

다중협업이 가능한 AR 기반 화학공정 운전원 교육 시뮬레이터(OTS-Simulator) 개발

이준서¹, 마병철^{2*}, 안수빈³

¹전남대학교 화학공학과 학생, ²전남대학교 화학공학과 교수, ³국립재난안전연구원 연구원

Development on AR-Based Operator Training Simulator(OTS) for Chemical Process Capable of Multi-Collaboration

Jun-Seo Lee¹, Byung-Chol Ma^{2*}, Su-Bin An³

¹Student, Department of Chemical engineering, Chonnam National University

²Professor, Department of Chemical engineering, Chonnam National University

³Researcher, National Disaster Management Research Institute

요약 인적오류로 발생하는 화학사고를 예방하고자 첨단 기술을 응용한 화학사고 예방 및 대응 훈련 프로그램을 개발하였다. 기존에 구축된 파일럿 플랜트(pilot plant)를 바탕으로 가상의 공정을 설계한 후, 화학사고 대응 콘텐츠를 개발하였다. 콘텐츠 구현을 위하여 파일럿 설비 일부를 개조하여 원격제어기능을 부여하였다. 또한, 가상환경에서 설비를 제어할 수 있는 DCS 프로그램을 개발하였으며, AR과 연동하여 최종적으로 가상의 화학사고를 대응할 수 있는 화학공정 운전원 교육(OTS)을 개발하였다. 이를 통해 훈련자가 직접 장치를 조작해봄으로써 운전역량을 쌓을 수 있고, 가상의 화학사고를 대응함으로써 비상시 대처능력을 기를 수 있었다. 본 연구와 같은 차세대 OTS가 화학산업에 널리 보급된다면 인적오류에 의한 화학사고를 예방하는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

주제어 : 증강현실(AR), 분산제어시스템(DCS), 운전자교육시뮬레이터(OTS), 다중협업 훈련, 원격제어시스템

Abstract In order to prevent chemical accidents caused by human error, a chemical accident prevention and response training program using advanced technology was developed. After designing a virtual process based on the previously built pilot plant, chemical accident response contents were developed. A part of the pilot facility was remodeled for content realization and a remote control function was given. In addition, a DCS program that can control facilities in a virtual environment was developed, and chemical process operator training (OTS) that can finally respond to virtual chemical accidents was developed in conjunction with AR. Through this, trainees can build driving skills by directly operating the device, and by responding to virtual chemical accidents, they can develop emergency response capabilities. If the next-generation OTS like this study is widely distributed in the chemical industry, it is expected to greatly contribute to the prevention of chemical accidents caused by human error.

Key Words : Augmented Reality(AR), Distributed Control System(DCS), Operator Training Simulator(OTS), Multi-collaboration training, Remote control system

*This research was conducted with the support of the Graduate School of Chemical Characterization hosted by the Korean Ministry of Environment

*Corresponding Author : Byung-Chol Ma(anjeon@jnu.ac.kr)

Received November 30, 2021

Revised January 5, 2022

Accepted January 20, 2022

Published January 28, 2022

1. 서론

국내 주요 석유화학 산업은 20년 이상 가동되어, 시설 노후화로 인한 화학사고 위험성이 증대하고 있다[1]. 여기에, 운전 경험이 풍부한 숙련된 운전원의 잇따른 퇴직으로 석유화학 공정에서 발생할 수 있는 여러 복합 상황에 대한 대처능력이 저하되고 있으며, 미숙련 인력(신입사원 등)에 대한 운전 교육 역시, 이론 위주의 교육과정으로 진행되어 교육의 효과가 낮고, 실제 상황에서도 적용하기 어려운 실정이다[2,3]. 따라서, 운전원의 공정 운전 역량과 비상시 대처능력을 배양할 수 있는 획기적인 교육훈련 프로그램 개발이 절실하다.

이에 최근에는 Yokogawa 등 국외의 공정 솔루션 기업에서 AR(증강현실)/VR(가상현실)과 같은 첨단 기술을 활용한 운전자 교육 시뮬레이터(OTS, operator training simulator)를 개발하고 있으며, 이를 통해 운전자에게 실제와 유사한 사용자 경험을 제공하고 있다. 국내 연구기관 및 화학산업에서도 첨단 기술을 활용한 OTS가 한창 개발 중에 있으며, 교육과정 개설 등 상용화에도 힘쓰고 있다[4]. 하지만 실제 현장에서 사용하는 DCS(distributed control system) 기반의 공정 제어 프로그램을 도입한 훈련 프로그램은 여전히 부족하다. 또한, VR 교육의 경우, 컨트롤러에 의존하여 진행되었기에, 그래픽 측면에서의 사실감은 뛰어나지만 훈련자가 직접 조작해보는 체험적 측면에서의 현장감은 다소 보완이 필요하다.

