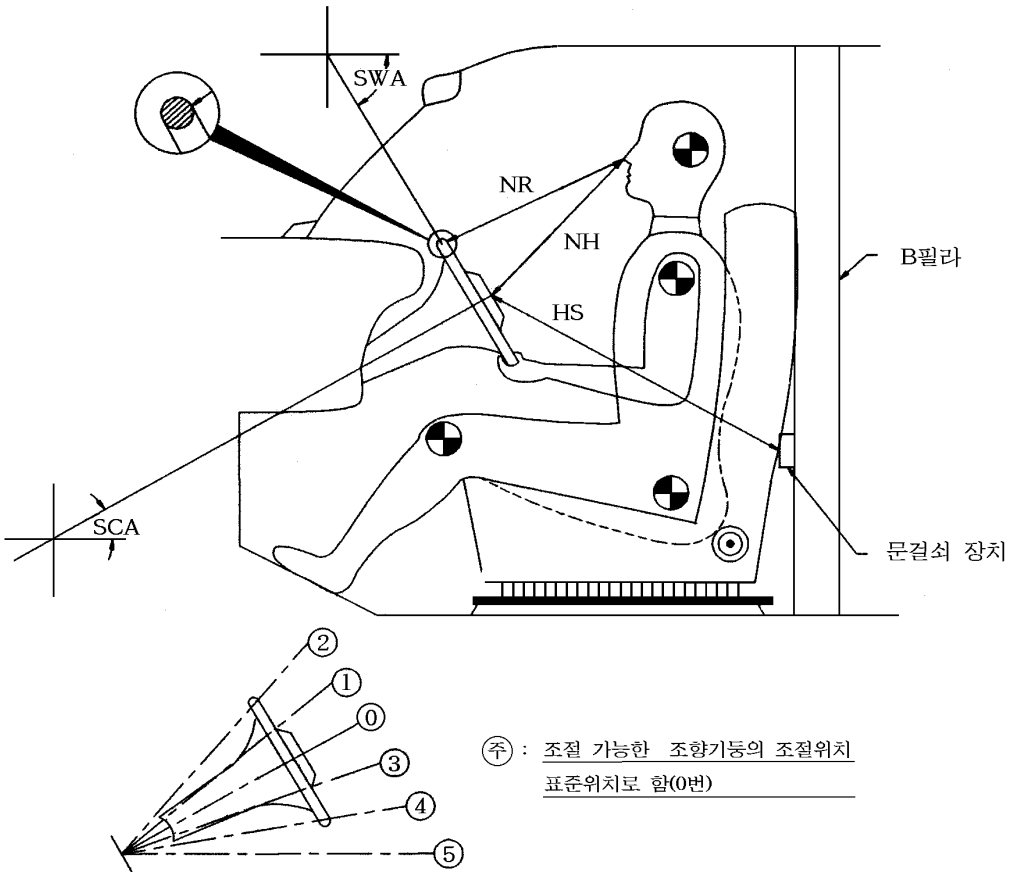
HD = 엉덩이에서 문

KK = 무릎에서 무릎

AA = 발목에서 발목

SA = 좌석등받이 각도 HA = 머리에서 A-필라

주 : 가슴과 좌석등받이 각도는 상대적으로 수직임.



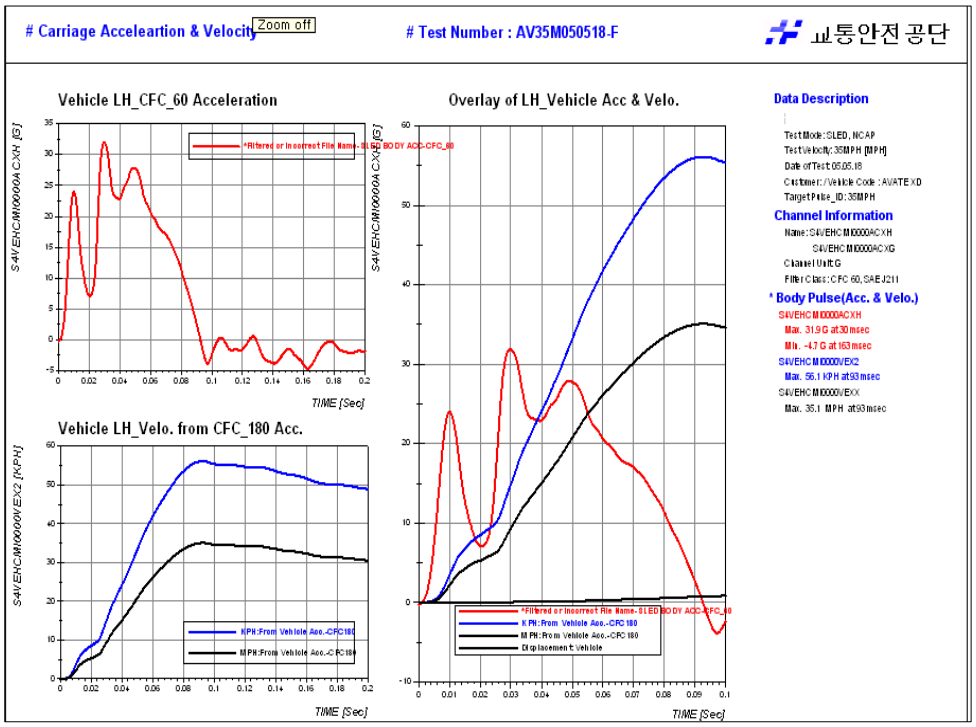
구 분	내 용	측 정 치 (mm)
NR	코에서 조향핸들	260
NH	코에서 조향축 중심	-
HS	조행핸들 중심에서 문 걸쇠고리	-
SCA	수평 길이방향에 대한 조향축 각도	24.2
SWA	수평 길이방향에 대한 조향핸들 각도	-

9. 시험관련 측정데이터 (1차년도)

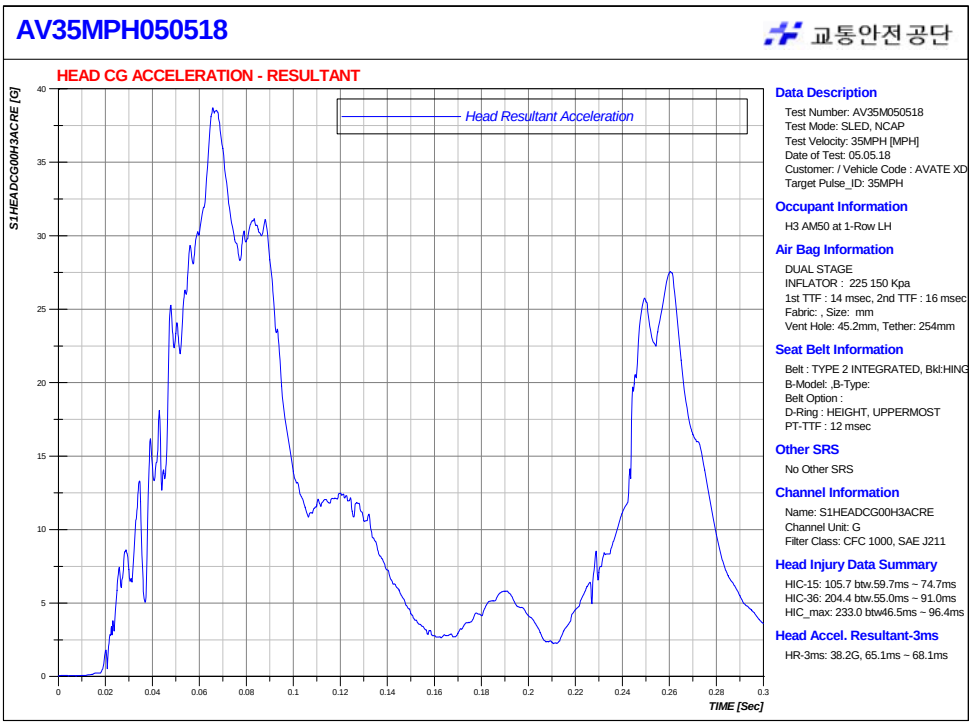
1) 인체상해치 및 안전띠장력 측정 데이터결과

계측 내용		운전자석(좌측)	승객석(우측)	
머리 (HIC_{36})		204	386	
흉부 (g)		38.5	38.6	Resultant
흉골압축변위량 (mm)		16.9	18.47	
NECK (N)	Tension	1075	1167	
	Compression	117	288	
N_{ij}	N_{te}	0.21	0.3	
	N_{tf}	0.24	0.17	
	N_{ce}	0.15	0.27	
	N_{cf}	0.18	0.15	
대퇴부 압축하중(kg)	좌측	1,186	1,326	
	우측	1,081	1,109	
좌석안전띠하중 (N)	어깨띠	4,965	4,653	
	무릎띠	8,457	8,891	
S/B SPOOL-OUT(mm) (in/out)		202/50	105/269	

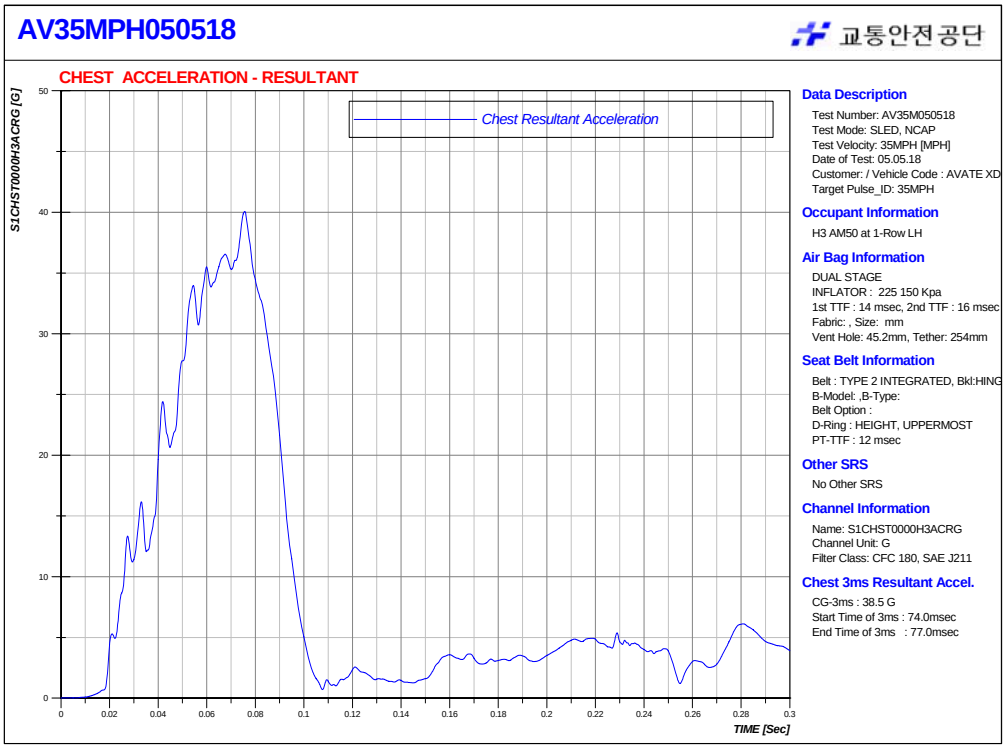
<표 3-2-5> TEST NO : AV35M050518



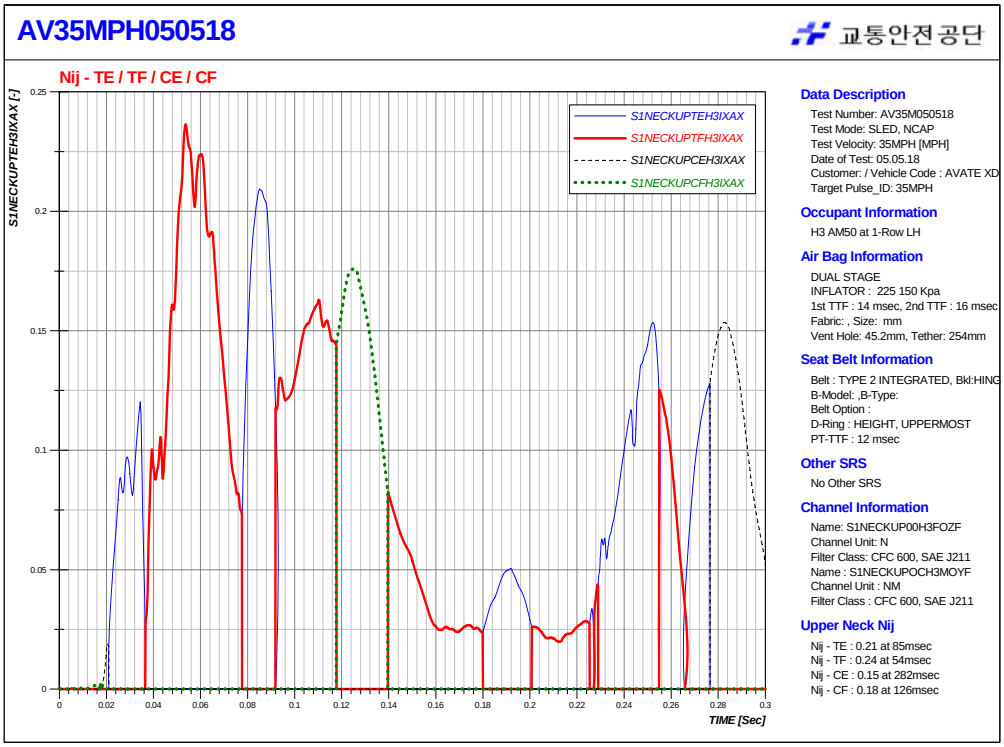
<그림 3-2-12> 35mph 속도그래프



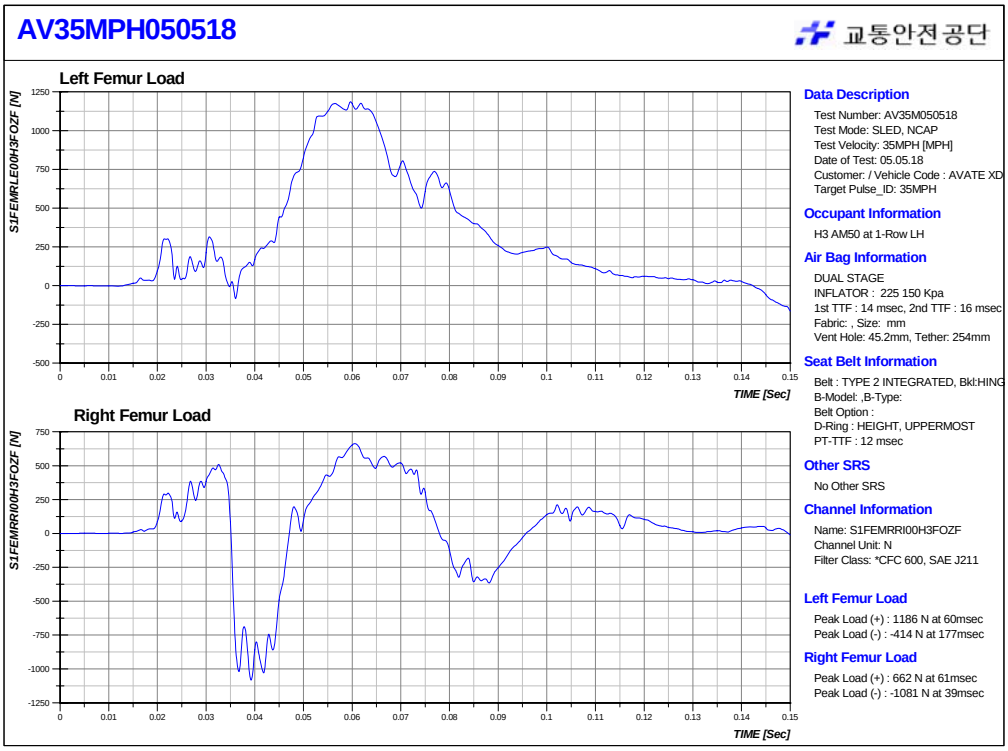
<그림 3-2-13> 35mph 운전석 HEAD



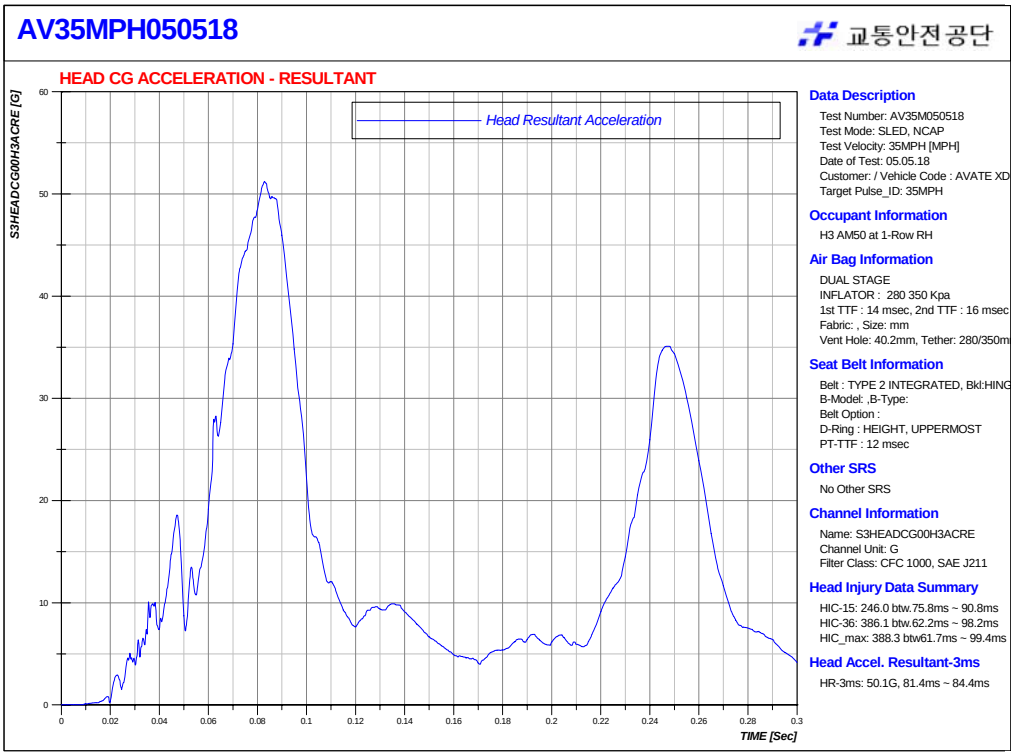
<그림 3-2-14> 35mph 운전석 CHEST



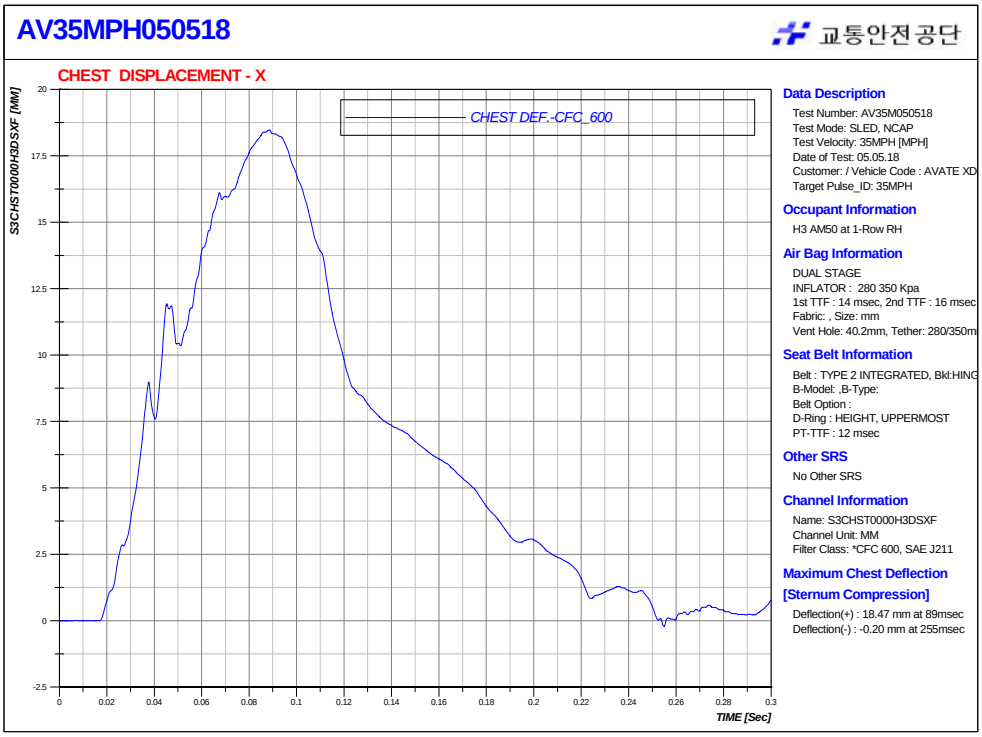
<그림 3-2-15>35mph 운전석 NECK



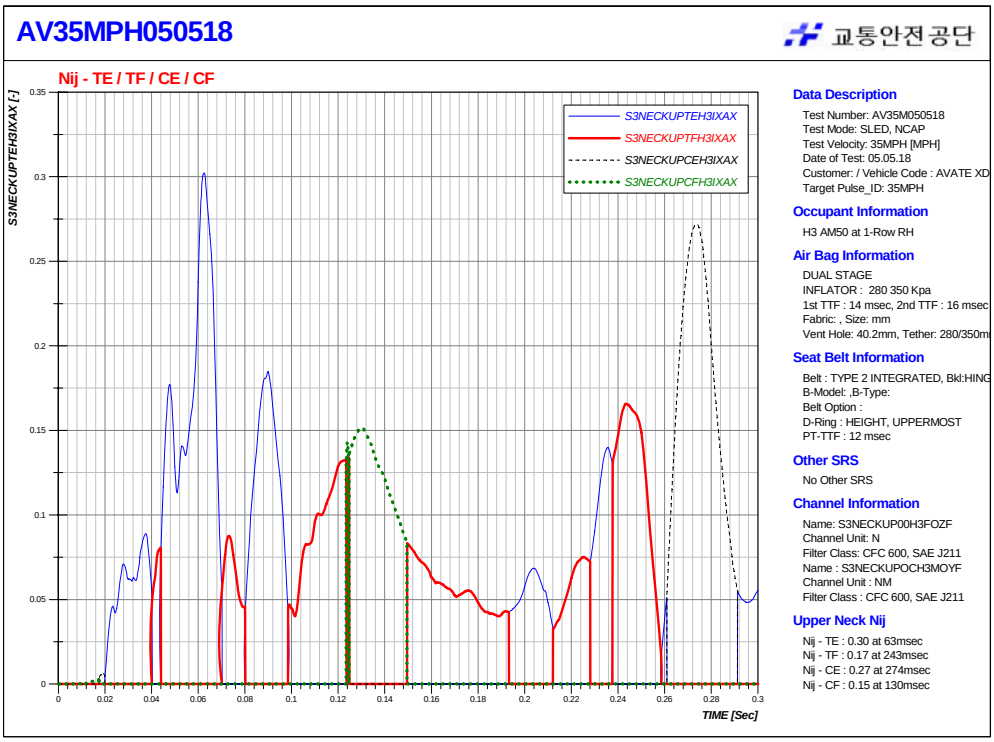
<그림 3-2-16> 35mph 운전석 FEMUR



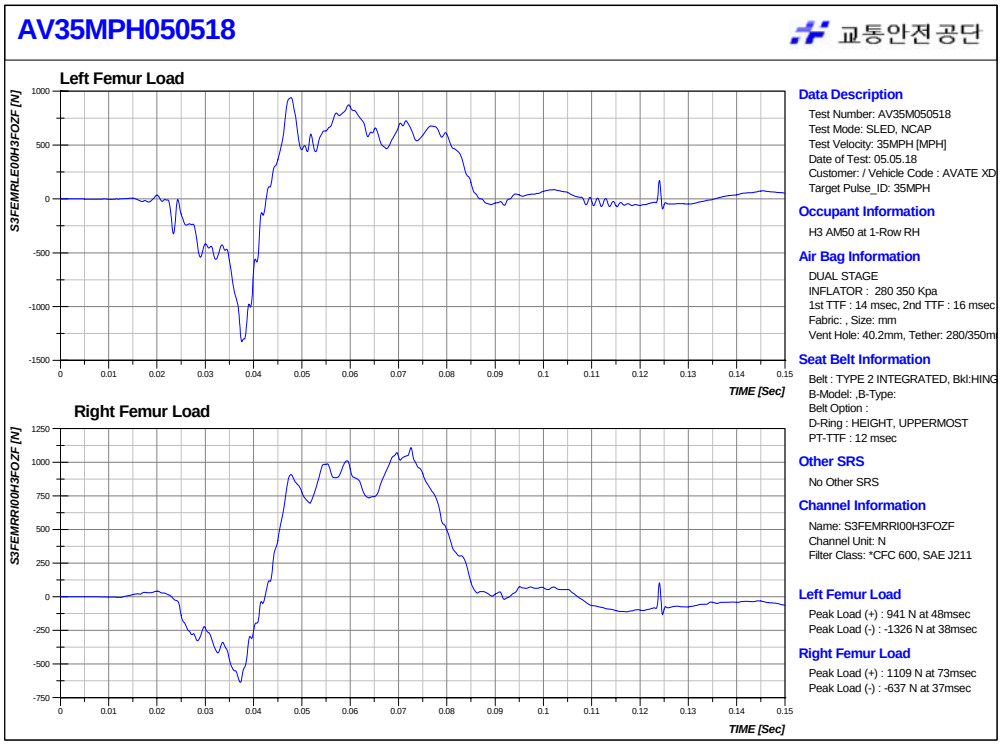
<그림 3-2-17> 35mph 조수석 HEAD



<그림 3-2-18> 35mph 조수석 CHEST



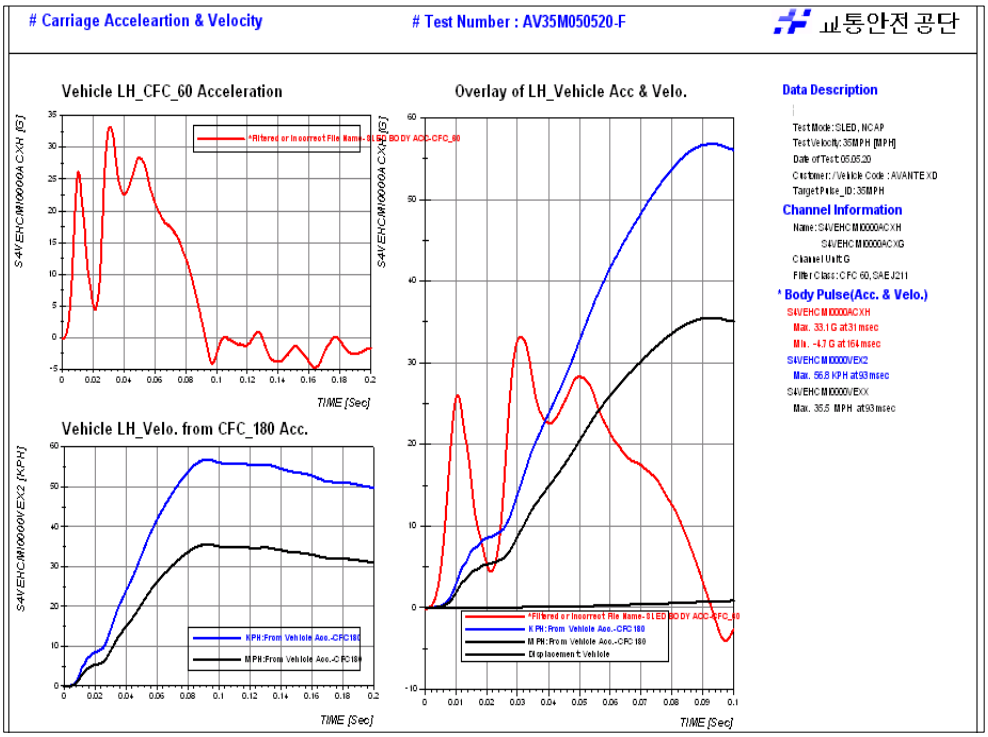
<그림 3-2-19> 35mph 조수석 NECK



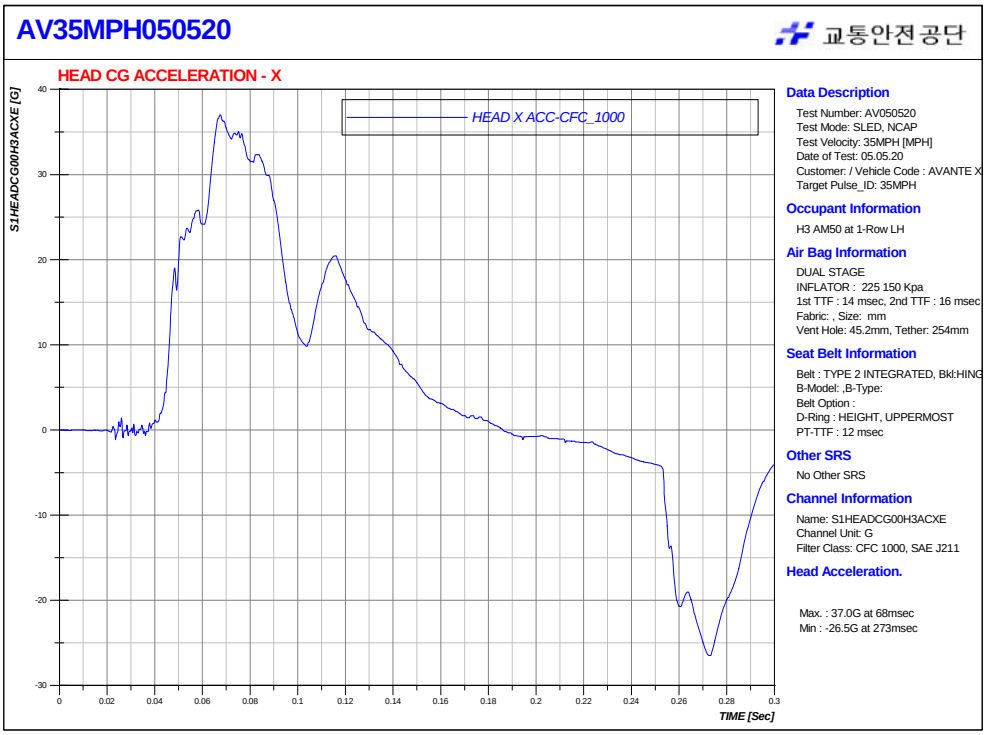
<그림 3-2-20> 35mph 조수석 FEMUR

계측 내용		운전자석(좌측)	승객석(우측)	
머리 (HIC_{36})		276	464	
흉부 (g)		48.8	41.4	
흉골압축변위량 (mm)		18.75	22.6	
NECK (N)	Tension	1549	1070	
	Compression	120	162	
N_{ij}	N_{te}	0.31	0.59	
	N_{tf}	0.37	0.18	
	N_{ce}	0.17	0.23	
	N_{cf}	0.17	0.23	
대퇴부 압축하중(kg)	좌측	827	2579	
	우측	3784	2824	
좌석안전띠하중 (N)	어깨띠	4715	4943	
	무릎띠	10194	6394	
S/B SPOOL-OUT(mm) (in/out)		239/73	NA	

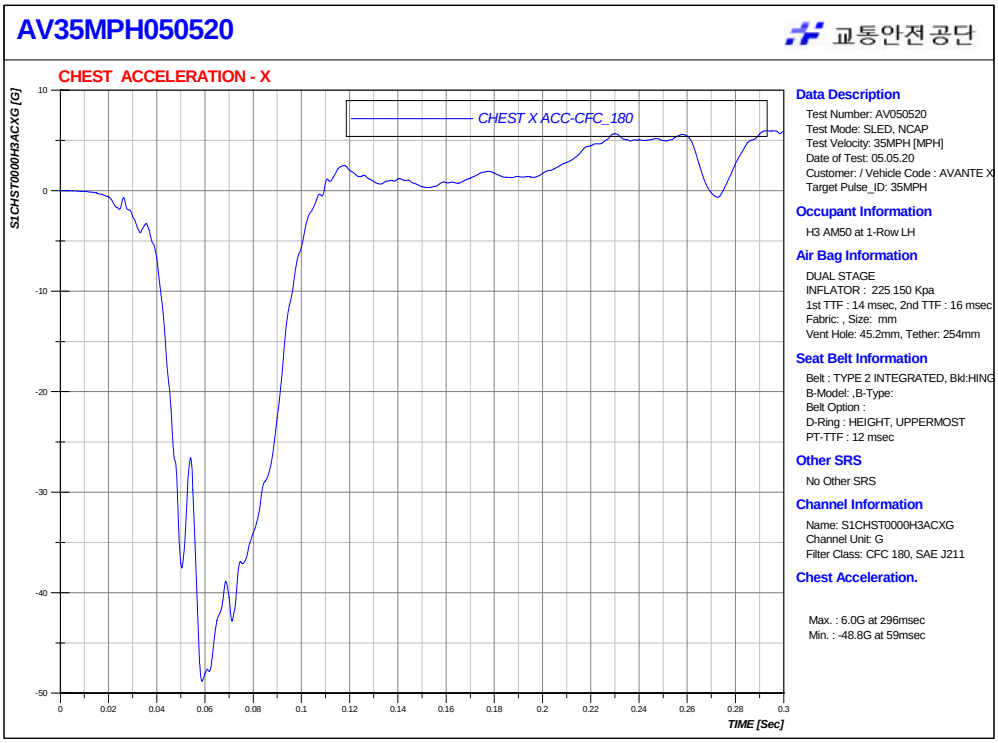
<표 3-2-6> TEST NO : AV35M050520



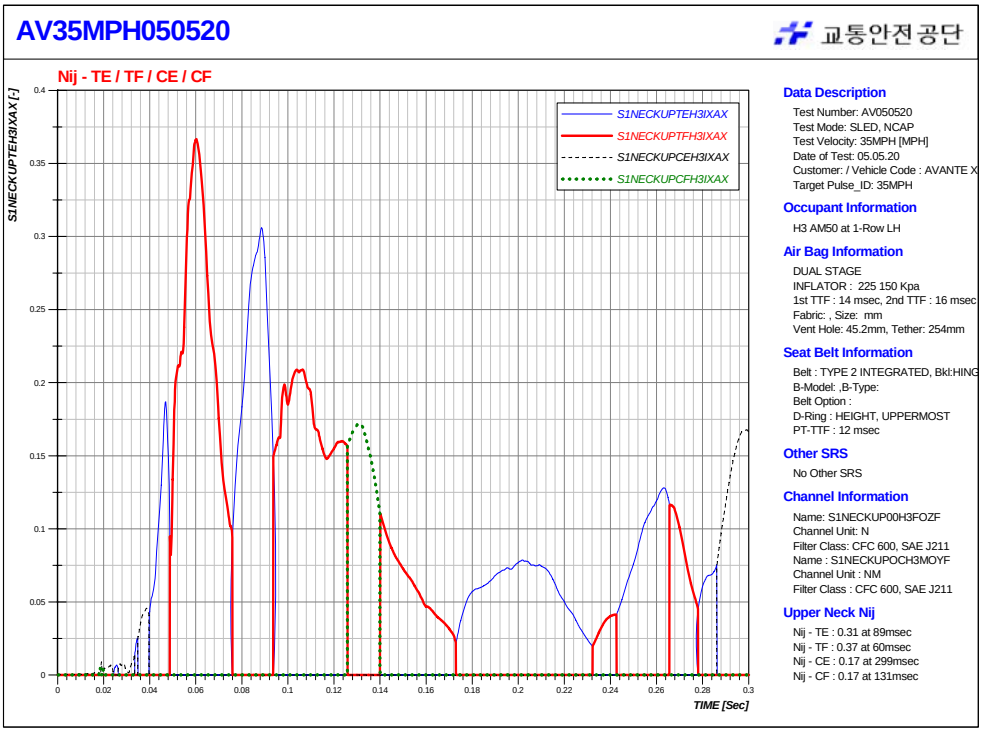
<그림 3-2-21> 35MPH 속도 그래프



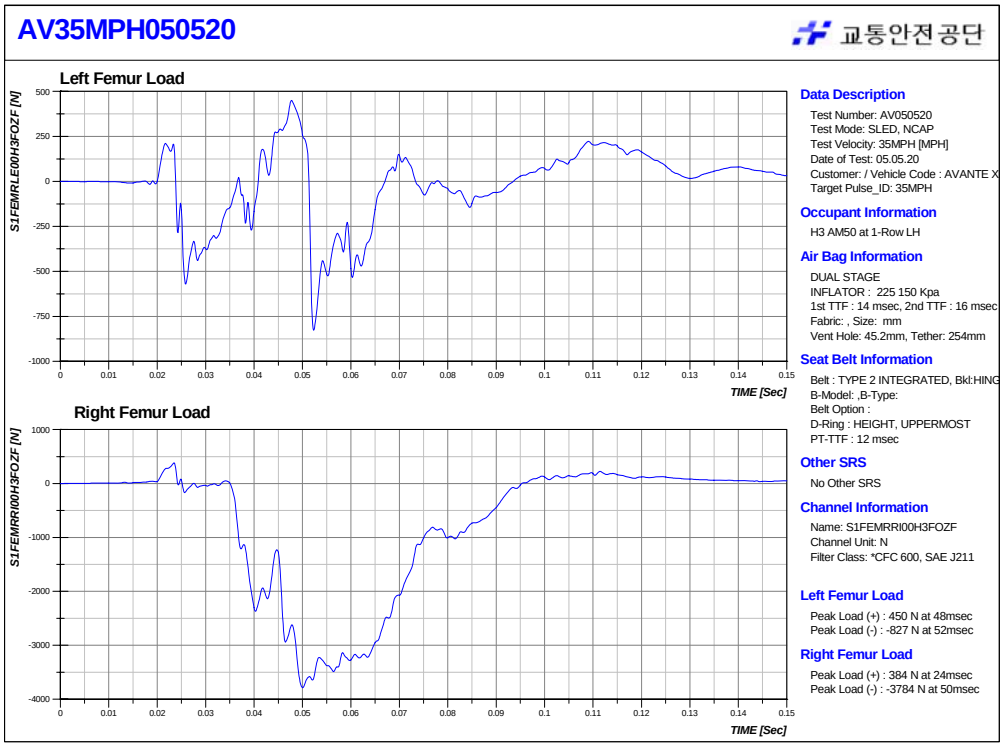
<그림 3-2-22> 35MPH 운전석 HEAD



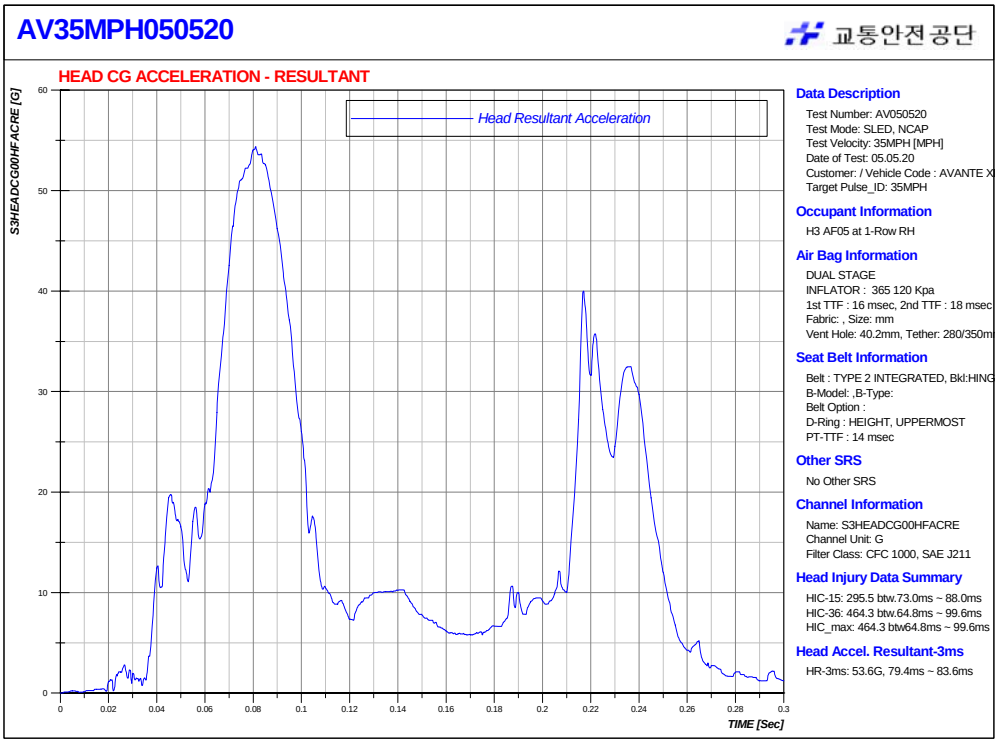
<그림 3-2-23> 운전석 CHEST



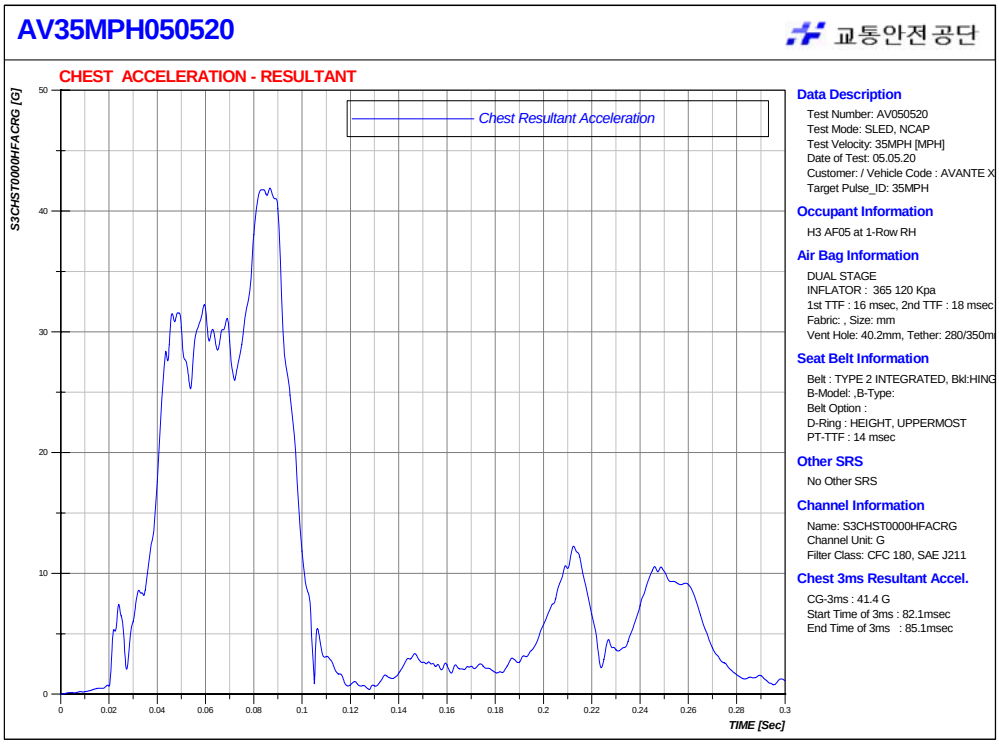
<그림 3-2-24> 운전석 NECK



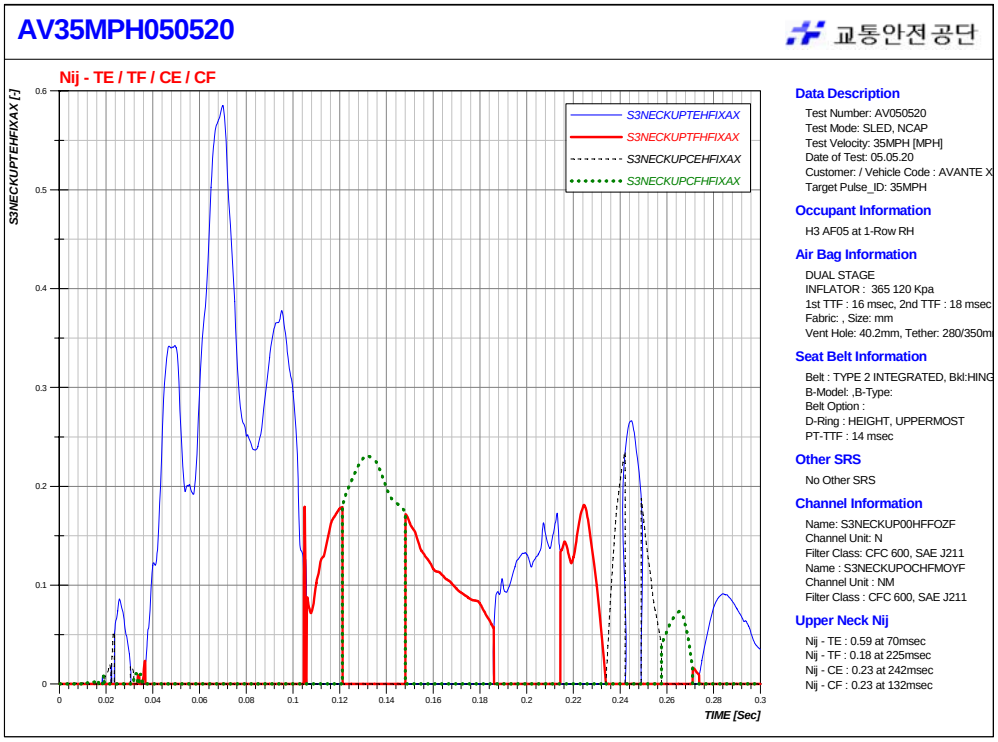
<그림 3-2-25> 운전석 FEMUR



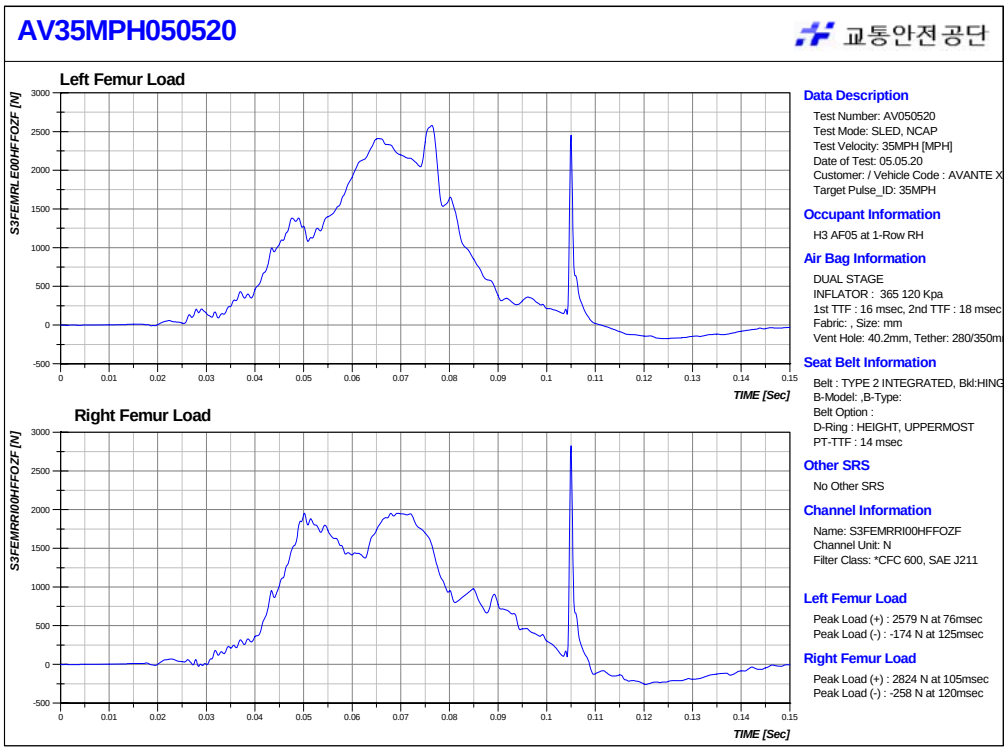
<그림 3-2-26>조수석 HEAD



<그림 3-2-27>조수석 CHEST



<그림 3-2-28> 조수석 NECK



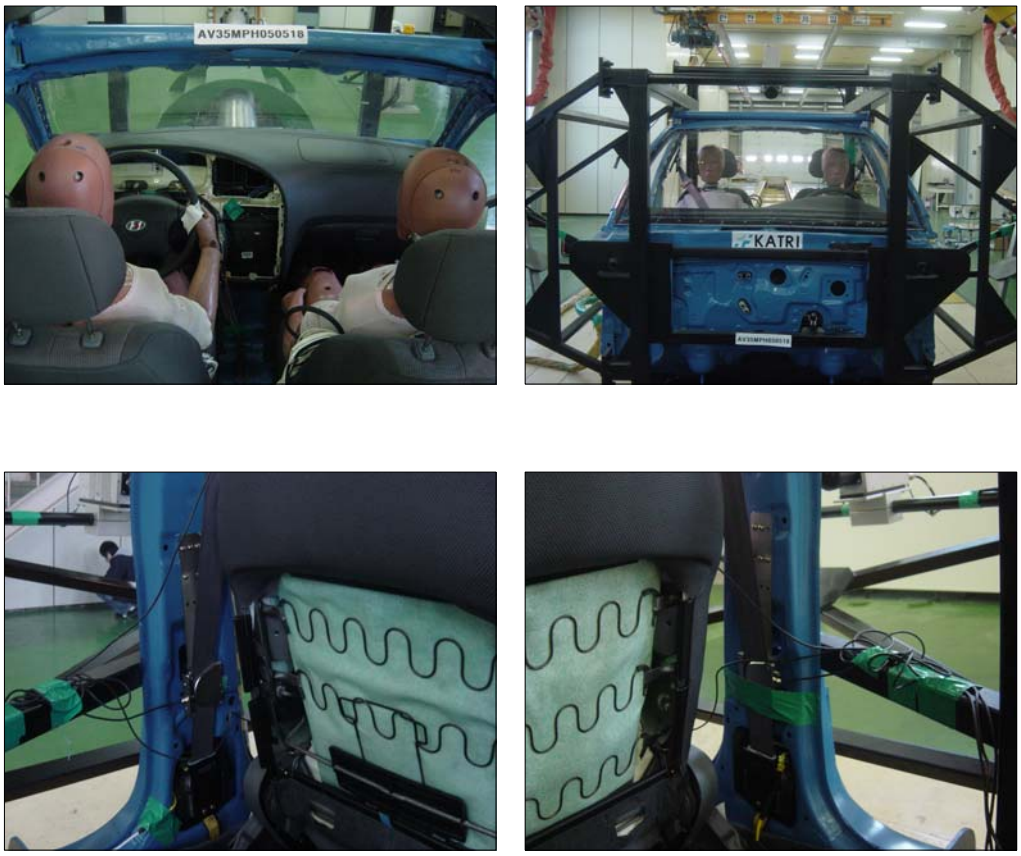
<그림 3-2-29> 조수석 FEMUR

2) 시험사진

○ AV35M050518







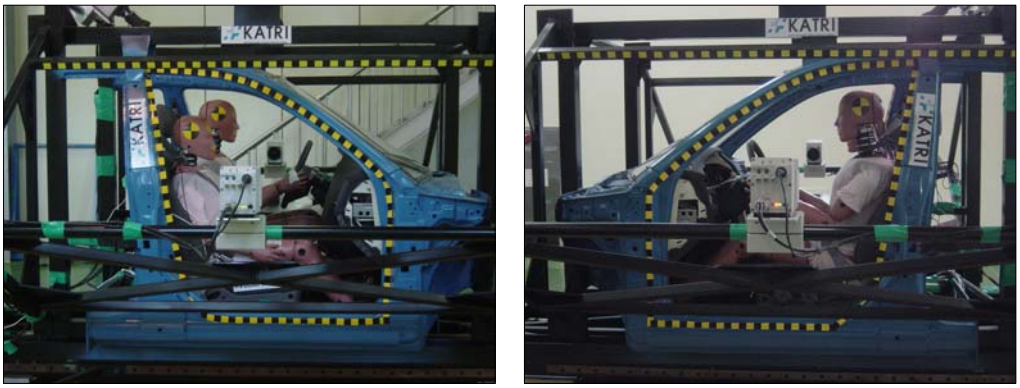
<그림 3-2-30>





<그림 3-2-31>

○ AV35M050520







<그림 3-2-32>



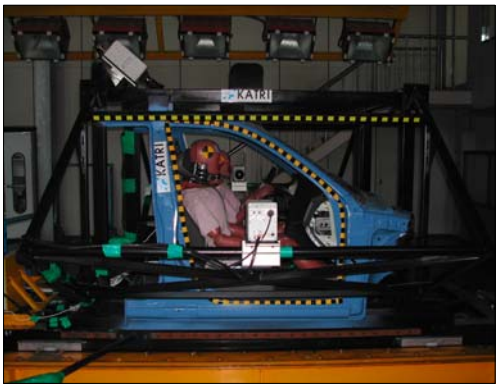


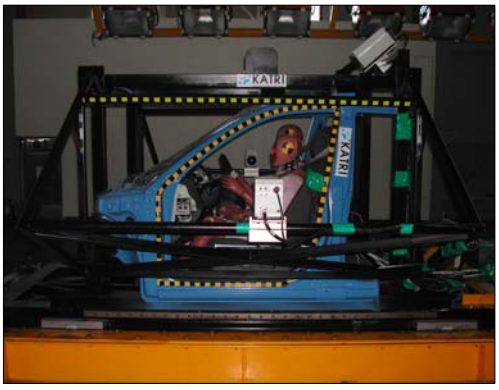





<그림 3-2-33>

○ AV35M050523







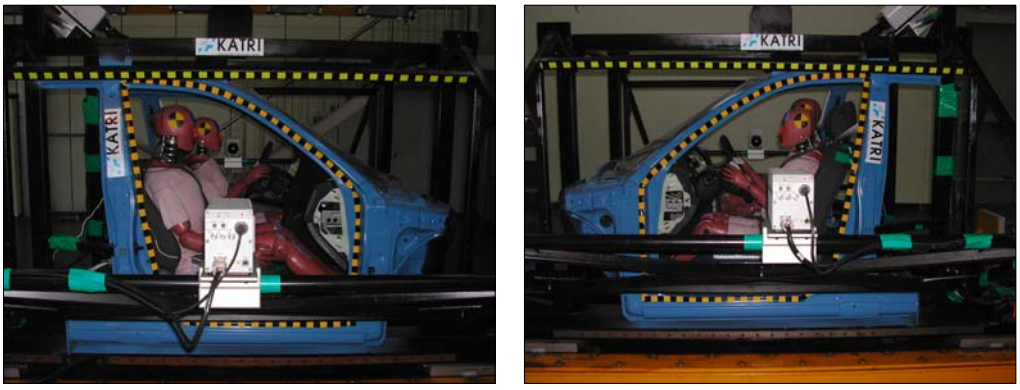
<그림 3-2-34>





<그림 3-2-35>

○ AV35M050524





<그림 3-2-36>




AV35MPH050524
AV35MPH050524
AV35MPH050524
AV35MPH050524

<그림 3-2-37>

10. 에어백 시스템 단품 성능 평가 (SLED 시험, 2차년도)

1) 대차(sled) 시험

가. 시험목적

북미 법규 대응을 위하여 충돌모의 시험연구를 통한 첨단 인공지능 에어백 독자기술 개발 위함

(1) 충돌시험과 상관성 확보

(2) 속도, 인체모형, 안전띠 유무, RTTF 등 설계변수에 따른 상해값 추정

(3) 알고리즘 설계에 활용하기 위함

나. Sled 시험조건

Test Mode	Test Condition		Remarks	시험횟수
	Dummy	Restraints		
중속	50th%ile	Unbelted	Airbag Low output 조건 1회, High output 조건 1회	3
25MPH	50th%ile	Unbelted	Airbag High output	4
	5th%ile	Unbelted	Airbag Low output	4
30MPH	50th%ile	Belted	Airbag High output	2
	5th%ile	Belted	Airbag Low output	2
35MPH	50th%ile	Belted	Airbag High output	2
	5th%ile	Belted	Airbag Low &High Output	2
합계 :				19

다. Sled 시험 세부조건

NO	TEST MODE	Test Condition		Remaks	비 고
		Dummy	Restraints		
1	35mph	50th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	AV35M050518
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
2	35mph	50th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	AV35M050520
		5th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
3	35mph	5th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	AV35M050523
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
4	35mph	5th%ile(운전석)	Belted	Airbag Low output	AV35M050524
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
5	30mph	50th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	AV30M050608
		5th%ile(조수석)	Belted	Airbag Low output	
6	30mph	50th%ile(운전석)	Belted	Airbag High output	AV30M050609
		5th%ile(조수석)	Belted	Airbag Low output	
7	30mph	5th%ile(운전석)	Belted	Airbag Low output	AV30M050610
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
8	30mph	5th%ile(운전석)	Belted	Airbag Low output	AV30M050612
		50th%ile(조수석)	Belted	Airbag High output	
9	25mph	50th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag High output	AV25M050615
10		5th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag Low output	AV25M050616
11	25mph	50th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag High output	AV25M050620
12		5th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag Low output	AV25M050621
13	25mph	5th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag Low output	AV25M050627
14		50th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag High output	AV25M050628
15	25mph	5th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag Low output	AV25M050629
16		50th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag High output	AV25M050704
17	중속	50th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag High output	AV20M050706
18		50th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag High output	AV20M050708
19	중속	50th%ile(운전석)	Unbelted	Airbag Low output	AV20M050711
		50th%ile(조수석)	Unbelted	Airbag Low output	

2) 시험장치

(1) 발사장치, 데이터 Acquisition system, 디지털고속카메라

(2) 센　　서 : 가속도계, Neck Load Cell , Seat belt Displacement

(3) 인체모형 : Hybrid Ⅲ 50%ile Male & 5%ile Female

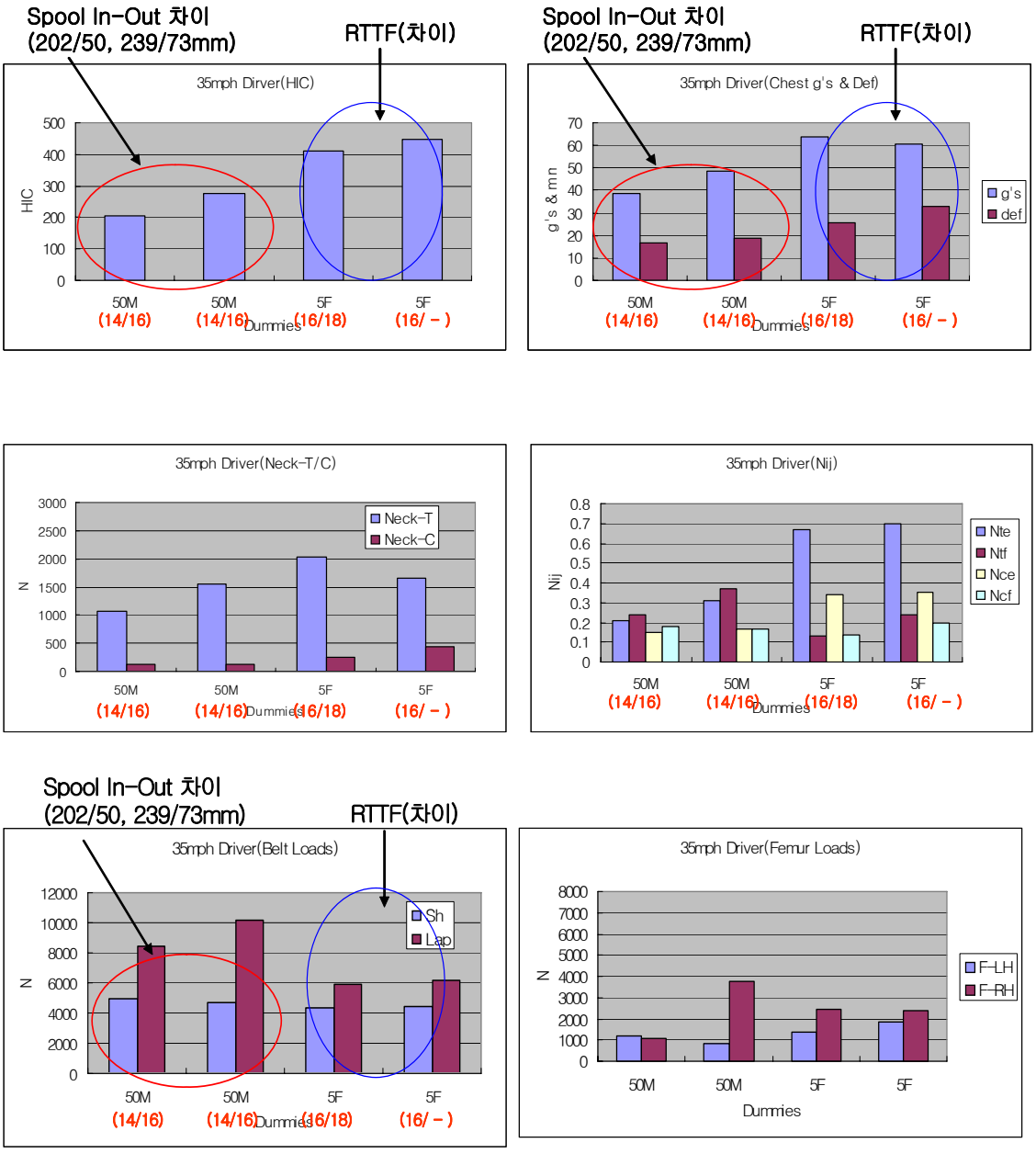
3) 시험데이터 분석

가. 35mph Sled Test

(1) 운전석(50%ile M)은 상해치 기준은 만족하나 Spool In-Out량에 따라 상해값의 차이가 있음

(2) 운전석(5%ile F)은 Chest g 값이 기준을 초과하며, Nte 상대적으로 높으며

(0.7), RTTF에 따라 상해값의 차이가 있음

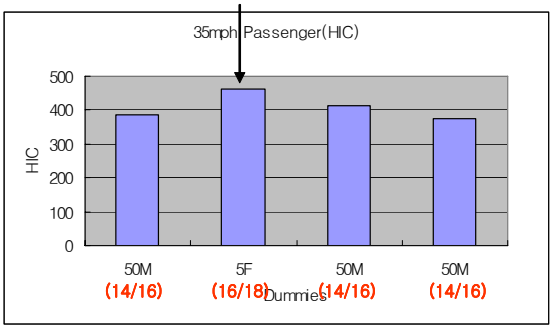


나. 35mph Sled Test

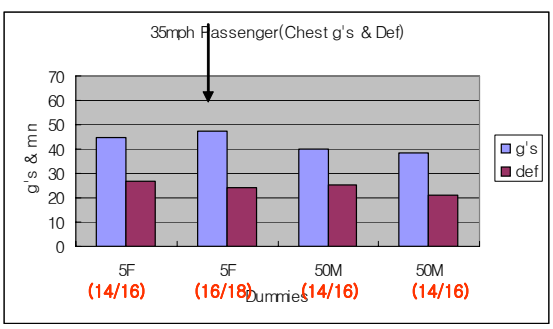
(1) 조수석(50%ile M)는 상해치 기준은 만족하나 Spool In-Out의 차이(105/269, NA, 84/136mm)에 따라 Belt Loads의 차이가 발생함

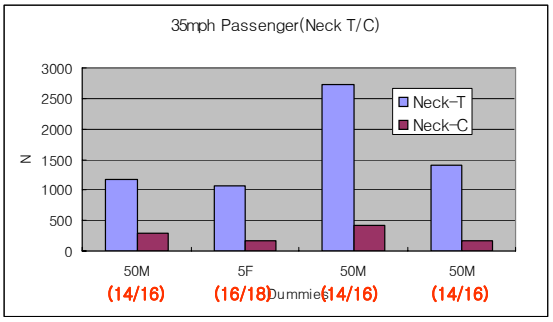
(2) 조수석(5%ile F)는 상해기준을 만족함

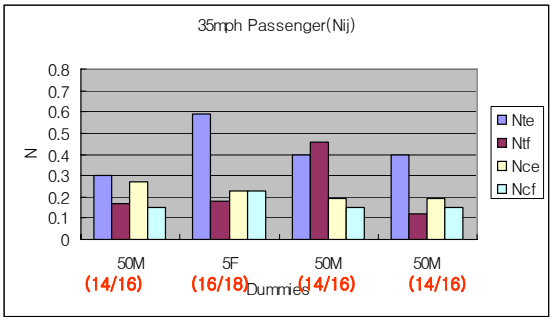
Dummy & RTTF(차이)



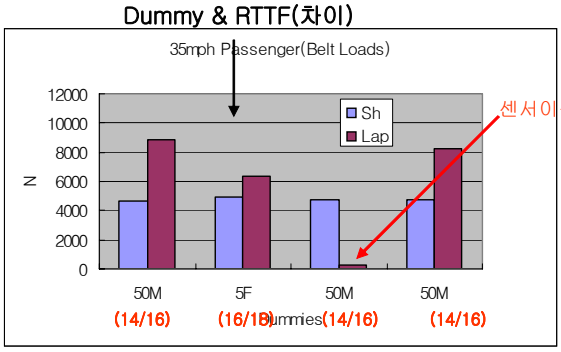
Dummy & RTTF(차이)

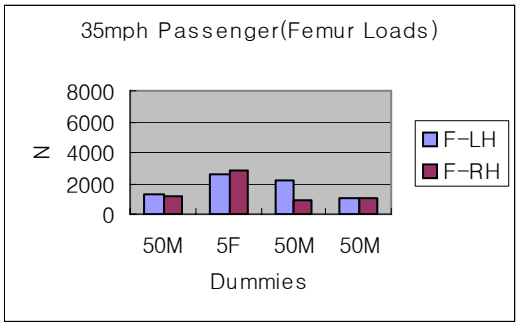


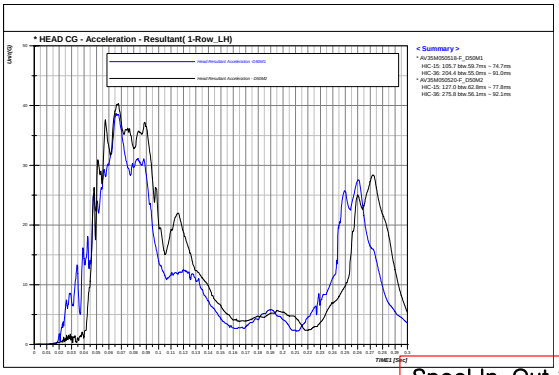


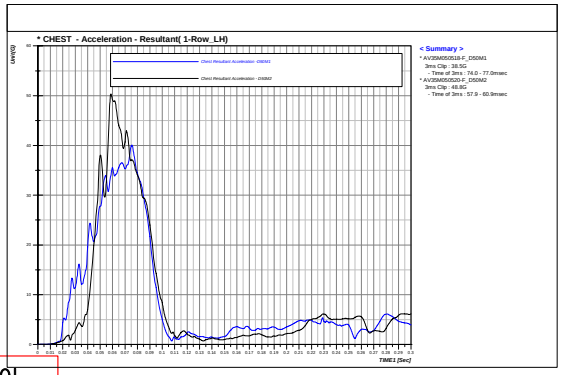


Dummy & RTTF(차이)

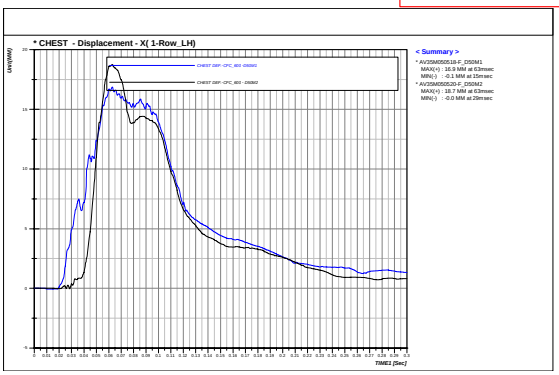


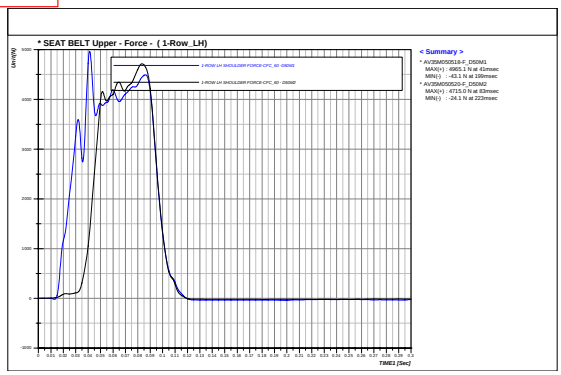




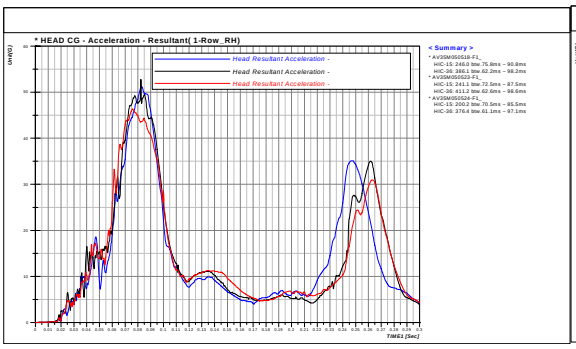


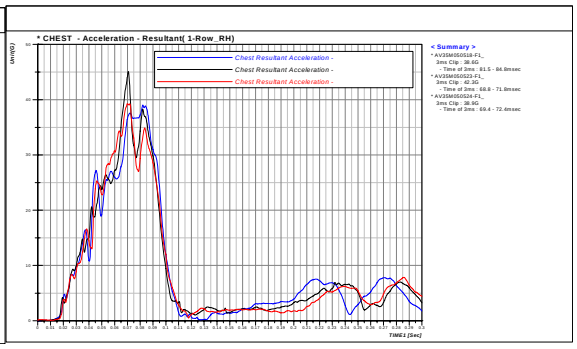
Spool In-Out 차이
(202/50, 239/73mm)



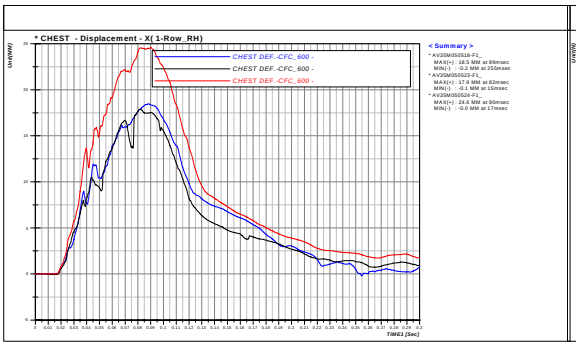


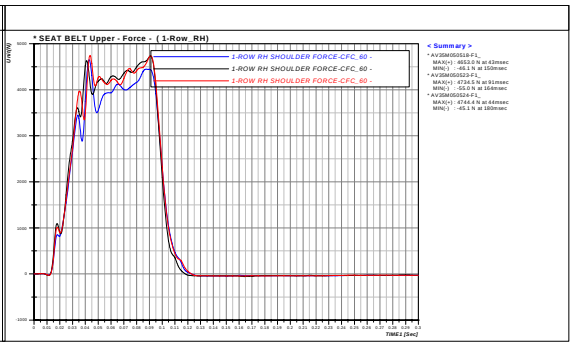
35mph Driver 50th M



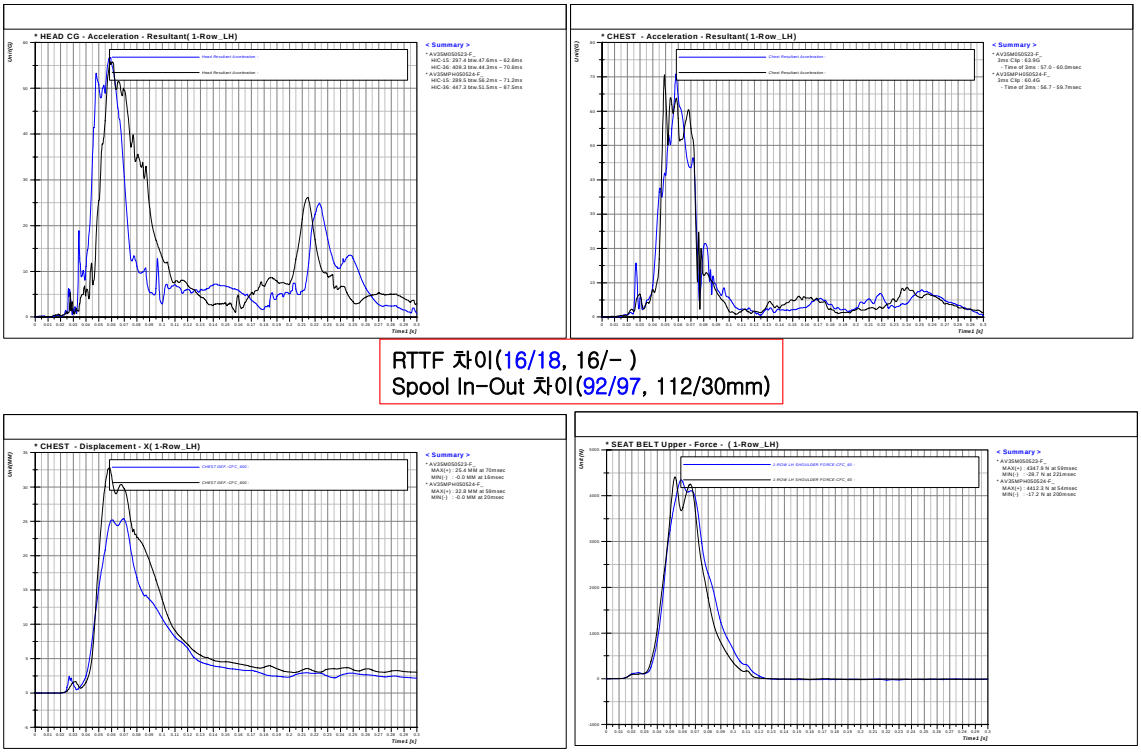


Spool In-Out 차이(105/269, NA, 84/136mm)





35mph Passenger 50th M

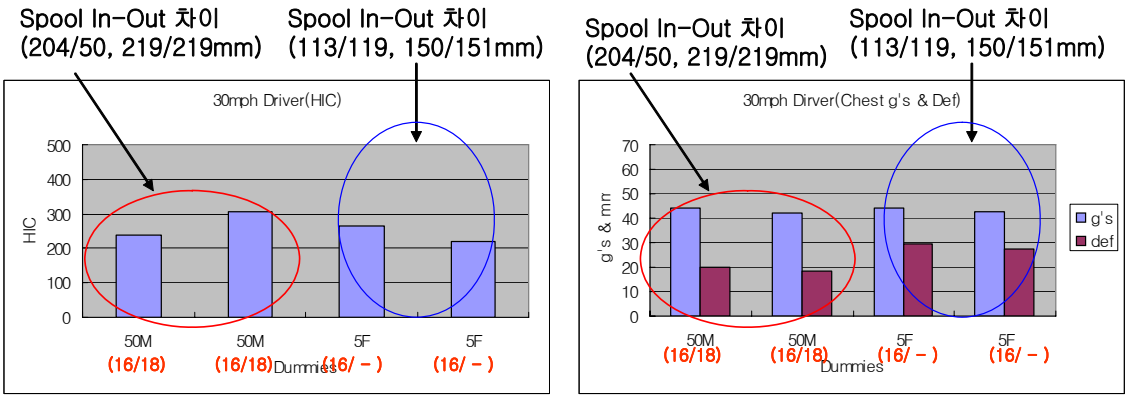


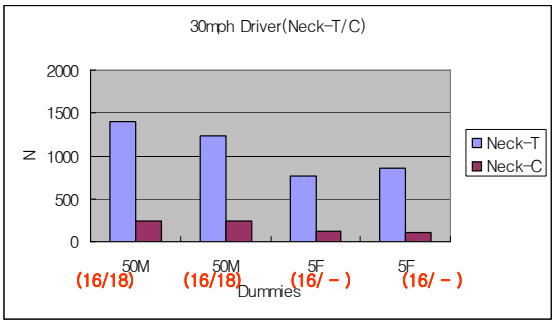
35mph Driver 5th F

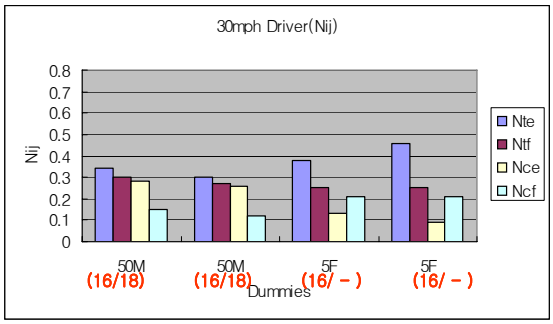
다. 30mph Sled Test

(1) 운전석(50%ile M)은 상해기준을 만족함. Spool In-Out량에 따라 HIC 차이가 나타남

(2) 운전석(5%ile F)은 상해기준을 만족함. RTTF 동일 조건에서 Spool In-Out 차이(113/119, 150/151mm)에도 거의 유사한 결과임

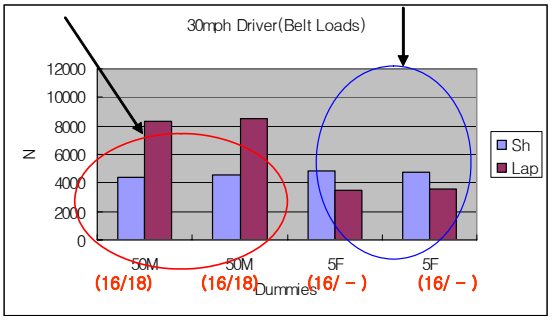


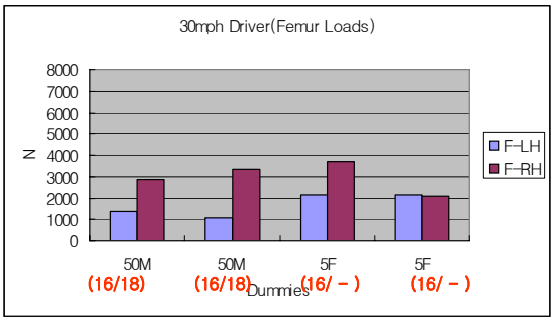




Spool In-Out 차이 (204/50, 219/219mm)

Spool In-Out 차이 (113/119, 150/151mm)





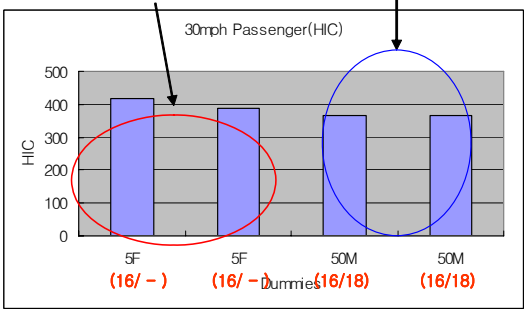
라. 30mph Sled Test

(1) 조수석(5%ile F)은 상해기준을 만족함. Spool In-Out량에 따라 큰 차이 없음

(2) 조수석(50%ile M)은 상해기준을 만족함. Spool In-Out량에 따라 큰 차이 없음

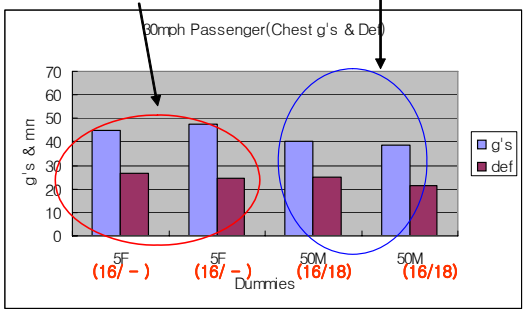
Spool In-Out 차이 (113/119, 150/151mm)

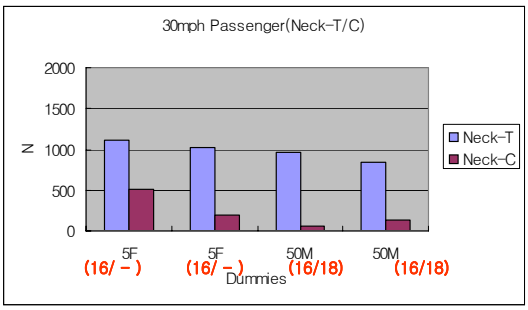
Spool In-Out 차이 (73/213, 115/188mm)

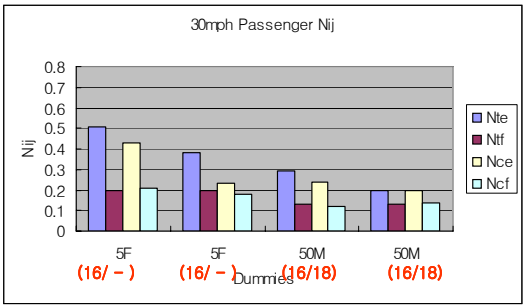


Spool In-Out 차이 (113/119, 150/151mm)

Spool In-Out 차이 (73/213, 115/188mm)

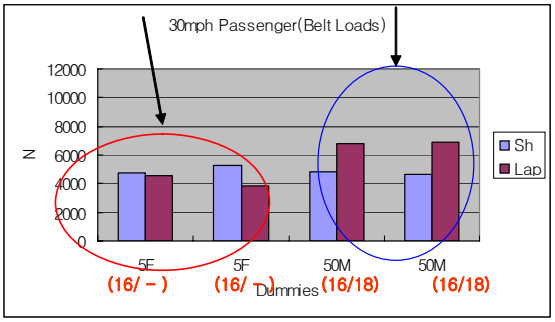


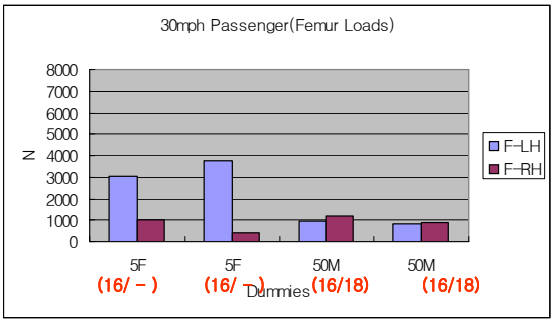


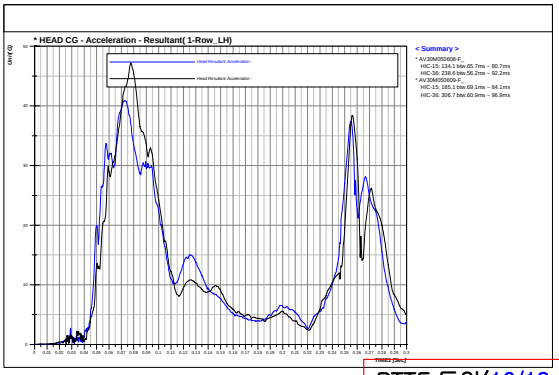


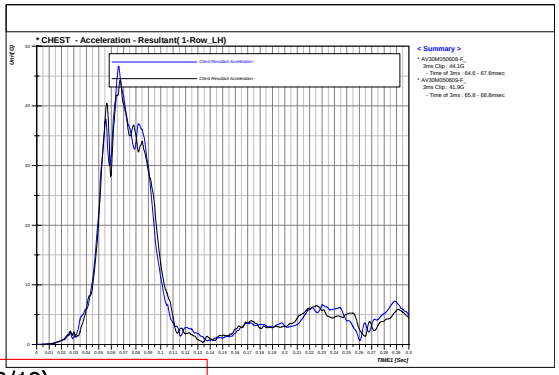
Spool In-Out 차이
(113/119, 150/151mm)

Spool In-Out 차이
(73/213, 115/188mm)

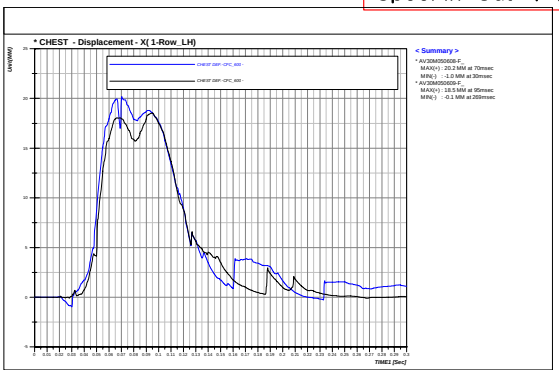


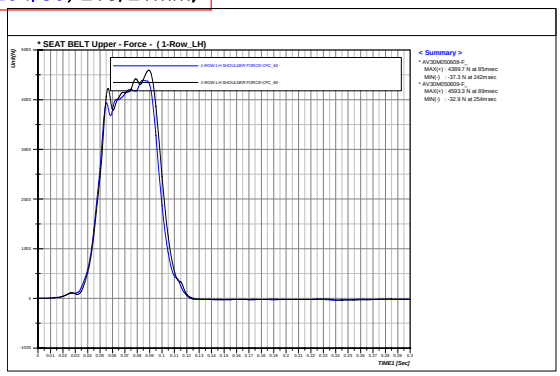




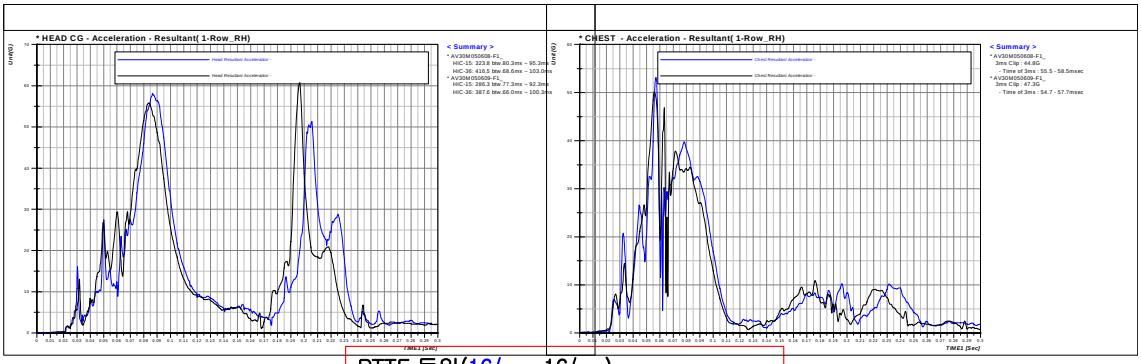


RTTF 동일(16/18, 16/18)
Spool In-Out 차이(204/50, 219/21mm)

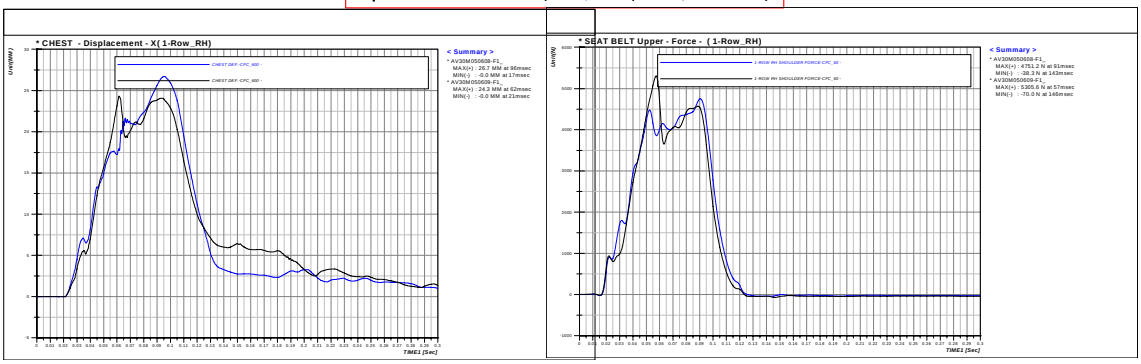




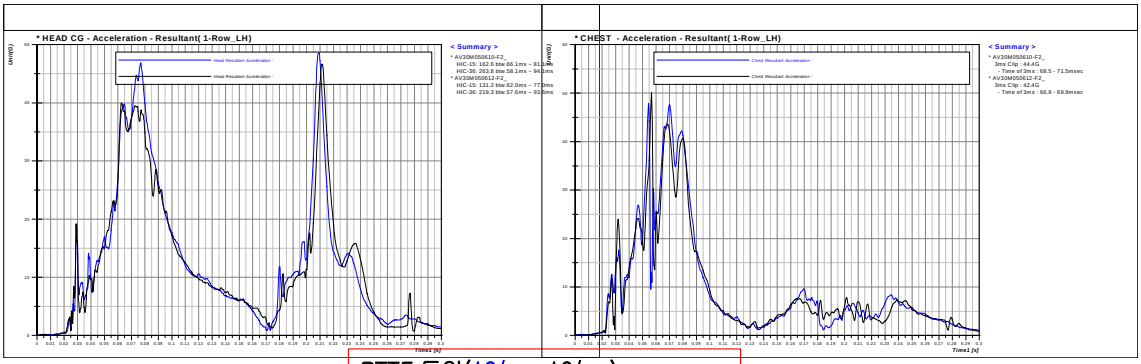
30mph Driver 50th M



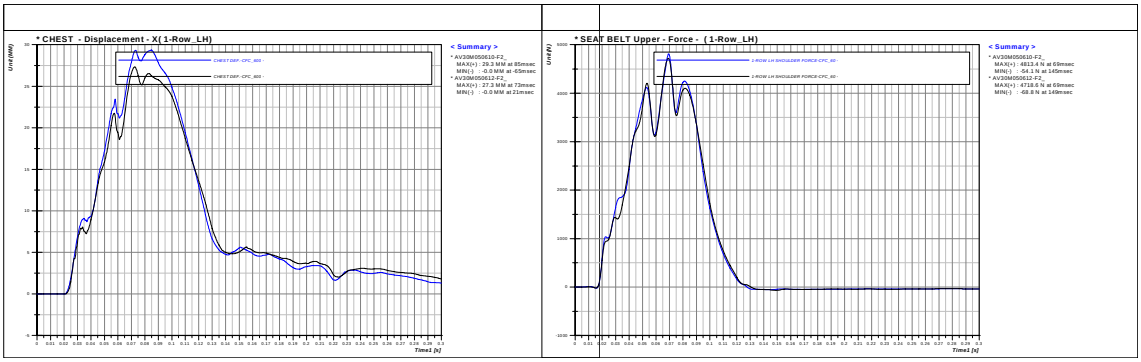
RTTF 동일(16/ – , 16/ –)
Spool In-Out 차이(113/119, 150/151mm)



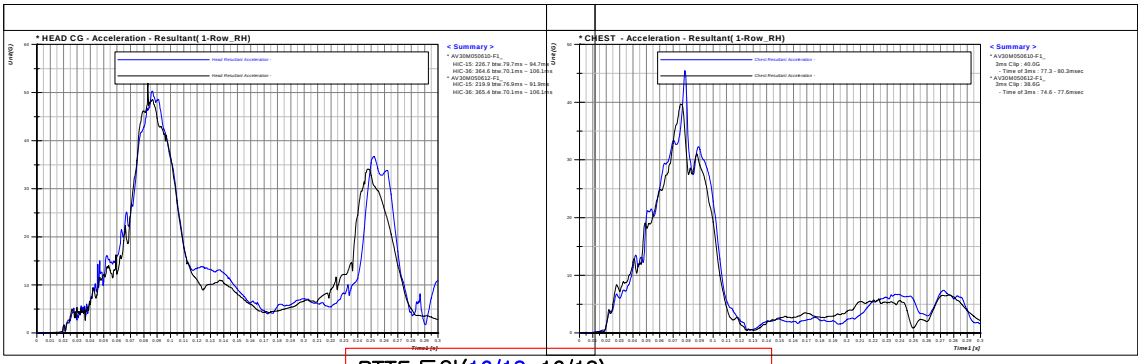
30mph Passenger 5th F



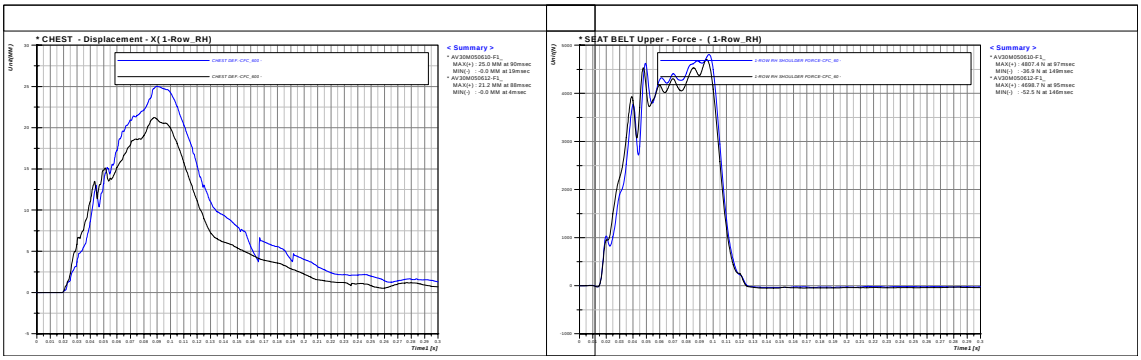
RTTF 동일(16/ – , 16/ –)
Spool In-Out 동일(1/158, 1/152mm)



30mph Driver 5th F



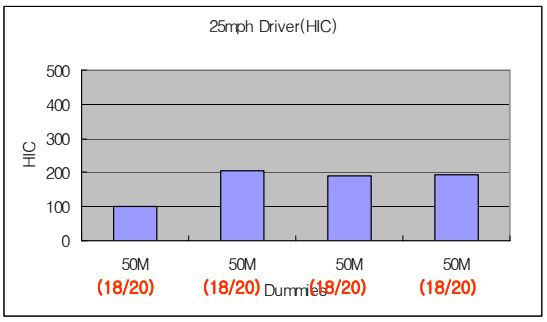
RTTF 동일(16/18, 16/18)
Spool In-Out 차이(73/213, 115/188mm)

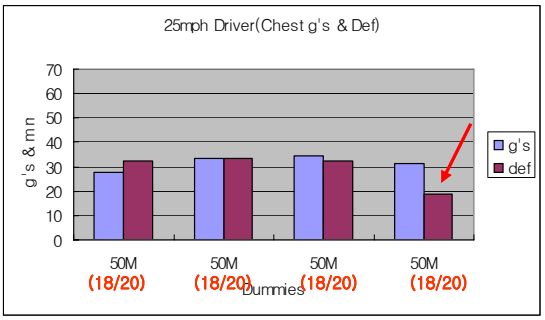


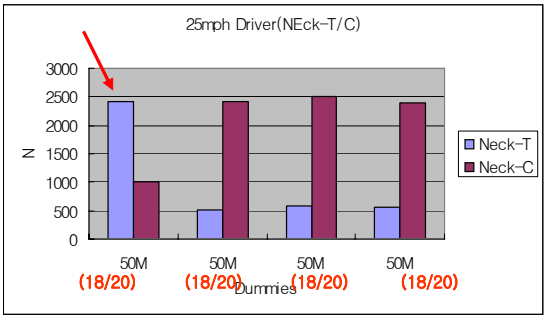
30mph Passenger 50th M

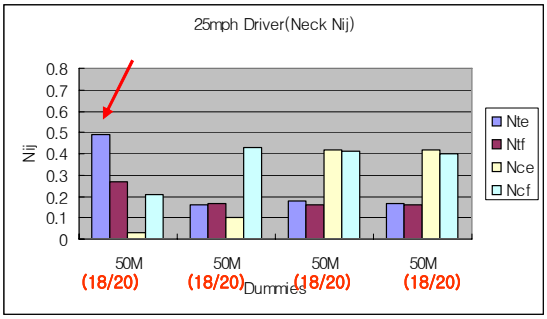
마. 25mph Sled Test(No Belt), 동일조건

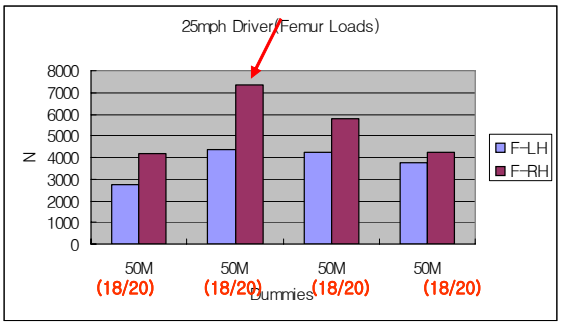
(1) 운전석(50%ile M)은 상해기준을 만족하나 Chest-def, Neck-T/C 및 Femur Loads 차이가 있음





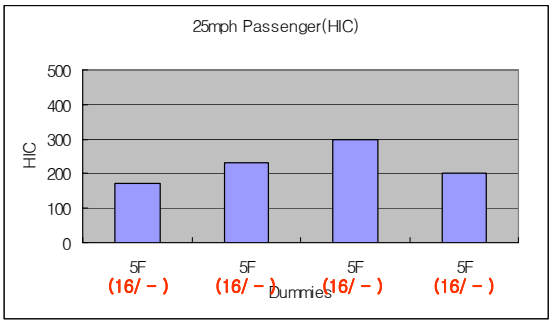


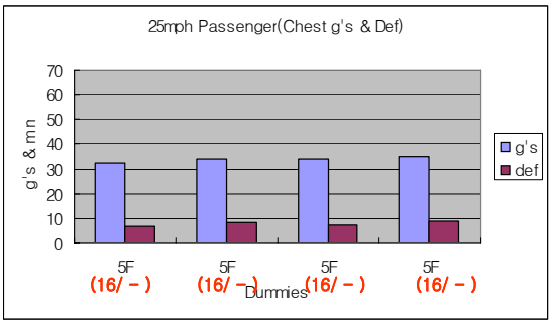


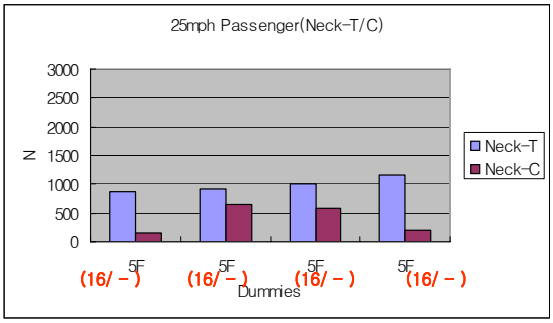


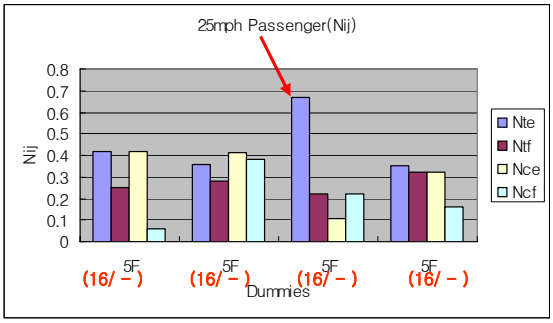
바. 25mph Sled Test(No Belt) 동일조건

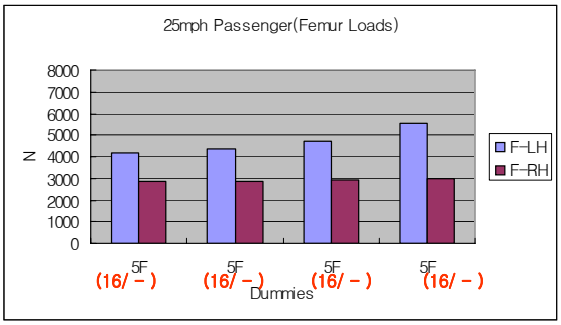
(1) 조수석(50%ile M)은 상해기준 만족하며, Nte 값은 차이가 있으나 다른 상해값은 유사함

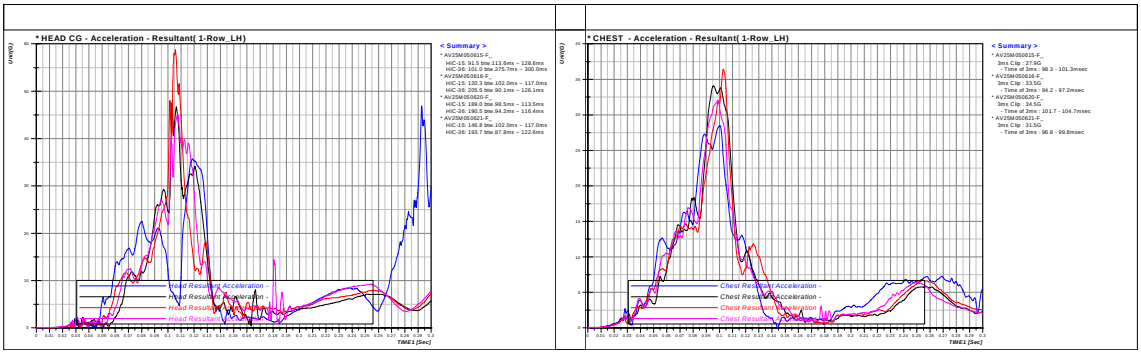

25mph Passenger(HIC)
HIC
500
400
300
200
100
0
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
Dummies


25mph Passenger(Chest g's & Def)
g's & mm
70
60
50
40
30
20
10
0
g's
def
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
Dummies

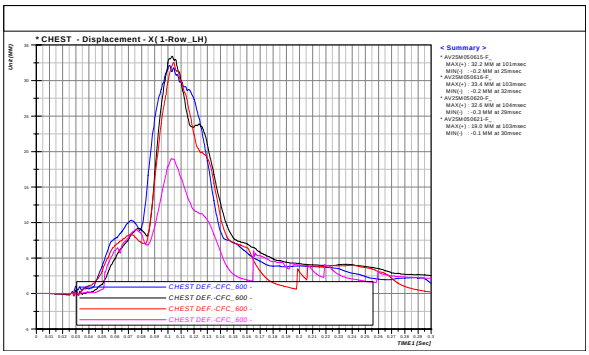

25mph Passenger(Neck-T/C)
N
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Neck-T
Neck-C
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
Dummies


25mph Passenger(Nij)
Nij
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Nte
Ntf
Nce
Ncf
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
Dummies

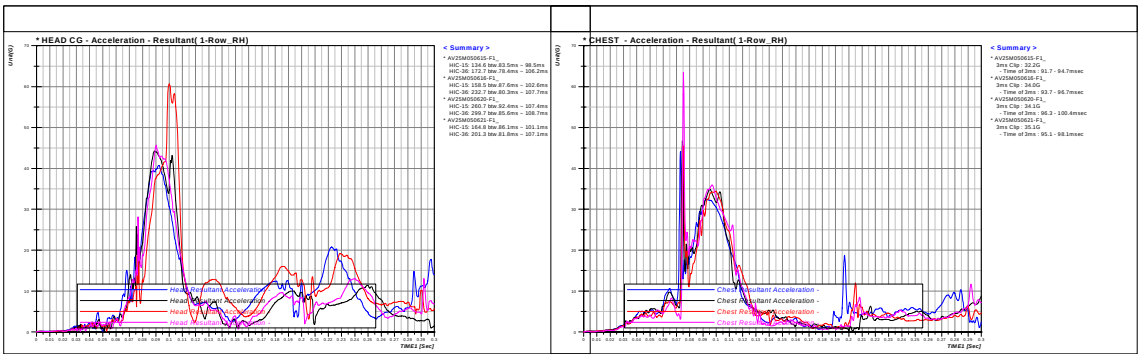

25mph Passenger(Femur Loads)
N
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
F-LH
F-RH
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
5F (16/ -)
Dummies



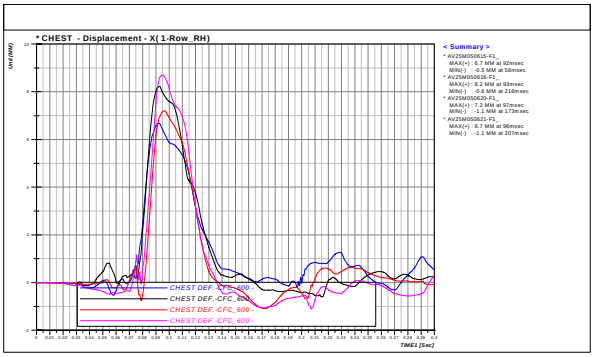
동일 조건



25mph Driver 50th M



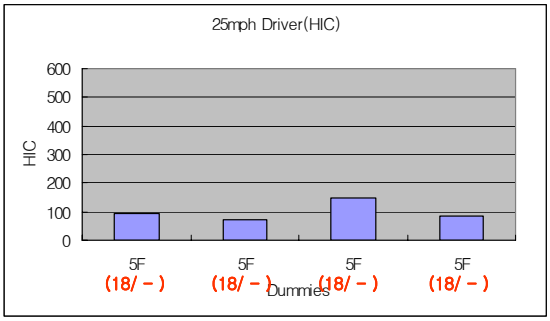
동일 조건

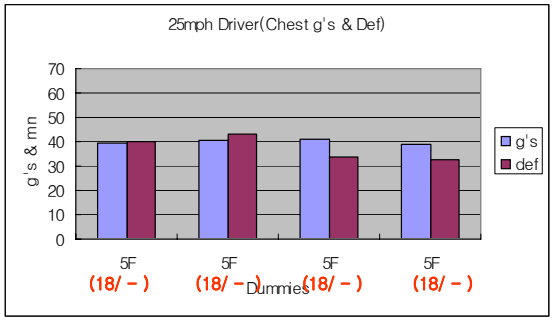


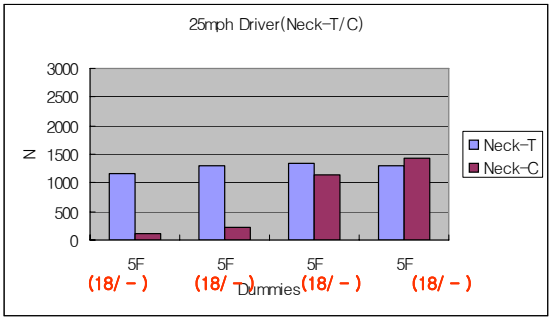
25mph Passenger 5th F

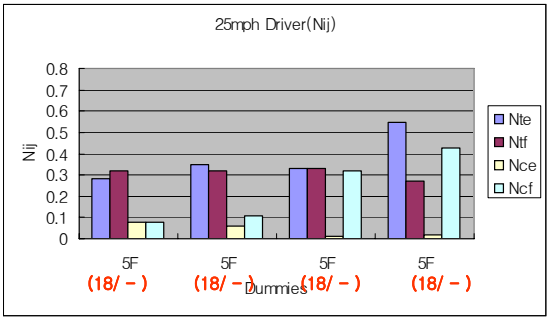
사. 25mph Sled Test (No Belt), 동일조건

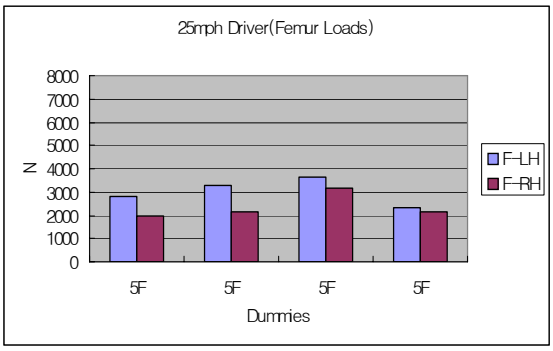
(1) 운전석(5%ile F)은 상해기준을 만족하며 유사한 결과





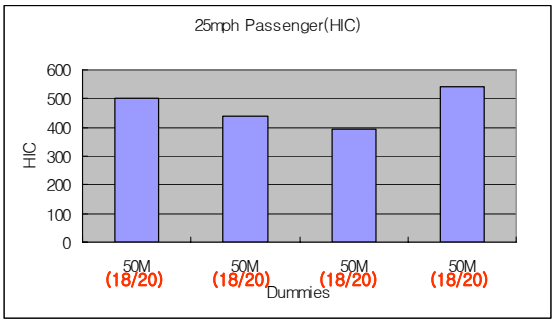


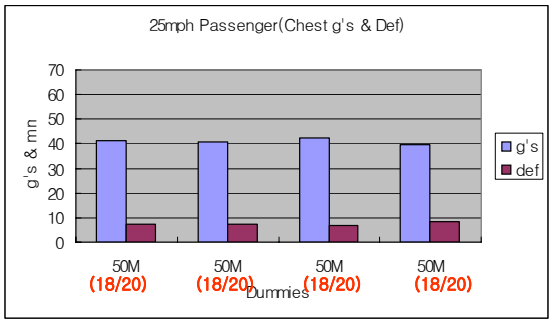


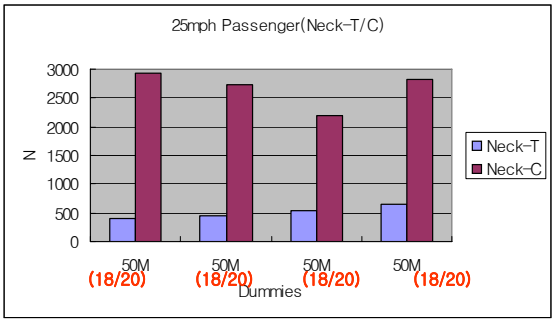


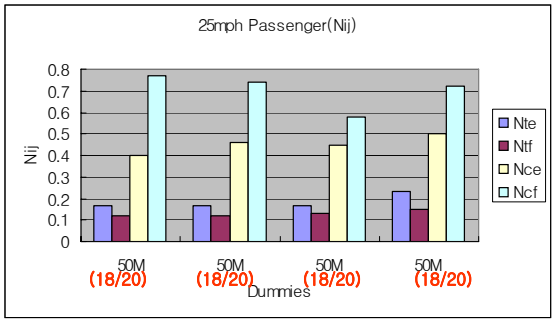
아. 25mph Sled Test (No Belt), 동일조건

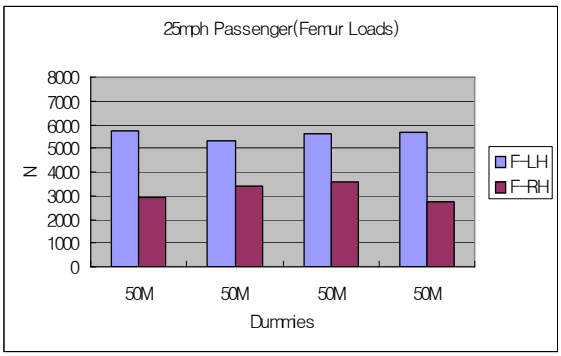
(1) 조수석(50%ile M)은 상해치 기준을 만족하며 거의 유사한 결과를 보임

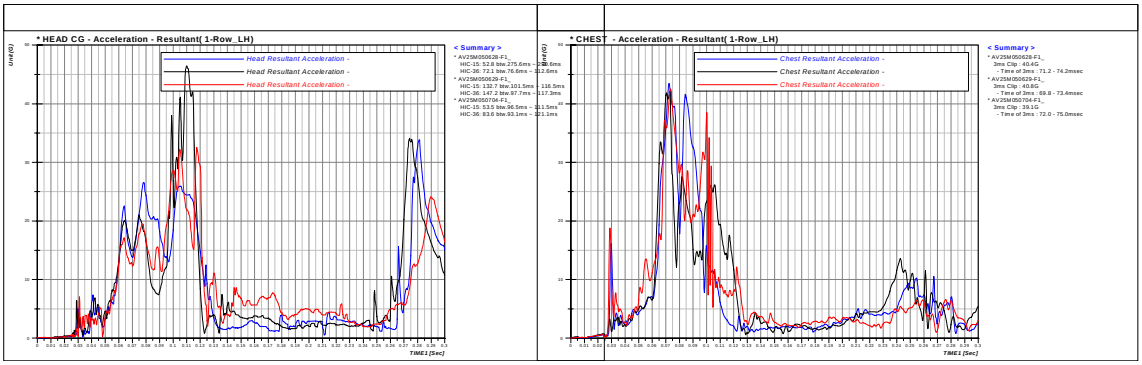

25mph Passenger(HIC)
HIC
600
500
400
300
200
100
0
50M (18/20)
50M (18/20)
50M (18/20)
50M (18/20)
Dummies


25mph Passenger(Chest g's & Def)
g's & mm
70
60
50
40
30
20
10
0
g's
def
50M (18/20)
50M (18/20)
50M (18/20)
50M (18/20)
Dummies

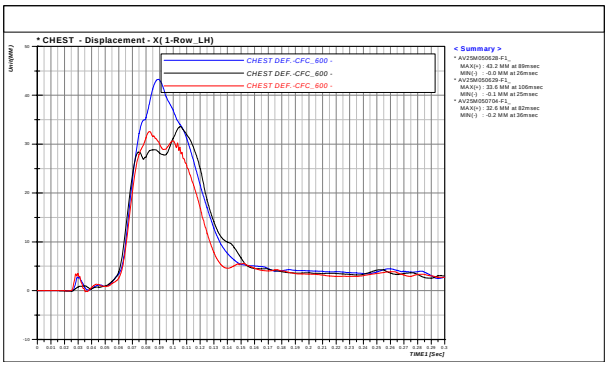

25mph Passenger(Neck-T/C)
N
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Neck-T
Neck-C
50M (18/20)
50M (18/20)
50M (18/20)
50M (18/20)
Dummies


25mph Passenger(Nij)
Nij
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Nte
Ntf
Nce
Ncf
50M (18/20)
50M (18/20)
50M (18/20)
50M (18/20)
Dummies

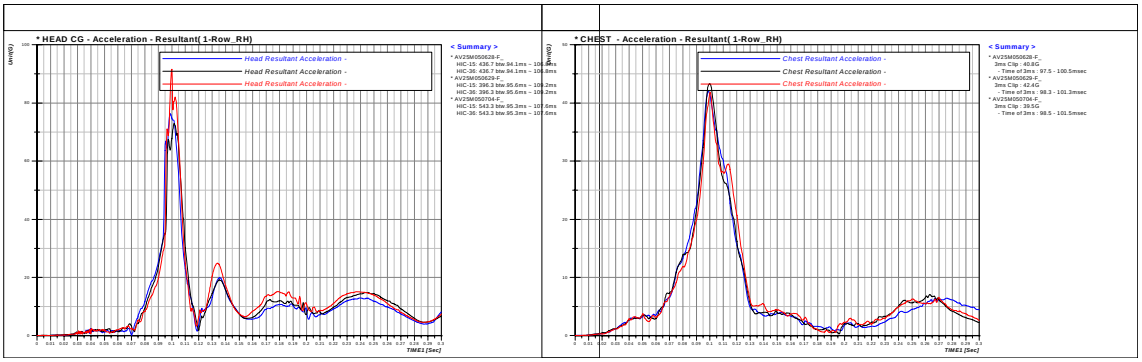

25mph Passenger(Femur Loads)
N
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
F-LH
F-RH
50M
50M
50M
50M
Dummies



