



플랜트 특성에 따른 VR기반 안전훈련 시스템 구축 방법 제시

†이재용 · 박찬국

고등기술연구원 플랜트엔지니어링 센터
(2019년 8월 19일 접수, 2019년 10월 25일 수정, 2019년 10월 26일 채택)

Proposal of Construction Method of VR-based Safety Training System According to Plant Characteristics

†Jae Yong 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

(Received August 19, 2019; Revised October 25, 2019; Accepted October 26, 2019)

요 약

플랜트 안전훈련을 가상환경 하에서 진행하는 시스템을 구축하였을 때 고려해야 하는 시스템 구성요소와 구현 방법을 플랜트 특성에 따라서 구분하였다. VR기반의 안전훈련 시스템을 구성할 때 플랜트 특성에 따라서 필요한 구성요소가 다를 수 있으며, 대상 플랜트에 따라서 구축하는 기본적인 시스템 구성요소를 제시하였다. 제시하는 시스템의 구성을 뒷받침하기 위해서 비교적 간단한 설비인 도시가스 정압기 안전훈련 시스템을 구현하였고, 보다 복잡하고 큰 규모의 플랜트를 설명하기 위해서 석유화학 플랜트의 안전훈련 시스템 구현을 예로 들었다. 이를 통해서 적용하고자 하는 플랜트에서 적절한 VR 기반 플랜트 안전훈련 시스템 구성의 가이드라인을 제시한다.

Abstract - The system components and implementation methods to be considered when constructing a system for plant safety training in a virtual environment were classified according to plant characteristics. When constructing a safety training system based on VR, the necessary components may be different according to the characteristics of the plant, and the basic system components to be built according to the target plant are presented. In order to support the proposed system, we implemented a city gas governor safety training system, which is a relatively simple facility. Through this, we propose guidelines for the construction of a suitable VR-based plant safety training system in the plant to be applied.

Key words : training system, virtual reality, safety, platform

1. 서 론

석유화학 플랜트와 같이 대량의 가스를 취급하는 사업장에서는 다수의 가연성 및 독성 가스를 취급하며, 안전장치로서 적절한 센싱 장치 및 계기 그리고 가스 취급 관련 개인 훈련을 받는다.[1] 특히 개인 안전훈련과 같은 경우에 플랜트에서 발생하는 사고 중에서 인적오류로 인한 화학 및 가스사고가 많은 비중을 차지하기 때문에 플랜트 안전에

중요한 요소라 할 수 있다.[2] 석유화학 플랜트와 같이 대규모 플랜트 뿐 아니라 압축장치, 감압장치, 연료전지 등과 같이 위험 가스를 취급하는 단위 설비에서도 안전훈련을 받는데 특히 도시가스 정압 설비와 같은 경우 고압의 도시가스를 감압하여 사용자에게 전달해 주는 기능을 하는 장치로서 크고 작은 가스 안전사고들이 발생하였다.[3][4] 한편 수 년전부터 HMD(Head Mounted Device)의 기술적 발전에 따라서 VR(Virtual Reality) 기술의 확산이 되었으며, 그 중 하나로 교육 및 훈련분야에서 적용을 시도하고 있다. 가상현실 기술은 HMD로 대표되는 가상환경 하드웨어와 연동해서 가상환경을

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

생성해 여러 가지 체험을 할 수 있는 기술로 HMD는 Oculus Rift, HTC Vive가 대표적이며 이것은 머리의 위치를 트래킹하여 회전을 통해 가상환경을 볼 수 있도록 제공하는 장치이다.[5][6]

가상환경을 이용한 플랜트 안전훈련 시스템에 대한 연구를 진행하면서 가장 많은 질의를 받아 본 것은 가상환경을 이용해 안전훈련을 받을 수 있는 시스템을 구축하는데 드는 비용이며, 이와 같은 질의에 바로 답할 수 없는 것은 가상환경 구축에 수많은 변수들과 해당 플랜트 공정에 대한 정보가 있어야 하기 때문이다.[7]

