

Research Paper

보-기둥구조 PC공동주택 PC벽체의 조립공정 분석 연구

A Study to Analyze the Assembly Process of Precast Concrete Wall Panels in Beam-Column Frame Apartment Buildings

김기호¹ · 이범식² · 김민준³ · 이동건^{3*}

Kim, Ki-Ho¹ · Lee, Bum-Sik² · Kim, Min-Jun³ · Lee, Dong-Gun^{3*}

¹Researcher, Department of Research, Korea Landing and Housing Corporation, Yuseong-Gu, Daejeon, 34047, Korea

²Chief Researcher, Department of Research, Korea Landing and Housing Corporation, Yuseong-Gu, Daejeon, 34047, Korea

³Research Fellow, Department of Research, Korea Landing and Housing Corporation, Yuseong-Gu, Daejeon, 34047, Korea

*Corresponding author

Lee, Dong-Gun
Tel : 82-42-866-8466
E-mail : dk418@lh.or.kr

Received : June 18, 2024

Revised : July 22, 2024

Accepted : July 29, 2024

ABSTRACT

Unlike reinforced concrete(RC) construction, the primary determinant of construction schedule for precast concrete(PC) apartment buildings is the lifting equipment. To establish a dry process-centric construction schedule, this study analyzes the lifting unit process for core, internal, and external PC wall components, which differ from traditional PC components. By examining the assembly process of these wall types, the study aims to determine the construction cycle for a standard floor frame of a PC apartment building. The findings will serve as foundational data for developing construction schedules for PC apartment buildings utilizing PC walls.

Keywords : precast concrete, wall, erection process, apartment building, milestone

1. 서론

1.1 연구의 목적

Precast Concrete(PC)공법은 모든 부재를 공장에서 사전 제작하여 현장에 반입 및 설치함으로써 현장 인력과 작업을 최소화시킨다[1,2]. 이러한 장점은 주거·비주거 시설에 적용할 수 있으나, 인력, 품질 등 다양한 사유로 90년대 중반 이후 현재까지 주거시설의 PC적용이 활성화되지 못하고 있다[3,4]. 그러나 변화되고 있는 건설환경에 대응하기 위한 대안 중 하나인 건식공정 중심의 PC공동주택 도입이 검토되고 있는 실정이다[5-7].

PC공동주택 골조공사는 형틀 설치, 철근배근, 타설 등에 의해 공기가 산정되는 Reinforced Concrete(RC)공사와 달리 양중장비 중심으로 골조공사의 주공정(Critical Path, 이하 CP)으로 산출한다[8,9]. 건식공정 중심의 PC공동주택 골조공사의 공기를 산정하기 위해서는 체계적이고, 합리적인 양중계획이 수립되어야 한다[10,11]. 양중계획을 수립하기 위해서 PC부재별 양중 단위공정 분석이 포함되어야 한다[12].

국내 건축공사에서 부재양중 관련 기존 연구는 보-기둥구조와 벽식구조의 작업 능률 측면에서 연구되었다. 특히, 보-기둥구조 연구에서 Kim and Choe[13], Kim and Choi[14]의 연구는 철골부재 중심의 양중 사이클 분석이고, Joo et al.[15]의 연구는 합성 PC부재(기둥, 보)의 양중 사이클 분석이었다.

국외의 경우, 내부 PC벽체는 분절형태, 경량벽체로 제작되어 마감공정 형태로 사용하고 있다[16,17]. 또한, 내부에 PC벽



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

체를 적용한 사례는 벽식구조이다[18-21]. 국외에서 개발된 내부 PC벽체를 국내에서 적용하기 어려운 이유는 소음규제, 구조기준 등이 다르기 때문이다[22,23]. 이와 같이 다양한 PC벽체를 적용한 보-기둥구조 PC골조공사 사이클 분석 연구는 없다. 따라서 PC벽체를 적용한 건축물의 공정계획을 수립하기 위해 Core, 내부, 외부 PC벽체의 조립공정 연구가 필요하다.

본 연구는 PC벽체가 적용된 PC공동주택 기준층 공사 Cycle 분석을 위해 Core, 내부, 외부 PC벽체의 조립공정을 분석하는 것이다. PC벽체의 양중과정 및 시간을 도출하고, 그 결과를 사례에 적용하여 기준층 골조공사의 양중 사이클을 분석한다. 본 연구의 결과는 PC공동주택 골조공사 시공계획 시, 핵심자료로 활용될 것이다.

1.2 연구의 방법 및 절차

PC공법의 범용성을 위해 주거용 시설인 공동주택으로 한정하였다. 양중장비는 공동주택 공사에서 통상적으로 사용하는 Tower crane(T/C)들 중에 고중량을 인양할 수 있는 Luffing tower crane을 대상으로 하였다. 조립공정 범위는 T/C를 사용하여 PC부재를 연결하는 단계부터 다음 부재를 양중하기 위해 양중고리를 원위치하는 단계까지 하고, 장비 적용범위는 1개동 T/C 1대로 제한한다. 연구방법은 Figure 1과 같다.

첫째, PC벽체의 양중방식을 분석하고, Core·내부·외부 PC벽체의 중량, 크기 등 인양 요인을 조사한다. 둘째, 각 PC벽체 별 Cycle 양중공정 분석과 조립시간을 도출하여 PC공동주택 기준층 골조공사 1Cycle을 도출한다. 셋째, 사례에 적용하여 기준층 PC골조공사 공기를 분석한다.

