

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.5.797>

JCCT 2024–9–94

디지털트윈을 이용한 수소충전소의 3D HMI

3D HMI of Hydrogen Refueling Station Using Digital Twin

배현준*, 이승욱**, 황성호***

Hyeon-Jun Bae*, Seoung-Uk Lee**, Sung-Ho Hwang***

요약 수소충전소 장비 설치, 시운전과 고장 수리할 때 수소충전소 안전이 가장 취약하다. 이때 수소충전소의 디지털 트윈을 개발하여 제공하면 장비 설치, 시운전과 고장 수리하는데 도움이 될 수 있다. 그리고 수소충전소 운영 중에, 이벤트 검출, 원인 분석과 예측을 위해서도 디지털트윈이 필요하다. 그러나 현재 수소충전소의 SCADA HMI는 2D로 구성되어 있으므로, 수소충전소에 대한 기본 지식과 구성 현황을 알지 못하는 사람들은 직관적으로 이해하기 어렵다. 본 논문에서는 수소충전소에 디지털트윈 기술을 도입하여 수소충전소 장비에서 측정된 값을 3D로 실시간으로 표시하여, 수소충전소의 이벤트 발생, 원인 분석과 예측을 직관적으로 하는데 도움을 주고자 한다. 이를 위해 SCADA HMI에서의 데이터를 추출하였고, 이 데이터를 디지털트윈에 전송하였으며, 디지털트윈에서 직관적이고 이해하기 쉬운 3D 환경을 제공하여, 비전문가도 수소충전소의 운영 현황을 쉽게 파악할 수 있도록 구현하였다.

주요어 : 수소충전소, 디지털트윈, HMI

Abstract Hydrogen refueling station safety is the most vulnerable when installing, commissioning, and repairing hydrogen refueling station equipment. At this time, developing and providing a digital twin of a hydrogen refueling station can help install equipment, start-up, and repair failures. Digital twins are also required for event detection, cause analysis, and prediction during hydrogen refueling station operation. However, since the current SCADA HMI of hydrogen refueling stations consists of 2D, it is difficult for those who do not know the basic knowledge and composition status of hydrogen refueling stations to understand intuitively. In this paper, by introducing digital twin technology to hydrogen refueling stations and displaying the values measured at hydrogen refueling station equipment in real time in 3D, it is intended to help intuitively analyze and predict the occurrence, cause, and prediction of events at hydrogen refueling stations. For this purpose, data from SCADA HMI were extracted, transmitted to the digital twin, and provided an intuitive and easy-to-understand 3D environment in the digital twin so that non-professionals can easily grasp the operation status of the hydrogen refueling station.

Key words : Hydrogen Refueling Station, Digital Twin, HMI

*준회원, 강원대학교 전자정보통신공학과 학생 (제1저자)

**정회원, DH2에너지(주)/삼척 교동 수소생산충전복합 스테이션 소장

***정회원, 강원대학교 전자정보통신공학과 교수 (교신저자)
접수일: 2024년 6월 4일, 수정완료일: 2024년 6월 28일
게재확정일: 2024년 9월 5일

Received: June 4, 2024 / Revised: June 28, 2024

Accepted: September 5, 2024

***Corresponding Author: shhwang@kangwon.ac.kr

Dept. of Electronics, Information and Communication Engineering,
Kangwon National University, Korea

I. 서 론

현재 수소충전소의 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) HMI(Human Machine Interface)는 2D(2-Dimensional)로 이루어져서, 이해하기 어렵고 직관성이 부족하므로, 비전문가도 쉽게 이해할 수 있는 3D(3-Dimensional) HMI가 필요하다.

수소충전소의 효율성과 안전성, 신뢰성을 높이기 위해서는 디지털트윈 기술을 도입해야 한다. 물리적 수소충전소의 가상 복제본을 생성함으로써 운영자는 실시간으로 성능을 모니터링하고 유지 관리 요구사항을 예측할 수 있다. 이 기술을 통해 다양한 시나리오의 시뮬레이션을 통해 수소충전소의 설계 및 운영을 개선할 수 있다.

