

19IFIP-
B087592
-06

햅틱기반

플랜트

안전훈련 시스템

기술개발 최종보고서

2019

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호()

햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 기술개발 최종보고서

R&D / 19IFIP-B087592-09

햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 기술개발 최종보고서 (연구단 총괄본)

2019 . 9. 30.

주관연구기관 / 고등기술연구원

협동연구기관 / 서울대학교

협동연구기관 / 톨레미시스템

국토교통부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템기술 개발’(연구개발 기간 : 2014. 11. ~ 2019. 9.) 과제의
최종보고서 15부를 제출합니다.

2019 . 9 . 30.

주관연구기관명 : 고등기술연구원 (대표자) (인)
협동연구기관명 : 서울대학교 (대표자) (인)
협동연구기관명 : 톨레미시스템 (대표자) (인)

주관연구기관책임자: 박찬국
협동연구기관책임자: 임영섭
협동연구기관책임자: 권순재

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	8IFIP-B0875 92-05	해당 단계 연구 기간	2014.11.10. ~ 2019. 9. 30	단계구분	총단계
연구사업명	중사업명	플랜트연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 기술 개발			
	세부과제명				
연구책임자	박찬국	해당단계 참여연구원 수	총: 49명 내부: 49명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부:6,703,000천원 민간:2,414,370천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:9,117,370천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 49명 내부: 49명 외부: 0명	총 연구비	정부:6,703,000천원 민간:2,414,370천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:9,117,370천원
연구기관명 및 소속 부서명	고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터			참여기업명	대흥산업가스, 현대오일뱅크, 쥐에치 솔루션, 열린기술, 톨레미시스템
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 명지대학교			연구책임자: 신동일	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발을 하고자 함. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술은 플랜트 산업에 IT, 햅틱(촉각)기술, 가상현실 증강기법 등에 기반하여 지능화, 네트워크화, 자동화, 융·복합 컨버전스 기술의 특징을 갖는 IT 융·복합 원천기술을 접목하여 플랜트 운영현장 및 시설의 안전성을 확보하여 햅틱기반 안전훈련이란 새로운 그린오션 창출을 위한 플랜트 산업 원천 기술을 개발하는 연구임. 기존의 플랜트 안전훈련 시뮬레이터는 시각과 청각에 기반한 시뮬레이션의 한계를 벗어날 수가 없으나, 햅틱기반 휴먼 인터페이스 실감 기술 적용을 통한 안전훈련 시스템은 실제 운전 환경과 유사한 훈련 시뮬레이션을 통해 운전 안전성 제고에 기여할 수 있는 블루오션 신시장 분야임. 따라서, 플랜트 기술 각 분야의 전문가의 참여 및 자문을 통해 현재 국내 플랜트 안전훈련 기술의 향상을 위해 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발을 하고자 함.				
연구개발성과	가상현실 기술을 이용한 도시가스 정압기 안전훈련 시스템 개발 - 기존 교육 방법을 탈피하여 가상환경을 이용한 도시가스 정압설비 안전훈련 개념 정립 - 위험성평가 및 현장 기반 도시가스 정압기 안전훈련 시나리오 개발 - HMD와 돔 스크린을 이용한 도시가스 정압기 가상환경 훈련 프로그램 개발 - 일반인 체험을 통한 시스템 실효성 검증 및 보완 햅틱기반 대규모 플랜트 안전훈련 시스템 통합 기술 개발 - 현대오일뱅크 RDS 공정 설비 대상 훈련 시나리오 개발 - 대규모 플랜트 가상 모델 제작 및 활용 기술 개발 - 공정/사고 시뮬레이션 데이터 인터랙션 통합기술 개발 - 햅틱 기반 인터페이스/이동 보행장치 인터페이스 통합기술 개발 - 제어실 모사 프로그램을 활용한 제어실-현장 협업 시스템 구축 - 햅틱기반 RDS 안전훈련 통합 플랫폼 구축				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발로 국내 플랜트 운영 및 유지보수 기술의 우위 확보, 플랜트 공정 및 사고 시뮬레이션 고도화 기술 우위 확보, 인터랙티브 가상 현실 및 햅틱 기반 기술 자립화, 플랜트 산업의 국제 경쟁력 확보 플랜트 운영 및 유지보수 기술의 국제 경쟁력 확보를 바탕으로 플랜트 기술 수출 증대 및 요소기술 수입절감 효과를 가져 올수 있고, 가상 현실 및 햅틱 기술의 자립화 및 산업화를 통하여서도 플랜트 IT 산업의 활성화, 수출증대 및 수입절감 효과를 가져올 수 있음. 플랜트 유지보수의 효율화를 통한 비용절감 효과도 가져올 수 있음. 이를 기반으로 새로운 지식기반 플랜트 서비스를 창출할 수 있음.				
국문핵심어 (5개 이내)	햅틱	가상현실	안전훈련	통합	플랜트
영문핵심어 (5개 이내)	Haptic	Virtual Reality	Safety Training	Integration	Plant

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 연구개발과제 설명	1
나. 연구개발의 중요성	2
2. 연구수행내용 및 성과	14
가. 연구개발 추진 전략 및 방법	14
나. 연구개발 추진 체계	15
다. 연구개발 추진 일정	16
라. 연구수행과정 및 내용	34
마. 연구개발 성과	45
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	57
가. 목표	57
나. 목표 달성여부	68
다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)	85
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	87
가. 추가 연구의 필요성	87
나. 타 연구에의 응용	88
다. 기업화 추진 방안	89
붙임. 참고 문헌	94

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발과제 설명

햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술은 플랜트 설비의 노후화, 극한 지역에서의 플랜트 건설 및 운영, 숙련된 운전원의 고령화로 인한 플랜트 사고를 예방하기 위해서, 플랜트 공정 및 안전 운영 기술에 햅틱 기술 및 가상현실 기법 등의 ICT 융·복합 기술을 적용하여 플랜트 운영 현장 및 시설의 안전성을 확보할 수 있는 플랜트 안전 훈련 기술로서, 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술, 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 플랜트 안전 훈련 햅틱기반 체감형 기술을 포함함



그림 1-1. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 정의

플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술

- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템의 표준 플랫폼을 구축하고 시스템의 개별 구성 요소들을 통합하며 사고 시나리오를 구성, 예측하여 최종적으로 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템을 개발하는 기술
- 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술은 플랜트 안전 훈련 시나리오 개발 기술, 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 기술, 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술을 포함함
- 표준화된 플랜트 안전 훈련 플랫폼 개발을 통해 향후 다양한 공정 환경에 적용될 수 있는 유연성을 확보할 수 있으며 플랜트 안전 훈련 시나리오 자동 생성 기술을 개발하여

다양한 화학 공정 내 사고의 유형을 사전에 예측하고 사고 예방에 활용할 수 있음

- 공정 시뮬레이션과 사고 시뮬레이션, 햅틱 기술과 플랜트 가상화 모델을 연동시킬 수 있는 통합 기술과 안전 훈련 시나리오 생성 기술이 요구됨

나. 연구개발의 중요성

최근 빈번한 화학 공장 누출 및 폭발 사고

- 2012년 9월 구미 불산 폭발, 누출 사고: 안전 수칙을 지키지 않고 작업 순서 매뉴얼을 따르지 않은 작업자의 실수로 인해 5명 사망, 18명 부상 및 불산 누출로 인한 2차적인 지역 주민 피해 발생
- 2013년 3월 여수 국가 산업단지 폭발 사고: 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE) 저장 탱크 보수 공사 과정 중 내부 물질이 충분히 청소되지 못한 상태에서 작업을 시작하여 스파크로 인한 폭발이 발생, 근로자 17명이 사상
- 2013년 6월 미국 루이지애나 Williams olefins 공장 폭발 사고: 2명 사망, 77명 부상. 폭발 전 안전 규정 위반과 누출이 보고되었음에도 적절한 대처를 취하지 않음
- 2010년 미국 멕시코만 Deepwater Horizon 폭발 및 유출 사고: 원유 시추 해양 플랜트에서 발생한 사고로 현장 근로자 11명 사망. 미국 공학한림원은 시추선 운영사인 BP의 운영 규정 부족과 전문가 부족 및 책임 부여 미비를 사고 원인으로 추정



그림 1-2. 플랜트 조업자 훈련 미비로 인한 불산 가스 누출 사고 (구미 공단, 2012. 9. 27)

Transocean accused of improper training, subpar maintenance in Gulf spill

02.25.2013 |

Information about close calls on other rigs wasn't passed along, a lawyer said, adding that just a month before the April 2010 accident, the Transocean crew on the Deepwater Horizon failed to catch a sudden surge of natural gas from the well they were drilling, indicating the company had "a chronic problem."

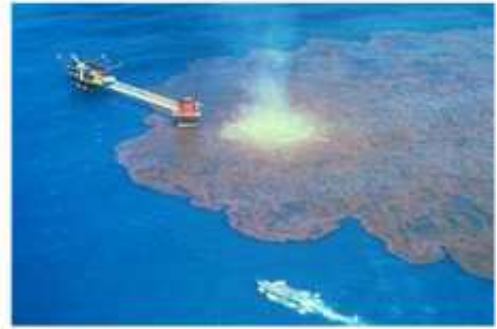


그림 1-3. 플랜트 조업자 훈련 미비로 인한 2010년 미국 멕시코만 Deepwater Horizon 폭발 및 유출 사고

2010년 걸프만에서의 Deepwater Horizon MODU (Mobile Offshore Drilling Unit) 화재 폭발 사고, 2011년 일본 대지진으로 인한 원자력 발전소 폭발 사고, 그리고 국내에서 일어난 연이은 고압가스 누출 및 폭발 사고를 계기로 플랜트 산업 안전에 대한 사회적 관심은 어느 때보다 높아지고 있으며 이에 대한 전세계적으로 확고하고 즉각적인 대처 방안을 요구하고 있음

특히 대형 플랜트의 상당수를 차지하는 석유화학 및 가스 플랜트의 공정은 공정 특성상 가연성 물질과 고온, 고압 조건으로 인해 사고 발생 가능성이 높으며 사고 발생시 초기 단계에서 제대로 대처하지 못하면 심각한 재난으로 연결될 수 있는 가능성이 존재하며 석유화학 및 에너지 플랜트뿐만 아니라 위험 물질을 대량 저장하거나 취급하는 사업장에서는 독성 물질이 유출되어 인근 환경을 오염시키거나 주민에게 피해를 줄 수 있고 폭발 또는 화재 사고가 발생하여 사업장내의 인적, 물적 손실은 물론, 주변 지역의 인명 피해를 유발할 수도 있기 때문에 이러한 위험 요소를 절감할 수 있는 효과적이면서도 적극적인 대책이 시급함

더욱이 최근의 화학 산업은 경기 불황과 중동 및 중국과의 경쟁과 같은 위기를 타개하기 위해 공장 증설을 통한 규모의 경제 실현이나 공정 고도화 등을 추진 중에 있으며 이로 인해 공정이 대형화, 정밀화되고 점차 복잡화되어 결과적으로 공정내 불안전 요소가 많아져 누출, 화재, 폭발과 같은 중대 안전 사고의 가능성이 점차 증가되고 있는 추세에 있음

표 1-1. 외국 플랜트 사고 사례

연도	국가 (장소)	사고개요	사고 유형	피해현황
1974	영국 (플릭스보로)	카프로락탐 공정의 반응기 bypass line 파열로 사이클로hexan 누출	폭발	사망 : 28명 부상 : 89명
1976	이탈리아 (세베소)	TCP(trichlorophenol)공정의 증류방법 변경 등으로 이상반응이 발생 안전판이 파열되어 다이옥신 누출	독성물질 누출	사망 : 144명 부상 : 7,231명
1984	인도 (보팔)	정비작업 중 MIC탱크에 물이 유입되어 급격한 반응으로 안전밸브가 작동되어 메틸이소시아네이트 누출	독성물질 누출	사망 : 1만 명 부상 : 60만 명
1989	미국 (휴스턴)	HDPE 반응기 보수작업 중 반응기 하단 DEMCO밸브가 액츄에이터 공기호스 연결 잘못으로 개방	폭발	사망 : 23명 부상 : 124명

표 1-2. 국내 플랜트 사고 사례

연도	지역	사고개요	사고 유형	피해현황
1989	여수	ABS 압출기 과열로 퇴적분진의 화재, 폭발	화재, 폭발	사망 : 23명 부상 : 20명
1991	군산	TDI제조시설의 흡수탑에서 TDA 누출	독성물질 누출	농작물 등 피해
1992	광주	도시가스 저장탱크 폭발	폭발	중화상 : 20명 360가구 주택파손
1994	여수	TDI제조시설의 흡수탑 하부 배관의 부식, 파열로 독성가스 누출	독성물질 누출	사망 : 3명 중독 : 41명
1994	인천	의약품 원료인 HOBT 건조작업 중 건조기 폭발	폭발	사망 : 6명 부상 : 52명 재산 : 4억

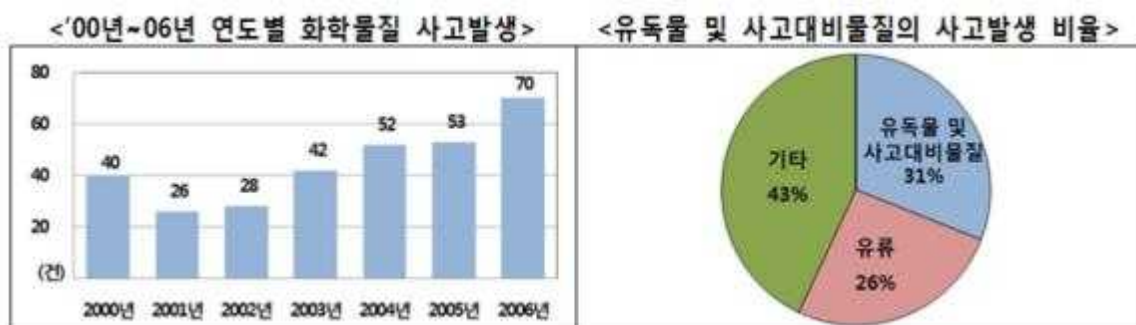


그림 1-4. 화학 물질 사고 발생 경향 (환경부, 국립환경과학원 - 유해 화학 물질 사고 사례집, 2007)

이에 더하여 점차 드러나는 자원 고갈로 인해 해양 및 해저 지층 등에서의 화석 연료를 활용하기 위한 해양 플랜트 건설이 증가하고 있는데 해양 플랜트는 공간 제약적 요소와 위

험물을 다루는 시스템의 특성을 동시에 가지고 있어 작은 사고만으로도 근로자 전체의 생명을 위협할 수 있는 재난으로 확대될 수 있기 때문에 시설물의 안전 관리 수준을 향상시키지 못한다면 시장 진출, 특히 그 중에서도 고부가가치에 속하는 설계/운영/유지보수 분야로 진출하는 데에 큰 제약을 받을 수 있음

- 안전 관리 수준 향상에 반드시 수반되어야 하는 것 중 하나가 바로 현장 조업자가 안전 문제에 능동적으로 대처할 수 있도록 충분한 교육을 제공하는 것이며 이는 플랜트 대상 가상 공정 및 사고 시뮬레이션과 가상화 기술, 휴먼-머신 인터랙티브 기술을 통합한 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발을 통해 실현 가능함
- 현재 플랜트 안전 관리 기술에 있어서는 상위 5개국이 전세계 시장의 2/3 이상을 장악하는 등 선진국의 기술 독점이 더욱 공고해 지고 있으며 중국은 내수 시장 및 정부의 적극적인 지원으로 우리와의 기술 격차가 빠르게 줄어들고 있는 상황이며 특히 선진국에서는 가상현실에 기반한 플랜트 안전훈련시스템을 운영 및 보수유지에 도입하여 상용급 대규모 플랜트를 안전하게 운영하는 훈련 시스템 개발 등 뚜렷한 성과를 보이고 있기 때문에 선진국의 기술 독점을 깨고 플랜트 산업에서의 고부가가치 시장에 진입하기 위해서는 이를 추격, 추월할 수 있는 투자가 시급함

최근 사례에서 볼 수 있듯, 화학 플랜트 사고의 원인의 다수를 차지하는 것은 인적 오류(human error)로 통칭할 수 있는 조업자의 부주의 혹은 규정 위반과 같은 부분이며 최근 플랜트 업계의 고질적 문제로 드러나고 있는 퇴직 인력의 운전 경험 전승 부족 문제나 우수 인력 채용의 난해함으로 인해 이러한 위험성은 시간이 지날수록 확대되고 있는 상황

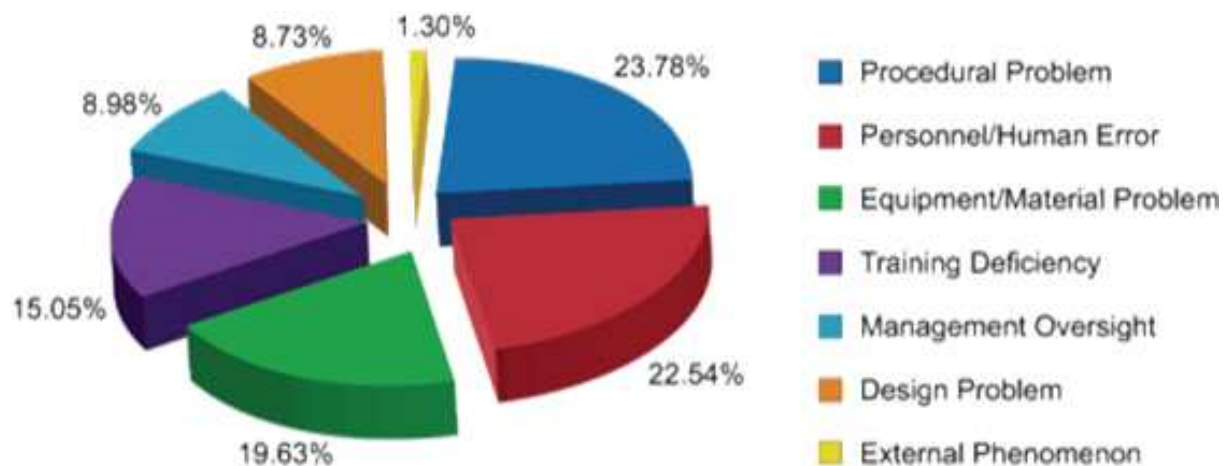


그림 1-5. 사고 원인별 발생 비율 (DOE Guideline - Root Cause Analysis Guidance Document, 1992)

플랜트 안전훈련시스템 개발에 있어서 사고 사례를 포괄하는 안전 지식 베이스 개발과 사고 시나리오를 생성할 수 있는 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술을 정립하는 것이 중요하며 이와 같은 사고 관리에 대한 체계가 확립되고 이를 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 개발에 접목했을 때 시스템의 완성도와 전체적인 안전성 향상에 크게 기여할 수 있음

기존 화학 공정 시뮬레이션 소프트웨어를 활용한 플랜트 안전훈련시스템은 이러한 화학 플랜트내의 리스크 감소, 특히 운전시의 위험 요소 통제와 안전 운전 절차 교육 등에 많은

역할을 해 왔으나 다소 제한적인 정보 전달과 현장감 부족으로 인해 조업자에게 효율적인 교육을 수행하고 있지 못하고 있으며 특히 위험한 현장에서 작업을 수행하는 조업자들의 교육에는 큰 도움을 주고 있지 못한 실정임

- 화학 공정 시뮬레이션은 공정에 대한 수치 계산을 바탕으로 공정을 분석하는 기술이며 일정한 상태를 모사하는 정상 상태 시뮬레이션과 시간에 따라 변화하는 상태를 모사하는 동적 시뮬레이션으로 구분할 수 있으며 동적 시뮬레이션 모델이 완성되면 이를 활용해 공정을 가상적으로 운전해볼 수 있는 운전원 안전 훈련 시스템 (Operator Training System)을 개발하여 운전원을 대상으로 공정 운전 절차와 최적 운전 등의 개념에 대해 학습할 수 있는 환경을 제공할 수 있으나 공정 시뮬레이션 등에 대한 체계적 지식을 갖추지 못한 현장 조업자들에게는 훈련에 큰 도움이 되지 못하여 왔음
- 따라서 기존의 플랜트 안전 훈련 시뮬레이션 기술에 현장 조업자들의 수요를 충족시키기 위해 햅틱기반 휴먼 인터페이스 실감 기술을 활용하여 현실감을 높인 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템을 도입한다면 조업자들이 실제 대상 공장과 유사한 환경에서 충분히 학습하여 현장에서의 운전 안전성 향상에 기여할 수 있을 것

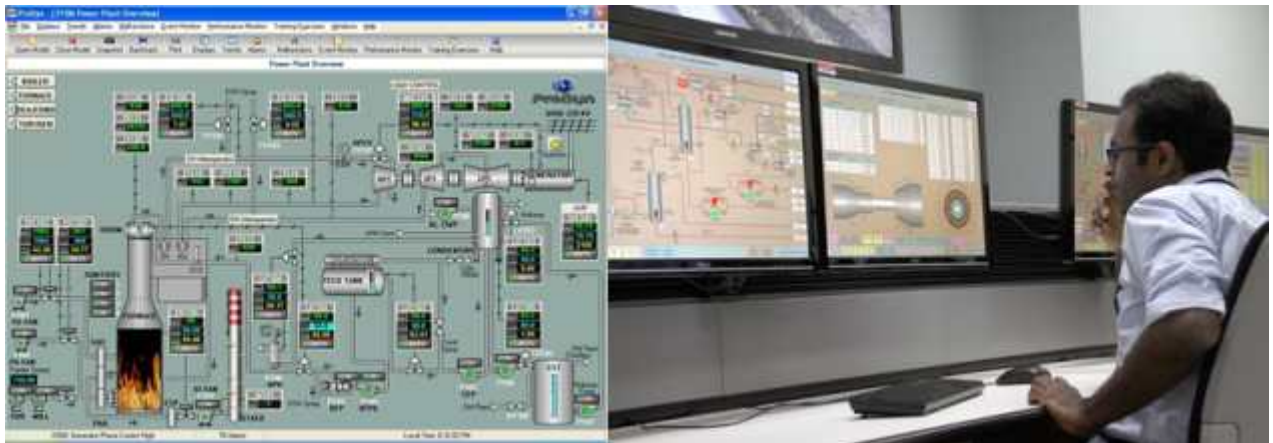


그림 1-6. 기존 화학 공정 시뮬레이션 기반 조업자 훈련 소프트웨어의 예

햅틱 기술은 이러한 기존 기술의 현장감 부족 문제를 해결할 수 있는 효과적인 방법으로 원격 조작, 가상 공학, 과학 데이터 처리 등 다양한 분야에서 개발 성공 및 특허가 보고된 바 있으며, 그 자체의 잠재력으로 인해 거대한 시장 창출 전망되며, 햅틱 기술의 적용 분야는 컴퓨터용 HCI (Human Computer Interaction) 인터페이스, 네트워크 기반 상호 작용, 체험형 시뮬레이터, 오감 상호 작용, 직관력을 높이는 인터페이스 (Intuitive Interface) 등임

- 따라서 기존의 플랜트 안전 훈련 시뮬레이션 기술에 현장 조업자들의 수요를 충족시키기 위해 햅틱기반 휴먼 인터페이스 실감 기술을 활용하여 현실감을 높인 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템을 도입한다면 조업자들이 실제 대상 공장과 유사한 환경에서 충분히 학습하여 현장에서의 운전 안전성 향상에 기여할 수 있을 것임



그림 1-7. Invensys사의 EYESIM



그림 1-8. 가상 용접 훈련 시뮬레이터
(토탈소프트뱅크)

현재 국내 플랜트 건설 산업은 선진국형으로 발전하기 위한 과도기적 단계에 있으며, 고부가가치 산업으로의 전환을 위해 시공, 건설 등에 초점을 맞추었던 과거와 달리 플랜트 설계, 운영과 같은 지능형 플랜트 엔지니어링 기술 등 소프트웨어적인 측면의 건설 기술 확보의 필요성을 건설교통중장기계획 등에서 제시하고 있음

국가 에너지 설비 안전 확보 차원에서 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술, 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술은 건축, 토목, 화공, 기계, ICT 등 다학제 융합적 접근이 필요한 산업 분야이므로 국가 주도형 사업 추진이 필요함

따라서 이러한 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 개발을 위해서 플랜트 기술 각 분야의 실무자와 전문가의 협력 및 자문을 통해 현재 국내 플랜트 안전 훈련 기술의 현황 및 문제점, 산업 현장에서의 수요 파악과 향후 국내 플랜트 안전 훈련 기술 발전 방향 및 해외 시장 진출 전략 수립에 관한 기획이 요구됨

