

# RC조 및 PC조 벽식 공동주택 외피의 단열성능 비교

Insulation Performance Comparison of Apartment Buildings Constructed with Reinforced Concrete and Precast Concrete

**송승영** Song, Seung-Yeong  
정회원, 이화여대 건축도시시스템공학과 교수  
Professor, Ewha Womans University  
archssy@ewha.ac.kr

**주나영** Joo, Na-Young  
정회원, 이화여대 건축도시시스템공학과 석박사통합과정  
Postgraduate Student, Ewha Womans University  
naturalpuffi@naver.com

## 머리말

벽, 바닥 등 주요 구조체에 PC(precast concrete)를 적용하는 OSC(off-site construction) 방식의 PC조 공동주택은 1970년대부터 90년대 중반까지 국내에서 계속 건설된 바 있다. 그러나 PC 생산기반 미흡, 시공기술 부족 등으로 인해 PC조 공동주택 건설 사례는 이후 급감하였고, 주로 경기장, 공장 등에 PC가 적용되어왔다. 그러나 국내 건설시장에서 공동주택이 차지하는 비중이 커지고, 52시간 근무제와 레미콘 8·5제 시행, 숙련기능공 부족 등 건설환경이 크게 변화함에 따라, 공업화, 생산성 향상 등 측면에서 PC조 공동주택 건설에 대한 요구가 다시 커지고 있다.

국내에서 다수를 차지하는 RC(reinforced concrete)조 벽식 공동주택에서 구조체는 현장에서 습식공법으로 시공되며, 일체형으로 구성된다. 반면 PC조에서 구조체는 공장에서 사전 제작 후 현장에서 상호 결속하여 조립하는 건식공법으로 시공되며, 경량화를 위해 바닥에 중공슬라브(hollow-core slab)가 적용되기도 한다. 시공 후 RC조와 PC조 구조체는 외관상 큰 차이가 없다. 그러나 구성에 있어 차이가 있으므로, 열관류율과 단열공법이 같아도 외피의 실제 단열성능은 다를 수 있다. 이에 본 원고에서는 벽식 공동주택을 대상으로 기존 RC조와 구조체 간 결속 부자재가 추가 설치되고 중공 슬라브가 적용된 PC조 외피의 단열성능을 전열해석을 통해 비교한 연구 결과를 소개함으로써, RC조 대비 PC조 외피의 단열성능 수준 파악에 도움을 주고자 하였다.

## PC조 외피 구조체의 주요 특징

### 벽-벽 접합부

그림 1은 PC조의 벽-벽 접합부 평면도, 결속 부자재 모델(전열해석을 위한 3차원 모델로 일부 형상을 단순화한 것임) 및 강연선(tendon loop)을 나타낸 것이다. 벽과 벽은 접합부 중앙의 수직철근(dowel bar)을 각 벽에 일부가 미리 삽입된 강연선으로 감싸는 방식으로 결속된다. 강연선은 일정 간격으로 설치되며, 접합부 내 빈 공간은 모르타르로 채운다.

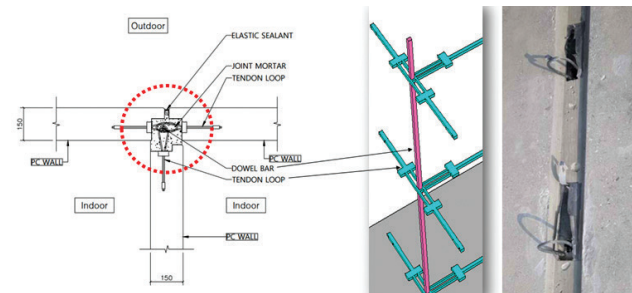


그림 1. PC조 벽-벽 접합부 평면도(좌), 결속 부자재 모델(중), 강연선(tendon loop, 우)

