



# PC 부재 제작 효율을 고려한 보-기둥식 구조 공동주택 건축계획 사례<sup>1)</sup>

Rahmen Structure-based Architectural Design for Public Apartment Considering Manufacturing Efficiency of Precast Concrete Member



**김진성**  
서울주택도시공사  
SH 도시연구원  
수석연구원



**현호상**  
서울주택도시공사  
SH 도시연구원  
책임연구원



**김형근**  
서울주택도시공사  
SH 도시연구원  
연구실장



**김수석**  
SSK ARCHITEKTEN  
대표, 건축사

## 1. 머리말

Off-Site Construction(OSC)는 건설 프로세스의 일부를 현장과는 이원화된 공장에서 수행함으로써, 제조업의 높은 생산효율을 건설 프로젝트에 접목할 수 있는 건설 방식이다. OSC는 과거부터 언급된 건설산업의 낮은 생산성, 노동력 감소, 품질 향상의 필요성 등에 대응하기 위한 방안 중 하나로 언급되고 있으며, 국내외의 점유율이 증가하는 추세이다. 최근 코로나 사태로 인해 국내 대형 물류창고의 수요가 증가하면서 OSC 방식 중 하나인 Precast Concrete(PC)공법의 적용사례가 급증하고 있다. 또한, 주택공급 효율의 향상을 위해 공동주택에 PC를 적용하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있으며, 이를 통해 과거의 PC 공동주택의 품질 및 하자관련 문제가 해결 될 수 있을 것이다.

1) 본 글은 “OSC 기반 공동주택 생산시스템 혁신기술 개발(22ORPS-B158109-03)” 연구의 일환인 “보-기둥식 PC 구조 실증단지 건축계획 사전 검토 연구”의 결과를 편집하여 작성하였음.

최근 주요 공공주택 공급기관에서도 PC공법의 적용을 검토하고자 시범사업을 수행하고 있으며, 서울주택도시공사(SH)의 경우 노후 공공주택 단지의 재건축 및 공공시설 복합화 사업에 보-기둥 구조 PC공법 적용을 검토하고 있다. SH에서 공급하는 서울시의 공공주택의 경우 리모델링이 용이한 장수명 주택의 보-기둥 구조를 적용하고 있다. 보-기둥 구조의 경우 주요 구조부재(보, 기둥, 슬라브, 외벽 등)에 PC 적용 시 공기단축 등의 효율향상 뿐만 아니라, 기존 벽식 PC공법을 적용한 공동주택에서 주로 발생하였던 구조체 접합부위에서의 누수, 벽과 같은 선형 PC부재의 변형 및 오차로 인한 시공성 감소 등 주요 하자 원인을 감소할 수 있기 때문이다. 그러나 이와 같은 장점에도 불구하고, 보-기둥 구조 PC 공동주택의 선례가 없을 뿐 아니라 PC 공동주택의 부정적 인식으로 인해 최근 30년간 공급이 단절되었다. 따라서 보-기둥 구조 PC공법을 공공주택에 적용하기 위해서는 공법의 효율성을 검증할 필요가 있으며, 이는 기존의 한계점을 극복하고 신공법을 적용하기 위한 철저한 사전계획의 필요성을 의미한다.

선행 연구문헌에서는 PC공법 등 OSC 방식의 적용 시 OSC의 주요 고려사항을 포함한 계획 수립의 중요성에 대하여 강조하고 있으며, 해당사항이 반영되는 시기가 빠를수록 프로젝트의 효율이 향상될 수 있음을 언급하였다. 또한 건축계획 시 제작/시공 정보의 누락 및 상충으로 인한 계획 수정 및 재시공은 일반 현장기반 방식(RC)<sup>2)</sup>에 비해 더 많은 비용과 시간의 증가로 이어진다. 따라서 공동주택에 PC공법을 적용하기 위해서는 설계 초기단계에서 공법의 적용을 고려해야 하며, PC공법의 제작/시공 정보를 공유하기 위해 해당 참여자와의 협업이 요구된다. SH는 보-기둥 PC공법의 효율을 검증하기 위한 실증단지 수립을 위해 건축 및 PC 설계/제작사가 협업하여 건

