

工學碩士 學位論文

무선기술을 활용한 타워크레인 작업효율 개선

**Productivity improvement of tower crane using
wireless video and control technology**

指導教授 趙勳熙

2006년 2월

韓國海洋大學校 大學院

海洋建築工學科

韓龍愚

工學碩士 學位論文

무선기술을 활용한 타워크레인 작업효율 개선

**Productivity improvement of tower crane using
wireless video and control technology**

指導教授 趙勳熙

2006년 2월

韓國海洋大學校 大學院

海洋建築工學科

韓龍愚

本 論文을 韓龍愚의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長 宋 和 澈 (印)

委 員 都 根 永 (印)

委 員 趙 勳 熙 (印)

2005年 12月

韓國海洋大學校 大學院

목 차

ABSTRACT	vi
제1장. 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	3
제2장. 이론적 고찰 및 요소기술 분석	5
2.1 분석대상 요소기술 설정	5
2.2 타워크레인 분야 기술	7
2.3 머신비전 분야 기술	12
2.4 RFID 분야 응용기술	14
2.5 GPS 및 장비제어분야 기술	17
2.6 선행연구의 한계점과 본 연구의 차별성	19
제3장. 무선기술 기반 타워크레인 시스템 개발	20
3.1 지능형 타워크레인의 개요	20
3.2 시스템의 기본구성	23
3.3 무선 영상 및 조정 모듈	26
3.4 RFID 응용 및 WLAN 모듈	31
제4장. 현장적용 사례연구 및 작업효율 분석	34
4.1 사례분석의 방법 및 평가기준	34

4.2 대상현장의 개요	37
4.3 사례분석 결과	39
4.4 사례연구 수행을 통한 개선사항 도출	43
제5장. 결론	45
5.1 연구의 결과 및 시사점	45
5.2 향후의 연구과제	47
참고문헌	48
부 록	51

그림 목 차

그림 1.1 연구 수행절차	3
그림 1.2 본 연구의 주요내용 및 범위	4
그림 2.1 분석대상 요소기술	5
그림 2.2 타워크레인 무선조정기	7
그림 2.3 건설공사의 적시생산을 위한 양중 및 조달시스템 개발의 연구범위	8
그림 2.4 타워크레인 작업의 안전사고	9
그림 2.5 모바일 통신을 이용한 IT 크레인	10
그림 2.6 Everett의 CRANIUM	12
그림 2.7 GPS 및 머신비전을 활용한 TC의 자재운송 프로세스	13
그림 2.8 초고층 Curtain-Wall의 SCM 기반구축 연구의 개념도	16
그림 2.9 레이저광을 이용한 이동식 크레인 영역벽(barrier) 시스템	17
그림 3.1 지능형 타워크레인 Framework	20
그림 3.2 시스템의 주요 모듈구성 및 정보흐름	23
그림 3.3 무선영상 및 조정 모듈의 시스템 구성도	26
그림 3.4 LCD 모니터와 무선 조정기	27
그림 3.5 영상 송신기 및 수신기	28
그림 3.6 트롤리 콤포넌트의 주요장치	28
그림 3.7 태양전지판 및 파워 콘트롤러	29
그림 3.8 시작품의 설치 사례	30
그림 3.9 RFID 응용 및 WLAN 모듈	31

그림 3.10	RFID 태그 및 PDA 리더	32
그림 4.1	사례현장의 단지배치도	37
그림 4.2	작업속도의 비교분석	39
그림 4.3	의사소통 회수의 비교분석	41

표 목 차

표 2.1 RFID의 주파수 범위와 특징	14
표 3.1 지능형 타워크레인의 주요 기능	21
표 4.1 사례연구의 평가요소 및 측정방법	35
표 4.2 사례연구에 사용된 작업내용	38
표 4.3 리커드 척도에 의한 응답결과 해석기준	42

Productivity improvement of tower crane using wireless video and control technology

Han, Yong-Woo

Dept. of Ocean Architectural Engineering
Graduate School, Korea Maritime University

ABSTRACT

As the scale of construction projects increases with taller buildings, efficient use of tower cranes has become much more important to the successful completion of projects. Over the past decade, the mechanical performance of tower cranes has improved dramatically and contributed greatly to the improvement in construction efficiency of social infrastructure and larger high-rise buildings.

A tower crane is one of the major machines used in the construction of high-rise buildings. However, the operator does not receive adequate information such as the target space condition and lifting material to control the crane, and this degrades work productivity and safety.

This study proposes a prototype of the advanced tower crane (ATC) equipped with wireless video control and radio frequency identification (RFID) technology. To do these, the following sections describe the main scope of this research: (1) reviews recent trends in component technologies

and their probability of application to the development of a new tower crane operating system and defines a wireless control video module and a radio frequency identification (RFID) application module for the new system (2) describes a framework for information technology(IT)-based advanced tower cranes and (3) develops a prototype of a tower crane operating system that can improve communication efficiency between workers in the stockyard and crane operators using wireless video camera. Finally, future challenges are discussed.

With these advanced technologies, the ATC can provide the crane operator with an enhanced view of the work space and various functions to track up-to-date material status. It can also provide faster flow of information with greater accuracy and improve the driving efficiency of the equipment. The ATC was applied to a pilot construction site for case study to test its performance. The result confirmed considerable improvement in operational speed and significantly enhanced performance in work safety and communication efficiency.

However, commercialization of the system is still far off, because the system has some constraints that hinder improvements in system efficiency.

Keywords : tower crane, wireless technology, video, PDA, RFID

제1장. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국가경제의 성장과 국민 생활수준의 향상에 따라 건설사업의 규모가 대형화, 고층화 되어가면서 건축 시공현장에서 양중장비는 그 중요성이 점차 증대되고 있다. 건축시공현장의 양중장비는 화물 전용으로 수평 및 수직 양중이 가능한 타워크레인(tower crane)과 인·화물 겸용의 호이스트가 대표적인데, 이중 작업효율이 높은 타워크레인(tower crane)의 사용빈도가 높은 실정이다¹⁾. 타워크레인은 지난 1970년대 중동의 해외건설 시장에서 사용되던 것들이 이후 국내에 도입된 이래 대형 고층건축물 및 SOC(social overhead capital) 시설물의 시공효율 향상에 상당부분 기여한 것은 사실이다.

그러나 타워크레인의 중요성에도 불구하고, 지난 수 십 년간 이를 이용한 양중작업의 효율제고를 위한 연구들은 매우 미흡한 실정이다. 기존의 타워크레인의 양중효율향상을 위한 연구들은 크레인의 자동화나 양중위치 및 기종선정 등과 관련된 연구들이 일부 이루어져 왔다. 그러나 타워크레인 양중작업의 생산성 향상을 위해서는 이들 연구들과 함께 크레인 운전자와 작업장 인부들 간의 효율적인 의사소통체계가 개선되어야 함에도 이에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

즉 타워크레인을 이용한 자재의 양중을 위해서는 자재 야적장에서 2명 이상의 노무자가 무전기나 수신호 등을 이용하여 운전원에게 자재의 위치와 관련된 정보를 전달하게 되므로 부정확한 정보가 전달되기 쉬우며, 특히 자재의 반입 지연이나 작업공정의 변경이 생길 경우 이를 운전원에게 신속하고 정확하게 전달할 수 있는 체계가 부족한 실정이다.

또한 타워크레인의 사용이 증가하면서 타워크레인에 의한 사고는 '96~'98까

1) 박성진(2001)

지 3년 동안 29건의 중대재해가 발생하여 32명이 사망하였고, 99년에도 4건의 중대재해가 발생하여 4명이 사망하는 등²⁾ 타워크레인의 안전재해는 지속적으로 발생하고 있다. 이러한 안전재해는 건설 산업의 이미지 하락과 안전사고 처리에 따른 직·간접 사회비용을 유발하는 등 경제적·산업적 측면에서 매우 부정적인 영향을 끼치게 된다.

이와 같이 낙후된 타워크레인 작업효율을 개선시키기 위한 연구들이 선진 외국에서 진행되고 있으며 일부 효과가 보고되고 있는데, 여기에는 주로 정보통신기술의 접목이 시도되고 있다. 그러나 우리나라의 경우 타워크레인 뿐 아니라 건설 산업 전반적으로 정보통신기술의 활용이 미흡한 실정이다. 한국은행(2000)의 보고에 의하면 정보통신산업의 발전으로 1999년에 전 산업 평균 약 10.0%의 생산성 향상이 있었으나, 건설업은 -2.4%로 감소하는 등 전 산업 중 최하위 수준을 보이고 있다. 이러한 실태들은 건설 산업에서 정보통신기술의 활용이 더디게 진행되고 있다는 사실과 함께, 반대급부로 건설 산업에 정보통신 기술의 활용을 통한 생산효율 제고의 기회가 많다는 것을 의미하기도 한다.

이에 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 기존의 T형 타워크레인에 무선조정이 가능한 비디오기술과 RFID(Radio Frequency Identification:이하 RFID) 기술을 활용하여 현장의 작업내용과 자재정보 등을 현장과 운전자가 공유하도록 하는 “지능형 양중관리 시스템”의 프레임웍(framework)을 제시하고, 이중 무선기술을 이용한 영상전송 및 조정장치의 시작용을 제시하고 이를 현장에 적용하여 그 성과를 분석해 보고자 한다.

또한 향후 타워크레인의 충돌방지, 자동화 및 인공지능기능(거리감지, 운전상황 모니터링 등)을 위한 연구뿐 아니라, RFID를 이용한 건설노무 및 자재관리 시스템개발 등과 같은 연구 분야에 기초자료를 제공하고자 한다.

2) 구문희(2002)

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 CCTV 및 RFID 기술을 기반으로 하는 지능형 타워크레인의 개발을 위한 기초연구 수행을 위하여 다음과 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

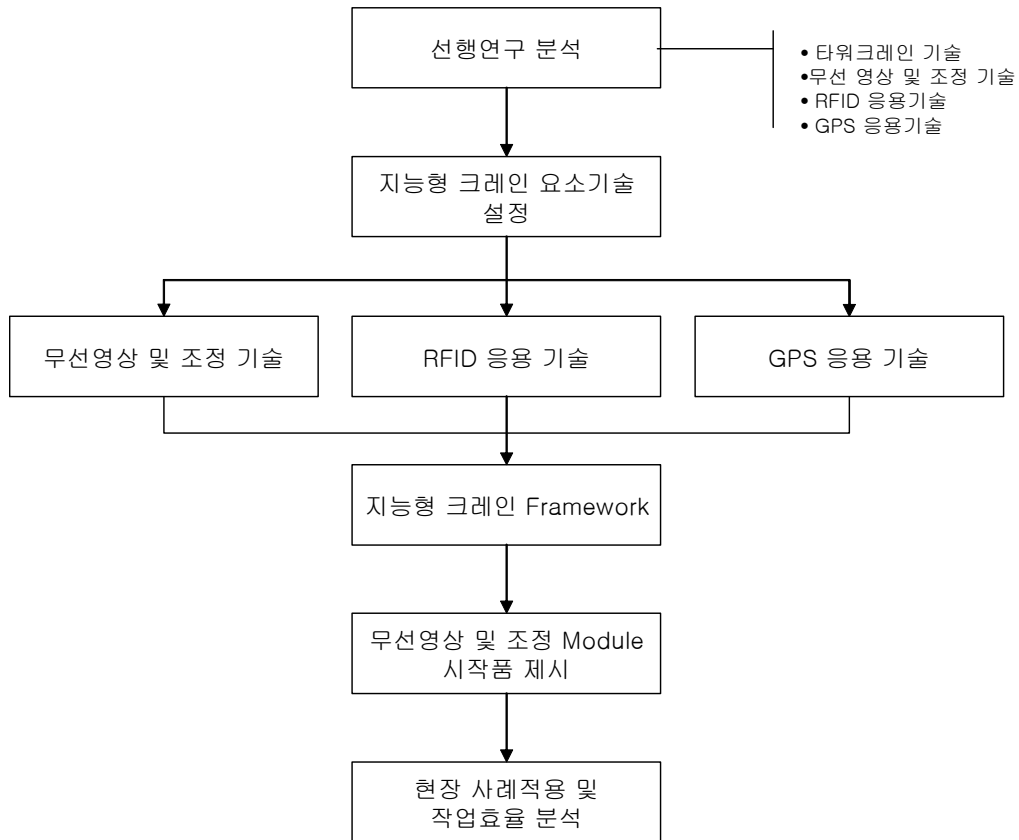


그림 1.1 연구 수행절차

우선 본 연구와 관련된 국내외 선행연구를 지능형 타워크레인의 개발에 필요한 요소기술의 기술동향 및 적용가능성 측면에서 고찰하였다. 세부적인 분석내용은 타워크레인 기술분야, 무선영상 및 조정기술, 양중자재 정보관리를 위한

RFID 기술, 양중자재의 위치경로 제어 및 충돌방지를 위한 GPS 기술로, 본 연구의 방향성 및 기존 연구와의 차별성 관점에서 선행연구를 분석하였다.

