

# 그린 프레임 합성 PC부재의 양중공정 분석 연구

## A Study on the Lifting Progress for Composite Precast Concrete Members of Green Frame

주진규\*      김신은\*\*      이군재\*\*\*      김선국\*\*\*\*      이성호\*\*\*\*\*  
Joo, Jin-kyu      Kim, shin-eun      Lee, Gun-Jea      Kim, Sun-kuk      Lee, Sung-Ho

### Abstract

Green frame technology intended to facilitate the remodeling of apartment housing complexes in Korea and extend their service life has been developed. Green frame design is a Rahmen structure using composite precast concrete members and, unlike a bearing-wall structure, lifting and installing structural members accounts for major steps of structural construction. Therefore, if green frame structure construction is to be scheduled appropriately, systematic lifting plan needs to be developed in advance. Development of lifting plan also requires unit lifting process of composite PC members (columns and beams) that consist of green frame to be analyzed first. Therefore, this study attempts to analyze the lifting process of composite PC members used in green frame structure. To that end, lifting procedure and time of composite PC column and beam are estimated and applied to a project case to analyze the lifting cycle of reference floor. Outcomes produced herein will be used as key data for development of lifting plan in subsequent green frame structure construction.

**Keywords :** *green frame, composite precast concrete, apartment buildings, lifting progress*

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

국내 공동주택의 리모델링 수월성 및 이에 따른 주택 장수명화를 위해 그린 프레임(Green frame) 공법이 개발되었다. 이러한 그린 프레임은 홍원기(2010)의 연구에서 실험과 해석을 통해 구조적 안정성과 경제성이 입증되었으며 이성호(2011)의 연구를 통해 골조공사 공정을 분석하였다. 그린 프레임 공법은 합성 프리캐스트 콘크리트(Precast concrete, 이하 PC) 부재를 이용한

라멘구조로 거푸집 설치, 철근배근, 콘크리트 타설 및 양생에 의해 골조공기가 산정되는 벽식구조와 달리 양중 및 설치가 골조공사의 주공정(Critical path)으로 작용한다. 따라서 그린 프레임에 의한 적정 골조공사 공기 산정을 위해서는 체계적인 양중 계획이 선행되어야 한다. 양중계획은 그린 프레임을 구성하는 요소인 합성 PC 부재(기둥, 보)의 단위 양중공정에 대한 분석이 선행되어야 한다. 그린 프레임의 기둥(Green column, 이하 그린 컬럼)은 3개층 1개절로 구성되어 단위 부재의 무게는 최대 6ton, 길이는 8.7m 이며, 보(Green beam, 이하 그린 빔) 3개층

\* 일반회원, 경기대학교 건설산업대학원 조교수, joojkyu@kyonggi.ac.kr

\*\* 일반회원, 경희대학교 대학원 건축공학과 석사과정, shineun@khu.ac.kr

\*\*\* 일반회원, 경희대학교 대학원 건축공학과 박사과정, m60dx@nate.com

\*\*\*\* 중신회원, 경희대학교 건축공학과 교수, 공학박사, kimskuk@khu.ac.kr

\*\*\*\*\* 일반회원, 경희대학교 대학원 건축공학과 박사과정(교신저자), kh1sh@khu.ac.kr

1개절의 무게는 일반적으로 2ton 이내, 길이는 6m 내외이다. 이와 같이 각 부재의 양중 특성을 고려하여 양중방법 및 양중 사이클(Lifting cycle)이 분석되어야 한다.

기존 양중관련 연구는 라멘구조와 벽식구조의 건설자원(자재, 인력)의 양중방법, 양중범위, 양중기의 가동율 측면에서 주로 연구되었다(김상원, 최민권, 2010 ; 허담 외3 1994). 특히 라멘구조의 양중은 김정진의 연구에서 철골부재를 중심으로 양중 사이클과 양중계획 문제점에 관하여 연구가 진행되었다(김정진, 최인성 2005 ; 이종렬 외2 2004). 그러나 합성 PC부재의 특성을 고려한 양중관련 연구는 진행되지 않았다. 따라서 그린 프레임의 체계적인 양중계획을 세우기 위해 철골부재와 다른 양중특성을 지닌 합성 PC 부재의 양중공정 연구가 필요하다.

본 연구는 그린 프레임 합성 PC 부재의 양중공정을 분석하는 것을 목적으로 한다. 주요 내용으로 합성 PC 부재(기둥, 보)의 양중절차와 단위 양중시간을 도출하고, 그 결과를 사례 프로젝트에 적용하여 기준층의 양중 사이클을 분석한다. 본 연구의 결과는 향후 그린 프레임에 의한 골조공사 양중계획 시 핵심자료로 사용될 것이다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

그린 프레임 골조공사는 일반 건축물에 모두 적용할 수 있으나 본 연구에서는 국내 주거의 대부분을 차지하는 공동주택을 대상으로 한정하였다. 합성 PC 부재는 골조의 기둥과 보에 사용되므로 양중 장비는 타워 크레인(Tower crane, 이하 T/C)을 대상으로 한다. 양중공정 범위는 양중장비가 사용되는 부재연결 단계부터 다음 부재를 양중하기 위해 T/C의 줄(Wiro Rope)을 내리는 단계로 한다. 연구방법은 아래와 같이 3단계로 이루어진다.

첫째, 합성 PC 부재의 양중 특성 단계에서 합성 PC 부재의 부재중량, 부재크기, 부재수량, 양중방법 등과 같은 양중공정 특성 요인을 조사한다. 또한 합성 PC 부재와 양중공정이 유사한 철골 부재의 양중특성과 비교·분석한다.

