

공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술의 개발

- 구조적 안정성 및 타워크레인 양중부하 분석 -

Development of an Automated Gangform Climbing System for Apartment Housing Construction - Structural Stability and Tower Crane Lifting Load Analysis -

이 정 호*
Lee, Jeong-Ho

양 상 훈**
Yang, Sang-Hoon

김 영 석***
Kim, Young Suk

Abstract

Gangform, compared to the traditional forms, is a systemized form which can reduce construction duration and cost by the advantage of using it repeatedly. However, transportation and climbing process of the Gangform is highly dependant on the performance of tower crane. Gangform climbing process takes one day out of six to seven days of a structural work cycle. Tower cranes can not be used in other lifting works when they lift the Gangform during the structural work cycle, causing the delay in the construction project. Numerous efforts and researches have been done in domestic and international industry to solve such limitations of Gangform climbing process. Especially, "A Study on the Development of Automatic Gangform Climbing System for Apartment Housing Construction" has suggested a conceptual model which can climb the Gangform system without a tower crane. In this paper, the technical and economical feasibilities of previously proposed Automatic Gangform climbing system are examined by evaluating its structural stability and lifting load reduction effect.

Keywords : *Gangform, Structural Stability, Lifting Load, Tower Crane*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

갱폼은 콘크리트 타설을 위한 거푸집 작업 시 작은 부재의 조립 및 해체를 반복하지 않고 대형화, 단순화를 통해 한 번에 설치하고 해체할 수 있는 시스템화된 거푸집으로 공동주택과 같이 평면상의 상·하부가 동일한 구조물에서 외부 벽체 거푸집으로 주로 사용된다. 즉, 갱폼의 사용으로 거푸집 설치 및 해체 작업 관련 공기 단축이 가능하고, 기준층 설치 후 반복 사용이 가능하

여 높은 경제성을 확보할 수 있다(신한우 2007). 또한 거푸집의 처짐량이 작고 외력에 대한 안정성이 높은 장점으로 인해 국내 건설시장(건축부문)의 약 70%를 차지하고 있는 공동주택의 외벽 거푸집으로 주로 갱폼이 사용된다(통계청 2011).

한편, 현장조사 결과 갱폼의 운반 및 인양작업은 타워크레인의 동력에 전적으로 의존하고 있으며, 갱폼 인양 작업을 위해 공동주택의 골조공사 공기 6~7일 사이클 중 1일의 공기가 소요되는 등 전체 골조공기에 있어 큰 비중을 차지하고, 갱폼 인양 작업을 위한 기존 타워크레인 양중 부하 증가로 인해 공기지연 가능성이 높은 것으로 조사되었다(김재엽 2010). 또한, 갱폼 인양

* 일반회원, 인하대학교 원가공학연구소, 공학박사, inhacmr@hotmail.com

** 일반회원, 인하대학교 건축공학과, 공학석사, yangsanghoon@nate.com

*** 종신회원, 인하대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), youngsuk@inha.ac.kr

작업은 바람의 영향으로 인해 작업 수행 중 중지 사례가 빈번히 발생하며, 특히 해안가 도시의 경우 이로 인한 문제가 더욱 심각한 것으로 분석되었다. 이와 같이 갱폼 작업이 지니고 있는 문제점을 해결하기 위해 국내외의 관련 업체를 중심으로 갱폼 인양과 관련된 다양한 연구 및 기술개발 노력이 수행되어 왔다. 특히 본 연구의 선행 연구인 ‘공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술개발에 관한 연구(양상훈 2012)’는 타워크레인의 동력원에 의존하지 않고 독립적인 유압 인양장치에 의해 갱폼 인양 작업을 가능할 수 있도록 하는 최적의 개념 디자인을 제안하였다. 이에 대한 후속 연구로서 본 연구에서는 구조해석 프로그램을 활용한 부재응력해석을 통해 선행연구에서 제안된 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술(이하, 갱폼 인양 자동화 기술)의 구조적 안정성을 분석하고, 실제 공동주택 건설현장 공정데이터를 적용하여 갱폼 인양 자동화 기술 적용 시 기존 타워크레인의 양중부하 감소 효과를 분석함으로써 제안된 개념 디자인의 기술적 타당성을 제시하고자 한다. 본 연구의 결과물이 실물(full-scale)로 제작되어 공동주택 건설현장에 적용될 경우 갱폼 인양 작업의 안전성 확보는 물론 기존 타워크레인 양중 부하 감소에 의한 생산성 향상을 통해 공기단축 또한 가능할 수 있을 것으로 기대된다.

1.2 연구의 방법 및 범위

공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술의 구조적 안정성 분석 및 타워크레인 양중부하 감소 효과를 제시하기 위한 본 연구의 범위 및 방법은 다음과 같다.

1) 기존 갱폼 관련 기술개발 현황 분석 및 선행 연구 고찰 : 기존 갱폼 인양 작업이 지니고 있는 문제점을 해결하기 위해 현재까지 국내외에서 개발된 갱폼 관련 기술개발 현황을 연구 문헌 및 특허 조사를 통해 분석하고 선행 연구에서 제안된 갱폼 인양 자동화 기술을 고찰한다.

2) 갱폼 인양 자동화 기술의 구조적 안정성 분석 : 실물 제작에 앞서 선행 연구를 통해 제안된 갱폼 인양 자동화 기술의 개념 디자인에 대한 부재응력해석을 통해 부재 보강 등 발생 가능한 문제점을 해결하고 구조적 안정성이 확보된 갱폼 인양 자동화 기술의 개선 모델을 제안한다.

3) 갱폼 인양 자동화 기술의 양중부하 분석 : 갱폼 인양 자동화 기술 개념디자인은 갱폼 인양 시 타워크레인의 동력에 의존하지 않고 별도의 동력원으로 인양작업이 수행되므로 실제 공동주택 건설현장의 공정데이터를 적용하여 갱폼 인양 자동화 기술 적용 시 기존 타워크레인의 양중부하 감소 효과를 분석함으로써 제안된 갱폼 인양 자동화 기술의 기술적 타당성을 제시한다.

2. 갱폼 관련 기술개발 현황 분석

2.1 갱폼 관련 연구 문헌 분석

최근 건설현장이 대형화, 고층화되고 특히 상·하부 동일 단면 구조의 공동주택과 상업용 빌딩 건설현장이 증가함에 따라 외벽 거푸집과 안전발판 등의 안전 설비가 일체화된 갱폼이 건설현장에서 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는 갱폼 관련 기술개발 현황을 분석하기 위해 국내외 연구 문헌 분석을 수행하였다. 그 결과, 국내외에서는 기존 대형 시스템 폼의 문제점을 해결하기 위한 연구(최영곤 2008)와 다양한 작업 환경 및 작업 생산성 향상을 위한 거푸집 시스템 개발(이성수 2005), 단열 성능 향상을 위한 이중 단열 거푸집 개발(김호수 2007), 초고층 공사에서 사용되는 시스템 거푸집의 생산성 분석(김주환 2008), 골조 공사에서 최적의 갱폼 운영 방안에 대한 연구(Rong-yau Huang, 2004), 수직 거푸집 공법 선정을 위한 의사결정 모델의 개발(Thomas K. L. 2005) 등의 연구가 수행되었다(표 1). 그러나 공동주택에서 대부분 사용되고 있는 갱폼의 인양기술 개발과 직접적으로 관련된 연구 문헌은 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 공동주택 건설시 타워크레인의 도움 없이 갱폼을 자동으로 인양할 수 있는 기술을 개발하고, 그 효과를 분석하고자 한다.

