

성과기준표 및 증빙자료

1. 과제 현황

		과제번호			18CTAP-C098646-03			
사업 구분	국토교통기술촉진연구사업							
연구 분야	ET				과제 구분		단위	
사업명	국토교통기술촉진연구사업						주관	
주관과제	도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축				주관연구책임자		박제진	
세부과제명	-				과제 유형		개발	
연구기관	한국도로공사				연구책임자		박제진	
연구 기간 연구비 (천원)	연차	연구개발기간	정부출연금	민간부담금		정부 외 출연금	상대국 부담금	계
				현금	현물			
	1차 연도	2015.06.22. ~ 2016.01.21	1,923,000	-	949,000	-	-	2,872,000
	2차 연도	2016.01.22. ~ 2017.01.21	1,820,000	450,000	256,000	-	-	2,526,000
	3차 연도	2017.01.22. ~ 2018.01.21	4,185,000	410,000	547,000	-	-	5,142,000
	4차 연도	2018.01.22. ~ 2018.12.21	6,762,000	400,000	248,000	-	-	7,410,000
	계		14,690,000	1,260,000	2,000,000	-		17,950,000
참여기업	-							
상대국	-		상대국 연구기관		-			

※ 총연구 기간이 5차 연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성

2. 평가일 : 2019.02.14.(목)

3. 평가자(연구책임자):

소속	직위	성명
한국도로공사	연구위원	박제진

성과기준표 및 증빙자료

수행연차	성과지표	측정방법	목표치	결과치	달성도
총 연구기간	실험시설 설계 및 인허가	실험시설 건축물 설계도 및 인허가	1건	1건	100 %
	실험시설 준공	실험시설 건축공사 및 준공	1건	1건	100 %
	시스템 상세설계	차량동역학, 운동시스템, 영상시스템, 제어 및 통제시스템, 시스템 통합	5건	6건	120 %
	서브시스템 구축	서브시스템 구축 건수	6건	6건	100 %
	보조시뮬레이터 구축	보조시뮬레이터 구축 건수	1건	2건	200 %
	데이터베이스구축	영상DB 구축 연장	400km	500km	125 %
		주행 시나리오 DB 구축 건수	30건	30건	100 %
	국내외 학술지 논문발표 건수	국내외 학술지 논문발표 건수	7건	28건	400 %
	협의체 운영	협의체 구성 및 자문회의 개최	6회	6회	100 %
	국내외 지적재산권 확보 건수	특허 출원 건수	2건	5건 (2건 진행중)	250 %
		특허 출원 및 등록 건수	1건	3건 (진행중)	300 %
		프로그램 등록 건수	7건	7건	100 %
	시스템 성능평가	목표대비 성능	100%	100%	100%
	실험시설 활용건수	수요기관 실험시설 활용건수	2건	2건	100%

증빙서류 목차

1. 실험시설 설계 및 인허가	1
2. 실험시설 준공	11
3. 시스템 상세설계	15
4. 서브시스템 구축	30
5. 보조시뮬레이터 구축	54
6. 데이터베이스 구축	55
6.1 영상 DB 구축	55
6.2 주행시나리오 DB 구축	55
7. 국내외 학술지 논문발표	56
8. 협의체 운영	58
9. 국내외 지적재산권 확보	59
9.1 특허 출원 및 등록	59
9.2 프로그램 등록	60
10. 시스템 성능평가	61
11. 실험시설 활용 건수	62

□ 실험시설 설계 및 인허가

○ 개 요

- 도로주행 시뮬레이터 실험시설 건축동은 경기도 화성시 동탄면 동부대로 922번길, 대지면적 484,641㎡의 한국도로공사 도로교통연구원 부지 내에 건축면적 1,575㎡로 건축되는 사항에 대하여 경기도 화성시와 협의한 결과, 인허가 제반 서류만 충족되면 부지 내 인허가는 문제 없는 것으로 답변을 받았음
- 건축동에 준하는 인허가를 받게 되면, 공공기관의 운영에 관한 법률 제5조에 따른 공기업은 연면적 1,000㎡ 이상시 신재생 에너지 의무 사용
- 실험시설 조성부지는 자연녹지지역으로 진동·소음 규제지역의 범위에 해당됨으로 허용기준을 준용한 건축물 실시설계 시행(소음·진동관리법 시행규칙 제 26조)
- 실험시설은 1,000㎡ 이상으로 내진설계를 고려한 실시설계 시행(건축법 시행령 제32조)

○ 실시설계

- 실시설계 추진을 위한 발주방식 등의 검토를 위해, 건설연구인프라 운영원 CM단, 내부 연구진 및 관련 부서(연구원 시설파트), 국토교통부 등과의 협의를 수행하였음
- 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 방식이 있음)와 입찰(PQ적용)이 가능함
- 본 실험시설은 설계자의 대응능력이나 아이디어가 필요하기 때문에 설계자의 경험 및 역량, 수행계획 및 방법 등을 심사하는 제안공모 방식으로 결정하였음
- 실시설계는 2015. 08. 31 최초 발주를 기준으로 사업자 선정 시까지 총 4회에 걸쳐 발주를 시행하였으며, 최종 사업자 선정은 2015. 12.16에 선정됨
- 사업자 선정은 당초 계획보다 약 4개월 지연되었지만, 실험시설 전체적인 공정에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단

발주 일자	내용	비고
(1차) 2015. 08. 31	1개 업체 등록	유찰
(2차) 2015. 10. 08	제안공모 심사 (2개사)	유찰 실격(1개사), 부적합(1개사)
(3차) 2015. 10. 21	업체 민원 제기 (공고서 수정)	공고 취소
(신규) 2015. 11. 17	2개 업체 등록 (12. 11 심사)	사업자 선정 (주)에스디파트너스

○ 실시설계 추진

구분	주요 추진 내용	
과제 협약 (2015.06)	2015.06.22	국토교통기술촉진연구사업 「도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축」 과제 협약 (2015.06.22~2018.12.21(3.5년))
실시설계 발주준비 (2015.09~12)	2015.09~10 2015.10~12	설계발주 및 사업자 선정방식 결정 기본설계 보완 및 실시설계요령 작성
설계사 선정 및 실시설계 착수 (2015.11~2016.02)	2015.11.17 2016.02.17	설계사 선정 조달 발주 공고 설계사 계약 및 설계 착수 - (주)에스디파트너스건축사사무소
실시설계 (2016.02~06)	2016.02.23 2016.03.23 2016.04.19 2016.04.21 2016.05.31	착수보고회 계획설계 완료 (공정률: 30%) 중간설계 설계자문회의 중간설계 완료 (공정률: 50%) 운영원주관 실시설계 완료단계 검토 및 자문회의
실시설계 인허가 (2016.05~06)	2016.05.13 2016.05.25 2016.05.31 2016.06.10 2016.06.16	증축 허가 접수(화성시청) 건축공사비 상세내역서 산출 실시설계 설계자문회의 증축 허가 완료 실시설계 준공계 접수 (공정률: 100%)
건축공사 착공	2016.09.30	건축공사 착공 (2017. 12 완공예정)

○ 조감도 및 실험장비 배치 개선

- 특기 사항은 제안설계시 보조시뮬레이터실 2층 배치, 운영자 중심의 구획을 하였으나, 실시설계를 통하여 보조시뮬레이터(3대)를 1층으로 배치(가반하중 고려)하고, 피실험자 중심의 차폐 동선 계획, 실험 후 sickness를 배려한 사후 대기실 구축 등을 고려함

- 조감도



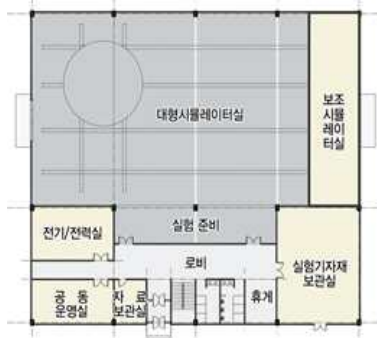
제안설계



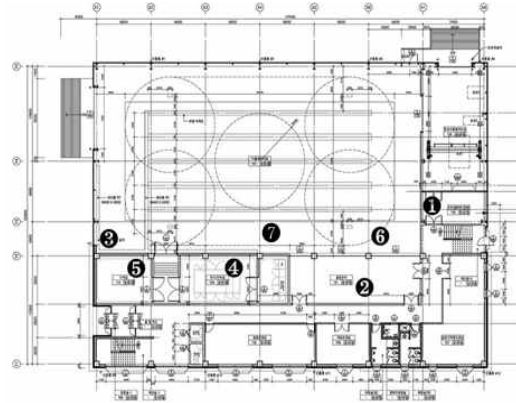
실시설계

○ 층별 평면계획(실시설계)

－ 1층 평면계획



제안설계

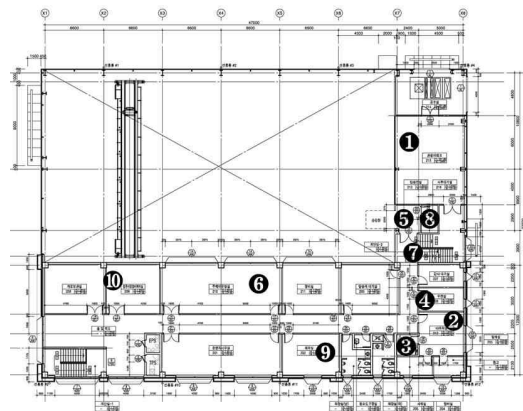


실시설계

－ 2층 평면계획

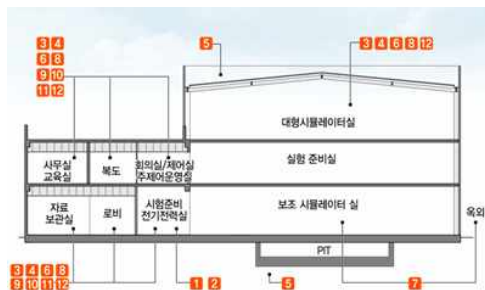


제안설계

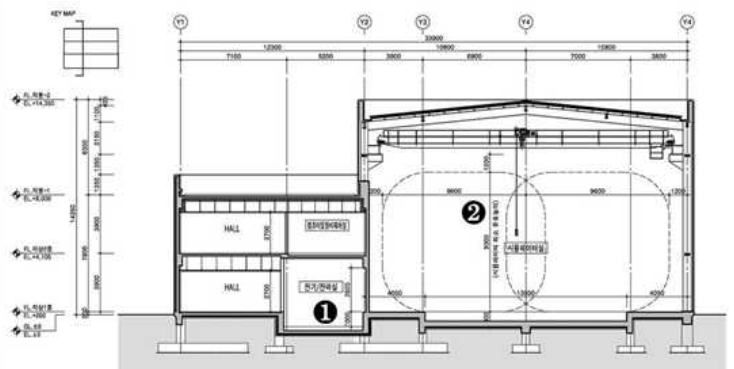


실시설계

－ 단면계획



제안설계



실시설계

○ 제안설계 대비 주요 변경사항

개선사항	제안설계	실시설계	변경사유
보조 시뮬레이터 운영실	-	지상 1층 신설	- 보조시뮬레이터를 운영하기 위한 별도의 실 구획 필요함
건축동 높이	13.90m	14.70m	- 시뮬레이터 장비 이동을 고려할 때, 크레인 설치 관련하여 건축동의 높이 상승
장비진입 출입문 크기	6m(W)×5m(H) 5m(W)×5m(H)	7m(W)×6m(H) 4m(W)×4m(H)	- 주요 시험체와 장비의 반입을 고려하여 출입문 크기를 최적화 함으로써 실내 공조와 도어의 내구성 제고
창고	-	다목적실 내부에 배치	- 주 실험장비들과 근접한 주변 여유공간을 창고 공간으로 활용함으로써 동선을 최소화하여 실험 효율성 증대
지상2층 다목적실 계획	-	5.2m×7.0m	- 추후 헬스장으로 활용 또는 기타 다목적 으로 활용이 가능하도록실 계획함으로써 공간 유연성 제고
수면실	-	5.2m×3.0m	- 실험관련 용도의 수면실을 배치함으로써 다양한 실험 및 데이터군 확보
탐승전실 및 사후대기실	-	4.7m×3.0m	- 시뮬레이터를 이용하기 위한 탐승전실 계획과 아울러 실험 후 사후대기공간을 협의하여 반영
샤워실 및 탈의실	-	2.4×2.5m	- 시뮬레이터 가상주행 실험 전후 피실험자 정비를 위한 샤워실 및 탈의실 공간 확보
지열 에너지	-	신재생 에너지 100% 수용	- 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보 급 촉진법」에 의거 공공시설물 신재생 에너지 설비 설치

○ 실험시설 공간구성 변경 현황

구분	제안설계		실시설계		변경사유
	총	개소	총	개소	
시뮬레이터실	1	1	1	1	
보조시뮬레이터실	1	1	1	1	
보조시뮬레이터 운영실	-	-	1	1	보조시뮬레이터 운영을 위한 별도의 운영실 필요
기계실	-	-	1	1	장비 및 설비 관련 환기 항온항습을 위해 기계실 설치
전기/전력실	1	1	1	1	
실험준비	1	1	1	1	
공동운영실	1	1	1	1	
자료보관실	1	1	1	1	
실험기자재보관실	1	1	1	1	
화장실(남)	1,2	1	1,2	1	
화장실(여)	1,2	1	1,2	1	
장애인 화장실	-	-	1	1	장애인 출입시를 고려한 설계
청소도구함실	-	-	2	1	필요사항에 의해 반영
자료보관실	1	1	2	1	실구획 및 변경으로 인한 재배치
컴퓨터및장비제어실	2	1	2	1	
주제어운영실	2	2	2	1	
장비실	2	1	2	1	
탑승자 대기실	-	-	2	1	탑승자들이 실험전에 대기공간 확보
운영자사무실	2	1	2	1	
회의실	2	1	2	1	
공조실	-	-	2	1	실시설계시 필요여부에 따라 계획
관람자데크	2	1	2	1	기존 관람자실을 관람자데크로 변경
탑승전실	-	-	2	1	시뮬레이터를 승하차하기 위해 계획
사후대기실	-	-	2	1	실험 후 대기공간필요에 의한 구성
강사대기실	2	1	2	1	
수면실	-	-	2	1	필요사항에 의해 반영
다목적실	-	-	2	1	추후 헬스장 및 다목적활용 가능
샤워실/탈의실	-	-	2	1	실험 후 필요공간으로 협의되어 반영
탕비실	-	-	2	1	개수대가 있는 공간 구획 수립
창고			2	1	필요사항에 의해 반영

○ 상위기관 설계 승인 (국토교통과학기술진흥원, 국토교통연구인프라운영원)

- 국가연구개발사업의 원활한 진행과 설계방향 및 설계예산 산출내역에 대하여 상위기관(국토교통과학기술진흥원, 국토교통연구인프라운영원) 주관의 자문회의 및 결과 승인 요청
- 실시설계 진행 과정 중 중간설계, 최종설계 자문회의를 국토교통연구인프라운영원 참석하에 개최함으로써 실무협의 내용 및 사업진행 방향 검토·승인
- 국토교통연구인프라운영원 승인 후 상세설계 도면과 시공비용에 대하여 발주기관(국토교통과학기술진흥원)의 승인 취득

국토교통과학기술진흥원 실시설계 승인 공문

국토교통연구인프라운영원 실시설계 승인 공문

건설연구인프라운영원

수신 도로주행 시뮬레이터 실험시설 주관연구책임자
(경유)
(참조)
제목 도로주행 시뮬레이터 실험시설 실시설계(최종단계) 관련 검토의견

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 도로주행 시뮬레이터 실험시설의 실시설계(최종단계)와 관련하여 "실시설계 변경사항에 대한 검토 및 자문회의('16.05.31)" 를 수행한 결과, 당초 목적과 기능에 부합하게 설계되었음을 확인하였습니다.
3. 이에 도로주행 시뮬레이터 실험시설 주관연구책임자께서는 [붙임1]의 검토결과를 참조하시어 국토교통과학기술진흥원의 실시설계 승인을 득한 후 실험시설 구축을 착수하시기 바랍니다.

[붙임1] 도로주행 시뮬레이터 실험시설 실시설계(최종단계)에 대한 검토결과 1부. 끝.

건설연구인프라운영원장

수신자

담당	한영진	원장	한영진	실장	김대현	연구단장	박영석
참조자							

시행 KODED 0M1-2단계 추진연구단_97(2016. 07. 11) 접수
우 17058 경기도 용인시 처인구 영지로 116 / http://www.koded.or.kr
전화 031-323-6760 전송 031-323-2085 / archi@koded.or.kr / 공개

창립 70년, 위대한 여정 새로운 도약

국토교통과학기술진흥원

수신자 : 한국도로공사사장
(경유)

제 목 : '도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축' 과제 실험센터
실시설계 결과에 대한 검토 결과 회신

1. 한국도로공사 교통연구실-641('16.08.08.) 관련입니다.
2. 귀 기관에서 제출한 국토교통기술혁신연구사업 소관 "도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축" 과제의 실험시설 실시설계 결과에 대한 검토 결과, 적정한 것으로 판단되어 승인하오니, 향후 실험시설 구축에 차질이 발생하지 않도록 과제수행에 만전을 기하시기 바랍니다.

