

시공자동화를 위한 크라이밍 유압로봇의 안정성에 관한 연구

A Study on Safety Validation of Climbing Hydraulic Robot System for Automation in Construction

이 명 도* 최 희 복** 이 규 원*** 조 훈 희**** 강 경 인*****
Lee, Myung-Do Choi, Hee-Bok Lee, Kyu-Won 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 system, of which Robot-based Construction Automation (RCA), is currently being developed, and RCA systems consist of Construction Factory(CF), Automated Bolting Robots, and Climbing Hydraulic Robot. Especially, Climbing Hydraulic robot system is very important to RCA systems because of function as lifting the Construction Factory. In this paper, We validate safety of Climbing Hydraulic Robot system before application for real building construction.

키 워 드 : 고층 건물 시공 자동화, 건설 공장, 크라이밍 유압로봇시스템, 동기 제어
Keywords : Robot-based Construction Automation, Construction Factory, Climbing Hydraulic Robot System, Synchronizing control

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

IT 및 로봇 등과 같은 자동화 기술이 건설에 활용하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 이러한 Hybrid 복합기술은 건설업계의 인력난 해소, 3D 산업에서의 이미지 쇄신, 건설산업의 새로운 성장 동력으로 인식되고 있다(김영석 외 2001).

일본은 1970년대부터 대기업 건설 업체(시미지건설, 다이센건설, 가지마건설 등)의 주도하에 건설 로봇 분야를 선도해 왔으며, 많은 연구개발을 통해 가시적 성과를 거두었다(Howe 2000). 특히, 90년대 초 미래의 인력난 대비 및 기업의 이미지 제고 차원에서 고층건물 구조체의 전자동 시공 시스템을 개발하였다. 이는 건축물의 상부에 건설공장(Construction Factory, 이하 CF)을 설치하여 내부에서 천정주행 크레인과 용접자동화 로봇을 운용하는 전천후 시스템으로 주목 되었으나, 장비의 개발과 시스템 운영에 막대한 비용이 소요되는 비

경제적 시스템으로 실용화에는 실패 하였다.

현재 국내에서는 일본형 시스템의 단점(고비용, 고중량)을 개선한 국내형 고층 건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발을 위한 연구가 진행되고 있다. 이는 크게 세 가지 주요 시스템으로 분류되는데, 첫째, 철골 접합부의 볼팅 조립을 위한 볼팅 로봇시스템, 둘째, 비와 바람 등 외부 환경의 영향을 최소화 하는 경량CF, 셋째, RC코어 선형공법에 적용하여 CF를 상승시키기 위한 크라이밍 유압시스템이다.

국내에서 개발 중인 CF는 외부 보호막과 내부에 설치될 주행 레일 및 볼팅로봇 시스템을 포함하여 중량이 180ton으로, 일본의 SMART 시스템의 1,200ton에 비해 매우 경량한 편이다. 그러나 180ton의 CF를 상승시키기 위해서는 RC코어 4면에 8개의 유압로봇이 설치되고, 이를 동시에 제어하는 기술은 국내에서 최초로 이루어지는 것으로서, 실시간 크라이밍 유압시스템의 제어실패로 인해 발생할 수 있는 인명 및 재산피해를 예방하기 위해서는 유압로봇의 안정성 검토가 반드시 필요할 것으로 사료된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 국내에서 개발 중인 크라이밍 유압시스템을 대상으로 유압시스템 설계 모듈의 동기제어를 검증하였으며, 검증의 신뢰성 확보를 위해 유압시스템을 유압로봇 부분과 유압기계장치 부분으로 분류하여 실시하였다. 또한 CF에 최대

* 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정
** 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정
*** 신호시스템 기술연구소 과장
**** 고려대학교 건축사회환경공학과 부교수, 공학박사
***** 고려대학교 건축사회환경공학과 교수, 공학박사
본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설기술평가원에서 위탁 행한 2006년도 첨단융합건설기술개발사업[과제번호 : 06첨단융합D01]의 지원으로 이루어졌습니다.