표 1. 기존 갱폼 관련 연구문헌

저자	제목	주요 내용
Rong-yau Huang 외 2인 (2004)	planning gang form work operations for building construction using simulations	시뮬레이션을 통한 골조공사에서 최적의 갱폼 운영을 통한 공기절감 및 원가 절감 방법 제시
Thomas K. L. Tong 외 2인 (2005)	Selection of vertical formwork system by probabilistic neural networks models	신경망 회로의 개연론에 의거한 골조공사 수행시 수직 거푸집 공법 선정을 위한 의사 결정 모델 제시
이성수 외 1인 (2005)	층고 조절형 조립식 벽체 거푸집시스템의 구조성능평가	동일 건물, 서로 다른 층고의 시공을 위한 층고 조절형 조립식 벽체 거푸집 시스템 개발
김호수 외 2인 (2007)	이중단열재 및 메탈웹를 이용한 벽체용 거푸집시스템의 구조내력평가	거푸집 및 콘크리트 타설 후 단열보온 재료써의 역할을 효율적으로 병행 가능한 벽체를 바탕으로 이중 단열 거푸집 개발
최영곤 외 1인 (2008)	대형 시스템 폼의 공동주택 현장 적용 시 발생하는 장애의 요인 및 개선방향	기존 대형 시스템 폼의 문제점을 델파 이기법을 통해 도출하고, 그에 대한 개선방안 제시
김주환 외 1인 (2008)	초고층 골조 공사의 거푸집 공법 생산성 분석에 관한 연구	초고층 골조공사 시 사용되는 거푸집 공법 중 ACS, GCS, CPP공법에 대해 생산성 분석

2.2 갱공 관련 특허 현황 분석

2.2.1 갱공 관련 국내 특허 현황

본 연구에서는 최근 17년간 국내외 갱공 관련 기술개발 동향을 다음 그림 1과 같이 분석하였다. 또한 분석된 결과를 갱공 구성요소 및 인양 자동화 기술 개발 시 필수 고려요소인 ‘안전난간, 낙하방지장치, 수직/수평조절장치, 안전발판, 고정기구, 가이드 및 슈, 도어 및 사다리, 간격 유지 장치, 케이지, 볼트, 턴버클, 인양장비’ 총 12가지로 분류하여 각 부재별 개발현황을 분석하였다(그림2).

국내 갱공 관련 특허는 1994년 1건이 등록된 이래 2010년 까지 총 259건이 등록된 것으로 조사되었다. 1994년 이후 지속적으로 갱공 관련 기술개발이 이루어졌으며, 특히 2003년 이후 약 7년간 집중적으로 기술개발이 진행되었다. 반면 2010년에는 등록건수가 6건으로 기술개발 건수가 전년대비 약 82% 감소한 것으로 조사되었다(kipris 2011)

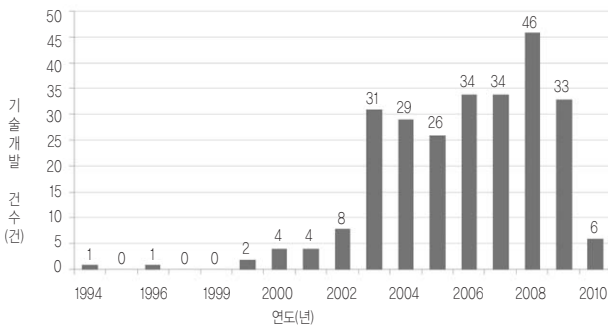


그림 1. 갱공 관련 기술개발 현황

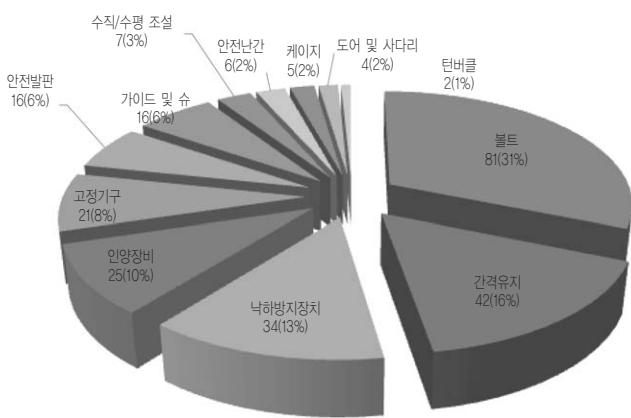
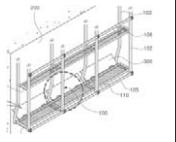
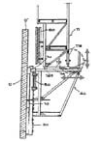
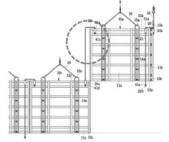


그림 2. 갱공 부재별 기술개발 현황

국내 259건의 갱공 관련 특허를 12가지 갱공 부재로 분류한 결과 주로 볼트(31%)가 가장 활발히 개발되고 있었으며, 차순위로 간격유지 장치(16%), 낙하방지 장치(13%), 갱공 인양장비(10%)의 기술개발이 진행되고 있는 등 갱공의 안전성 향상과 관련된 기술개발이 주로 이루어지고 있는 것으로 분석되었다. 갱공 관련 국내 주요 연구개발 분석 결과는 다음 표 2와 같다.

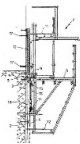
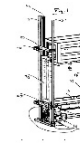

표 2. 국내 갱공 관련 주요 연구개발 분석

분류	안전발판	인양 장치	가이드 장치
명칭	갱공의 낙하물 방지장치	거푸집 자동 상승 장치	갱공의 인양 레일 유지 및 추락방지장치
대표그림			
요약	<ul style="list-style-type: none"> 하부작업대에 낙하방지판을 설치하여 갱공 내에서 작업하는 공구 등의 낙하로 인한 인명피해를 방지할 수 있도록 안전성을 향상시킨 갱공 	<ul style="list-style-type: none"> 거푸집이 설치되어 있는 상부 케이지를 2개의 실린더를 이용하여 수직 및 수평을 조절하여 탈형 및 설치작업을 자동화 함 	<ul style="list-style-type: none"> 하부작업대에 낙하방지판을 설치하여 갱공 내에서 작업하는 공구 등의 낙하로 인한 인명피해를 방지할 수 있도록 안전성을 향상시킨 갱공

2.2.2 갱공 관련 국외 특허 현황

국외 갱공 인양 관련 특허 기술을 검색한 결과 총 16건의 특허가 검색되었으며 주요 개발 국가는 미국, 독일 등인 것으로 조사되었다(wips, 2011). 국외 특허의 경우 1971년 호이스트를 이용한 클라이밍 폼 시스템을 시작으로 현재까지 갱공 인양 관련 기술뿐 아니라 갱공의 체결 부속 및 작업발판 관련 기술 개발이 수행되었다. 특히, 호이스트를 이용한 갱공 인양 장비의 연구는 기존의 갱공 인양 시스템에 사용된 유압펌프를 대체하는 시스템으로 경제적 타당성 확보가 가능하고 타워크레인 부하 감소와 같은 효과가 있을 것으로 사료되나, 인양시스템의 구조적 안전성

표 3. 국외 갱공 관련 주요 연구개발 분석

분류	인양장치	인양 장치	가이드 장치
명칭	Climbing device, in particular for a climbing scaffold	Self-climbing elevator machine comprising a punched rail assembly	Climbing Concrete form hoist
대표그림			
요약	<ul style="list-style-type: none"> 유압펌프, 유압실린더, 앵커/슈, 레일 등으로 구성된 기존 공사 현장에서 가장 많이 사용하는 갱공 인양 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> 전동모터를 동력을 이용해 양단에 설치된 레일을 따라 갱공을 자동인양 하는 장치로 추락을 방지하기 위한 걸림돌기가 장착되어 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 기어에 연동되는 텔레스코프 마스트가 포함된 호이스트를 이용한 인양 장치

