

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.5.569>

JCCT 2022-9-71

Unity 3D를 이용한 가상현실 프로토타입 크레인 훈련 시스템 설계 및 구현

Design and Implementation of Virtual Reality Prototype Crane Training System using Unity 3D

허석렬*, 김근영**, 최정빈**, 박지우**, 전민지**, 이완직***

Seok-Yeol Heo*, Geon-Young Kim**, Jung-Bin Choi**,
Ji-Woo Park**, Min-Ji Jeon**, Wan-Jik Lee***

요약 크레인 훈련 프로그램은 실제 항만과 동일한 환경의 훈련 시스템을 구축하고 이를 활용하는 것이 가장 바람직하지만 시공간의 제약과 비용 등의 문제를 가지고 있다. 이런 제약점을 극복하고자 AR/VR을 기반으로 한 차세대 훈련 프로그램이 많은 주목을 받고 있다. 본 논문에서는 가상현실을 기반으로 하는 항만 크레인 훈련 시스템의 프로토타입을 설계하고 구현하였다. 본 논문에서 구현한 시스템은 아두이노를 기반으로 한 IoT 조작 단말기와 유니티 응용 프로그램을 탑재한 HMD 2가지 요소로 구성된다. IoT 조작 단말기는 2개의 컨트롤러와 2개의 토글 스위치 및 8개의 버튼 스위치로 이루어져 사용자의 조작에 따라 발생하는 데이터를 처리한다. HMD는 Oculus Quest2를 사용하며 IoT 단말기와 무선통신으로 연결되어 사용자의 편의성을 제공한다. 본 논문에서 구현한 훈련 시스템은 가상현실을 통해 훈련자에게 시간과 장소에 구애받지 않는 훈련 환경을 제공하고 시간과 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 유니티3D, 가상현실, 크레인, 시뮬레이터, 설계 및 구현

Abstract It is most desirable to build a crane training program in the same environment as the actual port, but it has problem such as time constraint and cost. To overcome these limitations, next-generation training programs based on AR/VR are receiving a lot of attention. In this paper, a prototype of a harbor crane training system based on virtual reality was designed and implemented. The system implemented in this paper consists of two elements: an Arduino-based IoT terminal and an HMD equipped with a Unity application program. The IoT terminal consists of 2 controllers, 2 toggle switches, and 8 button switches to process data generated according to the user's operation. The HMD uses Oculus Quest2 and is connected to the IoT terminal through wireless communication to provide user convenience. The training system implemented in this paper is expected to provide trainees with a training environment independent of time and place through virtual reality and to save time and money.

Key words : Unity 3D, Virtual Reality, Crane, Simulator, Design and Implementation

*정회원, 부산대학교 IT응용공학과 교수 (제1저자)
**준회원, 부산대학교 IT응용공학과 학사과정 (참여저자)
***정회원, 부산대학교 IT응용공학과 교수 (교신저자)
접수일: 2022년 7월 26일, 수정완료일: 2022년 8월 18일
게재확정일: 2022년 9월 3일

Received: July 26, 2022 / Revised: August 18, 2022

Accepted: September 3, 2022

***Corresponding Author: wjlee@pusan.ac.kr

Dept. of IT Engineering and Application, Pusan Nat'l Univ,
Korea

I. 서론

해양 수산부와 고용노동부의 2021년 7월 발표에 따르면 항만 작업 중 숨지거나 다친 사람은 10년간 모두 2,800명으로 집계되었으며 2017년 이후 4년 연속 증가한 것으로 나타났다. 특히 항만 하역의 경우 평균 사고 재해율이 국내 모든 산업 재해율 평균보다 높아서 항만 하역에서 가장 중요한 크레인의 안전을 담보하는 것이 무엇보다도 시급하고 중요하다고 할 수 있다[1].

크레인에서 발생하는 안전사고는 많은 사전 훈련과 철저한 대비로 충분히 예방이 가능하기 때문에 체계적으로 구성된 훈련 프로그램이 필수적이다. 가장 좋은 훈련 프로그램은 실제와 같은 환경을 구축하고 이를 활용하는 것이지만 높은 비용이 가장 큰 걸림돌이 된다. 한 예로 2022 1월 기준, 네이버에 등록된 중장비 학원 300여 개 중 크레인을 보유한 곳은 5% 정도 밖에 되지 않았다.