새로운 기술에 대한 적용을 하는 것에는 위험 부담이 따르고 특히 비용의 문제가 큰 이슈가 된다. 비용 산출에 있어 시스템의 복잡성 및 정확성과 VR 기술이 가지는 장점인 몰입감을 극대화 할 수 있는 장치들과 그것의 필요 정도에 따라서 VR 기반의 안전훈련 시스템의 형태가 결정이 되며 이를 통한 비용 산출이 가능하게 될 것이다. 본 논문에서는 VR 기반의 플랜트 안전훈련에서 플랜트의 형태 및 특징에 따른 시스템의 구성과 구현 방법에 대한 가이드라인을 제시하고자 한다. 본 논문의 유의미한 결과를 위해서 소규모 플랜트 또는 단위장치에 대한 VR 기반 플랜트 안전훈련 시스템에 대한 구현 내용과 그 특징에 대해서 기술하고 대규모 석유화학 플랜트를 대상 플랜트로 하였을 때의 구현 방법, 그리고 플랜트 규모와는 별개의 특수한 기능을 필요로 하는 플랜트에서의 필요 VR 기술에 대해 설명하고 그에 따른 시스템 구성 요소를 제시한다.

II. 대상 플랜트 구분

2.1. 플랜트 장치 및 단위 설비

플랜트에서 핵심 구동장치에 대해서는 그 장치에 대한 안전훈련을 받을 수 있다. 가장 대표적인 장치로서 압축기를 들 수 있으며, 압축기는 기본적으로 고압의 가스를 생성하기 때문에 위험도가 높고 취급 부주의로 사고로 이어지는 대표적인 장치이다. 최근 수소를 이용한 에너지 이용 및 저장에 대한 이슈로 인해서 연료전지 및 수전해 설비에 대한 안전 교육 및 훈련 필요성도 높아지고 있다. 여기에서는 도시가스 지역 정압기 안

전훈련 시스템의 구축 경험을 토대로 VR 기반 플랜트 장치 및 단위 설비 안전훈련 시스템의 구성 요소 및 방법에 대해 기술한다.

2.2. 석유화학 플랜트

고압의 가스를 취급하는 플랜트로서 대표적인 석유화학 플랜트의 VR 기반의 안전훈련 시스템의 구성 요소 및 방법에 대해 기술한다. 석유화학 플랜트는 복잡한 공정과 큰 규모의 플랜트로서 단위 설비와는 다르게 다수의 협업 훈련이 필요하고 현장 뿐 아니라 제어실과의 연계 및 공정 상황에 따른 적절한 조치 등 상황에 따른 훈련이 필요하다. 여기에서는 국내 대표적인 정유사의 RDS 공정을 대상공정으로 하여 VR 기반 훈련 시스템을 구축하였으며 이를 기반으로 석유화학 플랜트와 같은 플랜트에서의 VR 기반 안전훈련 시스템에서 고려해야 할 것들에 대해서 기술한다.

III. 훈련 시스템 구성

3.1. 가상 모델

VR 기반 안전훈련 시스템의 기본 베이스가 되는 구성요소로서 가상모델 제작이 있다. 도시가스 지역 정압기와 같은 단위설비 가상모델은 작은 규모에 비해서 조작 장치들이 좁은 범위에 몰려 있기 때문에 각 조작 장치의 상세 모델링이 필요하다. 가상 모델을 구축하는 데는 여러 방법이 있는데 일반적으로 3D Max를 이용하여 드로잉 하고 드로잉 된 객체의 렌더



Fig. 1. Virtual model of city gas governor

링과 기능 구현을 위해서 Unity 또는 Unreal과 같은 게임 엔진에 импорт 하여 가상 모델을 제작한다. 이와 같은 방법으로 제작된 가상모델이 Fig. 1에서 보여주고 있다.

반면 석유화학 플랜트와 같이 규모가 큰 플랜트의 가상 모델 구축을 위해서는 단위설비와 같은 방법으로 가상모델을 구현할 경우 상당한 시간과 비용이 따르게 되는데 비용과 시간이 실제 플랜트의 규모에 비례한다. 하지만 석유화학 플랜트와 같은 대규모 플랜트의 가상 모델은 단위 설비와 같이 현장 훈련원이 조치해야 할 부분이 집약적으로 구성되어 있지 않아 모든 플랜트에 대해 Fig.1 과 같은 모델링을 하는 것은 비효율적이다. 하나의 방법으로 제시할 수 있는 것은 3D CAD와 같은 설계 데이터의 변환을 통한 가상모델 구축이다. 기존 설계에서 사용한 3D CAD 파일을 .fbx 파일로 변환하여 이를 Unity에 импорт한 뒤에

