

철골조립자동화시스템의 설계최적화를 위한 요구성능도출에 관한 연구

Development of Optimum Design Factor for Automated Steel Fabrication Construction System

이 명 도* 김 대 원** 이 보 형*** 조 훈 희**** 강 경 인*****

Lee, Myung-Do Kim, Dae-Won Lee, Bo-Hyeong Cho, Hunhee Kang, Kyung-In

Abstract

As robotic technologies have become more actively utilized to automate many construction tasks, they have been able to improve the construction productivity, quality, and workers safety on site. A new advanced system, Robot-based Construction Automation (RCA) system, is currently being developed. To accomplish RCA system effectively, Design for automation (DFA) should be performed in automation system developing phase. The performance criteria of this system are a major cause of design changes. It is required exhaustive review for development new system. This research analyzed the design changes of Climbing Hydraulic Robot system and Construction Factory (CF), being currently developed in the field of applied RCA systems. And the design change matters according to performance criteria in each system's design-by-step were analyzed. The purpose of this research is developing the performance criteria in the developing phase of RCA system, and then will be served as basis for system design in similar projects.

키 워 드 : 시공 자동화 시스템, 요구 성능, 크라이밍 유압시스템, 건설공장

Keywords : Automated Construction System, Performance criteria, Climbing Hydraulic Robot System, Construction Factory

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설자동화는 건설업계의 기능인력난 해소 및 3D산업의 이미지를 쇄신하는 성장동력으로 인식되어 왔으며(김영석 외, 2001), IT 및 로봇 등을 적용한 하이브리드 복합기술로 더욱 가속화 될 전망이다(이준복, 2007)

국내에서는 1990년대부터 단일 공정 혹은 부분 작업을 위한 자동화 장비의 개발을 연구해 왔으며, 최근에는 일본의 SMART 시스템(Shimizu, 1993)과 같은 공사전반에 걸친 시공자동화시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.

이러한 시스템의 합리적인 구현을 위해서는 각 시스템의 작동 및 제어와 관련된 핵심 요소기술의 개발뿐만 아니라 자동화에 적합한 설계(Design for automation; 이하 DFA)가 병행되어야 한

다(A, Scott Howe, 2000). 특히 DFA는 각 시스템의 요구 성능¹⁾에 의해 결정되며, 요구 성능은 시스템의 초기 컨셉 단계부터 시뮬레이션 및 시제품제작을 거치며 수정 및 추가된다. 이는 설계 변경의 주요원인이 되며, 시간 및 비용측면에서 막대한 손실을 초래하므로 이러한 시행착오를 최소화하기 위해 개발 시스템의 요구 성능 확보가 전제되어야 한다.

따라서 본 연구는 국내 개발 중인 시공 자동화 시스템의 설계변경과정을 분석하여 시스템최적화를 위한 요구 성능을 도출하고, 이를 통한 유사 프로젝트 수행시 기초자료로 활용하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 철골 구조체 공사의 시공자동화 구현을 위해 현재 연구가 진행 중에 있는 로봇틱 크레인 기반 시공 자동화 (Robotic crane-based construction automation; 이하 RCA) 시스템을 대상으로 하여, 시스템별 설계변경과정을 요구 성능에 따라 분석하는 것으로 한다. 분석대상은 RCA 주요시스템 중 1차 설문을 통해서 선정된 2개의 시스템으로 하였으며, 시스템 개발에 참여하고

* 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정
** 고려대학교 건축사회환경공학부 박사수료
*** 두산건설(주) 건축사업본부 기술연구소 차장
**** 고려대학교 건축사회환경공학부 부교수, 공학박사
***** 고려대학교 건축사회환경공학부 교수, 공학박사

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2006년도 건설기술혁신사업[과제번호:06첨단융합D01]의 지원으로 이루어졌습니다.

1) 요구 성능(Performance criteria): 건축물, 건축부품 등의 시스템 설계에서 확보가 요구되는 성능

있는 전문가 자문을 통한 설계변경 분석으로 신뢰성을 확보하고자 하였다. 2차 설문은 현장실무 경험자를 대상으로 하였으며, 각 시스템이 실질적 시공 현장 적용에 적용될 경우, 확보되어야 하는 요구 성능을 조사하였다. 최종적으로 도출된 요구 성능을 바탕으로 하여, 시공 자동화 시스템의 최적화 설계를 위한 요구 성능을 도출하는 것을 연구의 범위로 한다. 전체적인 연구의 흐름은 다음과 같다(그림 1).

