

# IOT 디지털트윈을 이용한 교육용 로딩암 시뮬레이터

나두민\*, 이현석\*, 주세환\*, 윤민석\*, 임유빈\*, 김정민\*\*

\*삼육대학교 컴퓨터·메카트로닉스공학부, \*\*KT

skenals12@gmail.com, rapael3020@gmail.com, wntpgghks0526@naver.com,

ja21315@naver.com, dbqls0782@naver.com, cocowin@naver.com

## Training Loading Arm Simulator using IOT Digital Twin

Dumin NA, Hyunseok Lee, Sehwan Joo, Minseok Yoon, Yubeen Lim  
Department of Computer·Mechatronics Engineering, Sahmyook university

### 요 약

항만에서 액체화물 취급이 증가함에 따라 로딩암의 사용빈도가 늘어나고 있다. 이에 본 논문에서는 로딩암 교육생들이 실전에 투입되기 전에 충분히 교육할 수 있도록 교육용 시뮬레이션을 제시한다. 그와 더불어 시뮬레이션과 연동되는 로딩암모형의 디지털트윈 연동을 통해, 교육생들의 로딩암 조종기술 향상을 이루어, 보다 안전한 로딩암작업과 항만의 액체화물사고 빈도를 크게 줄일 것으로 기대한다.

### 1. 서론

항만에서 취급하는 화물 중 액체화물은 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 울산항만공사(UPA)의 2019년 통계를 보면 원유 및 석유제품운반선의 비중이 55.7퍼센트, 화물처리 실적에서는 석유류 34.49퍼센트, 원유가 33.23퍼센트로 액체화물의 비율이 67.72퍼센트였으며 그 외 화학제품 13.23퍼센트, 광석류와 차량 부품을 포함하여 19.05퍼센트였다. [1]



(그림1)울산항 연도별 액체화물 처리실적

액체화물실적은 2015년 약 1억5천만 톤에서 2019년 1억6천만 톤으로 증가하였다. [2]

액체화물탱크에서 선박에 액체화물을 싣기 위해서는 로딩암>Loading-Arm)이 필요하다. 로딩암이란 기름, 케미컬, LNG 및 LPG 화물의 선적이나 하역을 위해 사용되는 장비로서 주로 대량의 액체나 기체의 화물을 취급하기 위해 이용된다. [3] 그러나 이 로딩암을 조종할 때 숙련된 조종사가 아니면 안전사고가 일어날 수 있다. 특히 액체화물의 경우 사고가 잦고 인명피해가 날 수 있기 때문에 신중한 작업이 필수적이다. 그 때문에 이러한 사고를 줄이기 위해서는 많은 교육과 실습이 필요하다.

본 논문에서는 이 해결책으로 로딩암 시뮬레이션과 로딩암 모형의 연동을 통한 교육법을 제시한다. 로딩암 시뮬레이션은 실제와 유사한 상황을 구현하여 배의 선박과 로딩암 주유에 관한 실습을 하고, 그에 따른 절차적인 정보를 제공받음으로써 더욱더 철저하고 유용한 교육이 가능하다. 또한 자신이 조종하는 대로 구현된 3D 로딩암 모형과 시뮬레이션을 연동하는 디지털트윈 기술을 구현하여 사실성을 부여한다.

이 로딩암 시뮬레이션과 로딩암 모형의 디지털트윈 기술은 로딩암 교육의 질을 향상시키고 초보 기술자들을 교육하는 주 모델이 될 수 있다. 궁극적으로는 항만에서 생기는 액체화물 및 로딩암 조종 미숙으로 인한 조작사고를 크게 줄여줄 것이라고 기대한다.

또한 5G와 VR 기술을 접목해 더욱 실제 모습과 유사한 시뮬레이션이 구현될 가능성이 충분하다고 사료된다.