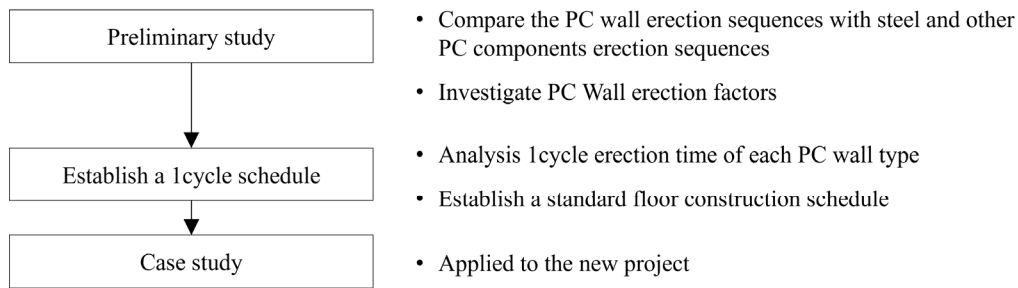


Figure 1. Research methodology overview

2. 예비적 고찰

2.1 PC벽체의 조립 과정

PC벽체의 조립과정은 Figure 2와 같이 철골부재 조립방식과 유사하다[15,24]. 일반적으로 철골부재 조립은 와이어 로프를 부재에 연결하여 부재를 인양하기 위한 부재연결, 양중장비를 이용하여 설치위치까지 부재의 수평·수직 이동, 설치 위치에서 부재의 가접합을 통한 임시고정, 임시고정 완료 이후의 와이어 로프 해제, 다음 부재 인양을 위한 와이어 로프의 원위치 단계로 구성된다.

철골부재는 기둥, 보, 슬래브와 같은 PC부재와 달리 부재간 연결을 위한 임시접합 작업이 조립과정 단계에서 발생하고, PC벽체도 동일한 시기에 임시접합 또는 임시고정을 통해 부재 조립이 진행된다[25]. PC벽체는 철골부재와 동일한 양중장비 종류로 인양하기 때문에 임시접합을 제외한 철골부재의 순수 양중시간은 약 5분이 소요되고, 부재 규모 및 높이에 따라 장비시간은 단계별로 약 5%정도 소폭 상승한다[9]. Core·내부 PC벽체의 조립시점은 Figure 3과 같이 기둥 설치가 완료된 이후부터 보 설치 이전까지 완료하고, 외부 PC벽체는 슬래브·계단실 설치 이후에 설치하는 것이 특징이다[24-26].

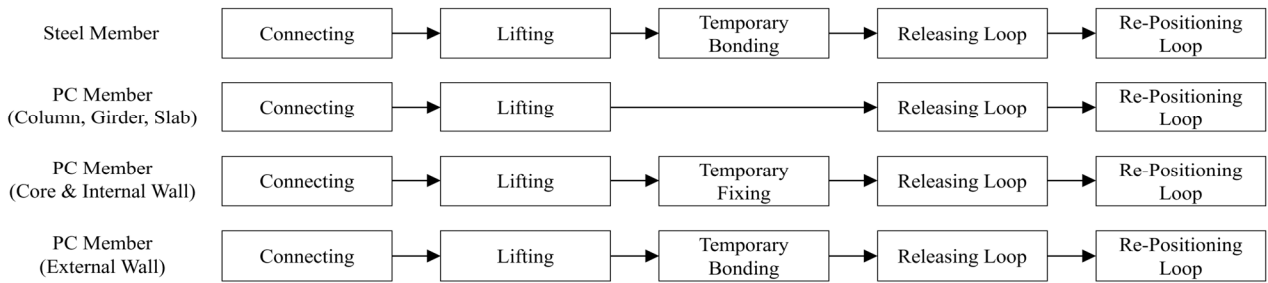


Figure 2. Erection process for frame components

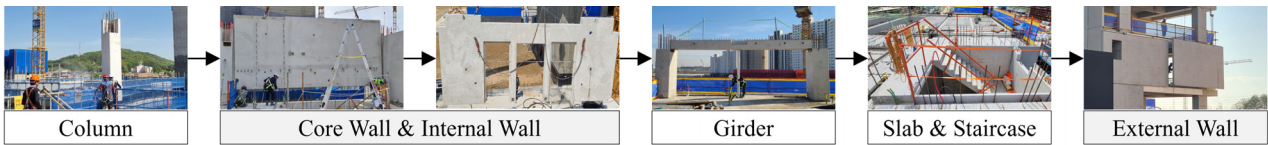


Figure 3. Erection process for precast concrete(PC) frame

2.2 PC벽체의 특성

2.2.1 Core PC벽체의 특성

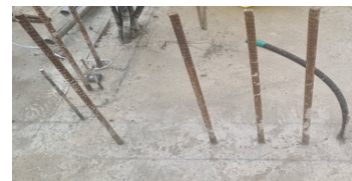
Core PC벽체는 대형이기 때문에 세워진 상태로 현장에 반입되어 별도의 부재 세우기 과정없이 1매씩 설치한다. PC벽체의 가장 큰 특징은 Figure 4(c)와 같이 Dowel bar를 정착시킬 수 있는 구멍이 있다[21]. 시공 순서는 PC기둥 설치가 완료된 이후부터 가능하다. 접합 방식은 하부층 Core벽체 상부와 해당층 Core벽체 하부에 Dowel Bar를 통해 고정한다[15,26]. 부재 크기는 설계에 따라 상이하고, 양중장비의 제원을 고려하여 중층부까지는 최대 12.6ton이며, 그 이상의 층수부터 부재 크기는 작아진다. 무게, 길이, 폭은 다양하지만, 부재를 1개씩 인양하기 때문에 조립시간 차이는 크게 없다.



(a) Core PC wall-I(representative)



(b) Core PC wall-II(max weight)



(c) Dowel bar

Figure 4. Core PC wall erection and detail

2.2.2 내부 PC벽체의 특성

내부 PC벽체도 대형 부재이기 때문에 1매씩 시공한다. Figure 5(a), (b)와 같이 세대간 경계 등 내부를 구분하는 벽체로 사용하고, 비구조체로 설계되어 Dowel Bar가 없다[26]. 일반적인 설치 순서는 PC 기둥과 Core 벽체가 끝난 시점 이후이다. 접합 방식은 하부층 바닥과 해당층 기둥, 보에 견고히 고정한다. 벽체 양중 과정에서 벽체의 견고한 고정이 필요하지만, 해당 작업이 양중 상태에서 진행할 경우에는 작업 시간이 증가한다. 따라서 Figure 5(c)와 같이 가설대를 사용하여 임시 고정하고, 후속 공정으로 벽체를 견고히 고정한다.



