

공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Automated Gangform Climbing System for Apartment Housing Construction

양상훈* 조재용** 조지원*** 이정호**** 김영석*****
Yang, Sang-Hoon Cho, Jae-Yong Cho, Ji-Won Lee, Jeong-Ho Kim, Young-Suk

Abstract

Gangform compared with conventional wood and steel form is systemized form which has a capability to install and dismantle form at a time without repeating to assembly and disassembly small members. Gangform compared with ACS has some problems such as 1) Tower Crane load increase, 2) increase in safety incidence during climbing Gangform, 3) decrease in detachment operation productivity, 4) stop work due to climate impacts, and 5) decrease in labor cost, productivity, quality. A conceptual design model of automated Gangform climbing system is suggested for apartment housing construction to show its technical/economic feasibility and workers' safety while increasing operation productivity and concrete quality.

Keywords : *Gangform, Form, Climbing, Towercrane, Apartment Housing, Automation Technology*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

갱폼(Gangform)은 기존 목재 및 철재 거푸집과 비교하여 작은 부재의 조립/해체를 반복하지 않고 대형화, 단순화를 통해 한번에 설치하고 해체할 수 있는 시스템화 된 거푸집이다. 갱폼 사용 시 조립과 해체 작업의 간편성 및 외부 벽체 콘크리트 타설을 위한 거푸집 작업과 콘크리트 견출 작업을 동시에 수행할 수 있어 기존 거푸집 사용 시 보다 공기 단축이 가능하고, 기준층 설치 후 반복사용이 가능하여 높은 경제성을 확보할 수 있다. 또한, 외부 벽체 콘크리트 작업 및 견출 작업 등을 위한 외부비계를 설치하지 않고 케이지 내의 안전발판을 사용함으로써 기존

방식에 비해 안전성을 향상시킬 수 있으며, 구조체의 수평, 수직 및 평탄도 측면에서도 품질향상을 기대할 수 있다. 갱폼이 지니고 있는 장점으로 인해 국내 건설 시장(건축부문)의 약 70%를 차지하고 있는 공동주택의 외벽 거푸집으로 대부분 갱폼이 사용된다(통계청, 2010).

현장 조사 결과, 갱폼 인양 작업은 타워크레인의 동력에 전적으로 의존하고 있으며, 공동 주택 단위 평면(109m², 4세대 기준) 외부를 둘러싸고 있는 갱폼 인양 작업을 위해 골조공사 6~7일 사이클 중 1일의 공기가 소요되는 등 매우 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되어 타워크레인 양중 부하 증가로 인해 공기 지연 가능성이 높은 것으로 조사되었다. 또한, 갱폼 인양 작업은 바람의 영향으로 인해 작업 중지 사례가 빈번히 발생하며, 초고층에 사용되는 첨단 시스템 거푸집에 비해 품질 및 작업 생산

* 일반회원, 인하대학교 대학원 건축공학과 석사과정, yangsanghoon@nate.com

** 일반회원, 인하대학교 대학원 건축공학과 석사과정, adelid83@naver.com

*** 일반회원, 인하대학교 대학원 건축공학과 석사과정, juny611@nate.com

**** 일반회원, 인하대학교 원가공학연구소, 공학박사(교신저자), inhacmr@hotmail.com

***** 중신회원, 인하대학교 건축공학과 교수, 공학박사, youngsuk@inha.ac.kr

성이 저하되는 단점이 있는 것으로 조사되었다. 특히, 갱폼 인양 및 해체 작업은 최소 9m 이상의 공동주택 기준층(3층~최상층)에서 수행되므로 갱폼 인양 및 해체 작업 시 발생하는 사고는 대부분 사망사고로 이어지고 있으며, 건축공사 공중별 중대 재해 사례 발생 현황 분석결과, '갱폼 작업을 포함하고 있는 거푸집 공사'의 재해 건수가 2008년 기준 285건(17.4%)으로 1순위로 조사됨으로써 갱폼 인양 및 해체 작업을 포함하고 있는 거푸집 공사의 안전성 확보에 관한 연구가 시급히 필요한 것으로 분석되었다(한국산업안전보건공단, 2009).

이와 같이 갱폼 작업이 지니고 있는 문제점을 해결하기 위해 국내외 관련 업계를 중심으로 갱폼 인양과 관련된 다양한 연구 및 기술개발 노력이 수행되어 왔으나, 현재까지 개발된 기술은 국내 30층 이하 규모의 공동주택에 적용 시 초기 설치비 및 높은 임대비용으로 인해 경제적 타당성이 낮은 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 첨단 시스템 거푸집 분석과 현장 요구사항 분석 등을 통해 국내 건설시장의 대부분을 차지하고 있는 30층 이하 규모의 공동주택(통계청, 2010)에 범용적으로 이용 가능한 갱폼 인양 자동화 기술을 제안하고자 한다. 이를 위해 기존 문헌 분석 및 건설 현장관리자와의 설문조사 등을 통해 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발 시 요구되는 고려요소를 도출하고, 이를 반영한 '공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 장비의 개념 디자인'을 제시하였다. 본 연구의 결과물이 공동주택 건설 현장에 적용될 경우 갱폼 인양 작업의 안전성 확보는 물론 생산성 향상을 통한 공기단축 및 원가절감이 가능할 수 있을 것으로 기대된다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구의 범위 및 방법은 다음과 같다.

1) 갱폼 작업 프로세스 분석: 기존 문헌 분석을 통해 갱폼 설치, 인양, 해체 작업의 특성을 분석하고, 건설 현장 관리자를 대상으로 설문조사를 수행하여 갱폼 관련 작업 프로세스 상의 문제점 및 사고요인을 분석한다.

2) 국내외 관련기술개발 동향 분석: 고층 건축물의 외벽 거푸집을 자동으로 인양할 수 있는 첨단 시스템 거푸집의 개발 현황을 분석한다. 또한 국내 건축시장의 대부분을 차지하고 있는 30층 이하 공동주택을 대상으로 첨단 시스템 거푸집과 갱폼 적용 시 경제적 타당성 및 공사기간 분석을 통해 각 시스템이 지니고 있는 장단점 분석 수행 및 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발의 필요성을 제시한다.

3) 고려요소(현장 요구사항) 및 우선순위 도출: 건설 현장 관리자를 대상으로 설문조사 및 인터뷰를 실시하여 갱폼 인양 자

동화 기술 개발 시 요구되는 핵심고려요소와 보조 고려요소를 도출한다. 또한 본 연구에서는 갱폼 인양 자동화 기술 개발 시 도출된 고려요소의 '중요도 및 기대효과'와 '기술개발 가능성'에 대해 설문조사를 수행하고 정량화하여 고려요소의 개발 우선순위를 분석한다.

4) 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 장비의 개념디자인 제안: 국내외 연구 및 기술동향 분석을 통해 갱폼 인양 자동화 기술개발에 적용 가능한 요소기술을 분석하고, 분석된 갱폼 인양 작업의 문제점을 해결할 수 있는 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 장비에 대한 개념 디자인을 제안하고, 기술적 타당성을 분석한다.

2. 공동주택 갱폼 인양 작업 및 기술 개발 동향

2.1 공동주택 갱폼 인양 작업 프로세스 및 문제점 분석

2.1.1 갱폼 인양 작업 프로세스 분석

1) 갱폼의 정의 및 구성

갱폼은 기존 목재 및 철재 거푸집과 비교하여 매 사용 시 작은 부재의 조립/해체를 반복하지 않고 대형화, 단순화를 통해 한번에 설치하고 해체할 수 있는 시스템화 된 거푸집이다. 공동주택과 같이 상/하부 동일 단면 구조를 지니고 있는 경우 외부 벽체 콘크리트 타설 작업을 위한 거푸집 판넬과 거푸집 설치/해체 작업 및 콘크리트 견출작업을 위한 케이지가 일체화된 형태로 사용되고 있다. 상부케이지는 갱폼의 설치 및 해체를 위한 공간으로 사용되며, 하부케이지는 콘크리트 견출작업을 위한 공간으로 사용된다(그림 1).

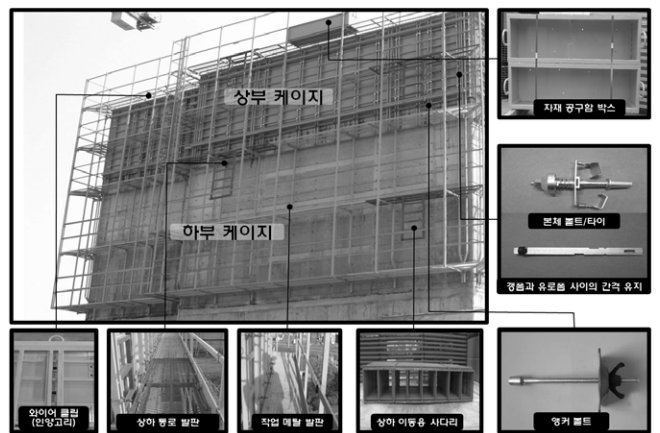


그림 1. 갱폼의 구성

2) 갱폼 인양방법 분석

갱폼의 인양은 타워크레인으로 인양함을 원칙으로 하고 있

며, 타워크레인의 작업 반경 외에는 데릭(Derrick)을 사용하여 인양한다. 데릭을 사용하여 인양할 경우 갱폼 폭이 5m 이상일 때는 2개의 체인블록(5ton)을 사용하고 5m미만일 때는 1개의 체인블록(5ton)을 사용하여 인양하는 것으로 조사되었다(조순문, 2000).

