

로보틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발

Development of Automatic Construction System for High-Rise Building Based on Robotic Crane

조 훈 희* 신 윤 석** 강 경 인*** 박 귀 태****
Cho, Hun-Hee Shin, Yoon-Seok Kang, Kyung-In Park, Kwi-Tae

요 약

건설현장은 타제조업에 비해 아직도 노동집약적인 특성을 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 이런 특성으로 인하여 건설산업은 3D업종으로 인식되고 있다. 최근 들어 이에 대한 해결책으로 건설 현장에서의 로봇의 활용 방안에 대한 연구가 증가하고 있다. 본 연구에서는 건설현장에서의 로봇활용 기술이 전 세계에서 가장 앞서있는 일본의 연구결과를 개선하고 한국형 건설환경에 적합한 경제성이 있는 새로운 고층건물 구조체 자동화 시공기술을 개발하고자 한다.

키워드: 고층건물, 자동화 시공기술, 로봇

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

지금까지의 건설현장은 수많은 노무자들의 인력에 의존하고 있는 실정이다. 노동 집약적인 건설 산업의 생산 구조는 건설 산업을 3D업종으로 인식하게 함으로써 고급 인력의 유입과 노동인력의 숙련도를 저하시키고 있다. 이는 건축물의 품질에 악영향을 미칠 뿐 아니라 생산성을 감소시키고 사고 등을 야기하는 악순환 고리구조를 만들게 된다(장현승 2003).

이에 대한 해결책으로 최근 건설 현장에서의 로봇의 활용 방안이 연구되고 있다(김영석 외 2001). 정보·통신 기술의 발달은 노동 중심적이던 건설 산업에 변화를 가져오고 있으며, 이러한 변화의 중심에는 로봇 기술의 발달이 중요한 역할을 한다.

현재까지 세계적으로 건설 로봇 시장을 주도하고 있는 나라는 일본이다. 일본은 건설 로봇 분야에서 19970년대 후반부터 현재까지 많은 연구 개발을 통해 가시적 성과를 거두었으며 현재도 가장 진보된 기술을 확보하고 있다(Howe 2000). 일본은 1990년대 건설 경기가 최고 절정에 이르렀을 때, 기업의 이미지 제고와 노무 인력 부족에 대한 대응 차원에서 건물 전체를 자동으로 시공하는 시스템을 개발해 시험 운

영한 사례가 있다. 당시에는 아주 획기적인 아이디어로 주목 되었으나, 장비의 개발과 운영에 천문학적 비용이 소요되어 실용화 되지는 못했다. 지금은 극히 일부 현장에서만 시험적으로 운영하고 있다.

이에 본 연구에서는 국내 건설환경에 적합하며 경제적 타당성이 확보된 고층 건물 자동화 시스템을 개발함으로써 건설기능 인력의 부족타개와 건설산업의 차세대 성장동력확보에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 추진체계

본 연구에서는 건물 구조체 자동화 시스템을 개발하기 위한 세부적인 방안으로 기존의 시스템보다 경량의 건설공장 (Construction Factory)개발, 철골 구조물 조립에 필요한 볼팅 로봇개발, 지능형 타워크레인의 개발 등을 통해 전체 공정의 상당수를 자동화하는 것을 연구의 범위로 설정하였다.

연구의 효율적인 수행을 위하여 건설 및 로봇산업 분야 국내 최고의 전문기관이 참여한 산·학·연 네트워킹을 유기적으로 구축하였으며, 원천기술 보유기관인 미국 및 일본의 전문기관과 공동연구 팀을 구성하였다.

2. 연구개발의 개요 및 아이디어

2.1 연구개발의 개요

본 연구는 우리나라 차세대 성장엔진인 “최첨단 로봇 기술”과 국제적 경쟁력을 갖추어가고 있는 “고층 건축시공 기술”을 융합한 “로보틱 크레인 기반의 고

* 중신회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 조교수, 공학박사
(교신저자 : hhcho@korea.ac.kr)

** 일반회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정

*** 중신회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 교수, 공학박사

**** 일반회원, 고려대학교 전기·전자·전파공학과 교수, 연구단장

층 건물 구조체 자동화 시공 기술”을 개발하기 위한 것이다.