본 연구에서는 AR 기술을 OTS에 적용하여 운전원이 실제 장치를 조작해보므로써 운전역량을 쌓을 수 있는 교육 프로그램을 개발하였다. 더불어, DCS 프로그램을 연동하여 현장 작업자와 제어실 운전원이 다중협업할 수 있는 새로운 방식의 훈련 프로그램을 개발하였다. 이를 위해, 기존에 구축된 파일럿 플랜트(pilot plant)를 활용하여 교육 콘텐츠를 개발하였다. 우선, 파일럿 플랜트의 가상 운전조건을 도출하였고 다음으로 원격제어가 가능한 DCS를 구축하였다. 또한, 가상의 화학사고를 현장 작업자와 제어실 운전자가 소통하며 대응할 수 있는 다중협업 시나리오를 개발하였다. 최종적으로 AR 기술과 DCS를 연계한 OTS를 개발하였다.

본 연구의 2장에서는 첨단 기술이 도입된 화학산업 OTS를 분석하여 시사점을 도출하고, 3장에서는 파일럿 플랜트를 기반으로 한 가상의 공정 설계 내용을, 4장에서는 화학사고 대응 시나리오 개발방법에 대해 기술하였다. 5장에서는 시나리오 적용을 위한 원격제어기

능, DCS, AR 시스템 구축에 대해 서술하였으며, 마지막 6장에서는 본 연구의 결론으로, 첨단 기술을 활용한 OTS 개발 및 보급을 통해 화학사고의 주 원인인 인적 오류 저감 방향을 제시하였다.

이 연구를 통해 화학사고의 현장감을 훈련자들에게 제공하며, 훈련자들은 AR 장비를 통해 몰입감 높은 훈련을 진행할 수 있다. 특히, 본 연구에서는 제어실과 현장과의 긴밀한 상호협력을 통해 화학사고를 해결해나가는 콘텐츠를 개발하였으며, 실제 장치를 조작해본다는 점에서 기존의 교육 훈련보다 실용성 있는 사고 대응 교육 프로그램이 될 것이다.

2. 선행연구 분석

화학산업에서는 전문인력 양성을 위하여 시뮬레이션, AR/VR 등 첨단 기술을 교육 프로그램에 적용시키고 있다[5]. 특히 Lab Scale의 실험, 화학 공정 설계, 공정 운전, 유지 보수 교육에서도 AR/VR 기술을 접목한 다양한 프로그램 등을 개발하고 있다[6,7].

이러한 AR/VR 기술은 사용자에게 완전 몰입할 수 있는 능동적인 경험 환경을 제공하고, 복잡한 개념을 시각화하여 표현할 수 있어 교육효과를 더욱 향상시킬 수 있는 장점이 있다[8,9]. 여기에, 게임 기반의 학습요소를 추가시켜, 사용자의 상호 작용모델을 도입하게 되면 교육 참여도를 극대화시킬 수 있다[10].

이러한 AR/VR 기술을 화학산업의 OTS에 적용하면, 화학물질과 화학설비 등 위험 요인을 다루지 않는 안전한 환경에서 화학사고 시나리오 구현하여 훈련자들의 사고대응 역량을 증대시킬 수 있어 현재 관련된 연구가 매우 활발히 진행되고 있다[11,12].

Carlo Pirola의 연구에서는 AVEVA의 DYNOSIM 소프트웨어를 통해 CDU(crude distillation unit) 공정의 화학·물리적 거동을 나타낸 후, AVEVA의 EYESIM 소프트웨어로 CDU 공정을 가상으로 구현하였고, 가상 환경에서 구현된 설비들을 조작해보므로써 공정운전 절차 교육이 가능한 EYE4EDU(EYEsim for EDUCation)을 개발하였다[13].

Shu-Guang Ouyang의 연구진은 대규모 3D 게임에 주로 사용되는 Unity 3D 엔진을 화학산업에 적용시켜 화학 공정을 가상환경에 구현하였다. 또한, 훈련자가 가상현실에서 펌프와 같은 화학 설비들을 조작·제어해 보거나 2인 이상의 작업자가 협업하여 화학사고를 대

처하는 안전 교육 프로그램 플랫폼을 개발하였다[14].

Damian Schofield는 반응기와 증류탑 등으로 이루어진 연속식 중합 공정을 VR로 구현하였으며, 조이스틱 등의 장비를 이용하여 가상현실 속 화학 설비의 설치 방향 및 배치 등에 대한 교육이 가능한 ViRILE (virtual reality interactive learning environment)를 개발하였다[15].

Atsuko Nakai의 연구진은 VR을 이용하여 화학산업의 안전 교육 프로그램을 개발하였다. Field man에게는 실제 화학공장과 유사한 VR System을, Board man에게는 Dynamic Plant Simulator를 제공하며, Operation Support를 통해 상호 연결한 후, 비정상상황 훈련 시나리오를 부여하여 대응 조치할 수 있도록 교육 프로그램을 개발하였다[16].

Simone Colombo의 연구에서는 C3/C4 분리 공정을 바탕으로 발생할 수 있는 누출, 화재 등의 사고 유형을 VR로 표현하였고, 해당 사고유형을 시나리오로 제작하여 제어실 운전원(control room operator)와 현장 운전원(field operator)의 협업을 통해 해결할 수 있는 훈련 프로그램을 개발하였다[17].