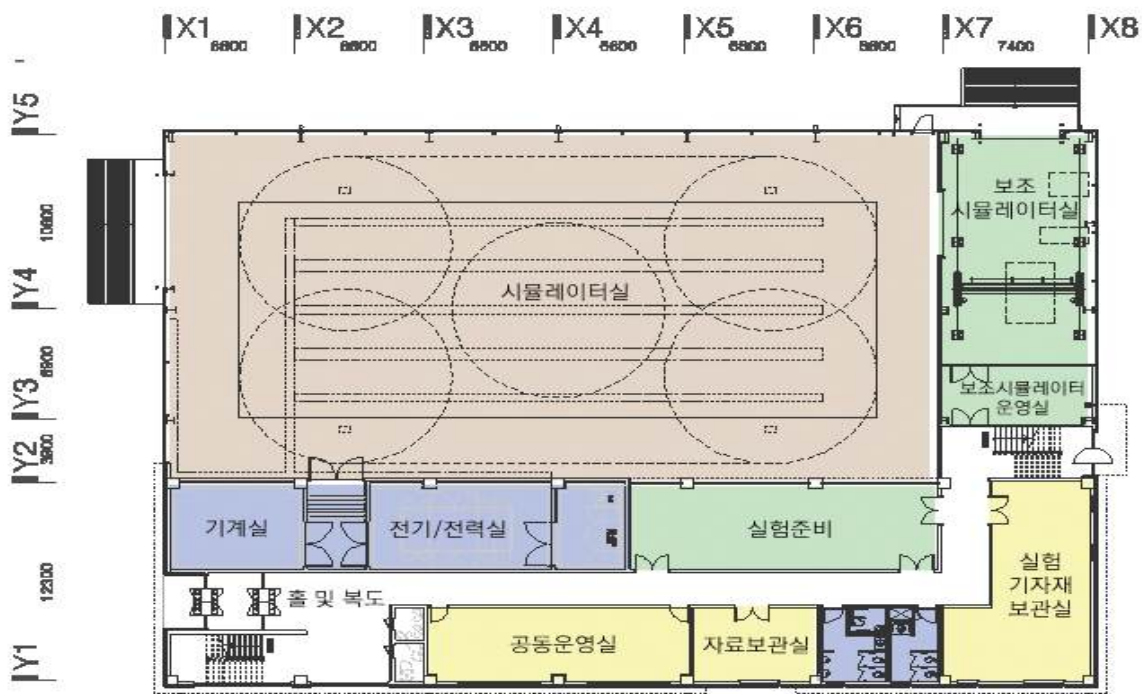
붙임 실험시설 실시설계 검토결과 1부. 끝.

국토교통과학기술진흥원장

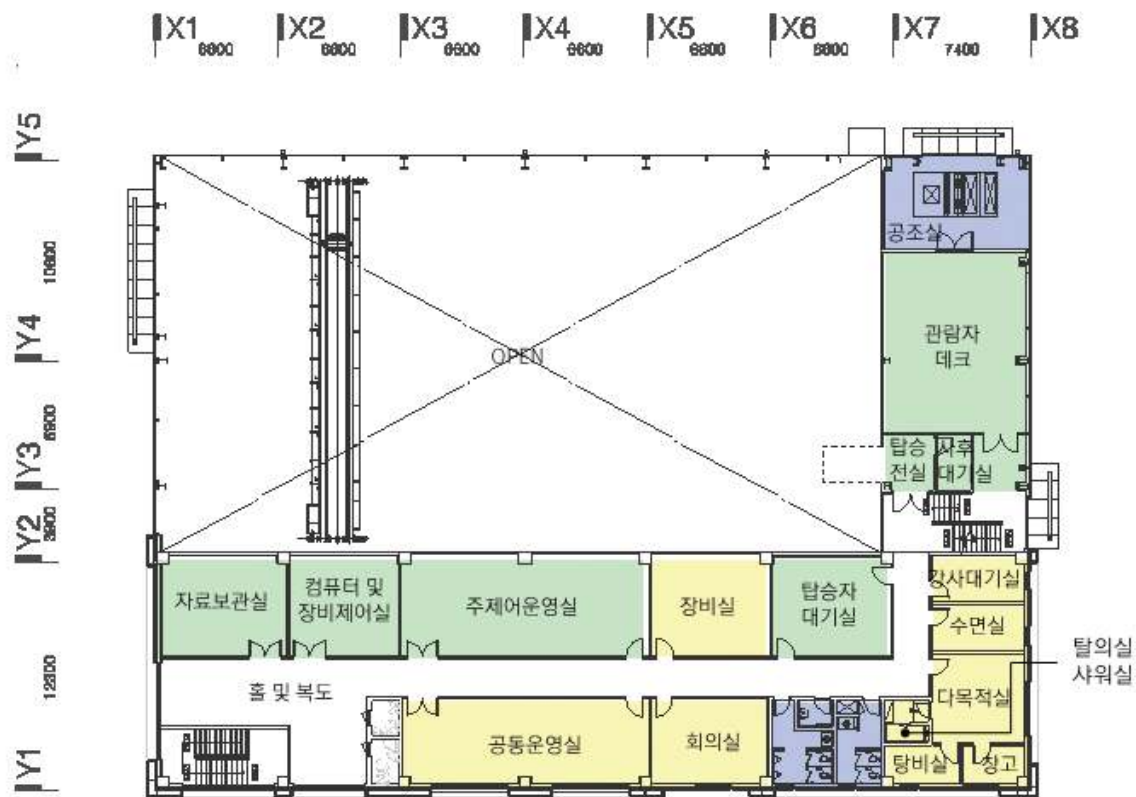
★실원 주경미 교통물류실장 김성종

시행 교통물류실-763 (2016.08.22.) 접수 교통연구실-690/1967 (2016.08.23.)
우 14066 경기도 안양시 동안구 시민대로 285 (관왕동 111) 송백빌딩 3층 / jody@kaia.re.kr
전화 031-389-6447 전송 031-476-8857 / jody@kaia.re.kr / 비공개(5)
공람 교통연구실 박세진 실장 남광영

○ 실시설계 완료도면(평면도)



지상 1층 평면도



지상 2층 평면도

2) 신재생에너지 반영 계획

- 한국도로공사 도로교통연구원 부지 내에 건축되는 도로주행 시뮬레이터 실험시설은 건축물에 준하는 인허가를 받고자 할 경우, 공공기관의 운영에 관한 법률 제5조에 따른 공기업은 연면적 $1,000m^2$ 이상시 신재생 에너지 의무 사용 대상에 해당
- 신재생 에너지로 태양광, 지열 두 가지를 검토하였으나, 지열 발전방식이 태양광 발전방식보다 효율이 높은 것으로 판단되어 지열 발전방식의 시공계획을 수립하여 검토한 결과 승인 취득 완료



신재생에너지(지열) 설계요약서



신재생에너지설비 설치계획서



신재생에너지 설비설치계획 검토결과서

2016 08 08

신재생 에너지 센터 소장 귀하

신재생에너지 검토결과서

□ 실험시설 준공

○ 도로주행 시뮬레이터 실험시설 예비준공 검사

- 2017.12.06.에 예비준공검사를 실시하였으며, 당일 기준으로 계획 99.0% 대비 실적 97.00%의 공정 진행률을 보여 2017.12.13.까지 공정을 완료할 수 있게 평가를 받음



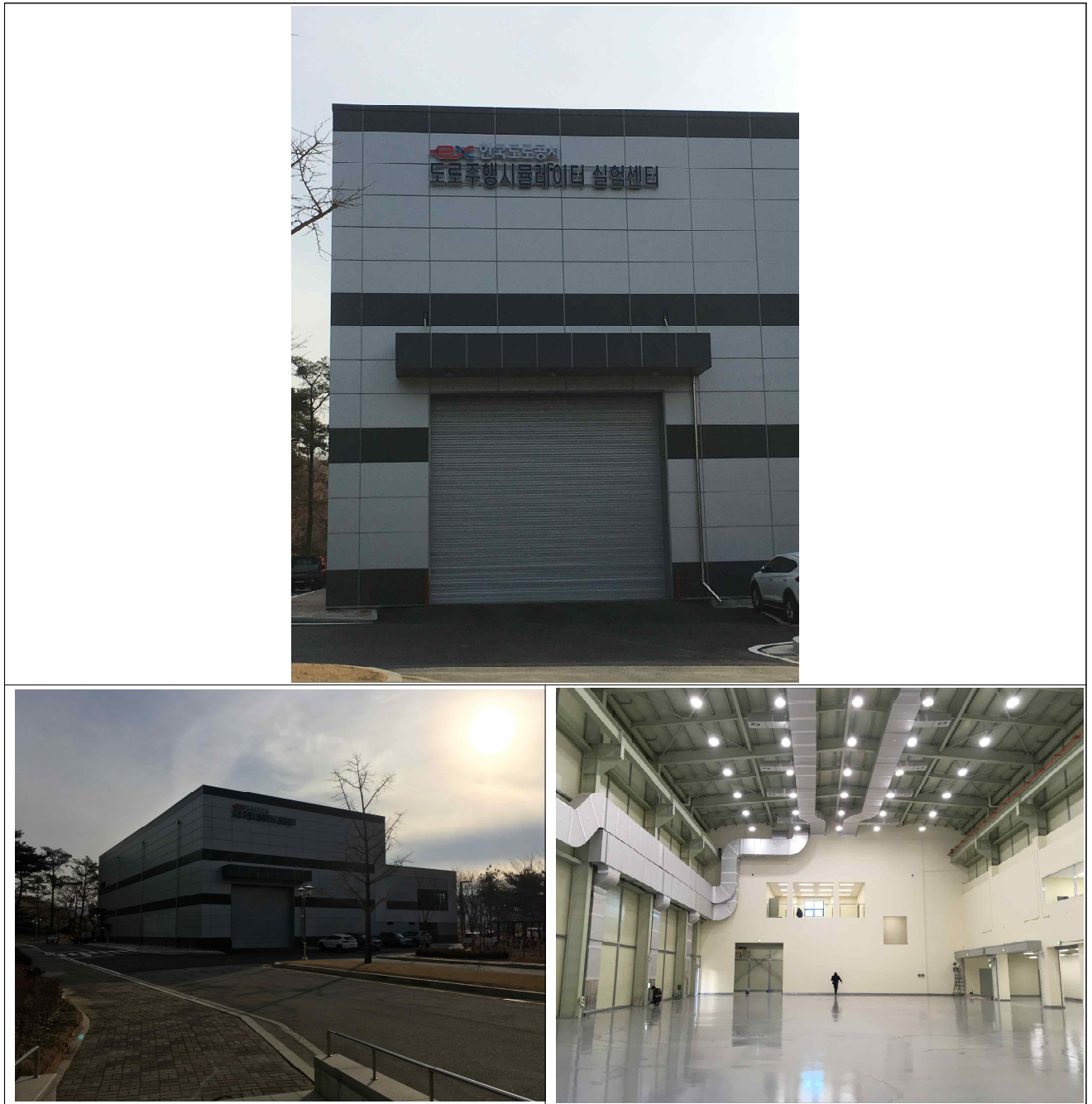
○ 도로주행 시뮬레이터 실험시설 준공

- 2017년 12월 13일에 준공이 완료되었으며, 2017년 12월 15일에 준공검사가 이루어짐
* 공사 보완 작업 후 2018년 1월부터 실험장비(운동시스템 등)의 설치가 시작될 예정에 있음

- 건축 규모

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

- 준공 사진



○ 도로주행 시뮬레이터 실험시설 준공 관련 서류

- 준공 전 시험운행을 위해 전기 부문과 통신 부문의 승인을 취득함(화성시청 및 한국전기안전공사)
- 실험시설 사용승인서

확인번호: 11PW-ERLH-INS2-E1JV-IE4G

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

사용승인서

· 건축물의 용도/규모는 전체 건축물의 개요입니다.

건축구분	허가(신고)번호
증축	2016-건축과-증축허가-171

건축주

한국도로공사도로교통연구원

대지위치

경기도 화성시 동탄면 화성동탄2택지개발 지원68

대지면적

77,984 ㎡

건축물명칭	주용도
도로주행시뮬레이터	교육연구시설(교육연구 및 복지시설)
건축면적	건폐율
12,580.68 ㎡	16.13 %
연면적 합계	용적률
36,279.69 ㎡	36.04 %

가설건축물 존치기간

그 밖의 기재사항

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

협정을 체결한 건축물인지 여부를 기재합니다(해당하는 경우로 한정합니다).

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

2018년 01월 02일

화성시장



- 통신 부문

■ 정보통신공사업에 관한 규정 (별지 제8호사시)

정보통신공사 사용전검사필증

[2017-1080]

신청인	성명(가명 또는 법인명)	한국도로공사	대표자	
	주 소	경기도 화성시 동탄면 동부대로922번길 208-96	전화번호	
사업자	성 소	신호네트워크	정보통신사업 등록번호	350200
	대표자	신호철	전화번호	010-5384-9089
	영점소소재지	경기도 고양시 일산동구 고봉로 770번길 26-5 (북문동)		

공사현장명칭 및 주소	경기도 화성시 동탄면 동부대로922번길 208-96			
검사정보통신설비	구내통신 및 중량유선방송설비			
검사연월일	2017-12-04			
검사자	소속	정보통신과	성명	김영조
	관장	직함		

건축허가번호 : 2016-건축과-등록허가-171(2,359,171)

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

화 성 시

정보통신공사 사용 전 검사 필증

- 전기 부문

KESCO

사용전검사확인증

발행번호 제 755001950 호 고객번호 : 5500-007220

신청인	대표자 성명	김학송	전화번호	☎ 031)8098-6712	
	회사명 또는 상호	한국도로공사 도로교통연구원(CT센터)			
검사결과	주 소	경기 화성시 동탄면 동부대로922번길 208-96 경기 화성시 동탄면 산척로 50-5			
	검사전기설비	수전설비 22,900V 900KW			
	검사연월일	2017년 11월 03일			
임시사용	검사자	소속	경기지역본부	성명	김광민
	관장	정	부분협력	다음검사	2020년 11월

위용사유: 사용기간: 사용범위 및 사용방법: 기타: 한도 및 용량사항: 2017년 11월 03일 한국전기안전공사 사장 김학송 귀하

※ 이 확인증은 사무관리규정에 의하여 전자적인으로 발행되었습니다.

KESCO

사용전검사확인증

발행번호 제 755001951 호 고객번호 : 5500-007220

신청인	대표자 성명	김학송	전화번호	☎ 031)8098-6712	
	회사명 또는 상호	한국도로공사 도로교통연구원(CT센터)			
검사결과	주 소	경기 화성시 동탄면 동부대로922번길 208-96 경기 화성시 동탄면 산척로 50-5			
	검사전기설비	수전설비 22,900V 900KW			
	검사연월일	2017년 11월 29일			
임시사용	검사자	소속	경기지역본부	성명	김광민
	관장	정	협력	다음검사	2020년 11월

위용사유: 사용기간: 사용범위 및 사용방법: 기타: 한도 및 용량사항: 2017년 11월 29일 한국전기안전공사 사장 김학송 귀하

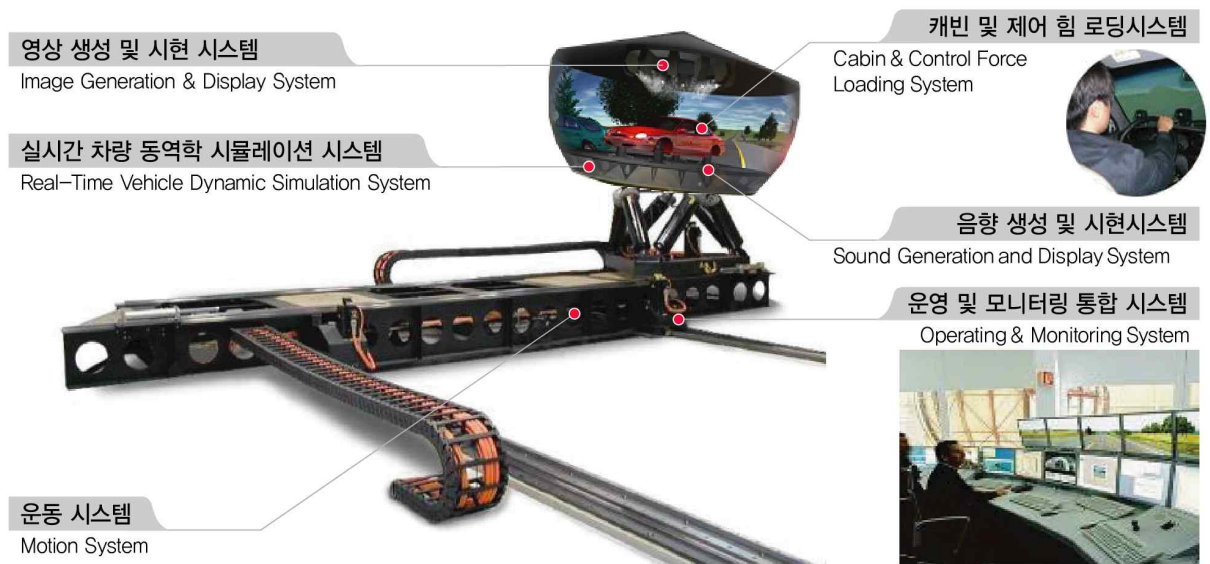
※ 이 확인증은 사무관리규정에 의하여 전자적인으로 발행되었습니다.