본 연구와 유사한 시스템들(ABCS, SMART¹⁾ 등)이 1990년대 일본에서 적용된 사례가 있다. 그러나 일본의 시스템들에 적용된 건축구조 및 공법이 국내 현실에 맞지 않을 뿐 아니라, 전자동 시스템의 구축에 막대한 비용이 소요되어 실용화되지 못하고 단지 기업의 이미지 홍보용으로 밖에 사용되지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 한국의 건축기준 및 산업여건에 적합한 “경제적”이고 “실용적”인 한국형 건물자동화 시공 시스템을 개발하고자 한다. 일본의 시스템들과 본 연구의 주요 차이점은 국내에 일반적인 코어선형 공법에 적용이 가능하다는 점과, 고비용의 천정주행형 크레인이 아닌 기존의 타워크레인을 자동화한다는 점이다.

본 연구단은 “2012년, 세계최고 수준의 상용화된 건축시공 자동화 시스템 개발”이라는 비전을 설정하였으며, 이를 달성하기 위해 다음과 같은 2단계 전략 목표를 설정하였다(그림1 참조). 1단계에서는 “고층 자동화 시공 요소기술 개발 및 simulation”을 목표로 하며, 이를 달성하기 위해 고층 빌딩의 자동화를 위한 핵심기술을 개발하고, 적용가능성을 검토하며, 문제점을 도출할 계획이다. 2단계에서는 “핵심요소기술 통합 시스템 구축 및 시험시공”을 목표로 건축면적 7층 300m² 건물 자동화 시공”을 추진하고자 하며 이 과정에서 핵심 기술을 통합하고, 최적화된 시험시공 기법을 개발하며, 통합시스템을 개선하고자 한다.



그림 1 단계별 및 연차별 연구목표

2.2 연구추진의 핵심 아이디어

본 연구에서는 과거 일본에서 도입되었던 무인 자동화 시스템을 개선하고, 한국적 건설 환경과 첨단 기술을 접목을 통한 실용성의 극대화를 위해 ‘선택적 자동화’ 개념을 바탕으로 연구를 진행한다. ‘선택적 자동화’ 개념은 일부분만 자동화를 수행하고 나머지 부분들에 대해서는 자동화를 수행하지 않겠다는 것이 아니라, 모든 부분에 대해 자동화를 수행하되, 자동화의 정도에 있어서 선택적 차등을 둔다는 것을 의미한다.

다. 즉, 전체 10개의 작업이 있다고 가정할 때, 10개 모두에 대해 자동화를 수행하되, 그 중 선택된 5개에 대해서는 완전자동화를, 그리고 나머지 5개에 대해서는 일부 자동화를 수행하는 것을 말한다.

기존의 일본의 자동화시스템을 개선하기 위한 세부적인 핵심 아이디어를 도출하였으며, 세부내용은 다음 표 1과 같다.

