

# 공동주택 OSC공법 적용 확산을 위한 공사비 분야 경제성 개선 요인 분석 - PC 부재 설계, 제작, 운송, 시공을 중심으로 -

윤원건<sup>1\*</sup> · 신은영<sup>2</sup> · 강태경<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 건설정책연구소 수석연구원 · <sup>2</sup>한국건설기술연구원 건설정책연구소 연구위원 · <sup>3</sup>한국건설기술연구원 건설정책연구소 선임연구위원

## Analysis of Factors for Improvement of Economic Feasibility of Construction Cost to Spread Application of OSC Construction Method for Apartment Housing

Yun, WonGun<sup>1\*</sup>, Shin, Eun-Young<sup>2</sup>, Kang, Tai-Kyung<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Division of Construction Policy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

<sup>2</sup>Research Fellow, Division of Construction Policy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

<sup>3</sup>Senior Research Fellow, Division of Construction Policy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**Abstract :** Recently, as the problem of the traditional on-site labor-intensive construction production method has been raised due to changes in construction work labor and site conditions, the OSC method is gradually spreading as an alternative to this. Even in apartment houses, the application of the PC method is expanding centered on the underground parking lot, but the high cost structure is a problem compared to the conventional formwork method. In this study, factors affecting the calculation of construction cost in the economic evaluation, which are the core of determining the construction method for apartment buildings, are derived through domestic and foreign literature review and expert advice, the importance was analyzed through an opinion survey targeting industry experts. The measures to reduce construction cost were mainly derived from the improvement of the design and manufacturing process. It is expected that the factors affecting the construction cost and improvement measures of the PC method derived from this study will serve as a direction for technology development to spread the application of the PC method for apartment houses in the future.

**Keywords :** Off-Site Construction, Precast Concrete, Construction Cost, Apartment House, Focus Group Interview

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내 건설산업에서 기능인력 고령화로 인한 인력 감소, 숙련공 부족, 노무비 증가, 주 52시간 근무제 등 노동환경의 변화와 4차산업혁명에 따른 설계·조달·시공 자동화 및 디지털 기술 개발 및 산업현장 적용 증가로 인해 전통적인 현장 노동집약적 건설생산방식의 한계점을 개선하려는 노력이 시도되고 있다. 또한, 건설산업 생산성 저하, 품질저하 및 안전사고 증대 우려 등 문제가 나타남에 따라(Son & Lee,

2019), 이러한 문제점들을 해결하기 위한 대안으로 탈 현장 공장생산 기반 건설(Off-Site Construction; OSC) 공법이 주목받고 있다.

여기서 OSC는 기획, 설계, 시공, 유지보수 등의 건설생산 전 과정에 걸친 공급망과 가치사슬의 한 유형으로 건설현장이 아닌 공장 등 제3의 장소에서 계획, 생산, 조립된 부재, 부품, 선 조립 모듈, 유닛 등을 현장으로 운반하여 설치 및 시공하므로써 최종 목적물을 생산하는 방식이다(Bae et al., 2020). 재료 및 부재적 특성에 따른 대표적인 OSC 공법중 하나가 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete; PC)이며, 국내에서는 '70년대 후반에 15층 아파트 건설로 정부 주택건설계획과 정책적 지원으로 PC제작공장이 확산되는 추세였으나(Yoo & Oh, 2020), '90년대 중반부터 접합부 품질 및 안전 문제의 발생으로 점차 시장이 급감되어왔다. 한편 여전히 재래식 거푸집 공법에 비해 PC의 높은 원가 구조가 PC확산에 장애가 되는 요인이긴 하지만, 재래식 공법에서의 최

\* **Corresponding author:** : Yun, WonGun, Division of Construction Policy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283 Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 10223, Korea

**E-mail:** wongun78@kict.re.kr

**Received** September 29, 2021; **revised** -

**accepted** October 15, 2021

근 노무 여건 악화와 레미콘 8/5제(오전 8시부터 오후 5시까지 근무) 시행 등으로 PC공법이 재조명되어(Hwang, 2019) 물류센터 및 공장, 아파트 지하주차장 건설에 적용이 다시 확산되고 있다. 또한, LH공사 등 공공발주청 중심으로 지하주차장에서 공동주택 상부동까지 PC공법을 시범 적용(Lee, 2021)하는 등 현장 작업 최소화를 목적으로 OSC 공법 확산 시도가 지속되고 있다.

