

HPC공법의 공사절차 프로토타입 개발 및 공사기간 분석

Development of the Construction Procedures Prototype and Analysis of Construction Period for the HPC Method

김 재 엽*

Kim, Jae-Yeob*

Department of Architectural Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea

Abstract

HPC method is developing to improve the constructability and structural performance of the existing PC method. The objective of this study is to develop construction procedures and to analysis of construction period for HPC method. In order to develop construction procedures, the building construction data of the existing half-slab method was analyzed. Analyzing design drawings and specifications of nine construction cases, a prototype of half-slab method, was drawn. Applying the core technology of HPC method to the drawn prototype of half-slab method, a prototype of HPC method, was developed. The differences of both methods were ‘installing PC column’ and ‘placing topping concrete’. To analysis the differences of both methods, seven construction cases were analyzed. According to the analysis for HPC method, cases1 and 2 had columns divided for construction shortened about 16% of a construction period. The schedule of column assembly work was analyzed to be shortened much. That is judged to be because the use of a hollow PC column leads to a decrease in the number of columns. In particular, if HPC method is applied to a building construction site using large columns, it is analyzed to shorten a construction period more than the existing Half-slab method

Keywords : HPC method, half-slab method, construction procedure, construction period

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

PC공법은 노무인력 부족과 인건비의 상승, 건축물의 대형화 등으로 인해 지속적인 관심과 연구가 진행되고 있다 [1]. 그러나 PC공법은 RC공법과 비교하여 부재 간 접합부의 일체성 확보에 많은 어려움이 있으며, 횡력으로 작용하는 힘에 취약하다. 또한 부재의 중량화로 인해 운반비가 상승하며, 고용량 양중장비의 사용으로 공사비 절감에 어려움이 따른다[2]. PC공법의 이러한 문제점을 보완하고, 건축공사

의 환경변화와 다양한 공사관리 제약조건을 해결하기 위해 많은 공법들이 연구되고 있다. ‘중공PC기둥을 적용한 합성 공법(combine method using hollow PC column: HPC 공법)’ 또한 기존 PC공법의 구조일체성과 시공성을 개선하기 위해 개발하고 있다. HPC공법에 대한 선행연구는 공법의 기본 원리 등에 대한 특허[3]와, HPC기둥의 압축거동[4], HPC기둥을 활용한 보-기둥 접합부의 구조성능[2], 헤드 스플라이스 슬리브의 구조성능[5,6], 중공PC기둥과 하프 PC 보 내부 접합부의 반복 횡력에 대한 이력거동[7], HPC공법의 공사기간 및 공사비 분석[8] 등에 관한 연구들이 활발하게 이루어지고 있다.

그러나 HPC공법에 대한 선행연구는 PC부재의 구조적 해석, PC부재 접합부의 실험에 의한 구조성능 평가 등의 구조 분야 연구가 대부분이다. HPC공법을 건축공사 현장에 적용하기 위해서는 시공 및 공사관리 분야의 연구도 선행되어야 한다. 따라서 본 연구는 HPC공법을 공사현장에 적용하는데

Received : October 12, 2017

Revision received : October 24, 2017

Accepted : November 7, 2017

* Corresponding author : Kim, Jae-Yeob

[Tel: 82-43-841-5203, E-mail: kimjy67@ut.ac.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

필요한 공사관리 측면의 기초연구로 수행되었다. 본 연구의 목적은 HPC공법 골조공사의 표준적인 공사절차를 개발하고, 이를 활용하여 HPC공법의 공사기간을 분석하는 것으로 하였다. 선행 연구 중에서 개략적인 공사기간 분석에 대한 연구가 수행된 바 있다[8]. 그러나 본 연구는 골조공사에 대한 표준적인 공사절차와 기동PC 접합부의 상세 등이 개발되어 반영되었다는 측면에서 선행연구와의 차별성이 있다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 현재 개발 중인 HPC공법의 공사절차 프로토타입 개발과 공사기간 분석을 연구범위로 하였다. 연구방법은 국내에서 가장 일반적인 PC공법인 하프슬래브공법과 비교하는 것으로 하였다. 구체적으로는 HPC공법에 대한 선행 연구결과[2,3,4,5,6,7,8]를 기반으로, 최근 PC공사사례를 분석하였다(Table2). PC공장 및 PC공사현장 방문 실측조사, 연구진 세미나, PC전문가 면담조사, 현장실무자 인터뷰 등을 통해 연구를 수행하였다. 연구에 활용된 PC공사사례는 최근 5년 이내에 하프슬래브공법으로 국내에서 건축되었거나 시공 중인 9개 건축공사였다. 분석에 사용된 공사자료는 사례별로 설계도면, 시방서, 공사계획서, 현장조사 결과 등이 수집되어 사용되었다. 공사자료를 분석하여 하프슬래브공법의 표준적인 공사절차를 도출하였다. 도출된 하프슬래브공법의 표준적인 공사절차에 HPC공법의 핵심기술(중공기동PC, 헤드 스플라이스 슬리브)을 적용하여 HPC공법의 공사절차 프로토타입을 개발하였다. 또한 HPC기동 접합부의 시공상세를 도출하였다. 공사기간 분석은 개발된 공사절차와 시공상세를 7개의 공사사례에 적용하여 두 공법 간의 공사기간 차이를 산출하여 분석하였다.