이러한 시공간 제약과 비용 문제를 극복하기 위해 크레인 훈련 프로그램은 평면 디스플레이와 IoT 디바이스를 활용한 반 몰입 시뮬레이션 프로그램으로 빠르게 대체되고 있다. 그러나 평면 디스플레이와 2차원으로 진행되는 훈련 프로그램은 3차원인 현실을 그대로 담아내지 못하기 때문에 피교육자가 느끼는 교육효과에 근본적인 한계가 있어 AR/VR을 기반으로 한 차세대 훈련 프로그램이 절실히 요구된다[2-3].

실제 크레인을 사용할 때 발생하는 비용문제와 반 몰입형 시뮬레이터를 사용할 경우 발생하는 부족한 현실감은 가상현실을 이용한 몰입형 시뮬레이터 훈련 시스템을 이용한다면 이러한 문제점을 동시에 해소 할 수 있다. 최근 연구에 따르면 가상현실을 이용한 몰입형 시뮬레이터 훈련체계가 반 몰입형 시뮬레이터 훈련체계보다 비용대비 교육효과가 3.4배 높은 것으로 나타났다[4].

본 논문에서는 VR 가상현실을 기반으로 하는 항만 크레인 훈련 시스템의 프로토타입을 설계하고 구현하였다. 본 논문에서 구현한 시스템은 IoT 조작 단말기와 유니티 응용프로그램을 탑재한 HMD 2가지 요소로 구성된다. 첫 번째 구성요소인 IoT 조작 단말기는 아두이노 나노 33 BLE에 연결되어 있는 2개의 컨트롤러와 2개의 토글 스위치 및 8개의 버튼 스위치로 이루어져 있으며 크레인 운전 시뮬레이션 프로그램을 위한 데이터를

사용자로부터 입력받을 수 있다. 입력받은 데이터는 VR HMD로 전송된다. IoT 조작 단말기와 VR HMD 간의 데이터 전송은 저전력 기반의 블루투스 기술인 BLE 통신 프로토콜을 사용하여 조작 단말기의 에너지 소모를 최소화하였다. 두 번째 구성 요소인 유니티 응용프로그램을 탑재한 HMD는 상용되고 있는 META사의 Oculus Quest2를 사용하였으며 탑재되어 있는 크레인 훈련 응용프로그램은 본 프로토타입 시스템 개발을 위해 Unity3D 엔진을 사용하여 개발하였다. Oculus Quest2는 PC나 콘솔 등의 외부 장치 없이 독립적으로 작동할 수 있는 HMD이고 IoT 조작 단말기와 통신도 무선으로 이루어지기 때문에 사용자의 편의성과 편리함을 제공할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 가상현실을 이용한 시뮬레이터 개발에 대한 관련 연구들을 살펴보고 3장에서는 가상현실을 이용한 프로토타입 크레인 훈련 시스템을 설계한다. 4장에서는 3장에서 설계한 기반으로 항만 크레인 훈련 프로그램을 구현하고 마지막으로 5장에서 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

항만 분야에서 가상현실을 이용한 시뮬레이터 구축과 관련된 다수의 연구가 존재한다. 항만 관련 시뮬레이터는 시뮬레이션 환경이나 방법론을 제시한 연구와 타워 크레인과 같이 구체적인 구조물을 대상으로 역할을 시뮬레이션 하는 영역으로 구분할 수 있다. 시뮬레이션 환경이나 방법론을 제시한 연구로 [5]에서는 가상현실 선박 시뮬레이터를 위한 배경을 구현하였고 [6]에서는 VR HMD를 이용하여 스마트 항만 전기/전자 장비 유지보수 할 수 있는 솔루션을 개발하였으며 [7]에서는 조선해양환경에서 다목적으로 사용할 수 있는 시뮬레이터의 5가지 구성 요소를 정의하고 이들 구성 요소에 따른 요소기술을 기반으로 한 해양 시뮬레이션 센터를 구축하였다. 본 논문에서 개발한 크레인 시뮬레이터와 유사한 연구로 [8]에서는 게임 물리엔진을 이용하여 천장 크레인 시뮬레이터를 개발하였고 [9]에서는 가상현실 기반의 타워크레인 훈련을 위한 로프 시뮬레이터를 개발하였다. [10]에서는 가상현실과 IoT센서를 이용한 스마트 항만 원격조종 프로그램을 구현하였으며 [11]에서는 물리엔진을 이용한 훈련용 해상크레인

시뮬레이터를 개발하였다.