축계획을 수립하였다. 이후의 내용에서는 SH의 실증단지 수립을 위한 사전 연구내용 및 건축계획 사례의 소개를 통해, 건축 및 PC 설계/제작사 간의 협업과 관련된 일부의 내용을 기술하며, 이를 통해 OSC에서의 Design for Manufacturing and Assembly(DfMA)<sup>3)</sup>의 개념을 소개하고자 한다.

## 2. 보-기둥 구조 PC공법 적용을 위한 주요 고려사항

PC 공법의 장점(공사기간 단축, 고품질, 안전사고 감소 등)에도 불구하고, PC공법을 포함한 OSC의 적용사례는 RC공법에 비해 미미한 수준이다. 이는 아직까지는 높은 공사비가 요구되는 OSC의 특징 때문이기도 하지만, 문헌에서는 OSC 프로젝트를 계획하고 수행하기 위해 요구되는 기술과 경험을 보유한 OSC 엔지니어의 부족을 주요 원인으로 언급하고 있다. 예를 들어 국내 대부분의 PC 프로젝트의 경우, 실시설계에 근거하여 PC 제작 및 시공을 위한 전환설계를 수행한다. 전환설계 단계에서 PC공법의 적용을 위해 계획안이 수정되는 경우가 발생하며, 이는 공기지연 및 건축계획의 오류 발생 가능성을 의미한다. 따라서 건축계획 초기 단계에서 제작/시공사와의 협업이 요구되나, PC공법 경험이 없는 발주기관 및 설계기관에 의해 공법의 적용이 실시설계 후 확정되거나, 계획단계에서의 협업과정이 생략되기도 한다. PC 공법에서 언급된 오류 및 생산 정보의 누락으로 인해 재시공 사례가 발생할 경우에는 현장 뿐 아니라 제작단계에서의 재시공(생산 부재의 수정)이 요구된다. 재시공으로 인한 비용의 증가는 RC공법에 비해 더 크다고 할 수 있으며,

2) 현장기반 건설공법에는 RC공법 이외에도 다양한 종류가 있으나, 본 글에서는 Reinforced Concrete 방식(RC)으로 대표하여 기술하였다.

3) OSC를 위해 공장에서 제작되는 부재의 제작 및 시공효율을 고려한 디자인 방법론

이는 OSC 방식의 부정적 인식을 강화시키는 주요 원인 중 하나이다.

국내에서의 PC 적용은 1971년 광명 PC 아파트를 시작으로, 1980년대 주택 200만호 공급당시 단기간에 주택을 공급하기 위해 벽식 PC 아파트의 공급이 큰 폭으로 증가하였다. PC 건축물은 공장에서 제작된 PC 부재를 현장에서 조립하여 완성되며, 외부환경(기온 및 날씨)의 영향을 최소화 할 수 있는 공장에서 제작되기 때문에 현장에서 타설 된 콘크리트에 비해 고품질이라는 특성을 갖는다. 분절된 PC 부재의 시공 시 접합부의 관리가 요구되며, 접합부에서 부재간의 일체성을 향상시키기 위해 현장에서 접합부에 콘크리트를 타설한다. 하지만 당시의 벽식구조의 PC 아파트의 경우 접합부위의 면적이 넓고 개소가 많을 뿐 아니라, PC 벽체와 같이 선형으로 접합하는 구조부재의 변형 때문에 관리의 한계가 있었다. 이는 PC 아파트의 누수 및 시공성 감소 등의 품질 문제로 이어졌다(그림 1). 또한, PC 공법의 적용 대상이 벽식구조 아파트에 국한되었기 때문에 주택에서의 PC 적용사례가 점차 감소하였다.