Figure 5. Internal PC wall erection and detail

2.2.3 외부 PC벽체의 특성

외부 PC벽체도 내부 PC벽체처럼 Dowel bar가 없고, 1매씩 시공한다. Figure 6(a), (b)와 같이 외부 마감으로 사용되고, Curtain wall 방식으로 조립하기 때문에 Figure 6(c)와 같이 내부면에 벽체를 거치할 수 있는 걸침 부위가 있다[24,27]. 설치 시기는 슬래브·계단실 설치부터 가능하다[25]. 접합 방식은 내부 PC벽체 고정방법과 동일하게 2번의 고정으로 나누어 진행되고, 벽체 하부면·바닥의 고정과 벽체 상부 배면·보의 고정으로 작업이 이루어진다[24]. 시공계획은 해당층 상부 공정 간섭, 작업 공간 제약 등의 현장 여건을 고려하여 해당층이 아닌 하부층에 외부 PC벽체 설치 계획을 수립한다.



Figure 6. External PC wall erection and detail

3. PC벽체의 조립공정 분석

3.1 Core PC벽체의 조립공정 분석

3.1.1 Core PC벽체의 조립과정

Core PC벽체 조립은 벽체 상단에 설치된 양중고리를 이용하여 양중한다. 양중 과정은 일반적인 PC기둥, 보, 슬라브와 유사하고, 조립과정은 Figure 7과 같이 7단계로 진행한다. Connecting 단계는 PC벽체를 양중하기 위한 양중고리를 연결하는 단계이다. Lifting 단계는 양중장비를 이용하여 설치 위치까지 수직 및 수평 방향으로 부재를 도달시킨다. Positioning 단계는 설치된 하부층 Core PC벽체 상부면과 설치하고자 하는 Core PC벽체 하부면의 정착 위치를 미세 조정하는 과정이다. 즉, Dowel Bar를 정착하기 직전의 단계까지의 작업이다. Temporary Bonding 단계는 자중으로 밀착된 상·하부 Core PC벽체를 고정하는 단계이며, 인접 PC기둥 또는 Core PC벽체 측면에 브라켓을 이용하여 임시로 고정한다. 이때, 벽체 고정용 브라켓은 벽체 양단에 최소 1개 이상 설치가 필요하다. 대부분 Core-Core PC벽체간 브라켓 설치를 통해 두 부재를 고정한다. 그러나 브라켓 고정이 어려울 경우 또는 추가적인 안전성 확보가 필요할 경우에는 가설대로 추가 고정한다. Temporary Bonding이 완료된 이후에는 수직도 및 수평도 조정 및 검사를 하는 Checking 단계로 이어진다. Checking 이후에 양중고리를 해제하는 Releasing Loop 단계로 이어진다. 마지막으로 크레인의 양중 고리를 지상으로 내리는 Re-Positioning Loop 단계를 수행한다. 서술한 각 단계별 작업들이 순차적으로 수행 완료하는 것을 1Cycle이라고 한다. 즉, 1Cycle 양중은 PC부재가 지상에서 양중고리를 통해 양중 준비를 시작하여 다음 부재의 설치를 위해 양중 고리를 지상으로 내리기까지의 전 과정이다.

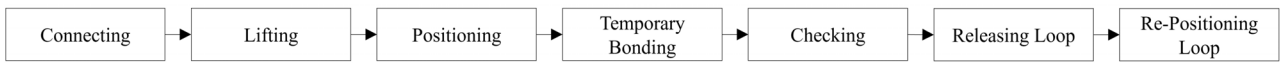


Figure 7. Detailed erection sequence of the core PC wall

이때, Temporary bonding 과정에서 Core PC벽체 접합은 부재의 일체화를 통해 구조적 안정성을 확보하여야 한다. 그러나 상·하부 Core PC벽체의 구조적 일체화를 위한 그라우팅 작업이 양중장비를 가용하고 있는 상태에서 수행한다면, 장비 시간이 증가하여 해당층 골조공사 기간이 증가한다. 따라서 시공 및 구조적 문제가 없는 범위 내에서 벽체 접합의 임시 접합과 본고정으로 공정을 구분하여 작업의 효율성을 향상시킨다. Temporary Bonding 단계에서 그라우팅 및 양생 시간이 존재하지 않기 때문에 연속적인 부재조립이 가능하다. 본고정은 그라우팅을 통해 상·하부 부재간 구조적 일체화를 확보하는 작업이다. 해당 작업은 양중 장비의 가용과 별도로 진행되기 때문에 조립 과정에서의 Critical Path(CP)에 포함되지 않는다. 본고정을 위한 그라우팅 시기는 구획별 PC부재 설치 완료 시점부터 가능하다.

3.1.2 Core PC 벽체의 조립시간

Core PC벽체의 조립시간을 산정하기 위해 L사에서 발주한 PC공동주택 2개동을 대상으로 자료를 수집하였으며, 각 층에 따른 벽체 Type별로 시간을 구분하였다. 먼저, Core PC 벽체의 기준 조립시간을 산정하기 위해 모든 Core PC 벽체의 크기, 중량, 수량을 조사하였다. 조사 결과, Type별 벽체 수량은 비슷하고, 양중 과정은 동일하기 때문에 벽체의 평균 중량에 가장 가까운 벽체를 대표 부재(Figure 4(a))로 산정하였다. 산정된 부재 크기는 0.2×3.1×8.4m이고, 중량은 9.7ton이다. 부재의 기준 양중높이는 4층으로 산정하였다.