상세한 3D 모델링을 위해 블렌더(Blender)를 활용하면 수소충전소의 고품질 시각화를 제공할 수 있다. 강력한 시뮬레이션 기능을 갖춘 유니티(Unity)를 사용하면, 수소충전소 3D 모델과의 동적 상호 작용이 가능하므로, 직관적으로 이벤트 발생, 원인 분석과 예측하는데 도움이 된다.

본 논문에서는 블렌더와 유니티를 이용한 디지털트윈을 개발하여, 효율적이고 안전한 3D HMI를 구현하고자 한다.

II. 관련 연구

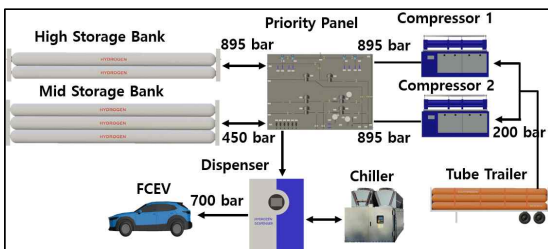


그림 1. 삼척 수소충전소의 프로세스 플로우 다이어그램(PFD)
Figure 1. Process Flow Diagram(PFD) of a Samcheek Hydrogen Refueling Station

그림 1은 삼척 수소충전소의 공정 흐름도 및 배치를 보여준다[1].

튜브 트레일러(Tube Trailer)는 수소를 수소 하역장으로 운반한 다음, 하역 호스를 연결한다. 수소는 튜브 트레일러에서 200 bar 압력으로, 수소 압축기(Hydrogen

Compressor)로 들어가고, 가압 후 기체 수소 저장 용기(Hydrogen Storage Bank)에 저장된다. 고압용기(High Storage Bank)에는 895 bar 압력으로 저장되고, 중압용기(Mid Storage Bank)에는 450 bar 압력으로 저장된다. 수소전기자동차에 충전할 경우, 디스펜서(Dispenser)에서 압력 차를 이용하여 기체 수소를 700 bar를 수소전기자동차에 주입된다[2][3][4]

삼척 수소충전소에서 장비들의 상용압력과 용량은 표 1과 같다[1].

표 1. 장비 조건
Table 1. Equipment Conditions

Name	Pressure	Capacity
Tube Trailer	200 bar	4,833.045 m^3
Compressor	895 bar	1,090 $Nm^3/hr \times 2$ ea
Mid Storage Bank	450 bar	1,189 $L \times 3$ ea
High Storage Bank	895 bar	553 $L \times 2$ ea
Dispenser	700 bar	2,180 Nm^3/hr

2D SCADA HMI는 직관적으로 전체 구성을 파악하기 힘들다. 이를 위해 본 논문서는 블렌더와 유니티를 사용한다.

블렌더는 3D 컴퓨터 그래픽 소프트웨어로, 다양한 3D 모델링, 애니메이션, 렌더링, 모션 트래킹, 비디오 편집, 게임 제작 등을 지원한다. 오픈 소스 프로젝트로, 무료로 사용할 수 있으며, 개인이나 기업, 교육기관 등에서 널리 사용된다. 다양한 분야에서 블렌더를 3D 모델링 프로그램으로 선택하고 있다[5].

유니티는 다양한 플랫폼에서 2D와 3D 게임을 개발할 수 있는 강력한 게임 엔진이자 개발 환경이다. 크로스 플랫폼 지원, 사용자 인터페이스, 강력한 에디터, 풍부한 학습 자료와 커뮤니티, 풍부한 Asset 스토어, 강력한 스크립팅, 고성능 렌더링, 멀티플레이어 네트워킹, 증강 현실(AR)과 가상 현실(VR) 지원하므로, 많은 개발자들이 유니티를 선택하여 게임 개발을 진행하고 있다[6].

본 논문에서는 직관적으로 이해하기 쉬운 3D HMI로 구성하기 위해, 3D 모델링은 블렌더를 사용하고, 시뮬레이션은 게임 엔진인 유니티를 사용하기로 한다.