표 1-3. 산업 현장 수요 파악

기업	참석자	회의 내용
해외건설협회	박찬국, 김석화, 김형진, 문두환 등 4명	• 해외 플랜트 발주처 요구사항 HSE, HESS가 PQ 점수 가장 높음 • HAZOP study report 검토 및 시스템 반영 필요 • 적은 비용의 simulation이 위험한 플랜트 실험 대체 • 개발되면 판매할 국가와 프로젝트 다수이며 해건협에서 marketing 지원도 가능, 예: 중동 산유 부국, 동남아 • 중대형 연구개발 과제 추진 필요 • 사고 simulation은 공정 simulation보다 더 위험한 상황이므로 필요 • 해건협의 해외 시장 진출 보고서 제공 가능
현대오일뱅크	박찬국, 강달호, 유철희, 신동일, 문두환, 이상호 등 6명	• 기획 과제 개요 설명 • 플랜트 종류별 customization 방법론 제시 • 일반 공통 모듈 안전훈련시스템 • 상용 공정 일부 적용 타당성 협의
대우조선해양	박찬국, 김형진, 이재용, 유철희, 광주과기원 연구원 등 5명	• 대우조선해양 HSE 현황 설명 • 기획 과제 개요 설명 • 작업자 안전 vs. 설비 안전 • 조선소 작업자 안전 훈련 필요성 많음 • 조선소 현장 맞춤형 안전 훈련 시나리오 및 시스템 필요
대흥산업가스	박찬국, 유철희, 오정석 등 3명	• 기획 과제 개요 설명 • 도시가스 정압기 스테이션 현장 투어 • 도시가스 정압기 스테이션 사고 사례 및 현황 설명 • 간단한 안전 훈련 시나리오(안) 제안 • 파일럿 플랜트 I 적용 후보 검토

기업체 방문 면담 시사점

국내 조선 3사 등에서 높은 수준의 해양플랜트 안전훈련시스템이 적용되고 있으나

- 햅틱 기술을 응용하여 현실감있는 훈련 효과를 거두는 기술은 전무함

석유화학, 정유 등 육상플랜트 업계는 이미 PSM, 가스 안전 관리 시스템 적용 등 법정 의무 사항을 준수하고 있으나

- 노후화된 안전훈련시스템의 개선을 통한 저비용 고효율 안전훈련시스템 도입을 희망함

국내 전문가 의견 수렴 시사점

국내 플랜트 운영 기업에서는 법정 안전 훈련 프로그램과 시스템을 도입하여 운영하고 있으나 특히, 신규 투입 운전원의 훈련 비용과 시간이 많이 소요되고 있음

해양플랜트의 경우에는 좁은 작업 장소에서 작업 위험도가 매우 높고, 사고 발생시 유발되는 인명, 시설, 사업에 대한 피해가 너무 크기 때문에, 발주처가 고도의 안전훈련시스템 도입을 강력한 요구사항으로 지정하고 있음

육상플랜트에서 적용도가 낮은 이유는 해양플랜트 대비 상대적으로 넓은 장소와 고도의 안전이 요구되지 않고 있기 때문이며, 플랜트 산업계의 국제 경쟁력 강화와 해외 발주처의 요구사항을 만족시키기 위해서는 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 및 실증이 매우 중요하게 요구됨

그림 1-9. 연구개발 중요도 평가 의견

연관 기술 및 관련 산업 개발 촉진

- 햅틱 기술을 실현하기 위한 기반이 되는 웹, ICT 분야의 국내 기술 수준은 세계적으로 우수하지만, 증강현실, 시각 처리, 운동성 등 햅틱 분야의 핵심 기술은 선진기술의 약 65% 수준으로 평가되고 있기 때문에 원천 기술 개발을 통해 햅틱 기술과 국내의 우수한 ICT, SW 기술을 적극 접목함으로써 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 개발과 함께 햅틱 분야의 핵심 기술을 발전을 이끌어 낼 수 있음

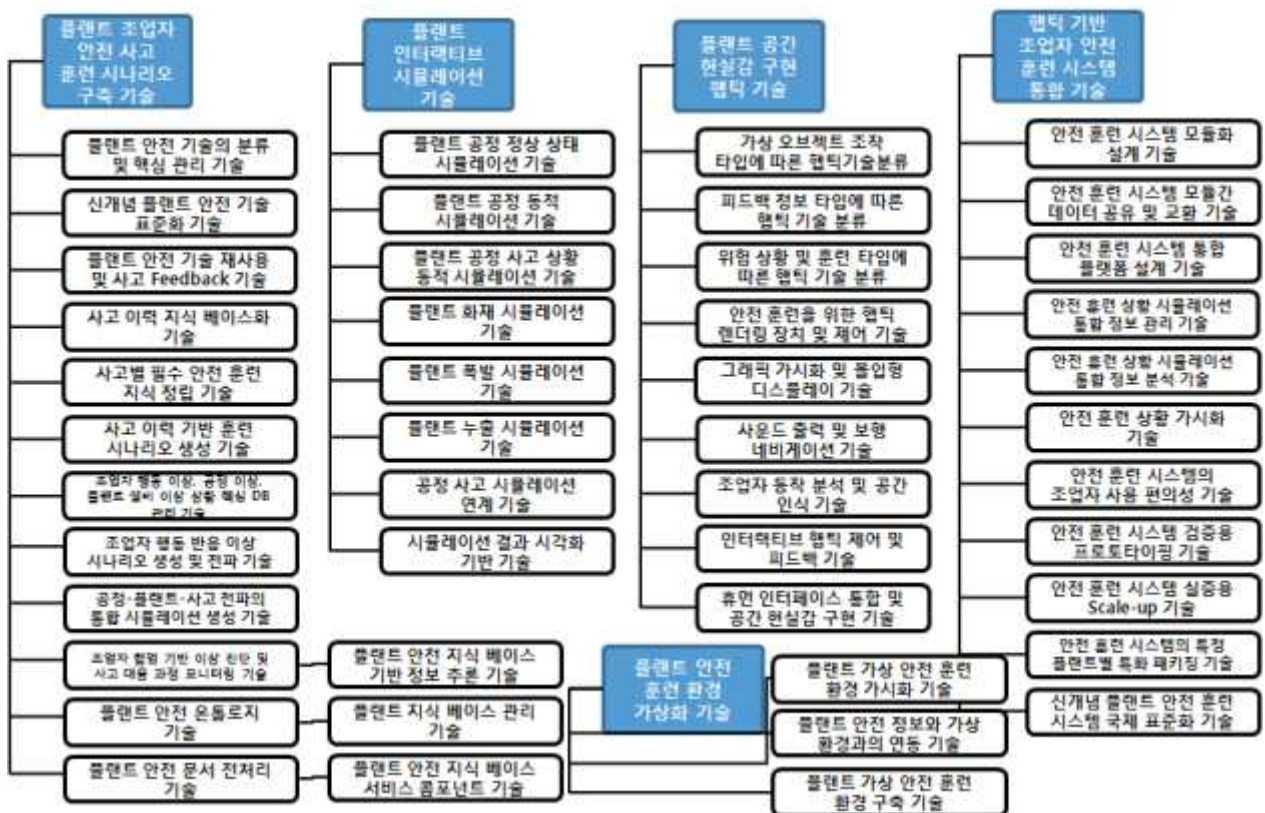


그림 1-10. 세부 기술체계 도출

기술 역량 확인을 통한 플랜트 수주 경쟁력 증대

- 완성된 형태의 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템을 개발하는 것은 기존의 기술 강대국에 한정되었던 일로 플랜트를 기획/설계/시공/운영하는 모든 기술과 노하우가 집약되어 나타날 수 있는 결과이기 때문에 기존의 플랜트 안전 훈련 시뮬레이터와 그에 한 발 더 나아간 햅틱 기반 휴먼 인터페이스 실감 기술 적용을 통한 안전훈련시스템 원천 기술 연구를 통해 국내 IT 산업의 우수성이 접목된 국내 플랜트 산업의 기술적인 역량을 대외적으로 증명하여 결과적으로 해외 플랜트 사업에서 국내 산업체가 국제적으로 경쟁할 수 있는 원동력을 확보
- 선진국에서도 아직 시도되지 않은 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템을 경쟁력있는 ICT 융복합 국산화 기술로 확보한다면 이를 바탕으로 해외 플랜트 시장 진출의 큰 밑거름이

될 수 있음

- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술은 플랜트 산업의 주요 경쟁력의 핵심중의 하나임. 이를 위한 기술은 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술, 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 등으로 부분적으로 요소 기술이나 선행 기술이 추진되었으나 종합적인 플랜트 안전훈련 시스템으로 집약하기에는 많은 기간과 투자가 선행되어야 할 것으로 보임. 또한 장기적인 시장 전망이 큰 분야로서 해외 시장 진출 및 경쟁력을 확보하기 위해서는 독자적인 국내 기반 기술의 발굴과 지원 여건의 구축이 필요함

기술 개발을 통한 안전 의식 확립 및 안전성 향상

- 플랜트 산업의 전반적인 규제 완화 경향으로 인해 전세계 대부분의 플랜트 산업에서 신뢰성, 효율, 비용 절감 등의 분야에서 경쟁력을 확보하는 것이 매우 중요한 일로 인식되고 있고 이로 인해 안전에 관한 문제는 상대적으로 경시되고 있는 흐름
- 그러나 플랜트의 운전 실수로 인한 결과는 매우 치명적일 수 있으며 플랜트의 생산 작업이 중단되고, 값비싼 장비의 손상을 가져올 수 있으며 운전원은 잠재적인 장비 손해 또는 운전의 치명적인 문제들을 피하기 위해 플랜트를 정지하는 것과 재빠르게 장비들을 재가동시켜 생산 작업을 회복하는 문제 사이에서 바른 결정을 하기 위해 훈련되어야 함
- 또한 플랜트에서 운전원은 대부분의 시간을 정상 운전 상태에서 일상적인 일을 수행하는데 소비하지만 사고 상황하에서는 운전원들이 다량의 정보를 효과적이고 빠르게 관찰하고 문제가 발생한 지점을 파악하며 문제의 원인을 분석해서 교정할 수 있도록 해야 하는데 이는 플랜트 안전훈련시스템 개발과 안전 훈련 상황 및 대처 방안 정립을 통한 운전원 교육 수준 향상을 통해서 실현 가능

2013년 2월, 새로이 출범한 정부에서도 5대 국정 목표 가운데 하나로 ‘안전과 통합의 사회’를 강조한 바 있으며 이에 따른 140대 국정 과제 목표 가운데 ‘에너지 공급 시설의 안전관리 강화’, ‘안전하고 쾌적한 일터 조성 및 근로자 건강 증진’을 주창하여 에너지 시설 안전 관리 체계를 정비·강화해 에너지 공기업 내부에 안전 관리를 전담·총괄하는 안전관리위원회를 설치하고, 아울러 정비 이력과 고장 사례 등을 DB화 재발 방지를 전략 과제로 제시하고 있음

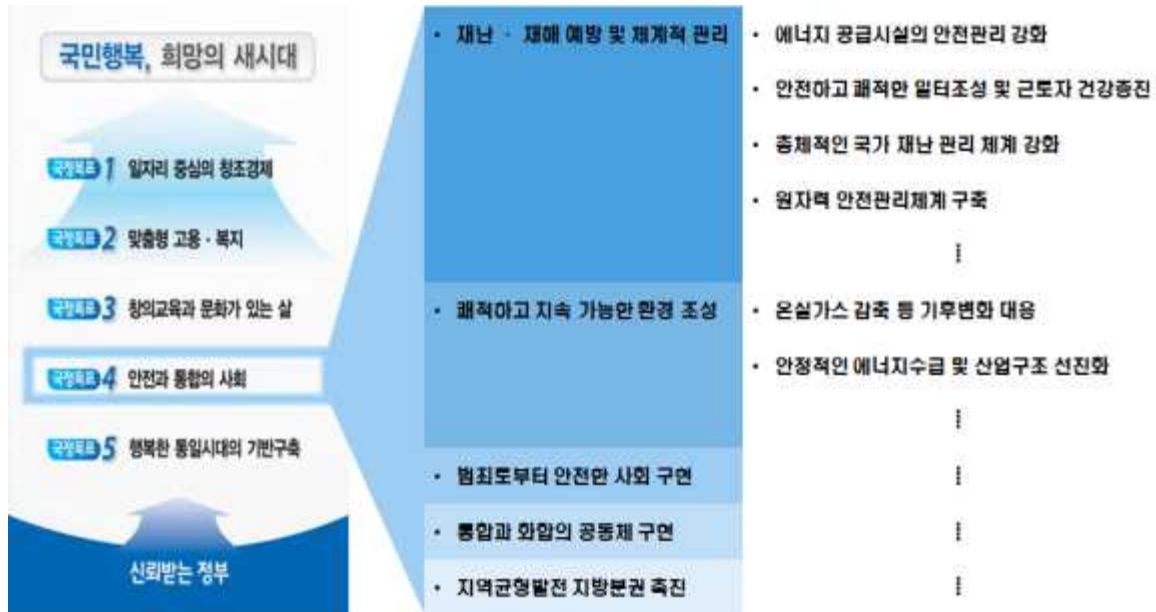


그림 1-11. 5대 국정 목표 및 안전 분야 주요 국정 과제 목표

핵심기술 기반 플랜트 안전훈련시스템 기술은 플랜트 건설 사업 독자 기술 확보를 통한 글로벌 마켓 선도를 위한 건설교통R&D중장기계획 (2113-2017)에 반영되어 있는 ‘지능형 플랜트 엔지니어링 분야’ 필수 기술로서, 기술 집약적 고부가가치 엔지니어링 분야의 시장 경쟁력 확보를 위한 중요 기술임

세계 각국에서는 플랜트 화재, 폭발 그리고 독성 물질 누출 사고를 중대 산업 사고로 규정하여 이러한 대형 사고를 예방하는 제도적 장치를 만들어 놓고 추진 중이며 우리나라도 1996년부터 중대 산업 사고 예방을 위해 산업안전보건법 제49조의 2항에 의거 공정안전관리 (Process Safety Management, PSM) 제도를 시행 이러한 재해를 예방하기 위해서는 이미 발생한 과거 사고 사례를 수집 및 분석하여 사고 원인 등을 찾아 이를 feedback하여 동종 사고 예방에 활용하는 것이 무엇보다도 중요

우리나라 이외에도 여러 기술 선진국에서 이와 유사한 정책 과제에 투자를 시작해있으며 그 중 플랜트의 안전 향상에 목적을 두면서도 공정/안전/IT 등 여러 기술을 목적에 부합하도록 융합하여 기존에 존재하지 않던 새로운 기술이나 시스템을 개발, 신시장을 창출하는 연구에 집중하고 있으며 특히 미국과 유럽에서는 민간 및 산업체를 중심으로 산업 안전 관련 협회나 화공 관련 학회내에 공정 안전 분과가 설립되어 공정 산업의 생애주기 모든 단계에 걸쳐 고도의 안전 관리에 노력을 기울이고 있으며, 국제적 표준 정립으로 안전 분야를 선도하고 있음

- 현재 플랜트 안전 관리 기술에 있어서는 상위 5개국이 전세계 시장의 2/3 이상을 장악하는 등 선진국의 기술 독점이 더욱 공고해 지고 있으며 중국은 내수 시장 및 정부의 적극적인 지원으로 우리와의 기술 격차가 빠르게 줄어들고 있는 상황이며 특히 선진국에서는 가상현실에 기반한 플랜트 안전훈련시스템을 운영 및 보수유지에 도입하여 상용급 대규모 플랜트를 안전하게 운영하는 훈련 시스템 개발 등 뚜렷한 성과를 보이고 있기 때문에 선진국의 기술 독점을 깨고 플랜트 산업에서의 고부가가치 시장에 진입하기 위해서는 이

를 추적, 추월할 수 있는 투자가 시급함

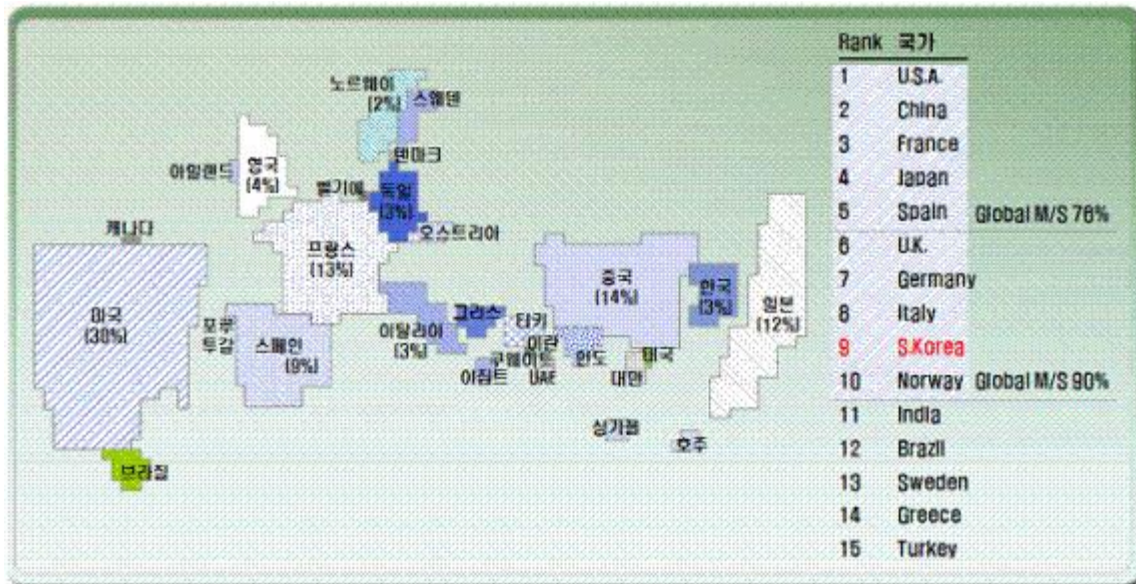


그림 1-12. 세계 플랜트 시장 점유율 (산업연구원, KIET 산업별 기초분석, 2009)

표 1-4. 각국 플랜트 기업별 수익성 (수은해외경제, 플랜트 시장 전망과 우리나라 플랜트 산업 경쟁력 분석, 2011)

(단위 : %)

국가	2005	2010
이탈리아	49	75.4
독일	72.2	70.9
프랑스	40.1	44.1
미국	38.6	37.2
일본	14.5	21.4
한국	16.7	17.2
중국	12.8	11.1

또한 최근 계속되고 있는 플랜트에서의 사고로 정부에서는 사고에 있어서 사업주의 책임을 강화, 능동적인 사고 예방 및 대처를 요구하고 있으며 아울러 근래에 들어서 플랜트 사업의 발주 시에도 안전성 향상 방안에 많은 가점을 두는 경향. 이러한 경향은 플랜트 시장, 그 중에서도 특히 가상현실 플랜트 안전훈련시스템의 시장 규모 전망을 통해 파악할 수 있는데 향후 약 20년 간 연 평균 7.4%씩 성장할 것으로 예상되고 있음

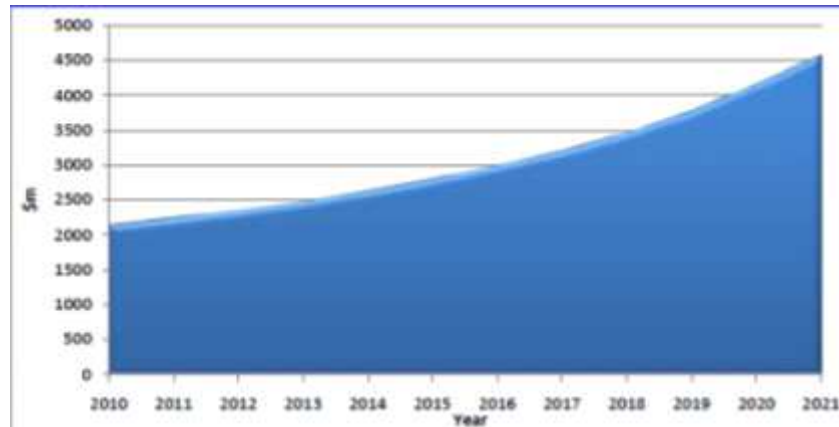


그림 1-13. Global Oil & Gas Virtual Reality Training,
Simulation Market Forecast
(Vision Gain, 2011)

따라서 국내 산업의 세계적인 입지를 강화하기 위해서는 이를 극복할 수 있는 새로운 융합적 기술 개발이 필요하며 특히 국내의 기술 수준이나 경쟁력이 높은 ICT 분야의 원천 기술을 접목하는 방향의 기술 발전은 선진국의 견제나 중국의 추격에 다소 자유로움

따라서 햅틱 기술을 통해서 플랜트 공간 현실감을 구현한 인터랙티브 조업자 안전 훈련 시스템과 같은 고도의 지식 서비스 산업으로 범위를 확장하여 고부가가치화를 추구하는 것이 중요하고 이를 위해서는 정부 주도적인 대규모 프로젝트의 추진이 필요하며 프로젝트 제안 단계에서 사업 추진 방향을 구체화하고 사업의 목표에 실제 산업계의 수요가 반영되도록 하는 추진 체계의 정립이 수반되어야 함

현재 국내 플랜트 건설 산업은 선진국형으로 발전하기 위한 과도기적 단계에 있으며, 고부가가치 산업으로의 전환을 위해 시공, 건설 등에 초점을 맞추었던 과거와 달리 플랜트 설계, 운영과 같은 지능형 플랜트 엔지니어링 기술 등 소프트웨어적인 측면의 건설 기술 확보의 필요성을 건설교통중장기계획 등에서 제시하고 있음

국가 에너지 설비 안전 확보 차원에서 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술, 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술은 건축, 토목, 화공, 기계, ICT 등 다학제 융합적 접근이 필요한 산업 분야이므로 국가 주도형 사업 추진이 필요함

중국, 인도 등 후발 주자의 추격으로 국내 플랜트 건설 기업의 시공 분야 경쟁력이 위협받고 있는 상황에서, 설계-건설-O&M 등의 일괄 패키지 형태의 해외 진출 전략이 필요하며, 대다수 선진국에서 선점하고 있는 O&M 시장을 적절하게 대응하지 못할 경우 경쟁력 약화가 예상됨. 그러나, 기존 기업 중심의 부분적 엔지니어링 활동의 결과를 통합할 필요가 있으나, 각 기업의 이해 관계에 따라 기업 주도의 연구개발이 불가능하므로 국가 주도형 사업에서 통합, 개선할 필요가 있음

그리고 최근 증가하고 있는 해상, 극지, 밀림, 오지 등 열악한 환경 조건에서의 자원 개발을 위해서는 현장 안전 시공, 조업자 유지보수 훈련이 용이한 플랜트 공간 현실감을 갖춘 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발이 필수적이며, 향후 해외 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술 수주를 통해 해외 플랜트 건설 시장 진출을 지원함으로써 경쟁자가 없이 블루오션 상태라고 할 수 있는 플랜트 공정, ICT 융복합분야 신시장 일자리 창출을 도모할 수 있음

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구개발 추진 전략 및 방법

플랜트 안전훈련 플랫폼 구축 및 통합기술 개발을 위해 1단계로 도시가스 정압기 안전훈련 시스템을 개발하여 적용하여 성과를 도출하고 2단계로 석유화학 플랜트 안전훈련 시스템을 개발하여 플랜트 안전훈련 플랫폼을 제시하는 전략을 수립