Table 1. Erection time analysis for core PC wall

Category	Time(minutes)	Note
Connecting	1	• Unite lifting lug
Lifting	4	• Time of vertical moving(based on 4 th floor) 2.32 minutes • Time of horizontal moving(based on 4 th floor) 1.67 minutes • Total moving Time 2.32 minutes+1.67 minutes ≒ 4.00 minutes
Positioning	6	• Match Dowel Bar to the seath hole
Temporary fixing	12	• Install brackets to adjacent Core Wall
Checking	3	• Vertical & Horizontal Checking
Releasing loop	1	• Release the lifting lug
Re-positioning loop	1.5	• Time of vertical moving(based on 4 th floor) 0.74 minutes • Time of horizontal moving(based on 4 th floor) 0.58 minutes • Total moving Time 0.74 minutes+0.58 minutes ≒ 1.50 minutes
Total	29	

기준층 Core PC 벽체의 단계별 조립시간은 Table 1과 같이 29분으로 산정하였다. 시간을 산정하기 위해 현장조사에서 단위 작업의 시간별 동작 연구와 통계적 기법을 활용하여 단계별 시간을 산출하였다. 먼저, Connecting에서 소요된 시간은 1분이다. 부재인양에 소요된 시간은 수직방향 및 수평방향 이동을 포함한 4분이다. 기준층 기준으로 수직 이동이 약 60%이고, 수평 이동이 40%를 차지하였다. 해당 비율은 건축물의 높이, 평면설계, 크레인의 제원 등 조건에 따라 달라질 수 있다. 그리고 1개층씩 증가할수록 수직방향 시간이 0.5분씩 증가하는 것으로 조사되었다. Positioning에 소요된 시간은 6분이었고, Temporary fixing에 소요된 시간은 12분이다. 이후 과정인 Checking은 3분, Releasing loop은 1분, 다음 부재 인양을 위한 Re-positioning loop에 소요된 시간은 1.5분이다.

Core PC벽체는 대형이기 때문에 회당 양중수량 증가가 불가하다. 반복 작업 횟수가 증가함에 따라 부재 인양 및 해제 단계를 제외한 나머지 과정들의 작업시간이 소폭 감소할 수 있으나, 일정시간에 도달하면 그 이상 단축할 수 없다[28-29].

3.2 내부 PC벽체의 조립과정 분석

3.2.1 내부 PC벽체의 조립과정

내부 PC벽체의 조립과정은 Figure 8과 같다. Connecting 및 Lifting은 Core PC벽체와 동일한 과정이다. Positioning은 PC기둥 설치 전, 벽매김된 위치에 내부 PC벽체를 정위치 시키는 과정이다. 이때, 내부 PC벽체는 2개의 기둥 사이, 기둥 1개와 벽체간 연결, 벽체간 연결이 가능한 곳에 설계된다. Temporary fixing은 정위치한 내부 PC벽체와 바닥면에 가설대를 설치하고, Core PC벽체의 접합 방식과 유사하게 임시고정, 본고정으로 구분한다. Temporary fixing 후의 과정들은 Core PC벽체 조립 프로세스와 동일하다.

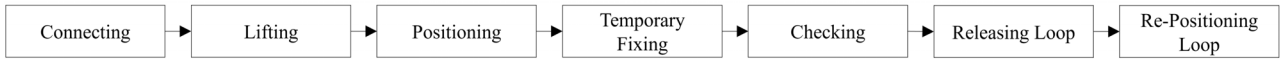


Figure 8. Detailed erection sequence of internal PC wall

3.2.2 내부 PC벽체의 조립시간

내부 PC벽체의 조립시간 산정 방식도 Core PC벽체와 유사하다. 반복적으로 설치되는 위치와 평균 양중거리에 가까운 부재로 선정하였으며, 대표 부재(Figure 5(a)) 크기는 0.2×2.8×8.2m이고, 중량은 11.2ton이다. 부재의 기준 양중높이는 Core PC벽체와 동일한 4층이고, 내부 PC벽체의 평균 조립시간은 Table 2와 같이 24분이다. 부재의 부피는 Core PC벽체와 유사하지만, Dowel bar 정착 작업이 생략되어 작업시간이 단축된다.

Table 2. Erection time analysis of an internal PC wall

Category	Time(minutes)	Note
Connecting	1	• Unite lifting lug
Lifting	4.5	• Time of vertical moving(based on 4 th floor) 2.34 minutes • Time of horizontal moving(based on 4 th floor) 2.17 minutes • Total moving Time 2.34 minutes+2.17 minutes ≒ 4.50 minutes
Positioning	4	• Match the erection line
Temporary fixing	9	• Fixing the wall and floor using supports
Checking	3	• Vertical & Horizontal Checking
Releasing loop	1	• Release the lifting lug
Re-positioning loop	1.5	• Time of vertical moving(based on 4 th floor) 0.73 minutes • Time of horizontal moving(based on 4 th floor) 0.69 minutes • Total moving Time 0.73 minutes+0.69 minutes ≒ 1.50 minutes
Total	24	

Table 2와 같이 Connecting은 Core PC벽체와 동일한 1분이다. Lifting에 소요된 시간은 4.5분이다. Core PC벽체와 유사한 부재 크기이지만, 평면설계에 따라 상이한 위치에 설치되기 때문에 수직·수평방향 소요 시간이 다르다. 높이 상승에 따른 시간증가분은 Core PC벽체와 거의 유사하다. 후속 작업인 Positioning은 벽체에 위치하는 작업이며, 소요시간은 4분이다. Temporary fixing은 9분이며, 벽체 고정방식이 Core PC벽체와 다르기 때문에 소요시간 차이가 발생한다. 이후의 Checking, Releasing loop, Re-positioning loop의 시간은 각각 3분, 1분, 1.5분이 소요된다.

3.3 외부 PC벽체의 조립과정 분석

3.3.1 외부 PC벽체의 조립과정

외부 PC벽체도 PC벽체와 동일하게 양중하고, Figure 9와 같이 7단계로 진행된다. Connecting 및 Lifting은 Core·내부 PC벽체 방식과 동일하다. Positioning은 해당층 상부보 하부면과 해당층 하부보 상부면에 걸치기 위해 걸침 부위(Figure 6(c))

를 정위치시키는 과정이다. Temporary fixing & bonding은 Core PC벽체 접합과 동일하게 본고정을 위해 임시고정하는 과정이다. 임시고정하기 위해 벽체 상부는 용접, 벽체 하부는 Bolting 접합, 벽체와 바닥면에 가설대를 설치하여 고정한다. Temporary fixing & bonding 완료 이후인 작업 순서는 Core·내부 PC벽체 프로세스와 동일하다.