둘째, 단위 부재의 양중 공정 분석 단계는 그린 프레임의 양중 공정 특성을 토대로 그린 컬럼과 그린 빔의 단위 양중공정을 분석하고 양중시간을 도출한다. 그린 프레임의 양중시간을 도출하기 위해 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 PC 부재의 양중단계별 양중시간에 대한 기초자료를 수집한다. 기초자료를 토대로 그린 프레임의 양중공정 특성을 고려하여 양중시간을 도출한다. 특히 PC 부재의 양중단계와 차별되는 그린 프레임 임시접합 단계의 경우 유사사례의 현장실측을 통해 양중시간을 산정한다.

셋째, 기준층 양중 사이클 분석 단계는 도출된 단위 양중시간

을 토대로 사례에 적용하여 기준층 양중 사이클분석한다.

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 합성 PC 부재의 양중 특성

#### 2.1.1 그린 컬럼의 양중 특성

그린 프레임의 기둥은 일반적으로 3개층 1개절로 시공되어 공기단축에 효율적이며, 현장 상황에 따라 2개층 1개절 또는 1개층 1개절로 시공이 가능하다. 기둥은 접합 방식에 따라 대표적으로 크게 슬라브 접합형, 볼트 접합형(I), 볼트 접합형(II)의 3가지 형태로 구분된다. 그림 1은 볼트 접합형(II)의 입면과 단면, 평면으로 기둥의 구성은 상·하부 접합부 철골과 중앙부의 접합부 철골 및 철근 콘크리트로 구성된다(임채연 외3 2011).

접합부는 그린 보와 동일한 높이의 접합부 철골이 길이 방향으로 매입된 형태이다. 기둥과 기둥 접합방법은 하부기둥의 주근 단부를 나사산 가공하여 강재 접합과 유사한 볼트체결방식이 적용된다.

그린 컬럼의 부재크기는 다수 사례 프로젝트의 구조설계 결과 0.45×0.45×2.9~0.6×0.6×2.9 m 나타났으며, 이들 중 0.5×0.5×2.9 m가 가장 많은 것으로 조사되었다. 단위 기둥의 중량은 0.5×0.5×2.9 m 기준으로 1.8 ton, 3개층 1개절인 0.5×0.5×8.7 m 기둥의 중량은 약 5.5 ton으로 조사되었다. 일반 PC 기둥은 동일 기준으로 중량을 조사한 결과 1.7~2 ton 으로 합성 PC 기둥과 중량의 차이는 미비한 것으로 분석되었다. 또한 합성 PC 기둥은 접합방식에 의해 지상에서 3층 1개절의 기둥을 선 조립하여 양중이 가능하다. 이에 따라 3층 1개절로 기둥 설치 시 일반 PC 기둥에 비해 T/C의 양중횟수를 줄일 수 있다.

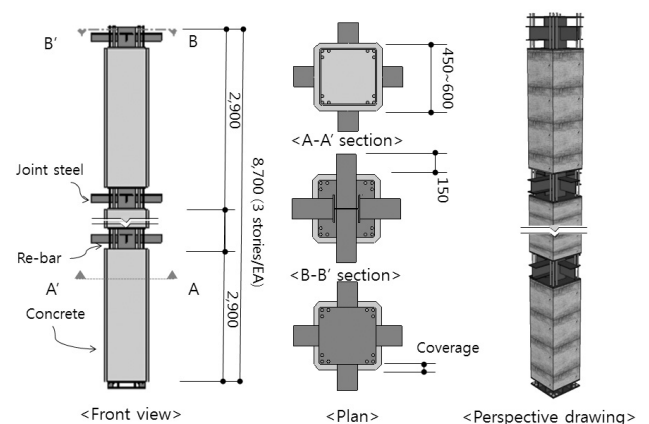


그림 1. 볼트 접합형(II) 그린 컬럼

### 2.1.2 그린 빔의 양중 특성

그린 빔은 단부 모멘트구간의 철골 H형, T형, 역 T형, - 형의 4가지 형상, 중앙부 모멘트구간의 철골 역 T형, - 형의 2가지 형상이 조합되어 총 8가지의 형태로 조합이 가능하다. 따라서 적용 현장의 특성과 하중 흐름에 따라 적합한 보를 선정하여 적용할 수 있다. 그림 2는 그린 빔의 대표적인 단부 T형의 평면과 입면, 단면이다. T형 그린 빔은 내력 향상에 큰 도움이 되지 않는 웨브(Web)철판을 제거하여 소요강재를 최소화였고, 이에 따라 보의 중량 또한 감소시켰다. 이로 인한 보의 중량 감소는 구조물의 자중 감소로 이어져 우수한 내진성능과 하중흐름에 따른 최적의 보강재 배치가 가능해 구조안전성을 확보하였다(임채연 외3 2011).

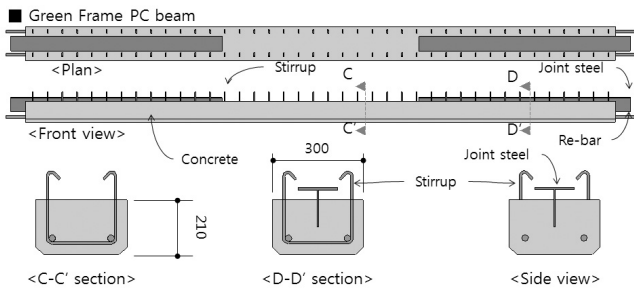


그림 2. T형 그린 빔

그린 빔과 그린 컬럼의 접합 형태는 H형, T형, 역 T형의 빔을 컬럼의 브래킷(Bracket)에 접합하는 형태이다. 일반 철골 구조와 동일한 볼트접합으로 신속한 접합과 구조적 안전성을 확보할 수 있다. 그린 빔의 부재크기는 다수 사례 프로젝트의 구조설계 결과 0.21×0.35×4.2~6.3 m 나타났으며, 이들 중 0.21×0.35×5.5 m 크기가 가장 많은 것으로 조사되었다. 그린 빔의 중량은 0.35×0.21×5.5 m 기준으로 1.1 ton이며, 보의 최대 중량은 1.5 ton으로 조사되었다. 그린 빔은 보춤의 감소로 인해 콘크리트 물량이 절감되어 일반 PC보에 비해 중량이 작다(이승근 2010). 따라서 그린 빔의 중량 감소는 T/C 최대 양중능력에 따라 1회 양중수량<sup>1)</sup>을 증가시켜 양중횟수를 감소시킬 수 있다.