이러한 PC공법과 관련된 연구는 주로 공장 생산 효율화, PC부재 생산일정 계획 및 현장 조립 측면의 공법적 개선, 지하주차장 PC공법 적용방안 등이 진행되어 왔으며(Jang et al., 2021), 반면에 공사비 및 경제성에 대한 연구는 이러한 기술연구에 비해 사례가 부족한 것으로 나타났다. PC공법 적용이 활성화되어 있는 영국 및 중국 등 국외에서는 PC가 적용된 다양한 규모의 주택 프로젝트들의 공사비 데이터를 비교하여 전통적 방식과의 단위 비용 차이(PC공법이 약 18~108% 가량 높음)를 제시하였으나(Mao et al., 2016; Pan & Sidwell, 2011; Hong et al., 2018), 전통적 방식과의 공사비 차이를 발생시키는 구체적인 원인 및 개선 방안에 대한 제시는 미흡한 수준이다.

따라서 본 연구에서는 공동주택 공법 의사결정에 있어 핵심이 되는 경제성 평가에 있어 공사비 산정에 영향을 미치는 다양한 요인들을 도출하고, 관련업계 전문가 그룹 대상 의견조사를 통해 각 요인들의 중요도와 공사비 절감 방안들의 효과를 분석하고자 한다. 이를 통해 도출되는 공사비 주요 영향요인 및 개선 방안들을 고려하여 향후 경제성 향상을 위한 기술 개발 노력이 지속된다면 공동주택에 PC공법과 같은 OSC 적용을 확산시키는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 1.2 연구의 범위 및 절차

건설분야에서의 경제성 평가는 생애주기비용(LCC) 분석, 시공단계 투입공사비 분석, 비용/편익비율 분석 등 다양한 방식이 적용되고 있으며, 국내에서 공동주택 경제성 평가는 대부분 표준품셈과 일위대가를 기반으로 산정하고 있다(Song et al., 2014). 본 연구에서는 PC공법 기술개발 및 공동주택 적용이 최근 이루어지고 있는 여건을 고려하여 우선적으로 OSC가 도입되는 건축 골조 공사비를 기준으로 경제성 영향요인 및 개선 방향을 제시하고자 하였다.

이 연구에서 다루는 공동주택 공사 범위는 PC부재를 공장에서 설계·제작하고 공장서 현장까지 운송하고 현장에서 설치·시공하는 업무로 한정하였다. 연구 진행은 우선 국내·외 선행연구 등 문헌연구를 통하여 공사비 경제성에 영향을 미치는 주요 요인들을 조사하였으며, 전문가 자문을 통해 적정성을 검토하고 공사 단계별로 재분류하여 주요 요인들을

도출하였다. 또한, 현재 기술 수준에서 적용가능한 공사비 절감 방안들도 제시하였다. 이를 기반으로 설문지를 작성하였으며, PC공사 제작 및 설치사와 건설사 전문가를 대상으로 한 심층면접조사(Focus Group Interview; FGI)를 통해 공사비 영향요인의 중요도와 공사비 절감 방안의 효과를 조사·분석하였다. 마지막으로 PC공법 적용시 경제성 개선을 위해 향후 달성가능한 단계별 전략을 제안하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 PC 공법 특징 및 현황

PC공법은 건축물의 주요 구조부재를 규격화하고 공장서 대량생산하여 현장에서 조립하는 방식으로, 공장제작시 정교한 품질관리와 효율적인 일정관리가 가능하다는 장점을 가진다. 또한, 현장에서 발생할 수 있는 노동력 감소와 기상의 영향을 최소화하여 공기단축에 효과가 크고, 부대비용 절감과 폐기물 발생을 최소화할 수 있다는 장점도 가진다(Hwang, 2014; Alazzaz & Whyte, 2014; Gibb & Isack, 2003; Kim, 2004). 그러나 현재 PC공법은 기존 현장타설 기반의 RC공법에 비해 공사기간 단축, 비용 절감 등의 장점이 부각되지 못한 실정으로, 활성화에 어려움이 있다(Hwang, 2014). 하지만 최근에는 기존 RC 공법<sup>1)</sup>에서 현장 인력 인건비와 수급의 어려움 등으로 인한 원가 상승과 안전 문제로 인해 PC공법이 함께 적용된 PC복합화 공법으로의 전환이 증가하고 있다. 이러한 RC공법의 한계점은 대부분의 현장 작업이 비계를 기반하여 다수의 기능인력이 투입되어 철근 및 콘크리트 타설이 이루어짐에 있다.