III. VR HMD 기반 프로토타입 훈련 시스템 설계

본 논문에서 설계할 프로토타입 크레인 훈련 시스템의 시스템의 전체 구성을 그림 1에 나타내었다.

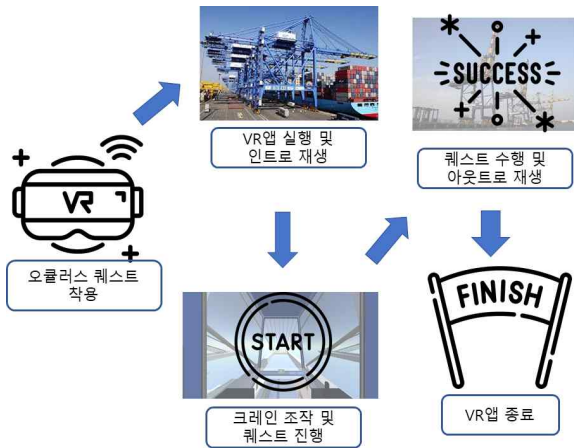


그림 1. 크레인 훈련 시스템 전체 구성도
 Figure 1. Entire configuration of crane training system

그림 1에서 보는 바와 같이 전체 시스템은 IoT 단말기, 오쿨러스 퀘스트2 HMD, 유니티 응용프로그램으로 구성된다. 그림 1의 시스템 구성을 구성요소별로 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 크레인 훈련 시스템 구성요소
 Table 1. Components of crane training system.

구성요소	기본 기능	부속장치
IoT 조작 단말기	마이크로 컨트롤러 (BLE 지원)	토글 스위치, 버튼 스위치, 조작 컨트롤러
HMD	Oculus Quest 2	Android OS 탑재
응용프로그램	Unity 구동 가능 하드웨어	크레인 운전 훈련 콘텐츠

시스템 구성에서 IoT 조작 단말기는 사용자가 직접 입력할 수 있는 크레인의 조작계를 나타낸다. 토글 스위치와 버튼 스위치 그리고 크레인 컨트롤러에 입력된 데이터를 HMD의 응용 프로그램에 전달하는 요소로 구성된다. HMD는 PC 등의 다른 디바이스가 없이 독립적으로 훈련 프로그램을 작동할 수 있는 HMD인 Oculus Quest 2를 채택하였다.

운전 훈련 콘텐츠를 제작할 응용프로그램은 Unity3D 엔진을 채택하여 개발하였다. Unity3D엔진은 게임 개발 환경을 제공하는 게임 엔진으로서 라이트 맵핑, 물리 엔진 등 현실 세계를 구현하기 위한 미들웨어들을 탑재하고 있어 크레인 운전 훈련 콘텐츠를 제작할 때 현실의 물리 법칙을 쉽게 부여할 수 있으며 스크립트를 작성하거나 제작한 3D 모델링을 렌더링 하는 등 콘텐츠 개발의 중심 역할을 한다.

1. IoT 조작 단말기 전송 데이터 포맷 설계

IoT 조작 단말기의 전송방식으로 BLE를 채택하였다. BLE는 전송 대역폭이 낮고 데이터 패킷이 작은 대신 소비전력이 매우 낮다. 본 논문에서 구현한 시스템의 IoT 조작 단말기와 HMD 사이의 제어 통신은 큰 데이터 패킷과 높은 전송 대역폭이 필요하지 않으므로 BLE 통신이 가장 적합하다.