III. 시나리오

그림 2는 삼척 수소충전소의 SCADA HMI 동영상에서, 1초마다 각 장비들이 측정한 값들을 CSV 파일에 저장한다. 1초마다 각 장비들이 센싱한 30개의 측정값들(압력센서 9개, 온도센서 9개, 플로우미터 1개, 전류센서 2개, 수소가스감지센서 8개와 질량유량계 1개)을 저장한다.

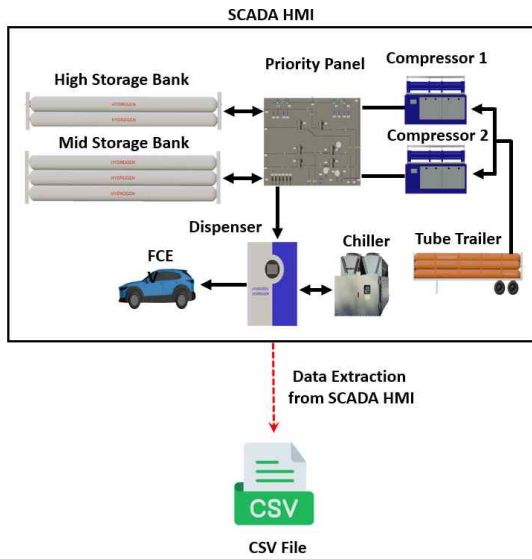


그림 2. SCADA HMI로부터 데이터 추출
 Figure 2. Data Extraction from SCADA HMI

삼척 수소충전소에서의 SCADA HMI 동영상에서 추출한 CSV 파일의 데이터를 전송하기 위하여, TCP 클라이언트에서는 1초마다 CSV 파일에서 30개의 측정값들을 읽어서, 유니티 내부의 TCP 서버로 전송한다. 그림 3은 클라이언트 구성도를 보여준다.

그림 4는 유니티 서버 구성도를 보여준다. 유니티는 TCP 서버를 두고, 클라이언트에서 보낸 데이터를 messageQueue라는 큐 자료구조에 저장한다. 유니티의 Update() 메서드에서 messageQueue 내의 데이터를 꺼낸다. TCP 클라이언트로부터 수신한 데이터를 콤마(,)를 기준으로 30개의 측정값들을 분리한다. InputField에 측정된 값을 순서대로 대입하여, 유니티의 UI에 측정된 값을 표시한다. 이와 같은 방식으로 30개의 측정된 값들이 3D 형태로 표시된다.

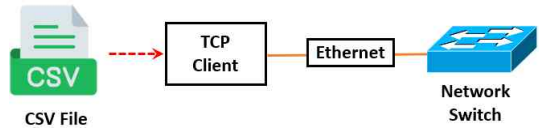


그림 3. 클라이언트 구성도
 Figure 3. Client Configuration Diagram

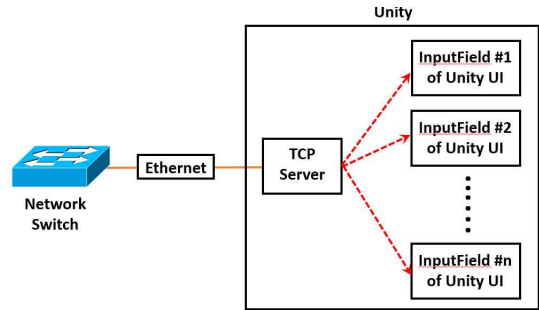


그림 4. 유니티 서버 구성도
 Figure 4. Unity Server Diagram

IV. 실험 및 결과

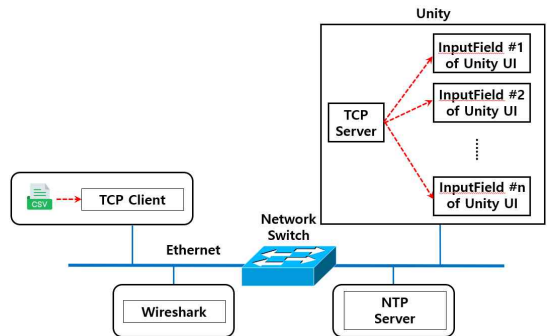


그림 5. 전체 구성도
 Figure 5. Full Configuration Diagram

그림 5는 전체적인 구성도를 보여준다. TCP 클라이언트에서는 1초마다 CSV 파일에서 측정값 30개를 유니티 서버에 보낸다. 유니티 서버에서 30개의 측정값을 해당 유니티 UI의 InputField에 표시한다. 와이어샤크(Wireshark)는 본 실험에서 발생하는 패킷 트래픽들을 캡처(Capture)하고 분석하기 위해 사용한다. NTP(Network Time Protocol) 서버 또는 네트워크 시간 프