Janos Puskas의 연구에서는 이소프로필알콜(IPA) 생산 공정을 Honeywell의 UniSim 소프트웨어를 사용하여 동적 시뮬레이션하였고, VBA(visual basic for applications) 프로그래밍 언어로 DCS 프로그램을 개발하였다. 이를 통해 가상의 환경에서 각 설비들을 운전할 수 있으며, 화학사고 시나리오 및 알람 시스템을 도입하여 운전자의 안전 교육을 진행할 수 있도록 하였다[18].

선행 연구 분석 결과, 화학산업의 OTS는 실제와 유사한 환경과 발생 가능한 화학사고 시나리오를 제공하여 사용자의 몰입감을 향상시키고자 하였으며, HMD (head mounted display) 또는 조이스틱을 이용하여, 가상의 환경에서 설비들을 조작할 수 있도록 개발되었다. 다만, DCS 기반의 운전원 교육 프로그램과 연동 사례는 다소 부족한 것으로 확인되었다. 또한, VR 교육의 경우, 컨트롤러에 의존한 교육 프로그램이 대부분이었다. VR은 그래픽 측면에서의 사실감은 뛰어나지만 훈련자가 직접 조작해보는 체험적 측면에서의 현장감은 다소 부족하였다.

본 연구에서는 실제 화학설비 및 장치를 직접 보고, 조작할 수 있다는 증강현실 훈련의 이점을 바탕으로, 사용자에게 현실감을 제공하는 OTS를 개발하고자 하

였다. 또한, 원격제어기능을 갖춘 DCS를 개발하여 제어실 운전원과 현장 작업자 간의 상호협력 교육 체계를 구축하여 교육의 효과를 높이고자 하였다. 최종적으로는 밸브 등과 같은 물리적 장치와 DCS 및 AR 시스템을 연계한 차세대 화학 공정 운전원 교육 시뮬레이터를 개발하고자 하였다. Fig. 1은 본 연구에서 구현한 교육 프로그램의 체계이다.

3. 교육용 화학공정 설계

3.1. 국내 연구기관의 Pilot plant 분석

현재 환경부 화학물질안전원에서는 화학 설비 교육을 위하여 Fig. 2와 같이 AR 훈련용 파일럿 플랜트를 구축하여 교육 등에 활용하고 있다.

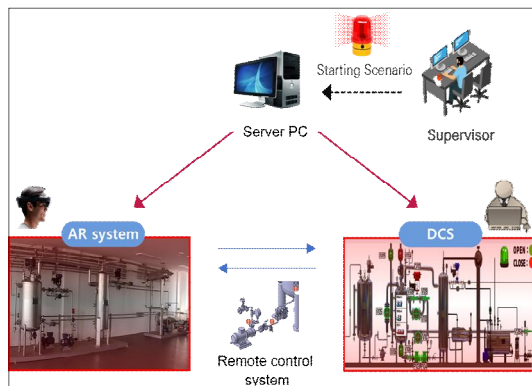


Fig. 1. AR based OTS structure for multi-collaboration



Fig. 2. Pilot Plant Site Photos

설치된 파일럿 플랜트는 일반적인 화학 공정과 유사하게 원료 입고, 원료 투입, 반응, 증류, 제품 출하, 폐가스 처리 단계로 구성되어 있다. 탱크로부터 출하된 원료가 저장탱크로 저장되며, 저장된 원료가 반응기로 공급되어

다른 원료와 반응 후, 증류탑으로 이동하여 정제 및 순환 되는 공정이다. Fig. 3은 해당 파일럿 플랜트의 Block diagram이며, Fig. 4는 해당 파일럿 플랜트의 PFD 이다.

본 연구에서는 위 파일럿 플랜트 공정을 가상으로 운전하고, 화학사고 시나리오에 따라 훈련자들이 협업하여 대응할 수 있는 OTS를 개발하였다.