### 벽-바닥 접합부

그림 2는 PC조의 벽-바닥 접합부 단면도, 결속 부자재 모델 및 슬리브(sleeve)를 나타낸 것이다. 벽과 바닥은 접합부 중앙에서 상하 벽에 미리 삽입된 수직철근을 바닥에 일부가 미리 삽입된 띠철근(tying reinforcement)으로 감싸는 방식으로 결속된다. 수직철근은 일정 간격으로 설치되며, 접합부 내 빈 공간은 모르타르로 채운다. 상하 벽에 미리 삽입된 수직철근은 상벽 하단에 미리 삽입된 슬리브(sleeve) 내에서 체결된다. 수직철근 옆에는 상하로 2개의 수평철근(collector reinforcement)을 두어

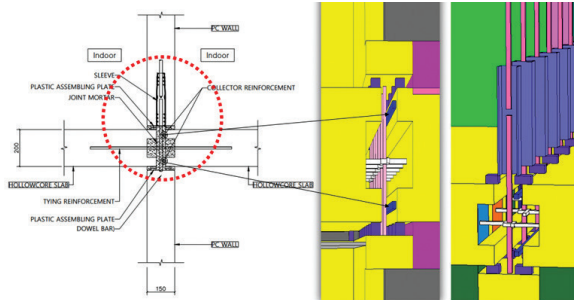


그림 2. PC조 벽-바닥 접합부 단면도(좌), 결속 부자재 모델(중), 슬라브(우)

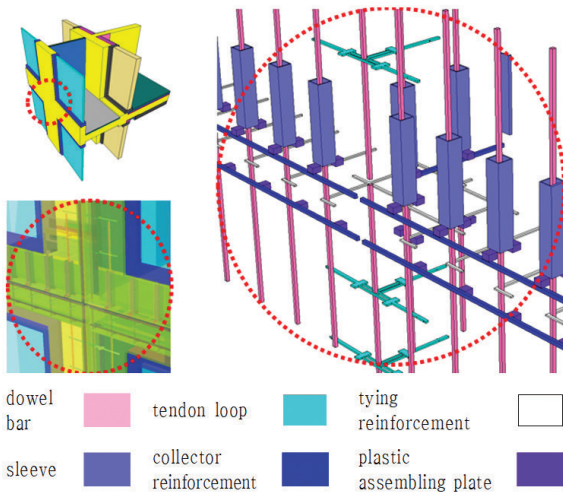


그림 3. PC조 벽-벽, 벽-바닥 접합부 결속 부자재 모델

보강하고, 플라스틱 조립판(plastic assembling plate)은 벽과 바닥 간 간격을 유지하는 역할을 한다. 그림 3은 PC조 공동주택의 세대 간 접합부를 대상으로 앞에서 다룬 벽-벽 접합부와 벽-바닥 접합부에서의 결속 부자재 모델을 나타낸 것이다.

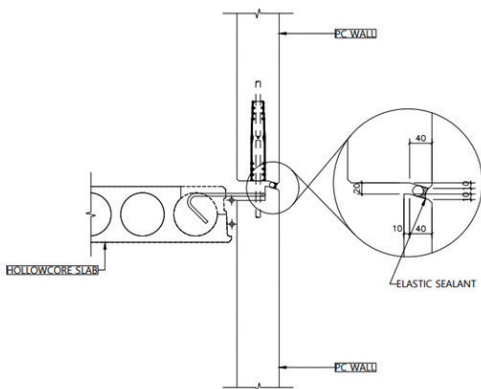


그림 4. 중공 슬라브 단면도

### 중공 슬라브

그림 4는 중공 슬라브 단면도를 나타낸 것이다. 중공 슬라브는 속이 비어 있어 경량이며, 공장 제작 및 운반,

설치 시 취급이 쉬운 장점이 있다. 단열 관점에서 중공 슬라브는 내부에 중공이 있으므로 일반 슬라브 대비 열 저항이 큰 특징이 있다.