여기서 PC복합화 공법이란 현장 여건으로 인해 건물전체를 완전 PC로 할 수 없는 상황으로 RC와 PC를 복합혼용한다는 의미로 부분적으로 PC화하는 것이 아닌 PC를 적용하고 부분적으로 RC를 적용하는 것이다(Kim, 2004). 이러한 PC 적용 범위는 현장의 위치, 지형이나 시공 여건을 고려하여 결정되며 이에 따라 시공성, 공사비 등이 달라질 수 있다. 최근에는 물류창고(Yoo & Oh, 2020)와 공동주택 지하주차장(Kim et al., 2008; Hwang, 2019)의 정형 구간을 중심으로 지식산업센터(Kim & Yun, 2020)까지 PC복합화 공법이 확산되고 있다. 특히, 물류창고의 경우 마감 및 설비공사가 단순하여 골조공사 비중이 크며 투자비의 빠른 회수를 위한 공기단축 필요성 때문에 PC 적용 효과가 큰 장점이 있다.

Jun et al. (2021)은 이러한 PC공법을 기본적으로 부재 생

1) 일반적인 철근콘크리트 구조(Reinforced Concrete)로 전통적인 현장 타설형 공법(현장거푸집, 현장 철근 조립 및 콘크리트 타설)을 통칭함. 콘크리트타설 환경 기준에 따라 현장타설 콘크리트(cast-in place concrete) 공법으로 통칭함

산, 운송, 현장시공(조립)으로 구분하여 건설 프로세스를 제시하였으며, 부재 생산 단계의 세부 프로세스는 크게 부재 설계와 몰드 설계 및 제작, 운송 단계는 크게 차량선정, 운반 경로 및 시간 계획으로, 현장시공 단계는 부재 검수, 준비 및 대기, 현장조립이다.

공사비 관점에서 PC부재의 제작비용 중에서 사용 빈도가 높은 철재 몰드(Mold)가 차지하는 비율은 약 7~20%에 이르며, 부재의 형태가 다양한 경우 몰드 개조에 시간과 비용이 다수 발생할 수 있다. 현장공법에 비해 재료비는 크게 소요되는 반면에 공장의 자동화 수준에 따라 차이는 있으나 제작 과정에서 노무량 투입을 크게 줄일 수 있으며 공장 내 작업자 동선이 크게 줄어들어 노동생산성도 향상되는 특징이 있다(Cho, 2014). 또한, 현장에서 PC조립작업은 RC공법에 비해 약 40% 미만의 인력투입으로 작업이 가능한 장점이 있다(Noh & Lee, 2020). 즉, 현장시공 단계에서는 RC공법에서 부재의 현장 생산분이 공장제작으로 대체되므로 거푸집 및 동바리 등 가설 관련 재료비, 노무비가 크게 감소되며, 이는 현장작업의 감소로 한정된 작업공간에서의 복잡성 문제가 개선되어 공정, 안전 등 관리의 용이성도 향상되는 효과를 가진다. 하지만 현재 PC공법의 직접공사비는 일반적으로 기존 RC 라멘구조에 비해 상승하게 되는 문제점을 가지고 있다(Cho & Kim, 2015). 특히, PC공장의 위치 및 부재 분할 계획에 따라 현장까지의 부재 운송비가 커질 수 있는 한계가 있다.

## 2.2 선행연구 고찰

최근 수행된 OSC 도입과 PC공법 제작 및 시공단계에서의 확산정책, 공사비, 공사관리 관련 연구를 중심으로 국내·외 주요 연구를 살펴본 결과는 다음과 같다.

Blismas et al. (2006) 및 Alazzaz and Whyte (2014)은 OSC 기술에 대한 심층 문헌고찰을 통해 공기절감, 품질개선, 숙련기술자 부족 해소, 생산성 향상 등 OSC의 장점을 분석하고, 미래에 가치를 가지는 연구주제를 모색하였다. Wuni and Shen (2019)은 OSC의 장점과 관련하여 4개국 32개의 연구문헌을 분석하여 86개의 요인을 도출하였으며, 이를 공기(Time), 비용(Cost), 품질(Quality), 생산성(Productivity) 등 8개 그룹으로 분류하여 상호 연관성을 분석하였다. Mao et al. (2016)은 기존 문헌분석을 통해 OSC 비용 구조를 정립하고, 이를 기준으로 중국에서 수행된 PC 건축물 사례들을 수집하여 전통적 방식 사례와의 비용 차이 및 특성을 분석하였다. Lee et al. (2021)은 설문조사를 통해 국내 건설산업 종사자들의 OSC에 대한 인식을 파악하고, OSC의 보급 및 활성화를 위한 시간, 비용, 품질, 생산성, 환경, 만족도, 안전 등 성과지표의 상대적 중요도에 대한 인식