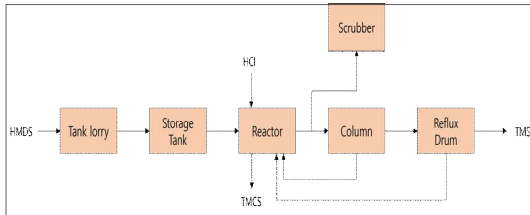


Fig. 3. Pilot plant Block Diagram

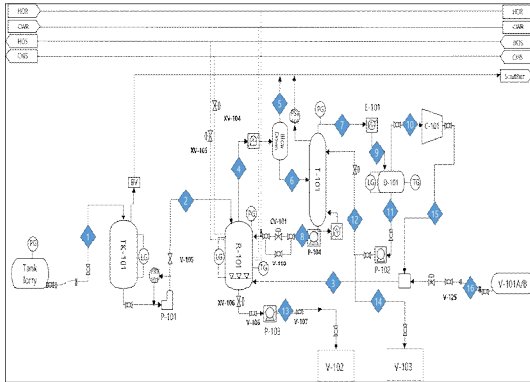


Fig. 4. PFD(Process Flow Diagram) of Pilot plant

3.2. 훈련용 공정 운전조건 도출

Aspen Plus V11 공정 모사 프로그램을 사용하여 파일럿 플랜트의 공정 운전조건을 도출하였다. 우선 주어진 전화술과 화학양론의 정보를 활용하여 Rstocic 반응기를 설계하였다. 이후 단순한 증류탑 모델인 DSTWU를 사용하여 증류탑의 기본 정보를 얻은 후, RadFrac 모델을 활용하여 94% 순도의 제품을 제조할 수 있는 공정 운전조건을 도출하였다. Fig. 5는 Aspen 구동 화면을 나타내었으며, 도출된 훈련용 공정의 운전 조건은 Table 1과 같다.

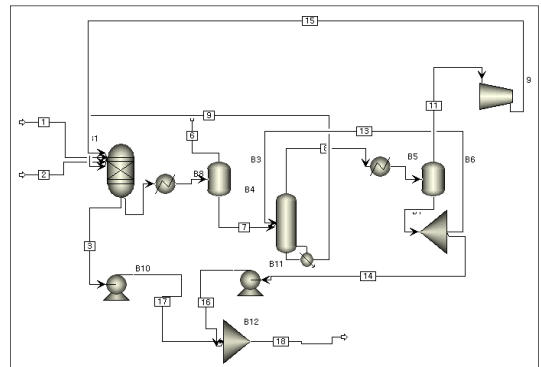


Fig. 5. Aspen Plus's driving screen

Table 1. Operating conditions of the training process

	TK-101	R-101	T-101	D-101
Volume (m ³)	0.5	0.3	0.1	0.2
Operating Temperature (°C)	25	60	80	25
Operating Pressure (°C)	0	5.2	2.1	2.1

위 조건을 정상상태(steady state)로 간주하여, 화학 사고 대응 시나리오를 개발하였다.

4. 화학사고 대응 시나리오 개발

4.1. 화학사고 대응 시나리오 도출

OTS의 교육효과를 높이고자 실제 산업 현장에서 발생한 사고사례를 분석하여 사고대응 시나리오를 개발하였다. 이를 위해 한국 환경부 화학물질종합정보시스템을 활용하여 2014년부터 2021년 8월까지 발생한 화학사고 657건을 분석하였다. 그 결과, Fig. 6과 같이 저장탱크 등의 저장시설, 탱크로리 등의 운송차량, 배관 및 플랜지 등의 운송시설, 밸브 등의 제어시설, 반응기, 액위계 등의 계측장치, 펌프 및 압축기 순으로 사고가 빈번하게 발생하는 것을 알 수 있었다.

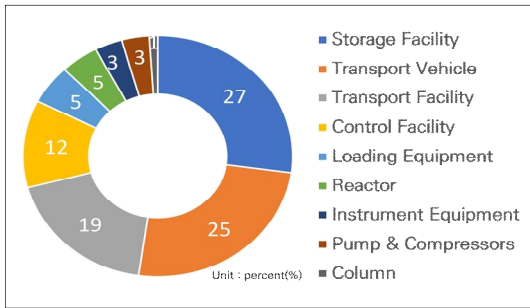


Fig. 6. Statistics on accidental chemical facilities and devices

위 사례 중, 실내에서 교육이 어려운 탱크로리 및 로딩 시설을 제외한 후, 반응기를 중심으로 주요 사고발생 설비에 대한 훈련이 가능하도록 Fig. 7과 같이 총 6개의 시나리오를 선정하였다.

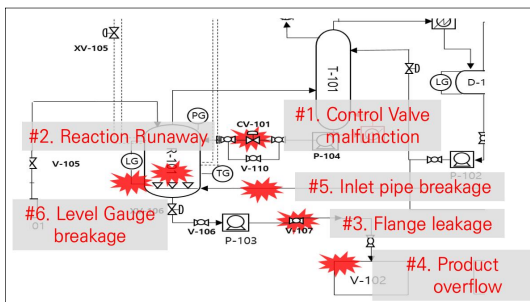


Fig. 7. Composition of accident scenario

4.2. 사고대응 시나리오 개발

OTS 훈련을 초급·중급과정으로 나눠 개발하였다. 초급 과정인 경우, 누출 사고가 아닌 설비 자체에서의 오작동 및 이상반응으로 인한 시나리오를 적용하였다. 초급 과정의 훈련 목적은 비정상상황을 인식하고, 대처할 수 있는 역량 향상이며, 제어실 운전원(board man, BM), 현장작업자(field operator, FO), 상황 팀장(chief, CH)이 원팀을 이루어 훈련하도록 하였다.