선행연구 분석을 토대로 본 연구에서 지향하고 있는 지능형 타워크레인의 개발을 위한 요소기술 분야와 주요기능을 다음의 그림 1.1과 같이 제시하였다. 지능형 타워크레인의 구성요소 기술은 무선영상 및 조정기술 분야, RFID 기술 분야, GPS분야로 요약될 수 있으며, 본 연구에서는 이들 요소기술의 사용을 전제로 한 프레임워크를 제시하였으며, 무선영상 및 조정기술을 적용한 시작품을 제시하여 이를 실제 건축현장에 적용함으로써 그 기대효과를 분석하였다.

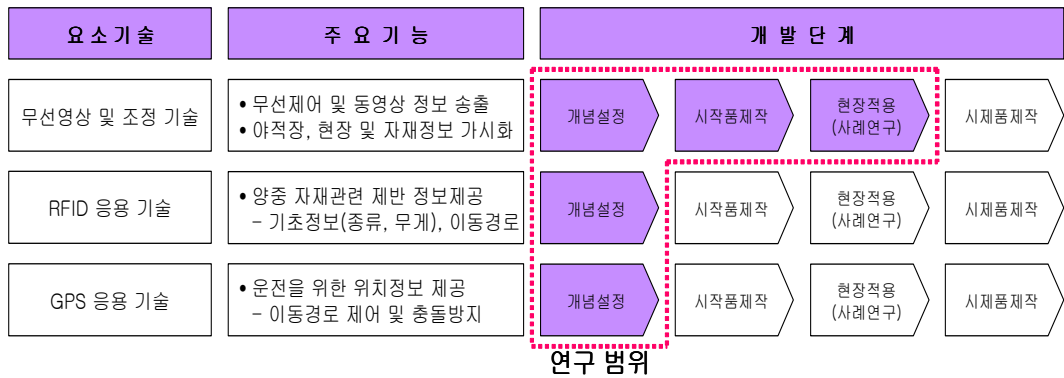


그림 1.2 본 연구의 주요내용 및 범위

양중자재의 정보제공을 위한 RFID 기술과 크레인의 위치정보를 위한 GPS 기술은 본 연구에서는 그 가능성만을 타진하고, 향후의 단계적인 연구로 남겨둔다. 본 연구의 대상이 되는 크레인의 종류는 한국의 도심지 건축에서 가장 널리 사용되고 있는 T형 크레인(top-slewing crane)으로 제한한다.

제2장. 이론적 고찰 및 요소기술 분석

2.1 분석대상 요소기술 설정

정보기술(information technology : 이하 IT)을 활용한 지능형 타워크레인
 다음 그림 2.1에서와 같이 ①타워크레인 기술 분야, ②무선제어 및 동영상 정보
 송출을 포함한 무선기술 기술, ③양중자재 정보관리를 위한 RFID 기술, ④양중
 자재의 위치경로 제어 및 충돌방지를 위한 GPS 기술과 같은 세부 요소기술을
 기반으로 한다.

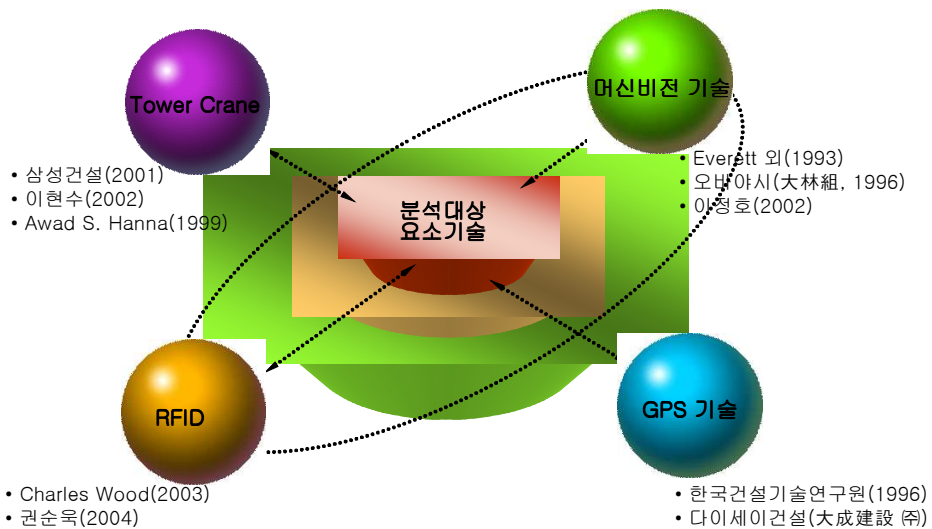


그림 2.1 분석대상 요소기술

외국의 경우 1990년대 중반 이후 크레인의 작업효율 및 안전성 향상을 위한
 세부적인 연구들이 진행되어 왔다. 외국의 경우는 크레인의 설치위치 및 기중
 선정 등과 같은 관리적 측면의 연구들 뿐 아니라, 크레인 충돌방지 및 양중자
 재 정보제공 등과 같은 기계적인 장치개발과 관련된 연구들이 진행되어 일부

상용화된 시제품이 판매되고 있는 실정이다.

그러나 우리나라의 경우, 타워크레인의 양중위치 및 기중선정 등과 관련된 분야에 대한 관리 분야의 연구가 주로 진행되었다. 물론 이정호(2002)등과 같이 GPS 및 머신비전을 이용한 크레인 자재운송 프로세스 개발과 같은 연구가 일부 진행되기는 하였으나 실제적인 기계적 장비의 개발을 통한 연구들은 부재한 실정이다.

따라서 이하에서는 지능형 타워크레인의 개발에 필요한 타워크레인 기술 분야, 무선제어 및 동영상 기술 분야, RFID 응용 기술, 양중자재의 위치경로 제어 및 충돌방지를 위한 GPS 응용 기술 분야를 대상으로 기존의 선행연구들을 분석해 보고자 한다.

2.2 타워크레인 분야 기술

S건설(2001)에서는 그림 2.2와 같은 타워크레인 무선조정기 개발한 사례가 있다. 이 장비는 타워크레인 무선통신 기술을 이용하여 장소와 시간에 구애받지 않고 타워크레인을 무선 조종하도록 고안된 것으로, 조종자의 작업범위가 커져 작업의 유연성과 효율성을 증대시키는 이점이 있다³⁾. 그러나 이 기술은 인양위치와 부릴 위치까지의 범위가 넓은 건설현장의 작업조건 및 운전원의 거리감 문제(lack of depth perception)를 고려하면 타워크레인의 정확한 운전이 어렵기 때문에⁴⁾ 실제로 개발 이후에 극히 일부의 소형 크레인에만 적용되었으며 현장에 널리 보급되지 못하고 있다.



그림 2.2 타워크레인 무선조정기

이현수 등(2002)은 타워크레인의 기종, 대수, 설치위치에 대한 의사결정 프로세스의 개선을 목적으로, 양중 계획안을 만드는 프로세스와 각 대안의 평가 프

3) http://www.ganaco.com/kor/special_sub03.html

4) 박성진(2001), p.378

로세스를 개발하고 현장적용을 통하여 이의 타당성을 검증하고 있다. 그러나 이 연구는 타워크레인의 성능향상을 위한 물리적인 장치의 개발보다는 크레인의 기종 및 위치 선정에 중심을 둔 연구로, 남시대(1996), 이재용(1994) 등 이와 유사한 연구들이 수차례 진행된 사례가 있다. 즉, 상기 연구는 본 연구에서 다루고자 하는 정보통신 기술을 이용한 타워크레인의 효율성 제고와는 접근방식이 전혀 상이한 차이점이 있다.

한국건설관리학회(2002)에서는 “건설공사의 적시생산을 위한 양중 및 조달시스템 개발”연구를 수행하였다. 이 연구는 초고층 건축현장은 여유 작업공간이 협소하며, 자재적치와 수평동선을 위한 공간의 확보가 용이하지 않다는 점에 착안하여, 각 단계에서 발생하는 정보를 신속하게 전달하고 자재를 적시에 조달토록 하는 시스템의 구축을 목표로 하고 있다. 이 연구의 주요내용으로는 아래의 그림 2.4와 같이 공사별 조달·운반·양중·적치 작업흐름 분석, 자재의 공장생산화 및 조달·운반·양중·적치방안, 공업화자재의 확대 적용방안, 자재생산 반입 및 일정관리를 위한 공정관리 체계수립 및 개선모델 개발과 PDA를 이용한 이동 물류정보 관리기법 개발 및 적용방안 도출 등이다(그림 2.3 참고).

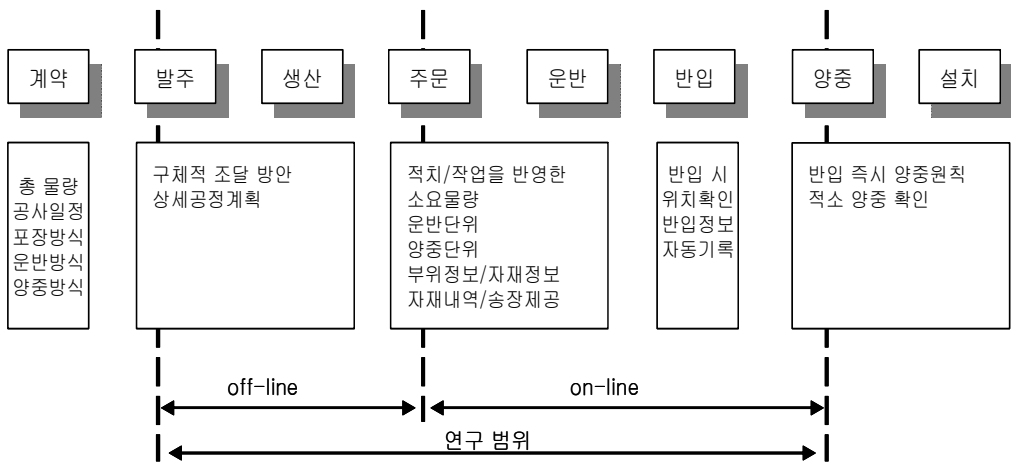


그림 2.3 건설공사의 적시생산을 위한 양중 및 조달시스템 개발의 연구범위

그러나 이 연구는 조달 프로세스상의 저해요소를 저감할 수 있는 JIT(Just In Time) 개념의 관리방식 효율화 측면에서 연구가 진행되고 있으며, 주로 양중작업 이전단계를 중심으로 진행되므로, 본 연구에서 다루고자하는 타워크레인 관련 장비의 개발을 통한 작업 효율제고와는 차별성이 있다.

한편, 타워크레인의 사용이 증가하면서 타워크레인에 의한 사고는 '96~'98까지 3년 동안 29건의 중대재해가 발생하여 32명이 사망하였고, 99년에도 4건의 중대재해가 발생하여 4명이 사망하는 등⁵⁾ 타워크레인의 안전재해는 지속적으로 발생하고 있다. 크레인 안전사고의 유형은 그림 2.4와 같이 바람에 의한 전도, 설치위치 불안정에 의한 전도, 양중작업 도중의 낙하, 양중 작업도중 장애물 충돌, 과하중 자재 양중으로 인한 전도 등이 있다.



그림 2.4 타워크레인 작업의 안전사고

5) 구문희(2002)

이러한 안전재해는 건설 산업의 이미지 하락과 안전사고 처리에 따른 직·간접 사회비용을 유발하는 등 경제적·산업적 측면에서 매우 부정적인 영향을 끼치게 된다. 또한 타워크레인 은 이러한 안전사고 뿐 아니라 생산성 측면에서도 기술적인 발전 속도가 상당히 완만한데 이와 관련한 국내외 주요 연구로는 다음과 같은 연구들이 수행되어 왔다.

스미모토 중기(2002)에서는 크롤러 크레인에 모바일 통신기술을 이용하여 기계의 가동상태 및 작업이력을 관리하도록 하고 있는데 이 장치는 기계의 실질적인 작동보다는 기계의 유지보수와 관련된 정보를 중심으로 이루어지고 있다(그림 2.5 참고). 이 연구는 무선 통신기술을 이용한다는 점은 본 연구와 유사하나, 무선 통신을 통해 제공되는 정보가 실제 현장작업 도중에 도움이 될 만한 정보가 아닌, 기계의 유지보수와 관련된 정보를 중심으로 이루어지고 있다는 측면에서 본 연구와는 차이가 있다.