편하중이 발생 할 경우를 고려하여 운전조건에 따른 구동해석을 실시하였으며, 절차는 다음과 같다.

- 1) 크라이밍 유압시스템 중 유압로봇 구동해석
- 2) 크라이밍 유압시스템 중 유압기계장치 구동해석
- 3) 크라이밍 유압시스템의 운전조건에 따른 구동해석

유압로봇의 구동해석은 AMESim S/W을 사용하였으며, 유압기계장치 부분은 COSMOS를 사용하여 구동해석을 하였다. 크라이밍 유압시스템의 구동해석을 통하여 유압시스템 모듈의 동기제어를 검토함으로써, 실 시공 시 크라이밍 유압시스템의 구동에 대한 정보를 사전 수집하고, CF 상승의 안전성을 확보하고자 한다.

2. 시공 자동화 시스템

일본의 전자동화 시스템은 경제성 및 실용성 측면이 결여되어 극히 일부 현장에서만 시험적으로 운영되거나, 건설산업이 추구해야 할 미래 기술의 정점으로써 그 상징성에 중점을 주고 있다.

국내 시공자동화 로봇 기술은 일본 사례를 벤치마킹하여 선택적 자동화를 통한 효율성 제고와 국내 건설현장 실정에 적합한 시스템의 개발하고 있으며, 그림 1에서 보는바와 같이 볼팅 로봇, 로봇을 보호하고 전천후 작업이 가능한 CF, 그리고 로봇과 CF를 상승시키는 크라이밍 유압시스템으로 구성된다.

CF의 상승을 위한 크라이밍 유압시스템의 구동은 자동화 시스템의 중요한 공정 중 하나이며, 유압시스템의 동기제어 실패로 인한 안전사고는 대형사고로 이어질 가능성이 있으므로 동기제어에 대한 사전 검증은 반드시 필요하다.

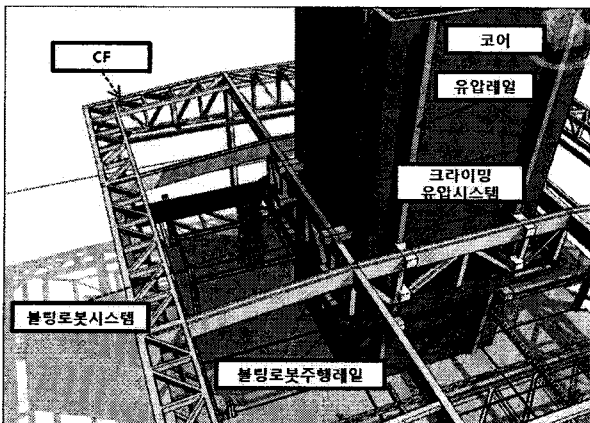


그림 1. 주요 국내 자동화 시스템

3. 크라이밍 유압시스템 모듈

3.1 크라이밍 유압로봇 모듈의 구성

본 연구에서 개발한 유압로봇 모듈은 코어선행공법에 의해 선 시공된 코어의 외벽에 가이드 레일을 설치한 후 레일을 따라 장착된 크라이밍 유압로봇에 의해 인치 웜(Inch Worm)방식으로 CF를 상승 시킨다. 유압로봇 모듈은 크게 기계장치와 유압장치 2부분으로 구성된다.

기계장치는 CF의 자중을 지지하고 상승시키는 역할로서, 그림 2와 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 부분으로서, 각각의 Clamping Unit들과 고정 조립되어진다. 각각의 Clamping Unit은 유압 실린더 작동 간에 CF의 하중을 지지하고 가이드레일을 따라 유압 실린더의 작동에 의해 CF를 상승시킨다.