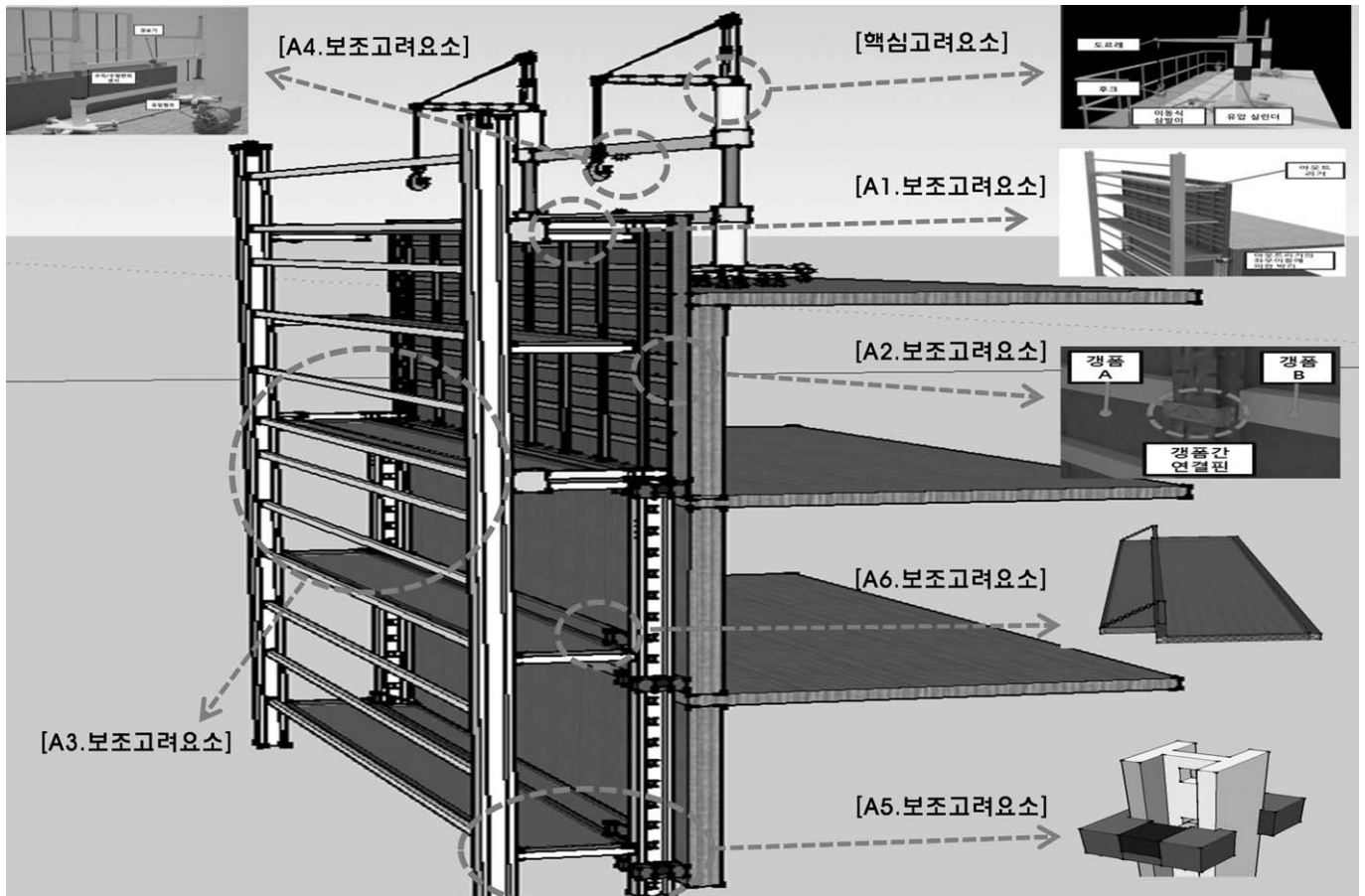


그림 3. '유압데리형' 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술의 개념 디자인(양상훈 2012)
 [특허출원번호: 10-2011-0062882, 10-2011-0062883, 10-2011-0062884]

측면이나 설치 및 해체 작업의 편의성 측면에서의 타당성은 확보되지 못한 것으로 판단된다. 인양 장치, 가이드 장치 등 갱폼 관련 국외 기술개발 동향 분석 결과를 고려해 볼 때, 국외의 경우에도 기술적/경제적인 문제를 해결함과 동시에 생산성 및 작업 편의성, 시공성 등을 종합적으로 고려한 갱폼 인양 자동화 기술을 개발하기 위한 연구 노력을 지속적으로 기울여 왔다. 국외의 갱폼 관련 대표적 연구개발 분석 결과는 다음 표 3과 같다.

2.3 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 선행 연구 분석

본 연구의 선행연구로써 '공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술개발에 관한 연구(양상훈 2012)'에서는 기존 갱폼 및 현재까지 연구 개발된 관련 연구의 문제점을 보완하고자 3가지의 대안을 제시하고 그 중 다음 그림 3과 같은 새로운 형태의 갱폼 인양 자동화 기술의 개념 디자인을 제안하였다. 갱폼 인양을 위해 타워크레인에 전적으로 의존(양중부하 증가)하고 있고, 바람 등 기후에 의한 영향을 많이 받고 있는 기존 갱폼 인양 작업을 주상복

합 건축물 및 오피스 건축물 등 초고층 건축물 골조공사에 흔히 사용되고 있는 ACS와 같은 자동 인양 시스템으로 대체하기 위해서는 갱폼을 상부 방향으로 이동시키기 위한 동력원이 요구된다. 따라서 선행연구에서는 제시된 3가지 대안 중 갱폼 인양을 위한 동력원으로 작업 용이성이 우수하고 유압 실린더를 사용하여 적은 힘으로 큰 중량을 들어 올릴 수 있으며 인양속도 측면에서도 우수한 특성을 지닌 '유압 데리형' 갱폼 인양 자동화 기술을 최적의 대안으로 선정하였다. 또한 갱폼 인양 작업의 편의성 및 생산성, 안전성 향상 등을 위해 고려되어야 하는 주요 기술로써 보조고려요소 6가지(A1: 갱폼 박리 및 수평 이동 기술, A2: 갱폼간 조립/해체 기술, A3: 갱폼 경량화 기술, A4: 수직/수평 조절기술, A5: 갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술, A6: 노무자 추락 및 자재와 공구의 낙하 방지 기술)를 표 4와 같이 도출하였으며 각각의 고려요소를 반영한 갱폼 인양 자동화 기술의 상세 개념 디자인을 위 그림 3과 같이 제시하였다. 또한, 현장 실무자 32명을 대상으로 제안된 갱폼 인양 자동화 기술의 개념 디자인에 대한 현장 적용성 평가를 수행한 바 있다.

표 4. 보조고려요소의 정의

	보조 고려요소	정의
A1	갱폼 박리 및 수평 이동 기술	갱폼 박리 및 수평 이동 기술은 구조체로부터 갱폼 박리 시 다른 갱폼과의 충돌을 방지하고, 반동에 의한 구조체와의 충돌 및 갱폼과 구조체의 파손을 방지하기 위해 요구되는 기술
A2	갱폼간 조립/해체 기술	갱폼 간 연결 작업을 보다 시스템화하여 용이한 방법으로 체결할 수 있도록 하는 기술
A3	갱폼 경량화 기술	갱폼의 안전성을 유지하며 갱폼 자체의 무게를 경감시킬 수 있는 기술
A4	수직/수평 조절기술	작업의 정확도 및 생산성을 향상을 위해 갱폼의 수직/수평을 용이하게 조절할 수 있는 기술
A5	갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술	갱폼을 상부로 인양 및 고정하기 위해서 새로운 형태의 갱폼과 구조체를 고정/해체 시킬 수 있는 기술
A6	노무자 추락 및 자재와 공구의 낙하 방지 기술	갱폼 케이지 발판 사이에서의 낙하/추락의 방지를 위한 기술

앞서 언급된 바와 같이, 본 연구는 선행연구에서 제안된 갱폼 인양 자동화 기술(그림 3)의 실물 제작에 앞서 구조해석 프로그램을 활용한 부재응력해석을 통해 구조적 안정성 확보가 가능한 개선 모델을 제시하고 제안된 갱폼 인양 자동화 기술이 현장에 적용될 경우 타워크레인 양중부하 감소 효과를 검증함으로써 제안 기술의 종합적인 기술적 타당성을 분석하고자 한다.

3. 개념 디자인의 구조적 안정성 분석

본 연구에서는 실제 부재 치수(양상훈 2012)를 적용하여, 제안된 갱폼 인양 자동화 기술 개념 디자인(그림 3) 상에서의 부재 응력분포 및 부재 보강의 필요성을 확인하기 위해 기계장비의 구조해석을 위해 일반적으로 사용되는 엔시스 프로그램을 사용하여 구조적 안정성 분석을 수행하였다. 구조해석 대상에 적용된 조건 및 가정 사항은 다음과 같다.