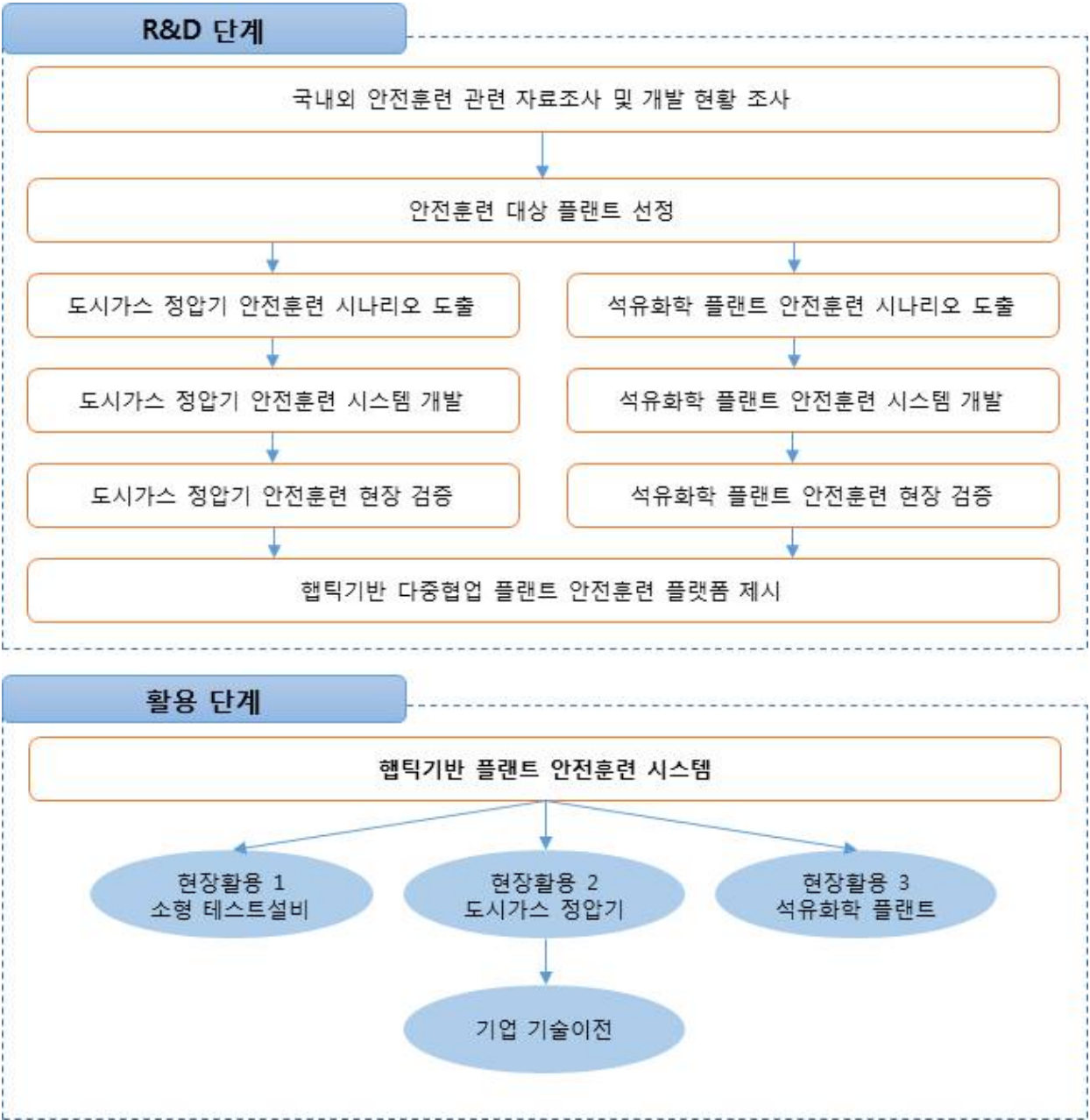


그림 2-1 기술개발 추진 전략1

나. 연구개발 추진 체계

연구개발과제		총 참여 연구원	
과제명	햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 기술 개발	주관연구책임자	
		(박찬국)외85명	
기관 별 참여 현황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	7	36	86
대 학	3	29	
국공립(연)	1	10	
출 연 (연)	0	0	
기 타	1	11	
주 관 연 구 기 관		협 동 연 구 기 관 1	
고등기술연구원		서울대학교	
참 여 연 구 원		참 여 연 구 원	
주관연구책임자		협동연구책임자	
(박찬국)외36명		(임영섭)외27명	
책임급 16명, 선임급 10명,		책임급 6명, 선임급 8명, 원급	
원급 11명		12명, 기타 2명	
담 당 연 구 기 관 2		참 여 연 구 원	
(주)톨레미시스템		협동연구책임자	
		(권순재)외20명	
		책임급 9명, 선임급 3명, 원급	
		9명	
담 당 연 구 개 발 내 용		담 당 연 구 개 발 내 용	
과제명	플랜트 안전 훈련	과제명	플랜트 안전
	플랫폼 구축 및 통합 기술 개발		훈련
			인터랙티브
			시뮬레이션
			기술 개발
- 플랜트 안전 훈련 예측 가능 사고 시나리오 및 평가 체계 개발		- 플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 기술 개발	
- 플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 개발 및 구현		- 플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술 개발	
- (도시)가스 및 석유화학 플랜트를 포함한 햅틱기반 안전훈련시스템 적용 및 성능 검증		- 통합 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발	
담 당 연 구 개 발 내 용		담 당 연 구 개 발 내 용	
과제명	햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발	과제명	햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발
- 플랜트 안전 훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술 개발		- 플랜트 안전 훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술 개발	
- 체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술 개발		- 체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술 개발	
- 체감 공간 인식 및 임무 수행 처리 기술 개발		- 체감 공간 인식 및 임무 수행 처리 기술 개발	
참여기업		현대오일뱅크, 대흥산업가스, 쥐에치솔루션, 열린기술, 톨레미시스템	

다. 연구 개발 추진 일정

(1) 1세부

1차년도								
일련 번호	연구내용	추진 일정					연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		11월	12월	1월	2월	3월		
1	시범 안전훈련 대상 도시가스 정압 설비 및 석유화학 플랜트 검토 및 선정						80,000	박찬국 (고등기 술연구원 ,김성주(대흥산업 가스)
2	플랜트 기술 인프라 및 기술 인력 현황 분석						90,000	
3	플랜트 안전관리, 안전훈련 현황 및 문제점 분석						80,000	박찬국(고등기술 연구원), 유철희(가스안전 공사)
4	플랜트 조업자의 필수 요구 지식 및 기술현황						71,000	

2차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정											연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)	
		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10 월	11 월	12 월	1월	2월			3월
1	햅틱기반 도시가스 정압설비 안전훈련 시스템 설계를 위한 운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입 설계 및 구현													90,000	박찬국(고등기술 연구원), 김성주(대흥산업 가스)
2	플랜트 안전훈련 단일 수행 플랫폼 기반 햅틱기반 도시가스 정압설비 안전훈련 시스템 설계													120,000	
3	햅틱기반 도시가스 정압설비 안전훈련 시스템 구현 및 통합													160,000	
4	평가 및 사고이력 기반 플랜트 안전훈련 예측													100,000	유철희(가스안전 공사)
5	이벤트를 중심으로 하는 정성적 정량적 위험성 평가													123,000	신동일(명지대학 교)

3차년도													
일련 번호	연구내용	추진 일정										연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월		
1	도시가스 정압기 안전훈련 시스템 컨텐츠 확장											140,000	박찬국(고등기술 연구원)
2	안전훈련 시스템 통합											90,000	
3	도시가스 정압기 안전훈련 시스템 성능 검증											80,000	
4	시나리오 생성 및 평가 모듈의 안전훈련 시스템 적용 및 검증											50,000	신동일(명지대학 교)
5	정압설비의 위험대응 점검 매뉴얼											50,000	유철희(가스안전 공사)
6	정압설비 정량적 점검 체크리스트											40,000	
7	주위 환경인지용 퍼지로지 설계											69,000	김성주(대흥산업 가스)

4차년도														
일련 번호	연구내용	추진 일정											연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
1	도시가스 정압기 안전훈련 시스템 최종 보완												140,000	박찬국(고등기술 연구원)
2	석유화학 대상 플랜트 선정 및 가상모델 구축												200,000	
3	석유화학 플랜트 안전훈련 시나리오 개발												150,000	
4	플랜트 안전훈련 다중협업 플랫폼 설계												80,000	
5	햅틱기반 안전훈련시 스템 통합 훈련 시나리오 생성 및 평가 성능시험 및 개선												60,000	신동일(명지대학 교)
6	현장조사분 석을 통한 위험성 평가 실시												100,000	유철희(가스안전 공사)
7	플랜트 환경 인지 학습모 델에 의한 상황 예측 모델 개발												143,000	김성주(대흥산업 가스)

5차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
1	석유화학 플랜트 시나리오 적용 안전훈련 시스템 구현													360,000	박찬국(고등기술 연구원)
2	다중협업 플랫폼 구축 및 안전훈련 시스템 적용													220,000	
3	석유화학 플랜트 안전훈련 시스템 현장 적용 및 성능 검증													120,000	
4	다중협업 훈련 시나리오 생성 모듈, 훈련 평가용 D B 및 관련 지식 베이스 개선													80,000	신동일(명지대학 교)
5	석유화학 플랜트 단위시설 점검 매뉴얼 개발													120,000	유철희(가스안전 공사)
6	플랜트 환경인지 학습모델 에 의한 상황 예측 모델 개발													196,000	김성주(대흥산업 가스)

6차년도												
일련 번호	연구내용	추진 일정									연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월		
1	석유화학 플랜트 안전훈련 시스템 현장 적용 및 성능 보완										240,000	박찬국(고등기술 연구원)
2	햅틱기반 플랜트 안전훈련 플랫폼 매뉴얼 개발										90,000	
3	Eye trackin g H/W, S/ W 활용한 B iosensor 기반의 훈련 평가시스템 모듈의 현장 적용 및 개선										40,000	신동일(명지대학 교)
4	석유화학플 랜트 단위시설 점검 체크리스트 개발										78,000	유철희(가스안전 공사)
5	통합훈련 시스템 연동테스트										88,000	김성주(대흥산업 가스)

(2) 2세부

1차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	사고 시뮬레이션 관련 기술현황 평가													20,000	임영섭 (서울대 학교)
2	정압설비 및 석유화학플랜트 모사용 사고 시뮬레이션 검토 및 선정													20,000	임영섭 (서울대 학교)
3	정압설비 공정 모사 기반 자료 파악													20,000	이채희 (아이시 스텍)
4	도시가스 정압설비 공정 설계 데이터 및 운전 데이터 확보													20,000	이채희 (아이시 스텍)
5	공정시뮬레이션 상용소프트웨어 분석													20,000	이주혁 (열린기 술)
6	사고시뮬레이션 상용소프트웨어 분석													35,000	이주혁 (열린기 술)

2차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	도시가스 정압설비에서 발생 가능한 사고 유형 분석													20,000	임영섭 (서울대 학교)
2	정압소 내 기본 시뮬레이션 결과 도출 및 훈련 가이드라인 제시													20,000	임영섭 (서울대 학교)
3	정압소 내 사고 시뮬레이션 기본 모델 개발													26,000	임영섭 (서울대 학교)
4	정압소 정상상태 공정 모델링 및 시뮬레이션													30,000	이채희 (아이시 스텍)
5	정압소 내 공정 시뮬레이션 결과 도출 및 훈련 가이드라인 제시													30,000	이채희 (아이시 스텍)
6	정상상태 공정 시뮬레이션 결과 검증 및 분석													50,000	이채희 (아이시 스텍)
7	공정/사고 시뮬레이션 연동 알고리즘 개발													50,000	이주혁 (열린기 술)
8	사고 시나리오 적용 가능 범위 및 알고리즘 성능 평가													42,000	이주혁 (열린기 술)

3차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	정압소 내 발생 가능한 사고 시나리오 추가개발													10,000	임영섭 (서울대 학교)
2	사고 시나리오별 시물레이션 모델 개발 및 결과 도출													26,000	임영섭 (서울대 학교)
3	사고 시물레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 추가 제시													30,000	임영섭 (서울대 학교)
4	정압소 공정 운전정보 분석													10,000	이채희 (아이시 스텍)
5	사고 시나리오별 동적 공정 모델 개발 및 결과 도출													50,000	이채희 (아이시 스텍)
6	공정 시물레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 추가 제시													50,000	이채희 (아이시 스텍)
7	정압소 인터랙티브 시물레이션 프로토타입 개발													50,000	이주혁 (열린기 술)
8	시나리오별 공정/사고 시물레이션 연계 속도 및 성능 평가													42,000	이주혁 (열린기 술)

4차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	석유화학플랜트 내 발생 가능한 사고 유형 분석													50,000	임영섭 (서울대 학교)
2	석유화학플랜트 내 사고 시뮬레이션 기본 모델 개발													50,000	임영섭 (서울대 학교)
3	석유화학플랜트 내 기본 시뮬레이션 결과 도출 및 훈련 가이드라인 제시													71,000	임영섭 (서울대 학교)
4	석유화학플랜트 공정 운전정보 분석													27,000	이채희 (아이시 스텍)
5	석유화학플랜트 정상상태 공정 모델 개발 및 결과 도출													50,000	이채희 (아이시 스텍)
6	공정시뮬레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 제시													50,000	이채희 (아이시 스텍)
7	통합 플랜트 안전훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템 개발													30,000	이주혁 (열린기 술)
8	통합 플랜트 공정 /사고 시뮬레이션 연계 속도 및 성능 평가													23,000	이주혁 (열린기 술)

5차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	석유화학플랜트 내 발생 가능한 사고 시나리오 추가 개발													10,000	임영섭 (서울대 학교)
2	사고 시나리오 별 시뮬레이션 모델 개발 및 결과 도출													10,000	임영섭 (서울대 학교)
3	사고 시뮬레이션 결과를 반영한 훈련 가이드라인 제시													40,000	임영섭 (서울대 학교)
4	석유화학플랜트 공정 운전정보 분석													70,000	이주혁 (열린기 술)
5	석유화학플랜트 내 사고 시나리오 별 동적 공정 시뮬레이션 모델 개발 및결과 도출													70,000	이주혁 (열린기 술)
6	공정 시뮬레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 제시													40,000	이주혁 (열린기 술)
7	통합 플랜트 안전훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템 개발													282,000	이주혁 (열린기 술)

6차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	석유화학플랜트 내 발생 가능한 사고 시나리오 추가개발													10,000	임영섭 (서울대 학교)
2	사고 시나리오별 시물레이션 모델 개발 및 결과 도출													10,000	임영섭 (서울대 학교)
3	사고 시물레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 추가제시													18,500	임영섭 (서울대 학교)
4	석유화학플랜트 내 각 사고 시나리오별 동적 공정 모델링													10,000	이주혁 (열린기 술)
5	공정시물레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 제시													10,000	이주혁 (열린기 술)
6	공정시물레이션 결과 검증 및 보완													10,000	이주혁 (열린기 술)
7	시스템 연계속도 및 성능평가													20,770	이주혁 (열린기 술)

(3) 3세부

1차년도								
일련 번호	연구내용	추진 일정					연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		11월	12월	1월	2월	3월		
1	요구명세서 작성						75,500	이정창 (㈜톨레 미시스템)
2	설계명세서 (초안) 작성						12,000	
3	플랜트 안전훈련 시나리오를 바탕으로 햅틱제시 모듈 및 다감각 햅틱 장치의 요구사항 정립						53,000	류제하(광주과학 기술원)
4	정립된 요구사항을 바탕으로 햅틱제시 모듈(밸브, 레버, 그리고 버튼)의 개념 설계							
5	안전훈련용 다감각 햅틱장치 (온열감 그리고 진동감)의 개념 설계							
6	기술동향분 석서 작성						29,850	이대일 (㈜신우 이앤디)
7	개념설계서 작성						56,650	

2차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10 월	11 월	12 월	1월	2월	3월		
1	가시화 모듈 통합용 플랜트 모델 프로토타입													80,000	이경창 (주)톨레 미시스템)
2	가시화 모듈 통합용 통제모듈 프로토타입													80,000	
3	설계명세서 작성													25,000	
4	햅틱제시 모듈 및 다감각 햅틱장치의 상세 설계													108,000	류제하(광주과학 기술원)
5	햅틱제시 모듈(레버) 의 제작														
6	다감각 햅틱장치의 제작														
7	내비게이션 시스템 설계													64,000	이대일 (주)신우 이앤디)
8	내비게이션 시스템 하드웨어 제작													102,000	

3차년도													
일련 번호	연구내용	추진 일정										연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월		
1	실시간 가시화 컴포넌트 개발											64,800	이경창 (주)톨레 미시스템)
2	실시간 가시화 컴포넌트 외부 인터페이스 모듈 개발											48,600	
3	가시화 모듈 1차 통합시험											48,600	
4	햅틱제시 모듈(밸브, 버튼)의 제작											94,500	류제하(광주과학 기술원)
5	햅틱제시 모듈의 제어 기술 개발												
6	다감각 햅틱장치의 제어 기술 개발												
7	조립품 X축 제작											56,700	이대일 (주)신우 이앤디)
8	안전지지 장치 제작											24,300	
9	X축 구동부 모터 제어 시스템 개발											40,500	
10	X축 구동 성능시험											24,300	

4차년도														
일련 번호	연구내용	추진 일정											연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
1	가상환경 체감 장치 연동 인터페이스 구현												135,400	이경창 (㈜톨레 미시스템)
2	대상공정 확대 및 가시화 컴포넌트 분석/설계												101,550	
3	가시화 모듈 2차 통합 및 시험												101,550	
4	햅틱제시 통합 시스템 제작 및 검증												175,000	류제하(광주과학 기술원)
5	가상환경 객체 연동													
6	햅틱저작 도구 설계 및 개발													
7	보행이동 장 치 Y축 구동 부 부품 가 공 및 조립												110,600	이대일 (주)신우 이앤디
8	보행이동 장 치 Y축 구동 제어 관련 기술개발												110,600	
9	체감 내비게 이션 시스템 연동을 위한 기술개발 진 행												55,300	

5차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
1	가시화 컴포넌트 성능 보완													188,680	이경창 (주)톨레 미시스템)
2	하드웨어 인터페이 스 기능 보완 및 통합													141,510	
3	안전훈련 플랫폼 통합 지원													141,510	
4	마중형 햅틱 제시 통합 시스템 시제품 제작													273,800	류제하(광주과학 기술원)
5	사용자 생체 신호 기반 몰입감 평가														
6	체감 내비게이 션(보행이 동 장치) 최적화 기술개발													128,400	이대일 (주)신우 이앤디)
7	보행이동 장치 가상훈련 시스템 연동기술 개발													171,200	
8	통합지원 용 인터페이 스 통제 매뉴얼 개발 및 사용자 시험													128,400	

6차년도												
일련 번호	연구내용	추진 일정									연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월		
1	가시화 모듈 성능 보완/ 검증										34,220	권순재 (주)톨레 미시스템)
2	통합 인터페이스 통제문서 작성										17,110	
3	안전훈련 플랫폼 통합지원 매뉴얼 작성										34,220	
4	체감 내비게이션 장치 보완/안정화										42,775	
5	연구단 안전훈련 플랫폼 통합										42,775	
6	사용자 평가를 반영한 성능 개선										45,700	류제하(광 주과학기술원)

라. 연구수행과정 및 내용

(1) 1차년도

- 플랜트 안전훈련 시스템 구축을 위한 사전조사
 - 플랜트 안전 관리, 안전 훈련 현황 및 문제점 분석
 - 도시가스 정압 설비 및 석유화학 플랜트 기술 인프라 및 기술 인력 현황 분석
 - * 도시가스 정압 설비 기술 인프라 및 기술 인력 현황
 - * 석유화학 플랜트 기술 인프라 및 기술 인력 현황
 - * 플랜트 안전 관리 및 훈련 기술 인프라 및 기술 인력 현황
 - 플랜트 조업자의 필수요구 지식 및 기술 현황
 - * 도시가스 정압 설비에 대한 조업자의 필수요구 지식 및 기술
 - * 석유화학 플랜트 RDS공정에 대한 조업자의 필수요구 지식 및 기술
 - 조업자훈련시스템(OTS) 시나리오 생성 및 평가 기술현황 분석
- 플랜트 안전훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템 개발
 - 서울대학교(대학)는 플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 모델 개발 등 요소기술 개발 담당
 - 열린기술(산업체)에서는 플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 모델 개발 등 요소기술 개발 담당
 - 열린기술(산업체)에서는 서울대학교의 사고 및 공정 시뮬레이션 시나리오, 모델, 결과, 훈련 가이드라인 등의 결과물을 프로토타입 내에 실시간 연동될 수 있도록 구현
- 가시화 모듈 요구도 분석 및 설계
 - 가스시설의 현장 답사 및 실무자 인터뷰를 통한 훈련 요소 식별
 - 가시화 모듈로 구현 대상이 되는 요구 기능의 수집 및 분석
 - 가시화 모듈 프로토타입의 설계 및 명세서 초안 작성
- 햅틱제시 모듈 및 다감각 햅틱장치의 요구사항 정립
 - 현대오일뱅크 및 가스안전공사의 견학을 통해 사용되는 밸브, 레버, 그리고 버튼의 현황을 파악
- 정립된 요구사항을 바탕으로 햅틱제시 모듈 및 다감각 햅틱장치의 개념 설계
 - 센서 / 액츄에이터의 선정 및 기구 설계
- 네비게이션 시스템 개념 설계
 - 국내외 트레드밀 기술 및 방식에 대한 동향 파악
 - 2차원 트레드밀의 개념 정립 및 구조 설계

(2) 2차년도

○ 도시가스 정압기 단일수행 안전훈련 시스템 설계

- 시범 안전 훈련 대상 도시가스 정압 설비 및 석유화학 플랜트 검토 및 선정

* 도시가스 정압설비

대상 플랜트	도시가스 정압설비 지역 정압기 (전북 도시가스)
선정 배경	- 전국 도시가스 사용시설에 적용 가능 - 사고 발생시 지역 주민 피해자 발생 가능성이 큼 - 구조가 비교적 간단하여 안전훈련 시스템의 실험 적용 대상에 적합하다는 판단
플랜트 설명	정압기 주요 구성품으로서, 다이어프램 (diaphragm): 2차압력(사용측 압력)을 감지하여 그 사용유량(압력변동)에 따라 상하로 움직이면서 메인밸브를 작동시키는 것으로서 감지부(Sensing element)라고 한다. 스프링 (spring): 2차압력 (사용측 압력)을 설정하는 것으로서, 스프링의 힘을 가함에 따라 일정범위 내에서 신축이 용이하여 유량변화에 따른 압력조절이 가능한 것으로서 부하부>Loading element)라고 한다. 메인밸브 (main valve): 가스의 흐름을 제어하기 위한 것으로서 밸브의 열림정도에 의해 직접 조정하는 것으로서 제어부 (restricting element) 라고 한다. 지구 및 지역 정압 설비가 있으며 도시가스 공급권역의 배관 시설을 원격 감시하고 제어할 수 있는 지구 단위 중앙 통제실에서 각 정압기의 작동 상태나 이상 유무를 실시간 감시해 가스 시설의 최적 상태를 유지하고 있다. 감시 대상은 1,2차 압력, 유량, SSV, 가스 누출, 출입문 개폐, 전원 등 이다.
대표 사진	

* 석유화학 플랜트

대상 플랜트	현대오일뱅크 RDS 공정
선정 배경	- 석유화학 플랜트의 대표 성격으로 정유플랜트를 선정 - 정유플랜트에서 주요 공정인 RDS 선정 - 공동 연구기관의 적극적인 협조로 RDS 공정 설비를 모델화 및 플랜트 안전 시스템의 대상이 용이함
플랜트 설명	석유화학 플랜트 안전 훈련 대상으로 설정한 RDS (Atmospheric Residue Desulfurization) 공정은 HOU (Heavy Oil Upgrading) Project의 시작 공정으로, CDU (Crude Distillation Unit, 상압 증류 공정)에서 생산되는 고유황 중질유 (HS AR)를 원료로 투입하여, 중질유 중에 포함되어 있는 유황, 질소, CCR (Conradson Carbon Residue) 및 메탈 (주로 Ni, Va)을 제거하여 FCC (Fluidized Catalytic Cracking, 유동층 촉매 접촉 분해 공정)의 원료를 생산하는 공정이며, 6개의 주요 공정으로 구성된다.
대표 사진	

- 플랜트 안전훈련 단일 수행 시나리오 기능 설계 및 구현
 - * 시나리오 설계 대상 - 도시가스 지역 정압기
 - * 도시가스 정압기 시나리오 사전 조사
 - * 도시가스 정압기 안전훈련 시나리오 설계 및 구현
- 플랜트 안전 훈련 단일 수행 통합 플랫폼 설계 및 구현
- 플랫폼 기반 도시가스 정압 설비 안전훈련 시스템 설계

○ 사고 시나리오 개발

- 페어링너트 이완으로 2차압력 상승 → 메인밸브 제어기 제어범위 초과 → SSV 차단 유/무 → 안전밸브(Relief.V)로 압력 유/무 → 압력 누적 후 정압소 내 한계 설계 압력 초과 후 레코스타 주변의 파이프라인 파열로 인한 누출(사고) 시나리오

○ 공정 시뮬레이션 개발

- 가스 누출 시나리오를 공정 시뮬레이션 모델에 구현(UDF-User Defined Function 이용)

○ 공정/사고 시뮬레이션 연계를 위한 인터페이스 디자인

- 공정/사고 시뮬레이션 입출력 구조 분석 및 훈련환경 설계

○ 타 세부의 결과와 연동 성공

- 공정시뮬레이션 결과 값과 가상현실내에 구현된 압력게이지의 실시간 연동

○ 플랜트 안전훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술 개발

- 요구사항에 대한 정확한 구현을 수행하기 위하여 소프트웨어 개발생명주기 기법을 프로토타입 개발 방법을 적용하여 연구 개발을 수행하도록 함

○ 햅틱제시 모듈의 상세설계

- 하나의 산업용 로봇으로 다양한 조작 도구들을 모두 제시해주기 위해 도구 교체 메커니즘을 고안.
- 오르내림꽃이쇠의 원리를 이용하여 산업용 로봇과 다양한 조작 도구들을 체결.