기존 PC 공법의 주요 한계점을 요약하자면, 계획단계에서의 효율 향상을 위해 PC 공법의 전문성을 보유한 제



그림 1. 벽식 PC공법 사례<sup>4)</sup>

작사, 설계사와의 협업을 통해 건축계획 초기단계에서 PC 공법의 주요 고려사항을 계획안에 반영할 필요가 있다. 또한, 기존 벽식구조 PC 공법의 기술적 한계점을 극복하기 위해 주요 구조부재의 접합부 관리 및 시공성 확보에 용이한 기술의 개발이 요구된다.

### 3. SH 보기동 구조 PC 공동주택 실증단지 건축계획 사례

SH는 서울시 공공주택 공급을 위해 노후 공공주택의 재건축 사업뿐 아니라, 개발 여력이 있는(잔여 용적률이 남아 있는) 공공시설과의 복합화 사업을 수행하고 있다. 사업 추진 시 공사로 인한 주변 환경으로의 영향뿐 아니라 시설의 운영 중단기간 및 거주자의 이주기간을 최소화해야하기 때문에 이를 고려한 사업 방식이 요구된다. 공공주택 공급의 효율화를 위해 SH에서는 실증사업을 통한 OSC 방식 검증 및 도입을 검토하고 있다. OSC 방식 중 보기동 구조의 PC 공법의 경우 최근 물류창고 사례를 통해 효율이 검증되었으며, SH에서 주로 공급하는 보기동 구조 RC 공동주택을 PC 공법으로 대체하기 위한 사전 검토 방안으로 보기동 PC 구조 공동주택 실증단지 수립을 계획하고 있다.

SH의 실증단지 수립을 위해 보기동 PC구조 공법을 고려한 건축계획을 수립하였다. 계획안 수립 시 사전 연구 결과에 따라, 건축 및 PC 설계/제작사가 초기단계에서부터 참여하여 협업하였으며, 설계단계에서 제작/시공효율을 고려할 수 있도록 DfMA에 기반하여 계획안을 수립하였다. 본 계획을 위한 대상지는 서울시 사치구의 공공시설이 위치한 부지이며, 공공시설을 포함하여 11층 규모로 계획하였다(표 1). 공공시설은 1, 2층에 위치하며, 보-

4) 연우PC엔지니어링. 스마트 프리캐스트&프리스트레스트 콘크리트 설계. 2021. 기문당

표 1. SH 실증단지 건축개요

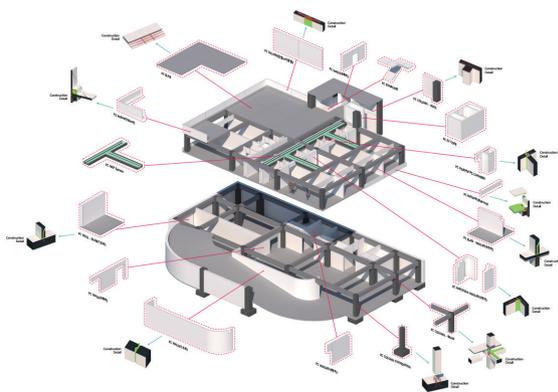
건축 개요	
대지면적	1,006.8m <sup>2</sup>
연면적	4,665m <sup>2</sup>
건축면적	501m <sup>2</sup>
건폐율	49.8% (법정 50%)
용적율	463%
층수	11층/지하 3층
세대수	70세대 (20m <sup>2</sup> 기준)

기동 구조를 채택하여 시설의 특성에 따라 자유로운 평면 계획이 가능하도록 하였다. PC 공법 적용 시 효율 감소가 예상되는 부분은, RC공법과 복합하여 구성할 수 있도록 계획하였다. 지상 3층부터 11층까지는 공동주택으로 계획하였으며, 주거 유닛의 타입을 한 종류로 계획하여 PC 부재를 표준화 하고자 하였다.