3) 갱폼 인양 작업 프로세스

갱폼 인양작업은 그림 2의 (a)와 같이 콘크리트 벽체와 갱폼을 연결하고 있는 타이볼트(그림 2의 (b))를 해체한 후 타워크레인의 인양 후크를 갱폼의 인양 고리에 결속한다(그림 2의 (c)). 인양장비와 갱폼 간의 연결이 완료된 후 앵글핀(그림 2의 (d))과 앵커볼트(그림 2의 (e))를 해체하고, 갱폼 탈형 및 인양을 수행한다



그림 2. 갱폼 인양 프로세스

(그림 2의 (f)). 상부 층으로 갱폼을 인양한 후 갱폼의 수직/수평을 맞춘 후 갱폼의 하부를 앵커 볼트로 고정하고 상부에서는 앵글 핀과 타이볼트를 설치한다(그림 2의 (g)). 설치가 완료되면 갱폼과 바닥 구조체를 턴버클을 이용하여 연결하여 갱폼의 전도를 방지함으로써 갱폼 인양작업을 완료한다(SK건설, 2007).

2.1.2 갱폼 인양 작업의 문제점 분석

1) 갱폼 설치 및 인양 작업의 사고사례 분석

한국산업 안전관리공단의 갱폼작업 안전지침서(한국산업안전공단, 2000) 상의 갱폼 작업과 관련된 사고 유형 조사결과 ‘갱폼 인양 고리 설치 불량, 갱폼 안전시설 미설치 및 설치불량, 신호 전달체계 미확립, 갱폼 해체 및 인양작업 불량, 갱폼 조립 작업 시 안전수칙 미준수, 갱폼 인양 방법 부적절 및 설치상태 불량, 갱폼 상부 부재에 임의로 밟고 올라섬’과 같이 총 7가지 사고 유형이 있는 것으로 조사되었다. 특히 ‘갱폼 해체 및 인양 작업’ 관련 사고는 매년 평균 4건 정도가 발생하는 것으로 조사되어 갱폼 관련 작업 중 이에 대한 안전사고 발생을 저감시킬 수 있는 기술 개발이 요구된다(그림 3).

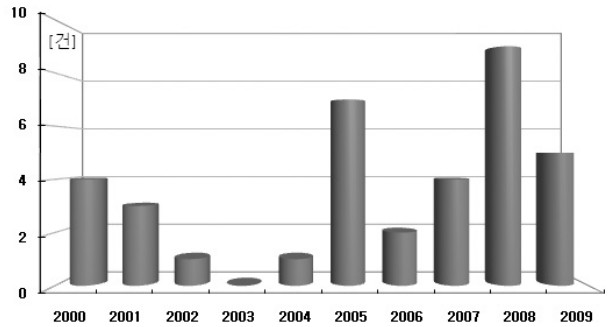


그림 3. 갱폼 인양 및 해체 관련 재해사례

2) 갱폼 설치/해체 및 인양 작업의 문제점 분석

본 연구에서는 갱폼 설치/해체 및 인양 작업의 문제점 분석을 위해 기존 연구 문헌 조사 및 건설현장 관리자 49명을 대상으로 설문 및 인터뷰를 수행하였다. 그 결과 그림 5와 같이 12가지의 문제점이 도출되었다. 본 연구에서는 도출된 12가지의 문제점 중 유사한 항목을 그룹핑하여 다음과 같이 크게 5가지의 문제점으로 요약하였다.

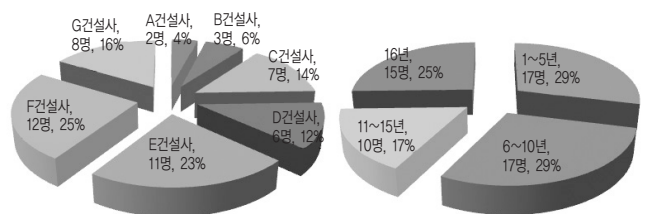
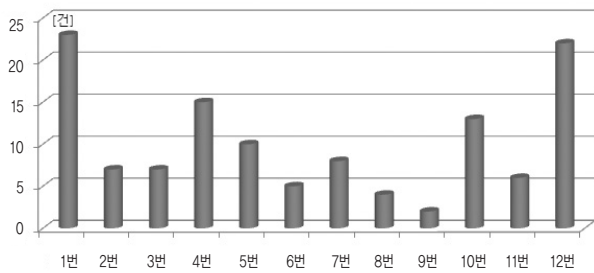


그림 4. 설문 응답자 소속 및 경력 분포



- 1) 근로자의 작업순서 무시에 의한 추락
- 2) 발판과 발판 사이에서의 추락
- 3) 단부 승하강시 추락
- 4) 상부작업 중 자재의 낙하
- 5) 갱폼인양 시 다른 갱폼 및 벽체 충돌
- 6) 갱폼 무게로 인한 갱폼 설치 및 해제 작업의 어려움
- 7) 갱폼탈형 시 반동에 의한 충돌
- 8) 탈형 시 지렛대 사용으로 인한 구조체 파손
- 9) 수직/수평작업 생산성 저하
- 10) 높은 노무자의 숙련도 의존
- 11) 턴버클에 의한 작업자의 이동 간섭
- 12) 기후에 따른 작업 중지 및 T/C의 양중부하 증가

그림 5. 갱폼 인양 작업의 문제점 분석 결과

① 타워크레인 양중 부하 증가로 인한 공기지연

일반적으로 1대의 타워크레인은 공동주택 3~4개동의 건설 자재를 인양하는데 사용되나 갱폼 인양 시에는 타워크레인이 1개동의 작업에 집중적으로 투입된다. 따라서 갱폼 인양 작업 중에는 타워크레인을 나머지 2~3개동의 건설 자재 인양에 사용할 수 없으므로 다른 작업의 공사 수행에 영향을 미치고 있는 것으로 조사되었다.

② 갱폼 인양 중 안전사고 증가

갱폼 관련 사고 사례를 분석한 결과, 노무자가 타워크레인과 갱폼 와이어로프 클립이 체결되지 않은 상태에서 갱폼의 체결 볼트를 풀어 지상으로 추락하는 사고가 발생하고 있다. 또한 타워크레인과 갱폼은 인양 중 와이어로프로 연결되어 있으므로 갱폼 자중에 의한 관성 및 바람의 영향으로 흔들림이 발생하여 노무자의 안전사고가 발생하고 있는 것으로 조사되었다(SK건설, 2007).

③ 갱폼 박리 작업의 생산성 저하

구조체 콘크리트 양생 후 갱폼을 상부로 인양하기 위해 2~3명의 노무자가 지렛대를 이용하여 갱폼의 박리작업을 수행한다. 그러나 이 과정에서 갱폼이 공동주택 외벽 콘크리트와 부착되어 쉽게 박리되지 않아 작업 생산성이 저하되는 것으로 조사되었다.

④ 기후의 영향으로 인한 작업 중지

공동주택공사에 있어서 갱폼 인양 작업은 대부분 타워크레인 에 의해 수행된다. 타워크레인은 노동부령에 의한 산업안전기준에 관한 규칙(고용노동부, 2010)의 적용으로 순간풍속이 매 초당 20미터를 초과하는 경우 작업을 수행할 수 없으므로 갱폼 인양 작업을 수행할 수 없다. 따라서 기후에 의한 영향으로 갱폼

인양 작업을 수행하지 못함으로써 계획 공정이 지연되는 사례가 발생하고 있는 것으로 조사되었다.

⑤ ACS보다 높은 노무비, 낮은 생산성과 품질

갱폼은 초고층 건축물에서 사용하는 ACS에 비해 인양속도가 느린 단점(112.4m² 1층 4세대 기준 갱폼 인양 작업 생산성: 1일/층, ACS 인양 작업 생산성: 2~3시간/층)을 지니고 있으며, 인양 노무 인력이 많이 소요되고(갱폼: 4~5명, ACS 폼: 2~3명), 콘크리트 면의 평활도 및 수직/수평도 확보 측면에서도 ACS가 우수한 것으로 분석되었다.

2.2 국내외 관련기술개발 동향분석

국내외에서는 공동주택 및 초고층 빌딩의 외벽 및 코어(core) 부위 거푸집을 자동으로 인양하여 안전성 및 품질, 생산성 향상을 위해 ACS 및 RCS, GCS 등의 자동화 장비가 개발되었다.

1) ACS(Auto Climbing System)

ACS는 타워크레인의 도움 없이 유압 펌프를 이용하여 거푸집 및 작업발판을 인양하는 시스템으로 초고층 시공 시 공기 단축 및 콘크리트 작업 품질을 향상시킬 수 있는 시스템으로 평가받고 있다. ACS는 1)매립 앵커, 2)앵커와 직접 연결되는 캔틸레버 브라켓, 3)외벽용 거푸집, 4) 거푸집 설치 및 콘크리트 작업을 수행하기 위해 작업발판이 부착된 비계유닛(Scaffolding Unit)으로 구성된다. 작업발판은 용도에 따라 최대 7단까지 설치할 수 있으며, 외벽거푸집은 수평이동 구동장치(Running Gear)에 고정되어 있어 수평이동이 가능하고, 최대 후진거리는 약 75cm이다(신한우 2007). ACS는 인양 시 브라켓 마다 유압호스가 부착되므로 유압호스를 이동할 필요 없이 한번에 전체 시스템의 인양이 가능하며, 정리가 용이한 장점을 지니고 있다.

2) RCS(Rail Climbing System)

RCS는 타워크레인 또는 유압펌프를 이용하여 거푸집 및 작업발판을 인양하는 시스템으로 초고층 건축물 시공에 이용된다. RCS는 1회에 2스팬의 인양이 가능하며, 이동완료 후 다음 스팬으로 이동시 유압호스 및 실린더를 작업자가 직접 이동하여 설치한다는 점에서 ACS와 차이가 있다.

