

대한기계학회 주선

제9회 전국학생설계경진대회(2019년)

설계 최종 보고서

참가부	고등부 () / 대학부 (O)				
참가분야	공모주제 (O) / 자유주제 ()				
참가팀명	APEX				
설계제목	무인형 I.o.T 타워크레인				
지도교수/교사	(소속) 한국교통대학교 항공·기계설계학과 (성명) 김혜민 (연락처) (이메일) enok2695@ut.ac.kr				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	신태안	한국교통대학교 항공·기계설계학과		koire3771 @naver.com	

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	신태안	한국교통대학교 항공·기계설계학과 / 4학년	koire3771@naver.com
2	김민종	한국교통대학교 항공·기계설계학과 / 4학년	seablue7285@naver.com
3	이제율	한국교통대학교 항공·기계설계학과 / 4학년	jeayul12@naver.com

설계 요약문

참가분야	공모주제 (O) / 자유주제 ()
참가팀명	APEX
설계제목	무인형 IoT 타워크레인
대표자명	신태안
요약문	현대의 건물이 고층화됨에 따라 건설현장에서 타워크레인은 필수가 되었으며, 고층건물 건설현장에서 수십 미터 높이의 타워크레인을 어렵지 않게 볼 수 있다. 현재 타워크레인의 작동 방식은 타워크레인 위의 조종수와 타워크레인 아래 신호수 사이 무선으로만 소통하여 작업을 진행하고 있다. 따라서 <u>신호수와 조종수 사이의 의사소통이 매우 중요한 작업인데 작업 시 부주의 및 의사소통 오류 등의 원인으로 인한 타워크레인 사고가 빈번하게 발생하고 있다.</u> 일례로 2017년 5월, 30명의 사상자를 낸 삼성중공업 크레인 추돌사고의 원인은 조종수와 신호수 사이의 소통이 원활하지 않아 생긴 사고였다. 본 설계는 타워크레인 작동에 있어 스마트폰 어플리케이션을 사용해 인간의 의사소통 오류에 의한 사고 가능성을 제거하고 좀 더 편리한 방법으로 타워크레인을 사용해 보고자한다. ‘무인형 IoT 타워크레인’은 타워크레인을 조종수가 직접 운전하는 기존 방식 대신 사용자가 어플리케이션을 통해 명령을 내리게 되며, 이에 따라 자동으로 타워크레인이 제어되도록 하는 시스템이다. 타워크레인 사용자는 스마트폰 어플리케이션으로 타워크레인 사용 상태를 확인할 수 있으며, 적절한 명령을 내려 타워크레인을 조종할 수 있다. 이때 타워크레인은 GPS를 이용해 사용자와 자재물의 위치를 파악하고 지브와 트롤리를 이동시켜 원하는 위치에 도달하게 된다. ‘무인형 IoT 타워크레인’은 기존 타워크레인 사고를 최소화 하면서도 편리성을 극대화 한 시스템으로 안전하고 효율적인 건설현장 구성에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

무인형 IoT 타워크레인 시스템 개발

신태안* · 김민종* · 이제율* · 김혜민*[†]

*한국교통대학교 항공기계설계학부

Development of Unmanned Type IoT Tower Crane

Tae An Shin*, Min Jong Kim*, Je yul Lee* and Hye Min Kim*[†]

* Dept. of Aeronautical & Mechanical Design Engineering, Korea National University of Transportation

Key Words: Unmanned Type(무인형), Tower Crane(타워 크레인), IoT(사물 인터넷), Application(어플리케이션)

초록: 기존 타워크레인의 작동을 위해 신호수와 조종수 사이의 의사소통이 매우 중요하나 작업 시 부주의 및 의사소통 오류 등의 원인으로 인한 타워크레인 사고가 빈번하게 발생하고 있다. 무인형 IoT 타워크레인은 타워크레인을 조종수가 직접 운전하는 기존 방식 대신 사용자가 스마트폰 어플리케이션으로 적절한 명령을 내려 타워크레인을 조종할 수 있으며, 상/하차 작업 이 외에는 모두 프로그램을 통해 자동으로 제어되는 시스템이다. 무인형 IoT 타워크레인은 기존 타워크레인 사고를 최소화하면서도 편리성을 극대화 한 시스템으로 안전하고 효율적인 건설현장 구성에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

Abstract: Dispite of the importance of communication during the operation of tower crane, several tower crane accidents occurs due to the carelessness and the miscommunications. 'Unmanned Type IoT Tower Crane' is new tower crane system that is ordered and controlled via application instead of direct operation by person. All the system operations except loading/unloading processes is automatic. 'Unmanned Type IoT Tower Crane' would contribute to the safe and efficient construction sites by maximizing operation convenience and minimizing tower crane accidents.

1. 서 론

도시문명 발달에 따라 현대의 도시는 좁은 영토에서 효율적인 대지 사용을 위해 건물의 고층화가 이루어지고 있다. 이러한 고층건물의 건설을 위해서는 건설현장에서 자재를 옮기는 역할을 수행하는 타워크레인의 사용은 필수적이므로 타워크레인은 공사현장에서 필수불가결하다. 타워크레인의 작업방식⁽¹⁾은 신호수가 자재물의 위치를 무전으로 조종수에게 알려주고, 조종수는 무전 신호에 따라 지브와 트롤리를 이동시켜 후크를 자재물의 위치에 도달시키게 되고, 이후 양중작업이 마무리되면 다시 무전을 통해 반복적으로 작업을 진행한다. 작업방식을 통해 확인 가능하듯 현재 타워크레인을 활용한 작업방식은 인부

[†] Corresponding Author, enok2695@ut.ac.kr

© 2019 The Korean Society of Mechanical Engineers

Table 1 Accident types of tower crane

발생 시기	설치해제	보수	상승	양중작업	기타	합계
2000~2016	17 (23.2%)	2 (2.7%)	18 (26.6%)	35 (47.9%)	1 (1.6%)	73 (100%)

들간의 무전 신호에 크게 의존하는 작업 방식을 가지고 있으며, 소통 오류에 따른 사고 위험이 늘 도사리고 있다.