전기공사 사용 전 검사확인증

□ 시스템 상세설계

○ 세부 설비 및 장비의 요구사항을 요약하면 다음의 표와 같음

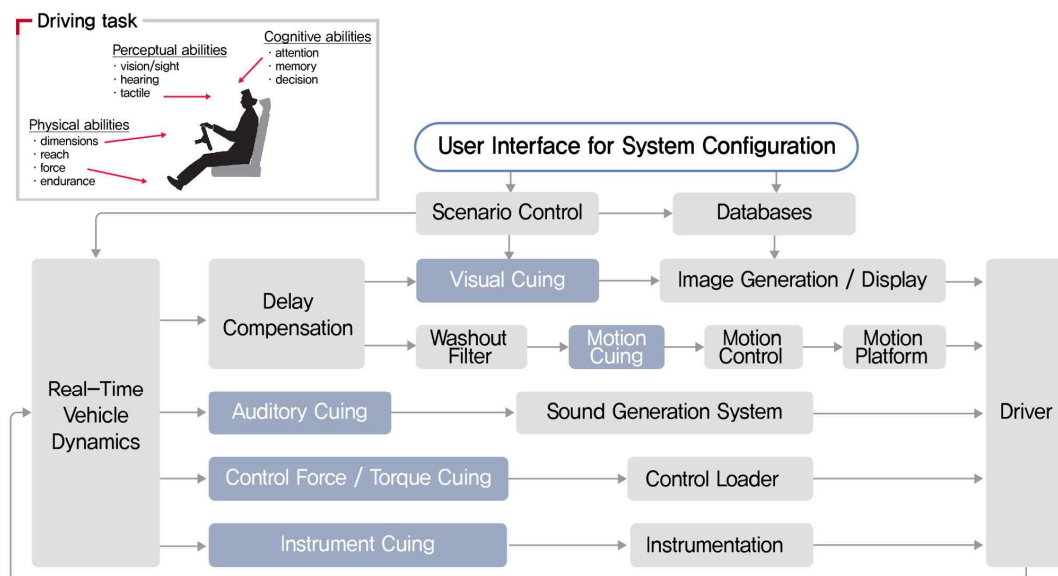
구 분	실험시설 요구사항 요약
실시간 차량 동역학 시뮬레이션 시스템	• 3종의 다물체 차량동역학 모델(18DOF 이상) - 승용차, 버스, 트럭 등 • 멀티쓰레드(Multithread) 프로세서 적용된 시뮬레이션 전용 워크스테이션 • 실시간 기반 운영체제 (RTOS; Realtime Operating System)
3차원 영상생성 및 시현 시스템	• Ø7.6m의 돔형 스크린(Spherical Screen) • 교통표지판, 신호등 표지인식개선을 위해 세계 최고수준의 초고해상도 QXGA 급(2048×1536)의 시뮬레이터 전용 영상 프로젝터 적용 • 자동 영상 조정장치 • 시뮬레이터 증후군 저감을 위한 기능 추가 - 영상플림현상 저감 - 야간운전 시 선명도 개선 - 진동충격 방지장치 • 그래픽 전용 IG(PCIG)
음향생성 및 시현 시스템	• Synthesis 기반 시뮬레이션 전용 음향 생성 (8채널)
운동시스템	• 운동감 생성의 범위 : 13DOF • 지속적인 횡가속도 재현여부 : 20m×7m • 자동차의 회전운동 재현 여부 : 360° • 자동차 서스펜션 운동의 재현 여부 : 20Hz • 플랫폼의 가반하중 : 6tonf
캐빈 및 제어함 로딩 시스템	• 다차종 교체가능(승용차, 버스, 트럭 등) • 실험준비 및 DIS 연동을 위한 보조 시뮬레이터 추가(승용차, 버스, 트럭 등) • HILS 기능 확장 - 지능형 교통시스템 - 고안전 차량 제어 시스템 - GPS 기반 내비게이션 장치류 등 • 운전자 인지반응 계측 및 평가 장비 추가 - 생체신호, 머리/눈동자 추적 등 - 측정데이터 통합 분석 모듈
운영 및 모니터링 통합 시스템	• 외부장치와 병행운전 가능여부 : 2대 이상 • 차량 교체시간(실험준비시간) : 1시간 이내 • 도로영상 구축 범위 : 400km 이상(도심부, 지방부, 고속도로부 등) • 운영 소프트웨어 : SCANeR Studio • 국내 타기관 시뮬레이터와의 운영 SW 호환성을 위해 일부 시뮬레이터에 운영 프로그램 병행 적용 (UCWin/Road 등) • 교통 시뮬레이션 프로그램 연동



도로주행 시뮬레이터 구성 개념도

1) 시스템 개요

- 「도로주행 시뮬레이터 실험시설」의 세부 설비 및 장비는 실시간 차량동역학 시뮬레이션 시스템, 3차원 영상 생성 및 시현 시스템, 음향 생성 및 시현 시스템, 운동 시스템, 캐빈 및 제어힘 로딩 시스템, 운영 및 모니터링 통합 시스템으로 구성되며, 이러한 각 서브시스템이 하나의 시뮬레이터 시스템 형태로 통합되어 운영될 예정임



도로주행 시뮬레이터의 제어 흐름도

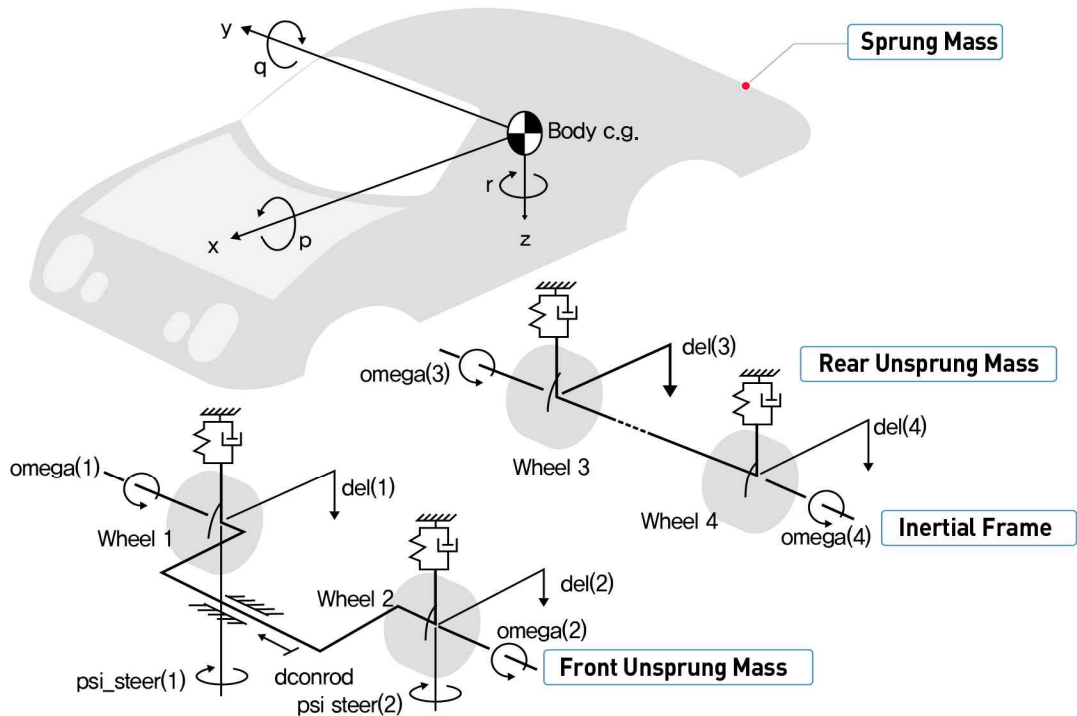
2) 실시간 차량동역학 시뮬레이션 시스템

○ 시스템의 정의

- 도로주행 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 조작하는 조향 휠, 가속/브레이크 페달 등의 신호를 바탕으로 실시간으로 차량 운동을 연산하고, 그 결과를 영상/음향/운동시스템을 통해 운전자에게 피드백 하는 시스템을 의미함

○ 시설 구축 시 고려사항

- 도로주행 시뮬레이터에 적용되는 차량모델은 사실적인 자동차의 거동을 모사할 수 있도록 충분히 강건한 수학적 모델이어야 함은 물론 실시간으로 해석되어야 하는 현실성과 실시간성의 두 가지 서로 상충되는 조건의 만족이 요구되어짐
- 실시간 차량동역학 시뮬레이션을 수행하기 위해 특히 공학적으로 검토되어야 할 요소로 차량 모델의 적정성, 시뮬레이션 기법 및 실시간 시뮬레이션용 컴퓨터 사양 등이 해당됨
- 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 행하는 모든 주행조작으로부터 발생하는 차량의 운동을 연산하기 위하여, 차량 모델은 기본적인 샤시 및 현가장치뿐만 아니라, 엔진, 구동트레인, 조향장치, 제동장치 등의 각 서브시스템도 같이 모델링 되는 것이 필요함
- 사실감 있는 운전 상황을 모사하기 위하여 도로주행 시뮬레이터에 적용되는 차량모델은 선형과 회전운동에 관한 6 자유도 운동을 하는 스프링 상질량(Spring Mass)과 4 자유도를 갖는 각 차륜 진행방향 회전(Rotation) 및 수직방향 변위(Deflection), 2 자유도의 킹핀축에 관한 전륜 조향각(Steering Angle) 등 최소 16자유도 이상으로 모델링되는 것이 필요함
- 차량의 조정성, 안정성에 관련한 차량동역학 모델은 조향 및 제동, 가속 등에 의해 발생되어지는 차량 서브시스템에서의 상호 작용력을 고려해야 하고, 차량모델과 서브시스템간의 체계적인 신호처리와 시스템 성능 향상을 위한 확장성을 고려하여 조향, 제동, 가속, 공기역학모델 등은 독립적으로 처리 가능하도록 설계. 또한, 추후에 더 복잡하고 현실적인 모델의 추가 및 확장성이 고려되어야 함
- 자동차의 유압 및 전자시스템 등의 동적 특성도 고려해야 할 경우에는 시스템의 견고성(Stiffness) 및 고주파수의 응답에 효과적으로 대처할 수 있는 수치적분 기법이 필요하게 되며, 이러한 구축요건을 만족하기 위해서는 각 단계의 계산량이 예측 가능하여야 하고 변하지 않아야 하며, 다른 서브시스템과 동기화가 가능하도록 설계되어야 함
- 실시간 차량동역학 시뮬레이션 시스템은 차량의 정지 상태에서부터 시동 및 가속, 조향이나 제동 등 운전자가 경험할 수 있는 모든 운전조건을 정확하게 시뮬레이션으로 구현 가능하도록 해야 함
- 차량동역학 모델의 주요 파라미터를 수정, 변경할 수 있도록 검증된 상업용 차량동역학 모델이 적용 가능하도록 설계함
- 다음 그림은 일반적인 다자유도 전차량 모델의 구성과 각 좌표계를 의미함



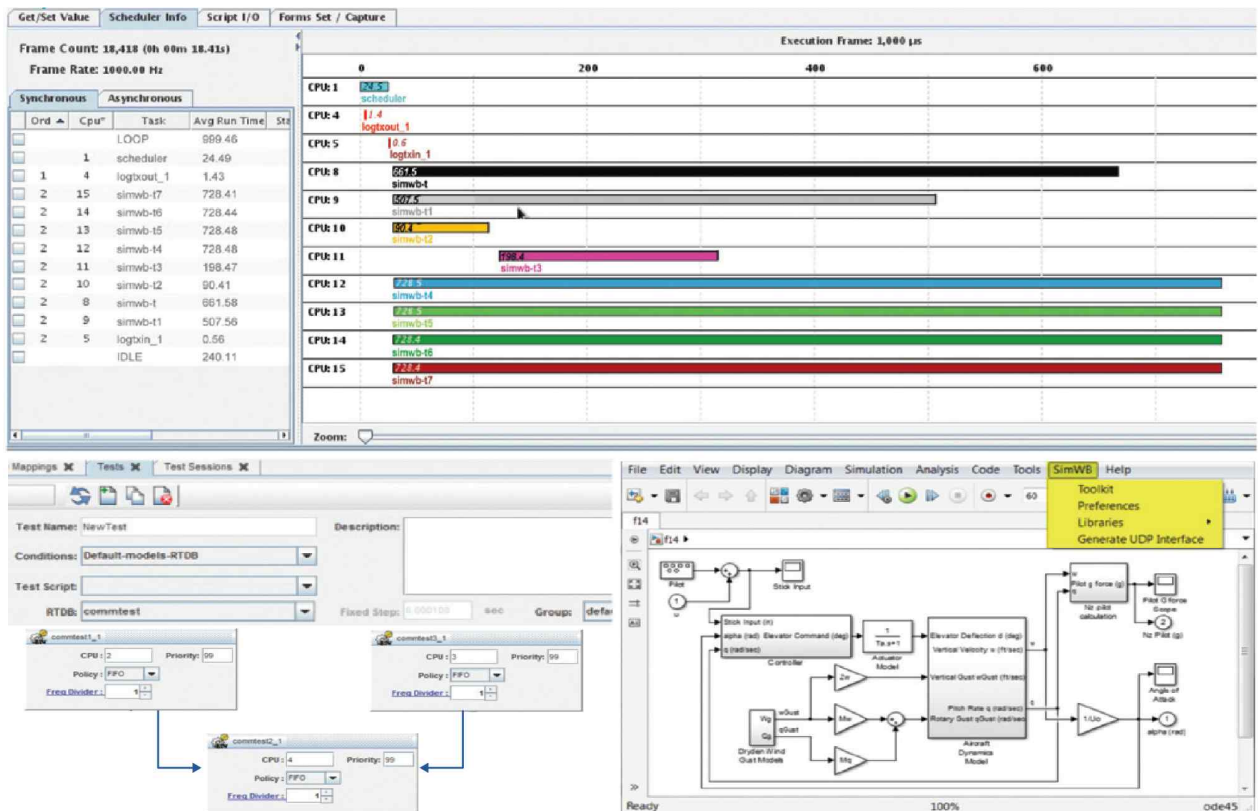
다자유도 차량동역학 모델

○ 시설 설계 사양 및 성능

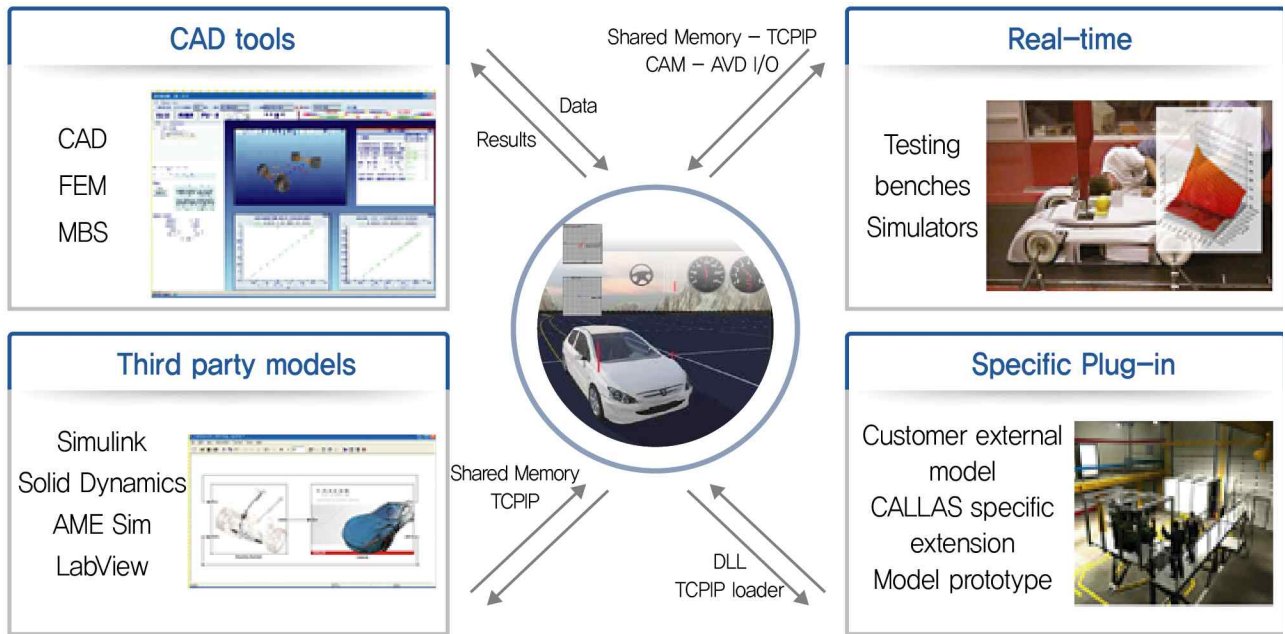
- 실시간 차량 동역학 시뮬레이션을 위하여 운전자 조작 명령부, 외부환경 입력부, 차량 기구학부, 차량 운동역학부 등 모듈구조로 구성되는 시뮬레이터 전용 해석 소프트웨어를 적용함
- 승용차, 버스, 트럭 등 3종의 다물체 차량동역학 모델(18DOF 이상)
- 멀티쓰레드(Multithread) 프로세서가 적용된 시뮬레이션 전용 워크스테이션
- 실시간 기반 운영체제(RTOS ; Realtime Operating System) 적용
- 현실감 및 재현성이 높은 도로주행 시뮬레이터 구축을 위하여 차량동역학 모델과 모션 제어 모듈은 실차실험의 결과를 반영하여 실차의 주행 특성을 최대한 반영할 수 있도록 설계(실험 대상 캐빈으로 구축되는 중형 세단 및 SUV 포함)
- 운전자 조작 명령부는 제어 힘 로딩 시스템에 의해 입력되어진 조향, 제동 및 구동 등에 관한 운전자 조작 명령신호를 처리할 수 있도록 독립적으로 모듈화하여 설계
- 외부환경 입력부에서는 영상 시스템의 주행 시나리오에 의해 정의된 노면 데이터를 통해 노면이 지정되어지며, 지정된 노면은 관성 좌표계로부터 차륜 중심까지의 벡터에 의해 차륜의 회전반경을 계산
- 차량 기구학부는 관성좌표계, 차체 고정좌표계, 차륜 회전좌표계 간의 좌표계 변환식으로 표현되며, 차량 동역학부는 타이어와 현가장치의 작용력 및 제동력 등에 관련된 운동방정식으로 구성
- 차량의 조정성, 안정성에 관련한 동역학적 모델은 조향 및 제동, 가속 등에 의해 발생되어지

