

PC공동주택 골조공사의 선·후행공정 연관관계 분석

Analysis of the Relationship between Preceding and Subsequent Processes of PC Apartment Building Frame Work

○김 기 호*
Kim, Ki-Ho

이 동 건**
Lee, Dong-Gun

김 민 준**
Kim, Min-Jun

전 명 훈***
Jun, Myoung-Hoon

이 범 식****
Lee, Bum-Sik

Abstract

The purpose of this study is to establish the relationship between preceding and subsequent processes of PC apartment building standard floor frame work. For this study, working relationships were derived from the LH's PC apartment building sites. The results of this study will be used as basic data for the establishment of the construction schedule and related research in which all frame is designed of precast concrete.

키워드 : PC, PC공동주택, 공정표, 골조공사, 연관관계

Keywords : Precast Concrete, PC Apartment Building, Milestone, Frame Work, Relationship

1. 서론

Reinforced Concrete(RC) 또는 Precast Concrete(PC) 구조물 공사단계에서 대부분의 공정들은 연속적으로 연계되어 있다. 통상적으로 RC 골조공사 단계에서는 철근-형틀-타설 순으로 공정이 진행되며, 각 공정의 세부 작업들은 인력배치에 따라 시간이 변한다. 그러나 PC 골조공사 단계에서는 PC구조의 각각 상이한 후속공정 및 후속작업들이 후행 공정에 영향을 미친다. 이러한 작업간 연관관계 파악이 필요하여 다양한 선행연구들이 수행되었지만, 대부분 RC 공정에 국한되어 있다. PC공법도 90년대 중반까지 벽식 PC구조의 공동주택이 도입되었고, 관련 연구도 수행되었다. 그러나 보-기둥구조 PC공동주택 골조공사의 작업간 연관관계에 대한 연구는 전무하다.

본 연구의 목적은 LH의 보-기둥구조 PC공동주택 대상으로 골조공사단계에서 현장작업 기반의 선·후행 공정관계를 파악하고 체계를 분석하였다.

2. 선·후행 공정관계

건설 현장에서 일련의 공정은 선·후행 공정의 연관관계에

* LH토지주택연구원 연구원

** LH토지주택연구원 수석연구원

*** LH토지주택연구원 연구위원

**** LH토지주택연구원 연구위원, 교신저자

(Corresponding author : Korea Land and Housing Corporation, jrsohn@lh.or.kr)

이 연구는 2023년도 국토교통과학기술진흥원 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호:23ORPS-B158109-04.

따라 CP(Critical Path)가 작성된다. 모든 작업(Activity)은 선·후행 공정과 연계되어야 공기를 추정 및 관리를 할 수 있다. 다른 작업에 영향을 미치는지 파악하기 위해 작업 간 연관관계 정의는 매우 중요한 요소 중 하나이다.



그림 1. FS (Finish to Start)

그림1의 FS는 선행작업이 종료된 이후에 후행작업이 수행하는 관계이며, 대부분 CP(Critical Path)에서 발견된다.



그림 2. FF (Finish to Finish)

그림2의 FF는 선행작업이 종료되면, 후행작업도 이미 종료되거나 가까운 미래에 종료될 수 있는 FF관계이다. 특징은 Lag Time을 포함하고 있다.

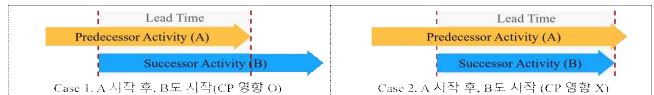


그림 3. SS (Start to Start)

그림3의 SS는 선행작업이 시작된 이후에 후행작업을 시작할 수 있는 관계이며, Lead Time을 포함하고 있는 것이 특징이다.

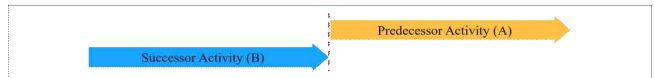


그림 4. SF (Start to Finish)



그림4의 SF는 선행작업 시작 이전에 이미 후행작업이 종료된 상황이다. 시간을 역행하는 관계이기 때문에 논리적인 상황에 적용할 수 없다.