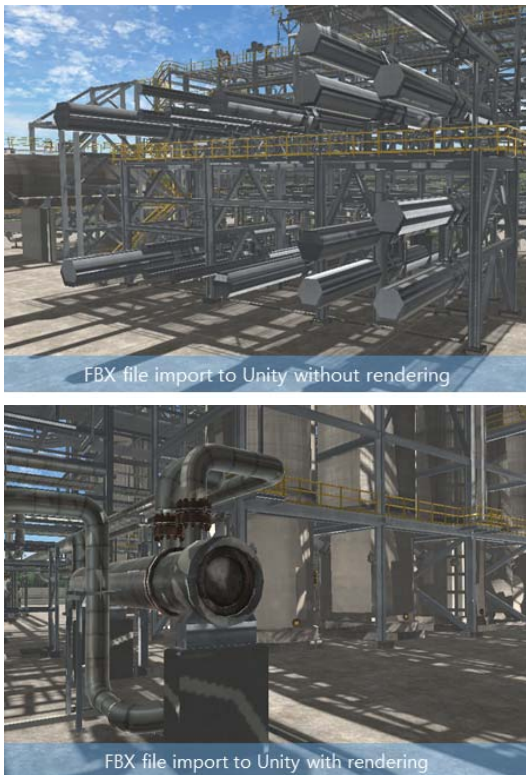


Fig. 2. Virtual model of the RDS plant.

안전훈련 대상 지점에 대해서 렌더링 작업을 진행하는 것으로 모델 구축 시간과 비용을 줄일 수 있다. 아래 Fig. 2 상단 화면은 시나리오와 관계없는 부분이며 하단 화면은 시나리오에서 훈련원이 조치를 취해야 하는 부분으로 추가 렌더링을 한 화면이다.

3.2. 훈련 시나리오

훈련 시나리오는 어떠한 상황에서 정해진 절차대로 수행하도록 시스템에 구성하는 것으로 단계에 따라 성공과 실패로 구분할 수 있고 실패하였을 때는 그에 대한 결과를 피드백 해준다. 도시가스 정압기의 경우에는 레귤레이터 이상으로 인해 1차 압력이 상승했을 때를 가정하고 훈련 시나리오를 구성하였으며, 실패할 경우 플랜트 폭발로 이어져 훈련원에게 가시적인 효과를 나타내었다. 훈련 단계별로 각 공정 상황의 변화는 공정 시뮬레이션 결과 값을 게이지 또는 트랜스미터에 표시하여 상황에 대한 변화를 나타낼 수 있고, 유한상태머신과 같은 프로그램 내 코딩을 통해서 시나리오를 진행 시킬 수도 있다. 도시가스 지역 정압기와 같은 국소적인 환경에서 단순하고 명확한 훈련을 진행하는데 있어서 공정 시뮬레이션 데이터를 이용하는 상태변화와 유한상태머신을 이용한 상태변화를 비교했을 때 체감상 느끼는 차이는 미미하였다. 따라서 이와 같은 단위설비 및 플랜트 장치 안전훈련 시스템에서는 비용과 시간이 상대적으로 적게 드는 유한상태머신을 이용하는 것이 더 효율적이라 할 수 있다.

Fig. 2에서는 유한상태머신을 이용해서 시나리오를 구성했을 때와 공정시뮬레이션을 이

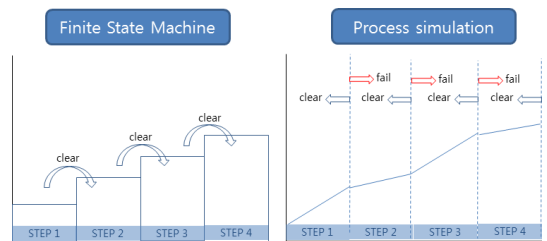


Fig. 2. Difference between applying Finite state machine and Process simulation.