## 2.2 철골부재의 양중 특성

철골구조는 자중에 비해 강도가 우수하여 동일한 하중부하를 감당하기 위한 철골부재의 크기가 PC부재에 비해 작다. 따라서

1) 양중수량은 T/C의 최대 양중능력 범위 내에서 1회 당 운송 가능한 부재의 개수를 나타낸다. T/C의 최대 양중능력은 작업반경과 양중부재의 무게와 관련된다.

철골 부재의 크기 및 하중 감소는 T/C 1회 당 양중수량 증가가 가능하다. 이를 통해 양중시간의 단축이 가능하다. 또한, 철골기둥의 설치는 2~3층의 기둥을 지상에서 조립 후 양중되기 때문에 철골기둥의 양중횟수가 감소하며 양중시간을 단축할 수 있다. 그러나 철골 부재는 PC 부재에 비해 재료 및 설치비용이 약 26%증가된다(석현수 2009). 따라서 경제성 등의 문제로 인해 일반 공동주택에 적용하기는 어렵다.

철골부재의 양중 절차는 표 1과 같이 부재의 양중을 위해 와이어 로프를 부재에 연결하는 부재연결 단계, 부재가 T/C에 의해 설치장소로 수평, 수직 이동되는 부재이동 단계, 부재의 임시고정을 위한 가접합을 실시하는 임시접합 단계, 임시접합을 검사하고 연결된 부재의 와이어 로프를 해제하는 와이어 로프 해제 단계, 다음 부재의 연결을 위해 와이어 로프를 지상으로 하강시키는 줄내리기 단계로 구성된다.

표 1. 철골 부재의 양중 절차

순서	작업내용
1	부재연결
2	부재이동
3	임시접합
4	와이어 로프 해제
5	줄 내리기

철골부재의 양중절차는 각 단계별 작업이 반복적으로 이루어지며, 일반 PC 양중절차와 달리 부재연결을 위해 임시접합이 필요하다. 철골부재의 양중시간은 단위 기둥의 경우 16분 59초, 보는 1매 시 9분 37초, 2-3 매 동시양중 시 25분 18초로 조사되었다. 보는 1회 양중수량 증가에 따라 약 15~35%의 공기 단축효과가 나타나는 것으로 연구되었다(김정진 외 2005).

## 3. 합성 PC부재의 양중공정 분석

### 3.1 그린 컬럼의 양중공정 분석

#### 3.1.1 그린 컬럼의 양중 절차

그린 컬럼의 양중 절차는 그림 3과 같이 기둥의 양중을 위해 와이어 로프를 기둥에 연결하는 부재연결 단계, 눕혀진 기둥을 수직으로 세우기 위한 세우기(Tilt-up) 단계, 기둥이 T/C에 의해 설치장소로 수평, 수직 이동되는 양중 및 이동 단계, 볼트체결 접합을 위해 기둥과 기둥의 접합면의 위치를 정확히 조정하는 위치잡기 단계, 기둥의 임시고정을 위한 가접합을 실시하는 임시접합 단계, 임시접합 상태를 검사하고 연결된 기둥의 와이어 로프를 해제하는 검사 단계, 마지막으로 다음 기둥의 연결을

위해 와이어 로프를 지상으로 하강시키는 줄내리기 단계로 구성되며, 양중절차는 각 단계별 작업이 반복적으로 이루어진다. 따라서 양중 사이클은 지상에서 기둥의 양중 준비를 시작하여 다음 기둥의 양중을 위해 T/C의 와이어 로프를 지상으로 내리기까지의 과정이다. 그린 컬럼의 접합방식은 볼트체결 접합방식이며 임시접합이 필요하다. 그러나 볼트체결 접합방식은 일반 PC기둥의 슬리브 접합방식에 비해 위치잡기, 검사(수직도)시간이 감소된다. 그린 컬럼의 설치는 그린 프레임의 골조공정이 일반적으로 3개층 1개절 부재를 설치함에 따라 각 3개층 마다 양중이 진행된다.

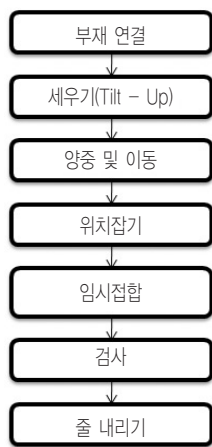


그림 3. 기둥의 양중 절차

### 3.1.2 그린 컬럼의 양중시간

그린 컬럼의 양중시간을 산정하기 위한 기초자료를 수집하기 위해 전문가를 대상으로 PC기둥의 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 PC 기둥의 양중절차를 기준으로 각 단계별 예상 시간을 수집하였다. PC 기둥의 양중단계별 양중시간에 관한 정확한 기초자료를 얻기 위해 설문조사의 전제 조건으로 단위기둥의 크기, 수량, 중량, 양중절차를 제시하였다. 그린 컬럼은 3층 1개절로 지상에서 조립 후 양중되기 때문에 1개절 단위기둥의 동일한 크기와 중량을 제시하였다. 따라서 제시된 PC기둥의 크기는 0.5×0.5×8.40 m, 중량은 5.6 ton으로 제시하였다. 또한 양중 높이는 25층 아파트의 12층을 기준으로 제시하였다. PC 기둥의 양중시간 설문조사 결과는 표 2와 같다.