2. PC공법 및 HPC공법 고찰

2.1 PC복합공법 개요

철근콘크리트 구조체를 형성하는 방식은 크게 현장에서 만들어지는 기존 재래식 공법인 RC공법과 주요 부재를 공장에서 제작·운반하여 현장에서 조립하는 PC공법으로 분류할 수 있다. 구조용 PC공법의 종류는 Table 1과 같이 매우 다양하다[9]. Table 1의 종류를 기본으로 하여 요소기술들을 추가적으로 결합하여 더욱 세분화된다.

건축용 PC의 종류는 기둥, 보, 벽, 바닥판 등 건축물의 주요 구조부를 PC화한 구조용 PC와 PC커튼월과 같이 외장

재로 쓰이는 외장용 PC로 구분할 수 있다. 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 PC공법은 PC복합화 공법으로서 부분 PC화된 구조부재를 사용하여 현장타설 공법과 PC공법을 합리적으로 조합시키는 방법을 말한다. 대부분 슬래브의 형태와 특성에 따라 분류되며 하프슬래브공법을 시작으로 MRS 슬래브 공법, 더블티 슬래브 공법 등 신기술들이 도입되었다. 국내에서는 하프슬래브공법이 가장 일반화된 복합공법이다.

Table 1. Classification of construction PC method

| | | Large Panel System, Cell method |
|---------------|--|---------------------------------|
| Structural PC | Composite method | 1. Shear wall |
| | | 2. Half-PC slab |
| | | 3. Double Tee Slab |
| | | 4. Hollow-core slab |
| | | 5. Inverse rib slab |
| | | 6. Multi ribbed slab |
| | | 7. Multi-tee slab |
| Exterior PC | PC Curtain Wall , Decoration structure | |

2.2 HPC공법 고찰

하프슬래브공법은 All-PC 기둥, 하프 PC 슬래브와 보를 현장에서 조립하여 건축물의 뼈대를 형성하는 공법이다. PC 부재를 조립한 후, 하프 PC 부재에 상부철근 등을 조립하고 콘크리트를 타설하여 건축물의 프레임을 만들어가는 공법이다. 하프슬래브공법을 비롯한 기존의 PC복합화 공법은 현장타설 콘크리트를 통해서 PC부재 간의 일체성을 향상시키고, 하프 PC 부재를 사용하여 무게와 운반비를 절감시켰다. 하지만 여전히 접합부의 일체성이 떨어지며, PC기둥의 중량화로 운반비 상승과 같은 문제점을 가지고 있다. HPC공법은 하프슬래브공법의 All-PC 기둥을 중공PC기둥으로 변경하고[3], 기둥 주근의 이음에 사용되는 스플라이스 슬리브를 헤드 스플라이스 슬리브(head splice sleeve: 이하 HSS)로 변경하여 개선한 것이다[5]. 이를 통해 PC부재 간의 구조적 일체성과 시공성을 개선하기 위해 HPC공법이 개발되고 있다. 중공PC기둥은 All-PC기둥의 무게를 줄여 운반 및 현장조립과정의 시공용이성을 향상시킬 수 있다. HSS는 스플라이스 슬리브에 비해 절반 정도의 길이로 동일한 구조성능을 얻을 수 있다. 강재의 사용량을 절감하고 접합부의 시공절차도 단순화할 수 있는 장점이 있다. HPC공법의 핵심기술에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

2.2.1 중공PC기둥

중공PC기둥은 중공 프리캐스트 콘크리트(hollow precast concrete)와 현장 타설 콘크리트를 합성하여 사용하는 합성 HPC 기둥이다[2]. Figure 1과 같이 중공 PC기둥은 특수 제작한 몰드에 철근을 배근하고 원심력을 사용하여 제작한다. 회전으로 인해 기둥내부에 빈 공간이 발생하며, PC부재가 거푸집으로서의 역할을 할 수 있게 된다. 빈 공간에 콘크리트를 타설함으로써 중공 PC기둥과 하프 PC보와의 일체성을 향상시킬 수 있다.

2.2.2 헤드 스플라이스 슬리브

PC공법의 접합부는 모르타르 충전식 철근이음(Splice sleeve)을 많이 사용한다. 헤드 스플라이스 슬리브는 매입 철근에 헤드를 달아 부착력을 증가시킨 모르타르 충전식 이음이다[3]. 기존의 스플라이스 슬리브는 과대한 단면으로 시공성과 경제성이 떨어진다. 하지만 헤드 스플라이스 슬리브는 부착력 증가로 단면을 최적화하여 경제적이며 높은 시공성을 보인다. Figure 2는 헤드 스플라이스 슬리브의 제품사진과 단면상세를 나타낸 것이다.