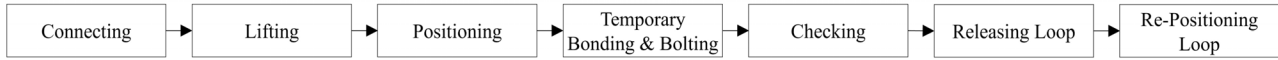


Figure 9. Detailed erection sequence for external PC wall

3.3.2 외부 PC벽체의 조립시간

외부 PC벽체의 조립시간도 서술한 PC벽체 방식과 동일하다. 대표 부재(Figure 6(a)) 크기는 0.2×3.1×8.3m이고, 중량은 11.6ton이다. Table 3과 같이 기준층 외부 PC벽체 평균 조립시간은 35분이다. 작업 과정은 Core·내부 PC벽체와 매우 유사하지만, Curtain wall방식의 고정으로 인하여 두 PC벽체 종류보다 작업시간이 소폭 상승한다.

Table 3. Erection time analysis for external PC wall

Category	Time(minutes)	Note
Connecting	1	• Unite lifting lug
Lifting	6	• Time of vertical moving(based on 4 th floor) 2.78 minutes • Time of horizontal moving(based on 4 th floor) 3.11 minutes • Total moving Time 2.78 minutes+3.11 minutes ≃ 6.00 minutes
Positioning	6	• Match the upper and lower erection point
Temporary bonding & Bolting	17	• Temporary bonding the upper bracket • Temporary bolting the lower bracket • Fixing the wall and floor using supports
Checking	2	• Vertical & Horizontal Checking
Releasing loop	1	• Release the lifting lug
Re-positioning loop	1.5	• Time of vertical moving(based on 4 th floor) 0.73 minutes • Time of horizontal moving(based on 4 th floor) 0.64 minutes • Total moving Time 0.74 minutes+0.58 minutes ≃ 1.50 minutes
Total	35	

Table 3과 같이 Connecting은 Core·내부 PC벽체와 유사한 1분이다. Lifting 시간은 외부 PC벽체가 외주면에 위치하기 때문에 평균 수평이동 거리가 두 PC벽체보다 상대적으로 길어 6분이 소요된다. Positioning은 하부 바닥면과 외부 PC벽체의 수평 걸침을 위해 세밀한 정위치 작업으로 인하여 6분이다. Temporary bonding & Bolting은 3개의 세부 과정으로 진행된다. 외부 PC벽체 상부와 상부층 거더간 브라켓을 통한 가용접, PC벽체 하부와 해당층 바닥면의 볼트 가접합, 가접합 상태에서의 가설대 설치로 구분되고, 총 17분이 소요된다. 이후의 작업들은 다른 PC벽체와 유사한 2분, 1분, 1.5분이다.

4. 사례 적용 및 평가

4.1 사례현장 개요

사례 현장은 경기도 평택시에 위치한 지상 12층 규모를 대상으로 하였다. PC벽체의 조립시간을 분석하기 위해 12층 공동주택 1개동을 PC로 재설계하여 물량을 산출하였다. 기준층 평면은 Figure 10과 같다.

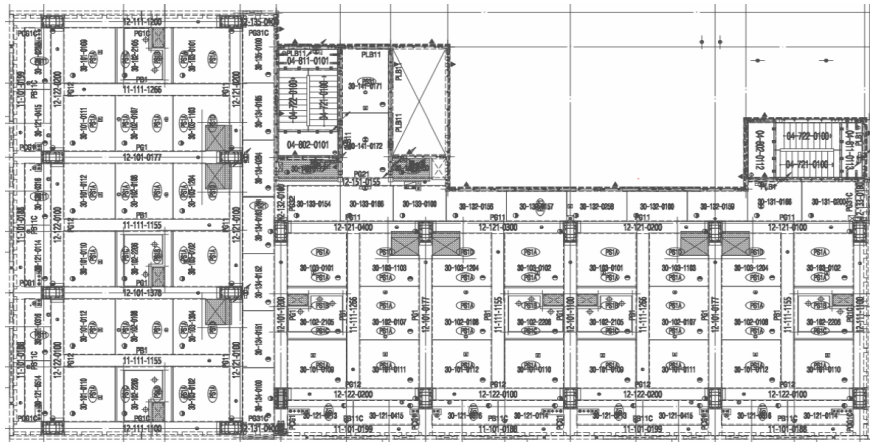


Figure 10. Floor plan of case study site

4.2 물량 산출

PC벽체를 적용한 PC골조공사의 조립기간을 분석하기 위해 물량을 산출하였다. 기준층은 7세대씩 총 82세대로 구성되며, 모든 PC벽체의 종류, 수량, 중량도 조사하였다. 사례 기준층 Core·내부·외부 PC벽체별 물량은 13개, 8개, 12개이다. Core PC벽체의 종류는 12개이며, 최소 중량은 약 3.9ton과 최대 중량은 약 12.6ton이다. 내부 PC벽체의 종류는 4개이며, 최소 중량은 약 9.7ton과 최대 중량은 약 11.2ton이다. 외부 PC벽체의 종류는 3개이며, 최소 중량은 9.8ton과 최대 중량은 11.6ton이다. PC벽체를 제외한 기준층 PC부재 물량은 Table 4와 같다.

Table 4. Precast concrete (PC) member quantities for case study site

Category	Count								Total	Max Weight
	Column	Core wall	Internal wall	Girder	Beam	Slab	Staircase	External wall		
1F	18	13	7	23	7	84	8	12	1,922	12.6 ton
2~12F	198	143	88	253	84	924	88	132		

4.3 적용 및 평가

사례의 PC골조공사 기간을 산정하기 위해 1일 작업시간, 부재 수량 및 중량, 부재별 양중시간, 장비제원에 따른 배치계획이 필요하다. 먼저, 물량산출을 통해 부재의 수량 및 중량은 조사되었다. PC벽체별 조립시간은 동작연구에서 도출되었고, 타 PC부재 조립시간은 사례조사를 통해 산정하였다. 기둥은 20분, 보는 10분, 슬래브는 6분, 계단실은 45분으로 조사되었다. 장비계획은 고정형 T/C를 사용하였고, 평면분석을 통해 24ton Luffing형 T/C 1대를 적절한 위치에 배치하였다. 1개동 대상이기 때문에 장비가동률은 100%로 가정하였고, 1일 작업시간은 8시간씩 주 5일로 산정하였다.