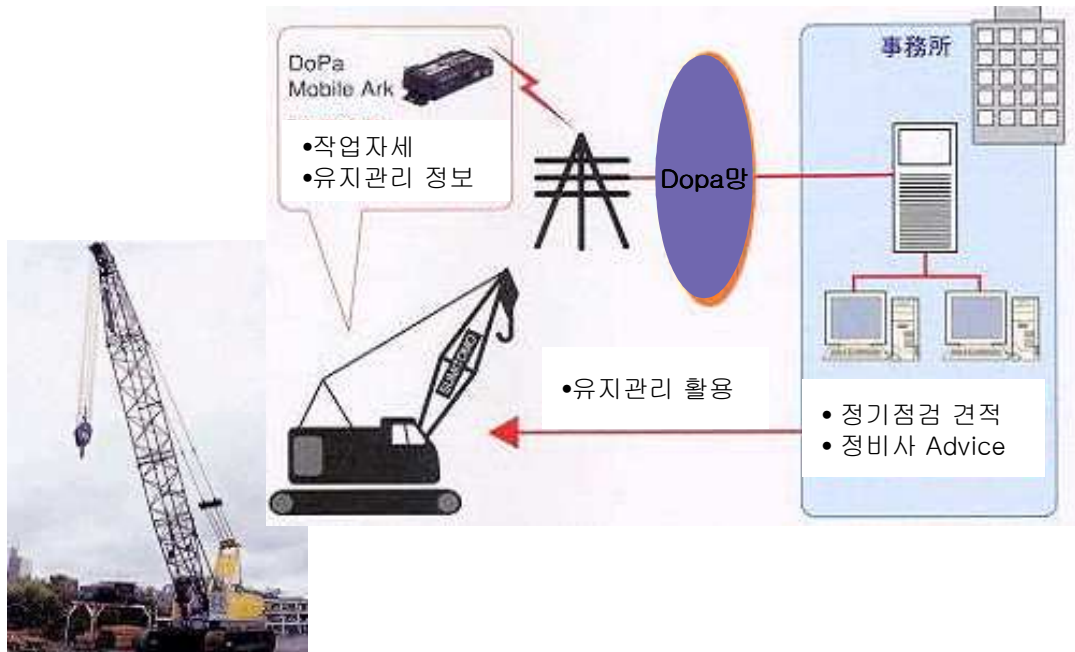


그림 2.5 모바일 통신을 이용한 IT 크레인

이외 해외의 대표적인 논문으로 Awad S. Hanna(1999)는 타워크레인 작업 효율을 개선시키기 위해 크레인의 기중선정에 관한 연구를 수행하였으며, Arthur W. Leung(2001)는 양중시간의 예측에 관한 연구를 수행하였다. 또한 기존의 타워크레인 자동화를 위한 prototype의 개발, 경제적 기술적 타당성 분석에 관한 연구(Yehiel Resenfeld, 1995; Yehiel Resenfeld, 1998)와 크레인 운전시의 전도 경고 신호에 관한 연구도 수행되었다(David V. Pizarro, 1997).

그러나 이러한 연구만으로는 양중작업의 안전성과 생산성에 큰 영향을 미치는 작업원과 야적장 또는 작업장 작업간의 의사소통 차이(gap)를 개선하기에 한계가 있다.

2.3 머신비전 분야 기술

Everett(1993)는 크레인 붐 트랜스미트(transmit)에 비디오카메라를 장치하고, 크레인의 운전석에 설치된 텔레비전 모니터에 영상신호를 보여주는 것을 골자로 하는 CRANIUM을 개발하여, 시험결과 약 16~21% 가량의 생산성이 향상되었으며, 안전성 역시 향상된 것으로 보고하였다.

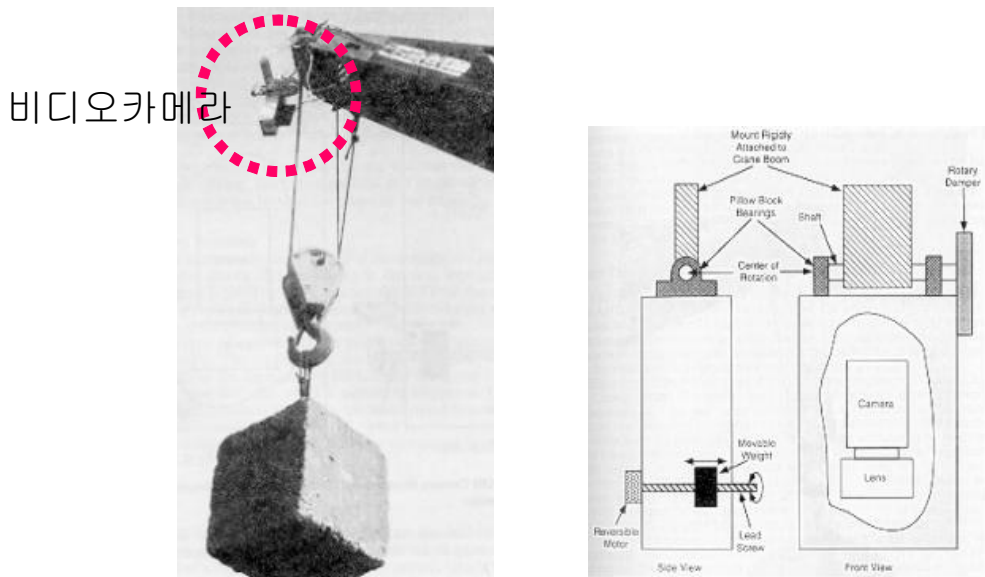


그림 2.6 Everett의 CRANIUM

오바야시(大林組, 1996)에서는 건설공사에 사용하는 크레인용 멀티미디어 안전감시시스템(CSMS, Crane Safety Monitoring System)을 개발하였는데, 이 시스템은 크레인 운전석에 설치한 영상모니터 화면에 장비 운전자가 크레인의 운전 시에 필요로 하는 제반 계기 정보를 문자 정보로서 제공하는 것을 주요 골자로 하고 있으며, 이외에 전문가 시스템을 채용한 고장 진단 시스템도 탑재하고 있다.

구문희(2000)는 타워크레인의 사용증가에 따른 재해의 감소를 목적으로 라디오 전파 등에 의한 유도전압 대책, 충돌방지 대책, CCTV 카메라 장치, 무선통신 장치, 항공장애등과 같은 타워크레인의 최신 안전설비에 대해 해외의 사례를 소개 하였다.

이정호(2002)는 GPS 및 머신비전을 이용한 크레인 자재운송 프로세스를 다음의 그림과 같이 제안하였다.

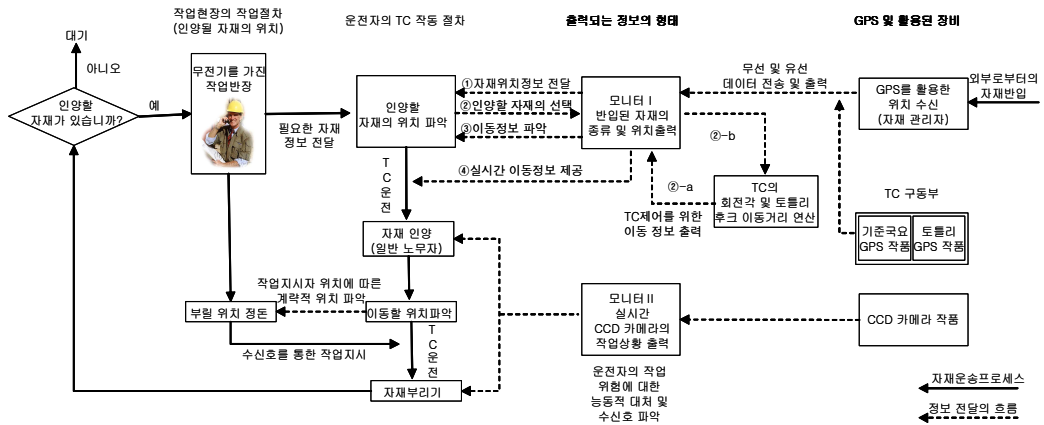


그림 2.7 GPS 및 머신비전을 활용한 TC의 자재운송 프로세스

이 연구는 타워크레인 운전원이 자재운송을 위한 위치조정 시간을 최소화하고 크레인을 쉽게 제어할 수 있도록, 머신비전(machine vision)을 활용하여 운전원의 사각지대를 최소화하며 GPS를 활용하여 자재의 위치정보 및 이동할 boom, 트롤리(trolley), 훅(hook)의 이동거리를 제공함으로써 크레인의 작업효율을 향상시킬 수 있는 프로세스의 개선방안 및 장비개발을 위한 프레임워크(framework)를 제시하였다.

2.4 RFID 분야 응용기술

RFID란 마이크로칩(micro-chip)을 내장하여 주파수변조 방식으로 안테나와 교신을 통하여 근거리 및 원거리에서 읽고 쓰기가 가능한 무선인식 기술을 적용한 인식표(memory label)를 일컫는 것으로 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)의 핵심기술로 대두되고 있는 기술 분야다. RFID는 광파(light wave) 대신 라디오파(radio frequency)를 이용하는 바코드 기술의(bar code labels)의 자매기술이다(Edward J. Jaselskis, A.M., 2003). RFID 시스템은 태그(tag)와 리더(reader)로 구성된다, 태그는 전자라벨(electronic label)로 정보가 들어 있는 칩(chip), 그리고 RFID 리더(reader)와 신호교환을 위한 안테나가 보호막(protective shell)안에 들어 있다.

태그는 칩에 저장되는 정보의 읽기/쓰기 기능의 여부에 따라 읽기 전용(read only)과 읽기/쓰기 겸용(read and write)으로 구분되며, 또한 배터리의 포함여부에 따라 액티브 타입(active type)과 패시브 타입(passive type)으로 구분된다.

리더는 최소한 안테나와 스캐너(scanner) 그리고 태그로 구성된다. 태그의 기억용량은 64바이트에서 32,768 바이트까지 있다.

표 2.1 RFID의 주파수 범위와 특징

저주파 영역	특 징	적 용 분야
저주파 영역 100-500 KHz	<ul style="list-style-type: none"> 가장 짧은 인식거리 (Low reading speed) 저가격, 저속도 	<ul style="list-style-type: none"> 출입통제 가축식별 재고관리
중주파 영역 10-15 MHz	<ul style="list-style-type: none"> 중간 인식거리 (Medium reading speed) 고주파 영역에 비해 저렴, 중속도 	<ul style="list-style-type: none"> 출입통제 스마트카드
고주파 영역 860-960 MHz 2.4-5.8 GHz	<ul style="list-style-type: none"> 가장 긴 인식거리 (High reading speed) 고가격, 고속도 	<ul style="list-style-type: none"> 철도 및 차량물류 유통 등

최근의 RFID 기술에 적용되는 주파수 영역은 크게 저주파(100-500 KHz), 중주파(10-15 MHz), 고주파(850-950 MHz / 2.4-5.8 GHz)의 3가지이며 그 특징은 위의 표 2.1과 같다.

지난 1998년 11월에 미국의 건설산업연구원(Construction Industry Institute, 이하 CII)에서 실시한 RFID 워크숍(workshop)에서는 RFID의 건설 산업에의 적용 가능성을 보여 주는 수준이었으나, 2003년 ADCIC(automatic data collection in construction) 컨퍼런스(conference)에서는 RFID를 이용한 상당한 수의 논문이 발표되었다. 이는 RFID가 건설 산업에 폭넓게 사용될 수 있는 가능성을 증명해 주는 것이라 해석할 수 있을 것이다.

Charles Wood(2003)는 건설 산업에서 벌크 자재의 추적, 건설장비, 현장 안전관리 응용분야, 안전장비 확인 및 추적 등의 분야에 RFID가 활용될 것이라 예측하였다. RFID는 금속성 자재에 사용할 경우 에러율이 높고, 태그의 가격이 바코드 등과 비교할 때 상대적으로 고가라는 단점이 있으나, 이런 문제점들이 점진적으로 개선되고 있으므로 멀지 않은 장래에 보다 광범위한 분야에 적용될 것으로 기대된다.

이와 같은 RFID 기술은 최근 들어 그 사용범위가 급격히 증가하고 있는 추세이며 따라서 본 연구에서는 양중분야 뿐 아니라 건설 산업 전반의 RFID 기술 동향을 분석하고자 한다.

한국건설관리학회 주관으로 지난 2003. 12 부터 국내 D건설사와 산·학·연 프로젝트로 현재 연구가 진행되고 있는 한 연구에서는 초고층빌딩 공사의 마감재중 커튼월을 대상으로 하고 있으며, 커튼월의 제작 및 출하과정에서 RFID를 부착한 후 운반 및 시공전반에 이르는 SCM(supply chain management) 시스템을 구축하는 것이 연구의 주요 목표이다. 현재 본 연구는 커튼월의 일반적인 업무흐름 및 조달프로세스를 분석하고 있으며 RFID의 적용에 관한 시나리오를 구상 중에 있다.

권순욱(2004)에 의하면 RFID 기술은 건설 산업의 자재조달 및 추적관리 시스템, 유도장치 탑재장비의 제어, 콘크리트 철근부재의 피로 또는 초과 응력 탐

지, 압축가스 실린더 추적, 공구관리 및 장비 모니터링 분야에 적용되고 있다. 국내의 경우 현재 국책연구과제로 RFID를 이용한 공급사슬 및 현장관리 관련 연구가 수행되고 있으며 향후 시설물의 유지관리 분야 등에 확대 적용될 수 있을 것으로 기대되고 있다. 이외에 장문석(2004)은 유닛타입(unit type)의 커튼월을 대상으로 RFID 기술을 접목함으로써 기존의 커튼월 관련 업무 프로세스를 개선하고자 시도하였다.

