13RD PP-C065291-01

햅틱기반 조업자 안전훈련 시스템 기술 기획연구보고서

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

Land Transport R&D Report

건설교통연구기획사업 기획연구보고서

R&D / 13RDPP-C065291-01

햅틱기반 조업자 안전훈련 시스템 기술 기획

2013. 9.

주관연구기관 / 고등기술연구원

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 (국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “햅틱기반 조업자 안전훈련 시스템 기술 기획” 과제의 최종보고서 (안)으로 제출합니다.

2013. 9.

주관연구기관명: 고등기술연구원

주관연구책임자: 박찬국 수석연구원
연 구 원: 김형진 수석연구원
연 구 원: 이승종 수석연구원
연 구 원: 이정승 수석연구원
연 구 원: 이재용 선임연구원
연 구 원: 이춘식 선임연구원

보고서 요약서

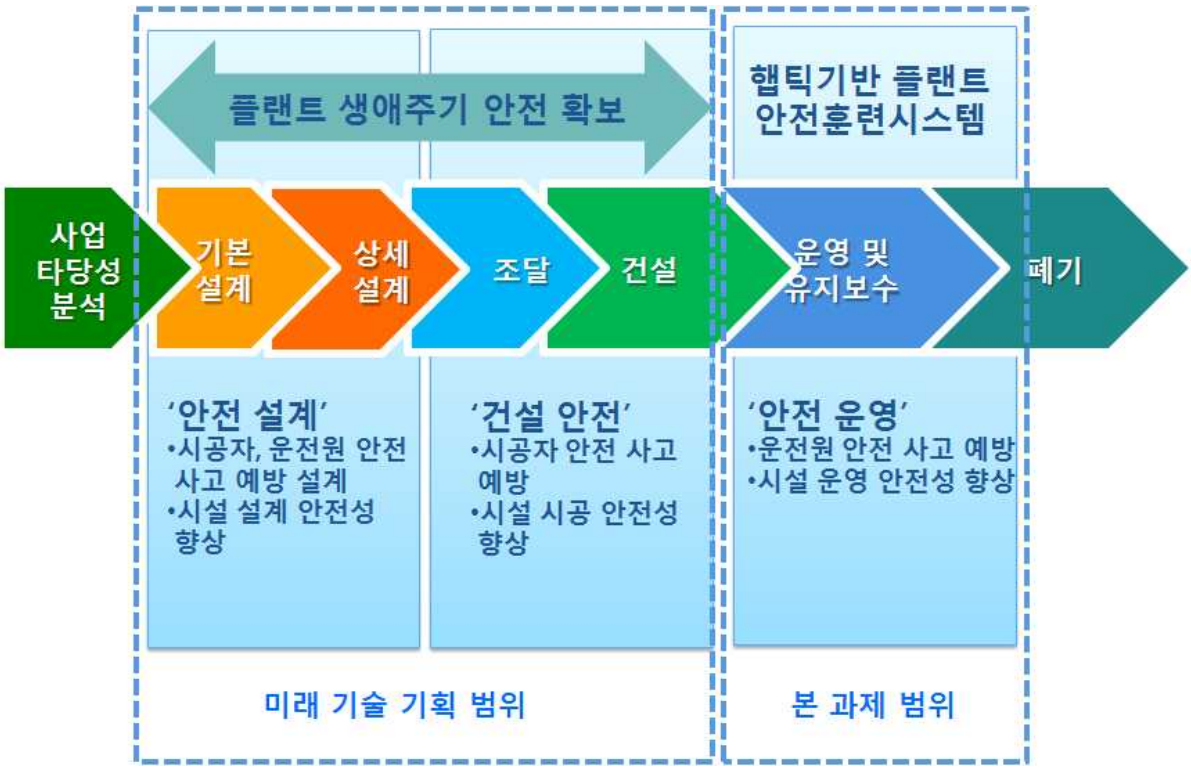
<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>13RDPP-C
065291-01</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2013.4.1.~
2013.9.30.</td><td>단 계 구 분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">건설교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">햅틱기반 조업자 안전훈련 시스템 기술 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">박찬국</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 6명
내부 : 6명
외부 : 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 :
50000천원
기업 : 천원
계 :
50000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 6명
내부 : 6명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
50000천원
기업 : 천원
계 :
50000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">고등기술연구원
플랜트엔지니어링센터</td><td>참여기업명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 : 연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>224</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">햅틱, 조업자, 안전 훈련, 시뮬레이터, 가상 현실</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">haptic, operator, safety training, simulator, virtual reality</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 기술의 정의 및 필요성

□ "햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술"의 정의

○ 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 기술임



□ 기획의 필요성

○ 현재 국내 플랜트 건설 산업은 선진국형으로 발전하기 위한 과도기적 단계에 있으며, 고부가가치 산업으로의 전환을 위해 지능형 플랜트 엔지니어링 기술 등의 소프트 측면의 건설 기술 확보의 필요성을 건설교통중장기계획 등에서 제시하고 있음

○ 2011년 일본 대지진과 최근 국내에서 연이은 고압가스 누출 사고를 계기로 석유화학 시설 안전에 대한 사회적 관심은 어느 때보다 높아지고 있음. 석유화

학·가스 플랜트 산업은 특성상 고압과 고온의 공정이 많아 어느 분야보다 사고 위험성이 높은 분야로 인식되고 있음

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술은 플랜트 산업의 주요 경쟁력의 핵심중의 하나임. 이를 위한 기술은 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술, 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 등으로, 부분적으로 요소 기술이나 선행 기술이 추진되었으나 종합적인 플랜트 안전훈련시스템으로 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

○ 선진국에 비해 뒤쳐진 국내 플랜트 건설 산업의 가치 사슬에서 기획 및 기본설계, 유지관리/운영 분야의 경쟁력이 선진 기업 대비 매우 낮은 수준으로 이 분야의 경쟁력를 확보하기 위해, ICT 기술 융복합화 및 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 개발은 플랜트 운영 현장 및 시설의 안전성을 확보하고 신시장 및 일자리 창출을 위하여 기술 개발 추진이 절실함

Ⅱ. 국내외 동향 및 환경 분석

□ 정책동향

○ [박근혜정부 140대 국정목표] 국정목표 4 “안전과 통합의 사회” 전략 중의 하나인 “재난 재해 예방 및 체계적 관리”에 포함될 수 있는 기술임

○ [2014년 정부연구개발 추진 방향] 중 “ICT 및 SW를 통한 신성장동력 창출”과 “국민안전을 보장하는 R&D 지원 강화”에 매우 높은 관련성을 가지는 중요 기술임

○ [성장동력형 도전적 R&D투자] 본 사업은 중동 건설 붐과 같은 제2의 해외건설 사업 부흥기를 유발할 수 있을 것으로 예상되므로, 2012년도 “정부연구개발 투자의 기본방향”에 포함된 “성장동력형 도전적 R&D투자”에 부합됨

○ [100대 국정과제] 정부는 100대 국정과제에 “에너지 자주 개발률 제고(전략7-과제32)”를 선정하고 에너지 안보 강화를 위한 정책적인 지원을 강화하였음

○ [과학기술기본계획] 2011년도 “과학기술기본계획”에 따르면 7대 집중육성 R&D 분야에서 “국가주도기술 핵심역량 확보”분야는 투자규모가 가장 크며, 본 연구개발 기획 내용은 이 중 플랜트연구사업과 연계성이 높음

○ [건설교통R&D 중장기 계획(2012-2017)] 기술은 플랜트 건설 사업 독자 기술 확

보를 통해 글로벌 마켓을 선도하기 위한 건설교통R&D중장기계획 (2113-2017)에 반영되어 있는 플랜트 엔지니어링 분야 필수 기술로서 선정됨

□ 시장동향

○ IBIS World's Occupational Health & Workplace Safety Services 시장 조사 보고서에 따르면 전세계 시장은 5.5조원에 이르고, 2007-2012 기간동안 연평균 2%의 성장을 기록하고 있음

○ 세계 Operator Training Simulator (OTS) 시장 규모는 2012년 현재, 4억 5천만 달러에 이르며 향후 5년동안 연간 9%씩 성장할 것으로 예측됨. 숙련된 운전원의 퇴직으로 인한 생산성 저하를 최소화하기 위해서는 비숙련 운전원의 효과적 교육이 필수적이며 새롭게 고용되고 있는 젊은 운전원의 디지털 환경에 대한 친근성은 OTS의 효과를 높이는 주 요인임. 따라서 OTS 기술은 기반 기술의 축적과 높은 수요로 말미암아 향후 지속적으로 발전할 것으로 예측할 수 있음

○ 오일 및 가스 플랜트에서 가상 현실 기반 훈련과 시뮬레이션에 투입되는 세계 시장 규모는 2013년에 약 25억 달러 정도임. 세계 시장중 아시아 태평양 지역은 북 아메리카, 유럽, 중동보다 뒤떨어져 2013년 기준 약 3억달러 정도이며, 2011년부터 2021년까지 세계 시장은 매년 평균 7.4% 성장할 것으로 예상되어 2021년에는 약 45억달러에 도달할 것이고 특히 아시아 태평양 지역은 매년 평균 9.3%의 고도 성장을 이룩해 6억달러 이상을 전망함

○ OTS 시스템 뿐만 아니라 플랜트 대상의 전반적인 공정 안전 시스템 역시 OTS 산업과 비슷한 성장세를 보이고 있으며 아시아의 오일 및 가스 부분만으로도 2016년까지 7.8억 달러에 이르는 규모로 확대될 것으로 예상되는 등, 플랜트의 안전성 확대에 대한 산업계의 요구가 높은 상황

○ Cyber Edge사에 따르면 가상현실 산업의 세계 시장은 2003년 460억 달러 규모이며, 이후 연평균 10%의 성장률을 보이는 것으로 알려져 있으며, 이를 반영하면 2007년 세계 시장은 약 623.7억 달러로 분석되며 2015년에는 약 1,337억 달러 수준에 이를 것으로 전망됨

○ 한국전자통신연구원의 전자 통신 동향 분석에 따르면 가상현실 산업의 국내 시장은 2003년 10억 달러 규모이며 이후 연평균 10%의 성장률을 보이는 것으로 알려져 있으며, 이를 반영하면 2007년 국내 시장 규모는 약 16.3억 달러 규모인 것으로 분석되며 2015년에는 약 43.3억달러 수준에 이를 것으로 전망됨

○ 세계적인 시장 조사 기관인 가트너는 2008년부터 2012년 사이의 유망 10대 기

술 중 하나로 증강 현실을 선정했으며, 시장 분석 업체인 주니퍼 리서치는 '모바일 증강 현실' 시장이 2010년 200만 달러에서 2014년 7억 3천만 달러 규모로 급성장할 것으로 전망했음. 또한 정부 차원에서 증강 현실 및 가상 현실 기술의 국산화를 위해 2010년까지 120억원을 투입하는 등 기업 및 정부 차원에서 많은 수요가 있을 것으로 예상하고 있음

□ 기술동향

○ 미국 Department of Energy 산하 National Energy Technology Laboratory에서는 IGCC 3D Virtual Immersive Training System (ITS)를 개발하여 실시간 동적 시뮬레이터와 함께 차세대 저탄소 IGCC 발전소의 운전과 제어에 대비하여 운전원을 훈련시키는 데 활용되고 있음. 투명한 증류탑 내부의 기체와 액체 흐름 애니메이션을 실시간 공정 시뮬레이션 데이터와 연계하여 보여주거나, 투명한 보일러 내부의 가열되는 액체와 발생되는 증기의 흐름을 보여주고, 배관으로부터 가스 누출을 보여줄 수 있음. ITS는 기존의 Operator Training Simulator (OTS)의 수준을 한 단계 높이는 교육 훈련 효과를 가져올 수 있음

○ 이탈리아의 Politecnico de Milano에서는 Virtual Reality 기술을 보다 적극적으로 활용하여 OTS에서 관찰할 수 없는 사고 사례를 3D 고글 등을 통해 관찰할 수 있도록 개발 중임. 또한 HDA (Hydro Dealkylation) 공정을 대상으로 UniSim으로 모사, 사고 사례에 대한 데이터를 확보하고 이를 바탕으로 3D 모델에 반영하는 연계 방안을 연구 중임

○ 세계적으로 플랜트 안전 훈련 수요가 높아지고 있으나 햅틱기반 작업자 훈련 시뮬레이터에 대한 핵심 기술을 국내 업체는 아직 가지고 있지 못하며, 현재 우리나라가 보유하고 있는 플랜트 안전 훈련 시스템 설계 기술도 낮은 수준으로 판단됨

- 국내 기업의 경우 안전 의식 부족, 투자대비 안전 훈련 효과 실증 부재, 플랜트 작업 현장에서 신개념 기술에 대한 거부감 등이 복합적으로 작용해서 안전분야 기술력이 매우 취약하기 때문에, 선진국에서 강화되는 안전 규정을 만족시키고 해외 시장 진출을 하기 위해서는 안전 훈련 시스템 기술에 대한 연구 개발이 시급함

Ⅲ. 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 기획 연구 결과 최종적으로 세 개의 세부 과제로 구성된 연구개발과제가 도출됨

□ 비전 및 목표

○ 본 과제의 비전은 "플랜트 운전원 안전 사고 예방 및 시설 안전성 향상을 위한 체감형 플랜트 안전훈련시스템 기술 확보"로 설정하였으며, 전략 목표는 독자적인 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발을 통하여 플랜트 신규 운전원 안전 훈련 비용 및 기간 20% 감소, 플랜트 신규 운전원 안전 훈련 효과 20% 증가, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 신규 시장 창출임

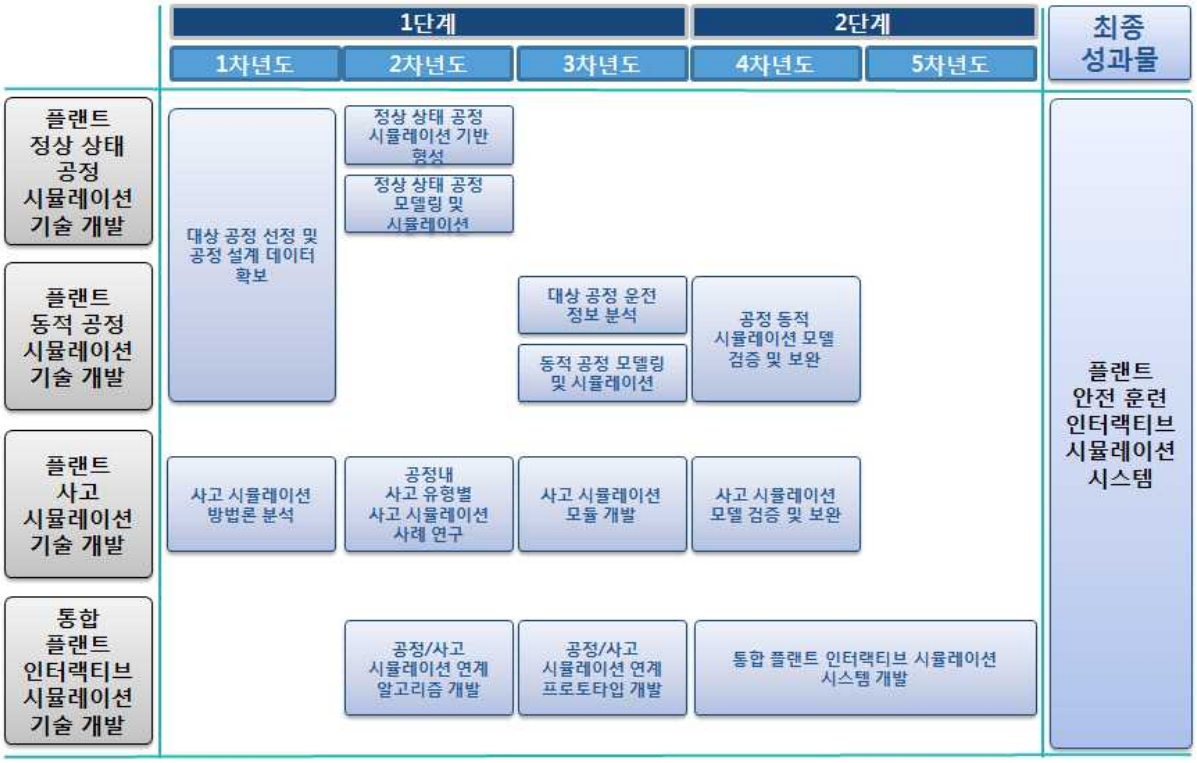
□ 연구개발과제 구성

총괄	세부과제	성과물
총괄 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 (성과물: 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시스템 및 컨텐츠)	1세부과제 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼
	2세부과제 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발	플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템
	3세부과제 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발	햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템

□ 세부과제별 TRM

○ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발

○ 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발



○ 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발

Ⅳ. 연구투입 소요예산 산정

□ 인력투입계획

연차	연구내용	인력투입 (man/month)			
		수석급	책임급	선임급	원급
1차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
2차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
3차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
4차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
5차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
계		44	88	264	120

□ 소요예산산정

(단위: 백만원)

구분			1단계			2단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
소요예산	인건비		260	1,020	760	1,020	520	3,580
	직접사업비		280	1,190	890	1,190	590	4,140
	간접사업비		110	390	300	390	200	1,390
	위탁사업비		20	80	60	80	40	280
합계			670	2,680	2,010	2,680	1,350	9,390
재원조달	정부		500	2,000	1,500	2,000	1,000	7,000
	민간	현금	25	75	60	75	40	275
		현물	145	605	450	605	310	2,115
합계			670	2,680	2,010	2,680	1,350	9,390

(단위: 백만원)

세부과제	1단계						2단계				합계		
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도				
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	합계
1세부과제	210	70	840	280	630	210	840	280	430	150	2,950	990	3,940
2세부과제	120	40	460	160	340	120	460	160	220	80	1,600	560	2,160
3세부과제	170	60	700	240	530	180	700	240	350	120	2,450	840	3,290
합계	500	170	2,000	680	1,500	510	2,000	680	1,000	350	7,000	2,390	9,390

목 차

제 1 장 기술의 정의 및 필요성 ····· 1
1.1 기술의 정의 ····· 1
1.2 연구개발 배경 및 필요성 ····· 6

제 2 장 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 18
2.1 국내외 정책동향 ····· 18
2.2 국내외 시장동향 ····· 22
2.3 국내외 기술동향 ····· 29
2.4 기술수준 분석 ····· 55

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 134
3.1 비전 및 목표 ····· 134
3.2 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표 ····· 138
3.3 연구개발과제 구성 ····· 142
3.4 세부과제 주요 내용 및 추진전략 ····· 155
3.5 과제별, 연차별, 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 174
3.6 성과활용 방안 ····· 186

제 4 장 사전타당성 검토 ····· 188
4.1 정책적 타당성 ····· 188
4.2 기술적 타당성 ····· 193
4.3 경제성 타당성 ····· 199

제 5 장 연구투입 소요예산 산정 ····· 203
5.1 인력투입계획 ····· 203
5.2 소요예산 산정 ····· 203

제 6 장 과제 제안요구서 ····· 207
6.1 과제 제안요구서(RFP) ····· 207
6.2 평가기준 설정 ····· 213

참고 문헌 ····· 222

표 목 차

표 1-1. 기획연구 내용 및 범위 ····· 5
표 1-2. 각국 플랜트 기업별 수익성 ····· 16
표 2-1. 국외 정책 동향 ····· 19
표 2-2. Regional Oil & Gas Virtual Reality Training and Simulation Market Forecast ····· 26
표 2-3. 국내외 가상현실 시장 규모 ····· 27
표 2-4. 전세계 디지털 콘텐츠 시장 규모 ····· 28
표 2-5. 중대산업사고 입력 데이터의 일부 ····· 30
표 2-6. 논문 검색 개요 ····· 55
표 2-7. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 분야 주요 논문 분석 69
표 2-8. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 분야 주요 논문 분석 ····· 70
표 2-9. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 분야 주요 논문 분석 ····· 71
표 2-10. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 분야 주요 논문 분석 ····· 73
표 2-11. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 분야 주요 논문 분석 ····· 74
표 2-12. 특허 검색 개요 ····· 75
표 2-13. 세부기술별 특허 공개 및 등록 현황 ····· 75
표 2-14. 특허 검색 방법 및 결과 ····· 76
표 2-15. 세부 기술별 관련 기관 현황 ····· 129
표 2-16. SWOT 분석 결과 ····· 132
표 3-1. 기술 미래상 ····· 136
표 3-2. 연구기획실무위원회 구성 ····· 142
표 3-3. 연구기획 자문기관 구성 ····· 143
표 3-4. 요소기술별 중요도 평가 결과 ····· 149
표 3-5. 기술 도입 분야 및 기술 개발 분야 ····· 151
표 3-6. 연구개발과제의 구성 ····· 152
표 3-7. 햅틱기반 플랜트 안전훈련체계 구성 항목 ····· 154
표 3-8. 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 스튜디오 기자재 구성 항목 ····· 154
표 3-9. 1세부과제 연구 목표 및 연구내용 ····· 156
표 3-10. 1세부과제 단계별 추진일정 및 연구내용 ····· 158
표 3-11. 2세부과제 연구 목표 및 연구내용 ····· 162
표 3-12. 2세부과제 단계별 추진일정 및 연구내용 ····· 164
표 3-13. 3세부과제 연구 목표 및 연구내용 ····· 168
표 3-14. 3세부과제 단계별 추진일정 및 연구내용 ····· 169
표 3-15. 1세부과제의 연구성과물 및 구체적인 도출계획 ····· 175
표 3-16. 1세부과제 핵심기술의 개발 목표 ····· 177

표 3-17. 1세부과제 성과지표 및 목표 ····· 177
표 3-18. 2세부과제의 연구성과물 및 구체적인 도출계획 ····· 179
표 3-19. 2세부과제 핵심기술의 개발 목표 ····· 180
표 3-20. 2세부과제 성과지표 및 목표 ····· 181
표 3-21. 3세부과제의 연구성과물 및 구체적인 도출계획 ····· 184
표 3-22. 3세부과제 핵심기술의 개발 목표 ····· 185
표 3-23. 3세부과제 성과지표 및 목표 ····· 185
표 3-24. 과제 성과물 활용방안 ····· 186
표 4-1. SWOT 분석을 통한 위험 요소 분석 ····· 192
표 4-2. 기존사업과의 중복성 ····· 194
표 4-3. 세부과제 별 목표 및 내용, 성과 ····· 195
표 4-4. 비용-편익분석 (B/C 분석) 표 ····· 201
표 5-1. 인력투입계획 ····· 203
표 5-2. 전체사업 소요예산 ····· 204
표 5-3. 세부과제 소요예산 ····· 204
표 5-4. 1세부과제 연차별, 비목별 예산내역 ····· 205
표 5-5. 2세부과제 연차별, 비목별 예산내역 ····· 205
표 5-6. 3세부과제 연차별, 비목별 예산내역 ····· 206
표 6-1. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 RFP ····· 207
표 6-2. 일반 평가 항목 ····· 213
표 6-3. 기타 평가 항목 ····· 213
표 6-4. 연구개발 가능성 평가 ····· 219
표 6-5. 연구개발과제 선정 시 가·감점 기준 ····· 220
표 6-6. 세부과제별 성과지표 ····· 221

그 림 목 차

그림 1-1. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 정의 ····· 1
그림 1-2. 기획연구과제의 범위 정의 ····· 4
그림 1-3. 최근 발생한 플랜트 조업자 훈련 미비로 인한 플랜트 사고 사례 ····· 7
그림 1-4. 화학 물질 사고 발생 경향 ····· 8
그림 1-5. 사고 원인별 발생 비율 ····· 9
그림 1-6. 기존 화학 공정 시뮬레이션 기반 조업자 훈련 소프트웨어의 예 ····· 10
그림 1-7. Invensys사의 EYESIM ····· 11
그림 1-8. 가상 용접 훈련 시뮬레이터 ····· 11
그림 1-9. 박근혜정부 5대 국정 목표 및 안전 분야 주요 국정 과제 목표 ····· 14
그림 1-10. 세계 플랜트 시장 점유율 ····· 15
그림 1-11. Global Oil & Gas Virtual Reality Training, Simulation Market Forecast ····· 16
그림 2-1. 전세계 플랜트 시장 규모 및 전망 ····· 23
그림 2-2. Global Operator Training Simulator Market ····· 24
그림 2-3. Global Oil & Gas Virtual Reality Training and Simulation Market Forecast ····· 25
그림 2-4. Regional Oil & Gas Virtual Reality Training and Simulation Market Forecast ····· 26
그림 2-5. 공정 사고의 기본 구조도 ····· 31
그림 2-6. LNG 액화 설비 동적 공정 시뮬레이터 개발 사례 ····· 33
그림 2-7. Honeywell의 UniSim 기반 OTS 사례 ····· 34
그림 2-8. AVESTAR 프로젝트 3D VITS 사례 ····· 35
그림 2-9. Invensys Operations Management 개념도 ····· 35
그림 2-10. GSE Systems의 Virtual Loop Trainer 예시 ····· 36
그림 2-11. Politecnico de Milano의 가상 플랜트 개발 사례 ····· 36
그림 2-12. DNV사의 Safeti를 활용한 정량적 위험분석 예시 ····· 37
그림 2-13. 사고를 표현한 Virthualis의 가상현실 도시 예, 공정 운전중 발생한 사고가 다시 공정에 영향을 미치는 것을 감안하기 위한 개념도 ····· 38
그림 2-14. 맨션 가상 체험 시스템, Fire Cube ····· 39
그림 2-15. Invensys사의 EYESIM 솔루션 ····· 40
그림 2-16. 한국기계연구원의 소방 훈련용 가상 환경 구축 사례 ····· 41
그림 2-17. 항만 크레인 운전자 훈련 시뮬레이터 ····· 42
그림 2-18. 용접 훈련 시뮬레이터 ····· 42
그림 2-19. 건물 내부 화재 특성 분석 시뮬레이션 연구 ····· 43
그림 2-20. Sim Welder ····· 43
그림 2-21. 다양한 기계적 촉감 제시 장치 ····· 46

그림 2-22. 다양한 전기적 촉감 제시 장치 ····· 46
그림 2-23. Sensable Technology사의 Phantom과 역감 제시 장치를 이용한 복강경 수술 시뮬레이터 장치 ····· 47
그림 2-24. Novint사의 Falcon, MPB Technologies사의 Cubic ····· 47
그림 2-25. Pantograph (a): 5 DOF Twin Pantograph, (b): 3 DOF Planar Pantograph ····· 47
그림 2-26. Sarcos Treadport ····· 50
그림 2-27. L-Exos ····· 50
그림 2-28. Phantom ····· 51
그림 2-29. Berkeley Lower Extremity Exoskeleton ····· 51
그림 2-30. 화물용 비행기 짐칸에 대한 전산 유체 역학 모델 ····· 53
그림 2-31. 빌딩 Exodus/SmartFire ····· 53
그림 2-32. 가상 현실 기반 훈련 개념도 ····· 54
그림 2-33. 1993년-2013년 기술군별 논문 동향 ····· 56
그림 2-34. plant safety 논문 발표건수 ····· 57
그림 2-35. plant regulation 논문 발표건수 ····· 57
그림 2-36. plant knowledge database 논문 발표건수 ····· 58
그림 2-37. plant accident scenario 논문 발표건수 ····· 58
그림 2-38. steady state process simulation 논문 발표건수 ····· 59
그림 2-39. dynamic process simulation 논문 발표건수 ····· 59
그림 2-40. accident simulation 논문 발표건수 ····· 60
그림 2-41. interactive simulation 논문 발표건수 ····· 60
그림 2-42. plant visualization 논문 발표건수 ····· 61
그림 2-43. virtual plant 논문 발표건수 ····· 61
그림 2-44. safety information 논문 발표건수 ····· 62
그림 2-45. 3D laser scanning 논문 발표건수 ····· 62
그림 2-46. haptic human interface 논문 발표건수 ····· 63
그림 2-47. haptic rendering 논문 발표건수 ····· 64
그림 2-48. haptic information processing 논문 발표건수 ····· 64
그림 2-49. walking navigation 논문 발표건수 ····· 65
그림 2-50. safety training 논문 발표건수 ····· 66
그림 2-51. operator training simulator 논문 발표건수 ····· 66
그림 2-52. plant system integration 논문 발표건수 ····· 67
그림 2-53. plant system interface 논문 발표건수 ····· 67
그림 2-54. 기술군별 논문 동향 분석 결과 ····· 68
그림 2-55. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 관련 연도별 특허 출원건수 ····· 78
그림 2-56. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 관련 국가별 특허 출원건수 ····· 78
그림 2-57. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 관련 특허 출원 5

대 기관 ····· 79
그림 2-58. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 관련 연도별 특허 출원건수 ····· 86
그림 2-59. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 관련 국가별 특허 출원건수 ····· 87
그림 2-60. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 관련 특허 출원 5대 기관 ····· 87
그림 2-61. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 로드맵 ····· 99
그림 2-62. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 관련 연도별 특허 출원건수 ····· 100
그림 2-63. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 관련 국가별 특허 출원건수 ····· 100
그림 2-64. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 관련 특허 출원 5대 기관 ····· 101
그림 2-65. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 관련 연도별 특허 출원건수 ····· 111
그림 2-66. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 관련 국가별 특허 출원건수 ····· 111
그림 2-67. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 관련 특허 출원 5대 기관 ····· 112
그림 2-68. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 관련 연도별 특허 출원건수 ····· 121
그림 2-69. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 관련 국가별 특허 출원건수 ····· 121
그림 2-70. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 관련 특허 출원 5대 기관 ····· 122
그림 3-1. 과제의 비전 및 목표 ····· 135
그림 3-2. 과제의 정량적 목표 ····· 136
그림 3-3. 기획연구 추진 절차 ····· 145
그림 3-4. 플랜트 안전 훈련 요소 기술 ····· 148
그림 3-5. 플랜트 안전 훈련 스튜디오 구성 요소 ····· 153
그림 3-6. 플랜트 안전 훈련 스튜디오 ····· 154
그림 3-7. 1세부과제의 연구 목표 ····· 155
그림 3-8. 1세부과제의 주요 연구내용 ····· 157
그림 3-9. 2세부과제의 연구 목표 ····· 161
그림 3-10. 2세부과제의 주요 연구내용 ····· 163
그림 3-11. 3세부과제의 연구 목표 ····· 167
그림 3-12. 3세부과제의 주요 연구내용 ····· 169
그림 3-13. 세부과제간 연계 관계 ····· 173
그림 3-14. 1세부과제 기술로드맵 ····· 174
그림 3-15. 1세부과제 성과로드맵 ····· 174
그림 3-16. 2세부과제 기술로드맵 ····· 178
그림 3-17. 2세부과제 성과로드맵 ····· 178
그림 3-18. 3세부과제 기술로드맵 ····· 182
그림 3-19. 3세부과제 성과로드맵 ····· 182
그림 4-1. 세계 플랜트 시장의 규모 ····· 199

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

1.1 기술의 정의

1.1.1 “햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술”의 정의

○ 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

1.1.2 “햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술”의 세부 기술 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 인터랙티브 시뮬레이션 기술

- 플랜트 내 공정에 대해 정상상태/동적으로 시뮬레이션을 수행하고 공정 시뮬레이션 결과를 바탕으로 작업자가 공정의 상태를 파악하는 데에 도움을 주며 사고가 발생했을 때 공정 시뮬레이션의 결과에 기반하여 사고 시뮬레이션을 수행, 플랜트에서 발생 가능한 누출, 화재, 폭발 등의 사고에 대해 예측하고 이를 도시할 수 있는 기술을 의미함

○ 플랜트 안전 훈련 햅틱기반 체감형 기술

- 플랜트의 실제 현장 정보를 가상화하여 얻어진 3차원 정보를 바탕으로 작업자에게 햅틱 기술, 네비게이션 기술 등을 통해 실제와 유사한 체감을 전달할 수 있도록 하는 기술을 의미함

1.1.3 “햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술”의 분류

○ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 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

○ 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술

- 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술은 누출, 폭발, 화재 등에 대한 사고 시뮬레이션과 정상 상태 및 동적 상황을 포괄하는 공정 시뮬레이션으로 구성됨
- 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션을 통해 운전자는 가상 공정 운전 훈련을 직접 해볼 수 있고 기존 OTS 수준에서 더 나아가서 정상 운전 실패 시, 어떤 사고가 발생할 수 있는지나 사고 형태를 경험하여 향후 사고 발생 시, 보다 효과적으로 대처할 수 있음
- 안전 사고를 정량화된 데이터에 기반해서 예측하기 때문에 사고 발생 시 사고의 원인을 규명하는 기술에도 이용될 수 있으므로 활용도가 높은 기술 분야임
- 화학 공정 시뮬레이션 기술과 공정 내 유체 거동 및 장치 작동 시뮬레이션 기술 및 누출/화재/폭발 등의 사고 시뮬레이션 기술 개발 및 해당 시뮬레이션의 융합을 유기적으로 수행할 수 있는 알고리즘이 요구됨

○ 플랜트 안전 훈련 햅틱기반 체감형 기술

- 플랜트 안전 훈련 햅틱기반 체감형 기술은 대상 플랜트의 환경 및 형태를 가상화하여 데이터화하는 기술과 햅틱 기술에 기반한 가상 훈련 환경을 훈련자에게 제공하기 위한 핵심 휴먼 인터페이스 기술을 포함함
- 공정 장치 작동 및 유체 거동 가시화를 통해 작업자가 가상 훈련 환경을 통해 공정에 대한 이해도를 높일 수 있으며 가상의 플랜트를 체험적으로 학습함으로써 사고 발생 시 대처에 대해 현실적인 훈련이 가능해짐
- 최근 전세계적으로 활발히 연구되고 있는 가상환경 및 휴먼 인터페이스 분야의 연구 개발을 통해 햅틱분야 기반 기술 연구 역량 확보에 이바지할 수 있음
- 체감형 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술, 네비게이션 기술 및 플랜트 가상환경 가시화 기술 개발이 요구됨

1.1.4 기획연구 목표

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 과제의 연구 목표, 연구 내용, 추진 전략 수립

- 국내외 동향 및 환경 분석

- 과제 추진 방향, 연구 성과 달성 방안 및 계획 수립
- 개발 기술 및 시스템의 현장 적용 및 사업화 방안 제시
- 과제 공모 RFP 작성 및 평가 기준 설정

○ 세부과제별 연구개발사업 제안서 (RFP) 제시
- 개발 대상 주요 요소 기술 도출
- 우선 순위 평가를 통한 세부과제별 요소 기술 선정
- 개발 목표 설정, 추진 전략, 연구 수행 방법, 주요 연구 내용, 연구 성과의 활용 방안 및 기대 효과 등 제시

1.1.5 기획연구 범위

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 과제의 연구개발 범위는 플랜트 사업 기획으로부터 폐기까지의 다양한 플랜트의 생애주기중에서, 운영 및 유지보수 단계에서 적용 가능한 플랜트 운전원 및 설비 안전성 확보를 위한 훈련 시스템 기술 개발을 대상으로 함
- 향후 미래 기술 기획 방향으로 플랜트 생애주기 안전 확보를 위한 건설 단계 및 설계 단계 안전 훈련 기술 기획 필요

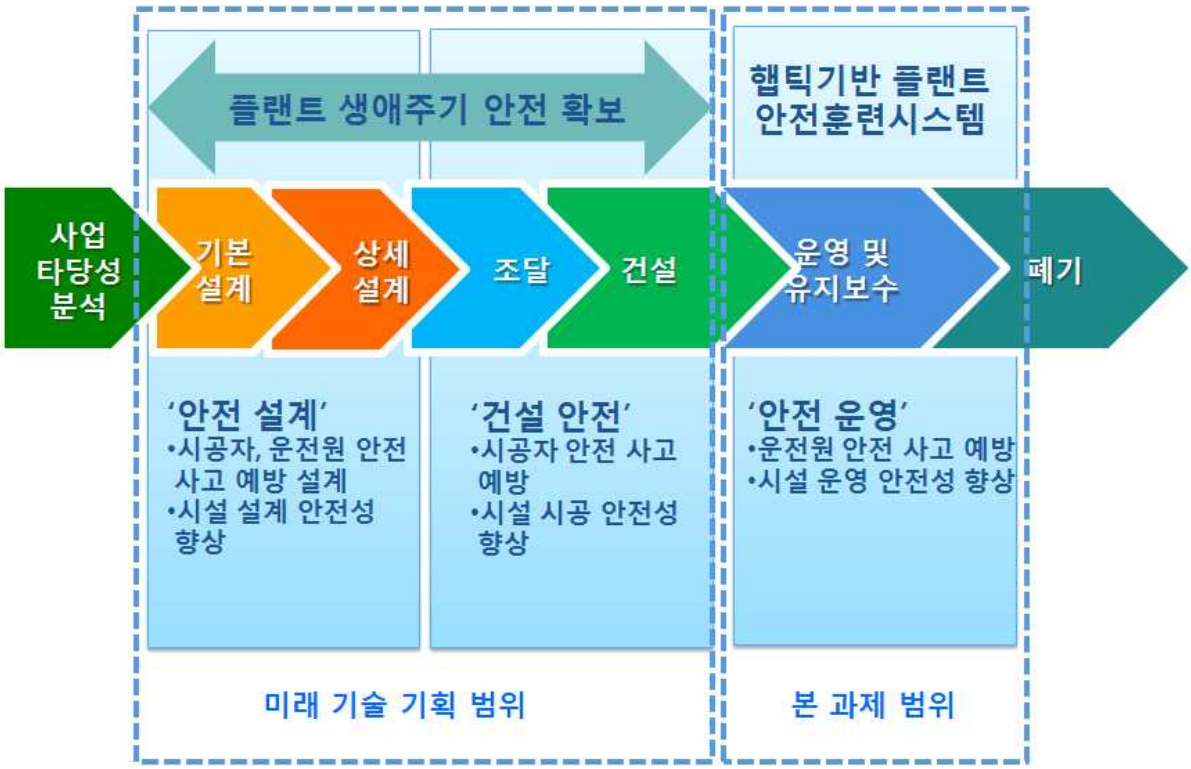


그림 1-2. 기획연구과제의 범위 정의

○ 플랜트 기술 각 분야의 실무자와 전문가의 협력 및 자문을 통해 현재 국내 플랜트 운전원 안전 훈련 기술의 현황 및 문제점을 파악하고, 플랜트 설비의 안전 운전 및 관리 기술 등 플랜트 안전훈련시스템 개선을 위하여, 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 (Interactive Simulation) 및 플랜트 공간 현실감 구현을 위한 햅틱 장치에 대하여 디지털 플랜트 가상 모델 및 인터랙티브 플랜트 안전 데이터를 기반으로 플랜트 공간 현실감 구현을 고려한 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 설계 및 제작 기술 확보를 위한 종합적 전략 수립을 위한 기획을 하고자 함

○ 주요 기획 주제는 RFP에서 제시된 연구 기획 범위를 기준으로 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술, 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 등 5개의 분야로 구성하였으며 그에 대한 종합적인 전략 수립을 위한 기획안을 도출하고자 함

표 1-1. 기획연구 내용 및 범위

단계	연구 내용	연구 범위
1 단계	▪ 기술 개발 동향 및 수요 조사 실시	▪ 기술 개발 동향 및 환경 분석 - 국내외 정책·시장·기술 동향 분석 (주요국의 기술 개발 정책 및 시장 분석 포함) - 국내외 기술 개발 현황 및 국내 기술 인프라·기술 인력 현황 (기업, 연구소, 대학 등) 분석 ▪ 기술 수요 및 기술 예측 조사 실시 ▪ 동향 분석 결과를 바탕으로 기술 개발 추진 방향 정립 (SWOT 분석 등)
2 단계	▪ 기술 개발 전략 수립 및 연구 내용 설정	▪ 기술 개발 전략 수립 - 비전 및 기술 발전 시나리오 제시 - 비전 달성을 위한 세부 목표 및 중점 분야 설정 - 중점 추진 분야별 연구개발 후보 과제 설정 ▪ 연구개발 후보 과제 우선 순위 도출 - 후보 과제별 기술 개발 목표 및 최종 성과물 설정, 후보 과제간 연계 및 중복 검토 등 종합 검토 ▪ 과제 추진 체계 설정
3 단계	▪ 연구개발 과제 기획	▪ 연구 목표 및 범위 설정 - 총괄 과제 목표 및 연구 범위 설정 - 세부과제 도출 및 연구 내용 설정 - 세부과제 연차별·단계별 성과 목표와 성과 지표

		설정 및 성과맵 제시 ▪ 연구 목표 달성을 위한 추진 방안 수립 ▪ 성과물에 대한 활용 방안 및 실용화 추진 방안 제시 ▪ 인력 투입 계획 및 소요 예산 산정 - 과제 구성에 따른 연구 일정 및 인력 투입 계획 수립 - 과제별 소요 예산 산정
4 단계	▪ 사전 타당성 검토	▪ (정책적 타당성 검토) 국가 전략적 중요성, 상위 계획과의 부합성, 연구개발 추진상의 위험 요인과 대응 방안 등에 대한 검토 ▪ (기술적 타당성 검토) 기존 연구개발과의 중복성, 기술 개발 계획의 우수성, 기술 수준 및 개발 성공 가능성 등에 대한 검토 ▪ (경제적 타당성 검토) 경제성 분석, 경제·사회적 파급 효과, 과학 기술적 파급 효과 등에 대한 검토
5 단계	▪ RFP 작성 및 평가 기준 설정	▪ 연구 목표와 내용, 추진 전략 등을 바탕으로 본 과제를 공모하기 위한 RFP 작성 ▪ 연차별 평가를 위한 성과 목표·지표·마일스톤의 설정, 평가 방법 및 기준 설정

1.2 연구개발 배경 및 필요성

1.2.1 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술의 시급성

○ 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. 폭발전 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 1-3. 최근 발생한 플랜트 조업자 훈련 미비로 인한 플랜트 사고 사례

○ 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

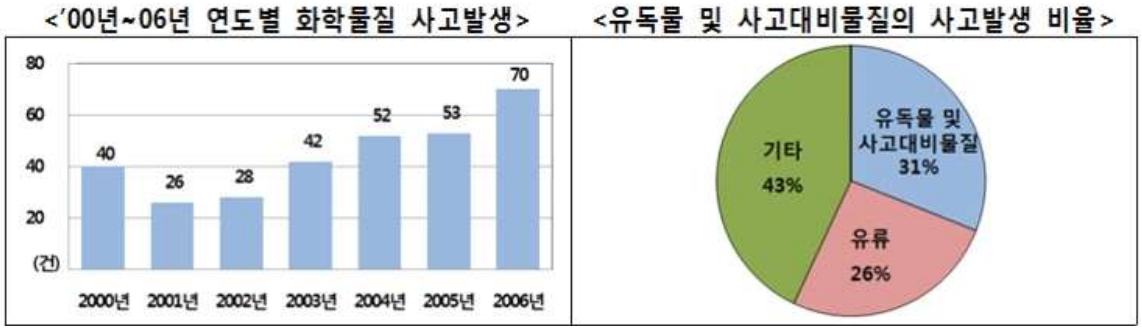


그림 1-4. 화학 물질 사고 발생 경향 (환경부, 국립환경과학원 - 유해 화학 물질 사고 사례집, 2007)

○ 이에 더하여 점차 드러나는 자원 고갈로 인해 해양 및 해저 지층 등에서의 화석연료를 활용하기 위한 해양 플랜트 건설이 증가하고 있는데 해양 플랜트는 공간 제약적 요소와 위험물을 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 가시화 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

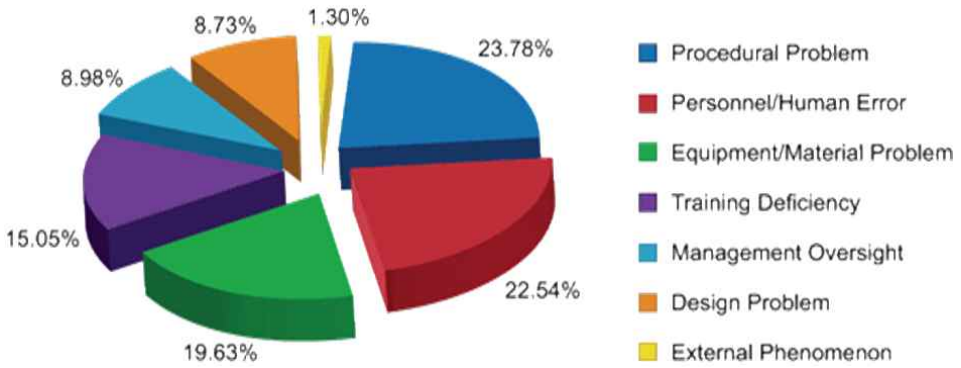


그림 1-5. 사고 원인별 발생 비율 (DOE Guideline - Root Cause Analysis Guidance Document, 1992)

○ 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 위처럼 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

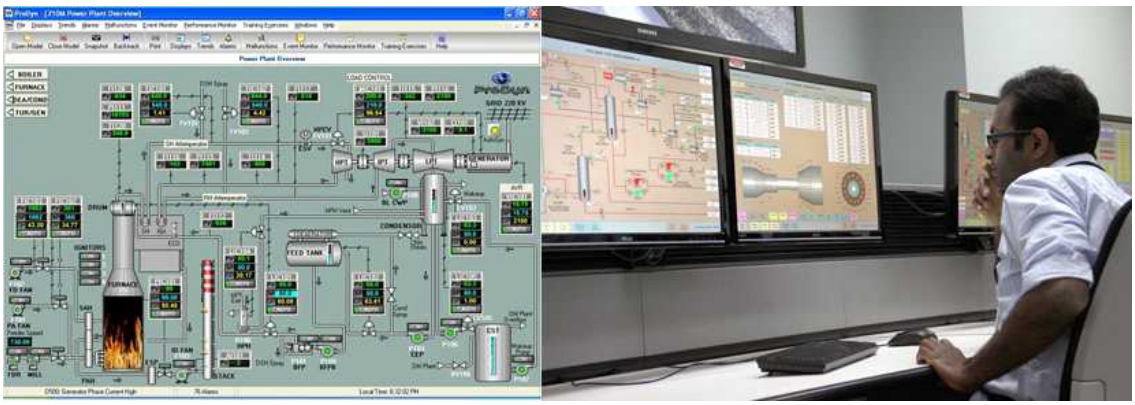


그림 1-6. 기존 화학 공정 시뮬레이션 기반 조업자 훈련 소프트웨어의 예

○ 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

1.2.2 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 원천 기술 개발의 중요성

○ 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
- 햅틱 기술은 체험형 시뮬레이터, 오감 상호 작용, 직관력을 높이는 인터페이스(Intuitive Interface) 등에 탁월하게 응용될 수 있으며, 플랜트 안전 훈련 기술의 원천 기술 개발을 위해서는 안전 훈련을 위한 햅틱 기술의 적용 세분화, 시각/청각/촉각 등 햅틱 HW/SW 기술, 햅틱과 연계된 플랜트 공간 현실감 구현 기술 등이 추가적으로 개발되어야 하며 이는 햅틱 기술의 타 분야 적용성 확대에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음
- 또한 본 시스템의 원천 기술 개발 과정에서 공정 시뮬레이션 분야의 기술의 정점인 조업자 훈련 시스템을 개발하면서 대상 공정에 대한 전문적인 수준의 분석과 공정 모델링 기술 향상을 가져올 수 있으며 사고 시뮬레이션과의 연계를 가능케 함으로써 정상 운전 영역의 상황만을 다루었던 기존 공정 시뮬레이션의 획기적인 발전과 해외 기술 대비 경쟁력을 확보
- 그 외에도 개발 과정중 실제 대상과 현장의 운전자를 고려한 공정 모델링 및 시뮬레이션 기술 개발이 이루어져 시뮬레이션 정확도, 속도와 활용성의 측면에서 국내 공정 산업의 경쟁력 확보에 도움을 줄 수 있으며 실시간 공정 동적 시뮬레이터의 개발을 통해서 안전 운전 시나리오 개발, 제어 계통 검증, 모니터링 기반 데이터 제공, 실시간 최적화 등 공정 운영에도 많은 도움을 줄 수 있고 실시간 공정 시뮬레이션, 시뮬레이션 자동화 등 다양한 공정 모델링, 시뮬레이션 산업의 새로운 시장을 창조하며 이 분야에서 선도적인 위치에 오를 수 있음

○ 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 시뮬레

이터와 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 운전에 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

1.2.3 정부지원의 필요성

○ 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 안전관리를 전담·총괄하는 안전관리위원회를 설치하고, 아울러 정비 이력과 고장 사례 등을 DB화 재발 방지를 전략 과제로 제시하고 있음

그림 1-9. 박근혜정부 5대 국정 목표 및 안전 분야 주요 국정 과제 목표

○ 햅틱기반 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 이를 추격, 추월할 수 있는 투자가 시급함

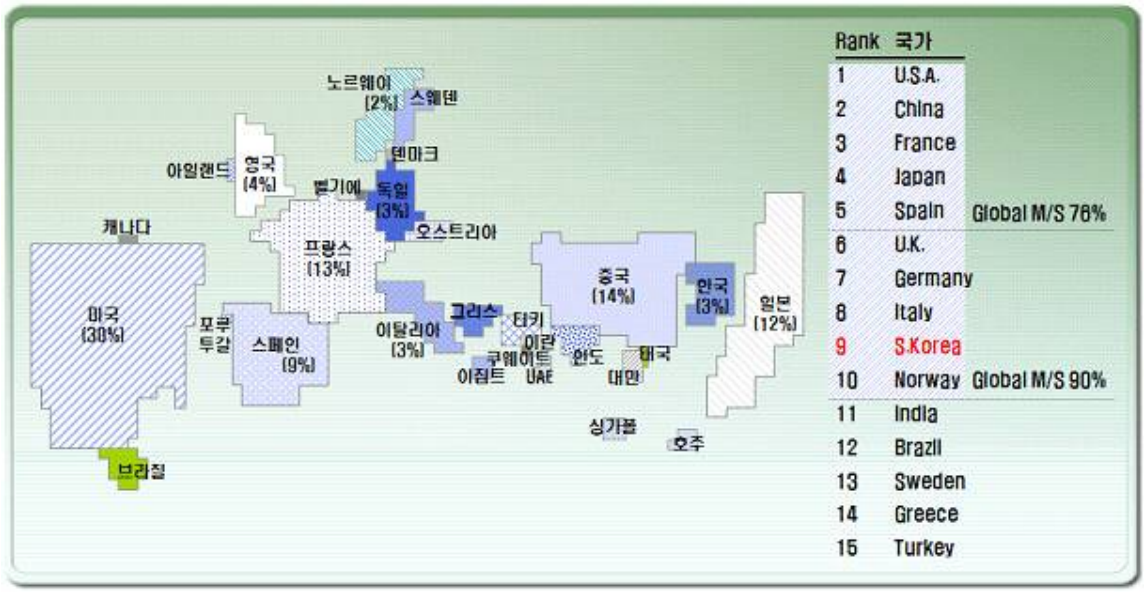


그림 1-10. 세계 플랜트 시장 점유율 (산업연구원, KIET 산업별 기초분석, 2009)

표 1-2. 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

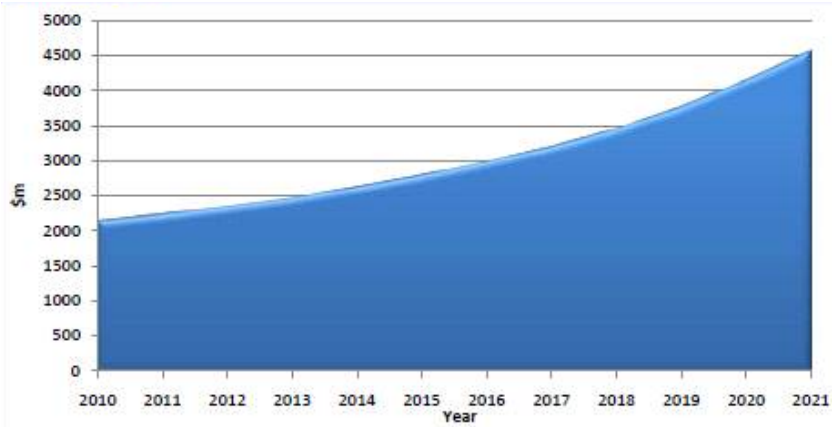


그림 1-11. Global Oil & Gas Virtual Reality Training, Simulation Market Forecast (Vision Gain, 2011)

○ 따라서 국내 산업의 세계적인 입지를 강화하기 위해서는 이를 극복할 수 있는 새로운 융복합적 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

제 2 장 국내외 동향 및 환경 분석

2.1 국내외 정책동향

2.1.1 국내외 정책현황

가. 국내 정책 동향

○ 박근혜정부 140개 국정과제중 플랜트 안전 및 해외 시장 진출 관련 기술이 제시되어 있으며, 본 과제는 이와 밀접하게 관련됨 (관련부처 합동, 2013. 5. 28)

- 5. 중소・중견기업의 수출경쟁력 강화
- 7. IT・SW융합을 통한 주력산업 구조 고도화
- 10. 교통체계·해운 선진화 및 건설·원전사업 해외진출 지원
- 16. 국가 과학기술 혁신역량 강화
- 87. 에너지공급 시설의 안전관리 강화

○ 미래창조과학부의 '2014년도 정부연구개발투자 방향 및 기준(안)'을 보면, '과학기술을 통한 국민 삶의 질 향상과 창조경제 구현'을 위한 4대 중점 추진 분야 중, '창조경제를 뒷받침하는 R&D'의 추진 항목으로 'ICT·SW를 통한 신성장동력 창출'이, '국민행복을 구현하는 R&D'의 추진 항목으로 '국민안전을 보장하는 R&D 지원강화'가 명시됨

○ 국토교통부는 2013-2017 건설교통R&D중장기 계획에서 플랜트 분야의 9대 전략 프로젝트로 '지능형 플랜트 엔지니어링 기술'을 선정하였으며 '햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술'이 이에 포함됨

○ 2008. 8 국가과학기술위원회의 제2차 과학기술기본계획에 중점 추진 과제 10대 부문, 60개 과제 중 안전 관련 기술이 포함됨

나. 국외 정책 동향

표 2-1. 국외 정책 동향

국가	정책 동향
미국	▪ 대통령에 의해 임명되고 상원에 의해 추인받는 독립 기관인 Chemical Safety Board가 주요 사고 사례의 심층 분석 및 지식 공유를 통한 사고 감소를 위해 노력하고 있음: 1999년에 '일명 600k 보고서'를 발간하고 상원에 보고하는 등 화학 물질로 인한 사고 조사 및 예방 업무를 범정부 차원으로 추진 ▪ AIChE 산하 Center for Chemical Process Safety (CCPS)는 과학재단의 지원하에 안전 지식의 체계화 및 공유에 앞장서며 공정 안전 분야의 전세계 표준을 선도하고 있음 ▪ 상무부 산하 NIST/Honeywell 컨소시엄은 이상 상황 관리 및 대응 (Abnormal Situation Management) 기술 개발의 일부로 조업자의 사고 방지 및 대응 활동을 위한 요구 지식의 분석 연구를 수행한 바 있음 ▪ 7대 정책 과제: 근로자의 기술 습득 기회 제공, 새로운 기술과 비즈니스에 대한 투자, 지역 사회와 근로자 지원 등 제조업의 도약을 위한 정책 과제 제시 ▪ 에너지부의 주도 하에 AVESTAR 프로젝트 운영 ▪ 플랜트 산업 발전을 위한 기구로 Fiatech (통합 자동화 기술 협회) 운영 ▪ 미국 등 선진국에서는 가상현실을 10대 미래 핵심 전략 기술로 지정하여 연구개발에 적극 투자를 하고 있으며, 이는 MIT (2007), Gartner (2005), RAND (2006), FISTERA (2004) 등에서의 예측을 근거로 하고 있음 ▪ 미국 NRC에서는 MOVES 프로그램을 통하여 상호 작용, 모델링 및 시뮬레이션 등의 세부 기술을 엔터테인먼트 분야에 적용하는 연구개발을 지원하고 있음 ▪ 미국에서는 9.11 테러 이후 건물이나 비행기, 배와 같은 폐쇄 공간에서 벌어지는 긴급 대피 상황에서의 인간 행동 시뮬레이션 등과 같이 공공 안전과 관련된 연구가 많이 이루어지고 있음 ▪ 햅틱 인터페이스 기술은 2006년 경제전문지 Forbes에서 선정한 우리의 미래를 바꿀 유망한 10대 기술로 선정되었음
유럽	▪ 국제노동기구 (ILO), 경제개발협력기구 (OECD) 및 유엔환경계획 (UNEP) 등의 국제 기구에서도 화학 물질로 인한 중대 산업 사고 예방 협약이 체결된 바 있고 또한 각종 관련 지침 (Seveso Directive 등)을 제정하여 회원국에 이를 준수하도록 요구하는 실정 ▪ 영국은 화학 설비를 특별 관리하기 위하여 보건안전청 (HSE)의 조직에 화학위험설비국 (CHID, Chemical Hazardous Installation Division)을 설치 및 운영하고 있으며, 1999년도에 중대사고관리법 (COMAH, Control Of Major Accident Hazard)를 강화하여 운영하고 있음 ▪ 신에너지인 수소와 관련해서도 EU는 HySafe 설립을 지원하여, 수소

	기술 및 응용 분야의 안전한 도입을 촉진시키기 위해 노력하고 있음 ▪ Europe 2020 프로그램: 스마트하며 지속 가능한 내재적 성장을 이루기 위한 정책 과제로 혁신적인 R&D를 위한 투자를 증대시키고 에너지 효율 향상을 위한 노력을 계획 ▪ 플랜트 건설과 관련하여 정부 주도로 ECTP (유럽 건설 기술 협회) 운영 ▪ EU에서는 가상 투어 등의 가상현실 기술을 도입하여 유럽의 풍부한 문화 유산을 소개하고 관광 산업을 더욱 발전시키기 위한 Archeoguide 프로젝트 등을 지원하고 있음 ▪ 독일은 정부 주도로 국책 연구 기관인 Fraunhofer IGD를 통하여 자동차 산업에 응용된 Virtual Engineering 기술을 개발하여 BMW, Benz 등에 지속적으로 적용하는 정책을 지원하고 있음 ▪ EU에서는 가상현실 공간에서 인체에 보행 감각 제공을 목적으로 CyberWalk이라는 프로젝트를 진행하였음. 이 연구개발 과제를 통해, 체감형 공간 이동감을 느낄 수 있도록 하는 보행 장치가 개발되었으며 햅틱기반 훈련 시뮬레이터 시스템에 적용이 가능함
일본	▪ 후쿠시마 원전 사고 이후, 재해로부터 안전성 향상, Green Life 혁신 부문의 연구개발 사업 예산이 대폭 확대되고 있음 ▪ 플랜트 조업자의 고령화 및 전반적 사회 인식의 변화에 따른 사고 증가 추세를 대비하여 조업자의 안전 지식 체계화 및 지원 시스템 개발에 대한 투자가 확대되고 있음 ▪ 경제산업성의 산업구조비전 2010을 통해 제조업의 유지 발전과 동시에 기존의 고품질 단품 판매에서 시스템 판매로 전환하여 산업의 경쟁력을 강화 ▪ 일본 국토교통성은 2013년부터 5년간 해양 플랜트, 특히 FLNG 설비 개발을 지원하기 위한 사업 계획 수립중이며 2013년 160억엔 투자 예정 ▪ 일본은 2004년 6월 콘텐츠 진흥법을 제정하고, 범정부 차원에서 신기술 R&D 지원, 인재 양성, 해외 비즈니스 지원, 재원 다양화 등 종합적인 산업 진흥 방안을 마련하여 국가에서 지원하는 38개 회사에서 2,000억원 규모의 펀드로 조성된 'Virtual Reality Techno Japan' 정책을 시행하고 있음 ▪ 가상현실 기술과 관련하여 일본 정부는 'UNS 연구개발 전략 프로그램 Ⅱ'의 3대 영역·11개 주요 연구개발 과제 중 하나로 3차원 영상 기술에 의한 초현장감 커뮤니케이션 기술을 추진하고 있음 ▪ 일본 소방연구소와 후지타 주식회사에서는 화재 체험 시스템인 'Fire Cube'를 개발함으로써, 체험자가 연기나 열 등을 컴퓨터 그래픽을 통해 체험할 수 있음

2.1.2 국내외 정책의 시사점

○ 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. 국내에서도 발전된 ICT 분야 기술력을 산업 안전 분야에의 적용을 통해 국가 경쟁력을 제고할 수 있음

○ 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 중요. 기존 한국산업안전공단의 중대산업사고 정보관리 시스템 (Major Accident Database Management System, K-ADB) 개발과 같이 사고의 분석과 경험을 바탕으로 한 안전 관련 지식의 체계적인 축적 및 공유 지원 활동이 ICT 기술의 발달과 더불어 선진국을 중심으로 활발해지고 있음

○ 사고 전·후 관리에 대한 체계 확립과 아울러 이를 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 개발에 접목했을 때, 문서 수준의 지식에 머무는 것이 아닌 공유 가능한 지식으로의 확장을 달성함과 더불어 플랜트 운전자의 직접적인 학습 효과 및 체험도의 제고를 통해, 기존 공정 및 신공정 모두에 대해서도 선제적 사고 감소 및 공정의 안전성 향상에 크게 기여할 수 있음

○ 플랜트 공정 인터랙티브 시뮬레이션 기술에 있어서는 특히 미국에서 가장 정부의 참여가 두드러지게 나타나고 있으며 정부 (Department of Energy) 주도하에 산업계 (Invensys사), 학계 (Pierpont Community & Technical College, West Virginia University), 연구소 (National Energy Technology Laboratory)가 모두 참여한 클러스터가 구성되어 활발하게 활동하면서 국제적으로도 가장 진보된 연구 성과를 이끌어내고 있으므로 이를 통해 정부의 주도적인 연구 추진이 필수적임을 확인할 수 있음

○ 미국, 유럽 등의 고용률 향상과 직원 교육 기회 확대에 맞물려 공정 조업자 안전 훈련 시스템의 수요가 증가할 것으로 예상되며 기술 수준에 있어서 경쟁 관계에 있는 일본은 이에 맞춰 FLNG 등 신규 기술 분야에 대한 시스템 개발 투자에 집

중하고 있기 때문에 확대되는 시장을 선점하기 위해서 선제적인 투자와 기술 개발이 필요

○ 플랜트 가상화 기술은 국가 기술 지도의 '비전 I 정보・지식・지능화 사회 구현'의 '그래픽스' 분야에 속하는 기술로서, 미래창조과학부의 '2014년도 정부연구개발투자 방향 및 기준(안)'의 추진 항목인 'ICT·SW를 통한 신성장동력 창출', '국민안전을 보장하는 R&D 지원강화'를 실현하는 위한 디지털 콘텐츠 기술임

○ 미국 등 선진국에서는 가상현실을 10대 미래 핵심 전략 기술로 지정하여 연구개발에 적극 투자를 하고 있으며, 전통 제조 산업, 문화 관광 산업 등 다양한 산업에 적용하여 경쟁력 향상을 위한 노력을 하고 있음

○ 특히 후쿠시마 원전 사고 이후, 인명 안전, 환경 보호 부문의 연구개발 사업 예산이 확대되고 있는 추세이며, 이와 관련하여 일본에서는 3차원 영상 기술에 의한 초현장감 커뮤니케이션 기술을 지원하고 있음

○ 가상현실 및 햅틱 인터페이스 기술은 국내외 정책 및 관련 연구개발 과제를 통해 산업 및 안전 분야로의 적용과 발전 가능성을 확인할 수 있음. 특히 햅틱 기술은 최근 들어 휴대 기기를 중심으로 급격한 관심을 받고 있으며, 이는 시각, 청각을 뛰어 넘는 체감형 기술의 산업 적용 및 확산이 시작되었으며, 작업자 휴먼 에러 감소를 목적으로 하는 안전 훈련 시스템으로의 적용 및 발전 가능성도 매우 클 것으로 기대됨

2.2 국내외 시장동향

2.2.1 국내외 시장현황

가. 국내외 플랜트 산업 시장 동향

○ 플랜트란 화학 공장, 정유 공장, 발전소와 같이 기계와 장치를 기술적으로 설치하여 생산자가 목적으로 하는 원료 또는 중간재 및 최종 제품을 제조 할 수 있는 생산설비를 말하며, 플랜트 엔지니어링은 주력 산업인 플랜트 분야의 경쟁력을 선도하는 지식서비스 산업으로 부가가치가 높고 해외시장 개척형 산업으로 연관 산업의 시장창출 및 수출확대에 기여하고 있음

○ 플랜트 산업의 전세계 공개 시장에 있어서 플랜트 시장의 규모 및 전망에 관한 산업연구원의 자료를 보면 세계 플랜트 시장규모는 2008년 세계 금융위기 여파로 2009년에 일시적으로 둔화되었다가 그 이후로는 점진적으로 증가하고 있으며 향후에도 완만한 증가추세가 계속될 것으로 예측됨. 2020년까지는 연 6%대 고성장세를 지속할 것으로 전망되며, 특히 중동, 아시아, 아프리카 시장은 년 10% 확대가 전망됨

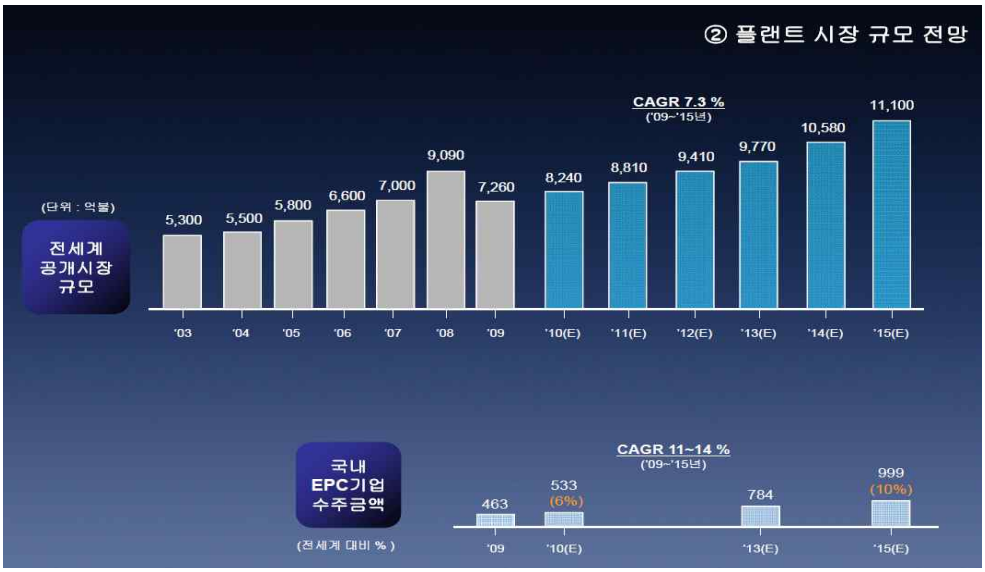


그림 2-1. 전세계 플랜트 시장 규모 및 전망 (산업연구원)