표 2. PC 기둥의 양중시간 설문조사 결과

전문가	A	B	C	D	E	F	G	H	I
실무경험 (년)	25	20	13	15	8	10	15	13	6
양중예상 시간(분)	35	85	65	95	86	85	85	50	13

PC 기둥의 양중시간의 설문답변은 13~95분으로 설문답변의 편차가 크게 나타났다. 따라서 설문답변의 편차의 원인을 찾기 위해 설문조사 답변자를 대상으로 각각 설문답변의 근거에 관한 인터뷰를 실시하였다. 그 결과 전문가 I를 제외한 나머지 대상자들은 실무경험과 상관없이 PC를 사용한 경험이 없이 주관적인 예측치를 답변한 것으로 조사되었다. 그러나 전문가 I의 경우 현재 PC를 사용하는 현장에 근무하고 있으며, 설문조사에서 제시된 사항과 유사한 PC기둥의 실제 측정 평균시간을 바탕으로 양중시간을 답변한 것으로 조사되었다. 설문조사를 통해 수집한 자료의 검증에 위해 설문조사에서 제시한 단위기둥의 중량과 크기와 유사한 PC 기둥을 사용하는 사례현장의 양중단계별 시간을 실제 측정한 평균시간과 전문가 I의 설문답변과 비교하였다. 그 결과 전문가 I의 설문답변과의 차이가 미비하였다. 따라서 그린 컬럼의 양중시간의 기초자료로서 유사한 PC 기둥을 사용하는 사례현장의 측정치를 사용하였다.

그린 컬럼의 단계별 양중시간은 표 3과 같다. 부재연결 단계는 T/C의 와이어를 부재에 연결하는 시간으로 실제 부재 연결장치를 기둥에 매입한 후 현장에서 동작연구(Motion study)를 실시하여 소요시간을 측정한 결과 평균 1분 소요되는 것으로 분석되었다. 따라서 부재연결 단계의 양중시간을 기초자료의 4분에서 1분으로 변경하여 적용하였다. 양중 및 이동 단계의 양중시간은 수직, 수평 이동시간으로 구분된다. 수직이동 시간은 T/C 최대 허용 중량이 12ton인 T형 크레인의 정격속도(Rated service speed)를 12층 기준으로 적용 할 경우 약 1분으로 분석되었다. 또한 수평 이동시간의 경우 PC 현장의 기둥 수평이동 시간을 측정한 평균시간인 2분을 적용하였다. 임시접합 단계의 경우 기둥은 임시고정을 위해 12개의 볼트 접합 중 최소 4개의 볼트 접합시간이 필요하다. 4개의 볼트를 접합하기 위해 동작연구

표 3. 그린 컬럼의 양중 시간

구분	예상시간 (분)	비고
부재연결	1	· T/C 와이어 체결시간
세우기	1	
양중 및 이동	3	· 12층 기준 (1개층 : 2.9m) · 수직 이동시간 - 정격속도 = 40m/min - 34.8m/40m/min = 0.87min ≈ 1min · 수평 이동시간 = 2 분
위치잡기	1	
임시접합	4	· 4개의 볼트 임시접합
검사(수직도)	2	
줄내리기	1	
합계	13	

구를 시행한 결과 2인 작업 시 평균 4분이 소요되는 것으로 분석되었다. 따라서 PC 기둥의 기초자료에서 조사된 1분에서 4분으로 변경하여 적용하였다. 그린 컬럼의 양중시간을 기초로 1일 양중횟수를 산정한 결과 36회로 분석되었다.

### 3.2 그린 빔의 양중공정 분석

#### 3.2.1 그린 빔의 양중 절차

그린 빔의 양중 절차는 그림 4와 같이 부재연결, 양중 및 이동, 위치잡기, 임시접합, 검사, 줄 내리기의 순서로 이루어지며 기둥과 다르게 부재를 수직으로 일으켜 세우는 세우기 단계는 삭제되고 각 단계의 작업이 반복적으로 이루어진다.

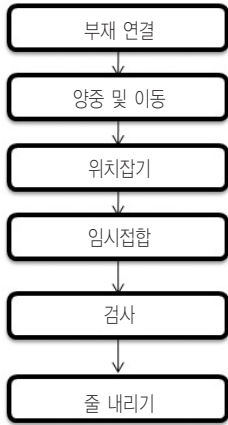


그림 4. 그린 빔의 양중 절차

그린 빔의 양중절차는 볼트체결 접합방식의 철골보와 유사하다. 따라서 그린 빔의 양중절차는 부재연결을 해제하기 위해 기둥과 고력볼트 접합을 이용한 임시접합 단계가 추가된다. 그러나 임시접합으로 인해 조정, 설치 시간이 양중과정에서 삭제됨에 따라 양중 절차가 단축된다.

#### 3.2.2 그린 빔의 양중시간

그린 빔의 양중시간을 산정하기 위한 기초자료를 수집하기 위해 전문가를 대상으로 PC 보의 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 PC 보의 양중절차를 기준으로 각 단계별 예상 시간을 수집하였다. PC 보의 양중단계별 양중시간에 관한 정확한 기초자료를 얻기 위해 설문조사의 전제 조건으로 단위기둥의 크기, 수량, 중량, 양중절차를 한정하였다. 설문조사의 전제조건은 다수의 구조설계 결과에서 가장 많이 나타난 그린 빔의 크기 0.21×0.35×5.5 m, 중량 1.1 ton과 동일한 PC 보로 한정하였다. 또한 양중높이는 25층 아파트 기준의 12~13층으로 제시하였다.