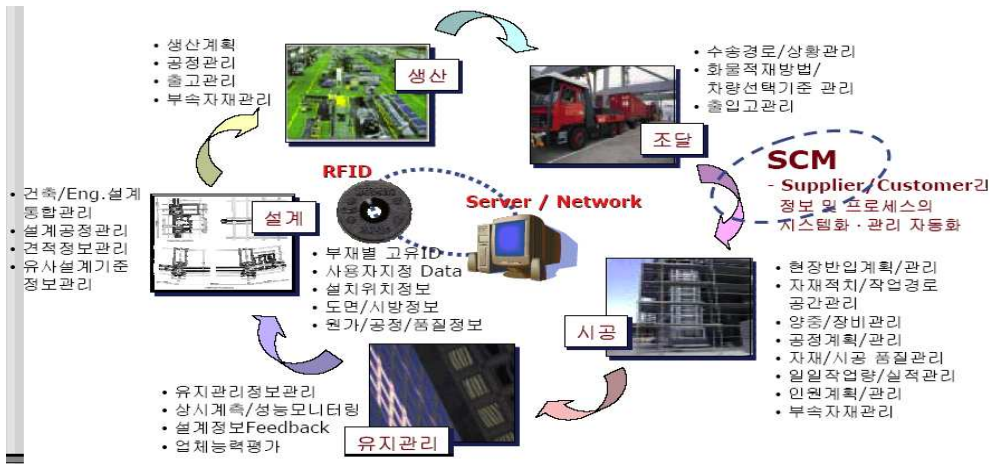


그림 2.8 초고층 Curtain-Wall의 SCM 기반구축 연구의 개념도

2.5 GPS 및 장비제어분야 기술

한국건설기술연구원(1996)에서는 버킷에 의한 콘크리트 타설과 같은 반복적인 작업을 대상으로, 작업의 행선지를 사전에 입력하여 작업의 시작 및 종료를 설정하면 타워크레인이 자동적으로 행선지까지 이동하는 시스템을 개발하였다.

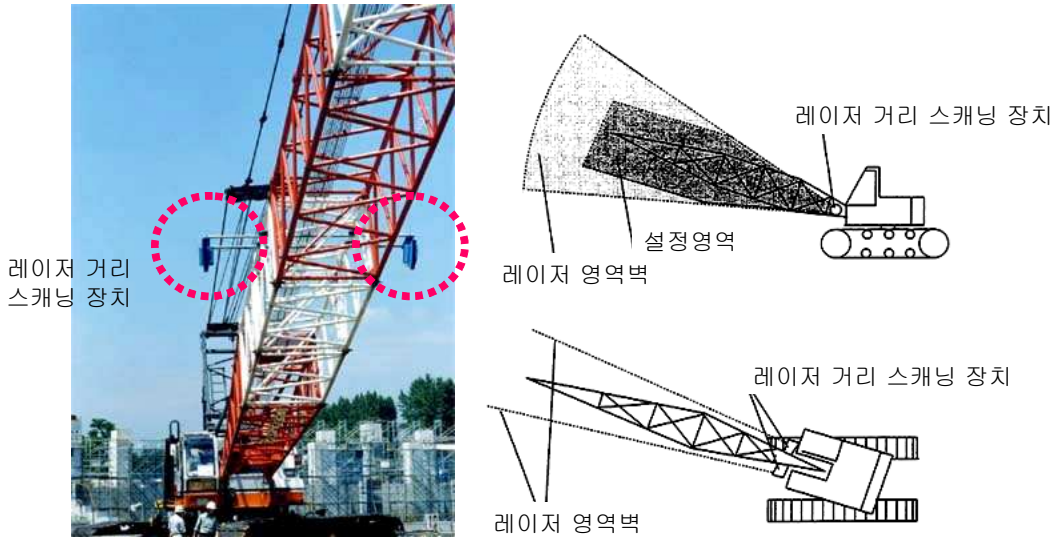


그림 2.9 레이저광을 이용한 이동식 크레인 영역벽(barrier) 시스템

다이세이건설(大成建設 株式会社) 등에서는 그림 2.9와 같이 적외선, GPS, 레이저광 등을 이용한 크레인 충돌방지 장치를 개발하였다. 다이세이건설의 크레인 충돌방지 장치는 여러 대의 크레인 운용이 요구되는 대형현장에 매우 유용한 것으로 평가된다. 다수의 크레인이 가동되는 현장에서는 크레인간, 크레인과 건축물과의 충돌 가능성이 항상 존재하며, 이로 인하여 안전문제와 작업효율 저하를 초래하게 된다. 따라서 크레인 붐의 선회각·기복각과 장애물의 정보를 통신네트워크로 연결하고, 삼차원적으로 각각의 위치 관계를 계산해 충돌을 회피하거나, 또는 레이저 거리 스캐닝 센서를 설치하고 크레인의 좌우 측면으로 레이

저광을 발사해 범위를 설정한 후, 설정된 범위 내에 접근하는 물체를 직접 감지하는 방식 등을 이용한 충돌방지 시스템은 유용한 기술로 판단된다.

2.6 선행연구의 한계점과 본 연구의 차별성

이상 선행연구를 분석해 본 결과 선행 연구들은 다음의 측면에서 한계점을 가지고 있다. 우선 머신비전의 경우 기존 연구는 T형 크레인과는 달리 지브크레인을 대상으로 하고 있어 트롤리가 전후로 이동하게 되므로, 영상신호 및 제어신호의 송수신이 유선으로는 불가능한 T형 크레인에 적용이 불가능 하다.

또한 기존의 연구에서는 크레인 운전원에게 제공되는 정보가 양중자재의 종류, 이동위치, 작업내용 등과 같은 자재 및 작업정보 없이 단순 영상정보만을 제공하고 있다. 본 연구에서는 RFID를 이용하여 자재정보 및 자재이동경로와 관련된 정보를 실시간으로 운전원에게 제공하는 기술의 플레임웍을 연구범위로 설정하고 있다는 점에서 기존의 연구들에 비하여 발전적인 형태라 할 수 있다.

마지막으로 GPS 및 장비제어 분야기술의 경우는 이미 다양한 선행연구들이 진행되고 있어 이를 본 시스템에 적용하기 위한 응용기술 개발이 필요한 수준으로 판단되며, 본 연구의 경우 운전석에 설치될 모니터를 통하여 관련정보가 정확히 운전원에게 제공될 수 있는 기반이 조성됨으로써 후속 연구의 진행에 상당히 유용할 것으로 판단된다.

RFID는 금속성 자재에 사용할 경우 에러율이 높고, 태그의 가격이 바코드 등과 비교할 때 상대적으로 고가라는 단점이 있으나, 이런 문제점들이 점진적으로 개선되고 있으므로 멀지 않은 장래에 보다 광범위한 분야에 적용될 것으로 기대된다.

제3장. 무선기술 기반 타워크레인 시스템 개발

3.1 지능형 타워크레인의 개요

본 연구는 무선영상 송·수신 및 제어기술과 RFID 기술을 이용하여 타워크레인 운전원에게 양중자재 및 이동정보를 실시간으로 정확히 제공할 수 있는 지능형 타워크레인의 개발을 목표로 하는 연구의 일부이다.

이에 본 연구에서는 지능형 타워크레인의 프레임워크를 제시하고 이를 토대로 1차적으로 무선영상 송·수신 및 제어장비를 제시하여 이를 현장에 적용함으로써 작업효율의 개선정도를 분석해보고자 한다. 다만 기존의 관련기술을 응용하여 사용하게 되는 RFID와 GPS 및 제어기술을 이용하여 크레인간의 충돌을 방지하고 양중자재의 이동을 자동 또는 반자동으로 운반할 수 있도록 하는 부분은 향후의 별도 연구에서 수행하고자 한다.

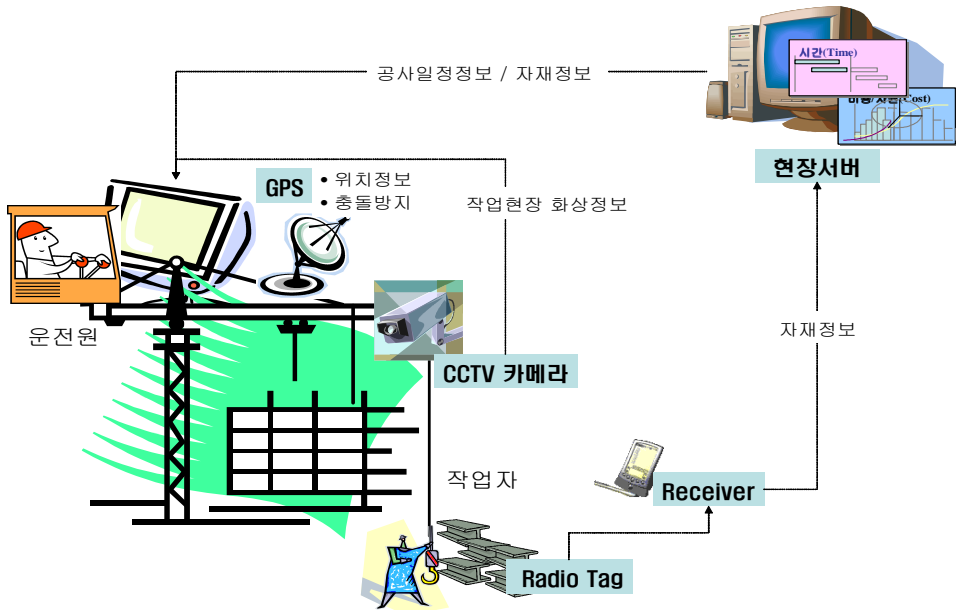


그림 3.1 지능형 타워크레인 Framework

본 연구에서 궁극적으로 제안하고자 하는 지능형 타워크레인의 프레임웍은 그림 3.1과 같다. 위의 그림 3.1을 보면 T형 타워크레인 트롤리에 CCTV 카메라를 장치하고, 양중자재에 RFID 태그를 설치하여 크레인의 운전석에 마련된 LCD 모니터로 야적장의 화상정보와 양중자재의 기초정보를 전송한다. 또한 운전석에서는 무선통신 기술을 이용하여 카메라를 조정하게 된다.

표 3.1 지능형 타워크레인의 주요 기능

요 소 기 술	주 요 기 능
무선영상 송·수신 및 제어	<ul style="list-style-type: none"> • 작업장 및 야적장의 작업화면의 송·수신 • 무선 비디오 장치의 제어 • 태양열 축전지를 이용한 무전원 공급
RFID 응용	<ul style="list-style-type: none"> • 양중자재의 명칭, 무게, 운반위치 정보 송·수신 • 양중작업 일정의 실시간 전송
GPS 응용	<ul style="list-style-type: none"> • 크레인의 운전을 위한 위치정보 확보 • 크레인간 충돌방지를 위한 기초정보
PDA WLAN 컴퓨팅	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 작업정보 획득 및 공유 • 무선 네트워크 기반의 정보관리

지능형 타워크레인의 개발에 소요되는 세부 요소기술은 무선영상 송·수신 및 제어, RFID 응용, GPS 응용, PDA WLAN 컴퓨팅으로 이들 기술의 주요 기능은 위의 표 3.1과 같다.

이하의 절에서는 위의 요소기술을 중심으로 지능형 타워크레인 프레임웍의 구현 알고리즘을 제시하고, 무선영상 송·수신 및 제어 기술의 구현을 위한 시작품을 제시하고 이를 실제현장에 적용함으로써 그 성과를 분석하기로 한다. 또한 사례분석 결과를 토대로 개발된 시작품의 문제점을 도출하고 향후 연구개발 내용과 시스템의 개선사항을 도출하기로 한다.

다만 앞서 언급한 바와 같이 무선영상 송·수신 및 제어 기술을 제외한 나머

지 요소기술에 대해서는 플로토타입의 알고리즘 구성에만 사용하기로 한다. 즉 향후 타워크레인의 단부에 위치정보 수신을 위한 GPS 수신기를 설치함으로써 크레인간 또는 인접건물과의 충돌을 미연에 방지함과 동시에 RFID를 이용한 양중자재의 이동정보, 도면정보, 위치정보 활용을 통하여 타워크레인의 반자동 또는 자동제어 기술을 개발하는 부분은 향후의 추가 연구로 설정한다.

3.2 시스템의 기본 구성

1) 시스템의 구성 모듈

본 연구에서 제안하고자 하는 지능형 타워크레인의 개념은 그림 3.2와 같이 무선 영상 및 조정 장비 모듈(크레인 운전석과 크레인 트롤리에 설치되는 모듈)과 RFID 응용 및 무선 모듈(주로 현장사무소 및 야적장에 설치되는 모듈)로 구성된다.