용해서 시나리오를 구성했을 때의 차이를 보여준다. 전자는 시간에 의존하여 정해진 시간 동안 정해진 임무를 수행했을 때 성공 그렇지 않았을 때 실패를 반환하는데, 공정 시뮬레이션을 이용했을 때는 각 공정 특성을 반영하여 복잡한 공정에서 사실적인 시나리오를 구성할 수 있다.

3.3. VR 훈련 인터페이스

VR 훈련 인터페이스는 VR 기반의 플랜트 안전훈련을 수행하는데 사용자의 현실감을 높이고 훈련효과를 증진하는데 가장 크게 작용하는 도구로서 VR 기반의 훈련 시스템의 핵심이라 할 수 있다. 가상현실을 적용한 응용 프로그램에서 가장 기본적인이며 중요한 도구가 가상모델을 볼 수 있게 하는 것이며 대표적인 것이 HMD이다. HMD도 많은 종류와 제품이 있는데 대표적인 것이 Oculus touch와 Vive가 있다. 돔 스크린을 이용한 3D 투영 방식도 있는데, 설치 비용 및 시간이 많이 소요되기 때문에 많은 사람이 훈련하는 용도로는 적합하지 않다고 판단하여 여기서는 제외하도록 한다.

훈련의 동작을 제어하는 조작 컨트롤러 선택도 중요한 요소라 할 수 있다. 이동, 선택, 실행 등의 기능을 하나의 장치로 할 수 있는 대표적인 장치인 조이스틱을 들 수 있겠다. 일반적으로 조이스틱은 게임 용도로 많이 사용되고 있지만, 플랜트 안전훈련 수행에도 무리없이 사용할 수 있고 무엇보다 비용 적인 측면에서 우수하다. 하지만 이는 범용적인 성격으로 제작되었기 때문에 훈련을 위해서 따로 그 기능을 익혀야하며 특히 플랜트와 같은 경우 이동, 밸브 조작과 같은 것에서 현실감이 떨어지는 단점을 내포하고 있다. 이러한 조이스틱류는 상당히 많은 종류가 있는데 Fig.3와 같은 Oculus touch와 같은 제품은 사용자의 손 위치를 추적할 수 있기 때문에 좀 더 직관적으로 훈련 수행이 가능하다.

선택적 옵션으로 트레드밀 인터페이스를 사용할 수 있다. 대규모 플랜트와 같이 범위가 넓은 경우에 유용하며 실제 걷는 액션을 통해서 가상공간에서 캐릭터의 움직임이 이루어지기



Fig. 4. Controller type for VR



Fig. 5. Haptic valve

때문에 현실적인 측면을 극대화 할 수 있다. 가상공간에서 적용하기 위한 트레드밀은 사용자가 물리적인 힘을 가해서 움직임을 나타내는 패시브 방식과 움직임을 센싱하여 자동적인 움직임을 나타내는 액티브 방식이 있다.

플랜트 밸브 조작에서 주의를 기울여야 하는 경우가 있다. 예를 들어 수동밸브 조작 시 전단의 압력이 높아 밸브를 천천히 열어야 하는 경우나 밸브를 완전히 개방 또는 닫거나 일정 비율로 열어야 하는 경우인데 이와 같은 경우 VR 기반 안전훈련에서 훈련하기가 쉽지 않다. 본 연구단에서 개발한 햅틱 제시 밸브를 훈련 시스템에 적용하면 이러한 문제를 해결할 수 있다. 실제 밸브 모형을 가상공간과 인터랙션하여 훈련원에게 가져다주는 방식으로 훈련원의 밸브조작 토크를 피드백 받을 수 있고 토크 제어가 가능해 실제 밸브 조작과 매우 유사한 효과를 얻을 수 있다. Fig. 5는 이러한 기능을 하는 햅틱 제시 밸브를 보여준다.