로토콜 서버는 장비들과 네트워크 상에서 정확한 시간 동기화를 제공하는 시스템이다. 본 실험에서 모든 장비들이 동일한 정확한 시간으로 동기화되도록 한다.

테스트베드 구성을 위해 그림 6과 같은 실험실 하드웨어를 구성하였다. 2D SCADA HMI 동영상에서 추출한 CSV 파일에서 1초마다 측정된 값을 전송하기 위해, miniPC를 사용하여 TCP 클라이언트를 구현하였다. MiniPC와 디지털트윈을 연결하는 네트워크 장비로서, 시스코사의 IE4000을 사용하였다. 노트북을 사용하여, 3D 모델링을 위한 블렌더와 시뮬레이션을 위해 게임 엔진인 유니티를 이용하여, 디지털트윈을 구현하였다. 와이어샤크와 NTP 서버는 miniPC로 구성하였다.

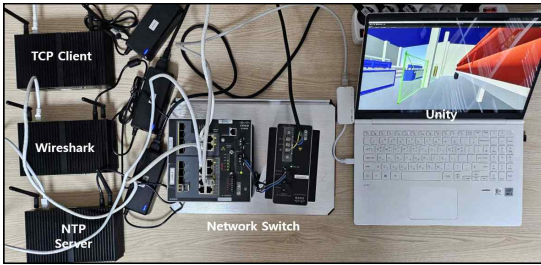


그림 6. 전체 하드웨어 시스템
Figure 6. Total Hardware System

그림 7과 그림 8은 블렌더를 사용하여, 수소충전소 내의 장비들을 3D 모델링을 한 결과를 보여준다. 수소충전소내 장비들의 3D 모델링은 기술검토서와 완성검사서류의 P&ID(Piping & Instrumentation Drawing)을 기준으로 수행하였다. P&ID에 없는 부분들은 실제 측량을 통해 3D 모델링을 완성하였다.



그림 7. 블렌더로 제작한 수소충전소 장비들
Figure 7. Hydrogen Refueling Station Equipment made with Blender



그림 8. 블렌더로 제작한 수소충전소 장비들
Figure 8. Hydrogen Refueling Station Equipment made with Blender

유니티를 이용한 수소충전소 디지털트윈의 초기 화면은 그림 9와 같다. 마우스와 키보드를 이용하여 수소충전소 내부로 들어갈 수 있다.



그림 9. 유니티 동작을 위한 초기 화면
Figure 9. Initial screen for Unity Actions



그림 10. 수소충전소 내부 장비들의 측정값 표시
Figure 10. Display of Measured Values of Equipment inside Hydrogen Refueling Station

그림 9에서 키보드와 마우스를 사용하여 수소충전소 내부로 들어갔을 때의 나타나는 화면이 그림 10이다. 수소충전소 내부 장비들의 측정값들을 표시하고 있다.

그림 11은 키보드 2번 키를 눌렀을 때, 유니티의 카메라가 평면도로 보여주는 그림이다. 그림 11에서는 측정된 값들이 출력되지 않은 상태이다. 그림 12는 측정값들을 평면도 상에 표시한 그림이다.