전송 데이터 포맷은 BLE의 GAP(General Access Profile)와 GATT(Generic Attribute Profile) 데이터 구조로 설계하였다. GAP에 따라 IoT 조작 단말기는 Peripheral 장치로서 작동하고 HMD는 Central 장치로서 작동한다. Peripheral 장치는 일정한 주기로 주변의 Central 장치에게 advertising packet을 전송하고 이를 수신한 Central 장치가 응답하면 두 장치가 연결되어 advertising은 종료되고 GATT 데이터 구조에 따라 양방향으로 통신을 시작한다. 마이크로 컨트롤러와 IoT 조작 단말기는 데이터를 전송하는 GATT Server 역할을 담당하며 데이터를 전송받는 HMD 하드웨어는 GATT Client 역할을 맡아 GATT Server에게 데이터를 요청하여 전송받는다.

IoT 조작 단말기는 크레인 운전자가 원활하게 운전 학습을 진행할 수 있도록 버튼 스위치 좌우 각각 4개, 토글 스위치 좌우 각각 1개, 호이스트 조이스틱 좌우 각각 1개로 구성하였다. 좌우 조작계 데이터의 구분을 위해 1개의 Profile, 2개의 Service, 14개의 Characteristic으로 설계하였다. 그림 2에 BLE 통신의 전송 데이터 형태를 나타내었다.

IoT 조작계의 센서 데이터는 BLE GATT 프로토콜의 Characteristic에 저장된다. 컨테이너 크레인의 토글 스위치는 3로 스위치의 SPDT 회로이므로 양쪽의 값을 구분하기 위해 스위치 각각 2개의 bool 자료형을 사용하여 설계하였다(Toggle1, Toggle2, Toggle3, Toggle4).

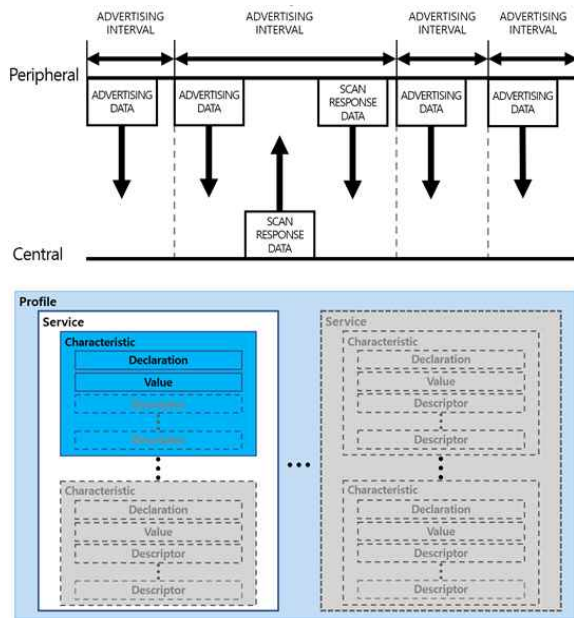


그림 2. GAP의 Advertising Process와 GATT 데이터 구조
Figure 2. Advertising process of GAP and data structure of GATT

다음으로 버튼 스위치는 2로 스위치의 SPST 회로이므로 스위치 각각 1개의 bool 자료형을 사용하여 설계하였다(Btn1~8). 마지막으로 호이스트 조이스틱은 사용자로부터 세밀한 센서 값을 받아올 수 있도록 210의 범위를 가지기 때문에 4바이트의 int 자료형을 사용하였고, X축과 Y축의 값을 받아올 수 있도록 설계하였다(X1, X2, Y1, Y2). 이 값들은 자료형에 맞게 각각 하나의 Characteristic에 탑재되어 전송된다. 좌우 조작계를 논리적으로 구분하여 2개의 Service으로 설계하였다(LEFT, RIGHT). GATT 구조로 전송되는 각각의 Service와 Characteristic은 고유한 UUID를 가지므로 HMD의 Android OS는 각각의 버튼이 무엇을 제어하는 값인지, 좌우 중 어느 데이터를 받아오는지 등의 정보를 알 수 있다.