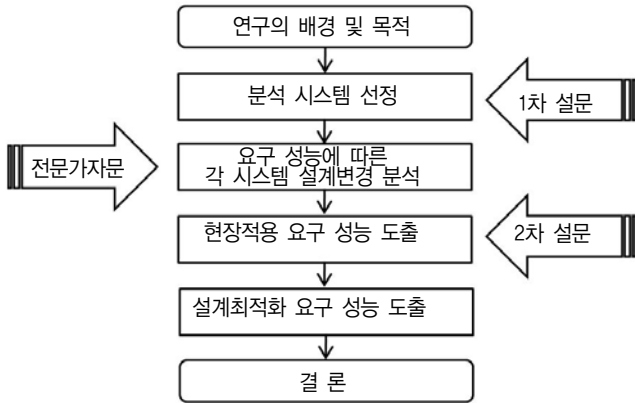


그림 1. 연구의 절차

2. RCA 시스템의 개요

현재 국내에서 연구가 진행되고 있는 RCA 시스템은 국내 건설 환경 및 실정에 맞는 고층 건물 구조체의 철골 조립 자동화를 목표로 한다(박귀태 외, 2007). 이는 국내 고층건물 프로젝트에 일반적으로 채택되고 있는, 코어 선행방식의 철골철근콘크리트구조 건물에 적합한 시스템으로 개발 중에 있다.

RCA시스템은 그림 2와 같이 구성되며, 각 시스템의 역할은 다음과 같다.

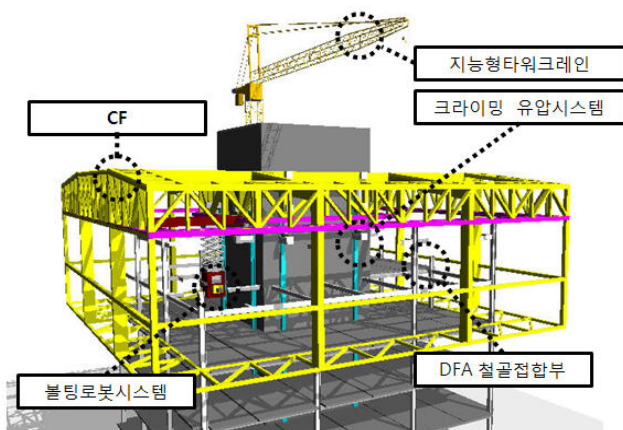


그림 2. RCA 시스템 구성도

- 1) 지능형 타워 크레인 : 무선인식 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설자재 조달 시스템으로 기존의 타워크레인에 무선인식 기술을 활용한 시스템
- 2) 건설공장(Construction factory; 이하 CF) : 외기의 환경유입을 최소화 하여 꾸준한 작업환경을 제공하고, 볼팅로봇 시스템의 이동성 및 작업성을 확보함.
- 3) 볼팅로봇시스템 : CF 내부를 이동하면서 철골접합부의 볼팅을 체결하는 시스템
- 4) 크라이밍 유압시스템 : 코어 외측벽면에 설치된 가이드레일을 따라 CF를 상승시키는 시스템
- 5) DFA 철골접합부 : 크레인을 통해 운반된 부재가 신속히 안착하여 볼팅로봇시스템의 볼팅 체결이 원활히 수행할 수 있게 한 부재 디자인

3. RCA 시스템의 설계변경 분석

3.1 분석 시스템 선정

분석 시스템 선정 및 요구 성능 도출을 위한 설문조사는 국내 대형건설사의 기술연구소 및 현장실무경험자 38명을 대상으로 총 2회 수행 하였다(표 1).

표 1. 설문조사개요

대상	국내 대형건설사 기술연구소 및 현장실무자
시기	2009. 10. 01 ~ 2009. 10. 12 (12일간, 2회)
설문내용	·RCA 시스템 중 현장적용가능시스템 선정 ·현장적용을 위한 시스템 요구 성능 작성

설문대상자는 20년 이상의 경력자부터 다양한 경력의 현장실무자를 대상으로 하였다(그림2).

5년 미만	■
5년 이상~10년 미만	■■■
10년 이상~20년 미만	■■■■■
20년 이상	■■■
경력	0 5 10 15 20

그림 3. 설문대상자 경력 (단위: 명)

RCA 시스템은 실제 현장 적용을 목표로 한 연구이다. 따라서 각 시스템 중 현장적용가능성이 높을 것으로 판단되는 시스템을 1차 설문을 통해 선정하였다(표 2).