### 단열성능 비교 부위, 전열해석 및 단열성능 지표

#### 단열성능 비교 부위

최근 시공된 RC조 및 PC조 벽식 공동주택 도면을 검토하고, 평면 구성과 전용면적이 유사한 세대를 선정하였다. 단열성능 비교 부위는 외벽-내벽 접합부, 외벽-바닥 접합부 등과 같이 외벽의 내단열재가 끊겨 열교가 되는 주요 접합부로 선정하였고, RC조 세대에서 해당 위치는 그림 5와 같다. 이 부위에서 PC조는 RC조 대비 구조체 두께가 약간 다르고, 구조체 간 결속 부자재가 추가 설치되며, 중공 슬라브가 적용되는 차이가 있고, 이외에는 대동소이하다.

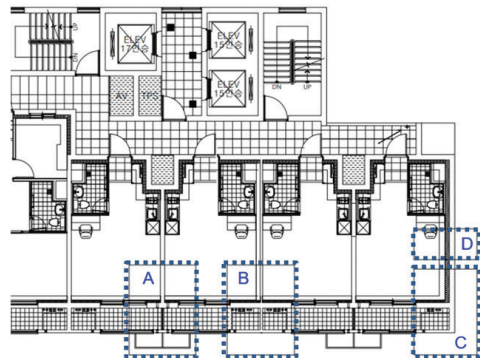


그림 5. 단열성능 비교 부위

#### 전열해석

RC조와 PC조 모두 내단열 공법을 적용하고, 열관류율을 같게 설정하여 전열해석 모델을 작성하였다. 단열성능 비교 부위의 3차원 모델링을 위한 절단면(cut-off plane) 위치는 ISO 10211 : 2017에 따라 설정하였고, 유효 열관류율 산출에 적용되는 외벽 면적이 RC조와 PC조에서 서로 같게 하였다. 천장 슬라브와 경계벽에 설치하는 결로방지재의 경우, 공동주택 결로방지를 위한 상세도 가이드라인을 참고하여 RC조와 PC조에 공통 적용하였다. RC조와 PC조에서 일부 요소들은 관련 기준에 따라 일부 형상을 단순화하였고, PC조의 중공 슬라브에서 중

공은 환기되지 않는 것으로 가정, ISO 10077-2 : 2017에 따라 등가 열전도율을 구해 전열해석에 적용하였다.

Physibel trisco 14.0w 프로그램을 이용, 3차원 정상상태 전열해석을 실시하였으며, 경계조건은 표 1과 같다. 실내의 온도, 표면 열전달저항은 공동주택 결로방지를 위한 설계기준, 건축물의 에너지절약설계기준, 비난방공간인 발코니 온도는 ISO 13789 : 2017에 따라 구하였다. 이상 과정을 거쳐 작성된 RC조 및 PC조 외피의 3차원 모델은 표 2, PC조에서 구조체 간 결속 부자재 모델은 표 3과 같다.

단열성능 지표

열교 부위를 포함하는 RC조 및 PC조 외피의 단열성능은 에너지 성능과 결로방지 성능으로 구분하여 평가하였다. 에너지 성능은 열교에 의한 영향이 고려되지 않는 열관류율 대신, 식 (1)에 의한 유효 열관류율로 평가하였다. 식 (1)에서 외벽 면적은 ISO 13789 : 2017의 치수 체계 중 overall internal dimension system에 따른 실내 측 기준 수직면 투영면적으로 구하였다. 결로방지 성능은 공동주택 결로방지를 위한 설계기준에 따라 식 (2)에 의한 온도차이비율로 평가하였다. 평가지점은 벽체 접합부 모서리에 해당하는 그림 6의 a, b 지점이며, 요구 온도차이비율은 지역 II 기준으로 0.26 이하이다.