2. 안드로이드 OS 플러그인 설계

본 논문의 플러그인 설계는 Oculus Quest 2의 하드웨어를 기준으로 Android 10 OS, Bluetooth 5.0을 지원함을 가정하여 설계하였다. IoT 단말 조작기가 전송하는 데이터는 Android OS를 거쳐 Unity 응용프로그램으로 전송된다. 이 때 Unity 응용프로그램 단독으로는 Android OS의 하드웨어 기능인 블루투스를 사용할 수 없으므로 Unity와 Android를 통합(integration)할 수 있는

플러그인이 필요하다. Android OS의 블루투스 기능을 호출하여 제어하기 위해서는 Java나 Kotlin 프로그래밍 언어로 작성된 시스템 호출이 필요한데, 플러그인은 Java로 작성된 외부 코드를 Unity 내부의 C# 스크립트로 호출할 수 있도록 통합하였다. 이를 통해 Android OS 하드웨어 기능인 블루투스 와 라이브러리와 같은 기능을 Unity C# 스크립트에서 사용할 수 있도록 하였다.

유니티에서 사용하는 안드로이드 파일은 JAR, AAR 두가지로 구분된다. JAR은 자바 스크립트의 class만 포함되어 있는 파일이고, AAR은 class와 manifest와 resource가 모두 포함되어 있는 파일이다. 본 논문의 플러그인 부분에서는 manifest와 resource 부분을 배제하고 bluetooth system call을 위한 class만을 제공하는 JAR을 기준으로 설계하였다.

IV. 항만 크레인 훈련 프로그램 구현

본 논문에서 개발된 프로토타입 가상현실 크레인 훈련시스템의 구현환경을 표 2에 정리하였다.

표 2. 가상현실 크레인 훈련시스템 구현 환경
Table 2. Implementation environment of VR crane training system

구분		상세내용
S/W 개발 환경	OS	Window
	개발환경 (IDE)	SDK, JDK, NDK
	개발도구	blender, Android Studio, Unity 3D
	개발언어	C#, JAVA
H/W 구성 장비	디바이스	오컬러스 퀘스트2
	센서	30mm Arcade Game Machine Switch, Toggle 3단6P WJT-6303S, HF22P10(조이스틱)
	통신방식	BLE
	개발언어	C#

크레인 훈련 시스템은 크게 2가지 모드로 구성된다. 첫 번째 모드인 튜토리얼 모드는 훈련자가 크레인의 기본 동작을 이해하고 각 세부기능을 숙지하도록 도움을 주며 두 번째 모드인 실전 연습 모드는 훈련자가 가상현실 상에서 직접 크레인을 조작함으로써 크레인 작동의 숙련도를 향상시키는 모드이다. 전체 시스템 구성을 메뉴 구성도로 나타내면 그림 3과 같다. 구현된 프로토

타입 훈련 시스템을 소프트웨어와 하드웨어로 구분하여 기능별로 표 3에 나타내었다.

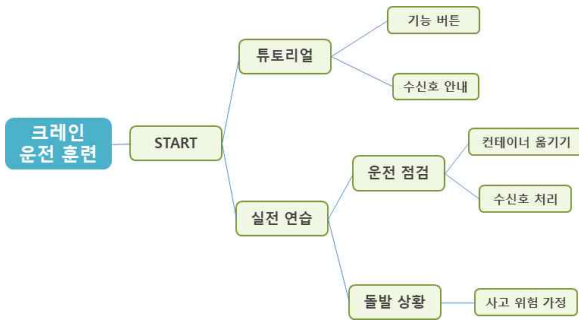


그림 3. 크레인 훈련 시스템 메뉴 구성도
 Figure 3. Crane training system menu diagram

구현된 프로토타입 훈련 시스템을 소프트웨어와 하드웨어로 구분하여 기능별로 표 3에 나타내었다.