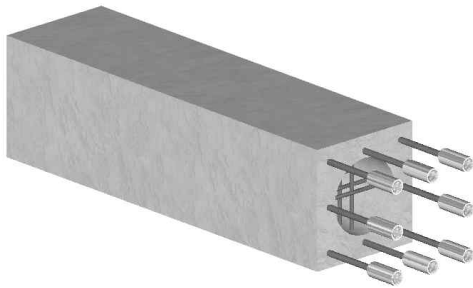


Figure 1. Hollow-PC column

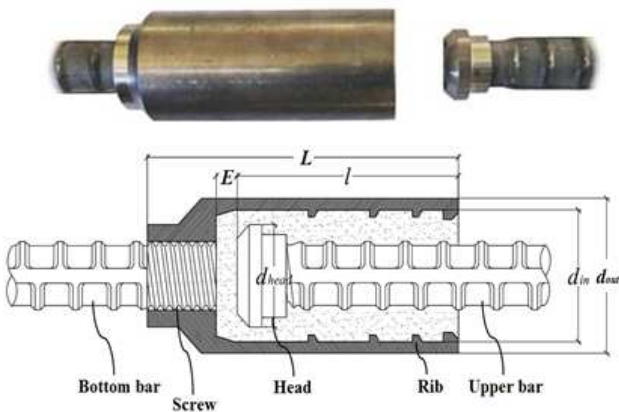


Figure 2. Head-Splice sleeve

3. HPC공법의 공사절차 프로토타입 개발

3.1 하프슬래브공법의 시공사례 분석

3.1.1 시공사례 개요

하프슬래브공법의 표준적인 공사절차를 도출하기 위해 최근 5년 이내에 국내에서 건축되었거나 시공 중인 9개 건축공사의 자료를 수집하여 분석하였다(Table 2). 사례별로 설계도면, 시방서, 공사계획서 등을 수집하여 표준적인 공사절차 도출에 활용하였다. 이 중에서 3개의 건축공사 현장에 대해서는 직접방문에 의한 조사도 병행하였다. 건축물의 용도는 모두 물류센터였으며, 공사현장의 위치는 모두 서울, 인천, 경기 등 수도권이었다.

하프슬래브공법 사례별로 많이 사용된 기둥, 보 및 슬래브의 유형을 분석하였다. 기둥은 All-PC가 대부분이었으며 부분적으로 RC기둥도 사용된 것으로 나타났다. 기둥의 중량이 커서 2개(사례 1) 또는 3개(사례 2, 8)로 분절할 현장도 있는 것으로 분석되었다(사례 1, 2, 8). 보는 하프 PC가 대부분이었으며 건축물의 평면 형태에 따라 부분적으로 RC보도 사용된 것으로 나타났다. 슬래브의 구조적인 형태는 모든 사례에서 프리스트레스가 도입된 일방향 슬래브가 사용되었다. 형태상의 유형으로는 리스 플러스 슬래브(RPS), 더블티 슬래브(DTS)가 많이 사용되는 것으로 나타났다. 이외에도 하프슬래브(H/S), 중공 슬래브(HCS), RC, 데크 등도 부분적으로 함께 사용된 것으로 조사되었다.

Table 2. Types of PC members in construction cases

| Case | Location | Total area(m ²) | Types of PC members | | |
|------|----------|-----------------------------|-----------------------|-------------|----------------|
| | | | Column | Beam | Slab |
| 1 | Seoul | 404,347 | All-PC (divide 2) | Half-PC | RPS, DTS, DECK |
| 2 | Seoul | 165,799 | All-PC, RC (divide 1) | Half-PC, RC | DTS, RC |
| 3 | Yongin | 57,956 | All-PC, RC | Half-PC, RC | RPS, RC |
| 4 | Gwangju | 63,660 | All-PC | Half-P | RPS, H/S |
| 5 | Icheon | 54,953 | All-PC | Half-PC | RPS, HCS |
| 6 | Icheon | 2,807 | All-PC, RC | Half-PC, RC | RPS |
| 7 | Yongin | 10,576 | All-PC | Half-PC | RPS |
| 8 | Hwaseong | 486,048 | All-PC (divide 1) | Half-PC | RPS, DTS |
| 9 | Icheon | 42,212 | All-PC | Half-PC | RPS, DTS |