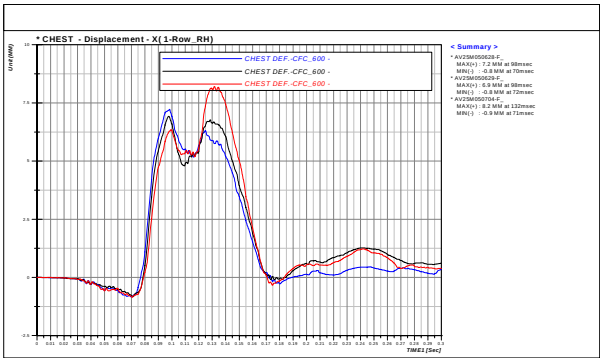
동일 조건



25mph Driver 5th F

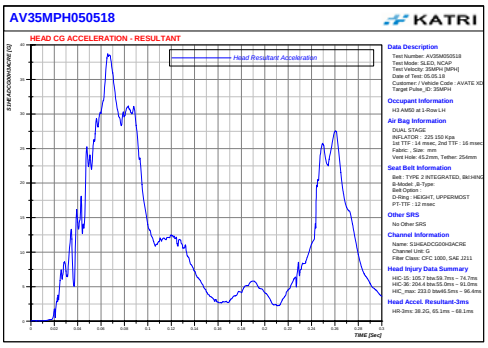


동일 조건

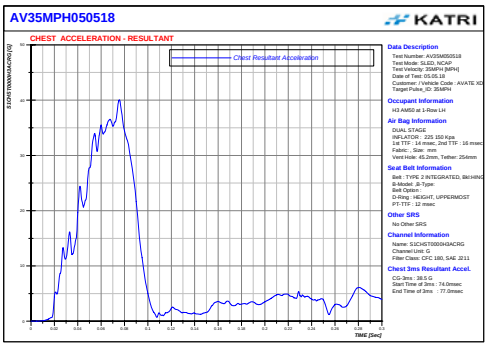


25mph Passenger 50th M

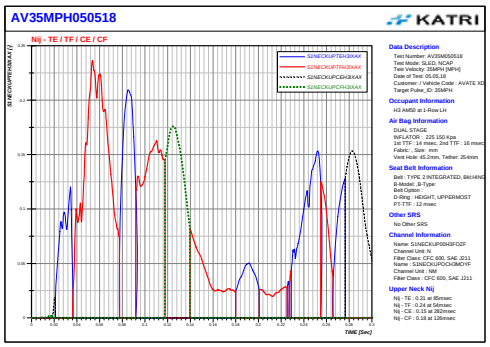
4) 시험 그래프 ○ TEST NO : AV35M050518



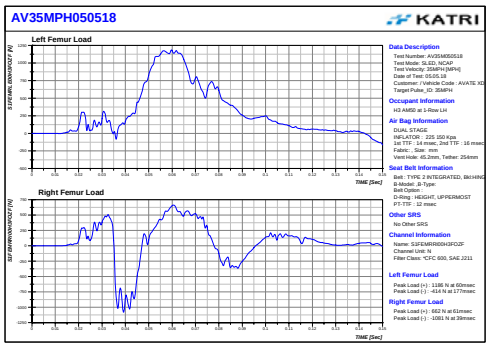
35mph 운전석 HEAD



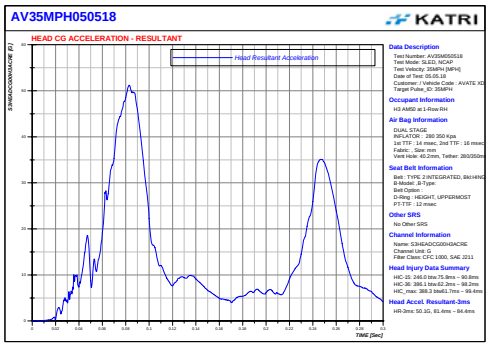
35mph 운전석 CHEST



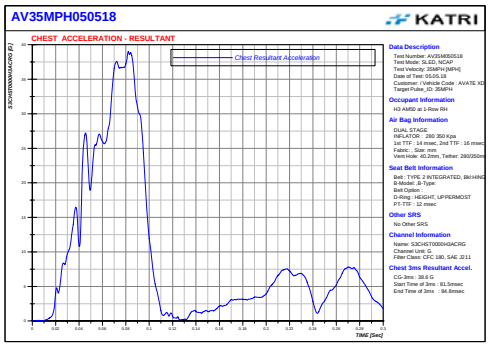
35mph 운전석 NECK



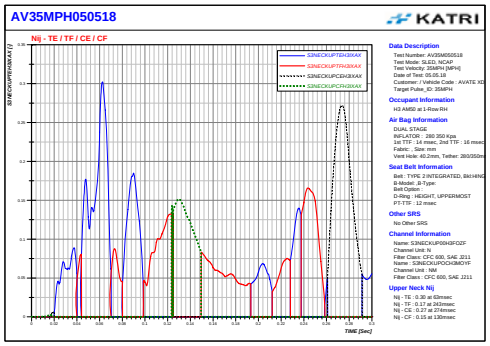
35mph 운전석 FEMUR



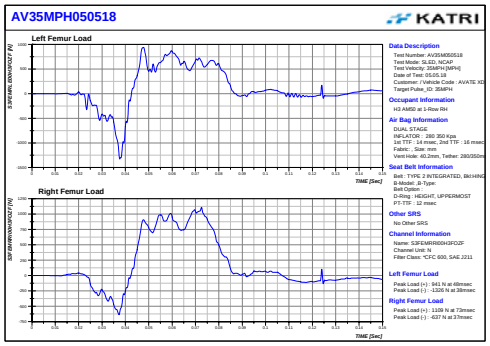
35mph 조수석 HEAD



35mph 조수석 CHEST

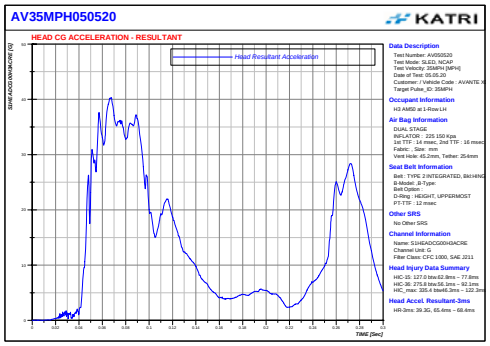


35mph 조수석 NECK

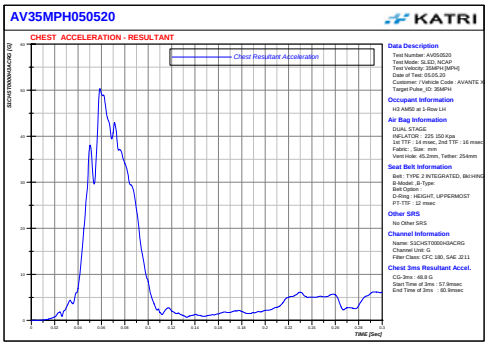


35mph 조수석 FEMUR

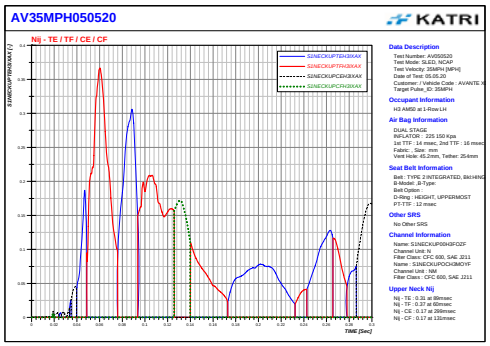
○ TEST NO : AV35M050520



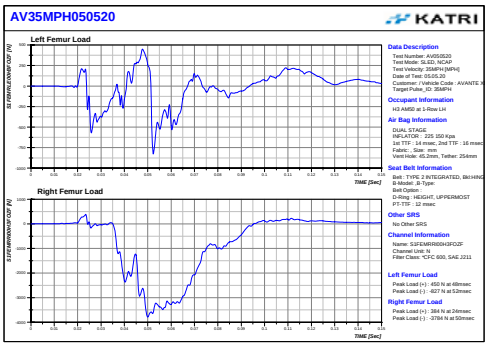
35mph 운전석 HEAD



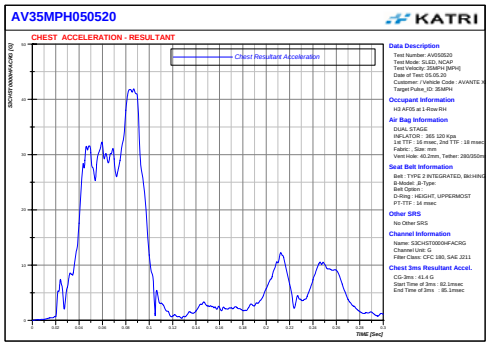
35mph 운전석 CHEST



35mph 운전석 NECK

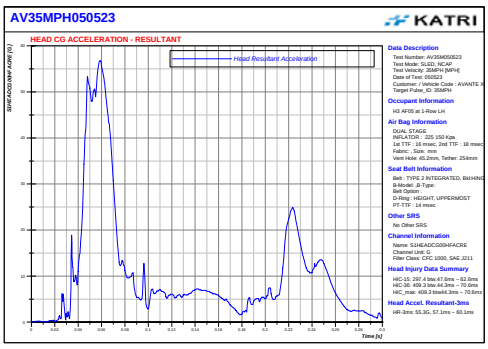


35mph 운전석 FEMUR

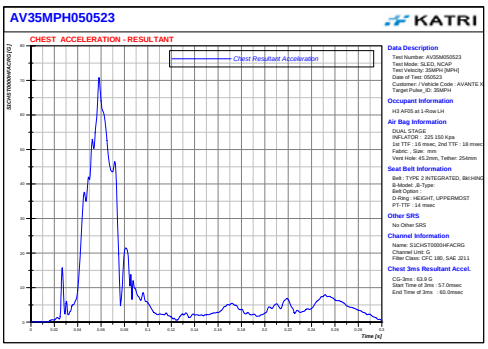


35mph 조수석 CHEST

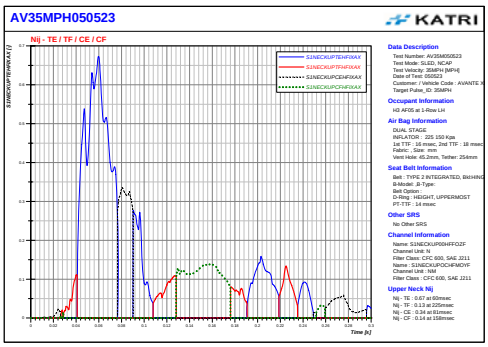
○ TEST NO : AV35M050523



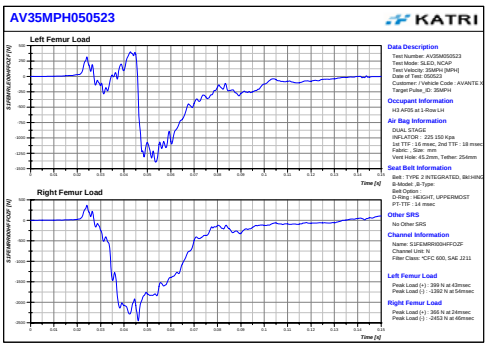
35mph 운전석 HEAD



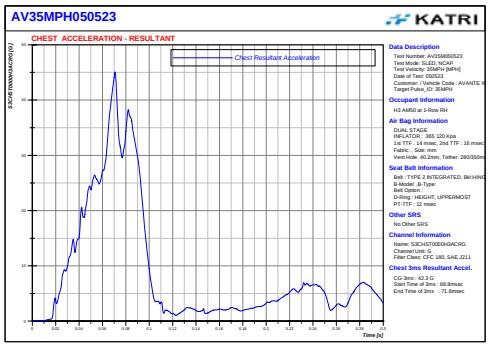
35mph 운전석 CHEST



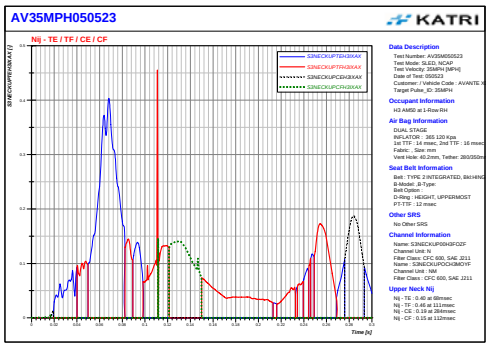
35mph 운전석 NECK



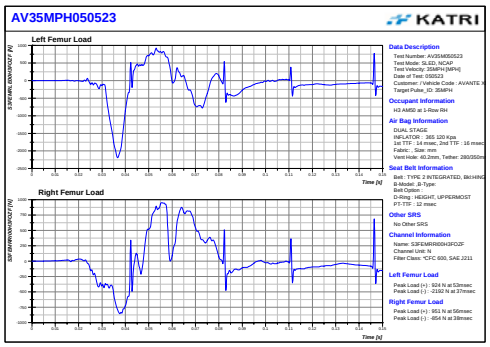
35mph 운전석 FEMUR



35mph 조수석 CHEST

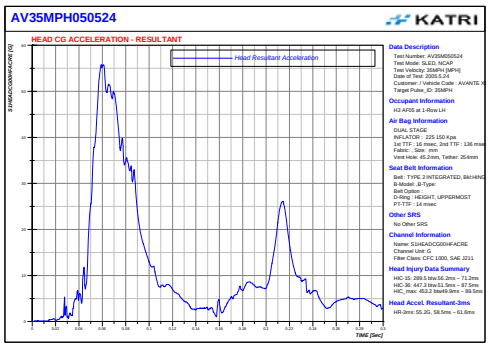


35mph 조수석 NECK

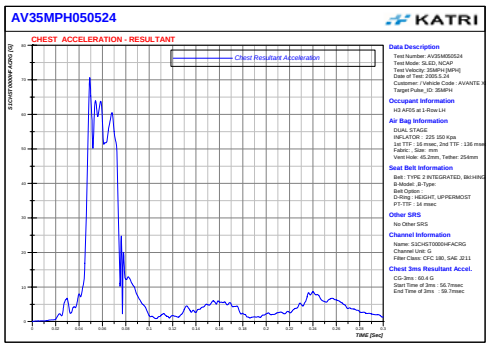


35mph 조수석 FEMUR

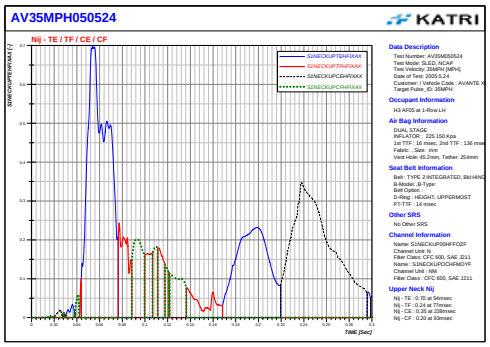
○ TEST NO : AV35M050524



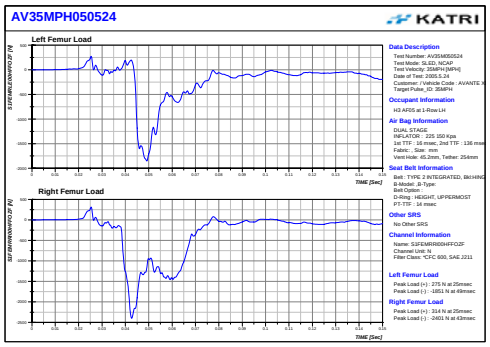
35mph 운전석 HEAD



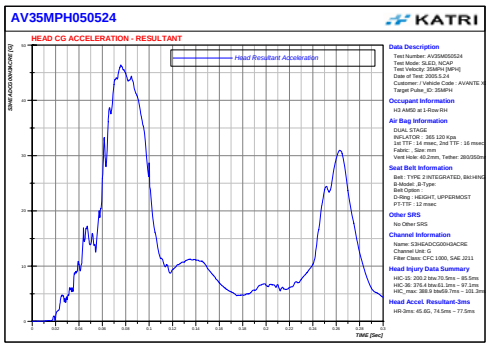
35mph 운전석 CHEST



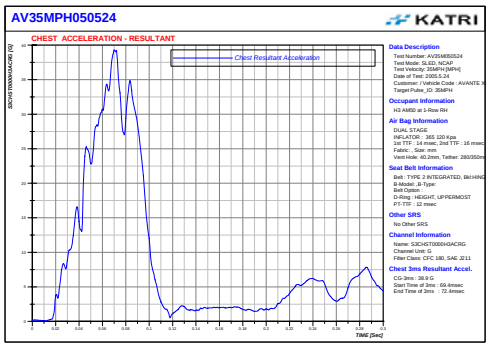
35mph 운전석 NECK



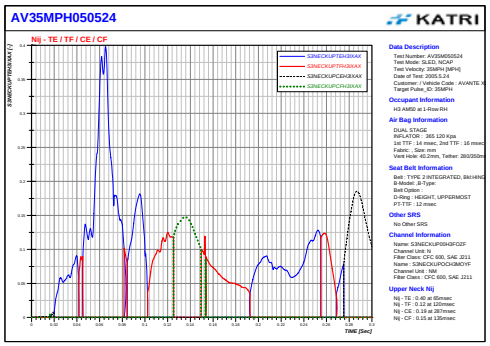
35mph 운전석 FEMUR



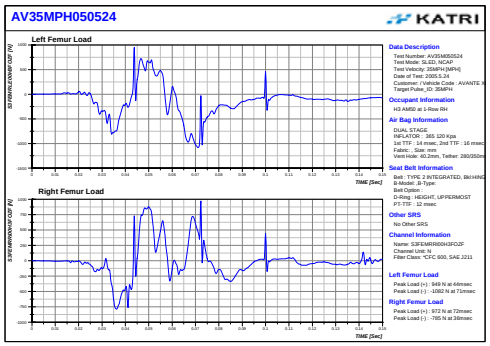
35mph 조수석 HEAD



35mph 조수석 CHEST

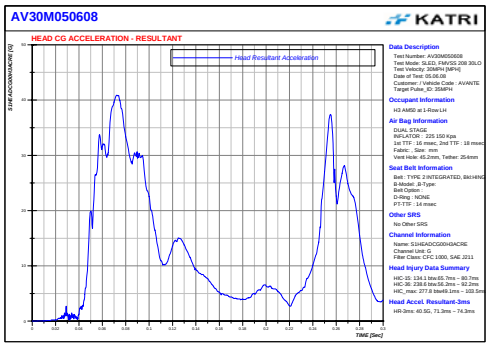


35mph 조수석 NECK

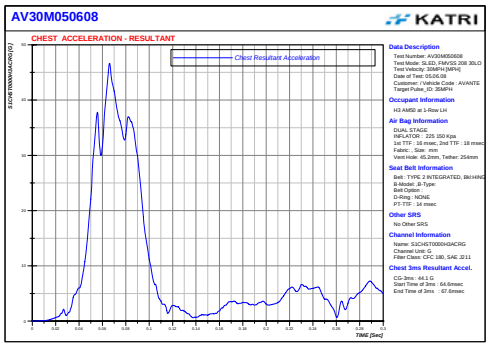


35mph 조수석 FEMUR

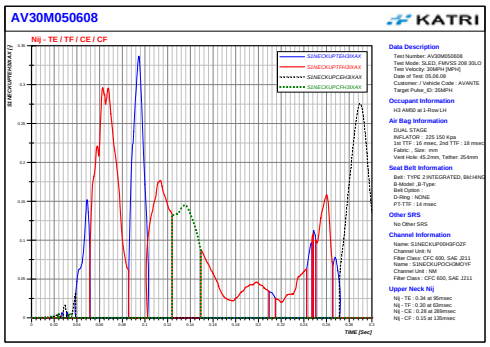
○ TEST NO : AV35M050608



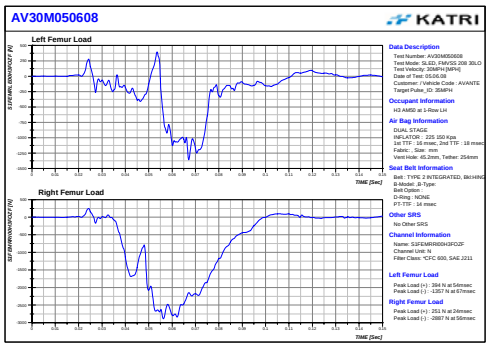
30mph 운전석 HEAD



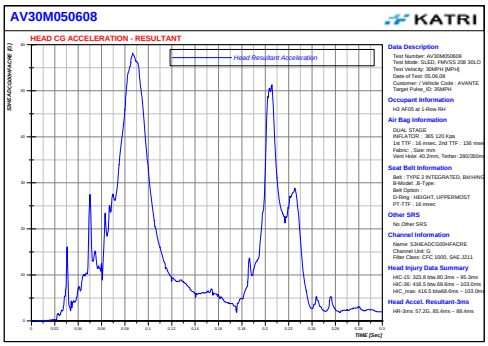
30mph 운전석 CHEST



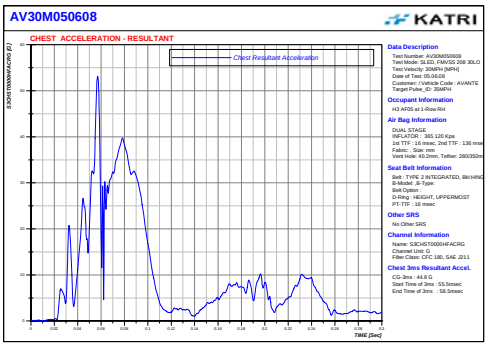
30mph 운전석 NECK



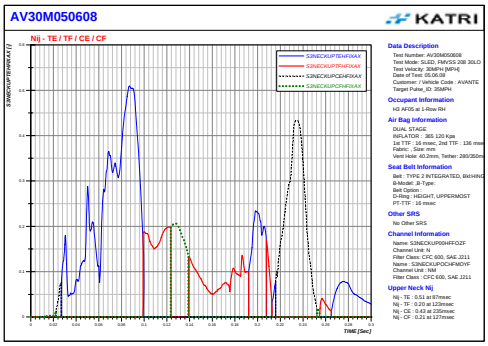
30mph 운전석 FEMUR



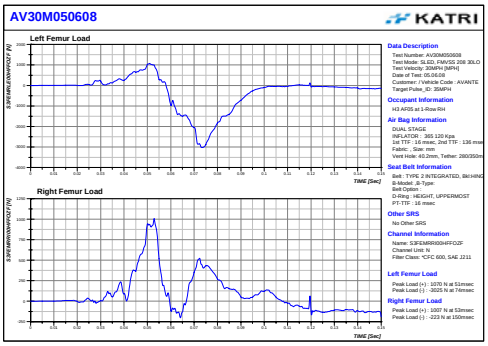
30mph 조수석 HEAD



30mph 조수석 CHEST

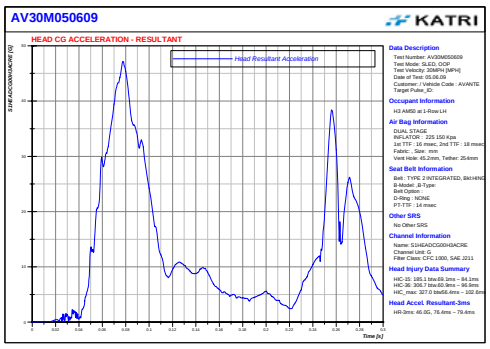


30mph 조수석 NECK

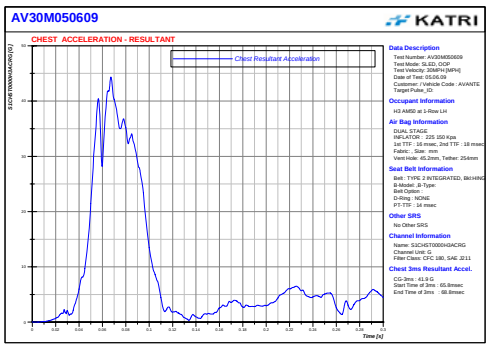


30mph 조수석 FEMUR

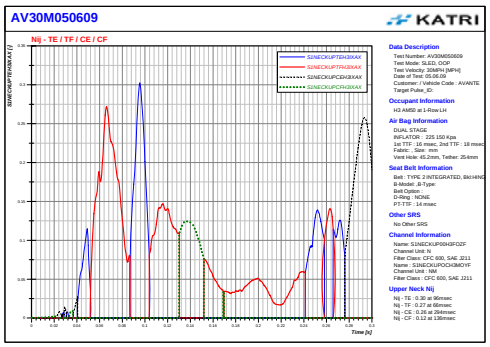
○ TEST NO : AV35M050609



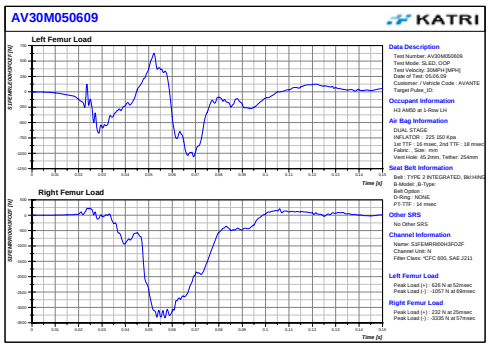
30mph 운전석 HEAD



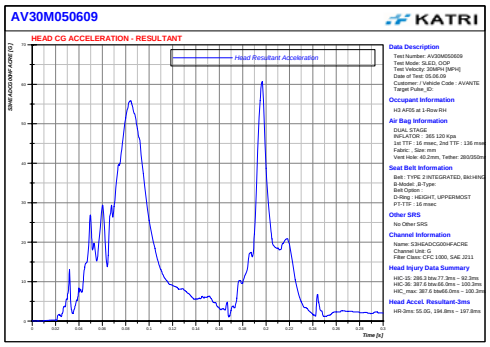
30mph 운전석 CHEST



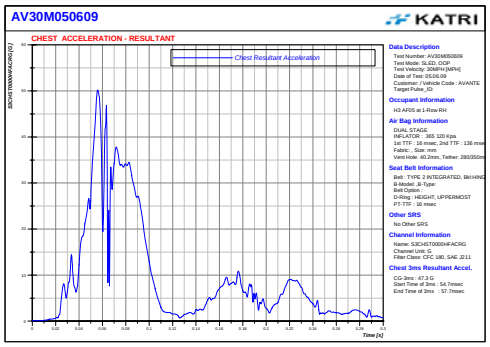
30mph 운전석 NECK



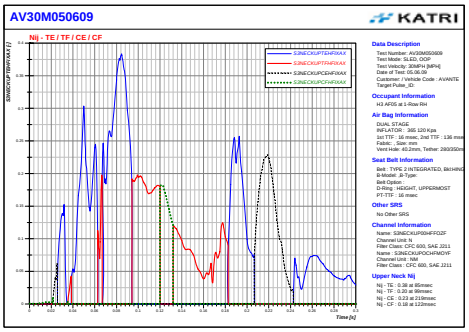
30mph 운전석 FEMUR



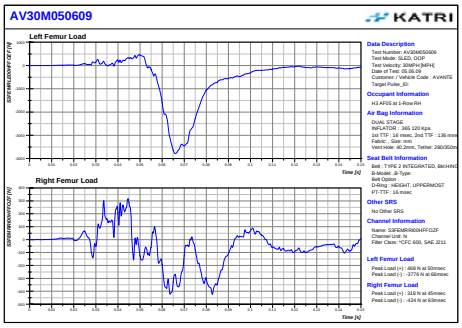
30mph 조수석 HEAD



30mph 조수석 CHEST

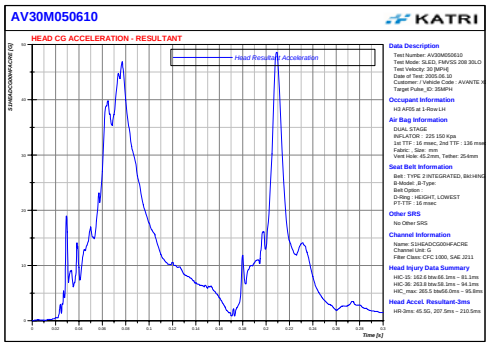


30mph 조수석 NECK

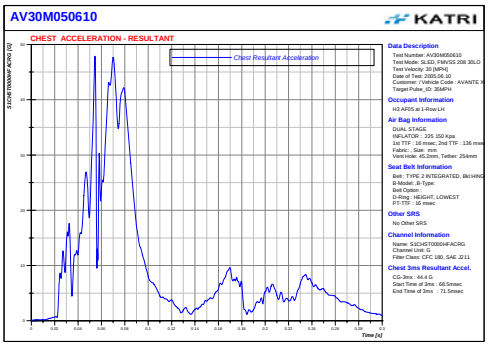


30mph 조수석 FEMUR

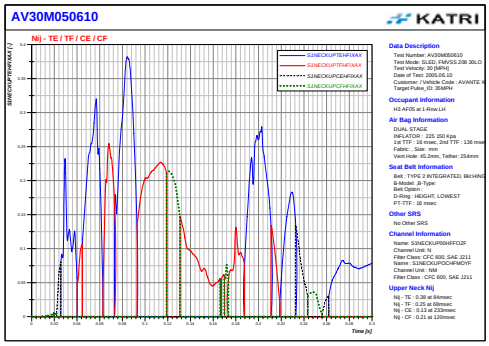
○ TEST NO : AV35M050610



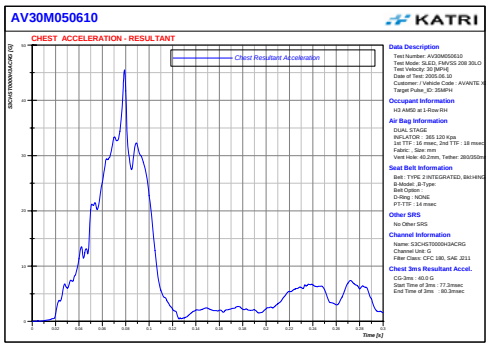
30mph 운전석 HEAD



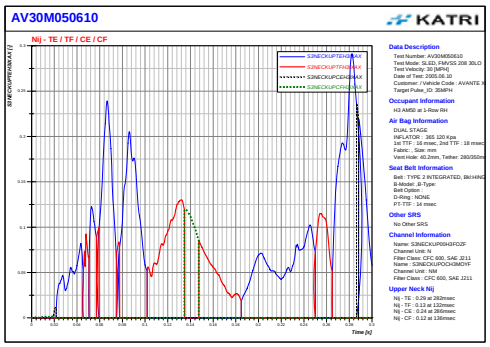
30mph 운전석 CHEST



30mph 운전석 NECK

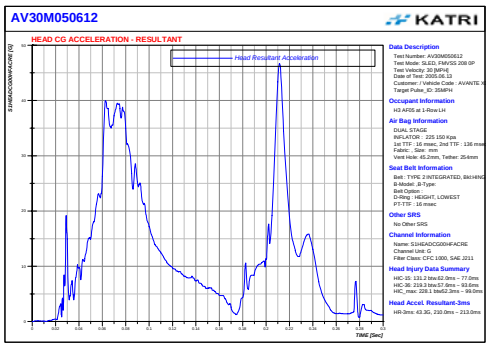


30mph 조수석 HEAD

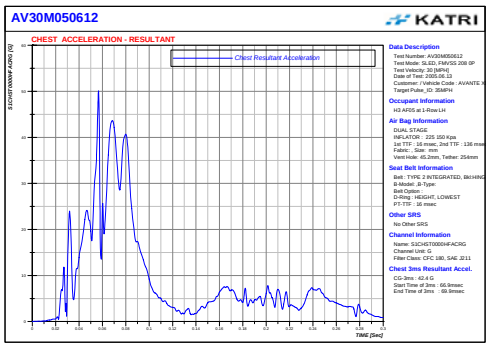


30mph 조수석 NECK

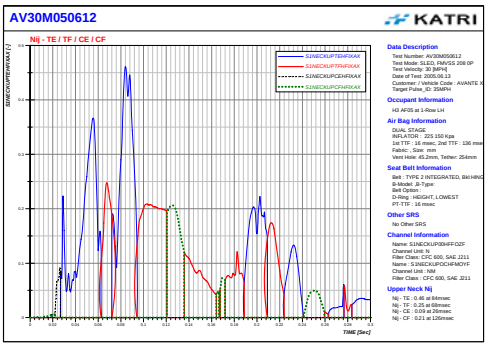
○ TEST NO : AV30M050612



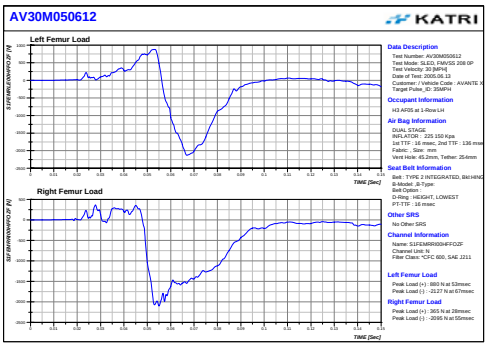
30mph 운전석 HEAD



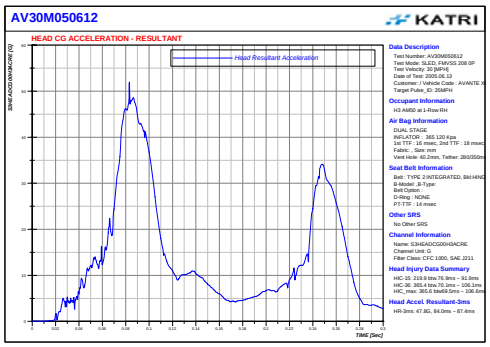
30mph 운전석 CHEST



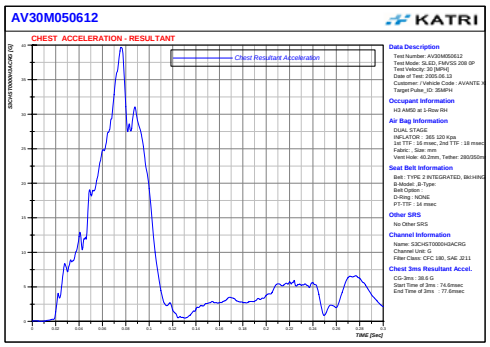
30mph 운전석 NECK



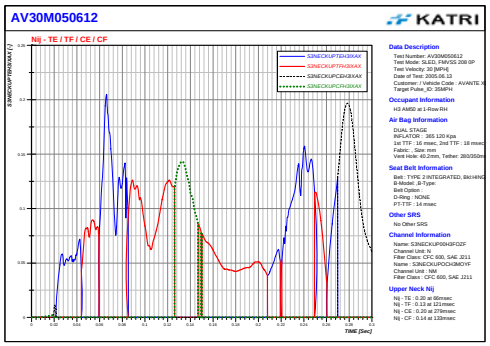
30mph 운전석 FEMUR



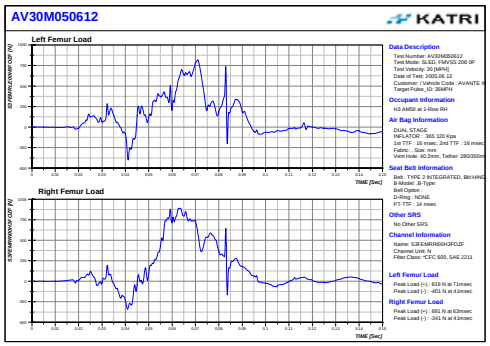
30mph 조수석 HEAD



30mph 조수석 CHEST

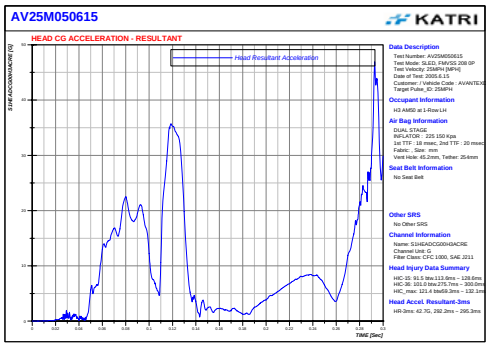


30mph 조수석 NECK

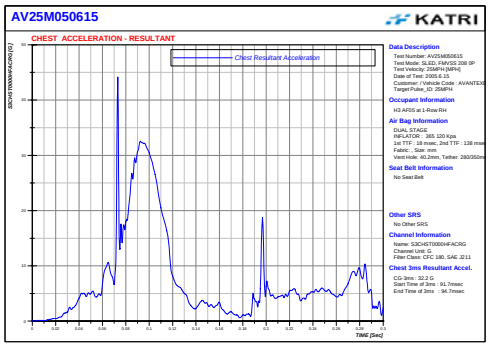


30mph 조수석 FEMUR

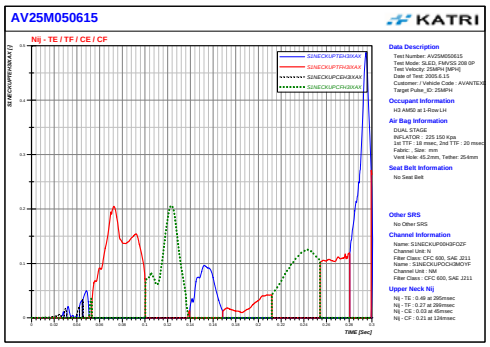
○ TEST NO : AV25M050615



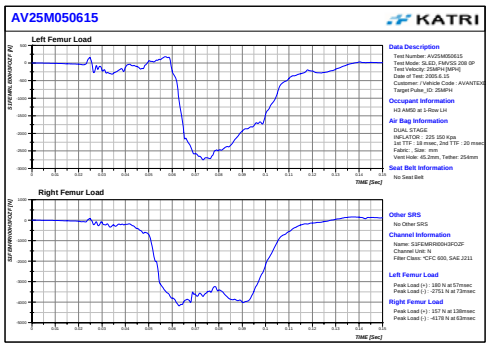
25mph 운전석 HEAD



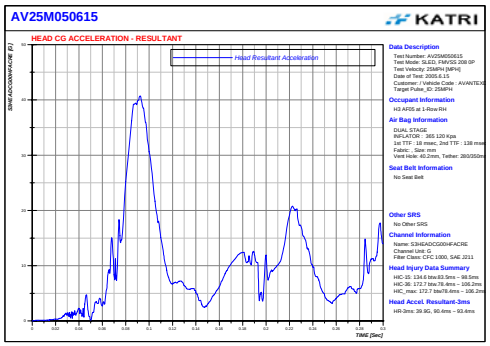
25mph 조수석 CHEST



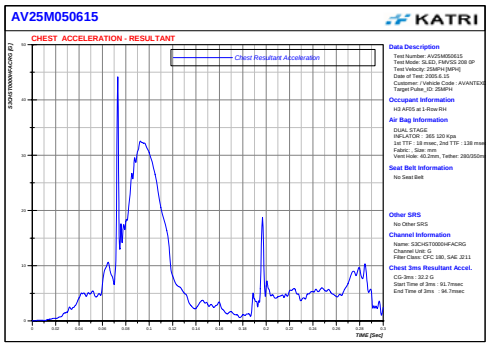
25mph 운전석 NECK



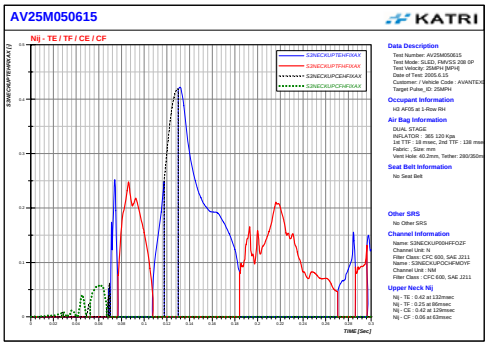
25mph 운전석 FEMUR



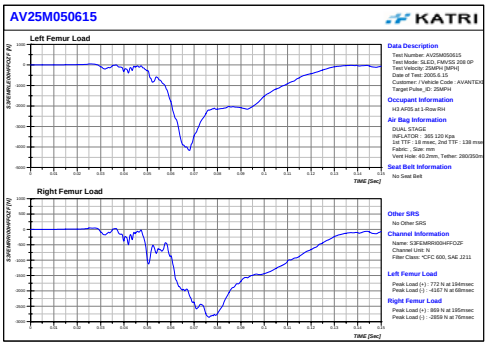
25mph 조수석 HEAD



25mph 조수석 CHEST

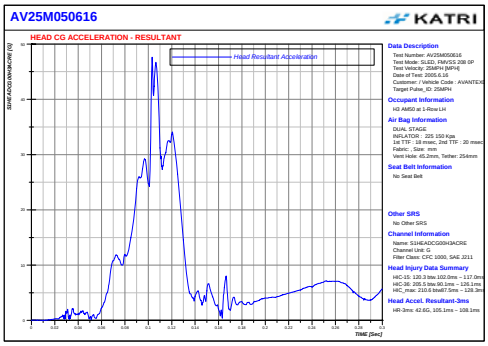


25mph 조수석 NECK

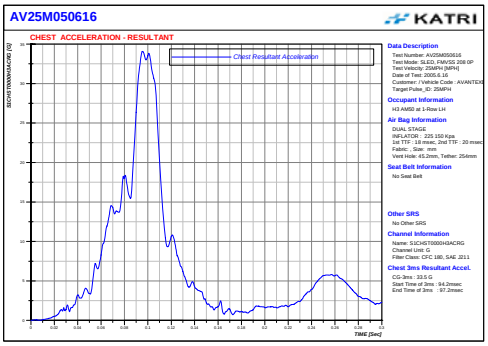


25mph 조수석 FEMUR

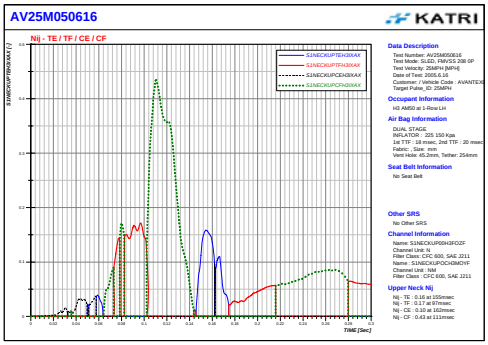
○ TEST NO : AV25M050616



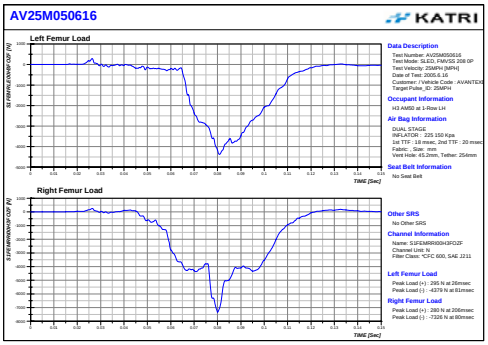
25mph 운전석 HEAD



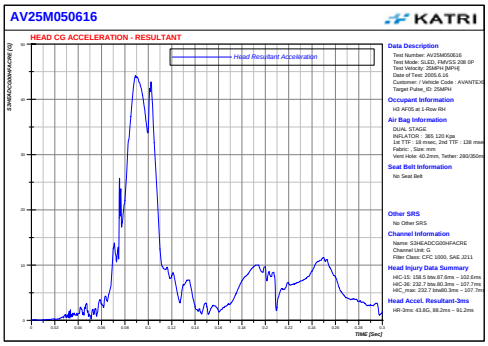
25mph 운전석 CHEST



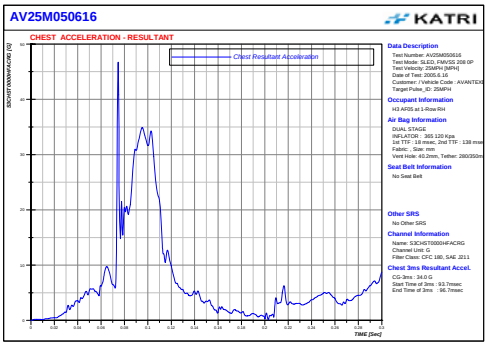
25mph 운전석 NECK



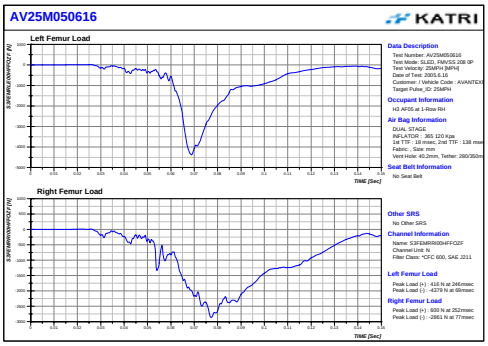
25mph 운전석 FEMUR



25mph 조수석 HEAD

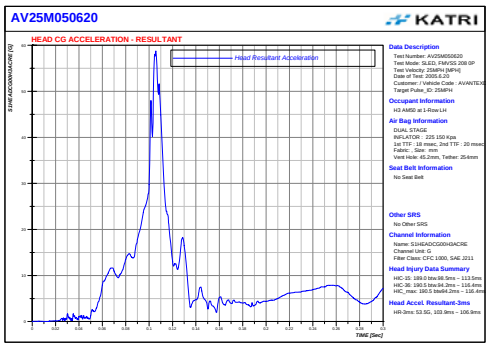


25mph 조수석 CHEST

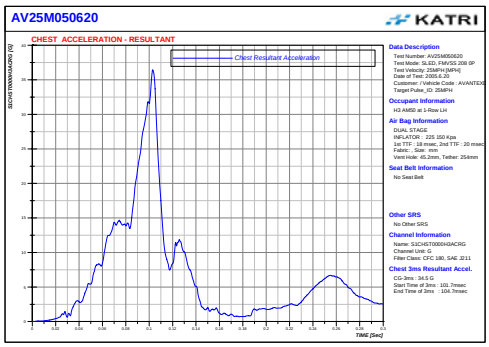


25mph 조수석 FEMUR

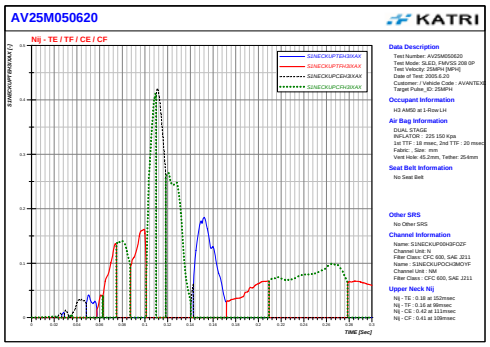
○ TEST NO : AV25M050620



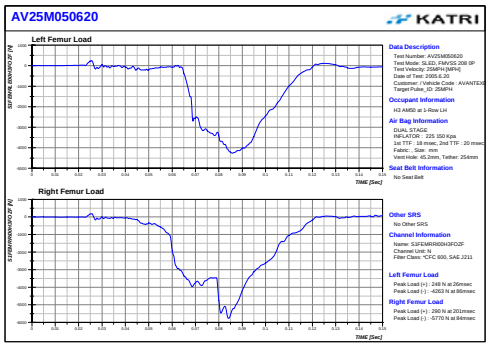
25mph 운전석 HEAD



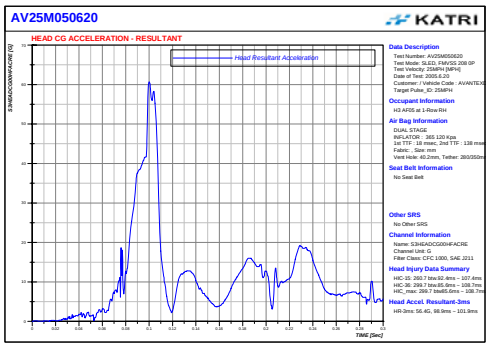
25mph 운전석 CHEST



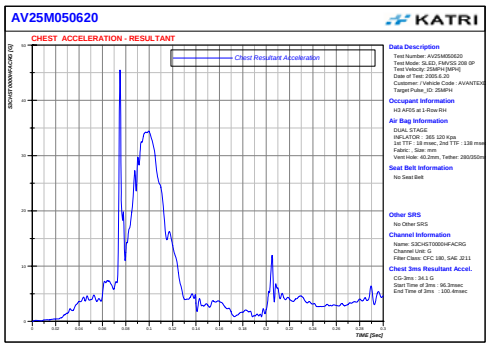
25mph 운전석 NECK



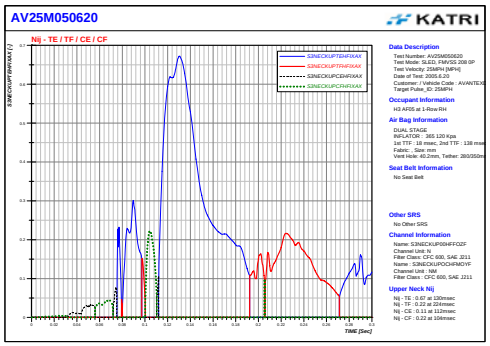
25mph 운전석 FEMUR



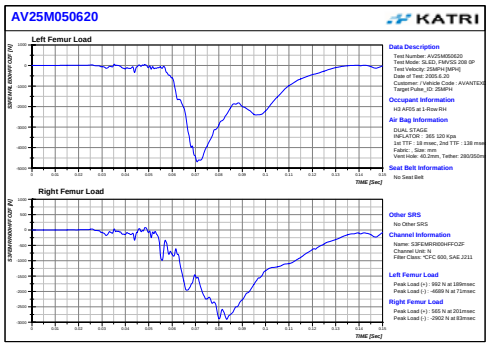
25mph 조수석 HEAD



25mph 조수석 CHEST

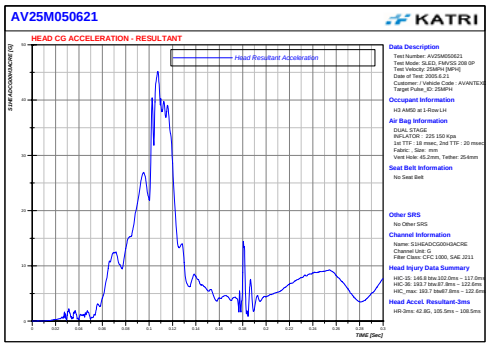


25mph 조수석 NECK

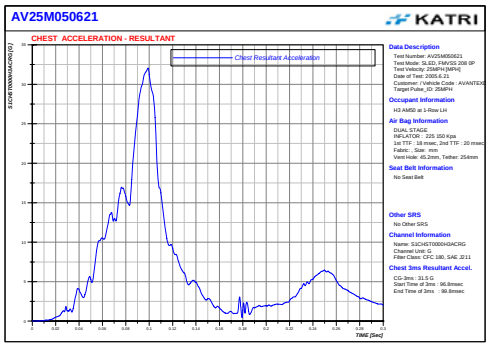


25mph 조수석 FEMUR

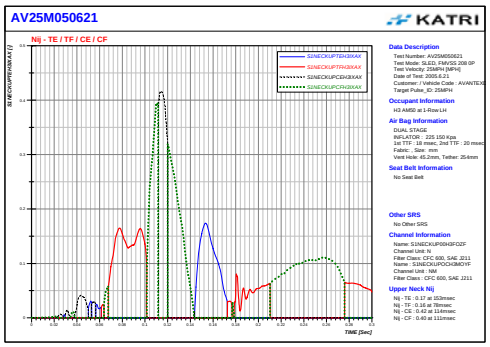
○ TEST NO : AV25M050621



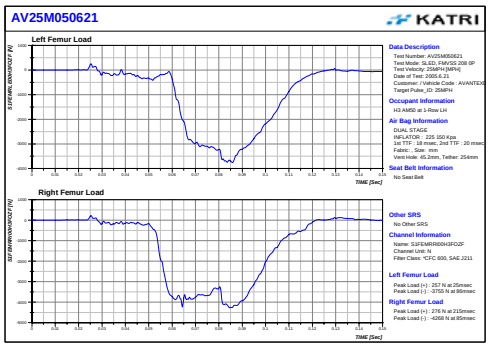
25mph 운전석 HEAD



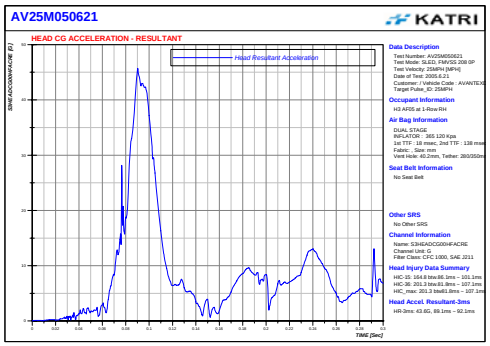
25mph 운전석 CHEST



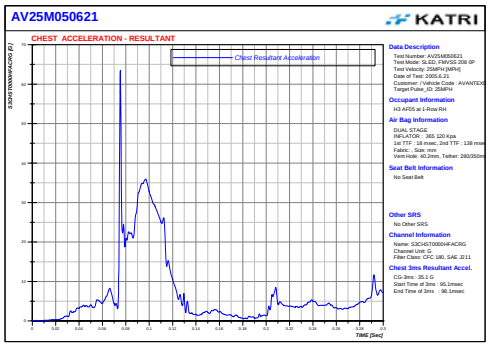
25mph 운전석 NECK



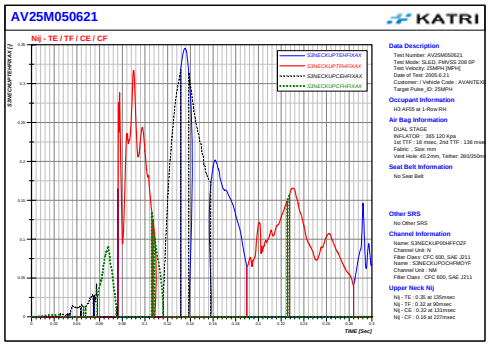
25mph 운전석 FEMUR



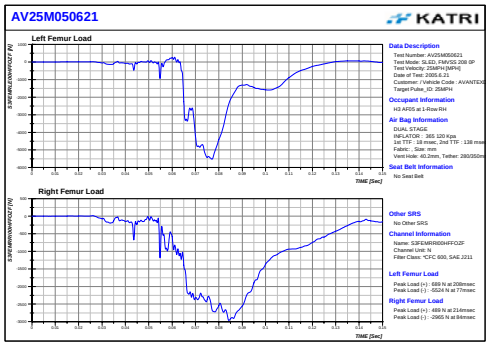
25mph 조수석 HEAD



25mph 조수석 CHEST

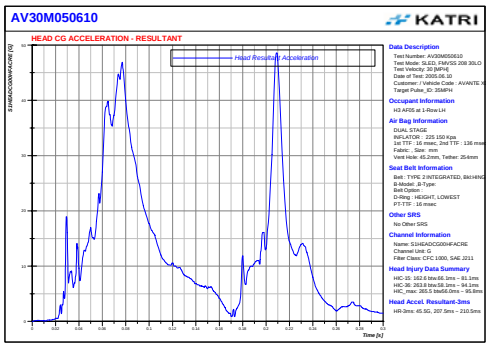


25mph 조수석 NECK

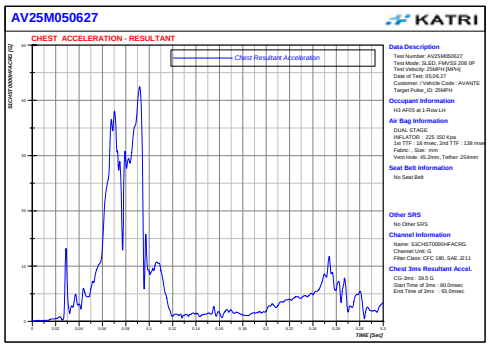


25mph 조수석 FEMUR

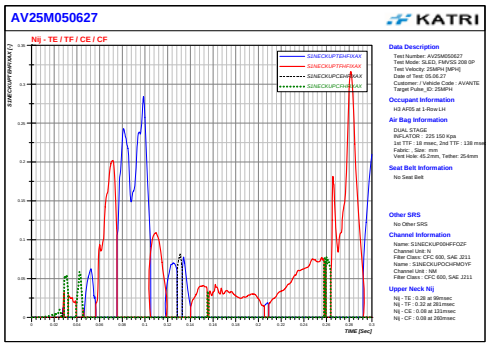
○ TEST NO : AV25M050627



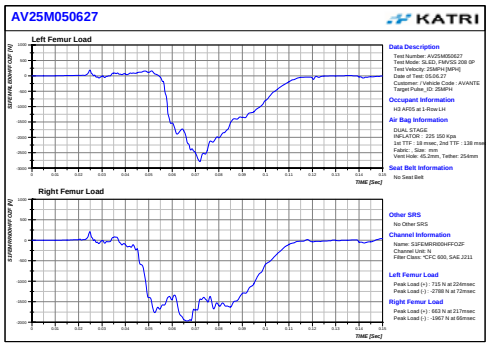
30mph 운전석 HEAD



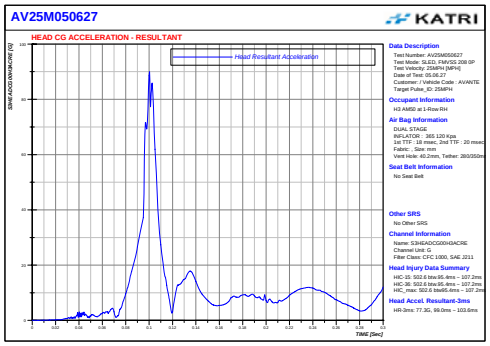
25mph 운전석 CHEST



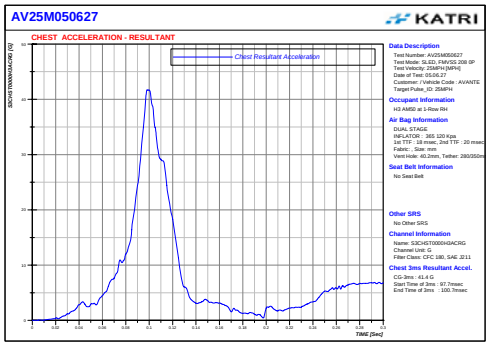
25mph 운전석 NECK



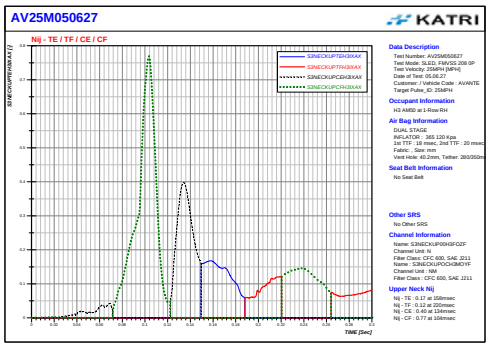
25mph 운전석 FEMUR



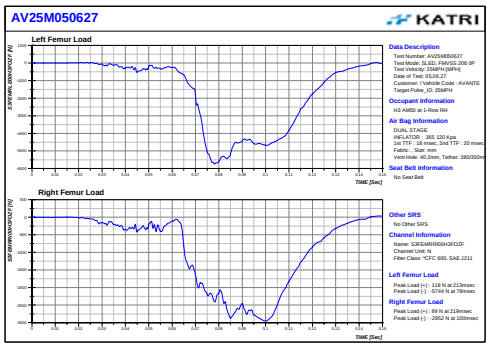
25mph 조수석 HEAD



25mph 조수석 CHEST

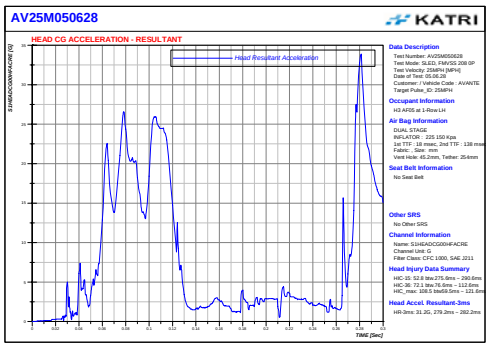


25mph 조수석 NECK

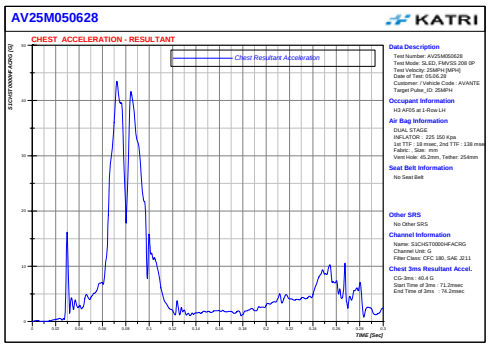


25mph 조수석 FEMUR

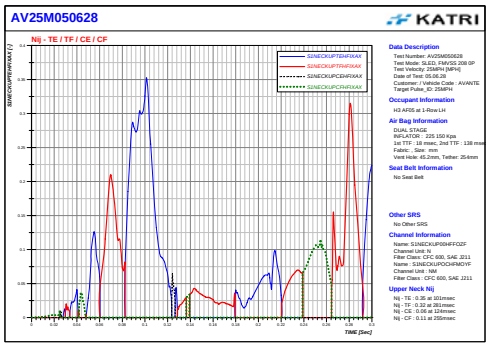
○ TEST NO : AV25M050628



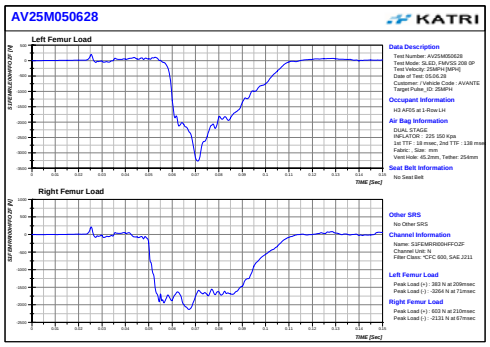
25mph 운전석 HEAD



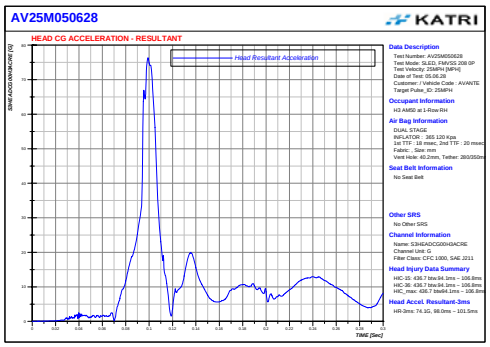
25mph 운전석 CHEST



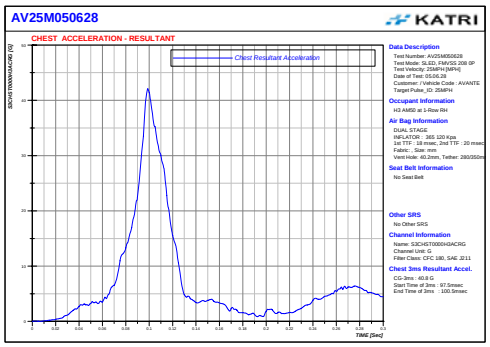
25mph 운전석 NECK



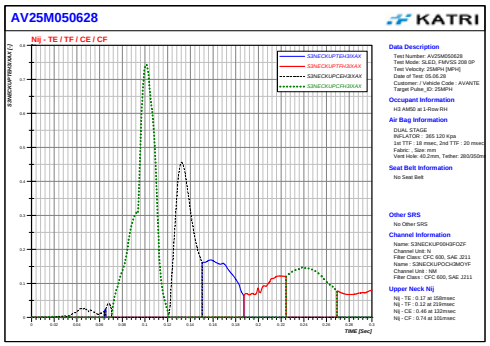
25mph 운전석 FEMUR



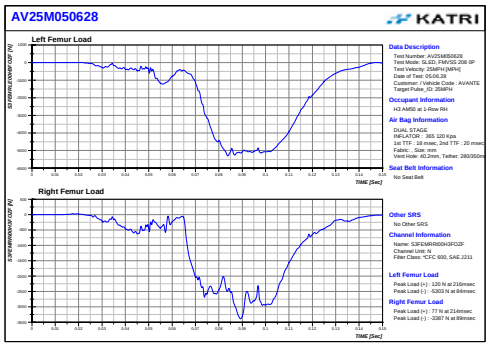
25mph 조수석 HEAD



25mph 조수석 CHEST

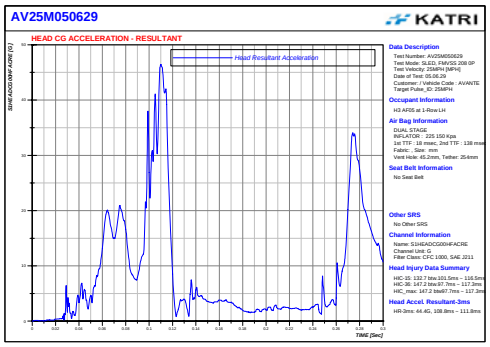


25mph 조수석 NECK

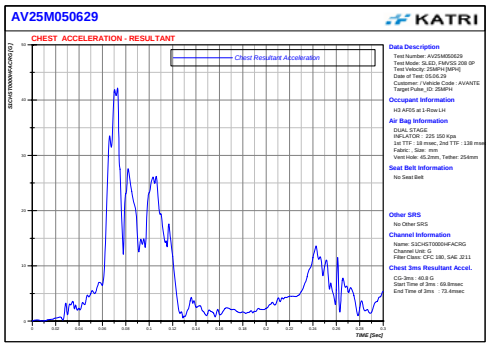


25mph 조수석 FEMUR

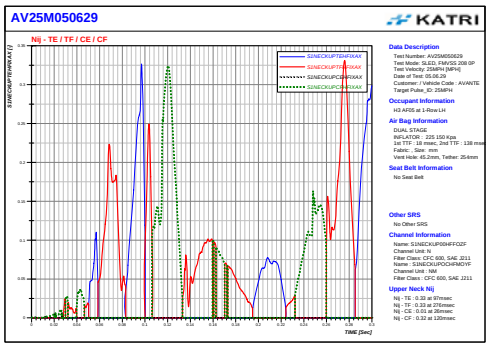
○ TEST NO : AV25M050629



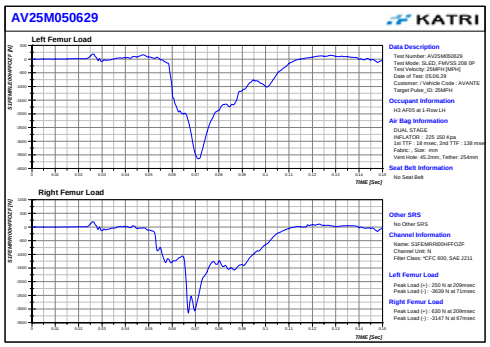
25mph 운전석 HEAD



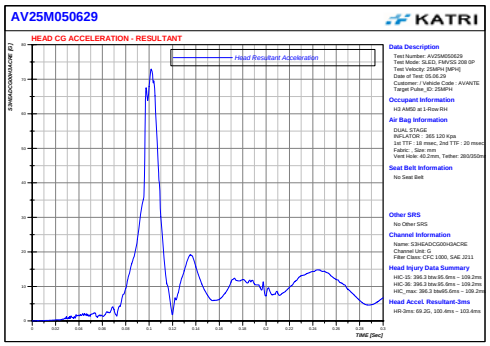
25mph 운전석 CHEST



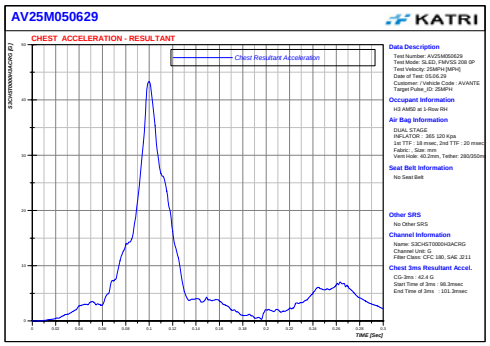
25mph 운전석 NECK



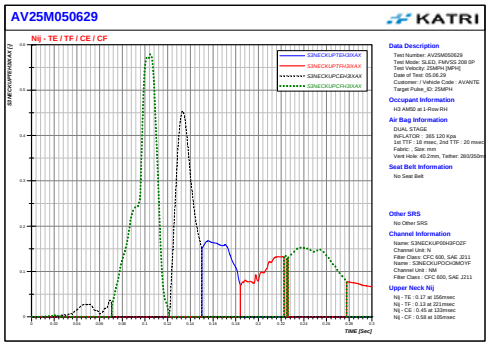
25mph 운전석 FEMUR



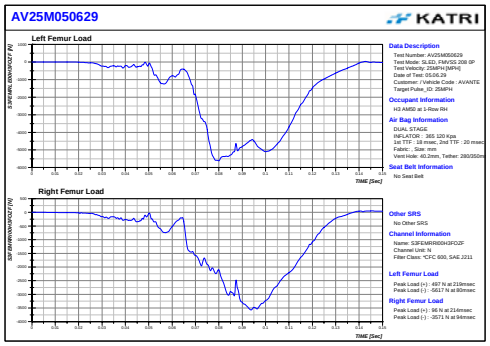
25mph 조수석 HEAD



25mph 조수석 CHEST

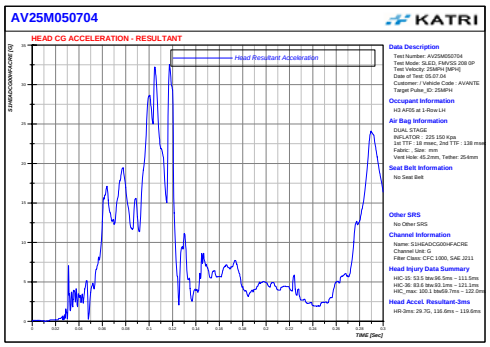


25mph 조수석 NECK

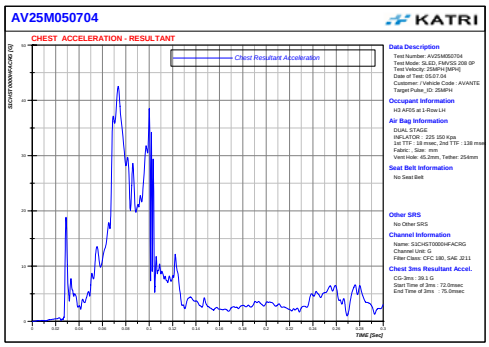


25mph 조수석 FEMUR

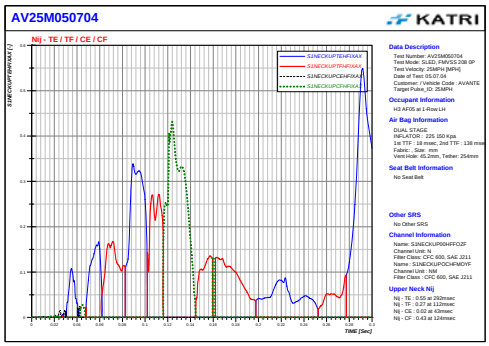
○ TEST NO : AV25M050704



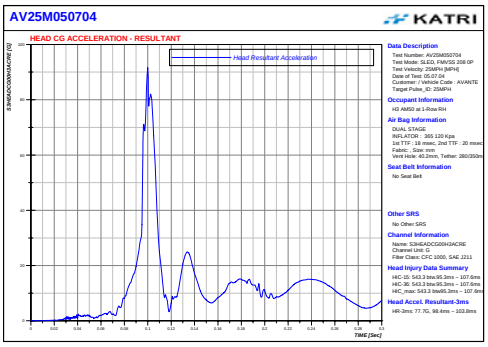
25mph 운전석 HEAD



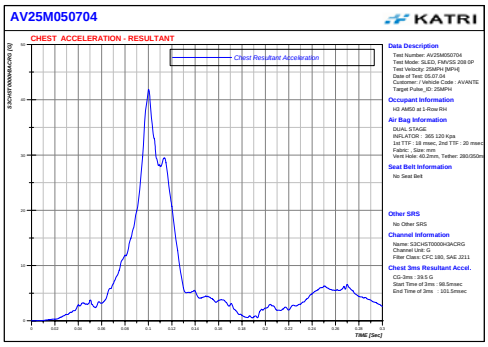
25mph 운전석 CHEST



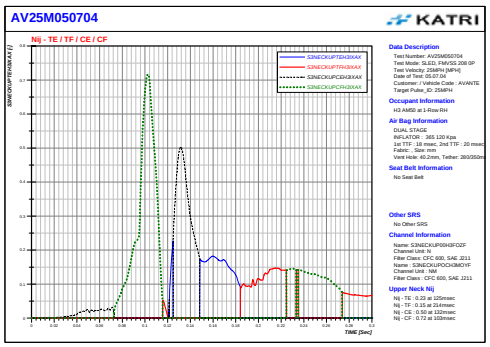
25mph 운전석 NECK



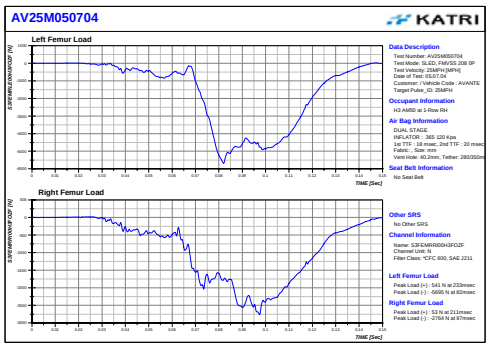
25mph 조수석 HEAD



25mph 조수석 CHEST



25mph 조수석 NECK



25mph 조수석 FEMUR

6) 시험사진

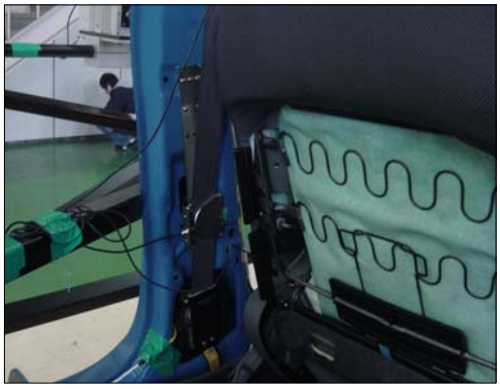
○ AV35M050518





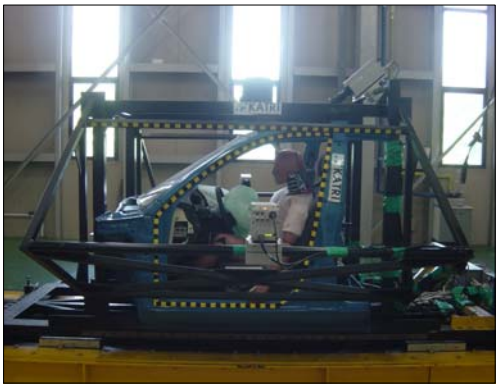




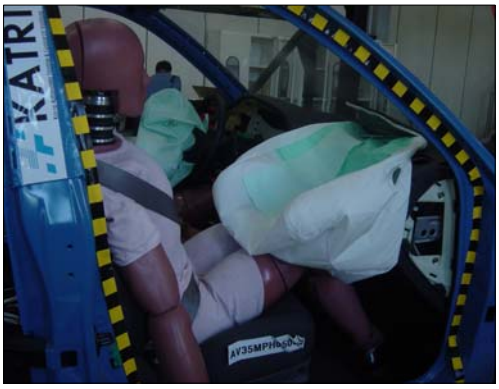












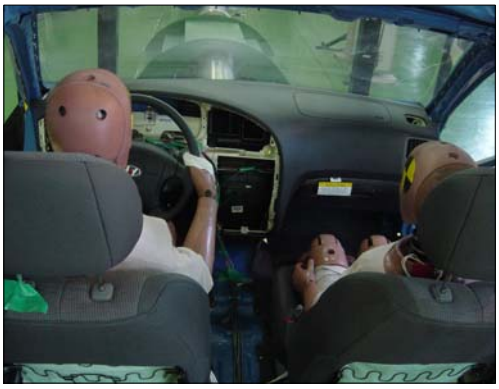




○ AV35M050520


KATRI
KATRI


KATRI
KATRI




KATRI







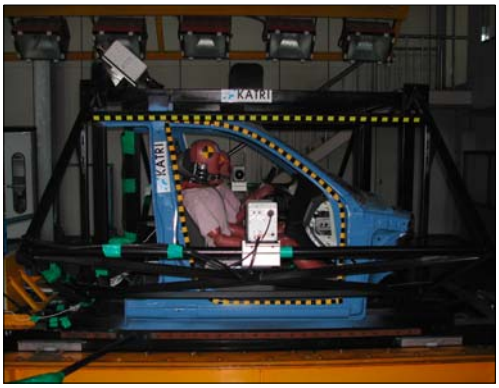


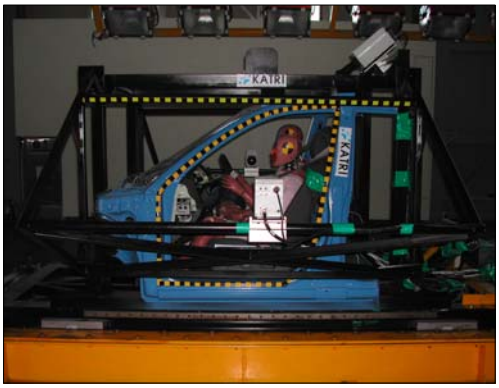






○ AV35M050523


KATRI
KATRI


KATRI
KATRI


AV35MPH050523




KATR
AV35MPH050523







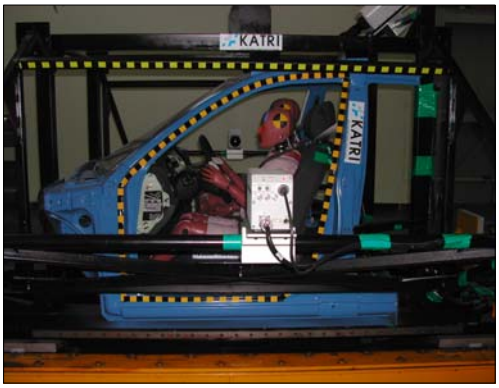


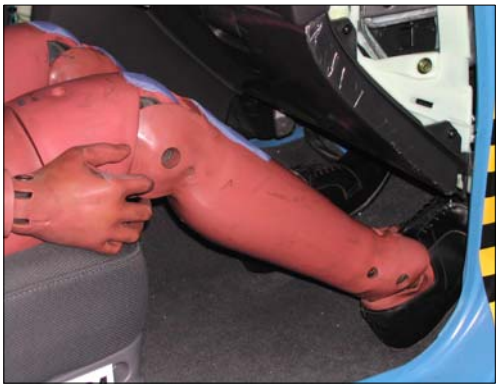





○ AV35M050524


KATRI
KATRI


KATRI
KATRI




AV35MPH050524




AV35MPH050524



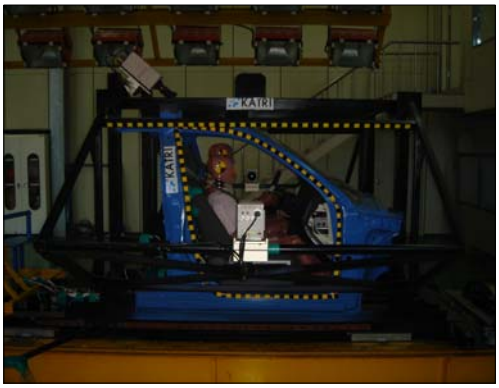


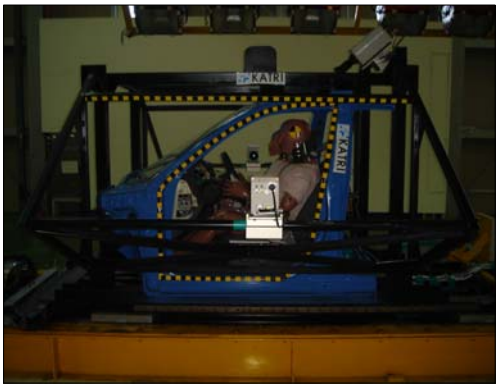






○ AV30M050608


KATRI


KATRI


AV35M050608


KATRI
AV35M050608




AV35M050608





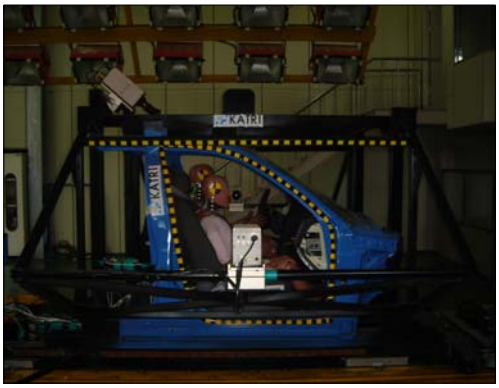


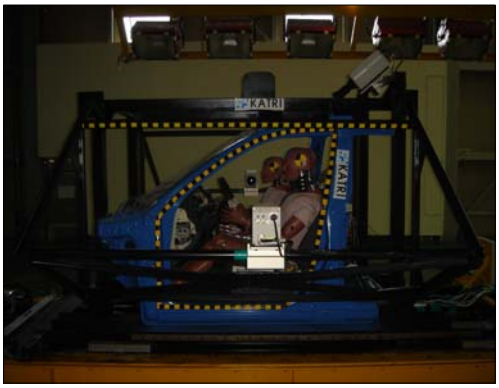


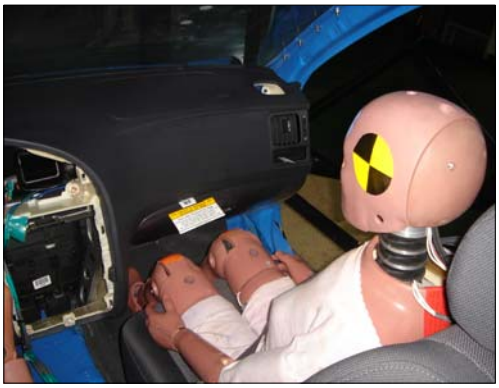




○ AV30M050609


KARI
KARI

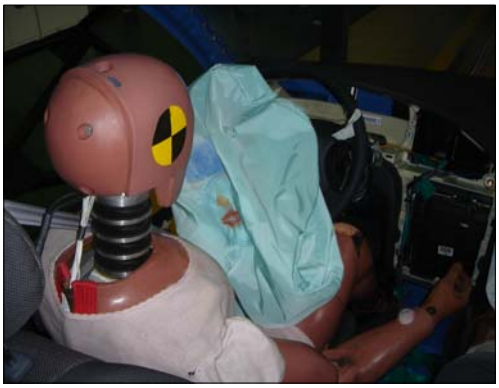

KARI
KARI








AV35M050609













○ AV30M050610


KATRI


KATRI


KATRI
AV35M050610

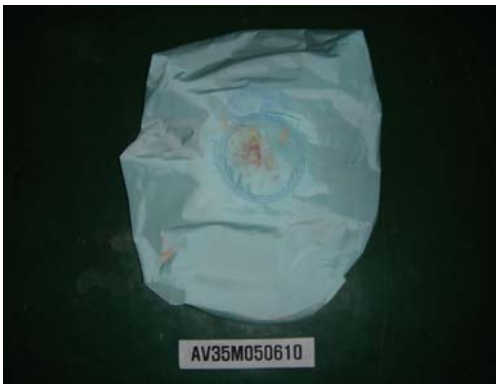

KATRI
AV35M050610


KATRI


AV35M050610





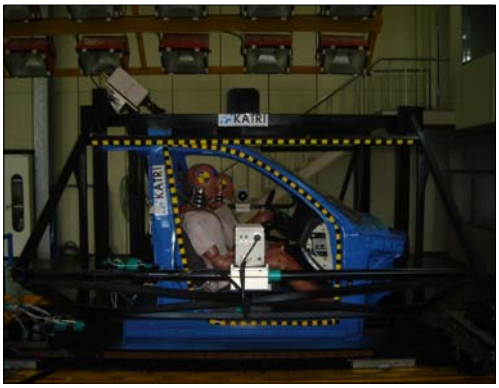


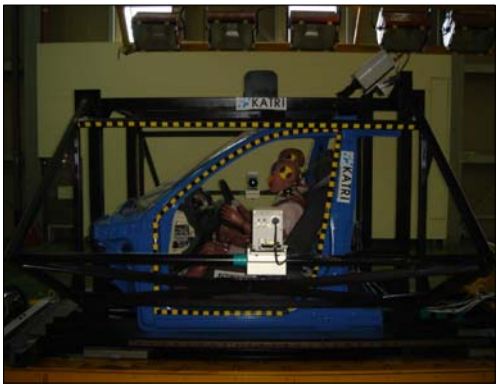






○ AV30M050612


KAIRI
KAIRI


KAIRI
KAIRI


AV35M050612


AV35M050612




AV35M050612





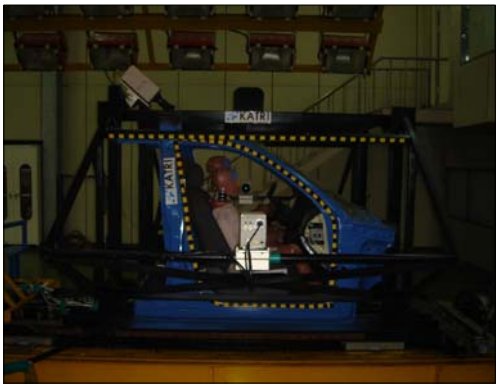








○ AV25M050615


KATRI


KATRI


AV25M050615


AV25M050615




AV25M050615



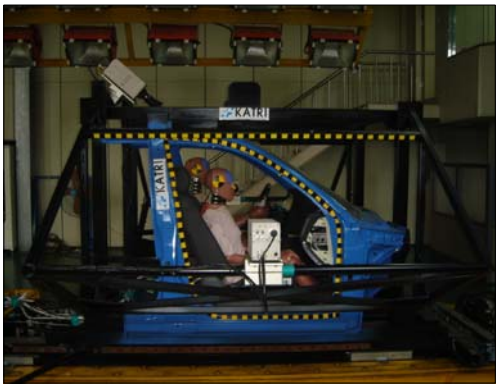


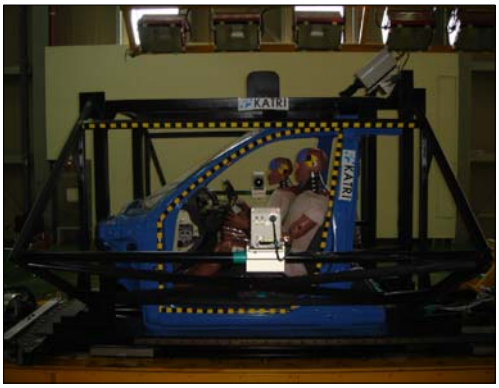







○ AV25M050616


KATRI

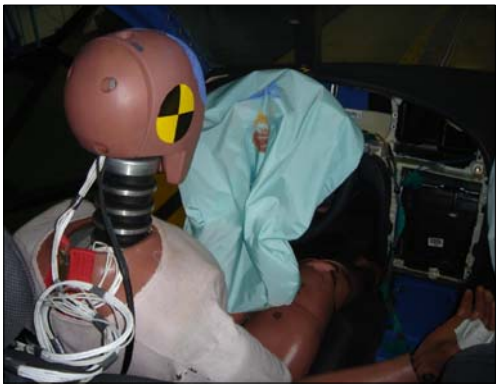

KATRI


KATRI
AV25M050616


KATRI
AV25M050616




AV25M050616





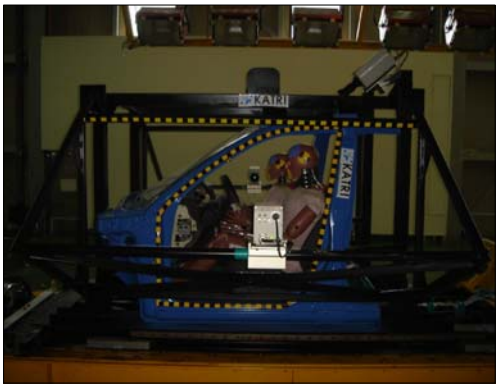







○ AV25M050620


KARI


KARI


AV25M050620


AV25M050620




AV25M050620





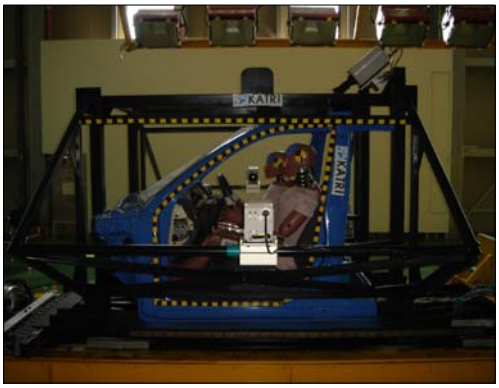







○ AV25M050621


KATRI

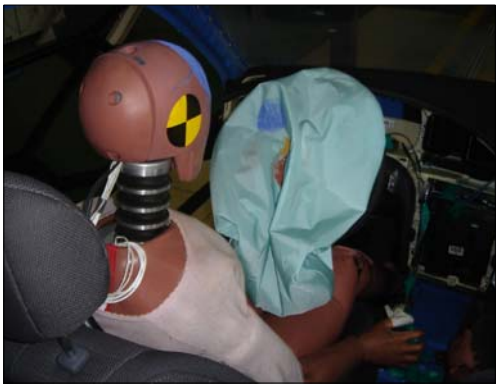

KATRI


AV25M050621


AV25M050621




AV25M050621

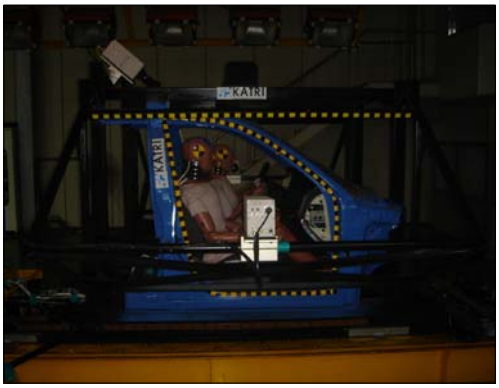


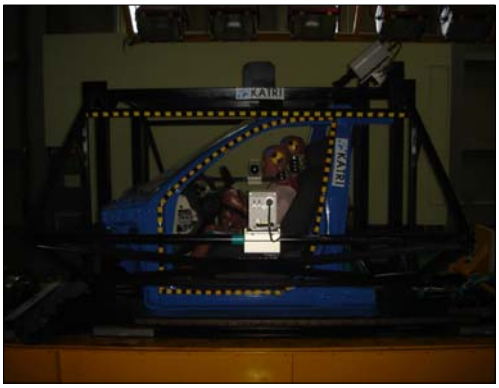







○ AV25M050627


KARI


KARI


AV25M050627


AV25M050627




AV25M050627





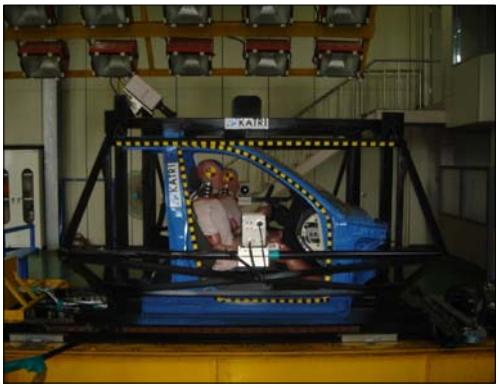


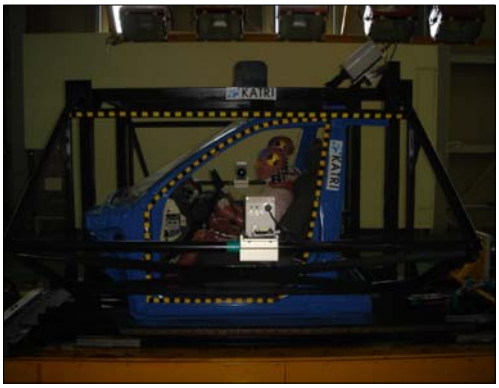






○ AV25M050628






AV25M050628


AV25M050628




AV25M050628



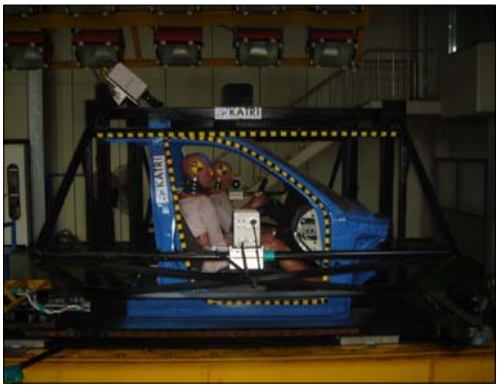









○ AV25M050629






AV25M050629


AV25M050629




AV25M050629












○ AV25M050704


KATRI


KATRI


AV25M050704


KATRI
AV25M050704


KATRI


AV25M050704


AV25M050704


AV25M050704


AV25M050704


AV25M050704


AV25M050704


AV25M050704

11. 시험결과(대차(SLED) - 3차년도, 자동차성능연구소)

가. 시험목적

북미 법규 대응을 위하여 충돌 및 충돌모의 시험연구를 통한 첨단 인공지능 에어백 독자기술 개발 위함

나. 시험조건

○ Sled 시험 현황

NO	TEST MODE	Test Condition		Remaks	비 고
		Dummy	Restraints		
1	40mph	50% Dummy 사용	Belted	Cal.TTF Study 및 성능확인 Correlation	AV40MPHODBT1
2	40mph	50% Dummy 사용	Belted	Cal.TTF Study 및 성능확인 Correlation	AV40MPHODBT2
3	25mph	5% Dummy 사용	Belted	Correlation 기법개발	AV25MODB070619
4	25mph	5% Dummy 사용	Belted	Correlation 기법개발	AV25MODB070724

다. 시험장치

(1) Sled Test 장비

(가) 발사장치, 데이터 Acquisition system, 디지털고속카메라

(나) 센　　서 : 가속도계, Neck Load Cell , Seat belt Displacement

(다) 인체모형 : Hybrid Ⅲ 50/ , 5%ile

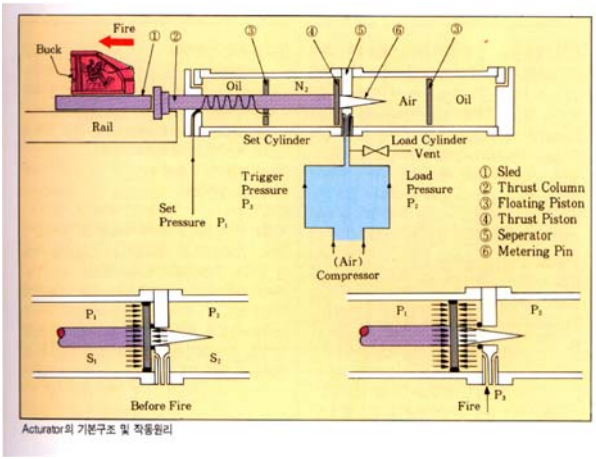
(2) Sled 시험장치 사양

(가) Sled 시험 장치

자동차 및 그 부품의 동하중 시험을 위한 sled 장치의 주요 구성은 아래 <표 3-2-7>와 같으며, <그림 3-2-38>과 같은 시험장치(발사장치)를 사용하였다.

<표 3-2-7> Sled 시험장치의 주요 구성

시 험 장 치	특 징
충돌모의 시험장치	직경 12인치 공압식 가속 추진형
센 서 (가속도 측정)	- 가속도 파형 측정용 가속도계 100g(2개), 5g(2개) 설치 - 측정율(sampling rate) : 초당 10,000개 - Class 60에 적합한 가속도 주파수 등급 - 시험속도 : 측정된 가속도(100g 사용)을 적분하여 산출
고속 카메라	초당 1,000장(인체모형 거동 촬영)



<그림 3-2-38> 충돌모의 시험장치

라. 인체모형 착석위치 및 관련데이타

시험에 대한 인체모형(dummy) 착석위치 등은 다음과 같은 조건에서 시험을 실시

(1) 인체모형의 착석위치(Hybrid Ⅲ 50 %ile)

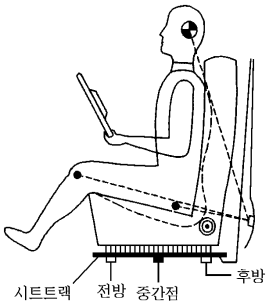
운전자석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :__ 형식 : Hybrid Ⅲ 50 %ile

머리 _____
표적 ___mm

무릎 ___640___

연결부___mm

둔부점_____
(대략)___mm



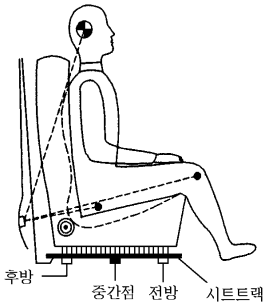
승객석 : 無
인체모형 번호 :___ 형식 :__

머리 ____°
표적 ___mm

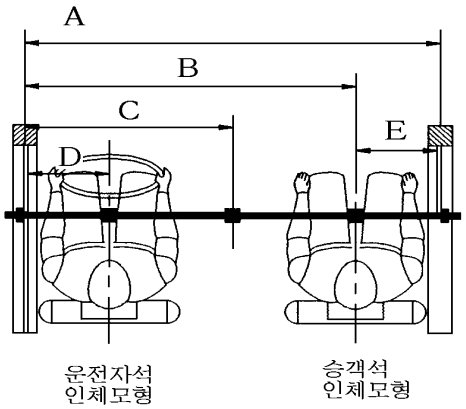
무릎 _____

연결부___mm

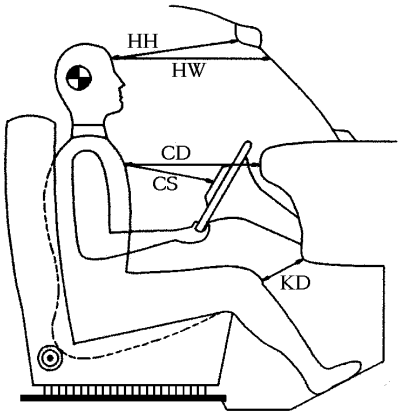
둔부점_____
(대략)___mm



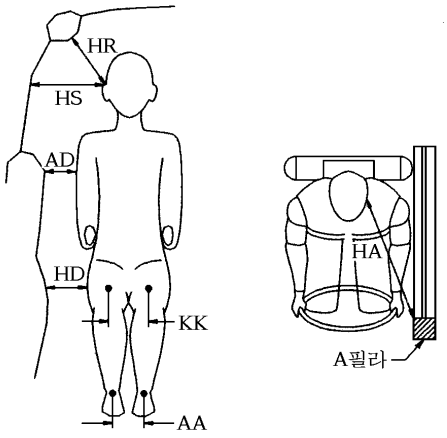
A = 1440 mm
B = ___mm
C = 720 mm
D = 360 mm
E = ___mm



구 분	운전자 (mm)	승 객 (mm)
HH	295	-
HW	500	-
CD	550	-
CS	280	-
KDL	150	-
KDR	115	-
TA	-	-
SA	-	-



구 분	운전자 (mm)	승 객 (mm)
HR	260	-
HS	-	-
AD	-	-
HD	-	-
KK	330	-
AA	220	-
HA	-	-



HH = 머리에서 앞면유리위쪽 전면부

HW = 머리에서 앞면유리

CD = 가슴에서 계기판넬

CS = 가슴에서 조향핸들

KD = 무릎에서 계기판넬

TA = 가슴 각도

HR = 머리에서 천정측면

HS = 머리에서 옆면유리

AD = 팔에서 문

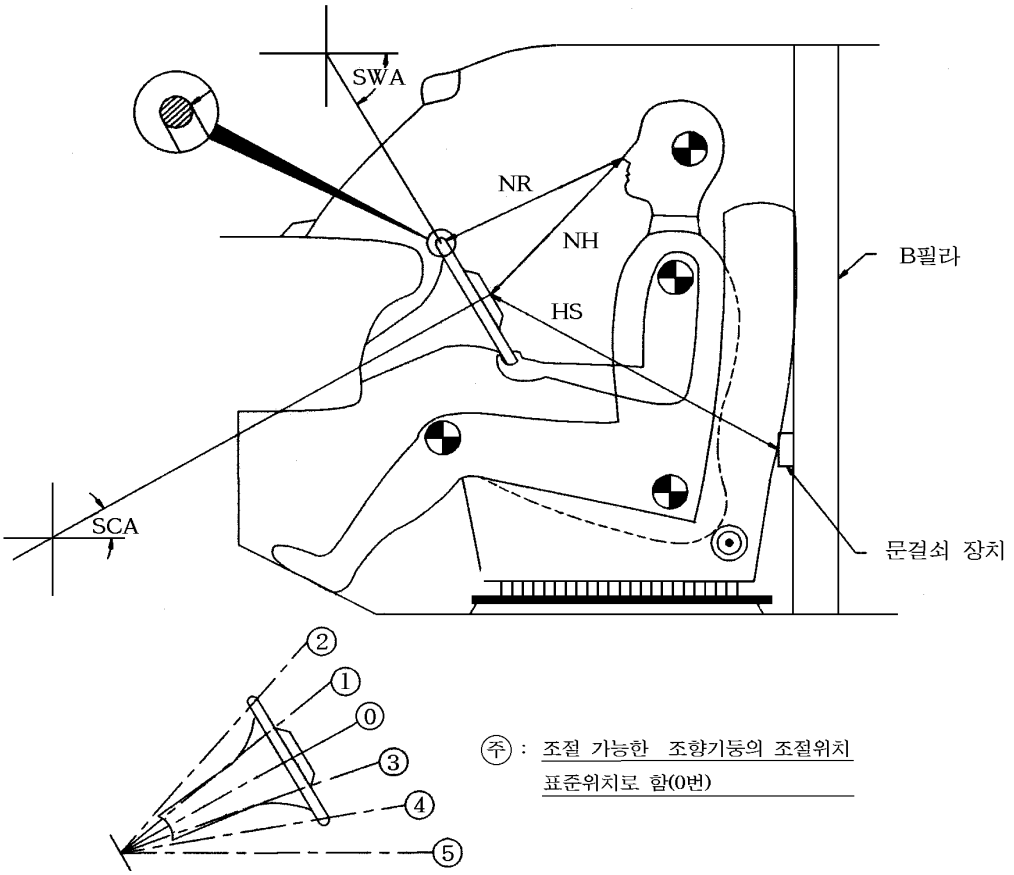
HD = 엉덩이에서 문

KK = 무릎에서 무릎

AA = 발목에서 발목

SA = 좌석등받이 각도 HA = 머리에서 A-필라

주 : 가슴과 좌석등받이 각도는 상대적으로 수직임.



… 계 속 …

구 분	내 용	측 정 치 (mm)
NR	코에서 조향핸들	390
NH	코에서 조향축 중심	-
HS	조행핸들 중심에서 문 걸쇠고리	-
SCA	수평 길이방향에 대한 조향축 각도	24.5°
SWA	수평 길이방향에 대한 조향핸들 각도	-

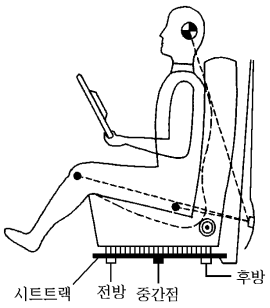
(2) 인체모형의 착석위치 (Hybrid Ⅲ5%ile)

<table>
<tr>
<td>운전자석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :__ 형식 : Hybrid Ⅲ5%ile

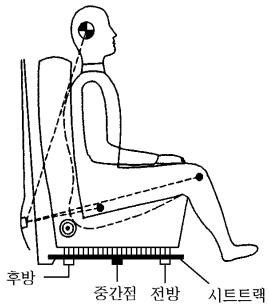
머리 _____
표적 ___ mm

무릎 __730___
연결부___ mm

둔부점_____
(대략)___ mm


</td>
<td>승객석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :__ 형식 : Hybrid Ⅲ5%ile

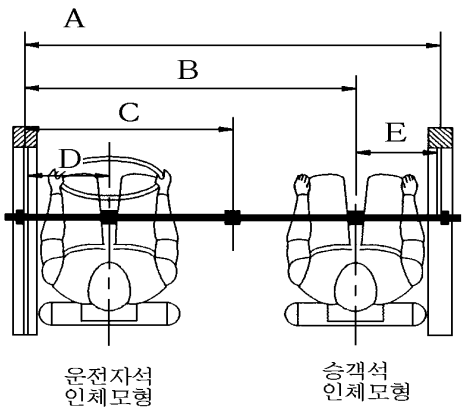
머리 ___°
표적 ___ mm



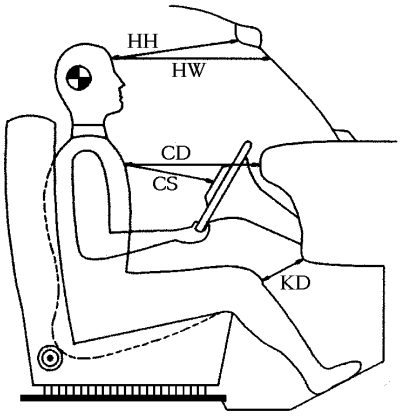
무릎 __730_____
연결부___ mm

둔 부 점
___

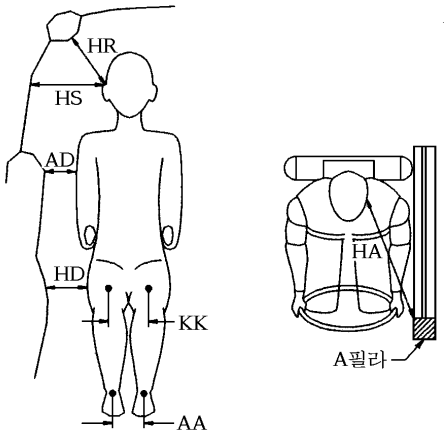
(대략)___ mm</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">A = 1440 mm
B = 1080 mm
C = 720 mm
D = 360 mm
E = 360 mm


</td>
</tr>
</table>

구 분	운전자 (mm)	승 객 (mm)
HH	263	280
HW	525	530
CD	430	480
CS	204	-
KDL	117	120
KDR	105	125
TA	-	-
SA	-	-



구 분	운전자 (mm)	승 객 (mm)
HR	265	265
HS	-	-
AD	-	-
HD	-	-
KK	160	160
AA	-	-
HA	-	-



HH = 머리에서 앞면유리위쪽 전면부

HW = 머리에서 앞면유리

CD = 가슴에서 계기판넬

CS = 가슴에서 조향핸들

KD = 무릎에서 계기판넬

HR = 머리에서 천정측면

HS = 머리에서 옆면유리

AD = 팔에서 문

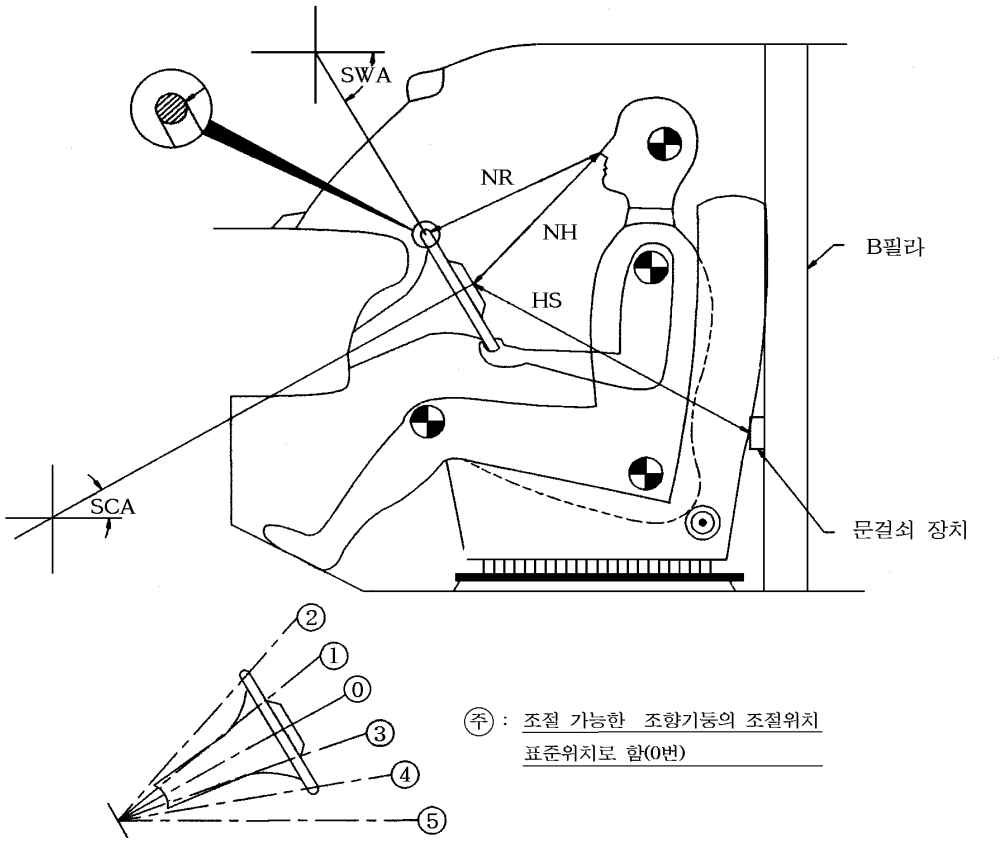
HD = 엉덩이에서 문

KK = 무릎에서 무릎

TA = 가슴 각도 AA = 발목에서 발목

SA = 좌석등받이 각도 HA = 머리에서 A-필라

주 : 가슴과 좌석등받이 각도는 상대적으로 수직임.



… 계 속 …

구 분	내 용	측 정 치 (mm)
NR	코에서 조향핸들	260
NH	코에서 조향축 중심	-
HS	조행핸들 중심에서 문 걸쇠고리	-
SCA	수평 길이방향에 대한 조향축 각도	24.2
SWA	수평 길이방향에 대한 조향핸들 각도	-

마. 시험관련 측정데이타

(1) 인체상해치 및 안전띠장력 측정 데이터결과(KATRI)

○ TEST NO : S40MPHODBT1

계측 내용		운전자석(좌측)	승객석(우측)	
머리 (HIC_{36})		170.2	-	
흉부 (g)		33.9	-	Resultant
흉골압축변위량 (mm)		-	-	
NECK (N)	Tension	1,114	-	
	Compression	1,712	-	
N_{ij}	N_{te}	0.25	-	
	N_{tf}	0.17	-	
	N_{ce}	0.40	-	
	N_{cf}	0.17	-	
대퇴부 압축하중(kg)	좌측	582	-	
	우측	1,789	-	
좌석안전띠하중 (N)	어깨띠	4,660	-	
	무릎띠	5,941	-	
S/B SPOOL-OUT(mm) (in/out)		111/187	-	

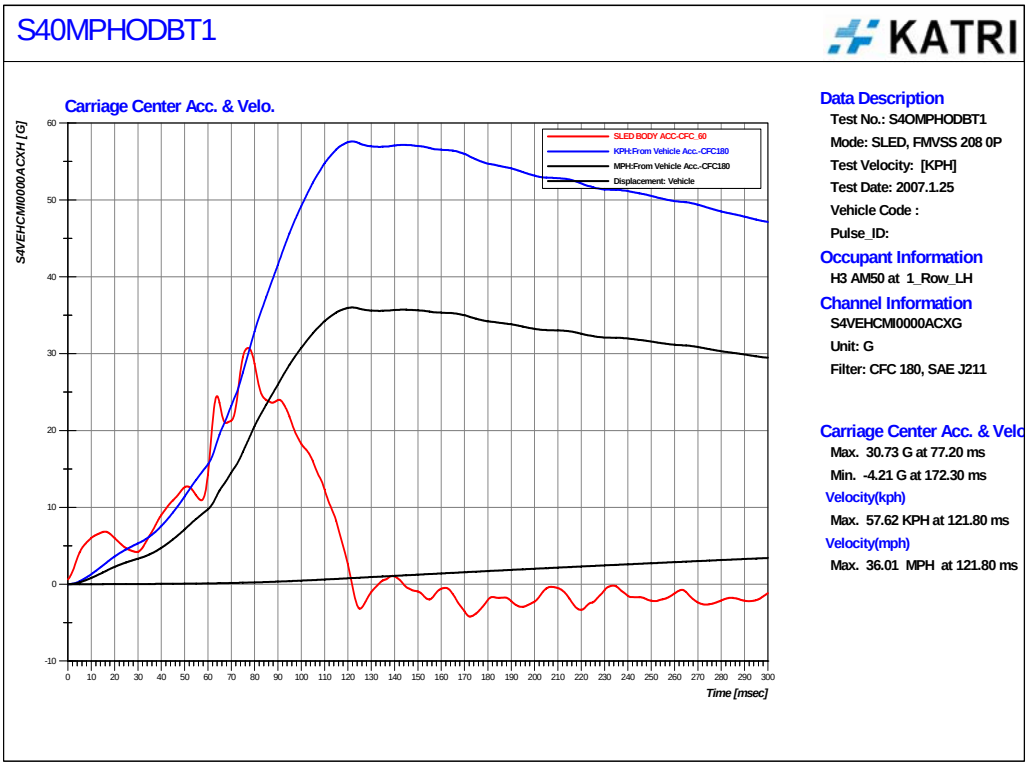


그림 3-2-39 40MPH 속도 그래프

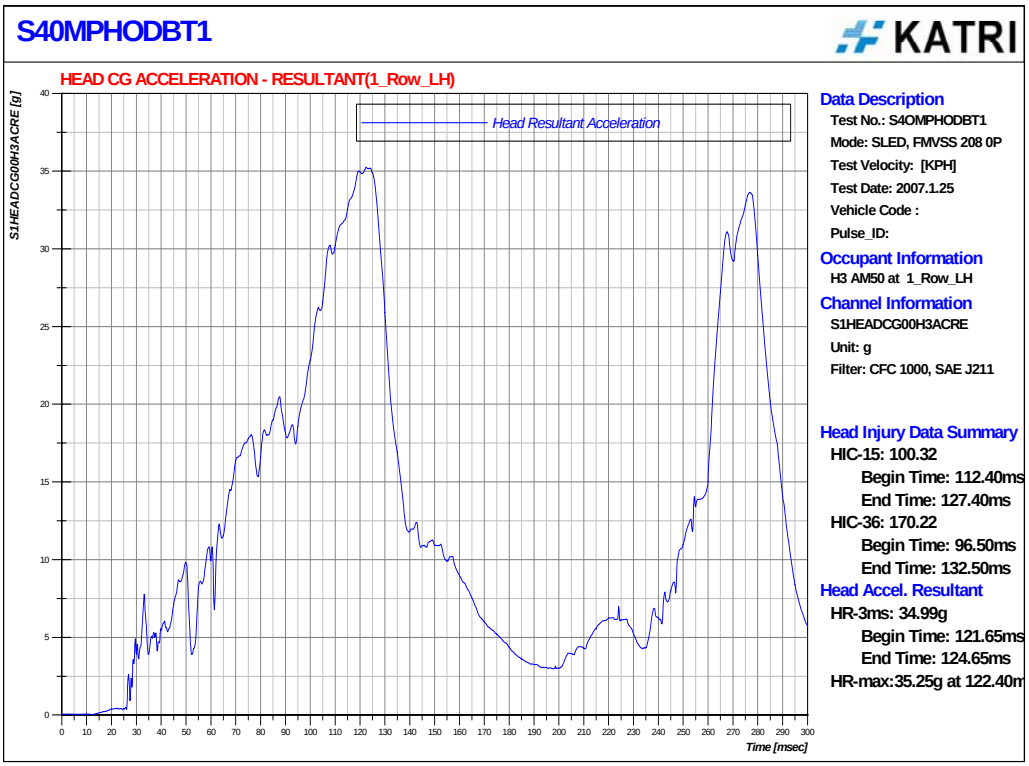


그림 3-2-40 운전석 HEAD

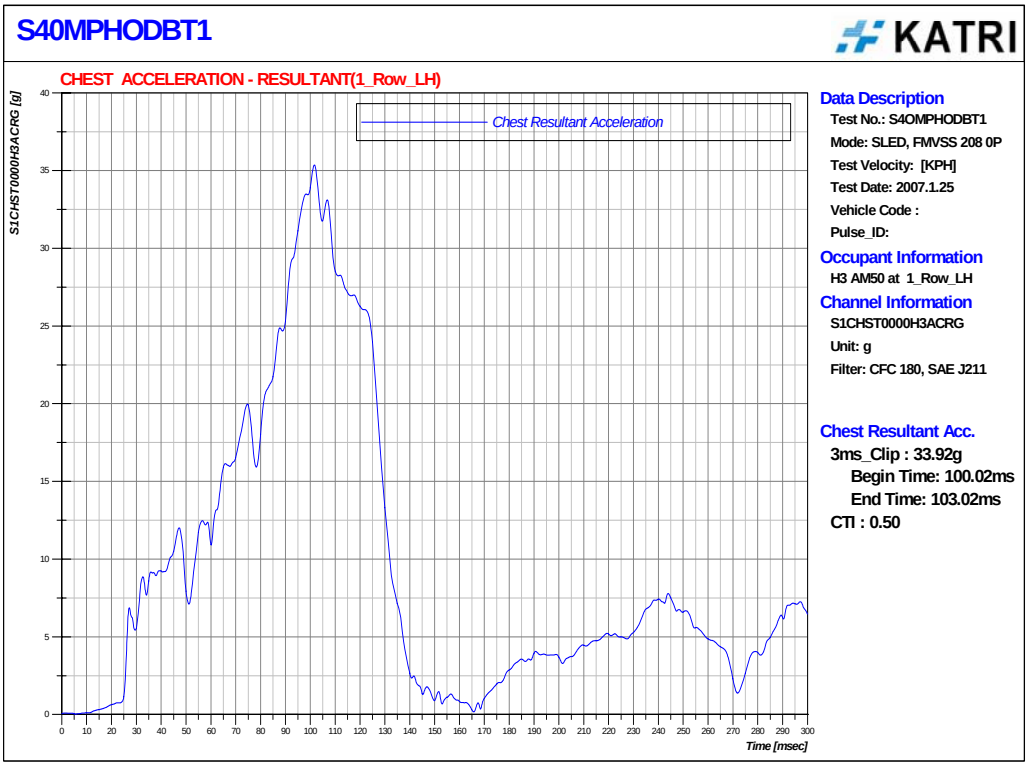


그림 3-2-41 40mph 운전석 CHEST

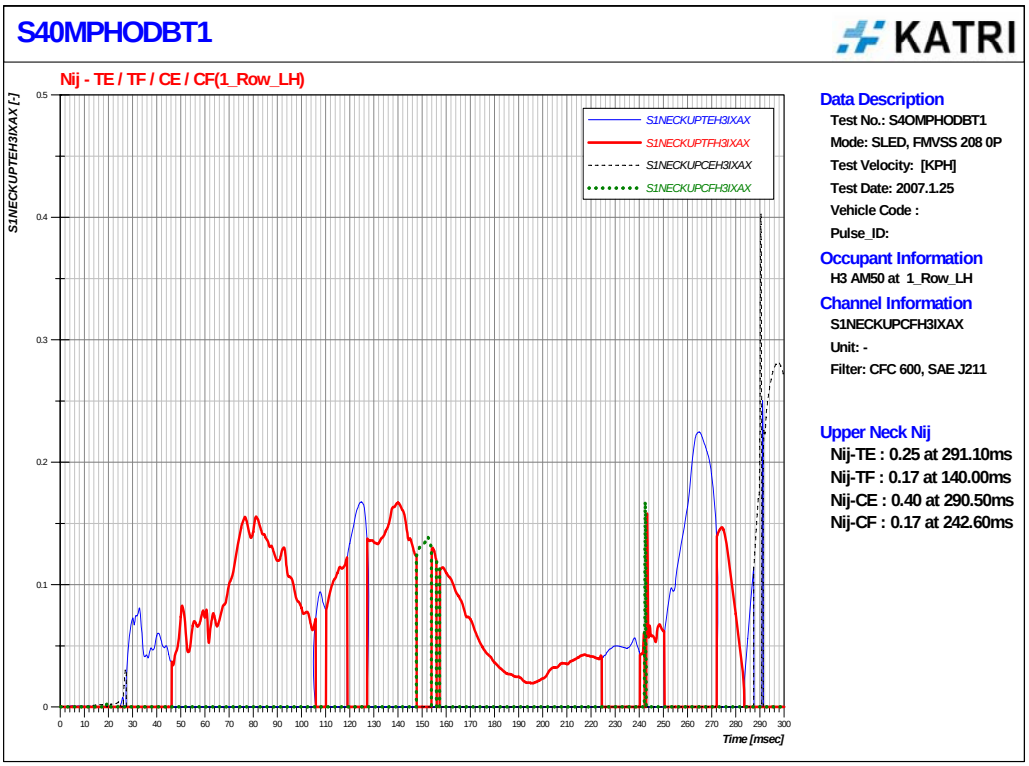


그림 3-2-42 40mph 운전석 NECK

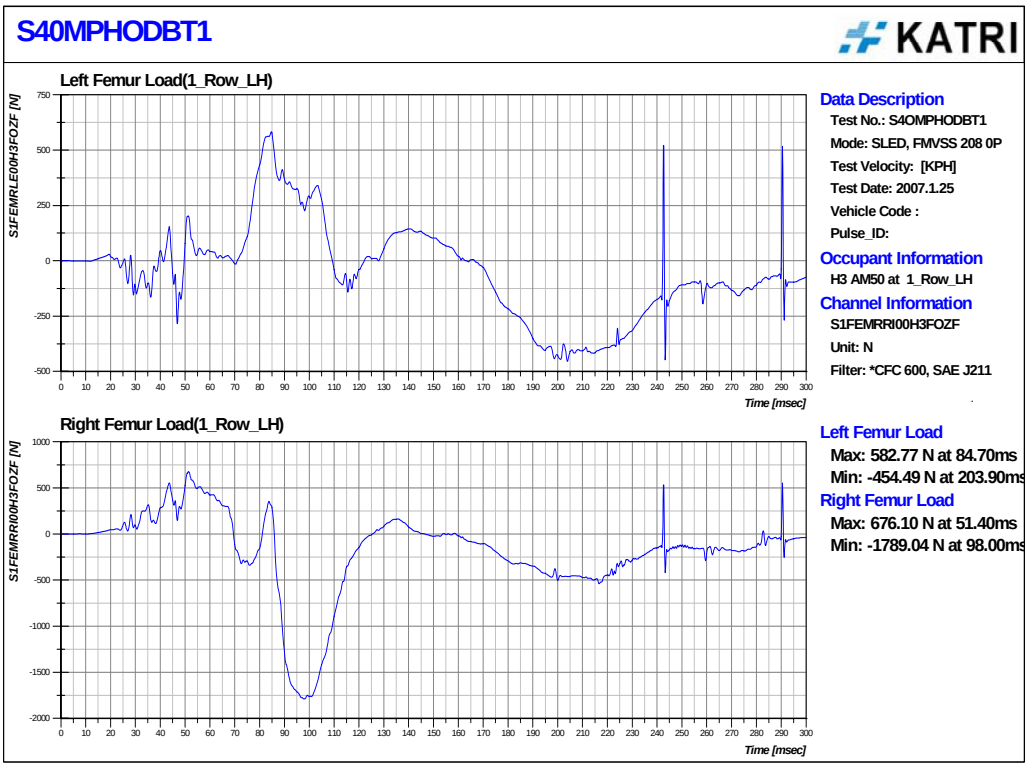


그림 3-2-43 40mph 운전석 FEMUR

○ TEST NO : S40MPHODBT2

계측 내용		운전자석(좌측)	승객석(우측)	
머리 (HIC_{36})		449.9	-	
흉부 (g)		41.67	-	
흉골압축변위량 (mm)		26.06	-	
NECK (N)	Tension	1709	-	
	Compression	1707	-	
N_{ij}	N_{te}	0.17	-	
	N_{tf}	0.26	-	
	N_{ce}	0.31	-	
	N_{cf}	0.11	-	
대퇴부 압축하중(kg)	좌측	926.2	-	
	우측	1,841.5	-	
좌석안전띠하중 (N)	어깨띠	4,942	-	
	무릎띠	7,498	-	
S/B SPOOL-OUT(mm) (in/out)		129/141	-	

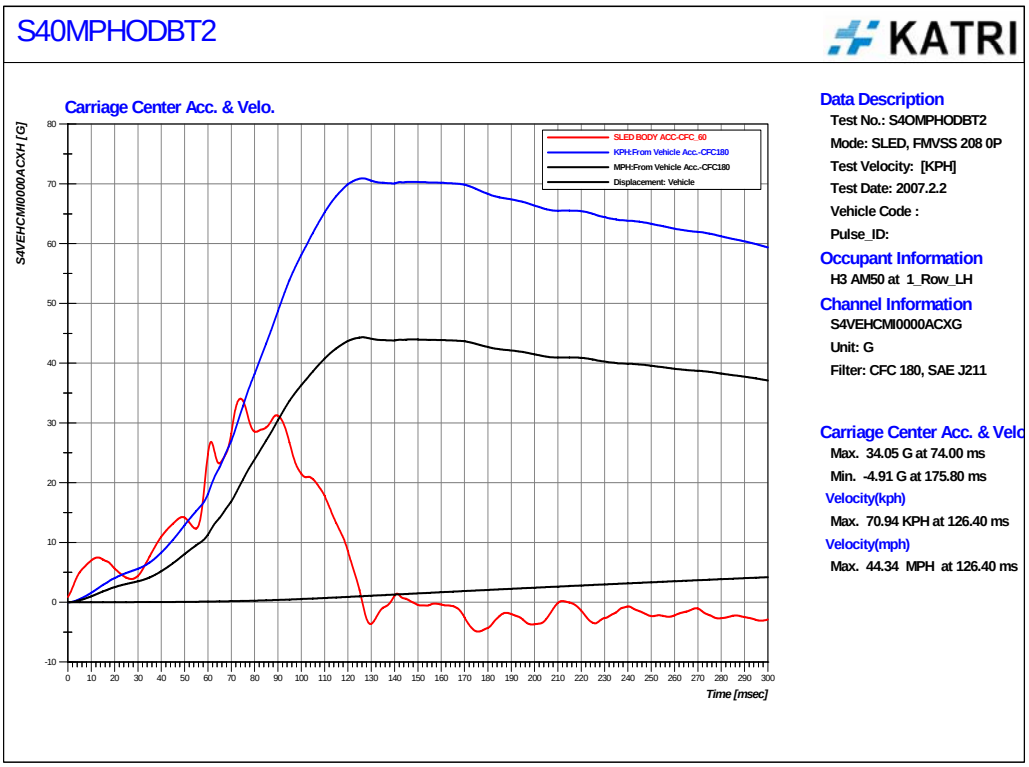


그림 3-2-44 40MPH 속도 그래프

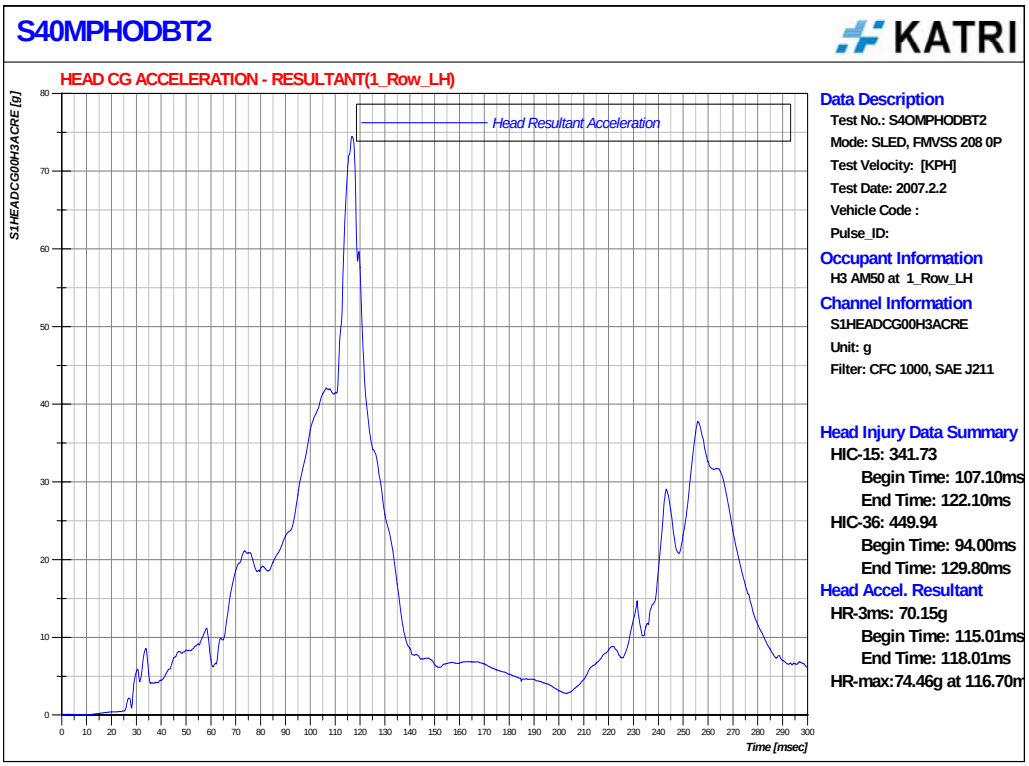


그림 3-2-45 40MPH 운전석 HEAD

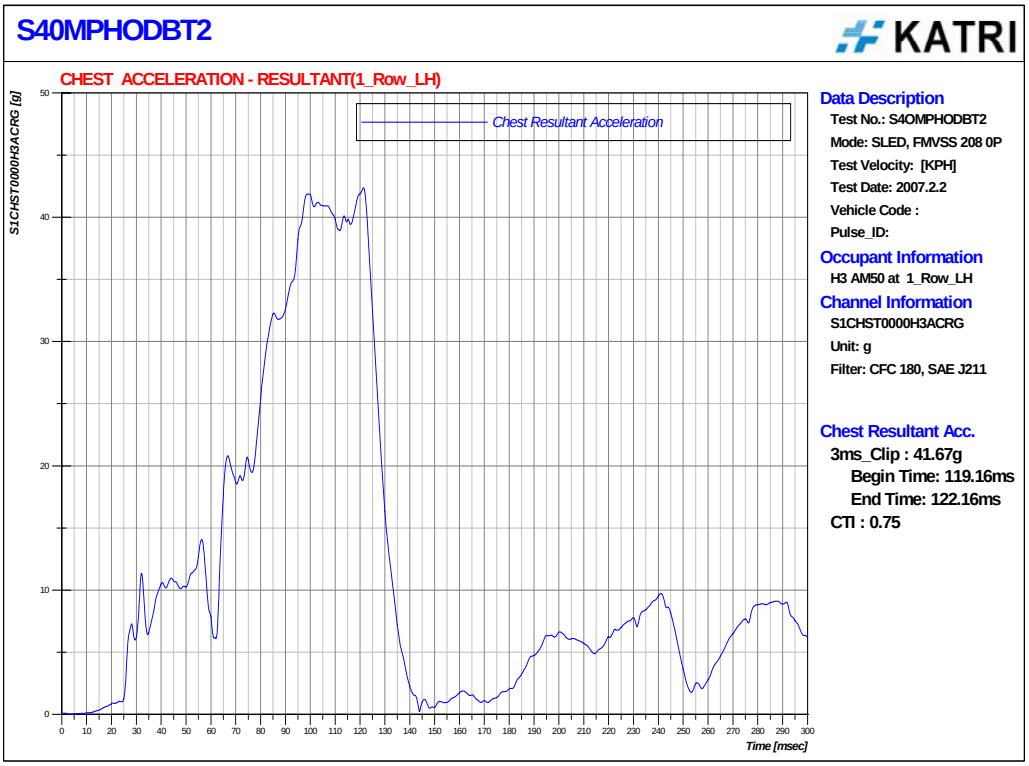


그림 3-2-46 40MPH 운전석 CHEST

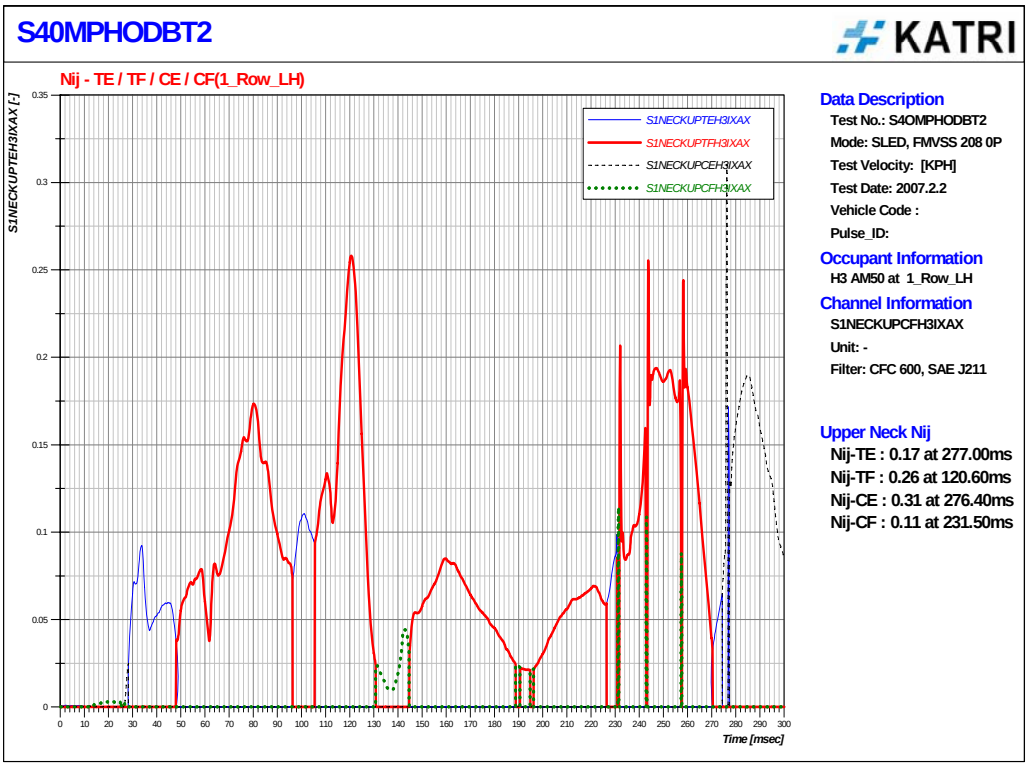


그림 3-2-47 40MPH 운전석 NECK

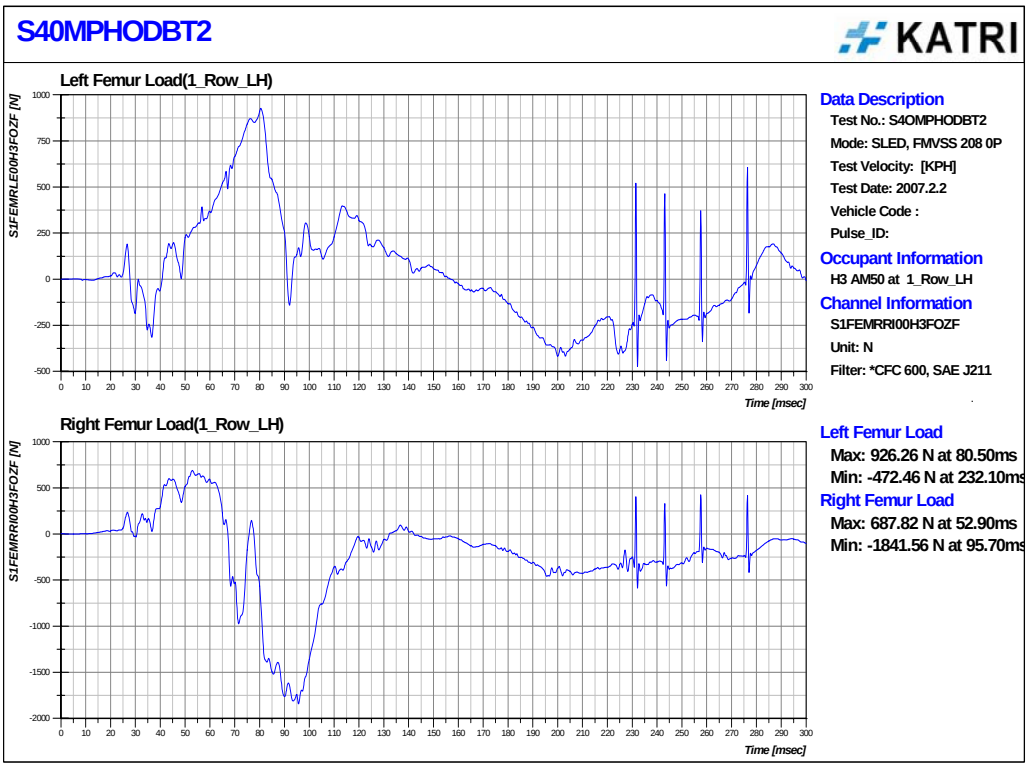


그림 3-2-48 40MPH 운전석 FEMUR

○ TEST NO : AV25MODB070619

계측 내용		운전자석(좌측)	승객석(우측)	
머리 (HIC_{36})		59.9	76.7	
흉부 (g)		15.7	19.4	
흉골압축변위량 (mm)		18.19	20.94	
NECK (N)	Tension	459.3	446.5	
	Compression	75.96	366.5	
N_{ij}	N_{te}	0.15	0.23	
	N_{tf}	0.20	0.21	
	N_{ce}	0.04	0.44	
	N_{cf}	0.06	0.07	
대퇴부 압축하중(kg)	좌측	557.2	344.8	
	우측	578.1	304.8	
좌석안전띠하중 (N)	어깨띠	2,981	2,902	
	무릎띠	1,579	1,239	
S/B SPOOL-OUT(mm) (in/out)		8/142	61/2136	

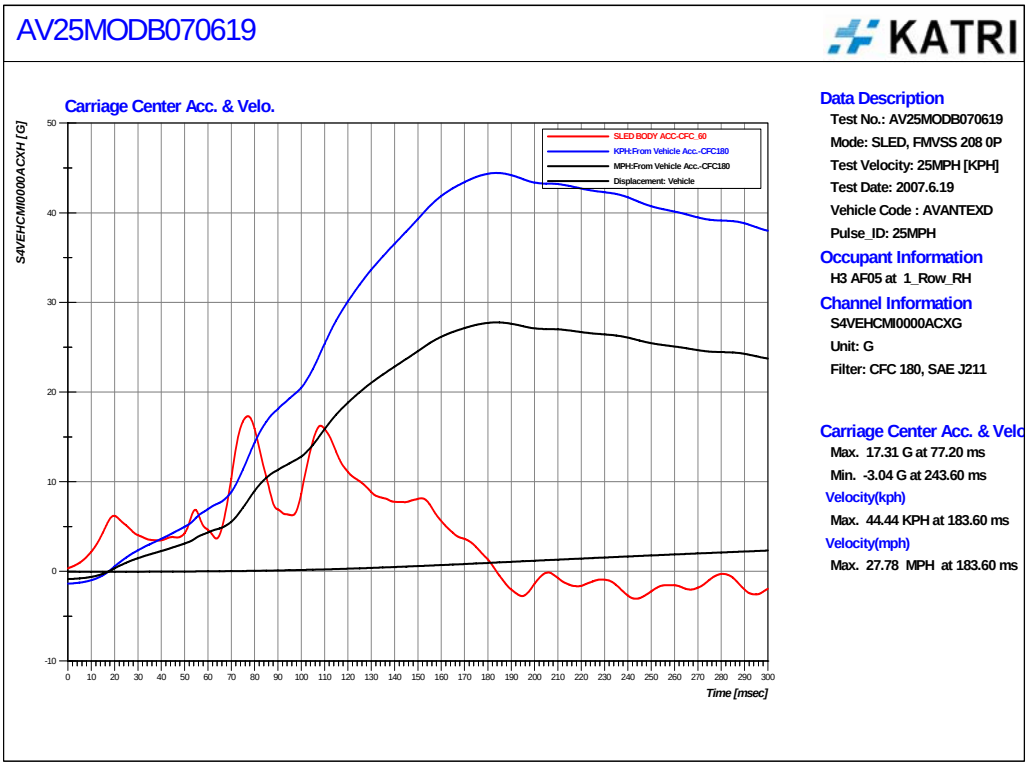


그림 3-2-49 25MPH 속도그래프

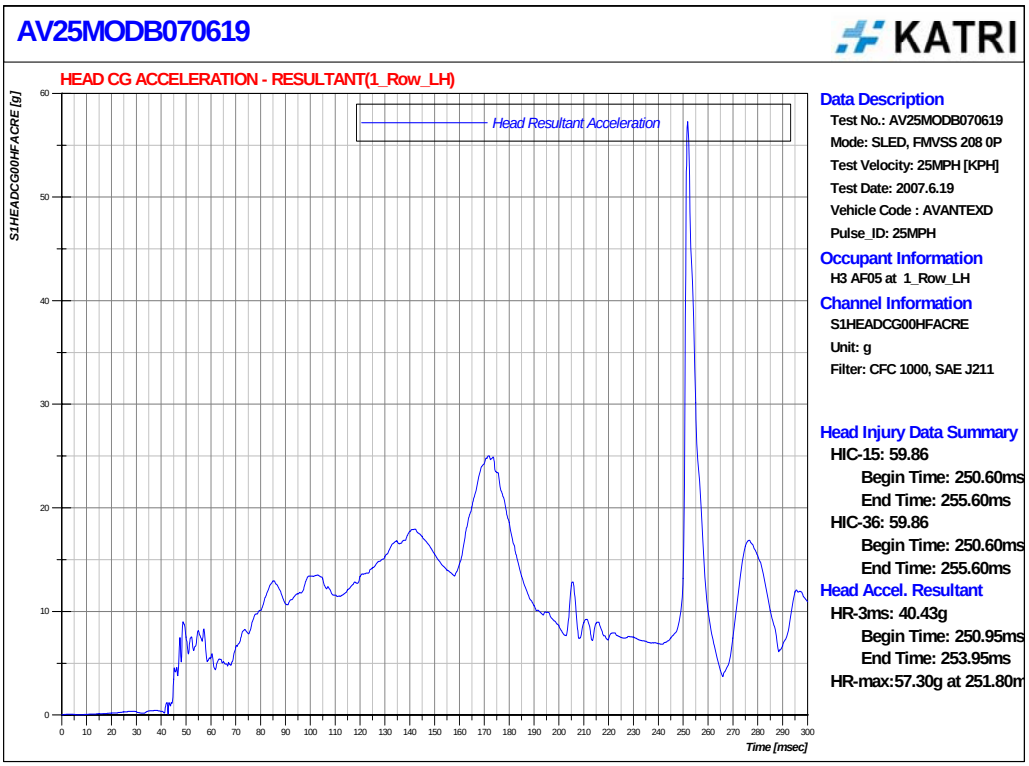


그림 3-2-50 25MPH 운전석 HEAD

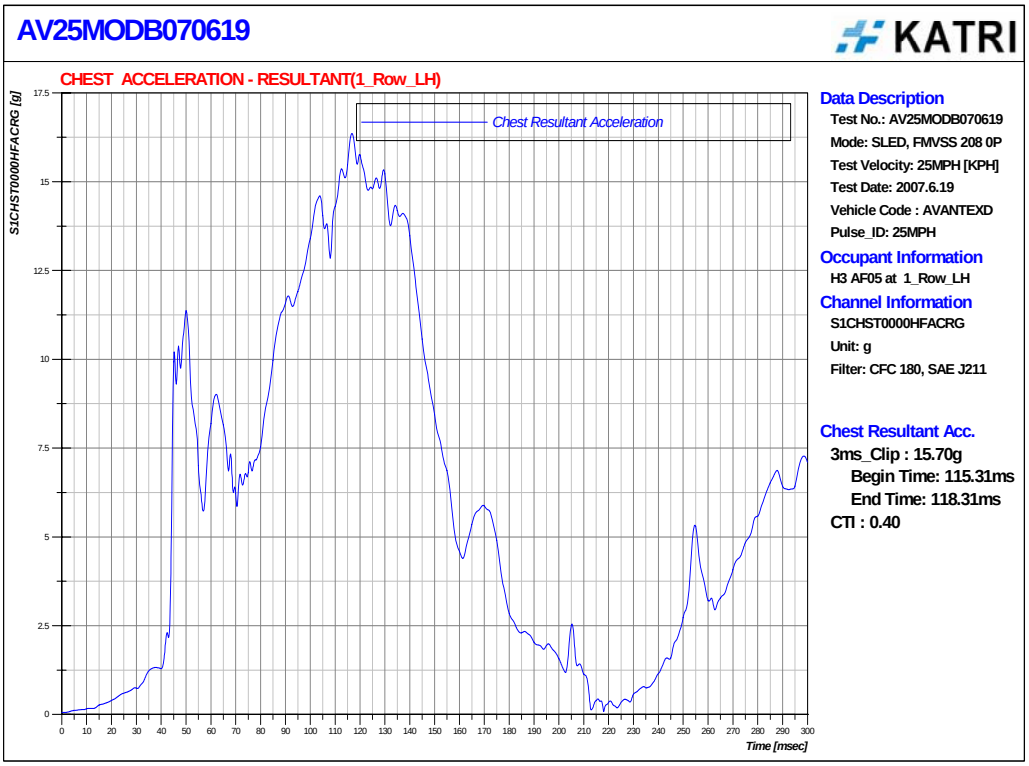


그림 3-2-51 25MPH 운전석 CHEST

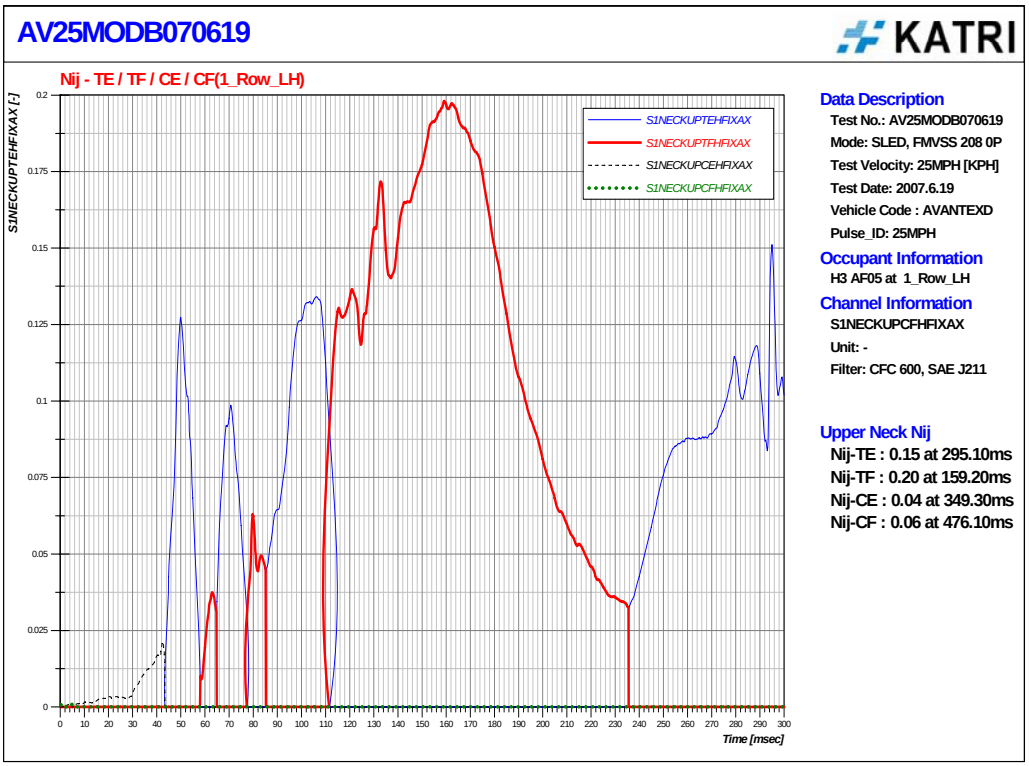


그림 3-2-52 25MPH 운전석 NECK

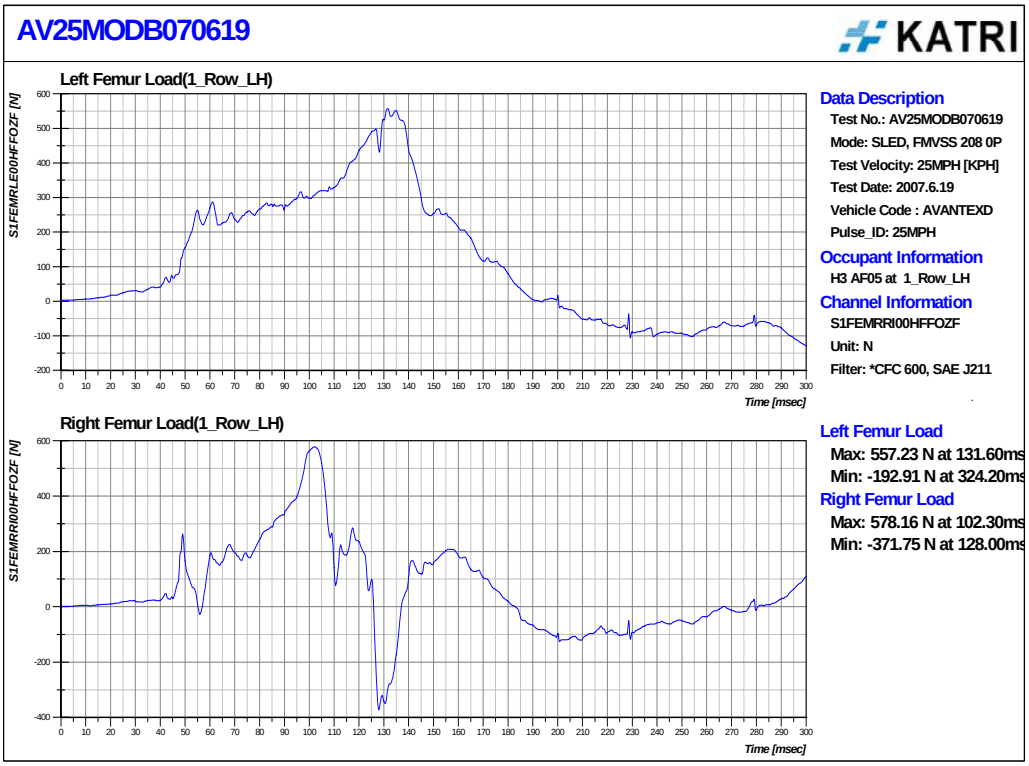


그림 3-2-53 25MPH 운전석 FEMUR

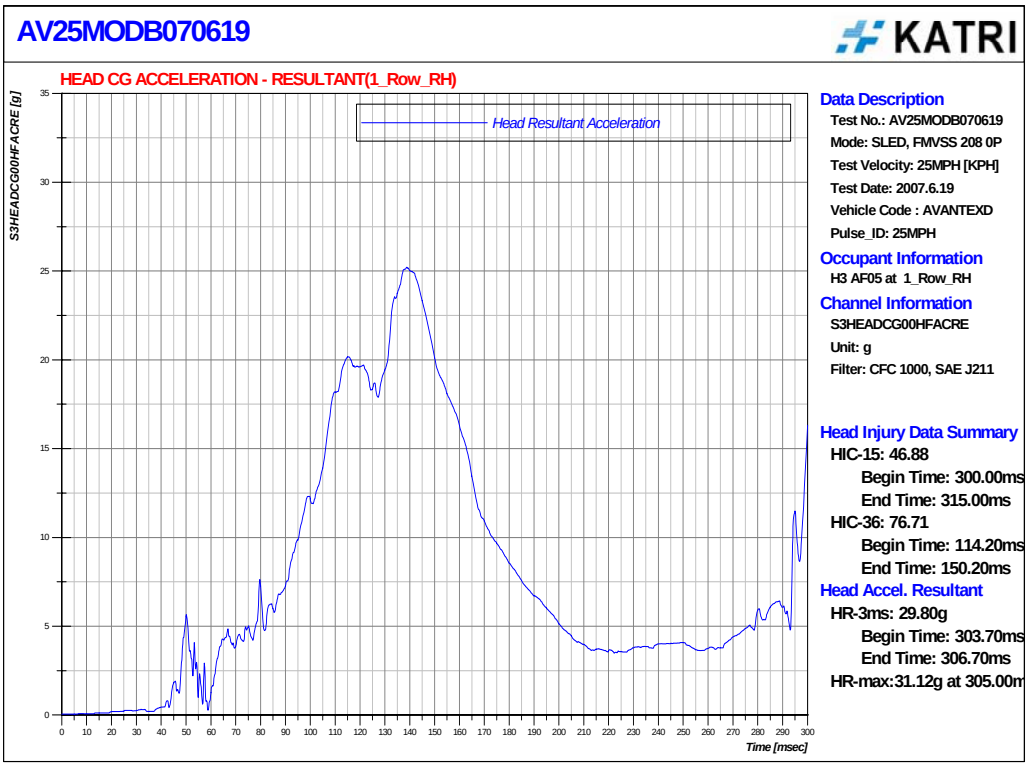


그림 3-2-54 25MPH 조수석 HEAD

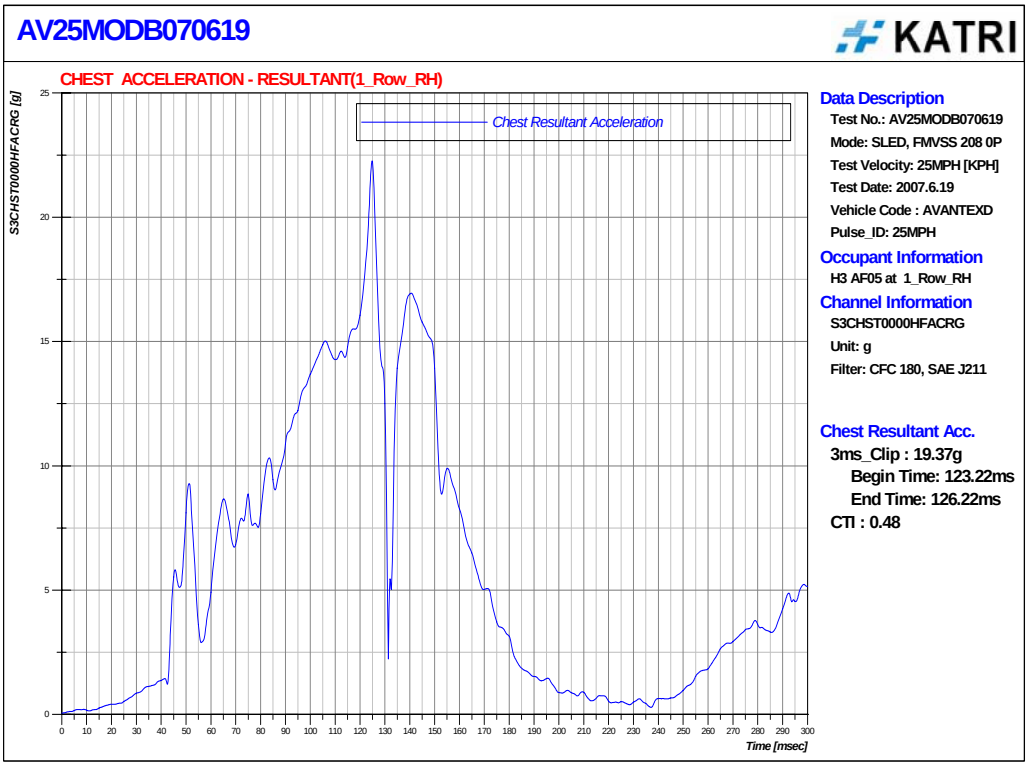


그림 3-2-55 25MPH 조수석 CHEST

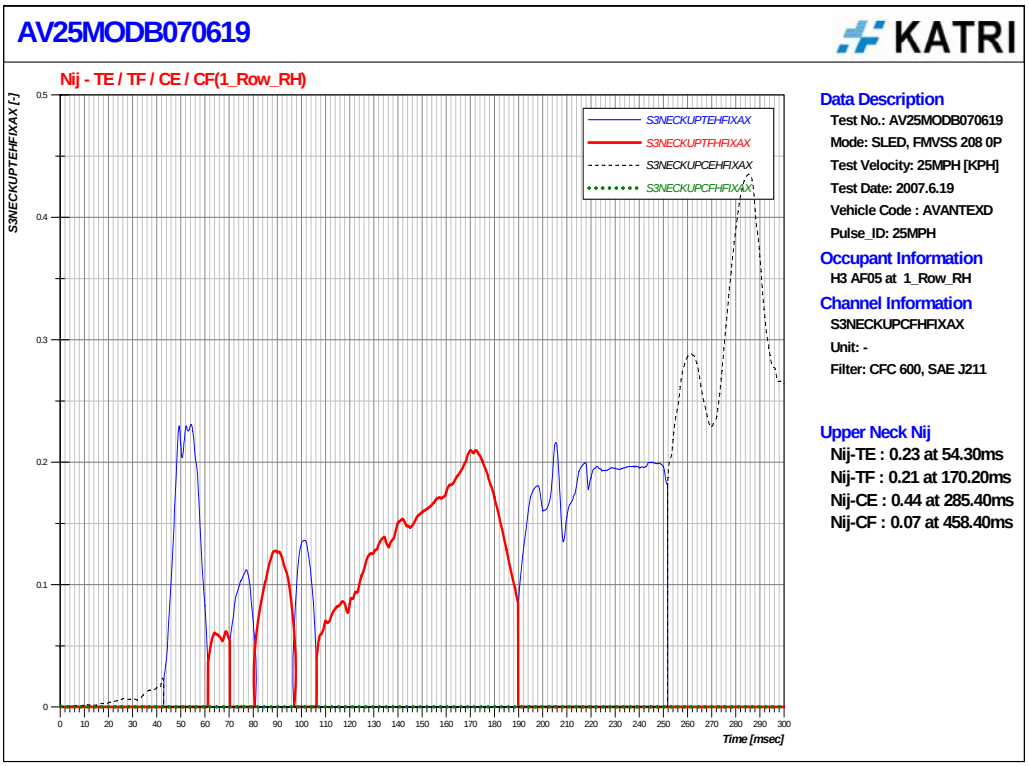


그림 3-2-56 25MPH 조수석 NECK

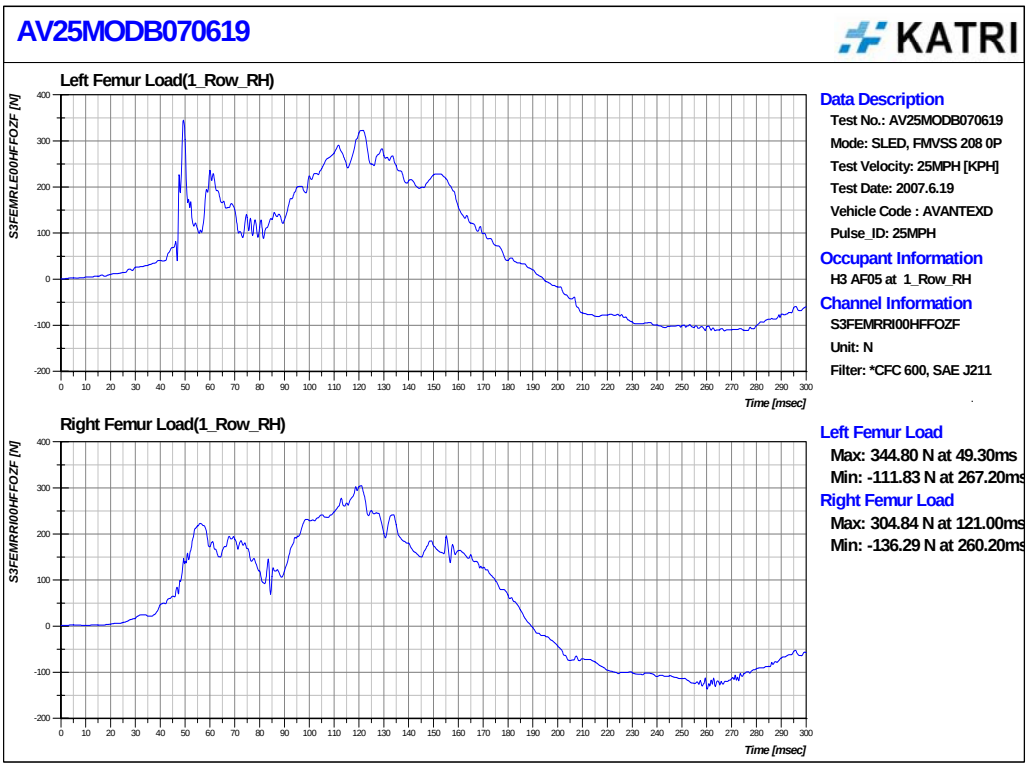


그림 3-2-57 25MPH 조수석 FEMUR

○ TEST NO : AV25MODB070724

계측 내용		운전자석(좌측)	승객석(우측)	
머리 (HIC$_{36}$)		35.86	66.13	
흉부 (g)		15.83	20.43	
흉골압축변위량 (mm)		15.45	16.02	
NECK (N)	Tension	478.8	795.04	
	Compression	211.2	71.28	
N_{ij}	N_{te}	0.24	0.33	
	N_{tf}	0.17	0.15	
	N_{ce}	0.14	0.19	
	N_{cf}	0.03	0.15	
대퇴부 압축하중(kg)	좌측	302.7	196.4	
	우측	309.2	259.8	
좌석안전띠하중 (N)	어깨띠	3284	3979	
	무릎띠	1312	1584	
S/B SPOOL-OUT(mm) (in/out)		6/147	141/147	

