18CTAP
-C098646
-03

도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축 최종보고서

2019

국토과학기술진흥원

국토교통부

보안 과제( ), 일반 과제(0) / 공개(0), 비공개( )
국토교통기술촉진연구사업 최종보고서 보고서

R&D / 18CTAP-C098646-03

도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축 최종보고서

2019. 2. 14.

주관연구기관 / 한국도로공사

국토교통부
국토과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘ 도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축’(연구개발 기간 : 2015.06.22. ~ 2018. 12. 21) 과제의 최종보고서 12부를 제출합니다.

2019. 02. 14.

주관연구기관명 : 한국도로공사 이강래 (인)

주관연구기관책임자 : 박제진

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

국문요약문

연구개발 목표	○ **(필요성)** 국가의 체계적인 도로교통 안전체계 마련과 국민 삶의 질 향상, 공공목적의 기술개발을 위한 연구 인프라로서 국가차원의 선제적 대응이 필요하고, 도로・운전자・차량 간의 상호작용 분석, 차량과 교통류 흐름 위주의 기존 도로설계에서 운전자와 도심지 보행자의 안전 위주로의 도로 및 교통시설 설계 필요성이 대두됨에 따라 재현수준이 높은 최고 사양의「도로주행 시뮬레이터 실험시설」구축 필요 ○ **(정의)** 도로주행 시뮬레이터 실험시설 · 실제 도로주행 실험이 불가능한 도로교통 환경을 가상현실 기법을 이용하여 실제 운전상황을 모의하는 가상주행 실험시설 ○ **(주요 시설 내용)** · 실시간 차량동역학 시뮬레이션 시스템, 3차원 영상 생성 및 시현 시스템, 음향 생성 시스템, 운동 시스템, 캐빈 및 제어힘 로딩 시스템, 운영 및 모니터링 통합시스템, 실험시설 실험동 실시설계 및 시공 ○ 운전자의 안전에 위협을 주지 않으면서 위급 상황을 재현하여 도로・운전자・차량 간의 상관관계를 규명하고, 이를 통해 교통부문 전반의 개선을 도모할 수 있는 종합적인 사전 평가도구(Pre-assessment tool)로 활용 가능하도록 구축 ○ 개통 전/후 도로의 종합적인 설계검토가 가능한 실험시설 구축 ○ 운영단계에서 도로/교통분야 각종 현안사항 대책수립 및 평가가 가능한 실험시설 구축 ○ 지능형 교통시스템의 연구개발 및 평가체계 수립 · 스마트 모빌리티의 첨단 도로시스템 연구 활용에 적합한 연구시설 구축 · 자율협력주행(스마트하이웨이 2단계 사업)을 구성하는 핵심 요소별 적정성 검토 ○ 실험시설 연계 및 중장기 운영계획 수립 · Grid 시스템 연계 네트워크 구축 검토 · 실험시설 활용·실용화 방안 수립 · 운영관리 계획 및 중장기 발전방안 수립
연구개발 내용	○ 토목공사 실험시설 건축동 공사 및 준공 · 토목 및 실험동 건축 공사 · 실험시설 설비 공사 · 실험시설 준공 ○ 3차원 영상생성 및 시현 시스템 구축 - 돔 구조물 정적/동적 구조해석 및 설계 적용 - 돔 스크린 구조물 제작 및 스크린 제작 - 프로젝터 구매 및 설치 - 영상 채널간 Dynacolor 기능 적용 및 정밀 조정 - 스크린 상 이미지 가하학적 무결성 조정 및 패턴 프로그램을 이용한 화면 조정 ○ 운동시스템 구축 - 6자유도 Stewart 플랫폼 및 Yaw 테이블 제작 - 노면 및 현가장치 운동 구현용 운동 플랫폼 제작 - X-Y 레일 구축 - 탑승 시스템 구축 - 13자유도 모션 능동 제어 알고리즘 구현 - 13자유도 기구 해석 및 예측 모델 구현 - 운동시스템 성능평가 및 최적화 튜닝 ○ 운영 프로그램 구축 - 운영체계 설치 및 시운전 - 모니터링 프로그램 구축 - 시스템 확장성을 고려한 인터페이스 API 구축 - 데이터 로깅 및 분석 시스템 구축

보고서 요약서

과제 고유 번호	18CTAP-C098646-03	해당 단계 연구 기간	2015.06.22. - 2018.12.21	단계구분	4차 연도/ 총 4년
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축			
	세부과제명	-			
연구책임자	박제진	해당단계 참여연구원 수	총: 20명 내부: 20명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부: 6,762,000천원 민간: 648,000천원 정부외: - 천원 상대국: - 천원 계: 7,410,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 26명 내부: 26명 외부: 0명	총 연구비	정부: 14,690,000천원 민간: 3,260,000천원 정부외: - 천원 상대국: - 천원 계: 17,950,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국도로공사 도로교통연구원			참여기업명	
국제공동연구	상대국명: -			상대국 연구기관명: -	
위탁연구	연구기관명: -			연구책임자: -	
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	(일반) 국토교통과학기술진흥원의 「연구개발사업 보안관리지침」과 한국도로공사의 「국가연구개발사업보안관리지침」과 「정보보안 세부운영지침」에서 정하는 바에 따라 연구책임자의 보안성 검토결과, 본 과제는 외부 공개가능 등급으로 분류되었음				

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	3	5 (2진행중)	1	4	-	7	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
Av Simulation	도로주행 시뮬레이터 통합운영관리시스템	Scanner Studio	1	2018.10.10	3,046,693	+33-1-4694-9780	도로교통 연구원	NFEC-2018-11-247156
이노 시뮬레이션	도로주행 시뮬레이터 운동시스템 장비	Motion System	1	2018.10.10	6,063,816	02-304-9500	도로교통 연구원	NFEC-2018-11-247060
Barco	도로주행 시뮬레이터 영상시스템 장비	F35	1	2018.10.10	1,448,183	02-2175-8900	도로교통 연구원	NFEC-2018-11-247103
줌포유	도로주행 시뮬레이터 음향시스템 장비	-	1	2018.10.10	116,806,850	054-457-9387	도로교통 연구원	NFEC-2018-11-248305

- 실험시설 실험동 실시설계 및 시공 - 실시간 차량동역학 시뮬레이션 시스템, 3차원 영상 생성 및 시현시스템, 음향 생성 시스템, 운동 시스템, 캐빈 및 제어힘 로딩 시스템, 운영 및 모니터링 통합시스템 구축	92 (보고서 면수)

연구개발 내용	○ 영상 데이터베이스 구축 - 실시간 차량 동역학 시뮬레이션 시스템 - 도로 기하구조 설계(가상 주행 및 성능 시험로) - 도로, 3D 모델링 및 환경 구축 - 범용 도로 주행 영상 데이터베이스 구축 ○ 시스템 제작 설치 - 각 서브시스템 설치 절차 및 방안 수립 - 네트워크 설계 및 구축 - 각 서브시스템 설치 및 시공 - 각 서브시스템 시운전 - 각 서브시스템 성능 평가 및 개선 ○ 시스템 통합 - 전체 시스템 시운전 - 전체 시스템 성능 평가 및 개선 - 확장성을 고려한 시스템 인터페이스 통합 설계 ○ 운영자 사전 교육 - 파일럿 시스템 운영 기술 개발 - 운영자 교육 계획 수립 - 운영자 사전 교육 실시 및 개선 방안 도출
연구개발성과	○ 실험시설 건축동 공사 및 준공 ○ 특허 출원/등록 : 시뮬레이터용 수동기어 위치검출장치 등 5건(2건 출원중) ○ 프로그램 등록 : 클러스터 메이크 프로그램 등 7건 ○ 협의체 구성 및 운영 회의 : 5회 ○ 가상주행 환경 영상DB : 400km ○ 국내외 논문게재 : 3건 ○ 국내외 학술대회 논문발표 : 28건
활용계획 및 기대효과	○ 도로주행 시뮬레이터 실험시설을 통해 도로계획/설계/경관, 교통운영/안전, ITS, Human Factor 등 다양한 연구, 개발 및 검증에 활용 ○ 정부 정책개발 지원 · 교통안전성 향상을 위한 국가 도로설계기준 정립 · 도로시설물에 대한 교통안전 및 교통운영 효율성 제고방안 도출 · 도로경관 설계기준 정립 · 도로상 악조건 관련 사회 현안문제 해결 등 ○ 국가 R&D 연구 수행 · 교통사고 잦은 곳에서의 도로-운전자-차량의 상호작용 분석 · 운전자 시인성 개선방안 수립 · 도로 조명방식에 따른 운전자 시선 및 감성 특성 분석 · 고위험군 교통안전 대응기술 개발 등 ○ 민간 연구개발 지원 · 스마트 모빌리티의 첨단도로시스템 대응 기술의 효과평가 · C-ITS 장비의 효과평가 및 인프라 지능화 기술 지원 · 첨단 고안전 자동차 기술 개발을 위한 검증 및 평가도구 지원 · 자동차의 운전자 안전지원 장치 및 운전자 수용성 평가 등 ○ 국제 협력 추진 · 대상 국가 맞춤형 교통안전성 향상 실험 공동 수행 · 국외 선도 기술의 성능 및 효과평가 등

국문핵심어	도로주행 시뮬레이터	교통안전	성능평가	교통운영	지능형 교통시스템
Keywords	Driving simulator	Traffic safety	Performance evaluation	Traffic operation	Intelligent transportation system

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 6
1.1 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」의 정의 ····· 6
1.2 실험시설의 구축배경 및 필요성 ····· 7
1.3 최종목표 ····· 8
1.4 연차별 연구 흐름도 ····· 9

2. 국내외 기술개발 현황 ····· 10
2.1 국내외 관련 연구개발 및 기술 동향 ····· 10
2.2 국내외 관련 분야 실험시설 및 장비 구축 현황 ····· 12

3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 14
3.1 실험시설 부지 및 건축 ····· 14
3.2 실험장비 구축 ····· 20
3.3 실험시설 운영 및 활성화 방안 ····· 66

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 71
4.1 연차별 목표 달성도 ····· 71
4.2 관련 분야 기여도 ····· 72

5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 73
5.1 실험시설 활용 계획 ····· 73
5.2 실험시설의 특성화·전문화 계획 ····· 75
5.3 실험시설을 활용한 연구계획(국제협력 포함) ····· 76

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 78
6.1 국제 학회 및 컨퍼런스 참석 ····· 78
6.2 국외 선진 시뮬레이터 실험시설 견학 ····· 81

7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 91

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ····· 91

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 91

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 92
10.1 특허등록/출원 ····· 92
10.2 프로그램 등록 ····· 92
10.3 국내외 논문 게재 ····· 92

11. 기타 사항 ····· 93
11.1 시스템 성능 평가 ····· 93

12. 참고 문헌 ····· 94

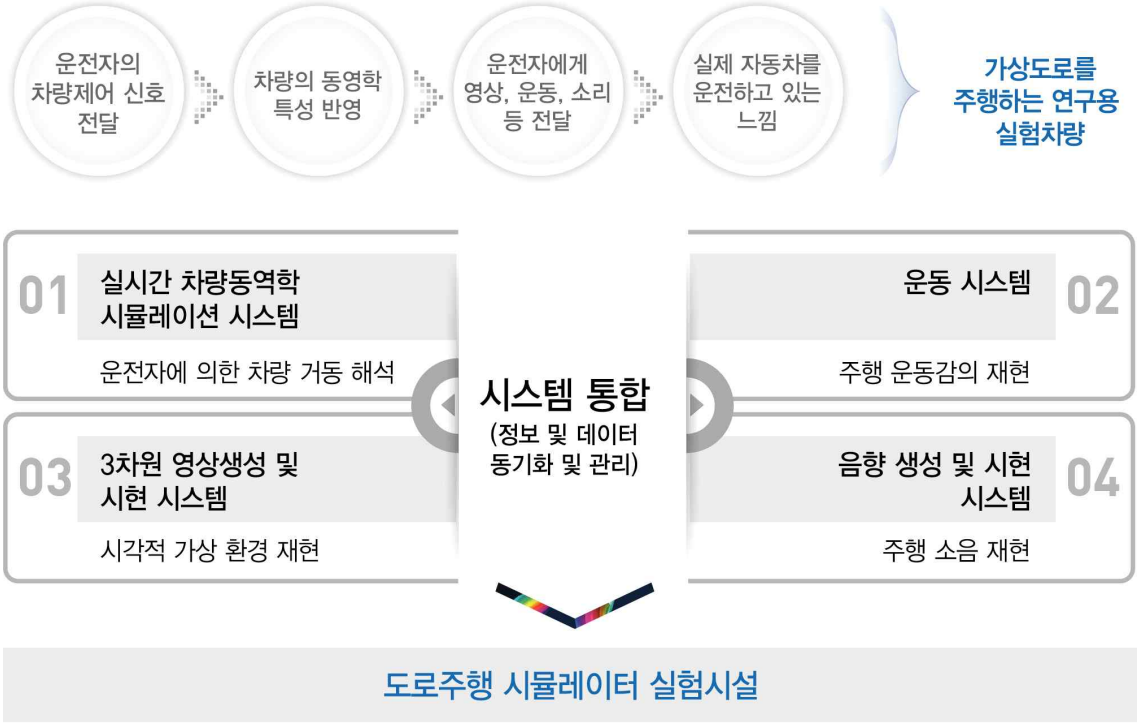
1. 연구개발과제의 개요

1.1 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」의 정의

○ 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」은 실제 도로주행 실험이 불가능한 도로교통 환경을 가상현실 기법을 이용하여 실제 운전상황을 모의하는 가상주행 실험시설에 해당

○ 본 실험시설은 실시간 차량동역학 시뮬레이션 시스템(Real-Time Simulation System), 운동 시스템(Motion system), 3차원 영상 생성 및 시현 시스템(Image Generation and Display System), 음향 생성 시스템(Sound System), 캐빈 및 제어힘 로딩 시스템(Cabin and Control Force Loading System)과 각 시스템 간 정보 및 데이터를 동기화하고 관리하는 시스템 통합 등으로 구성

○ 운전자가 차량을 운전하는 동안 수행하는 조향 휠 조작, 엑셀레이터와 브레이크 페달 조작에 따른 자동차의 운동을 실시간 시뮬레이션을 수행하여 예측하고, 그 결과를 운전자에게 영상, 운동 및 음향 큐 등을 통해 운전자에게 전달함으로써 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 실제 자동차를 운전하고 있다는 느낌을 받게 하는 첨단 도로교통 연구장비



<그림 1.1.1> 도로주행 시뮬레이터 실험시설의 정의

1.2 실험시설의 구축배경 및 필요성

○ 국가의 체계적인 도로교통 안전정책 수립과 국민 삶의 질 향상, 공공목적의 기술개발을 위한 연구인프라로서 국가차원의 선제적 대응이 필요

○ 도로-운전자-차량 간의 상호작용 분석, 차량과 교통류 흐름 위주의 기존 도로설계에서 운전자와 도심지 보행자의 안전 위주로의 도로 및 교통시설 설계 필요성 대두

○ 따라서, 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」 구축이 절실히 요구되어지는 실정

<표 1.2.1> 도로주행 시뮬레이터 실험시설 도입 필요성

구 분		요 약 내 용
사회·문화적 측 면		• 국가의 체계적인 도로교통 안전정책 수립과 국민의 삶의 질 향상을 위한 공공목적의 기술개발을 위한 연구 인프라로서 국가차원의 선제적 대응 필요 - NADS(National Advanced Driving Simulator, 미국), JARI Simulator(일본) 등 선진국의 경우, 도로계획, 도로설계, 교통운영 및 교통안전 등의 분야에 활용하여 학술적 가치 및 타분야 연구 활용도 향상에 기여 • 기존 도로주행 시뮬레이터는 주로 차량 자체 및 운전자 행동특성 연구에 집중되어 있어, 도로-운전자-차량 간의 상호작용 분석, 도로건설 전 도로이용자 측면에서 사전 평가에는 활용성 미흡 - 일본, 미국 등 선진국에서는 도로주행 시뮬레이터 활용을 통해 약 5~15%의 도로설계 및 공사기간의 단축, 도로의 계획·설계단계에서 운영·유지관리에 걸쳐 연 10% 이상 교통사고비용 절감효과 • 차량과 교통류 위주의 기존 도로설계에서 운전자와 도심지 보행자의 안전 위주로의 도로 및 교통시설 설계 필요성 대두
기술적 측 면	국 내 기술수준	• 건설·교통분야는 미국(100% 기준) 대비 79.0%로 기술격차는 4.7년 수준으로 EU 및 일본에 비해 크게 뒤처지는 것으로 분석 • 도로주행 시뮬레이터 관련 시설은 선진기술 대비 69% 수준
	기술투자 현 황	• 기존 실험장비로는 불가능한 실증 규모의 인프라 시설 및 평가 기술 등에 대한 투자 확대가 필요하며, 특히 인프라 구축 부분은 전자·정보·통신 등 다른 분야에 비해 직접적인 정부 정책 지원 필요성 절실
경 제 · 산 업 적 측 면		• 2013년 기준 도로교통사고비용은 24조원이며, 도로주행 시뮬레이터 실험시설의 사회적 기여 편익은 교통사고 피해절감 94억원/년, 도로교통 혼잡비용 절감 21억원/년, 도로설계 및 건설비용 절감은 134억원/년으로 예상

1.3 최종목표

운전자의 안전에 위협을 주지 않으면서 위급 상황을 재현하여 도로-운전자-차량 간의 상관관계를 규명하고, 이를 통해 교통부문 전반의 개선을 도모할 수 있는 종합적인 사전 평가 도구(Pre- assessment tool)로 구축

□ Global top 5「도로주행 시뮬레이터 실험시설」구축

○ 현실대비 재현수준 90% 수준의 도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축

○ 개통 전/후 도로의 종합적인 설계검토가 가능한 실험시설 구축

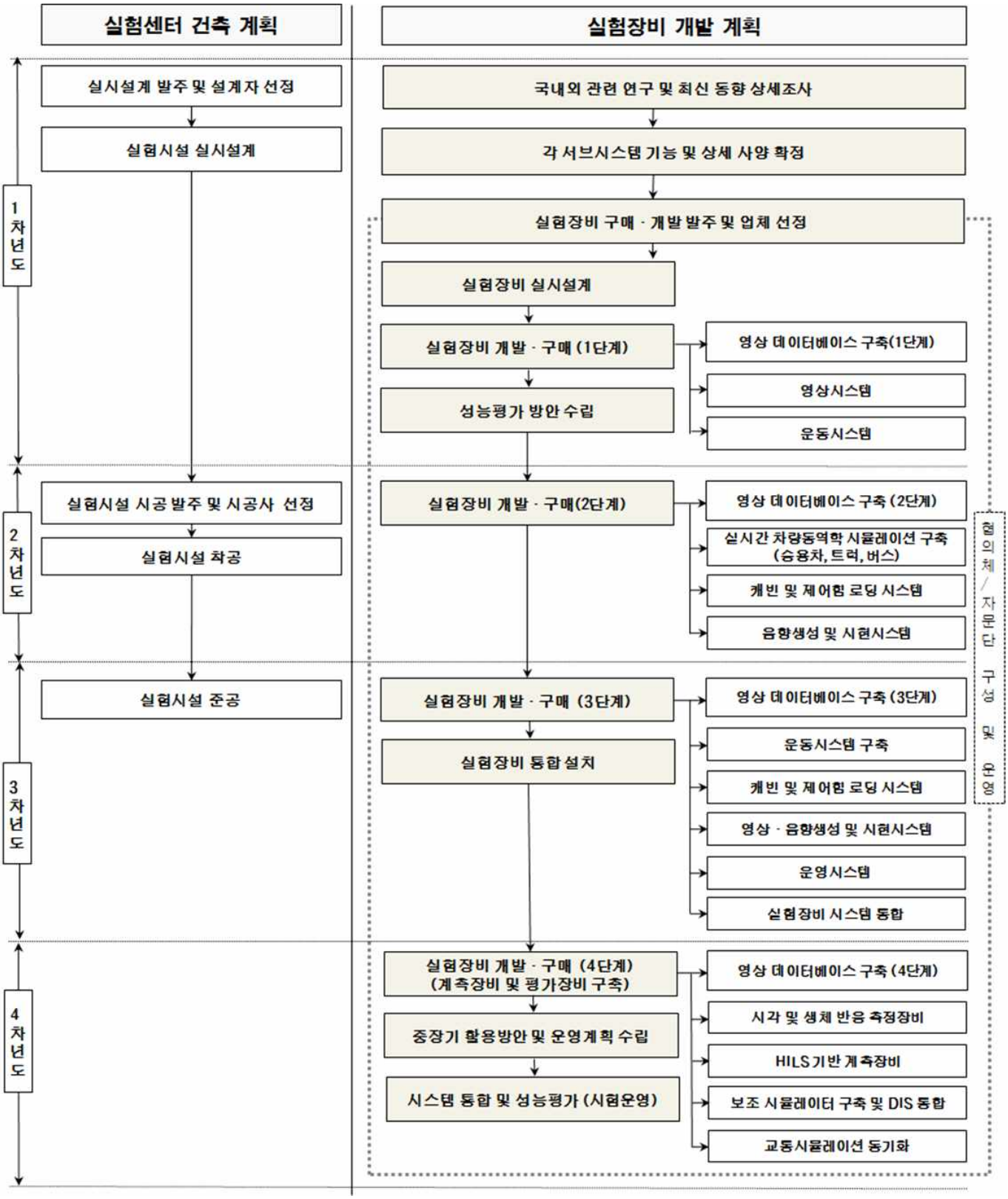
○ 운영단계에서의 대책수립 및 평가가 가능한 실험시설 구축

○ 지능형 교통시스템의 연구개발 및 평가체계 수립

○ 실험시설 연계 및 중장기 운영계획 수립

<그림 1.3.1> 도로주행 시뮬레이터 실험시설 목표

1.4 연차별 연구 흐름도



<그림 1.4.1> 도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축 흐름도

2. 국내외 기술개발 현황

2.1 국내외 관련 연구개발 및 기술 동향

▢ 도로주행 시뮬레이터의 발전 동향

○ 1900년대 초반부터 개발되기 시작한 항공 시뮬레이터에 그 뿌리를 두고 있는 데, 비교적 짧은 역사에도 불구하고 관련 기술의 비약적인 발달에 힘입어 고도의 현실감을 갖춘 대규모 시뮬레이터가 속속 등장하고 있으며, 차량 시스템 개발, 운전자 요인 연구, 지능형 교통시스템 연구, 도로 설계, 교통안전 연구, 운전 연습 등의 다양한 분야에 응용 가능

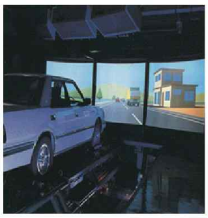
○ 특히, 운전자 반응 및 감성까지 포함하여 실차 실험과 유사한 효과를 안전하고 효율적으로 분석할 수 있다는 장점으로 인해 해외에서는 매우 다양한 형태와 성능을 갖춘 시뮬레이터가 개발·응용되고 있는 추세

<그림 2.1.1> 도로주행 시뮬레이터 발전 동향(1970~1980년대)

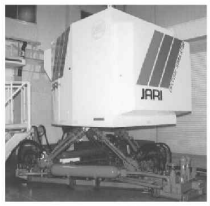
1990

SINCE 3 1990년대 초반

- 현실감이 높은 시뮬레이션
- 6축 모션플랫폼을 도로주행 시뮬레이터에 본격적으로 적용


Denso

Iowa Univ.



JARI

1990

SINCE 4 1990년대 후반

- 고성능 시뮬레이터의 본격적인 개발 추진됨
- 6축 모션플랫폼에 횡, 종방향 레일 추가

Benz

VTNADSI

<그림 2.1.2> 1990년대 도로주행 시뮬레이터 발전 동향

2000

SINCE 5 2000년대

- PC 기술의 혁신적인 발전으로 가격대비 성능이 우수한 최적화된 시스템 개발
- 기존 시뮬레이터 업그레이드 활발
- DSC를 중심으로 정보교류가 활성화

VTI Simulator III

BMW

현재

SINCE 6 현재

- 시뮬레이터의 현실감 극대화 위해 대형화
- X-Y 레일 채택이 활발
- 중국, 인도 등 개도국의 약진
- 교육용 시뮬레이터에 대한 관심 증폭

Renault

Leeds Univ.

TOYOTA

<그림 2.1.3> 2000년대 도로주행 시뮬레이터 발전 동향

2.2 국내외 관련 분야 실험시설 및 장비 구축 현황

1) 국내 현황

○ 국내에서는 1997년 국민대학교에서 최초로 운전 시뮬레이터를 개발한 이후 학계의 관심을 끌기 시작하였으며, 2000년대 초반 보급 시작

○ 그 이전에는 주로 군사용 특수차량((전차, 장갑차 등)의 훈련목적으로 해외에서 도입되거나 차량의 캐빈을 활용하여 실험적으로 개발된 사례가 있으나, 영상장치, 운동장치, 차량동역학적 검증을 토대로 개발된 사례는 전무

○ 현재 국내에는 한국도로공사, 한국교통안전공단, 자동차부품연구원, 한국건설기술연구원, 도로교통공단, 현대자동차 등에 연구용 시뮬레이터가 도입되어 있으며, 국민대학교, 서울시립대학교, 한양대학교, 부산대학교 등 대학연구기관에서 연구용으로 개발한 시뮬레이터가 설치·운영 중인 상황

2) 국외 현황

○ 도로주행 시뮬레이터는 1960년경부터 미국, 독일, 일본 등을 중심으로 인간공학 연구, 도로설계의 해석, 차량개발 등을 목적으로 비교적 큰 규모로 개발

○ 그 중 1984년 Daimler Benz가 개발한 것은 당시 고가의 비행 시뮬레이터에만 도입되어 오던 6축 유압식 운동시스템을 사용하여 실차와 유사한 운전감각을 재현함으로써 본격적인 고성능 도로주행 시뮬레이터 개발에 큰 영향력 행사

○ 당시 개발된 대부분의 시뮬레이터는 필름방식의 영상을 보면서 운전을 하는 방식으로 영상 필름의 열화에 의한 해상도의 저하문제 및 콘텐츠의 제작기술에 한계가 있었으나, 1990년대 이후 컴퓨터그래픽(CG) 기술의 급속한 발달로 1초에 30~60프레임의 영상을 생성하는 컴퓨터를 이용하여 운전자가 의도한 데로 자유주행을 가능하게 함으로서 3차원 가상현실 기술의 토대 마련

3) 도로주행 시뮬레이터 기대효과

○ 국내·외 도로주행 시뮬레이터를 활용한 연구사례를 살펴본 바에 따르면, 도로주행 시뮬레이터는 다양한 도로교통분야에서 그 활용도가 점차적으로 높아지고 있는 추세이며, 향후 연구분야는 보다 광범위하게 확대될 것으로 판단

- 도로를 대상으로 도로시공 전 단계인 도로계획 및 설계단계에서 운전자의 주행 쾌적성, 계획노선의 경제성, 주변 지형과의 조화를 고려한 미관성, 기타 도로 상 제약변수에 대한 검토 등 고도의 전문지식이 필요한 부분에 대하여 도로주행 시뮬레이터를 활용한 심도있는 검토 및 해석이 절대적으로 필요

○ 도로주행 시뮬레이터를 활용한 연구를 통해 실제 주행상황에서 수집될 수 없는 많은 분석자료 및 실험결과를 도출할 수 있어, 도로교통운영의 효율성과 안전성을 높일 수 있을 것으로 판단

- 인간공학적 도로안전성 분석, 교통안전시설에 대한 인간공학적 설치기준, 교통사고 잦은곳 원인분석 및 개선방안 도출 등 교통안전성 개선을 통해 교통사고비용의 최소화 유도
- 기존 도로 및 설계단계에 있는 도로에 대해 실제 도로와 같은 상태에서 도로의 안전성 및 경관 해석은 물론 특수 환경에 대한 사전 해석 용이

- 실제 주행상황 재현을 위한 3차원 가상현실장비인 도로주행 시뮬레이터 도입을 통해 도로건설 전/후 평가에 활용함으로써 사업시행에 따른 예산운영의 효용성 및 도로 건설비용의 효율적인 집행을 유도할 수 있고, 비용절감 효과 도모 가능
- 미국, 독일, 일본 등 교통선진국의 도로주행 시뮬레이터 활용사례 보고에 따르면, 3차원 가상현실을 통하여 약 5~15%의 도로설계 및 공사기간의 단축 효과가 있고, 도로의 계획 및 설계단계에서 운영 및 유지관리에 이르기까지 도로주행 시뮬레이터를 다양하게 활용함으로서 연 10% 이상의 교통사고비용절감 효과가 있는 것으로 확인
- 국토교통부의 다양한 도로·교통 관련 R&D 사업 수행을 위한 효과적 지원시스템 구축이 가능하고, 다양한 교통안전시설물 설치를 위한 사전평가 시스템으로 활용 가능하며, 도로설계 대안에 대한 주행안전성/이용자 편리성의 사전평가 가능

3. 연구 수행 내용 및 성과

3.1 실험시설 부지 및 건축

○ 도로주행 시뮬레이터 실험시설 건축동은 경기도 화성시 동탄면 동부대로 922번길, 대지면적 484,641㎡의 한국도로공사 도로교통연구원 부지 내에 건축면적 1,575㎡로 건축 시행

- 공공기관의 운영에 관한 법률 제5조에 따른 공기업은 연면적 1,000m^2 이상시 신재생 에너지 의무 사용
- 실험시설 조성부지는 자연녹지 지역으로 진동·소음 규제지역의 범위에 해당됨으로 허용기준을 준용한 건축동 실시설계 시행(소음·진동관리법 시행규칙 제 26조)
- 실험시설은 1,000m^2 이상으로 내진설계를 고려한 실시설계 시행(건축법 시행령 제32조)

○ 실시설계 추진을 위한 발주방식 등의 검토를 위해, 국토교통연구인프라운영원 CM단, 내부 연구진 및 관련 부서(도로교통연구원 시설파트), 국토교통부 등과의 협의 수행

○ 실시설계 발주방식은 관련 법령(건축서비스산업 진흥법, 2014.6.5. 시행)과 설계비 추정가격(2.1억원 이상 5억원 미만의 교육연구시설은 설계공모 방식 의무 적용)에 근거하여 설계공모(세부적으로 일반 설계공모, 2단계 설계공모, 제안공모, 제한공모의 4가지 방식)와 입찰(PQ 적용)이 가능

○ 본 실험시설은 설계자의 대응 능력이나 아이디어가 필요하기 때문에 설계자의 경험 및 역량, 수행계획 및 방법 등을 심사하는 제안공모 방식으로 결정

○ 실시설계는 2015. 08. 31 최초 발주를 기준으로 사업자 선정 시까지 총 4회에 걸쳐 발주를 시행하였으며, 최종 사업자 선정은 2015. 12.16에 확정

<그림 3.1.1> 도로주행 시뮬레이터 실험시설 조감도

1F	기계실 ㅣ 세미나실 ㅣ 자료보관실 ㅣ 실험준비실 ㅣ 공동운영실 ㅣ 보조 시뮬레이터 운영실
2F	시뮬레이터 운영실 ㅣ 운영자 사무실 ㅣ 접견실 ㅣ 센터장실 ㅣ 탑승자 대기실 ㅣ 다목적실 ㅣ 시뮬레이터 탑승구 ㅣ 관람데크 ㅣ 공조실

<그림 3.1.2> 실시설계 완료도면(평면도)

1) 도로주행 시뮬레이터 실험시설 건축동 신축관련 인허가 취득

○ 실험시설 조성부지는 자연녹지지역으로 진동·소음 규제지역의 범위에 해당됨으로 허용기준을 준용한 건축동 실시설계 시행 필요(소음·진동관리법 시행규칙 제 26조)

○ 실험시설은 1,000m^2 이상으로 내진설계를 고려한 실시설계 시행 필요(건축법 시행령 제32조)

○ 실험시설 실시설계 최종 도면을 바탕으로 경기도 화성시에 도로주행 시뮬레이터 실험시설 건축허가 신청서를 제출하고 이에 대한 허가 취득(2016.7.13.)

○ 또한, 기존 대지의 용도를 건축, 증축용으로 용도변경을 실시(2016.7.13.)하고 실험시설 건축동의 구조에 대한 고조안전확인서 취득(2016.6.29.)

화 성 시

수신자 한국도로공사(도로교통연구원) 귀하
(경유)
제목 건축허가 알림(종축:한국도로공사(도로교통연구원))

1. 「사랑이 연지인 화성」의 발전을 위한 협조에 감사드립니다.
2. 화성시 동탄2택지 지구단위계획상에 건축허가신청서에 대하여 건축법 제11조 규정에 따라 건축허가 처리하였음을 알려드리오니, 등록면허세(세율표 본의 0.36%-2475)납부 및 국민주택채권(3,000,000원)매입 후 건축과에 방문하시어 건축허가서를 수령하시기 바랍니다.
3. 세움터(http://www.eais.go.kr/)에 첨부된 설계도서의 인쇄인 알림문서 참조 허가조건 및 안내서의 내용을 확인하시어 건축법 등 관련 규정이 정하는 바에 따라 적법·안전하게 시공하시기 바라며, 설계감리계약 시 건축사가 건축사법 제25조 제3항 규정에 의하여 손해배상책임을 보장하기 위한 보험(공제)에 가입하였는지 확인하시기 바랍니다.
4. 위 내용에 대하여 궁금하신 사항에 대하여는 아래 담당자에게 연락하여 주시면 상세히 안내하여 드리겠습니다.

붙임 건축허가서 및 조건 1부. 끝.

화 성 시 황성시장인

건축허가서(2016.07.13.)

건축·대수선·용도변경 허가서

화성시장 황성시장인

토지 용도변경 허가서(2016.07.13.)

건축허가조사 및 검사조서

화성시장 귀하

구분			조 사 내 용	조 사 결 과	필요조치 사항
현장조사	대지현황		대지조성의 필요성	[ ] 필요 [✔] 불필요	
			현황변경의 필요성	[ ] 필요 [✔] 불필요	
			대지의 안전상태	[✔] 안전 [ ] 불안전	
			지상, 지하지장물	[✔] 있음 [ ] 없음	
	도로현황	통과도로	대지에 접한 도로의 개소	2 개소	
			대지에 접한 도로의 너비	24.00 m	
			대지에 접한 도로의 길이	44.10 m	
			대지와 도로의 고저차	0.3 m	
			보행 또는 차량통행 가능여부	[✔] 가능 [ ] 불가능	
		막다른도로	대지에 접한 도로의 개소	개소	
			대지에 접한 도로의 너비	m	
			대지에 접한 도로의 길이	m	
			대지와 도로의 고저차	m	
			보행 또는 차량통행 가능여부	[✔] 가능 [ ] 불가능	
	기존건축물		기존건축물	[✔] 있음 [ ] 없음	
			위반된 부분	[ ] 있음 [✔] 없음	

구조안전 및 내진설계 확인서 (3층 ~ 5층 이하의 건축물 등)

구조안전확인서(2016.6.29.)

<그림 3.1.3> 도로주행 시뮬레이터 실험시설 건축동 신축관련 인허가 취득

2) 도로주행 시뮬레이터 실험시설 준공

○ 2017년 12월 13일에 준공이 완료되었으며, 2017년 12월 15일에 준공검사 시행

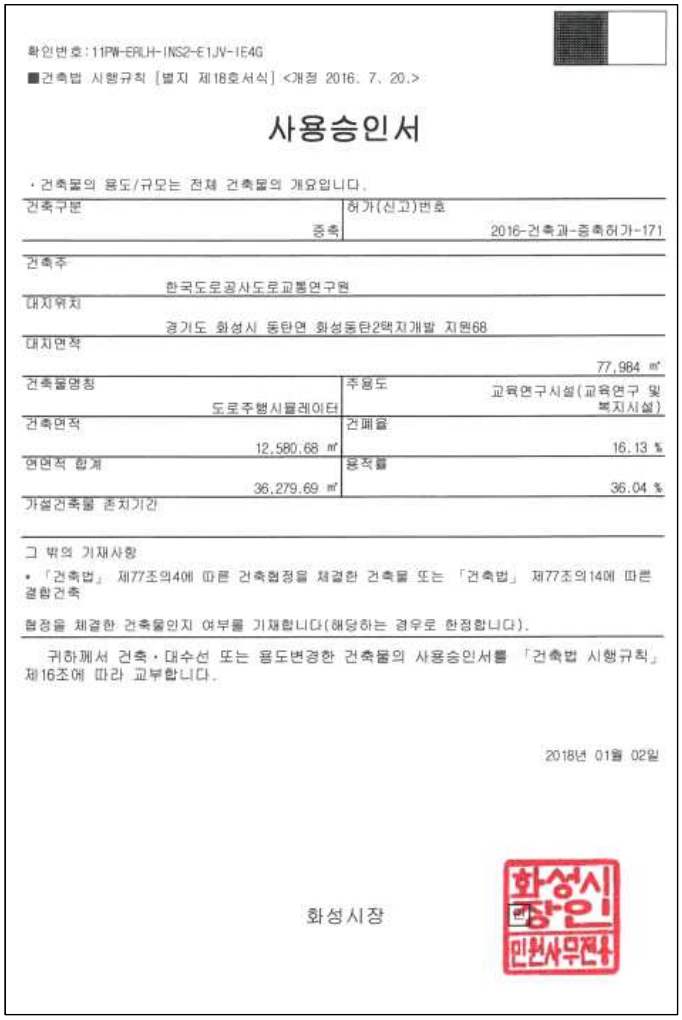
- 공사 보완 작업 후 2018년 1월부터 실험장비(운동시스템 등)의 설치 시행

○ 건축 규모

구분	면적	비고
지상 1층	1,400m²	대형시뮬레이터실, 전기/전력실, 실험준비실, 실험기자재 보관실, 휴게실
지상 2층	520m²	주제어운영실, 사무실, 컴퓨터 및 장비제어실, 관람자 및 회의실, 실험준비실, 보조시뮬레이터실
합계	1,920m²	-

3) 도로주행 시뮬레이터 실험시설 준공 관련 서류

○ 준공 전 시험운영을 위해 전기 부문과 통신 부문의 승인을 취득함(화성시청 및 한국전기안전공사)



확인번호 : 11PW-ERLH-INS2-E1JV-1E4G

■건축법 시행규칙 [별지 제18호서식] <개정 2016. 7. 20.>

사용승인서

· 건축물의 용도/규모는 전체 건축물의 개요입니다.