중급과정에서는 누출 사고 시나리오를 적용하였다. 비정상상황 인식, 관련 밸브 조작, 누출방제 및 확산차단 등 화학사고 대응의 전 과정을 다룰 수 있도록 시나리오를 설계하였으며, 제어실 운전원 2인, 현장 작업자 2인, 상황팀장 1인이 원팀을 이루어 훈련하도록 하였다. 아래의 Table 2는 초급과 중급과정의 훈련 시나리오에 대한 개요이다.

Table 2. Overview by scenario

Contents	Course	Purpose	Composition
#1	Beginning	Appropriate response to errors in the facility	FO 1 person
#2			BM 1 person
#3	Intermediate	Rapid response to accidents and the process of sealing leakage	CH 1 person
#4			FO 2 people
#5			BM 2 people
#6			CH 1 person

시나리오가 시작되면, 상황팀장은 사고에 대해 정확히 인식하고, 훈련자들에게 적절한 대응을 요구하는 등 훈련을 총괄하는 역할을 담당한다. 현장 작업자와 제어실 운전원은 상황 보고 및 상황팀장의 지시에 따른 해당 밸브와 설비를 조작하여, 제한된 시간 내에 주어진 임무를 완수하도록 하였다.

누출 사고 시 사고발생, 사고대응, 사고수습 단계로 구분하여, 화학사고 대응 과정의 체계적인 교육을 진행할 수 있도록 사고대응 시나리오를 개발하였다. 사고 발생 시에는 사고 상황을 신속하고 정확하게 보고하도록 하며, 사고대응 단계에서는 개인보호구 착용과 수동 안전장치, 능동안전장치 작동 훈련을 진행하며, 사고수습단계에서는 제독 등에 대한 과정을 교육한 후, 훈련이 종료되도록 설계하였다[19].

화학사고 대응 시나리오에는 국내 연구기관의 화학사고 대응 교재를 기반으로 각 컨텐츠에 따른 세부행동 절차를 작성하였으며, 개요, 과정, 훈련 상세 내용, 상황 연출로 나누어 시나리오를 구성하였다. 시나리오의 개요에는 훈련단계와 소요시간, 훈련 코드를 작성하였으며, 훈련 상세 내용에는 훈련자의 역할별로 보고, 지시, 조작과정 등을 상세히 기록하였다. 마지막으로 상황 연출에는 제어실 운전원이 다루는 DCS 화면과 현장 작업자가 보는 AR 화면에서의 배경 연출에 대한 내용을 작성하였다. 자세한 내용은 Fig. 8과 같다.

또한, 훈련자들간의 동시다발적인 상호작용을 통하여 사고 대응의 전 과정을 해결할 수 있도록 시나리오를 개발하였다. 현장 작업자와 제어실 운전원이 각자의 조치를 취한 후, 이를 상황 팀장에게 보고하고, 상황팀장은 사고 상황에 따른 적절한 조치를 지시함으로써, 현장과 제어실의 다중협업이 가능하도록 하였다.

Purpose		Improving operation and emergency response skills.			Course		Beginning	
Accident		Reduction of the liquid level of the reactor due to malfunction of the reflux supply valve (CV-101)			Number of trainees		Chief(CH) 1 Person / Board Man(BM) 1 Person / Field Operator(FO) 1 Person	
Step	Contents	Code	Time	Detail Scenario			Directing the situation	
				Chief(CH)	Board Man(BM)	Field Operator(FO)	DCS	AR
Accident occurring	Situation propagation	SI-1	1' 00"	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Check the abnormal situation <ul style="list-style-type: none"> - Check the flow rate of substances entering the reactor. - It is confirmed that the flow rate in the reflux pipe is lower than the normal state. [Report] Tell the field trainer that CV-101 is malfunctioning. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Check the abnormal situation <ul style="list-style-type: none"> - Check the flow rate of substances entering the reactor. - It is confirmed that the flow rate in the reflux pipe is lower than the normal state. [Report] Tell the field trainer that CV-101 is malfunctioning. 		<ul style="list-style-type: none"> - Providing flow rate information of pipes flowing into the reactor 	<ul style="list-style-type: none"> - Red mark on the screen.
Accident Response	Equipment operation	EC-1	3' 30"	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Open the bypass valve [Instructions] Request the control room operator to close CV-101 valve. [Instructions] Request the control room operator to open bypass valve. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Shut off the malfunctioning valve. - Close the malfunctioning valve(CV-101) by clicking in DCS. [Report] "...The reflux inlet valve (CV-101) has been shut off..." 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Open the bypass valve - After closing the V-109 and V-108 valves in order, open the V-110 valve. [Report] "...Bypass valve opening has been completed..." 	<ul style="list-style-type: none"> - Valve ON/OFF operation when clicking the valve - Valve ON/OFF indication according to on-site valve operation 	<ul style="list-style-type: none"> - Provide valve shut-off direction guide - Provides pump operating status

Fig. 8. Example of Training Scenario

5. 훈련 시스템 구성

5.1. 원격제어 인프라 구축

다중협업 훈련이 이루어질 수 있도록 각 설비에 원격제어기능을 도입하였다. 기존에 설치된 파일럿 플랜트 일부를 분해 및 조립하여 사고대응 시나리오와 연계한 원격제어기능을 구축하였다. 이를 위해 기존의 밸브에 카운트 센서(count sensor)를 삽입하여 밸브 조작에 따른 아날로그 신호를 디지털로 전환하였고, 이를 서버PC로 전달하여 DCS에 표출하도록 하였다.

