



대규모 플랜트에서의 가상현실 기반 플랜트 안전훈련 시스템에 관한 연구

†이재용 · 김형진 · 이춘식 · 박찬국

고등기술연구원 플랜트엔지니어링 본부, *가스안전공사 가스안전연구원
(2019년 10월 23일 접수, 2019년 4월 21일 수정, 2019년 4월 22일 채택)

A Study on the Safety Training System based on Virtual Reality in Large Scale Plant

†Jae Yong Lee · Hyoung-Jin Kim · Chunsik Lee · Chan Cook Park

Institute for Advanced Engineering, 175-28 Goan-ro 51beon-gil Baegam-myeon Cheoin-gu
Yongin-si Gyeonggi-do, 449-863, Korea

*1390 Maedong-myeon, Wonjung-ro Eumseong-gun Chungcheongbuk-do, 27738, Korea

(Received October 23, 2018; Revised April 21, 2019; Accepted April 22, 2019)

요 약

가상현실 기술을 이용한 플랜트 안전훈련 시스템 개발을 위해서 대규모 플랜트를 대상으로 훈련 시스템을 구성 하였다. 소규모 플랜트 또는 단위장치의 안전훈련에 비해서 가상 플랜트 구현, 공정 내 데이터 처리, 작업 지시 등 많은 시스템 구성이 필요하며 이들에 대한 통합 시스템 작업을 진행 하였다. 대상 플랜트인 RDS 공정은 고온 고압의 위험도가 높은 공정으로 해당 범위에서 누출로 인한 화재가 발생할 경우에 조치할 수 있는 훈련 시나리오를 고려 하였으며 실제 사용 중인 운전 정지 절차를 참조하였다. 제안한 안전훈련 통합 시스템은 RDS 공정에서 일어날 수 있는 유사 상황에서도 이용 가능하며 대규모 플랜트에서의 가상현실을 이용한 안전훈련의 새로운 플랫폼으로 고려 될 수 있다.

Abstract - To develop a plant safety training system using virtual reality technology, we constructed a training system for a large scale plant. Compared with safety training for small plants or unit equipment, many system configurations such as virtual plant model, in-process data processing, work instruction, etc. are required and integrated system works have been carried out. The target plant, RDS process, is a high-risk process (high-temperature, high-pressure) that takes into account the training scenarios that can be taken in the event of a leaking fire in the range and refer to the actual shutdown procedure. The proposed safety training integration system can be used in similar situations that can occur in the RDS process and can be a platform for safety training using virtual reality in a large plant.

Key words : training system, virtual reality, large scale, RDS process

I. 서 론

가스를 주로 취급하는 공장에서는 안전사고 예방에 많은 노력을 기울이는데, 이는 가스안전 사고가 발생하였을 경우 큰 경제적 손실과 인명피해로

이어졌을 경우 공장 가동 중지와 같은 법적 제재를 받을 수 있기 때문이다. 현대에 이르러 공정안전관리(Process Safety Management)와 같은 필수 안전제도의 강화와 개개인의 안전의식에 대한 발전 등으로 많은 개선이 이루어졌지만 아직도 크고 작은 안전 재해는 끊이지 않고 있다. 이러한 안전사고의 유형에는 여러 유형이 있으나 자료에 따르면 화학 및 가스 사고에 있어 인적 사고가 80% 이상에

†Corresponding author: young2004@iae.re.kr
Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

달한다고 한다.[1]

인적 오류를 예방하기 위해서 작업자들의 안전 훈련 및 안전수칙에 대한 교육 등이 이루어지고 있으며 여기에 많은 시간과 비용을 투자하고 있다. 이와 같은 안전훈련과 교육의 방법으로는 현장에서 직접적인 훈련 또는 시청각 교육 등에 의존하고 있는데 사고의 위험성으로 인하여 훈련의 한계가 있으며, 전문 훈련 기관에서의 교육을 받는 것이 있는데 이는 많은 시간과 비용을 투자해야 하기 때문에 모든 공장에서 적용하는 것이 현실적으로 어렵다.[2]