표 1 본 연구의 핵심 아이디어

| 개선내용 | 일본의 자동화 사례 | 본 연구의 방안 |
|-----------------------|---|---|
| 생산성 향상 | 일본의 전통적인 공법을 이용할 경우, 69,245 Man-Hour가 소요되는 작업을, 전자동 시스템(시미즈건설 SMART)을 구현함으로써 43,107 Man-Hour로 단축시킴. (29.9% 단축) ²⁾ | 본 세부과제는 한국형 DFA 기술개발을 통한 생산성 향상과 시공 Simulation을 통한 사전 오류제거로 연구사업의 효율적인 수행과 이를 통해 일본의 시스템 성과와 유사한 수준인 30%의 Man-Hour 단축을 목표로 함. |
| 건설공장의 경량화 | 일본의 대표적인 전자동 시공시스템인 SMART 시스템은 13톤의 양중능력을 가진 25대의 크레인이 건설공장 (Construction Factory, CF)내에 설치되며, 로봇과 크레인을 일체형으로 제작한 로봇+크레인 일체형으로 총 중량이 1,200톤임. | 본 연구진에서는 로봇과 크레인을 분리하여, 자재의 무게는 기존의 타워크레인이 지탱하게 하며, 볼팅체결 수준의 힘을 보유한 가벼운 로봇을 CF내에 설치함으로써, 기존 대비 33% 무게의 CF구성을 목적으로 함. |
| 볼트체결 End-effector의 개발 | 일본의 지리적 특성인 지진을 대비하여, CFT 각형강관 등 고강도 부재를 사용하였고, 부재간 접합을 위해 용접용 로봇을 개발하였음. | 국내실정에 고려하여 철골볼트 체결방식을 선택함. 이 방식은 구조체 자체의 다양성으로 인해 볼트체결 작업이 난해한 문제가 있으나, 환형 볼트체결 로봇을 개발하여, 체결의 성공률을 95% 수준으로 향상시키고자 함. |

3. 연구개발의 목표 및 내용

본 연구에서는 구조체 시공 자동화 시스템 구축을 위해 (1)로보틱 크레인 기반 고층 건축물 구조체 자동화 시공 시스템 기획 및 통합, (2) 크라이밍 유압로봇 및 건설공장(Construction Factory: CF) 구조체 기술 개발, (3)로보틱 크레인 기반의 자재설치 핵심 기술 개발, (4)무선인식 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설자재 조달 시스템과 같이 4분야의 핵심기술을 개발하고자 한다(그림 2 참조).

1) Shimizu, Shimizu Manufacturing system by Advanced Robotics Technology (SMART), in R&D product pamphlet, Shimizu Tokyo, 1993

2) J. Maeda, "Development and application of the automated building construction system in Shimizu," u-IT based construction automation, Korea University, 2006.