3. 기준층 골조공사 선·후행 공정

PC공동주택 기준층 골조공사의 현장자료를 수집하기 위해 표1의 2곳의 사례현장을 대상으로 하였으며, 모든 부재가 PC가 구성된 것이 큰 특징이다.

기준층 작업흐름도를 작성하기 위해 PC부재별 조립 프로세스 및 단위작업에 대한 세부 분석을 선행연구로 수행하였으며(Kim, 2023a. b. c. d. e), 이를 통해 보-기둥구조 PC공동주택 골조공사의 작업흐름도를 작성하였다.

표 1. PC공동주택 사례 현장

구분	내용
사례 현장	  A현장 (충남 아산시) B현장 (경기도 평택시)
구조	Beam - Column System Precast Concrete
부재 종류	기둥, 보, 슬래브, 계단실, Core·내부·외부벽체, 옥탑층

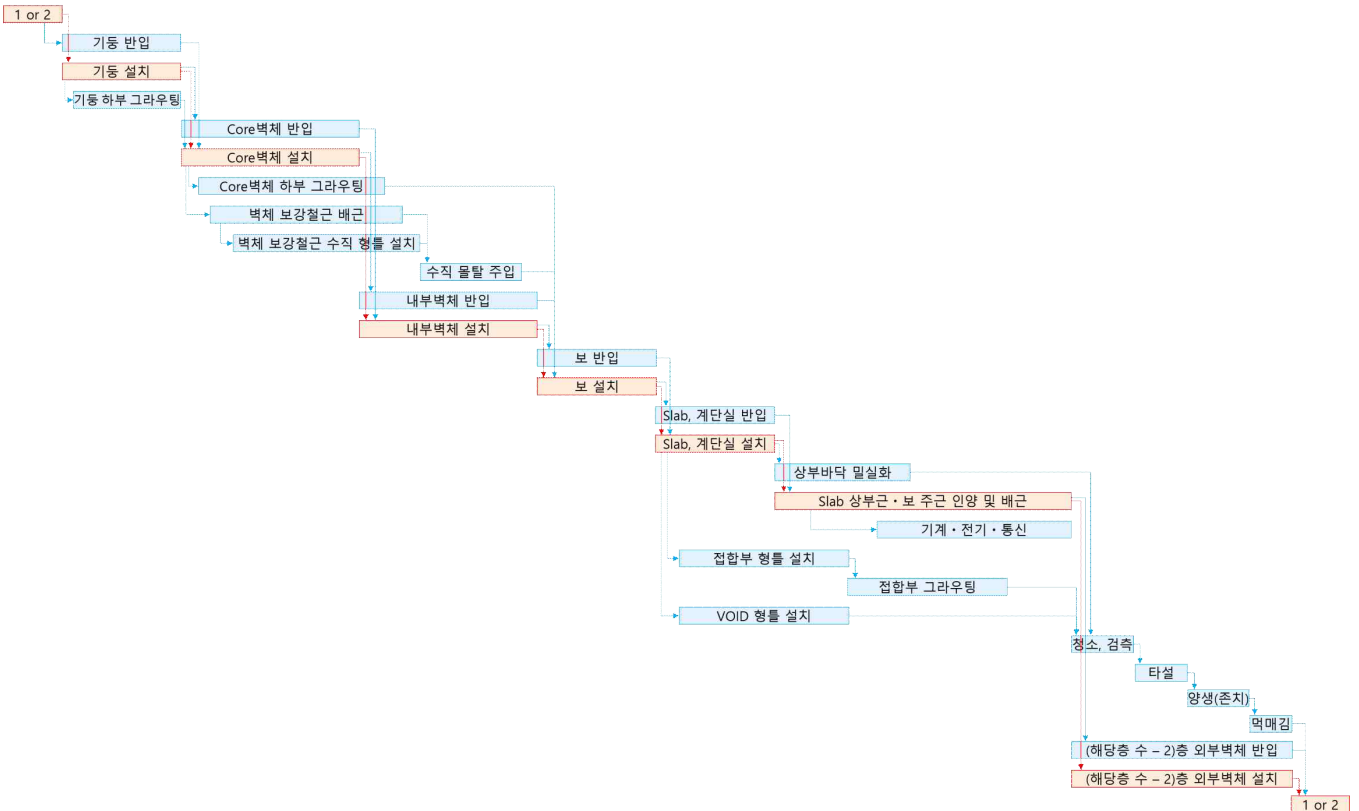


그림 5. PC공동주택 골조공사의 작업흐름도

보-기둥구조를 적용한 PC공동주택 기준층 골조공사의 작업 흐름도는 그림5와 같으며, 핵심 CP는 건식공정의 일련화이다. 해당 작업흐름도는 기존 RC 공동주택의 양중장비와 동일하게 1대의 타워크레인을 적용한 1개동 이상을 기준으로 작성하였다. 특이한 상황 또는 공정을 제외하고, PC부재 설치를 중심으로 이루어진다.

PC부재 설치과정에서 후속작업으로 부재별 습식공정이 수반된다. 기둥 설치 시, PC기둥을 하부 바닥면과 일체화하는 기둥 하부 그라우팅이 필요하다. 모든 PC기둥을 설치 완료 이후에 일체화를 실시한다면, PC기둥과 Core PC벽체 설치 사이에 공백시간이 발생하여 공사일이 증가한다. 별도의 작업조를 편성하여 일정 PC기둥 수의 설치가 완료된 시점부터 후속작업을 수행한다. 기둥 하부 그라우팅은 기둥설치 시간을 고려하여 적절한 응결시간을 가진 몰탈을 사용한다.

Core PC벽체의 후속공정은 그라우팅과 보강철근 철근로 구분한다. 먼저, 그라우팅 작업방식은 PC기둥과 유사하게 수행한다.