### 2. 관련연구

#### 2.1 CPS(Cyber Physical System) & Digital Twin

CPS는 물리적 구성요소와 사이버 적 구성요소 간의 상호작용을 통해서 업무, 공정 등을 처리하는 시스템을 의미한다. 일반적으로 업무, 공정 등에서 발생하는 정보를 컴퓨팅 장치가 수집->처리->분석하여 적절하게 물리 장치를 움직이게 함으로써 업무 또는 공정이 정상적으로 목적을 달성하도록 하는 기술이다. [4] 디지털트윈은 현실 공간의 특정 대상을 모델링하고 그 대상에서 발생하는 데이터를 실시간 수집하여 이를 가상공간의 다양한 환경이나 조건에서 시뮬레이션 및 분석하고 최적의 결과를 도출하여 다시 현실에 적용함으로써 동기화하는 기술이다. [5] 디지털 트윈은 다양한 산업 분야에 적용될 수 있는데 예를 들면 제조 분야에서는 부품과 제품 설계, 시스템/플랜

트 운용 모니터링, 작업량/생산량 예측, 고장 진단/예측 등 효율적 제조공정 운용에 활용될 수 있다. [6] 로딩암 mock-up과 시뮬레이션에 디지털트윈 기술을 적용 시, 실제 현장에서 시뮬레이션의 선 작업의 결과인 데이터를 적용하여 정확성 및 시간 단축의 효과를 나타낸다. 나아가 CPS는 디지털트윈의 기초 항목으로 볼 수 있는데, 로딩암의 최종적인 자동화를 이룰 시, mock-up의 데이터와 시뮬레이션의 상호작용을 기반으로 선 작업 후 결과가 아닌 실시간 데이터 분석 및 공유를 한다. 이는 작업자가 작업 진행 시 가상 시뮬레이션 세계에서 실시간으로 정확한 값과 위험 수치의 정보를 기대 할 수 있어 더 발전된 환경과 빠른 작업 속도를 기대한다.

2.2 언택트(Untact)

Untact는 접촉을 뜻하는 단어에 Un이 결합하여 “접촉하지 않는다”라는 합성어이다. 즉, 비대면 방식으로 정보를 제공하거나 상품을 거래하는 것이다. 최근에는 많은 비즈니스 기업들이 비대면 서비스를 제공하기 위해서 무인 주문 결제 시스템, 키오스크, 셀프서비스 계산대 등을 도입하였다. [7] 그림 2를 보면 편리성, 신속성, 감소된 피로, 정보의 정확성, 복잡성, 전환 비용, 감정의 부재와 같은 이점을 주기 때문에 본 프로젝트 또한 유류 관리의 Untact를 구현하기로 하고 이를 제시한다. 결과적으로 유류 관리의 Untact화는 바코드 및 QR코드 기술을 사용하여 사람과 사람 사이의 접촉을 최소화 할 수 있다. 더 나아가 포스트 코로나 시대에 효과를 볼 수 있는 큰 가치가 있다.