설문조사 결과 PC기둥의 설문조사와 동일하게 PC 보의 양중

시간의 설문답변은 12~90분으로 설문답변의 편차가 크게 나타났다. 전문가 답변 중 전문가 I의 답변만 PC 보의 실제 측정 평균시간으로 양중시간을 답변한 것으로 조사되었다. 설문조사 결과는 표 4와 같이 12분으로 조사되었다. 설문조사를 통해 수집한 자료의 검증에 위해 설문조사에 제시한 단위 보의 중량과 크기와 유사한 PC 보를 사용하는 유사사례현장의 양중단계별 시간을 실제 측정한 평균시간과 전문가 I의 설문답변과 비교하였다. 그 결과 전문가 I의 설문답변과의 차이가 미비하였다. 따라서 그린 빔의 양중시간의 기초자료로서 유사한 PC 기둥을 사용하는 사례현장의 측정치를 사용하였다.

표 4. PC 보의 양중시간

구분	예상시간 (분)	비고
부재연결	4	· T/C 외이어 체결시간
양중 및 이동	3	· 12층 기준 (1개층 : 2.9m)
위치잡기	1	
조정/설치/검사	3	
줄내리기	1	
합계	12	

그린 빔의 단계별 양중시간은 표 5와 같이 10분으로 산정하였다. 부재연결의 소요시간은 동작용구를 통해 분석한 결과 평균 1분 소요되는 것으로 조사되었다. 따라서 부재연결의 소요시간은 기초자료의 4분에서 1분으로 변경하여 적용하였다. 임시접합 소요시간은 임시접합을 위해 양측 당 최소 2개의 볼트접합이 필요함에 따라 볼트접합 시간을 현장에서 10회 측정하여 조사된 평균값 2분을 적용하였다. 또한 양중 및 이동시간은 부재의 중량과 상관없이 T/C의 인양능력에 따라 영향을 받기 때문에 그린 컬럼과 동일하게 적용하였다. 그린 빔의 양중시간을 기초로 1일 양중횟수를 산정한 결과 48회로 분석되었다.

표 5. 그린 빔의 양중 시간

구분	예상시간 (분)	비고
부재연결	1	· 부재 연결 장치
양중 및 이동	3	· 12층 기준 · 수직 이동시간 0.87min ≈ 1min · 수평 이동시간 = 2 분
위치잡기	1	
임시접합	2	· 4개의 볼트 임시접합
검사	2	
줄 내리기	1	

그린 빔은 부재 당 중량이 일반 PC보와 비교하여 가벼워 철골보와 동일하게 회당 양중수량 증가가 가능하다. 이를 통해 양중시간 단축이 가능하다. 그린 빔의 회당 양중수량이 증가할 경우

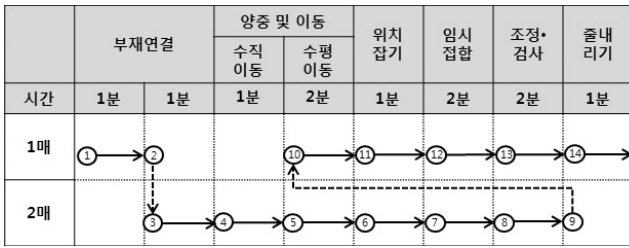


그림 5. 1회당 양중수량 2매의 1사이클 양중공정

그림 5와 같이 양중시간이 단축된다. 이는 양중수량 증가 수 만큼 에 따라 수직이동과 줄내리기 작업의 반복이 줄어들기 때문이다.

표 6. 1회 양중수량에 따른 양중시간

구분	1회 양중수량			비고
	1매(분)	2매(분)	3매(분)	
부재연결	1	2	3	
양중 및 이동	3	5	7	· 수직 이동시간 : 1분 · 수평 이동시간 : 2분
위치잡기	1	2	3	
임시접합	2	4	6	
조정/검사	2	4	6	
줄 내리기	1	1	1	
합계	10	18	26	

양중수량 증가에 따른 회당 양중시간은 표 6과 같이 양중단 계의 특성을 고려하여 산정하였다. 양중수량 변화에 따른 양중 시간은 1매 시 10분, 2매 시 18분, 3매 시 26분으로 산정되었다. 회당 양중수량이 1매의 양중시간을 기준으로 2매 시 약 10%, 3 매 시 13.3%의 작업시간 단축효과 나타났다. 그러나 양중시간 단축효과는 양중수량이 증가할수록 점차 작아지는 것으로 분석 되었다. 따라서 최적 양중수량 확인을 통한 생산성 향상이 필요하다.

## 4. 사례 적용 및 평가

### 4.1 사례현장 개요

선정한 사례는 경기도에 위치한 지상 25층 규모의 공동주택으 로 지상공간은 대부분 녹지와 근린 공간이다. 사례 개요는 표 7 과 같이 대지면적 57,333 m<sup>2</sup>, 용적률 228%, 지상 25층이며 층 고는 2.9m로 조사되었다. 또한 본 사례 프로젝트의 세대 당 전 용면적은 83 m<sup>2</sup>이며, 층당 4세대로 구성된다.

표 7. 사례현장 개요

구분	내용
위치	경기도 00시
구조	그린 프레임
용도	공동주택
용적률	227.87%
건폐율	18.91%
규모	지상 25층
층고	2.9 m

### 4.2 사례의 물량 산출

합성 PC 부재의 양중시간을 분석하기 위해 사례의 한 개 동을 그린 프레임 공법으로 재설계하여 물량을 산출하였다. 기준층 구조평면은 그림 6과 같이 4개의 세대로 구성되며 각각의 그린 컬럼과 그린 빔의 수량, 길이, 중량을 조사하였다. 그린 컬럼의 크기는 5개 유형으로 최소 0.45×0.45×8.8 m, 최대 0.5×0.5 ×8.7 m로 나타났으며, 그 중 0.5×0.5×8.7 m 유형이 가장 많 이 소요되는 것으로 조사되었다. 그린 빔의 크기는 9개 유형으 로 최소 0.21×0.30×1.85 m, 최대 0.27×0.35×4.2 m로 나 타났으며, 0.21×0.35×6.0 유형이 가장 많이 소요되는 것으로 조사되었다.