○ 플랜트 세계 시장에 있어서 국내 건설업체들의 수주 금액은 2010년에 533억달러로 약 6%를 차지하였음. 국내 건설업체들은 계속적인 시장 확대와 기술 개발로 임하고 있어 세계시장에서의 점유율도 점차적으로 증가할 것으로 예상되고 있으며 2015년에는 약 10% 정도의 점유율을 보일 것으로 예상되며, 이는 금액으로 보면 약 1천억 달러에 달하는 금액임

○ 플랜트 세계 시장의 상위 10개국이 전 세계 플랜트 시장의 90%를 차지하고 있을 정도로 선진국의 시장지배력이 강하며, 한국은 중국, 인도와 함께 최근 수년간 선진 경쟁국을 꾸준히 추격하여 세계 플랜트 시장 점유율을 2005년 2.5%에서 2007년 5.4%, 2009년 6.6% (세계 6위)로 확대하였음

○ 유럽이 최고 기술 수준을 보유하고 있으며, 미국, 일본도 매우 높은 기술 수준을

보유하고 있고, 우리나라의 기술 수준은 중국을 제외한 주요국 대비 약 70%로 수준 차이가 다소 존재함. 최고 기술 보유 지역인 유럽과 우리나라의 기술격차는 3 ~ 5년 정도로, 점진적으로 개선될 것으로 전망됨

나. 국내외 플랜트 운전원 훈련 시뮬레이터 (OTS) 시장 동향

○ 미국에서의 정유 및 석유화학 플랜트 안전 훈련 시장은 각 플랜트가 OSHA 규정을 만족하거나 넘어서는 안전 훈련을 제공해야 하는 의무로 인해 나날이 증대되고 있음 (www.ehow.com/facts_7928748_safety-training-market-oil-plants.html)

○ IBIS World's Occupational Health & Workplace Safety Services 시장 조사 보고서에 따르면 전세계 시장은 5.5조원에 이르고, 2007-2012 기간동안 연평균 2%의 성장을 기록하고 있으며, DuPont, Marsh & McLennan, Veritas 등이 시장을 선도하고 있음

○ ARC Advisory Group에 따르면, 세계 Operator Training Simulator (OTS) 시장 규모는 2012년 기준으로 4억 5천만달러에 이르며 향후 5년동안 연간 9%씩 성장할 것으로 예측됨. 숙련된 운전원의 퇴직으로 인한 생산성 저하를 최소화하기 위해서는 비숙련 운전원의 효과적 교육이 필수적이며 새롭게 고용되고 있는 젊은 운전원의 디지털 환경에 대한 친근성은 OTS의 효과를 높이는 주 요인임. 따라서 OTS 기술은 기반 기술의 축적과 높은 수요로 말미암아 향후 지속적으로 발전할 것으로 예측할 수 있음

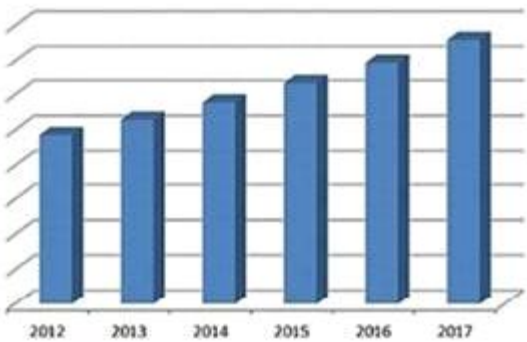


그림 2-2. Global Operator Training Simulator Market (ARC Advisory Group, 2012)

○ 오일과 가스 플랜트에서 가상 현실 기반 교육과 해석에 투입되는 세계 시장 규모는 2013년에 약 25억달러 정도임. 세계 시장중 아시아 태평양 지역은 북 아메리카, 유럽, 중동보다 뒤떨어져 2013년 기준 약 3억달러 정도이며, 2011년부터 2021년까지 세계 시장은 매년 평균 7.4% 성장할 것으로 예상되어 2021년에는 약 45억달러에 도달할 것이고 특히 아시아 태평양 지역은 매년 평균 9.3%의 고도 성장을 이룩해 6억달러 이상을 전망함

○ OTS 시스템 뿐만 아니라 플랜트 대상의 전반적인 공정 안전 시스템 역시 OTS 산업과 비슷한 성장세를 보이고 있으며 아시아의 오일/가스 부분만으로도 2016년까지 7.8억달러에 이르는 규모로 확대될 것으로 예상되는 등 플랜트의 안전성 확대에 대한 산업계의 요구가 높은 상황

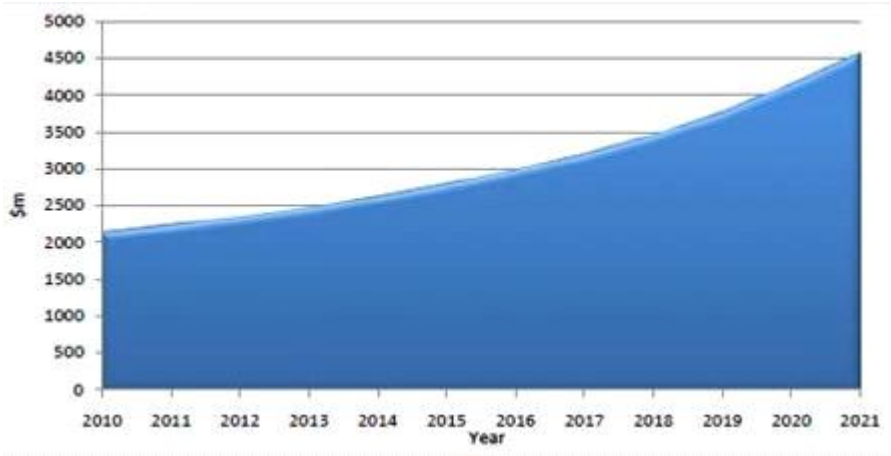


그림 2-3. Global Oil & Gas Virtual Reality Training and Simulation Market Forecast ($million) 2011-2021 (Vision Gain, 2011)

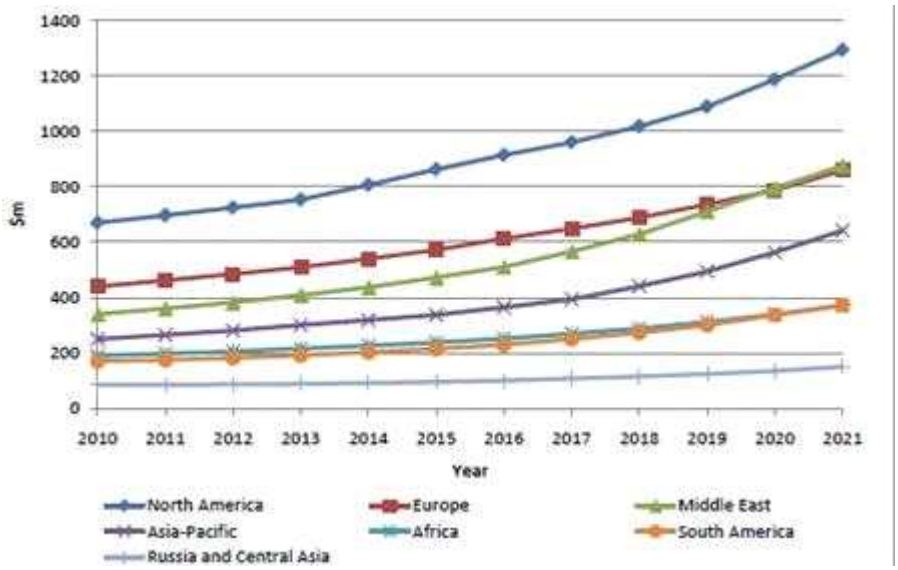


그림 2-4. Regional Oil & Gas Virtual Reality Training and Simulation Market Forecast ($million) 2011-2021 (Vision Gain, 2011)

표 2-2. Regional Oil & Gas Virtual Reality Training and Simulation Market Forecast CAGR (%) 2011-2021, 2011-2016, 2016-2021 (Vision Gain, 2011)

	2011-2021	2011-2016	2016-2021
North America	6.4	5.6	7.2
Europe	6.4	5.8	7.0
Middle East	9.3	7.2	11.4
Asia Pacific	9.3	6.6	12.0
Africa	6.5	5.0	8.0
South America	7.9	5.6	10.2
Russia and Central Asia	5.8	3.2	8.4
World	**7.4**	**5.9**	**8.9**

다. 국내외 플랜트 가상화, 가상현실 시스템 및 햅틱 장치 시장 동향

○ Cyber Edge사에 따르면 가상현실 산업의 세계 시장은 2003년 460억달러 규모이며 이후 연평균 10%의 성장률을 보이는 것으로 알려져 있음

- 이를 반영하면 2007년 세계 시장은 약 623.7억달러로 분석되며 2015년에는 약 1,337억달러 수준에 이를 것으로 전망됨

○ 한국전자통신연구원의 전자 통신 동향 분석에 따르면 가상현실 산업의 국내 시장은 2003년 10억달러 규모이며 이후 연평균 10%의 성장률을 보이는 것으로 알려져 있음

- 이를 반영하면 2007년 국내 시장 규모는 약 16.3억달러 규모인 것으로 분석되며 2015년에는 약 43.3억달러 수준에 이를 것으로 전망됨

표 2-3. 국내외 가상현실 시장 규모 (출처: 국내 시장 - 전자 통신 동향 분석, 한국전자통신연구원, 2005를 재구성, 세계 시장 - Cyber Edge사 2005년 자료를 재구성)

(단위: 억달러)

구분	시장규모					성장률 (2011-2015)
	2007	2009	2011	2013	2015	
국내시장	16.3	20.8	26.6	33.9	43.3	13%
해외시장	623.7	754.7	913.2	1,104.9	1,337.0	10%

○ 국내 가상현실 시장에서 VR 상용화 수준의 하드웨어 및 소프트웨어는 대부분 수입에 의존하고 있는 형편임. 그러나 가상 모델 하우스, 웹 쇼핑몰, 시뮬레이터 등 분야를 중심으로 여러 가상현실 콘텐츠 제작업체가 활동하고 있으며, 그 중 일부는 자체 소프트웨어 및 하드웨어 기술을 보유하고 있음

○ 인터넷과의 결합을 통한 가상 온라인 커뮤니티 서비스의 증가는 가상 세계 표현, 시뮬레이션, 상호 작용 기법 및 기반 소프트웨어 등 가상현실 기술 전반에 걸친 기술 개발 및 투자를 촉진하고 있음

○ 세계 디지털 콘텐츠 시장의 규모는 2013년까지 12.3%의 연평균 성장률을 기록하면서 6,322억달러에 달할 것으로 전망. 2009년 기준 디지털 방송과 디지털 영상이 전체 디지털 콘텐츠 시장의 45.2%를 차지하는 것으로 나타났으며, 온라인 포털과 게임이 각각 17.5%와 15.9%를 차지

표 2-4. 전세계 디지털 콘텐츠 시장 규모 (단위: 백만달러, 출처: 한국소프트웨어진흥원, 2011)

구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	'08-'13 CAGR
전체	256,668	303,141	353,312	405,082	458,888	514,400	572,331	632,223	12.3%
게임	40,636	49,179	57,938	64,485	69,925	76,424	85,556	94,365	10.2%
디지털방송	72,010	85,796	101,884	120,155	139,789	158,850	178,668	198,352	14.3%
디지털영상	48,837	52,977	57,936	62,897	68,704	75,117	82,083	88,528	8.8%
디지털음악	4,640	7,315	9,357	11,707	13,987	16,497	18,832	21,130	17.7%
이러닝	10,227	12,898	16,027	19,124	22,720	26,482	30,693	35,180	17.0%
전자책	1,002	1,340	1,839	2,523	3,527	4,918	6,667	8,941	37.2%
정보콘텐츠	39,107	41,340	42,964	45,711	48,972	52,406	54,297	56,930	5.8%
온라인포털	35,734	46,843	58,809	70,733	82,324	93,461	103,958	116,188	14.6%
솔루션	4,475	5,453	6,558	7,747	8,941	10,245	11,577	12,610	14.0%
모바일콘텐츠	10,119	15,053	20,435	27,802	38,303	48,162	59,120	70,727	28.2%

○ 국내 디지털 콘텐츠 산업은 2008년부터 2013년까지 연평균 8.0% 정도의 성장을 지속할 것으로 전망되고 시장 규모가 16조원을 넘어설 것으로 예상되는 2013년에도 8.9%의 높은 성장세를 지속하게 될 것으로 예상 (출처: 한국소프트웨어진흥원, 2011)

○ 세계적인 시장조사 기관인 가트너는 2008년부터 2012년 사이의 유망 10대 기술 중 하나로 증강현실을 선정했으며, 시장 분석 업체인 주니퍼 리서치는 '모바일 증강현실' 시장이 2010년 200만달러에서 2014년 7억 3천만달러 규모로 급성장할 것으로 전망했음. 또한 정부 차원에서 증강현실 및 가상현실 기술의 국산화를 위해 2010년까지 120억원을 투입하는 등 기업 및 정부 차원에서 많은 수요가 있을 것으로 예상하고 있음. 이에 따라 기업적인 차원에서 시장 선점을 위한 많은 움직임이 일어나고 있으며 특히 특허 분야에서도 큰 폭의 증가세를 보이고 있음

○ 사람과 컴퓨터 혹은 전자 기기간 상호 작용에 있어 사람에게 시각과 청각외에 '제3의 인터페이스'로서 촉각 정보를 인공적으로 전달하는 햅틱 인터페이스 기술에 대한 기대가 높아지고 있으며, 2006년 2월 미국의 경제 전문지 포브스 (Forbes)는 인류의 미래 삶의 모습을 변화시킬 10가지 기술에 촉감을 사실적으로 생성하고 제공해주는 햅틱 기술을 선정함. 미국의 햅틱 인터페이스 기술 전문 기업인 Immersion는 Microsoft, Sony, BMW, 삼성전자, LG전자 등 세계적인 기업들과 협약을 맺고 휴대폰, 게임기 등 관련 시장을 개척해 나가고 있으며, 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 관련 지적재산권 확보를 위한 치열한 경쟁 또한 시작됨

○ 최근 햅틱 기술은 휴대용 기기의 입력 장치 및 사용 편리성 측면으로 급속한 기술 발전과 적용이 이루어지고 있으며, 터치 기반 입력 장치의 경우, 휴대 기기를 넘어 사무/가전/산업 등의 분야로 확장하고 있음. 터치 시장의 규모는 계속적으로 급속한 성장 (연평균 복합 성장률, CARG: 50%)을 유지하고 있으며, 그 중 휴대 기기에서의 터치 시장의 규모는 전체 터치 시장의 약 83% (2010년 기준, 약 6.5억대)를 차지할 것으로 예상되고 있으며 CARG는 약 63%로 전망되고 있음 (출처: 디스플레이 뱅크)

○ 애플은 차세대 컴퓨팅 환경으로 무선 센서 시스템 및 웨어러블 컴퓨팅을 선정하고 2009년부터 이러한 환경을 준비중임. 몸에 부탁되는 각종 무선 센서를 통해 신체 활동을 측정, 분석하거나 물건의 이동 경로를 파악하는 등의 활동을 구현하는데 초점을 맞추고 있음

2.3 국내외 기술동향

2.3.1 국내외 기술현황

가. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 동향

○ 국내 플랜트 산업의 기술 개발 주요 메가 트렌드는 고부가가치, 선진국의 시장 지배력 강화, 그린/해양플랜트의 성장, 융복합화, 안전기술 중요성 대두, 중국 등의 후발 국가의 위협 심화로 특징지워짐

- 후쿠시마 원전 사태와 멕시코만, 보하이만 원유 누출 사고 등으로 플랜트의 안전 설계 및 기자재의 신뢰성 확보 등을 기초로 플랜트 가상 현실에 기반한 조업자 안전 훈련을 위한 기술 개발에 관심이 증가
- 해양 플랜트 등 극한 지역 플랜트의 경우 비정형적인 플랜트들이 다수이고, 기존 OJT기반의 지식 전수 및 사전 훈련이 어렵고, 사고 발생시 인명, 경제적, 환경적 피해가 육상 플랜트에 비해 매우 크기에, 안전 및 안전 훈련의 중요성이 절대적임

○ 이와는 별개로 최근 안전 기술의 중요성이 대두되고 있으며 국내의 구미, 여수, 화성의 불산 누출 사고와 해외의 후쿠시마 원전 사태와 멕시코만, 보하이만 원유

누출 사고 등으로 플랜트 안전 및 기자재의 신뢰성 기술 개발에 관심이 증가되고 있으며, 이는 각종 안전 설비와 같은 하드웨어만으로는 해결될 수 없으며, 플랜트 현장 근무자인 조업자 안전 훈련과 같은 소프트웨어적인 운영면에서 대처 방안 개발이 필요함. 이를 지원할 수 있는 안전훈련 시스템 기술이 필요한 이유임

○ 특히 플랜트 안전훈련시스템 개발에 있어서 사고 사례를 포괄하는 사고 이력 지식 베이스 개발과 사고 시나리오를 생성할 수 있는 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술을 정립하는 것이 중요

- 한국산업안전보건공단에서는 국내외의 중대 산업 사고 사례를 수집한 후, 체계적이고 정밀하게 분석, 가공한 후 데이터베이스화하여 이를 사업장에서 활용하여 동종 사고를 예방할 수 있도록 중대산업사고 정보관리시스템 (Major Accident Database Management System, K-ADB)을 개발하였음

표 2-5. 중대산업사고 입력 데이터의 일부

사고번호	사고명	사고발생년	월	일	요일	사고발생공정명	운전상황	발화원	사고물질	사고형태	사고발생설비	사망	부상
2003-008	광기름 원료 누출로 인한 화재	2003	6	3	화	저장	정상운전중	전기스파크	광기름	화재	기타		6
2003-009	NaSH저장탱크상부 덮개 파열	2003	6	18	수	화기작업	정상운전중	기타	황산	파열	탱크류	1	2
2003-010	차단밸브의 하부 용접부위가 파열	2003	6	21	토	화기작업	정상운전중	기타	암모니아	파열	안전장치(차단밸브)	1	2
2003-011	탱크로리에서의 화재,폭발	2003	7	8	화	출하공정	정상운전중	정전기	MTBE	화재+폭발	수송설비(탱크로리)		2
2003-013	옥내저장소 내에서의 화재	2003	9	22	수	증류공정	정상운전중	기타	MEK	화재	기타	0	2
2003-014	배관작업 중 화재 폭발	2003	9	25	토	화기작업	정비,보수중	정전기	가연성증기	폭발	배관설비	1	3
2003-015	폴리에틸렌(PE) 3공장에서 PE반응기 하부의 펌프 흡입측 Strainer를 청소하기위하여 해체해 놓은 상태에서 닫혀있어야 할 차단밸브가 개방되어 혹산등 내용물이 누출되어 폭발	2003	10	3	일	폴리에틸렌 제조공정	정비,보수중	정전기	혹산	폭발	반응기	1	7
2003-016	집진기 안에 있던 톱밥과 스크류 마찰열로 유분진 폭발	2003	10	6	수	건조건정	정상운전중	마찰,충격	분진	폭발	기타(집진기)	0	12
2003-017	포장공정에서 이소프로필알콜 혼합중기에 인화되어 1차 폭발, 2차 화재	2003	10	11	월	포장공정	정상운전중	정전기	이소프로필 알콜	폭발	기타	0	1
2003-018	열분해장치(Delayed Coking Unit) 가열로(Heater) Outlet Flange 가스켓에서 고온의 유분(감압B-C유) 누출 화재	2003	10	16	토	DCU공정	정상운전중	기타	감압B-C유	화재	배관설비	0	0

○ 조업자 안전 훈련이 요구되는 대상 영역의 선정 기준 정립 기술로서 발생 가능 사고 frequency와 severity/hazard, 즉, risk 기준 우선 순위 정립이 필요함. 실질적으로 대형 사고는 과거 보고되거나 경험해보지 않은 것이 대부분이기 때문에 창의적인 초기 문제 해결 능력이 사고의 피해 규모 확산을 줄이는데 중요함

- 정비 보수는 보통 외부 협력업체에 맡기나, 사고의 주요 요인이 되고 있기에 훈

련 측면에선 오히려 더 필요하며, 특히 외부 업체는 공정이나 공정 장치에 대해 경험이 더 부족할 수 밖에 없음. NASA의 Hubble 망원경 수리 훈련의 예 활용 가능함

○ 안전 온톨로지의 개발 및 이에 기반한 안전 지식 베이스의 축적/활용 관련해서는 일본의 Batres 교수팀과 독일 아헨공대의 OntoCAPE 등 앞선 연구들이 진행되고 있음. 건축 분야에서는 EU, 미국, 싱가포르 등에서 건물의 설계시 규정이나 법령 등에 명시된 안전 기준에 대한 가이드라인을 제시하고 오류에 대한 검증을 수행하는 설계 시스템을 개발하여 활용. 플랜트 엔지니어링 분야에서는 Codeware사의 COMPRESS는 보일러 및 압력 용기 설계 시스템으로 미국의 안전 관련 규정 (ASME Section VIII, Division 1과 Division 2)를 지원

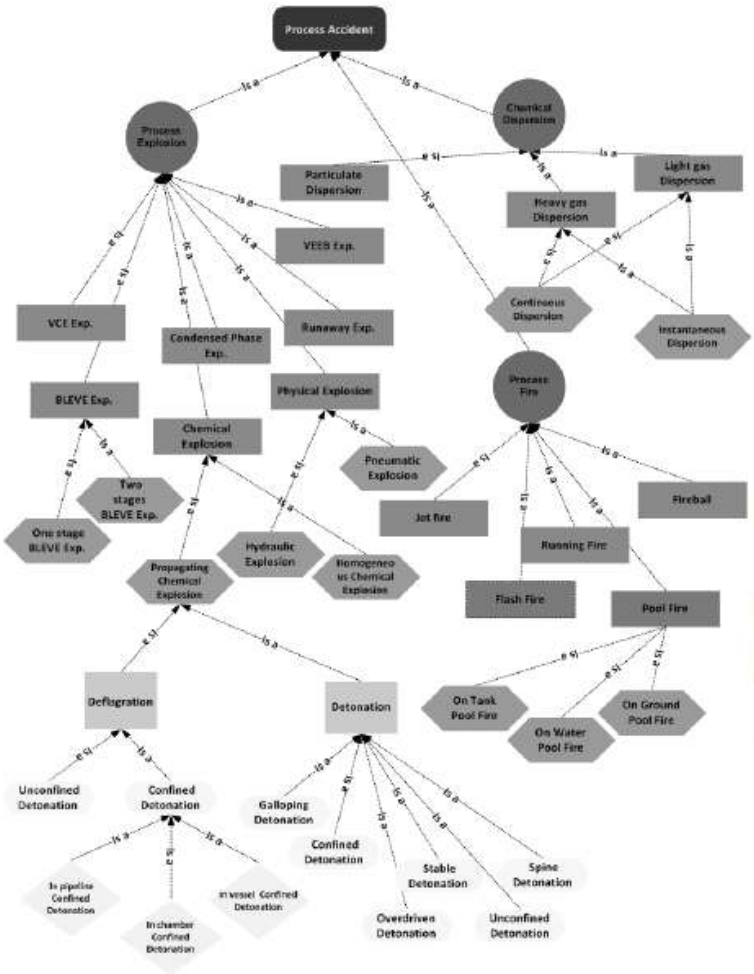


그림 2-5. 공정 사고의 기본 구조도

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템은 조업자가 가상의 플랜트를 직접 운전하고, 사고 전파를 목격하며, 대응을 통해 사고 피해 및 손실 저감을 체험하는 것과 같은

효과를 전달할 수 있어야 함

- 고정된 형태의 사고 시나리오는 급히 익숙해지고, 실제 공정 사고와 유리된 훈련 사고의 설정은 사고 발생시 운전원의 자신감과 대응력을 감소시킴. 증강현실 상황에서의 훈련을 통해 운전 및 사고 대응 지식 및 skill의 습득을 위해서는 대상 플랜트 공정 모델과 더불어 효과적인 안전 훈련을 위한 미예측/비정형 강사-조업자 인터랙티브, 통합 사고 생성, 발생 전파 및 훈련 시나리오 생성이 필수적임

○ 최근 급증하고 있는 화학 공장에서의 사고와 재난 발생시, 사고 발생 초기시 이를 감지하고 2차 피해를 줄이기 위한 최적 대응 측면에서 운전자들의 운전, 사고 발생 및 사고 대응 지식과 skill을 향상시키기 위한 과거 사고 사례 및 공정/플랜트 관련 지식의 지식 베이스 형태로의 효율적인 축적 및 활용은 숙련된 운전원이 은퇴하고 일천한 경험의 운전원이 이를 대체해가고 있는 현 추세에서 지식과 경험의 전승 측면에서 더 이상 미룰 수 없는 과제임. 아울러 이런 안전 지식 베이스는 훈련외에도 내부에 축적된 지식들이 공정 설계시 선 안전 확보를 위해 폭넓게 활용될 수 있음

나. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 동향

○ 플랜트 조업자 훈련을 위해서 공정 시뮬레이션에 기반한 OTS 기술이 개발되어왔으며 기반 기술은 이미 성숙한 단계에 이르렀고 다양한 공정을 대상으로 실증화되어 산업계에 실효적인 안전성 향상과 운전 효율성 증대에 큰 도움을 주고 있음. 국내적으로도 OTS 제작을 위한 기반 기술 개발이 어느 정도 진행되어 있으며 특히 공정 시뮬레이션 분야에서 국내 학계의 기술 수준은 낮지 않으며 여러 사례를 통해 검증된 바 있음

- 서울대학교에서는 LNG 터미널, CO2 포집 설비, DME 반응기, 연료 전지 등을 대상으로 공정 시뮬레이션을 수행, 실제 사례로의 적용을 통해 그 유효성과 유용성을 입증한 바 있음
- 연세대학교는 BTX 공정에 대한 상세 동적 모사 수행, 공정의 효율성 증대에 영향
- 고등기술연구원에서는 석탄 가스화 공정, LNG선 등의 공정 모사를 통해 시뮬레이터를 개발한 사례가 있음

그림 2-6. LNG 액화 설비 동적 공정 시뮬레이터 개발 사례

○ 시뮬레이션 소프트웨어 및 하드웨어의 가격이 저렴해지고 더욱 고성능화되면서 이를 산업 현장에 도입하여 생산성을 향상시키고자 하는 노력이 근래에 꾸준히 이루어지고 있음. 특히, 해외 관련 분야의 기업들은 실제 공정을 운영하는 기업과의 협업을 통해 시뮬레이션의 정확성 향상은 물론이고 시뮬레이션을 현장에 도입할 수 있는 다양한 방법을 연구하고 있음. 해외 OTS 개발 업체는 미국, 유럽, 일본에 집중되어 있으며 그 중에서도 Honeywell, Aspentech, Invensys, Emerson Process System, Yokogawa 등의 회사가 기술적으로 높은 수준에 도달해 있음. 이 때문에 현재 국내 산업계에서 이용되고 있는 OTS 기술은 대부분 자체적인 개발이 아닌 해외 업체의 검증된 기술을 도입하는 것이 일반적임

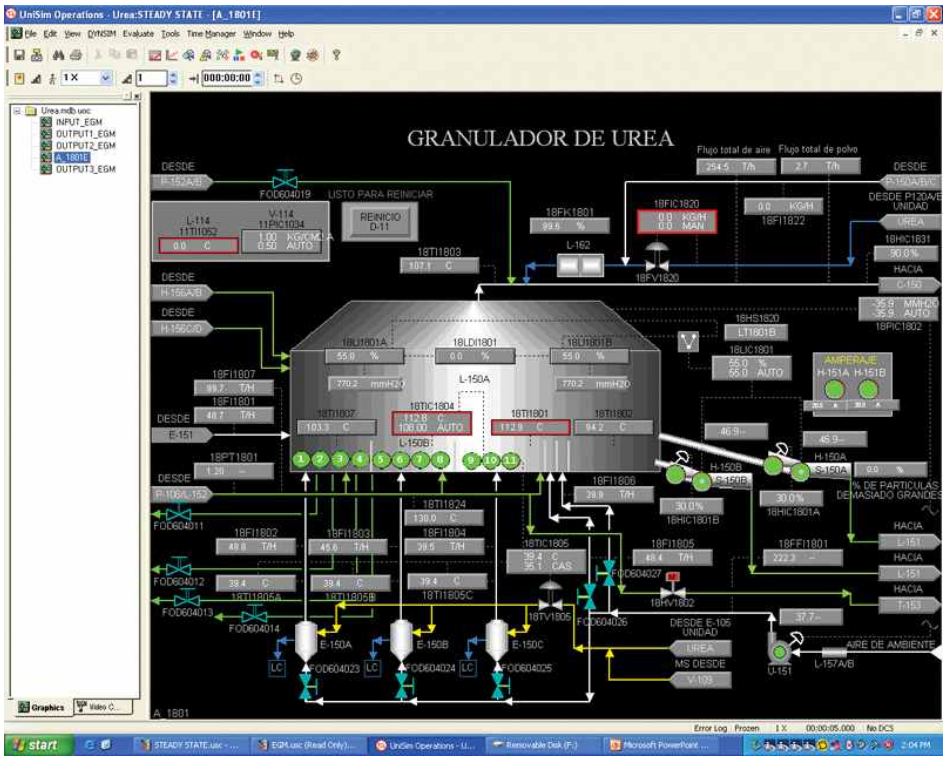


그림 2-7. Honeywell의 UniSim 기반 OTS 사례

○ 그러나 기존의 OTS 시스템은 단순히 "조업자가 공정을 어떻게 운전해야 하는지"에 초점을 맞추어 구성되었기 때문에 공정을 잘못 운전했을 때 어떤 사고가 발생할 수 있는지, 어떻게 잘못된 운전을 대처해야 하는지 등에 대한 수요를 충족시키지 못하고 있기 때문에 조업자와 공정 시뮬레이션 모델간의 인터랙티브 시스템 구축을 통해 조업자의 교육 효과 향상을 필요로 함

○ 이러한 추세에 맞춰 최근에는 동적 시뮬레이션과 사고 시뮬레이션의 연계, 실감 기술을 추가한 현장 운전원들을 위한 OTS 개발 등이 이뤄지고 있음

- 미국 NETL과 DOE (Department of energy)의 협업을 통해 이루어지고 있는 프로젝트인 AVESTAR (Advanced Virtual Energy Simulation Training and Research)에서는 IGCC와 CO2 포집 공정을 대상으로 만들어진 동적 공정 시뮬레이터와 OTS를 연계, 이를 3D Virtual ITS (Immersive Training System)을 통해 도시함으로써 운전원 교육에 도움을 주는 것을 목표로 하고 있음. 이 프로젝트에서는 특히 3D CAD를 통해 만들어진 모델을 3D 안경을 통해 관찰하면서 가상 환경 안의 아바타가 현장 운전원 입장에서 조이패드를 활용해서 직접 이곳 저곳을 다니면서 플랜트를 볼 수 있도록 하고 있음

그림 2-8. AVESTAR 프로젝트 3D VITS 사례

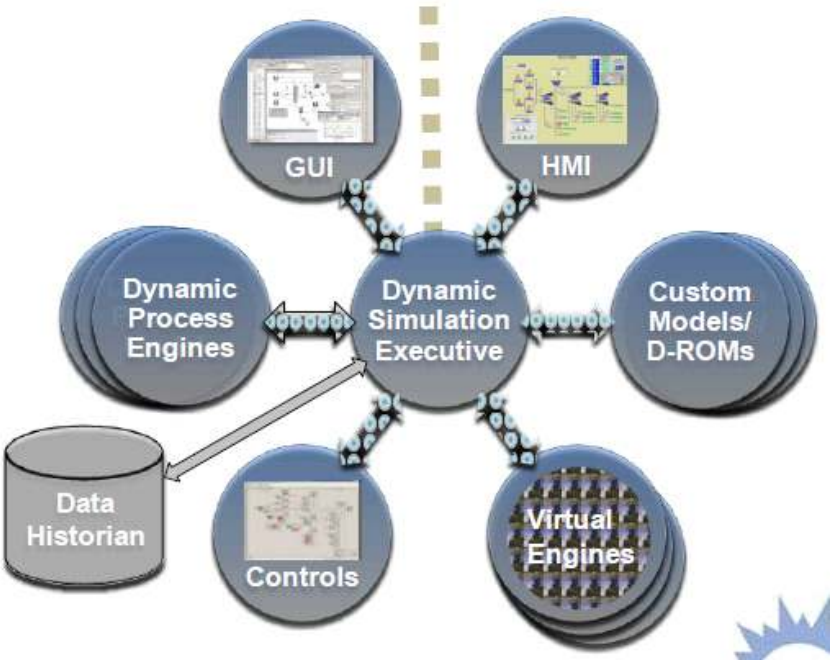


그림 2-9. Invensys Operations Management 개념도

- 미국의 Invensys사에서는 통합 솔루션 개발을 진행중에 있으며 이는 현재 Invensys Operations Management라는 포맷으로 제공되고 있음. 해당 패키지에는 Invensys사에서 기존에 개발한 DynSim과 같은 공정 시뮬레이션 소프트웨어 외에도 HMI (Human Machine Interface), ITS 소프트웨어를 포함하고 있음
- 미국의 GSE Systems에서는 조업자 훈련을 위한 증강현실 훈련 시스템인 Virtual Flow Loop Trainer를 제작

그림 2-10. GSE Systems의 Virtual Loop Trainer 예시

- 이탈리아의 Politecnico de Milano에서는 Virtual Reality 기술을 보다 적극적으로 활용하여 OTS에서 관찰할 수 없는 사고 사례를 3D 고글 등을 통해 관찰할 수 있도록 개발 중임. 또한 HDA (Hydro Dealkylation) 공정을 대상으로 UniSim으로 모사, 사고 사례에 대한 데이터를 확보하고 이를 바탕으로 3D 모델에 반영하는 연계 방안을 연구중임

그림 2-11. Politecnico de Milano의 가상 플랜트 개발 사례

○ 또한 화학 공정에서의 사고는 필연적으로 누출, 화재, 폭발과 관련되며 이는 광범위한 인명 피해로 연결될 수 있다는 점에서 그 사고 형태가 어떻게 나타나는지에 대해서 정성적, 정량적으로 분석하는 것은 필히 수행되어야 함. 따라서 작업자를 대상으로 한 OTS 개발에는 사고 상황에 대한 대처 개념이 포함되어야 하는 만큼, 사고 상황의 도시를 위한 정량적 위험 분석 및 평가는 반드시 수반되어야 함. 정량적 위험 분석은 위험 물질 누출, 화재, 폭발에 대한 피해 범위, 파괴력 등을 분석하는 과정이며 이미 국내 및 해외에서 이를 전문으로 분석하는 소프트웨어가 출시되어있는 상황이며 대표적으로 DNV사의 Phast, Safeti 등이 있으며 미국에서는 ALOHA, 국내에서는 K-CARM이라는 프로그램이 개발된 바 있음

○ 그러나 대부분의 위험성 평가 소프트웨어가 Stand Alone 형태로 개발되어 전문적인 지식을 보유하지 않고는 이를 직접 이용하거나 분석하기가 힘들어 실제적인 활용에 한계가 있으며, 사고가 공정에 미치는 영향 등에 대한 평가도 제한적이기 때문에 플랜트의 동적 시뮬레이션 소프트웨어와 연계된 사고 시뮬레이션을 구현할 시 햅틱 환경의 OTS 개발에 크게 기여할 수 있음

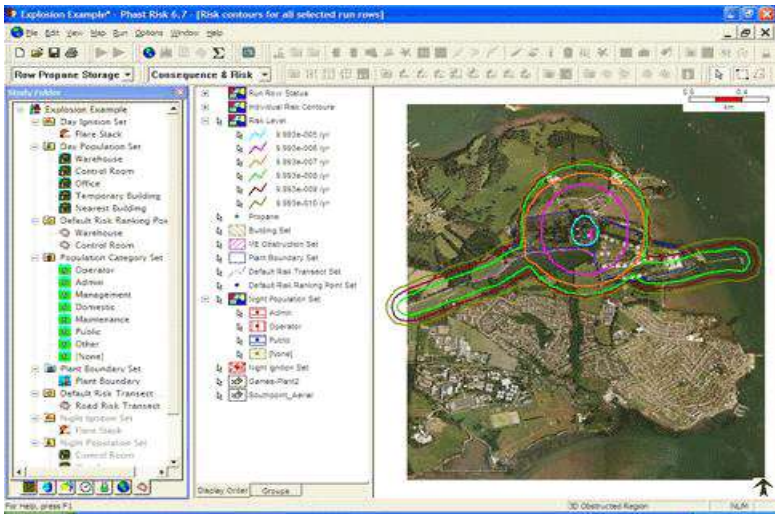


그림 2-12. DNV사의 Safeti를 활용한 정량적 위험분석 예시

○ 이러한 공정 시뮬레이션과 사고 시뮬레이션의 인터랙티브 시뮬레이션 플랫폼 개발 사례는 아직 전세계적으로 드문 상황

- Invensys의 AVESTAR 프로젝트에서도 EYESIM과 연계를 통해 사고 시뮬레이션을 정량적으로 표현하지 않고 사고 상황에 대한 개략적인 시각 정보만이 제공 가능하도록 개발
- 이탈리아의 Politecnico di Milano에서 공정에서 발생한 사고로 인한 2차 영향을 분석할 수 있도록 기술 개발 중에 있으나 아직 초기 단계

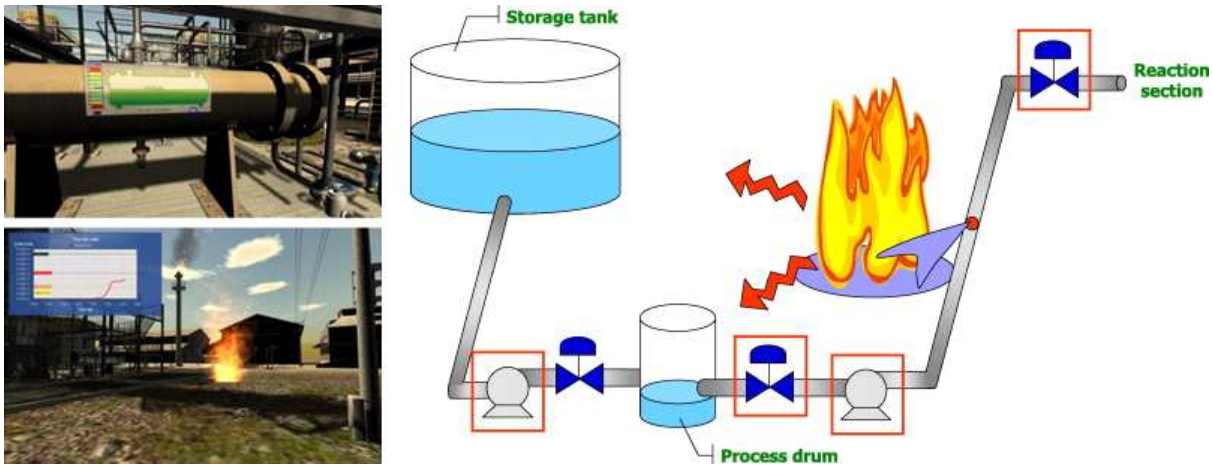


그림 2-13. 사고를 표현한 Virthualis의 가상현실 도시 예 (좌)
공정 운전중 발생한 사고가 다시 공정에 영향을 미치는 것을 감안하기 위한 개념도 (우)

다. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 동향

○ 가상현실 기술은 인간이 컴퓨터가 만들어 낸 가상의 세계에 몰입해 존재감을 느끼면서 현실과 똑같이 생각하고 행동하며 적절한 피드백을 받을 수 있게 하는 기술임. 이 기술은 실제보다 물리적 에너지와 경비를 절감할 수 있어 녹색 기술로서도 주목 받고 있으며 영화나 게임 등 엔터테인먼트 분야 외에도 의료와 국방, 교육, 훈련, 제품의 생산 및 운영 등 다양한 분야에 적용되고 있음

○ 선박, 플랜트 등 실물 제품이나 환경을 미리 만들어보기 어려운 경우, 외관 디자인을 평가하거나 구조물 배치 등의 의사 결정 정보를 제공할 수 있으며, 더 나아가 제품의 물리적인 성능을 미리 예측하여 설계 검증에 활용하거나 시스템의 운용성 평가와 유지보수에 활용할 수 있는 엔지니어링 기반 시뮬레이터 관련 기술이 개발된바 있음

- 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 (Augument Reality) 기술과 가상현실을 활용하여 집합주택 가상 체험 환경을 구축하고 맨션 가상 체험 시스템을 개발하였음

그림 2-14. 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 등임

- 가상현실 기반 기술 교육은 발생할 우려가 있는 안전 사고를 예방하고, 비싼 재료비를 낭비하지 않더라도 충분한 교육을 시행할 수 있고, 쾌적한 실습 교육 환

경을 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 선정한 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

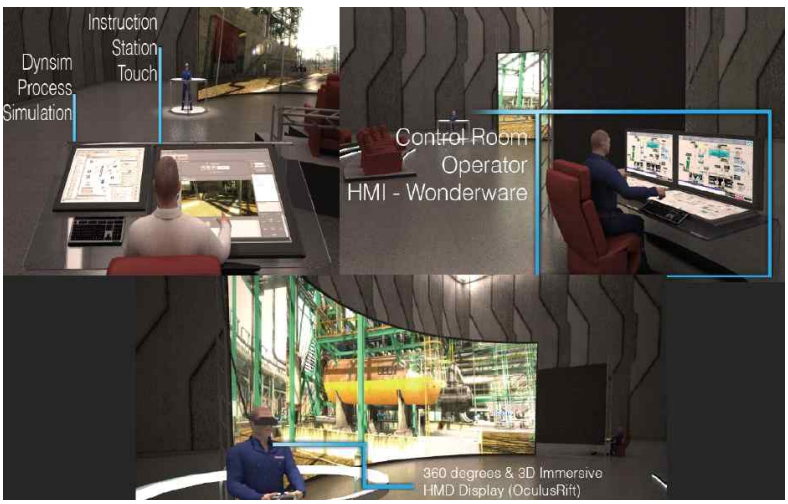


그림 2-15. Invensys사의 EYESIM 솔루션

○ 한국기계연구원은 화재 위험도가 높은 대형 소방 대상물 화재 발생시, 그 대피 경로의 파악, 진화 훈련과 같은 전문 지식 습득이나 신속한 의사 결정을 위한 소방

훈련에 활용하기 위해서 화재 상황 전개 시나리오의 가상 공간 구현 시스템 구축하고 소방 안전 대응 시뮬레이터 시스템 개발하였음

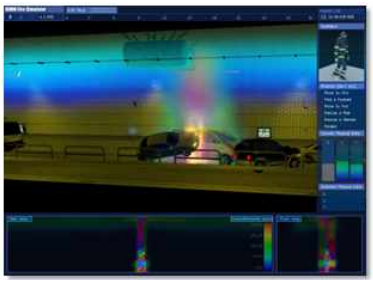


그림 2-16. 한국기계연구원의 소방 훈련용 가상 환경 구축 사례

○ 대용량 CAD 데이터 가시화를 위해서는 CAD 데이터의 크기를 줄이는 방법 (경량 CAD 데이터 포맷)이나 CAD 데이터를 빠르게 처리하는 방법 (실시간 최적 가시화)의 적용이 필요함. 대표적인 경량 CAD 데이터 포맷으로는 JT, 3D XML, XVL 등이 있음. 실시간 최적 최적화 기술로는 다중해상도, visibility culling, GPU 기반 병렬 데이터 처리 기술이 있음

- 3D CAD 데이터의 간략화 연구는 간략화 대상 객체에 따라 다면체 기반 방법과 특징 형상 기반 방법으로 구분됨. 다면체 기반 방법에서는 중요도가 낮은 다각형들을 제거하여 생긴 빈 공간을 단순한 다각형으로 채우는 방식으로 3D CAD 모델을 간략화함. 특징 형상 기반 방법에서는 3D CAD 모델을 구성하는 특징 형상들을 중요도에 따라서 재배열을 한 후에 중요도가 낮은 특징 형상을 제거하는 방식으로 3D CAD 모델을 간략화함
- 플랜트 현장 스캔 데이터는 3D 좌표를 갖는 정점의 집합, 즉, 포인트 클라우드 형태이며, 레이저만으로는 컬러 정보를 획득할 수 없으므로 스캐너에 부착된 카메라를 사용해 스캔과 동시에 컬러 정보를 획득함. 이렇게 획득된 포인트 클라우드 데이터는 노이즈 제거 및 데이터 병합 등의 작업을 통해 다각형 메시 모델로 변환한 후 후처리 과정을 거쳐 플랜트 3D CAD 모델로 변환됨

○ 훈련용 VR 시뮬레이터 시스템은 실시간으로 가상 환경의 가시화를 해야하기 때문에 가상 환경 모델의 경량화 및 하드웨어 기반 고속 렌더링 기술을 적용하려는 연구가 국내외 대학과 연구소에서 수행되었음

- 한편 멀티 채널 가시화를 적용한 VR 시스템의 경우, 고가의 외산 상용 패키지에 의존하는 경우가 대부분이며 이 또한 엔지니어링 시뮬레이션을 고려하지 않은 단순한 3차원 가시화만을 구현하거나 VR 시스템으로서는 적합하지 않는 범용 포

스트 프로세서가 적용되고 있는 상황임

○ 멀티 채널 시스템에 대한 오픈 소스 기반의 자체 개발을 시도한 국내외 대학과 연구소 등에서도 플랜트 안전 DB 등의 비형상 자료의 정합 기술이 적용된 시뮬레이션 시스템의 개발은 아직 연구 초기 단계임

라. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 동향

○ 1993년부터 2003년까지 중앙소방학교에서 화재 진압 시뮬레이션에 관한 연구가 국내에서 처음으로 수행되어 건물 내부 및 선박 탱크 로리의 화재 특성을 분석해 화재 진압 모델과 교육용 대피 프로그램을 개발하였으나 사용자 체험 기반이 아닌 분석 위주의 시뮬레이션임

그림 2-17. 항만 크레인 운전자 훈련 시뮬레이터 (토탈소프트뱅크)

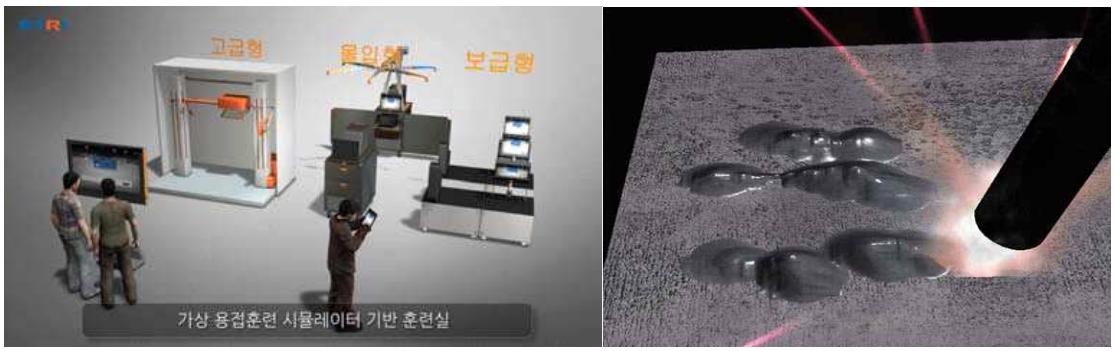


그림 2-18. 용접 훈련 시뮬레이터 (한국전자통신연구원)

○ 분산 컴퓨팅 기술을 통한 실시간 대용량 데이터 처리 기술에서 HLA/RTI를 이용한 자동차와 플랜트 산업에서 분산 시뮬레이션을 위한 연구가 진행중임

○ 센서와의 연동 기술로서 터치폰과 같은 핸드폰 센서 분야에서 높은 기술 수준을 보유하고 있고, 인터랙션 기술로서 원격 조작을 위한 영상 정보 기반 기술에 대한 연구가 2008년에 보고되고 있음

그림 2-19. 건물 내부 화재 특성 분석 시뮬레이션 연구 (중앙소방학교, 1994)

○ 햅틱과 시뮬레이터간의 센서를 통한 연동 기술은 선진국의 경우 국방 분야에서 가상의 무기를 이용한 전투 훈련 시뮬레이션 기술이 마련되어 있으며, 일본의 경우 닌텐도 Wii와 같이 사람에 의해 작동되는 기구와 연동되는 게임이 활발하게 시판되어 높은 기술 수준을 보유하고 있음

그림 2-20. Sim Welder (VRSim)

○ 인터랙션 방법에 대한 기술은 ISO를 통해 인간과 컴퓨터간의 인터랙션 (Human Computer Interaction, HCI)으로 표준이 정의되어 활발하게 연구되고 있어 터치폰과 같은 형태로 기술이 진화중임

○ 컴퓨터 하드웨어와 인터페이스 기술의 발전으로 인하여 시각과 청각을 넘어선 촉

각 인터페이스 장치에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있음. 사람에게 촉각 정보를 전달해 주는 장치를 햅틱 (haptic) 장치라고 하는데 햅틱 (haptic)이란 단어는 '촉감과 관련된 (of or relating to the sensation of touch)'이란 뜻으로 그리스어인 haptesthai라는 말에서 유래가 되었음. 사용자에게 촉각 정보를 전달해 주는 기술인 햅틱스는 1970년대와 1980년대 주로 마스터-슬레이브 구조를 갖는 시스템에서 슬레이브 로봇을 조종할 때 정교한 작업을 위하여 힘을 귀환 (force reflecting)시켜 사용자에게 전달하는 과정에서 나온 기술이라고 해도 과언은 아니며, 그 후 1990년대 중반에 접어들어 컴퓨터 그래픽스, 가상현실 기술과 햅틱 기술이 접목되면서 햅틱스에 대한 연구가 본격화 되었으며 현재 햅틱스 기술을 이용한 햅틱 시스템들이 많이 개발되기 시작하였음

○ 일반적으로 기계, 전자, 전산 등의 복합 기술을 바탕으로 구축되는 햅틱 시스템은 햅틱 장치와 이에 연결된 각종 제어 및 계측 시스템, 힘을 생성하는 소프트웨어로 구성되어 있으며 이러한 햅틱 시스템은 원격 수술, 군사용이나 의료용 시뮬레이터, 활동을 하기 힘든 장애인들이나 신체 기능이 저하된 노약자들을 위한 재활 시스템 등에 활용이 되고 있음. 햅틱스의 주요 연구 분야는 1) 촉각 정보를 사용자에게 전달해 주기 위한 햅틱 장치의 개발, 2) 햅틱 장치를 안정적으로 동작시키기 위한 햅틱 장치의 제어, 3) 사람이 어떻게 촉감을 느끼는지에 대한 촉감 인지 연구, 그리고 4) 사용자의 인터랙션 정도와 물체의 기계적 특징에 따라 힘을 계산하고 생성하는 햅틱 렌더링 등이 있음

○ 햅틱 연구의 초창기에는 주로 근 감각 (kinesthesia)을 전달하기 위한 햅틱 장치를 개발하는 부분과 햅틱 장치를 제어 하는 부분에 대한 연구가 주류를 이루었으나, 최근에는 실감있는 햅틱 렌더링 기술, 사람의 촉감 인지에 대한 정신 물리학적 연구, 피부 감각 재현 기술 및 이를 모바일 기기 등에서 사용할 수 있게 하는 연구 등이 주류를 이루고 있음. 햅틱 시스템은 사용자, 햅틱 장치, 햅틱 제어기, 원격에 존재하거나 가상 환경에 존재하는 대상 물체, 햅틱 렌더링 기법으로 이루어져 있음. 햅틱 장치는 가상 환경이나 원격 환경으로 사용자의 명령을 전달하며 인터랙션시 발생하는 촉감을 사용자에게 되돌려주는 장치이고, 햅틱 제어기는 햅틱 장치를 사용자가 원하는 위치까지 충분히 도달하게해 주며, 인터랙션시 필요한 힘을 사용자에게 안정적으로 전달하기 위한 제어기이며, 햅틱 렌더링은 사용자가 가상의 환경과 인터랙션 할 때 가상의 물체의 물리적 성질과 사용자의 인터랙션 정도

에 따라 힘을 계산하고 생성하는 기법임. 사용자가 햅틱 시스템에서 가상의 물체 또는 원격지에 있는 물체와 인터랙션을 하기위해 햅틱 장치를 잡고 움직이면 햅틱 장치의 움직인 정보가 가상/원격지의 환경으로 전달되며 전달된 가상 환경내의 햅틱 장치와 가상의 물체와 충돌이 생기면 물체는 변형이 발생하거나 이동될 수 있음. 이때 사용자의 인터랙션량과 물체의 물리적 특성에 따라 힘이 계산/생성되어 다시 햅틱 장치에 전달되면 햅틱 장치를 잡고 있는 사용자는 인터랙션 힘을 느낌

○ 촉감 제어 기술을 살펴보면, Force Feedback Mouse에서 진동으로 촉감을 전달하는 iFeel Mouse 등 PC의 기본 인터페이스인 마우스에 촉각 인터페이스를 추가한 제품이 개발되었으며, 인터넷 콘텐츠, 웹 브라우저, 게임 소프트웨어의 내부에 촉감 인터페이스 장치를 구동할 수 있는 기능을 구현하기 위한 개발이 시도되고 있음

○ 촉각 제시 장치 기술을 살펴보면, 사용자가 임의의 물체와 인터랙션을 할 때 물체를 만지는 느낌을 제공해 주는 장치를 촉각 제시 장치 (haptic device)라고 하며 촉각 제시 장치에는 촉감 제시 장치 (tactile device), 역감 제시 장치 (force feedback device), 온열감 제시 장치 (thermal feedback device)로 크게 나뉘어짐

○ 촉감 제시 장치 기술을 살펴보면, 피부의 촉감 자극 구현을 위해 사용되는 피부 자극 방법에는 크게 기계적 자극 방법과 전기적 자극 방법이 있음. 기계적 자극 방법은 linear actuator들로 핀 배열의 각 핀을 구동시켜 피부를 자극하는 것임. Linear actuator로는 압전 소자, 전자석, 형상 기억 합금, electro-active polymer, 공압 구동기 등이 사용됨. Karlsruhe 대학교의 Fisher 그룹에서는 엔도스콥(endoscope)에서 사용할 수 있는 촉감 제시 장치를 개발함. 이것은 3 x 24개의 핀 어레이 타입으로 구성이 되어 있으며 72개의 액츄에이터가 최대 600Hz까지 동작하여 사람에게 진동 자극을 가함. 하버드 대학교에서는 RC 서보 모터로 구동되는 6 x 6핀 어레이 장치를 이용한 장치를 개발하였음. CompuTouch사는 two-axis 모터를 이용한 새로운 촉감 제시 장치를 개발함. 이 장치는 버튼 용도로 사용되며 최대 tilt 각도는 -10~+10o 임. Armstrong Lab에서는 SMA 액츄에이터를 이용한 HAPTAC이란 장치를 개발하여 촉감을 사용자에게 제시함

Karlsruhe의 장치 Harvard 의 장치 CompuTouch Armstrong Lab의 장치

그림 2-21. 다양한 기계적 촉감 제시 장치

○ McGill 대학교의 Haptic Lab.은 피에조 액츄에이터를 이용하여 사람 피부를 수직/수평으로 자극할 수 있는 촉감제시장치를 개발함. Carnegie Mellon 대학교에서는 MEMS 기술을 이용하여 1cm2의 표면에 24개의 액츄에이터를 이용하여 피부 자극을 줄 수 있는 장치를 개발함. Tokyo 대학교의 Higuchi Lab.에서는 정전기력을 이용한 촉감 제시장치를 개발함. 정전기력 액츄에이션을 위하여 얇은 필름형 slider와 stator를 이용하였고 이 장치를 통하여 물체의 표면을 문지를 때의 저항감을 생성함

McGill 대학의 장치 CM 대학의 장치 Higuchi Lab의 장치

그림 2-22. 다양한 전기적 촉감 제시 장치

○ 역감 제시 장치 기술을 살펴보면, 센서블 (Sensable)사의 팬텀 (Phantom), 이머전 (Immersion)사의 임펄스 엔진 (Impulse Engine) 등이 대표적으로 가장 많이 사용되고 있는 촉감 제시 장치임. 그러나 이런 장치들은 물체를 만지거나 누를 때 물체가 얼마나 딱딱한지를 파악해 주는 역감 (force) 정보만을 제공하는 데 한정되어 있을 뿐 물체 표면의 거칠기 (tactile sensation)나 온열감 (thermal sensation) 등을 전달해 주지는 못하고 있음

그림 2-23. Sensable Technology사의 Phantom과 역감 제시 장치를 이용한 복강경 수술 시뮬레이터 장치

그림 2-24. Novint사의 Falcon, MPB Technologies사의 Cubic

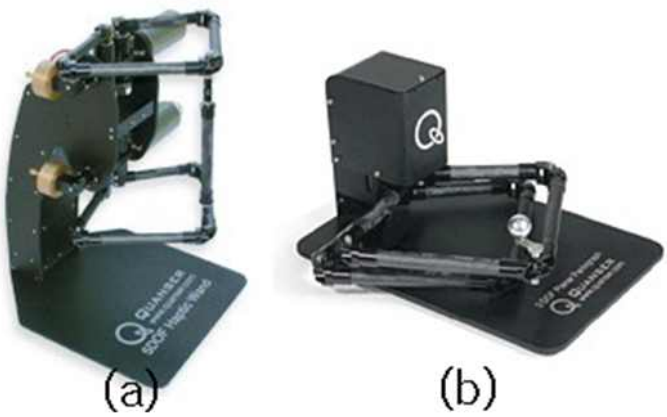


그림 2-25. Pantograph (a): 5 DOF Twin Pantograph, (b): 3 DOF Planar Pantograph

○ 스위스의 EPFL과 Force Dimension사는 병렬형 구조를 이용하여 중력 가속도 성분을 보상할 수 있게 하는 Omega/Delta 햅틱 장치를 개발하였고 Novint사에서는 저가의 햅틱 장치인 3 자유도의 Novint Falcon을 개발하였음. 캐나다의 MPB

Technologies사에서는 Cubic이라는 햅틱 장치를 개발하였고, 브리티시 콜럼비아 대학교의 Salcudean 교수는 5-bar 링크 구조를 이용하여 pantograph를 개발하였음. 이와 같은 장치는 기구부의 조인트/링크가 병렬로 연결된 구조를 가지고 있는 병렬형 햅틱 장치로 큰 힘의 표현이 가능하고 힘이 분산되기 때문에 내구성이 강하고 안정된 구조를 갖음. 또한 관절에서 발생하는 오차의 누적이 크지 않으므로 정밀 제어가 가능함. 반면에 직렬형 햅틱 장치보다 작업 공간이 작고, 정기구학 해석이 매우 힘들며, 정상 제어가 불가능한 지점 (singular point)이 존재하므로 제어하기 용이하지 않다는 단점이 있음. 이와 같은 햅틱 장치는 바닥에 고정되어 있어야 하므로 이동하면서 햅틱 자극을 느끼는 본 과제와 같은 시스템에서는 적용이 매우 힘듬

○ 이를 위하여 인간의 움직임을 그대로 반영하며 사용자에게 햅틱 자극을 전달해 줄 수 있는 외골격형 (exoskeleton)의 햅틱 장치가 개발되었음. 이탈리아 PERCRO 사에서는 팔 전체를 감쌀 수 있는 외골격 형 햅틱 장치를 개발하였고 두 개의 손가락에 햅틱 감각을 전달해 줄 수 있는 손가락용 햅틱 장치에 연결하여, 사람의 팔의 작업 공간의 약 80%와 손목 전체 그리고 엄지/검지 손가락의 작업 공간의 전부를 커버할 수 있도록 하였음. 이머전 (Immersion)사는 손가락과 손에 힘 정보를 전달해 주는 Cyberforce를 개발하였음. 이 시스템에서는 손가락에 힘을 전달하고자 글러브 모양의 기구를 사용하였고 직렬 로봇과 같은 형태를 제작하여 팔에 햅틱 정보를 전달하였음. 독일의 Berlin Institute of Technology에서는 재활을 목적으로 전기 모터와 케이블에 의해 각 조인트들을 개별적으로 제어하며 또한 힘이 생성되는 Powered Hand Exoskeleton 시스템을 개발하였음. 이와 같은 햅틱 장치는 이동이 가능하지만 크기가 매우 크고 무게가 무거워 오랜 시간동안 착용이 매우 힘든 실정임. 그러므로 본 과제에서는 사용자의 손 끝에 감각을 전달해줄 수 있는 소형 외골격형 햅틱 장치를 개발할 필요가 있으며, 사용자가 가상의 공간을 걸어 다니며 체험할 때 전달받는 느낌을 제공하기 위하여 Walk Through Type 햅틱 장치를 개발하고자 함

○ 순수 국내 기술로 개발한 NT 리서치사의 Wearable Haptic 장비 개발이 상용화 과정에 있으나 Haptic 장비로서의 활용도는 부족하고 연구중인 Exoskeleton 타입의 Wearable Haptic 기술의 경우 자유도나 표현력이 부족함

○ 충남대학교에서는 Exoskeleton 형태의 마스터 암의 움직임을 슬레이브 로봇이 양쪽 팔에 12개의 자유도를 통해 구현한 Exoskeleton Motion Capture System을 개발중임

○ 고려대학교에서는 5개의 자유도를 가지고 각 조인트의 엔코더를 통하여 팔과 손목의 움직임을 감지하고, Exoskeleton 형태의 로봇 팔에 장착된 모터를 이용해 가상 환경에서 힘-피드백을 구현한 Wearable Haptic in Virtual Environment를 개발, 본 시스템은 Cave Automation Virtual Environment (CAVE)로 가상 환경을 구성하며 자동차 주행과 냉장고를 작동하는 시연 프로그램을 수행하였음

○ 일본의 경우 현재 Wearable Haptic 장비는 실용화 단계에 있고 편리성과 사실감 표현도 뛰어난 수준이며 미국의 경우 군부대에서 실제 훈련용과 재난 구조용으로도 사용되고 있으며, 그 기술 수준이 뛰어남

○ 일본, 미국의 경우 다양한 타입의 Locomotion Simulation 기술을 통해 가상 환경 속에서 Simulation이 실제 이동시에 발생하는 이동 변위와 속도 차이가 크지 않을 만큼 뛰어나고 Haptic과 가상 현실이 상호 연계된 기술이 화재 진압 시뮬레이션 부분이나 가상 우주 체험 환경에도 쓰이고 있음

○ Telepresence 기술은 미국의 경우 실제감 구현에 쓰이는 Haptic 장치만을 전문적으로 만드는 회사가 있으며, 많은 대학에서도 다양한 종류의 Haptic 장치를 개발하고 있음. 특히 정밀한 촉감 표현을 위해서 힘-피드백 장치의 개발을 위해 많은 연구가 진행되는 것이 특징임

○ 미국 유타대학교, Sarcos Research에서는 가상 공간에서의 환경 변화에 맞추어 움직임을 취할 수 있는 Treadmill Type의 가상 이동 시스템인 Sarcos Treadport를 개발하여, 구속된 움직임이지만 가상 현실속에서 걷거나 뛰는 등 비 구속된 움직임 구현이 가능해 체험자의 움직임 계산과 CG를 이용해 3D 공간과 체험실의 상황 변화도 가능하게 하였음

그림 2-26. Sarcos Treadport (Sarcos Research)

○ 일본에서는 가상 환경에서 힘-피드백 장치를 통하여 바닥의 상태를 표현해주는 시스템인 Ground Surface Simulator를 개발, 본 시스템은 다양한 바닥의 변화를 통해 가상 환경과 직접적인 상호 작용이 가능해 가상 환경을 이용한 다양한 훈련에 효과적임

○ 이탈리아 Scuola Superiore Sant'Anna 대학교에서는 가상 환경에서 보여주는 Haptic 효과를 Exoskeleton 타입의 장치를 통해 표현하는 시스템인 L-Exos (Light Exoskeleton)를 개발했으며 이는 각 관절 정보를 엔코더를 통해 실시간 가상 환경과 연동시켜서 가상 환경에서 가해지는 힘은 체험자의 Exoskeleton을 통해 Haptic 정보를 전달받음

○ 미국 Sensable사는 완전한 디지털 방식으로 손으로 실제 존재하는 사물을 만드는 것처럼 자연스레 3차원 촉감을 구현하여 인간과 컴퓨터의 상호 작용을 수행하는 장치인 Phantom을 개발함. 현재 다양한 응용 분야에서 사실적인 실제감을 구현하기 위해 사용되고 있음

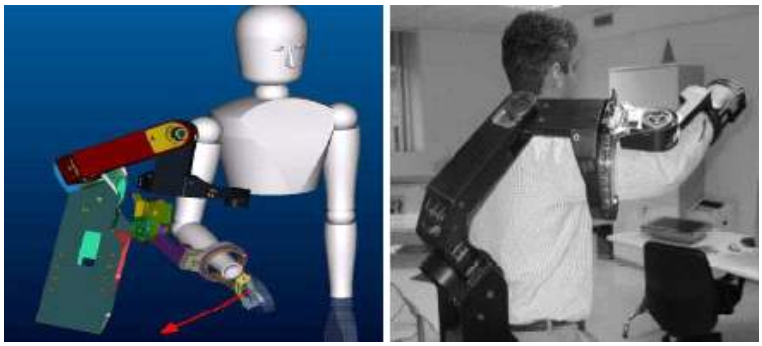


그림 2-27. L-Exos (Scuola Superiore Sant'Anna 대학교)

그림 2-28. Phantom (Sensable)

○ University of California, Berkeley에서는 6개의 엑츄에이터로 10개의 자유도를 구현하는 운동 보조 장치인 Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)을 개발해서 주로 군인의 행군 보조나 재난시의 구조용 보조 기구로 사용되고 있음

그림 2-29. Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (University of California Berkeley)

마. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 동향

○ 가상 현실 기술은 인간이 컴퓨터가 만들어 낸 가상의 세계에 몰입해 존재감을 느끼면서 현실과 똑같이 생각하고 행동하며 적절한 피드백을 받을 수 있게 하는 기술임. 이 기술은 실제보다 물리적 에너지와 경비를 절감할 수 있어 녹색 기술로서도 주목 받고 있으며 영화나 게임 등 엔터테인먼트 분야 외에도 의료와 국방, 교육, 훈련, 제품의 생산 및 운영 등 다양한 분야에 적용되고 있음