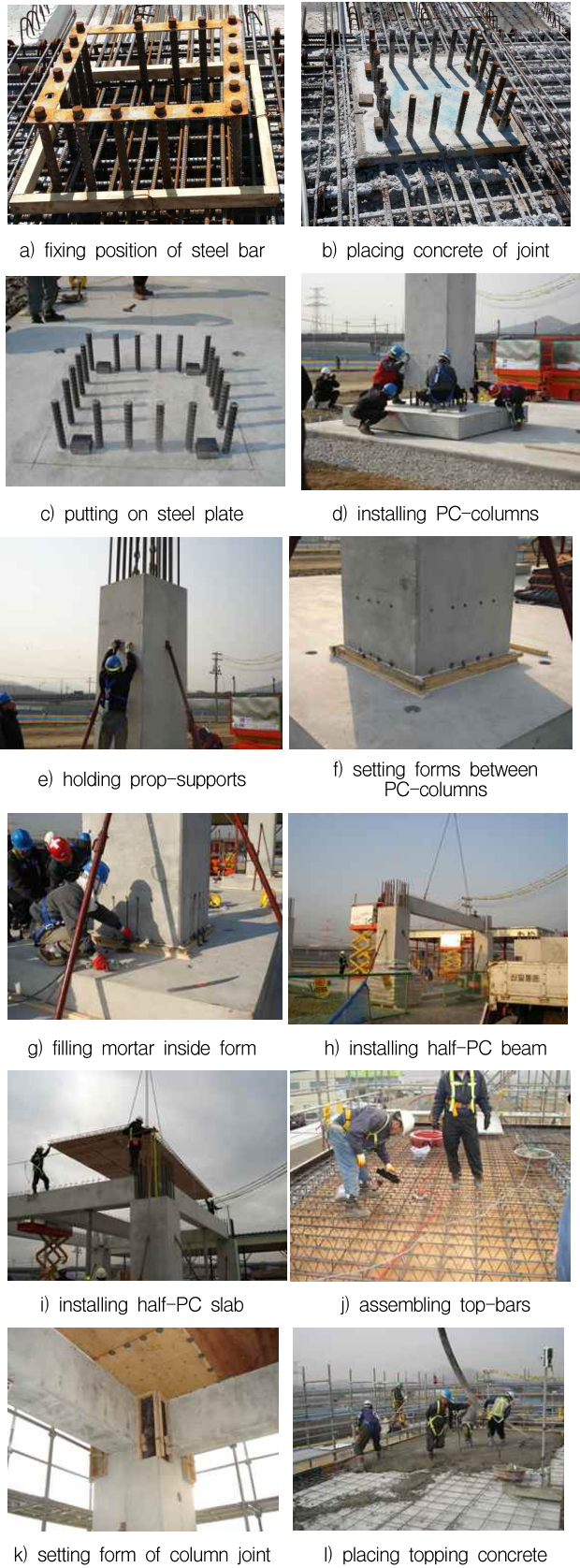


Figure 3. General procedures of half-slab method

Table 3. Prototype of hollow PC column

| | Half-slab | HPC | References |
|-------------------------|-----------|------------------|---|
| Section size(mm) | 1100×1000 | 1100×1000 | Construction cases (Table2) |
| Height(m) | 9.2 | 9.2 | |
| Proportion of hollow(%) | - | 50 | [2] (2014 Lee SJ) |
| Concrete strength (Mpa) | 45 | 45 | Construction cases (Table2) |
| Type of steel bar | UHD32 | UHD32 | |
| Coasting thickness(mm) | 50 | 50 | Standard specification of building construction |

3.1.2 골조공사의 주요 공사절차

하프슬래브공법의 일반적인 공사절차를 9개 공사사례 (Table 2)와 현장방문조사 등을 바탕으로 정리하면 Figure 3과 같다. 하프슬래브공법의 공사절차는 공사현장의 위치와 환경, 공사관리 상의 제약조건과 PC부재의 유형과 크기 등에 따라 다양하게 나타났다. 그러나 기준층 골조공사의 중요한 공사절차를 정리하면 Figure 3과 같다.

아래층 기둥PC 주근의 위치를 고정시키고, PC부재 접합부에 콘크리트를 타설한다(a, b). 상부 기둥PC의 수평조절용 썸기를 설치하고, 상부 기둥PC를 조립한다(c, d). 기둥PC에 Prop support를 설치하고, 상하부 기둥PC 사이에 거푸집을 설치한 후, 내부에 몰탈을 채운다(e, f, g). 하프 PC 보와 슬래브를 설치하고(h, i, j), 하프 PC 보와 슬래브의 상부 철근을 배근한다. 기둥-보 접합부 등의 틈새에 거푸집을 설치하고, 토폰 콘크리트를 타설한다(k, l).

3.2 HPC공법의 프로토타입 개발

3.2.1 중공PC기둥의 프로토타입

HPC공법의 공사절차 프로토타입을 개발하기 위해 핵심 기술(중공PC기둥, HSS)에 대한 프로토타입을 도출하였다. 중공PC기둥에 대한 상세와 일반사항을 도출하여 Table 3과 같이 중공PC기둥의 프로토타입을 개발하였다. HSS의 프로토타입은 Figure 4와 같이 HSS가 사용되는 기둥접합부 상세의 프로토타입으로 개발하였다.

중공PC기둥에 대한 일반사항은 Table 2의 공사자료 분석 결과와 건축공사 표준시방서, PC공사 시방서, 공사현장조사 결과, 현장실무 전문가들의 자문 등을 통해 도출하였다. 중공PC기둥의 단면크기와 높이, PC부재들의 콘크리트 강도와 철근의 종류 등은 공사사례(Table 2)의 일반적인 형태

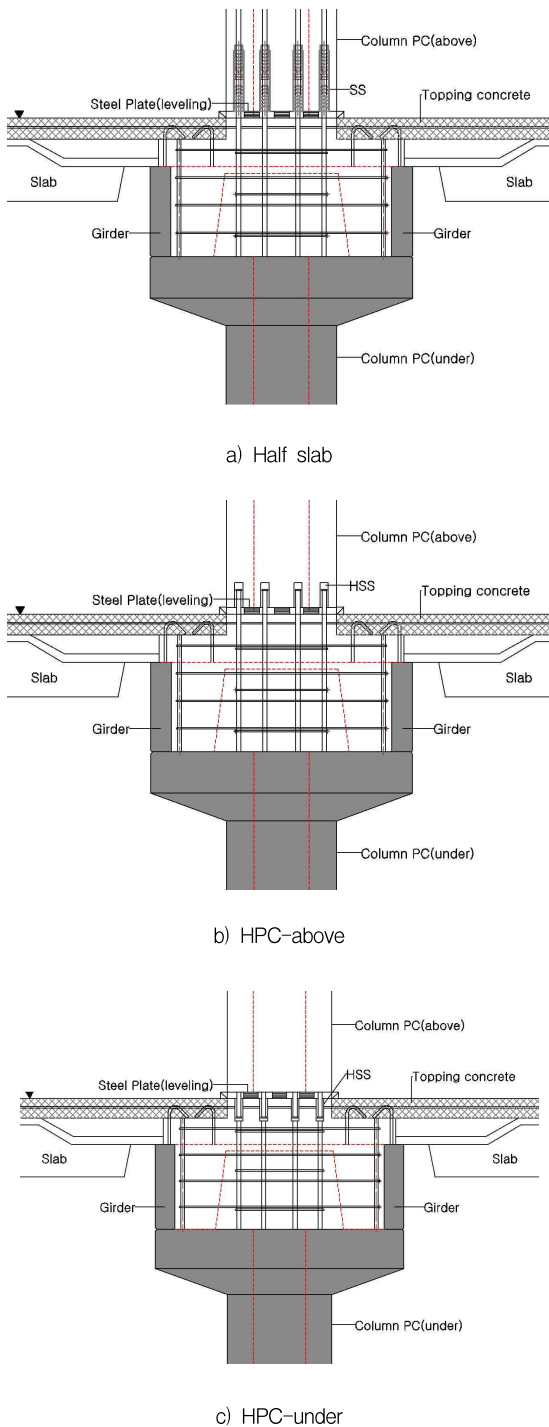


Figure 4. Joint detail of half-slab and HPC method

를 적용하였다. 기둥PC의 중공부분의 비율은 선행연구 [2,4,7]에서 추천하는 50%를 적용하였다. 또한 피복두께는 건축공사 표준시방서의 기준과 Table 2의 시공사례 분석 결과를 참고하여 결정하였다.