건축구분: 증축	허가(신고)번호: 2016-건축과-증축허가-171
건축주: 한국도로공사도로교통연구원	
대지위치: 경기도 화성시 동탄면 화성동탄2택지개발 지원68	
대지면적: 77,984 ㎡	
건축물명칭: 도로주행시뮬레이터	주용도: 교육연구시설(교육연구 및 복지시설)
건축면적: 12,580.68 ㎡	건폐율: 16.13 %
연면적 합계: 36,279.69 ㎡	용적률: 36.04 %
가설건축물 존치기간	

그 밖의 기재사항

· 「건축법」 제77조의4에 따른 건축협정을 체결한 건축물 또는 「건축법」 제77조의14에 따른 결합건축

협정을 체결한 건축물인지 여부를 기재합니다(해당하는 경우로 한정합니다).

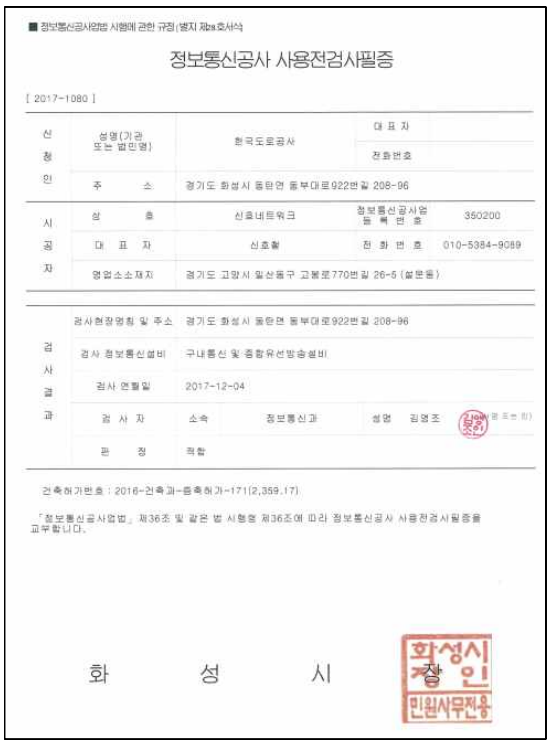
귀하께서 건축·대수선 또는 용도변경한 건축물의 사용승인서를 「건축법 시행규칙」 제16조에 따라 교부합니다.

2018년 01월 02일

화성시장

화성시장인 민원사무전용

<그림 3.1.4> 실험시설 사용 승인서(2018.01.02.)



■ 정보통신공사업법 시행에 관한 규정(별지 제8호서식)

정보통신공사 사용전검사필증

[2017-1080]

신청인	성명(기관 또는 법인명)	한국도로공사	대표자	
			전화번호	
	주 소	경기도 화성시 동탄면 동부대로922번길 208-96		
시공자	상 호	신호네트워크	정보통신공사업 등록번호	350200
	대 표 자	신호철	전 화 번 호	010-5384-9089
	영업소소재지	경기도 고양시 일산동구 고봉로770번길 26-5 (설문동)		

검사결과	검사현장명칭 및 주소	경기도 화성시 동탄면 동부대로922번길 208-96		
	검사 정보통신설비	구내통신 및 종합유선방송설비		
	검사 연월일	2017-12-04		
	검 사 자	소속 정보통신과	성명 김영조	(인 또는 서명)
	판 정	적합		

건축허가번호 : 2016-건축과-종축허가-171(2,359.17)

「정보통신공사업법」 제36조 및 같은 법 시행령 제36조에 따라 정보통신공사 사용전검사필증을 교부합니다.

화 성 시

화성시장 인 민원사무전용

<그림 3.1.5> 정보통신공사 사용 전 검사 필증(2017.12.04.)

KESCO

사용전검사확인증

발행번호 제 755001950 호 고객번호 : 5500-007220

신청인	대표자 성명	김학송	전화번호	☎ 031)8098-6712
	회사명 또는 상호	한국도로공사 도로교통연구원(ICT센타)		
	주 소	경기 화성시 동탄면 동부대로922번길 208-96 경기 화성시 동탄면 산척리 50-5		
검사결과	검사전기설비	수전설비 22,900V 900KW		
	검사연월일	2017년 11월 03일		
	검 사 자	소속 경기지역본부	성명	김광민 (인)
	판 정	부분합격	다음검사	2020년 11월
임시사용	허용사유 :			
	사용기간 :			
	사용범위 및 사용방법 :			

기타 : 전체설비 수전설비 22,900V 14,000KW 발전설비 690V 7,150KW
1. 부분검사 신청사유 : 구내배전설비 공사지연으로 수전설비 무선선정
2. 사용범위 : 수전설비 및 LV/1, LV/1-1
3. 전체공사 완료예정일 : 2017월 12월 28일
4. 계도 및 관찰사항
- 미시공된 구내배전설비는 공사완료 시 사용전검사를 받으신 후 사용바랍니다.
- 모호계전기는 판전교 했크 후 정정하여 사용바랍니다.

「전기사업법」 제63조부터 제65조까지의 규정에 따라 검사를 하고 같은 법 시행규칙 제31조의2제3항 및 제34조제1항에 따라 위와 같이 검사확인증을 발급합니다.

2017 년 11 월 03 일

한국전기안전공사 사장

검사신청인 김학송 귀하

※ 이 확인증은 사무관리규정에 의하여 전자직인으로 발행되었습니다.

KESCO

사용전검사확인증

발행번호 제 755001951 호 고객번호 : 5500-007220

신청인	대표자 성명	김학송	전화번호	☎ 031)8098-6712
	회사명 또는 상호	한국도로공사 도로교통연구원(ICT센타)		
	주 소	경기 화성시 동탄면 동부대로922번길 208-96 경기 화성시 동탄면 산척리 50-5		
검사결과	검사전기설비	수전설비 22,900V 900KW		
	검사연월일	2017년 11월 29일		
	검 사 자	소속 경기지역본부	성명	김광민 (인)
	판 정	합격	다음검사	2020년 11월
임시사용	허용사유 :			
	사용기간 :			
	사용범위 및 사용방법 :			

기타 : 전체설비 수전설비 22,900V 14,000KW 발전설비 690V 7,150KW

「전기사업법」 제63조부터 제65조까지의 규정에 따라 검사를 하고 같은 법 시행규칙 제31조의2제3항 및 제34조제1항에 따라 위와 같이 검사확인증을 발급합니다.

2017 년 11 월 29 일

한국전기안전공사 사장

검사신청인 김학송 귀하

※ 이 확인증은 사무관리규정에 의하여 전자직인으로 발행되었습니다.

<그림 3.1.6> 전기공사 사용 전 검사확인증 (2017.11.03., 2017.11.29.)

4) 도로주행 시뮬레이터 실험시설 안전관리

○ 도로주행 시뮬레이터 실험 시설 내 안전관리 시설 구축

- 피난동선 안내도 배치

<그림 3.1.7> 피난동선 안내도(안)

- 소화전 비치, 환기 시설 등

<그림 3.1.8> 각종 안전시설물 배치

3.2 실험장비 구축

1) 실시간 차량 동역학 시뮬레이션 시스템

가) 개요

○ 도로주행 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 운전 중 조작하는 조향 휠, 가속페달 및 브레이크 페달 등으로부터 검출된 신호를 입력하여 실시간으로 차량의 운동을 연산하고, 그 결과를 시각, 음향 및 운동시스템에 전달하여 운전자에게 피드백 하는 실시간 차량시뮬레이션 시스템은 차량 시뮬레이터의 핵심 요소에 해당

○ 도로주행 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 행하는 모든 주행조작으로부터 발생하는 차량의 운동을 연산하기 위하여, 차량 모델은 기본적인 샤시 및 현가장치 뿐만 아니라, 엔진, 구동트레인, 조향장치, 제동장치 등 각종 서브시스템도 같이 모델링 되어야 하고, 또한 추후에 더 복잡하고 현실적인 모델의 추가 및 확장성도 고려할 수 있도록 모델 개발 추진

○ 실시간 차량동력학 시뮬레이션 시스템은 차량의 정지 상태에서부터 시동 및 가속, 조향이나 제동 등 운전자가 경험할 수 있는 모든 운전조건을 실시간이 요구하는 시간적인 구속조건을 만족하는 범위에서 정확히 시뮬레이션 가능하도록 구현

○ 본 시뮬레이터 시스템의 차량 동역학 시뮬레이션 엔진으로 세계적인 시뮬레이터에 널리 사용되고 있어 이미 그 성능이 검증되어 있는 CALLAS 동역학이나 이노시뮬레이션에서 자체 연구 개발한 동역학을 시현

나) 승용차량 실시간 차량 해석모델

□ 다물체 동역학 기반 차량 모델링(ADAMS/Car)

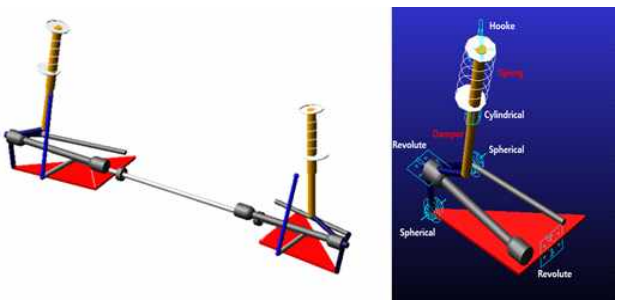
○ 대상 차량 선정

- 승용차량 모델의 대상 차량은 현대자동차의 LF SONATA 선정
- 실시간 차량 해석모델의 수식 개발 및 검증을 위해 다물체 동역학 기반의 차량모델은 ADAMS 프로그램 이용하여 개발

<그림 3.2.1> LF SONATA

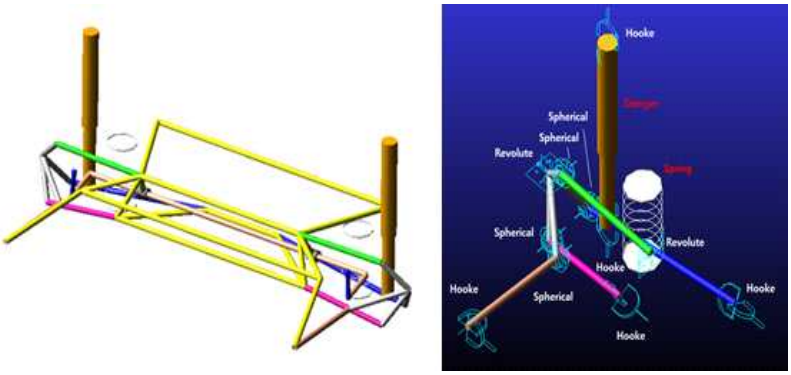
○ Subsystem 모델 개발

- ADAMS 차량 모델의 Subsystem 구성, Chassis, Front/Rear Suspension, Steering, Tire 및 Brake 등
- Chassis, Suspension, Steering Subsystem은 실험 및 측정 데이터를 기반으로 개발하였으며, Tire 및 Brake 등의 나머지 Subsystem은 ADAMS에서 기본으로 제공하는 Template을 응용하여 적용
- 전륜 현가장치(Front Suspension) 모델 개발
  - · 승용차량 모델의 전륜 현가장치는 맥퍼슨 스트럿 타입으로서, 현가기구와 차체를 연결하여 노면으로부터 오는 충격 및 진동을 저감시키는 Upper Strut, Spindle과 현가기구를 연결하는 Upright, Upright와 차체를 연결하는 LCA, 조향장치와 연결되는 Tie-rod, Wheel과 Upright를 연결하는 Spindle, 그리고 동력전달장치로부터 동력을 전달하는데 쓰이는 Drive Shaft로 구성
  - · 전륜 현가장치에 적용되는 힘 요소는 현가장치의 충격흡수 및 진동 저감을 담당하는 Spring과 Damper로 구성



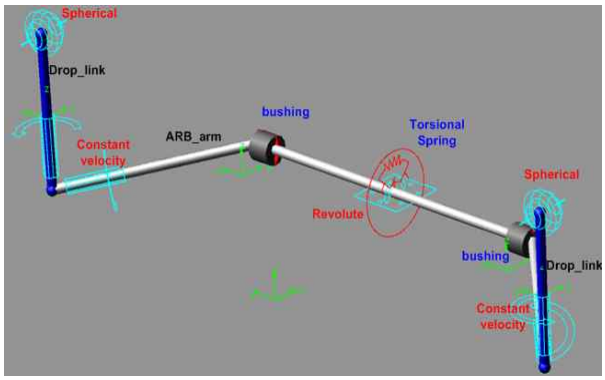
<그림 3.2.2> 전륜 현가장치의 Body 구성

- 후륜 현가장치(Rear Suspension) 모델 개발
  - 후륜 현가장치는 변형된 멀티링크 타입으로서, Knuckle과 Trailing Arm을 결합한 Suspension Arm과 현가장치와 Chassis를 연결하는 UCA와 LCA, 그리고 현가장치의 종방향 운동을 위한 Upper Strut와 Lower Strut, 타이어와 현가장치를 연결하는 Spindle로 구성
  - 후륜 현가장치에 적용되는 힘 요소는 현가장치의 충격흡수 및 진동 저감을 담당하는 Spring과 Damper로 구성



<그림 3.2.3> 후륜 현가장치 Body 구성

- 안티 롤 바(Anti-Roll Bar) 모델 개발
  - Anti-Roll Bar는 전륜현가와 같이 설치되어 차체의 Roll 강성을 증가시켜 Rollover 방지

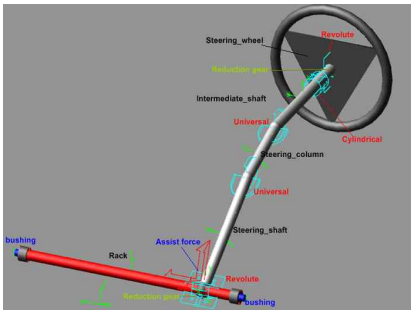


<그림 3.2.4> Anti Roll Bar의 구성

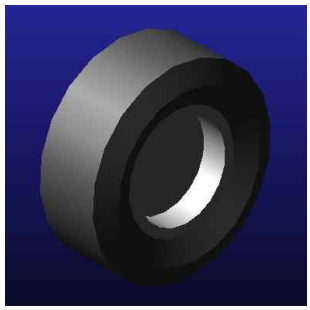
  - Anti-Roll Bar의 Body는 전륜 현가장치에 연결되어 현가와 ARB_Arm의 연결고리 역할을 하는 Drop Link와 반대편 Arm과 쌍을 이루어 차체 Roll 강성에 영향을 주는 ARB_Arm으로 좌우 하나씩 구성
  - Drop Link와 전륜 현가의 Upright는 Spherical 조인트로 연결되도록 구성하였고, Drop Link와 ARB는 Constant Velocity 조인트로 연결되도록 구성하였으며 ARB는 반대편의 ARB와 Revolute 조인트로 연결되도록 구성
  - Anti roll bar의 힘 요소는 Chassis의 Sub Frame과 ARB를 결합하는 용도로 사용되는 두 개의 부싱과 한 개의 Torsional Spring을 사용함으로써 현가장치의 Roll 강성 증가

- 조향(Steering) 모델 개발
  - Steering 모델은 차량의 조향을 담당하는 부분으로 Rack & Pinion 방식 사용
  - Steering wheel을 통하여 조향각을 입력하면 Intermediate Shaft, Steering Column 및 Steering Shaft를 통하여 Rack에 전달되어 Rack이 병진운동을 함으로써 양 끝에 연결된 전륜 현가장치의 Tie Rod로 조향각 전달
  - 조향 입력 시 효과적인 조향력을 전달하기 위해 감속기어와 Assist Force 적용

- 타이어(Tire) 모델 개발
  - Wheel은 차량의 바퀴로서 타이어 모델을 포함하며 전/후륜 현가장치의 Upright 또는 Knuckle과 연결되어 노면 및 구동력과의 작용을 통한 차량의 움직임 구현

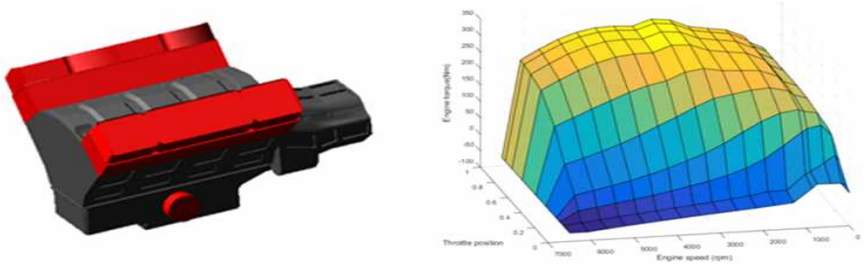


<그림 3.2.5> 조향 시스템의 구성



<그림 3.2.6> ADAMS 타이어 모델

- 파워트레인(Powertrain) 모델 개발
  - · 차량의 구동 출력을 담당하는 파워트레인 모델은 ADAMS의 기본 파워트레인 Template을 사용하였으며, 150KW급 Engine-Map 적용
  - · Throttle과 Engine Speed 값을 입력받아 Engine-Map에서 해당 Engine Torque를 출력하여 각 구동 바퀴로 전달하도록 구현



<그림 3.2.7> 파워트레인 모델(좌) 및 Engine Torque Map(우)

- 전차량(Full Vehicle) Assembly 모델 개발
  - · 개발된 Subsystem 모델을 조합하여 Full Vehicle 모델 구성

<그림 3.2.1> 대상 차량 ADAMS Full car 모델

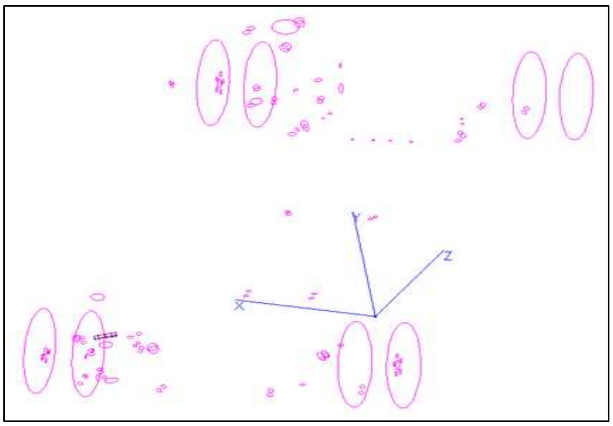
□ 실차 주행실험을 통한 차량 데이터 취득(실차량 계측 및 시험)

○ Hard-Point 특성 측정

- 3차원 데이터 측정 장치(Faco-Arm, Accuracy : 0.09mm 이내)를 이용하여 대상 차량의 주요 Hard-Point 측정

<그림 3.2.9> 대상 차량의 주요 Hard-Point 측정

- Hard-Point 특성 측정 결과



<그림 3.2.10> Hard-point 측정 결과

<표 3.2.1> Hard-point 측정 Data

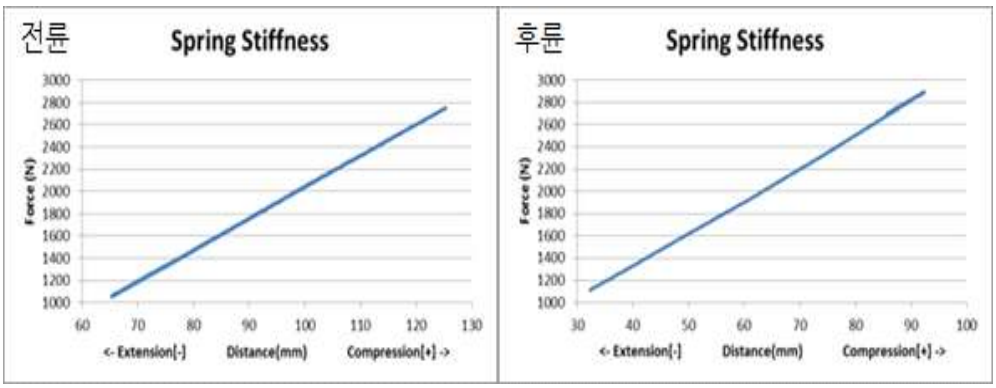
Hard-point			x (mm)	y (mm)	z (mm)
Front	Wheel center		0.000	-797.498	-90.000
	LCA	Front	10.259	-393.928	-128.424
		Rear	304.774	-395.429	-121.800
		Out	-8.752	-772.249	-140.682
	Damper	Top	47.782	-607.140	560.430
		Lower	10.042	-638.203	80.720
	Spring	Top	47.782	-607.140	559.430
		Lower	33.404	-639.421	358.008
	Stabilizer Bar link	Upper	-27.890	-586.905	273.200
		Lower	-121.780	-563.102	-63.696
	Tierod	Inner	178.772	-358.712	-25.129
		Outer	136.775	-735.764	-40.647
	Sub frame	Front	67.799	-472.027	9.554
		Rear	431.405	-323.667	-112.396
		arb	102.233	-329.203	-80.645
Rear	Wheel center		2805.205	-791.415	10.399
	UCA rear	Inner	2764.457	-339.420	97.465
		Outer	2759.877	-699.946	106.608
	LCA	Inner	2902.987	-151.251	-48.970
		Outer	2887.243	-721.858	-108.685
	Spring	Upper	2898.860	-508.313	103.612
		Lower	2897.935	-508.492	-125.421
	Trailing arm	Inner	2299.202	-621.750	-19.405
		Outer	2662.231	-622.494	-48.404
	Assist link	Inner	2705.796	-406.500	-54.274
		Outer	2733.505	-720.881	-111.427
	Stabilizer bar link	Upper	2701.844	-595.078	-30.510
		Lower	2704.813	-589.097	61.584
	Damper	Upper	2890.990	-643.408	491.725
		Lower	2890.990	-643.408	-108.275
	Sub frame	Arb	2823.552	-366.811	-3.006
		Front	2639.564	-514.237	45.079
		Rear	3125.876	-501.569	79.310

○ Spring 특성 측정

- 대상 차량의 전륜 및 후륜 Spring 특성 측정

<그림 3.2.11> 전륜 및 후륜 Spring 특성 측정 실험

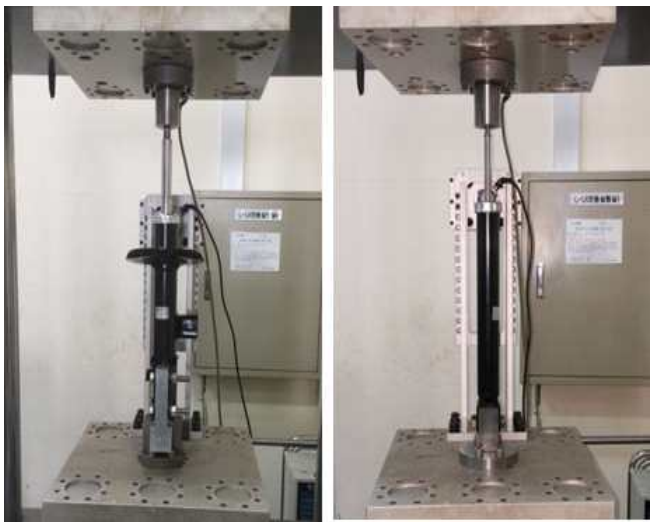
- Spring 특성 측정 데이터
  - 전륜 Spring Stiffness : 28.246 [N/mm]
  - 후륜 Spring Stiffness : 29.988 [N/mm]



<그림 3.2.12> 대상 차량의 Spring 특성 곡선

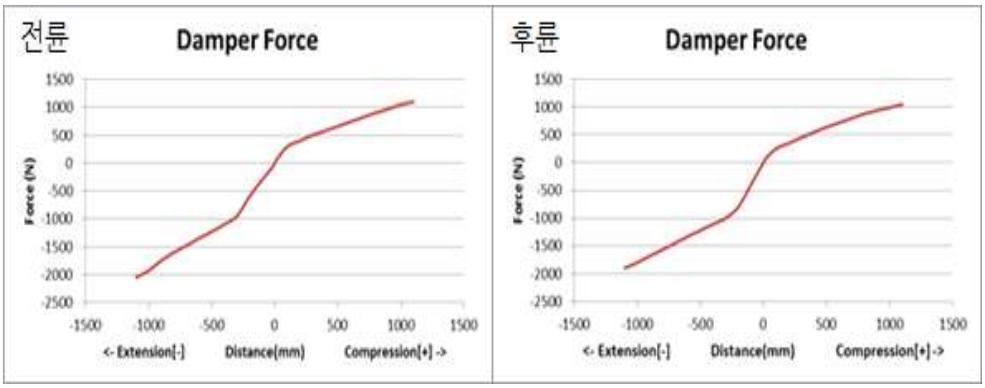
○ Damper 특성 측정

- 대상 차량의 전륜 및 후륜 Damper 특성 측정



<그림 3.2.13> 전륜 및 후륜 Damper 특성 측정 실험

- Damper 특성 측정 데이터

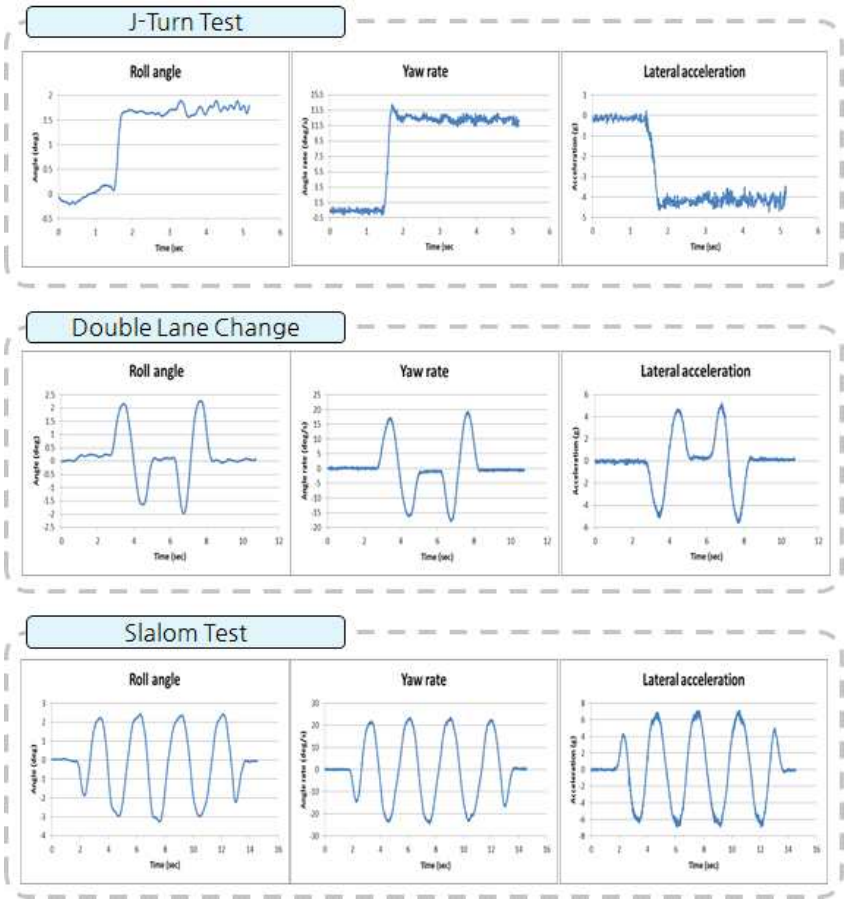


<그림 3.2.14> 대상 차량의 Damper 특성 곡선

○ 실차 주행실험

- 개발된 차량 모델을 평가하기 위해 J-Turn, DLO(Double Lane Change), Slalom 주행 테스트를 통해 대상 차량의 동wjr특성 측정

<그림 3.2.15> 대상 차량의 실차 주행실험

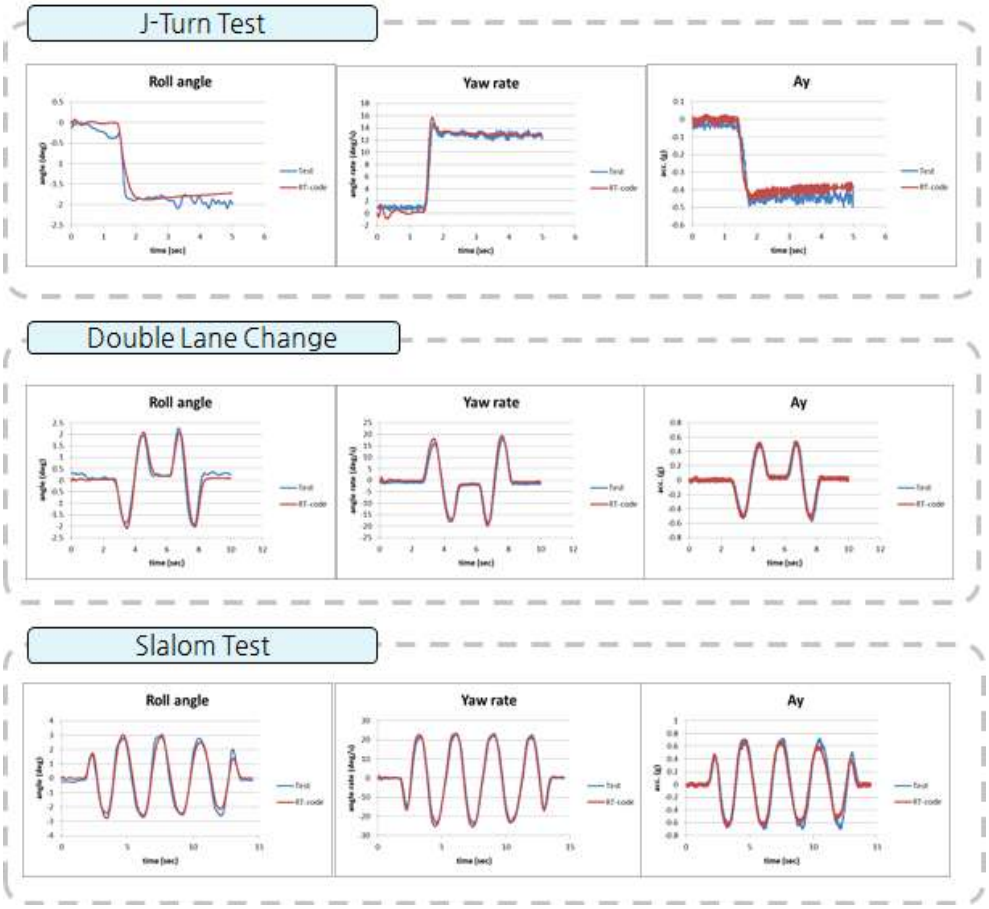


<그림 3.2.16> 대상 차량 실차 주행 결과

□ 시뮬레이션 결과 실차 거동 유사성 검증

○ 실시간 차량 해석모델 정확도 검증

- 실차 주행 시험과 동일한 조건으로 실시간 차량 모델의 해석을 수행하여 실험결과와 해석 결과를 비교함으로써 실시간 차량 모델의 정확도 검증
  · 실험 데이터와 해석 데이터의 비교결과 RMS 기준 약 94.87%로 실시간 해석모델의 정확도 검증



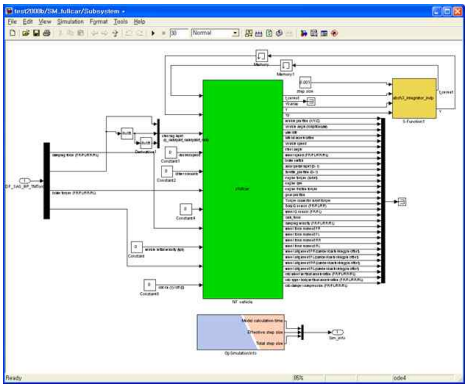
<그림 3.2.17> 실차 주행과 실시간 해석모델 실험 결과 비교

<표 3.2.2> 실시간 차량 모델 정확도

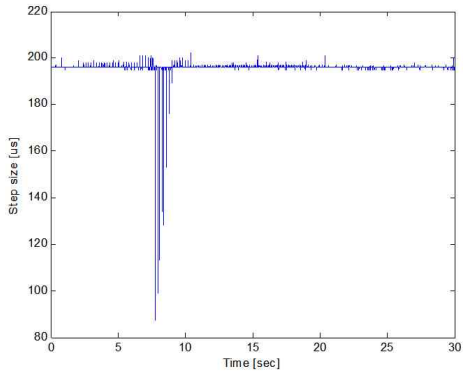
구분	Roll Angle (%)	Yaw Rate (%)	Lateral G (%)
J-turn	93.36	98.12	91.18
DLC	98.02	91.97	98.44
Slalom	94.95	95.58	92.20

○ 실시간 차량 해석모델 실시간성 검증

- 차량 해석모델의 실시간성 검증을 위해 C-Code를 Simulink 기반에서 활용 가능한 Block으로 생성하여 한 스텝당 소요되는 계산시간, 유효 시간, 총 Step Size 확인



<그림 3.2.18> 실시간성 평가를 위한 Simulink 차량 모델



<그림 3.2.19> 차량 해석 모델의 스텝 당 소요 시간 측정

<표 3.2.3> 실시간 차량 모델 실시간성

Model Calculation Time	Max. (ms)	Min. (ms)	Average (ms)
	0.202	0.087	0.195916

2) 캐빈 및 제어힘 로딩 시스템

가) 개요

- 도로주행 시뮬레이터에서 운전자가 조작하는 조향 장치, 가감속 페달, 변속기의 움직임을 검출하여 제어부에서 요구하는 힘과 변위의 데이터로 변환하여 시스템에 피드백하고, 부가적으로 실제감을 느끼게 하기 위하여 계기판에 차량의 주행상태 정보를 적절히 표시
- 운전자에게 이에 상응하는 적절한 힘으로 피드백 하는 제어 힘 로딩시스템은 운전자의 조작 행위를 검출하는 변위 검출부, 운전자에게 반력 및 반토크를 피드백 하는 운동 재현부, 신호를 처리하고 전달하는 통신부로 구분
- 현실감 측면에서 조향 핸들에 전달되는 반토크의 재현은 중요하며, 이는 기본적으로 차량에 의해 좌우되는 조향 시스템의 특성 및 주행 패턴에 의해 결정
- 촉각은 인체의 다른 감각보다 예민하게 반응하므로 제어 힘 로딩 시스템은 빠른 재현률로 큐를 전달하도록 구성
- 돔 내부에 실제 승용 차량이 설치되며, 실체 차량의 스위치류를 조작 가능하도록 각종 CFLS(Control Force Loading System) 제어장치와 오디오 장치 등이 차량에 내장되고, 트럭, 버스 시뮬레이터을 위하여 차량 교체가 가능하도록 배선 및 기구시스템이 상호 호환되도록 구성되어 있다.

나) 차량 캐빈

- 국산 중형 승용차를 기반으로 한 차량 캐빈 선정은 국내 등록된 차량 현황을 근거로 하여 가장 높은 비중을 가진 중형/준중형[56%] 차량 등급을 선정
- 또한 국가별 시뮬레이터에 적용한 제품군을 비교하여 제품을 선정

<표 3.2.4> 국토교통부 2016년 8월 자동차 등록 자료 통계

등급	등록대수
경형	1,726,151
소형	1,264,267
중형/준중형	9,486,630
대형	4,621,844
승용차 합계	17,103,273
전체 등록 합계	21,568,098

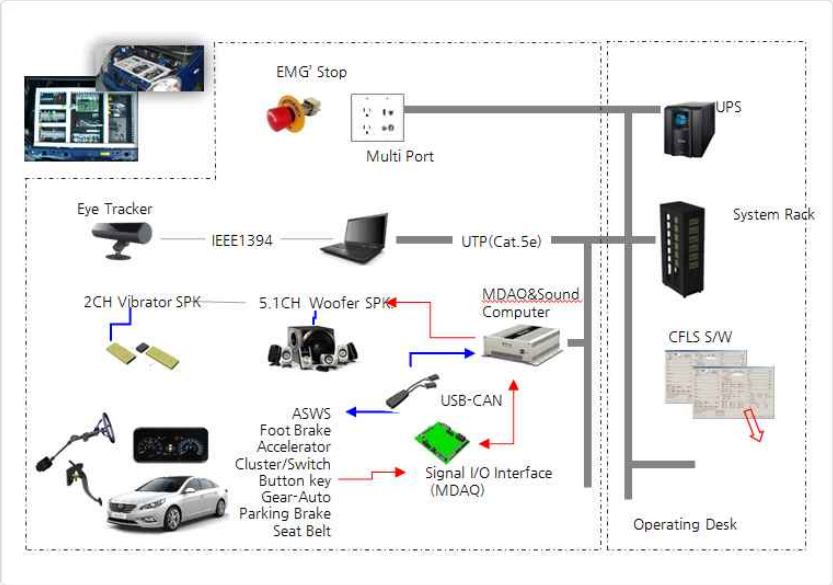
· 차량 캐빈은 제어 힘 로딩 장치 등 장비와 센서의 설치를 위하여 엔진을 포함하여 엔진룸의 부품은 완전하게 제거되며, 장비 설치를 위하여 프레임 구조물 및 브라켓이 장착
· 돔 스크린과 프로젝션 빔의 난 반사를 방지하기 외하여 차량 외부에 검정 무광으로 처리
· 돔 내부에 설치되는 차량 하부에 프레임 형태의 구조물이 설치되어 차량의 강성 유지와 하체를 보강
· 운전석 조작부의 작동 스위치, 계기류, 램프 등 모든 기능은 실차와 동일하게 작동되거나 동일한 기능을 유지하며, 차량 오디오, 실내등, 시트 등 차량 내부의 장치와 편의 사양 또한 동일한 기능을 지니도록 하며, 필요에 따라 일부 부품을 제거된다.