○ 선박, 플랜트 등 실물 제품이나 환경을 미리 만들어보기 어려운 경우, 외관 디자인을 평가하거나 구조물 배치 등의 의사 결정 정보를 제공할 수 있으며, 더 나아가 제품의 물리적인 성능을 미리 예측하여 설계 검증에 활용하거나 시스템의 운용성 평가와 유지보수에 활용할 수 있는 엔지니어링 기반 시뮬레이터 관련 기술이 개발된바 있음

○ 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 등임

○ 가상 현실 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

○ 가상 현실 기반 학습은 HMD, 3D 디스플레이 등을 통해 학습자에게 몰입된 교육 환경을 제공함과 동시에 실습 장비도 실제 장비와 유사한 크기와 무게의 장비를 활용해 학습자에게 실제 작업과 유사한 시각, 청각, 촉각 피드백을 제공해서 현장에서 직접 배우는 것과 유사한 학습 효과를 갖게 함

○ 미국 Sandia National Laboratory에서는 화물용 비행기의 짐칸에서 감지되는 화재 감지 시스템에 대한 표준화와 알람 오작동률을 향상시키기 위한 프로젝트를 위해 전산유체 역학 모델을 개발해 짐칸의 지형, 공조, 부하, 온도, 압력 등에 대한 센서 위치로 짐칸에서의 입자상 물질과 연소 가스 전달에 대한 정보 제공을 통해 컴퓨터 계산에 의한 짐칸의 온도를 예측하고 열 전달량과 가스 종류를 예측하게 하였음

○ 일본 포럼에이트사에서는 비상시 사람의 움직임뿐 아니라 각종 화재, 유해 가스도 동시에 시뮬레이션이 가능한 '빌딩 Exodus/SmartFire'를 개발, 이는 전산 유체 역학에 근거한 화재 시뮬레이션 소프트웨어로서 설계자가 CFD나 소프트웨어를 의

식하지 않고 설계에 집중할 수 있고 효율적인 피난 및 해석을 할 수 있도록 지원하는 점이 특징임. 또한 피난자의 움직임에 유연성을 주기 위해 피난자, 상호 작동, 행동, 유해성, 장해물, 경계 지역 모델인 6개의 상호 작용 서브 모델로 분류시켜 실내 형상으로 정의된 공간 영역에서 동작할 수 있어 샌프란시스코 지하철이나 시드니 올림픽 스타디움 등 저명한 프로젝트에도 이용되고 있음

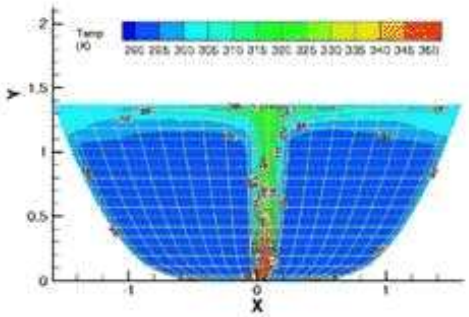


그림 2-30. 화물용 비행기 짐칸에 대한 전산 유체 역학 모델 (Sandia National Laboratory)

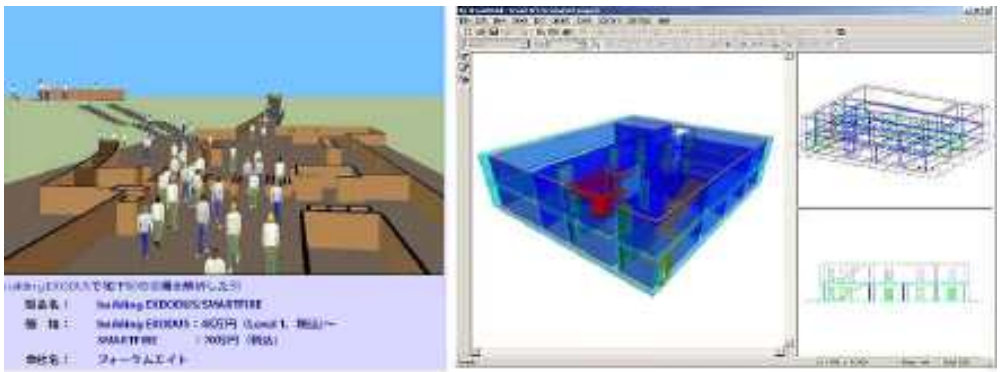


그림 2-31. 빌딩 Exodus/SmartFire (포럼에이트)

○ 도담시스템의 경우 2005년 T-50 초음속 고등훈련기 시뮬레이터를 제작하였음

○ 토탈소프트뱅크의 항만 크레인 운전자 훈련 시뮬레이터는 2004년 개발된 반몰입형 (semi-immersive) 가상 현실 시뮬레이터로 항만에서 화물선과 트레일러간에 컨테이너를 싣거나 내리는 크레인 운전자를 훈련시키기 위한 것임

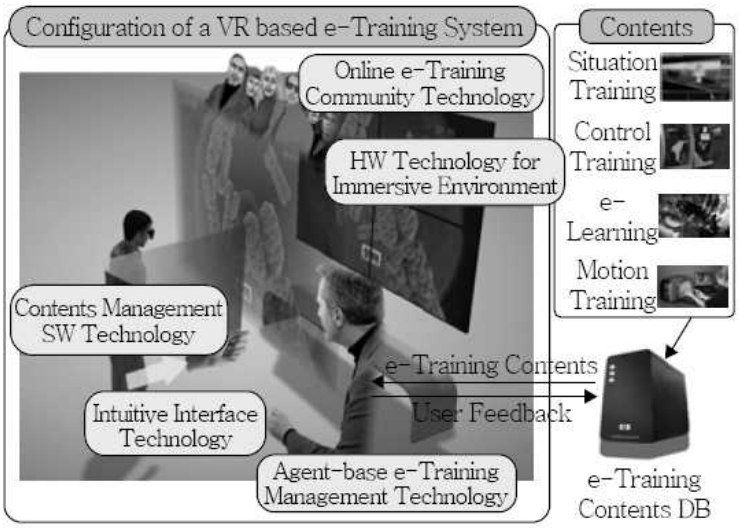


그림 2-32. 가상 현실 기반 훈련 개념도 (한국전자통신연구원)

○ 한국전자통신연구원은 중공업에서 필수적인 용접 작업을 가상의 시뮬레이션 공간에서 효율적으로 훈련할 수 있는 가상 용접 훈련 시뮬레이터 개발했고, 특히 용접 형상과 훈련 환경의 고품질 가시화 부분에서는 용접 작업 훈련을 컴퓨터 그래픽 기술을 응용하여 용접 작업의 시각적 정보를 실제 용접과 일치하도록 고품질로 표현했음

○ 시뮬레이터에서 도출되는 대용량의 데이터를 효율적으로 저장하기 위한 DB 구축 연구가 진행되어 왔으며, 국내 대비 상당히 높은 수준에 도달해서 해외 유수 연구소의 경우, 보유하고 있는 시뮬레이터에서 도출되는 대용량의 데이터에 인덱싱 기술을 접목하여 체계적으로 관리하고 있음

○ 데이터 저장을 위한 DB 구축 부문의 기술은 시뮬레이션 이외에 다양한 분야에서 대용량의 데이터를 저장하기 위한 DB가 구축되어 있으며, 국내의 IT 인프라를 바탕으로 계속 발전하고 있음

○ 시뮬레이터 결과를 분석하기 위해 ANOVA 분석, What-If, Trade-Off 방법 그리고 Data Mining 기법과 DEA를 이용한 분석이 활발하게 연구되고 있는 상황임

2.4 기술수준 분석

2.4.1 논문 분석

○ 논문동향 분석은 Elsevier사 ScienceDirect를 활용해 20년간의 Journal Article을 대상으로 조사 및 분석함

○ 검색분류는 기술별 대표 검색 키워드로 검색하여 총 18,511건이 검색되었으며 기술별로는 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 논문이 가장 많았고 그 외 분야는 비슷한 수준

표 2-6. 논문 검색 개요

논문 검색 조건	방법	
검색 Domain	ScienceDirect에 수록된 Journal Article	
검색 DB	Elsevier사 ScienceDirect	
검색 기간	1993년 1월 1일 ~ 2013년 8월 20일	
검색분류	**건수**	**검색 키워드**
플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술	3,098	plant safety, plant regulation, plant knowledge database, plant accident scenario
플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술	5,483	steady state process simulation, dynamic process simulation, accident simulation, interactive simulation
플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술	3,095	plant visualization, virtual plant, safety information, 3D laser scanning
플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술	3,027	haptic human interface, haptic rendering, haptic information processing, walking navigation
햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술	3,808	safety training, operator training simulator, plant system integration, plant system interface

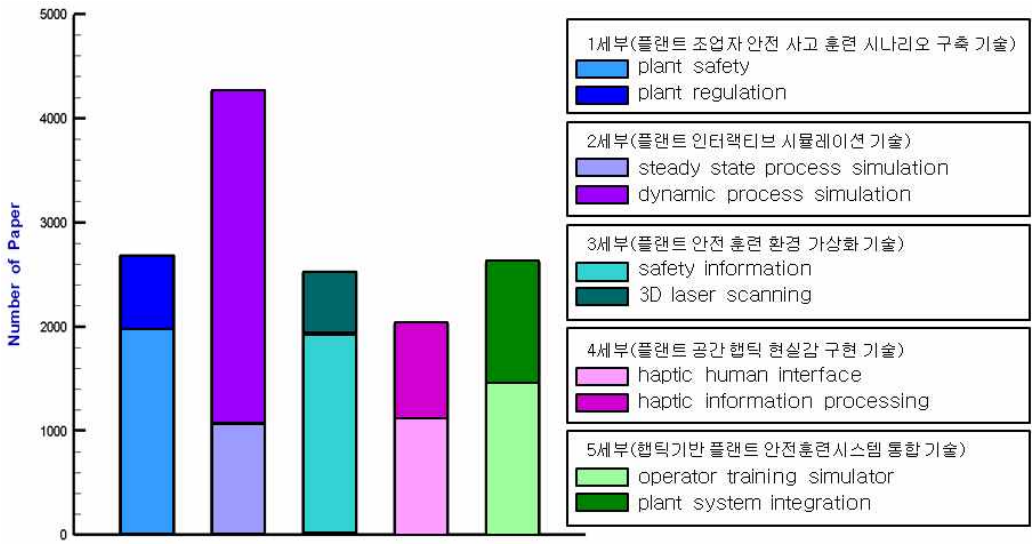


그림 2-33. 1993년-2013년 기술군별 논문 동향

가. 연도별 논문 발표 현황

(1) 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술

○ 검색을 수행한 결과 1993년부터 2013년까지의 논문이 약 3,098편에 달하는 것으로 나타났고, 점점 그 숫자도 증가하고 있음을 알 수 있음

○ plant safety, plant regulation 분야가 논문 건수는 많으나 plant knowledge database, plant accident scenario의 경우 2000년 이후 급격한 증가를 나타냄

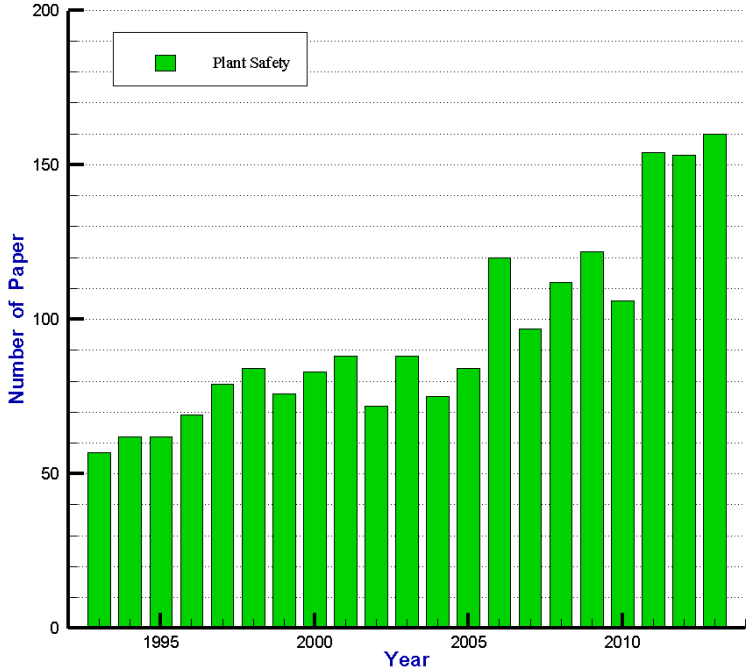


그림 2-34. plant safety 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 2003건)

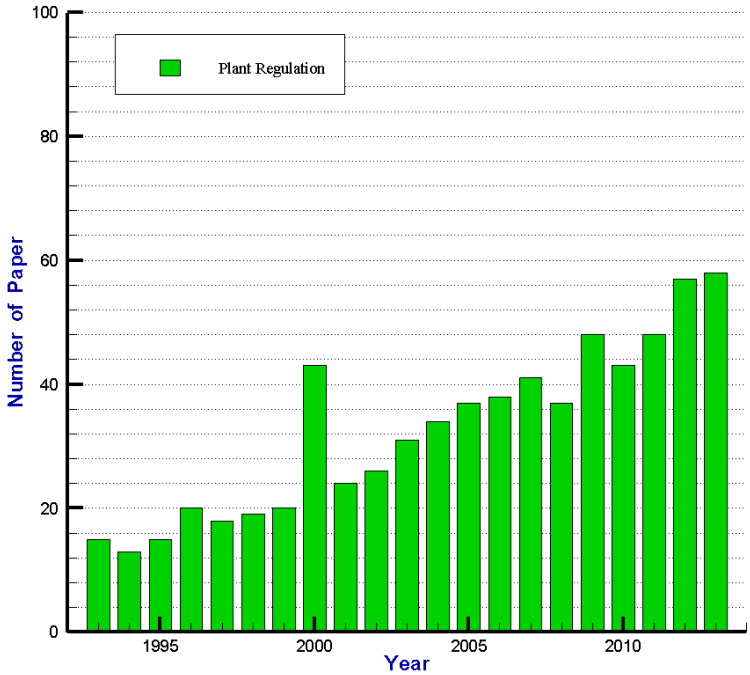


그림 2-35 plant regulation 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 685건)

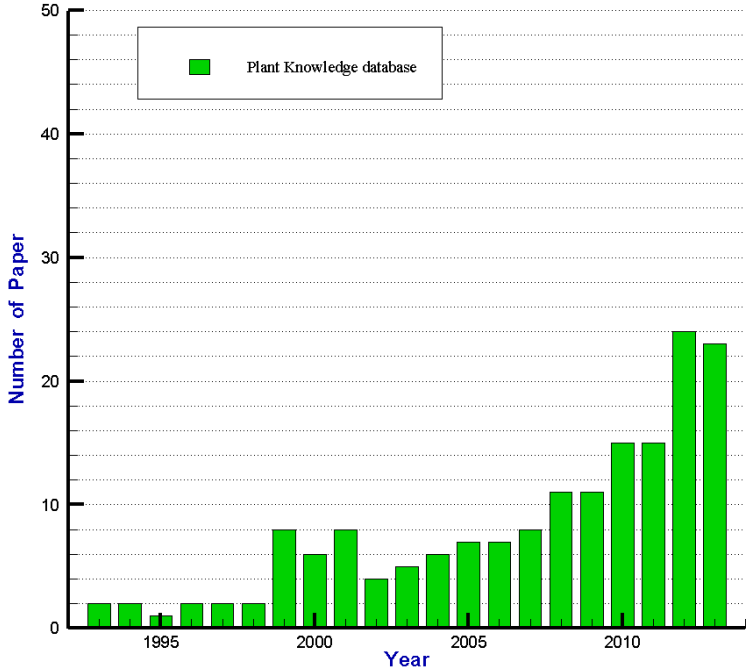


그림 2-36. plant knowledge database 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 169건)

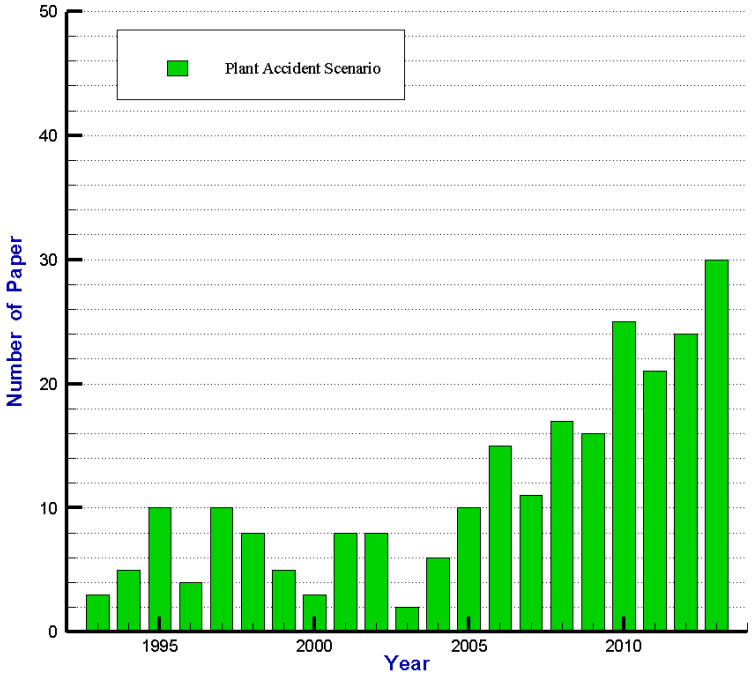


그림 2-37. plant accident scenario 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 241건)

(2) 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술

○ 검색을 수행한 결과 1993년부터 2013년까지의 논문이 약 5,483편에 달하는 것으로 나타났고, 점점 그 숫자도 증가하고 있음을 알 수 있음

○ steady state process simulation, dynamic process simulation 분야가 논문 건수는 많으나 Interactive simulation은 상대적으로 저조하고 Accident simulation의 경우 2000년 이후 급격한 증가를 나타내었음

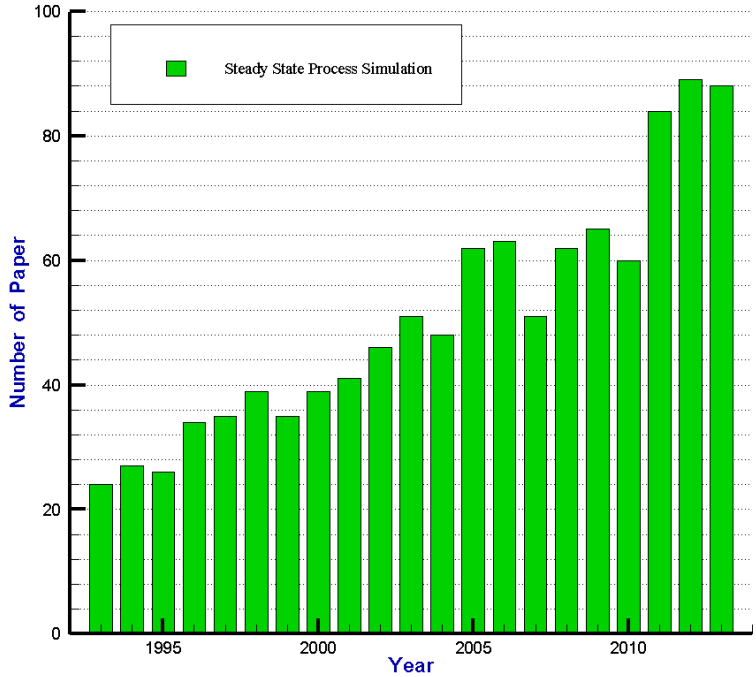


그림 2-38. steady state process simulation 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 1,069건)

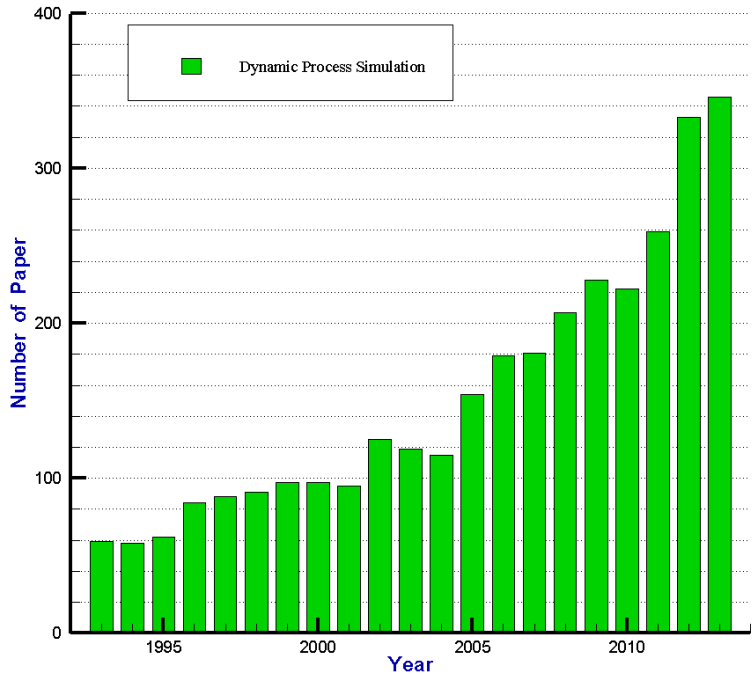


그림 2-39. dynamic process simulation 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 3,199건)

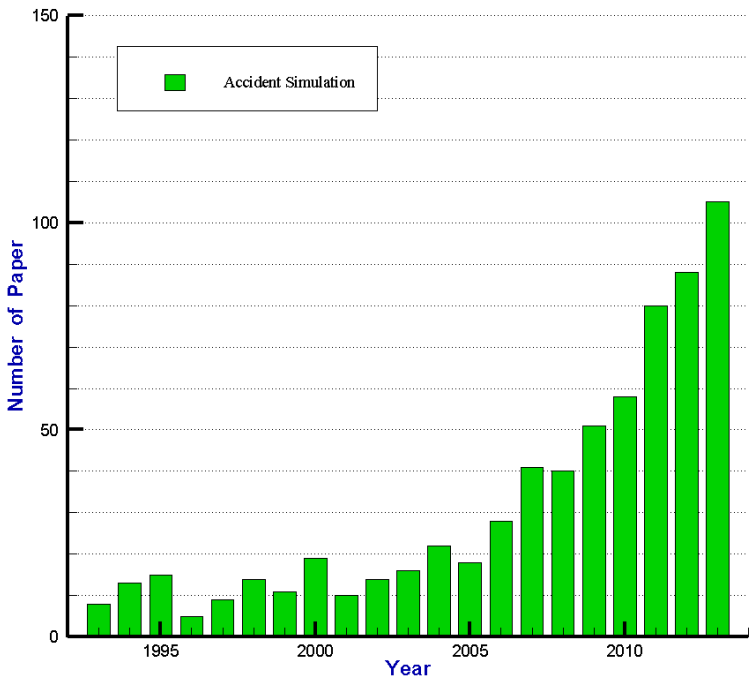


그림 2-40. accident simulation 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 665건)

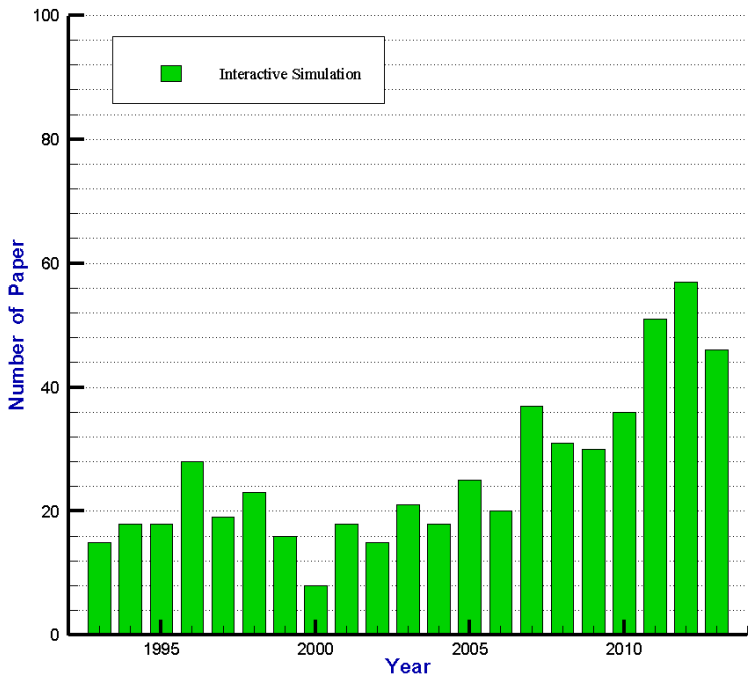


그림 2-41. interactive simulation 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 550건)

(3) 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술

○ 검색을 수행한 결과 1993년부터 2013년까지의 논문이 약 3,095편에 달하는 것으로 나타났고, 점점 그 숫자도 증가하고 있음을 알 수 있음

○ Safety information, 3D laser scanning 분야가 논문 건수는 많으나 Virtual plant의 경우 2008년 이후 매우 급격한 증가를 나타냄

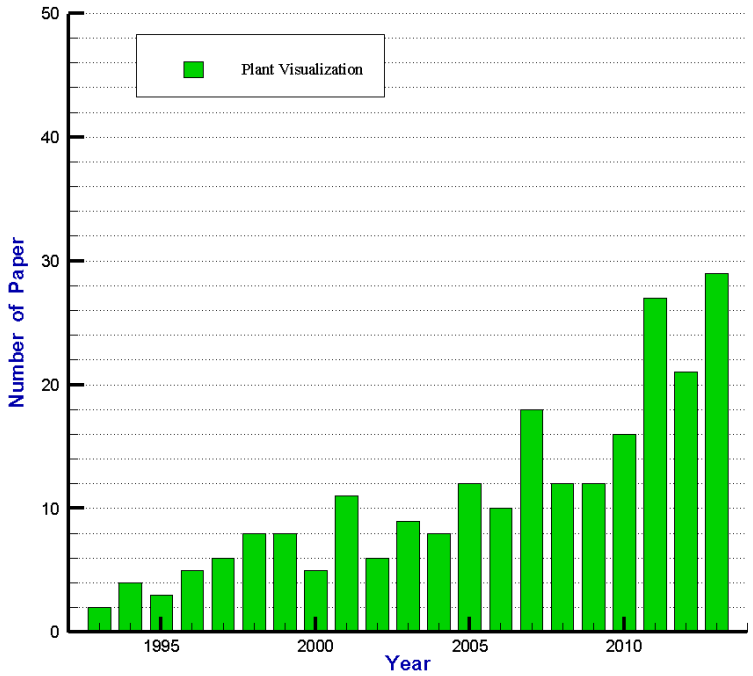


그림 2-42. plant visualization 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 232건)

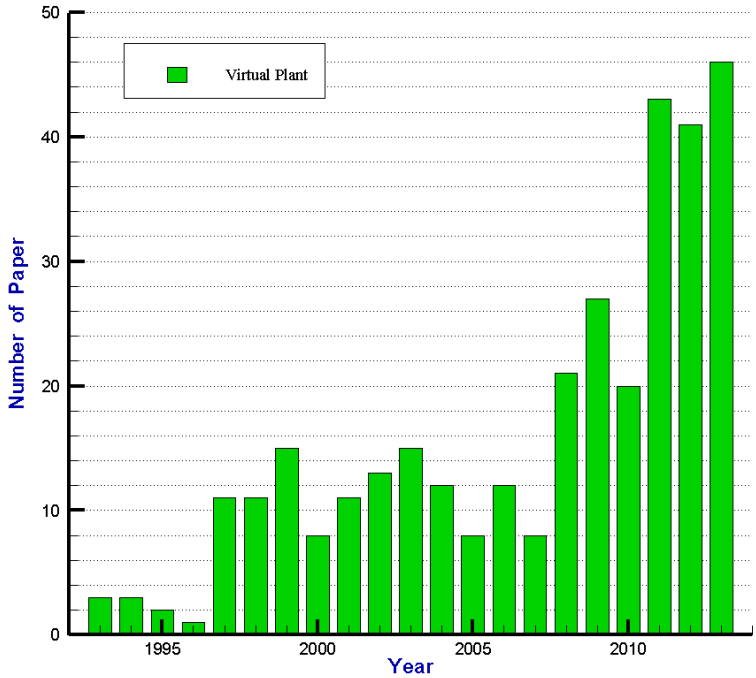


그림 2-43. virtual plant 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 331건)

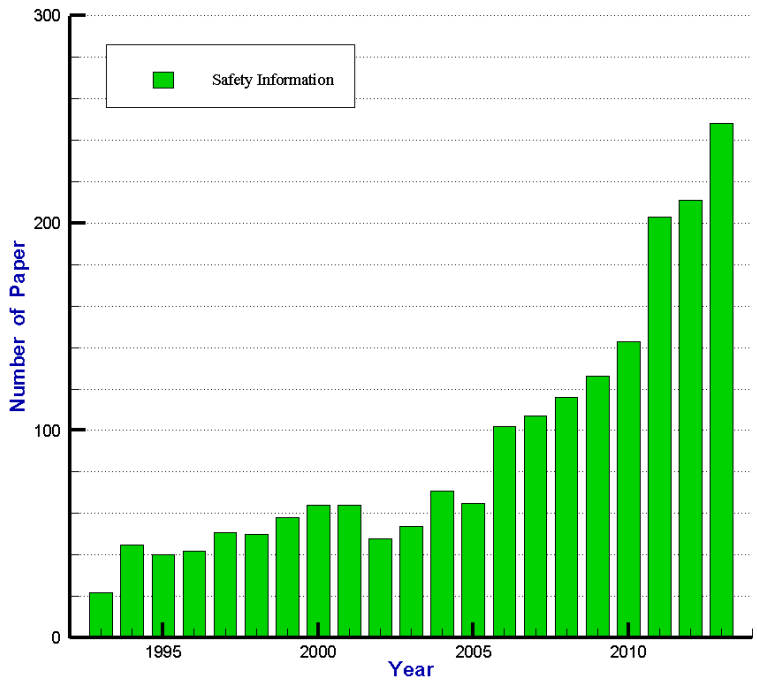


그림 2-44. safety information 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 1,930건)

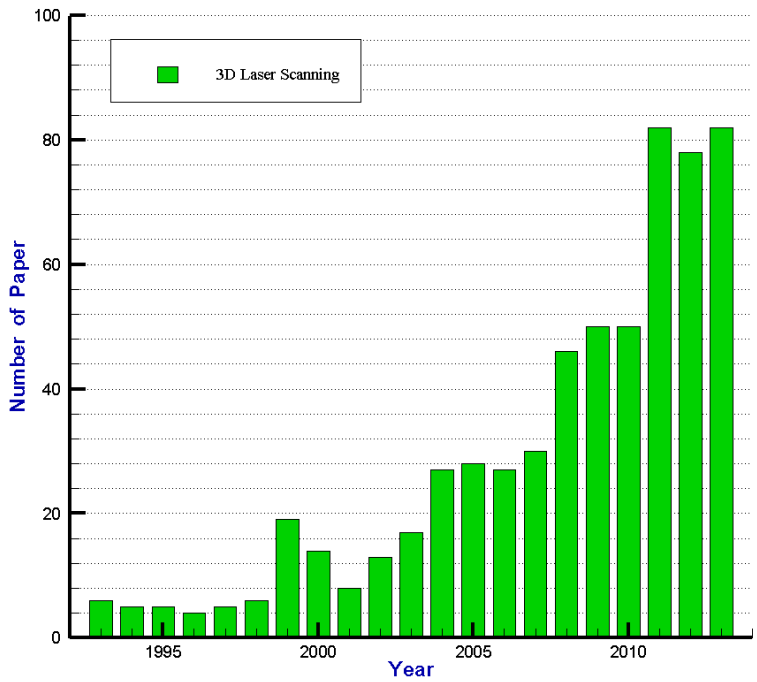


그림 2-45. 3D laser scanning 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 602건)

(4) 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술

○ 검색을 수행한 결과 1993년부터 2013년까지의 논문이 약 3,027편에 달하는 것으로 나타났고, 점점 그 숫자도 증가하고 있음을 알 수 있음

○ Haptic human interface, Haptic information processing 분야가 논문 건수도 많고 2003년 이후 급격한 증가를 나타냄

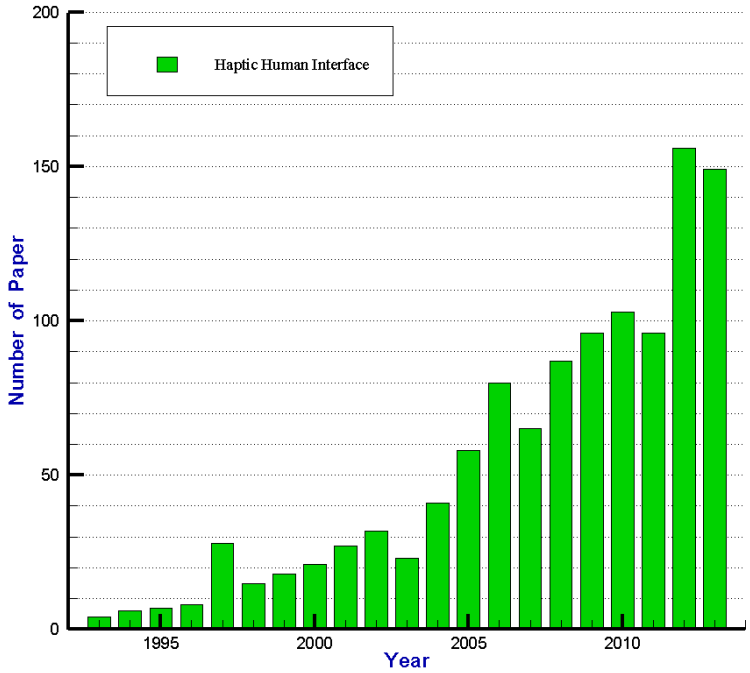


그림 2-46. haptic human interface 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 1,120건)

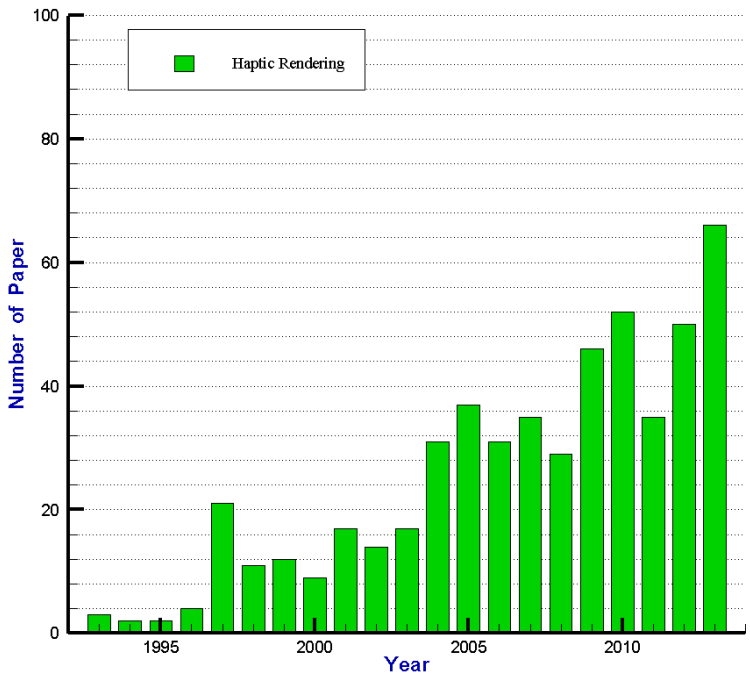


그림 2-47. haptic rendering 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 524건)

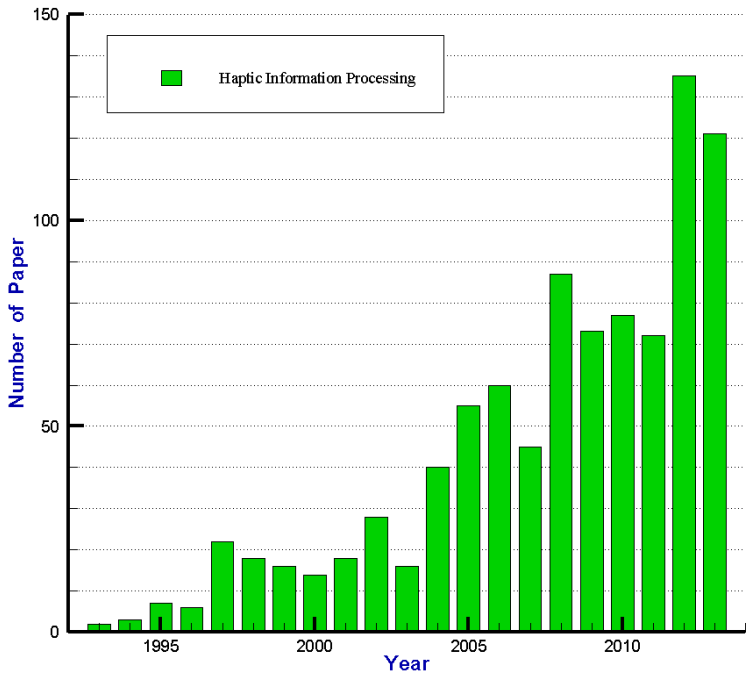


그림 2-48. haptic information processing 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 915건)

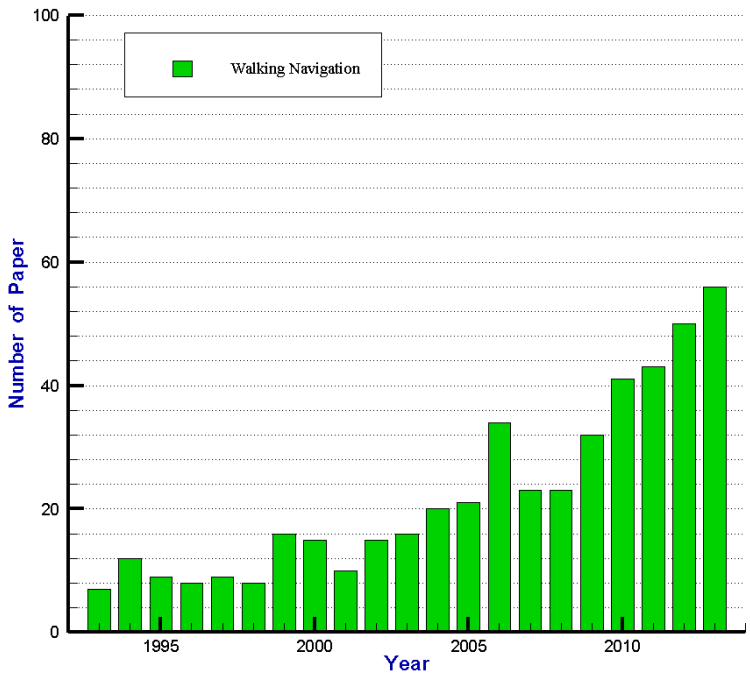


그림 2-49. walking navigation 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 468건)

(5) 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술

○ 검색을 수행한 결과 1993년부터 2013년까지의 논문이 약 3,808편에 달하는 것으로 나타났고, 점점 그 숫자도 증가하고 있음을 알 수 있음

○ Operator training simulator, plant system integration 분야가 논문 건수도 많고 2000년 이후 급격한 증가를 나타내는 반면에 plant system interface의 경우 논문 수와 증가폭에 있어서 상대적으로 저조하게 나타남

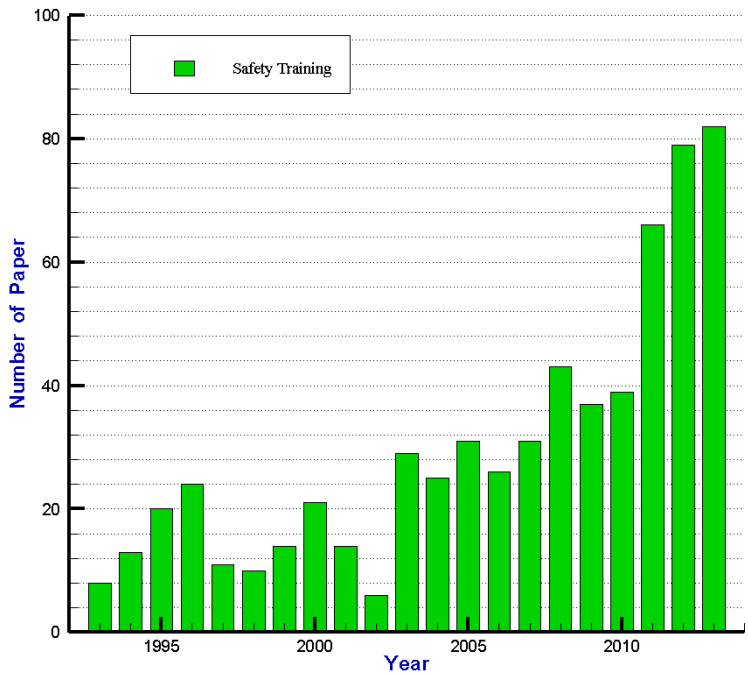


그림 2-50. safety training 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 629건)

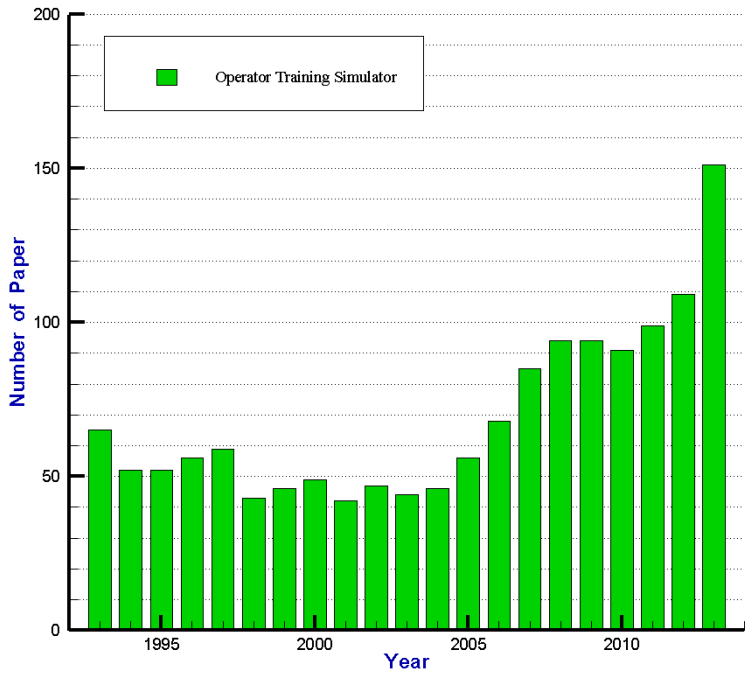


그림 2-51. operator training simulator 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 1448건)

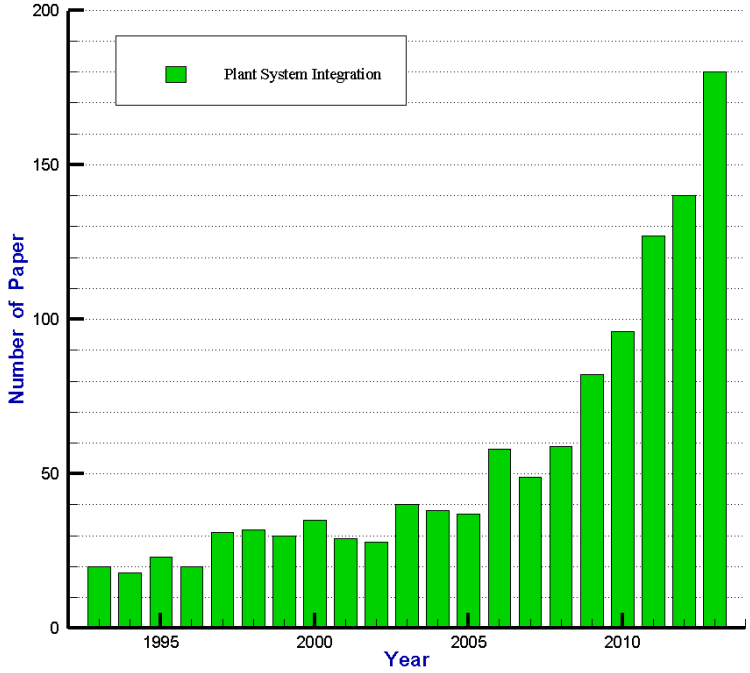


그림 2-52. plant system integration 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 1,172건)

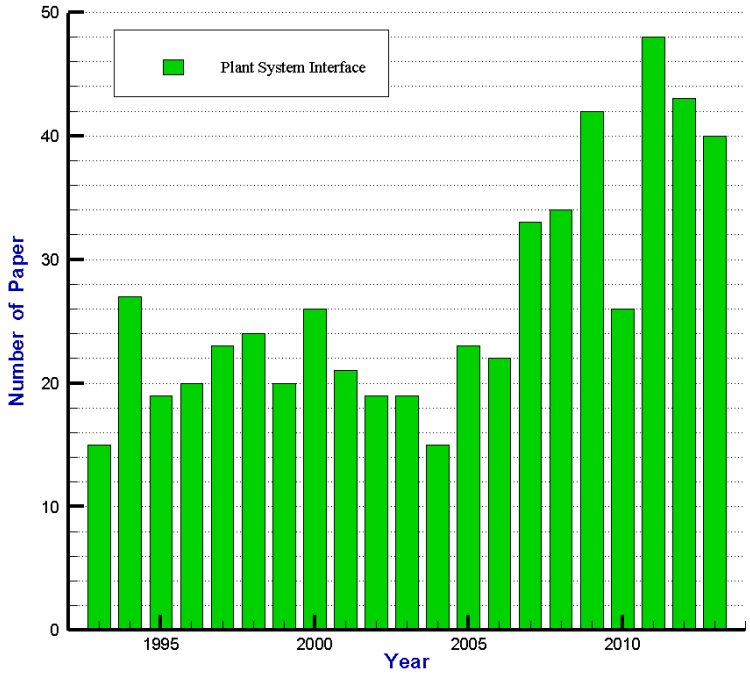


그림 2-53. plant system interface 논문 발표건수 (1993~2013년 검색결과 559건)

나. 종합 분석

○ 5개 세부과제 분야에 관한 논문 검색을 분석한 결과 동일 세부 분야에서도 검색 키워드별 논문 수와 증가 성향이 서로 상이했음

○ 특히 검색 키워드별 논문 수에 있어서는 dynamic process simulation이 3,199건으로 가장 많았고 그 다음으로는 plant safety 2,003건, safety information 1,930건 순으로 나타남

○ 논문 수에 있어서 가장 높은 2세부과제의 simulation 기술은 다양한 분야에 응용될 수 있는 기반 기술에 해당하므로 학계의 활발한 학술 활동 결과임

○ 상대적으로 햅틱과 직접 관계된 4세부과제 분야가 논문 수에 있어서 저조한 편이나 haptic human interface의 경우 근래에 매우 활발하게 논문 발표가 진행되고 있는 분야에 해당됨

○ 세부 분야별 그 분야를 대표하는 키워드가 2개 정도 존재하고 그것들이 전 세부 분야에 고르게 분포되어 균형을 이루고 있음

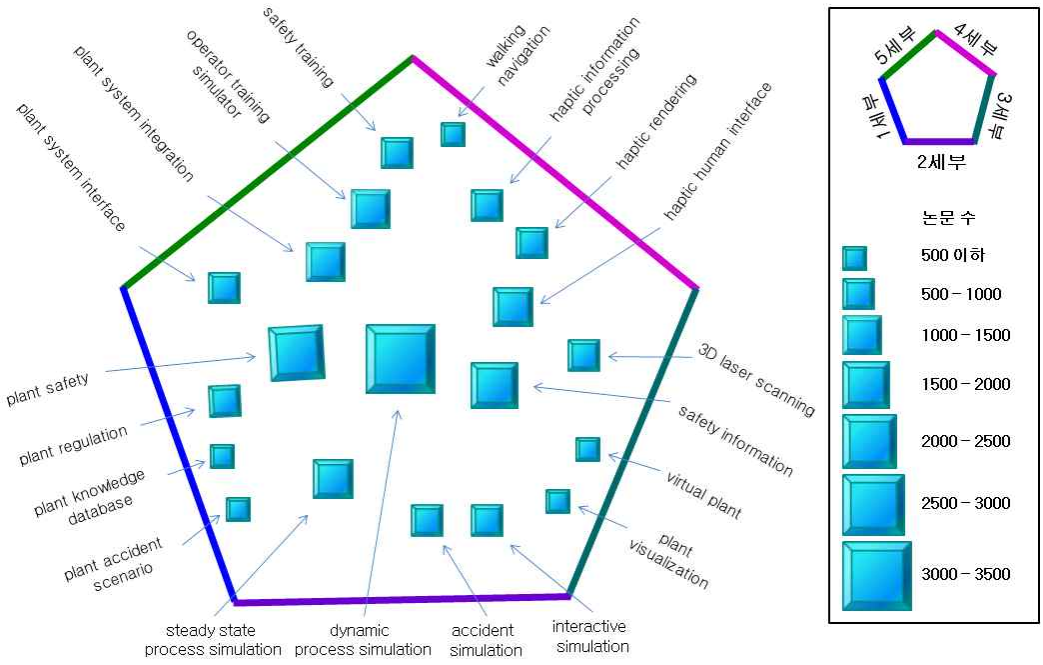


그림 2-54. 기술군별 논문 동향 분석 결과

다. 주요 논문 분석

(1) 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술

표 2-7. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 분야 주요 논문 분석

제목	저널명	저자	발표 연도
Bridging between Virtual Reality and Accident Simulation for Training of Process Industry Operators	Advances in Engineering Software	Davide Manca, Sara Brambilla, Simone Colombo	2012
Reviewing Reality: Human Factors of Synthetic Training Environments	Int. J. Human-Computer Studies	Alex W. Stedmon, Robert J. Stone	2001
A Review of Virtual Reality as a Medium for Safety Related Training in Mining	Journal of Health & Safety Research & Practice	Jennifer Tichon, Robin Burgess-Limerick	2011
중소화학공장의 공정안전관리(PSM)시스템 구축에 관한 연구	한국가스학회	백종배, 고재욱	1999
Safety Distances for Hydrogen Filling Stations	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	A. J. C. M. Matthijsen, E. S. Kooi	2006
Major Hazards Analysis for Populations Adjacent to Chemical Storage Facilities	Process Safety and Environment Protection	F. Rigas, S. Sklavounos	2004
A Proposal for Model-Based Safety Analysis	24th Digital Avionics Systems Conference	Anjali Joshi, Steven P. Miller, Michael Whalen, Mats P. E. Heimdahl	2005

Accidents in Pressure Vessels: Hazard Awareness	Proceedings of the World Congress on Engineering	Temilade Ladokun, Farhad Nabhani, Sara Zarei	2010

(2) 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술

표 2-8. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 분야 주요 논문 분석

제목	저널명	저자	발표 연도
A Full Scope Nuclear Power Plant Tralning Simulator: Design and Implementation Experiences	Systemics, Cybernetics and Informatics	Pedro A. Corcuera	2012
Severe Accident Simulation of the Laguna Verde Nuclear Power Plant	Science and Technology of Nuclear Installations	Gilberto Espinosa-Paredes, Raul Camargo-Camargo, Alejandro Nunez-Carrera	2012
Development of Desktop Severe Accident Training Simulator	Nuclear Engineering and Technology	Ko-Ryuh Kim, Soo-Yong Park, Yong-Mann Song and Kwang-Il Ahn	2009
Virtual Reality in Fossil Power Plant Operator Training Simulator	한국 시뮬레이션 학회 추계학술대회 논문집	Sam-Sun Ma, Jin-Ho Choi	1999

(3) 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술

표 2-9. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 분야 주요 논문 분석

제목	저널명	저자	발표 연도
Immersive and Interactive Virtual Reality Learning Environments Based on Operating Plants	ECTN Association/ EC2E2N NewsLetter 113, June	David C. Shallcross, Grant C. Lukey, Ian Cameron, Caronline Crosthwaite, Moses Tade, Nicoleta Maynard, John Kavanagh	2010
A Collaborative Virtual Reality Oil & Gas Workflow	International Journal of Virtual Reality	Ismael H. F. dos Santos, Luciano P. Soares, Felipe Carvalho, Alberto Raposo	2012
Use of Virtual Reality in Scheduling and Design of Construction Projects	Automation and Robotics in Construction XI	C. Bridgewater, M. Griffin, A. Retik	1994
A Collaborative VR Visualization Environment for Offshore Engineering Projects	VRCAI 2011	Ismael H. F. dos Santos, Luciano P. Soares, Felipe Carvalho, Alberto Raposo	2011
Dynamic Simulation of Industrial Accidents	AIDIC Conference Series	Davide Manca, Sara Brambilla	2009
Virtual Reality: The Way Ahead in Industrial Safety	Proceedings 22nd European Conference	Konstantinos Loupos, Panagiotis Psonis, Angelos	2012

	on Modeling and Simulation	Amditis	
Low Cost Virtual Reality and its Application to Chemical Engineering - Part Two	Computing and Systems Technology Division Communications	John T. Bell, H. Scott Fogler	1995
Status and Prospects of Virtual Reality in Chemical Engineering	AIChE 1996 National Metting	John T. Bell, H. Scott Fogler	1996
Ten Steps to Developing Virtual Reality Applications for Engineering Education	Americal Society for Engineering Education 1997 Annual Conference	John T. Bell, H. Scott Fogler	1997
A Virtual Reality Safety and Hazard Analysis Simulation	National Science Foundation	John T. Bell, H. Scott Fogler	2012
가상현실을 이용한 가스플랜트의 VR Monitoring System 개발	대한기계학회 논문집 A권	서명원, 조기용	2001

(4) 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술

표 2-10. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 분야 주요 논문 분석

제목	저널명	저자	발표 연도
Using Haptics to Convey Cause and Effect Relations in Climate Visualization	IEEE Transactions on Haptics	Nesra Yannier, Cagatay Basdogan, Sedar Tasiran, Omer Lutfi Sen	2012
Haptic Interactions in the Real and Virtual Worlds	Design, Specification and Verification of Interactive Systems	M. A. Srinivasan, C. Basdogan, C. H. Ho	1999
Haptic Interactions in Virtual Worlds: Progress and Prospects	Proceedings of the International Conference on Smart Materials, Structures, and Systems	M. A. Srinivasan, C. Basdogan, C. H. Ho	1999

(5) 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술

표 2-11. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 분야 주요 논문 분석

제목	저널명	저자	발표 연도
Performance Indicators for Training Assessment of Control Room Operators	Chemical Engineering Transactions	Davide Manca, Salman Nazir, Simone Colombo	2012
Development of An Operator Training System for Gas Sweetening Plant	20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering	A. L. Ahmad, E. M. Low, S. R. Abd. Shukor	2010
Combining HAZOP with Dynamic Process Model Development for Safety Analysis	16th European Symposium on Computer Aided Process Engineering	Shimon Eizenberg, Mordechai Shacham, Neima Brauner	2006
Combining HAZOP with Dynamic Simulation - Applications for Safety Education	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	Shimon Eizenberg, Mordechai Shacham, Neima Brauner	2006
Detection of Safe Operating Regions: A Novel Dynamic Process Simulator Based Predictive Alarm Management Approach	Ind. Eng. Chem.	Tamas Varga, Ferenc Szeifert, Janos Abonyi	2010
Development of a Collaborative Product Development Tool for Plants Design	International Conference on Engineering Design	M. Germani, R. Raffaeli, L. Bonaventura, F. Mandorli	2005

2.4.2 특허 분석

○ 특허 동향 분석은 등록된 국제 특허 데이터베이스인 Thomson Innovation을 이용하여 1964년부터 2012년까지 공개된 특허의 제목, 초록, 청구항을 대상으로 검색함

표 2-12. 특허 검색 개요

특허 검색 조건	방법	
검색 Domain	미국, 유럽, 일본, 한국	
검색 DB	Thompson Innovation	
검색 기간	1964년 1월 1일 ~ 2012년 12월 31일	
검색분류	건수	대표 검색 키워드
플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술	160	(plant and safety) or (plant and regulation) or (plant and knowledge and database) or (plant and accident and scenario)
플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술	1237	plant and (process or fire or explosion or leak) and simulation or (plant and operator and training)
플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술	252	(plant and scan and CAD) or (plant and CAD and reconstruction) or (plant and 3D and visualization) or (plant and visualization and data and model)
플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술	216	(haptic or (human and interface) or (virtual and reality and interface)) and training
햅틱기반 플랜트 안전 훈련시스템 통합 기술	507	(training and modular and system) or (training and system and integration and platform) or (plant and simulation and data and management)

표 2-13. 세부기술별 특허 공개 및 등록 현황 (건)

구분	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 안전훈련 시스템 통합 기술	합계
한국	24	63	38	31	33	189
미국	30	332	137	123	228	850
일본	84	699	21	19	165	988
유럽	22	143	56	43	81	345
합계	160	1,237	252	216	507	2,372

○ 분석의 정확도를 기하기 위하여 특허 DB인 Wipson을 추가 조사하였으며 조사 키워드 조합은 다음과 같음

○ 각국 키워드 조사후 주요 특허에 대해서는 선행 기술 및 Backward/Forward 특허를 다시 추가 조사하여 분석의 정확도를 높임

표 2-14. 특허 검색 방법 및 결과

세부과제	검색 국가	검색식	검색 건수
플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술	US	(safe* and (training* or guid*) and (scenario* or knowledge* or Database* or standard* or ontology* or history*)).KEY.	280건
	EP	((safe* and (training* or guid*) and (scenario* or knowledge* or Database* or standard* or ontology* or history*)).KEY.	20건
	KR	(안전* and 훈련*).kEY. and ((데이타베이스* or 시나리오* or 규제* or 이력* or 지식베이스* or 온톨로지* or 표준화* or 사고*))	43건
	JP	(안전* and 훈련*).kEY. and ((데이타베이스* or 시나리오* or 규제* or 이력* or 지식베이스* or 온톨로지* or 표준화* or 사고*))	11건
플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술	US	(plant* and simulat*).KEY.	451건
		(operat* and training* and simulat*).KEY.	650건
	EP	(plant* and simulat*).KEY.	161건
		(operat* and training* and simulat*).KEY.	147건
	KR	(플랜트* or plant*) and (시뮬레이* or simulat* or 모의*)	126건
	JP	(플랜트* or plant*) and (시뮬레이* or simulat* or 모의*)	967건
플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술	US	(plant* and ((vitual* adj reality*) or (virtual* adj environment*))).KEY.	1건
		((safe* or training*) and (CAD* or (vitual* adj reality*) or (virtual* adj environment*))).KEY.	281건
	EP	((safe* or training*) and (CAD* or (vitual* adj reality*) or (virtual* adj environment*))).KEY.	32건
	KR	((safe* or training* or plant* or 안전* or 훈련* or 플랜트*) and (캐드* or CAD* or 가상* or 가시화* or (vitual* adj reality*) or (virtual* adj environment*))).KEY.	873건
	JP	((safe* or training* or plant* or 안전* or 훈련* or 플랜트*) and (캐드* or CAD* or 가상* or 가시화*	1269건

		or (vitual* adj reality*) or (virtual* adj environment*))).KEY.	
플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술	US	(haptic* and (exoskeleton* or (walk* adj through*) or tactile* or (force* adj feedback*) or (thermal* adj feedback*))).KEY.	428건
	EP	(haptic* and (exoskeleton* or (walk* adj through*) or tactile* or (force* adj feedback*) or (thermal* adj feedback*))).KEY.	68건
	KR	((햅틱* or haptic*) and (가상* or 가시화* or 촉각* or 외골격계* or exoskeleton* or (walk* adj through*) or tactile* or (force* adj feedback*) or (thermal* adj feedback*))).KEY.	284건
	JP	((햅틱* or haptic*) and (가상* or 가시화* or 촉각* or 외골격계* or exoskeleton* or (walk* adj through*) or tactile* or (force* adj feedback*) or (thermal* adj feedback*))).KEY.	21건
햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술	US	((plant* or sate* or training*) and haptic* and (exoskeleton* or (walk* adj through*) or tactile* or (force* adj feedback*) or (thermal* adj feedback*))).KEY.	13건
	EP	((plant* or sate* or training*) and haptic* and (exoskeleton* or (walk* adj through*) or tactile* or (force* adj feedback*) or (thermal* adj feedback*))).KEY.	2건
	KR	((플랜트* or 안전* or 훈련*) and (햅틱* or haptic*) and (가상* or 가시화* or 촉각* or 외골격계* or exoskeleton* or (walk* adj through*) or tactile* or (force* adj feedback*) or (thermal* adj feedback*))).KEY.	28건
	JP	((플랜트* or 안전* or 훈련*) and (햅틱* or haptic*) and (가상* or 가시화* or 촉각* or 외골격계* or exoskeleton* or (walk* adj through*) or tactile* or (force* adj feedback*) or (thermal* adj feedback*))).KEY.	0건

가. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술

○ 1999년부터 특허출원 건수가 증가해 2004년에는 약 11건에 도달하였고 이 후 2012까지 8년 동안 비슷한 양상을 유지하고 있음

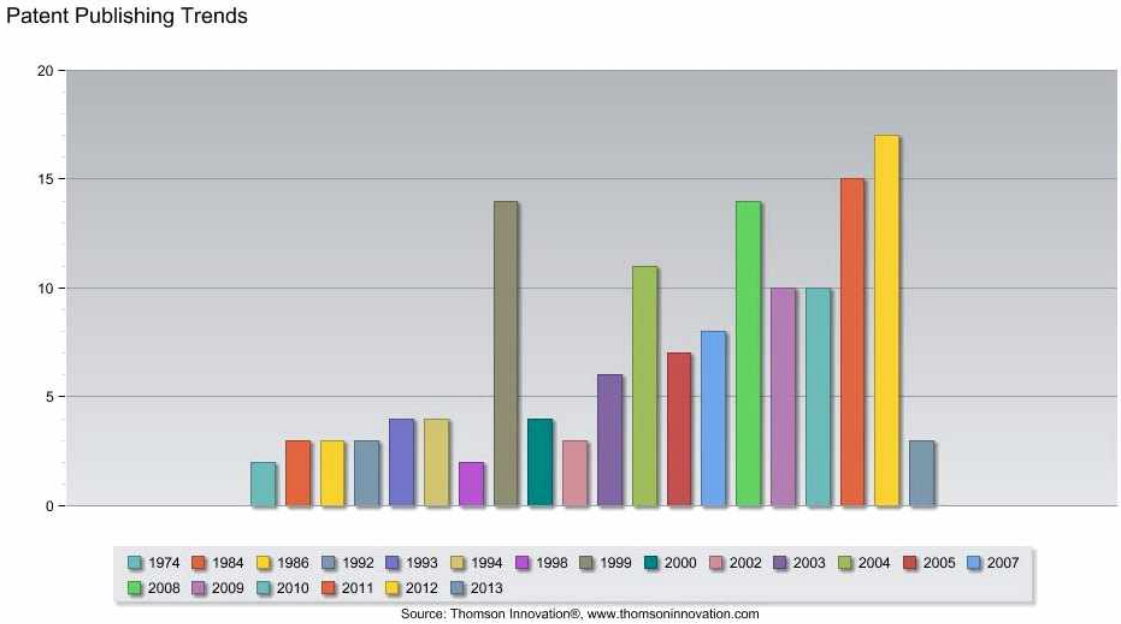


그림 2-55. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 관련 연도별 특허 출원건수

○ 국가별로는 일본이 가장 많은 50% 정도이고, 나머지 50%는 한국, 미국, 유럽이 비슷한 비율로 출원한 상태

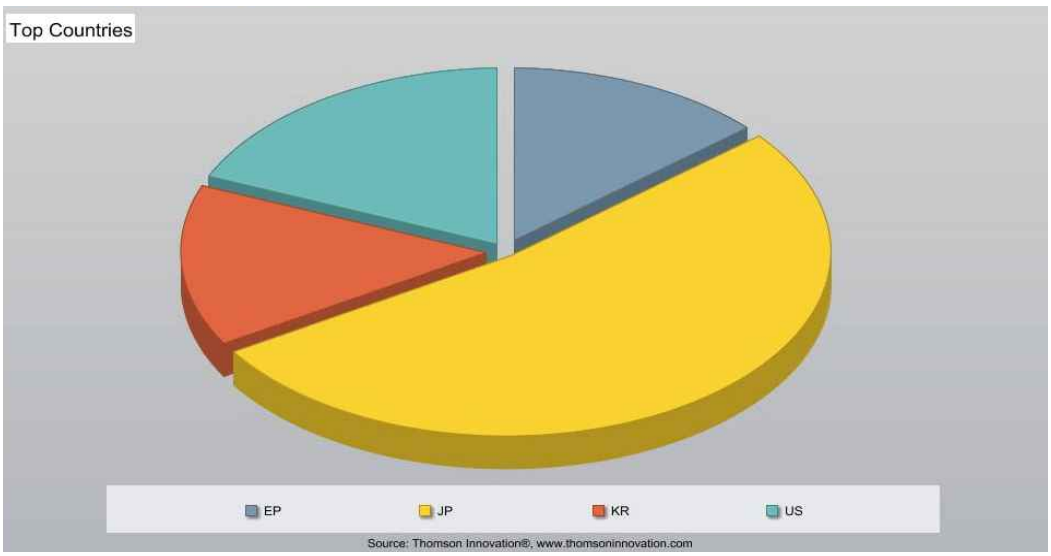


그림 2-56. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 관련 국가별 특허 출원건수

○ 특허출원 5대 기업은 Hitachi, 한국원자력연구원, Mitsubishi, Toshiba, Yokogawa 으로 나타남

- 1980년대부터 일본 원자력 발전 및 제어시스템 관련 기업이 대부분을 차지
- 2011년부터 한국원자력연구원의 특허 출원이 시작되어 주요 기관으로 인식됨