○ 다감각 햅틱장치의 상세 설계

- 냉온감/진동감을 제시해주기 위해 장갑 형태의 장비를 고안
- 펄티어 소자와 편심 진동자를 이용하여 해당 감각 생성

○ 햅틱제시 모듈(레버)의 제작

- 상세 설계를 바탕으로 햅틱제시 모듈(레버)을 제작

- 도구 교체 메커니즘의 구현

○ 다감각 햅틱 장치의 제작

- 상세 설계를 바탕으로 다감각 햅틱장치(장갑 형태의 장비)를 제작

○ 체감 네비게이션 시스템 요구분석 및 기본설계

- 국내외 최신 연구동향 분석을 통한 연구개발 추진 방향 수립
- 체감 훈련 시스템의 목적 정의 및 기능적 요구사항 도출
- 기술동향 분석자료에 근거하여 본 사업에 적합한 이동 장치 메커니즘 정의 및 개념 설계 진행

(3) 3차년도

○ 도시가스 정압기 단일 수행 안전훈련 시스템 설계

- 햅틱기반 도시가스 정압 설비 안전훈련 시스템 구현
 - * 도시가스 정압기 모델링
 - * 도시가스 안전훈련 시스템의 시나리오 구현
 - * 도시가스 정압기 안전훈련 시스템 AI(Artificial Intelligence) 적용
 - * 도시가스 안전훈련 시스템 구현
- 도시가스 정압기 안전훈련 플랫폼 시스템 통합
 - * 가상 플랜트
 - * 가시화 컴포넌트
 - * 공정/사고 모의 결과
 - * 안전훈련 시나리오
 - * 훈련통제모드

○ 도시가스 정압기 안전훈련 시스템 구축 및 성능 검증

- 도시가스 정압기 안전훈련 시스템 성능 자체 검증
- 안전훈련 시스템 매뉴얼 및 체크리스트 개발
- 도시가스 정압기 안전훈련 시스템 최종 보완

○RDS 공정 사고 사례 조사 및 시나리오 분석

- 주로 고온 고압의 수소라인에서 flange에서의 누출로 인한 화재가 빈번

○RDS 공정 내 -안전장치 (Pump APS, 안전밸브)의 작동 유/무 에 따른 사고 시나리오 개발

- 안전 밸브 라인에서 flange를 통한 수소 누출, 확산, 화재, 폭발시나리오

- Standby compressor 작동 실패로 인한 인접 line 누출, 화재 및 폭발 시나리오
- 가시화 컴포넌트의 제작을 위해 기존의 프로토타입 개발을 통하여 검토된 상세설계서를 토대로 개발을 추진
 - 2차년도 프로토타입으로 검증된 개발 방법 적용, 사고상황 가시화 컴퍼넌트 구현
 - 공동 연구기관 간 지속적 의사소통을 통한 데이터 인터페이스 최신화 유지
 - 공동 연구기관 연구 모듈 애플레이터를 이용한 인터페이스 보완
 - 2차년도 구축된 Test-Bed를 활용한 가시화 컴포넌트 보완
 - 가스안전공사 가스안전교육원 인터뷰를 통한 훈련요소 추가 식별, 가시화 컴포넌트 추가 구현
 - 연구결과 종합 및 통합시험 결과보고서 작성
- 햅틱제시 모듈(밸브, 버튼)의 제작
 - 상세 설계도를 바탕으로 한 햅틱제시 모듈의 제작
 - 3개 사이즈의 밸브, 3개 종류의 버튼을 제작
- 햅틱 제시 모듈의 제어 기술 개발
 - 훈련에 요구되는 밸브/레버의 최대 토크값 및 최대 토크값 도달 시간 달성
 - 훈련에 요구되는 15 Nm 토크값 제시 달성
- 다감각 햅틱장치의 제어 기술 개발
 - 냉열감/진동감의 입력에 대한 역치값 도달 시간 달성
 - 냉열감/진동감의 역치값을 500 ms의 시간에 도달
 - 2차년도 연구결과인 보행장치 상세설계 문서를 적용 보완하여 최종 설계문서 확보
 - 2차년도에 제작된 보행장치 부분 구성품을 확장 보완하여, X축 구동 모션 구현
 - 훈련자 위치인식 및 속도제어를 이용하여 단방향 이동성능 단위검증
 - 공동 연구기관과의 통합을 위한 인터페이스 보완 및 안전 사고 예방 협조

(4) 4차년도

- 석유화학 플랜트 안전훈련 시스템 설계
 - 석유화학 대상 플랜트 선정 및 가상 모델 구축
 - * 가상환경 모델링 사전 작업
 - * 가상환경 모델 - Overview
 - * 가상환경 모델 - Reactor

- * 가상환경 모델 - RDS 반응기 상부 플랜지
 - * 가상환경 모델 - 열교환기
 - * 가상환경 모델 - 반응기 스팀링 개폐 밸브
 - * 가상환경 모델 - 반응기 하부 플랜지
 - * 가상환경 모델 - 열교환기 스팀링 밸브
 - * 가상환경 모델 - 스팀건과 스팀호스
 - * 가상환경 모델 - 현장 훈련원
- 석유화학 플랜트 안전훈련 시나리오 개발
 - * 안전훈련 시나리오 대상 - RDS 공정 중 반응 공정
 - * 시나리오 선정 배경
 - * 시나리오 구성 객체
 - * 사고 시나리오
 - 플랜트 안전훈련 다중협업 플랫폼 설계
 - * 다중협업 플랫폼 구성 요소
 - * 도시가스 지구 정압기의 다중협업 시스템 설계 및 구현
 - 조업자 능력모델(Competency model) 프레임 워크
 - 석유화학플랜트 이벤트 분석
 - 석유화학플랜트 단위시설 위험성평가 실시
 - * 위험성평가는 일시적, 한시적으로 실시하는 것이 아니며, 시스템이나 제품의 변화 등에 따라 지속적으로 실시
 - * 평가의 결과가 교육에 적극 활용 가능 토록 그 동안 발생한 고압가스 사고이력과 비교검토하고 위험도 순위를 결정하는 등 가장 효율적인 접근방법 검토
 - * 평가의 결과에 따른 시나리오 및 교육 시스템이 보편적이고 다양하게 사용될 수 있도록 재평가 필요
 - 음향입력을 활용한 공정/사고 상황별 퍼지뉴로모델 구축
- RDS 공정 정상상태 시뮬레이션 모델 개발
- 현대 오일뱅크에서 제공한 PFD 및 heat & material balance
- RDS 공정 동적 공정 시뮬레이션 모델 개발
- P&ID를 분석을 통한 제어변수의 input(압력, 유량, 온도 등)과 output(Actuator valve O P%) 연결 시스템 구축(Controllor)
 - Rule of thumb을 통한 parameter tuning 및 step testing 압력 상승으로 인한 제어 알고리즘 작동 유/무에 따른 사고시나리오까지의 연결(상단의 석유화학플랜트 사고 시나리오 참조)

- 전년도 연구결과로써 연구 시작품에 통합된 가시화 컴포넌트의 운영 성과(수요처 요구사항 접수)를 전 연구개발 기간 동안 지속 확인하고 보완조치를 실시함 -> 실용화를 위한 홍보, 실용화에 적합한 성능 확보 (당해 기존 대비 추가 인력을 투입하여 연구 시작품 통합에 대한 보완을 실시함)
- 공동연구기관 연구 결과(하드웨어) 연동, 통합시험을 위해 전년도 연구결과인 패킷 에뮬레이터를 활용하여 인터페이스를 사전 검증함 -> 하드웨어 연동에 따른 사용자 안전성 확보 (특히, 운용 안전을 위한 추가 인터페이스-예를 들어 비상정지 등-를 추가 구현하고 충분히 검증 후 연동 실시함)
- 시스템 통합시험 계획 수립, 시험절차 확정 및 작성, 시험 수행, 시험결과보고서의 작성 (시험에 따른 결함 시정조치 완료) -> 전문가 활용을 통한 전 과정의 적정성, 시험의 타당성을 검증함
- 타 플랜트 공정에 대한 확대를 검토하고 현장 인터뷰를 통하여 기 구현된 기술의 확대를 분석, 설계함 -> 기 계획된 오일 플랜트에 대하여 연구단 협의로써 대상공정을 식별하고, 1세부 연구결과인 안전훈련 시나리오로부터 구현이 요구되는 가시화 컴포넌트를 식별 후 구현함 (또한 이때, 기 구현된 가시화 컴포넌트의 범용성-다양한 플랜트 안전훈련 요구의 수용- 증대를 위한 보완을 같이 실시함)
- 타 플랜트 수요처(오일 플랜트)에 기 구축된 연구단 시작품 및 자체 연구결과인 다양한 사용자 상호작용 환경 등을 제시하고 동 수요처에 적합한 개발 요소를 식별 후 구현 반영함
- 연구 결과의 창의성 요소인 다중 협업 환경에 대한 플랫폼을 연구단과 협의하여 구현하고, 운영자 및 사용자의 보다 편리한 운용을 지원하는 통제환경 구축을 지원함 -> 제품화(직관적 운영 지원)를 통한 실용화 추진
- 안전훈련 플랫폼의 대상공정 확대 및 플랫폼 확산에 기여하기 위하여 가시화 컴포넌트의 독립성 및 활용성을 강화하기 위한 개선 개발을 추진
- 햅틱제시 통합 시스템 제작
 - 햅틱제시 요소 모듈(밸브, 레버, 버튼)과 다감각 햅틱장치(장갑)를 마중형 로봇과 통합하는 햅틱제시 통합시스템 개발하여, 개발된 여러 도구들에 대해 도구 교체 시간을 측정한 결과 60초 이내 달성
- 가상환경 객체 연동
 - 햅틱제시 요소 모듈 (도구)과 가상 도구들에 대해 연동. 즉, 가상의 도구들과 실제 도구들이 연동되어 가상의 도구를 잡을 때 실제의 도구가 잡히는 Augmented Virtuality Registration (Calibration) 기술을 개발하여, 가상과 실제 도구사이의 공간적 오차 10mm 이내로 달성하기

위해 새로운 캘리브레이션 방법을 제안하며, 이에 대한 자체 검증을 수행.

○ 햅틱 저작도구 설계 및 개발

- 햅틱 제시 모듈의 레버, 밸브 등의 햅틱 토크 프로파일 저작 도구와 다감각 햅틱 장치의 냉온 감, 진동 저작 도구를 설계 및 제작하여 제안한 제작 도구를 이용한 2건의 햅틱 콘텐츠 제작 달성

○ 체감 내비게이션 시스템 시제품 제작을 위해 단계별 연구개발 진행

- 추가적인 수정 보완을 통해 비용 및 시간을 단축할 수 있는 방안을 수립
- 보행 이동 장치 Y축 구동 모듈 제작
- 보행 이동 장치 Y축 구동 및 속도 제어 시스템의 기술개발
- X축/Y축 연동구동 및 센서기반 사용자 위치추정 기술개발
- 단위 모듈간의 연동 시험 및 통합화 진행
(3세부 통합 연동시험 및 관련 업무 지원 진행예정)

○ 체감 내비게이션 시스템 시제품 제작을 위한 연차별 성능 검증을 통해 설계 및 제작 노하우 확보에 주력 예정

- 연차별 연구계획을 수립하고 이에 따라 보행이동 장치의 체계별 제작
- 제작된 장치의 모듈별 구동 및 제어 관련한 검토를 진행 예정
- 사용자 보행시험을 통한 제어 관련한 검토를 진행 예정

○ 체감 내비게이션 시스템 시제품의 공동연구기관과의 통합을 위한 인터페이스 보완 및 안전사고 예방 협조

(5) 5차년도

○ 석유화학 플랜트 안전훈련 시스템 구축

- 석유화학 플랜트 시나리오 적용 안전훈련 시스템 구현
 - * 가상 플랜트 훈련 시스템
 - * 상황 파악 및 보고단계
 - * 초기 진화 단계
 - * Emergency Depressing 단계
 - * Bleed Gas 차단/Make-up 중단 단계
 - * Reactor Feed Pump Stop/Heater Trip 단계
 - * Reactor 온도조절/Separator Level 조절 단계
 - * Product Slop 처리 단계
 - * HP Amine Circulation Module Stop 단계

- 다중협업 플랫폼 구축 및 안전훈련 시스템 적용
 - * 현장훈련원 간의 협업
 - * 제어실과 현장 간의 협업
 - 다중협업 조업자 안전 훈련 시나리오 자동 생성(명지대)
 - 음향정보를 이용한 가상 안전훈련 시스템 적용
- 공정/사고 시뮬레이션 인터랙티브 시뮬레이션 엔진 개발(PAISE, Process Accident Interactive Simulation Engine)
- Windows Application 기반의 공정/사고 시뮬레이션 연계를 위한 인터페이스 디자인
 - 3D CFD 사고 시뮬레이션 결과 Database 구축
- 타 세부의 결과와 연동
- 공정시뮬레이션과 가상현실 내에 구현된 게이지, Valve와의 실시간 연동

(6) 6차년도

- 햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 현장 적용 및 성능 검증
- 햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 현장 적용
 - 햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 성능 검증
- 가시화 모듈 성능 보완/검증
- 가스플랜트, 오일플랜트 가시화 컴포넌트 구현결과 재점검
 - 가시화 컴포넌트 기능구현 코딩 표준화, 성능 튜닝
 - 가시화 컴포넌트 시각체험 요소 최적화 (폴리곤 수, 텍스처 고도화)
 - 가상현실 환경 내 가시화 컴포넌트 배치 및 활용성, 성능에 대한 전문가 시연검증 실시
- 통합지원 매뉴얼 작성
- 가시화 컴포넌트/햅틱장치/보행 내비게이션 장치 간 인터페이스 통제문서 재점검, 고도화
 - 연구단 안전훈련 플랫폼 통합 지원을 위한 가시화 컴포넌트 적용방안 매뉴얼 작성
 - 연구단 안전훈련 플랫폼 통합 검증 지원
 - 통합지원 매뉴얼(2종)의 기술적 타당성, 내용 적합성에 대한 전문가 분석검증 실시
- 체감 내비게이션 장치 보완/안정화
- 가상환경과 통합에 따른 정성적 불일치 현상 해소 (제어보완, 가상환경 인터페이스 보완)

- 연구단 안전훈련 플랫폼 통합
 - 연구단 안전훈련 플랫폼 (가상환경/공정, 사고모의) 연동 인터페이스 설계/구현/시험
 - 기술자료(인터페이스 통제문서) 작성
 - 외부 전문가를 통한 시연검증(가상환경 통합) 및 분석검증(기술자료) 실시
- 사용자 생체 신호 기반 평가서와 햅틱 제시 시스템 체험 설문지를 통해 보완 필요사항을 파악 후 햅틱 시스템을 개선함
- 햅틱 제시 시스템의 최적화 수행
 - 툴 교체 시간, 툴 교체 path planning, Unity3D 통합 시스템, 토크 제어 햅틱 장치 등 최적화할 수 있는 요소를 살피고, 최적화 작업을 수행하여 햅틱 제시 시스템의 효율을 향상시킴

마. 연구 개발 성과

(1) 국내·외 논문 게재

게재 연도	논문명	저자명	학술지명	국내외 구분	SCI구분	등록·기타 번호
2018	Random forest classifier for real-time chemical leak source tracking using fence-monitoring sensors	김현승	Korean Journal of Chemical Engineering	국내	SCI	
2019	Source localization for hazardous material release in an outdoor chemical plant via a combination of LSTM-RNN and CFD simulation	김현승	Computers and Chemical Engineering	국외	SCI	
2015	LED가 결합된 야간풍력발전 활용을 포함한 해상환경 바이오매스 생산시스템의 최적 설계	홍기훈	한국가스학회지	국내	비SCI	
2016	주변 사업장의 화학물질 확산 감지와 대응을 위한 경계면의 센서배치 최적화 및 강건성 분석	조재훈	한국가스학회지	국내	비SCI	
2016	몬테카를로 기반의 가상현실 블루투스 기기와 무선랜 사이의 상호 공존 연구	윤혜주	한국위성정보통신학회논문지	국내	비SCI	
2017	도시가스 정압기 안전운행을 위한 인터랙티브 훈련 방안 연구	김형진	한국가스학회지	국내	비SCI	
2017	도시가스 정압기 가상훈련 플랫폼 연구	이재용	한국가스학회지	국내	비SCI	
2017	음향 분석 기반 고압가스 충전시설 안전점검 지능 시스템 모델	김성주	한국가스학회지	국내	비SCI	

2017	온톨로지 기반의 보일러 셧다운 절차 생성 - 지식표현 및 훈련시나리오 활용	박명남	한국가스학회지	국내	비SCI	
2017	국내 화학물질의 물리적위험성 분류 · 구분 단일화에 관한 연구	이봉우	한국가스학회지	국내	비SCI	
2017	플랜트 가상 안전훈련 시스템에서 조작 인터페이스 영향에 대한 연구	이재용	한국가스학회지	국내	비SCI	
2018	환경책임보험 배출 물질 정산의 표준화 필요성 및 산출방법 표준화	박명남	한국가스학회지	국내	비SCI	
2018	Development of Components of Analog and Digital Gauges for Training Regulators Safety Check using Virtual Reality	윤혜주	International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering	국외	비SCI	
2018	화학물질 저장시설의 사고대응 및 훈련을 위한 로봇기반 누출감지 및 추적시스템	박명남	한국가스학회지	국내	비SCI	
2018	대규모 플랜트에서의 가상현실 기반 플랜트 안전훈련 시스템에 관한 연구	이재용	한국가스학회지	국내	비SCI	
2018	사고로 인한 유해화학물질 누출확산의 대응을 위한 Cellular Automata기반의 시뮬레이션 시스템	김태욱	한국가스학회지	국내	비SCI	
2019	플랜트 특성에 따른 VR기반 안전훈련 시스템 구축 방법 제시	이재용	한국가스학회지	국내	비SCI	
2019	석유화학 탈황 공정 플랜트 현장 화재 사고 대처 교육 도구 개발	김형진	한국가스학회지	국내	비SCI	

2016	IGCC process intensification for simultaneous power generation and CO2 capture	Usama Ahmed	Chemical engineering and processing	국외	SCI	0255-2701
2016	CFD simulation of microchannel reactor block for Fischer-Tropsch synthesis: Effect of coolant type and wall boiling condition on reactor temperature	Krishna dash S. Kshetri m ayum	Industrial & Engineering Chemistry Research	국외	SCI	0888-5885
2015	Techno-Economic Analysis of Mechanical Vapor Recompression for Process Integration of Post-combustion CO2 Capture with Downstream Compression	Yeong Su Jeong	Chemical Engineering Research and Design	국외	SCI	0263-8762
2015	Process Design for the Offshore Production of Liquefied Natural Gas with Nonflammable Refrigerants	Chul-Jin Lee; Kiwook Song	Industrial & Engineering Chemistry Research	국외	SCI	0888-5885
2015	Design and Optimization of Cascade Organic Rankine Cycle for Recovering Cryogenic Energy from Liquefied Natural Gas Using Binary Working Fluid	Kyeong su Kim	Energy	국외	SCI	0360-5442
2015	Risk-Based Process Safety Management through Process Design Modification for Gas Treatment Unit of Gas Oil Separation Plant	Yongseok Lee; Sungmo Lee	Industrial & Engineering Chemistry Research	국외	SCI	0888-5885

2015	Parametric optimization for power de-rate reduction in the integrated coal-fired power plant with CCS	Jinjoo An	Industrial & Engineering Chemistry Research	국외	SCI	0888-5885
2016	Design of Microchannel Fischer-Tropsch Reactor Using Cell-Coupling Method: Effect of Flow Configurations and Distribution	Seongho Park	Chemical Engineering Science	국외	SCI	0009-2509
2016	Design and economic analysis of natural gas hydrate regasification process combined with LNG receiving terminal	Seolin Shin	Chemical Engineering Research and Design	국외	SCI	0263-8762
2017	Integration of IGCC and methane reforming process for power generation with CO2 capture	Usama Ahmed	Chemical Engineering and Processing: Process Intensification	국외	SCI	0255-2701
2017	Interactive plant simulation modeling for developing an operator training system in a natural gas pressure-regulating station	Ko, C.;Lee, H.;Jeon, K.;Shin, S.;Han, C.;	Petroleum Science	국외	SCI	1672-5107
2015	운전자와 현장조업자의 협동훈련을 위한 플랫폼 훈련시스템 플랫폼 연구	이경창	한국CAD/CAM 학회 논문집	국내	비SCI	20
2017	가상현실 기반 동적 가상화 컴포넌트를 이용한 가스 플랜트 안전훈련 콘텐츠 개발	이경창	한국가스학회지	국내	비SCI	21(5)

2017	Visual Guidance for a Spatial Discrepancy Problem of in Encountered-Type Haptic Display	Chang-Gyu Lee, Gregory Lynn Dunn, Ian Oakley, and Jeha Ryu	IEEE TRANSACTION S ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS : SYSTEMS	국외	SCI	
2019	시각-촉각 일치된 마중형 햅틱 제시 시스템의 사용자 평가	차백동, 배유성, 최원일, 류제하	한국HCI학회 논문지	국내	비SCI	14(2)
2019	Calibration and Evaluation for Visuo-Haptic Collocation in Haptic Augmented Virtuality Systems	Yoosung Bae, Baekdong Cha, and Jeha Ryu	International Journal of Control, Automation and Systems	국외	SCI	수정본 심사중

(2) 국내 및 국제 학술회의 발표

발표제목	학술대회명	발표 일시	국명
Formal Modeling of Accidents and Automatic Generation of Tutoring Scenarios for Intelligent Safety Training of Process Operators	미국화학공학회	2016-04-11	미국
Deep-Neural Networks for Source Localization of Chemical Leaks and Improved Chemical Process Safety	PSE2018 (Process Systems Engineering)	2018-07-05	미국
Soft-Computing Method for Detection of Abnormal Status of Plant Equipment	2018 the 2nd International Conference on Automation and Mechatronics Engineering	2018-11-09	미국
Forecasting of Major Incidents Based on Big Data of Near Misses and Minor Incidents: Heinrich's vs. Deep Learning	2019 AIChE Spring meeting & 15th Global Congress on Process Safety	2019-04-03	미국
가상 플랜트 안전훈련시스템 기술 타당성 연구	한국CAD/CAM학회 2015년도 동계학술대회	2015-02-05	대한민국
게임엔진을 이용한 가스 안전 훈련 기술 연구	한국에너지기후변화학회	2015-11-26	대한민국
도시가스 정압기 가상 훈련 시스템 개념 설계	한국가스학회	2015-11-26	대한민국
플랜트 안전훈련 인터랙티브 플랫폼 기본 설계	한국가스학회	2015-11-26	대한민국
AI 기술을 적용한 플랜트 안전훈련 가상 시스템 설계	한국에너지기후변화학회	2016-05-26	대한민국
가상현실 e-training을 적용한 지식기반 조업자 안전훈련 알고리즘 설계	한국가스학회 2016 년도 춘계학술대회	2016-05-26	대한민국
유해화학물질 누출의 CFD 시뮬레이션 기반 경계면 센서 배치 최적화	한국가스학회	2016-06-02	대한민국
도시가스 정압설비에서의 사고이력 조사 및 위험성 평가 연구	한국가스학회 2016 춘계학술대회	2016-06-02	대한민국
가상현실 기반 안전훈련을 위한 교육실 운영 및 구축방안 연구	한국가스학회 2016 춘계학술대회	2016-06-02	대한민국
플랜트 경계면 이동식 센서의 이동경로 최적화를 통한 감지성능 향상	한국화학공학회	2016-10-19	대한민국
가스안전훈련을 위한 가상현실 기기간의 상호 간섭 영향 연구	한국화학공학회	2016-11-18	대한민국
UML를 적용한 도시가스 정압설비 조업자 안전훈련 시나리오 설계	한국가스학회 2016 년도 가을 학술대회	2016-11-25	대한민국
도시가스 정압기 가상훈련 플랫폼 구현	한국에너지기후변화학회	2016-11-29	대한민국
VR장비 통합 기술을 통한 협업 훈련 체계 개발 연구	한국가스학회 춘계학술대회	2017-05-12	대한민국
지능형 시나리오 기반 플랜트 안전훈련 플랫폼 개발	한국가스학회 춘계학술대회	2017-05-12	대한민국

