

2024년 춘계학술발표대회 : 일반부문

작업공간 길이에 따른 PC공동주택 시공난이도 산정

Construction Difficulty Calculation According to the Length of Work Space Surface in the PC Apartment Building

○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

At the Construction frame work stage of a building, constructability according to work efficiency varies depending on the number of floors and floor plan shape. The RC structure changes depending on the building shape, but the PC structure can not be evaluated by the same standards as the RC. The purpose of this study is to create standards for evaluating constructability by considering different processes and erection environments for each PC member.

키워드 : PC, PC공동주택, 시공난이도, 난이도 평가

Keywords : Precast Concrete, PC Apartment Building, Construction Difficulty, Difficulty Evaluation

1. 서론

Precast Concrete(PC)공법은 Reinforced Concrete(RC)공법 대비 현장작업이 쉽고, 작업환경이 상대적으로 좋은 것이 특징이다. 90년대 중반 이후 현재까지 다양한 사유때문에 주거시설의 PC적용이 활성화되지 못하였다. 그러나 변화하고 있는 건설환경에 대응하기 위해 PC공동주택 도입이 활성화되고 있으나, 시공 및 적용 관련 연구는 미비한 실정이다. 특히, 보-기둥구조 등 모든 PC구조를 적용하고 있는 만큼 다양한 PC구조에 대해 쉽고 빠르게 건축물 시공난이도를 산정 및 평가를 할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구는 거시적 관점으로 PC공동주택의 설계-시공 효율성을 사전 분석하고, 미시적 관점으로는 현장에서의 PC작업효율 향상 및 안전분위기 증가를 극대화하고자 한다.

2. PC부재 작업공간

PC부재별 작업공간에 대한 판단 기준을 위해서는 PC부재의 설치 프로세스를 파악하여 부재별 사용공간에 대한 분석이 선행되어야 한다. 이는 동일한 평면구성 또는 유사한 연면적이라도 설계방식에 따라 부재규모와 부재개수가 달라지기 때문이다. 어느 조건에서도

동일하게 기준을 적용할 수 있는 PC부재별 설치 특성을 반영한 평면 분석이 필요하다.

PC부재는 크게 수직 및 수평부재로 분류되고, 부재 종류에 따라 작업가능한 공간이 달라진다. 수직부재는 기둥, Core벽체, 내부벽체, 외부벽체로 구성되고, 수평부재는 거더, 빔, 슬래브, 상·하행계단, 계단참으로 구성된다.

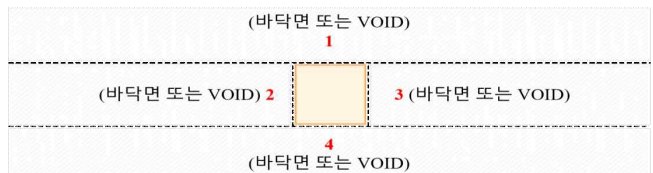


그림 1. PC기둥의 작업공간

PC기둥은 평탄한 바닥에서 작업하며, 그림1과 같이 작업공간 경우의 수는 5가지이다. 0면부터 4면까지 있으며, 작업가능한 공간 조합에 따라 면의 개수가 산정된다. 예를 들어, 작업가능한 공간이 ㄱ형태인 평면은 2, 4이므로 총 사용면 수는 2면이다. ㄴ형태는 1면 또는 4면 중, 1개만 선택된다. 1면만 사용할 경우는 ㄷ형태에서 매우 제약적으로 작업하는 것이다. 0면에서 작업하는 경우는 없기 때문에 조합방식에 따라 통상적으로 4가지로 구분한다.

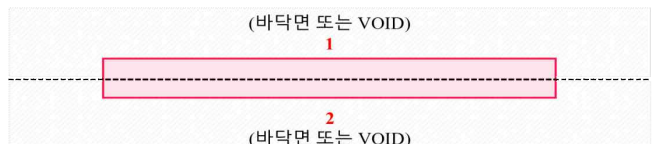


그림 2. Core PC벽체의 작업공간

Core벽체의 작업은 그림2와 같이 마주보는 2개면으로 구분한다. 수직부재에서 단면의 종횡비가 0.3이하인 벽체는 가설대를 설치할 만큼의 공간이 없고, 인접벽체 또는 기둥에 가설대를 지지할 수 있는 공간이 없다. 따라서 기둥과 다르게 2면으로 구분된다.

* 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.