3.4. VR 통제 시스템

VR 기반 플랜트 안전훈련 시스템에서 훈련원의 훈련 시작과 종료 및 모니터링을 위한 통제 시스템이 필요한데, 단위 설비의 단일 수행 훈련에서는 제외 할 수 있다. VR 통제 시

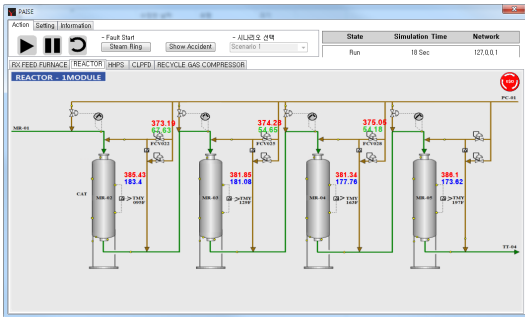


Fig. 6. VR control system

시스템은 다수의 협업 훈련에서 개인별 역할을 시나리오에 따라 제시하고 훈련원의 훈련 상황을 파악할 수 있다. 2절에서 제시한 공정 시뮬레이션 데이터를 이용할 경우에는 제어실 역할을 할 수도 있으며 본 연구를 위해 구축한 석유화학 플랜트 안전훈련 시스템에서는 아래의 Fig. 6과 같은 통제 시스템을 개발하였다. 이 통제 시스템은 제어실 운전원이 조작하는 운전화면을 그대로 모사하였으며, 또한 현장에서 조치하는 매뉴얼 밸브 조작 상태를 모니터링 할 수 있을 뿐 아니라 시나리오의 지정에 따라 훈련의 시작을 통제 할 수 있다.

IV. VR기반 안전훈련 시스템 구축

VR기반 안전훈련 시스템 구축 방법은 3장에서 언급한 시스템 구성요소인 가상모델, 훈련 시나리오 및 훈련 인터페이스 및 통제 시스템을 선택적으로 이용하여 아래의 형태로 훈련 플랫폼을 구성할 수 있다.

4.1. 단일 수행 훈련 시스템

단일 수행 훈련 시스템은 VR기반 훈련 시스템 중에서 가장 간단히 구축할 수 있는 훈련 시스템으로 가상모델과 이를 Unity와 같은 구동엔진에 임포트하여 정해진 시나리오를 FSM을 이용해 구현하는 방식으로 HMD와 조이스틱으로 구현 가능하다.

4.2. 다중 협업 훈련 시스템

다중 협업 훈련 시스템은 훈련원이 2인 이상 동시 협업을 통해서 훈련하는 시스템으로

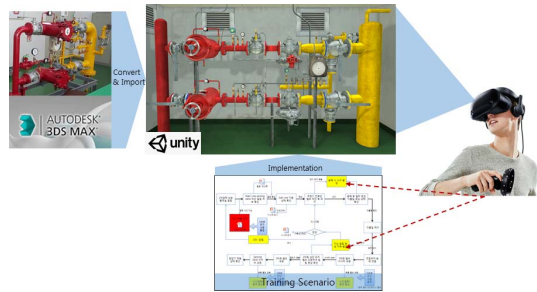


Fig. 7. Training system for only single trainee



Fig. 8. Multi-user control system

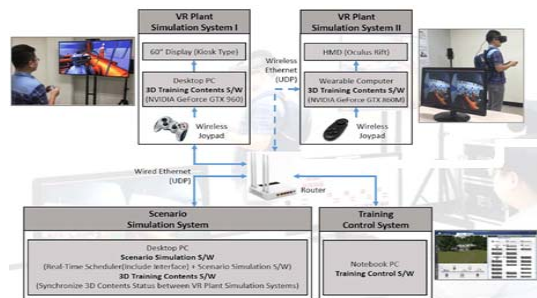


Fig. 9. Multi-user collaboration system

서 Fig. 7과 같은 시스템 구성에서 훈련원의 시나리오 지정 및 제어를 할 수 있는 Fig. 8과 같은 통제 시스템이 추가로 필요하며 이를 이용한 다중협업 훈련 시스템 구성도는 Fig. 9와 같다.

4.3. 공정 연계 훈련 시스템

석유 화학 플랜트와 같이 변수가 많은 공정에서는 단순히 FSM 기법으로 훈련 시나리오를 한정하기가 어려울 수 있는데, 이는 수많은 조건에 의한 공정의 변화가 심하기 때문이다.