- 1) 갱폼에 가해지는 콘크리트의 측압은 갱폼의 측압설계 기준인 4.32톤/m²의 측압을 적용하였다.
- 2) 갱폼의 작업발판은 노무자가 이동하는 통로이므로 작업발판에 올려 질 수 있는 건설자재와 노무자의 무게를 고려하여 최대 1톤의 하중을 적용하였다.
- 3) 전체 시스템 구성부재 중 레일은 전체 시스템의 경량화를 위하여 알루미늄으로 하였으며, 레일을 제외한 시스템 부재들은 강철로 적용하였다.

3.1 갱폼 인양 자동화 기술의 1차 구조적 안정성 분석 및 개선사항 도출

제안된 갱폼 인양 자동화 기술 개념디자인(그림 3)의 구조적 안정성 분석 결과, 전체 구조물에 있어 최하단 가이드 레일, 레

일박스, 작업발판 부재들의 변위는 최대 0.005m로써 현재 갱폼 설계 기준 변위인 0.006m보다 작은 것으로 분석(그림 4의 b, 그림 5의 c)되어 본 구조물의 하단 부재는 콘크리트 측압과 노무자 및 기타 자재 등의 하중에 저항하는 충분한 강성을 지니고 있다고 사료된다. 그러나 전체시스템 특히 상부측 갱폼의 변위는 약 0.066m로 갱폼 설계 기준 변위인 0.006m 보다 큰 것으로 분석되었다(그림 4, 5, 6).

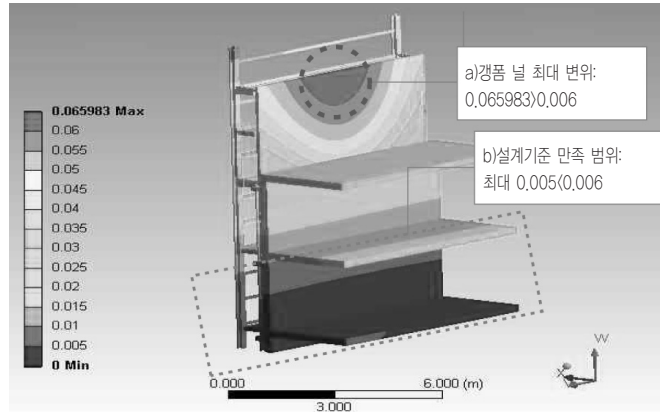


그림 4. 개념 디자인의 설계기준 만족 범위 및 최대 변위

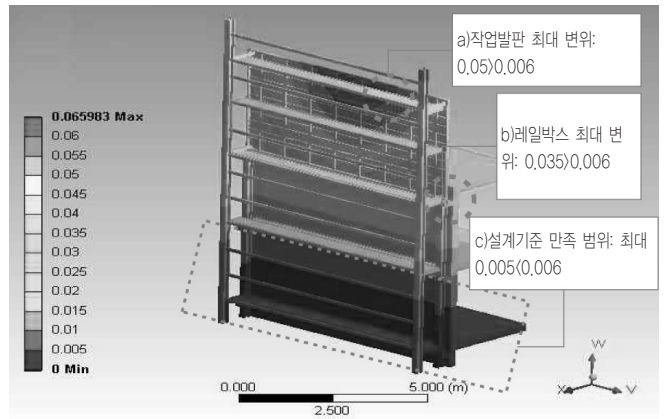


그림 5. 작업발판 및 레일 박스 최대 변위

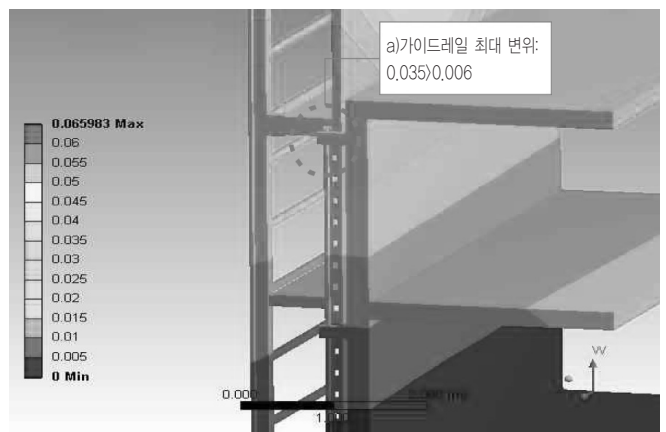


그림 6. 가이드레일 최대 변위

일반적으로 갱폼 부재 설계시 구성 부재의 변위와 함께 안전율을 분석하므로 본 연구에서는 구조해석 프로그램을 사용하여 제안된 개념디자인의 안전율을 분석하였다. 갱폼 설계시 안전율의 기준치는 2.5로써 제안된 개념디자인의 안전율은 최소 2.5이상 확보되어야 갱폼에 작용하는 외력에 대해 저항할 수 있다. 개념 디자인의 안전율 분석 결과 상당 부분 부재의 안전율이 기준치에 미치지 못하는 것으로 분석되었다. 특히 구조적 안정성 분석결과, 취약 부재로 분석된 갱폼 널 부재의 경우 안전율이 0로써 위험한 수준인 것으로 분석되었다.

최대 변위 및 안전율 관련 구조해석 결과, 제안된 개념 디자인 상부 갱폼 널 부분의 변위 감소와 안전율 향상 방안이 요구되었다. 따라서 본 연구에서는 상부 갱폼 널 부분의 변위 및 안전율과 직접적으로 상관관계를 지니고 있는 뒤쪽 레일 post부분(안전율: 0~1)의 보강을 통한 뒤틀림 방지와 갱폼 널부재(안전율: 0~1) 두께의 보강을 수행하고자 한다. 한편, 안전 발판의 경우 안전발판 자체의 안전율은 15로써 기준치 2.5를 넘지만 안전발판이 좌측 레일 post와 우측 레일 post를 결속해주는 프레임 역할을 수행하고 있으므로 안전 발판의 보강 작업을 통해 부재 전체의 변위 감소 및 안전율을 향상시키고자 한다(그림 7, 8).

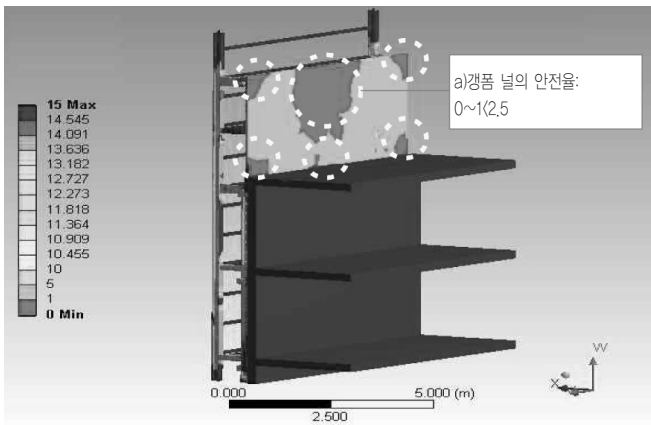


그림 7. 개념 디자인의 1차 안전율 분석 결과(정면)

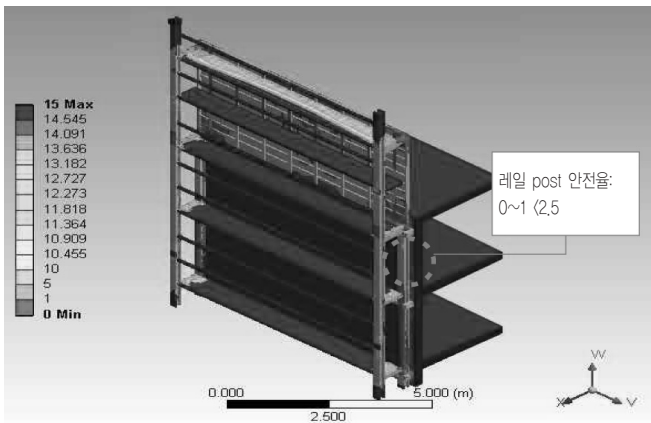


그림 8. 개념 디자인의 1차 안전율 분석 결과(후면)

3.2 갱폼 인양 자동화 기술의 2차 구조적 안정성 분석

본 연구에서는 제안된 갱폼 인양 자동화 기술의 1차 구조적 안정성 분석 결과를 토대로 2명의 건축구조설계 전문가와의 협의를 통해 구조적 취약 부분의 부재를 다음 그림 9와 같이 보강하여 2차 구조적 안정성 분석을 수행하였다.