개념	응답 예시	빈도수(%)
편리성	• 간단한 주문 혹은 계산할 때 언택트 기기를 이용하는 것이 편리하다. • 언택트 기기를 사용하여 자신이 원하는 대로 주문을 하거나 할인 혜택을 선택할 수 있어 편리하다.	17(12%)
신속성	• 유인 계산대 줄이 많을 때 언택트 기기를 사용함으로써 결제 시간을 단축할 수 있다. • 구매할 제품이 많지 않을 때 언택트 기기를 사용하여 빠르게 결제할 수 있다.	18(13%)
감소된 피로	• 언택트 기기를 사용하면 유인 계산대에서 원할하지 않은 소동이 있을 때 심리적 피로감을 받지 않아 좋다. • 제품 주문 시 직원이나 주변 사람의 눈치를 봐야 하는데 언택트 기기는 그러지 않아서 피로가 발생하지 않는다.	19(14%)
정보의 정확성	• 직원을 통해 입력한 주문 명세보다 언택트 기기들 통해 내가 직접 입력한 정보가 더 정확하다고 생각한다. • 언택트 기기는 주메뉴 외 추가 메뉴에 대한 정보가 잘 제공되어 정보가 확실하다고 생각한다.	18(13%)
복잡성	• 언택트 기기를 이용한 주문 또는 결제 단계까지 도달하는 절차가 복잡하여 어려움이 많이 있다. • 언택트 기기에서 주문을 할 못 하였을 경우 주문 명세를 작성하는 절차가 복잡하고 결제를 할 못 하였을 때 취소하는 것 또한 어렵다.	19(14%)
전환 비용	• 유인 주문대/계산대에서 받았던 서비스가 익숙하므로 언택트 기기를 사용해야겠다는 생각이 먼저 들지 않는다. • 익숙하지 않은 서비스인 언택트 기기를 이용하는 데 있어 심리적 불안감이 나타나 직원 서비스를 선택하는 게 더 안심된다.	18(13%)
감정의 부재	• 언택트 기기를 사용하는 데 있어 유인 주문대/계산대에서 느끼던 인간미가 단절된 기분이 든다. • 언택트 서비스에서는 직원들에게 받았던 친절함을 느낄 수 없으므로 이용을 안 하고 싶을 때가 많다.	20(14%)
기타	• 언택트 기기를 스스로 처음부터 결제 단계까지 해냈다는 것에 대한 보람을 느낀다. • 언택트 기기를 어떤 사람이 사용했는지 알 수 없는 상황에서 자주 취소하지 않아 창고에 대한 걱정으로 사용하기 싫어진다.	10(7%)
총합		139(100%)

(그림 2) 설문조사 [8]

2.3 아두이노(Arduino)

임베디드 제어를 위하여 사용한 보드인 아두이노 MEGA2560은 핀이 많아 동시에 여러 부품의 제어가 가능해 부품을 많이 쓰는 조종기의 구현에 유리하다. 목업 및

시뮬레이션의 조종을 위한 조이스틱, 스위치들과 무선 통신을 위한 ESP8266 WIFI모듈을 연결하고 아두이노 IDE(Integrated Development Environment)를 활용하여 조종에 필요한 데이터들을 송신한다. mock-up에도 아두이노와 ESP8266 WIFI 모듈을 연결하여 디지털 트윈을 위한 네트워크망을 구성하였다. 이외에도 유량 센서를 mock-up과 연결하여 액체화물(mock-up에서는 물을 사용하였다.)이 loading, unloading을 할 시 사용자가 유량 상태를 조종기 및 Database를 이용하여 파악할 수 있도록 설정하였다.

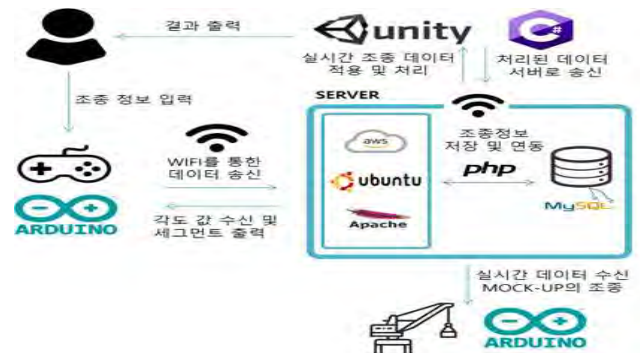
2.4 유니티(Unity)

디지털트윈을 구현하기 위해서는 컴퓨터에 현실 속 사물과 디지털트윈을 만들어야 한다. 현실 속 사물에 부착된 다양한 센서로 디지털트윈을 현실과 가깝게 동적 데이터를 업데이트한다. 본 논문은 디지털트윈의 제작을 누구나 쉽게 사용하고 개발 할 수 있도록 유니티 3D를 사용하여 제작하였다. 유니티3D는 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 3D 애니메이션과 건축 시각화, 가상현실(VR) 등 Interactive 콘텐츠 제작을 위한 통합 저작 도구이다. [9] 본 논문은 사용자의 교육을 위해 유니티의 스크립트를 이용하여 팝업창을 띄워 사용자에게 로딩암에 대한 정보를 제공한다. 로딩암을 조종할 때는 유니티 기본함수인 update() 함수 안에 Rotate()를 사용하는데 update()함수는 프레임마다 실행되기 때문에 자연스러운 움직임을 연출한다. 또 UI-Canvas의 기능은 팝업창을 띄우는 역할을 하며 popup 이미지를 동적으로 생성시킬 수 있다. 만약 설명을 담은 C#스크립트에서 함수 popup\_explain() 호출하면 pop의 하위계층인 text에 내용이 복사되어 화면에 나타나게 된다.