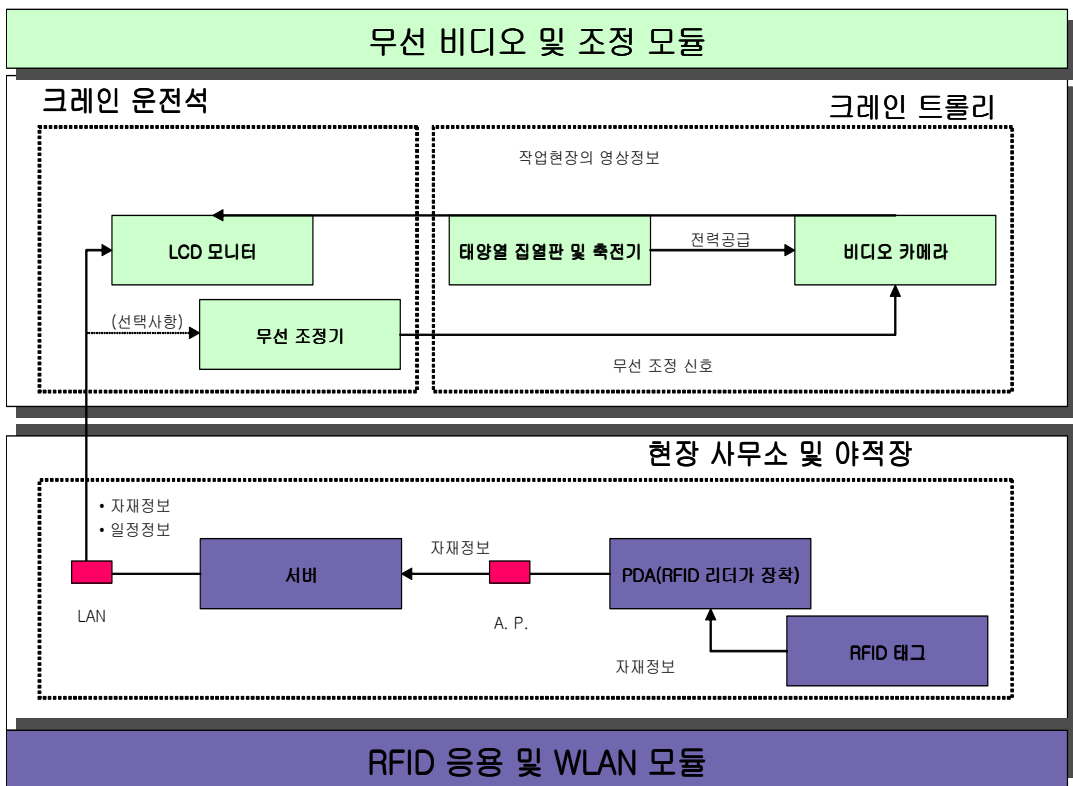


그림 3.2 시스템의 주요 모듈구성 및 정보흐름

본 연구의 시제품 개발을 위한 무선 영상 장치 모듈은 크레인 운전석에 설치되는 장치와 크레인의 트롤리에 설치되는 장치로 구성되며, RFID 응용 및

WLAN 모듈은 현장 사무실에 설치될 서버와 야적장 인근에 설치될 다수의 access points(이하 AP), 그리고 작업자에게 지급될 RFID 수신기가 부착된 WLAN 기반의 PDA로 구성된다. 이 시스템에 의한 작업절차는 다음과 같다.

우선 지능형 타워크레인의 주요 구성모듈에 대한 장비의 설치는 T형 크레인(top-slewing crane)의 트롤리 부위에 태양열 전지를 동력원으로 하는 소형 비디오카메라를 설치하고, 크레인의 운전석에는 LCD모니터와 비디오카메라 원격조정기를 설치한다.

다음으로 야적장에 있는 작업자에게 자재(material)에 부착된 카드형 RFID 태그에 수록된 정보를 수신하기 위한 무선 랜상에서 구동되는 PDA(WLAN based PDA)가 지급되며, 야적장 작업자와 사무실 서버는 AP를 이용한 WLAN으로 연결시키며, 현장 사무실과 크레인 운전원간의 정보 교환을 위한 LAN이 설치된다. 하위 모듈에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다.

2) 무선 영상 및 조정 장비 모듈

무선영상 및 조정 장비 모듈은 타워크레인 운전원이 크레인 운전석에 설치된 무선영상 조정 장치를 이용하여 비디오카메라를 원격 조정하는 기능을 제공하면서 인양할 자재의 위치까지 효율적인 운전을 가능하게 한다. 비디오카메라를 통해 수집되는 현장의 화상정보는 무선 송수신기를 통하여 크레인 운전석에 장치된 LCD 모니터로 송신된다. 이때 비디오카메라의 전원은 크레인 트롤리에 부착된 태양열 전지를 이용한다. 트롤리에 부착된 전지의 용량은 카메라의 조정과 신호의 송수신을 위한 것으로 전력을 무선으로 공급할 만한 기술이 부재하며, 기존의 러핑형 크레인과는 달리 트롤리가 이동하게 되므로 전력 공급을 위한 부득이한 선택이 된다. 전지의 용량이 증가되면 사용되는 전력량도 커지는 반면 무게가 많이 나가게 되므로 시작품의 제작시 무게와 용량간의 검토가 필요하다.

트롤리의 단부에 설치된 비디오카메라에는 줌인 줌 아웃 기능이 탑재되어 있으며, LAN을 사용할 경우 크레인 운전원 뿐 아니라 현장에서 조정이 가능하

도록 되어 있다. 즉 카메라의 조정은 LAN 구축 상황 및 프로그래밍에 따라 크레인 운전원, 현장 사무소장, 공무담당자, 담당기사 등이 할 수 있으나, 안전을 고려하여 크레인 운전원의 조정신호에 우선순위를 설정하게 된다. 또한 최근 건설현장 노무자의 개인생활과 인권보장 요구차원에서 카메라를 통한 감시기능은 가능한 하지만 한정적으로 사용되도록 하여야 한다.

3) RFID 및 무선 랜(WLAN) 모듈

RFID 및 무선 랜모듈은 기존의 무전기에 의지하던 자재정보를 RFID 태그에 기록해 두었다가 양중 작업시 RFID 리더를 통하여 정보를 읽은 후, 무선 LAN을 통하여 운전원에게 제공하는 기능을 담당한다.

건설현장에 입고된 자재에는 검사 후에 부재명칭, 무게, 설치위치 등의 자재 정보가 담긴 RFID 카드가 부착된다. 카드에 수록된 정보는 WLAN 기반 PDA의 리시버를 통해 수신되며 이 정보는 야적장 인근에 설치된 AP와 현장사무소의 LAN을 통해 크레인 운전원에게 전달된다. 이때 현장사무소와 작업자는 양중작업 일정의 변경 등과 같이 운전원에게 필요한 공정정보(schedule information)와 작업지시 내용을 전송할 수 있다.

3.3 무선 영상 및 조정 모듈

1) 시스템의 주요 컴포넌트

본 시스템에서 제시하고 있는 무선 영상 및 조정 모듈과 RFID·WLAN 모듈은 각기 하위 컴포넌트로 구성된다.

우선 무선영상 및 조정 모듈은 다시 크레인 운전원과 작업자간의 의사소통을 도와주기 위한 것으로 다음의 그림 3.3과 같이 조정석 컴포넌트(operating room component)와 트롤리부 컴포넌트(trolley component)로 구성된다.

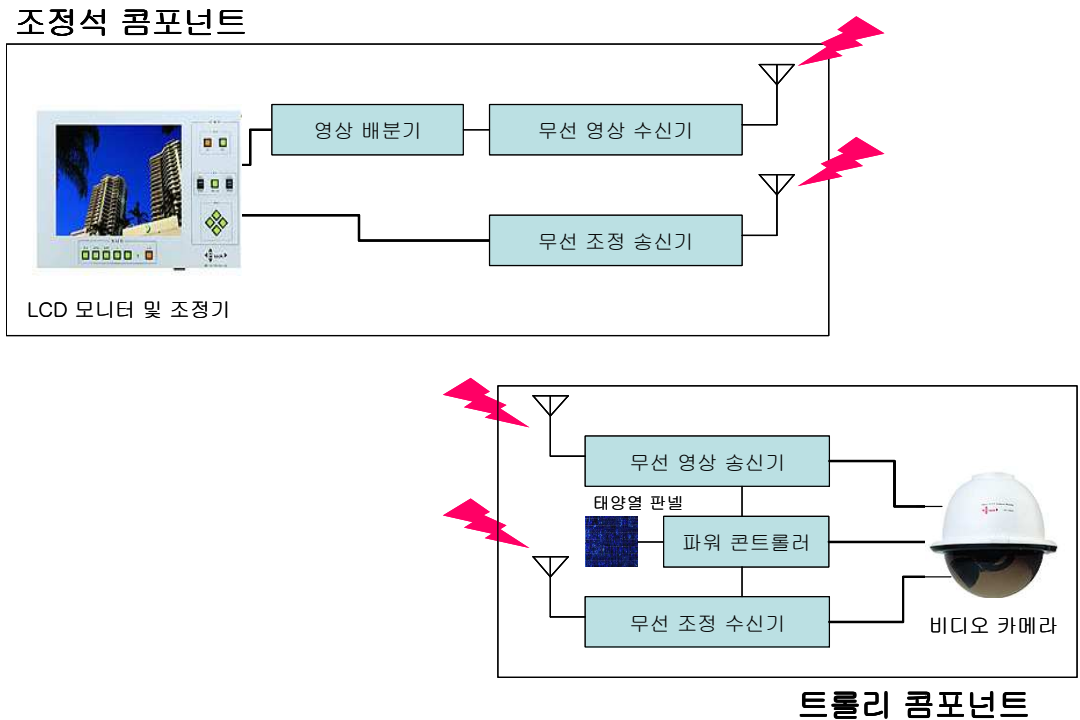


그림 3.3 무선영상 및 조정 모듈의 시스템 구성도

조정석 컴포넌트는 크레인의 운전석에 설치되어 운전원에게 운전정보를 제공하며 장비를 조정할 수 있게 하는 기능을 수행하며, 트롤리부 컴포넌트는 운전

실의 조정신호에 반응하는 장비와 이 장비에 공급될 전원장치로 주로 구성된다. 이들 하위 콤포넌트들의 세부적인 사항은 다음과 같다.

2) 조정석의 하위 콤포넌트

타워크레인의 조정석 콤포넌트는 비디오카메라를 조정하기 위한 무선 콘트롤러, 콘트롤러의 신호를 송신하기 위한 송신기, 카메라에 연결된 무선 영상 송신기로부터 전달되는 신호를 받기 위한 무선영상수신기, 그리고 이를 LCD 모니터에 전달해주는 영상 분배기로 구성된다.



그림 3.4 LCD 모니터와 무선 조정기

우선 크레인 트롤리에 설치된 카메라를 조정하기 위한 무선 조정 패널과 중앙 정보를 보여주기 위한 LCD 모니터는 위의 그림 3.4와 같다. 무선 조정기는 카메라의 회전과 줌 인, 줌 아웃 기능을 조정하게 되며, 카메라를 통해 수집된 영상정보는 모니터에 송출된다.

다음으로 무선 컨트롤러와 송신기(wireless controller and transmitter)는 그림 3.5에서 보는 바와 같이 400MHz대의 FM 복조(demodulation)방식을 사용하는데, 최대 수신거리는 약 500m로 대형 크레인에 적용이 가능하다. 무선 영상 수신기와 영상분배기(distributor)는 트롤리에 설치된 카메라 측의 비디오 송신

기로부터 송출되는 RF 신호를 수신하여 영상 신호로 재현하여 모니터에 표현하여 주는 장치로 안테나와 같이 설치되며 2.4GHz의 주파수로 가용거리는 약 300m이다.



그림 3.5 영상 송신기 및 수신기

3) 트롤리부의 하위 컴포넌트

트롤리 컴포넌트는 그림과 같이 비디오카메라, 운전실의 무선 조정 신호를 수신하기 위한 수신기, 화상정보 송신을 위한 무선 영상 송신, 그리고 이들에게 전원을 공급하기 위한 태양전지판과 전원장치로 구성된다.



그림 3.6 트롤리 컴포넌트의 주요장치

비디오카메라의 화질은 전원용량과 데이터 송신효율을 고려하여 1/4 인치, 38만 pixel 수준으로 설정하였다(그림 3.6 참조). 픽셀(pixel)을 높일수록 양질의 화면이 제공되지만 전원의 소모가 클 뿐만 아니라 데이터의 전송속도에도 문제

가 발생하게 된다. 카메라의 최저조도는 3Lux(F1.6)이며, 22배 줌 기능을 탑재하고 있다. 무선조정 수신기와 영상 송신기의 사양은 운전실 콤포넌트에 사용된 것들과 동일하다.