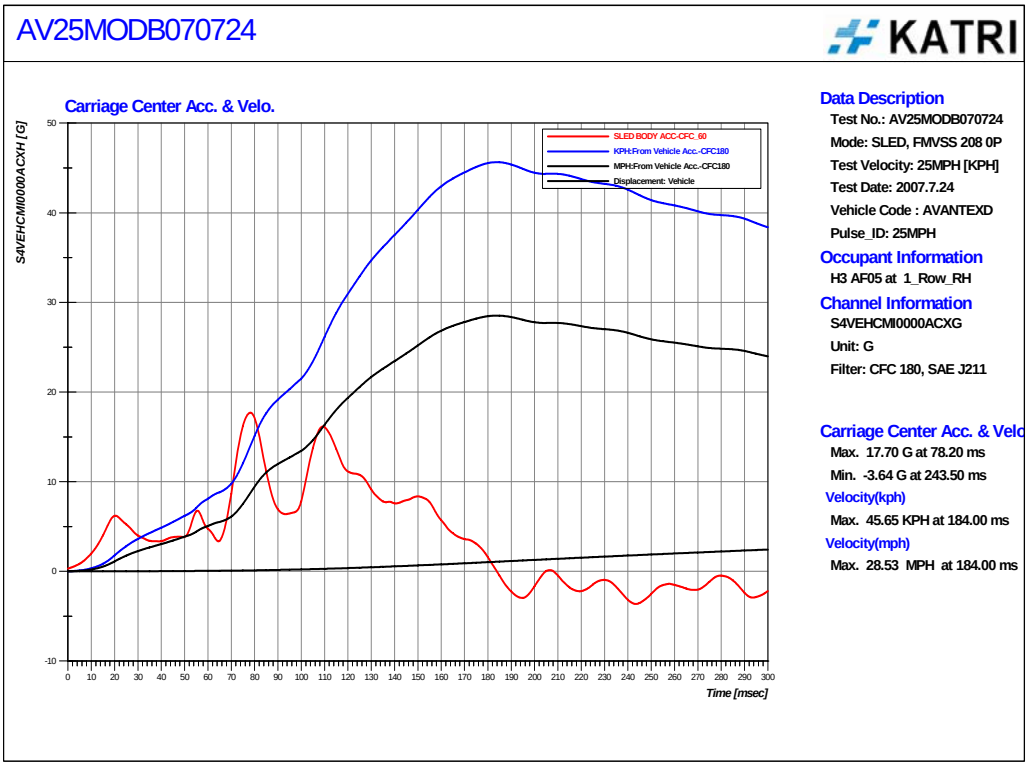


그림 3-2-58 35MPH 속도그래프

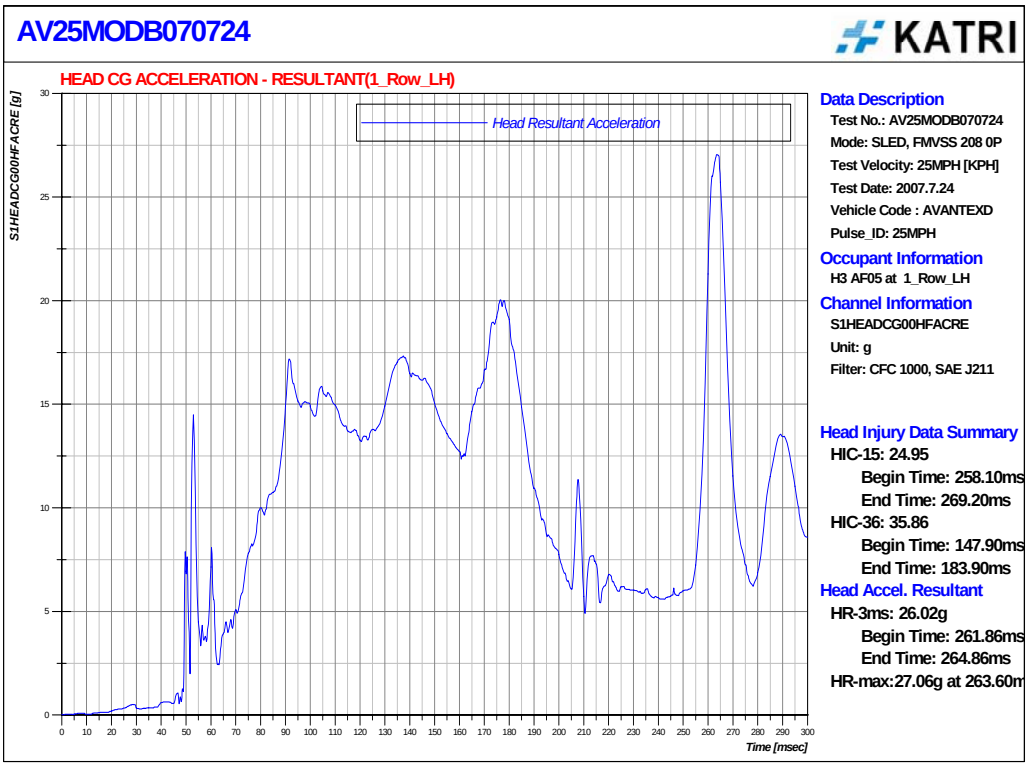


그림 3-2-59 25MPH 운전석 HEAD

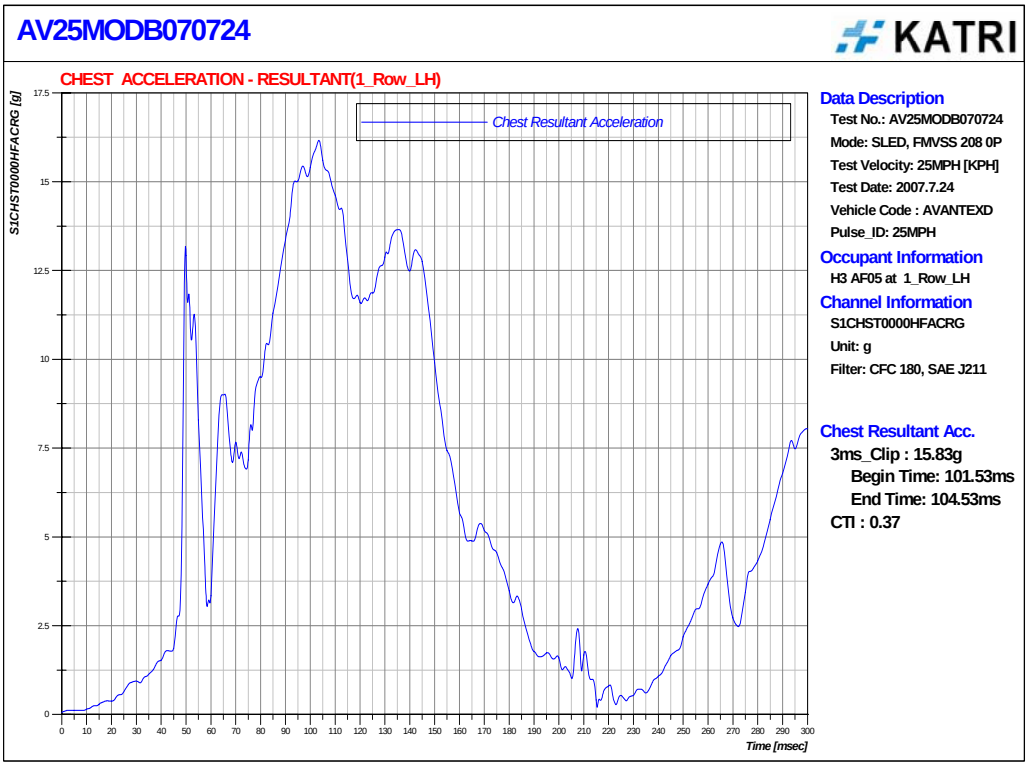


그림 3-2-60 25MPH 운전석 CHEST

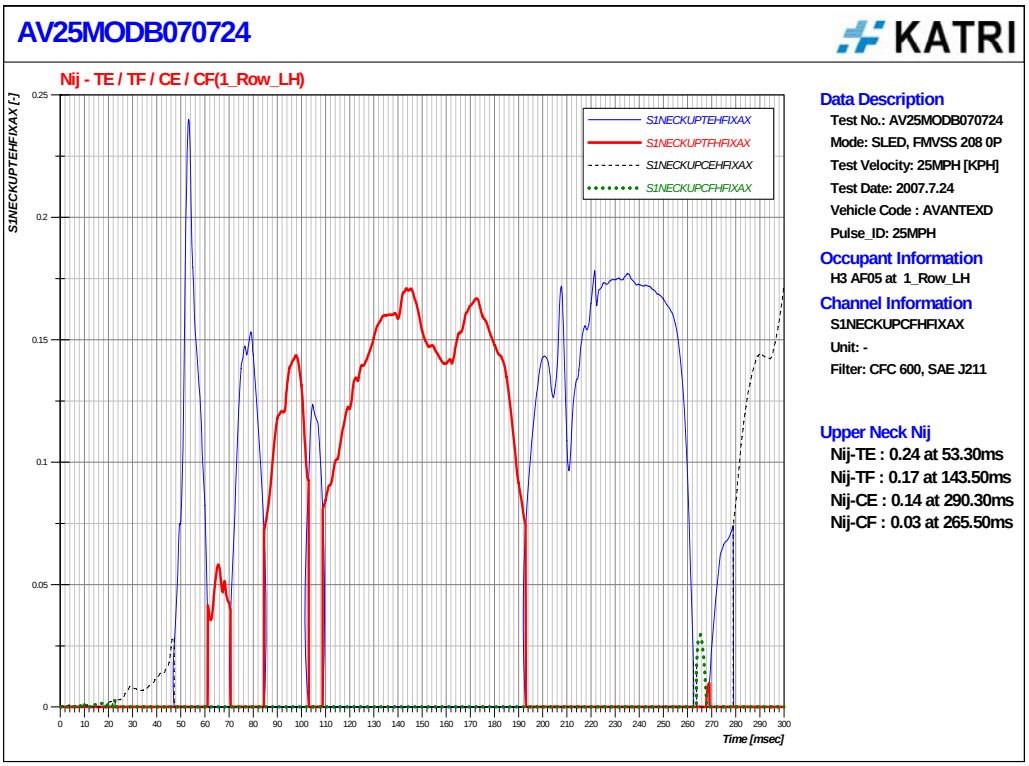


그림 3-2-61 25MPH 운전석 NECK

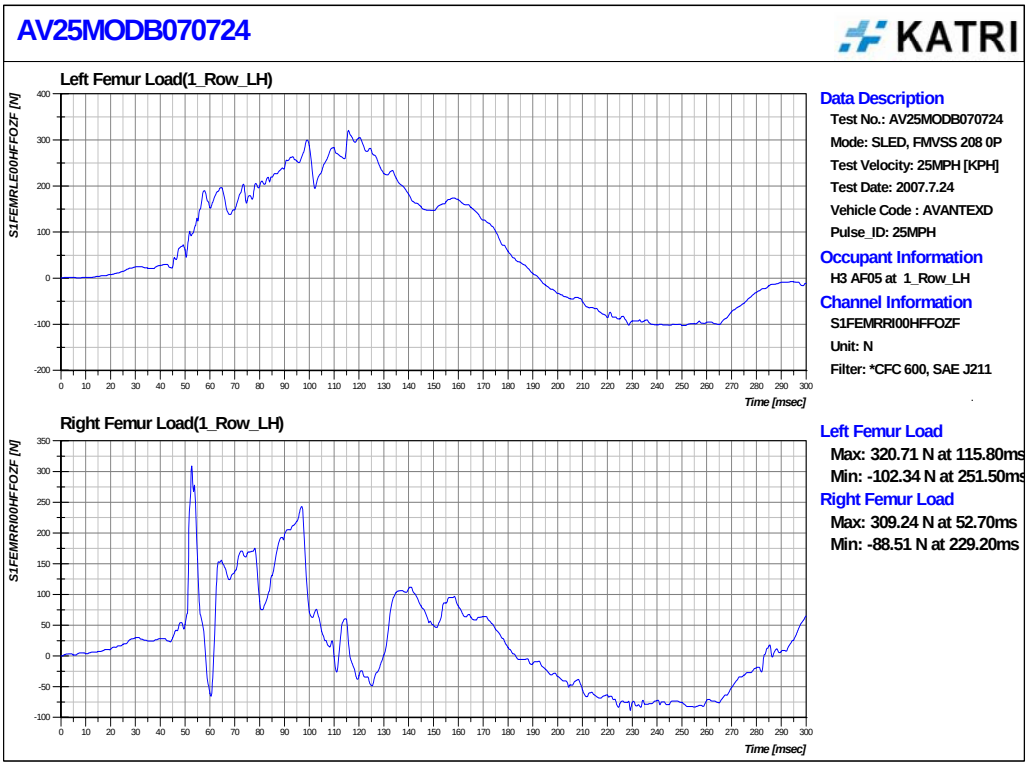


그림 3-2-62 25MPH 운전석 FEMUR

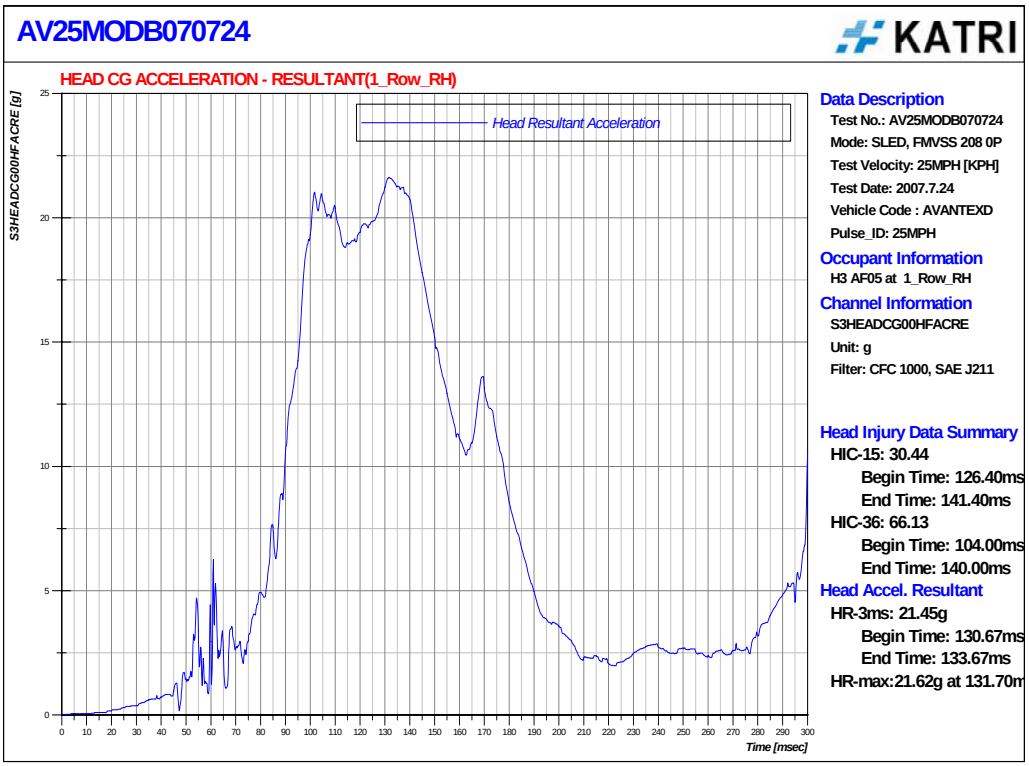


그림 3-2-63 25MPH 조수석 HEAD

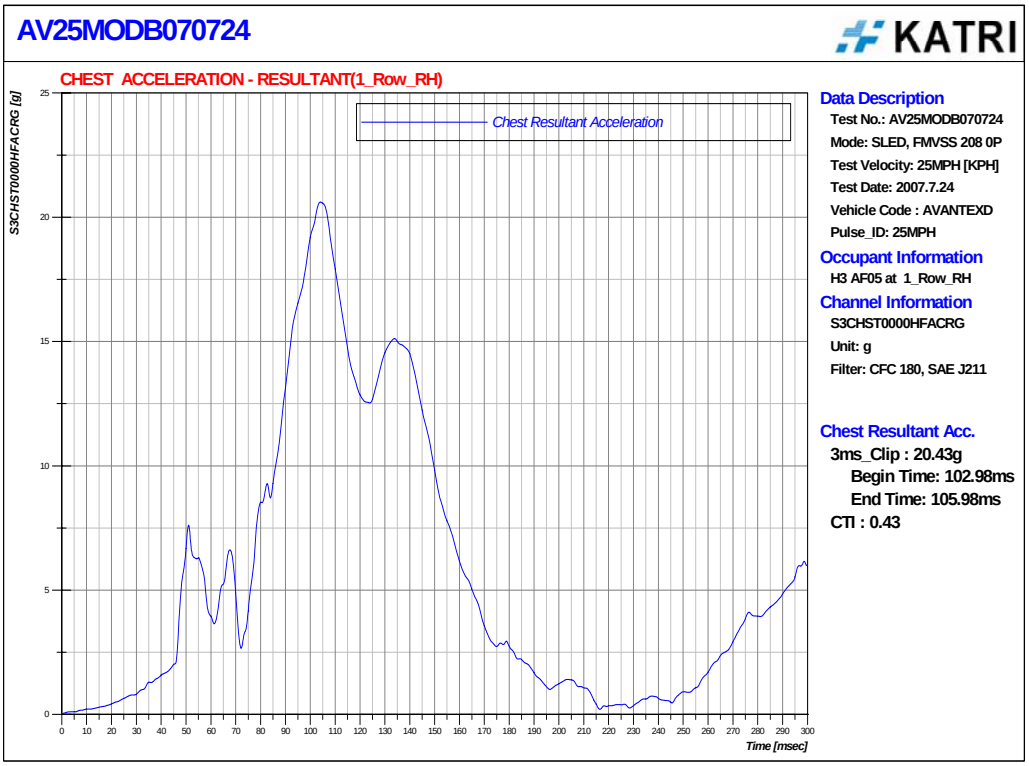


그림 3-2-64 25MPH 조수석 CHEST

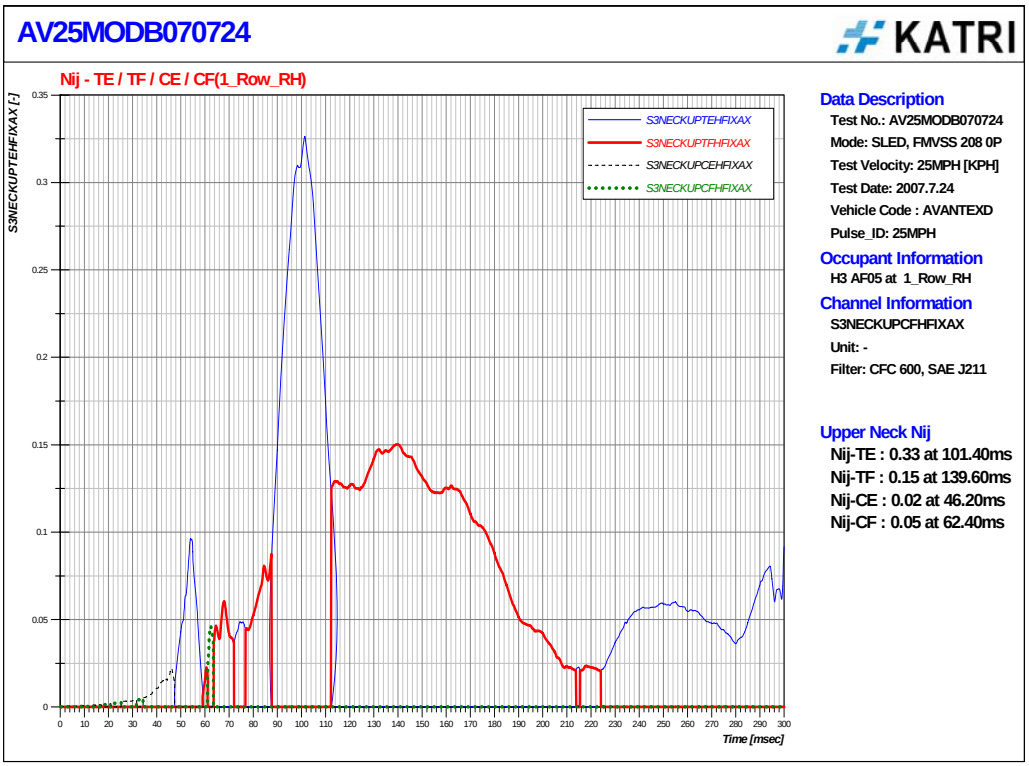


그림 3-2-65 25MPH 조수석 NECK

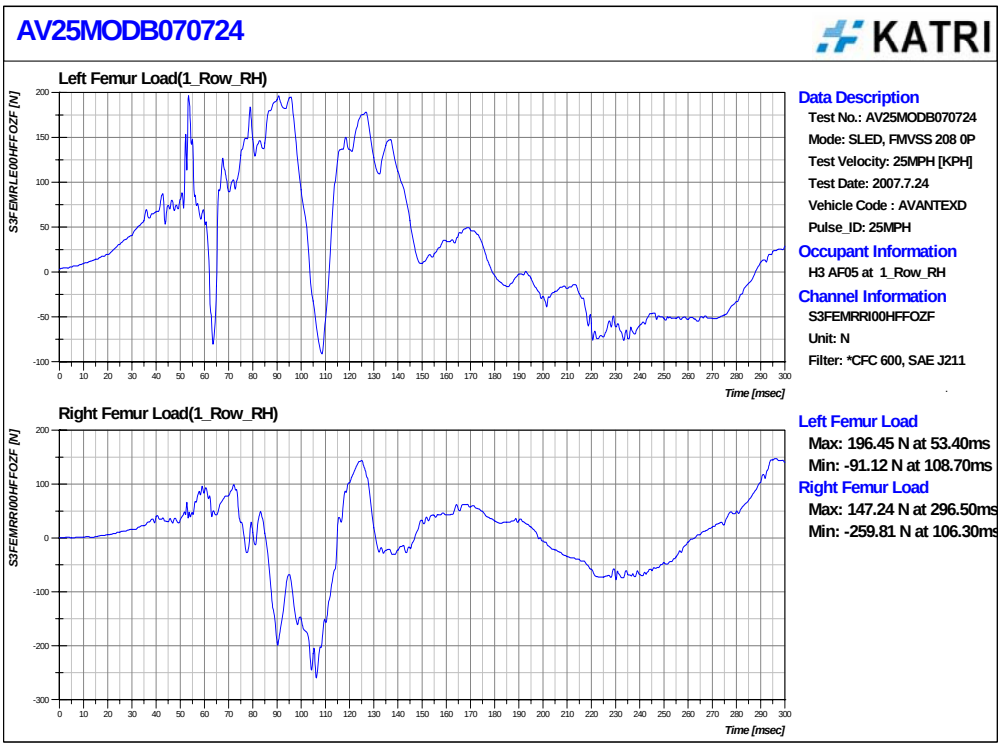


그림 3-2-66 25MPH 조수석 FEMUR

2) 40MPH 비교 데이터자료

- 40MPH 운전석 HEAD

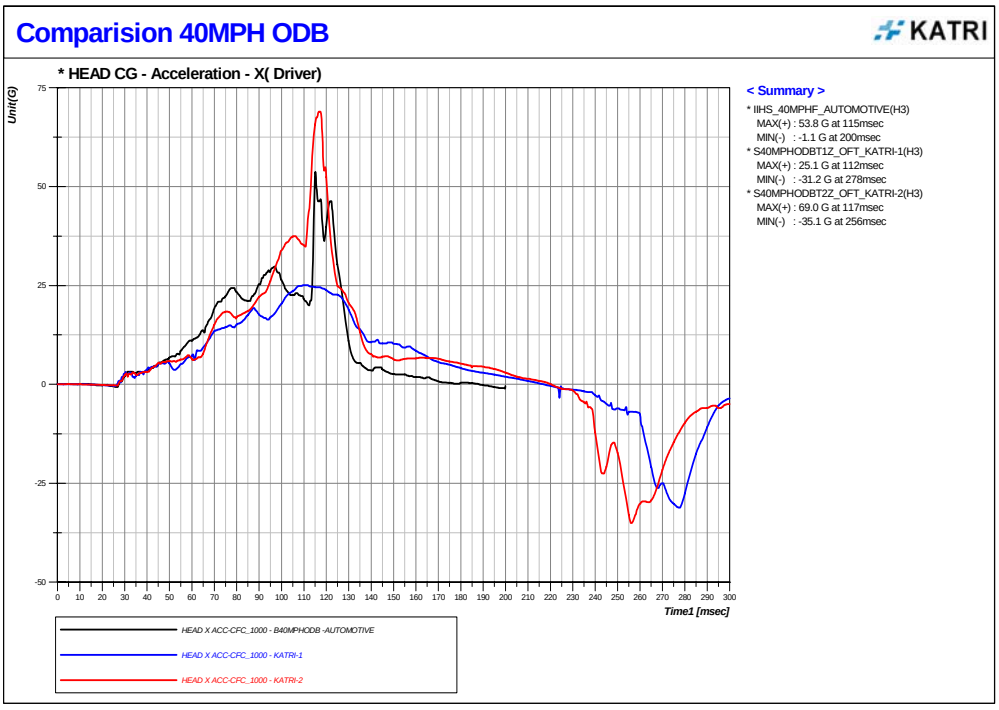


그림 3-2-67 40MPH 운전석 HEAD

- 40MPH 운전석 CHEST

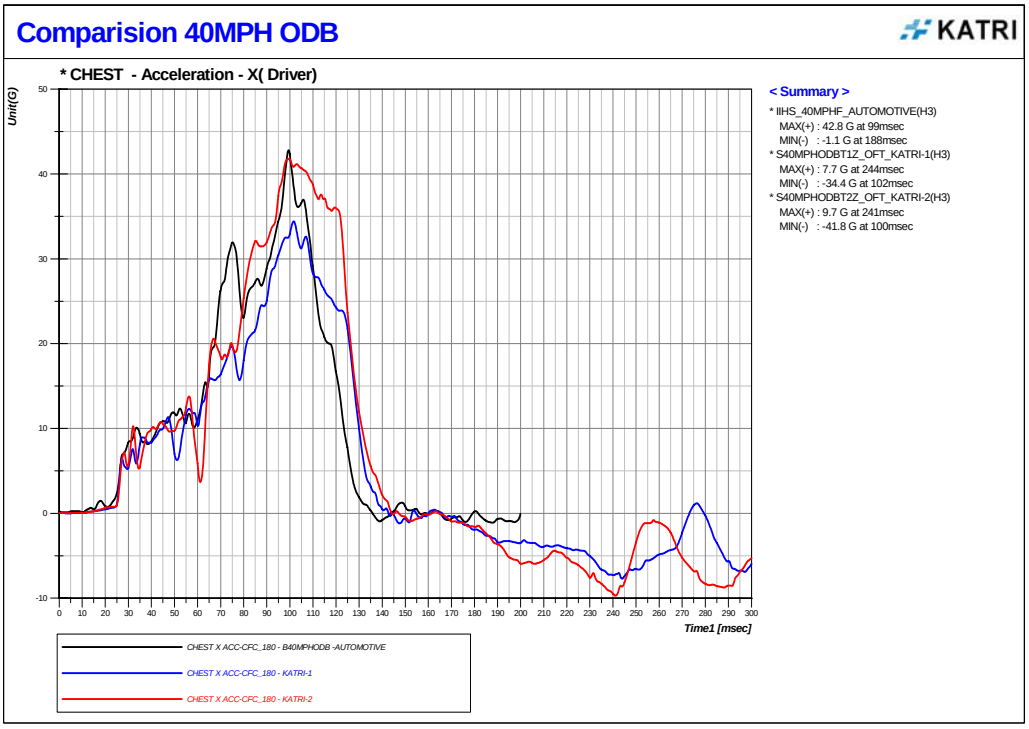


그림 3-2-68 40MPH 운전석 CHEST

- 40MPH 운전석 NECK

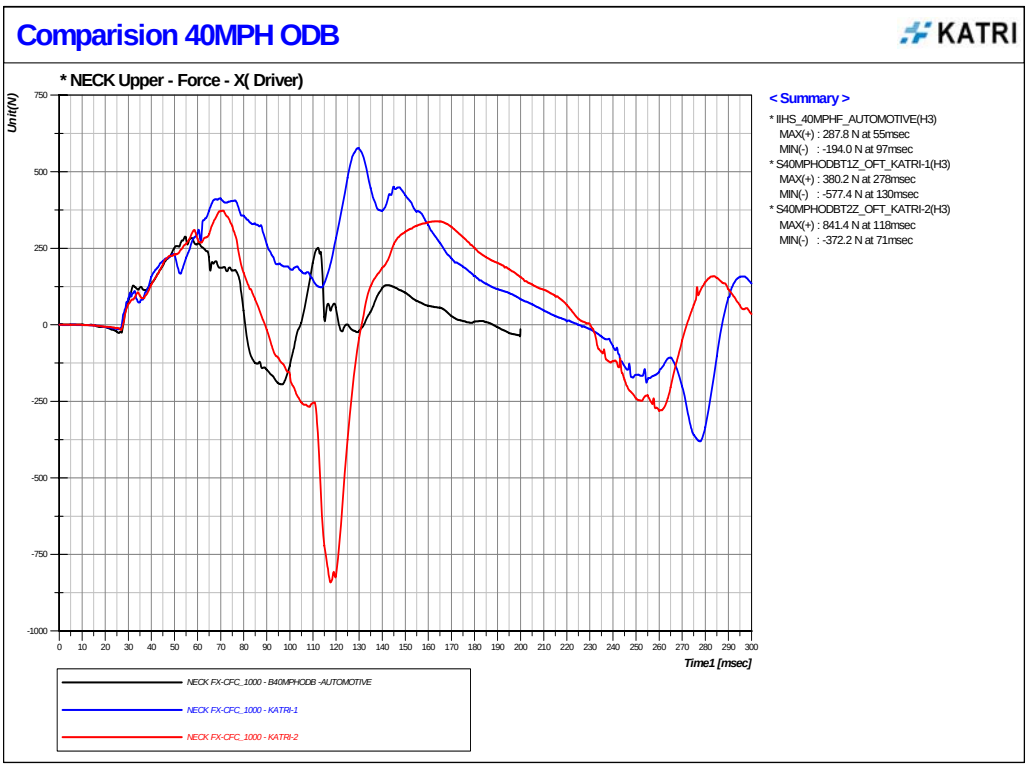


그림 3-2-69 40MPH 운전석 NECK

○ 25 MPH(실차충돌-슬래드)

- 25MPH 운전석 HEAD

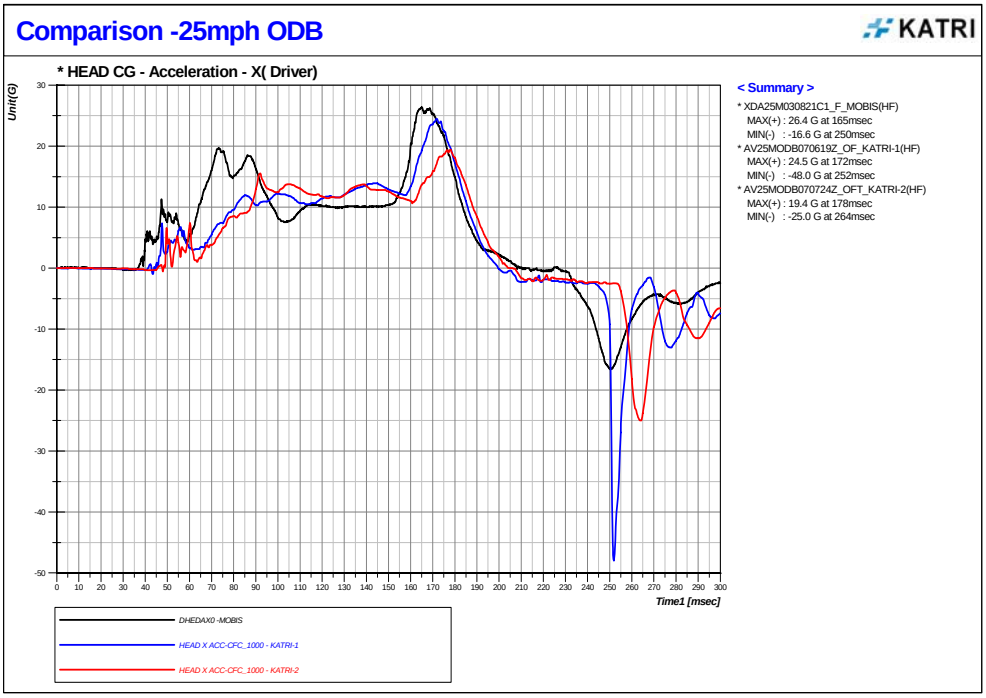


그림 3-2-70 25MPH 운전석 HEAD

- 25MPH 운전석 CHEST

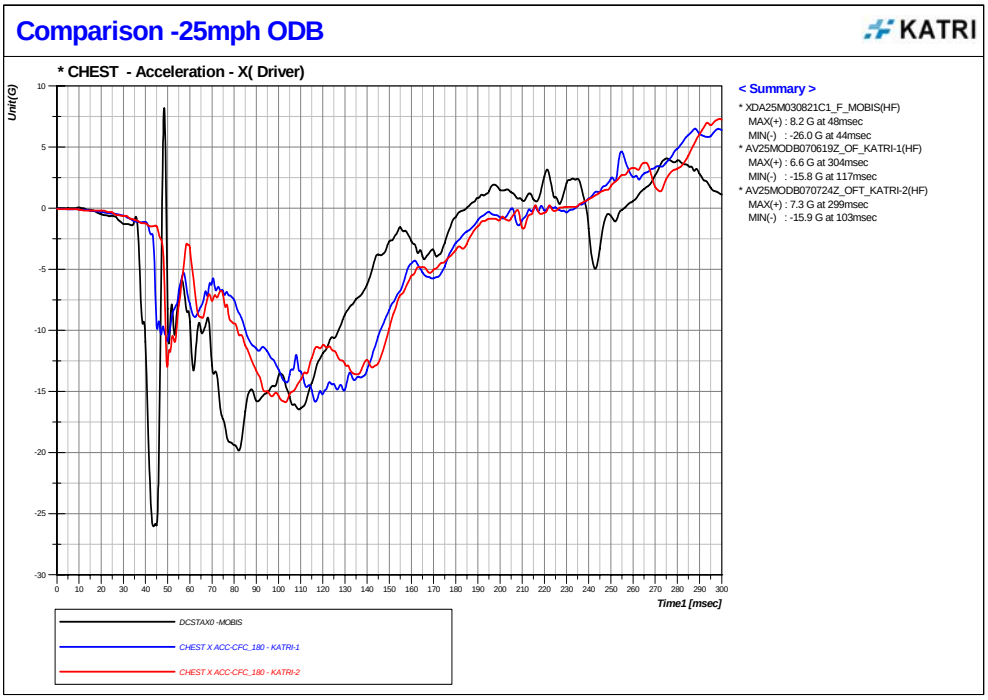


그림 3-2-71 25MPH 운전석 CHEST

- 25MPH 운전석 NECK

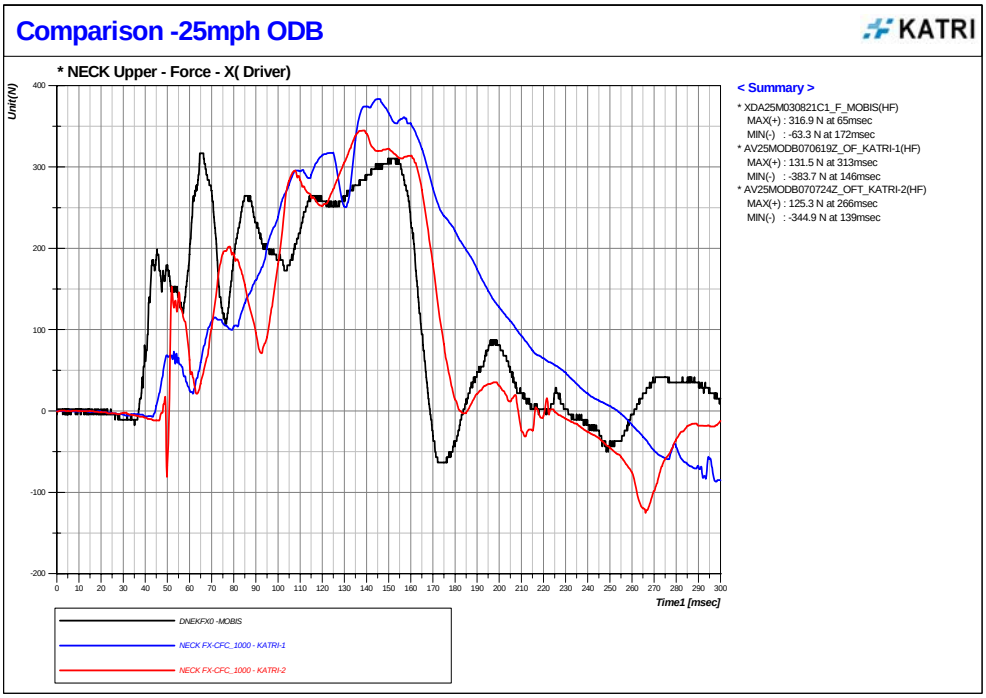


그림 3-2-72 25MPH 운전석 NECK

- 25MPH 조수석 HEAD

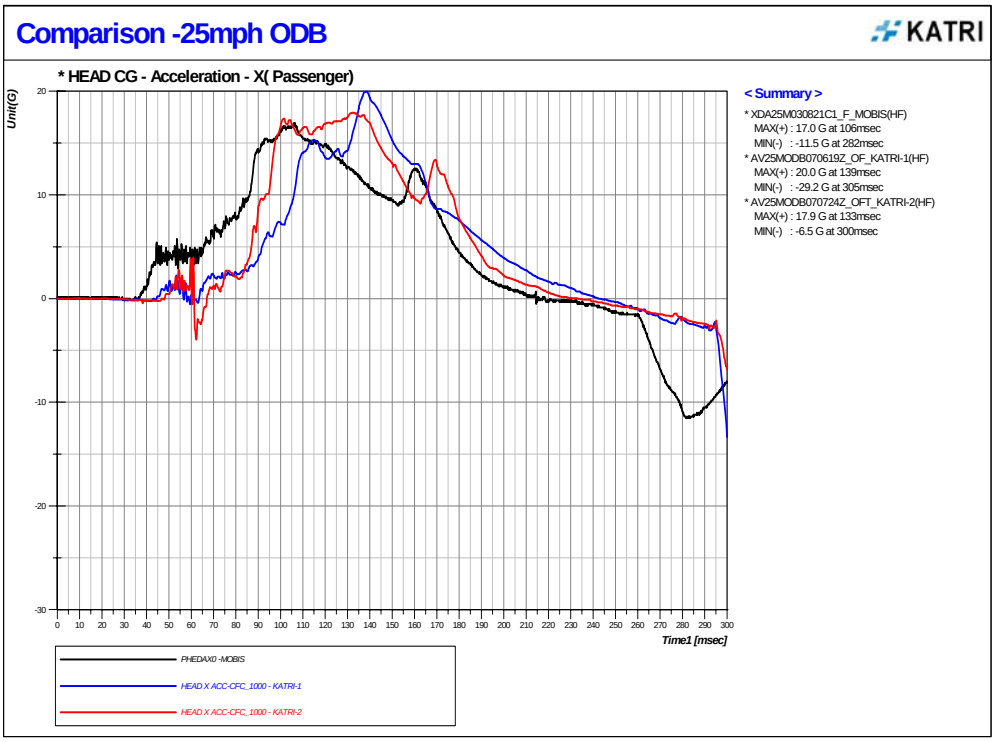


그림 3-2-73 25MPH 조수석 HEAD

- 25MPH 조수석 CHEST

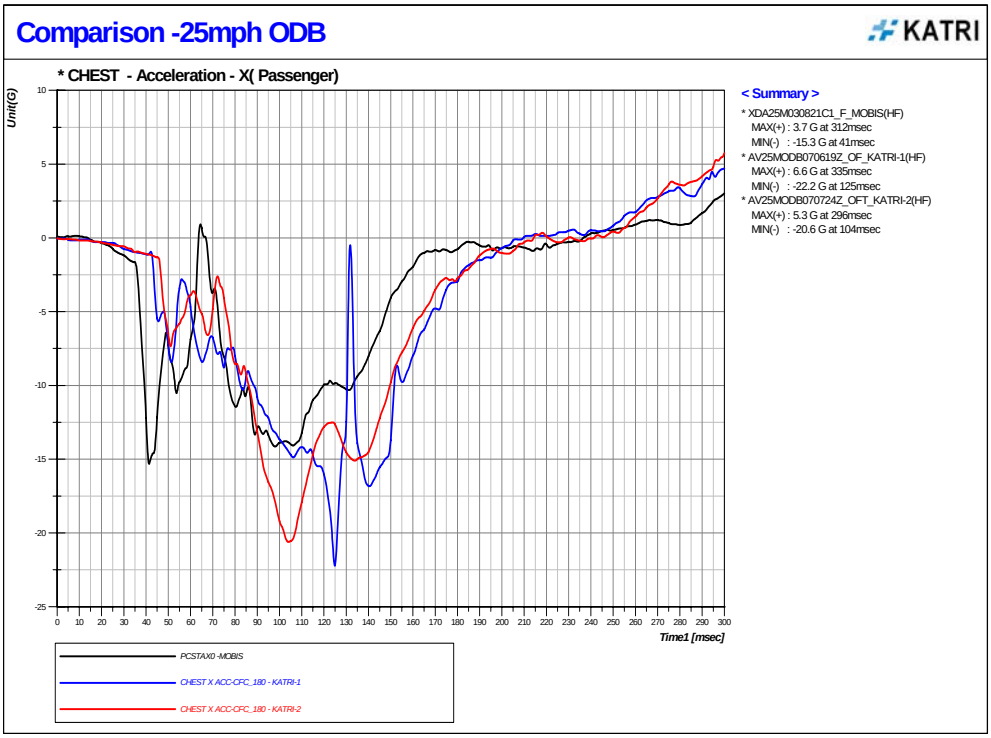


그림 3-2-74 25MPH 조수석 CHEST

- 25MPH 조수석 NECK

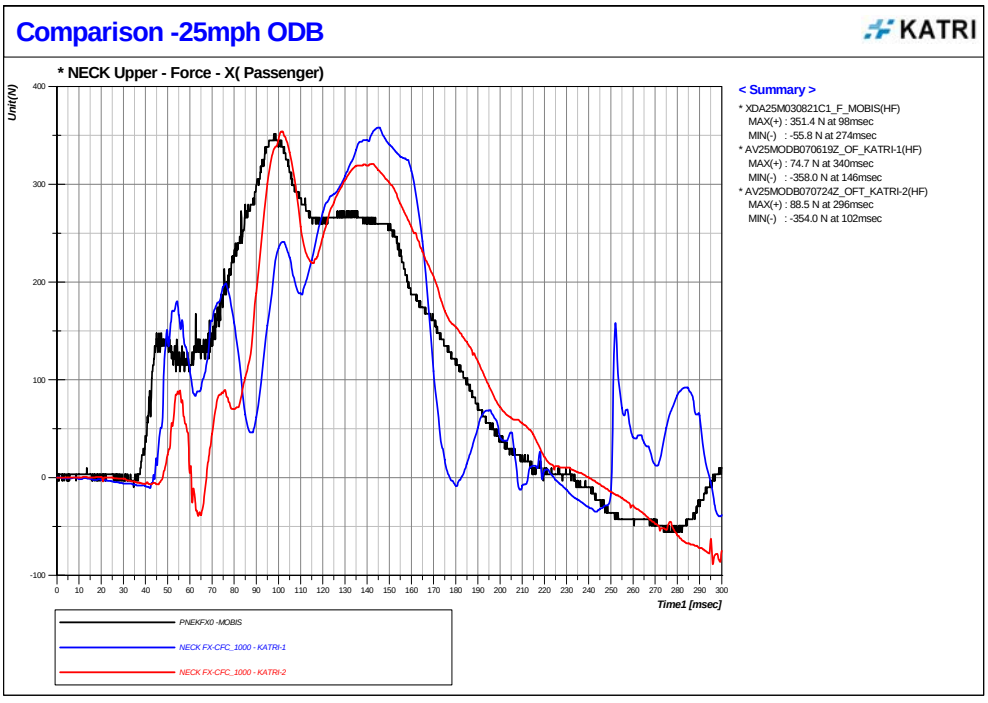


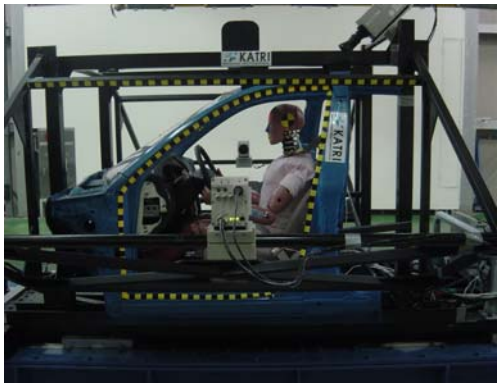
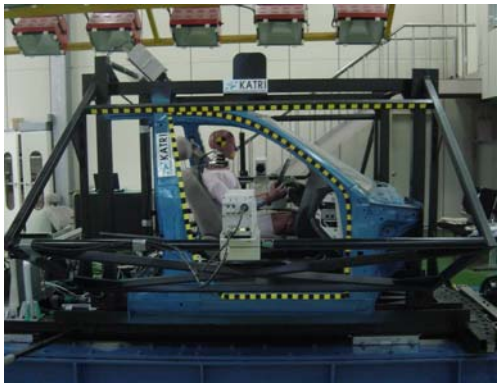
그림 3-2-75 25MPH 조수석 NECK

3) 시험사진

○ S40MPHODBT1

<시험전>





<시험후>







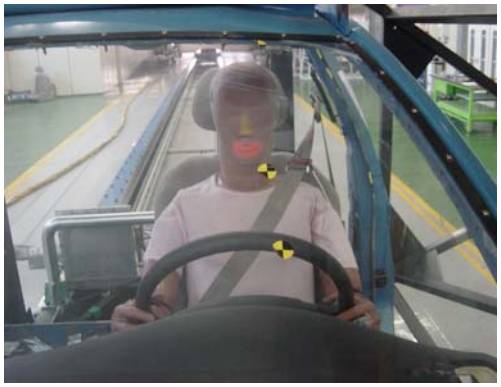






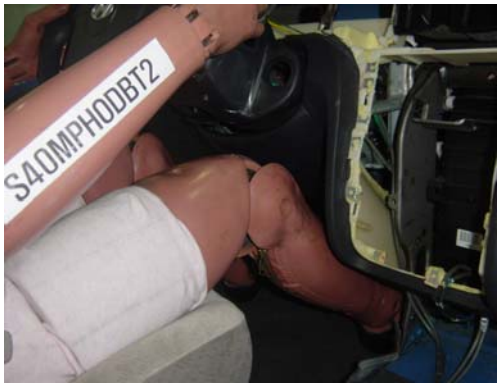
○ S40MPHODBT2

<시험전>





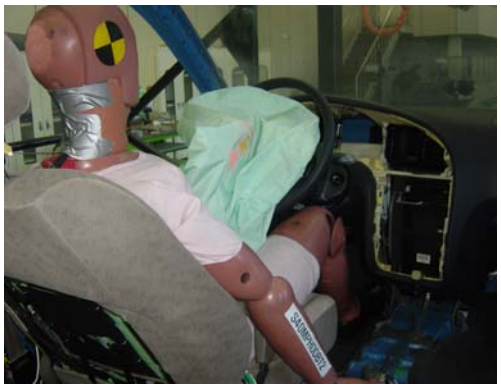


<시험후>













○ AV25MODB070619

<시험전>


KATRI
AV25MODB070619


KATRI
AV25MODB070619




AV25MODB070619


교통안전공단
자동차성능연구소
KATRI
AV25MODB070619


AV25MODB070619

<시험후>










○ AV25MODB070619

<시험전>


KATRI
AV25M0DB070724


KATRI
AV25M0DB070724


KATRI


KATRI


KATRI



<시험후>


KATRI
AV25M0DB070724

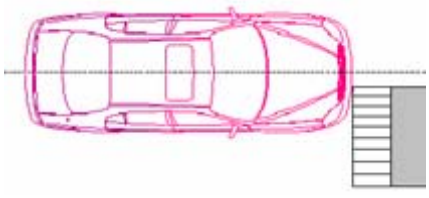

KATRI



12. 시험결과(대차(SLED) - 3차년도, 현대모비스)

가. 40% 옵셋 실차충돌을 재현하기 위한 SLED시험

첨단 에어백 개발을 위한 충돌시험 중 25마일 및 40마일 40% 옵셋 실차 충돌시 인체거동 및 인체상해를 SLED 시험기를 이용해 재현하는 시험기법 개발



<그림 3-2-76> 40% 옵셋 충돌 시험

나. SLED 시험

(1) 시험 개요

표 1의 시험 매트릭스와 같이 25마일과 40마일 옵셋 SLED 시험을 각 2회씩 수행하여 실차 충돌 데이터와 비교하여 SLED 시험의 재현성을 평가 한다

<표 3-2-7> SLED 시험 매트릭스

시험속도	승객 종류	시험번호	구속조건
25마일	5th %ile 여성	AV25M070529F1	에어백 + 시트벨트
		AV25M070530F1	에어백 + 시트벨트
40마일	50th %ile 남성	AVENCP070530F1	에어백 + 시트벨트
		AVENCP070531F1	에어백 + 시트벨트

(2) 시험 결과

상기의 SLED 시험을 통해 25마일 및 40마일 옵셋 충돌시 인체 모형의 거동 및 상해값을 비교 평가결과 실차 충돌데이터와 유사한 경향의 인체상해 결과를 나타내었다.

<표 3-2-8> 25마일 5th %ile 여성 실차 충돌 상해데이터

FMVSS208 25mph	Unit	Criteria	Driver [HIII 5th] 597	Criteria	Passenger [HIII 5th] 551
HIC 15		700	48.2 [160.8 ~ 175.8 ms]	700	26.3 [96.3 ~ 111.3 ms]
Tension	N	2620	802.3	2620	524.7
Compression	N	2520	233.2	2520	17.7
NTE	-	1.0	0.52 [86.7 ms]	1.0	0.28 [44.2 ms]
NTF			0.30 [171.6 ms]		0.12 [62.7 ms]
NCE			0.31 [288.2 ms]		0.05 [299.9 ms]
NCF			0.01 [15.2 ms]		0.01 [17.8 ms]
CHEST G	G's	60	24.5 [42.5 ~ 45.5 ms]	60	15.0 [104.6 ~ 107.6 ms]
CHEST D	mm	52	18.6	52	18.0
Femur LH	N	6805	616.7	6805	1527.9
Femur RH	N	6805	604.1	6805	1462.1

<표 3-2-9> 25마일 5th %ile 여성 SLED 1차 시험 상해데이터

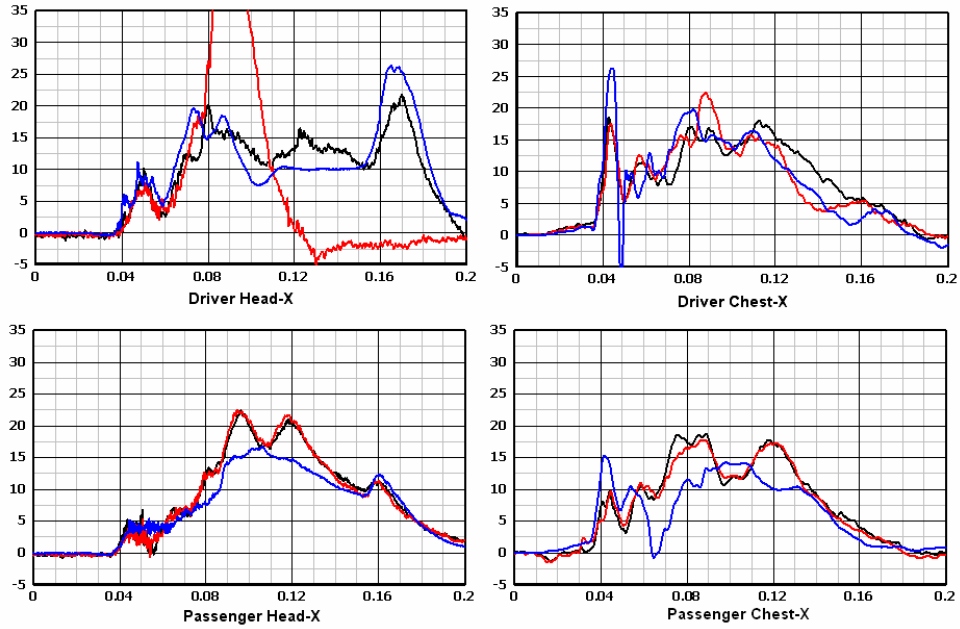
Test No. : AVA25M070529F1

FMVSS208 25mph	Unit	Criteria	Driver [HIII 5th] 642	Criteria	Passenger [HIII 5th] 551-30
HIC 15		700	27.7 [161.2 ~ 176.2 ms]	700	37.2 [113.2 ~ 128.2 ms]
Tension	N	2620	404.6	2620	491.2
Compression	N	2520	23.6	2520	36.0
NTE	-	1.0	0.30 [47.4 ms]	1.0	0.18 [91.9 ms]
NTF			0.21 [158.8 ms]		0.17 [144.4 ms]
NCE			0.03 [36.7 ms]		0.02 [35.7 ms]
NCF			0.00 [15.6 ms]		0.05 [54.1 ms]
CHEST G	G's	60	19.4 [110.5 ~ 113.5 ms]	60	18.8 [84.7 ~ 89.7 ms]
CHEST D	mm	52	20.4	52	22.3
Femur LH	N	6805	635.8	6805	439.2
Femur RH	N	6805	530.3	6805	552.3

<표 3-2-10> 25마일 5th %ile 여성 SLED 2차 시험 상해데이터

Test No. : AVA25M070530F1

FMVSS208 25mph	Unit	Criteria	Driver [HIII 5th] 642	Criteria	Passenger [HIII 5th] 551-30
HIC 15		700	266.4 [82.5 ~ 97.5 ms]	700	43.2 [112.5 ~ 127.5 ms]
Tension	N	2620	1207.2	2620	542.3
Compression	N	2520	43.5	2520	27.0
NTE	-	1.0	0.30 [48.0 ms]	1.0	0.21 [94.0 ms]
NTF			0.41 [88.6 ms]		0.16 [144.2 ms]
NCE			0.22 [142.6 ms]		0.03 [36.2 ms]
NCF			0.00 [-0.0 ms]		0.00 [-0.0 ms]
CHEST G	G's	60	22.4 [85.9 ~ 88.9 ms]	60	18.2 [86.2 ~ 89.2 ms]
CHEST D	mm	52	31.2	52	24.6
Femur LH	N	6805	877.6	6805	645.1
Femur RH	N	6805	692.2	6805	273.6



<그림 3-2-77> 25마일 5th %ile 여성 상해선도 비교

(1차 SLED, 2차 SLED, 실차충돌)

상기 선도와 같이 머리 및 가슴상해 모두 실차충돌 데이터와 유사한 경향을 나타내었다. 조수석 머리 및 가슴상해는 실차 충돌보다 다소 높은 경향을 나타내나 이 결과는 SLED 적용펄스를 실차 좌측펄스를 적용한 결과로 시험전 예측된 상황이다.

<표 3-2-11> 40마일 50th %ile 남성 실차 충돌 상해데이터

Injury Item		Criteria		Driver [HIII 50th] 993		
		4pt	0pt			
HEAD & NECK	HIC 36	650	1000	566	4.00	N/A
	3ms Peak (g's)	72	88	49.9	4.00	
	Max. ACC (g's)	80g above		66.1	N/A	
	Shear (N)	1900	3100	459	4.00	
	Tension (N)	2700	3300	1133	4.00	
	Extension (Nm)	42	57	14.1	4.00	
CHEST	Compression (mm)	22	50	26.5	3.36	N/A
	V*C (m/s)	0.5	1.0	0.10	4.00	
KNEE & FEMUR	Femur LH (N)	3800	9070	2722	4.00	N/A
	Femur RH (N)	3800	9070	6573	1.90	
	Knee LH (mm)	6	15	N/A	N/A	
	Knee RH (mm)	6	15	N/A	N/A	

<표 3-2-12> 40마일 50th %ile 남성 SLED 1차 시험 상해데이터

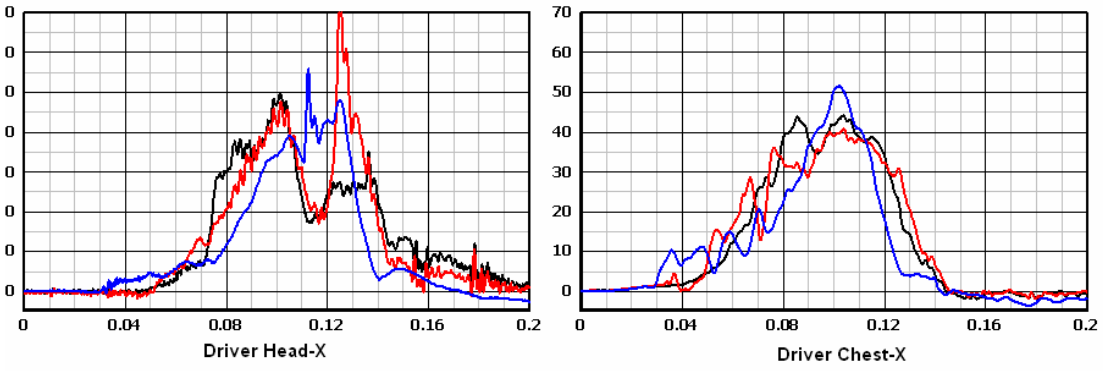
Test No. : AVENCP070530F1

Injury Item		Criteria		Driver [HIII 50th] 993		
		4pt	0pt			
HEAD & NECK	HIC 36	650	1000	368	4.00	N/A
	3ms Peak (g's)	72	88	50.2	4.00	
	Max. ACC (g's)	80g above		53.6	N/A	
	Shear (N)	1900	3100	697	4.00	
	Tension (N)	2700	3300	1354	4.00	
	Extension (Nm)	42	57	29.3	4.00	
CHEST	Compression (mm)	22	50	29.0	3.00	N/A
	V*C (m/s)	0.5	1.0	0.17	4.00	
KNEE & FEMUR	Femur LH (N)	3800	9070	1085	4.00	N/A
	Femur RH (N)	3800	9070	2828	4.00	
	Knee LH (mm)	6	15	N/A	N/A	
	Knee RH (mm)	6	15	N/A	N/A	

<표 3-2-13> 40마일 50th %ile 남성 SLED 2차 시험 상해데이터

Test No. : AVENCP070531F1

Injury Item		Criteria 4pt	Criteria 0pt	Driver [HIII 50th] 993		
HEAD & NECK	HIC 36	650	1000	406	4.00	N/A
	3ms Peak (g's)	72	88	58.6	4.00	
	Max. ACC (g's)	80g above		79.1	N/A	
	Shear (N)	1900	3100	454	4.00	
	Tension (N)	2700	3300	1085	4.00	
	Extension (Nm)	42	57	28.9	4.00	
CHEST	Compression (mm)	22	50	31.1	2.70	N/A
	V * C (m/s)	0.5	1.0	0.31	4.00	
KNEE & FEMUR	Femur LH (N)	3800	9070	1281	4.00	N/A
	Femur RH (N)	3800	9070	1702	4.00	
	Knee LH (mm)	6	15	N/A	N/A	
	Knee RH (mm)	6	15	N/A	N/A	



<그림 3-2-78> 40마일 50th %ile 남성 상해선도 비교

(1차 SLED, 2차 SLED, 실차충돌)

상기 선도와 같이 머리 및 가슴상해 모두 실차충돌 대비 상해 발생이 조기에 일어나는데 이는 SLED 펄스가 실차 펄스대비 가혹한 것으로 판단된다.

(3) 결 론

상기의 SLED 시험을 통해 25마일 및 40마일 옵셋 충돌을 재현함으로서 향후 구속장치 개발 시 사양별 평가 및 인체상해 개선이 가능하며, 향후 SLED 시험의 신뢰도가 향상될 것으로 판단된다.

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제3절 실차 시험 결과

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제3절 실차 시험 결과

1. 1차년도 실차 시험 결과

가. 시험목적

북미 법규 대응을 위하여 충돌 및 충돌모의 시험연구를 통한 첨단 인공지능 에어백 독자기술 개발 위함

나. 시험조건

	속도 [mph]	더미종류	벨트상태	전개조건		시험목적
				Airbag	P/T	
FRT	A	50%	Belted	NF	Deploy	Threshold
	B	50%	Belted	NF	Deploy	Threshold
	C	50%	Belted	LOW	Deploy	Threshold
	D	50%	Belted	LOW	Deploy	Threshold
	E	50%	Unbelted	LOW	Deploy	Threshold / 북미법규
	25	5%	Unbelted	LOW	Deploy	Threshold / 북미법규
	35	50%	Unbelted	LOW	Deploy	북미법규
ODB	25	5%	Belted	LOW	Deploy	북미법규
	40	50%	Belted	LOW	Deploy	북미법규 [PHASE2]
OBLIQUE (LH)	20	50%	Unbelted	HIGH	Deploy	북미법규
	25	50%	Belted	HIGH	Deploy	OFFCAP
CTP	F	50%	Unbelted	LOW	Deploy	Due Care
	G	50%	Belted	HIGH	Deploy	Due Care

<표 3-3-1> 실차 충돌 시험 계획

<표 3-3-1>에서 보는 바와 같이 실차 충돌 시험을 13회(KATRI : 8회, HMC : 3회) 계획하여 수행하였다.

System 성능 측면에서 50% Unbelted 조건의 Airbag Low Output 설계 디자인을 위해 정면 충돌 시험을 계획하였다.(50%ile 더미, Unbelted, High Output 조건은 이보다 더 높은 속도에서 검증함.) 또한 25mph 정면 충돌을 성능 상해 면에서 보다 가혹적인 조건인 5% 더미 조건으로 진행하였다.(50%, Belted 조건은 35mph 에서 상해 성능을 검증함.)

다. 인체모형 착석위치 및 관련데이타

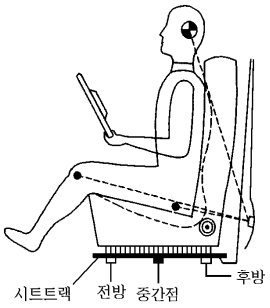
1) 인체모형의 착석위치

<table>
<tr>
<td>운전자석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :_____ 형식 : Hybrid Ⅲ

머리 633
표적 625 mm

무릎 650
연결부 620 mm

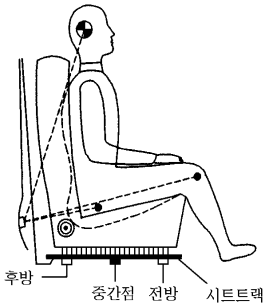
둔부점 328
(대략) 302 mm

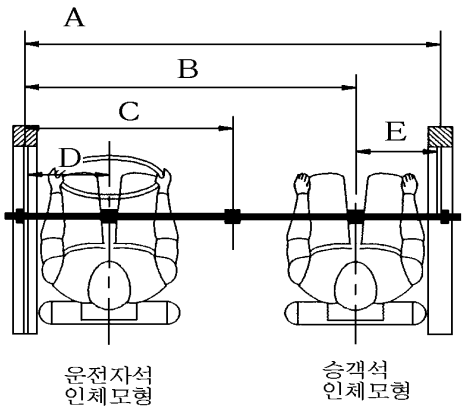

</td>
<td>승객석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :_____ 형식 : Hybrid Ⅲ

머리 620
표적 625 mm

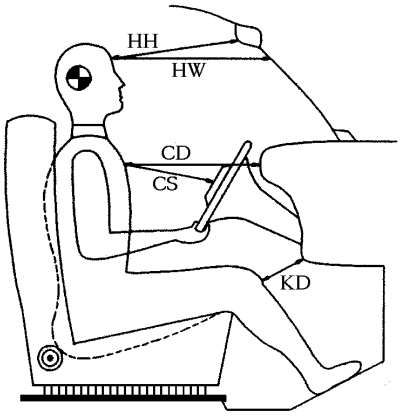
무릎 665
연결부 630 mm

둔부점 340
(대략) 300 mm

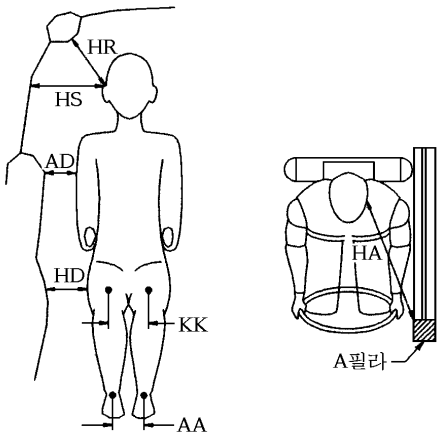

</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">A = 1500 mm
B = 1100 mm
C = 400 mm
D = 750 mm
E = 390 mm


</td>
</tr>
</table>

구 분	운전자	승 객
HH	257	290
HW	490	530
CD	527	550
CS	282	-
KDL	105	112
KDR	55	113
TA		
SA		



구 분	운전자	승 객
HR	165	170
HS	240	245
AD	104	125
HD	125	134
KK	270	270
AA	270	240
HA	430	460



HH = 머리에서 앞면유리위쪽 전면부

HW = 머리에서 앞면유리

CD = 가슴에서 계기판넬

CS = 가슴에서 조향핸들

KD = 무릎에서 계기판넬

TA = 가슴 각도

HR = 머리에서 천정측면

HS = 머리에서 옆면유리

AD = 팔에서 문

HD = 엉덩이에서 문

KK = 무릎에서 무릎

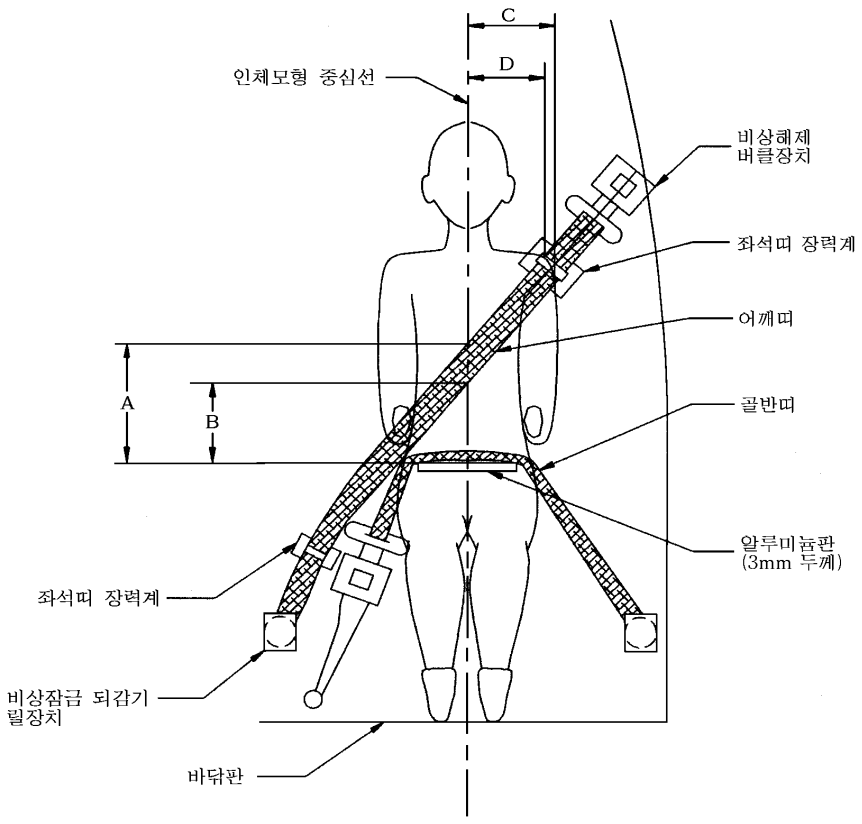
AA = 발목에서 발목

SA = 좌석등받이 각도 HA = 머리에서 A-필라

주 : 가슴과 좌석등받이 각도는 상대적으로 수직임.

구 분	내 용	측 정 치
NR	코에서 조향핸들	373
NH	코에서 조향축 중심	380
HS	조행핸들 중심에서 문 걸쇠고리	695
SCA	수평 길이방향에 대한 조향축 각도	
SWA	수평 길이방향에 대한 조향핸들 각도	

2) 좌석안전띠의 위치



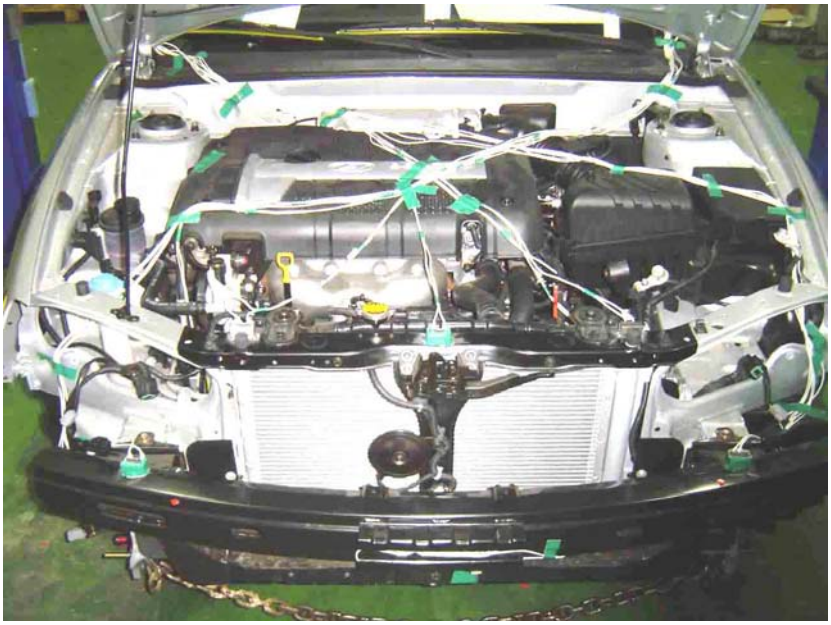
구 분	내 용	운전자 인체모형	승객 인체모형
A	알루미늄판의 윗표면에서 좌석띠 상단	-	-
B	알루미늄판의 윗표면에서 좌석띠 하단	-	-
C	인체모형 중심에서 가슴 상부의 좌석띠 바깥쪽 끝단	130	180
D	인체모형 중심에서 가슴 상부의 좌석띠 안쪽 끝단	160	160

라. 시험차 센서 부착 (FIS & ACU)

FIS 최적 위치를 알기 위하여 각각의 시험에서 미리 정한 13곳에 1개 혹은 2개씩 센서를 부착하였다. 저속 정면 충돌의 경우는 센서의 부착 방법의 차이점에 대해 알기 위하여 한곳에 Bonding 과 Taping으로 센서를 각각 1개씩 부착하였고, 나머지의 시험에서는 Taping으로 2개를 부착하였다.

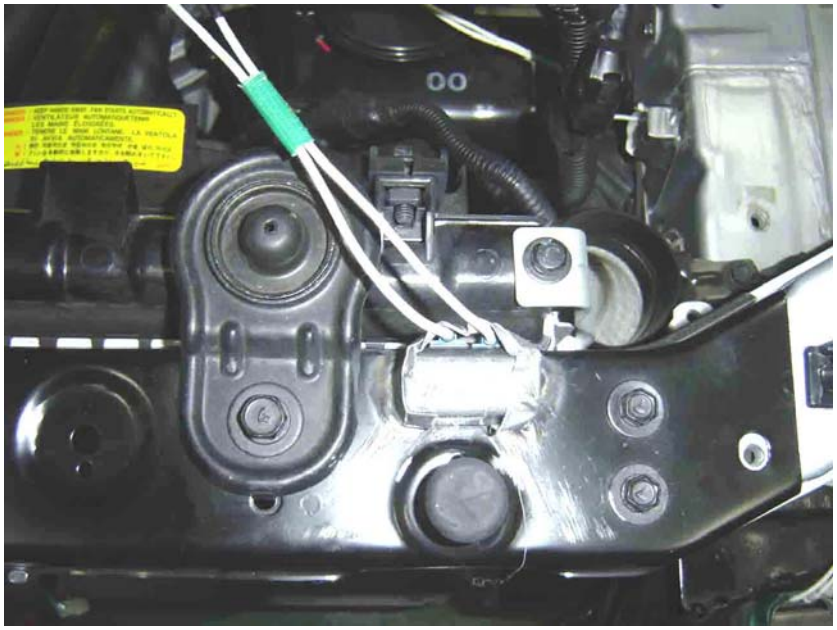
FIS	RAD_SUPT_UPR	LEFT
		CENTER
		RIGHT
	RAD_SUPT_LOW	LEFT
		CENTER
		RIGHT
	BACK_BEAM	LEFT
		CENTER
		RIGHT
	S/MBR INR	LEFT
		RIGHT
	S/MBR OTR	LEFT
		RIGHT
ACU	MID	X
		Y
	REAR	X1
		X2
		Y
		45Deg.-X
		45Deg.-Y

<표 3-3-2> 센서 부착 위치표



<그림 3-3-1> 센싱 시험용 차량에 장착된 센서

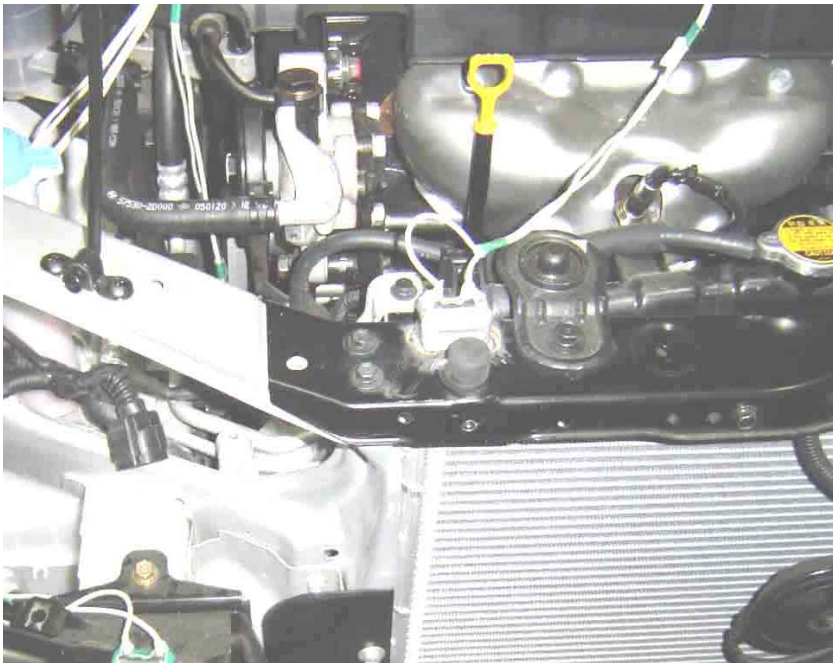
1. FIS



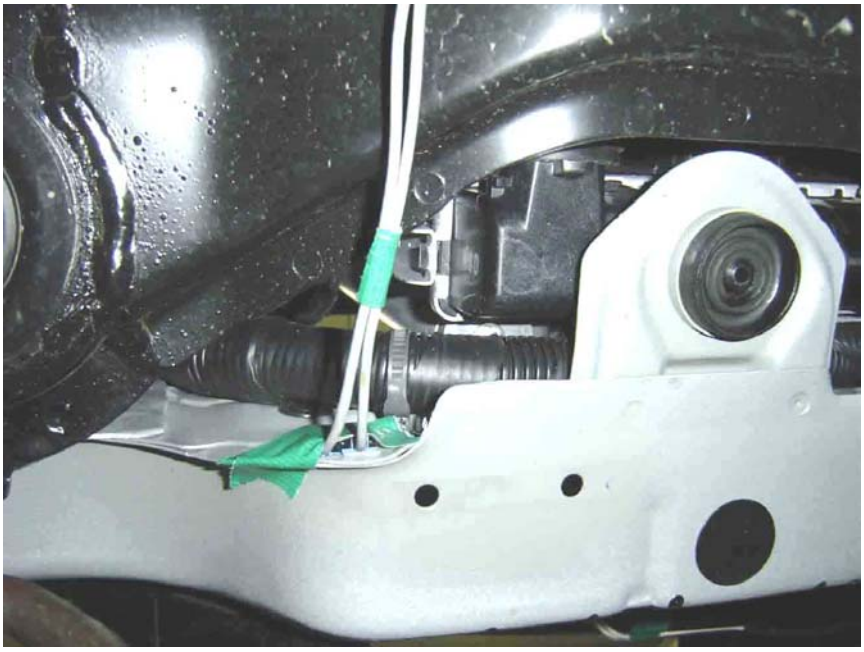
<그림 3-3-2> RAD_SUPT_UPR_LEFT



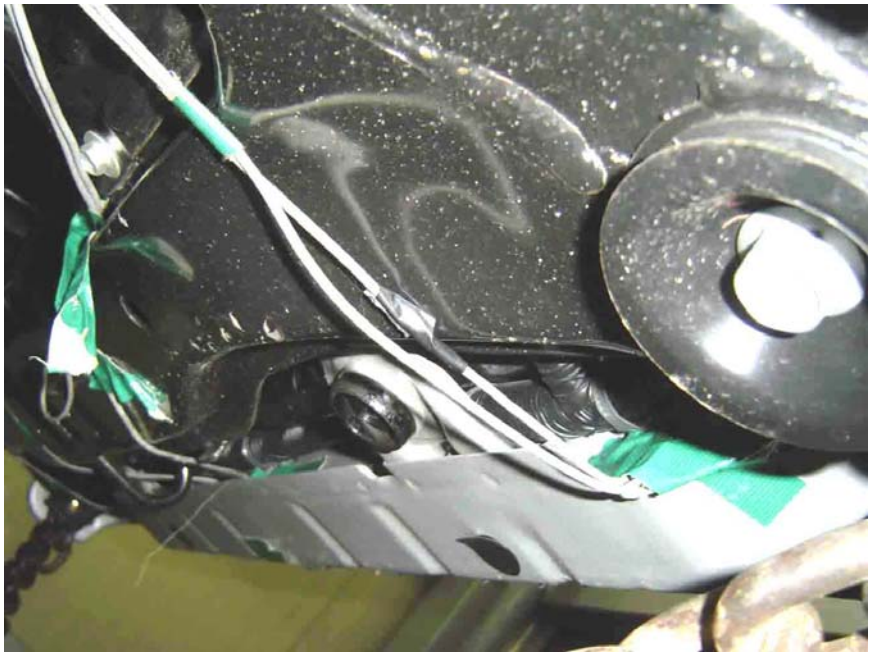
<그림 3-3-3> RAD_SUPT_UPR_CENTER



<그림 3-3-4> RAD_SUPT_UPR_RIGHT



<그림 3-3-5> RAD_SUPT_LOW_LEFT



<그림 3-3-6> RAD_SUPT_LOW_CENTER & RIGHT



<그림 3-3-7> BACK_BEAM_LEFT



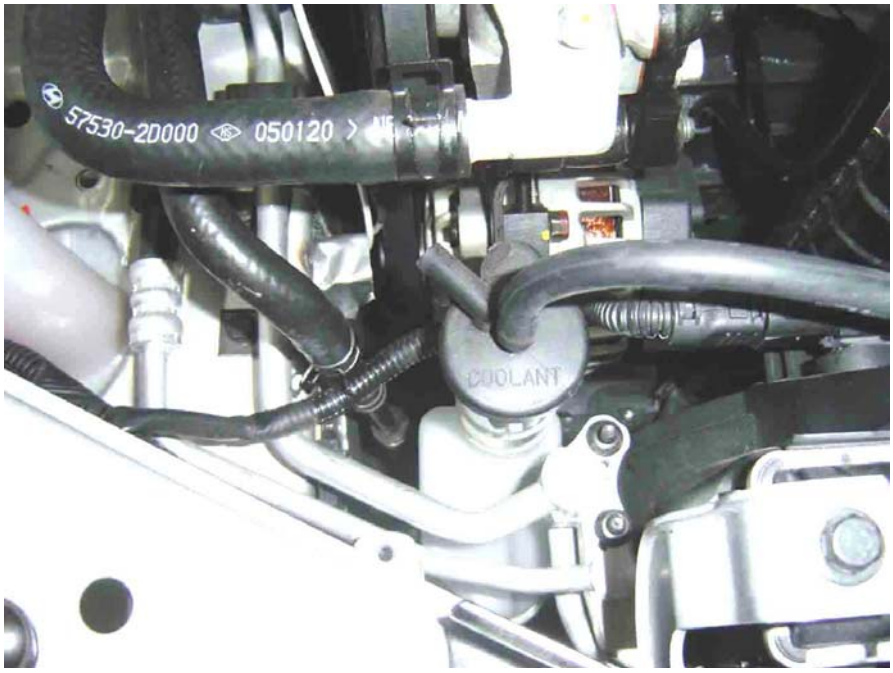
<그림 3-3-8> BACK_BEAM_CENTER



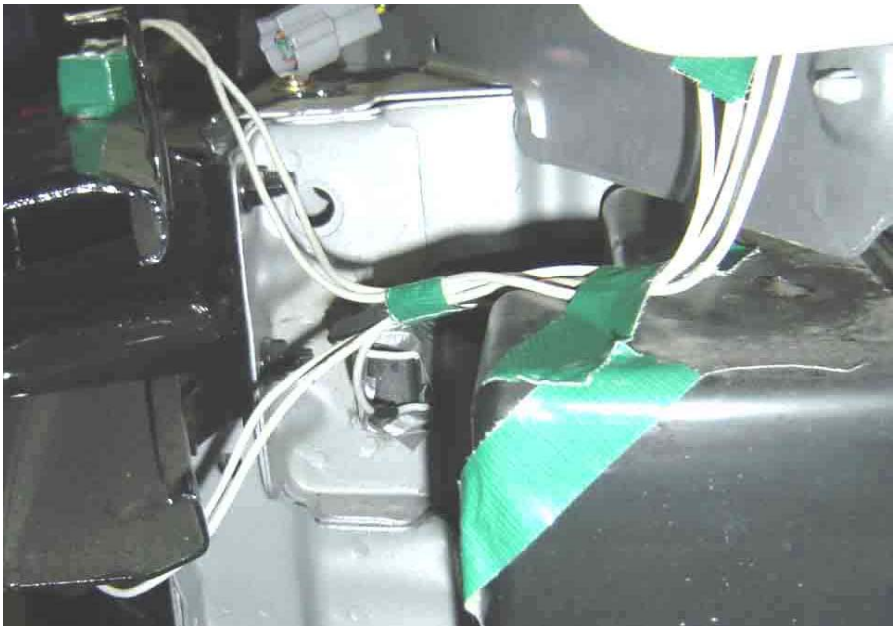
<그림 3-3-9> BACK_BEAM_RIGHT



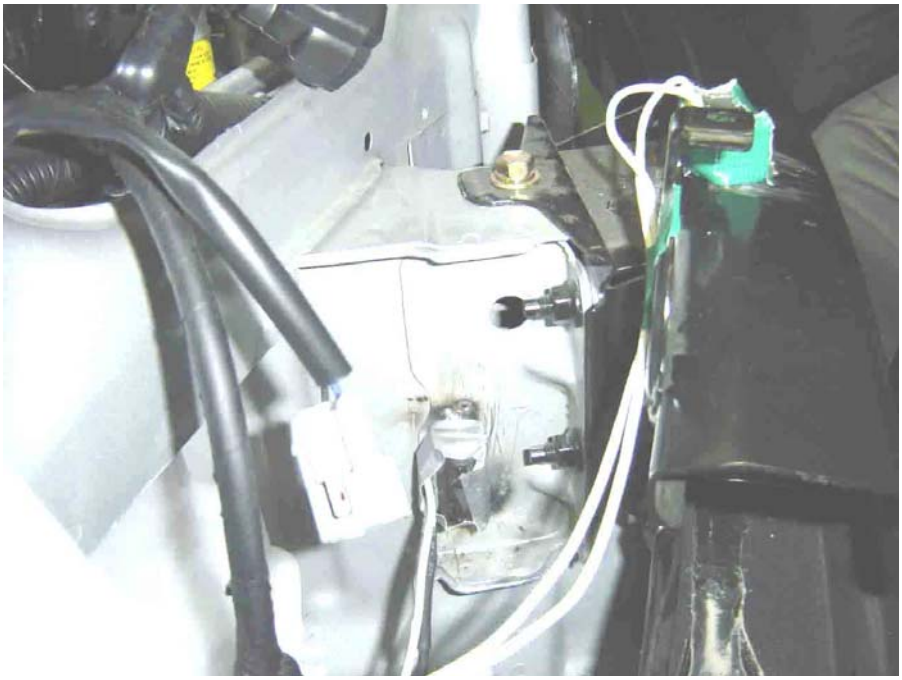
<그림 3-3-10> S/MBR_INR_LEFT



<그림 3-3-11> S/MBR_INR_RIGHT



<그림 3-3-12> S/MBR OTR_LEFT

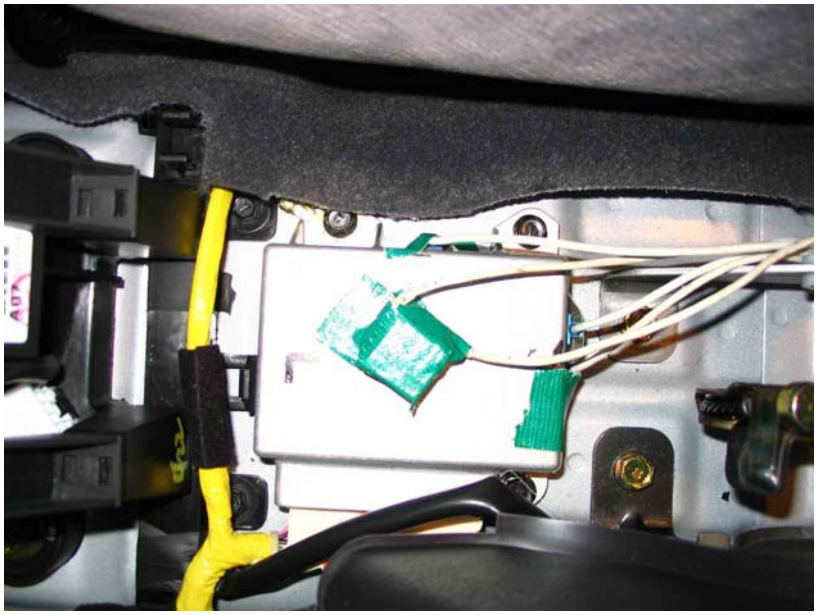


<그림 3-3-13> S/MBR OTR_RIGHT

2. ACU



<그림 3-3-14> ACU MID



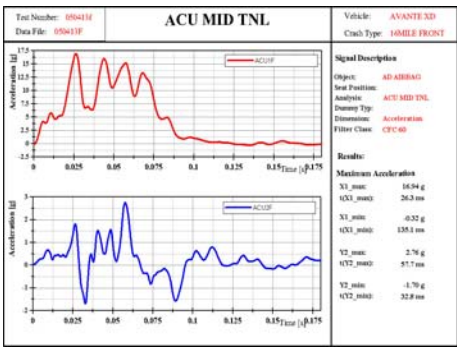
<그림 3-3-15> ACU REAR

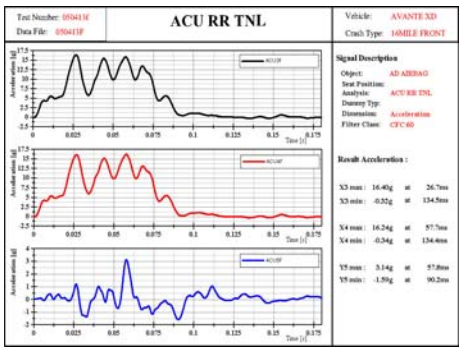
ACU MID 위치는 CRASH PAD 하단의 센터 터널 상에 위치해 있다. 또한 ACU REAR는 A/T LEVER와 PARKING BRAKE LEVER 사이에 위치해 있다.

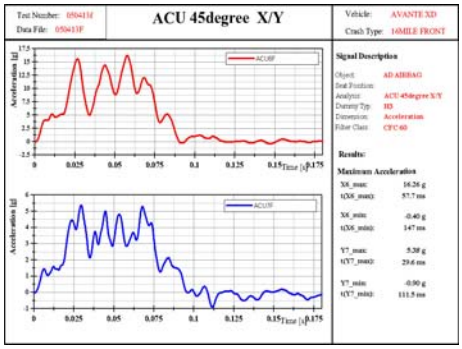
마. 시험결과 그래프 및 시험 사진

1) 시험 결과 그래프

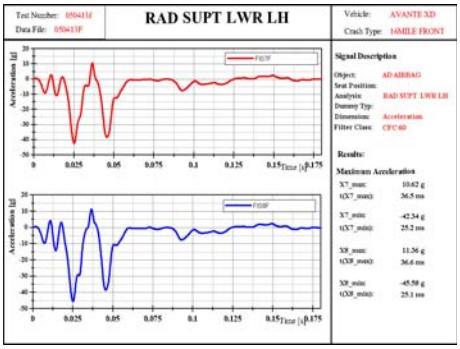
16mph Front Crash - ACU

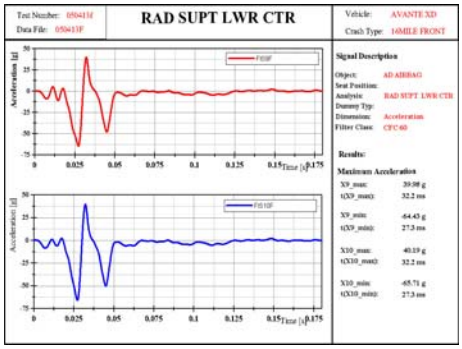


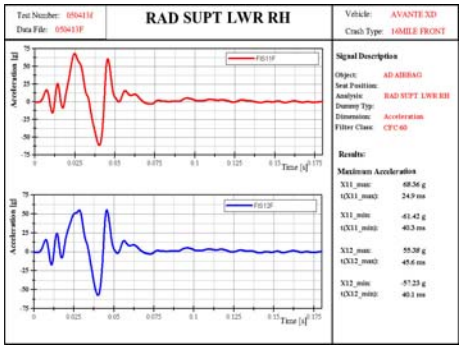


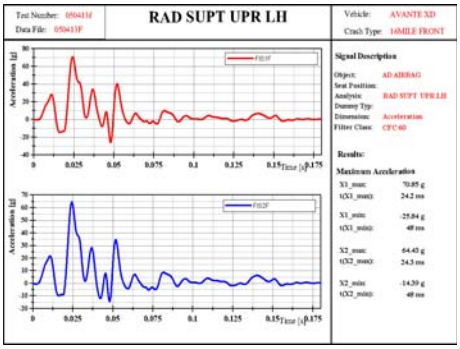


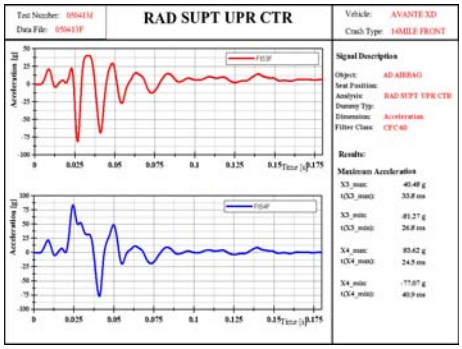
16mph Front Crash - RAD SUPT LOW & UPR

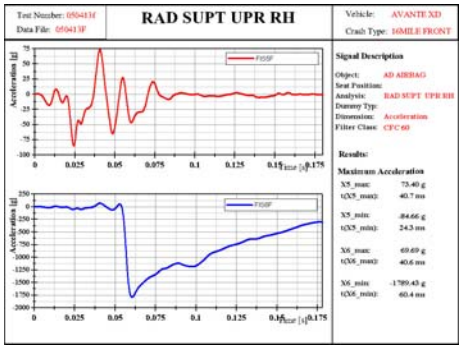




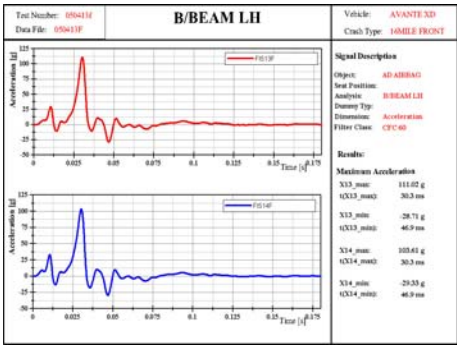


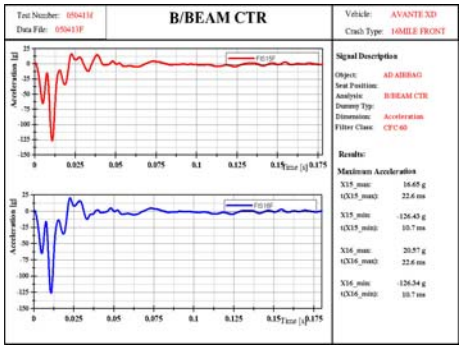


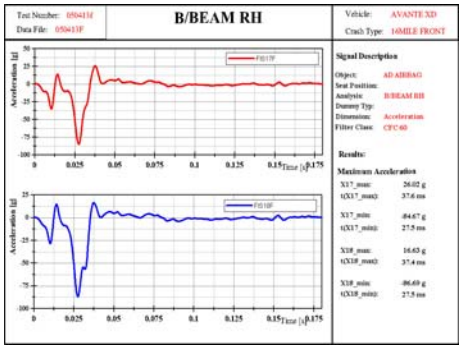




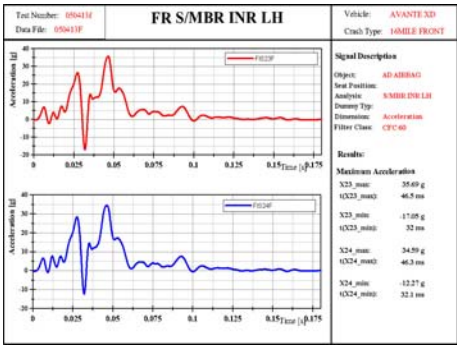
16mph Front Crash - B/BEAM

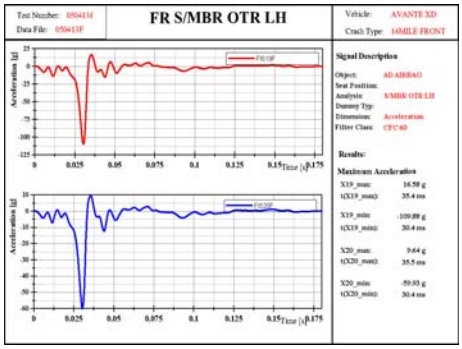


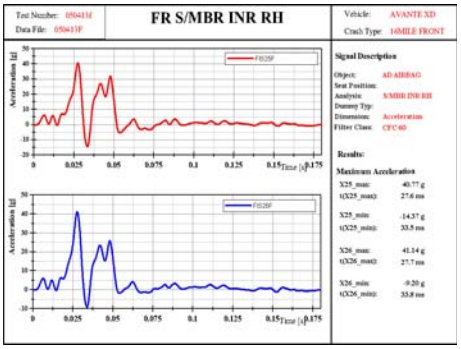


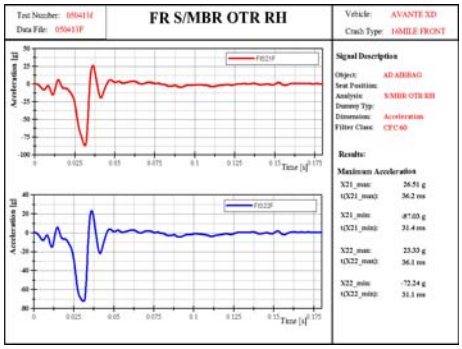


16mph Front Crash - S/MBR INR & OTR

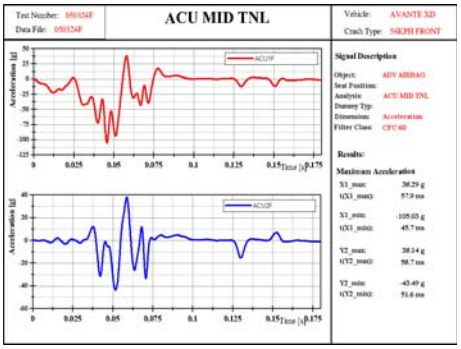


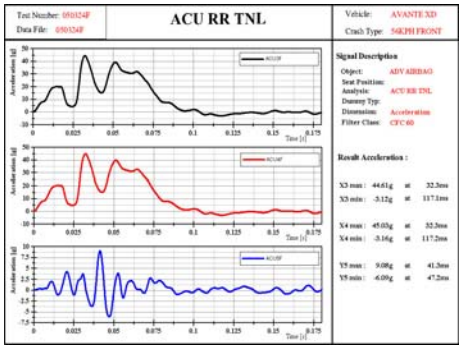


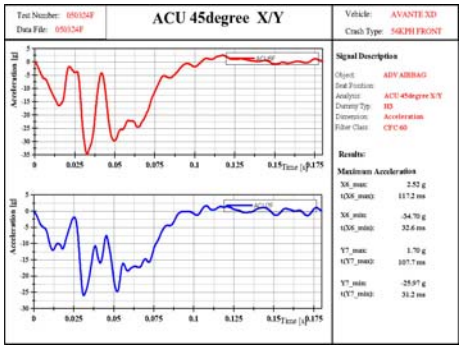




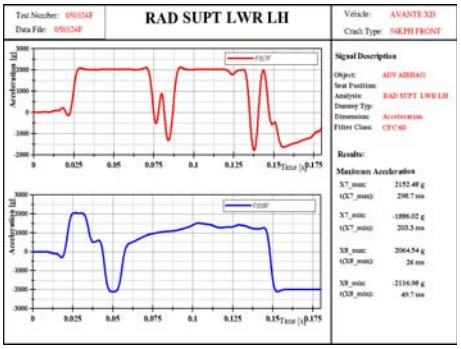
35mph Front Crash - ACU

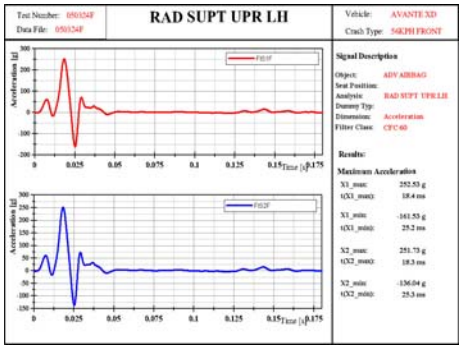


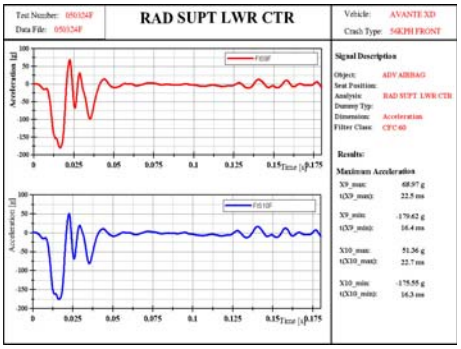


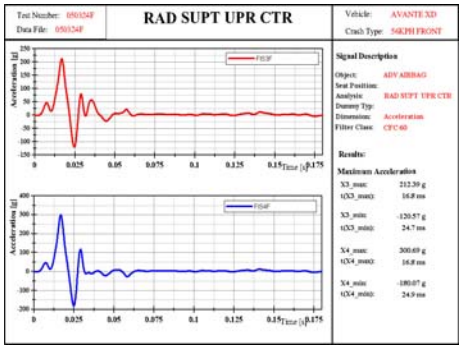


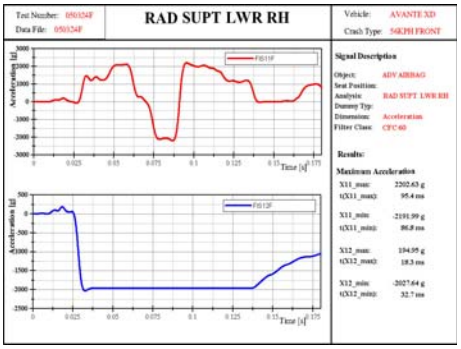
35mph Front Crash - RAD SUPT LOW & UPR

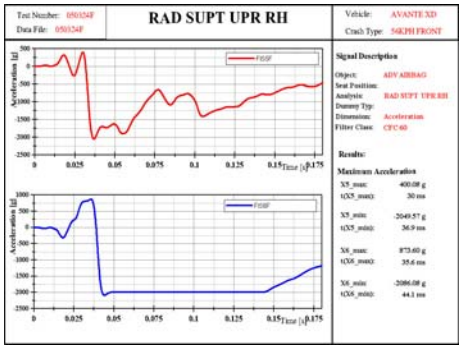




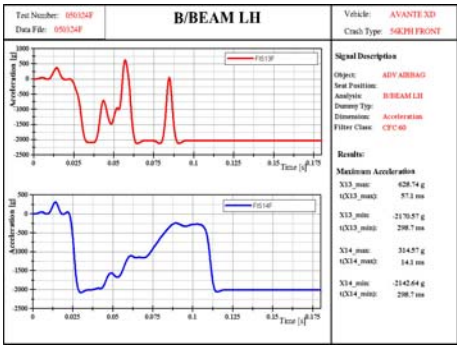


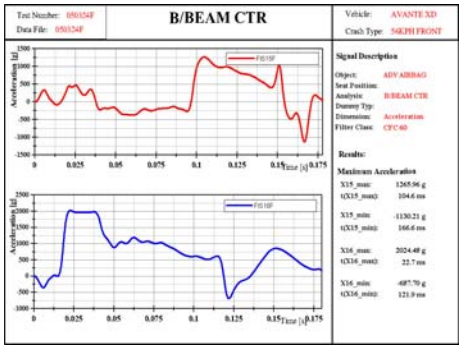


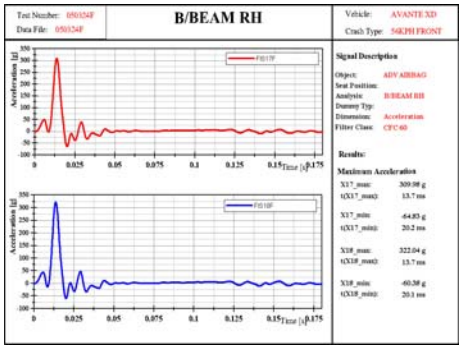




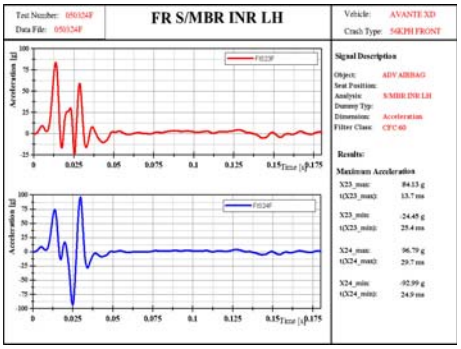
35mph Front Crash - B/BEAM

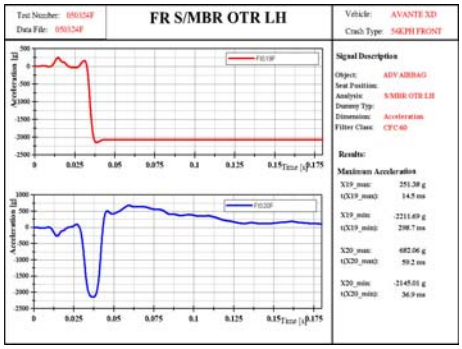


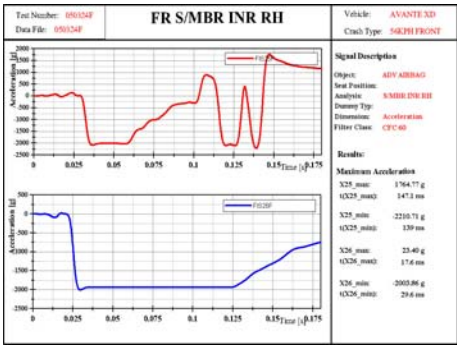


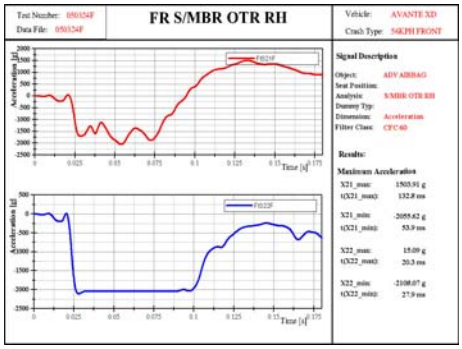


35mph Front Crash - S/MBR INR & OTR

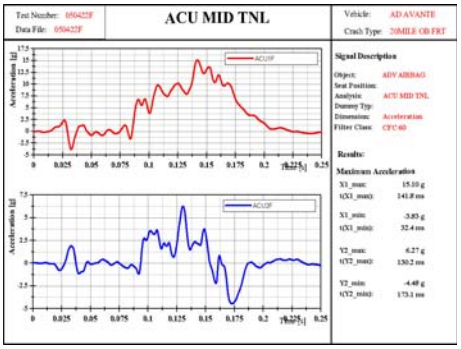


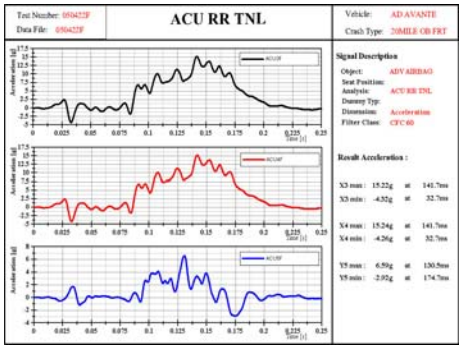


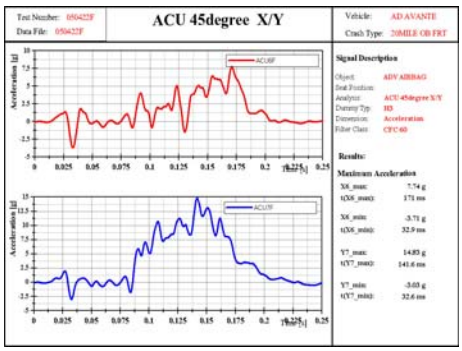




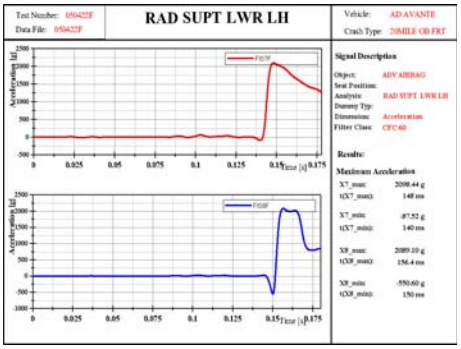
20mph Oblique Crash - ACU

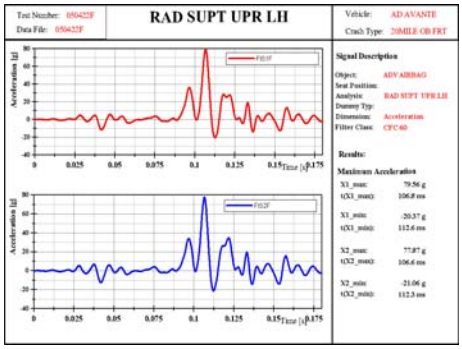


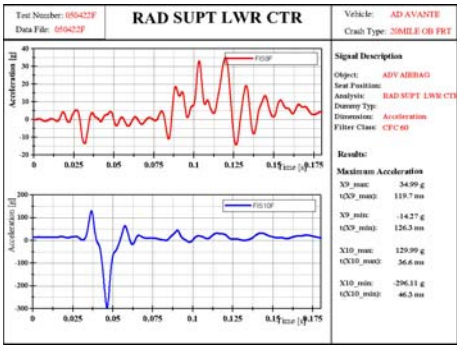


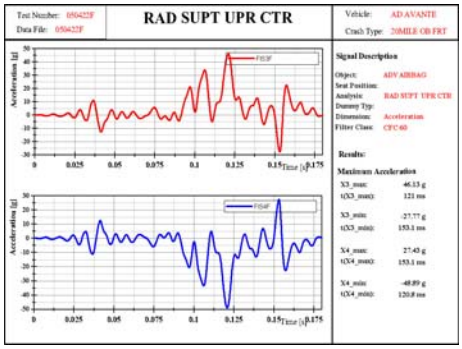


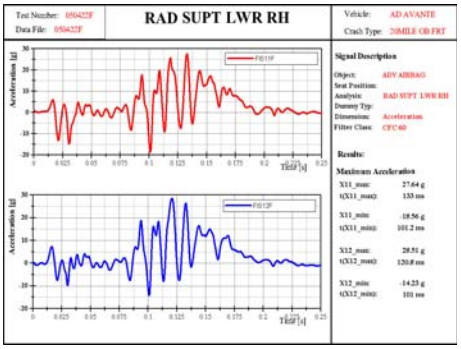
20mph Oblique Crash - RAD SUPT LOW & UPR

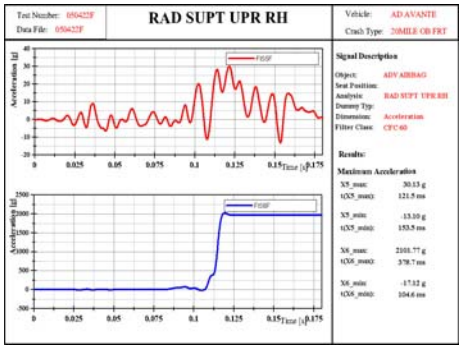




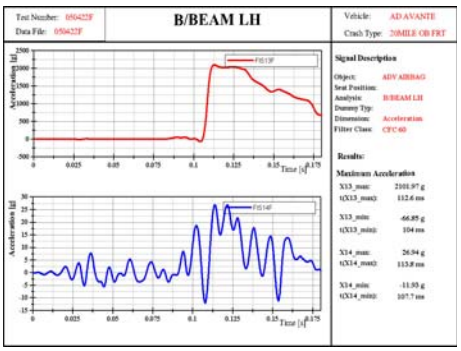


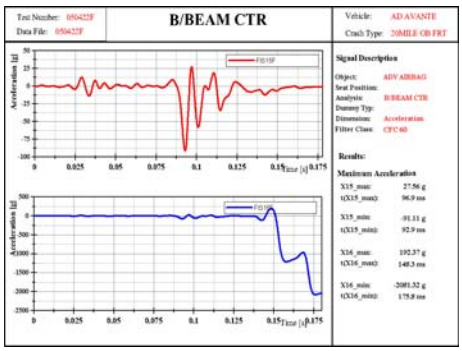


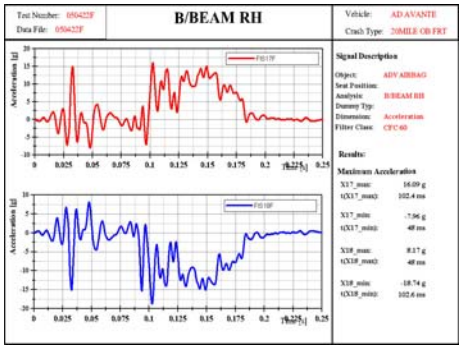




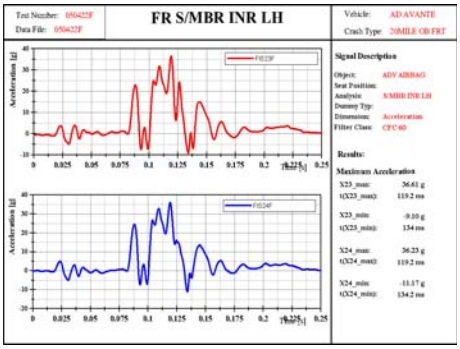
20mph Oblique Crash - B/BEAM

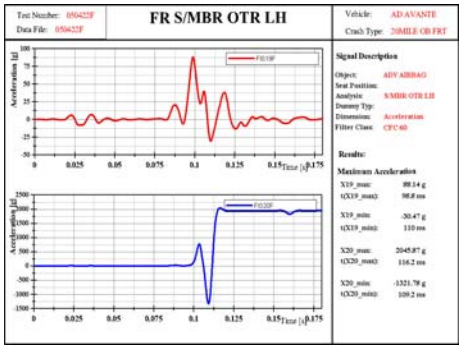


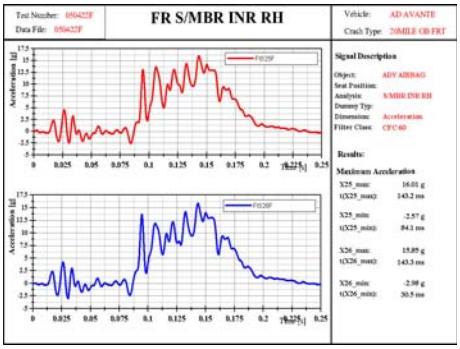


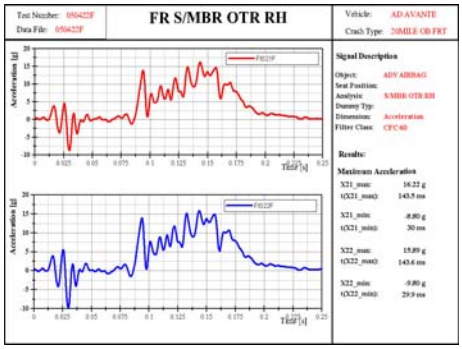


20mph Oblique Crash - S/MBR INR & OTR

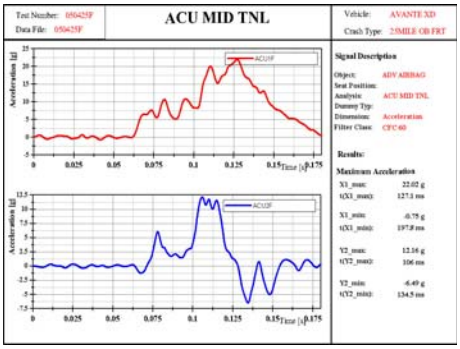


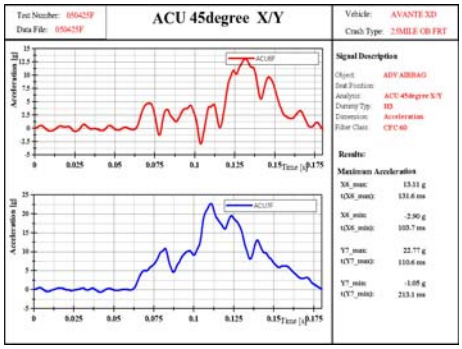


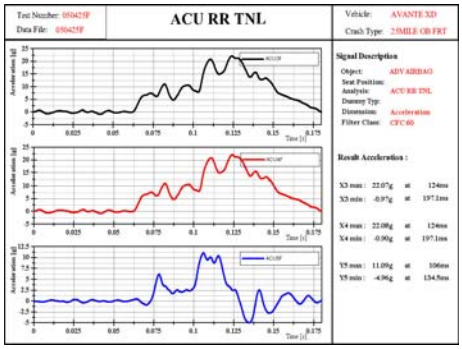




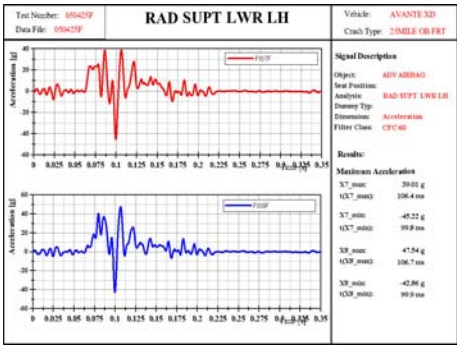
25mph Oblique Crash - ACU

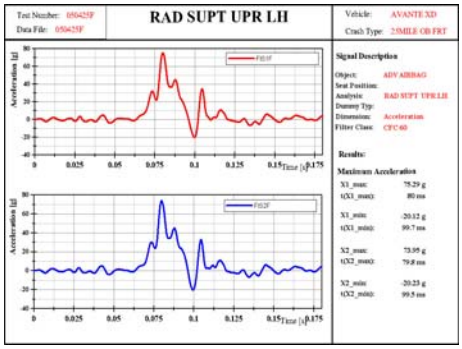


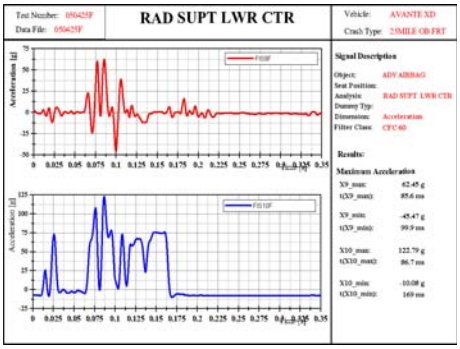


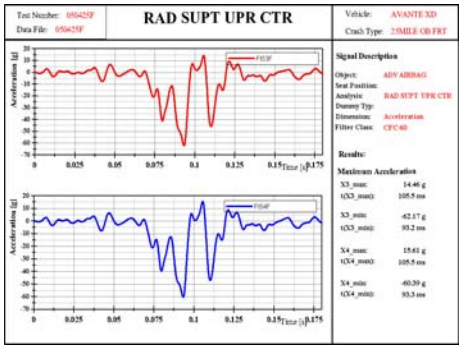


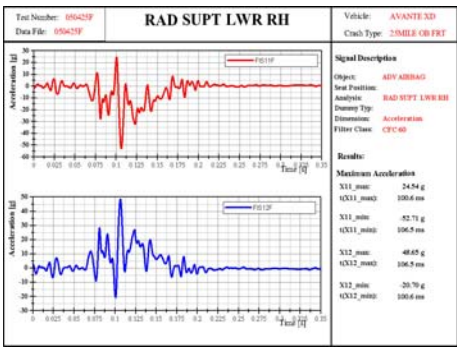
25mph Oblique Crash - RAD SUPT LOW & UPR

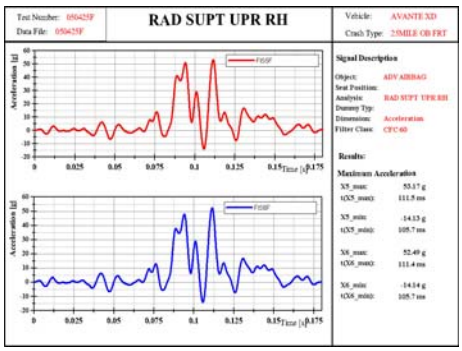




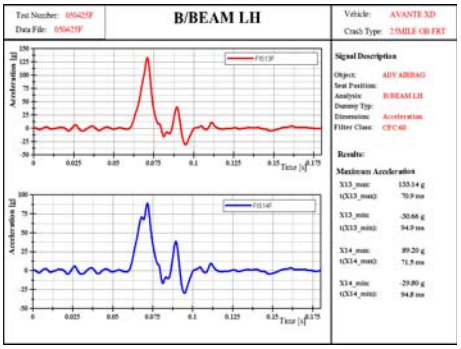


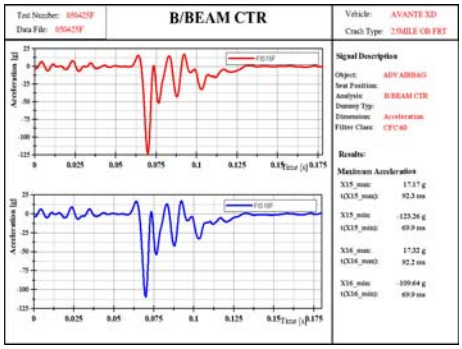


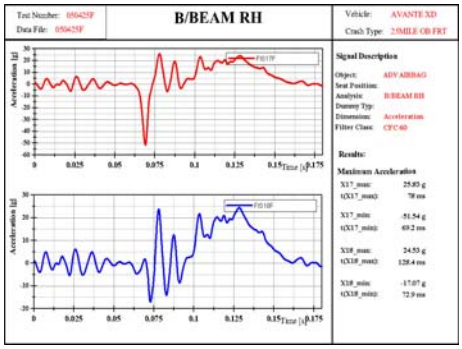




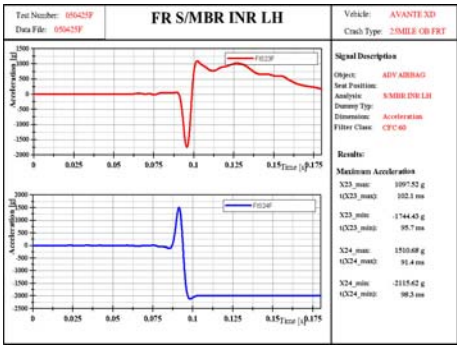
25mph Oblique Crash - B/BEAM

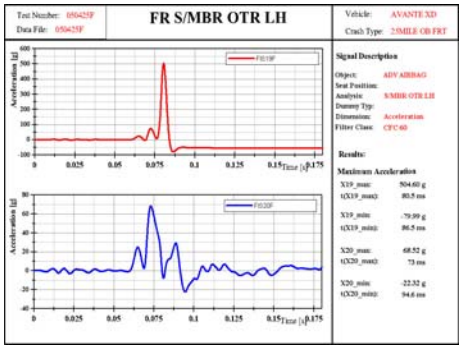


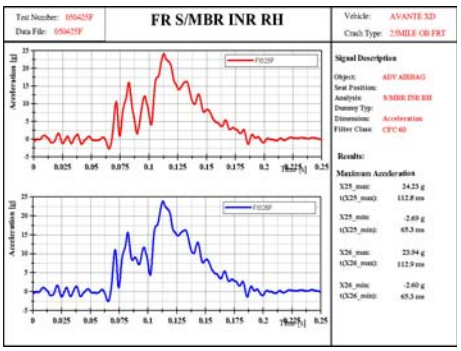


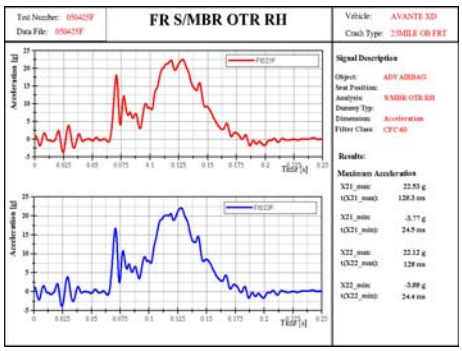


25mph Oblique Crash - S/MBR INR & OTR









2) 시험사진

1. Front Crash

(1) 16mph Front Crash (KATRI)



<그림 3-3-16> 16mph Front Crash - Front View



<그림 3-3-17> 16mph Front Crash - Side View



<그림 3-3-18> 16mph Front Crash - Engine Room View

(2) 25mph Front Crash (HMC)



<그림 3-3-19> 25mph Front Crash - Front View



<그림 3-3-20> 25mph Front Crash - Side View



<그림 3-3-21> 25mph Front Crash - Engine Room View

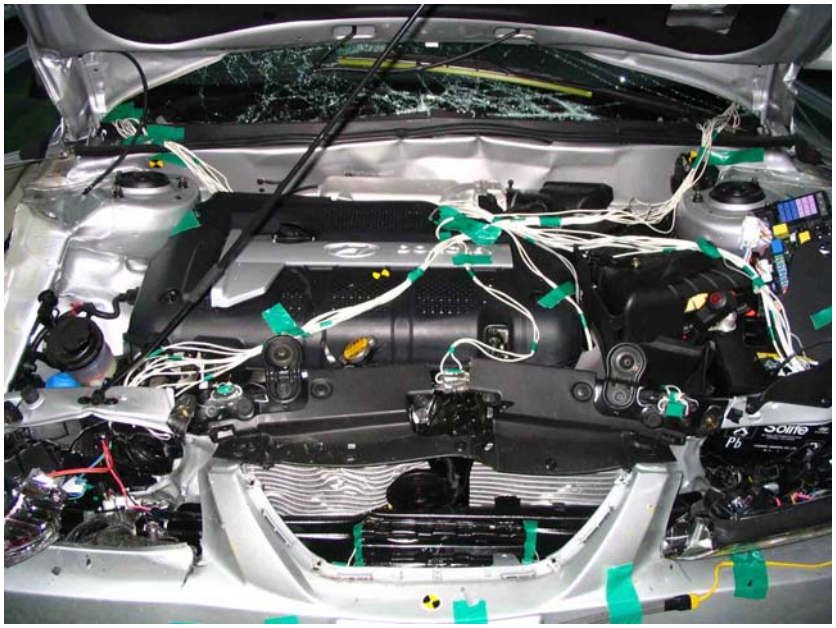
(3) 35mph Front Crash (HMC)



<그림 3-3-22> 35mph Front Crash - Front View



<그림 3-3-23> 35mph Front Crash - Side View



<그림 3-3-24> 35mph Front Crash - Engine Room View

2. Oblique Crash

(1) 20mph Oblique Crash (KATRI)



<그림 3-3-25> 20mph Oblique Crash - Front View

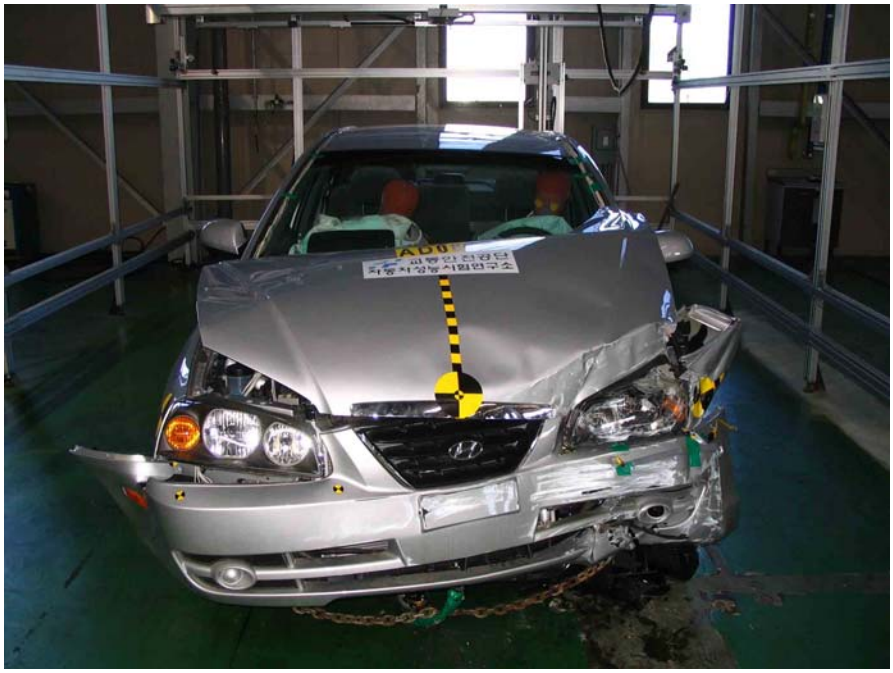


<그림 3-3-26> 20mph Oblique Crash - Side View



<그림 3-3-27> 20mph Oblique Crash - Engine Room View

(2) 25mph Oblique Crash (KATRI)



<그림 3-3-28> 25mph Oblique Crash - Front View



<그림 3-3-29> 25mph Oblique Crash - Side View



<그림 3-3-30> 25mph Oblique Crash - Engine Room View

3. Offset Crash

(1) 25mph Offset Crash (HMC)



<그림 3-3-31> 25mph Offset Crash - Engine Room View

(2) 40mph Offset Crash (HMC)



<그림 3-3-32> 40mph Offset Crash - Front View



<그림 3-3-33> 40mph Offset Crash - Side View



<그림 3-3-34> 40mph Offset Crash - Engine Room View

4. Car to pole Crash

(1) Car to pole Crash (HMC)



<그림 3-3-35> Car to Polet Crash - Front View



<그림 3-3-36> Car to Polet Crash - Side View



<그림 3-3-37> 20mph Car to Polet Crash - Engine Room View



<그림 3-3-38> Car to Polet Crash - Front View



<그림 3-3-39> Car to Polet Crash - Side View



<그림 3-3-40> Car to Pole Crash - Engine Room View

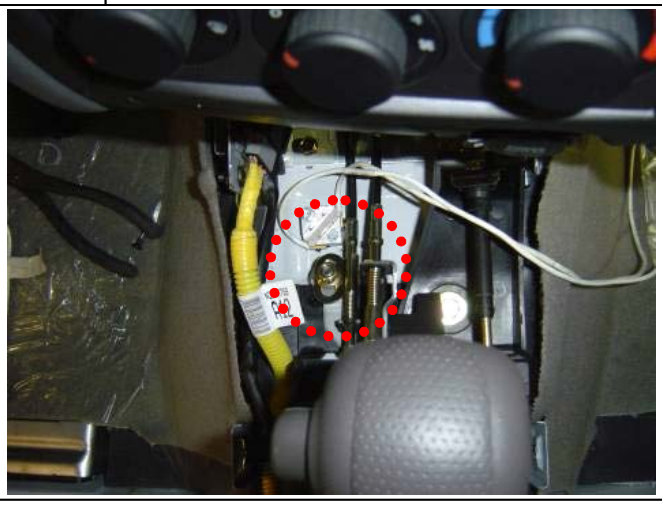
2. Rough Road & Misuse 시험

가. 센서 부착 위치 및 방법

SENSOR 장착 위치	종류	개수	목적
ACU	X, Y, Z	9	
FIS	X	16	**에어백 CAL. 용**
SIS	Y	24	**정면충돌감지센서 신호분석용**
B-Pillar	X	2	**측면충돌감지센서 신호분석용**
Body G	X	2	
Total	-	53	

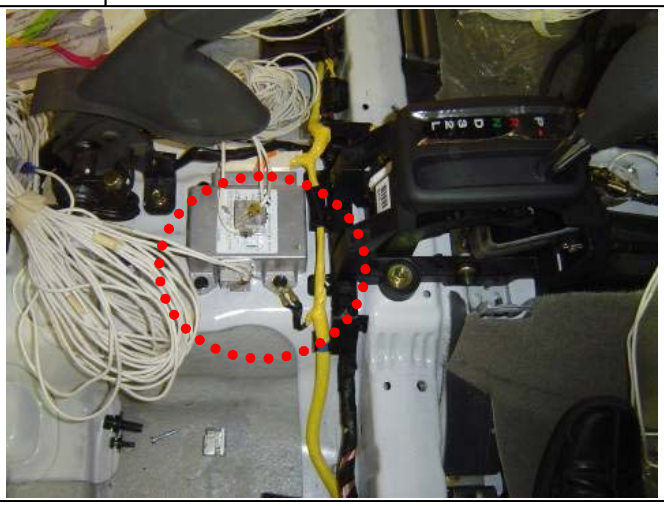
<표 3-3-3> 센서부착위치

장착 위치/방법	목적	측정방향
ACU MID TNL, 볼팅	ACU – MID TNL 위치 에서의 가속도 측정	X, Y



<표 3-3-4> ACU - MID TNL

장착 위치/방법	목적	측정방향
ACU HOUSING, 본딩	ACU HOUSING 위치 에서의 가속도 측정	X, Y, Z



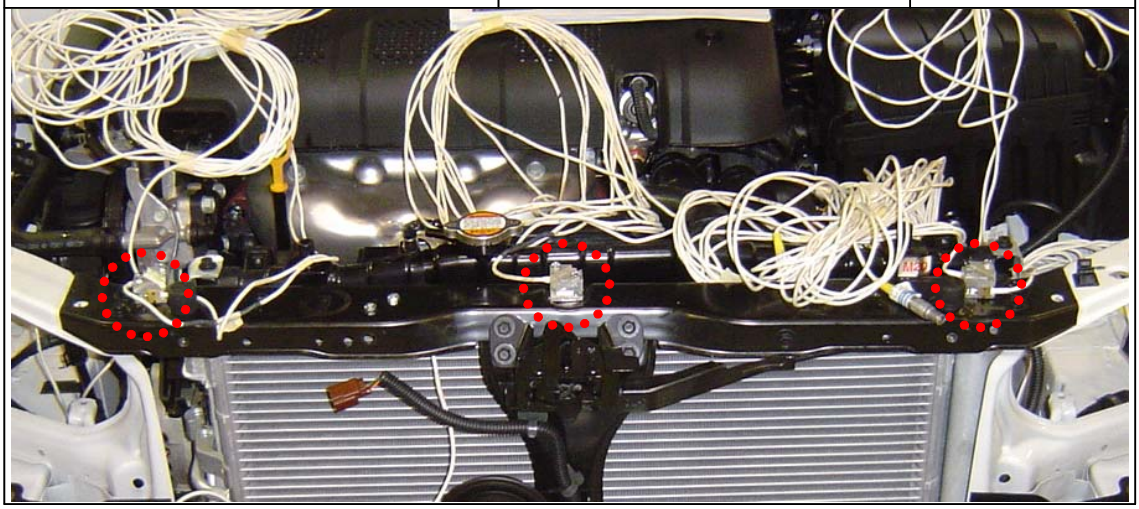
<표 3-3-5> ACU - ACU HOUSING

장착 위치/방법	목적	측정방향
ACU RR TNL, 볼팅	ACU – RR TNL 위치 에서의 가속도 측정	X, Y



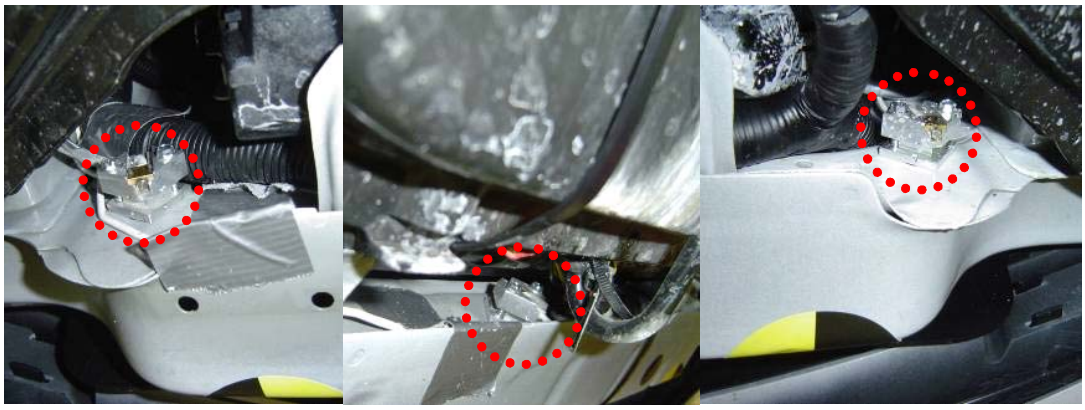
<표 3-3-6> ACU - RR TNL

장착 위치/방법	목적	측정방향
LH/RH/CTR RAD SUPT UPR, 볼팅	노면의 가혹 정도 측정 정면 가속도 PULSE 측정	X



<표 3-3-7> FIS - RAD SUPT UPR

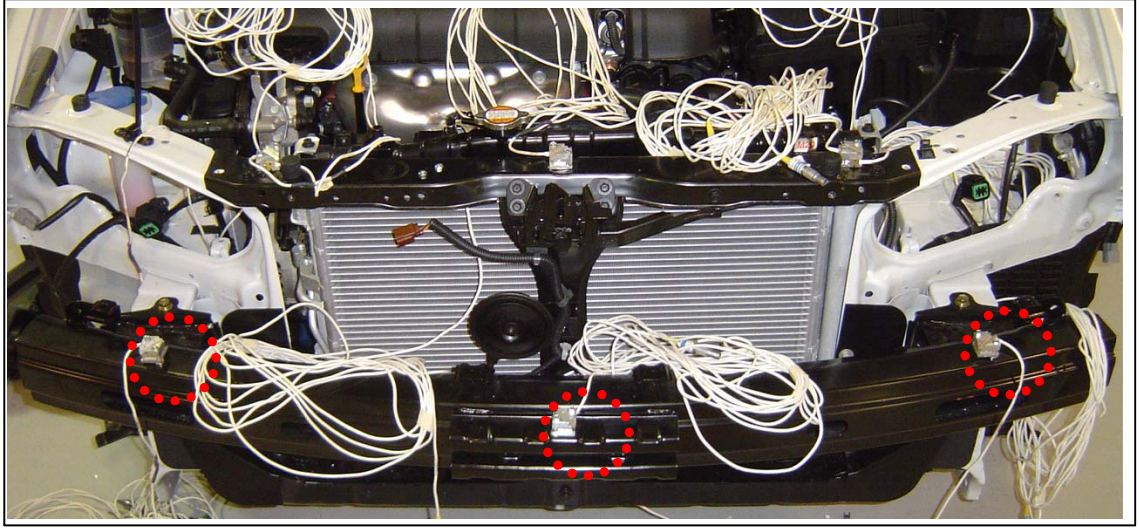
장착 위치/방법	목적	측정방향
LH/RH/CTR RAD SUPT LWR, 볼팅	노면의 가혹 정도 측정 정면 가속도 PULSE 측정	X



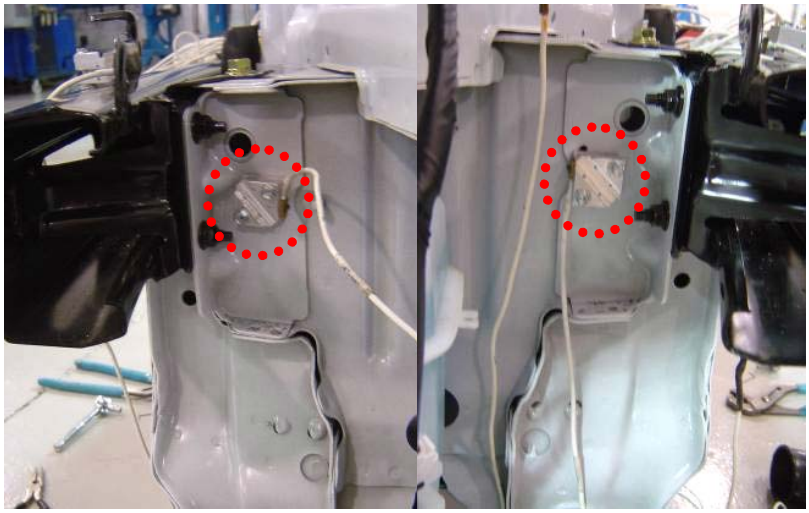
LH CTR RH

<표 3-3-8> FIS - RAD SUPT LWR

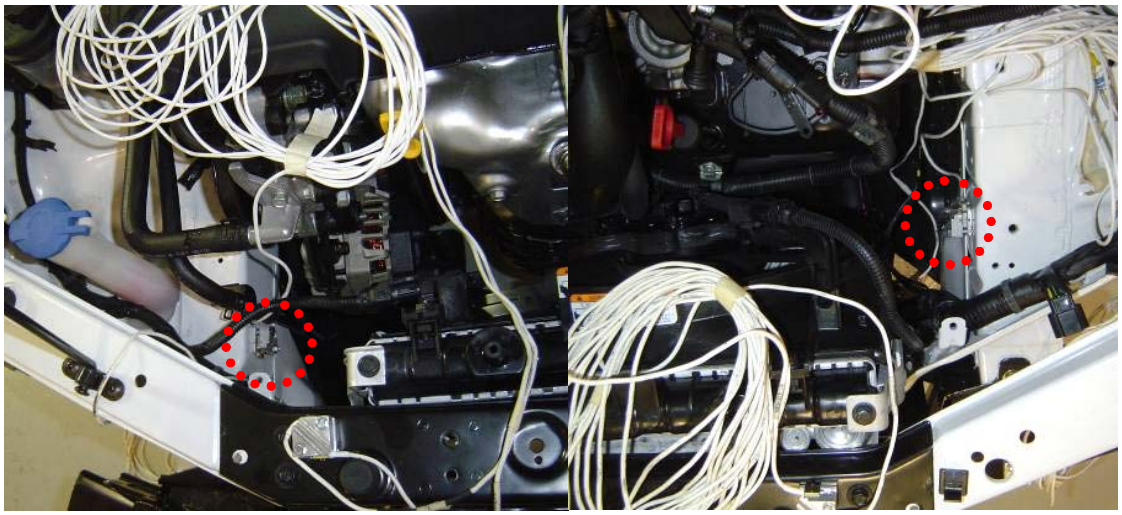
장착 위치/방법	목적	측정방향
LH/RH/CTR B/MPER B/BEAM, 볼팅	노면의 가혹 정도 측정 정면 가속도 PULSE 측정	X



<표 3-3-9> FIS - B/BEAM

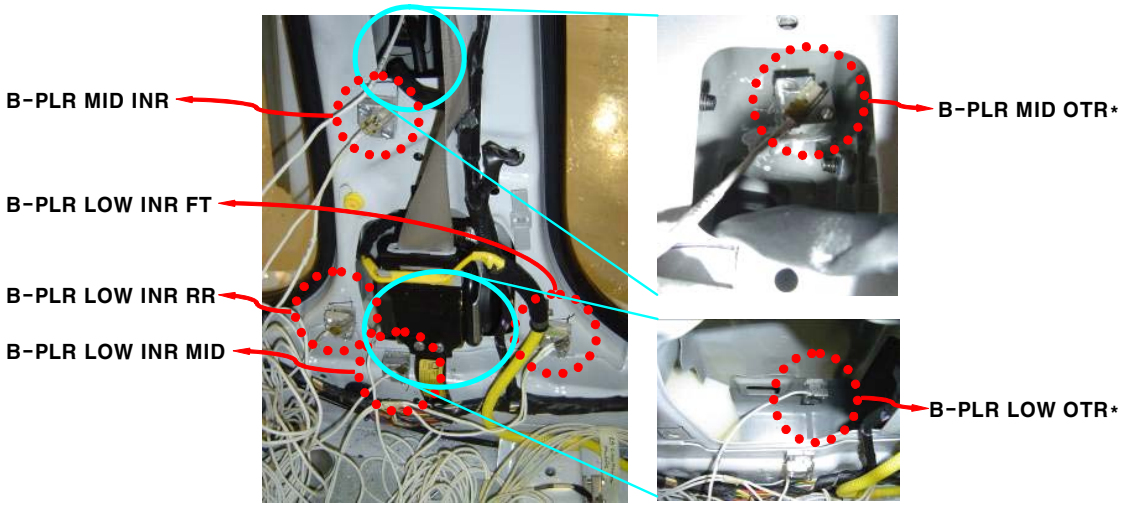
장착 위치/방법	목적	측정방향
LH/RH S/MBR OUTER, 볼팅	노면의 가혹 정도 측정 정면 가속도 PULSE 측정	X
		

<표 3-3-10> FIS - S/MBR OTR

장착 위치/방법	목적	측정방향
LH/RH S/MBR INNER, 볼팅	노면의 가혹 정도 측정 정면 가속도 PULSE 측정	X
		

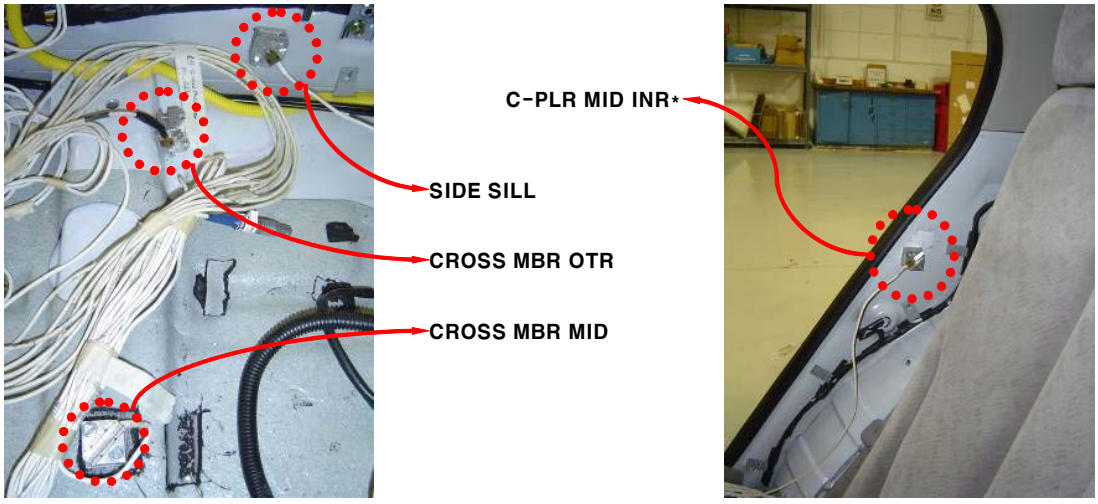
<표 3-3-11> FIS - S/MBR INR

장착 위치/방법	목적	측정방향
B-PLR, 볼팅	노면의 가혹 정도 측정 정면 가속도 PULSE 측정	X



<표 3-3-12> SIS - B-PLR

장착 위치/방법	목적	측정방향
B-PLR, 볼팅	노면의 가혹 정도 측정 정면 가속도 PULSE 측정	X



<표 3-3-13> SIS - CROSS MBR, SIDE SILL, C-PLR

Data Acquisition System	Speed Meter
각각의 측정 센서로부터 Data를 저장 및 처리하는 장비	차량의 속도 측정/표기계
 	

<표 3-3-14> 기타 장치

나. 시험 내용

DOOR SLAM		
시험 사진		
		
목 적		측면 오전개 마진 확보
시 험 조 건	속도	20/25 kph
	방법	팔 및 발을 이용 속도 조절
상 세 내 용	LF 실시, LF/RF 동시 실시 LF/LR 동시 실시 LF/LR 178mm high 실시(사진) LF/LR 178mm high시험 중 B-PLR MID OTR 센서 떨어져 재시험 (장착방법 본딩→볼팅 변경)	

<표 3-3-15> STATIC TEST - DOOR SLAM

HOOD SLAM		
시험 사진		
		
목 적		정면 오전개 마진 확보
시 험 조 건	속도	20 kph
	방법	팔을 이용 속도 조절
상 세 내 용	-	

<표 3-3-16> STATIC TEST - HOOD SLAM

3. 실차 정면 충돌 확인 시험 결과

가. 시험목적

북미 법규 대응을 위하여 충돌 및 충돌모의 시험연구를 통한 첨단 인공지능 에어백 독자기술 개발 위함

나. 시험 조건 및 전개 조건 (자동차성능연구소)

구분	시험속도	시험조건		전개조건			
		인체모형	벨트상태	에어백	(ms)	P/T	(ms)
1	저속1			Live	-	-	-
2	저속2			Live	-	Live	-
3	중속1			Live	-	Live	-
4	16MPH FRT	50th%ile	Belted	Live	-	Live	-
5	20MPH LOB	50th%ile	UNBelted	Live	-	-	-
6	25MPH LOB	50th%ile	UNBelted	Live	-	-	-

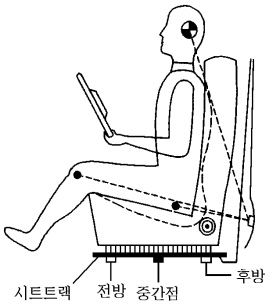
다. 인체모형의 착석위치

운전자석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :_____ 형식 : Hybrid Ⅲ

머리 633
표적 625 mm

무릎 650
연결부 620 mm

둔부점 328
(대략) 302 mm

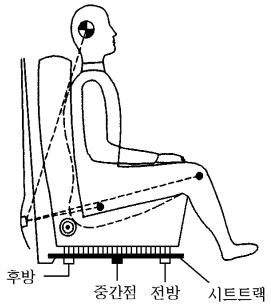


승객석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :_____ 형식 : Hybrid Ⅲ

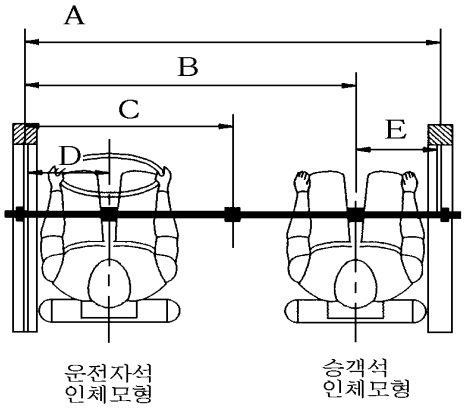
머리 620
표적 625 mm

무릎 665
연결부 630 mm

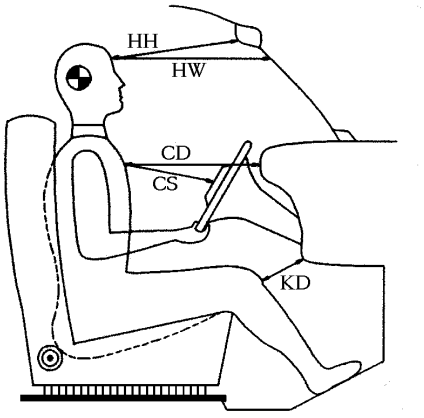
둔부점 340
(대략) 300 mm



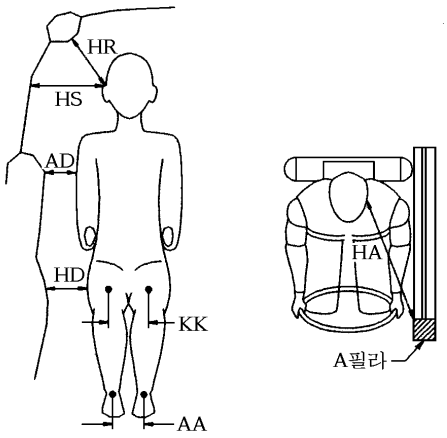
A = 1500 mm
B = 1100 mm
C = 400 mm
D = 750 mm
E = 390 mm



구 분	운전자	승 객
HH	257	290
HW	490	530
CD	527	550
CS	282	-
KDL	105	112
KDR	55	113
TA		
SA		



구 분	운전자	승 객
HR	165	170
HS	240	245
AD	104	125
HD	125	134
KK	270	270
AA	270	240
HA	430	460



HH = 머리에서 앞면유리위쪽 전면부　　HR = 머리에서 천정측면

HW = 머리에서 앞면유리　　HS = 머리에서 옆면유리

CD = 가슴에서 계기판넬　　AD = 팔에서 문

CS = 가슴에서 조향핸들　　HD = 엉덩이에서 문

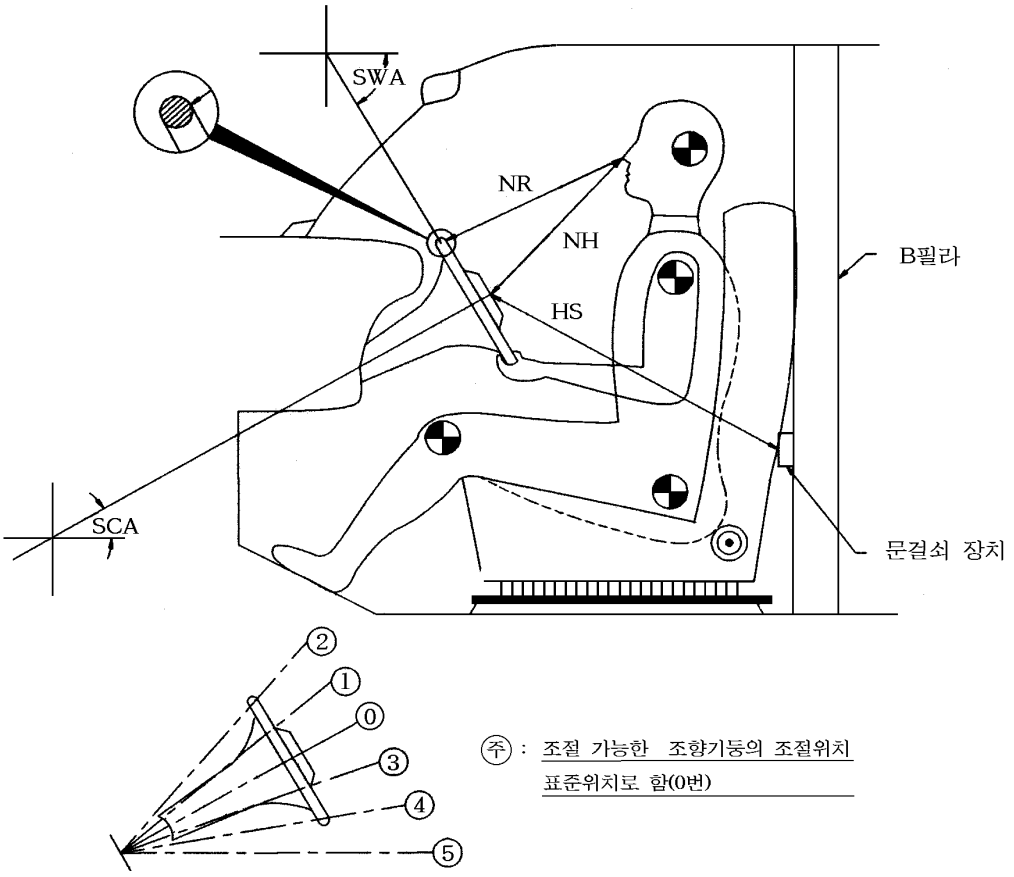
KD = 무릎에서 계기판넬　　KK = 무릎에서 무릎

TA = 가슴 각도　　AA = 발목에서 발목

SA = 좌석등받이 각도　　HA = 머리에서 A-필라

주 : 가슴과 좌석등받이 각도는 상대적으로 수직임.