또한, 제어실에서의 설비 정보가 현장 작업자에게 전달될 수 있도록 반응기의 계기장치를 개조하였다. 부르동관 형태의 계기장치는 장치 뒷면에 모터를 부착한 후, 전기신호를 주어 계기를 움직이도록 하였다. 사이트 글라스 액위계에는 작은 LED 전구 10개를 수직으로 부착하여 시나리오가 진행됨에 따라 액위 변화를 표현하였다. 마지막으로 시나리오의 시작을 알리는 비상등을 추가로 설치하여 현장감과 몰입감을 한층 높였다.

Fig. 9는 밸브 개조 및 시운전 과정이며, Fig. 10은 실제 훈련센터에 원격제어 시스템을 구축한 사진이다.

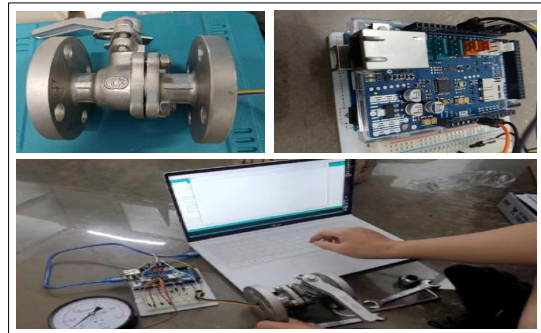


Fig. 9. Valve modification and testing



Fig. 10. Installation of remote control system

5.2. 분산제어 시스템(DCS) 개발

제어실 내 설비들을 원격제어할 수 있는 파일럿플랜트 DCS를 개발하였다. 화학사고 시나리오, 파일럿 플랜트 설비 정보 등의 저장된 DB를 사용자의 요구에 따라 관리할 수 있도록 RDBMS(Relational DB Management System)설계 방식을 적용하였다. 이를

통해 사용자의 훈련 전 과정을 기록하여 평가요소로 활용하도록 하였다.

또한, 훈련센터 내 설비를 직관적으로 표현할 수 있도록 UI를 개발한 후, 3장에서 도출한 공정 운전조건을 반영하여 정상상태를 표현하였다. 이후, 훈련센터 내 설비를 3D 스캐너로 촬영한 후, 역 모델링 하여 파일럿 플랜트의 3D 모델을 개발하였다. 모델링 자료는 Web GL로 변환하여 훈련자에게 뷰어(viewer)로 제공함으로써 공정에 익숙하지 않은 신입 운전자도 쉽게 훈련을 받을 수 있도록 하였다. Fig. 11에 개발된 DCS를 나타내었으며, 좌측은 3D Viewer, 우측은 2D DCS이다. 제어실 운전원이 상주하는 제어실에는 Fig. 11과 같이 두 대의 모니터를 설치하였으며, 3D Viewer와 2D DCS를 연계하여 훈련을 진행함으로써 교육효과를 높이고자 하였다.

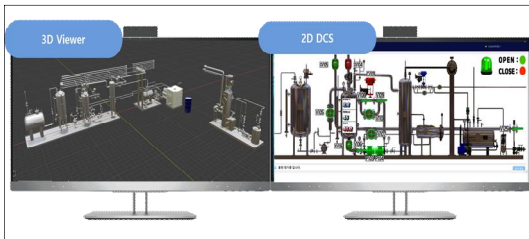


Fig. 11. Installation of remote control system

5.3. AR(Augmented Reality) 교육 시스템 구축

AR을 도입함으로써 얻는 현장감과 몰입감이라는 장점을 활용하여 AR 교육 시스템을 구축하였다[20].

AR과 관련된 정보를 훈련자에게 전송해주기 위하여 HMD를 활용하였다. 오쿨러스, HTC 등 다양한 기업에서 HMD를 출시하고 있는 추세이다, 본 연구에서는 별도의 전용 컨트롤러가 필요없는 홀로렌즈2 HMD를 사용하였다[21]. 홀로렌즈 2는 손동작만으로도 가상 오브젝트와 내장 애플리케이션을 쉽고 효과적으로 다룰 수 있어, 물리적 장치(밸브 등)를 직접 조작하는 훈련에 적합하다.