3) GCS(Guide-rail Climbing System)

GCS는 ACS나 RCS와 같이 앵커 슈 및 레일 시스템으로 구성되어 있으나 인양 동력원이 유압을 이용한 자체 인양방식이 아닌 타워크레인을 이용하는 방식이다. 기존 갱폼과 동일하게 타워크레인을 사용하고 있지만 앵커 슈 및 레일을 이용함으로써 갱폼 인양 중 바람에 의한 갱폼의 흔들림을 방지할 수 있도록 설계되어 작업 안전성을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 표 1과

표 1. 각 시스템 별 특징 분석

| 분류 | | ACS | RCS | GCS | Gangform |
|------|------|--|---|---|---|
| 적용건물 | 건물형태 | · ACS Rail을 이동시킬 수 있는 형태로 되어 있는 건축물 | · RCS Rail을 이동시킬 수 있는 형태로 되어 있는 건축물 | · GCS Rail을 이동시킬 수 있는 형태로 되어 있는 건축물 | · 제약사항 없음 |
| | 건물높이 | · 40층 이상 | · 20~40층 내외 | · 20~40층 내외 | · 25층 내외 |
| 시공성 | 인양방식 | · 자체유압시스템으로 자동인양 | · 타워크레인 또는 자체유압시스템으로 인양 | · 타워크레인으로 인양 | · 타워크레인으로 인양 |
| | 인양시간 | · 1층당 2~3 시간소요 | · 1 unit당 5분 소요 (한번에 50Cm상승) | · 1 unit당 5~10분 소요 | · 1 unit당 15~20분 소요 |
| | 제약사항 | · 없음 | · 없음 | · 타워크레인 시간 배정이 요구됨. | · 타워크레인 시간 배정이 요구됨 |
| | 공정관리 | · 바람의 영향 거의 없음 · 공정관리 용이 · T/C의 효율을 극대화 할 수 있으며, 장비용량을 줄일 수 있음 | · 바람의 영향 거의 없음 · 공정관리 용이 · T/C의 효율을 극대화 할 수 있으며, 장비 용량을 줄일 수 있음 | · 기상조건(바람)의 영향을 많이 받으며 공정관리가 어려움 · T/C에 의존해야 하며, T/C 시간 배정계획에 영향을 받음 | · 기상조건(바람)의 영향을 많이 받으며 공정관리가 어려움 · T/C에 의존해야 하며, T/C 시간 배정계획에 영향을 받음 |
| 안전성 | 고정방법 | · Anchoring에 의함 | · Anchoring에 의함 | · Anchoring에 의함 | · Anchoring에 의함 |
| | 풍하중 | · 풍 하중을 고려하여 설계됨 | · 풍 하중을 고려하여 설계됨 | · 풍 하중을 고려하여 설계됨 | · 풍 하중을 고려하지 않음 |
| | 작업발판 | · 주 작업발판 폭 2.8m | · 주 작업발판 폭 2.8m | · 주 작업발판 폭 2.4m | · 주 작업발판 폭 0.6~0.8m |
| | 낙하 | · 설치, 해체, 인양 시 모두 낙하 위험이 적고 안전함 | · 설치, 해체, 인양 시 모두 낙하 위험이 적고 안전함 | · 설치, 해체, 인양 시 모두 낙하 위험이 적고 안전함 | · 위험성 내제 |

같이 ACS 및 RCS, GCS, 갱폼을 적용건물, 시공성, 안전성 측면에서 각 시스템별 특성분석을 수행하였다. 적용건물에서는 자체유압으로 인양시키는 ACS와 RCS가 고가의 임대비용으로 인해 초고층 건물에 적용 시 경제성이 확보되어 주로 40층 이상의 건축물에 사용되고 있다. 인양시간 측면에서는 타워크레인의 동력에 의존하는 타 시스템에 비해 ACS와 RCS가 생산성이 좋은 것으로 분석되었다. GCS는 타워크레인을 인양 동력원으로 이용하므로 인양 작업 생산성은 갱폼과 유사한 것으로 도출되었고, GCS 및 갱폼 모두 타워크레인의 양중 부하를 증가시키고 있는 것으로 분석되었다.

갱폼 인양 작업이 지니고 있는 문제점을 해결하기 위해 국내외 관련 업계를 중심으로 갱폼 인양과 관련된 다양한 연구 및 기술개발 노력이 수행되어 왔으나, 국내 30층 이하 규모의 공동주택에 적용 시 경제적 타당성이 낮아 개발된 기술의 효용성(공기 단축, 안전성 및 품질확보 기능)에도 불구하고 국내 공동주택 현장에서는 사용되지 못하고 있는 실정이다. 즉, 현재 40층 이상 초고층 주상복합 건축물 및 오피스 건축물 등에서는 ACS 및 RCS를 사용하여 코어 및 외벽 콘크리트 타설 및 양생 작업을 위해 이용하고 있으나 초기 설치비 및 임대비용이 고가이므로 일반적인 공동주택에는 사용되지 못하고 있다. 본 연구에서는 표 2와 같이 109m² 1층 4세대 28층 공동주택을 기준으로 ACS와 갱폼 사용 시의 비용을 분석한 결과, ACS를 사용할 경우 갱폼 사용 시 보다 약 4배의 비용이 더 소요되는 것으로 분석되었다. 따라서 현재까지 개발된 초고층용 갱폼 자동인양 시스템을 공동주택에 적용할 경우 경제적 타당성이 낮은 것으로 분석되었다.

표 2. ACS와 Gangform의 비용 분석

| | ACS 비용(원) ¹⁾ | Gangform 비용(원) ²⁾ |
|--------------|-------------------------|------------------------------|
| ACS 설치/해체 비용 | 20,800,000 | - |
| 임대비(4개월) | 156,000,000 | - |
| 보증금+기타장비비용 | 7,000,000 | - |
| 노무비(28개층) | 5,237,960 | 10,878,840 |
| Gangform 비용 | - | 34,090,000 |
| 총계 | 189,037,960 | 44,968,840 |

※ 비용 분석시 사용된 단가는 국내 최대 거꾸집 업체인 ㈜삼목정공의 단가를 적용하였음.

1) ACS비용분석 (4일공정 28층 기준), (※ 갱폼1장당 1벌의 ACS 사용)

- ① ACS설치&조립&해체비용 (고정비용)
 - ▷ 109m² 4세대 한층 벽체길이 : 126.8m
 - ▷ 필요 갱폼 수: 126.8m ÷ 갱폼 한 장 길이 9.75m = 13장
 - ▷ 갱폼 13장 × ACS비용(조립비100만원+설치비30만원+해체비30만원) = 2080만원
- ② 임대비 (ACS 1벌 당 300만원/월)
 - ▷ 13장 × 300만원 = 3,900만원/월 × 4달(112일) = 1억5600만원
- ③ 보증금 + 기타장비 판매가격 700만원(고정비용)
- ④ 인양노무비용 (노무자2명, 작업시간8시간)
 - ▷ 2명 × 100,730원 = 201,460원 × 26(인양층수) = 5,237,960원 (※ 최초 2개층은 일반 알폼이나 유료폼 사용)

2) 갱폼비용분석 (7일공정 28층 기준)

- ① 갱폼 비용
 - ▷ 109m² 4세대 한층 벽체면적 : 355.12m²
 - ▷ 갱폼의 m²당 단가 : 96,000원/m²
 - ▷ 355.12m² × 96,000원/m² = 3,409만원
- ② 인양노무비용 (노무자4명, 작업시간8시간)
 - ▷ 4명 × 100,730원/일 = 402,920원 × 27(인양층수) = 10,878,840원 (※ 최초 2개층은 일반 알폼이나 유료폼 사용)

ACS와 갱폼 사용 시 공사기간 측면에서 비교분석 결과 골조 공사에 ACS를 사용할 경우 4일 사이클로 작업이 진행되므로 표 3과 같이 109m² 1층 4세대 28층 공동주택을 기준으로 약 70일의 공사기간 단축이 가능하며, 층수가 높아질수록 공기단축 효과는 더욱 클 것으로 분석되었다.

표 3. ACS와 Gangform의 공사기간 분석

[단위: 일]

| 분류 | 초기설치 | 1F* | 2F* | 3F | 4F | 5F | 6F | 7F |
|------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ACS: 4 Day cycle | 15 | 22 | 29 | 33 | 37 | 41 | 45 | 49 |
| GF: 7 Day cycle | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 |
| 분류 | | 8F | 9F | 10F | 11F | 12F | 13F | 14F |
| ACS: 4 Day cycle | | 81 | 85 | 89 | 93 | 97 | 101 | 105 |
| GF: 7 Day cycle | | 112 | 119 | 126 | 133 | 140 | 147 | 154 |
| 분류 | | 15F | 16F | 17F | 18F | 19F | 20F | 21F |
| ACS: 4 Day cycle | | 81 | 85 | 89 | 93 | 97 | 101 | 105 |
| GF: 7 Day cycle | | 112 | 119 | 126 | 133 | 140 | 147 | 154 |
| 분류 | | 22F | 23F | 24F | 25F | 26F | 27F | 28F |
| ACS: 4 Day cycle | | 109 | 113 | 117 | 121 | 125 | 129 | 133 |
| GF: 7 Day cycle | | 161 | 168 | 175 | 182 | 189 | 196 | 203 |

* ACS와 갱폼 모두 1, 2층 시공을 위해 알루미늄 폼 또는 유로폼 사용 (공기 7일/층 소요)

따라서 본 연구에서는 국내 건설 시장의 대부분을 차지하고 있는 30층 이하 공동주택을 대상으로 기존 첨단 갱폼 자동 인양 시스템이 공동주택에 폭넓게 이용되는 못하는 주요 원인인 경제적 측면의 문제점을 해결하고, 첨단 갱폼 자동 인양 시스템이 지닌 장점인 '타워크레인의 양중 부하 감소, 작업 안전성 및 생산성 향상, 콘크리트 품질 향상 등'을 모두 갖춘 '공동 주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술'을 제안하고자 한다.