□ 운전조작 장치류의 주요 기능 구현 목록

· 운전석 계기판 구성 : LCD 모니터 구현, 조향 핸들 및 반력 시스템 (Active Wheel), 안전벨트, 기어 모듈(자동), 가속 페달, 브레이크 페달, 주차 브레이크, Ignition key switch, Indicator light switch, Hazard switch, Headlight switch, Auto gear shift lever, Function Buttons

·

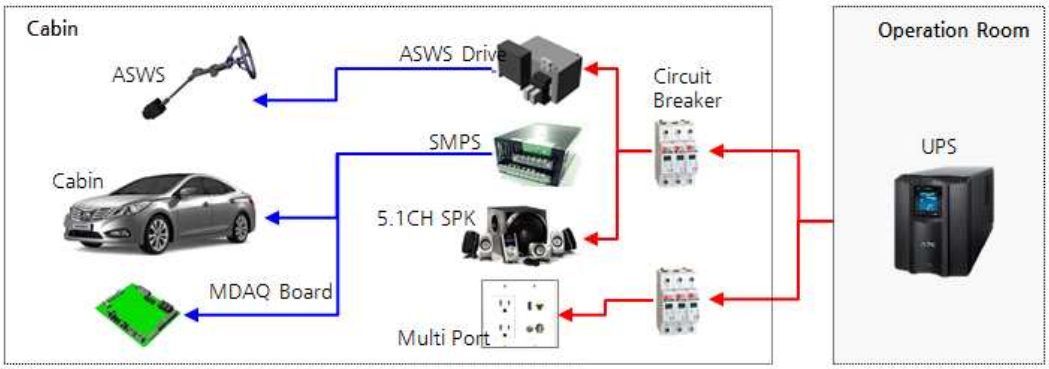
다) 시스템 구성도



<그림 3.2.20> 캐빈 시스템 구성

라) Power Block Diagram (AC/DC)

· 캐빈의 전원 시스템은 실제 차량의 모든 부품을 그대로 재현하는 이유로 차량 전원과 동일한 레벨의 DC 12V를 사용하도록 구성하며, 각종 센서의 아날로그 신호와 디지털 신호를 에러없이 검출할 수 있도록 노이즈 차폐처리와 필터 등의 전원 보조설비를 포함
· AC 전원은 UPS로부터 전원을 공급받도록 설비되어 정전인 경우에도 안전하게 시스템을 종료할 수 있도록 구성되며, 과부하 방지를 위하여 과부하 방지 전원 차단기 설치



<그림 3.2.21> Power Block Diagram

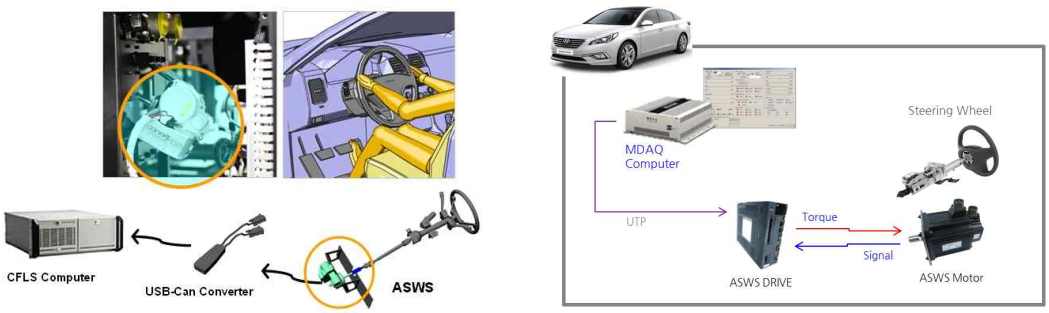
마) 고성능 조향 반력장치(ASWS)

· 운전 중 사실적 핸들의 조향 반력 구현을 위하여 조향 반력 장치(ASWS)가 스티어링 샤프트 끝 안에 설치되어 있으며, 운전 조건에 따라 실시간으로 토크를 제어하여 실제 차량에 가까운 핸들의 조향 반력을 재현

□ 고성능 조향 반력장치 사양

· Power: 220VAC 50/60hz, Communication Standard: EtherCAT, Motor Specification : 900w / 1,000rpm, Rated Torque(Nm): 8.6Nm, Max Torque(Nm): 38Nm, Steering Angle: ±540°, Vibration Frequency: 5~50Hz, Data: Column Position / Velocity / Torque

□ 고성능 조향 반력장치 구성



<그림 3.2.22> 고성능 조향 반력장치 구성

바) 데이터 수집 장치

□ MDAQ PC

· MDAQ 보드로부터 전송되는 각종 차량 조직과 관계된 센서 및 디지털 입출력 신호를 모니터링 하고, 시뮬레이션 컴퓨터로 전송하기 위해 CFLS 제어 컴퓨터에는 CFLS 구동 프로그램이 설치되며, 윈도우 부팅과 동시에 자동 시작

· CFLS 컴퓨터는 차량내부에 설치되며 네트워크를 통하여 MDAQ보드에서 취득한 차량 조작 정보를 시뮬레이션 컴퓨터로 전송

□ MDAQ Board Specification

· MDAQ 보드는 운전자의 조작에 의해 수반되는 각종 센서 및 스위치로부터의 신호 입력과 각종 게이지, 램프 등의 On/Off 제어를 위한 디지털 출력을제어 하며, RS232C 통신을 통해 실시간으로 시뮬레이터 컴퓨터로 데이터를 전송

사) 안전장치

· 시뮬레이터 구동 중 모션 플랫폼 또는 캐빈의 이상 작동에 대비하여 비상정지 스위치가 운전석 상부에 설치되며, 비상 정지 스위치는 다른 어떤 시스템의 정지 장치보다 우선하며, 비상정지 스위치의 작동에 따라 현재 상태에서 완전하게 정지

· 비상정지 스위치의 작동시 주 조정실의 모션 컴퓨터에 알람이 표시되며, 관리자는 상황에 따라 적절한 조치를 통해 전체 시스템을 안전하게 복귀시킬 수 있도록 구성

· 차량 내부의 도어센서, 안전벨트 센서는 시뮬레이션 운영을 위한 안전센서로 작동되도록 구성되며, 각각의 상태에 따라 모션 구동이 제한되거나 완전하게 시스템을 정지 가능

· 특히, CCD 카메라와 마이크의 통신 시스템을 활용하여 탑승 전에 점검하여, 안전사고에 대비할 수 있도록 구성

· 또한 실험도중 불시에 발생할 수 있는 안전사고에 대해 피실험자들이 대처할 수 있도록, 실험 전 안전교육을 시행하여 사고를 예방하고 향후, 안전매뉴얼을 작성하여 안전교육 제도화 시행

<그림 3.2.23> 시스템 안전장치

3) 음향 생성 및 시현 시스템

- 음향 장치는 시뮬레이터의 운용 측면에서 큰 영향을 미치는 청각효과 구성품으로 실제 운전시 외부환경과 최대한 유사하게 구현하여 발생되는 음향과 주변 환경음을 실제감 있게 구현
- 운전자의 운전 조작에 따른 시동음, 엔진음 등을 실시간으로 3차원 공간음을 구현하여 주변 차량 접근시 도플러 효과에 따른 음향의 고저 표현하고, 또한 스키드음, 경적음과 같은 특수 효과음을 구현
- 이와 같이 실제와 동일한 효과를 주어 시뮬레이터 운용 시, 발생할 수 있는 모든 가능한 상황을 실시간 3차원 음향으로 부여하여 보다 현실감 높은 가상환경을 운전자에게 제공

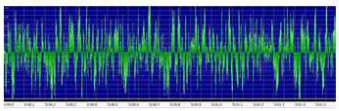
가) 음원 취득 및 샘플링 가공

- 시뮬레이터 상에서 발생하는 차량 및 주변 소리들은 음원 파일로 저장되어 구동

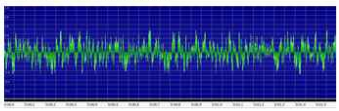
▢ 음원 파형

- Aero

AeroOther

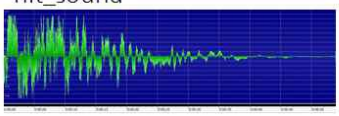


AeroOtherLow



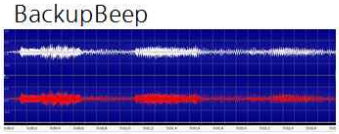
- Collision

hit_sound



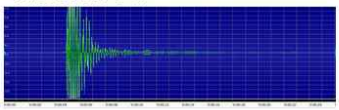
- Dashboard

BackupBeep

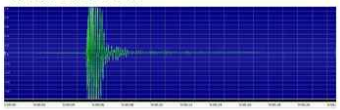


Indicator

IndicatorOff

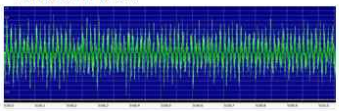


IndicatorOn

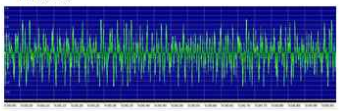


- Engine Diesel

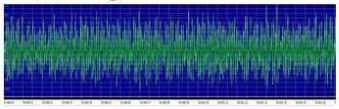
DieselTruck



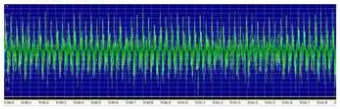
Truck



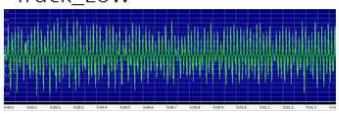
Truck_High



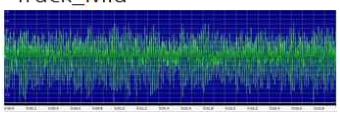
Truck_Idle



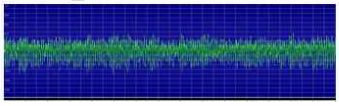
Truck_Low



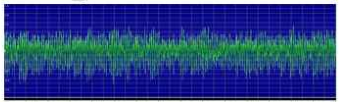
Truck_Mid



Truck_MidRed

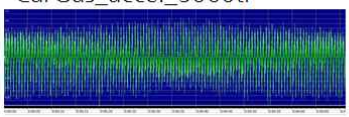


Truck_MidReduced

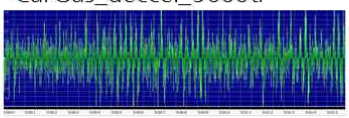


- Engine Gasl

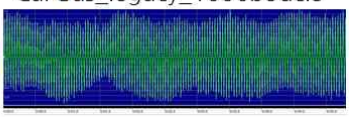
CarGas_accel_5000tr



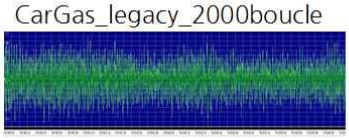
CarGas_deccel_5000tr



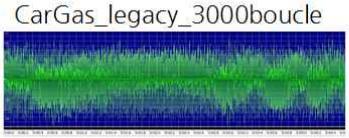
CarGas_legacy_1000boucle



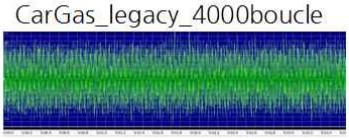
CarGas_legacy_2000boucle



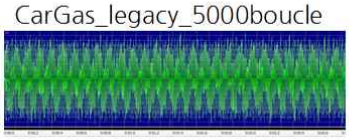
CarGas_legacy_3000boucle



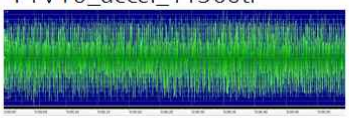
CarGas_legacy_4000boucle



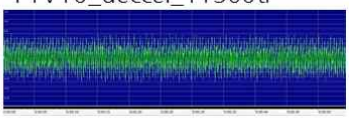
CarGas_legacy_5000boucle



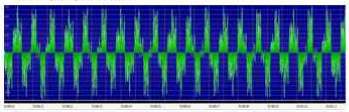
F1V10_accel_11300tr



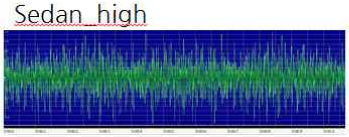
F1V10_deccel_11300tr



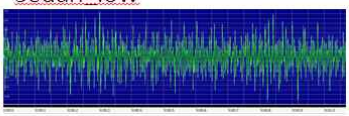
Motorbike



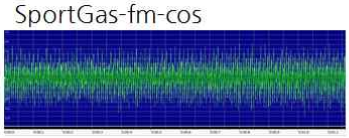
Sedan_high



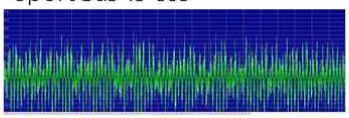
Sedan_low



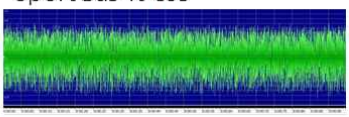
SportGas-fm-cos



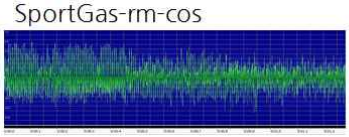
SportGas-fs-cos



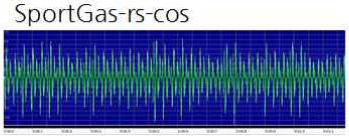
SportGas-ft-cos



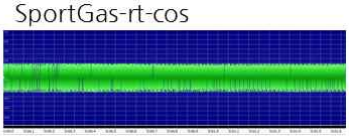
SportGas-rm-cos



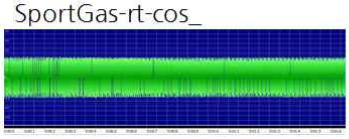
SportGas-rs-cos



SportGas-rt-cos



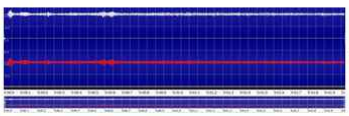
SportGas-rt-cos_



- Engine Starter

DieselTruckStarter

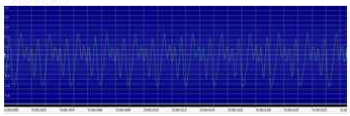
GasCarStarter



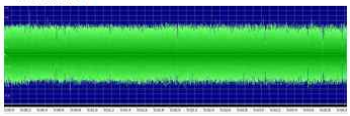
GasCarStarter_loop

- Horn

Horn

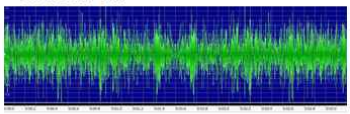


Sedan

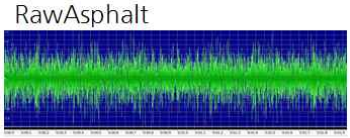


- Road

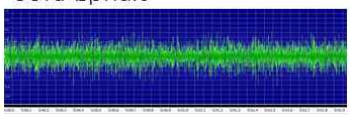
Gravelroll



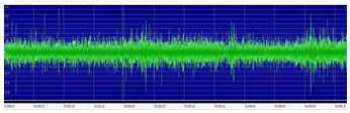
RawAsphalt



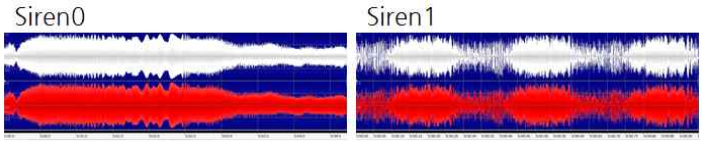
SoftAsphalt



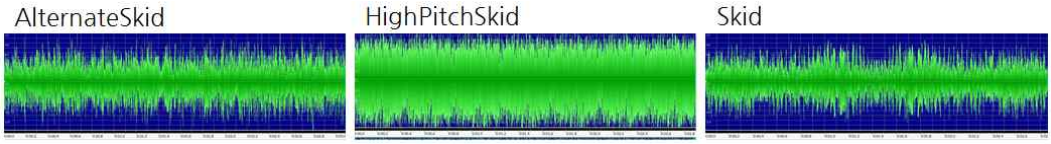
surfacesnow



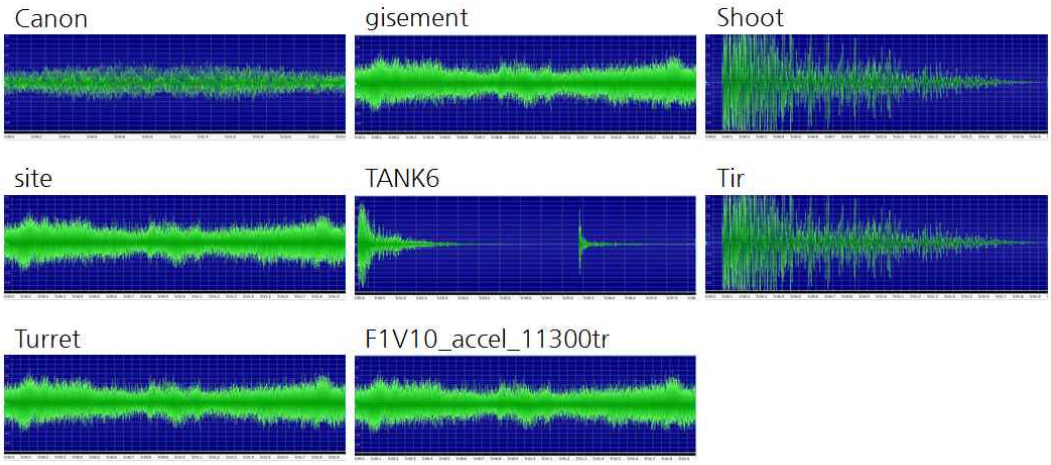
- Sirens



- Tires



- Turret



나) 음향 생성 알고리즘 구축

- 음향 시스템은 시뮬레이터에서 큰 영향을 미치는 청각효과 구성시스템으로 운전시 외부 환경 소음과 운전 조작에 따른 차량 엔진음 등을 영상과 동기화하여 3차원 입체 음향을 구현하고, 도플러 효과 등의 음향의 고저를 조절하여 특수 효과를 구현

다) 8ch 음향 시스템 구축

- 음향 시스템은 시뮬레이터에서 큰영향을 미치는 청각효과 구성시스템으로 입체 음향을 구현하기 위해서는 적절한 위치 선정이 중요
- 차량 내부에서 재현하는 것이 가장 이상적이며 차량 외부에서 재현 할 경우 돔내부 음향 반사효과 때문에 정확하게 재현 할 수 없는 한계 내재
- 이에 실제 차량의 스피커를 활용하여 8ch을 구현하였고, 차량 엔진부에 우퍼를 설치, 센터페시아 네비게이션 주변에 Front Centor 스피커를 설치하였으며 나머지 6개 채널은 실차 스피커를 활용
- 실제 차량 스피커는 A필러의 Satellite 스피커 2개, 앞좌석 도어 스피커 2개, 뒷좌석 도어스피커 2개를 활용

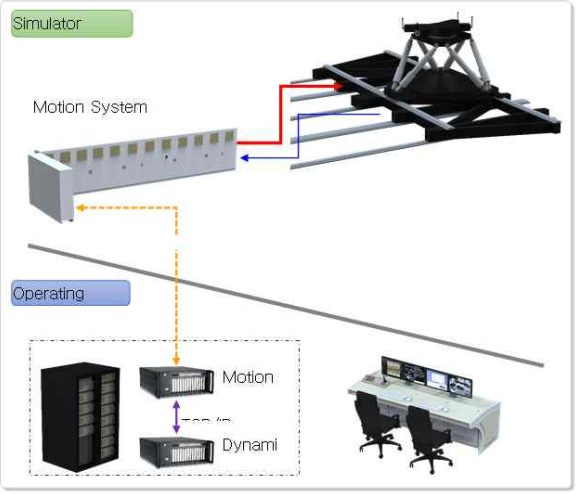
4) 운동 시스템 개발

가) 개요

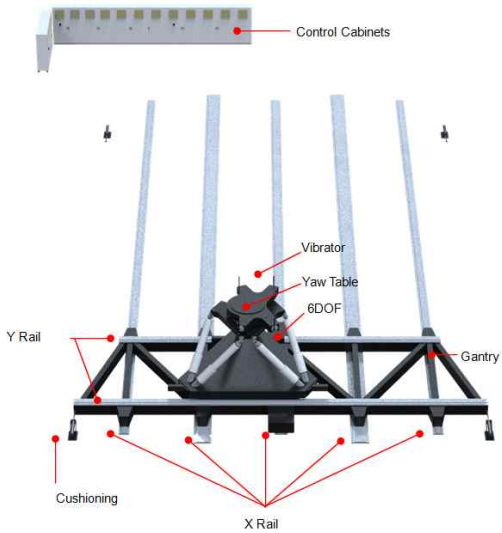
- 운동 플랫폼은 실시간 차량 동력학 시뮬레이션의 결과를 반영하여 운전자가 실제 차량을 운전하고 있다는 느낌을 받을 수 있도록 차량의 운동을 모사하는 장치
- 운동시스템의 기구적 구조를 반영한 역기구학 해석 모듈이 포함되어야 하며, 최적화된 운동을 만들어 주기 위한 워시아웃 알고리즘이 포함되어야 하며, 아울러 구동상의 안전을 고려하여 다중의 안전장치가 포함되도록 구성
- 도로주행 시뮬레이터의 주행중 노면의 상황에 따른 진동, 충격, 및 운동역학의 해석에 따른 승차감을 실제의 차량 주행시와 동일하게 구현하기 위하여 6축 전기식 운동 시스템과 X-Y 레일을 포함한 8자유도 운동 시스템을 이용

나) 운동 시스템 구성

- 도로주행 시뮬레이터 실험시설에 적용될 모션 시스템은 운동 플랫폼 구동부와 제어부 및 전원공급부로 구분
- 운동 플랫폼 구동부는 모터의 회전운동을 직선 선형운동으로 변환하여 운동판의 3차원 운동을 구현
- 또한 운동 플랫폼 제어부는 운동 플랫폼 구동부가 각각의 운영 시나리오와 동기화 되어 구동될 수 있도록 입력신호를 생성하고 시스템을 제어, 관리하는 기능을 담당
- 또한 전원 공급부는 제어부에 구동 전압을 공급하고 필요시 입력 전원을 차단하는 기능을 담당
- 운동 플랫폼은 2DOF X-Y Table 위에 6DOF 모션플랫폼이 설치되며, 360도 회전이 가능한 Yaw Table과 4DOF Vibrator가 6DOF 모션플랫폼 위에 설치
- 그리고 전원 공급과 모션 시스템 제어를 위한 캐비닛, 통합 컨트롤을 위한 모션컴퓨터로 구성
- 모션 시스템은 모션 컴퓨터에 설치되어 있는 전용 소프트웨어를 통해 제어할 수 있도록 설계되어 있으며, 모션 시스템의 안전한 운영을 위해 모션 제어 캐비닛과 운영실에서 연동하여 사용할 수 있는 통합 안전 회로로 구성



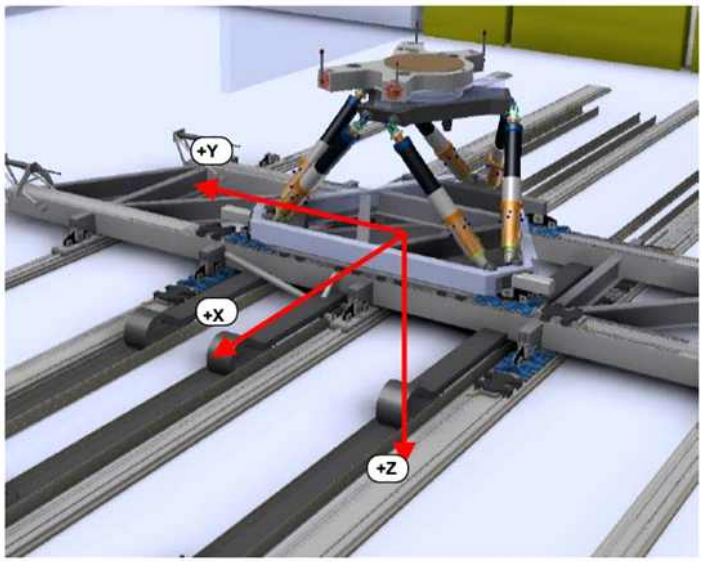
〈그림 3.2.24〉 운동 시스템 블록도



〈그림 3.2.25〉 운동 시스템 하드웨어 구성

다) 운동 시스템 자유도

- 운동 시스템은 어떠한 위치에서도 기구적 간섭이 발생하지 않고 Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Heave의 모든 자유도를 허용할 수 있도록 설계



〈그림 3.2.26〉 운동시스템 자유도

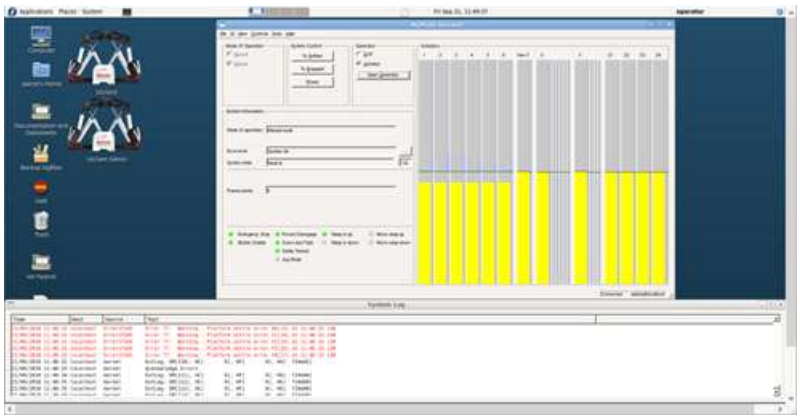
라) 운동 시스템 성능 사양

Motion System	DOF	Excursions	Velocity	Accelerations
	Payload : 6000Kg			
X Rail	X	+10m, -10m	±5.0m/s	±5.0m/s²
Y Rail	Y	+3.5m, -3.5m	±5.0m/s	±7.0m/s²
6DOF	Surge	+841mm, - 806mm	±0.8m/s	±6.0m/s²
	Sway	+751mm, -751mm	±0.75m/s	±6.0m/s²
	Heave	+460mm, -536mm	±0.6m/s	±6.3m/s²
	Roll	+23.2deg, -23,2deg	±25deg/s	±100deg/s²
	Pitch	+27.3deg, -23,4deg	±25deg/s	±100deg/s²
	Yaw	+28.7deg, -28,7deg	±30deg/s	±200deg/s²
Yaw Table (Rotation)	Yaw	+180deg, -180deg	±30deg/s	±90deg/s²
Vibrator	Z	+50mm, -50mm	±0.157m/s	±0.5g²

<그림 3.2.27> 운동시스템 성능

마) 모션 제어 소프트웨어

- 보쉬 모션제어 소프트웨어는 리눅스 운영체제를 기반으로 모션시스템과 SERCUS III 통신으로 구동
- 소프트웨어 상에서 모션의 현재 구동 상태, 위치, 에러상태, 안전제어 장치 상태 등의 모든 상태를 텍스쳐 및 이미지로 확인 가능
- 또한 각종 모션 상태 및 통신 상태등을 로그로 출력 확인 가능

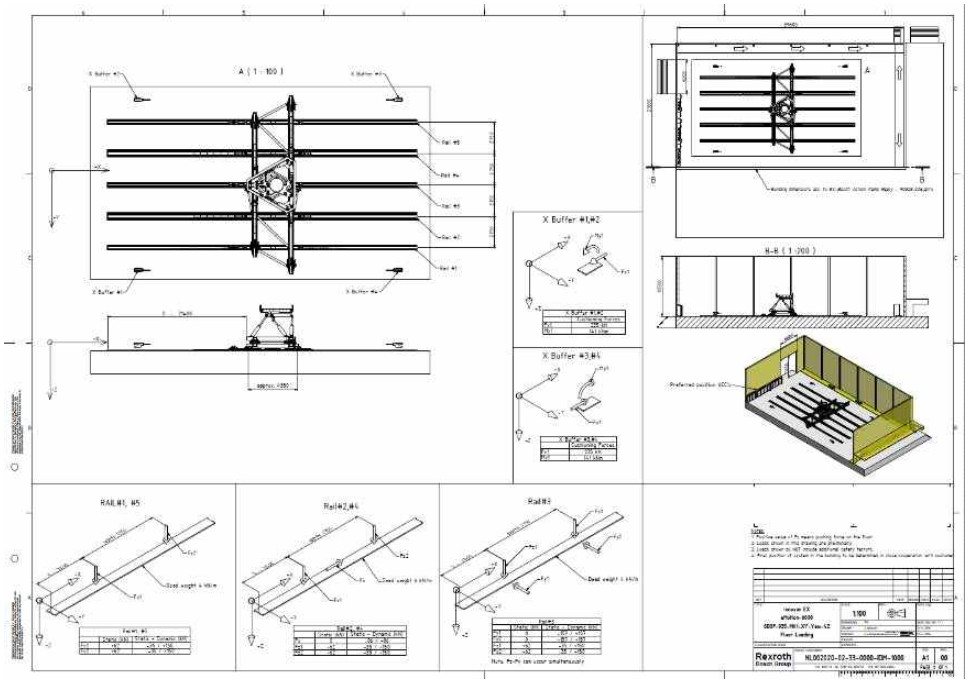


<그림 3.2.28> Bosch Motion Software

- Normal 모드의 경우 상위제어기(ex: 스캐너)와 통신하여 구동되며, Manual 모드의 경우 개별 테스트 모드로 각각의 엑츄에이터를 직접 또는 13DOF의 입력값을 통하여 구동 테스트 가능

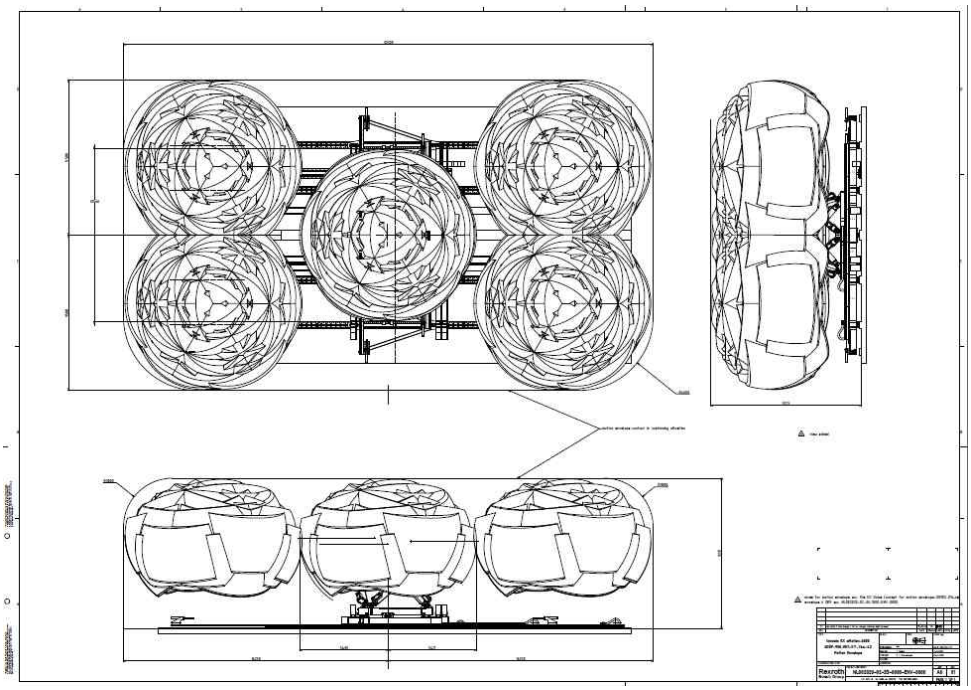
바) 13자유도 기구해석 및 예측 모델

▢ 인터페이스, 시설물, 바닥 하중



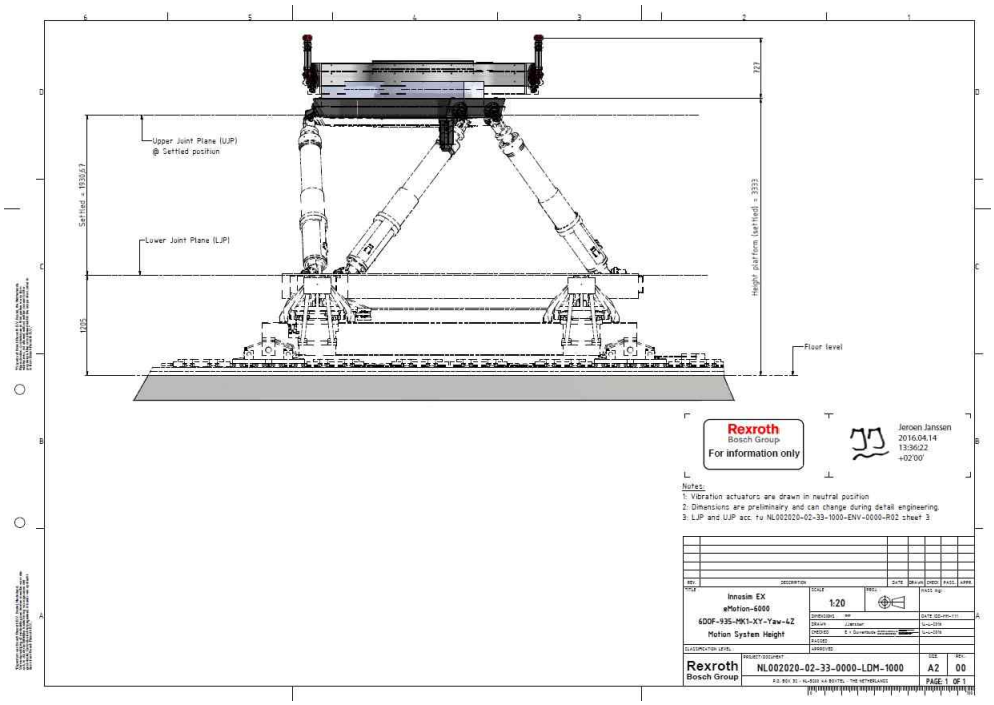
<그림 3.2.29> 모션 플랫폼 바닥 하중

▢ 모션 구동 범위



<그림 3.2.30> 모션 구동 범위

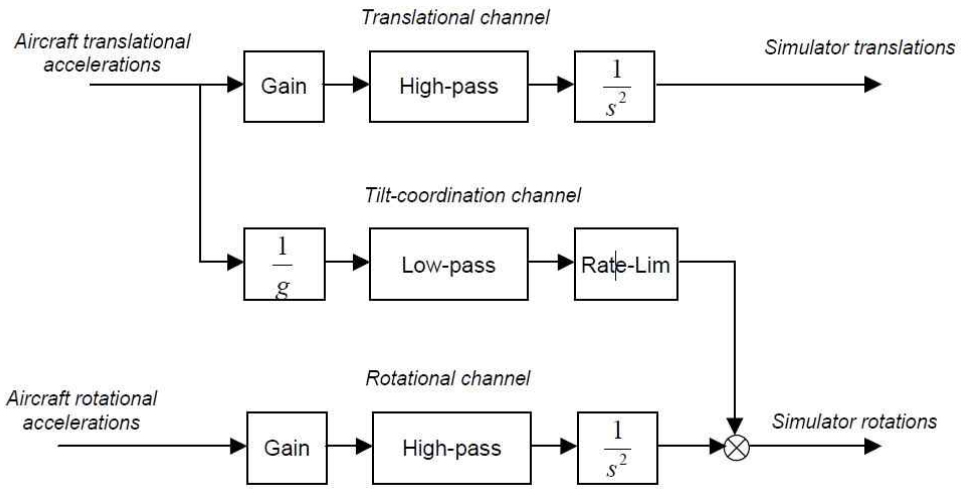
▢ 모션 높이



<그림 3.2.31> Motion Settled Position

사) 모션 능동제어 알고리즘

- 보쉬모션 시스템의 Cueing 소프트웨어는 Classical Washout Algorithm을 기반으로 구성
- 알고리즘은 시뮬레이션에서 가장 널리 알려진 알고리즘이며, 그 원리는 <그림 3.2.32>에 제시
- 병진 및 회전 가속도의 고주파수의 입력값에 의해 시뮬레이터로 재현
- 종방향 및 측방향 가속의 경우 로우패스 필터를 통과시켜 Tilt Coordination 이라는 기법을 사용하여 한방향에 대한 지속적인 가속 감각을 모방하는 것에 중력을 이용하여 재현 사용
- 또한 Washout을 통하여 모션의 운동범위 이내로 움직임을 제한해주는 필터 역할 수행

