

# 시공자동화를 위한 크라이밍 유압시스템의 구동성능 분석

## Drive Performance Analysis of Climbing Hydraulic Robots System for Construction Automation

<b>강 고 윤*</b>	<b>이 명 도**</b>	<b>이 규 원***</b>	<b>조 훈 회****</b>	<b>강 경 인*****</b>
Kang, Goune	Lee, Myung-Do	Lee, Kyu-Won	Cho, Hunhee	Kang, Kyung-In

### Abstract

The attention in construction Automation is getting higher since it could be the answer to the lack of skilled labor by decrease in construction population and aging which adversely affects productivity and quality in the construction site. We are on the way to develop a construction automation system adequate for domestic circumstances in Korea; it is called RCA(Robotic-crane based Construction Automation)system. Climbing hydraulic robots system is a part of RCA system and makes Construction factory(CF) climb through the guide rail on the core wall. The safety of climbing hydraulic robots system is at issue due to the overloaded weight of CF. Preventing this issue, present study did the design verification through the structural analysis and the simulation. Mock-up test also was done to analyze the drive performance of climbing hydraulic robots system.

키 워 드 : 시공자동화, 크라이밍 유압시스템, 동기제어, 설계검증

Keywords : Construction automation, Climbing Hydraulic Robot System, Synchronizing control, Design verification

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건설자동화(Construction automation and robotics)는 건설 산업의 인력난 해소 및 3D산업에서의 이미지 쇄신을 위한 성장동력으로 인식되어 왔으며(김영석 외, 2001), 이러한 건설자동화의 추세는 IT 및 첨단 하이브리드 복합기술을 통한 다양한 사업 기술과 접목되어 더욱 가속화 될 전망이다(이준복, 2007).

국내에서도 단일 공정 혹은 작업용 자동화 장비 개발에 대한 연구를 수행해 왔으며, 최근에는 건물 구조체 전반에 대한 시공자동화시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.

시공자동화 시스템 중 크라이밍 유압시스템은 각 자동화 요소 기술이 탑재된 200ton의 건설공장(Construction factory; 이하 CF)의 거치 및 상승을 담당하며, 이의 구조 및 구동성능은 현장 전체 시스템의 안전성에 직결되므로, 현장설치를 위해 최종완료

된 설계의 시뮬레이션 검증 및 제작된 시스템의 구동성능검증은 반드시 요구된다.

이에 본 연구는 크라이밍 유압시스템을 대상으로 구조해석 및 구동 시뮬레이션을 통한 설계 검증과 Mock-up test를 통한 유압 공급 및 동기제어 성능 검증을 수행하여, 개발된 시스템의 구동성능 분석을 통한 시스템 최종 검증에 목적이 있다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 현재 연구가 진행 중에 있는 로봇틱 크레인 기반 시공 자동화 (Robotic crane-based construction automation; 이하 RCA) 시스템 중 크라이밍 유압시스템을 대상으로 설계타당성 및 구동성능을 분석하였다. 유한요소해석 시뮬레이션을 통한 구조해석 및 SIL(Software in loop)시뮬레이션을 통한 시스템의 소프트웨어 구현정도를 평가하여 설계타당성을 검증하였고, 이러한 시뮬레이션 검증 결과를 바탕으로 Mock-up test를 실시하여 구동성능 분석을 실시하였다. 전체적인 연구의 흐름은 다음과 같다(그림 1).

\* 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정

\*\* 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정

\*\*\* (주)신호시스템 기술연구소 차장

\*\*\*\* 고려대학교 건축사회환경공학부 부교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 고려대학교 건축사회환경공학부 교수, 공학박사

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2010년도 건설기술혁신사업[과제번호:06첨단융합D01]의 지원으로 이루어졌습니다.

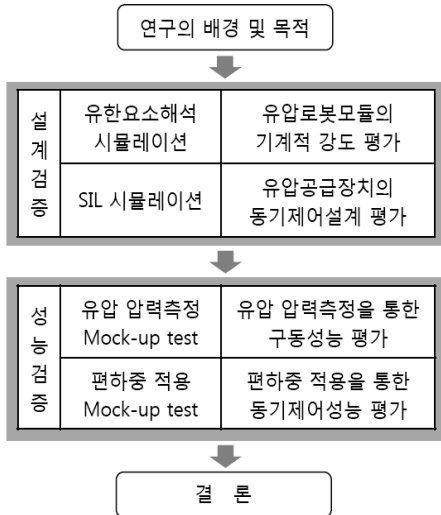


그림 1. 연구 방법 및 절차

## 2. RCA 시스템의 개요

현재 국내에서 연구가 진행되고 있는 RCA시스템은 고층 건물 구조체의 철골 조립 자동화를 목표로 한다(박귀태 외, 2007). 특히 국내 고층건물에 널리 쓰이고 있는 코어선행공법의 철골철근 콘크리트구조에 적용하기 위한 연구가 진행중이며, 현재 각 시스템의 설계 및 제작이 완료되어 현장 적용을 위한 최종검증 단계에 있다. RCA시스템 각 요소기술 및 역할은 다음과 같다(그림 2).