기준층의 PC부재 조립시간은 3장에서 산정한 PC벽체의 조립시간과 사례조사 기반인 타 PC부재 조립시간으로 Table 5와 같이 산정하였다. 기준층 기둥 조립시간은 6시간, Core 벽체는 6시간 17분, 내부 벽체는 3시간 12분, 보는 4시간 46분, 슬래브는 1일 3분, 계단은 1시간 30분, 외부 벽체는 7시간 12분이 소요된다. 슬래브의 경우에는 타 PC부재보다 단위부재 조립시간이 단축되지만, 상대적으로 수량이 많아 약 1일이 소요된다. 외부 벽체를 제외한 기준층 PC부재의 조립시간은 총 30시간 09분으로 약 3.78일이 필요한 것으로 분석되었으나, PC부재 설치를 위한 부속자재의 인양 등을 고려하여 4일의 Working day로 계상하였다. 외부 PC벽체는 해당층이 아닌 하부층에서의 조립이지만, 연속적인 PC부재 시공이 가능하기 때문에 1일로 계상하였다. 별도로 외부 PC벽체 기간을 산정하는 이유는 현장여건에 따라 1개동 또는 2개동에서의 시공계획이 상이하기 때문이다.

Table 5. Erection time analysis for standard floor in case study site

Category	Erection Time	Count	Total Erection Time	Working Day			Total Working Day
				Individual	Sum	Correction	
Column	20 min	18	360 min	0.75 day			
Core Wall	29 min	13	377 min	0.79 day			
Internal Wall	24 min	8	192 min	0.40 day			
Girder	10 min	23	230 min	0.48 day	3.78 days	4 days	5 days
Beam	8 min	7	56 min	0.12 day			
Slab	6 min	84	504 min	1.05 day			
Staircase	45 min	2	90 min	0.19 day			
External Wall	35 min	12	420 min	0.88 day	0.88 day	1 day	

Table 5와 같이 기준층 Core·내부 PC벽체의 총 조립시간은 9시간 29분으로 약 1.19일의 최소 작업일이 필요한 것으로 분석되었고, 전체 PC부재 조립시간의 약 32%의 비율이다. 사례현장의 최고층인 12층까지 Core·내부 PC벽체 총 조립시간은 113시간 48분으로 최소 14.5일의 Working-day가 필요하다.

외부 PC벽체의 기준층 조립시간은 7시간 12분으로 약 1일의 Working-day가 필요하고, 전체 PC부재 조립시간의 약 19%의 비율이다. 12층까지 조립시간은 1개층당 1일로 계상되어 12일의 Working-day가 필요한 것으로 분석되었다. 외부 PC벽체를 포함한 기준층 모든 PC벽체의 조립시간은 16시간 29분으로 약 2.06일이 소요되고, 계상된 5일 공기의 약 41%를 차지한다.

기준층 조립시간은 약 5일이 필요한 것으로 분석되었으나, 슬래브 상부 작업 등 후속 공정, 하부층에서 조립되는 외부 PC벽체의 공정계획을 반영하지 않았기 때문에 기준층 골조공사 공기라고 판단하기 어렵다. 따라서 이를 반영한 PC공동주택 골조공사의 기준층 네트워크 공정표는 Figure 11과 같다.

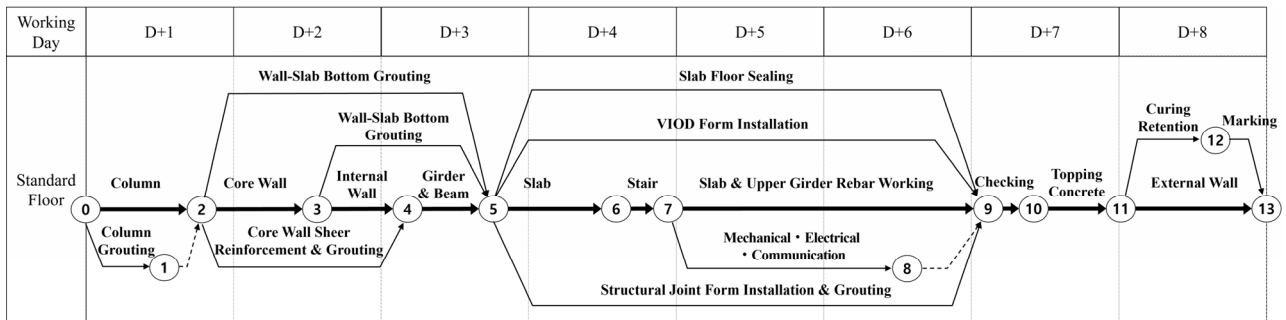


Figure 11. Milestone chart for standard floor construction in PC apartment building

Figure 11과 같이 각 층별 Core·내부 PC벽체 순으로 조립되는 기간에 Core벽체의 본고정인 전단보강, 벽체간 그라우팅, 벽체-하부 그라우팅 공정이 수행되고, 내부벽체의 본고정인 벽체 하부 그라우팅 공정도 수행된다. 이때, 내부 벽체 후속공정은 2가지로 구분된다. 습식공정인 내부벽체 하부 그라우팅은 내부벽체 설치기간에 수행하고, 건식공정인 내부벽체와 인접 기둥, 내부 벽체, 보와의 플레이트 접합을 통한 고정은 마감형태로 분류되어 골조공사 기간이 아닌 여유기간에 수행한다. 이처럼 PC부재 조립 후속 공정들은 조립 CP에 지대한 영향을 미치지 않게 공정을 관리하여 해당층 PC부재를 연속적으로 설치한다. 1개동 T/C 1대 기준으로 외부 PC벽체 조립은 시공간섭때문에 3층 골조공사와 4층 바닥 완료부터 가능하다. 외부 PC벽체 조립공정이 포함된 1개동 T/C 1대 기준층 골조공사의 Working-day는 Figure 11과 같이 8일이 소요된다. 사례 최고층인 12층까지 최소 96일의 Working-day가 필요한 것으로 분석되었다.