3.2.2 기둥접합부 상세의 프로토타입

‘HPC공법의 프로토타입’을 결정하기 위해서 상하부 기둥PC 사이 접합부의 상세를 Figure 4와 같이 도출하였다. 하프슬래브공법의 접합부에서는 Figure 4 a)와 같이 슬리브를 상부 기둥PC에 설치하는 것이 대부분이다. HPC공법의 접합부는 HSS를 사용한다(Figure 2). 본 연구에서는 HPC공법의 접합부는 HSS의 위치에 따라 Figure 4와 같이 ‘b) HPC_above’와, ‘c) HPC_under’의 두 가지 형태로 개발하였다. 두 가지의 형태로 개발한 이유는 형태별로 서로 장단점이 다르기 때문에 개별 공사의 여건에 따라 선택적으로 사용할 수 있도록 하기 위해서이다. ‘HPC_above’는 HSS를 상부기둥에 설치한 것으로 하프슬래브공법과 위치가 같다. 따라서 공사의 절차나 접합부의 형태도 거의 유사하게 구성할 수 있는 장점이 있다. ‘HPC_under’는 하부기둥에 HSS를 설치한 것으로 슬리브 내부의 몰탈이 채워지는 정도를 직접 눈으로 확인할 수 있다. 반면 이 방법은 공사현장에 적용하기 위해서는 시공지침의 개발 등의 좀 더 면밀한 검토가 선행되어야 한다.

3.3 HPC공법의 공사절차 프로토타입 개발

HPC공법의 표준적인 공사절차를 개발하기 위해 ‘하프슬래브공법의 공사절차 프로토타입’을 도출하고, 여기에 HPC공법의 핵심기술을 적용하여 ‘HPC공법의 공사절차 프로토타입’을 개발하였다(Figure 5).

하프슬래브공법의 공사절차 프로토타입은 다음과 같다. Figure 5와 같이 1) 기둥접합부 콘크리트 타설, 2) 레벨조절용 썸키 설치, 3) 기둥 조립, 4) 기둥 Prop support 설치, 5) 기둥PC 사이 거푸집 설치, 6) 기둥PC 사이와 슬리브 몰탈 채움, 7) 하프 PC 보 및 슬래브 설치, 8) 보 및 슬래브의 상부철근 배근, 9) 기둥-보 접합부 거푸집 설치, 10) 토평콘크리트 타설(보, 슬래브) 등의 순으로 공사가 이루어진다.

‘HPC공법의 공사절차 프로토타입’은 Figure 5와 같이 ‘HPC_above’와 ‘HPC_under’로 구분된다. ‘HPC_above’의 공사절차는 하프슬래브공법과 슬리브의 위치가 동일하기 때문에 거의 동일하다. 다만, 슬리브의 종류가 서로 다르고, 기둥PC의 중공부분에 콘크리트를 타설 과정만 다른 것으로 분석되었다. 반면, ‘HPC_under’는 슬리브의 위치가 하부 기둥에 설치되어 있기 때문에 ‘HSS 내부 몰탈 채움’과정이 추가되는 것이 ‘HPC_above’와의 차이점이다.

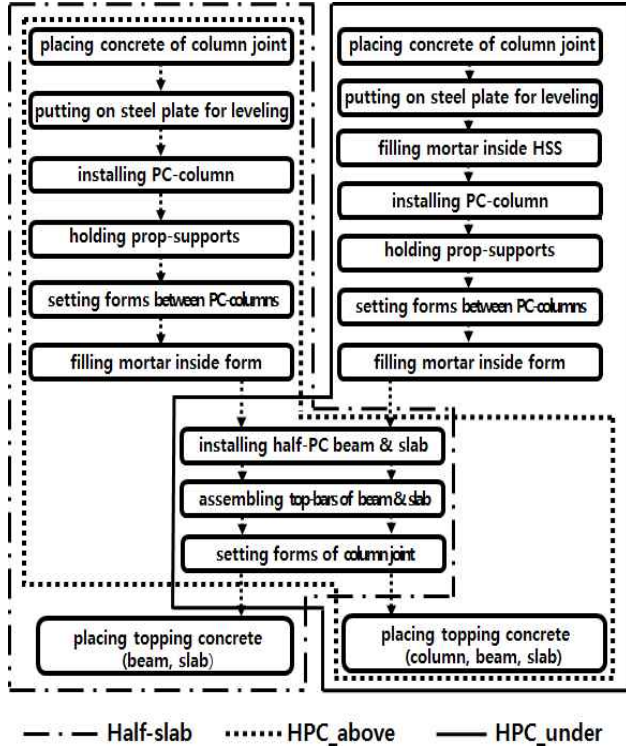


Figure 5. Construction procedure prototype of half-slab and HPC method

4. HPC공법의 공사기간 분석

4.1 분석 방법

본 연구에서 개발한 공사절차 프로토타입(Figure 5)을 공사사례(Table 2)에 적용하여 공사기간을 분석하였다. 하프슬래브공법과 HPC공법의 차이점을 실제 공사사례에 적용하여 공사기간의 차이점을 분석하였다. 하프슬래브공법 사례 중에서 공사기간 분석에 필요한 일부 자료가 누락된 사례 8과 사례9를 제외한 7개의 사례에 적용하여 공사기간을 분석하였다. 본 연구에서 HPC공법은 슬리브의 위치가 동일한 'HPC_above'를 기준으로 분석하였다. 'HPC_above'와 'HPC_under'의 공사기간 차이점 등에 대해서는 추후 연구에서 분석할 예정이다.