는 차량 서브시스템에서의 상호 작용력을 고려하여 구성

- 차량모델과 서브시스템간의 체계적인 신호처리와 시스템 성능 향상을 위한 확장성을 고려하여 조향, 제동, 가속, 공기역학모델 등은 독립적으로 처리
- 연산처리부와 메모리를 병렬형으로 구성하여 처리속도가 아주 빠른 수십 개 정도의 프로세서가 메모리를 공유하여 데이터를 신속하게 교환할 수 있도록 메모리 공유 다중 프로세서가 적용된 워크스테이션급의 고성능 시뮬레이터 전용 컴퓨터 시스템 적용



멀티쓰레스 프로세서가 적용된 시뮬레이터 전용 해석 소프트웨어



차량동역학 시뮬레이션 상용소프트웨어의 모듈 구성도

3) 3차원 영상생성 및 시현 시스템

○ 시스템 정의

- 시뮬레이터를 탑승한 운전자가 속한 가상환경의 영상 정보를 운전자의 시각으로 직접 전달해주는 시스템으로, 이는 그래픽 이미지를 생성하는 부분과 생성된 그래픽 이미지를 영상화하는 부분으로 구별



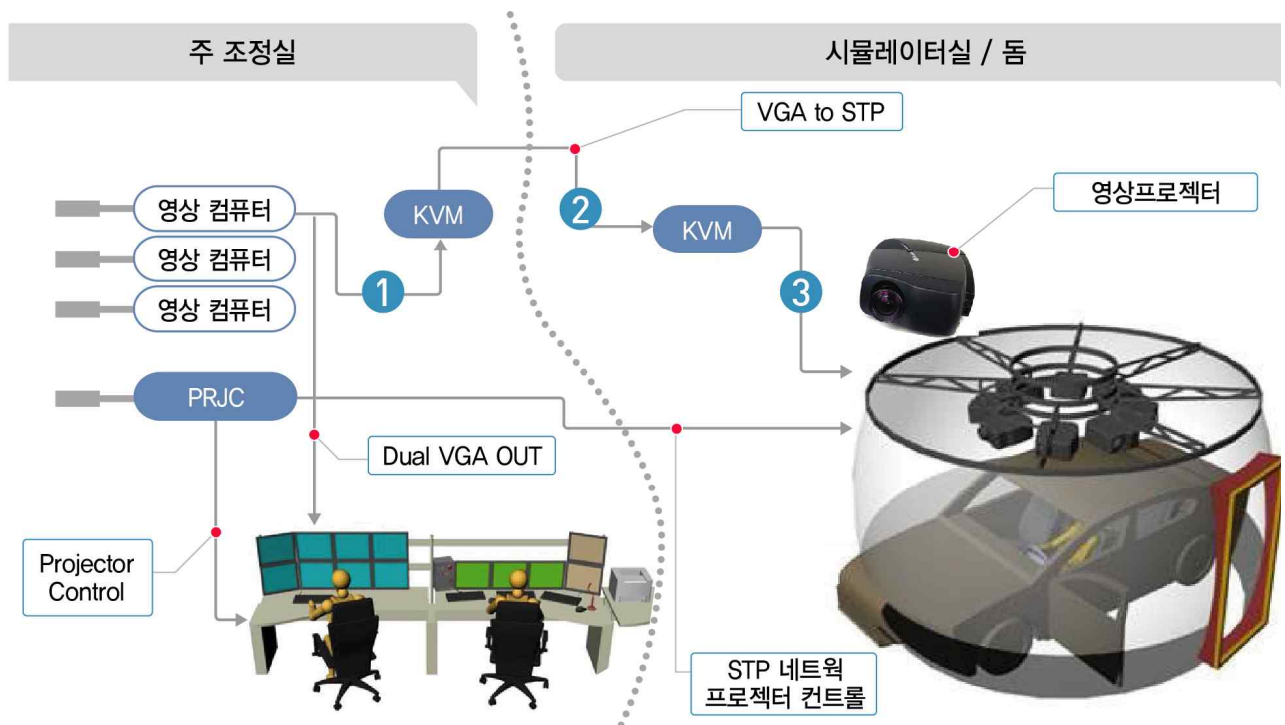
3차원 영상 시현을 위한 디스플레이 장치의 설치 사례

○ 시설 구축 시 고려사항

- 영화화면의 해상도나 밝기, 스크린의 종류 및 투시방법 등은 그 종류와 시스템의 성능에 따라 구축비용이 크게 달라지므로 신중한 고려가 필요
- 3차원 영상 생성 및 시현 시스템은 실시간으로 생성된 그래픽 영상을 영상시현 장치인 프로젝터를 통해 운전자에게 전달하며, 영상시현기의 해상도 한계 범위 내에서 운전자가 인지하므로 고해상도 영상시현기를 선정하는 것이 필수
- 주행 시나리오에 의해 구성되는 각종 그래픽 데이터는 차량 거동의 공간과 시간적인 요구에 따라 각각의 단계에서 절대적으로 일치된 형태로 출력될 수 있도록 구성. 또한 운전자의 조작 행위에 따라 일치된 차량의 반응과 차량의 위치를 얻을 수 있도록 설계되어야 하며, 시간적 요소에 있어서도 마찬가지로 각 서브시스템의 응답이 현실감 있게 적용될 수 있도록 적절히 영상 생성과 시현 시간 간격이 조절될 수 있도록 설계
- 돔 스크린의 구조(형상)와 내부에 설치되는 차량 및 운전자의 시야각을 완전하고 충실하게 확보하기 위하여 시야범위 (FOV: Field of View) 설정에 따른 프로젝터의 설치위치, 렌즈 구성 및 셋업 소프트웨어 적용 등을 고려하여 돔 스크린 설계와 프로젝터 설치 프레임 구조물 설계
- 돔 내부에는 적절한 공조 시스템을 설치하고, 소음, 불빛 등의 불필요한 요소들을 차폐하여 최적의 시뮬레이션 환경을 제공할 수 있도록 설계
- 만일에 발생할지 모를 안전사고 또는 정전 등의 장애로부터 돔 내부의 탑승자를 안전하게 보호 또는 탈출시키기 위한 대피설비와 화재 등의 응급 상황 발생에 대비한 소방설비 구축

○ 시설 설계 사양 및 성능

- Ø6.2m의 돔형 스크린 (Spherical Screen)
- 교통표지판, 신호등 표지인식개선을 위해 세계 최고수준의 초고해상도 QXGA급 (2048×1536) 의 시뮬레이터 전용 영상 프로젝터 적용
- 자동 영상 조정장치
- 시뮬레이터 증후군 저감을 위한 기능 추가
 - ★ 영상깜빡임현상 개선
 - ★ 야간운전 상황 선명도 개선
 - ★ 진동충격 방지장치
- 그래픽 전용 IG (PCIG)



3차원 영상 생성 및 시현 시스템 구성안

- 돔 구조물(돔 스크린)의 주요 기능 및 특징은 다음과 같이 요약할 수 있으며, 돔 구조물 프레임의 구조 설계, 검증 등의 절차를 통해 요구되는 기능에 최적화 되고 안전한 시스템 설계
 - * 영상 스크린 시야각(FOV) : $360^{\circ} \times 35^{\circ}$
 - * 프로젝터 설치를 위한 방진 프레임 고정 장치 포함
 - * 구조적으로 안정된 돔 형태와 가벼운 중량의 재질로 제작/설계된 영상 스크린
 - * 최적의 시뮬레이션 환경을 제공하기 위한 공조 시스템
 - * 정전, 화재 등의 응급상황에 대비한 안전 설비
 - * 기기 및 탑승자 모니터링을 위한 음향 및 CCD 카메라 설비

돔 구조물 안전설비

구 분	일반 안전 설비	비상 안전 설비
도 어	•주 출입 도어의 개·폐 장치 •차량 교체용 도어의 개폐 장치	•주 출입 도어의 수동 개폐 장치
전 기	•접지 / UPS 설비	
조 명		•정전 대비 배터리 구동 조명 •탈출 비상구 조명등
안내표시	•일반적인 주의, 경고 안내문 •각종 비상 설비의 위치 및 작동법 •CCD 카메라 및 음성 통화 장치 •안전벨트 착용	•낙하 주의 경고
화재대비	•소화기 -전기 화재용, 일반 화재용	•화재 감지기 작동, 알람 발생 •모션 구동 자동 정지 •도어 자동 열림
비상탈출		•줄 사다리 또는 비상 하강 장비 •탈출 안내 유도 표식 •휴대용 조명등

4) 음향 생성 및 시현 시스템

○ 시스템 정의

- 시뮬레이터에 탑승한 운전자의 기기 작동, 차량의 상황에 따른 타이어/엔진/차체/구동부 및 주변 상황의 소음을 재현하는 시스템에 해당함
- 음향장치는 시뮬레이터의 운용 측면에서 큰 영향을 미치는 청각 효과 구성품으로 실제 운전시의 외부 환경과 최대한 유사하게 구현하여 발생하는 음향과 주변 환경음을 실제감 있게 재생함
- 운전자의 운전 조작에 따른 시동음, 엔진음 등을 실시간으로 3차원 공간음을 구현하여 타 주변차량 및 차량 접근 시 도플러 효과에 따른 음향의 고저를 표현함. 또한 스키드, 경적음과 같은 특수효과음을 구현함

○ 시설 구축 시 고려사항

- 음향 생성 및 시현 시스템은 시뮬레이터의 운용 시 큰 영향을 미치는 청각효과 구성품으로 실제 운전 시 발생하는 음향과 주변 환경음을 실제감 있게 재생함
- 각종 엔진음, 주행소음 등 현실감 있는 고품질 음향을 확보하여 차량 고유의 주행 소음 특성을 반영하도록 이를 데이터베이스화하고, 실시간 사운드 렌더링 엔진을 적용함
- 사용자 요구에 따른 음향의 추가가 가능하도록 구성하며, 시나리오, 차량 동력학, 그래픽 DB 등 서브시스템과의 정보가 공유되도록 설계함

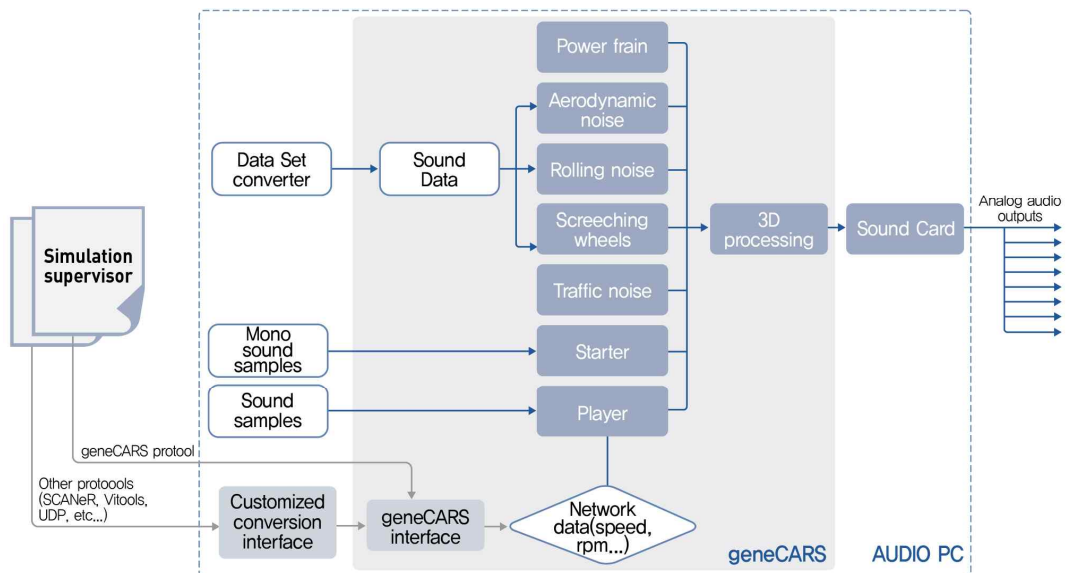
- 주행시나리오 상에서 발생하는 이벤트 음향이나, 터널 소음, 도플러 효과 등이 구현될 수 있도록 설계함



음향 및 진동 장치 구성도

○ 시설 설계 성능 및 사양

- Synthesis 기반 시뮬레이션 전용 음향 생성 장치 적용
- 8채널 사운드 모사
- 차량동역학 해석결과와 연동되어 생성되는 음원의 종류
 - * 파워트레인 구동부 노이즈, 에어로다이나믹 사운드, 타이어 롤링/스크레칭 노이즈, 도플러 이펙트 효과가 가미된 주변차량 소음, 시동음, 엔진 RPM, 터널/다리 효과음 등

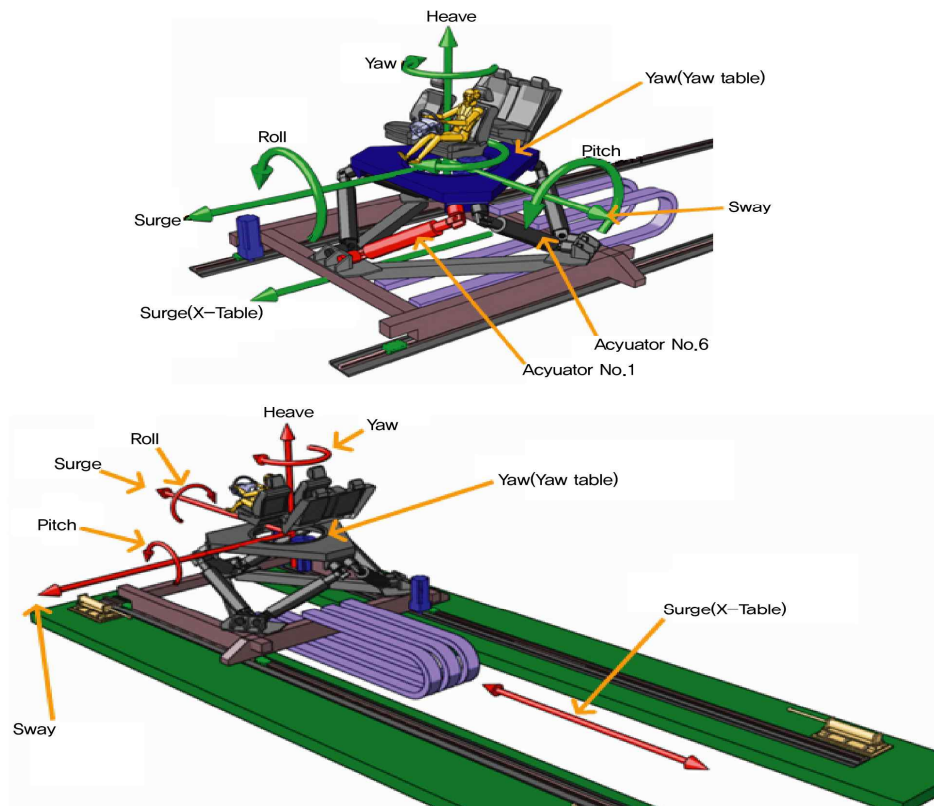


Synthesis 기반 시뮬레이션 전용 음향생성장치의 시뮬레이션 흐름도

5) 운동 시스템

○ 시스템의 정의

- 실시간 차량 동역학 시뮬레이션의 결과를 반영하여 운전자가 실제 차량을 운전하고 있다는 느낌을 받을 수 있도록 차량의 운동을 모사하는 시스템에 해당함
- 운동 플랫폼은 실시간 차량 동역학 시뮬레이션의 결과를 반영하여 운전자가 실제 차량을 운전하고 있다는 느낌을 받을 수 있도록 차량의 운동을 모사하는 장치임
- 운동시스템의 기구적 구조를 반영한 역기구학 해석 모듈이 포함되어야 하고, 최적화된 운동을 만들어주기 위한 위시아웃 알고리즘이 포함되어야 하며, 아울러 구동상의 안전을 고려하여 다중의 안전장치가 포함되어야 함
- 도로주행시뮬레이터의 주행 중 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 이용함



운동 시스템 자유도의 개념

○ 시설 설계 사양 및 성능

- 기존의 국내외 재현수준이 낮은 시뮬레이터와 달리 세계적 규모의 운동 시스템 구축으로 재현 수준을 크게 높일 수 있으며, 따라서 실험 결과 해석의 신뢰수준을 높이고 보다 심도 있는 연구수행이 이루어질 수 있음