가스안전 현장 적용을 위한 가상훈련 시스템 개발	제 5회 한국위험물학회 학술대회	2017-08-17	대한민국
환경 인지를 위한 음향 정보 뉴로-퍼지 학습 모델	한국가스학회 2017 년도 가을 학술대회	2017-11-23	대한민국
가상현실 기술을 이용한 독성가스 탱크로리 안전훈련 적용 연구	한국가스학회 2017 년도 가을 학술대회	2017-11-24	대한민국
현장지향형 안전훈련 시나리오 개발을 위한 고압가스 사고 분석	한국에너지학회 춘계학술발표회	2018-04-06	대한민국
음파의 분석을 통한 플랜트의 설비 이상 진단	한국지능시스템학회 학술대회	2018-04-20	대한민국
공정온톨로지를 활용한 안전훈련 시나리오의 자동생성: Rule 기반추론모델링	한국화학공학회	2018-04-27	대한민국
소프트 컴퓨팅에 의한 가스 설비 동작 진단 알고리즘	한국가스학회 2018 년도 봄 학술대회	2018-05-31	대한민국
고압가스 사고 분석을 통한 가스 안전 훈련 시나리오 개발	한국가스학회 봄학술대회	2018-06-01	대한민국
설문조사를 통한 가스안전훈련 시스템 개선방안 연구	제 6회 한국위험물학회	2018-08-16	대한민국
가상현실기반 가스사고 예방 안전 훈련 연구	제 6회 한국위험물학회	2018-08-17	대한민국
화학공정 및 화공안전 분야의 온톨로지 구축과 활용 동향	한국화학공학회	2018-10-25	대한민국
대형 화재 사건 사고 발생의 사전감지를 위한 빅데이터 마이닝 기반의 전조정보-화재 리스크 연관 모델링	한국화학공학회	2018-10-25	대한민국
석유화학플랜트 가상현실 안전훈련 및 매뉴얼 개발	한국가스학회 가을 학술대회	2018-11-08	대한민국
반응 위험성 분석 및 사고방지를 위한 AI기반 합성경로 탐색 시스템	한국화학공학회 201 9년도 봄 총회 및 학술대회	2019-04-25	대한민국
화재발생정보 모니터링을 통한 딥러닝 기반 대형 또는 사망 화재사고 발생 예측	2019 APGC & KIG AS SPRING CONP ERENCE	2019-05-08	대한민국
반응정보를 포함한 오픈데이터의 Crawling에 기반한 스마트 반응경로 생성 및 반응위험성 분석 시스템	한국화학공학회 201 9년도 가을 총회 및 학술대회	2019-10-24	대한민국
플랜트 안전훈련 시스템 플랫폼에 관한 연구	2015년 춘계학술발표대회	2015-04-24	대한민국
가상현실기반 플랜트 체감형 안전 훈련 시스템 개발 연구	2015년 춘계학술발표대회	2015-04-24	대한민국
가상현실 기반 모의훈련체계 기술 동향	제10회 국방기술학술대회	2015-10-24	대한민국
대형 기계설비 안전대응 훈련을 위한 시뮬레이터 운영기술 연구	2015년 추계학술발표대회	2015-10-30	대한민국
보행 이동장치를 이용한 가상현실 체감 네비게이션에 관한 연구	한국정보처리학회	2015-10-30	대한민국
가상현실 네비게이션을 위한 트레드밀 인터페이스의 설계	대한기계학회	2015-11-12	대한민국
가스 안전 교육용 햅틱 플랫폼 개발	(사)한국가스학회 추계학술대회	2015-11-26 ~27	대한민국

Development of Haptic-robotic Platform for Virtual Plant Safety Operation Training	International Conference on Mechatronics and Information Technology	2015-12-2~5	대한민국
몰입형 가상현실 응용을 통한 플랜트 안전훈련 시스템 구축방안	2015 플랜트 융합기술 컨퍼런스	2015-12-03	대한민국
An Encountered-type haptic interaction by using a visual guidance of a virtual object	Human Computer Interaction	2016-1-27~29	대한민국
가상현실 기반 훈련시스템 콘텐츠 시험방법에 관한 연구	2016년 춘계 학술발표대회	2016-04-29	대한민국
펠티어 소자로 냉온감을 제공하는 다감각 햅틱장치의 설계 및 평가	한국가스학회 2016년도 봄 학술대회	2016-6-2~3	대한민국
Visual Guidance for Encountered Type Haptic Display: A feasibility study	2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct Proceedings	2016-9-19~23	멕시코
가상현실 기반 병사용 훈련체계 획득을 위한 훈련용 콘텐츠 시험 사례	제9회 육군 M&S 국제학술대회	2016-11-08	대한민국
가상훈련을 위한 트레드밀 인터페이스 기술개발	대한기계학회	2016-12-14	대한민국
가상 안전훈련을 위한 보행이동 인터페이스 제어에 관한 연구	정보처리학회	2017-11-03	대한민국
A Haptic Augmented Virtuality System for Immersive VR Plant Training	ICAT-EGVE	2017-11-22~24	호주
A Haptic Augmented Virtuality for Immersive VR Plant Training Based on Unity3D Engine	ICAT-EGVE	2017-11-22~24	호주
가스 안전 교육용 햅틱 플랫폼 통합	한국가스학회 2017년도 가을 학술대회 논문집	2017-11-23~24	대한민국
가스 안전 훈련용 햅틱 장비 개발 및 제어	한국가스학회 2017년도 가을 학술대회 논문집	2017-11-23~24	대한민국
Preliminary Evaluation of Calibrating Haptic Augmented Virtuality Systems	ICCAS 2018	2018-10-17~20	대한민국
User Evaluation of Visuo-Haptic Collocation System	ICAT-EGVE 2018	2018-11-7~9	사이프리스

* 2세부과제 국내외 논문 발표 목록은 국토교통연구관리시스템 입력 자료으로 대체

(3) 특허 성과

특허명	국명	출원			등록		
		출원 연도	출원인	등록·기 탁 번호	등록 연도	등록인	등록·기 탁 번호
플랜트 설비의 이상유무 감지를 위한 음향 정보 분석 시스템	대한 민국	2016	대흥산업 가스주식 회사	10-2016- 0004822			
가상현실 기반 조업자의 안전훈련 시스템 및 방법	대한 민국	2016	고등기술 연구원연 구조합	10-2016- 0171761	2018	고등기술 연구원연 구조합	10-1872 806
맞춤형 가상현실공간 제공 시스템 및 방법	대한 민국	2017	고등기술 연구원연 구조합	10-2017- 0135341			
가상현실 환경에서의 지식기반 조업자의 안전훈련 시스템 및 방법	대한 민국	2017	고등기술 연구원연 구조합	10-2017- 0135823			
음향신호를 이용한 플랜트 설비의 결함 진단 방법	대한 민국	2018	대흥산업 가스주식 회사	10-2018- 0114021			
동적 위험성 평가 시스템 및 평가 방법	대한 민국	2018	고등기술 연구원연 구조합	10-2017- 0135823			
사고대응 가상현실 기반 훈련 시스템 및 훈련 방법	대한 민국	2019	고등기술 연구원연 구조합	10-2019- 0012936			
동적 공정 시뮬레이터와 사고 시뮬레이터의 연동이 가능한 통합 엔진을 구비한 오퍼레이터 트레이닝 시스템	대한 민국	2017	이채희	10-2017- 0001945			
열교환 면적이 증대된 대기 공기 기화기	대한 민국	2017	이채희	10-2017- 0002228			
플랜트 안전훈련을 위한 인터랙티브 시뮬레이션 시스템	대한 민국	2018	이주혁	10-2018- 0108142			
동적 공정 시뮬레이션 결과를 활용한 플랜트 안전훈련 시스템	대한 민국	2018	이주혁	10-2018- 0109336			

RPA를 활용한 플랜트 사고 시뮬레이션 데이터베이스 구축 시스템	대한 민국	2018	이주혁	10-2018- 0121753			
화재 모델의 복사열을 이용한 플랜트 작업자의 위험도 평가 시스템	대한 민국	2018	이주혁	10-2018- 0124450			
사고 시뮬레이션을 실시간으로 제공하는 플랜트 안전훈련 시스템	대한 민국	2018	이주혁	10-2018- 0125882			
규칙기반 전문가 시스템을 활용한 훈련 결과 평가 모델을 포함하는 플랜트 안전훈련 시스템	대한 민국	2019	이주혁	10-2019- 0108564			
플랜트 가상현실 안전훈련 방법 및 그 시스템	대한 민국	2015	(주)톨레미 시스템	10-2015- 0095803			
스카다 시스템 혹은 분산제어 시스템 적용을 위한 3D H MI 소프트웨어 자동화 개발도구 및 실시간 3D HMI 소프트웨어 실행의 방법	대한 민국	2015	(주)톨레미 시스템	10-2015- 0166014			
인카운터-타입 햅틱 상호작용을 위한 가상 객체의 포즈 조정시스템 및 포즈 조정방법	대한 민국	2015	류제하, 이창규, 정대현	10-2015- 0133128	2016	류제하, 이창규, 정대현	10-1688 957-000 0
선회이동이 가능한 보행장치	대한 민국	2016	(주)신우이 앤디	10-2016- 0013676			
가이드 레일을 이용한 선회이동장치	대한 민국	2016	(주)신우이 앤디	10-2016- 0183187			
인카운터 타입 햅틱 시스템에서 임의의 툴에 대한 툴 캘리브레이션 방법	대한 민국	2017	배유성, 류제하, 백상윤, 이창규	10-2017- 0044187	2019	배유성, 류제하, 백상윤, 이창규	10-1941 005-000 0
선회이동장치의 보행제어방법	대한 민국	2017	(주)신우이 앤디	10-2017- 0129691	2018	(주)신우이 앤디	10-1940 713-000 0

선회이동장치의 안전제어방법	대한 민국	2017	(주)신우이 앤디	10-2017- 0129692	2018	(주)신우이 앤디	10-1940 714-000 0
-------------------	----------	------	--------------	---------------------	------	--------------	-------------------------

(4) 소프트웨어

연도	소프트웨어명	저작자명	소프트웨어 구분	등록·기탁 번호
2016	도시가스 지역 정압기 이상상황 훈련 프로그램	고등기술연 구원연구조 합	응용소프트 웨어	제C-2016-0208 77호
2016	플랜트 사고상황 체감 디지털게이지 가시화 컴포넌트	가스안전공 사	응용소프트 웨어	제C-2016-0332 36호
2016	플랜트 사고상황 체감 아날로그 게이지 가시화 컴포넌트	가스안전공 사	응용소프트 웨어	제C-2016-0332 35호
2016	플랜트 사고상황 체감 Ball 밸브 가시화 컴포넌트	가스안전공 사	응용소프트 웨어	제C-2016-0332 37호
2017	플랜트 조업자의 반복 훈련 과정에서 훈련 실패확률 예측 프로그램	고등기술연 구원연구조 합	응용소프트 웨어	제C-2017-0303 70호
2017	도시가스 지역 정압기 가상 훈련 프로그램	고등기술연 구원연구조 합	응용소프트 웨어	제C-2016-0208 77 호
2018	주위 환경인지용 퍼지로지 설계	대흥산업가 스	응용소프트 웨어	제C-2018-1757 0호
2018	음향 정보 분석을 통한 설비 이상 유무 감지 프로그램	대흥산업가 스	응용소프트 웨어	제C-2018-0189 08호
2019	밀폐공간 작업에서 질식사고 예방 프로그램	고등기술연 구원연구조 합	응용소프트 웨어	제C-2019-0261 69호
2019	정유공장 플랜지 가스누출 대응 훈련 프로그램	고등기술연 구원연구조 합	응용소프트 웨어	제C-2019-0261 70호
2018	PAISE-VR Connector	(주)열린기술	응용소프트 웨어	제C-2018-0302 42호
2018	API for Process Simulator	(주)열린기술	응용소프트 웨어	제C-2018-0302 43호
2018	PAISE	(주)열린기술	응용소프트 웨어	제C-2018-0302 44호
2016	Haptic plant virtual reality training pr ogram	광주과학기 술원	응용 소프트웨어	제C-2016-0345 28호
2016	Haptic plant virtual reality training ca libration program	광주과학기 술원	응용 소프트웨어	제C-2016-0345 29호
2016	Haptic plant virtual reality training di agnostic program	광주과학기 술원	응용 소프트웨어	제C-2016-0345 30호

2017	X축 이동장치 속도제어 프로그램	(주)신우이앤디	응용 소프트웨어	제C-2017-0003 67호
2017	X축 센서인식 상위제어 프로그램	(주)신우이앤디	응용 소프트웨어	제C-2017-0231 68호
2017	Y축 이동장치 하위제어 프로그램	(주)신우이앤디	응용 소프트웨어	제C-2017-0231 69호
2017	플랜트 사고상황 체감 가스 디텍터 가시화 컴포넌트	(주)톨레미시스템	응용 소프트웨어	제C-2017-0235 23호
2017	유니티와 햅틱 장치의 인터페이스 프로그램	광주과학기술원	응용 소프트웨어	제C-2017-0246 97호
2017	햅틱 플랜트 가상 훈련을 위한 햅틱 글러브 저작 프로그램	광주과학기술원	응용 소프트웨어	제C-2017-0246 98호
2017	햅틱 플랜트 가상 훈련을 위한 햅틱 토크 피드백 프로파일 저작 프로그램	광주과학기술원	응용 소프트웨어	제C-2017-0246 99호
2018	초음파센서를 이용한 보행이동 상위제어 프로그램	(주)신우이앤디	응용 소프트웨어	제C-2018-0197 21호
2018	훈련용 이동장치 통합하위제어 프로그램	(주)신우이앤디	응용 소프트웨어	제C-2018-0197 22호
2018	플랜트 사고상황 체감 스템건 가시화 컴포넌트	(주)톨레미시스템	응용 소프트웨어	제C-2018-0313 51호
2018	플랜트 사고상황 체감 가스 이펙트 가시화 컴포넌트	(주)톨레미시스템	응용 소프트웨어	제C-2018-0313 52호

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표

(1) 최종 성과 목표 및 평가 방법

- 본 과제 최종 성과 목표는 플랜트 안전훈련 시스템 통합 기술 개발로 2세부의 공정/사고 시뮬레이션 및 인터랙션 기술과 3세부의 가시화 컴포넌트, 햅틱 디바이스, 이동보행장치를 이용한 햅틱기반 안전훈련 플랫폼을 구축하는 것이다.
- 안전훈련 시스템은 도시가스 정압기 안전훈련 시스템과 석유화학 플랜트(RDS 공정) 안전훈련 시스템 두 가지의 훈련 시스템을 구축하고 이를 현장에 활용할 수 있도록 현장 적용을 목표로 한다.
- 안전훈련 시스템에 대한 평가는 전문가를 통한 평가와 사용자 중심의 평가를 병행하여 시나리오 및 콘텐츠 구성에서는 전문가 평가를 진행하고 시스템의 사용에서는 실 사용자를 대상으로 훈련 시스템을 평가하였다.
- 실제 플랜트에서 가장 빈번하게 발생하는 사고는 고온 및 고압의 반응기 주변에서 일어나는 수소 누출 사고인데, 이는 다양한 원인으로 발생할 수 있음. 현대오일뱅크에서 제공한 operator check list 및 ESD(Emergency Shutdown) Procedure 자료를 기반으로 개연성 있는 원인, 사고 경과 및 사후 대처 등 사고의 처음과 끝까지 실제 상황을 잘 반영한 공정이상 및 사고 시나리오를 제작하여 교육 효과를 높이는 것이 최우선의 목표임.
- 개연성과 정확도를 갖춘 공정 이상 및 사고 시나리오를 모두 포함한 Operator Training System(OTS) 내부의 데이터전달 체계를 소프트웨어로 구축하여 훈련원인 Field Operator(FOP) 및 훈련 교관에게 필요한 정보를 제공함으로써 훈련의 정확도 및 사실성 향상에 기여해야 함
- 사고 시뮬레이션 모델과 공정 시뮬레이션 모델을 3초 이내로 연계하여 공정 이상과 사고 상황을 하나의 플랫폼에서 볼 수 있는 시스템 구축을 목표로 함.
- 개연성과 정확도를 갖춘 공정 이상 및 사고 시나리오를 모두 포함한 Operator Training System(OTS) 내부의 데이터전달 체계를 소프트웨어로 구축하여 훈련원인 Field Operator(FOP) 및 훈련 교관에게 필요한 정보를 제공함으로써 훈련의 정확도 및 사실성 향상에 기여해야 함.
- 햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템의 구성 요소기술로써 햅틱기반 플랜트 안전훈련 체감화 기술은 실감형 가상화 요소기술과 햅틱 제시 기술 및 체감 공간 인식을 위한 기술로 각각 구성됨.

- 햅틱기반 플랜트 안전훈련 체감화는 가상현실(Virtual Reality)을 이용하는 플랜트 안전훈련 시스템에 있어 보다 높은 훈련 충실도(Fidelity)를 제공하기 위한 가상현실 시각체험, 가상현실 촉감체험 및 가상현실 운동감체험을 구현하는 기술연구 임.
- 시각체험환경으로 사고상황 체감 가상화요소, 촉감체험환경으로 햅틱 제시기술 및 운동감 체험환경으로 체감공간인식 및 임무수행 처리기술을 개발함.
- 연구결과는 햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템에 핵심 요소기술로서 사고상황 체감 가상화를 통하여 플랜트 사고 모사결과를 가시화하고 햅틱 제시기술을 통하여 사고조치 조작을 체감하며 제한된 공간에서 사고 훈련자의 이동을 보행 내비게이션으로 체감하는 가상환경에 통합될 수 있도록 함.
- 첫 번째 최종 성과 상세 목표는 플랜트 신규 운전원 안전 훈련 기간을 20% 감소시키는 것이다. 기존의 연간 안전 훈련 횟수 14회 중에서 4회를 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템으로 대체할 경우, 즉, 기존 방식의 안전 훈련 10회 + 햅틱기반 플랜트 안전훈련 4회를 가정하여 안전훈련 투입 시간을 계산, 비교한 결과, 20.24%의 안전훈련 기간 절감 효과를 가져올 수 있다고 분석된다.
- 두 번째 최종 성과 상세 목표는 플랜트 신규 운전원 안전 훈련 비용을 20% 감소시키는 것이다. 햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 구축 비용과 매년 발생하는 시스템 유지보수 비용을 포함하여 훈련 비용을 분석하였다. 시스템 도입 첫해에는 시스템 구축 비용이 크기 때문에 기존 훈련 비용보다 더 많이 들지만, 2년차부터는 시스템 투자 비용을 상쇄하고도 남는 비용 절감 효과를 거둘 수 있다. 2차년도부터는 매년 총 비용 절감 효과가 20.1%를 거둘 수 있는 것으로 분석되었다. 장기적인 안전훈련 비용 절감 효과를 살펴보면, 시스템 도입 훈련 1~5년간 총 비용 10.4% 절감 효과와 시스템 도입 훈련 1~10년간 총 비용 15.2% 절감 효과를 거둘 것으로 분석된다.
- 세 번째 최종 성과 상세 목표는 플랜트 신규 운전원 안전 훈련 효과를 20% 증가시키는 것이다. 플랜트 운전원의 안전 훈련 효과는 운전원들의 훈련 전후 업무 숙련도 향상 정도를 측정해야 하기 때문에, 측정이 쉽지 않다. 다만, 다음 기준으로 숙련도 향상을 측정할 수 있다.
 - 플랜트 운전원의 안전 대응 조치 오류/실패 발생률 감소
 - 플랜트 운전원의 안전 대응 조치 절차 숙달 소요 시간/훈련 횟수 단축

햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 및 방법은 궁극적으로 훈련에 요구되는 훈련 효율을 높이고 훈련 시간과 비용을 절감할 수 있는 효율적 훈련 방법을 제시하였다.

현대오일뱅크 석유화학 플랜트 현장 적용 결과를 평가해보면, 현대 시설의 고도화로 인해 젊은 연령의 현장 운전원은 사고 경험이 거의 없고, 향후 사고 발생 가능성도 점점 더 낮아지고 있다. 이러한 플랜트 현장 상황에서 젊은 운전원의 비상 상황 대응이 어려운 점을 본

햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템으로 어느 정도 극복 가능할 것으로 판단되었다.

플랜트 운전원 안전훈련 효과 분석을 위해 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템을 공인 인증 기관인 한국산업기술시험원에서 시험을 실시하였다. 시험성적서를 보면 4가지 주요 목표 기능이 오류없이 작동되었음을 증빙하고 있으며, 이러한 기능은 운전원 훈련 효과로 직접적으로 이어질 것으로 판단된다.

- 인터랙티브 시뮬레이션 모듈 (PAISE)과 VR 플랜트 정확도
- 트레드밀 훈련 사용 가능 범위
- 햅틱요소 훈련 사용 가능 범위
- 2인 협업 가능 훈련 프로그램 확인

(2) 단계 성과 목표 및 평가 방법

구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	평가 방법
1차 연도 (2014/1단계)	플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	- 안전훈련 대상 선정 및 현황 분석	- 보고서 작성 완료 검증, 검토가 검증을 통한 보고서 완성도 검 증
	예측가능사고 지식베이스 기반 지능형 안전훈련 시나리오 및 평가체계 개발	- 시나리오 생성에 대 한 개념 정립 및 현황 분석 조사	자체 평가
	현장지향형 위험성평가 및 사고 이력기반 안전 교육 훈련 예측?미예측 시나리오 개발	- 플랜트 별 안전 사고 대응 절차 매뉴얼 및 안전관리 체크리스트 자료 수집	- 보고서 작성, 전문가 검토를 통 한 타당성 검증
	청각 및 생체 정보를 활용한 환경 인지 알고리즘 개발	- 청각 및 생체정보 활 용 문헌조사	자체평가
	사고 시뮬레이션 방법론 분석	- 사고시뮬레이션 관련 기술현황 파악 - 정압설비 및 석유화 학플랜트 모사용 사 고 시뮬레이션 검토 및 선정	- 보고서 작성 완료 검증, 검토가 검증을 통한 보고서 완성도 검 증
	정압설비 관련 데이터 확보	- 정압설비 공정 모사 기반 자료 파악 - 도시가스 정압설비 공정 설계 데이터 및 운전 데이터 확보	- 보고서 작성 완료 검증, 검토가 검증을 통한 보고서 완성도 검 증
	공정/사고 시뮬레이션 모듈 관련 기반 연구	- 공정시뮬레이션 상용 소프트웨어 분석 - 사고시뮬레이션 상용 소프트웨어 분석	보고서 작성 완료 검증
	햅틱기반 플랜트 안전훈련 체감화 기술 개발	- 가시화 모듈 요구도 분석에 따른 요구명 세서 작성 - 가시화 모듈 구현을 위한 설계명세서(초 안) 작성	- 보고서 작성 완료 검증, 검토가 검증을 통한 보고서 완성도 검 증
	플랜트 안전 훈련 햅틱 제시 기술 개발	- 플랜트 안전훈련 시 나리오를 바탕으로 햅틱제시 모듈 및 다 감각 햅틱장치의 요	- 햅틱제시 모듈 및 다감각 햅틱 장치의 요구사항에 대한 보고서 작성 완료 검증 - 햅틱제시 모듈 및 다감각 햅틱

		구사항 정립	장치의 개념 설계도 작성 완료 검증
		- 정립된 요구사항을 바탕으로 햅틱제시 모듈 (밸브, 레버, 그리고 버튼) 개념 설계 - 안전훈련용 다감각 햅틱장치 (온열감 그리고 진동감) 개념 설계	
	플랜트 사고상황 체감 가상화 요소 개발	- 체감 내비게이션 시스템의 기술동향 분석 및 개념설계 완료	- 기술동향 분석서 및 개념 설계서 완료 여부 확인
2차 연도 (2015/2단계)	플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	- 도시가스 정압설비 안전훈련 시스템 설계 - 도시가스 정압설비 가상 모델 제작	- 전문가 검증을 통한 설계 및 보고서 완성도 검증
	예측가능사고 지식베이스 기반 지능형 안전훈련 시나리오 및 평가체계 개발	- 평가 및 사고이력 기반 플랜트 안전훈련 예측	- 생성된 시나리오의 적합성 및 신뢰성 검증(전문가 평가)
	현장지향형 위험성평가 및 사고이력기반 안전 교육 훈련 예측?미예측 시나리오 개발	- 정압기지 위험성 평가를 통한 위험도 기반의 사고 시나리오 개발	- 개발 시나리오를 안전관련 분야 전문가가 현장 적합성 검토
	청각 및 생체 정보를 활용한 환경 인지 알고리즘 개발	주위 환경인지용 퍼지 로직 개념설계	자체평가
	정압소 내 사고 시뮬레이션 기본 모델	- 도시가스 정압설비에서 발생 가능한 사고 유형 분석 - 정압소 내 기본 시뮬레이션 결과 도출 및 훈련 가이드라인 제시 - 정압소 내 사고 시뮬레이션 기본 모델 개발	- 보고서 작성 완료 검증, 전문가 검증을 통한 보고서 완성도 검증
	정압소 정상상태 공정 시뮬레이션 모델	- 정압소 정상상태 공정 모델링 및 시뮬레이션 - 정압소 내 공정 시뮬레이션 결과 도출 및	- 보고서 작성 완료 검증, 전문가 검증을 통한 보고서 완성도 검증

