

# 로보틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발

## Development of Automatic Construction System for Steel Frames of High-Rise Buildings

도낙주\*·박귀태·강경인·임묘택·홍대희·박신석·이승규  
Doh, Nakju · Park, Gwi-Tae · Kang, Kyung-In · Im, Myo-Teak · Hong, Dae-Hui · Park, Shin-Suk · Lee, Seung-Kyou

---

### ABSTRACT

In this paper, we introduce a new technique for automatic construction of steel frames in high-rise buildings. Basically, we combine advanced robotic technologies to building construction techniques. Four main topics will be developed such as: 1) Planning and synthesis of automatic construction system, 2) Development of construction factory system with climbing oil-pressured robot, 3) Core techniques for automatic assembly for steel frames, and 4) Intelligent resource management system. We expect that this new technique will increase the construction efficiency and will alleviate the manpower shortage problem in the aging society.

**Keywords:** *Construction Automation, Construction Factory, Mobile Manipulator, Bolting End-effector, RFID*

---

## 1. 서론

본 논문에서는 건축 시공 기술과 첨단 로봇 기술을 융합하여, 건설공사의 생산성을 혁신적으로 향상시키고, 고령화 시대 및 3D 기피 현상으로 인한 인력난을 해결하며, 공사기간 단축을 통해 가격 경쟁력을 확보하기 위한, “고층 건축물 구조체를 자동으로 시공하는 상용화 시스템” 개발에 대한 연구내용을 소개하기로 한다. 이러한 시공 자동화 시스템은 1990년대 초 일본의 8개 대형 건설업체들을 통해 개발되었다. 당시 일본은 거품경제의 최고조에 달해있었기 때문에, 많은 건설현장이 새로이 생겨나고 있음에도 불구하고, 이를 뒷받침할 만한 인력을 조달할 수 없는 어려움에 처해있었다. 이를 위해 일본은 비록 비용이 많이 들지라도, 필요한 인력을 최소화할 수 있는 기술개발에 착수하였고, 이 중 대표적인 시스템이 “시미즈 건설”의 SMART system이다. 그러나, 이러한 일본 시스템에는 다음과 같은 세 가지 문제점이 존재하고 있다.

첫째로, 100% 전자동 공정의 추구로 인하여 비효율적인 시스템을 설계하였다. 전 자동으로 구현되는 25대(각각 13 톤의 중량)의 크레인을 설치하였는데 이는 시스템 구축비용 증가와, 추가적인 유지보수 비용 및 인력의 소요로 이어졌고 완전 자동화를 위해 개발한 복잡한 알고리즘들 때문에, 전체적으로 비효율적인 시스템이 되었다.

---

\* 고려대학교 전자전기전파공학부 교수 Email: nakju@korea.ac.kr

둘째로, 로봇-크레인 일체형으로 인하여 비경제적인 시스템을 구축하였다. 상기 시스템은 완전 자동화를 위해 로봇과 크레인을 일체형으로 제작하여 CF (Construction Factory)내부에 설치하였으며, 이로 인해 총 1,200 톤의 육중한 CF가 제작 되었다. 이러한 이유로 CF 제작을 위해서만 2달이 소요되어 전체 공기가 지연 되고, 시공 후 해체가 어려울 뿐 아니라, CF 상송을 위한 부대장치 가격이 상승하는 등 전체적으로 다소 비 경제적인 시스템으로 판명되고 있다.

셋째로, 일본 내진기준에 적합하게 과다 설계된 국지용 시스템을 설계하였다. 상기 시스템은 지진이 많은 일본의 지리적 특성에 대비하여, CFT 각형강관 등 고강도 부재를 사용하였고, 적층공법을 사용하고 있다. 그러나 위 사항들은 일본 내수용 국지형 시스템으로서 국내의 실정에는 맞지 않는다고 판단되고 있다.

이러한 문제점으로 인해, 2007년 현재 일본도 상기 시스템을 개량하여 사용하고 있는바, 본 연구개발의 목표는 일본의 구형 시스템을 답습하는 것이 아닌, 한국의 실정에 적합한 “한국형 시스템 개발”로 설정되었다. 이를 위해 본 연구과제에서는 다음과 같은 세 가지 전략적 방향을 선정하였다.

첫째로, 선택적 자동화를 통하여 효율성을 극대화 하였다. 위험작업, 생산성이 낮은 작업 등에 대해 선택적으로 자동화를 실현하고, 기타 작업들에 대해서는 인간-로봇 사이의 인터페이스를 이용함으로써, 효율적 자동화 시스템을 구현 하고자 한다.