을 분석하였다. 특히, OSC PC 공중주택 활성화를 위해 극복해야 할 장애요인으로 설계시 OSC PC를 반영하지 않음과 적합한 발주방식 부재, 품질에 대한 우려 등을 높게 제시하였다. Bae et al. (2020)은 공동주택 부문에 OSC기반 PC 적용을 활성화하기 위한 정책과제를 과거 정책 벤치마킹 및 전문가 심층 면접조사를 통해 분석하였으며, 공공부문 우선 적용을 통한 PC 공동주택 물량제공, 공공택지 우선공급, 용적률 우대, 자금지원, 세제지원, 업역 구조개선, 발주방식 개선, 공장인증시스템, 전문인력 양성중에서 인력양성정책요인 및 용적률우대정책이 필요성과 효과성 측면에서 가장 큰 파급효과를 가짐을 도출하였다.

Kim et al. (2008)은 기발주된 사업을 대상으로 PC공법 적용시의 지하주차장 공사비를 RC 공법과 비교하여 분석하였으며, 약 6.8%의 공사비 상승이 있음을 제시하였다. Seok (2009)은 국내의 공동주택의 지하주차장 PC공법 시공 사례들을 유형별로 분석하여 적용시 고려사항을 도출하고 설문조사를 통해 개선방향을 도출하였다. Cho and Kim (2015)은 공동주택 지하주차장에 PC구조 시스템을 다양하게 조합하여 각 대안별 경제성을 분석하였으며, PC시스템은 RC 라멘구조 대비 약 12~28% 정도 골조공사비가 상승됨을 제시하였다. Kim et al. (2014)은 기존 지하주차장 공법 검토결과 일방향 PC 공법의 대안으로 하향 리브형 슬래브를 선정하였으며, 이는 강도·생산성·경제성 등에서 우수하나 기존 공법(RC 데크) 대비 약 4.2% 공사비가 상승됨을 제시하였다.

Hwang (2014)은 PC공법의 건설공사에 있어 효율적인 공사관리를 위하여 기존 관리 현황 및 문제점을 분석하고 BIM을 기반으로 개선된 통합 공사관리 프로세스를 제안하였다. Jang et al. (2021)은 PC부재의 차량 할당 및 적재 계획을 수행하는 데 필요한 여러 고려사항을 도출한 후 PC공사 참여자를 대상으로 중요도와 반영도를 비교 분석하여 PC부재 운반과 관련한 현황을 파악하였다.

이러한 연구들은 주로 향후 OSC 및 PC 활성화를 위한 주요 장점(Benefit)들을 도출하고, PC공법 경제성 관점에서는 다양한 사례들에 기반하여 기존 공법들과의 공사비 차이를 제시하였다. 하지만 PC공사 단계별 업무 특성을 고려한 기술적 개선은 공사관리 기술 분야에만 한정되어 경제성 관점에서의 상세한 개선 요인들을 분석하는 연구는 미진한 것을 알 수 있다.

## 3. 공사비 영향요인 및 절감방안 분석

### 3.1 공사비 영향요인 도출

PC공법 공사 계획시 공사비와 관련된 다양한 영향요인들을 도출하기 위해 우선 국내·외 문헌조사를 수행하였으며,

**Table 1. Factors influencing the economic performance of the PC (Rearrangement based on Hong et al., 2018)**

Influence factor		Cost Item		
		M	L	E
Higher cost	Highly skilled workers		○	
	Complex techniques, Complex design	○	○	○
	Additional procurement costs			
	High initial cost(cost on new machinery, fabricate molds, and factories)			
	Extra labor cost on checking, counting, and sorting raw materials		○	
	Occupying extra space for accommodation of PC			○
	Additional transportation costs			○
	Additional use of tower cranes(vertical transportation)	○	○	○
Lower cost	Increased productivity		○	
	Decreased labor, Cheaper labor rates		○	
	Avoidance of construction site hindrances			
	Faster project delivery, Decreased management cost			
	Minimal wastage			○
	Less site materials, Reduction of formwork	○		
	Controlled quality	○		
	Lower maintenance and repair expenses			