		- 훈련 가이드라인 제시 - 정상상태 공정 시뮬레이션 결과 검증 및 분석	
	공정/사고 시뮬레이션 연동 알고리즘	- 공정/사고 시뮬레이션 연동 알고리즘 개발 - 사고 시나리오 적용 가능 범위 및 알고리즘 성능 평가	프로토타입 동영상 시연
	햅틱기반 플랜트 안전훈련 체감화 기술 개발	- 가시화 모듈 통합을 위한 플랜트 모델 프로토타입 구현 - 가시화 모듈 통합을 위한 통제모듈 프로토타입 구현 - 가시화 모듈 구현을 위한 설계명세서 작성	프로토타입 구현 시연, 전문가 검증을 통한 프로토타입 및 보고서 완성도 검증
	플랜트 안전 훈련 햅틱 제시 기술 개발	3개 크기의 밸브, 2개 종류의 레버, 3개 종류의 버튼을 제시하기 위한 햅틱 제시 모듈의 상세 설계 - 냉온감/진동감을 제시하기 위한 다감각 햅틱 장치의 상세 설계 - 상세 설계도를 바탕으로 한 햅틱제시 모듈의 제작 - 상세 설계도를 바탕으로 한 다감각 햅틱 장치의 제작	- 햅틱제시 모듈의 상세 설계도 작성 완료 검증 - 다가막 햅틱 장치의 상세 설계도 작성 완료 검증 - 햅틱 제시 모듈(레버)의 시작품 제작 완료 검증 - 다감각 햅틱장치의 시작품 제작 완료 검증
	플랜트 사고상황 체감 가상화 요소 개발	체감 내비게이션 시스템 상세설계 완료 및 부분 구성품 제작	상세 설계서 완료여부 및 부분 장치 단위제작 확인
3차 연도 (2016/2단계)	플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	- 훈련 콘텐츠 확장 - 가시화컴포넌트 및 공정/사고 시뮬레이션 통합 시스템 구축 - 도시가스 정압기 안전훈련 시스템 성능 검증	일반 교육생 대상 통합 시스템 시연/체험 후 설문조사

예측가능사고 지식베이스 기반 지능형 안전훈련 시나리오 및 평가체계 개발	- 시나리오 생성 및 평가 모듈의 안전훈련 시스템 적용 및 검증	- 생성, 평가 모듈의 상용 시스템 대비 작동도 전문가 평가
현장지향형 위험성평가 및 사고 이력기반 안전 교육 훈련 예측?미예측 시나리오 개발	- 정압기지 분해 점검 관련 가상현실 기반 훈련 시스템과 연동된 훈련 메뉴얼, 체크리스트 개발	- 메뉴얼 및 체크리스트 작성 결과물을 현장 전문가의 검토
청각 및 생체 정보를 활용한 환경 인지 알고리즘 개발	- 주위 환경인지용 퍼지로지 설계	퍼지로지 테스트
정압소 내 시나리오 별 사고 시뮬레이션 모델	- 정압소 내 발생 가능한 사고 시나리오 추가 개발 - 사고 시나리오별 시뮬레이션 모델 개발 및 결과 도출 - 사고 시뮬레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 추가 제시	- 보고서 작성 완료 검증, 검문가 검증을 통한 보고서 완성도 검증
정압소 시나리오 별 사고 상황 공정 시뮬레이션 모델	- 정압소 공정 운전정보 분석 - 정압소 내 각 사고 시나리오별 동적 공정 모델 개발 및 결과 도출 - 공정 시뮬레이션 결과를 반영한 훈련 가이드라인 추가 제시	- 보고서 작성 완료 검증, 검문가 검증을 통한 보고서 완성도 검증
도시가스 정압설비 인터랙티브 시뮬레이션 프로토타입	- 정압소 인터랙티브 시뮬레이션 프로토타입 개발 - 시나리오별 공정/사고 시뮬레이션 연계 속도 및 성능 평가	- 프로토타입 동영상 시연
햅틱기반 플랜트 안전훈련 체감화 기술 개발	- 가시화 모듈 컴포넌트 구현	- 가시화 컴포넌트 구현 시연, 전문가 검증을 통한 구현결과 및 보고서 완성도 검증
	- 가시화 모듈 1차 통합 시험 결과보고서 작성	
플랜트 안전 훈련 햅틱	- 상세 설계를 바탕으로	- 햅틱제시 모듈(밸브, 버튼) 시

	제시 기술 개발	로 햅틱제시 모듈(밸브, 버튼)을 제작	- 햅틱제시 모듈의 제어 기술 개발을 위해 훈련에 요구되는 밸브/레버의 최대 토크값 설정 및 측정 - 최대 토크값 도달 시간의 설정 및 측정 - 다감각 햅틱 장치의 제어 기술 개발을 위해 냉열감/진동감의 입력에 대한 역치값 도달 시간 설정 및 측정
		- 햅틱제시 모듈의 제어 기술 개발을 위해 훈련에 요구되는 밸브/레버의 최대 토크값 설정 및 측정 - 최대 토크값 도달 시간의 설정 및 측정 - 다감각 햅틱 장치의 제어 기술 개발을 위해 냉열감/진동감의 입력에 대한 역치값 도달 시간 설정 및 측정	
	플랜트 사고상황 체감 가상화 요소 개발	- 체감 내비게이션 시스템 시제품 제작 및 자율 보행 구동 구현	- 시제품 단위 구동 시험 결과서 및 자율 보행 구동성 확인
4차 연도 (2017/3단계)	플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	- 석유화학 대상 플랜트 선정 및 가상모델 구축 - 석유화학 플랜트 안전훈련 시스템 시나리오 개발 - 플랜트 안전훈련 다중협업 플랫폼 설계	- 대상 플랜트 종사자 가상 모델 정확도 평가 - 훈련 시나리오 전문가 검증
	예측가능사고 지식베이스 기반 지능형 안전훈련 시나리오 및 평가체계 개발	통합훈련 시나리오 생성 및 평가 성능시험 및 개선	통합훈련 시스템 탑재 및 평가를 통한 상용 OTS 대비 시나리오 생성 및 평가 모듈의 성능 시험
	현장지향형 위험성평가 및 사고이력기반 안전 교육 훈련 예측·미예측 시나리오 개발	- 플랜트 단위 시설 및 사고 시나리오별 위험성 평가	- 위험성 평가 결과보고서 작성 및 전문가 검토
	청각 및 생체 정보를 활용한 환경 인지 알고리즘 개발	플랜트 환경 인지 학습모델에 의한 상황 예측 모델 개발	음향 입력에 대한 상황 예측 모델 출력 비교
	석유화학플랜트 사고 시뮬레이션 기본 모델	- 석유화학플랜트 내 발생 가능한 사고 유형 분석 - 석유화학플랜트 내 사고 시뮬레이션 기본 모델 개발	- 보고서 작성 완료 검증, 전문가 검증을 통한 보고서 완성도 검증

		- 석유화학플랜트 내 기본 시뮬레이션 결과 도출 및 훈련 가이드라인 제시	
	석유화학플랜트 정상상태 공정 시뮬레이션 모델	- 석유화학플랜트 공정 운전정보 분석 - 석유화학플랜트 정상상태 공정 모델 개발 및 결과 도출 - 공정시뮬레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 제시	- 보고서 작성 완료 검증, 검문가 검증을 통한 보고서 완성도 검증
	석유화학플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 모듈	- 석유화학플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 프로토타입 개발 - 석유화학플랜트 공정/사고 시뮬레이션 연계속도 및 성능 평가	- 프로토타입 동영상 시연
	햅틱기반 플랜트 안전훈련 체감화 기술 개발	- 햅틱장치, 보행장치 연동 인터페이스 구현 - 가시화 모듈 2차 통합 - 가시화 모듈 2차 통합시험 결과보고서 작성	- 연동 구현 시연, 전문가 검증을 통한 통합결과 및 보고서 완성도 검증
	플랜트 안전 훈련 햅틱 제시 기술 개발	- 햅틱제시 통합 시스템 제작 - 가상환경 객체 연동 - 햅틱 저작도구 설계 및 개발	- 마중형 햅틱 장치에서 훈련자에게 제시하는 도구를 교체하는 시간 측정 보고서 작성 완료 검증 - 마중형 햅틱 장치에서 훈련자에게 제시하는 도구를 가상 환경에 위치하였을 때 실제 도구와의 위치 차이 측정 보고서 완료 검증 - 햅틱 제시 모듈의 레버, 밸브 등의 프로파일 저작 도구 개발 보고서, 다감각 햅틱 장치의 냉온감, 진동 저작 도구 개발 보고서 작성 완료 검증
	플랜트 사고상황 체감 가상화 요소 개발	- 체감 내비게이션 시스템의 플랜트 콘텐츠 연동화 달성	- 가상 플랜트 공간을 보행자가 3 km/h(안전순찰 걸음 수준) 이상의 속도로 탐색할 수 있는지 확인

5차 연도 (2018/3단계)	플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	- 석유화학 플랜트 안전훈련 시나리오 적용 안전훈련 시스템 구현 - 다중협업 플랫폼 구축 및 안전훈련 시스템 적용	시나리오 구현을 측정 2인이상 훈련 가능 여부 측정
	예측가능사고 지식베이스 기반 지능형 안전훈련 시나리오 및 평가체계 개발	- 다중협업 훈련 시나리오 생성 모듈, 훈련 평가용 DB 및 관련 지식 베이스 개선	- 다중협업 훈련 아키텍처, 실행 프로토타입 전문가 평가
	현장지향형 위험성평가 및 사고 이력기반 안전 교육 훈련 예측?미예측 시나리오 개발	- 석유화학플랜트 단위 설비 별 위험 및 사고 대응 매뉴얼 개발	- 개발된 매뉴얼의 전문가 검토
	청각 및 생체 정보를 활용한 환경 인지 알고리즘 개발	- 플랜트 환경인지 학습모델에 의한 상황 예측 모델 개발	자체 테스트
	통합 플랜트 내 시나리오별 사고 시물레이션 모델	- 석유화학플랜트 내 발생 가능한 사고 시나리오 추가개발 - 사고 시나리오별 시물레이션 모델 개발 및 결과 도출 - 사고 시물레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인	- 보고서 작성 완료 검증, 검문가 검증을 통한 보고서 완성도 검증
	통합 플랜트 시나리오별 사고 상황 공정 시물레이션 모델	- 석유화학플랜트 공정 운전정보 분석 - 석유화학플랜트 내 각 사고 시나리오별 동적 공정 모델링 - 공정시물레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 제시	- 보고서 작성 완료 검증, 검문가 검증을 통한 보고서 완성도 검증
	통합플랜트 안전훈련 인터랙티브 시물레이션 시스템	- 통합 플랜트 안전훈련 인터랙티브 시물레이션 시스템 개발	- 프로토타입 동영상 시연
	햅틱기반 플랜트 안전훈련 체감화 기술 개발	- 가시화 모듈 성능 보완 - 통합 인터페이스 통제문서 작성	- 가시화 모듈 성능 시연, 전문가 검증을 통한 성능평가 및 보고서 완성도 검증
	플랜트 안전 훈련 햅틱	- 마중형 햅틱 제시 통	- 시제품 숫자의 총합 개수 검증

	제시 기술 개발	합 시스템 시제품 제작	및 개발 완료 검증
		- 사용자 생체 신호 기반 자체 평가 수행	- 햅틱 유무에 따른 몰입감 등 유용성 평가서 작성 완료 검증
	플랜트 사고상황 체감 가상화 요소 개발	- 체감 내비게이션 시스템의 장치 및 S/W 개발 100% 달성	- 신체 몰입감 정도를 사용자 설문을 통해 측정 (1~5 수준 : 3 이상)
		- 체감 내비게이션 시스템의 체감 몰입도 3 수준 달성	
6차 연도 (2019/3단계)	플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	- 석유화학 플랜트 안전훈련 시스템 현장 적용 및 성능 검증 - 햅틱기반 플랜트 안전훈련 플랫폼 메뉴얼 개발	- 대상 플랜트 종사자 훈련 체험 후 평가 - 플랜트 종류별 안전훈련 플랫폼 메뉴얼
	예측가능사고 지식베이스 기반 지능형 안전훈련 시나리오 및 평가체계 개발	- Eye tracking H/W, S/W 활용한 Biosensor 기반의 훈련 평가 시스템 모듈의 현장 적용 및 개선	- 훈련자 능숙도 측정 모듈의 현장 적용 및 개선
	현장지향형 위험성평가 및 사고이력기반 안전 교육 훈련 예측·미예측 시나리오 개발	- 석유화학플랜트 안전관리를 위한 단위 설비별 체크리스트 개발	- 체크리스트 보고서 작성 및 전문가 검토
	청각 및 생체 정보를 활용한 환경 인지 알고리즘 개발	- 통합훈련 시스템 연동테스트	자체 테스트
	통합 플랜트 내 시나리오별 사고 시물레이션 모델	- 사고 시나리오별 시물레이션 모델 개발 및 결과 도출 - 사고 시물레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 추가 제시 - 통합 플랜트 사고 시나리오별 시물레이션 영상 확보	- 보고서 작성 완료 검증, 검토가검증을 통한 보고서 완성도 검증
	통합공정 시나리오별 사고 상황 공정 시물레이션 모델	- 석유화학플랜트 내 각 사고 시나리오별 동적 공정 모델링 - 공정시물레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 제시	- 보고서 작성 완료 검증, 검토가검증을 통한 보고서 완성도 검증
	통합플랜트 안전훈련	- 통합 플랜트 공정/사	- 프로토타입 동영상 시연

	인터랙티브 시뮬레이션 시스템	고 시뮬레이션 연계 속도 및 성능 평가	
	햅틱기반 플랜트 안전훈련 체감화 기술 개발	- 안전훈련 플랫폼 통 합지원 매뉴얼 작성	- 가시화 모듈 성능 시연, 전문가 검증을 통한 성능평가 및 보고 서 완성도 검증
	플랜트 안전 훈련 햅틱 제시 기술 개발	- 통합된 햅틱 제시 시 스템 시제품에 대한 사용자들의 평가를 반영한 부족한 성능 을 개선	- 햅틱 제시 통합 시스템 성능 개 선 보고서 작성 완료 검증

나. 목표 달성여부

(1) 질적 성과 목표 및 달성도

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)	성과점검기준(1세부)				해당 기관	예산 (백만)
				질적성과지표	목표치	달성치	측정방법		
1세부	A	안전훈련 대상 선정 및 안전훈 련 현황분 석	A-1 시험 안전훈련 대 상 도시가스 정 압 설비 및 석유 화학 플랜트 검토 및 선정	① 선정의 적정성	우수	우수	전문가평가	고등기술연 구원	
			A-2 플랜트 기술 인프 라 및 기술 인력 현황 분석	② 분석의 적정성	우수	우수	전문가평가		
			A-3 플랜트 안전관리, 안전훈련 현황 및 문제점 분석	③ 분석의 적정성	우수	우수	전문가평가		
			A-4 플랜트 조업자의 필수 요구 지식 및 기술현황	④ 분석의 적정성	우수	우수	전문가평가		
		도시가스 정압기 안 전훈련 시 스템 설계 및 구현	A-5 햅틱기반 도시가 스 정압설비 안 전훈련 시스템 설 계를 위한 운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입 설계 및 구현	① 프로토타입 적 정성	적합	적합	자체평가	고등기술연 구원	
			A-6 플랜트 안전훈련 단일 수행 플랫폼 기반 햅틱기반 도 시가스 정압설비 안전훈련 시스템 설계	② 훈련시나리오	1식	1식	산출물		
			A-7 햅틱기반 도시가 스 정압설비 안전 훈련 시스템 구현 및 통합	③ 훈련시나리오 V R 모델 구현 및 통합	1식	1식	조작테스트		
		도시가스 정압기 안 전훈련 시 스템 구축	A-8 도시가스 정압기 안전훈련 시스템 컨텐츠 확장	① 27지 이상의 훈 련 컨텐츠의 기 스템 개발	2건	2건	시작품 테스트	고등기술연 구원	
			A-9 안전훈련 시스템	② 가시화 컴포넌	1건	1건	통신테스트		

	및 성능검 증	통합	트 및 공정/사고 시뮬레이션 통 합 시스템 구축					
		A-10 도시가스 정압기 안전훈련 시스템 성능 검증	③ 시스템 완성도 측정 지표 수집	30건	40건	현장시험		
	도시가스 정압기 안 전훈련 시 스템 최종 보완 및 석 유화학 플 랜트 안전 훈련 시스 템 설계	A-11 도시가스 정압기 안전훈련 시스템 최종 보완	① 시스템 보완내 용 비교 우위 달성	훈련 사용 적합	적합	훈련원 실제 테 스트	고등기술연 구원	
		A-12 석유화학 대상 플 랜트 선정 및 가 상모델 구축	② 가상모델의 현 실험 및 정확도	정확도 90%이상	91%	화학플랜트 종사 자 가상환경 테 스트		
		A-13 석유화학 플랜트 안전훈련 시나리 오 개발	③ 시나리오 현실 성 확보	적합	적합	전문가 시나리오 검토		
	석유화학 플랜트 시 나리오 적 용 및 다중 협업 플랫 폼 구축 안 전훈련 시 스템 개발 및 성능 검 증	A-14 석유화학 플랜트 시나리오 적용 안 전훈련 시스템 구 현	① 안전훈련 시스 템 완성도	훈련가능 시스템	훈련 시연 1회	전시회 및 현장 적용	고등기술연 구원	
		A-15 다중협업 플랫폼 구축 및 안전훈련 시스템 적용	② 다중협업 플랫 폼 구축	3인 이상 동시 훈 련 가능 플랫폼	3인 동시 훈련	자체 테스트		
		A-16 석유화학 플랜트 안전훈련 시스템 현장 적용 및 성 능 검증	③ 시스템 현장 적 용 및 성능 검증	현장적용 1회 및 3인 이상 훈련	현장적용 1회	현대오일뱅크 현 장적용		
		A-17 석유화학 플랜트 안전훈련 시스템 현장 적용 및 성 능 보완	④ 안전훈련 시스 템 완성도	수요처 만족도 8 0점 이상		현장적용		
		A-18 햅틱기반 플랜트 안전훈련 플랫폼 매뉴얼 개발	⑤ 플랜트 종류별 훈련 시스템 구 축 매뉴얼	3가지 이상의 플 랜트 대상		전문가평가		
	B 예측 가능 사고 다중 협업 안전 훈련 시나 리오 생성 시스템	B-1 평가 및 사고이력 기반 플랜트 안 전훈련 예측	① 생성된 시나리 오의 적합성 및 신뢰성 검증	우수	우수	전문가 검증		
		B-2 시나리오 생성 및 평가 모듈의 안 전훈련 시스템 적 용 및 검증	② 생성, 평가 모듈 의 상용 시스템 대비 작동도	80%	82%	안전훈련 시스템 및 상용 시스템 의 시나리오 생 성 평가 작동 수 준 측정		
		B-3 햅틱기반 안전훈 련시스템 통합 훈련 시나리오 생 성 및 평가 성능 시험 및 개선	③ 햅틱훈련시스템 탑재 및 평가 통한 상용 OTS 대비 시나리오 생성 및 평가 모 듈의 성능 시험	80%	80%	전문가평가		
		B-4 다중협업 훈련 시 나리오 생성 모 듈, 훈련 평가용 D B 및 관련 지식 베이스 개선	④ 다중협업 훈련 이펙터, 실행 프로토타입	100%	다중협업 생성 모듈 및 평가용 DB 지식 베이스 개선	전문가평가		
		B-5 Eye tracking HW, SW 활용한 Biose nsor 기반의 훈련 평가시스템 모듈	⑤ 훈련자 능숙도 측정 모듈의 현 장 적용 및 개선	100%	다중협업 생성 모듈 및 평가용 DB 지식 베이스 개선	훈련자 능숙도를 측정하기 위한 정성분석, 기기 를 통한 정량 분		

			의 현장 적용 및 개선				석		
B	플랜트별 안전사고 대응 체계 점검 매뉴얼 및 체크리스트	C-1	이벤트를 중심으로 하는 정성적 정량적 위험성 평가	① 위험성평가 실시	1건	1건	전문평가		
		C-2	정압설비의 위험 대응 점검 매뉴얼	② 정압시설 플랜트 점검 매뉴얼 개발	1건	1건	점검 매뉴얼 검토		
		C-3	정압설비 정량적 점검 체크리스트	③ 정압시설 플랜트 점검 체크리스트 개발	1건	1건	점검 체크리스트 검토		
B	석유화학 플랜트 단위시설 위험성평가	C-4	현장조사분석을 통한 위험성 평가 실시	① 위험성평가 2건	2건	2건	사고현황 조사분석 및 전문가 검토		
		C-5	석유화학플랜트 단위시설 점검 매뉴얼 개발	② 석유화학플랜트 운전 및 사고대응 매뉴얼 1건	상황별 사고 대응 조치 마련	운전 및 유관기관 사고 업무체계 구성, 상황별 사고 대응 조치 마련	조업자나 전문가 검증		
		C-6	석유화학플랜트 단위시설 점검 체크리스트 개발	③ 석유화학플랜트 운전 및 사고대응 점검 체크리스트	1건	-	조업자나 전문가 검증		
	청각 및 생체정보를 활용한 플랜트 환경 인지 알고리즘 개발	D-1	주위 환경인지용 퍼지로직 설계	① 퍼지 인지 일치율	90%	99%	자체테스트		
		D-2	플랜트 환경 인지 학습모델에 의한 상황 예측 모델 개발	② 상황예측 모델 개발	90%	90%	실제 환경 상황에 비교 평가		
		D-3	플랜트 환경인지 학습모델에 의한 상황 예측 모델 개발	③ 상황예측 오차 수준	±15% 이내	±15% 이내	자체 테스트		
		D-4	통합훈련 시스템 연동테스트	④ 통합훈련 시스템 연동 작동 여부	성공	-	자체 테스트		
계									

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		1차년도 성과점검기준(2세부)				해당 기관	예산 (백만원)	
					질적성과지표	목표치	달성치	측정방법			
2세부	A	사고 시물 레이션 방 법론 분석	A-1	사고 시물레이션 관련 기술현황 파 악	①	-	-	-	사고 시물레이 션 방법론 조 사 (보고서)	서울대학교	40
			A-2	정압설비 및 석유 화학플랜트 모사 용 사고 시물레이 션 검토 및 선정	②	-	-	-	사고 모사용 소프트웨어 조 사 (보고서)		
	B	정압설비 관련 데이 터 확보	B-1	정압설비 공정 모 사 기반 자료 파 악	①	-	-	-	공정 시물레이 션 방법론 조 사 (보고서)	아이시스텍	40
			B-2	도시가스 정압설 비 공정 설계 데 이터 및 운전 데 이터 확보	②	-	-	-	도시가스 정압 시설 운전정보 분석 (보고서)		
	C	공정/사고 시물레이 션 모듈 관 련 기반 연 구	C-1	공정시물레이션 상용소프트웨어 분석	①	-	-	-	공정 모사용 소프트웨어 조 사 (보고서)	(주)열린기술	55
			C-2	사고시물레이션 상용소프트웨어 분석	②	-	-	-	사고 모사용 소프트웨어 조 사 (보고서)		
계										135	

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		2차년도 성과점검기준(2세부)				해당 기관	예산 (백만)
					질적성과지표	목표치	달성치	측정방법		
2세부	A	정압소 내 사고 시물레이션 기본 모델	A-3 도시가스 정압설비에서 발생 가능한 사고 유형 분석	①	사나리오개수	1개	1개	운전 및 사고이력데이터를 통한 시나리오 수 및 적절성 평가 (현장 운전원 검증 및 평가)	서울대학교	66
			A-4 정압소 내 기본 시물레이션 결과 도출 및 훈련 가이드라인 제시	②	시물레이션 모델 개수	1개	1개	시물레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가 (보고서)		
			A-5 정압소 내 사고 시물레이션 기본 모델 개발	③	훈련가이드라인 개수	1개	1개	훈련효과 측면에서의 기존 정압소 운전매뉴얼 비교 (시물레이션 결과 반영도 평가)		
	B	정압소 정상상태 공정 시물레이션 모델	B-3 정압소 정상상태 공정 모델링 및 시물레이션	①	시물레이션 모델 개수	1개	1개	시물레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가 (보고서)	아이시스텍	110
			B-4 정압소 내 공정 시물레이션 결과 도출 및 훈련 가이드라인 제시	②	훈련가이드라인 개수	1개	1개	훈련효과 측면에서의 기존 정압소 운전매뉴얼 비교 (시물레이션 결과 반영도 평가)		
			B-5 공정 시물레이션 결과를 반영한 훈련 가이드라인 추가 제시	③	훈련가이드라인 개수	1개	1개	훈련효과 측면에서의 기존 정압소 운전매뉴얼 비교 (시물레이션 결과 반영도 평가)		
	C	공정/사고 시물레이션 연동 알고리즘	C-3 공정/사고 시물레이션 연동 알고리즘 개발	①	알고리즘 코드	1개	1개	공정/사고 시물레이션 연계 알고리즘 구현 (보고서)	(주)열린기술	92
			C-4 사고 시나리오 적용 가능 범위 및 알고리즘 성능 평가	②	연계지연 속도	3초	3초	연계지연 시간 및 연계 정확도 측정 (동영상 시연)		
	계									268