윤동훈의 연구결과⁽²⁾에 따르면 타워크레인 작업유형별 재해 현황 중 가장 높은 비율의 사고는 양중작업을 Table 1에서 확인할 수 있다. 타워크레인 관련 사고의 약 50%를 차지하고 있는 양중작업 관련 재해 분석결과, 타워크레인 신호수의 역량이 부족하고 신호수와 조종수 간 무전에 의한 의사소통이 제대로 이루어지지 않는 등의 인적 요소로 인해 자재 낙하, 협착 등의 사고가 지속적으로 발생하고 있다. 타워크레인의 설치 및 사용 빈도가 늘어날수록 사고사례 또한 비례적으로 증가되고 있음을 통해 볼 때 현재의 타워크레인 작동 방식인 무전을 통한 의사소통만으로는 인적오류에 의한 사고를 피할 수 없음을 알 수 있다. 가장 대표적이 사례⁽³⁾로 2017년 5월 1일 경상남도 거제의 삼성중공업에서는 작업자들이 장 애물을 제대로 확인하지 않고 작업을 진행한 인적오류로 인해 크레인 두 대가 충돌하였고, 크레인이 쓰러지면서 지상의 작업자를 덮쳐 6명이 숨지고 25명이 다치는 대형 참사가 발생하였다.

본 시스템의 제안자들은 타워크레인 작업방식 과정에서 발생하는 인적오류의 문제점들을 해결하기 위해 간단한 스마트폰 어플리케이션을 이용해 자동으로 타워크레인을 제어하는 시스템을 제안하고자 한다. 본 시스템 활용 시 사전 프로그래밍 된 절차대로 작업을 진행하므로 작업 대부분 과정에서 조종수와 신호수가 따로 필요하지 않아 작업의 효율성을 획기적으로 증진시킬 수 있으며, 인간의 의사소통 오류에 의한 사고 가능성을 제거하여 작업자 간 소통의 부재로 인한 인적오류를 크게 줄일 수 있다. 또한 기존 타워크레인 운전자의 숙련도에 의존하던 작업방식에서 벗어나 GPS 신호를 이용해⁽⁴⁾ 자재의 출발 위치와 도착 위치를 자동으로 제어하여 손쉬운 조종이 가능하고 타워크레인의 위치 및 움직임, 최대적재 하중 값 등을 스마트폰 어플리케이션을 통해 확인 가능하게 하여 업무효율을 극대화할 수 있다.

2. 설계 정의 및 기초설계

2.1 설계 문제의 정의

앞서 언급한 바와 같이 무인형 IoT 타워크레인은 스마트폰의 어플리케이션⁽⁵⁾을 사용하여 타워크레인을 자동 제어함으로써 작업 중 인적오류 사고 가능성을 제거하면서도 편리성을 극대화하여 효율적인 건설 작업현장을 구현하는 것이 주된 목적이다. 본 시스템을 사용할 것으로 예상되는 근무자의 연령대가 높아 스마트폰 어플리케이션의 인터페이스를 최대한 간단히 하면서도 정확한 제어가 가능하게 하여 모든 사용자가 무인형 IoT 타워크레인을 쉽게 사용하면서도 시스템의 신뢰도를 높일 수 있도록 설계하였다. 시스템 설계 시 고려하여야 할 문제 사항의 구현방법은 Table 2와 같이 제안된다.

Table 2 Design considerations and implementation plan

설계 고려 사항	구현 방안
작업위치로 타워크레인 자동 호출	입력된 지점에 최소한의 오차로 타워크레인 도달
타워크레인 정밀조작 UI	지자기 센서를 활용해 섬세하고 편리한 조작 가능
허용 적재 중량정보 제공	센서 정보를 받아들이어 어플리케이션에 표시
최적 경로 자재 이송	최단거리 이송 및 장애물 회피 능력 구현
비상정지 UI	돌발 상황 시 작업중단

Table 3 Design constraints and solutions

제약조건	해결방안
사용자 지점 위치 오차	사용자 위치에 대략적으로 도달하면 지자기 센서 조이스틱 UI를 통한 조종으로 정밀조작 가능.
타워크레인의 작업 방향에 따른 스마트폰 조작 위치에 변수 작용	스마트폰 지자기 센서 활용으로 조이스틱 형태의 컨트롤러 제작.
타워크레인 이동 시 장애물의 위험	타워크레인 초기 운전 시 반경 내 건물의 높이 설정 가능.
사용자의 실수, 기후 변화 등에 의한 타워크레인 작동 오류	비상정지 버튼 탑재. 어플리케이션으로 전송되는 입력값 차단.

2.2 설계 제약조건 및 문제 해결방법

무인형 IoT 타워크레인 설계 시 작동방법과 구동에 관해 발생할 수 있는 제약조건과 해결방법을 Table 3에 제시하였다. 무인형 IoT 타워크레인 설계 시 하드웨어 부분에서의 제약조건으로 크게 실제 타워크레인 크기 차이로 인한 GPS 오차, 스텝모터의 원점 조정 두 가지로 볼 수 있다. 본 설계의 하드웨어는 축척 비율로 제작되었기 때문에 위·경도 값의 차이가 적어 발생하는 오차의 해결방안으로 크기 비율을 100:1로 하여 트롤리 및 선회장치의 움직임을 제어하였으며 스텝모터의 특성상 원점이 제대로 잡히지 않을 수 있으므로 포토 센서를 활용하여 선회장치의 회전각 및 트롤리(Trolley) 원점을 조정하였다. 소프트웨어 설계 시 사용자의 연령대 및 작업환경을 고려하였을 때 복잡한 어플리케이션 사용의 어려움이 있어 직관적인 인터페이스, 간편한 조작 및 최소한의 Process로 이루어진 어플리케이션을 제작함으로써 문제를 해결하였다.

2.3 설계 타당성 및 경제성 분석

2017년 기준 국토교통부에서 발표한 타워크레인 사고 사상자 발생 현황에 의하면 사고에 의한 사상자 수가 4년 새 6배 급증하였고, 사고원인의 경우 26건의 사고 중 69.2%인 18건이 작업방법 불량으로 집계되었다. 무인형 IoT 타워크레인은 현존하는 타워크레인 사용을 유지하면서 아두이노 대신 범용 프로그래밍을 활용한 산업용 보드 및 센서만 장착하면 되기 때문에 큰 가격적 부담이 없으며 의사소통의 오류로 인한 사고의 가능성을 제거하여 인적오류에 의한 인명사고를 줄일 수 있다. 또한 타워크레인 사고로 인하여 발생할 수 있는 금전적 피해도 경감시킬 수 있어 경제적으로 환산할 수 없는 가치를 갖는다.

3. 상세 설계 및 제품 구현

3.1 설계 수행 일정

설계 수행 일정은 하드웨어와 소프트웨어/어플리케이션 두 분야로 나누어 작업을 진행하였으며 일정표는 Table 4에 제시하였다.