유압장치 부분은 유압 실린더에 유압을 공급하여 유압 실린더가 CF를 상승시킬 수 있도록 동력을 발생시키는 부분으로서, 유압탱크, 유압펌프 및 각종 제어밸브 등으로 이루어진다.

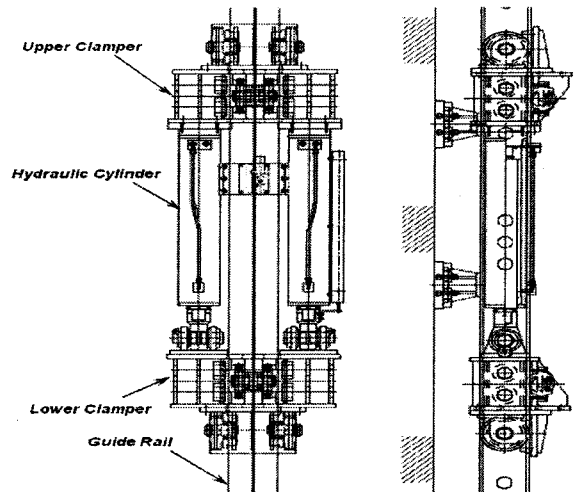


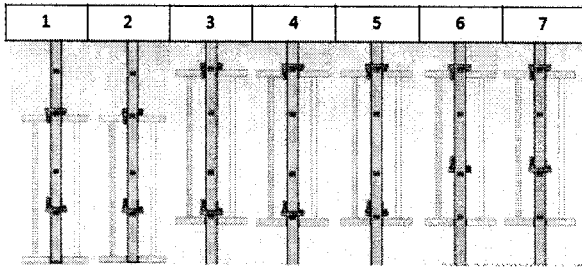
그림 2. 유압로봇 모듈의 구성

3.2 유압로봇 모듈의 구동 메커니즘

CF를 상승시키기 위한 유압로봇 모듈의 구동 메커니즘은 그림 3과 같다. 이는 고정 및 상승을 구현하기 위해서 별레가 나뭇가지를 따라 상승하듯이 위, 아래 부분을 고정과 이동을 반복하는 원리로서, 인치 웜(Inch Worm) 방식이라고도 한다. 구동 메커니즘을 단계별로 나누면 다음과 같다.

- 1) 상·하단 Clamping Unit의 Lock
- 2) 상단 Clamping Unit의 Unlock, 하단 Clamping Unit의 Lock

- 3) 유압 실린더의 작동으로 상단 Clamping Unit과 CF 상승
- 4) 상단 Clamping Unit의 Lock
- 5) 하단 Clamping Unit의 Unlock
- 6) 유압 실린더의 작동으로 하단 Clamping Unit 상승
- 7) 하단 Clamping Unit의 Lock



NO		1	2	3	4	5	6	7
FIXED UNIT	UPPER	FIXED	UNFIXED	UNFIXED	FIXED	FIXED	FIXED	FIXED
	DOWN	FIXED	FIXED	FIXED	FIXED	UNFIXED	UNFIXED	FIXED
CYLINDER	LOAD	-	-	CLIMB	-	-	-	-
	BODY	-	-	-	-	-	CLIMB	-

그림 3. 유압로봇 모듈의 구동 메커니즘

3.3 유압로봇 모듈의 시스템 Lay-Out

180톤 규모의 CF를 상승하기 위한 유압로봇 시스템의 Lay-Out은 그림 4, 5와 같다. 총 4개의 유압로봇 모듈과 4개의 가이드 로봇 모듈로 이루어진다. 유압로봇 모듈은 마주보는 2면 코어에 대칭으로 설치되며, 가이드 로봇 모듈은 또 다른 2면 코어에 대칭으로 설치된다. 가이드 로봇 모듈은 CF의 상승에 힘을 발생시키지는 않지만, CF의 안정적인 상승을 위한 가이드 역할을 하는 장치이다.