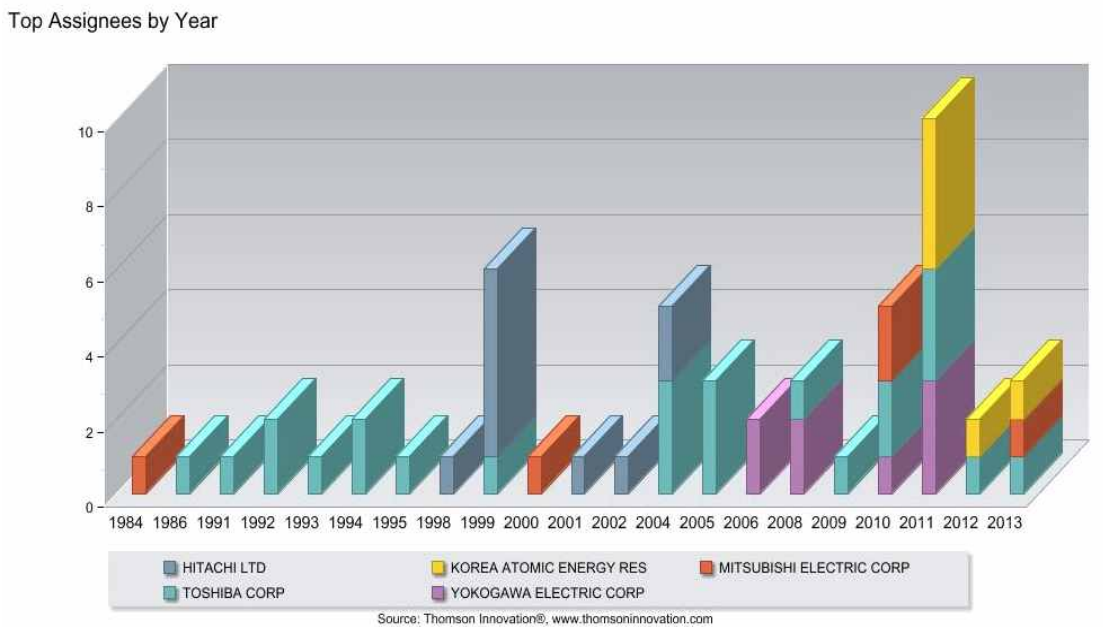
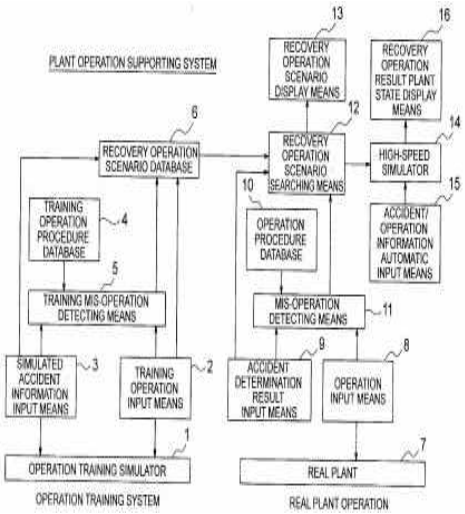
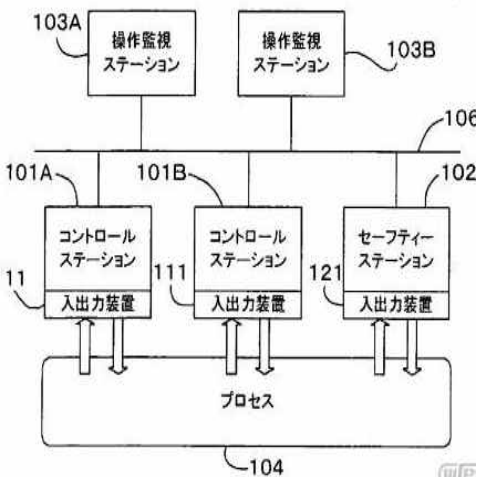


그림 2-57. 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 관련 특허 출원 5대 기관

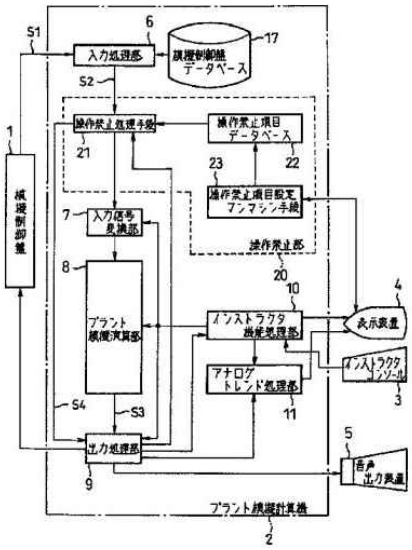
(1) 미국 공개 특허 US2011-0183303A

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Operation Training System and Operation Training Method</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2009-122165</td><td>출원일자</td><td>2009.04.21</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">A</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>US2011-0183303</td><td>공개일자</td><td>2011.07.28</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Mitsubishi Electric</td><td>권리상태</td><td colspan="2">공개(심사단계)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>사고시 플랜트 상태를 확인 및 조작필요</td><td>해결수단</td><td colspan="3">모의 사고의 정보를 입력하는 모의사고 입력수단 및 훈련용 조작 순서 데이터베이스를 구비</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. An operation training simulator obtained by modeling a real plant, for simulating a plant state of any one of during a normal operation and in case of an accident; training operation input means for inputting an operation for the operation training simulator; simulated accident information input means for inputting information of a simulated accident for allowing the operation training simulator to simulate the accident; a training operation procedure database in which operation procedures to be input for the normal operation and for the simulated accident during operation training are registered; training mis-operation detecting means for comparing the operation procedures registered in the training operation procedure database and the operation input to the training operation input means with each other to detect whether the input operation is a mis-operation;</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family: WO2010-064459, CN102203839
-. PCT 출원을 하여 많은 지정국을 지정하였으나 EP (특허청) 단계를 들어가지 않고 포기한 것으로 보임</td></tr>
</table>

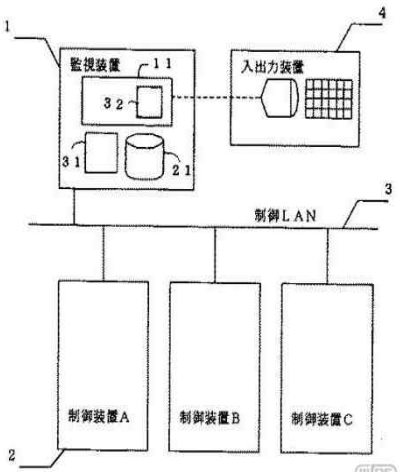
(2) 미국 공개 특허 US2008-299068

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Operation Training System and Plant Operation Supporting System</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2008-156406</td><td>출원일자</td><td>2008.05.29</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">A</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>US2008-0299525</td><td>공개일자</td><td>2008.12.04</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Yokogawa Electric</td><td>권리상태</td><td colspan="2">심사중 포기</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>플랜트 제어 조작 훈련 방법</td><td>해결수단</td><td colspan="3">Safety Station Simulation에 의한 제어</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="3">-. A safety station simulator is implemented using an application program and a communication program installed in a personal computer. The application program is a program actually used with a safety station of a real machine. Since the program used with the real machine can be used intact, it is not necessary to again describe the application for an operation training system.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family: CN101315559, JP2008-299068, DE102008026409
-. 일본에서는 등록 결정되었으나 등록료 미납으로 권리없음
-. 안전 스테이션 시스템으로 사용되는 응용 프로그램을 실행하는 것과 동시에, 응용 프로그램의 실행 결과를 시뮬레이션에 반영시키므로, 플랜트 제어 시스템에 중첩된 안전 스테이션 시스템의 조작 훈련을 할 수 있는 것과 동시에, 시스템을 용이하게 구축할 수 있는 것이 특징임</td></tr>
</table>

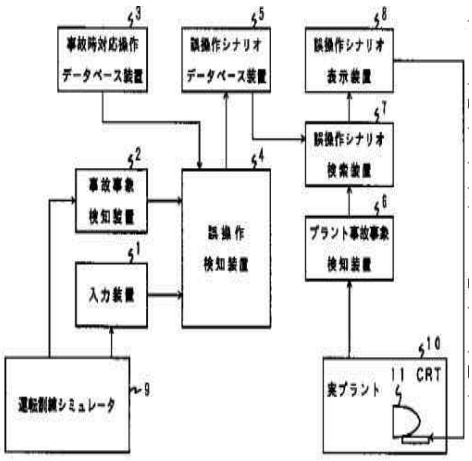
(3) 일본 공개 특허 JP1996-146864

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">플랜트 모의장치</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP1994-308472</td><td>출원일자</td><td>1994.11.18</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">A</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>JP1996-146864</td><td>공개일자</td><td>1996.06.07</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Toshiba System Technology, Toshiba</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음
(미심사청구취하)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">조작 금지 처리 방법</td><td>해결수단</td><td colspan="2">조작 금지 항목 데이터베이스 설정</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2">  </td><td>요약</td><td colspan="2">-. Family 특허: 없음
-. 조작 금지 처리 수단 21은, 입력 처리 부 6으로부터 프로세스 입력 신호 S2를 입력 해, 프로세스 입력 신호 S2의 데이터 항목에 의해서 <u>조작 금지 항목 데이터베이스</u> 22를 참조 해 데이터 항목이 조작 금지의 조건에 해당할 때 입력 신호 변환 부에 데이터 항목의 프로세스 입력 신호의 출력을 금지 함과 동시에, 조작 금지의 조건에 해당할 때의 메세지 출력의 내용을 출력 처리 부 9에 통지함. 오조작을 했을 때, 훈련원은 즉석에서 인식 할 수 있음.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 훈련원이 오조작하였을 때 바로 인식할 수 있도록 조작 금지 항목 데이터베이스를 설정함
-. 심사 청구를 하지 않아 권리는 없음</td></tr>
</table>

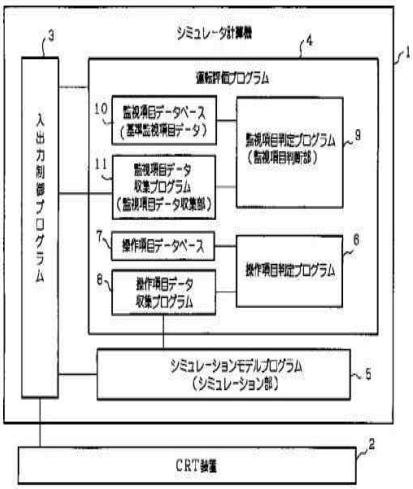
(4) 일본 등록 특허 JP4542999

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">운전 감시 제어 시스템</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP2006-050062</td><td>출원일자</td><td>2006.02.27</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">A</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>JP4542999</td><td>등록일자</td><td>2010.07.02</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Toshiba</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">플랜트 운전미숙에 대한 사전 경보 필요</td><td>해결수단</td><td colspan="2">경보 사례 데이터베이스 설정</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. Family 특허: 없음
-. <u>플랜트 운전에 미숙한 오퍼레이터가 시급하고 정확하게 대응할 수 있도록 함과</u> 동시에, 실플랜트에 있어서의 처치 방법의 보완을 가능하게 함. 플랜트의 제어를 실시하는 제어 장치와 플랜트의 감시 및 운전 조작을 실시하기 위해 입출력 장치와 입출력 장치에 나타난 정보를 갱신하는 정보 갱신 수단과 <u>**경보 사례 데이타베이스를 가지는 감시 체제**</u>와 이것들을 중첩 질질 끄는 제어 LAN을 구비함</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 훈련용 경보 사례 데이터베이스에 미결의 경보 사례 데이터가 있는 경우, 이 미결의 경보 사례 데이터에 근거하고, 시뮬레이션 운전을 실시 해상 플랜트의 이상을 재현해서 그 처치 방법을 설정, 검증하는 것을 특징으로 하는 운전 감시 제어 시스템임
-. 등록된 특허로서 2026년 2얼 27일 권리 만료됨</td></tr>
</table>

(5) 일본 공개 특허 JP1998-268745

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">플랜트 운전 지원 시스템</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP1997-073860</td><td>출원일자</td><td>1997.03.26</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">A</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>JP1998-268745</td><td>공개일자</td><td>1998.10.09</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Mitsubishi</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음
(심사중거절결정)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">오조작에 의한 사고시 대응하기 위한 훈련 데이터베이스 구축방안</td><td>해결수단</td><td colspan="2">오조작 시나리오 데이터베이스 장치</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. Family 특허: 없음
-. 운전 훈련 시뮬레이터로 시뮬레이션을 실시할 때, 입력 장치에 의해서 시뮬레이션으로 입력된 운전 조작 정보를 취득해, 사고 사상 검지 장치 2에 의해서 시뮬레이션으로 발생 한 사고 사상을 검지하고, 오조작 검지 장치 4로 운전 조작 정보와 사고시 대응 조작 데이터베이스 3내의 사고 사상에 대응하는 대응 조작 정보를 비교 하고, 운전원에 의한 오조작 정보를 오조작 시나리오 데이터베이스 5에 등록해 두어, 실플랜트 10의 운전시에는 오조작 정보를 오조작 시나리오 데이터베이스 장치 5로부터 호출해 오조작 시나리오 표시 장치 8에 의해 CRT11상에 표시 함.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 운전 훈련 시뮬레이터로 얻을 수 있던 훈련 결과 데이터를 유효하게 이용할 수 있는 플랜트 운전 지원 시스템을 제공함
-. 심사 과정중 선행 기술에 의해 거절되어 권리없음</td></tr>
</table>

(6) 일본 공개 특허 JP1998-240114

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">운전 훈련용 시뮬레이터 장치</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP1997-048212</td><td>출원일자</td><td>1997.03.03</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">A</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>JP1998.09.11</td><td>공개일자</td><td>1998.09.11</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Mitsubishi</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음
(심사중거절결정)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">플랜트 조작감시</td><td>해결수단</td><td colspan="2">조작 감시 항목 데이터베이스 설정</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="3"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. Family 특허: 없음
-. CRT 장치 2에 표시된 조작 감시 화면의 운전원의 감시에 근거하는 조작에 따라 선택된 감시 항목 데이터를 수집하는 감시 항목 데이터 수집 프로그램 11과 그 감시 항목 데이터와 미리 설정된 플랜트 상태에 응한 조작 감시 화면의 운전원의 감시에 필요한 감시 항목 데이터베이스 10을 비교해, 필요한 항목이 감시 되었는지를 식별하는 감시 항목 판정 프로그램 9를 갖추어 감시 항목에 대해 필요한 감시가 실제로 행해졌는지를 식별 할 수 있는 것임</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 심사중 거절 결정되어 특허 권리가 없음</td></tr>
</table>

○ 정량 분석

- 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술 분야의 주요 출원인은 Mitsubishi, Toshiba, Yokogawa 등으로 파악되고 있음
- 국가별로는 일본이 가장 많은 출원을 하고 있음

○ 정성 분석

- 주요 특허들의 대부분은 등록 유지료를 미납하였거나 심사 청구를 하지 않아 권리가 없음
- 미국 특허 US2011-0183303A는 현재 심사중에 있고, PCT 출원을 한 상태이므로 심사 과정에 대한 모니터링이 필요함
- 일본 등록 특허 JP4542999는 도시바가 출원한 특허로서, 이 특허의 주요 요소는 경보 사례 데이터베이스와 관련된 입출력이므로 이 요소를 생략하거나 다른 새로운 요소 기술로 대체한다면 특허 침해 가능성은 없을 것으로 보임

나. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술

○ 2002년에 특허출원 건수가 크게 증가하고 나서 매년 비슷한 출원건수를 유지하고 있는 양상이며 2012년 기준 약 90건 정도 출원됨

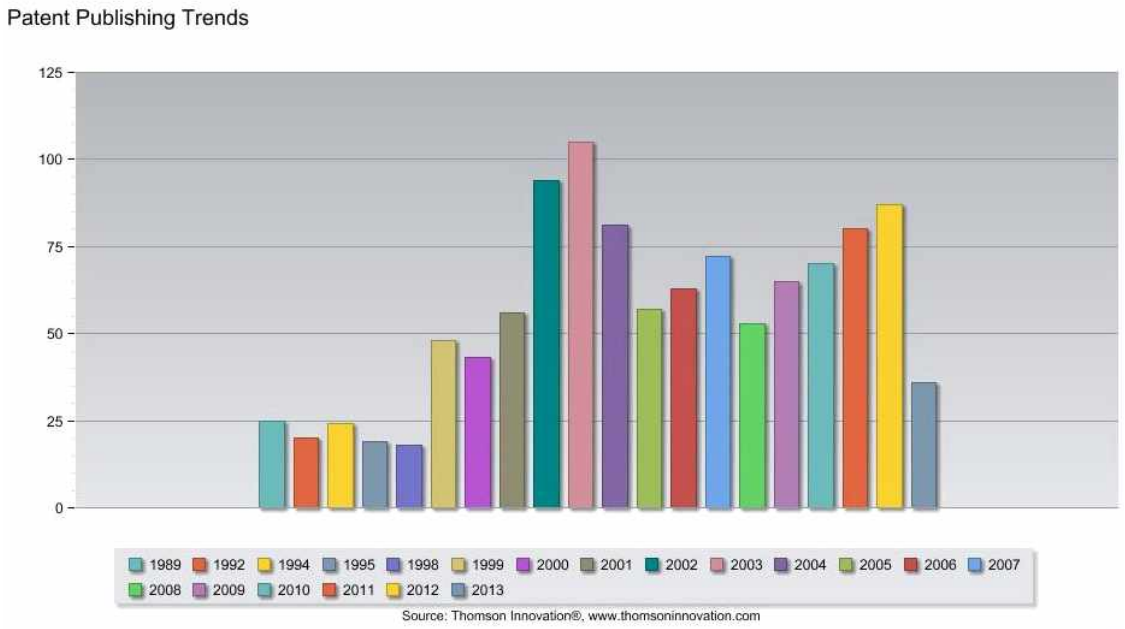


그림 2-58. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 관련 연도별 특허 출원건수

○ 국가별로는 일본이 55% 정도로 가장 많고 미국은 25% 수준이며 유럽은 15%, 한국의 특허 출원이 매우 적음

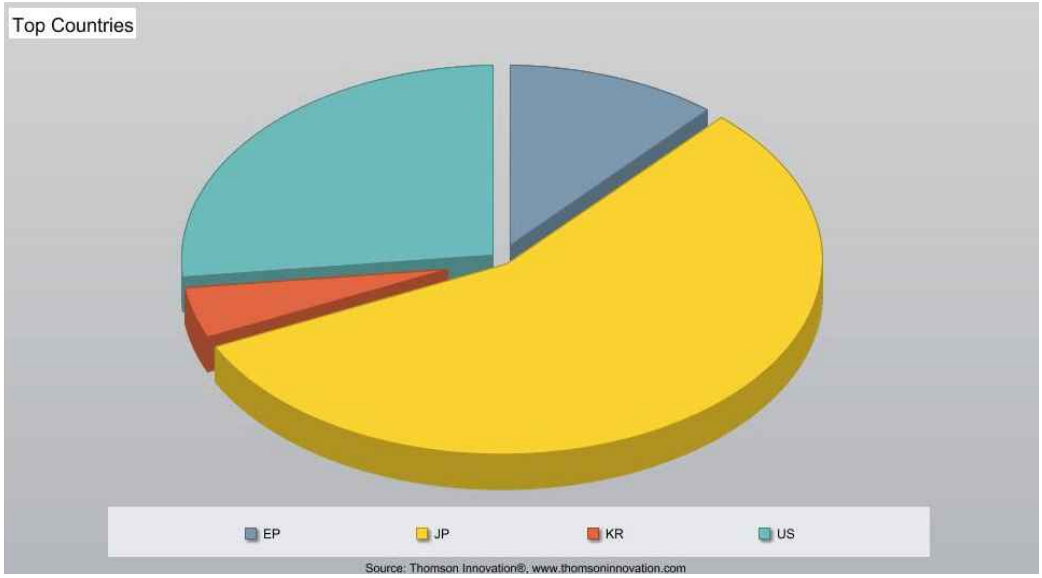


그림 2-59. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 관련 국가별 특허 출원건수

○ 특허출원 5대 기업은 Fisher Rosemount, Hitachi, Mitsubishi, Toshiba, Toshiba KK 등 대부분 일본 기업이며, Fisher Rosemount만이 미국 기업임

- 특허출원 건수가 급증한 1999년 이후 2004년까지는 일본기업 Hitachi, Toshiba의 우위를 차지하고 있음
- 2005년 이후에는 Fisher Rosemount의 특허 건수가 크게 증대되어 1위 고수
- 2012년 기준 특허 건수는 Fisher Rosemount의 단독 우세, 그 외 기업은 유사함

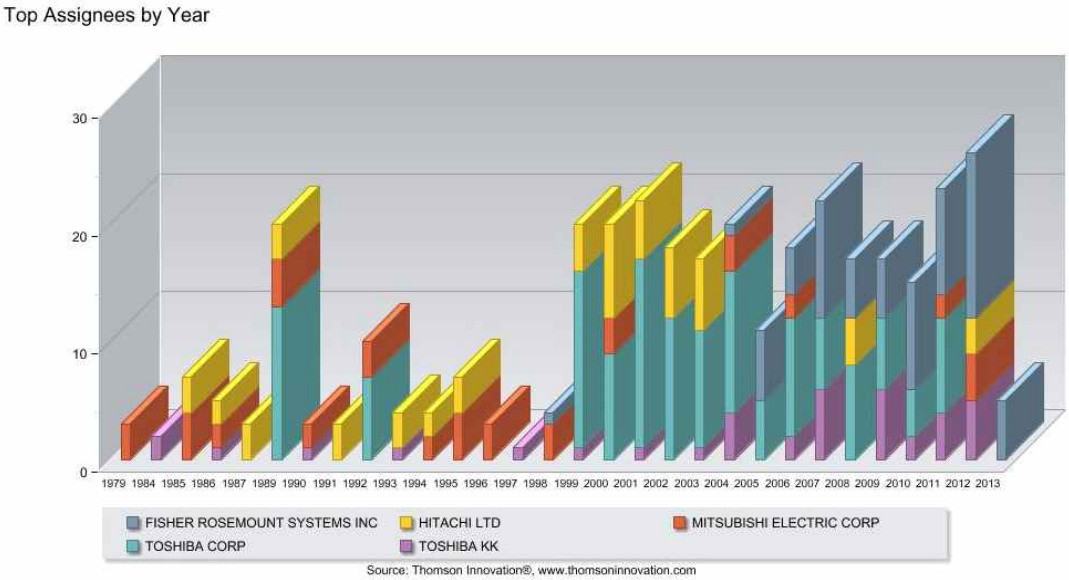
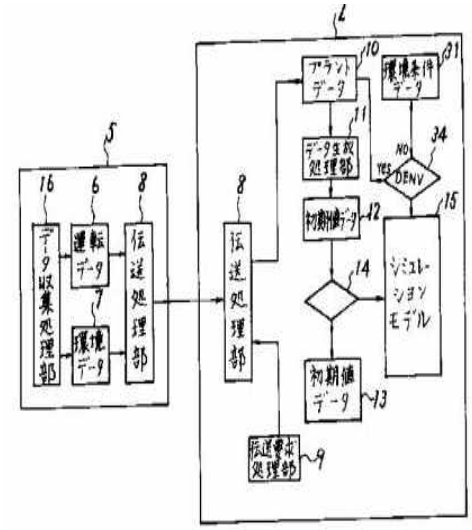
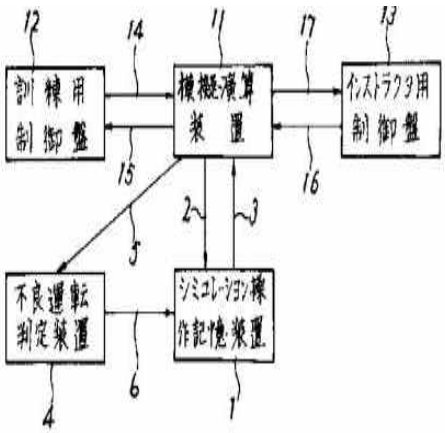


그림 2-60. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 관련 특허 출원 5대 기관

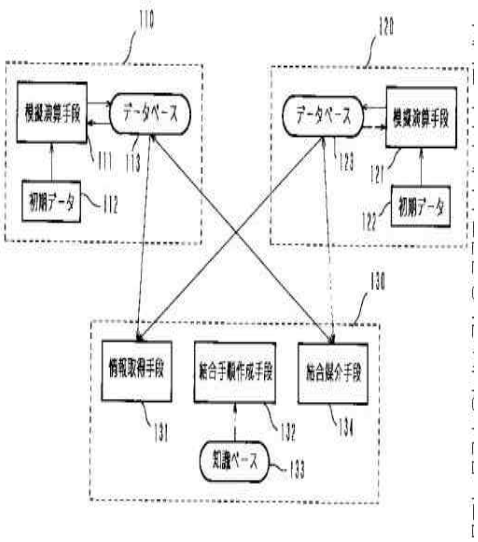
(1) 일본 공개 특허 JP1993-027663

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">운전 훈련용 시뮬레이션</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP1991-178125</td><td>출원일자</td><td>1991.07.18</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>JP1993-027663</td><td>공개일자</td><td>1993.02.05</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Mitsubishi Electric</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음
(미심사청구취하)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">단시간에 실제 운전과 같은 조건의 훈련방법</td><td>해결수단</td><td colspan="2">운전 훈련용 시뮬레이터</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2">  </td><td>요약</td><td colspan="2">-. Family: 없음
1993-
-. 플랜트 데이터 수집 장치 5에 의해 수집 한 플랜트 데이터를 데이터통신 처리 부 8을 개입시켜 계산기 2에 플랜트 데이터 10으로서 전송한다. 초기치 데이터 생성 처리 부 11은 플랜트 데이터 10을 기본으로 초기치 데이터 12를 생성 한다.생성 된 초기치 데이터 12로 기존 초기치 데이터 13의 어느것인지를 식별 그릇 14에 의해 선택 해 시뮬레이션 모델 15에게 준다.이렇게 하는 것으로 실제의 운전중의 플랜트 상태를 기점에 다음 운전 스케줄에 맞춘 운전 훈련을 실시할 수 있다.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 단시간에 실제의 운전중인 상태와 같은 플랜트 환경 조건으로 훈련을 할 수 있는 운전 훈련용 시뮬레이터에 관한 기술임
- 심사 청구를 하지 않아 권리가 없음</td></tr>
</table>

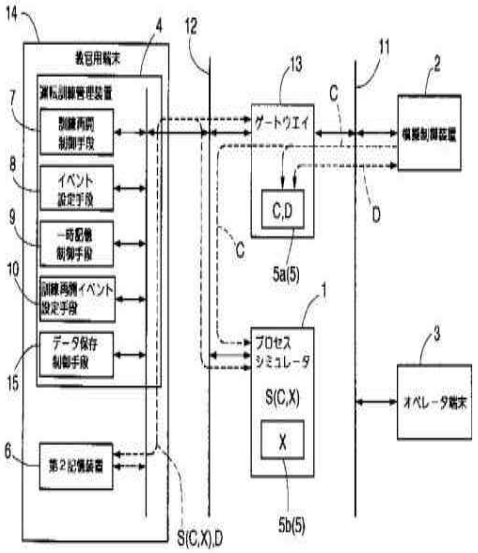
(2) 일본 공개 실용신안 JP1993-015069

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">훈련용 시뮬레이터 장치</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP1991-061106</td><td>출원일자</td><td>1991.08.02</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>JP1993-015069</td><td>공개일자</td><td>1993.02.26</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Mitsubishi Electric</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음
(미심사청구취하)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">instructor 조작을
기억해 임의의
시점에서 재현가능한
시스템 필요(훈련반복)</td><td>해결수단</td><td colspan="2">훈련상태 설정 신호 및 불량
운전 신호를 시계열로
시뮬레이션 기억장치에 기억함</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2">  </td><td>요약</td><td colspan="2">-. Family: 없음
-. 불량 운전 판정 장치 4로 훈련원의 불량 운전을 판정해 불량 운전 신호를 출력 해, 각 훈련 상태에 있어서의 훈련 상태 설정 신호 및 불량 운전 신호를 시계열로 시뮬레이션 기억장치 1에 기억 해, 입력 되는 임의의 재현 시점 정보에 근거해 각 훈련 상태에 있어서의 훈련 상태 설정 신호 및 불량 운전 신호를 시뮬레이션 기억장치 1으로부터 수시로 읽어내 출력 또는 재현하도록 구성 한 것임.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 임의의 시점에서 instructor용 제어반의 조작 이력 정보 및, 훈련용 제어반의 불량 운전 이력 정보를 확인하거나 instructor 조작 이력을 수시 재현할 수 있는 훈련용 시뮬레이터 장치를 얻는 것을 목적으로 함</td></tr>
</table>

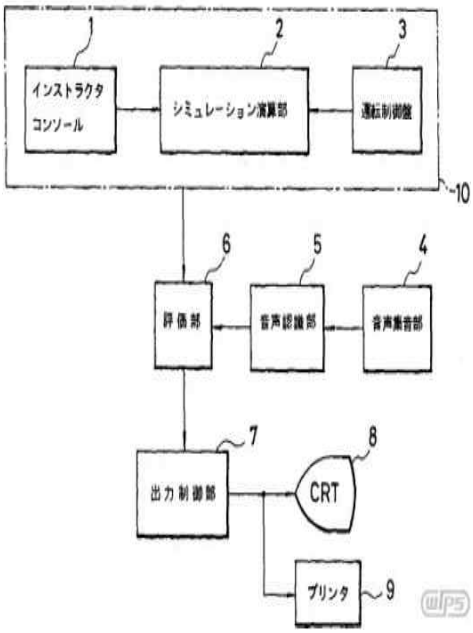
(3) 일본 공개 특허 JP1993-249882

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">모듈 결합형 시뮬레이션 방식</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP1992-046825</td><td>출원일자</td><td>1992.03.04</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>JP1993-249882</td><td>공개일자</td><td>1993.09.28</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Mitsubishi Electric</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음
(미심사청구취하)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">시뮬레이션 수식모델 변경이 용이하게 할 방법 모색</td><td>해결수단</td><td colspan="2">모의 모듈 시스템을 복수를 갖추고 모의 모듈 시스템의 데이터베이스 사이의 데이터 교환을 수행</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 원자력 발전 플랜트 등의 설계 평가나 운전 훈련을 위한 시뮬레이션에 두고, 시뮬레이션 대상의 거동을 모의하는 모의 연산 수단, 시뮬레이션 대상을 특징짓는 초기 데이터 및 모의 모듈 시스템 상태 데이터를 보관 유지하는 데이터베이스로부터 구성되는 모의 모듈 시스템을 복수 갖추어 한층 더 모의 모듈 시스템의 데이터베이스 사이의 데이터 교환을 행하는 1개 이상의 결합 시스템을 갖춘 것을 특징으로 하는 모듈 결합 형태 시뮬레이션 방식</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 종래의 시뮬레이션 방식은 시뮬레이션의 각 과정이 짜 합쳐져 하나의 동작 프로그램을 구성하고 있어서, 수식 모델의 변경은 전체의 동작 프로그램을 구성하는 모든 모의 과정의 변경을 동반하여야 하였으나 본 발명은 모듈 결합 형태 시뮬레이션 방식으로, 모의 모듈 시스템 상태 데이터를 보관 유지하는 데이터베이스로부터 구성 되는 모의 모듈 시스템을 복수로 갖추어 1개 이상의 결합 시스템을 갖춘 것이 특징인 시뮬레이션임</td></tr>
</table>

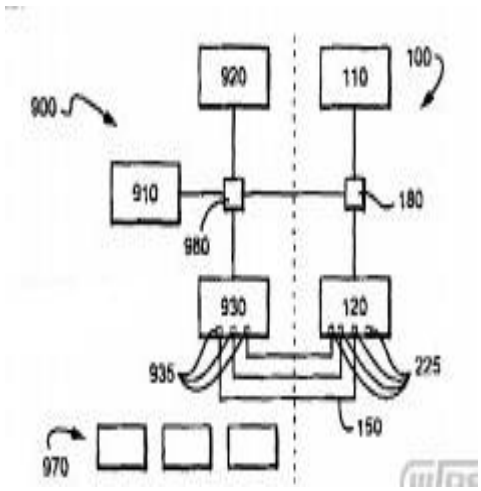
(4) 일본 등록 특허 JP3606712

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">플랜트 운전 훈련용 시뮬레이션 시스템</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP1997-186492</td><td>출원일자</td><td>1997.07.11</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>JP3606712</td><td>등록일자</td><td>2004.10.15</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Kubota</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음(등록후 유지비미납)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>훈련 중단등의 특정시점에서 훈련 재개 가능한 시스템</td><td>해결수단</td><td colspan="3">모의 제어 장치 및 훈련 제개 제어 수단</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 소정의 사상 발생 시점에서의, 중단한 훈련을 재개하는데 필요한 모의 제어 장치 2의 내부 상태인 제어 상태 데이터 D, 모의 제어 장치 2가 출력 하는 모의 제어 신호 C와 프로세스 시뮬레이터 1의 내부 상태로부터 되는 시뮬레이션 상태 데이터 S를 한때 기억 하는 제 1기억장치 5와 훈련 종료시에 제 1기억장치 5에 한때 기억 된 제어 상태 데이터 D와 시뮬레이션 상태 데이터 S를 훈련자를 식별 가능하게 기억 보존하는 제 2기억장치 6을 갖추어 제 2기억장치 6에 보존되고 있는 제어 상태 데이터 D의 모의 제어 장치 2에의 전송과 시뮬레이션 상태 데이터 S의 프로세스 시뮬레이터 1에의 전송을 제어 해소정의 사상 발생 시점으로부터의 훈련 재개를 제어 하는 훈련 재개 제어 수단 7을 갖춤</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 특정 시점에서 훈련을 제개할 수 있는 효율적인 시스템의 운용을 가능하게 한 플랜트 운전 훈련용 시뮬레이션 시스템에 관한 것으로 등록되었으나 등록 유지료 미납으로 권리없음</td></tr>
</table>

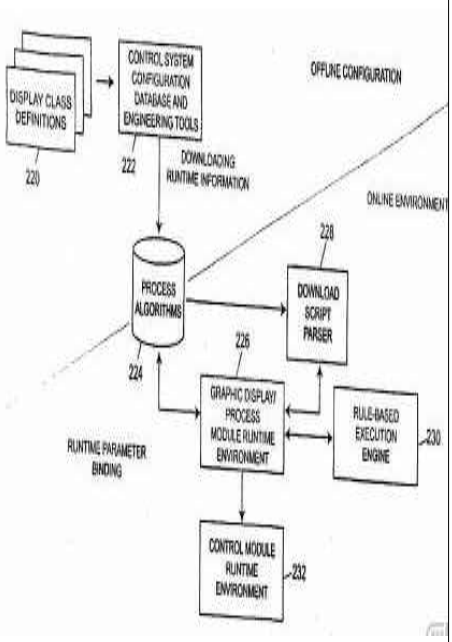
(5) 일본 등록 특허 JP2644350

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">운전 훈련 시뮬레이터 장치</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP1991-175477</td><td>출원일자</td><td>1989.12.05</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>JP2644350</td><td>등록일자</td><td>1997.05.02</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Toshiba</td><td>권리상태</td><td>권리없음(등록후 유지비미납)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>안전한 플랜트 운전을 위한 훈련방법</td><td>해결수단</td><td colspan="3">운전 훈련원의 시야확보를 위한 음성값을 비교하여 시뮬레이션함</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 운전 훈련원의 조작에 근거해 플랜트 제어 장치의 기능 및 플랜트 동 특성 등을 모의 하는 시뮬레이션 연산부를 갖춘 운전 훈련 시뮬레이터 부와 운전 훈련원이 목시 확인 때문에 지차호칭을 실시할 때의 발언을 분석 해 미리 기억 하게 한 음성 표준 값과 비교 해석 하는 것으로써 부호화 하는 음성인식부와 미리 기억 되고 있는 목시 확인 평가 표준 값이라고 상기 운전 훈련 시뮬레이터 부로부터의 플랜트 상태 값이라고 상기 음성인식부로부터의 부호화 된 발언 내용을 비교 해, 목시 확인의 양부 판정, 채점 평가를 실시하는 평가부와 그 양부 판정 결과, 채점 평가 결과를 표시 출력 하는 출력 제어부를 갖추고 있는 것을 특징으로 하는 운전 훈련 시뮬레이터 장치</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: 없음
-. 등록되었으나 등록 유지료를 내지 않아 권리가 없음</td></tr>
</table>

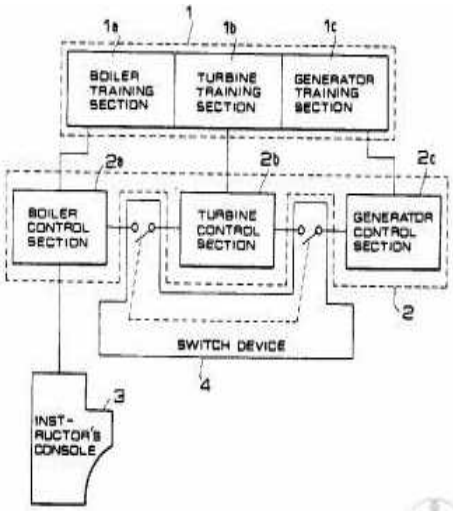
(6) 미국 등록 특허 US7162385

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Control System Simulation, Testing, and Operator Training</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2004-952085</td><td>출원일자</td><td>2004.09.27</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>US7162385</td><td>등록일자</td><td>2007.01.09</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Fluor</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>플랜트 제어 시스템 작동위한 조작자 훈련 방법</td><td>해결수단</td><td colspan="3">플랜트 제어 시스템 시뮬레이터</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="3">-. A requirements database and test generator generates tests for functional and field testing and generates requirements documentation, user manuals, operational procedures, instrument data sheets, instrument indices, instrument loop diagrams, validation reports, and test reports, including exception and passing reports. A portable process control simulator system which provides control system users with scenarios that mirror field operation as defined</td></tr>
<tr><td>청구범위</td><td colspan="5">1. A method for training an operator to operate a plant control system comprising: simulating an HMI portion of the plant control system;simulating the control portion of the plant control system;simulating the plant sensors and actuators;coupling and using the simulated HMI, simulated control system, and simulated sensor and actuators together such that operator interaction with the simulated HMI results in the HMI being updated as if the operator was interacting with the HMI portion of a live control system;wherein the steps of simulating and using are performed on a computer that is uncoupled from the plant control system; andcausing the operator to interact with the simulated HMI.
-. 이 기술의 주요 요소인 HMI (human-machine-interface)를 생략하거나 새로운 요소로 차별화 한다면 침해 가능성은 없을 것으로 보임</td></tr>
</table>

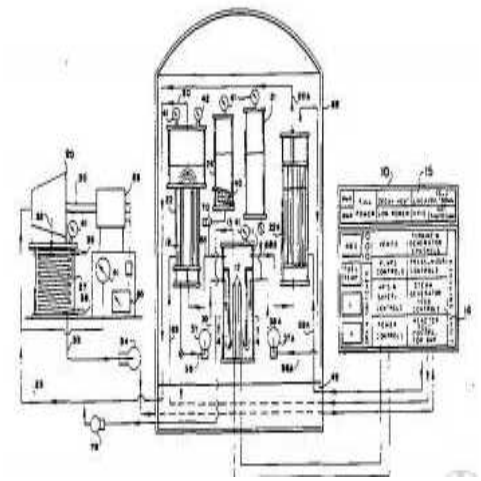
(7) 미국 공개 특허 US2007-0208549

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Updating and Utilizing Dynamic Process Simulation in an Operating Process Environment</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2006-551134</td><td>출원일자</td><td>2006.10.19</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>US2007-0208549</td><td>등록일자</td><td>2007.09.06</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Fisher-Rosemount</td><td>권리상태</td><td>공개(심사단계)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>플랜트 제어 시스템 작동위한 조작자 훈련 방법</td><td>해결 수단</td><td colspan="3">플랜트 제어 시스템 시뮬레이터</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. A simulation system that includes interconnected simulation blocks which use process models to perform simulation activities for a process plant is integrated into a process control environment for the process plant in a manner that makes the simulation system easy to use and easily updated for on-line process simulation. The disclosed simulation system enables future predicted values as well as the current predicted values of process parameters produced by the simulation system to be made available for performance evaluation as well as to guide plant operations. Additionally, the simulation system is connected to the operating process plant to receive various on-line process plant measurements, and uses these measurements to automatically update the process models used in the simulation system, to thereby keep the simulation system coordinated with the actual operating conditions of the process plant</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: CN, DE, GB, HK, JP 등에 출원되어 있음</td></tr>
</table>

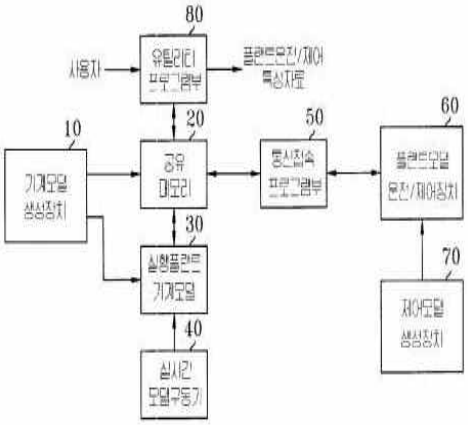
(8) 미국 등록 특허 US4629430

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Plant Operator Training Simulator</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US1985-689224</td><td>출원일자</td><td>1985.01.07</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>US4629430</td><td>등록일자</td><td>1986.12.16</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Mitsubishi</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음</td></tr>
<tr><td colspan="2">해결과제</td><td>화력발전소의 세 섹션이 유기적으로 또는 독립적으로 제어</td><td>해결수단</td><td colspan="2">상호작용 또는 독립적 오퍼레이션을 선택하기 위한 스위칭을 구비</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="3"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. A computer controlled training simulator for a thermal power plant includes a switching device for selecting interactive or independent operation of a boiler simulation section, a turbine simulation section and a generator simulator section. In the interactive mode, the boiler, turbine and generator sections operate as corresponding sections of a single power plant for training operators of the respective sections. In the independent mode, the individual sections are operated as the corresponding sections of three separate power plants so that training of operators of each section can proceed without delays associated with functions of the other two sections</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 화력 발전소를 위한 컴퓨터 제어된 훈련용 시뮬레이터는 보일러 시뮬레이션 섹션, 터빈 시뮬레이션 섹션 및 제너레이터 시뮬레이터 부분의 상호 작용하는 또는 독립적 오퍼레이션을 선택하기 위한 스위칭 장치를 포함함. 대화형 모드에서, 보일러, 터빈 및 발생기 섹션은 각각의 섹션의 트레이닝 조작자를 위한 단일의 발전소의 상응하는 섹션으로 작동한다. 독립 모드, 개별 구역에서 각각 섹션의 조작자의 트레이닝이 다른 양구간의 기능과 관련되는 것으로 지체없이 진행되기 위해 세 분리된 발전소의 상응하는 섹션으로써 작동됨
-. <u>1980년대 중반 출원된 플랜트 운영자 훈련용 시뮬레이터에 관한 것으로 권리 기간이 만료되었으므로 자유 기술임</u></td></tr>
</table>

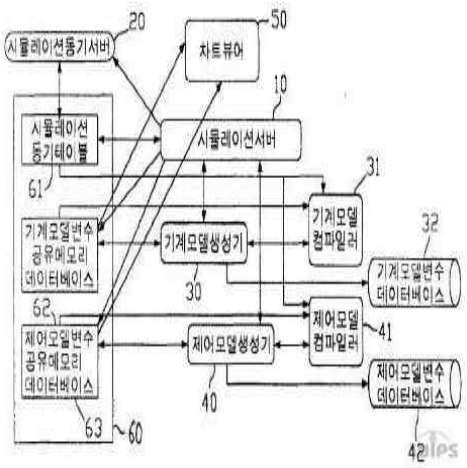
(9) 미국 등록 특허 US4545766

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">Training Device for Nuclear Power Plant Operators</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US1983-534322</td><td>출원일자</td><td>1983.09.21</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>US4545766</td><td>등록일자</td><td>1985.10.08</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Power Safety International</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">원자력발전소에서 안전을 향상시키기 위한 안전시스템 장치</td><td>해결수단</td><td colspan="2">원자력발전소에서 조작자를 위한 교육 훈련장치</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2">  </td><td>요약</td><td colspan="2">-. A simulated nuclear energy power plant system with visible internal working components comprising a reactor adapted to contain a liquid with heating elements submerged in the liquid and capable of heating the liquid to an elevated temperature, a steam generator containing water and a heat exchanger means to receive the liquid at an elevated temperature, transform the water to steam, and return the spent liquid to the reactor</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 본 발명은 원자력발전소의 조작자를 위한 훈련 장치에 관한 것으로서, 핵 반응기 작동을 증명함에 있어서 또는 원자로 시스템을 위한 트레이닝 오퍼레이팅 퍼스널에서 학습 기기로서 또는 소형 원자력 공장의 안전을 향상시키기 위해 다양한 안전 시스템을 연구하기 위한 장치로서 유용함
-. 1980년대 중반 출원된 플랜트 운영자 훈련용 장치에 관한 기술이나 시뮬레이션 기술과는 거리가 있으며, 권리 기간이 만료되었으므로 자유 기술임</td></tr>
</table>

(10) 한국 등록 특허 KR0197911

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">플랜트시뮬레이션 시스템</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>KR1996-057665</td><td>출원일자</td><td>1996.11.26</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>KR0197911</td><td>등록일자</td><td>1999.02.25</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">삼성중공업</td><td>권리상태</td><td>등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">플랜트모델을 실시간 구동시켜 기계모델을 자유롭게 제어/운전</td><td>해결수단</td><td colspan="2">생성된 플랜트 기계모델내의 변수를 제어모델 및 타응용프로그램이 공유하도록 추출하는 기계모델생성장치 구비</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 플랜트시뮬레이션시스템에 있어서, 플랜트의 기계모델을 생성하고, 생성된 플랜트기계모델내의 변수를 제어모델 및 타응용프로그램이 공유하도록 추출하는 기계모델생성장치 상기 추출한 공유변수를 데이타베이스상에 등록시켜 저장하는 공유메모리 및 기설정된 실행속도로부터 1프레임 실행예정시간 및 프레임 1주기 실행예정시간을 계산하고, 그에 따라 상기 생성된 플랜트기계모델을 실시간으로 구동시키는 실시간모델구동기를 포함하는 플랜트 시뮬레이션시스템</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 발명은 플랜트 시뮬레이션 시스템에 관한 것으로 플랜트 기계 모델을 작성하고, 작성된 기계 모델을 실제의 플랜트처럼 운전 및 제어할 수 있는 환경을 제공하여 위험한 발전소를 현장에서 직접 조작하지 않고도 안전하고 빠른 시간내에 발전소를 운전 및 제어하여 볼 수 있으며, 실적이 없는 발전 플랜트를 개발하는 경우 내지 건설중인 발전소를 사전에 시운전해볼 수 있어 개발 기간의 단축 및 비용을 절감할 수 있는 효과를 갖음</td></tr>
</table>

(11) 한국 등록 특허 KR0343564

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">발전설비의 실시간 / 비실시간시뮬레이터</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>KR1999-0082281</td><td>출원일자</td><td>1997.12.31</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>KR0343564</td><td>등록일자</td><td>2002.06.25</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">두산중공업</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">비실시간
시뮬레이션이
가능하도록 구성필요</td><td>해결수단</td><td colspan="2">제어모델을 운용자가 직접
소프트웨어적으로 구성할 수
있도록 함</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 본 발명은 제어모델을 운용자가 직접 소프트웨어적으로 구성하여 제어시스템 기능을 할 수 있도록 함으로써 시뮬레이션시간을 단축하여 시뮬레이션의 효율화를 위한 발전설비의 실시간/비실시간 시뮬레이터에 관한 것으로, 본 발명은 이와 같이 제어모델을 운용자가 직접 소프트웨어적으로 구성함으로써 상용제어시스템을 하드웨어적으로 구성할 때 필요한 제작비의 상승요인을 억제하여 제작비를 절감할 수 있으며, 실시간 뿐만 아니라 비실시간으로도 시뮬레이션을 수행할 수 있으므로 시뮬레이션시간을 단축하여 시뮬레이션의 효율성을 향상함과 더불어, 실시간 시뮬레이션이 가능하므로 발전설비 운전자를 훈련시키기 위한 훈련용으로도 사용할 수 있는 특징을 가지고 있음</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 종래에는 상용 분산 제어 시스템이 일정 상태로 셋팅된 하드웨어로 구현되어 현장 상황에 적합한 제어 모듈을 개발하여 사용하기가 어려워 해당 발전 설비의 특성에 따른 적합한 시뮬레이션이 불가능하였고, 특성상 실시간 시뮬레이션만이 가능하고 비실시간으로는 시뮬레이션이 불가능하여 작업시 시간이 많이 소요되는 단점이 있었음
-. 본 발명은 제어 모델을 운용자가 직접 소프트웨어적으로 구성하여 제어 시스템 기능을 할수 있도록 함으로써 시뮬레이션 시간을 단축하여 시뮬레이션의 효율화를 기할수 있는 발전 설비의 실시간/비실시간 시뮬레이션이 특징임</td></tr>
</table>

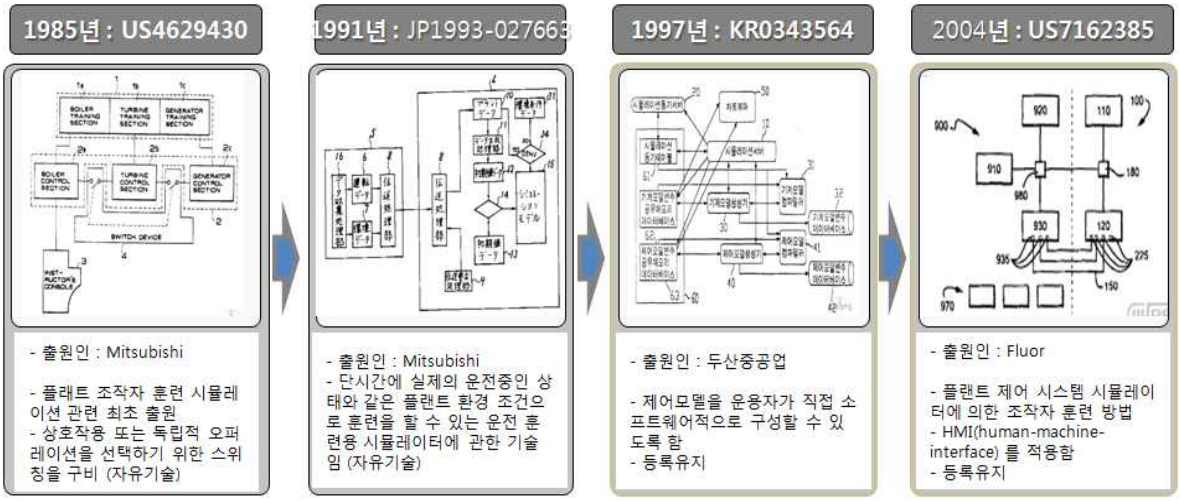


그림 2-61. 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 로드맵

○ 정량 분석

- 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 분야의 주요 출원인은 Mitsubishi, Fisher Rosemount 등으로 파악되고 있음
- 국가별로는 일본이 가장 많은 출원을 하고 있음

○ 정성 분석

- 1985년 출원된 미국 특허 US4629430 (출원인: Mitsubishi)가 플랜트 조작자 훈련 시뮬레이션 최초 특허로 파악됨. 해당 특허는 권리가 만료된 건으로 자유 기술로서, 이 기술 분야의 기본 기술은 공지된 것으로 볼 수 있음. 시기적으로 1985년 전 출원된 유사 특허도 여러 건이 있었으나, 이 특허들은 플랜트 장비를 제어하는 시뮬레이션, 또는 플랜트 조작자 훈련 장비에 대한 것으로서 본 기술과는 정확히 일치하는 기술 분야라고 볼 수 없음
- 이 분야 주요 특허들, 특히 일본 특허는 대부분은 등록 유지료를 미납하였거나 심사 청구를 하지 않아 권리가 없음
- 미국 특허 US2007-0208549는 현재 심사 단계에 있으므로 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 보이며, 미국 특허 US7162385는 권리가 유지되고 있으나 이 기술의 주요 요소인 HMI(human-machine-interface)를 생략하거나 다른 새로운 요소로 차별화한다면 침해 가능성이 없는 것으로 보임
- 일본에 이어 한국에서도 1990년대 두산중공업, 삼성중공업을 중심으로 플랜트 조작자 훈련 시뮬레이션 관련 특허가 출원되고, 미국에서도 Fluor의 특허가 등록되어 현재까지 권리가 유지되고 있음

- 한국 특허 KR0197911과 KR0343564는 1990년대 중반 출원하고 현재까지 권리가 유지되고 있으나 두 특허 기술적 한정이 많아 권리 범위가 좁으므로 침해 가능성은 매우 낮은 것으로 보임

다. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술

○ 특허출원 건수가 꾸준히 증가해 2012년에는 약 23건에 도달하였음

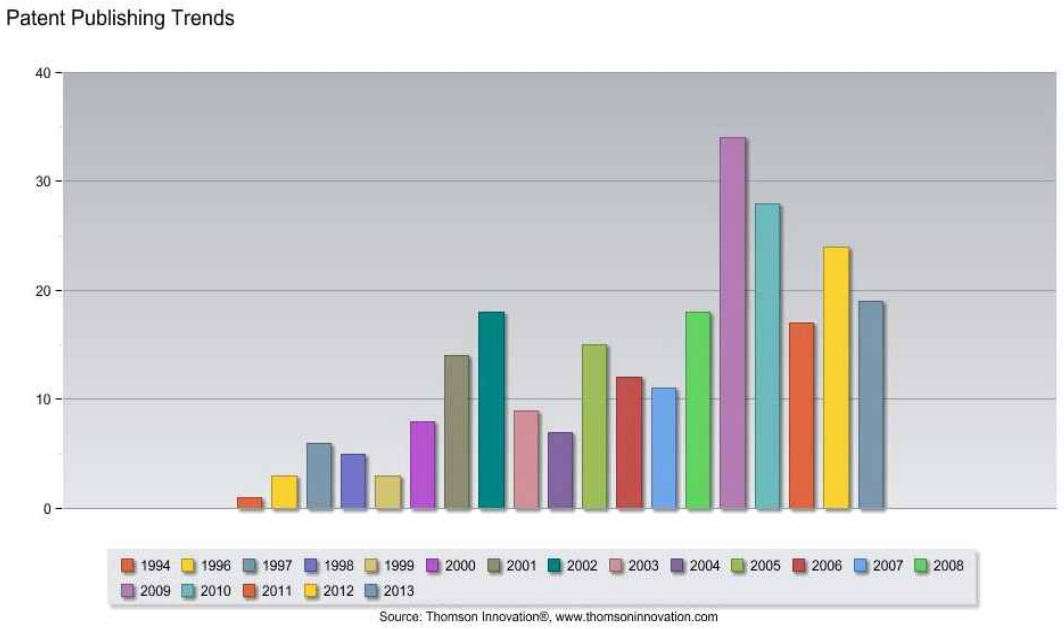


그림 2-62. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 관련 연도별 특허 출원건수

○ 국가별로는 미국이 55% 정도로 가장 많고 유럽 25%, 한국 20% 수준이며 일본의 특허 출원이 매우 적음

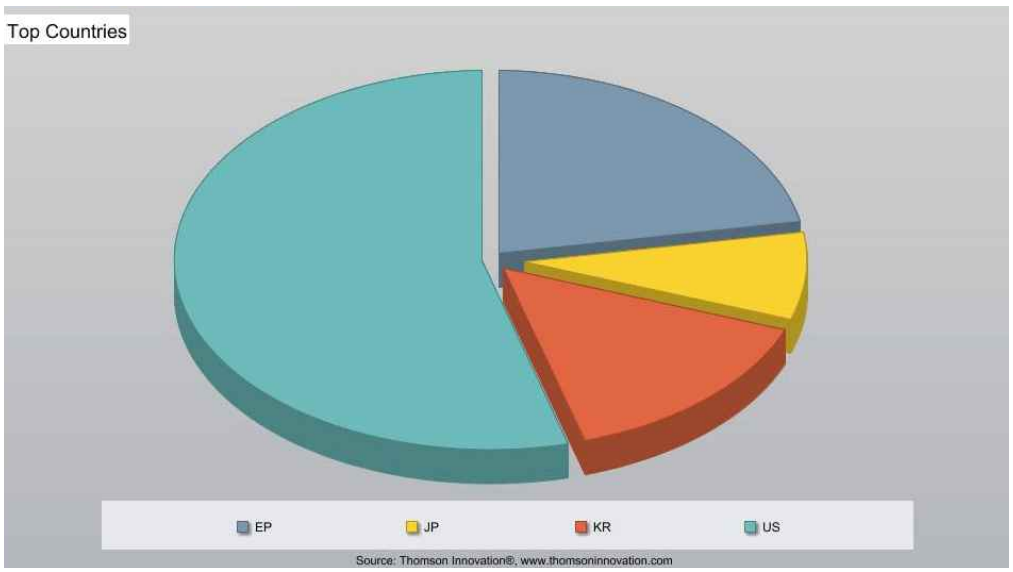


그림 2-63. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 관련 국가별 특허 출원건수

○ 특허출원 주요 기업은 한국전자통신연구원, KT, Lockheed, Rockwell, Siemens로 나타남

- 2006년까지는 Siemens, Rockwell가 우위를 차지하고 있음
- 이후 KT의 특허 건수가 증대되어 1위 고수
- 2012년 기준 특허 건수는 KT의 우세, 다음으로 Lockhee, Rockwell는 비슷

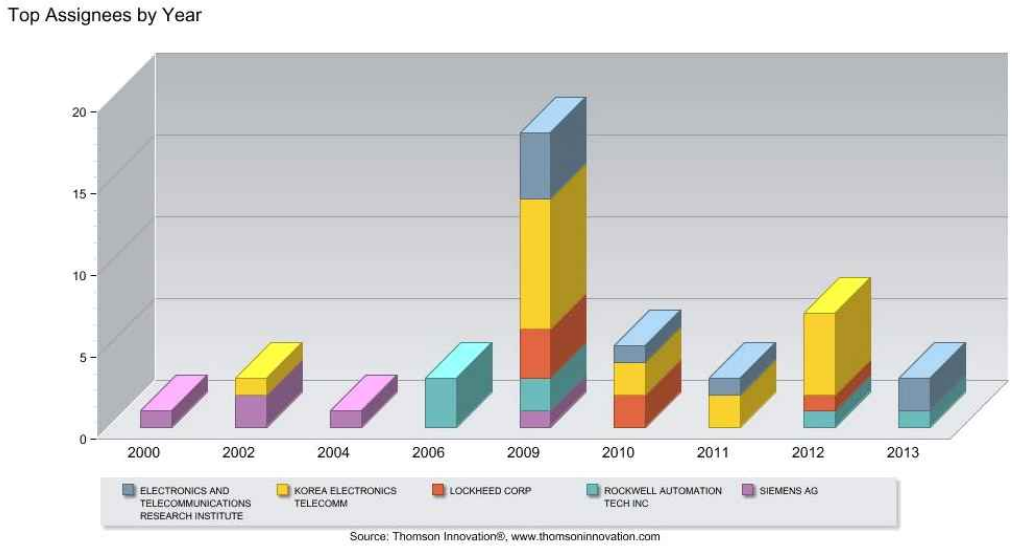
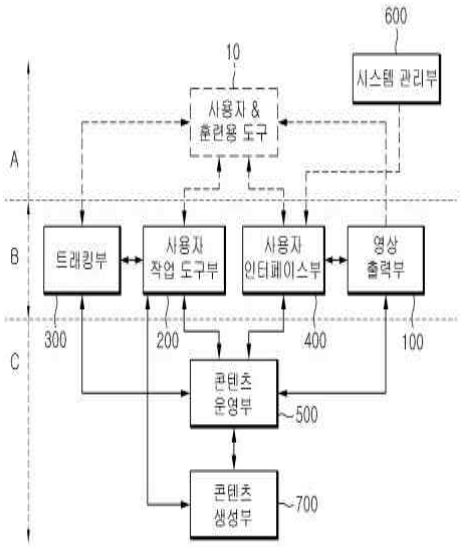
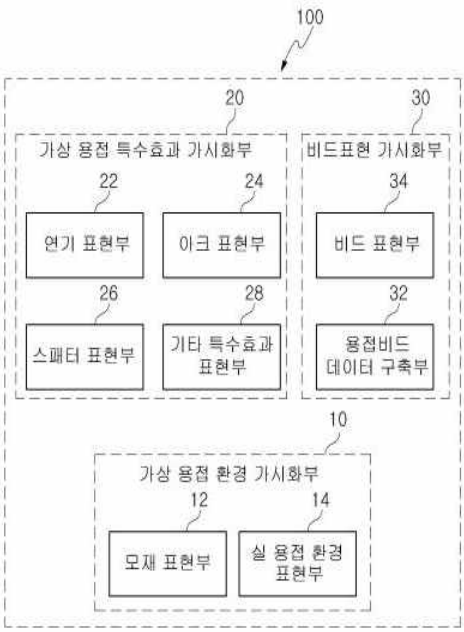


그림 2-64. 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 관련 특허 출원 5대 기관

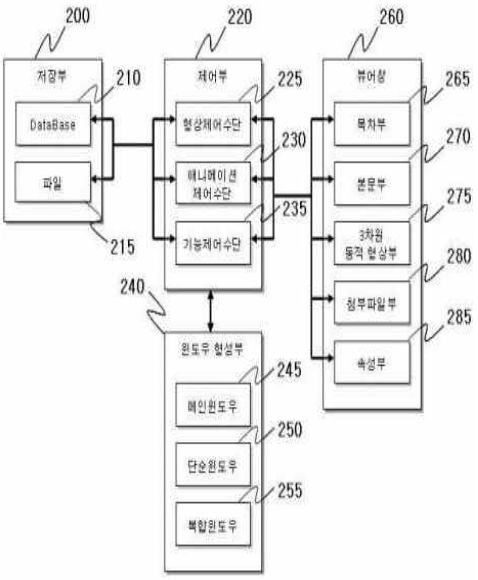
(1) 한국 공개 특허 KR2012-0052783

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">가상현실 기반 훈련 시뮬레이터를 위한 가변형 플랫폼 관리 장치</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>KR2010-0052783</td><td>출원일자</td><td>2010.11.16</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>KR2012-0052783</td><td>공개일자</td><td>2012.05.24</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">한국전자통신연구원</td><td>권리상태</td><td colspan="2">공개</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>가상현실 기반 훈련 시뮬레이터</td><td>해결수단</td><td colspan="3">가변형 플랫폼 관리 장치</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 다양한 작업 환경 및 사용자 작업 시나리오 요구에 대응하여 장치 플랫폼을 변형하도록 한 가상현실 기반 훈련 시뮬레이터를 위한 가변형 플랫폼 관리 장치가 제시된다. 제시된 가상현실 기반 훈련 시뮬레이터를 위한 가변형 플랫폼 관리 장치는, 사용자의 작업 훈련에 사용되는 혼합현실 콘텐츠의 입체영상을 출력하는 영상 출력부; 영상 출력부를 통해 출력되는 입체영상에 대한 사용자의 움직임을 근거로 실제 작업 도구를 이용한 작업시에 발생하는 감각 피드백과 동일한 감각 피드백을 발생하는 사용자 작업 도구부; 및 사용자 작업도구부의 움직임을 감지한 감지신호를 영상 출력부 및 사용자 작업도구부로 전송하는 트래킹부를 포함함</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: US2012-0122062, CN102592484
-. 종래 가상현실 기반 훈련 시뮬레이터들의 경우, 작업 현장에서의 모든 상황에 유동적으로 대응할 수 있는 다양한 작업 시나리오를 제시하고 있지 못하고 그에 따라, 종래 가상현실 기반 훈련 시뮬레이터들은 다양한 작업 현장 및 상황에 능동적으로 대처하지 못함
-. 본 발명은 가상현실 기반 훈련 시뮬레이션 콘텐츠를 운영하기 위한 이동 운영이 용이하도록 한 가상현실 기반 훈련 시뮬레이터를 위한 가변형 플랫폼 관리 장치를 제공하는 것이 목적임</td></tr>
</table>

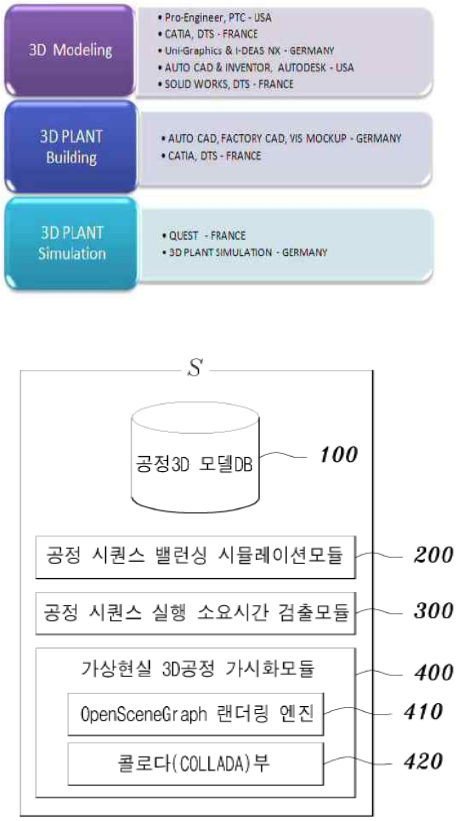
(2) 한국 등록 특허 KR1253542

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">가상용접 훈련의 가시화 방법</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>KR2009-0100764</td><td>출원일자</td><td>2009.10.22</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>KR1253542</td><td>등록일자</td><td>2013.04.05</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">한국전자통신연구원</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>가상 훈련 가시화 방법</td><td>해결수단</td><td colspan="3">가상 환경 가시화 기술
(가상의 비드를 표시하는 비드표현 가시화 단계 포함)</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="3">-. 금속 조형물 및 기계 구조물(예.선박)의 용접 작업 훈련을 위해 가상 현실 및 컴퓨터 그래픽 기술을 응용하여 용접 작업의 시각적 정보를 실제 용접 상황과 일치하도록 블록, 비드, 아크, 스패터, 연기 등을 고품질로 표현하는 가상용접 훈련의 가시화 방법을 제시한다. 제시된 방법에 의하면, 실제 훈련 환경과 동일하게 표현된 가상 용접 환경에서 훈련을 반복적으로 수행함으로써 안전한 훈련 환경 제공, 훈련 기간 단축, 현장의 생산성 향상에 기여할 수 있다.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 종래 가상 용접 훈련 관련 선행 특허: KR2007-0074005
-. 종래 가상 페인트 훈련 시뮬레이션 선행 특허: kR2007-0089853
-. 위의 종래 기술은 가상 환경 가시화 기술은 제공하지 못함
-. 본 발명은 가상의 용접 대상체에 대한 가상 용접 훈련에 따른 가상의 비드를 표시하는 비드 표현 가시화 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 가상 용접 훈련의 가시화 방법을 적용함</td></tr>
</table>