- 이를 통해 기존 장비의 문제점인 브레이크 반력감, 핸들감 등 현실감이 떨어지는 문제점도 충분히 개선 가능함
- 운동감 생성의 범위 : 13DOF
- 지속적인 횡가속도 재현여부 : 20m×7m
- 자동차의 회전운동 재현 여부 : 360°
- 자동차 서스펜션 운동의 재현 여부 : 20Hz
- 플랫폼의 가반하중 : 6tonf



13DOF 운동 시스템 형상

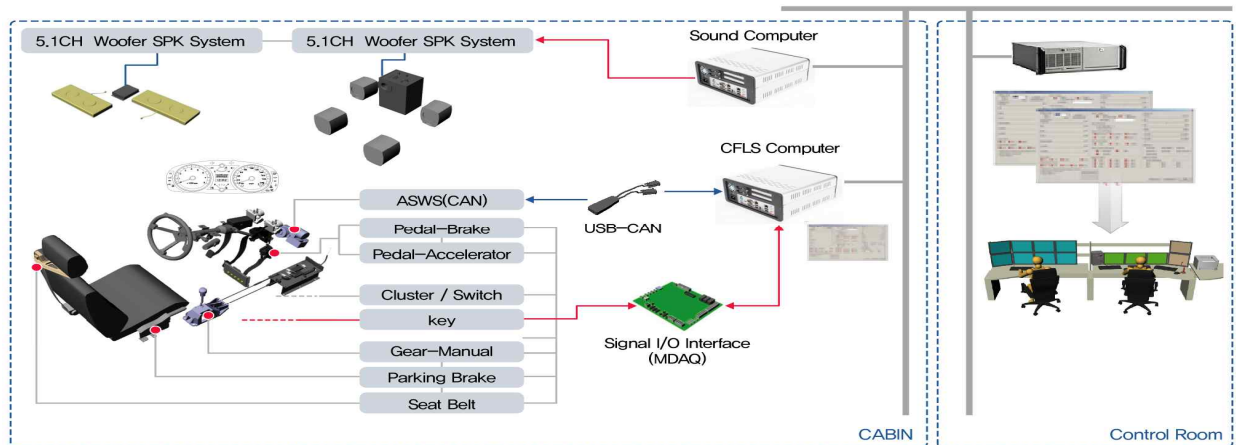
6) 캐빈 및 제어힘 로딩 시스템

○ 시스템의 정의

- 실제 차량에서 엔진룸 등의 부품을 제거한 캐빈에 실제 차량과 동일한 조작 조건/환경을 제공하는 하드웨어인 제어힘 로딩 시스템(Control Force Loading System : CFLS)이 장착된 시스템에 해당함
- 동내부에는 실제 승용 차량이 설치되며, 실제 차량 가능하도록 각종 CFLS(Control Force Loading System) 제어 장치와 오디오 장비 등이 차량에 내장되고, 트럭 시뮬레이션을 위하여 차량 교체가 가능하도록 배선 및 기구 시스템이 상호 호환되도록 구성함

○ 시설 구축 시 고려사항

- 실제 차량을 기반으로 한 차량 캐빈은 엔진을 포함하고 있으므로, 엔진룸의 부품은 완전하게 제거한 후 제어힘 로딩 장치 등 장비와 센서 일체로 설치함
- 운전석 조작부의 작동 스위치, 계기류, 램프 등 모든 기능은 실차와 동일한 기능을 유지함
- 차량 내부에는 각종 실험 시 필요한 AC전원, UTP케이블 등의 예비 케이블 등이 설치되며, 운전자의 거동을 모니터링 하기 위하여 CCD 카메라 및 통신을 위한 마이크 설치됨



캐빈 시스템의 구성 블록선도

- 차량에 부착된 각종 센서와 계기류는 MDAQ와 연결 되고, MDAQ를 통해 처리된 신호는 시리얼 통신을 통해 CFLS컴퓨터로 전송됨
- CFLS 컴퓨터는 차량 내부에 설치되며, 네트워크 라인을 통해 주 조정실의 시뮬레이션 컴퓨터로 데이터를 전송함. 따라서 CFLS 컴퓨터에는 CFLS제어 프로그램이 설치되며, 주 조정실에서 원격으로 CFLS의 상태를 모니터링 할 수 있도록 구성됨

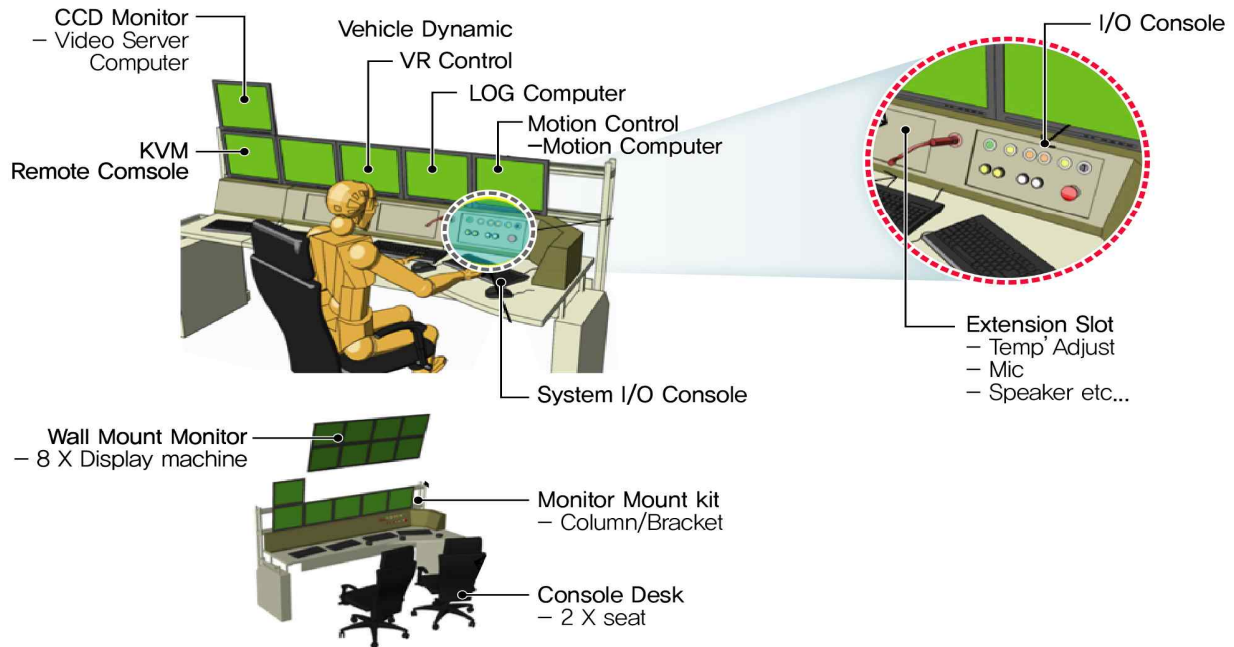
○ 시설 설계 사양 및 성능

- 다차종 교체가능(승용차, 버스, 트럭 등)
- 실험준비 및 DIS 연동을 위한 보조 시뮬레이터 추가(승용차, 버스, 트럭 등)
- HILS 기능 확장
 - : 지능형 교통시스템
 - : 고안전 차량 제어 시스템
- GPS 기반 내비게이션 장치류 등
 - : 운전자 인지반응 계측 및 평가 장비 추가
 - : 생체신호, 머리/눈동자 추적 등
 - : 측정데이터 통합 분석 모듈

7) 운영 및 모니터링 통합 시스템

○ 시스템의 정의

- 도로주행 시뮬레이터의 제어/통제를 위한 운영 장치와 각종 신호 및 실험 결과를 모니터링하고 이를 통합하는 시스템에 해당함



중앙통제장치 레이아웃 배치도 예시

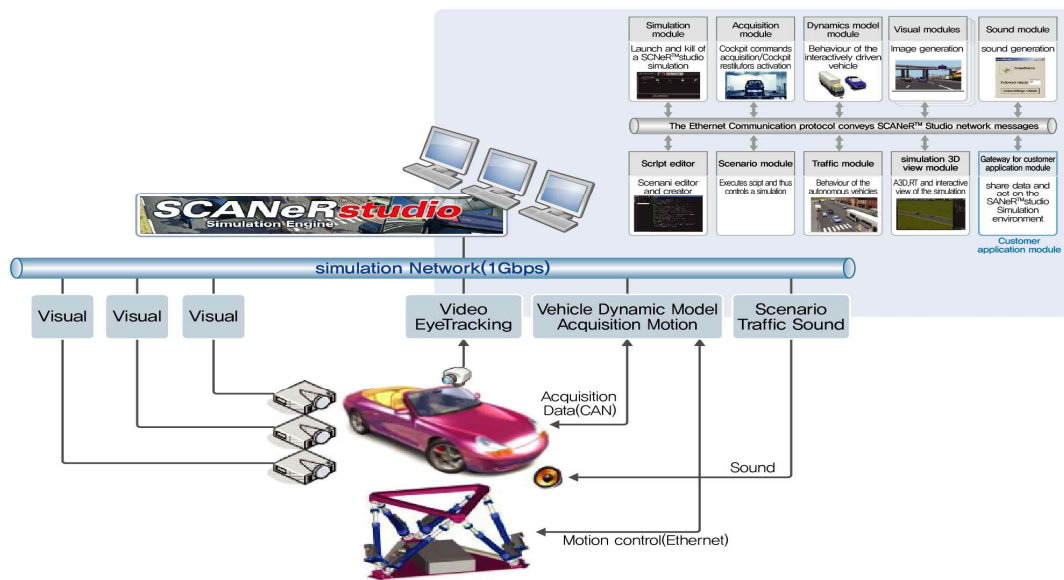
○ 시설 구축 시 고려사항

- 시뮬레이터 운영 소프트웨어는 다수의 컴퓨터에서 분산하여 구동되므로 각 기능별로 모듈화되며 모듈화된 각 구동 프로그램은 정해진 API(Application Programming Interface)를 통하여 상호 실시간으로 데이터를 교환이 가능하도록 설계함
- CCD 카메라와 통신장비를 활용하여 돔 내부 상태에 대한 상시 모니터링 및 운전자와의 통신이 가능하도록 설계함
- 도로주행 시뮬레이터의 효과적인 운영과 다양한 응용 실험이 가능하도록 다음과 같은 기준에 따라 400km 이상의 3차원 그래픽 도로영상 데이터베이스를 구축함 (교통DB 포함)
 - : 노선별 이용차량이 많은 고속도로를 우선으로 3차원 도로 데이터베이스 설계
 - : 경부고속도로(19.5%), 서울외곽순환도로(16.6%)
 - : 고속도로부의 주행거리는 20km를 표준으로 설정하여 시나리오 구성
 - : 도시부, 지방부 일반도로의 주행거리는 10km를 표준으로 설정하여 시나리오 구성

○ 시설 설계 사양 및 성능

- 외부장치와 병행운전 가능 여부 : 2대 이상
- 차량 교체시간 (실험준비시간) : 1시간 이내
- 도로영상 구축 범위 : 400km 이상 (도심부, 지방부, 고속도로부 등)
 - : 도로영상은 다양한 연구 수행이 원활하게 진행될 수 있도록 도로 선형별/등급별/유형별 시나리오를 구성하여 유를 구축

- 주 운영 소프트웨어는 세계적인 도로주행 시뮬레이터에 적용되고 있으며, 국내 사용자가 가장 많은 SCANeR Studio를 기반으로 구축하고, 국내 타기관 시뮬레이터와의 운영 SW 호환성을 위해 일부 시뮬레이터에 운영 프로그램 병행 적용 (UCWin/Road를 일부 보조 시뮬레이터에 설치하여 병행 운영토록 구성)
- 교통 시뮬레이션 프로그램과 연동하여 교통흐름 개선



운영 소프트웨어 구성도

□ 서브시스템 구축

1) 실시간 차량동역학 시뮬레이션 시스템

○ 시스템 개요

- 도로주행시뮬레이터에 탑승한 운전자가 운전 중 조작하는 조향 휠, 가속페달 및 브레이크 페달 등으로부터 검출된 신호를 입력으로 하여 실시간으로 차량의 운동을 연산하고, 그 결과를 시각, 음향 및 운동시스템에 전달하여 운전자에게 피드백 하는 실시간 차량시뮬레이션 시스템

○ 다물체 동역학 기반 차량 모델링

- 대상 차량 선정 : 현대자동차 LF SONATA 선정



대상차량 : LF SONATA

- 실시간 차량 해석모델의 수식 개발 및 검증을 위해 다물체 기반의 차량모델은 ADAMS 프로그램 이용하여 개발
- 모델 개발
 - : ADAMS 차량 모델의 Subsystem 구성
 - : Chassis
 - : Front/Rear Suspension
 - : Steering
 - : Tire 및 Brake 등

○ 실차 주행 실험을 통한 차량 데이터 취득 (실차량 계측 및 시험)

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



- Spring 특성측정

: 대상 차량의 전륜 및 후륜 Spring 특성 측정



- Damper 특성측정

: 대상 차량의 전륜 및 후륜 Damper 특성 측정

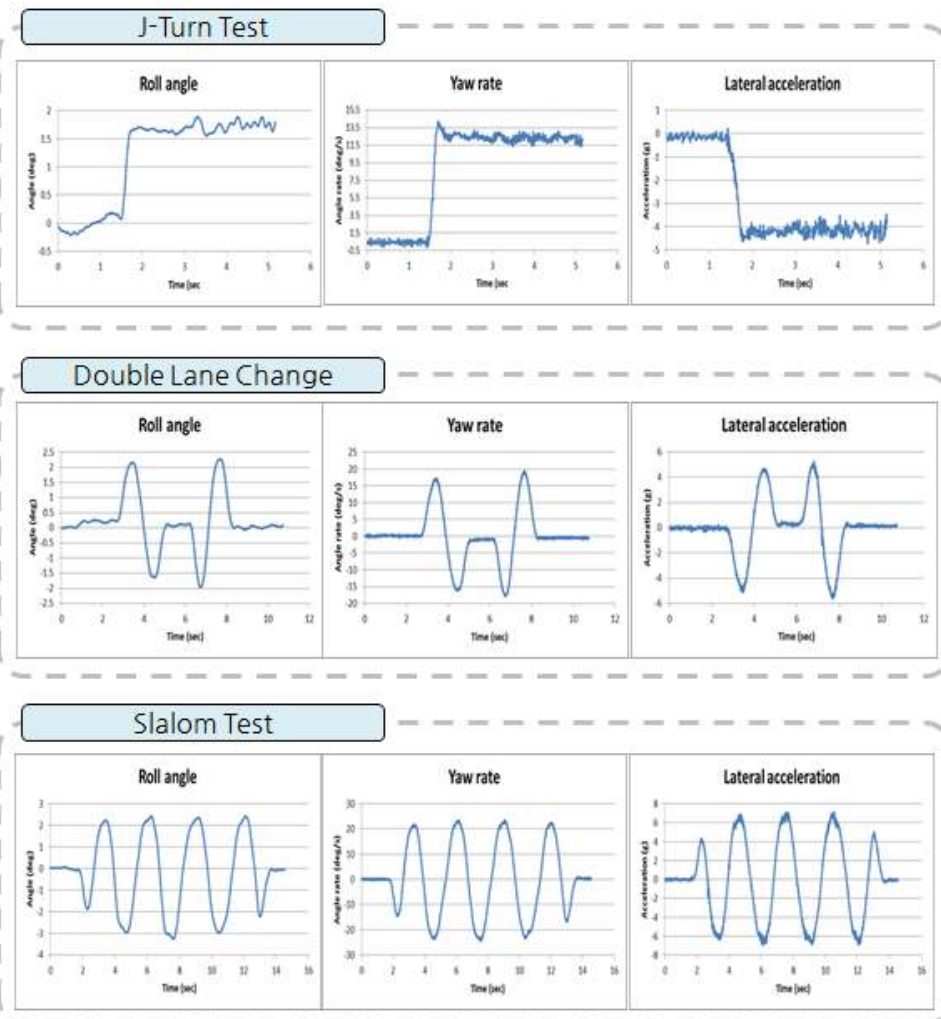


- 실차 주행 실험

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



대상 차량의 실차 주행 시험



대상 차량 실차 주행 결과

○ 시뮬레이션 결과 실차 거동 유사성 검증

- 실차 주행 시험과 동일한 조건으로 실시간 차량 모델의 해석을 수행하여 실험결과와 해석 결과를 비교함으로써 실시간 차량 모델의 정확도 검증

: 시험 데이터와 해석 데이터의 비교결과 RMS 기준 약 94.87%로 실시간 해석모델의 정확도 검증

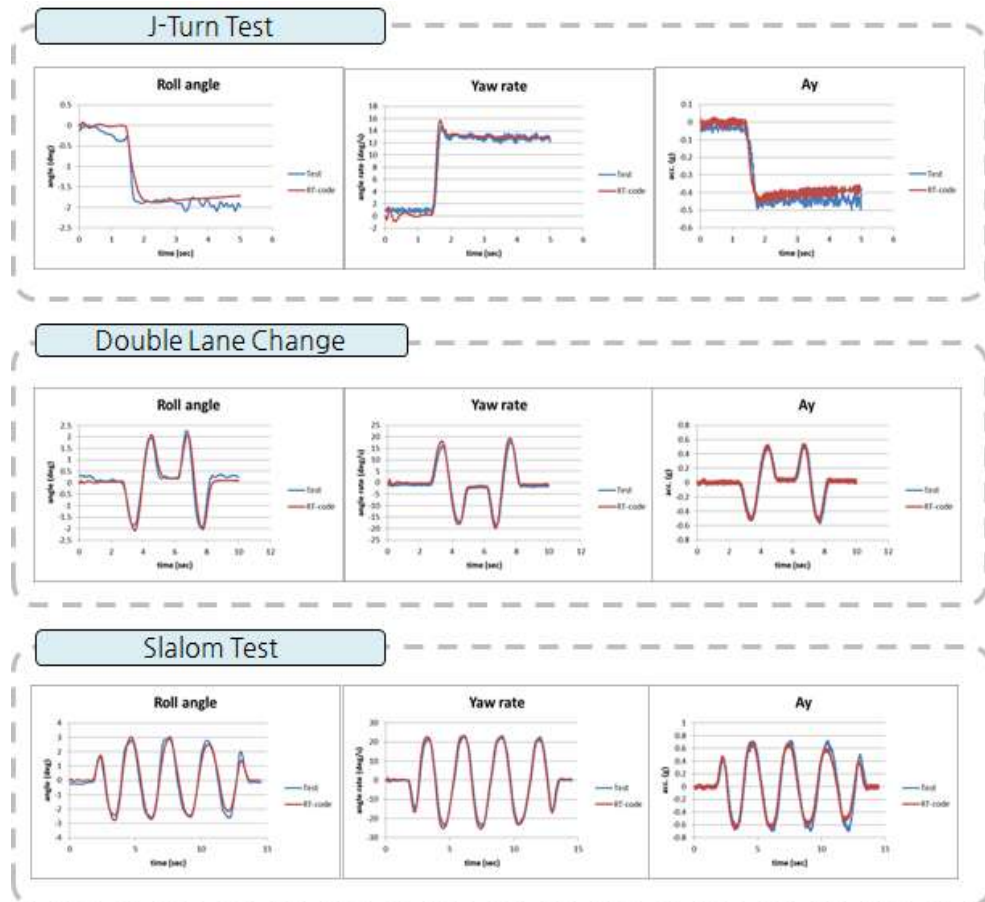


그림 90 실차 주행과 실시간 해석 모델 시험 결과 비교

[실시간 차량 모델 정확도]