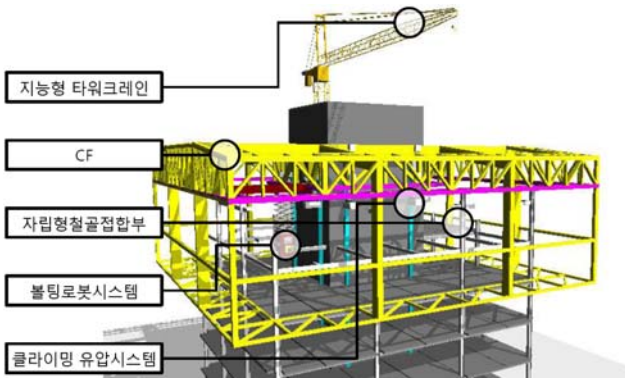


그림 2. RCA 시스템 구성도

- 1) 지능형 타워 크레인 : 무선인식 및 다차원 CAD 기반의 지능형 건설자재 조달 시스템으로 기존의 타워크레인에 무선인식기술을 활용한 시스템
- 2) 건설공장(Construction factory; 이하 CF) : 시공층과 시공 전후 3개층을 둘러싼 철골구조물로 외기의 환경유입을 최소화하고, 볼팅로봇시스템의 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) 자립형 철골접합부 : 볼팅로봇시스템의 볼팅 체결이 원활히 수행할 수 있게 한 부재 디자인

## 3. 크라이밍 유압시스템의 개요

크라이밍 유압시스템은 선시공된 코어 각 면에 수직가이드레일 위에 설치되어, CF의 상승구동 및 지지를 담당하는 RCA시스템의 주요 구성요소기술이다(그림 3).

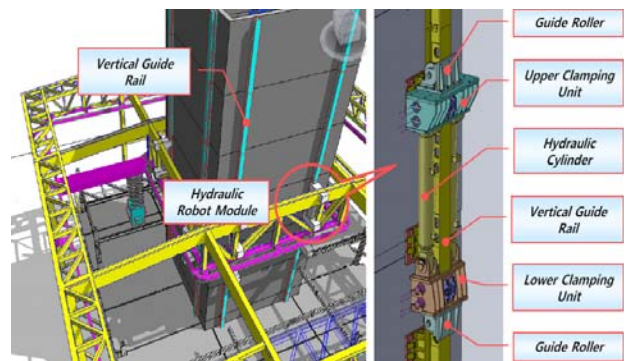
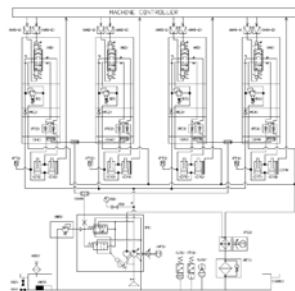


그림 3. 크라이밍 유압시스템 구성도

크라이밍 유압시스템은 마주보는 코어면에 4개 유닛이 설치되며, 나머지 면의 4개 유닛은 안정적 상승을 위한 가이드 역할을 하는 장치이다. 크라이밍 유압시스템의 구성은 CF를 직접 지지하여 상승시키는 유압로봇모듈(그림 3)과 유압로봇모듈에 안정적 유압공급을 위한 유압공급장치(그림 4)로 구분된다.



(1) 유압공급장치설계도



(2) 유압공급장치

그림 4. 크라이밍 유압공급장치

CF 상승을 위한 유압로봇모듈의 구동 메커니즘은 벌레가 나뭇가지를 따라 상승하듯이 모듈 상하 부분의 고정과 이동을 반복하는 인치 웜(Inch Worm) 방식이다. 이러한메커니즘에 따라 먼저 상단고정유닛이 CF구조체와 결합된 채 유압에 의하여 상승하며,

이후 하단고정유닛이 유압실린더와 함께 상승하여 고정됨으로써 크라이밍 유압시스템의 상승구동을 마친다.

## 4. 크라이밍 유압시스템의 설계 및 성능검증

### 4.1 Simulation을 통한 설계검증

#### 4.1.1 유압로봇모듈의 구조설계 검증

크라이밍 유압로봇모듈의 설계검증을 위하여 유한요소 해석을 통한 강도 값을 바탕으로 구조 안전성을 평가하였으며, 이 때 하중 및 자중이 정적으로 작용하는 상태로 가정하여 선형 정적 해석을 수행하였다.