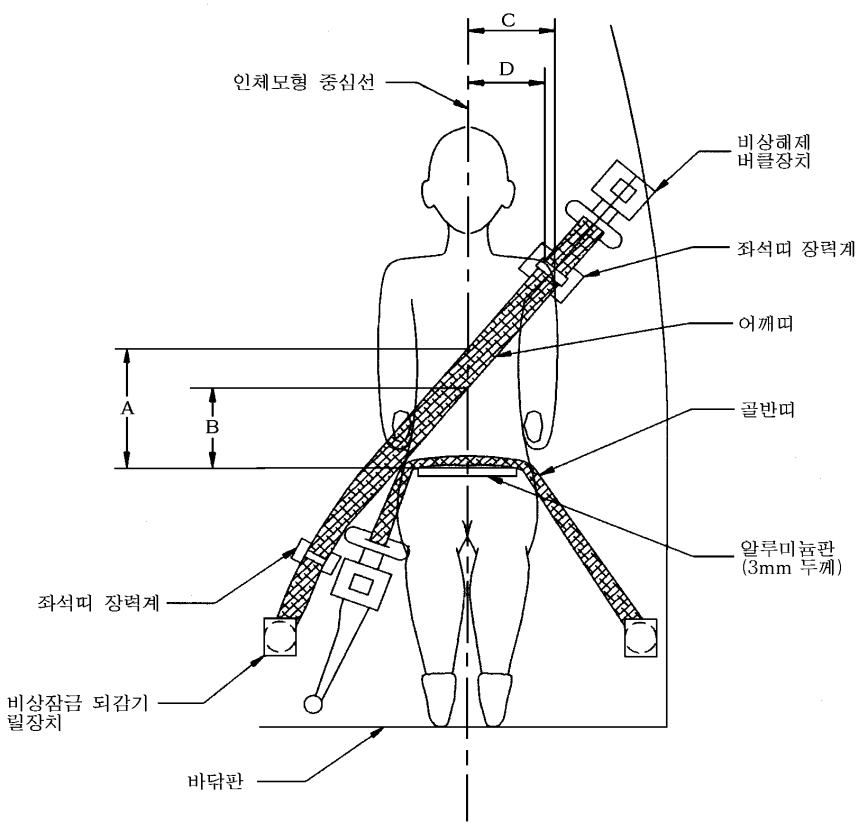
… 계 속 …



㈜ : 조절 가능한 조향기둥의 조절위치
표준위치로 함(0번)

구 분	내 용	측 정 치
NR	코에서 조향핸들	373
NH	코에서 조향축 중심	380
HS	조행핸들 중심에서 문 걸쇠고리	695
SCA	수평 길이방향에 대한 조향축 각도	
SWA	수평 길이방향에 대한 조향핸들 각도	

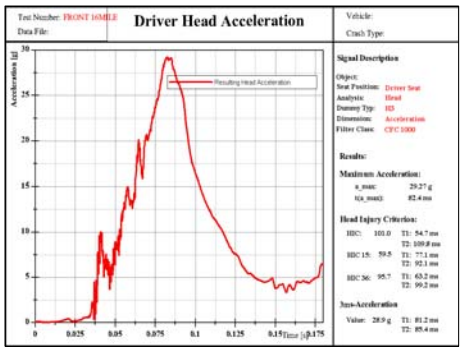
라. 좌석안전띠의 위치

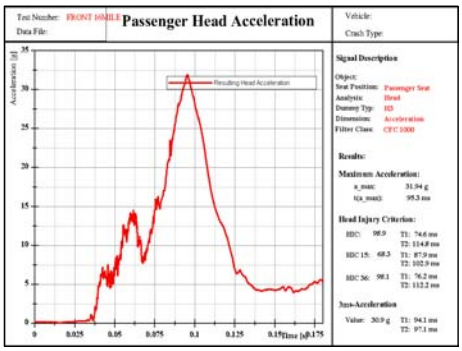


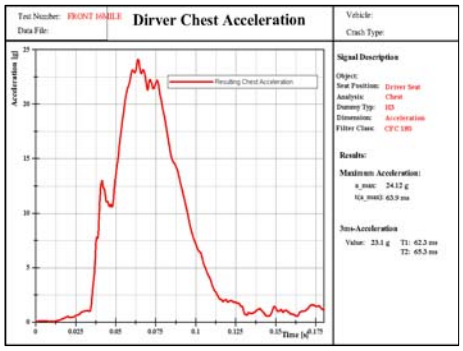
구 분	내 용	운전자 인체모형	승객 인체모형
A	알루미늄판의 윗표면에서 좌석띠 상단	-	-
B	알루미늄판의 윗표면에서 좌석띠 하단	-	-
C	인체모형 중심에서 가슴 상부의 좌석띠 바깥쪽 끝단	130	180
D	인체모형 중심에서 가슴 상부의 좌석띠 안쪽 끝단	160	160

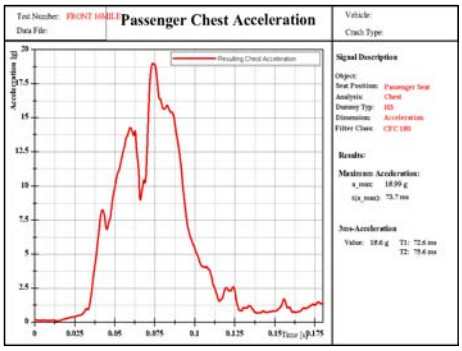
마. 시험결과 그래프

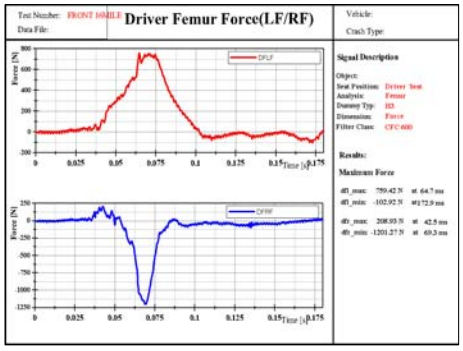
(1) 16mile 정면충돌

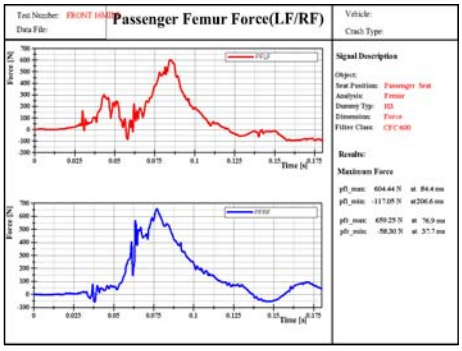

Test Number: FRONT 16MILE
Data File:
Driver Head Acceleration
Vehicle:
Crash Type:
Signal Description
Object:
Seat Position: Driver Seat
Analysis: Head
Dummy Typ: H3
Dimension: Acceleration
Filter Class: CFC 1000
Results:
Maximum Acceleration:
a_max: 29.27 g
t(a_max): 82.4 ms
Head Injury Criterion:
HIC: 101.0 T1: 54.7 ms T2: 109.8 ms
HIC 15: 59.5 T1: 77.1 ms T2: 92.1 ms
HIC 36: 95.7 T1: 63.2 ms T2: 99.2 ms
3ms-Acceleration
Value: 28.9 g T1: 81.2 ms T2: 85.4 ms
Resulting Head Acceleration
Acceleration [g]
Time [s]

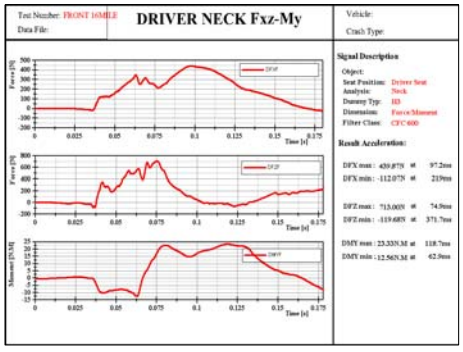

Test Number: FRONT 16MILE
Data File:
Passenger Head Acceleration
Vehicle:
Crash Type:
Signal Description
Object:
Seat Position: Passenger Seat
Analysis: Head
Dummy Typ: H3
Dimension: Acceleration
Filter Class: CFC 1000
Results:
Maximum Acceleration:
a_max: 31.94 g
t(a_max): 95.3 ms
Head Injury Criterion:
HIC: 98.9 T1: 74.6 ms T2: 114.8 ms
HIC 15: 68.3 T1: 87.9 ms T2: 102.9 ms
HIC 36: 98.1 T1: 76.2 ms T2: 112.2 ms
3ms-Acceleration
Value: 30.9 g T1: 94.1 ms T2: 97.1 ms
Resulting Head Acceleration
Acceleration [g]
Time [s]

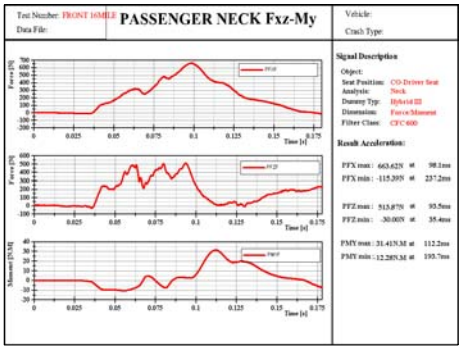

Test Number: FRONT 16MILE
Data File:
Dirver Chest Acceleration
Vehicle:
Crash Type:
Signal Description
Object:
Seat Position: Driver Seat
Analysis: Chest
Dummy Typ: H3
Dimension: Acceleration
Filter Class: CFC 180
Results:
Maximum Acceleration:
a_max: 24.12 g
t(a_max): 63.9 ms
3ms-Acceleration
Value: 23.1 g T1: 62.3 ms T2: 65.3 ms
Resulting Chest Acceleration
Acceleration [g]
Time [s]

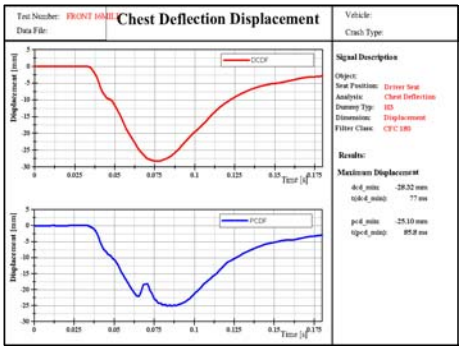

Test Number: FRONT 16MILE
Data File:
Passenger Chest Acceleration
Vehicle:
Crash Type:
Signal Description
Object:
Seat Position: Passenger Seat
Analysis: Chest
Dummy Typ: H3
Dimension: Acceleration
Filter Class: CFC 180
Results:
Maximum Acceleration:
a_max: 18.99 g
t(a_max): 73.7 ms
3ms-Acceleration
Value: 18.6 g T1: 72.6 ms T2: 75.6 ms
Resulting Chest Acceleration
Acceleration [g]
Time [s]


Test Number: FRONT 16MILE
Data File:
Driver Femur Force(LF/RF)
Vehicle:
Crash Type:
Signal Description
Object:
Seat Position: Driver Seat
Analysis: Femur
Dummy Typ: H3
Dimension: Force
Filter Class: CFC 600
Results:
Maximum Force
DFLF
DFRF
Force [N]
Time [s]

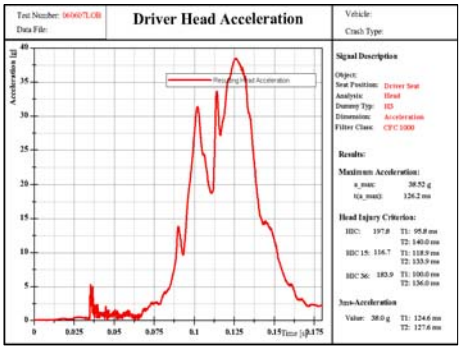

Test Number: FRONT 16MILE
Data File:
Passenger Femur Force(LF/RF)
Vehicle:
Crash Type:
Signal Description
Object:
Seat Position: Passenger Seat
Analysis: Femur
Dummy Typ: H3
Dimension: Force
Filter Class: CFC 600
Results:
Maximum Force
PFLF
PFRF
Force [N]
Time [s]

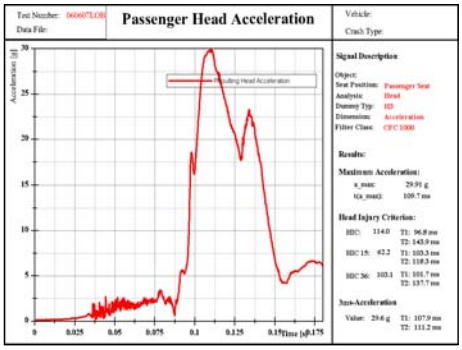

Test Number: FRONT 16MILE
Data File:
DRIVER NECK Fxz-My
Vehicle:
Crash Type:
Signal Description
Object:
Seat Position: Driver Seat
Analysis: Neck
Dummy Typ: H3
Dimension: Force/Moment
Filter Class: CFC 600
Result Acceleration:
DFX
DFZ
DMY
Force [N]
Moment [N-M]
Time [s]

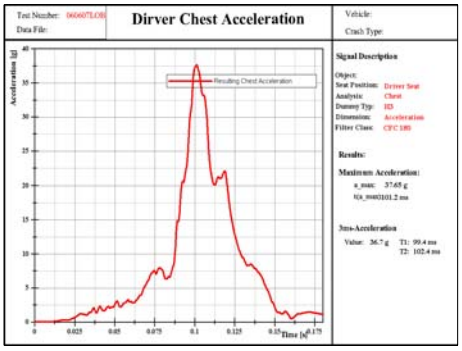

Test Number: FRONT 16MILE
Data File:
PASSENGER NECK Fxz-My
Vehicle:
Crash Type:
Signal Description
Object:
Seat Position: CO-Driver Seat
Analysis: Neck
Dummy Typ: Hybrid III
Dimension: Force/Moment
Filter Class: CFC 600
Result Acceleration:
PFX
PFZ
PMY
Force [N]
Moment [N-M]
Time [s]

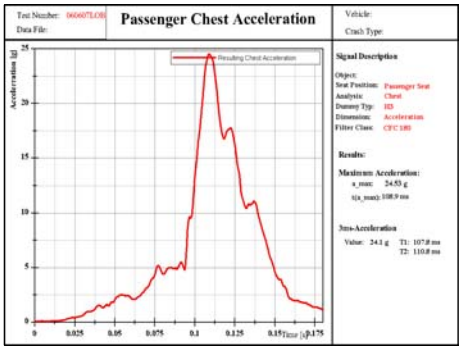


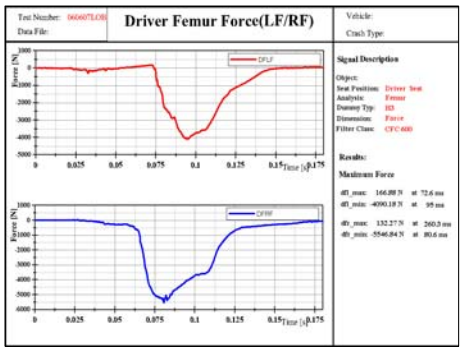
(2) 20mile 좌사면 충돌

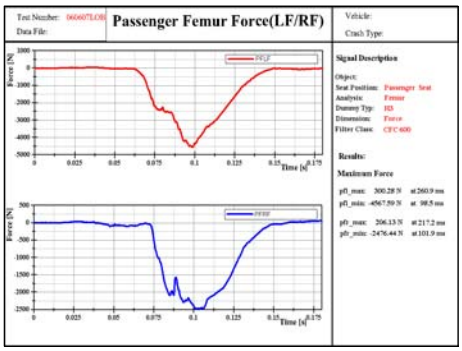


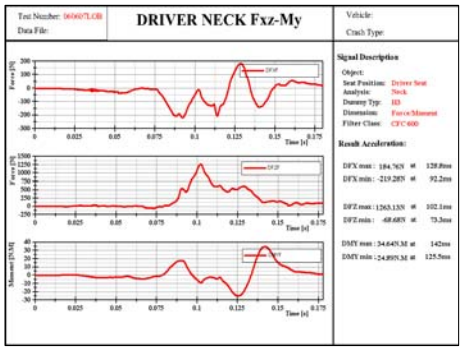


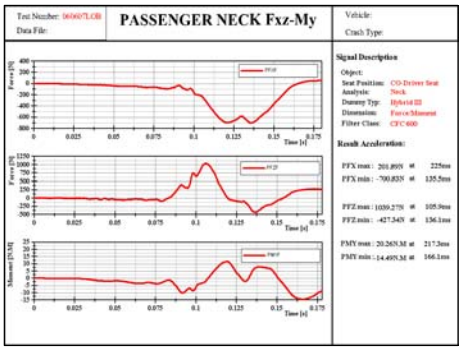


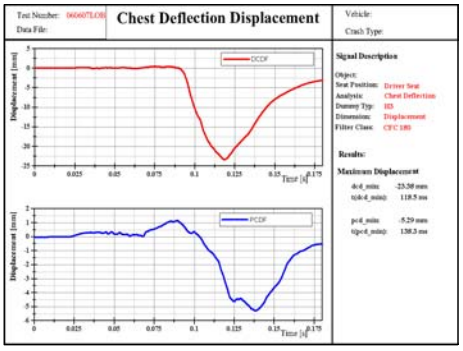






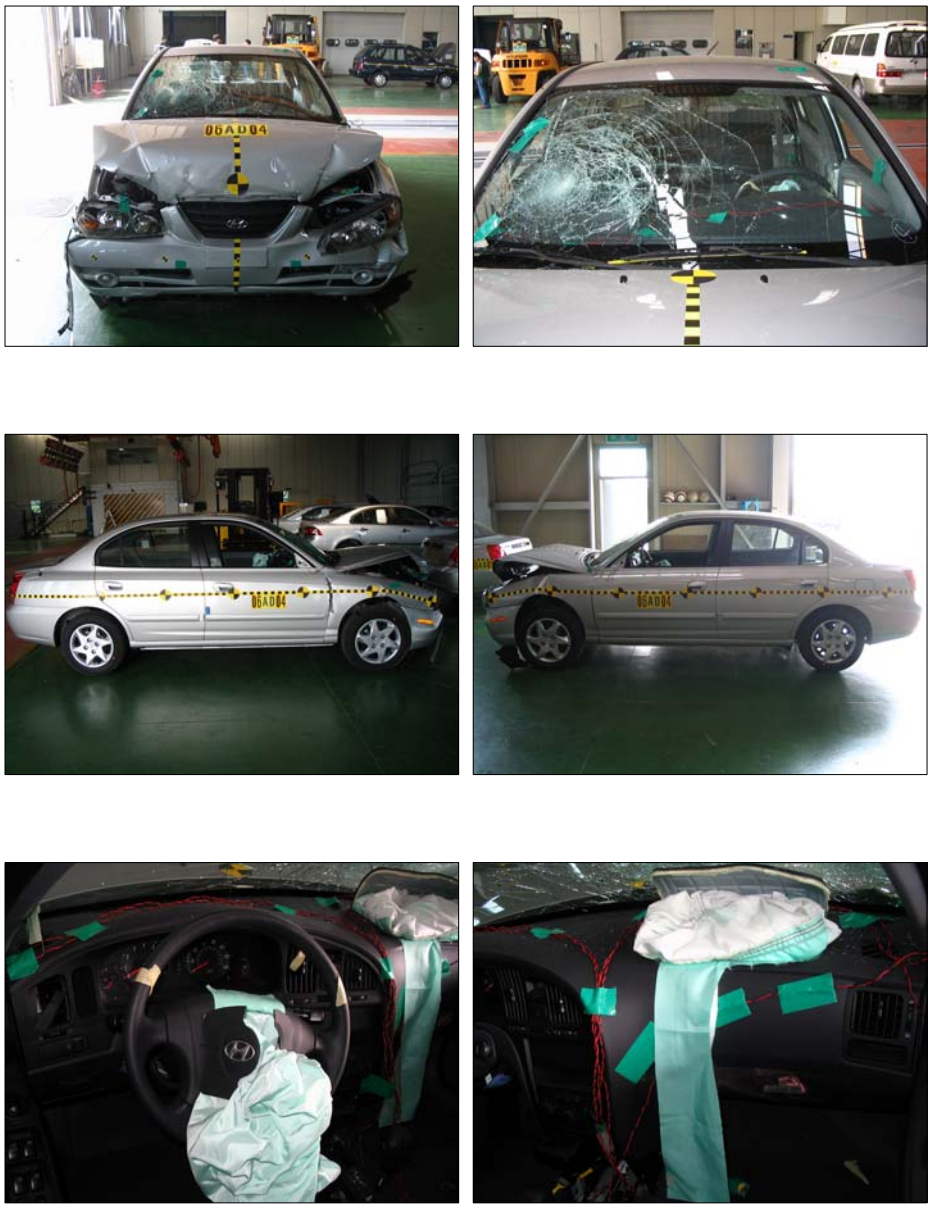






사. 시험 사진

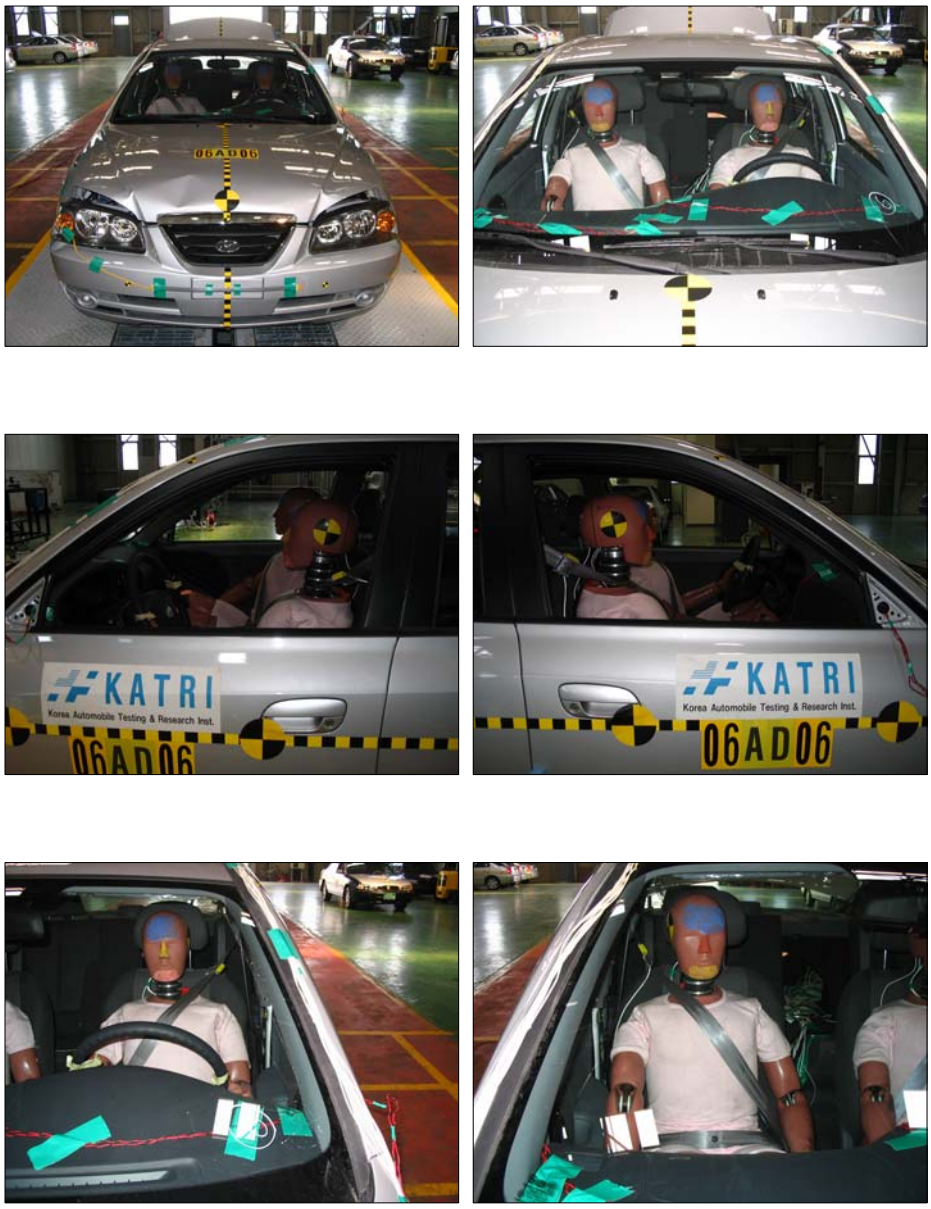
(1) 저속 정면충돌[1]



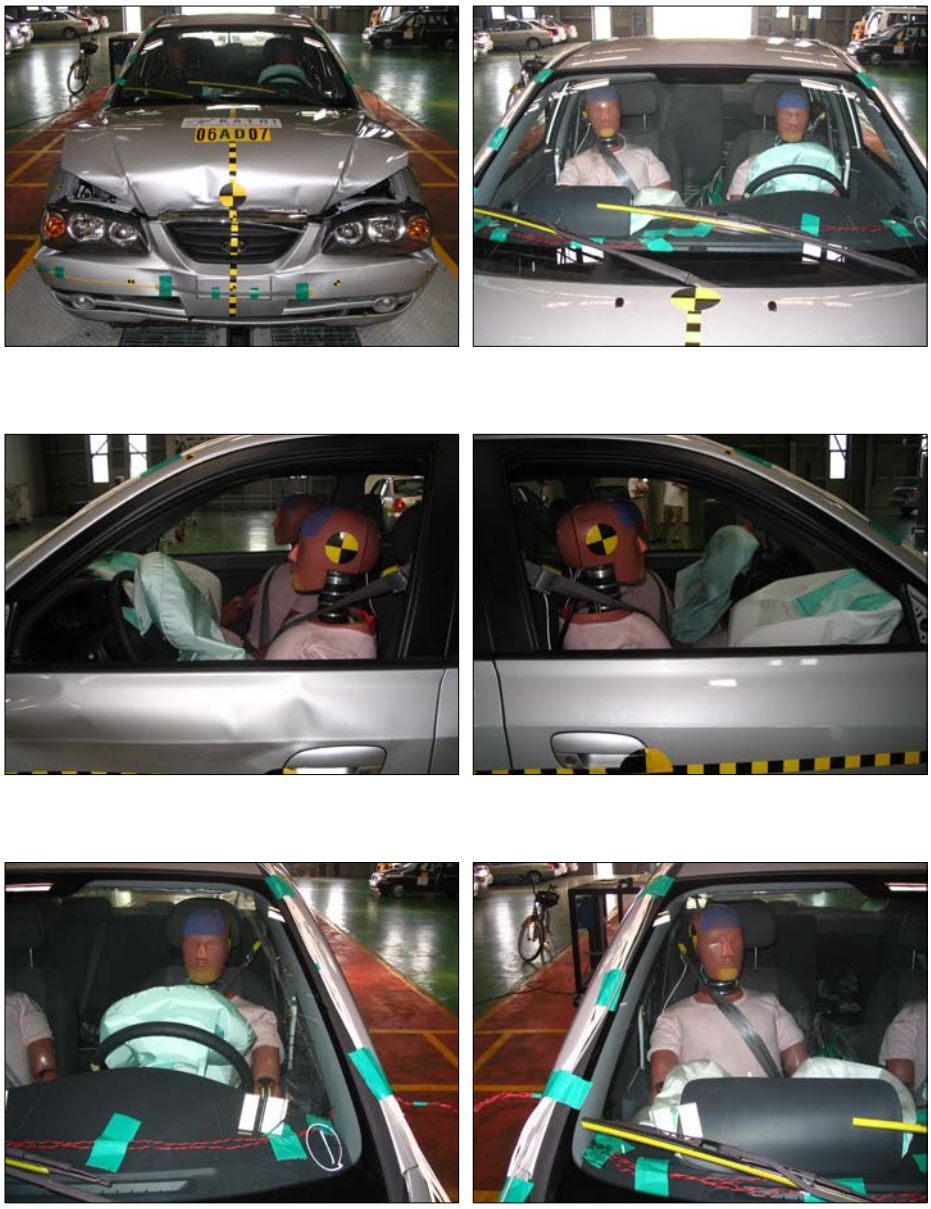
(2) 저속 정면충돌[2]



(3) 중속 정면충돌[1]



(4) 16mile 정면충돌



(5) 20mile 좌사면 충돌



(6) 25mile 옵셋충돌







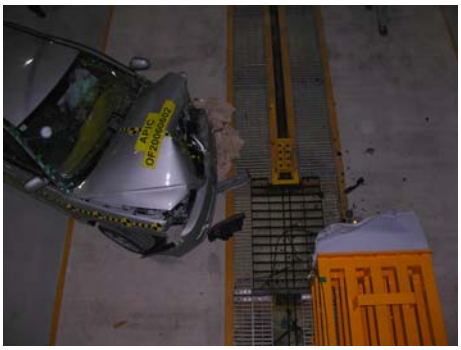




(7) 40mile 옵셋충돌







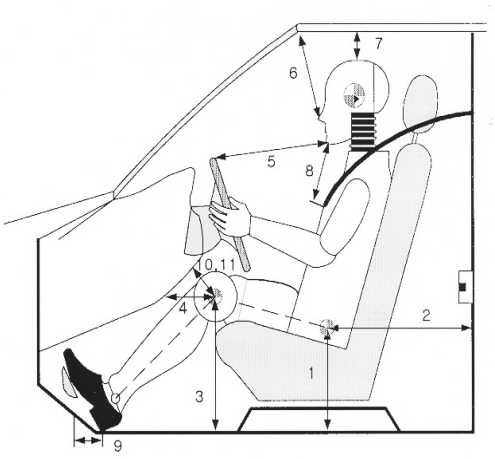
4. 측면 센싱 시험(7회)

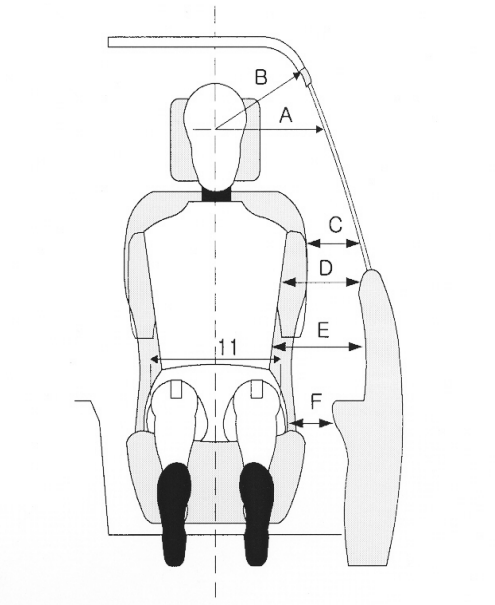
가. 시험목적

북미 법규 대응을 위하여 충돌 및 충돌모의 시험연구를 통한 첨단 인공지능 에어백 독자기술 개발 위함

나. 인체모형의 착석위치

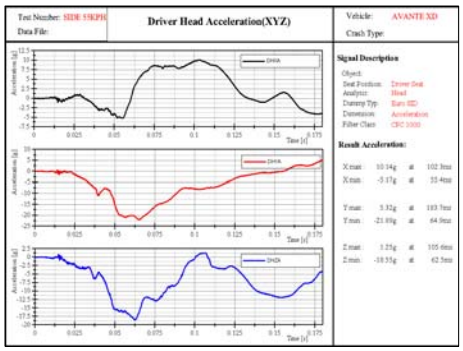
번호	측정 위치	거리 (mm)
1	H점에서 옆문턱 상부프랜지 (수직)	158
2	H점에서 B-필라 프랜지 (수평)	184
3	무릎관절에서 옆문턱 프랜지 (수직)	255
4	무릎관절에서 계기판 (수평)	213
5	턱에서 조향휠 림	470
6	코에서 창문상부	362
7	머리상부에서 천정	108
8	턱에서 안전띠 윗부분	180
9	뒷꿈치에서 바닥판넬 가장자리	85
10	좌측무릎에서 계기판 (최단거리)	160
11	우측무릎에서 계기판 (최단거리)	112
12	무릎에서 무릎	260
A	머리에서 측면창유리(수평)	350
B	머리에서 측면 천정	235
C	어깨에서 측면창유리	150
D	흉부에서 옆문 내장재	210
E	복부에서 팔걸이	210
F	골반에서 측면문 내장재	150

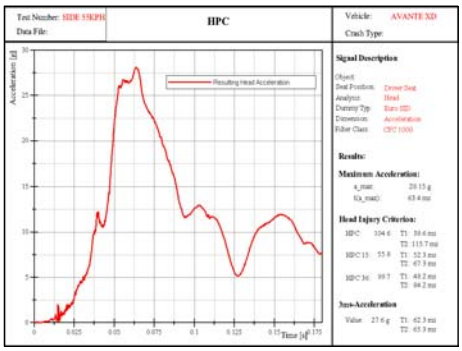


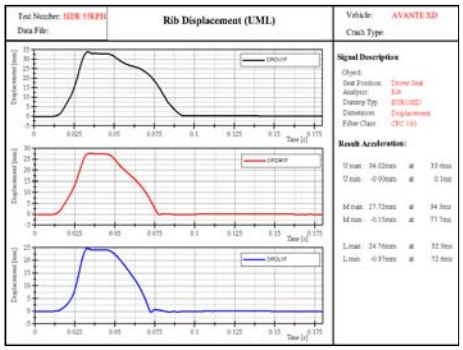


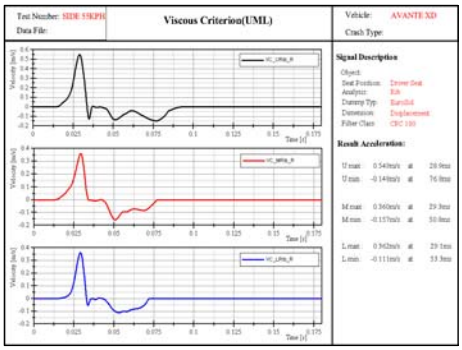
다. 시험결과 그래프

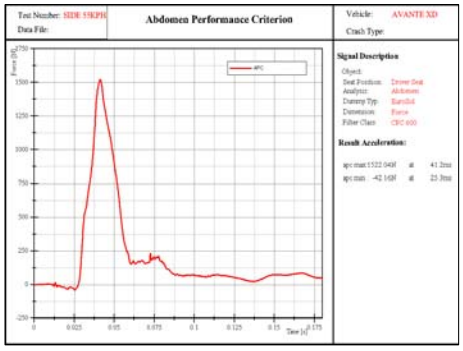
(1) 55Kph 측면충돌

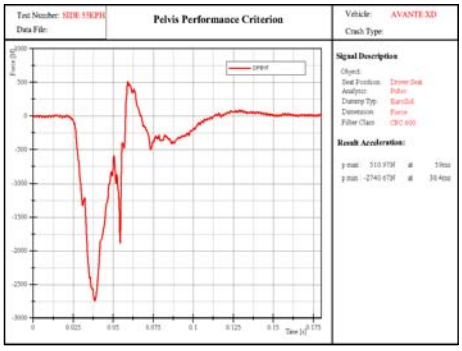






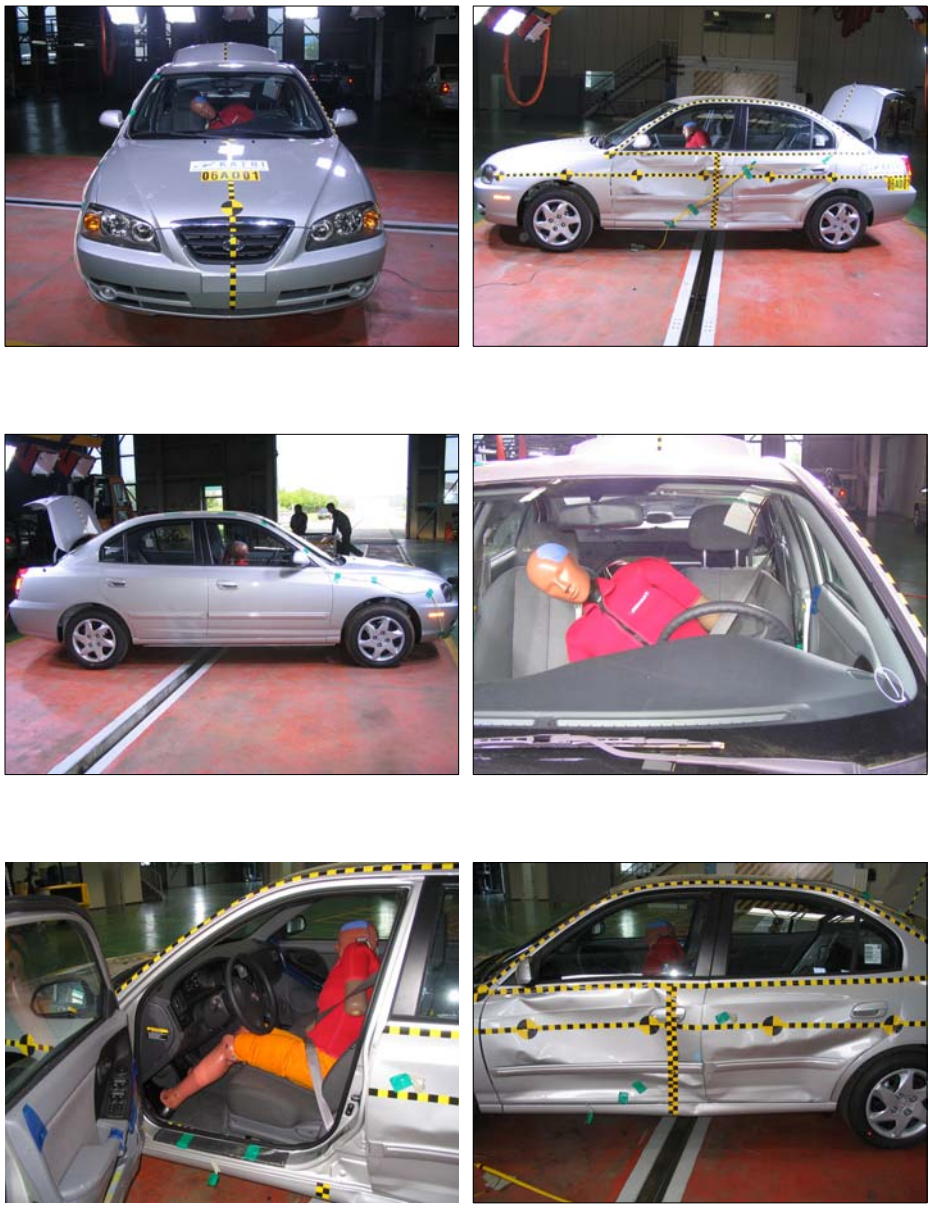




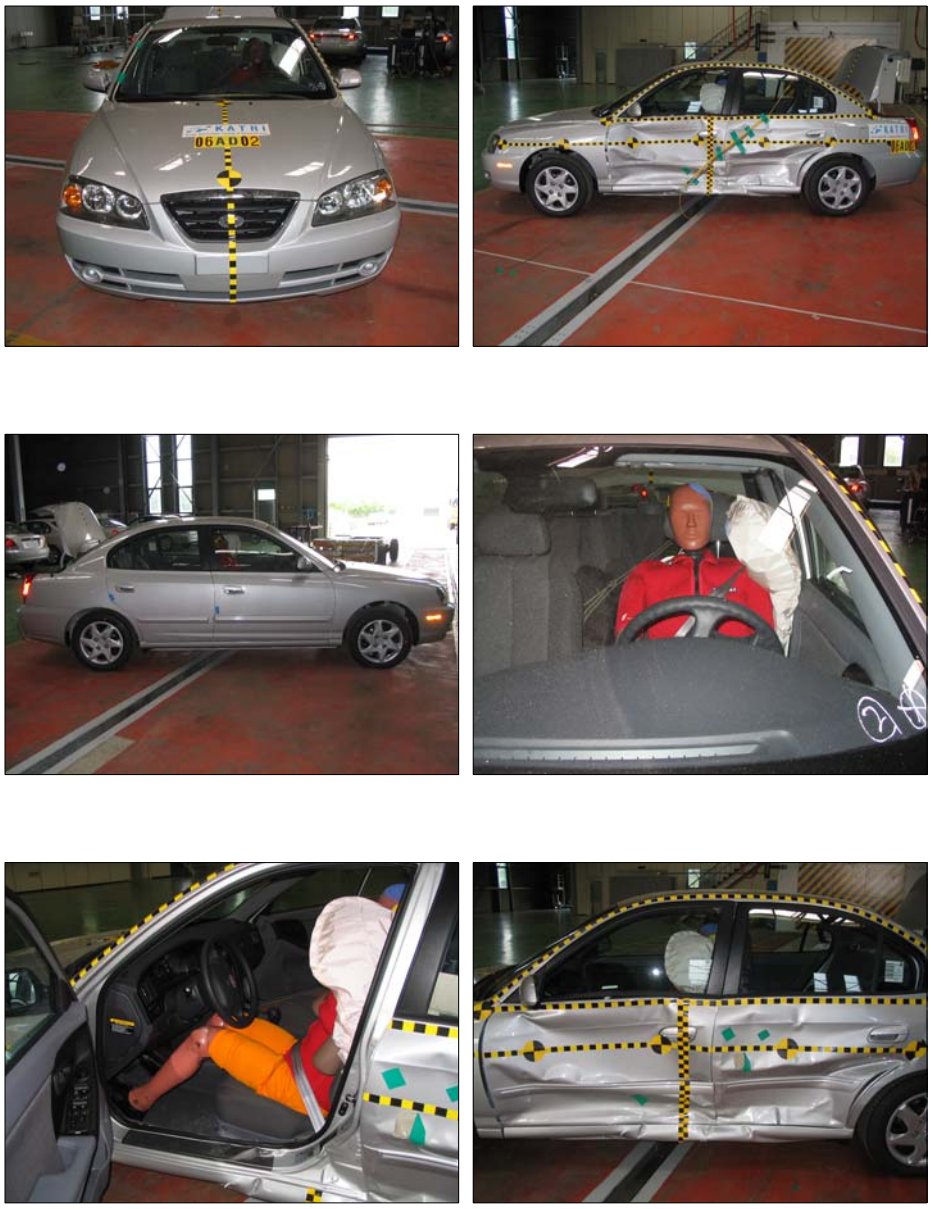


라. 시험결과 사진

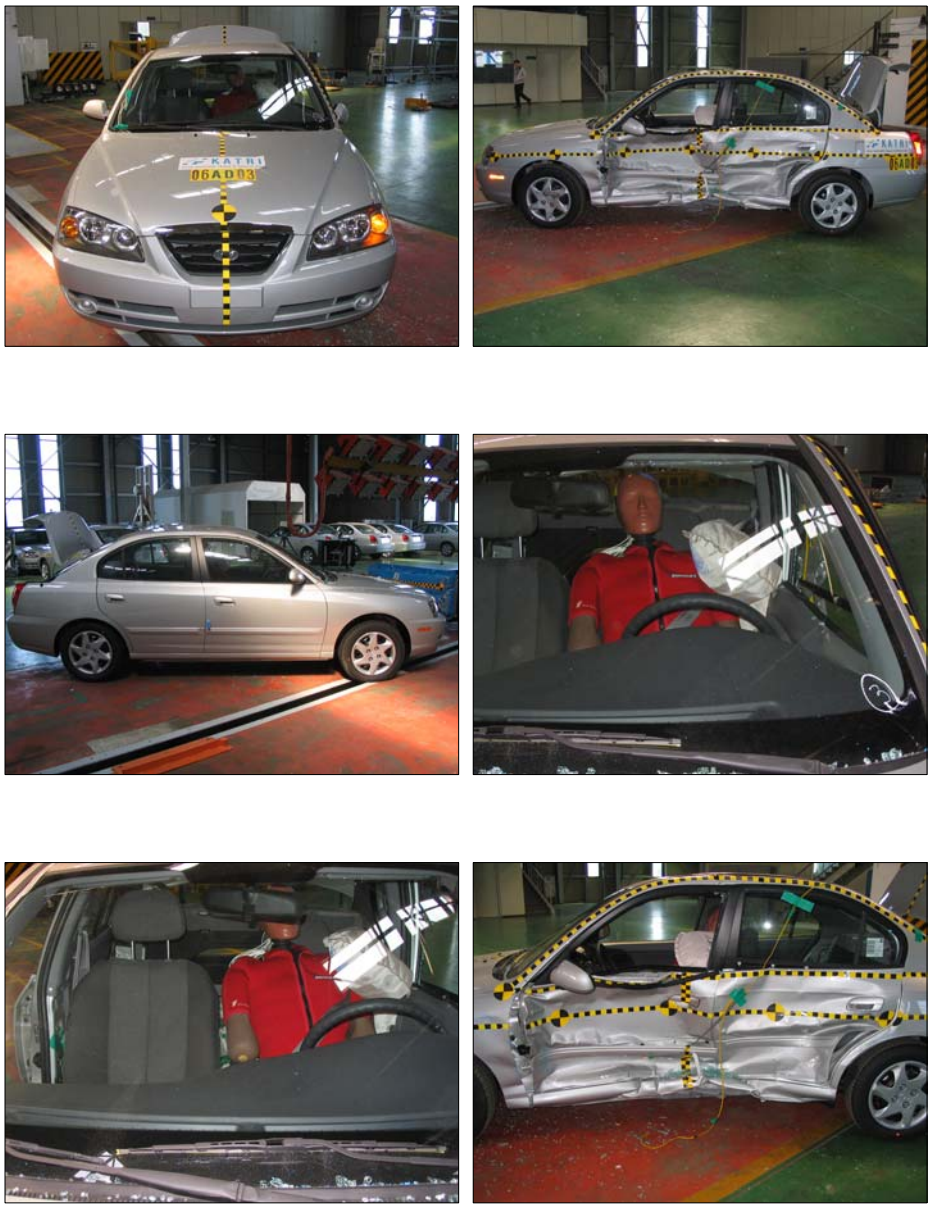
(1) 유럽 저속 측면충돌[1]



(2) 유럽 저속 측면충돌[2]



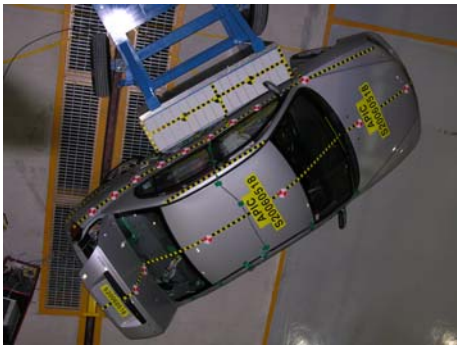
(3) 55Kph 측면충돌



(4) 북미 저속 측면충돌[1]



(5) 북미 저속 측면충돌[2]









5. 중형 세단(3회) 정면 충돌 시험

가. 시험목적

북미 법규 대응을 위하여 충돌 및 충돌모의 시험연구를 통한 첨단 인공지능 에어백 독자기술 개발 위함

나. 센서 장착 사진



다. 시험결과 사진

(1) 25ODB



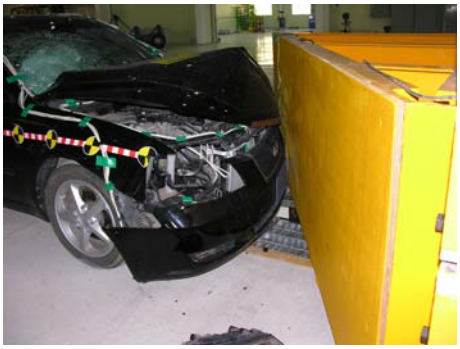







(2) 20LOB



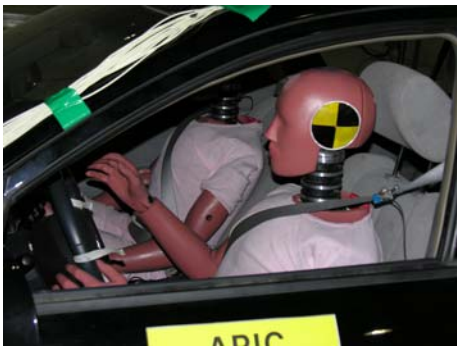





(3) 저속 정면






6. 3차년도 실차시험 결과

가. 시험결과

(1) 시험목적

(2) 시험조건

구분	시험속도	시험조건		전개조건			
		인체모형	벨트상태	에어백	(ms)	P/T	(ms)
1	유럽 저속 측면	EuroSID-I	Belted	Live	-	Live	-
2	55KPH SIDE	EuroSID-Ⅱ	Belted	Live	-	Live	-
3	40MPH FRT Pole	50th%ile	Belted	Live	-	Live	-

나. 충돌시험결과 종합

(1) 측면시험

구분	시험속도	충돌형태	승객	시험결과				
				HPC	RIB(mm)	VC(m/s)	APC(KN)	PPC(KN)
1	유럽저속	SIDE	운전석	12.5	14.3	0.13	0.2	0.3
2	55KPH	SIDE	운전석	152	33	0.43	1.5	2.4

(2) 정면 Pole 시험

구분	시험 속도	충돌형태	승객	시험결과				
				HIC36	Chest		Neck (ten/com)	Femur (LH/RH)
					G	Def		
1	40MPH	FRT	운전석	640	56	19.5	1711/659	3.5/6.6
			조수석	238	33	8.7	893/283	1.8/0.5

다. 인체모형 착석위치 및 좌석안전띠위치

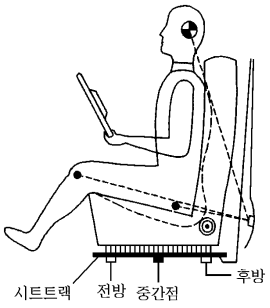
(1) 인체모형의 착석위치(정면시험)

운전자석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :_____ 형식 : Hybrid Ⅲ

머리 633
표적 625 mm

무릎 650
연결부 620 mm

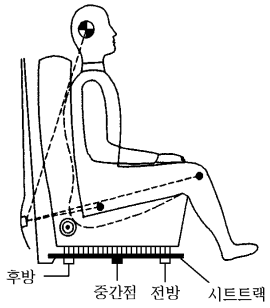
둔부점 328
(대략) 302 mm



승객석 Seat Track : 중간
인체모형 번호 :_____ 형식 : Hybrid Ⅲ

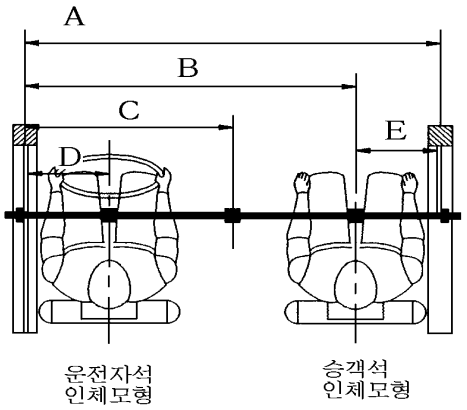
머리 620
표적 625 mm

무릎 665
연결부 630 mm

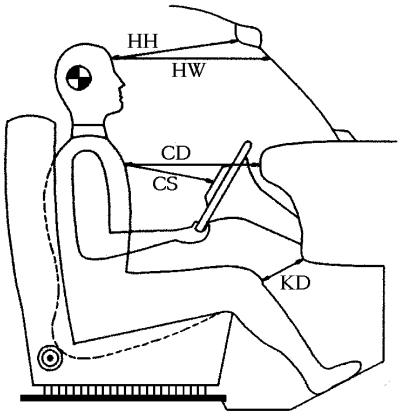


둔부점 340
(대략) 300 mm

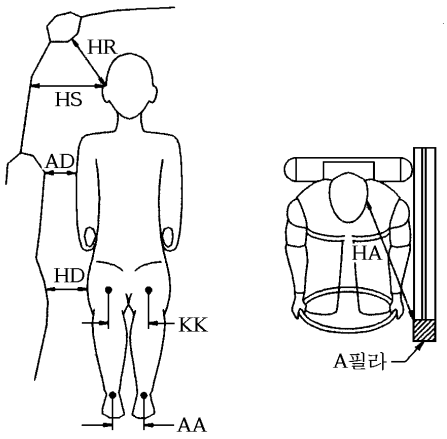
A = 1500 mm
B = 1100 mm
C = 400 mm
D = 750 mm
E = 390 mm



구 분	운전자	승 객
HH	257	290
HW	490	530
CD	527	550
CS	282	-
KDL	105	112
KDR	55	113
TA		
SA		



구 분	운전자	승 객
HR	165	170
HS	240	245
AD	104	125
HD	125	134
KK	270	270
AA	270	240
HA	430	460



HH = 머리에서 앞면유리위쪽 전면부

HW = 머리에서 앞면유리

CD = 가슴에서 계기판넬

CS = 가슴에서 조향핸들

KD = 무릎에서 계기판넬

TA = 가슴 각도

HR = 머리에서 천정측면

HS = 머리에서 옆면유리

AD = 팔에서 문

HD = 엉덩이에서 문

KK = 무릎에서 무릎

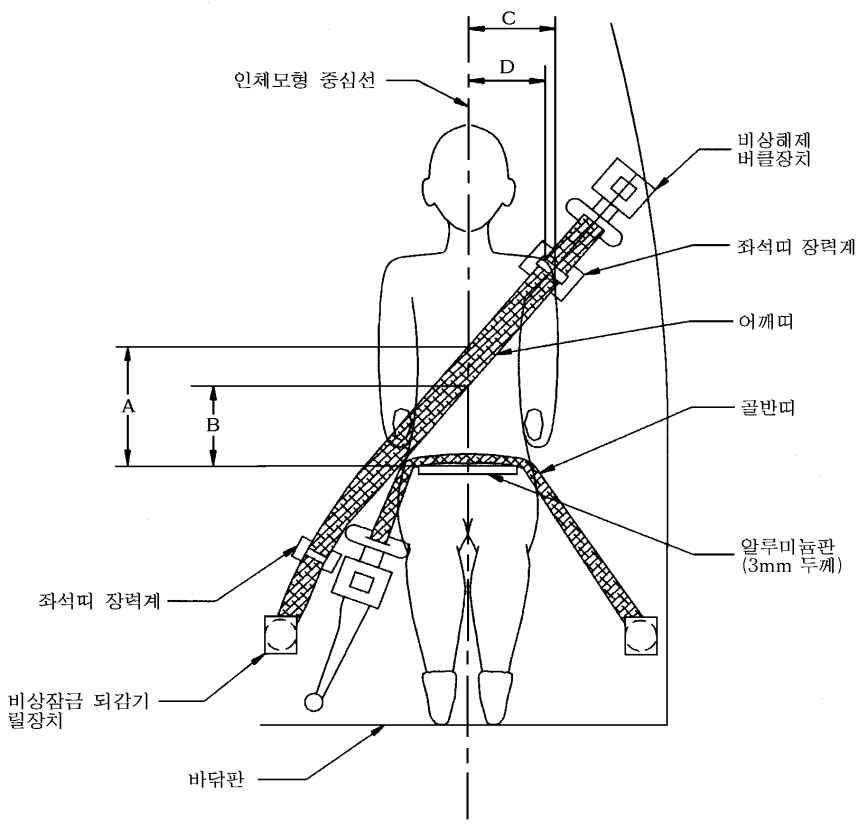
AA = 발목에서 발목

SA = 좌석등받이 각도 HA = 머리에서 A-필라

주 : 가슴과 좌석등받이 각도는 상대적으로 수직임.

구 분	내 용	측 정 치
NR	코에서 조향핸들	373
NH	코에서 조향축 중심	380
HS	조행핸들 중심에서 문 걸쇠고리	695
SCA	수평 길이방향에 대한 조향축 각도	
SWA	수평 길이방향에 대한 조향핸들 각도	

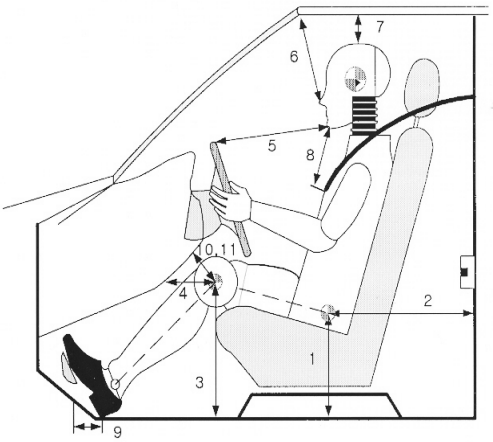
(2) 좌석안전띠의 위치

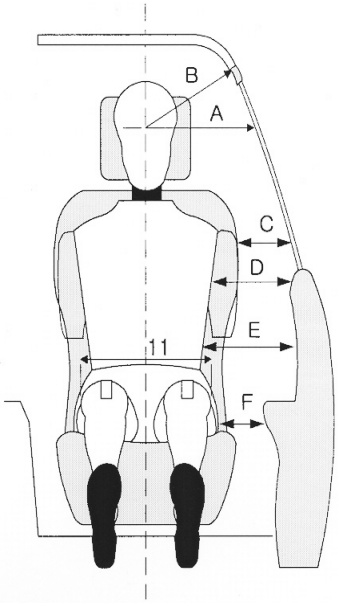


구 분	내 용	운전자 인체모형	승객 인체모형
A	알루미늄판의 윗표면에서 좌석띠 상단	-	-
B	알루미늄판의 윗표면에서 좌석띠 하단	-	-
C	인체모형 중심에서 가슴 상부의 좌석띠 바깥쪽 끝단	130	180
D	인체모형 중심에서 가슴 상부의 좌석띠 안쪽 끝단	160	160

(3) 인체모형의 착석위치(측면시험)

호	측정 위치	거리 (mm)
1	H점에서 옆문턱 상부프랜지 (수직)	158
2	H점에서 B-필라 프랜지 (수평)	184
3	무릎관절에서 옆문턱 프랜지 (수직)	255
4	무릎관절에서 계기판 (수평)	213
5	턱에서 조향휠 림	470
6	코에서 창문상부	362
7	머리상부에서 천정	108
8	턱에서 안전띠 윗부분	180
9	뒷꿈치에서 바닥판넬 가장자리	85
10	좌측무릎에서 계기판 (최단거리)	160
11	우측무릎에서 계기판 (최단거리)	112
12	무릎에서 무릎	260
A	머리에서 측면창유리(수평)	350
B	머리에서 측면 천정	235
C	어깨에서 측면창유리	150
D	흉부에서 옆문 내장재	210
E	복부에서 팔걸이	210
F	골반에서 측면문 내장재	150

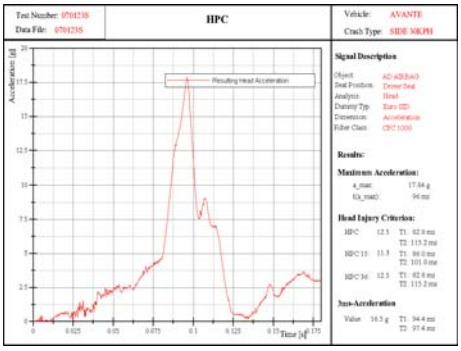


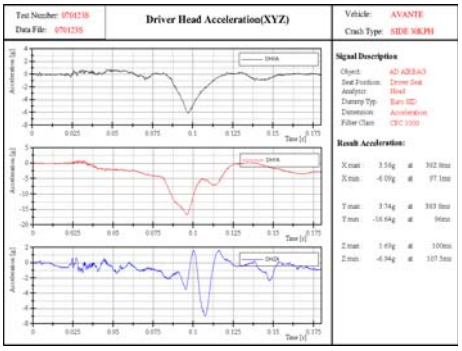


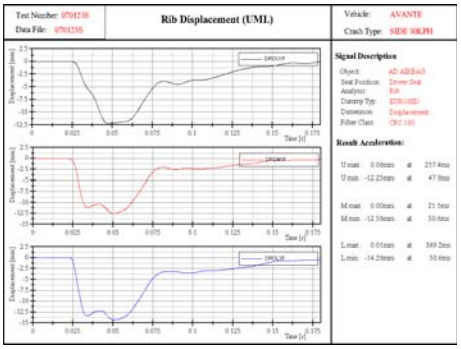
라. 시험결과 그래프 및 시험사진

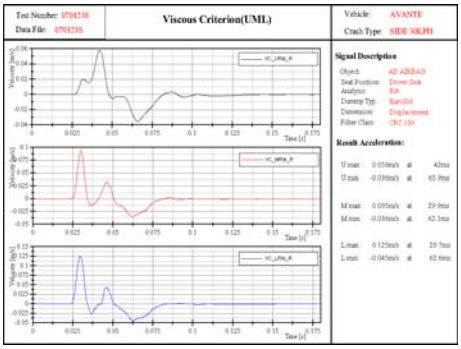
(1) 시험결과 그래프

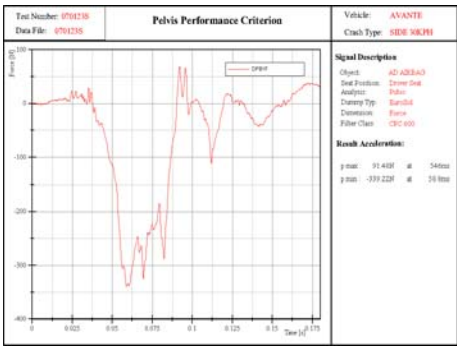
(가) 유럽 저속 측면충돌

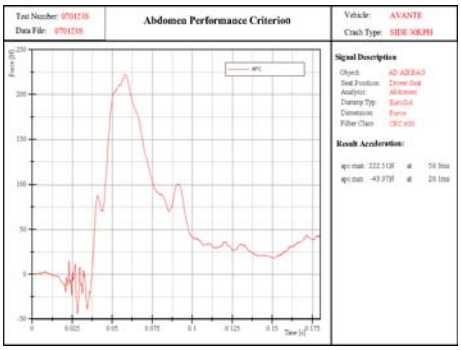




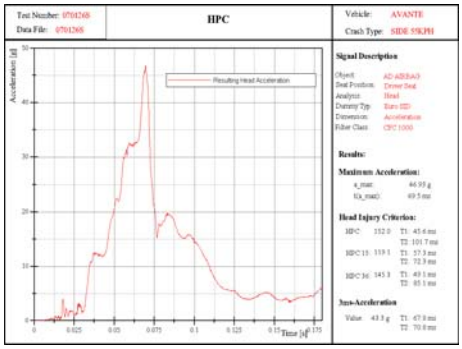


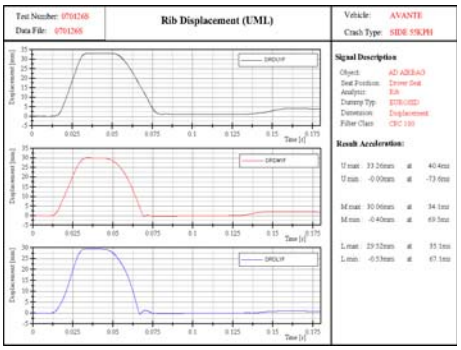


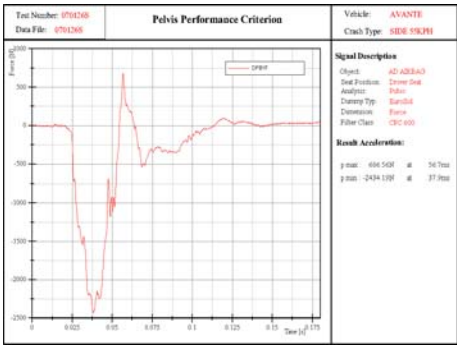




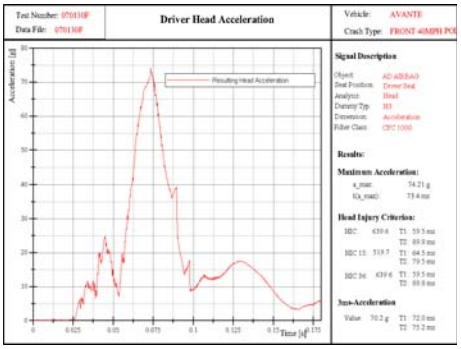
(나) 55kph 측면충돌

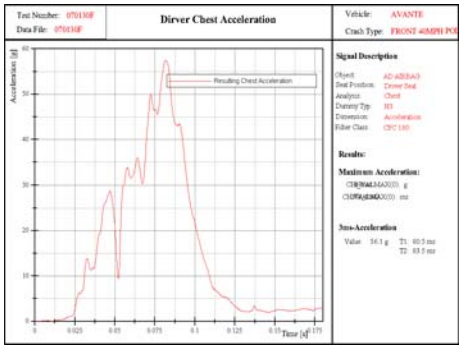

HPC
Driver Head Acceleration(XYZ)

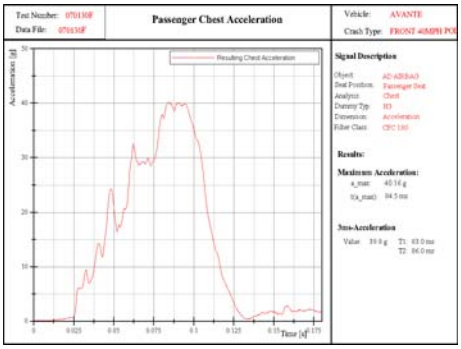

Rib Displacement (UML)
Viscous Criterion(UML)


Pelvis Performance Criterion
Abdomen Performance Criterion

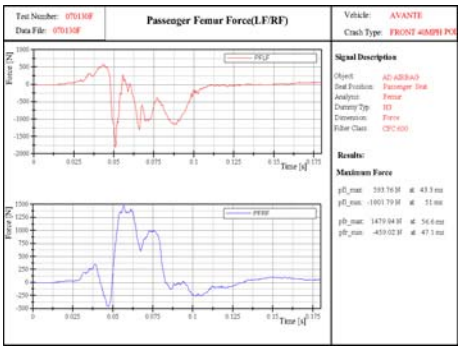
(다) 40mph 정면 폴

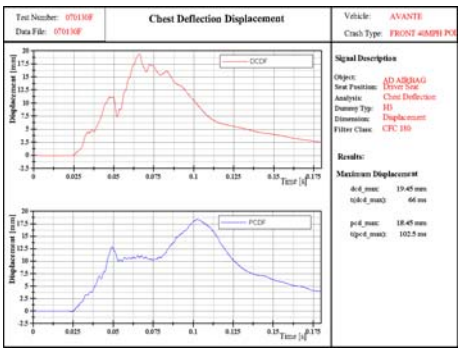

Driver Head Acceleration
Passenger Head Acceleration











(2) 시험사진

(가) 유럽 저속 측면충돌











(나) 55kph 측면충돌










(다) 40mph 정면 폴










(라) 북미 저속 측면 충돌[1]









(마) 북미 저속 측면충돌[2]









(바) 29KPH 측면 폴 충돌









(사) 32kph 측면 경사 폴 충돌










(아) 50kph 북미 측면충돌










(자) 62kph 북미 측면충돌











7. 실차 전복 시험결과

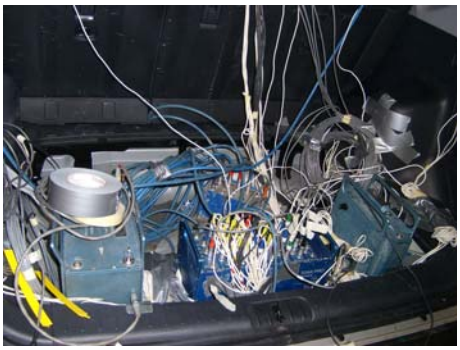
가. 시험목적

전복 알고리즘 개발 및 전복 해석 기법 마련을 위함

나. 시험 장비 장착 사진






다. 시험결과 사진

(1) Drop Test












(2) Embankment









(3) Corkscrew









(4) Curb-Trip









(5) Soil-Trip












제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제4절 차체/승객 충돌 해석 결과

제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제4절 차체/승객 충돌 해석 결과

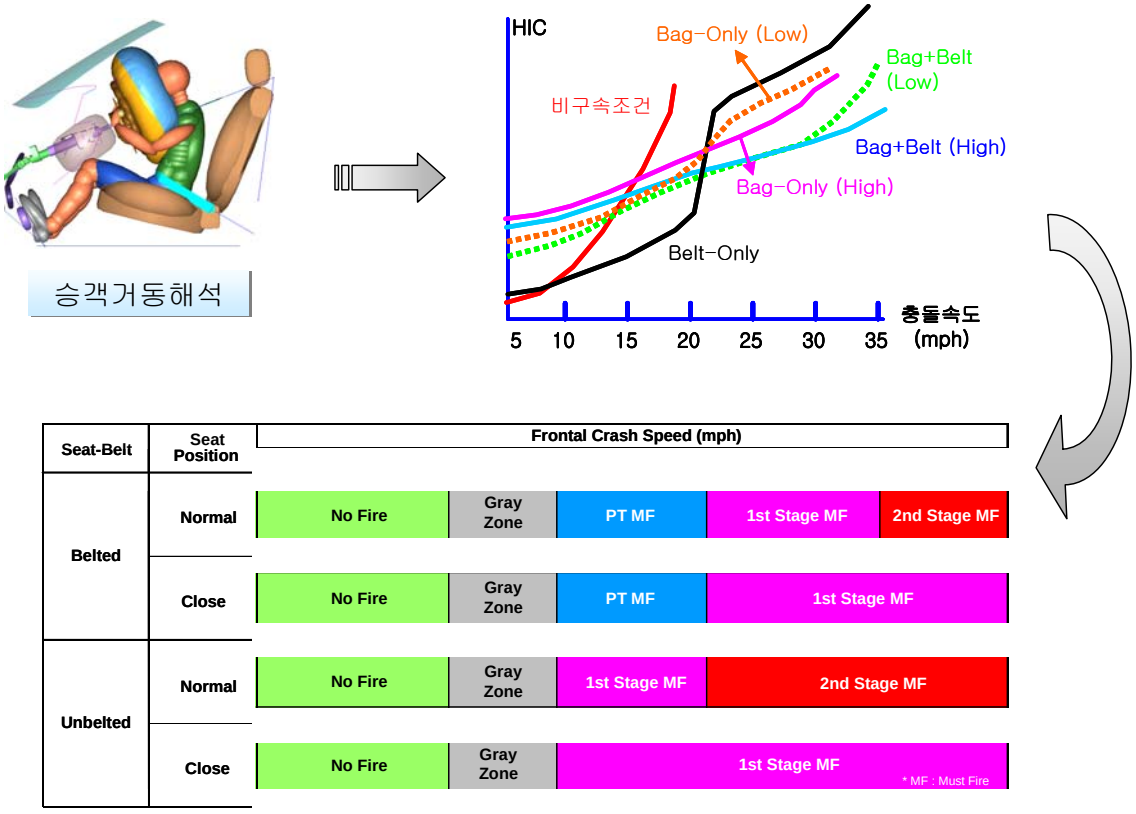
1. 시험 차량 대수 확정

○ 에어백 개발을 위한 1차년도 시험 차량 대수(13회)를 확정하였다.
○ 시험 회수는 자동차성능시험연구소에서 정면 충돌을 위주로 8회 실시하였고, 현대자동차에서 옵셋 충돌을 위주로 5회 실시 완료하였다.

2. 승객 상해 연구

가. 연구 목적
○ 구속 조건 및 에어백 전개 조건을 상해에 근거해서 결정
○ 즉, 상해치를 최적으로 하는 속도별 구속조건 결정.
○ 차량 특성에 맞는 속도별 구속조건을 결정
○ 외국차의 Threshold 결정 이유를 역으로 추정 가능
○ 독자 에어백 전개 알고리즘 개발에 중요한 기초 데이터 확보

나. 연구 목표



<그림 3-4-1> 승객 상해 연구 목표

다. Main Base Model 구성

○ 더미 등 모델 Upgrade가 필요

○ 모델 작성 시점 후 시험된 단품 특성 값들이 반영되지 않음

○ 하드웨어 성능 향상으로 이전보다 모델의 상세화 가능

○ Belt 및 Air Bag Mesh, 내장재 Geometry의 상세 모델 구성

○ MADYMO의 Upgrade된 기능 적용 (더미, Contact model 등)

○ Facet 요소 적용과 상세 모델링으로 시각적인 분석력 높임 (Steering Column, Seat, C/Pad 등)

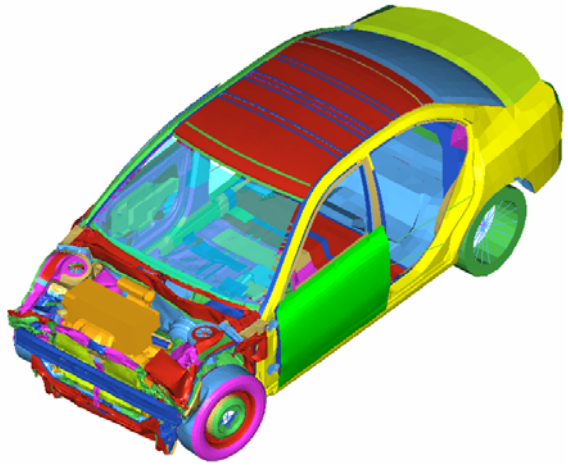
○ 5% Female 더미 시험 결과 부족으로 50% Male Dummy로 Validation

라. 차체 충돌 해석 모델

○ 목적 : 속도별 차체감속도와 승객실 밀림량을 구하기 위해

○ 준중형 차량 대상 5~35mph까지 1mph 간격으로 정면 충돌 해석 실시

○ 기존 모델에서 Steering Column및 Pedal 부분 모델 수정



<그림 3-4-2> 차체 충돌 해석 모델

마. 충돌 속도별 승객 상해 해석

<표 3-4-1> 속도별 Parametric Study 해석 Matrix

해석 모델		속도범위	Driver	Passenger
비 구속 조건		5~30mph	26 회	26 회
구속 조건	Belt-Only	8~30mph	23 회	23 회
	Bag Only(Low)	8~30mph	23 회	23 회
	Bag+Belt(Low)	8~35mph	28 회	28 회
	Bag Only(High)	8~30mph	23 회	23 회
	Bag+Belt(High)	8~35mph	28 회	28 회
합 계			151 회	151 회

속도별 Parametric Study 해석 매트릭스

바. 결과 고찰

○ 15mph 이하 속도에서는 구속 조건에 관계없이 거의 동일한 수준의 상해가 발생하였다.

○ 운전석의 경우 25mph 이상의 속도에서 구속 조건별로 뚜렷한 상해 증가 방향을 나타내었다.

○ 운전석 Bag(Low)-Only의 경우, 가슴과 Steering Wheel의 Hard Contact 발생으로 상해가 악화되었다.

○ 조수석 Belted의 경우 : PAB의 압력이 너무 높아 에어백이 오히려 상해를 증가시키는 요인이 되었다.

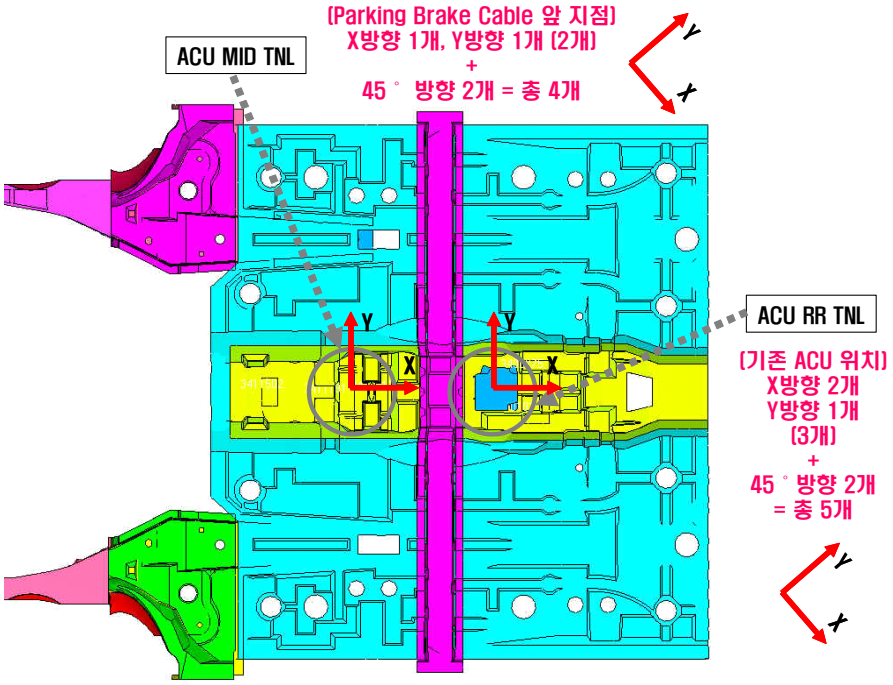
○ 운전석과 조수석의 최적 구속 조건이 상이할 경우 하나의 Logic으로 통합시키는 연구가 필요할 것으로 생각된다.
○ 역으로, 기 결정된 AirBag Firing Decision Logic에 맞추어 구속 장치를 개선하는 것도 매우 중요한 절차이다.

사. 결론

○ 대상 차종으로 5% female에 대한 구속조건별 12가지 모델 구성 및 Validation을 실시하였다.
○ 차체충돌해석을 이용하여 5~35mph 속도별 차체감속도, 승객실 밀림량 및 RTTF를 산출하였다.
○ 5% female dummy에 대해 속도별, 구속 조건별 302회의 parametric study를 실시하였다.
○ 대상 차종 5% female dummy의 상해를 최소화하는 속도별 최적 구속 조건을 도출하였다.
○ 대상 차종에 대한 Air bag Firing Decision Logic을 작성하였다.

3. 전방 센서 최적 위치 및 개수 검토

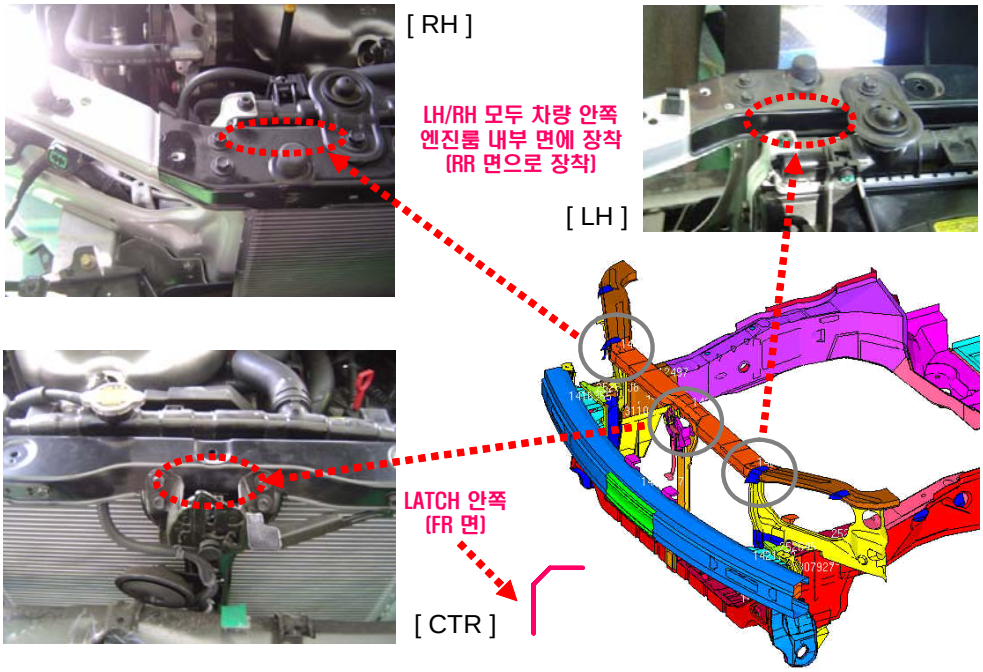
가. ACU 부착 위치 (9지점)



<그림 3-4-3> ACU 부착 위치

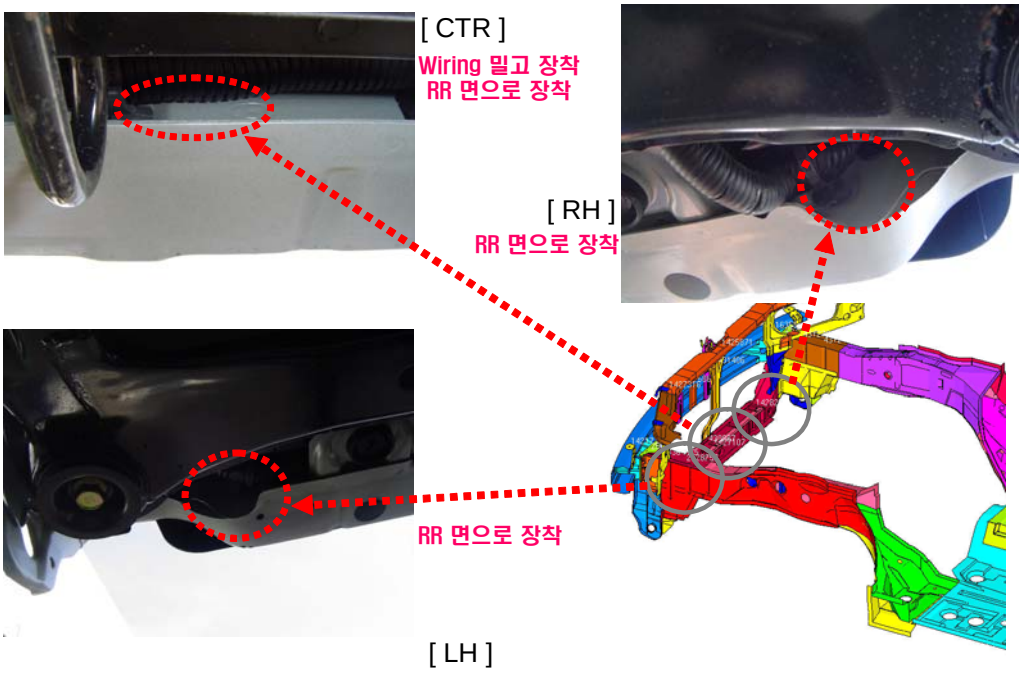
나. 전방 센서 부착 위치 (13지점×2=26지점)

○ Radiator Support Upper 3지점



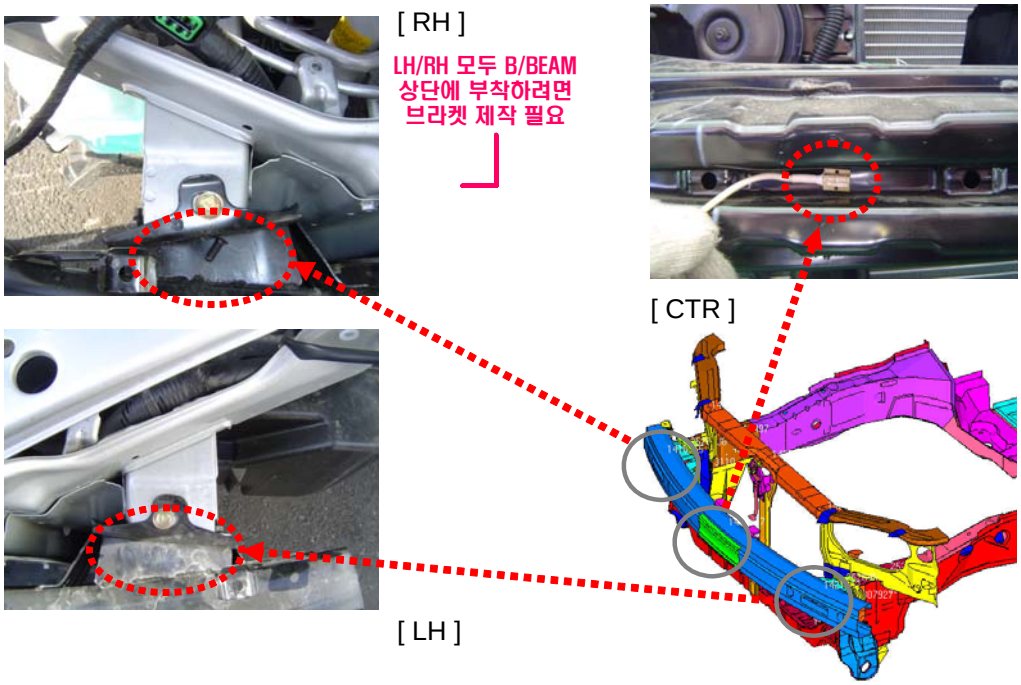
<그림 3-4-4> FIS 부착 위치 (RAD UPR)

○ Radiator Support Lower 3지점



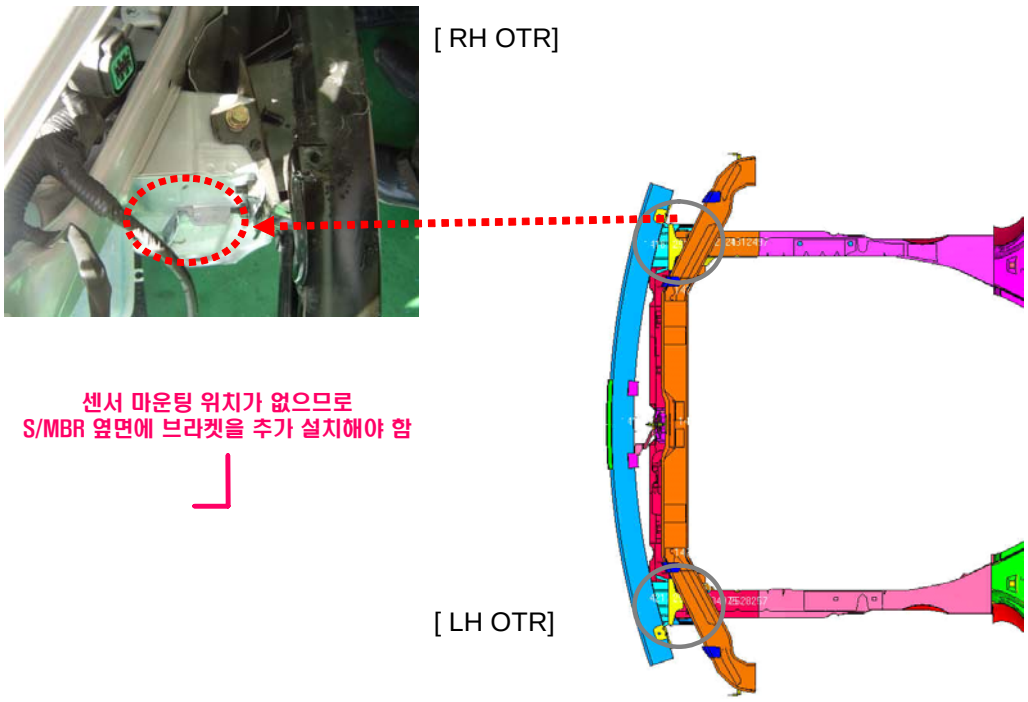
<그림 3-4-5> FIS 부착 위치 (RAD LWR)

○ Bumper Back Beam 3지점



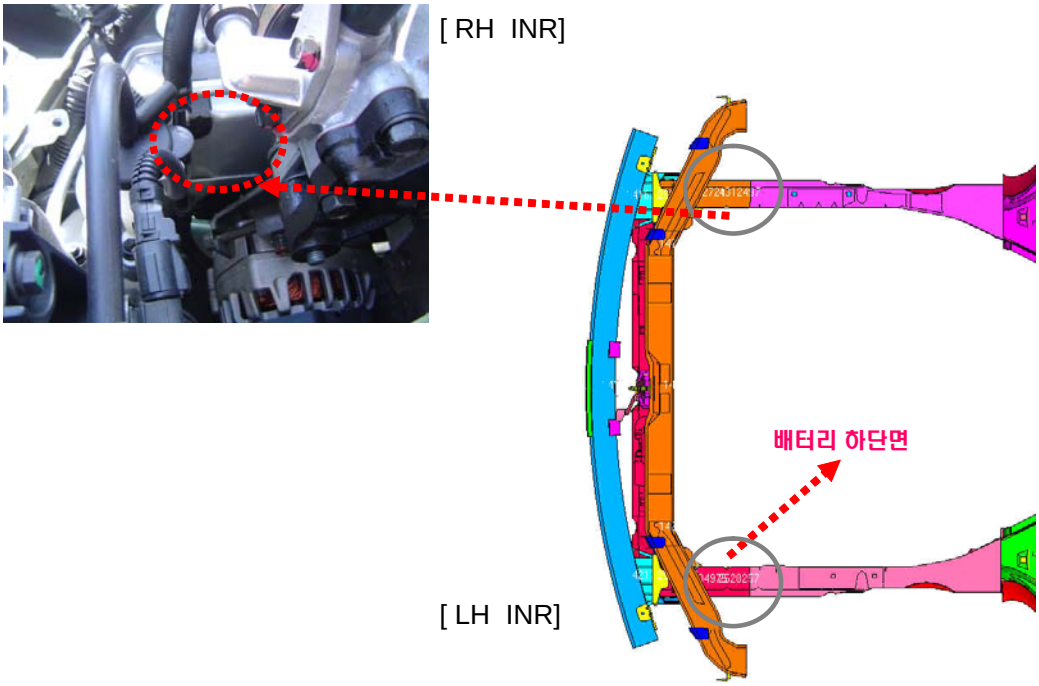
<그림 3-4-6> FIS 부착 위치 (B/BEAM)

○ Front Side Member Outer Panel 2지점



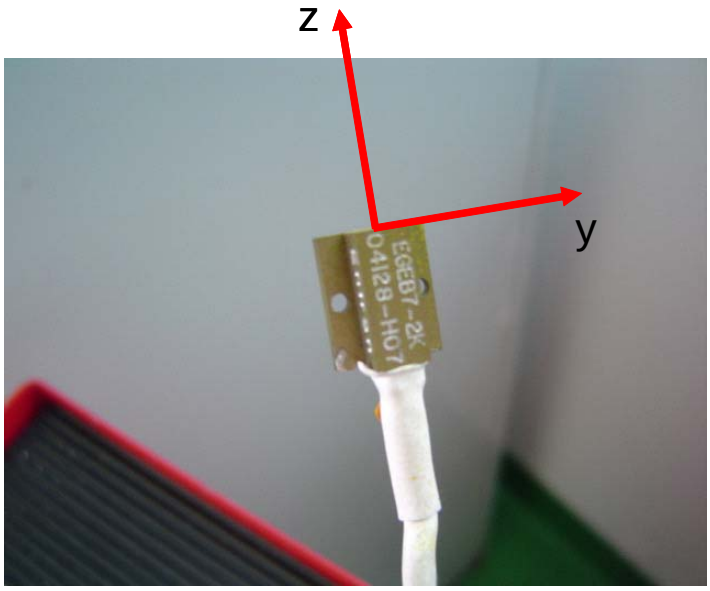
<그림 3-4-7> FIS 부착 위치 (S/MBR OTR)

○ Front Side Member Inner Panel 2지점



<그림 3-4-8> FIS 부착 위치 (S/MBR INR)

다. 시험용 센서



<그림 3-4-9> 시험용 센서

○ 총 소요 개수 = 75개 (15개/회×5회)
○ 센서 배선 처리는 충돌에 의한 배선 잘림 방지를 위해 교차로 설치
○ 에어백 전개 시점 결정은 양산 차량의 요구 전개 시간으로 설정
○ 기타 설계 측면 고려 사항 - Packaging, 작업성, 양산 센서 크기 등

○ 센서 방향 : 글씨 평명의 법선 방향이 X축 방향
○ 마운팅 브라켓을 용접한 후 그 위에 센서를 장착한다.
○ 전방센서 1지점에 2개의 센서를 부착한다. (13지점×2=26지점)

4. 충돌 형태별 승객 상해 해석 기법 수립

1) 승객해석 모델 개요

본 연구에 필요한 전체 충돌 모드를 승객해석으로 구현하기 위해서는 표 3-4-2와 같은 총 28종의 서로 다른 승객거동해석 모델을 구성하여야 한다. 정면충돌 승객거동해석 모델에 있

어 Y(전후), Z(상하) 방향 차체 거동은 모델링의 단순화와 결과의 안정성을 위해 무시할 수 있으나, 경사충돌이나 Offset 충돌에서는 무시할 수 없는 중요한 요소가 되므로 충돌 유형에 따라 일반적으로 서로 다른 별도의 모델로 구성하여 해석한다.

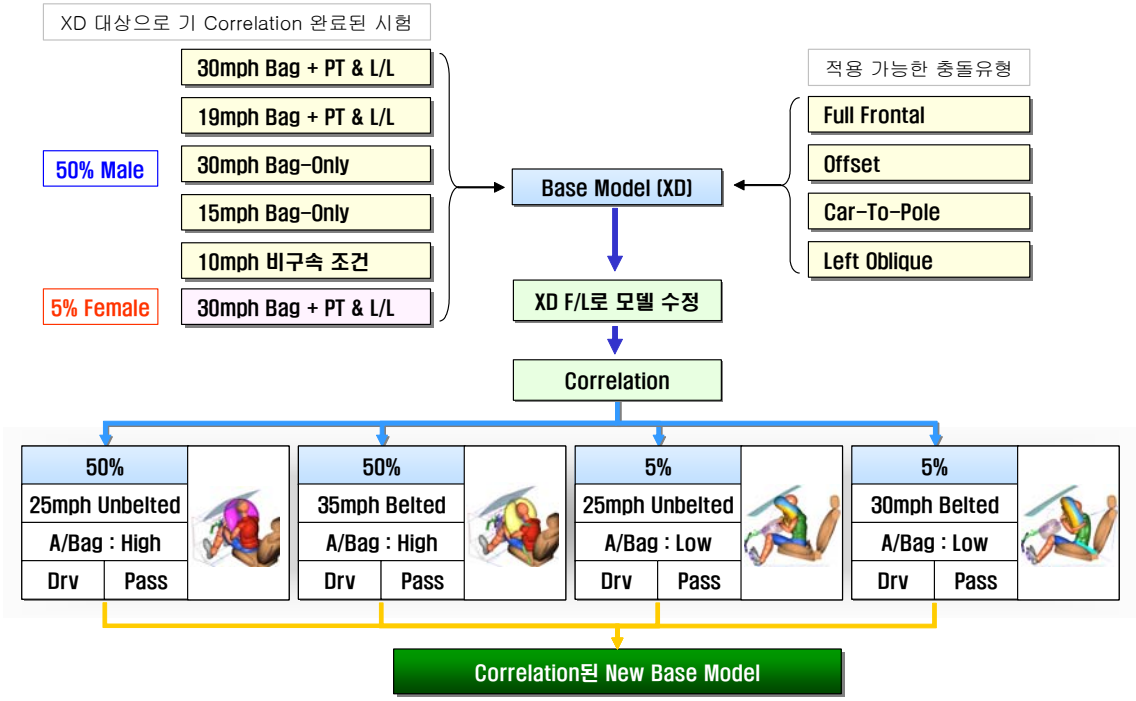
그러나 본 연구에서는 충돌 유형간의 상호 severity를 비교하여야 하므로, 해석 모델의 차이에 의한 왜곡을 없애기 위해 모델의 공용화를 꾀하였다. 즉, 향후 해석하여야할 정면충돌, Car-To-Pole, 경사 충돌 및 Offset 충돌 모델의 특징을 공통적으로 표현할 수 있는 통합된 하나의 모델을 구성하여 4가지 충돌 유형에 공통적으로 사용할 수 있는 모델을 만들었다. 이렇게 구성된 모델은 각각의 충돌 유형에 대한 실차 시험과의 validation을 거쳐서 최종적으로 확정된다.

<표 3-4-2> 본 과제에서 개발할 승객해석 모델의 적용 범위

충돌유형 / 구속조건	정면충돌	Car-To-Pole	좌사면충돌	Offset 충돌
Bag(High)+ PT	FRT bbH	CTP bbH	LOB bbH	OFF bbH
Bag(Low)+ PT	FRT bbL	CTP bbL	LOB bbL	OFF bbL
Bag(High) only	FRT bagH	CTP bagH	LOB bagH	OFF bagH
Bag(Low) only	FRT bagL	CTP bagL	LOB bagL	OFF bagL
PT only	FRT PT	CTP PT	LOB PT	OFF PT
Belt only(w/o PT)	FRT noPT	CTP noPT	LOB noPT	OFF noPT
비구속	FRT nores	CTP nores	LOB nores	OFF nores

본 연차에서 연구될 충돌은 주로 정면충돌에 한하므로 승객해석 모델의 Correlation도 정면충돌 위주로 실시하였다. 먼저, 그림 3-4-10과 같이 해석 및 correlation 경험이 풍부한 차종을 대상으로 Base 모델을 구성한 다음 모델을 변경하였다. Correlation은 50% male dummy와 5% female dummy에 대하여 각각 실시하였으며, 50% male dummy의 경우 35mph belted 구속조건 및 25mph unbelted 조건, 5% female dummy에 대해서는 30mph belted 조건과 25mph unbelted 조건에 대하여 실시하며 현재 진행 중이다. 해석 모델 구성 절차와 모델의 종류를 아래 그림 3-4-10에 나타내었다. 이외의 좌사면 충돌 및 Offset 충돌의 경우 차체및 승객의 측면방향 및 Yawing(차량의 Z축방향 회전) 등을 고려해 승객 해석

모델을 구축하였다.



<그림 3-4-10> 승객해석 Base 모델 (8종류)

2) 승객 해석 Base Model 구성

본 연구에서 표 3-4-2의 승객해석 모델을 구축함에 있어 정면충돌 및 기타 충돌모드에 대한 해석모델 구축 및 Correlation 수준을 정리하면 아래의 표 3-4-3과 같다. 표 3-4-3의 충돌유형 및 구속조건은 표 3-4-2에서 제시한 전체 충돌유형 중 승객의 구속조건 측면에서 가장 열악한 경우로, 상대적으로 큰 승객상해가 예상되는 경우로 표 3-4-2를 대표할 수 있는 경우이다. 표 3-4-3에서 Correlation 수준 중 '낮음'은 승객상해가 관련 법규를 만족하는 지의 여부를 판단할 정도의 수준을 '중간'은 머리, 목, 가슴 등의 상체상해를 정확히 묘사할 수 있는 수준, '높음'은 상체를 비롯하여 엉덩이 가속도, 대퇴부 하중 등의 하체상해까지 정확하게 묘사할 수 있는 수준을 의미한다.

<표 3-4-3> 대표 충돌시험 유형 및 해석모델 Correlation 수준

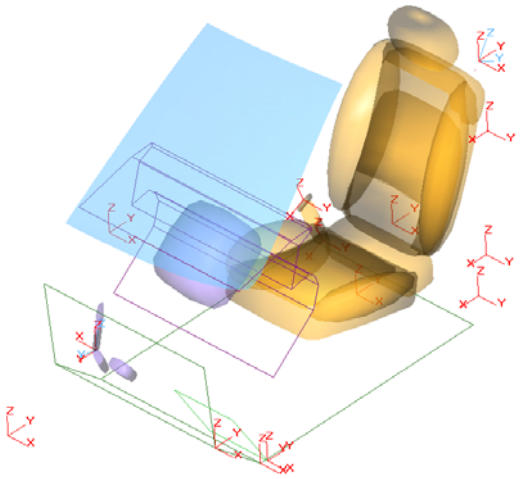
충돌유형	충돌속도	착좌 더미	안전벨트	에어백압력	Correlation 수준	비 고
정면 충돌	16MPH	50th%ile	착용	낮음	낮음	저속충돌 상해확인
	20MPH	5th%ile	착용	낮음	낮음	
	22MPH	50th%ile	착용	낮음	낮음	
		50th%ile	미착용	낮음	낮음	
	25MPH	5th%ile	미착용	낮음	높음	
		50th%ile	미착용	높음	높음	
	30MPH	5th%ile	착용	낮음	높음	
		50th%ile	착용	높음	낮음	
	35MPH	5th%ile	착용	높음	낮음	
		50th%ile	착용	높음	높음	KNCAP 모드
Car-to-Pole	27MPH	50th%ile	착용	높음	중간	
좌경사충돌	25MPH	50th%ile	미착용	낮음	중간	30도 경사
우경사충돌	25MPH	50th%ile	미착용	낮음	중간	30도 경사
Offset	25MPH	5th%ile	착용	낮음	낮음	
	40MPH	50th%ile	착용	높음	중간	

가. Vehicle 모델 구성 (MULTI-BODY SYSTEM 1)

(1) Geometry

본 모델은 contact을 최소화하기 위해 더미와 충돌하는 부분은 가능한 단순화시켰다. 그림 3-4-11에서 보는 것과 같이 Knee Bolster, Floor 및 Seat 모델은 더미와 충돌이 예상되는 부분에 최소한의 요소만을 사용하여 모델링하였다. Seat 모델은 외관상 복잡해 보이지만 seat cushion과 seat back 2개의 타원체만 contact에 관계되고 나머지는 디스플레이용으로 사용되었다. Vehicle SYSTEM에 대한 모델링 요소를 정리하면 아래와 같다.

- 전체 : 15개 Joint, 15개 Body, 17개 Plane, 17개 Ellipsoid, 1개 Facet로 구성
- Seat : 4개의 Joint, 4개의 Body, 13개 Ellipsoid로 구성
- Crash pad : 9개의 Plane과 1개의 Ellipsoid로 이루어진 1개의 Body로 구성



<그림 3-4-11> Vehicle Model의 구성 요소

(2) 특성 값

Seat Cushion F-D는 Breed 단품 시험 결과를 튜닝하여 사용하였으며, 단품 시험 데이터가 없는 Knee bolster F-D 특성은 실차 충돌시험 결과 중 femur load 값과 pelvis 가속도로부터 계산한 근사 값을 사용하였다. 이 방법은 Femur Load가 critical한 변수가 아닌 경우에는 비교적 좋은 결과를 얻을 수 있다.

Wind shield F-D 특성은 PAM-CRASH 단품 해석 결과를 사용하였다. Wind shield를 모델링하고 유리의 물성치를 입력한 다음 머리 형상의 구를 충돌시켜 특성을 얻었다. 조수석은 passenger head - airbag - wind shield의 순으로 contact되므로, 에어백을 매개로 contact이 이미 정의되어 있을뿐 아니라 에어백에 의해 변형된 상태에서 접촉하므로 head-wind shield contact 특성은 매우 낮은 값을 입력하였다.

- Seat Cushion F-D : 유사차종 시험데이터 활용
- Knee Bolster F-D : 30mph Bag-only 실차 시험으로부터 계산된 데이터 사용
- Wind Shield F-D : PAM-CRASH 단품 해석 결과 사용

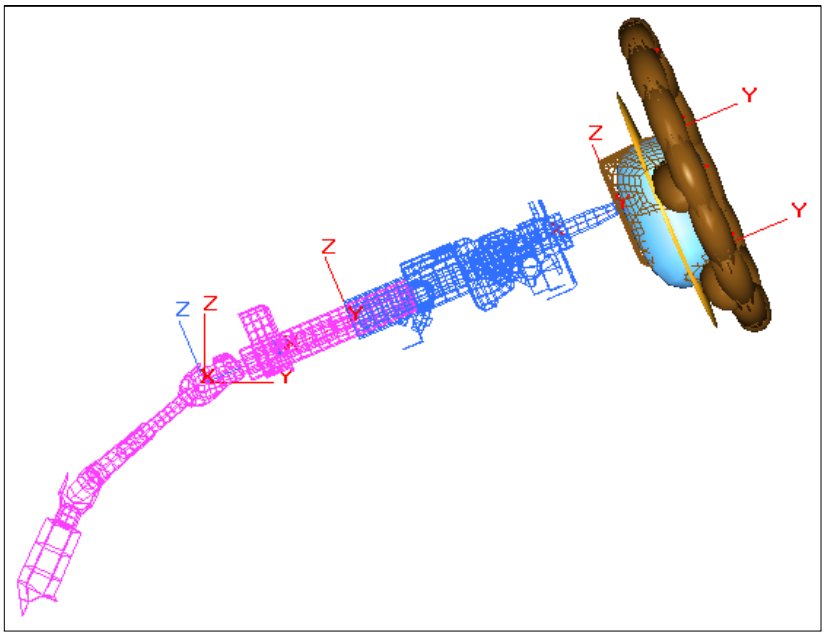
나. Steering System 모델 구성 (MULTI-BODY SYSTEM 2)

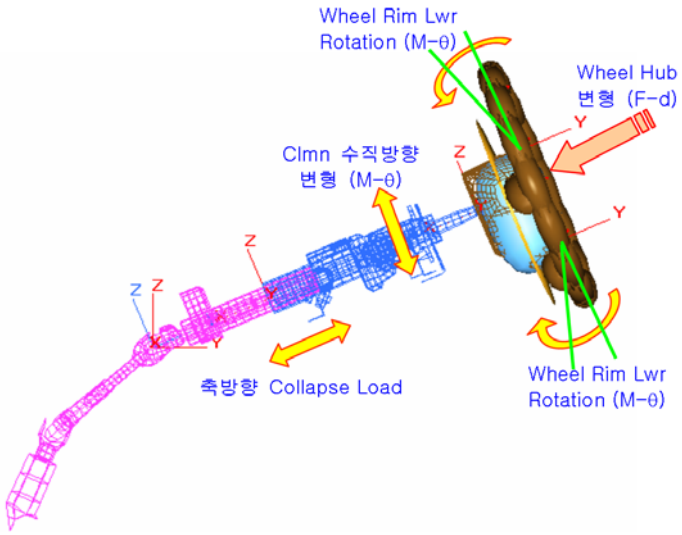
(1) Geometry

Steering column과 wheel 모델은 contact 유무에 따라 다른 모델링 요소를 사용하였다.

Contact이 발생하지 않는 column 모델에는 상세한 형상의 표현이 가능한 facet 요소를 사용하였고, contact이 발생하는 wheel 모델에는 해의 신뢰성을 높이기 위해 ellipsoid 요소를 사용한 고전적인 모델링 기법을 적용하였다. Steering 모델을 요약하면 다음과 같다.

- 8개의 Joint로 연결된 8개 Body, 22개 Ellipsoid, 3개Facet으로 구성
- Wheel 모델은 해의 신뢰도와 안정성이 높은 Ellipsoid 모델 요소 사용
- Column 모델은 contact과 무관하므로 시각적인 효과가 높은 Facet 요소 사용





<그림 3-4-12> Steering Column 모델 및 주요 특성

(2) 특성 값

Steering system 모델에 사용된 데이터의 특성 중 주의할 것은, 가상적인 일종의 tuning factor이다. 실제 시험에서 steering column이 collapse할 때 주변 부품과의 간섭에 의해 예측할 수 없는 불규칙한 하중이 발생한다. 시험에서도 예측할 수 없는 이러한 하중과 현상을 해석적으로 표현하는 것은 매우 어렵다. 따라서 이 하중의 크기는 column의 최종 collapse량과 고속 필름 분석, 주변 부품과의 관계 및 시험과 해석과의 correlation을 통해 해석자가 경험에 의해 자의적으로 판단하여야 한다. 본 모델에서는 column collapse량, correlation 관계 및 Breed 모델 등을 참조하여 특성을 갖는 스프링을 column과 crash pad 사이에 추가하였다. 이 값은 column의 축방향 하중에 더해진 것과 같은 효과를 발휘한다. 요약하면,

- Steering Column 축 방향 Collapse 특성 (F-D) : 단품 시험 결과 사용.
- Steering Wheel Rim 변형 특성 (M-) : 기능시험팀 MADYMO data 이용
- Steering Wheel Hub 변형 특성 (F-d) : 유사차종 시험 결과 사용
- S/Column 수직 방향 변형 특성 (M-Θ) : 수직 방향 고정 (입력하지 않음)
- Shroud 와 Column의 간섭, 끼임, 마찰력 등을 뭉뚱그려 하나의 스프링으로 표현

다. Dummy 모델 (MULTI-BODY SYSTEM 3)

Dummy 모델은 MADYMO solver 개발사인 TNO에서 제공하는 50% Hybrid III male dummy 최신 버전 모델을 수정 없이 사용하였다. 다만 착좌를 위한 조인트의 초기 위치만 그림 3-4-13과 같이 조정하였다. 더미 착좌 위치의 기준이 되는 "H-Point"는 50% male dummy의 경우 mid-position인 좌표 (1.245, 0.345, 0.260)에 일치시킨다.



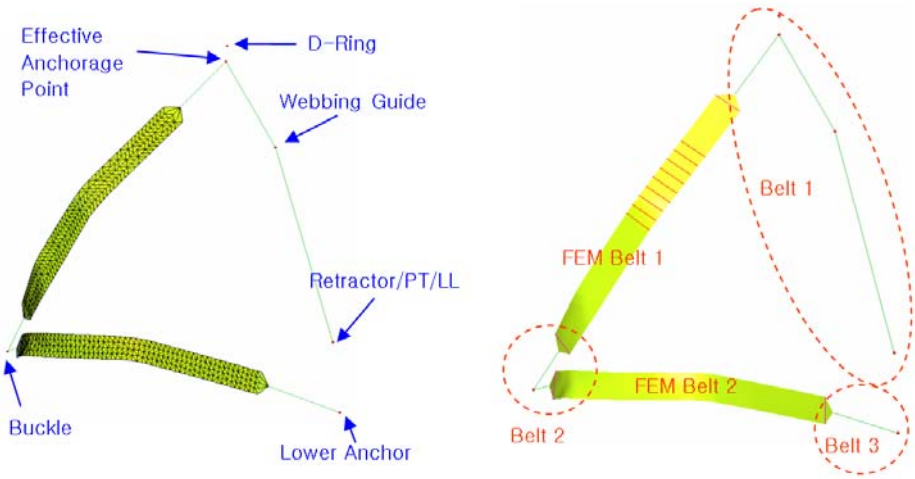
<그림 3-4-13> Hybrid III 50%ile Male Dummy Model

라. Seat Belt 모델 (FEM MODEL 1, 2)

(1) Geometry

Belt 모델은 FEM과 conventional 모델을 조합한 일반적인 belt 모델링 기법을 사용하였다. 다만 기존 모델에서 1열이던 belt 폭 방향의 element를 4열로 잘게 나누어 더미의 neck 또는 pelvis와의 접촉 문제를 보다 정밀하게 표현하였다. Belt 모델을 요약하면,

- 2개의 FEM Belt, 6개의 Segment로 구성된 3개의 Conventional Belt로 구성
- Seat Belt 폭 방향 휨을 표현하기 위해 폭 방향으로 4줄의 Element 생성



<그림 3-4-14> FEM Belt Model

(2) 특성 값

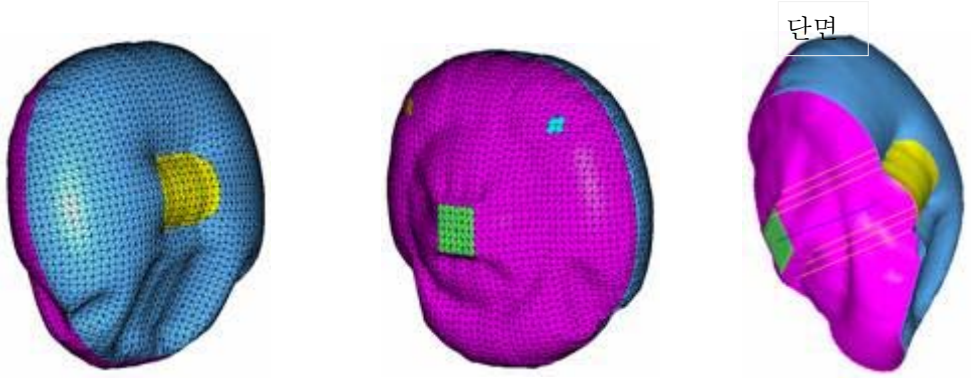
Belt 시스템 중 해석에 반드시 필요한 특성은 Belt 신율, Pretensioner 권입량 및 Load Limiter 변형 특성이다. 본 연구에서는 실차 시험 결과로 나타난 Belt Load와 해석 결과의 Belt Load가 일치하도록 Belt 시스템 특성 값을 correlation을 통해 튜닝하였다. 특성 값은 MOBIS에서 제공한 값을 사용하였다. 대상 차종 사양의 신율은 5% 이다.

- Belt 신율 (F-ε) : 단품 시험 결과 사용. 5% 신율
- Load Limiter F-D 특성 : 시험 데이터를 기본으로 Correlation을 통해 수정
- Pretensioner 권입량 (D-t) : 단품 시험 결과에 spool-out효과 적용

마. Driver Air Bag 모델 (FEM MODEL 3)

(1) Geometry

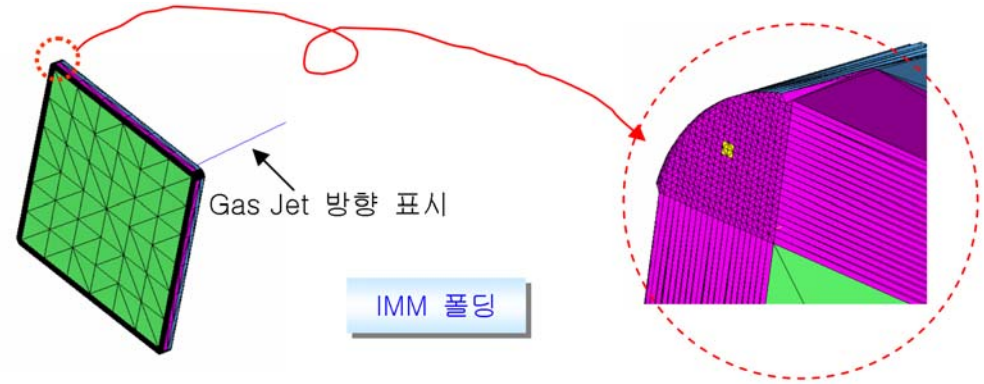
Driver Air Bag은 mesh size를 15mm 정도로 fine mesh하고 일반적인 MADYMO 모델링 기법을 사용하였다. Tether는 각각 3개의 STRAP 요소를 사용하여 모델링하였다.



※ 요철부는 더미 또는 Wheel과 접촉된 부분

<그림 3-4-15> DRIVER AIR BAG Model

운전석 에어백의 folding은 IMM(Initial Metric Method) 기법을 이용하여 적당한 크기로 축소/투영시키는 방법을 사용하였다. 실물과 같이 접는 방법은 고속으로 펼쳐지는 에어백 layer간의 접촉 문제를 풀어야 하므로 running time 증가와 해의 불안정성을 유발한다. 따라서 전개 과정 자체가 문제가 되는 OOP 해석 등에만 적용을 고려하는 것이 바람직하다. 정면 충돌에서는 에어백이 만개된 후 더미와 접촉하므로 실제와 같이 폴딩하는 것은 오히려 해를 악화시킬 소지가 있다. 그림 3-4-16은 폴딩된 에어백 형상을 나타내었다. 오른쪽 원에 확대시켜 나타낸 것처럼 노란색 vent hole를 포함하여 모서리 및 꼭지점에 mesh가 축소되어 있다.



<그림 3-4-16> Initial Metric Method를 이용한 Folding

(2) 특성값

Air Bag Inflator의 특성을 나타내는 지표는 Tank Test 압력 값이다. 대상 차종은 Dual output 이므로 1st stage 압력과 2nd stage 압력을 나타내었다. 본 연구에서 실차 시험과의 correlation 단계에서는 이전 차종 Inflator를 사용하였고, parameter study에서 "Bag(High)"로 표시되는 해석은 대상 차종의 분홍색 압력 곡선을, "Bag(Low)"로 표시되는 해석에는 대상 차종의 파란색 압력 곡선을 입력으로 사용하였다.

- 이전 차종 Inflator Tank Test 압력곡선 : ADP-1 175 kPa 시험 데이터
- 대상 차종 Inflator Tank Test 압력곡선 : Dual TAB-1 225/150 kPa 시험데이터

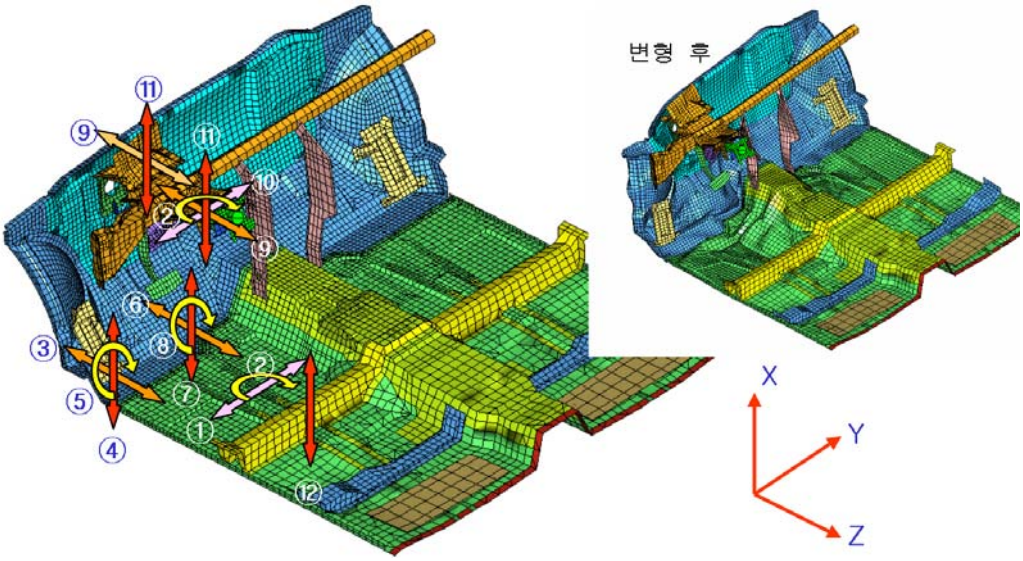
바. 차체 변형 모드 분석

승객거동해석 모델에서 floor, dash등의 차체는 몇 개의 plane으로 단순화하여 모델링한다. 이렇게 단순화된 plane에 강제로 움직임(prescribed motion)을 주어 차체의 시간에 따른 변형을 표현하게 되는데, 어떤 방향으로 몇 개의 움직임을 주느냐에 따라 plane과 이들을 연결한 joint의 종류와 개수가 결정된다. 따라서 단순화된 plane으로 실제 차체의 변형을 표현하기 위해서는 차체의 변형 상태를 면밀히 관찰하여 승객의 거동에 영향을 미치는 변형을 그렇지 않은 변형과 구별해 내어, 주요한 변형만 모델링 하여야 한다. 승객거동해석에서 모델이 복잡하고 contact의 양이 많아질수록 결과에 에러가 쌓일 수 있는 가능성도 높아지기 때문이다.

본 연구에서는 속도별로 달라지는 변형 모드와 충돌 유형별로 달라지는 변형 모드를 분석하

여 서로 다른 충돌 유형을 공통적으로 표현할 수 있는 차체 변형 모드를 찾고자 한다.

이러한 차체 변형 모드 분석을 위해 앞 절의 모델을 이용하여 차체충돌해석을 실시하였다. 속도와 충돌 유형별로 변형 모드를 추출하기 위해 속도별로 해석하고 차체의 변형 거동을 분석한 결과 반드시 고려되어야 할 차체 변형 또는 변위를 그림 3-4-17과 같이 선정하였다.



<그림 3-4-17> 모델링이 필요한 차체의 변형 거동

그림 3-4-17에서 ①, ②는 국부적인 변형이기 보다는 더미 위치에서 발생되는 차량 전체의 거동을 나타내는 것이다. 이 모드의 변형은 좌사면 충돌이나 offset 충돌에서 두드러지게 발생하며, 차량의 전체의 Y방향 이동과 Z방향의 회전을 표현한다.

③, ④, ⑤ 및 ⑥, ⑦, ⑧은 foot rest와 가속 페달 위치에서 dash 밀림량을 나타낸다. 이 모드의 변형은 정도의 차이는 있지만 4가지 충돌유형 모두에 공통으로 나타나는 변형이다. 후방, 상방 밀림 및 Y축 회전을 고려하였다. ⑨ 및 ⑪은 Cowl X-mbr 중심에서 C/PAD의 후방 및 상방 밀림량을 나타낸다.

Steering column은 Cowl X-mbr에 단단히 mounting된 것으로 가정하여 C/PAD와 동일한 변위량(⑨, ⑪)을 사용하였다. 그런데 C/PAD와 달리 차체의 Z방향 회전량(②)과Cowl X-mbr의 Y방향 변위량(⑩)을 별도로 추가한 것은 MADYMO 내부 모델링 방법의 차이에서 오는 것으로 “SYSTEM”이 서로 다르기 때문에 반복해서 입력해 주어야 한다.

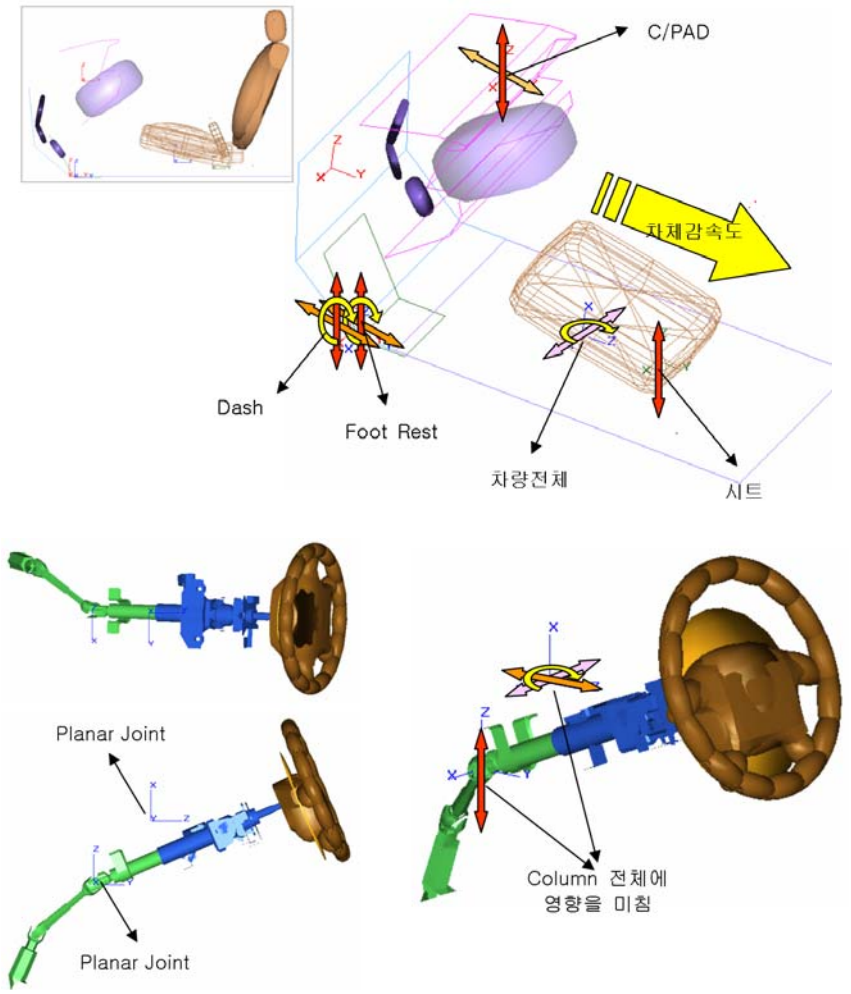
끝으로 ⑫는 더미 pelvis 위치(seat X-mbr)에서 측정된 Z방향의 차량 거동으로 더미의 Z방향 거동에 영향을 미친다. 이상에서 고찰한 주요 차체 변형 모드를 표 3-4-4에 정리하여 나타내었다.

<표 3-4-4> 차체 변형 분석 결과 모델링되어져야 할 주요 변형 모드

번호	위치	방향	용도1	Joint	용도2	Joint
1	Seat 중심부	Y 변위	차량전체 Y 변위	/1/1		
2	차체	Z 회전	차량전체 Z 회전	/1/1	Clmn Z 회전	/2/1
3	Foot Rest 하단	X 변위	Foot Rest 밀림량	/1/2		
4	Foot Rest 하단	Z 변위	Foot Rest 승강량	/1/2		
5	Foot Rest 하단	Y 회전	Foot Rest Y 회전	/1/2		
6	Dash RH 하단	X 변위	Dash 밀림량	/1/3		
7	Dash RH 하단	Z 변위	Dash 승강량	/1/3		
8	Dash RH 하단	Y 회전	Dash Y 회전	/1/3		
9	Clmn Mtg Brkt	X 변위	C/PAD X 변위	/1/10	Clmn X 변위	/2/1
10	Clmn Mtg Brkt	Y 변위			Clmn Y 변위	/2/1
11	Clmn Mtg Brkt	Z 변위	C/PAD Z 변위	/1/10	Clmn Z 변위	/2/2
12	Seat 중심부	Z 변위	시트 Z 변위	/1/6		

사. 차체 변형 모드 구현

위 절에서 구한 차체 변형모드를 MADYMO 모델로 구현하기 위하여 아래 그림 3-4-18과 같이 Joint를 구성하고 Prescribed Motion을 사용하여 변형을 표현하였다.

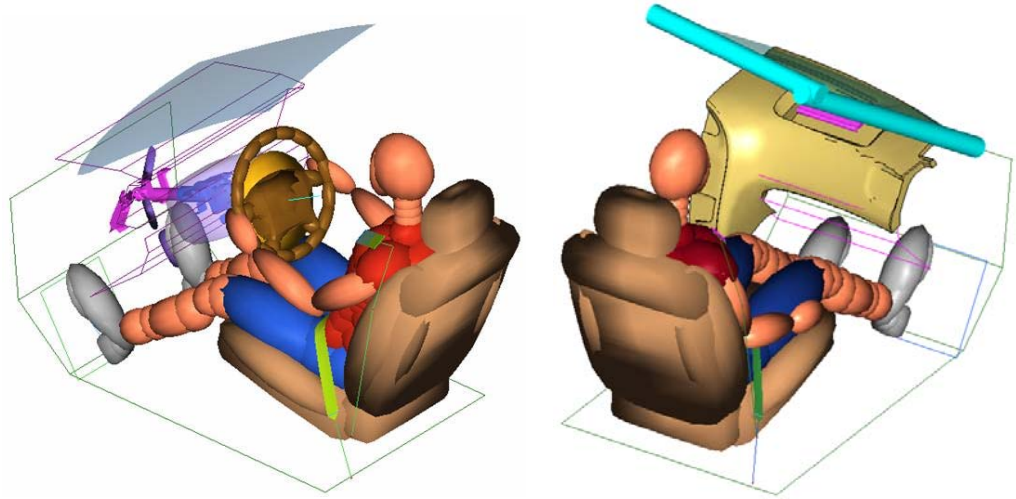


<그림 3-4-18> Prescribed Motion을 표현하기 위한 JOINT 모델

아. 완성된 전체 모델의 Geometry

위에서 설명한 것과 같이 각 모델 요소를 조합하여 그림 3-4-19와 같은 Bag+Belt 모델을 완성하였다. 완성된 모델의 running time은 25분 정도이며, 안정적인 해를 얻기 위해 time step은 1/100 msec 이하로 설정하였다.

- Running Time : 25분 (Pentium IV 2.0Ghz PC에서 120msec running 기준)
- 적정 Multi-Body Time Step : 0.000005 ~ 0.00001 sec

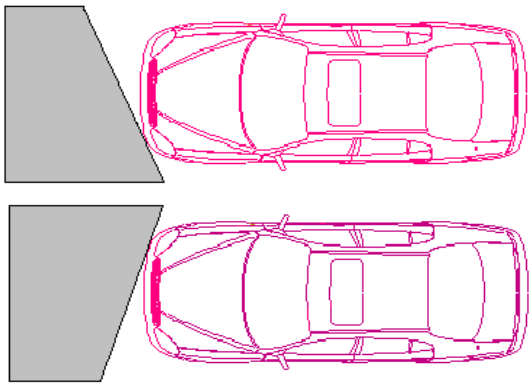


<그림 3-4-19> 승객 해석 Base Model

3) 그 외 승객 해석모델 구성

가. 경사충돌 모델

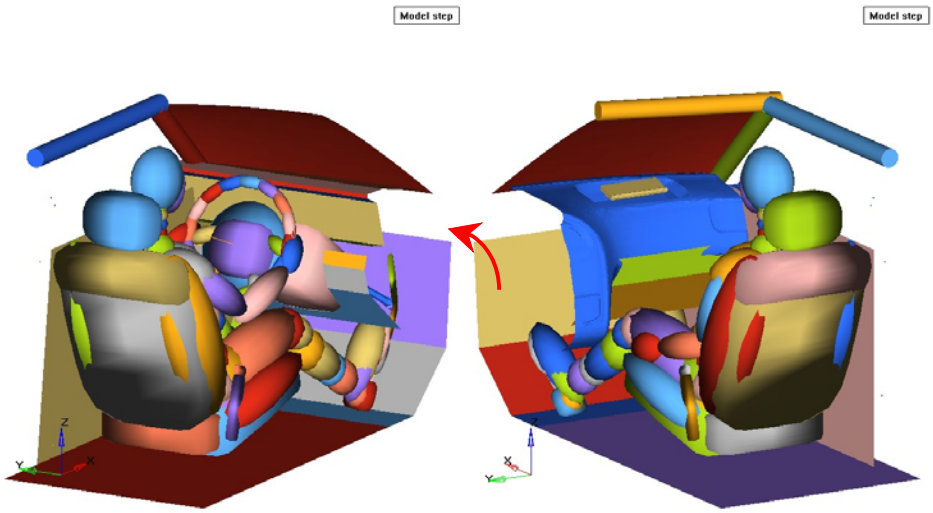
사면 충돌은 그림 3-4-20에서와 같이 30도 경사를 이룬 고정벽에 차량을 충돌시키는 방법으로 충돌에 의해 차량의 전방 차체가 붕괴될 때 아래의 화살표와 같은 차량 측면(Y축 방향)방향의 분력 및 가속도 성분이 발생하여 이에 반대되는 방향으로 승객이 이동하는 현상이 발생한다.



<그림 3-4-20> 30도 경사충돌 시험방법

상기와 같은 현상을 묘사하기 위해서는 그림 3-4-19와 같은 정면충돌시의 승객모델에 승객의 측면방향 가속도 성분을 부여하며 이에 따라 승객과 충돌할 수 있는 측면의 부재, 즉, 전

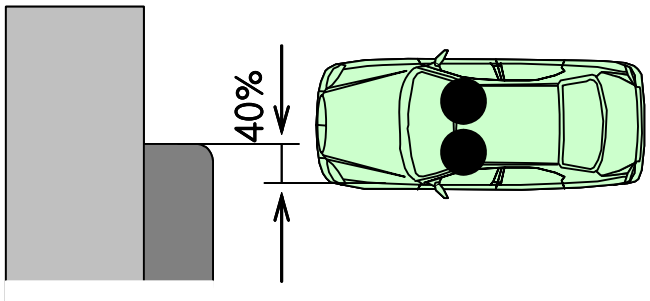
방도어, A-Pilar, Roof-Rail 등의 모델링이 추가되어야 한다. 이를 다음의 그림 3-4-21에 보였다. 전방 도어는 해석모델의 단순화를 위해 Plane으로 모델링하여 단순화 시켰으며, A-Pilar 및 Roof-Rail은 조수석 모델과 같이 Cylinder를 사용하여 단순화 시켰다.



<그림 3-4-21> 30도 경사충돌 해석모델

나. Offset충돌 모델

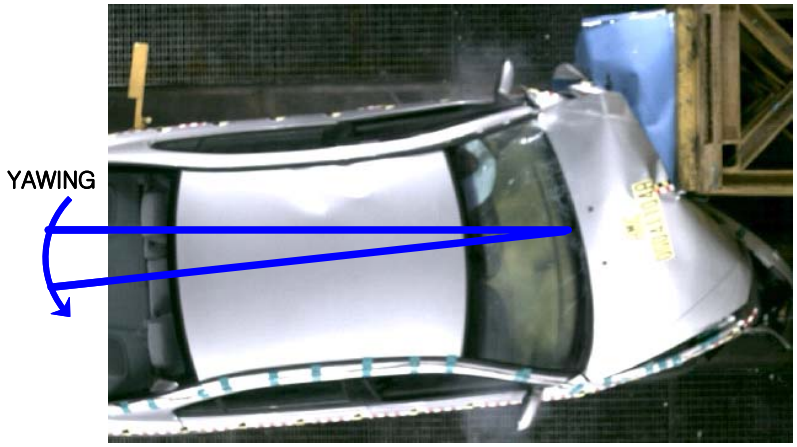
Offset 충돌은 그림 3-4-22와 같이 차량 전방의 운전석 쪽 40%만을 변형 가능한 벽에 충돌시키는 방법으로 차량의 붕괴됨에 따라 아래의 화살표 방향으로 차량이 회전하는 현상이 발생하며 이에 따라 승객은 반대방향의 관성력을 받게 된다.



<그림 3-4-22> Offset 충돌 시험방법

상기와 같은 현상을 묘사하기 위해서는 표 3-4-5에서 차체 전체의 Z 방향 회전을 부여 하여야 한다. 이를 위해서는 그림 3-4-23과 같이 Offset 충돌의 동영상 분석을 통해 시간에 대한

Z방향 회전을 추출하여 적용한다. 또한, 승객의 상체 상해를 정확히 묘사하기 위해 승객에 부여하는 가속도는 차체 회전을 반영한 가속도 성분을 식 3-4-1을 유도하여 적용한다. 식 3-4-1에서 가중치 A1 및 A2는 Offset 충돌시험과의 Correlation을 위한 인자로 그 합이 1이 되며 0에서 1사이의 값을 갖도록 한다.



<그림 3-4-23> Offset 충돌 시험방법

$$X(t) = Xv(t) \times \cos(\Theta(t)) + Xy(t) \times \sin(\Theta(t))$$

$$Where,$$

$$Xv(t) = A1 \times LHx(t) + A2 \times RHx(t)$$

$$Yv(t) = 0.5 \times LHy(t) + 0.5 \times RHy(t)$$

<식 3-4-1>

식 4-1에서 Θ(t)는 시간에 따라 차량의 Z방향 회전량을, Xv(t)는 차량의 X방향 가속도를 Yv(t)는 Y방향 가속도 성분을 나타낸다. LHx는 차량 좌측의 X방향 가속도를 RHx는 차량 좌측의 X방향 가속도이다. 따라서, 식 3-4-1에서 최종 계산된 X는 차량이 회전함에 따라 승객에게 가하게 될 가속도 성분이다.

다. Car-To-Pole 충돌 모델

그림 3-4-24와 같은 Car-To-Pole 충돌에서의 승객상해 예측을 위한 해석모델은 차량은 물론 승객의 차량의 횡방향(Y축 방향) 거동이 없으므로 상기의 Base Model을

동일하게 적용할 수 있다.



<그림 3-4-24> Car-To-Pole 충돌시험

5. 승객해석 모델 개요

본 연구에 필요한 전체 충돌 모드를 승객해석으로 구현하기 위해서는 표 3-4-5와 같은 총 28종의 서로 다른 승객거동해석 모델을 구성하여야 한다. 정면충돌 승객거동해석 모델에 있어 Y(전후), Z(상하) 방향 차체 거동은 모델링의 단순화와 결과의 안정성을 위해 무시할 수 있으나, 경사충돌이나 Offset 충돌에서는 무시할 수 없는 중요한 요소가 되므로 충돌 유형에 따라 일반적으로 서로 다른 별도의 모델로 구성하여 해석한다.

그러나 본 연구에서는 충돌 유형간의 상호 severity를 비교하여야 하므로, 해석 모델의 차이에 의한 왜곡을 없애기 위해 모델의 공용화를 꾀하였다. 즉, 향후 해석하여야할 정면충돌, Car-To-Pole, 경사 충돌 및 Offset 충돌 모델의 특징을 공통적으로 표현할 수 있는 통합된 하나의 모델을 구성하여 4가지 충돌 유형에 공통적으로 사용할 수 있는 모델을 만들었다. 이렇게 구성된 모델은 각각의 충돌 유형에 대한 실차 시험과의 validation을 거쳐서 최종적으로 확정된다.

<표 3-4-5> 본 과제에서 개발할 승객해석 모델의 적용 범위

충돌유형 / 구속조건	정면충돌	Car-To-Pole	좌사면충돌	Offset 충돌
Bag(High)+ PT	FRT bbH	CTP bbH	LOB bbH	OFF bbH
Bag(Low)+ PT	FRT bbL	CTP bbL	LOB bbL	OFF bbL
Bag(High) only	FRT bagH	CTP bagH	LOB bagH	OFF bagH
Bag(Low) only	FRT bagL	CTP bagL	LOB bagL	OFF bagL
PT only	FRT PT	CTP PT	LOB PT	OFF PT
Belt only(w/o PT)	FRT noPT	CTP noPT	LOB noPT	OFF noPT
비구속	FRT nores	CTP nores	LOB nores	OFF nores

본 연차에서 연구될 충돌은 주로 정면충돌에 한하므로 승객해석 모델의 Correlation도 정면충돌 위주로 실시하였다. 먼저, 해석 및 correlation 경험이 풍부한 차종을 대상으로 Base 모델을 구성한 다음 차종으로 모델을 변경하였다. Correlation은 50% male dummy와 5% female dummy에 대하여 각각 실시하였으며, 50% male dummy의 경우 35mph belted 구속조건 및 25mph unbelted 조건, 5% female dummy에 대해서는 30mph belted 조건과

25mph unbelted 조건에 대하여 실시하였다. 이외의 좌사면 충돌 및 Offset 충돌의 경우 차체및 승객의 측면방향 및 Yawing(차량의 Z축방향 회전) 등을 고려해 승객 해석모델을 구축하였다.