둘째로, 경량형 시스템을 통하여 경제성을 극대화 하였다. 크레인은 국내에서 널리 사용되고 있는 타워크레인을 개조한 지능형 자동화 타워크레인 구조를 택하고, 로봇은 CF 내부에 설치함으로써, CF의 무게를 일본대비 1/3 수준으로 구현하고자 한다. 이를 통해 CF 설치가 간단해 짐으로써 공기가 단축되고, 공사 후 해체도 간소화함으로써 경제적인 시스템을 구현 하고자 한다.

셋째로, 한국적 건설환경에 적합하도록 실용성을 극대화 하였다. 국내에서 널리 사용되고 있는 “코어선행공법”에 적합하고, ACS Form 및 2~3개층 1절 철골구조를 모델로 설정하여 실용성을 극대화한 시스템으로 개발하고자 한다.

본 연구개발 과제는 크게 그림 1과 같이 4가지 핵심기술들로 구성된다. 첫번째 핵심기술은 “로보틱 크레인 기반의 고층 건축물 구조체 자동화 시공 시스템 기획 및 통합”(이하 시스템 기획 및 통합)이며, 두번째는 “크라이밍 유압로봇 및 건설공장 구조체 기술개발”(이하 구조체 기술 개발)이며, 세번째는 “로보틱 크레인 기반의 자재설치 핵심 기술 개발”(이하 자재설치 기술)이며, 네번째는 “무선인식(RFID) 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설자재 조달 시스템 개발”(이하 건설자재 조달 시스템)이다.

상기 핵심기술들을 통합함으로써, 2012년 세계 최고수준의 상용화된 건축시공 자동화 시스템을 개발하고자 하며, 이를 통해 “노무량 30% 감소”, “공기 15% 단축”, “지능형 타워크레인을 통한 생산성 25%향상”을 달성하고자 한다.

본 논문에서는 이를 위한 4가지 핵심기술을 2-5장에서 설명한 후, 결론을 제시하기로 한다.

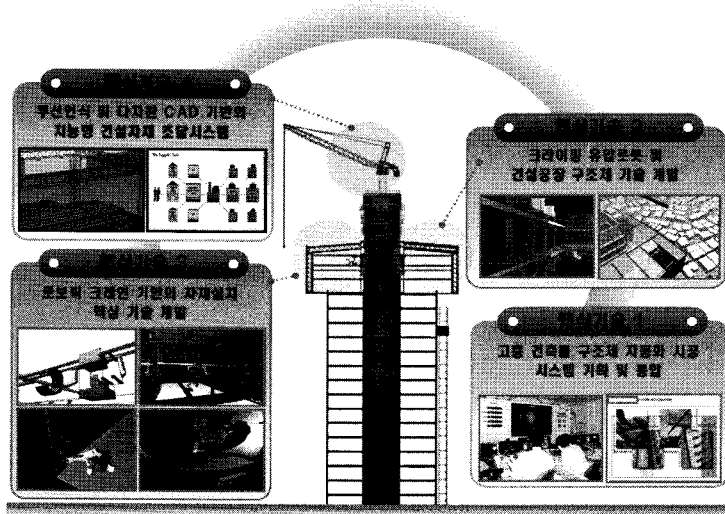


그림 1 연구 개발 사업의 핵심기술

## 2. 자동화 시공 시스템 기획 및 통합

“자동화 시공 시스템 기획 및 통합”은 세부 핵심기술들의 개발전략을 조율하고 시스템 통합기준과 인터페이스를 제공함으로써 자동화 시공 시스템이 유기적으로 연동되도록 하는데 목적이 있다. 최종 연구 개발 목표의 특성상 타 핵심 기술 분야에 선행 되거나 후행되어야 하는 부분이 존재하기 때문에 이에 대한 관리도 본 핵심 기술의 범주에 포함된다.

본 핵심 기술을 달성하기 위한 세부 기술들은 1) ‘사업총괄 및 핵심기술 적용성 연구’, 2) ‘시스템 통합 및 인터페이스 연구’, 3) ‘건축물 구조체 자동화 시공을 위한 DFA 및 4)성능평가 모듈 개발’이다.

본 핵심기술의 연구 목표는 다음과 같다. 일보의 경우 전통적인 공법을 이용할 경우, 69,245 Man-Hour가 소요되는 작업을, 전자동 시스템(스마트건설 SMART)을 구현함으로써 43,107 Man-Hour로 단축시켰다(29.9% 단축)<sup>1</sup>. 이에 본 핵심기술을 통해서 한국형 DFA 기술개발을 통한 생산성 향상과 시공 Simulation을 통한 사전 오류제거를 통해 일본과 유사한 수준인 ‘30%의 노무량 단축’을 달성하고자 한다.