표 3. 가상현실 크레인 훈련시스템 기능 목록
 Table 3. Function list of VR crane training system

구분	기능	기능설명	완성도
S/W	크레인 가상 훈련 시스템	크레인 훈련 콘텐츠	50%
	사용자 모션 처리	핸드 트래킹을 이용한 모션 처리	100%
	콘텐츠 수행도 확인	사용자의 수행 정도를 표시	30%
H/W	크레인 조종	센서를 이용한 크레인 조종	50%
	콘텐츠 가시화	HMD를 이용한 가시화	70%

1. IoT 단말 조작기와 안드로이드 OS 플러그인 구현

그림 4는 본 논문에서 구현한 크레인 훈련 시스템의 주요 기능 중 안드로이드 OS 플러그인의 내부구조를 나타낸다. 아두이노를 기반으로 제작된 IoT 단말조작기와 BLE 통신을 하기 위한 Android Java 모듈은 BluetoothPlugin()과 BluetoothService()로 구성되며 Unity 응용 프로그램이 블루투스 기능을 사용할 수 있도록 지원하는 플러그인 모듈이 Android Java 모듈과 Unity 응용 프로그램 사이에서 중계 기능을 담당한다. 플러그인 모듈은 BluetoothModel()과 Bluetooth()로 이루어진 BLE 통신 담당 부분과 전송된 데이터를 유니티 응용 프로그램이 사용할 수 있도록 변환하는 인터페이스 부분으로 구성된다.

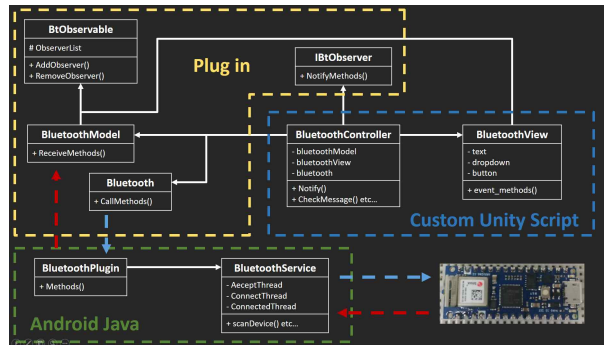


그림 4. IoT 단말 조작기와 안드로이드 OS 플러그인
 Figure 4. IoT terminal controller and android OS plug-in

2. Unity 크레인 운전 훈련 콘텐츠 구현

본 논문에서 구현된 시스템의 서비스 구성을 시나리오를 중심으로 나타내면 그림 5와 같다

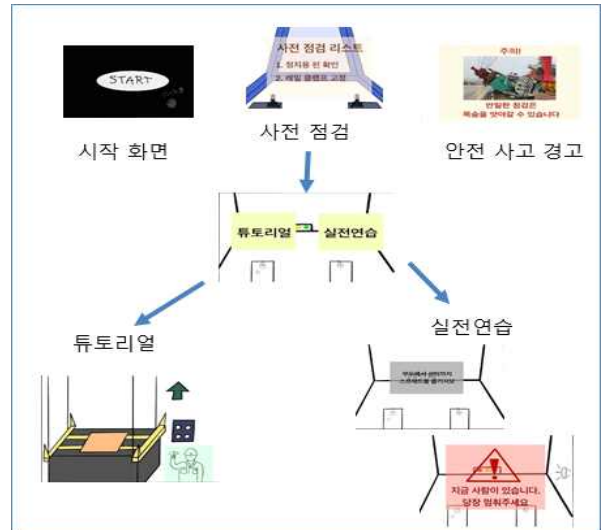


그림 5. 시나리오 중심의 서비스 구성도
 Figure 5. Scenario-focused service configuration diagram

그림 6은 본 논문에서 구현한 크레인 훈련 시스템의 전체 구성화면을 보여준다. 그림 6의 UI 중 왼쪽 위/아래 화면은 블랜더에서 에셋을 수정하거나 생성하는 부분이며 오른쪽 위/아래 화면은 Unity3D 프로그램에서 프로젝트를 수정할 때 사용하는 부분이다. 아래 그림 7은 HMD를 착용한 훈련자 관점에서 보이는 화면을 캡처한 것이고 그림 8은 훈련자가 IoT 단말 조작기를 이용하여 시뮬레이터를 조작하는 모습을 보여준다.