또한 무인형 IoT 타워크레인의 기초 시스템 설계 및 작업 절차를 Fig. 1에 나타내었다. 시스템의 작동 절차로는 먼저 작업자가 사용예약 및 운송지점 설정을 수행하면 정해진 순번에 설정된 운송지점으로 타워크레인이 작동한다. 이때 타워크레인은 지도 상 좌표를 기반으로 위치를 확인하며, 타워크레인이 설정된 지점에 도달하면 조작 UI를 어플리케이션에 표시시켜 트롤리의 세밀한 조작이 가능하게 하였다. 트롤리 조작 UI는 지자기 센서를 활용하여 타워크레인 및 사용자의 위치 및 방향에 상관없이 직관적으로 조종이 가능하도록 하였으며, 어플리케이션 UI에 자재를 운반하는 거리에 따른 적재 가능한 최대 중량 정보를 트롤리(Trolley)의 로드 셀(load cell)을 통해 측정 후 정보를 제공해주어 작업의 효율을 높일 수 있도록 하였다. 마지막으로 비상정지 UI를 제공하여 작업 중 비상상황 발생 시 시스템을 정지할 수 있도록 하였다.

Table 4 Design schedule of 'IoT tower crane'

설계 진행 내용	소프트웨어 및 어플리케이션												하드웨어
	4월	5월	6월	7월	8월	9월							
크레인 요구도 작성													
제품 기능 구상													
시스템 구상 및 모델링 제작													
아두이노 설계 및 프로그래밍													
어플리케이션 이용 하드웨어 IoT 구현													
최종 시제품 제작 및 반복 시험													

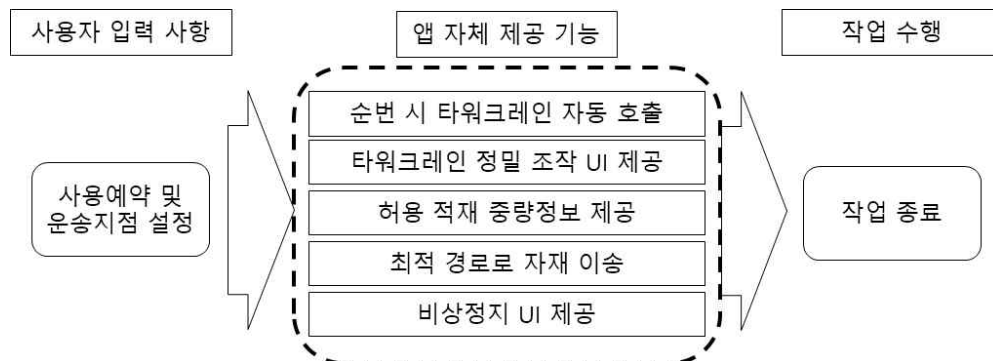
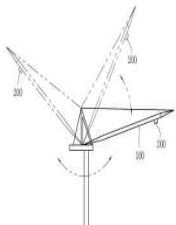
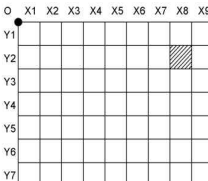
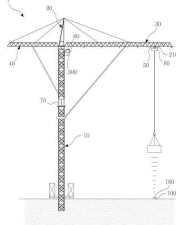


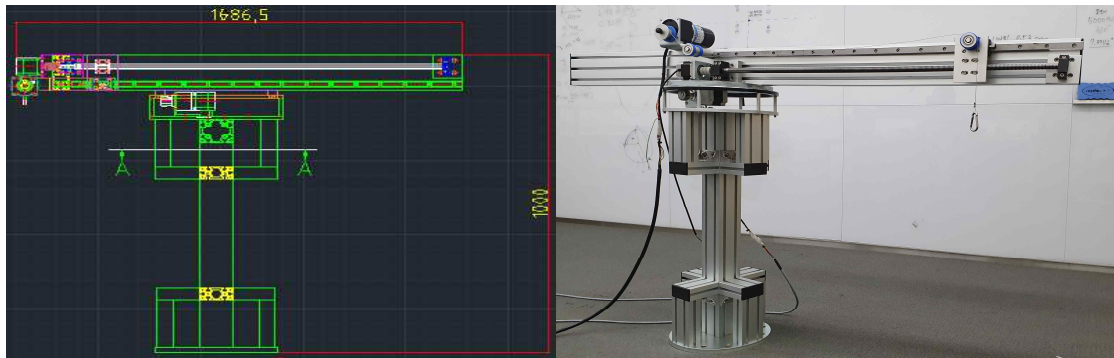
Fig. 1 Diagram of system operation procedures and functions

3.2 기존 특허 분석 및 설계의 유효성 검증

앞서 서론에서 언급 한 바와 같이 타워크레인에 의한 인명사고는 꾸준히 존재하였으며 특히 인적 오류에 의한 사고가 다수 발생하였으므로, 이를 해결하기 위한 자동 타워크레인에 관한 아이디어가 일부 제시되었다. 국내 특허 중 무인형 IoT 타워크레인과의 유사한 특허를 확인하였고 이를 Table 5에 정리하였다. 대부분의 특허는 타워크레인의 자동 위치 제어를 위한 시스템에 관한 제안이었으며 사용자가 요구하는 지점을 타워크레인이 스스로 찾아간다는 점에서는 본 시스템과 유사하다고 할 수 있다. 그러나 본 시스템은 위치만을 제어하는 기존 특허와 달리 운송지점 설정, 자동호출, 정밀조작 및 자재이송에 이르기까지 모든 작업절차를 시스템이 수행하므로 기존 특허와 차별성이 있다고 할 수 있다.

Table 5 Existing patents tower crane

특허명 (출원번호)	설계도	작업방식
[국내] 지브크레인 제어장치 (1020100029497)		• 지브크레인의 붐 끝단에 GPS모듈 장착 • 무선 원격제어기에는 크레인의 초기 작업 시 붐의 작업 반경을 설정 위한 붐 안전위치 설정부 구비 • 파지하고자 하는 블록이 적재되는 작업장의 영역을 설정하는 작업장 도면 제공
[국내] 자동 위치 이동방식의 크레인 작동방법 (1020170107041)		• 파지하고자 하는 블록이 적재되는 작업장의 영역 설정하는 작업장 도면 제공 • 작업장 영역을 특정 개수로 분할, 특정 좌표 부여 • 지정된 좌표로 자동운전
[국내] 타워크레인 하역위치 타겟장치 (1020100024767)		• 트롤리에 GPS 수신기 장착 • 조종실에는 GPS 수신기에서 수신한 위치 좌표 값을 전송받는 타겟 장치 수신기 • GPS 수신기를 이용하여 하역 위치를 확인, 해당 위치를 정확하게 찾아갈 수 있게 타겟 장치 활용