태양열 패널(solar panel)은 트롤리 작업대의 안전망에 설치하여 태양으로부터 햇빛을 받아 전기 에너지로 바꿔 트롤리에 설치된 카메라와 주변기기의 전원을 공급하는 기기로 인간의 심장과 같은 기능을 수행한다. 태양열 패널의 재질은 모노크리스탈라인 실리콘(monocrystalline silicon)으로 출력전압은 DC 17.1V, 출력전류는 2.93A로 설정하였다. panel에서 생성된 전기에너지는 충전기를 통해 배터리에 축전되며 전원 콘트롤러를 통해 각 장치(device)에 전원이 공급된다.



그림 3.7 태양전지판 및 파워 콘트롤러

4) 프로토타입 콤포넌트의 설치

타워크레인의 조정석 콤포넌트를 구성하는 비디오카메라를 조정하기 위한 무선 콘트롤러, 콘트롤러의 신호를 송신하기 위한 송신기, 카메라에 연결된 무선 영상 송신기로부터 전달되는 신호를 받기 위한 무선영상수신기, 그리고 이를 LCD 모니터에 전달해주는 영상 분배기의 프로토타입 모델의 설치 화면은 다음의 그림 3.8 (a)과 같다.

또한 비디오카메라, 운전실의 무선 조정 신호를 수신하기 위한 수신기, 화상

정보 송신을 위한 무선 영상 송신, 그리고 이들에게 전원을 공급하기 위한 태양전지판과 전원장치로 구성된 트롤리 컴포넌트는 그림 3.8(b)과 같다.



a) 운전석에 설치된 컴포넌트



b) 크레인에 설치된 컴포넌트

그림 3.8 시작품의 설치 사례

3.4 RFID 응용 및 WLAN 모듈

크레인 운전원에게 인양될 자재의 정보와 하역 위치를 전달하기 위한 RFID 응용 및 WLAN 모듈은 그림과 같이 서버 컴포넌트와 클라이언트 컴포넌트 (RFID application micocomponent)로 구성된다.

서버 컴포넌트는 그림 3.9와 같이 야적장 등 주요작업장에 AP를 설치함으로써 현장 전체를 WLAN or LAN을 설치하기 위한 것이다. 서버 컴포넌트는 서버, 허브, AP로 구성되며, 서버 컴포넌트의 핵심인 서버는 window 2000을 OS로 사용했으며 DB는 MS SQL 2000을 사용하였다.

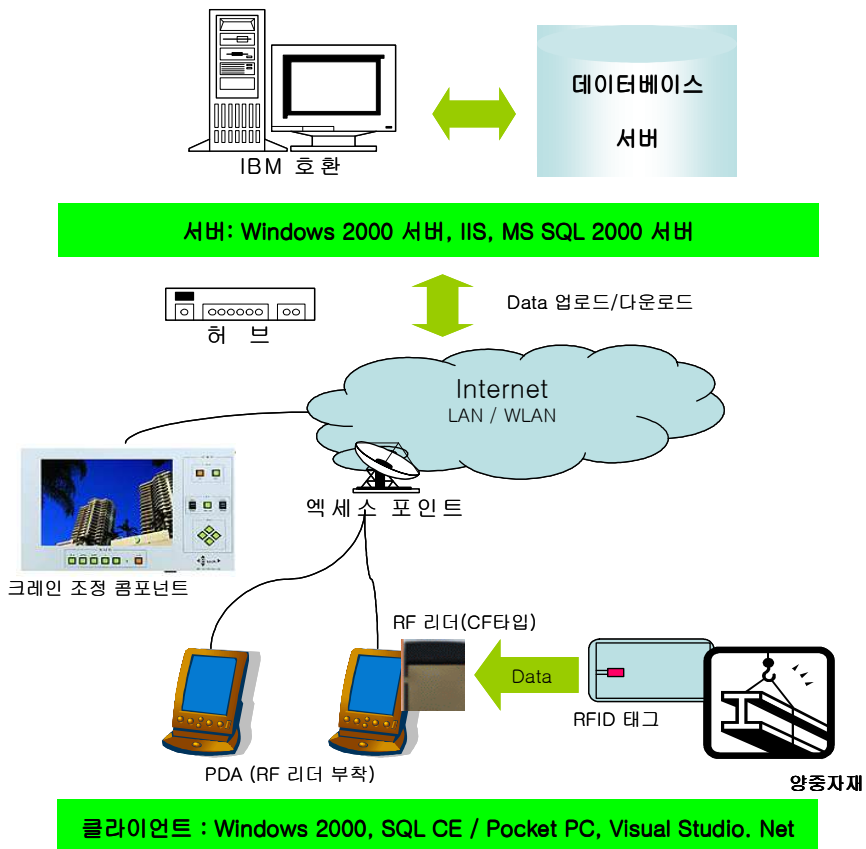


그림 3.9 RFID 응용 및 WLAN 모듈

클라이언트 콤포넌트는 자재의 정보를 크레인 운전원에게 전달하기 위한 것으로 카드형식의 RFID 태그와 PDA로 구성된다. 자재에 부착된 RFID 카드에 수록된 정보를 읽기 위한 리더는 그림 3.10과 같이 CF 타입으로 PDA에 설치된다. PDA는 전용한 AP를 통하여 무선으로 서버에 접속되며, 서버에 전송된 정보는 크레인 운전원에게 실시간으로 전송된다. RFID 태그와 리더의 주파수는 13.56MHz이며, 일기 거리는 5Cm이고 PDA OS는 Pocket PC 2002를 사용하였다.

RFID 태그의 종류는 동전형, 막대기형, 카드형 등으로 매우 다양한데, 본 연구에서는 카드형에 비닐 커버를 이용하여 자재에 부착하는 방식을 채택하였다. RFID는 아직 금속성 자재에 오작동을 일으키기 때문에 동전 형이나 막대기형을 사용할 경우 인식표의 관리가 곤란하며, 리더의 작동시 금속면에 근접될 수 있기 때문에 본 연구에서는 비닐커버에 부착된 카드형을 이용하였다. RFID 태그에 수록된 정보는 자재의 기초정보(자재명, 무게, 설치위치 등)와 인양일정등을 보이며 이는 실시간으로 운전원에게 전송됨으로써 크레인의 오작동을 줄여줄 수 있을 것이다.



그림 3.10 RFID 태그 및 PDA 리더

한편, AP는 크레인의 트롤리에 설치할 경우 WLAN의 coverage가 넓어지는 장점이 있으나 태양열 전지의 용량과 무게 등을 고려하여 prototype에서는 야적장에 AP를 설치하고 현장의 서버와 크레인 콘트롤러 간은 LAN으로 연결하는 방식을 채택하였다.

제4장. 현장적용 사례연구 및 작업효율 분석

4.1 사례분석의 방법 및 평가기준

Everett(1993)는 CRANIUM을 개발하고 장비의 효율성을 평가하기 위해서 장비운전 교육센터에서 사례연구를 수행하였다. 장비 교육센터는 실질적인 건설현장이 아니기 때문에 사례연구를 위한 측정표준을 설정하고 반복된 실험을 통하여 일정한 자료의 확보가 가능하다. 예를 들어 그의 연구에서는 ①정밀도를 요구하지 않고 자재를 내릴 때 높은 충격이 허용되는 작업(작업반경 오차 3m 이내의 작업으로), ②작업의 정밀도와 작업시간의 교환(trade off)이 요구되는 작업(작업반경 오차가 0.5m 이내이고 적당한 작업속도가 요구되는 작업), ③시간이 얼마나 소요되더라도 정밀도가 요구되는 작업(작업반경 오차 5Cm 이내)으로 구분하여 각각의 양중시간을 측정하였다.

그러나 이러한 방법은 사례연구를 수행함에 있어 이상적인 조건으로 실제 작업현장의 작업을 중지하고 사례연구를 위해 크레인을 작동한다는 것은 현실적으로 불가능 하다.

본 연구 역시 실제 건설현장을 대상으로 사례연구를 수행하였다. 실제 현장에서의 양중작업 효율성을 비교하기 위해서는 동일한 자재를 동일한 장소에 2회 이상 양중할 경우에 비디오 장치를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우로 설정하여 각각의 작업효율을 측정하였다. 사례연구는 2005년 9월 26일 ~ 9월 30일 5일간에 걸쳐 진행되었으며, 당일의 양중일정(lifting schedule)을 확인하여 반복 작업이 예상되는 자재와 작업을 대상으로 본 시스템의 사용전과 사용 후의 효과를 비교하였다.

비교 평가를 위한 평가요소로는 작업속도 개선율, 통화 및 수신호 저감율, 작업의 안정성 및 의사소통 만족도를 선정하였으며 작업속도 개선율, 통화 및 수신호 저감율은 정량적인 자료를 바탕으로 성과를 분석하였으며, 나머지 평가요

소는 작업자 및 운전원을 대상으로 실시한 설문조사 결과를 분석하였다. 사례 연구에 사용된 평가요소 및 측정방법은 위의 4.1과 같으며, 설문지는 부록 1에 첨부하였다.

표 4.1 사례연구의 평가요소 및 측정방법

평가요소	측정방법	비 고
작업시간	• 야적장 위치에서부터 크레인 수직이동 시간과 작업장 내 수직이동 시간의 합	정량적 평가
무전기 통화 횟수	• 위의 작업이 완료되는데 소요된 무전기 통화횟수	//
작업의 안전성	• 리커트 5점 척도에 의한 정성적 평가	정성적 평가
의사소통의 만족도	//	//

우선 작업시간은 시작품의 생산성을 평가하는 가장 핵심적인 평가요소로 크레인이 야적장 수직 상공에 도달한 이후부터 시간이 측정되어 후크의 하강이동 시간, 자재 거치 시간, 후크 상승시간, 수평이동 시간, 작업장에서의 후크 하강이동시간 까지 합으로 계산된다. 다음으로 무전기 통화횟수는 위의 작업시간 사이클이 종료되는데 운전원과 야적장 작업자, 작업자와 작업자 간에 소요된 무전기 통화횟수로 계산된다.

마지막으로 작업의 안전성과 의사소통의 만족도는 상당히 개인적인 편차가 발생할 수 있는 부분으로 적정 표본수의 부족으로 객관화 하는 데에는 한계가 있는 부분이다. 본 연구에서는 리커트 5점 척도법을 이용하여 운전원과 작업자를 대상으로 시작품의 적용결과 전후에 대한 개선정도를 평가한다. 작업의 안정성은 실제 안전사고 발생률을 측정하는 것이 이상적이지만 실질적으로 사례 연구 기간에 그러한 사고가 발생될 확률은 분석하기 어렵기 때문에 사용자들이

체감하는 정도를 간접적으로 측정하였다, 의사소통의 만족도 역시 안전성과 유사한 성격의 평가요소로 안전성과 동일한 평가방법을 이용하여 측정한다.

작업시간과 무전기 통화횟수는 크레인의 운전자가 매 작업 전후에 기록하도록 하였으며, 작업의 안전성과 의사소통의 만족도는 야적장과 작업장의 인부를 대상으로 실시한다.

4.2 대상현장의 개요

본 연구에서 개발한 지능형 타워크레인의 효과를 검증하기 위하여 철근 철골조 주상복합 시설물 건설현장을 선정하여 사례연구를 실시하였는데, 대상 건축물의 공사개요는 다음과 같다.



그림 4.1 사례현장의 단지 배치도

◆ Case Study 대상사업의 공사개요 ◆

- 공사현장 위치 : 경기도 수원시 장안구 송죽동 ○○○ 번지
- 대지면적 : 4,748.68평
- 건축면적 : 27,456.05평
- 구조 : 철골철근콘크리트조 주상복합건물
- 세대 수 : 아파트 614세대, 오피스텔 32세대 총 646 세대

사례분석 당시 현장의 공정률은 약 80% 수준으로 현재 골조작업이 진행되고 있으며 따라서 사례분석에 사용된 작업이 아래의 표 4.2와 같이 철근, 거푸집, 비계, 타이핀 등과 같은 골조공사 소요자재들이었다.

표 4.2 사례연구에 사용된 작업내용

작업명	작업시간		무전기 사용횟수		비고
	시작품 미사용	시작품 사용	시작품 미사용	시작품 사용	
철근 2ton(저속)	8분 20초	9분 50초	4회	6회	비사각
철근 1ton(고속)	6분 50초	8분 초	4회	6회	//
거푸집 2톤 저속	9분 30초	11분 초	4회	5회	//
거푸집 1톤 고속(사각)	10분 초	13분 40초	6회	10회	사각
철근 1톤 고속(사각)	7분 20초	12분 초	5회	10회	//
비계(사각)	9분 20초	12분 50초	6회	11회	//
비계 저속	7분 00초	8분 10초	3회	6회	비사각
타이핀 고속	10분 00초	12분 35초	6회	9회	//

4.3 사례분석 결과

1) 작업속도의 개선

크레인의 작업속도는 앞서 기술한 바와 같이 크레인이 야적장 수직 상공에 도달한 이후부터 시간이 측정되어 후크의 하강이동 시간, 자재 거치 시간, 후크 상승시간, 수평이동 시간, 작업장에서의 후크 하강 이동시간 까지 합으로 계산된다. 사례분석 결과 작업속도 개선율은 13.6% ~ 38.9%로 평균 21.5% 가량 개선되었다. 특히 철근 인양작업은 평균 12분에서 7분 20초로 38.9% 개선되어 그 효과가 상당하였다.