※ M(재료비) : Material cost, L(노무비) : Labor cost, E(경비) : Expenses

**Table 2. Factors affecting the cost of PC construction**

Stage	Influence factor for Cost	Reference
A.PC Design/ Manufacturing	A1.High mold production and assembly cost (influence of standardization of parts, production quantity)	Mao(2016), Hwang(2014), Noh(2020), E.O.
	A2.High labor cost of skilled workers	Kim(2004), Hong(2018)
	A3.Storage cost before on-site shipment (storage yard)	Hong(2018), Kim(2004)
	A4.Increase in unit price due to increase in demand due to the popularization of PC	E.O.
B.PC Transportation	B1.Additional transportation costs due to out-of-region transportation (increase in transportation distance, etc.)	Cho(2014), Hwang(2014), Mao(2016), Kim(2004)
	B2.Shipping delays and additional costs due to the transport union strike	E.O.
C.PC Assembly/ Construction	C1.Increased difficulty in joint construction between cast-in-place (RC) and PC	E.O.
	C2.Use of a separate dedicated crane(mobile crane) (influence of PC Member weight and site conditions)	Hong(2018), Mao(2016), Kim(2020)
	C3.Additional labor cost for checking & inspection of PC Member	Hong(2018)
	C4.Reduced productivity due to low assembler skills	Hong(2018), Kim(2004),

※ E.O(전문가 의견): Expert Opinion

이후 업계 PC공사 전문가들의 인터뷰를 통해 요인들의 적정성을 검토를 거친 후 공사 단계별로 재분류하여 주요 요인들을 도출하였다. 특히 Hong et al. (2018)은 기존 연구들을 고찰하여 PC공사 재무적 성과(Financial performance)에 영향을 미치는 주요 요인들을 다음 <Table 1>과 같이 정리하였다. 본 연구에서는 여기서 제시된 요인들을 기초로 하여 건

**Table 3. PC method construction cost reduction plan**

Field	Cost reduction plan	Reference
A.Design	A1.Increased number of mold use and increased on-site construction productivity by standardizing member design (repetitive installation of members of the same standard)	Hwang(2014), Hong(2018), Noh(2020), E.O.
	A2.Reduced amount of input materials (reinforcing bars, concrete) by rationalizing structural design	Kim(2008)
	A3.Utilize member connections for ease of on-site assembly	Hwang(2014),
	A4.Maximize productivity by selecting a annual unit price PC company	E.O.
B.Manufacturing	B1.Reduce material waste through process optimization	Cho(2014), Hong(2018)
	B2.Increased productivity through automation of factory facilities	Cho(2014)
	B3.Minimize transportation distance by manufacturing in local factory	Cho(2014), Hwang(2014),
	B4.Appropriate input of skilled workers in PC production	Hong(2018)
C.Construction Method	C1.Reduced field work by attaching insulation materials during manufacturing(Full PC)	Kim(2004), E.O.
	C2.Reduced field work by purchasing mechanical/electric/communication materials during manufacturing	Kim(2004), E.O.
	C3.Optimize the equipment lifting plan (minimize the use of mobile cranes)	Hwang(2014)
	C4.Cultivation of skilled PC assembly technicians and appropriate input	Kim(2004)
	C5.Reduction of temporary materials and costs due to shortening of construction period	Kim(2004), Hwang(2014),

축 골조 직접 공사비(재료비, 노무비, 경비) 산정에 영향을 미치는 요인들을 중심으로 추가 문헌조사를 통한 요인들도 고려해 재정리하였으며, 현장 간접비에 해당하는 관리요인과 유지관리 단계에 해당되는 요인은 연구범위상 제외하였다.

아래 <Table 2, 3>은 이를 통해 도출한 공사 단계별 RC구조 대비 PC구조 공사비 증가 영향요인 10개와 PC구조 공사비 절감방안 13개이며, 국내 산업환경을 고려한 영향요인의 중요도와 향후 절감방안들의 예상 효과(현재 기술 수준에서의 건축 골조공사비 기준 예상 절감율)를 조사·분석하는 기준으로 활용하였다.

### 3.2 전문가조사 개요

본 조사에 참여한 응답자의 구성 및 경력은 다음 <Table 4>와 같으며, 조사 응답은 공동주택 PC공사 공사비에 대한 지식 및 10년 이내 경험을 보유한 5명 및 10~20년 이상의 경험을 보유 9명의 PC제작/설치업체와 건설사 전문가 그룹으로 구분한 총 14명을 대상으로 FGI (Focus Group Interview) 방법론 기반 사전 심층 인터뷰 및 사후 설문조사



수행을 통해 도출하였다. 각 요인별 중요도는 리커트 5점 척도로 측정하였다.