6. 승객 해석 모델 현황

본 연구에서 표 3-4-5의 승객해석 모델을 구축함에 있어 정면충돌 및 기타 충돌모드에 대한 해석모델 구축 및 Correlation 수준, 대상 실차시험을 정리하면 아래의 표 3-4-6과 같다. 표 3-4-6의 충돌유형 및 구속조건은 표 3-4-5에서 제시한 전체 충돌유형중 승객의 구속조건 측면에서 가장 열악한 경우로, 상대적으로 큰 승객상해가 예상되는 경우로 표 3-4-5를 대표할 수 있는 경우이다. 표 3-4-6에서 Correlation 수준 중 '낮음'은 승객상해가 관련 법규를 만족하는 지의 여부를 판단할 정도의 수준을 '중간'은 머리, 목, 가슴 등의 상체상해를 정확히 묘사할 수 있는 수준, '높음'은 상체를 비롯하여 엉덩이 가속도, 대퇴부 하중 등의 하체상해까지 정확하게 묘사할 수 있는 수준을 의미한다.

<표 3-4-6> 대표 충돌시험 유형 및 해석모델 Correlation 수준

충돌유형	충돌속도	착좌 더미	안전벨트	에어백압력	Correlation 수준	비 고
정면 충돌		50th%ile	착용	낮음	낮음	저속충돌 상해확인
		5th%ile	착용	낮음	낮음	
		50th%ile	착용	낮음	낮음	
		50th%ile	미착용	낮음	낮음	
		5th%ile	미착용	낮음	높음	
		50th%ile	미착용	높음	높음	
		5th%ile	착용	낮음	높음	
		50th%ile	착용	높음	낮음	
		5th%ile	착용	높음	낮음	
		50th%ile	착용	높음	높음	KNCAP 모드
		50th%ile	착용	높음	중간	

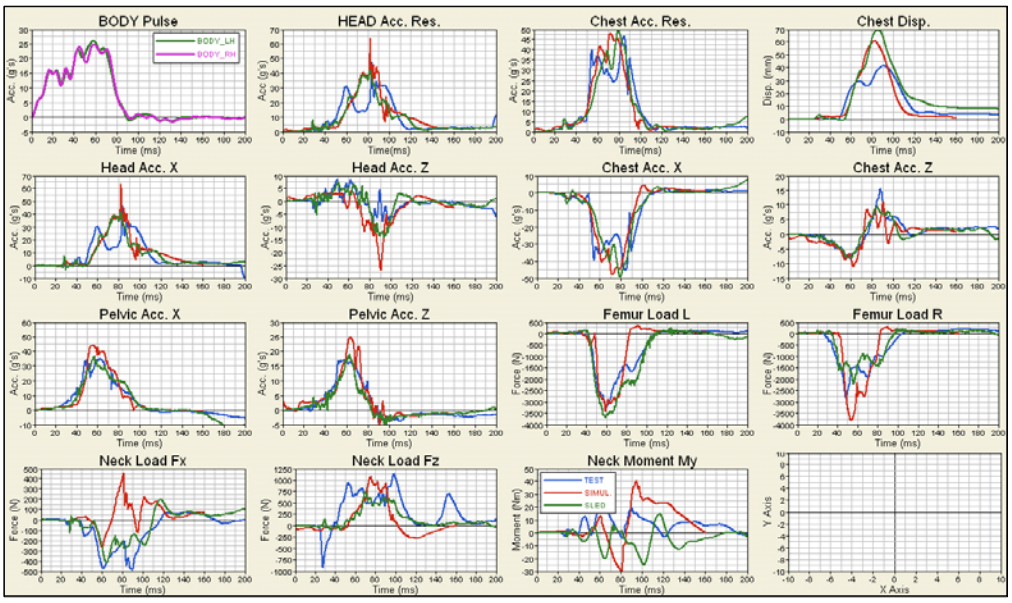
좌경사충돌	25MPH	50th%ile	미착용	낮음	중간	30도 경사
우경사충돌	25MPH	50th%ile	미착용	낮음	중간	30도 경사
Offset	25MPH	5th%ile	착용	낮음	낮음	
	40MPH	50th%ile	착용	높음	중간	

가. 고속 충돌 모드

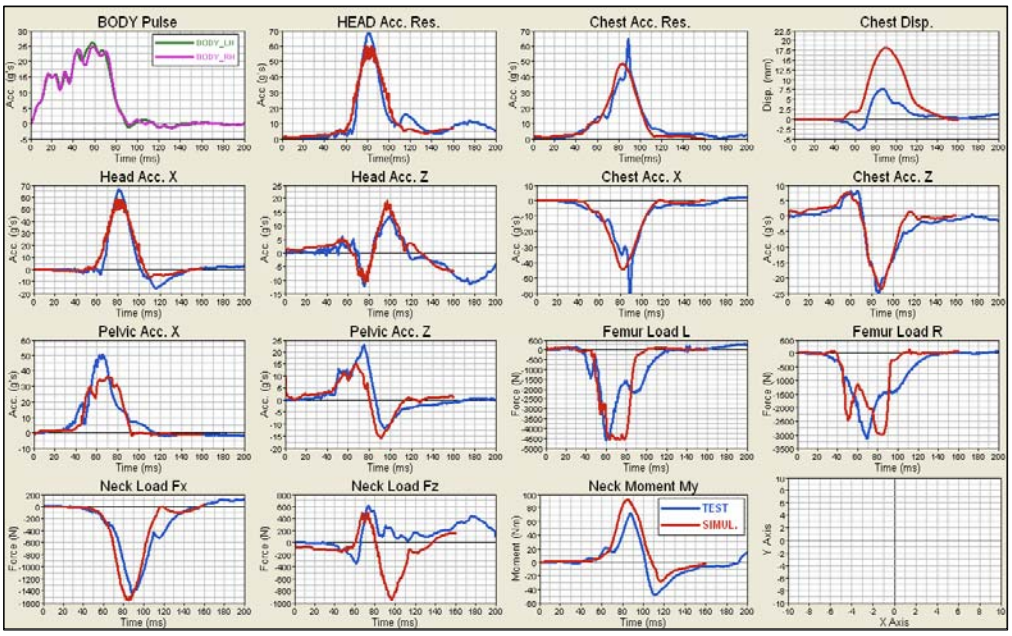
고속 충돌 모드라 함은 상기 표 3-4-6의 정면 충돌 모드 중 벨트 미착용 25MPH 5% 및 50%와 벨트 착용 30MPH 5%/50% 및 35MPH 50%의 충돌 조건을 의미한다.

(1) 벨트 미착용 25MPH 5% 충돌

벨트 미착용 상태의 5% 더미를 착좌 시킨 후 정면 고정벽에 25MPH의 속도로 충돌 시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-25 및 3-4-26과 같다. 그림 3-4-25는 운전석의 경우를 그림 3-4-26은 조수석의 경우를 도시 하였다.



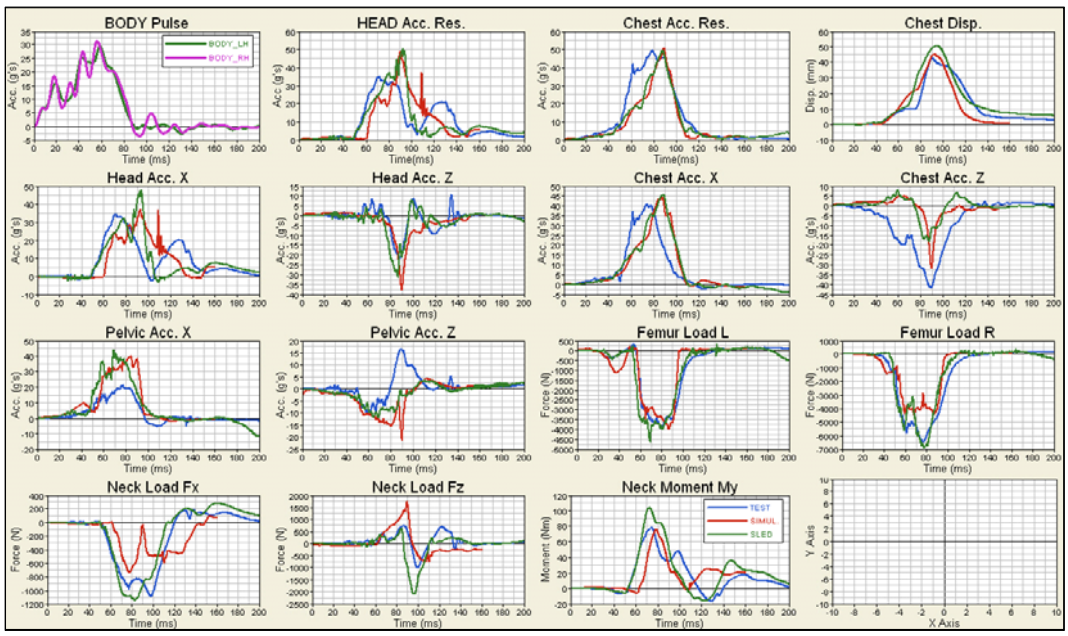
<그림 3-4-25> 운전석 상해 비교



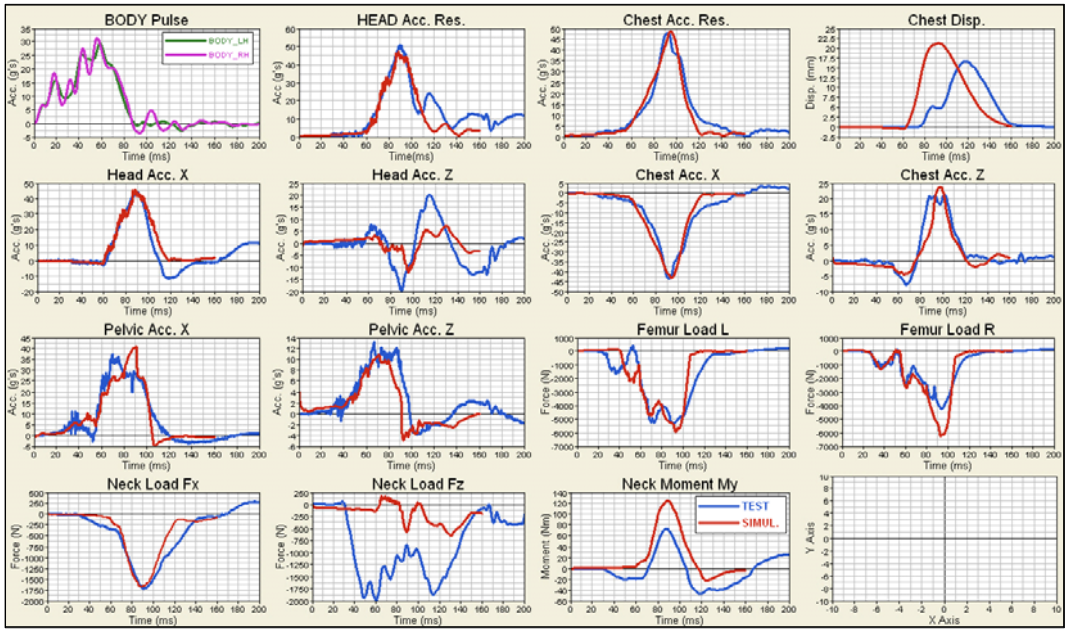
<그림 3-4-26> 조수석 상해 비교

(2) 벨트 미착용 25MPH 50% 충돌

벨트 미착용 상태의 50% 더미를 착좌 시킨 후 정면 고정벽에 25MPH의 속도로 충돌 시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-27 및 3-4-28과 같다. 그림 3-4-27은 운전석의 경우를 그림 3-4-28은 조수석의 경우를 도시 하였다.



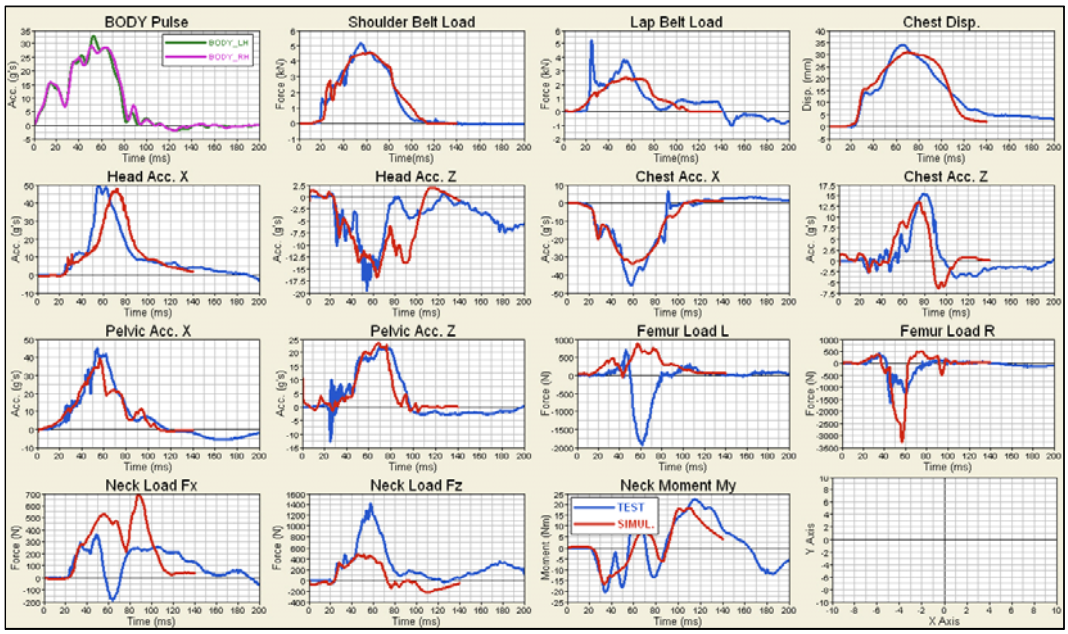
<그림 3-4-27> 운전석 상해 비교



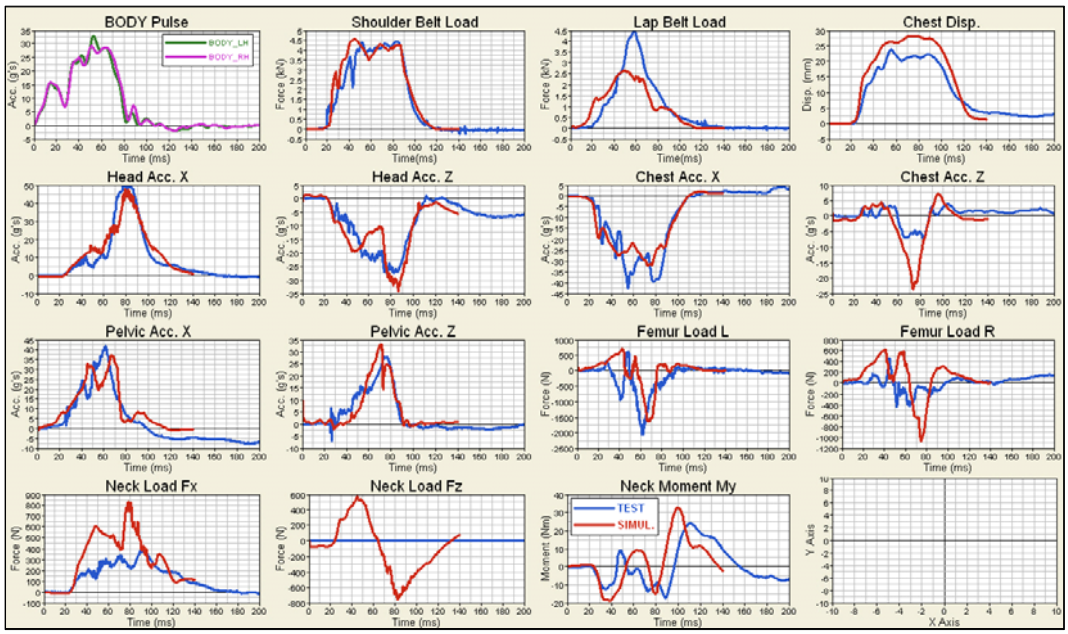
<그림 3-4-28> 조수석 상해 비교

(3) 벨트 착용 30MPH 5% 충돌

벨트 착용 상태의 5% 더미를 착좌 시킨 후 정면 고정벽에 30MPH의 속도로 충돌시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-29 및 3-4-30과 같다. 그림 3-4-29는 운전석의 경우를 그림 3-4-30은 조수석의 경우를 도시 하였다.



<그림 3-4-29> 운전석 상해 비교

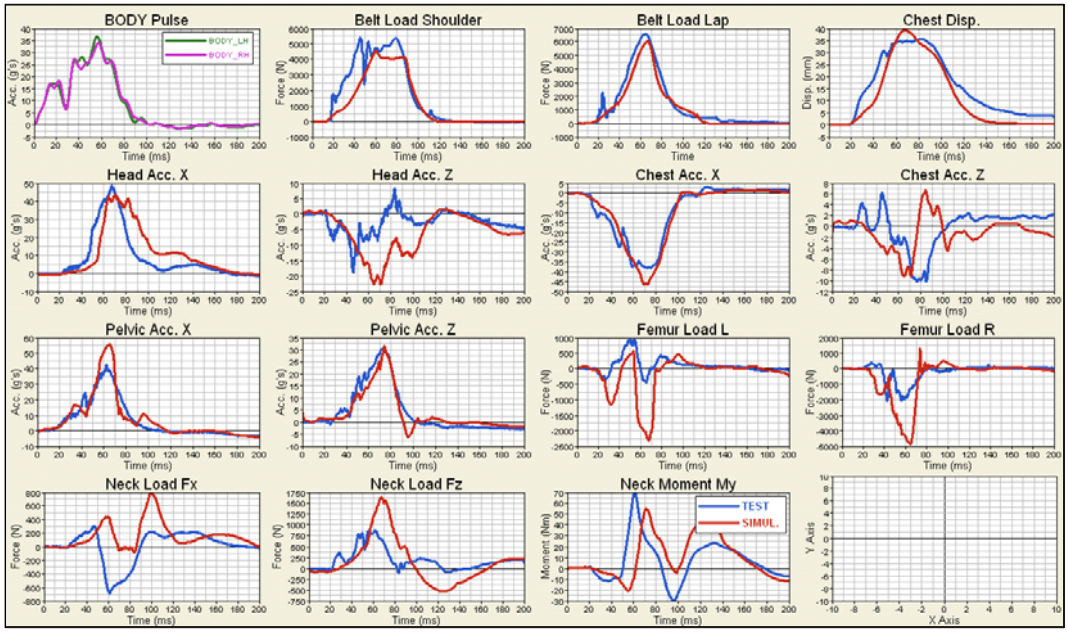


<그림 3-4-30> 조수석 상해 비교

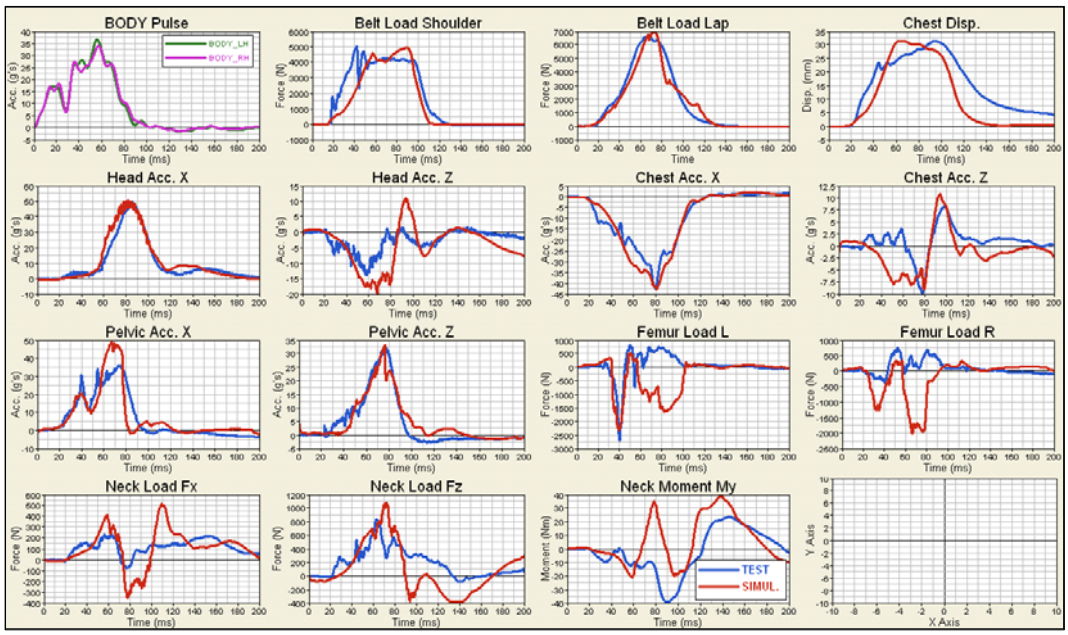
(4) 벨트 착용 30MPH 50% 충돌

벨트 착용 상태의 50% 더미를 착좌 시킨 후 정면 고정벽에 30MPH의 속도로 충돌시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-31 및

3-4-32와 같다. 그림 3-4-31은 운전석의 경우를 그림 3-4-32는 조수석의 경우를 도시 하였다.



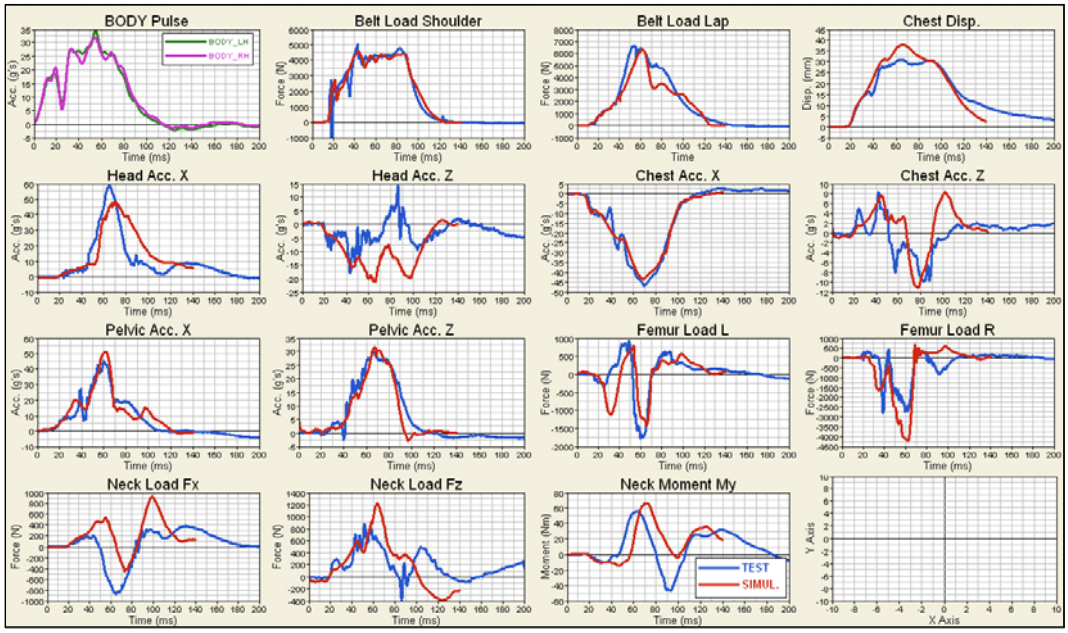
<그림 3-4-31> 운전석 상해 비교



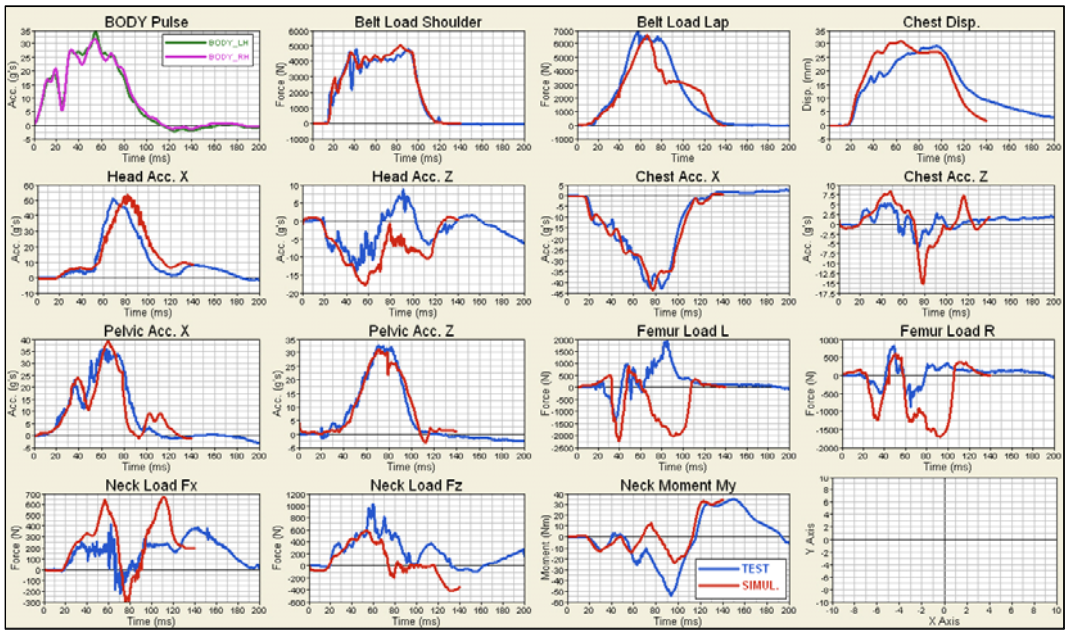
<그림 3-4-32> 조수석 상해 비교

(5) 벨트 착용 35MPH 50% 충돌

벨트 착용 상태의 50% 더미를 착좌 시킨 후 정면 고정벽에 35MPH의 속도로 충돌시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-33 및 3-4-34와 같다. 그림 3-4-33은 운전석의 경우를 그림 3-4-34는 조수석의 경우를 도시 하였다.



<그림 3-4-33> 운전석 상해 비교



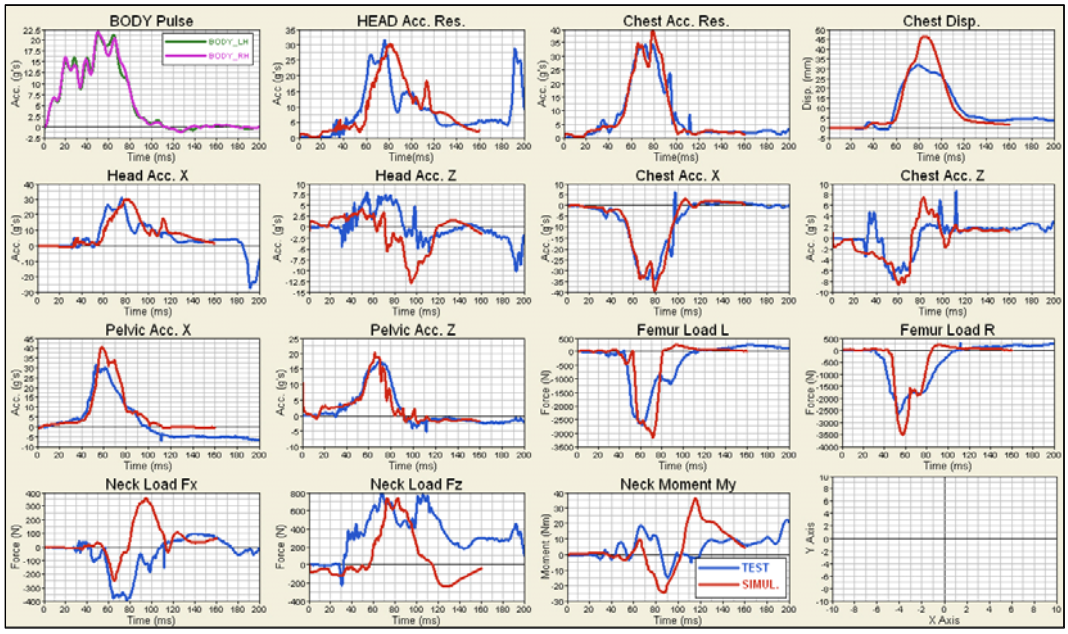
<그림 3-4-34> 조수석 상해 비교

나. 저속 충돌 모드

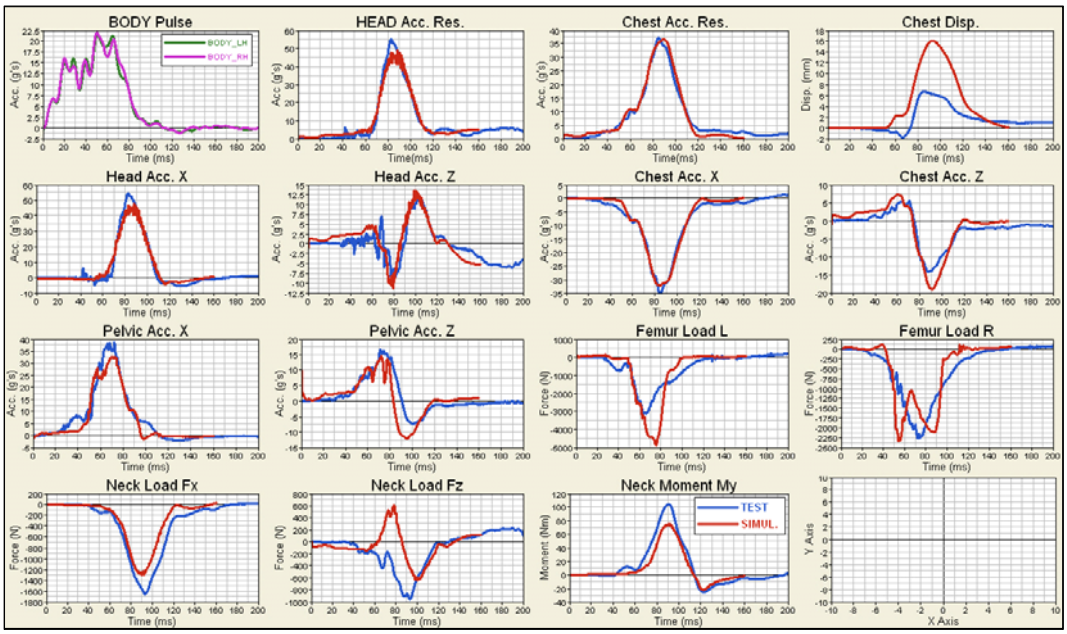
저속 충돌 모드라 함은 상기 표 3-4-6의 정면 충돌 모드 중 벨트 착용 50% 조건과 벨트 미착용 20MPH 5%의 충돌 조건 등을 의미한다.

(1) 벨트 미착용 20MPH 5% 충돌

벨트 미착용 상태의 5% 더미를 착좌 시킨 후 정면 고정벽에 20MPH의 속도로 충돌시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-35 및 3-4-36과 같다. 그림 3-4-35는 운전석의 경우를 그림 3-4-36은 조수석의 경우를 도시 하였다



<그림 3-4-35> 운전석 상해 비교



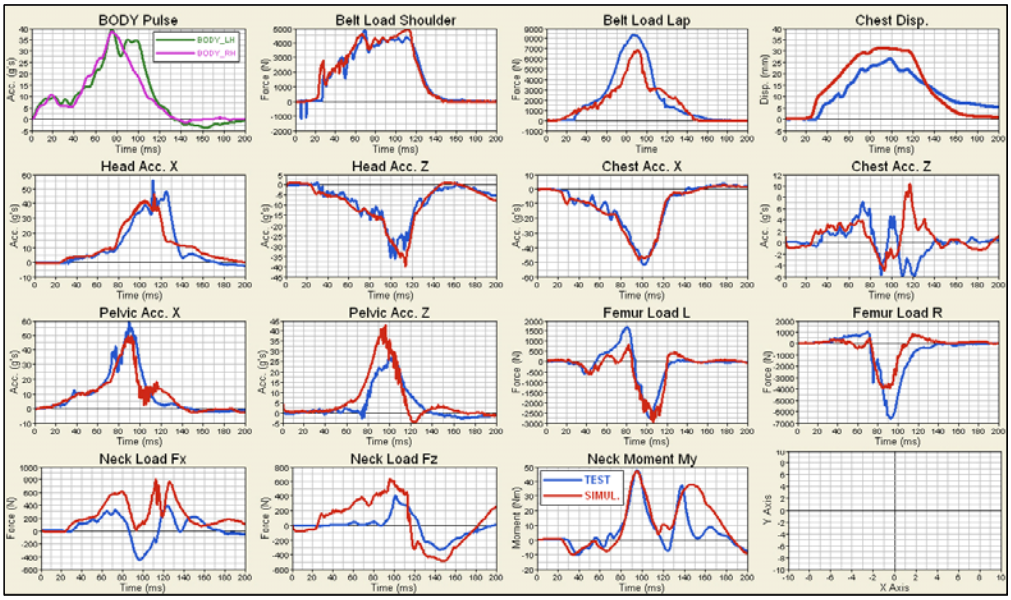
<그림 3-4-36> 조수석 상해 비교

다. 기타 충돌 모드

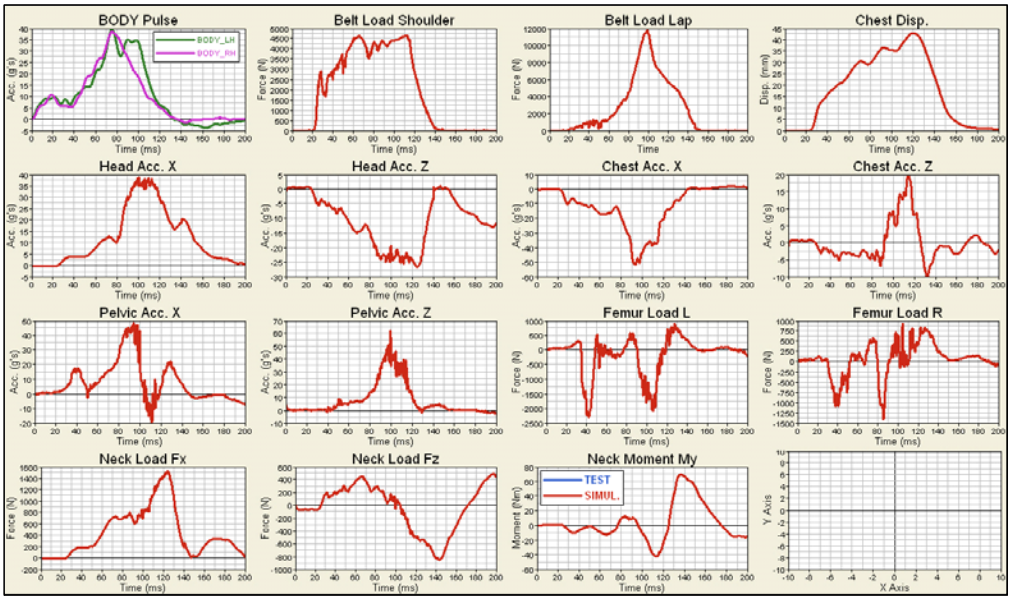
기타 충돌 모드라 함은 상기 표 3-4-6의 벨트 착용 40MPH Offset 50% 및 벨트 미착용 25MPH LH/RH Oblique 50%, 벨트 착용 50% 및 벨트 착용 25MPH Offset 5% 충돌 조건을 의미한다.

(1) 벨트 착용 40MPH Offset 50% 충돌

벨트 착용 상태의 50% 더미를 착좌 시킨 후 40% Offset 변형 벽에벽에 40MPH의 속도로 충돌시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-37 및 3-4-38과 같다. 그림 3-4-37은 운전석의 경우를 그림 3-4-38은 조수석의 경우를 도시 하였다



<그림 3-4-37> 운전석 상해 비교

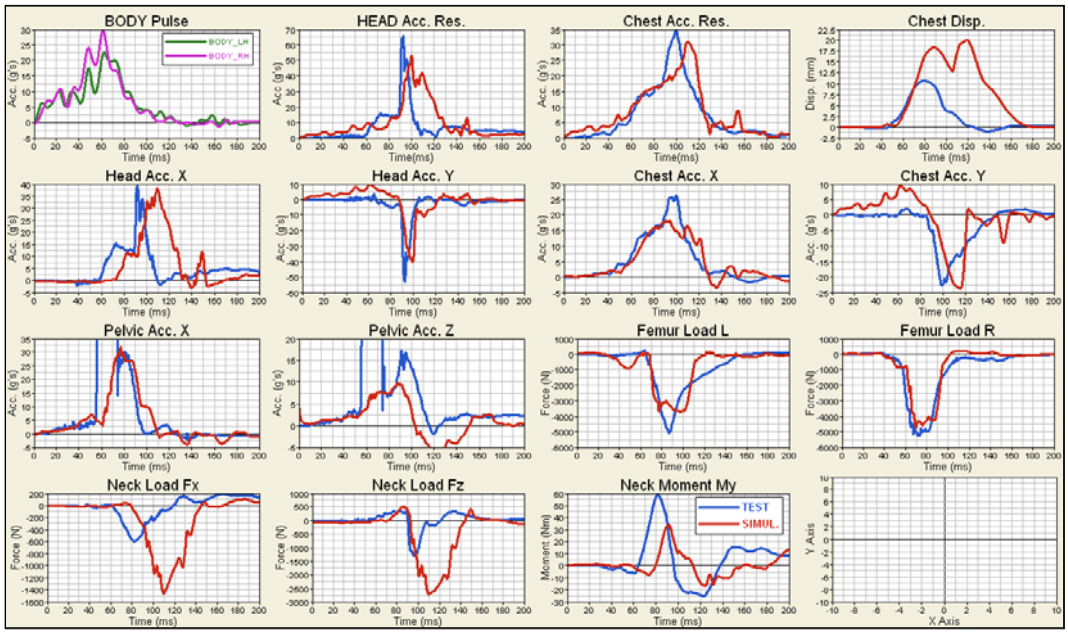


<그림 3-4-38> 조수석 상해 비교

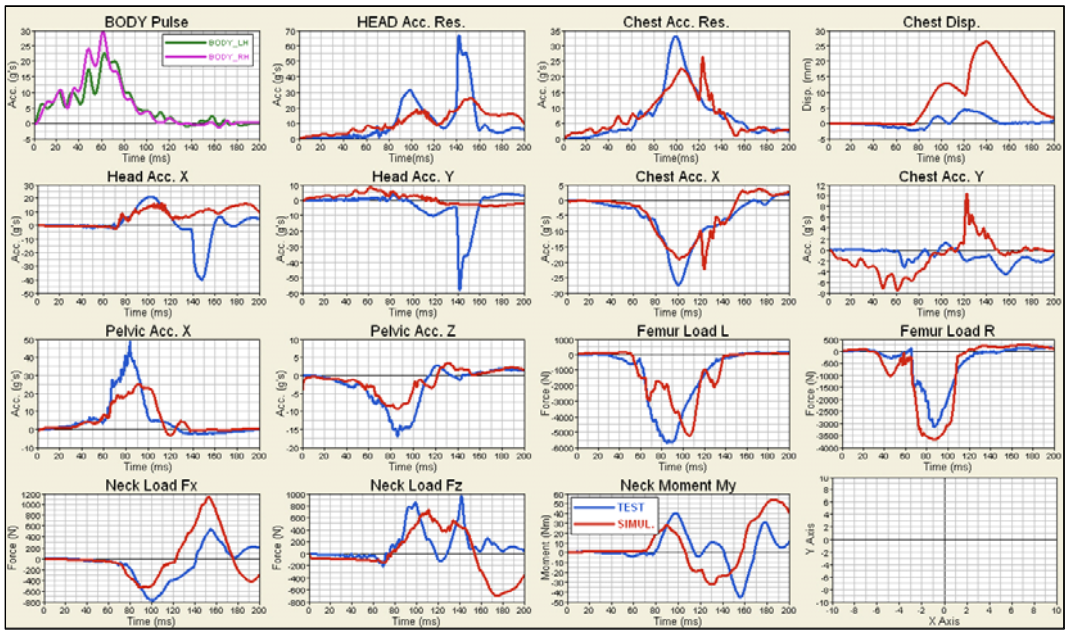
(2) 벨트 미착용 25MPH LH Oblique 50% 충돌

벨트 미착용 상태의 50% 더미를 착좌 시킨 후 좌 경사면에 25MPH의 속도로 충돌시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-39 및 3-4-40과 같다. 그림 3-4-39는 운전석의 경우를 그림 3-4-40은 조수석의 경우를 도

시 하였다



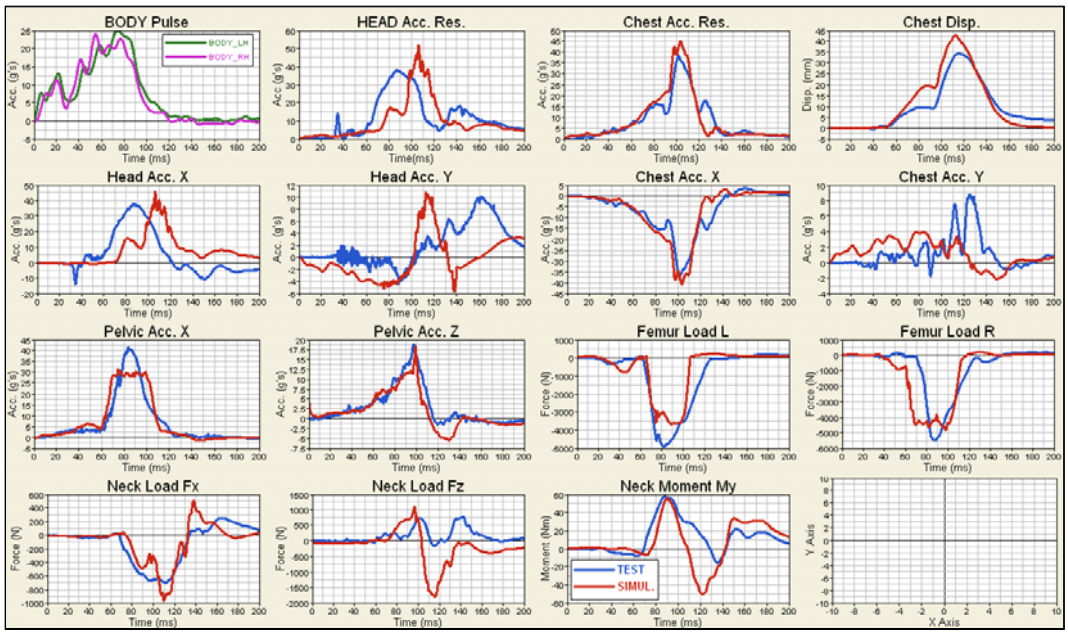
<그림 3-4-39> 운전석 상해 비교



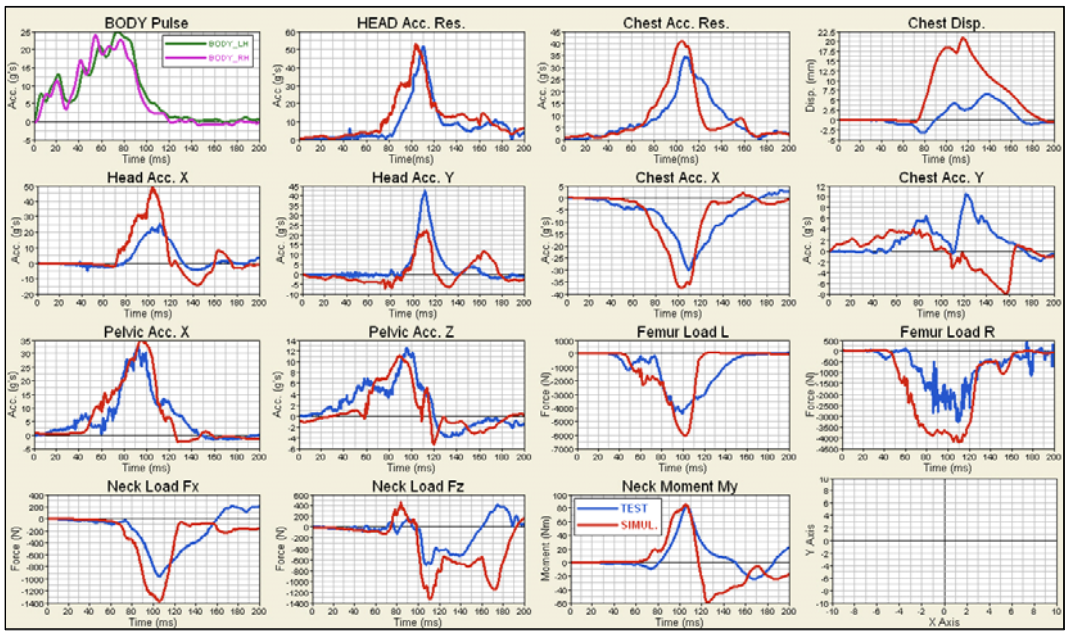
<그림 3-4-40> 조수석 상해 비교

(3) 벨트 미착용 25MPH RH Oblique 50% 충돌

벨트 미착용 상태의 50% 더미를 착좌 시킨 후 좌 경사면에 25MPH의 속도로 충돌시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-41 및 3-4-42와 같다. 그림 3-4-41은 운전석의 경우를 그림 3-4-42는 조수석의 경우를 도시 하였다



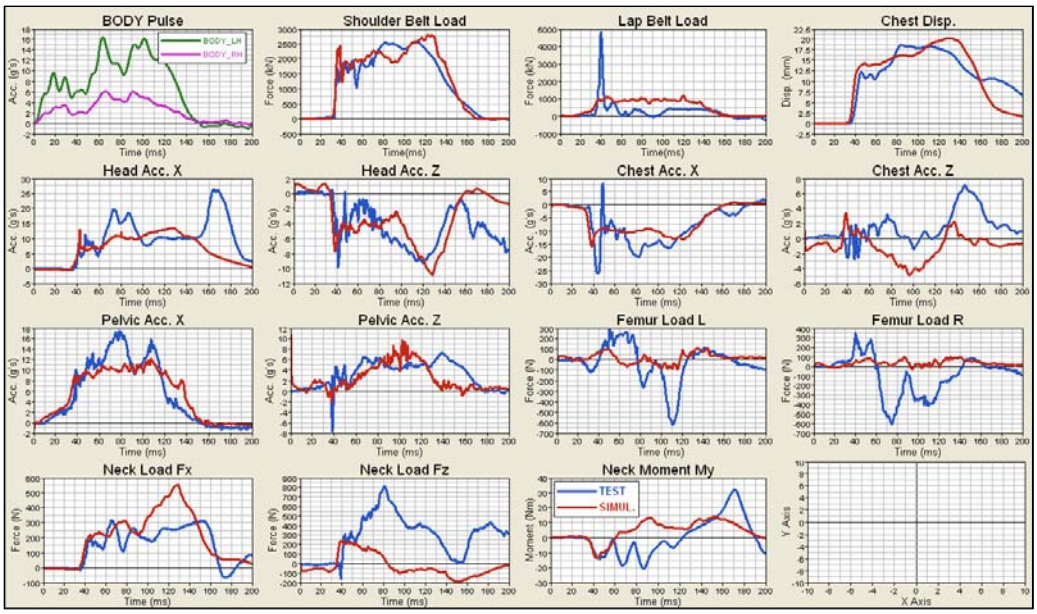
<그림 3-4-41> 운전석 상해 비교



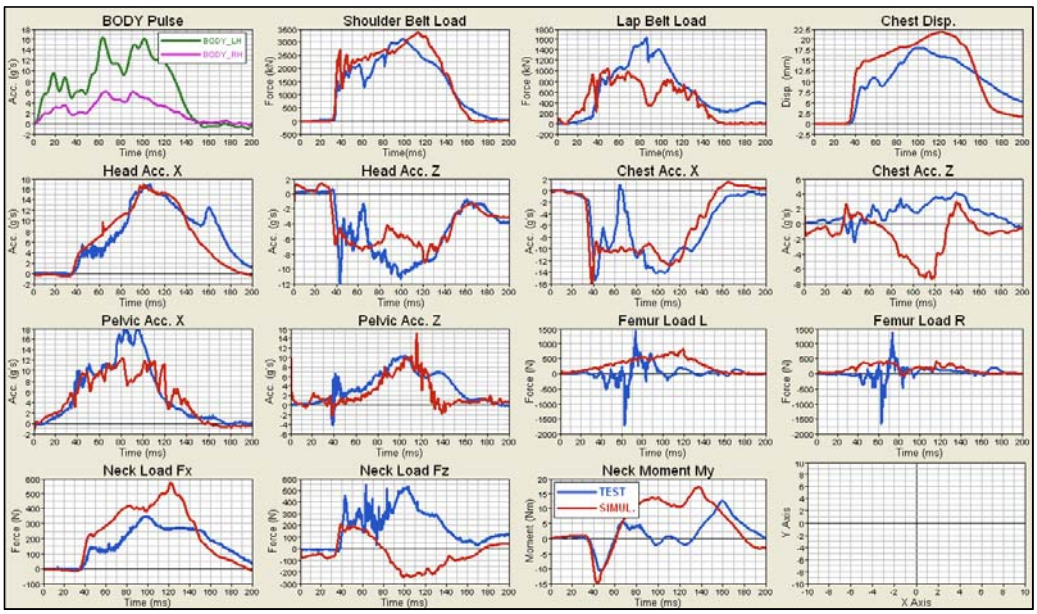
<그림 3-4-42> 조수석 상해 비교

(4) 벨트 착용 25MPH Offset 5% 충돌

벨트 미착용 상태의 50% 더미를 착좌 시킨 후 좌 경사면에 25MPH의 속도로 충돌시켰을 때의 더미의 예측 상해를 실차 시험결과와 비교하면 다음의 그림 3-4-43 및 3-4-44와 같다. 그림 3-4-43은 운전석의 경우를 그림 3-4-44는 조수석의 경우를 도시 하였다



<그림 3-4-43> 운전석 상해 비교



<그림 3-4-44> 조수석 상해 비교

7. 에어백 전개 시간에 따른 승객 상해 예측

상기와 같이 실차시험의 상해를 묘사하고 있는 승객 해석 모델을 활용하여 에어백 전개시간에 따른 상해를 예측 및 평가함으로써 적용된 전개시간에 대한 적절성을 평가하고자 한다.

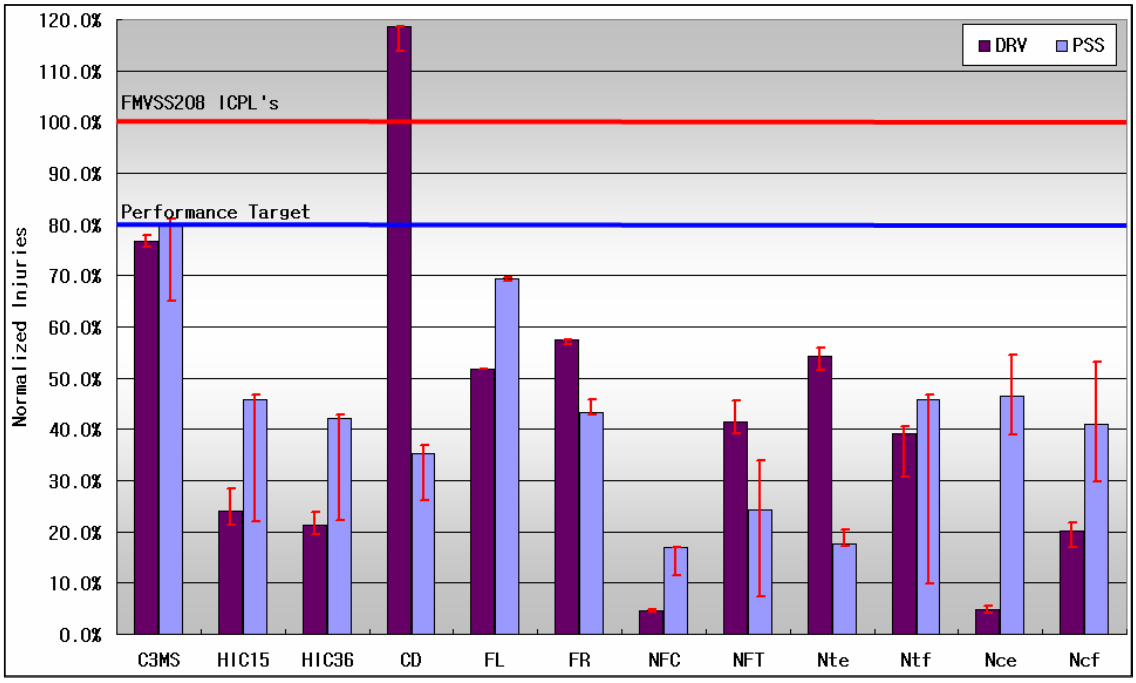
본 연구에서 표 3-4-6에서와 같이 기준 전개시간을 기준으로 상한 4ms 및 하한 4ms 범위에서 1ms 단위로 상해를 예측 및 검토하였으며 상기 충돌 모드 중 지연 전개 시 승객 상해가 크게 될 우려가 있는 대표적인 충돌모드에 대해 검토하였다.

<표 3-4-6> 대표 충돌시험 유형 및 해석모델 Correlation 수준

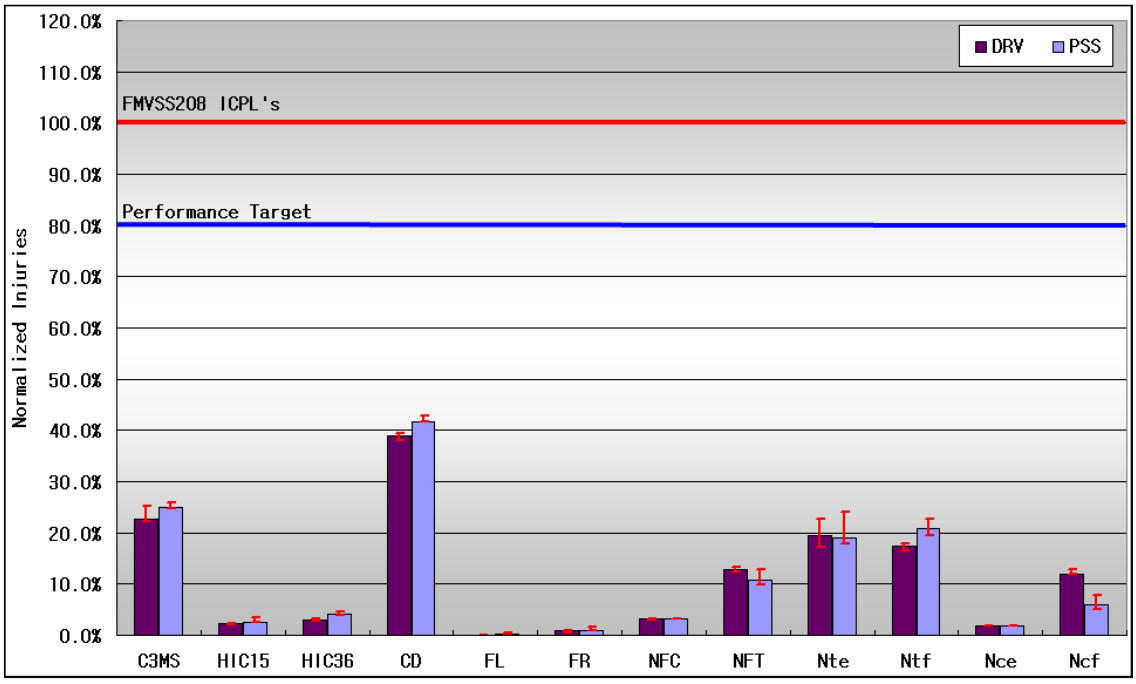
Test Mode		Test Condition		Inflator Output	기준 TTF		비 고
Test Speed	Test Barrier	Dummy	Restraints		DRV	PSS	
25MPH	Rigid-Flat	5th%ile	Unbelted	Low	18ms	19ms	법규 항목
25MPH	ODB 40%	5th%ile	Belted	Low	31ms	31ms	↑
25MPH	LH Oblique	50th%ile	Unbelted	High	27ms	27ms	↑
	RH Oblique	50th%ile	Unbelted	High	28ms	28ms	↑
64KPH	ODB 40%	50th%ile	Belted	High	22ms	22ms	IIHS

벨트 미착용 25MPH 5%충돌 모드에 대한 전개 시간별 승객상해를 예측하여 아래의 그림 3-4-45에 보였다. 그림에서 막대는 기준 전개시간에 대한 승객 상해 해석결과이며 붉은색 선은 주어진 전개 시간별 예측된 승객 상해에서의 최대값 및 최소값을 선으로 연결한 것이다. 즉, 붉은 실선 내에서 승객 상해가 예측됨을 보이고 있다.

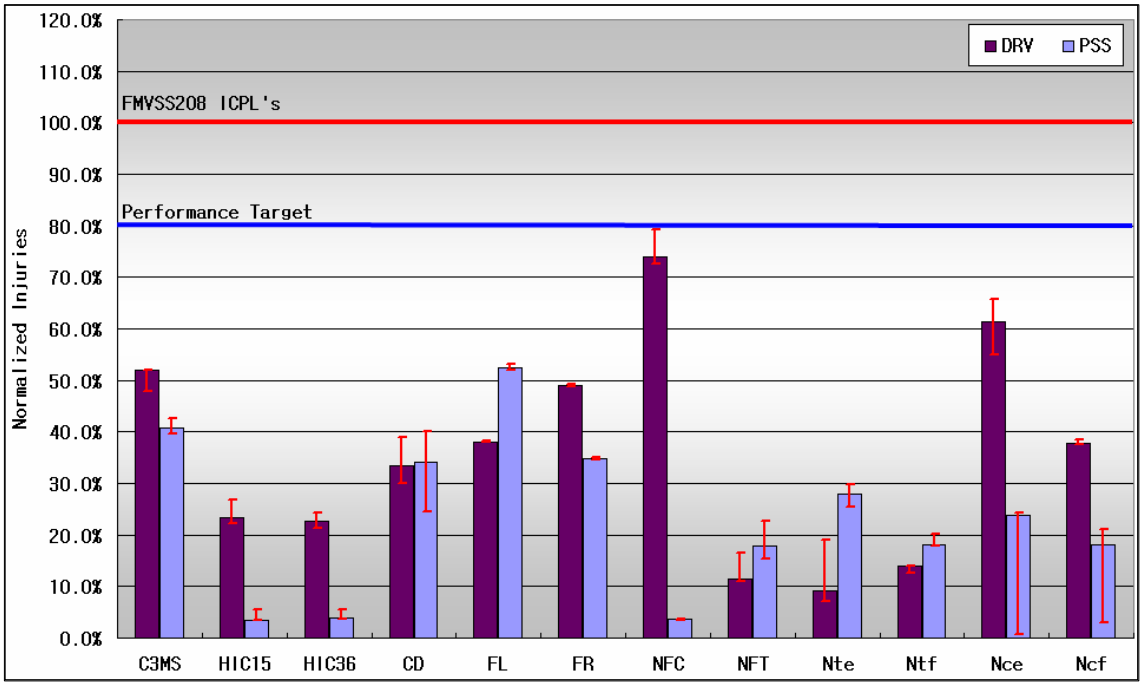
벨트 착용 25MPH OFFSET 5%충돌 모드에 대한 전개 시간별 승객상해를 예측하여 아래의 그림 3-4-46에, 벨트 미착용 25MPH LH Oblique 50%충돌 모드에 대한 전개 시간별 승객상해는 그림 3-4-47, 벨트 미착용 25MPH RH Oblique 50%충돌 모드에 대한 승객상해는 그림 3-4-48, 벨트 착용 50%충돌 모드에 대한 승객 상해는 그림 3-4-49, 벨트 착용 40MPH Offset 50%충돌 모드에 대한 승객 상해는 그림 3-4-50에 각각 보였다.



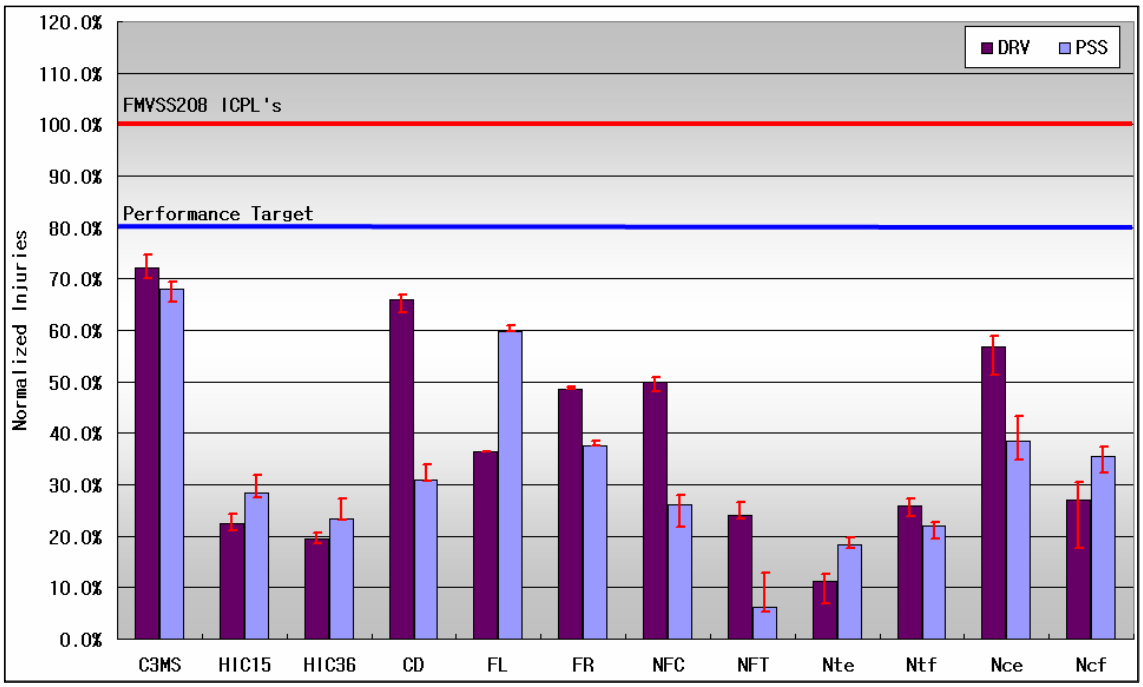
<그림 3-4-45> 벨트 미착용 25MPH 5%



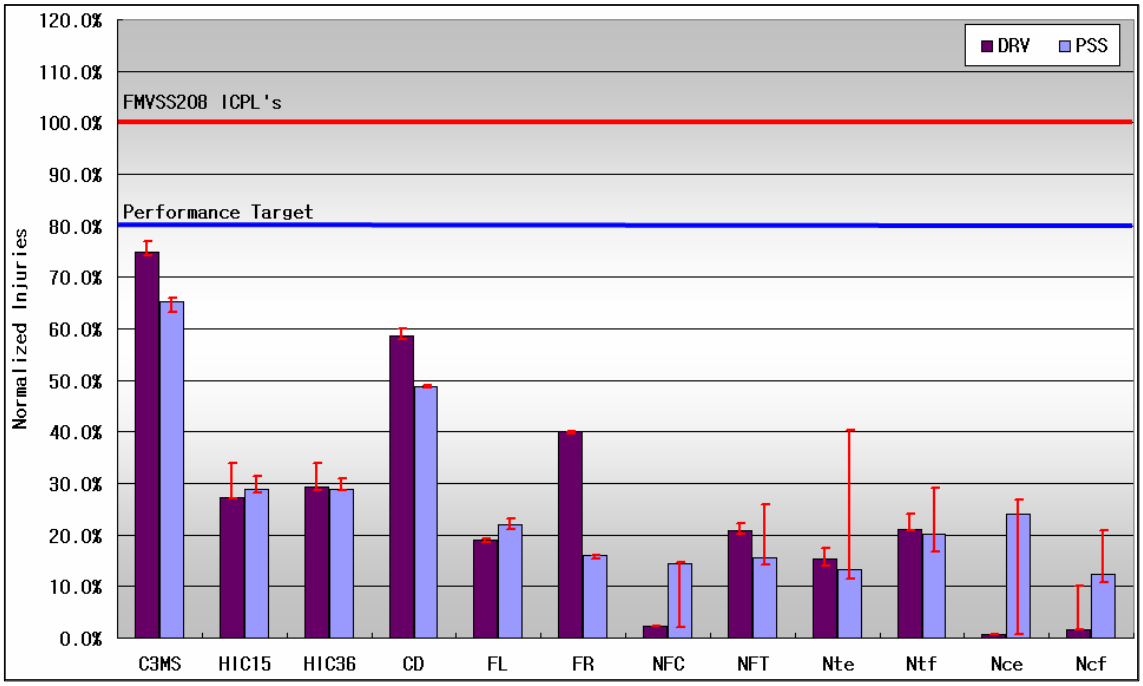
<그림 3-4-46> 벨트 착용 25MPH OFFSET 5%



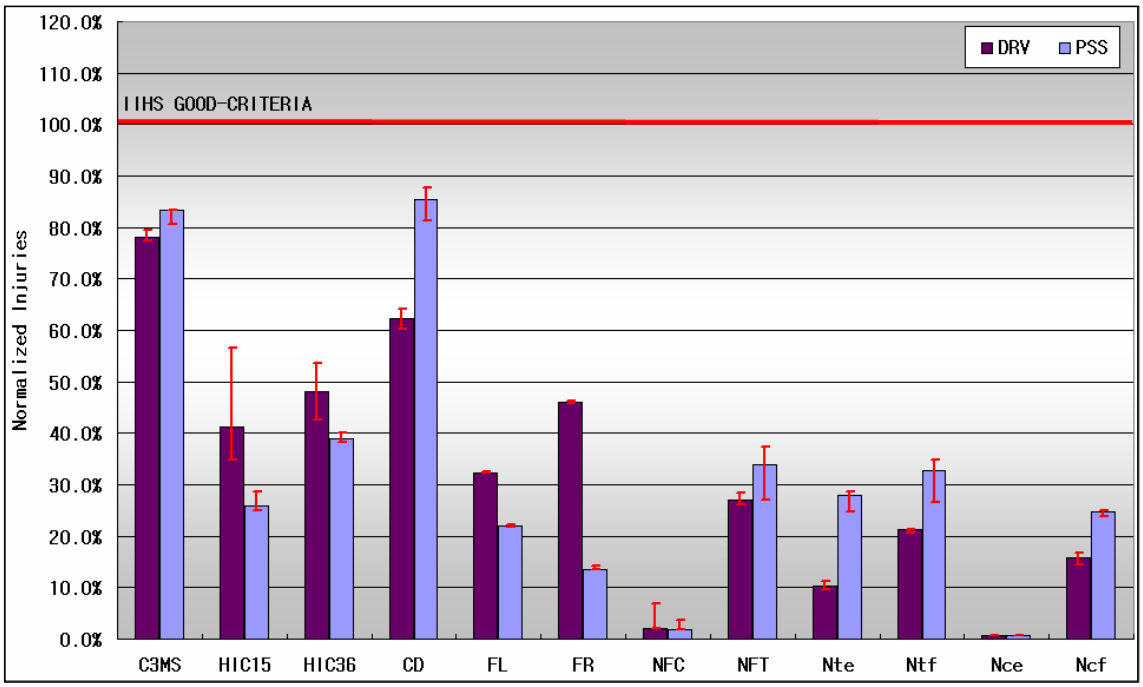
<그림 3-4-47> 벨트 미착용 25MPH LH Oblique 50%



<그림 3-4-48> 벨트 미착용 25MPH RH Oblique 50%



<그림 3-4-49> 벨트 착용 50%



<그림 3-4-50> 벨트 착용 40MPH Offset 50%

8. 해석모델 정도 향상을 위한 단품시험 및 해석

보다 정확한 승객 상해를 예측하기 위해 아래의 표 3-4-6의 단품시험을 수행하고 이를 해석모델에 반영코자 한다. 표 3-4-6에서 Drop tower 시험은 외부 하중에 대한 운전석 및 조수석 에어백의 거동을 확인하기 위한 시험이며, 조향계(STRG Sys) 시험은 조향 휠(STR'G WHL) 시험 결과 및 Drop Tower 시험 결과를 바탕으로 조향계 전체의 동적 반응을 관찰하기 위한 시험이다. 아울러 Sled 시험은 벨트의 특성은 물론 Knee Bolster 및 조향계의 특성을 실차 조건과 가까운 상태에서 획득하기 위한 시험이다.

<표 3-4-6> 단품시험 개요

항 목	조 건	사용장비	회수	목 적
SLED 시험	25MPH 5%	SLED	3	Kneebolster 특성 및 실차 STR'G Sys. 붕괴특성 추출
	25MPH 50%	↑	4	Kneebolster 특성 및 실차 STR'G Sys. 붕괴특성 추출
	USNCAP	↑	3	Seat Belt 동적거동 추출
Drop Tower 시험	운전석 모듈	Drop Tower	10	에어백 강성 추출
	조수석 모듈	Drop Tower	10	에어백 강성 추출
STR'G WHL 시험	Rim 충격	201/203 충격시험기	4	WHL UPP/LWR Rim 강성 추출
STR'G Sys. 시험	Tuffy 충격	201/203 충격시험기	4	STR'G Sys. 붕괴특성 추출
Seat Cushion 시험	하중시험	하중장비	5	STR'G Sys. 붕괴특성 추출
Total			43	

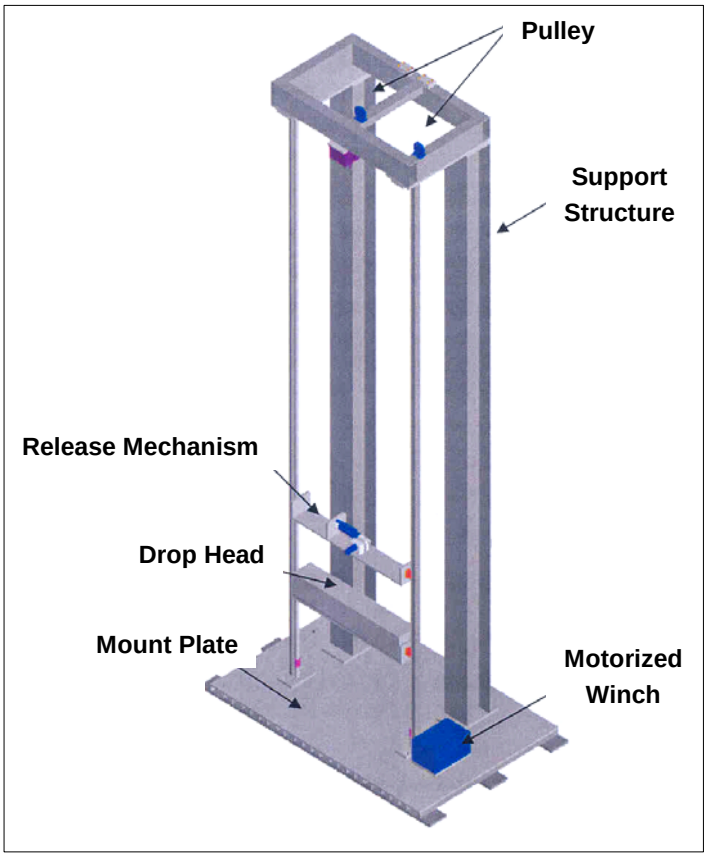
가. Drop Tower 시험

(1) 시험 개요

표 3-4-6의 Drop Tower 시험은 아래의 그림 3-4-51의 장비를 이용하여 표 3-4-7와 같이 수행하였다. 그림의 시험장비는 Drop Head에 적절한 무게를 매단 후 정해진 높이에서 자유낙하를 통해 원하는 속도(에너지)를 가지게 한 후 별도의 트리거 기구를 이용하여 에어백을 전개시켜 충돌을 발생시킨 후 이때의 가속도를 측정하는 장치이다.

표 3-4-7에서는 충돌시의 무게 및 속도는 물론 구체적인 시험 조건을 제시하였다. 반복성 평가를 포함하여 에어백의 고압전개 및 저압전개의 특성 파악 및 에어백 벤트홀 크기에 따른 특성이 측정되도록 하였다.

또한, 무게 추와 전개된 에어백과의 관계는 아래의 그림 3-4-52에 보였다. 운전석의 경우 조향휠 원심과 무게 추의 중심이 일치하도록 하였으며 조수석의 경우 실차 장착조건에서 측면 방향으로 90도 회전시킨 후 모듈의 중심과 무게 추의 중심을 일치하도록 하였다.

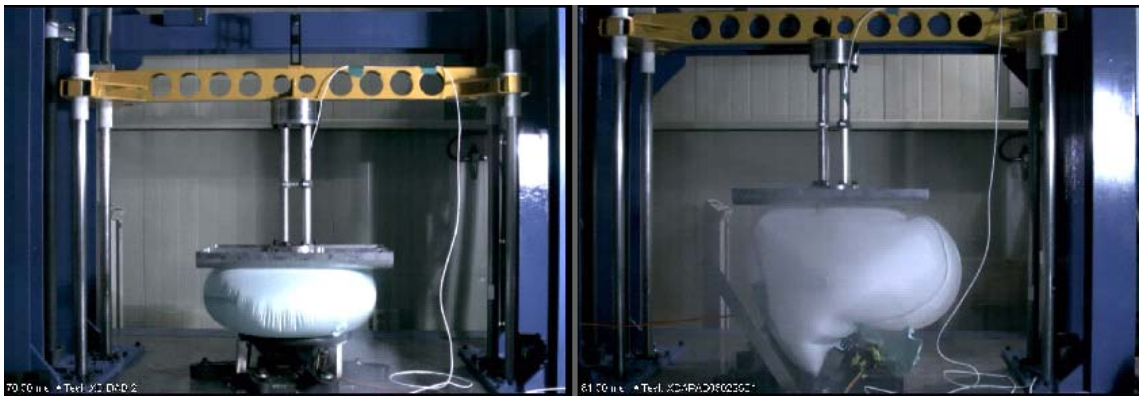


<그림 3-4-51> Drop Tower 시험기

<표 3-4-7> Drop Tower 시험

모 듈	모듈 조건			Jig 조건		회수	목 적
	Vent.	Inflator	초기 상태	Mass	충격 속도		
DAB	Φ45	HIGH	Fold+Cover	34.47kg	5.56m/s	2	HIGH특성/반복성
	↑	↑	Flat Bag	↑	↑	1	Folding/Cover효과
	Φ50	↑	Fold+Cover	↑	↑	1	Vent. 효과
	Φ55	↑	Fold+Cover	↑	↑	1	
	Φ45	LOW	Fold+Cover	↑	5.0 m/s	2	LOW특성/반복성

	↑	↑	Flat Bag	↑	↑	1	Folding/Cover효과
PAB	Φ50	HIGH	Flat Bag	34.47kg	5.56m/s	2	HIGH특성/반복성
	Φ55	↑	Flat Bag	↑	↑	1	Vent. 효과
	Φ60	↑	Flat Bag	↑	↑	1	
	Φ50	LOW	Flat Bag	↑	↑	2	LOW특성/반복성



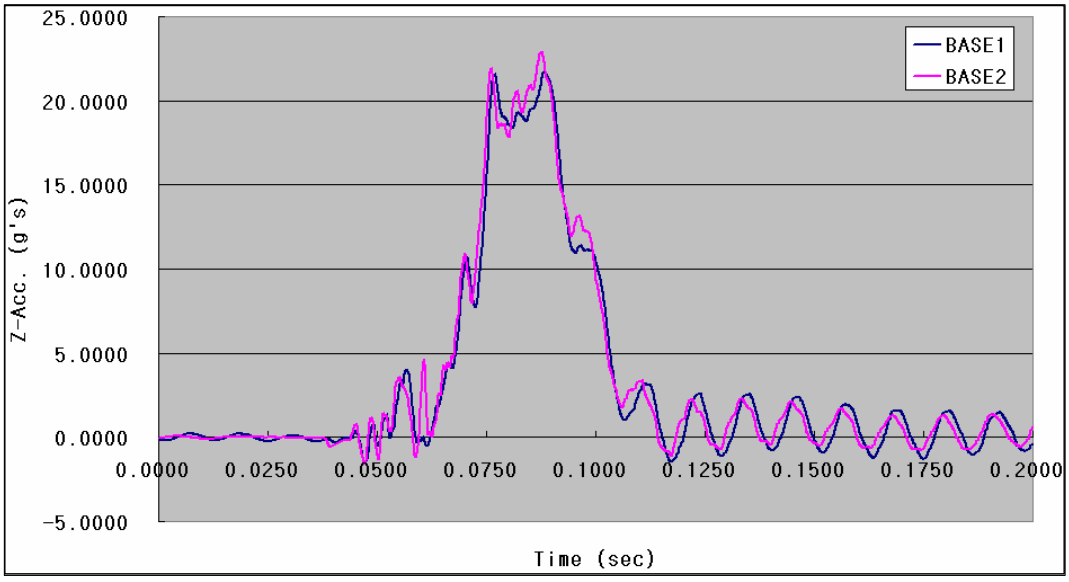
<그림 3-4-52> Test Setup

(2) 시험 결과

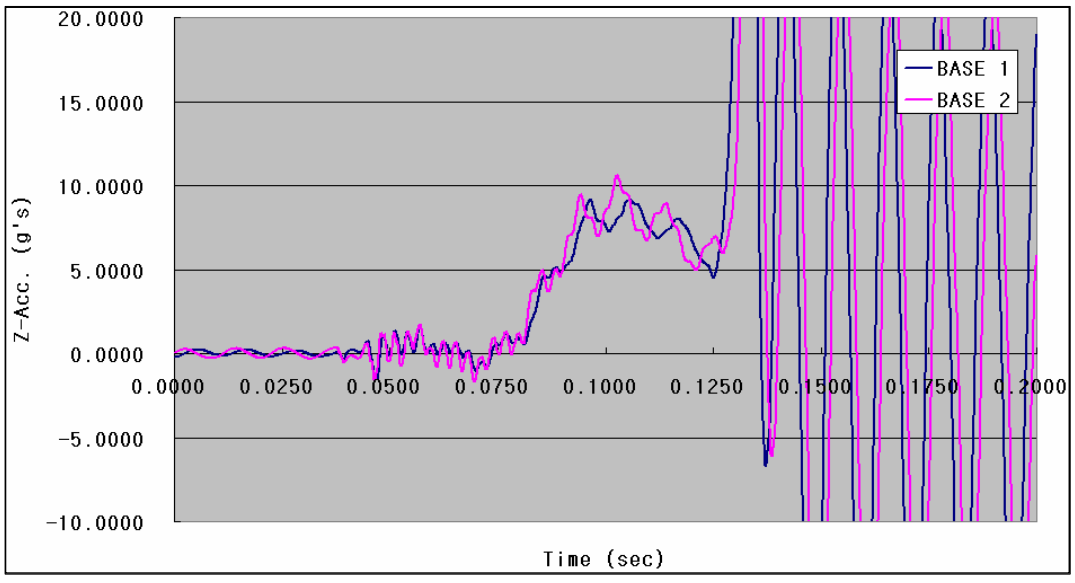
상기 Drop Tower 시험을 통해 각 조건별 결과를 아래와 같이 정리하였다.

ㄱ. 운전석 모듈

아래의 그림 3-4-53 및 54에서와 같이 고압 및 저압 전개시의 시험결과를 반복 수행하여 두 결과를 중첩하여 보였다. 전개조건과 무관하게 그 측정 데이터가 잘 일치하여 상관지수 0.95 이상의 정확도를 보이고 있다.

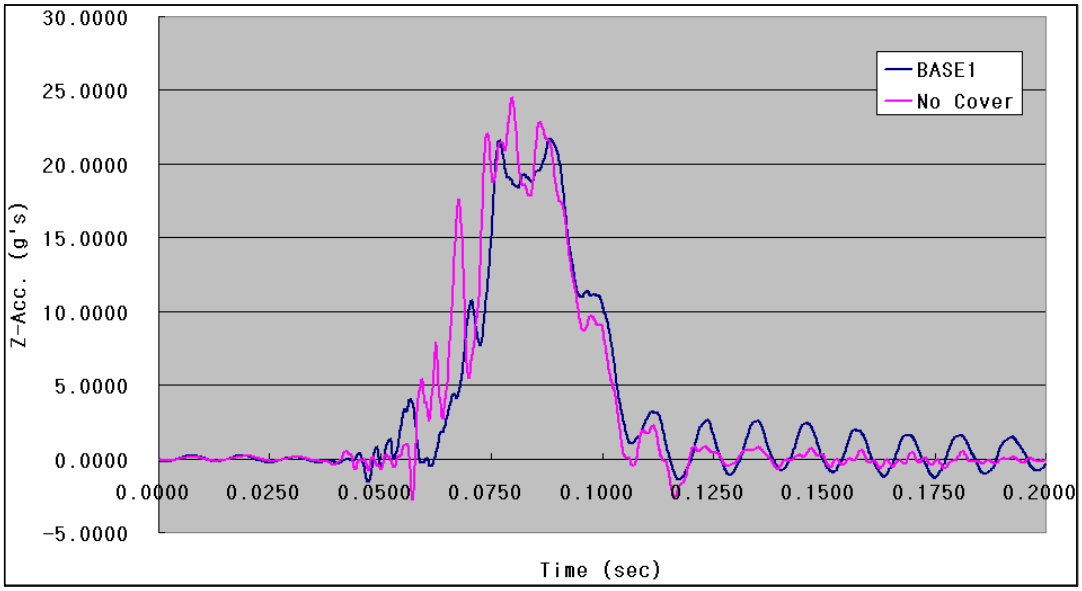


<그림 3-4-53> 운전석 고압 전개



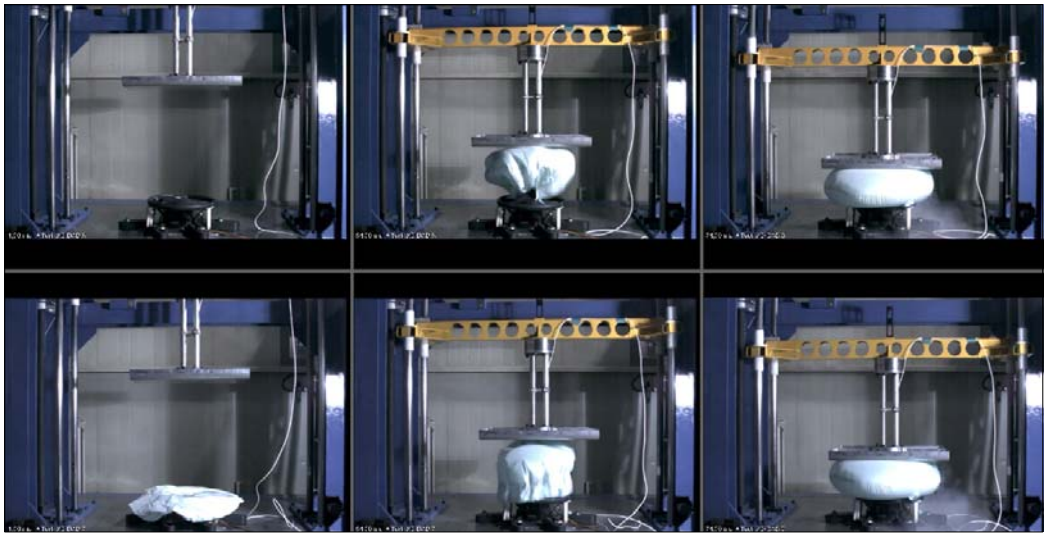
<그림 3-4-54> 운전석 저압 전개

아래의 그림 3-4-55및 56에서 고압 조건에서 전개하되 에어백을 폴딩하고 모듈 커버가 장착된 상태와 그렇지 않은 상태를 평가하여 보였다.



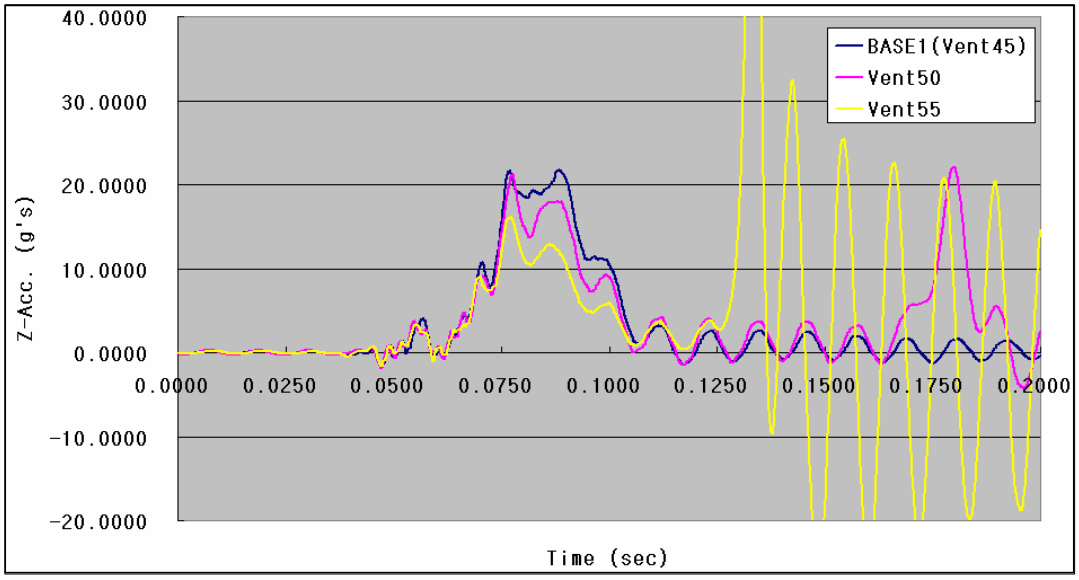
<그림 3-4-55> 운전석 폴딩 및 커버 효과 : 가속도

초기상태 충격순간 로딩상태



<그림 3-4-56> 운전석 폴딩 및 커버 효과 : 동영상

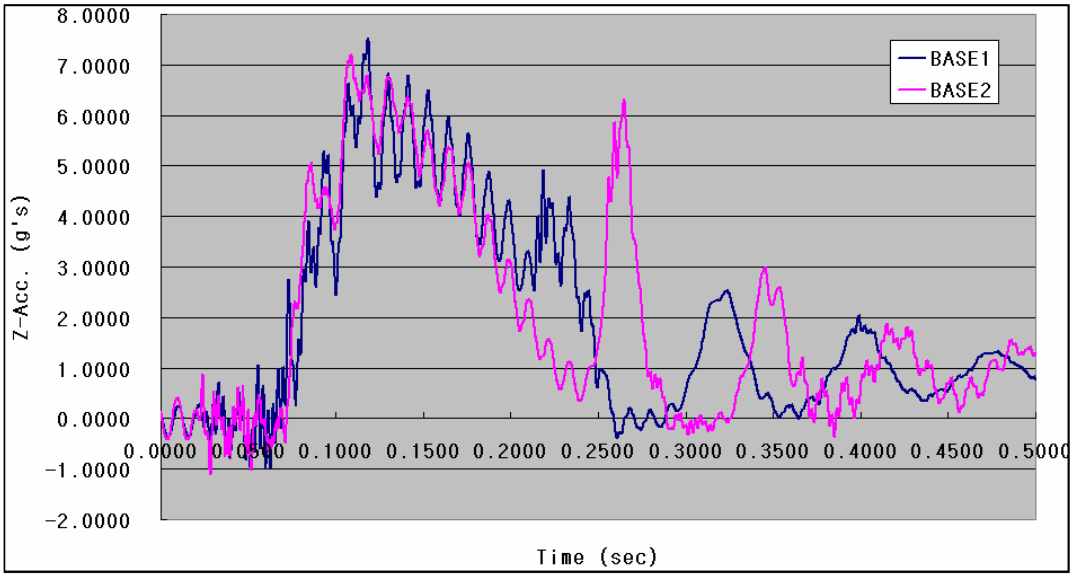
아래의 그림 3-4-57에서는 에어백 벤트홀의 크기에 따른 시험 결과를 보였다. 크기가 증가할 수록 가속도의 최대값과 그 폭에서 차이가 남을 알 수 있다.



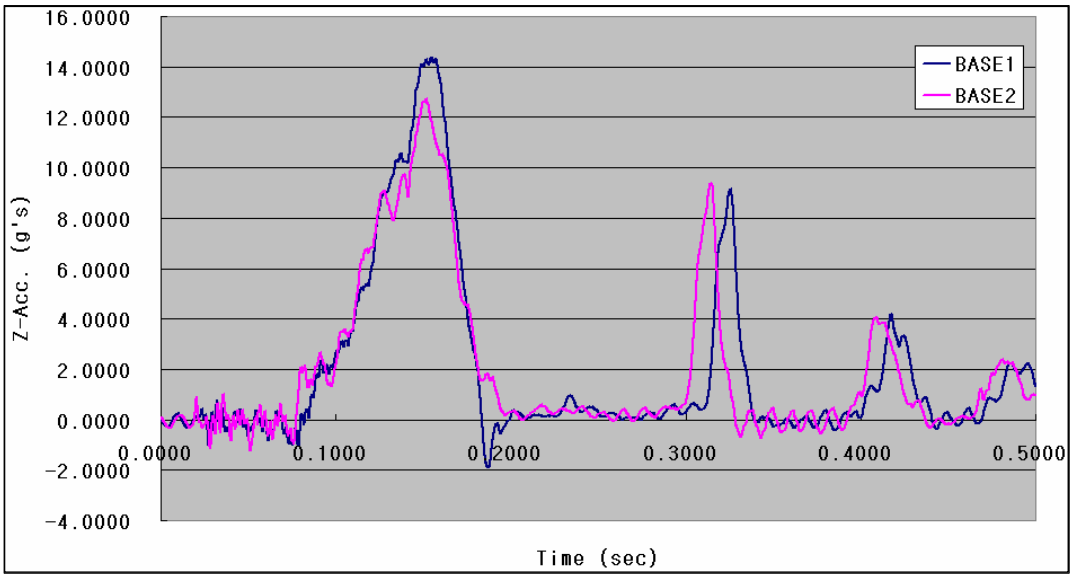
<그림 3-4-57> 운전석 벤트홀 크기 효과

ㄴ. 조수석 모듈

아래의 그림 3-4-58 및 59에서와 같이 고압 및 저압 전개시의 시험결과를 반복 수행하여 두 결과를 중첩하여 보였다. 에어백을 고정하기 쉽지 않은 3차원 형상을 가지기 때문에 운전석 대비 반복성은 조금 낮아지나 그래프 상에서의 특이점(최대값 등)은 일치하는 경향을 보이고 있다. 그림 3-4-59에 저압전개에서 고압전개보다 높은 가속도 값을 보인 이유는 실차조건에서 저압전개 100ms 이후에 secondary chamber를 전개시켰기 때문이다.

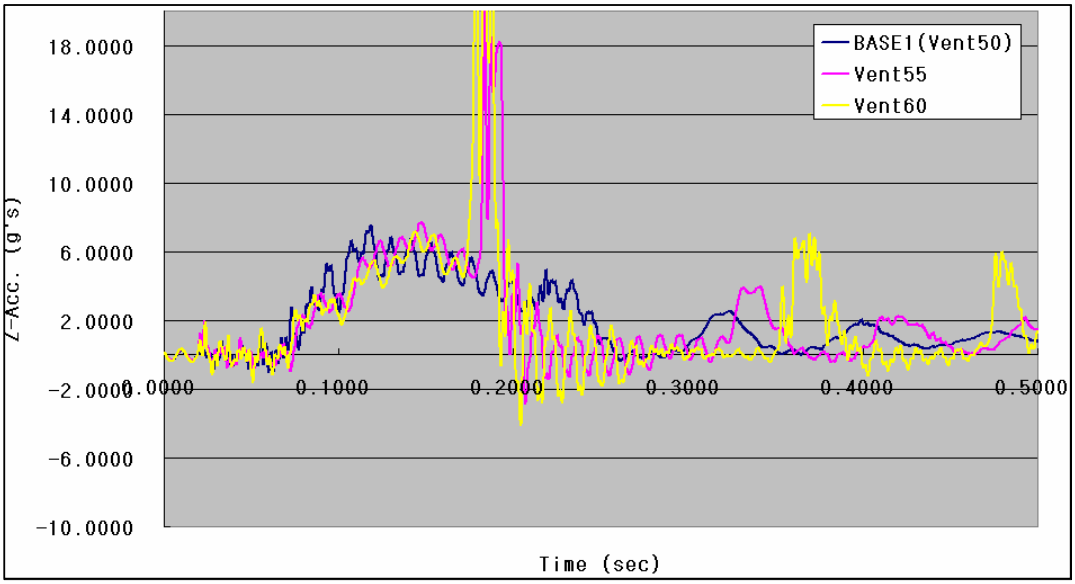


<그림 3-4-58> 조수석 고압 전개



<그림 3-4-59> 조수석 저압 전개

아래의 그림 3-4-60에 벤트홀 크기에 따른 가속도의 차이를 보였다. 벤트홀 크기에 따라 가속도 그래프의 기울기 및 최대값에 차이를 보이고 있다.



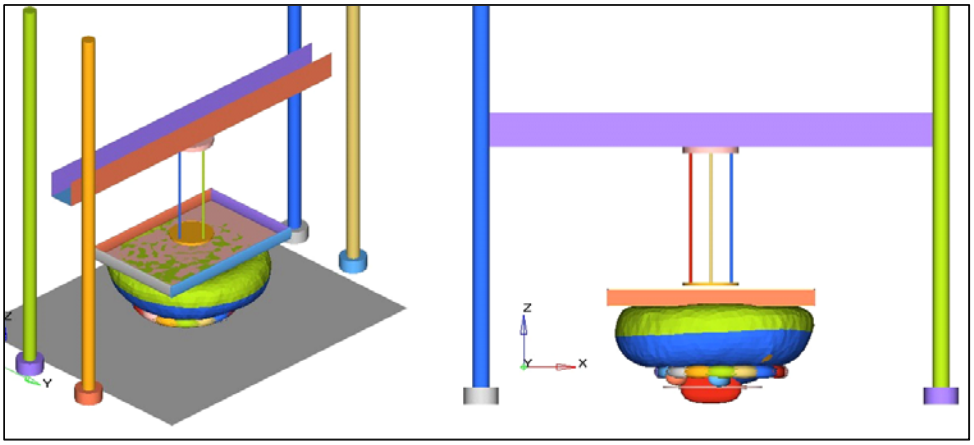
<그림 3-4-60> 조수석 벤트홀 크기 평가

(3) 단품 해석

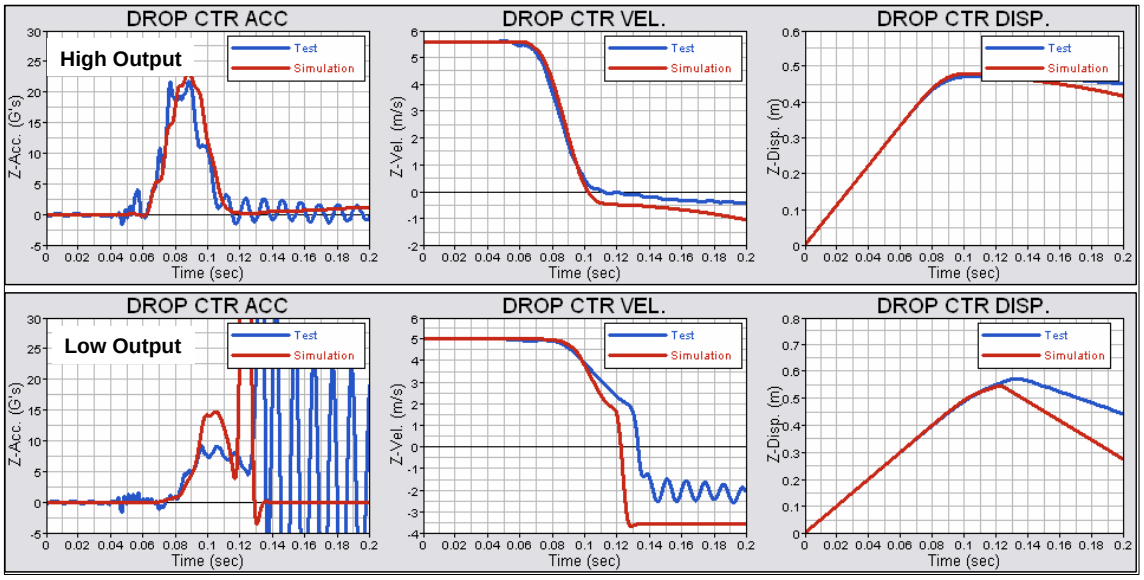
(가). 운전석 에어백 모델

상기 Drop Tower 시험을 통해 얻은 특성치를 반영하여 동일 조건의 해석을 수행하여 같은 특성치를 얻도록 해석모델을 그림 3-4-61과 같이 재구성하였다. 그림 3-4-61의 해석모델에서 시험장치 및 방법은 상기 실제 시험과 동일하게 구성하였다.

외부 하중에 대한 에어백의 반응이 적절히 표현하도록 해석 파라미터를 재구성하여 아래의 그림 3-4-62와 같은 결과를 얻었다. 그림 3-4-62에서 동일한 해석 파라미터를 적용한 후 인플래이터 특성 및 시험조건을 달리하여 고압 및 저압을 비교한 결과이다. 이와 같은 에어백 모델을 승객 상해 예측 모델에 적용하였다.



<그림 3-4-61> Drop Tower 단품해석

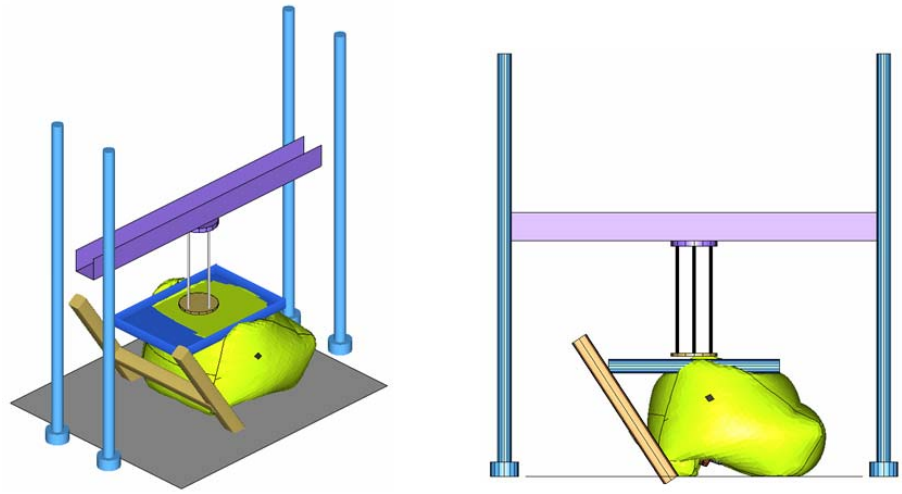


<그림 3-4-62> DAB Drop Tower 단품해석 결과

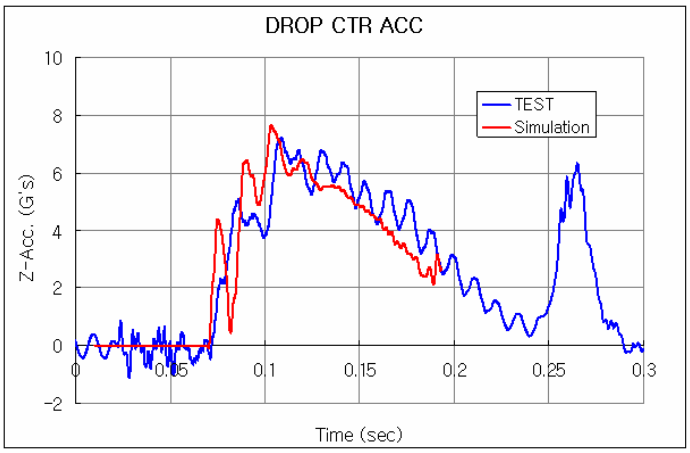
(나). 조수석 에어백 모델

조수석 에어백 단품해석 모델은 앞 절의 운전석 모델과 동일한 방법으로 구성한다. drop test 장비를 모델링하고 drop plate의 높이와 속도를 시험과 같이 세팅한다. wind shield의 에어백 상단 지지 기능을 모사하기 위하여 H형 지그를 장치하여 에어백을 지지한다. 조수석 base 모델 vent hole ϕ50*2, high output 인플레이터를 적용한 사양이며, 시험에서는 에어백 커버 없는 flat bag 상태로 시험하였다. 그러나 해석에서는 flat bag 상태를 모델링 하는

것이 힘들므로 커버만 제거하고 에어백의 초기 형태는 IMM folding 방법을 사용하였다.



<그림 3-4-63> PAB Drop Tower 단품해석 모델



<그림 3-4-64> 조수석 Drop Tower 단품해석 결과

조수석 에어백 단품해석 모델을 그림 3-4-63에 나타내었으며, 해석 결과를 시험과 비교하여 그림 3-4-64에 나타내었다. 이때 접촉 시간에서 해석과 시험결과가 10msec정도 차이를 보여 접촉 시간을 맞추기 위해 해석 결과를 10msec 만큼 오른쪽으로 shift 하여 도시하였으며, 경향과 값에서 유사한 경향을 보인다. 해석 결과를 시험에 더 가깝게 맞추어 더욱 신뢰도 있는 결과를 얻기 위하여 해석 파라메터 들의 의미와 최적값을 찾는 연구를 계속 진행하고 있다.

보다 정확한 승객 상해를 예측하기 위해 아래의 표 3-4-8의 단품시험을 수행하고 이를 해석모델에 반영코자 한다. 표 3-4-8에서 Drop tower 시험은 외부 하중에 대한 운전석 및 조수석 에어백의 거동을 확인하기 위한 시험이며 STR'G Sys. 시험은 STR'G WHL 시험 결과 및 Drop Tower 시험 결과를 바탕으로 조향계 전체의 동적 반응을 관찰하기 위한 시험이다. 아울러 Sled 시험은 벨트의 특성은 물론 Knee Bolster 및 STR'G Sys.의 특성을 실차 조건과 가까운 상태에서 획득하기 위한 시험이다.

항 목	조 건	사용장비	회수	목 적
SLED 시험	25MPH 5%	SLED	3	Kneebolster 특성 및 실차 STR'G Sys. 붕괴특성 추출
	25MPH 50%	↑	4	Kneebolster 특성 및 실차 STR'G Sys. 붕괴특성 추출
	USNCAP	↑	3	Seat Belt 동적거동 추출
Drop Tower 시험	운전석 모듈	Drop Tower	10	에어백 강성 추출
	조수석 모듈	Drop Tower	10	에어백 강성 추출

<표 3-4-8> 단품시험 개요

가. SLED 시험

(1) 시험 개요

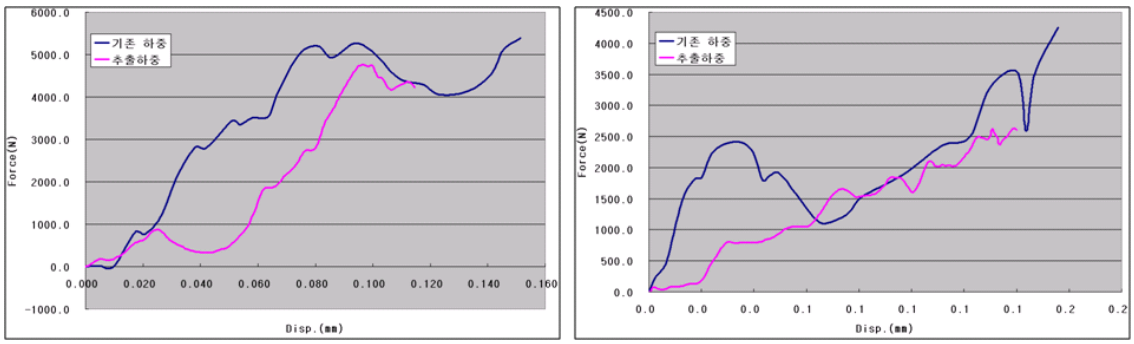
표 3-4-8의 SLED 시험에서 25MPH 충돌조건은 안전벨트를 착용하지 아니하고 에어백을 작동시키지 않은 상태에서 시험을 수행하여 니볼스터(Kneebolster)의 붕괴하중을 추출하기 위한 시험이다. USNCAP 충돌조건은 안전벨트를 착용하고 에어백을 작동한 상태에서 시험하며 이때의 벨트 프리텐셔너의 권입특성 및 벨트 로드리미터의 권출 특성을 확보하기 위한 시험이다.



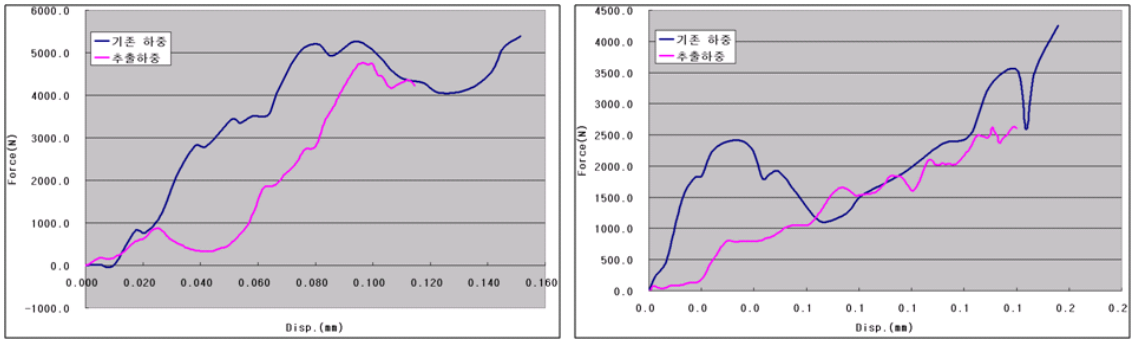
<그림 3-4-65> USNCAP SLED 시험

(2) 시험 결과

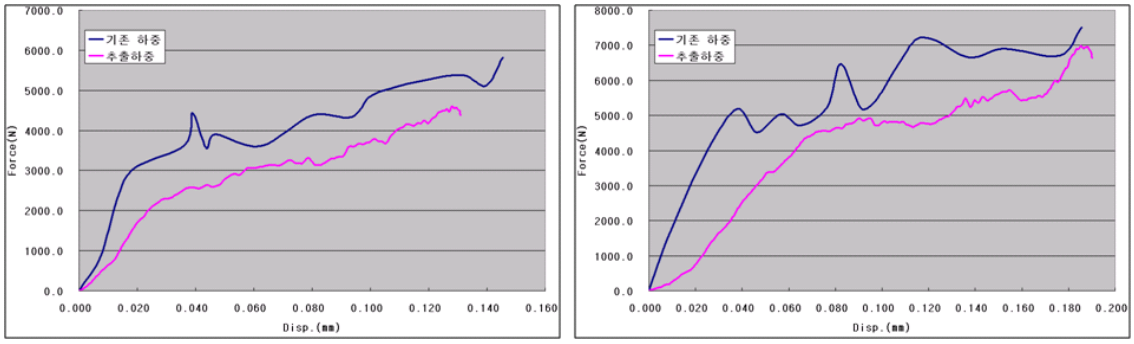
상기의 SLED 시험을 통해 운전석, 조수석 및 5%, 50% 각각의 니볼스터 특성하중을 다음의 그림과 같이 추출하였다. 니볼스터의 하중 곡선은 더미의 대퇴부 하중에 해당하며 이때의 변위량은 더미 엉덩이의 상대가속도(엉덩이가속도와 차체 가속도의 차이)를 이중 적분하여 얻는다.



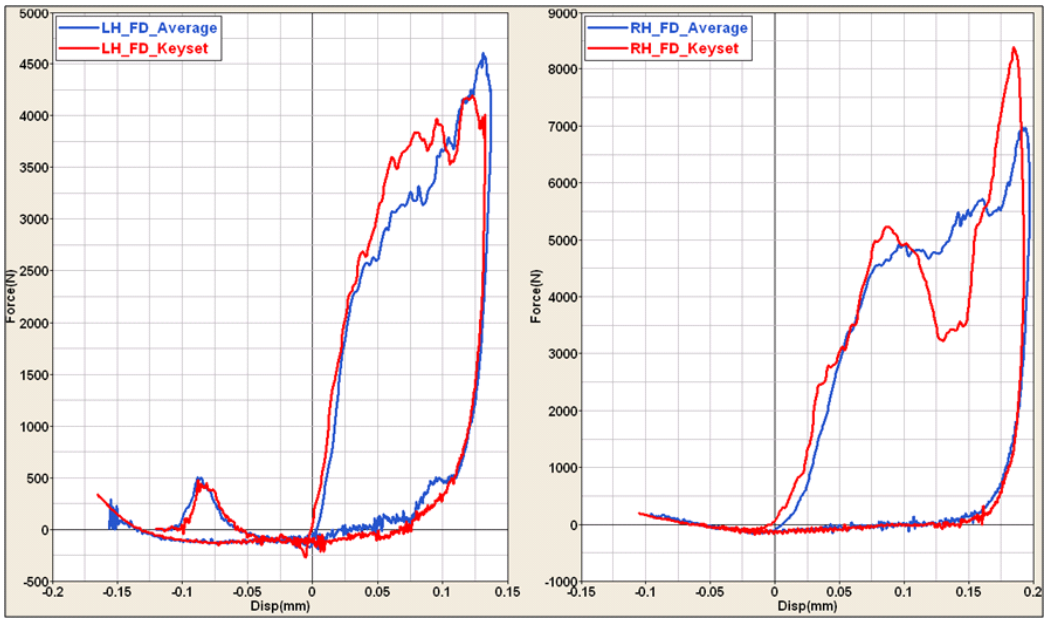
<그림 3-4-66> 5% 운전석 니볼스터 특성



<그림 3-4-67> 5% 조수석 니볼스터 특성



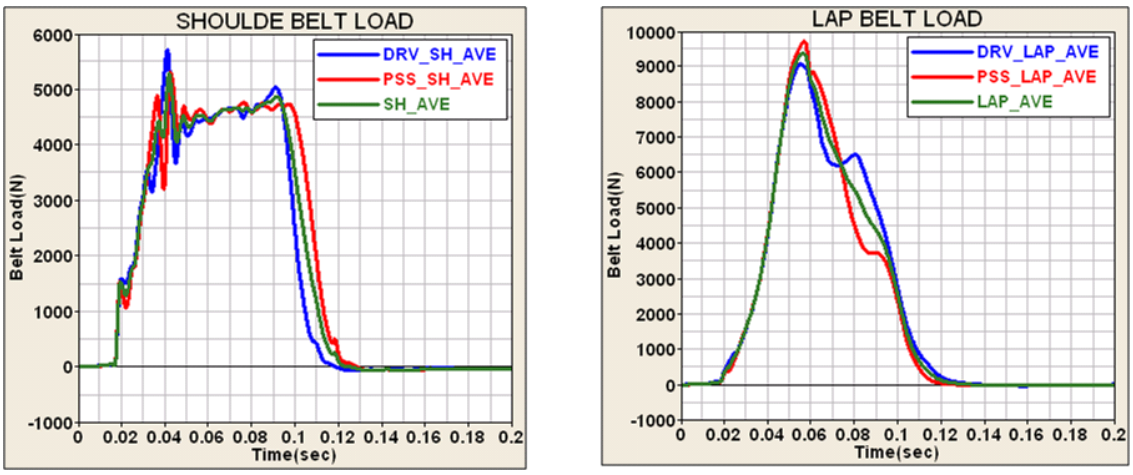
<그림 3-4-68> 50% 운전석 니볼스터 특성



<그림 3-4-69> 50% 운전석 니볼스터 특성-Key_Set 충격

상기 시험과 달리 운전석 오른쪽 무릎이 열쇠뭉치에 충격하도록 착좌하여 25MPH 조건에서 시험해 아래와 같은 그래프를 얻었다. 그림에서 오른쪽 니볼스터 하중의 붉은색이 열쇠뭉치에 충격한 경우로, 약 20%의 하중상승을 확인 할 수 있다.

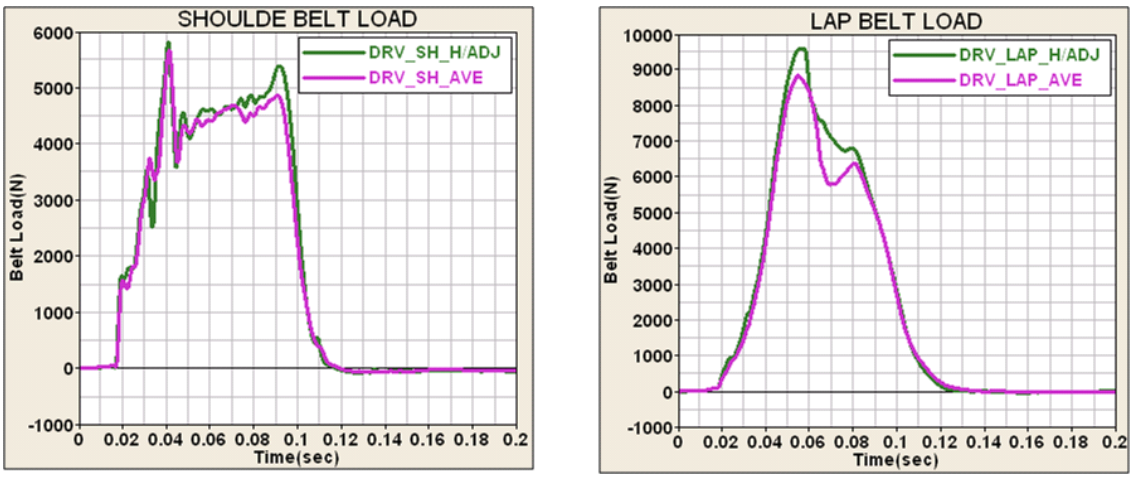
USNCAP의 벨트착용 시험을 통해 다음의 벨트특성을 획득하였다. 그림에서 파란색은 운전석 벨트를 붉은색은 조수석 벨트 하중을 의미하며 녹색은 이들의 평균값이다.



(a) 어깨벨트 하중 (b)엉덩이벨트 하중

<그림 3-4-70> 벨트 하중 선도1

또한, 하이트 어드저스터(height adjuster)를 상단에 위치시킨 후 동일한 USNCAP 벨트하중 시험을 수행해 아래의 선도를 얻었다. 상단으로 위치시킬 경우 어깨 및 엉덩이 벨트 하중이 미소 상승하는 효과를 관찰할 수 있다.



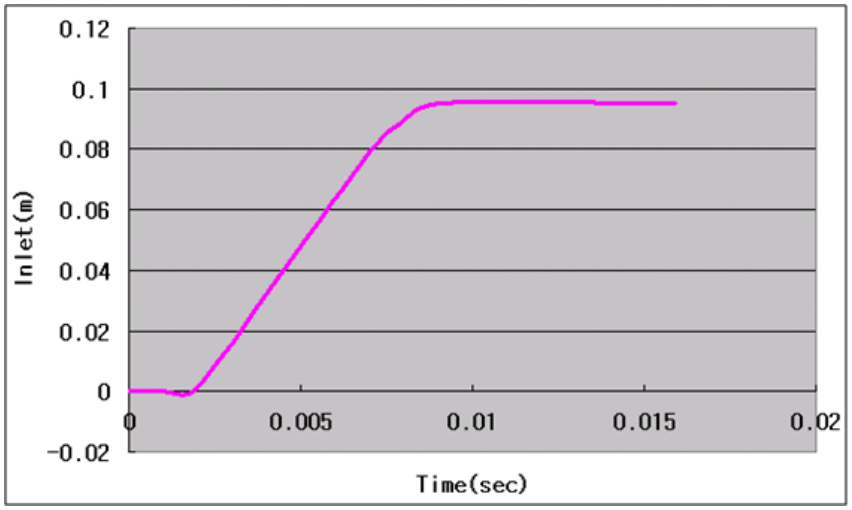
(a) 어깨벨트 하중 (b)엉덩이벨트 하중

<그림 3-4-71> 벨트 하중 선도2

상기의 USNCAP시험 중 벨트 거동을 그림 3-4-72와 같이 동영상 촬영을 수행하여 피리텐셔너의 초기 권입량을 구하였다. 이들 평균값은 그림 3-4-73과 같다.



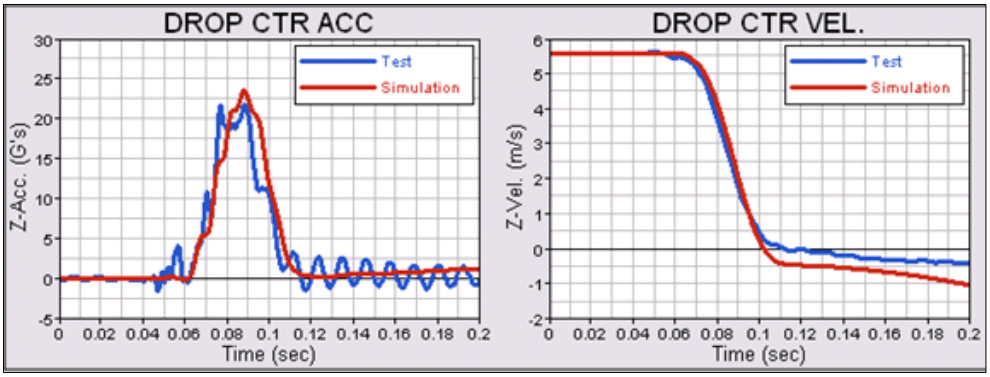
<그림 3-4-72> 프리텐셔너 권입량 측정



<그림 3-4-73> 프리텐셔너 권입량 특성

상기의 단품시험을 포함하여 드롭타워 시험결과를 통해 해석모델의 정도를 향상

시켰다. 우선 에어백 단품의 정도를 향상시키기 위해 전산환경에서 동일하게 드롭타워 해석을 수행하여 다음의 결과를 얻었다. 그림에서 붉은색이 단품해석결과로 실제 시험결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

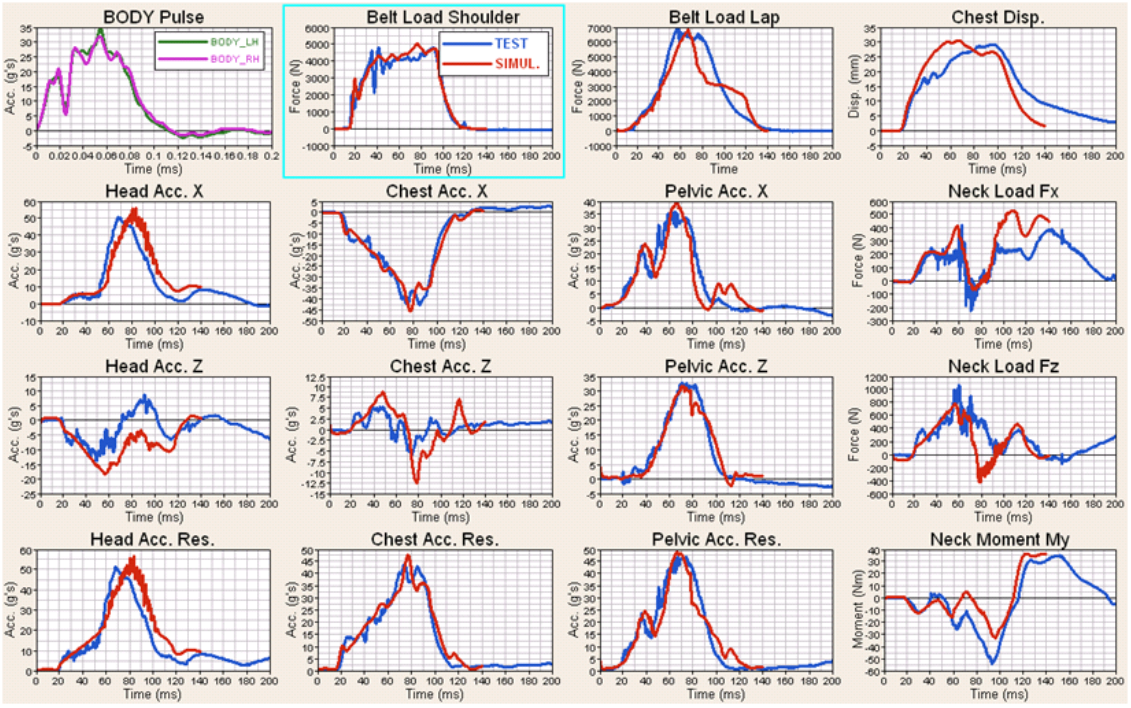


<그림 3-4-74> 드롭타워 해석결과

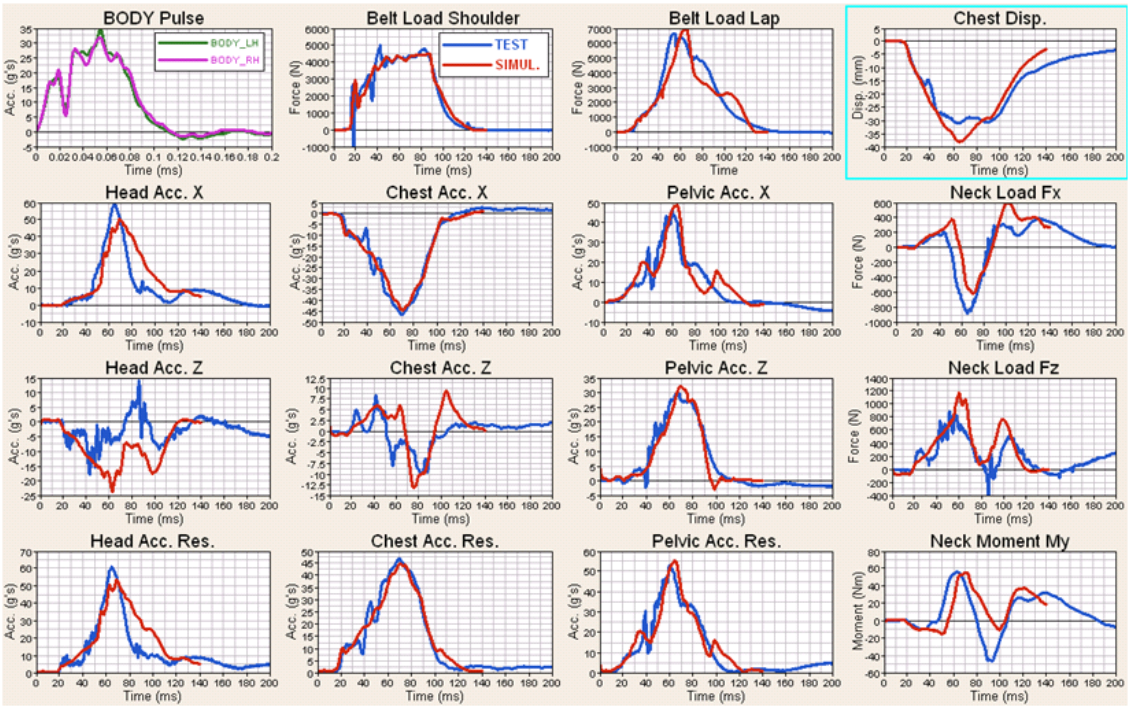
상기의 단품해석모델을 이용하여 주요 충돌모드에 대한 해석모델의 정도를 향상시켰다. USNCAP 충돌모드 결과를 그림 3-4-75 및 3-4-76에 보였다. 덧붙여 25MPH의 5% 및 50% 조건에서의 시험 및 해석결과를 그림 3-4-77에서 3-4-80에 보였다. 이들 해석결과의 정도향상의 정도는 상해성분의 크기 및 발생시점을 비교하여 구한 상해지수에 근거해 아래의 표 3-4-9와 같이 평가되었다. 표 3-4-9에서 1차는 과년도 해석모델의 평가지수를 2차는 본 해석모델의 평가지수를 의미한다.

<표 3-4-9> 해석모델 평가지수 비교

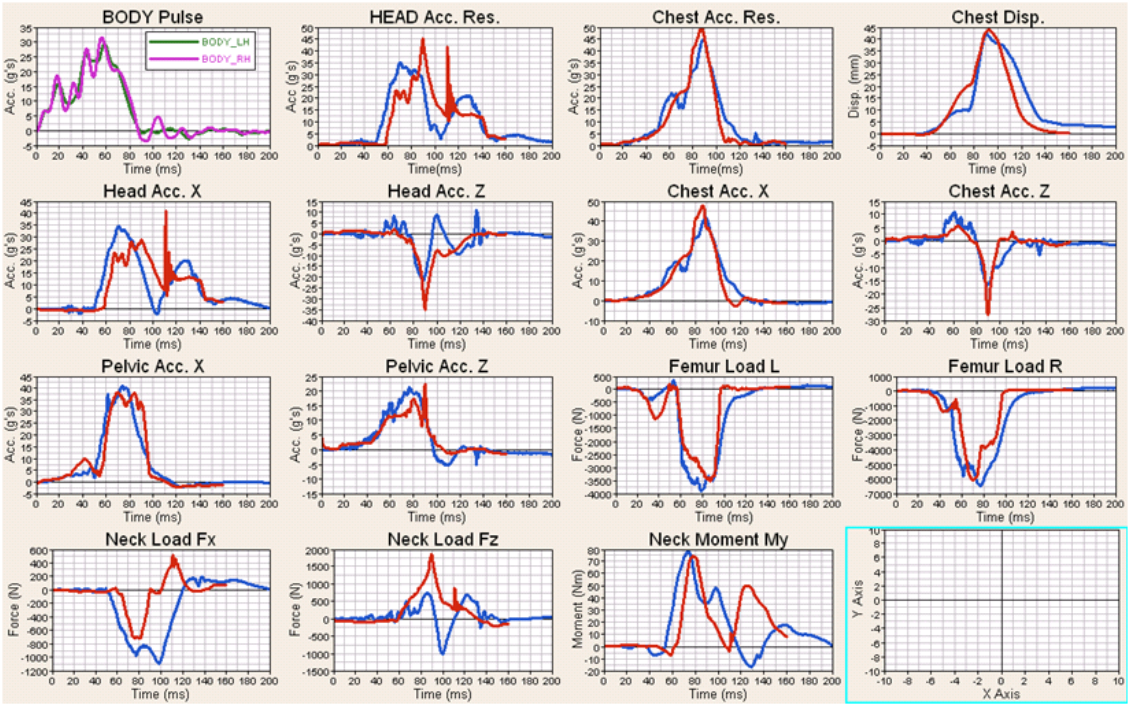
충돌 모드	운전석		조수석	
	1차	2차	1차	2차
USNCAP	81.81	84.50	79.53	83.07
25MPH 50%	77.77	78.99	84.96	87.88
25MPH 5%	75.29	81.27	86.15	87.04



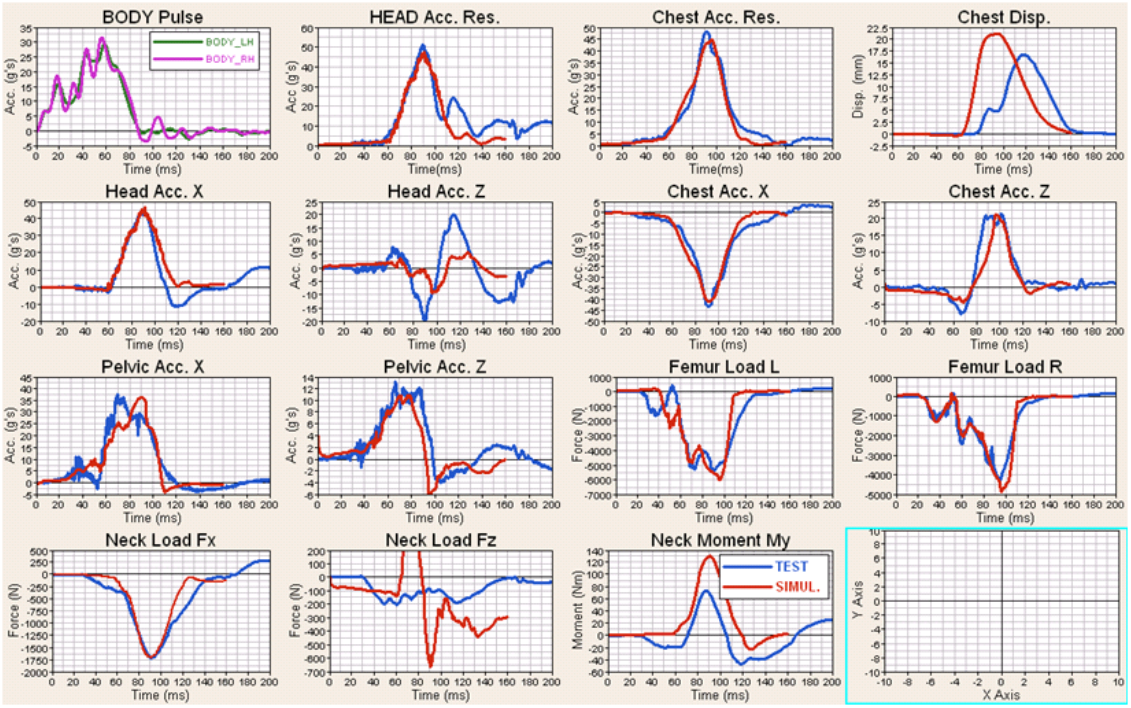
<그림 3-4-75> USNCAP-운전석 상해 비교



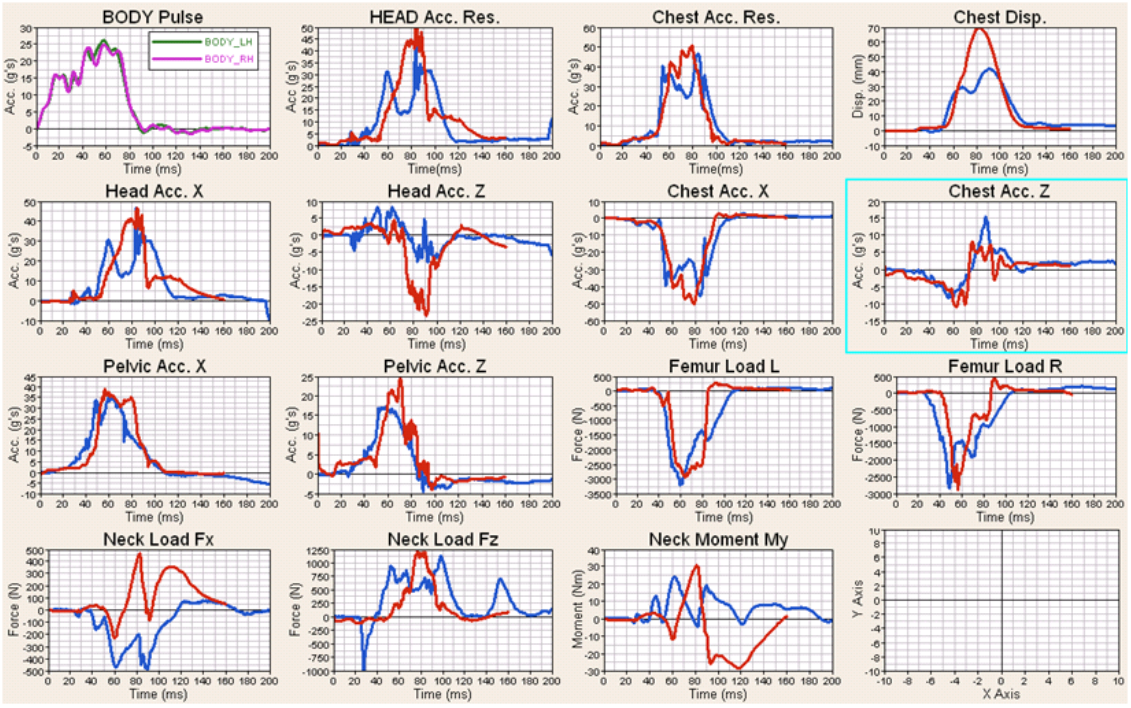
<그림 3-4-76> USNCAP-조수석 상해 비교



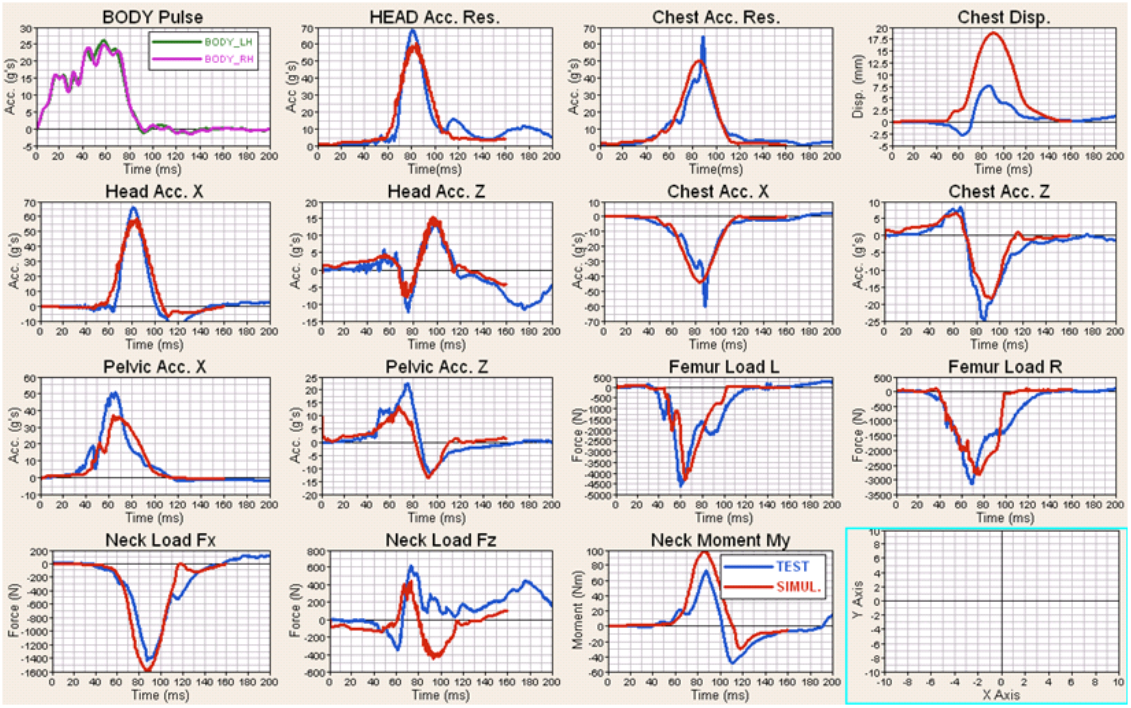
<그림 3-4-77> 25MPH 50%-운전석 상해 비교



<그림 3-4-78> 25MPH 50%-조수석 상해 비교



<그림 3-4-79> 25MPH 5%-운전석 상해 비교



<그림 3-4-80> 25MPH 5%-조수석 상해 비교

9. 정면 에어백 센싱 해석용 기본 모델 구성

가. 목적 - 정면 에어백 센싱 해석 정도 향상을 위한 기법 확립

나. 내용

(1) 대상 차종 : 중형 SUV (북미/3.8가솔린/4WD)

(2) 모델 구성 범위

- 기존 해석 모델을 대상으로 Front End ~ Dash / A-PLR 까지 양산 사양으로 리모델링

(3) 모델 구성 주요 내용

(가) fine mesh (6mm)

(나) 해석 정도 향상에 관련된 각종 parameter 및 option 사용

(shell formulation / 적분점 개수 / contact 두께 등)

(다) 추가 신규 재질 사용 등

다. 결론 및 고찰

(1) 시험/기존 모델 대비 가속도 선도 유형 유사하나 전체 수준 높음

(2) 기존 모델 대비 차체 전단부 변형 모드에 차이 있음

→ 차체 전단부 충돌 해석 및 유동 질량 분석을 통해 correlation 예정

라. 응용 연구 분야

(1) 차체 전단부 충돌 시험/해석 간 correlation을 통한 차량 변형 거동 차이 영향 인자 연구

(2) 중량 배분 및 유동 질량 영향 연구

(3) 정면 옵셋 / 경사 / 센터폴 충돌 시 가속도 차이 영향 인자 연구

(차량과 barrier / 폴 사이의 마찰 및 차량 중량 배분 영향도 등)

마. 기본 모델 구성 상세

(1) 주요 모델링 내용

(가) 베이스 모델 : 기존 시작차 사양의 정면 충돌 해석 모델

(나) 리모델링 범위 : 범퍼로부터 dash compl. 및 A-PLR 까지의 차체 전체 및 샤시 부품 일부

(다) 모델 사양 : 양산 북미 3.8 가솔린 4WD

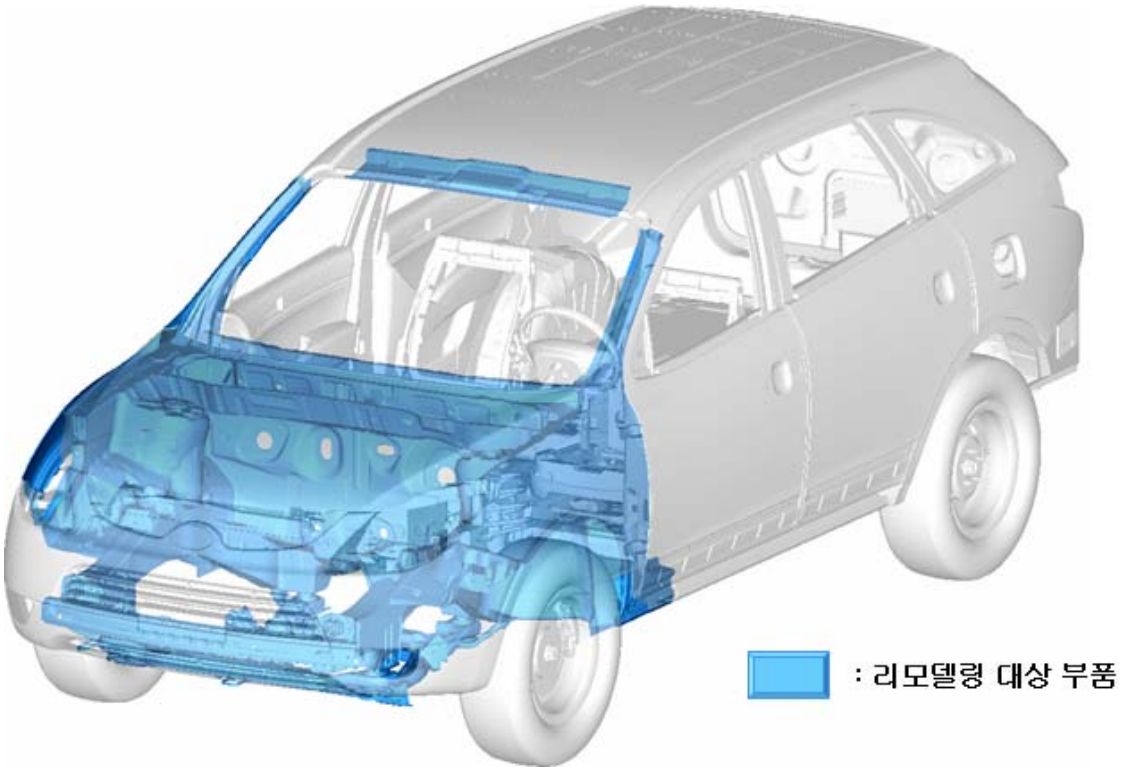


그림 3-4-81. 기본 모델 리모델링 대상 범위

(라) 주요 내용

① 기본 mesh size는 6mm (최소 3~4mm)로 하였음

→ 점용접 너겟 사이즈 및 mesh convergence 고려

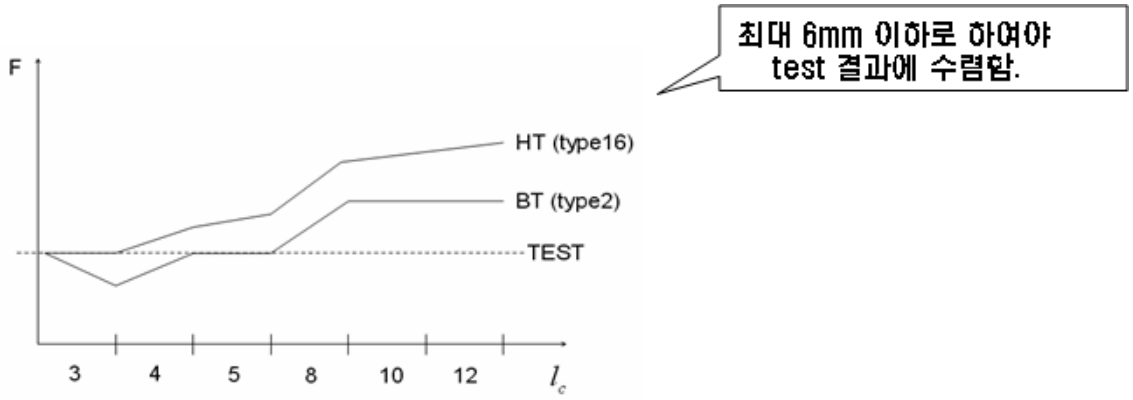


그림 3-4-82 mesh size에 따른 box beam 압괴 강도 비교

② 기준 사양에 따라 형상 / 재질 / 두께 및 용접 위치 결정

③ 엔진룸 차체에 대해 각종 hole 및 bolt / nut 류 모델링

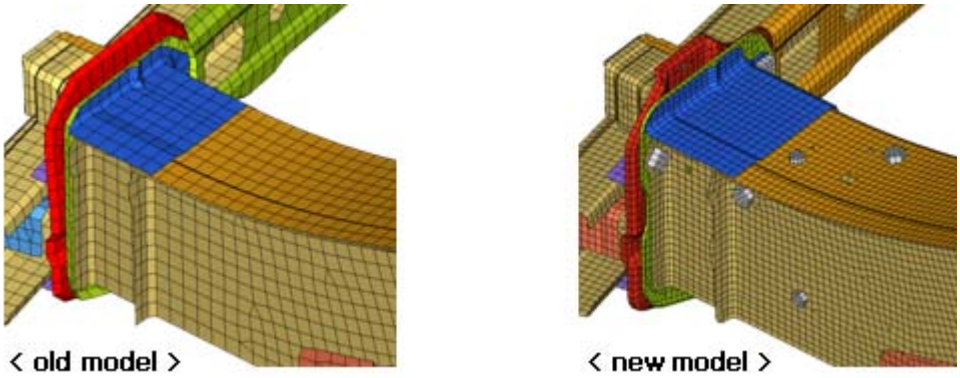


그림 3-4-83 차체 전단부 모델링 상태 비교

④ 점용접은 1 beam element와 *CONTACT_SPOTWELD 조합으로 표현

→ 향후 1 solid element로 변경 검토 예정

⑤ MIG 용접은 1 beam element 혹은 rigid link 로 표현

→ 향후 1 beam element / rigid link / tied contact 에 대한 검토 후 확정 예정

⑥ shell formulation은 type 16 (very fast full integration) 사용

→ type 16은 type 2 (BT shell)에 비하여 정확하고

type 6 (HT shell)에 비하여 약 2배 정도 해석 시간이 빠르다

warping stiffness 고려하려면 hourglass type 8 사용해야 함

⑦ shell의 두께 방향 적분점은 5개 사용

⑧ 부품 간 intersection 완전 제거

⑨ 차량 contact thickness를 부품 두께의 90% 정도로 하여 air-gap 줄임

→ 기존 모델은 부품 두께의 50% 정도로 되어 있어 변형 모드 및 가속도 신호 전달에 영향을 줄 수 있음

바. 해석 결과 비교 분석

(1) 해석 조건 - 저속 정면 충돌

(2) 해석 결과

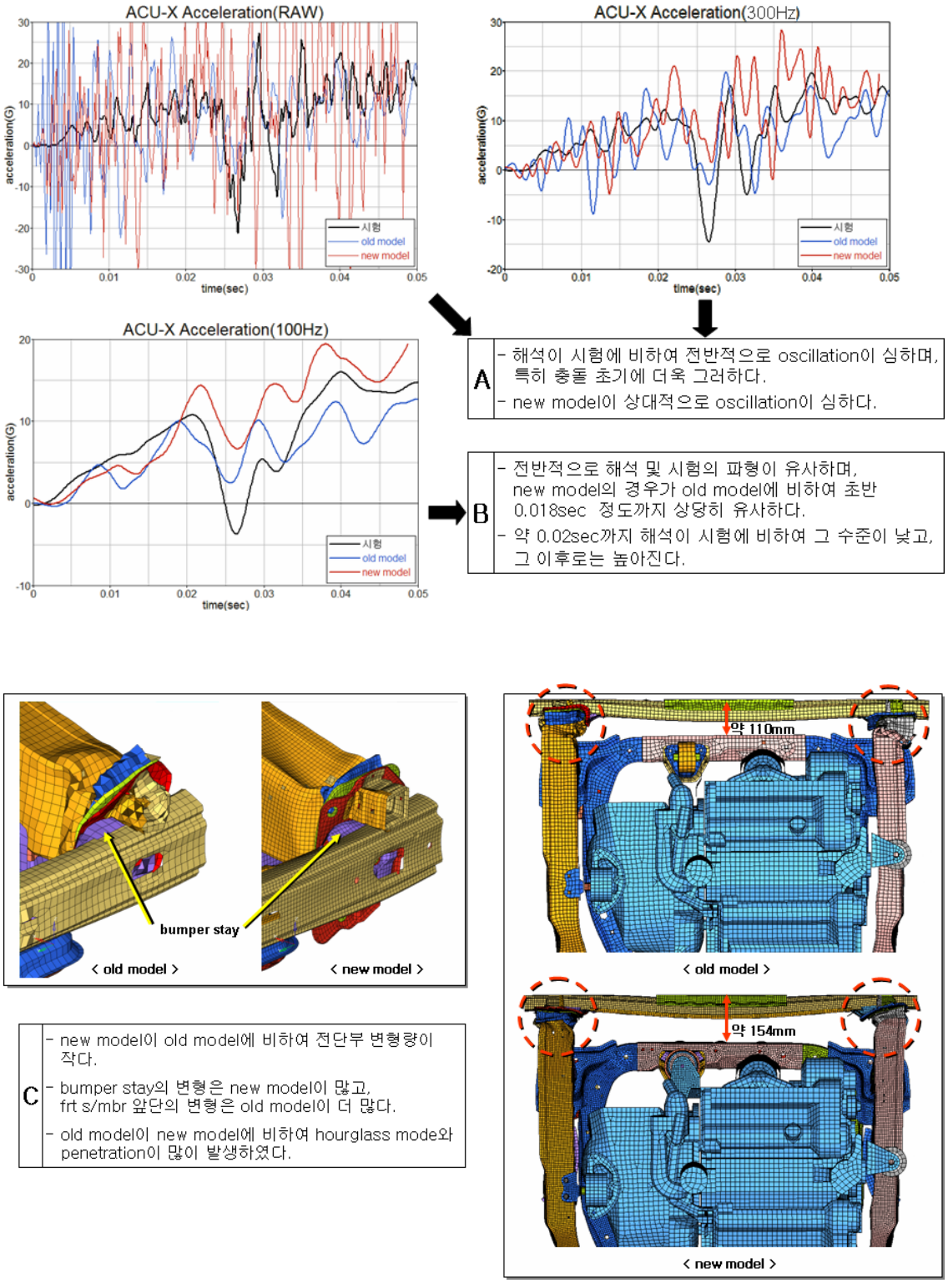


그림 3-4-84 0.05sec에서의 차체 전단부 변형 양상

(3) 결과 분석

A	① 해석이 시험에 비하여 전반적으로 oscillation이 심하며, 특히 충돌 초기에 더욱 그러하다. ② new model이 old model에 비하여 oscillation이 심하다.