- a) 뒤쪽 레일 post부분에 가새(아웃트리거)를 설치하여 부재에 가해지는 하중에 대한 강성을 보강
- b) 갱폼 널의 수직, 수평 부재 두께 보강
- c) 작업발판이 설치되는 각 수평보 부재의 보강

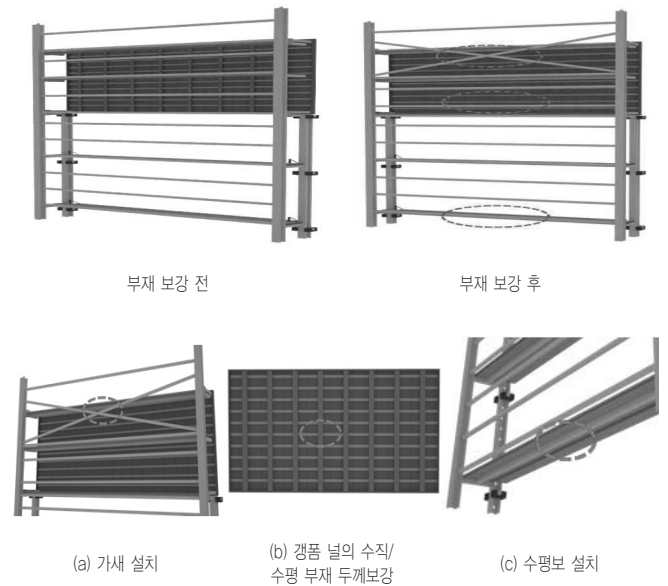


그림 9. 개념 디자인의 부재 보강 결과

본 연구에서는 위 그림 9와 같이 보강된 개념 디자인의 실제 부재 치수(양상훈 2012)를 적용하여 2차 구조적 안정성 분석을 실시하였다. 2차 구조적 안정성 분석 결과 전체 구조물 부재들의 변위는 갱폼 설계 기준 변위인 0.006m보다 낮은 0.005m로 분석되어 개선된 개념 디자인(이하, 개선 모델(그림 9))은 콘크리트 측압, 노무자 및 기타 자재 등의 시공하중에 저항하는 충분한 강성을 지니고 있는 것으로 해석되었다(그림 10, 11, 12).

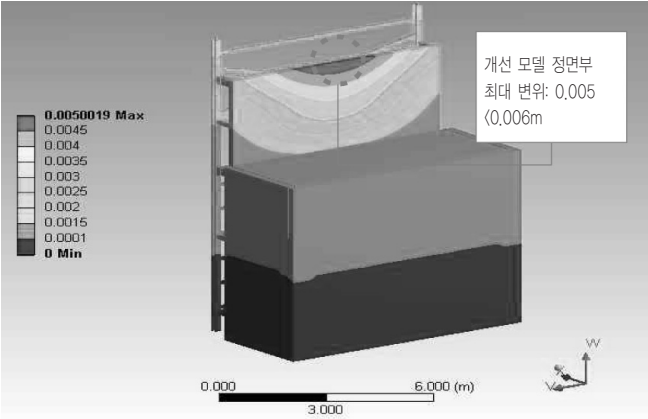


그림 10. 개선 모델의 2차 구조적 안정성 분석 결과(정면)

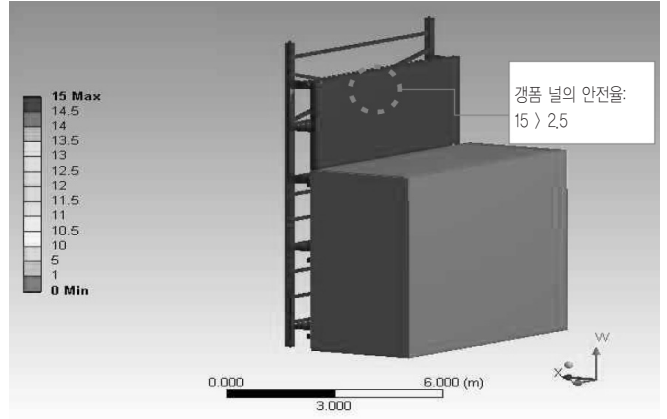


그림 13. 개선 모델의 2차 안전율 분석 결과(정면)

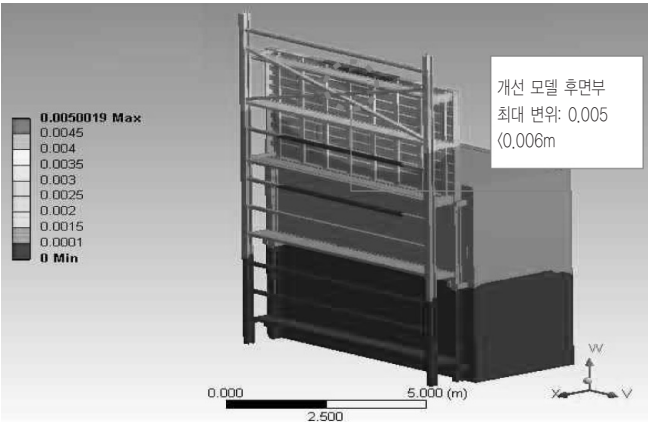


그림 11. 개선 모델의 2차 구조적 안정성 분석 결과(후면)

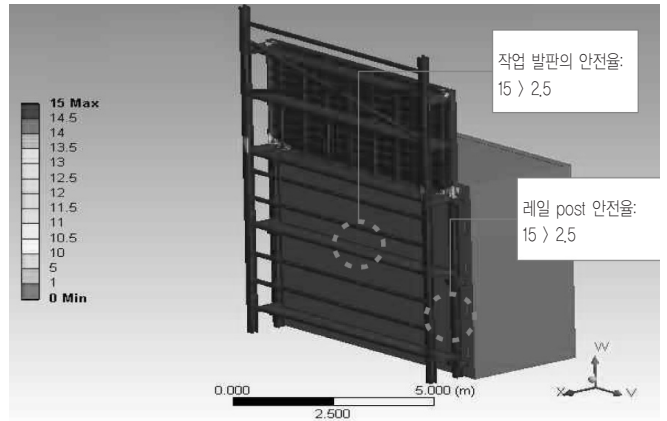


그림 14. 개선 모델의 2차 구조적 안정성 분석 결과(측면)

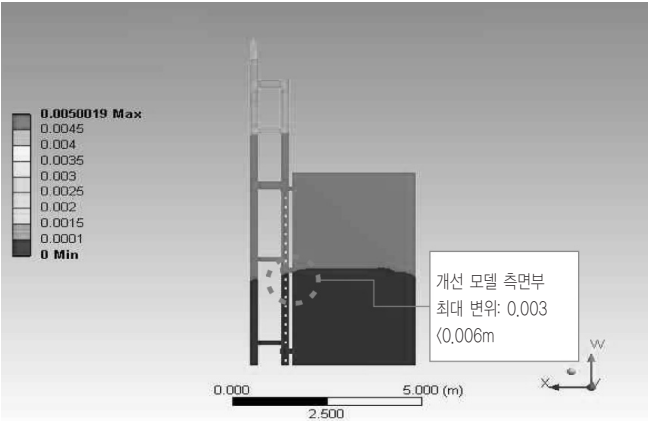


그림 12. 개선 모델의 2차 구조적 안정성 분석 결과(측면)

다음 그림 15는 선행 연구를 통해 제안된 개념디자인과 구조적 안정성이 확보된 개선모델을 보여준다.