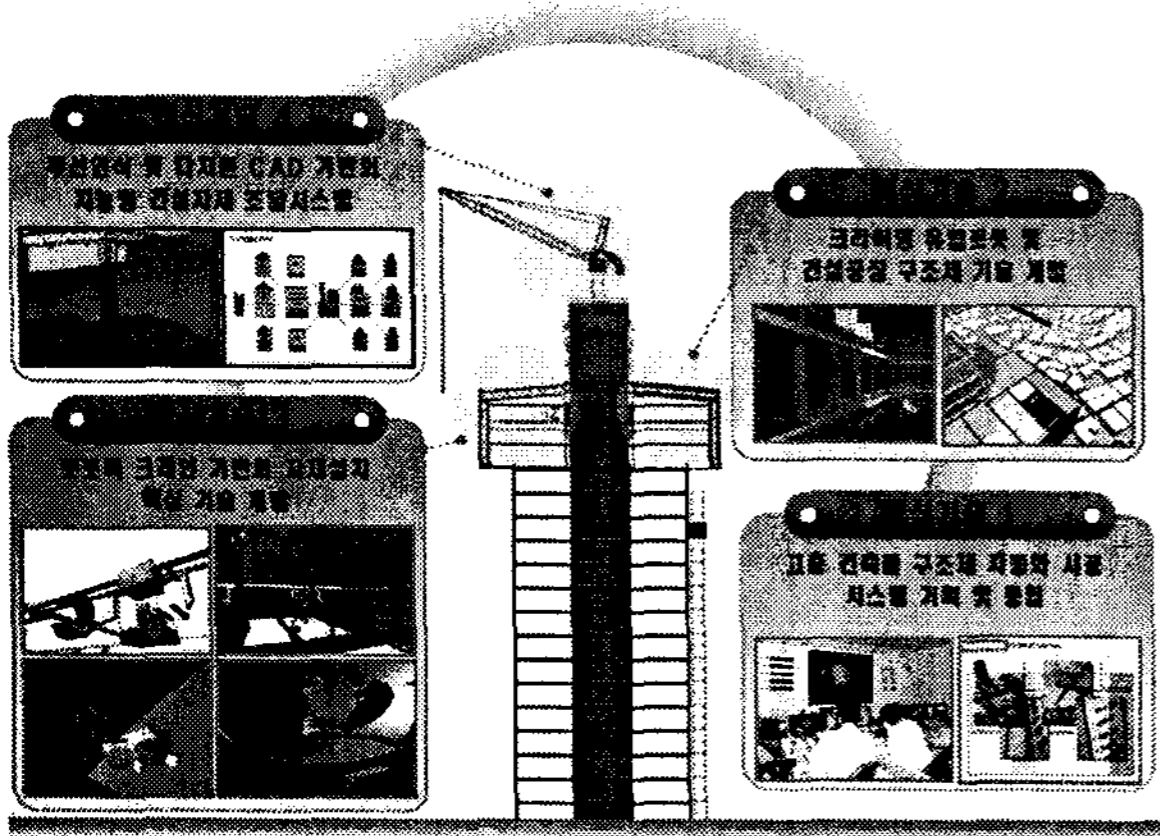


그림 2 연구개발 사업의 핵심기술

3.1 로봇틱 크레인 기반 고층 건축물 구조체 자동화 시공 시스템 기획 및 통합 (1세부과제)

본 세부과제의 연구목표는 세부 핵심기술의 개발전략을 조율하고 시스템 통합기준과 인터페이스를 제공함으로써 자동화 시공 시스템의 유기적으로 연동되도록 지원 및 관리하는 것이다.

표 2. 1세부 과제의 주요연구내용

| 세세부과제 | 주요연구내용 |
|-----------------------------|---|
| 사업 총괄 및 핵심 기술 적용성 연구 | <ul style="list-style-type: none"> 시공 시나리오 및 동영상 제작 연구업무 도식도출 |
| 시스템 통합 및 인터페이스 연구 | <ul style="list-style-type: none"> 시스템통합 관련 기술, 시장현황 조사 시스템 통합관련 연동 서비스, 기능 계획서초안 |
| 대상공사에 대한 분석 및 DFA 수립 | <ul style="list-style-type: none"> 철골 조립공사 프로세스 분석 및 평가 접합부 개발 및 시뮬레이션을 통한 시공성평가 |
| 시스템 연구개발 현황 조사 및 성능평가 모듈 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 성능 평가 지표 개발 프로세스 수립 자동화 시스템 성능 평가 프로세스 제안 |

구체적인 연구내용은 크게 다음과 같이 4가지로 구

분할 수가 있다. 첫째, 각 분야의 전문가들과 평가위원 회의를 통하여 적용성 평가에 대한 객관적인 자료를 정량적으로 평가한다. 둘째, 당 과제의 각 부문별 시스템을 통합 관리함으로써 인터페이스의 속도와 질을 높인다. 셋째, 건설 자동화에 적합한 설계 및 공법 표준화(안)을 개발하여 생산성을 향상시킨다. 넷째, 자동화 시공에 요구되는 핵심기술 분석과 연구성과를 토대로 자동화 시공 시스템의 효율을 정량적으로 평가한다.

3.2 크라이밍 유압로봇 및 건설공장 구조체 개발 기술개발 (2세부과제)

본 세부과제의 연구목표는 경량 CF 및 천정 개폐 Slider와 유압로봇용 서보 실린더 및 이동 메커니즘, 단위 유압 모듈 정밀 양중 제어 시스템 등의 개발을 통해 초단기간 내 조립 및 해체가 가능한 CF 모듈을 개발함으로써 공기를 단축하는 것이다.

구체적인 연구내용은 크게 다음과 같이 3가지로 구분할 수가 있다. 첫째, 한국형 고층건물 구조체에 대한 시험시공 및 본시공을 통해, 효율적 자동화와 경제적 자동화 시스템을 구현한다. 둘째, 크라이밍 유압로봇 기반기술 확보 및 관련 기술 실용화를 통한 생산성을 향상시킨다. 셋째, 조립과 해체가 용이한 경량형 CF 및 Slider를 개발하여 자동화시스템의 경제성을 향상시키고 공기를 단축시킨다.