이러한 안전훈련의 필요성과 현실적인 효과를 개선하기 위해서 가상환경을 이용한 안전훈련 기법들이 개발되고 있는데, 가상환경을 구현하기 위해서는 대상 플랜트의 직접적인 가상 모델이 필요하며 이를 조작하기 위한 인터페이스 그리고 공정에 대한 정보를 효과적으로 통합하는 작업이 필요하다. 가상현실은 HMD(Head Mounted Device)로 대표되는 디스플레이 디바이스를 이용해서 생성된 가상모델을 이용하여 가상 체험을 할 수 있는 기술로 HMD는 Oculus Rift, HTC Vive가 대표적으로 이것은 눈앞에 디스플레이가 오도록 얼굴에 쓰는 형태로 마이크, 스테레오 스피커를 비롯해 여러 센서 등이 탑재 되어 있다.[3][4]

본 논문에서는 국내 정유사인 현대오일뱅크의 RDS(Residue Desulfurization) 공정을 모델링하여 가상환경을 만들고 이를 이용한 안전훈련 시스템을 구성하였다. 이전 연구에서 도시가스 정압기를 모델로 한 안전훈련 시스템을 구성하였는데[5], 도시가스 정압기와 같은 경우에는 모델링 범위가 정압기 하나로 구성되어 좁은 범위에서 훈련이 가능했지만 RDS 공정의 경우 범위가 상당히 크며 공정 자체도 복잡하기 때문에 안전훈련 시스템의 구성을 다르게 가져갈 수밖에 없었다. 또한 가상 모델에서의 훈련 뿐 아니라 제어실 운전원이 훈련 시스템에 포함 되었고 공정 변화에 따른 훈련이 필요하게 되었다. 이와 같은 안전훈련 시스템은 이 공정에 특화된 훈련 시스템이 아닌 타 공정에서의 적용 가능성을 고려한 것으로서 대규모 플랜트의 안전 훈련 플랫폼으로 고려할 수 있다.

II. 훈련 대상 플랜트

2.1. RDS 공정

RDS공정은 Fig. 1의 흐름도와 같이 정유 정제공정의 시작 공정으로, CDU에서 생산되는 고유황 중질유(HS AR)를 원료로 투입하여, 중질유 중에 포함

되어 있는 유황, 질소, CCR (Conradson Carbon Residue) 및 메탈 (주로 Ni, Va)을 제거하여 FCC의 원료를 생산하는 공정이다.

RDS 공정의 주기능은 AR(Atmospheric Residue) Feed를 탈금속, 탈황, CCR을 감소시켜 FCC 공정의 Feed 인 Treated AR 을 생산하는 것이다.

이러한 수소화 반응은 수첨 처리 촉매와 H2 존재하에 Reactor Inlet 압력 (SOR: 189.6 kg/cm2g, EOR: 193.6 kg/cm2g)과 CAT(Catalyst Average Temperature) (SOR: 370 °C, EOR: 405°C)를 유지하여야 한다. CAT는 촉매 활성 감소보상을 위해 370 °C(SOR) 에서 405 °C(EOR)까지 증가조절 된다.

촉매는 고온에서 H2와 Oil의 반응을 촉진시키거나, 고온은 촉매상의 Coke 형성속도를 증가시킨다. Coke는 H2/Oil 반응을 촉진하는 촉매의 기능을 저하시킨다. H2분압이 높으면 Coke 형성이 억제되어 촉매수명을 연장시킬 수 있다. Reactor에서의 높은 H2 분압은 전체 Reactor 압력을 높게 유지하거나, Hydrogen-rich Recycle Gas량을 높게 유지할 수도 있으며, 마지막으로 Purge Stream을 HRU (Membrane)으로 보내 Recycle Gas의 일부를 정제함으로써 유지하는 것이 가능하다. Make-up 수소는 Reactor에서 반응, Purge, Oil 속에 용존되어 소