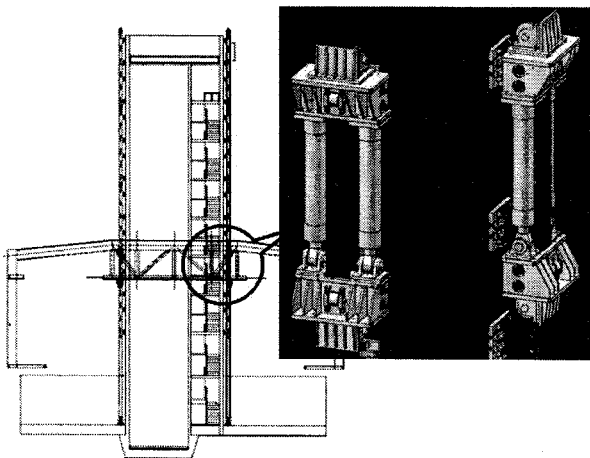


그림 4. 시스템 Lay-Out 입면도

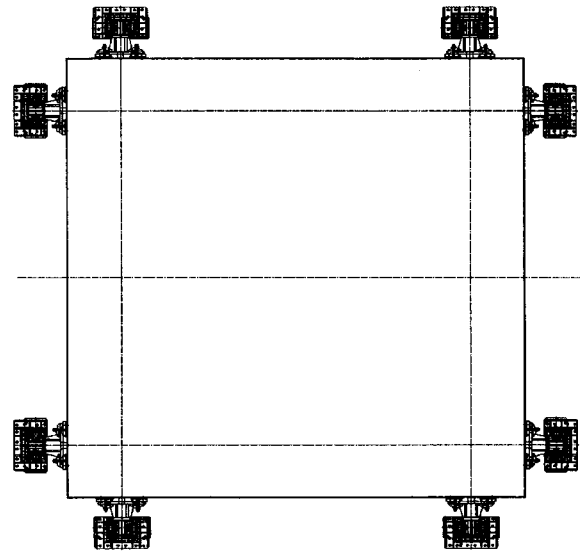


그림 5. 시스템 Lay-Out 평면도

4. 크라이밍 유압로봇의 구동 해석

크라이밍 유압로봇 모듈의 설계 검증을 위해 CAE (Computer Aided Engineering) Tool을 사용하여 유압로봇 모듈의 Dynamics 해석을 수행하였다. 유압로봇 모듈은 AMESim S/W를 사용하였으며, 기계장치 부분은 COSMOS를 사용하여 유압로봇 모듈의 구동 해석을 수행하였다.

그림 6은 유압장치 해석을 위해 설계된 유압 회도로를 바탕으로 모델링된 유압해석모델을 나타낸 것이다. 해석모델에 반영된 변위들은 실제 적용되는 설계 데이터가 반영되었으며, 본 해석을 통해 각 유압로봇 모듈에 편하중이 작용하는 등 여러 극한 조건에서 유압 작동성 및 동기제어 유무를 예측할 수 있다.