① raw data의 고주파 성분은 주로 explicit code의 특성으로 나타나는 현상으로 filtering시 대부분 제거된다.

에어백 센싱에서 중요한 300Hz 이하 성분만 filtering한 신호에서의 oscillation은 차량 모델의 mesh quality (orthogonality) 상태에 따른 신호 중첩에 의한 증폭, 혹은 해석 중의 penetration, ACU 전후의 중량 배분 차이 등으로 발생된 탄성파 성분이 대부분이다. 이에 대해서는 현실적으로 접근 가능한 penetration이나 중량 배분 등에 대한 문제 해결에 중점을 두어 업무 진행 예정이다.

충돌 초반의 oscillation은 일반적으로 initial penetraition이 주원인이나, 본 모델에서는 initial intersection을 완전히 제거하였고 해석 시 initial penetration remove 옵션을 사용하였으므로 다른 원인이 의심된다. 현재까지 분석된 결과로는 joint부 모델링 오류가 주 원인으로 파악되며 이에 대해 우선적인 개선이 이루어질 예정이다.

※ joint 부의 모델링 오류

- universal / translational / cylindrical joint 등과 같이 joint를 정의하는데 필요한 node들 간의 방향성이 중요한 경우, pre-processor에서 모델을 import/export하거나 모델상에서 translation/rotation의 작업이 이루어지는 동안 소수점 이하의 값들의 변동으로 방향성이 깨져서 불안전한 거동을 가져올 수 있다.

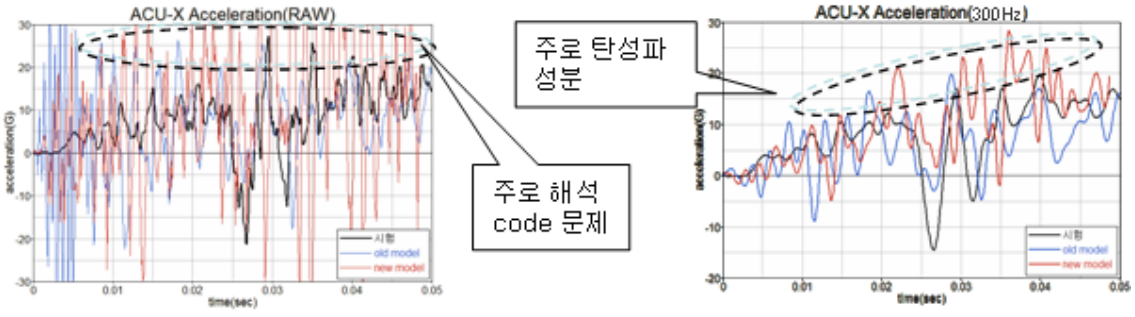
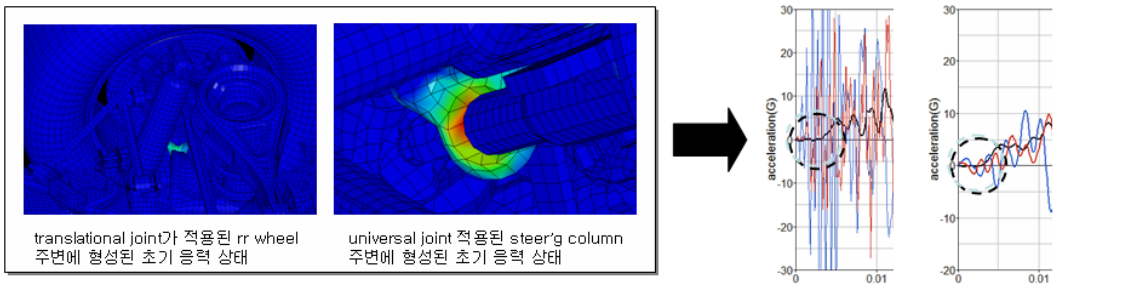


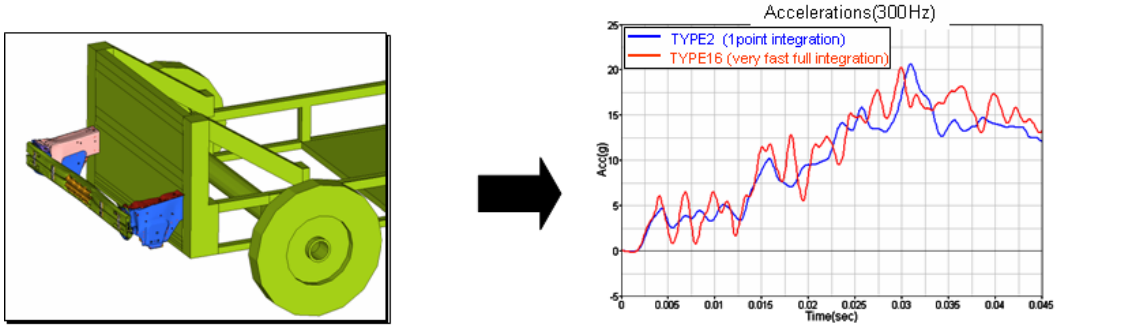
그림 3-4-85 ACU 가속도 신호에서의 고주파 성분 비교



< 특정 JOINT 사용 부근에서의 응력 분포 >　　< 충돌 초반 ACU 가속도 oscillation >

그림 3-4-86 충돌 초반 ACU 가속도 oscillation

② 차체 전단부 충돌 해석 결과, shell formulation을 type 16(very fast full integration)으로 사용한 경우에 type 2(1 point integration)에 비해 고주파 성분의 oscillation이 심한 것으로 확인되었다. 이에 대해서는 별도의 검토가 필요할 것으로 판단된다.



< 차체 전단부 충돌 해석 >　　< 충돌 해석 결과 신호 비교 (TYPE2 vs. TYPE16) >

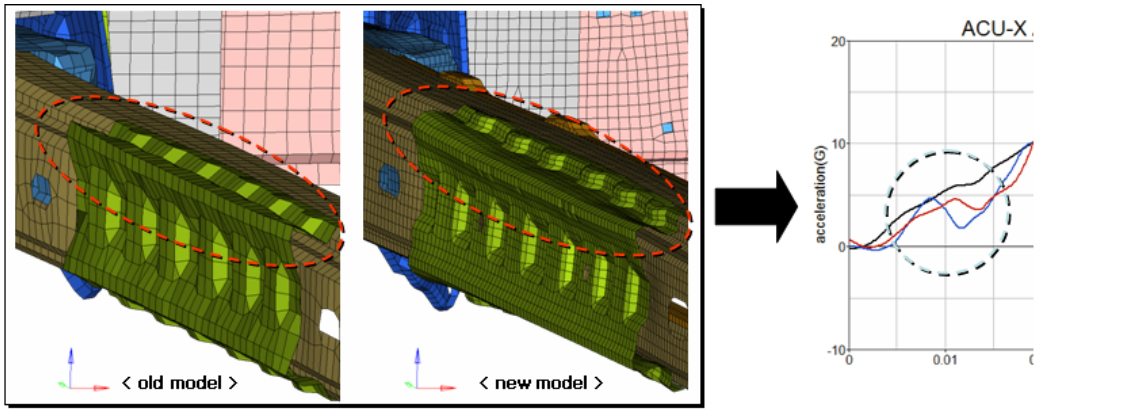
그림 3-4-87 충돌 해석 결과 신호 비교 (type2 vs type16)

B	① 전반적으로 해석 및 시험의 파형이 유사하며, new model의 경우가 old model에 비하여 초반 0.018sec 정도까지 상당히 유사하다. ② 약 0.02sec까지 해석이 시험에 비하여 그 수준이 낮으며, 그 이후로는 높아진다.

① 충돌속도가 저속으로 주로 bumper 및 frt s/mbr 등 전단부에 변형이 집중되어 고속에 비하여 상대적으로 변형이 국부적이고 충돌 중 주변 부품 간의 간섭이 거의 없기 때문인 것으로 판단됨.

new model이 old model에 비하여 TEST 초반 신호와 그 유형이 비슷한 것은 fine mesh(10mm → 6mm)로 인하여 더욱 정밀하고 매끄러운 변형 거동 표현이 가능해

진 것으로 판단된다.



<충돌 초반의 차체 전단부 변형 양상 비교 >　　<충돌 초반의 ACU 가속도 비교 >

그림 3-4-88 충돌 초반의 ACU 가속도 비교

② 해석이 시험에 비해 초기 가속도 수준이 낮은 이유로 추정되는 것은,

- 현재 해석 모델은 해석 안정성을 이유로 bumper foam이 제거된 상태임.
- 차체 전단부 부품들에 대한 성형효과 미 고려.

→ 차체 전단부는 strain 증가에 따른 stress의 증가가 급격한 재질(SPFC계열의 고장력강)이 주를 이루고 있어 성형 후 강도 증가 효과가 크기 때문에 해석 시 이러한 강도 급등 효과(성형효과)를 고려하지 않으면 차량 전단부가 약하게 평가될 가능성이 상당히 높다.

- 모델링 시 누락된 부품들의 중량을 고정 질량 부품(차체 등)으로 과도하게 배분. (F=m·a 에서 m(질량)이 증가하여 a(가속도)가 낮아짐)

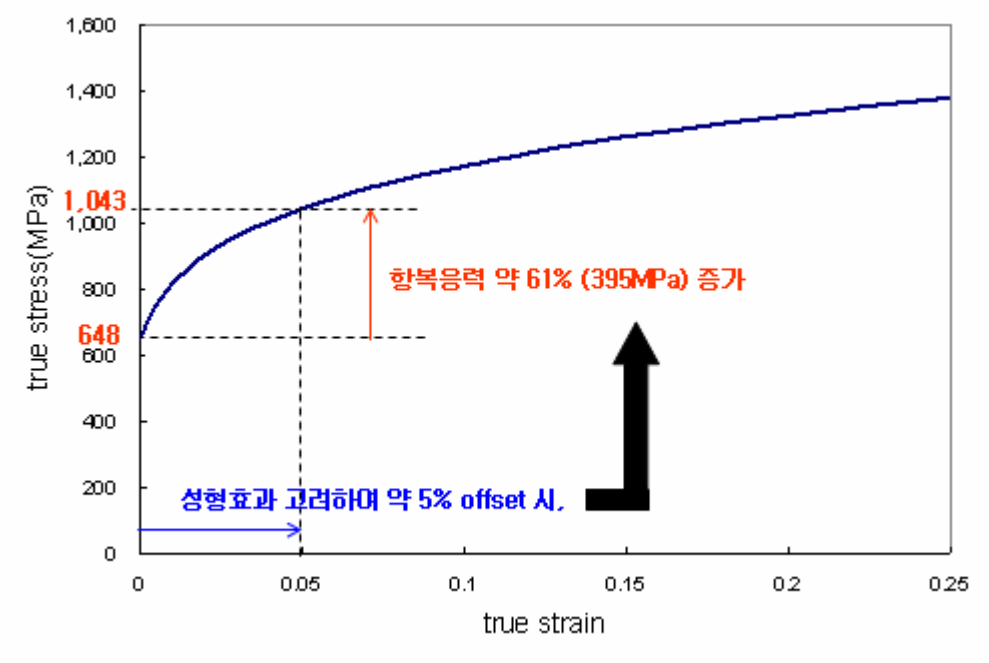


그림 3-4-89 SPFC590 재질의 성형 효과

0.02sec 이후로 기존 모델 및 시험에 비해 가속도 수준이 높은 주된 원인은, 약 0.02sec 부근부터 보이는 급작스런 가속도의 감소(유동 질량 작용으로 인한 것으로 판단됨)량이 해석의 경우가 시험에 비해 작기 때문인 것으로 판단된다.

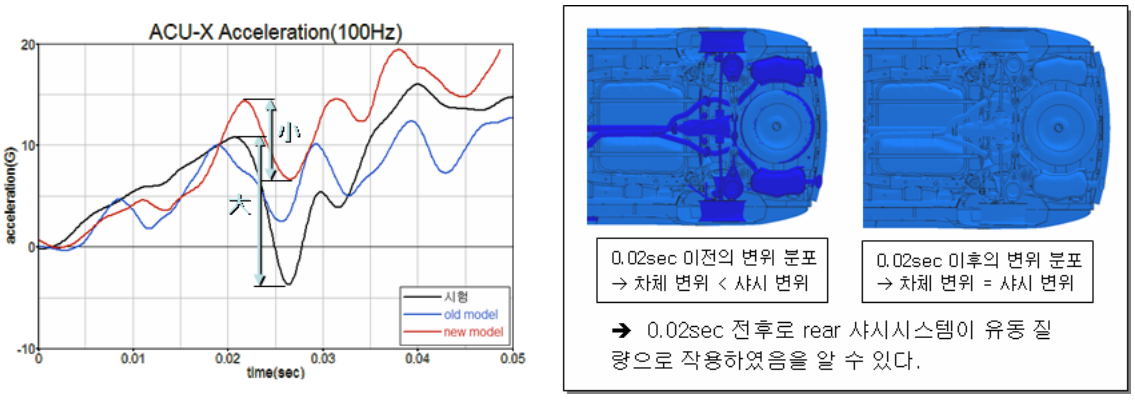


그림 3-4-90 차량 충돌 시 유동 질량의 영향

C	① new model이 old model에 비하여 차체 전단부 변형량이 작다. ② bumper stay의 변형은 new model이 많고, frt s/mbr 앞단의 변형은 old model이 더 많다. ③ old model이 new model에 비하여 hourglass mode와 penetration이 많이 발생하였다.

- new model이 old model에 비하여 모델의 강도를 높이는 옵션을 사용.

※ 강도를 높이는 옵션 : 두께 방향 적분점 5개 사용, full integration shell formulation 사용 등…

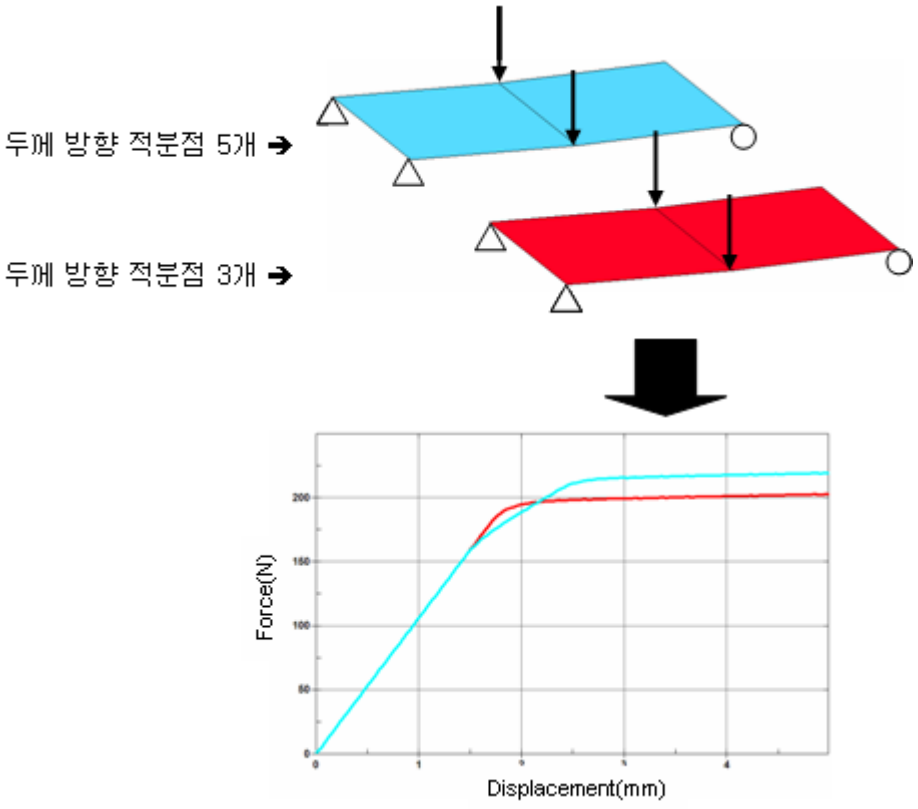
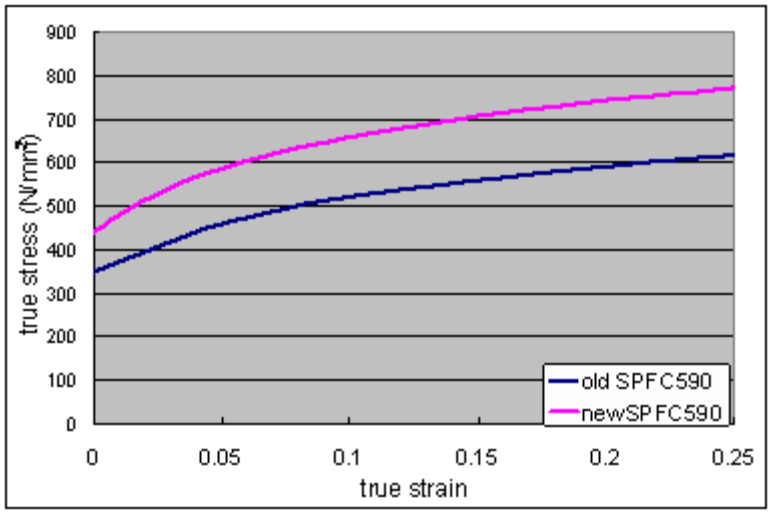


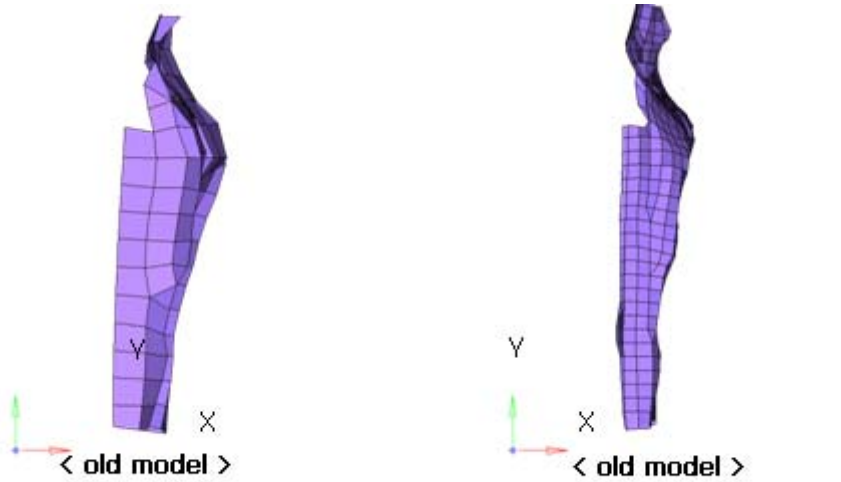
그림 3-4-91 두께 방향 적분 개수 차이에 따른 강도 비교

- bumper rail system 부품들에 주로 사용된 SPFC590 재질의 강도 차이



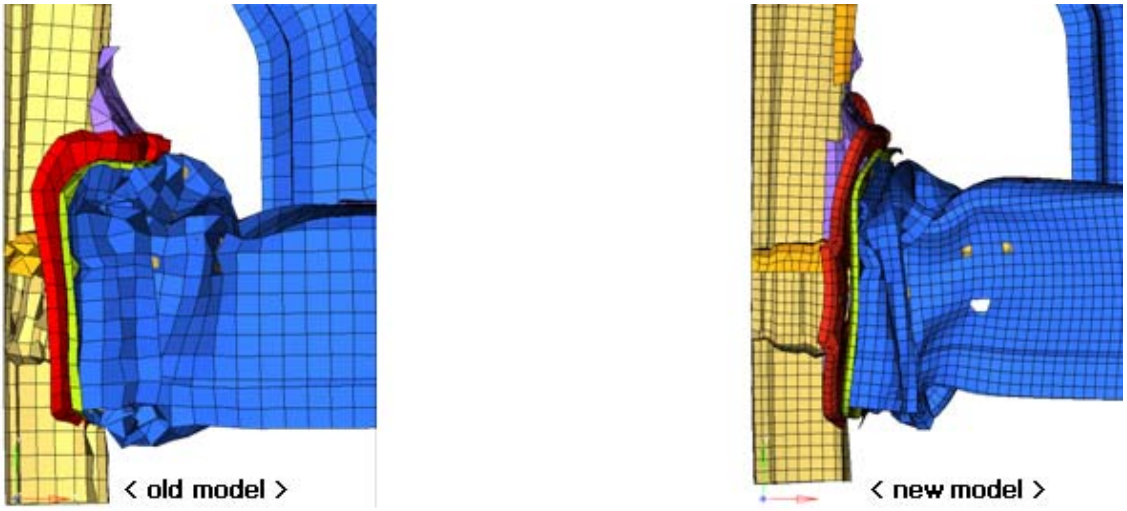
< 사용된 SPFC590 재질 특성 비교>

- mesh size 차이



< mesh size 차이에 따른 bumper stay 변형 비교 >

- old model의 경우 hourglass 및 penetration이 상대적으로 많이 발생



< hourglass 및 penetration 발생 정도 비교 >

사. 응용 연구 분야

(1) BASE 모델 추가 보수.

(가) 오류 인자 제거 : joint부 리모델링으로 충돌 초반 고주파 oscillation 제거.
bumper foam 변형 거동 안정화.

(나) 누락 부품 모델링 : 램프류 및 그 밖의 엔진룸 전방 누락 부품 추가 모델링.

(다) 그 외 bumper facia, FEM carrier 등 양산 사양으로 리모델링.

(2) 차체 전단부 충돌 시험/해석 간 correlation을 통한 차량 변형 거동 차이 영향 인자 연구

(가) 차체 전단부 대차 충돌시험 및 NF 차체 전단부 낙하 충돌시험 결과 이용하여 차체 변형 거동 correlation.

(문제점 : 시험은 대차 motion 표현에 문제가 있음. 중형 차종 시험은 일부 용접부위 파단이 발생. → 영향 인자의 cross check를 통해 상호 보완

(나) 대상 영향 인자 : material data / 접합부 모델링 / friction / 성형효과 / shell formulation 등…

(다) 중형 SUV full car base 모델에 적용하여 검증.

(3) rigid wall force의 차량 변형 거동 분석 활용성 검토

(가) 차량 변형 거동 분석 도구로서의 rigid wall force의 활용 가능성 검토.

(ACU 가속도 선도는 유동 질량의 영향과 일부 탄성파의 포함으로 peak 시점의 불일치, 신호의 산/골 수준의 과장 및 정체 불명의 peak 포함 가능성의 문제 있음)

(나) 해석 및 시험 결과의 rigid wall force 선도 / ACU 가속도 선도 / 변형 거동 동영상 비교 분석.

(4) 중량 배분 및 유동 질량 영향 연구

(가) ACU 전후의 중량 배분 차이에 의한 ACU 가속도 신호 변화 분석.

(나) 유동 질량으로 작용할 수 있는 system 선정 및 해당 system 모델링(실제 중량 보정).

(다) 각종 bush류에 대한 해석 material card 작성.

(5) 개발된 정면 충돌 해석 모델에 대한 속도 별 검증

(가) 모델 개발 시 기준 속도 14/22mph 이외의 다양한 속도에 대해 시험결과와의 비교를 통한 검증.

(나) 차이 발생 시 차이 발생 원인 분석 및 적용

(6) 정면 OFFSET / OBLIQUE / POLE 충돌 시 가속도 차이 영향 인자 연구

(가) 상기의 업무 진행 결과로 correlation된 차량 모델을 대상으로 수행.

(나) offset barrier / 경사 rigid barrier / pole과 차량 사이의 마찰 영향 연구.

(다) 차량의 중량 배분(COG 위치 변경)의 정면 OFFSET / OBLIQUE 충돌 성능 영향도 검토.

(라) 다양한 충돌 속도에 대한 해석 모델 검증

(7) 해석 결과의 센싱 알고리듬 적용을 통한 유용성 검증

(가) 해석결과(ACU 및 FIS 가속도/속도 등) data로부터 개발 센싱 알고리듬 적용을 통해 calibration report를 만들고 기존 차량의 calibration report와 서로 비교하여 개발 해석 모델의 적용 가능성 검토.

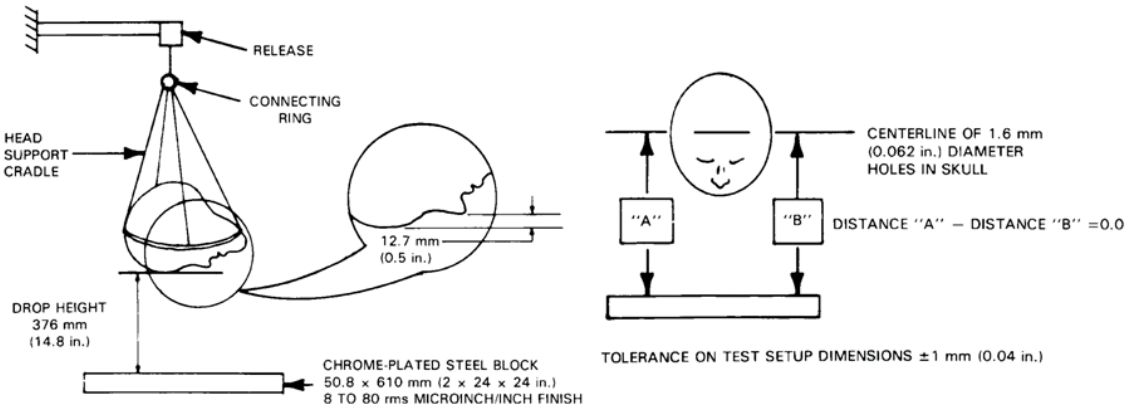
(8) 재질 및 접합부 파단 기법 적용 연구

10. 산포를 고려한 승객해석

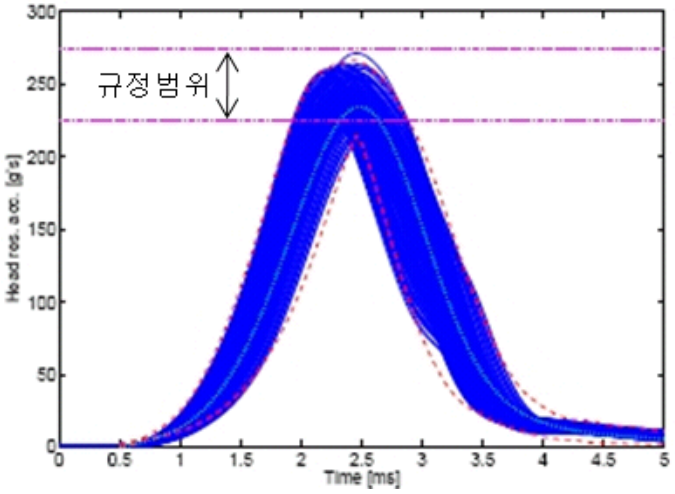
가. 더미 인증시험

더미의 산포를 고려한 승객해석을 위해서는 더미에 장착되어 있는 각 센서류의 보정인증시험에 대한 이해 및 허용 편차 범위를 이해할 필요가 있다. Hybrid III 더미의 인증시험 방법 및 이에 대한 성능요구사항을 정리하면 다음과 같다.

그림 3-4-92와 같이 4.54±0.05kg의 더미 머리를 376±1mm의 높이에서 자유낙하시켜 머리 정면이 철재 판이 충격되게 하여 그 응답값을 관찰한다. 이때 가속도의 합력성분은 그림 3-4-93과 같이 단일 주기의 파형을 보이면서 225~275g의 범위여야 하며 횡방향 가속도는 15g 미만이어야 한다.



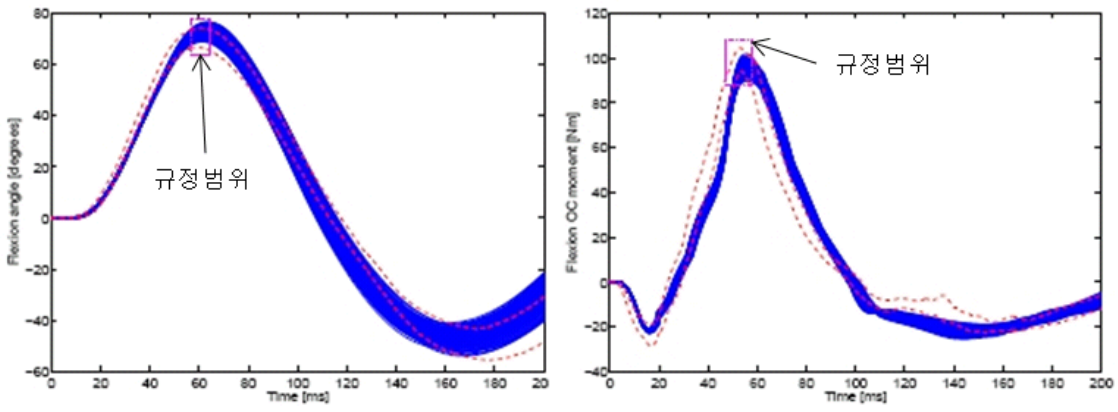
<그림 3-4-92> 머리부 시험방법



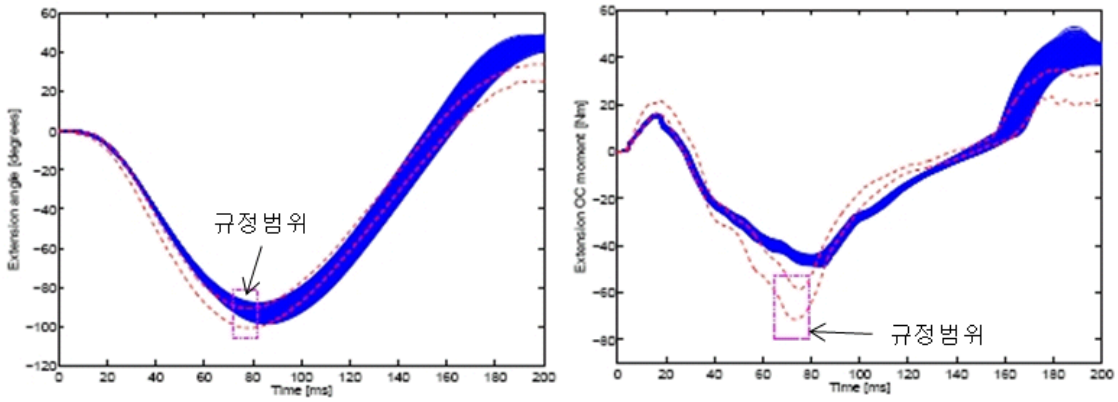
<그림 3-4-93> 머리부 가속도 규정범위

더미 목의 경우 앞굽힘(Flexion)과 뒤굽힘(Extension)에 대한 인증시험을 실시한다. 더미의 머리 및 목부분 조립체를 팬들럼에 장착한 후, 이를 자유낙하시켜 팬들럼의 스트라이커가 강체에 장착된 알루미늄 허니콤을 타격하고 이때의 응답을 측정하는 방법이다. 앞굽힘의 경우 6.89~7.13m/s의 속도로 충격하여야 하며 그림 3-4-94와 같이 최대 회전각은 64~78도 사이이고 충격 후 57~64ms에 최대회전각이 113~128ms사이에 그 회전각이 0이 되어야 한다. 또한, Y축 모멘트의 최대값은 -88.1~-108.4 Nm이고 그 시점은 47~58ms 이어야 하며 97~107ms에서 그 모멘트가 0이 되어야 한다. 뒤굽힘의 경우도 3-4-95와 같이 최대 회전각은 81~106도 사이이고 충격 후 72~82ms에 최대회전각이 147~174ms사이에 그 회전각이 0이 되어야 한다. 또한, Y축 모멘트의 최대값은 -52.9~-80.04 Nm이고 그 시점은 65~79ms 이어야 하며 120~148ms에서 그 모멘트가 0이 되어야 한다.

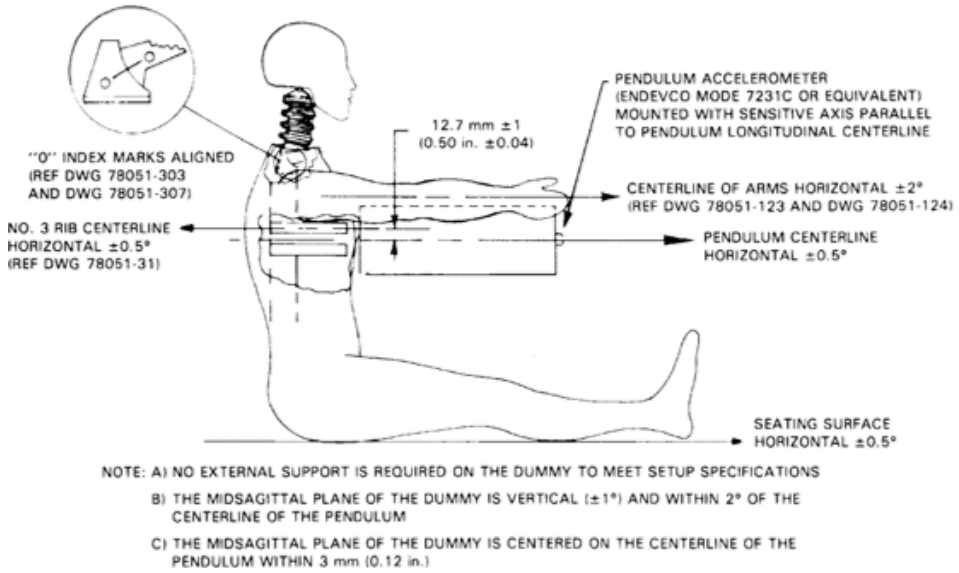
더미의 가슴부분 인증시험은 그림 3-4-96과 같이 옷을 착용한 상태에서 임팩터를 이용하여 3번 늑골의 수평 중심선 아래 12.7±1mm 위치를 타격하고 이때의 임팩터 질량은 23.36±0.02kg, 임팩터 타격면의 지름은 152.4±0.25mm, 그 타격속도는 6.71±0.12m/s이다 시험후 발생한 최대 가슴변형량은 그림 4-97에서와 같이 63.5~72.6mm 사이이고 최대 작용력은 5160~5894N사이가 되어야 하며 내부 히스테리시스 비율은 69~85% 사이가 되어야 한다.



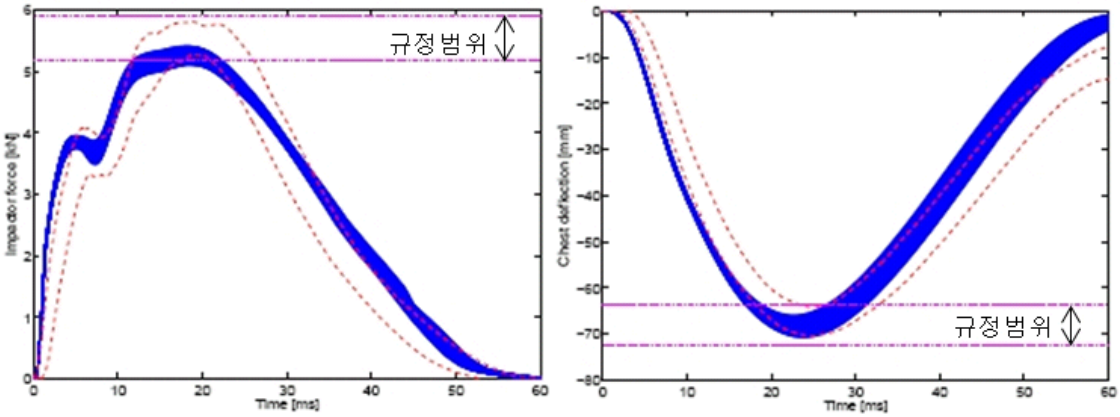
<그림 3-4-94> 목-앞굽힘 규정범위



<그림 3-4-95> 목-뒤굽힘 규정범위



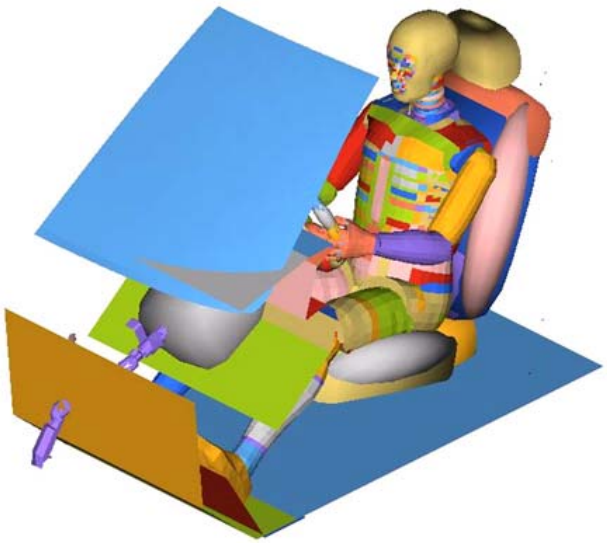
<그림 3-4-96> 더미 가슴시험



<그림 3-4-97> 가슴 변형 및 하중에 대한 규정범위

나. 산포를 고려한 승객해석

상기와 같이 Hybrid III 더미는 일정 규정 범위 내에 각 인증시험 결과값이 존재할 경우 실제 시험에서 사용가능하도록 정하고 있다. 따라서, 규정값 내에서 어느정도의 산포가 발생할 수 있으므로 이를 반영한 승객해석을 수행할 경우 보다 정확한 상해 예측이 가능할 수 있다. 본 과제에는 아래의 그림 3-4-98과 같은 확률적 승객더미(madymo stochastic dummy)를 이용하여 25MPH 벨트 미착용 조건에서의 승객 상해를 예측하였다. 본 더미를 사용한 통계적 산포를 고려한 해석은 아래의 그림 3-4-99의 절차를 따랐다.



<그림 3-4-98> 확률적 더미를 사용한 승객해석모델



<그림 3-4-99> 산포를 고려한 승객해석 절차

그림 3-4-99에서 사용할 입력변수는 다음의 표 3-4-10과 같고 몬테카를로 시뮬레이션으로 변수의 값을 정한 후 해석모델의 각 부분 응답함수의 스케일링계수(가중치)를 구한 후 이를 이용해 승객해석을 수행한다.

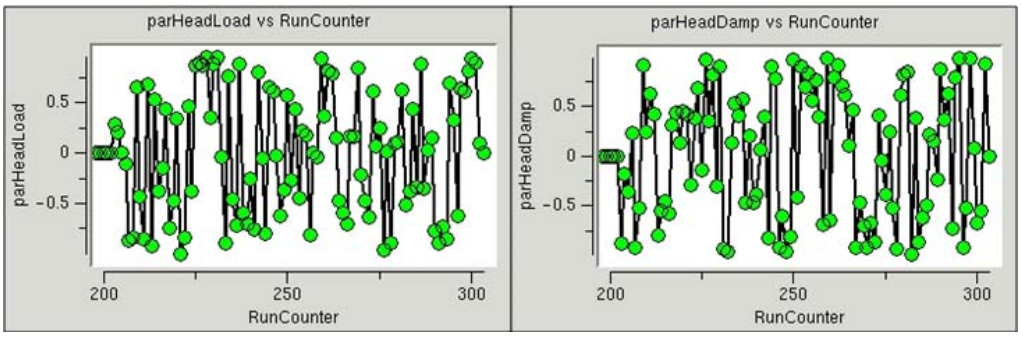
더미 부위	변수	스케일링 대상
머리	par_HeadLoad	Head contact loading functions
	par_HeadDamp	Head contact damping function
목	par_Neck01	Neck stiffness/damping functions
	par_Neck02	Neck stiffness/damping functions
	par_Neck03	Neck stiffness/damping functions
가슴	par_ThoraxStif	Rib stiffness
	par_ThoraxDamp	Rib damping
	par_ThoraxLoad	Jacket contact loading functions

<표 3-4-10> 산포해석의 변수

우선 표 3-4-10의 입력변수 중 머리 부분에 대한 변수를 다음의 표 3-4-11 및 그림 3-4-100과 같이 정의하여 -1.0에서 1.0의 범위에서 100개의 샘플을 추출하여 수행하였다.

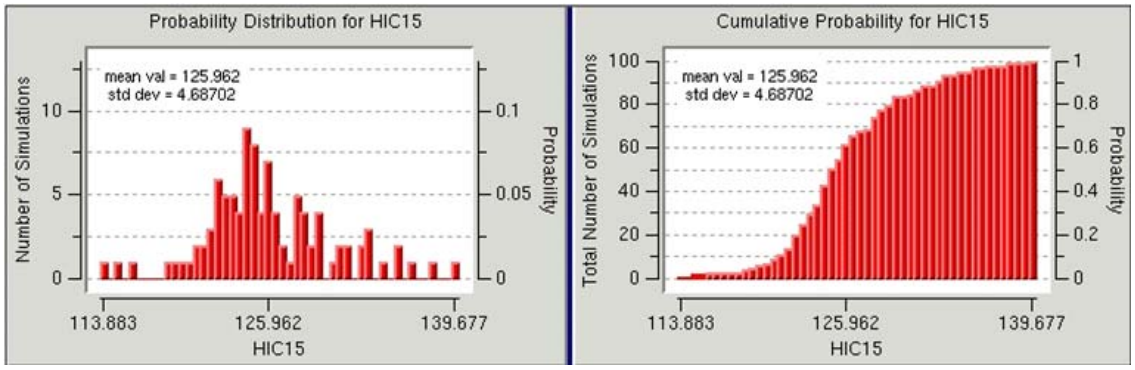
변수	평균	표준편차	확률밀도함수	스케일링 대상
par_HeadLoad	0	$1/\sqrt{3}$	균일분포	Head contact loading functions
par_HeadDamp	0	$1/\sqrt{3}$	균일분포	Head contact damping function

<표 3-4-11> 머리부분 입력변수의 통계적 분포

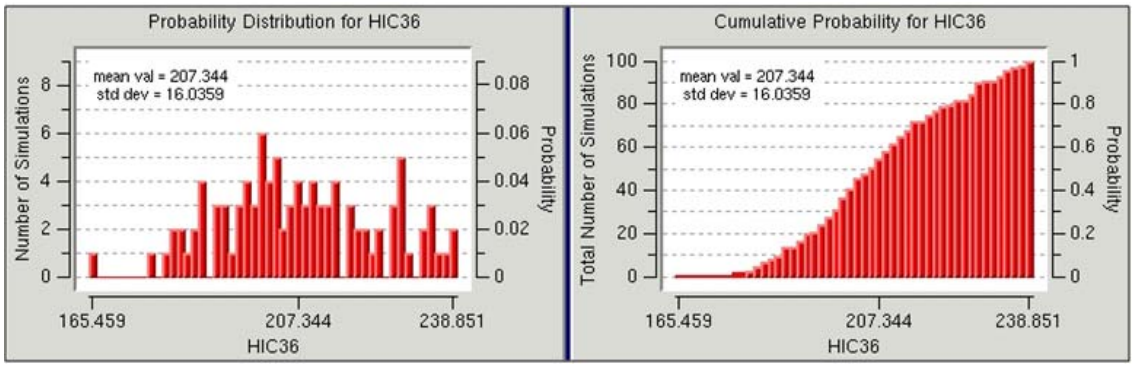


<그림 3-4-100> 머리부분 입력변수

100회의 승객해석을 수행하여 머리상해의 산포를 다음의 그림 3-4-101에 보였다. 그림 (a)에서 HIC15의 평균값은 126 표준편차는 4.7 수준이며 (b)에서 HIC36의 평균값은 207, 표준편차는 16.0 수준이었다. 이는 북미지역 법규하중에 각각 20% 및 24% 미만의 상해수준이다.



(a) HIC15의 분포



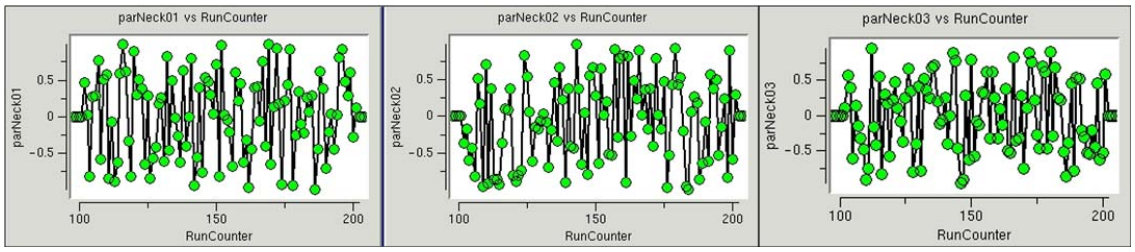
(b) HIC36의 분포

<그림 3-4-101> 머리 상해분포

다음은 머리부분의 산포를 고려하는 대신 목부분의 입력변수의 산포를 고려하여 승객해석을 수행하였다. 표 3-4-12 및 그림 3-4-102는 입력변수에 대한 설정값 및 그 분포이다.

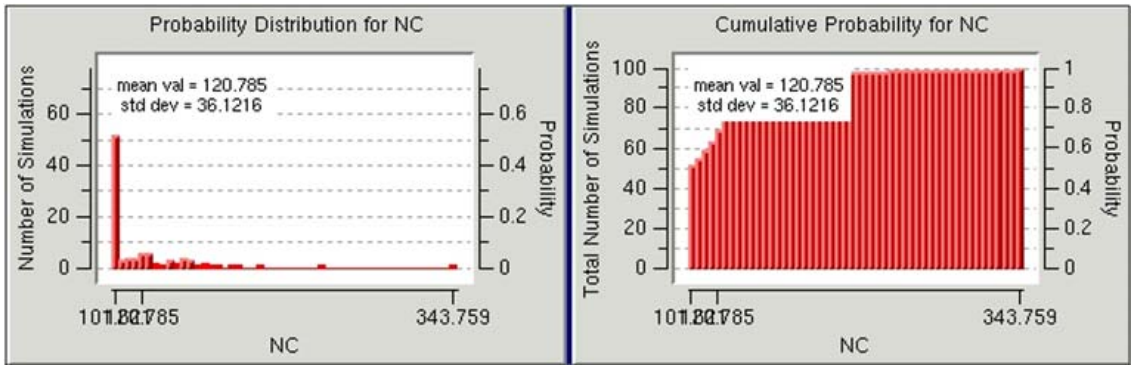
변수	평균	표준편차	확률밀도함수	스케일링 대상
par_Neck01	0	$1/\sqrt{3}$	균일분포	Neck stiffness/damping functions
par_Neck02	0	$1/\sqrt{3}$	균일분포	Neck stiffness/damping functions
par_Neck03	0	$1/\sqrt{3}$	균일분포	Neck stiffness/damping functions

<표 3-4-12> 목부분 입력변수의 통계적 분포

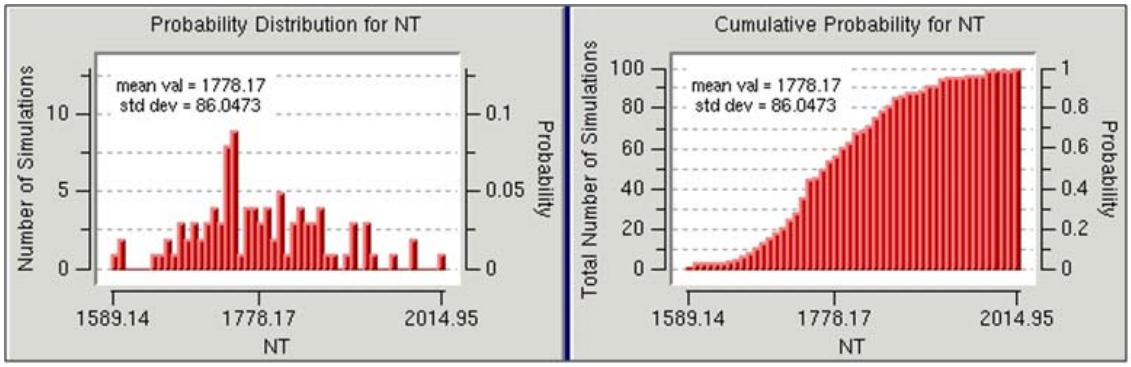


<그림 3-4-102> 목부분 입력변수

상기의 입력변수를 이용한 승객해석을 통해 목부분 상해의 통계적 분포를 아래의 그림 3-4-103 및 3-4-104에 보였다. 그림 3-4-103은 목의 압축 및 인장하중에 대한 분포로 압축력의 평균값은 120.8, 표준편차는 36.1 수준이고 인장하중의 평균값은 1778.2, 표준편차는 86.0수준이다. 최대치를 고려할 경우 북미 법규 수준의 9% 및 48% 수준의 상해수준이 예상되었다. 또한, 목 상해지수(Nij)는 인장-앞굽힘지수인 Ntf에서 가장 큰 값이 발생하여 그 평균값이 0.38, 표준편차가 0.01수준으로 법규 수준의 38% 수준이었다.

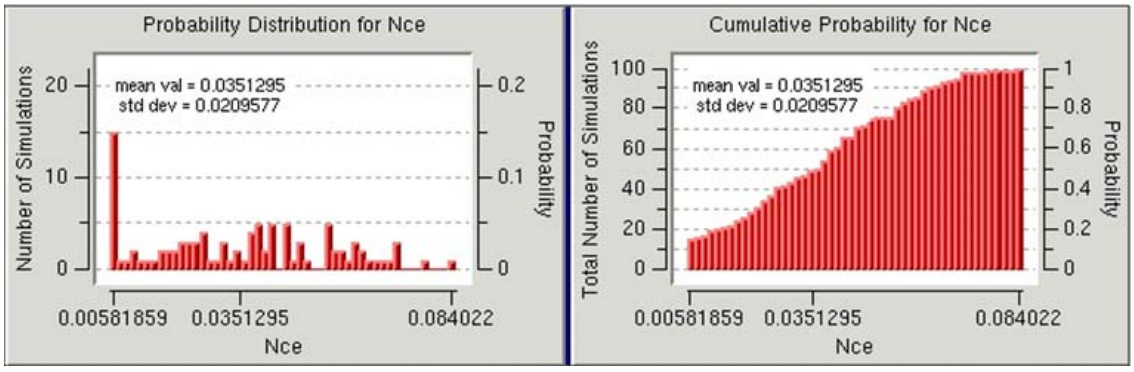


(a) 목 압축하중 분포

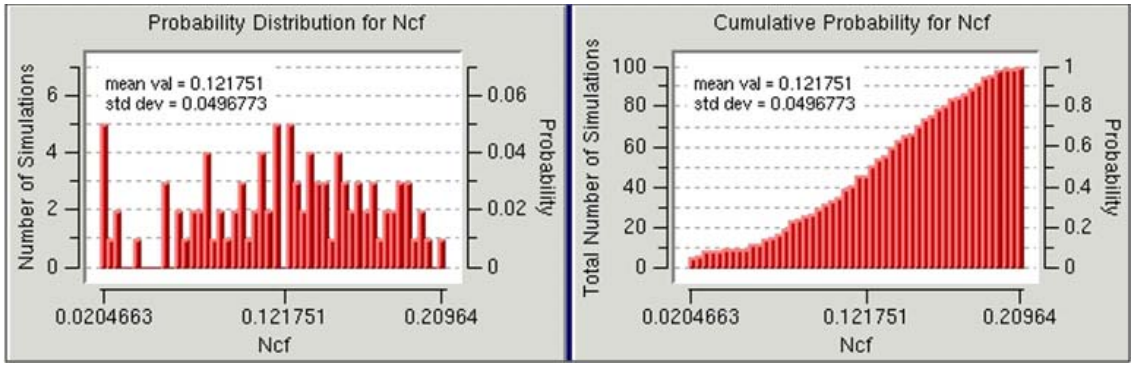


(b) 목 인장하중 분포

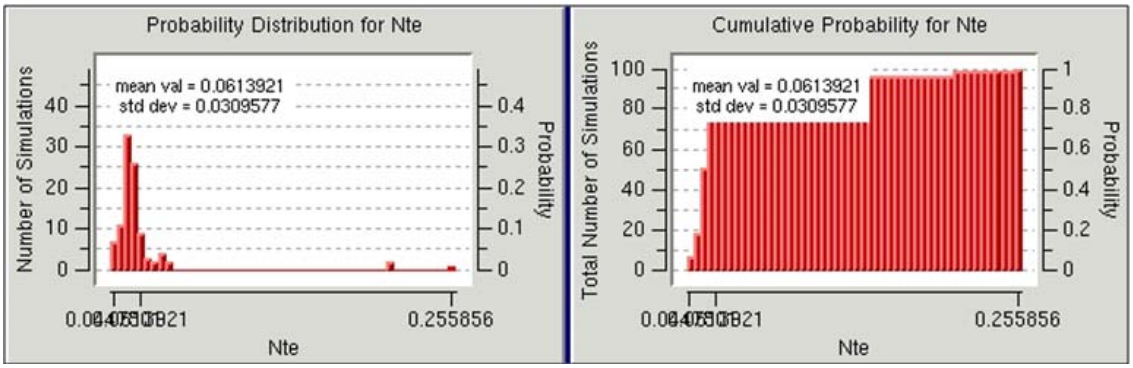
<그림 3-4-103> 목 하중의 분포



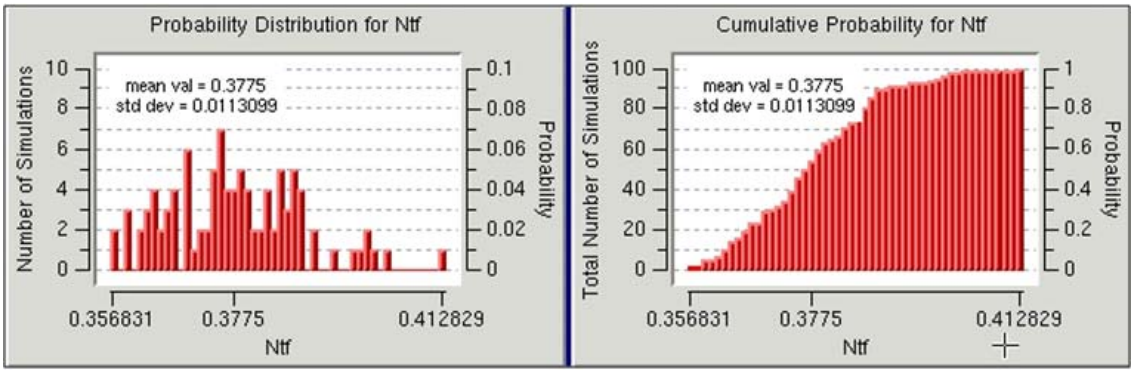
(a) 압축-뒤굽힘 지수



(b) 압축-앞굽힘 지수



(c) 인장-뒤굽힘 지수



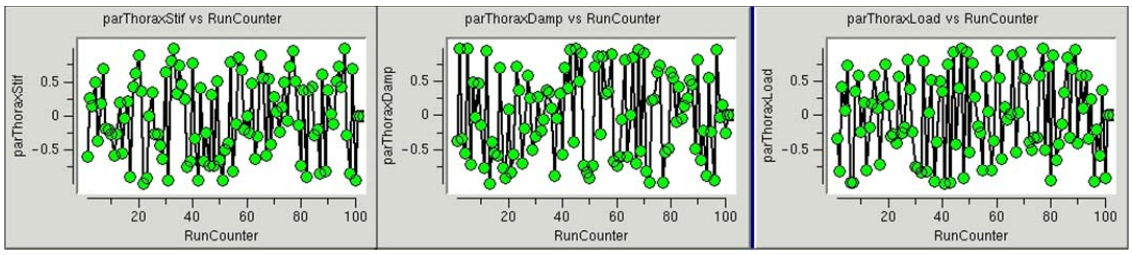
(d) 인장-앞굽힘 지수

<그림 3-4-104> 목 상해지수의 분포

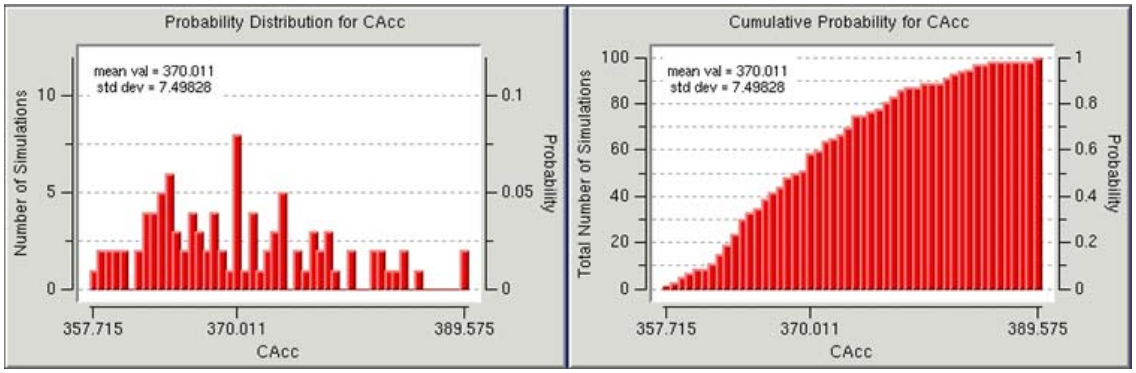
다음은 가슴부분의 산포를 고려한 경우로 표 3-4-13 및 그림 3-4-105와 같이 설정하였다. 이때의 승객해석 결과는 그림 3-4-106과 같으며 가슴가속도 평균값은 38g, 표준편차 0.76, 가슴눌림량 평균값은 48mm, 표준편차 1mm 수준으로 해당 법규기준의 66% 및 79% 미만 수준이었다. 특히, par-ThoraxStif의 변수가 클수록 가슴 눌림량 상해는 작게 나오는 경향을 보였다.

변수	평균	표준편차	확률밀도함수	스케일링 대상
par_ThoraxStif	0	$1/\sqrt{3}$	균일분포	Rib stiffness
par_ThoraxDamp	0	$1/\sqrt{3}$	균일분포	Rib damping
par_ThoraxLoad	0	$1/\sqrt{3}$	균일분포	Jacket contact loading functions

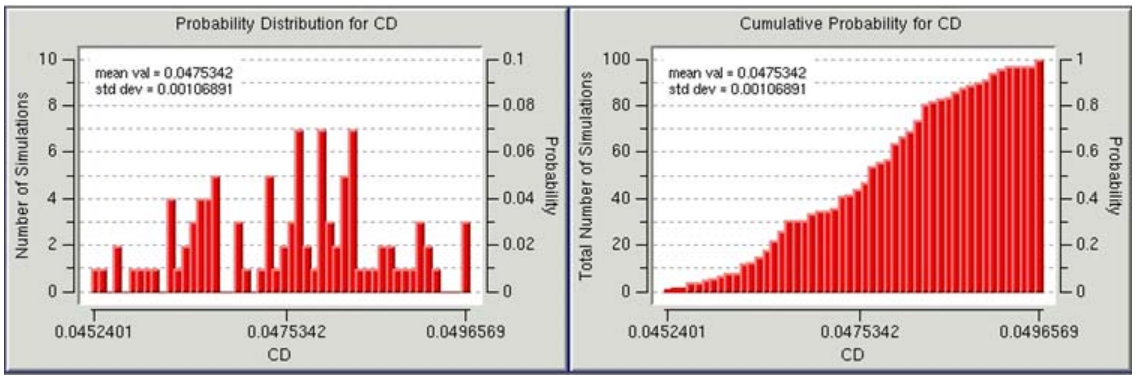
<표 3-4-13> 가슴부분 입력변수의 통계적 분포



<그림 3-4-105> 가슴부분 입력변수

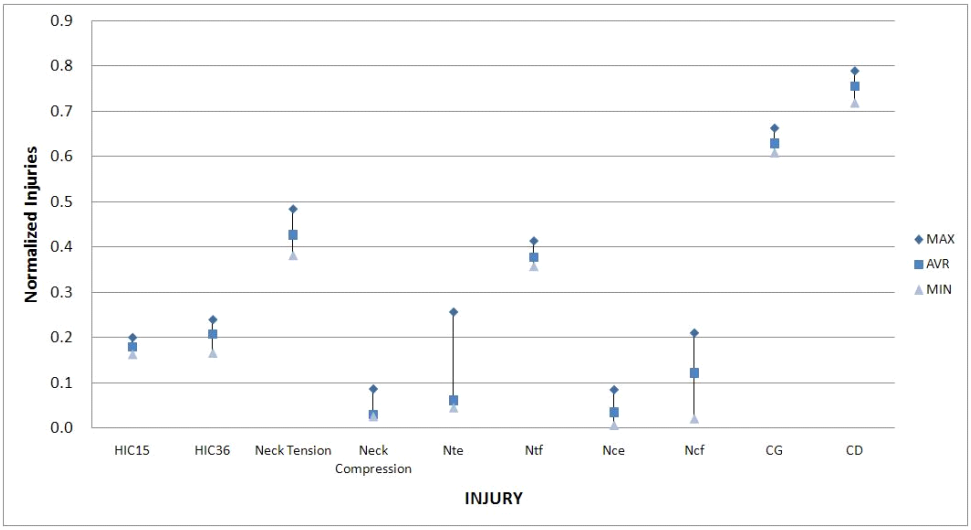


(a) 가슴가속도 분포



(b) 가슴 눌림량 분포

<그림 3-4-106> 가슴상해의 분포



<그림 3-4-107> 전체 상해의 분포 범위

이와 같이 각 부분의 입력변수 편차에 따른 상해 산포를 분석한 결과 머리는 -20~+15%의 상해분포를 가슴은 -5~+5%수준을 보였다. 특히 목 상해의 경우 일부 지수의 상해 산포가 크게 나타나 목부분 상해 예측시 통계적 상해 분석이 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 더미 응답 산포를 고려한 해석 및 통계적 상해 분석을 통해, 상해의 분포범위 및 성능목표 만족 확률을 파악할 수 있으며 승객안전을 위한 구속장치 개발 시 신뢰성 또는 강건성 평가를 위해 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

11. 동적 전복(Rollover) 승객 거동 해석

가. 동적 전복 사고 개요

차량의 동적 전복 사고는 기존에 알려진 사고 유형들이나 충돌 유형들 보다 매우 복잡한 경향을 나타내는데, 이것은 차량의 조향 성능 한계나 운전자의 조작 미숙, 차량 외적인 요인 등에 의해서 발생하여 결과적으로는 차량의 회전, 이동, 구름 등의 운동 형태로 나타내는 사고를 의미한다.

차량의 전복은 자동차 바퀴와 차량의 정지면의 이탈로 인해 차량의 회전이나 구름이 발생하고, 승객의 상해는 이런 현상 발생 후에 승객의 이탈이나 다른 제 3의 물체와의 충격에 의하여 발생한다. 승객의 상해는 차량으로부터의 이탈 여부에 따라 큰 차이를 나타낸다. 일반적으로 승객이 차량으로부터 이탈하게 되면 더 큰 상해를 입게 되는 것으로 알려져 있으며, 이탈하지 않더라도 안전벨트를 착용하지 않은 경우 더 큰 상해를 나타내는 것으로 알려져 있다. 최근 국내 자동차 시장에서도 레저 차량 등 차량 중심이 높은 차량이 증가하고 있으며, 이에 따라 전복 사고도 증가하는 경향을 보인다. 특히 전복 사고는 정면, 측면 등 다른 유형의 사고보다 치명적 상해율이 훨씬 높다고 알려져 있다.

북미 소비자 단체에서는 전복 사고에 대한 소송 제기와 함께 각 자동차 메이커들의 전복 방지 및 승객 보호 대책 마련을 위하여 전복 사고시 상해에 대한 법적인 규제를 제정하기를 청원해 왔다. 현재 북미에서 움직임을 보이고 있는 법적인 규제는 아래와 같다.

1) 전복 사고 탑승객 이탈방지를 위한 대책 마련 요구
2) Roof Crush와 전복 사이의 연관성 평가
3) 전복 구속 장치 (전복 감지 센서, 커튼 에어백 등)

최근에 유럽 메이커들을 중심으로 전복 방지 및 상해 개선 대책으로 각광을 받고 있는 기술은 전복 구속 장치이다. 전복 사고에서 승객의 상해는 이탈 여부에 의해서 큰 영향을 받으므로 최근의 전복 승객 상해 개선 대책은 최우선적으로 승객의 이탈 방지를 위한 구속 장치의 보강 쪽으로 관심이 집중되었다.

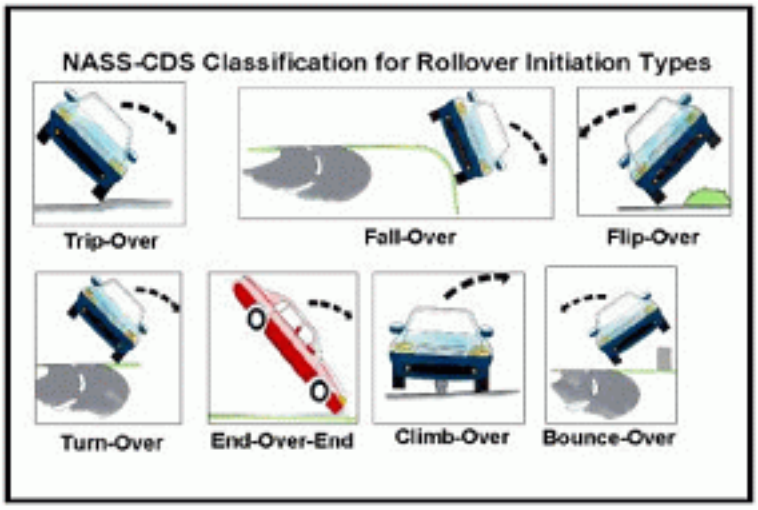
독일, 일본 및 스웨덴의 선진 업체에서는 벌써 측면 충돌과 전복 사고에 대한 상해 저감 대책으로 Super Curtain Airbag System을 도입하여 상용화하였으며, 승객의

이탈 방지 대책으로 Hypertension Belt 등을 이용하고자 연구하고 있다. 이 외에도 Roof 부위에 Headliner를 추가하여 머리와 목 부위에 전달되는 상해치를 저감하고자 하는 장치 등으로 각종 상해를 방지하고자 하고 있다.
본 연구에서는 다양한 조건의 자동차 동적 전복 해석 모델을 구성하고, 실차 시험 결과와 비교를 통해 신뢰도 있는 해석 모델을 개발하여, 해석적 방법으로 차량의 전복 여부를 판단할 수 있는 물리적 파라미터와 임계값을 결정함으로서, 차량의 안전도 향상 설계에 기여하고자 한다.

차량 전복(Rollover)시 커튼에어백 등의 구속 장치를 작동시켜서 승객의 안전도를 향상시키기 위해서는 차량의 전복 여부를 초기에 판단하는 것이 중요하다. 현재 선진 각국에서는 다양한 유형의 전복 사고에 대한 연구가 활발히 진행 중이지만 아직 법규나 정식화된 시험 방법이 확립되지 않은 초기 단계에 머물고 있다.
국내에서는 다양한 조건의 rollover에 대한 시험이 이루어지지 않고 있을 뿐 아니라 시험 설비도 갖추어져 있지 않은 실정이다. 따라서 rollover에 대한 연구는 현재 해석적 접근이 유일한 방법이라고 할 수 있다. 본 과제에서는 국내 최초로 승객거동 해석 기법을 이용하여 rollover 모델을 개발하고 이를 이용하여 다양한 조건의 rollover 조건을 해석하고자 한다.
본 연구의 궁극적인 목적은 해석적 방법을 이용하여 차량의 전복 여부를 초기에 판단할 수 있는 물리적 파라메터와 그 임계값을 찾아 알고리즘에 반영하는데 있다.

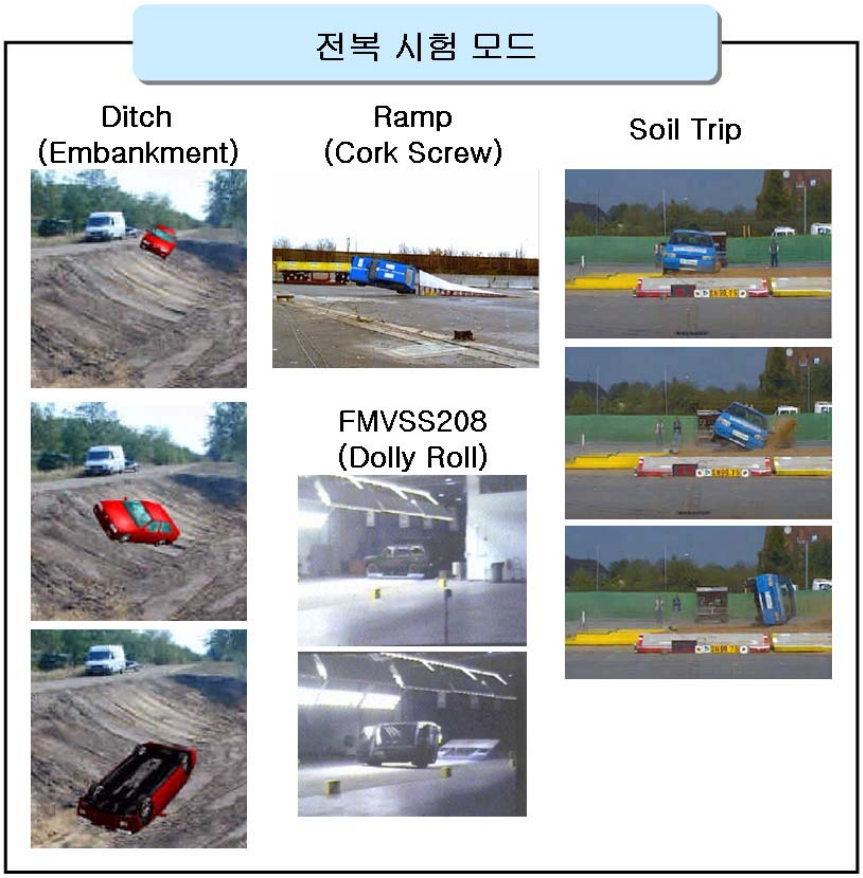
나. 동적 전복 시험 모드

NASS-CDS(National Accident Sampling System - Crashworthiness Data System) 등 사고 통계 분석 결과 차량 전복 사고는 <그림 3-4-108>과 같이 Trip-Over, Fall-Over, Flip-Over, Turn-Over 등으로 구분된다.



<그림 3-4-108> NASS classification for rollover initiation types

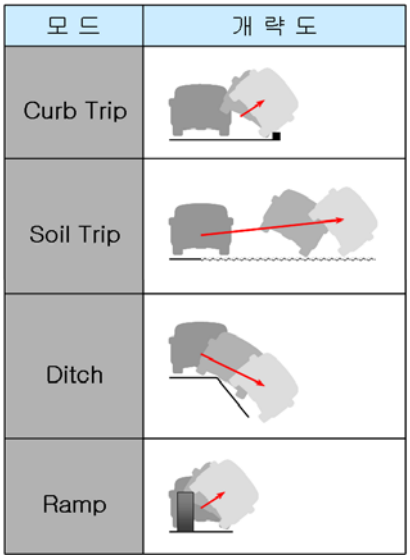
<그림 3-4-109>는 실제 전복 사고를 시험적으로 재현하기 위한 시험 모드의 실례이다.



<그림 3-4-109> 전복 시험 사례

본 연구에서는 앞의 <그림 3-4-108>과 <그림 3-4-109>에서 보는 것과 같은 여러 가지 전복 시험 중 다음과 같은 4가지 형태의 전복 사고를 대표 유형으로 정하고 실차 시험 및 해석을 수행하였다.

1) Ramp (Corkscrew)
2) Ditch (Embankment)
3) Curb Trip
4) Soil Trip



<그림 3-4-110> Rollover 모드

다. Rollover 승객 거동 모델 구성

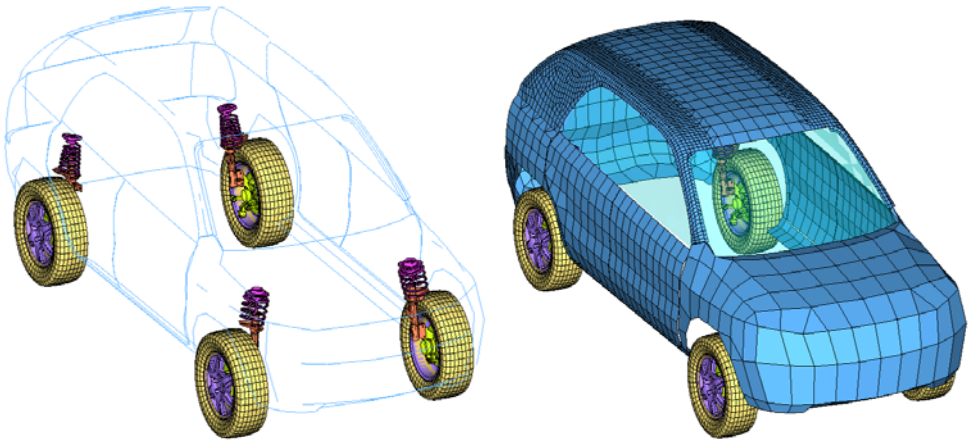
(1) Rollover 해석용 Base 모델 구성

아래 그림 3-4-111은 본 과제로 개발한 rollover용 해석 모델이며, 승객거동해석 전용 프로그램인 MADYMO를 사용하여 개발하였다. 차량 동역학 전용 해석 프로그램인 ADAMS보다 향후 구속장치 및 승객을 탑재하고 상해치 해석을 수행할 경우를 고려하여 승객해석프로그램인 MADYMO를 사용하였다.

차량 외부 모델은, 전복 시에 지면과의 접촉 처리를 위하여 지면과 닿는 roof rail, 타이어 등은 fine mesh하였으며, 해석에 소요되는 시간을 줄이기 위해 접촉이 예상되지 않는 부분이나 넓은 면적이 닿는 부분은 메시를 크게 처리하였다.

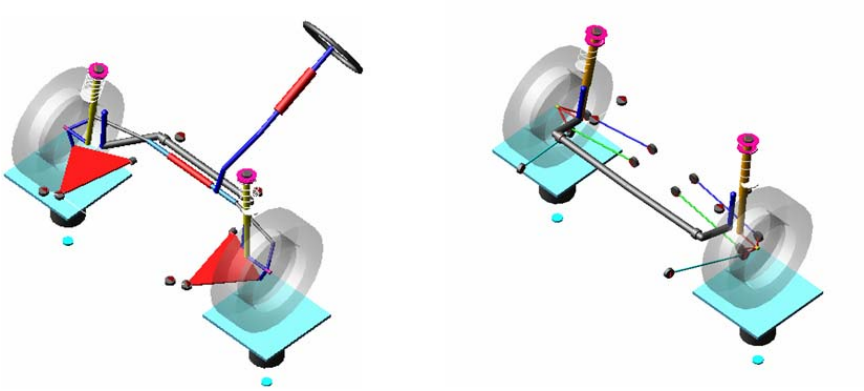
Muti-body dynamics에 기반을 둔 승객거동해석의 장점을 활용하기 위하여 유한요소 모델을 사용하지 않고 힘-변형 특성(F-D characteristics)을 이용하여 접촉 및 변형을 계산하는 multi-body 요소를 사용하여 해석 수행 시간을 획기적으로 줄였다.

또한, 향후 구속장치 및 승객을 포함할 경우를 대비하여 내부 공간을 활용할 수 있도록 모델링하였다.

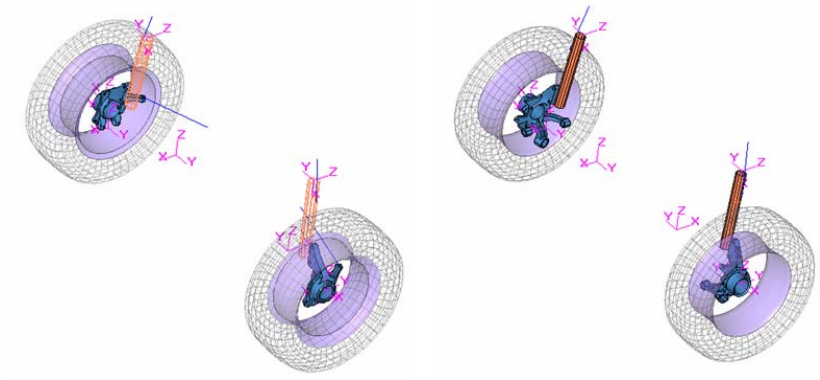


<그림 3-4-111> Rollover 해석 모델

아래 <그림 3-4-112>는 차량 주행안정성 해석을 위한 ADAMS 모델이며, <그림 3-4-113>은 rollover 해석을 위해 본 과제에서 개발한 MADYMO 해석 모델이다. 본 과제에서는 모델의 단순화를 위해 Rollover에 크게 영향을 미치지 않는 조향장치 등은 제외하였으며, 현가장치의 hard point와 joint 위치, 쇽업쇼버의 댐핑 특성, 스프링 특성, Stopper F-d 특성등을 입력하였다. 또한 지면과의 접촉을 위해 타이어의 힘-변형 특성도 모델링에 포함시켰다.



<그림 3-4-112> ADAMS 현가장치 모델



<그림 3-4-113> 본 과제에서 개발한 MADYMO 현가장치 모델

(2) 특성 데이터

차량의 동력학적 운동을 결정짓는 주요한 특성은 크게 4가지로 나눌 수 있으며 다음과 같다.

1) Shock Absober Stopper F-d 특성

2) Shock Absober Damping F-v 특성

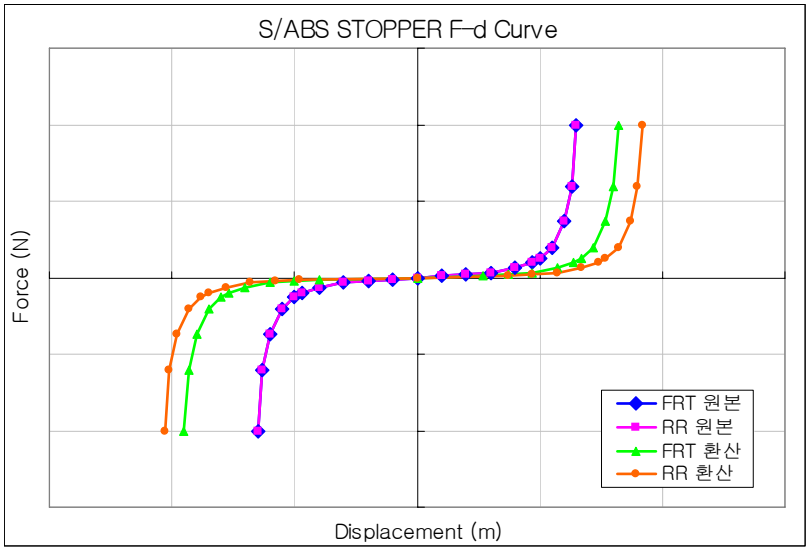
3) Shock Absober Spring 상수

4) Tire-Ground F-d 특성

시험 및 설계 사양에서 구한 특성 값을 기본으로 입력하고 아래 (3)절에서 보일 Drop Test와 Correlation을 거쳐 최종적인 MADYMO 입력 특성 값을 확정하였다.

(가) Shock Absober Stopper F-d 특성

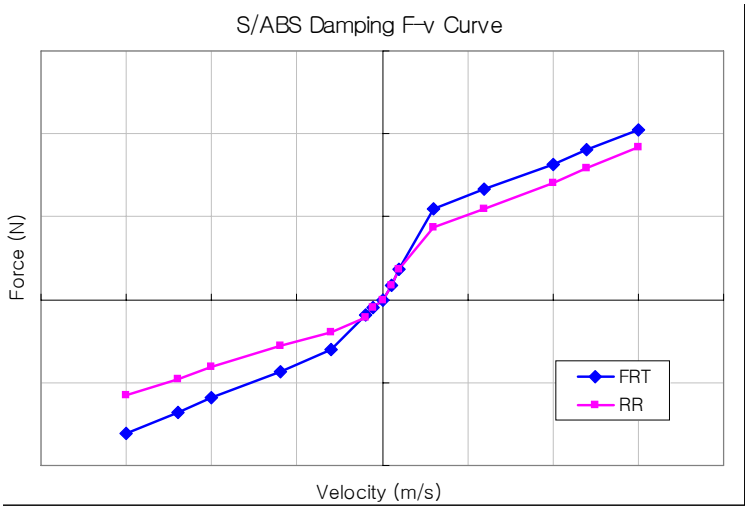
아래 <그림 3-4-114>에 압축(Bumping)과 인장(Rebound)시 S/ABS Stopper에 대한 F-d 특성을 도시하였다. 파란색과 마젠타색으로 나타낸 곡선이 단품시험에서 나온 원본데이터 이며, 연두색과 빨간색이 Drop Test correlation을 거쳐 최종 입력으로 결정된 특성 곡선이다.



<그림 3-4-114> S/ABS Stopper F-d Curve

(나) Shock Absober Damping F-v 특성

아래 <그림 3-4-115>는 Shock Absober Damper의 F-v 특성이다. 단품시험에서 나온 원본데이터이며, 실제로 MADYMO 적용 시에는 Drop Test correlation을 통해 해석 모델이 시험에 가장 유사한 반응을 보이도록 scale factor를 적용하였다. 최종적으로 결정된 F-v에 대한 scale factor는 Front Suspension Shock Absober의 경우 0.55, Rear Suspension Shock Absober의 경우 0.8이다.



<그림 3-4-115> Shock Absober Damping F-v 특성

(다) Shock Absober Spring 상수

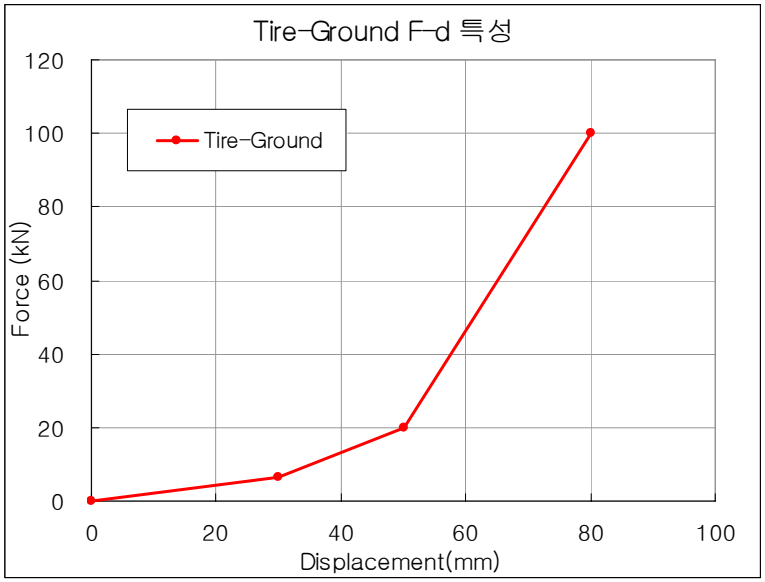
설계 사양의 Shock Absober 스프링 상수와 Drop Test correlation을 거쳐 확정된 스프링 상수의 scale factor를 <표 3-4-14>에 나타내었다.

<표 3-4-14> Shock Absober Spring 상수 Scale Factor

스프링상수 scale factor	Front S/ABS	Rear S/ABS
원본 데이터(설계 사양)	1.0	1.0
Correlation 후	1.4	1.16

(라) Tire-Ground F-d 특성

타이어와 지면간의 접촉에 의한 F-d 특성은 <그림 3-4-116>에 나타내었다.



<그림 3-4-116> 타이어와 지면의 접촉 F-d 특성

(3) 모델 튜닝 해석

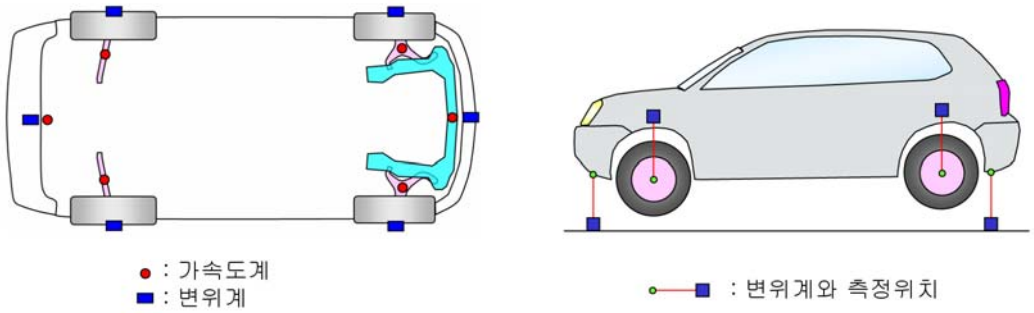
앞의 (1)절에서 개발된 모델은 단순화 되고 집중 질량을 사용한 이유 등으로 인해 실제 차량의 거동과 차이가 있으며 완전한 평행 상태에 이르지 못한 모델이다. 따라서 모델의 에러를 체크하고 평형 상태를 유지하기 위해 설계변수를 튜닝하는 과정이 필요하다. 이를 위하여 차량을 지면에서 일정 높이 만큼 들어 올린 후 자유 낙하 시키는 drop 시뮬레이션, 차량을 가만히 두어 평형 상태에 이르도록 하는 Static 시뮬레이션, 차량을 전방으로 정속 주행시켜 직진성을 평가하는 straight 시뮬레이션을 실시하였다.

(가) Drop 시뮬레이션

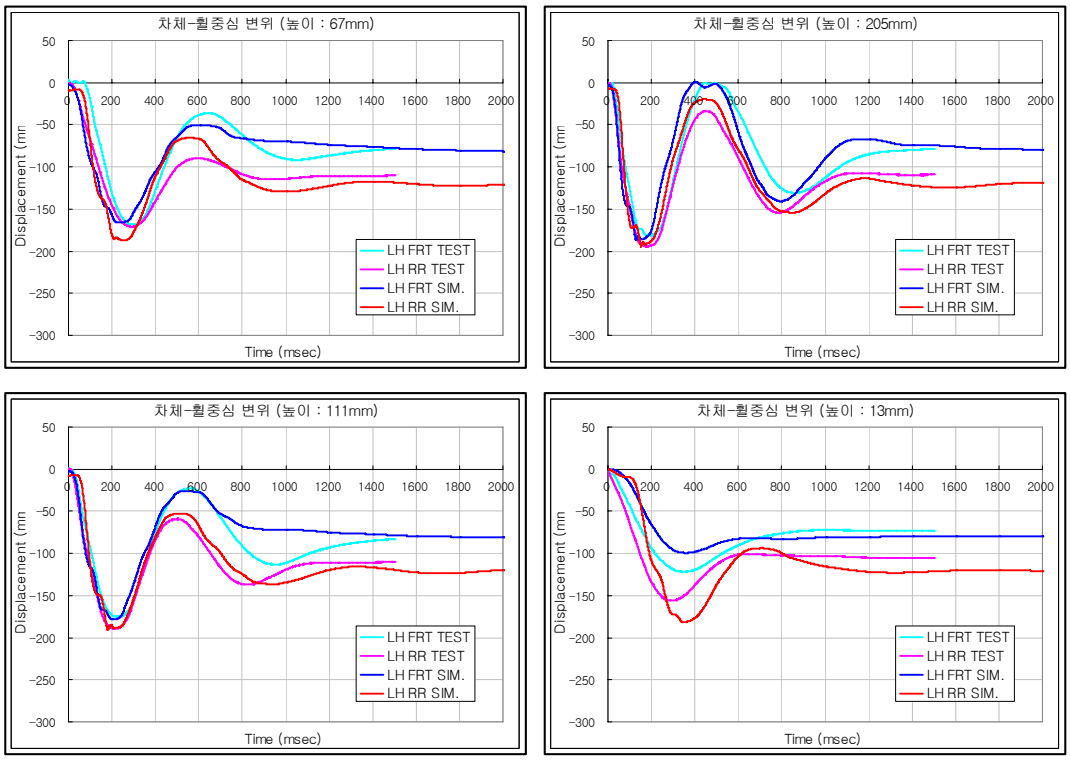
미국 MGA에서 실시한 Drop 시험을 모델링하고 해석한 후, 해석 결과와 시험 결과를 correlation하는 과정을 통해 주요 모델링 변수 값을 튜닝하였다. <그림 3-4-117>에서 보는 것과 같이 일정한 높이로 들어 올린 후 자유낙하 시켜 <그림 3-4-118>에 보인 것과 같은 6곳의 가속도와 6곳의 변위를 측정하였다. 이중 각 4 바퀴 중심과 차체(휠하우징) 사이의 시간에 따른 변위 곡선을 이용하여 시험과 해석을 correlation하였다.



<그림 3-4-117> Drop Test 및 해석



<그림 3-4-118> Drop Test 측정 항목 및 위치



<그림 3-4-119> Drop Test Correlation 결과 (시험 vs. 해석)

Drop 시험과 해석의 결과 곡선이 <그림 3-4-119>에 보인 것처럼 상호 유사한 형태가 되도록 앞 (2)절에 나타낸 것과 같이 튜닝 파라메터 값을 조절하였다. 아래 <표 3-4-15>는 Wheel 중심과 Housing 위치 및 두 위치 간의 거리를 정지 상태와 200mm 들어올린 상태에서 측정하여 비교하였다. 200mm 들어 올린 상태에서는 해석과 시험이 거의 같은 수준을 나타내며, 지면에 정지되어 평형을 이룬 상태에서는 해석의 차체가 10~19mm 더 내려 앉아 있음을 볼 수 있다.

<표 3-4-15> 해석 및 시험의 Wheel - Housing간 거리 비교 (정지 vs. 200mm lift)

			지면 정지 상태		200mm Lift 상태		차이(200-정지)	
			FRT	RR	FRT	RR	FRT	RR
시험 측정	LH	하우징	782	775	1054	1060	272	285
		Wheel	317	322	524	506	207	184
		거리	465	453	530	554	65	101
	RH	하우징	773	779	1066	1087	293	308
		Wheel	320	324	547	535	227	211

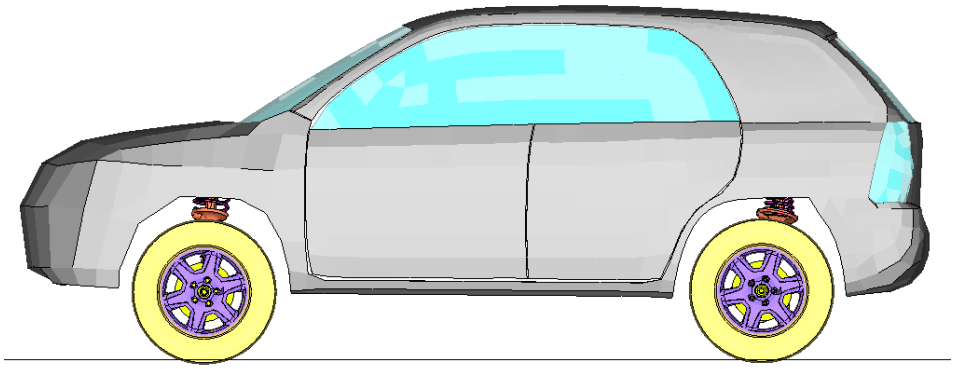
		거리	453	455	519	552	66	97
	거리 평균		459	454	525	553	66	99
해석 거리 평균			449	435	529	551	80	116
차이 (시험-해석)			10	19	-4	2	-14	-17
의미			해석이 가라앉음		유사한 수준			

또한, 안정화 상태에서 해석 모델의 타이어와 지면의 Contact Force를 측정하여 각 바퀴에 걸리는 하중 분포와 차량의 전체 질량을 시험과 일치 시켰다 <표 3-4-16>.

<표 3-4-16> 해석 및 시험의 질량 분포 비교

구 분		시험 중량			해석 중량		
위치	단위	FRT	RR	Total	FRT	RR	Total
Left	kg	538.4	411.9		543.9	410.0	
Right	kg	551.6	409.1		541.2	411.7	
Total	kg	1090.0	821.0	1911.0	1085.1	821.7	1906.8
Ratio	%	57.0	43.0		57.0	43.1	

(나) Static 시뮬레이션



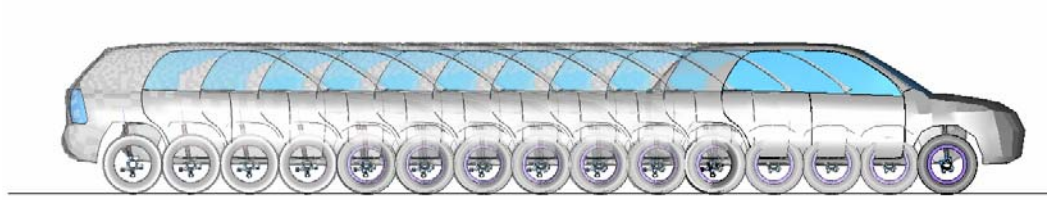
<그림 3-4-120> Static Simulation

Static 시뮬레이션에서는 중력을 제외한 일체의 외력을 가하지 않은 채 차량의 자중에 의해 평형 상태가 되도록 하는 시뮬레이션이다. 이때 MADYMO에서는 DEBUG옵션을 ON으로

설정하여 평형 상태에 이르렀을 때 각 조인트의 위치 및 쇽업쇼버의 스프링 초기 위치를 구하여 전복 해석 base 모델의 초기 위치 input으로 사용하였다.

(다) 정속 주행 시뮬레이션

<그림 3-4-121>에 보인 15mph 정속 주행 시험을 통해 지면과 타이어의 접촉 특성이 제대로 표현되는가를 확인하였다. 해석 초기에 Z방향의 진동은 아직 해결하여야 할 숙제이지만 50msec 이후에 곧 평형상태에 도달하므로 해석 결과는 50msec 이후의 것을 사용하도록 한다.



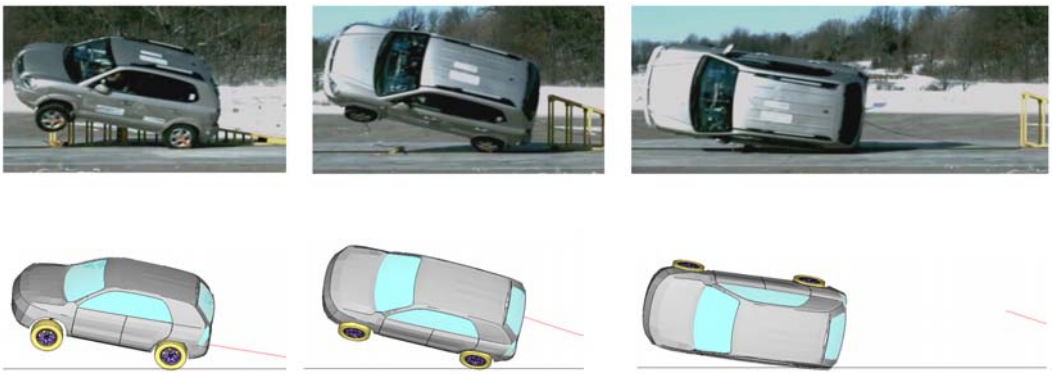
<그림 3-4-121> 정속 주행 Simulation

이러한 과정을 통해 전복 해석 모델의 파라메터 값을 보정하고 모델의 신뢰성을 높인 후 이를 base 모델로 하여 그림 <그림 3-4-110>에 나타낸 것과 같은 4가지 전복 모드 해석을 실시하였다. 각 해석의 거동과 결과를 다음 절에 나타내었다.

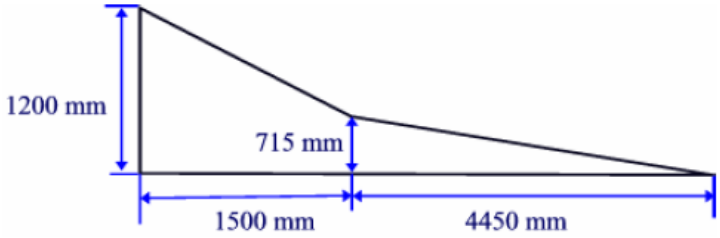
(4) Ramp(Corkscrew) 시뮬레이션

Ramp 시뮬레이션은 아래 <그림 3-4-122>에서 보인 것과 같이, 정속 주행하는 차량의 오른쪽 바퀴가 경사로(Ramp)를 지나게 하여 차량의 전복을 유도하는 해석이다. 이 때 차량이 전복되면 운전석이 지면에 닿게 되어 운전자의 상해를 유발하게 되며, ramp의 기울기와 비틀림 각도, 또는 차량의 속도에 따라 전복 여부가 결정이 된다.

본 연구에 사용된 Ramp는 <그림 3-4-123>과 같은 ADAC Ramp로 2단계 기울기를 가지고 있다.



<그림 3-4-122> Ramp Simulation 차량 거동 (시험 vs. 해석)

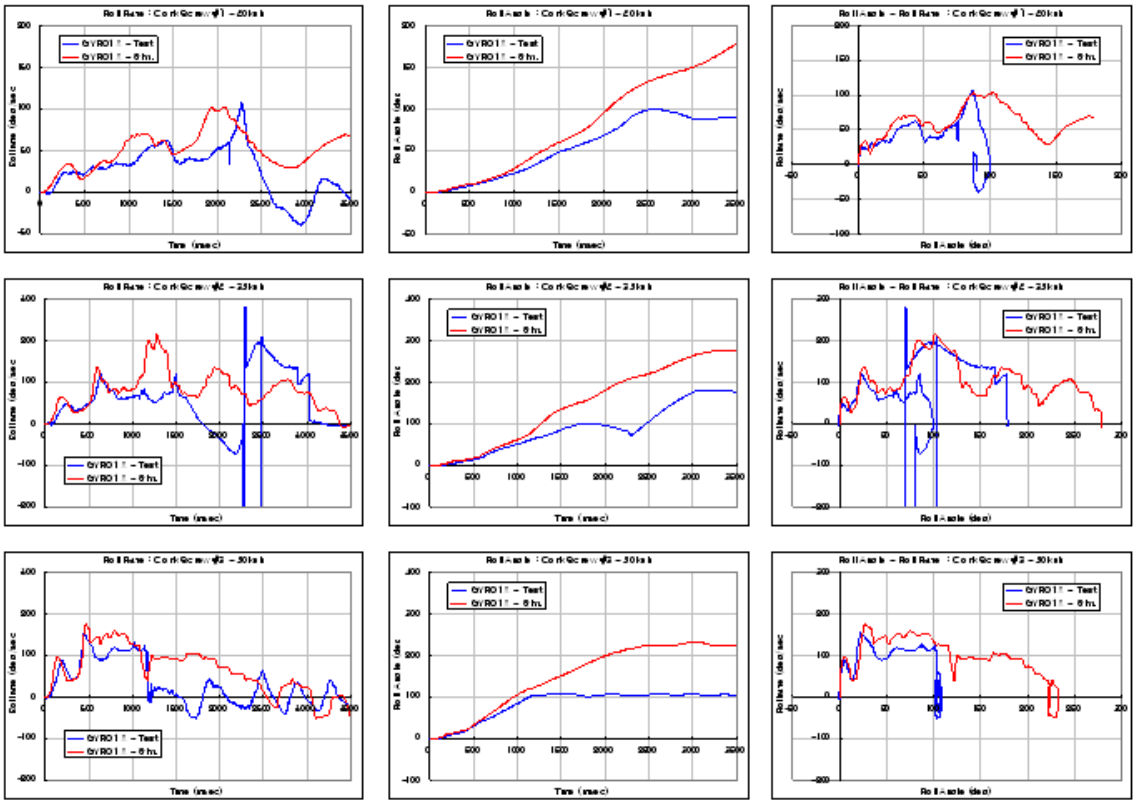


<그림 3-4-123> ADAC Ramp Dimension

본 Ramp test는 아래 <표 3-4-17>에 나타낸 것처럼 속도를 바꾸어 가며 총 3회를 실시하였다. 해석 모델도 동일한 조건으로 실시하였으며, 그 결과를 <그림 3-4-124>에 나타내었다.

<표 3-4-17> Ramp Test (MGA)

Test	Date	STRG Lock	Speed (kph)		Travel Distance(cm)		비고
			Desired	실제(차이)	Lateral	Longitude	
1	07.02.09	No	v1	+0.1	255	582	
2	07.02.09	No	v2	0.0	521	1833	
3	07.02.10	No	v3	0.0	410	3081	



<그림 3-4-124> Ramp Test 및 해석 결과 비교

(5) Ditch(Embankment) 시뮬레이션

Ditch 시뮬레이션은 아래 <그림 3-4-125> 및 <그림 3-4-126>에 보인 것처럼 주행중인 차량이 도로를 벗어나 일정 각도로 도로 측면의 경사로에 진입하는 경우를 해석한 것이다. 도로 진입각도 및 속도와 경사로의 경사각에 따라 총 10회의 시험을 실시하였으며, 해석으로 동일한 경우를 재현하였다. <표 3-4-18>에 시험 조건을 나타내었다.

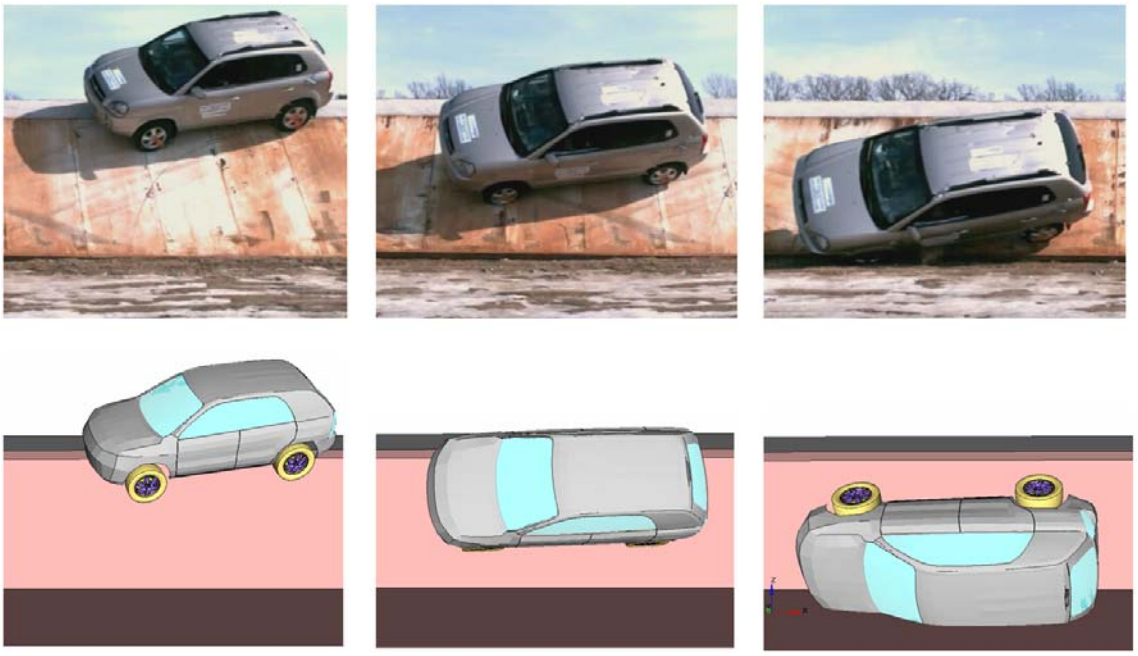
<표 3-4-18> Ditch Test (MGA)

Test	Date	Speed (kph)		Approach (degree)	Ditch Slope	1st Side Down	비고
		Desired	Actual (차이)				
1	07.02.11	v1	0.0	A	45	Driver	
2	07.02.11	v2	-0.3	A	45	Driver	
3	07.02.11	v2	0.2	C	45	Driver	
4	07.02.11	v1	-0.2	C	45	Driver	
5	07.02.15	v2	0.1	B	45	Driver	
6	07.02.16	v2	-0.2	C	37	Passenger	
7	07.02.16	v2	9.9	D	37	Passenger	
8	07.02.21	v3	-1.1	B	45	Driver	
9	07.02.21	v3	-1.1	C	37	Passenger	
10	07.02.22	v1	0.4	D	37	Passenger	

위 표에서 Approach Angle은 경사로에 진입하는 각도를 나타낸 것이며, Ditch Slope는 경사로의 각도이다. 경사로의 각도가 45도인 경우에는 운전석이 아래로 향하도록 진입하였으며, 경사로 각도가 37도인 경우 조수석이 아래로 향하게 진입하였다.

이하 본문에서 Approach Angle은 “A”로, Ditch Slope는 “S"로 표기한다. 즉, "10A45S10kph"라고 표기되어 있으면 45도 Ditch Slope에 Approach Angle 10도로 10kph 속도로 진입하였음을 의미한다.

<그림 3-4-125>는 경사로의 각도가 45도이며 운전석이 경사로 방향으로 진입한 경우의 한 예이며, <그림 3-4-126>은 경사로의 각도가 37도에 조수석이 경사로로 진입한 경우의 한 예를 도시하였다.

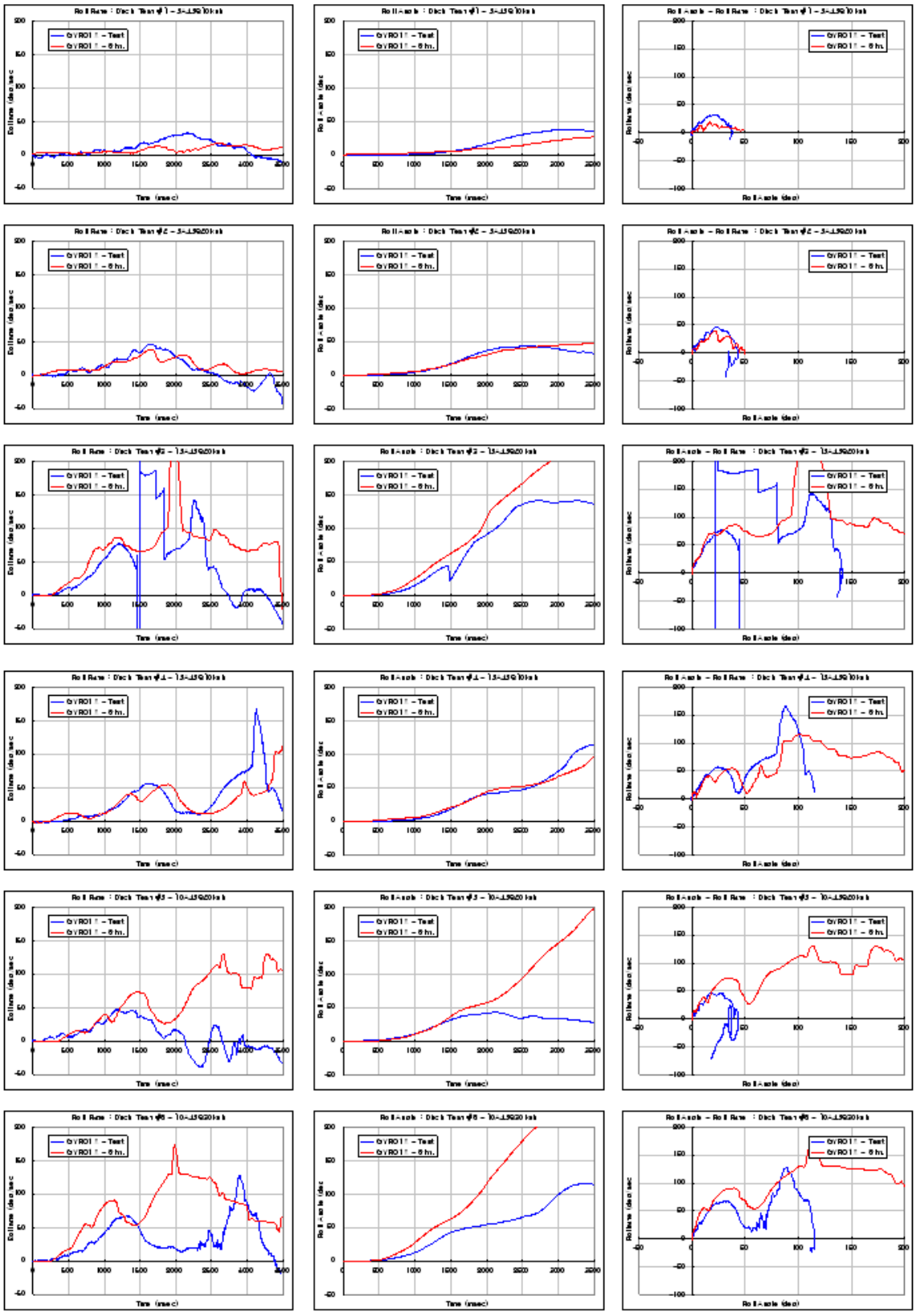


<그림 3-4-125> 45° Ditch Test 및 해석 거동 비교

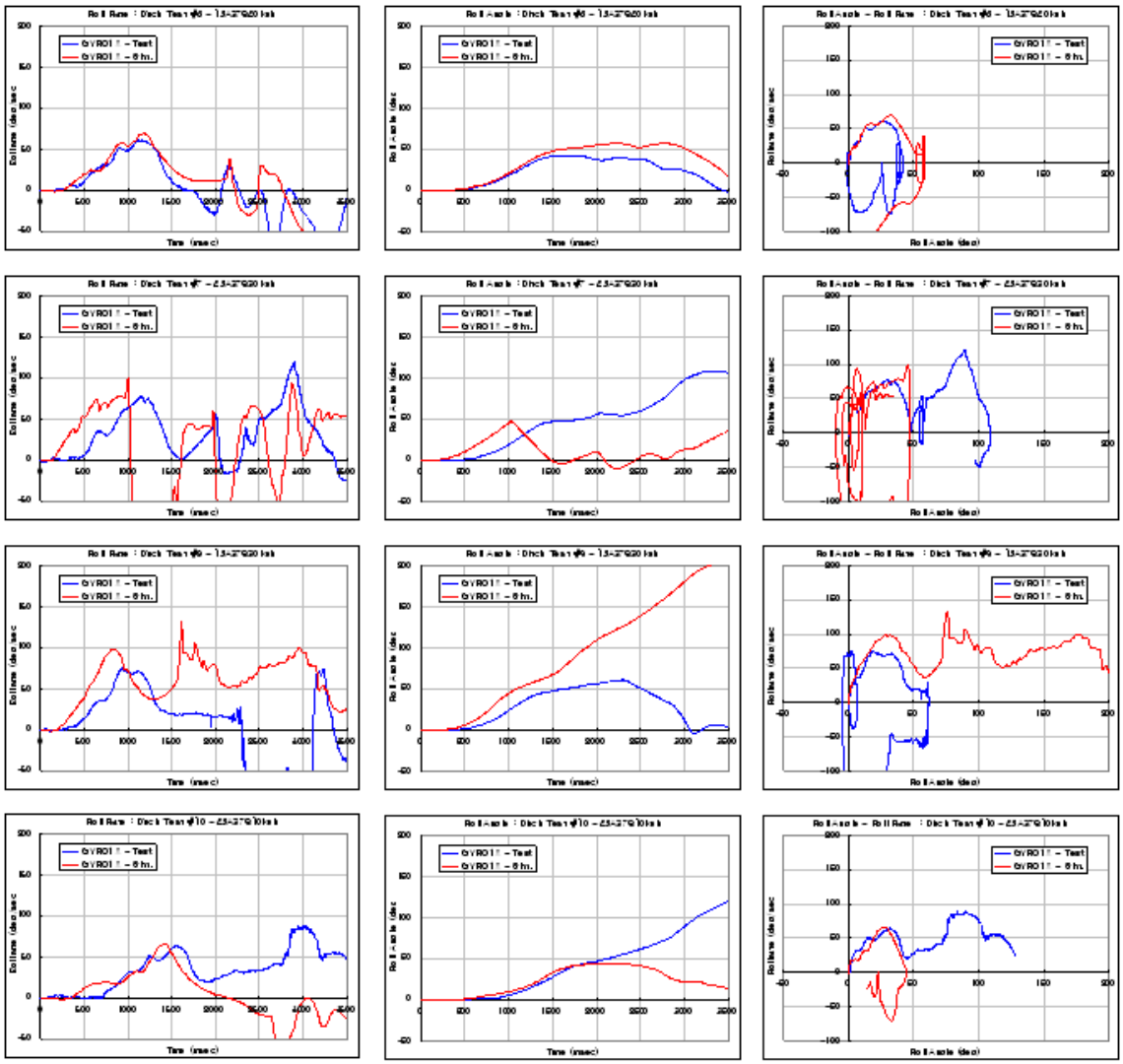


<그림 3-4-126> 37° Ditch Test 및 해석 거동 비교

<그림 3-4-127>에는 45도 Ditch 시험 및 해석 결과 그래프를, <그림 3-4-128>에는 37도 Ditch 시험 및 해석 결과 그래프를 각각 도시하였다.



<그림 3-4-127> 45° Ditch Test 및 해석 결과 그래프 비교

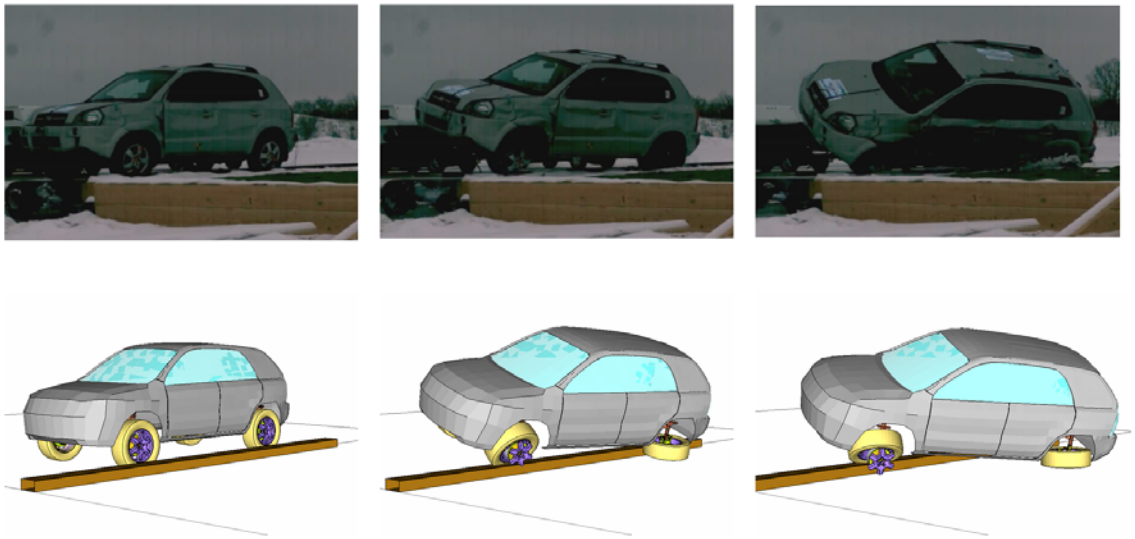


<그림 3-4-128> 37° Ditch Test 및 해석 결과 그래프 비교

(6) Curb Trip 시뮬레이션

Curb Trip 모드는 차량이 측면으로 미끄러지면서 턱에 부딪혀 전복되는 현상을 대표하는 시험 모드이다. 각 국의 사고 통계 분석 결과에서도 차량 전복의 원인 중에 가장 큰 비율을 차지하는 시험 모드이다. 타이어 옆면의 강성과 변형 및 Wheel Rim의 파단을 해석적 방법으로 표현하기가 어려워 해석의 신뢰도가 높지 않은 모드이다.

시험은 <표 3-4-19>에 보인 것처럼 속도와 Curb의 높이를 달리하여 3회 실시되었으며, <그림 3-4-129>에 시험과 해석의 거동을 나타내었다.



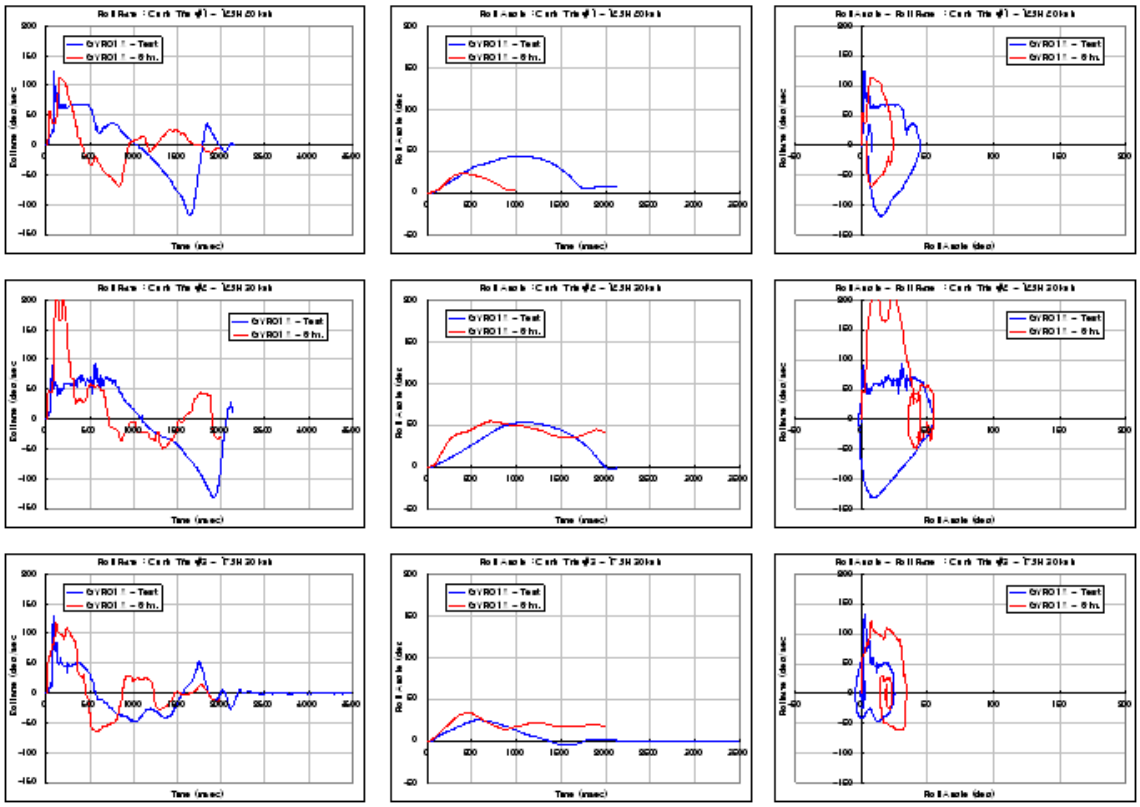
<그림 3-4-129> Curb Trip Test 및 해석 거동 비교

<표 3-4-19> Curb Trip Test (MGA)

Test	Date	CurbHeight (mm)	Impact Side	Speed (kph)		비고
				Desired	Actual (차이)	
1	07.02.12	A	Left	v1	0.0	
2	07.02.12	A	Right	v2	-0.3	
3	07.02.13	B	Left	v2	0.0	

3회의 시험 모두 Rear Knuckle과 Wheel Spoke의 파단으로 인해 해석적으로 재현하기에 어려움이 있었다. 해석 모델에서는 Wheel Spoke와 Rear Knuckle 파단부를 별도의 Body 로 구성한 후 파단 가능한 스프링(STRAP요소)으로 모델링하여 파단을 표현하였다. 파단에 의한 영향을 반영하기 위한 상세한 모델을 구성하기 위해서는 Wheel Spoke의 단품 파단 시험등을 포함한 추가적인 연구가 필요하다.

아래 <그림 3-4-130>에 Curb Trip에 대한 3 가지 시험과 해석 모델의 결과 그래프를 도시하였다.



<그림 3-4-130> Curb Trip Test 및 해석 결과 그래프 비교

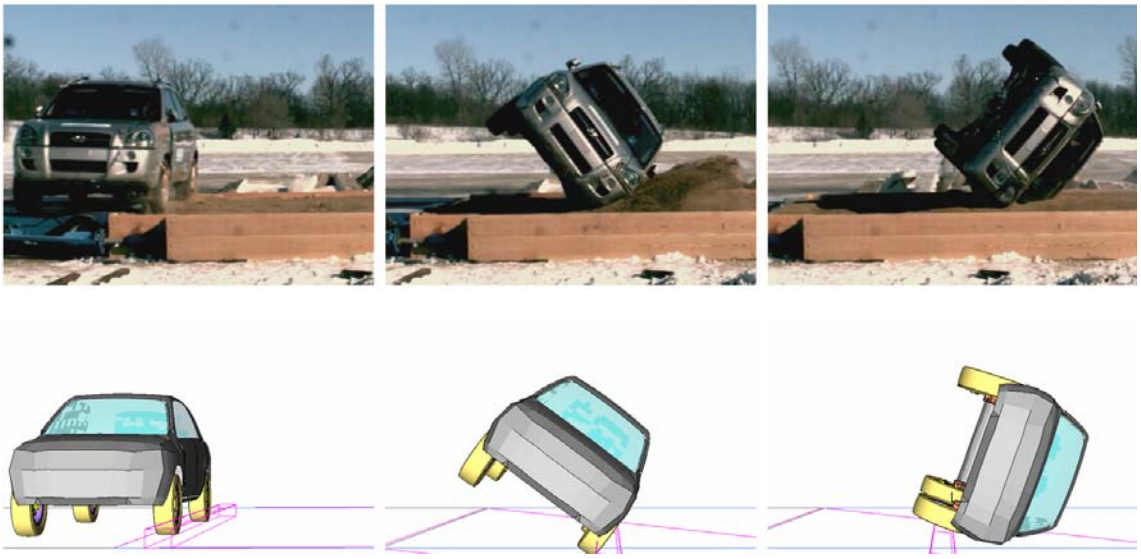
(7) Soil Trip 시뮬레이션

Soil Trip 모드는 Trip 모드 중에서 턱에 부딪히는 대신 지면과의 마찰에 의해 넘어지는 현상을 모사한 시험 모드이다. 실차 시험은 속도를 변수로 하여 <표 3-4-20>과 같이 총 5회 실시하였다.

Soil Trip 모드는 본 과제에서 다루고 있는 4가지 동적 전복 모드 중 해석으로 표현하기에 가장 어려운 모드이며, 유동적인 Soil을 해석적 방법으로 표현하는 기법이 핵심 기술로 이에 대한 연구를 심도있게 진행하였다. <그림 3-4-131>

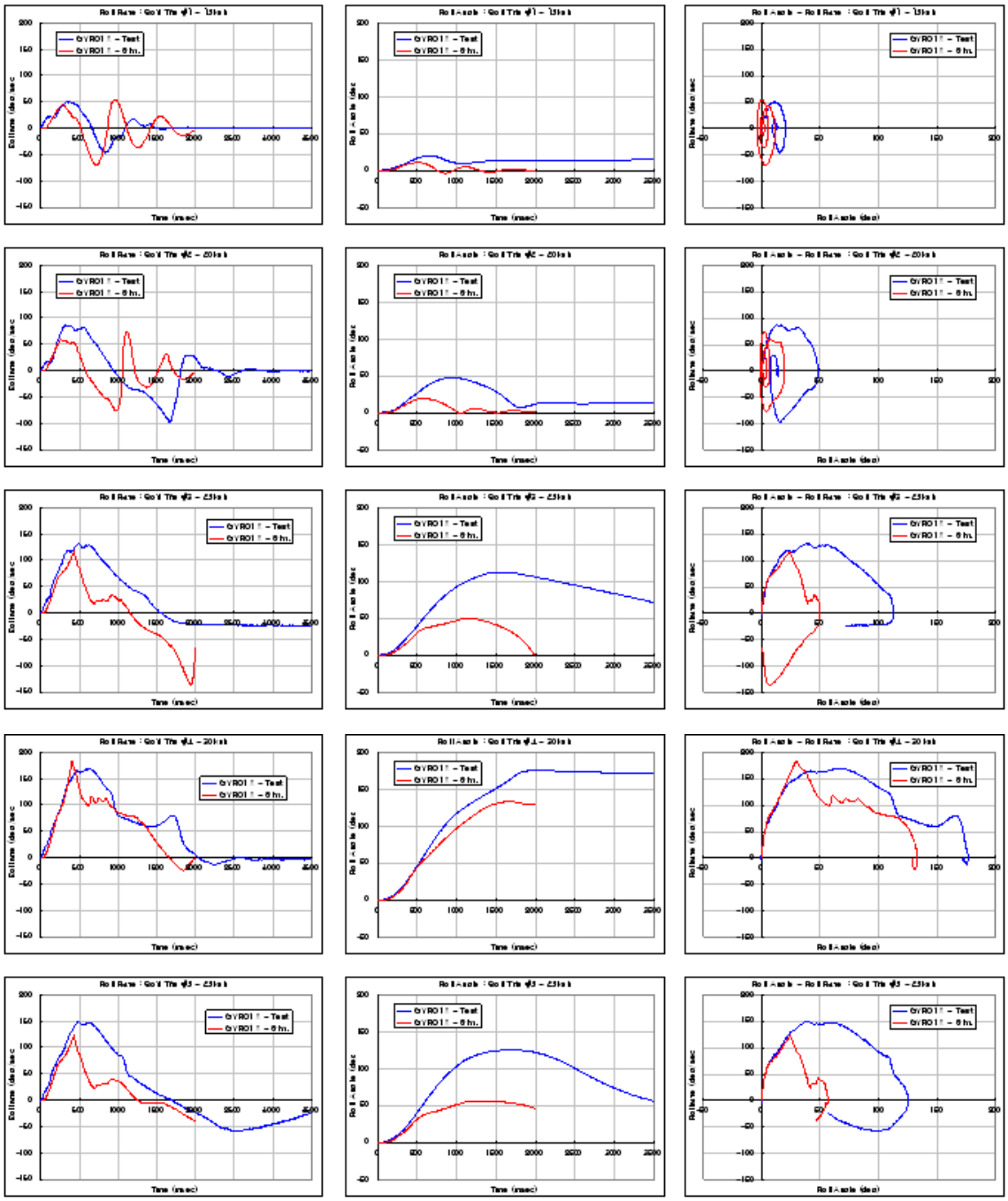
<표 3-4-20> Soil Trip Test (MGA)

Test	Date	Speed		LF Tire (cm)		LR Tire (cm)		비고
		Desired	Actual (차이)	Lateral Travel	Depth	Lateral Travel	Depth	
1	07.02.07	v1	0.3	97.8	28.6	88.9	28.6	
2	07.02.08	v2	0.1	162.6	36.2	160	33.7	
3	07.02.08	v3	-0.1	200.7	28.6	198.1	26.7	
4	07.02.08	v4	-0.3	231.1	29.8	223.5	27.3	
5	07.02.08	v3	0.3	215.9	31.8	213.4	29.2	



<그림 3-4-131> Soil Trip Test 및 해석 거동 비교

아래 <그림 3-4-132>에 5 가지 Soil Trip 시험 결과와 해석 결과 그래프를 나타내었다. 해석의 roll angle이 시험보다 적게 나타나는 경향이 있는데, 보다 정확한 결과를 도출하기 위해서는 Soil에 대한 특성 시험과 Soil을 표현하기 위한 방법에 대한 심도 있고 추가적인 연구를 필요로 한다.



<그림 3-4-132> Soil Trip Test 및 해석 결과 그래프 비교

(8) 결과 정리

실제 도로에서 일어나는 다양한 전복 충돌 사고에 대한 통계 분석을 통해 대표적인 유형을 추출하고, 각각의 모드에 대한 해석 모델을 구성하여 해석한 결과를 실차 시험 결과와 비교한 결과 차량의 동적 거동에 대한 경향을 유추할 수 있었다. 본 과제

를 통하여 진행된 연구의 성과물은 다음과 같다.

1) 전복 시험을 해석적으로 재현 하기 위한 현가장치의 상세한 모델을 구현하였다. 특히, Shock Absober의 댐핑(F-v곡선), Stopper F-d 특성 및 스프링 상수 등의 특성을 Drop test 결과를 이용하여 correlation하는 기법을 개발하였다.

2) Curb Trip 표현을 위한 Wheel Rim 및 현가장치 파단을 구현하였으며, Soil Trip의 Soil의 거동을 대체할 수 있는 기법을 사용하여 구현하였다.

3) 4회 drop 시험을 포함하여 총24회의 실차 전복 시험을 실시하고, 그 결과를 이용하여 해석 모델을 개선하고 검증하였다.

4) 실제 차량을 이용한 다양한 종류의 전복 시험 실시 및 해석 결과와의 세밀한 Correlation 등 Rollover를 해석하기 위해 기본적인 특성을 입력한 base 해석 모델을 구성하고 다양한 전복 모드를 해석한 결과, 거시적인 면에서 본문에 설명한 것과 같은 상당한 성과를 얻을 수 있었다. 그러나 본 모델로 각각의 모드에서 나타나는 다양한 현상을 완벽하게 표현하기에는 다소 미흡하며, 다양한 단품 시험 등을 포함한 보다 체계적이고 심도 있는 추가 연구가 필요하다.

제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제5절 전장 시제품 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인

제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제5절 전장 시제품 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인

1. ACU 사양

○ ACU

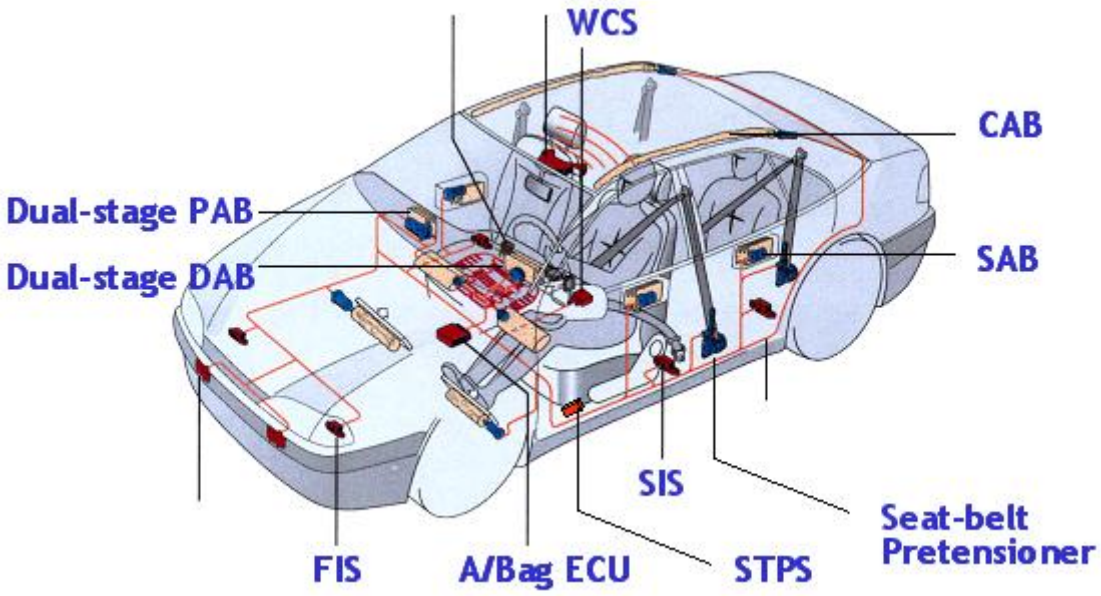
- 북미 차량 적용 ACU 사양 채택

○ 센서: 입력 장치

- 충돌감지센서(전방센서:FIS, 측방센서:SIS), 시트 벨트(S/Belt), 시트 위치 감지 센서(STPS), 승원 감지 센서(WCS) 등

○ 모듈(인플레이터): 출력 장치

- 2단계 인플레이터 운전석(DAB)/조수석(PAB) 및 프리텐셔너(PT) 적용, 사이드 에어백(SAB), 커튼 에어백(CAB)



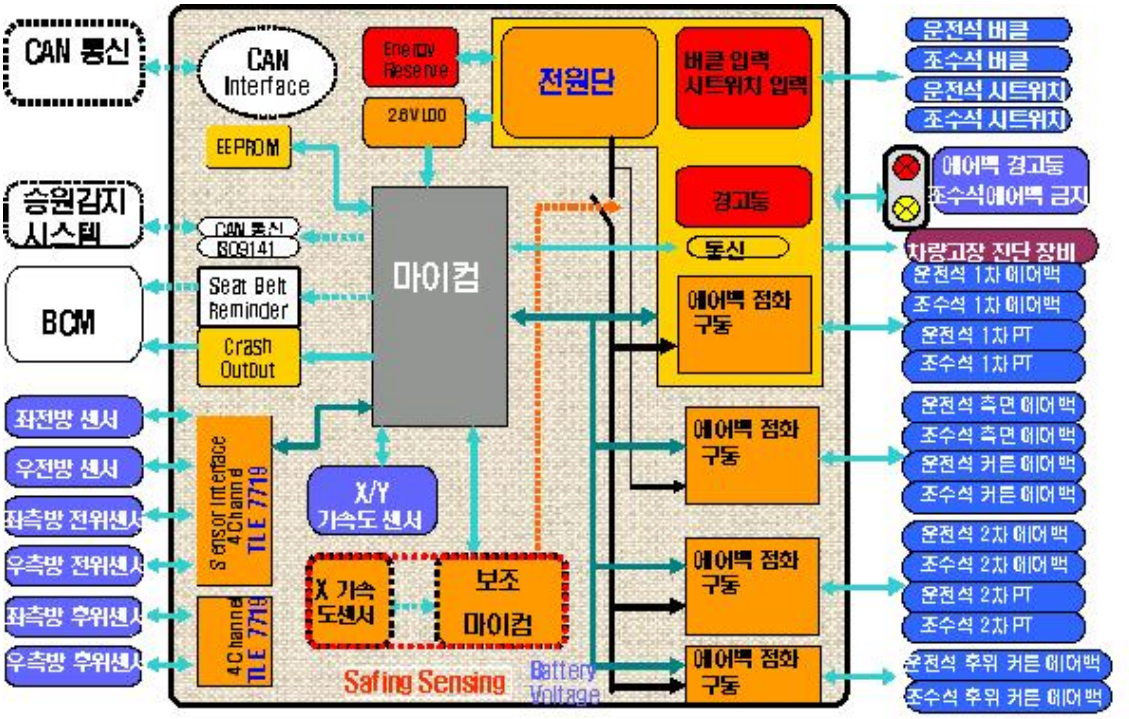
<그림 3-5-1> ACU 적용 사양 SYSTEM 구성

2. ACU 시제품 설계/성능 평가

가. ACU 시제품 설계: 완료

(1) ACU 블록도

아래 그림은 본 연구에 적용되고 있는 ACU와 에어백 시스템에 관련된 각종 입/출력들을 블록도로 표현하여 나타낸 것으로, ACU 내부에 적용되어 있는 주요 구성품을 중심으로 표현하였다.

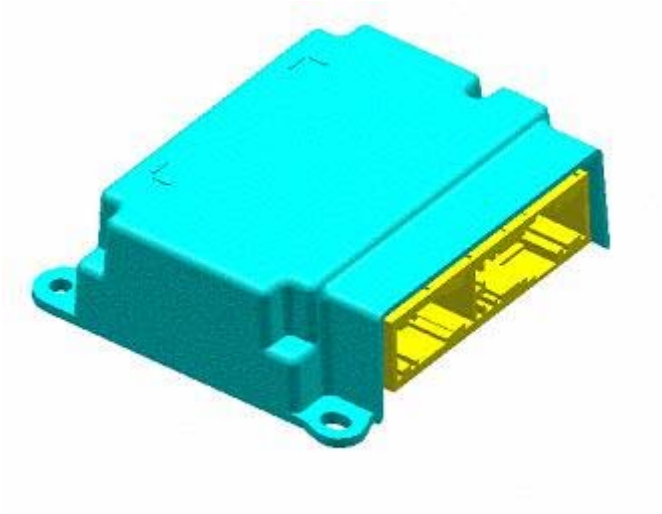


<그림 3-5-2> ACU 블록도

(2) ACU Housing 금형 및 HW PCB

(가) ACU Housing

본 연구에 사용된 ACU Housing의 재질은 알루미늄이며, 이는 전자파 차폐에 유리하여, 차량에 사용되는 각종 전자제어장치들의 Housing에 널리 사용된다. 적용 ACU의 Housing 사이즈는 가로 x 세로 x 높이 는 다음과 같다. (W x D x H = 118.1 x 113.6 x 40 mm)



<그림 3-5-3> ACU HOUSING

(나) ACU H/W PCB

회로 설계 완료된 ACU의 H/W PCB는 양면에 모두 부품이 실장되어 있으며, 커넥터를 제외한, PCB만의 사이즈는 가로 x 세로 = 110 x 72 mm 이다.