(a) Drawing of miniature tower crane

(b) Miniature tower crane

Fig.2 Miniature tower crane

3.3 주요 설계 구현

3.3.1 하드웨어

타워크레인 시스템을 검증하기 위해 타워크레인이 필요하나 실제 타워크레인의 경우 크기가 매우 크므로 검증용으로는 적절하지 않다. 따라서 본 시스템을 검증하기 위해 Fig. 2와 같이 기존 타워크레인 대비 70:1의 비율로 타워크레인을 축소 제작하였다. 주요 구조물은 알루미늄 프로파일로 제작하였으며, 스텝 모터 등을 사용하여 기존 타워크레인의 기능을 모두 구현하면서도 본 시스템의 기능을 구현하기 위한 추가적인 제어 장치를 추가하였다. 선회장치와 트롤리의 정확한 제어를 위해 스텝모터를 적용하여 pulse 제어를 수행하여 오차를 최소화하였으며, 포토 센서를 활용해 스텝모터의 오차를 지속적으로 보정

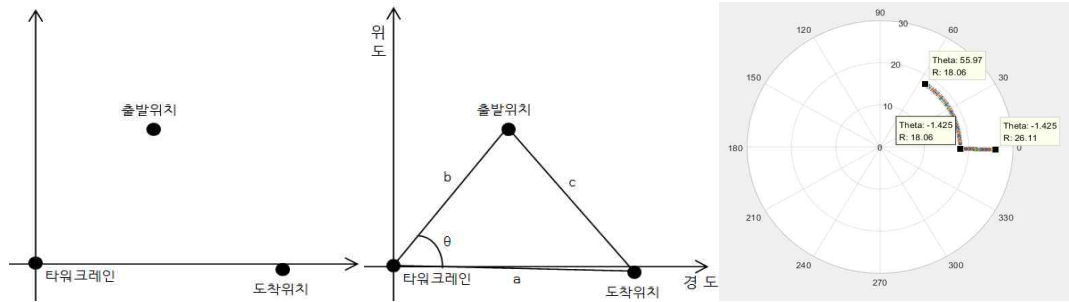


Fig. 3 Angle and distance calculation sketch

하도록 설계하여 장기간 사용 시에도 모터의 오차에 의한 오류가 발생하지 않도록 제작되었다. 또한 호이스트(hoist)에 부착된 로드 셀 센서를 통해 자재물의 중량 정보를 받아들이게 되고, 이 정보가 소프트웨어 및 앱 UI에서 크레인 제어에 적절하게 사용될 수 있도록 설계하였다.

3.3.2 제어 소프트웨어

타워크레인은 자재물을 정확한 위치에 도달시키는 것을 주된 목적으로 하는데 무인형 IoT 타워크레인의 경우 기본적으로 앱을 통해 출발 및 도착 위치를 설정하게 된다. 사용자가 앱을 통해 전달⁶⁾한 출발 및 도착 위치의 위·경도는 제어 소프트웨어에 제공되어 자재 운반을 위한 적절한 경로를 도출하게 된다. 타워크레인 이동경로를 도출하는 방법은 Fig. 3에 개략적으로 나타나 있다. 그림과 같이 먼저 사용자로부터 타워크레인의 출발 및 도착지점을 획득하고 각 지점의 위·경도를 파악한다. 타워크레인 중심부의 좌표는 이미 알고 있으므로 총 3 지점의 좌표를 획득하게 된다. 이후 타워크레인의 이동 각도를 계산하기 위해 세 변의 길이 값을 계산하고 제 2 코사인 법칙을 통해 출발위치와 도착위치의 각도를 획득하게 된다. 또한 트롤리의 작동거리는 Fig. 3에서 b 변과 a 변의 차이를 계산하여 구할 수 있다. 계산을 통해 얻어진 타워크레인 이동 각도와 트롤리 작동거리는 제어 소프트웨어를 통해 스텝 모터의 신호 입력 형식인 Pulse 형태로 변환되며, 이 신호가 하드웨어부의 Step motor 에 전달되어 하드웨어를 구동시키게 된다. 타워크레인 관리자는 타워크레인 초기 설정값 창에서 건설현장의 높이를 입력할 수 있으며, 이 정보를 바탕으로 타워크레인 이동 시 호이스트의 높이를 적절히 조절하여 자재물을 건물 층돌 없이 안전하게 운반할 수 있도록 구현하였다.

타워크레인이 도착지점으로 이동한 후 호이스트가 사용자가 설정한 위치로 자동으로 내려가게 된다. 이를 구현하기 위해 먼저 앱을 통해 타워크레인 호출 시 예약 단계에서 작업자 높이를 작업 층수로 지

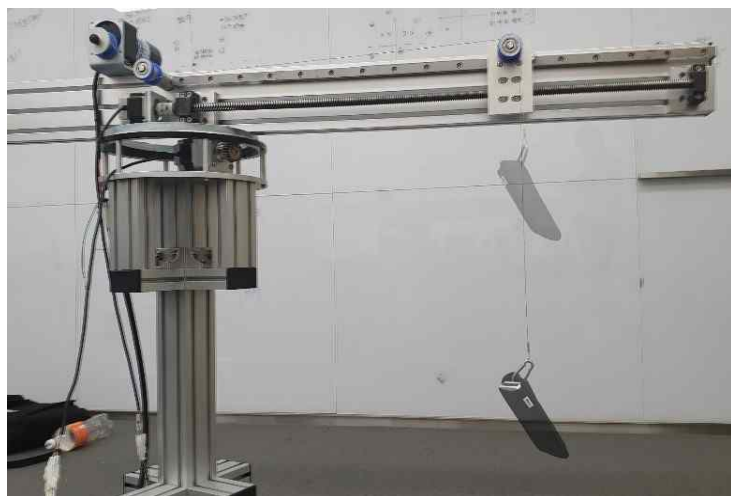
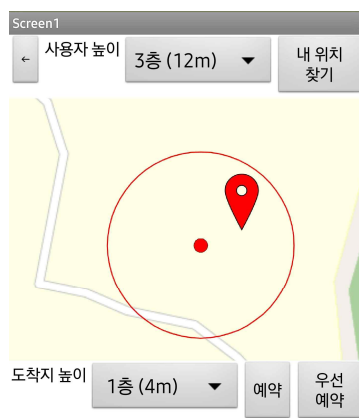
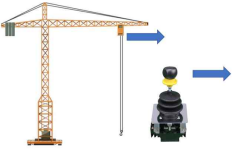
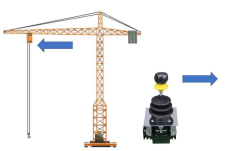
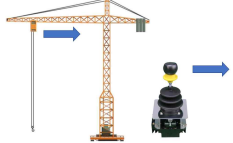


Fig. 4 Height control of hoist

Table 6 Comparison of joystick function with the conventional tower crane and present system

	Case1	Case2
현재 타워크레인		
무인형 IoT 타워크레인		

정하도록 하였으며, 이 값이 제어 소프트웨어로 전달되게 하였다. 사용자로부터 작업자 높이 정보를 바탕으로 제어 소프트웨어는 트롤리가 도착지점 도달 시 예약 단계에서 지정한 높이로 호이스트가 적절하게 내려와 작업이 가능하게 하였음을 Fig. 4에 제시하였다.