벽체 보강철근 배근은 최소 Core PC벽체가 2개 이상 설치 완료된 이후에 수행되며, 배근과 동일한 시기에 형틀 설치도 수행한다. 배근 및 형틀 설치가 완료된 이후에 몰탈을 주입하여 해당 Core PC벽체들을 일체화한다.

PC보 설치에서 습식공정은 없다. 그러나 PC보 설치가 완료된 이후에는 보-기둥구조의 일체화작업이 필요하다. 따라서 Slab, PC계단실 설치기간 동안에 하부층에서 구조부 형틀 설치 및 접합부 그라우팅을 수행한다.

Slab설치 이후에는 Topping Concrete 타설을 위해 VOID 형틀 설치와 상부 Slab 바닥면의 밀실화 작업이 이루어진다. 동시에 Slab 상부근·보 주근 배근 작업 및 기계·전기·통신 작업도 수행하며, RC의 작업방식과 동일하다.

배근 완료 이후에는 검측, Topping Concrete타설, 일정기간 동안의 양생이 발생한다. 그 후 상부층 바닥 면매김이 진행된다. 그러나 Topping Concrete타설과 해당층 바로 1개층 아래에서의 외부 PC벽체 설치의 매우 어렵다. 동시 작업을 위해서는 작업

공간, 환경, 여건 등을 고려하여야 하기 때문이다. 따라서 해당층 수에서 2개층 아래의 외부 PC벽체를 설치하게 된다. 여건에 따라 -3개층도 가능하며, 그 이상의 차이가 발생하는 층 수에도 적용이 가능하다. 그러나 외부 PC벽체만 일련으로 설치한다면, 양중장비의 작업 가동율이 저하되기 때문에 해당 관련한 공정 계획은 현장 여건을 반영하여 수립하여야 한다.

(해당층 수 - 2)층 외부 PC벽체 조립이 완료된 시점에는 양생준비시간과 (해당층 수 +1)층 바닥면의 덕매김 작업이 종료되기 때문에 (해당층 수 +1)층 PC기둥 설치가 바로 수행된다. 외부 PC벽체 설치가 불가능한 층 수의 경우, Topping Concrete가 CP로 대체 처리한다. 따라서 그림5와 같이 시작 시점이 다른 2가지 방법의 작업흐름도를 작성하였다.