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		3차년도 성과점검기준(2세부)				해당 기관	예산 (백만)
					질적성과지표	목표치	달성치	측정방법		
2세부	A	정압소 내 시나 리오별 사고 시 물레이 션 모델	A-6	시나리오 개수	① 시나리오 개수	9개	9개	운전 및 사고 이력데이터를 통한 시나리오 수 및 적절성 평가 (현장 운전원 검증 및 평가)	서울대학교	34.5
			A-7	시물레이션 모델 개수	② 시물레이션 모델 개수	9개	9개	시물레이션 모 델의 시나리오 구현성 측정 및 평가 (보고서)		
			A-8	훈련 가이드라인 개수	③ 훈련 가이드 라인 개수	9개	9개	훈련효과 측면 에서의 기존 정압소 운전매 뉴얼 비교 (시물레이션 결과 반영도 평가)		
	B	정압소 시 나리오별 사고 상황 공정 시물 레이션 모 델	B-6	정압소 공정 운전 정보 분석	① 확보율	100%	100%	운전데이터 적 절성 평가 (현장 운전원 검증 및 평가)	아이시스텍	110
			B-7	정압소 내 각 사 고 시나리오별 동 적 공정 모델 개 발 및 결과 도출	② 시물레이션 모델 개수	9개	9개	시물레이션 모 델의 시나리오 구현성 측정 및 평가 (보고서)		
			B-8	정상상태 공정 시 물레이션 결과 검 증 및 분석	③ 정확도	99%	99%	선진 CFD와의 비교 검증 (보고서)		
	C	도시가스 정압설비 인터랙티 브 시물레 이션 프로 토타입	C-5	정압소 인터랙티브 시물레이션 프로토타입 개발	① 프로토타입 개수	1개	1개	기존 훈련 프 로그램 비교 (보고서)	(주)열린기술	90
			C-6	시나리오 별 공정/사고 시물레이션 연계속도 및 성능 평가	② 연계지연 속 도	3초	3초	연계지연 시간 및 연계 정확 도 측정 (동영상 시연)		
계										234

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)	4차년도 성과점검기준(2세부)				해당 기관	예산 (백만)
				질적성과지표	목표치	달성치	측정방법		
2세부	A	석유화학플랜트 내 사고 시뮬레이션 기본 모델	A-9 석유화학플랜트 내 발생 가능한 사고 유형 분석(사고시나리오 생성)	① 시나리오 개수	6개	6개	석유화학플랜트 사고 이력 데이터 확보 및 분석 (현장 운전원 검증 및 평가)	서울대학교	155
			A-10 석유화학플랜트 내 사고 시뮬레이션 기본 모델 개발	② 시뮬레이션 모델 개수	3개	3개	시뮬레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가 (보고서)		
			A-11 석유화학플랜트 내 기본 시뮬레이션 결과 도출 및 훈련 가이드라인 제시	③ 훈련 가이드라인 개수	3개	3개	훈련효과 측면에서의 기존 석유화학플랜트 운전메뉴얼 비교 (시뮬레이션 결과 반영도 평가)		
	C	석유화학플랜트 내 공정 시뮬레이션 기본 모델	A-12 석유화학플랜트 공정 운전정보 분석	① 확보율	100%	100%	석유화학플랜트 공정 운전 데이터 확보 및 분석 (시뮬레이션 결과 반영도 평가)	서울대학교, (주)열린기술	127
			C-7 석유화학플랜트 정상상태 및 동적 공정 모델 개발 및 결과 도출	② 시뮬레이션 모델 개수	1개	1개	시뮬레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가 (보고서)		
			C-8 공정 시뮬레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 제시	③ 훈련 가이드라인 개수	1개	1개	훈련효과 측면에서의 기존 석유화학플랜트 운전메뉴얼 비교 (시뮬레이션 결과 반영도 평가)		
		석유화학플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 모듈	C-9 석유화학플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 프로토타입 개발	① 프로토타입 개수	1개	1개	석유화학플랜트 공정/사고 시뮬레이션 연계 알고리즘 구현 (보고서)	(주)열린기술	196
			C-10 석유화학플랜트 공정/사고 시뮬레이션 연계속도 및 성능 평가		연계지연 속도	3초	3초		
	계								

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		5차년도 성과점검기준(2세부)				해당 기관	예산 (백만)	
					질적성과지표		목표치	달성치			측정방법
2세부	A	통합플랜트 내 시나리오별 사고 시뮬레이션 모델	A-13	석유화학플랜트 내 발생 가능한 사고 시나리오 추가 개발	①	시나리오 개수	4개	7개	시뮬레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가 (전문가 검증)	서울대학교	276
			A-14	사고 시나리오별 시뮬레이션 모델개발 및 결과도출	②	시뮬레이션 모델 개수	6개	7개	시뮬레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가 (보고서)		
			A-15	사고 시뮬레이션 결과를 반영한 훈련 가이드라인 추가제시	③	훈련 가이드라인 개수	6개	7개	훈련효과 측면에서의 기존 석유화학플랜트 운전메뉴얼과의 비교 (보고서)		
		A-16	석유화학플랜트 공정 운전정보 분석	④	확보율	100%	100%	석유화학플랜트 운전 데이터 확보 및 분석 (전문가 검증)			
	C	통합플랜트 시나리오별 사고 상황 공정 시뮬레이션 모델	C-11	석유화학플랜트 내 사고 시나리오별 동적 공정 모델링	①	시뮬레이션 모델 개수	7개	7개	시뮬레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가 (보고서)	(주)열린기술	430.77
			C-12	공정 시뮬레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 제시	②	훈련 가이드라인 개수	7개	7개	훈련효과 측면에서의 기존 석유화학플랜트 운전메뉴얼과의 비교 (보고서)		
		통합플랜트 안전훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템	C-13	통합화학플랜트 안전훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템 개발	③	프로그램 개수	1개	1개	통합플랜트 공정/사고 시뮬레이션 연계 알고리즘 구현 (보고서)		
			C-14	통합플랜트 공정/사고 시뮬레이션 연계속도 및 성능 평가	④	연계지연 속도	3초	3초	연계지연 시간 및 연계 정확도 측정 (동영상 시연)		
	계										706.77

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)	6차년도 성과점검기준(2세부)					해당 기관	예산 (백만)	
				질적성과지표		목표치	달성치	측정방법			
2세부	A	통합플랜트 내 시나리오별 사고 시뮬레이션 모델	A-17	석유화학플랜트 내 발생 가능한 사고 시나리오 추가 개발	①	시나리오 개수	1개	1개	시뮬레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가	서울대학교	39.5
			A-18	사고 시나리오별 시뮬레이션 모델개발 및 결과도출	②	시뮬레이션 모델 개수	1개	1개	시뮬레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가		
			A-19	사고 시뮬레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 추가제시	③	훈련가이드라인 개수	1개	1개	훈련효과 측면에서의 기존 석유화학플랜트 운전메뉴얼과의 비교		
		A-20	석유화학플랜트 공정 운전정보 분석	④	확보율	100%	100%	석유화학플랜트 운전 데이터 확보 및 분석			
	C	상황 공정 시뮬레이션 모델	C-15	석유화학플랜트 내 사고 시나리오별 동적 공정 모델링	①	시뮬레이션 모델 개수	1개	1개	시뮬레이션 모델의 시나리오 구현성 측정 및 평가	(주)열린기술	53
		통합플랜트 안전훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템	C-16	공정 시뮬레이션 결과를 반영한 훈련가이드라인 제시	②	훈련가이드라인 개수	1개	1개	훈련효과 측면에서의 기존 석유화학플랜트 운전메뉴얼과의 비교		
		C-17	석유화학플랜트 안전훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템 개발	③	프로그램 개수	1개	1개	석유화학플랜트 공정/사고 시뮬레이션 연계 알고리즘 구현			
계										91.5	

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		1차년도 성과점검기준(3세부)				해당 기관	예산 (백만)	
					질적성과지표	목표치	달성치	측정방법			
3세부	A	플랜트 공정 및 사고 모사 결과 실시간 가시화 모듈	A-1	가시화 모듈 요구도 분석	①	요구명세서 작성	작성 완료	작성 완료	전문가 검증	(주)톨레미 시스템	87.5
					②	설계명세서(초안) 작성	초안 완료	초안 완료	전문가 검증		
	B	햅틱 제시 시스템 시제품	B-1	햅틱제시 모듈 개념 설계	①	햅틱제시 모듈 및 다감각 햅틱장치의 요구사항 보고서	우수	100%	자문	GIST	53
					②	햅틱제시 모듈의 개념 설계도	우수	100%	자문		
					③	다감각 햅틱장치의 개념 설계도	우수	100%	자문		
	C	체감 네비게이션 시스템	C-1	네비게이션 시스템 설계	①	기술동향분석서	100%	100%	문서검토	신우이앤디	86.5
					②	개념 설계서	100%	100%	문서검토		
	계										

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		2차년도 성과점검기준(3세부)				해당 기관	예산 (백만)	
					질적성과지표	목표치	달성치	측정방법			
3세부	A	플랜트 공정 및 사고 모사 결과 실시간 가시화 모듈	A-2	가시화 모듈 프로토타입 개발	①	가시화모듈 통합용 플랜트 모델 프로토타입	프로토타입 개발 완료	프로토타입 개발 완료	전문가 검증	(주)톨레미 시스템	185
					②	가시화모듈 통합용 통제모듈 프로토타입	프로토타입 개발 완료	프로토타입 개발 완료	전문가 검증		
					③	설계명세서 작성	작성 완료	작성 완료	전문가 검증		
	B	햅틱 제시 시스템	B-2	햅틱제시 모듈 상세 설계 및 햅틱 모듈 HW 제작	①	햅틱제시 모듈 및 다감각 햅틱 장치의 상세 설계	우수	100%	자문	GIST	108
					②	햅틱제시 모듈 HW 제작	달성	100%	측정		
					③	다감각 햅틱 장치의 HW 제작	달성	100%	측정		
	C	체감 네비게이션 시스템	C-1	네비게이션 시스템 설계	③	상세설계서	100%	100%	문서검토	신우이앤디	166
					②	네비게이션 시스템 하드웨어 제작	100%	100%	부분 구성품 제작		
	계										

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		3차년도 성과점검기준(3세부)				해당 기관	예산 (백만)	
					질적성과지표	목표치	달성치	측정방법			
3세부	A	플랜트 공 정 및 사고 모사 결과 실시간 가 시화 모듈	A-3 가시화 모듈 컴포 넌트 구현	①	가시화모듈 컴포 넌트 구현	3개 이상	6개	전문가 검증	(주)톨레미 시스템	162	
				②	가시화 모듈 1차 통합	1차 통합 완료	1차 통합 완료	전문가 검증			
				③	1차 통합 시험 결 과 보고서 작성	작성 완료	작성 완료	전문가 검증			
	B	햅틱 제시 시스템	B-2 햅틱제시 모듈(밸 브, 버튼) 제작, 햅 틱제시 모듈 및 다감각 햅틱장치 제어	①	밸브/레버 제작	3개 이상 밸브, 3개 종류의 버튼	100%	밸브/버튼의 제작 보고서 (요구사항 만족 여부 검증)	GIST	94.5	
				②	밸브/레버의 최대 토크값 최대토크값 도달 시간	15Nm 50msec	100%	토크/시간 측정 보고서			
				③	냉온감/진동감의 압력에 대한 역치 값 도달 시간	50msec	100%	시간 측정 보고서			
	C	체감 네비 게이션 시 스템	C-2	네비게이션 시스 템 하드웨어 제작	②	조립품 제작	100%	100%	장치식별	신우이엔 디	145.8
			C-3	네비게이션 시스 템 하위 제어기 개발	①	지면 구동 속 도 (시 속 3km/h 이상)	100%	100%	센서측정		
					②	조립품 구동 시험	100%	100%	문서검토		
계										402.3	

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		4차년도 성과점검기준(3세부)				해당 기관	예산 (백만)
					질적성과지표	목표치	달성치	측정방법		
3세부	A	플랜트 공 정 및 사고 모사 결과 실시간 가 시화 모듈	A-4	햅틱장치, 보행장 치 연동	① 연동 인터페이스 구현	구현완료	구현완료	전문가 검증	(주)톨레미 시스템	338.5
					② 가상화 모듈 2차 통합	통합완료	통합완료	전문가 검증		
					③ 2차 통합시험 결 과보고서 작성	작성완료	작성완료	전문가 검증		
	B	햅틱 제시 시스템	B-2	햅틱제시 통합 시 스템 및 가상환경 객체 연동	① 햅틱제시 통합시 스템 제작	도구 교체시간 60초 달성	100%	도구 교체 시간 측정	GIST	175
					② 가상환경 객체 연 동	가상화 실제 객체 사이의 공간적 오차10mm 달성	100%	공간적 오차 측정		
					③ 햅틱 자작 도구 설 계 및 개발	햅틱 콘텐츠 2건 제작 달성	100%	제작된 햅틱 컨텐츠의 개수 셈		
	C	체감 네비 게이션 시 스템	C-2	네비게이션 시스 템 하드웨어 제작	③ 안전 지지 장 치 제작	100%	100%	장치식별	신우이앤 디	276.5
			C-4	네비게이션 시스 템 상위 제어기 개발	① 자율 보행 속 도 (시속 3km/h 이상)	100%	100%	사용자시험		
			C-5	시각화 연동 모듈 개발	① 보행동작과 시각 동기화	100%	100%	사용자시험		
계										790

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		5차년도 성과점검기준(3세부)				해당 기관	예산 (백만)	
					질적성과지표	목표치	달성치	측정방법			
3세부	A	플랜트 공정 및 사고 모사 결과 실시간 가 시화 모듈	A-5	안전훈련 플랫폼 통합 지원	①	가시화도출 성능 보완	30초이상	60초이상	전문가 검증	(주)톨레미 시스템	471.7
					②	통합 인터페이스 통제문서 작성	작성완료	작성완료	전문가 검증		
					③	안전훈련 플랫폼 통합지원 매뉴얼 작성	작성완료	작성완료	전문가 검증		
	B	햅틱 제시 시스템	B-2	모바일 햅틱 제시 통합 시스템 시제 품 제작 및 사용 자 평가	①	마중형 햅틱제시 통합시스템 시제 품 제작	시제품 숫자의 총합1건	100%	시제품 숫자의 총합 및 외부전문가의 신뢰성/안정 성 평가서 검토	GIST	273.8
					②	사용자 생체신호 기반 몰입감 평가	햅틱 유무에 따른 몰입감 유용성 등 평가서1건	100%	햅틱 유무에 따른 몰입감 평가서 검토		
	C	체감 네비 게이션 시 스템	C-6	인터페이스 통제 매뉴얼 개발	①	매뉴얼 제작	100%	0%	문서검토	신우이앤 디	428
			C-7	네비게이션 시스 템 사용자 시험	①	신체 몰입감 (1~5수준:3이 상)	100%	75%	사용자시험 및 설문		
계											1,173.5

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		6차년도 성과점검기준(3세부)				해당 기관	예산 (백만)	
					질적성과지표	목표치	달성치	측정방법			
3세부	A	플랜트 공정 및 사고 모사 결과 실시간 가시화 모듈	A-1	가시화 모듈 성능보완/검증 및 통합지원 매뉴얼 작성	①	30FPS 이상 동작성능 확보	100%	100%	가시화 컴포넌트 동작성능 시연검증	(주)톨레미 시스템	171.7
					②	3세부 내 연동 인터페이스 보완 및 통제문서 최신화	100%	100%	통합 인터페이스 통제문서 타당성 분석검증		
					③	연구단 통합 지원 및 기술 자료 작성	100%	100%	안전훈련 플랫폼 통합지원 매뉴얼 타당성 분석검증		
	C	체감 네비게이션 시스템	C-1	체감 내비게이션 장치 보완/안정화	①	체감 내비게이션 장치 보완 및 외부 연동시험	100%	100%	정성적 체감 안정성		
			C-2	연구단 안전훈련 플랫폼 통합	②	연구단 통합 지원	100%	100%	연동시험 실시, 보고서 작성		
	B	햅틱 제시 시스템	B-2	햅틱 제시 시스템 성능 개선	①	사용자 평가를 반영한 성능 개선	햅틱 제시 통합 시스템 성능 개선 보고서 1건	100%	성능 개선 보고서 검토	GIST	45.7
계											216.8

(2) 양적 성과 목표 및 달성도

- 1세부

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	0	1	추가 달성
	비SCI	0	1	추가 달성
	계	0	2	추가 달성
국내 논문 게재	SCI	0	1	추가 달성
	비SCI	20	15 (75%)	
	계	20	16 (80%)	
특허 출원	국내	4	7 (175%)	초과 달성
	국외	0	0	
	계	4	7 (175%)	초과 달성
특허 등록	국내	2	1 (50%)	
	국외	0	0	
	계	2	1 (50%)	
인력 양성	석사	0	7	추가 달성
	박사	0	0	
	계	0	7	추가 달성
기술 이전	계약 건수	0	1	추가 달성
	계약액	0	10,000천원	추가 달성
	징수액	0	10,000천원	추가 달성
국제 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
국내 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문			
	연구시설·장비			
	기술요약정보			
	생명자원	생명정보		
		생물자원		
		신 품종		
	소프트웨어	4	10 (250%)	초과 달성
기타	화학물			
	시제품	0	2	추가 달성
	성과 홍보	8	12 (150%)	초과 달성
	일자리 창출			

- 2세부

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	7	11 (157%)	초과달성
	비SCI	5	0	
	계	12	11 (157%)	
국내 논문 게재	SCI			
	비SCI			
	계			
특허 출원	국내	7	7 (100%)	
	국외			
	계	7	7 (100%)	
특허 등록	국내	7	0	
	국외			
	계	7	0	
인력 양성	석사			
	박사			
	계			
기술 이전	계약 건수			
	계약액			
	징수액			
국제 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
국내 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문			
	연구시설·장비			
	기술요약정보			
	생명자원	생명정보		
		생물자원		
		신품종		
	소프트웨어	3	3 (100%)	
기타	화학물			
	시제품			
	성과 홍보			
	일자리 창출			

- 3세부

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI			
	비SCI			
	계			
국내 논문 게재	SCI			
	비SCI	2	2 (100%)	
	계	2	2 (100%)	
특허 출원	국내	2	2 (100%)	
	국외			
	계	2	2 (100%)	
특허 등록	국내			
	국외			
	계			
학술회의 발표 논문	국내	0	7 (100%)	
	국외			
	계	0	7 (100%)	
인력 양성	석사	0	5	추가 달성
	박사	0	3	추가 달성
	계	0	8	추가 달성
기술 이전	계약 건수			
	계약액			
	징수액			
국제 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
국내 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문			
	연구시설·장비			
	기술요약정보			
	생명자원	생명정보		
		생물자원		
		신품종		
	소프트웨어	3	3 (100%)	
기타	화학물			
	시제품			
	성과 홍보 일자리 창출			

다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

(1) 목표 미달성 원인(사유)

- 양적 성과는 일부 논문 투고 후 심사 지연의 사유와 특허 등록 1건이 미달인 것은 이전 출원했던 특허가 등록되면 모두 달성 될 것으로 예상됨.
- 국외 논문 게재
비SCI 논문의 경우 SCI 논문으로 대체 가능할 것으로 예상, 가능한 SCI 논문으로 게재할 계획으로 목표를 작성하였고, 이에 맞추어 SCI 논문으로 목표 달성을 진행함. 이에 따라 SCI는 초과 달성하였고, 전체 12건 중 11건을 기 달성하였음.
- 국외 논문 게재 미달 1건의 경우 현재 게재 예정인 논문으로 달성 가능할 것으로 예상함.
- 특허 등록(7건) 미달
특허의 경우 현재 출원은 7건을 완료하였으나, 과제 기간내에 전체 등록 완료는 어려울 것으로 예상. 전문가와 출원 7건 중 등록으로 계속 진행될 수 있는 건에 대해 지속적으로 협의 진행 중으로 과제 평가 종료후에도 등록된 특허는 관리기관의 전산시스템에 등록할 예정임.
- 정량적 실적 목표의 경우 초기 논문 목표를 학술회의 발표 논문을 포함하여 계획하였으나 연구 수행 중 학술회의 발표 논문은 포함되지 않는 것으로 확인되었음
- 그럼에도 불구하고 정량적 실적 목표 달성을 위해 노력하였으나 다소 부족한 부분이 남았고, 현재까지도 실적 달성도를 높이기 위한 연구 진행 중

(2) 후속 연구의 필요성 등 차후 대책

- 본 연구개발 내용을 최초로 제안했을 시점에 비해서 지금의 가상환경 적용 분야는 많이 늘어났으며 그 기술도 많은 발전을 이루었지만 산업 현장에서 유용하게 사용할 수 있는데까지는 많은 시일이 걸릴 것으로 판단 됨
- 본 연구과제 성과물을 통해서 실 산업 현장에서 다방면으로 적용하여 오류를 줄이고 편의성을 늘려가는 노력을 하여 산업 현장에서 쉽게 사용하는 플랫폼으로 발전을 기대
- 가상환경에서 가상 모델은 대상에 따라서 다양한 모델이 존재하게 되며 실제와 비슷한 느낌을 가지게 하려면 많은 비용과 시간이 드는 것을 보다 획기적으로 줄일 수 있는 연구가 진행되어야 가상현실 응용 시장이 활발해 질 것이며 관련 산업 발전에도 기여할 것으로 사료 됨

- 컴퓨팅 파워 및 시뮬레이션 기술의 발전으로 기존의 공정 분석 및 해석을 위해 사용하던 시뮬레이션의 다양한 응용으로의 발전이 제안되고 있으며, 플랜트 안전훈련 분야로도 확산되고 있음.
- 공정 시뮬레이션의 경우 실용화 단계에 접어들었으나, 사고 시뮬레이션의 경우 산업계의 활발한 적용이 이루어지기 이전으로 이 두 매체의 연계형 플랫폼은 산업 현장에서 다양한 문제들에 대한 하나의 솔루션으로 역할을 할 수 있을 것으로 예상함.
- 제작된 프로토타입의 현장 전시와 운영 피드백을 통해 단점을 보완하고, 실제 니즈(needs)를 반영한 수정 보완을 통해 실용성 검비를 위한 후속 조치가 추진되어야 할 것임.
- 현재 완료한 성과물의 경우 연동 시스템 구성에 있어 물리적인 한계를 극복하고자 Database를 기반으로한 방법론을 제안. DB-based 방법론의 한계점 개선을 위해 기계학습을 통한 예측 모델 개발 등 후속 연구를 통해 보편적인 적용이 가능하고, 상용프로그램의 의존도를 낮춘 Stand-alone 프로그램으로 동작할 수 있는 시스템 개발을 위한 후속 연구가 지속적으로 추진되어야 함.
- 가상현실 응용의 폭발적 성장으로 기존 군사용에 머물던 가상현실 기반 훈련시스템 구축이 산업계 플랜트 안전훈련 분야로 확산되고 있음
- 시각체험 가상현실 기술은 이미 실용단계에 진입하였으며 본 연구 성과(가시화 컴포넌트의 방법) 활용으로 기존 대비 높은 비용 대 효과가 실현되는 훈련시스템 구축이 가능함. 이에 관련 기술의 지속적인 홍보와 시범적용 제안을 지속 실시하여 사업화를 추진하고 있음
- 제작된 시제품의 전시 및 홍보를 통하여 햅틱 제시 장치 기술의 우수성을 알리고 가상훈련 시스템의 저변 확장을 유도할 것임. 기존 햅틱장치에 대한 사용자 평가 결과로써 시제품을 개선함
- 초기 연구에서 각각의 협동, 공동 연구기관은 요소기술 개발에 대한 가정 후 구현, 검증을 완료하였으며 “훈련시스템” 내 통합을 위한 인터페이스의 설계, 구현으로 연구단의 안전훈련 플랫폼 내 연동 검증(Verification)을 완료하였음. 향후 시스템 운용 적합성에 대한 확인(Validation)을 위한 연구성과의 보완과 안정화가 지속 추진되어야 할 것임