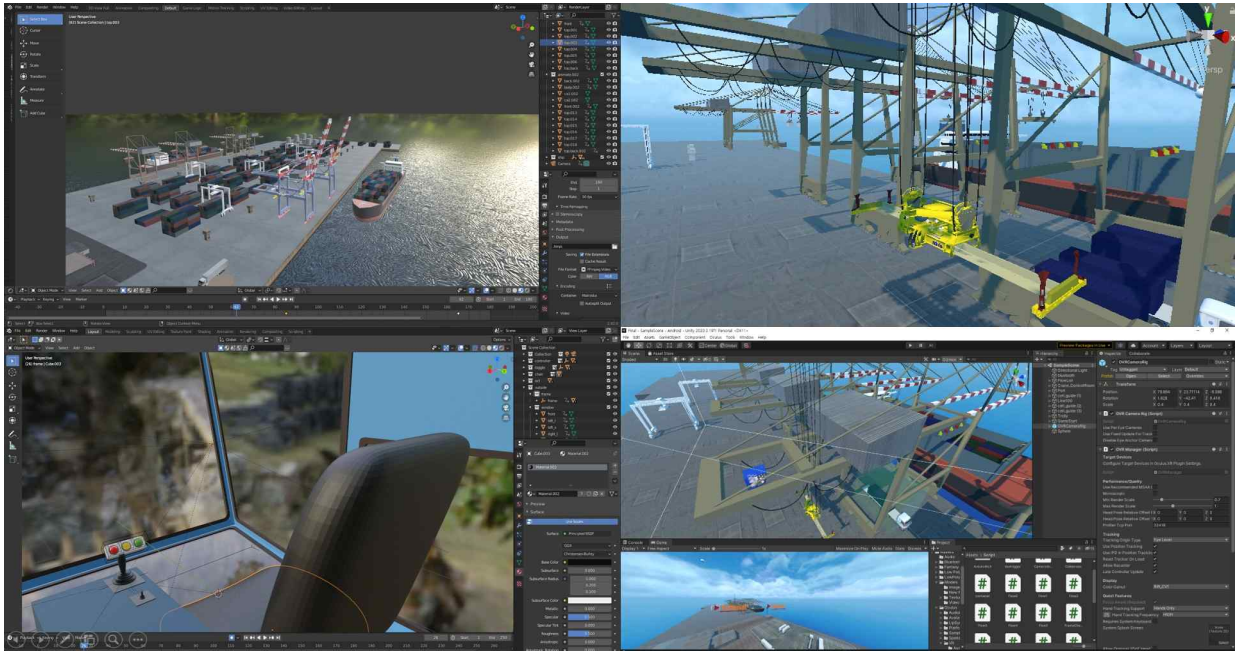


그림 6. 프로토타입으로 구현된 크레인 훈련 시스템 전체 구성화면
Figure 6. The entire configuration of the crane training system implemented as a prototype

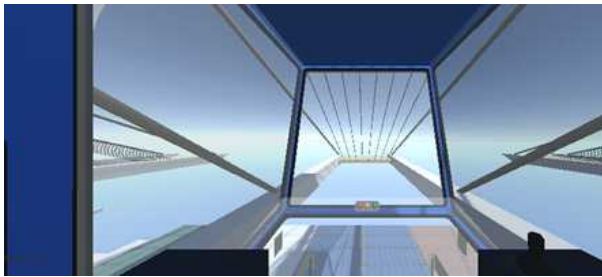


그림 7. HMD를 착용한 훈련자 관점 화면
Figure 7. Trainer's perspective screen wearing HMD



그림 8. 훈련자가 IoT 단말 조작기를 이용하는 시연 화면
Figure 8. Demonstration screen where the trainee uses the IoT terminal operator

V. 결 론

본 논문에서는 VR 가상현실을 기반으로 하는 항만 크레인 훈련 시스템의 프로토타입을 설계하고 구현하였다. 본 논문에서 구현한 시스템은 IoT 조작 단말기와 유니티 응용프로그램을 탑재한 HMD 2가지 요소로 구성된다. 첫 번째 구성요소인 IoT 조작 단말기는 크레인 운전 시뮬레이션 프로그램을 위한 데이터를 사용자로부터 입력받을 수 있다. 두 번째 구성 요소인 유니티 응용프로그램을 탑재한 HMD는 PC나 콘솔 등의 외부 장치 없이 독립적으로 작동할 수 있는 HMD이고 IoT 조작 단말기와 통신도 무선으로 이루어지기 때문에 사용자의 편의성과 편리함을 제공할 수 있다.