앞서 기술한 것처럼 (해당층 수 - 2)층 외부 PC벽체 설치를 위한 층 수가 확보되지 못한다면, 해당 작업을 할 수 없다. 일정 층 수 기준으로 CP가 다른 그림5의 작업흐름도를 작성하게 된다. 초반에 상이한 2가지 CP에 대한 자세한 내용은 그림6a, b이며, 두 CP간 차이는 외부 PC벽체의 설치 공정 유무이다.

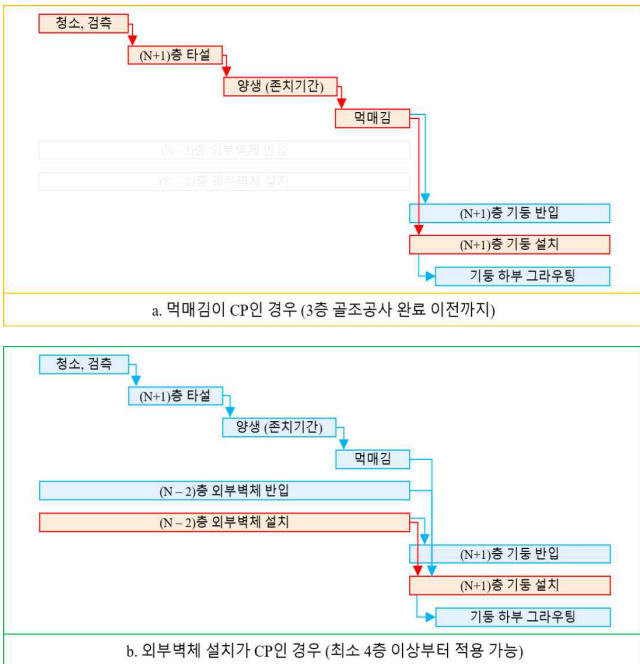


그림 6 .FS관계의 현장작업

그림6a는 외부 PC벽체가 불가능한 저층부에 해당하는 CP이다. 최소 3층 골조공사 완료 이전까지 반복적으로 수행하며, 습식 공정이 CP에 포함된 것이 큰 특징이다. RC와 동일하게 배근&형틀 작업 후, 타설-양생-덕매김으로 수행한다. PC부재 생산 계획 및 현장여건에 따라 3개층 이후에도 적용 할 수 있다. 외부 PC벽체가 없는 비주거시설의 공정계획과 유사하다.

그림6b는 외부 PC벽체가 설치 가능한 층 수 이후의 CP이다. 최소 4층 이상부터 적용 가능하다. 그림6a와 비슷한 기간동안에 건식공정이 CP로 대체한다. 이는 Topping Concrete의 물량이 RC 대비하여 상대적으로 작기 때문이다. 외부 PC벽체 설치가 조기 설치완료될 경우에는 다른 동 of PC부재 설치 지원 또는 해당동의 PC부재 선반입 및 현장야적도 가능하다.

외부 PC벽체가 설치가 가능한 층부터 모든 건식공정이 CP가 되는 궁극적인 건식공법의 일련화가 가능하다. 그림6b의 공정

계획을 반영한 그림5의 작업흐름도 대입을 통해 비주거시설과 상이하게 순수 건식공정 중심의 공정표를 작성할 수 있다. 이를 위해서 단위 작업별 선·후행 작업의 연관관계 파악이 필요하기 때문에 사례현장을 통해 PC부재별 선·후행작업 연관관계를 조사하였다.



그림 7. FS관계의 현장작업

보-기둥구조 PC공동주택 골조공사에서 대표적인 FS관계는 그림7과 같이 PC기둥 - Core PC벽체 설치 과정이다. 해당층 또는 사전 계획한 구획별 모든 PC기둥을 설치완료한 이후에 Core PC벽체를 설치한다. FS관계는 1개의 선행작업에서 다수의 후행작업으로 연계가 가능하나, 해당 작업 중 가장 긴 FS작업이 하나의 CP가 된다.