Table 4. Summary of survey

Field	Contents					
Number of Respondent	Target group for survey					
	PC Manufacturing/Installation			Contractor		
	8			6		
Experience	1~10year	5	10~20year	5	20year~	4

### 3.3 공사비 영향요인 중요도 분석

공사비 영향요인의 중요도 분석 결과는 다음 <Table 5, 6>과 같다. 3개 분류(A. PC설계/제작, B.PC운반, C. PC조립/시공)중 PC설계/제작(A) 단계가 평균 3.27점으로 가장 높게 나타났으며, PC운반(B) 단계가 2.93점으로 2순위로 높게 나타났으나, 조사 그룹별로 살펴보면 PC제작/설치사의 경우 PC조립/시공(C)을 2순위로, PC운반(B)보다 다소 중요하게 인식하고 있는 것으로 응답하였다.

Table 5. Analysis of the importance of factors influencing the construction cost of the PC method (by group)

Stage	Importance	Target group for survey	Importance	Rank
A.PC Design/Manufacturing	3.27	PC Manufacturing/Installation	3.31	1
		Contractor	3.21	1
B.PC Transportation	2.93	PC Manufacturing/Installation	2.88	3
		Contractor	3.00	2
C.PC Assembly/Construction	2.82	PC Manufacturing/Installation	2.97	2
		Contractor	2.63	3

PC설계/제작(A) 단계에서는 높은 몰드 제작 및 조립 단가(부재표준화, 제작수량 영향)(A1)이 평균 4.71점(표준편차 0.45)으로 10개 요인중 가장 중요한 요인으로 도출되었고 조사 그룹별 차이는 없었다. 이는 인터뷰 결과 대부분 PC공사비 중 제작 몰드비가 제작공사비에서 큰 비중을 차지하고 있어 이를 최적화하기 위한 PC부재 표준화를 매우 중요하게 인식하고 있는 것으로 판단하였다. 또한, PC공사 대중화로 수요증가에 따른 단가상승(A4)는 3.21점(4순위)으로 높은 편으로 나타났으며, 이는 현재 국내 PC제작사(공장)의 수가 PC공사 증가 수요에 비해 낮은 공급시장 여건이 반영된 결과로 판단된다. 한편 현장출하전 야적 비용(야적장)(A3)은 2.21점(10순위)으로 공사비에 영향이 가장 낮은 것으로 나타났다.

PC운반(B) 단계에서는 지역의 운반(운반거리 증가 등)으로 인한 운송 추가비(B1)가 3.36점(표준편차 0.97, 3순위)으로 높게 나타났으며 조사 그룹별 차이도 없어, 운송 계획 최

Table 6. Analysis of the importance of each factor influencing the construction cost of the PC method

Stage	Influence factor for Cost	Importance	Rank
		ST.D.	
A.PC Design/Manufacturing	A1.High mold production and assembly cost (influence of standardization of parts, production quantity)	4.71	1
		0.45	
	A2.High labor cost of skilled workers	2.93	6
		1.09	
A3.Storage cost before on-site shipment (storage yard)		2.21	10
		1.01	
A4.Increase in unit price due to increase in demand due to the popularization of PC		3.21	4
		1.20	
B.PC Transportation	B1.Additional transportation costs due to out-of-region transportation (increase in transportation distance, etc.)	3.36	3
		0.97	
	B2.Shipping delays and additional costs due to the transport union strike	2.50	7
C.PC Assembly/Construction	C1.Increased difficulty in joint construction between cast-in-place (RC) and PC	3.07	5
		0.59	
	C2.Use of a separate dedicated crane(mobile crane) (influence of PC Member weight and site conditions)	3.57	2
		1.23	
	C3.Additional labor cost for checking & inspection of PC Member	2.29	9
		0.79	
C4.Reduced productivity due to low assembler skills	2.36	8	
	0.81		

적화로 인한 공사비 영향을 모두 중요하게 인식하고 있는 것으로 판단하였다. 또한, 운송노조파업으로 인한 운송 지연 및 추가비(B2)는 2.50점(7순위)으로 모든 조사 그룹에서 낮게 나타났다.