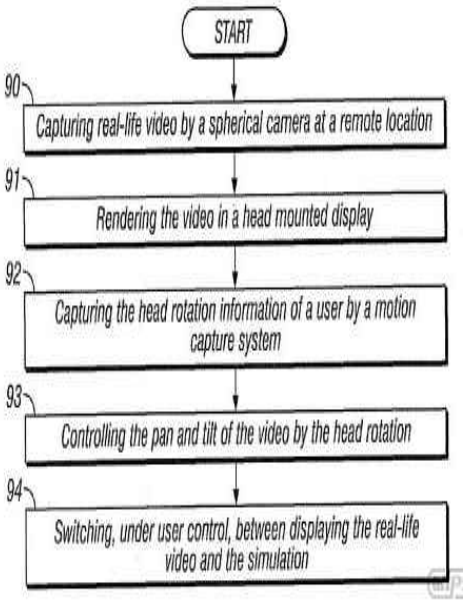
(3) 한국 공개 특허 KR2007-0102319

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">발전 설비의 정비 교육 및 훈련을 위한 3차원 가상체험전자매뉴얼 제공방법 및 시스템</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>KR2006-0034321</td><td>출원일자</td><td>2006.04.15</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>KR2007-0102319</td><td>공개일자</td><td>2007.10.18</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">포미트</td><td>권리상태</td><td>권리없음
(거절결정)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>교육훈련의 2D 한계점 해결필요</td><td>해결수단</td><td colspan="3">3차원 가상체험 전자매뉴얼 제공방법</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 본 발명의 발전 설비의 정비 교육 및 훈련을 위한 3차원 가상체험 전자매뉴얼 제공방법 및 시스템은 각 장치를 구성하고 있는 구성요소 및 부품들의 상세한 설명 및 2차원 도면을 3차원 동적 형상정보로 구현함으로써 각 부품의 상세한 설명과 함께 분해, 조립, 회전, 확대, 축소, 3차원 애니메이션, 3차원 시뮬레이션 및 3차원 단면절개가 가능하고, 노트북이나 소형 단말기를 통해 손쉽게 발전소 및 기계 운용과 관련된 장비의 운영 및 정비시 각 설비의 정보를 입체적으로 분석하고 이해할 수 있도록 함</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 출원번호 2006-0010127로 이중 출원되어 본 특허는 거절 결정되어 등록되지 못하였고, 실용신안 KR0420811은 무심사 제도에 의해 선등록된 것으로써 권리를 행사하기 위해서는 기술 평가를 받아야 하는데, 이미 특허로 출원된 자료가 거절 결정되었으므로 실용신안 특허로 권리 행사는 어려울 것으로 보임</td></tr>
</table>

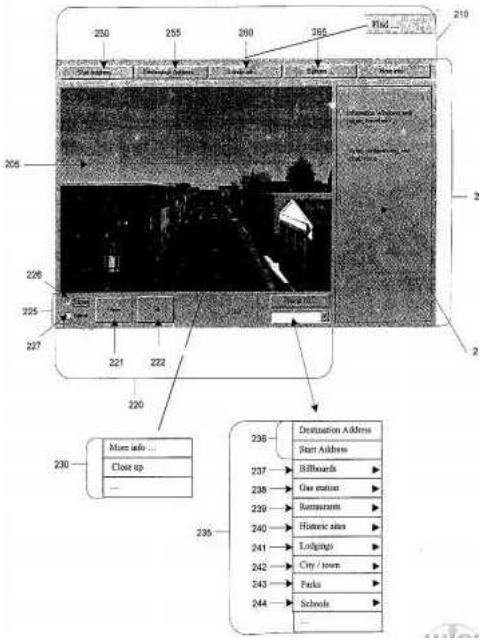
(4) 한국 공개 특허 KR2013-0015426

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">3 D 플랜트 구축 공정 시뮬레이션을 이용한 자동차 차체공장 구축 방법</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>KR2011-0077410</td><td>출원일자</td><td>2011.08.03</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>KR2013-0015426</td><td>공개일자</td><td>2013.02.14</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">오토메스</td><td>권리상태</td><td>권리없음
(거절결정)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>3D 구축과
시뮬레이션을
동시작업 가능하도록</td><td>해결수단</td><td colspan="3">3D 플랜트 구축 공정 시뮬레이션</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 3 D 플랜트 구축 공정 시뮬레이션을 이용한 자동차 차체공장 구축 방법에 관한 것으로, 가상의 자동차 생산공정에서 메인공정을 묘사하기에 필요한 로봇, 단계별 자동차 조립형상 및 지그를 포함하는 다양한 객체들에 대한 실시간 랜더링을 통해 국제표준 형태인 Open Flight Form(*.fit) 또는 3D XML 제작을 제공함으로써, 가상 공간안에서 자동차 자체 조립을 실행하여 공정에 따른 에러 등을 파악하여 공장구축에 대한 시행 착오를 예방하기 위한 3 D 플랜트 구축 공정 시뮬레이션을 이용한 자동차 차체공장 구축 방법에 관한 것임</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 본 발명은 위의 도면과 같은 3D 플랜트 구축 공정 시뮬레이션 방법을 자동차 차체 공장 구축에 적용함</td></tr>
</table>

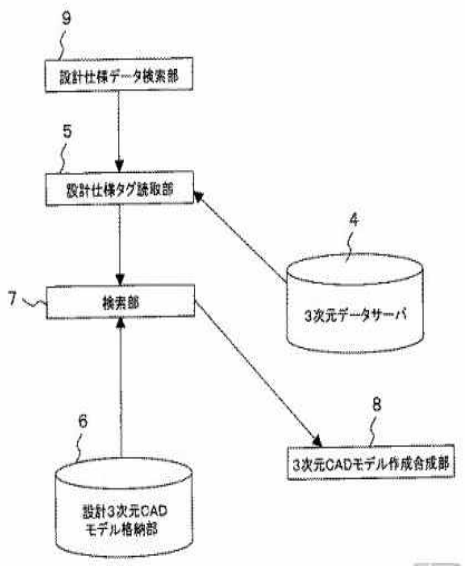
(5) 미국 공개 특허 US2009-0213114

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Portable Immersive Environment Using Motion Capture and Head Mounted Display</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2009-355768</td><td>출원일자</td><td>2009.01.17</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>US2009-0213114</td><td>공개일자</td><td>2009.08.27</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Lockheed Martin</td><td>권리상태</td><td colspan="2">공개(심사단계)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">가상 트레이닝 방법</td><td>해결 수단</td><td colspan="2">CAD와 함께 모션 갭쳐와 가상현실을 통합하여 협력적 가시화 시스템 제공</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. Embodiments of the present invention provide a collaborative visualization system, which integrates motion capture and virtual reality, along with kinematics and computer-aided design (CAD), for the purpose of, for example, virtual training on a task. A virtual reality simulator receives the recorded motion capture data and animates scaled avatars within a three-dimensional virtual reality simulation responsive to recorded motion capture data. An immersive observation system displays the virtual reality simulation, including the animated avatars, as a three-dimensional image that appears to surround one or more trainees using one or more head mounted displays so that the one or more trainees can analyze the one or more tasks performed.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: CA, DK, NL, TR 뿐만 아니라 한국에도 출원됨
-. 한국에 출원된 공개 특허 KR2010-0084597은 미국과 마찬가지로 공개된 상태임 (아직 심사 착수하지 않았음)</td></tr>
</table>

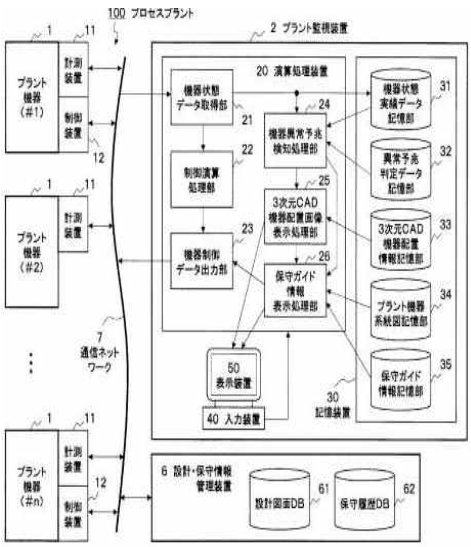
(6) 미국 공개 특허 US2002-0154174

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Method and System for Providing a Service in a Photorealistic, 3-D Environment</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2001-840595</td><td>출원일자</td><td>2001.04.23</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>US2002-0154174</td><td>공개일자</td><td>2002.10.24</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">미기재</td><td>권리상태</td><td colspan="2">포기</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">가상 상호작용에 현실 entity를 제공하기 위한 방법</td><td>해결 수단</td><td colspan="2">사실적 3D 가상환경에서 3D서비스와 3D시각적 디렉토리를 제공</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="3">  </td><td>요약</td><td colspan="2">-. Method and system for providing 3-D services and 3-D visual directories in a photorealistic, 3-D virtual environment depicting a real-life entity. The real-life entity depicted in the 3-D virtual environment may be an actual place and/or actual entity that is not limited to a geographic location but may include other environments such as, for example, a subway system, library, a virtual card catalogue, a factory, an underground aqueduct system, an organism (e.g., an internal view of a human body), a cable system, a mechanism (e.g., a motor, a computer, a computer circuit), and a warehouse. A photorealistic, 3-D model is used as a platform for the services provided. These services may include mapping services, browsing services, historical services, educational services, entertainment services, and commercial services, such as advertising.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: WO2002-086766, AU2002303482
-. 심사 단계에서 거절되어 포기하였으므로 권리는 없음</td></tr>
</table>

(7) 일본 공개 특허 JP2012-068047

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">3차원 CAD 모델 작성 시스템 및 작성 방법</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP2010-210832</td><td>출원일자</td><td>2010.09.21</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>JP2012-068047</td><td>공개일자</td><td>2012.04.05</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Toshiba</td><td>권리상태</td><td>공개</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">플랜트 기기 설계사양 자료를 자동적으로 취득 및 3차원 CAD 모델 수정이 용이하도록</td><td>해결 수단</td><td colspan="2">설계 사양 태그의 3차원 위치 데이터에 근거해 설계 3차원 CAD 모델을 수정하는 3차원 CAD 모델 작성 합성부 구비</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 각종 플랜트 기기 1-1~1-n의 각각에 장착되어 설계 사양 데이터를 기록한 설계 사양 태그 2-1~2-n와 플랜트 기기를 3차원 계측 하는 3차원 계측 장치 3과 3차원 데이터 서버와 설계 사양 태그 독해부와 설계 3차원 CAD 모델 격납부와 설계 사양 태그의 위치 데이터에 대응하는 플랜트 기기를 검색해, 설계 사양 태그와 플랜트 기기를 대응 짓는 검색부와 3차원 CAD 모델에 설계 사양 데이터를 부가 하는 것과 동시에, 설계 사양 태그의 위치 데이터에 대응하는 플랜트 기기의 위치 데이터가 다른 경우, 설계 사양 태그의 3차원 위치 데이터에 근거해 설계 3차원 CAD 모델을 수정하는 3차원 CAD 모델 작성 합성부를 가짐</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 종래에는 설계 3차원 CAD 모델을 실측 3차원 데이터로 수정하는 방법이 방대한 연산 처리를 필요로 하는 것으로, 컴퓨터의 부담이 크고, 작업시간이나 장기화하는 문제가 있었음
-. 본 발명은, 위의 종래 과제를 해결하기 위해서 된 것으로, 각종 플랜트 기기의 설계 사양 데이터를 자동적으로 취득할 수 있는 것과 동시에, 그 데이터를 이용 해 설계 3차원 CAD 모델을 간편하게 수정하는 것이 가능한 3차원CAD 모델 작성 시스템 및 작성 방법을 제공하는 것을 목적임</td></tr>
</table>

(8) 일본 공개 특허 JP2012-168799

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">플랜트 감시 장치 및 플랜트 감시 방법</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>JP2011-030007</td><td>출원일자</td><td>2011.02.15</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>JP2012-168799</td><td>공개일자</td><td>2012.09.06</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Hitachi</td><td>권리상태</td><td colspan="2">공개</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">플랜트 보수작업
효율증대</td><td>해결
수단</td><td colspan="2">플랜트 기기 이상의 전조를 감시하는 플랜트 감시체제</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="3"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 플랜트 감시체제는, 플랜트 기기에 설치된 계측 장치으로부터 얻을 수 있던 기기 상태 데이터의 과거의실적 데이터와 이상 전조 판정 데이터 기억 부 32에 미리 축적 되고 있는 이상 전조 판정 데이터와에 근거해, 플랜트 기기의 이상 전조를 검지했을 때에는, 3차원 CAD 기기 배치 정보 기억 부 33을 참조 해 해당 이상 전조가 검지된 플랜트 기기를 포함한 주변의 플랜트 기기의 3차원 CAD 기기 배치 화상을 표시 장치 50에 표시 하는 것과 동시에, 보수 가이드 정보 기억 부 35로부터 해당 이상 전조에 대해서 행해지는 보수 작업에 임하여 필요한 보수 가이드 정보를 취득해, 그 취득한 보수 가이드 정보를 상기의 3차원 CAD 기기 배치 화상에 겹치게 표시함</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. 플랜트 기기의 3차원 CAD 기기 배치 정보를 미리 축적 한 3차원 CAD 기기 배치 정보 기억 부를 갖추어 상기 계측 장치로부터 취득한 기기 상태 데이터 및 기기 상태 과거의 실적 데이터라고 상기 이상 전조 판정 데이터 기억 부에 기억 되고 있는 이상 전조 판정 데이터와에 근거해, 플랜트 기기의 이상의 전조를 검지해, 그 이상의 전조가 검지된 플랜트 기기에 대해서, 그 플랜트 기기 및 그 플랜트 기기가 배치 되고 있는 주위의 플랜트 기기의 3차원 CAD 기기 배치 화상을 표시 장치에 표시 해, 상기 보수 가이드 정보 기억 부를 검색하고, 상기 이상의 전조가 검지된 플랜트 기기에 대한 보수 가이드 정보를 추출 해, 그 추출 한 보수 가이드 정보를 상기 표시 된 3차원 CAD 기기 배치 화상 우에에 겹쳐 표시 하는 것을 특징으로 함</td></tr>
</table>

○ 정량 분석

- 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 관련 특허가 많지 않아 좀더 넓은 범위에서 정량 분석을 진행하였음
- 주요 출원인은 한국전자통신연구원, Lockheed, Toshiba, Hitachi 등으로 파악되고 있음
- 국가별로는 미국이 가장 많이 출원하고 있으며 다음으로 유럽, 한국 순으로 나타나고 있음

○ 정성 분석

- 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술에 대해서는 플랜트에 적용한 안전 훈련 환경 가상화 특허는 없는 것으로 파악됨
- 다만, 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술과 유사 기술군으로 볼 수 있는 가상 환경 가시화 기술, 3차원 플랜트 CAD 기술 등은 여러 나라에서 출원되어 있음
- 가상 환경 가시화 기술은 한국전자통신연구원, Lockheed Martin 등의 회사가 우위를 점하고 있고, 3차원 플랜트 CAD 기술 관련 특허는 일본을 비롯한 여러 나라에서 다양하게 출원되고 있음
- 위의 두 기술의 주요 특허는 대부분 권리가 없거나 현재 공개 단계로서 심사 과정을 모니터링할 필요가 있음
- 한국전자통신연구원의 KR1253542는 등록 특허이나 청구 범위가 가상 용접 훈련의 가시화 방법으로 한정되어 있으므로 플랜트 기반 가상화 기술과는 차이가 있다고 판단됨

라. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술

○ 2009년부터 특허출원 건수가 증가해 2012년에는 약 40건에 도달

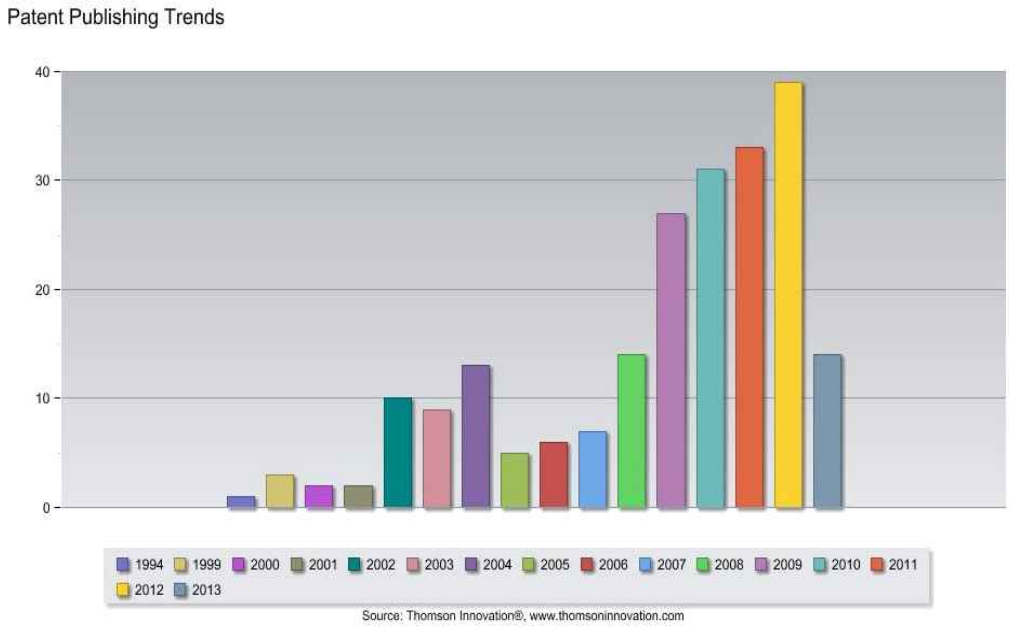


그림 2-65. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 관련 연도별 특허 출원건수

○ 국가별로는 미국이 55% 정도로 가장 많고 유럽 25%, 한국 20% 수준이며 일본의 특허 출원이 매우 적음

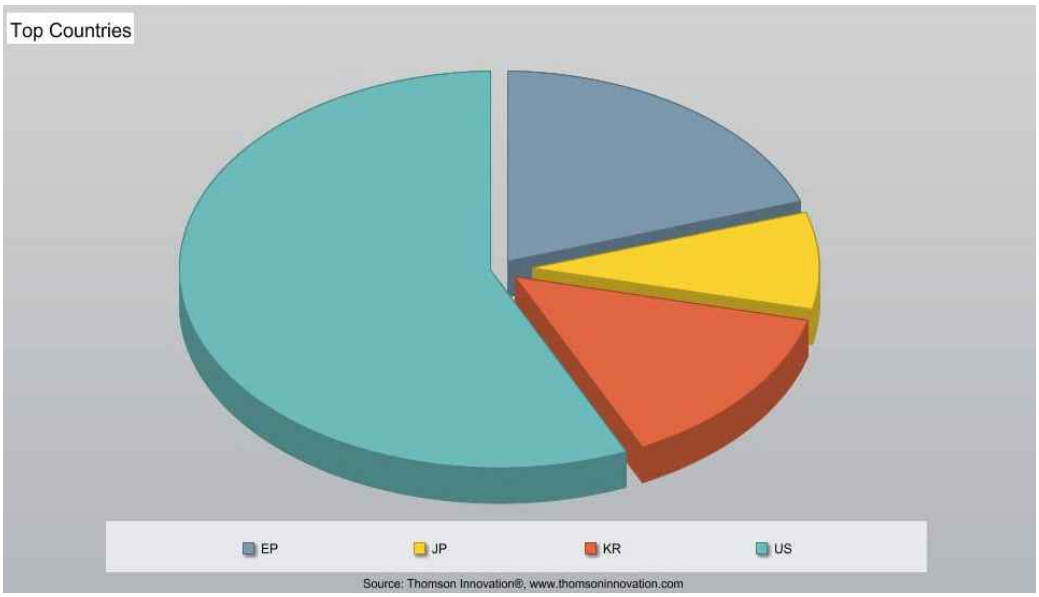


그림 2-66. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 관련 국가별 특허 출원건수

○ 특허출원 5대 기업은 Fraunhofer, IBM, Immersion, Immersion Medical, Microsoft

- 2009년부터 Fraunhofer의 약진이 두드러지며 비교적 소규모의 Immersion이라는 전문 기업의 강세가 돋보임
- 한국기업은 햅틱 기술로만 한정하였을 경우 광주과학기술원, 한국과학기술원, 한국전자통신연구원에서 햅틱관련 기술 출원이 많음

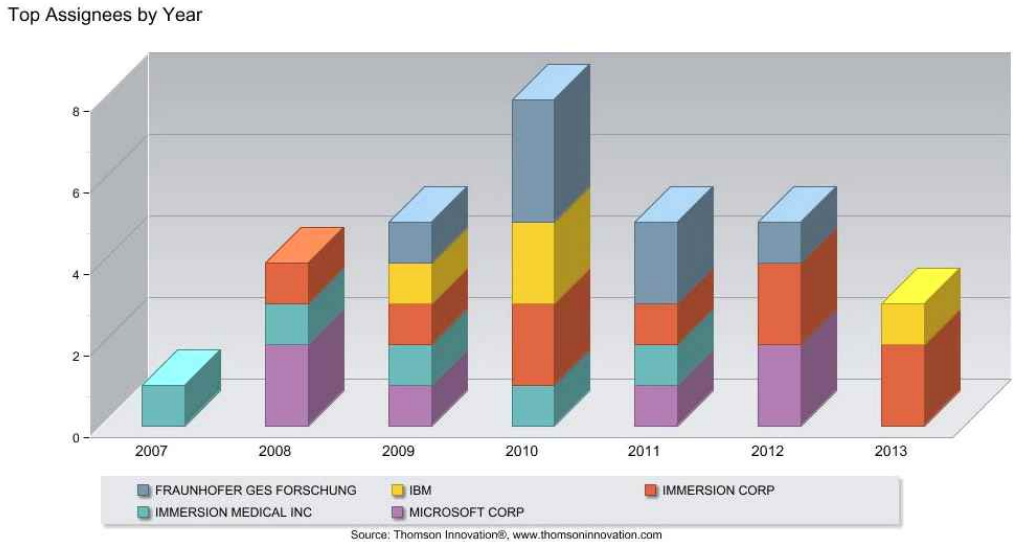
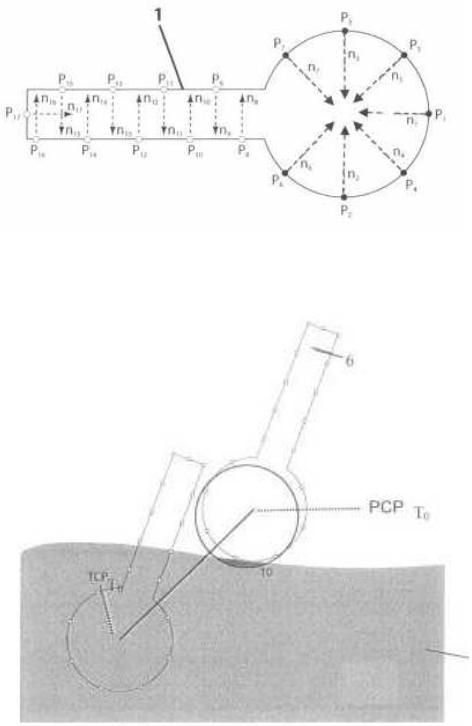
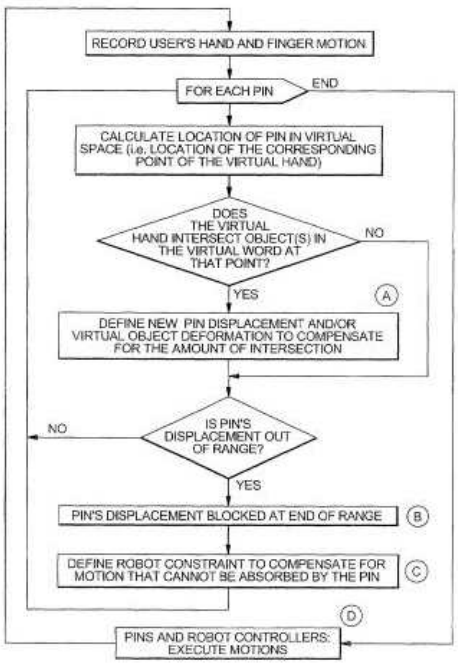


그림 2-67. 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 관련 특허 출원 5대 기관

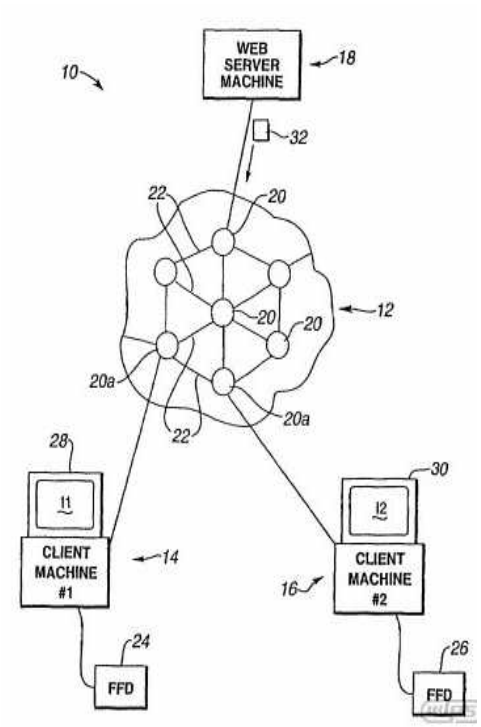
(1) 미국 등록 특허 US8396698

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Method for the simulation of the haptic of an interaction of a guided object with a virtual three-dimensional object</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2008-151306</td><td>출원일자</td><td>2008.05.06</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>US8396698</td><td>등록일자</td><td>2013.03.12</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Universitatsklinkum Hamburg-Eppendorf (독일)</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">3차원 오브젝트간의 상호작용</td><td>해결 수단</td><td colspan="2">컴퓨터로 구현된 force feedback 수단에 의한 햅틱 시뮬레이션</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. The object of the instant invention is a method for simulating the haptics of an interaction of an object guided by a user, hereinafter referred to as tool, with a virtual three-dimensional object, in particular the scanning of the surface of the simulated object and/or the penetration of the guided object into the simulated object, under material removal, if applicable</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: EP1998305, DE102007021348
-. 사용자에 의해 유도된 3차원 오브젝트간의 상호 작용을 햅틱 시뮬레이션 방법을 이용함
-. 방법 특허로서 단계가 매우 많아 권리 범위가 한정적임</td></tr>
</table>

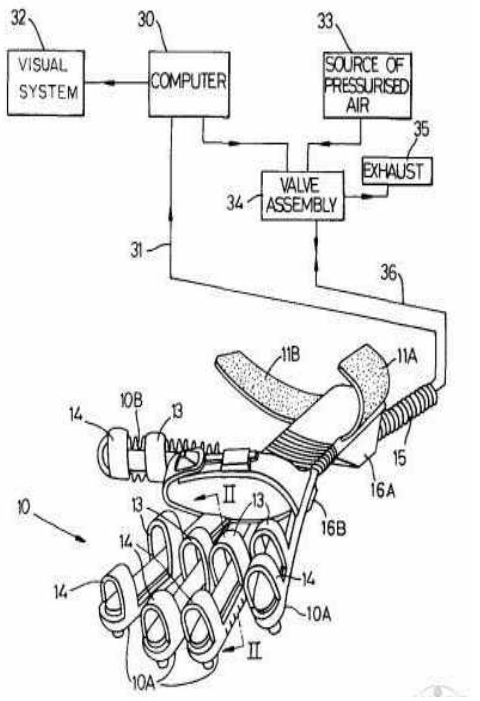
(2) 미국 등록 특허 US8350843

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Virtual Hand: a New 3-D Haptic Interface and System for Virtual Environments</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2008-047848</td><td>출원일자</td><td>2008.03.13</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>US8350843</td><td>등록일자</td><td>2013.01.08</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">IBM</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">virtual hand 생성 기술</td><td>해결 수단</td><td colspan="2">3-D haptic interface에 의해 제어되는 가상환경 생성</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. The present invention discloses a creation of a virtual hand, body part, or tool in a virtual environment, controlled by a new 3-D haptic interface for virtual environments. There is also the provision of a method and arrangement applicable to computer systems for creating a virtual environment, which facilitates a user to touch, feel, edit, and interact with data about the objects, surfaces, and textures in the environment. There is also a provision for multiple virtual hands operating in the same virtual world, so that users can work collaboratively in the virtual world; they can touch, feel and edit the data in the virtual world, including data about the other users' virtual hands.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: 없음
-. 가상 환경을 만들기 위해 방법의 provision과 컴퓨터 시스템에 적용할 수 있는 배치가 가능하며, 가상 환경은 터치하고 감지하고 편집하며 환경에서 목적과 표면과 텍스처 데이터와 서로 상호 작용하기 위한 사용자의 수행을 원활하게 함
-. 방법 특허로서 단계가 매우 많아 권리 범위가 한정적임</td></tr>
</table>

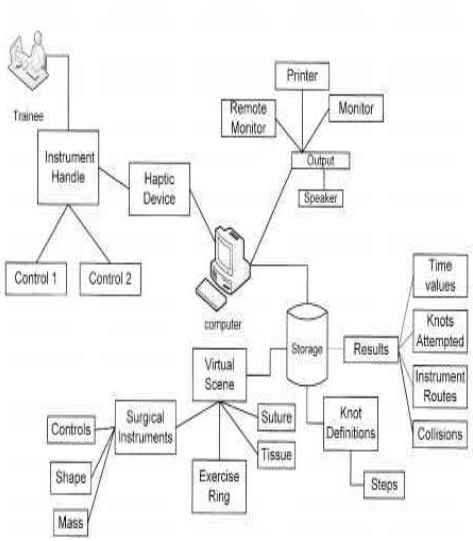
(3) 미국 등록 특허 US7636080

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Networked Applications including Haptic Feedback</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2003-615927</td><td>출원일자</td><td>2003.07.10</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>US7636080</td><td>등록일자</td><td>2009.12.22</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Immersion</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">유저인터페이스 장치의 고품질 촉각 필요</td><td>해결 수단</td><td colspan="2">호스트 컴퓨터에의 저대역폭 중첩을 이용</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. Method and apparatus for providing peer-to-peer force feedback over a computer network. A network force feedback system includes a network, a first computer coupled to the network, and a second computer coupled to the network. The first and second computers each include a visual display and a force feedback interface device. Each computer provides a force feedback signal to its force feedback device based on information received from the other, remote computer and in some cases also based on input from the local force feedback device. Positional information of each force feedback device and/or feel sensation information can be transmitted between the computers over the network. A graphical environment can be displayed to enhance the interaction between users. The present invention therefore permits two computer users to interact using force feedback provided over a network on a peer-to-peer basis.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: 594건 => 본 발명과 함께 출원인 Immersion은 haptic과 force feedback관련 특허 594건을 특허망으로 형성하고 있음
-. 출원인 Immersion은 이 분야에 대한 전략적 특허 공략 및 연구개발을 진행해 오는 것으로 파악됨</td></tr>
</table>

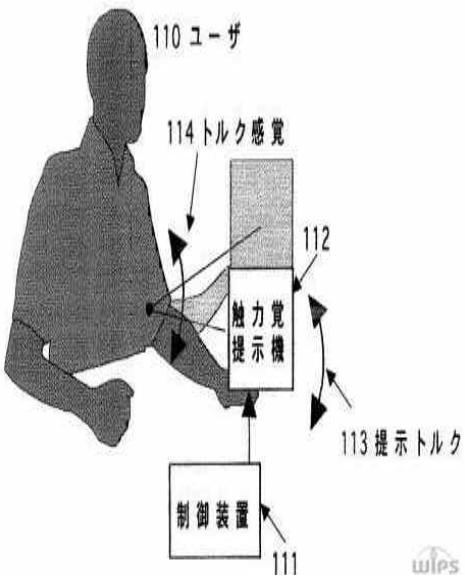
(4) 미국 등록 특허 US5945978

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Haptic Computer Output Device</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US1993-122412</td><td>출원일자</td><td>1993.08.31</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>US5945978</td><td>등록일자</td><td>1993.09.28</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">Retinal Displays</td><td>권리상태</td><td colspan="2">권리없음</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">가상적 물체와
상호작용시 실질적
경험을 위한 장치</td><td>해결
수단</td><td colspan="2">손가락을 삽입하는 링형성부
(exoskeleton: 외골격계 요소)에
의해 제어</td></tr>
<tr><td>대
표
도
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요
약</td><td colspan="2">-. 가상적 물체와 상호 작용시 경험되는 사실성이 실질적으로 경험되도록 한다.[구성]자료 글러부(1)와 손가락 및 엄지손가락 연장부(10A,10B)가 떨어져 있는 링형성부(13,14)를 갖는다. 이 각 링형성부(13,14)는 한 막(23)에 의해 가스가 새지 않도록 걸쳐져있는 내측을 향하여 개방된 블라인드 보어(21)로 형성되며, 링형성부내의 도관(20)은 선택적으로 가압된 공기를 컴퓨터(30)에 의해 조정되는 밸브 어셈블리(34)의 제어를 받아 보어(21)로 보내거나 보어(21)로부터 이를 방출하게 된다. 또한 컴퓨터는 글러브의 착용자에 의하여 가시적 시스템(32)에서 수신된 영상을 발생시키게 되며, 공간 위치 및 글러브(10)의 굽힘에 관련된 자료는 라인(31)을 통하 여 컴퓨터로 전달하게 된다. 이에 따라 가시적 시스템(32)을 통하여 한 커서를 추가로발생시키게 된다.가상세계의 실제적 실재를 신체로 감촉할 수 있게 되어, 3차원적 인공의 세계를 완전히 느끼도록 하는 효과를 갖음</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: WO19920018925, KR1994-7000703, JP6507032, GB, AU
-. 각국에 국제 출원하였으나 GB 이외에는 등록안됨. 한국에서도 출원하였으나 심사 청구하지않아 권리 없음</td></tr>
</table>

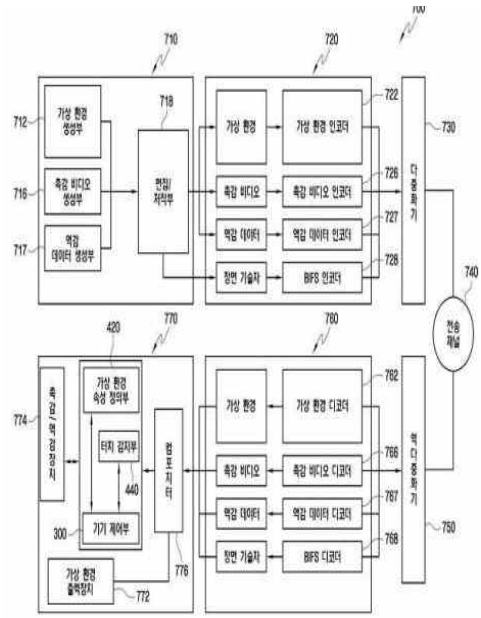
(5) 미국 공개 특허 US2011-0014596

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">Devices and Methods for Implementing Endoscopic Surgical Procedures and Instruments Within a Virtual Environment</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2009-864340</td><td>출원일자</td><td>2009.01.26</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>US2011-0014596</td><td>공개일자</td><td>2011.01.20</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">University of Florida Research Foundation</td><td>권리상태</td><td colspan="2">공개(심사단계)</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">가상환경 제공 시스템</td><td>해결 수단</td><td colspan="2">3-D haptic interface에 의해 tactile virtual world 제공</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. Devices and methods are provided for combining the handle of a surgical instrument with a force feedback generator, able to create resistance to motion similar to that encountered in a real operating environment. The working end of the surgical instrument is recreated in a virtual environment and manipulated by the modified handle through the force feedback generator. The virtual environment is modeled to accurately simulate the use of the instrument including manipulation of and collisions with other virtual objects, such as surgical thread or internal tissues. Training and assessment tools are also provided that coach or assess a user's proficiency with the instrument.</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: WO2009-094621
-. 본 발명은 의학 관련 특허로서 가상 환경내에서 내시경 외과적 조치와 기구를 구현하기 위한 방법에 관한 기술임</td></tr>
</table>

(6) 일본 등록 특허 JP4111278

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">촉력각 정보 제시 시스템</td></tr>
<tr><td rowspan="2">출원번호</td><td rowspan="2">JP2004-331263</td><td rowspan="2">출원일자</td><td rowspan="2">2004.11.15</td><td rowspan="3">기술분류</td><td rowspan="3">D</td></tr>
<tr></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>JP4111278</td><td>등록일자</td><td>2008.04.18</td></tr>
<tr><td colspan="2">출원인</td><td colspan="2">National Institute of Advanced Industrial Science and Technology</td><td>권리상태</td><td>등록유지</td></tr>
<tr><td colspan="2">해결과제</td><td>동일방향으로 토크 등의 촉력 깨달아 감각을 연속적으로 제시가능한 시스템 및 방법</td><td>해결 수단</td><td colspan="2">촉력각 정보 제시기와 제어 장치에 의해 촉력각적 감각 물리 특성을 사람에게 체감시킴</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 사람에게 가상 물체의 존재나 충돌의 충격력을 주는 종래의 비접지형이고 신체 내에 베이스가 없는 맨 머신 인터페이스에 있어서, 촉력각 감각 제시기의 물리적 특성만으로는 제시할 수 없고, 동일 방향으로 토크 및 힘 등의 촉력각 감각을 연속적으로 제시할 수 있는 시스템 및 방법을 실현하는 것이다. 촉력각 제시기(112), 제어 장치(111)에 의해 촉력각 제시기(112) 중 1개 이상으로 이루어지는 회전자의 회전 속도가 제어되고, 그 물리 특성인 진동, 힘, 토크가 제어됨으로써 사용자(110)에게 그 진동, 힘, 토크 등의 다양한 촉력각 정보를 지각시킨다. 이 촉력각 정보 제시 시스템은 인간의 감각 특성, 혹은 착각을 이용하여 적절하게 물리량을 제어함으로써, 물리적으로는 존재할 수 없는 힘, 혹은 촉력각적 감각 물리 특성을 사람에게 체감시킴</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: WO2005-0050427, US2007-0091063, KR1169814, GB, CA
-. 본 발명의 촉각력 정보 제시 시스템은 인간의 감각 특성 또는 착각을 이용해 적절히 물리량을 제어함으로써 물리적으로는 존재할 수 없는 힘, 또는 촉력을 깨달아 사람에게 체감시킴</td></tr>
</table>

(7) 한국 등록 특허 KR1239370

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">가상 환경의 햅틱 속성의 정의를 통한 촉각 정보 표현 방법 및 촉각 정보 전송 시스템</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>KR2011-0066894</td><td>출원일자</td><td>2011.06.17</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>KR1239370</td><td>등록일자</td><td>2013.02.26</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">광주과학기술원</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">촉각 정보 표현 방법</td><td>해결 수단</td><td colspan="2">가상 환경의 햅틱 속성의 정의</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2">  </td><td>요약</td><td colspan="2">-. 가상 환경의 햅틱 속성의 정의를 통한 촉각 정보 표현 방법 및 촉각 정보 전송 시스템이 제공된다. 상기 가상 환경의 햅틱 속성의 정의를 통한 촉각 정보 표현 방법은, 가상 환경 및 상기 가상 환경에 대응하는 촉감 및 역감 정보를 포함하는 촉각 정보를 전송하여, 촉감 장치 및 역감 장치를 포함하는 촉각 기기를 통한 촉각 정보 표현 방법에 있어서, 상기 가상 환경의 햅틱 속성을 정의하는 단계, 상기 가상 환경에 대한 터치 여부를 감지하는 단계, 상기 가상 환경에 대한 터치가 감지될 경우, 상기 정의된 가상 환경의 햅틱 속성을 기준으로, 상기 감지에 대응하는 피드백 촉각 정보를 제공하는 단계를 포함함</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: 없음
-. 한국 특허에서는 광주과학기술원, 한국과학기술원, 한국전자통신연구원에서 햅틱 관련 기술 출원이 많음</td></tr>
</table>

○ 정량 분석

- 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술은 관련 특허가 많지 않아 좀더 넓은 범위에서 정량 분석을 진행하였음
- 햅틱 기술로만 한정하였을 경우 주요 출원인은 IBM, Immersion, Fraunhofer 등으로 파악되며, 한국의 경우는 광주과학기술원, 한국과학기술원, 한국전자통신연구원에서 햅틱 관련 기술 출원이 많음
- 국가별로는 미국이 가장 많이 출원하고 있으며 다음으로 유럽, 한국 순으로 나타나고 있음

○ 정성 분석

- 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술에 대해서는 플랜트에 적용한 햅틱 현실감 구현 특허가 거의 없는 것으로 파악됨
- 다만, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술과 유사 기술군으로 볼 수 있는 햅틱 기반 가상화 기술 등은 여러 나라에서 출원되고 있으며 의학 관련 기술이 대부분임
- 햅틱기반 가상화, 시뮬레이션 특허는 최근 들어 미국, 한국에 많은 출원이 되고 있음
- 특히 출원인 Immersion의 경우 haptic과 force feedback관련 특허에 대해서 594건을 특허망으로 형성하고 있는 것으로 파악되는데 이는 Immersion이 이 분야에 대한 전략적 특허 공략 및 연구개발을 진행해 오는 것으로 분석되고 있음
- 앞으로 기술 스펙이 구체화되면 상기 주요 특허를 유념해서 침해 문제를 예방할 필요가 있음

마. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술

○ 특허출원 건수가 2009년부터 증가하여 2012년에는 약 40건에 도달

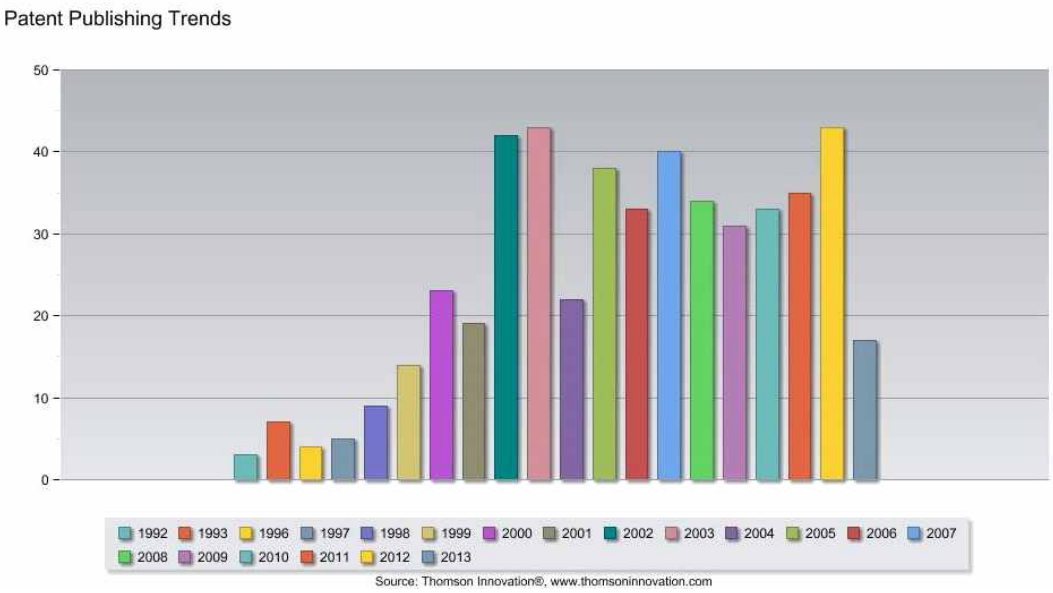


그림 2-68. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 관련 연도별 특허 출원건수

○ 국가별로는 미국이 55% 정도로 가장 많고 유럽 25%, 한국 20% 수준이며 일본의 특허 출원이 매우 적음

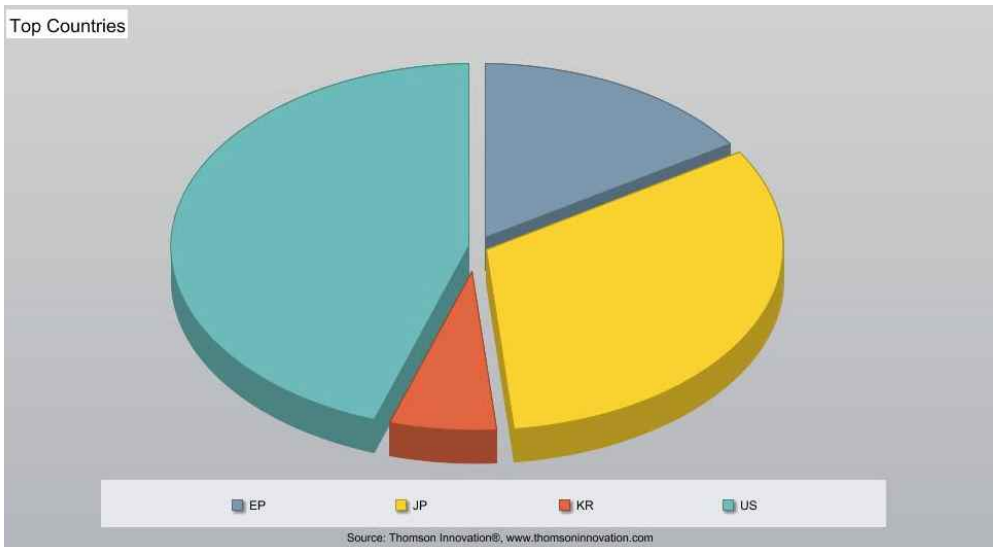


그림 2-69. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 관련 국가별 특허 출원건수

○ 특허출원 5대 기업은 Fraunhofer, IBM, Immersion, Immersion Medical, Microsoft

- 2009년부터 Fraunhofer의 약진이 두드러지며 비교적 소규모의 Immersion이라는 전문 기업의 강세가 돋보임
- 한국기업은 햅틱 기술로만 한정하였을 경우 광주과학기술원, 한국과학기술원, 한국전자통신연구원에서 햅틱관련 기술 출원이 많음

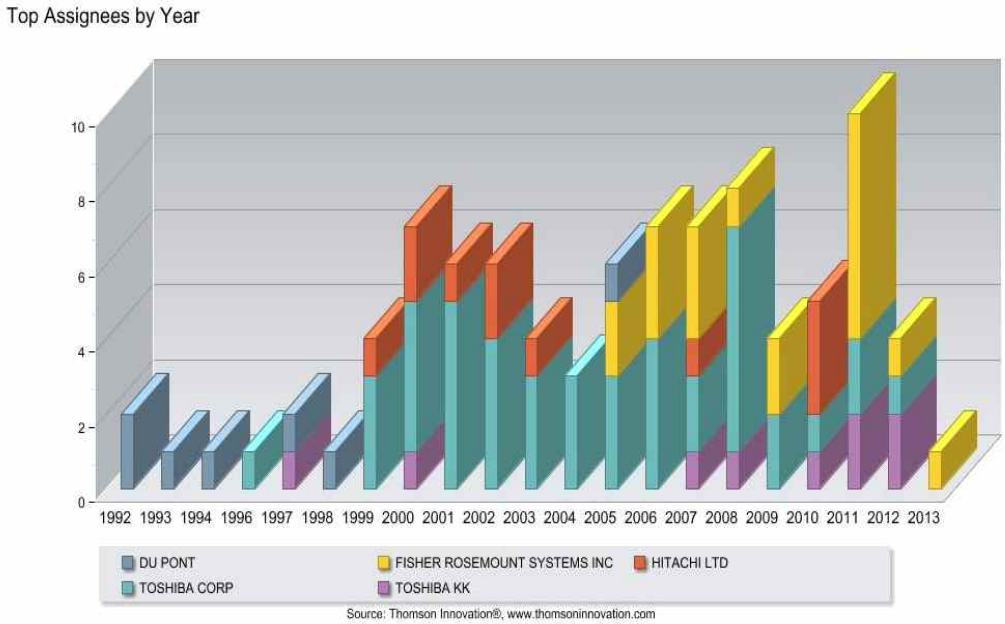
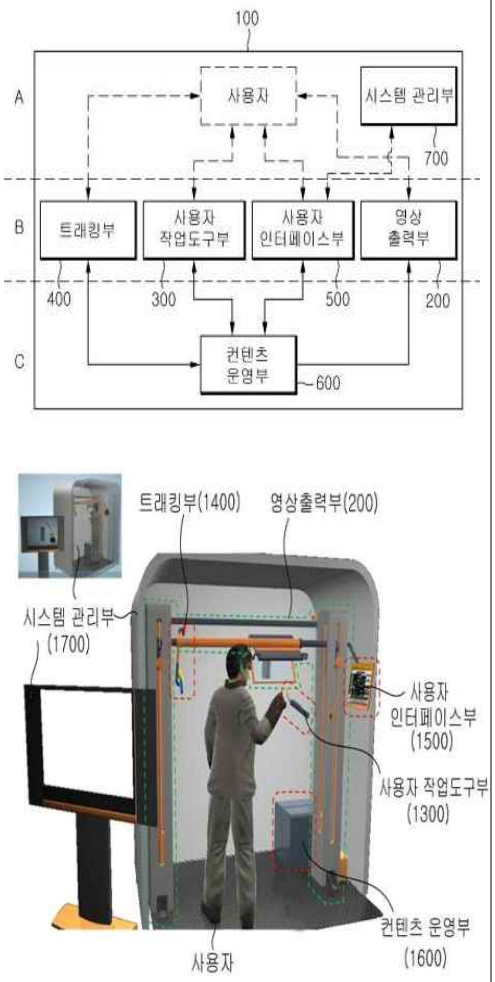


그림 2-70. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 관련 특허 출원 5대 기관

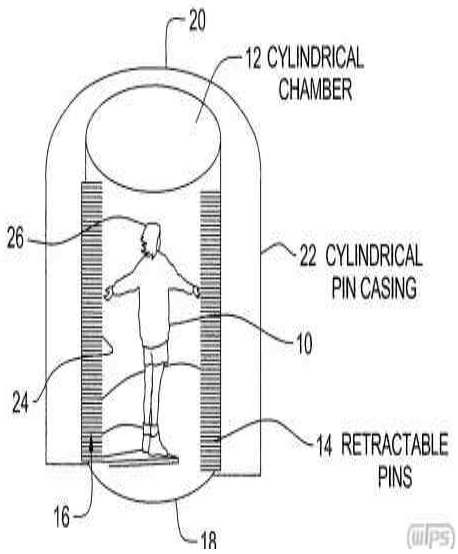
(1) 한국 공개 특허 KR2012-0117759

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">가상현실 기반 훈련 가이드 시스템 및 그 방법</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>KR2010-0117759</td><td>출원일자</td><td>2010.11.24</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">E</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>KR2012-0056172</td><td>공개일자</td><td>2012.06.01</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">한국전자통신연구원</td><td>권리상태</td><td colspan="2">공개</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">가상현실 기반 훈련 가이드 시스템</td><td>해결수단</td><td colspan="2">햅틱 기반 가이드부</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2">
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 도구의 움직임을 추적하여 추적 정보를 획득하는 도구 움직임 추적부와 기저장된 훈련 가이드 정보 및 훈련 환경 설정 정보를 연동하는 환경 설정 연동부와 추적 정보, 훈련 가이드 정보 및 훈련 환경 설정 정보를 수치를 기반으로 가시화하는 수치 기반 가이드부와 추적 정보, 훈련 가이드 정보 및 훈련 환경 설정 정보를 그래픽을 기반으로 가시화하는 그래픽 기반 가이드부와 추적 정보, 훈련 가이드 정보 및 훈련 환경 설정 정보를 기반으로 도구 모델을 가시화하는 가상 도구 모델 기반 가이드부와 추적 정보, 훈련 가이드 정보 및 훈련 환경 설정 정보를 기반으로 역감 및 진동으로 전달하는 햅틱 기반 가이드부를 포함하는 가상 현실 기반 훈련 가이드 시스템을 구성함</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: 없음
-. 본 발명은 현실의 상황과 동일하거나 물리적으로 불가능한 가상의 시나리오를 사용자가 체험할 수 있도록 햅틱 기반 가이드부를 구비한 가상현실 기반 훈련 가이드 시스템을 구현하는 것이 특징임</td></tr>
</table>

(2) 한국 등록 특허 KR1262848

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="4">가상현실 기반 훈련 시뮬레이터를 위한 가변형 플랫폼 장치</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>KR2009-0125543</td><td>출원일자</td><td>2009.05.03</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">E</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>KR1262848</td><td>공개일자</td><td>2013.05.03</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">한국전자통신연구원</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td>가상현실 기반 훈련 시뮬레이터</td><td>해결수단</td><td colspan="3">가변형 플랫폼 장치 구비</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="2"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. 본 발명은 가상현실 기반 훈련 시뮬레이터를 위한 가변형 플랫폼 장치에 관한 것으로서, 실제의 작업환경에 상응하는 다양한 훈련 컨텐츠를 관리하며, 가상현실 기반 훈련 시뮬레이터에서 운영될 훈련 컨텐츠의 시나리오를 결정하는 컨텐츠 운영부; 사용자에 의해 선택된 훈련 컨텐츠를 증강현실 기법을 이용하여 입체영상으로 제시하는 영상 출력부; 실제 작업에서 사용되는 작업 도구와 유사한 작업 도구를 기반으로, 컨텐츠 운영부에서 결정된 훈련 컨텐츠의 시나리오에 따라 사용자가 실제의 작업환경에서 느끼는 감각을 느낄 수 있도록 시각, 청각, 촉각, 및 후각 중 하나 이상의 감각 피드백을 지원하는 사용자 작업도구부; 및 사용자 및 작업 환경 상태를 실시간으로 추적하여 가상현실 기반 훈련 시뮬레이터의 입력 정보를 생성하는 트래킹부를 구비한다. 본 발명에 의하면, 교육 및 훈련 과정이 필요한 임의의 작업 현장을 실시간 시뮬레이션 기반으로 가시화 시켜줌으로써, 사용자의 활동을 통해서 시나리오를 진행시키는 모든분야에 폭넓게 활용될 수 있음</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">-. Family 특허: 없음
-. 본 발명은 가상현실 기반 시뮬레이터를 위한 가변형 플랫폼 장치에 관한 것으로 특허 등록되어 있음. 한국전자통신연구원은 이와 관련된 특허를 최근 들어 여러 건 출원하고 있음</td></tr>
</table>

(3) 미국 공개 특허 US2010-0277469

<table>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">Tactile Virtual World</td></tr>
<tr><td>출원번호</td><td>US2009-432284</td><td>출원일자</td><td>2009.04.29</td><td rowspan="2">기술분류</td><td rowspan="2">E</td></tr>
<tr><td>공개번호</td><td>US2010-0277469</td><td>공개일자</td><td>2010.11.04</td></tr>
<tr><td>출원인</td><td colspan="2">IBM</td><td>권리상태</td><td colspan="2">등록유지</td></tr>
<tr><td>해결과제</td><td colspan="2">가상환경 제공 시스템</td><td>해결 수단</td><td colspan="3">3-D haptic interface에 의해 tactile virtual world 제공</td></tr>
<tr><td>대표도면</td><td colspan="3"> 
</td><td>요약</td><td colspan="2">-. A system for providing a tactile virtual world or environment wherein, in particular, a virtual reality environment provides an interactive 3-D interface for synthesizing the feeling of experiencing a 3-D environment. The invention also provides a method for implementing actual physical applications that can simulate real 3-D environments; for example, such as a physical training exercise or artificial 3-D environments, or simulating the interacting with molecules or complex data sets</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="6">-. Family 특허: 없음
-. 실제적 3D 환경 또는 촉각으로 알 수 있는 가상 월드를 모의 실험하기 위해 실제 물리적 적용을 실행하기 위한 사용자를 용이하게 하는 상호 작용하는 3D 인터페이스 생성 방법에 관한 특허임</td></tr>
</table>

○ 정량 분석

- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 관련 특허가 많지 않아 좀더 넓은 범위에서 정량 분석을 진행하였음
- 주로 햅틱 기술을 기반으로 한 가상화 시뮬레이션 관련 특허를 조사하였음
- 주요 출원인은 IBM, Immersion, Fraunhofer 등으로 파악되며, 한국의 경우는 광주과학기술원, 한국과학기술원, 한국전자통신연구원에서 햅틱 관련 기술 출원이 많음

○ 정성 분석

- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 관련 기술에 대해서는 플랜트에 적용한 특허가 거의 없으며, 특히 안전 훈련 통합 기술에 대한 특허는 없는 것으로 파악됨
- 햅틱관련 특허는 거의 의학과 관련된 특허가 대부분으로 본 과제와 밀접한 관련성은 떨어짐
- 다만, 관련 기술로서 한국전자통신연구원의 햅틱기반 가상현실 기반 훈련 가이드 시스템과 관련한 특허가 있고, 또한 미국 IBM의 실제적 3D 환경 또는 촉각으로 알 수 있는 가상 월드를 시뮬레이션하는 유사 특허가 있으므로 연구개발시 참고가 될 것으로 보임

바. 특허 동향 분석 결론

○ 정량 분석

- 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술과 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 분야는 국가로는 일본이 강세이고 주요 출원인은 Mitsubishi, Toshiba, Yokogawa 등으로 파악됨
- 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술 및 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술은 국가로는 미국이 강세이고, 주요 출원인은 IBM, Immersion, Fraunhofer 등으로 파악되며, 한국의 경우는 광주과학기술원, 한국과학기술원, 한국전자통신연구원에서 햅틱관련 기술 출원이 많이 되고 있음

○ 정성 분석

- 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술, 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술은 이미 많은 특허가 출원되어 있음
- 플랜트 시뮬레이션 관련 특허는 1980년대 이미 기본 기술이 공지되었고 그 권리 존속 기간이 만료되었으므로 기본 기술을 사용하는 데는 문제가 없는 것으로 보이며 또한 일본에서 출원한 플랜트 시뮬레이션 관련 기술은 권리가 없는 특허가 대부분이므로 특허 침해 가능성은 낮은 것으로 보임
- 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술은 최근 들어 미국과 한국에서 출원이 많이 되고 있음
- 미국 기업 Immersion의 경우 haptic과 force feedback 관련 특허에 대해서 594건을 특허망으로 형성하고 있는 것으로 파악되는데 이는 Immersion이 이 분야에 대한 전략적 특허 공략 및 연구개발을 진행해 오는 것으로 분석되고 있으므로 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 보임
- 결론적으로 본 과제에서 최종적으로 구현하려고 하는 햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템 통합 기술에 대한 특허는 발견되지 않았으므로, 향후 본 과제와 관련하여 구체적인 과제 진행에 있어서 햅틱 기술을 플랜트 안전훈련시스템에 통합함에 있어서 연구개발을 통하여 기본 특허 및 전략 특허의 확보가 가능할 것으로 보임

2.4.3 관련 기관 기술수준 분석

○ 세부 과제 기술과 밀접한 관계가 있는 기업의 기술 인프라, 기술 수준과 기술인력 현황을 조사하고 평가하였으며, 기술 인프라 및 기술인력 현황 분석을 통하여 상용화 인프라를 분석하였음

○ 세부 과제 기술과 관련이 있는 국내 연구 기관 및 대표 연구자를 조사하여, 해당 연구기관의 본 과제와 관련되는 연구영역 및 연구방향 등을 분석하였음

○ 세부 과제 기술과 관련이 있는 국내 대학 및 대표 연구자를 조사하여 해당 대학의 본 과제와 관련된 연구영역 및 연구방향, 연구현황을 분석하였음

○ 세부 기술별 관련 기술수준 현황을 살펴보면 아래와 같음

- 공정 안전 지식 및 사례 기반 안전 훈련 시나리오 생성 기술과 관련하여 국내 산업계에서는 사고 사례의 일부 축적에만 그치고 있고 기반 기술이 미약하며, 해외 기업들의 경우도 기술 공유나 사례 제공에 있어 폐쇄적임
- 학계에서는 공정 안전 시뮬레이션 및 안전성 평가에 대한 연구의 일부로 에너지 및 플랜트 시설에 대한 안전 관리 시스템, 지식의 체계적 축적, 사고 사례 DB의 공유 시도 사례가 존재함
- 연구소에서는 정부 주도 프로젝트에 참여하면서 OTS 개발, 안전 관리에 대한 연구의 일부로 사고 시나리오 생성 및 축적에 관해 추진한 실적이 있음
- 공정 인터랙티브 시뮬레이션 기술과 관련하여 국내 산업계에서는 기반 기술이 다소 미약하며 해외 기업들에 의한 기술 점유가 심한 상황이나 실제 활용 사례나 대상이 풍부함
- 학계에서는 공정 시뮬레이션에 대한 연구를 중점적으로 수행한 결과가 다수 있으며 LNG 및 기타 에너지 시설에 대한 안전 관리 시스템 개발 사례가 존재함
- 연구소에서는 정부 주도 프로젝트에 참여하면서 OTS 개발, 안전 관리에 대한 연구를 추진한 실적이 있음
- 플랜트 가상화 기술과 관련하여 산업계는 시뮬레이터 플랫폼, 가상 환경 구축, 가시화 시스템 개발에 관한 연구개발을 수행하였음
- 학계는 다채널 가시화 환경 구축, 그래픽 요소 기술 개발, CAD 데이터 변환 및 간략화 기술 등의 요소 기술에 관한 연구개발을 수행하였음
- 연구소는 시스템 통합을 중심으로, 소방 훈련, 선박 운항, 용접 및 도장 훈련을 위한 가상 환경 구축 및 가시화 시스템 개발에 관한 연구개발을 수행하였음
- 플랜트 가상현실 및 햅틱 기술과 관련하여 산업계는 가상현실 및 대상 시나리오

에 적합한 햅틱 기술을 이용하여 소방, 의료, 군사용 시뮬레이터 시스템을 개발하고 상용화 연구를 수행하였음

- 학계는 주로 손동작과 관련된 햅틱 장치의 설계, 햅틱 실시간 제어, 촉감 렌더링 기술 등에 관한 요소 기술 연구 개발을 수행하였음
- 연구소는 가상현실 및 햅틱 핵심 기술을 이용하여 새로운 개념의 가상현실 훈련 시스템을 개발, 통합하고 산업체가 필요로 하는 핵심 요소 기술의 상용화에 관한 연구도 수행하였음

표 2-15. 세부 기술별 관련 기관 현황

세부기술명	기관명	구분	연구자	주요 연구 활동	보유기술
플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술	Invensys	산	-	- 몰입 가상현실 교육 시스템 EYESIM의 훈련 시나리오 선정 기술 - 안전 관리 시스템 Triconex	공정모사, 시나리오 생성
	Honeywell	산	-	- 공정 모델링 컨설팅시 공정의 비정상 상황 설정 기술	공정모델링, 비정상 시나리오 선정기술
	DNV	산	-	- Phast, Safeti 등 정량적 위험성 평가 및 평가시 시나리오 선정 기술 - 사고 전파 시뮬레이션	공정안전, 사고전파
	명지대학교	학	신동일	- 운전자의 이상 진단 메커니즘 및 지원 기술 - ITS기반의 지능형 조업자 훈련 기술	이상진단, 지능형조업자 훈련
	경북대학교	학	문두환	- 안전 지식의 체계적 분류 및 공유 기술	안전KB
	한국가스안전공사	연	오정석	- 고압 가스를 중심으로 한 플랜트의 안전 관리 기술 - 사고 사례 분류 및 활용 기술	플랜트안전, 사고시나리오
플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술	AspenTech	산	-	- Aspen Plus, HYSYS 등 공정 시뮬레이션 소프트웨어 - DMCplus 등 공정 제어 소프트웨어 - 공정 모델링 및 제어 컨설팅	공정설계, 공정모사, 공정최적화, 공정제어
	Invensys	산	-	- ProII, DynSim 등 공정 시뮬레이션 소프트웨어	공정설계, 공정모사, 공정최적화, 공정제어
	Honeywell	산	-	- UniSim 공정 시뮬레이션 소프트웨어 - 공정 모델링 및 자동 제어 컨설팅 - OTS 제작	공정모사, 공정제어
	Emerson Process Management	산	-	- 공정 모델링 및 자동 제어 컨설팅 - OTS 제작	공정모사, 공정제어
	Yokogawa	산	-	- 공정 모델링 및 자동 제어 컨설팅 - OTS 제작	공정모사, 공정제어
	서울대학교	학	윤인섭	- 위험성 분석에서의 다중 모델을 이용한 자동화 시스템	공정설계, 공정제어, 공정안전
	서울대학교	학	한종훈	- LNG 저장, 수송 시설 안전 운전 관리 시스템 개발	공정설계, 공정제어,

				- LNG 액화 플랜트 모니터링 및 이상 진단	공정모사, 공정모델링
	광운대학교	학	고재욱	- U-Safey를 이용한 CNG, LPG 충전소 안전 관리 시스템	공정안전
	연세대학교	학	문일	- 정유 공정 에너지 설비 안전 통합 관리 시스템 구축	공정설계, 공정안전
	한국건설기술연구원	연	황인주	- LNG 플랜트 핵심 기반 기술 개발	공정설계, 공정안전
	한국가스공사 연구개발원	연	최건형	- 고효율 LNG 플랜트 공정 기술 개발	공정설계, 공정제어
	고등기술연구원	연	김형진	- LNG 플랜트 액화 공정 OTS 구축	공정모사, 공정제어
플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술	Invensys	산	-	- VR 기반 플랜트 조업자 훈련 시스템 EYESIM 판매 - 플랜트 공정 모델 구축 컨설팅	시스템통합, 시뮬레이터
	도담시스템즈	산	-	- 군용 항공기 훈련용 시뮬레이터 개발 - 항공기 훈련용 가시화 시스템 기술 보유	VR 가시화, 가상환경 시스템통합, 시뮬레이터
	STR	산	공인영	- 선박 안전 운항 검사 시뮬레이터 개발 - 잠수함 훈련 시뮬레이터 개발	가상환경 시스템통합, 시뮬레이터
	부품디비	산	황진상	- 전차, 군함, 대형 시설물에 대한 가상 환경 모델 구축 기술 보유	가상환경 구축
	한길소프트	산	-	- 항공기 훈련용 가시화 시스템 기술 보유	VR 가시화
	KAIST	학	한순흥	- 다채널가시화시스템(CAVE)개발 - 엔지니어링 목적의 가시화 기술 개발	VR 가시화, VR 요소기술
	KAIST	학	박진아	- 그래픽스 원천 기술 개발	VR 요소기술
	경북대학교	학	문두환	- 가상 환경 구축 (모델 변환 및 간략화) 기술 개발	VR 요소기술
	고등기술연구원	연	박찬국 김형진	- CANDU형 원자력 발전소의 3차원 CAD Model 개발 - LNGC Dynamic Modeling을 통한 Simulation Software 개발 - 초고속 정보통신망을 이용한 가상 원자력 발전소 프로토타이핑 설계 및 구현 - STEP AP 221, 227 및 15926 기반의 원전 데이터 모델 및 응용시스템 개발	가상환경 시스템통합, 시뮬레이터
	한국해양과학기술원	연	김선영	- 선박 안전 운항 검사 시뮬레이터 개발 - 잠수함 훈련 시뮬레이터 개발	가상환경 시스템통합, 시뮬레이터
	한국전자통신연구원	연	-	- 선박 용접/도장 훈련 시뮬레이터 개발	VR 가시화, 가상환경 시스템통합
플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술	ARVision	산	이영민 김병수	- 화재 소방훈련 시뮬레이터 - 사격훈련, 의료 시뮬레이터 개발 - 햅틱기반 정맥주사 시뮬레이터 - VR 시뮬레이션 저작 도구 보유	햅틱기반 시스템 개발
	도담시스템즈	산	이경창	- 항공기 및 해상 시뮬레이터 - 군용 지능형 로봇 및 훈련시뮬레이터	군용 시뮬레이터
	광주과학기술	학	류제하	- 휴먼 로보틱스 및 햅틱 가상현실 기	햅틱기반