3. 설계 및 구현

3.1 시스템 구성도

그림 3은 ‘로딩암 교육 시뮬레이션’에 대한 시스템 구성도이다.



(그림 3) 로딩암 교육 시뮬레이션 구성도

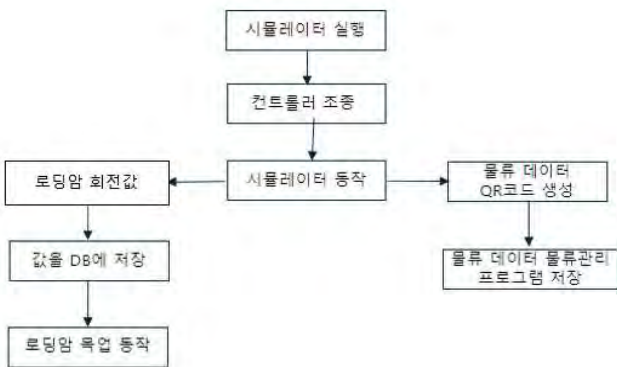
로딩암 교육 시뮬레이션은 아두이노 조종기를 통하여 조종 할 수 있도록 구현했다. 사용자가 조종기 사용을 통해 데이터가 발생하고 이는 WIFI를 통해 서버로 전달된

다. 전달된 데이터는 유니티 콘솔에 송신되어 모니터에 출력되고 이는 콘솔 내에서 각 축의 값으로 처리된다. 이 데이터는 서버 내 DB로 저장이 되고 각각 조종기의 세그먼트와 mock-up으로 전달이 되어 디지털 트윈 기술을 시현한다. 이때, 세그먼트는 조종기 내에서 각도 데이터를 숫자 값으로 표시해주어 직관력을 더한다.

즉, 실제 로딩암을 조종하기 전에 시뮬레이션과 mock-up 간의 조종 정보 저장 및 연동을 설계하고 구현함으로써 로딩암 조종에 미숙한 조종사들의 교육 자료로 사용한다. 또한, 시뮬레이션을 이용하여 실제 안전사고에 대한 위험성은 낮아지고, 로딩암 조종에 대한 이해도의 증가를 기대한다.

### 3.2 시스템 구조도

그림 4는 본 논문의 시뮬레이션의 핵심적인 기능을 나타낸 시스템 구조도이다.



(그림 4) 시스템 구조도

기본적으로 시뮬레이터를 실행시키면 메인화면에서 본인에게 맞는 난이도를 선택할 수가 있다. 조종기를 통해 시뮬레이터 동작이 가능한데, 이는 서버와 연결되어 있어 무선 통신을 이용하여 조종이 가능하다. 이때 로딩암의 회전값을 Database에 저장을 한 뒤에, 회전 값을 로딩암 mock-up으로 보내어 같은 값을 적용한다. 결과적으로 시뮬레이터의 성공 값을 토대로 mock-up 또한 성공적으로 움직일 수 있도록 한다.

‘QR코드 생성’ 기능은 선박이 항만에 정박한 뒤 신고 있는 물류의 데이터를 물류 관리 프로그램에 저장한 후, 물류 정보를 QR코드를 이용하여 확인할 수 있는 기능이다. 본 논문은 설계한 로딩암 시뮬레이션이 조종사의 조종 및 안전 교육 프로그램뿐만 아니라 울산 항만에서의 물류 관리 시스템 등 다양한 정보를 제공함으로써 가치를 나타낸다.