외각면에 위치한 Core벽체는 1면으로 산정하고, 내부에 위치하는 경우에는 2면으로 산정한다. 그리고 바닥면과 VOID가 혼잡된 구간에서는 VOID길이만큼 작업불가 공간으로 산정한다. VOID/바닥면 비율이 0.5이상은 2면, 0.5미만은 1면으로 처리한다.



그림 3. 내부 PC벽체의 작업공간

내부벽체는 Core벽체와 다르게 그림3과 같이 내부 평면에서 작업하기 때문에 어느 건축물에서 작업하나 동일한 환경이다. 작업불가 공간은 없으나, 내부벽체의 설계유무에 따라 건축물의 시공난이도도 변하기 때문에 내부벽체의 장변의 길이만 포함되어야 한다.

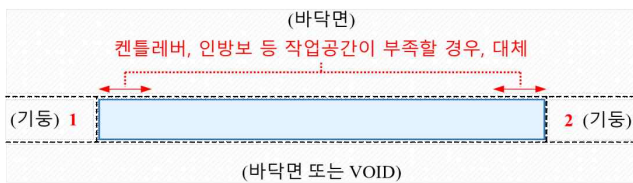


그림 4. PC보(거더, 빔)의 작업공간

그림4는 보(거더, 빔)과 상·하행 계단의 작업공간 기준이다. 보는 대부분 기둥에 거치하는 형태이기 때문에 보의 단변에서 작업한다. 컨트레버, 인방보와 같이 단변으로 작업하기 어려운 경우는 그림3의 장변방향에서 보의 단변만큼 작업공간 길이로 대체한다.

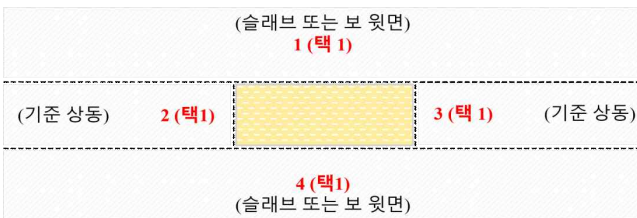


그림 5. PC슬래브 및 PC계단참의 작업공간

슬래브 및 계단참은 수평부재로 그림5와 같이 어느 곳에서 작업 가능하다. 슬래브의 경우, 보의 장변 방향의 1면에서 작업하는 것이 통상적이기 때문에 산정기준도 동일하다. 슬래브가 연속적으로 설치할 경우에도 이전 슬래브와 설치하는 슬래브의 겹치는 면방향을 적용한다. 사전 평면분석에서 장변방향의 작업이 어려운 경우에는 단변방향으로 대체한다. 계단참도 슬래브와 유사한 부재이기 때문에 작업공간을 1면으로 산정한다.

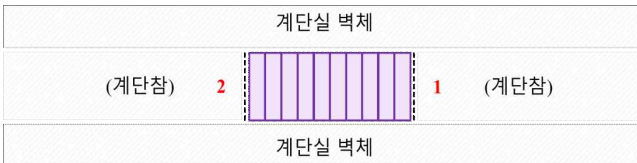


그림 6. 상·하행 PC계단

상·하행 계단의 작업공간 산정은 그림6과 같다. 계단실 벽체는 Core로 구성되며, 상·하행 계단은 각각 상부-중앙 계단참, 중앙-하부 계단참에 거치하는 방식이며, 보 및 슬래브의 설치과정과 유사하다. 그러나 수평부재와 달리 계단참과의 수직·수평 공간이 발생하기 때문에 계단을 정위치시키기 위해 2면의 작업공간을 사용한다.



그림 7. 외부 PC벽체

그림7과 같이 외부벽체는 건축물 외각면에 위치하기 때문에 작업 공간을 1면으로 산정한다.

이와 같이 PC부재별 작업 조건 및 환경때문에 상이한 산정기준이 필요하다. 동일한 연면적일지라도 평면 및 PC부재 구성에 따라 PC부재 작업공간은 달라진다.

3. PC공동주택 시공난이도 산정

서술한바와 같이 동일한 평면구성 또는 연면적이라도 부재 종류 및 개수가 상이하다. 층수, 평면설계, 부재구성이 상이한 건축물을 비교하기 위해서는 PC부재별 설치과정단계의 작업공간 면길이를 이용하여 시공난이도를 산정하여야 한다.

$$D_{Erection} = \frac{SL_{Total\ Work\ Space}}{4 \times \sqrt{A_{Total\ Floor}}} \dots \dots \dots \text{Eq.1}$$

식1은 PC시공난이도($D_{Erection}$)를 산정하는 식이며, 관련 선행 연구들을 참고하여 작성하였다. 해당식은 부재별 작업 불가능한 공간의 총 면길이 ($SL_{Total_Work_Space}$, m)를 연면적(A_{Total_Floor} , m^2)으로 나눈 값이다.