	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

2) 3차원 영상 시험 시스템

○ 돔 구조물 및 스크린 제작 설치

- 모션 플랫폼에 고정되어 동적 거동을 하는 스크린 시스템의 정적/동적 안정성을 고려하여 구조물의 변위 해석 및 응력 해석이 필요함
- 부가 하중을 지지하는 구조물은 정적인 강도에 대한 구조 건전성을 확보해야 하며 동적 거동에 대한 강성 또한 확보되어야 함
- 모션시스템에 적용되는 시뮬레이터에 대해서는 구조 건전성의 기준이 필요하고 이 기준을 만족하는 주요 부재의 형상 결정이 필요함

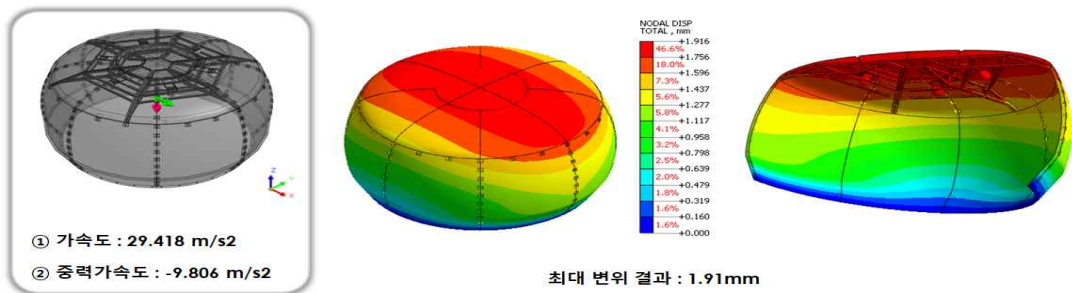
- 구조 해석 결과

: 주어진 조건에 따라 구조해석을 수행한 결과, 모션 시스템에서 구현되는 운동(Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw)에 따른 구조물의 결과는 2.10~12.59의 M.S.(Margin of safety)를 가짐

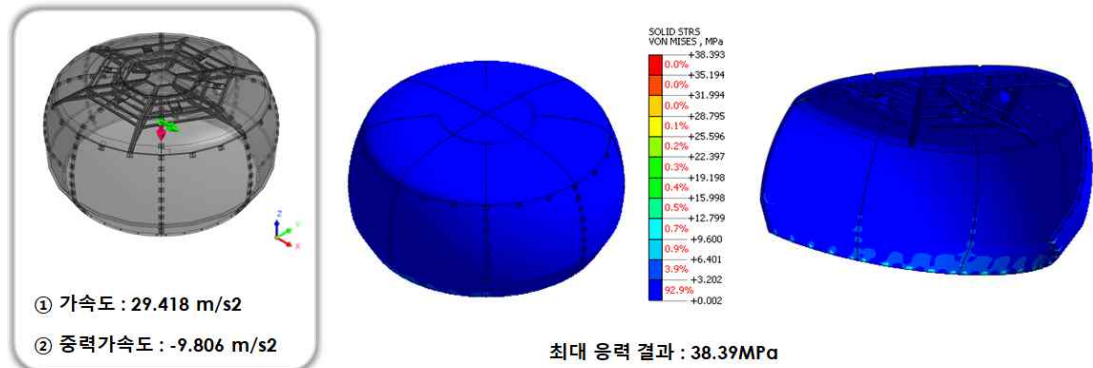
- 진동 해석 결과

: 10차에 걸친 해석을 통하여 본 결과, 모션 시스템에서 요구하는 진동수 10Hz 이상의 결과 값을 얻은 것을 볼 수 있고, 이를 근거로 판단해 볼 때 진동에 따른 구조적 안정성 또한 확보하고 있음

- 하중 조건 별 강도 해석 결과 샘플 (Surge 변위)

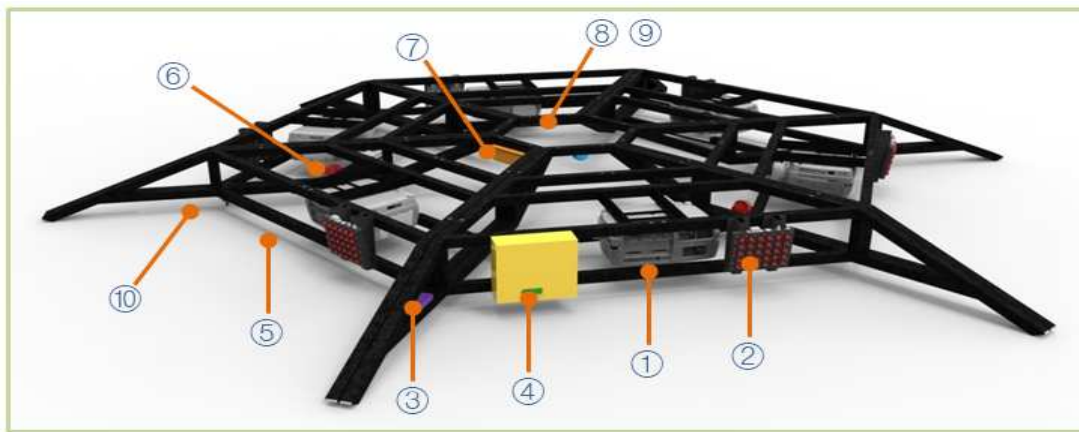


- 하중 조건 별 강도 해석 결과 샘플 (Surge 응력)



○ 프로젝션 프레임 설계

- 프로젝션 프레임은 스크린 영상 시현에 필요한 각종 전장품이 설치되며, 돔 스크린 상부와 조립되어 전체적인 구조물의 강성을 부여한다. 형상은 트러스 구조로 되어 있어 적은 부재로도 강성을 유지할 수 있도록 설계함
- 재질은 스틸 각파이프와 판금으로 이루어져 있으며, 용접 및 볼트로 조립함
- 프로젝터 프레임에는 프로젝터, LDAT, 조명, 화재감지기 등이 브라켓을 통해 설치되며, 모든 브라켓은 모션의 진동을 견딜수 있으며, 유지보수에 용이하도록 설계되었음
- 프로젝션 프레임 설계 3D 모델링



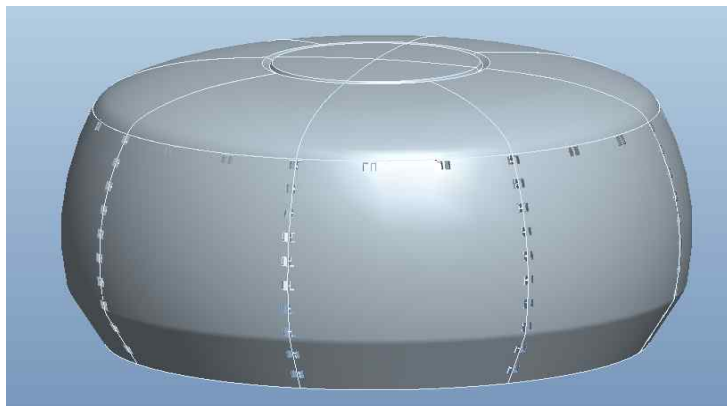
No	항목	수량	사양
1	프로젝터	6	BARCO F35
2	LDAT	6	BARCO 30 Point
3	LAN Hub	1	HP 24Port 1G
4	파워박스	1	220VAC, 24VDC
5	형광등	6	LED매립 60W
6	스팟등	1	고휘도 LED 18W
7	비상조명	1	고휘도 LED (정전용)
8	화재센서	1	정온식
9	연기센서	1	광전식
10	비상구 표시등	1	LED개조

○ 돔스크린 제작

- 돔스크린 설계

- : 돔 스크린 설계는 주어진 내경치수 (DEP 기준 6,200mm)에 맞추어 설계되고, 3단의 스크린 구조물로 구성됨
- : 하단부 스크린은 실제 영상이 조사되는 스크린으로서 내부에 적절한 도료로 도색되었음
- : 중단부 스크린과 상단부 스크린은 프로젝션 프레임을 지지하면서 전체적인 돔 구조물을 형성하는 부분임
- : 모든 조립 완료 후 스크린의 내.외측 조립면에 FRP 매트 시공으로 전체 강성을 부여 예정임

- 돔 스크린 전체 설계 3D 모델링



- 마스터 모델 제작

- : 마스터 모델은 스크린 제작 시 틀이 되는 몰드를 제작하기 위해 스크린과 같은 사이즈로 제작한 목업에 해당함
- : 마스터 모델은 실제 스크린과 같은 사이즈로 제작됨



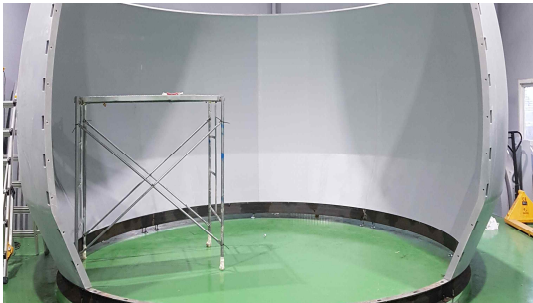
○ 스크린 제작

- 스크린은 몰드에 에폭시와 FRP를 혼합하여 적층하여 제작하며 스크린 내부에는 강성을 위해 PE 폼을 충전함
- 스크린 사이의 조립 면에는 2T 철판이나 케이지 너트를 적층시 삽입하여 조립성을 높임



○ 스크린 조립

- 스크린 설치시 임시 서포트링을 제작하여 설치하였으며, 하단부 스크린은 고정되어 있고, 하단부 스크린 상부에 프로젝션 프레임이 조립됨
- 중단부와 상단부 스크린은 프로젝션 프레임을 지지하도록 조립하여 돔 구조체를 이루도록 함



○ 프로젝션 시스템 구축

– 프로젝터 사양

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



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(최대출력)
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
크기	510 * 223 * 376 mm (WxHxD)
무게	12.6kg(렌즈제외)

– 프로젝터 구성도

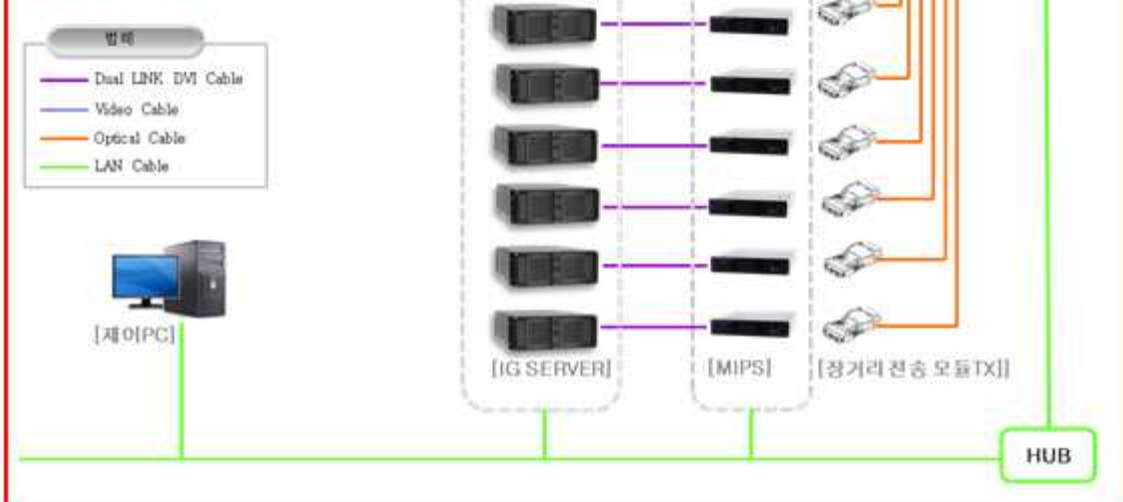
- : 돔 스크린 내부에는 영상 투사에 필요한 최소한의 장치인 프로젝터와 LDAT만 설치되고 그 외 나머지 장비는 모두 운영실에 설치하여 유지보수 및 운영의 편의성 증대 및 돔 내부 무게 절감 효과를 가짐
- : 프로젝터 시스템 설치 완료함



[돔 스크린 내부 설치]



[운영실 내부 설치]



○ 영상 채널간 Dynacolor 기능 적용 및 정밀 조정

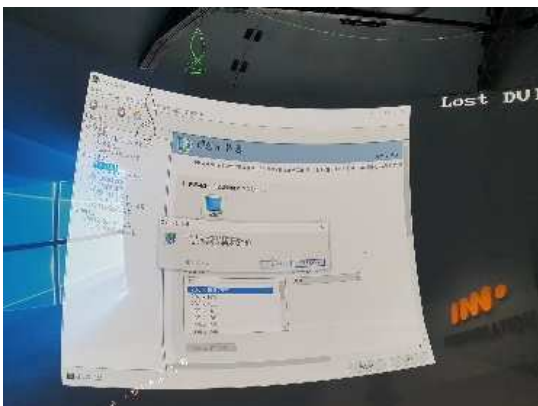
- 프로젝터 설치 후 스크린에 투사되는 화면 영역을 중첩부분(블랜딩존) 및 스크린의 FOV를 고려하여 균일하게 영상 화면 크기 및 위치 셋팅을 진행함
- 프로젝터 영상조정장치 기본 점검



- 프로젝터 영상 투사 화면 크기 및 영상 위치 셋팅

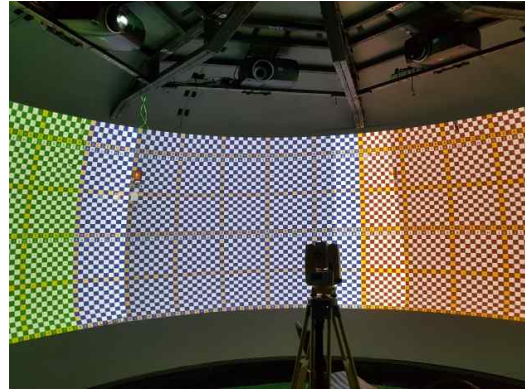
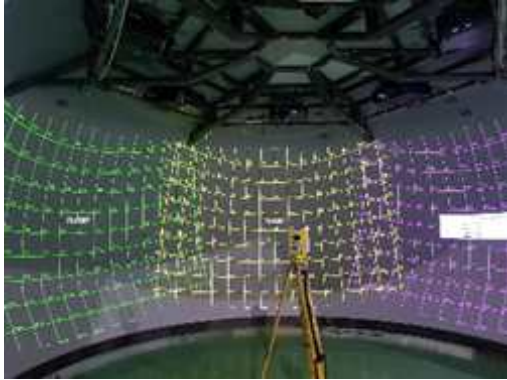


- 영상케이블 및 IG, 영상조정장치 연결 및 셋팅



- 화면 지오메트리(Image Wapping)