해석결과 최대응력은 319.9MPa로 가이드레일의 Plate에서 발생하였다. 이는 가이드레일의 사용재질에 따른 탄성계수 및 포아송비를 고려한 항복강도인 325MPa보다 작은 값으로 크라이밍 유압시스템이 구조적으로 안전함을 의미한다. 각 위치에서의 항복강도 및 발생응력은 표 1과 같으며, 모든 위치에서 발생 응력이 항복강도보다 작은 값을 보이므로, 크라이밍 유압시스템에 설계에 대해 구조적안전성이 확보된 것으로 판단된다.

표 1. 시스템 구성요소별 항복강도 및 발생응력

위치	항복강도(MPa)	발생응력(MPa)
Guide Rail Assy-Plate	325	319.9
Pin	245	173.4
Lower Clamping Assy-Pin	245	186.6
Lower Clamping Assy Unit	325	227
Base Clamp-Plate	325	228.3
Base Clamp	370	297.9
Bolt	-	305.3

#### 4.1.2 유압공급장치의 동기제어설계 검증

크라이밍 유압로봇의 동기제어설계에 대한 타당성 평가를 위해 유압실린더의 동기제어를 담당하는 소프트웨어에 대하여 SIL 시뮬레이션을 실시하였다. 유압로봇 상승에 따른 유압실린더의 변위량을 바탕으로 유압시스템의 동기제어 성능을 평가하여 소프트웨어의 구현을 확인하였다.

그림 5의 그래프는 SIL시뮬레이션이 적용된 4개의 유압실린더의 변위량을 나타낸다. 각 유압실린더의 변위량이 상승행정시간 동안 오차범위 약 0.05mm 이내로 측정되었다. 이는 유압공급장치의 구성 소프트웨어를 통해 4개의 유압실린더에 안정적인 유압공급이 구현되며, 이를 위한 동기제어 성능이 확보되었음을 나타낸다.

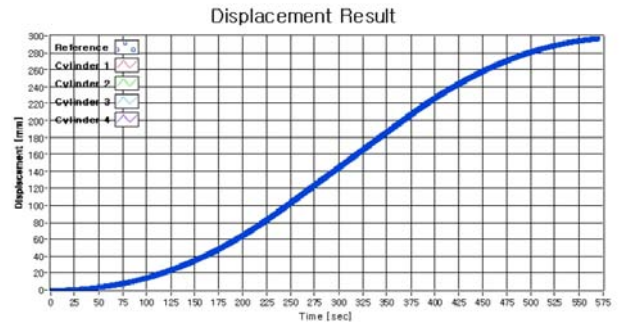


그림 5. SIL시뮬레이션을 통한 동기제어성능

### 4.2 Mock-up test를 통한 구동성능 검증

#### 4.2.1 유압시스템 구동성능 검증

시뮬레이션을 통한 설계 검증 완료 후, 실질적인 현장적용을 위한 최종 검증 단계로 Mock-up test를 실시하였다. 유압시스템에 실질적 CF하중을 적용하여 유압공급량 및 이를 통한 유압시스템의 상승변위를 측정하였다.

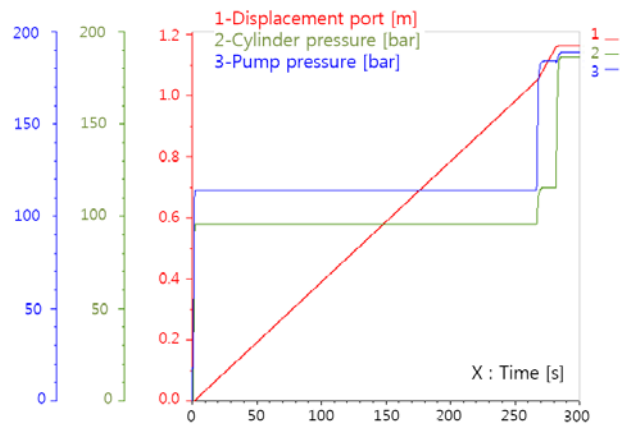


그림 6. CF하중에 대한 상승기간의 유압 압력

그림 6은 CF와 동일하중을 유압로봇에 적용하였을 때 유압의 안정적 공급에 대한 시험결과이다. 유압로봇의 인치웸 방식의 1회 상승 높이인 1.2m의 상승기간동안 펌프 압력 115bar, 실린더 압력 95bar로 유압이 안정적으로 공급되어 1번 변위라인과 같이 일정한 상승이 유지되는 것을 볼 수 있다.