도착지점에 호이스트가 도착한 이후에도 모터의 작동오차 및 자재의 상·하차 과정에서 타워크레인의 수동 제어가 필요한 상황이 발생한다. 이를 위해 앱에서는 타워크레인을 손쉽게 조작할 수 있는 조이스틱 형태의 UI를 구현하여 사용자가 타워크레인 제어를 위한 명령을 내릴 수 있다. 제어 소프트웨어에서는 사용자의 조이스틱 움직임대로 타워크레인을 이동시키게 된다. 본 시스템의 조작방식의 가장 큰 특징은 사용자 및 타워크레인의 위치 및 방위에 상관없이 직관적으로 조이스틱을 사용하여 타워크레인을 제어할 수 있다는 점이다. Table 6과 같이 기존 타워크레인은 조이스틱 방향과 트롤리의 방향이 일정하게 지정되어 있어 타워크레인의 위치가 달라지면 조이스틱의 방향과 트롤리의 방향이 불일치하여 조종의 어려움이 발생하였다. 그러나 IoT 타워크레인은 핸드폰의 지자기 센서를 이용하여 사용자의 방위를 확인하고, 타워크레인의 위치를 통해 트롤리의 위치 및 방위각을 파악하게 되며, 소프트웨어적 연산을 통해 조이스틱의 이동 방향이 트롤리의 이동방향과 항상 일치하게 하였다. 이를 통해 사용자는 본인의 위치에 상관없이 직관적으로 원하는 이동 방향으로 조이스틱을 조종하여 트롤리의 조작이 가능하다. 트롤리의 이동 속도는 조이스틱의 이동 정도에 비례하여 조절되도록 하였으며, 호이스트의 높낮이를 조절할 수 있도록 구현하였다.

3.3.3 사용자 어플리케이션

무인형 IoT 타워크레인의 어플리케이션은 Fig. 5에 제시된 바와 같이 크게 메인, 타워크레인 예약, 조작, 현황 UI창으로 구분되어 있다. UI는 직관적인 사용이 가능하도록 설계하여 비숙련자도 어렵지 않게 타워크레인 조작이 가능하도록 하였으며 모든 인터페이스에 뒤로 가기 버튼을 추가해 작업의 변경이 필요할 때 사용할 수 있도록 설계하였다.

메인 UI는 초기 타워크레인 구동 시 현장 작업자들에 의해 설정해야 할 값들과 타워크레인의 상태, 예약 및 조작버튼으로 구성되어 있다. 가장 위에 함께 작업 중 안전한 고도에서 자재물을 운반할 수 있도록 현재 장애물의 최대 높이를 지정하는 버튼과 현재 지정된 장애물의 고도를 알려주는 화면이 나타나게 되고 타워크레인 현황, 예약, 조작 화면으로 전환되는 버튼이 위치하고 있다.

타워크레인 현황 UI는 현재 타워크레인의 전반적인 현황을 나타내는 창으로 Fig. 5 -(d)에 제시하였으며, 타워크레인의 마지막 작업 위치 정보를 지도에 표시시켜 사용자가 타워크레인의 위치를 한 눈에 알아볼 수 있게 하였다. 또한 타워크레인에 예약되어 있는 사용자들의 순서를 기록하여 작업의 순서를 볼 수 있는 예약순서도도 구성되어 있다.

메인 UI의 예약 버튼 클릭 시 예약 UI로 넘어가게 되며 Fig.5 -(b)와 같이 출발 및 도착지점을 지정하는 화면이 나타나게 된다. 타워크레인 예약 전 사용자의 위치 및 도착위치를 지도에 지정해주고, 도착지

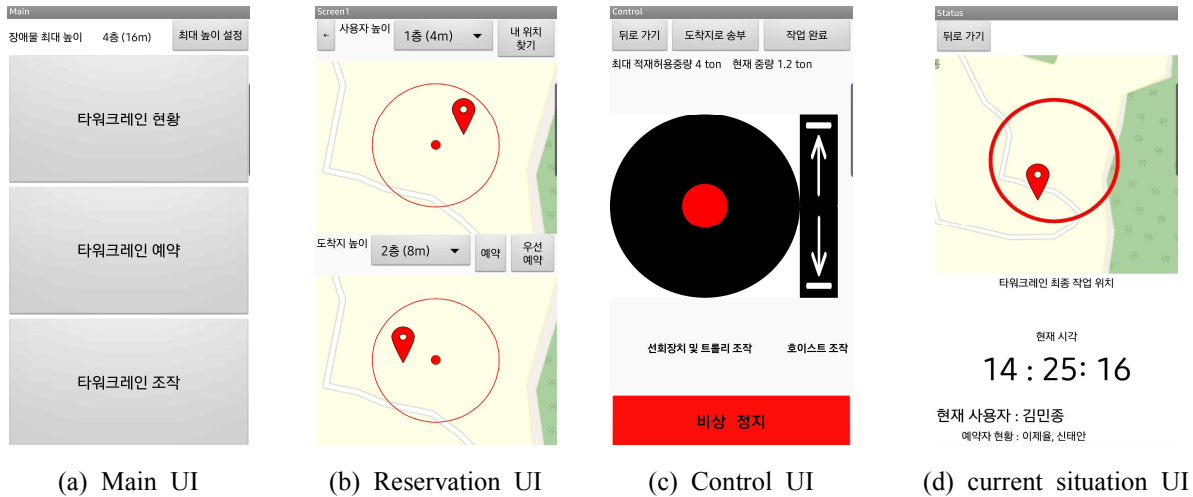


Fig. 5 Application UI of 'IoT Tower Crane'

높이를 설정하여 호이스트가 지정된 위치 및 높이 지점에 도착할 수 있도록 하였다. UI 상단의 지도는 출발지점을 설정하는 지도이며 출발지점의 경우 내 위치 찾기 버튼을 누르면 GPS를 통해 자동으로 위치 데이터를 획득하게 하였다. 또한 GPS의 사용이 불가능한 경우에는 사용자가 직접 지도 위에 위치를 설정할 수 있도록 하였다. 하단의 지도는 도착지점을 설정하는 지도이며 사용자의 설정으로 위치를 지정할 수 있다. 이러한 위치 정보들은 제어 소프트웨어로 전달되어 타워크레인을 제어하는데 사용하게 된다. 위치를 모두 지정하고 예약 버튼을 누르면 예약이 완료되었다는 메시지와 함께 예약 리스트에 사용자가 등록되게 된다. 긴급한 타워크레인 사용 필요 시 우선예약 버튼을 클릭하게 되면 예약 순서와 상관없이 가장 먼저 예약이 진행하게 설정하였다.