5. 결론

PC벽체는 철골부재 설치방식과 동일하게 양중장비를 사용하는 상태에서 시공이 동시에 이루어지는 공정으로서 부재 양중이 PC 골조공사의 CP로 작용한다. 따라서 본 연구는 PC벽체의 조립공정을 분석하기 위해 조립과정을 분석하여 소요된 단위시간을 산출하였다. 이를 통해 기준층 공사 사이클을 작성하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 조립공정 분석을 통한 PC벽체 조립시간은 Core의 경우 29분, 내부의 경우 24분, 외부의 경우 35분으로 도출되었다. PC벽체는 1개층 1개절으로 조립되며, 양중 횟수를 감소시킬 수 없다.

둘째, PC벽체별 조립시간이 상이한 것은 Core·내부·외부 PC벽체의 고정방식 차이 때문이다. 임시고정 단계를 제외한 단계별 작업시간은 비슷하나, 임시고정 단계에서 작업시간이 상이하다. 작업 효율성을 위한 양중과정에서의 임시고정 방식은 동일하다. 그러나 임시고정 단계에서 Core PC벽체는 Dowel bar의 정착 및 인접 Core간 고정, 내부 PC벽체는 가설대 설치, 외부 PC벽체는 외주면의 걸침형태로 고정하는 벽체의 상·하부 고정 및 가설대 설치 작업으로 인하여 작업시간이 다르게 산정된다. 특히, 외부 PC벽체 고정은 Core·내부 PC벽체보다 임시고정 방법이 많기 때문에 Core 벽체 대비 약 22%, 내부 벽체 대비 약 43% 시간이 더 소요되는 것으로 분석되었다.

셋째, 사례의 기준층 Core PC벽체의 조립기간은 약 0.79일, 내부 PC벽체는 약 0.40일로 총 1.20일, 외부 PC벽체는 약 0.90일이 필요한 것으로 분석되었다. 그러나 PC벽체의 조립은 작업 환경의 제약으로 인하여 해당층의 PC부재를 연속적으로 조립할 수 없기 때문에 별도의 조립시간으로 산정되었다. 외부 PC벽체를 제외한 PC 부재 조립기간은 4일이 소요되고, Core·내부 PC벽체의 조립기간 비율은 전체 PC부재 조립시간의 약 32%를 차지하는 것으로 분석되었다. 모든 PC벽체를 연속적으로 조립할 경우에는 5일이 소요된다. 후속공정을 반영한 1개동 기준층 골조공사 기간은 8일의 Working-day가 소요되고, 12층까지 Working-day기준으로 약 96일이 소요된다. 그 중에서 모든 PC벽체는 약 25일이 소요되고, 전체 골조공사 대비 약 25%를 차지하는 것으로 분석되었다.

본 연구는 PC공동주택의 건식공정 극대화를 위해 PC벽체의 조립공정을 분석하여 조립시간을 산정하였다. 그러나 본 연구는 작업자의 PC벽체 조립 최적화의 미반영, 경제성이 저하되는 1개동 T/C 1대 적용의 기준으로 조립공정을 분석하였다. 1개층의 합리적인 공사기간을 제시하기 위해서는 2개동 T/C 1대의 운용, PC벽체 조립 최적화 기법 등이 반영되어야 한다. 따라서 향후 관련 후속연구를 통해 단지계획, 현장 제약조건 등의 연구와 도출된 연구 결과로 PC공동주택 기준층 공기를 산정하여 기존 RC 공법 등과 비교 분석하는 연구가 필요하다. 본 연구의 결과는 다양한 PC벽체를 적용하는 건축물 골조공사 시공계획 시, 핵심자료로 활용될 것이다.

요약

PC공동주택은 RC공사와 달리 양중장비에 의한 작업이 주공정으로 공기가 산정되기 때문에 PC벽체를 포함한 양중 단위공정 분석이 선행되어야 한다. 본 연구는 Core, 내부, 외부 PC벽체의 조립공정을 분석하여 PC공동주택 기준층 공사 Cycle 분석하는 것이다. 각 PC벽체의 양중과정 및 시간을 도출하였고, 그 결과를 사례에 적용하여 기준층 골조공사의 양중 사이클을 분석하였다. 순수 부재설치 기간은 5일로 분석되었고, PC부재별 작업시간 비중은 Core PC벽체는 약 16%, 내부 PC벽체는 약 8%, 외부 PC벽체는 약 18%로 분석되었다. 본 연구의 결과는 PC벽체가 적용된 PC공동주택 골조공사 시공계획 시, 핵심자료로 활용될 것이다.


키워드 : 프리캐스트 콘크리트, 벽체, 조립공정, 공동주택, 공정표


Funding


This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(Grant RS-2020-KA158109).