작업공간 면길이($SL_{Total_Work_Space}$)를 산정하기 위해서는 층수, 부재별 개수, 부재별 작업이 불가능한 면 수의 변수가 포함되어야 하며, 이를 반영한 산출식은 Eq.2이다.

$$SL_{Total\ Work\ Space} = \sum_1^n (L_{Member\ Type} \times N_{Available\ Work\ Surface}) \dots \text{Eq.2}$$

L_{Member_Type} 는 평면구성에서의 PC부재별 작업 불가능한 공간면에 대한 총 길이의 합산이고, $N_{Available_Work_Space}$ 는 해당 건축물에서 L_{Member_Type} 의 총 개수이다.

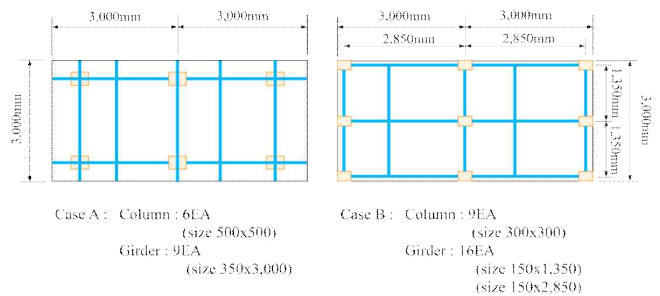


그림 8. PC부재 작업공간 길이 비교

그림8과 같이 동일한 연면적이라도 PC부재 위치 및 크기가 상이하게 설계될 수 있다. 작업 불가능한 길이는 해당 평면의 PC부재별 작업불가 길이의 합이다. Case A의 SL은 기둥 0m, 보 45m로 총 45m이다. Case B의 SL은 기둥 6m, 보 61.2m로 총 67.2m이다. 같은 연면적인 A가 B보다 약 49% 작업 불가공간 길이가 많다. 특히, 기둥 설치작업이 B가 A보다 다소 어렵게 진행됨을 간접적으로 추측할 수 있고, PC부재 개수가 증가함에 따라 면적당 작업성이 낮다고 판단할 수 있다. 극단적인 단순 비교이기 때문에 PC부재 개수에 따른 공사 시간차이는 제외한다.

4. 사례적용

PC시공난이도를 산정하기 위해 표1와 같이 보-기둥 구조의 LH PC공동주택 2개동을 대상으로 하였다.

표 1. PC공동주택 사례현장

구분	A현장	B현장
위치	경기 평택시	충남 아산시
구조	보-기둥 PC구조	보-기둥 PC구조
층별 연면적	603.75m ²	573.30m ²
최고층	12층	7층
PC부재종류	기둥, 보, Core벽체, 슬래브, 계단실, 외부벽체	기둥, 보, Core벽체, 내부벽체, 슬래브, 계단실, 외부벽체
PC부재 총 개수	2,160	1,134
층당 PC부재 개수	180	162

두 현장은 층별 연면적이 서로 유사한 규모이나, 층별 PC부재 개수가 상이한 것이 특징이다. 내부벽체, 슬래브를 제외한 PC부재 개수는 유사한 수준이다. 두 현장간의 큰 특이사항은 내부 PC벽체의 유무와 거의 동일한 층별 연면적에서의 A현장의 슬래브 개수가 B현장보다 약 60% 더 많은 것이다.

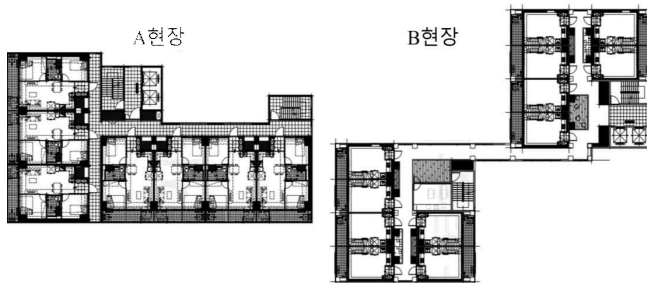


그림 9. 사례현장 평면도

두 현장의 시공난이도 비교를 위해 그림8의 각 사례현장별 PC부재 평면 분석을 진행하였다. 작업 가능공간에 따른 PC부재별 종류 및 개수는 표2와 같다.