타워크레인이 지정된 위치 근처에 도착하게 되면 자동으로 조작 UI가 인터페이스에 나타나게 되며, 사용자가 타워크레인을 정밀 조종하는데 도움을 준다. 조작 UI는 메인 화면에서 수동으로 나타나게 할 수도 있는데, 여러 사람이 동시에 타워크레인 작동 시 사고 발생률이 높아지기 때문에 본인의 작업 차례에만 타워크레인 조작 UI에 접근 가능하게 하여 조작할 수 있도록 설계하였다. 타워크레인 트롤리의 위치에 따라 최대로 적재할 수 있는 자재의 중량이 달라지는데, 이를 자동으로 계산하기 위해 크레인 예정 경로로부터 최대 적재 하중량을 계산하여 조작 UI 인터페이스에 나타내게 된다. 호이스트에는 앞서 언급한 바와 같이 로드 셀이 장착되어 있어 현재 적재 중량을 UI에서 확인할 수 있다. 만약 적재량이 최대 적재허용중량을 초과하게 되면 타워크레인은 작동하지 않게 된다. 자재물을 모두 적재했다면 도착지로 송부 버튼을 클릭해 예약 UI에서 지정된 도착지점으로 이동하게 되고 자재물을 모두 하차한 뒤 작업완료 버튼 클릭 시 예약 순서에 따라 다음 예약 과정을 진행하게 된다. 타워크레인의 비정상적으로 움직임 혹은 다양한 돌발 상황으로 인해 타워크레인을 즉시 멈춰야 할 경우를 대비하여 조작 UI에 비상 정지 버튼 제공하였다.

4. 제품결과 검증 및 기대 효과

시스템 검증은 작동 절차에 따라 어플리케이션을 구동하고, 이에 따라 하드웨어 타워크레인이 적절하게 구동하는 지 여부를 확인하는 방법으로 진행되었다.

4.1 작동 절차

본 시스템의 간략한 작동 절차는 Fig. 6에 나타나 있다. 작업 시작 전 타워크레인 전반을 관리하는 관리자는 타워크레인 작업 범위 내 장애물의 최대 높이를 어플리케이션에 지정하여 타워크레인이 설정한 높이 이상에서 이동 및 작업하도록 하여 장애물을 회피할 수 있도록 사전 조치한다.

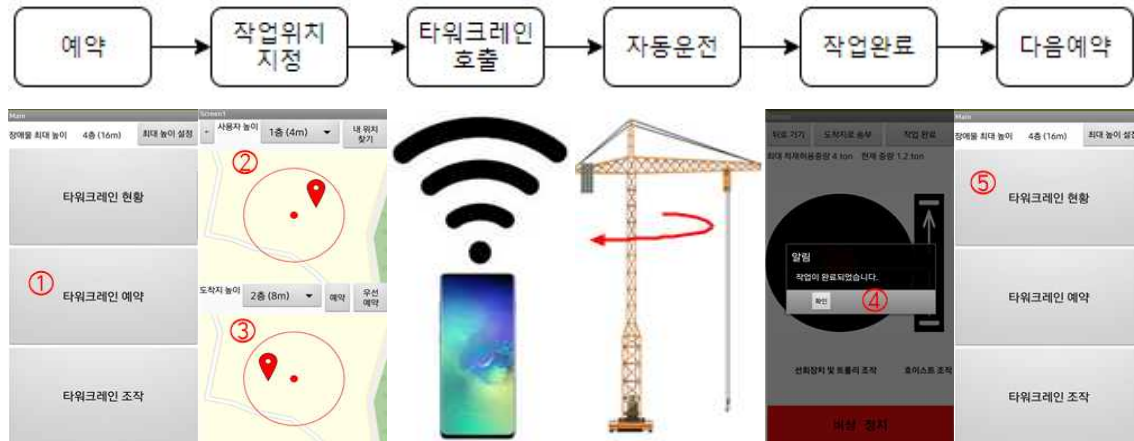


Fig. 6 Operate Procedure of 'IoT Tower Crane'

사용자가 예약 UI를 클릭하면 자재의 위치와 도착 위치를 설정할 수 있는 지도와 예약 버튼이 표시되어 예약을 진행할 수 있다. 작업순번이 되면 UI는 사용자에게 작업순번이 되었음을 공지하고, 타워크레인 설정한 시작 위치를 기반으로 작동하게 된다. 타워크레인에 자재를 적재 하는 과정에서 UI는 시작 지점과 도착지점의 위치를 기반으로 최대적재중량 값을 계산하여 사용자 인터페이스에 표시하며, 허용 중량 초과 시 경고창과 동시에 크레인이 작동하지 않게 된다. 적재 후 타워크레인은 도착위치까지 자동 운전하게 되며 도착위치 도달 후 크레인의 미세 조정을 위한 조작 UI가 나타나 작업을 완료할 수 있도록 돕게 된다. 자재의 하역이 모두 끝나게 되면 다음 예약자의 작업을 순차적으로 반복 진행하게 된다.

4.2 시스템 검증

앞선 작동 절차 순서대로 시스템을 검증하였다. 시스템을 사용하기 위해서는 첫 번째로 예약 UI를 통해 출발 및 도착지점과 사용자의 높이를 지정하여 예약을 진행한다. 원하는 출발 및 도착지점 지정 후 예약을 하게 되면 타워크레인 현황 UI에 예약자의 이름이 순서에 맞게 저장되면서 '예약이 완료되었습니다.' 라는 문구와 함께 예약이 되었음을 Fig. 7에 검증하였다.