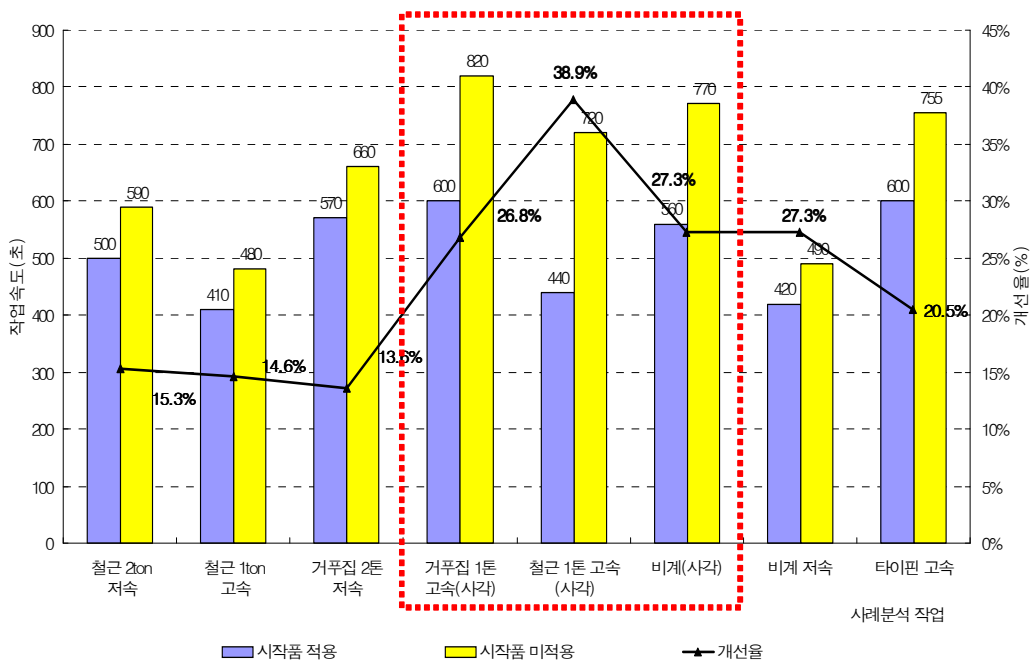


그림 4.2 작업속도의 비교분석

특히 표본 사례수가 적어 일반화에는 어려움이 있을 수 있지만 크레인 운전원의 시야확보가 곤란한 위치에서의 작업인 경우 평균 작업속도 개선율이 상당

한 것으로 추정되었다. 다음의 그림 4.2에서 사례 4~6번은 작업 시야가 가려진 곳에서의 양중작업을 대상으로 작업속도를 측정한 것이며 나머지는 시야가 충분히 확보된 곳에서의 작업을 조사한 것이다.

작업속도 평가결과 작업 시야가 확보된 곳에서는 약 15.7%의 작업속도 개선을 보인 반면 작업시야가 불완전한 곳에서는 31.0%의 작업속도 향상을 보여주고 있어 본 시스템이 불완전한 시각정보를 토대로 하는 작업의 개선효과가 큼을 알 수 있다.

2) 의사소통 효율성 제고

무전기 통화횟수는 평균 7.9회에서 4.8회로 20.0% ~ 50.0%(평균 38.9%) 개선되었다. 이러한 결과는 비디오 장치를 통해 현장 위치와 자재 야적장 및 작업장의 상황을 정확하게 파악할 수 있게 된 데에서 기인된 것으로, 상대적으로 전통적인 의사소통 수단에 의한 의사소통 횟수가 줄게 되어 생산성이 향상될 수 있음을 보여준다.

의사소통의 효율성 평가 척도로 통화시간이 아닌 통화횟수를 선정한 것은 통화 1회가 의미하는 것이 1번의 위치조정 또는 정보제공이 되며 무전기의 특성상 동시에 양방향 송수신이 불가능하기 때문에 통화시간 보다는 통화횟수의 측정이 적절하며, 이는 측정의 편의성과 정확성 측면에서도 통화시간의 측정보다 유리한 점이 있기 때문이었다.

작업속도 측정에서와 마찬가지로 표본 사례수가 적어 일반화에는 어려움이 있을 수 있지만 크레인 운전원의 시야확보가 곤란한 위치에서의 작업의 경우 평균 의사소통 개선율이 상당한 것으로 추정되었다. 다음의 그림 4.3에서 사례 4~6번은 작업 시야가 가려진 곳에서의 양중작업을 대상으로 의사소통 회수를 측정한 것이며 나머지는 시야가 충분히 확보된 곳에서의 작업을 조사한 것이다.

의사소통 회수 평가결과 작업 시야가 확보된 곳에서는 약 34.0%의 개선을 보인 반면 작업시야가 불완전한 곳에서는 45.2%의 의사소통 향상을 보여주고 있

어 작업속도의 경우와 마찬가지로 본 시스템이 불완전한 시각정보를 토대로 하는 작업의 개선효과가 큼을 알 수 있다.

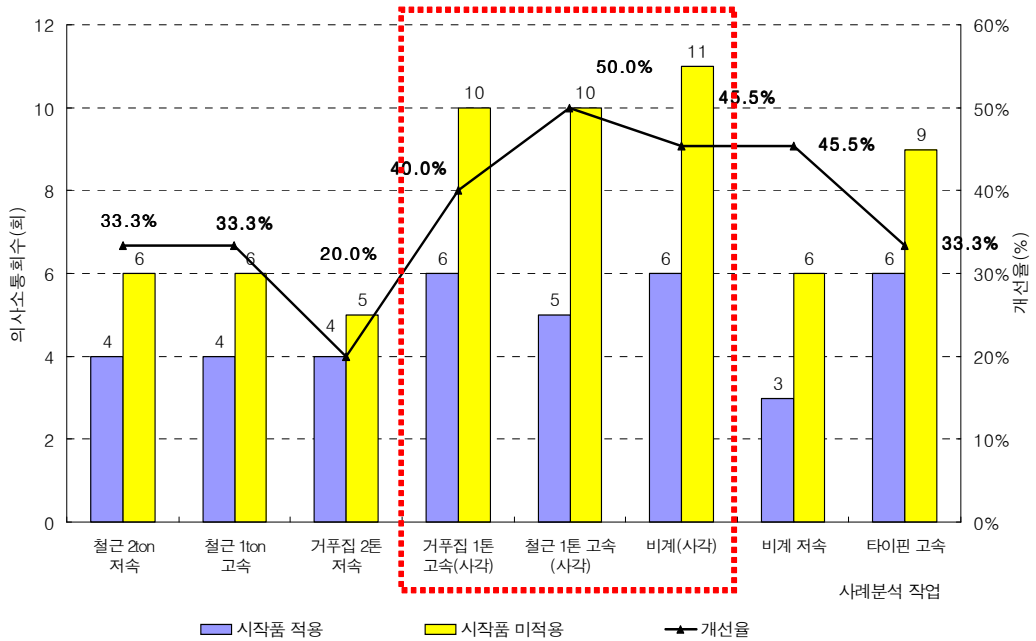


그림 4.3 의사소통 회수의 비교분석

3) 작업안전성 등 향상

작업의 안정성과 의사소통 만족도는 앞서 언급한 바와 같이 사용자(운전원 1인, 작업자 3인)를 대상으로 리커트 5점 척도법에 의해 설문조사를 실시하였다.

설문대상자의 응답값은 기존의 방법과 비교하여 새로운 방법이 매우 향상된 경우는 5점, 보통인 경우는 3점, 매우 퇴보된 경우는 1점으로 하여 점수를 산정하였다.

일반적으로 리커트 척도에 의한 설문을 실시할 경우 3점(보통)에 응답하는 경우가 많기 때문에 응답자의 개인적인 성향에 따라 결과의 해석이 왜곡될 수 있다. 리커트 척도에서 응답자의 태도에 대한 평균값을 해석하는 것은 사실상

어려운 일로 일부 통계학자는 이러한 평균 동의법(the mean of agreement method)에 반대하기도 하지만 설문항목들에 대한 평균값을 이용하여 설문항목에 대한 동의수준의 순위를 정하는 방법은 그 사용상의 편이성 때문에 연구결과를 해석하는데 자주 사용되고 있다. 동의수준을 분류하기 위해 평균값은 Awakul and Ogunlana(2002)이 사용한 동의수준 분류를 참고하여 다음의 표 4.3의 해석기준을 적용하였다.

표 4.3 리커트 척도에 의한 응답결과 해석기준

응답결과	해석기준
1.0 ~ 1.5	강하게 동의
1.5 ~ 2.5	동의
2.5 ~ 3.5	보통(mixed response)
3.5 ~ 4.5	반대
4.5 ~ 5	강한 반대

위의 평가기준을 적용할 경우, 먼저 작업의 안전성은 평균 4.5점, 의사소통의 만족도는 4.2점으로 나타나 두 평가요소 모두 상당 수준 향상된 것으로 추정되었다. 이는 표본수의 부족에도 불구하고 본 시스템이 사용자 측면에서 정신적인 안정감을 제공할 수 있다는 측면에서 큰 의미를 가지는 것으로 사료된다.

4.4 사례연구 수행을 통한 개선사항 도출

이상의 사례분석 결과 본 연구에서 제안한 시스템은 작업속도와 의사소통 체계 뿐 아니라 작업의 안전성과 의사소통의 만족도 측면에서 기존의 타워크레인의 효율을 상당부분 향상시킬 수 있을 것으로 분석되었다. 특히 기존의 유사연구인 Everett(1993)의 연구에서 16~21% 가량의 생산성 향상을 분석한 것과 비교할 때 작업속도 만을 고려한다면(13.6% ~ 38.9%, 평균 21.5%) 상당히 발전적인 것으로 평가될 수 있을 것이며, 러핑형에 비하여 대형 건축물에 널리 사용되는 T형 크레인에 적용될 것임을 고려한다면 그 효과는 더욱 증가될 것으로 사료된다.

그러나 시작품의 현장적용 결과 기기의 작동과정과 운영상에서 개선되어야 할 문제점들이 일부 도출되었다.

첫째 바람이 불거나 트롤리의 이동과정에서 비디오카메라가 진동하는 경우 정확한 화상정보를 제공받을 수 없는 문제점이 발생하였다. 비디오카메라의 진동은 크레인 운전자들에게 시각적으로 불안정한 화면이 전송되어 종종 장비를 꺼두는 경우도 발생하기 때문에 카메라 마운트의 진동이 제어되도록 보완할 필요가 있다.

둘째 태양열 전지판과 태양이 최적각도를 이루지 않는 경우가 많이 발생함으로써 전지의 충전효율이 상당히 저하되어, 흐린 날이나 작업량이 많은 경우는 전력부족으로 인한 기기의 작동불능 상태가 발생하기도 하였다.

셋째 철재(steel material)의 경우 RFID의 속성상 철재의 경우 RFID의 수신시 에러가 종종 발생할 수 있다는 점인데, 이로 인하여 향후 본 연구에서 구상하고자 하는 RFID 응용기술의 활용에 어려움이 있을 것으로 예상된다.

넷째 새로운 장비의 도입을 꺼려하는 건설현장의 사고의식 역시 본 장비의 검증과 보급에 큰 장애요인으로 작용하고 있어 새로운 건설장비의 도입에 대한 의식의 개선도 요구된다.

이상과 같은 문제점은 시제품의 적용 결과 도출된 것으로 이러한 문제점의 개선을 통하여 보다 완성도 높은 시제품의 준비가 가능할 것이다. 또한 본 연구에서는 예산과 기간상의 제약으로 다양한 현장에서의 장기간의 작업을 토대로 한 분석이 이루어지지 못하였는데 보다 체계적인 분석결과를 위해서는 향후 추가적인 장비의 개선과 사례연구가 수반되어야 할 것으로 사료된다.

제5장. 결론

5.1 연구의 결과 및 시사점

최근 건축시설물의 초고층화 복합화 되어 감에 따라 양중장비의 효율화는 성공적인 사업수행의 핵심적인 영향요소로 간주되고 있다. 그러나 기존의 타워크레인은 기계적인 성능이 점진적으로 개선되어 왔음에도 이를 운영하기 위한 관리기술은 기술적 발전이 답보상태에 있는 실정이다.

타워크레인을 이용한 자재의 양중을 위해서는 자재 야적장에서 2명 이상의 노무자가 수신호나 무전기 등을 이용하여 운전원에게 자재의 위치와 관련된 정보를 부정확하게 전달하며, 자재의 반입 지연이나 작업공정의 변경이 생길 경우, 이를 운전원에게 정확하게 전달할 수 있는 체계가 부족한 실정이다. 또한 크레인 운전자가 작업장의 정확한 상황을 인지하지 못함으로써 타워크레인의 운전 중에 안전사고의 발생 가능성이 상존하게 된다.