표 2. 작업공간별 PC부재 개수 비율

구분		4면	3면	2면	1면	0면
A현장	비율	6.45%	3.23%	19.89%	70.43%	0.00%
	누적	0.00%	9.68%	29.57%	100.00%	100.00%
B현장	비율	1.85%	6.17%	27.78%	58.02%	6.17%
	누적	0.00%	8.02%	35.80%	93.83%	100.00%

작업공간 4면에 포함되는 PC부재는 PC기둥뿐이다. 모든 방향에서 가설대를 설치하기 때문이다. 3면도 PC기둥만 해당된다. 2면은 기둥, 벽체(Core, 내부, 외부), 상·하행계단이 포함된다. 1면은 기둥, 슬래브, 계단이 포함된다. 수평부재인 슬래브, 계단참은 한 면에서 거치하는 작업이 가능하기 때문에 다른 3면을 제외하였다. 0면은 작업공간이 없다는 의미이지만, 내부 PC벽체의 유무도 중요한 변수이기 때문에 Dummy로 처리하였다.

표 3. 작업 불가능 공간길이 비교

		(단위 : m)					
구분		4면	3면	2면	1면	0면	합계
A현장	기둥	-	-	-	12.00	-	12.00
	Core	-	-	-	39.17	-	39.17
	보	-	-	460.28	-	-	460.28
	슬래브	-	582.12	-	-	-	582.12
	내부벽체	-	-	-	-	-	-
	계단실	-	-	5.20	2.60	-	7.80
외벽	-	-	-	80.02	-	80.02	
							1,181.39
B현장	기둥	-	1.80	8.40	6.00	-	16.20
	Core	-	-	-	46.19	-	46.19
	보	-	-	478.00	-	-	478.00
	슬래브	-	533.27	-	-	-	533.27
	내부벽체	-	-	-	-	81.08	-
	계단실	-	-	5.20	2.60	-	7.80
외벽	-	-	-	128.64	-	128.64	
							1,291.18

두 현장간의 연면적 차이는 A현장이 약 5% 크고, PC부재 개수 차이도 A현장이 약 16% 많다. 그러나 표3과 같이 작업불가 길이 차이에서는 B현장이 8.5% 작게 산출되었다. 이를 통해 건축물의 형상과 PC부재 설계가 어느정도 영향이 있을 수 있다는 것을 유추할 수 있다.

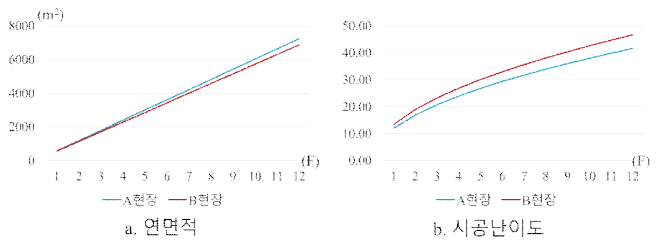


그림 10. 사례현장 PC시공난이도

상대적으로 연면적이 크면, 시공난이도도 상대적으로 크다고 볼 수 있다. A현장은 B현장보다 연면적도 크고, 부재개수도 많다. 그러나 시공난이도는 B현장이 더 높게 분석되었다.

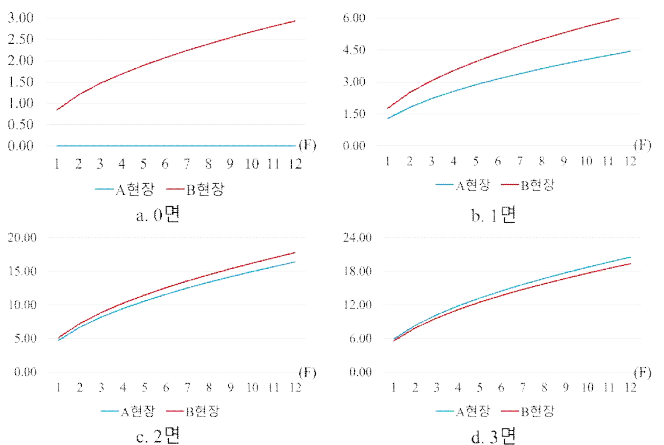


그림 11. 작업 불가면 수에 따른 시공난이도

Kim(2023f)은 작업불가 공간면이 많을수록 작업효율성이 저하된다고 하였다. Dummy인 0면을 제외하고, 그림11b의 1면에서 B현장은 A현장보다 외주길이가 더 길었으며, 외부벽체 개수도 많았다. 1면을 기준으로 B현장의 시공난이도가 상대적으로 컸다. 그림11c의 2면도 1면과 유사한 상황으로 분석되었다. 그러나 3면의 경우, B현장이 A현장보다 슬래브 개수가 약 40% 더 많았음에도 불구하고, A현장 시공난이도가 다소 높았다. 이를 통해 보, 슬래브와 같은 수평부재는 PC부재 설치가 단순하여 개수가 많더라도 시공난이도에 큰 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다.