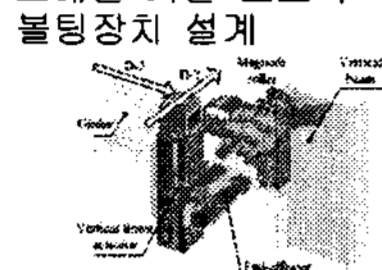

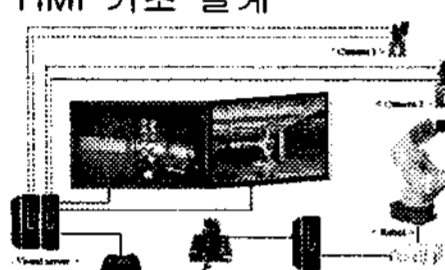

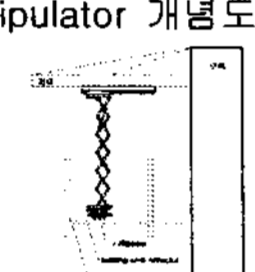
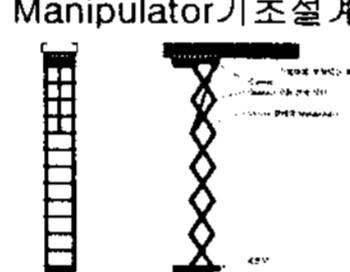
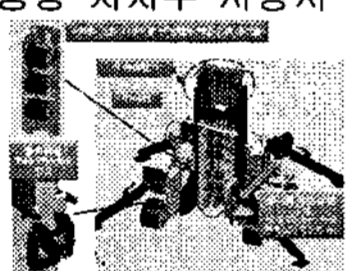



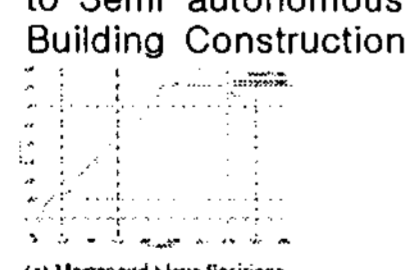
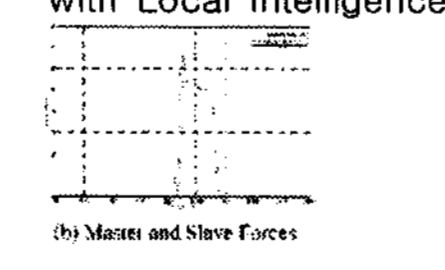
표 3. 2세부 과제의 주요연구내용

| 세세부과제 | 주요연구내용 |
|-------------------------------|---|
| 시험시공 및 본시공 | <ul style="list-style-type: none"> 고층건물 자동화 시공 기술현황 분석 CFD를 이용한 CF기본 형태 시제품 제작 |
| 클라이밍 유압로봇 및 상하이동 구동 유닛 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 이중 크라이밍 유압 로봇 시스템 동기제어알고리즘 상하 이동 물체의 하중과 연계된 유압 구동 기술의 기초 연구 |
| 건설공장(CF) 구조체 개발 | <ul style="list-style-type: none"> Concept Design 대상 평면 로봇작업을 위한 CF 형상 |

3.3 로봇틱 크레인 기반의 자재설치 핵심 기술 개발 (3세부과제)

본 세부과제의 연구목표는 초고층 건설현장의 안전성 확보, 품질 향상 및 공기 단축을 위한 첨단건설자동화로봇의 핵심기술 개발 및 실용화를 통하여 국내 기술의 선진화를 이룩하는 것이다.