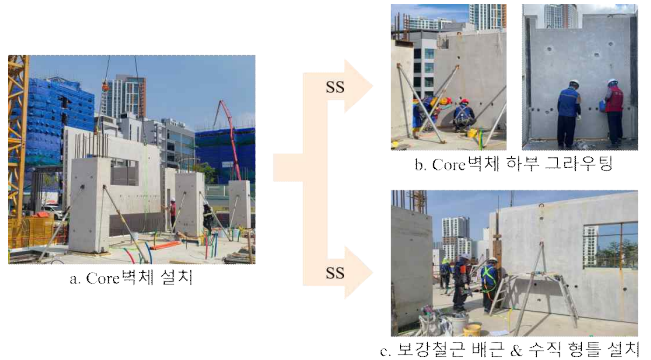


그림 8. SS관계의 현장작업

그림8은 SS관계의 작업내용이며, Core PC벽체 설치 공정이 시작됨에 적절한 시기에 벽체 하부 그라우팅과 보강철근 배근 & 형틀 설치가 개별적으로 수행한다. SS관계도 1개의 선행작업에서 다수의 후행작업의 연계가 가능하다. 대부분 CP에 영향을 미치지 않지만, 특이한 상황에는 CP로 변경될 수 있다.



그림 9. FS, SS관계의 동시 현장작업

그림9는 PC보 설치 시작 후 발생하는 FF, SS관계의 작업이다. Slab & PC계단실은 PC보 설치 완료 이후에 설치하며 FS관계이다. 접합부 & VOID 형틀 설치의 일정 개수의 PC보 설치가 완료된 시점부터 작업하며, SS관계이다. 해당 작업은 어느정도 Slab설치가 완료되는 시기에 수행한다.

표 2. PC공동주택 골조공사의 선·후행 공정 관계

해당공정	관계	선행공정	후행공정
기둥반입	SS	(해당층-3)층 외부벽체 설치	Core벽체 설치
기둥설치	FS	(해당층-3)층 외부벽체 반입, (해당층-3)층 외부벽체 설치, 해당층 바닥 타설 및 양생, 떡매김	Core벽체 반입, Core벽체 설치
기둥 하부 그라우팅	SS	기둥설치	Core벽체 설치
Core벽체 반입	SS	기둥설치	내부벽체 설치
Core벽체 설치	FS	기둥설치, 기둥반입, 기둥 하부 그라우팅	내부벽체 반입, 내부벽체 설치
Core벽체 하부 그라우팅	SS	Core벽체 설치	보 설치
벽체 보강철근 배근	SS	Core벽체 설치	몰탈 주입
수직 형틀 설치	SS	벽체 보강철근 배근	몰탈 주입
수직 몰탈 주입	FS	벽체 보강철근 배근, 수직 형틀 설치	보 설치
내부벽체 반입	SS	Core벽체 설치	보 설치
내부벽체 설치	FS	Core벽체 설치, Core벽체 반입	보 반입, 보 설치
보 반입	SS	내부벽체 설치	Slab, 계단실 설치
보 설치	FS	내부벽체 설치, 벽체 하부 그라우팅, 수직 몰탈 주입, 내부벽체 반입	Slab, 계단실 반입, Slab, 계단실 설치
Slab, 계단실 반입	SS	보 설치	Slab 상부근·보 주근 인양 및 배근
Slab, 계단실 설치	FS	보 설치, 보 반입	Slab 상부근·보 주근 인양 및 배근, 상부바닥 밀실화, VOID 형틀 설치
접합부 형틀 설치	SS	보 설치	접합부 그라우팅
접합부 그라우팅	SS	접합부 형틀 설치	청소&검측
VOID 형틀 설치	SS	Slab&계단실 설치	청소&검측
상부바닥 밀실화	SS	Slab&계단실 설치	청소&검측
Slab 상부근·보 주근 인양 및 배근	FS	Slab&계단실 설치, Slab&계단실 반입	(해당층-2)층 외부벽체 반입, (해당층-2)층 외부벽체 설치, 청소&검측
기계·전기·통신	SS	Slab 상부근·보 주근 인양 및 배근	청소&검측
청소&검측	FS	접합부 그라우팅, VOID 형틀 설치, 상부바닥 밀실화	(해당층+1)층 타설 및 양생(존치)
(해당층+1)층 타설 및 양생(존치)	FS	청소&검측	상부층 기둥 설치
떡매김	FS	(해당층+1)층 타설 및 양생(존치)	상부층 기둥 설치
(해당층-2)층 외부벽체 반입	SS	Slab 상부근·보 주근 인양 및 배근	상부층 기둥 설치
(해당층-2)층 외부벽체 설치	FS	Slab 상부근·보 주근 인양 및 배근	상부층 기둥 반입, 상부층 기둥 설치