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 추가 연구의 필요성

- 가상현실을 응용한 성공 사례는 의료, 국방, 게임 등 확산되고 있으나 산업 전반적인 분야에서 적용하기 까지는 그 산업이 가지는 다양한 특징으로 인해서 실적용이 더디게 이루어지고 있으며 각 현장의 특성에 유연하게 대처할 수 있는 가상환경 플랫폼 개발이 시급하다고 판단 됨
- 가상환경을 이용한 안전훈련 등 응용분야에서 가상 많은 비용과 시간을 들여야하는 것으로 가상환경 모델 구축의 시간과 비용을 줄일 수 있는 획기적인 방법이 수반 되어야 가상환경 플랫폼의 보급이 확산 될 것으로 판단 됨
- 본 연구개발에서 1차로 소규모 플랜트인 도시가스 정압설비 안전훈련 시스템과 같은 경우에는 정압기 자체가 내구연한이 다 할 때 까지 변함이 없어 한번 구축해 놓은 뒤 계속해서 사용할 수 있는 반면에 2차로 구축한 정유 플랜트 안전훈련과 같은 경우에는 플랜트의 rev amp와 같은 작업이 빈번히 일어나 해당 가상모델을 지속적으로 사용하는데 어려움이 있어 대형 플랜트와 같은 경우에는 플랜트의 증설 및 수정이 일어났을 경우 유연하게 그 내용을 반영 할 수 있는 기술이 필요하며 해당 요소 기술의 연구개발이 필요 할 것으로 판단 됨
- 아직까지 일반인에게 능숙하지 않은 HMD는 일반인들로 하여금 인지부조화와 같은 원인으로 거부감이 있으며 이를 해결하기 위한 직간접적인 조치가 이루어져야 할 필요가 있음
- 공정·사고 시뮬레이션 연동 프로토타입은 현재 라이선스의 제한 및 time-scale의 불일치로 인한 두 환경간의 직접적인 연동 프로그램 제작에는 한계가 존재하기 때문에 이를 개선한 연계형 시뮬레이션 플랫폼 제작을 위한 추가적인 연구 필요성이 존재함.
- 다양한 공정·사고 시나리오 제작 및 자유도가 확장된 추가 훈련 시나리오를 개발한다면 현업의 수요에도 더욱 부합되고, 훈련 프로그램의 효용성도 증가할 것으로 기대함.
- 사고 시뮬레이션 결과가 가상현실(VR) 및 공정 시뮬레이션 환경과 양방향으로 영향을 주고받는 인터랙티브 환경을 추가로 구축한다면, 훈련원으로 하여금 직접적인 피드백을 받을 수 있고 더욱 신뢰도 높은 시뮬레이션 결과를 제시할 수 있어 보다 실용적인 훈련 도구로 활용 가능할 것으로 예상함.
- 플랜트 사고 상황 가시화 컴포넌트의 경우 다양한 플랜트 환경에 적용할 수 있도록 보다 다양한 종류의 설비들을 식별하여 컴포넌트로 제작하면 보다 실용적인 개발 도구로써 활용 할 수 있을 것으로 기대됨
- 보행 내비게이션 장치는 보다 자연스러운 보행을 할 수 있도록 훈련자의 다양한 이동 패턴

- 을 학습하여 모터 제어에 적용하는 연구가 필요함
- Seamless VR을 적용하여, 보다 자연스러운 훈련 환경을 구축할 필요성이 있음

나. 타 연구에의 응용

- 스마트 플랜트, 스마트 시티와 같은 ICT 융합기술의 사이트 적용 기술에서 가상의 상황을 체험할 수 있는 응용에 적용이 가능하며, 이를 위한 사전 기획에서 해당 성과를 통해서 향후 적용 방법을 검토할 수 있음
- 기존의 가상환경을 이용한 의료, 국방 등 관련 연구개발에서 본 과제에서 개발한 햅틱벨브, 트레드밀 통합 기술을 이용해서 보다 폭 넓은 응용 분야를 연구 할 수 있을 것으로 기대
- 지진과 같은 재난 안전에서 해당 기술을 이용하기 위해 도시 전체를 모델링 하거나 일정 지역에 대한 가상 모델을 구축할 때 가상모델 구축에 대한 연구의 기반 기술로서 활용 가능
- 가상 실 및 증강현실에 사용되는 대부분의 인터페이스 및 컨트롤러는 국외 시장이 점유하고 있으며 그에 종속적일 수 밖에 없는 현실로 국내 기술 개발을 통해서 가상 현실 및 증강현실에서의 활용 도구를 개발하기 위한 요소기술을 개발할 때 본 연구 성과 및 결과를 활용 할 수 있을 것으로 판단 됨
- 가상현실 기반의 콘텐츠를 활용하는 연구의 경우 가시화 컴포넌트를 활용하여 보다 쉽고 빠르게 콘텐츠를 제작하여 연구 성과를 도출하는데 걸리는 시간을 단축시킬 수 있음
- 보행 이동장치를 활용하면 좁은 공간에서 훈련을 원하는 군부대 등과 같은 곳에서 훈련을 목적으로 사용할 수 있음
- 햅틱 제시 기법 중에서 상대적으로 활용도가 낮은 마중형 햅틱 제시 기법의 활성화
- Serious Game과 같은 기법에 적용하여, 고령층의 디지털 사회화 및 재교육에도 사용 가능함
- 사고가 빈번하게 발생하며, 훈련원의 체계적인 사고 대처 훈련이 필요로 되는 대상 공정에 대해서 맞춤형 시나리오 구성이 가능하기 때문에 수요에 맞는 훈련 프로그램 제공이 가능함.
- 공정·사고 인터랙티브 시뮬레이션 기법의 활성화를 통한 시뮬레이션 분야의 외연 확장 가능.
- 플랜트 분야 뿐만 아니라 공정의 변화에 따라 유연한 대처가 필요한 분야에 대해서는 엄격한 모델링을 통해 신뢰도 높은 훈련 환경을 제공 가능함.

다. 기업화 추진 방안

(1) 사업화 모형 수립(BM) 배경

전 세계적으로 가상환경 산업에 대한 폭발적인 관심으로 인해 관련 산업에 대한 투자가 이루어지고 있다. 하지만 가상환경 산업의 청사진에 비해서 현실은 실생활에 적용하는데 많은 어려움이 있다. 가장 큰 이유로는 가상환경 콘텐츠의 부재로 가상환경을 이용해서 사람에게 이로운 응용 산업을 찾기 못하는게 가장 크다. 가상 환경을 이용해서 산업화에 가장 크게 기여한 것이 게임 산업인데 이 외에도 군사, 의료 부분에서도 활용되는 사례는 보고되고 있으나 그 범위가 매우 협소하다. 따라서 가상환경에 적합한 콘텐츠를 개발하는 것이 가상환경 산업의 첫 걸음이라 할 수 있을 것이다.

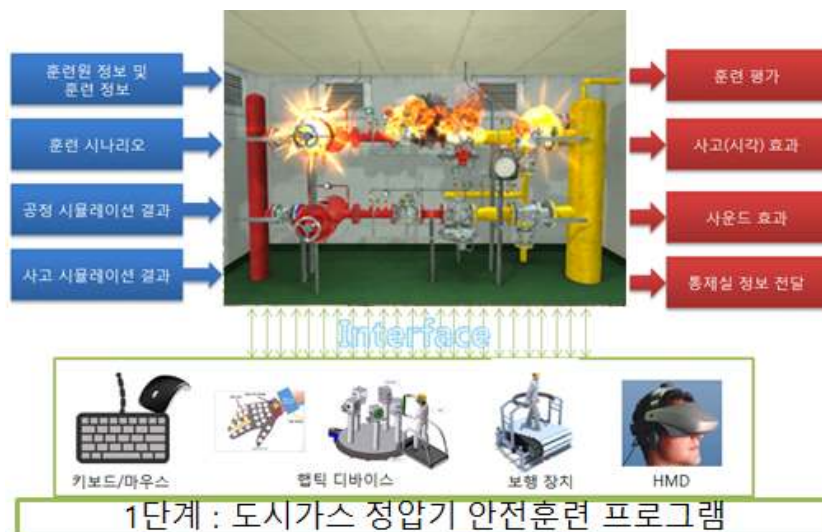
본 과제를 통해서 이루고자 하는 사업화 모형은 가상환경을 이용하여 실제로 접하기 어려운 위험상황에 대한 사고를 직접적으로 체험하게 함으로써 현장에서의 부주의에 대한 효과를 느끼게 하고 안전훈련에 대한 효과를 증대시키기 위한 가상환경 안전훈련 플랫폼을 개발하여 기존의 안전훈련 방법을 대체할 수 있는 방법을 개발하는 것이며, 이를 산업 전반에 배포하는 것이다.

(2) 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(가) 사업화 모형의 목표

본 과제 성과를 이용한 사업화 모형의 목표는 시장 선점이다. 이를 위해서 단순 시스템 개발이 아닌 플랫폼을 개발하여 모든 안전훈련이 필요한 산업에 교육훈련의 한가지 효과적인 방법으로 자리매김 하는 것이다.

이를 위한 전략으로 도시가스 정압기라는 접근하기 쉬운 안전훈련 콘텐츠를 대상으로 시스템을 개발하여 잠재적 수요자인 가스안전교육원을 통해 시스템을 검증 받고 이 시스템을 이용하여 안전훈련 플랫폼을 구축하는 것이다. 개발된 플랫폼을 이용해서 보다 규모가 큰 안전훈련이 필요한 플랜트를 대상으로 안전훈련 시스템을 개발하여 그 가능성을 확장시키는 것이 목표이다. 다음은 단계별 사업화 목표를 나타낸다.



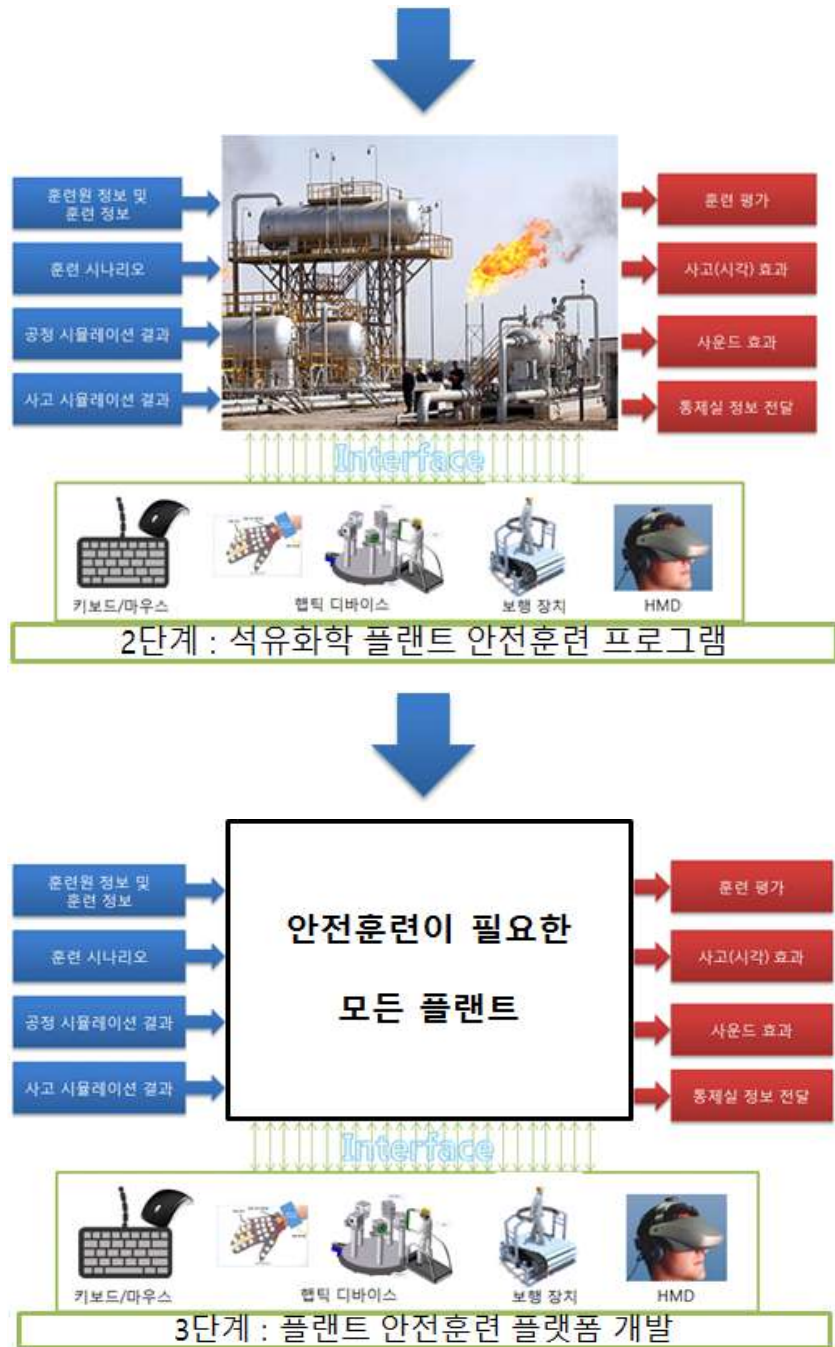


그림 4-1. 햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 사업화 전략

(나) 핵심 경쟁 요인

핵심 경쟁요인은 시장의 선점이다. 가상환경을 이용한 콘텐츠에서 누가 먼저 해당 콘텐츠를 가장 우수하게 또 가장 효과적이게 만들어 그 시장을 선점하는데 있다고 할 수 있다. 이 시장을 선점하는데 필요한 것이 플랫폼의 개발이다. 안전훈련 플랫폼을 선점하게 되면, 다른 산업 분야로 확장이 용이하기 때문에 시장 우위를 점할 수 있을 것이다.

(3) 목표 시장 구조

(가) 경쟁 기업 현황

- 독일 IFF에서는 2009년 가상 현실 기반 플랜트 설계와 관리를 수행했고 스페인 GMV에서는 2008년 가상 현실 기반 외과 수술 훈련기를 개발했으며 독일 BMW에서는 2008년 HMD를 활용한 자동차 정비 훈련을 선보였음
- 미국 VRSim사는 SMAW와 GMAW 용접법을 제공하며 용접 이음의 플라스틱 Mockup과 함께 Helmet을 통해 용접 비드 등의 용접 진행 과정을 실시간 가상으로 보여주는 Sim Welder 시뮬레이터를 개발하였음
- 호주 Coal Services Pty사의 광산 산업 가상 환경 훈련 시뮬레이터는 Domes, Curved Screen, 360도 3D 디스플레이를 이용하여 광산내 다양한 상황을 재현, 광부들의 대처능력을 향상시켰음

University of California, Berkeley에서는 화재 시뮬레이터 중 하나인 CFAST와 Berkeley Architectural Walkthrough Problem을 통합해 가상의 빌딩에서 화재 시뮬레이션을 위한 인터랙티브 시뮬레이션을 개발하였고 군사 분야에서도 이와 유사한 시뮬레이션 연구가 수행된 바 있음

일본 소방연구소와 후지타사는 사용자가 능동적으로 피난 시뮬레이션을 하는 화재 체험 시스템 'Fire Cube'를 개발, 이를 통해 가상현실 공간에서 돌발적으로 변하는 화재속에서 피난 훈련을 할 수 있게 함과 동시에 이러한 체험자의 반응에 따라 3차원 공간과 체험실의 상황을 변화시키는 것을 가능하게 하였음

- 일본 다이세이건설은 AR (Augment Reality) 기술과 가상현실을 활용하여 집합 주택 가상 체험 환경을 구축하고 맨션 가상 체험 시스템을 개발하였음



그림 4-2. 맨션 가상 체험 시스템 (다이세이건설), Fire Cube (후지타)

- 가상 현실 기반 훈련은 작업 환경이 위험하거나 기술 교육 여건이 용이하지 않은 상황에서 효율적으로 기술을 습득할 수 있는 방법으로서 주로 적용되는 상황은 숙련된 작업자가 아닌 초보자가 투입되기에는 위험한 작업 환경, 고가의 재료비로 인해 기술 습득을 위한 실습이 어려운 경우, 실제 작업시 불편하거나 특별한 장비를 착용하는 업무 등 임
- 가상현실 기반 기술 교육은 발생할 우려가 있는 안전 사고를 예방하고, 비싼 재료비를 낭비하지 않더라도 충분한 교육을 시행할 수 있고, 쾌적한 실습 교육 환경을 갖추고 다자-대-일인 교육이 가능해 초보자로 하여금 짧은 시간에 숙련된 기술을 습득할 수 있는 교육 여건을 제공하는 장점이 있음

- 운전 플랜트의 안전 훈련을 위한 가상현실 적용 연구를 살펴보면 공정 장치 작동, 유체/기체 거동 등의 플랜트 공정 모사 결과를 실시간으로 가시화 하는 것이 중요하며 이를 위해 일반적으로 공정 모사 대상 기자재를 선정 한 후 물리 객체나 유체/기체의 거동을 분류하여 패턴들을 정의한 라이브러리를 구축하여 활용하는 방식을 사용함
- 엔지니어링 시뮬레이션 분야에 있어 가장 중요한 해석기법 중의 하나인 CFD (Computational Fluid Dynamics)를 이용한 유체 현상의 실감형 렌더링 기술은 최근 그래픽스 하드웨어/소프트웨어의 성능 향상으로 인해 많은 성과가 이루어져 왔으나 유체 및 기체 거동, 화재, 폭발 등의 거동을 실시간으로 처리하는 것에는 한계가 있음
- 미국의 Invensys사에서는 가상현실 기술에 기반한 3D 몰입형 조업자 안전 훈련 솔루션인 EYESIM을 출시하였음. EYESIM은 VR 쇼룸, 현장 작업자 안전 및 유지보수 교육, HAZOP 설계 평가, 기기 특성 교육, 직원 일반 교육에 활용되며 플랜트 안전 훈련에 특화된 가상 환경을 제공함



그림 4-3. Invensys사의 EYESIM 솔루션

(나) 시장 진입 장벽

시장 진입에 가장 큰 장벽은 역시 시장의 경험이다. 플랜트 산업에서 관련 분야의 가장 선도 기업이라 할 수 있는 Invensys사의 제품 보다 본 과제에서 개발하게 될 최종 성과물이 더 좋은 성능을 지닌다고 하더라도 결국은 시장의 경험 없이 시장 진출은 어렵다. 따라서 본 과제에서 비교적 작은 플랜트라고 할 수 있는 도시가스 정압기를 대상으로 안전훈련 시스템을 구축하여 국내 수요 업체에게 공급하여 관련 경험과 지식을 쌓고 2단계인 보다 큰 규모의 플랜트를 대상으로 안전훈련 시스템을 개발하고 이를 상용화 하여 해외 시장 진출을 노려볼 수 있을 것이다.

(4) 수익 확보 전략

(가) 주요 고객군

안전훈련 교육 기관 : 국내외에 다양한 안전훈련 교육기관이 존재한다. 국내의 경우 가스 관련한 교육을 담당하는 가스안전교육원이 그 예이다. 현재 시행하는 가스 안전 교육 프로그램의 단점을 가상 훈련으로 보완 할 수 있고, 경제적인 이점까지도 제공한다면 안전훈련 교

육기관에서 본 플랫폼을 채용해서 현재의 교육 시스템을 대체 혹은 부분 대체하여 교육을 진행 할 수 있을 것이다.

플랜트 운영 업체 : 가스플랜트, 석유화학 플랜트 등 사고의 위험이 있는 플랜트를 운영하는 입장에서 본 플랫폼은 좋은 안전훈련 수단이 될 수 있다. 현재의 시스템에서는 관련 인원을 외부에 교육을 시키거나 자체 교육을 시키는데, 외부에서 교육시키는데 들어가는 시간 및 자원을 줄일 수 있으며, 자체 교육에 들어가는 막대한 비용을 해당 플랫폼으로 대체 할 수 있기 때문이다.

(나) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

시스템의 직접 납품을 통한 수익 창출 방법 : 안전훈련 시스템의 수요가 있는 곳에 직접 시스템을 납품하여 수익을 창출하는 방법이다. 수요처의 플랜트를 직접 파악하여 해당 플랜트의 사고 유형 등을 파악하여 시스템의 프로그램을 구현하고 이를 대상 플랜트에 최적의 교육 시스템으로 납품하는 방법이다.

안전훈련 플랫폼 컨설팅을 통한 수익 창출 : 시스템 구축 업체 또는 소프트웨어 업체에 안전훈련 플랫폼에 대한 컨설팅을 통한 수익 창출 방법이다. 이것은 안전훈련 시스템이 필요한 플랜트 운영 업체에서 안전훈련 시스템을 요구하게 되면, 훈련 플랫폼에 대한 컨설팅을 통해서 제 3의 업체에서 시스템을 구성하게 되는 것이다.

붙임. 참고문헌

1. Manca, D., Brambilla, S., Colombo, S., Bridging between Virtual Reality and Accident Simulation for Training of Process Industry Operators, *Advances in Engineering Software*, 2012
2. Stedmon, A. W., Stone, R. J., Reviewing Reality: Human Factors of Synthetic Training Environments, *Int. J. Human-Computer Studies*, 2001
3. Tichon, J., Burgess-Limerick, R., A Review of Virtual Reality as a Medium for Safety Related Training in Mining, *Journal of Health & Safety Research & Practice*, 2011
4. Matthijsen, A. J. C. M., Kooi, E. S., Safety Distances for Hydrogen Filling Stations, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2006
5. Rigas, F., Sklavounos, S., Major Hazards Analysis for Populations Adjacent to Chemical Storage Facilities, *Process Safety and Environment Protection*, 2004
6. Joshi, A., Miller, S. P., Whalen, M., Heimdahl, M. P. E., A Proposal for Model-Based Safety Analysis, 24th Digital Avionics Systems Conference, 2005
7. Ladokun, T., Nabhani, F., Zarei, S., Accidents in Pressure Vessels: Hazard Awareness, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2010
8. Shallcross, D. C., Lukey, G. C., Cameron, I., Crosthwaite, C., Tade, M., Maynard, N., Kavanagh, J., Immersive and Interactive Virtual Reality Learning Environments Based on Operating Plants, *ECTN Association/EC2E2N NewsLetter* 113, June, 2010
9. Bhattacharyya, D., Turton, R., Zitney, S. E., Students Learn Fundamentals of Process Operations and Control Using Dynamic Simulator of An Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Plant with CO₂ Capture, 2011 AIChE Annual Meeting, 2011
11. Gehman, D., Dynamic Processes Call for Virtual Plant Technology, *Automation World*, August 2012, 40-41
12. Nazir, S., Totaro, R., Brambilla, S., Colombo, S., Manca, D., Virtual Reality and Augmented-Virtual Reality as Tools to Train Industrial Operators, *Computer Aided Chemical Engineering*, Volume 30, 2012, Pages 1397-1401
13. Yun-feng Wu, Ying Zhang, Jun-wu Shen, and Tao Peng, The Virtual Reality Applied in Construction Machinery Industry, 5th International Conference, VAMR 2013, Part II, pp 340-349
14. Wagner, C. R., Lederman, S. J., Howe, R. D., Design and performance of a tactile shape display using RC servomotors, *HAPTICS*, 2002
15. Method and system for improved communication between human and computer, CompuTouch A/S, PCT/NO1999/000207
16. Hasser, C. J., HAPTAC: A Haptic Tactile Display for the Presentation of Two-Dimensional Virtual or Remote Environments, *DTIC Document*, 1995
17. McDougal, J., Lessard, L. B., Hayward, V., Applications of advanced materials to robotic design: The freedom-7 haptic hand controller, *Proceeding of Eleventh International Conference on Composite Materials*, 1997
18. Yamamoto, A., Hirano, V., Ichiyanagi, K., Higuchi, T., Development of a 1-dof haptic device using an electrostatic film motor for fmri studies, *ICRA*, 2006
19. Force reflecting haptic interface, Massachusetts Institute Of Technology (sensable), US 5625576 A.

20. www.immersion.com, Immersion
21. www.forcedimension.com/products, Force Dimension
22. Device for the movement and positioning of an element in space, Sogeva S. A., US4976582 A.
23. Yasuyoshi Yokokohji, Nobuhiko Muramori, Yuji Sato, and Tsuneo Yoshikawa, Designing an encountered-type haptic display for multiple fingertip contacts based on the observation of human grasping behaviors, *International Journal of Robotics Research*, 2005
24. Solazzi, M., Pellegrinetti, D., Tripicchio, P., Frisoli, A., Bergamasco, M., Dynamics modeling of an encountered haptic interface for ball catching and impact tasks simulation, *EuroHaptics*, 2012
25. Virtual hand: a new 3-D haptic interface and system for virtual environments, IBM, US 8350843
26. Haptic computer output device, Retinal Displays, US 5945978
27. 촉력각 정보 제시 시스템, National institute of advanced industrial science and technology, JP 4111278
28. Apparatus and method for providing visual-haptic information, and button having the same, Electronics and Telecommunications Research Institute, US 2011-303768
29. Lever handle type haptic input apparatus equipped with electromagnetic brake, Alps Electric Co., Ltd. US 2002-283593
30. Cha, M., A VR Locomotion Interface using Treadmill and Depth Sensor, *Proc. of ISUVR*, 2012
31. Cha, M. and et al., An Application of Haptic and Locomotion Interfaces in a Virtual Training Environment, *Proc. of ISR2013*
32. Cha, M. and et al., An Interactive Data-Driven Driving Simulator using Motion Blending, *Computers in Industry*, 59(5):520-531, 2008
33. Cha, M. and et al., A Hybrid Driving Simulator with Dynamics-Driven Motion and Data-Driven Motion, *SIMULATION*, 84(7):359-371, 2008
34. Cha, M. and et al., A Data-driven Visual Simulation of Fire Phenomena, *Proc. of ACM SIGGRAPH 2009 Posters*, 2009
35. Cha, M. and et al., Visualizing and Experiencing Harmful Gases in the VR Environment, *Proc. of ACM SIGGRAPH ASIA 2010 Posters*, 2010
36. Cha, M. and et al., A Virtual Reality based Fire Training Simulator integrated with Fire Dynamics Data, *Fire Safety Journal*, Vol.50, pp.12-24, 2012
37. Cha, M., A Design of virtual reality simulator for emergency response training, *Proc. of ACDDE* 2013

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 플랜트연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 플랜트연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.