	원			술	로보틱스
	광주과학기술원	학	이관행	- 지능설계 및 실감 재질 모델링 기술	실감 재질 햅틱 기술
	한국기술교육대학교	학	김상연	- 동적 햅틱 렌더링 기술	햅틱 렌더링
	KAIST	학	권동수	- 인간-로봇 상호작용 기술	휴먼 인터랙티브
	KIST	연	박지형	- 터치햅틱 및 지능형 반응공간 기술	터치 햅틱
	한국기계연구원	연	차무현	- 화재, 및 소방 안전 시뮬레이터 개발 - VR 시스템 통합 및 안전 훈련 운용 기술 보유	가상환경 시스템통합, 시뮬레이터
	한국해양과학기술원	연	황호진	- 해양 선박 시뮬레이터	선박 시뮬레이터

○ 본 과제를 수행하기 위해 필요한 인프라로는 수요 업체, 요소 기술을 보유한 개발 업체, R&D를 수행할 수 있는 연구 인력 등이 있으며 국내에 적합한 인프라를 갖추고 있음

○ 국제적인 플랜트 산업의 트렌드, 국내의 관련 기술 개발, IT 경쟁력 사례, 그리고 R&D 인프라를 고려하면 정부주도의 선행기술 개발을 통해 햅틱기반 플랜트 안전 훈련시스템 기술 개발 및 상용화가 가능하다고 판단됨

○ 본 연구의 개발 성과물은 직접적으로 관련 기업들이 향후 플랜트 사업을 수주 및 수행하는데 활용되어질 것으로 판단됨

○ 관련 연구기관 및 학계에서도 본 연구 성과물 내용을 바탕으로 플랜트 안전 기술의 저변 확대와 인력 배양에 기여할 수 있을 것으로 판단됨

2.4.4 종합 분석

가. SWOT 분석

표 2-16. SWOT 분석 결과

	장점 (Strength) ▪ 원자력 발전소, 해양 플랜트 안전 훈련 시뮬레이션 활용 능력 높음 ▪ 플랜트 공정 동적 모델링 능력 우수 ▪ 우수한 IT 기술 역량 ▪ 우수 인적자원 지속적 유입	약점 (Weakness) ▪ 공정 시뮬레이션, 가상 현실 원천 기술 미보유 ▪ 글로벌 경쟁력 있는 업체 미흡 ▪ 제한된 국내 시장 규모 ▪ 설계 솔루션 국산화 미비 ▪ 국내 햅틱 장비 제작 업체 설계 역량 부족
기회 요인 (Opportunity) ▪ 숙련된 운전원 고령화 및 퇴직 ▪ 미숙련 신규 운전원 교육 훈련 수요 증가 ▪ 조업자 교육 훈련 비용 절감 및 기간 단축 요구 증가 ▪ oil & gas 교육 훈련 시뮬레이터 시장 증가	SO전략 ▪ 원자력 발전소, 해양 플랜트 안전 훈련 시뮬레이션 기술을 바탕으로 안전 훈련 시스템 설계 기술 개발 ▪ 시스템 인프라인 공정 및 사고 시뮬레이션, 햅틱 기반 인터랙티브 가상 현실 기술 기반 구축 ▪ 미숙련 신규 운전원을 기술 수요자로 한 교육 훈련 프로그램 개발	WO전략 ▪ 공정 시뮬레이션, 가상 현실 원천 기술 개발 ▪ 경쟁력 있는 국내 업체 선정 및 지원 ▪ 해외 시장 진출을 목표로 기술 개발 기획 ▪ 중소 규모의 햅틱 장비 제작 업체 지원
위협 요인 (Threat) ▪ 선진기업의 시장 선점 ▪ 선진기업의 기술 독점 ▪ 프로젝트 비용의 상승 ▪ 가격 경쟁력 약화	ST전략 ▪ 국내 플랜트 운영사나 설계 및 건설사의 기술 개발 참여 ▪ 국내 건설사의 해외 플랜트 시장 진출에 동반 진출로 진입 장벽 해소 ▪ 해외 현지 법인 설립 등 친시장, 현지화 전략 수립	WT전략 ▪ 플랜트 유지보수 솔루션 국산화로 기술 유출 방지 ▪ 국내 소프트웨어 업체의 안전 훈련 시스템 개발 및 통합 역량 강화

○ **SO 전략 (성장 지향):**

- 원자력 발전소, 해양 플랜트 안전 훈련 시뮬레이션 기술을 바탕으로 안전 훈련 시스템 설계 기술 개발
- 시스템 인프라인 공정 및 사고 시뮬레이션, 햅틱 기반 인터랙티브 가상 현실 기술 기반 구축

- 미숙련 신규 운전원을 기술 수요자로 한 교육 훈련 프로그램 개발

○ **WO 전략: (약점의 강점 전환)**

- 공정 시뮬레이션, 가상 현실 원천 기술 개발
- 경쟁력 있는 국내 업체 선정 및 지원
- 해외 시장 진출을 목표로 기술 개발 기획
- 중소 규모의 햅틱 장비 제작 업체 지원

○ **ST 전략: (강점으로 위협 대응)**

- 국내 플랜트 운영사나 설계 및 건설사의 기술 개발 참여
- 국내 건설사의 해외 플랜트 시장 진출에 동반 진출로 진입 장벽 해소
- 해외 현지 법인 설립 등 친시장, 현지화 전략 수립

○ **WT 전략: (방어적 철수 전략)**

- 플랜트 유지보수 솔루션 국산화로 기술 유출 방지
- 국내 소프트웨어 업체의 안전 훈련 시스템 개발 및 통합 역량 강화

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

3.1 비전 및 목표

3.1.1 비전 및 전략 목표

○ 본 연구단의 비전은 “플랜트 운전원 안전 사고 예방 및 시설 안전성 향상을 위한 체감형 플랜트 안전훈련시스템 기술 확보”로 설정하였으며, 목표는 독자적인 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발을 통하여 플랜트 신규 운전원 안전 훈련 비용 및 기간 20% 감소, 플랜트 신규 운전원 안전 훈련 효과 20% 증가, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 신규 시장 창출

○ 궁극적인 목표는 다양한 범용 플랜트에의 적용으로 하되, 본 과제 연구기간동안에는 특정 파일럿 플랜트에 적용한 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 설계 및 구현 기술 개발을 목표로 하여, 본 과제 완료 이후 다양한 종류와 규모의 플랜트로 확장 적용할 수 있도록 함

- 적용 대상 파일럿 플랜트에 설치 및 운영 가능한 플랜트 안전 훈련 설계 방법을 개발하여 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템을 구축하고, 파일럿 플랜트 적용 실험 데이터를 가지고 성능 평가하여 플랜트 신규 운전원 안전 훈련 비용 및 기간 20% 감소, 플랜트 신규 운전원 안전 훈련 효과 20% 증가시키는 것이며, 기존 일반적인 플랜트 안전훈련시스템인 OTS와 차별되는 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 신규 시장을 창출하는 것임
- 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술과 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술을 요소 기술로 개발
- 플랜트 안전 훈련 시나리오 기반의 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술을 개발

그림 3-1. 과제의 비전 및 목표

3.1.2 기술적 목표

○ 정량적 목표

- 플랜트 신규 조업자 안전 훈련 비용 및 기간 20% 감소
- 플랜트 신규 조업자 안전 훈련 효과 20% 증가
- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 신규 시장 창출

○ 정성적 목표

- 개발 기술의 확대 적용 가능성을 확인할 수 있는 햅틱기반 파일럿 플랜트 안전훈련시스템 구축
- 검증할 수 있는 햅틱기반 실증 플랜트 안전훈련시스템 구축

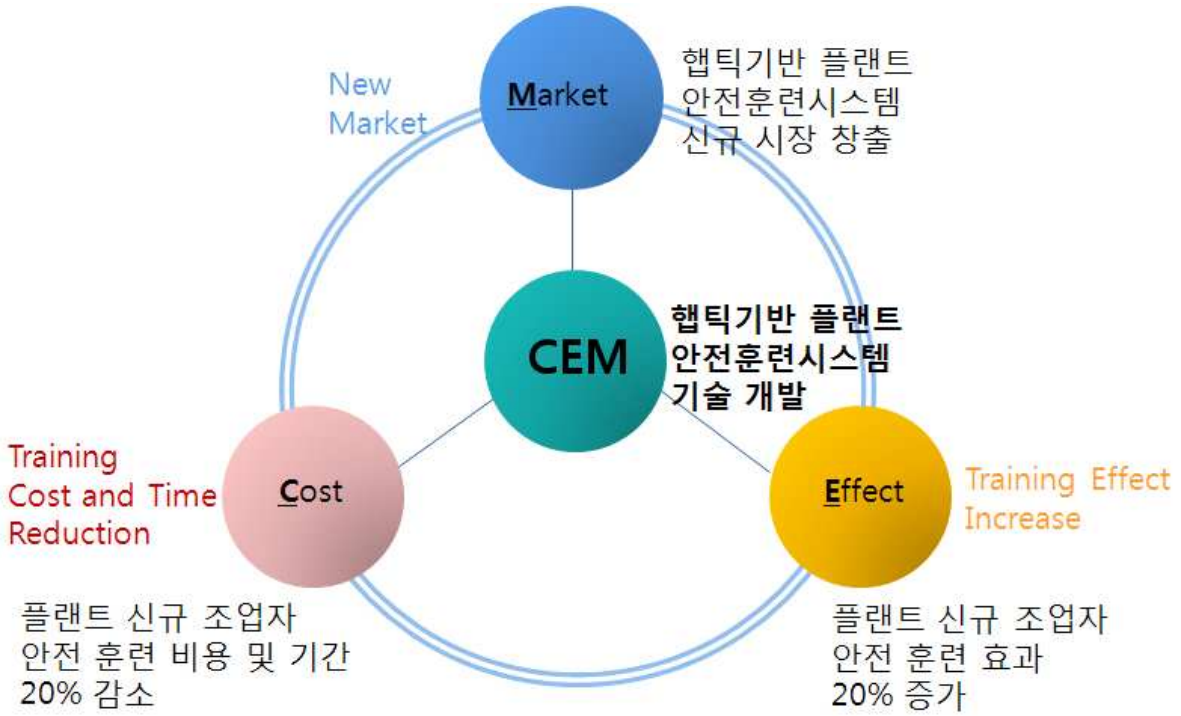


그림 3-2. 과제의 정량적 목표

3.1.3 기술개발에 따른 미래상

○ 연구개발 성과물의 실용화를 위해 사례를 조사하여 도출한 기술 미래상은 다음과 같음

표 3-1. 기술 미래상

항목	연구개발 성과물 실용화 사례	기술 미래상 (2019년~)
플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술	- 화학 공정의 Abnormal Situation Management 시스템 - FDS에 의한 화재 전파, 열/연기 거동 및 피난 시뮬레이션	- 사고 이력 기반 안전 훈련뿐만 아니라, 미예측 사고 시나리오를 생성하여 사전에 이상 진단 및 사고 대응 훈련 수행이 가능하게 됨
플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술	- 미국 DOE의 지원으로 NETL에서 수행된 AVESTAR 프로젝트의 IGCC용 3D Immersive Operator Training System - 미국 Invensys사의 EYESIM	- 공정 시뮬레이션과 사고 시뮬레이션 소프트웨어 및 가상현실과 증강현실 기술의 결합으로 운전원의 행동에 대한 결과를 예측하고 확실한 피드백을 제공하여 훈련의 효과를 향상시킴

플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술	- 3차원 레이저 스캔으로 플랜트 형상 가시화 시스템 - CAD 데이터 경량화 변환 기술	- 실감있는 안전 훈련을 위해서 훈련원의 안전 조치 대응에 대한 시스템의 실시간 반응을 구현할 수 있는 환경이 구축됨
플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술	- 도로 터널 화재 안전성 평가 및 가상 현실 기반 소방훈련 시스템 - VR기반 소방안전대응 시뮬레이터	- 훈련원의 시각 위주의 안전 훈련 시스템보다 발전된 촉각이나 보행과 같은 whole body 경험을 훈련 환경에 도입하게 됨
햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술	- LNG 플랜트 공정 시뮬레이터 및 제어시스템 - LNG 운반선 동적 시뮬레이터 - 월성 원자력 발전소 3호기 및 4호기 동적 시뮬레이터	- 기존 안전 훈련 시스템은 2D 기반의 공정 시뮬레이터와 3D 기반의 가상 현실 시스템이 서로 독립적으로 운영되어 왔지만, 미래에는 두 시스템이 통합되어 안전 훈련에서 시너지 효과를 거둘 수 있도록 발전됨

3.2 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

3.2.1 핵심기술요소(CTE) 도출

○ 핵심기술요소(CTE) 후보

No.	CTE명
후보1	플랜트 안전 훈련 예측 가능 사고 시나리오 및 평가 체계
후보2	플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축 기술
후보3	플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 및 구현
후보4	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 적용 및 성능 검증 기술
후보5	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술
후보6	플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 기술
후보7	플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술
후보8	통합 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술
후보9	플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술
후보10	플랜트 안전 훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술
후보11	플랜트 안전 훈련 시나리오 가시화 기술
후보12	플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술
후보13	3D CAD 데이터 건전성 확보 기술
후보14	레이저 스캔 가상 현실 시스템 호환 기술
후보15	체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술
후보16	체감 공간 인식 및 임무 수행 처리 기술
후보17	플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술

○ 핵심기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보 1	후보 2	후보 3	후보 4	후보 5	후보 6	후보 7	후보 8	후보 9	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○		○	○		○	○	○		반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	○		○	○				○		하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○		○			○	○	○		
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?		○		○	○				○	
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	○		○	○		○	○	○		
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	×	○	○	×	○	○	○	×	

체크리스트	후보 10	후보 11	후보 12	후보 13	후보 14	후보 15	후보 16	후보 17		비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○					○	○			반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?	○	○				○	○			하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○	○				○	○			
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?			○	○	○			○		
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	○	○	○	○	○	○	○	○		
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	○					○	○			
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	×	×	×	×	○	○	×		

○ 핵심기술요소(CTE) 목록

CTE	유형*	CTE명	최종 TRL
1	시스템	플랜트 안전 훈련 예측 가능 사고 시나리오 및 평가 체계	TRL5
2	시스템	플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 및 구현	TRL6
3	시스템	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 적용 및 성능 검증 기술	TRL6
4	소프트웨어	플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 기술	TRL6
5	소프트웨어	플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술	TRL6
6	소프트웨어	통합 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술	TRL5
7	장비·장치	플랜트 안전 훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술	TRL6
8	장비·장치	체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술	TRL5
9	장비·장치	체감 공간 인식 및 임무 수행 처리 기술	TRL6

3.2.2 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

연구과제명	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발		유형		시스템		
프레임워크		선행 단계	시제품 제작 및 시연		현장적용	제품화/실용화	
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도 (종료)
마일스톤 일정		'14.07	'15.09	'16.09	'17.09	'18.09	'19.09
CTE No.	기술명						
CTE 1	플랜트 안전 훈련 예측 가능 사고 시나리오 및 평가 체계	TRL 2	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5
CTE 2	플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 및 구현	TRL 2	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 3	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 적용 및 성능 검증 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 4	플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 5	플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 6	통합 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 5
CTE 7	플랜트 안전 훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 8	체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술	TRL 2	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5
CTE 9	체감 공간 인식 및 임무 수행 처리 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6

3.3 연구개발과제 구성

3.3.1 연구개발과제 선정 체계

가. 추진 방법 및 체계

○ 본 사업의 연구기획실무위원들을 중심으로 관련 전문가 자문, 전문가 설문, 산업체 방문, 특허 및 논문 분석을 통해 기술 기획을 추진

- 연구기획실무위원들을 중심으로 세부과제를 위한 기초 자료를 작성한 후 관련 전문가 및 기업들로부터 기획 결과 검토를 받아 연구기획의 객관성을 확보

○ 체계적인 방법으로 연구 기획을 추진

- 기획연구와 관련된 모든 자료, 결과물의 체계적인 중앙 집중식 관리
- 연구 참여자간 각종 정보, 자료의 공유 검토 지원
- 전문가 그룹 및 기업으로부터의 의견 수렴, 수요 조사

○ 국내외 전문가로 구성되는 네트워크를 구축하여 기술동향 분석, 기술개발 타당성 평가, 세부 과제 도출 등에 활용

나. 연구기획 위원회 구성

(1) 연구기획실무위원회 구성

○ 연구기획실무위원회는 플랜트 안전, 공정 시뮬레이션, 플랜트 가상화, 가상현실 및 햅틱, 시스템 통합 분야의 산·학·연 전문가가 참여하여 실무 기획연구를 수행

표 3-2. 연구기획실무위원회 구성

구분	세부연구내용	성명	소속	직급	비고
국내	기획연구 총괄	박찬국	고등기술연구원	수석	연구소
국내	연구기획 및 분석	김형진	고등기술연구원	수석	연구소
국내	연구기획 및 분석	이승종	고등기술연구원	수석	연구소
국내	연구기획 및 분석	이정승	고등기술연구원	수석	연구소
국내	연구기획 및 분석	이재용	고등기술연구원	선임	연구소
국내	연구기획 및 분석	이춘식	고등기술연구원	선임	연구소
국내	연구기획 및 분석	서효원	한국과학기술원	교수	학계
국내	연구기획 및 분석	한종훈	서울대학교	교수	학계

국내	연구기획 및 분석	류제하	광주과학기술원	교수	학계
국내	연구기획 및 분석	신동일	명지대학교	교수	학계
국내	연구기획 및 분석	차무현	한국기계연구원	선임	연구소
국내	연구기획 및 분석	문두환	경북대학교	조교수	학계
국내	연구기획 및 분석	김석화	해외건설협회	실장	산업체
국내	연구기획 및 분석	유철희	한국가스안전공사	차장	산업체
국내	연구기획 및 분석	오정석	한국가스안전공사	책임	산업체
국내	연구기획 및 분석	강달호	현대오일뱅크	전무	산업체

(2) 산업체 및 전문가 의견 수렴

○ 연구기획실무위원회는 관련 전문가 자문, 전문가 설문, 공개 워크샵 개최를 통해서 기술의 개발 방향을 수립하고 요소기술을 도출

○ 연구기획실무위원회는 플랜트 운영사, 엔지니어링 회사, 건설회사 및 IT 업체의 의견 수렴, 외부 전문가 검토를 통해서 개발 대상 요소기술 선정, 세부과제 구성 결과를 검토

표 3-3. 연구기획 자문기관 구성

구분	업체명	업체구분	비고
국내	한국수력원자력	산업체	원자력 발전
국내	한화케미칼	산업체	화공 플랜트 운영
국내	삼성엔지니어링	산업체	엔지니어링
국내	POSCO엔지니어링	산업체	엔지니어링
국내	한국전력기술	산업체	엔지니어링
국내	현대엔지니어링	산업체	엔지니어링
국내	우병엔지니어링	산업체	엔지니어링
국내	대림산업	산업체	건설
국내	한화건설	산업체	건설
국내	GS건설	산업체	건설
국내	SK건설	산업체	건설
국내	대우건설	산업체	건설
국내	POSCO건설	산업체	건설
국내	삼성물산	산업체	건설

국내	두산중공업	산업체	중공업
국내	삼성중공업	산업체	조선해양
국내	대우조선해양	산업체	조선해양
국내	한국산업안전보건공단	산업체	안전관리
국내	한국선급	산업체	안전관리
국내	DNV	산업체	안전관리
국내	한국해양과학기술원	연구소	연구개발
국내	한국기계연구원	연구소	연구개발
국내	KIST	연구소	연구개발
국내	삼성SDS	SI업체	IT
국내	Invensys	벤더 업체	IT
국내	Honeywell	벤더 업체	IT
국내	AspenTech	벤더 업체	IT
국내	PSE Korea	벤더 업체	IT
국내	Do Well Technology	벤더 업체	IT
국내	Intergraph	벤더 업체	IT
국내	Siemens	벤더 업체	IT
국내	아라엔지니어링	벤더 업체	IT
국내	플랜트에셋	벤더 업체	IT
국내	POMIT	벤더 업체	IT
국내	AID	벤더 업체	IT
국내	AR Vision	벤더 업체	IT
국내	이노쏘비	컨설팅 업체	IT

다. 기획연구 추진 절차

○ 기술 기획은 기술개발전략수립, 개발대상기술선정, 연구개발과제별기획 단계로 수행되었음

- 기술개발전략수립 단계에서 기술개발방향, 비전 및 목표, 요소기술 도출을 위해서 외부 전문가 자문 및 설문, 공개 워크샵 개최를 수행하였음
- 개발대상기술선정 단계에서 도출된 개발 대상 요소기술 및 연구개발사업구성 결과는 산업체 의견 수렴, 외부 전문가 검토를 통해서 검증하였음

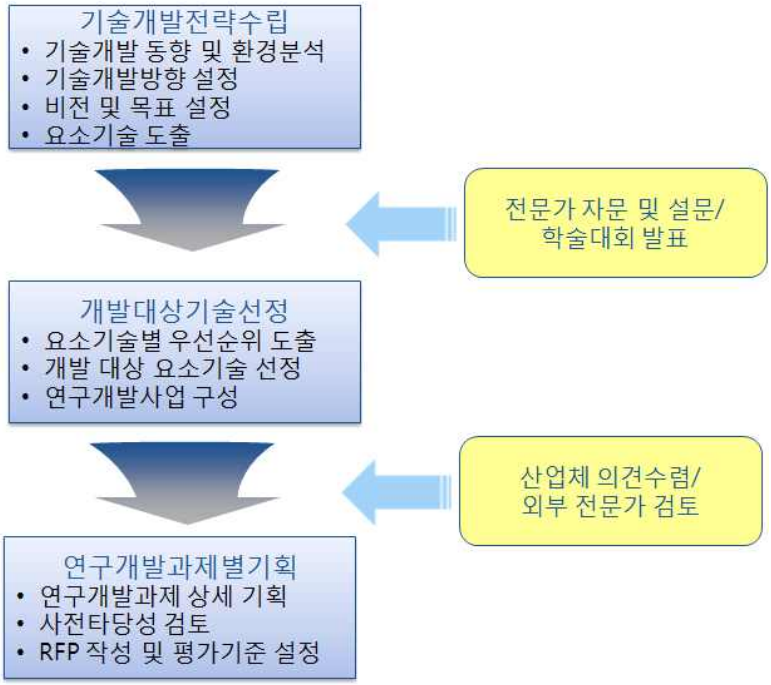


그림 3-3. 기획연구 추진 절차

3.3.2 핵심 분야 선정

가. 플랜트 안전 훈련 기술 이슈

○ 시장동향 및 기술동향 분석, 전문가 설문 및 산업체 의견 수렴 결과 플랜트 안전 훈련시스템 시장에서의 향후 요구되는 핵심 기술 분야는 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 구축, 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션, 플랜트 안전 훈련 환경 가상화, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합임

나. 기술 개발 사업의 범위

○ 상기와 같이 도출된 기술적 요구사항 달성을 위한 기술개발의 범위를 설정하기 위하여 본 기획 대상과제의 조건을 RFP를 중심으로 검토함

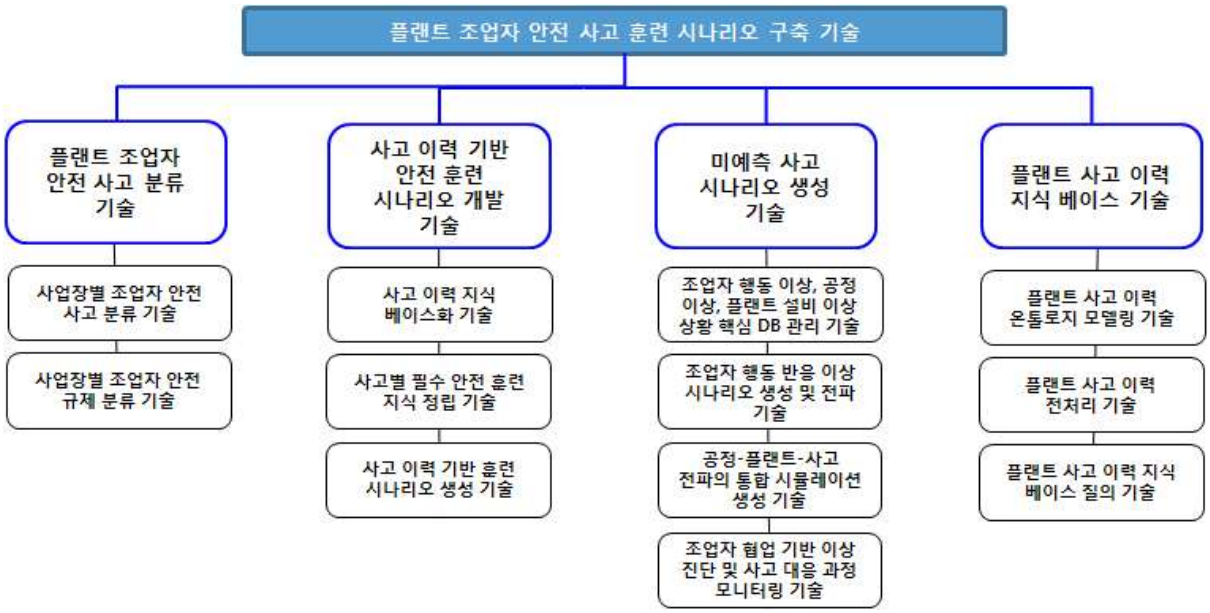
- RFP에서 요구하는 기획 대상 기술은 시뮬레이터 엔진, 아키텍처, UI 설계 모듈로 구성된 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 플랜트 공간 현실감 구현을 위한 햅틱 장치 개발 기술, 햅틱 인터페이스 기술 및 시뮬레이터 연동 기술임

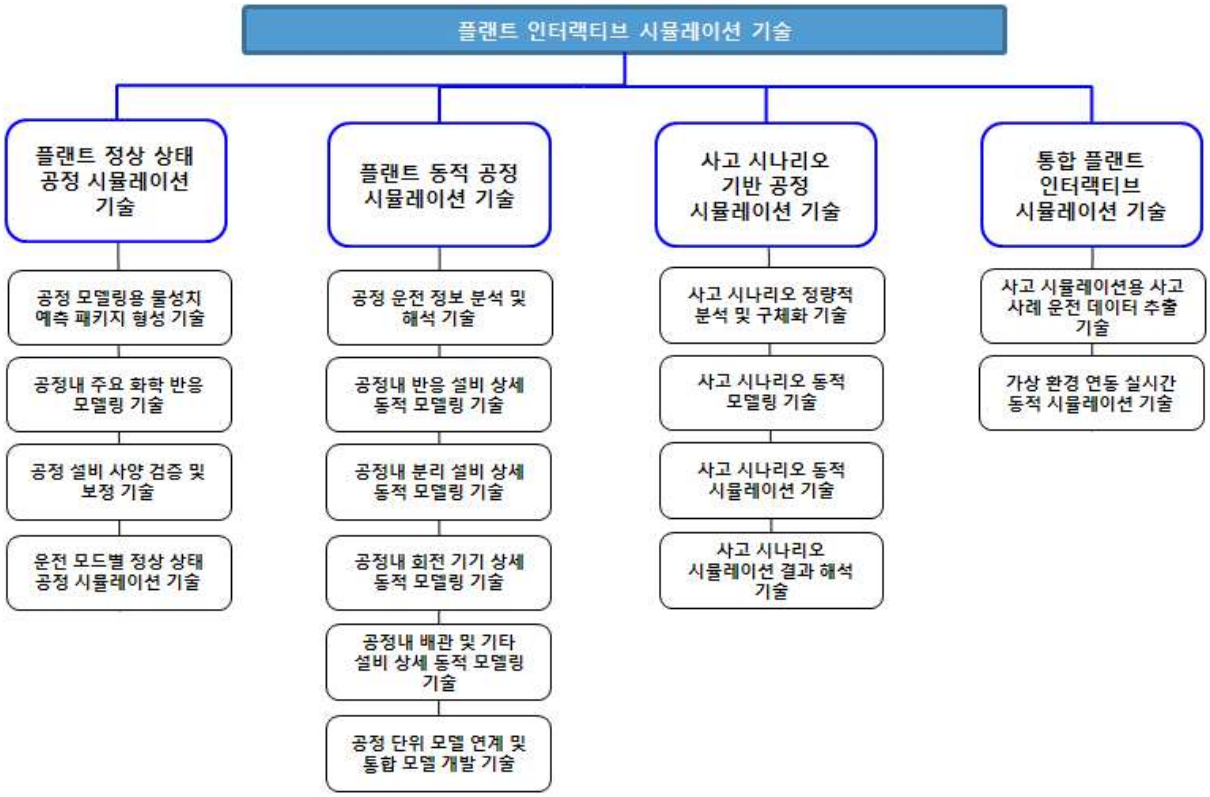
○ 플랜트 안전 훈련의 기술적 요구사항과 RFP상의 기술개발 내용을 검토하여 햅틱 기반 플랜트 안전훈련시스템 설계 및 구현 기술을 기술 개발 범위로 설정하였음

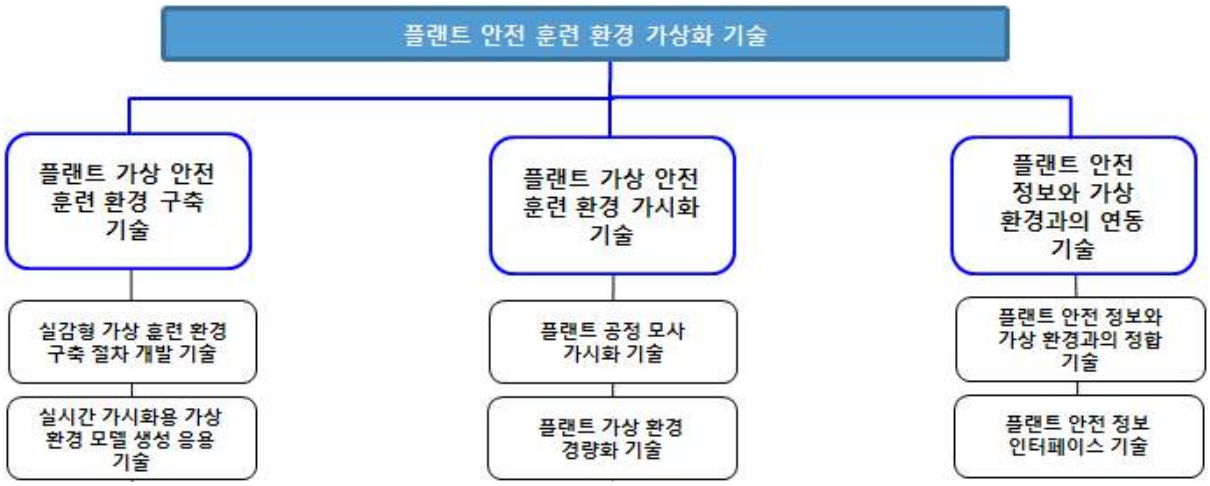
3.3.3 요소 기술 도출

가. 기술수요조사

○ 핵심 기술을 확장하여 5년이내 개발 가능한 요소기술을 다음과 같이 도출하였음. 기술 개발 사업의 범위에 부합하는 요소기술 도출을 위하여 전문가를 대상으로 기술 수요조사를 실시하였음. 이와 병행하여 시장동향 및 기술동향 분석 결과를 바탕으로 기획과제 참여 전문가들이 향후 5년이내 개발이 요구되는 요소 기술을 도출하였음




플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술
플랜트 정상 상태 공정 시뮬레이션 기술
공정 모델링용 물성치 예측 패키지 형성 기술
공정내 주요 화학 반응 모델링 기술
공정 설비 사양 검증 및 보정 기술
운전 모드별 정상 상태 공정 시뮬레이션 기술
플랜트 동적 공정 시뮬레이션 기술
공정 운전 정보 분석 및 해석 기술
공정내 반응 설비 상세 동적 모델링 기술
공정내 분리 설비 상세 동적 모델링 기술
공정내 회전 기기 상세 동적 모델링 기술
공정내 배관 및 기타 설비 상세 동적 모델링 기술
공정 단위 모델 연계 및 통합 모델 개발 기술
사고 시나리오 기반 공정 시뮬레이션 기술
사고 시나리오 정량적 분석 및 구체화 기술
사고 시나리오 동적 모델링 기술
사고 시나리오 동적 시뮬레이션 기술
사고 시나리오 시뮬레이션 결과 해석 기술
통합 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술
사고 시뮬레이션용 사고 사례 운전 데이터 추출 기술
가상 환경 연동 실시간 동적 시뮬레이션 기술


플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술
플랜트 가상 안전 훈련 환경 구축 기술
실감형 가상 훈련 환경 구축 절차 개발 기술
실시간 가시화용 가상 환경 모델 생성 응용 기술
플랜트 가상 안전 훈련 환경 가시화 기술
플랜트 공정 모사 가시화 기술
플랜트 가상 환경 경량화 기술
플랜트 안전 정보와 가상 환경과의 연동 기술
플랜트 안전 정보와 가상 환경과의 정합 기술
플랜트 안전 정보 인터페이스 기술

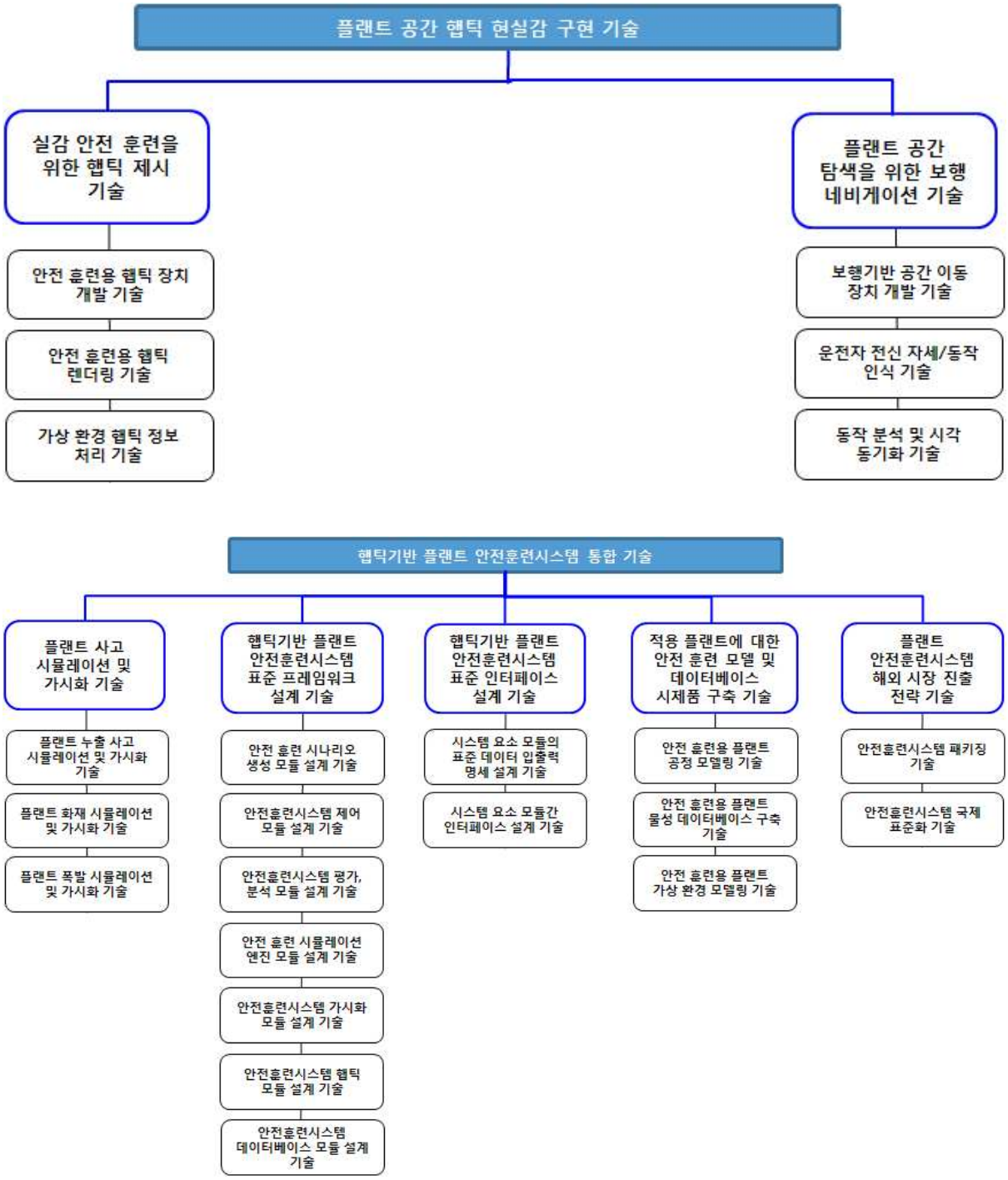


그림 3-4. 플랜트 안전 훈련 요소 기술

나. 요소기술별 중요도 평가 및 개발대상 요소 기술 선정

○ 도출된 요소 기술들을 기술의 시급성, 기술의 원천성, 기술의 위험성을 기준으로 표 3-4와 같이 평가하여 요소 기술 우선 순위를 도출하였음

- 기술의 시급성, 기술의 중요성, 기술의 위험성 항목별로 5점 만점으로 평가
- 최종점수 = 기술의 시급성 x 40% + 기술의 중요성 x 30% + 기술의 위험성 x 30%

표 3-4. 요소기술별 중요도 평가 결과

번호	요소기술명	기술의 시급성	기술의 중요성	기술의 위험성	최종 점수	순위
1	햅틱 기반 조업자 안전 훈련 시스템 표준 프레임워크 설계 기술	5	4	1	2.9	1
2	사고 시나리오 기반 공정 시뮬레이션 기술	5	4	2	2.6	2
3	플랜트 동적 공정 시뮬레이션 기술	5	3	1	2.6	2
4	사고 이력 기반 안전 훈련 시나리오 개발 기술	5	3	1	2.6	2
5	플랜트 가상 안전 훈련 환경 구축 기술	5	3	2	2.3	5
6	실감 안전 훈련을 위한 햅틱 장치 개발 기술	5	3	2	2.3	5
7	플랜트 조업자 안전 사고 분류 기술	4	3	1	2.2	7
8	적용 플랜트에 대한 안전 훈련 모델 및 데이터베이스 시제품 구축 기술	4	3	1	2.2	7
9	플랜트 사고 시뮬레이션 및 가시화 기술	4	3	1	2.2	7
10	플랜트 사고 이력 지식 베이스 기술	3	5	2	2.1	10
11	미예측 사고 시나리오 생성 기술	3	5	2	2.1	10
12	플랜트 공간 탐색을 위한 보행 네비게이션 기술	3	5	2	2.1	10
13	플랜트 가상 안전 훈련 환경 가시화 기술	3	5	2	2.1	10
14	플랜트 정상 상태 공정 시뮬레이션 기술	3	4	2	1.8	14
15	통합 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술	3	4	2	1.8	14
16	안전 훈련 시스템 해외 시장 진출 전략 기술	3	4	2	1.8	14
17	플랜트 안전 정보와 가상 환경과의 연동 기술	3	4	2	1.8	14
18	상황 인지를 위한 디지털 안전모 장치 기술	3	4	3	1.5	18
19	햅틱 기반 조업자 안전 훈련 시스템 표준 인터페이스 설계 기술	3	4	3	1.5	18

3.3.4 연구개발과제 구성

가. 세부과제 구성

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 과제 구성을 위해서 개발대상 요소기술 후보와 검토된 핵심 기술 분야를 기준으로 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발, 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발, 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발 등 총 3개의 세부과제를 선정하였음

- 플랜트 안전 훈련 시스템 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발 세부과제에서는 세부과제 개발 단위 시스템을 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템으로 통합하는 플랫폼을 구축하고 대상 플랜트에 적용하여 성능 평가를 수행하는 기술을 선정
- 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발 세부과제에서는 대상 플랜

트의 정상 상태, 동적 공정 및 사고 시뮬레이션을 수행하는 통합 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술을 선정

- 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발 세부과제에서는 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술, 체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술, 체감 공간 탐색을 위한 상호 작용 기술을 선정

○ 요소기술 후보를 그룹화, 재구성, 수정보완하고 전체 시스템 조율 관점에서 필요한 요소기술들을 추가하여 세부과제별로 배치하였음

- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술: 사고 이력 기반 안전 훈련 시나리오 개발 기술, 미예측 사고 시나리오 생성 기술, 플랜트 사고 이력 지식 베이스 기술, 플랜트 사고 시뮬레이션 및 가시화 기술, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 표준 프레임워크 설계 기술, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 표준 인터페이스 설계 기술, 적용 플랜트에 대한 안전 훈련 모델 및 데이터베이스 시제품 구축 기술로 구성
- 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술: 플랜트 정상 상태 공정 시뮬레이션 기술, 플랜트 동적 공정 시뮬레이션 기술, 플랜트 사고 시뮬레이션 기술, 통합 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술로 구성
- 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술: 플랜트 가상 안전 훈련 환경 구축 및 사고 결과 가시화 기술, 플랜트 안전 정보와 가상 환경과의 연동 기술, 실감 안전 훈련을 위한 햅틱 장치 개발 기술, 플랜트 공간 탐색을 위한 상호 작용 기술로 구성

○ 세부과제는 그 성격에 따라 다음과 같이 분류

- 요소 기술 개발 과제: 2세부과제 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발, 3세부과제 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발 과제가 해당되며, 기초 기반 기술, ICT 융합 기술, library화 기술 등 다양한 기술적 시도를 해야 함
- 응용 시스템 구축 과제는 1세부과제 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발 과제가 해당되며, 대상 플랜트를 선정하여 프로젝트 기반의 시스템을 개발하여 성능을 평가 및 검증하는 데 과제의 초점을 맞춤

○ 한정된 연구비로 인한 시스템 개발 비용 부족 문제는 기존 기술을 최대한 조합

및 활용하여 시스템을 구축하는 접근 방법으로 해결할 필요가 있으며, 세부과제별로 다음과 같이 기술 도입 분야와 기술 개발 분야를 구분할 수 있음

- 기술 도입 분야: 시뮬레이션 엔진, 가상화 그래픽 엔진, 시나리오 소프트웨어
- 기술 개발 분야: 안전 훈련 시나리오 구축, 안전 훈련 컨텐츠 개발, 시스템 통합

표 3-5. 기술 도입 분야 및 기술 개발 분야

세부과제	기술 분야	기술 도입 분야	기술 개발 분야
1세부과제 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	안전 훈련 시나리오	- 데이터베이스 엔진	- 안전 훈련 시나리오 생성 - 플랜트 사고 이력 지식 베이스 구축
	안전 훈련 플랫폼	- 플랜트 공정 시뮬레이션 엔진 - 가상현실 그래픽 엔진 - 데이터베이스 엔진	- 플랜트 안전훈련시스템 통합 - 표준 인터페이스 설계 - 안전 훈련 모델 및 데이터베이스 구축
2세부과제 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발	공정 시뮬레이션	- 플랜트 공정 시뮬레이션 엔진	- 플랜트 공정 모델링 및 시뮬레이션 - 인터랙티브 시뮬레이션 기술
	사고 시뮬레이션	- 사고 시뮬레이션 및 가시화 엔진	- 플랜트 사고 시뮬레이션 및 가시화
3세부과제 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발	환경 가상화	- 플랜트 가상화용 그래픽 엔진	- 플랜트 가상화 모델링 - 플랜트 안전 정보와 가상 환경과의 인터페이스
	안전 훈련 체감	- 햅틱 장치 설계용 해석, 렌더링 소프트웨어 - 동작 인식 및 분석 소프트웨어	- 햅틱 장치 개발, 렌더링, 정보 처리 - 임무 인식 및 네비게이션 상호 작용 기술

나. 과제 목표 및 성과물

○ 연구개발과제의 최종 목표 성과물은 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시스템 및 컨텐츠임

○ 연구개발과제는 3개의 세부과제로 구성이 되며, 세부과제별 연구 내용 및 성과물은 다음과 같음

- 1세부과제에서는 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술을 연구하여 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼을 개발
- 2세부과제에서는 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술을 연구하여 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템을 개발
- 3세부과제에서는 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술을 연구하여 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템을 개발

표 3-6. 연구개발과제의 구성

총괄	세부과제	성과물
총괄 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 (성과물: 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시스템 및 컨텐츠)	1세부과제 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼
	2세부과제 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발	플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템
	3세부과제 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발	햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템에서 안전 훈련 절차를 구현하기 위해 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼, 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템, 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템간의 연동을 지원

- 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼에서 플랜트 사고 이력 지식 베이스를 기반으로 사고 이력 기반 및 미예측 사고 시나리오를 생성하고, 시스템 통합을 지원하는 표준 프레임워크 및 인터페이스를 제공하고, 적용 플랜트에 대한 모델 및 데이터베이스 시제품을 구축
- 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템에서 플랜트 정상 및 동적 공정 시뮬레이션과 사고 시뮬레이션을 수행하여, 플랜트 안전 훈련 플랫폼과 연동된

통합 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 시스템을 제공

- 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템에서 플랜트 가상 안전 훈련 환경 및 사고 결과 가시화를 통해 시각 몰입형 훈련 환경을 구축하고, 햅틱 제시 장치 및 상호 작용 기술 개발을 통해 신체 몰입형 체감 훈련 환경을 구현

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발은 단계별 추진 전략을 활용함. 1단계에서 중소규모 (도시)가스 플랜트를 대상으로 기술 적용 가능성을 확인하고, 2단계에서 상용급 석유화학 플랜트의 일부 공정을 대상으로 시스템 전체 성능을 검증함

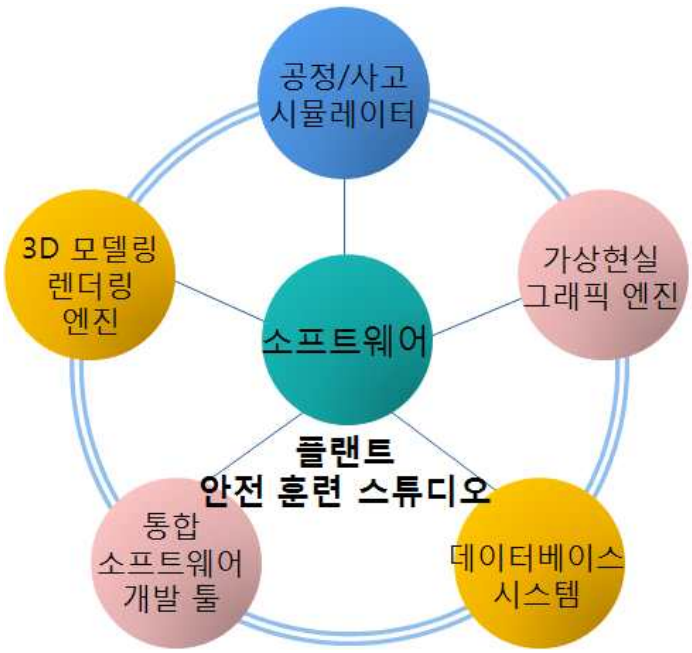


그림 3-5. 플랜트 안전 훈련 스튜디오 구성 요소

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 목표 달성과 관련하여, 실용화 측면을 고려한 안전 훈련 체계와 안전훈련시스템 데모 사이트를 구축하여 플랜트 안전 분야 관계자들에게 공개하여 실효성을 검증할 필요 있음

- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템을 확장한 개념의 플랜트 안전 훈련 스튜디오 구축 필요성 있음

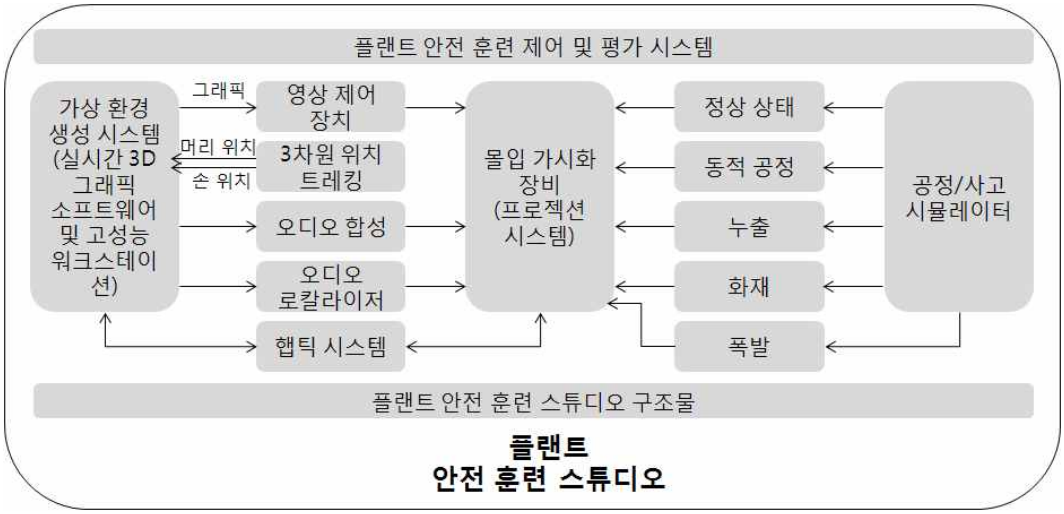


그림 3-6. 플랜트 안전 훈련 스튜디오

표 3-7. 햅틱기반 플랜트 안전훈련체계 구성 항목

	구성 항목
연구개발	▪ 플랜트 안전 훈련 법규, 규정 ▪ 플랜트 표준 안전 훈련 모델 ▪ 플랜트 표준 안전 훈련 절차 ▪ 플랜트 안전 훈련 평가 체계 ▪ 햅틱, 가상화 기반 훈련 체계 관리 시스템 개발
성과물	▪ 햅틱, 가상화 기반 플랜트 안전훈련체계 관리 시스템

표 3-8. 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 스튜디오 기자재 구성 항목

주요 기자재	구성 항목
하드웨어	▪ 가상현실 디스플레이 ▪ HMD ▪ 그래픽 렌더링 서버 ▪ 워크스테이션 ▪ 햅틱 장치 ▪ 보행 네비게이터 ▪ 청각 및 후각 체감 시스템 ▪ 스튜디오 구조물
소프트웨어	▪ 공정/사고 시뮬레이터 ▪ 3D 모델링, 렌더링 엔진 ▪ 가상현실 그래픽 엔진 ▪ 데이터베이스 시스템 ▪ 통합 소프트웨어 개발 툴

3.4 세부과제 주요 내용 및 추진전략

3.4.1 1세부과제: 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발

가. 연구 목표 및 내용

(1) 연구 목표

○ 1세부과제는 사고 이력, 안전 훈련 시나리오, 운전원 행동 모델, 공정 사고 전파 모델 등의 플랜트 사고 이력 지식 베이스를 구축하고, 이에 기반한 사고 이력기반 표준 안전 훈련과 미예측 사고 시나리오 기반의 비정형 훈련 상황 정립 기술 개발 및 시스템화를 통해 전체 시스템의 운전원 안전 훈련 효율성 및 효용성 제고를 위한 플랜트 안전 훈련 시나리오 및 평가 체계 개발, 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 및 성능 평가를 통하여 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼과 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템을 개발하며 다음의 세부 기술을 포함하고 있음

그림 3-7. 1세부과제의 연구 목표

- 플랜트 안전 훈련 시나리오 및 평가 체계: 사고 이력 지식 베이스화, 사고별 필수 안전 훈련 지식 정립, 사고 이력 기반 훈련 시나리오 생성 기술 연구, 운전원 행동 이상, 공정 이상, 플랜트 설비 이상 상황 파악, 운전원 행동 반응 이상시 시나리오 생성 및 전파, 공정-플랜트-사고 전파의 통합 시뮬레이션 생성, 이상 진단 및 사고 대응 과정 모니터링 기술 연구, 플랜트 사고 이력 지식 베이스 온톨로지 모델링, 전처리, 지식 베이스 질의 기술 연구
- 플랜트 안전 훈련 플랫폼: 플랜트 안전훈련시스템을 구축하기 위한 프레임워크로서, 플랜트 안전 훈련 제어 모듈, 시나리오 생성 모듈, 평가 모듈, 공정 시뮬레이션 모듈, 환경 가상화 모듈, 햅틱 장치 연동 모듈, 데이터 관리 모듈 등을 구축하며 인터페이스를 설계
- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템: 파일럿 플랜트를 대상으로 안전훈련시스템을 구축하고 성능을 평가

○ 1세부과제의 최종 연구 성과물은 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼과 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템임

(2) 연구 내용

표 3-9. 1세부과제 연구 목표 및 연구내용

연구 목표	연구 내용
플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	▪ 플랜트 안전 훈련 예측 가능 사고 시나리오 및 평가 체계 개발 - 위험성 평가 및 사고 이력 기반 안전 훈련 시나리오 개발 - 예측 가능 사고 지식 베이스 기반 지능형 안전 훈련 시나리오 및 평가 체계 개발 - 예측 가능 사고 다중 협업 안전 훈련 시나리오 생성 및 평가 모듈 개발 ▪ 플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 개발 및 구현 - 플랜트 안전 훈련 다중 협업 시나리오 기술 개발 - 플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 개발 - 플랜트 안전 훈련 통합 플랫폼 구현 ▪ (도시)가스 및 석유화학 플랜트 대상 햅틱기반 안전훈련시스템 적용 및 성능 검증 - 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 개발 - 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 적용 및 검증

※ 핵심기술요소(CTE) 및 단계별 기술성숙도(TRL) 목표

세부목표	플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발		유형	시스템			
프레임워크		선행 단계	시제품 제작 및 시연		현장적용		제품화/실용화
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도 (종료)
마일스톤 일정		'14.07	'15.09	'16.09	'17.09	'18.09	'19.09
CTE No.	기술명						
CTE 1	플랜트 안전 훈련 예측 가능 사고 시나리오 및 평가 체계	TRL 2	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5
CTE 2	플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 및 구현	TRL 2	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 3	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 적용 및 성능 검증 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6

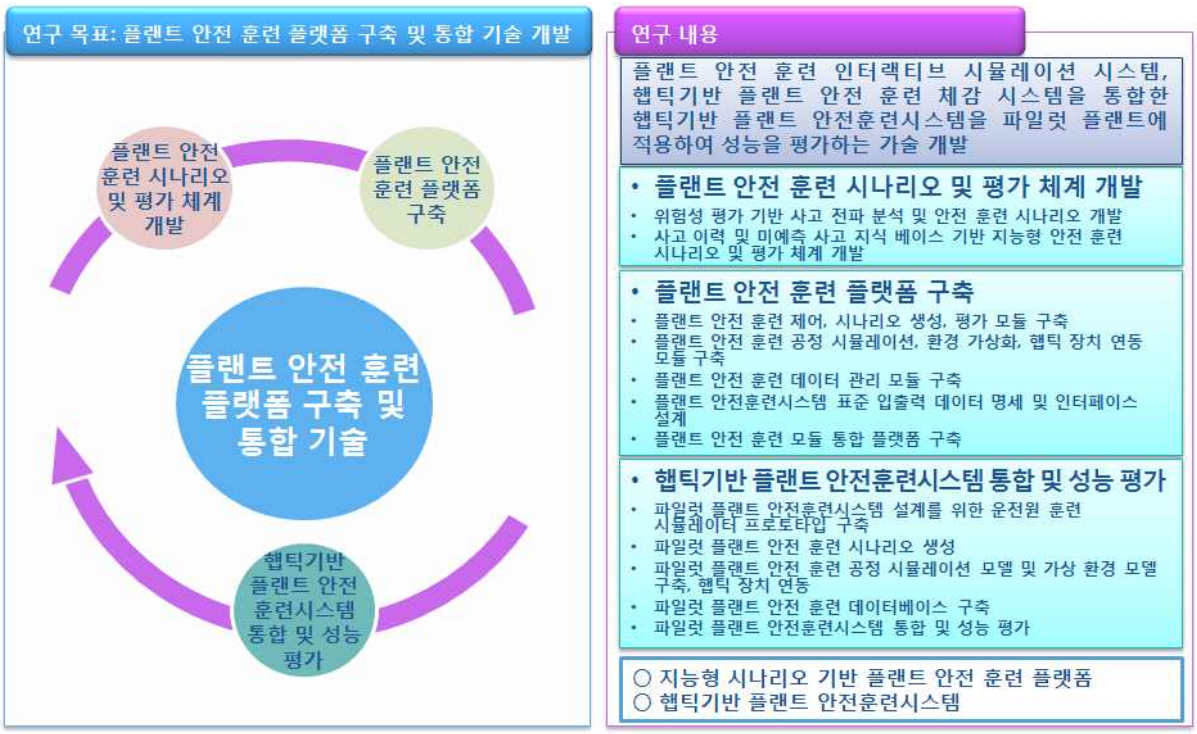


그림 3-8. 1세부과제의 주요 연구내용

나. 단계별 추진 일정 및 연구내용

표 3-10. 1세부과제 단계별 추진일정 및 연구내용

단계	연차	목표	내용
1단계	1차 년도	▪ 플랜트 안전 훈련 현황 및 필수 요구 지식 분석	▪ 플랜트 안전 관리 및 훈련 현황 분석 ▪ 위험성 평가 기술 현황 분석 ▪ 플랜트 운전원의 필수 요구 지식 및 skill 정의 ▪ 지식 및 skill의 온톨로지 기반 효율적 축적 및 활용 체계 설계
		▪ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 기본 설계	▪ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구조 및 모듈화 설계
		▪ 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 설계	▪ 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 설계를 위한 운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입 설계 및 구현 ▪ 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 설계
	2차 년도	▪ 플랜트 주요 사고 이력 기반 안전 훈련 요구사항 분석	▪ 플랜트 주요 사고 이력 및 사고 패턴 분석
		▪ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 상세 설계	▪ 플랜트 안전 훈련 모듈 상세 설계
		▪ 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 구현	▪ 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 설계를 위한 운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입 성능 평가 및 설계 반영 ▪ 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 구현
	3차 년도	▪ 플랜트 안전 훈련 시나리오 모델 및 데이터베이스 구축	▪ 사고 생성에 따른 사고 및 피해 전파 시나리오 생성 ▪ 생성 시나리오 기반 시뮬레이션 생성 체계 구축 ▪ 공정별 표준 안전 훈련 시나리오 모델 및 데이터베이스 구축 ▪ 훈련 강사-운전원 인터랙티브 사고 생성 ▪ 사고 이력 전처리 방법론 개발 ▪ 사고 이력 지식 베이스 질의 설계 ▪ 플랜트 사고 이력 지식 베이스 구현
		▪ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 적용 및 성능 평가	▪ 파일럿 플랜트 I 안전 훈련 플랫폼 구축 및 성능 평가
		▪ 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 통합 및 성능 평가	▪ 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 통합 및 성능 평가
2단계	4차 년도	▪ 표준 안전 훈련 시나리오 기반의 대상 공정 특화 상세 시나리오 설계	▪ 표준 안전 훈련 시나리오 지식 베이스 정립 ▪ 대상 공정 특화 상세 시나리오 설계 체

		체계 개발	계 구축 ▪ 안전 훈련 강사-운전원 인터랙티브, 통합 사고 생성 ▪ 안전 훈련 시나리오 생성 시스템 통합 설계 ▪ 훈련 시나리오 및 플랜트 시뮬레이션 연계 응용 기술 개발
		▪ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 성능 개선 및 확대 적용	▪ 파일럿 플랜트 I 안전 훈련 플랫폼 성능 개선 ▪ 파일럿 플랜트 II 안전 훈련 플랫폼 구축
		▪ 파일럿 플랜트 II 안전훈련시스템 설계, 구현, 시스템 통합	▪ 파일럿 플랜트 II 안전훈련시스템 설계, 구현 및 시스템 통합
	5차 년도	▪ 운전원 인터랙티브 사고 생성, 발생 전파 및 훈련 시나리오 생성 시스템 구축	▪ 운전원 인터랙티브 사고 생성, 발생 전파 및 훈련 시나리오 생성 검증 ▪ 훈련 시나리오 생성 모듈의 전체 시스템 통합 검증 ▪ 축적 안전 지식의 확대 적용 ▪ 운전원 훈련 시나리오 응용 플랜트 설비 배치 최적 설계 기술 개발
		▪ 플랜트 안전 훈련 표준 플랫폼 구축	▪ 파일럿 플랜트 II 안전 훈련 플랫폼 성능 개선 ▪ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 표준화
		▪ 파일럿 플랜트 II 안전훈련시스템 성능 평가	▪ 파일럿 플랜트 II 안전훈련시스템 성능 평가

다. 추진 전략

○ 국내외 플랜트 안전 및 안전훈련시스템 분야의 전문가들과 산·학·연 협동을 통한 공동 연구개발팀의 구성을 추진하고 개발 단계에서부터 예상 수요처의 요구를 적극적으로 청취하여 연구 개발 목표에 직접 반영.