$$U_{eff} = \frac{q_{tot}}{A_i \times (T_i - T_o)} \quad (1)$$

여기에서,

$U_{eff}$  : 유효 열관류율(W/m<sup>2</sup>K)  $q_{tot}$  : 실내 측 총 손실열량(W/m<sup>2</sup>K)  
 $A_i$  : 외벽 면적(m<sup>2</sup>)  $T_i$  : 실내온도(K)  
 $T_o$  : 실외온도(K)

$$TDR = \frac{T_i - T_{si}}{T_i - T_o} \quad (2)$$

여기에서,

$TDR$  : 온도차이비율  $T_i$  : 실내온도(°C)  
 $T_{si}$  : 실내표면온도(°C)  $T_o$  : 실외온도(°C)

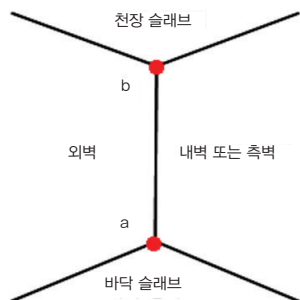


그림 6. 결로방지 성능 평가지점

표 1. 전열해석 경계조건

구분	온도 (°C)	구분	표면 열전달저항 (m <sup>2</sup> K/W)
실내	25	실내	0.110
실외	-15	거실의 외벽	외기에 간접 면하는 경우 0.110
발코니	A, B 부위	실외	외기에 직접 면하는 경우 0.043
	C 부위		층간바닥

표 2. RC조 및 PC조 외피의 3차원 전열해석 모델

부위	RC조	PC조
A (세대간 접합부 A)		
B (세대간 접합부 B)		
C (축세대 코너부)		
D (축세대 축벽부)		

표 3. PC조 외피의 구조체 간 결속 부자재 모델

벽-바닥 접합부	바닥-바닥 접합부
벽-벽 접합부	벽-벽-벽 접합부

표 4. RC조 및 PC조 외피의 단열성능 비교

부위	구분 a), b), c), d)	RC조	PC조
A (세대간 접합부 A)	U	0.869	
	U <sub>eff</sub>	1.178	1.138 (-3%)
	T <sub>si-a</sub>	20.6	20.5 (-0.1°C)
	T <sub>si-b</sub>	17.0	16.8 (-0.3°C)
	TDR <sub>b</sub>	0.19	0.20 (+0.01)
B (세대간 접합부 B)	U	0.318	
	U <sub>eff</sub>	0.600	0.594 (-1%)
	T <sub>si-a</sub>	20.2	20.3 (+0.1°C)
	T <sub>si-b</sub>	17.0	16.6 (-0.4°C)
	TDR <sub>b</sub>	0.20	0.21 (+0.01)
C (측세대 코너부)	U	0.281	
	U <sub>eff</sub>	0.474	0.483 (+2%)
	T <sub>si-a</sub>	20.5	20.3 (-0.1°C)
	T <sub>si-b</sub>	16.3	16.7 (+0.5°C)
	TDR <sub>b</sub>	0.21	0.20 (-0.01)
D (측세대 측벽부)	U	0.166	
	U <sub>eff</sub>	0.312	0.295 (-5%)
	T <sub>si-a</sub>	22.9	22.8 (-0.1°C)
	T <sub>si-b</sub>	20.1	20.8 (+0.7°C)
	TDR <sub>b</sub>	0.12	0.10 (-0.02)

a) U : 설계 열관류율(W/m<sup>2</sup>K)  
 - A, B부위 : 외기에 간접 면하는 거실 외벽, 창 의 면적가중평균 열관류율  
 - C부위 : 외기에 직접, 간접 면하는 거실 외벽의 면적가중평균 열관류율  
 - D부위 : 외기에 직접 면하는 거실 외벽의 열관류율  
 b) U<sub>eff</sub> : 유효 열관류율(W/m<sup>2</sup>K)  
 c) T<sub>si-a</sub>, b : 그림 6의 a, b 지점 표면온도(°C)  
 d) TDR<sub>b</sub> : 그림 6의 b 지점 온도차이비율