3장에서 개발된 하프슬래브공법과 HPC공법의 공사절차 프로토타입에서 두 공법 사이의 핵심적인 차이점은 두 가지이다. 우선, HPC공법은 중공PC기둥을 사용하기 때문에 기둥의 길이를 좀 더 길게 만들 수 있다. 따라서 기둥PC의 분절 수를 줄일 수 있게 된다. 결과적으로 기둥PC의 부재수를 줄일 수 있다. 두 번째로 HPC공법은 '중공PC기둥의 중

공부분에 콘크리트를 타설' 하는 과정이 추가된다는 것이다. 이러한 두 공법 간의 차이점을 실제 프로젝트 사례의 기준층에 적용하여 두 공법 사이의 공사기간의 차이를 분석하였다. HPC공법에서는 HSS를 쓰는 것도 하프슬래브공법과의 차이점이다. 그러나 이것은 현장에서의 공사기간에 영향을 거의 미치지 않는다. 슬리브를 기둥PC에 설치하는 것은 PC공장에서 이루어지는 과정이기 때문이다.

4.2 공사기간 분석

4.2.1 PC부재 조립

하프슬래브공법과 HPC공법의 건축공사 현장에서의 'PC부재 조립'에 대한 공사기간을 산출하여 비교하였다(Table 3). Table 2의 공사 사례의 기준층 PC부재 조립작업에 소요되는 공사기간을 분석하였다. PC공사의 공정계획은 크게 설계, 생산, 조립으로 구분된다. 여기에서는 건축공사 현장에서 PC부재의 조립에 소요되는 공사기간을 분석하였다.

PC부재 조립 공사기간은 부재의 물량을 1일 평균 조립 수량으로 나누어 산출하였다. 공사 사례의 설계도면, 시공계획서, PC조립 현장조사, 현장공사 실적자료 등을 통해서 부재별 1일 평균 조립 수량을 도출하였다. 기둥의 1일 평균 조립 수량은 15매(중공PC기둥은 무게가 절반 정도이기 때문에 동일크기일 경우 18매로 적용), 보는 17매, 슬래브는 20매를 기준으로 설정하여 적용하였다. PC부재의 1일 조립 매수의 산출은 비슷한 크기와 무게의 PC부재에 대한 공사자료를 기반으로 산출하였다. 또한 PC공사의 경험이 많은 실무전문가들의 자문을 통하여 확정하였다.

Table 4는 7개의 공사사례의 부재별 물량과 1일 평균 조립 수량에 따른 작업일수를 분석한 결과이다. HPC공법은 중공PC기둥을 사용하기 때문에 기둥의 분절 수를 줄일 수 있으며, 기둥PC 부재의 수를 줄일 수 있었다. 따라서 7개의 사례 중에서 하프슬래브공법에서 기둥을 분절했던 사례1과 사례2는 HPC공법을 적용하면, 분절이 감소되어 기둥부재의 수가 감소하는 것으로 산출되었다. 따라서 두 개의 사례에서는 기둥부재의 조립에 소요되는 공사기간이 약 50%정도 감소되는 것으로 나타났다. 하프슬래브공법에서 기둥을 분절하지 않은 나머지 5개 사례에서는 기둥의 수가 같기 때문에 기둥부재의 조립에 소요되는 공사기간도 동일하였다.

Table 4. Working-days for PC members assembling

| | | Half-slab method | | HPC method | |
|---|--------|------------------|--------------|----------------|--------------|
| | | No. of members | Working days | No. of members | Working days |
| 1 | Column | 481 | 33 | 320 | 17 |
| | Beam | 314 | 19 | 314 | 19 |
| | Slab | 585 | 30 | 585 | 30 |
| | Total | | 82 | | 66 |
| 2 | Column | 265 | 18 | 175 | 9 |
| | Beam | 251 | 15 | 251 | 15 |
| | Slab | 451 | 23 | 451 | 23 |
| | Total | | 55 | | 47 |
| 3 | Column | 64 | 4 | 64 | 4 |
| | Beam | 104 | 7 | 104 | 7 |
| | Slab | 203 | 11 | 203 | 11 |
| | Total | | 22 | | 22 |
| 4 | Column | 88 | 6 | 88 | 5 |
| | Beam | 102 | 6 | 102 | 6 |
| | Slab | 434 | 22 | 434 | 22 |
| | Total | | 34 | | 33 |
| 5 | Column | 120 | 8 | 120 | 7 |
| | Beam | 148 | 9 | 148 | 9 |
| | Slab | 1174 | 59 | 1174 | 59 |
| | Total | | 76 | | 75 |
| 6 | Column | 23 | 2 | 23 | 2 |
| | Beam | 25 | 2 | 25 | 2 |
| | Slab | 100 | 5 | 100 | 5 |
| | Total | | 9 | | 9 |
| 7 | Column | 59 | 4 | 59 | 4 |
| | Beam | 74 | 5 | 74 | 5 |
| | Slab | 191 | 10 | 191 | 10 |
| | Total | | 19 | | 19 |