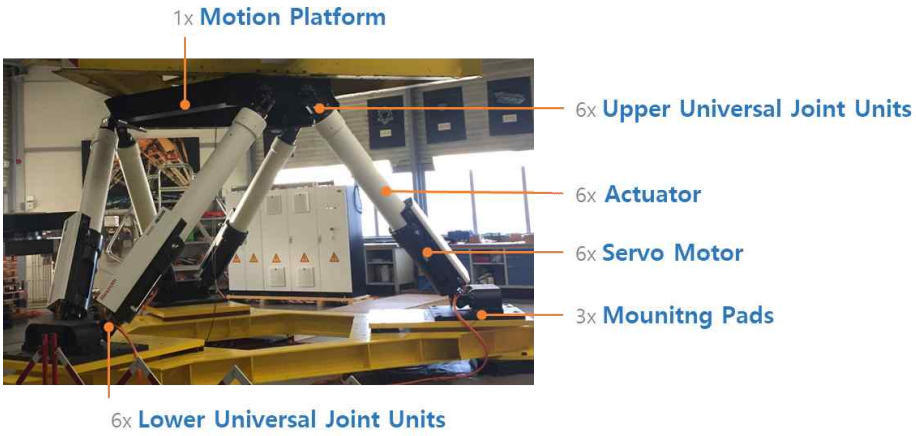


<그림 3.2.32> Classical Washout Algorithm

아) 6자유도 Stewart 플랫폼

□ 6자유도 Stewart 플랫폼 구성

· 모션 플랫폼은 6개의 Servo Actuators, 3개의 마운팅패드(Mounting Pad)와 12개의 Univeral Joint Units와 1개의 모션 플랫폼 상판으로 구성



<그림 3.2.33> Stewart Platform 구성

□ 6자유도 Stewart 플랫폼 조립

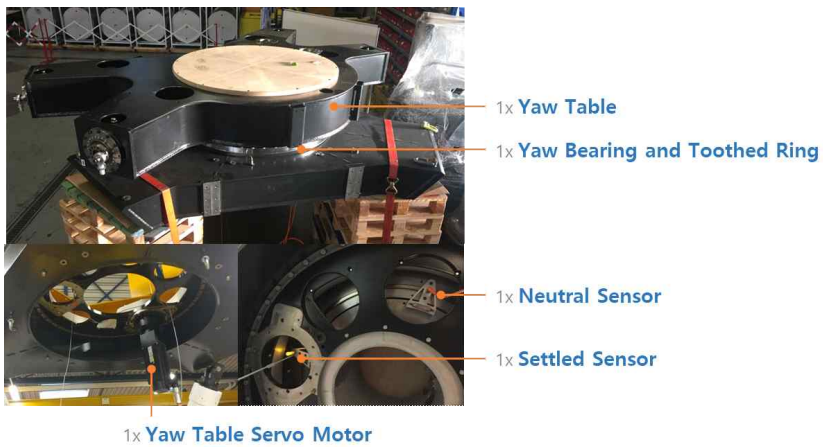
· 바닥 마운팅 패드를 설치 한 후 조립지그를 활용하여 6개의 Actuator를 모션 플랫폼 상판에 연결하여 조립

그림 <그림 3.2.34> Stewart Platform 조립

자) Yaw Table

□ Yaw Table 구성

· Yaw Table은 Yaw Table 프레임, 톱니바퀴, 베어링, 중립센서, Settled 센서, Yaw Table Servo Motor 로 구성



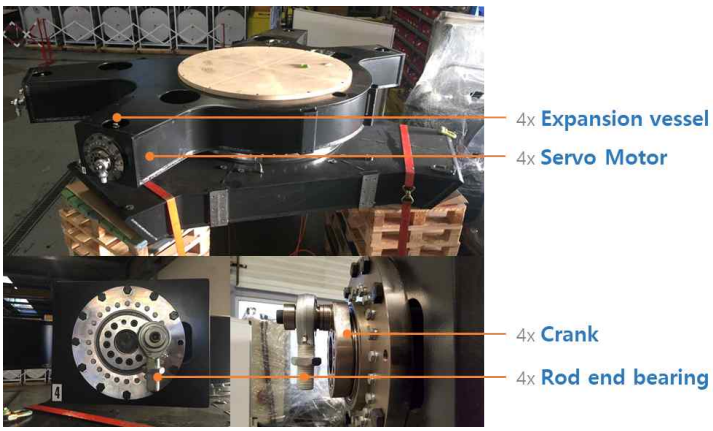
<그림 3.2.35> Yaw Table 구성

차) 노면 및 현가장치 운동 구현용 플랫폼

□ Vibration Actuator 구성

· Vibration Actuator는 Yaw Table에 설치되며 총 4개의 Servo Motor와 크랭크, 로드엔드베어링으로 이루어져 있으며, 로드엔드베어링의 Pushorod가 CarBody 프레임으로 연결되어 캐빈의 노면 및 현가장치 운동을 재현할 수 있도록 구성

·



<그림 3.2.36> Vibrator 구성

카) X-Y Rail 구축

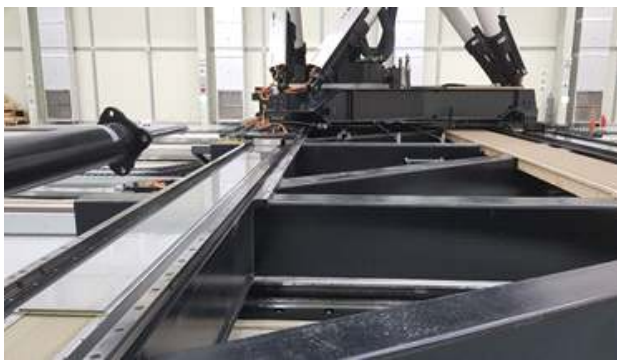
□ X-Rail

· X-Rail은 5개의 레일과 12개의 Linear motor, 바닥 마운팅 플레이트와 자석(Magnets)으로 구성
· 레일의 끝단에는 1개의 Settled 스위치와 1개의 Limit 스위치가 설치되며, 최종단에는 4개의 End Cushion이 설치
· 레일에는 Gantry가 얹어지며 이 Gantry의 Runner Block에 Linear motor가 설치되고, 각 시스템에 연결되는 케이블은 Flexible cable guide에 따라 설치

□ Y-Rail

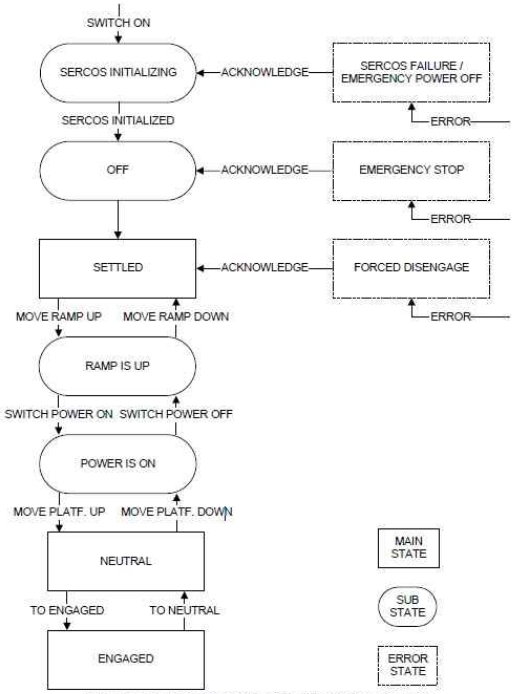
· Y-Rail은 Gantry 위에 2개의 레일과 8개의 Linear motor를 가진 Y-Table이 설치
· Y-Table에는 6Dof 모션이 설치될수 있도록 마운팅플레이트를 가지고 있으며, Gantry 레일을 따라 구동
· Gantry에는 X-Rail과 Y-Rail의 모터 Cooling 시스템이 설치된고, 각 시스템에 연결되는 케이블은 Flexible cable guide에 따라 설치

<그림 3.2.37> X-Rail 설치 사진

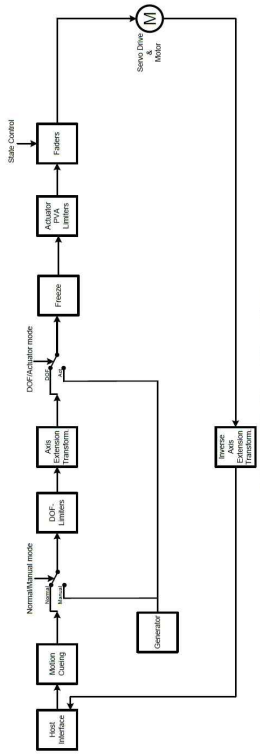


<그림 3.2.38> Y-Rail 설치 사진

타) 구동 절차 및 구동 신호흐름



<그림 3.2.39> 모션 구동 절차



<그림 3.2.40> 구동 신호 흐름

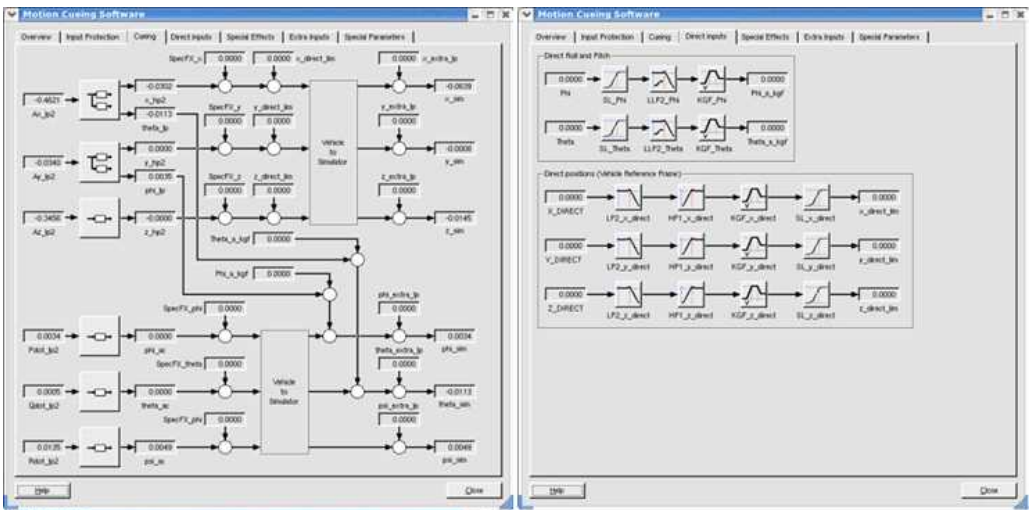
하) 운동 시스템 성능 평가 및 최적화 튜닝

· 모션 최적화 튜닝은 모션 소프트웨어에서의 Cueing과 운영프로그램인 SCANeR Studio의 모션 모듈의 Cueing 중 선택하여 튜닝가능

□ 모션 소프트웨어에서의 Cueing

· 모션 소프트웨어에서의 최적화 튜닝은 Motion Cueing Tuning Manual.pdf에 명시되어 있으며, Classical Washout Algorithm을 기반

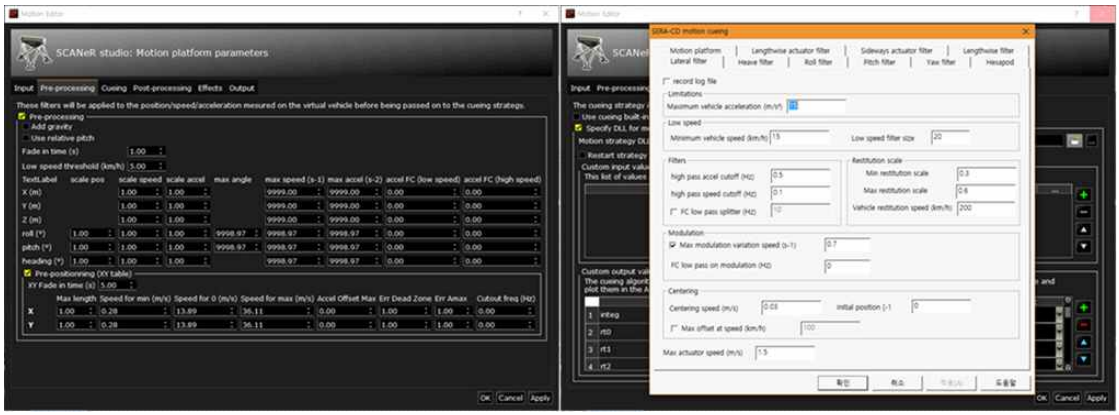
· 알고리즘은 시뮬레이션에서 가장 널리 알려진 알고리즘이며, 그 원리는 <그림 3.2.41>에 제시



<그림 3.2.41> Motion Cueing Software Filter

□ 시뮬레이션 소프트웨어에서의 Cueing

· SCANeR Studio 소프트웨어에서의 Cueing 튜닝은 모션 소프트웨어의 Cueing 알고리즘을 사용하지 않고 SCANeR Studio 자체 알고리즘을 이용하여 Cueing 수행



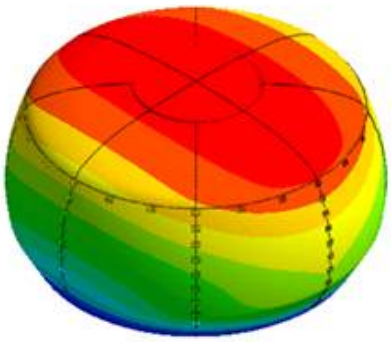
<그림 3.2.42> SCANeR Studio Cueing

5) 3차원 영상생성 및 시현 시스템

가) 돔 스크린 설계 및 해석

□ 개요

· 돔 스크린 설계 및 해석은 Bosch에서 제공하는 모션플랫폼 시스템에 적용되어 동적 거동을 하는 스크린 시스템으로 지지구조물의 정적/동적 안정성을 고려한 구조물의 변위 해석 및 응력 해석 결과를 제시
· 부가 하중을 지지하는 구조물은 정적인 강도에 대한 구조 건전성을 확보해야 하며 동적인 거동에 대한 강성 또한 확보되도록 구성
· 모션 시스템이 적용되는 시뮬레이터에 대해서는 구조 건전성의 기준이 필요하고 또한 이 기준을 만족하는 주요 부재의 형상 결정이 필요



나) 프로젝션 시스템

□ 프로젝터 사양

· 액티브, 패시브 3D 스테레오 옵션
· 다양한 컬러휠 선택
· RealColor 정확한 색상관리
· VIDI 램프 기술 적용
· 24시간 연속 운영이 가능한 설계 디자인

<그림 3.2.43> 프로젝터(F35, Baroco)

<표 3.2.5> 프로젝터 시스템 사양

구 분	내 용
기 술	Single-chip DLP® 프로젝터 LVDS DMD™
밝 기	최대 7,500 루멘
해상도	WQXGA(2560x1600)
대조비	Up to 8,000 : 1
칼라 휠	고광도/Vizsim/Vizsim Bright
램프 수명	2000시간(최대 출력)
광 원	2 x 300W UHP VIDI
입 력	2 x DVI-D, 2 x HDMI 1.3a, 2 x VGA
제 어	RJ-45 TCP/IP , RS232 ,유선원격 3.5mm 미니잭,USB
전 원	8.4A ~100-240V 50-60Hz
크 기	510 * 223 * 376 mm (WxHxD)
무 게	12.6kg(렌즈 제외)

□ 렌즈

<표 3.2.6> 렌즈 사양

구 분	내 용
포커스 범위	0.7-7.0m
투사 비율	WQXGA 0.80-1.21 : 1

<그림 3.2.44> 렌즈

□ 영상 조정장치

- 2,560x1,600 급 이상 고해상도 지원
- 다양한 Type 의 Multi Screen 지원
- 픽셀 단위 당 블랙 레벨 매칭 (정확한 픽셀 처리)
- 뛰어난 Image warping 및 Edge Blending 기능
- 완벽한 Color 매칭 조정 관리 기능
- 무제한 확장성
- 셋팅 시 지연 전무

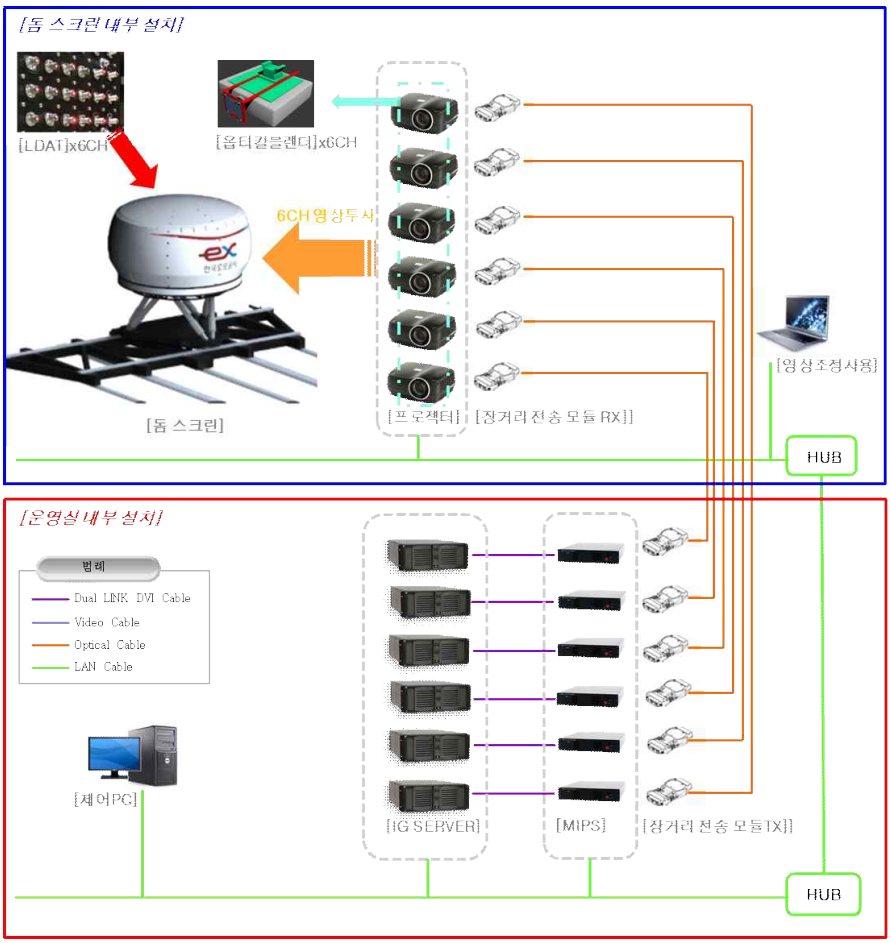
<그림 3.2.45> MIPS

<표 3.2.4> 영상 조정장치 사양

구 분	내 용
해상도	2,560 x 1,600(WB2560)
칼 라	12 bits per color
기 능	Geometry correction, Blending, Color correction & matching, Uniformity correction & matching
확장성	Unlimited channels
입/출력	Dual Link DVI in/out , Ethernet(control), IEC power connector
컨트롤	Pronet™ setup and calibration tool Automatic camera setup(슘)
Display Type	100-120 VAC, 200-240 VAC, 50/60 Hz,<30W
크 기	216(W)mm x 43.5(H)mm x 275.5(D)mm

□ 프로젝터 구성도

돔 스크린 내부에는 영상 투사에 필요한 최소한의 장치인 프로젝터와 LDAT만 설치되고 그외 나머지 장비는 모두 운영실에 설치하여 유지보수 및 운영의 편의성 증대 및 돔 내부 무게 절감 효과 확보



<그림 3.2.46> MIPS 영상 시스템 구성도

□ 영상 채널 간 Dynacolor 기능 적용 및 정밀 조정

(1) 프로젝터 및 영상 조정장치 점검

· 측정장비를 활용하여 프로젝터 컬러를 측정하여 동일한 색상을 표현하도록 셋팅

<그림 3.2.47> MIPS 측정장비 : KONICA MINOLTA CL200

(2) 컬러 매칭

<그림 3.2.48> 컬러 매칭

(3) 화면 테스트

· 컬러 셋팅된 프로젝터를 2대씩 동시 출력하여 동일한 출력으로 나타내도록 설정한다.

<그림 3.2.49> 화면 테스트

□ 스크린상 이미지 가하 학적 무결성 정 및 패턴 프로그램을 이용한 화면 조정

(1) EDID 셋팅

· IG(Image generator)와 영상조정장치(MIPS)는 일반 Dual Link DVI로 연결하고, 영상조정장치와 프로젝터는 광모듈 및 광케이블로 연결하여 영상 해상도를 WQXGA(2560x1600)으로 EDID 셋팅한다.

<그림 3.2.50> EDID 셋팅

□ DEP 확정 및 스크린 포인트 측정

· 돔 스크린 중심점인 DEP(0점)을 체크하고, 광파기를 이용하여 스크린 중심에서 채널별 스크린 사이즈를 체크한다. 돔 스크린에는 영상 지오메트리 작업을 위하여 DEP에서 스크린 사이즈 및 LDAT 포인트를 고려하여 10deg씩 포인트를 체크한다. (측정장비: SINCON 무타켓광파기 NTS -332R)

(1) 광파기 설치 및 셋팅

<그림 3.2.51> 광파기

<그림 3.2.52> 광파기 설치 및 셋팅

(2) DEP 위치에서 스크린 거리 측정

· DEP 위치에서 스크린의 전면 중심점을 기준으로 360deg 각 스크린 면마다 거리를 측정

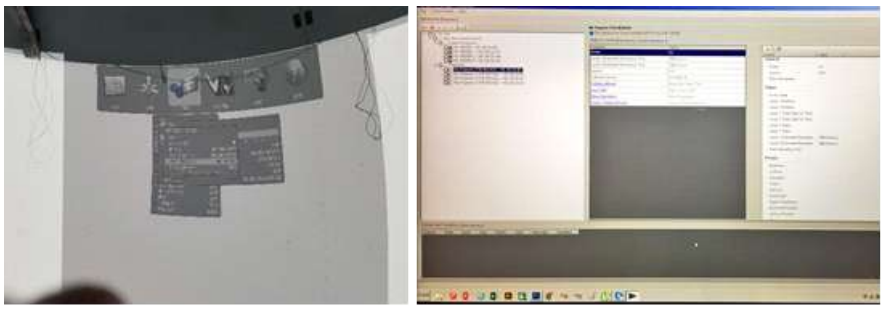
<그림 3.2.53> DEP 위치에서 스크린 거리 측정

(3) 프로젝터 영상 투사 화면 크기 및 영상 위치 셋팅

· 프로젝터 설치 후 스크린에 투사되는 화면 영역을 중첩부분(블랜딩존) 및 스크린의 FOV를 고려하여 균일하게 영상화면 크기 및 위치 셋팅 진행

<그림 3.2.54> 프로젝터 영상 투사 화면 크기 및 위치 셋팅

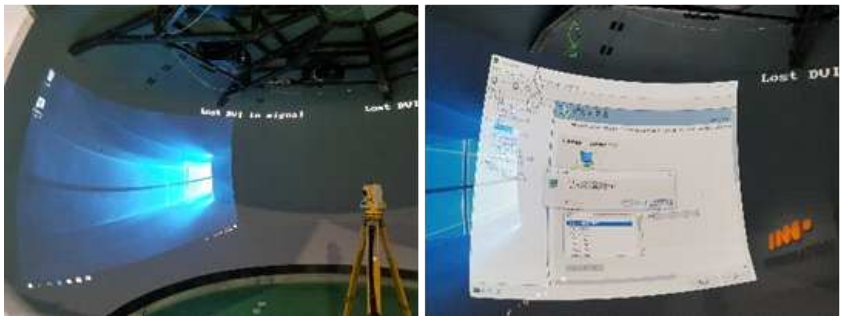
(4) 프로젝터 IP 주소 셋팅



<그림 3.2.55> 프로젝터 IP 셋팅

(5) 영상 케이블 및 IG, 영상조정장치 연결 및 셋팅

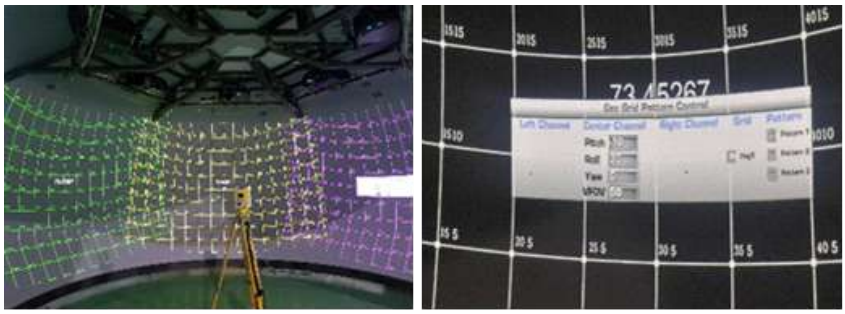
· IG -> 영상조정장치 -> 프로젝터 연결 -> 해상도 설정



<그림 3.2.56> 영상 IG 및 영상조정장치 연결

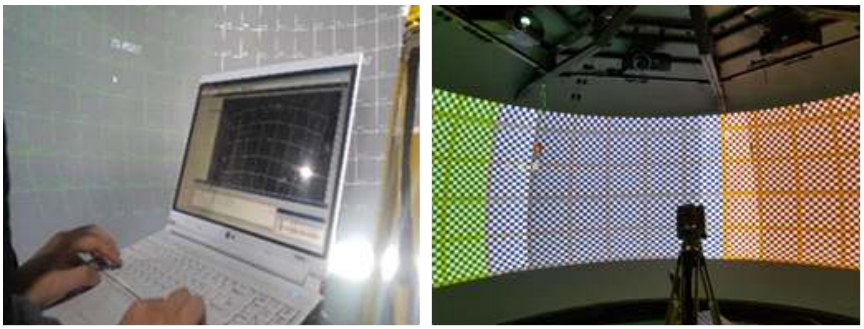
(6) 화면 지오메트리 셋팅(Image Wapping)

· 지오메트리 보정 전



<그림 3.2.57> 지오메트리 보정 전

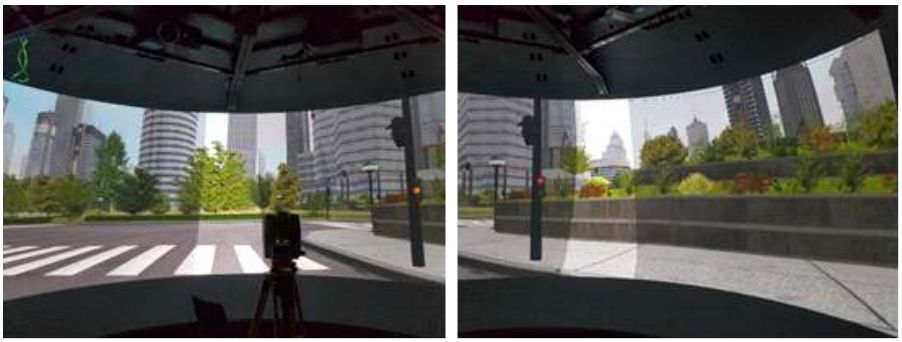
· 지오메트리 보정 후



<그림 3.2.58> 지오메트리 보정 후

(7) IG 영상 통합

· IG 영상 설정 화소가 프로젝터 영상 셋팅 값을 확인하여 화면 표출에 문제없도록 설정하고 지오메트리 보정 확인 및 중첩부분 확인

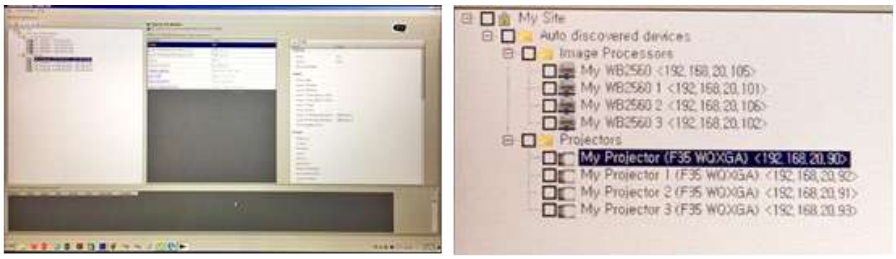


<그림 3.2.59> IG 영상 통합

(8) 화면 중첩 Edge Blending 셋팅

<그림 3.2.60> Edge Blending 설정

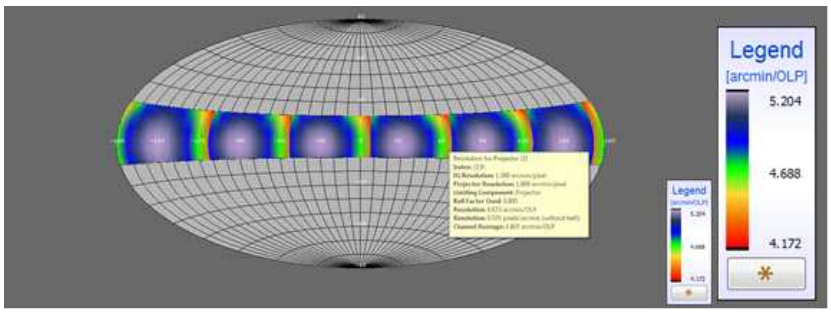
(9) 영상기기 컨트롤 셋팅



<그림 3.2.61> 영상기기 컨트롤 설정

▢ 영상 시스템 조정 결과

(1) 해상도

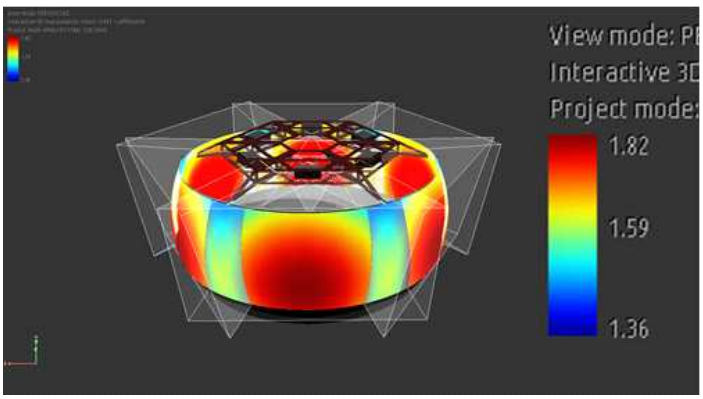


<그림 3.2.62> 영상 설계 결과

No	HFOV	VFOV	표면 해상도	Arcmin/pixel
CH1	73.45267	50	$\sqrt{\frac{(73.45267)(50)(3600)}{4096000}} x \frac{2}{Kell(0.8)}$	4.475
CH2	73.45267	50	$\sqrt{\frac{(73.45267)(50)(3600)}{4096000}} x \frac{2}{Kell(0.8)}$	4.475
CH3	73.45267	50	$\sqrt{\frac{(73.45267)(50)(3600)}{4096000}} x \frac{2}{Kell(0.8)}$	4.475
CH4	73.45267	50	$\sqrt{\frac{(73.45267)(50)(3600)}{4096000}} x \frac{2}{Kell(0.8)}$	4.475
CH5	73.45267	50	$\sqrt{\frac{(73.45267)(50)(3600)}{4096000}} x \frac{2}{Kell(0.8)}$	4.475
CH6	73.45267	50	$\sqrt{\frac{(73.45267)(50)(3600)}{4096000}} x \frac{2}{Kell(0.8)}$	4.475

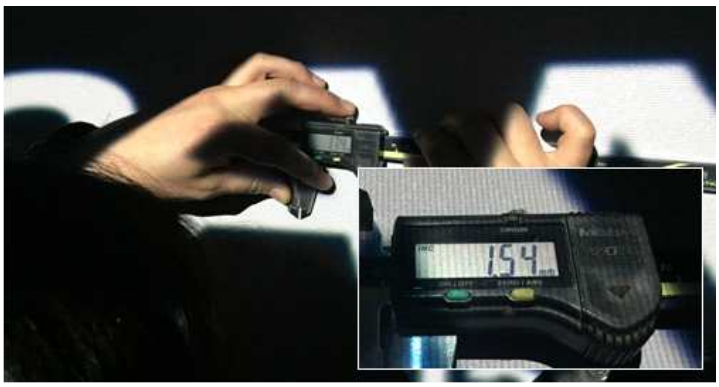
(2) 픽셀 사이즈

· 설계 결과 : 1.7mm



<그림 3.2.63> 픽셀 사이즈 설계 결과

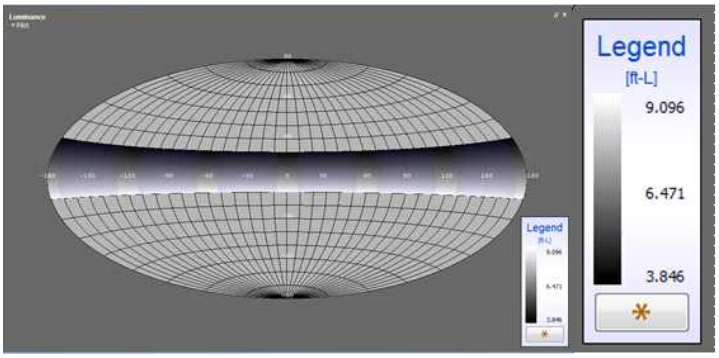
· 측정 결과 : 1.5mm
· 테스트 패턴 : 프로젝터 Full White 패턴
· 측정 방법 : 스크린 중앙 부분에서 픽셀 단위를 Vernier Calipers로 측정



<그림 3.2.64> 실제 픽셀 측정 결과

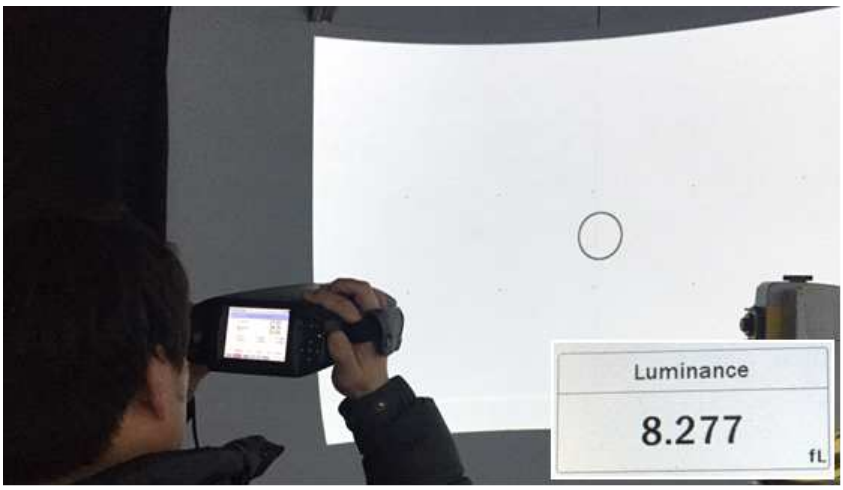
(3) 밝기

· 영상 설계 결과 : 평균 6FL



<그림 3.2.65> 밝기 설계 결과

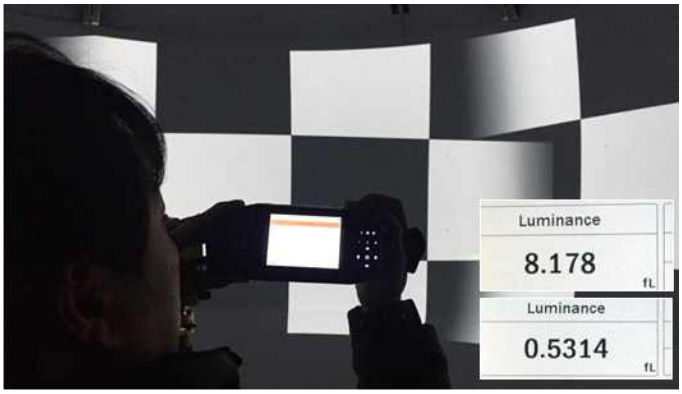
· 측정 결과 : 평균 8FL 이상
· 테스트 패턴 : 프로젝터 Full White 패턴
· 절차 : 외부 빛은 완전하게 차단하고 각 채널의 중앙에서 밝기를 측정
· 측정장비 : SpectraScan® Spectroradiometers



<그림 3.2.66> 밝기 측정 결과

(4) 대조비

- 영상 설계 결과 : 12:1
- 측정 결과 : 16:1
- 테스트 패턴 : White, Black의 격자무늬 패턴
- 절차 : 격자무늬 패턴을 투사하여 임의 선택된 1개의 흰색 구역의 밝기를 컬러미터로 측정
- 임의 선택된 1개의 검은색 구역의 밝기를 컬러미터로 측정
- 측정장비 SpectraScan® Spectroradiometers