4. 갱품 인양 자동화 기술의 양중부하분석

본 연구에서는 실물(full-scale) 제작 이전에 개발 중인 공동주택 전용 갱품인양 자동화 기술의 현장 적용성 분석을 위해 제안 기술의 현장 적용 시 타워크레인의 양중부하 감소효과를 분석하였다. 양중부하 분석은 사례 현장(표 5)의 실제 공정계획서와 인양물량 데이터를 바탕으로 수행되었다.

표 5. 사례조사 현장 정보

구분	내용
사업명	부개 00 아파트 신축공사
위치	인천광역시 부평구 부개동
건축개요	지하 2층, 지상 20층~26층 8개동

타워크레인 양중부하분석을 위해 수집된 사례 현장의 공정계획서에서는 층당 7일 사이클로 골조 공사가 진행되며(그림 16),

개선된 개선 모델(그림 9)의 안전율 분석 결과, 갱품 널 및 레일 시스템, 작업 발판 등 전체 시스템의 안전율이 약 15로써 기준치(안전율 2.5 이상) 이상의 안전율을 확보한 것으로 분석되었다(그림 13, 14). 따라서 본 연구에서 제안하는 공동주택 전용 갱품 인양 자동화 기술은 초고층 건물 거푸집 공사에 흔히 사용되는 ACS 등 첨단 시스템 거푸집에 준하는 안전성 확보가 가능할 것으로 기대된다.

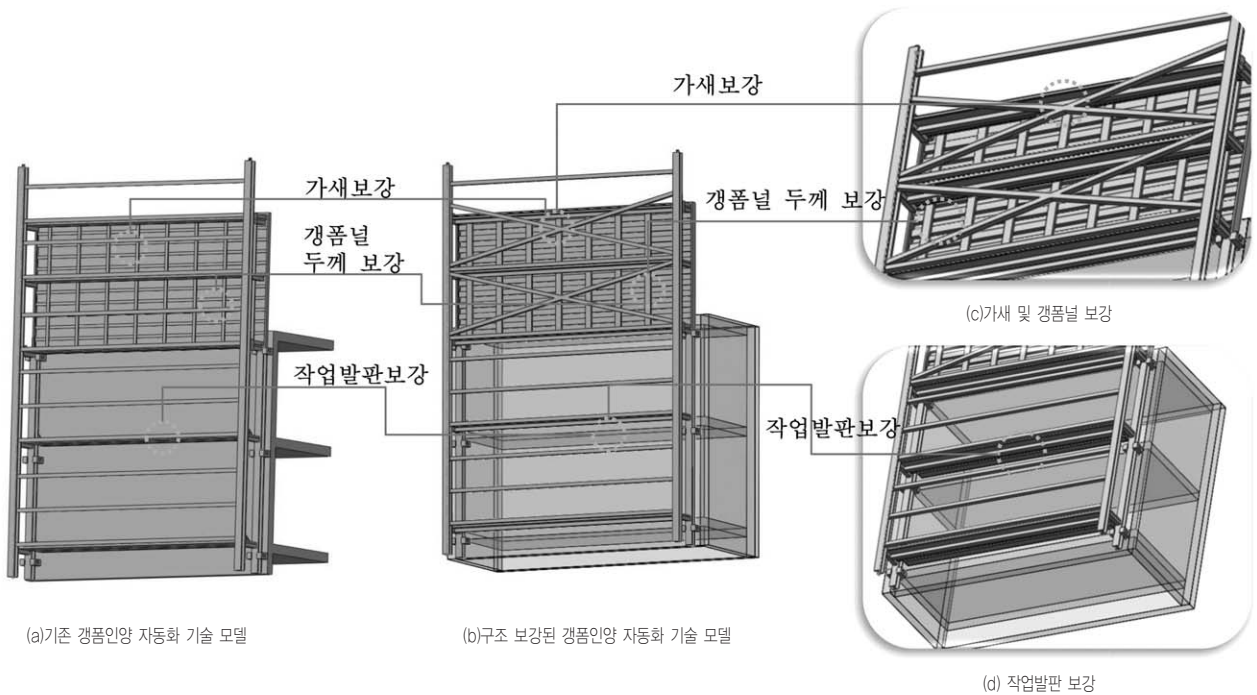


그림 15. 기존 갱풍인양 자동화 장비 및 구조 보강된 개선모델

주요 인양자재로는 철근 27톤(층당)과 갱풍 323m²(층당 30틀, 60톤)으로 조사되었다(표. 6). 콘크리트 타설 시 사용되는 콘크리트 분배기와 동절기 공사 시 보온양생을 위해 사용되는 갈탄 난로 및 갈탄은 간헐적으로 사용되므로 양중부하 분석을 위한 대상물에서 제외하였다.

표 6. 대상현장 작업정보분석

작업분류	작업인원	작업항목	작업일차	소요시간	작업물량
먹매김	4명	먹매김작업	1일차	8H (1일)	-
갱풍 인양	5명	갱풍인양	1일차	8H (1일)	323m ²
철근	12명	벽체철근인양	1일차	4H (0.5일)	18톤
		벽체철근조립	2일차	8H (1일)	-
		슬라브철근인양	4일차	4H (0.5일)	9톤
		슬라브철근조립	5일차	8H (1일)	-
전기설비배관		벽체배관	2일차	4H (0.5일)	-
		슬라브배관	6일차	4H (0.5일)	-
형틀	30명	벽체해체	1일차	4H (0.5일)	2416m ²
		알폼설치	4~5일차	16H (2일)	-
		형틀미감	6일차	4H (0.5일)	-
콘크리트타설		콘크리트타설	7일차	4H (0.5일)	350m ²

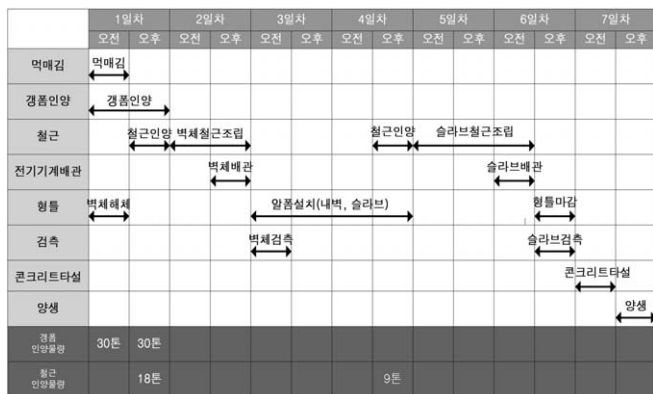


그림 16. 대상 현장의 7일 공정표

양중부하 분석을 위한 사례현장의 경우 1공구는 1~4동, 2공구는 5~8동으로써 2개의 공구로 나뉘며, 그에 따른 실제 타워크레인 배치는 그림 17과 같다. 대상 현장은 총 8개동에 3대의 타워크레인이 설치되어 가동되었다. 타워크레인 A는 1공구(1~3동)의

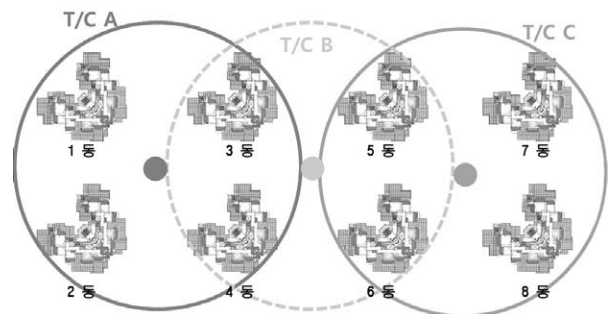


그림 17. 대상현장의 타워크레인 배치도

인양작업을 위해 사용되며, 타워크레인 C는 2공구(6~8동)의 인양작업을 위해 사용되고 타워크레인 B는 1공구의 4동과 2공구의 5동의 인양작업에 사용되며 1공구의 3동과 2공구 6동 인양 물량의 약 50%를 인양하도록 계획되어 운용되고 있었다(그림 17).

현장분석 결과, 타워크레인은 7일 층당 사이클상의 1일차 오전에 갱폼 30톤을 인양하고 오후에 갱폼 30톤과 벽체철근 18톤을 인양하며, 4일차의 오후에 슬라브 철근 9톤을 인양한다(표. 7).