사례의 기준층의 그린 컬럼과 그린 빔의 물량은 표 8과 같이 39개의 그린 컬럼과 62개의 그린 빔이 소요된다. 그러나 기둥의 경우 3개층 1개절로 제작되므로 3개층을 기준으로 할 경우의 그 린 컬럼과 빔의 소요량은 그린 컬럼 39개, 그린 빔 186개 필요하 다. 그린 컬럼과 빔의 중량은 구조설계에 따라 그린 컬럼(3개층 1절) 최대 중량은 약 5.5 ton이며 그린 빔의 최대 중량은 1.15 ton으로 조사되었다.

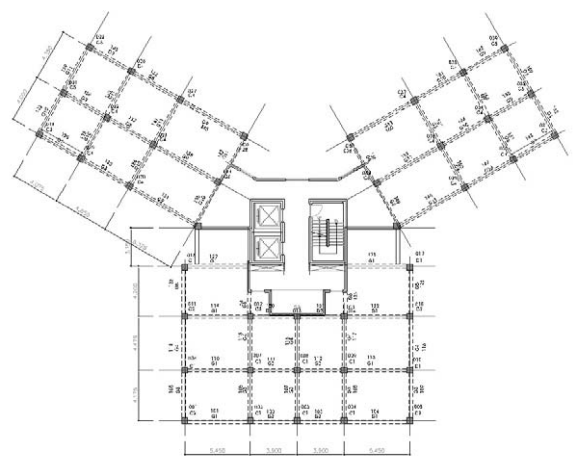


그림 6. 기준층 구조평면

표 8. 기준층 물량

구분	개수	부재중량(ton)	
		최소	최대
그린 컬럼	39	4,211	5,479
그린 빔	62	0,592	1,15
	101		

### 4.3 적용 및 평가

사례의 양중공정의 흐름을 분석하기 위해서는 기본적으로 부재수량, 부재중량, 부재별 양중시간, 장비가동물, T/C 장비사양 및 배치계획, 1일 작업시간의 계획이 필요하다. 사례의 부재수량과 부재중량은 물량산출을 통해 조사되었으며, 부재별 양중시간은 사례조사 및 동작연구를 통해 도출되었다. 또한, T/C의 장비 사양 및 배치계획은 합성 PC부재의 최대 중량(5.6 ton)을 기준으로 최대 허용 중량이 12 ton인 T형 T/C을 해당동에 1대 설치하는 것으로 적용하였다. 장비가동물은 벽식구조와 다르게 그린 프레임은 양중과 설치가 거의 동시에 이루어지기 때문에 100%로 가정하였고 작업시간은 1일 8시간 주 5일로 산정하여 양중공정을 분석하였다.

사례의 기준층과 1개절(3개층)의 양중시간은 표 9와 같이 3장에서 산정된 그린 컬럼과 그린 빔의 양중시간을 바탕으로 산정하였다. 기준층 그린 컬럼의 양중시간은 8시간 27분으로 약 1.1일, 그린 빔의 경우 10시간 20분으로 약 1.3일의 양중시간이 소요된다. 기준층 그린 컬럼과 그린 빔의 총 양중시간은 총 18시간 47분으로 약 2.4일이 필요한 것으로 분석되었다. 그린 컬럼 1개절(3개층)의 양중시간은 기준층 그린 컬럼의 양중시간과 동일하게 8시간 27분으로 약 1.1일 소요된다. 이는 1개절(3개층)의 그린 컬럼이 지상에서 조립 후 양중되어 기준층에서 모두 설치되기 때문이다. 1개절(3개층)의 그린 빔의 양중시간은 31시간으로

약 3.9일 소요된다. 따라서 1개절(3개층)의 그린 컬럼과 그린 빔의 총 양중시간은 39시간 27분으로 약 5일이 필요한 것으로 분석되었다. 따라서 25층 사례현장의 총 양중시간은 작업일(Working day) 기준으로 분석할 경우 43일이 소요된다.

표 9. 사례의 기준층과 3개층 1개절 양중 시간

구분	부재	개수 (매)	필요시간(단위:분)	작업일수
기준층	기둥	39	507	1.1일
	보	62	620	1.3일
	산정치	101	1,127	2.4일
1개절	기둥	39	507	1.1일
	보	186	1,860	3.9일
	산정치	225	2,367	5일

사례의 기준층과 1개절(3개층)의 1회당 양중수량에 따른 양중시간은 표 10과 같이 3.2장에서 산정된 그린 빔의 양중시간을 바탕으로 산정하였다. 기준층의 1회당 양중수량에 따른 양중시간은 그린 빔 2매 시 9시간 18분으로 약 1.2일로 나타났다. 기준층의 그린 빔 62매를 1회당 양중수량 3매로 양중하는 경우 마지막 그린 빔의 양중 시 2매 운반된다. 따라서 기준층 1회당 양중수량 3매의 양중시간은 그린 빔 60매를 1회당 양중수량 3매의 기준으로 산정하고 그린 빔 2매는 1회당 양중수량 2매의 기준으로 산정하였다. 기준층 1회당 양중수량 3매의 그린 빔 양중시간은 8시간 58분으로 약 1.2일 소요된다. 기준층의 1회당 양중수량에 따른 총 양중시간은 2매 시 17시간 45분으로 약 2.2일, 3매 시 17시간 25분으로 약 2.2일 소요되는 것으로 조사되었다.