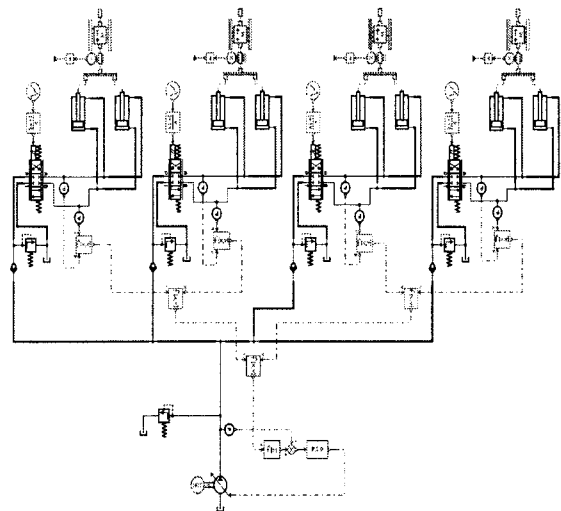


그림 6. 유압장치 해석모델

그림 7은 기계장치 해석을 위한 기계장치부의 3D 해석모델이다. 유압로봇모듈 해석의 신뢰성 확보를 위해 180 ton 규모의 CF 중량을 반영하여 해석을 수행하였다. 기계장치 해석에 있어서는 유압장치 해석상에서 구한 유압 실린더의 속도 운전 조건을 반영하여 Dynamics 해석을 진행하였다. 또한 동기제어의 신뢰성 확보를 위해 편하중 발생을 고려한 유압장치해석, CF 하중을 반영한 기계장치해석, 편하중 발생시 유압실린더의 속도조건을 반영한 해석을 수행하였다.

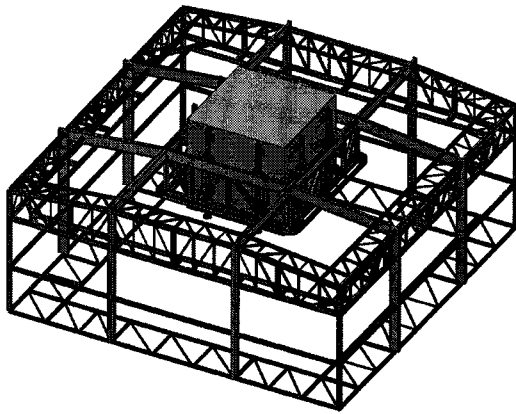


그림 7. 기계장치 해석모델

그림 8은 최대 편하중 발생 시에 각 유압실린더의 운전조건을 나타낸 것으로써, 8개의 유압 로봇은 시간에 따른 변위(즉, 가이드 레일을 따라 상승하는 상승량)가 거의 일정하게 상승하고 있는 것을 확인하였다.

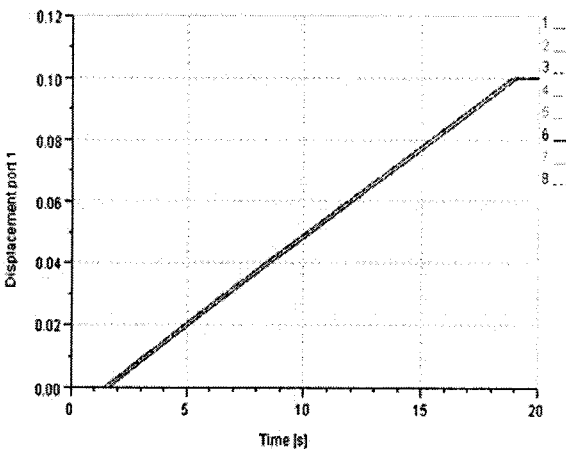


그림 8. 각 유압실린더의 속도 조건

초기 단계에서 유압로봇에 작용하는 압력은 다소 차이가 발생하였지만, 작동 20초 후부터는 각 유압로봇에 발생하는 압력이 일정하면서 동일하게 유지되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 그림 10에서 보듯이 극한 편하중이 발생하더라도 유압로봇에 작용하는 압력은 다소 상이지만 시간에 따른 변위량(상승량)은 거의 일정하게 상승하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 이로 인해 각 유압시스템의 작동 변위 및 압력이 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

향후 현장 적용 시, 크라이밍 유압시스템의 동기제어에 있어서 초기 2~3초 사이에서는 각 유압로봇마다 작용하는 압력이 상이하기 때문에, 180ton 중량의 CF를 상승시킬 때 좀 더 세밀한 제어가 필요할 것으로 판단된다.