표 7. 골조공사 7일 작업 사이클별 작업내용

작업명	1일차		2일차		3일차		4일차		5일차		6일차		7일차	
	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후
먹매김														
갱폼 인양	갱폼 인양													
철근 인양 및 배근	벽체 작업	벽체 철근 인양												
	슬라브 작업						슬라브 철근 인양							
기계/설비 배관	벽체 작업													
	슬라브 작업													
거푸집 작업	탈형													
	설치 마감													
검측	벽체													
	슬라브													
콘크리트 타설														
콘크리트 양생														
갱폼 인양 중량	30톤	30톤												
철근 인양 중량		18톤					9톤							

이러한 사이클이 각 동별로 1일의 시간차를 두고 순차적으로 진행된다. 한편, 타워크레인 B는 4동과 5동의 갱폼 및 철근 인양작업 외에 3일차 오전에 3동 갱폼 15톤과 오후에 갱폼 15톤, 벽체 철근 9톤(총 24톤)을 인양하며, 6일차 오전에 6동 갱폼 15톤과 오후에 갱폼 15톤, 벽체 철근 9톤(총 24톤)을 인양한다(표 8).

본 연구에서는 위 표 8에서 분석된 타워크레인의 양중부하가 실제 타워크레인의 1일 작업 시간에서 어떠한 비중을 차지하는지를 확인하기 위해 양중부하를 작업시간으로 변환하였다. 갱폼 인양을 위한 현장 실측 결과 갱폼 30톤/층(약 60톤)의 인양에는 최소 390분에서 최대 420분이 소요되었기 때문에 평균값인 405분이 소요되는 것으로 가정하였고, 철근 18톤의 인양에는 평균 약 50분이 소요되는 것으로 가정하였다. 사례현장의 타워크레인 순수 가동률¹⁾(이하 가동률) 분석결과, 갱폼을 인양하지 않

는 작업일의 타워크레인 가동률은 매우 낮은 반면 갱폼과 벽체 철근의 인양작업이 집중되어 있는 날의 가동률(예: 1일차와 2일차 타워크레인 A)은 94.8%(표 9)로 일반적인 건설현장에서의 타워크레인 최대 가동률인 50~70%보다 높게 계획되어 운영하고 있는 것으로 분석되었다. 분석된 타워크레인의 1일 가동률 94.8%는 실제 건설 현장에서 필연적으로 발생하는 노무자의 작업 지체, 선행 작업의 지연 및 기상 악화 등에 따른 공기지연 요소를 반영하지 않고 최적의 상태로 공사가 운용되었을 경우의 이상적 수치이다. 따라서 사례현장의 경우 갱폼과 벽체 철근 인양작업이 집중되어 있는 날에 위와 같은 공기지연 요소로 인해 타워크레인 인양 작업의 지연이 발생할 경우 골조공기의 지연을 초래하는 문제점이 있는 것으로 조사 및 분석되었다.

표 8. 타워크레인별 양중 작업 분석

		1일차		2일차		3일차		4일차		5일차		6일차		7일차	
		오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후
T/C A	1동	갱폼	갱폼							철근					
		30톤	48톤							9톤					
T/C A	2동			갱폼	갱폼							철근			
				30톤	48톤							9톤			
T/C A	3동					갱폼	갱폼							철근	
						15톤	24톤							9톤	
T/C B	4동							갱폼	갱폼						
								30톤	48톤						철근
T/C B	5동					3동	3동			갱폼	갱폼	6동	6동		
						갱폼	갱폼	철근	철근	30톤	48톤	15톤	24톤		
T/C C	6동			철근								갱폼	갱폼		
				9톤								15톤	24톤		
T/C C	7동	철근						갱폼	갱폼						
		9톤						30톤	48톤						
T/C C	8동					갱폼	갱폼								
						철근	철근	30톤	48톤						철근
						9톤	9톤								

표 9. 타워크레인 가동률 분석(1일 8시간 작업 기준)

	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	평균
T/C A	455분	455분	228분	25분	25분	25분	-	
가동률	94.8%	94.8%	47.5%	5.2%	5.2%	5.2%	-	42%
T/C B	25분	-	228분	455분	455분	228분	25분	
가동률	5.2%	-	47.5%	94.8%	94.8%	47.5%	5.2%	48%
T/C C	25분	25분	-	455분	455분	228분	25분	
가동률	5.2%	5.2%	-	94.8%	94.8%	47.5%	5.2%	42%

1) 타워크레인 순수 가동률은 건설 자재 인양을 위한 작업 대기 시간(idle time)을 고려하지 않고 타워크레인을 실사용하는 시간의 비율임.

실제 건설현장에 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술을 적용할 경우 타워크레인의 가동률 분석을 위해서는 양중장비인 타워크레인 A와 갱폼 인양 자동화 장비간의 해당 현장의 특성을 고려한 다양한 배치 조합이 가능할 수 있다. 사례 현장의 경우, 추후 개발될 갱폼 인양 자동화 장비를 모든 동에 배치하는 경우 (Case 1)와 기존 방식과 같이 타워크레인 A는 1공구(1~3동)의 인양작업을 위해 사용되며 타워크레인 C는 2공구(6~8동)의 인양작업을 위해 사용하고 4동과 5동에만 갱폼 인양 자동화 장비를 배치하는 경우(Case 2) 등으로 나누어서 타워크레인의 가동률을 분석해 볼 수 있다. 본 연구에서는 제안된 공동주택 전용 갱폼인양 자동화 장비가 실물 제작되기 이전 단계에서 제안 장비가 갱폼인양을 전담할 경우 이로 인해 타워크레인 가동률이 어느 정도 감소할 수 있는지를 분석하였으며 모든 동에 제안 장비를 설치하는 경우를 대상으로 타워크레인 감소효과를 도출하였다.

동일 현장(표 5)의 각 동(1동~8동)에 제안 장비를 가상으로 배치할 경우, 일반적으로 타워크레인은 골조공사 시 사용되고 마감공사 시에는 해체되므로 갱폼 인양 자동화 기술 적용 시 타워크레인 B없이 타워크레인 A와 C 만으로도 철근 인양 등 골조공사를 위한 양중 작업을 용이하게 수행할 수 있을 것으로 사료된다(그림 18).

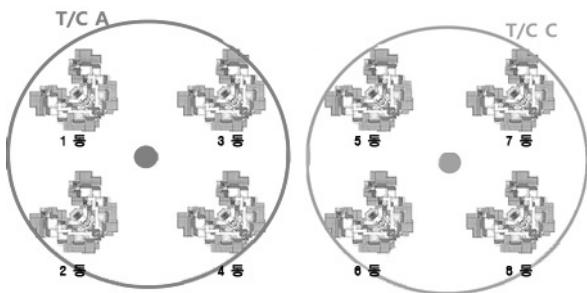


그림 18. 개념 디자인 적용 시 타워크레인 배치도

타워크레인 B를 설치하지 않은 상태에서 타워크레인 A는 표 10과 같이 1~4동의 철근 인양 작업을 수행하고, 타워크레인 C는 5~8동의 철근 인양 작업을 수행한다. 철근 인양 시간은 기존 방식과 동일하게 현장 실측 결과를 바탕으로 철근 18톤의 인양에 평균 약 50분이 소요되는 것으로 가정하였다. 갱폼 인양 자동화 기술 적용 시 타워크레인의 가동률 분석 결과, 표 11과 같이 타워크레인 A와 C의 1일 최대 가동률은 10.4%, 평균 가동률은 약 8.9%로 분석되었다. 따라서 본 연구에서 제안한 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술을 사례 현장에 적용할 경우 골조공사 기간 동안 타워크레인 1대의 임대비를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 타워