## 3 건설 공장 구조체 기술

“자동화 시공 시스템 기획 및 통합?”은 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 것을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 본 기술개발에서는 크라이밍 유압로봇, 상하이동 구동 유닛 및 이와 연계된 건설공장 구조체(CF)를 개발하고, 이를 적용한 시험 시공 및 본 시공을 수행한다.

본 연구에서 도입된 CF는 바람과 날씨 등 외부 환경 영향으로부터 작업 공간을 보호함으로써, 로봇 구동을 위한 최적의 환경을 만들어 주기 위하여 고안되었다. 또한, CF의 도입을 통하여 고층 작업장 내에서 작업자의 심리적 안정을 꾀할 수 있고, 외벽을 활용한 광고 효과 기대할 수 있다.

그림 2처럼 CF는 크레인이 위치한 코어를 둘러싼 형태를 취하고 있으며, 그림 3처럼 천정에 자동 개폐 슬라이드를 장착하여 자재의 출입이 용이하게 하였다. 시공 후 구조체의 상승은 CF와 연결된 크라이밍 유압로봇에 의하여 이루어진다.

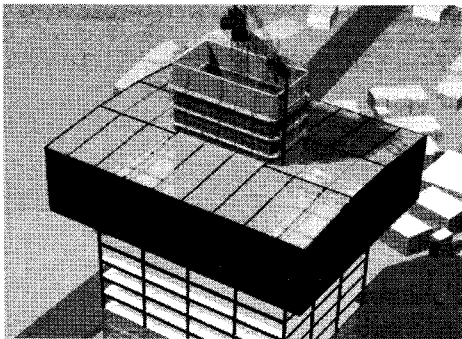


그림 2 CF



그림 3 자동 개폐 슬라이드

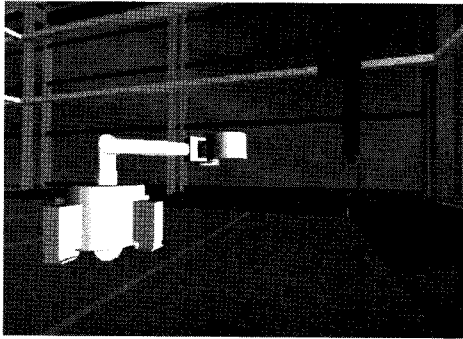
기존 일본의 SMART 시스템에 적용된 로봇+크레인 일체형 구조는 총 중량이 1,200톤이나 된다. 본 연구에서는 로봇과 크레인을 분리하여, 자재의 무게는 기존의 타워크레인이 지탱하게 하며, 볼팅체결 수준의 힘을 보유한 가벼운 로봇을 CF 내에 설치하고자 하며 이를 통하여 CF의 무게를 기존대비 33% 내외로 줄이고자 한다.

#### 4 로봇틱 크레인 기반의 자재설치 핵심 기술

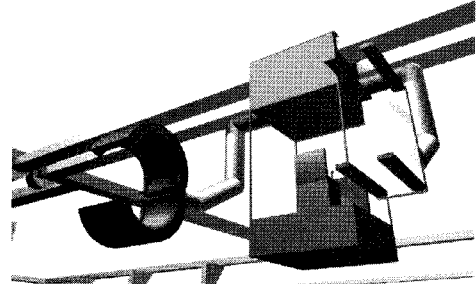
현재 대부분의 고층건물 시공현장은 고지대에 위치하기 때문에 안전사고의 위험이 높고, 자재가 크고 무거워서 다루기가 힘들다는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하고자 본 연구에서는 상기 핵심 기술을 통하여 시공 현장의 안전성을 확보하고 건설 품질 향상 및 공기 단축을 꾀하고자 하며, 더 나아가 첨단건설자동화 로봇의 핵심기술 개발 및 실용화를 통하여 국내 기술의 선진화를 이룩하고자 한다.

이를 위하여 수직/수평 철골구조 대응형 볼팅체결 로봇 및 제어기를 개발하고, 사용자 인터페이스 및 Network 기반 Intelligent Teaching Agent 기술을 개발하며, 수직/수평 철골구조 대응형 신뢰도 Stable 주행 Carrier 메커니즘 및 볼팅 체결용 Mobile Manipulator를 개발하고자 한다. 또한 고중량 지지 로봇과 고출력 볼팅체결 자동화의 핵심 구동부를 개발하고, 양방향 시간지연 원격 시스템의 강인 제어 기술을 개발할 예정이다.

CF내로 옮겨진 철골 자재의 자세를 제어하고 조립하기 위하여 그림 4와 같은 로봇이 CF내에 설치된다. 또한 자재와 구조물간 볼팅 체결을 위하여 manipulator에 end-effector를 장착하며, 이를 통해 로봇이 자재를 조립할 수 있도록 한다. 특히 수평 로봇을 위한 가이드 레일을 CF내에 설치하여 로봇의 이동성을 높이고 넓은 작업 반경을 확보할 수 있도록 한다.