- 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 차세대 운전자 훈련 체계 기술에 대한 공동연구 추진

○ 사고, 사고대응 및 훈련 모델 개발을 위한 데이터 수집을 위해 과제 초기에서부터 실제 대상을 보유한 기업이나 연구소와의 적극적인 협의 체계 구축

- 적용 대상을 선정하는 데에 있어 실질적인 수요를 가지고 있는 EPC 업체나 화학 및 에너지 업체의 참여를 유도하여 실제적인 데이터를 바탕으로 한 사고, 사고대응 및 조업 지식 베이스 구축 수행

○ 기술의 최종 수요자인 훈련강사 및 운전원의 의사 및 요구사항이 중시될 수 있도록 개발 중인 기술에 대해서도 상시 홍보 및 결과 공유 회의를 통해 최종 결과물의 수요자 만족도 향상을 도모

○ 다양한 플랜트 종류별로 개별적인 안전훈련시스템 개발에 드는 많은 비용과 시간 등 어려움을 극복하기 위해, 범용 부분과 특화 부분을 고려한 시스템, 즉, 일반 공통 모듈과 플랜트 유형별 customizing의 조합으로 이루어진 시스템 개발 방법론을 채택함으로써, 미리 만들어 놓은 일반 공통 모듈 여러 개의 조합으로 특정 플랜트의 대부분을 쉽게 구성할 수 있음

- 일반 공통 모듈로는 압축기 모듈, 펌프 모듈, 열교환기 모듈, 탈수 모듈 등 대부분의 플랜트에서 많이 활용되는 주요 장비 모듈

3.4.2 2세부과제: 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발

가. 연구 목표 및 내용

(1) 연구 목표

○ 2세부과제는 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술을 연구하여 플랜트 정상 상태 공정 시뮬레이션, 플랜트 동적 공정 시뮬레이션, 누출/화재/폭발 사고 시뮬레이션, 통합 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발을 통하여 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템을 개발하며 다음의 세부 기술을 포함하고 있음

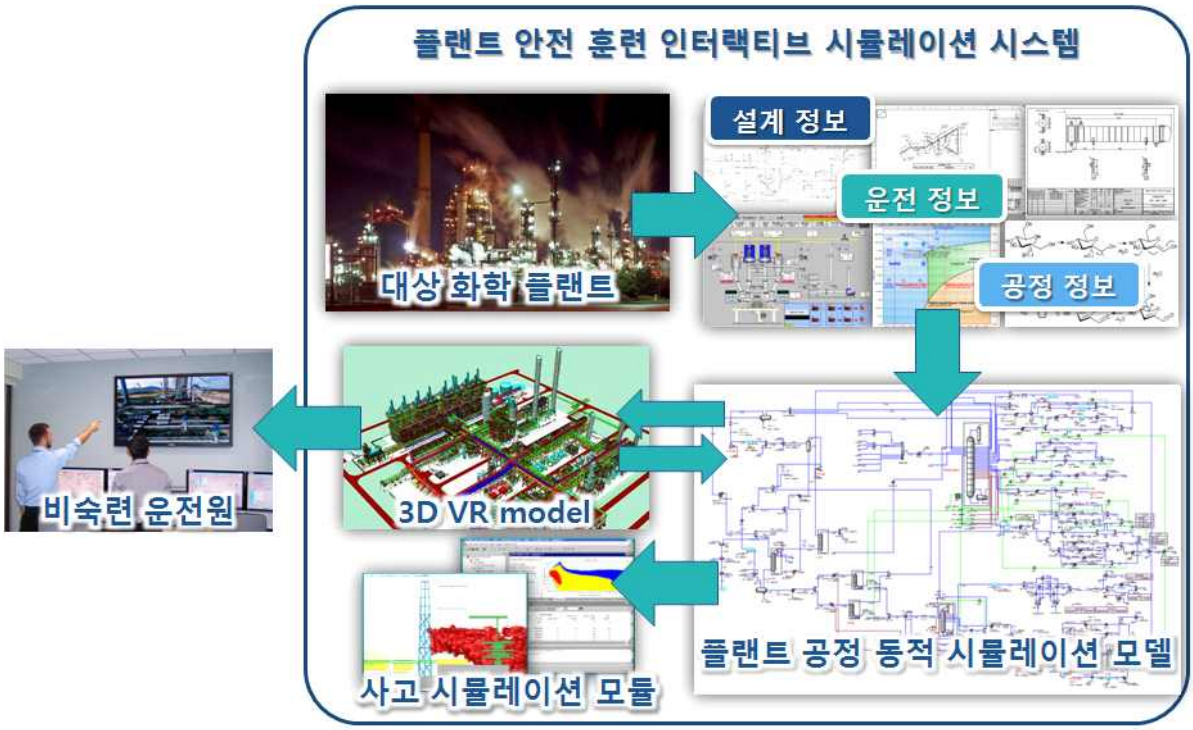


그림 3-9. 2세부과제의 연구 목표

- 플랜트 정상 상태 공정 시뮬레이션 기술: 공정 모델링용 물성치 예측 패키지 형성, 공정내 주요 화학 반응 모델링, 공정 설비 사양 검증 및 보정, 운전 모드별 정상 상태 공정 시뮬레이션 기술 연구
- 플랜트 동적 공정 시뮬레이션 기술: 공정 운전 정보 분석 및 해석, 공정내 반응, 분리, 회전, 배관 설비 상세 동적 모델링, 공정 단위 모델 연계 및 통합 모델 개발 기술 연구
- 사고 시나리오 기반 공정 시뮬레이션 기술: 사고 시나리오 정량적 분석 및 구체

화, 사고 시나리오 동적 모델링 및 시뮬레이션, 사고 시나리오 시뮬레이션 결과 해석 기술 연구

- 플랜트 사고 시뮬레이션 기술: 플랜트 내 누출/화재/폭발 사고 시뮬레이션 및 공정/사고 시뮬레이션 연동 기술 연구
- 통합 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술: 사고 시뮬레이션용 사고 사례 운전 데이터 추출, 가상 환경 연동 실시간 동적 시뮬레이션 기술 연구

○ 2세부과제의 최종 연구 성과물은 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템으로, 대상 공정의 시뮬레이션 모델을 바탕으로 사고 시뮬레이션과 공정 시뮬레이션의 연계를 통해 최종적으로 공정 시뮬레이션을 통해 사고가 발생하기 전까지의 상황을 모사하고 사고가 발생한 순간의 공정 조건을 분석, 사고 시뮬레이션을 수행하여 사용자인 운전원들에게 단순한 시뮬레이션 모델 이상의 현실에 가까운 시각적 정보를 다양한 방법으로 제공하는 시스템으로, 사고 상황에 대한 시각화 등을 통해 운전원들의 교육에 효과적인 시스템임

○ 본 세부과제의 개발을 통해 다음의 정량적 목표 달성을 도모함

- 기존 플랜트 안전 훈련 시스템 대비 교육 시간 40% 감소 및 교육 집중도 향상
- 기존 조업자 훈련 기술에 비해 시간 및 비용에 있어서 30~40% 절감
- 플랜트 start-up 기간 15~20% 절감

(2) 연구 내용

표 3-11. 2세부과제 연구 목표 및 연구내용

연구 목표	연구 내용
플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발	▪ 플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 기술 개발 - 플랜트 정상 상태 공정 시뮬레이션 기술 개발 - 플랜트 예측 가능 사고 동적 공정 시뮬레이션 기술 개발 ▪ 플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술 개발 - 플랜트 내 사고 유형 분석 및 시뮬레이션 방안 개발 - 플랜트 누출/화재/폭발 사고 시뮬레이션 모듈 개발 - 플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술 개발 ▪ 통합 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발 - 공정 시뮬레이션 기반 플랜트 내 사고 예측 기술 개발 - 공정/사고 시뮬레이션 연동 알고리즘 개발 - 가상 환경 연동 실시간 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발

※ 핵심기술요소(CTE) 및 단계별 기술성숙도(TRL) 목표

세부목표	플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발			유형	소프트웨어	
프레임워크		선행 단계	시제품 제작 및 시연		현장적용	제품화/실용화
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도 (종료)
마일스톤 일정		'14.07	'15.09	'16.09	'17.09	'18.09	'19.09
CTE No.	기술명						
CTE 1	플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 2	플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 3	통합 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 5

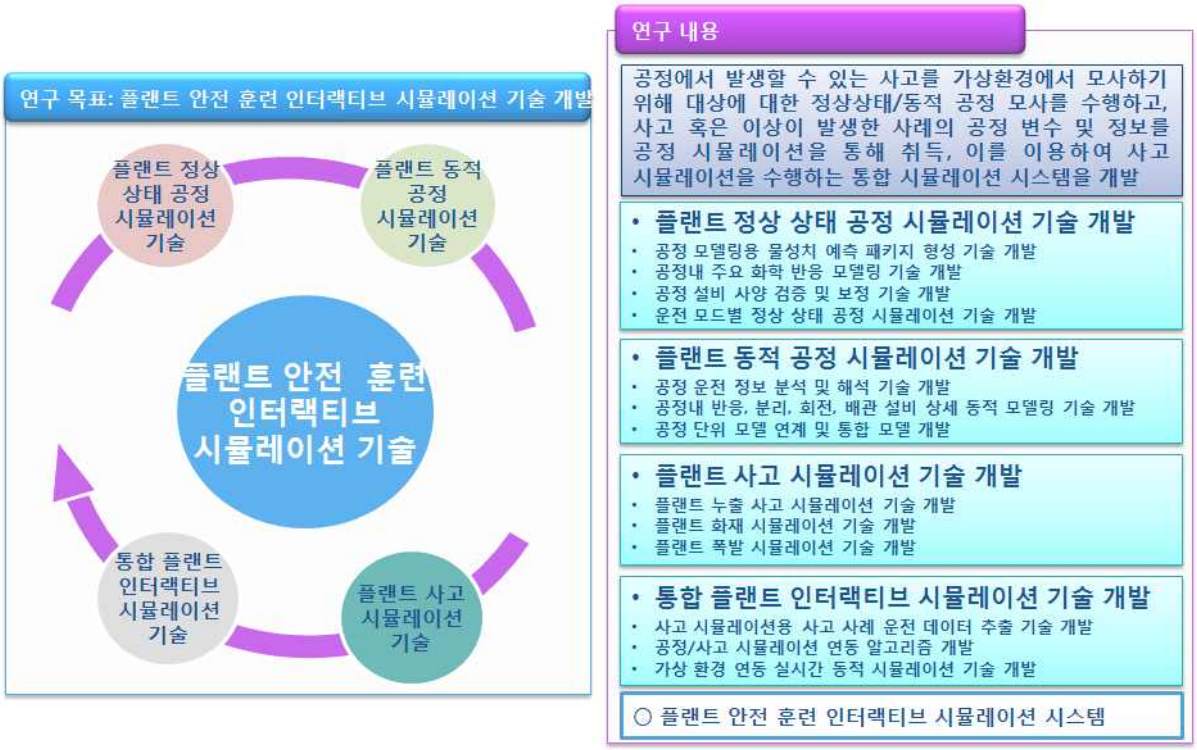


그림 3-10. 2세부과제의 주요 연구내용

나. 단계별 추진 일정 및 연구내용

표 3-12. 2세부과제 단계별 추진일정 및 연구내용

단계	연차	목표	내용
1단계	1차 년도	▪ 적용 대상 공정 선정	▪ 선정 기준 마련 ▪ 적용 가능 공정별 실효성 평가 ▪ 대상 공정 분석 및 시뮬레이션 전략 수립
		▪ 대상 공정 데이터 확보	▪ 공정내 재료 및 물성 자료 확보 ▪ Heat & Material Balance Sheet 확보 ▪ Process Flowsheet Diagram 확보 ▪ Piping & Instrument Diagram 확보 ▪ Process Unit Specification 확보
		▪ 사고 시뮬레이션 방법론 분석	▪ 사고 유형별 시뮬레이션 및 시뮬레이션 소프트웨어 비교 분석 ▪ 사고 유형별 시뮬레이션 절차 분석
	2차 년도	▪ 정상 상태 공정 시뮬레이션 기반 형성	▪ 공정 모델링용 물성치 예측 패키지 형성 ▪ 공정내 주요 화학 반응 모델링 ▪ 공정 설비 사양 조사, 검증 및 보정
		▪ 플랜트 정상 상태 공정 모델링 및 시뮬레이션	▪ 운전 데이터 분석을 통한 운전 모드 분류 ▪ 운전 모드별 정상 상태 공정 시뮬레이션 ▪ 설계 수치 및 실제 수치와 교차 검증
		▪ 공정내 사고 유형별 사고 시뮬레이션 사례 연구	▪ 누출 사고 시뮬레이션 사례 연구 ▪ 화재 시뮬레이션 사례 연구 ▪ 폭발 시뮬레이션 사례 연구
		▪ 공정/사고 시뮬레이션 연계 알고리즘 개발	▪ 시뮬레이션 소프트웨어 연계 방법론 연구
	3차 년도	▪ 대상 공정 운전 정보 분석	▪ 공정 운전 데이터 수집 및 분석 ▪ 운전 데이터 전처리를 통한 공정 모드 판별 ▪ 운전 표준 시나리오 및 데이터 도출
		▪ 플랜트 동적 공정 시뮬레이션 기술 개발	▪ 공정내 반응 설비 상세 동적 모델링 기술 개발 ▪ 공정내 분리 설비 상세 동적 모델링 기술 개발 ▪ 공정내 회전 기기 상세 동적 모델링 기술 개발 ▪ 공정내 배관 및 기타 설비 상세 동적

			모델링 기술 개발 ▪ 공정 단위 모델 연계 및 통합 모델 개발 기술 개발
		▪ 사고 시뮬레이션 모듈 개발	▪ 누출/화재/폭발 사고 시뮬레이션 자동화 모듈 개발
		▪ 플랜트 공정 인터랙티브 시뮬레이션 프로토타입 개발	▪ 가상 사고 시나리오 사례 및 데이터 도출 ▪ 공정/사고 시뮬레이션 연계 사례 연구 ▪ 플랜트 공정 인터랙티브 시뮬레이션 프로토타입 개발
2단계	4차 년도	▪ 동적 공정 시뮬레이션 모델 검증 및 보완	▪ 1단계 동적 공정 시뮬레이션 모델 검증 ▪ 모델 정확성 및 속도 최적화
		▪ 사고 시뮬레이션 모델 검증 및 보완	▪ 사고 시나리오 분석 및 시나리오 정량화 ▪ 시나리오 모델 반영 포인트 구체화 및 체계화 ▪ 사고 시나리오 시뮬레이션 결과 해석 기술 개발
		▪ 통합 공정 인터랙티브 시뮬레이션 시스템 개발 (I)	▪ 공정 운전 데이터 추출 기술 개발 ▪ 사고 시뮬레이션 결과 출력 기술 개발
	5차 년도	▪ 통합 공정 인터랙티브 시뮬레이션 시스템 개발 (II)	▪ 가상 환경 연동 실시간 동적 시뮬레이션 기술 개발

다. 추진 전략

○ 국내외 공정 및 사고 시뮬레이션 분야의 전문가들과 산·학·연 협동을 통한 공동 연구개발팀의 구성을 추진하고 개발 단계에서부터 예상 수요처의 요구를 적극적으로 청취하여 연구 개발 목표에 직접 반영

- 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 운전자 훈련 시스템 개발 기술에 대한 공동연구 추진

○ 공정 시뮬레이션 모델 개발을 위한 데이터 수집을 위해 과제 초기에서부터 실제 대상을 보유한 기업이나 연구소와의 적극적인 협의 체계 구축

- 적용 대상을 선정하는 데에 있어 실질적인 수요를 가지고 있는 EPC 업체나 화학 및 에너지 업체의 참여를 유도하여 실제적인 데이터를 바탕으로 한 시뮬레이션 수행

○ 기술의 최종 수요자인 운전원의 의사 및 요구사항이 중시될 수 있도록 개발 중인 기술에 대해서도 상시 홍보 및 결과 공유 회의를 통해 최종 결과물의 수요자 만족도 향상을 도모

3.4.3 3세부과제: 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발

가. 연구 목표 및 내용

(1) 연구 목표

○ 3세부과제는 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템의 안전 훈련 환경을 가상화하는 기술 및 햅틱 기반의 안전 훈련 시나리오를 구현하기 위한 핵심 휴먼 인터페이스 기술을 개발하며, 실감 안전 훈련을 위한 플랜트 환경 가상화 기술, 체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술, 체감 임무 수행을 위한 공간 상호 작용 기술을 연구하여 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템을 개발하며 다음의 세부 기술을 포함하고 있음

그림 3-11. 3세부과제의 연구 목표

- 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 요소 기술: 실시간 가시화를 위한 소규모 가상 플랜트 모델을 구축하고, 사고 시나리오에 따른 공정 장치 및 유체 거동 가시화 기술을 개발하며, 플랜트 기자재 안전 운전 정보와의 인터페이스 요소 기술을 연구
- 체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술: 실감 안전 훈련을 위해 햅틱 장치 및 렌

더링 요소 기술을 개발하고 가상 환경 햅틱 정보 처리 기술 연구

- 체감 임무 수행을 위한 공간 상호 작용 기술: 플랜트 공간 현실감 구현을 위해 훈련자의 임무 인식 및 가상 현실 네비게이션 기술을 개발하고, 가상 플랜트 이벤트 처리 및 공간 탐색 기술을 연구

○ 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 및 체감형 휴먼 인터페이스 요소 기술 개발을 통해 플랜트 안전 훈련 효과를 20% 이상 제고하고, 플랜트 안전 훈련용 가시화 원천 기술을 확보

○ 3세부과제의 최종 연구 성과물은 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템임

(2) 연구 내용

표 3-13. 3세부과제 연구 목표 및 연구내용

<table>
<tr><th>연구 목표</th><th>연구 내용</th></tr>
<tr><td>햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발</td><td>
▪ 플랜트 안전 훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술 개발
- 플랜트 공정 및 사고 모사 결과 실시간 가시화 기술 개발
- 플랜트 기자재 안전 정보 DB 인터페이스 요소 기술 개발
▪ 체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술 개발
- 시나리오 구현용 다감각 햅틱 장치 및 제어/렌더링 요소 기술 개발
- 가상 객체 연동 및 햅틱 저작/평가 기술 개발
▪ 체감 공간 인식 및 임무 수행 처리 기술 개발
- 플랜트 공간 탐색용 체감 이동 네비게이터 기술 개발
- 훈련자 임무 수행 인식 및 시나리오 인터페이스 요소 기술 개발
※ 핵심기술요소(CTE) 및 단계별 기술성숙도(TRL) 목표
<table>
<tr><th colspan="2">세부목표</th><th colspan="2">햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발</th><th>유형</th><th colspan="3">장비·장치</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">프레임워크</td><td rowspan="2">선행 단계</td><td colspan="2" rowspan="2">시제품 제작 및 시연</td><td colspan="2" rowspan="2">현장적용</td><td rowspan="2">제품화/ 실용화</td></tr>
<tr></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">마일스톤</td><td rowspan="2">현재 TRL</td><td colspan="5">마일스톤 목표 TRL</td></tr>
<tr><td>1차 년도</td><td>2차 년도</td><td>3차 년도</td><td>4차 년도</td><td>5차 년도 (종료)</td></tr>
<tr><td colspan="2">마일스톤 일정</td><td>'14.07</td><td>'15.09</td><td>'16.09</td><td>'17.09</td><td>'18.09</td><td>'19.09</td></tr>
<tr><td>CTE No.</td><td>기술명</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>CTE 1</td><td>플랜트 안전 훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술</td><td>TRL 2</td><td>TRL 3</td><td>TRL 4</td><td>TRL 4</td><td>TRL 5</td><td>TRL 6</td></tr>
<tr><td>CTE 2</td><td>체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술</td><td>TRL 2</td><td>TRL 2</td><td>TRL 3</td><td>TRL 4</td><td>TRL 5</td><td>TRL 5</td></tr>
<tr><td>CTE 3</td><td>체감 공간 인식 및 임무 수행 처리 기술</td><td>TRL 2</td><td>TRL 3</td><td>TRL 3</td><td>TRL 4</td><td>TRL 5</td><td>TRL 6</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

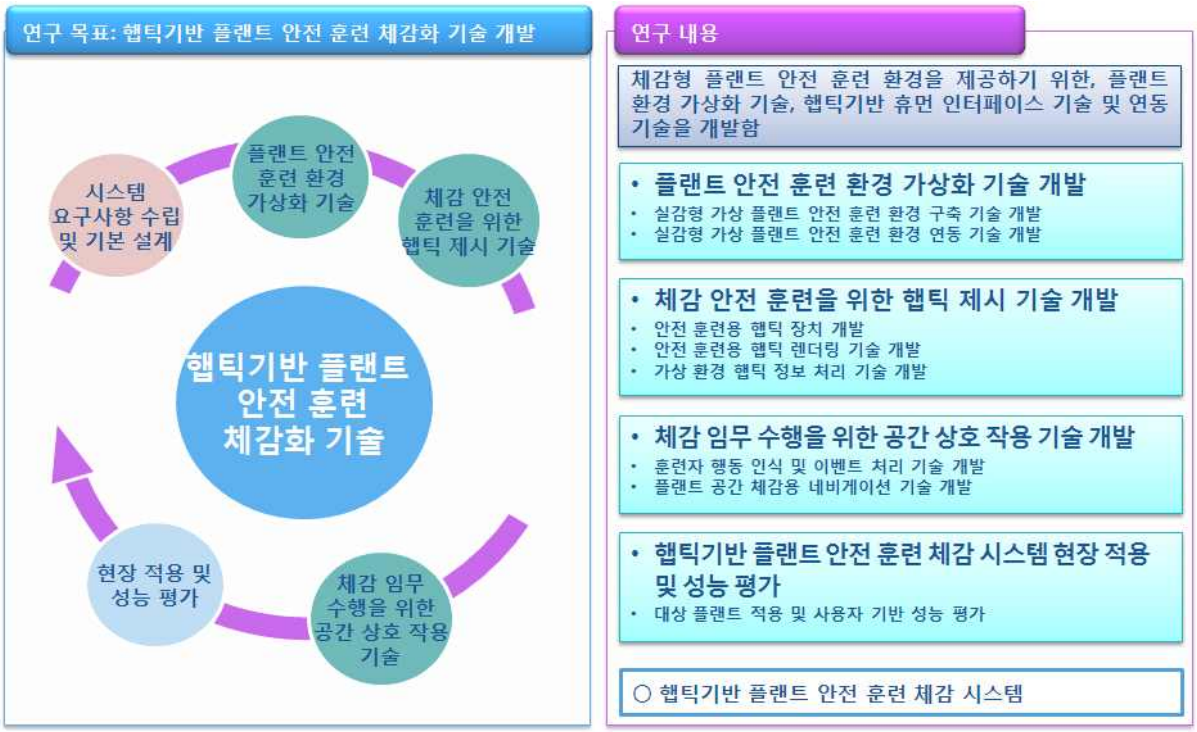


그림 3-12. 3세부과제의 주요 연구내용

나. 단계별 추진 일정 및 연구내용

표 3-14. 3세부과제 단계별 추진일정 및 연구내용

단계	연차	목표	내용
1단계	1차 년도	▪ 안전 훈련 체감 시스템 요구사항 수립 및 기본 설계	▪ 관련 기술 조사 및 안전 훈련 시나리오 분석 ▪ 시스템 요구사항 정의 ▪ 시스템 상위 인터페이스 설계
		▪ 안전 훈련 체감 시스템 상세 설계	▪ 실감형 안전 훈련 가상 환경 구축 절차 수립 ▪ 안전 훈련용 햅틱 장치 H/W 및 S/W 상세 설계 ▪ 안전 훈련용 공간 상호 작용 상세 설계
	2차 년도	▪ 실감형 가상 플랜트 안전 훈련 환경 구축 기술 개발	▪ 적용 플랜트 대상 소규모 안전 훈련용 가상 환경 구축
		▪ 햅틱 제시 시스템 H/W 플랫폼 개발	▪ 역감, 진동감 및 열감 제시 장치 개발 ▪ 햅틱 제시 H/W 플랫폼 개발
		▪ 공간 상호 작용 시스템 H/W 플랫폼 개발	▪ 모션 취득 및 보행 플랫폼 개발 ▪ 훈련자 자율 이동을 위한 보행 상호

			작용 기술 개발
	3차 년도	▪ 실감형 가상 플랜트 안전 훈련 환경 구축 및 연동 기술 개발	▪ 플랜트 공정 모사 가시화 기술 개발 ▪ 햅틱 제시 장치 연동 인터페이스 기술 개발
		▪ 햅틱 제시 시스템 핵심 요소 기술 개발	▪ 플랜트 가상 객체 물성 데이터 분석 ▪ 객체의 질감 및 역감 제어 기술 개발 ▪ 햅틱 렌더링 알고리즘 개발
		▪ 공간 상호 작용 시스템 핵심 요소 기술 개발	▪ 훈련자 임무 수행 인식 기술 개발 ▪ 가상 환경 시각 동기화 기술 개발
2단계	4차 년도	▪ 실감형 가상 플랜트 안전 훈련 환경 구축 및 연동 기술 개발	▪ 플랜트 사고 상황 모사 결과 가시화 기술 (화염, 연기, 기체/유체 누출) 개발 ▪ 플랜트 기자재 안전 운전 정보 인터페이스 기술 개발
		▪ 햅틱 제시 시스템 요소 기술 통합 및 정보 처리 기술 개발	▪ 햅틱 저작 도구의 설계 및 개발 ▪ 가상 환경 객체 연동 기술 개발 ▪ 햅틱 제시 시스템 단위 통합
		▪ 공간 상호 작용 시스템 요소 기술 통합 및 연동 기술 개발	▪ 훈련자 이벤트 처리 및 공간 탐색 연동 기술 개발 ▪ 공간 상호 작용 시스템 단위 통합 및 시험
	5차 년도	▪ 적용 플랜트 대상 가상화 기술 적용성 평가	▪ 실감형 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 도구 개발 ▪ 가상화 도구의 적용 및 시스템 보완
		▪ 햅틱 및 가상현실 시스템 통합 시험	▪ 시나리오 기반 햅틱 제시 시스템 통합 및 단위 시험 ▪ 시나리오 기반 공간 상호 작용 시스템 통합 및 단위 시험
		▪ 햅틱 및 가상현실 시스템 사용자 시험 평가 및 최적화	▪ 시제품 사용자 시험 및 생체 신호를 사용한 몰입도 평가 ▪ 평가 피드백에 따른 시제품 튜닝 및 최적화

다. 추진 전략

○ 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술은 역공학 (reverse engineering), CAD, VR, 엔지니어링 지식 베이스, SW 엔지니어링 등의 다학제적인 연구개발 성격이 강해 각 분야의 전문성을 가진 산·학·연 연구 컨소시엄을 구성함

○ 기업과 국내외 햅틱 및 가상현실 분야의 전문가들과 산·학·연 협동을 통한 공동 연구개발팀의 구성을 추진하여 선진 기술 수준에 도달할 수 있는 플랜트 햅틱 및

가상현실 기술 역량을 확보

- 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 플랜트 분야 햅틱 및 가상현실 기술에 대한 공동 연구 추진

○ 플랜트 가상 환경 구축 및 체감형 햅틱 시스템에 관한 국내외의 기존 결과물을 활용할 수 있는 방안을 모색하여 연구의 정성적·정량적 완성도를 높임

- 기 개발된 3D 모델링 기술, 고속 렌더링 기술, 가상 환경 데이터 변환 기술 등을 응용하고, 플랜트 사이트에 특화된 플랜트 CAD 모델 변환 및 실감 렌더링, 플랜트 안전 정보와 가상 환경 모델과의 정합, 플랜트 공정 모사에 관한 원천 기술을 개발

- 기 개발된 햅틱 및 휴먼 동작 인식 기술 등을 응용하고, 플랜트 사이트 및 시나리오에 특화된 햅틱 제시 장치, 네비게이션 기술 및 이들의 통합 구현 기술에 관한 원천 기술을 개발

○ 현장 요구사항을 최대한 반영할 수 있는 첨단 하드웨어, 소프트웨어 기술의 심도 있는 분석을 통해, 안정적이고 상용화 가능한 휴먼 인터페이스 시스템 개발

○ 각 분야별 높은 시장 점유율을 가지는 업체 솔루션 분석 및 과제 기간동안 해결 가능한 기술들을 종합하여 성공 가능성 높은 연구 방향 수립

○ 기술 수요처의 사용 시스템 기능 요구사항을 정립하여 시스템 실용성 제고

3.4.6 세부과제간 연계관계

○ 연구개발과제의 최종 목표 시스템은 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템이며, 세부적으로는 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼, 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템, 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템으로 구성됨

- 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼에서는 플랜트 운전원 안전 사고 훈련 시나리오 생성 모듈에서 안전 훈련 시나리오를 생성해서 안전 훈련을 제어 및 평가하며, 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템으로부터 사고 시나리오 기반 공정 시뮬레이션 데이터를 제공받아 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템이 제공하는 햅틱 플랜트 공간에서 안전 훈련을 수행하며, Service Oriented Architecture (SOA) 기반인 web service나 Application Programming Interface (API) 기반, 혹은 산업 플랜트 표준 통신 프로토콜인 OLE for Process Control (OPC) 기반으로 모듈간 데이터 교환 인터페이스를 구현함으로 세부과제간 연계 관계를 구축함
- 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템에서 안전 훈련 시나리오에 대한 공유를 통해 공정 동적 모델 완성도를 향상시키고, 안전 훈련 시나리오가 지정하는 운전원 작동이 공정에 미치는 영향을 동적 시뮬레이션해서 그 결과를 안전훈련시스템에 실시간으로 제공함. 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템과의 연계를 통해 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템의 3D 모델을 완성
- 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템에서 플랜트 3차원 CAD 모델을 가상 환경에 사용할 수 있도록 변환하는 기술을 제공하고, 실감 안전 훈련을 위한 햅틱 장치와 네비게이터를 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합하는데 제공하여 체감 훈련 환경을 지원

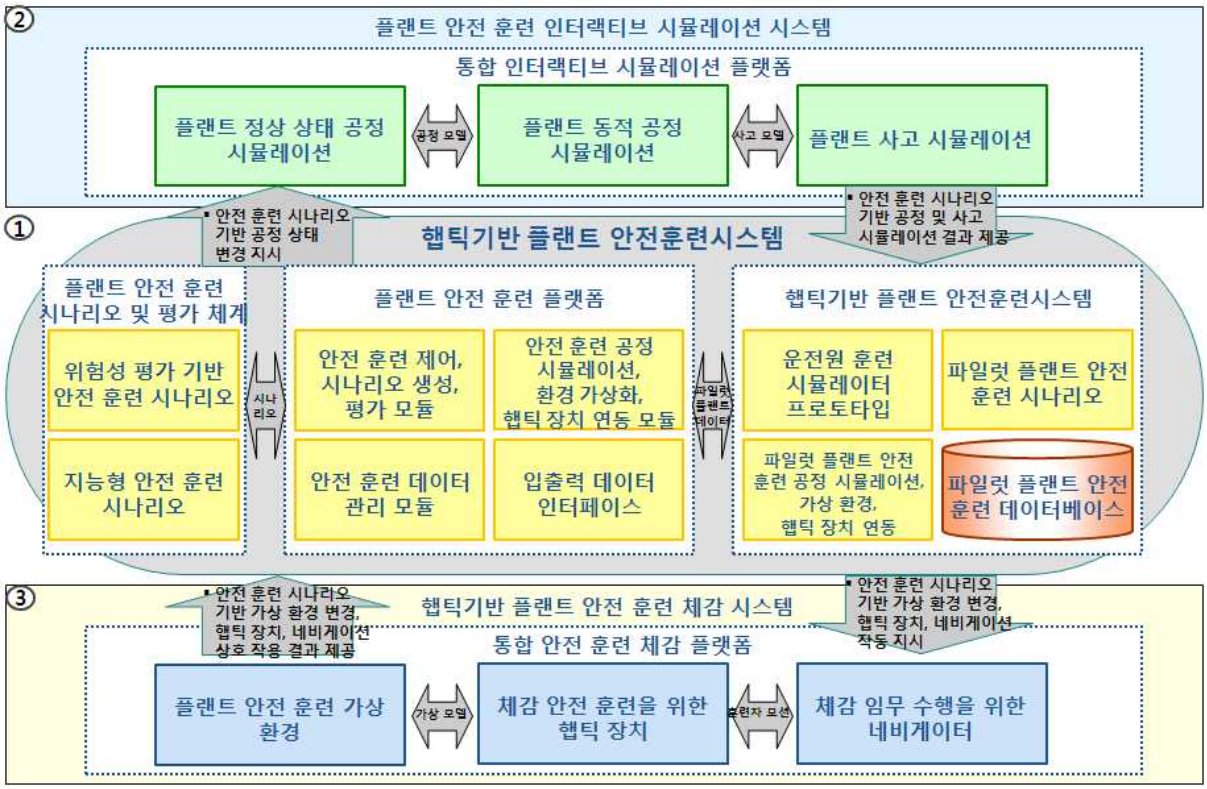


그림 3-13. 세부과제간 연계 관계

3.5 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

3.5.1 1세부과제의 기술로드맵 및 성과로드맵

그림 3-14. 1세부과제 기술로드맵

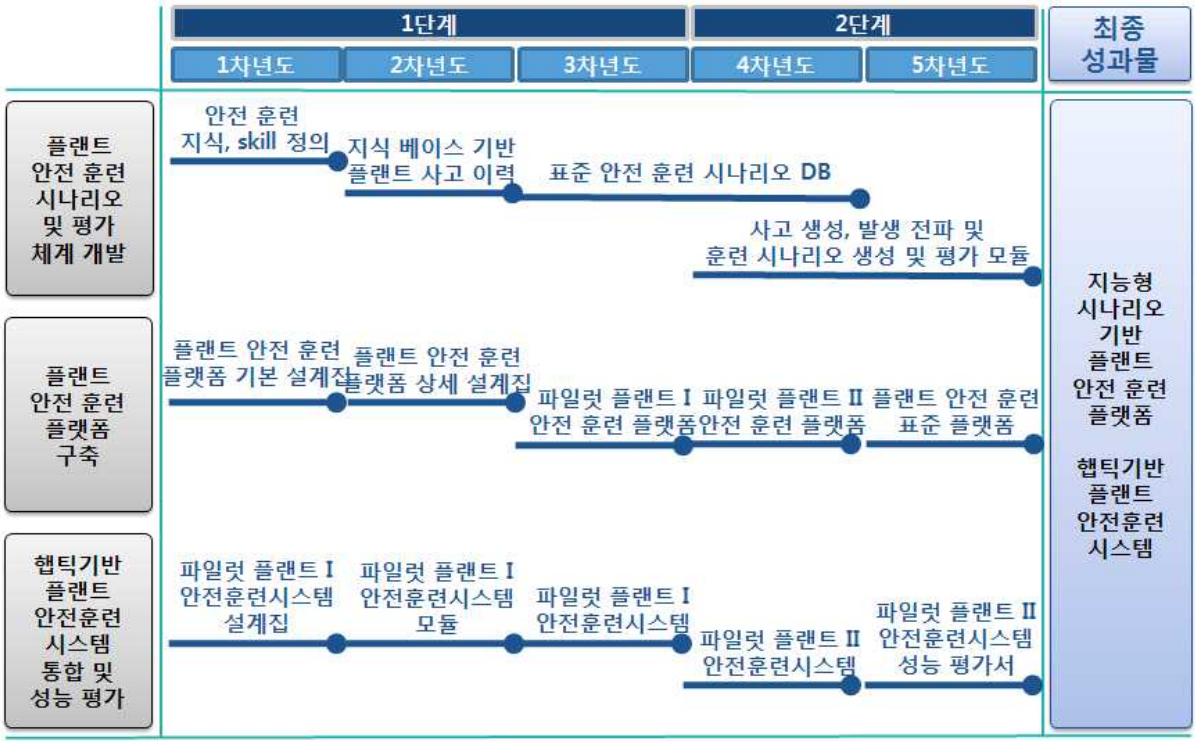


그림 3-15. 1세부과제 성과로드맵

○ 사고 이력 기반 안전 훈련 시나리오 개발 기술에서는 사고 이력을 지식 베이스화 하여 사고 이력 기반 훈련 시나리오 생성 기술을 개발하며, 주요 성과물로 사고 이력 기반 훈련 시나리오 생성 모듈을 개발함

○ 예측 가능 사고 시나리오 생성 기술에서는 조업자 행동 이상, 공정 이상, 플랜트 설비 이상 상황에 대한 이상 진단 및 사고 대응 시나리오를 생성하는 기술을 개발하며, 주요 성과물로 미예측 사고 시나리오 생성 모듈을 개발함

○ 플랜트 사고 이력 지식 베이스 기술에서는 플랜트 사고 이력 온톨로지 모델링, 전처리, 지식 베이스 질의 기술을 개발하며, 주요 성과물로 플랜트 사고 이력 지식 베이스를 개발함

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 표준 프레임워크 설계 기술에서는 생성된 안전 훈련 시나리오를 기반으로 안전 훈련 프로세스를 제어하고, 훈련원의 훈련 결과를 평가하는 모듈을 설계하며, 이밖에 시뮬레이션 엔진, 가시화, 햅틱, 데이터베이스 모듈을 시스템 통합이 원활하고 이루어지고 시스템 확장이 가능토록 모듈화 방식의 설계를 함

○ 햅틱기반 안전훈련시스템 표준 인터페이스 설계 기술에서는 시스템 요소 모듈간의 표준 데이터 입출력 명세 설계와 인터페이스 설계를 함

○ 적용 플랜트에 대한 안전 훈련 모델 및 데이터베이스 시제품 구축 기술에서는 안전 훈련용 플랜트 공정 모델링, 물성 데이터베이스, 가상 환경 모델링 기술을 개발함

표 3-15. 1세부과제의 연구성과물 및 구체적인 도출계획

예상 성과물	도출시기	도출계획
▪ 사고 이력 기반 안전 훈련 시나리오 생성 모듈 ▪ 플랜트 사고 이력 지식 베이스 구축 기반 모듈 ▪ 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼	1단계	▪ 실적 플랜트 사고 이력 데이터베이스 및 공정의 원인 인과 관계 모델을 기반으로 사고 이력 기반 훈련 시나리오 생성/검증 ▪ 향후 플랜트 사고 이력 지식 베이스 구축/공유를 위한 기반 체계 개발 ▪ 플랜트 조업자 안전 사고 훈련 시나리오 생성, 인터랙티브 시뮬레이션, 안전 훈련 가상 환경, 햅틱기반 안전 훈련 휴먼 인터페이스 등이 독립적이면서 인터페이스를 통해 통합될 수 있도록 모듈 개념으로 시스템 설계 ▪ 안전 훈련 시나리오를 기반으로 안전 훈련 프로세스를 정립하고, 훈련원의 다양

▪ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 인터페이스 ▪ 운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입 ▪ 파일럿 플랜트 I 안전 훈련 모델 및 데이터베이스 시제품 ▪ 파일럿 플랜트 I 안전 훈련시스템		한 대응 방식에 대해 교관이 제어하는 방안 수립 및 시스템 구현 ▪ 안전 훈련 시나리오에 따라 평가 기준을 수립하고, 이를 통합 시스템적으로 설계 ▪ OPC 등 국제 표준 상용급 공정 플랜트 데이터 교환 프로토콜을 사용하여 시뮬레이터와의 인터페이스 구축 ▪ 가상현실과의 인터페이스는 SDK 등 소프트웨어 개발용 컴포넌트 기반의 인터페이스 구축 방안을 모색 ▪ 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 설계를 위한 운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입 구축 ▪ 대상 플랜트를 선정하고 그에 대한 설계 데이터를 입수하여 3차원 형상을 CAD 모델로 구현하고 가상환경에서 가시화 가능하도록 모델을 변환하며, 모델링하는데 요구되는 데이터를 데이터베이스 형태로 관리 ▪ Real-time DB나 PLM 등 다양한 데이터 관리 및 분석 솔루션 검토후 채택하고, 실시간 데이터 처리 필요성 및 구현 방안 검토하여 시스템 구현 ▪ 중소규모 대상 파일럿 플랜트 설계 및 운영 데이터를 입수하여 최종 사용자가 요구사항으로 제시한 필요한 기능을 구현한 프로토타입 시스템 구현
▪ 예측 가능 사고 시나리오 생성 모듈 ▪ 플랜트 사고 이력 지식 베이스 ▪ 파일럿 플랜트 II 안전 훈련시스템	2단계	▪ 조업자 행동 이상, 공정 이상, 플랜트 설비 이상 상황에 대비한 이상 진단 인공지능 알고리즘을 개발하여 사고 대응 시나리오 자동 생성 및 훈련자의 문제 풀이를 검증하는 방법론 및 시스템 개발 ▪ 실적 플랜트 사고 이력 데이터베이스를 체계화시켜 안전 사고 이력 지식 베이스 구축 ▪ 파일럿 플랜트 II 대상의 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템의 프로토타입 시스템 scale-up, 성능 개선 및 성능 검증 결과를 반영한 패키지 구성

표 3-16. 1세부과제 핵심기술의 개발 목표

기술 항목	목표수준/ (현재수준)	달성여부의 측정방법	비고
햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시나리오	10개/ (0개)	- 파일럿 플랜트 I 및 II 대상 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시나리오 생성 개수 측정	주요 목표
지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼	1개/ (0개)	- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 설계를 위한 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 개수 측정	주요 목표
운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입	1개/ (0개)	- 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 설계를 위한 운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입 구축 개수 측정	주요 목표
햅틱기반 플랜트 안전 훈련시스템	2개/ (0개)	- 파일럿 플랜트 I 및 II 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 구축 개수 측정	주요 목표

표 3-17. 1세부과제 성과지표 및 목표

성과 목표	성과 지표수	연차별 목표치					최종
		1	2	3	4	5	
과학기술적 연구성과 향상	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	0	2	2	3	2	9
	특허출원 건수(국내/국외)	0	1	1	2	1	5
	학술회의 발표 논문건수(국내/국외)	1	3	3	3	2	12
기술개발 역량 향상	과제당 산학연 협력 활동건수	0	1	1	1	1	4
	연구보고서	1	1	1	1	1	5
	산학연 기술지원 건수	0	1	1	1	1	4
사회 경제적 파급효과 증대	연구개발 관련 홍보 건수	0	1	1	1	1	4
	기술 확산을 위한 상호교류 정도	0	1	1	1	1	4

3.5.2 2세부과제의 기술로드맵 및 성과로드맵

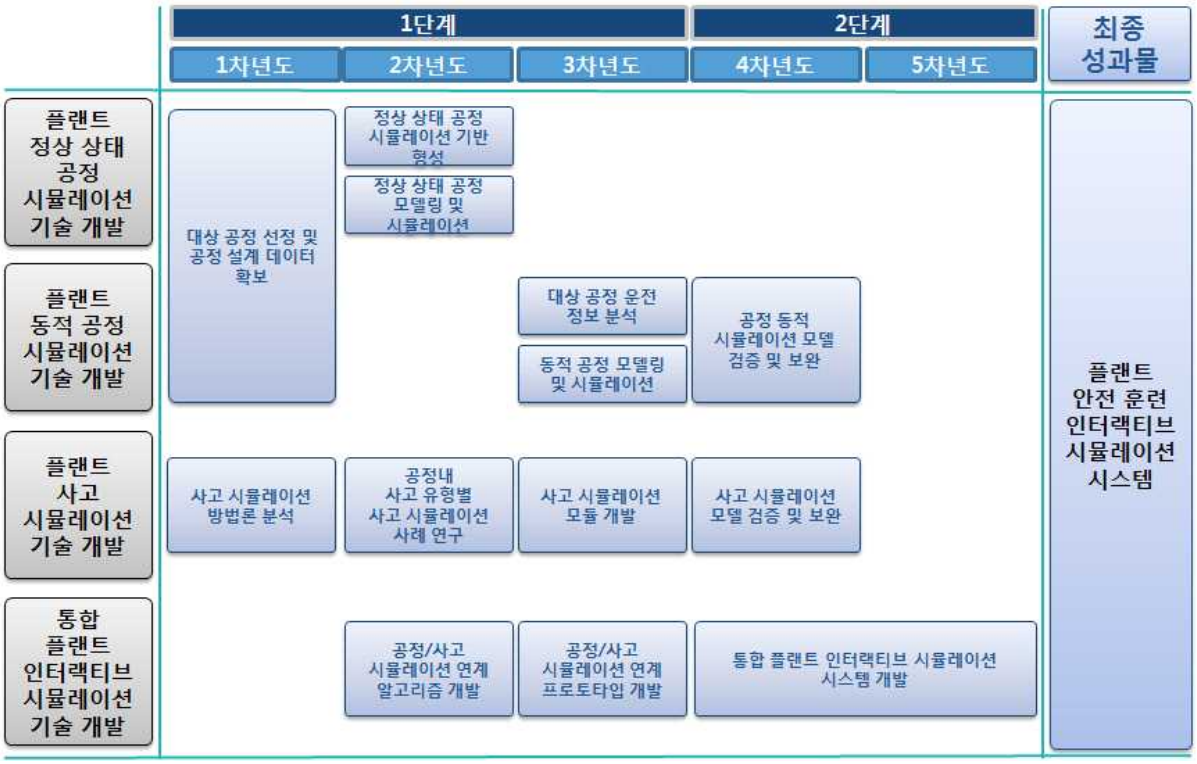


그림 3-16. 2세부과제 기술로드맵

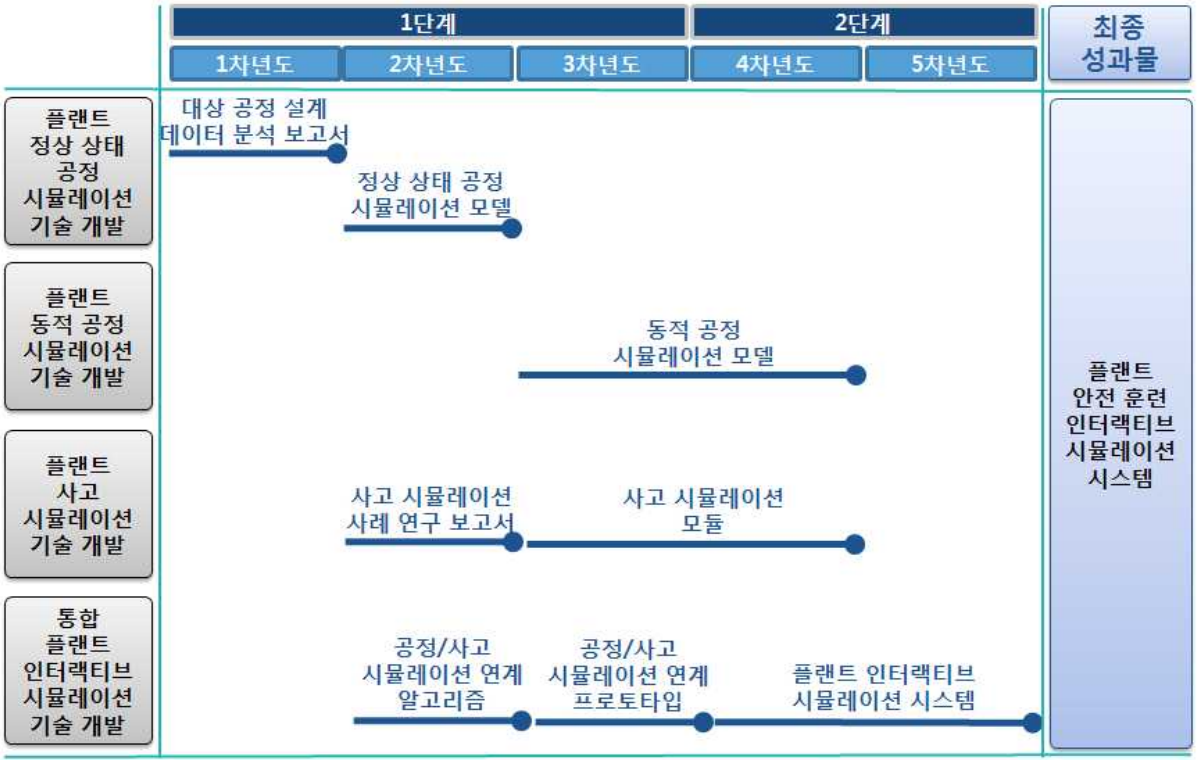


그림 3-17. 2세부과제 성과로드맵

○ 플랜트 정상 상태 공정 시뮬레이션 기술에서는 대상 공정의 PFD, H&MB, P&ID, Iso-drawing, Process Unit Specification Sheet, 반응물, 생성물 및 중간 생성물 정보를 수집하고 운전 데이터를 확보하여 이 중 PFD와 H&MB, Unit Spec. Sheet를 바탕으로 공정 정상 상태 모델링을 수행하여 주요 성과물로 운전 모드별 정상상태 공정 시뮬레이션 모델을 개발함

○ 플랜트 동적 공정 시뮬레이션 기술에서는 완성한 정상 상태 모델과 P&ID, Iso-drawing, Unit Detailed Spec.을 바탕으로 공정 내 여러 설비의 특성과 실제 설계 데이터를 반영한 공정 동적 모델을 개발하고, 개발된 모델을 바탕으로 공정 동적 시뮬레이션 수행 및 모델 검증 작업을 수행하며 주요 성과물로 동적 공정 시뮬레이션 모델을 개발함

○ 플랜트 사고 시뮬레이션 기술에서는 대상 공정에서 주요한 유닛에 사고가 발생했을 때 이를 분석하여 피해 범위를 예측할 수 있는 누출, 화재, 폭발에 대한 상용 사고 시뮬레이션 코드에 대해 사례 연구를 통해 분석하고 시뮬레이션에 필요한 요구사항을 정리하여 이를 공정 시뮬레이션의 결과와 연계할 수 있는 알고리즘 및 시스템을 개발함

○ 통합 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 시스템 개발 기술에서는 상기 상세 기술에서 개발한 성과를 바탕으로 공정 3D 모델, 사고 시뮬레이션 모듈과 입출력 연동이 되는 기술을 구현하며 주요 성과물로 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템을 개발

표 3-18. 2세부과제의 연구성과물 및 구체적인 도출계획

예상 성과물	도출시기	도출계획
▪ 과제 대상 공정 설계 데이터 분석 보고서 ▪ 정상 상태 공정 시뮬레이션 모델 ▪ 동적 공정 시뮬레이션 모델	1단계	▪ 과제에서 대상으로 할 공정을 선정, 시스템에서 다룰 부분의 범위를 정하며 해당 범위에 대한 최대한의 데이터 수집 ▪ 수집한 데이터중 Heat & Material Balance와 Process Flowsheet Diagram을 바탕으로 정상 상태 공정에 대한 Case를 선정, 공정 시뮬레이션 수행 ▪ 공정내 반응기, 증류탑, 압축기 등 별도의 모델링이 필요한 유닛에 대한 상세 장비 사양서를 수집하고 이를 바탕으로 공정 유닛에 대한 세부 동적 모델링을 수행하여 세부 동적 모델링 결과물을 통합한 전체 공정에 대한 공정 모델 구축

▪ 사고 시뮬레이션 사례 연구 보고서 ▪ 사고 시뮬레이션 모듈 ▪ 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 프로토타입		▪ 누출/화재/폭발 세 유형의 사고 시뮬레이션 방법론에 대해 사례 연구를 수행하고 사고 시뮬레이션의 절차와 요구 조건, 결과 분석 ▪ 누출/화재/폭발 세 유형의 사고 시뮬레이션의 자동화를 수행할 수 있는 사고 시뮬레이션 모듈 제작 ▪ 실제 시나리오 수립에 앞서 가상적인 사고 시나리오를 도출하고 시나리오에 따라 공정에서 사고가 발생하고 이로 인한 사고의 형태를 나타낼 수 있도록하는 인터랙티브 시뮬레이션 프로토타입 개발
▪ 동적 공정 시뮬레이션 실증화 모델 ▪ 사고 시뮬레이션 실증화 모듈 ▪ 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템	2단계	▪ 1단계에서 완성한 동적 시뮬레이션 모델을 실제 운전 데이터에 대입하여 정확한 결과를 나타내는지를 평가 분석 및 보완 ▪ 1단에서 완성한 사고 시뮬레이션 모듈을 다양한 시나리오에 대입하여 인터랙티브 시뮬레이션에 적합한 결과를 발생시킬 수 있도록 분석 및 보완 ▪ 설계된 알고리즘과 전체 과제 최종 성과물인 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템과 연계 방안 개발

표 3-19. 2세부과제 핵심기술의 개발 목표

기술 항목	목표수준/(현재수준)	달성여부의 측정방법	비고
공정 시뮬레이션 모델 정확도	90%/(60%)	- 운전 데이터와 시뮬레이션 결과 간 오차 측정	
공정 시뮬레이션 속도	100%/(50%)	- 사전 정의 시나리오 연산을 위한 계산 시간 계산	주요 목표
사고 시뮬레이션 모델 정확도	90%/(70%)	- 사고 사례 대비 오차 측정	주요 목표
공정 및 사고 시뮬레이션 모델링 구체성	100%/(70%)	- 플랜트 센서 계측 포인트 개수 대비 시뮬레이션 모델의 관찰 가능 변수 갯수	

표 3-20. 2세부과제 성과지표 및 목표

성과 목표	성과 지표수	연차별 목표치					최종
		1	2	3	4	5	
과학기술적 연구성과 향상	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	1	3	3	4	3	14
	특허출원 건수(국내/국외)	0	1	1	1	1	4
	학술회의 발표 논문건수(국내/국외)	1	3	4	4	4	16
기술개발 역량 향상	과제당 산학연 협력 활동건수	0	1	1	1	1	4
	연구보고서	1	1	1	1	1	5
	산학연 기술지원 건수	0	1	1	2	2	6
사회 경제적 파급효과 증대	연구개발 관련 홍보 건수	0	1	1	1	1	4
	기술 확산을 위한 상호교류 정도	0	1	1	1	1	4

3.5.3 3세부과제의 기술로드맵 및 성과로드맵

그림 3-18. 3세부과제 기술로드맵

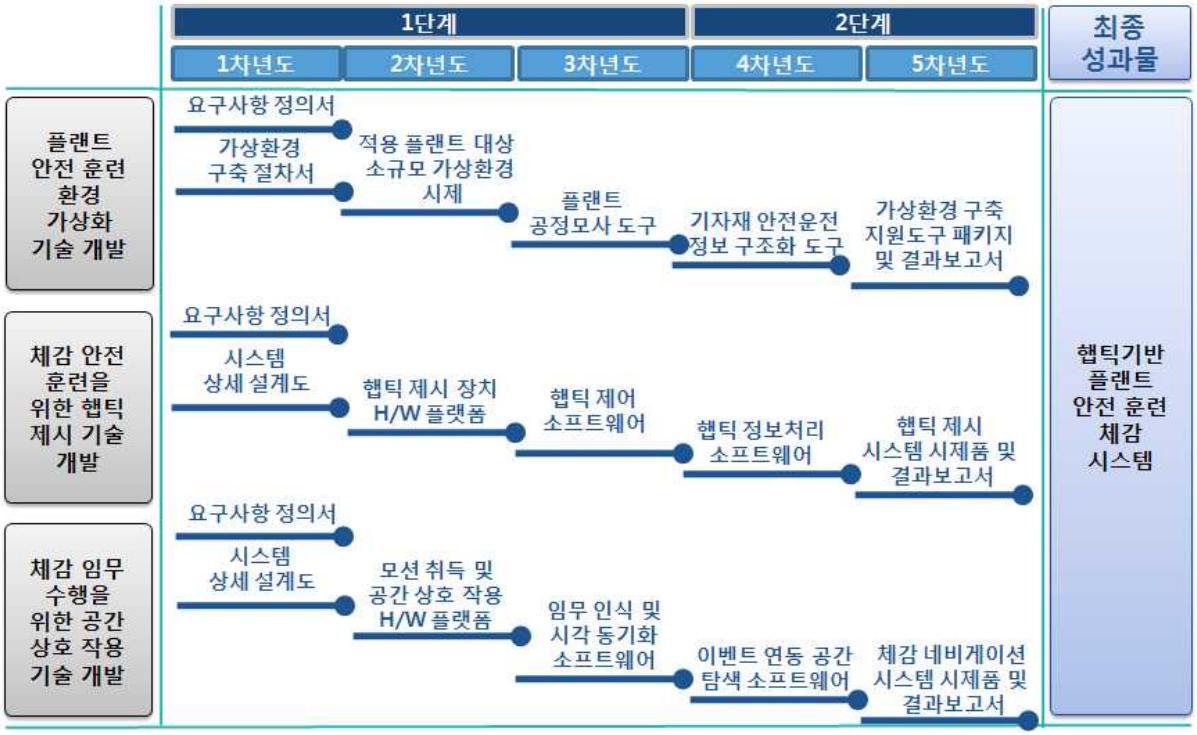


그림 3-19. 3세부과제 성과로드맵

○ 플랜트 가상 안전 훈련 환경 가시화 기술에서는 공정 장치 작동, 유체/기체 거동 가시화 등의 플랜트 공정 모사 가시화 기술을 개발하고, 3차원 가상 환경 모델과 플랜트 기자재의 안전 운전 정보를 정합하는 기술을 개발하며, 주요 성과물로 가상 환경 구축 절차서, 적용 플랜트 대상 소규모 가상 환경 시제, 플랜트 기자재 안전 운전 정보 인터페이스 도구, 플랜트 공정 모사 도구, 플랜트 안전 훈련용 가상 환경 구축 지원 도구 패키지 등이며, 최종적으로 안전 훈련용 가상 환경 구축 지원 도구 패키지를 개발함

- 연구개발 1단계의 주요 산출물은 안전 훈련 가상 환경 구축 절차서, 적용 플랜트 대상 소규모 가상 환경 시제임
- 연구개발 2단계의 주요 산출물은 플랜트 기자재 안전 운전 정보 인터페이스 도구, 플랜트 공정 모사 도구, 플랜트 안전 훈련용 가상 환경 구축 지원 도구 패키지임

○ 실감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술에서는 플랜트의 안전 훈련 시나리오 중에 훈련자의 몰입감을 증대시킬 수 있도록 손에 Force/Torque, 진동 및 온도감을 주는 햅틱 장치를 설계하고 제어하며 훈련 시나리오에 신속히 대응할 수 있는 관련 햅틱 렌더링 알고리즘 및 저작 도구 소프트웨어를 개발함

- 연구개발 1단계의 주요 산출물은 시스템 요구사항 정의 및 상세 설계도, 햅틱 장치 하드웨어 플랫폼 및 제어 소프트웨어임
- 연구개발 2단계의 주요 산출물은 햅틱 정보 처리 소프트웨어 및 햅틱 장치 연동 패키지 및 성능 평가 결과 보고서임

○ 체감 임무 수행을 위한 공간 상호 작용 기술에서는 복잡한 플랜트 시설물에 대해 이동감을 제시할 수 있는 공간 네비게이션 시스템을 개발하며, 훈련자 모션 취득 및 처리 기술, 자율 이동을 위한 네비게이션 상호 작용 제어 기술, 훈련자 임무 수행 이벤트를 인식하여 처리할 수 있는 기술, 착용형 디스플레이 장치와의 시각화 연동 기술, 플랜트 공간 탐색 연동 기술 등을 개발함. 또한, 훈련 시나리오에 따른 동작을 처리하고 적절한 이벤트를 생성하여 각 서브시스템과 연동하기 위한 기술 개발을 포함함

- 연구개발 1단계의 주요 산출물은 시스템 요구사항 정의 및 상세 설계도, 모션 취득 및 네비게이션 상호 작용 플랫폼, 시각화 연동 소프트웨어임
- 연구개발 2단계의 주요 산출물은 플랜트 공간 탐색 소프트웨어 및 체감 네비게이션 연동 패키지 및 성능 평가 결과 보고서임

표 3-21. 3세부과제의 연구성과물 및 구체적인 도출계획

예상 성과물	도출시기	도출계획
▪ 시스템 요구사항 정의서 ▪ 가상 환경 구축 절차서 ▪ 적용 플랜트 대상 소규모 가상 환경 시제 ▪ 체감 시스템 상세 설계도 ▪ 햅틱 장치 하드웨어 플랫폼 ▪ 네비게이션 상호 작용 하드웨어 플랫폼 ▪ 햅틱 장치 제어 소프트웨어 ▪ 네비게이션 제어 소프트웨어	1단계	▪ 플랜트 가상 환경 구축 및 가시화 관련 선행 기술 동향 조사 및 분석, 플랜트 안전 훈련용 가상 환경 요구사항 정의 ▪ 플랜트 가상 환경 구축 절차를 수립하고 적용 플랜트 대상 소규모 가상 환경 시제를 개발 ▪ 안전 훈련 시나리오 분석에 따른 햅틱 및 휴먼 인터페이스 장치의 요구사항을 정의하고 이를 구체화하여 설계를 수행함 ▪ 햅틱 제시 시스템, 공간 상호 작용 시스템 등에 관한 소프트웨어 및 하드웨어 상세 설계 문서를 생성 ▪ 상세 설계에 기반하여 햅틱 제시 시스템, 공간 상호 작용 시스템의 하드웨어 장치를 개발하고 각 단위 기술별 테스트베드로 활용함 ▪ 햅틱 제시 시스템, 공간 상호 작용 시스템을 구동할 수 있는 제어 소프트웨어를 개발, 단위 시스템을 구동하고 테스트함
▪ 플랜트 기자재 안전 운전 정보 인터페이스 도구 ▪ 플랜트 공정 모사 도구 ▪ 플랜트 안전 훈련용 가상 환경 구축 지원 도구 패키지 ▪ 햅틱 정보 처리 소프트웨어 ▪ 플랜트 공간 탐색 소프트웨어 ▪ 통합 시스템용 연동 패키지 및 성능 평가 결과 보고서	2단계	▪ 플랜트 가상 환경 모델을 안전 정보 등의 비형상 정보와 연동할 수 있는 정보 모델 및 햅틱 디바이스 등에 제공하는 방안 개발 ▪ 플랜트 안전 훈련용 가상 환경 구축 지원 도구 패키지를 개발 ▪ 햅틱 가상 현실 시스템의 저작 도구 및 객체 연동 기술 등의 정보 처리 소프트웨어를 개발함 ▪ 단위 플랫폼별 연동을 위한 입출력 인터페이스를 정의하고 연동 시나리오를 구현하는 소프트웨어를 개발함 ▪ 전체 시스템 통합을 위한 입출력 인터페이스를 정의하고, 훈련 시나리오를 구현하는 통합 지원 소프트웨어를 개발함 ▪ 시제품 사용자 시험을 통한 단위 플랫폼별 파라미터 튜닝 및 성능 최적화 그리고 생체 신호를 사용한 몰입도 평가를 수행함

표 3-22. 3세부과제 핵심기술의 개발 목표

기술 항목	목표수준/ (현재수준)	달성여부의 측정방법	비고
플랜트 공정 모사 가시화의 동적 제어 가능 여부	85%/ (50%)	- 플랜트 공정 (유체/기체 거동, 공정 장치 작동) 모사 상태를 실시간으로 제어할 수 있는 지 확인	
플랜트 가상 환경의 햅틱 제시 시스템 및 공간 상호 작용 시스템 운전 및 제어 실감도	95%/ (80%)	- 플랜트 가상 환경하에서 운전원의 햅틱 제시 시스템 및 공간 상호 작용 시스템 운전 및 제어 가능 여부 확인	주요 목표
햅틱 정보 처리의 실시간 성능	95%/ (80%)	- 햅틱 정보 처리 (렌더링)의 실시간 속도 (1kHz 이상)	
훈련자 임무 수행 동작의 공간 상호 작용 실시간 성능	95%/ (80%)	- 공간 탐색, 장치 조작 등 임무 수행 동작에 대한 시각화 반응 속도 측정	
햅틱 상호 작용을 이용한 훈련 몰입화 성능	90%/ (70%)	- 생체 신호 측정 및 사용자 설문을 이용한 훈련 몰입도의 객관/주관적 평점	주요 목표

표 3-23. 3세부과제 성과지표 및 목표

성과 목표	성과 지표수	연차별 목표치					최종
		1	2	3	4	5	
과학기술적 연구성과 향상	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	1	2	3	4	4	14
	특허출원 건수(국내/국외)	1	2	2	2	1	6
	학술회의 발표 논문건수(국내/국외)	2	3	3	3	4	15
기술개발 역량 향상	과제당 산학연 협력 활동건수	0	1	1	2	2	6
	연구보고서	1	1	1	1	1	5
	산학연 기술지원 건수	0	1	1	1	1	4
사회 경제적 파급효과 증대	연구개발 관련 홍보 건수	0	0	1	1	1	3
	기술 확산을 위한 상호교류 정도	0	0	1	1	1	3

3.6 성과활용 방안

표 3-24. 과제 성과물 활용방안

세부과제	목표 성과물	실용화 및 사업화 방안
플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템	▪ 대상 플랜트 현장의 운전원 요구사항을 충분히 반영하여 시스템 개발 및 적용 ▪ 안전훈련시스템 패키지의 일부로 상용화 ▪ 소규모 파일럿 플랜트를 대상으로 성능 평가후에 규모가 상대적으로 큰 파일럿 플랜트를 대상으로 성능 재평가 ▪ 시스템 및 소프트웨어 특허 등록을 통한 개발 기술 및 시스템에 대한 지적재산권 확보 ▪ 플랜트 운영사, 건설사, 벤더를 대상으로 시장 조사 및 상용화 개발 추진
플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발	플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템	▪ 최종 개발품의 대상 공정을 보유하고 있는 기업에 적용 및 검증 ▪ 개발품에 대한 세부 모델 및 전체 시스템에 대한 특허 출원을 통한 지적재산권 확보 ▪ 개발 기술 및 시스템을 플랜트 OTS 시뮬레이터 개발사 및 벤더사와 협력하여 상용화 추진
햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발	햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템	▪ 개발된 패키지 및 시스템을 파일럿 플랜트에 적용 및 검증 ▪ 소프트웨어 및 특허 등록을 통한 개발 기술 및 시스템에 대한 지적재산권 확보 ▪ 개발 기술 및 시스템을 플랜트 OTS 시뮬레이터 개발사 및 벤더사와 협력하여

		상용화 추진 ▪ 국내 기업과 협력하여 플랜트 유지보수 해외 시장 진출

제 4 장 사전타당성 검토

4.1 정책적 타당성

4.1.1 국가 전략적 중요성

가. 정책적 중요성

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술은 2014년 정부연구개발 추진 방향중 “ICT 및 SW를 통한 신성장동력 창출”과 “국민안전을 보장하는 R&D 지원 강화”에 매우 높은 관련성을 가지며, 국정목표 4중 “재난 재해 예방 및 체계적 관리”에 포함될 수 있는 중요 기술임

○ 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술은 플랜트 건설 사업 독자 기술 확보를 통한 글로벌 마켓 선도를 위한 건설교통R&D중장기계획(2113-2017)에 반영되어 있는 플랜트 엔지니어링 분야 필수 기술로서, 기술 집약적 고부가가치 엔지니어링 분야의 시장 경쟁력 확보를 위한 중요 기술임

○ 국내 건설사는 해외 플랜트 입찰시 플랜트 안전 관리 계획의 수립 및 지원 도구의 제공을 요구받고 있으나 아직 국내 건설사는 플랜트 안전 관리 부문의 기술 경쟁력이 취약한 실정임. 플랜트 안전 훈련 기술의 부재는 선진국 기술 의존도 증대에 따른 외화 낭비, 대형 사업 참여 제한, 기술 종속 등의 문제가 예상됨

나. 정부지원의 타당성

○ 화학물질 유출, 화재 및 폭발사고 방지를 위해, 공정 플랜트 유지보수 인력의 전문성과 체험 지식 향상 및 유지가 필요한데, 이를 위한 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술은 다양한 기존 기술들의 융합과 첨단 연구의 대상 응용이 필요하기 때문에 일반 기업 주도의 연구개발이 힘든 상황이며, 국가주도형 사업에서 핵심 원천 기술 및 시스템 통합 기술을 확보할 필요가 있음

- 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술은 화공, 기계, IT 등 다학제 융합적 접근이 필요

한 산업 분야이며, 그 중 공정 시뮬레이션 기술과 햅틱 기술에 있어서 학계 및 연구계의 연구개발 진척 수준이 우위에 있고, 대상 공정 운전 자료와 운전 경험은 산업계에서 제공할 수 있는 부분이기 때문에, 산학연 연계를 자연스럽게 이끌어낼 수 있는 국가주도형 사업 추진이 필요함

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템은 첨단 ICT 기술을 활용한 새로운 개념의 인적자원 운영 기술로서 국내 플랜트의 국가주도형 안전도 향상 및 기반 기술을 활용한 플랜트 운영 기술의 수출에도 큰 역할을 담당할 것임

- 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술은 국내 건설사의 해외 플랜트 건설 시장 진출시 국제적인 기술 경쟁력 확보를 위한 필수 요소 기술로 대두될 것임

다. 사업추진의 시급성

○ 최근 플랜트 공정의 사고 위험 요소는 기존 플랜트 시설물이 노후화되고, 유지보수 전문 인력 또한 경험이 부족한 인력으로 대체되는 시점에서, 여러 가지 복합적인 요인으로 상존하고 있음

- 플랜트 시설의 노후 및 현장 작업 인력의 고령화는 플랜트 안전 사고의 위험성을 높이는 주요 요인이며, 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술 개발을 통해 조업자 착오에 의한 사고 발생을 막고 및 신속한 대처를 통해 사고 피해를 줄일 수 있음

○ 안전 기술의 미확보시 국가적 규모의 재난 상황 발생이 가능하고, 이러한 재난 상황 발생은 국내 플랜트 산업계의 대외 신뢰도를 추락시켜 수출에도 부정적 영향을 미침

- 우리나라와 같이 가용 국토가 좁고 인구 밀도가 높은 경우 화학 공정의 사고 발생시 대형 재난 사고로 이어져 경제적, 사회적 및 환경적 문제가 발생하게 됨

○ 전세계적으로도 플랜트 안전 훈련을 위한 가상현실 및 햅틱 기술은 초기 산업 적용 단계에 있기 때문에, 국가 차원의 연구개발 지원을 통해 선진 기술의 확보 및 미래 원천 기술이 개발이 가능함

- 안전 사고 훈련에 관한 국내 기술은 초기 단계이나 우수한 인프라 기술 (IT 및 설계 해석 기술)을 기반으로 선진 기술을 조기에 추격 가능함

○ 기술 개발 지연시 발생 가능한 문제점으로 주요 연구 성과물인 플랜트 안전훈련 시스템 구현 적기를 놓치게 됨

- 최근 국내외적으로 많은 이슈와 필요성이 거론되고 있는 플랜트 안전 분야에 적시에 적용 가능한 플랜트 안전훈련시스템의 플랜트 적용 성능 평가가 지연되고, 결론적으로는 안전훈련시스템 기술 개발이 불가하며 안전 훈련 비용 및 기간 감소, 안전 훈련 효과 증가, 안전 사고 발생율 감소 등 과제 목표 달성을 이루지 못하게 됨
- 플랜트 안전훈련시스템의 개발 및 성능 평가가 지연될 경우, 해외 플랜트 수주 고부가가치화 전략에 차질이 있음

4.1.2 상위계획과의 부합성

○ [박근혜정부 140대 국정목표] 국정목표 4 “안전과 통합의 사회” 전략 중의 하나인 “재난 재해 예방 및 체계적 관리”에 포함될 수 있는 기술임

○ [2014년 정부연구개발 추진 방향] 중 “ICT 및 SW를 통한 신성장동력 창출”과 “국민안전을 보장하는 R&D 지원 강화”에 매우 높은 관련성을 가지는 중요 기술임

○ [성장동력형 도전적 R&D 투자] 본 사업은 중동 건설 붐과 같은 제2의 해외 건설 사업 부흥기를 유발할 수 있을 것으로 예산되므로, 2012년도 “정부연구개발 투자의 기본방향”에 포함된 “성장동력형 도전적 R&D 투자에 부합됨

○ [100대 국정과제] 정부는 100대 국정과제에 “에너지 자주 개발률 제고(전략7-과제32)”를 선정하고 에너지 안보 강화를 위한 정책적인 지원을 강화하였음