3. 갱폼 인양 자동화 기술 개발을 위한 고려요소 도출

3.1 고려요소 도출 및 요구조건 정의

본 연구에서는 '공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술'의 실용화 가능성 확보를 위해 현장조사 및 전문가 인터뷰, 갱폼 설치 규정 및 프로세스 분석, 기존문헌 및 관련기술개발 동향분석 등을 수행하였다. 그 결과, 기존 갱폼 인양 작업이 지니고 있는 문제점을 해결하기 위한 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발시 표 4와 같이 핵심고려요소³⁾ 1가지와 보조고려요소⁴⁾ 6가지

- 1) 핵심고려요소는 갱폼의 상부 인양을 위한 동력원을 포함한 인양 방법에 대한 기술로 공동주택 전용 갱폼 자동화 기술 중 가장 중요한 역할을 수행한다.
- 2) 보조고려요소는 갱폼 인양 작업의 편의성 및 생산성, 안전성 향상 등을 위해 고려되어야 하는 주요 기술이다.

의 개발이 요구되는 것으로 분석되었다. 단, 설문조사 결과 문제점으로 지적된 "근로자의 작업순서 무시 및 소홀에 의한 낙하/추락 재해"는 기존 갱폼 인양 작업의 기술적인 문제점이 아닌 관리적 차원의 문제이므로 기술적 고려요소에서 제외하였다.

표 4. 문제점 해결 및 갱폼 인양 자동화 기술 개발을 위한 고려요소

| 구분 | 문헌 및 설문조사를 통한 문제점 | 문제점 구분 | 고려요소 |
|---------|-----------------------------------|----------------------------|--|
| 핵심 고려요소 | · 기후(바람)에 따른 작업 중지 및 T/C의 양중부하 증가 | · 타워크레인 양중 부하 증가로 인한 공기 지연 | 갱폼 인양기술 |
| | | · 기후(바람)의 영향으로 인한 작업 중지 | |
| 보조 고려요소 | · 발판과 발판 사이에서의 추락 | · 갱폼 인양 중 안전사고 증가 | A6. 노무자 추락 및 자재와 공구의 낙하 방지 기술 |
| | · 단부 승하강시 추락 | | A5. 갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술 - 갱폼 인양 기술(핵심 고려요소) |
| | · 상부작업 중 자재의 낙하 | | A1. 갱폼 박리 및 수평 이동 기술 |
| | · 갱폼인양 시 다른 갱폼 및 벽체 충돌 | | A5. 갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술 - 갱폼 인양 기술(핵심 고려요소) |
| | · 갱폼탈형 시 반동에 의한 충돌 | | A5. 갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술, A2. 갱폼간 조립/해체 기술 |
| | · 턴버클에 의한 작업자의 이동 간섭 | | A4. 갱폼 수직/수평 조절 기술 |
| | · 노무자의 숙련도 의존 | · ACS보다 높은 노무비, 낮은 생산성과 품질 | A3. 갱폼 경량화 기술 |
| | · 수직/수평작업 생산성 저하 | | A1. 갱폼 박리 및 수평 이동 기술 |
| | · 갱폼 무게로 인한 갱폼 설치 및 해체 작업의 어려움 | | |
| | · 박리 작업시 낮은 생산성 및 구조체 파손 | · 갱폼 박리 작업의 생산성 저하 | |

3.1.1 핵심고려요소(갱폼 인양기술)

타워크레인에 전적으로 의존(갱폼 부하 증가)하고 있고, 기후에 의한 영향을 많이 받고 있는 기존 갱폼 인양 작업을 주상복합 건축물 및 오피스 건축물 등 초고층 건축물에 사용되고 있는 ACS와 같은 자동인양 시스템으로 대체 활용하기 위해서는 갱폼을 상부 방향으로 이동시키기 위한 동력이 요구된다. 기존 문헌 및 특허, 최신 요소기술 등의 분석을 통해 갱폼을 상부로 인양하기 위해 요구되는 동력원관련 요소 기술을 분석하고, 공동주택에 최적화된 요소 기술을 선정해야 한다.

3.1.2 보조고려요소

1) 갱폼 박리 및 수평 이동 기술

콘크리트가 경화된 후 갱폼은 공동주택 외벽과 박리되어야 상부 인양 작업이 수행될 수 있다. 그러나 기존 갱폼을 이용할 경우 2~3명의 노무자가 지렛대를 이용하여 갱폼을 콘크리트 외벽으로부터 박리하는 작업을 매우 어렵게 수행하고 있다(박리작업

생산성: 20~30분/1판). 갱풍 박리 및 수평 이동 기술은 구조체로부터 갱풍 박리 시 다른 갱풍과의 충돌을 방지하고, 반동에 의한 구조체와의 충돌 및 갱풍과 구조체의 파손을 방지하기 위해 요구되는 기술이다. 또한 공동주택 외벽에는 리브와 같은 돌출 부위가 있으므로 갱풍을 상부로 이동하기 위해서 갱풍을 공동주택 외벽 밖으로 수평이동을 선행한 후 이동해야 한다. 갱풍 상부 인양을 위한 부속 자재를 공동주택 외벽에 설치하기 위한 작업 공간을 확보하기 위해 갱풍을 공동주택 외벽 밖으로 수평이동시킨 후 작업을 수행해야 하므로 갱풍 인양 시스템 개발 시 갱풍 수평이동 기술의 개발을 고려해야 한다.

2) 갱풍 간 조립/해체 기술

현재 갱풍 상호간은 600mm 간격으로 웨지핀을 이용하여 체결된다. 갱풍 간 조립/해체 작업을 수행하기 위해 노무자가 타워크레인에 매달려 있는 갱풍 안으로 들어가 웨지핀 체결/해체 작업을 수행하므로 산업안전보건공단의 사고 사례(그림 3)와 같이 노무자는 안전사고 위험에 항상 노출되어 있다. 즉, 타워크레인이 갱풍을 잡고 있지 않은 상태에서 갱풍 고정 웨지핀을 해체할 경우 추락사고로 이어져 중대 안전사고가 발생하게 된다. 본 연구에서는 갱풍 간 연결 작업을 보다 시스템화하여 용이한 방법으로 체결할 수 있도록 하는 방안에 대한 연구를 수행함으로써 작업 생산성 향상 및 노무자의 안전성을 확보해야 한다.

3) 갱풍 경량화 기술

갱풍 1판의 무게는 약 3~4ton으로 갱풍을 인양하는 타워크레인 용량 결정시 및 인양 자동화시스템의 인양동력(유압/펌프, 윈치, 체인 블록 등) 용량 결정시 매우 중요한 변수가 된다. 즉, 갱풍 1판의 무게가 무거운 경우 인양 용량이 큰 타워크레인 및 인양 자동화시스템의 인양동력을 사용해야 하므로 공사비 증가요인이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 안전성을 유지하며 갱풍 자체의 무게를 경감시킬 수 있는 방안에 대해서 연구함으로써 갱풍 인양 비용을 절감시킬 수 있는 기술 개발이 요구된다.

4) 갱풍 수직/수평 조절 기술

기존 타워크레인에 의해 양중된 갱풍이 상부로 인양된 후 해당 층에 도달되면 노무자는 갱풍의 수직/수평을 구조체의 허용오차 범위(±6mm: LH공사 시방기준) 내에서 맞춰야 구조체의 안전성 및 창호 수직/수평, 기타 내부 마감의 정밀도를 향상시킬 수 있다. 이를 위해 현재 레이저 레벨 및 다림추를 이용하여 갱풍의 수직/수평 맞추기 작업을 수행한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 갱풍 인양 자동화시스템에서도 갱풍의 수직/수평을 용이하게 조절할 수 있는 시스템의 개발이 요구되며, 이를 통해 작업의 정확도 및 생산성을 향상시킬 수 있어야 한다.

5) 갱풍 고정/해체 및 낙하 방지 기술

현재 갱풍은 그림 6과 같이 600mm 간격으로 설치된 앵커볼트에 의해 공동주택 외벽에 부착되며 갱풍 간 해체 시와 마찬가지로 앵커볼트 해체 작업 시 대부분의 안전사고가 발생하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 갱풍을 상부로 인양 및 고정하기 위해서 새로운 형태의 갱풍과 구조체를 고정/해체시킬 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 즉, 작업생산성을 향상시킬 수 있으며, 갱풍 인양 자동화시스템이 공동주택 외벽에서의 낙하를 방지하기 위해 구조적으로 견고하고 안정된 고정/해체 기술의 개발이 요구된다.

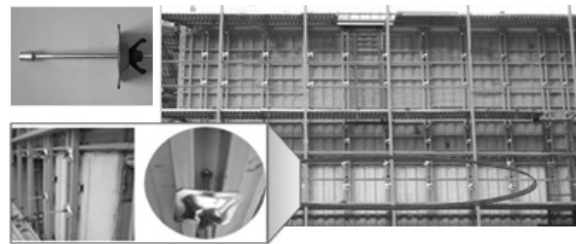


그림 6. 갱풍과 구조체 연결을 위한 앵커볼트

6) 노무자 추락 및 자재와 공구의 낙하 방지 기술

현장조사 및 현장 관리자와의 인터뷰 결과 갱풍의 케이지 발판과 구조체간 이격거리가 15cm 이상으로써 콘크리트 잔재물이나 기타 자재 등의 낙하로 인한 위험성이 존재하는 것으로 조사되었다. 또한 노무자가 케이지 발판 내부 및 단부의 상하 이동시 추락 위험성에 노출되어 있는 것으로 조사되었다. 따라서 갱풍 케이지 발판 사이에서의 낙하/추락 방지를 위한 노무자 추락 및 자재/공구의 낙하 방지를 위한 기술개발이 요구된다.