1개절(3개층)의 1회당 양중수량에 따른 양중시간은 그린 빔 2매 시 27시간 54분으로 3.5일, 3매 시 26시간 52분으로 약 3.4일 소요된다. 또한 1개절(3개층)의 1회당 양중수량에 따른 총 양중시간은 2매 시 약 4.6일, 3매 시 4.5일 소요되는 것으로 분석

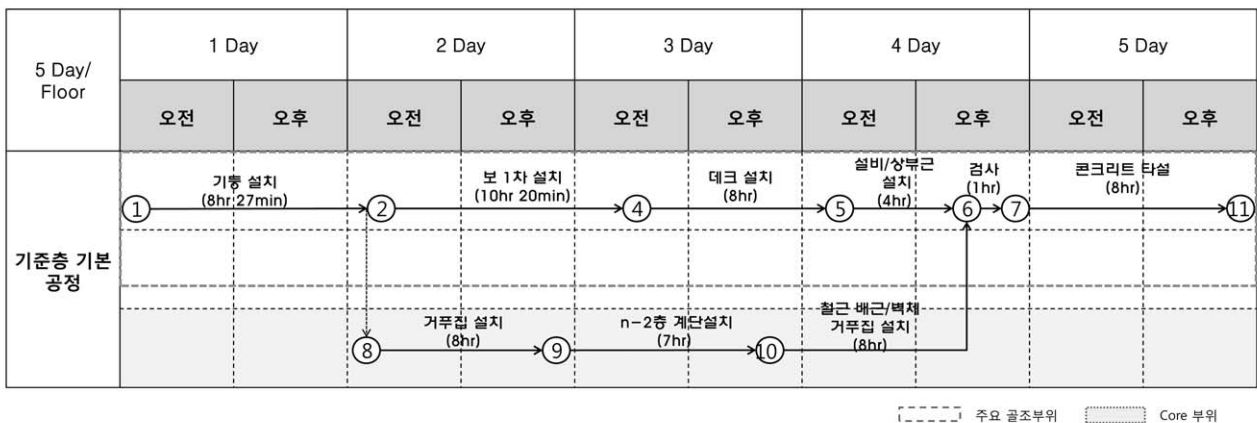


그림 7. 그린 프레임 기준층 골조공사 공정표

되었다. 따라서 25층 사례현장의 총 양중시간은 작업일 기준으로 분석할 경우 1회당 양중수량 2매 시 39일, 3매 시 38.2일 소요된다. 25층 사례의 총 양중시간은 1회당 양중수량 1매의 양중시간을 기준으로 2매 시 9.3%, 3매 시 11.2% 감소되는 것으로 분석되었다.

표 10. 1회당 양중수량에 따른 양중 작업일

구분	부재	2 매		3 매	
		작업시간	작업일	작업시간	작업일
기준층	기둥	507분	1.1일	507분	1.1일
	보	558분	1.2일	538분	1.1일
	산정치	1,065분	2.2일	1,045분	2.2일
3개층	기둥	507분	1.1일	507분	1.1일
	보	1,674분	3.5일	1,612분	3.4일
	산정치	2,184분	4.6일	2,119분	4.5일

선행 연구된 그린 프레임 골조공사의 기준층 1사이클은 4일 공정으로 이루어지며 그린 컬럼과 그린빔의 양중 및 설치에 각각 1일이 소요되는 것으로 분석하였다(이성호 2011). 따라서 분석한 그린 컬럼과 그린빔의 양중시간과 선행연구를 바탕으로 작성된 사례의 골조공사의 기준층 1사이클은 그림 7과 같이 5일 공정이 필요하다. 1개절(3개층)의 1사이클 골조공기는 13일 소요되는 것으로 분석되었다. 이는 1개절(3개층)은 기준층에서 그린 컬럼의 양중 및 설치가 완료되기 때문에 2층과 3층의 골조공사 경우 그린 컬럼의 양중시간은 제외된다. 이를 토대로 사례의 전체 골조공사 공기를 산정할 경우 작업일 기준으로 총 109일이 소요되는 것으로 분석되었다.

## 5. 결론

그린 프레임과 같은 가구식 구조는 양중과 시공이 동시에 이루어지는 골조공사 형태로서 양중이 골조공사 공기에 주공정으로 작용한다. 따라서 본 연구는 합성 PC부재의 양중공정을 분석하였고 이를 위해 합성 PC 부재의 양중절차의 특성과 양중시간, 기준층 양중사이클을 분석하여 다음과 같은 결론이 도출되었다.

첫째, 설문조사와 합성 PC 부재의 특성을 토대로 산정된 양중시간은 그린 컬럼의 경우 13분, 그린 빔의 경우는 10분으로 도출되었다. 그린 컬럼은 지상에서 1개절(3개층) 조립되어 양중되기 때문에 총 양중회수를 감소시켜 양중시간이 감소되는 것으로 분석된다. 또한 그린 빔의 양중절차는 부재연결을 해제하기 위해 기둥과 고력볼트 접합을 이용하여 임시접합 단계가 추가된다. 그러나 임시접합 단계에서 조정 및 설치 시간이 양중과정에서 불필요함에 따라 양중 절차가 단축되는 것으로 분석되었다.