이에 본 연구는 RFID와 무선기술을 이용한 새로운 타워크레인 장비의 프레임워크를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 새로운 타워크레인 시스템은 크레인에 설치되는 무선영상 조정 모듈과 야적장 및 작업장 등에 설치되는 RFID 응용 모듈로 구성된다. 우선 무선영상 조정모듈은 T형 타워크레인의 트롤리 부위에 태양열 전지를 동력원으로 하는 소형 비디오카메라를 설치하고, 크레인의 운전석에는 LCD모니터와 비디오카메라 원격조정기를 설치하는 것으로 구성된다. 다음으로 RFID 응용모듈은 무선랜 상에서 구동되는 PDA를 이용하여 자재에 부착된 RFID 카드에 수록된 정보를 AP를 이용하여 현장 사무실의 서버로 전송한 후 이를 다시 크레인 운전원에게 전송하는 체계로 구성된다.

본 연구에서 제시한 새로운 타워크레인의 무선영상 조정 모듈을 시제품 제작하여 실제현장을 대상으로 사례분석을 실시한 결과, 작업속도 개선율은 13.6% ~ 38.9%로 평균 21.5% 가량 개선되었으며, 무전기 통화횟수를 기초로 추정된

의사소통의 효율성 역시 평균 7.9회에서 4.8회로 20.0% ~ 50.0%(평균 38.9%) 개선되었다. 이러한 결과는 비디오 장치를 통해 현장과 자재의 상황을 정확하게 파악할 수 있게 된 데에서 기인된 것으로, 상대적으로 전통적인 의사소통 수단에 의한 의사소통 횟수가 줄게 되어 생산성이 향상될 수 있음을 보여준다.

특히 본 연구에서 표본수의 부족과 측정방법의 어려움으로 정량화가 다소 부족했던 안전성 역시 크레인 운전자와 작업자들의 설문 및 면담결과 상당부분 개선된 것으로 추정되었다. 이는 Everett(1993)의 연구를 통해서도 언급된 부분으로 그의 연구 역시 안전성에 대한 부분을 수치적으로 제시하지는 못했으나, 실제의 작업자들은 작업의 생산성 향상보다는 오히려 작업의 안전성 향상에 큰 효율가치를 두고 있다고 밝히고 있어, 객관적인 정량화의 어려움에도 불구하고 본 연구 결과물이 양중작업의 안전성 개선에 상당부분 유용하게 기여할 것으로 기대된다.

5.2 향후의 연구과제

본 연구에서 제시한 시작품을 현장에 적용한 사례연구 결과 작업속도, 작업의 안전성과 의사소통의 만족도가 상당히 개선되었음을 알 수 있었다. 그러나 본 시스템의 상용화를 위해서는 다소 개선될 문제점들이 남아있으며 이러한 문제점들이 본 시스템의 효율성을 저하시킨다. 이를 위한 후속연구들로는 다음과 같은 내용들이 있다.

우선 불완전한 RFID 기술이다. RFID는 바코드를 대체할 수 있는 차세대 기술로 인정받고 있지만, 철재의 사용 시 발생하는 예러는 향후 RFID 기술의 상용화에 걸림돌이 될 것이다.

다음은 무선장비의 전력공급 문제이다. 현재의 기술로는 전력을 무선으로 공급할 수 있는 방법이 없기 때문에 태양전지를 이용할 수밖에 없는데 기후 여건에 따라 태양전지의 용량이 다소 부족할 수 있다.

본 연구에서 시간적, 경제적 사유로 진행되지 못한 GPS를 활용한 자동 또는 반자동 운전 모듈의 개발도 필요하다. 물론 크레인에 GPS 장치 등을 부착하여 크레인간 또는 인접건물과의 충돌을 방지하기 위한 연구들과 크레인 자동화 연구가 진행된 사례가 있었다. 그러나 RFID에 수록된 자재의 이동정보와 도면정보, GPS를 통해 얻어지는 좌표를 이용한다면 크레인의 반자동 또는 자동제어 기술이 보다 효과적으로 개발될 것이다. 특히 크레인 운전석에 연결된 네트워크 망과 무선조정기 및 LCD 모니터는 향후의 후속연구개발에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

특히 위와 같은 기계적인 장비 개선을 위한 후속연구와 더불어 새로운 건설 기술의 도입을 통한 현장 작업여건을 개선하려는 현장 책임자들의 노력과 의식의 전환도 반드시 이루어져야 할 사안이다.

참고문헌

1. 경희대학교 외, Expert System에 의한 공사실적정보관리 시스템 개발, 건설교통부, 2001. 10
2. 고려개발 외, 지능형 건설D/B기반의 건설공사 성과측정(Balanced Score Card) 및 Risk관리 시스템, 건설교통부, 2001 ~ 수행중
3. 광운대학교 외, 건설공사의 적시생산을 위한 양중 및 조달시스템 개발, 건설교통부, 수행중
4. 구문희, 타워크레인의 최신안전설비 그 기능과 사용, 안전보건, 2000. 2
5. 박성진 외, GPS 및 Machine Vision 기술을 활용한 타워크레인 작업 효율성 향상 방안에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집:구조계, 2001. 4
6. 이현수 외, 고층건축공사의 타워크레인 계획 프로세스 개발, 대한건축학회 논문집:구조계, 2002. 6.
7. 조훈희 외, 건축공사 작업분석 및 평가모델 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집:구조계, 2001, 10
8. 조훈희 외, 공사실적정보 축적을 위한 작업일보 기반의 현장관리시스템 개발, 대한건축학회논문집:구조계, 2001. 11
9. 한국건설기술연구원, 건축공사 자동화를 위한 공법 개선에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 1994. 12
10. 한용우, 조훈희, 이유섭, 강태경, 김종선, “멀티미디어와 RFID 등 IT를 활용한 지능형 타워크레인 개발 기초연구”, 한국건설관리학회 학술발표논문집, 2004. 11
11. Anil Sawhney, and Andre Mund, Adaptive Probabilistic Neural Network-Based Crane Type Selection System, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128, No. 3, May/June 2002, pp.

12. Arthur W. T. Leung, and C. M. Tam, Models for Assessing Hoisting Times of Tower Cranes, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 125, No. 6, November/December 1999, pp. 385-391
13. Awakul, P., and Ogunalana, S.O., The effect of attitudinal differences on interface conflicts in large scale construction project: a case study", *Journal of Construction Engineering and Economics*, Vol. 20, No. 4, 2002, pp. 365-377
14. C. M. Tam, Thomas K. L. Tong, and Wilson K. W. Chan, Genetic Algorithm for Optimizing Supply Locations around Tower Crane, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 127, No. 4, July/August 2001, pp. 315-321
15. C. M. Tam, W. T. Leung, and D. K. Liu, Nonlinear Models for Predicting Hoisting Time of Tower Cranes, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 16, No. 1, January 2002, pp. 76-81
16. Cynthia King, and Cliff J. Schexnayder, Tower Crane Selection at Jonathon W. Rogers Surface Water Treatment Plant Expansion, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, Vol. 7, No. 1, February 2002, pp. 5-8
17. John G. Everett, and Alexander H. Slocum, CRANIUM: Device for Improving Crane Productivity and Safety, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 119, No. 1, March 1993, pp. 23-39
18. Kuo-Liang Lin, and Carl T. Haas, Multiple Heavy Lifts Optimization, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 122, No. 4, December 1996, pp. 354-362
19. Leonhard E. Bernold, Steven J. Lorenc, and Erik Luces, Intelligent Technology for Truck Crane Accident Prevention, *Journal of*

- Construction Engineering and Management, Vol. 123, No. 3, September 1997, pp. 276-284
20. P. Zhang, F. C. Harris, P. O. Olomolaiye, and G. D. Holt, Location Optimization for a Group of Tower Cranes, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 125, No. 2, March/April 1999, pp. 115-122
 21. W. C. Hornaday, C. T. Haas, J. T. Connor, and J. Wen, Computer-Aided Planning for Heavy Lifts, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 119, No. 3, September 1993, pp. 498-515
 22. Yvan J. Beliveau, and Taylan Dal, Dynamic-Behavior Modeler for Material Handling in Construction, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 8, No. 3, July 1994, pp. 269-285
 23. <http://www.axsi.com> [Active Tag, web camera 관련 자료수집]
 24. <http://www.ganaco.com/> [타워크레인 무선조정기 개발]
 25. <http://www.hands-crane.com> [모바일 통신을 이용한 IT 크레인개발]
 26. <http://www.lex.liebherr.com> [Liebherr TC기종관련 조사]
 27. <http://www.obayashi.co.jp/> [멀티미디어에 의한 크레인 안전감시시스템 개발]
 28. <http://www.taisei.co.jp> [적외선, GPS, 레이저광 등을 이용한 TC 충돌방지 장치]
 29. <http://www.trovan.com> [RFID 관련 장비 및 자료수집]

부록 1. 무선기술을 이용한 타워크레인 작업효율 분석용 설문지

1. 작업속도 및 수신호 횟수

순번	양중자재	기기사용 여부	작업시간	무선기 통화횟수	비고
1		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
2		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
3		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
4		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
5		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
6		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
7		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
8		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
9		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
10		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
11		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
12		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
13		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
14		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
15		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		

순번	양중자재	기기사용 여부	작업시간	무 전 기 통화횟수	비 고
16		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
17		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
18		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
19		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
20		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
21		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
22		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
23		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
24		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
25		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
26		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
27		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
28		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
29		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		
30		사용시(ON)	분 초		
		미사용시(OFF)	분 초		

2. 작업의 안정성과 의사소통의 만족도

2-1. 카메라가 설치된 크레인을 사용할 때 기존에 비해 작업의 안정성이 얼마나 향상되었다고 생각하십니까 ?

	응답자			
	운전원			
1) 매우 많이 향상				
2) 어느 정도 향상				
3) 변화 없음				
4) 약간 퇴보				
5) 매우 퇴보				

2-2. 카메라가 설치된 크레인을 사용할 때 기존에 비해 의사소통의 만족도는 얼마나 향상되었다고 생각하십니까? ()

	응답자			
	운전원			
1) 매우 많이 향상				
2) 어느 정도 향상				
3) 변화 없음				
4) 약간 퇴보				
5) 매우 퇴보				

3. 기타 개선이 요구되는 사항을 자유롭게 적어 주시기 바랍니다.

감사의 글

다시 한 해를 보내고 새해를 맞으며 하나의 작은 결실을 이루게 되었습니다. 어떻게 마치게 되었는지도 모를 만큼 바쁘게 지나간 석사과정이었습니니다. 그러나 되돌아보면 스스로가 얼마나 부족한 지를 깨닫게 하고 성장시켜준 참으로 귀중하고 소중한 시간이었습니다.

뒤늦게 시작한 공부가 쉽지는 않았지만 저에게 보다 넓은 시야와 주변에 대한 많은 이해를 하도록 해 준 것 같습니다. 공부를 할수록 부족하다는 생각은 점차 많아지는데 아직 멀기만 한 修學의 과정에서 논문을 제출하니 부끄럽기 한량없습니다. 하지만 이 논문이 작성되기까지의 과정을 더듬어 보면 정말 많은 분들의 도움과 격려가 있었기에 마음 속 깊이 고마움을 전하고 싶어 감사의 글을 올립니다.

먼저 미흡한 글을 조금이라도 더 좋은 논문으로 만들기 위해 심혈을 기울여 지도하여 주신 조훈희 지도교수님과 이 논문이 완성되기까지 자상한 지도와 편달로 이끌어주시고 정성을 다해 심사하고 조언을 주신 송화철 교수님, 도근영 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 또한 논문이 시작 될 수 있도록 용기를 주시고 본 논문의 완성을 위하여 많은 격려와 세심한 지도를 베풀어 주신 해양공간건축공학부 이한석 교수님, 이명권 교수님, 안윙희 교수님, 오광석 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 본 논문의 자료협조에 많은 힘이 되어주시고, 본 연구에 사용된 시작품을 개발하고 사례연구를 도와주신 엠테크(<http://www.m-techkorea.com>)의 김종선 사장님과 직원 여러분께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

인생의 멘토로서 물심양면으로 지원을 아끼지 않으시고 격려해주신 대우자동차판매/건설부문 박용호 대표이사님과 관심을 갖고 본 연구가 가능하도록 도와주시고 항상 격려해주신 강노식 상무님, 신방환 상무님, 항상 곁에서 힘이 되어주셨던 황병진 상무님, 동고동락한 현장직원들을 비롯한 임직원 모든 분들께 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 일일이 이름을 올리지 못하지만 같이 수학한 대학원 동료 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

오늘이 있기까지 어려운 상황 속에서도 따뜻한 사랑으로 동반자가 되

어준 아내 윤희정과 사랑하는 아들 기훈, 기수와도 이 기쁨을 함께하고자 합니다. 이 모든 분들께 작지만 소중한 제 노력의 결실을 함께 나누고자 합니다.