예약 후 타워크레인의 위치 이동이 정확한 지에 대한 검증이 필요하다. 예약이 완료되는 순간 지정했던 출발 및 도착지점과 사용자의 고도를 통해 타워크레인에 사용되고 있는 모터에 필요한 Pulse 수가 입력되어 타워크레인이 구동되게 되는데 정확도를 검증하기 위해 예약과 동작 2가지의 경우로 검증하였다. Matlab을 이용해 타워크레인이 이상적으로 움직여야 할 각도와 거리를 계산 및 그래프로 나타내었고, 검증을 위해 제작한 소형 타워크레인의 실제 이동을 Fig. 8에 나타내었다. 두 경우 모두 출발 및 도착지점이 지정되어 타워크레인이 움직여야 할 각도가 계산되었고 스텝모터가 계산된 각도만큼 움직일 수 있도록 스텝모터의 성능에 맞게 Pulse 수로 환산하여 모터에 입력되어 선회장치가 정확한 위치에 도달할 수 있게 설계되었다. 트롤리 또한 지정한 거리와 타워크레인 거리값에 의한 차이로 양수와 음수로 구분되어 이동되어야 할 경로 및 거리를 모터 성능에 맞는 Pulse 수로 변환해 작동되었으며 스텝모터를 사용해 오차율을 최소화하여 지정한 작업 위치에 정확히 도달할 수 있음을 확인하였다.

타워크레인이 지정된 장소에 도착한 후 사용하는 조작 인터페이스를 검증하였다. Fig. 9에 제시되어 있는 작업 내 타워크레인 높이 설정값에 의해 사용자의 위치로 내려오는 호이스트 또한 조작 UI에 있는 상하 버튼을 이용하여 높이 조작이 가능하였으며 이는 Fig. 10과 같이 검증되었고, 앞서 설명한 바와 같이 조이스틱의 명령 방향과 트롤리의 방향이 방위 및 위치에 상관없이 동일한 지 여부를 검증하였다. 또한, 타워크레인 기준으로 달라지는 방위각의 어떠한 조건에서도 조이스틱 방향과 트롤리 이동방향은 일치하여 직관적이면서 편리한 시스템이 적절히 구성되었음을 검증하였고, 적재 작업의 완료 후 도착지로 송부 버튼을 누르면 타워크레인이 자재물을 도착위치로 자동 이동시켜주는 작업이 진행되는데 검증

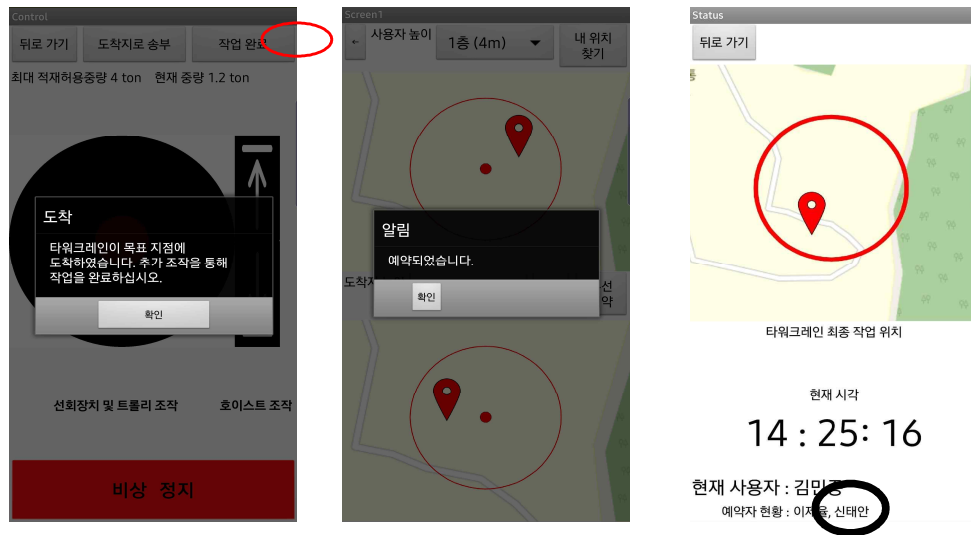


Fig. 7 Function verification of reservation via app.

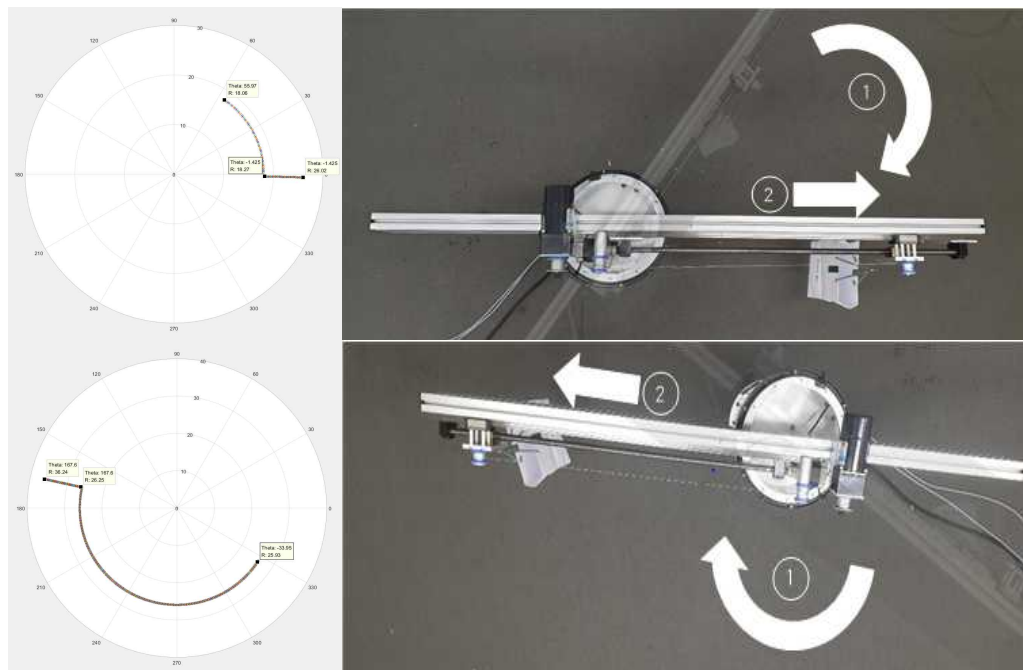


Fig. 8 Operation verification of tower crane with simulation and hardware

을 통해 이 기능이 적절히 작동하고 있음을 확인하였다. 도착위치에 도달하게 되면 조작 인터페이스가 호출되어 적절한 조작을 추가적으로 수행 할 수 있고 자재 이송을 마친 후 조작 UI에 위치한 작업완료 버튼을 누르게 되면 다음 예약자의 화면에 작업 진행 여부 알림과 함께 작업순서를 진행하게 된다. 이 또한 마찬가지로 예약자 위치에 도달한 후 조작 UI가 호출되어 사용자의 작업 진행을 가능하게 한다.