표 5는 공동주택 전용 갱풍 인양 자동화 기술 개발을 위해 요구되는 보조고려요소와 각 보조고려요소의 개발시 요구되는 세부고려요소를 정의한 것이다.

표 5. 보조고려요소 및 세부고려요소

| | 보조 고려요소 | 보조 고려요소 개발을 위한 세부고려요소 |
|----|---------------------------|--|
| A1 | 갱풍 박리 및 수평 이동 기술 | A1-1 다른 갱풍과 충돌 방지 기술 |
| | | A1-2 갱풍 탈영 시 반동에 의한 충돌 방지 기술 |
| | | A1-3 갱풍 탈영 시 구조체 파손 방지 기술 |
| A2 | 갱풍간 조립/해체 기술 | A2-1 갱풍간 조립/해체시 작업 편의성 및 생산성 향상, 안전성 확보 기술 |
| A3 | 갱풍 경량화 기술 | A3-1 갱풍 무게를 감소시킬 수 있는 기술 |
| A4 | 수직/수평조절기술 | A4-1 갱풍 수직/수평 작업의 정확성 및 생산성 향상 기술 |
| A5 | 갱풍 고정/해체 및 낙하 방지 기술 | A5-1 갱풍 고정을 위한 고정장체(앵커 볼트) 설치 및 해체 작업의 안전성 향상 기술 |
| | | A5-2 앵커볼트 설치 작업의 생산성 향상 기술 |
| | | A5-3 갱풍 낙하 방지 기술 |
| A6 | 노무자 추락 및 자재와 공구의 낙하 방지 기술 | A6-1 노무자 추락 방지 기술 |
| | | A6-2 자재와 공구의 낙하 방지 기술 |

3.2. 고려요소의 효용성 평가를 위한 설문 분석

본 연구에서는 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발을 위한 보조 고려요소의 효용성 평가(고려요소의 중요도 및 기대효과 - 기술개발 가능성 평가)를 위해 종합건설업체 및 전문건설업체 6곳의 건설 현장 관리자 39명을 대상으로 2010년 11월 8일부터 11월 23일까지 약 2주간 현장방문을 통해 설문조사를 수행하였다(그림 7).

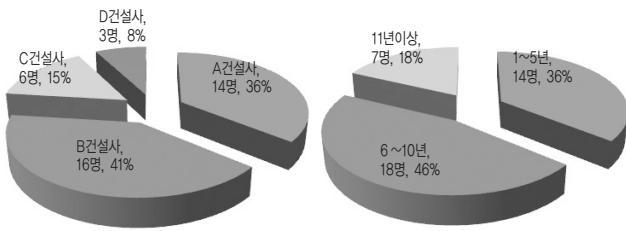


그림 7. 설문조사 응답자 및 경력분포

설문조사는 고려요소 6가지 각 항목의 ‘기술의 중요도 및 기대효과’와 ‘기술개발 가능성’의 두 부분으로 나누어 리커트 5점 척도로 수행되었다. 또한 본 연구에서는 ‘기술의 중요도 및 기대효과’와 ‘기술개발 가능성’ 각각의 상대적 가중치를 추가적으로 조사하고, 각 고려요소들을 정량적으로 평가[(해당기술의 중요도 및 기대효과 점수× 해당기술의 중요도 및 기대효과의 가중치: 0.51)+(기술개발 가능성 점수×기술개발 가능성의 가중치: 0.49)]하여 각 고려요소의 개발 우선순위를 분석하였다(표 6). 우선순위 분석 결과, ‘노무자 추락 및 자재와 공구의 낙하 방지 기술’의 개발이 1순위로 도출되었고, ‘갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술’, ‘갱폼 수직/수평 조절 기술’, ‘갱폼 박리 및 수평 이동 기술’, ‘갱폼 경량화 기술’, ‘갱폼 간 조립/해체 기술’이 각각 차 순위로 분석되었다.

표 6. 각 고려요소의 우선순위

| 우선 순위 | 고려요소 | 해당기술의 중요도 및 기대효과 | 기술개발 가능성 | 기술개발 점수 |
|-------|----------------------------|------------------|----------|---------|
| 1 | A6. 노무자 추락 및 자재공구 낙하 방지 기술 | 4.28 | 4.00 | 4.14 |
| 2 | A5. 갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술 | 4.21 | 3.80 | 4.01 |
| 3 | A4. 수직/수평 조절 기술 | 3.79 | 3.21 | 3.51 |
| 4 | A1. 갱폼 박리 및 수평 이동 기술 | 3.38 | 3.54 | 3.46 |
| 5 | A3. 갱폼 경량화 기술 | 3.54 | 3.18 | 3.36 |
| 6 | A2. 갱폼 간 조립 해체 기술 | 3.08 | 3.28 | 3.18 |
| | 평균 | 3.77 | 3.53 | 3.66 |

고려요소의 효용성 매트릭스 분석 결과, 6가지 고려요소는 모두 ‘중요도 및 기대효과’, ‘기술개발 가능성’이 높음-높음 구역

에 분포되었다. 따라서 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발 시 도출된 6가지의 고려요소는 모두 순차적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

4. 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발을 위한 개념 디자인

4.1 핵심고려요소(갱폼 인양 기술) 개념디자인

4.1.1 핵심고려요소(갱폼 인양 기술)

본 연구에서는 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발시 요구되는 핵심고려요소인 ‘갱폼 인양 기술’로 다음과 같이 ‘원치 개량형 및 유압 데리크형, 내부 인양형’ 3가지 형태의 개념디자인을 제시하였다.

1) 원치 개량형

원치 개량형은 감속기가 포함되어 있는 전동모터를 활용하여 갱폼을 인양하는 방법이다. 동력원으로 전동모터를 사용하므로 유압방식에 비해 제어 측면에 유리하며 구조가 간단하고 비용이 저렴한 장점을 지니고 있다. 반면에 장비가 대형화되어 자중이 무거운 단점을 지니고 있다(그림 8).

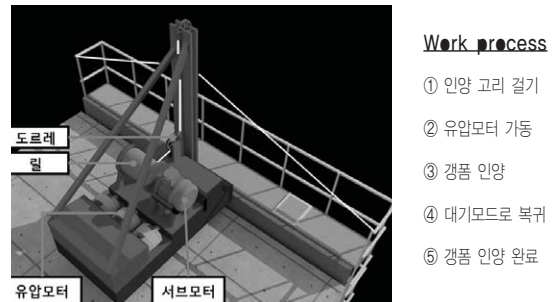
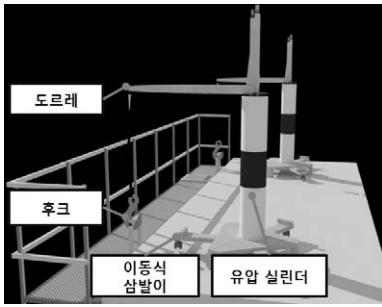


그림 8. 원치 개량형 갱폼 인양 기술

2) 유압 데리크형

유압 데리크형은 최상층에 설치된 유압실린더의 실린더가 상승하면서 유압으로 갱폼을 인양하는 방법이다. 유압 데리크형은 작고 가볍지만 큰 토크와 동력을 낼 수 있으며 전동모터에 비해 급정지 시에도 과부하가 걸리지 않는 장점을 지니고 있다. 또한 유압 데리크형 갱폼 인양 자동화 장비는 장비 하단에 설치된 바퀴에 의해 해당 층에서 수평이동이 가능하고, 해당 층의 콘크리트 타설이 완료되면 타워크레인에 의해 상부로 이동된다. 유압 데리크형 갱폼 인양 자동화 장비는 층고의 높이만큼 실린더의 팽창이 요구되기 때문에 갱폼 인양 시 장비의 높이 변화로 인해 장비자체가 전도될 우려가 있다(그림 9).



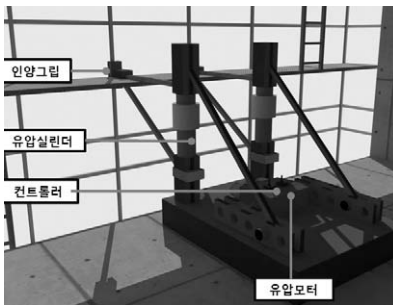
Work process

- ① 인양 고리 걸기
- ② 유압 실린더 왕복 운동
- ③ 갱폼 인양
- ④ 갱폼 인양 완료

그림 9. 유압 데리형 갱폼 인양 기술

3) 내부 인양형

내부 인양형은 '인양층-1층'의 개구부에 설치되어 유압 실린더의 힘으로 갱폼을 상승시키는 방식이다. 장비의 설치 장소가 외부가 아닌 내부이므로 다른 형식에 비해 바람이나 기후의 영향을 덜 받는다는 장점을 지니고 있다. 반면 갱폼 인양 층이 아닌 콘크리트가 타설된 인양-1층에 설치되므로 개구부가 없는 부분에서의 갱폼 인양 작업은 불가능한 단점을 지니고 있다(그림 10).