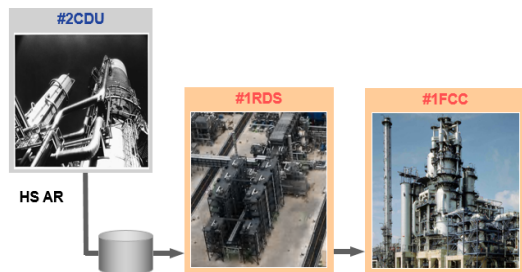


Fig. 1. RDS process

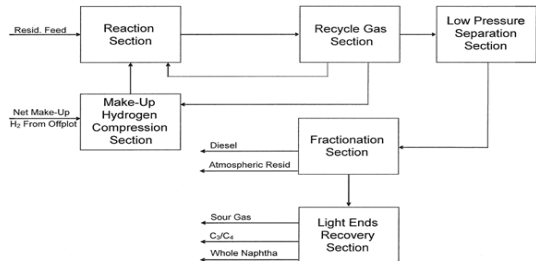


Fig. 2. RDS component block diagram

모는 H₂ 을 보충해준다. Hydrogen-rich Recycle Gas의 일부는 Reactor 촉매층간 Quench로 주입되어 수침반응의 발열에 의한 온도상승을 제어한다. 전체적인 RDS 공정을 Fig. 2에서 블록 다이어그램으로 나타내었다.

2.2. 안전훈련 시나리오

RDS 공정에 대한 위험성 평가를 실시하고 위험도가 가장 높은 반응기에서의 플랜지 누출에 대한 사고 훈련을 훈련 시나리오로 정하였다. RDS 반응기는 앞서 언급한 바와 같이 300℃ 이상의 고온과 200 bar 정도의 압력을 가지기 때문에 누출이 생기면 자연발화로 화재로 이어지고 초기에 정확히 대처하지 않으면 2차 피해로 확산하여 큰 인적 물적 피해가 예상된다. 따라서 반응기에서의 누출이 발생했다는 가정 하에 훈련 시나리오를 작성하였다.

RDS 반응기에서 누출이 발생하게 되면 주위 가스디텍터에서 감지하게 되고 이를 제어실에서 인지하게 된다. 이를 인지한 제어실 운전원은 현장 운전원에게 해당 디텍터의 확인을 요청하고 현장 운전원은 현장의 가스디텍터 수치를 확인하고 해당 누출 지점을 찾는다. 현장 운전원이 누출 지점을 찾게 되면 스팀링에 스팀을 분출하여 1차 진화를 실시하고 상황을 제어실에 알리고 제어실에서는 상황에 따라 공정의 shutdown 절차를 진행하게 된다. 이와 같이 훈련 시나리오는 가상환경을

이용하여 훈련하는 현장 운전원과 제어실에서의 역할을 수행하는 제어실 운전원이 필요하며 이 두 곳의 협업으로 이루어지게 된다. 아래 Fig. 3은 훈련 시나리오를 정리한 내용이다.

III. 훈련 시스템 구성

3.1. 플랜트 가상모델

가상환경을 이용한 훈련 시스템에서 플랜트 가상모델은 기본이 되는 시스템 구성요소라 할 수 있다. 일반적으로 가상 모델을 제작하는 방법은 실제의 물체를 3D max를 이용하여 모델링하고 이를 가상 환경 엔진에 임포트하는 방법을 따른다.[6] 여기서 가상 환경 엔진은 보통 Unity, Unreal과 같은 게임 엔진을 이용하는 방법이 일반적이다. 본 시스템에서 대상으로 하고 있는 RDS공정 모델은 300m²에 달하는 규모와 설비들 사이에 배관들이 복잡하게 구성되어 있어 전통적인 방법으로 모델링하지 않고 기존의 3D CAD 파일을 참조하여 모델링하였다. 모델링된 플랜트는 Unity와 같은 게임엔진에 임포트하여 기능을 추가하게 된다. 아래 Fig. 4는 현대오일뱅크의 RDS 반응기와 그 주변을 모델링하여 Unity에 임포트한 화면을 보여준다.

3.2. 가상환경 인터페이스

가상환경을 이용한 모든 응용 분야에서 가장 중요시하게 여기는 것이 현실감과 몰입감이라 할 수 있는데 이것을 결정하는 중요한 요소가 가상환경 인터페이스 부분이다. 가상환경 인터페이스는 다양하게 있을 수 있으며 또 선택적으로 이루어 질 수 있다.