### 단열성능 비교 결과

#### 에너지 성능

A~D 부위의 RC조 및 PC조 외피 설계 열관류율과 유효 열관류율은 표 4와 같다. A~D 부위 모두 RC조와 PC조 외피의 설계 열관류율(열교에 의한 영향이 고려되지 않음)은 서로 같다. 실제에서와 같이 열교에 의한 영향을 반영한 유효 열관류율은, A, B, D 부위의 경우 PC조가 1~5% 더 낮고, C 부위의 경우 2% 더 높은 수준이어서, RC조와 PC조 간에 큰 차이가 없게 나타났다. PC조의 경우 RC조와 달리 구조체 간에 열전도율이 비교적 높은 강재 결속 부자재가 추가 설치되나 모두 매립되며, 결속 부자재가 위치하는 구조체 간 접합부의 빈 공간은 콘크리트 보다 열전도율이 낮은 모르타르로 채우기 때문에 열손실 증가가 억제되어 나타난 결과로 판단된다. 따라서 RC조와 PC조의 에너지 성능은 대동소이하다고 할 수 있다.

한편 RC조와 PC조 외피 모두 유효 열관류율이 설계 열관류율보다 높게 나타나, 열교로 인한 열손실이 큼을 알 수 있다. 따라서 에너지 성능을 개선하기 위해서는 RC조

와 PC조 모두 열교 방지가 필요하며, PC조의 경우 PC 커튼월 외벽 및 내단열을 적용하여 외벽 단열층이 상하층 간에 연속되게 함으로써 개선이 가능할 것으로 판단된다.

#### 결로방지 성능

A~D 부위의 RC조 및 PC조 외피 a, b 지점 표면온도와 b 지점 온도차이비율은 표 4와 같다. A~D 부위 모두 표면온도는 실내에 면한 a 지점보다 천장 상부 플레넘에 면한 b 지점이 더 낮으므로 온도차이비율은 b 지점에 대해서만 구하였다. 유효 열관류율은 외피의 전체적인 단열 성능을 나타내고, 온도차이비율은 외피에서 열적으로 취약한 특정 부분(접합부 모서리)의 국부적인 단열성능을 나타낸다고 할 수 있으며, 온도차이비율은 그 값이 작을 수록 결로 위험이 작다.

A~D 부위 모두 RC조와 PC조는 요구 온도차이비율(지역 II, 0.26 이하)을 여유 있게 만족하는 것으로 나타났다. 온도차이비율은 A, B 부위의 경우 RC조가, C, D 부위의 경우 PC조가 더 작으나 그 차이는 0.01~0.02 수준이어서, RC조와 PC조 간에 큰 차이가 없게 나타났다. 따라서 RC조와 PC조의 결로방지 성능은 대동소이하다고 할 수 있다.㉔

#### 참고문헌

1. 주나영, 송승영, 기존 벽식 철근 콘크리트조 대비 프리캐스트콘크리트조 공동주택 외피의 단열성능 비교분석, 대한건축학회논문집 37권 12호, 2021.12 (https://doi.org/10.5659/JAIK.2021.37.12.265)
2. 최보혜, 송승영, Insulation performance comparison of curtain wall systems with existing pipe frames and truss-shaped insulation frames, Energies 2021, 14(15), 4682 (https://doi.org/10.3390/en14154682)

#### 필자 소개

송승영 교수는 국토교통부 주거환경연구사업(주거복지 구현을 위한 생활밀착형 공동주택 성능 향상 기술개발, 2014.9~2021.2)의 연구단장을 역임하였으며, 제로에너지 친환경건축 분야의 다양한 연구를 수행하고 있다.

주나영 연구원은 이화여대 대학원에서 석박사통합과정 중이며, OSC 기반 공동주택 에너지/결로방지 성능 최적화 외피 기술개발 등 OSC 및 친환경건축 분야의 다양한 연구를 수행 중이다.