Work process

- ① 갱폼과 인양 동력원 연결
- ② 유압 실린더 왕복 운동
- ③ 갱폼 인양
- ④ 갱폼 인양 완료

그림 10. 내부 인양형 갱폼 인양 기술

본 연구에서 제안하는 3가지 형태의 갱폼 인양기술(동력원)의 최적 개념 디자인을 선정하기 위해 건설 및 기계관련 연구자 15명을 대상으로 설문조사를 수행하였다. 설문조사는 갱폼을 인양하기 위해 필수적으로 요구되는 항목인 'A:작업 용이성, B:안전성, C:인양용량, D:인양속도'의 4가지 평가척도에 대해 가중치를 AHP분석을 통해 산정하였다. 그 결과, 'A:작업 용이성(0.16), B:안전성(0.48), C:인양용량(0.19), D:인양속도(0.17)'

표 7. 대안별 설문 결과

| 분류 | 원치 개량형 | | | | 유압 데리형 | | | | 내부 인양형 | | | |
|--------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D |
| 응답자 1 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 |
| 응답자 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 2 | 4 | 4 | 5 |
| 응답자 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 응답자 15 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| 평균 | 3.60 | 3.67 | 3.47 | 3.40 | 4.33 | 4.13 | 4.47 | 4.33 | 2.67 | 4.07 | 4.00 | 3.87 |

(1:매우 적다, 2:적다, 3:보통, 4:크다, 5:매우 크다)

로 가중치가 산출되었다. 또한 본 연구에서는 설문을 통해 각 개념 디자인을 4가지 평가척도에 따라 5점 척도로 가치를 정량화하여 그 값과 가중치를 곱한 결과 값의 비교를 통해 기술적 타당성 분석을 실시하였다(표 7).

제안된 3가지 형태의 갱폼 인양 방법의 기술적 타당성 분석 결과, 갱폼 인양을 위한 동력원의 수평 이동성이 확보되어 작업 용이성이 우수하고 유압 실린더를 사용하므로 적은 힘으로 큰 중량을 들어 올릴 수 있으며 인양속도 면에서 우수한 특성을 지닌 '유압 데리형'이 최적 대안으로 선정되었다. 한편 본 연구에서는 유압 데리형 인양 방법의 문제점으로 예상되는 인양 시 장비의 높이 변화에 따른 장비자체의 전도위험을 해결하기 위한 요소기술 분석을 수행하였다. 전도 방지를 위해서는 바닥 슬라브 콘크리트 타설시 앵커 볼트를 매입하여 유압 데리를 지지하는 방법(그림 11의 (b))과 장비 지지부인 삼발이에 흡착판을 설치하여 장비와 콘크리트 면과의 부착을 증대시키는 방법(그림 11의 (c))을 고려할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한, 유압 데리 2대로 갱폼 인양 작업 시 불균형적인 인양 및 전도를 방지하기 위해 길이조절이 가능한 전도방지벨트(그림 11의 (a))의 사용을 고려할 수 있다.

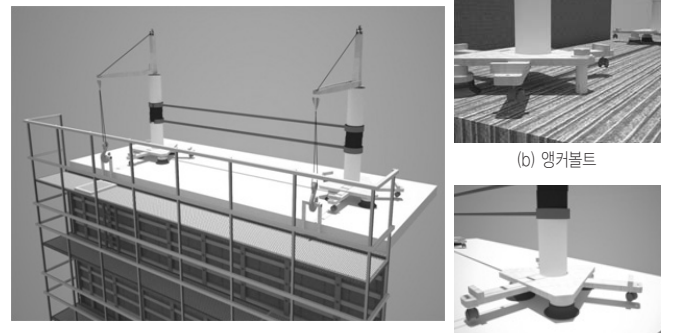


그림 11. 개선된 유압 데리형 갱폼 인양 기술

4.2 보조 고려요소 개념디자인

4.2.1 노무자 추락 및 자재공구 낙하 방지 기술

갱폼은 케이지 발판부가 구조체와 약 15cm이상 떨어져 있어 노무자 추락 및 자재공구의 낙하로 인한 위험성이 존재하는 것으로 분석되었다(그림 12의 (a)). 이를 방지하기 위하여 케이지 작업발판에 보조발판(그림 12의 (b))을 추가적으로 설치하여 갱폼 인양 작업 시에는 보조발판을 접고 갱폼 인양 후 후속 작업 시에는 펼칠 수 있는 구조로 발판부를 제안하였다(그림 12). 케이지 작업발판에 보조발판을 설치(그림 12의 (b))하고 슬라이드식 코너부 작업발판(그림 12의 (d))을 설치함으로써 표 5의 세부 고려요소인 노무자 추락 방지(A6-1)와 자재와 공구의 낙하 방지(A6-2)가 가능할 것으로 판단된다.



그림 12. 작업발판의 개념 디자인

4.2.2 갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술

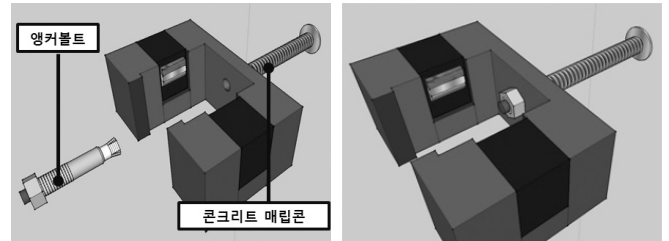
갱폼은 타워크레인에 의해 인양되므로 기후의 영향에 민감하며, 인양 작업 중 기후나 현장상황에 따라 갱폼의 흔들림이 발생하는 문제점을 지니고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 상대적으로 기후의 영향을 덜 받으며 갱폼의 흔들림 현상을 방지할 수 있도록 ACS 품의 ‘레일-슈 시스템’을 변경하여 사용하였다. ACS품의 ‘레일-슈 시스템’은 30m/s의 바람에도 견딜 수 있으며 레일이 슈에 구속되므로 갱폼의 낙하를 방지할 수 있도록 고안되었다. 그러나 ACS품의 상부 슬라이드를 위한 레일(H빔 플랜지) 한쪽면만 슈에 구속되므로 각 레일의 한쪽 면에 ACS품 전체 하중이 편중되는 현상이 발생하여 레일의 단면 및 두께가 두꺼워져 전체 시스템의 중량이 무거워지는 단점이 있다(그림 13).



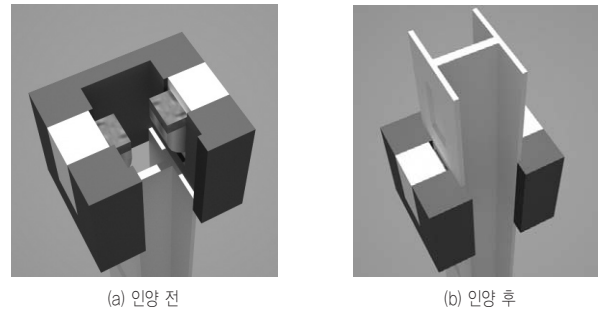
그림 13. ACS의 문제점

따라서 본 연구에서는 ‘레일-레일박스(슈)시스템’을 개발하여, 그림 14와 같이 슬라이딩 레일이 레일박스 내부에 완전히 구속되도록 함으로써 갱폼 인양 작업의 안전성을 보다 더 확보할

수 있도록 하였다. 즉, 레일에 일정 간격으로 홈을 두어 슬라이딩 레일 상승 시 레일박스안의 자동 잠금 시스템에 의해 레일이 하부로 미끄러지지 않도록 설계함으로써 갱폼의 낙하를 방지할 수 있도록 하였고(표 5의 A5-3), 강한 바람에도 흔들림이 없이 갱폼 인양 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술인 ‘레일-레일 박스(슈) 시스템’의 개발로 노무자는 타워크레인의 로프가 아닌 레일에 구속된 갱폼 케이지에서 갱폼의 설치 및 해체 작업을 안전하게 수행할 수 있고(표 5의 A5-1), 작업 생산성의 향상이 기대된다(표 5의 A5-2).



(a) 앵커볼트 매입 전 (b) 앵커 볼트 매입 후



(a) 인양 전 (b) 인양 후

그림 14. 레일-레일박스(슈) 시스템

4.2.3 수직/수평 조절 기술

본 연구에서 제안하는 갱폼 인양 자동화 장비는 ‘레일-레일박스 시스템’을 적용하여 장비의 최초 설치 작업이 정확히 수행될

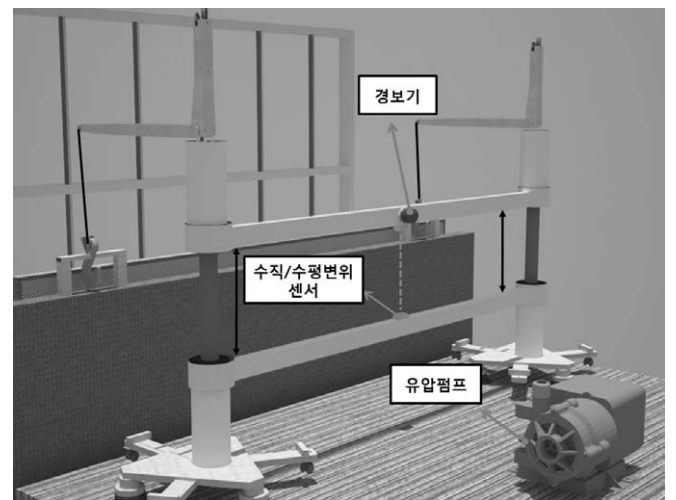


그림 15. 인양 동력원의 구성

경우 단면의 변화 없이 최상층까지 공사가 수행되는 공동주택의 특성 상 갱폼 인양 작업 시 정확한 수직/수평도의 확보가 가능할 것으로 판단된다(표 5의 A4-1). 한편, 갱폼 인양 시 보다 정확한 수직/수평 조절을 위해 전도방지 벨트의 상하부에 수직변위 센서와 경보기를 부착시켜 수직/수평이 맞지 않을 경우 경보음이 울려 인양 노무자가 실시간으로 인양장비의 수직/수평을 점검할 수 있도록 하였다(그림 15).