둘째, 그린 빔은 적은 부재 중량으로 인해 철골 보와 동일하게 1회당 양중수량의 증가를 통해 양중시간 단축이 가능하다. 따라서 그린 빔의 중량 감소는 T/C 최대허용량과 안전이 확보된다면 1회 양중수량을 증가시켜 양중시간을 감소시킬 수 있다. 그린 빔의 1회당 양중수량에 따른 양중시간은 1매 시 10분, 2매 시 18분, 3매 시 26분으로 분석되었다. 1회당 양중수량이 1매의 양중시간을 기준으로 2매 시 약 10%, 3매 시 13.3%의 단축효과 나타났다. 따라서 안전을 확보한 경우 1회 양중수량을 증가시키는 것이 양중시간을 단축하여 생산성을 확보할 수 있다.

셋째, 사례의 기준층 총 양중시간은 약 2.4일, 1개절(3개층) 총 양중시간은 약 5일이 소요된다. 따라서 25층 사례현장의 총 양중시간은 작업일 기준으로 43일이 소요되는 것으로 분석되었다. 또한, 기준층의 그린 빔의 1회당 양중수량을 증가시킬 경우 총 양중시간은 2매 시 약 2.2일, 3매 시 약 2.2일 소요되며 2매와 3매의 양중시간의 차는 20분으로 분석되었다. 1개절(3개층)의 1회당 양중수량에 따른 양중시간은 그린 빔 2매 시 약 3.5일, 3매 시 약 3.4일 소요된다. 또한 1개절(3개층)의 1회당 양중수량에 따른 총 양중시간은 2매 시 약 4.6일, 3매 시 4.5일 소요되는 것으로 분석되었다. 따라서 25층 사례현장의 총 양중시간은 작업일 기준으로 분석할 경우 1회당 양중수량 2매 시 39일, 3매 시 38.2일 소요된다. 25층 사례의 총 양중시간은 1회당 양중수량 1매의 양중시간을 기준으로 2매 시 9.3%, 3매 시 11.2% 감소된다.

본 연구는 그린 프레임 골조공사 주공정으로 작용하는 합성 PC 부재의 양중공정을 분석하고 양중시간을 산정하였다. 양중시간은 동작연구 분석과 설문조사와 유사사례의 실제 측정치를 토대로 작성되었기 때문에 도출된 연구결과의 신뢰성을 확보될 수 있다. 그러나 위 결과는 장비 가동률을 100%로 전제하여 도출된 것이므로 현장조건에 따른 장비가동률의 고려가 미흡하다. 따라서 향후 연구를 통해 장비가동률 변화에 따른 생산성을 분석하고, 기존 공법들과 비교 분석하는 연구가 수행되어야 할 것입니다.

## 감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2012-0000609)

## 참고문헌

김상원·최민권(2010). “시공자재의 이동방법을 중심으로 한 양중공정 특성 분류에 관한 연구.” 대학건축학회 논문집, 제



12권 제 1호, 대한건축학회, pp. 199~207,  
 김정진 · 최인성(2005). “초고층 건축공사의 양중계획 시스템에 관한 연구.” 한국건축시공학회 논문집, 제5권 제 4호, 한국 건축시공학회, pp. 121~129  
 석현수(2009). “철골 및 PC구조의 생산성 및 경제성 분석에 관한 연구 : 최신형 접합장치의 적용을 중심으로.” 홍익대학교 석사학위 논문, p. 45  
 이성호 · 김신은 · 김광희 · 주진규 · 김선국(2011). “Green Frame 골조공사 공기 분석 연구.” 한국건축시공학회 논문집, 제 11권 제 3호, 한국건축시공학회, pp 301~309  
 이승근(2010). “저탄소 장수명 공동주택의 공법 개발 및 타당성 분석”, 경희대학교 석사학위 논문, pp. 1~128  
 이종렬 · 전용석 · 박찬식(2004). “고층 건축공사의 타워크레인 양중시간 예측모델.” 한국건설관리학회 정기학술발표대회 논문집, 제 5회, 대한건축학회, pp. 472~475

임재연 · 주진규 · 이군재 · 김선국(2011). “그린 프레임 합성 PC 부재의 현장생산 조건 분석.” 한국건축시공학회 논문집, 제 11권 제 5호, 한국건축시공학회, p. 502  
 허담 · 임덕찬 · 손창백 · 신현식(1994). “고층 건축공사의 양중계획 최적화에 방안에 관한 연구.” 추계학술발표대회 논문집 (구조계), 제 14권 제 2호, 대한건축학회, pp. 779~84  
 홍원기 · 김선국 · 김형근 · 윤태호 · 윤대영 · 김승일(2010). “저탄소 장수명 공동주택 구현을 위한 Green Frame(GF)의 타당성 분석.” 한국건축시공학회 논문집, 제 10권 1호, 한국건축시공학회, pp. 57~63

논문제출일: 2011.10.20  
 논문심사일: 2011.10.28  
 심사완료일: 2012.01.12

---

## 요 약

국내 공동주택의 리모델링 수월성 및 이에 따른 장수명화를 위해 그린 프레임 공법이 개발되었다. 그린 프레임 공법은 합성 프리캐스트 콘크리트 부재를 이용한 라멘구조로 벽식 구조와는 달리 양중 및 설치가 골조공사의 주공정으로 작용한다. 따라서 그린 프레임에 의한 적정 골조공사 공기 산정을 위해서는 체계적인 양중계획이 필요하다. 그러나 양중계획은 그린 프레임을 구성하는 요소인 합성 PC 부재(기둥, 보)의 단위 양중공정에 대한 분석이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구는 그린 프레임 합성 PC 부재의 양중공정을 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 합성 PC 기둥과 보의 양중절차와 시간을 도출하고, 그 결과를 사례 프로젝트에 적용하여 기준층의 양중 사이클을 분석한다. 본 연구의 결과는 향후 그린 프레임에 의한 골조공사 양중계획 시 핵심자료로 사용된다.

**키워드 :** 그린 프레임, 합성 PC, 공동주택, 양중공정

---