표 2. RCA 시스템 현장적용가능성

구분	적용가능성
지능형타워크레인	65%
CF	62%
크라이밍 유압시스템	84%
볼팅로봇시스템	59%
DFA 철골접합부	54%

각 시스템의 현장적용가능성은 대체적으로 높게 나타났으며, 특히 크라이밍 유압시스템은 응답자의 84%가 적용가능성이 있다고 답하였다. 이는 중량의 CF를 상승시킬 수 있는 유압성능의 충분한 활용이 고려되었다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 현장적용가능성이 높게 조사된, 크라이밍 유압시스템 및 CF를 분석 대상으로 선정하였다.

타워크레인은 적용가능성이 높게 나타났으나, 크레인 자체의 설계변경이 아닌 하드웨어 장착위주의 시스템으로 분석대상에서 제외하였다.

3.2 요구 성능에 따른 설계 변경 분석

요구 성능은 새로운 시스템의 개발에 있어서, 시스템의 성공적 개발을 위해 확보가 요구되는 성능이다. 시스템개발이 진행됨에 따라 요구 성능은 구체화 및 추가되며 이는 시스템의 설계 변경으로 이어진다. 분석 시스템의 설계변경을 1단계(초기컨셉단계), 2단계(중요설계변경단계), 3단계(최종설계)로 나누었으며, 각 단계별 설계변경에 따른 요구 성능을 분석하였다. 표 3은 단계별 요구 성능을 정리한 것이며, 1단계의 요구 성능은 품질기능전개(QFD)기법²⁾을 적용하여 도출된 요구 성능(김태훈 외, 2009)을 참조하였다.

3.2.1 크라이밍 유압시스템의 설계 변경

크라이밍 유압시스템은 CF의 자중을 지지하고 상승시키는 역할로써, 그림 4와 같이 유압 실린더, Upper Clamping Unit, Lower Clamping Unit, Guide Rail 등으로 이루어진다. 유압 실린더는 유압장치로부터 공급받은 유압을 이용하여 CF를 상승시킬 수 있는 힘을 발생시키는 부분으로써, 각각의 Clamping Unit들과 고정 조립되어진다. 각각의 Clamping Unit은 유압 실린더 작동간에 CF의 하중을 지지하고 가이드레일을 따라 유압 실린더의 작동에 의해 CF를 상승시킨다.

이러한 크라이밍 유압시스템의 구동은 RCA 전체 시스템의 안정성에 직결되므로, 구조적 안정 확보와 유압시스템 구동을 위한 정밀한 동기제어가 주요 요구 성능이다. 2단계의 중요설계변경에원인이 되었던 추가 요구 성능은 CF와의 접합부강성확보와 코어외벽에

설치되는 가이드레일의 수직도 확보이다. 통합 시스템 구현을 위한 시스템간의 결합을 초기단계에서 고려하지 못하여, CF와의 접합부 설계를 위해 전체적인 유압시스템 재설계가 이루어졌다. 요구 성능 변화에 대한 설계변경내용은 다음과 같다.

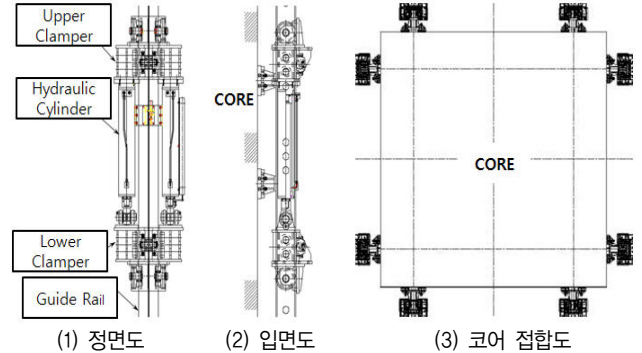


그림 4. 크라이밍 유압시스템 구성도

- 1) CF 하중의 변화로 인해 유압실린더 용량이 변화되어 전체적인 시스템 설계변경
- 2) 효율적인 동기제어를 위해 크라이밍 유압시스템을 유압로봇 4개소, 가이드로봇 4개소로 분화(그림 5)
- 3) CF와의 접합부에서 안정성 및 시공성 확보를 위해 볼팅접합으로 설계
- 4) 가이드레일 수직도확보를 위한 코어외벽과의 접합부설계
- 5) 고정핀의 충분한 안전설계 및 개수 증가