Table 5. Working-days for topping-concrete placing

| Case | Half-slab method | | HPC method | |
|------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| | Topping concrete(m ³) | Working days | Topping concrete(m ³) | Working days |
| 1 | 2,024.5 | 2 | 2,689.4 | 3 |
| 2 | 1,308.1 | 2 | 1,520.8 | 2 |
| 3 | 816.1 | 1 | 972.3 | 1 |
| 4 | 1,310.0 | 2 | 1,636.0 | 2 |
| 5 | 2,448.8 | 3 | 3,002.2 | 4 |
| 6 | 385.7 | 1 | 490.2 | 1 |
| 7 | 692.7 | 1 | 899.5 | 1 |

4.2.2 토핑 콘크리트 타설

하프슬래브공법과 HPC공법의 ‘토핑콘크리트 타설’에 대한 공사기간을 산출하여 비교하였다(Table 5). 토핑 콘크리트 타설 작업일수는 기준층의 토핑 콘크리트 물량을 펌프카의 콘크리트 타설량으로 나눈 값으로 산출하였다.

PC공사 사례의 규모를 고려하여, 펌프카의 종류는 작업 반경이 43m인 펌프카로 가정하였다. 선정된 펌프카의 콘크리트 실투출량은 130m³/hr이며, 1일 작업시간은 8시간을 기준으로 하였다. HPC공법은 중공PC기둥의 중공부분에 콘크리트를 추가로 타설해야하기 때문에 하프슬래브공법과 비교하여 공사기간이 증가하는 것으로 산출되었다. 콘크리트의 타설물량이 많은 사례1과 사례5에서 특히 공사기간의 차이가 나타났다. 반면, 나머지 5개의 사례에서는 콘크리트

물량의 차이가 크지 않아 공사기간에 미치는 영향이 미미한 것으로 분석되었다.

4.2.3 공사기간 합계

하프슬래브공법과 HPC공법을 적용했을 때 ‘PC부재 조립’과 ‘토핑콘크리트 타설’ 작업에 소요되는 공사기간의 합계를 산출하여 비교하였다. 7개의 사례 중에서 공사기간의 차이가 가장 큰 사례1과 사례2의 산출결과를 Figure 3과 4에 나타내었다. 나머지 5개 사례에서는 Table 3, 4에서 확인할 수 있듯이 큰 차이가 없는 것으로 산출되었다.

하프슬래브공법으로 시공된 사례1과 사례2의 공사기간은 각각 101일, 70일로 산출되었다. 사례1과 사례2를 HPC공법으로 가정한 공사기간은 각각 83일, 59일로 단축되는 것으로 분석되었다. HPC공법을 적용하면 사례1은 기둥의 수량이 320대로 감소하고, 사례2에서는 분절이 없어져 수량이 175대로 감소하여 기둥부재의 조립시간이 약 50% 단축되는 것으로 산출되었다. 결과적으로 사례1과 사례2의 기준층은 HPC공법을 적용하면 공사기간이 약 16%정도 단축되는 것으로 분석되었다.