: IG 패턴 및 FOV가 일치하는 그리드 패턴을 적용 후 영상조정장치를 이용하여 지오메트리 셋팅



- 화면 중첩 Edge Blending 셋팅



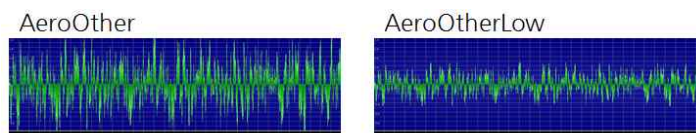
3) 음향 생성 및 시현 시스템

○ 개요

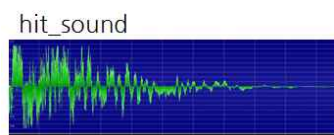
- 음향 장치는 시뮬레이터의 운용 측면에서 큰 영향을 미치는 청각 효과 구성품으로 실제 운전 시 외부환경과 최대한 유사하게 구현하여 발생하는 음향과 주변 환경음을 실제감 있게 구현
- 운전자의 운전 조작에 따른 시동음, 엔진음 등을 실시간으로 3차원 공간음을 구현하여 주변 차량 접근시 도플러 효과에 따른 음향의 고저를 표현, 또한 스키드음, 경적음과 같은 특수 효과음을 구현

○ 음원 취득 및 샘플링 가공

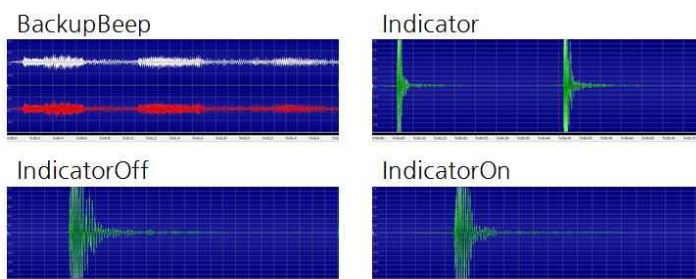
- Aero



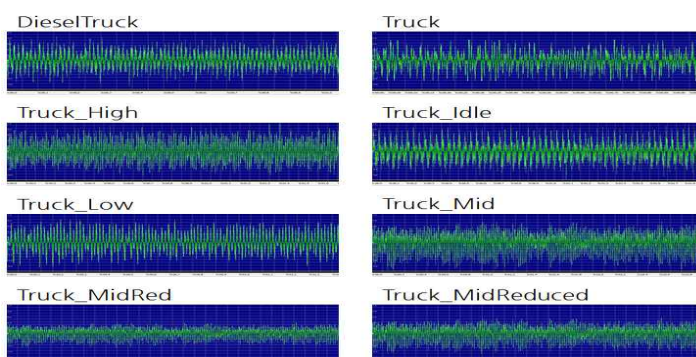
- Collision



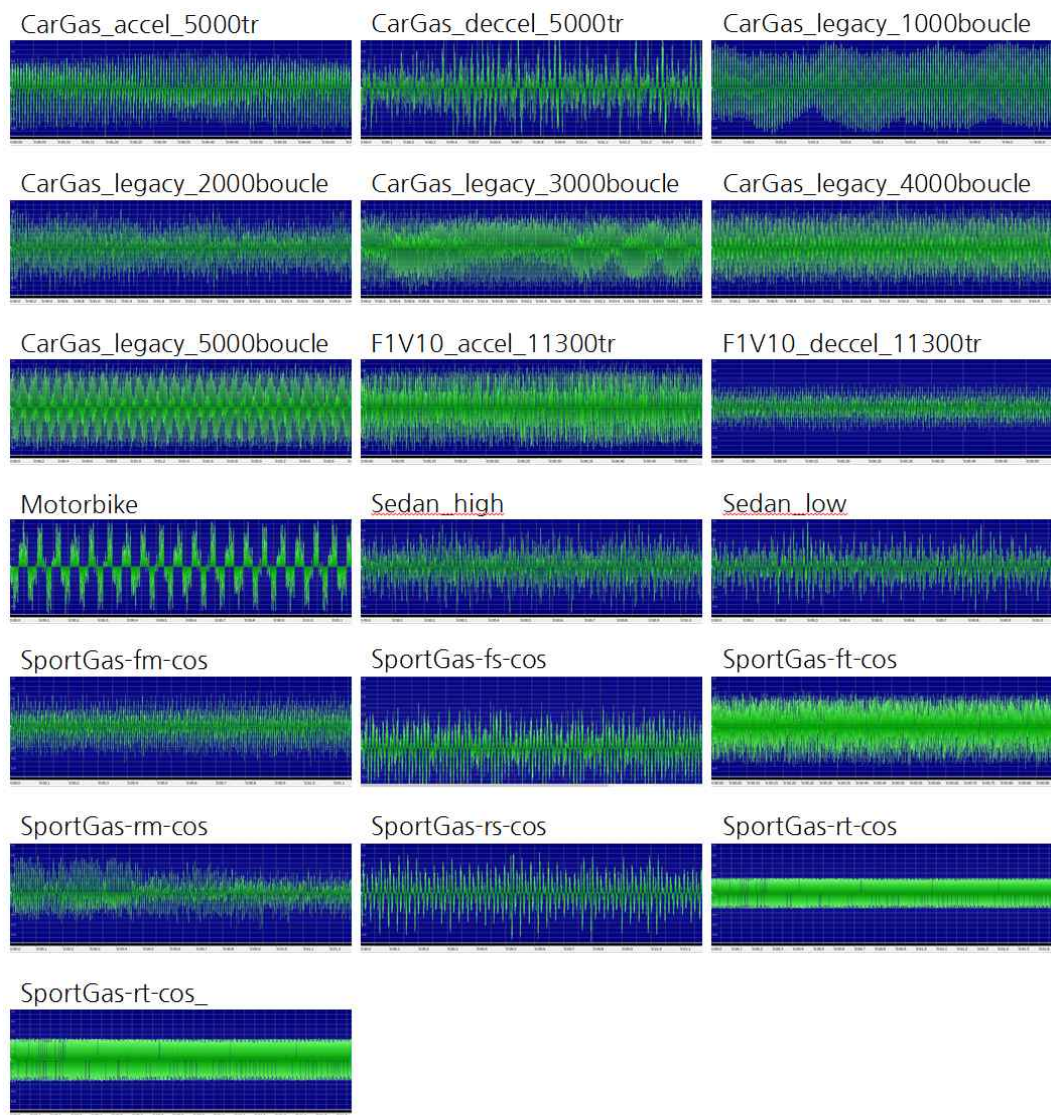
- Dashboard



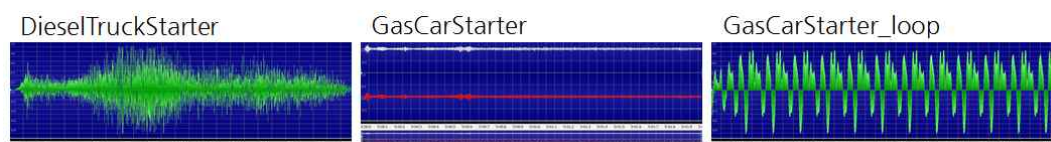
- Engine Diesel



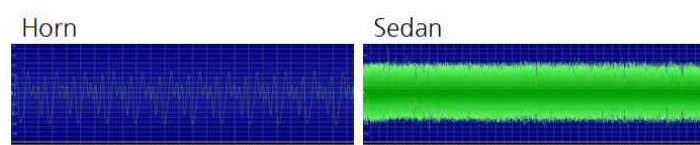
– Engine Gasl



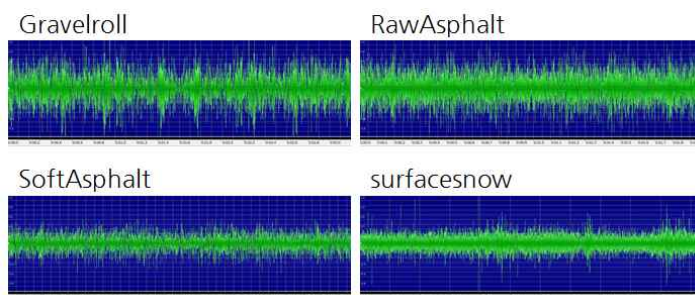
– Engine Starter



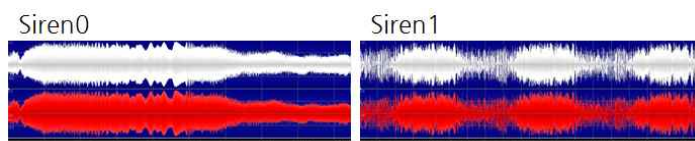
– Horn



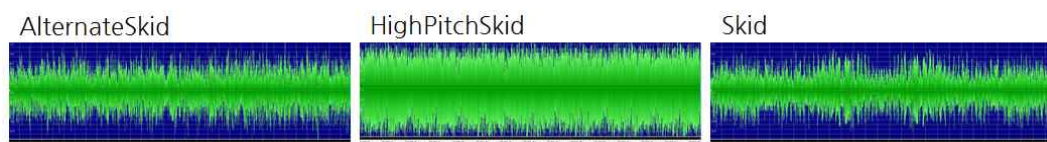
– Road



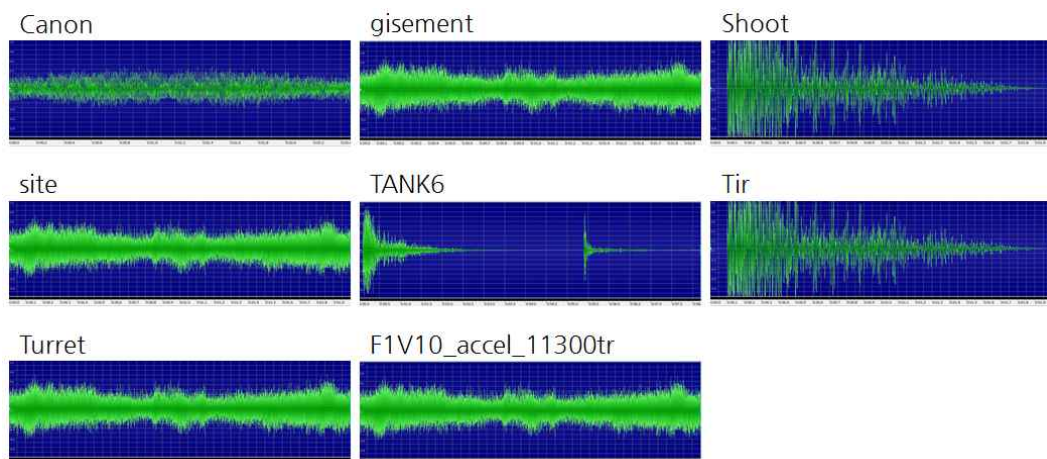
– Sirens



– Tires



– Turret



○ 음향 생성 알고리즘 구축

- 음향 시스템은 시뮬레이터에서 큰 영향을 미치는 청각 효과 구성 시스템으로 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

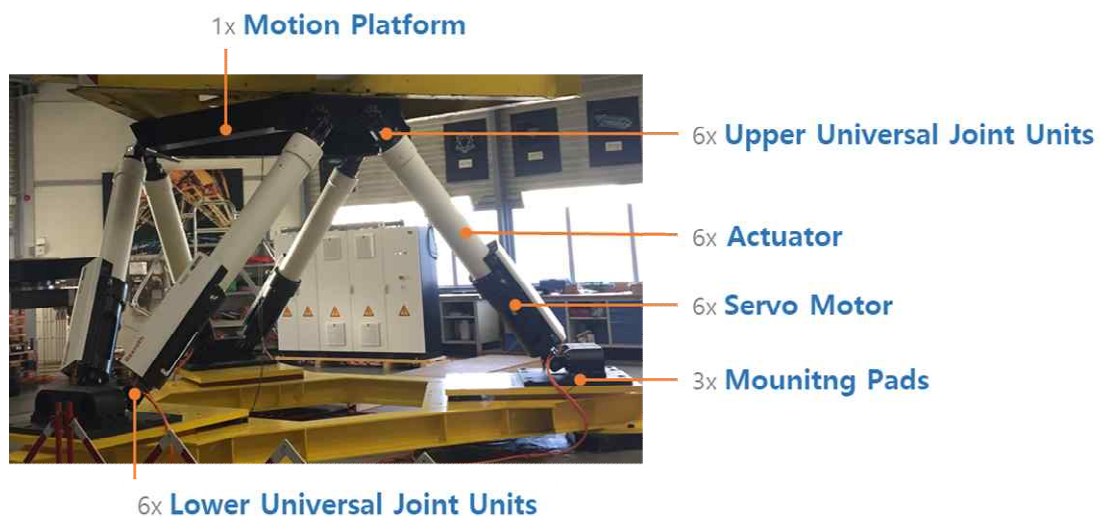
○ 8ch 음향 시스템 구축

- 음향 시스템은 시뮬레이터에서 큰 영향을 미치는 청각 효과 구성시스템으로 입체 음향을 구현하기 위해서는 적절한 위치 선정이 중요. 차량 내부에서 재현하는 것이 가장 이상적이며 차량 외부에서 재현 할 경우 동내부 음향 반사효과 때문에 정확하게 재현 할 수 없음.
- 이에 실제 차량의 스피커를 활용하여 8ch을 구현. 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 도어 스피커 2개를 활용.

4) 운동시스템

○ 6자유도 Stewart 플랫폼 구성

- 모션 플랫폼은 6개의 Servo Actuators, 3개의 마운팅패드(Mounting Pad)와 12개의 Universal Joint Units와 1개의 모션 플랫폼 상판을 가지고 있음



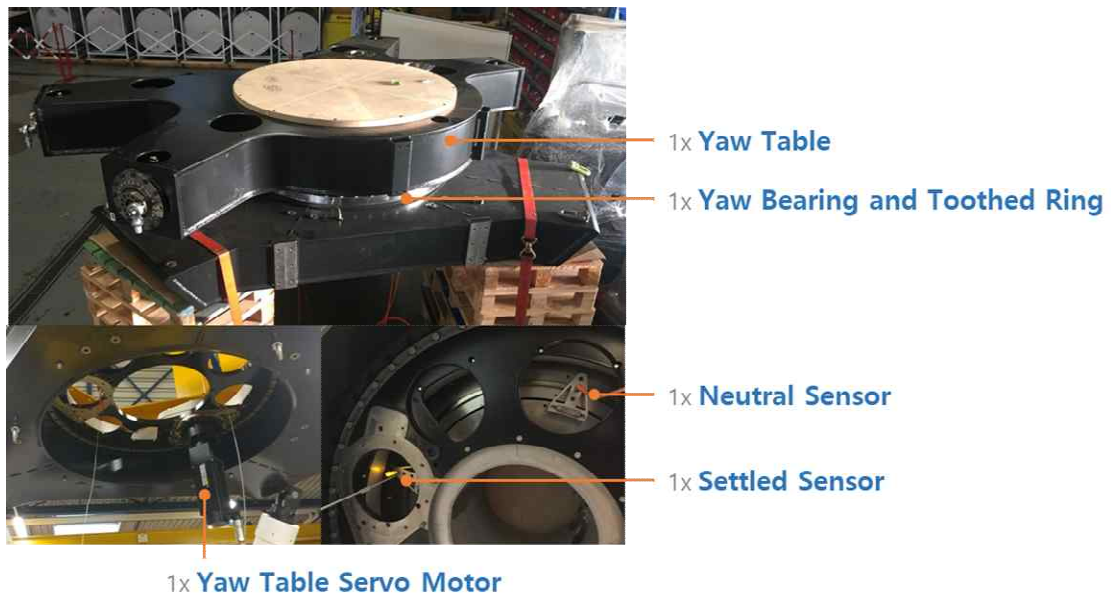
○ 6자유도 Stewart 플랫폼 조립

- 바닥 마운팅 패드를 설치한 후 조립지그를 활용하여 6개의 Actuator를 모션 플랫폼 상판에 연결하여 조립함



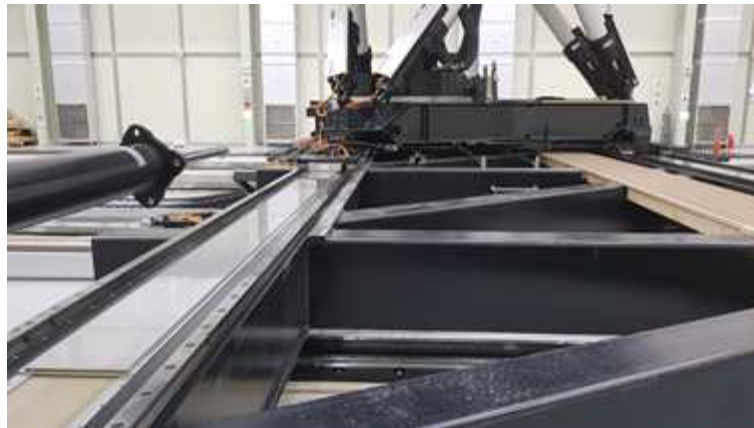
○ Yaw Table 제작

- Yaw Table은 Yaw Table 프레임, 톱니바퀴, 베어링, 중립센서, Settled 센서, Yaw Table Servo Motor 로 이루어짐



○ X-Y Rail 구축

- Y Rail은 Gantry 위에 2개의 레일과 8개의 Linear motor를 가진 Y-Table이 설치됨
- Y-Table에는 6Dof 모션이 설치될 수 있도록 마운팅 플레이트를 가지고 있으며, Gantry 레일을 따라 구동하게 됨
- Gantry에는 X Rail과 Y Rail의 모터 Cooling 시스템이 설치됨