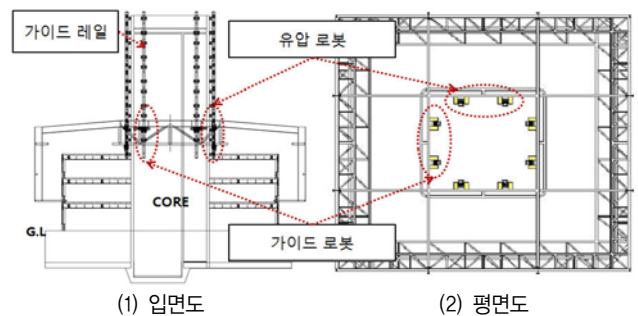


그림 5. 크라이밍 유압시스템 배치도

3.2.2 CF의 설계 변경

CF는 건물의 시공중인 층을 중심으로 3개 층 전체를 둘러싸고 있으며, 외기의 영향을 최소화 하여 안정적인 작업공간을 제공한다. 특히 볼팅로봇 시스템의 운영공간으로써, CF내에 설치된 레일을 따라 볼팅로봇이 철골접합부로, 이동하여 볼팅을 체결할 수 있다. 따라서 CF의 설계 변경은 구조적 안정성확보 및 지중 감소를 위한 설계 변경과 타 시스템의 요구 성능을 고려한 수동적인 설계 변경이 있었다.

특히 볼팅로봇시스템의 작업공간 확대를 위해 전체적인 CF 크

2) Quality Function Deployment(QFD)는 신제품 개념정립, 설계, 부품계획, 공정계획, 그리고 생산계획과 판매까지 모든 단계를 통해 고객의 요구가 최종제품과 서비스에 충실히 반영되도록 하여 고객의 만족도를 극대화하는데 초점을 맞추고 있는 품질경영의 방법론중 하나이다.

표 3. 시스템 설계 단계별 요구 성능

구분	1단계(초기단계)		2단계(중요설계변경단계)		3단계(최종단계)	
	요구 성능		요구 성능		요구 성능	
크라이밍 유압시스템	1)	CF(300ton)상승을 위한 Lifting 용량	CF(150ton)상승을 위한 Lifting 용량	CF(200ton)상승을 위한 Lifting 용량		
	2)	유압구동시 안전한 동기제어	유압구동시 안전한 동기제어	유압구동시 신속한 동기제어		
	3)	-	CF와의 접합부 강성확보	시공성을 확보한 접합부 설계		
	4)	-	가이드 레일의 수직도확보	오차범위(5cm)이내의 수직도 확보		
	5)	-	시스템 정지시 안정성 확보	시스템 고정핀의 안정성 확보		
CF	1)	외부환경 영향을 최소화.	지붕자동개폐시스템	지붕자동개폐시스템		
	2)	볼팅작업을 위한 충분한 공간 확보	볼팅작업을 위한 충분한 공간 확보	볼팅작업을 위한 충분한 공간 확보		
	3)	CF의 조립 및 해체가 가능	-	-		
	4)	타워크레인 양중 자재의 원활한 운송	-	-		
	5)	정지 및 상승시 안정성확보	정지 및 상승시 안정성확보	정지 및 상승시 안정성확보		
	6)	-	유압시스템과의 접합부 설계	유압시스템과의 접합부 설계		

가 변경되었고, 크라이밍 유압장치와의 결합을 위한 부재의 위치 및 크기변경이 발생되었다.

- 1) CF 외벽 및 지붕자동개폐시스템 장착으로 인한 하중 증가로 전체적인 부재위치 및 크기 수정
- 2) 볼팅로봇 시스템의 작업공간 확보를 위해 전체적인 CF크기 수정(그림 6)
- 3) 작업성 및 안정성 확보를 위해 삭제
- 4) 구조해석을 통한 부재 추가와 크기 변경
- 5) 크라이밍 유압시스템과의 접합 부재 추가를 위한 부재위치 변경