4.2.4 갱폼 박리 및 수평이동 기술

갱폼 박리 및 수평이동 기술은 구조체 파손 방지 및 작업 생산성 향상을 위해 요구되는 기술이다. 본 연구에서는 케이지 수평 부재에 랙앤피니언을 설치하고 유압장치를 사용하여 갱폼이 수평이동 할 수 있도록 설계하였다. 즉, 그림 16과 같이 케이지와 구조체가 레일과 슈에 의해 구속된 상태에서 유압실린더를 팽창/수축시키면 갱폼이 수평방향으로 랙앤피니언을 따라 움직일 수 있도록 고안하였다(그림 16). 즉, 갱폼은 랙앤피니언을 따라 수평이동 되므로 갱폼간 충돌(표 5의 A1-1) 및 반동에 의한 구조체와의 충돌(표 5의 A1-2)을 방지 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 갱폼의 박리를 위해 지렛대가 아닌 유압을 사용하므로 구조체 파손 가능성이 없을 것으로 기대된다(표 5의 A1-3).

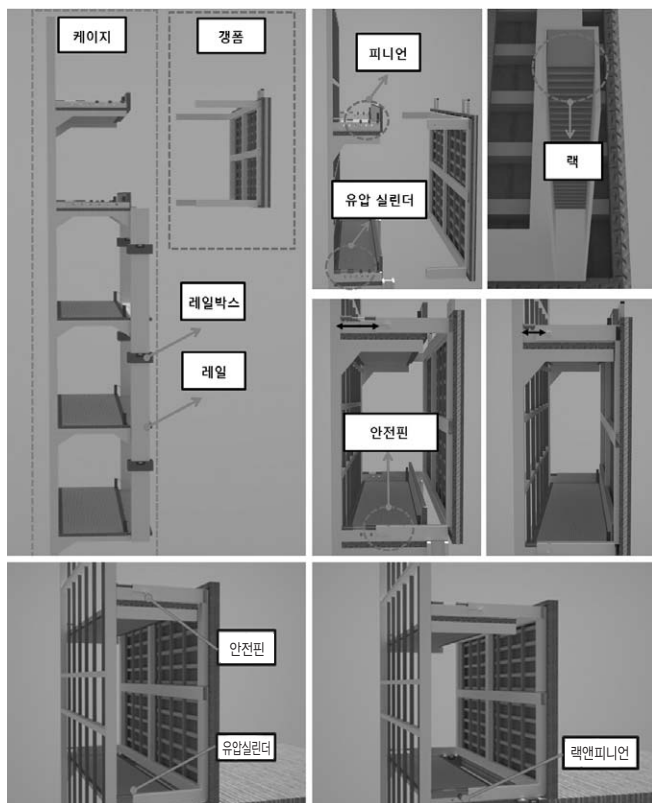


그림 16. 수평이동 기술

4.2.5 갱폼 경량화 기술

공동주택 1개 층(층당 109m² 4세대 기준)은 30여개의 갱폼으로 이루어져 있으며 가장 큰 갱폼은 약12m의 측벽에 설치되는 4.5톤의 갱폼이다. 본 연구에서 제안하고 있는 테리형 인양 시스템의 유압실린더는 안전율을 고려하여 9톤의 중량을 인양할 수 있다. 따라서 공동주택에서 사용되는 갱폼을 인양하기 위한 충분한 동력을 확보하고 있으며, ACS 및 RCS와 비교하여 갱폼 수평조절 부위 및 작업발판 폭의 감소로 인해 전체 시스템의 무게를 감소시킬 수 있다(표 5의 A3-1).

4.2.6 갱폼 간 조립/해체 기술

본 연구에서는 기존 웨지핀으로 연결되던 갱폼 간 연결 방법을 노무자의 안전성 확보와 작업 생산성 향상을 위해 그림 17의 (a)와 같이 각 갱폼의 측면에 홈과 돌기를 두어 갱폼이 고정(체결)된 상태에서 상하 이동을 방지하였으며, 갱폼 간 좌우로 벌어지는 것을 방지하기 위해 ‘c’자 형태의 덮개를 체결할 수 있도록 하였다. ‘c’자 형태의 덮개는 한쪽 갱폼에 고정되어 있으며, 힌지 구조로 되어 있어 열고 닫을 수 있도록 설계되었다. ‘c’자 형태의 덮개를 닫은 상태에서는 볼트를 체결하여 덮개가 풀리지 않도록 하였다. 본 연구에서 제안한 ‘레일-레일 박스 시스템(그림 14) 및 갱폼간 조립/해체 기술을 활용함으로써 노무자는 타워 크레인 와이어에 매달린 갱폼 케이지에서 설치/해체 작업을 수행하지 않고, 갱폼간 조립/해체 작업 편의성 및 생산성 향상으로 인해 위험에 노출된 작업 시간이 현저히 감소되어 작업 안전성을 향상시킬 수 있는 것으로 기대된다(표 5의 A2-1).



그림 17. 갱폼 간 연결 기술

4.3 갱폼 인양 자동화 장비의 작업 프로세스 및 기술적 타당성 검토

4.3.1 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 장비의 작업 프로세스

본 연구에서 제안하는 갱폼 인양 자동화 장비의 개념디자인은 다음 그림 18와 같다.

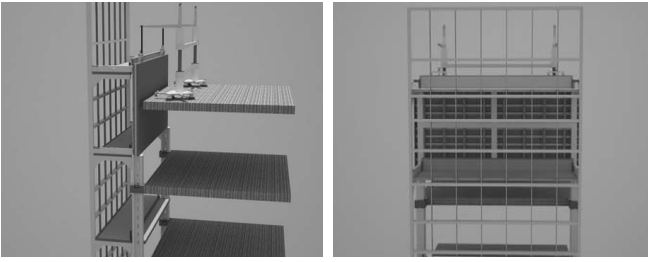


그림 18. 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 장비의 개념디자인

본 연구에서 제안하는 갱폼 자동 인양 장치의 개념 디자인의 작업 프로세스는 다음과 같다(그림 19).

- ① 케이지와 갱폼 연결 : 본 시스템을 설치하기 위해 선 시공된 구멍에 레일박스를 앵커볼트 체결을 통해 설치한다. 그 후 레일과 작업발판 등으로 구성된 케이지를 레일박스에 구속시키고 갱폼의 락과 케이지의 피니언을 정확히 맞춘 후 하나의 시스템으로 결합시킨다.
- ② 케이지와 갱폼 간 연결 완료 : 갱폼과 케이지를 하나의 시스템으로 결합시키고 수직/수평도의 이상 유무를 확인한 후 케이지와 갱폼의 연결 작업을 완료한다.
- ③ 갱폼 설치 및 고정 : 케이지와 갱폼 간 연결이 완료된 후 유압실린더의 작동을 통해 갱폼을 전진시켜 구조체에 고정시킨다.
- ④ D-2층의 레일박스 해체 : 상부층 타설 및 갱폼 인양을 위하여 D-2층의 레일박스를 해체한다.

⑤ D+1층에 레일박스 설치 : 해체된 D-2층의 레일박스를 D+1층에 설치하여 갱폼 인양을 준비한다.

⑥ 갱폼 후퇴 : 갱폼 인양 전 유압실린더를 작동시켜 갱폼 박리를 위해 갱폼을 후퇴시킨다.

⑦ 갱폼 인양 : 갱폼 후퇴 완료 후 인양 고리에 동력원의 후크를 결속시켜 갱폼을 인양시킨다.

⑧ 갱폼 전진 : 갱폼 인양이 완료된 후 유압실린더의 작동을 통해 갱폼을 전진시켜 갱폼을 구조체에 고정시키고 콘크리트를 타설한다.

4.3.2 제안된 개념디자인의 기술적 타당성 검토

본 연구에서는 자동화 장비 실물제작 이전에 제시된 ‘공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술’의 핵심 고려요소인 ‘갱폼 인양 기술’과 보조 고려요소인 6가지 기술, 갱폼 인양 작업 프로세스에 대해 건설 현장관리자 32명을 대상으로 제안 기술에 대한 전반적인 기술적 타당성 분석을 수행하였다. AHP 분석 기법을 활용하여 ‘안전성, 작업편의성, 비용절감, 품질, 생산성’의 5가지 항목에 대한 설문조사 결과, 기존 갱폼 인양 관련 문제점을 해결하기 위한 신기술이 개발될 경우 건설현장에서는 안전성 향상에 관한 니즈(Needs)가 가장 높은 것으로 분석(33.6%)되었으며 다음으로는 작업편의성(18.6%), 비용절감(17.9%), 품질(14.2%), 생산성(15.7%)의 순으로 중요도를 가지고 있는 것으로 조사되었다. 다음으로, 본 연구에서는 설문 응답자로 하여금 제안 기술이