실증부지 건축계획은 RC공법 기반의 기획설계안을 참고하여 수립하였으며, PC 공법에 적합한 기본계획을 수립 후 건축계획을 수정하는 방법으로 전환설계를 수행하였다(그림 2). 기존 계획에서는 보-기동 구조의 RC 공법이었으며, 실증계획에서도 보-기동 PC 구조를 적용하였다. 따라서 PC가 적용되는 주요 구조부재는 보, 기동, 슬

래브이며, PC부재의 표준화를 위해 그림 3과 같이 계획안을 수정하였다. 기존 RC 계획안의 경우, 지하층의 기동 간격이 불규칙하여 PC 적용 시 부재 표준화의 어려움이 예상되었다. PC부재의 표준화를 위해 규칙적인 구조 모듈에 기반 하여 계획안을 수정하였으며, 지하층부터 지상층까지 해당 모듈이 연속될 수 있도록 계획함으로써, 동일한 PC 부재의 사용이 가능토록 하였다. 또한, 지하 주차장 램프의 길이, 주차 공간, 코어의 위치를 수정하여 사용자의 편의성을 향상하고자 하였다.

지상층 주거시설도 동일한 구조모듈이 연속될 수 있도록 구성함으로써, PC 부재의 표준화를 통해 제작효율이 향상될 수 있도록 하였다. 그림 4의 RC 계획안의 경우 개별 모듈의 형상이 상이하여 PC 적용 시 부재의 표준화가 어려울 뿐 아니라, PC 부재의 종류가 증가할 것으로 예상되었다. 따라서 모듈뿐 아니라, 주거시설 부분의 평면형태를 정방형으로 구성하여 최대한 PC 부재 종류의 증가를 줄이고자 하였다. 또한 지하층과 지상층에 동일한 모듈이 연속될 수 있도록 계획함으로써, 기동의 위치가 동일하게 연결될 수 있었다. 이를 통해, 기존 계획에서 발생 하였던 트랜스퍼 구간(상하층의 기동이 위치가 변경되는 구간)을 삭제하여 구조적 안정성을 향상시켰다.