표 4. 3세부 과제의 주요연구내용

| 세세부과제 | 주요연구내용 | |
|----------------------------------|--|--|
| 볼트체결 로봇 및 제어기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 크레인 기반 로봇틱 볼팅장치 설계  | <ul style="list-style-type: none"> 시작품제작  |
| Intelligent Teaching Agent 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 건설로봇에 대한 ITA 및 HMI 기초 설계  | <ul style="list-style-type: none"> 건설로봇에 대한 제어기 기초 설계  |
| Mobile Manipulator 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 볼트체결용 Mobile Manipulator 개념도  | <ul style="list-style-type: none"> 볼트체결용 Mobile Manipulator 기초설계  |
| 고중량 지지 로봇의 핵심 구동부 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 고중량 지지부 사양서  | <ul style="list-style-type: none"> 고중량 지지 Main Base Body구상설계  |
| 고출력 볼트체결 자동화 핵심 구동부 개발 | <ul style="list-style-type: none"> TS Bolt 사용 접합부 관련 현장 사례 조사  | <ul style="list-style-type: none"> End-effector의 볼트체결 구동부 기초 설계  |
| 양방향 시간지연 원격 시스템의 강인 제어 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> Teleoperations with Focus on Applications to Semi-autonomous Building Construction  | <ul style="list-style-type: none"> Adaptive Force Reflecting Teleoperation with Local Intelligence  |

구체적인 연구내용은 크게 다음과 같이 6가지로 구분할 수가 있다. 첫째, 볼트체결로봇의 실용화를 통하여 최첨단 건설자동화 로봇기술을 보유한다. 둘째, 안전성 확보 및 효율적 운용을 위한 HMI 및 ITA 기술 개발로 건설 로봇의 현실화를 이룬다. 셋째, Mobile Manipulator 개발은 첨단 건설 자동화로봇산업의 선

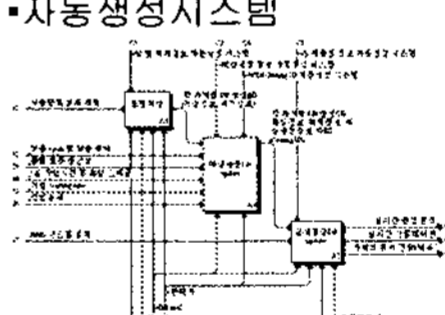

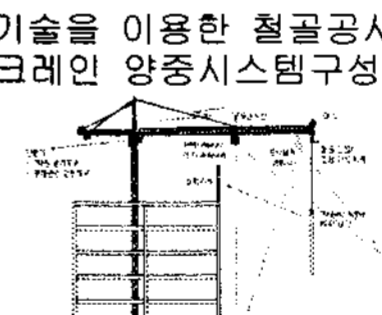
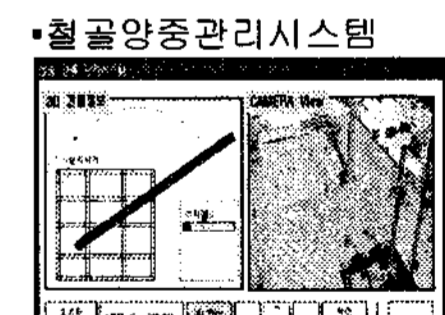


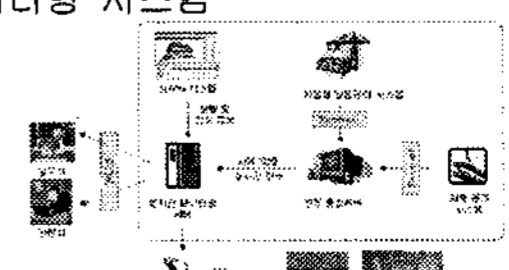
진국과의 차이를 극복한다. 넷째, 고중량 지지 로봇의 구동 기술의 국산화를 이루어 선진국과의 차이를 극복한다. 다섯째, 고출력 볼트체결 자동화 구동 기술의 실용화를 통하여 최첨단건설 자동화로봇 기술 보유를 이룩한다. 여섯째, 양방향 시간지연 원격 시스템의 강인 제어 기술의 건설 자동화 현장 적용을 통하여 선진국과의 산업 자동화 기술의 수준 차이를 극복한다.