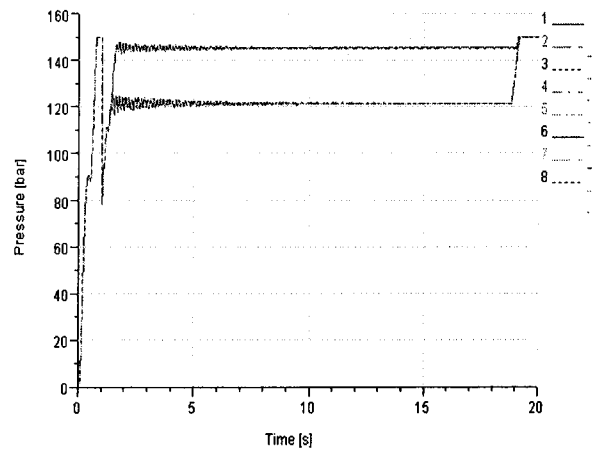


그림 9. 편하중 조건에서의 압력 해석결과

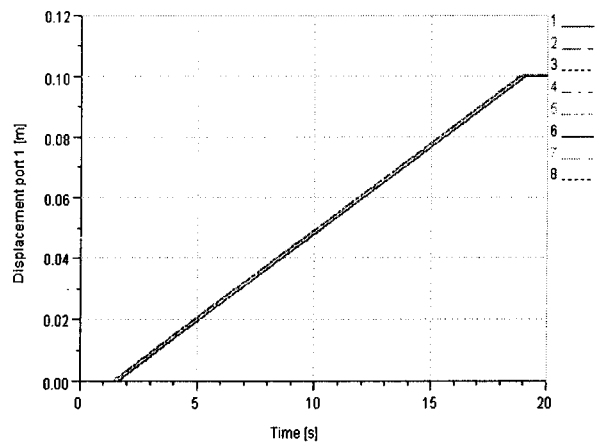


그림 10. 편하중 조건에서의 변위 해석결과

그림 9와 10은 CF의 하중에 최대 극한 조건을 반영하였을 경우 발생가능한 유압로봇 모듈에 최대 편하중에 따른 유압모듈의 동기제어 해석 결과이다. 그림 9에서처럼 편하중에 의해

5. 결 론

CF의 상승을 위해 RC코어 4면에 2개씩 총8개의 유압실린더가 상하 이동에 따른 구동 중에 발생하는 오차는 각 실린더에 편하중을 유발시킬 수 있고, 또한 180ton의 CF 하중이 CF 부재 자체와 유압시스템에 편하중으로 장시간 작용했을 경우 각 부재의 파괴로 이어질 수 있다. 따라서 국내 최초로 건설현장에 적용되는 크라이밍 유압시스템의 동기제어에 대한 성능과 구동예측은 매우 중요하다.

본 연구에서는 크라이밍 유압시스템 모듈의 설계 검증을 위해 다음과 같이 구동해석을 실시하였다.

- 1) 크라이밍 유압시스템 중 유압로봇 구동해석
- 2) 크라이밍 유압시스템 중 유압기계장치 구동해석
- 3) 크라이밍 유압시스템의 운전조건에 따른 구동해석

동기제어 해석 결과를 통해, CF 내·외부에서 편하중이 발생하였을 때 8개의 각 실린더에서 20초 이내로 동기제어가 이루어지는 것이 확인되었으며, 이는 CF 및 유압시스템의 구동에 있어서 안전성 확보에 대한 검증이 충분히 이루어졌다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김영석 외, 국내 건설산업의 건설 자동화 및 로보틱스 도입방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집(구조계), 17(2), pp. 111-120, 2001
2. 정태운 외, 건물 시공자동화용 크라이밍 유압로봇의 상하 이동 메커니즘 개발, 한국정밀공학회추계학술대회논문집, 7(1), pp. 65-66, 2007
3. Hong, Y. S., Synchronizing Motion Control of Dual Climbing Hydraulic Robots for Construction Automation, conference of KEPS, pp. 137-142, 2007
4. Scott Howe, A., Designing for automated construction, Automation in Construction, 9(3), pp. 259-276, 2000
5. Shimizu, Shimizu manufacturing system by Advanced Robotic Technology (SMART), in R&D product pamphlet, Shimizu Tokyo, 1993