실제 훈련센터 내 파일럿 플랜트에 가상의 정보 및 화학사고 배경 효과 등을 적용시키고자 3D 스캐닝한 모델링 자료를 바탕으로 공간 맵핑을 실시한 후, 3D 가상 정보를 공간내에 출력하였다. Fig. 12와 같이 AR HMD(MS 홀로렌즈 2)의 적외선 스캐너로 파일럿 플랜트에 부착된 마커를 인식하여, 설비 주변의 입체 정보

를 가져오도록 AR 프로그램을 개발하였다. Spatial mapping을 통해 실제 공간 안에 3D 가상정보 및 이미지를 보여주어 화학사고 대응 콘텐츠를 입체적인 정보로 제공하였으며, 실제 장치와 연동하여 설비 조작에 따른 반응이 AR 가상정보 이벤트로 나타나게 하였다. 이를 통해 제어실에서 DCS를 조작하거나 현장에서 밸브를 조작하면 관련 정보가 HMD에 전달되어 훈련자에게 제공되며, 사고 시나리오에 따른 이벤트와 가이드 라인을 제공하도록 함으로써 훈련의 몰입도를 높였다.

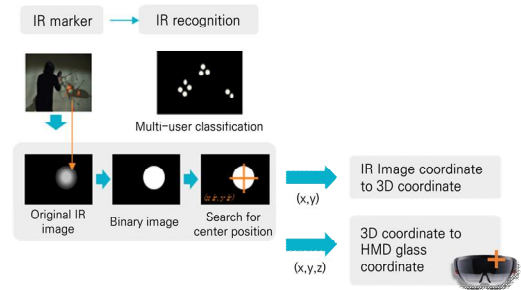


Fig. 12. Interworking structure with real objects in AR

또한, Fig. 13과 같이 시뮬레이션 결과를 3D로 토출이 가능한 CFD(computational fluid dynamics) 프로그램(FLACS)을 이용하여 각 위험요인별 누출확산 모사를 실시하였고, 해당 시나리오에 따른 사고 상황을 AR로 구현하여 화학사고 발생 시 훈련자에게 보여지는 배경효과를 부여함으로써 화학사고의 현장감을 한층 높였다.

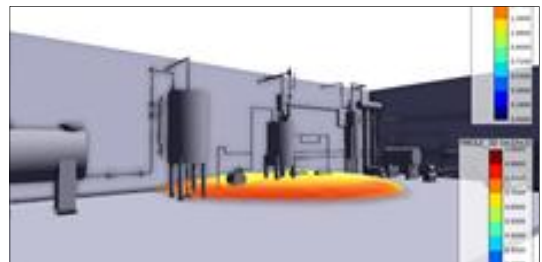


Fig. 13. Example of leak simulation using CFD

6. 결론

본 연구에서는 훈련자에게 화학 공정에 대한 기본적인 이해와 화학사고 대응 절차에 대해 교육할 수 있는 훈련 프로그램을 개발하였다. 이를 위해 화학물질안전

원에 설치된 훈련용 파일럿 플랜트를 대상으로 Aspen을 활용하여 해당 설비에 맞는 화학공정을 설계하였으며, 국내 화학사고를 분석하여 발생빈도가 높은 화학설비 및 장치에 대한 교육이 가능하도록 화학사고 대응 시나리오를 개발하였다. 또한, 현장과 제어실 간의 다중협업이 가능하도록 원격제어 시스템을 훈련센터에 구축하였으며, 이를 통합적으로 관리할 수 있는 DCS와 현장의 사고상황을 현실적으로 표현해줄 AR 시스템을 개발하였다.

특히 본 연구에서는 VR의 단점인 체험적 측면을 보완하기 위하여 AR 기술을 OTS에 도입하였다. 실제 장치를 보고 조작해봄으로써 현장 운전원에게 필요한 장치에 대한 운전역량을 기를 수 있었다.

개발된 AR 기반의 다중협업 OTS를 활용하여 교육 프로그램을 운영하면 화학공정 운전원들의 공정 트러블 해결능력 및 비상상황에서의 대응역량을 크게 높일 수 있으며 최종적으로 인적오류에 의해 발생하는 화학사고도 효과적으로 저감할 수 있을 것으로 기대된다.

앞으로도 AR 훈련 프로그램의 교육 콘텐츠의 추가 개발 및 교육 만족도 조사 등을 통해 수준 높은 교육훈련 프로그램을 개발하고자 한다.