크레인 A, C의 가동률을 현저히 낮출 수 있으므로 갱폼 인양이 아닌 다른 공종 혹은 인양작업에 타워크레인 A, C를 투입하여 타워크레인 가동률을 적정 수준으로 제고함과 동시에 전체적인 작업 생산성을 높일 수 있으므로 공동주택 골조공사의 공기단축 효과 또한 가능할 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 타워크레인 A, C를 기존대로 사용하고 4, 5동에만 제안 장비를 설치하는 Case 2의 경우 상대적으로 앞서 언급된 Case 1에 비해 타워크레인 가동률은 증가할 것이나, 최종 사용자 입장에서의 초기 투입비용(initial investment)은 감소할 것이므로 향후 실물 제작된 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 장비의 현장 적용을 통한 성능평가, 타워크레인 및 제안 장비의 최적 조합에 따른 경제성 분석 등이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

표 10. 개념 디자인 적용시 적용타워크레인별 양중 물량

		1일차		2일차		3일차		4일차		5일차		6일차		7일차	
		오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후
T/C A	1동		철근 - 18톤						철근 9톤						타 설
	2동				철근 - 18톤						철근 9톤				
	3동						철근 - 18톤						철근 9톤		
	4동							철근 타 설 - 18톤							철근 9톤
T/C C	5동		철근 - 18톤						철근 9톤						타 설
	6동				철근 - 18톤						철근 9톤				
	7동						철근 - 18톤						철근 9톤		
	8동							철근 타 설 - 18톤							철근 9톤

표 11. 개념 디자인 적용 시 타워크레인 가동률 분석(1일 8시간 작업 기준)

	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	평균
T/C A	50분	50분	50분	75분	25분	25분	25분	
가동률	10.4%	10.4%	10.4%	15.6%	5.2%	5.2%	5.2%	8.9%
T/C B	-	-	-	-	-	-	-	
작업비율	-	-	-	-	-	-	-	
T/C C	50분	50분	70분	75분	25분	25분	25분	
가동률	10.4%	10.4%	10.4%	15.6%	5.2%	5.2%	5.2%	8.9%

5. 결론

본 연구에서는 선행연구에서 제안한 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개념 디자인의 구조적 안정성 및 양중부하분석을 수행함으로써 갱폼 인양 자동화 기술의 기술적 타당성을 분석하였으며, 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 국내의 연구동향 분석결과 국외의 경우 대부분의 시스템이

타워크레인의 양중부하 감소를 위해 개발되었으며, 국내는 갱폼 인양 관련 안전성 향상과 관련된 기술개발이 주로 수행된 것으로 분석되었다.

2) 선행 연구를 통해 제안된 갱폼 인양 자동화 기술 개념 디자인의 실제 부재 치수를 적용한 1차 구조적 안정성 분석(부재응력 분포분석) 결과, 시스템 하단 부는 갱폼 설계 기준을 만족하였으나 상단 갱폼 널 및 작업 발판, 가이드 레일 등은 갱폼 설계기준을 만족시키지 못한 것으로 분석되었다. 따라서 1차 구조적 안정성 분석 결과를 바탕으로 상부 갱폼의 변위감소 및 기준치 이상의 안전율을 확보하기 위해 후면 레일 Post부분, 갱폼 널, 작업 발판 부분에 있어 부재 보강을 통한 강성 확보가 필요한 것으로 분석되었으며 이를 반영하여 개선 모델을 제안하였다.

3) 보강된 개선 모델에 대한 2차 구조적 안정성 분석 결과, 모든 부재의 변형은 0.005m 이내, 안전율은 약 15 이상으로 도출되어 갱폼 설계 기준(콘크리트 축압에 대한 6mm 이하의 변형 및 안전율 2.5 이상)을 만족시키는 것으로 분석되었다. 따라서 제안된 개념 모델은 초고층 빌딩 건설공사에 흔히 적용되는 ACS 등 첨단 시스템 거푸집에 준하는 안전성 확보가 가능할 것으로 기대된다.

4) 타워크레인 3대를 운용 중인 공동주택 건설현장의 실제 공정 데이터를 기반으로 설치된 3대의 타워크레인 중 1대를 설치하지 않고 2대의 타워크레인과 각 동에 갱폼 인양 자동화 기술 장비를 배치하고 타워크레인의 가동률을 분석한 결과, 타워크레인의 2대의 1일 최대 가동률은 10.4%, 평균 가동률은 8.9%로 크게 낮아지는 것으로 분석되었다. 이는 사례 현장에 있어 갱폼 인양 자동화 기술의 적용 기간 동안 나머지 타워크레인 2대를 다른 공중 혹은 자재 인양작업에 투입하여 타워크레인 가동률을 적정 수준으로 제고함과 동시에 현장에서의 전체적인 작업 생산성을 높일 수 있다는 의미로 해석될 수 있으므로 이로 인한 골조 공기 단축 및 타워크레인 설치 대수 감소를 통한 임대비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구로서 제안 자동화 장비의 실물 제작 및 현장적용을 통한 성능평가, 경제성 분석 및 현장 적용성 평가가 순차적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0026956).

이 논문은 인하대학교의 지원에 의해 수행된 것으로 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 김재엽 (2010). “고층 주거건축물 거푸집의 편익/비용 분석에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집 제10권 제 4호, pp.49-57
- 김주환 (2008), “초고층 골조 공사의 거푸집 공법 생산성 분석에 관한 연구”, 동의대학교 공학석사 학위논문
- 김호수 (2007), “이중단열재 및 메탈웹를 이용한 벽체용 거푸집시스템의 구조내력평가”, 대한건축학회 논문집, 제23권 제3호, pp.29~36
- 신한우 (2007). “대형 시스템 거푸집 공법별 장단점 비교에 관한 연구” 한국건축시공학회 논문집 제 7권 제4호 통권 26호, pp.153~159
- 이성수 (2005), “층고 조절형 조립식 벽체 거푸집시스템의 구조 성능평가”, 청주대학교 공학석사 학위논문
- 양상훈 (2012), “공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술개발에 관한 연구”, 한국건설관리학회 논문집, 제13권 제1호, pp.54~66
- 최영곤 (2008), “대형 시스템 폼의 공동주택 현장 적용 시 발생하는 장애의 요인 및 개선방향”, 대한건축학회 논문집 제24권 제2호, pp.95~102
- Rong-yau Huang (2004), “planning gang formwork operations for building construction using simulations”, Automation in Construction 논문집 제 13 권 제6호, pp.765~779
- Thomas K. L. Tong(2005), “Selection of vertical formwork system by probabilistic neural networks models”, Construction Management and Economics 논문집, 제23 권 3호, pp.245~254
- 통계청 (2011). 주택건설실적
특허검색사이트, <http://www.kipris.go.kr/>
특허검색사이트, <http://search.wips.co.kr>

논문제출일: 2012.01.26
논문심사일: 2012.01.27
심사완료일: 2012.04.19

요 약

갱폼(Gangform)은 기준층 설치 후 반복사용이 가능하여 기존 합판 거푸집에 비해 공기단축이 가능하고 높은 경제성을 확보할 수 있는 시스템 거푸집이다. 또한 거푸집의 처짐량이 작고 외력에 대한 안정성이 높은 장점을 지니고 있다. 그러나 갱폼의 운반 및 인양작업은 타워크레인의 동력에 전적으로 의존하고 있으며, 갱폼 인양작업을 위해 공동주택 골조공사 6~7일 사이클 중 1일의 공기를 차지하는 등 전체 골조 공기에 있어 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 국내외 관련 업계를 중심으로 갱폼 인양과 관련된 다양한 연구 및 기술개발 노력이 수행되어 왔다. 특히, ‘공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발에 관한 연구’는 타워크레인의 동력원에 의존하지 않고 별도의 인양장치에 의해 갱폼의 인양작업을 가능할 수 있도록 하는 개념 디자인을 제안하였다. 이에 대한 후속 연구로써 본 연구에서는 구조해석 프로그램을 활용하여 선행 연구를 통해 제안된 갱폼 인양 자동화 기술의 구조적 안정성을 해석하고, 실제 공동주택 건설현장의 공정데이터를 적용하여 갱폼 인양 자동화 기술 적용 시 기존 타워크레인의 양중부하 감소 효과를 분석함으로써 제안된 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술의 기술적 타당성을 제시하고자 한다.

키워드 : 갱폼, 거푸집, 인양, 구조적 안정성, 타워크레인, 양중부하