### 3.3 DB설계

그림 5는 본 논문의 시뮬레이션 구현을 위해 사용한 Database 중 일부를 나타낸 테이블이다.

PK	AI	FK	Null	Logical Name	Name	Type
✓				로딩암교구번호	loadingarm_num	VARCHAR(45)
		✓		회전절점	t_out	VARCHAR(45)
		✓		반출시간	t_date	DATETIME
		✓		반출상태	t_state	TINYINT
		✓		로선번호	t_ship	VARCHAR(45)
		✓		서프포터x축값	s_xt	DOUBLE
		✓		서프포터y축값	s_yt	DOUBLE
		+		서프포터z축값	s_zt	DOUBLE

(그림 5) 로딩암 교육 시뮬레이션 작업 정보 테이블

mock-up과 시뮬레이션 간에 서로 디지털트윈 기술을 구현하기 위해 서버 간 통신을 통한 AWS Cloud 인프라 및 MySQL을 사용했다. 시뮬레이션에서 미리 조종한 후, 회전 값을 Database 내에 저장한다. 그 중 성공한 값을 호출해내어 Database에서 mock-up으로 회전 값을 보낸다. Database내에서의 데이터가 축적되면서, 성공했을 시의 데이터 또한 방대해지므로 이는 추후 빅데이터화를 거쳐 표준화가 가능하다. 이는 교육적 교본 자료로서의 가치가 크다.

### 3.4 구현 및 활용

실제 현장에서 작업투입 전 교육에 활용될 수 있도록 구현하였다. 그림 6은 로딩암 시뮬레이션의 메인화면 페이지의 구현이다. 메인화면 페이지에서는 조종사의 로딩암 조종 실력에 따른 난이도를 선택할 수 있도록 구성하였다.



(그림 6) 메인화면 구현

난이도는 크게 Easy Mode, Hard Mode로 나뉘며 Easy Mode는 로딩암을 처음 접하는 일반인을 대상으로, Hard Mode는 로딩암에 대한 기초지식이 있는 교육생 및 전문가를 대상으로 한다. 때문에 Easy Mode는 기초적인 조작법과 로딩암 개념 위주로 설명이 제공되며 Hard Mode는 실제 로딩암을 조종할 때 필요한 절차적인 정보설명이 제공된다. 각 모드를 실행하면 먼저 전체적인 항만의 모습을 카메라가 보여주며 곧 유조선이 로딩암 앞으로 들어오게 된다. 그 후 시뮬레이션은 팝업을 통해 절차적 정보를 사용자에게 설명하면서 로딩암을 조종기로 조종할 수 있게 한다. 그림7은 로딩암 해제할 때의 유의점을 나타내고 있는데, 이는 교육생이 작전 투입 전 현장에서의 유의점 숙지할 수 있게 한다. 이때 유조선에 빨간색으로 강조된 파이프라인이 있는데 그 입구와 로딩암의 주유구가 맞게 되면 로딩암의 loading 작업이 애니메이션 처리를 통해 사용자에게 보이게 된다. loading이 끝나면 unloading 장면이 나

오고 선박은 다시 바다로 출항하게 된다. 이때 Easy Mode는 한 번의 작업으로 끝이 나지만 Hard Mode는 사용자가 다시 한 번 조종할 수 있도록 2번째 배가 들어오게 되고 로딩암 자유 조종을 할 수 있다.



(그림 7) 설명 팝업창과 로딩암 조종 구현 화면

팝업창은 간단하게 로딩암의 부수적인 설명과 조종 방법을 시각적으로 확인이 가능하고, 로딩암을 직접 조종하여 유조선과 연결을 시도해 볼 수 있도록 구현해 놓았다.

그림 8은 유조선에 적재된 물류 데이터를 QR코드로 생성한 장면이다. QR코드를 통하여 항만에서 작업하는 작업자들 사이에서 손쉽게 물류 데이터를 송수신 할 수 있다.