(a) OSC 보-기동식 PC구조시스템 개념도



(b) SH OSC 실증단지 수립 계획

그림 2. SH 보-기동 PC 구조 공공주택 전환설계 계획

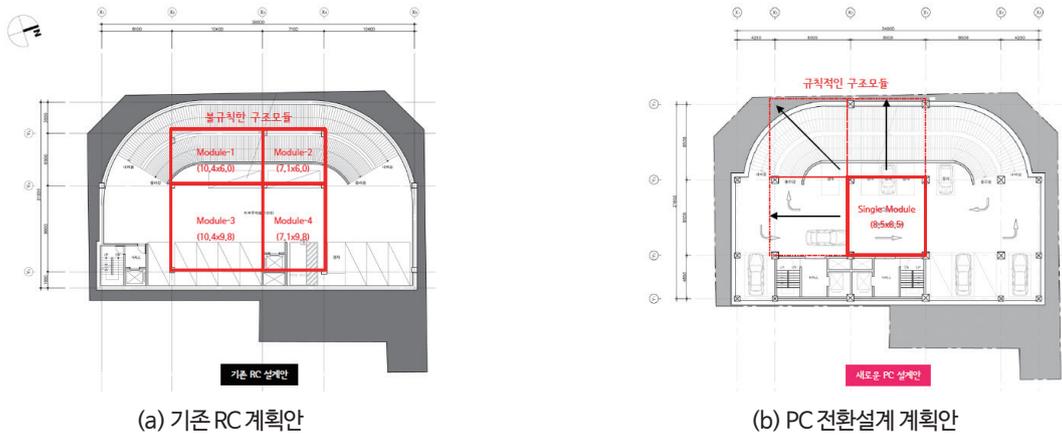


그림 3. PC 부재 표준화를 위한 전환설계 계획안

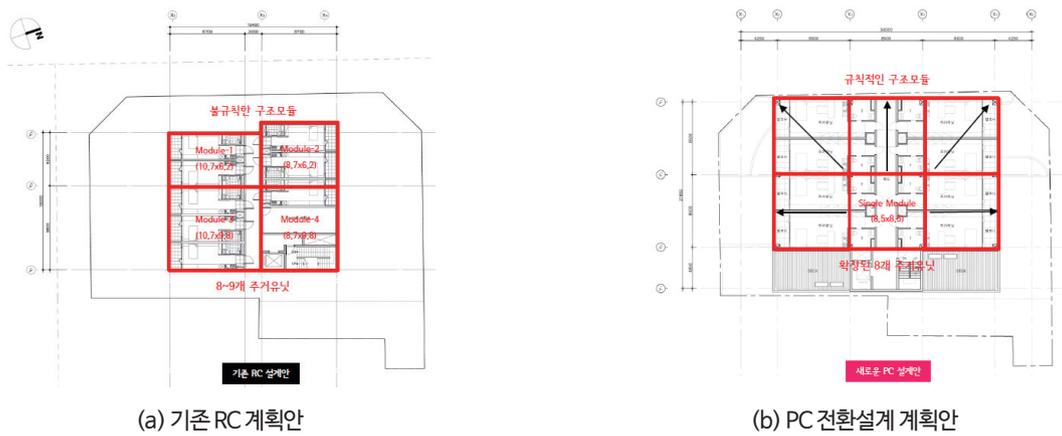


그림 4. 지상층 주거시설 전환설계 계획안

#### 4. 보-기둥 PC구조 전환설계에 따른 구조 계획 및 PC 부재 제작계획

본 연구의 목표는 PC 제작효율을 향상시킬 수 있는 건축계획을 수립하는 것이며, 이를 위해서는 PC부재의 제작을 위한 계획을 검토하는 것이 요구된다. 전환설계 시 건축/PC설계/제작사의 협업을 통해 구조계획 및 PC 부재 설계를 진행하였다. 본 계획의 첫 번째 검토사항은, PC 부재의 적용범위를 설정하는 것이었다. 건축계획에서 반복적으로 다수의 부재를 활용할 수 있는 부분은 PC로 전

환하였으며, PC 적용 시 효율이 감소 할 수 있는 부분은 RC를 적용하였다. SH의 PC 실증단지는 보-기둥 구조의 형태를 하고 있어, 주요구조 부재(보, 기둥, 슬래브)는 PC로 전환하였으며, 지하층의 옹벽, 주차 램프 등은 RC로 계획하였다.

건축물의 보와 기둥의 경우 각 부재의 위치에 따라 요구되는 구조적 성능이 변경되며, 이는 부재의 종류가 증가함을 의미한다. PC 보, 기둥의 경우 부재의 규격에 맞게 제작된 몰드에 철근을 배근 후 콘크리트를 타설하여 제작한다. 제작 단계에서는 몰드의 제작에 비용과 시간