(1) Head Mounted Device

가상현실을 이용한 응용에서 가장 대표적인 인터페이스로 시각정보를 사용자에게 전송해주는 인



Fig. 3. RDS safety training scenario



Fig. 4. RDS virtual model

터페이스이다. HMD는 일반 PC에 연결하는 타입과 스마트폰에 연결하는 타입이 있는데, 여기서는 PC에 연결해서 사용하는 HMD를 고려하였다. HMD는 대표적으로 Oculus Rift와 HTC Vive가 있으며 본 논문에서 사용한 HMD는 Oculus Rift를 사용하였다. HMD는 단순히 모델을 모여 주는 것뿐만 아니라 사용자의 움직임을 센싱해서 사용자가 가상환경 내부 어디에 위치해 있는지 알려준다.

(2) 조작 인터페이스

조이스틱으로 대표되는 조작 인터페이스는 PC의 키보드와 마우스 및 일반 조이스틱과 같은 전통적인 것부터 오쿨러스 터치와 같은 보다 현실감 있는 장치까지 있다. 또한 leap motion과 같이 단지 센서만을 이용하여 사용자의 손만으로 조작이 가능한 장치도 있다. 어떤 것을 사용할 것인가는 해당 응용 프로그램의 기능 및 용도 등에 따라서 선택할 수 있는데 여기서는 오쿨러스 터치를 사용하는 방법을 고려하였다. 아래 Fig. 5는 오쿨러스 터치를 이용해서 제작한 훈련 프로그램을 보여준다.

(3) 이동 보행장치

이동 보행장치는 가상 환경에서의 캐릭터 움직임을 일반적으로 조작 장치로 하는 것을 보다 현실감있게 하기 위해 실제로 사람이 걷는 움직임을 가상현실 공간에서 표현 함으로써 이동할 수 있게 해주는 장치이다. Active 방식과 Passive 방식으로 구분할 수 있는데 Active 방식은 사용자의 움직임을 감지하여 자동으로 장치가 움직이는 것이며, Passive 방식은 사용자가 직접 장치를 움직이게 하는 것이다. 아래 Fig.6은 Passive 방식인 Virtuix Omni이다.



Fig. 5. Oculus touch

3.3. 훈련 시스템 관리 모듈

단위장치 훈련 또는 Lab scale의 장비와 같이 단독으로 수행할 수 있는 훈련 시스템과 같은 경우는 단순히 훈련 프로그램만 있으면 훈련이 가능하지만 대규모 플랜트와 같이 협업이 필요한 시스템에서는 관리할 수 있는 모듈이 필요하다. 이 관리 모듈은 각각 훈련원들에 대한 훈련 내용 제시, 작업 지시 및 평가 등을 할 수 있으며 원활한 훈련을 보조하는 역할을 한다. 훈련 시스템 관리 모듈은 개념적으로 아래 Fig. 7과 같은 형태의 User Interface를 가질 수 있다.

3.4. 공정 데이터

대규모 플랜트에서의 운전 중 발생하는 이상상황 또는 사고에 대한 대처 훈련을 위해서는 공정에 대한 이해가 필요하며 이를 위해서 상황에 맞는 공정



Fig. 6. Virtuix Omni

Scenario	RDS#1 Training
<ul style="list-style-type: none"> Scenario 1 Scenario 2 Scenario 3 Scenario 4 Scenario 5 Scenario 6 Scenario 7 	
<input type="button" value="Search"/>	
<input type="button" value="Play"/> <input type="button" value="Stop"/>	
Player	
<ul style="list-style-type: none"> Player 1 Player 2 Player 3 Player 4 Player 5 	

Fig. 7. System Management User Interface

데이터가 필요하다. 공정 데이터는 실제 운전 데이터로부터 추출할 수도 있으며 공정 모사 프로그램을 통한 실시간 연동으로 구현이 가능하다. 이 공정 데이터는 운전 화면에서 표시 될 수 있으며, 또한 가상환경에서 표시되는 계측기에서도 표시가 될 수 있다. 이를 통해서 훈련원은 몰입감 증대를 통한 훈련 효과 향상이 가능하다.

3.5. 인터페이스 통합 모듈

앞서 언급한 가상환경 모델, 조작 인터페이스 및 공정 데이터 등과 같은 인터페이스들을 통합할 수 있는 모듈이 필요하다. 이것은 훈련 시스템 관리 모듈로부터 지시를 처리하고 각 인터페이스들로부터 데이터를 받아 가상환경모델과 운전화면에 뿌려주는 역할을 하게 된다. 인터페이스 통합 모듈은 각각의 인터페이스들과 데이터 그리고 가상 플랜트와의 프로토콜 지정을 통해 통신하게 되며 시스템의 핵심 역할을 수행하게 된다.