○ [과학기술기본계획] 2011년도 “과학기술기본계획”에 따르면 7대 집중육성 R&D 분야에서 “국가주도기술 핵심역량 확보”분야는 투자 규모가 가장 크며, 본 연구개발 기획 내용은 이 중 플랜트 연구 사업과 연계성이 높음

○ [건설교통R&D중장기계획(2013-2017)] 플랜트 건설 사업 독자 기술 확보를 통해 글로벌 마켓을 선도하기 위한 건설교통R&D중장기계획(2013-2017)에 반영되어 있는 플랜트 엔지니어링 분야 필수 기술임

4.1.3 사업추진의지 및 관련 기관 협조 체계

○ 국토해양부에서는 “2013년 국토해양기술연구개발사업 시행계획”을 확정하고 신규 사업을 추진할 계획이며, 이 중 플랜트 연구사업은 “플랜트 건설 사업에 요구되는 핵 심공정, 기본 설계 및 실증 시설 구축을 통해 국내 적용은 물론 해외 플랜트 수출 증대를 통한 국부 창출“ 이라는 내용으로 사업을 추진

4.1.4 사업추진상의 위험요인과 대응방안

○ 빠른 성장세를 보이는 플랜트 시장, 노후화에 따른 플랜트 건설 수요 증가 및 잇따른 화학 물질 누출 및 인명 사고 등으로 인해 정부의 의지가 매우 강하며 관련 기술 확보에 대한 가능성이 매우 높음

○ 다만, 기존 플랜트 선도 기업을 중심으로 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술 시장이 확장되고 있는 것으로 관측되고 있어, 선도 기업과의 기술 격차를 신속히 추격하지 못할 경우 선도 기업의 기술 종속을 회피할 수 없을 것으로 예상되며, 시공 위주의 인력 집약적 산업에 제한적인 참여가 불가피함

○ 원자력 발전, 해양 플랜트 부문의 훈련 시뮬레이션 기술을 유사 플랜트 분야에 확장 가능하며, 국내의 햅틱 및 가상현실 연구개발 역량을 집약할 경우, 선도 기업과의 기술 격차 축소 및 시장 창출 단계에 있는 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시장의 선도가 가능함

표 4-1. SWOT 분석을 통한 위험 요소 분석

	장점 (Strength) ▪ 원자력 발전, 해양 플랜트 훈련 시뮬레이션 활용능력 높음 ▪ 플랜트 공정 모델링 능력 우수 ▪ 우수한 IT 기술 역량 ▪ 우수 인적자원 지속적 유입	약점 (Weakness) ▪ 공정 시뮬레이션 원천기술 부재 ▪ 글로벌 경쟁력 있는 업체 미흡 ▪ 제한된 국내 시장 규모 ▪ 설계 솔루션 국산화 미비 ▪ 국내 햅틱장비 제작업체 영세화
기회 요인 (Opportunity) ▪ 숙련된 운전원 고령화/퇴직 ▪ 미숙련 운전원 교육훈련 수요 증가 ▪ 조업자 교육훈련 비용 절감 및 기간 단축 요구 ▪ 안전훈련 시스템 시장 증가	SO전략 ▪ 타 부문의 관련기술을 바탕으로 안전훈련시스템 기술 개발 ▪ 공정/사고 시뮬레이션, 햅틱 기술, 가상현실 기술 기반 구축 ▪ 미숙련 운전원 대상 교육 훈련 프로그램 개발	WO전략 ▪ 공정 시뮬레이션 원천 및 응용 기술 개발 ▪ 경쟁력 있는 국내업체 지원 ▪ 해외시장 진출 기술개발 기획 ▪ 중소 규모의 햅틱 장비 제작업체 지원
위협 요인 (Threat) ▪ 선진기업의 시장 선점 ▪ 선진기업의 기술 독점 ▪ 프로젝트 비용의 상승 ▪ 가격 경쟁력 약화	ST전략 ▪ 국내 플랜트 운영사나 설계 및 건설사의 기술 개발 참여 ▪ 국내 건설사의 해외 플랜트 시장 진출에 동반 진출 추진 ▪ 친시장, 현지화 전략 수립	WT전략 ▪ 플랜트 유지보수 솔루션 국산화로 기술 유출 방지 ▪ 국내 개발 업체의 안전 훈련 시스템 개발 및 통합 역량 강화

4.1.5 검토결과

○ 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술은 2014년 정부 연구개발 추진 방향중 “ICT 및 SW를 통한 신성장동력 창출”과 “국민안전을 보장하는 R&D 지원 강화”에 매우 높은 관련성을 가지며, 국정목표 4중 “재난 재해 예방 및 체계적 관리”에 포함될 수 있는 중요 기술임

○ 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술은 다양한 기존 기술들의 융합과 첨단 연구의 대상 응용이 필요하기 때문에 일반 기업 주도의 연구개발이 힘든 상황이며, 국가주도형 사업에서 핵심 원천 기술 및 시스템 통합 기술을 확보할 필요가 있음

○ 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 기술은 화공, 기계, IT 등 다학제 융합적 접근이 필요한 산업 분야이며, 그 중 공정 시뮬레이션 기술과 햅틱 기술에 있어서 학계 및 연구계의 연구개발 진척 수준이 우위에 있고, 대상 공정 운전 자료와 운전 경험은 산업계에서 제공할 수 있는 부분이기 때문에, 산학연 연계를 자연스럽게 이끌어낼 수 있는 국가주도형 사업 추진이 필요함

○ [박근혜정부 140대 국정목표] 국정목표 4 “안전과 통합의 사회” 전략 중의 하나인 “재난 재해 예방 및 체계적 관리”에 포함될 수 있는 기술임

○ [2014년 정부연구개발 추진 방향] 중 “ICT 및 SW를 통한 신성장동력 창출”과 “국민안전을 보장하는 R&D 지원 강화”에 매우 높은 관련성을 가지는 중요 기술임

○ [건설교통R&D중장기계획(2013-2017)] 플랜트 건설 사업 독자 기술 확보를 통해 글로벌 마켓을 선도하기 위한 건설교통R&D중장기계획(2013-2017)에 반영되어 있는 플랜트 엔지니어링 분야 필수 기술임

○ 빠른 성장세를 보이는 플랜트 시장, 노후화에 따른 플랜트 건설 수요 증가 및 잇따른 화학 물질 누출 및 인명 사고 등으로 인해 정부의 의지가 매우 강하며 관련 기술 확보에 대한 가능성이 매우 높음

○ 원자력 발전, 해양 플랜트 부문의 훈련 시뮬레이션 기술을 유사 플랜트 분야에 확장이 가능하며, 국내의 햅틱 및 가상현실 연구개발 역량을 집약할 경우, 선도 기업과의 기술 격차 축소 및 시장 창출 단계에 있는 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시장의 선도가 가능함

○ 최근 국내외 요인에 의하여 플랜트 공정 및 유지보수에 대한 안전 확보 기술, 특히 인적 실수로 의한 대규모 피해 발생을 줄이기 위한 플랜트 안전 훈련 기술 개발이 시급함

4.2 기술적 타당성

4.2.1 기존사업과의 중복성

○ 국토교통부 건설교통기술연구개발사업, 타 부처 연구개발사업, 정부출연연구기관 자체수행과제에 대한 중복성 검토를 수행하였으나, 본 과제와 중복성이 제기될 수 있는 과제를 발견하지 못함

○ 산업통상자원부 LNG FSRU 설계 기술 개발 과제내 OTS 개발 관련 부분이 있으나 본 사업과의 중복성은 없음

표 4-2. 기존사업과의 중복성

사업명	과제명	유사점	차이점
소방방재청 인적재난안전기술개발사업	도로터널 화재안전성 평가 및 가상현실 기반 소방훈련 시스템 개발	가상현실 공간에서 특정 임무를 수행함으로써, 훈련자의 안전대응 능력을 향상	(기존 과제) - 도로터널 화재소방훈련 - 미리 정의된 사고 결과 CFD 시뮬레이션 - 시각적 몰입감만 제공 (본 과제) - 플랜트 조업자 대상 안전훈련 - 훈련자와의 상호 작용이 가능한 인터랙티브 시뮬레이션 - 햅틱 및 공간 현실감에 의한 첨단 가상현실 훈련 시스템
소방방재청 차세대 핵심 소방안전기술개발사업	VR 기반 소방안전대응 시뮬레이터 프로그램 개발	가상현실 공간에서 특정 임무를 수행함으로써, 훈련자의 안전대응 능력을 향상	(기존 과제) - 고층 건물 및 지하 역사 소방 대응 훈련 - 미리 정의된 사고 결과 CFD 시뮬레이션 - 시각적 몰입감 및 팀 훈련 제공 (본 과제) - 플랜트 조업자 대상 안전 훈련 - 훈련자와의 상호 작용이 가능한 인터랙티브 시뮬레이션 - 햅틱 및 공간 현실감에 의한 첨단 가상현실 훈련 시스템
한국기계연구원 주요사업 (극한 환경운용 기계 기술개발)	대형 기계설비 안전기술 개발사업	가상현실 공간에서 특정 임무를 수행함으로써, 훈련자의 안전대응 능력을 향상	(기존 과제) - 사고 발생 결과에 대한 안전 훈련 - 화재 현상 CFD 시뮬레이션 - 시각적/촉각적 몰입감 제공 - 안전 훈련 관련 기초 연구 수준 (본 과제) - 플랜트 조업자 대상 안전 훈련 - 훈련자와의 상호 작용이 가능한 인터랙티브 시뮬레이션 - 플랜트 시나리오 기반 햅틱 장치 및

			고도화된 공간 현실감에 의한 훈련 시스템
산업통상자원부 전략기술개발사업	해상 LNG 터미널 (FSRU) 엔지니어링 기술 개발	LNG FSRU용 OTS 개발 목표 포함	(기존 과제) - 화학 반응이 없는 간단한 LNG FSRU를 대상으로 함 - 공정 시뮬레이션을 기반으로 한 OTS 개발을 목표 - 실제 대상이 미확보된 상태에서 OTS 제작 (본 과제) - 화학 반응을 포함한 실제 공정 대상 공정 모델 개발 - 단순 OTS에서 진보한 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템

가. 연구 목표, 내용, 성과의 구체성

○ 연구 목표를 구체적으로 제시하고 있음

※ 연구 목표를 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발을 통한 “플랜트 신규 조업자 안전 훈련 비용 및 기간 20% 단축”, “플랜트 신규 조업자 안전 훈련 효과 20% 증가”, “햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 신규 시장 창출” 등으로 구체적으로 제시하고 있음. 훈련 비용 및 기간 감소는 명확한 측정이 가능하며, 훈련 효과 증가는 조업자 대응 시간, 임무 수행 정확도, 위험 환경 노출 시간 감소 등으로 측정 가능함. 측정 대신에 설문 조사로도 훈련 효과를 증빙할 수 있음.

○ 모든 세부과제에 대해 목표, 내용, 성과를 명확히 제시함

표 4-3. 세부과제 별 목표 및 내용, 성과

세부과제	목표	내용	성과물
1세부 과제	플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발	- 플랜트 안전 훈련 시나리오 및 평가 체계 개발 - 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 - 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 및 성능 평가	지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템
2세부	플랜트 안전 훈련 인터랙티	- 플랜트 정상 상태 공정 시뮬레이션 기	플랜트 안

과제	브 시뮬레이션 기술 개발	술 개발 - 플랜트 동적 공정 시뮬레이션 기술 개발 - 사고 시뮬레이션 기술 개발 - 통합 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발	전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템
3세부 과제	햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발	- 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술 개발 - 체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술 개발 - 체감 임무 수행을 위한 공간 상호 작용 기술 개발	햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템

나. 세부과제 목표와 연구 내용의 적절성

○ 세부과제의 내용 및 범위 등이 구체적으로 정의되었음 (3장 4절)

○ 세부과제의 기술개발 목표가 구체적으로 정의되어 있으며, 연구내용이 연차별로 서술되어 있음 (3장 4절)

○ 세부과제간 연계관계가 구체적으로 서술되었으며, 세부과제간의 역할 및 관계가 도식화 되어있어 세부과제 선정의 논리적 근거를 제시함 (3장 4절)

○ 연구개발과제의 도출 프로세스를 제시함으로써 중점추진분야 및 세부과제 도출의 적절성을 제시함 (3장 3절)

다. 기술개발 로드맵의 우수성

○ 관련 세부 또는 요소기술 도출 방법의 우수성

- 국내외 플랜트 시뮬레이션 및 햅틱기반 안전 훈련 등과 관련된 전망 자료, 논문문, 지재권 등 기술수준 분석을 통한 요소기술 도출
- 국내외 관련 기업 현장 방문 및 전문가 면담, 설문 등을 통하여 현장 애로사항, 기술 니즈 분석을 통한 요소기술 도출

○ 관련 세부 또는 요소기술별 상세 기술개발계획 제시

- 세부과제별 요소기술이 적절하게 구성되어있고, 요소기술별 개발계획을 연차별로 상세하게 제시함

○ 각 세부과제별로 기술개발로드맵 및 성과로드맵을 제시

○ 기술개발로드맵은 국내외 동향 및 환경의 분석결과를 반영함

- 각 세부과제를 도출하는데 있어서 국내외 동향 및 환경분석, 선행사업의 분석을 반영함

라. 기대성과의 활용도와 활용 계획

○ 세부과제별로 목표 성과물에 대한 실용화 및 사업화 방안이 구체적으로 제시됨 (3장 6절)

○ 실용화 대상 기술 선정, 실증 검증 방안 및 사업화 전략이 구체적으로 서술됨 (3장 6절)

○ 본 연구개발과제의 활용도를 구체적으로 제시함 (3장 6절)

4.2.3 기술수준 및 개발 성공 가능성

가. 연구개발 기반

○ 본 과제를 수행하기 위해 필요한 인프라로는 수요 업체, 요소 기술을 보유한 개발 업체, R&D를 수행할 수 있는 연구 인력 등이 있으며, 인프라 분석 결과 국내에 적합한 인프라를 갖추고 있음

○ 플랜트 공정 시뮬레이션 기술, 햅틱 및 공간 현실감 구현 기술, 가상현실 가시화 기술 등은 국내 기업, 연구소, 그리고 대학에서 연구가 되었으나 본 사업의 안전 훈련시스템 개발에 필요한 요소 기술 및 시스템화 기술에 관한 연구는 미흡한 실정임

○ 따라서, 기존의 플랜트 공정 및 ICT관련 최첨단 요소 기술과 이를 시스템화는 기술에 대한 연구는, 현재 국내의 우수 연구개발 인프라를 최대한 활용할 수 있기 때문에, 높은 수준의 연구개발 결과를 창출할 수 있을 것으로 기대됨

나. 수행 주체의 기술수준

○ 국내 플랜트 업체의 경우 플랜트 기술 도입/발전 단계에 있으나 체계적인 구조가 정립되어 있지 않으며, 효과적인 지원 시스템을 갖추고 있지 못함

○ 특히, 플랜트, 조선 등과 같이 대규모 시설 투자가 이루어지는 설비 현장에서 조차, 휴먼 에러를 줄이기 위한 체계적인 훈련 체계 또는 시스템에 대한 연구 개발 노력은 미흡한 실정임

○ 하지만, 본 사업과 관련된 플랜트 공정 시뮬레이션 및 햅틱을 비롯한 가상현실 요소 기술의 경우, 국내 학계 및 정부 출연 연구소를 중심으로 선진국에 뒤지지 않을 정도의 높은 기술력을 다수 보유하고 있음

○ 따라서, 우수한 연구 인프라 활용이 가능한 국내 학계 및 연구계를 중심으로 본 과제의 요소기술을 개발하고 시스템화할 경우, 선진국 기술에 근접하거나 또는 앞서 나갈 수 있는 기술이라 판단됨

다. 기술 개발의 기대수준

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템의 요소 기술은 타 분야에서 기초 연구가 수행되어 왔으나, 플랜트 안전 훈련이라는 목적을 바탕으로 응용 연구 개발이 수행된 적은 없으며, 연구개발 과제의 수행을 통하여 전 세계적 기술 우위 선점이 가능함

○ 안전훈련시스템 개발에 특화된 요소 기술과 시스템화 기술은 현재 상용화되지 못한 원천 기술이며, 본 분야의 기술을 선도하고 있는 해외 업체 (인벤시스)의 요소 기술 수준은 본 과제에서 제시하고 있는 요소 기술의 수준과 비슷하거나 다소 떨어진다고 판단됨

○ 전체적인 기술 수준 분석 결과, 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술은 시장 형성 초기 단계의 산업 분야로서, 국내 연구계의 요소 기술 수준과 이를 시스템화하는 기술 수준은 선진국 기술에 근접하거나 또는 앞서 나갈 수 있는 기술이라 판단됨

라. 성공 가능성

○ 국내 연구소, 대학, 산업체를 중심으로 본 사업에 필요한 다양한 분야의 요소 기술 연구 사례가 있으며, 관련 기술의 훈련 시스템 연계 개발을 통하여 본 사업의 성공적 수행 가능성을 답보할 수 있을 것으로 평가됨

○ 특히, 본 사업의 성격상 요소 기술의 원천성 확보보다는 휴먼 에러 저감 및 안전 요구사항을 반영할 수 있는 요소 기술의 응용 방향 설정과 시스템화하는 기술이 중요할 수 있으며, 따라서 국내 유수 연구 인프라 및 네트워크 활용을 통해 과제 수행의 성공 가능성을 향상할 것으로 평가됨

마. 검토결과

○ 사업의 목표 달성을 위한 접근 방안, 성능 목표치와 세부과제별 로드맵 등 수립된 기술 개발 계획이 우수함

- 국내외 사례에 기초하여 기술 전망, 기술 수준을 분석하였으며, 유관 기업 현장 방문 및 전문가 면담/설문 등을 통하여 현장 애로사항, 기술 니즈 분석을 통한 요소 기술을 도출하였음

○ 국내의 기술 개발 수준 분석 결과 성공 가능성이 우수함

- 사업의 요소 기술에 대한 연구개발 기반 확보가 우수하여 성공 가능성이 우수하며, 선진국 기술에 근접하거나 또는 앞서 나갈 수 있는 기술 개발 기대 수준을 가짐

4.3 경제적 타당성

4.3.1 경제성 분석

○ 본 연구개발사업의 직접적인 경제적 효과를 분석하기 위하여 기본가정 결정, 비용의 추정, 편익의 추정, 비용-편익분석(B/C 분석) 방법론을 조사하였으며 분석 결과의 불확실성에 대처하기 위하여 민감도 분석 방법을 연구하였음

○ 본 연구개발사업의 소요 비용의 경우 총 투입 연구비로 가정하였으며, 본 과제의 수행 기간 동안의 총 정부출연 연구비는 7,000백만원으로 설정하였음

가. 플랜트 시장 규모 전망

○ 시장규모는 2020년 이후에도 계속 증가될 것으로 추정되나, 보수적 관점에서의 경제성 분석을 위해 2020년 이후에도 2020년 정도의 수준을 유지하는 것으로 가정

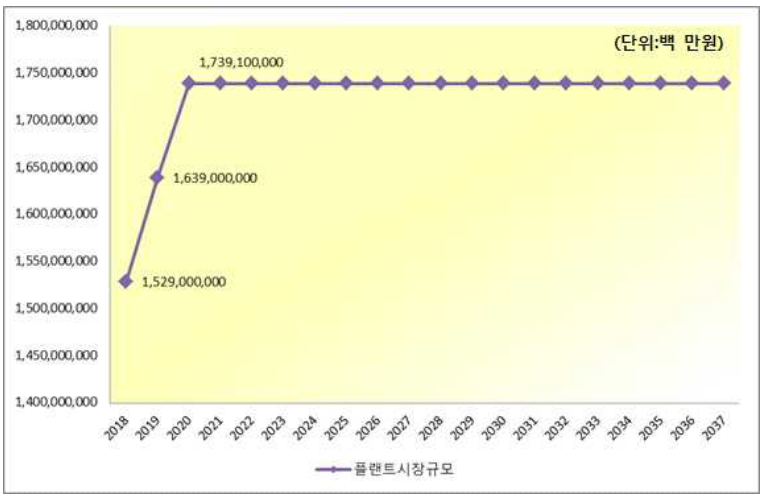


그림 4-1. 세계 플랜트 시장의 규모(1$ = 1100원)

(전세계 공개시장에 있어서 플랜트 시장의 규모 및 전망에 관해서는 ENR 자료를 참고하였음)

나. 플랜트 안전훈련 시스템 시장 규모 전망

○ ARC Advisory Group에 따르면, 세계 Operator Training Simulator (OTS) 시장 규모는 2012년 기준으로 4억 5천만달러에 이르며 향후 5년동안 연간 9%씩 성장할 것으로 예측됨

○ 오일과 가스 플랜트에서 가상 현실 기반 훈련과 시뮬레이터에 투입되는 세계 시장 규모는 2013년에 약 25억달러 정도이며, 2011년부터 2021년까지 세계 시장은 매년 평균 7.4% 성장할 것으로 예상되어 2021년에는 약 45억달러에 도달할 것으로 전망

다. 플랜트 건설 수주증가에 대한 기여도 및 부가가치 추정

○ 상기의 연구를 통한 국내사의 플랜트 건설 수주증가 시장규모 약 3.0%에 대한 본 과제의 기술 공헌도/순기여도를 추정하면 다음과 같음

- 이를 위해, 같은 방법으로 해당분야의 전문가들을 대상으로 본 과제에 대한 자세한 분석 및 토론을 바탕으로 본 과제의 기술 공헌도/순기여도를 조사한 결과 본 연구과제의 기여도는 약 5% 정도로 추정됨

○ 기여도에 근거하여 플랜트 업계의 부가가치 증가분을 추정 방법을 연구함

- 부가가치 증가분은 산업연관표의 영업이익과 순생산세 등을 고려하며, 피용자 급여 등은 제외. 또한 플랜트의 경우 발주국의 현장에서도 생산 활동이 이루어지는 점 등을 고려. 이러한 사항들을 바탕으로 업계 전문가들(경력 20년 이상, 10명)을 대상으로 면담 조사한 결과 업계의 부가가치 증가분은 약 4%로 추정됨

○ 보수적 관점에서의 경제성 분석을 위해 2020년 이후에도 2020년 정도의 수준을 유지하는 것으로 가정할 수 있음

라. 비용-편익분석 (B/C 분석)

○ 추정한 비용과 편익의 현가를 바탕으로 비용-편익분석(B/C Analysis)을 실시하였음

○ 본 사업의 비용-편익 비율을 표 4-4와 같이 산정하고, 그 결과가 4.13335이므로, 투자 대비 수익이 예상되는 양호한 연구개발 사업이라고 판단할 수 있음

표 4-4. 비용-편익분석 (B/C 분석) 표

(단위, 백만원)

편익기간	할인용 연표	년도	추정비용의 현가 (2012년도 기준)	추정부가가치 증가분의 현가 (2012년도 기준)
기준연도	0	2013		
연구기간	1	2014	1,550	
	2	2015	3,600	
	3	2016	5,600	
	4	2017	5,700	
	5	2018	3,550	
1	6	2019		6,287
2	7	2020		6,328
3	8	2021		6,305
4	9	2022		5,920
5	10	2023		5,559
6	11	2024		5,220
7	12	2025		4,901
8	13	2026		4,602
9	14	2027		4,321
10	15	2028		4,057
11	16	2029		3,810
12	17	2030		3,577
13	18	2031		3,359
14	19	2032		3,154
15	20	2033		2,961
16	21	2034		2,781
17	22	2035		2,611
18	23	2036		2,452
19	24	2037		2,302
20	25	2038		2,161
계			20,000	82,667
B/C분석			B/C=4.13335	1.00

마. 민감도 분석

○ 비용-편익분석에 큰 영향을 미치는 주요 위험변수들에 대하여 민감도 분석을 수행하여 분석결과의 변동범위를 추정할 수 있음. 주요 위험변수들과 민감도분석을 위한 이들의 변동범위를 정리하면 다음과 같음

- 할인율(%): 4.5% ~ 8.5%
- 연구를 통한 국내사의 플랜트 유지보수 시장 수주증가(%): 2.0% ~ 4.0%
- 플랜트 유지보수 시장 수주증가 시장규모에 대한 본 과제의 기여도(%): 4.0% ~ 6.0%
- 플랜트 유지보수 업계의 부가가치 증가분(%): 3.0% ~ 5.0%

○ 각 위험변수들의 변동범위 내에서 민감도 분석 방법은 다음과 같음

- 국내사의 플랜트 유지보수 시장 수주증가(2.0% ~ 4.0%)에 대한 할인율 별 B/C 비율 분석
- 국내사의 플랜트 유지보수 시장 수주증가 시장규모에 대한 본 과제의 기여도(4.0% ~ 6.0%)에 대한 할인율 별 B/C 비율 분석
- 플랜트 유지보수 업계의 부가가치 증가분(3.0% ~ 5.0%)에 대한 할인율 별 B/C 비율 분석

바. 경제성 평가

○ 상기와 같은 절차와 가정에 따라 본 과제에 대한 경제성 분석을 실시하였음

○ 분석 결과, 5년간의 연구비 투입과 그 후 20년간의 편익기간동안의 B/C 비율이 4.13335임을 고려해보면 과제의 경제적 타당성이 양호한 것으로 판단할 수 있음

- 주요 위험변수들의 변화에 따른 B/C 비율의 민감도분석 결과도 대략 정도의 범위에서 파악되고 있음. 이는 대부분의 가정조건에서 본 과제는 생존성이 강하고 거의 대부분 투입비용 대비 4배 이상의 수익력이 있다는 것을 의미함

제 5 장 연구투입 소요예산 산정

5.1 인력투입계획

표 5-1. 인력투입계획

(단위: man/month)

연차	연구내용	인력투입 (man/month)			
		수석급	책임급	선임급	원급
1차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
2차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
3차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
4차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
5차년도	1세부과제	4	8	24	11
	2세부과제	3	6	18	8
	3세부과제	4	8	24	11
	소계	11	22	66	30
계		44	88	264	120

5.2 소요예산 산정

5.2.1 예산 산정방법

○ 본 사업은 대규모 예산 (정부출연금 70억원, 민간부담금 23.9억원)이 투입되는 연구개발 사업으로 소요예산의 명확한 산출 근거를 제시하고 관련 규정 범위에서 산출해야 함

- 사업의 특성상 선행기술 개발 성격이므로 이에 적합한 정부출연금과 민간부담금의 비율을 정하고 예산이 실질적으로 핵심 기술개발에 소요되도록 함

○ 소요예산은 관련 규정 및 지침에 의거하여 편성하여 적정성과 적합성을 갖게 함

- 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 및 동 시행규칙
- 국토해양부 소관 연구개발사업 운영규정(개정 2009. 2. 11)및 동 관리지침(제정 2009. 6. 30)
- 건설교통기술연구개발사업단과제 관리지침(개정 2009. 12. 14)

○ 소요예산의 비목은 인건비, 직접비, 위탁연구개발비, 간접비로 구성함

5.2.2 소요예산

가. 전체사업 소요예산

표 5-2. 전체사업 소요예산

(단위: 백만원)

구분			1단계			2단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
소요예산	인건비		260	1,020	760	1,020	520	3,580
	직접사업비		280	1,190	890	1,190	590	4,140
	간접사업비		110	390	300	390	200	1,390
	위탁사업비		20	80	60	80	40	280
합계			670	2,680	2,010	2,680	1,350	9,390
재원조달	정부		500	2,000	1,500	2,000	1,000	7,000
	민간	현금	25	75	60	75	40	275
		현물	145	605	450	605	310	2,115
합계			670	2,680	2,010	2,680	1,350	9,390

표 5-3. 세부과제 소요예산

(단위: 백만원)

세부과제	1단계						2단계				합계		
	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도				
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	합계
1세부과제	210	70	840	280	630	210	840	280	430	150	2,950	990	3,940
2세부과제	120	40	460	160	340	120	460	160	220	80	1,600	560	2,160
3세부과제	170	60	700	240	530	180	700	240	350	120	2,450	840	3,290
합계	500	170	2,000	680	1,500	510	2,000	680	1,000	350	7,000	2,390	9,390

나. 1세부과제 연구비

표 5-4. 1세부과제 연차별, 비목별 예산내역

(단위: 백만원)

구분			1단계			2단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
소요예산	인건비		110	440	330	440	230	1,550
	직접사업비		120	500	380	500	260	1,760
	간접사업비		50	180	130	180	90	630
	위탁사업비							
합계			280	1,120	840	1,120	580	3,940
재원조달	정부		210	840	630	840	430	2,950
	민간	현금	10	30	25	30	15	110
		현물	60	250	185	250	135	880
합계			280	1,120	840	1,120	580	3,940

다. 2세부과제 연구비

표 5-5. 2세부과제 연차별, 비목별 예산내역

(단위: 백만원)

구분			1단계			2단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
소요예산	인건비		80	300	220	300	150	1025
	직접사업비		50	220	160	220	100	750
	간접사업비		30	100	80	100	50	360
	위탁사업비							
합계			160	620	460	620	300	2160
재원조달	정부		120	460	340	460	220	1600
	민간	현금	5	20	15	20	10	70
		현물	35	140	105	140	70	490
합계			160	620	460	620	300	2160

라. 3세부과제 연구비

표 5-6. 3세부과제 연차별, 비목별 예산내역

(단위: 백만원)

구분			1단계			2단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
소요 예산	인건비		70	280	210	280	140	980
	직접사업비		110	470	350	470	230	1,630
	간접사업비		30	110	90	110	60	400
	위탁사업비		20	80	60	80	40	280
합계			230	940	710	940	470	3,290
재원 조달	정부		170	700	530	700	350	2,450
	민간	현금	10	25	20	25	15	95
		현물	50	215	160	215	105	745
합계			230	940	710	940	470	3,290

제 6 장 과제 제안요구서

6.1 과제 제안요구서(RFP)

표 6-1. 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 RFP

과제명	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발
1. 연구개발목표	
	○ 최종목표 - 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 • 플랜트 신규 조업자 안전 훈련 비용 및 기간 20% 감소 • 플랜트 신규 조업자 안전 훈련 효과 20% 증가 • 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 신규 시장 창출 ○ 세부목표 - 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발 - 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발 - 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	○ 현재 국내 플랜트 건설 산업은 선진국형으로 발전하기 위한 과도기적 단계에 있으며, 고부가가치 산업으로의 전환을 위해 지능형 플랜트 엔지니어링 기술 등의 소프트웨어적인 기술 확보 필요성을 건설교통중장기 계획 등에서 제시하고 있음 ○ 2011년 일본 대지진과 지난해 국내에서 연이은 고압가스 누출사고를 계기로 석유화학시설 안전에 대한 사회적 관심은 어느 때보다 높아지고 있음. 석유화학·가스 플랜트산업은 특성상 고압과 고온의 공정이 많아 어느 분야보다 사고위험성이 높은 분야로 인식되고 있음 ○ 햅틱기반 조업자 안전훈련 시스템 기술은 플랜트 산업의 주요 경쟁력의 핵심중의 하나임. 이를 위한 기술은 안전 훈련 상황 정립 기술, 플랜트 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 플랜트 안전 훈련 환경 가상화 기술, 플랜트 공간 햅틱 현실감 구현 기술, 햅틱기반 조업자 안전 훈련 시스템 통합 기술 등으로 부분적으로 요소기술이나 선행기술이 추진되었으나 종합적인 조업자 안전훈련 시스템으로 집약하기에는 많은 기간과 투자가 선행되어야 할 것으로 보임. 또한 장기적인 시장 전망이 큰 분야로서 해외시장 진출 및 경쟁력을 확보하기 위해서는 독자적인 국내 기반기술의 발굴과 지원여건의 구축이 필요함 ○ 선진국에 비해 뒤쳐진 국내플랜트 건설산업의 가치사슬에서 기획 및 기본설계, 유지관리/운영 분야의 경쟁력이 선진기업대비 매우 낮은 수준으로 이 분야의 경쟁력을 확보하기 위해, IT 기술

	융복합화 및 햅틱기반의 조업자 안전훈련 시스템 개발은 플랜트 운영현장 및 시설의 안전성을 확보하고 신시장 및 일자리 창출을 위하여 기술개발 추진이 절실함
□ 기술동향	○ 미국 Department of Energy 산하 National Energy Technology Laboratory에서는 IGCC 3D Virtual Immersive Training System (ITS)를 개발하여 실시간 동적 시뮬레이터와 함께 차세대 저탄소 IGCC 발전소의 운전과 제어에 대비하여 운전원을 훈련시키는데 활용되고 있음. 투명한 증류탑 내부의 기체와 액체 흐름 애니메이션을 실시간 공정 시뮬레이션 데이터와 연계하여 보여주거나, 투명한 보일러 내부의 가열되는 액체와 발생되는 증기의 흐름을 보여주고, 배관으로부터 가스 누출을 보여줄 수 있음. ITS는 기존의 Operator Training Simulator (OTS)의 수준을 한 단계 높이는 교육 훈련 효과를 가져올 수 있음 ○ 이탈리아의 Politecnico de Milano에서는 Virtual Reality 기술을 보다 적극적으로 활용하여 OTS에서 관찰할 수 없는 사고 사례를 3D 고글 등을 통해 관찰할 수 있도록 개발 중임. 또한 HDA (Hydro Dealkylation) 공정을 대상으로 UniSim으로 모사, 사고 사례에 대한 데이터를 확보하고 이를 바탕으로 3D 모델에 반영하는 연계 방안을 연구 중임 ○ 기존의 플랜트 안전훈련 시뮬레이터는 시각과 청각에 기반한 시뮬레이션의 한계를 벗어날 수가 없으나, 햅틱기반 휴먼인터페이스 실감기술 적용을 통한 안전훈련 시스템은 실제 운전환경과 유사한 훈련 시뮬레이션을 통해 운전 안전성 제고에 기여 ○ 햅틱기술은 원격조작, 가상공학, 과학 데이터 처리 등 다양한 분야에서 개발 성공 및 특허가 보고된 바 있으며, 그 자체의 잠재력으로 인해 거대한 시장 창출 전망 ○ 햅틱기술의 요소기술인 웹, IT 분야의 국내 기술수준은 세계적으로 우수하지만, 현실증강, 시각처리, 운동성 등 햅틱 분야의 핵심기술은 선진기술의 약 65% 수준으로 평가 ○ 국내외적으로 산업 적용형 가상현실 기술의 성공적 적용을 통한 생산량 증대, 비용절감, 생산기간 단축 등의 성과가 보고된 바 있음 (산업 적용형 가상현실 기술 적용 분야: 자동차 생산 시스템, 선박 생산 시스템, 의료 시술, 항공기/열차/자동차의 가상운전, 가상용접, 원자력 발전소 전문가 훈련, 항만 크레인 운전자 가상 훈련 등) ○ 세계적으로 플랜트 안전 훈련 수요가 높아지고 있으나 햅틱기반의 작업자 훈련 시뮬레이터에 대한 핵심 기술을 국내업체는 아직 가지고 있지 못하며, 현재 우리나라가 보유하고 있는 플랜트 안전훈련 시스템 설계 기술도 낮은 수준으로 판단됨 ○ 국내 기업의 경우 안전 의식 부족, 투자대비 안전 훈련 효과 실증 부재, 플랜트 작업 현장에서 신개념 기술에 대한 거부감 등

이 복합적으로 작용해서 안전분야 기술력이 매우 취약하기 때문에, 선진국에서 강화되는 안전 규정을 만족시키고 해외 시장 진출을 하기 위해서는 안전훈련시스템 기술 개발이 시급함

3. 연구개발 내용

<1세부과제>

○ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발

- 플랜트 안전 훈련 예측 가능 사고 시나리오 및 평가 체계 개발
  - 위험성 평가 및 사고 이력 기반 안전 훈련 시나리오 개발
  - 예측 가능 사고 지식 베이스 기반 지능형 안전 훈련 시나리오 및 평가 체계 개발
  - 예측 가능 사고 다중 협업 안전 훈련 시나리오 생성 및 평가 모듈 개발
- 플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 개발
  - 플랜트 안전 훈련 다중 협업 시나리오 기술 개발
  - 플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 개발
  - 플랜트 안전 훈련 통합 플랫폼 구축 기술 개발
- (도시)가스 및 석유화학 플랜트 대상 햅틱기반 안전훈련시스템 적용 및 성능 검증
  - 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 통합 기술 개발
  - 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 적용 및 검증

※ 핵심기술요소(CTE) 및 단계별 기술성숙도(TRL) 목표

세부목표	플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발			유형	시스템		
프레임워크		선행 단계	시제품 제작 및 시연		현장적용		제품화/ 실용화
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도 (종료)
마일스톤 일정		'14.07	'15.09	'16.09	'17.09	'18.09	'19.09
CTE No.	기술명						
CTE 1	플랜트 안전 훈련 예측 가능 사고 시나리오 및 평가 체계	TRL 2	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5
CTE 2	플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 설계 기술 및 구현	TRL 2	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 3	햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 적용 및 성능 검증 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6

<2세부과제>

○ 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발

- 플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 기술 개발
  - 플랜트 정상 상태 공정 시뮬레이션 기술 개발
  - 플랜트 예측 가능 사고 동적 공정 시뮬레이션 기술 개발
- 플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술 개발
  - 플랜트 내 사고 유형 분석 및 시뮬레이션 방안 개발
  - 플랜트 누출/화재/폭발 사고 시뮬레이션 모듈 개발
  - 플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술 개발
- 통합 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발
  - 공정 시뮬레이션 기반 플랜트 내 사고 예측 기술 개발
  - 공정/사고 시뮬레이션 연동 알고리즘 개발
  - 가상 환경 연동 실시간 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발

※ 핵심기술요소(CTE) 및 단계별 기술성숙도(TRL) 목표

세부목표	플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발		유형	소프트웨어		
프레임워크		선행 단계	시제품 제작 및 시연	현장적용	제품화/실용화	
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도 (종료)
마일스톤 일정		'14.07	'15.09	'16.09	'17.09	'18.09	'19.09
CTE No.	기술명						
CTE 1	플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 2	플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 3	통합 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 5

<3세부과제>

○ 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발

- 플랜트 안전 훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술 개발
  - 플랜트 공정 및 사고 모사 결과 실시간 가시화 기술 개발
  - 플랜트 기자재 안전 정보 DB 인터페이스 요소 기술 개발
- 체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술 개발
  - 시나리오 구현용 다감각 햅틱 장치 및 제어/렌더링 요소 기술 개발
  - 가상 객체 연동 및 햅틱 저작/평가 기술 개발
- 체감 공간 인식 및 임무 수행 처리 기술 개발
  - 플랜트 공간 탐색용 체감 이동 네비게이터 기술 개발
  - 훈련자 임무 수행 인식 및 시나리오 인터페이스 요소 기술

개발

※ 핵심기술요소(CTE) 및 단계별 기술성숙도(TRL) 목표

세부목표	햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발			유형	장비·장치		
프레임워크		선행 단계	시제품 제작 및 시연		현장적용		제품화/실용화
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도 (종료)
마일스톤 일정		'14.07	'15.09	'16.09	'17.09	'18.09	'19.09
CTE No.	기술명						
CTE 1	플랜트 안전 훈련 환경 실감형 가상화 요소 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5	TRL 6
CTE 2	체감 안전 훈련을 위한 햅틱 제시 기술	TRL 2	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5
CTE 3	체감 공간 인식 및 임무 수행 처리 기술	TRL 2	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6

※ 과제 신청시 과제 계획서에 적용 대상 플랜트 종류 및 규모를 반드시 구체적으로 명시해야 함

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 국내외 플랜트 안전 훈련 분야의 전문가들과 산·학·연 협동을 통한 공동 연구개발팀의 구성을 추진하고 개발 단계에서부터 예상 수요처의 요구를 적극적으로 청취하여 연구 개발 목표에 직접 반영.

- 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 운전원 훈련 시스템 개발 기술에 대한 공동연구 추진

○ 파일럿 플랜트의 특정 공정을 대상으로 안전훈련시스템을 개발하기 위해 과제 초기에서부터 실제 대상을 보유한 기업이나 연구소와의 적극적인 협의 체계 구축

- 적용 대상을 선정하는 데에 있어 실질적인 수요를 가지고 있는 EPC 업체나 화학 및 에너지 업체의 참여를 유도하여 실제적인 데이터를 바탕으로 한 시뮬레이션 수행

○ 기술의 최종 수요자인 운전원의 의사 및 요구사항이 중시될 수 있도록 개발 중인 기술에 대해서도 상시 홍보 및 결과 공유 회의를 통해 최종 결과물의 수요자 만족도 향상을 도모

□ 추진체계

○ 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시스템 기술을 원천 기술, 응용 기술, 시스템 개발, 그리고 현장 적용 기술로 분류한 후 대학교, 연구소, IT 업체, 그리고 산업체 등이 참여하는 산학연 컨소시엄을 구성함으로써 기술개발의 원천성과 응용성을 모두 달성

- 산업체는 다양한 종류의 플랜트 특성을 고려한 플랜트 안전 훈련 설계에 관한 요구사항을 제시하고 산업체의 환경 및 특

	성에 부합하는 응용 시스템 개발에 참여 ○ 본 과제의 주관기관 및 공동연구기관은 연구 목표 달성을 위해 연구 내용 및 추진체계 조정에 적극 협조 ○ 선도적 위치에 있는 국내외 주요 기관, 전문가들과의 연구 협력을 추진 ○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 산학연 공동연구 추진 방안을 모색
5. 최종성과물 및 활용방안	
□ 최종성과물	○ 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시스템 및 컨텐츠 - 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼 • 예측 가능 사고 다중 협업 안전 훈련 시나리오 생성 시스템 • 플랜트 안전 훈련 다중 협업 플랫폼 • (도시)가스 및 석유화학 플랜트 대상 햅틱기반 안전훈련시스템 - 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 시스템 • 플랜트 사고 상황 공정 시뮬레이션 모델 • 플랜트 실시간 사고 시뮬레이션 모듈 • 플랜트 공정/사고 시뮬레이션 연계 프로토타입 - 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감 시스템 • 가상 환경 구축 지원 도구 패키지 • 햅틱 제시 시스템 시제품 • 체감 네비게이션 시스템 시제품
□ 실용화 및 사업화 방안	○ 기술 개발 성과물 활용을 위해서는 적용 플랜트와 적용 공정 범위의 선정과 이에 대한 응용 시스템 평가를 통해 성능 검증이 선행되어야 함 ○ 중소규모 파일럿 플랜트를 활용하여 시스템 성능 검증 및 수요조사 대상 상용급 파일럿 플랜트 선정하여 시스템 패키지 성능 평가 ○ 국내 가스 이용 설비, 석유 화학 등 국내 플랜트 운영사의 운전원 안전 훈련이나 국내 플랜트 건설사의 해외 플랜트 수주 패키지에 도입을 통해 사업화
6. 연구기간 및 소요예산	
□ 전체	○ 총사업 기간: 2014년 ~ 2018년 (4.5년) ○ 총연구비: <정부지원금: 70억 이내> - 1단계 (2014~2016년) <정부지원금: 40억 이내> - 2단계 (2017~2018년) <정부지원금: 30억 이내>
7. 기타	
	○ 해당사항 없음

6.2 평가기준 설정

6.2.1 평가 항목

표 6-2. 일반 평가 항목

기준항목	세부평가항목	배점
연구개발 목표(20점)	최종 목표/성과목표의 명확성, 타당성, 창의성	10
	연차별 연구목표/성과목표(지표) 설정의 적절성, 구체성	10
연구개발 내용(20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성	15
추진전략 및 계획 (30점)	연구개발 추진전략 및 연차별 추진체계의 합리성	10
	연구수행 방법의 적합성, 구체성, 타당성	10
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등)	10
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	연구성과 활용방안의 적절성 및 구체성	10
	개발 기술의 기대성과(기술적·경제적) 및 파급효과	10
연구책임자의 연구수행능력 (10점)	연구책임자의 연구수행·관리능력 및 관련분야 연구경험	5
	참여연구인력의 적정성 및 전문성	5
소계		100

※ 기준항목(세부평가항목 포함) 및 배점 기준이 달라질 수 있음. 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

표 6-3. 기타 평가 항목

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치
보안등급 분류 적정성 평가	보안등급 분류의 적정성을 검토하고 그 결과를 반영하여 보안등급 결정 * 관련 : 공동규정 제24조의5 제2항, 운영규정 제23조제2항제4호

가. 연구개발 목표

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발이라는 최종목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종목표를 설정하여 제시

○ 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위하여 국토교통부의 '건설교통 R&D 성과지표'에 따라 명확한 성과지표 설정과 평가기준 제시

나. 연구개발 내용

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발과 실현을 위한 체계적이고 실천적인 과제 구성이 필요함

○ 기획과제에서 제시한 연구목표 및 기술개발 요청사항에 대하여 제안과제의 적정성, 상향된 목표 제시여부 평가

○ '햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발'을 위한 '플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발', '플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술 개발' 및 '햅틱기반 플랜트 안전 훈련 체감화 기술 개발' 등과 같이 체계적인 과제구성여부 평가

○ 최종목표 달성을 위한 각 과제간 연계 여부 및 과제간 개발사항의 중복 여부 및 차별성, 적정성 평가

다. 추진전략 및 계획

○ 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 연구개발계획서에 필히 제시하며 이를 통해 향후 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한 함

○ 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진 판단

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연의 기관구성의 적정성 및 연계성. 개발기술의 검증을 통한 신뢰성 향상

○ 과제의 단계별 추진사항이 연구목표 달성을 위해 타당한가를 평가하고 연구개발사항과 이를 위한 구체적 추진방안 수립 여부

○ 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비의 적정하게 편성 여부

라. 개발기술의 실용성 및 경제성

○ 기관선정의 우선순위는 개발기술의 제품화에 따른 시장점유율 및 부가가치확대, 세계최고 수준의 기술경쟁력 확보 등으로 개발기술의 실용성 및 경제성에 초점을 두어 선정함

○ 현재 기술수준과 비교하여 목표한 개발기술의 향상정도, 기술선도국 대비 예상 수준, 기술의 경쟁력 수준 등에 대하여 정성적 또는 정량적 평가 여부

○ 연구기관 또는 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 및 사업화 방안이 성과지표의 구제적 항목으로 제시 여부

○ 개발되는 과제 결과는 실험실 내의 제한된 범위와 조건과는 달리 현장의 여건과 환경을 고려한 실질적이고 실현가능한 기술 여부

○ 개발기술의 경제적 기대성과로서 투자 및 파급효과 등에 대한 평가방안이 구체적으로 제시 여부

마. 연구책임자의 전문성 및 관리능력

○ 연구책임자는 과제 내의 세부과제 간에 유기적인 결합이 원활하게 추진되도록 할 필요가 있음

○ 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제구축은 물론 과제내에서 진행되는 과제 관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 함

○ 연구책임자는 국토교통부에서 실시하는 해당분야의 산업육성, 발전정책 및 종합계획 수립 등 관련 업무 추진 시, 기술자문 및 적극적인 업무협조 역할을 수행해야 함

6.2.2 가점 및 감점 기준

가. 연구수행 형태에 따른 가점

(1안) 일반적인 기준

○ 대기업이 주관연구기관으로서

- 중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1점
- 중소기업이 참여하는 경우 : 2점

○ 기업 이외의 기관이 주관연구기관이고, 참여기업이 있는 경우 : 1점

○ 중소기업이 주관연구기관인 경우 : 2점

(2안) 연구단 수정 기준

1) 일반과제의 경우

○ 중소기업이 주관연구기관인 경우 : 2점

○ 대기업이 주관연구기관인 경우 : 1점

○ 기업 이외의 기관이 주관연구기관이며

- 중소기업/참여기업이 1/2이상인 경우 : 2점
- 중소기업이 과제에 참여한 경우 : 1점

(단, 참여기업은 과제를 직접 수행하는 기관으로서 위탁기관 및 단순 참여기업은 제외한다.)

2) 연구단 과제의 경우

○ 산,학,연이 모두 참여하며

- 세부 주관연구기관으로 산,학,연이 각각 구성된 경우 : 2점
- 세부 주관연구기관으로 중소기업이 구성된 경우 : 1점

○ 산,학 또는 산,연으로 구성되며

- 중소기업이 세부 주관연구기관의 1/3 이상인 경우 : 2점
- 중소기업이 세부 주관연구기관으로 구성된 경우 : 1점

나. 총연구개발비에 대한 연구신청기관의 연구개발비 부담비율에 따른 가점

○ 총연구개발비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구개발비(현금)의 비율에 따라 신청기관 별로 가점 부여(단, 경쟁응모인 경우에 한함)

- 신청기관 중 연구개발비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 1.0점
- 그 외 기관은 최대 연구개발비(현금) 부담비율을 기준으로 연구개발비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여

$$\text{부여가점} = 1.0 \times \frac{\text{해당기관연구개발비부담비율}}{\text{신청기관중최대연구개발비부담비율}}$$

다. 추적평가결과에 따른 가점

○ 국토교통연구개발사업 관리지침의 가점 및 감점 기준에 따르되, 이 지침 시행 이전에 협약체결된 과제의 추적평가결과에 따른 가점 및 감점은 종전 지침에 의함

라. 보안과제 등과 관련된 가점 및 감점

○ 최근 3년 이내에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발

과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점

마. 기타

○ 기획과제에 대한 과제제안자가 본 과제의 주관(공동)연구책임자로 참여시 : 가점 2점(기입 여부)

○ 여성연구자가 신규과제 주관연구책임자로 참여시 : 가점 1점

○ 최근 3년 이내에 우수 논문(임팩트팩터 15 이상) 실적이 있는 연구책임자가 신규과제를 신청할 경우 : 가점 1점

○ 연구개발과제 선정 후 협약포기 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우 : 3점 감점

○ 연구개발과제의 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우 : 3점 감점

6.2.3 과제 공모 방안

○ 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발 과제는 ICT 융·복합 기술을 적용한 플랜트 안전 훈련 기술 개발 과제로서, 주관과제, 공동과제 및 위탁과제로 연구팀을 구성할 수 있도록 하였음

○ 본 과제는 적용 플랜트 특화 지향적인 기술로서, 중요도 측면과 총괄과제의 통합기능과 수행시기, 관리상 효율성 등을 고려하여 통합형 컨소시엄 과제의 공모 형식이 필요함

○ 본 과제는 국내 플랜트 산업의 가스안전 등 공공성이 큰 분야로서 총괄기관 통합형 컨소시엄 형태의 공모가 바람직 함

표 6-4. 연구개발 가능성 평가

평 가 항 목		점수(○표시)				
		아주 우수	우수	보통	미흡	불량
가) 연구개발의 필요성(10)	①연구개발 대상기술의 중요성 및 필요성	5	4	3	2	1
	②국토교통 R&D정책과 연구내용과의 장기적 연계성	5	4	3	2	1
나) 연구개발의 목표 및 내용(30)	①최종·연차별 목표 및 분야별 목표와의 적합성, 명확성, 창의성	10	8	6	4	2
	②성과목표 및 성과지표 설정의 명확성 및 타당성	10	8	6	4	2
	③RFP와의 적합성 ※자유공모과제의 경우 “연구개발내용의 완성도 및 실현가능성”평가항목의 배점을 10점 기준으로 변경(동 평가항목 삭제)	5	4	3	2	1
	④연구개발내용의 완성도 및 실현가능성	5	4	3	2	1
다) 연구개발추진 전략·체계 및 연구수행 방법(20)	①추진전략 및 연차별 추진체계의 합리성	10	8	6	4	2
	②연구수행방법의 적합성	10	8	6	4	2
라) 연구성과 활용 가능성(10)	①활용방안의 적절성 및 구체성	10	8	6	4	2
	②개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)	10	8	6	4	2
마) 연구수행 능력(10)	①연구책임자의 연구수행·관리능력 및 관련분야 연구경험	5	4	3	2	1
	②참여연구인력의 적정성 및 전문성	5	4	3	2	1
바) 연구시설 확보 및 연구개발비 계상의 합리성 (10)	①연구장비·시설 확보 및 활용의 적합성	5	4	3	2	1
	②연구개발비 계상·집행 및 개발기간의 합리성	5	4	3	2	1
평 가 점 수		점				

표 6-5. 연구개발과제 선정 시 가·감점 기준

구분	내 용
평가결과 등에 따른 가·감점	○ 최종평가 결과, 최우수등급(상대평가시 최상위 10%, 절대평가시 만점의 90% 이상)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 선정평가점수의 2% 가점 ○ 최종평가결과 최하위등급(상대평가 시 하위 10% 등급, 절대평가시 만점의 50% 이하)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후(연구개발참여제한에 해당되는 경우에는 참여제한 기간 만료 후) 2년간 선정평가점수의 2% 감점 ○ 최종평가결과 하위등급(상대평가 시 하위 30% 등급, 절대평가시 만점의 60% 이하)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 선정평가점수의 1% 감점 ○ 추적평가 결과, 최우수등급(상대평가 시 만점의 80%이상으로서 최상위 10%, 절대평가시 만점의 90% 이상)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 추적평가 후 2년간 선정평가점수의 2% 가점
논문실적에 따른 가점	○ 최근 3년 이내에 우수 논문(임팩트팩터 15이상)실적이 있는 자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
보안과제 수행에 따른 가점	○ 최근 3년 이내에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
기술실적에 따른 가점	○ 최근 3년 이내에 기술실시계약을 체결하여 징수한 기술료 총액이 2천만원 이상이거나, 같은 기간 내에 2건 이상의 기술이전 실적이 있는 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
연구성과 포상에 따른 가점	○ 최근 3년 이내에 공동관리규정 제17조제9항에 따라 미래창조과학부장관으로부터 우수한 연구성과로 포상을 받은 자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
신기술 또는 녹색인증에 따른 가점	○ 국토교통R&D사업 연구결과로 최근 2년 이내에 건설·교통신기술을 받은 중소·중견기업이 신기술 지정 분야와 동일한 기술분야의 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점(기술분야 분류는 전문기관의 장이 별도로 정한다.) ○ 최근 2년 이내에 「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」 시행령」제19조에 따른 녹색인증을 받은 중소·중견기업이 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
연구부정행위에 따른 감점	○ 최근 3년 이내에 운영규정 제55조제1항 각 호의 연구부정행위를 한 자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 4% 감점
협약 또는 연구 포기에 따른 감점	○ 연구개발과제 선정 후 협약을 포기하거나, 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업이 협약 또는 연구 포기 후 3년내 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 2% 감점
기업의 연구참여에 따른 가점	○ 중소기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우로서 - 중소기업의 참여율이 1% 이상 ~ 20% 미만 : 선정평가점수의 2% - 중소기업의 참여율이 20% 이상 ~ 50% 미만 : 선정평가점수의 2.5% - 중소기업의 참여율이 50% 이상 : 선정평가점수의 3% * 참여율 = (해당 제안과제의 중소기업 배정 정부출연금 합계) / (해당과제 총정부출연금) ○ 중소기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하지 않고, - 중견기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우 : 선정평가점수의 1.5% - 대기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우 : 선정평가점수의 1%
산업기술연구조합에 대한 가점	○ 산업기술연구조합이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우 : 선정평가점수의 1%
기 타	○ 여성연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점 ○ 최근 3년 이내에 조기성공 실적이 있는 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 0.5% 가점 ○「하도급거래 공정화에 관한 법률」을 최근 3년 이내에 상습적으로 위반한 기업이 연구개발과제를 신청한 경우에 그러한 위반 사실이 같은 법 제26조에 따른 공정거래위원회로부터 관계 행정기관의 장에의 통보 등을 통하여 확인될 경우 ,선정평가점수의 2% 감점

표 6-6. 세부과제별 성과지표

세부과제	기술항목	목표수준/ (현재수준)	달성여부의 측정방법
1세부과제	햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시나리오	10개/ (0개)	- 파일럿 플랜트 I 및 II 대상 햅틱기반 플랜트 안전 훈련 시나리오 생성 개수 측정
	지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼	1개/ (0개)	- 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 설계를 위한 지능형 시나리오 기반 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 개수 측정
	운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입	1개/ (0개)	- 파일럿 플랜트 I 안전훈련시스템 설계를 위한 운전원 훈련 시뮬레이터 프로토타입 구축 개수 측정
	햅틱기반 플랜트 안전훈련 시스템	2개/ (0개)	- 파일럿 플랜트 I 및 II 햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 구축 개수 측정
2세부과제	공정 시뮬레이션 모델 정확도	90%/ (80%)	- 운전 데이터와 시뮬레이션 결과간 오차 측정
	공정 시뮬레이션 속도	100%/ (50%)	- 사전 정의 시나리오 연산을 위한 계산 시간 계산
	사고 시뮬레이션 모델 정확도	90%/ (70%)	- 사고 사례 대비 오차 측정
	공정 및 사고 시뮬레이션 모델링 구체성	100%/ (70%)	- 플랜트 센서 계측 포인트 개수 대비 시뮬레이션 모델의 관찰 가능 변수 개수
3세부과제	플랜트 공정 모사 가시화의 동적 제어 가능 여부	85%/ (50%)	- 플랜트 공정 (유체/기체 거동, 공정 장치 작동) 모사 상태를 실시간으로 제어할 수 있는 지 확인
	플랜트 가상 환경의 햅틱 제시 시스템 및 공간 상호 작용 시스템 운전 및 제어 실감도	95%/ (80%)	- 플랜트 가상 환경하에서 운전원의 햅틱 제시 시스템 및 공간 상호 작용 시스템 운전 및 제어 가능 여부 확인
	햅틱 정보 처리의 실시간 성능	95%/ (80%)	- 햅틱 정보 처리 (렌더링)의 실시간 속도 (1kHz 이상)
	훈련자 임무 수행 동작의 공간 상호 작용 실시간 성능	95%/ (80%)	- 공간 탐색, 장치 조작 등 임무 수행 동작에 대한 시각화 반응 속도 측정
	햅틱 상호 작용을 이용한 훈련 몰입화 성능	90%/ (70%)	- 생체 신호 측정 및 사용자 설문을 이용한 훈련 몰입도의 객관/주관적 평점

참고 문헌

1. Ikjune Kim, Jaechul Lee, Duhwan Mun, Hongbae Jun, Jinsang Hwang, Jeong Tae Kim, Soonhung Han, “Securing design checking service for the regulation-based product design”, Computers in Industry, Vol.63, No. 6, pp.586-596, 2012
2. Ikjune Kim, Duhwan Mun, Soonhung Han, Jinsang Hwang, Chae Ho Lim, “System architecture of regulation-based design checking service supporting the extension of knowledgebase”, ACDDE 2012, 2012.12.06
3. Ikjune Kim, Soonhung Han, Duhwan Mun(Corresponding Author), Jinsang Hwang, Kyungik An, Chae Ho Lim, Jeong Tae Kim, "Design checking service supporting regulation-based product design", SDPS2011 conference, 2011.06.13
4. 문두환, 전홍배, 황진상, 임채호, “규정 지식베이스 구축을 위한 규정 모델과 제품 모델의 통합 이슈”, 2012 한국CAD/CAM학회 하계학술대회, 2012.08.23
5. 이재철, 문두환, 황진상, 임채호, “압력용기의 설계 검증을 위한 KS 표준들의 관련 규정 분석”, 2012한국CAD/CAM학회 학술대회, 2012.02.01
6. 문두환, 전홍배, 황진상, 김정태, “설계 검증 서비스의 구현을 위한 제품 온톨로지의 개발”, 2012한국CAD/CAM학회 학술대회, 2012.02.01
7. 이재철, 김익준, 문두환, 전홍배, 안경익, 임채호, 한순흥, “규정 기반 설계 지원을 위한 규정 지식베이스 구축 절차: 압력용기 사례 연구”, 대한기계학회 추계학술대회, 2011.11.02
8. Dong Jin Yeo, Moohyun Cha, Duhwan Mun, “Simulating ship and buoy motions arising from ocean waves in a ship handling simulator”, Simulation, Vol. 88, No. 12, pp. 1407 – 1418, 2012
9. Duhwan Mun, Hojin Hwang, Sekil Park, Jaeyong Oh, “Real-time 3D Visualization with an Open Source 3D Graphics Engine for Maritime Safety Simulation”, Martech 2010, 2010
10. 황태현, 오재용, 황호진, 김병철, 문두환, “공개형 3D 그래픽 엔진을 활용한 선박 운항 시뮬레이터용 실시간 3D 가시화 시스템 개발”, 한국항해항만학회지, Vol. 35, No. 3, pp. 187-195, 2011
11. 황호진, 문두환, “선박 운항 시뮬레이션 가시화를 위한 그래픽 렌더링 엔진 기술의 개선 방향”, 한국항해항만학회지, 34권, 3호, pp. 153-160, 2010
12. 김익준, 문두환, 한순흥, 황진상, “규정에 기반 한 설계 검증 방법에 대한 개관”, 2011 한국CAD/CAM학회 학술대회, 2011
13. SMARTCODE builder, Building Codes & Regulations, http://www.aec3.com/downloads/BuildingRegulations.pdf, 2009
14. Drogemuller R, Jupp J, Rosenman MA, Gero JS. Automated code checking. in the proceedings of Construction Innovation, Clients Driving Innovation International Conference, 2004
15. Faucher D, Nivet M. Playing with design intents: integrating physical and urban

constraints in CAD. Automation in Construction 2000;9(1):93-105
16. 주정민, 유호선, “관련규정 검토 프로그램 활용 시 압력용기 설계시간 단축 효과”, 플랜트 저널. 2012;8(1):60-72
17. 차무현, “가상현실과 기계기술”, 중도일보 사이언스 컬럼(2011.11.08), pp.21, 2011
18. 차무현 외, “엔지니어링 검토용 시뮬레이터 구축을 위한 VR/AR 프로그램 패키지 개발 방법”, 한국CAD/CAM학회 학술발표회, 2011
19. 차무현 외, “실시간 가시화 기술을 이용한 자기부상열차 품평 시스템의 개발 및 활용”, 한국CAD/CAM학회 학술발표회, 2010
20. 차무현 외, “유탄성 해석데이터 처리를 통한 초대형 해상구조물의 가상 목업 가시화 기술 개발”, 한국정보처리학회 추계학술대회, 2010
21. Moohyun Cha and et al., "A Virtual Rality based Fire Training Simulator integrated with Fire Dynamics Data", Fire Safety Journal, Vol.50, pp.12-24, 2012
22. 차무현 외, “전산수치해석 기반 화재훈련 VR 시뮬레이터 개발”, 한국캐드캠학회 논문집, 14(4):271-280, 2009
23. 이재경 외, “대형 복합건물을 대상으로 하는 소방관 팀 훈련용 시뮬레이터 개발”, 한국CAD/CAM학회 논문집, 16(5):370-379, 2011
24. 차무현 외, “엔지니어링 데이터를 이용한 체험 훈련용 VR 시뮬레이터의 개발”, 한국CAD/CAM학회 하계학술발표회, pp.786-787, 2012
25. 차무현 외, “트레드밀을 이용한 가상현실 보행 인터페이스의 개발”, 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회, pp.961-962, 2012
26. 허영철 외, “대형 플랜트 공정설비의 안전기술 개발”, 대한기계학회 추계학술대회, pp.1712-1715, 2012
27. Moohyun Cha and et al., "A Design of Virtual Reality Interfaces for Emergency Response Training", Proc. of ASPP (Asia Pacific Symposium on Safety), pp.578-580, 2011
28. 차무현 외, “사고 대응 훈련을 위한 가상현실 시뮬레이터의 설계”, 대한기계학회 추계학술대회, pp.2056-2058, 2012
29. Jaekyung Lee and et al., "A Design of Emergency Response Training Platform for Process Plants", Proc. of ASPP (Asia Pacific Symposium on Safety), pp.561-563, 2011
30. 최석원, 송병훈, 정지은, “USN기반의 스마트 플랜트안전 프레임워크 기술”, 한국컴퓨터종합학술대회논문집, 제27권 제1호, pp.436~439, 2010
31. 오상훈, 여영구, “OOUS : 유틸리티 플랜트의 교육용 최적운전시스템”, 화학공학, 제46권 제1호, pp.147~155, 2008
32. 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
33. Dave Gehman, Dynamic Processes Call for Virtual Plant Technology, Automation World, August 2012, 40-41

34. Salman Nazir, Roberto Totaro, Sara Brambilla, Simone Colombo, Davide Manca, Virtual Reality and Augmented-Virtual Reality as Tools to Train Industrial Operators, Computer Aided Chemical Engineering, Volume 30, 2012, Pages 1397-1401
35. Tom Fiske, Dick Hill, 3D simulation brings immersive dimension to operator training, ARC insights, 2010
36. Faucher D, Nivet M. Playing with design intents: integrating physical and urban constraints in CAD. Automation in Construction 2000;9(1):93-105
37. Ko-Ryuh Kim and et al., "Development of Desktop Severe Accident Training Simulator", Nuclear Engineering and Technology, Vol. 42, No. 2 Apr. 2010
38. 산업 적용형 가상현실 기술, 전자통신동향분석 제26권 제1호 2011. 2
39. 실감기술기반 화재진압 훈련 시뮬레이터 테스트베드 구축 사업 기획연구
40. 소방방재청, 소방훈련실감기술개발사업 보고서, 2010. 5
41. 김상연 외, "사용자 경험에서 본 Applied Haptics 입문", CG&A review, pp. 6 ~ 17, 2012
42. 김상연 외, “셀룰로오스 아세테이트 기반의 햅틱 액츄에이터”, 한국정밀공학회, vol. 28, no. 11, pp. 1259 ~ 1264, 2011
43. S.Y. Kim et al, " Application of Magnetorheological Fluids for a Miniatured Haptic Button: Experimental Evaluation", Journal of Intellligent Material Systems and Structure, pp. 1025 ~ 1031,2012
44. S.Y. Kim et al, " Lorenz force-based Miniature Vibrotactile Actuator for Mobile Devices", Wulfenia, pp. 239~252, 2012
45. Vision Gain, Oil & Gas Virtual Reality (VR) Training and Simulation Market 2011-2021
46. 한국산업안전공단, 중대산업사고 사례집, 2003. 12
47. 이재우, “플랜트 시장 전망과 우리나라 플랜트 산업 경쟁력 분석”, 수은해외경제, pp. 4-21, 2011. 6
48. 윤인섭, 박교식, 공정안전공학, 2007
49. 국립환경과학원, 유해 화학 물질 사고 사례집, 2007
50. U.S. Department of Energy, “Root Cause Analysis Guidance Document”, 1992

주 의 사 항
1. 본 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁 시행한 건설교통연구기획사업의 최종 연구보고서입니다. 2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁시행한 건설교통연구기획사업의 연구내용임을 밝혀야 합니다. 3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 안됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ **문의처** : 국토교통과학기술진흥원 TEL 031) 381-6311
고등기술연구원 TEL 031) 330-7457

햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 기획

■ 발행일 / 2013. 9. 30
■ 발행처 / 고등기술연구원
경기도 용인시 처인구 백암면 고안리 633-2
TEL : 031) 330-7457

■ 인쇄처 /