이처럼 로딩암이 적재시키는 물류 데이터를 Untact 기술을 이용하여 QR코드로 구현했다. QR코드 데이터를 이용하면 물류 데이터를 보관하기도 용이하고, 대면으로 데이터를 주고받지 않기 때문에 신속성과 편리성을 제공할 수 있다.



(그림 8) QR코드 구현 화면

그림 9는 시뮬레이션과 연동되는 로딩암 mock-up 모형이다. 시뮬레이션과 mock-up 모형 간의 디지털트윈을 이용하여 발생한 값을 서버로 전송하여 Database에서의 성공 값을 mock-up에 전송해 움직인다. 이는 사고 위험 없는 시뮬레이션을 이용하여 안전사고의 예방이 가능하다. 나아가 디지털트윈 기술 및 5G 실시간 초저지연 통신을 접목해 자동화 및 인공지능화의 기대 가치 또한 크다.



(그림 9)로딩암 mock-up 모형, 로딩암 조종기

#### 4. 결론

최종적으로, 로딩암 시뮬레이터는 4차 산업 혁명에 걸맞게 디지털 트윈 기술의 시현을 위해 최신 IoT 기술과 더불어 포스트 코로나 시대에 대비하는 Untact 기술을 상용화 가능하도록 설계하고 구현하였다. 교육용 시뮬레이터로서 미숙한 작업자들의 로딩 암 교육 교본이 되기 위해 절차적 정보를 제시한다. 이는 울산항에서 액상 물류 (위험물류) 취급 시의 사고예방이 가능한 효과적인 교육 자료로 이용되는 것을 기대한다. 또한 시뮬레이터에서의 성공한 데이터 값을 mock-up에 전달하여 디지털 트윈을 구현하고 결과적으로 실제 현장에서의 안전 시스템 구축이 가능하다. 나아가 5G 통신 기술과 VR 시스템을 추가하여 초저지연 데이터 전송을 가능케 해 빅데이터화 및 인공지능화 할 수 있고, 이는 로딩암의 움직임 표준화 및 자동화를 기대한다. 본 논문에서 설계하고 구현된 시뮬레이터는 인적 물리적 자원의 안전과 사고 빈도를 줄여주는 데 도움이 될 뿐만 아니라 항만에서의 통합적 Edu-tech 시스템을 구축하는 것의 기틀이 될 수 있는 가치가 있다.

본 논문은 해양수산부 실무형 해상물류일자리지원사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트의 결과물입니다.

이 프로젝트는 연계형 프로젝트로, 인수인계를 도와준 전북대 팀원들에게 감사를 표합니다.

#### 참고문헌

[1] 울산항만공사 > 항만운영 > 연도별 통계 2019년  
[https://www.upa.or.kr/bbs/view.do?bbsId=BBS\\_0000000000000054&mId=001004006002000000&dataId=10172](https://www.upa.or.kr/bbs/view.do?bbsId=BBS_0000000000000054&mId=001004006002000000&dataId=10172)

[2] 2019년도 울산항 통계연감 中 연도별 액체화물 처리실적

[3] 채덕수, 위험물부두 Loading Master(로딩마스터)전문 안전교육서, 울산항만공사(울산항 해양안전벨트), 2016

[4] 이건희, ITU-T사이버물리시스템(첸)보안 표준화 동향, 정보보호학회지, 16-22, 2020

[5],[6] 방준성, 이영호, 스마트시티 실현을 위한 디지털 트윈 기술 동향, 한국통신학회지(정보와통신), 11-19, 2020

[7],[8] 안재영, 이중정, 배다운, 이소현, Untact 서비스 사용에 관한 연구: 키오스크 사례 중심으로, 인터넷전자상거래연구, 2020, 49-73

[9] 이아현, 장인성, 장윤섭. 유니티3D 기반의 공간정보 플랫폼. 대한공간정보학회 학술대회, 2020, 88-90.