ORCID

Ki-Ho Kim,  <https://orcid.org/0000-0003-2567-950X>

Bum-Sik Lee,  <https://orcid.org/0000-0001-9657-7426>

Min-Jun Kim,  <https://orcid.org/0000-0002-7035-3907>

Dong-Gun Lee,  <https://orcid.org/0000-0003-3942-6773>

References

1. Lee HH, Kim KH, Son SH, Park KH, Kim SK. Erection time and cost reduction effects of steel connected precast concrete components for long span and heavy loaded logistics buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2020 Feb;26(2):160-74. <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.11673>
2. Polat G. Precast concrete systems in developing vs. industrialized countries. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2010 Oct;16(1):85-94. <https://doi.org/10.3846/jcem.2010.08>
3. Kim KH, Lee BS, Lee DG, Kim MJ, Kim YH, Sohn JR. On-site work analysis for PC member erection of LH PC rahmen apartment building. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*. 2023 Apr 26-28; Busan, Korea. Seoul (Korea): the Architectural Institute of Korea; 2023. p. 965-6.
4. Kim KH, Lee DG, Kim MJ, Jun MH, Lee BS. Analysis of the relationship between preceding and subsequent processes of PC apartment building frame work. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*. 2024 Apr 24-26; Seoul, Korea. Seoul (Korea): the Architectural Institute of Korea; 2024. p. 467-70.
5. Hong WK, Kim SK, Kim HG, Yoon TH, Yune DY, Kim SI. A feasibility study of green frame(GF) for the implementation of low-carbon emissions & long-life housing. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2010 Feb;10(1):57-63. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2010.10.1.057>
6. Lee SH, Kim SE, Kim GH, Joo JK, Kim SK. Analysis of structural work scheduling of green frame : Focusing on apartment buildings. 2011 Jun;11(3):301-9. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2011.06.3.301>
7. Kim KH, Kim MJ, Noh JH, Lee BS. The frame work process of the LH PC apartment building. *Korea Institute for Structural Maintenance Inspect*. 2023. Dec;27(4):18-23.
8. Kim KH, Lim JJ,, Kim JW, Kim MJ, Sohn, JR, Lee BS. On-site productivity reduction factors for off-Site construction based PC public housing. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*. 2021 Oct 27-30; Yeosu, Korea. Seoul (Korea): the Architectural Institute of Korea; 2021. p. 712-3.
9. Kim KH, Lee BS, Koh GE, Lee DG, Kim MJ, Sohn JR. Operation time calculation model of luffing tower crane according to the PC member lifting methods. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*. 2023 Oct 25-27; Gangwon, Korea. Seoul (Korea): the Architectural Institute of Korea; 2023. p. 437-8.
10. Kim KH, Lee DG, Kim MJ, Jun MH, Lee BS. Optimal construction schedule for the crane equipment in the PC apartment building. *Proceeding of the Korea Institute of Building Construction*. 2024 May 22-24; Gunsan, Korea. Seoul (Korea): the Korea Institute of Building Construction; 2024. p. 75-6.
11. Liu D, Li X, Chen J, Jin R. Real-time optimization of precast concrete component transportation and storage. *Advances in Civil Engineering*. 2020 Mar;2020(1):1-18. <http://doi.org/10.1155/2020/5714910>
12. Joo JK, Kim SK, Lee GJ, Lim CY. Cost analysis of the structural work of green frame. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2012 Aug;12(4):401-14. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2012.12.4.401>
13. Kim SW, Choe MG. A study on the lifting progress character tributary for the construction materials moving method. *Journal of*

- the Regional Association of Architectural Institute of Korea. 2010 Mar;12(1):199-206.
14. Kim JJ, Choi IS. A study on hoisting planning system in highrise building construction. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2005 Dec;5(4):121-30. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2005.5.4.121>
 15. Joo JK, Kim SE, Lee GJ, Kim SK, Lee SH. A study on the lifting progress for composite precast concrete members of green frame. 2012 May;13(3):34-42. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.3.034>
 16. Barde AD, Senou K, Somaraju CK, Bommi S. Nation's first high-rise total precast concrete residential building-state of the art of precast technology in India. 2014 National Accelerated Bridge Construction Conference. 2014 Dec 4-5; Miami, FL. Chicago (IL): Precast/Prestressed Concrete Institute; 2014. p. 1-17.
 17. Shannag MJ, Higazey M. Strengthening and repair of a precast reinforced concrete residential building. *Civil Engineering Journal*. 2020 Dec;6(12):2457-73. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091630>
 18. Chai YH, Anderson JD. Seismic response of perforated lightweight aggregate concrete wall panels for low-rise modular classrooms. *Engineering Structures*. 2005 Mar;27(4):593-604. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.12.001>
 19. Fernando PLN, Jayasinghe MTR, Jayasinghe C. Structural feasibility of expanded polystyrene (EPS) based lightweight concrete sandwich wall panels. *Construction and Building Materials*. 2017 May;139:45-51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.027>
 20. Kurpinska M, Grzyl B, Kristowski, A. Cost analysis of prefabricated elements of the ordinary and lightweight concrete walls in residential construction. *Materials*. 2019 Nov;12(21):3629. <https://doi.org/10.3390/ma12213629>
 21. Vaghei R, Hejazi, F, Taheri H, Jaafar MS, Ali AAA. Evaluate performance of precast concrete wall to wall connection. *APCBEE procedia*. 2014 Sep;9:285-90. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.01.051>
 22. Lakshmikandhan KN, Harshavardhan BS, Prabakar J, Saibabu S. Investigation on wall panel sandwiched with lightweight concrete. *Proceeding of Materials Science and Engineering*. 2017 Jul 3-4; Telangana, India. Bristol (England) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2017. p. 1-15. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/225/1/012275>
 23. PCI Committee on Precast Sandwich Wall Panels. State of the art of precast/prestressed concrete sandwich wall panels. 2nd ed. Chicago (IL): Precast/Prestressed Concrete Institute; 2011. p. 1-63.
 24. Kim KH, Lee BS, Kim JW, Kim MJ, Sohn JR. Erection process analysis of external PC walls in the PC public apartment building with beam-column system. *Proceeding of the Korea Concrete Institute*. 2023 May 10-12; Busan, Korea. Seoul (Korea): the Korea Concrete Institute; 2023. p. 623-4.
 25. Kim KH, Lee BS, Lee DG, Kim MJ, Sohn JR. Erection process analysis of the PC staircase in the apartment building. *Proceeding of the Korea Institute of Building Construction*. 2023 Nov 9-10; Ansan, Korea. Seoul (Korea): the Korea Institute of Building Construction; 2023. p. 103-4.
 26. Kim KH, Lee BS, Kim JW, Kim MJ, Kim YH, Sohn JR. Work process classification of PC core walls and PC internal walls in LH rahmen PC apartment building. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*. 2023 Apr 26-28; Busan, Korea. Seoul (Korea): the Architectural Institute of Korea; 2023. p. 621-2.
 27. Kim KH, Lee BS, Ryu BG, Lee DG, Kim YH, Sohn JR. Optimal process analysis of external PC walls in the apartment building. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*. 2023 Oct 25-27; Gangwon, Korea. Seoul (Korea): the Architectural Institute of Korea; 2023. p. 456-7.
 28. Choi MS, Kim MH. An analysis on the labor and capital productivity of the construction industry. *Architectural Institute of Korea*. 2005 Aug;7(2):91-6.
 29. Kim JY, Choi JH, Lee SH. Factors Affecting the Losses of Domestic Construction Productivity and Strategies for Avoiding Them. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2011 Feb;27(2):113-24.