마지막으로, PC조립/시공(C) 단계에서는 별도 전용 크레인(이동식 크레인) 사용(C2)가 전체 2순위(표준편차 1.23)로 높게 나타났으며 건설사(3.17점)보다는 PC제작/설치사(3.88점)에서 다소 높게 평가하였다. 이는 이동식 크레인 비용을 부담하는 주체의 특성이 반영된 것으로 추정되며, 종량이 큰 부재를 양중해 설치함에 있어 최적화된 크레인 활용 계획을 모두 중요하게 인식하고 있는 것으로 판단하였다. 또한, 현장타설(RC)부분과 PC의 접합 시공 난이도증가(C1)는 3.07점(5순위)으로 비교적 높게 나타나 이에 대한 최적화된 기술 개발 및 적용이 시공성 및 공사비에도 영향이 있는 것으로 판단하였다. 한편 부재 검사/검수를 위한 추가노무비(C3)는 2.29점(9순위) 및 낮은 조립공 숙련도로 인한 생산성 저하(C4)는 2.36점(8순위)으로 모든 조사 그룹에서 공사비에 영향이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

### 3.4 공사비 절감방안 효과 분석

공사비 절감방안 조사의 경우 앞선 영향요인 중요도 분석과 같이 5점 척도를 활용하였으나, 조사자에게 구간별 참고

할 수 있는 현재 개략적인 건축 골조 공사비 수준에서의 절감가능율(%)을 5점을 기준으로 최대 8%에서 1점의 0%까지 제시하였다. 이러한 기준에 따른 공사비 절감방안의 효과 우선순위 분석 결과는 다음 <Table 7, 8>과 같다. 3개 분류(A. 설계개선, B. 제작공정개선, C. 시공방법개선)중 설계개선(A)이 평균 3.34점(절감가능율 총 13.5%)으로 가장 높게 나타났으나, 조사 그룹별로 살펴보면 건설사의 경우 PC제작/설치사와는 상반되게 제작공정개선(B)을 1순위로, 2순위로 설계개선(A)을 높게 인식하고 있는 것으로 응답하였으나 차이는 0.04점(0.8%)로 나타나 큰 차이를 보이지 않았다.

**Table 7. Analysis of the effect of PC method construction cost reduction plan (by group)**

Field	Importance	Target group for survey	Importance	Rank
	Cost(%)			
A.Design	3.34	PC Manufacturing/Installation	3.34	1*
	13.5%	Contractor	3.33	2
B.Manufacturing	3.17	PC Manufacturing/Installation	3.02	2
	11.7%	Contractor	3.38	1*
C.Construction Method	2.61	PC Manufacturing/Installation	2.58	3
	6.7%	Contractor	2.67	3

설계개선(A) 분야에서는 부재 설계 표준화로 몰드전용 횡수 증가 및 현장시공 생산성 증가(A1)가 4.14점(표준편차 0.98, 1순위), 구조설계 합리화로 투입재료(철근, 콘크리트) 물량 감소(A2) 3.71점(표준편차 0.88, 2순위)으로 13개 방안중 가장 중요한 방안들로 도출되었고 조사 그룹별 차이는 없었다. 하지만, 현장 조립 용이성을 위한 부재 연결 활용(A3)은 2.71점(10순위)으로 비교적 낮게 나타나 현장 설치 방법보다는 골조물량의 대량 PC부재 생산 과정의 효율화가 공사비 절감 기대 효과가 큰 것으로 판단하였다. 이는 앞선 PC공법 공사비 영향요인 중요도 분석 결과에서도 높은 몰드 제작 및 조립 단가(부재표준화, 제작수량 영향)(A1)을 높게 평가한 결과와 연관된 결과로서 설계표준화로 인한 부재 단면 최적화가 재료비 절감과 직접 연관되는 것으로 인식하고 있다고 판단하였다. 또한, 건설사 연간단가 업체 선정으로 생산성을 극대화하는 방안(A4)의 경우 2.79점(8순위)으로 나타났으며, 이는 최근 일부 건설사에서 1년치 PC 물량을 대상으로 수행중인 전략으로 PC공사 발주단계에서 고려가 가능하나 일반적으로는 공사비 절감에 영향이 크지 않은 것으로 인식하고 있는 것으로 판단된다.