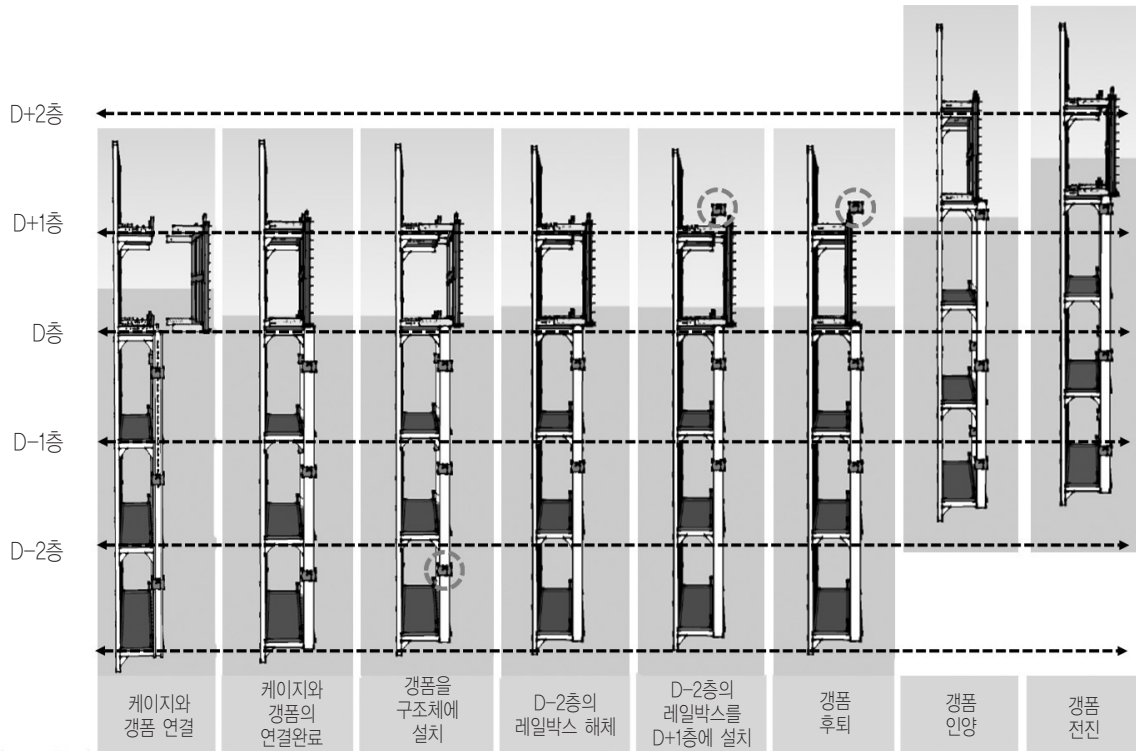


그림 19. 공동주택 전용 갱폼인양 자동화 장비의 작업 프로세스

건설현장에 적용될 경우 기존 갱폼 인양기술과 상대적으로 비교해 볼 때 앞서 언급된 5가지 항목에 있어 어느 정도의 개선 효과가 있겠는가라는 질의에 대해 5점 척도로 평가토록 하였으며 이를 통해 얻은 결과는 다음 표 8과 같다. 표 8에서 볼 수 있듯이, 안전성 향상 측면에 있어 설문 응답자들의 산술평균 점수는 4.53으로서, 특히 현장 관리자는 제안 기술이 실물 제작되어 건설현장에 적용될 경우 기존 방식에 비해 노무자들의 안전성이 크게 개선될 수 있을 것으로 기대하고 있으며, 기존 방식에 비해 작업 생산성 향상(4.22) 또한 가능할 수 있는 것으로 분석되었다. 마지막으로, 제안된 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술의 기술적 타당성에 관한 종합 점수(Σ 각 항목의 가중치 x 각항목의 평균)는 4.03으로 평가됨으로써, 제안 기술이 기존 갱폼 인양 기술에 비해 안전성, 작업편의성, 비용절감, 품질, 생산성 측면에서 우수한 성능 및 경쟁력을 지니고 있는 것으로 분석되었다.

표 8. 공동주택 전용 갱폼 인양 기술 적용 시 개선 효과

| 분류 | 개념 디자인 | | | | |
|--------|----------|------------|-----------|---------|----------|
| | A 안전성 | B 작업편의성 | C 비용절감 | D 품질 | E 생산성 |
| 응답자 1 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 응답자 2 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| 응답자 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 응답자 32 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 평균 | 4.53 | 3.84 | 3.56 | 3.50 | 4.22 |

(1:매우 적다, 2:적다, 3:보통, 4:크다, 5:매우 크다)

5. 결론

본 연구에서는 갱폼 인양작업 프로세스 분석, 현장조사 및 전문가 인터뷰를 통해 갱폼 인양과정에서 발생하는 문제점을 조사·분석하고, 이를 해결할 수 있는 새로운 형태의 공동주택 전용 갱폼 자동 인양시스템을 제안하였다.

본 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

1) 문헌 분석 및 설문조사를 통한 갱폼 인양 작업 관련 문제점 분석 결과, 현재 타워크레인의 동력에 의존하는 있는 갱폼 인양 작업으로 인해 ① 타워크레인 양중부하 증가, ② 갱폼 인양 중 안전사고 증가, ③ 갱폼 박리 작업 생산성 저하, ④ 기후 영향으로 인한 작업 중지, ⑤ 생산성, 노무비, 품질 저하 등과 같은 문제점이 있는 것으로 도출되었다.

2) 국내외 관련기술개발 동향 분석 결과, 국내외에서는 공동주택 및 초고층 빌딩의 외벽 및 코어 부위의 거푸집을 자동으로 인양하여 작업 안전성 및 품질, 생산성 등을 향상시키기 위한

ACS 및 RCS, GCS등과 같은 첨단 시스템 거푸집을 개발하고 현장적용하고 있다. 그러나 국내 대부분을 차지하고 있는 30층 미만의 공동주택에 개발된 첨단 시스템 거푸집 적용 시 경제적 타당성이 매우 낮은 것으로 분석되었다.

3) 설문 조사를 통한 갱폼 인양 자동화 기술 개발을 위한 고려요소 분석 및 우선순위 도출 결과, 갱폼 인양을 위해서는 ‘동력원의 개발’이 필수적으로 요구되며, ‘노무자 추락 및 자재와 공구의 낙하 방지 기술’의 개발, ‘갱폼 고정/해체 및 낙하 방지 기술’, ‘갱폼 수직/수평 조절 기술’, ‘갱폼 박리 및 수평 이동 기술’, ‘갱폼 경량화 기술’, ‘갱폼 간 조립/해체 기술’의 개발이 순차적으로 요구되었다.

4) 본 연구에서는 문헌분석 및 건설 현장 관리자를 대상으로 한 설문조사 분석결과 도출된 갱폼 인양 자동화 기술 개발 시 고려요소 분석 결과를 바탕으로 첨단 요소기술을 적용하여 ‘공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발을 위한 개념디자인’을 제안하였다. 그 결과, 기존 갱폼 작업에 투입되는 타워크레인의 부하를 감소시키고, 첨단 시스템 거푸집에 준하는 안전성 확보가 가능할 것으로 기대된다. 또한 설문 분석을 통한 제안된 기술의 타당성 분석 결과, 기존 갱폼에 비해 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술은 ‘안전성, 작업편의성, 비용절감, 품질, 생산성’ 측면에서 모두 우수한 성능을 지니고 있는 것으로 분석되었다.

향후 본 연구를 통해 제안된 개념디자인을 바탕으로 갱폼 인양 자동화 장비 실물(full-scale)을 제작하고, 현장 적용을 통해 기존 방식과 비교한 생산성 및 품질, 안전성, 경제성 등의 향상 정도를 분석하는 연구가 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(42189-01).

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음. 감사드립니다.

참고문헌

고용노동부(2010). 산업안전기준에 관한 규칙, 고용노동부령 제 1호, 제3편 기계·기구 기타 설비에 의한 위험 예방
 김영석, 이정호(2006). “공동주택 외벽 도장 자동화 로봇의 최적 개념 모델 제시 및 기술적·경제적 타당성 분석”, 대한건축학회 논문집(구조계) 제22권 제 9호.
 김재업 외(2010). “고층 주거건축물 거푸집의 편익/비용 분석에

- 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집 제10권 제 4호
이정호(2010), “건설 자동화 기술 개발 우선순위 도출 및 기술 로드맵 구축에 관한 연구”, 대한건축학회논문집(구조계), 제 26권 10호,
신한우(2007). “대형 시스템 거푸집 공법별 장단점 비교에 관한 연구” 한국건축시공학회 논문집 제 7권 제4호 통권 26호, pp.153~159
조순문(2000). 갱폼작업 안전지침서, 한국산업안전공단, pp.1~80
주식회사 SK건설(2007). 가시설 표준지침
통계청(2010). 주택건설실적
한국산업안전보건공단(2009). 건설 재해 통계

논문제출일: 2011.06.27

논문심사일: 2011.07.01

심사완료일: 2011.09.06

요 약

갱폼은 기존 목재 및 철재 거푸집과 비교하여 매 사용 시 작은 부재의 조립/해체를 반복하지 않고 대형화, 단순화를 통한 번에 설치하고 해체할 수 있는 시스템화 된 거푸집이다. 그러나 ACS(Auto Climbing System)와 같은 첨단 거푸집에 비해 경제성을 제외한 다른 측면(생산성, 안전성, 품질 등)에 있어서는 1) 타워크레인 양중부하 증가, 2) 갱폼 인양 중 안전사고 증가, 3) 갱폼 박리 작업 생산성 저하, 4) 기후 영향으로 인한 작업 중지, 5) 생산성, 노무비, 품질 저하 등의 문제점을 지니고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 타워크레인의 부하를 감소시킴과 동시에 인양 속도를 향상시킴으로써, 작업 생산성 향상 및 노무자 안전성 확보, 콘크리트 구조체의 품질 등을 향상시켜 공동주택 건설 현장에서 범용적으로 사용가능한 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 장비의 개념 모델을 제시하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 기존 문헌 분석 및 건설 현장관리자와의 설문조사를 수행하여 공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 기술 개발 시 요구되는 고려요소 도출 및 효용성 분석 등을 통해 ‘공동주택 전용 갱폼 인양 자동화 장비의 개념 모델’을 제시하였다.

키워드 : 갱폼, 거푸집, 인양, 타워크레인, 공동주택, 자동화 기술