본 논문에서 구현한 크레인 훈련 시스템은 2가지 모드로 구성된다. 첫 번째 모드인 튜토리얼 모드는 훈련자가 크레인의 기본 동작을 이해하고 각 세부기능을 숙지하도록 도움을 주며 두 번째 모드인 실전 연습 모드는 훈련자가 가상현실 상에서 직접 크레인을 조작함으로써 크레인 작동의 숙련도를 향상시키는 모드이다.

프로토타입으로 구현된 가상현실 크레인 훈련 시스템은 사용자 모션을 처리하고 콘텐츠를 HMD를 이용하여 가시화하는 기능 중심으로 완성도를 높였으나 다양한 훈련 시나리오를 위한 콘텐츠 개발과 훈련자의 수행

정도를 표시하는 기능 및 센서 입력 값과 크레인 조종간의 정합기능은 일부 기능만 완성하였다. 이 부분을 포함하여 크레인 훈련 시스템의 완성도를 높이는 부분은 향후 과제로 진행할 예정이다.

References

- [1] Oh, Y.J, “항만 재해 이틀에 1명꼴...재해·사망을 전산업 평균 웃돌아”, Yonhap News Agency, 2021.7.5., page 1, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20210705098100530>.
- [2] Beom, W. T., Ja Young Kim, and Nam Joo Kim. “Realistic Education Content Policy Trends and Case Analysis Using VR· AR.” *National IT Industry Promotion Agency, Issue Report* 15 March 2019.
- [3] Shim, Youn Sook. “Technology Trends of Realistic Contents and Application to Educational Contents.” *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol. 5, No. 4, pp. 315-320, Nov. 2019, DOI: 10.17703/JCCT.2019.5.4.315.
- [4] Kim, Do-heon, Seung-hee Min, and Yeek-hyun Kim. “Cost Education Effectiveness Analysis of Immersion-type and Simulator-type Virtual Reality Training Systems-Focusing on The ROK Army Virtual Reality Training System,” *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 22, No. 4, pp.345-352, 2021, DOI: 10.5762/KAIS.2021.22.4.345.
- [5] Yim, Jeong-Bin. “Implementation of background scene in the virtual reality ship simulator,” *Journal of the Korean society of marine environment & safety* Vol. 6, No. 1, pp.11-22, 2000.
- [6] Park, Hae-Mi, et al. “Smart port electrical/electronic equipment maintenance solution development using VR HMD,” *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference. Korea Information Processing Society*, pp. 648-650, 2020, DOI: 10.3745/PKIPS.y2020m11a.648.
- [7] Seung-Ho Ham, Myung-Il Roh, and Jong-Hyeok Lee, “Integrated Simulation Method for the Development of Multi-purpose Ship and Ocean Simulators,” *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, Vol. 25, No. 2, pp. 161-172. June 2020, DOI: <https://doi.org/10.7315/CDE.2020.161>.
- [8] Ok, Soo-Yol, and Sung-Kil Kim. “The Development of Overhead Crane Simulator Using Open Source Physics Engine,” *Journal of Korea Game Society* Vol. 9, Issue 5, pp. 95-104, Oct. 2009.
- [9] Jung, Hee-Ji, Kwang-Tae Kim, and Dongsik Jo. “Rope simulation for VR tower crane training.” *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference. Korea Information Processing Society*, Vol. 26, No. 2, pp. 538-539, 2019, DOI: 10.3745/PKIPS.y2019m10a.538.
- [10] Yoon, Su-Bin, et al. “Smart port Remote Control Training Content using Virtual Reality and IoT sensors.” *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference. Korea Information Processing Society*, Vol. 27, No. 2, pp.189-192, 2020, DOI: 10.3745/PKIPS.y2020m11a.189.
- [11] An, J.M., Kim, I.K. and Han, S.H., “A Training Simulator of Floating Crane based on a Physics Engine,” *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*, Pyungchang, South Korea, pp.138-140, 2016.

※ 이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업
(2년)에 의하여 연구되었음.