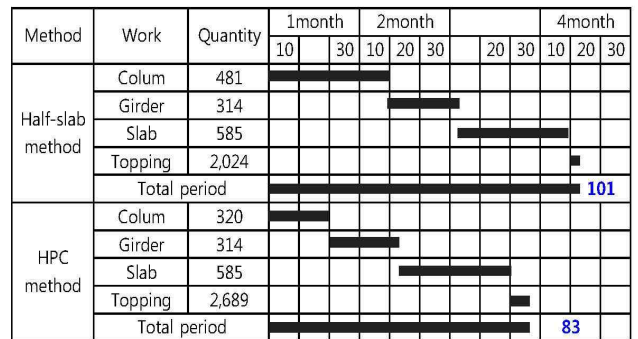


Figure 6. Construction period analysis of case 1

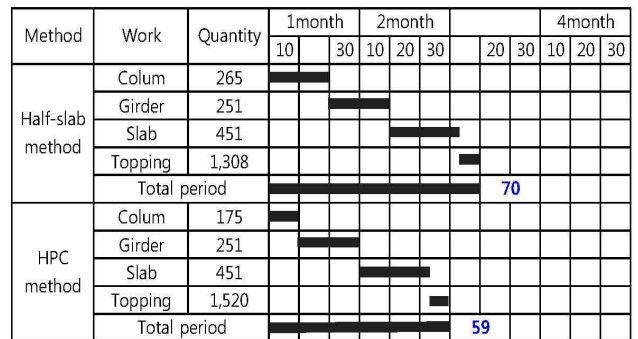


Figure 7. Construction period analysis of case 2

5. 결 론

건축물의 대형화와 노무인력의 부족 등으로 인해 PC공법에 대한 관심과 연구가 활발하게 이루어지고 있다. HPC공법은 기존 PC공법의 구조성능과 시공성을 개선하기 위해 개발하고 있는 공법이다. 본 연구의 목적은 HPC공법 골조공사의 공사절차 프로토타입을 개발하고, HPC공법의 공사기간을 하프슬래브공법과 비교하여 분석하는 것이다. 중요한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 하프슬래브공법 공사사례의 일반적인 구성에 HPC공법의 핵심기술을 적용하여 HPC공법의 프로토타입을 개발하였다. 중공PC기둥의 프로토타입과 슬리브를 포함한 기둥접합부의 프로토타입을 도출하였다.
- 2) HPC공법의 공사절차 프로토타입을 개발하였다. 개별 공사의 환경과 여건에 따라 선택적으로 사용할 수 있도록 HSS의 위치에 따라 ‘HPC_above’와, ‘HPC_under’ 두 가지 형태로 개발 하였다. 개발된 HPC공법의 공사절차에서 보와 슬래브를 설치하는 과정은 하프슬래브공법과 동일하였다. 그러나 ‘기둥PC 중공부분의 콘크리트 타설’ 과정과 ‘HPC_under’의 경우 HSS 내부에 몰탈을 채우는 과정이 추가되는 것이 하프슬래브공법과 다른 것으로 분석되었다.
- 3) HPC공법의 공사기간을 분석한 결과, 기둥을 분절하여 공사를 진행한 사례1과 사례2는 공사기간이 하프슬래브공법에 비해 단축되는 것으로 나타났다. 이것은 HPC공법을 적용하면 기둥PC의 부재수가 감소하여 조립작업에 소요되는 공사기간도 감소하기 때문인 것으로 분석되었다. 또한 토핑 콘크리트 타설 작업의 경우, 콘크리트의 물량이 많을 경우 공사기간에 영향을 줄 수 있으나 차이는 크지 않아 전체 공사기간에는 거의 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 따라서 HPC공법은 기둥의 크기나 중량이 커서 분절이 필요한 건축공사에 적용할 경우 하프슬래브공법에 비해 공사기간 측면에서 유리한 것으로 분석되었다.

본 연구의 범위는 대규모 물류센터 등에서 활용될 수 있는 HPC공법의 공사절차 프로토타입으로 한정하여 연구하였다. 프로토타입을 개발하기 위해 사용된 하프슬래브공법 시

공사례가 9개로 충분하기 못한 측면이 있었다. 그러나 최근 국내의 대규모 물류센터 시공사례가 충분하지 않았던 한계 점이 있었다. HPC공법이 현장에 적용하기 위해서는 향후 HPC공법에 대한 시공성 분석, 시공지침 개발 등에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

HPC공법은 기존 PC공법의 구조성능과 시공성을 개선하기 위해 개발하고 있는 공법이다. 본 연구의 목적은 HPC공법의 공사절차 프로토타입을 개발하고, HPC공법의 공사기간을 하프슬래브공법과 비교하여 분석하는 것이다. 공사절차를 개발하기 위해 기존 하프슬래브공법의 공사자료를 분석하였다. 최근 5년 이내에 하프슬래브공법으로 시공된 9개 건축공사의 설계도면, 시방서, 공사계획서 등을 분석하였다. 공사자료 분석결과를 기반으로 하프슬래브공법의 공사절차 프로토타입을 도출하였다. 도출된 하프슬래브공법의 공사절차 프로토타입에 HPC공법의 핵심기술을 적용하여 HPC공법의 공사절차 프로토타입을 개발하였다. 공사절차 분석 결과, 두 공법 간의 공사절차 차이는 ‘PC부재 조립’과 ‘토폰콘크리트 타설’인 것으로 나타났다. 두 공법 간의 차이점을 적용하여 7개 공사사례에 적용하여 공사기간을 분석하였다. 기둥PC를 분절하여 사용한 사례1과 사례2는 HPC공법을 적용하면 기준층의 공사기간이 약 16%정도 단축되는 것으로 나타났다. HPC공법의 공사기간 단축은 기둥 부재의 수가 감소하기 때문인 것으로 분석되었다. 특히 대형 기둥을 사용하는 건축공사 현장에서 HPC공법을 적용하면, 기존 하프슬래브 공법에 비해 공사기간을 단축할 수 있는 것으로 분석되었다.

키워드 : HPC공법, 하프슬래브공법, 공사절차, 공사기간

Acknowledgement

This work was supported by the Human Resource Training Program for Regional Innovation and Creativity through the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea(NRF-2015 H1C1A1035953).

This research was supported by the Shinsung A&E Research Grant, 2017(Development of constructability improvement for large scale building constructions).

References

1. An SH, Lee UK, Kang KI, A Study on the proposal about the improvement of PC in construction industry, Journal of The Korea Institute of Building Construction, 2004 Jul;20(7):133-40.
2. Shin DH, Structural capacity of the exterior beam-column joint using hollow precast concrete column [master' s thesis], [Chungju (Korea)]: Korea National University of Transportation; 2016, 125 p.
3. Seo SY, Combination method and combined structure of beam-column joint using hollow precast concrete column, Seoul (Korea): Korea patent KO 10-1451167, 2014 Oct 08.
4. Lee SJ, A Compressive behavior of hollow precast concrete column [master' s thesis], [Chungju (Korea)]: Korea National University of Transportation; 2014, 111 p.
5. Kim SK, Development and application of head-splice sleeve for mechanical connection of reinforcements [doctor' s thesis], [Chungju (Korea)]: Korea National University of Transportation ; 2016, 197 p.
6. Nam BR, Structural Capacity of Mortar-filled Head Splice Sleeve [master' s thesis], [Chungju (Korea)]: Korea National University of Transportation; 2016, 119 p.
7. Noh SH, Hysteretic behavior of HPC column - half PC beam Interior joint subjected to cyclic horizontal loads [master' s thesis], [Chungju (Korea)]: Korea National University of Transportation; 2017, 52 p.
8. Park BH, Construction period and cost analysis of composite method using hollow precast concrete column [master' s thesis], [Chungju (Korea)]: Korea National University of Transportation; 2017, 21 p.
9. Korea society of architectural hybrid system, Korea precast prestressed concrete association, Precast concrete, Seoul(Korea): Kimoodang; 2007, p. 19-30