Y-Rail 설치 사진

- X Rail은 5개의 레일과 12개의 Linear motor, 바닥 마운팅 플레이트와 자석(Magnets)을 가지고 있음
- 레일의 끝단에는 1개의 Settled 스위치와 1개의 Limit 스위치가 설치되며, 최종단에는 4개의 End Cushion이 설치됨



X-Rail 설치 사진

○ 13자유도 모션 능동 제어 알고리즘 구현

- 모션 플랫폼의 구동 절차

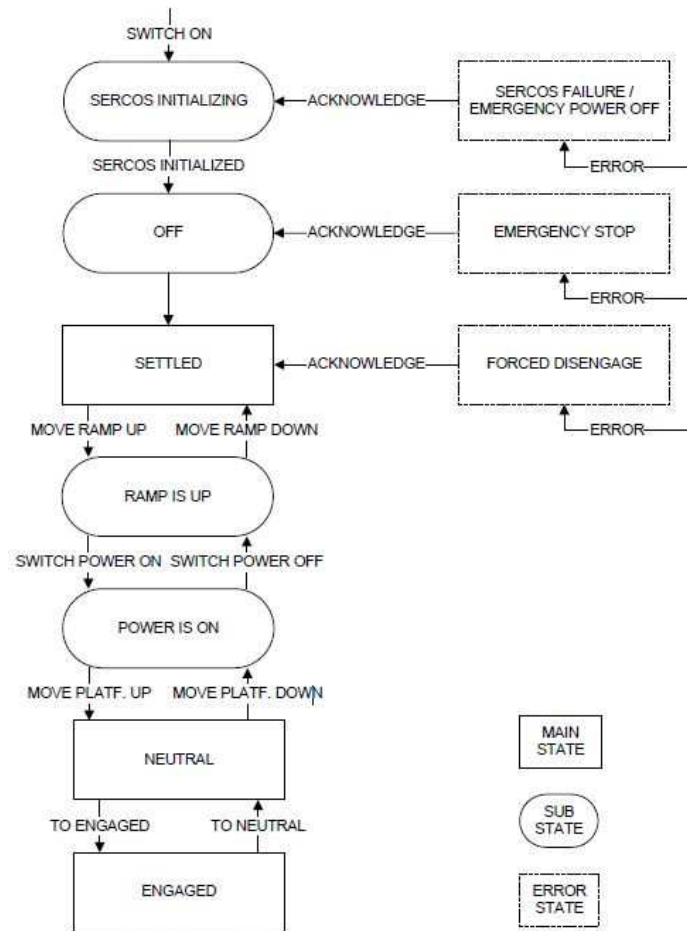


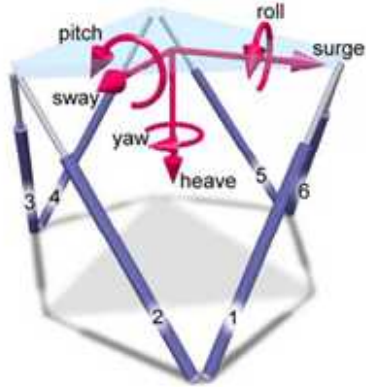
Figure 4-1: System states and transitions diagram

- 모션 능동제어 알고리즘 구현

: 병진 및 회전 가속도의 고주파수의 입력 값에 의해 시뮬레이터를 통한 재현이 이루어짐

: 종방향 및 측방향 가속의 경우 로우패스 필터를 통과시켜 Tilt Coordination 이라는 기법을 사용하여 일방향에 대한 지속적인 가속 감각을 모방하는 것에 중력을 이용하여 재현

○ 운동시스템 성능 사양



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

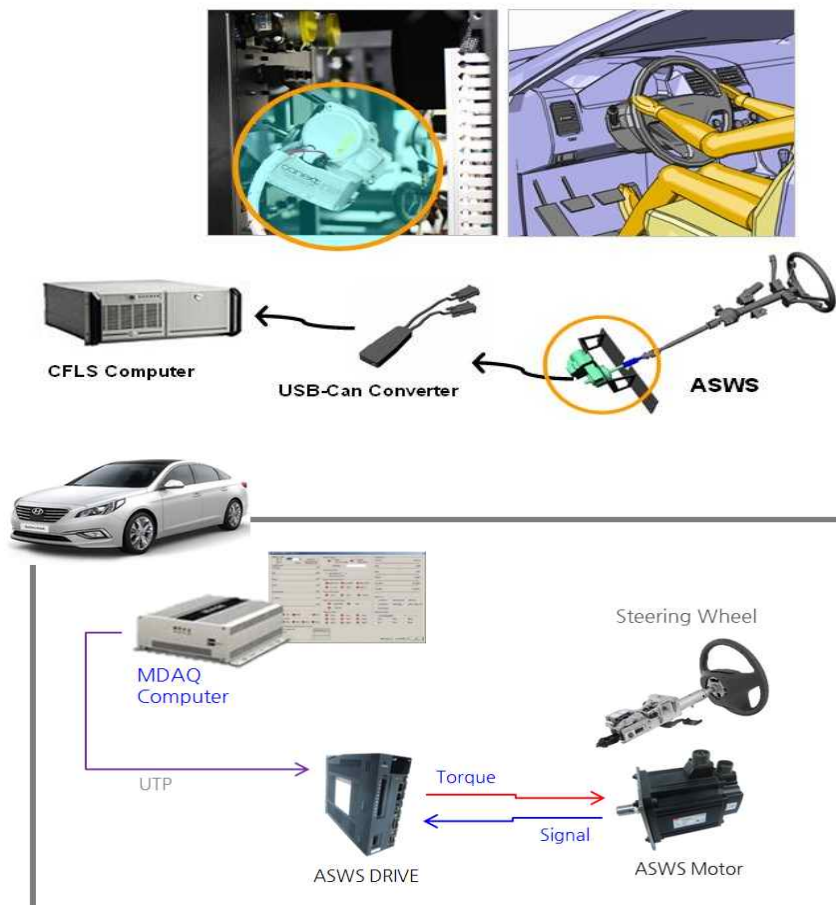
5) 캐빈 및 제어힘 로딩 시스템

○ 차량 캐빈

- 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 위하여 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 제거

○ 고성능 조향 반력장치

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



고성능 조향반력 장치 구성

○ 데이터 수집 장치

- MDAQ 보드로부터 전송되는 각종 차량 조작과 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

○ 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, 비상 정지 스위치의 작동에 따라 현재 상태에서 완전하게 정지됨

• 시스템 안전 장치

- 캐빈 안전 장치: EMG Switch / Seat Belt / Cabin Door Sensor
- 모니터링 시스템 (CCD&음성통신)
- 시스템 비상 정지 및 안전 복구 Logic 개발
- 비상용 소화기
- 탈출 유도 표식

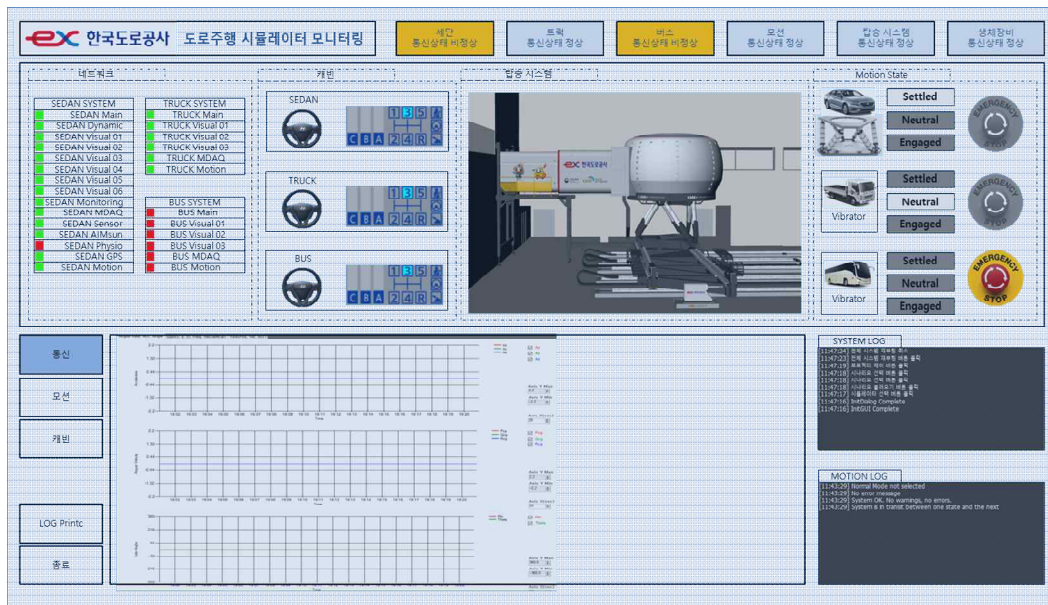


시스템 안전장치

6) 운영 및 모니터링 통합 시스템

○ 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 기능을 가짐.



운영모니터링 소프트웨어

- 운영 모니터링 소프트웨어의 상단바를 확인하여 한눈에 각 장비들의 연결 완료 상태 또는 에러 상태를 확인 할 수 있도록 함
- 연결 완료가 되지 않은 장비가 있을 경우 아래 세부 항목을 통하여 미완료된 항목을 확인 할 수 있음
- 또한 각 시뮬레이터를 운전자가 어떠한 조작을 하고 있는지 간단하게 확인할 수 있으며, 안전에 유의해야 하는 탑승시스템, 도어, 비상정지, 모션상태는 한눈에 알수 있도록 이미지로 표현
- 각각의 동작상태는 log로 저장되며, 문제 발생시 log 기록을 확인하여 이력을 확인할 수 있음
- 시뮬레이션 구동 완료 후 데이터 처리를 위하여 Pirnt 프로그램을 통하여 취득된 데이터를 그래프로 확인하거나 파일출력하여 실험 결과 분석을 할 수 있음
- 해당 소프트웨어는 SCANeR Studio가 실행되는 Main PC에서 구동됨

○ 운영자 통합 콘솔 시스템

- 도로주행시뮬레이터의 제어 및 통제를 위하여 시뮬레이터 운영실에 중앙통제장치를 운영. 본 중앙통제장치를 이용하여 시뮬레이터를 운영하며, 1인이 모든 장치를 제어하고 모니터링하며 통제할 수 있도록 시스템을 구성



메인 운영 통합 콘솔 시스템 구성



보조 운영 통합 콘솔 시스템 구성

□ 보조시뮬레이터 구축 및 DIS 통합

○ 트럭, 버스 캐빈 구축

- 트럭 캐빈 구축시 상용 트럭중 다양한 분야에서 사용중인 현대 엑시언트 모델을 선정
- 외관 및 기본적인 사용자 인터페이스는 동일하게 사용



트럭 캐빈 외부



트럭 캐빈 내부

○ 시뮬레이터간 DIS통합

- 본 시스템은 승용캐빈과 버스캐빈, 트럭캐빈이 하나의 3D지형 데이터베이스에서 DIS연동이 가능하도록 구축됨
- 또한, K9 업그레이드 진행 시 총 4대의 각각의 시뮬레이터의 DIS 연동 주행이 가능함

□ 데이터베이스 구축

○ 영상 DB 구축 (총 500km)

분 류	구 간	구축연장
계		500km
가상주행 및 성능시험로	현대 연구용 트랙	6 km
	천마터널	3 km
	신림 봉천 터널	5 km
	모션 튜닝용 트랙	4 km
시내 및 지방국도	도심 1	60 km
	도심 2	35 km
	서울광화문	5 km
	이노city	10 km
	여의도 일대	21 km
	지방 1	25 km
	지방 2	11 km
고속도로	비봉-이천 고속도로	130 km
	서울 신갈-호법 고속도로	48 km
	서울외곽순환도로	32 km
	인천대교	20 km
	양양고속도로 동홍천-양양	62 km
	영동고속도로 둔내-평창	23 km

○ 주행 시나리오 DB 구축 (30건)

- 본선, 진출입부, 졸음쉼터, 도심로, 지방로 등 총 30개 시나리오 구축
- 영상 DB구축 구간 내에 포함

□ 국내외 학술회의 발표 실적

번호	회의명칭	발표자	발표일시	장소
1	도로주행 시뮬레이터 실험시설 도입 및 활성화 방안	박제진	2015.10.29	대한토목학회 (군산새만금컨벤션)
2	교통안전 향상을 위한 도로주행 시뮬레이터 실험시설 구축	박제진	2015.10.29	한국안전학회 (강원도 웰리힐리파크)
3	제74회 대한교통학회 학술발표회	박제진	2016.02. 18~02.19	제주대학교
4	2016년 한국안전학회 춘계 학술발표회	박제진	2016.05. 12~05.13	제주 메종글래드
5	2016년 자동차공학회 학술발표회	박제진	2016.05. 19~05.20	제주 라마다프라자
6	2016년 한국도로학회 학술발표회	박제진	2016.06. 02~06.03	제주 부영호텔
7	제75회 대한교통학회 학술발표회	박제진	2016.09. 22~09.23	부산 벅스코
8	2016년 대한토목학회 추계 학술발표회	박제진	2016.10. 19~10.21	제주 국제컨벤션센터
9	2016년 한국 ITS학회 추계학술대회	박제진	2016.10.2. 7.~10.28	부산 동아대학교
10	제76회 대한교통학회 학술발표회	박제진	2017.02.16.	가천대학교
11	2017년 한국ITS학회 춘계 학술발표회	박제진	2017.04.20	제주 한라대학교
12	2017년 한국안전학회 춘계학술대회	박제진	2017.05.11	제주 메종글래드
13	2017년 대한교통학회 추계학술대회	박제진	2017.09.28.	여의도 컨벤션센터
14	2017년 대한교통학회 추계학술대회	김덕녕	2017.09.28.	여의도 컨벤션센터

번호	회의명칭	발표자	발표일시	장소
15	2017년 대한토목학회 추계학술대회	박제진	2017.10.20.	부산 벅스코
16	2017년 대한토목학회 추계학술대회	김덕녕	2017.10.20.	부산 벅스코
17	2017년 한국도로학회 추계학술대회	박제진	2017.10.27.	여수엠블호텔
18	2017년 한국안전학회 추계학술대회	박제진	2017.11.09.	경주 현대호텔
19	2017년 한국안전학회 추계학술대회	염춘호	2017.11.09.	경주 현대호텔
20	2017년 한국자동차학회 추계학술대회	박제진	2017.11.16.	여수 엑스포컨벤션센터
21	2017년 한국자동차학회 추계학술대회	박용진	2017.11.16.	여수 엑스포컨벤션센터
22	2018년 한국ITS학회 춘계 학술발표회	박제진	2018.04.19.	제주 한라대학교
23	2018년 한국도로학회 국제학술발표회	박용진	2018.05.31.	제주 부영호텔
24	2018년 대한교통학회 추계학술대회	박제진	2018.09.13.	KAIST 문지캠퍼스(대전)
25	2018년 대한토목학회 추계 학술발표회	박제진	2018.10.17.	경주 HICO
26	2018년 한국ITS학회 추계 학술발표회	박제진	2018.11.02.	부산 경성대학교
27	2018년 한국자동차공학회 추계학술대회	박제진	2018.11.15.	강원 하이원리조트
28	2018년 한국자동차공학회 추계학술대회	박현진	2018.11.15.	강원 하이원리조트

□ 협의체 운영

구분	주제	일시	장소	참석인원
1	도로주행 시뮬레이터 연구교류 및 협의체 준비위원회 워크샵	2015.11.26.~27.	안면도 리솜오션캐슬	총 26인
2	다학제간 융복합 연구 활성화를 위한 협의체 워크샵	2016.6.30.	홀리데이인 광주호텔	총 30인
3	도로주행 시뮬레이터 협의체 하반기 워크샵	2016.12.8.	서울양재 The K호텔	총 32인
4	도로주행 시뮬레이터 활용사례 및 아이디어 공유	2017.12.5.	서울 상암 누리꿈스퀘어	총 20인
5	도로주행 시뮬레이터 활성화를 위한 전문가 워크숍	2018.1.18.	서울 오글라우드호텔	총 34인
6	도로주행 시뮬레이터 실험센터 활용방안 모색 및 토론	2018.5.9.	도로주행 시뮬레이터 실험센터	총 18인



○ 특허 등록 / 출원

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

[illegible]

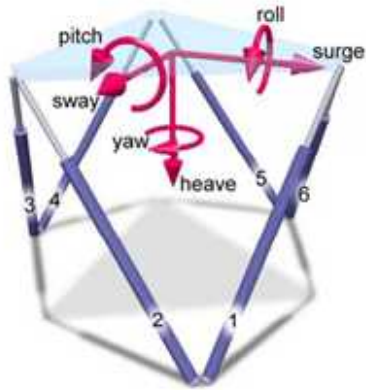
○ 프로그램 등록

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



□ 시스템 성능평가

○ 목표 대비 100% 달성



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

□ 실험시설 활용건수

○ 목표 대비 100% 달성

구분	실험 명칭	사용기간	수요기관
1	이중굽은 연결로의 원곡선 비율에 대한 주행실험	2018. 7. 20 ~ 8. 17	한국도로공사 (기술심사처)
2	신갈-호법 고속도로 자율주행 관련 테스트	2018. 9. 1 ~ 10. 1	한국도로공사 (자체활용)