#### 4.2.2 편하중에 대한 동기제어성능 검증

현장적용을 통한 전체 시스템 구동시 CF에 내부의 불평로봇 이동 및 내외부 하중작용에 의한 편하중을 고려하여 동기제어성능 검증을 수행하였다. 유압시스템의 한쪽 면에 편하중을 가하여 상승행정의 구동속도를 고려하여 동적구조해석을 실시하였다(그림 7). 그림 8과 같이 편하중 적용에 따른 각 실린더 변위차가 동기제어 적용을 통해 변위오차 3mm 이내로 동기제어되는 것으로

측정되었다. 이것은 크라이밍 유압시스템이 CF 내부의 볼팅로봇 이동 또는 예상치 못한 편하중이 발생하는 경우에도 동기제어에 의하여 안전한 구동성능을 확보한 것을 의미한다.



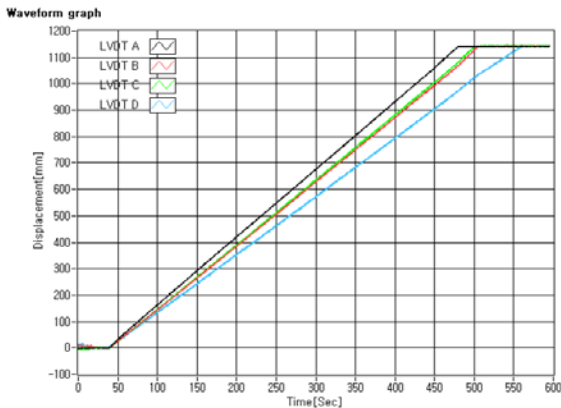
그림 7. 편하중 적용 Mock-up Test

## 5. 결 론

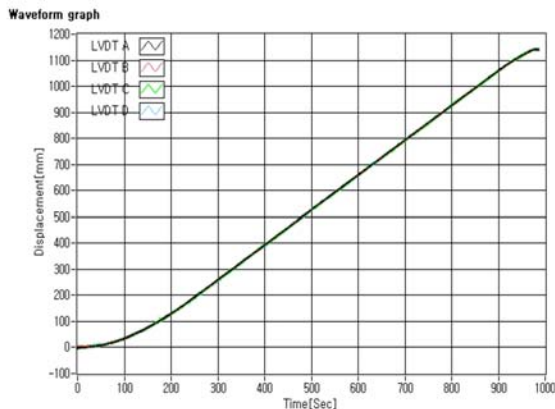
크라이밍 유압시스템은 국내형 시공자동화 시스템의 주요 요소 기술 중 하나로서 코어 외벽에 설치되어 중하중의 CF를 상승시키는 시스템이다. 크라이밍 유압시스템의 안정성 및 구동성능은 전체 시공자동화시스템의 시공성 및 현장 안정성 확보를 위해 필수적으로 확보되어야 한다. 따라서 본 연구는 크라이밍 유압시스템의 성공적 현장적용을 위해 최종설계안에 대한 시뮬레이션 검증을 수행하였고, 이에 따른 Mock-up test를 통해 실질적인 구동성능 검토를 수행하였다.

- 1) 설계검증 : 시뮬레이션 구조해석을 통한 유압로봇모듈의 구조적 안전성 및 SIL 시뮬레이션을 통한 유압공급장치의 동기제어 검증
- 2) 구동성능 검증 : Mock-up test를 통한 구동성능분석 및 편하중에 대한 동기제어성능 평가

위와 같은 시뮬레이션 및 Mock-up test를 통해 크라이밍 유압시스템의 설계 및 구동성능이 현장적용을 위한 충분한 성능 및 안정성을 확보한 것으로 판단되며, 따라서 본 연구를 통해 크라이밍 유압시스템의 실질적 현장적용을 위한 최종 검증을 수행하였고 판단된다.



(1) 동기제어 적용전



(2) 동기제어 적용후

그림 8. 크라이밍 유압시스템의 동기제어성능

## 참 고 문 헌

1. 이명도, 최희복, 이규원, 조훈희, 강경인, 시공자동화를 위한 크라이밍 유압로봇의 안정성에 관한 연구, 한국건축시공학회 학술기술논문 발표회 논문집, 제9권 제1호, pp.15~19, 2009,3
2. 정태운, 장효원, 이규원, 홍윤석, 건물 시공자동화용 크라이밍 유압로봇의 상하 이동 매커니즘 개발, 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.65~66, 2007,11
3. 홍윤석, 장효환, 고층건물 시공자동화를 위한 다중 크라이밍 유압로봇의 운동동기제어, 한국정밀공학회지 제26권 제9호, pp.103~111, 2009,9
4. Hong, Y. S., Synchronizing Motion Control of Dual Climbing Hydraulic Robots for Construction Automation, conference of KEPS, pp.137~142, 2007
5. Scott Howe, A., Designing for automated construction Automation in Construction, Vol.9, No.3, pp.259~276, 2000
6. Shimizu, Shimizu manufacturing system by Advanced Robotic Technology (SMART), in R&D product, Shimizu Tokyo, 1993