REFERENCES

- [1] G. S. Jeong & E. S. Baik. (2014). A Study on the Improvement of Safety Management of Hazardous Chemicals Handling in the Workplace. *Fire Science and Engineering*, 28(1), 12-19. DOI : 10.7731/KIFSE.2014.28.1.012
- [2] S. G. Lee. (2017). *Mid-to long-term manpower supply and demand outlook 2016-2026*. Eumseong-gun Chungcheongbuk-do : Korea Employment Information Service
- [3] Korea Institute for Industrial Economics & Trade. (2008). *A study on the expansion of plant experts to become a powerhouse in the plant industry*. Sejong City : Korea Institute for Industrial Economics & Trade
- [4] J. B. Lee, K. P. Park & H. J. Jung. (2014). Functional Requirements of FLNG OTS based on Functional Analysis of Existing OTS Projects. *The Korean Society of Ocean Engineer*. Jeju. Korea. 205-211
- [5] J. W. Moon & H. J. Kang. (2020). *Analysis of usage in education/training field using Virtual/Augmented Reality(XR)*. Jincheon-gun Chungcheongbuk-do : National IT Industry Promotion Agency.
- [6] S. Solmaz, J. L. Dominguez Alfaro, P. Santo, P. V. Punyvelde & T. V. Gerven. (2021). A Practical development of engineering simulation-assisted educational AR environments. *Education for Chemical Engineers*, 35, 81-93. DOI : 10.1016/j.ece.2021.01.007
- [7] L. Calvo & C. Prieto. (2016). The teaching of enhanced distillation processes using a commercial simulator and a project-based learning approach. *Education for Chemical Engineers*, 17, 65-74. DOI : 10.1016/j.ece.2016.07.004
- [8] M. A. Abdelaziz, A. E. D. M. Riad & M. B. Senousy. (2014). Challenges and Issues in Building Virtual Reality-Based e-Learning System. *International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning*, 4(4), 320-328. DOI : 10.7763/ijeeee.2014.V4.347
- [9] S. G. Fracaro et al. (2021). Towards design guidelines for virtual reality training for the chemical industry. *Education for Chemical Engineers*, 36, 12-23. DOI : 10.1016/j.ece.2021.01.014
- [10] D. Checa & A. Bustillo. (2020). A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. *Multimedia Tools and Applications*, 79, 5501-5527. DOI : 10.1007/s11042-019-08348-9
- [11] V. V. Kumar, D. Carberry, C. Beenfeldt, M. P. Andersson, S. S. Mansouri & F. Gallucci. (2021). Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. *Education for Chemical Engineers*, 36, 143-153. DOI : 10.1016/j.ece.2021.05.002
- [12] A. Nakai & K. Suzuki. (2016). Instructional Information System using AR Technology for Chemical Plants. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 53, 199-204. DOI : 10.3303/CET1653034
- [13] C. Pirola, C. Peretti & F. Galli. (2020). Immersive virtual crude distillation unit learning experience : The EYE4EDU project. *Computers & Chemical Engineering*, 140, 1-11. DOI : 10.1016/j.compchemeng.2020.106973
- [14] S. G. Ouyang, G. Wang, J. Y. Yao, G. H. W. Zhu, Z. Y. Liu & C. Feng. (2017). A Unity 3D-based interactive three-dimensional virtual practice platform for chemical engineering. *Computer Application in Engineering Education*, 26(1),

91-100.

DOI : 10.1002/cae.21863

- [15] D. Schofield. (2012). Mass Effect: A Chemical Engineering Application of Virtual Reality Simulator Technology. *Journal of Online Learning and Teaching*, 8(1), 63-78.
- [16] A. Nakai, Y. Kaihata & K. Suzuki. (2014). The Experience-Based Safety Training System Using Vr Technology for Chemical Plant. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 5(11), 63-67.
DOI : 10.14569/IJACSA.2014.051111
- [17] S. Colombo & L. Golzio. (2016). The Plant Simulator as viable means to prevent and manage risk through competencies management : Experiment results. *Safety Science*, 84, 46-56.
DOI : 10.1016/j.ssci.2015.11.021
- [18] J. Puskas, A. Egedy & S. Nemeth. (2018). Development of operator training simulator for isopropyl alcohol producing plant. *Education for Chemical Engineers*, 22, 35-43.
DOI : 10.1016/j.ece.2017.11.003
- [19] S. B. An, K. M. Lim, H. E. Go, G. Y. Jung, B. C. Ma. (2020). A study on development of multi-user training contents for response to chemical accidents based on virtual reality, *Journal of Digital Contents OSociety*, 21(1), 1-10.
DOI : 10.9728/dcs.2020.21.1.1
- [20] D. W. Lee. (2021). *Virtual/Augmented Reality Application Trends in Education*. Daejeon City : Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation.
- [21] Microsoft. (2021). *HoloLens 2 gestures for authoring and navigating in Dynamics 365 Guides*, Microsoft(Online).
<https://docs.microsoft.com/en-us/dynamics365/mixed-reality/guides/authoring-gestures-hl2>

이 준 서(Jun-Seo Lee)

[학생회원]



- 2021년 2월 : 전남대학교 화학공학부(공학사)
- 2021년 2월 ~ 현재 : 전남대학교 화학공학과 석사과정
- 관심분야 : 화학사고 대응, 화공안전시스템 등
- E-Mail : 218081@jnu.ac.kr

마 병 철(Byung-Chol, Ma)

[정회원]



- 2013년 2월 : 전남대학교 화학공학(공학박사)
- 2017년 2월 : 환경부 화학물질안전원
- 2017년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 화학공학부 교수

- 관심분야 : 화공안전시스템, 디지털 안전관리, 공정 시뮬레이션
- E-Mail : anjeon@jnu.ac.kr

안 수 빈(Su-Bin An)

[정회원]



- 2020년 2월 : 전남대학교 화학공학과(공학석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 화학공학과 박사과정
- 2021년 4월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 재난원인조사실 연구원

- 관심분야 : 화학사고 예방대응, CFD 시뮬레이션 등
- E-Mail : sb9545@korea.kr