IV. RDS 공정 안전훈련 시스템

대상 플랜트인 현대오일뱅크의 RDS 공정 플랜트는 반응기에서부터 HHTP(Hot Temperature High Pressure) Separator까지의 구간이 고온 고압의 위험성이 높은 구간이기 때문에 안전훈련 대

상으로 지정하여 시나리오를 구성하였고 가상환경 역시 그 부분의 모델링에 중점을 두고 구현하였다. 제어실의 운전원과 현장 운전원과의 협업이 필요하며 특히 현장에서는 2명 이상의 현장 운전원이 필요하기 때문에 멀티 플레이가 가능한 가상훈련 시스템을 구현하였다. 누출로 인한 대응 훈련으로 shutdown 절차를 따르게 될 경우 운전화면과 가상 환경에서의 계측기 수치는 공정 모사를 통해서 나온 데이터를 실시간 연동하고 조작 인터페이스는 Oculus Touch를 이용하였다. 그리고 현실감을 높이기 위해 실제 공장의 소음과 누출이 일어났을 때의 사운드를 추가하였으며 이를 전체 통합한 시스템 구성을 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8에서 훈련원은 VR training과 Control room training을 진행 할 수 있으며 VR training을 진행하는 훈련원은 HMD를 착용하고 현장에서 임무를 수행하게 되며 움직임 및 조작은 아래쪽의 인터페이스를 이용할 수 있다. 반면 Control room training을 받는 훈련원은 운전화면이 있는 컴퓨터에서 작업을 수행할 수 있다. 훈련의 시작은 Training Management Module에서 시나리오 지정 및 작업 지시로부터 시작되며 이후 사고에 따른 공정 변화 등은 공정모사 데이터의 실시간 연동으로 VR plant와 운전화면에 동시에 전달이 된다.