<그림 3.2.67> 대조비 측정 결과

<표 3.2.5> 프로젝션 시스템 성능 측정 결과

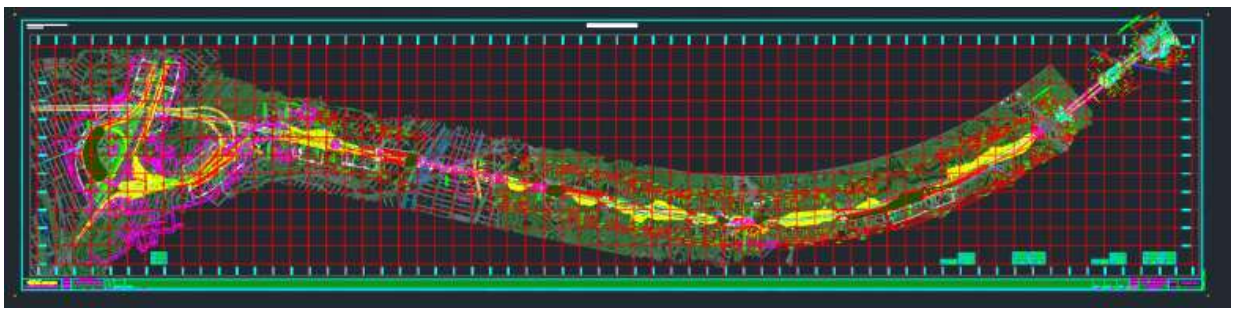
구분	설계 사양	측정 결과
Dome Screen	Ø6.2M	Ø6.2M
Projector	BARCO F35 (2,560 x 1,600)	BARCO F35 (2,560 x 1,600)
Brightness	7,500 루멘	7,500 루멘
FOV	360˚ X 35˚	360˚ X 40˚
Grid Angle	5˚ 간격	5˚ 간격
Brightness(0.5Gain)	6FL	8FL
명암비	12:1	16:1
Pixel Resolution	4.8arcmin/OLP	4.8arcmin/OLP
Pixel Size	1.7mm	1.5mm

6) 가상주행환경 영상 데이터베이스

가) 개요

- 가상주행 환경을 구축할 때 다양한 방법을 활용하여 제작 가능
- 정밀 도로 제작은 CAD 도면을 활용하는 방법과 국토정보지리원에서 제공하는 SHP 파일 활용

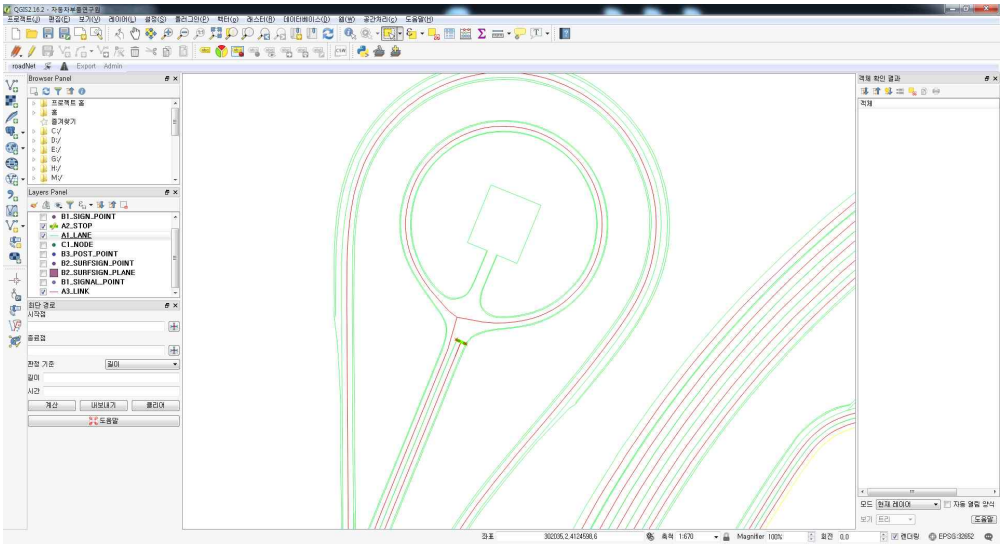
나) CAD 도면을 활용한 정밀도로지도 DB 제작 방법



<그림 3.2.68> CAD 도면활용 예시

다) 국토정보지리원 SHP 파일을 활용한 정밀도로 DB 제작 방법

▢ QGIS 프로그램을 이용하여 SHP 파일을 불러들여서 도로 형태 확인

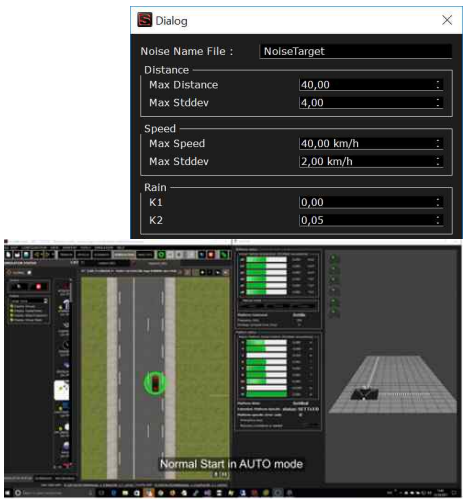


<그림 3.2.69> 국토정보지리원 SHP 파일 활용 예시

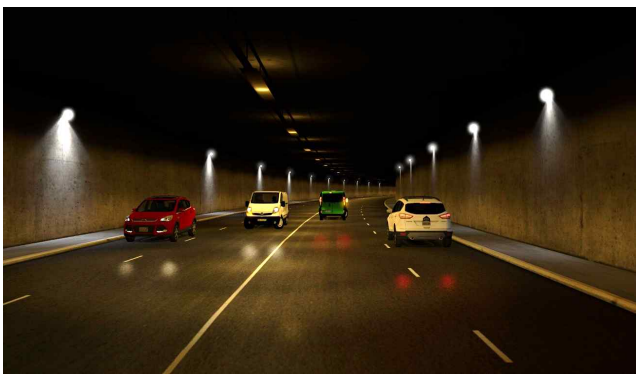
.

7) 운영 및 모니터링 통합 시스템

가) SCANeR Studio 1.8



- 64bit 전용 지원
- Advanced materials
- BRDF 지원
- Bump map
- Specular map
- Ambient Occlusion map
- CALLAS 4.9
- Autonomous vehicle control
- Sensors
- Noise model(Distance, Speed, Rain, Snow)
- Motion
- Manual mode
- Visual : HMD Support
- (HTC VIVE + OpenVR, SMI Tethered Eyetracker)
- Eye Tracker (FOVIO)
- Physio(ANT+)
- New rendering pipeline
- High quality
- High performances
- New BRDF data
- New Wet road analytic model
- Dedicated AntiAliasing
- HDR(10bits per component with Quadro)
- Night test configuration
- Rear light IES

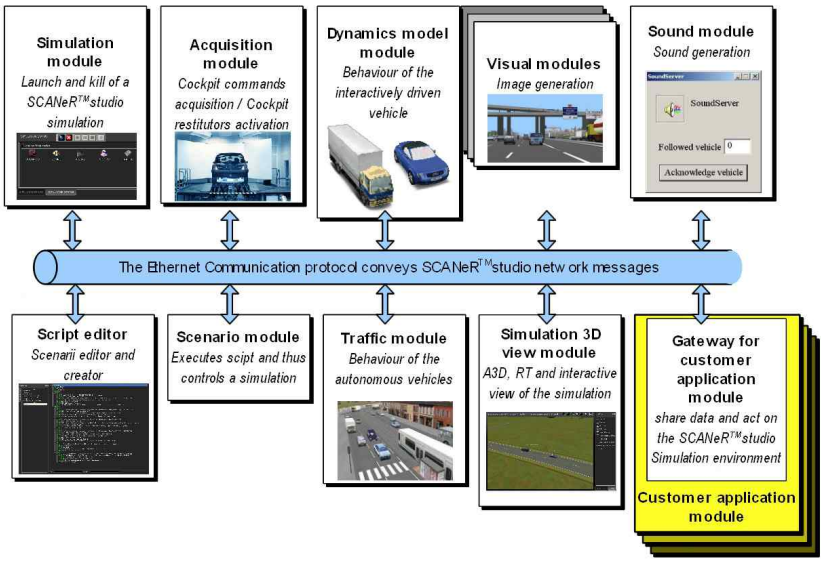


나) SCANeR Studio API 호환성

- SCANeR Studio는 Microsoft Visual Studio C++ 2013의 컴파일러를 기준으로 API(Application Programing Interface)를 지원한다. 서드파티로 Matlab R2011a과 R2013b와 호환
- 다만 Simulink모델을 구축하려면 Simulink R2013b와 호환되는 컴파일러를 구축해야 하며, RTMaps 4.1(32bit) 4.2(32bit, 64bit)와 호환되야함

다) SCANeR Studio 기능

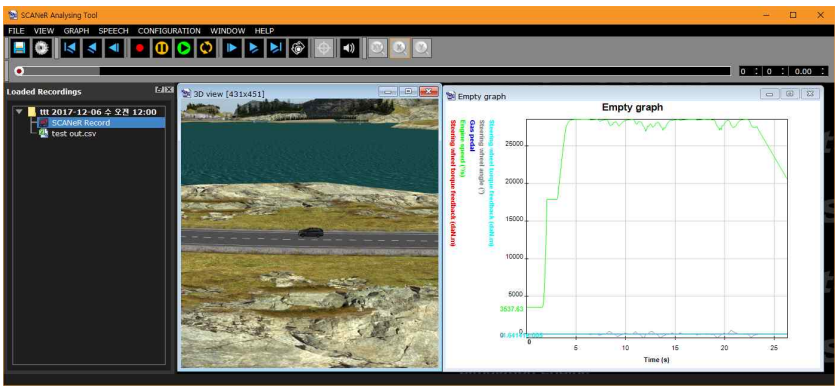
- SCANeR Studio API는 SCANeR의 각각의 모듈을 Ethernet을 통하여 메시지를 통해 통신하며, 각각의 모듈을 직접 제어하거나 해당 데이터를 직접 취득 가능



<그림 3.2.67> SCANeR Studio 기능

마) SCANeR Studio Analysis

- SCANeR Studio에 내장된 분석 프로그램인 Analysis는 시나리오 주행시 Recode 모듈을 활성화 시켜 데이터를 취득
- 취득된 항목을 더블 클릭하여 SCANeR Analysing Tool을 활성화 한 뒤 View 탭에서 차량의 시점을 변경하여 3D View를 확인 가능
- Graph탭의 New Custom Graph 항목에서 확인하고자 하는 데이터를 그래프로 출력하여 확인 가능



<그림 3.2.67> SCANeR Studio Analysis

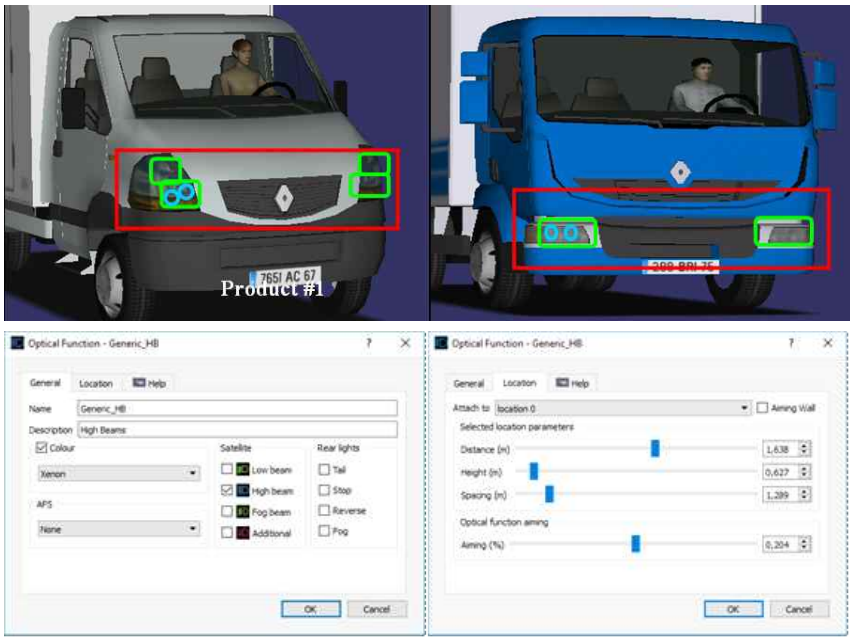
- 데이터의 엑셀 출력을 위하여 Graph탭의 Current Graph항목의 Export to csv 메뉴를 통해 엑셀 파일로 변환하거나 동영상으로 저장 가능
- 주행한 데이터를 위와 같이 그래프 또는 csv파일 출력을 통하여 시나리오 데이터 수집 및 분석 수행

바) 전조등 시뮬레이션 소프트웨어 구축

- 전조등 시뮬레이션은 차량 전조등의 조사거리, 조사량, 강도, 위치 등을 조절하여 사용자가 원하는 형태의 광원을 제작 가능
- SCANeR Studio의 Night Test Manager 모듈을 활용하여 차량의 라이트의 타입을 설정하고 구현 가능

<그림 3.2.68> SCANeR Studio Night Test Manager 예시

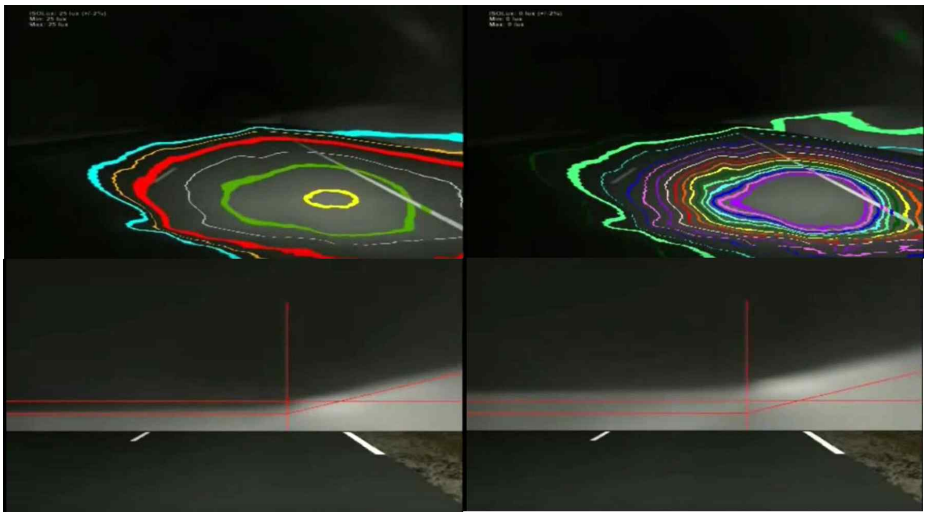
□ 라이트의 위치, 종류 설정 방법



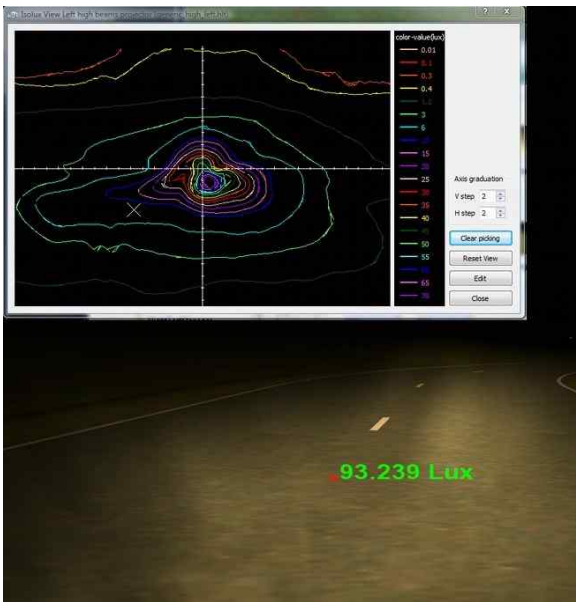
<그림 3.2.69> 라이트의 위치, 종류 설정 방법

□ 전조등 시뮬레이션 기능

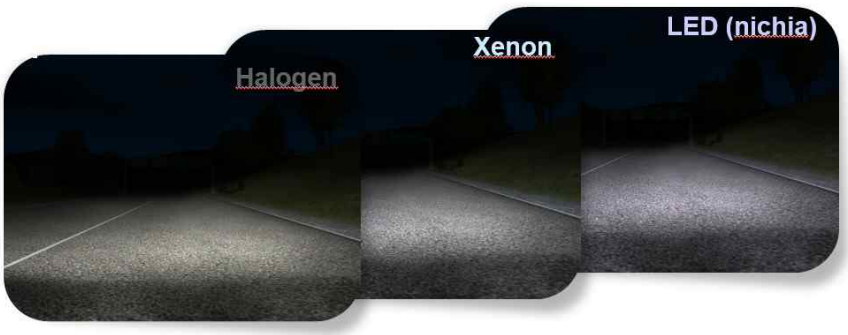
<그림 3.2.70> 헤드라이트의 방향에 따라 설정 변화 예시



<그림 3.2.71> isolux curves 변경 및 Aiming wall 조정 예시 (cut off)



<그림 3.2.72> 2D isolux 설정 및 마우스 포인터
위치의 lux값 확인 예시



<그림 3.2.73> 광원의 종류에 따른 변화 예시

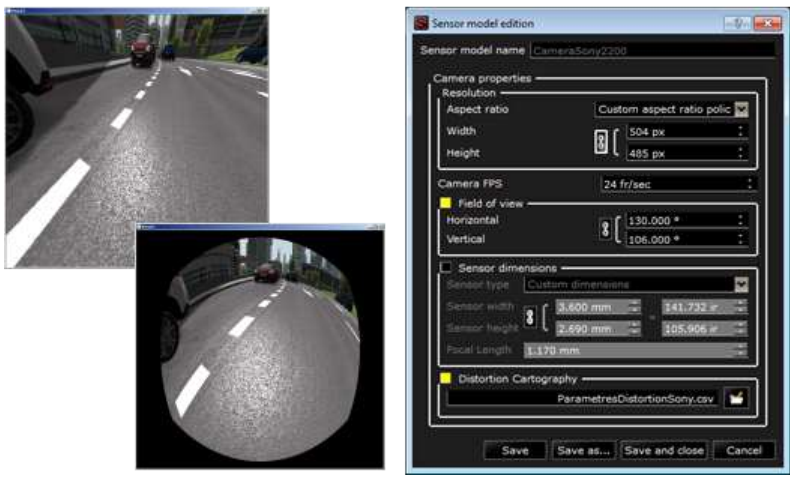
<그림 3.2.74> 안개등 효과

<그림 3.2.75> 도로 BRDF 효과에 따른
변화 예시

사) 센서 시뮬레이션 소프트웨어 구축

□ Camera Sensor

- 카메라 센서는 차량에 부착된 카메라를 사용하여 시뮬레이션 가능
- 주차보조 카메라, 전방 이미지 프로세싱용 카메라로 활용 가능
- 카메라센서는 차량에서 사용자가 원하는 위치에 부착할 수 있으며, 센서의 크기, 화각, 굴절, 왜곡, 출력 위치, 방향, 초점거리, 카메라의 개수 등을 변경 가능



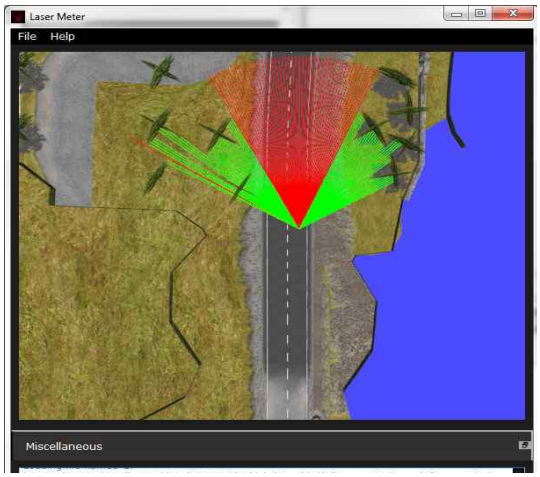
<그림 3.2.76> Camera Sensor

□ LaserMeter

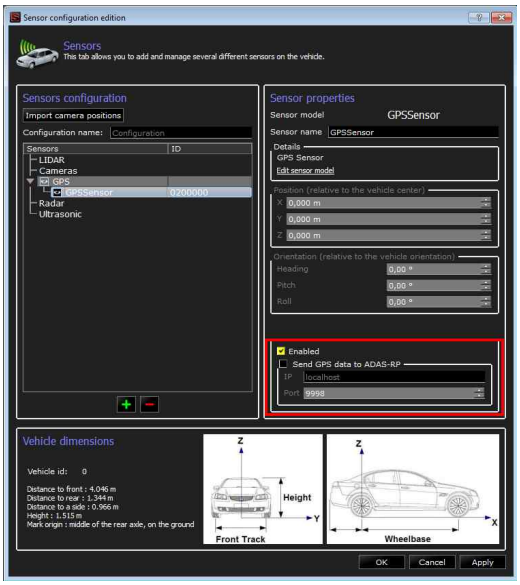
· 레이저를 이용하여 가상현실의 3D오브젝트, 즉 차량, 사람, 물체, 나무, 건물 등을 탐지하여 대상의 위치와 방향 정보습득
· 녹색으로 표시된 레이저 형상은 사물이 탐지된 부분, 적색으로 표시된 레이저 형상은 탐지되지 않은 부분을 의미

□ GPS

· GPS 센서를 장착한 차량의 위치를 RoadXML을 이용하여 wgs84 좌표(위도, 경도, 고도)로 변환하며, 변환된 데이터는 네트워크를 통하여 다른 모듈이나 장비에 전송하여 활용 가능
· 시뮬레이션에서 차량의 sensor 속성에서 GPS Sensor를 추가하여 사용



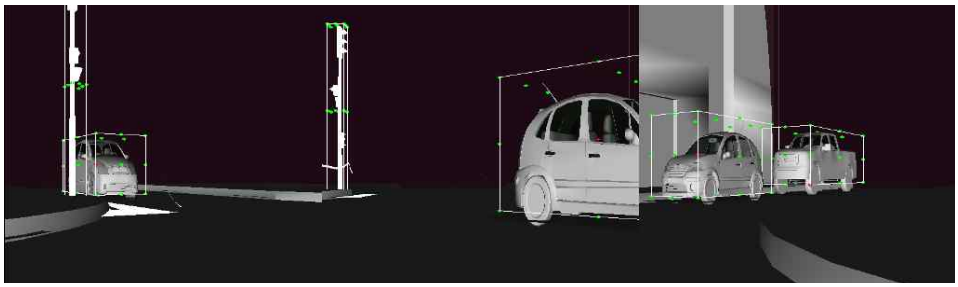
<그림 3.2.77> LaserMeter

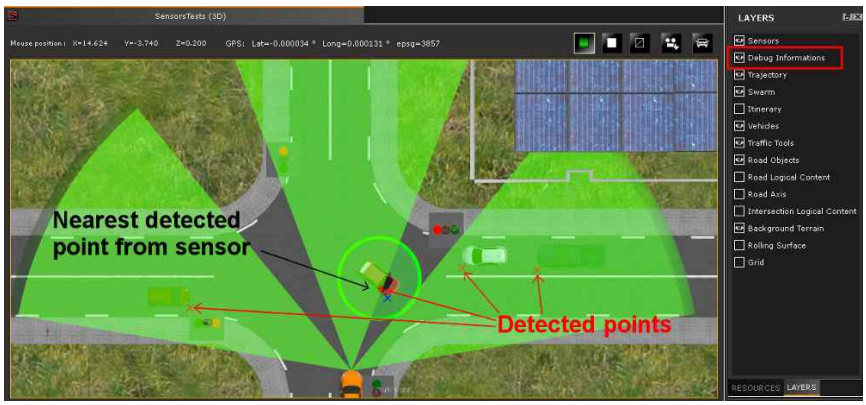


<그림 3.2.78> GPS 모듈

□ Radar Sensor

· 라이더 센서는 설정된 센서 감지 구역 내에 있는 타겟을 탐지 가능
· 적색 지점은 탐지된 대상과의 라이더 센서와의 충돌지점을 나타내며, 녹색 지점은 검출된 점 중 가장 가까운 점을 나타내며, 파란색 지점은 상대속도 벡터 끝점을 나타냄을 의미





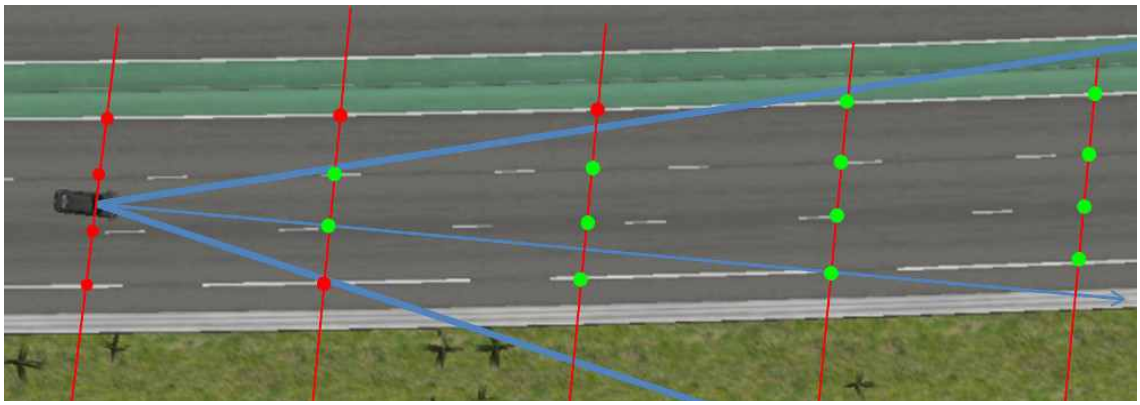
<그림 3.2.79> Radar Sensor

▢ Ultrasonic

· 초음파 센서는 센서 감지영역 중 가장 가까운 점을 계산
· 단, 도로의 표식은 무시가능하며, 이점을 활용하여 초음파 센서가 무시해야 하는 객체에 “asphalt”, “marquage”, “road”, “marking”과 같은 명칭을 포함

▢ Road Sensors

· Road Sensors는 도로의 표식점을 탐지하여 센서와의 교차점을 측정하고 차량이 교차지점을 통과하면 도로의 표시를 감지

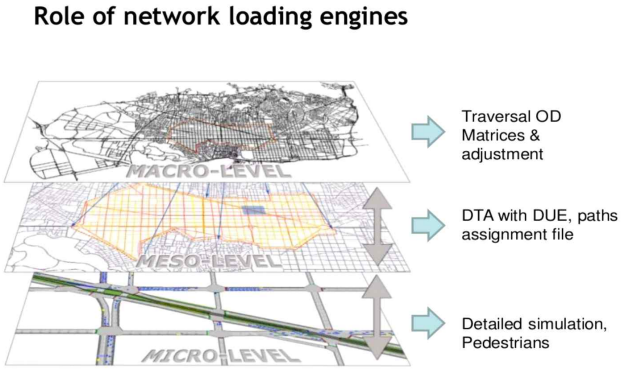


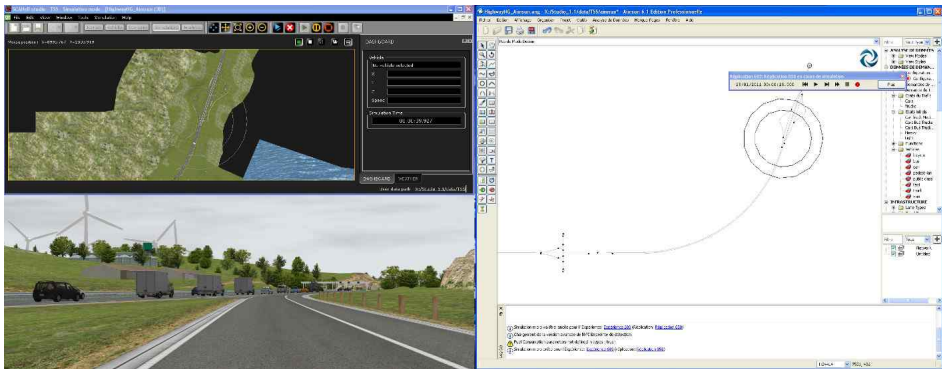
<그림 3.2.80> Road Sensor

아) 교통 시뮬레이션 소프트웨어 구축

▢ Aimsun

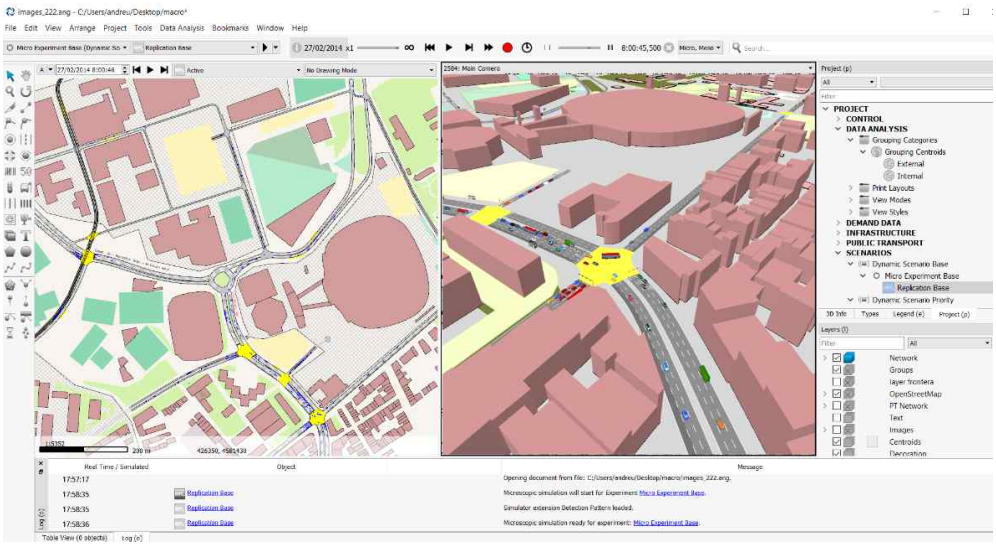
· Aimsun 소프트웨어는 작은 교차로부터 큰 도심 전체의 트래픽을 구성하여 실험 할 수 있는 소프트웨어
· 거시적 관점에서의 교통량과 미시적 관점에서의 교통량을 구현하여 분석, 측정 가능
· 미시적 관점에서의 교통 시뮬레이션의 경우 주변 건물의 교통 혼잡도 발생요인, 신호등 제어 등을 구현
· SCANeR Studio와 연동하여 발생하는 트래픽을 SCANeR Studio의 Visual 적인 형상으로 볼 수 있으며 직접 운전하여 해당 트래픽과 상호작용 가능





<그림 3.2.81> Aimsun과 스캐너 연동

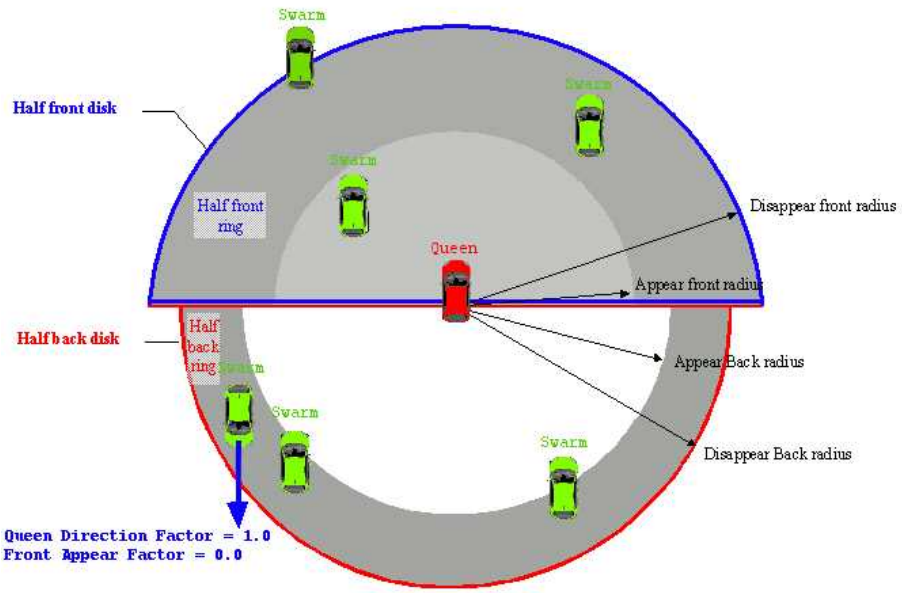
· 일반적으로 응용할 수 있는 부분의 예시
- TSP(Transit Signal Priority) 및 BRT(Bus Rapid Transit) 체계 평가 및 최적화
- 고속도로 개선
- 도로 환경 영향 분석
- 신호 제어 계획 최적화 및 적응 제어 평가
- 안전 분석
- 고속도로 용량 분석
- 가변 속도 정책 및 지능형 교통시스템 평가
- Aimsun 소프트웨어는 도로, 건물, 신호등 등을 편집할 수 있는 GUI 툴을 가지고 있으며, OpenStreetMap 데이터를 불러와서 바로 적용하여 도로 생성



<그림 3.2.82> Aimsun OpenStreetMap load

□ SCANeR Studio Traffic

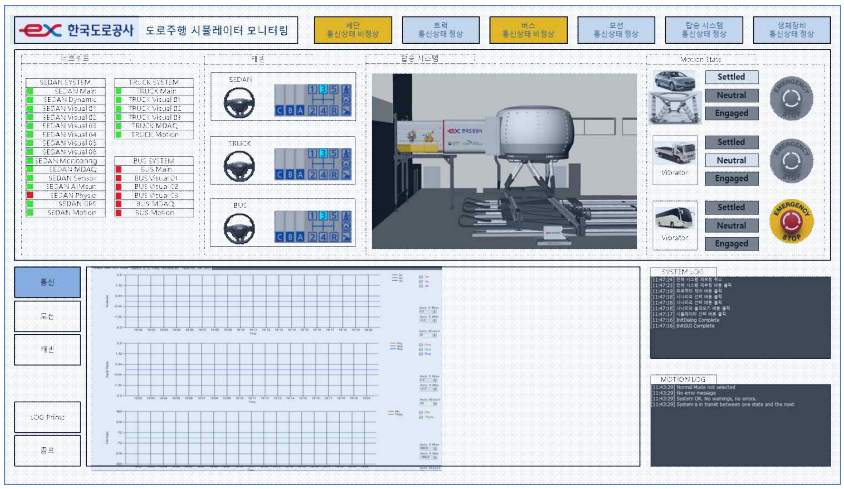
· SCANeR Studio의 Traffic 모듈의 기능 중 하나로 Queen의 기능을 이용하여 주변 교통량을 조절 가능
· Queen 차량을 기준으로 전방과 후방에서 나타날 차량의 종류와 차량의 대수를 결정하여 트래픽을 유발



<그림 3.2.83> SCANeR Studio Queen Traffic

자) 운영 모니터링 소프트웨어

- 운영 모니터링 소프트웨어는 SCANeR Studio, 모션시스템, 캐빈, 탑승대, 보조시뮬레이터, 생체신호 측정장비, GPS 시뮬레이터와 같은 전체 시스템의 연결상태, 구동상태를 확인하고 SCANeR Studio에서 취득하지 못하는 서드파티 데이터를 취득하여 운영자가 필요한 데이터를 출력하는 기능 보유
- 사용자가 실험에 필요한 데이터를 선택하여 그래프로 확인하거나 결과 데이터 활용을 위하여 csv 파일로 출력



<그림 3.2.84> 운영모니터링 소프트웨어

- 운영 모니터링 소프트웨어의 상단바를 확인하여 한눈에 각 장비들의 연결 완료 상태 또는 에러 상태를 확인 가능
- 연결 완료가 되지 않은 장비가 있을 경우 세부 항목을 통하여 미완료된 항목을 확인 가능
- 또한, 각 시뮬레이터를 운전자가 어떠한 조작을 하고 있는지 간단하게 확인할 수 있으며, 안전에 유의해야 하는 탑승시스템, 도어, 비상정지, 모션상태는 한눈에 알 수 있도록 이미지로 표현
- 각각의 동작상태는 log로 저장되며, 문제 발생시 log 기록을 확인하여 이력을 확인할 수 있으며, 시뮬레이션 구동 완료 후 데이터 처리를 위하여 Pirnt 프로그램을 통항여 취득된 데이터를 그래프로 확인하거나 파일로 출력하여 실험 결과 분석 가능

8) 운영자 통합 제어 콘솔, 관찰자 스테이션

가) 운영자 통합 콘솔 시스템

- 도로주행 시뮬레이터의 제어 및 통제를 위하여 시뮬레이터 운영실에 중앙통제장치를 운영
- 본 중앙통제장치를 이용하여 시뮬레이터를 운영하며, 최소 1인이 모든 장치를 제어하고 모니터링하며 통제할 수 있도록 시스템 구성

<그림 3.2.85> 메인 운영 통합 콘솔 시스템 구성

<그림 3.2.86> 보조 운영 통합 콘솔 시스템 구성

나) 운영자 통합 콘솔 모니터 구성

- 운영자 통합 콘솔 모니터의 구성은 가장 많이 활용하는 프로그램과 운영 중 확인해야 하는 프로그램 순서로 배치
- 벽면에는 대형 모니터가 설치되며 차량 정면뷰 영상과 장비 전체를 확인 할 수 있는 카메라 영상이 설치
- 운영자는 구동전 카메라 영상을 확인하여 주변 안전사고를 미연에 방지하고 구동 중 문제 발생 시 확인 가능