타워크레인 자동운전 중 각종 돌발 상황에서 시스템을 정지할 수 있는 비상정지 버튼을 검증하였다. 검증 결과 사용자가 자동운전 중 이상을 감지하고 비상정지를 누를 시 아두이노에 정지 신호를 주어 타워크레인이 정지하는 동시에 전적으로 사용자의 수동조작에 의해 작동하는 것을 확인하였다. 또한 작업장 안전을 위해 모든 자재가 설정된 장애물 높이를 초과하여 운반됨을 확인하였다.

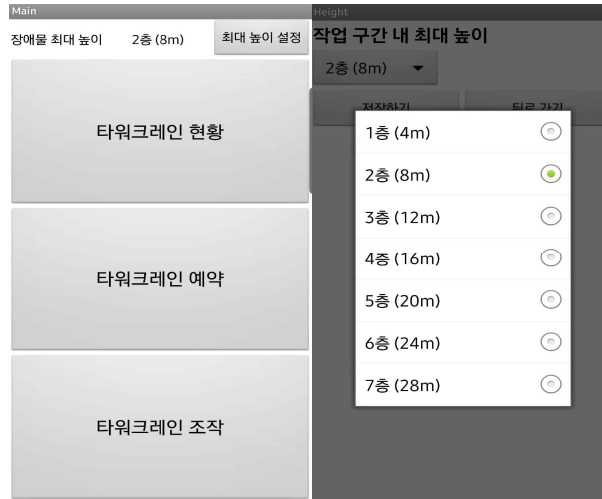


Fig. 9 Setting of maximum height at the working section

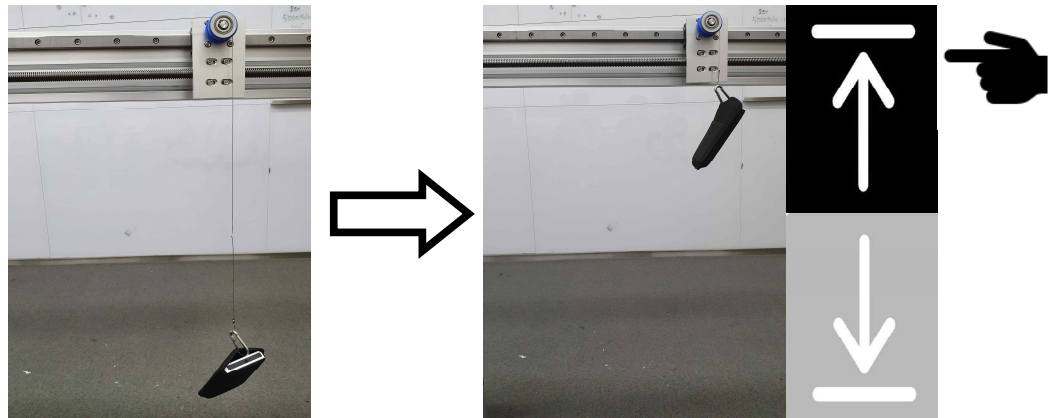


Fig. 10 Control verification of hoist with app.

4.3 시스템 기대효과 및 활용 방안

본 시스템을 기존 타워크레인에 적용하여 활용할 수 있는 방안과 이에 따른 기대효과로 스마트폰 조작에 제약이 있는 건설현장에서 직관적인 인터페이스를 적용하면 효율적인 타워크레인 조작이 가능하며, 이를 통해 업무 효율을 극대화시킬 수 있다. 무인형 IoT 타워크레인의 조작은 한 명의 근무자로 작업이 가능하며, 소통의 의존성을 완전히 제거했기 때문에 인적오류에 의한 사고와 인명피해를 줄일 수 있으며 스마트폰을 활용한 타워크레인 조작은 별도의 컨트롤러 없이 스마트폰의 어플리케이션을 이용해 조작의 접근성이 용이하게 했기 때문에 기능 추가 등 추후 활용성이 무궁무진하다. 조이스틱 조작부는 스마트폰의 지자기 센서를 활용하여 구현하였고 사용자가 바라보는 방향을 기준으로 조작하여 보다 직관적인 조작이 가능하기 때문에 기존 리모컨에 비해 편의성 및 업무 효율 상승시킨다.

5. 결 론

건물의 고층화가 되어가는 현재 건설현장에서 필수가 되어버린 타워크레인 관련 사고의 약 50%를 차지하고 있는 양중작업 재해 분석결과, 신호수와 조종수간 의사소통이 제대로 이루어지지 않아 재해가 발생한다는 것을 알았다. 이에 본 설계자들은 기존 무인 타워크레인 과 달리 스마트폰을 이용하여 타워크레인을 자동으로 운전함으로써 인적오류에 의한 인명사고를 줄이고 좀 더 안전하게 타워크레인을 사용하고자 한다. 그러기 위해 설계 내용과 같이 GPS를 이용한 자재 이송 기능, 예약시스템, 트롤리 위치에 따른 최대적재중량, 지자기 센서를 이용한 수동조작 등을 구현하였다. 향후 제안된 설계를 기존

타워크레인에 적용 시 적은 비용으로 작업의 효율이 극대화되고 인적오류에 의한 인명사고를 획기적으로 줄어든 것으로 기대된다.

참고문헌

- (1) Kyu Hyung Shim, 2011, “A Study on Risk Evaluation for Prevention of Tower Crane Disaster”, Incheon, pp. 7~11.
- (2) Donghun Yoon, 2018, “Accident Prevention by Improving Signalman Management System of Tower Crane in Construction Site”, Seoul, pp. 5~23.
- (3) Yongun Kim, 2018, “Problems and improvement schemes for unmanned tower crane accident through case analysis at construction site”, Seoul, pp. 21~24.
- (4) Junbum Jo, 2011, “Development of tower crane navigation system”, Seoul, pp. 1~7.
- (5) Jungho Lee and Youngsuk Kim, 2012, “The Effective Process of Tower Crane Lifting & Material Management Using Smart-Phone”, Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 28, No. 7, pp. 142~150.
- (6) Sojin Kim, 2016, “Thinking palette research for IoT product development Arduino-based development with emphasis on bluetooth smart lighting”, Gwangju, pp. 10~18.