(a)



(b)

그림 4 CF내에 설치 될 (a) 수직 철골 구조 대응형 Mobile Manipulator, 및 (b)가이드 레일에 부착된 수평 철골 구조 대응형 Mobile Manipulator.

본 연구에서는 레일형 로봇 도입을 통해, 넓은 CF공간 내의 작업을 소형의 로봇으로도 가능하게 할 예정이다. 또한 Intelligent teaching agent 개념을 도입하여 근거리에서 작업자가 로봇을 제어하게 함을 통해 전체 공정의 80%를 로봇작업을 통해 자동화 하고자 한다. 철골볼트 체결의 경우, 구조체 자체의 다양성으로 인해 볼트체결 작업이 난해하다. 따라서 본 과제에서는 이를 위한 환형 볼트체결 로봇을 개발하여, 볼트 체결의 성공률을 95% 수준으로 향상시키고자 하며 레일 연동형 작업자 탑재 시스템을 개발하여 볼트/너트 재충진, 로봇의 고장, 볼트체결의 실패 등으로 인해 작업자의 물리적 개입이 필요한 경우에도 안전하게 작업할 수 있는 환경을 구축할 예정이다.

## 6 지능형 건설자재 조달 시스템 개발

본 세부핵심기술 에서는 최근 건설 분야에서 활용도가 높아지고 있는 무선인식 기술과 4D-CAD 기술을 크레인 자동화 장치와 연계함으로써 효율적인 운송 시스템을 구현하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 다차원 CAD 시스템과 무선인식 기술을 연동한 실시간 진도관리 시스템 및 복합형 RFID 기술을 이용한 지능형 양중관리 시스템 개발을 수행하고, RFID를 이용한 자재인식, 조작기술 및 진도/자재/양중 통합관리를 위한 다차원 모니터링 시스템 개발을 수행할 예정이다.

모든 자재에 종류 및 길이 크기등의 정보가 담긴 태그가 붙는다. 이때 그림 6과 같이 자재창고 내에 리더기가 태그 내에 정보를 확인하여 크레인이 적절한 자재를 운송하도록 정보를 전송하고 그림 7처럼 크레인이 해당 자재를 CF내로 운반한다.



그림 6 RFID를 이용한 자재 인식

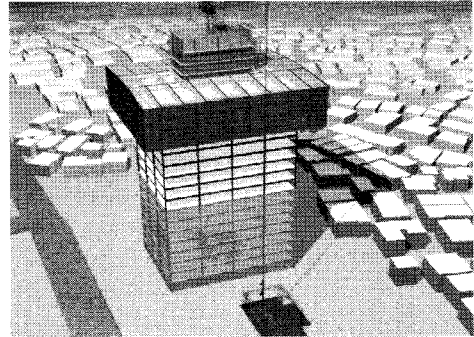


그림 7 인식된 자재의 운송

본 핵심 기술을 통하여 국내의 건설현장에 범용적으로 사용되고 있는 타워크레인을 RFID 및 4D CAD와 연동시킴으로써 지능형 자동화 장치를 개발하고 양중 및 자재관리 작업의 생산성을 향상시키고자 한다. 또한 RFID 및 머신비전을 이용한 지능형 타워크레인의 개발을 통해 25% 이상의 양중작업 생산성 향상을 달성하고자 한다..

## 6. 결 론

본 논문에서는 첨단 로봇기술과 건축기술의 융합을 통한 고층 빌딩 건축 시공 자동화 시스템 개발에 대한 연구 개발 목적 및 방향을 소개하였다. 이를 통해 건축의 효율성, 경제성 및 실용성을 극대화 할뿐만 아니라, 다가오는 고령화 사회에서의 인력난 문제를 해결하고자 하며, 좀 더 구체적으로는 “노무량 30% 감소”, “공기 15% 단축” 및 “지능형 타워크레인을 통한 25% 생산성 향상”을 달성하고자 한다.

본 논문은 달성된 연구내용을 소개하기 보다는, 향후 5년간 개발될 내용의 큰 방향에 대해서 개괄적으로 소개하는 내용인 바, 구체적 연구성과들은 차후 발표될 논문을 통해 제시할 예정이다.

## Acknowledgement

본 연구는 2007년 건설교통부에서 지원한 “로보틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발 (과제번호 : 06첨단융합D01)”사업을 통해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. J. Maeda, (2006) Development and application of the automated building construction system in Shimuzu, *u-IT based construction automation*, Korea University.
2. Lee, U.K., Kang, K. I., Kim, G. H. & Cho, H. H. (2006), Improving Tower Crane Productivity Using Wireless Technology, Blackwell Publishing, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 21(8), 594-604.