<그림 3.2.87> 콘솔 모니터 배치

9) HILS 기반 각종 계측 장비 및 평가장치

가) 자율주행차 AI 개발 플랫폼 Nvidia Drive PX2 구축

- SCANeR studio는 실도로를 모사하여 가상의 도로 DB를 구축하고 동역학 모델이 탑재 된 가상의 차량 시뮬레이션 환경을 구축해주는 드라이빙 시뮬레이션 엔진
- SCANeR studio는 단순 도로의 형태뿐만 아니라 차선, 도로폭, 재질 등의 세부적인 속성 편집을 바탕으로 이를 시각화하여 실제 도로를 주행하는 느낌 부여
- 또한 횡단보도, 도로 표지 등의 각종 교통 환경을 적용할 수 있으며, 경사, 높낮이 적용 등의 물리적인 속성을 부여 가능
- 사용자는 이렇게 구축된 가상의 도로 환경을 바탕으로 가상의 차량 모델에 가상의 센서를 부착하여 시뮬레이션을 해볼 수 있으며, 부착된 센서에서 나오는 데이터를 이용하여 자율주행 기술 구축을 위한 알고리즘을 테스트 검증 가능
- NVIDIA Drive PX2는 자율주행차량에 탑재되는 플랫폼으로 차량 주변에서 발생하는 상황을 실시간으로 파악하여 HD 맵상에서 탑재 차량을 정확하게 위치시키고 안전한 경로를 계획해줄 수 있는 GPU기반의 초소형 컴퓨터
- 이러한 Drive PX2를 이용하여 딥러닝, 센서 융합 및 영상처리 능력 등을 통해 각종 자율주행 알고리즘의 개발 가능

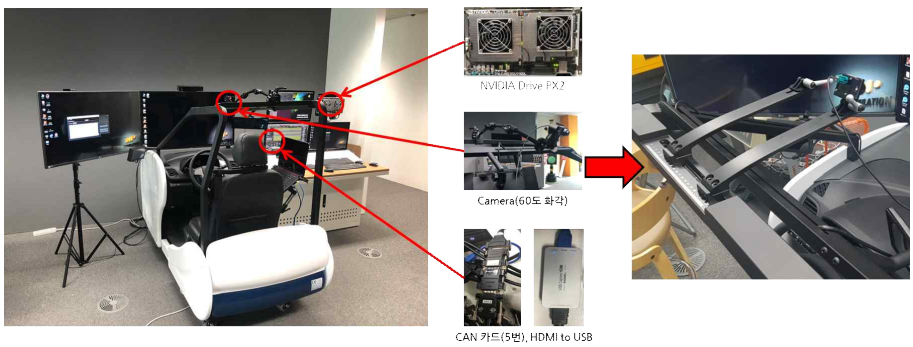
<그림 3.2.88> SCANeR Studio와 Nvidia Drive PX2

- 주행 시뮬레이션 엔진 SCANeR studio로부터 나온 주행영상을 Drive PX2가 입력 받아 Drive PX2 내부에 탑재 된 ADAS 알고리즘에 의해 가상 주행 기반의 차량을 컨트롤
- 개발된 ADAS 알고리즘은 딥러닝 기반의 가상환경에서의 학습을 통해 ADAS 기능을 구현하며, 상기 과정을 통해 가상 시뮬레이션에서 실차와 유사한 환경을 구축하여 로직 검증 가능

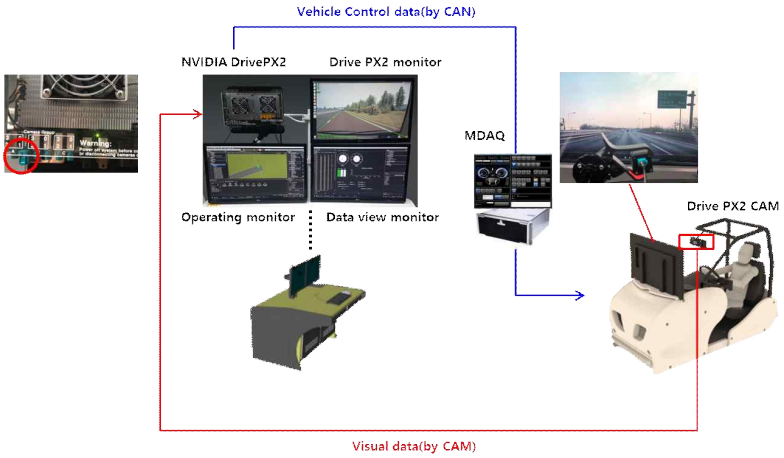
나) Nvidia Drive PX2 구성

▢ 하드웨어 구성

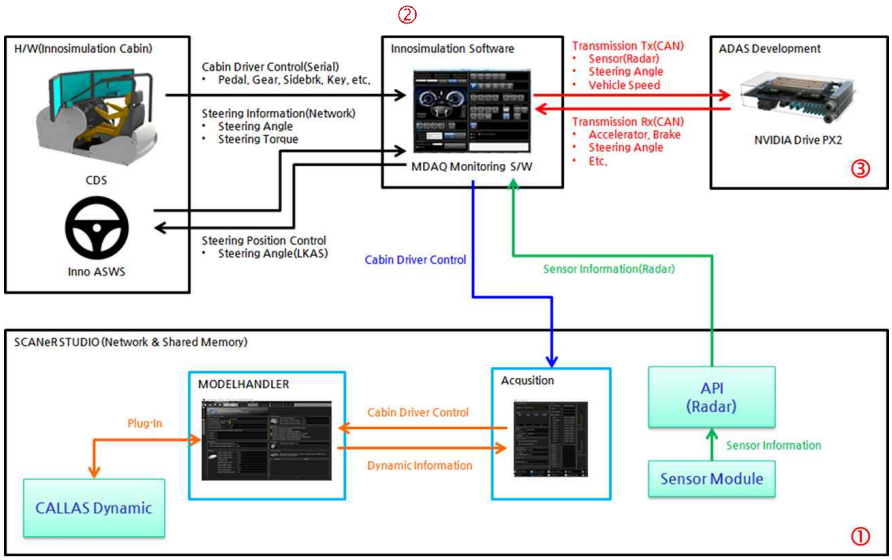
- DrivePX2와 SCANeR studio를 연동하여 ADAS 기능 구현 및 데이터 수집을 위해서는 시뮬레이터의 주행화면 정보를 NVIDIA DrivePX2로 전달
- 주행화면을 보내는 방법은 두 가지가 있는데, 하나는 NVIDIA DrivePX2에 연결된 카메라가 직접 주행화면을 촬영하는 것과 나머지 하나는 HDMI 영상 신호를 직접 DrivePX2에 전달하는 방법으로 구분
- 이후 DrivePX2에서는 입력 받은 영상 이미지를 실시간으로 영상처리 해서 나온 차량의 조향, 페달의 가감속 등의 결과값을 피드백해서 차량에 CAN 통신을 이용하여 신호를 전달



<그림 3.2.89> SCANeR Studio와 Drive PX2의 연동 구성



<그림 3.2.90> Nvidia 연동 하드웨어 구성



<그림 3.2.91> Nvidia 연동 소프트웨어 구성도

10) 운전자 인지반응 및 생체 측정 장비 구축 및 통합

- 생체계측시스템은 운전자의 팔, 다리 등 근육피로도의 모니터링 및 분석과 운전자의 머리, 시선, 안구 운동을 추적하여, 운전자의 피로 및 부주의에 대한 감지 및 분석, 운전 환경 등에 대한 운전자의 심리적 스트레스 상태(긴장, 불안, 이완, 흥분 등)와 사고(思考) 처리의 계측 및 분석 가능
- 이를 위해 운전자 인지반응 및 생체신호 측정장치 등이 설치되며, 시뮬레이션 소프트웨어와의 연동을 통해 시뮬레이션 운전 상황 별 분석이 가능하도록 구성
- 주행실험 중 발생하는 운전자의 뇌파 및 근전도, 심전도 등의 생체 신호 계측
- 시뮬레이션 소프트웨어와의 연동을 통한 생체 데이터 분석 가능
- 이미지 프로세싱 기술을 이용한 눈동자, 얼굴, 머리, 얼굴 표현등의 실시간 추적 장치
- 운전자의 인지반응을 분석, 측정하여 차량 안전 운전 연구, 운전자 인터페이스 개발
- 저조도 혹은 야간운전의 경우에도 다양한 카메라 모듈을 통해 모니터링 및 데이터 측정 가능

가) 머리 눈동자 추적장치

□ 개요

- 시뮬레이터에 탑승한 운전자의 머리 및 시각 정보를 검출하기 위해서 Seeing Machines사의 FOVIO를 사용하여 운전자 인지 검출 System 구현
- 이 장치는 운전자 시선방향 및 머리위치 추적을 통해 새로운 개념을 갖는 운전자 인터페이스 개발 및 알고리즘의 타당성 평가 시, 기존 시스템과 비교 분석하여 설계 반영 등에 효과적
- 운전자의 반응을 분석하여 차량의 안전도 향상 연구에 활용될 수 있으며 운전자의 인지 및 반응을 측정 가능

<그림 3.2.92> 머리 눈동자 추적장치 - FOVIO

- FOVIO는 흑백 동영상을 사용하는 이미지 추적 장비로, 카메라로부터의 입술, 코, 눈 등의 경계를 구분하여 얼굴 형상을 유도해내며, 이를 통해서 정확한 3차원 위치 좌표를 취득
- 머리의 자세가 얻어지면 상대좌표 변환을 통해서 눈동자의 좌표를 알아내어 시선 방향을 결정
- FOVIO는 피험자에게 어떠한 제약도 주지 않고 실시간으로 운영되며, 착용해야 하는 어떠한 장비도 필요없이 자연스러운 움직임이 가능한 충분한 영역을 추적 가능
- 일반적인 머리 및 시선 추적장치는 피험자가 착용하거나 안구에 적외선을 반사시켜 사용하나, FOVIO의 경우는 이미지 추적과 적외선 감지를 동시에 사용하므로 조명, 피험자의 움직임, 얼굴형상, 안경 착용 유무, 선글래스 착용 유무, 콘텍트 렌즈 착용 유무 등에 제약 전무
- FOVIO은 사람의 머리에 대한 공간상의 6자유도 정보를 회전각도 및 좌표로 측정할 뿐만 아니라, 시선의 방향과 눈깜박임을 측정 가능하며, 이를 통하여 운전자가 전방에 위치한 임의의 물체에 시선을 고정하고 있는지 여부와 PERCLOS를 통한 피로도, 눈깜박임 속도 및 지속시간 등의 측정 가능

□ 구성

- FOVIO는 카메라가 장착되어 있는 본체부, 운전자 인지 검출 컴퓨터, Image Grabber, 운전자 인지 검출 알고리즘이 포함된 운영 소프트웨어로 구성
- 통신은 USB 3.0 포트를 통해 FOVIO 컴퓨터와 연결되며, 측정은 초당 60Hz의 속도로 이루어지며, 측정된 데이터는 하드디스크로 바로 저장되거나, TCP/IP 프로토콜을 통하여 원격지에 저장하도록 구성

<그림 3.2.93> FOVIO 통신 구성도

- 제조사 : Seeing Machines
- 모델명 : FOVIO
- 구성품 : 1x FOVIO eye Tracker in Pelican case, 1x Eyeworks USB dongle (License Key), 1x USB3 Cable 3M & locking connector, 1x High definition scene camera

▢ 측정 데이터

<표 3.2.5> 머리 눈동자 추적장치 측정 데이터

항 목	내 용
Frame Number	- 0에서 시작하여 시스템 실행 주기마다 1씩 증가하는 값, 변하지 않는 값으로 데이터 인덱스 기능 수행 - 프로그램이 실행되면 저장 여부에 관계없이 0에서 매 프레임 진행에 따라 증가
Tracking Flag	- 추적이 진행되고 있음을 알림
Head-Position X, Y, Z (meters)	- Stereo-head에 위치한 World Coordinate에서의 Head - Coordinate의 절대 좌표. Head Coordinate의 원점은 양쪽 눈 중심간의 중간지점
Head-Rotation X, Y, Z euler-angles (radians)	- Stereo-head에 위치한 World Coordinate에서의 Head - Coordinate의 회전 좌표. Head Coordinate의 원점은 양쪽 눈 중심간의 중간지점
Head-Pose Confidence	- 0에서 1까지의 값으로서, Head-Pose의 신뢰도를 평가한 값, 1은 매우 신뢰할 수준
Raw Gaze Rotation Angles (pitch/yaw), (radians)	- 가공하지 않은 데이터로서, World Coordinate의 X, Y 축을 중심으로 시선의 방향을 회전변위
Filtered Gaze Rotation Angles(pitch/yaw),(radians)	- 실시간 안구 단속운동 및 시선 고정 알고리즘을 통해 가공된 데이터
Gaze-Direction Confidence	- 0에서 1까지의 값으로 시선 방향에 대한 신뢰정도 의미 - 1은 매우 신뢰할 수준
Filtered Gaze Object Index	- Gaze vector가 통과한, 즉 Gaze Vector와 같은 방향에 위치한 모델의 인덱스 번호

나) 생체신호 측정장치

- 제조사 : Cognionics
- 제품명: Quick-20 Dry EEG Headset
- 구성품 : USB Dongle, 충전기, 충전지, Micro SD Card, Flex Sensors
- Quick-20 헤드셋에 Ear Clip을 연결하여 뇌파 신호를 측정하며, 측정된 데이터는 Micro SD Card에 저장되거나 USB Bluetooth Dongle을 통하여 무선으로 전송
- 측정된 데이터는 Data Acquisition 소프트웨어를 통하여 취득

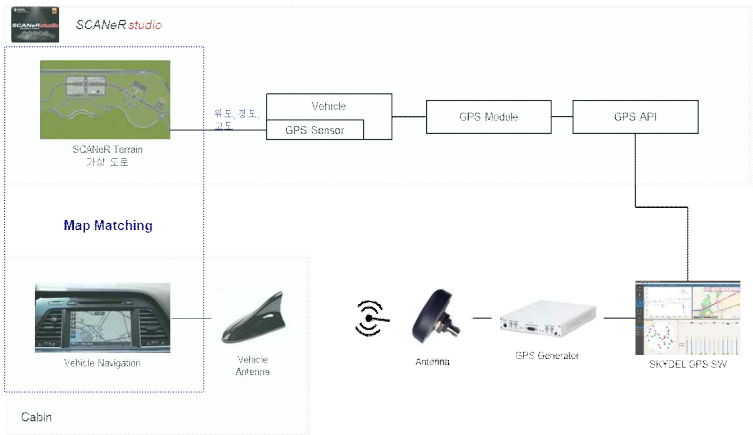
<그림 3.2.94> 생체 측정 장치 구성품

- AimGen2 구성품 세트 : USB Dongle, 충전기, 충전지, Micro SD Card, ExG Cable, GSR, Temperature Sensor, Respiration Sensor 등
- AimGen2의 커넥터에 ExG 케이블을 연결 후 패치를 부착하여 생체 정보 취득 가능
- 이때 부착하는 위치에 따라 측정되는 데이터가 변경되며, 가슴부위에 부착하면 ECG(심전도), 팔 또는 다리와 같은 근육부위에 부착하면 EMG(근전도), 얼굴 눈 아래에 부착하면 EOG(안구근육운동)로 하나의 커넥터를 가지고 여러 데이터를 취득 가능

<그림 3.2.95> AimGen2 구성

11) GPS 시뮬레이터 구축

- GPS 시뮬레이터의 기능 및 사양은 다음과 같이 구성
- 구성품 : SDR USRP X300, SDX Computer, LMR 400 Cable 130m, 100m, GPS Antenna (Passive RHCP), Splitter, USB Dongle, SDX GNSS Simulator SW



<그림 3.2.96> GPS 시뮬레이터 구성

- SCANeR Studio에서 주행할 도로 Terrain과 실제 도로의 GPS 좌표를 매칭하여 제작
- 시뮬레이터로 주행 중 GPS Sensor를 이용하여 가상 도로에서의 GPS 좌표를 취득하고 API를 통하여 GPS 시뮬레이터 소프트웨어에 위도, 경도, 고도를 전달
- 이에 맞추어 GPS Generator에서 무선 신호를 생성하고 차량의 안테나에서 위도, 경도, 고도를 수신하여 실차 네비게이션 또는 GPS 신호를 받아 처리할 수 있는 장치에서 동작 가능
- 안테나는 돔 시뮬레이터 상부에 설치되어 승용캐빈 후면부 안테나를 통하여 무선으로 수신 가능
- 보조시뮬레이터의 경우, 트럭 캐빈 내부에 안테나가 설치되었으며, 필요시 GPS 수신장치를 이용하여 활용 가능

12) 보조 시뮬레이터 구축 및 DIS 통합

다) 트럭, 버스 캐빈 구축

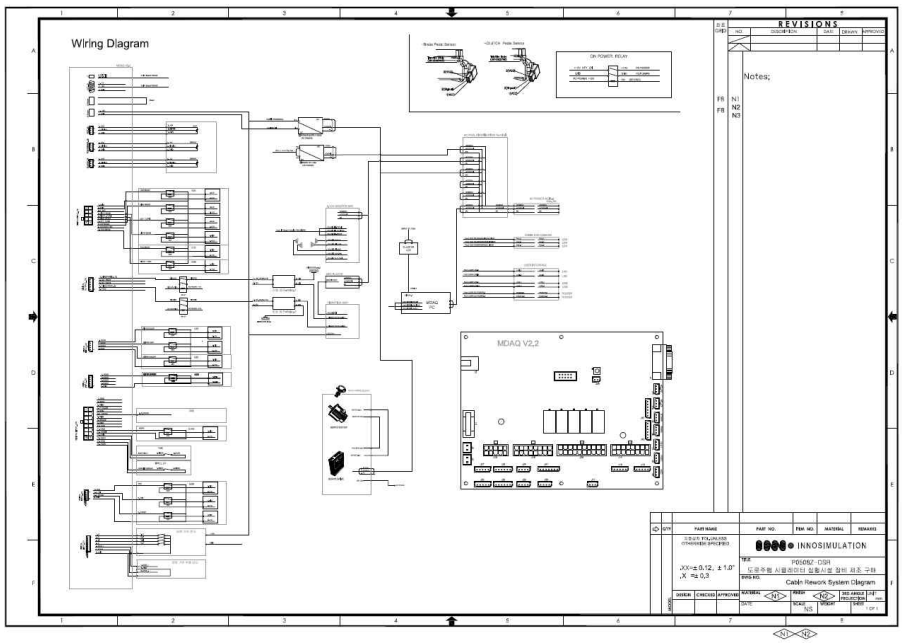
- 트럭 캐빈 구축 시 상용 트럭 중 다양한 분야에서 사용 중인 현대 엑시언트 모델을 선정하였으며, 외관 및 기본적인 사용자 인터페이스는 동일하게 사용하고 가상현실에서 카고, 덤프, 트랙터, 믹서 등의 다양한 트럭 모델로 활용할 것으로 기대
- 트럭 캐빈 모델명 : 현대 엑시언트(XCIENT)

<그림 3.2.97> 트럭 캐빈 외부

<그림 3.2.98> 트럭 캐빈 내부

▢ Cabin Rework System Diagram(트럭 캐빈 고성능 조향 반력장치 사양)

- Power : 220VAC 50/60hz
- Communication Standard : EtherCAT
- Motor Specification : 900w / 1,000rpm
- Rated Torque(Nm) : 8.6Nm
- Max Torque(Nm) : 38Nm
- Steering Angle : ±540°
- Vibration Frequency : 5~50Hz
- Data : Column Position / Velocity / Torque

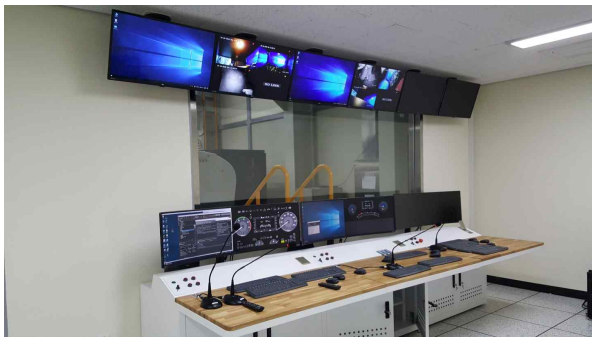


<그림 3.2.99> 캐빈 시스템 다이어그램

라) 시뮬레이터 간 DIS 통합

- 본 시스템은 승용 캐빈과 버스 캐빈, 트럭 캐빈이 하나의 3D지형 데이터베이스에서 DIS연동이 가능하도록 구축
- 총 4대의 각각의 시뮬레이터의 DIS 연동 주행이 가능

□ 보조 시뮬레이터실 운영실, 시뮬레이터 구축



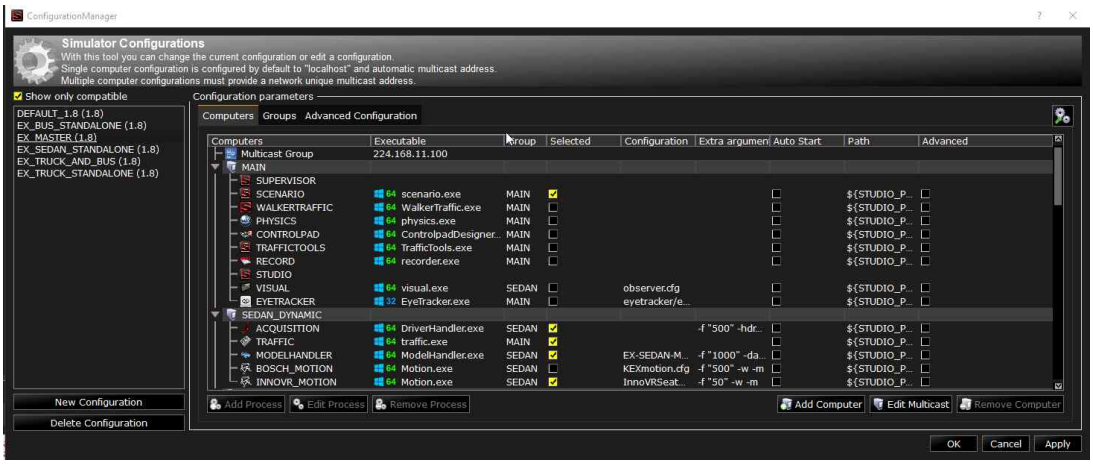
<그림 3.2.100> 보조시뮬레이터 운영실

<그림 3.2.101> 보조시뮬레이터실

□ SCANeR Studio 셋팅

- 돔 내부의 승용캐빈, 트럭캐빈, 버스캐빈을 각각 개별 구동 또는 연동 구동(DIS)을 위하여 SCANeR Studio의 환경설정을 통하여 통합
- SCANeR의 모든 구성요소는 NAS(Network Access Server)에 저장되며, 각각의 PC의 하드웨어 자원을 활용하여 실행
- 승용, 트럭, 버스 각각의Main PC라 정의된 PC에서 SCANeR Stuio 프로그램일 실행되어 개별 구동되고, 통합 연동구동을 할 경우에는 메인 운영실의 Main PC가 총괄 구동 주체가되고 나머지 PC는 각각의 모듈을 수행하는 PC로 변경

□ SCANeR Studio Configuration 메뉴의 구성 리스트의 항목



<그림 3.2.102> SCANeR Studio 설정

- Default: SCANeR Studio 기본 설정
- Master: 승용, 버스, 트럭 캐빈 전체 연동 구동
- Sedan StandAlone: 승용캐빈 단일 구동
- Bus StandAlone: 버스 캐빈 단일 구동
- Truck StandAlone: 트럭 캐빈 단일 구동
- Truck and Bus: 트럭캐빈과 버스캐빈 2대의 DIS 연동

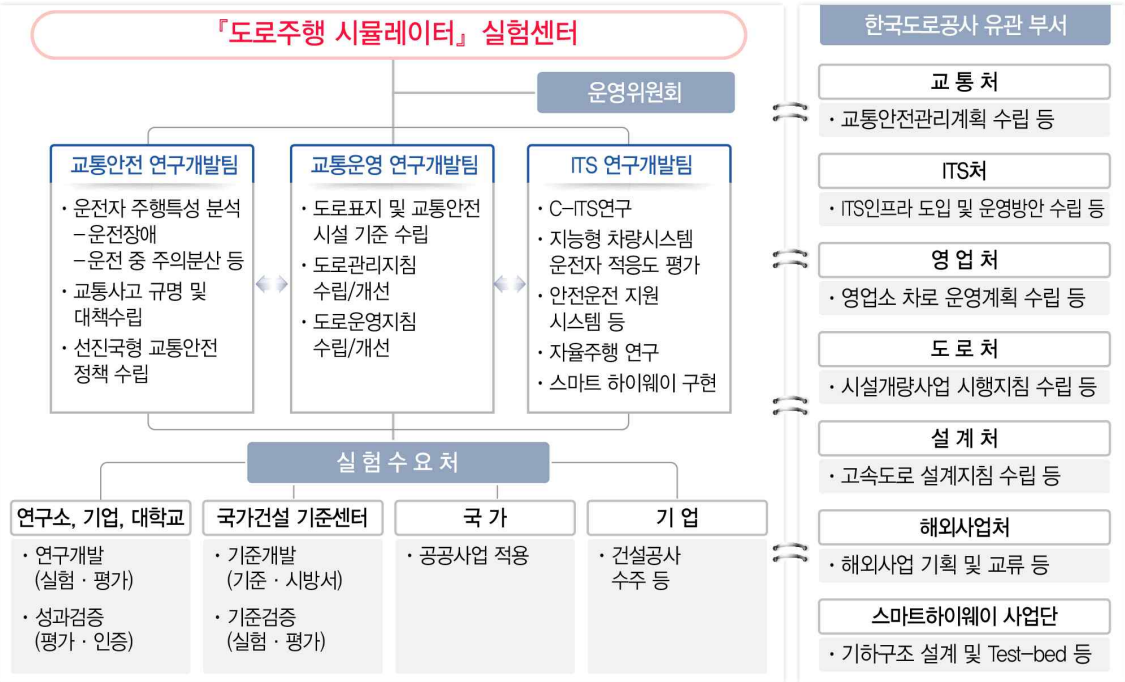
3.3 실험시설 운영 및 활성화 방안

1) 운영 계획

○ 한국도로공사에서는 본 실험시설 유치를 위해 전담부서(도로교통연구원 주관 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」 유치 T/F)를 구성하였으며, 실험시설의 세부사양 설계, 설치 및 구축의 원활한 시행을 위해 담당 기관의 실험센터 설립

○ 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」의 목적에 따라, ⅰ) 교통안전 연구개발팀, ⅱ) 교통운영 연구개발팀, ⅲ) ITS 연구개발팀으로 세분화하여 운영되이며, 한국도로공사 유관 부서와 유기적 협력체계를 구성함으로써, 실험장비의 확장 및 소프트웨어 개발, 운영 및 유지보수 업무의 효율적 시행 추진

- 교통안전 연구개발팀 : 운전자 주행특성 등 Human Factor에 특화된 연구
- 교통운영 연구개발팀 : 도로시설물 및 운영 전략의 적정성, 안정성 연구
- ITS 연구개발팀 : 자율주행 및 스마트하이웨이 구현과 관련된 C-ITS 연구



<그림 3.3.1> 실험센터 조직 및 주요 업무

○ 주행환경 및 운전자 체감도 개선/유지를 위해 연 2회 체감도 튜닝작업을 프로 드라이버 시승작업 수행 추진

○ 시뮬레이터를 활용하여 실험 가능한 연구와 불가능한 연구에 대한 검토 필요

- 운전자의 안전을 위협하는 실험 불가(ex. 차량간 충돌, 사고 재현 등 실제 운전자에게 충격이 가해지는 실험은 매우 위험하므로 불가)
- 시뮬레이터 특성상, 절대적인 수치를 이용하는 것보다 상대적인 비교를 통해 실험을 수행하는 것이 적정

○ 향후 기술적 보완사항 및 추가기능 개선을 위해 국토과학기술진흥원과의 운영협약[1]을 준용하여 센터의 유지관리비적립 등 예산평선/집행의 독립성을 보장함

1) 유지관리비 적립 운영협약(안) : 연 2,000만원 또는 계약금의 20% 수준으로 유지관리비 적립

2) 운영 조직

○ 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」의 운영 초기에는 사업추진 TF 인력을 중점으로 배치하고, 구축 및 운영단계에서 분야별 인원 충원을 시행

- 2015(사업추진) : 전담인력 17명(사업추진 TF 인력으로 구성)
- 2016~2018년(구축단계) : 전담인력 18명(2016년 선임연구원 1명 증원(완료))
- 2019(운영단계) : 전담인력 22명(실험시설 유지관리 인원 4명 증원(예정))

○ 본 실험센터가 운영되는 시점(2019)을 기준으로 시뮬레이터 장비 및 기반시설을 전문적으로 관리하고 유지보수할 수 있는 인력 확보 추진

○ 국토교통과학기술진흥원과 한국도로공사와의 업무협약에 따라 관리 및 유지보수 인력 채용을 검토하고, 운영단계 시점(2019)의 상황을 종합적으로 고려하여 고용방식 선정 검토

3) 활성화 방안

가) 협의체 구성

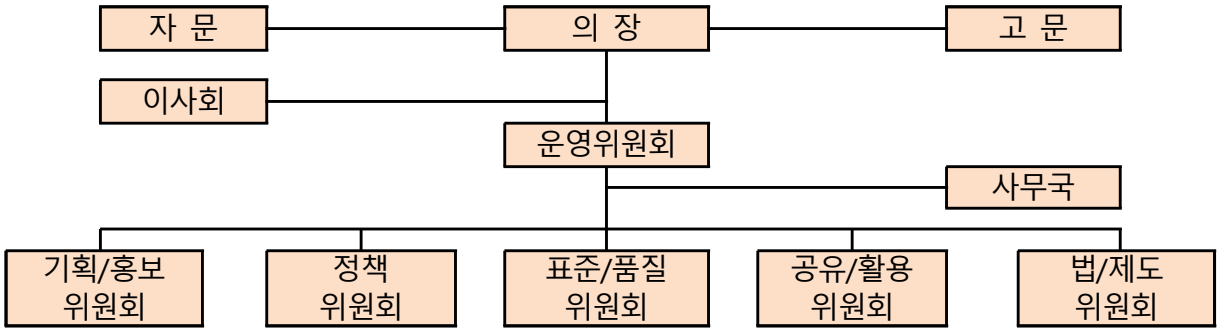
○ 협의체 필요성 및 목표

- 도로주행 시뮬레이터를 활용한 다학제 간 연구활성화 및 정책제언을 위한 협의체 구성 및 운영 필요

○ 다학제 간 구성원이 참여하는 도로주행 시뮬레이터 전문 자문단 구성 및 운영을 통해 국내 산업체, 학계 등의 요구사항을 조사, 반영하고 협의체 간 협업 도모

○ 이를 통해 도로주행 시뮬레이터 구축과정에서 향후 활용성 및 유효성을 극대화하기 위한 다양한 방안을 도출하고 이를 제시하여 자문단 협의 추진

○ 협의체 조직 구성



○ 협의체 관련 기관

* 도로주행 시뮬레이터를 장래 이용가능성이 높고, 현재 운영하는 산학연관을 우선적으로 선정

대학교	공공기관	민간기업	학회
서울대학교	도로교통공단	현대자동차	한국자동차공학회
서울시립대학교	한국도로공사	㈜이노시뮬레이션	대한토목학회
한양대학교	교통안전공단	만도	대한교통학회
부산대학교	자동차부품연구원	포럼에이드코리아	한국도로학회
성균관대학교	표준과학연구원	현대모비스	한국안전학회
국민대학교	KOTI	DGIST	한국ITS학회
서울대병원			대한인간공학회

나) 협의체 운영

○ 준비위원회 워크샵 개최

- 주제 : 도로주행 시뮬레이터 실험시설의 다학제 간 융복합 연구 활성화를 위한 협의체 필요성 및 역할
- 일시 : 2015.11.26.~11.27
- 주관 : 한국도로공사
  * 11개 기관(한국도로공사, 도로교통공단, 서울시립대학교, 서울대학교, 서울대병원, 한국교통안전공단, 자동차부품연구원, 한국건설기술연구원, 한국생산기술연구원, 유니폴라전자, ㈜이노시뮬레이션, 포럼에이트코리아, 큐비도로안전)

○ 2016 상반기 도로주행 시뮬레이터 협의체 워크샵

- 주제 : 산·학·연·관 다학제 간 기관 간 융복합 연구 활성화를 위한 협의체 워크샵 개최
- 일시 : 2016. 6. 30(목) ~ 07. 01(금)
- 장소 : 홀리데이인 광주호텔
- 주관 : 한국도로공사
- 참석인원 : 국토교통부, 서울대학교, 한국건설기술연구원 등 13개 기관, 30인
- 주요활동 : 도로주행 시뮬레이터 도입 진행사항 및 향후 발전·활용방안 논의, UC-Win/road & SCANeR 2ch 호환 및 OpenDRIVER 연계방안 논의, 분산공유 인프라구축 실험시설 Grid 구축방안 제시 등

○ 2016 하반기 도로주행 시뮬레이터 협의체 워크샵

- 주제 : 도로주행 시뮬레이터 실험시설의 연구활성화 및 협의체 준비위원회 워크샵
- 일시 : 2016. 12. 08(목) ~ 12. 09(금)
- 장소 : 서울시 양재 The K 호텔
- 주관 : 한국도로공사, 도로교통공단
- 참석인원 : FORUM8 Korea, 한국타이어, 도로교통공단, 서울대학교, 서울대학병원, 서울시립대학교, 한국건설기술연구원, 한국교통연구원 등 19개 기관 32명
- 주요활동 : UC-win Road를 이용한 DS, ADAS 관련 개발사례 공유, 한국타이어 테크노돔 소개 및 시뮬레이터 협력방안 제시 및 논의, 고령보행자 교통안전교육용 보행시뮬레이터 개발 및 시사점 논의, 실도로 조도환경 기반 주행시뮬레이터연계 디지털 계기판 유효성 평가 결과 논의

○ 국제세미나 “VR Driving Simulator Conference” 공동 개최

- 주제 : 도로주행 시뮬레이터 활용 사례 및 아이디어 공유
- 일시 : 2017. 12. 5(화) ~ 12. 6(수)
- 장소 : 서울 상암 누리꿈 스퀘어 국제회의실
- 공동주관 : 한국도로공사, 도로교통공단, ㈜이노시뮬레이션, 국토교통연구인프라운영원, ㈜OKTAL
- 참가기관 : 도로교통공단, ㈜이노시뮬레이션, 국토교통연구인프라운영원, ㈜OKTAL, 서울대학교, 한국교통안전공단, ㈜현대자동차 등 20개 기관
- 주요 활동 : 공공기관 VR 기반 도로주행 시뮬레이터 활용 사례, 자율주행자동차 관련 VR 기반 도로주행 시뮬레이터 활용 및 솔루션 사례, 가상환경 구축 툴로써의 SCANeR Studio 최신 기술 및 로드맵 소개

다) R&D 수요조사를 위한 서면자문 실시

○ 시뮬레이터를 활용한 R&D 확대방안 모색 및 관련 실험수요 조사

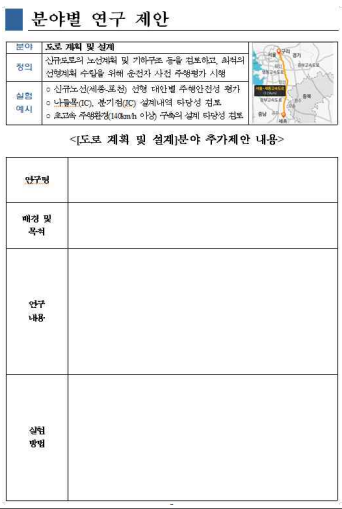
○ 향후 실험수요자가 보다 빠르고 편리하게 실험에 착수할 수 있도록 대응 마련

○ 연구인프라의 부재로 시행되지 못한 연구주제와 개략적인 시행방안에 대한 자문 의뢰

○ 서면자문 등의 실험수요를 바탕으로 3D영상 제작

- 도로교통부문 국내 전문가 25명(내부전문가 15명, 외부전문가 10명)을 대상으로 서면자문 시행
- 도로설계, 교통안전 등 총 6개 분야, 71건의 아이디어 접수
- 분야별 중요도, 중복성, 현안 연계성을 고려하여 “핵심 연구주제” 선정

구분	성 명	소 속	직 급
1	김도훈	포럼에이트코리아	대표
2	김동규	서울대학교	교수
3	김종민	큐비도로안전	대표
4	류준범	도로교통공단	선임연구원
5	박신형	계명대학교	교수
6	손영태	명지대학교	교수
7	오 철	한양대학교	교수
8	윤일수	아주대학교	교수
9	이동민	서울시립대학교	교수
10	장기태	KAIST 조천식대학원	교수



라) 서면자문 실시 결과 및 향후 추진계획

○ 분석 시나리오의 다양화를 위한 R&D 아이디어 확장

- 고속도로 부문 현안 파악을 위한 의견 수렴 (설계처, 도로처, 기술심사처 등)
- 고속도로 단속류 구간, 생활도로에 대한 지속적인 연구범위 확장
- ‘2차 자문회의 및 협의체 워크숍’ 을 통한 연구 아이디어 공유