또한, 두 현장간 PC부재의 평면구성을 유사한 조건으로 상대 비교하였다.

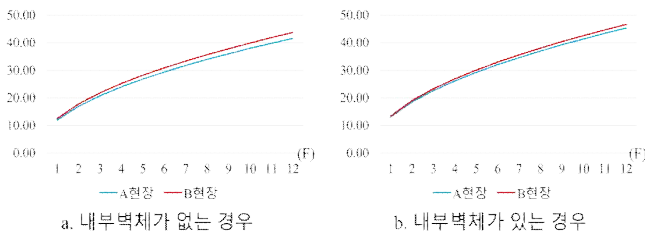


그림 12. 내부 PC벽체의 시공난이도 비교

그림12a는 기존 내부 PC벽체가 없는 A현장과 B현장의 내부 PC벽체를 제거한 결과값이다. A현장의 평면 형상이 B현장보다 복잡함에도 불구하고 B현장이 A현장보다 약 5% 더 시공난이도가 있다고 볼 수 있다.

그림12b는 A현장에 내부 PC벽체를 추가하여 기존 B현장과 비교한 결과값이다. A현장보다 약 3% 더 시공난이도가 있다고 판단할 수 있다. 해당 결과를 통해 비슷한 연면적에서 동일한 PC부재 종류와 비슷한 PC부재 개수는 평면의 형상에 어느정도 영향을 미친다고 판단할 수 있다.

표 4. PC 시공난이도 상대 비교

층수	A현장			B현장
	기존	내부벽체 추가	내부벽체 추가, 부재수 유사	
12F	41.64	43.50	40.43	45.48
11F	39.87	41.65	38.71	43.55
10F	38.01	39.71	36.90	41.52
9F	36.06	37.68	35.01	39.39
8F	34.00	35.52	33.01	37.14
7F	31.80	33.23	30.88	34.74
6F	29.44	30.76	28.59	32.16
5F	26.88	28.08	26.09	29.36
4F	24.04	25.12	23.34	26.26
3F	20.82	21.75	20.21	22.74
2F	17.00	17.76	16.50	18.57

B현장과 유사한 조건으로 재설계한 A현장을 B현장과 상대 비교하였다. 표4와 같이 A현장의 조건을 변경하여도 B현장의 시공난이도보다 결과값이 낮다. 유사한 조건으로 변경하여도 B현장과 시공난이도 차이가 약 12%정도 발생하게 된다. 해당 결과값을 통해 평면형상에 따른 PC부재 설계가 어느정도 영향요인으로 작용한다고 판단할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 연면적이 유사한 보-기둥구조 LH PC공동주택 현장을 대상으로 PC시공난이도를 산정 및 평가하였다. 해당식을 이용하여 PC공동주택은 건축 및 구조적 설계에 따른 PC부재의 규모, 종류, 위치가 어느정도 영향이 있다고 판단할 수 있다. 합리적인 평면구성에 따른 PC부재의 적절한 배치는 PC공동주택의 기능성, 시공성, 경제성을 증대시키는 요소가 될 것으로 기대된다. 본 연구의 결과는 PC공법의 궁극적인 목표인 PC설계-구조-시공의 단순화를 위한 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). 타워크레인을 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.
- 김기호, 이범식, 이동건, 김민준, 손정락. (2023f). PC공동주택 수직부재 시공과정에서 작업공간에 따른 시공난이도 평가. 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회 논문집. 27(2). 4.
- 김기호, 이범식, 고경은, 이동건, 김민준, 손정락. (2023g). PC부재 양중방식에 따른 Luffing형 타워크레인의 운용시간 산정 모델. 대한건축학회 학술발표대회 논문집. 43(2). 437-438.
- 손승현, 김지명, 안성진, 한범진, 나영주, 김태희. (2022). 건물의 형상이 안전사고에 미치는 영향분석에 관한 기초연구. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집. 22(1). 27-28.