공정 시뮬레이션 결과를 VR 기반 안전훈련 시스템과 연계하여 이와 같은 문제를 해결 할 수 있다. 공정 시뮬레이션 결과를 VR 기반 훈련 시스템에 사용하면 실제 공장에서 조작하는 것과 유사한 공정 수치를 확인 할 수 있다. 특히 석유화학 플랜트와 같이 안전훈련에서 제어실의 비중이 클 경우에는 반드시 필요한 부분이라 할 수 있다. 공정 시뮬레이션 결과를 바로 VR 모델에 연계하게 되면 보다 인터랙티브한 느낌을 받을 수 있으나 이를 위해서는 시뮬레이션 라이선스가 필요하기 때문에 구축 비

용이 증가하며 시뮬레이션 결과를 DB화 하여 사용할 경우 라이선스는 필요 없으나 정해진 시나리오 이외의 결과는 볼 수 없는 단점이 있다.

4.4. Barehanded 훈련 시스템

가장 현실감이 높은 VR 기반 안전훈련 시스템 구축 방법으로 양손에 컨트롤러를 가지고 있지 않은 상태에서 안전훈련을 수행할 수 있는 barehanded 훈련 시스템을 구축 할 수 있다. 앞서 언급한 햅틱 제시 밸브를 응용하여 플랜트에서 조작하는 밸브, 스위치, 버튼 등을 햅틱 제시 팔레트에 비치하여 직접 조작하여 훈련을 진행한다. 또한 트레드밀을 VR 기반 안전훈련 시스템에 연계하여 직접 걸어 다니는 행동으로 가상공간 내 이동 하여 따로 조작 컨트롤러가 필요하지 않은 시스템으로 현실과 가장 유사하다. 본 시스템을 구축하기 위해서는 트레드밀과 햅틱 제시 장치가 추가로 필요하기 때문에 가장 많은 비용이 필요하며 각 인터페이스 통합 작업이 필요해서 기간도 많이 소요된다.