3.4 무선인식 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설 자재 조달시스템 개발 (4세부과제)

본 세부과제의 연구목표는 최근 건설 분야에서 활용도가 높아지고 있는 무선인식 기술과 4D-CAD 기술을 크레인 자동화 장치와 연계함으로써 양중작업의 생산성을 25% 향상시키는 것이다.

구체적인 연구내용은 크게 다음과 같이 4가지로 구분할 수가 있다. 첫째, 작업진행상황을 실시간으로 확인함으로써 공사진척 상황과약의 신속성과 투명성 향상시킨다. 둘째, 무선인식 및 4D CAD 기반의 지능형 로봇틱 크레인 개발을 통해 양중작업의 자동화와 실시간 정보공유 체계를 구축한다. 셋째, 건설자재의 인식 및 조작 최적화 무선인식 기술을 개발하여 새로운 기술표준을 제시한다. 넷째, 각 세부요소기술을 하나로 통합함으로써 자동화 시공을 위한 기반을 구축하고 전체 자동화를 위한 기반을 조성한다.

표 5. 4세부 과제의 주요연구내용

| 세세부과제 | 주요연구내용 | |
|-----------------------------|--|--|
| 실시간 진도관리 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 자동생성시스템  | <ul style="list-style-type: none"> 실시간 공정분석  |
| RFID기술을 이용한 지능형 양중관리 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 기술을 이용한 철골공사 크레인 양중시스템구성  | <ul style="list-style-type: none"> 철골양중관리시스템  |
| RFID 기술을 이용한 자재인식과 조작기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> RFID를 적용한 전체 시스템 구성  | <ul style="list-style-type: none"> RFID 및 LRF를 이용한 자재인식  |
| 통합관리를 위한 다차원 모니터링 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 실시간 모니터링 시스템  | |

4. 향후 연구개발 방향 및 결론

건설자동화 및 로봇은 노동 의존적인 건설 산업의 문제점을 타개하기 위한 매우 유효한 대안으로 인식되고 있다. 본 연구에서는 건설현장에서의 로봇활용 기술이 전 세계에서 가장 앞서있는 일본의 연구결과를 뛰어 넘어 수익성이 있는 새로운 고층건물 구조체 자동화 시공기술 개발을 하기 위한 연구를 지속하고 있다.

이를 위해서는 향후 지속적인 연구수행을 통해 한국형 자동화시공 모델의 개발, CF 구조체의 경량화 및 경량화에 따른 구조체 상승유압장치의 코스트 저감, 구조체 조립 등을 효과적으로 수행할 수 있는 실용성 있는 로봇의 개발, 그리고 전체 시공과정을 유기적으로 연결해줄 수 있는 RFID 기반 자재 및 시스템 관리 기술의 개발을 완료하고 유기적으로 통합하여 현장에 적용할 수 있도록 할 계획이다.

참고문헌

1. Maeda, J., "Development and application of the automated building construction system in Shimizu," u-IT based construction automation, Korea University, 2006. pp.280-286
2. Scott Howe, A., Designing for automated construction, Automation in Construction, Vol 9, 2000, pp.259-276.
3. Shimizu, Shimizu Manufacturing system by Advanced Robotics Technology (SMART), in R&D product pamphlet, Shimizu Tokyo, 1993
4. 김영석, 김현철, 서정희, 오세욱, "국내 건설산업의 건설 자동화 및 로봇틱스 도입방안에 관한 연구", 대한건축학회논문집(구조계), 대한건축학회, 제17권 제2호, 2001, pp.111-120.
5. 장현승, "건설 자동화 기술 개발 투자 절실하다", The Construction Business Journal, 2003.

Abstract

The construction industry is still more labor-intensive than other manufacturing industries. Because of that, it is recognized as a 3D industry. So, many researches to solve it increase to apply robots as to construction sites. Robots are recognized to alleviate the problem of construction industry as the alternative. Therefore in this study, automatic construction system for high-rise building based on robots is developed with high profit as a better research than Japanese it which have gone in advance of robot technology in the world.

Keywords : high-rise building, automatic construction system, robot technology