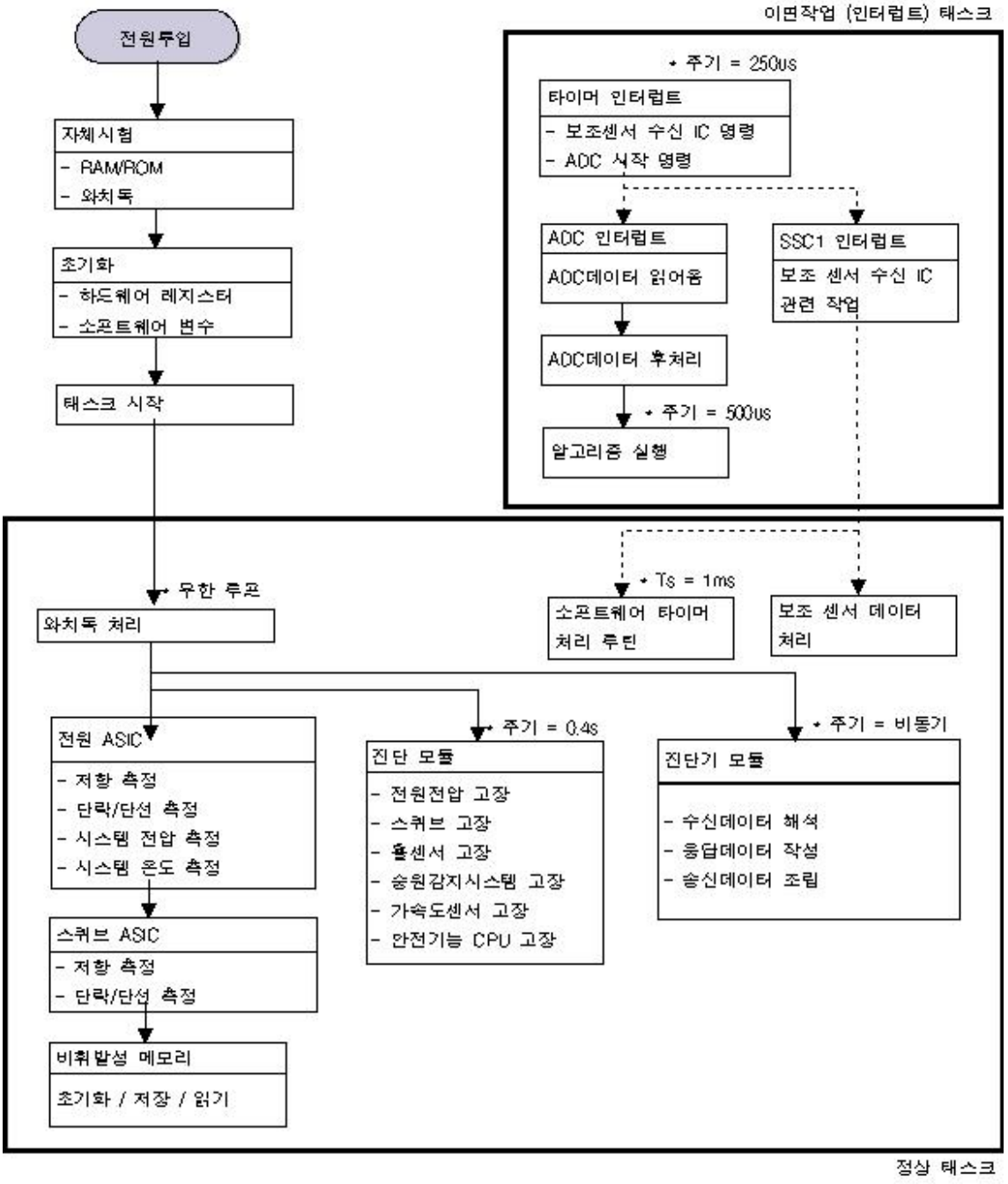


<그림 3-5-4> ACU H/W PCB 사진

(3) S/W 수행 구조

ACU를 제어하는 프로그램은 마이컴 내의 플래시 메모리에 내장되며, 전원이 인가되면, 초기화 및 에어백 시스템 상태를 감지하고, 충돌 감지 및 에어백 전개 여부를 판정하는 업

무를 처리하며, 전원 공급이 중단될 때까지 일정한 주기에 따라 업무를 반복 수행한다.



<그림 3-5-5> S/W 수행 구조

나. 시제품 성능 평가: 진행 중

(1) Hardware

(가) 시제품 성능 평가 적용 회로 설계 완료

(2) Software

(가) OS 설계 완료

(나) IC I/F 설계 완료

(다) 진단 S/W 설계 완료

<표 3-5-1> 시제품 성능시험 평가일정

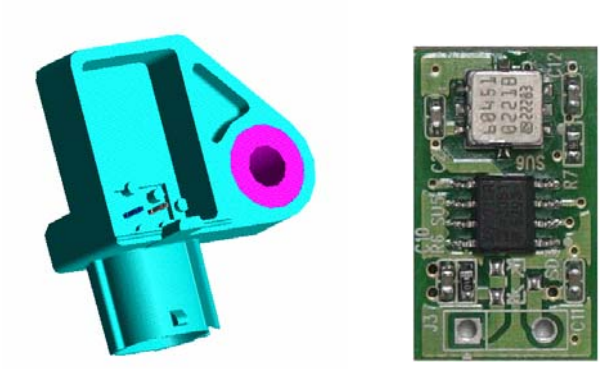
구 분	성능시험 평가일정															
	6월				7월				8월				9월			
기능 시험	■	■	■	■	■	■	■									
EMC		■	■													
전원SURGE				■												
정전기					■											
환경 시험						■	■	■								
내구 시험									■	■	■	■	■	■	■	

3. 에어백 시스템 구성을 위한 센서 선정

가. 충돌감지센서

(1) 전방 센서

차량의 최전방 부근에 위치하고 있으며, 차량의 정면 충돌 시 ACU가 충돌신호를 보다 빨리 인지하고 충돌의 심각도를 판정하여 에어백 전개 유무를 결정하는데 필요한 보조 입력장치이다. 이 센서가 고장일 경우는 ACU가 단독으로 충돌의 심각도를 판정하여 에어백 전개 유무를 결정한다. 일반적으로 효율성을 높이기 위해 차량 전방의 좌우에 각각 1개씩 모두 2개를 장착한다.



<그림 3-5-6> 충돌감지센서

(2) 측방 센서

차량의 측방(B-Pillar 또는 C-Pillar)에 위치하고 있으며, 차량의 측면 충돌시 ACU가 충돌 신호를 보다 빨리 인지하고 충돌의 심각도를 판정하여 에어백 전개 유무를 결정하는데 필요한 주 입력 장치이다. 이 센서가 고장일 경우는 측면 에어백의 전개가 금지된다. 일반적으로 차량 양측방의 B-pillar에 각각 1개씩 장착하거나, 추가적으로 양측방의 C-pillar에 각각 1개씩 장착한다.

나. 시트 벨트

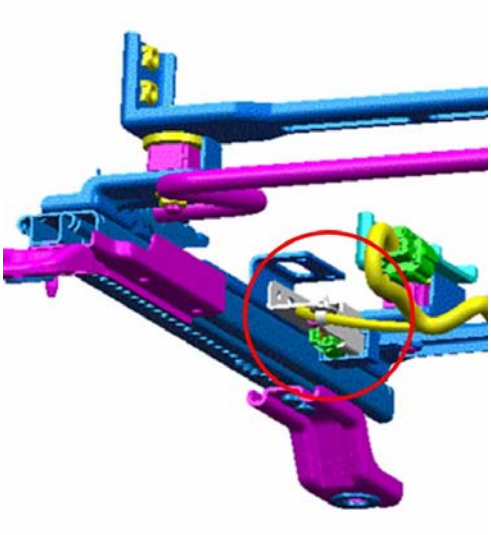
이 과제에 사용되는 시트 벨트장치는 승객의 안전을 책임지는 차량의 주 구속장치이기도 하고, 승객의 시트벨트 장착 유무에 따라 에어백 전개 시간을 달리하여 승객의 상해치를 최소화하는 에어백 전개를 구현하는데 필요한 입력장치로도 사용한다.



<그림 3-5-7> 시트 벨트

다. 시트 위치 감지 센서

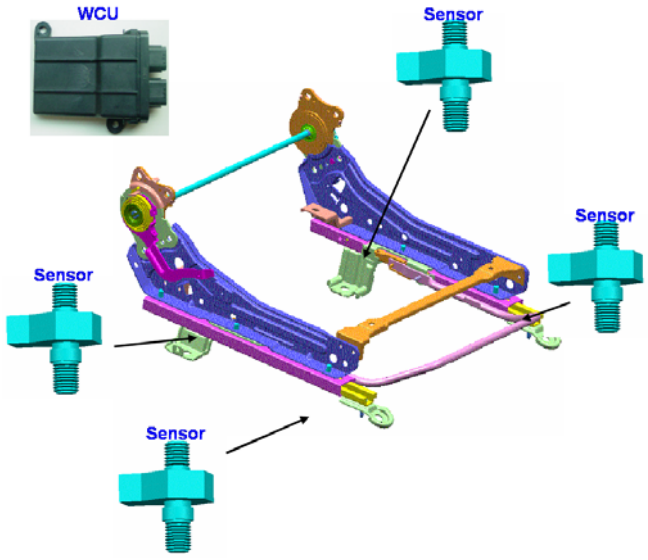
승객이 성인일 경우 5%tile 여자와 50%tile 남자를 구분하는 장치이다. 상대적으로 체격이 작은 여자의 경우 시트를 앞쪽으로 위치하여 앉으며, 보통이상 체격의 남자일 경우 시트의 위치를 뒤쪽으로 위치하여 앉는데, 이 위치를 감지하여 ACU의 입력 장치로 사용한다. 에어백의 전개 정도를 달리하여 승객의 상해치를 최소화하는데 사용되는 입력 장치이다.



<그림 3-5-8> 시트 위치 감지 센서

라. 승원 감지 센서

일반적으로 조수석의 시트 하단에 장착되며, 성인과 어린이를 구분하는데 사용된다. 특히 5%tile 여자와 6세 어린이의 구분을 명확히 해야하는 센서이다. 성인과 어린이의 구분에 따라 에어백 전개 유무를 결정하게 되며, 이에 따라 승객의 상해치를 최소화하는데 사용하는 입력 장치이다.



<그림 3-5-9> 승원 감지 센서

4. ACU 성능 검증 (2차년도)

1차년도에 설계 제작한 전장시스템에 대해 2차년도에는 하드웨어와 소프트웨어의 성능 및 신뢰성을 검증하는 작업을 수행하였다. 소프트웨어의 성능은 ACU의 각 동작사양을 확인하기 위한 기능시험과 PIT(Pulse Injection Tester)를 통한 알고리즘 소프트웨어의 정상동작 확인 절차를 거치게 된다. 하드웨어의 성능은 ACU 소프트웨어 성능검증과정에서 일부 간접적으로 확인되며, 나머지 성능 및 신뢰성은 환경시험 및 EMI/EMC 시험을 통해 확인하였다.

ACU의 하드웨어 및 소프트웨어의 각 입출력 사양별 구현현황은 다음 표와 같다.

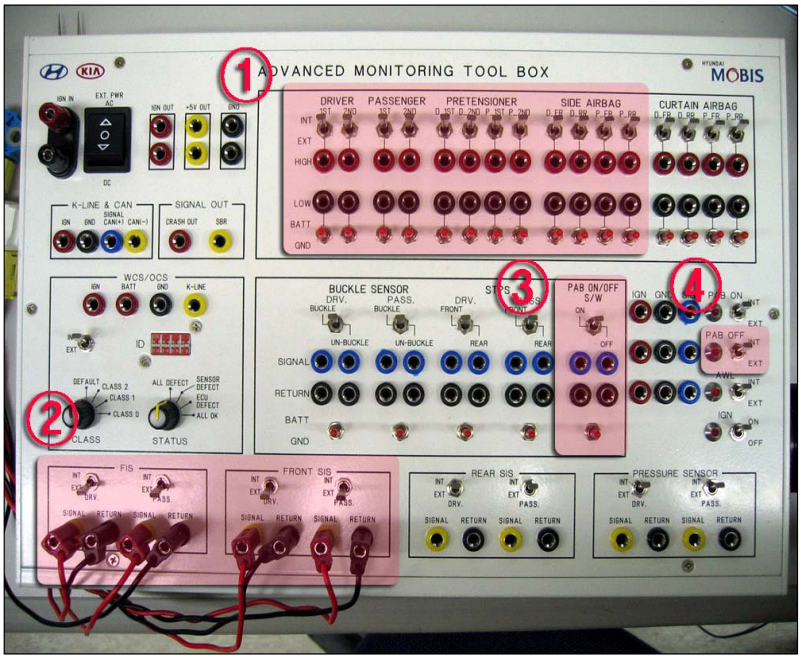
사양		하드웨어	소프트웨어
인플레이터	운전석1차	지원	지원
	운전석2차	지원	지원
	운전석PT	지원	지원
	운전석PT(2차)	지원	
	조수석1차	지원	지원
	조수석2차	지원	지원
	조수석PT	지원	지원
	조수석PT(2차)	지원	
	운전석 측면	지원	
	운전석 커튼	지원	
	운전석 커튼(후방)	지원	
	조수석 측면	지원	
	조수석 커튼	지원	
	조수석 커튼(후방)	지원	
센서	운전석 버클센서	지원	지원
	운전석 시트위치센서	지원	지원
	조수석 버클센서	지원	지원
	조수석 시트위치센서	지원	지원
승원감지센서		지원	
전방충돌센서	운전석 전방충돌센서	지원	지원
	조수석 전방충돌센서	지원	지원
측면충돌센서	운전석 측면충돌센서	지원	
	운전석 측면충돌센서(후방)	지원	
	조수석 측면충돌센서	지원	
	조수석 측면충돌센서(후방)	지원	
에어백 경고등		지원	지원
조수석 전개금지 경고등		지원	지원
충돌신호		지원	지원

5. ACU 소프트웨어 성능 검증 (2차년도)

가. 일반 기능 시험

(1) 기능시험 절차

소프트웨어 기능시험은 실차에서의 ACU 입출력을 실험실 환경에서 모사하는 시뮬레이션 툴박스를 이용하여 수행한다. 양산환경에서는 자동화된 기능시험기를 이용하여 시험을 수행하지만 본 개발과정에서는 여러 가지 다양한 조건에 대해 시험을 수행할 수 있고 소프트웨어 디버깅이 수시로 일어나므로 수동으로 조작하는 툴박스를 이용하였다.



(2) 인플레이터 구동회로 점검 기능

에어백을 전개시키는 인플레이터는 ACU의 출력중에서 가장 중요한 요소중 하나이며, 다음 항목에 대한 시험을 수행하였다.

- 저항 과대 (단선)
- 저항 과소 (단락)
- 전원측 단락
- 접지측 단락

위 항목중에서 저항과대, 저항과소, 출력선 단락 그리고 단선은 해당 인플레이터의

저항을 측정하여 시험한다.

(3) 센서 입력회로 점검 기능

벨트 착용 여부와 시트의 전후방 위치 검출을 위해 사용되는 센서는 홀센서 타입을 사용하게 되며, ACU측에서는 센서의 저항 또는 전류변화를 감지하여 센서의 상태를 확인하게 된다. 센서 시험 항목은 다음과 같다

- 저항 과대, 단선, 전원측 단락
- 저항 과소, 접지측 단락
- 센서 고장

(4) 경고등 회로 점검기능

ACU의 경고등에는 에어백 고장 경고등과 조수석 전개 금지 경고등 2가지가 있다. 여기서 에어백 고장 경고등은 에어백에 현재 고장이 존재하거나 과거고장이 일정 갯수 이상 기록된 경우, 동일한 고장이 일정횟수 이상 반복해서 발생한 경우 그리고 충돌이 검출된 경우에 점등되며, 운전자에게 에어백 시스템의 점검이 필요함을 알리는 역할을 한다. 조수석 전개 금지 경고등은 조수석 승원감지 시스템에서 조수석에 승객이 타지 않거나 또는 유아가 앉아서 조수석 에어백이 전개되면 안된다는 신호를 보내는 경우 점등된다. 각 경고등의 시험 항목은 다음과 같다 :

- 램프 단락, 전원측 단락
- 램프 단선, 접지측 단락

(5) 전방충돌센서 점검기능

전방충돌센서는 다른 센서와는 달리 ACU와 통신을 통해 연결되며, 점검 항목은 다음과 같다 :

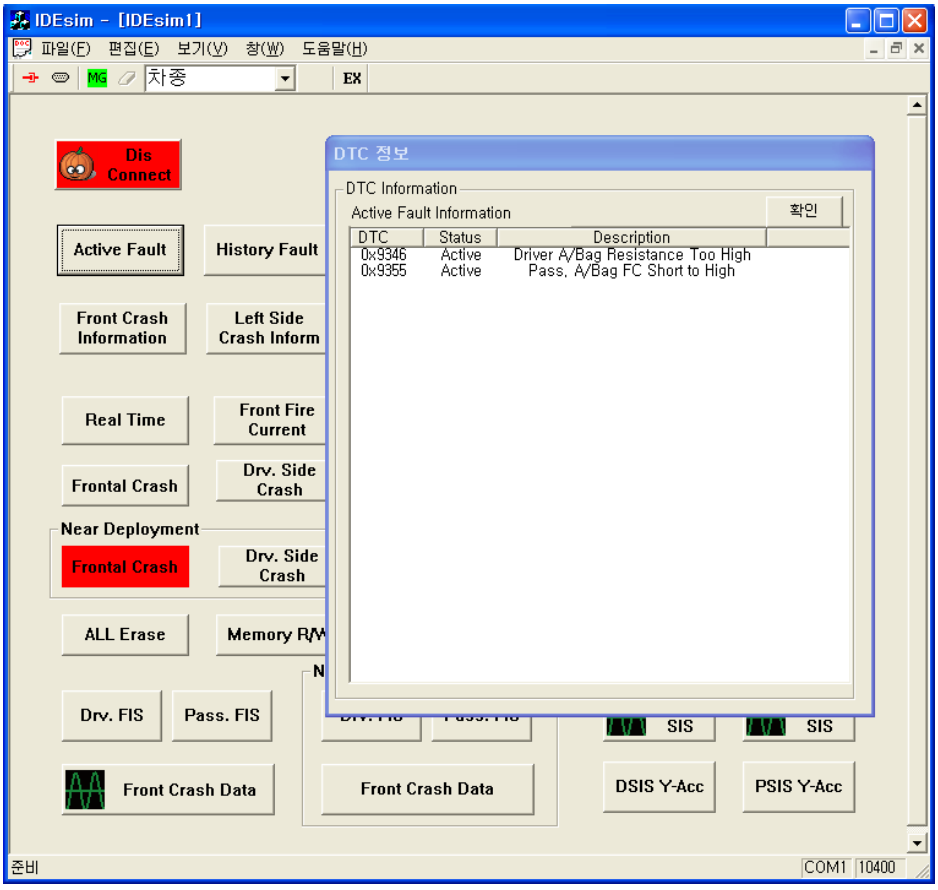
- 통신 불량
- 전원측 단락
- 접지측 단락
- 센서 불량

위 항목중에서 센서 불량은 전방충돌센서가 내부의 자체진단 기능을 통해 고장을

검출, ACU에게 통신으로 알려주며, 다른 항목들은 ACU가 센서 통신라인의 상태를 진단하여 고장을 검출한다.

(6) 진단 통신 소프트웨어

ACU 성능검증시에는 PC와 K-라인 통신을 연결하고 진단통신 소프트웨어라는 전용 프로그램을 이용하여 고장진단내용 및 기타 ACU의 내부상태를 모니터링한다. 진단통신 소프트웨어는 GUI 형식으로 구성되어 고장코드 및 다음에 나올 충돌기록항목등을 쉽게 읽어 볼 수 있도록 해 준다. 그리고 모니터링 기능 이외에도 고장기록과 충돌기록등을 소거할 수 있는 기능이 있다. 그리고 향후 진단통신 소프트웨어에는 ACU의 비휘발성 메모리에 알고리즘 파라미터와 ACU 구성정보를 전송하는 기능등이 추가 될 예정이다. 다음 그림은 ACU의 운전석과 조수석 인플레이터에 고장이 있는 경우를 진단 통신 소프트웨어로 읽은 경우의 화면이다.



나. 충돌기록

충돌기록 기능은 충돌이 일어났을 때 충돌 파형과 그 당시의 각종 ACU 입출력 회로의 상태를 기록하는 것으로, 충돌시의 상황 파악에 대단히 중요한 자료로 사용 될 수 있다.
충돌기록 항목은 다음과 같다 :

- 충돌 DTC
- 충돌 파형 (ACU 내부 가속도 센서)
- 충돌 파형 (전방충돌센서)
- 충돌 TTF
- 충돌전 시동 횟수 및 라이프 타임 카운터값
- 충돌시 입출력 상태

여기서 충돌시 입출력 상태로는 다음과 같은 항목이 있다 :

- 배터리 전압
- 내부 전원 전압 (에너지 리저브 회로 전압)
- 인플레이터 저항
- 인플레이터 상태 (정상/고장/미장착)
- 안전벨트센서 상태 (착용/미착용/고장/미장착)
- 시트위치센서 상태 (전방/후방/고장/미장착)

충돌기록 시험은 주로 손으로 ACU를 충격을 주어 ACU의 충돌상황을 모사하는 형식으로 시험을 진행한다. 다음 그림은 충돌기록 시험시 ACU내부에 기록된 가속도 센서 데이터를 확인하는 화면이다.

6. 하드웨어 성능 검증(2차년도)

가. 신뢰성시험 현황 - 전기적 특성 관련

본 시험은 주로 차량 전원계통의 각종 이상현상에 대한 ACU의 내성을 확인하는 것으로, 관

련 시험 현황은 다음과 같다.

순번	항목	시험결과	비고
1	초기성능	합격	
2	작동전압	합격	
3	전원전압변동	합격	
4	전원전압단속	합격	
5	전원역극성	합격	
6	과전압	합격	
7	전원전압순단	합격	
8	단락	-	시험예정
9	과도전압	합격	
10	정전기	합격	

나. 신뢰성시험 현황 - 온습도/기계적 충격 관련

본 시험은 주로 ACU의 보관 및 차량 장착상태에서의 여러 환경조건에 의한 온도 변화나 기계적 충격에 대한 내성을 확인하는 것으로, 관련 시험 현황은 다음과 같다.

순번	항목	시험결과	비고
1	저온방치	합격	
2	저온작동	합격	
3	고온방치	합격	
4	고온작동	합격	
5	온도사이클	합격	
6	열충격	합격	
7	온습도사이클	-	시험예정
8	정상습도	-	시험예정
9	먼지	합격	
10	온도특성	-	시험예정
11	진동	전원컨덴서이탈	보완
12	낙하	전원컨덴서이탈	보완
13	내구	합격	

14	충격	-	시험예정
15	결로	-	시험예정

위 시험항목중에서 내구시험을 위하여 별도의 전용 시험장비를 제작하였다. 제작한 시험장비는 8개의 ACU를 동시에 연결할 수 있으며 일정한 시간 간격으로 ACU 의 고장 시뮬레이션을 하게 된다. 아래 사진은 내구시험장비의 동작 모습이다.



다. 전자파 시험 현황

본 시험은 외부로부터의 전자파 유입에 대해 ACU가 견디는 정도와 ACU가 외부로 방사하는 전자파의 정도를 확인한다. 시험에 사용되는 기준으로는 양산차량에 적용하고 있는 ES96200-00/ES 95910-84 기준을 유용하였으며, 시험 항목은 다음 표와 같다.

시험명	사양	ACU조건	시험결과
방사내성	50V/m	정상동작모드	합격
	60V/m		
	80V/m		
	100V/m		
과도전류인가	80mA	ACU모든와이어적용	합격
	100mA		
	200mA		
복사방출		ACU 및 와이어 하네스로부터의 노이즈 평가	합격
전원선 전이 방출		ACU 전원라인	합격

전자파 내성 시험 과정에서 ACU의 정상동작유무는 ACU 경고등의 점등 유무를 통해 확인한다. 다음 그림은 전자파 무향실에서 실시된 방사면역성 시험 장면 사진이다.



7. 실차시험 성능 검증 (2차년도)

ACU 단품에 대해 소프트웨어 기능시험 및 하드웨어의 신뢰성 시험을 수행하지만, 최종적으로는 실차시험을 통해 알고리즘의 성능과 실제 충돌상황에서의 기본 소프트웨어 및 하드웨어의 성능을 검증 하게 된다. 실차실험을 위해서는 기존 양산차량에 설치된 ACU를 제거하고 개발중인 ACU를 설치하여 충돌시험을 수행하게 되며, 이를 위해 다음과 같은 별도 작업을 수행하였다.

- 기존 차량 하네스에 개발품 ACU를 연결할 수 있는 컨넥터 모듈 제작 설치
- 전방충돌센서와 센싱용 ACU 연결을 위한 별도 하네스 제작 설치

각 충돌실험에는 2개씩의 ACU가 탑재되며, 1개는 실제로 모든 센서와 인플레이터가 연결되어 에어백 전개까지 담당하며, 다른 1개는 센싱용으로서 인플레이터와 안전벨트, 시트위치센서를 연결하지 않고 TTF만 기록하게 된다. 여기서 센싱용 ACU는 소프트웨어를 수정하여 안전벨트 및 시트위치센서 입력을 강제로 해당 충돌실험 모드에 맞추어 롬 데이터로 기록하게된다.

다음 그림은 충돌실험을 위하여 ACU 위쪽에 컨넥터 모듈을 부착한 모습이다.



8. 전자파 (EMC) 시험 결과 (2차년도)

가. 시험목적

북미 법규 대응을 위하여 전자파(EMC) 시험연구를 통한 첨단 인공지능 에어백 독자 기술 개발 위함

자동차안전기준에관한규칙 제111조2항(전자파장해방지장치) 및 EEC 95/54에 준하여 시험함.

다. 시험 항목 및 시험 장소

전자파방사 및 내성시험을 실시하였으며, 모든 시험은 자동차성능연구소 내의 EMC Test Facility(전자파 무반사실, 그림 3-5-10 참조)에서 실시함.

라. 차량 및 시험품 사양

1) 시험차량

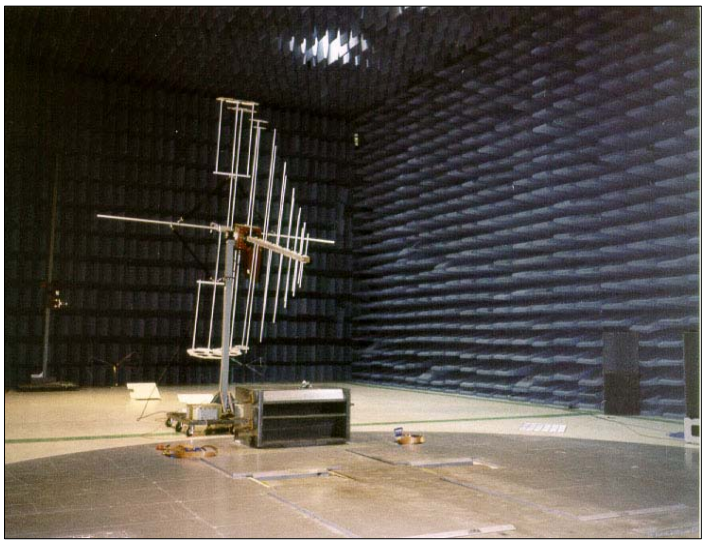
- 차 명 :
- 형 식 : 1.6 SOHC, 북미사양
- 관리번호 : #9 호차
- 차대번호 : KMHDM46DX6U336758

2) 시험품

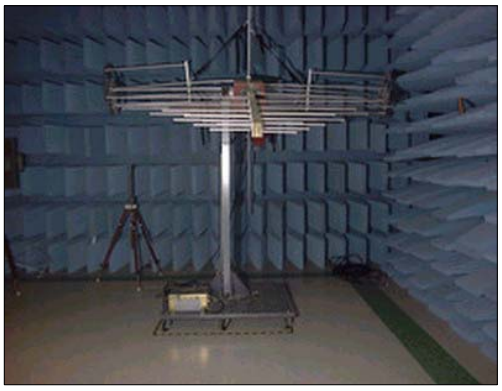
- ACU : 현대자동차 (25LOB), 모비스 (25LOB)
- 충돌 센서 : 현대모비스에서 제각한 전방충돌센서 사용

마. 시험 설비 및 장비 사양

장비명	모델명	제 작 사	제작번호	규 격	비고
전자파 무반사실		ETS	15372	20×13×7(m)	그림 3-5-10
전계발생 장치(안테나)	LPD	EMCO	K001	20 ~ 200MHz	그림 3-5-11
	AT1080	EMCO	18149	200 ~ 1GHz	그림 3-5-12
전력증폭기	AR2500L	Amplifier Research	18572	10kHz ~ 200MHz	그림 3-5-13
	AR1000W		18658	200MHz ~ 1GHz	그림 3-5-14
신호발생기	2024	MARCONI	122181006	10kHz ~ 2.4GHz	그림 3-5-15
전력측정기	4300	BOONTON	84804ED	100kHz-1GHz	그림 3-5-15
전계강도 측정센서	FP3000A	Amplifier Research	18512	10kHz ~ 1GHz	그림 3-5-16
EMI Test Receiver	ESI26	R & S	100051	20Hz ~ 24GHz	그림 3-5-17
Pre-Amplifier	8447F	HP	3113A06754	9kHz ~ 1.3GHz	그림 3-5-17
EMI 안테나	6111B	Chase	1868	30MHz ~ 1GHz	그림 3-5-18



<그림 3-5-10> 전자파무반사실



<그림 3-5-11> 전계발생장비(저주파)



<그림 3-5-12> 전계발생장치(고주파)



<그림 3-5-13> 전력증폭기(저주파)



<그림 3-5-14> 전력증폭기(고주파)





<그림 3-5-15> 신호발생기 및 전력 측정기 <그림 3-5-16> 전계강도 측정센서



<그림 3-5-17> EMI Receiver 및 Pre-Amp



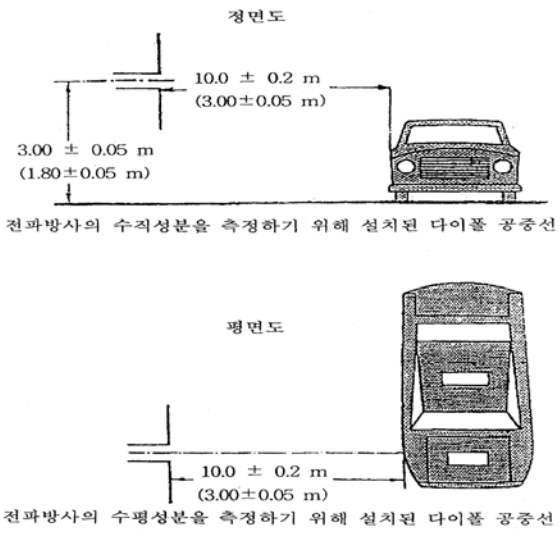
<그림 3-5-18> 수신안테나

바. 시험 항목별 시험 조건

1) 협대역 전자파 방사 시험

○ 시험 안테나 조건 (그림 3-5-19 참조)

- 시험 주파수 : 30 MHz ~ 1 GHz
- 안테나와 시험자동차간의 수평거리 : 10 미터
- 수신안테나 높이 : 3 미터
- 수신안테나 극성 : 수평 및 수직극성
- 수신안테나 위치 : 원동기의 중앙을 기준으로 자동차의 좌·우편에 위치



<그림 3-5-19> 시험 안테나 조건

○ 시험장비 조건

- 수신 안테나 : Chase 6111B Bi-Log Antenna (30 MHz ~ 1 GHz)
- EMI Receiver : R&S ESI26
  - Detector : Peak / Average
  - Band Width : 120 kHz
  - Scan Time : 100 ms/MHz

○ 시험자동차 작동 조건

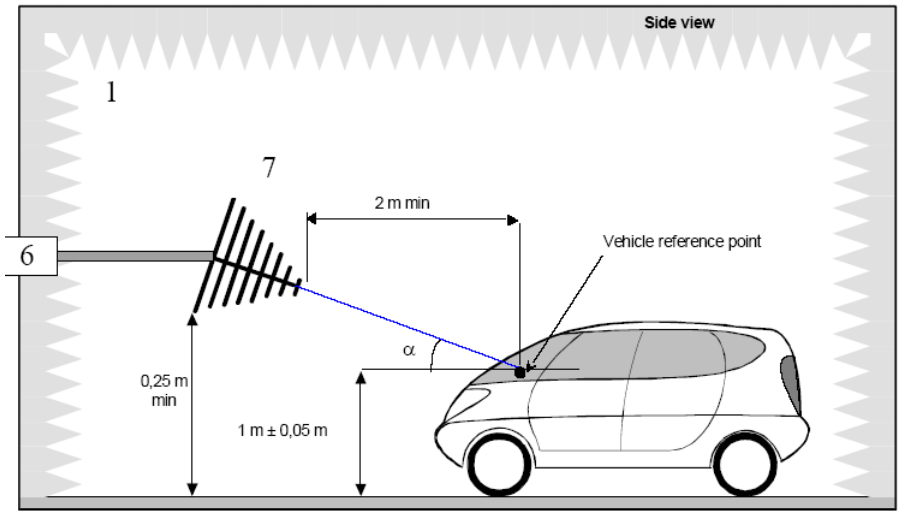
- 엔진은 작동시키지 않으며 이그니션만 ON 함.
- 현대 모비스 첨단에어백 ECU는 정상동작 상태에 있음.

2) 전자파 내성 시험

○ 시험 안테나 조건 (그림 3-5-20 참조)

- 시험 주파수 : 20 MHz - 1000 MHz
- 측정 기준점 : 앞 차축에서 실내 쪽으로 0.2미터인 면 중 차량의 중심점이며, 높이는 1미터인 점.
- 송신 안테나의 높이 및 수평거리

주파수 범위	Antenna 수평거리	안테나 높이	안테나 극성	안테나 위치
20 MHz ~ 200 MHz	3.0 m	1.7 m	수직	차량의 전면 중심 방향
200 MHz ~ 1 GHz	3.0 m	1.5 m		



<그림 3-5-20> 시험 안테나 조건

○ 시험 장비 및 조건

- 송신 안테나
  - · Large Log Periodic Antenna (20 MHz ~ 200 MHz)
  - · AT 1080 (200 MHz ~ 1 GHz)
- Amplifier
  - · AR 2500L : 10 kHz ~ 200 MHz
  - · AR 1000W : 200 MHz ~ 1 GHz
- Signal Generator : MARCONI 2024 (10 kHz ~ 2.4 GHz)
- Power Meter : BOONTON 4300
- Field Probe Sensor : AR FP 3000A
- 시험 주파수 : 20 MHz ~ 1 GHz (Sweeping 및 14 Spot Frequency)

시 험 주 파 수	시 험 주 파 수 Step
20 MHz ~ 200 MHz	2 MHz
200 MHz ~ 1 GHz	10 MHz

- 전계 강도 : 30 V/m(실효치)
- 시험 신호 : 1 kHz Sine Wave / 80% 진폭변조(Peak Conservation)
- 인가 시간 : 2초
- 시험 방법 : Substitution Method

○ 시험자동차 작동 조건

- 엔진은 작동시키지 않으며 이그니션만 ON 함.
- 현대 모비스 첨단에어백 ECU는 정상 전압인가 상태로 시험을 실시함

사. 시험 항목별 시험 결과

1) 협대역 전자파 방사 시험

기준 주파수 (MHz)	측정 주파수 (MHz)	기준값 (dBμV/m)	측 정 결 과 (dBμV/m)					비고
			시험자동차 우측		시험자동차 좌측		최대값	
			수직 측정값	수평 측정값	수직 측정값	수평 측정값		
30-50	30.0	22.0	18.0	17.8	19.2	18.0	19.2	
50-75	56.2	22.0	6.9	12.5	6.2	11.4	12.5	
75-100	96.4	23.6	11.8	10.9	12.0	10.4	12.0	
100-130	130.0	25.6	12.7	14.3	13.1	12.3	14.3	
130-165	135.0	25.9	14.4	16.1	14.1	13.8	16.1	
165-200	168.8	27.3	11.2	12.1	10.9	10.7	12.1	
200-250	250.0	29.9	13.7	14.5	14.7	16.4	16.4	
250-320	270.0	30.4	15.9	14.8	15.2	16.6	16.6	
320-400	399.5	33.0	18.0	19.7	18.1	17.8	19.7	
400-520	500.5	33.0	20.0	20.4	20.0	22.5	22.5	
520-660	646.5	33.0	25.7	24.4	23.7	23.9	25.7	
660-820	819.5	33.0	28.5	26.4	26.2	27.9	28.5	
820-1000	985.0	33.0	31.8	30.2	30.3	30.8	31.8	

2) 전자파 내성 시험

주파수 (MHz)	교 정 값			시 험 값		오작동 여부	비고
	신호 발생기(dB)	순방향전력 (Watt)	전계강도 (V/m)	신호발생기(dB)	순방향전력 (Watt)		
27	-13.5	262.4	30.0	-18.3	81.9	정상	주)
45	-17.5	110.7	30.8	-22.4	34.0	〃	〃
65	-14.9	157.8	30.5	-19.8	48.8	〃	〃
90	-17.0	107.9	30.5	-22.1	32.1	〃	〃
120	-14.4	143.6	31.4	-19.2	45.3	〃	〃

150	-14.7	178.7	30.3	-19.8	53.2	〃	〃
190	-14.3	91.4	31.0	-19.0	28.5	〃	〃
230	-11.8	65.5	30.6	-16.3	15.6	〃	〃
280	-16.4	38.6	31.0	-15.3	13.6	〃	〃
380	-17.4	31.1	30.2	-17.0	9.5	〃	〃
450	-10.3	59.0	30.5	-14.4	18.8	〃	〃
600	-13.8	17.5	30.6	-16.7	5.5	〃	〃
750	-10.7	45.3	30.8	-13.7	13.9	〃	〃
900	-11.5	32.3	30.3	-15.0	10.4	〃	〃

주) 에어백 Inflator에는 연결하지 않았으며 스켄툴을 이용하여 ACU의 메모리 상태로 이상 작동 유무를 확인한 결과임.



<그림 3-5-21> 운전석 에어백 전개



<그림 3-5-22> 측면에어백 전개

아. 결 론

1) 협대역 전자파 방사 시험

ACU 의 협대역 전자파 방사성능은 법규를 만족한 것으로 판단됨.

다만 차량 내부의 오디오 수신 성능에 미치는 영향을 시험하는 RFI 시험은 실시하지 못하였으며 차기 시험시에는 반드시 실시하여야 할 것으로 판단됨.

2) 전자파 내성시험

시험품이 완벽하지 않은 충돌 전용 시제품으로서 현대 모비스 알고리즘이 적용된 ACU를 평가 대상으로 하였음. 따라서 평가시험은 가장 기본적인 법규 만족 여부를 확인하였으며 시험차량 조건도 이그니션 On 조건에

서 시험을 실시하였다. 법규 주파수와 전계강도로 시험한 결과는 오작동 없이 정상작동 한 것으로 확인하였음.

차기 시험시에는 북미 규격으로 최대 전계강도와 신규로 적용되고 있는 레이더 펄스 시험을 반드시 실시하여 첨단에어백 시스템의 전자파 성능을 평가하여야 할 것으로 사료됨.

첨부 1 : Cable Loss 및 Antenna Factor

첨부 2 : 시험 Data

첨부 3 : 시험차량 및 시험품 사진

(첨부 1) Cable Loss & Antenna Factor

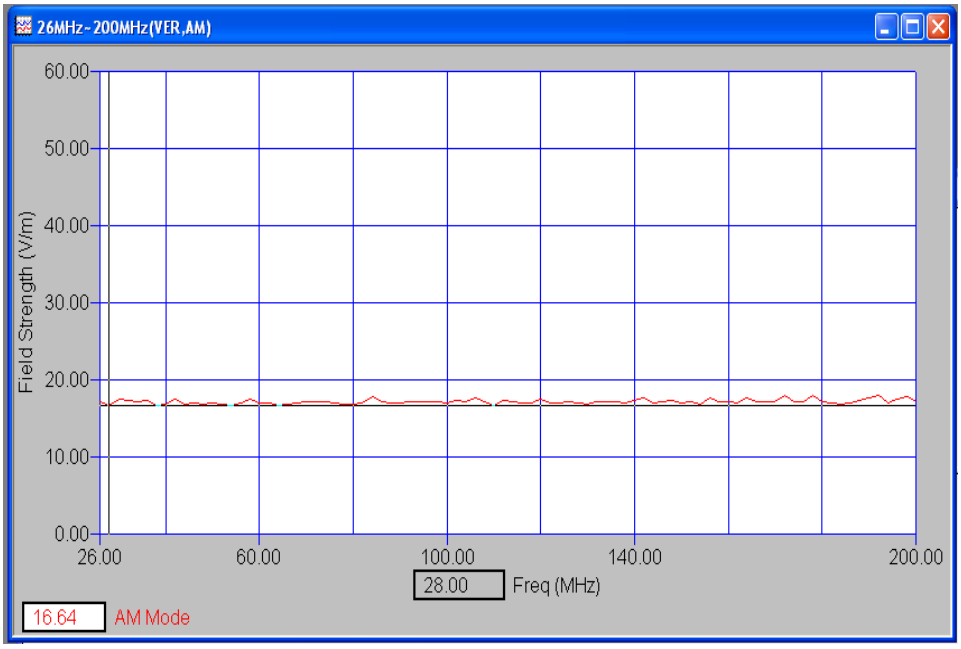
○ Cable Loss

주파수(MHz)	10M 용(dB)	주파수(MHz)	10M 용(dB)
20.00	0.6	230.00	2.9
30.00	0.9	280.00	3.3
40.00	1.1	400.00	4.0
50.00	1.3	500.00	4.5
65.00	1.5	600.00	4.9
80.00	1.6	650.00	5.2
100.00	1.9	750.00	5.6
120.00	2.0	800.00	5.8
160.00	2.4	900.00	6.2
190.00	2.6	1000.00	6.6

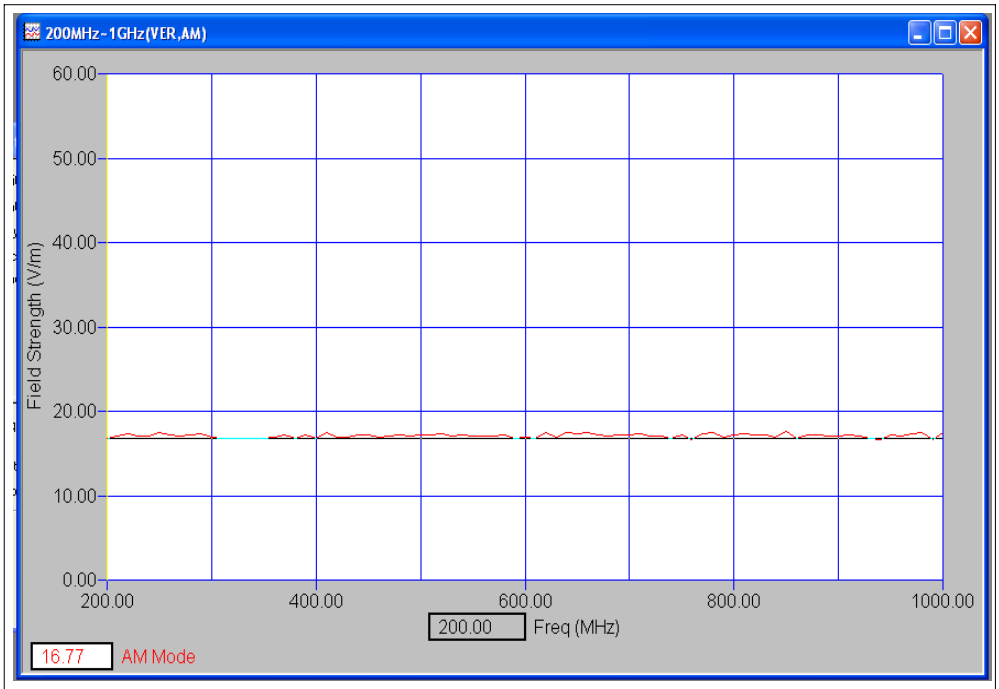
○ CHASE 6111B Antenna Factor

주파수(MHz)	자유공간손실 (dB)	안테나펙타 (dB/m)	주파수(MHz)	자유공간손실 (dB)	안테나펙타 (dB/m)
30	59.94	19.0	200	23.40	8.7
35	52.28	16.1	250	29.10	12.3
40	46.07	13.2	300	28.28	13.0
45	39.36	10.4	350	29.02	14.2
50	33.31	8.0	400	31.32	15.6
60	27.45	5.3	450	32.90	16.9
70	27.00	5.8	500	33.20	17.6
80	28.80	7.1	550	37.61	20.4
90	30.05	8.7	600	36.35	20.1
100	31.72	9.9	650	36.75	20.9
120	34.10	11.9	700	38.83	21.3
140	32.42	11.7	800	37.92	22.3
160	28.10	10.1	900	40.27	23.9
140	32.42	11.7	1000	40.09	24.8

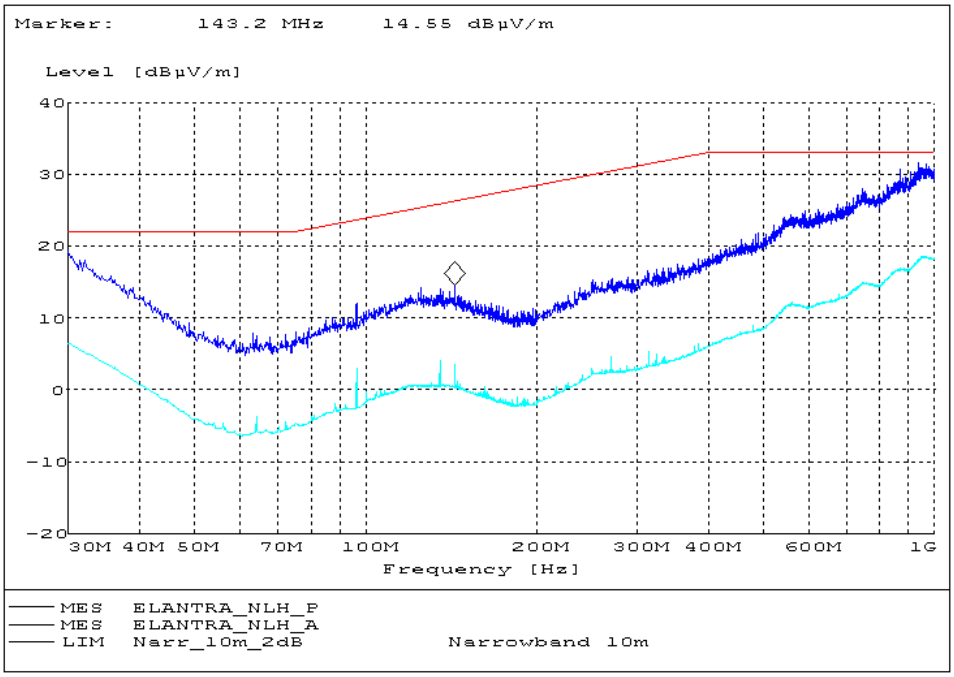
(첨부 2) 전자파 시험 데이터



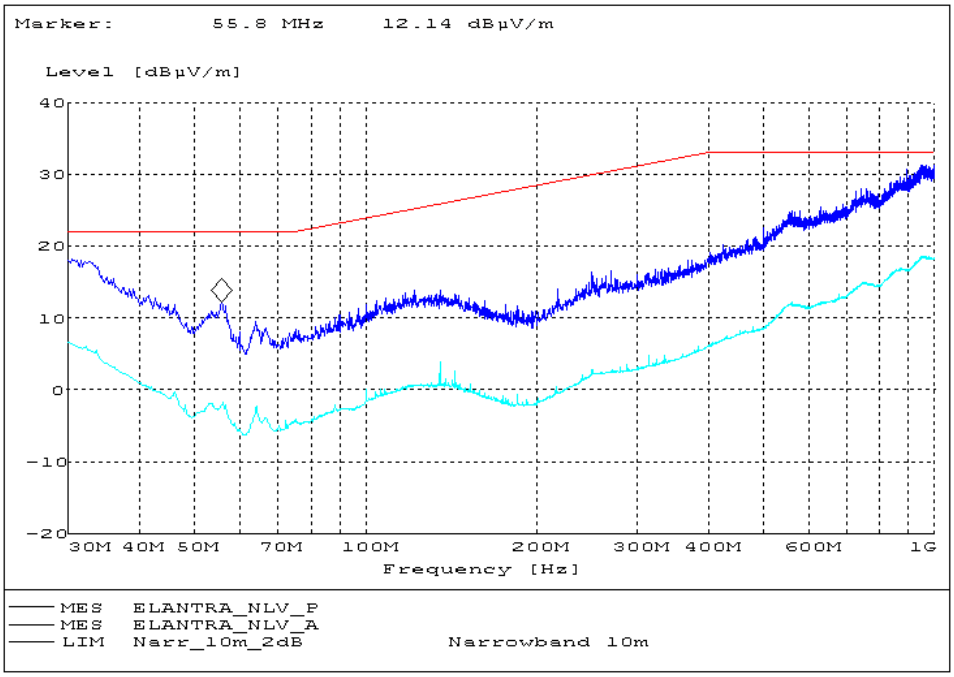
EMS : 26MHz ~ 200MHz(Vertical, AM)



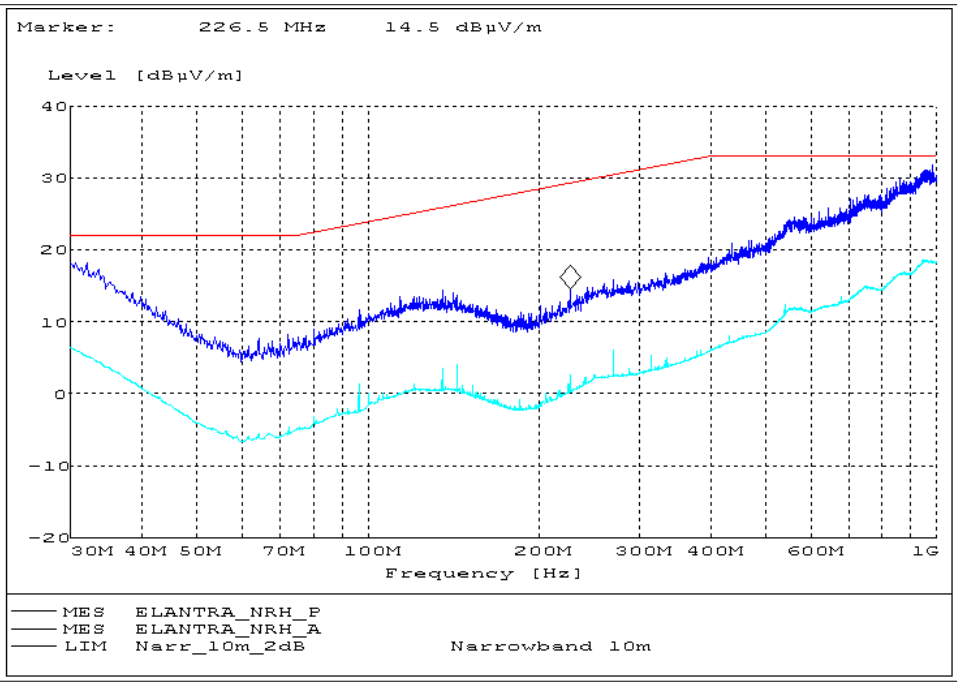
EMS : 200MHz ~ 1GHz(Vertical, AM)



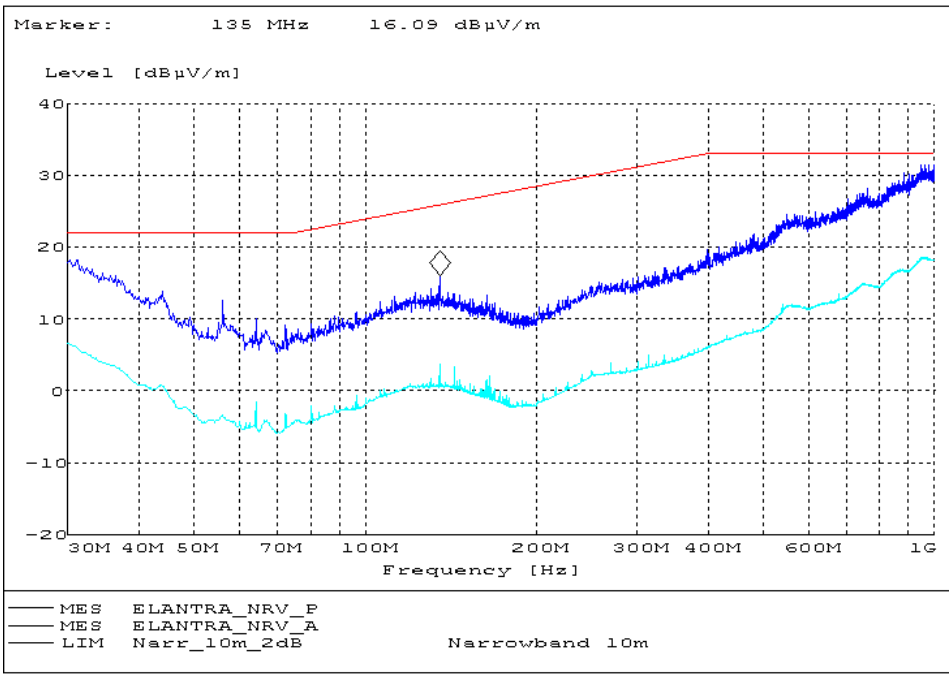
Narrowband EMI Left Horizontal



Narrowband EMI Left Vertical



Narrowband EMI Right Horizontal



Narrowband EMI Right Vertical

(첨부 3) 시험품 사진



(시험차량 전면)



(시험차량 엔진룸 부분)



(시험차량 내부)



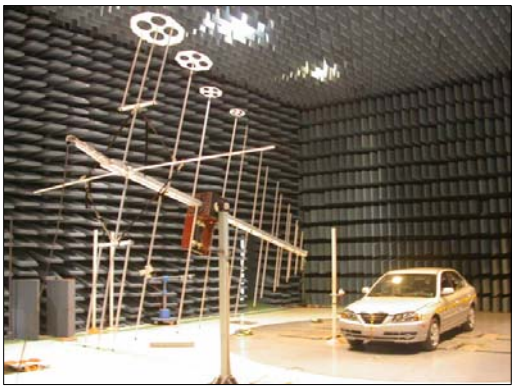
(첨단에어백 유니트 장착)



(전자파 방사시험 : RH Side)



(전자파 방사시험 : LH Side)



(전자파내성시험(저주파))



(전자파내성시험(고주파))

9. ACU 성능 검증 (3차년도)

ACU 성능 검증은 하드웨어와 소프트웨어의 성능 및 신뢰성을 각각 검증하게 된다. 소프트웨어의 성능은 ACU의 각 동작사양을 확인하기 위한 기능시험과 PIT(Pulse Injection Tester)를 통한 알고리즘 소프트웨어의 정상동작 확인 절차를 거친다. 하드웨어의 성능은 ACU 소프트웨어 성능검증과정에서 일부 간접적으로 확인하며, 나머지 성능 및 신뢰성은 환경시험 및 EMI/EMC 시험을 통해 확인하였다.

ACU의 하드웨어 및 소프트웨어의 각 입출력 사양별 구현현황은 다음 표와 같다.

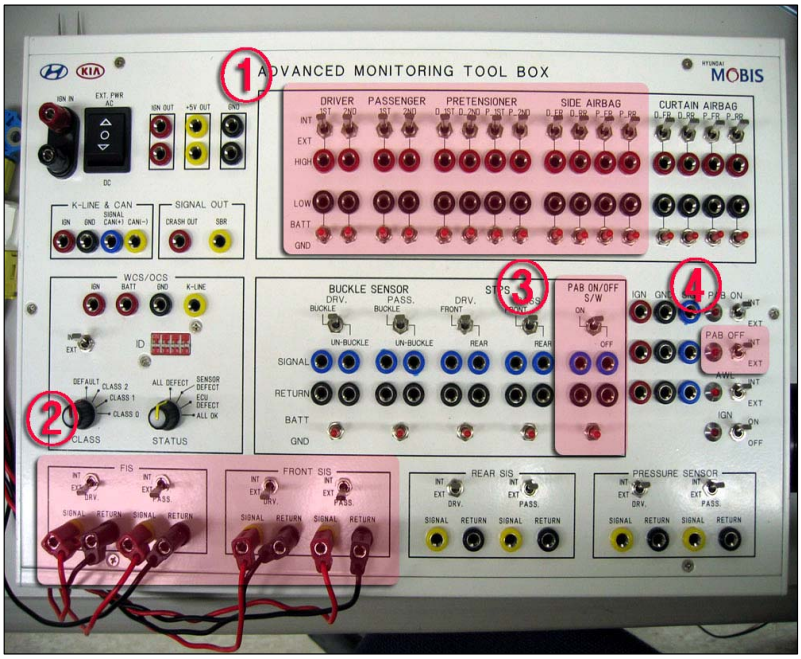
사양		하드웨어	소프트웨어
인플레이터	운전석1차	지원	지원
	운전석2차	지원	지원
	운전석PT	지원	지원
	운전석PT(2차)	지원	
	조수석1차	지원	지원
	조수석2차	지원	지원
	조수석PT	지원	지원
	조수석PT(2차)	지원	
	운전석 측면	지원	지원
	운전석 커튼	지원	
	운전석 커튼(후방)	지원	
	조수석 측면	지원	지원
	조수석 커튼	지원	
	조수석 커튼(후방)	지원	
센서	운전석 버클센서	지원	지원
	운전석 시트위치센서	지원	지원
	조수석 버클센서	지원	지원
	조수석 시트위치센서	지원	지원
승원감지센서		지원	
전방충돌센서	운전석 전방충돌센서	지원	지원
	조수석 전방충돌센서	지원	지원
측면충돌센서	운전석 측면충돌센서	지원	지원
	운전석 측면충돌센서(후방)	지원	지원
	조수석 측면충돌센서	지원	지원
	조수석 측면충돌센서(후방)	지원	지원
에어백 경고등		지원	지원
조수석전개금지 경고등		지원	지원
충돌신호		지원	지원

10. ACU 소프트웨어 성능 검증 (3차년도)

가. 일반 기능 시험

(1) 기능시험 절차

소프트웨어 기능시험은 실차에서의 ACU 입출력을 실험실 환경에서 모사하는 시뮬레이션 툴박스를 이용하여 수행한다. 양산환경에서는 자동화된 기능시험기를 이용하여 시험을 수행하지만 본 개발과정에서는 여러 가지 다양한 조건에 대해 시험을 수행할 수 있고 소프트웨어 디버깅이 수시로 일어나므로 수동으로 조작하는 툴박스를 이용하였다.



(2) 인플레이터 구동회로 점검 기능

에어백을 전개시키는 인플레이터는 ACU의 출력중에서 가장 중요한 요소중 하나이며, 다음 항목에 대한 시험을 수행하였다.

- 저항 과대 (단선)
- 저항 과소 (단락)
- 전원측 단락
- 접지측 단락

위 항목중에서 저항과대, 저항과소, 출력선 단락 그리고 단선은 해당 인플레이터의

저항을 측정하여 시험한다.

(3) 센서 입력회로 점검 기능

벨트 착용 여부와 시트의 전후방 위치 검출을 위해 사용되는 센서는 홀센서 타입을 사용하게 되며, ACU측에서는 센서의 저항 또는 전류변화를 감지하여 센서의 상태를 확인하게 된다. 센서 입력회로 점검시에는 실제 홀센서를 사용하지 않고 홀센서의 전류 특성을 재현할 수 있는 저항기를 연결하여 시험을 한다.

센서 시험 항목은 다음과 같다

- 저항 과대, 단선, 전원측 단락
- 저항 과소, 접지측 단락
- 센서 고장

(4) 경고등 회로 점검기능

ACU의 경고등에는 에어백 고장 경고등과 조수석 전개 금지 경고등 2가지가 있다. 여기서 에어백 고장 경고등은 에어백에 현재 고장이 존재하거나 과거고장이 일정 갯수 이상 기록된 경우, 동일한 고장이 일정횟수 이상 반복해서 발생한 경우 그리고 충돌이 검출된 경우에 점등되며, 운전자에게 에어백 시스템의 점검이 필요함을 알리는 역할을 한다. 조수석 전개 금지 경고등은 조수석 승원감지 시스템에서 조수석에 승객이 타지 않거나 또는 유아가 앉아서 조수석 에어백이 전개되면 안된다는 신호를 보내는 경우 점등된다. 각 경고등의 시험 항목은 다음과 같다 :

- 램프 단락, 전원측 단락
- 램프 단선, 접지측 단락

(5) 전방, 측면 충돌센서 점검기능

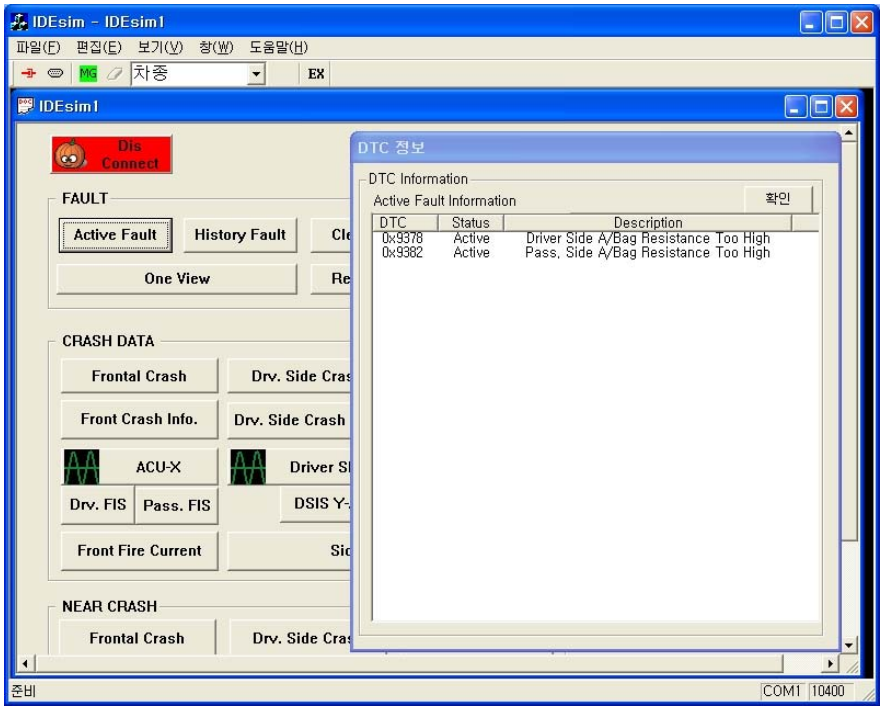
전방충돌센서는 다른 센서와는 달리 ACU와 통신을 통해 연결되며, 점검 항목은 다음과 같다 :

- 통신 불량
- 전원측 단락
- 접지측 단락
- 센서 불량

위 항목중에서 센서 불량은 전방충돌센서가 내부의 자체진단 기능을 통해 고장을 검출, ACU에게 통신으로 알려주며, 다른 항목들은 ACU가 센서 통신라인의 상태를 진단하여 고장을 검출한다. 전원측 단락과 접지측 단락은 통신불량이 발생한 경우 센서 통신라인의 전압을 측정하여 그 값이 정상범위를 벗어난 경우 단락으로 판단한다.

(6) 진단 통신 소프트웨어

ACU 성능검증시에는 PC와 K-라인 통신을 연결하고 진단통신 소프트웨어라는 전용 프로그램을 이용하여 고장진단내용 및 기타 ACU의 내부상태를 모니터링한다. 진단통신 소프트웨어는 GUI 형식으로 구성되어 고장코드 및 다음에 나올 충돌기록항목등을 쉽게 읽어 볼 수 있도록 해 준다. 그리고 모니터링 기능 이외에도 고장기록과 충돌기륵등을 소거할 수 있는 기능이 있다. 다음 그림은 ACU의 운전석과 조수석 측면에어백에 고장이 있는 경우를 진단통신 소프트웨어로 읽은 경우의 화면이다.



나. 정면/측면 충돌기록

충돌기록 기능은 충돌이 일어났을 때 충돌 파형과 그 당시의 각종 ACU 입출력 회로의 상

태를 기록하는 것으로, 충돌시의 상황 파악에 대단히 중요한 자료로 사용 될 수 있다.
충돌기록 항목은 다음과 같다 :

- 충돌 DTC
- 충돌 파형 (ACU 내부 정면,측면 가속도 센서)
- 충돌 파형 (전방충돌센서, 측면충돌센서)
- 충돌 TTF
- 충돌전 시동 횟수 및 라이프 타임 카운터값
- 충돌시 입출력 상태

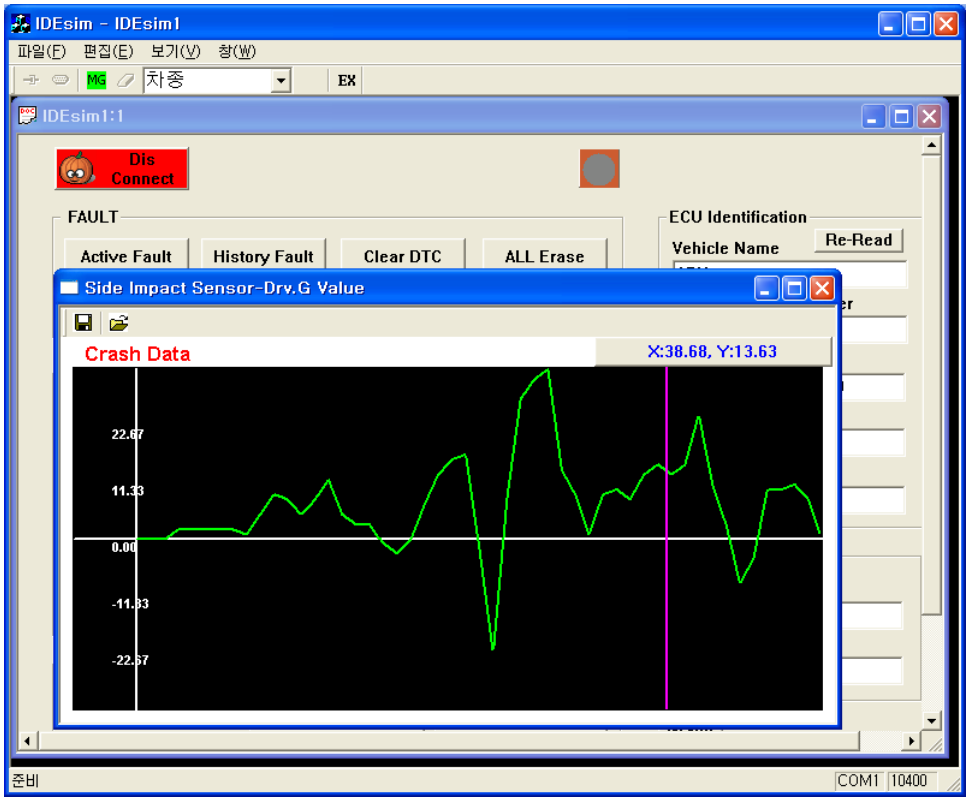
여기서 충돌시 입출력 상태로는 다음과 같은 항목이 있다 :

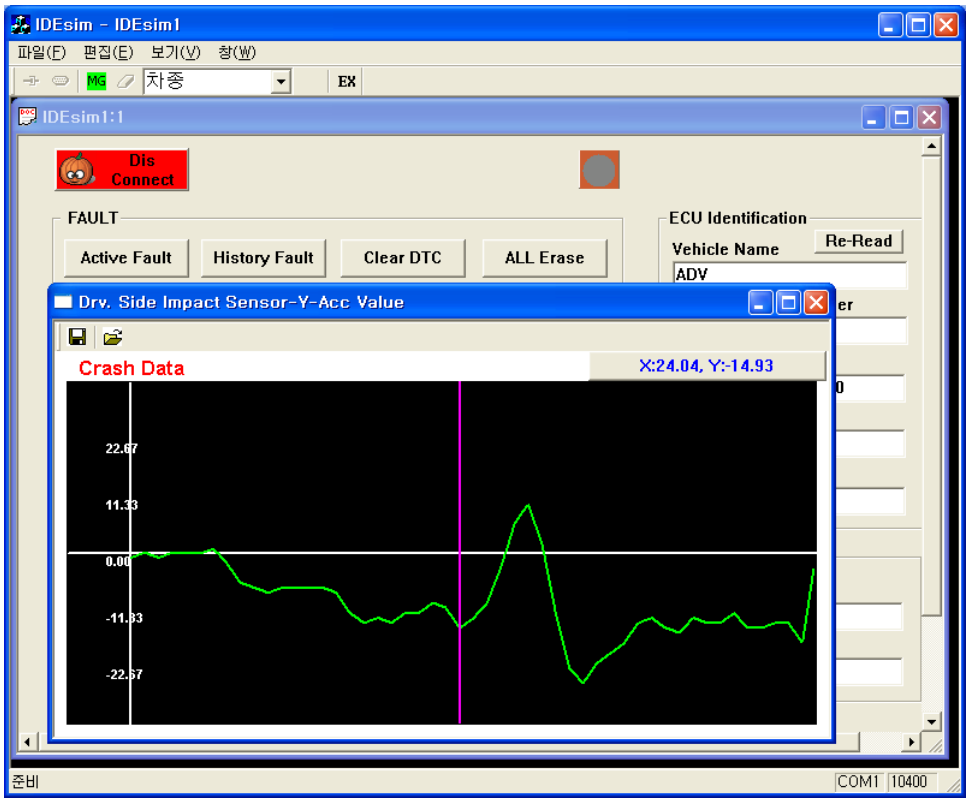
- 배터리 전압
- 내부 전원 전압 (에너지 리저브 회로 전압)
- 인플레이터 저항
- 인플레이터 상태 (정상/고장/미장착)
- 안전벨트센서 상태 (착용/미착용/고장/미장착)
- 시트위치센서 상태 (전방/후방/고장/미장착)

충돌기록 시험은 주로 손으로 ACU와 전방충돌센서, 측면충돌센서를 충격을 주어 ACU의 충돌상황을 모사하는 형식으로 시험을 진행한다.

다음은 측면충돌실험시 충돌기록 확인 화면의 예이다

충돌 파형은 그래프 형태로 확인 할 수 있으며, 데이터 파일로 저장도 가능하다.
다음 그림은 측면충돌시 충돌파형 데이터 확인화면의 예이다.


IDEsim - IDEsim1
파일(F) 편집(E) 보기(V) 창(W)
차종
EX
IDEsim1:1
Dis Connect
FAULT
Active Fault
History Fault
Clear DTC
ALL Erase
ECU Identification
Vehicle Name
Re-Read
Side Impact Sensor-Drv.G Value
Crash Data
X:38.68, Y:13.63
22.67
11.33
0.00
-11.33
-22.67
준비
COM1 10400


IDEsim - IDEsim1
파일(F) 편집(E) 보기(V) 창(W)
차종
EX
IDEsim1:1
Dis Connect
FAULT
Active Fault
History Fault
Clear DTC
ALL Erase
ECU Identification
Vehicle Name
Re-Read
ADV
Drv. Side Impact Sensor-Y-Acc Value
Crash Data
X:24.04, Y:-14.93
22.67
11.33
0.00
-11.33
-22.67
준비
COM1 10400

11. 하드웨어 성능 검증 (3차년도)

가. 신뢰성시험 현황 - 전기적 특성 관련

본 시험은 주로 차량 전원계통의 각종 이상현상에 대한 ACU의 내성을 확인하는 것으로, 관련 시험 현황은 다음과 같다.

순번	항목	시험결과	비고
1	초기성능	합격	2차년도 실시
2	작동전압	합격	2차년도 실시
3	전원전압변동	합격	2차년도 실시
4	전원전압단속	합격	2차년도 실시
5	전원역극성	합격	2차년도 실시
6	과전압	합격	2차년도 실시
7	전원전압순단	합격	2차년도 실시
8	단락	합격	
9	과도전압	합격	2차년도 실시
10	정전기	합격	2차년도 실시

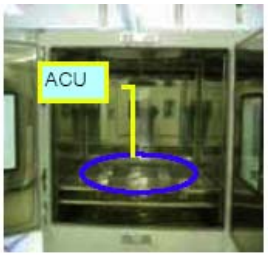
나. 신뢰성시험 현황 - 온습도/기계적 충격 관련

본 시험은 주로 ACU의 보관 및 차량 장착상태에서의 여러 환경조건에 의한 온도 변화나 기계적 충격에 대한 내성을 확인하는 것으로, 관련 시험 현황은 다음과 같다.

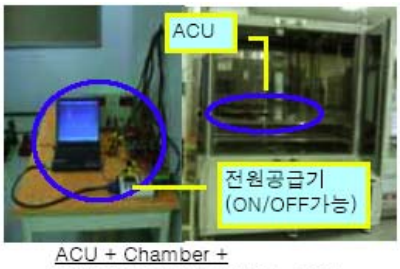
순번	항목	시험결과	비고
1	저온방치	합격	2차년도 실시
2	저온작동	합격	2차년도 실시
3	고온방치	합격	2차년도 실시
4	고온작동	합격	2차년도 실시
5	온도사이클	합격	2차년도 실시
6	열충격	합격	2차년도 실시

7	온습도사이클	합격	
8	정상습도	합격	
9	먼지	합격	2차년도 실시
10	온도특성	합격	
11	진동	합격	
12	낙하	합격	
13	내구	합격	2차년도 실시
14	충격	합격	
15	결로	합격	
16	공진	합격	
17	내수	합격	

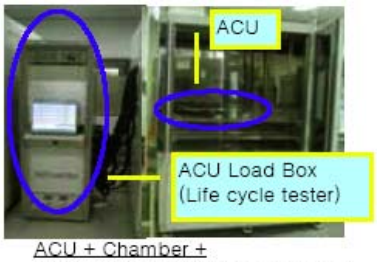
다음 그림은 신뢰성시험에 필요한 시험장치 셋업 사진이다.



ACU + Chamber



ACU + Chamber +
전원공급기(ON/OFF 기능 포함)



ACU + Chamber +
ACU Load Box (실시간 Simulator)

다음 그림은 저온방치시험용 챔버와 열충격 시험기 사진이다.





위 시험항목중에서 내구시험을 위하여 별도의 전용 시험장비(Life Cycle Tester)를 제작하였

다. 제작한 시험장비는 16개의 ACU를 동시에 연결할 수 있으며 일정한 시간 간격으로 ACU 의 고장 시뮬레이션을 하게 된다.

다. 전자파 시험 현황

본 시험은 외부로부터의 전자파 유입에 대해 ACU가 견디는 정도와 ACU가 외부로 방사하는 전자파의 정도를 확인한다. 전자파시험은 모두 2차년도에 실시되었으며, 시험에 사용되는 기준으로는 양산차량에 적용하고 있는 ES96200-00/ES 95910-84 기준을 유용하였다, 시험 항목은 다음 표와 같다.

시험명	사양	ACU조건	시험결과
방사내성	50V/m	정상동작모드	합격
	60V/m		
	80V/m		
	100V/m		
과도전류인가	80mA	ACU모든와이어적용	합격
	100mA		
	200mA		
복사방출		ACU 및 와이어 하네스로부터의 노이즈 평가	합격
전원선 전이 방출		ACU 전원라인	합격

전자파 내성 시험 과정에서 ACU의 정상동작유무는 ACU 경고등의 점등 유무를 통해 확인한다.

12. 전자파 (EMC) 시험 결과 (3차년도)

가. 시험목적

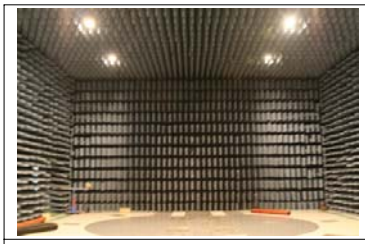
첨단 인공지능 에어백 ACU의 전자파에 관한 최신 국제 규격에 준한 시험을 통하여 ACU의 전자파에 대한 신뢰성을 확인하기 위함.

나. 시험항목 및 기준

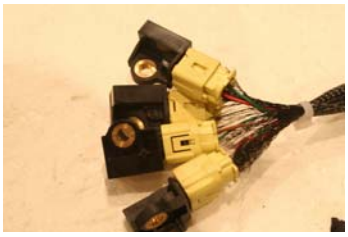
시험항목	시험규격	시험모드	주파수 범위
전자파 내성시험	ISO 11452-2	CW	10kHz ~ 18GHz
		AM	10kHz ~ 800MHz
		PM	800MHz ~ 18GHz
	GM3097	Radar Pulse	1.2GHz ~ 1.4GHz
전자파 방사시험	2004/104/EC CISPR 25	Narrowband	30MHz ~ 1GHz

다. 시험 장소

자동차성능연구소 내의 EMC Test Facility(전자파 무반사실)

		
전자파 무반사실	제어실	시험 모니터링

라. 시험품 및 시뮬레이터

		
ACU	Simulator	Sensor

마. ACU 기능 및 센서

- ACU 기능

DPT(Driver Pretension) : 운전석 프리텐션 기능

PPT(Passager Pretension) : 승객석 프리텐션 기능

DSAB(Driver Side Airbag) : 운전석 사이드 에어백

PSAB(Passager Side Airbag) : 승객석 사이드 에어백

DCAB(Driver Curtain Airbag) : 운전석 커튼 에어백

PCAB(Passager Curtain Airbag) : 조수석 커튼 에어백

- Sensor

FIS(Front Impact Sensor) : 전면충격센서 2개

SIS(Side Impact Sensor) : 측면충격센서 2개

바. 시험 설비 및 장비 사양

장비명	모델명	제 작 사	제작번호	규 격	비고
전자파 무반사실		ETS	15372	20×13×7(m)	
전계발생 장치(안테나)	EFG3B	IFI	1931-0696	10kHz ~ 200MHz	
	AT1080	AR	18249	200MHz ~ 1GHz	
	AT4510	AR	309216	1GHz ~ 4.2GHz	
	AT4520	AR	310306	2.5GHz ~ 7.5GHz	
	AT4530	AR	1310299	7.5GHz ~ 18GHz	

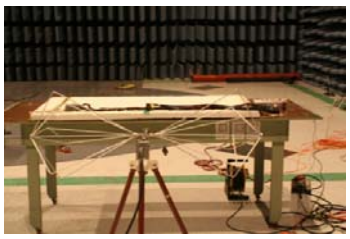
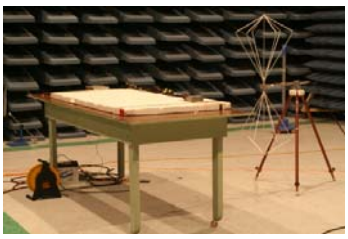
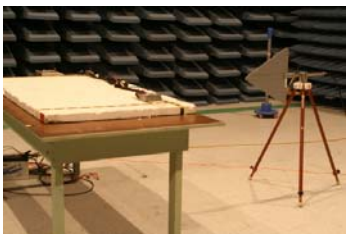
장비명	모델명	제 작 사	제작번호	규 격	비고
전력증폭기	AR2500L	Amplifier Research	18572	10kHz ~ 200MHz	
	AR1000W		18658	200MHz ~ 1GHz	
	250T1G3M1		309776	1GHz ~ 2.5GHz	
	300T2G8M1		309781	2.5GHz ~ 7.5GHz	
	250T8G18M		309785	7.5GHz ~ 18GHz	
	1000TP1G3M1		309788	1.15GHz ~ 1.45GHz	
신호발생기	2024	MARCONI	122181006	10kHz ~ 2.4GHz	
	SMR-20	R/S	101022		
전력측정기	4300	BOONTON	84804ED	100kHz ~ 1GHz	
	NRVD	R/S	101103		
전계강도 측정센서	FP3000A	AR	18512	10kHz ~ 1GHz	
	HI4450	ETS		80MHz ~ 40 GHz	
EMI Test Receiver	ESI26	R & S	100051	20Hz ~ 24GHz	
EMI 안테나	BBA9106	S/B	337	30MHz ~ 300MHz	
	VHA9107	S/B	1666	300MHz ~ 1GHz	

사. 시험 항목별 시험조건

1) 전자파 방사 시험

○ 시험 안테나 조건

- 시험 주파수 : 30 MHz ~ 1 GHz
- 안테나와 시험품간의 수평거리 : 1 미터
- 수신안테나 높이 : 1 미터
- 수신안테나 극성 : 수평 및 수직극성

		
30MHz ~ 300MHz(수평)	300MHz ~ 1GHz(수평)	300MHz ~ 1GHz(수직)

○ 시험장비 조건

- 수신 안테나 : Biconical Antenna(BBA9106), Log Periodic Antenna(VHA9107)

- EMI Receiver : R&S ESI26

· 검파방식 : 최고치 / 평균치

· 대역폭 : 120 kHz

· 측정시간(Scan Time) : 100 ms/MHz

· 내부 Amp : 20 dB

○ 시험품 작동 조건

- 현대 모비스 첨단에어백 ACU는 정상동작 상태에 있음.

2) 전자파 내성 시험

○ 시험 안테나 조건

- 시험 주파수 : 10 kHz ~ 18 GHz

- 송신 안테나의 위치 및 시험모드

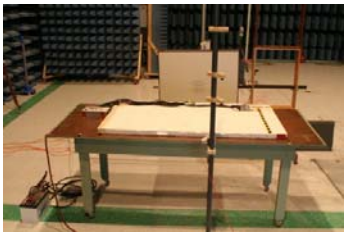
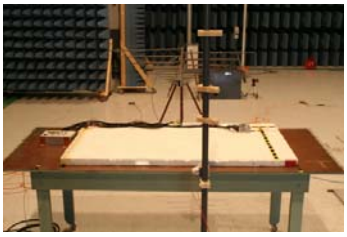
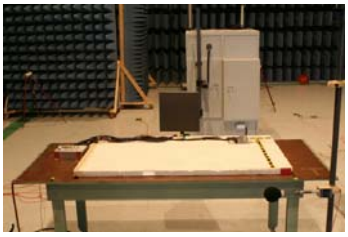
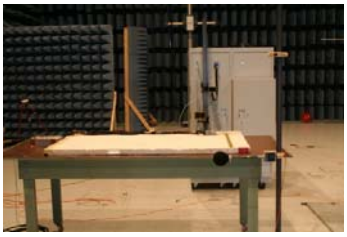
주파수 범위	Antenna 수평거리	안테나 높이	모드	안테나 위치
10 kHz ~ 200 MHz	70 cm	1 m	CW/AM	배선중심
200 MHz ~ 800 MHz	1 m	1 m	CW/AM	배선중심
800 MHz ~ 18 GHz	1 m	1 m	CW/PM	ACU 및 센서중심
1.2 GHz ~ 1.4 GHz	1 m	1 m	Radar	ACU 및 센서중심

· CW Mode : 비변조 사인파

· AM Mode : AM 1 kHz Sine Wave / 80% 진폭변조(Peak Conservation)

· PM Mode : Pulse Modulation(PRR=217 Hz, PD=0.57 ms)

· Radar Pulse : RRR=300Hz, PD=3us with 50pulses output every 1s

		
10 kHz ~ 200 MHz	200 MHz ~ 800 MHz	800 MHz ~ 2.5 GHz
		
800 MHz ~ 2.5 GHz	2.5 GHz ~ 7.5 GHz	7.5 GHz ~ 18 GHz

○ 시험 장비 및 조건

- 공급전압 : 13.2V(차량용 밧데리 이용)
- 송신 안테나
  · E-Field Generator Antenna (10 kHz ~ 200 MHz)
  · Log Periodic Antenna (200 MHz ~ 1 GHz)
  · Horn Antenna (1 GHz ~ 18 GHz)
- Amplifier : AR 2500L, AR 1000W, 250T1G3M1, 300T2G8M1, 250T8G18M, 1000TP1G3M1
- Signal Generator : MARCONI 2024, SMR-20
- Power Meter : BOONTON 4300, NRVD
- Field Probe Sensor : AR FP 3000A ,HI4450
- 시험 주파수 및 주파수 스텝

시험 주파수(MHz)	주파수 Steps(MHz)	시험레벨(V/m)	Class
0.01 ~ 0.1	0.01	100	A
0.1 ~ 1	0.1	100	A
1 ~ 10	1	100	A
10 ~ 200	5	100	A
200 ~ 400	10	100	A
400 ~ 1000	20	100	A
1000 ~ 18000	40	100	A
1200 ~ 1400	40	600	A

- 인가 시간 : 1초

- 시험 방법 : Substitution Method

○ 시험품 동작 상태

- 시뮬레이터를 이용하여 에어백 ACU는 정상상태(에어백 작동상태)로 동작시켰고 카메라를 이용 시험중 시뮬레이터 상의 경고등(AWL)을 확인하였고 각 시험모드별 시험완료 후 K-Line을 통해 ACU 내의 경고 메세지를 확인하였다.

사. 시험 항목별 시험 결과

1) 협대역 전자파 방사 시험

○ 시험기준 및 시험결과

시험 주파수(MHz)	규 제 치(dBuV/m)	측 정 치	기 준	기 타
30 ~ 75	62 - 25.13log(f/75)	규제치 이하	2004/104/EC	유첨 3참조
75 ~ 400	52 + 15.13log(f/75)			
400 ~ 1000	63			

주) 45 MHz에서 60 MHz ACU로부터 약간의 노이즈가 발생하고 있으며 최고치는 120 MHz 수직극성에서 22.1 dBuV/m로 나타나고 있고 기준에 큰 마진폭을 보이고 있다.

2) 전자파 내성 시험

- 시험모드 별 시험결과

주파수 범위	안테나 위치	CW 모드	AM 모드	PM 모드	Radar Pulse
10 kHz ~ 800 MHz	배선중심	오동작	양 호		
800 MHz ~ 18 GHz	ACU	양 호		양 호	
	센서	양 호		양 호	
1.2 GHz ~ 1.4 GHz	ACU				양 호
	센서				양 호

- 오동작 현상

오동작 현상	극 성	주파수(MHz)	임계값(V/m)	기 타
PAD Warming경고등	수직	50	65	
		60	60	
		70	70	
		80	40	
		90	40	
		100	50	
AWL 경고등	수직	80	40	

주) 전자파 환경에 노출된 상태에서 시뮬레이터 상의 경고등 벌브가 점등되었으며 노이즈 제거 후 원상태로 복귀되었다. 시험 후 툴을 이용하여 ACU의 에러상태를 확인하였으나 에러는 발생하지 않았다. 이는 ACU에는 문제가 없으며 시뮬레이터의 경고램프의 내성이 약한 것으로 보인다.

첨부 1 : Cable Loss 및 Antenna Factor

첨부 2 : 전자파 내성시험 Data

참부 3 : 전자파 방사시험 Data

(첨부 1)

Cable Loss & Antenna Factor

○ Cable Loss

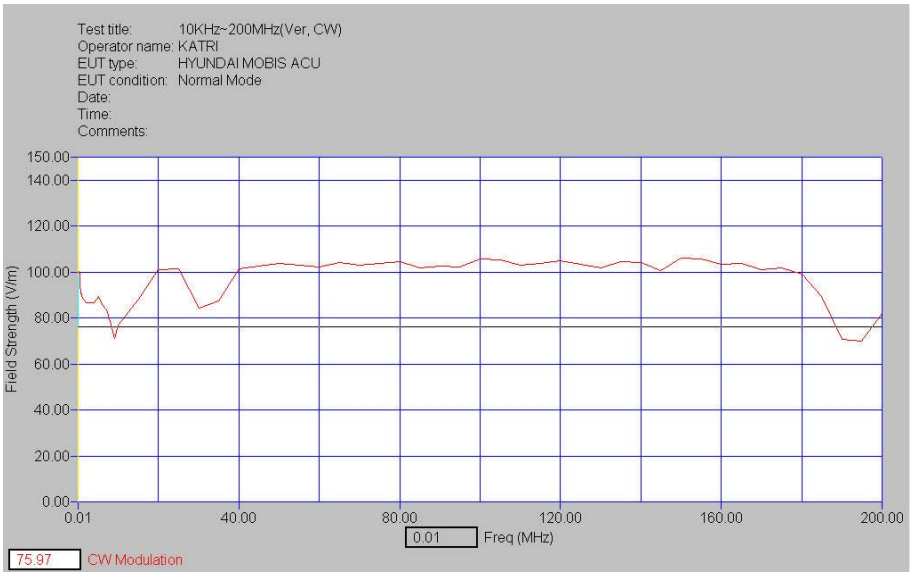
주파수(MHz)	dB	주파수(MHz)	dB
20.00	0.8	230.00	3.1
30.00	1.0	280.00	3.4
40.00	1.2	400.00	4.2
50.00	1.4	500.00	4.7
65.00	1.6	600.00	5.3
80.00	1.7	650.00	5.5
100.00	2.0	750.00	5.9
120.00	2.2	800.00	6.2
160.00	2.5	900.00	6.5
190.00	2.9	1000.00	7.0

○ Antenna Factor

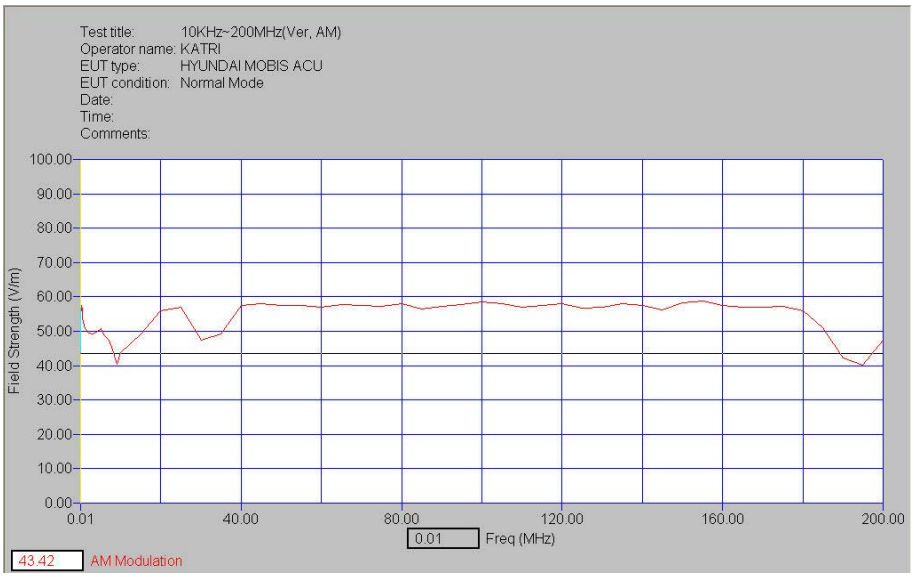
VHA9103(Biconical Antenna)		UHALP9107(Log Periodic Antenna)	
주파수(MHz)	Factor (dB/m)	주파수(MHz)	Factor (dB/m)
30	18.9	300	15.8
35	16.8	350	16.4
40	14.8	400	16.8
45	12.9	450	17.9
50	11.3	500	18.8
60	7.7	550	20.3
70	5.9	600	21.1
80	6.7	650	22.1

VHA9103(Biconical Antenna)		UHALP9107(Log Periodic Antenna)	
주파수(MHz)	Factor (dB/m)	주파수(MHz)	Factor (dB/m)
90	8.6	700	22.2
100	10.5	750	22.8
120	13.0	800	22.9
140	14.5	850	24.4
160	15.2	900	25.0
180	15.7	950	24.6
200	16.5	1000	26.1
225	17.3		
250	17.5		
275	17.9		
300	19.5		

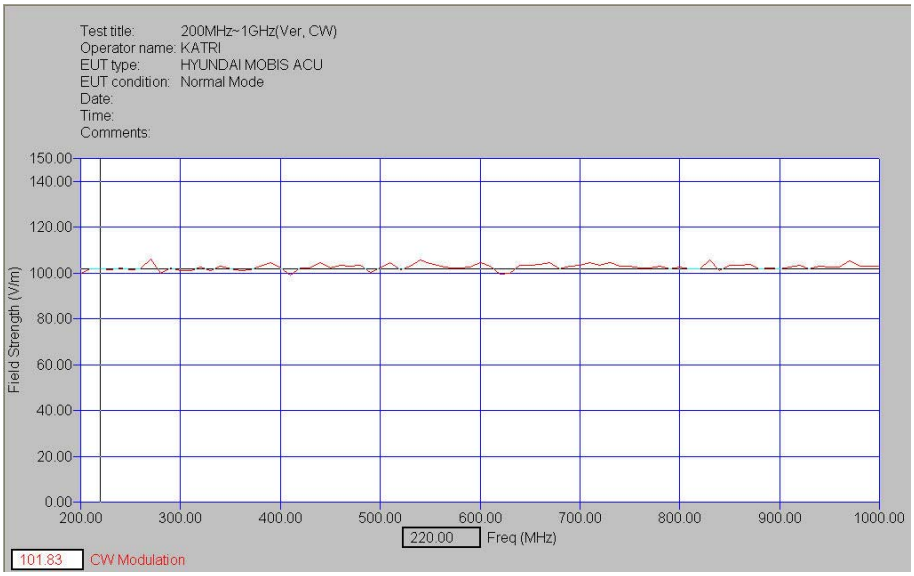
(첨부 2) 전자파 내성시험 데이터



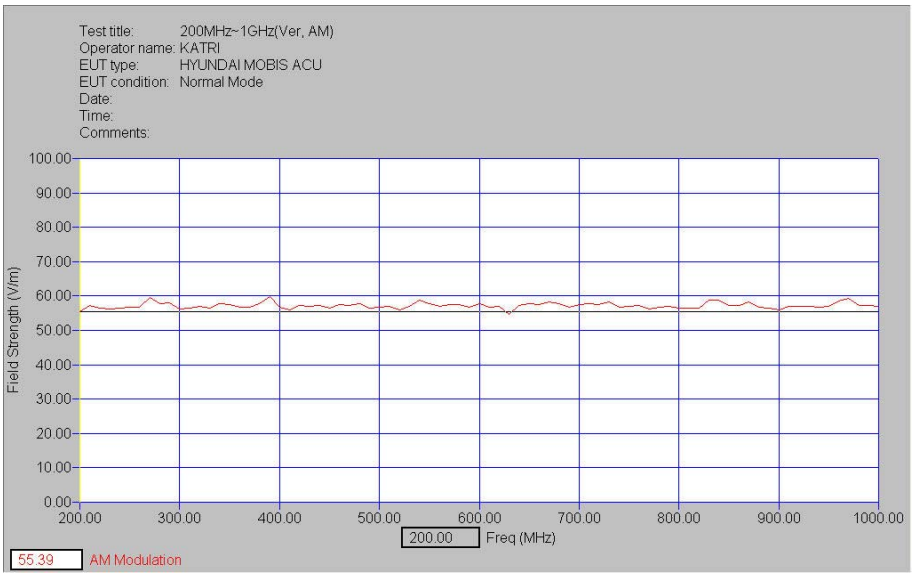
10 kHz ~ 200 MHz(CW)



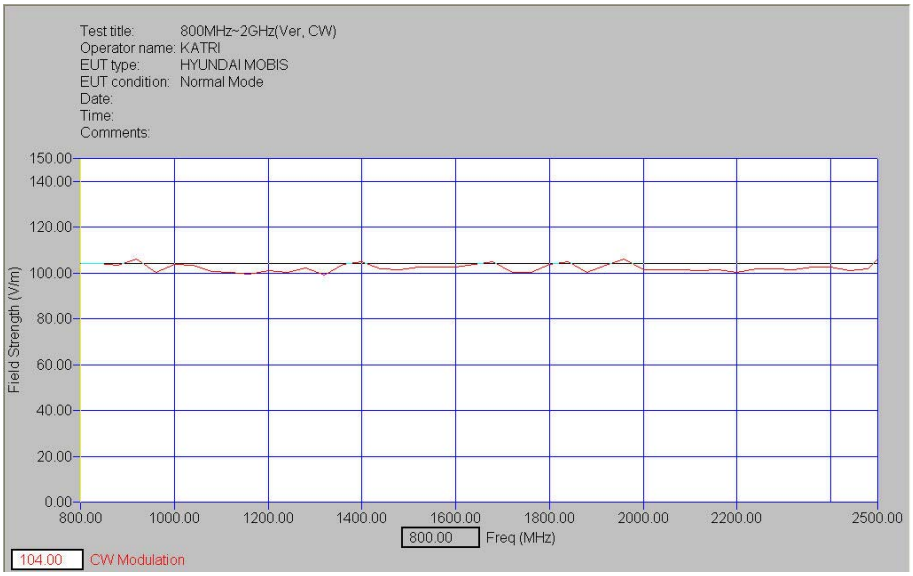
10 kHz ~ 200 MHz(AM)



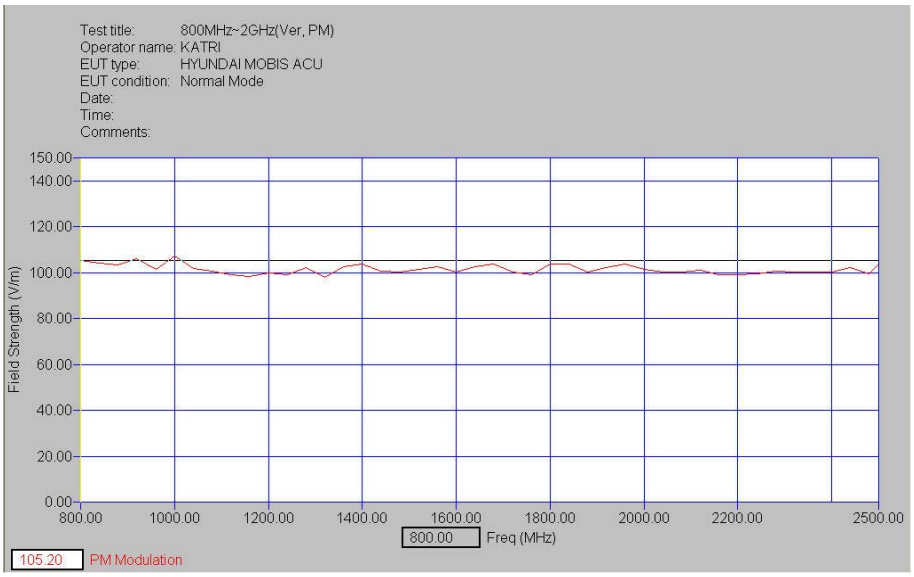
200 MHz ~ 1 GHz(Vertical, CW)



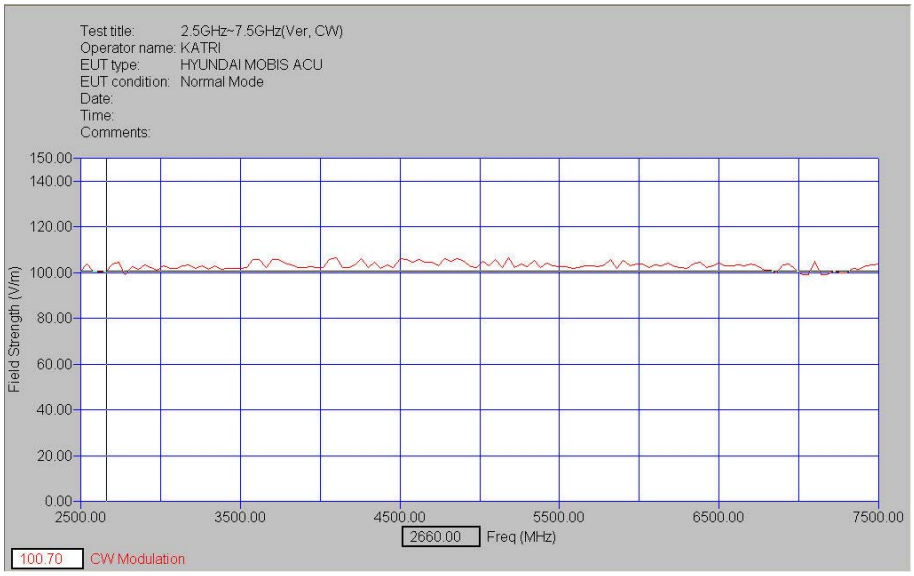
200 MHz ~ 1 GHz(Vertical, AM)



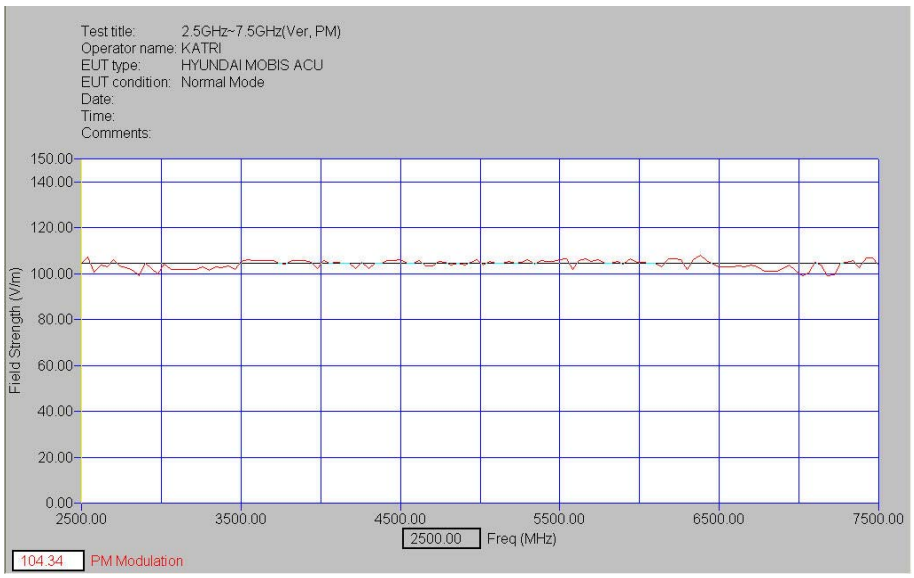
800 MHz ~ 2.5 GHz(CW)



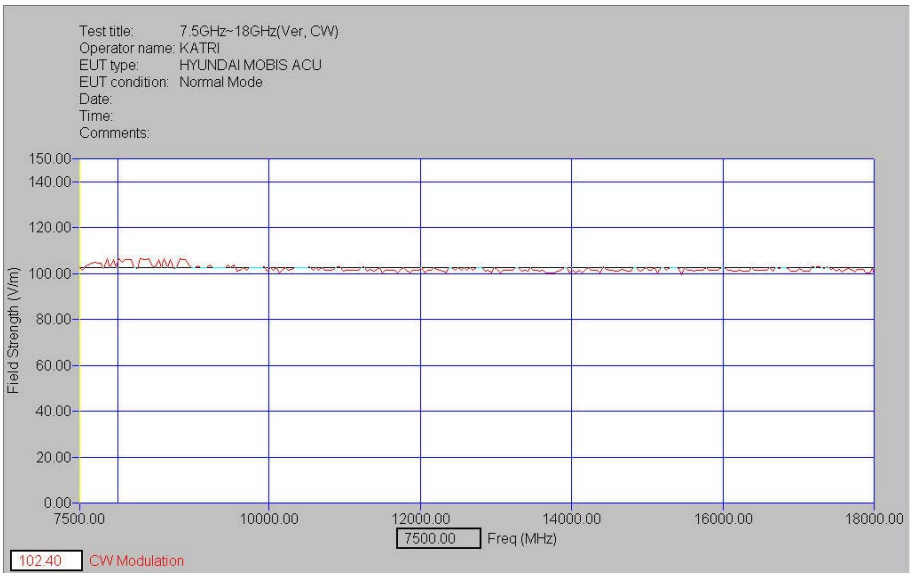
800 MHz ~ 2.5 GHz(PM)



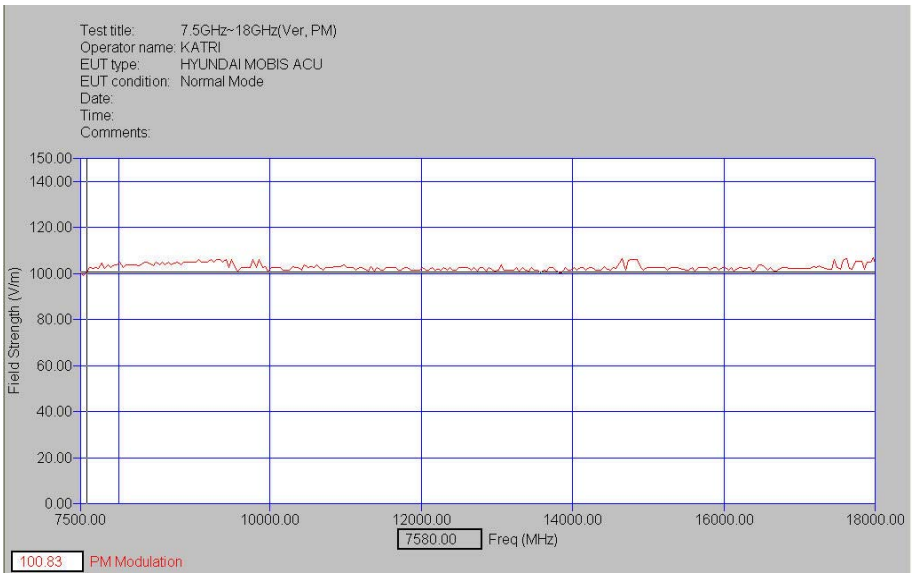
2.5 GHz ~ 7.5 GHz(CW)



2.5 GHz ~ 7.5 GHz(PM)

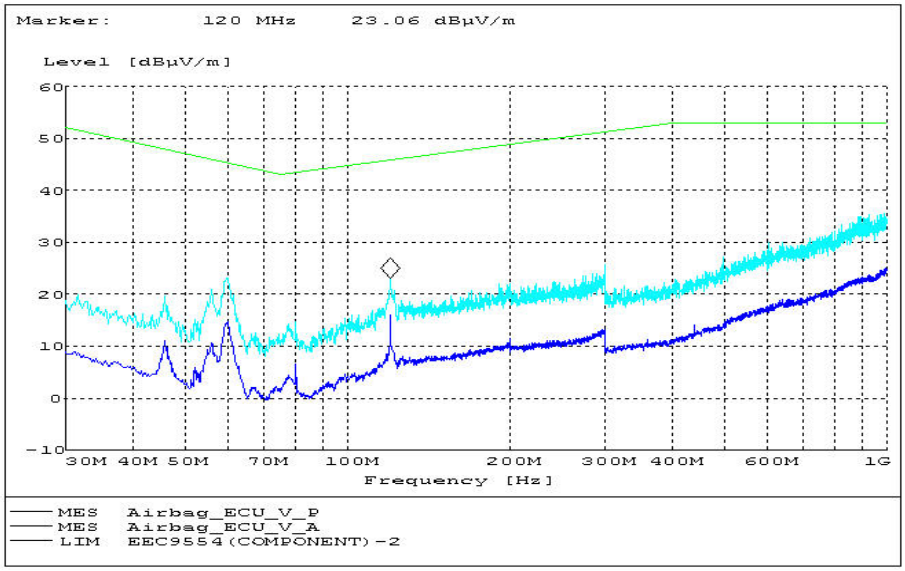


7.5 GHz ~ 18 GHz(CW)

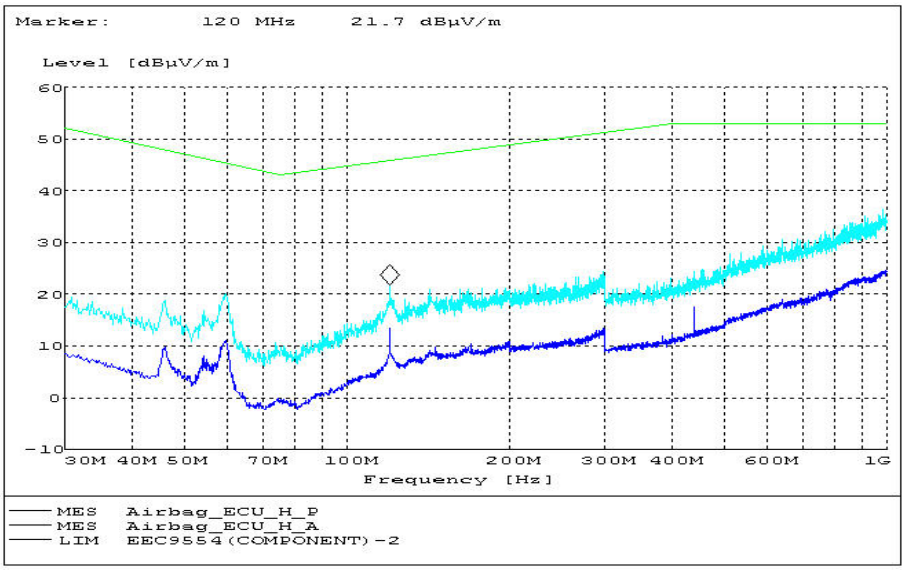


7.5 GHz ~ 18 GHz(CW)

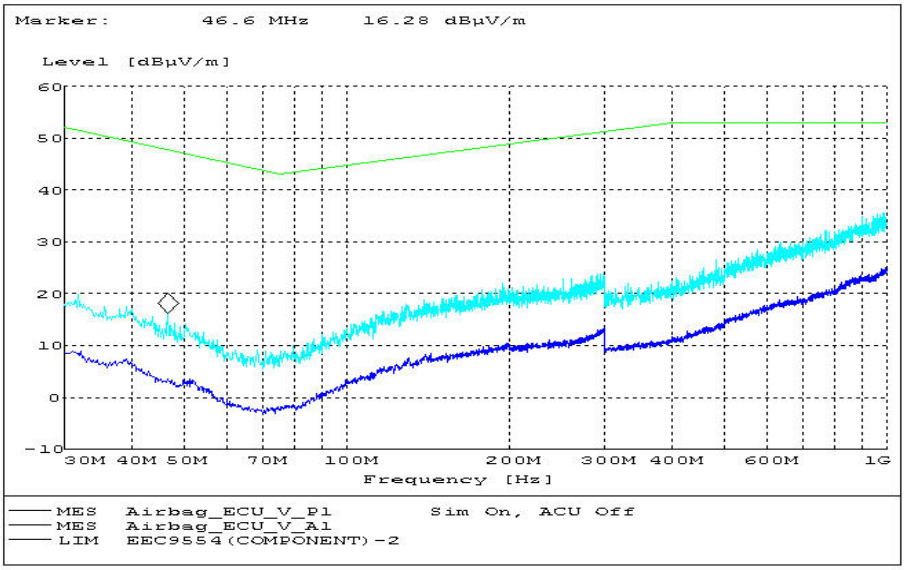
(첨부 3) 전자파 방사시험 데이터



수직극성(ACU 및 Simulator 동작상태)



수평극성(ACU 및 Simulator 동작상태)



수평극성(Simulator On, ACU Off)

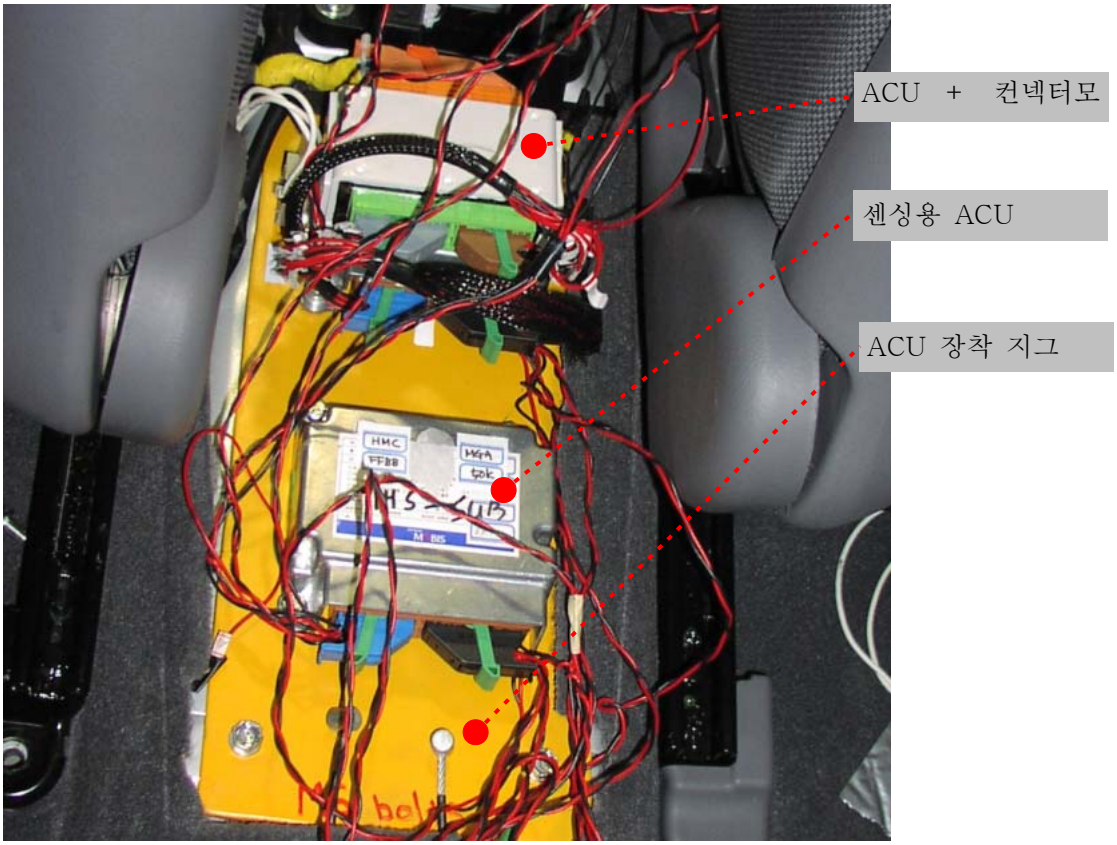
13. 실차시험 성능 검증 (3차년도)

ACU 단품에 대해 소프트웨어 기능시험 및 하드웨어의 신뢰성 시험을 수행하지만, 최종적으로는 실차시험을 통해 알고리즘의 성능과 실제 충돌상황에서의 기본 소프트웨어 및 하드웨어의 성능을 검증 하게 된다. 실차실험을 위해서는 기존 양산차량에 설치된 ACU를 제거하고 개발중인 ACU를 설치하여 충돌시험을 수행하게 되며, 이를 위해 다음과 같은 별도 작업을 수행하였다.

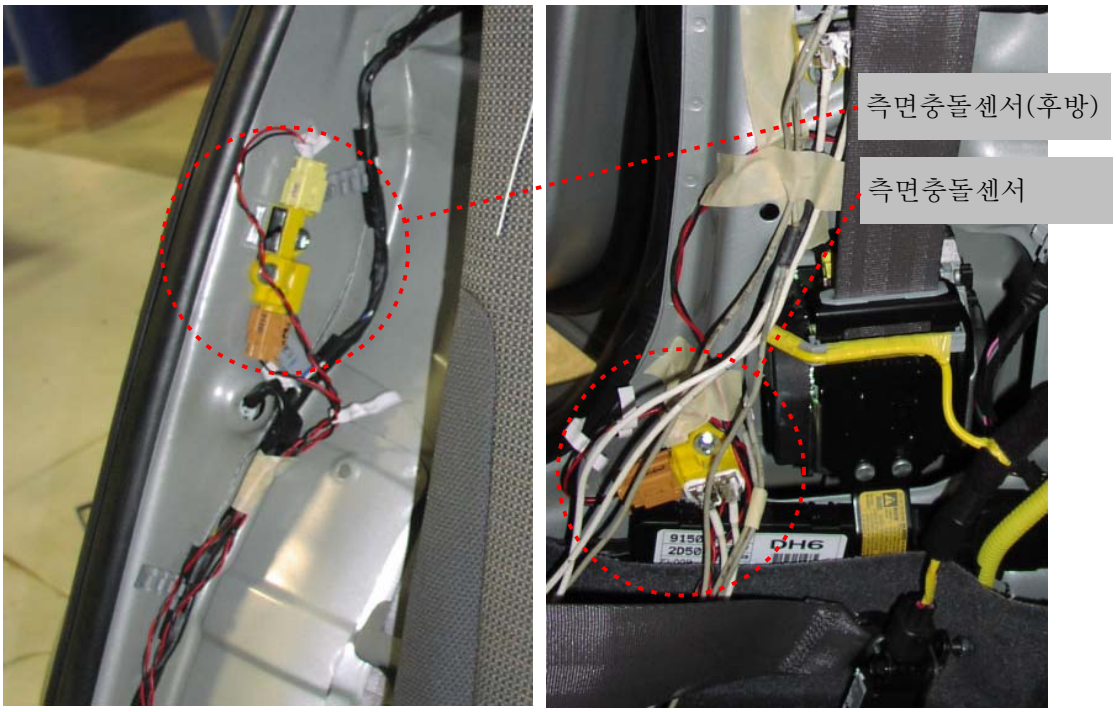
- 기존 차량 하네스에 개발품 ACU를 연결할 수 있는 컨넥터 모듈 제작 설치
- 전방충돌센서와 센싱용 ACU 연결을 위한 별도 하네스 제작 설치

각 충돌실험에는 2개씩의 ACU가 탑재되며, 1개는 실제로 모든 센서와 인플레이터가 연결되어 에어백 전개까지 담당하며, 다른 1개는 센싱용으로서 인플레이터와 안전벨트, 시트위치센서를 연결하지 않고 TTF만 기록하게 된다. 여기서 센싱용 ACU는 소프트웨어를 수정하여 안전벨트 및 시트위치센서 입력을 강제로 해당 충돌실험 모드에 맞추어 롬 데이터로 기록하게된다.

다음 그림은 실차실험을 위해 ACU를 차량에 설치하고 있는 모습이다.



다음 그림은 측면충돌센서를 실차에 장착하고 있는 모습이다.



제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제6절 에어백 개발 과제의 경제성 평가 연구

제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제6절 에어백 개발 과제의 경제성 평가 연구

1. 첨단 에어백장비 도입 시나리오 및 시장수요예측

가. 도입 정책시나리오 설정

(1) 개요

○ 우리나라는 자동차 에어백을 1990년 초부터 보급되기 시작하여 현재는 거의 보급률 80%에 이르고 있으나 기존 에어백의 기술적인 문제로 인하여 운전자 및 동승자들의 보호에 크게 기여하지 못하고 있음

○ 아울러 에어백 전개시 운전자 및 조수석 탑승자 등이 부상을 당하는 경우가 많으며 노약자나 어린이들이 저속사고에 의한 에어백 전개로 목숨을 잃는 어이없는 경우도 발생하고 있음

○ 현재 신차 출고 시 운전석과 조수석 에어백 장착을 법적으로 강제하고 있는 나라는 전 세계적으로 미국뿐이나 유럽 국가들에서도 에어백 의무 장착을 추진하고 있음

○ 특히 미국은 기존 에어백을 업그레이드한 첨단 에어백을 2007년부터 도입키로 하면서 우리나라도 의무 장착 여부 및 그 시행시기를 판단해야할 상황임

○ 국내 자동차 제조사들은 이미 에어백 도입 강제규정이 없음에도 안전에 대한 소비자들의 관심을 감안해 경차 이상에 대해 운전석 에어백을, 1천500cc 이상 고급형부터는 조수석에도 에어백을 거의 대부분 장착하고 있음

○ 건설교통부는 2003년경 에어백 의무화를 이미 검토한 바 있으며 미국의 2007년 첨단에어백 의무 도입계획에 따라 새로운 에어백의 국제기준이 제정된 이후에 의무화한 다는 방침을 세우고 의무화 정책을 미룬바 있음

○ 이러한 첨단 스마트 에어백이 설치되면 이에 따라 안전성은 높아지겠지만 신차 구입시 추가 비용이 발생될 전망임

○ 이에 따라 아울러 자동차사 들로서도 차값이 가격상승이라는 문제를 안게되며 이에 따른 자동차 판매량의 영향을 예상할 수 있게 됨
○ 이러한 배경 하에 정부의 에어백 도입의무화에 대한 다각도의 경제적인 효과분석이 필요함

(2) 첨단에어백 도입정책시나리오 설정

○ 도입정책시나리오는 크게 두가지로 대별될 수 있음
○ 첫째, 기존의 에어백 보급정책대로 시장의 기능에 맡기는 시나리오 (Do nothing Scenario)임
○ 이 시나리오하에서는 1990년대 초부터 기존의 구형 에어백이 시장에 보급된 것과 같이 시장의 기능에 의해 에어백이 보급되는 것으로 가정함
○ 즉 자동차의 안전성 증진을 위한 회사의 상품개발 노력과 이에 대한 소비자의 선택에 의해 시장에 첨단 에어백이 보급되는 것으로 가정함
○ 이 경우 현재 차량에 에어백이 부착되지 않아 차량 내에서 핸들이나 계기판 전면유리에 부딪쳐 사망하거나 부상을 입는 사상자수들이 현재의 수준으로 유지될 것으로 판단됨
○ 둘째, 북미대륙의 예에서처럼 첨단에어백을 2008년부터 생산하는 신차에 적용하도록 의무화하는 시나리오임
○ 본 연구에서는 에어백의 의무화 시나리오에 대한 경제적인 효과와 국내 전체 산업경제에 어떠한 영향을 미치는지를 판단하는 것이 목표임

나. 시장 수요예측 방법론

(1) 수요예측의 방법

○ 첨단에어백의 시장수요의 예측은 두 가지 측면에서 필요함
○ 우선 에어백의 의무화정책의 경제성을 알기위함이며 둘째는 첨단에어백의 생산에 의한 추가 산업연관효과를 알아보기위함임
○ 이를 위해서는 적합한 가정 하에 적절한 수요예측방법론을 적용하여야 함

○ 기본적으로 여기 적용되는 시장적용모형은 시계열 추세모형들이며 본 연구에서는 확산모형 및 기술성장모형 등의 모형을 적용하여 시나리오별 시장수요를 예측하였음

(가) Bass 확산모형

○ Bass 확산모형은 제품의 수명주기를 혁신구매자와 모방구매자의 요인에 의해 해석하는 모형임

$$\Delta S_t = p(N - S_{t-1}) \quad \leftarrow \quad Y_t = m[1-\exp(-pt)]$$

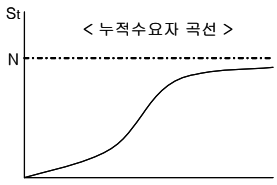
$$+$$

$$\Delta S_t = \frac{q}{N} S_{t-1}(N - S_{t-1}) \quad \leftarrow \quad Y_t = m/[1+\exp(a-qt)]$$

$$\Delta S_t = (p + q\frac{S_{t-1}}{N})(N - S_{t-1}) \rightarrow \boxed{\text{Ordinary Least Square}} \rightarrow \text{신규수요를 추정}$$

St = t 기의 신규수요
St-1 = t-1 기의 누적수요
p = 혁신계수
q = 모방계수
N = Potential market size

* P, q, N 추정, R^2 평가
* 과거 자료를 이용하여 P, q, N 추정
* 예측대상 시계열 자료가 부족한 상황에서는 기존의 유사제품 차용, 변형, 또는 전문가 의견 반영



○ Bass 기본모형

$$\frac{dS_t}{dt} = (p + q\frac{S_t}{N})(N - S_t)$$

p : 선험계수,

q : 모방계수

N : 잠재 수요자수

S_t : t 시점까지의 누적 수요자수

$$\triangle S_t = pN + (q-p)S_{t-1} - \frac{q}{N}S_{t-1}^2$$

$$\Rightarrow \quad \triangle S_t = \beta_0 + \beta_1 S_{t-1} + \beta_2 S_{t-1}^2 + u_t$$

단, $\beta_0 = pN \quad \beta_1 = q-p \quad \beta_2 = -\frac{q}{N}$

○ OLS의 모수 불편추정치에 의한 Bass모형의 모수

$$\widehat{p} = \frac{\widehat{\beta}_0}{\widehat{N}}$$

$$\widehat{q} = -\widehat{\beta}_2 \widehat{N}$$

$$\widehat{N} = \frac{-\widehat{\beta}_1 - \sqrt{\widehat{\beta}_1^2 - 4\widehat{\beta}_0\widehat{\beta}_2}}{2\widehat{\beta}_2}$$

○ 추정된 Bass 모형

$$\triangle \hat{S}_t = \left(\frac{\hat{\beta}_0}{\dfrac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}} \pm \hat{\beta}_2 \frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2} \frac{S_t}{\dfrac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}}\right) \times \left(\frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2} - S_t\right)$$

○ Bass 모형에 의한 누적 사용자

$$\hat{S}_t = \frac{\dfrac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2} \left[\left(\dfrac{\dfrac{\hat{\beta}_0}{\dfrac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}} + -\hat{\beta}_2 \dfrac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}}{\dfrac{\hat{\beta}_0}{\dfrac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}}}\right) e^{-\left(\frac{\hat{\beta}_0}{\frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}} + \hat{\beta}_2 \frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}\right)t}\right]}{\left(1 + \dfrac{-\hat{\beta}_2 \dfrac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}}{\dfrac{\hat{\beta}_0}{\dfrac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}}} e^{-\left(\frac{\hat{\beta}_0}{\hat{N}} + \hat{\beta}_2 \frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}\right)t}\right)^2}$$

○ Bass 모형에 의한 해당년도 사용자수

$$\hat{\Delta S}_t = \left(\frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2} \right) \left[\frac{\left(\frac{\hat{\beta}_0}{\frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}} \right) \left(\frac{\hat{\beta}_0}{\frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}} + -\hat{\beta}_2 \frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2} \right)^2 e^{-\left(\frac{\hat{\beta}_0}{\frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}} + \hat{\beta}_1 \frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2} \right) t} }{ \left(\frac{\hat{\beta}_0}{\frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}} + -\hat{\beta}_2 \frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2} e^{-\left(\frac{\hat{\beta}_0}{\frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}} + \hat{\beta}_1 \frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2} \right) t} \right)^2 } \right]$$

○ Saturation Point

$$\hat{t}^* = \frac{1}{\left(\frac{\hat{\beta}_0}{\frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}} \pm \hat{\beta}_2 \frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2} \right) \ln\left(\frac{q}{\frac{\hat{\beta}_0}{-\hat{\beta}_2 \frac{-\hat{\beta}_1 - \sqrt{\hat{\beta}_1^2 - 4\hat{\beta}_0\hat{\beta}_2}}{2\hat{\beta}_2}}} \right)}$$

(나) 기술성장 곡선 - Logistic 모형, Gompertz 모형

○ 기술추세분석이란 특정기술의 수명주기를 시간의 축에 따라 계량적으로 모형화하는 방법임

○ 모형에서 종속변수는 '기술' 또는 ' 기술에 의해 파생된 대표상품'의 기존 기술과의 대체율 또는 시장 침투율임

① Logistic 모형

$$f = \frac{1}{1 + ce^{-bt}} \quad \text{or} \quad Y = \frac{L}{1 + ce^{-bt}}$$

where, f= market penetration rate

Y=누적판매량

t= time

L=Market Limit or potential

b, c= 기술특성과 시장성장과정의 형태를 결정짓는 parameter

○ 혁신적 기술이 시장에 침투하는 과정에서 시간과 시장침투율과의 관계를 설명함으로써 기술대체현상을 효과적으로 설명함

② Gompertz 모형

$$f = \frac{Y}{L} = e^{-be^{-bt}}$$

where, b, k = 기술특성과 시장성장과정의 형태를 결정짓는 parameter

○ 혁신적 신기술에 의한 대체보다는 기술노후화에 따른 기술대체를 설명하는데 적합함

○ 그러나 새로운 기술이라도 단지 공정개선에 의한 비용절감기술이어서 기존기술에 비해 추가적으로 새로운 효용을 제공하지 못하는 경우에는 Gompertz 모델이 더 적합함

○ 새로운 기술 혹은 상품이 매우 혁신적이고 구매자에게 큰 효용을 제공한다면, 먼저 구매한 사람은 구전을 통하여 향후 구매확률에 긍정적인 영향을 미칠 것임. 이 경우, Gompertz보다는 로지스틱스모형이 적합

○ Gompertz 및 로지스틱스모형에서의 초기값 설정 방법

- 예측하고자 하는 시장규모의 척도가 매출액이나 보급대수 등이 경우 적절한 경제지표를 도입하여 이들을 표준화시킴
- 표준화된 과거 시계열 시장자료를 이용하여 성장곡선 모형의 각 매개변수가 가질 수 있는 값의 범위를 결정한 후, 구간분할탐색(grid search)을 통하여 해당 목적식을 최소화 시키는 매개변수 값들의 조합을 초기값으로 설정함
- 고려된 성장곡선 모형은 Logistic 성장곡선과 Gompertz 성장곡선의 두 가지이며 각 모형의 예측식은 다음과 같음

Logistic 성장곡선 : $N_t = \frac{m}{1+\alpha\exp(-\beta t)}$ $\alpha, \beta > 0$

Gompertz 성장곡선 : $N_t = m\exp(-\alpha\exp(-\beta t))$ $\alpha, \beta > 0$

m : 잠재시장규모

α, β : 매개변수

- N_t는 t시점에서의 표준화된 시장규모를 의미하는 것으로, 매출액이나 보급대수 등으로 주어진 시계열 시장자료의 표준화를 위한 경제지표로 해당 시점에서의 국민 총생산액과 인구수를 도입함

시장규모의 척도가 매출인 경우 : $N_t = \frac{N_p(t)}{GDP(t)} \times 100, \quad t = 1,2,3,...,T$

$N_p(t)$: t시점에서의 해당 상품의 매출액

$GDP(t)$: t시점에서의 국내 총생산액

시장규모의 척도가 보급대수인 경우 : $N_t = \frac{N_s(t)}{POP(t)} \times 100, \quad t = 1,2,3,...,T$

$N_s(t)$: t시점에서의 해당 상품의 보급대수

$POP(t)$: t시점에서의 인구 수

- 표준화 개념의 도입 목적은 잠재시장규모 및 다른 매개변수들이 가질 수 있는 값의 범위를 설정하는데 있으며, 이를 이용한 값의 범위는 다음과 같음

$$N_t \le m^{(0)} \le 100$$

- 잠재시장규모의 범위가 결정되면 이를 k개의 구간으로 나눠 $(k+1)$개의 경계값을 얻을 수 있음. 잠재시장규모의 i번째 경계값을 m_i라 할 때, 선형변환을 거친 후, 선형회귀분석, 즉 최소자승법을 이용하여 나머지 매개변수 α_i와 β_i의 값을 추정함

$$\ln\frac{m_i - N_t}{N_t} = \ln\alpha_i - \beta_i t\ , \qquad t = 1,2,.....,k = 1$$
$$\ln(-\ln\frac{N_t}{m_i}) = \ln\alpha_i - \beta_i t\ , \qquad t = 1,2,.....,k = 1\ln$$

- 위의 과정을 통하여 나머지 두 개의 매개변수의 범위는 다음과 같이 구해짐

$$\min[\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_{k+1}] \le \alpha^{(0)} \le \max[\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_{k+1}]$$
$$\min[\beta_1, \beta_2, ..., \beta_{k+1}] \le \beta^{(0)} \le \max[\beta_1, \beta_2, ..., \beta_{k+1}]$$

- 각 매개변수의 적절한 초기값을 경정하기 위하여 m의 범위를 n_1개의 구간, 매개변수 α의 범위를 n_2 개의 구간, 그리고 매개변수 β의 범위를 n_3 개의 구간으로 나누면 각 매개변수의 경계값에 대한 $(n_1+1)(n_2+1)(n_3+1)$개의 조합이 얻어짐
- 최종적인 초기값은 오차자승합이 가장 작은 매개변수들의 조합으로 설정됨. j번째 조합의 오차자승합 $CSSE^{(m_j\ \alpha_j\ \beta_j)}$는 다음과 같이 얻어짐

$$CSSE^{(m_j\ \alpha_j\ \beta_j)} = \sum_{t=1}^{T}(N_t^{(t)} - N_t)^2$$
$$j = 1,2,....,(n_1+1)(n_2+1)(n_3+1)$$

다. 첨단 에어백 의무화 시 시장수요 예측

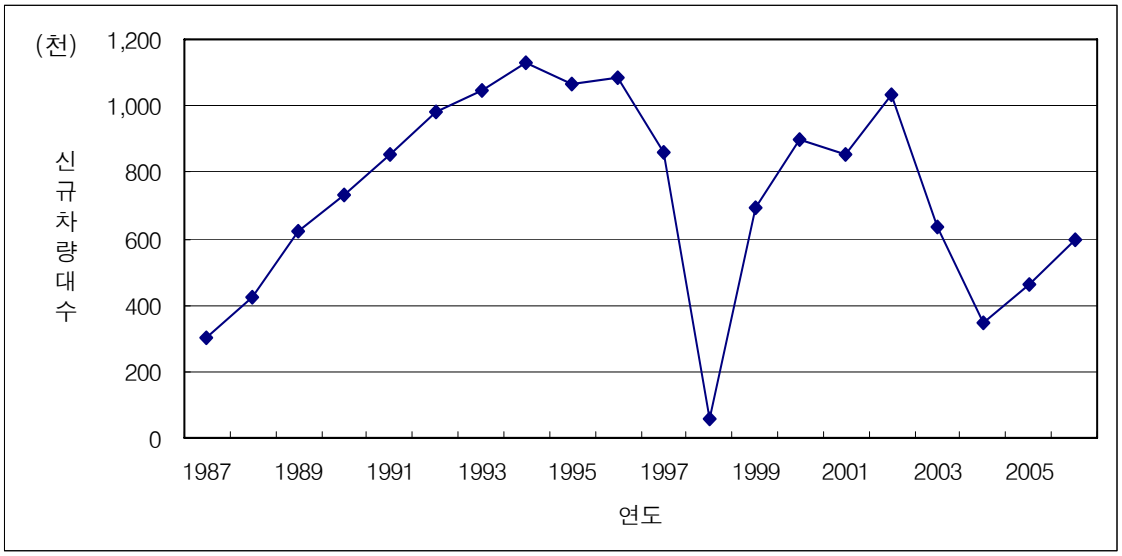
○ 본 연구에서는 첨단 에어백 장비 장착이 법적으로 의무화 되어 향후(2008년으로가정) 생산되는 모든 자동차에 첨단 에어백 장비가 장착되는 경우에 첨단에어백의 시장규모를 예측하였음

(1) 우리나라 국내자동차 보유댓수예측

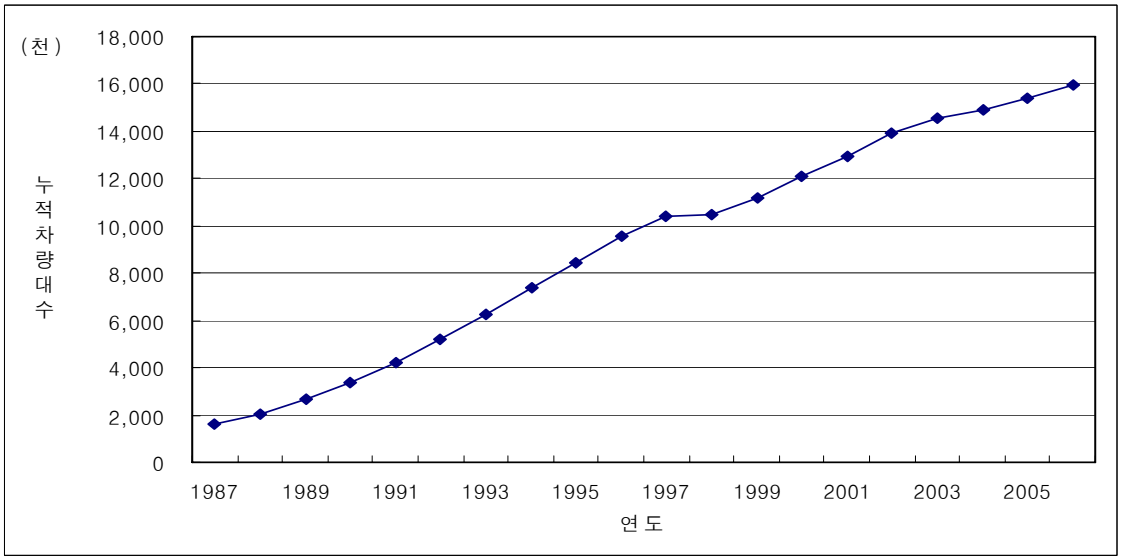
○ 우리나라의 전체 자동차 보유댓수는 꾸준히 증가하는 경향을 보이는 반면, 그 증가율은 감소하는 추세임

○ IMF 외환위기의 영향으로 1998년 급격히 감소하여 회복세를 보이다가 최근

2002년 이후 다시 감소함



<그림 > 연도별 신규 차량대수의 변화 추세



<그림> 연도별 누적 차량대수의 변화 추세

(가) Bass 모형

○ Bass 확산모형을 이용하여 장래 자동차 보유댓수를 예측하기위해 다음의 시계열자료를 이용하였음

<표> 연도별 차량대수 (대)

연도	신규 차량대수(ΔS_t)	자동차 보유댓수(S_t)	연도	신규 차량대수(ΔS_t)	자동차 보유댓수(S_t)
1987	301,941	1,611,375	1997	860,335	10,413,427
1988	424,073	2,035,448	1998	56,172	10,469,599
1989	624,764	2,660,212	1999	694,129	11,163,728
1990	734,591	3,394,803	2000	895,548	12,059,276
1991	853,013	4,247,816	2001	854,839	12,914,115
1992	983,078	5,230,894	2002	1,035,325	13,949,440
1993	1,043,114	6,274,008	2003	637,355	14,586,795
1994	1,130,339	7,404,347	2004	347,297	14,934,092
1995	1,064,554	8,468,901	2005	462,623	15,396,715
1996	1,084,191	9,553,092	2006	598,519	15,995,234

○ 신규차량대수는 (당해 자동차 등록대수 - 전년도 자동차 등록대수)로 계산된 값임

○ 자동차 보유댓수는 (1년 동안 신규 등록된 자동차 대수 - 1년 동안 말소된 자동차 대수)로 계산된 값으로 즉, 누적 차량대수가 됨

① 기본모형

○ 1998년, 1999년 신규 차량대수의 수치가 전체 변화 추세와 동일하지 않으므로 이상치로 간주하여 계수 추정 시 제외함

○ Bass 모형의 OLS parameter 추정 결과는 다음과 같음

$$\Delta S_t = 61102.96 + 0.231 \times S_{t-1} - (1E-10) \times S^{2}{}_{t-1}$$

where ΔS_t = t시점의 신규 자동차 등록대수

S_t = t시점까지의 누적 차량대수

○ 유의성 F-검정을 하면 검정통계량은 F^*=27.444이고, 검정통계량의 $p-$값 < 0.0001로 유의수준 0.05보다 매우 작아 신규 차량대수의 변동을 설명하는데 모형이 매우 유의하며, 다중결정계수 R^2=0.785로 모형의 설명력이 있음

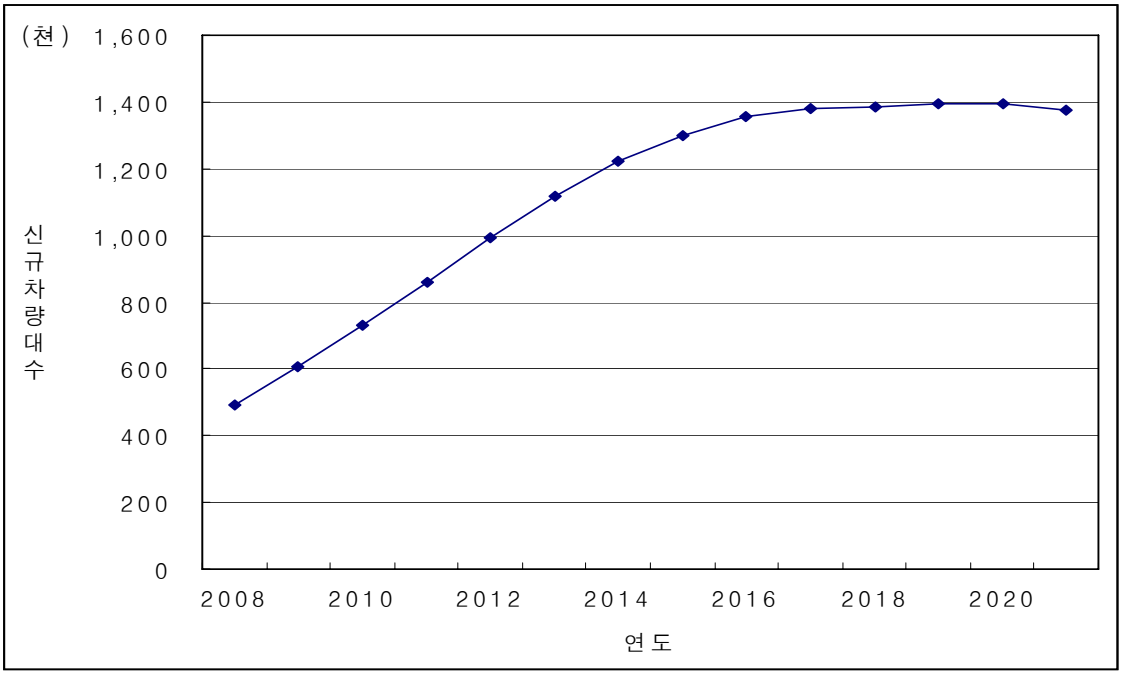
○ 각각의 독립변수에 대한 t-검정을 하면 검정통계량에 대한 p-값이 모두 0.0001보다 작아 유의 수준 0.05보다 매우 작기 때문에 S_{t-1}과 S_{t-1}^2이 $\triangle S_t$의 변동을 설명하는데 유의함