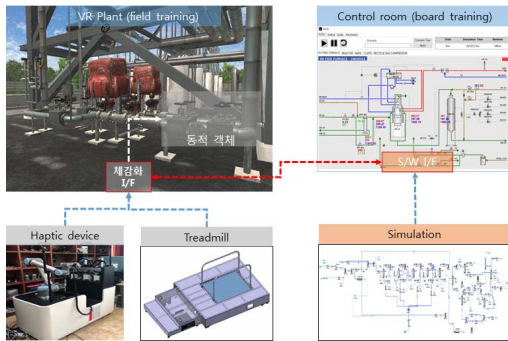


Fig. 10. Barehanded training system

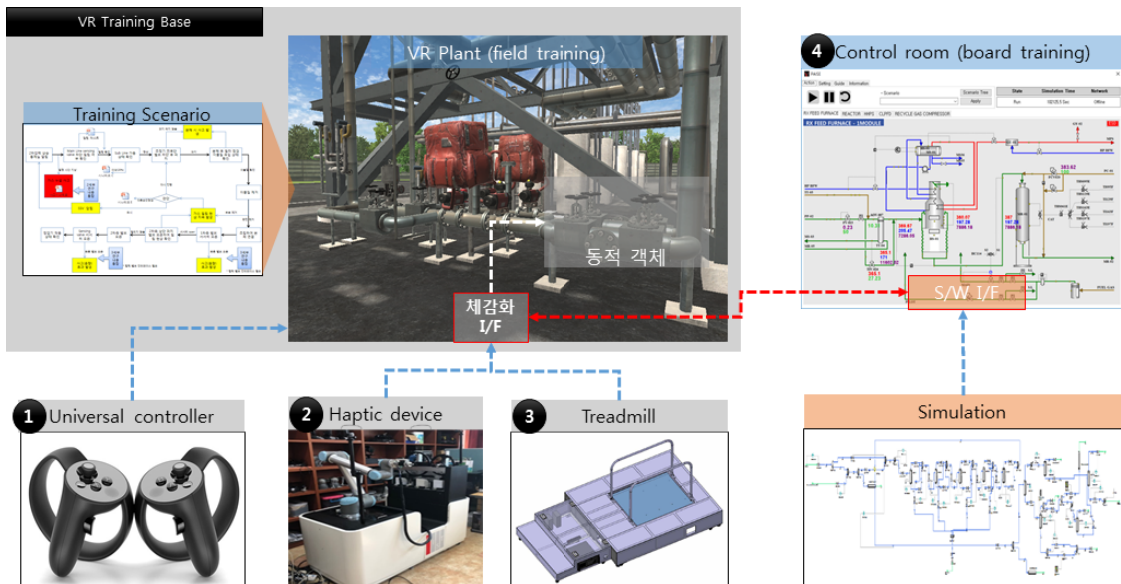


Fig. 11. Method of VR plant training system configuration

V. 결과 토의

VR 기반 플랜트 안전훈련 시스템 구축하기 위해 시스템 구성요소들과 각 플랜트 훈련 성격에 맞는 시스템 구성 방법에 대해 기술하였다. 정리하면 VR 기반의 플랜트 안전훈련 시스템 구성은 다양한 방법으로 구성할 수 있으며 이는 플랜트 안전훈련 대상에 따라 달라진다고 할 수 있다. Fig. 11은 지금까지 설명한 VR기반의 플랜트 안전훈련 구성요소들을 나열하였다. VR 기반 플랜트 안전훈련 시스템을 구성하는 필수 구성요소는 훈련 시나리오와 가상 모델이며 이를 조작하기 위한 조작 컨트롤러이다. 시스템 구성 방법에 따른 응용 분야를 다음과 같이 정의할 수 있다.

1. VR training base + 1 : 플랜트 장치 및 단위 설비와 같은 대상에 정해진 시퀀스에 따른 훈련을 필요로 할 때 가장 간단하고 낮은 비용으로 훈련 시스템 구축이 가능하다.

2. VR training base + 1 + 4 : 공정 내 변수가 많고 훈련 과정에서 제어실의 역할이 필요할 경우 공정 시뮬레이션 결과를 VR에 반영하여 훈련을 진행 할 수 있다.

3. VR training base + 2 + 3 : 수동 밸브의 조작을 민감하게 해야 하는 훈련 또는 현장에서의 실전 감각을 높이기 위해 barehanded 방식의 훈련 시스템을 구축할 수 있다.

4. VR training base + 2 + 3 + 4 : 석유화학 플랜트와 같이 공정 내 변수가 많고 범위가 넓으며 실제 조작해야 하는 개수 보다 정확한 훈련이 필요한 경우 공정 시뮬레이션 결과와 연동한 barehand 방식의 안전훈련 시스템을 구축할 수 있다. 구축비용 및 시간이 가장 많이 소요되나 훈련원의 몰입감을 최대로 하여 최고의 훈련효과를 이끌어 낼 수 있다.

VI. 결론

지금까지의 가상환경을 이용한 응용의 대부분은 앞서 제안한 1번과 같이 가상환경에서 목적하는 내용의 시나리오 디자인을 구현하여 범용 컨트롤러를 이용하는 방법이다. 여기에

필요에 따라서 앞서 언급한 옵션을 추가하는 방법으로 구축되는 훈련 시스템의 효과를 배가할 수 있으며 기존에 적용에 한계가 있었던 플랜트 안전훈련에도 훈련 가능한 시스템 구축이 가능 할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 플랜트연구사업의 연구비지원(16IFIP-B087592-06)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] S.Jurgen, "Process and Plant Safety - Research & Education Strategy to Keep Long Term Competences", *Chemical Engineering Transactions*, vol.31, (2013)
- [2] *Percentage of corrosion-related accidents in petrochemical plants*, Energy Newspaper, (2016)
- [3] Yap, H.J., Taha, Z., Lee, J.V. "VR-based Robot Programming and Simulation System for an Industrial Robot. *International Journal of Industrial Engineering*" *Theory, Application and Practice*, 15(3), pp. 314-322, (2008)
- [4] Leino, S., Lind, S., Poyade, M., Kiviranta, S., Multanen, P., Reyes-Lecuona, A., Mäkirananta, A., Muhammad, A. "Enhanced Industrial Maintenance Work Task Planning by Using Virtual Engineering Tools and Haptic User Interfaces." *Virtual and Mixed Reality-Lecture Notes in Computer Science*, 5622, pp 346-354, (2009)
- [5] Fletcher, C., Ritchie, J. M., & Lim, T. *Virtual machining and expert knowledge capture*. Paper presented at Digital Engagement, Newcastle, United Kingdom, (2011)
- [6] 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)

ment of a VR training application cost?,
(2017)

[7] Mark Baxter, *How much does the develop-*