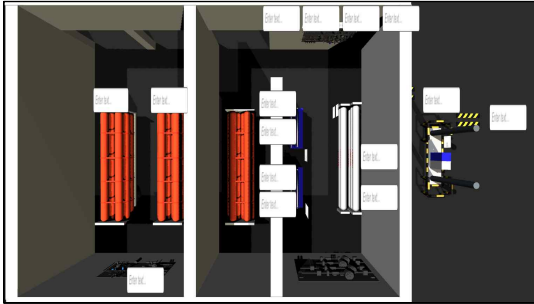


그림 11. 수소충전소의 평면도
Figure 11. Floor Plan Illustration of a Hydrogen Refueling Station

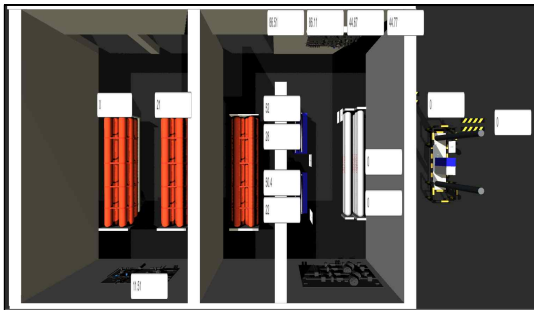


그림 12. 수소충전소의 측정값들을 평면도 상에 표시
Figure 12. Display Measurements from a Hydrogen Refueling Station on a Floor Plan

수소충전소의 디지털트윈은 실시간 데이터를 수신하여, 직관적으로 모니터링할 수 있었다. 2D 형식의 SCADA HMI보다 이해하기 쉽게 데이터를 시각적으로 표시하였다. 수소 농도, 온도, 압력, 플로우 같은 필수 정보를 명확하고 직관적 이해할 수 있도록 표시하였다.

수소충전소에서의 비용 절감을 위해, 일하는 직원들을 감축하려고 노력하고 있다. 예를 들어, 강릉에 소재하는 수소충전소에서의 직원은 3명(소장 1명, 수소 충전하는 직원 2명)이고, 3교대로 일하며, 상주하는 인원은 2명이다. 향후 인원을 더 줄일 전망이다. 수소충전소 소장 같은 경우에는 수소충전소를 구성과 현황에 대해 전문가이지만, 수소 충전하는 직원들은 비전문가이다. 비전문가라도 수소충전소 구성과 현황을 직관적으로

이해할 수 있는 디지털트윈이 필요하다.

본 논문에서의 수소충전소 디지털트윈은 전문적인 기술 지식이 필요하지 않은 직관적인 제어 기능을 갖춘 사용자 친화적인 인터페이스를 통해 시스템과 상호 작용할 수 있다.

V. 결론

2D SCADA HMI는 이해하기 어렵고 직관성이 부족하므로, 비전문가도 쉽게 이해할 수 있는 3D HMI가 필요하다. 이를 위해 수소충전소 3D 모델링은 블렌더를 사용하였고, 디지털트윈은 유니티를 이용하여 구현하였다.

본 연구에서의 수소 충전소 디지털트윈은 수소충전소 장비에서 측정된 값을 3D로 실시간으로 표시하여, 수소충전소의 이벤트 발생, 원인 분석과 예측을 직관적으로 하는데 도움을 주고자 하였다.

향후 연구로는 IoT (Internet of Thing)와 각종 센서를 이용하여 다양한 장비와 환경하에서 장비들의 측정값들을 수집할 계획이다. 수소충전소 디지털트윈에서 다양한 시나리오를 시뮬레이션함으로써 성능 최적화 및 가동 중지 시간 감소에 대한 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] Sung-Ho Hwang, "Implementation of a Hydrogen Leakage Simulator with HyRAM+," *The Journal of Convergence on Culture Technology (JCCT)*, Vol. 10, No. 1, pp. 551-557, January 2024. DOI:https://doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.1.551
- [2] Sung-Ho Hwang, "Transmission for IEC 61850 Sampled Values Using Current and Voltage Sensors of Raspberry Pi," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 18, No. 6, pp.157-162, Dec 2018. DOI: https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.6.157
- [3] Katrina M. Groth, Ethan S. Hecht, "HyRAM: A methodology and toolkit for quantitative risk assessment of hydrogen systems," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 42, No. 11, pp. 7485-7493, April 2017. DOI:https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.002
- [4] Brian D. Ehrhart and Ethan S. Hecht, "Hydrogen Plus Other Alternative Fuels Risk Assessment

Models (HyRAM+) Version 5.0 Technical Reference Manual”, Sandia Report, November 2022.

[5] <https://www.unity.com>

[6] <https://www.bender.org>

※ 본 과제(결과물)는 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2022RIS-005)