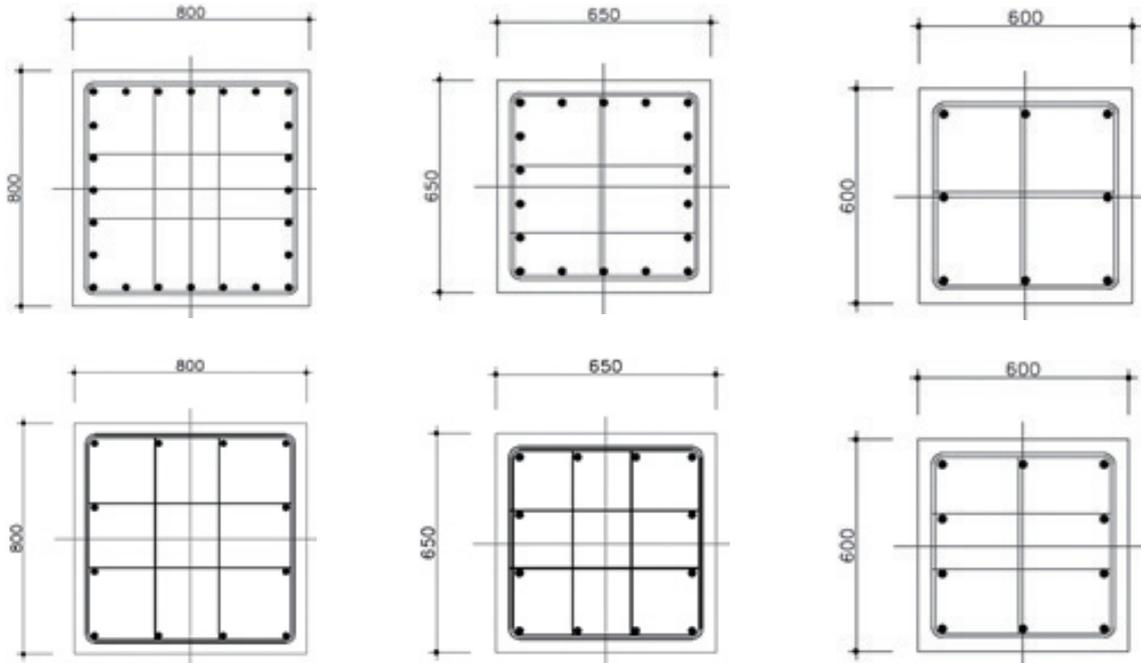


그림 5. 실증단지 PC기둥의 단면 형상 예시

이 투입되기 때문에, 부재의 종류가 증가할수록 몰드의 수도 증가하게 되어 제작효율은 감소하게 된다. 따라서 몰드의 제작을 최소화하기 위해 각 부재의 단면형상을 동일하게 유지하며, 철근의 배근을 변경하는 방식을 통해 각 부재의 위치별 구조적 성능을 충족하고자 하였다 (그림 5). 최종적으로 표 2와 같이 보와 기둥은 55개의 형태로 결정되었으나, 몰드의 제작과 관련된 단면 형상의 종류는 5 종류로 최소화 하였다.

본 사례에서는 SH 실증단지 전환설계를 통해 보-기둥 구조의 부재를 PC로 전환하고자 하였다. 건축물 구조체의 콘크리트 물량 중 60%를 PC로 전환하였다(표 3). 그러나 PC 전환설계를 수행하였음에도 약 40%의 콘크리트는 현장에서 타설되는 것으로 산정되었다. 이는 PC 구조체를 결속하기 위해 PC 슬래브 위에 Topping 콘크리트가 적용되었기 때문이다. PC 건축물은 분절된 부재의 결합을 통해 구조체를 완성하지만, RC 콘크리트에 비해 구

표 2. 실증단지 PC 부재 제작 상세

	유형	단면 형태(넓이 × 길이)	세부 유형 종류	부재 수량
기둥	Type 1	800mm × 800mm	8	44
	Type 2	650mm × 650mm	5	76
	Type 3	600mm × 600mm	7	38
보	Type 1	700mm × 600mm	23	262
	Type 2	480mm × 600mm	10	34

표 3. 실증단지 전환설계 중 PC 전환 비율

부재	콘크리트 물량 (m)	
	PC	현장타설
기둥	163.97	34.80
보	590.59	320.11
슬래브	508.42	448.07
접합부		21.66
합계	1262.98(60.4%)	824.64(39.6%)

조적 일체성이 낮을 수 있다. 또한, 부재 접합부에서 시공 오차 등으로 인한 부재 간 간극이 발생할 수 있으며, 이는 이전 PC 공동주택에서 누수의 주요 원인이었다. Topping 콘크리트 적용 시 분절된 부재의 일체성을 향상 시킬 수 있으며, 접합부의 간극을 콘크리트로 포장 할 수 있어 누수의 문제도 해결 할 수 있을 것으로 생각되어 Topping 콘크리트의 적용을 결정하였다. 그러나 이는 PC 공법의 주요 장점 중 하나인 현장 시공물량 감소에 직접적인 영향을 미치게 되며, PC적용 사업의 효율에도 영향을 미치게 된다. 따라서 앞서 언급된 문제를 해결하기 위한 PC 공법의 지속적인 기술개발이 요구되며, 이를 통해 PC 사업의 효율이 향상될 수 있을 것으로 생각된다.