② 추정된 모형을 이용한 수요예측

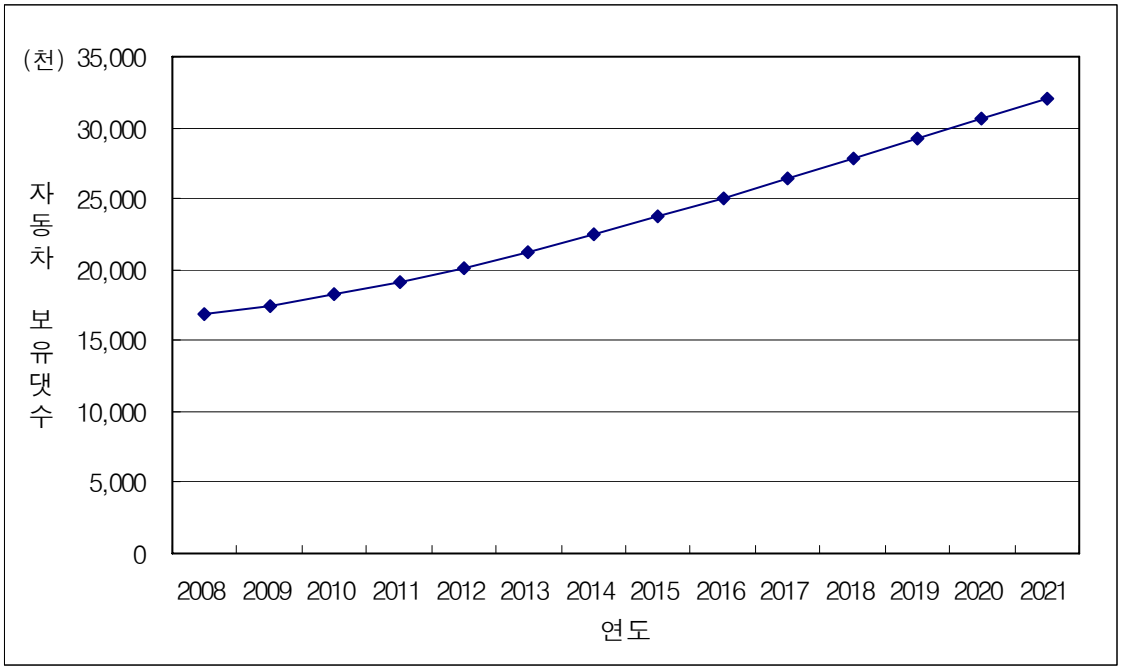
○ 위에서 추정된 식을 이용하여 신규 자동차등록대수의 수요를 예측하면 다음과 같음

<표> 연도별 예측 차량대수 (대)

연도	신규 차량대수(ΔS_t)	자동차 보유댓수(S_t)	연도	신규 차량대수(ΔS_t)	자동차 보유댓수(S_t)
2008	489,861	16,892,460	2015	1,300,196	23,725,313
2009	604,845	17,497,305	2016	1,355,252	25,080,565
2010	730,056	18,227,360	2017	1,382,210	26,462,775
2011	861,909	19,089,270	2018	1,383,455	27,846,230
2012	995,817	20,085,086	2019	1,393,636	29,239,866
2013	1,116,767	21,201,854	2020	1,392,534	30,632,400
2014	1,223,264	22,425,117	2021	1,376,520	32,008,920



<그림> 신규차량대수의 수요예측



<그림> 자동차 보유댓수의 수요예측

(나) Logistic 모형과 Gompertz 모형

○ 1987년부터 2006년까지의 국내시장에서의 자동차 보유댓수, 즉 국내 총 자동차 대수와 표준화된 연간 자동차대수를 아래 표에 나타냄

○ 표준화된 연간 자동차 대수는 연간 자동차 대수를 해당 연도의 국내 총인구수에 대한 백분율로 계산함

<표 > 자동차 보유댓수 및 표준화된 자동차 대수

연도	총 인구수(명)	자동차 대수 (대)	표준화된 시장규모(%)
1987	41,621,690	1,611,375	3.871
1988	42,031,247	2,035,448	4.843
1989	42,449,038	2,660,212	6.267
1990	42,869,283	3,394,803	7.919
1991	43,295,704	4,247,816	9.811
1992	43,747,962	5,230,894	11.957
1993	44,194,628	6,274,008	14.196
1994	44,641,540	7,404,347	16.586
1995	45,092,991	8,468,901	18.781
1996	45,524,681	9,553,092	20.984
1997	45,953,580	10,413,427	22.661
2000	47,008,111	12,059,276	25.654
2001	47,353,519	12,914,115	27.272
2002	47,615,132	13,949,440	29.296
2003	47,849,227	14,586,795	30.485
2004	48,082,163	14,934,092	31.060
2005	48,294,143	15,396,715	31.881
2006	48,497,166	15,995,234	32.982

○ 매개변수를 추정하기 위한 잠재시장 규모의 범위는 [32.982, 100]이며 이를 10개의 구간으로 나누어 얻어진 11개의 경계값에 대해 선형변환을 거친 후 선형회귀분석을 실시하여 매개변수 범위를 도출함

<표 > Logistic 성장곡선의 각 매개변수 범위

매개변수	매개변수별 변화 범위	
	최소값	최대값
m	39.684	100
α	9.742	20.299
β	0.147	0.228

<표 > Gompertz 성장곡선의 각 매개변수 범위

매개변수	매개변수별 변화 범위	
	최소값	최대값
m	39.684	100
α	2.81	3.227
β	0.066	0.156

○ 매개변수 각각의 주어진 범위 내에서 최적의 추천 초기값을 구간분할법을 통하여 추적해나감

○ 구해진 추천 초기값을 비선형 최소자승법의 초기값으로 설정하여 각각의 성장곡선 모형의 매개변수 추정치를 도출함

<표 > 추천 초기값 및 매개변수 추정치

성장곡선 모형		m	α	β	SSE
Logistic	추천초기값	39.684	10.328	0.228	23.392
	최종 매개수	35.32	10.3612	0.274	1.2321
Gompertz	추천초기값	39/684	2.943	0.156	4.084
	최종 매개수	40.7812	2.9708	0.1507	3.3624

① Logistic 모형

○ 추정된 식은 다음과 같음

$$N(t) = \frac{35.32}{1 + 10.3612\ \exp(-0.274\,t)}$$

$N(t)$: t시점에서의 표준화된 시장규모

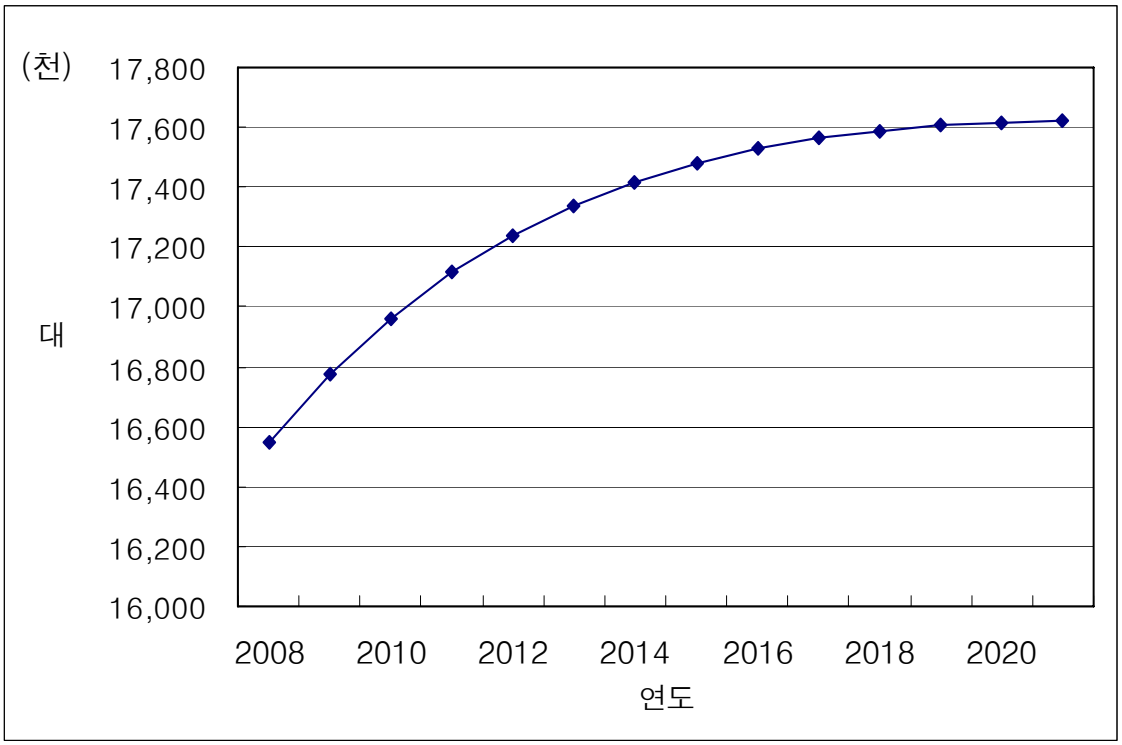
○ F^*=34168.1이고, 검정통계량의 p-값<0.0001로 유의수준 0.005보다 매우 작아 자동차 대수의 변동을 설명하는데 모형이 매우 유의함

○ 추정된 식을 바탕으로 신규 자동차 대수를 예측하면 다음과 같음

<표 > Logistic 모형에 의해 예측된 국내 자동차 대수

연도	총 인구수 (명)	$N(t)$	자동차 대수 (대)
2008	48,877,252	33.85738602	16,548,560
2009	49,053,093	34.19678001	16,774,578
2010	49,219,537	34.45942071	16,960,767
2011	49,374,788	34.66183054	17,114,205
2012	49,509,512	34.81732767	17,237,889
2013	49,626,235	34.93649399	17,337,667
2014	49,724,180	35.02764728	17,417,210
2015	49,802,615	35.09727301	17,479,360
2016	49,862,489	35.1503972	17,526,863
2017	49,905,657	35.19089697	17,562,248
2018	49,933,890	35.22175276	17,587,591
2019	49,949,889	35.24524963	17,604,963
2020	49,956,093	35.26313606	17,616,085
2021	49,954,095	35.27674783	17,622,180

총 인구수는 통계청 추계인구 자료를 사용함



<그림 > Logistic 모형에 의해 예측된 국내 자동차 대수

② Gompertz 모형

○ 추정된 식은 다음과 같음

$$N(t) = 40.7812 \exp(-2.9708 \exp(-0.1507\, t))$$

$N(t)$: t시점에서의 표준화된 시장규모

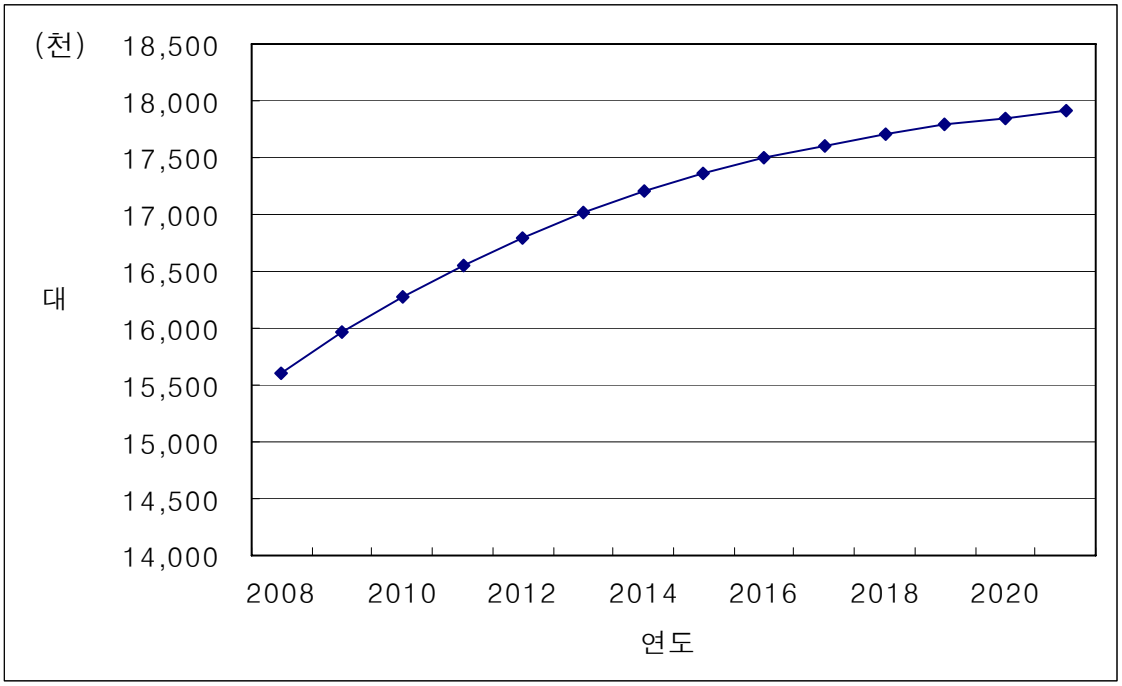
○ F^*=12517.6이고, 검정통계량의 p-값<0.0001로 유의수준 0.005보다 매우 작아 자동차 대수의 변동을 설명하는데 모형이 매우 유의함

○ 추정된 식을 바탕으로 자동차 대수를 예측하면 다음과 같음

<표 > Gompertz 모형에 의해 예측된 자동차 대수

연도	총 인구수(명)	$N(t)$	자동차 대수 (대)
2008	48,877,252	31.92427634	15,603,709
2009	49,053,093	32.53034088	15,957,138
2010	49,219,537	33.06124431	16,272,591
2011	49,374,788	33.52517682	16,552,985
2012	49,509,512	33.92973761	16,798,448
2013	49,626,235	34.28188885	17,012,811
2014	49,724,180	34.58794428	17,198,572
2015	49,802,615	34.85358236	17,357,995
2016	49,862,489	35.08387534	17,493,693
2017	49,905,657	35.28332846	17,608,377
2018	49,933,890	35.45592439	17,704,522
2019	49,949,889	35.60516997	17,784,743
2020	49,956,093	35.7341427	17,851,382
2021	49954095	35.84553576	17,906,313

총 인구수는 통계청 추계인구 자료를 사용함



<그림 > Gompertz 모형에 의해 예측된 국내 자동차 대수

(2) 첨단에어백 의무화에 따른 시장수요 예측

(가) 신차 판매대수 예측 모형

○ 일반적인 성장곡선 모형으로 Logistic 성장곡선과 Gompertz 성장곡선을 사용하기로 함

○ 1987년부터 2005년까지의 국내시장에서의 연간 신차 판매대수와 표준화된 연간 판매대수를 아래표에 나타냄

○ 표준화된 연간 신차 판매대수는 연간 판매대수를 해당 연도의 국내 총인구수에 대한 백분율로 계산함

<표 > 자동차 연간 판매대수 및 표준화된 판매대수

연도	총 인구수(명)	자동차 대수 (대)	표준화된 시장규모(%)
1987	41,621,690	416,819	1
1988	42,031,247	520,819	1.24
1989	42,449,038	762,203	1.80
1990	42,869,283	951,815	2.22
1991	43,295,704	1,104,536	2.55
1992	43,747,962	1,265,843	2.89
1993	44,194,628	1,433,505	3.24
1994	44,641,540	1,550,809	3.47
1995	45,092,991	1,555,733	3.45
1996	45,524,681	1,648,159	3.62
1997	45,953,580	1,511,836	3.29
2000	47,008,111	1,435,292	3.05
2001	47,353,519	1,459,050	3.08
2002	47,615,132	1,641,343	3.45
2003	47,849,227	1,335,444	2.79
2004	48,082,163	1,116,975	2.32
2005	48,294,143	1,173,438	2.43

○ 매개변수를 추정하기 위한 잠재시장 규모의 범위는 [2.43, 100]이며 이를 10개의 구간으로 나누어 얻어진 11개의 경계값에 대해 선형변환을 거친 후 선형회귀분석을 실시하여 매개변수 범위를 도출함

<표 > Logistic 성장곡선의 각 매개변수 범위

매개변수	매개변수별 변화 범위	
	최소값	최대값
m	12.187	100
α	5.839	56.168
β	0.043	0.051

<표 > Gompertz 성장곡선의 각 매개변수 범위

매개변수	매개변수별 변화 범위	
	최소값	최대값
m	12.187	100
α	1.882	4.02
β	0.011	0.023

○ 매개변수 각각의 주어진 범위 내에서 최적의 추천 초기값을 구간분할법을 통하여 추적해나감

○ 구해진 추천 초기값을 비선형 최소자승법의 초기값으로 설정하여 각각의 성장곡선 모형의 매개변수 추정치를 도출함

<표 > 추천 초기값 및 매개변수 추정치

성장곡선 모형		m	α	β	SSE
Logistic	추천초기값	12.187	5.839	0.051	7.9487
	최종 매개수	3.1116	5.9123	0.7183	2.0595
Gompertz	추천초기값	12.187	2.485	0.023	1538.7
	최종 매개수	3.1154	2.5347	0.5588	2.2142

① Logistic 모형

○ 추정된 식은 다음과 같음

$$N(t) = \frac{3.1116}{1 + 5.9123\ \exp(-0.7183\,t)}$$

$N(t)$: t시점에서의 표준화된 시장규모

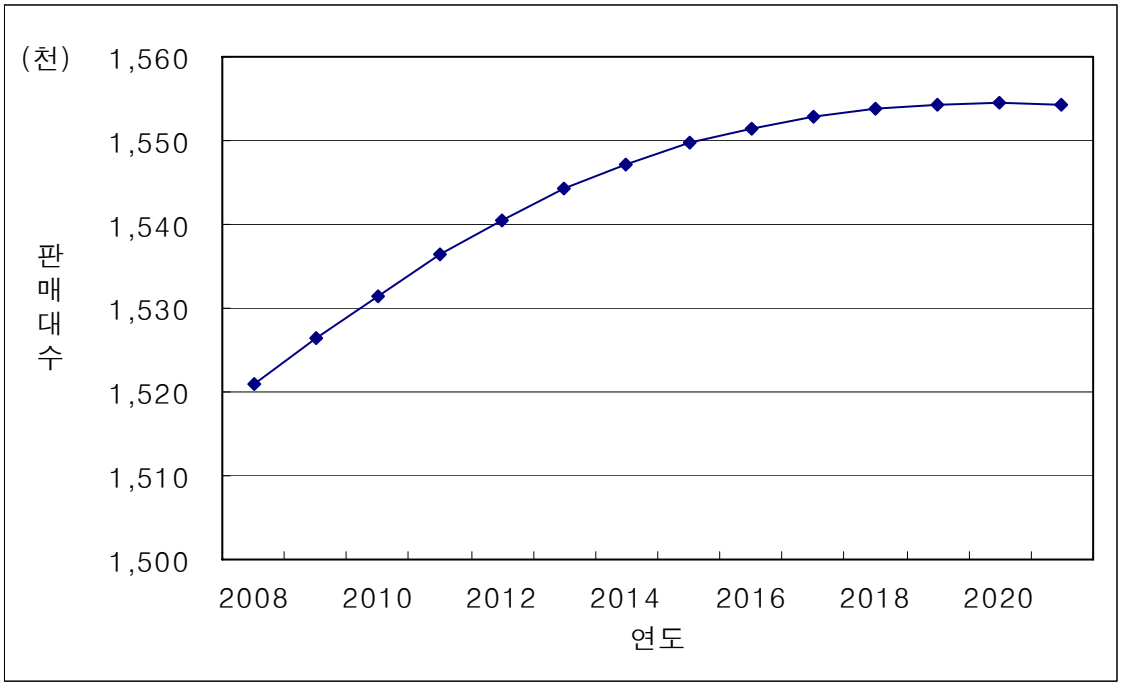
○ F^*=298.48이고, 검정통계량의 p-값<0.0001로 유의수준 0.005보다 매우 작아 신차 판매대수의 변동을 설명하는데 모형이 매우 유의함

○ 추정된 식을 바탕으로 신차 판매대수를 예측하면 다음과 같음

<표 > Logistic 모형에 의해 예측된 신차 판매대수

연도	총 인구수 (명)	$N(t)$	신차 판매대수 (대)
2008	48,877,252	3.112	1,520,859
2009	49,053,093	3.112	1,526,334
2010	49,219,537	3.112	1,531,514
2011	49,374,788	3.112	1,536,345
2012	49,509,512	3.112	1,540,538
2013	49,626,235	3.112	1,544,170
2014	49,724,180	3.112	1,547,218
2015	49,802,615	3.112	1,549,658
2016	49,862,489	3.112	1,551,521
2017	49,905,657	3.112	1,552,864
2018	49,933,890	3.112	1,553,743
2019	49,949,889	3.112	1,554,241
2020	49,956,093	3.112	1,554,434
2021	49,954,095	3.112	1,554,372

총 인구수는 통계청 추계인구 자료를 사용함



<그림 > Logistic 모형에 의해 예측된 신차 판매대수

② Gompertz 모형

○ 추정된 식은 다음과 같음

$$N(t) = 3.1154 \exp(-2.5347 \exp(-0.5588\, t))$$

$N(t)$: t시점에서의 표준화된 시장규모

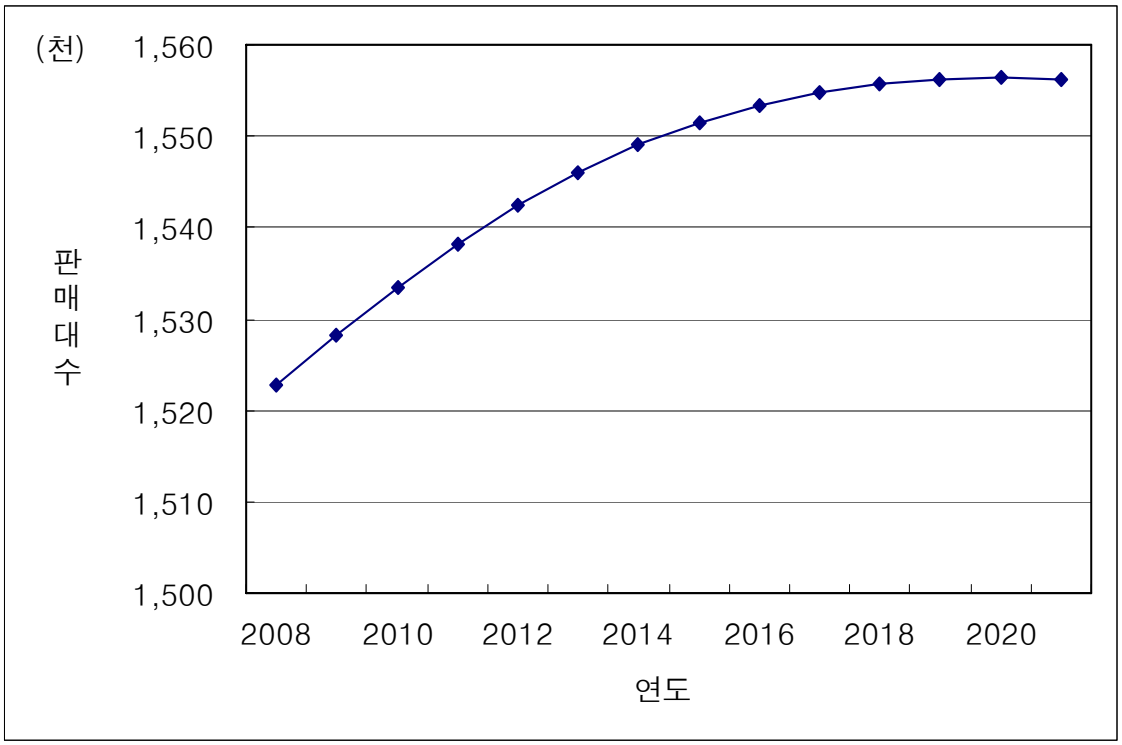
○ F^*=277.3이고, 검정통계량의 p-값<0.0001로 유의수준 0.005보다 매우 작아 매우 유의한 모형임

○ 추정된 식을 바탕으로 신차 판매대수를 예측하면 다음과 같음

<표 > Gompertz 모형에 의해 예측된 신차 판매대수

연도	총 인구수 (명)	$N(t)$	신차 판매대수 (대)
2008	48,877,252	3.115	1,522,668
2009	49,053,093	3.115	1,528,169
2010	49,219,537	3.115	1,533,368
2011	49,374,788	3.115	1,538,212
2012	49,509,512	3.115	1,542,413
2013	49,626,235	3.115	1,546,052
2014	49,724,180	3.115	1,549,105
2015	49,802,615	3.115	1,551,550
2016	49,862,489	3.115	1,553,415
2017	49,905,657	3.115	1,554,760
2018	49,933,890	3.115	1,555,640
2019	49,949,889	3.115	1,556,139
2020	49,956,093	3.115	1,556,332
2021	49,954,095	3.115	1,556,270

총 인구수는 통계청 추계인구 자료를 사용함



<그림 > Gompertz 모형에 의해 예측된 신차 판매대수

(나) 첨단 에어백 장비 장착률

○ 첨단 에어백 장착이 2008년부터 의무화될 될 경우, 향후 전체차량에 대한 첨단 에어백 장착률 추이는 다음과 같음

○ 전체 자동차 대수를 예측하는 모형이 Bass 모형, Logistic 모형, Gompertz 모형이 있을 때, 각 모형별 첨단 에어백 장착 자동차 대수를 Logistic 모형, Gompertz 모형으로 예측한 장착률 추이임.

<표 > 향후 첨단 에어백 장착률 추이 (%)

연도	Bass 모형		Logistic 모형		Gompertz 모형	
	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
2008	8.576	8.586	9.190	9.201	9.747	9.758
2009	16.717	16.737	18.289	18.311	19.312	19.335
2010	24.522	24.551	27.319	27.352	28.724	28.758
2011	32.065	32.103	36.296	36.340	38.005	38.051
2012	39.406	39.453	45.233	45.288	47.176	47.233
2013	46.591	46.648	54.140	54.205	56.252	56.320
2014	53.657	53.722	63.023	63.099	65.248	65.327
2015	60.631	60.704	71.888	71.976	74.176	74.266
2016	67.533	67.615	80.741	80.839	83.045	83.146
2017	74.380	74.471	89.583	89.691	91.864	91.975
2018	81.185	81.283	98.417	98.537	100	100
2019	87.955	88.062	100	100	100	100
2020	94.698	94.813	100	100	100	100
2021	100	100	100	100	100	100

2. 첨단에어백 치명도 감소효과 산정

가. Target Population

○ 본 연구에서의 시나리오별 경제성 평가에서는 첨단에어백을 의무 장착할 것인지의 정책결정 여부에 대한 평가가 핵심임

○ 미국 George Mason 대학이 NHTSA에 제출한 첨단에어백의 의무화에 대한 보고서에 의하면 NHTSA의 경험적인 자료를 통해 에어백의 의무화에 따른 사망자의 감소치가 약 13년간 3148명인 것으로 조사되었다고 밝히고 있으며 에어백의 부적절한 전개로 인한 사망자는 105명에 불과한 것으로 서술하고 있음 (Advanced Airbag Regulatory Studies Program Comments, 1998 George Mason Univ. Mercatus Center)

○ 결국 에어백을 의무화 하고 있는 미국의 경우에는 기존 에어백에 대한 첨단에어백의 추가적인 효과가 얼마나 될 것인가가 경제성평가의 핵심이 됨

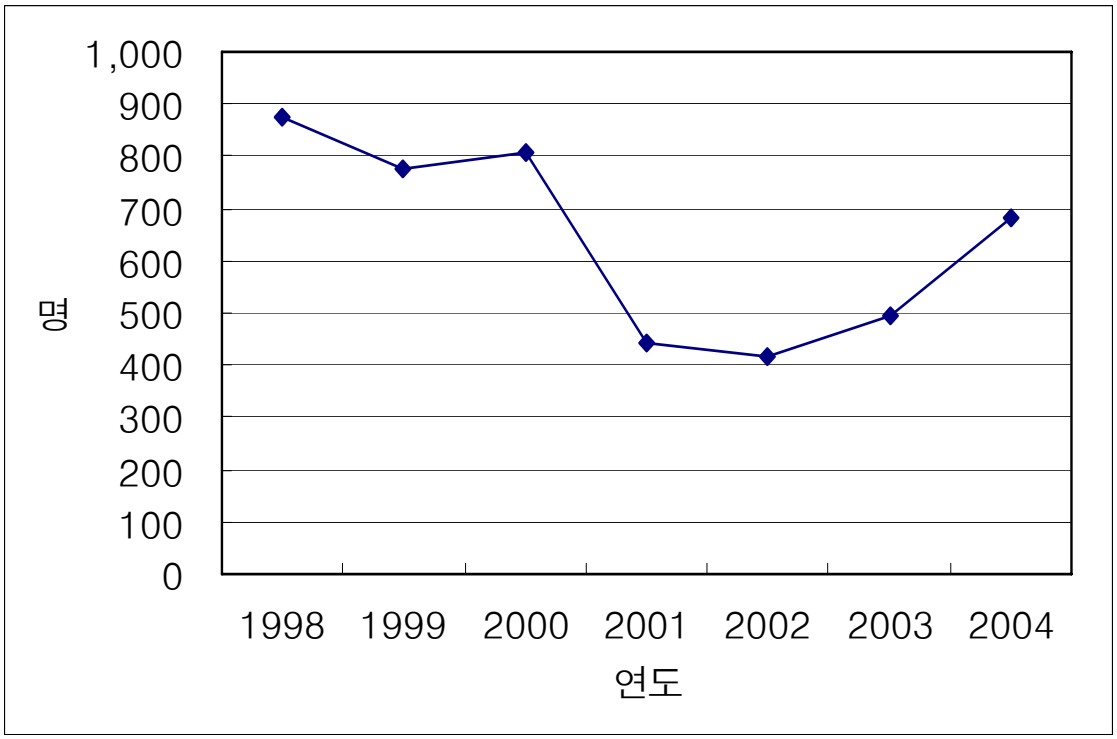
○ 즉 이는 위에서 설명한 105명의 치명도를 얼마나 낮출 것인지에 대한 것이 분석의 중심이 된다는 것을 의미하며 이 효과는 전체 에어백 의무화의 전체 효과에 비해 매우 미비한 것으로 판단됨

○ 반면에 우리나라의 경우는 의무화와 비의무화의 효과 차이를 비교하는 것이 필요함

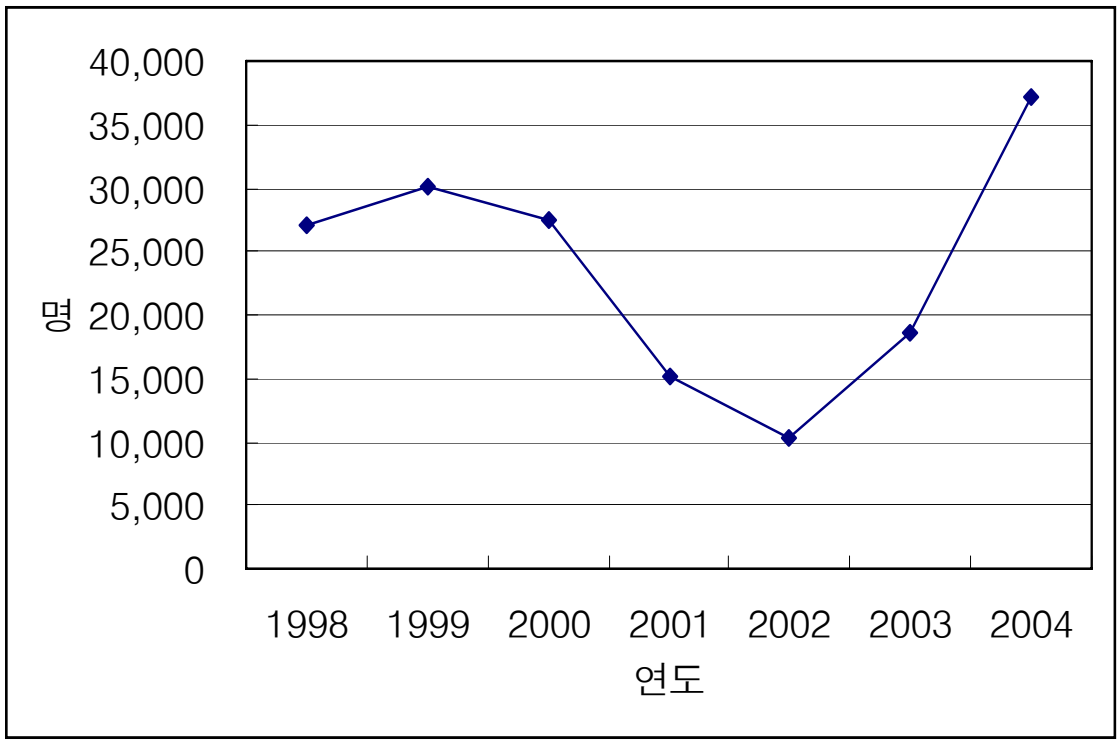
(1) Target Population의 산정

○ 에어백의 의무화 정책을 시행하지 않은 우리나라의 경우에는 의무화 전체의 효과가 분석의 핵심이 되어야 하며 이에 따라 본 연구에서는 차량 내 사망자 및 부상자 중 핸들, 계기판, 앞 유리에 의해 사상을 입은 경우만을 Target Population으로 선정하였음

○ 이는 이러한 사상자들이 에어백이 장착되지 않은 차량을 탑승하고 있거나 혹은 장착된 차량에 탑승한 경우라도 기존 에어백의 결함에 의해 에어백이 전개되지 않아서 발생된 것으로 판단되기 때문임



<그림 > 핸들, 계기판, 앞 유리에 의한 연도별 사망자 수



<그림 > 핸들, 계기판, 앞 유리에 의한 연도별 부상자 수

나. 치명도 감소효과 계산

(1) 기본 가정

○ NHTSA에서 미국의회에 보고한 3차 보고서에 의하면 사고운전자가 모두 안전벨트를 착용할 경우의 사망자 감소율은 50%로 조사되었음
(Effectiveness of Occupant Protection Systems and Their Use National Highway Traffic Safety Administration U. S. Department of Transportation Washington, D. C. 20590, December 1996)

○ 부상자의 경우 역시 안전벨트의 착용을 가정하면 에어백 미장착시에 비하여 60%의 부상자를 감소시킬 수 있는 것으로 조사되었음

○ 위의 경우 모두 안전벨트를 장착하지 않은 경우에는 각각 9% 7%의 효과만을 가지는 것으로 조사 산정되었음

○ 따라서 안전벨트 의무착용을 법으로 엄격하게 시행하고 있는 우리나라의 실정에 맞게 안전벨트를 장착한 상태에서의 효과와 안전벨트 미착용시 첨단에어백의 효과를 모두 평가하는 것이 적절하다고 판단됨

○ 아울러 위의 결과는 기존의 구형 에어백의 의무화에 의한 효과로 실제로 첨단에어백의 의무화의 경우는 위의 치명도 감소효과 보다 다소 높을 것으로 판단되며 본 연구에서는 보수적인 기준치를 적용하여 위의 경험치를 분석에 이용하였음

(2) 편익의 산정

○ 우리나라 각 보험사의 사고 관련 보상비는 아래 표에서 보는 바와 같으며, 2002년 사고 관련 보상비를 2007년 불변가격으로 환산함

<표> 2002년 사고 관련 보상비의 2007년 현가화 (원)

구분	2002년	2007년
사망	72,109	80,218
부상	3,143	3,496

○ 사망자와 부상자 구분하여, (전체 차량대수 × 첨단 에어백 장착률 × 감소율 × 보상비)를 곱하여 각 시나리오별 편익을 산정함

(가) 편익 산정

○ 2008년 첨단 에어백 장비 장착이 의무화될 경우, 2008년에서 2018년까지 예측된 전체 자동차 대수에서 첨단 에어백 장비 장착으로 발생하는 편익은 다음과 같음

전체 자동차 보유대수 예측 모형이 Bass 모형

○ 자동차 신차판매대수 예측이 Logistic 모형과 Gompertz 모형으로 수행됐으므로, 각각의 모형에 대해 예측함

<표> Bass 모형으로 전체 자동차 대수 예측 시 편익 (천원)

연도	안전벨트전체착용 첨단 에어백 장착의 효과		첨단 에어백 장착만의 효과	
	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
2008	60,273,002	60,273,002	10,659,404	10,659,404
2009	113,392,440	113,460,744	20,053,686	20,065,766
2010	159,984,304	160,113,212	28,293,553	28,316,350
2011	200,625,022	200,807,303	35,480,947	35,513,184
2012	235,838,108	236,067,050	41,708,454	41,748,943
2013	266,110,614	266,380,039	47,062,209	47,109,857
2014	291,892,163	292,196,414	51,621,729	51,675,536
2015	313,597,646	313,931,564	55,460,388	55,519,442
2016	331,610,946	331,969,842	58,646,077	58,709,549
2017	346,287,486	346,667,110	61,241,653	61,308,791
2018	357,955,817	358,352,328	63,305,222	63,375,345
합계	2,677,567,548	2,680,218,607	473,533,322	474,002,167

전체 자동차 보유대수 예측 모형이 Logistic 모형

○ 자동차 신차판매대수 예측이 Logistic 모형과 Gompertz 모형으로 수행됐으므로, 각각의 모형에 대해 예측함

<표> Logistic 모형으로 전체 자동차 대수 예측 시 편익 (천원)

연도	안전벨트전체착용 첨단 에어백 장착의 효과		첨단 에어백 장착만의 효과	
	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
2008	60,273,002	60,273,002	10,659,404	10,659,404
2009	113,392,440	113,460,744	20,053,686	20,065,766
2010	159,984,304	160,113,212	28,293,553	28,316,350
2011	200,625,022	200,807,303	35,480,947	35,513,184
2012	235,838,108	236,067,050	41,708,454	41,748,943
2013	266,110,614	266,380,039	47,062,209	47,109,857
2014	291,892,163	292,196,414	51,621,729	51,675,536
2015	313,597,646	313,931,564	55,460,388	55,519,442
2016	331,610,946	331,969,842	58,646,077	58,709,549
2017	346,287,486	346,667,110	61,241,653	61,308,791
2018	357,955,817	358,352,328	63,305,222	63,375,345
합계	2,677,567,548	2,680,218,607	473,533,322	474,002,167

전체 자동차 보유대수 예측 모형이 Gompertz 모형

○ 자동차 신차판매대수 예측이 Logistic 모형과 Gompertz 모형으로 수행됐으므로, 각각의 모형에 대해 예측함

<표> Gompertz 모형으로 전체 자동차 대수 예측 시 편익 (천원)

연도	안전벨트전체착용 첨단 에어백 장착의 효과		첨단 에어백 장착만의 효과	
	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
2008	60,273,002	60,273,002	10,659,404	10,659,404
2009	113,392,440	113,460,744	20,053,686	20,065,766
2010	159,984,304	160,113,212	28,293,553	28,316,350
2011	200,625,022	200,807,303	35,480,947	35,513,184
2012	235,838,108	236,067,050	41,708,454	41,748,943
2013	266,110,614	266,380,039	47,062,209	47,109,857
2014	291,892,163	292,196,414	51,621,729	51,675,536
2015	313,597,646	313,931,564	55,460,388	55,519,442
2016	331,610,946	331,969,842	58,646,077	58,709,549
2017	346,287,486	346,667,110	61,241,653	61,308,791
2018	357,955,817	358,352,328	63,305,222	63,375,345
합계	2,677,567,548	2,680,218,607	473,533,322	474,002,167

3. 경제성평가 및 도입효과 분석

가. 경제성평가

(1) 수명주기비용산정

○ 본 연구에서는 아래에서 보는 바와 같이 첨단에어백의 의무화 시 사고발생 차량에 추가로 소요될 하위체계 부분의 비용을 미국 NHTSA 보고서에 근거하여 국제 시장가격의 기준으로 제시함
○ 이 비용들은 현재 국제시장에서 최소로 제시될 수 있는 부품의 가격으로 첨단에어백의 장착에 의한 최소가격으로 제시될 수 있음
○ 현재 전문가들은 첨단에어백의 추가가격은 최고 100만원 수준 까지 예상하고 있으며 이는 첨단에어백 추가 가격의 최고치로 간주될 수 있음

(가) 첨단 에어백 장비 장착 시 추가 비용

① 충돌심각도 센서시스템

○ Ford 사의 크라운 빅토리아, 도요다 캠리, 플리머스 어클래임의 1992년 모델의 세 개 차종에 대한 NHTSA의 조사에서 1997년 기준가격으로 산정함
○ 1997년 기준 센서가격은 $20.80 ~ $23.90임

② 승객 무게 및 패턴인식시스템

○ 승객무게 혹은 패턴인식 시스템은 트게 Seat Switch Pad 방식과 Weight Sensor 방식으로 나뉠 수 있으며 각각의 부분에 대한 각 자동차 관련제조업체의 추산치는 다음과 같음
○ Seat Pad Type
- NHTSA의 의뢰로 조사된 결과에 의하면 메르세데츠 벤츠 미국법인의 Seat Switch Pad는 1997년 기준 $17.33로 산정되었음

- NHTSA의 의뢰로 이루어진 연구에서 BMW Z3의 Seat With Pad의 소비자 가격은 $18.83으로 산정됨

○ Weight Sensor Type

- 미국의 GM사는 1997년 소비자 가격으로 무게센서를 바탕으로 한 시스템에 대한 비용을 산정한바 가격은 $15.40~$30.80 사이의 가격으로 추산됨
- NEC Technology의 조수석 운전석 무게센서의 차량당 가격은 1997년 소비자가격 기준 $35.70으로 산정됨

○ 이러한 센서타입에 대하여 최종적으로 선정되는 디자인 대안들에 대해서 각각의 비용들로 사용됨

③ 승객점유, 승객거리, 움직임에 대한 센서시스템

○ 승객의 점유크기와 점유여부 등을 감지하는 승객점유센서 역시 첨단에어백의 전개와 관련된 중요한 변수를 전달하는 센서들임

- GM이 산정한 1997년 기준 소비자 가격: $ 38.50-$ 69.30
- Automotive Technologies International Inc. (ATI)는 초음파를 이용한 비이미지 패턴 센서를 이용하여 점유위치센서를 개발 : 1997년 기준 소비자 비용$35.70-$42.80
- 축전기형태의 점유센서: 1997년 기준 소비자 비용 $37.80-$113.30
- 음향 및 적외선센서: 1997년 기준 소비자 가격 $52.90-$90.60
- 위의 가격들은 조수석기준으로 산정된 것이며 운전석에 추가될 경우 50-100%의 가격이 추가될 것이지만 현재 운전석에 이러한 센서들이 장착될 가능성은 희박해 보임

○ 이 부문의 센서들은 시장에서 활발한 기술개발과 함께 상당한 가격경쟁이 있을 것으로 판단되며 이에 따라 FMVSS는 실제 시장가격은 위에 제시한 범위의 하한인 $40-$60선에서 형성될 것으로 예측함

④ 안전벨트 사용유무감지 센서시스템

○ 기존에 운전석에 사용중인 안전벨트 미착용 경고시스템이 사용되고 있으나

향후 검토되고 있는 기술은 이보다 좀 더 신뢰성이 높은 비기계식 센서들인 바 이들의 소비자 가격은 1997년 기준 운전석과 조수석 각각 $5의 비용이 추가될 것으로 산정됨

⑤ 좌석위치 센서시스템

○ FMVSS는 운전석 조수석 각각 $5의 가격이 될 것으로 예상함

⑥ 2단계 혹은 다단계 Inflator

○ 현재 적용되고 있는 Pyrotechnic 방식과 Hybrid 방식의 1단계와 2단계 Inflator의 비용을 조사하여 기존에 적용되고 있는 에어백에 다단계 Inflator가 적용될 경우의 추가비용을 산정함

○ FMVSS는 기존에 많이 사용되고 있는 Pyrotechnic Inflator를 적용할 경우 운전석 조수석 각각 $10이 추가로 소요될 것으로 판단되며 Hybrid Inflator를 적용할 경우 각각 $2가 추가될 것으로 산정함

⑦ 안전벨트 Pretensioner

○ 안전벨트 프리텐셔너의 경우 좌석당 $9.35-$11.30의 추가비용이 소요될 것으로 판단되었음

(나) 추가비용 산정

○ 본 연구에서는 첨단에어백에 의한 사용자 비용의 증가는 시장의 형성에 따라 대량생산을 가정할 때 차량구입시의 추가 비용은 시장가격의 형성에 의해 흡수가 될 것으로 가정하며 이 경우 실질적인 비용의 차는 사고발생당사자의 수리시 비용 초래임

○ 따라서 첨단에어백에 의한 추가수리 비용에 사고건수를 곱하여 첨단 에어백 장비 의무화 시 소요되는 사용자의 추가비용을 산정함

○ 첨단 에어백 장착 시 추가비용은 장착되는 센서 기술들의 가격만 따져 환율 환산 후 2007년 현가화 했을 때, 2007년 기준 차량 한 대당 현가 약 200,000원으로 추정됨.

○ 그러나 이는 최소 시장비용이며, 예상되는 시장에 의한 최고가격은 600,000원까지 언급되고 있음

○ 따라서 본 연구의 분석에서는 차량 한 대당 추가비용을 200,000원, 600,000원, 그리고 이 두 가격의 중간 가격인 400,000원으로 함

○ 이때 비용은 첨단 에어백 장비가 여러 해 걸쳐 도입되므로 이에 따라 수명주기 동안의 발생비용 및 편익을을 현재의 가치 혹은 기준년도의 비용으로 환산해야함. 현재기준 1년도 후의 비용이 A_1인 수명주기비용의 현개가 P는 다음과 같이 표시되며 본 연구에서는 사회적 할인율을 6.5%로 적용함

$$P = \sum_{i=0}^{n} \frac{A_i}{(1+d)^i}$$

n : 순기년도

A_i : i년도 비용

d : 이자율 (사회적 할인율)

○ 사고건수는 과거 시계열 자료의 분포가 일정한 증가, 감소 등의 규칙적인 변동태세를 보이지 않으며, 장래의 교통사고 건수에 영향을 미치는 정확한 요인들을 파악하기 어려우므로 현재 집계되어있는 최신 수치인 2006년 사고건수를 전범위에 적용함

○ 사회적 할인율을 적용하였을 때, 첨단 에어백 장비의 가격에 따른 비용은 아래와 같음

<표 > 차량 한 대당 추가비용이 200,000원일 때 총 비용 (천원)

연도	총 비용
2008	40,139,906
2009	37,690,053
2010	35,389,721
2011	33,229,785
2012	31,201,676
2013	29,297,348
2014	27,509,247
2015	25,830,279
2016	24,253,783
2017	22,773,505
2018	21,383,573
합계	328,698,876

<표 > 차량 한 대당 추가비용이 400,000원일 때 총 비용 (천원)

연도	총 비용
2008	80,279,812
2009	75,380,105
2010	70,779,442
2011	66,459,570
2012	62,403,352
2013	58,594,696
2014	55,018,494
2015	51,660,558
2016	48,507,566
2017	45,547,011
2018	42,767,146
합계	657,397,752

<표 > 차량 한 대당 추가비용이 600,000원일 때 총 비용 (천원)

연도	총 비용
2008	120,419,718
2009	113,070,158
2010	106,169,162
2011	99,689,354
2012	93,605,028
2013	87,892,045
2014	82,527,742
2015	77,490,837
2016	72,761,349
2017	68,320,516
2018	64,150,719
합계	986,096,629

(2) 비용편익 분석

○ 첨단 에어백 장비 장착의 의무화로 2008년 이후 판매되는 전체 신차에 첨단 에어백이 장착되는 경우에 비용편익비를 산출함

○ 첨단 에어백 장착 차량대수 예측 모형과 전체 자동차 대수 예측모형에 따라 비용편익비가 발생함

○ 사회적 할인율을 적용한 비용의 합산과 편익의 합산으로 산출된 예측모형별 비용편익비는 아래와 같음

Target Population의 안전벨트 미착용 가정시 첨단 에어백 장착

<표 > 자동차 한 대당 추가비용이 200,000원 일 경우 비용편익비

전체 자동차대수 예측모형	Bass 모형		Logistic 모형		Gompertz 모형	
자동차 판매대수 예측모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
비용편익비	8.146	8.154	8.146	8.154	8.146	8.154

<표 > 자동차 한 대당 추가비용이 400,000원 일 경우 비용편익비

전체 자동차대수 예측모형	Bass 모형		Logistic 모형		Gompertz 모형	
자동차 판매대수 예측모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
비용편익비	4.073	4.077	4.073	4.077	4.073	4.077

<표 > 자동차 한 대당 추가비용이 600,000원 일 경우 비용편익비

전체 자동차대수 예측모형	Bass 모형		Logistic 모형		Gompertz 모형	
자동차 판매대수 예측모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
비용편익비	2.715	2.718	2.715	2.718	2.715	2.718

<표 > 자동차 한 대당 추가비용이 200,000원 일 경우 비용편익비

전체 자동차대수 예측모형	Bass 모형		Logistic 모형		Gompertz 모형	
자동차 판매대수 예측모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
비용편익비	1.441	1.442	1.441	1.442	1.441	1.442

<표 > 자동차 한 대당 추가비용이 400,000원 일 경우 비용편익비

전체 자동차대수 예측모형	Bass 모형		Logistic 모형		Gompertz 모형	
자동차 판매대수 예측모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
비용편익비	0.720	0.721	0.720	0.721	0.720	0.721

<표 > 자동차 한 대당 추가비용이 600,000원 일 경우 비용편익비

전체 자동차대수 예측모형	Bass 모형		Logistic 모형		Gompertz 모형	
자동차 판매대수 예측모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형	Logistic 모형	Gompertz 모형
비용편익비	0.480	0.481	0.480	0.481	0.480	0.481

(3) 비용편익결과 분석

○ 본 연구에서는 국내 자동차 사고 자료의 부족으로 사고발생시의 안전벨트 및 에어백 장착여부에 의한 자료가 미비하기 때문에 두 가지의 극단적인 경우 즉 차량의 핸들과 계기판 유리창에 부딛혀 사망한 경우의 Target Population 들 전원이 안전벨트를 미착용했다는 가정의 경우와 이들 전원이 안전벨트를 가정했다는 가정을 세워 개략 분석하였음

○ 아울러 최소 시장가격인 추가비용 20만원 및 그 중간값을 내세워 분석하였음

○ 실제로 두 가지 극단적인 경우를 정책판단에 사용하기는 어려우며 이들의 중간 값 정도를 택하여 사용하는 것이 타당할 것으로 판단됨

○ 실제 비용의 중간값인 40만원에 두 가지 극단적인 경우의 중간정도의 편익이 발생한다고 하였을 때 결국 첨단에어백의 의무화에 의한 편익은 비용편익비 약 2.3~2.6에서의 수준에서 결정될 수 있을 것이라고 예측되며 이를 근거로 첨단에어백의 의무화는 경제적인 타당성이 있다고 판단함

○ 그러나 본 연구는 국내 사고자료의 부족으로 극단적인 가정을 바탕으로 개략분석을 시행한 후 이의 중간값을 택하였으며 이러한 개략분석의 부정확성을 해결하기 위해서는 1-2년 정도의 일정기간 동안 에어백의 장착시 사고에 대한 조사를 철저히 하여 정확한 경제성평가를 수행하는 것이 필요함

○ 아울러 본 연구는 개략적인 분석으로 IRR 및 NPV를 통한 분석의 필요성이 적어 산출하지 않음

제1절 산업연관분석의 의의

1. 산업연관분석에의한 도입효과 분석

가. 산업연관분석의 의의

○ 한 산업에서 생산된 상품이 다른 산업의 상품생산을 위한 원재료로 투입됨으로써 각 산업은 직·간접으로 서로 밀접한 연관관계를 맺고 있는데, 이러한 산업과 산업 간의 연관관계를 수량적으로 파악하고자 하는 분석기법을 산업연관분석(input-output analysis 또는 inter-industry analysis)이라고 함

○ 산업연관분석은 생산활동을 통하여 각 산업 간에 이루어지는 원재료의 매매거래를 토대로 하게 되는데, 한 나라에서 생산되는 모든 재화와 서비스의 산업간 거래관계를 체계적으로 기록한 통계표인 산업연관표의 작성으로부터 출발함

○ 경제적 효과를 분석하는 기법으로서 산업연관분석은 다음과 같은 이유에서 필요함

○ 첫째, 국민경제의 파급구조분석, 장래의 경제예측 및 계획수립 등 보다 깊이 있는 경제분석을 위해서는 국민경제를 여러 산업부문으로 세분하여 구조적 측면에서 상호연관관계를 살펴볼 필요가 있음

○ 둘째, 산업별 생산활동은 최종수요의 상품구성은 물론 각 산업의 생산기술구조와 그에 따른 각 산업간의 직·간접적인 상호연관관계에 달려 있다고 볼 수 있는데, 산업연관분석은 이러한 점들을 모두 고려하여 최종수요가 생산 고용 소득 등 국민경제에 미치는 각종 파급효과를 산업부문별로 나누어서 분석이 가능함

○ 셋째, 산업연관분석은 각 산업의 투입과 산출관계를 통한 상호연관관계에 기초한 분석기법이므로 한 산업에 대한 수요변화는 관련되는 다른 산업의 공급변화를 의미한다는 점에서 국민경제의 수요와 공급을 산업별로 세분하여 고려해야 하는 경제예측이나 계획수립 등에도 유용한 분석도구로 활용될 수 있음

○ 즉 이 분석은 첨단에어백의 생산이 국내 산업전반에 어떠한 생산유발효과를 가져오는지 판단하는데 아주 유용한 분석임
○ 본 연구는 기존의 에어백과 첨단에어백의 최소한의 국제시장가격차이인 20만원의 가격을 기준으로 산업연관분석을 수행함

나. 평가지표

(1) (I-A)-1형 생산유발계수

○ (I-A)-1형은 (I-A+m̂*)-1형, [I-(I-m̂)A]-1형의 생산유발계수표와 더불어 국산과 수입을 구분하지 않는 경쟁수입형 생산자가격평가표의 투입계수를 기초로 하여 도출함.
○ 이 생산유발계수표에서는 수입과 국내 생산활동 간에 아무런 함수관계가 존재하지 않는다는 가정 하에 수입을 외생변수로서 취급하고 있음
○ 따라서 생산자가격평가표에서의 수요방정식 AX+Y-M = X 로부터 X=(I-A)-1(Y-M)이 되어 (I-A)-1형 생산유발계수표가 도출되는데, 각 부문별 총 산출액은 생산유발계수표 (I-A)-1에 최종수요(수입공제)를 곱하여 구함. 그러므로 이 생산유발계수표를 이용하기 위해서는 외생변수로서 최종수요 벡터(Y)와 수입 벡터(M)가 주어져야 함

(2) (I-A+m̂*)-1형 생산유발계수

○ (I-A)-1형의 생산유발계수표에서는 수입과 국내 생산활동 간에 아무런 함수관계가 존재하지 않는다는 가정을 하고 있으나, 실제로 각 산업부문의 수입은 그 부문의 국내 총산출 수준에 따라 결정된다고 보는 것이 보다 타당함
○ 따라서 수입을 외생변수로 취급하지 않고 내생화하여 도출하는 생산유발계수표가 (I-A+m̂*)-1형이다. 산업연관표를 행으로 보아 각 산업부문의 수입액을 그 부문의 총산출액으로 나눈 값을 수입계수(m*)라 정의하고 각 산업부문에 있어서 중간수요와 모든 최종수요항목이 동일한 비율(m*)만큼 수입품을 포함하고 있다고 가정 했을때, 각 산업부문의 수입계수를 요소로 하는 대

각행렬을 $\hat{m}^*$로 표시하면 $M = \hat{m}^*X$가 되며 경쟁수입형 생산자가격평가표의 수급방정식 $AX+Y-M = X$는 $AX+Y-\hat{m}^*X = X$로 바꾸어 쓸 수 있음

○ 이 식으로부터 $X = (I-A+\hat{m}^*)^{-1}Y$가 도출되는데, 이 $(I-A+\hat{m}^*)^{-1}$형의 생산유발계수표를 이용하기 위해서는 외생변수로서 최종수요 벡터(Y)만 주어지면 됨

(3) $[I-(I-\hat{m})A]^{-1}$형 생산유발계수

○ $(I-A+\hat{m}^*)^{-1}$형의 생산유발계수에서는 각 산업부문별로 중간수요와 모든 최종수요 항목이 일정한 비율의 국산품과 수입품으로 구성되어 있다고 가정하므로 최종수요 항목의 하나인 수출에도 원재료가 아닌 최종수요로서의 수입품이 포함되어 있다고 가정하고 있어 불합리하다고 볼 수 있음

○ 이와 같은 결점을 보완하기 위해서 수입을 내생변수로 간주하기는 하되, 다만 최종수요 항목 중 수출은 다른 항목과 별도로 취급하여 수입품이 수출에 포함되지 않도록 하여 도출되는 생산유발계수표가 $[I-(I-\hat{m})A]^{-1}$형임

○ 이 형의 생산유발계수표의 도출을 위하여 우선 어느 산업부문의 수입액을 그 산업부문 생산물에 대한 국내총수요액(총수요액-수출액)으로 나눈 값으로 수입계수(m)를 정의하고, 각 산업의 수입계수를 요소로 하는 대각행렬을 $\hat{m}$으로 표시하면 $M = \hat{m}(AX+Y^*)$의 관계가 성립함. 여기에서 AX는 중간수요 벡터, Y^*는 국내최종수요 벡터를 나타냄

○ 앞의 경쟁수입형 생산자가격평가표의 수급방정식 $AX+Y-M = X$에서 최종수요 Y를 국내최종수요 Y^*와 수출 E로 나누면 $AX+Y^*+E-M = X$가 되는데, 이 식의 M대신 $\hat{m}(AX+Y^*)$를 대입하면 다음과 같음

$$AX+Y^*+E-\hat{m}(AX+Y^*) = X$$
$$AX+Y^*+E-\hat{m}AX-\hat{m}Y^* = X$$
$$X-AX+\hat{m}AX = Y^*-\hat{m}Y^*+E$$
$$X-(I-\hat{m})AX = (I-\hat{m})Y^*+E$$
$$[I-(I-\hat{m})A]X = (I-\hat{m})Y^*+E$$

○ 이 식을 X에 대해 풀면 X = [I-(I-m̂)A]-1[(I-m̂)Y*+E]가 되므로, [I-(I-m̂)A]-1형의 생산유발계수를 얻게되며 이 생산유발계수표를 이용하여 국내최종수요(Y*)와 수출(E)이 주어지면, 이를 충족시키기 위하여 필요한 총산출액(X)을 구할 수 있음

(4) (I-Ad)-1형 생산유발계수

○ 지금까지 설명한 생산유발계수표들은 모두 국산과 수입을 구분하지 않는 경쟁수입형 생산자가격평가표의 투입계수를 기초로 하여 도출되었으나, (I-Ad)-1형은 국산과 수입을 구분하여 작성하는 비경쟁수입형표의 투입계수로부터 도출되는 생산유발계수임

○ 비경쟁수입형표의 국산거래표와 수입거래표에 대해서는 각각 다음과 같은 수급방정식이 성립됨

○ 국산거래표에서는 AdX+Yd = X, 수입거래표에서는 AmX+Ym = M이 성립된됨

○ 여기에서, Ad는 국산투입계수행렬, Am은 수입투입계수행렬, Yd는 국산품에 대한 최종수요 벡터, Ym은 수입품에 대한 최종수요 벡터를 각각 나타냄

○ AdX+Yd = X식을 X에 대하여 풀면, X = (I-Ad)-1 Yd가 되어 (I-Ad)-1형의 생산유발계수표를 얻게 됨

○ 이 (I-Ad)-1형의 생산유발계수표를 이용하여 국산품에 대한 최종수요(Yd)가 외생변수로 주어질 때, 이를 충족시키기 위하여 필요한 총산출액(X)을 구할 수 있음. (I-A)-1, (I-A+m̂*)-1 및 [I-(I-m̂)A]-1형의 생산유발계수표는 모두 국산과 수입을 구분하지 않고 작성된 경쟁수입형표로부터 산출되는 투입계수표를 기초로 도출된 것으로, 이를 이용하여 최종수요 증가에 따른 생산파급효과를 계측하는 경우에는 순수한 국내생산파급효과와 수입으로 인하여 해외로 누출되는 부분을 구분할 수 없게 됨

○ 따라서 최종수요발생에 따른 국내생산파급효과만을 정확히 계측하기 위해서는 국산과 수입을 구분하여 작성한 (I-Ad)-1형의 생산유발계수표가 적합하다고 볼 수 있음

○ 현실적으로도 국산품과 수입품의 투입비율이 각 수요부문마다 일정하지 않으므로, 이 (I- Ad)-1형의 생산유발계수표가 이용면에서 보다 적합하다고 할

수 있겠으나, 생산과정에서 국산품과 수입품을 반드시 구분하여 투입하는지 의문이 생길 수 있음

(5) 수입유발계수

○ 각 산업부문의 생산활동을 위하여 필요로 하는 중간재는 국산품 뿐만 아니라 수입품에 의해서도 충당되므로, 최종수요 발생에 따른 생산유발은 국산품 생산유발과 수입품유발로 나누어지게 됨

○ 따라서 최종수요와 생산이나 부가가치를 연결시켜 그 기능적 관계를 파악한 것과 마찬가지로 최종수요와 수입을 관련시켜 최종수요 발생에 따른 수입유발효과도 계측할 수 있음

○ 수입유발계수표는 수입투입계수표에 생산유발계수표를 곱하여 구하게 되는데, 그 도출과정을 살펴보면 다음과 같음

○ 산업연관표에서 수입균형식은 산업연관표의 원리에서 본 바와 같이 $A^{m}X+Y^{m}=M$으로 정의됨. 이 식에 생산유발관계식 $X=(I-A^{d})^{-1}Y^{d}$를 대입하면 $A^{m}(I-A^{d})^{-1}Y^{d}+Y^{m}=M$의 관계식을 얻을 수 있음

○ $A^{m}(I-A^{d})^{-1}$을 수입유발계수행열이라고 하는데, 수입유발계수표를 이용하면 국산품에 대한 최종수요가 주어졌을 때 이에 의하여 유발되는 직·간접 중간재 수입액을 구할 수 있음

○ $X=(I-A+\widehat{m^{*}})^{-1}Y$의 생산유발관계식과 $X=[I-(I-\widehat{m})A]^{-1}[(I-\widehat{m})Y^{*}+E]$의 관계식을 이용하면 각각 $\widehat{m^{*}}(I-A\widehat{m^{*}})^{-1}$, $\widehat{m}A[I-(I\widehat{m})A]^{-1}$ 형의 수입 유발계수행렬도 도출해 낼 수 있음

○ 각 산업부문별 열합계로 나타낸 부가가치유발계수와 수입유발계수와의 관계를 살펴보면 각 산업부문별로 이들의 합은 항상 1이 됨을 알 수 있음. 즉 $A^{V}(I-A^{d})^{-1}+A^{m}(I-A^{d})^{-1}=1$이 성립함

○ 이에 대한 의미를 국민 경제 전체적으로 보면 최종수요 총액에서 수입을 차감하여 나타낸 지출국민소득이 생산국민소득(또는 분배국민소득)인 부가가치 총액과 항상 일치하고 있는 점과 그 원리를 같이하고 있음

(6) 노동파급효과 분석

○ 각 산업부문의 생산활동은 중간재에 노동이나 자본 등 본원적 생산요소를 결합함으로써 이루어지므로 생산활동에 따른 산업별 취업구조의 변동이나 노동의 산업간 파급효과를 정확하게 파악하는 것은 본원적 생산요소인 노동에 대한 장래 수요를 예측하고 계획을 수립하는 데 중요한 의미를 지님

○ 노동의 산업부문간 파급구조를 파악하는 데는 산업간 상호의존관계를 집약적으로 잘 나타내 주고 있는 산업연관표가 흔히 이용됨. 즉, 최종수요의 발생이 생산을 유발하고 생산은 다시 노동수요를 유발하는 파급 메카니즘에 기초하여 최종수요와 노동유발을 연결시킴으로써 노동의 파급효과 분석은 물론 생산활동이 노동수요에 미치는 영향과 그 변동요인 등의 계측이 가능하며 산업부문별 노동생산성 등을 분석할 수 있음

○ 산업연관표를 이용하여 노동의 파급효과를 분석하기 위해서는 먼저 산업별 취업계수를 계측하고, 이 취업계수와 생산유발계수를 기초로 취업유발계수를 도출함.

○ 취업계수란 일정기간 동안 생산활동에 투입된 노동량을 총산출액으로 나눈 계수로서 한 단위의 생산에 직접 소요된 노동량을 의미함. 이 경우 노동량은 취업자와 피용자(피용자뿐 아니라 자영업주와 무급가족종사자 포함)의 두가지로 나뉘어 파악되므로 각각의 취업계수를 계측하게 되는데, i산업부문의 취업계수는 $l_i = L_i / X_i$ 로 표시된다. 여기서 l_i는 i산업부문의 취업계수, L_i는 i산업부문의 노동투입량(인원), 그리고 X_i는 i산업부문의 총산출액을 나타냄

○ 취업유발계수는 어느 산업부문의 생산물 한 단위 생산에 직접 필요한 노동량 뿐만 아니라 생산파급과정에서 간접적으로 필요한 노동량도 모두 포함하고 있는데, 취업계수에 최종수요 한 단위당 직·간접 생산유발효과를 나타내는 생산유발계수를 곱함으로써 구해짐. 즉, 취업유발계수 행렬은 $\hat{l}(I - A^d)^{-1}$ 로 표시되는데 $\hat{l}$ 는 취업계수의 대각행렬을 나타내며 이를 행렬형식으로 나타내면 다음과 같음

$$\hat{l} \qquad\qquad (I-A^d)^{-1}$$

$$\begin{bmatrix} l_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & l_2 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 0 & 0 & & \cdots & l_n \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\hat{l}\,(I-A^d)^{-1} = \begin{bmatrix} l_1r_{11} & l_1r_{12} & \cdots & l_1r_{1n} \\ l_2r_{21} & l_2r_{22} & \cdots & l_2r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ l_nr_{n1} & l_nr_{n2} & \cdots & l_nr_{nn} \end{bmatrix}$$

○ 이 취업유발계수행렬에 소비, 투자, 수출 등 최종수요 벡터를 곱함으로써 최종수요 항목별 취업유발인원을 계측할 수 있음

○ 이와 같은 노동의 파급효과 분석은 각 산업이 생산활동을 영위함에 있어서 여러 산업부문의 생산물을 중간재로 사용함으로써 산업부문간 상호 의존관계를 맺고 있어 생산에 필요한 노동수요도 연쇄적으로 유발된다는 원리에 입각하고 있음

○ 노동량을 측정하는 기준을 보면 년기준(man-year), 일기준(man-day), 시간기준(man-hour) 등이 있는데, 산업연관표와 관련하여 작성된 노동투입은 연기준으로 추계함

다. 첨단 에어백 장비 생산에 의한 산업연관효과 예측

(1) 도입 정책 시나리오 결정

○ 첨단에어백을 2008년부터 생산하는 모든 자동차에 적용하도록 의무화하는 시나리오임

○ 본 연구에서는 에어백의 의무화 시나리오에 대한 산업연관효과분석을 실시하여 에어백 의무장착의 타당성이 있는지를 판단하는 것이 목표임

(2) 첨단 에어백 장비 생산에 의한 산업연관효과 예측

(가) 에어백장착 차량 생산대수 예측을 위한 여건 분석

○ 본 연구에서는 첨단 에어백 장비 장착이 법적으로 의무화 되어 향후(2008년으로가정) 생산되는 모든 자동차에 첨단 에어백 장비가 장착되는 경우에 첨단에어백의 총 생산대수(수입+내수)를 예측하였음

(나) 자동차 생산대수 예측모형 개발

○ 1987년부터 2004년까지의 국내시장에서의 자동차 연간 생산대수와 표준화된 연간 생산대수를 아래표에 나타냄
○ 1998년과 1999년의 수치는 IMF 외환위기로 인한 이상치로 간주하여 모형 산출시 제외하였음
○ 표준화된 연간 생산대수는 연간 생산대수를 해당 연도의 국내 총인구수에 대한 백분율로 계산함

<표 > 자동차 연간 생산대수 및 표준화된 생산대수

연도	총 인구수(명)	생산대수 (대)	표준화된 시장규모(%)
1987	41607941	979739	2.355
1988	42202085	1083655	2.568
1989	42796230	1129470	2.639
1990	43390374	1321630	3.046
1991	43623041	1497818	3.434
1992	43855708	1739696	3.967
1993	44088376	2050208	4.650
1994	44321043	2311663	5.216
1995	44553710	2526400	5.670
1996	44840026	2812714	6.273
1997	45126342	2818275	6.245

2000	45985289	3114998	6.774
2001	46196518	2946329	6.378
2002	46407747	3147584	6.782
2003	46618976	3177870	6.817
2004	46830205	3469464	7.409

○ 매개변수를 추정하기 위한 잠재시장 규모의 범위는 [7.409, 100]이며 이를 10개의 구간으로 나누어 얻어진 11개의 경계값에 대해 선형변환을 거친 후 선형회귀분석을 실시하여 매개변수 범위를 도출함

<표 > Logistic 성장곡선의 각 매개변수 범위

매개변수	매개변수별 변화 범위	
	최소값	최대값
m	16.668	100
α	6.372	41.657
β	0.085	0.112

<표 > Gompertz 성장곡선의 각 매개변수 범위

매개변수	매개변수별 변화 범위	
	최소값	최대값
m	16.668	100
α	2.068	3.787
β	0.026	0.063

○ 구해진 추천 초기값을 비선형 최소자승법의 초기값으로 설정하여 각각의 성장곡선 모형의 매개변수 추정치를 도출함

<표 > 추천 초기값 및 매개변수 추정치

성장곡선 모형		m	α	β	SSE
Logistic	추천초기값	16.668	6.372	0.112	3.7131
	최종 매개수	7.7085	3.7028	0.2483	0.8929
Gompertz	추천초기값	16.668	2.068	0.063	2.4639
	최종 매개수	8.5226	1.7241	0.1508	1.1427

① Logistic 모형

○ 추정된 식은 다음과 같음

$$N(t) = \frac{16.668}{1 + 3.7028 \exp(-0.112\, t)}$$

$N(t)$: t시점에서의 표준화된 시장규모

○ F^*=2175.48이고, 검정통계량의 p-값<0.0001로 유의수준 0.005보다 매우 작아 생산대수의 변동을 설명하는데 모형이 매우 유의함

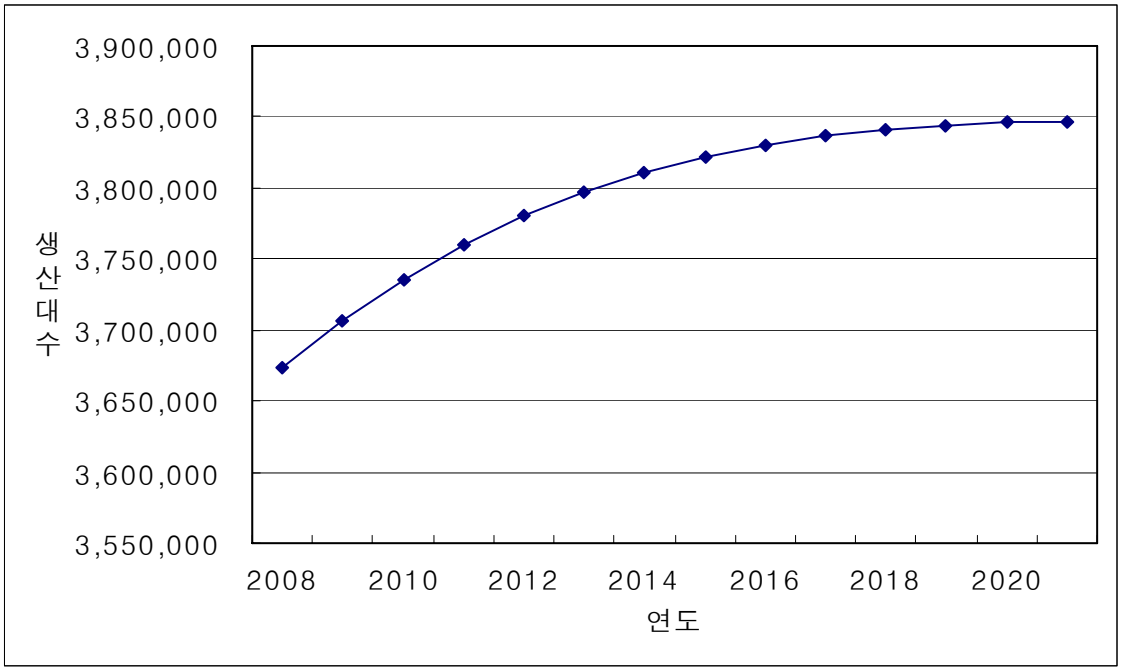
○ 추정된 식을 바탕으로 신규 자동차의 생산대수를 예측하면 다음과 같음

<표 > Logistic 모형에 의해 예측된 자동차 생산대수

연도	총 인구수(명)	$N(t)$	생산대수(대)
2008	48,877,252	7.515	3,672,898
2009	49,053,093	7.556	3,706,619
2010	49,219,537	7.589	3,735,408
2011	49,374,788	7.615	3,759,977
2012	49,509,512	7.636	3,780,299
2013	49,626,235	7.651	3,797,118
2014	49,724,180	7.664	3,810,815
2015	49,802,615	7.674	3,821,687

2016	49,862,489	7.681	3,830,087
2017	49,905,657	7.687	3,836,379
2018	49,933,890	7.692	3,840,876
2019	49,949,889	7.696	3,843,925
2020	49,956,093	7.698	3,845,821
2021	49,954,095	7.701	3,846,775

총 인구수는 통계청 추계인구 자료를 사용함



<그림 > Logistic 모형에 의해 예측된 자동차 생산대수

(3) 첨단 에어백에 의한 산업연관효과 예측

○ 2008년부터 도입되는 첨단 에어백 장비 역시 생산되는 모든 차량에 의무적으로 장착될 것으로 가정하였으므로 자동차 생산대수의 예측 모형이 첨단 에어백 장비 장착 자동차 대수의 예측 모형이 될 것임

(가) Logistic 모형으로 자동차 생산대수를 예측 할 사용할 경우

○ 첨단 에어백 장비 생산 시, 추가로 소요되는 비용에 대한 산업연관효과 예측임

연도	첨단 에어백장비의 추가 생산추정액	첨단 에어백장비 생산에 의한 추가 생산유발 효과			첨단 에어백장비 생산이 유발한 수입효과	고용 유발효과 (명)
		$(I-A)^{-1}$	$[I-(I-\widehat{m})A]^{-1}$	$(I-A^{d})^{-1}$		
2008	767,690,703	2,548,445,306	1,558,507,295	1,561,220,151	59,397,109	7,370
2009	774,738,880	2,571,842,609	1,572,815,966	1,575,553,729	59,942,434	7,437
2010	780,756,273	2,591,818,098	1,585,032,020	1,587,791,047	60,408,007	7,495
2011	785,891,495	2,608,865,111	1,595,457,158	1,598,234,332	60,805,325	7,545
2012	790,139,200	2,622,965,897	1,604,080,525	1,606,872,709	61,133,975	7,585
2013	793,654,577	2,634,635,630	1,611,217,176	1,614,021,782	61,405,964	7,619
2014	796,517,527	2,644,139,552	1,617,029,320	1,619,844,043	61,627,473	7,647
2015	798,789,967	2,651,683,202	1,621,642,655	1,624,465,410	61,803,295	7,668
2016	800,545,665	2,657,511,460	1,625,206,939	1,628,035,898	61,939,135	7,685
2017	801,860,857	2,661,877,406	1,627,876,943	1,630,710,549	62,040,893	7,698
2018	802,800,776	2,664,997,583	1,629,785,094	1,632,622,021	62,113,615	7,707
2019	803,437,890	2,667,112,562	1,631,078,514	1,633,917,693	62,162,910	7,713
2020	803,834,332	2,668,428,601	1,631,883,341	1,634,723,921	62,193,583	7,717
2021	804,033,751	2,669,090,597	1,632,288,186	1,635,129,471	62,209,012	7,719

(나) Gompertz 모형으로 자동차 생산대수를 예측 할 사용할 경우

○ 첨단 에어백 장비 생산 시, 추가로 소요되는 비용에 대한 산업연관효과 예측임

연도	첨단 에어백장비의 추가 생산추정액	첨단 에어백장비 생산에 의한 추가 생산유발 효과			첨단 에어백장비 생산이 유발한 수입효과	고용 유발효과 (명)
		$(I-A)^{-1}$	$[I-(I-\widehat{m})A]^{-1}$	$(I-A^{d})^{-1}$		
2008	800,145,814	2,656,184,106	1,624,395,193	1,627,222,739	61,908,198	7,681
2009	812,576,466	2,697,449,208	1,649,630,956	1,652,502,429	62,869,972	7,801
2010	823,667,607	2,734,267,639	1,672,147,348	1,675,058,015	63,728,106	7,907
2011	833,523,955	2,766,987,020	1,692,156,957	1,695,102,454	64,490,703	8,002
2012	842,108,728	2,795,485,247	1,709,585,110	1,712,560,944	65,154,917	8,084
2013	849,572,138	2,820,260,968	1,724,736,757	1,727,738,964	65,732,369	8,156
2014	855,997,923	2,841,592,168	1,737,781,898	1,740,806,813	66,229,540	8,218
2015	861,460,092	2,859,724,519	1,748,870,777	1,751,914,994	66,652,154	8,270
2016	866,052,131	2,874,968,366	1,758,193,185	1,761,253,629	67,007,445	8,314
2017	869,874,839	2,887,658,325	1,765,953,758	1,769,027,711	67,303,213	8,351
2018	873,019,945	2,898,098,898	1,772,338,712	1,775,423,780	67,546,553	8,381
2019	875,588,491	2,906,625,507	1,777,553,179	1,780,647,323	67,745,284	8,406
2020	877,670,722	2,913,537,732	1,781,780,365	1,784,881,867	67,906,389	8,426
2021	879,336,339	2,919,066,956	1,785,161,774	1,788,269,162	68,035,260	8,442

제4장 연구 개발 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제1절 연구개발 목표 달성도

제2절 연구개발 결과의 관련분야 기여도

제4장 연구 개발 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제1절 연구개발 목표 달성도

○과제 종합 및 운영

- 연차별 과제 보고 워크샵 총 회 개최, 분야별(알고리즘/전장/시스템/시험/해석 등) 소그룹 회의 등
- 국내 특허 총 11건 출원 (Yaw Rate 센서 값을 이용한 에어백 전개 알고리즘 구현 외)
- 해외/국내 논문 발표 (20th Enhanced Safety Vehicle 1건, 건교부 성과포럼 등 국내 4건)

1. 어드밴스드 에어백 독자 알고리즘 개발

가. 전개/비전개 조건 결정 - 충돌 유형 및 속도별 조건에 의한 전개/비전개 조건 결정 완료

나. Crash Severity 분석 - 실차 충돌 승객 상해 분석에 의한 Crash Severity 분석 완료

다. Firing Decision Logic 구성 - 충돌 유형 및 속도별 조건에 의한 Firing Decision Logic 구성 완료

라. Crash Severity 알고리즘 구성 - Time Based 어드밴스드 에어백 정면 알고리즘 구성 완료

마. 전방센서 위치별 개발 시험 결과 분석 - 실차 충돌 시험 및 Rough Road, Misuse 시험 결과 분석 완료

바. 전방센서 위치별 에어백 알고리즘 Calibration - 개발된 알고리즘을 이용한 전방센서 위치별 Calibration 실시 완료

사. 정면 및 측면 에어백 전개 로직 구성 - 충돌 유형 및 속도별 조건에 의한 정면 및 측면 에어백 전개 로직 구성 완료

아. 정면 및 측면 에어백 충돌 판별 알고리즘 구성 - 정면 및 측면 어드밴스드 에어백 충돌 판별 알고리즘 구성 완료

자. 측면 센서 위치별 개발 시험 결과 분석 - 실차 측면 충돌 시험 측면 센서 위치별 데이터 분석 완료

차. 측면센서 위치별 에어백 알고리즘 Calibration - 개발된 알고리즘을 이용한 측면센서 위

치별 Calibration 및 비교/분석 실시 완료

카. PIT 시험 (Pulse Injection Test) - 에어백 알고리즘의 ACU 내부 정상 동작 확인 완료

2. 에어백 시스템 설계 능력 확보

가. 모듈 성능 조건 결정 - LRD, 슬레드, 실차 시험을 위한 설계 사양 결정 완료

나. Low Risk Deployment 성능 평가 - Static OOP 8회 수행 및 분석 완료

다. 에어백 시스템 단품 성능 평가 - 에어백 모듈 및 인플레이터 등 단품 성능 평가 완료

라. Low Risk Deployment, Suppression 방법 설정 - 대상 차종 Low Risk Deployment 및 Suppression 방향 설정 완료

마. 구속 장치 사양 결정 - 양산 중인 차종의 기본 사양을 Base로 적용

바. 충돌 시험 상세 계획 수립 (Test Condition) - 슬레드 및 실차 충돌 시험 상세 계획 수립 완료

사. 에어백 오작동 방지를 위한 악의 시험 - 에어백 오작동 방지를 위한 악의 시험 수행 완료

아. 실차 정면 충돌 확인 시험 - 실차 정면 충돌 확인 시험 수행 완료

자. 측면 센싱, 중형 세단 정면 충돌 시험 - 측면 센싱, 중형 세단 정면 충돌 시험 수행 완료

차. 정면 및 측면 실차 충돌 Test Matrix 구성 - 알고리즘 개발 및 확인 시험을 위한 실차 충돌 Test Matrix 구성 완료

카. 측면 충돌 상세 계획 수립 (Test Condition) - 슬레드 및 실차 충돌 시험 상세 계획 수립 완료

타. 측면 에어백 오작동 방지를 위한 악의 시험 수행 완료

파. 실차 정면 및 측면 충돌 확인 시험 수행 완료

하. 실차 동적 전복 충돌 시험 수행 완료

3. 승객 상해 수준 및 차체 충돌 성능 평가

가. 승객 상해 연구 - 충돌 유형별, 충돌 속도별 승객 상해 수준 평가 기법 연구 완료

나. 해석 모델 정도 향상을 위한 단품 시험 및 해석 - 단품 시험 수행 완료, 단품/실차 해석 Correlation 수행 완료

다. 해석 정도 향상 및 설계 반영 - 승객 상해 모델 구성 완료, 해석-시험 간 Correlation 완

료

라. 해석 결과 database 구성 - 해석 결과에 의한 해석 모델 및 결과 등 database 구축 완료

마. 비정형 승객 상해 해석 기법 마련 - 정면 외 옵셋/경사 등 비정형 충돌의 승객 상해 해석 기법 수행 완료

바. 해석 신뢰도 향상을 위한 산포 해석 - 정확한 승객 상해 예측을 위한 단품 시험 및 산포 해석 수행 완료

사. 동적 전복 (Rollover) 차량 거동 해석 - 승객 안전도 향상을 위한 전복 여부 판단 해석 기법 수립 완료

4. 전장 시제품 설계 능력 확보 및 신뢰성 확인

가. ACU 시제품 설계/제작/평가 - ACU 시제품 설계 및 제작, 실차 충돌 시험에 의한 검증 및 개선 완료

나. 에어백 시스템 구성을 위한 센서 선정 - 전방 센서, 시트 벨트, 시트 위치 감지 센서 등 센서 선정 완료

다. 개발된 부품의 단품 신뢰성 및 양산 적용성 평가 완료

라. 실차 성능 및 신뢰도 검증 시험 - 개발된 시제품의 실차 충돌 시험에 장착하여 성능 검증 완료

마. 실차 전자파 (EMC) 시험 - 개발 시제품의 북미 법규 대응을 위한 실차 전자파 시험 평가 완료

5. 에어백 개발 과제의 경제성 평가 분석

가. 도입 시나리오의 적절성 연구 분석 완료

나. 경제성 평가 결과의 현실성 평가 분석 완료

제2절 연구개발 결과의 관련분야 기여도

1. 기술적 측면

○ 어드밴스드 에어백 시스템 관련 국내 독자적인 기술 확보로 차량 부품 개발 관련한 국제적인 선진 기술을 보유하게 됨

○ 기존의 외국 업체에만 의존해오던 시스템 개발 관련 기술을 확보함으로써, 자동차 관련 타 부품의 국산화 개발을 가속화하게 함

○ 외국 업체의 기술료, 개발 차량 정보 유출, 개발 비용 및 기간 등에 종속되지 않고, 국내 자동차 업체가 능동적으로 선진 기술을 적용할 수 있음

○ 향후 자동차 시스템 관련 국제 기술 흐름을 주도하는 위치로 자리매김함

2. 경제·산업적 측면

○ 어드밴스드 에어백 시스템 관련 기술을 보유한 외국 업체에 지불하는 기술료를 절감할 수 있다.

○ 에어백 시스템 특성상, 개발 과정에서 차량에 관한 정보가 유출될 수밖에 없는 구조를 개선할 수 있다.

○ 자동차 관련 기초 기술 습득이 용이해지고, 국내 산업 전반에 미치는 산업적 파급 효과가 있으며, 향후 진보된 기술 개발에 확대/응용 가능하다.

○ 외국 업체 주도로 개발함에 따른 개발 기간 및 시험차 제작 등에 따른 개발 비용 증가분을 절감할 수 있다.

3. 기술적 파급 효과

○ 어드밴스드 에어백 시스템을 장착하기 위한 기반 기술(센싱, 모듈 등)의 국내 축적 및 부품 단위의 생산 기술, 제조 기술 등의 파급 효과가 예상된다.

제5장 연구개발 결과의 활용 계획

제5장 연구개발 결과의 활용 계획

1. 활용 목표 : 독자 에어백 알고리즘의 양산 차종 적용

가. 참여 부문 - 자동차 업체, 전장 부품 업체 공동 참여

나. 개발 구도 - 독자 에어백 알고리즘 기반 전장 ACU/센서 단품 개발 및 실차 평가

다. 양산 계획 - 양산 적용 목표 차종 선정 후 양산 검증 업무 동시 추진

2. 개발기술의 활용전략 및 방법

가. 연도별 활용계획

(1) 2008 - ACU/센서 단품 설계 및 검증

(2) 2009 - 알고리즘 1차/2차 평가 및 검증

(3) 2010 - 양산 적용 차종 출시

나. 추진체계

(1) 자동차 업체 - 독자 알고리즘 적용, 실차 성능 평가

(2) 전장 부품 업체 - 전장품 설계/개발 및 부품 성능 평가

3. 활용성과 측정

가. 성과내용 - 독자 에어백 알고리즘의 양산 차종 적용

나. 성과측정(확인) 방법 - 독자 에어백 알고리즘 성적서 (Calibration Report)

다. 성과근거 자료 - 양산 적용 차종 생산 대수 및 설계 반영 도면

4. 기대효과

가. 국내 독자 기술의 양산 적용으로 자동차 안전도 향상 및 상품 경쟁력 확보

나. 독자 기술의 양산 적용 확대에 따른 기반 기술 확보 및 기술/경제적 파급 효과

다. 독자 기술의 양산 적용에 따른 원가 절감 (기술료 절감 등) 및 기술적 의존성 탈피

제6장 에어백 관련 국제회의 자료

제6장 에어백 관련 국제회의 자료내용 및 결과

○ 2007 ESV (Enhanced Safety Vehicle) 학술 대회



1. 대회 개요

가. 일시 및 장소 : '07.06.18(월) ~ 21(목), 프랑스 리옹 (Centre de Congres)

나. 참 석

한국 : 제작사(현대자동차, 현대모비스, GM대우), 자동차성능시험연구소, 한기대 등 13명

미국, 일본, 프랑스 등 14개 ESV회원국 정부대표, 세계자동차업계 및 학회전문가 등 800여명

다. 주 제 : "Innovations for Safety : Opportunities and Challenges"

라. 내 용

NHTSA후원, 20th ESV (International Tech. Conference on the Enhanced Safety of Vehicle)

13개 회원국 및 2개의 국제기구(EC/EEVC)의 교통안전정책 보고

13개 분야 총 253편 (177발표/76게재)의 논문 등록

정부기관, 자동차 메이커 및 부품업체의 신기술 전시부스 운영

마. 차기 개최지 : '09년 독일 슈투트가르트 (벤츠 100주년 기념)

2. 논문 발표 및 전시 현황

구분	규 모	특 징
정부	13개국 및 2개 단체	각 회원국 정부의 교통안전 정책발표 ('05년 대한민국 정부 가입)

보고		
기술 논문	13개 분야 253편 논문등록 (발표 177 편, 게재 76 편)	정부주도 안전정책강력추진(2010년까지 사망자 절반수준감축목표) - Active Safety, 법규 강화 후 사고 동향 분석, 교통기반시설확충 일본/유럽 업체 주도로 양립성, 롤오버 및 보행자등 연구활발
전시	정부기관(NHTSA 등) 자동차 메이커/업체	정부기관 : 법규제정관련 연구결과 자동차 메이커 : 신기술관련 완성차/신재료, 더미, 신해석 기술 등

순번	주제별 분야	논문(발표/게재)	비고
1	Structural Integrity and Restraint Performance	28편 (20/ 8)	논문 게재
2	Developments in Side and Front Impact Protection	29편 (17/12)	
3	Active/Passive Safety : Applying Integrated Solutions along the Crash Timeline	28편 (18/10)	
4	Vehicle Handling, Stability and Control Systems, and Rollover Prevention	16편 (12/ 4)	
5	Biomechanics: Injury Criteria and Test Procedures	24편 (15/ 9)	
6	Advanced Technology : Human Performance	17편 (12/ 5)	
7	Compatibility in Frontal/ Side Collisions	18편 (15/ 3)	
8	Rear Impact Injury Prevention	12편 (11/ 1)	논문 게재
9	Improved Safety for Pedestrians and Other Vulnerable Road Users	24편 (15/ 9)	당사 발표
10	Biomechanics: Tools Development	13편 (10/ 3)	
11	Motorcycle Safety	14편 (13/ 1)	
12	Advances in Child Occupant Protection / Restraint Systems	18편 (11/ 7)	
13	Advances in Truck and Bus Safety	13편 (9/ 4)	

가. 정부 교통 정책 동향 보고

개요 - 13개 참가회원국 및 2개 단체의 교통안전정책 발표

(1) 호주

◆ ECS (Electronic Stability Control)

실제 도로 상황에서의 ECS의 사용 이점을 정량화하기 위해 사고 데이터 분석

- ECS 사용의 이점에 관한 소비자 정보 제공 강화

◆ Quadricycles 호주에서의 Quadricycle 분야 법규 제정 고려 중

◆ 연구 활동

- Child Restraints : Lower Anchorage systems (ISOFIX, Latch)
  Anchorage 강도
  안전 성능 이점
- 정면 충돌 : Light Commercial Vehicles
  Frontal Compatibility
  Progressive Deformable Barrier (PDB)

◆ 국제 법규 조화

- WP29 (자동차기준조화 세계포럼) 가입 및 활동
  WP29 및 GRSP에 정기적 참여
  2000년 WP29의 기술기준 상호인정 협정인 1958 협정 가입
  2007년 1998 협정에 가입 예정
- 국제 법규 제정 및 연구에 지속적인 참여

(2) 캐나다

◆ 캐나다 교통국의 도로 안전 비젼 2010 중간 점검

◆ 충돌 조사 및 연구
  - 어드밴스드 에어백 시스템
  - 측면 충돌 승객 보호
  - 후방 승객 보호
  - 특이 충돌 상황 조사
  - 치명적 충돌 사고 원인 분석 및 조사

◆ 충돌안전성 연구 프로그램 확대
  - 정면충돌 : 전후방 승객 보호
  - 측면충돌 : 충돌측(Near Side) 및 충돌 반대측(Far Side) 승객 보호
  - 어린이 보호 : 어린이용 승객 보호 장치 및 스쿨버스에 대한 조사
  - 더미 개발 및 평가

◆ 환경공학 및 충돌 회피 연구

◆ GTR 법규 대응

(3) EC

◆ 유럽의 현재 교통사고현황

- 사망자 수 : 2006년 기준으로 년간 사망자 38,600명으로 감소추세임 (유럽 25개국 EUR25)

- 경제 손실 : 국민 총생산의 2%, 년간 2,000억 유로의 소모됨

- 도로교통 안전 목표 : 2010년까지 사망자수를 현재 수준의 50% 이하로 축소 (20,000명대)

◆ CARS21(Competitive Automotive Regulatory System for the 21st Century)

- 목적 : 현행 법규 및 제정 예상 법규에 대한 고찰

- 진행중 항목 : 안전 및 환경 문제에 대한 중점적 검토

- 향후 10년간의 Roadmap 설정(Virtual Testing 및 Self testing 등)

◆ CARS21의 추가 관심 사항

- Brake Assist System

- Heavy duty Vehicle의 후방 시야 확보 기술 향상

- Isofix 어린이용 시트

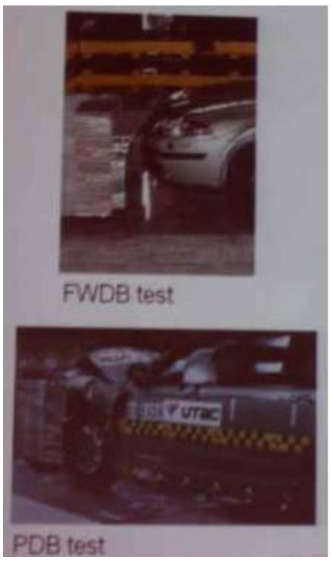
- Daytime running lights, Seatbelt reminders 및 ESC (Electronic Stability Control)

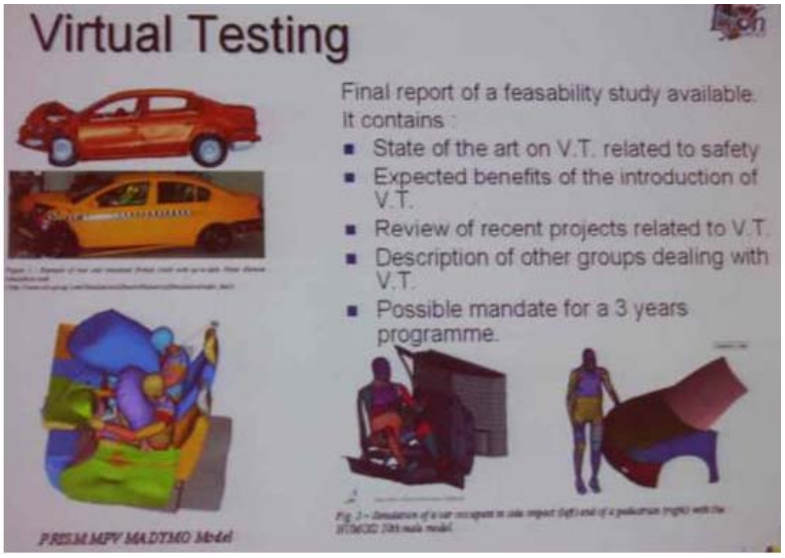
(4) EEVC

◆ 정부가 아닌 단체로 1970년에 발족 (EEVC : European Enhanced Vehicle-Safety Committee)

◆ EEVC 회원사 : 프랑스, 독일, 그리스, 이태리, 네덜란드, 폴란드, 스페인, 스웨덴, 영국

◆ Working Group 활동 : 충돌 더미 연구 / 측면충돌보호 / 정면충돌 및 Compatibility / 보행자보호 / 어린이안전 / 후방추돌보호 / 사고분석 / 가상시험





(5) 독일

◆ 2005년 독일 차량 보유 현황 및 도로 현황 : Passenger car 4천5백만대 보유, 12000km의 도로

◆ 사고현황 (2000년 대비 2006년 현황)

- 사고 회수 5% 감소, 상해 사고 14% 감소, 사망자수 32% 감소

◆ 독일 정부 중점 과제

- 경화물 차량의 안전장치 추가 : 사고기록장치, SBR, speed limiter 등 적용 예정
- Daytime Running Lights : DRL에 LED (Light Emitting Diode) 적용
- 차량 적합성 연구 및 어린이 안전 연구(측면 충돌에서의 유아시트 및 유아 착석 후 시험 등)
- AKTIV (Adaptive and Cooperative Technologies for Intelligent Traffic) 프로젝트 수행 : 교통상황 통제 및 차량간(Car-to-Car & Car-to-Infrastructure Communication) 통신 활성화를 통한 Active Safety 실현

◆ 3RD International Environmentally Friendly Vehicles Conference 개최 예정

일시 : 2007년 11월 19~20일, 장소 : Dresden Germany

(6) 헝가리

◆ 헝가리 차량 보유 정보 및 도로 통계

- 총인구 천만명 정도이며 135,000km 도로(630km motorway)
- 350만대 차량 보유 중이며 차량의 평균 수명은 10.5년
- 2005년 2만 건의 사고 발생, 2만9천 여명 상해 사고 발생, 1269명 사망

- 사고 원인 : Alcohol 12%, Breakdown 50%

◆ 헝가리 법규 상황

- 속도 제한 : Built-up Area 50km/h, 고속도로 90km/h, motor-road 110km/h, motorway 130km/h

- 음주운전 금지

- 시트벨트 의무 착용(현재 50% 착용 비율), 어린이용 보호장치 의무 사용, Low Beam 의무 사용

- 국제 협정에 대한 지속적인 협력

◆ 2006년 헝가리 자동차 산업의 특징

- 총 187,000대의 승용차가 조립되고 있음.

- 총 230만개의 승용차용 엔진이 생산됨.

- 자동 변속기 21,000개 생산됨

- 시트, 안전유리, 전자부품 및 그 외 차량용 부품의 생산

- 총 188,000대의 승용차가 수입되었음.

(7) 이태리

◆ 이태리 차량 사고 현황

- 2005년 5,426명 사망 / 313,727명 부상 / 306억 유로의 사회적 손실 비용 발생

- 지난 25년간의 사고 분석 : 19만명 사망 / 40만명 불구 / 620만명 부상

- 이탈리아 가정의 40% 정도가 차량사고에 의한 불행을 겪음

- 이탈리아의 차량사고는 EU의 다른 국가에 비해 상대적으로 사망사고 비율이 높음.

◆ 국가 도로 안전 전략이 시작되면서 2003년에 운전면허증에 Penalty Point System 도입

- 시스템 도입으로 2003년과 2005년 사이에 1,313건의 사망자 / 27,933건의 부상사고가 감소

- 전체 감소 중 90%가 처음 도입 후 12개월 내에 이루어짐

- 18개월 동안 144건만의 사망사고가 발생했으나 2006년 통계는 사고추세가 반전되었음.

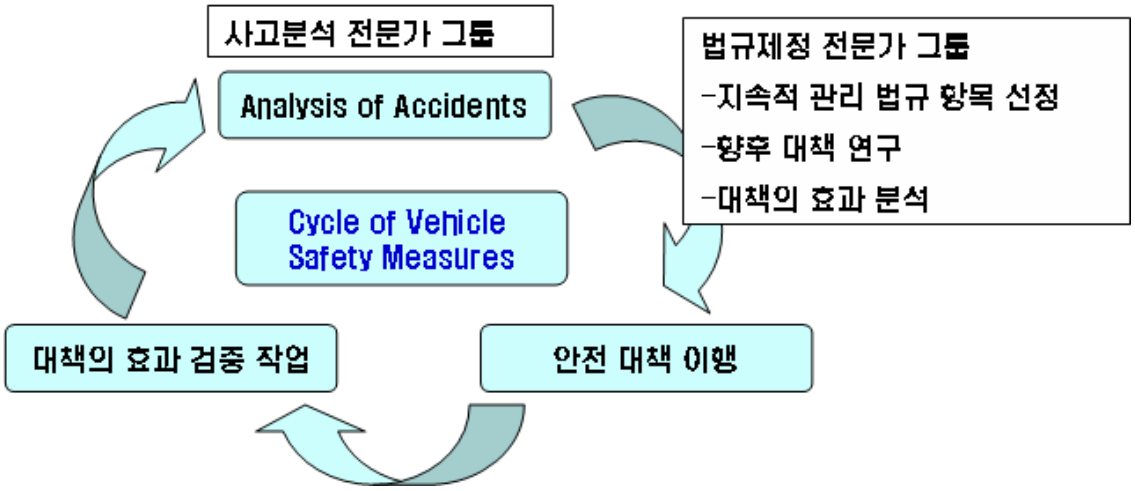
- 초기 도입은 상당한 효과를 가져왔으나 지속적인 효과를 나타내지는 못하는 상황임.

(8) 일본

◆ 2006년 사고현황 : 차량사고 95만건 / 상해 115만명 / 사망 7천 여명 / 차량 보유대수 8천만대 수준

◆ 2010년 목표 : 사망자수 5500명 이하 / 사망 및 상해자 1백만 이하

◆ 차량 안전 대책 사이클



◆ Active Safety 전략

- 단기 전략 : 우선순위가 높은 기술에 대한 지원
- 중기 전략 : 운전 기록 장치 (VDRs)를 이용한 사고 분석 방법 개발
- 장기 대책 : 무선통신을 이용한 안전도 향상을 위한 운전 보조 시스템 개발

◆ 추가적인 차량 안전도 대책

- Passive Safety 관련 추가적인 대책 개발 (머리상해 mitigation / 차량 compatibility / 안전장치의 올바른 사용 유도)
- 중대형 트럭의 안전 방지 대책 (공격성 감소 연구/승객 보호 연구)
- 보행자 및 Elders 안전 대책 (보행자보호 대책/제동보조 시스템 연구/미래 대책 연구)

◆ 차량간 통신을 이용한 운전 보조 시스템

- 2006년 관련 그룹 설립 (정부 및 업체)
- 2007년 Pre-trial 실시
- 2008년 Large-scale trial 실시
- 2010년 시스템의 실제 적용 예정

◆ 음주 운전에 대한 대책

(9) 폴란드

◆ 폴란드 교통 사고 및 차량 보유 현황

- 1290만대 승용차 보유

- 46,876건의 사고 / 59,123명의 상해자 발생 / 5,243명 사망 (11%의 사망 사고율)

◆ 국가 도로 안전 프로그램(GAMBIT)은 다음과 같은 경우를 대상으로 한다

- vulnerable 도로 사용자 (보행자, 자전거운전자 등)

- 속도위반 / 음주운전 / 안전장치 미사용 등의 법규 무시자

- 주도로 외곽의 built-up area (전체 도로의 6%의 길이, 모든 사고의 25% 발생, 사망자 사고의 40% 발생, 상해자의 27%, 100건당 18명의 사망자 사고의 치사율) 에서의 교통사고 위험

- 18세에서 24세의 젊은 운전자 (도로 사고의 20% 수준)

- 노후화된 차량에 대한 빠른 부품 교환

- 음주 운전자 및 보행자에 대한 제재

◆ EEVC, UN ECE, ESV, IHRA, EU Commission, ETSC Council의 Working Group에 참여 중

(10) 한국

◆ 차량 인증 시스템 : 2003년부터 자체인증 (Self-certification) 시스템 도입

◆ Recall 통계 : 자동차 회사의 품질 향상 노력 및 2003년 부터 자기 인증제 도입 이후 Recall 횟수가 시행 초기 증가 추세에서 현재 상당히 줄어들고 있음.

◆ KMVSS 소개

일반 규정	3 조항(조항.1 ~ 조항.3)
양산 차량 관련 규정	56개 조항 (조항.4 ~ 조항.58)
모터사이클 관련 규정	27개 조항 (조항.59 ~ 조항.85)
신규 차량 관련 규정	32개 조항 (조항.85-2 ~ 조항.112)
보조 규정	4개 조항 (조항.113 ~ 조항.116)

◆ Active Safety 및 Passive Safety 관련 규제 (Active Safety)

Items	관련 규정
1. Lamps, Reflective Devices and Associated Equipments	ECE 7,19,23,38,46,48 FMVSS 108
2. Forward and Rearward Visibility	ECE 46
3. Windshield Defrosting and Defogging System Wiping and Washing System	FMVSS 103
4. Accelerator Control Systems	FMVSS 124
5. Brake for Passenger Cars	ECE 13H
6. Brake for Vehicle Other Than Passenger Cars	ECE 13
7. Brake for Trailers	ECE 13

◆ Active Safety 및 Passive Safety 관련 규제 (Passive Safety)

Items	관련 규정
1. Occupant Crash Protection	ECE 95(Side) FMVSS 208(Frontal)
2. Steering Control Rearward Displacement	FMVSS 204
3. Fuel System Integrity	FMVSS 301
4. Windshield Mounting	FMVSS 212
5. Windshield Zone Intrusion	FMVSS 219
6. Seating System Anchorages	FMVSS 207
7. Head Restraints	FMVSS 202
8. Door locks and Door Retention Components	GTR1
9. Impact Protection from the Instrument panel	FMVSS 201
10. Impact Protection from the Seatback	FMVSS 201
11. Impact Protection frim the Sun-visors	FMVSS 201

◆ 국제 법규 조화 계획

- UN/ECE 1958 (ECE 법규) / 1998협정 (GTR) 에 가입 및 활동 참여
- ECE Regulation을 기초로 한 규정에 국제조화 진행 중
- WP29 및 APEC/VSHG와의 협력 강화
- 승용차 규정의 공조화에 우선적 참여
- 차량 및 교통 상황과 산업계에 충격을 크게 주지 않는 아이템을 우선적으로 선정
- 매년 4~5개의 아이템을 공조화 예정
- 안전 법규 조화 계획

연도	ECE 규정
2005	ECE R13H(Passenger Car Brakes), ECE R19(Front Fog Lamps) ECE R58(Rear Under-ride Protection), GTR No.1(Door Locks and Retention)
2006	ECE R39(Speedometers) ECE R95(Lateral Collision) ECE R121(Tell-Tales) ECE R25(Head Restraints)
2007	ECE R10(Electromagnetic Stability) ECE R43(Safety Glazing Materials) Motorcycle Brake Systems GTR ECE R87(Daytime Running Lamp) ECE R30 & FMVSS(Tyres) ECE R123(Full-AFLS)
Total	매년 4~6개의 아이템을 공조화 예정 2010년까지 약 30여개의 아이템을 공조화할 계획

◆ 미래형 차량 연구에 대한 계획

- 하이브리드 자동차 : 2006년에 연구 시작, 2009년까지 안전기준 설정 예정

- 연료전지 차량 : 2007년 연구 시작, 2014년까지 안전기준 설정 예정

(11) 스웨덴

◆ 사망 사고 현황 : 445명/2006년, 인구 10만명 당 4.9명

◆ 목 표 : 2007년까지 사망자수 270명, 2010년까지 250명으로 축소 예정

◆ 정책 기관 소개

- 정책 기획 : Ministry of Industry, Employment and Communication

- 정책 수행 : Swedish Road Administration (SRA)

◆ 정책 : 1997년 의회에서 “Vision Zero” 제시 이후 차량사고는 증가했으나 사망 통계는 감소추세

◆ 정상적인 차량 주행 지원 시스템

- Seatbelt Reminders

- ISA/Speed Alert

- Alcolocks

- Fatigue detection 등

◆ 위험상황 지원 시스템

- Adaptive Cruise Control

- 차선 이탈 경고

- ESC (Electronic Stability control)

- Pre-Safe 장치

(12) 영국

◆ 사고현황 : ’94년 이후 사고율 감소 중

◆ 교통 사고 축소 목표 : 2010년까지 94~98년 평균 대비

- 성인 사망 및 중상 40%, 어린이 사망 및 중상 50%, 경상 10%

◆ 사고 분석

- 교통상황 및 사고 분석 : 국가 통계 이용

- 사고 현장 조사 : 사고 원인 분석

- 사고후 분석 : 차량과 상해와의 관련성 등

- 국가 연구 기관에서 분석하며 협조 기관으로는 Gov'ts, EEVC/post IHRA, 업계, 사용자 등

◆ Primary Safety 연구

- Wheel security 대형차량, 타이어 트레드 깊이 및 경고, 시인성 관련 연구

- 조명 : DRLs 및 전구 품질 연구

- 속도 제한 연구 : 고정식 및 Intelligent Type

◆ Secondary Safety 연구

- 보행자 보호 / 측면 충돌 / Dummy issues / EuroNCAP

- 2007년까지 Motorcycles 헬멧 착용 비율 / 2008년까지 Child Seat 사용 비율 연구

◆ Advanced System 연구

- ESC 유용성, Autonomous Braking, HMI-Satellite Navigation

- Driver underload/overload, 위험성 평가

(13) 프랑스

◆ 사망 사고 현황

- 1990년 10289명에서 2006년 4703명으로 줄어들고 있는 추세

- 2002년 기준으로 보행자, 차량 내 승객의 사망자수는 감소 추세

◆ 국가 도로 안전 전략 대상

- 젊은 운전자 / 모터사이클 / 노령 운전자 / 시트벨트의 사용 권장

- 지방법규 / Automatic control-penalty

◆ 연구 활동

- Foundation for Road Safety

- Clusters for Competitiveness : 업계, 학계, 연구기관간의 협력 강화를 목적으로 함.

- PREDIT 3 Programme 운영 : 지방정부 차원, 국가적인 차원 및 EU 차원에서의

대응 Safety와 관련된 2개의 운영 그룹 (GO3 & GO4)

- GO3 : Safety 관련 신규 지식 관련 (39개의 프로젝트 운영 중)
- GO4 : Safety 기술관련

(가) ARC0S 프로젝트 사고 방지 목적 : 차량간 거리제어 / 고정물체 충돌 회피 / 주행로 이탈 방지 등

(나) LAVIA Speed limiter의 시험 및 평가

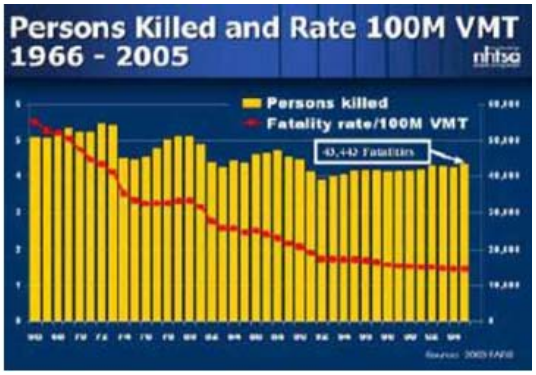
(다) 15개의 추가적인 프로젝트- Driver information / Safety in tunnels / Vulnerable users / Safety of rail transport / Driving simulation and drowsiness

(14) 미국

◆ 사고현황 : 사망자 43,443명 (2005년 기준)

인구대비 사망 사고율은 꾸준히 감소 추세 중임.





◆ 연구 활동

(가) CRASHWORTHINESS RESEARCH

- 충돌 차량 상호 안전성 승용차 측면 충돌 성능 강화, SUV 공격성 평가 인자 개발
- Rollover시 승객 이탈 감소 Side Window 강성 증대, Rollover Sensor 연구
- 측면충돌 연구 FMVSS 214 강화
- Integrated Safety 차량간 충돌 회피를 목적으로 함.
- Hydrogen and Alternative Fuel Vehicles' safety
- 사고 기록 장치 (Event Data Recorder)

(나) Biomechanics RESEARCH

- Injury Mechanism
- Anthropomorphic Test Device

- Vulnerable Occupant Injury
- Crash Injury Research Engineering Network (CIREN) Development
- Heavy Vehicle

(다) Intelligent Technologies Research

- Advanced Collision Avoidance Technologies
- Integrated Vehicle-Based Safety Systems (IVBSS) Initiative
- Cooperative Intersection Collision Avoidance Systems (CICAS)
- Vehicle Infrastructure Integration (VII)

(라) Human Factors Research

- Belt Minders
- Driver/Vehicle Performance and the 100-Car Naturalistic Study(운전자 관찰을 통한 연구)

◆ 중요 법규 제정 활동

- Truck Tractor Stopping Distance/ECS for Light Vehicle 외

◆ 2007~2010년 차량 관련 우선 진행 사항

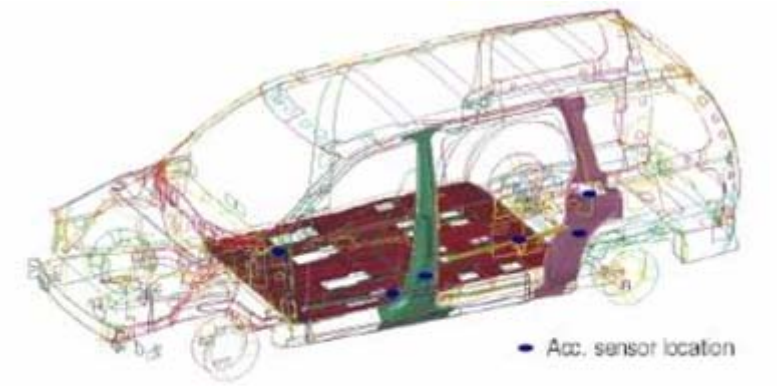
- 롤오버 방지 / 승객이탈방지 / 롤오버 승객보호 / 차량 Compatibility / 어린이보호 back-over 방지

나. 기술 동향

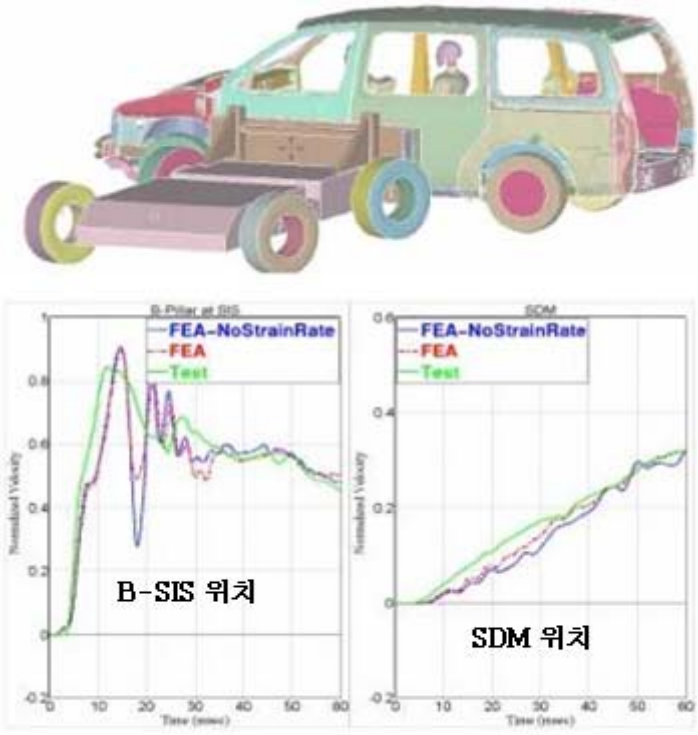
(1) Structural Integrity & Restraint Performance

(가) 측면 에어백 센싱 개발을 위한 VAN 모델링 및 해석 : GM

- 약 23만개 요소 사용 및 6가지 해석 매트릭스 구성. 6개 SIS + 1개 Module 위치 선정.
- 다양한 센싱 모델링 기술 적용 : Strain Rate Effect 고려, 센싱해석에 적합한 요소 사용. Segment-based contact, DR Strike & Latch 검증, Barrier 와 차체 마찰계수(0.2) 등.
- 해석모델이 전반적으로 약하게 표현됨. 시험결과 대비 감가속도는 7msec 까지만 잘 일치하고 그 이후는 차이 있음. 속도는 Reasonable, 변위는 잘 일치함.
- 목표 TTF를 시험결과와 Correlation 한 이후 해석 결과를 센싱에 사용 가능.



센서6개 위치 : FR/RR DR Beam, B-SIS, C-SIS
C-Plr Beltline
Sensing Diagnostic Module



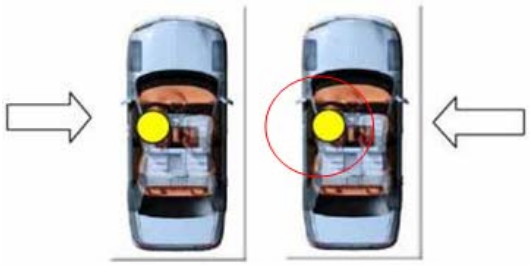
측면충돌 시험-해석 결과 (속도) 비교
(해석 – 변형율 속도 효과 고려 유무)

(2) Developments in Side and Frontal Impact Protection

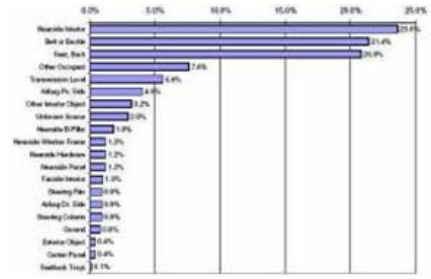
(가) 측면 충돌시 Far Side 승객의 가슴 및 복부 상해 연구 - George Washington Univ. & GM 외

- 각 연령대 별로 상해 분석 및 가슴상해 및 복부 상해를 일으키는 차량내의 구조물에 대한 상해 영향도 평가

- 현재의 안전 장치는 Near side 승객에 대한 기술만 적용 중이며 Far Side 승객에 대해 적절치 못한 장치임을 설명



<Near Side> <Far Side>



<Far Side 승객의 AIS+3 이상의 가슴 상해 원인 >

(나) ES-2와 WorldSID를 이용한 Car-to-Pole 측면 시험에서의 승객보호 장치의 평가 - 호주교통부

- 동일한 시험 조건에서 Pole과의 측면 충돌을 90도 및 75도로 충돌시켰을 때의 상해 차이분석

- Sled Test를 이용한 더미의 Geometry 차이에 따른 상해차이 및 Kinematic 분석 실시

- ES-2 더미는 어깨 구조상 Pole의 타격 방향에 민감하게 반응하여 상해를 나타냄으로 부적절 (Car-to-Pole 시험에 부적함)

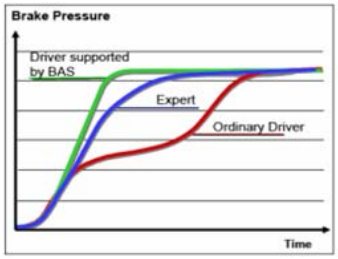


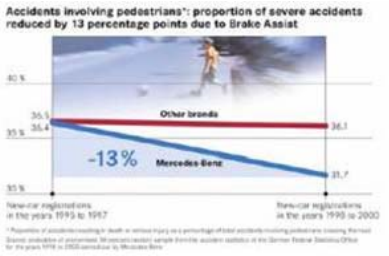
(3) Active/Passive Safety

(가) BAS(브레이크보조시스템) 에 의한 실사고 영향 분석 - DaimlerChrysler

- 독일업체에 의해 개발된 BAS 장착시 보행자/후방추돌 사고 사례 감소 효과 파악

- 초기 BAS 시스템 -> BAS PLUS and PRE-SAFE Brake (레이다 센서 이용)으로 발전



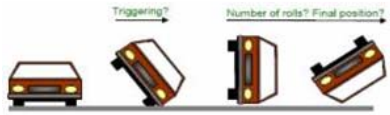




(나) 롤오버 센싱 시스템 성능 평가를 위한 충돌 시험 방법 개발 - DEKRA Automobile GmbH

- 차량의 현저한 전복 발생 이전에 커튼 에어백 전개하기 위한 어드밴스드 롤오버 센싱 개발

- 실제 차량 전복 및 이전 미끄러짐(skidding) 단계의 재현을 위한 롤오버 시험방법 구현







(4) Vehicle Handling, Stability and Control Systems, and Rollover Prevention

(가) 롤-레이트 안정성 및 롤-안전 컨트롤 시스템(RSC)

- 포드자동차 회사의 RSC(ROLL STABILITY CONTORL SYSTEM)

- 승용차량의 Active Safety System

- Roll Rate Sensor에 의한 브레이크 및 엔진 토오크 제어에 의한 차량의 롤오버에 대한 방지

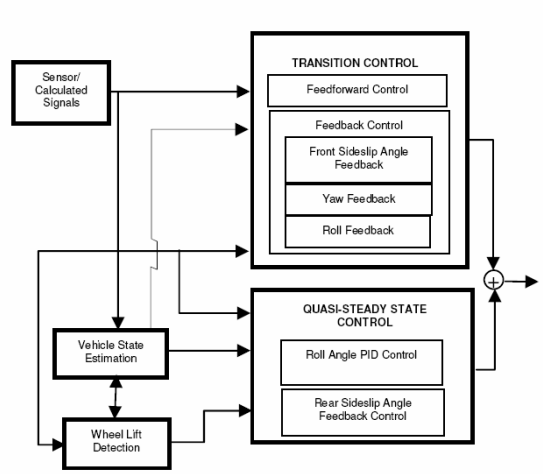


Figure 10. RSC Algorithm Integration.

(나) 차량안전에 있어서 리어 타이어 Delamination 프로세스의 효과

- 리어 타이어 Delamination
- 서스펜션 테스트에 있어서 사이클릭 INPUT의 효과
- 사이클릭 INPUT은 심각한 OVERSTEER에 의한 기인
- 타이어 DELAMINATION 과정동안 차량 컨트롤의 서스펜션의 튜닝의 긍정적인 효과

(다) ESC 차량의 효과 연구

- ESC 차량 효과는 모든 사고의 3% ↓
- ESC 차량 효과는 중대 사고의 19% ↓
- ESC 차량 효과는 사망 사고의 15% ↓
- 금액으로는 588 million ↓ / 5212 충돌 사고 중

(5) Biomechanics : Injury Criteria and Test Procedure

(가) 인체상해연구에 대한 NHTSA의 비젼 : NHTSA

1) Human Injury Research Division (at NHTSA) 의 미션

- NHTSA 미션 (교통사고로 부터 생명을 구하고 상해를 방지하며 교통사고에 기인하는 경제적 손실을 최소화하는 것) 을 지지하고, 자동차 탑승객의 안전을 위해 충돌/충격 생체역학의 과학적 지식을 향상시키는 연구를 수행하는 것을 미션으로 하고 있음.

2) NHTSA HIRD의 방침 (7가지)

- 상해의 심각도/발생원인 결정을 위한 NHTSA D/B (NASS,FARS,SCI & CIREN) 상세분석

- 자동차 충격외상의 메커니즘 이해 향상과 규명을 위한 실험적 연구수행 및 우선순위 결정

- 구조적이고 통계적인 모델링 테크닉의 적용과 개발 추구

- 의학 및 공학적인 분석 추구, 새로운 더미 개발 및 기존 더미 개선

- NHTSA 법제화 지원을 위한 생체역학 시험장비 디자인/개발/시험 추진, 실용적인D/B 운영

3) CIREN (Crash Injury Research and Engineering Network) : '05년 이후 8개 센터 운영

- 6개의 NHTSA-Funded Centers

: 필라델피아 아동병원, 위스콘신 의대, 메릴랜드-발티모어 대, 미시선 대, 샌디에고 Health and Human Services, 시애틀 Harborview Injury Prevention and Research Center

- 2개의 Industry-Funded Centers

: Toyota funded ctr Wake Forest Unv. 의대(Winston-Salem) Honda funded ctr Inova Fairfax Hospotal in Fairfax, Virginia + North Carolina

- Crash Ijjury에 대한 새로운 방법 2가지 추가 : BIOTab & DICOM image collection.

- 상해 메커니즘 및 Criteria 연구 : 머리/뇌 상해 - SIMon, 가슴상해 노인

- 교통약자연구 : Child, Elderly, 더미 연구 : THOR-NT, Q3s, 인체모델 연구 : THOR-X 등

(6) Advanced Technology: Human Performance

(가) 교차로 사고의 종합적인 비용의 충돌 회피 연구

- NHTSA에 따르면 년간 교통사고 비용이 $3천억 중에 교차로 사고의 방지를 위해 CICAS PROGRAM을 사용하여 사고 비용을 저감 시키고자 한다.

※ CICAS (Cooperative Intersection Collision Avoidance System)

(나) 소형차를 위한 유용한 후방추돌 방지 기술

- NHTSA 에서 차량 후방 방지를 위한 실험 실시
- 리어뷰 미러 만으로는 사각지대의 물체에 대해 인지하는데 한계 있음
→ 센서 시스템 : 개선은 되지만 비지속적 , 비현실적 범위에 있어서 제한 적임
→ Rearview Video Systems : 보행자 및 물체에 대해 정확히 인지한다.
(다) SRS (Seatbelt Reminder System) 에 장시간 노출된 운전자의 행동에 대한 결과
- 년간 3억3천5백만불의 상해비용 저감을 가져 왔다는 결론 등으로 비추어 볼 때 상해 저감 및 비용저감 측면에서 SRS의 적용은 필수적이다.
(라) 실제 상황에서 운전자의 인간적요소의 실시간 모니터링 및 피드백 장치
- 미국에서의 컴퓨터 모니터링과 피드백 시스템을 활용하여 운전자의 안전자의 성향과 자동차의 안전을 분석함으로써 미래의 자동차 안전의 발전을 기할 수 있다.

(7) Compatibility in Frontal/Side Collisions
(가) 배경: SUV/LTV 차량증가에 따라 승용차 간 차량무게 및 구조차이로 차대차 충돌사고 시 사망률 증가
(나) EVC TWG 추진현황 소개 (USA) : 당사 인증팀 법규 통신 배포
1) 1단계 옵션 1 : (기하학적 기준 규정) 2009.9.1이후 판매차량 적용
-PART 581존의 50%이상을 1차 구조물로 커버하거나 2차 구조물로 100% 커버하게 설치함.
2) 1단계 옵션 2 : (2차 구조물 강도 기준 규정): 400mm이내 변형되고 하중 100~400kN 범위)
- 400mm이내 변형되고 하중 100~400kN 범위 등 규제, 정면충돌/ODB 충돌시 10~30% 치명적 위험제거 효과 있음.
3) 2단계 : F2F Compatibility 진행현황
-FWDB 기준정립 평가: 100kN 기준 제안됨.
-MDB개발: MDB형태개발완료, FEM 평가완료, 초도품 제작 중, Vehicle to MDB 평가예정
-CAE평가: FEM 차량 유용성 검토 중
(다) 주요 기술논문 요약
1) PDB (Progressive Deformable Barrier) 인 경우 bottoming out 방지되어 딱딱

한 구조 적용 시 차량 변형량 적고 유리하다. 한편 상대차량도 강하게 됨으로 PDB의 강성연구 더 필요하다 (VW)

2) FWDB (Full Width Deformable Barrier)인 경우LCW(L/CELL WALL FORCE) 100KN 이하 되기 위해선 SEAS (Secondary Energy Absorbing Structure)가 없어야 만족한다. F2F 평가시 동일현상 확인했다 (FORD)

3) 보강된 소형차에 의한 LTV의 차체 침입량/상해증가 됨으로 다양한 평가 후 LTV제안 필요(도요타)

4) 필드사고 유형 재현은 PDB가 좋은 도구임을 확인했으며 등급기준 연구되어져야 함. 단, FWDB는 필드사고와 다른 여러 문제가 있고 등급기준 개발 이전에 문제 해결되어야 함. (푸조)

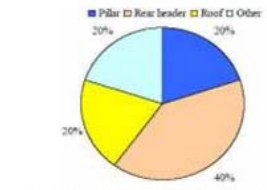
5) LTV의 KW400을 줄이고 승용차 충돌 시 저속은 승용차가 더 변형되나 고속은 LTV가 더 변형됨. (닛산)

6) LTV의 KW400을 줄이고 충돌 시 LTV차량의 차체감속도 증가 및 상해증가 유발함. (GM)

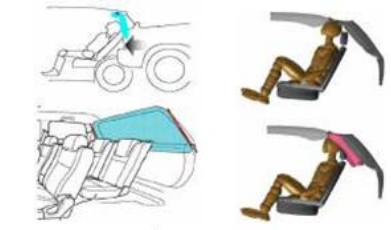
(8) Rear Impact Injury Prevention

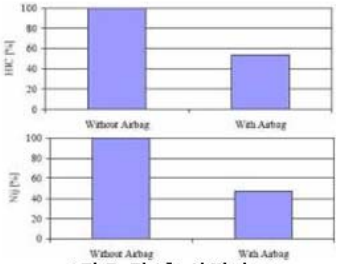
(가) 후방추돌시 상해를 저감시키기 위한 REAR HEAD A/BAG 적용 Toyota Gosei Europe NV

- 뒷자리 좌석에 있는 승객에 대한 후발 추돌 상해 저감을 위한 헤드 에어백 개발
- 후방 추돌시 뒷자리 승객에 대한 상해 저감 효과 있음.



<뒷자리 후방상해 원인 조사>


<Rear Head A/BAG>



<적용 전/후 상해비교>

(나) 후방 추돌시 시험 및 평가 시스템에 관련된 현 상해기준과 허용오차에 대한 고찰 - PDB

- 허용된 오차 범위내에서 최대한 동일한 시험 조건(더미 및 Sled Test Pulse (3가지 종류 펄스 적용) 에서 18회의 시험 반복

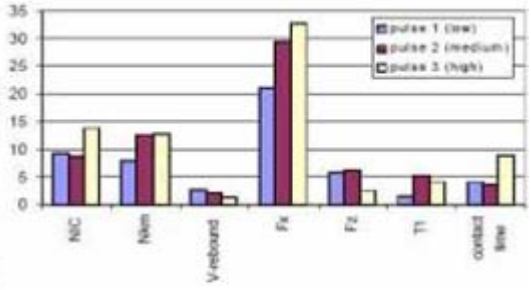
- Shear Force(Fx) 결과는 재현성이 떨어짐

- NIC 및 Nkm은 저속 Pulse 시험에서는 Marginal 수준이나 고속 Pulse 적용시 재현성에서 부적절한 결과를 나타냄.

- 다양한 Input에 대한 Robust한 Rating을 할 수 있는 시스템 필요

Test No.	Pulse severity	Series No.
PDB07002	low	1
PDB07001	medium	1
PDB07003	high	1
PDB07004	low	2
PDB07005	medium	2
PDB07006	high	2
PDB07007	low	3
PDB07008	medium	3
PDB07009	high	3
PDB07010	low	4
PDB07011	medium	4
PDB07012	high	4
PDB07017	low	5
PDB07018	medium	5
PDB07019	high	5
PDB07020	low	6
PDB07021	medium	6
PDB07022	high	6

<시험 Matrix>



<시험 결과 편차>

(9) Improved Safety for Pedestrian and Other Vulnerable Road Users

(가) Madymo 시뮬레이션과 Polar-II 더미를 이용한 보행자 사고 재현 호주 아델레이드 대학

- 세가지 실사고 사례에 대한 Madymo 시뮬레이션과 Polar-II 더미를 이용한 재현 및 머리 궤적에 대한 비교 분석 연구



(나) Lwr Legform 상해 결과에 미치는 시험 인자의 영향 평가 - 폭스바겐

- 고려 시험 인자: 충돌 속도, 온도, 상대습도, z-방향 1차 컨택 위치, 레그폼의 pitch/roll/yaw각도

- 반복성이 보장된 상해결과 확보 위한 가장 중요한 시험 인자 충돌 속도

- 여러 시험 인자 변동량의 누적분에 의해 시험 결과의 편차 유발됨 확인



Test parameter		Bending angle	Shear displ.	Accel.
Threshold [1]		15°	6mm	150g
Velocity	[EU/(m/s)]	2.47	0.77	22.30
	[%/(m/s)]	16.47	12.83	14.87
Temperature	[EU/°C]	0.06	0.03	1.25
	[%/°C]	0.38	0.43	0.83
Point of impact	[EU/mm]	0.14	0.03	0.03
	[%/mm]	2.28	0.45	0.02

(10) Biomechanics : Tools Development

(가) 정면충돌용 신 더미 (Thor-NT) 생체 충실도, 반복 재현성 및 착좌 산포 평가: JARI

1) 생체 충실도

- 머리: 만족범위에 있음
- 흉부: 인간보다 딱딱함 (Thorax Bottoming Out 발생)
- 복부: 인간보다 딱딱함

2) 반복 재현도

- 31항목 중 10항목 Good (CV <5%)
- 23항목 Acceptable (CV <10%)
- 8항목 Poor (CV >10%)

3) 착좌 산포

- H-PT (X:7+, Z:37+) : 어깨위치가 과다 높게 됨.
- 상체는 위치산포 적으나 대퇴부, 다리, 발목은 위치산포 과다함.

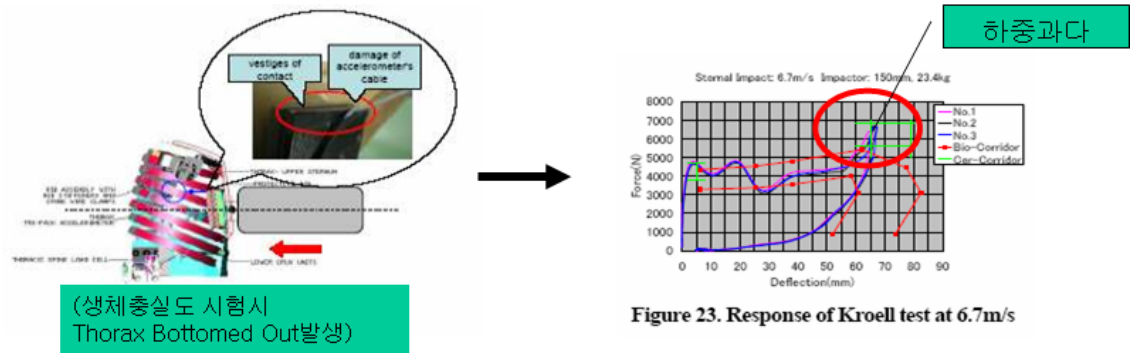


Figure 23. Response of Kroell test at 6.7m/s

(11) Advances in Truck and Bus Safety

(가) 버스 롤오버 사고의 Severity(심각도) : SSME, 헝가리

1) 롤오버 사고시의 버스탑승객 안전에 일반 법제화 규명 노력

2) Severity 구분에 PRA (Protectable Rollover Accident) 개념 도입

(나) Paratransit 버스의 충돌해석을 위한 실험 프로그램(역공학) : 미국 플로리다 A&M 대, 헝가리

1) 역공학 프로세스를 적용하여 해석모델 구성 후 측면 충돌 및 Rollover 해석 수행

(다) 영국 승용, HGV, 농기구 차량 안전도 분석 결과 소개 : 영국 TRL

1) 1997~2002년 : HVCIS Fatal Accident Data

2) 2003~2005년 : STATS19 Data 사용하여 분석

(라) 중대형 트럭의 브레이크 성능 개선을 위한 NHTSA의 연구결과 : NHTSA

1) Modern Air-disc 또는 S-cam Drum Brakes 사용, Stopping Distance 20~30% 축소가능.

2) NHTSA는 Truck Tractor Stopping Distance를 20~30% 축소 제안(FMVSS 121, NPRM)

(마) NADS를 사용한 대형트럭 에어 디스크 브레이크의 효용성 연구 : NHTSA,TRC,NADS,OHIO

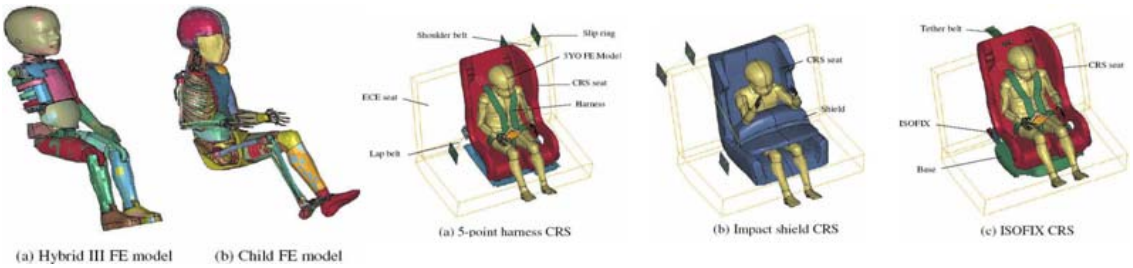
1) National Advanced Driving Simulator 활용하여 고속도로에서의 LH/RH 차선 침입, 차량 정지 등 Simulation 실시. 제동 거리 축소가 안전에 효과 있음을 보여줌.

(12) Advances in Child Occupant Protection / Restraint Systems

(가) Child 휴먼 FE 모델을 이용한 CRS에서의 어린이 응답성 분석 Nagoya University

- ECE R44 슬레드 테스트 조건에 따라 Hybrid III FE 모델과 휴먼 모델 이용하여 해석 실시

- 5-point 벨트고정, impact shield, ISOFIX의 세가지 타입에 대한 평가 해석 실시

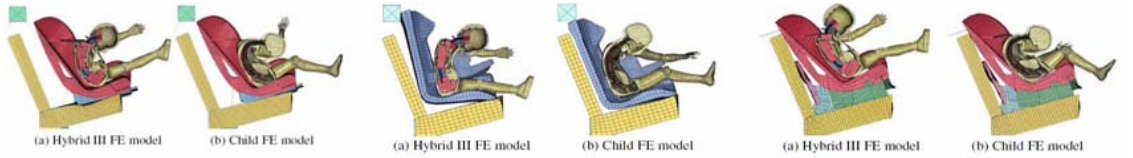


(a) Hybrid III FE model (b) Child FE model (a) 5-point harness CRS (b) Impact shield CRS (c) ISOFIX CRS

- Hybrid III FE 모델과 휴먼 모델은 Thorax spine의 유연성 및 Thorax 변형량에서 차이를 보인다

- 5-point 벨트고정 타입은 S/Belt slack 존재시 상해 증가의 원인이되며 Impact shield는 상해 기준에 robust한 결과를 나타냄.

- ISOFIX CRS에서 머리왕복운동의 경우 두 더미 모델에서 상해결과가 낮게 나옴.



(a) Hybrid III FE model (b) Child FE model (a) Hybrid III FE model (b) Child FE model (a) Hybrid III FE model (b) Child FE model

Figure 3. Occupant kinematics in 5-point harness CRS at 120 ms.

Figure 5. Occupant kinematics in impact shield CRS at 120 ms.

Figure 7. Occupant kinematics in ISOFIX CRS at 120 ms.

제7장 참고 문헌

제7장 참고 문헌

[1] 04 국가교통핵심기술개발사업 “차세대 첨단 인공지능 에어백 개발(04-교통핵심-B01)” 3차년도 계획서(주관: 현대자동차주식회사), 한국건설교통기술평가원, 2006

[2] Nikkei Mechanical 2003/08

[3] Automotive Technology 2005 winter

[4] 일경산업신문 ‘06/10/20

[5] [Winkler, 2003] Winkler, G., Stierle, T. and Malbouef, T., Side-Impact Restraint Activation System Combining Acceleration and Dynamic-Pressure Sensing, SAE Technical Paper Series 2003-01-0197.

[6] [Rohr, 2000] Rohr, S. N., Lind, R. C., Myers, R. J., Bauson, W. A., Kosiak, W. K. And Yen, H., 2000, An Integrated Approach to Automotive Safety Systems, SAE Technical Paper Series 2000-01-0346.

[7] 박형욱, "2차년도 측면실차시험 분석 (건교부 어드밴스드 에어백 개발)", 선행연구팀, 2006. 7. 21.

[8] 임장묵, 박형욱, 홍석호, "차세대 첨단 인공지능 에어백개발 - 2차년도 보고서", 선행연구팀, 2007. 8.

[9] 박형욱, "측면에어백 독자 알고리즘 개발 중간보고 (건교부 어드밴스드 에어백 개발)", 차량해석팀, 2006. 12. 4.

[10] 박형욱, "측면 알고리즘 CAL. 결과 보고서 (건교부 어드밴스드 에어백 개발)", 차량해석팀, 2006. 12. 12.

[11] 박형욱, "독자 측면 알고리즘 H/W인코딩 & PIT 결과 보고서 (건교부 어드밴스드 에어백 개발 3차년도)", 차량해석팀, 2007. 1. 30

[12] 임장묵, 박형욱, 홍석호, "측면 및 전복 알고리즘 개발을 위한 실차 시험 출장 보고 (건교부 어드밴스드 에어백 개발 3차년도", 차량해석팀, 2007. 2. 23

[13] 박형욱, "측면 에어백 알고리즘 개발 - 실차시험 결과 분석 보고 (건교부 어드밴스드 에어백 개발 3차년도", 차량해석팀, 2007. 3. 15

[14] 박형욱, "측면 에어백 알고리즘 개발 - RECALIBRATION 보고 (건교부 어드밴스드 에어백 개발 3차년도)", 차량해석팀, 2007. 5. 30.

[15] 박형욱, "압력센서 신호를 이용한 측면 에어백 알고리즘 CAL. (건교부 어드밴스드 에어백 개발 3차년도)", 차량해석팀, 2007. 5. 31.

[16] Ching-Yao Chan, "Fundamentals of Crash Sensing in Automotive Air Bag Systems", 2000.

[17] George A. Perters & Barbara J. Peters, "Automotive Vehicle Safety", 2002.

[18] Ulrich Seiffert and Lothar Wech, "Automotive Safety Handbook Second Edition", 2007.

[19] Matthew Huang, "Vehicle Crash Mechanics", CRC PRESS, 2002.

[20] 이주엽, "정면 에어백 센싱 해석용 기본 모델 구성 현황 보고", 현대자동차 차량해석팀, 2007/06

[21] CFR(Code of Federal Regulation) Part 572 서브파트 E, NHTSA

[22] Madymo V6.3 Model Manual, 4절, TNO Automotive Safety Solutions