현장조사를 기반으로 작성한 PC공동주택 골조공사의 단위작업별 선·후행 공정 관계는 표2와 같다. 발생할 수 있는 FF관계의 공정을 세분화하여 단계적인 SS관계로 연계 처리하였다. 예를 들어, 떡매김을 위해서는 양생기간 동안에 Lag Time을 두어 수행하여야 한다. 그러나 양생기간을 존치 시간과 전체 양생시간으로 구분한다면, 전부 SS관계로 처리가 가능하다. PM(Project Management) 측면에서 양생 존치기간과 전체 양생기간은 다른 의미이기 때문이다.

PC부재별 후속작업은 대부분 SS관계이지만, Slab & PC 계단실 설치 시점에서의 접합부 형틀 설치 및 그라우팅은 FS관계이다. 해당 시기에는 PC작업조가 철근 배근을 수행하지 않기 때문에 작업 인원을 조절하여 시공성 및 경제성을 확보한다. 이때, 완료된 공정에 대한 점검 및 수정 보완도 가능한 Slack Time이 발생하기 때문에 공정의 원활함과 QC(Quality Control)를 위해 FS관계로 구분하였다.

4. 결론

본 연구는 보-기둥구조 LH PC공동주택 현장을 대상으로 골조공사의 선·후행 공정 관계를 작성하였다. 본 결과물을 통해 PC공법의 궁극적인 목표인 건식공법의 단순 CP화가 가능하다. 이와 같이 작업관계의 명료한 단순화는 다양하게 고려하여야 하는 프로젝트 특성에서 시공 & 공정관리뿐만 아니라 Risk 관리까지 대응할 수 있다. 본 연구의 결과는 모든 부재가 PC로 구성된 공동주택 골조공사 공정표 계획수립 및 관련 연구의 기초자료로 활용될 것이다.

참고문헌

- 김기호, 임정준, 김진원, 김민준, 손정락, 이범식. (2021). OSC기반 PC공동주택 현장 생산성의 저하요인. 대한건축학회 학술발표대회 논문집. 41(2). 712-713.
- 김기호, 이범식, 김진원, 김민준, 김민준, 김연호, 손정락. (2023a). 보-기둥구조 LH PC공동주택의 PC Core벽체와 내부벽체의 작업프로세스 분류. 대한건축학회 학술발표대회 논문집. 43(1). 621-622.
- 김기호, 이범식, 김진원, 김민준, 손정락. (2023b). 보-기둥구조 PC공동주택 외부 PC벽체의 조립 프로세스 분석. 한국콘크리트학회 학술대회논문집. 35(1). 623-624.
- 김기호, 이범식, 이동건, 김민준, 손정락. (2023c). 공동주택의 PC계단실 조립 프로세스 분석. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집. 23(2). 103-104.
- 김기호, 이범식, 이동건, 김민준, 손정락. (2023d). 타워 크레인을 적용한 대단지 PC공동주택의 공정계획 효율성 분석. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집. 23(2), 105-106.
- 김기호, 김민준, 김진원, 이동건, 손정락, 이범식. (2022). 보-기둥구조 PC공동주택 시공관리를 위한 골조공사 ADM공정표 작성. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집. 22(2), 221-222.
- 김기호, 이범식, 류병규, 이동건, 김연호, 손정락. (2023e). 공동주택 외부 PC벽체 조립의 최적 공정분석. 대한건축학회 학술발표대회 논문집. 43(2). 456-457.