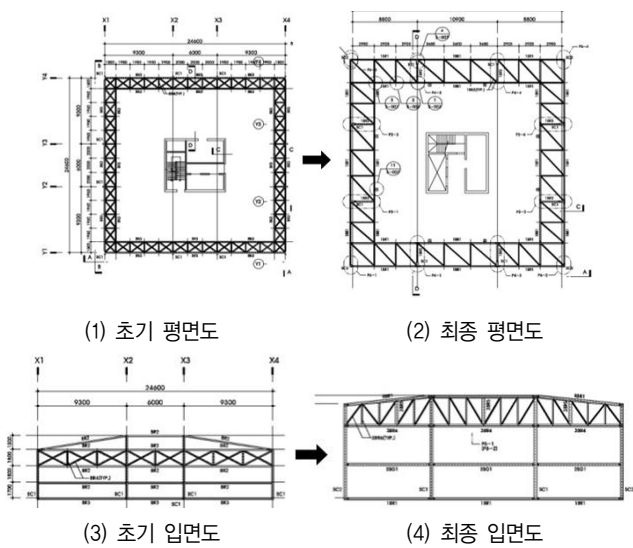


그림 6. CF의 설계 변경

4. 최적화 설계를 위한 요구성능 도출

크라이밍 유압시스템 및 CF의 설계변경을 분석함으로써 각 시스템의 최종설계에 영향을 미친 요구 성능을 도출하였다. 이러한 요구 성능들은 각 시스템이 실질적으로 현장에 적용되기 전 단계의 요구 성능들로, 시스템의 성공적인 현장적용을 위해 현장실무자 입장에서의 요구 성능 조사가 요구된다.

2차 설문을 통해 두 시스템의 현장적용시 요구되는 성능을 설문하였으며, 도출된 요구 성능을 표 4와 같이 정리 된다.

표 4. 설계최적화를 위한 요구 성능

구성	요구 성능
크라이밍 유압시스템	CF상승을 위한 충분한 Lifting 용량
	유압구동시 안전한 동기제어
	유압정지시 안정성 확보
	가이드 레일의 수직도확보
	외기 영향에 대한 강성확보(방수)
	비상 제어장치 확보
CF	CF와의 접합부 강성확보
	외부환경 영향을 최소화(자동개폐 지붕)
	볼팅로봇작업을 위한 충분한 공간 확보
	자재 적재 공간
	타워크레인 양중 자재의 원활한 운송
	정지 및 상승시 구조적 안정성
	비상통로 확보
초고층공사 적용시 외기(풍압등)에 대한 안정성	

5. 결 론

본 연구에서는 국내 건축물 시공자동화 시스템 중 현장적용 가능성이 높다고 판단되는 크라이밍 유압시스템 및 CF의 설계과정을 단계별로 분석해 보았다. 설계단계는 초기설계단계에서 최종설계 단계까지 3단계로 구분하였으며, 각 단계에서 발생하는 요구 성능은 설계 변경의 주요 원인을 알 수 있다. 따라서 최종설계단계의 요구 성능은 시스템 제작을 위해 검토되어야 할 필수조건에 부합되며, 다음과 같이 정리된다.

- 1) 시스템 자체의 안정성 및 시공성 확보
- 2) 타 시스템과의 통합을 위한 부재설계 및 접합부 설계
- 3) 현장적용시 외부환경을 대비한 설계

크라이밍 유압시스템 및 CF는 시스템이 적용될 건물의 형태나 크기에 따라 설계되는 것으로서, 타 프로젝트에 적용하기 위해서는 시스템 재설계가 불가피하다.

본 연구에서 도출된 설계최적화 요구 성능은 향후 유사프로젝트의 시스템 설계시 설계변경 최소화 하고, 성공적인 현장적용을 위한 기초자료로 활용 될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김영석 외, 국내 건설산업의 건설 자동화 및 로봇틱스 도입방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집(구조계), 제17권 제2호, pp.111~120, 2001
2. 박귀태 외, 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발, 06첨단융합 D01 건설교통부 중간보고서, 고려대학교, 2007
3. 이준복, 건설자동화 및 로봇화 기술의 현재와 미래, 건축, pp.25~27, 2007
4. 진일권, 신윤석, 이용균, 유위성, 조훈희, 강경인, QFD를 이용한 철골조립 자동화 시스템의 부재 디자인 개발 프로세스 연구, 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집, 제8권 제2호, pp.213~218, 2008
5. A. Scott Howe, Designing for automated construction, Automation in Construction, Vol.9 No.3, pp.259~276, 2000
6. Kim, T. H., Development of design for automation based on quality function deployment, ICCEM, 2009
7. Shimizu, Shimizu manufacturing system by Advanced Robotic Technology (SMART), in R&D product pamphlet, Shimizu Tokyo, 1993