설계/구조/제작사 분야의 담당자가 협업을 하였으며, PC 제작효율을 고려하여 모듈화 설계 및 PC 제작 몰드의 사용빈도를 높일 수 있는 방안을 도입하였다. 실시설계 이후 전환설계를 수행하였던 기존 방식에 대비하여, 본 연구의 전환설계 방안을 통해 기존에 발생하였던 PC 전환설계 기간을 줄일 수 있었으며, PC 부재의 제작 효율이 향상될 수 있을 것으로 사료된다. 추후 실증단지 구축을 통해 부재의 제작 및 시공단계에서 발생하는 주요 이슈 사항 및 정량적 데이터를 수집할 예정이며, 서울시 공공주택 사업에서 PC 공법 적용 시 향상되는 효율에 기반한 사업모델을 구체화 할 예정이다.

## 5. 결론

OSC 공법을 통해 공사기간 단축, 고품질, 현장작업량 감소 등의 장점을 프로젝트에 적용할 수 있다. SH는 서울시 공공주택 사업에 OSC의 적용을 검토하고자 PC 실증단지의 구축을 계획하고 있다. 실증단지 구축을 위해 PC 부재의 제작 효율을 고려하여 전환설계를 수행하였으며, 구조체 공사의 60%를 PC공법으로 전환하였다. DfMA의 개념을 도입하고자, 건축설계 초기단계에서 건축/PC

### 참고 문헌

- Blismas, N.G.; Pendlebury, M.; Gibb, A.; Pasquire, C. Constraints to the use of off-site production on construction projects. *Archit. Eng. Des. Manag.* 2005, 1, 153 - 162.
- Hyun, H.; Kim, H.; Lee, H.-S.; Park, M.; Lee, J. Integrated Design Process for Modular Construction Projects to Reduce Rework. *Sustainability* 2020, 12, 530.

**김진성 서울주택도시공사 수석연구원**은 2018년 중앙대학교에서 건축및도시설계 전공으로 박사 학위를 취득했으며, 2010년도부터 서울주택도시공사 도시연구원에 재직 중이다. 2018년도 가양동 모듈러 행복주택 실증사업 실무책임자로 담당했으며, 모듈러, PC 등과 관련하여 단지 계획과 공공주택사업 분야에서 지속적으로 연구활동을 하고 있다.

e-mail : jskim77@i-sh.co.kr

**현호상 서울주택도시공사 책임연구원**은 2019년 서울대학교 건축학과에서 건축시공관리를 전공으로 박사 학위를 취득했으며, 2020년도부터 서울주택도시공사 도시연구원에 재직 중이다. OSC 공공주택 공급을 위한 부재 생산 및 시공과 관련된 연구를 수행하고 있다.

e-mail : hhs518@i-sh.co.kr

**김형근 서울주택도시공사 연구실장**은 2012년 고려대학교에서 건축구조전공으로 박사 학위를 취득했으며, 2000년도부터 서울주택도시공사 도시연구원에 재직중이다. 2014년도부터 국토교통부 R&D과제로 장수명주택, 제로에너지주택, 조립식주택 책임자로 수행한바 있다.

e-mail : hgkim@i-sh.co.kr

**김수석 SSK ARCHITEKTEN 대표**는 독일건축사로 2014년 영국 AA School에서 SED(Sustainable Environmental Design) MArch를 취득했으며, Foster+Partners, Populous, HPP Architekten에서 Project Designer로 다수의 프로젝트를 완수했다. 이후 베니스 비엔날레 파빌리온 국제공모 우승, 인천원당계이트볼장 지명설계공모 당선 등 다수의 성과를 통해 지속가능한 건축을 추구하고 있다.

e-mail : info@sskas.com