○ 3D 영상 DB 제작

- 고속도로 고규격화, 첨단화 대비 영상 구축 : 세종-포천 고속도로 실시설계 반영
- 스마트하이웨이, 자율협력주행 연구 실증구간 : 서울TG~호법JC 약 41km
- 국토부 정밀지도 제작구간 : 국도 42-39-77-38호선(수원, 화성) 약 61Km 등
- 고속도로 특수 구조물 : 교량(인천대교), 터널(인제터널), 지하고속도로(강남순환) 등
- 시가지 도로 : 여의도, 강남대로, 코엑스, 광화문 광장부 등
- 도로교통 안전시설물 등 관련 컨텐츠 Library화

○ 서면자문 내용을 바탕으로 다음과 같이 분야별로 핵심 연구주제 도출

연구분야	핵심 연구주제
도로계획 및 설계	**◦ 초고속화 고속도로(140km/h 이상) 구현을 위한 설계요소 검토**
	◦ 주행안전성 기반의 도로 설계요소(복합선형 등) 기준 재정립
	◦ 신설 노선의 개통 전 주행안전성/쾌적성 평가방안 수립
교통운영	**◦ 교통여건(스마트톨링 등) 변화에 따른 고속도로 운영 개선방안 수립**
	◦ 운전자 중심의 공사 중 교통관리계획(TMP) 운영 전략 수립
도로환경 및 경관	**◦ 고속도로 진출입부 교통정온화 기법에 따른 운전자 주행행태 분석**
	◦ 도로 경관설계에 따른 운전자 집중도 평가
교통안전	**◦ 위험운전행태 기준 개발 및 안전운전지원시스템(DTG, ADAS) 고도화**
	◦ ‘대리사고평가척도’를 활용한 고속도로 교통안전성 평가기법 개발
	◦ 주행안전성 기반의 교통안전시설 효과평가 및 표준 모델링 구상
인간공학	**◦ 고령화 시대 대비 도로교통 부문 전략(고령자 친화형 도로환경) 수립**
	◦ 도로주행 극한상황(음주, 핸드폰 사용) 재현 · 분석 시스템 개발
	◦ 운전자 유형별 기존 운전행동(인지반응시간 등) DB 구축
C-ITS 및 Smart highway	**◦ ‘자율주행차’ 시대를 대비한 도로부문 설계요소 재정립**
	◦ C-ITS 서비스의 효과평가를 위한 Test-bed 구축
기타	◦ 교통단속시스템(구간구간단속) 효과평가, 이면도로 교통안전성 분석 등

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4.1 연차별 목표 달성도

▢ 1차년도 달성도

성과지표	측정방법	목표치	결과치	가중치(%)
실험시설 설계 및 인허가	실험시설 사업자 선정 건축물 설계도 및 인허가	1건	0.2건	30
시스템 상세설계	상세 설계서 (차량동역학, 운동시스템, 영상시스템)	3건	6건	30
가상주행 환경 영상 DB 구축	가상주행 환경 영상 DB 구축 길이	100 km	100 km	20
국내외 학술대회 논문발표	국내외 학술대회 논문발표 건수	1건	2건	10
협의체 구성	자문기관 협의체 구성 및 자문회의 개최	2회	2회	10
소 계				100

▢ 2차년도 달성도

성과지표	측정방법	목표치	결과치	가중치(%)
실험시설 인허가 설계	실험시설 건축동 설계도 및 인허가	1건	0.8건	20
서브시스템 구축(1)	서브시스템 구축 건수	3건	3건	30
국내외 지적재산권 확보 건수	특허출원 건수	1건	0건	10
	프로그램 등록 건수	3건	3건	10
가상주행 환경 영상DB 구축	가상주행 환경 영상DB 구축 길이	100km	100km	10
국내외 학술대회 논문발표	국내외 학술대회 논문발표 건수	2건	15건	10
협의체 운영	협동 및 자문회의 개최	2회	2회	10
소 계				100

▢ 3차년도 달성도

성과지표	측정방법	목표치	결과치	가중치(%)
실험시설(건축동) 기반구축	토목공사, 실험동 건축공사 및 준공	1건	1건	20
국내외 학술대회 논문발표	국내외 학술대회 논문발표 건수	2건	8건	10
국내외 지적재산권 확보 건수	특허출원 건수 (2차년도 미달성 1건 반영)	2건	3건	5
	프로그램 등록 건수	2건	2건	5
데이터베이스 구축	영상 DB 구축 길이	100 km	206.23km	5
	주행 시나리오 DB 구축 건수	10건	10건	5
서브시스템 구축(2)	서브시스템 구축 건수	3건	3건	30
단위요소별 성능평가	구축된 서브시스템 목표대비 성능	100%	100%	10
협의체 운영	협동 및 자문회의 개최	2회	2회	10
소 계				100

▢ 4차년도 달성도

성과지표	측정방법	목표치	결과치	가중치(%)
국내외 학술대회 논문발표	국내외 학술대회 논문발표 건수	2건	7건	10
국내외 지적재산권 확보 건수	특허 출원	1건	2건	5
	특허 출원 및 등록	1건	0 (2건진행중)[2]	5
	프로그램 등록 건수	2건	2	10
데이터베이스 구축	영상 DB 구축 길이	100 km	100km	10
	주행 시나리오 DB 구축 건수	20건	20건	10
보조시뮬레이터 구축 및 DIS 통합	보조시뮬레이터 구축 건수	1건	1건	10
시스템 성능평가	목표대비 성능	100%	100%[3]	30
실험시설 활용건수	수요기관 실험시설 활용건수	2건	3건	10
소 계				100

2) 2건 출원 및 등록 진행중(특허정보진흥센터)
3) 실차주행 기준 재현수준은 운전자의 정성적인 부분으로 정량적으로 판단하기 어려우나, 전문 프로 드라이버의 시승을 통해 재현수준을 판단함

4.2 관련 분야 기여도

▢ 기술적 측면

○ 선진국 수준의 도로주행 시뮬레이터 실험시설 도입을 통해 세계 최고 수준의 현실감을 확보하고, 도로·교통·자동차·인간 등 다학제간 연구를 위한 종합적 지원시스템 구축

○ 안전하고 제어된 환경에서 도로-운전자-자동차 상관관계 분석 및 융복합 기술 개발

○ 성능평가, 시험인증 분야 개발기술 검증체계를 구축하여 관련 기술개발 및 성과물에 대한 공신력, 신뢰성 확보

○ 국가기준(표준) 수준의 R&D 검증 및 평가를 통해 공공사업 효율화 및 기술기준 정립 및 표준화 선도

○ 다수의 운전자가 참여하는 병행운전, 최신 VR기능, 뇌파, 신체신호감지 시설과 연동을 통해 인간공학 중심의 교통시스템 기술개발 선도

▢ 경제적 · 산업적 측면

○ 인간공학적 도로안전성 분석, 도로교통 안전시설에 대한 인간공학적 설치기준, 교통사고 잦은 곳 원인분석 및 개선방안 등 교통안전성 개선을 통해 교통사고비용의 최소화 유도 기대

- 기존 도로 및 설계단계에 있는 도로에 대해 실제 도로와 같은 상태에서 도로의 안전성 및 경관 해석은 물론 특수 환경에 대한 사전 해석 용이
- 도로설계 대안에 대한 주행안전성/이용자 편리성의 사전 평가 가능

○ 구축 인프라를 활용한 관련 국가기준 연구, 검증, 평가를 통해 공공사업비 절감으로 낭비요소를 제거

- 도로주행 시뮬레이터를 도로건설 전/후 평가에 활용함으로써 사업시행에 따른 예산 운영의 효용성 확보 및 도로 건설비용의 효율적 집행 도모
- 다양한 도로교통 안전시설물 설치를 위한 사전평가 시스템으로 활용 가능하므로 사업비의 낭비요소 제거

○ 국토교통부의 다양한 도로·교통 관련 R&D 사업 수행을 위한 효율적 지원시스템 구축을 통해 R&D 투자 효율성 제고

▢ 사회적 측면

○ 국가의 체계적인 도로교통 안전체계 수립과 국민 삶의 질 향상, 공공목적의 기술개발을 위한 연구 인프라로서 국가차원의 선제적 대응 필요

- 국내 기존 시뮬레이터의 경우 차량분야 연구에 국한되고 공동 활용에 한계가 있으며, 도로설계, 교통안전, 교통운영, 지능형 교통시스템 등 도로교통 분야의 연구에 최적화된 세계적 수준의 도로주행 시뮬레이터의 개발이 절실히 요구되는 상황
- 교통사고 예방을 위한 도로교통안전시설물에 대한 설계기준 평가, 성능 검증, 정부의 관련 제도 및 정책 개발을 위한 가상 시뮬레이션 도입이 시급히 필요
- OECD 수준의 도로교통 안전성 확보는 물론, 도로운영 및 유지관리 단계에서의 교통사고 예방, 자동차 보험료 절감 등 국민의 인명피해와 경제적 손실 최소화 강구

○ 도로-운전자-차량 간의 상호작용 분석에 필요한 연구 도구로 활용

- 기존 도로주행 시뮬레이터는 주로 차량 자체 및 운전자 행동특성 연구에 집중되어 있어, 도로-운전자 차량 간의 상호작용 분석, 도로건설 전 도로이용자 측면에서 사전 평가에는 활용성 미흡
- 도로건설 전 사전 시뮬레이션을 통한 도로계획/설계, 시공단계의 공기단축 및 예산절감 등 사전 검토와 더불어 교통사고 예방을 위한 도로교통안전시설물 설치기준 및 각종 교통안전 정책 마련에 활용 가능

5. 연구개발성과의 활용 계획

5.1 실험시설 활용 계획

1) 연구과제 발굴 및 수행

○ 정부 수탁

- 국토교통부가 관리하는 도로교통 관련 제반 기준의 실증실험을 통한 국가 기준 재정립
- 기준 재정립 : 국가건설기준센터 및 도로품질관리센터와 연계한 검토 내용 발굴

○ 국가 R&D

- 연구성과로 도출된 신기술, 교통사고 대응 안전시스템 기술의 효과평가
- 도로・교통・자동차분야 R&D 실험 및 성능시험의 장으로 활용 : 국가 R&D 필요성 향상 제고
- 도로분야 뿐 아니라, 건설교통 全 분야 R&D 연구성과 대상

2) 국가 R&D 사업 공고 시, 건설연구인프라 실험센터 활용 및 홍보 강화

○ 실험이 필요한 연구과제에서 실험센터를 적극 활용할 수 있도록 제안서에 반영하도록 건의(연구과제 공고 시, 실험센터 관련 정보 함께 제공)

○ 실험 소요비용을 예산에 반영할 수 있도록 견적 서비스 제공

○ 시험기반의 홍보는 학회지, 신문 등의 매체 홍보, 리플렛, 사업설명회 등을 중심으로 지속적으로 추진

- 특히, 정보에 취약한 중소기업의 참여도를 높이기 위해 보다 다양한 매체를 통한 홍보를 실시할 계획

○ R&D 통합지원 플랫폼 구축 및 전문인력 확보로 장비·유지관리 및 서비스 향상

3) 실험교육 프로그램 개발

○ 도로주행 시뮬레이터 전용 교육 프로그램 개발

- 시뮬레이터의 구성요소, 구현방법, 데이터 처리 및 분석과 관계된 전문교육 프로그램을 개발하고 홍보방안 수립 추진
- 관련 종사자 뿐만 아니라 교육 대상자를 초보운전자, 고령운전자로 확대하여 전 국민이 소통하고 공감할 수 있는 교육의 장으로 발전
- 시뮬레이터 환경 상에 ITS 시스템을 구현하고 한국도로공사 ITS 인증평가센터와 연계하여 ITS 기술업체를 대상으로 한 맞춤형 교육 진행

4) 대학과 연계한 인력 양성

○ 교통공학, 도로공학, 산업공학, 인간공학, 심리학, 기계공학, 자동차공학 등 관련분야 전공자를 대상으로 해당 분야의 이론을 실질적으로 체험하고 연구할 수 있는 기회 제공

- 도로주행 시뮬레이터 실험센터 + 한국도로공사 교통센터 + 실물차량 충돌시험장 + 인력개발원 등을 연계하여 교육 및 연수 패키지 제공

○ 한국도로공사가 MOU를 체결한 대학(학생연구생, 학연프로그램)과 협력을 통해 강의, 견학 등을 지원하여 전문화된 인력 양성

5) 국내외 시뮬레이터 연구의 중심지 제공

○ 국내 최대 규모 최고 시설의 실험시설 유치를 통해 시뮬레이터를 활용한 연구분야의 위상 제고

○ 국내 산재되어 있는 실험시설 및 실험기관별 기술 노하우를 상호 공유하고 소통할 수 있는 기회 제공

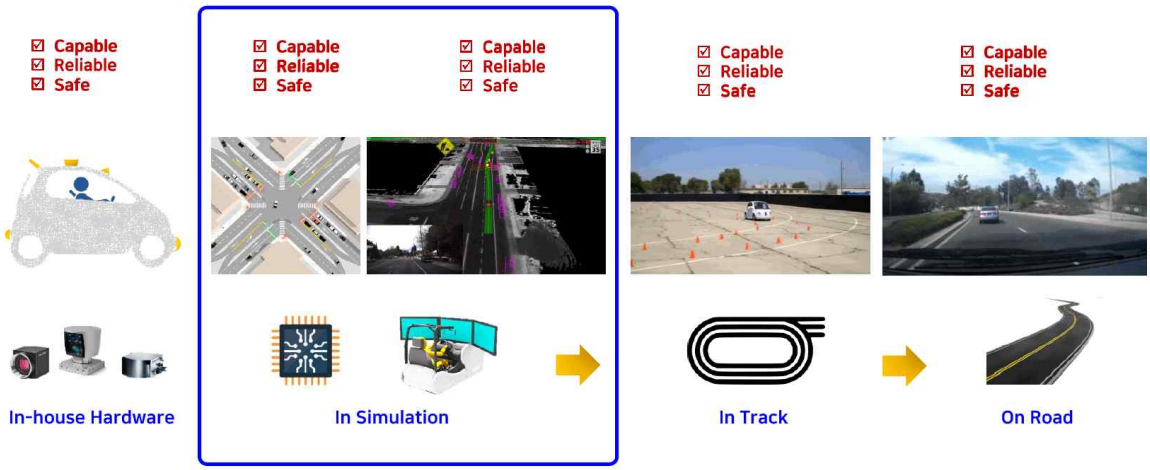
- 국내·외 워크숍, 학술대회, 세미나 등 개최장소 제공

6) 도로교통분야 실험시설 연계활용 방안(K-City)

○ K-City는 레벨3(조건부자율주행) 수준의 자율주행차 조기 상용화를 위해 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 한국교통안전연구원 부지에 설립한 5G 자율주행 기술 검증 테스트 베드로 자율주행 기술 실험 및 검증이 가능하도록 실제 도로 환경과 동일하게 조성

○ K-City의 역할은 실제 현장에 적용하기 이전 제한된 조건에서의 필드 테스트 베드 역할

○ 제한된 조건이라 하더라도 다양한 실험 조건을 고려하여 실험을 진행하는 것은 한계가 존재



<그림 5.1.1> 도로교통분야 실험시설 연계활용 방안

○ 따라서, 가상의 K-City를 구축하여 시간/비용측면으로 효율적인 실험환경(도로, 교통, 기상 등)을 구축하여 실험 가능

○ 구축 연계 활용 방안 예시

- VR기반 자율주행 자동차 운전능력 평가 시뮬레이션 구축 연계
  - · 자율주행자동차의 도로교통 관점에서 교통법규 및 안전수칙 준수 능력, 이벤트 상황(돌발상황, 수신호 인식, 안전시설 인식 등)에 대한 대응능력을 검증 체계 연구
- VR기반 자율주행 자동차 통행규칙 가이드라인 개발 및 법제화 방안 연구

5.2 실험시설의 특성화·전문화 계획

▢ 실규모 실증실험 인프라 구축 활용의 차별화/전문화를 위한 4대 전략

① 정부 및 한국도로공사 정책반영에 필요한 도로 건설기준 검증 및 실용화 지원 차별화

- 새로운 기술이 완전히 검증될 때까지 걸리는 통상 3~5년 정도의 회임기간을 고려하여 새로운 기준에 대한 성능중심의 실증평가 필요

② 고속도로(한국도로공사)의 첨단도로시스템, 운전자 지원시스템, 교통안전(고령운전자, 과속, 졸음 등) 문제해결 등 고품질 서비스 제공 및 관리·운영 기준 수립

- 한국도로공사에서 수행 중인 도록계획·설계·경관·운영, 스마트하이웨이, 자동차 자동주행 시스템 등 가상 조건 하에서의 평가 검증 뿐만 아니라 도로교통 관리기준 수립

③ 자동차 등 타 산업 관련 융합 실험시설로 활용분야의 다변화

- 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」은 악천후, 제동장치 등 자동차 제어가 가능한 대형 규모의 성능실험 및 실증시설이기 때문에 자동차, 군수물품 등 이종산업에 대한 실험시설로 활용 가능

④ 실험차량(승용, 버스, 트럭 등) 교체 시스템 설계로 시설가동률 향상

- 고속도로 이용차량별로 전후방 시계, 주행시간, 주행패턴 등이 달리 나타나고 있어, 차량별 실험을 효율적으로 수행하기 위해 건축동 안에서 교체 설치를 통한 시설가동률 향상

<그림 5.2.1> 인프라 운영의 차별화/전문화 전략

5.3 실험시설을 활용한 연구계획(국제협력 포함)

○ 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」을 활용하여 4대 연구 전략을 수립하고, 각 전략별 세부 연구분야 선정

○ 연구계획에 포함된 성능평가는 국가기준 정립 및 국제표준 인증 추진에 필요

○ 국제협력 연구는 대상 국가의 도로·교통환경의 특성을 고려하여 추진할 계획

<표 5.3.1> 도로주행 시뮬레이터 실험시설을 활용한 4대 연구 전략

4대 전략	세부 연구 분야
정부 정책 개발지원	• 교통안전성 향상을 위한 국가 도로설계기준 정립 • 도로교통 안전시설물에 대한 교통안전 및 교통운영 효율성 제고방안 도출 • 도로경관 설계기준 정립 • 도로상 악조건 관련 사회 현안문제 해결
국가 R&D 연구 수행	• 교통사고 잦은 곳에서의 운전자-도로-차량의 상호작용 분석 • 운전자 시인성 개선방안 수립 • 도로 조명방식에 따른 운전자 시선 및 감성 특성 분석 • 고위험군 교통안전 대응기술 개발
민간 연구개발 지원	• 스마트 모빌리티의 첨단도로시스템 대응 기술의 효과평가 • C-ITS 장비의 효과평가 및 인프라 지능화 기술 지원 • 첨단 고안전 자동차 기술 개발을 위한 검증 및 평가도구 지원 • 자동차의 운전자 안전지원 장치 및 운전자 수용성 평가
국제 협력 추진	• 대상 국가 맞춤형 교통안전성 향상 실험 공동 수행 • 국외 선도 기술의 성능 및 효과평가

<표 5.3.2> 도로주행 시뮬레이터 실험시설을 이용한 연구실험 분석 예

분 야	분야 정의	실험 종류
도로계획	신규 도로의 노선계획 및 도로규격 등을 검토하고, 최적의 도로계획 수립을 위해 운전자 주행평가 및 요구사항 도출	• 주변 지형, 기존의 도로시설 등과 연계한 최적의 노선계획 수립을 위한 주행실험
		• 신규 노선과 기존도로와의 효율적인 연결 방안 검토를 위한 주행실험
		• 차종 및 차량의 운동특성을 고려한 유출입 램프, 나들목(IC), 분기점(JC) 형식 검토를 위한 주행실험
도로설계	신규 도로 및 기존 도로개선 사업을 위한 도로 및 부대시설에 대한 설계안을 운전자주행특성에 의해 평가하고 이용자 요구사항 도출	• 신규 도로의 종단 및 횡단성형의 안전성 검토를 위한 운전자 주행실험
		• 분합류부에 대한 가감속 차로 길이 및 교차각 검토를 위한 주행실험
		• 도로 부대시설 설치방안 등의 적정성 사전검토를 위한 주행실험
도로경관	도로 및 교통시설이 주변 경관 등에 미치는 영향을 분석하고, 주변 지형과 조화되는 도로평가	• 도로기하구조에 의한 도로의 주변 경관과의 조화성 평가를 위한 주행실험
		• 성토, 절토, 옹벽 등 도로시설과 주변 환경과의 조화여부 검토를 위한 주행실험
		• 터널 내부 등 도로 조명시설의 조광특성에 따른 시인성 및 시거특성 검토를 위한 주행실험
Human Factor	도로, 교통시설, 내비게이션 장치에 대한 운전자 인지반응, 만족도, 위험성 평가	• 도로 상 터널, Sag, Crest 구간 등에 대한 운전자 행동특성 분석
		• 급격한 도로선형 변경구간, 차선변경 구간 등에 대한 운전자 특성분석
		• 도로의 합류, 분류부의 운전자행동 특성분석에 따른 속도프로파일 분석
		• 특정 교통시설에 대한 만족도 및 안전성 평가를 위한 주행실험
		• 도로표지판, 도로전광표지판 등 표지판에 대한 설계 평가
		• 내비게이션, DMB, 스마트폰 등에 대한 운전자의 주의분산 위험성 평가
교통안전	도로 및 교통시설의 교통안전성을 평가하고, 사고위험이 높은 도로의 개선효과 평가	• 교통사고 다발구간에서의 운전자-도로, 운전자-차량의 상호작용 분석을 통한 HCR(Human Cognition Reliability) 분석
		• 교통사고 발생원인 평가 및 도로의 안전성을 사전평가하기 위한 주행실험
		• 수립된 다양한 사고대책(안)을 검토하고 최적(안)의 도출을 위한 주행실험
		• 사고예방을 위해 추진될 다양한 교통정책의 검토를 위한 주행실험
ITS	첨단안전차량(ASV), 지능형 고속도로(AHS), 운전자 안전지원 시스템(DSSS) 등 지능형 교통시스템의 개발 및 검증	• 차량-차량 통신에 의한 정체, 사고, 운전특성을 주고받는 첨단안전차량의 운전자 수용성 평가실험
		• 도로의 교통정보 검출 인프라에 대한 인간공학적 분석 실험
		• 사각지대에 대한 안전정보의 전파 등 교통정보안내 시스템, 운전자 안전지원 시스템에 대한 운전자 수용성 평가실험
		• 각종 운전자 지원 장치 및 시스템의 인간공학적 분석 및 운전자 수용성 평가실험

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

○ 도로주행 시뮬레이터 실험시설의 활용성을 극대화하기 위해서는 국내외 연구동향을 살피고 활용 가능한 연구분야를 지속적으로 발굴 및 개척 필요

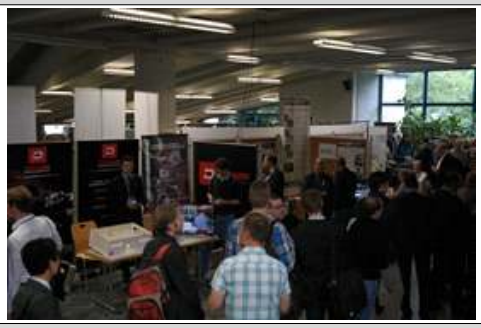
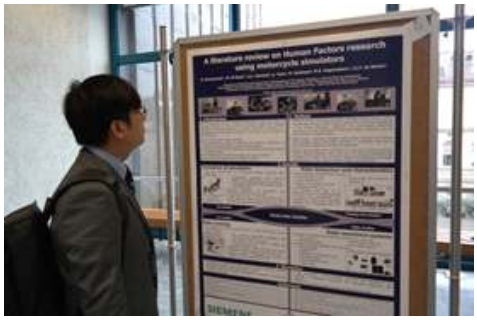
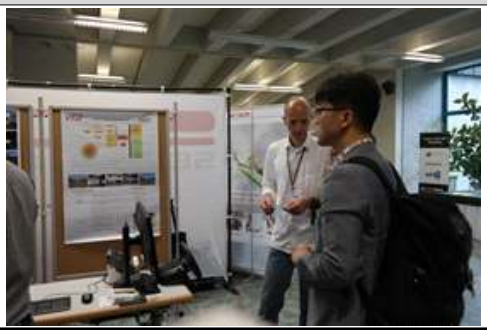
- 도로주행 시뮬레이터 관련 국제학술대회에 참석하여 관련 기술 동향 파악
- 세계적 수준의 도로주행 시뮬레이터 운영기관 탐방 및 운동시스템 개발업체와 기술 협의 수행

6.1 국제 학회 및 컨퍼런스 참석

1) Driving Simulator Conference 2015

○ Driving Simulator Conference 2015 참석을 통해 시뮬레이터의 세계적 기술수준 파악

- 도로주행 시뮬레이터는 유럽과 미주가 강세를 보이고 있으며 관련 국제학회는 매년 유럽(Driving simulator conference)과 북미(Road safety & simulation international conference)에서 각각 개최되는 중요 행사
- 본 출장에서는 독일 Tübingen에서 개최되는 Driving Simulator Conference 2015 전체 일정을 참석하였으며, 시뮬레이터를 활용한 다학제 연구동향을 파악하고, 시뮬레이터 요소별 전시 업체들과의 업무협의 진행
- 본 국제학술대회에서는 특히 동역학 시뮬레이션 시스템, 영상생성 시스템, 음향생성 시스템 전문업체와 협의하여 본 실험시설의 목표사양을 설명하고 각 회사의 최적 시스템에 대한 컨설팅 진행

DSC 2015 정규 참석자 등록	DSC 2015 Exhibition
	
DSC 2015 oral session	DSC 2015 poster session
	
VIRES社와 업무협의 및 컨설팅	SENSORDRIVE社 시뮬레이터 체험
	

2) I/ITSEC 2016 국제학회

○ Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC)은 모델링, 시뮬레이션 및 교육훈련과 관련된 국제 컨퍼런스로, 매년 12월 첫째 주 미국 올랜도에서 개최

○ Conference의 주요 내용은 도로주행, 항공기, 군사훈련, 철도 및 중장비 관련 시뮬레이터 최신 부품을 소개하는 전시 프로그램과 시뮬레이션 관련 학술발표 프로그램으로 구성

I/ITSEC 2016

○ 시뮬레이터 기획 및 시스템 통합 (System integration) 전문업체 IDT社와 개별 컨설팅 진행

- IDT社에서 진행한 시뮬레이터 활용 연구주제 공유
- 시뮬레이터 활용 연구과제의 기획과 성과도출 방안 논의
- 돔 내부의 캐빈교체의 신속성을 위한 노하우 공유 등

IDT (International Development of technology)
IDT社는 시뮬레이터의 통합에 대한 솔루션을 제공하는 회사로 리즈대학, BMW 도로주행 시뮬레이터 외, Winter-lab, Stair-lab, Street-lab 등의 다방면의 시뮬레이터 개발에 참여

○ 시뮬레이터 영상시연 시스템 전문업체 Barco社와 개별 컨설팅 진행

- 영상 프로젝터별 사양 비교 및 최적의 프로젝터 선정
- Barco F70 : LED 램프 사용, 램프 교체주기 長 / 밝기, 명암비 低
- Barco F50 : 일반 램프 사용, 램프 교체주기 短 / 밝기, 명암비 高
- QXGA급 영상 시연에 적정성을 고려하여 Barco F50으로 선정
- 짧은 교체주기를 고려하여 프로젝터 1대, 소모품 1식 추가 구비 검토

Barco
Barco社는 고해상도(High-resolution) 프로젝터를 개발하는 노르웨이 업체. 모션 플랫폼위에 탑재되는 다채널 프로젝터 영상의 조합(blending) 및 조정(calibration)에 우수한 경험과 기술을 보유

○ 제조사별 최신 사양 실험장비 검토

- 시뮬레이터 모션 플랫폼 【☞ 컨택업체 : E2M社, Moog社】
- 항공기 시뮬레이터 → 모션 플랫폼의 허용하중(Payload) 10톤 이상
- 도로주행 시뮬레이터 → 모션 플랫폼의 허용하중(Payload) 8톤 이하
- 본 실험시설의 경우, 예산 가용성을 검토하여 6톤급 모션 플랫폼 신규 제작
- 조향반력장치 【☞ 컨택업체 : E2M社】
- 피실험자의 주행속도 체감 및 재현수준 향상을 위한 주요 부품
- 시험차량의 중량, 속도, 노면상태에 따른 스티어링 휠의 마찰력을 전기식 모터를 통해 조절
- 조향반력장치 ↔ 영상 ↔ 실시간 차량 동력학 ↔ 모션 플랫폼과 연계

E2M Technologies B.V.
E2M社는 도로주행, 항공기 및 군수 관련 시뮬레이터의 전자식 모션플랫폼과 조향반력장치를 제작하는 업체로 0.5~4.0톤 허용하중을 갖는 20개 이상의 모션플랫폼을 기개발/납품한 경험 보유

○ 시뮬레이터 돔(Dorm) 및 프로젝터 제작【☞ 컨택업체 : Esterline社】

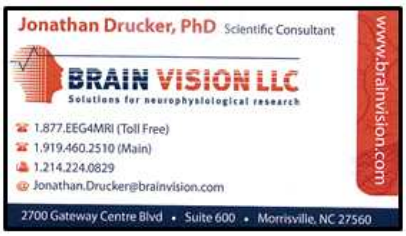
- 주행영상의 몰입감 및 현실감 제고를 위한 돔 설계방안 문의
- 본 실험시설 돔 규격 적정성(∅6.2m) 검토
- 항공기 시뮬레이터 등 돔 설계 및 프로젝터의 최신기술 검토

Esterline SVS(Simulation visual system)
Esterline社는 항공기 시뮬레이터 등 국방산업 시뮬레이터의 visual system solution을 제공하는 업체로 360° 고해상도 프로젝터 및 스크린 개발 주도

○ 생체신호 수집 기기【☞ 컨택업체 : Eyetrcking社, Brain vision LLC社】

- 피실험자의 인적요인 검토를 위해 다양한 생체신호 계측 필요
- Eye-tracker를 대시보드 상단에 부착하여, 운전자 시선처리 정보 구득
- 피실험자에 뇌파검지 장치를 부착하여, 뇌파의 종류 및 변화량을 감지

Eyetracking Inc.
암조명, 안경착용 등에도 계측 가능한 기술 제공
Bain vision LLC
Bain vision사는 neurophysiological 관련 솔루션 제공



○ 다차종 시뮬레이터【☞ 컨택업체 : Doron社, E-tech simulations社】

- 특수차량에 대한 시뮬레이터 개발 및 보급 필요성 증대
- 포크레인, 지게차 등 건설기기의 시뮬레이터 개발 → 교육용 활용

Doron Precision system Inc

Doron社는 도로주행 시뮬레이터의 40년 이상의 역사를 가진 회사로 국방용 차량, 대중교통, 트럭 관련 시뮬레이터를 개발하였으며, law enforcement, emergency response등 도로안전에 대한 연구를 진행

6.2 국외 선진 시뮬레이터 실험시설 견학

1) 미국 시뮬레이터 실험시설(National Advanced Driving Simulator (NADS))

○ NADS는 총 12년의 개발기간을 통해 2001년 가동을 시작한 미국 최초 Full-scale driving simulator로 약 800억 원의 개발비용 소요

○ 미국 도로교통안전국(National highway traffic safety administration, NHTSA)의 National science foundation 지원을 통해 University of Iowa에서 운영

○ 교통사고 등 극한 상황에서도 차량거동 분석이 가능하도록 시스템을 구축하였으며, 2000년대 초 당시 세계 최고 수준의 주행현실감 보유

○ 1시간내 시험차량 교체가 가능하며, 실험준비 비용 및 sickness를 최소화 하기 위한 기술력 확보

주요사양

- 영상시스템 : 360° 돔스크린(∅8m)
- 운동시스템 : 유압식 6축 운동 플랫폼(10ton급) + 360° Yaw table
  + 4채널 고주파(20Hz) 가진기 + X-Y 테이블 (20×20m)
- 캐빈시스템 : Full cabin (Volvo XC60 or Ford tauros)

National Advanced Driving Simulator (NADS)

○ 2001년 발주처인 NHTSA의 개발완료 승인을 받았으나, 시스템 튜닝 등의 내부적 문제를 해결하기 위해 추가적 개발과 완전한 시스템 통합 일정이 필요했으며 2006년 실제 개발 완료

○ 운영기간 15년 동안 영상, 음향, 운영실 등 두 차례 서브시스템을 일부 개선

- 운영비용 등의 최소화를 위해 PC 기반의 영상 컴퓨터를 사용
- 영상 프로젝터는 램프 교체가 필요 없는 영국 Digital Projection社의 1 chip DLP LED 프로젝터(해상도 1920×1200) 16기 사용
- 20개 채널의 영상 컴퓨터 이용 (기본 16기 채널 + 운영실에서 사용하는 Overview, Bird View 등의 특수 목적용 4채널 운영 중)
- 유압 구동방식의 모션 시스템 유지보수에 많은 비용이 소요되어 현재는 자체 인력을 통해 유지보수하고 있는 실정
- 전체 시스템의 전달 지연(Latency)은 57msec

○ 최근 승용차 캐빈을 새로 개발 중이며, 조향 반력장치로 E2M社 제품을 사용(Active Brake 포함)

○ 제어힘로딩 장치는 엔진룸 뿐만 아니라 트렁크 공간도 사용하고 있으며, 트렁크 공간에는 컴퓨터 등 부피가 있는 장치를 장착하여 구성

○ 시스템 운영자석과 실험결과 분석을 위한 공간과 설비가 별도로 구성되어 운영

○ 관찰자석은 별도로 없으며, 운영실에서 operator의 형태로 실험에 간접적 참여 가능

○ 적은 공간에 많은 정보 표시를 위하여 모니터를 세로로 사용하고 있으며, 실험 중 데이터는 60~250Hz 주기로 저장

○ 해당 기관에서는 Mini-Sim을 개발하여 제품으로 판매하고 있으며 미국 전역에 대략 50여대 판매

○ NADS의 운영현황

- 공식적인 소속은 Univ. of Iowa 내부 조직인 CCAD (Center for Computer Aided Design)이나, 현재는 소속 대학의 예산지원 없이 독립적으로 운영
- 현재는 대학교수나 대학원생 등은 포함하지 않고 운영인력 23명으로 1년에 15~25개의 크고 작은 프로젝트를 수탁하여 수행
- 운영 초기엔 사용료로 1시간 당 1,000~1,500USD을 받았으나, 현재는 940USD를 수임
- 1년에 최소 400~500시간의 사용료를 받아야 센터의 운영 및 유지가 가능하고 현재 공공기관과 기업 발주처의 비율은 대략 50:50 수준으로 운영하고 있는 상황
- 수탁연구 주제의 제한은 없으나 최근에 추진하는 연구분야는 ⅰ)고안전 차량, ⅱ)자율주행차량의 운전자 반응연구, ⅲ)자동/수동 운전 전환 시의 운전자 반응 연구가 주류
- 대형, 소형 모두 자체적으로 개발한 동일 버전의 소프트웨어를 사용 중이고, 멀티 시뮬레이터가 동일 가상공간에서 작동되는 병행운전은 15년 전 구현한 바 있는 것으로 확인
- 본 실험시설의 경우 15년 이상의 운영 노하우의 공유를 위해 다양한 컨설팅 과제를 수행 중에 있으며, 우리공사 실험시설의 효율성 제고를 위한 다양한 업무 협력 구조를 모색할 예정

※ 컨설팅 내용
- 시뮬레이터 장비별 교체 사이클 분석 및 재투자 시점 검토
- 도로안전 관련 연구개발사업의 기획 및 평가 방안 검토
- 도로주행 시뮬레이터의 시나리오 설계 및 분석 기법 검토
- NADS를 활용한 미국 내 R&D 연구분야 소개 등

- NADS의 경우 비영리 기관의 입장에서 센터 운영을 위한 현실적인 정책제언이 가능할 것으로 판단되며, 우리 공사와의 지속적인 업무협의가 가능할 것으로 판단

○ NADS의 탑승 및 실험 참가

- 실험제목 : 공사장(유지관리작업장) 처리계획(안) 수립
- 실험목적 : 뉴저지형 방호울타리 단일차로 폭원 조정에 따른 운전자 주행행태 분석
- 실험조건 및 자료구성
  - 좌우측단 뉴저지형 방호울타리 설치폭원(3.6~3.0m) 조정
  - 뉴저지형 방호울타리 설치폭원별 시나리오 연장 각 3km
- 파일롯(피험자 박제진) 실험 결과
  - 방호울타리 설치폭원이 좁을수록 운전자 주행 압박감 증대
  - 방호울타리 설치폭원(3.0m)의 경우 잦은 가감속 및 운전자 시각적 피로도 급증
  - 15년 운영된 노후장비의 재현수준 한계로 시각적 Sickness 발생, DS 운동시스템과 시각시스템 동기화를 위한 최적화 부족