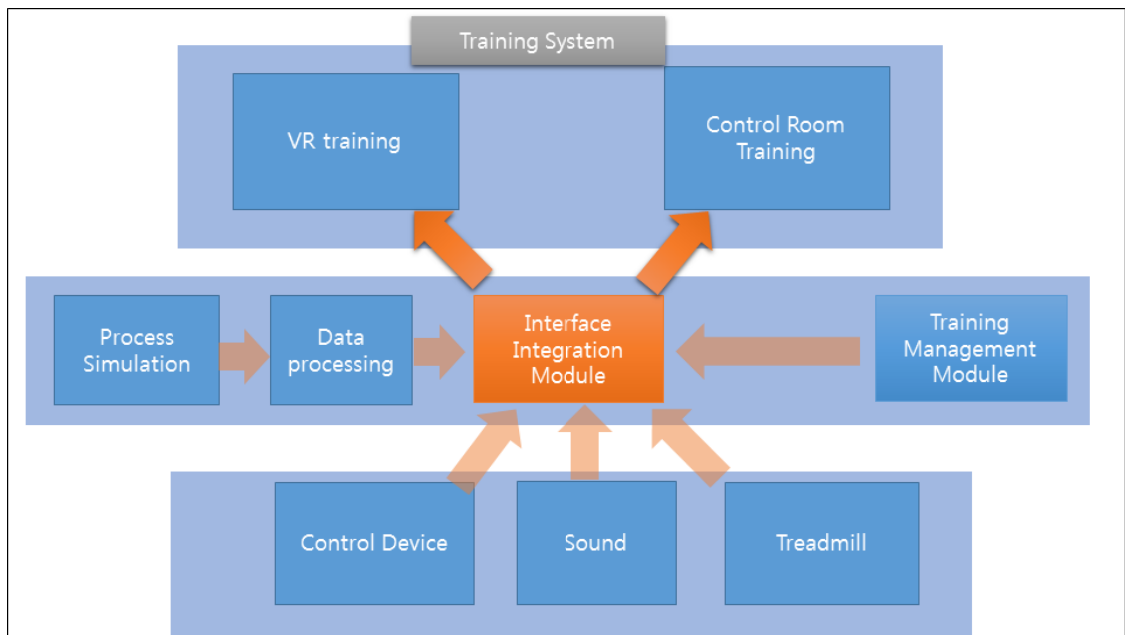


Fig. 8. Virtual safety training system structure in large scale plant

V. 결론

RDS 공정을 대상으로 가상현실 기반의 플랜트 안전훈련 시스템 구성을 진행하였다. 이전 연구에서 수행하였던 도기사스 정압기의 시스템에서 많은 부분의 추가가 필요하였으며 이를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 대규모 플랜트의 가상 모델구축
- (2) 안전훈련 훈련원의 협업 과정
- (3) 현장과 제어실의 구분
- (4) 훈련시스템 관리 모듈
- (5) 공정데이터와 조작 장치간의 인터페이스 통합 모듈

정유/화학/가스 플랜트와 같은 대규모 플랜트에서는 도시가스 정압기와 같은 소규모/단일 플랜트에 비해 가상 플랜트의 모델 구축이 전통적인 모델링 기법을 따르는 것은 많은 비용과 시간을 필요로 한다. 이러한 이슈로 인해 3D 설계 파일을 적절히 사용하여 효과적인 모델링이 될 수 있도록 고려할 필요가 있다. 현장 작업에서 2명 이상의 인원은 필수이며 또한 비상상황에서 협업이 절대적으로 필요하기 때문에 시스템에서 협업이 가능해야 효과적인 훈련이 될 수 있을 것이다. 대규모 플랜트에서는 소규모/단일 플랜트에 비해 제어실의 역할을 중요하기 때문에 현장만 고려한 안전훈련은 한계가 있다. 따라서 제어실 모델이 필요하며 이에 따른 데이터 통신 및 인터페이스 통신을 위한 인터페이스 통합 모듈이 있어야 한다. 다수의 사람이 한 번에 훈련하는 시스템에서 그리고 여러 가지 시나리오가 있는 훈련 시스템에서 훈련시스템 관리 모듈은 시스템을 관할하는 임무를 수행하게 되며 훈련 시스템에서 핵심 요소라 할 수 있겠다.

HMD와 같은 가상현실을 이용할 수 있는 디바이스들의 발전으로 이를 이용한 응용에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며 게임 및 의료분야 등이 이미 실용화된 부분도 있다. 플랜트 또는 가스 안전 관련 분야에서의 교육 및 훈련은 상황 재연의 한계 등으로 인하여 가상의 훈련의 필요성이 대두되고 있으며 대규모 플랜트에서의 안전 훈련 시스템 필

요 요소와 시스템 구성을 제안하였으며, 이는 플랜트의 안전 훈련에 대한 새로운 플랫폼으로 정착될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 플랜트연구사업의 연구비 지원(16IFIP-B087592-05)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Percentage of corrosion-related accidents in petrochemical plants, Energy Newspaper, (2016)
- [2] Dirk Metzger, Christina Niemoller, Benjamin Wingert, Tobias Schultze, Matthias Bues and Oliver Thomas, "How Machines are Serviced-Design of a Virtual Reality-based Training System for Tehnical Customer Services", *13th International Conference on Wirtschaftsinformatik*, 604-616, (2017)
- [3] Fletcher, C., Ritchie, J. M., & Lim, T. *Virtual machining and expert knowledge capture. Paper presented at Digital Engagement*, Newcastle, United Kingdom, (2011)
- [4] Parth Rajesh Desai, Pooja Nikhil Desai, Komal Deepak Ajmera, Klushbu Mehta, "A Review Paper on Oculus Rift-A Virtual Reality Headset", *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 13(4), 175-179, (2014)
- [5] Lee, J. Y., Park, C. C., Yu, C. H., "A Study on the Effect of Control Interface in Plant Virtual Safety Training System", *Journal of the Korean Institute of gas*, 21(6), 46-51, (2017)
- [6] Filip Popovski, Igor Nedelkovski and Svetlana Mijakovska, "GENERATING 3D MODEL IN VIRTUAL REALITY AND ANALYZING ITS PERFORMANCE", *International Journal of Computer Science & Information Technology*, 6(6), 123-128, (2014)