NADS의 탑승 및 실험 참가

2) 유럽지역 시뮬레이터 실험시설

○ Bosch Rexroth 社 방문을 통해 모션플랫폼 기술수준 파악

- Stuttgart 대학, 스웨덴 국립 도로교통연구원(VTI), 중국 고속도로 연구소(RIOH), 중국 동제대학교 및 한국교통안전공단과의 합작 프로젝트를 시행한 경험이 있으며, 각 기관의 시뮬레이터 모션 플랫폼을 제작, 납품, 유지보수를 시행하고 있는 기관
- Bosch Rexroth 社에서 개발 및 납품했던 장비들과 본 사업에서 도입하고자 하는 장비의 스펙을 상호 비교하였고, 실제 연구장비의 제작 가능성을 검토한 결과, 최종적으로 해당 장비 구현이 기술적으로 가능하다는 답변을 받았으며, 향후 실험시설 확장을 위해 우선적으로 집중 투자해야 하는 장비 목록에 대한 전문가/기술자의 기술자문 의견을 적극 수용

실험시설	Base platform 방식/축/tonf	Yaw Table 각도(°)	X-Y축 Table 규모(m×m)	Vibration Table Ch/Hz
Mercedes-Benz	유압식/6/12	90	횡방향 12	-
VTI simulator	전기식/6/2.5	-	6×8	-
Stuttgart 대학	전기식/6/4	-	6×10	-
RIOH 고속 도로 연구소	전기식/6/4	360	횡방향 5	4/5
동제 대학교	전기식/6/2.5	-	5×19	-

○ Stuttgart 대학 시뮬레이터 실험시설 방문을 통해 최신 레일방식 운영수준 파악

- 본 출장에서는 Stuttgart 대학의 시뮬레이터 실험시설을 직접 방문하였으며, 보유 중인 실험장비의 상세 사양 정보를 공유하였고, 현재 구축 중인 시뮬레이터에 탑승하여 대규모 시뮬레이터의 주행특성을 파악하고 현실 재현수준에 대한 실증적 체험 시행
- Stuttgart 대학의 시뮬레이터 Forschungsinstitut fük Kraftfahrwesen and Fahrzeugmotoren Stuttgart(FKFS)는 기존의 국내 시뮬레이터와는 달리 X, Y 레일을 설치하여 지속적인 횡가속도를 구현하고 있었으며, 실제 탑승 결과 매우 우수한 재현수준을 체감할 수 있음에 따라, 본 실험시설 구축 시 X, Y 레일의 설치가 매우 중요한 요소임을 직접 체험하게 된 중요 계기로 확인
- FKFS 시뮬레이터는 4tonf의 하중을 견딜 수 있는 모션플랫폼이 설치되어 있으며, 돔 안에 실제 Porsche 차량 Cabin을 장착하고 360° 프로젝터 영상을 통해 현실감 있는 주행환경을 제공

시뮬레이터 실험동 전경	FKFS 시뮬레이터 모션 플랫폼
FKFS 시뮬레이터 홍보관	FKFS 엔지니어와의 기념촬영

○ Daimler Benz 시뮬레이터 실험시설 견학을 통해 세계적 수준의 실험장비 수준을 파악함

- Driving Simulator Conference(DSC) 2015 국제학술대회 프로그램 중 세계 최고 수준의 시뮬레이터인 Daimler-Benz (Mersedes benz)의 시뮬레이터를 견학할 수 있는 기회 제공
- 벤츠 시뮬레이터는 현존하는 시뮬레이터 중 가장 빠른 순간 가속도 1.0G($\fallingdotseq 9.8m/s^2$)를 제공하며, FKFS 시뮬레이터의 경우 0.4G, 본 사업은 0.7G 수준을 목표사양으로 채택하여 실험시설 구축계획 수립에 적극 반영 예정

3) 중국 시뮬레이터 실험시설

가) 동제(同濟)대학교(Tongji University) 견학

○ Simulator center 개요

- 동제대학교는 건축, 자동차, 교통공학으로 유명한 대학으로 상해 Jiading 캠퍼스 교통공학과에 해당 시설물이 설치되어 운영 중
- 시뮬레이터 센터는 2011년에 개소하였으며, 50억 규모의 실험장비 (X-Y rail 포함)를 갖춘 당대 최대 규모, 혁신적인 실험시설로 평가(중국 최초의 초대형 시뮬레이터)
- 도로-환경-인간-차량 간의 상호 교류작용(Mutual interaction)을 시뮬레이션을 통해 분석하는 것이 주된 연구 목표

- 운전자 행태 : 운전자 뇌파, 심전도, 피로도, 안구이동 분석 - 도로환경/설계 : 설계기준의 upgrade, 개통전 RSA, 주행속도별 도로 안전성 평가 등 - 주행환경/안전 : 우천시, 우설시, 강풍시 운전자 행태분석, 고령 운전자 증가에 따른 표지판 규격 적정성 검토 등 - 첨단안전운전시스템(ADAS) : 능동안전지원시스템 효과평가, 운전자 피도로 관측 및 경고서비스에 대한 응답성 평가

○ Simulator center 운영방안

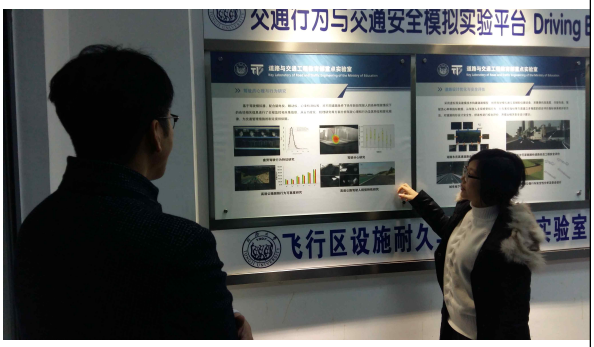
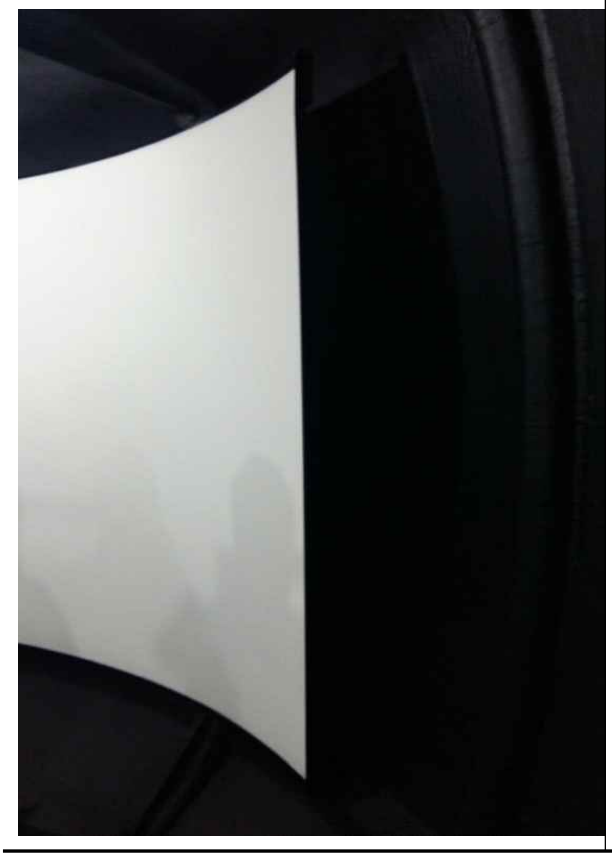
- 국책과제 수행 : 정부 내 국가설계원에서 도로선형 적정성 평가 등의 연구과제를 동제대학에 의뢰, 운영 중 도로의 선형개량사업의 대안별 안전성 검토 수행
- 협업과제 수행 : 전자통신연구원, 자동차 제조업체(상해자동차, 제일자동차)와의 협력연구 다수 수행함
- 운영인력 : 현재 해당시설 담당교수 외 Full-time 연구자 3명으로 본 실험센터 구성 및 운영 중, 현재 소규모 인원으로 센터를 운영하는 것에 한계점에 봉착하였으며, 센터 운영을 위한 최소 인원(3인) 외 분야별 전문인력 6인(연구기획, 영상제조, H/W설비, S/W설비, DB관리, A/S 등)이 추가적으로 필요
- 유지보수 : 시뮬레이터 제조업체(OKTAL社, France)으로 3년 단위의 유지관리 업무 계약 체결, 1년에 두 차례에 걸친 정기 검사를 수행, 소규모 유지보수의 경우 교내 자체적인 정비인력 및 예산을 사용, 대규모 유지보수의 경우 제조자의 지원을 통해 유지관리업무 수행
- 공동 사용 : 정부정책에 따라 본 실험시설은 외부기관에 일부 가동률을 할당/공유하는 사업방식을 채택하고 있으며, 외부기관 사용시 시간 당 1,250위안(20만원) 부과

○ 시스템 주요 특성

- 트럭, 버스 등 다양한 차종에 대한 실험은 불가능함(현재 소형 세단 Renault社의 Megan 모델 적용)
- 돔스크린 내부에 직접 투사하는 방식이 아니라, 돔 내부에 평면스크린을 별도 설치하여 영상을 투사함
- 운동시스템 가동시 미세한 영상 떨림 발생
- 250° 범위 내에서만 가상주행환경 모사 가능
- 돔의 가반하중을 최소화를 위해 차량에 프로젝터 거치하는 방식으로, 진동에 취약
- X-Y Rail을 활용한 순간적인 가감속의 모사는 훌륭한 편이나, 통행속도 120km/h 이상으로 운행할 때 재현성에 한계가 존재하는 것으로 확인

○ 기타

- 2011년 최초 가동부터 현재까지 모든 실험수행 시 무사고 기록 보유
- 연구수행팀과 실험센터 운영/관리팀 간의 소통이 매우 중요하여 본 실험센터의 규모에는 통합된 전담팀 조직구성 및 운영이 매우 중요한 것임을 주장

동제대학교 연구사례 소개	차량 상단에 3개의 프로젝터 설치
	
250° 영상출력, Eye-tracking 장비 탑재	X-Y Rail의 적용
돔 내부의 거치식 스크린	시뮬레이터 홍보물 (Newsletter) 정기 발간
	

NEWSLETTER jointly issued by

111 Project on Transportation Safety Discipline
Joint International Research Laboratory of Transportation Safety

Issue 2 March 2017

1. Introduction

With the strength of the College of Transportation Engineering of Tongji University, the Joint International Research Laboratory of Transportation Safety is an international collaborative platform for scientific research and academic communication of transportation safety. Focusing on the four research directions of "traffic behavior investigation and improvement," "infrastructure design safety evaluation and improvement," "transportation safety management" and "cooperative vehicle infrastructure system and advanced driver assistant system," the International Research Laboratory has built an international and interdisciplinary transportation safety research team that has accomplished groundbreaking projects.

The Joint International Research Laboratory of Transportation Safety, working with Tongji's College of Transportation Engineering, has undertaken 15 international collaborative projects as well as dozens of national and provincial projects in the field of transportation safety. Each year the Laboratory publishes more than 20 International journal papers, and since its inception, has presented over 70 Transportation Research Board Annual Meeting conference papers. The Joint International Research Laboratory of Transportation Safety actively engages in collaborations with top international universities, research institutes, governments and corporations. Joining forces with various organizations, the Laboratory is committed to promoting the comprehensive improvement of China's transportation safety.

2. Supporting Platform Highlights

1) 2016 Technical Committee, Annual Meeting of the Road Traffic Safety and Environmental Engineering Research Center of the Ministry of Education

The meeting of the 2016 Technical Committee at the Annual Meeting of the Road Traffic Safety and Environmental Engineering Research Center of the Ministry of Education was held on January 21st, 2017. Shouren Fang, Executive Deputy Secretary of the Party Committee and Vice President of Tongji University as well as Director of the Research Center, along with senior leaders of the Scientific Research Institute and the Tongji College of Transportation Engineering, attended the meeting with Technical Committee members.

Members of the Technical Committee reviewed the Center's work report. They spoke highly of the research carried out by the Center, which completed seven high-level creative achievements with effective application, and brought forward suggestions for improvement in research, collaboration promotion and establishment of industrial base.

2) 2016 Academic Committee, Annual Meeting of the Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education

The meeting of the 2016 Academic Committee at the Annual Meeting of the Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education was held on October 27th, 2016. Haitao Zhou, Director of the Academic Committee presided over the meeting. The attendees were briefed by Jianming Ling, Director of the Key Laboratory, on the Laboratory's work. Recent Laboratory development, outstanding achievements, operation management and future development were discussed in detail. The Committee members believed significant headway has been made in the Key Laboratory in the areas of expert team building, scientific research and international communication. Prominent achievements were attained in research projects, awards, publications and talent cultivation.

나) 동남(東南)대학교(Southeast University) 견학

○ Simulator center 개요

- 현재 구축 중인 사업으로 2018년 4월에 Center 정식 개소 및 운영
- X-Y Rail을 구축하지 않은 대신, 다수의 시뮬레이터와의 연동 운영을 주된 목표
- 무인차, 자율차 도입에 따라 일반차와 자율차 간의 상호작용 규명을 위해 다수의 simulator 연동 추진
- 현재 중국 내 60세 이상의 고령운전자가 2030년 기준 2억 명을 초과할 것으로 추산
- 운전자의 연령대별 운전행태, 운전능력에 대한 지표를 Spectrum화하여 도로/교통 요소 개선하는데 목적으로 활용
- 현재 중국의 경우 대부분 미국, 일본에 대한 기준을 무분별하게 준용하여 실무에 적용하고 있는 실정이나, 도로에 대한 설계 철학, 운전자 및 차량 특성이 변모됨에 따른 도로/교통 정책의 탄력적 변화 필요
- 횡단보도 앞에서 대기하는 차량의 인내심에 대한 연구 등 운전자 행태 및 심리를 반영한 교통시스템의 전반적 설계 중요
- 교통류 구성 차종 중 특수차(슈퍼카, 스포츠카)가 미치는 영향 검토
- 교통법규 강화에 따른 운전자의 반응 및 수용 가능성 검토
- 경찰과의 협의체 구성, 교통사고 다발 운전자를 대상으로 운전행태, 위험요인 분석(교통사고 고위험군 행태분석) 시행
- 동남대학교는 우선적으로 도로/교통의 전통적 연구 소재에 초점을 맞추어 연구를 진행할 계획이며, 이후 도로공사 등 타기관과의 협업을 통해 미래도로(스마트하이웨이), 자율차에 대한 협업 계획 수립

○ Simulator center 운영방안

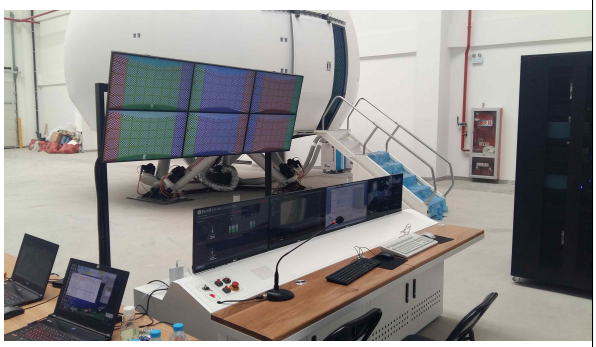
- 국가에서 주도하는 대규모 실험시설에 대한 예산의 일부를 동남대학교 교통공학과가 할당받아 본 센터를 건립
- 동제대학교와 마찬가지로 외부에서 사용료를 징수한 뒤 실험시설을 공유하는 형태로 운영 가능
- 중국에서는 현재 기관별로 시뮬레이터 실험시설을 개별적으로 운영하고 있으며, 시뮬레이터 연구를 주도하거나 선도하는 협의체, 주요 학회 전무
- 향후 중국내 3대 실험센터(동제대학교, 동남대학교, 공로과학연구원)와 도로공사를 포함한 도로교통부문 공동 컨퍼런스 제안

○ 시스템 주요 특성

- 현재 한국도로공사에서 추진 중인 도로주행 시뮬레이터의 절반 정도의 장비사양 보유
- 현대자동차의 Sonata를 기준으로 승용 캐빈을 구성하였으며, 돔 내부의 6개 채널 프로젝터를 통해 360° 영상을 돔 내부 스크린에 직접 투사하는 방식 적용
- 비교적 최신의 장비를 적용함에 따라, 터널내 부의 도플러 효과, 노면상태에 따른 진동 모사가 가능
- 피험자 실험 중 시동을 끄거나 안전벨트 해제 등 긴급상황 발생 시 별도의 안전대책을 마련할 수 있도록 알고리즘을 구성하고, 테스트를 진행인 것으로 확인

○ 기타

- 360° 돔스크린에 직접투사하여 높은 현실감을 재현, 연구에 최적화된 실험환경(Lan선, 전력공급선, 노트북 거치대) 조성
- 소형 시뮬레이터와의 안정화된 연계작동을 통해 차량 간 추종관계, 돌발상황에 따른 후행차량 거동 분석 등에 최적화
- 초반 가속시 X-Y Rail의 부재로 가감속에 대한 현실감 저하
  ☞ 한국도로공사의 경우 X-Y rail을 구비하고 Actuator가 긴 모션플랫폼을 적용함에 따라 최대 0.7G의 가속력 모사가능
- 시속 100km/h 이상의 고속주행 시 현실감이 저하되는 현상 발생
  ☞ 한국도로공사의 경우 바이브레이터를 활용하여 노면진동을 극대화 시키고, 브레이크, 핸들에 대한 답력을 조정하여 일부 성능 개선 가능

시뮬레이터 센터 방문	도로주행 시뮬레이터 시현
시뮬레이터 운영 제어 시스템	교통공학과 교수 면담
	
시뮬레이터 2기의 연동 운전	현지 개발팀과의 컨설팅

다) 공로과학연구원(公路科學研究員, Research Institute of Highway, Ministry of Transport) 견학

○ Simulator center 개요

- 공로과학연구원의 Simulator 센터는 2008년도에 구축계획에 착수하여, 2013년도에 완공 및 운영
- 8자유도의 운동시스템에 바이브레이터를 설치, CARSSIM(혼다 Accord), TRUCKSIM(현대 Xient) 모사 가능
- 캐빈 교체를 계획단계에서부터 염두에 두어 높은 전고를 갖는 돔의 형상 적용
- 프로젝터의 출력범위를 넓게 설정하여, 캐빈 교체시 운전자의 눈높이 변화를 모두 수용 가능하도록 설계

○ Simulator center 운영방안

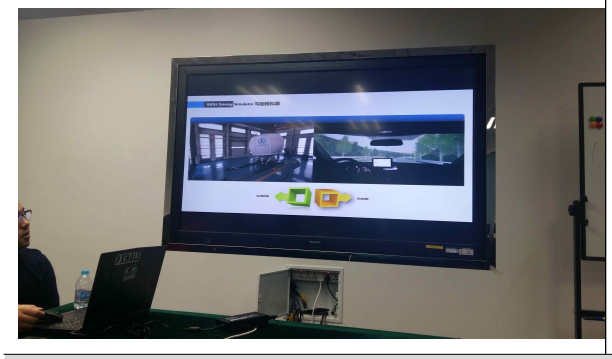
- 현재 3명의 전담 연구인력으로 운영 중에 있으며, 보다 활발한 활용을 위해 전문가 인력풀을 확보하는 것이 중요함을 강조
- 실험센터 내 실험시설을 정비/유지관리하는 전문인력을 별도로 상주
- UC-WinRoad를 사용하는 인근 대학과의 협업을 통해 영상제작 등의 업무를 외주 처리하는 방안으로 연구 수행의 효율성 제고
- 2014년부터 현재까지 6개의 국책연구과제, 4개의 협업과제를 진행한 바 있으며, 2017년 현재 안정화 단계에 돌입하여 3개의 국책연구과제를 수행 중
- 실험장비 유지관리비용의 경우 국책연구과제의 연구비 및 외부기관 사용료 징수(90만원/시간)를 통해 충당
- 해당 실험시설의 경우 프로젝터의 램프수명(800시간/개)이 짧고, 구동을 위한 전기료가 비싸 외부사용료를 높게 책정
- 실험시설 유지관리 비용 충당을 위해 정부기관 설득, 신규 프로젝트 발굴의 중요성 강조

○ 시스템 주요 특성

- 일본 Forum8社의 UC-WinRoad 운영 프로그램 활용
- 별도의 Plug-in 서비스를 활용하여 교통류 미시 시뮬레이션 VISSIM과의 연계구동 가능
- VISSIM에서 교통류 환경 및 분석 시나리오를 설정 후 Plug-in을 통해 UC-WinRoad 운영 프로그램에 시나리오 탑재 가능
- 단, VISSIM과 UC-WinRoad의 실시간 연동은 한계점이 존재
- UC-WinRoad는 개발자에 최적화된 프로그램으로 도로환경을 가상의 영상으로 제작이 용이하며, 다양한 Plug-in 기능 활용 가능

○ 기타

- 현재 X축 rail만 구비되어 있는 상태로 향후 Y축 Rail 신설을 위해 센터 내 여유 부지 확보 중
- 따라서 실험시설 계획시 확장성을 감안한 설계의 중요성 강조
- 매년 실험시설 Upgrade를 위한 우선순위를 설정하여 정책에 반영
  - ☞ 1순위 : 다양한 프로그램과의 연계(Unity, VISSIM 등)
  - ☞ 2순위 : 보다 영구적인 프로젝터(LED, Laser type) 교체
  - ☞ 3순위 : 연계구동/실험을 위한 소형시뮬레이터 개발
  - ☞ 4순위 : 가진성 향상을 위한 Y축 rail 신설

시뮬레이터 센터 방문	RIOH 도로주행 시뮬레이터 팀 면담
연구장비 및 사례 소개	RIOH 도로주행 시뮬레이터 팀 면담
	

RIOH 도로주행 시뮬레이터 실험장비

7. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	국토교통과학기술진흥원의「연구개발사업 보안관리지침」과 한국도로공사의「국가연구개발사업보안관리지침」과 「정보보안 세부운영지침」에서 정하는 바에 따라 연구책임자의 보안성 검토결과, 본 과제는 외부 공개가능 등급으로 분류되었음	

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

연구시설·장비명	구축금액 (천원)	구축일자	활용용도	설치장소	NTIS 시설장비 등록번호
도로주행 시뮬레이터 통합운영관리시스템	3,046,693	2018.10.10	도로주행 시뮬레이터 제어 통제	도로교통 연구원	NFEC-2018-11-247156
도로주행 시뮬레이터 운동시스템 장비	6,063,816	2018.10.10	실제차량을 운전하고 있다는 느낌을 받을 수 있도록 차량의 운동을 모사하는 장치	도로교통 연구원	NFEC-2018-11-247060
도로주행 시뮬레이터 영상시스템 장비	1,448,183	2018.10.10	가상주행환경 영상정보를 우넌자 시각으로 직접 전달해주는 시스템	도로교통 연구원	NFEC-2018-11-247103
도로주행 시뮬레이터 음향시스템 장비	116,806,850	2018.10.10	차량 주행 시 발생되는 차량소음 및 주변 환경음을 실시간으로 생성하는 시스템	도로교통 연구원	NFEC-2018-11-248305

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

가. 연구실 안전조치 이행계획

○「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 및「산업안전보건법」에 따른 연구실 안전점검 및 연구실 안전 운영 규정을 준수하여 당당연도 안전관리대책 수립
- 실험시설 위험상황 시 대피동선을 고려한 내부 레이아웃 설계 및 시공
- 연구종사자 건강검진 및 안전교육 훈련 시행
- 실험시설(장비 및 건축동) 안전점검 및 안전진단은 운영단계(2019년)에서 시행

나. 유전자변형생물체(LMO) 연구시설 및 수입 신고 현황(해당사항 없음)

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

10.1 특허등록/출원

구분	연차	특허명칭	등록/출원번호	등록일	저작권자명	비고
1	3	시뮬레이터 수동기어 위치검출 장치	10-2017-018346	2017.12.29.	한국도로공사	출원 (등록 진행중)
2	3	브레이크 답력체험 시뮬레이터	10-2017-0182529	2017.12.29.	한국도로공사	출원 (등록 진행중)
3	3	변속단 변화의 자동검출 기능을 갖는 시뮬레이터용 자동변속기	10-2017-0183047	2017.12.29.	한국도로공사	출원 (등록 진행중)
4	4	6자유도 모션플랫폼의 부하무게 및 위치 추정 방법	-	-	한국도로공사	출원 진행중
5	4	시뮬레이터의 위험 상황 감지 방법	-	-	한국도로공사	출원 진행중

10.2 프로그램 등록

구분	연차	SW명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명
1	2	시뮬레이터 3차원 차량계기판 표출프로그램	2016.11.25.	박제진 등 3명	2016.12.28.	C-2016-034737	한국도로공사
2	2	시뮬레이터 조향 반력장치 제어프로그램	2016.11.25.	박제진 등 3명	2016.12.28.	C-2016-034738	한국도로공사
3	2	시뮬레이터 캐빈신호 처리 프로그램	2016.11.25.	박제진 등 3명	2016.12.28.	C-2016-034739	한국도로공사
4	3	클러스터 메이크 프로그램	2017.08.21.	박제진 등 2명	2017.12.15.	C-2017-033873	한국도로공사
5	3	바이브레이터 프로그램	2017.08.21.	박제진 등 2명	2017.12.15.	C-2017-033874	한국도로공사
6	4	셧다운 프로그램	2018.03.07.	박제진 등 2명	2018.10.23.	C-2018-029287	한국도로공사
7	4	프로젝터 컨트롤 프로그램	2018.03.30.	박제진 등 2명	2018.10.30.	C-2018-029288	한국도로공사

10.3 국내외 논문 게재

구분	연차	논문명	학술지명	주저자명	Vol. (No)	SCI여부	게재 일자
1	3	가상주행 시뮬레이터를 활용한 고속도로 차로유도선 적정 연장길이 산정 연구	한국ITS학회 논문지	박제진	제16권 제5호	비SCI	2017. 09.19 .
2	3	가상주행 시뮬레이터를 활용한 시선유도시설 효과평가 연구	한국도로학회 논문집	박제진	제19권 제5호	비SCI	2017. 09.29 .
3	4	An Analysis of Driver Eye Movements on Expressway Ramps based on a Driving Simulator	한국도로학회 발표논문 초록집 봄학술대회 논문집	박용진	pp.47	비SCI	2018. 5.31.

11. 기타 사항

11.1 시스템 성능 평가

○ 실차주행 기준 재현수준은 정성적인 부분으로 정량적인 평가기준 또는 판단근거를 제하기 어려움 존재

○ 본 과제에서는 전문 드라이버를 시뮬레이터에 탑승시켜 실제차량의 동특성과 유사하도록 튜닝과정 수행

○ 전문 드라이버가 시뮬레이터 성능 수준이 실제차량과 유사하다고 판단할 때까지 튜닝과정을 수행

○ 주행환경 및 운전자 체감도 개선/유지를 위해 연 2회 체감도 튜닝작업을 프로 드라이버 시승작업 수행 추진

▢ 도로주행 시뮬레이터 차량 동특성 및 모션 튜닝

○ 방법 : 전문 드라이버가 시뮬레이터에 탑승하여 가상 도로를 주행하면서 차량의 거동에 대한 의견을 실시간으로 Commnet 하면 시뮬레이터 제작업체의 엔지니어가 시뮬레이터의 차량 동특성을 튜닝하여 실제와 같은 차량 거동을 구현

○ 대상차량 : 현대 소나타 18년형

○ 전문 드라이버 요구사항 : 대상 차량의 테스트를 직접 참여한 경험이 있거나 대상 차량의 차량 거동에 대해 많은 경험을 가진 전문 드라이버

○ 전문 드라이버 임무 : 시뮬레이터를 탑승하고 다양한 가상도로(도심, 고속도로, 주행 시험로 등)를 주행하면서 차량의 거동(가속, 감속, 조향 등)을 실시간으로 튜닝 엔지니어에게 전달

▢ 실차주행 기준 재현수준 평가 수행

○ 시뮬레이터를 탑승하여 다양한 도로 주행에 따른 거동에 대하여 평가

○ 기간 : 5일 (2018.12.01.~2018.12.14.)

○ 전문 드라이버 경력

- 현대자동차 연구소 차량시험팀 근무 34년(주행시험장의 다양한 도로에서 각종 차량 성능평가)
- 영국 LOTUS High Performance Driving 교육 이수, 국내 스페셜 운전교육 이수
- Rider & Handling 전문평가 드라이버 및 KATRI 법규시험 담당 (제동/조향/최고속 등)
- 현대차/모비스/중국동계시험의 연구원 전문 운전 교육 강사
- 넥센타이어 성능 및 차량상품성 평가 다수 경력
-

12. 참고 문헌

1. Shun-Hui Chang, Chih-Yung Lin, Chin-Ping Fung, Jiun-Ren Hwang, Ji-Liang Doong, Driving performance assessment: Effects of traffic accident location and alarm content, Accident Analysis & Prevention, In Press, Uncorrected Proof, 4 June 2008.
2. Tsang-Wei Lin, Sheue-Ling Hwang, Jau-Ming Su, Wan-Hui Chen, The effects of in-vehicle tasks and time-gap selection while reclaiming control from adaptive cruise control (ACC) with bus simulator, Accident Analysis & Prevention, Volume 40, Issue 3, May 2008, Pages 1164-1170.
3. Julie Hatfield, Ralston Fernandes, Gavin Faunce, R.F. Soames Job, An implicit non-self-report measure of attitudes to speeding: Development, and validation, Accident Analysis & Prevention, Volume 40, Issue 2, March 2008, Pages 616-627.
4. Nai Chi Jonathan Yeung, Courtney von Hippel, Stereotype threat increases the likelihood that female drivers in a simulator run over jaywalkers, Accident Analysis & Prevention, Volume 40, Issue 2, March 2008, Pages 667-674.
5. S.L. Chisholm, J.K. Caird, J. Lockhart, The effects of practice with MP3 players on driving performance, Accident Analysis & Prevention, Volume 40, Issue 2, March 2008, Pages 704-713.
6. Jeff K. Caird, Chelsea R. Willness, Piers Steel, Chip Scialfa, A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance, Accident Analysis & Prevention, In Press, Corrected Proof, 25 February 2008.
7. Samuel G. Charlton, The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments, Accident Analysis & Prevention, Volume 39, Issue 5, September 2007, Pages 873-885.
8. Rami Harb, Essam Radwan, Xuedong Yan, Mohamed Abdel-Aty, Light truck vehicles (LTVs) contribution to rear-end collisions, Accident Analysis & Prevention, Volume 39, Issue 5, September 2007, Pages 1026-1036.
9. Xuedong Yan, Essam Radwan, Dahai Guo, Effects of major-road vehicle speed and driver age and gender on left turn gap acceptance, Accident Analysis & Prevention, Volume 39, Issue 4, July 2007, Pages 843-852.
10. Lisa Dorn, David Barker, The effects of driver training on simulated driving performance Accident Analysis & Prevention, Volume 37, Issue 1, January 2005, Pages 63-69.
11. Samuel G. Charlton, Perceptual and attentional effects on drivers' speed selection at curves, Accident Analysis & Prevention, Volume 36, Issue 5, September 2004, Pages 877-884.
12. Hoe C. Lee, Don Cameron, Andy H. Lee, Assessing the driving performance of older adult drivers: on-road versus simulated driving, Accident Analysis & Prevention, Volume 35, Issue 5, September 2003, Pages 797-803.
13. Mark S. Horswill, Shaun Helman, A behavioral comparison between motorcyclists and a matched group of non motor cycling car drivers: factors influencing accident risk, Accident Analysis & Prevention, Volume 35, Issue 4, July 2003, Pages 589-597.
14. Pierre Thiffault, Jacques Bergeron, Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study, Accident Analysis & Prevention, Volume 35, Issue 3, May 2003, Pages 381-391
15. M. Mila Macchi, Ziad Boulos, Thomas Ranney, Lucinda Simmons, Scott S. Campbell, Effects of an afternoon nap on nighttime alertness and performance in long-haul drivers, Accident Analysis & Prevention, Volume 34, Issue 6, November 2002, Pages 825-834.
16. Orit Taubman Ben-Ari, Victor Florian, Mario Mikulincer, Does a threat appeal moderate reckless driving? A terror management theory perspective, Accident Analysis & Prevention, Volume 32, Issue 1, January 2000, Pages 1-10.
17. Thomas A. Ranney, Lucinda A. Simmons, Anthony J. Masalonis, Prolonged exposure to glare and driving time: effects on performance in a driving simulator, Accident Analysis & Prevention, Volume 31, Issue 6, November 1999, Pages 601-610.
18. Jan Törnros, Driving behaviour in a real and a simulated road tunnel:a validation Study, Accident Analysis & Prevention, Volume 30, Issue 4, July 1998, Pages 497-503.
19. Michael G. Lenné, Thomas J. Triggs, Jennifer R. Redman, Time of day variations in driving

performance, Accident Analysis & Prevention, Volume 29, Issue 4, July 1997, Pages 431-437.
20. Thomy Nilsson, Thomas M. Nelson, Dona Carlson, Development of fatigue symptoms during simulated driving, Accident Analysis & Prevention, Volume 29, Issue 4, July 1997, Pages 479-488.
21. P. A. Desmond, G. Matthews, Implications of task-induced fatigue effects for in-vehicle countermeasures to driver fatigue, Accident Analysis & Prevention, Volume 29, Issue 4, July 1997, Pages 515-523.
22. Craig Newton, Renatus N. Mussa, Edward K. Sadalla, Elizabeth K. Burns, Judson Matthias, Evaluation of an alternative traffic light change anticipation system, Accident Analysis & Prevention, Volume 29, Issue 2, March 1997, Pages 201-209.
23. Håkan Alm, Lena Nilsson, The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation, Accident Analysis & Prevention, Volume 27, Issue 5, October 1995, Pages 707-715.
24. Håkan Alm, Lena Nilsson, Changes in driver behaviour as a function of hands free mobile phones: A simulator study, Accident Analysis & Prevention, Volume 26, Issue 4, August 1994, Pages 441-451.
25. Herbert Moskowitz, Marihuana and driving, Accident Analysis & Prevention, Volume 8, Issue 1, February 1976, Pages 21-26.
26. Herbert Moskowitz, Slade Hulbert, William H. McGlothlin, Marihuana: effects on simulated driving performance, Accident Analysis & Prevention, Volume 8, Issue 1, February 1976, Pages 45-50.
27. 萩原　亨,レーザ光を用いた視線誘導施設の開発に関する研究, 日本土木学会, 1995, Page738-739.
28. 下條　晃裕, ドライビングシミュレータを用いた長大トンネル走行の運転行動に関する研究, 1995, Page 740-741.
29. 下條　晃裕, 運転中の携帯電話操作問題に関する主観的メンタルワークロードの評価の試行, 1998, Page 662-663.
30. 平田　輝満, 都市内地下道路における運転者の意識水準低下に関する分析, 土木計画学研究・論文集　Vol.21 No.4, Page 915-923.
31. 飯田　克弘, 室内実験とドライビングシミュレータを用いた模擬実験によるサグ部の運転挙動分析, 土木計画学研究・講演集　No.22(2), Page 967-970.
32. 山崎　初夫, ドライバ状態モニターの開発と運転支援システムの警報方法の検討, IEEJ Trans. IA, Vol.125. No.11, Page 1038-1044.
33. 出口　満生, ドライビングシミュレータを用いた運転ストレスの試験方法, IEEJ Trans. SM, Vol.126. No.8, Page 438-443.
34. 中野　倫明, 高齢ドライバへの応用を考えた運転視力測定システム, IEEJ Trans. SM, Vol.126. No.11, page 4-596-601.
35. 山口 大助, 須田 義大, 織田 利彦, 大貫 正明, 石川 裕記, 洪 一基, 研究用ユニバーサルドライビングシミュレータの臨場感向上の取り組み, 自動車技術会(JSAE), ２００９春季学術講演会, No. 61-09, Page 11-14.
36. 米川　隆,　市街地走行の現実感を目指したドライビングシミュレータの開発, 日本自動車研究所(ＪＡＲＩ）ＩＴＳセミナー, 2009.
37. 永井正夫, 研究用ドライビングシミュレータの開発動向と活用の現状, 日本自動車研究所(ＪＡＲＩ)ＩＴＳセミナー, 2009.
38. 須田義大, ドライビングシミュレータによるITS研究-複合現実感交通実験スペースの構築, 日本自動車研究所（ＪＡＲＩ）ＩＴＳセミナー, 2009.
39. 大門樹, ドライビングシミュレータを活用したヒューマンインタフェースの設計・評価, 日本自動車研究所（ＪＡＲＩ）ＩＴＳセミナー, 2009.
40. 藤井健, JARIにおけるDSの活用と新型DSの紹介, 日本自動車研究所（ＪＡＲＩ）ＩＴＳセミナー, 2009.
41. 鎌田実, ２０３０年頃のモビリティの姿ジェロントロジーの立場から, ＪＡＲＩ ＴＭＳシンポジウム, 2009.
42. 東京都道路協議会, 東京都みちづくりアウトカムレポート, 2007.
43. 横山利夫,　ＨｏｎｄａのICT/ITS技術への取り組みーISIT, 第6回カーエレクトロニクス研究会ー, 2010.
44. 人間生活工学研究センター, 人間行動適合型生活環境創出システム技術プロジェクト, 2006.
45. 太田博雄, 西　盟, 加藤良隆, ドライビング・シミュレータを利用した若年運転者のための安全教育－コーチング技法を応用した教育プログラム開発－, IATSS Revies Vol.32, o.4, 2007.