제작공정개선(B) 분야에서는 공장설비자동화로 생산성 증가(B2)가 3.71점(2순위, A2와 동점)으로 높게 나타났으며, 조사 그룹별 차이도 없어 제작공장의 자동화 설비 투자로 인한 생산성 향상으로 인한 공사비 절감 효과에 대해 모두

**Table 8. Analysis of the effect of PC method construction cost reduction plan**

Field	Cost reduction plan	Impact		Rank
		Point ST.D.	Cost (%)	
A. Design	A1.Increased number of mold use and increased on-site construction productivity by standardizing member design(repetitive installation of members of the same standard)	4.14	5.1	1
		0.98		
	A2.Reduced amount of input materials (reinforcing bars, concrete) by rationalizing structural design	3.71	4.8	2
		0.88		
A3.Utilize member connections for ease of on-site assembly	2.71	1.7	10	
	0.88			
A4.Maximize productivity by selecting a annual unit price PC company	2.79	1.8	8	
	0.41			
B. Manufacturing	B1.Reduce material waste through process optimization	3.29	3.2	4
		0.95		
	B2.Increased productivity through automation of factory facilities	3.71	4.8	2
		1.27		
B3.Minimize transportation distance by manufacturing in local factory	2.86	1.9	6	
	1.18			
B4.Appropriate input of skilled workers in PC production	2.83	1.8	7	
	0.79			
C. Construction Method	C1.Reduced field work by attaching insulation materials during manufacturing(Full PC)	2.43	1.4	12
		1.04		
	C2.Reduced field work by purchasing mechanical/electric/communication materials during manufacturing	2.14	1.1	13
		1.05		
	C3.Optimize the equipment lifting plan	3.14	2.6	5
1.05				
C4.Cultivation of skilled PC assembly technicians and appropriate input	2.57	1.6	11	
	0.72			
C5.Reduction of temporary materials and costs due to shortening of construction period	2.79	1.8	8	
	1.01			

높게 인식하고 있는 것으로 판단하였다. 또한, 공정최적화로 인한 재료 낭비감소(B1)는 3.29점(4순위)으로 비교적 높게 나타나 제작공장내 전반적인 생산성 향상이 공사비 절감에 큰 영향력을 가진다는 전문가들의 인식이 반영되어 있는 것으로 판단된다. 한편 PC 지역내 공장제작으로 운반거리 최소화(B3)는 2.86점(6순위)로 나타났으나, 건설사는 3.50점(자체 3순위)로 높은 반면에 PC제작/설치사는 2.38점(자체 11순위)으로 낮아 의견차이가 나타났다. 이는 인터뷰 결과 건설사는 운송비용 외에도 부재 조달 리스크(Risk) 관점에서 제작공장 위치를 중요하게 고려하는 인식이 반영되어 있는 것으로 판단된다.

마지막으로, 시공방법개선(C) 분야에서는 장비 양중계획 최적화(이동식 크레인 활용 최소화)가 3.14점(5순위)으로 높게 나타났으며, 조사 그룹별 차이는 없었다. 이는 앞선 PC공

법 공사비 영향요인 중요도 분석 결과에서도 별도 전용 크레인(이동식 크레인) 사용(C2)을 높게 평가한 결과와 연관된 결과로서 부재를 현장으로 운반후 하차하고 설치할 때 양중장비 선정 및 투입 일정에 따른 공사비 절감 효과에 대해 모두 높게 인식하고 있는 것으로 판단하였다. 한편, 제작시 기계/전기/통신 자재 매입으로 현장작업 감소(C2) 2.14점(13순위), 제작시 단열재 등 부착으로 현장작업 감소(C1) 2.43점(12순위), PC조립 숙련공 양성 및 적정 투입(C4) 2.57점(11순위)로 가장 낮은 순으로 나타났으며 이는 인터뷰 결과 현재 기술 수준에서 공장 제작시 단열재 등 선제작 및 부착 등 PC화율을 높이는 것이 공사비 절감에는 영향이 크지 않게 인식하고 있는 것으로 판단하였다. 또한, PC공법 적용으로 골조공사 공기단축 실현에 따른 가설자재와 손료 절감(C5)은 2.79점(8순위)으로 공사비 절감에 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

#### 4. 경제성 개선을 위한 단계별 주요 전략

앞서 공사비 영향요인의 중요도와 공사비 절감방안의 효과를 제시하였으며, 이를 기반으로 전문가 인터뷰 시 추가 제언 결과 검토를 통해 종합적으로 PC공법 적용시 경제성 개선을 위한 방향이 될 수 있는 공사업무 단계 요인별 주요 전략을 도출하여 다음과 같은 특성요인도(Fish bone diagram) 형태로 제시하였다.

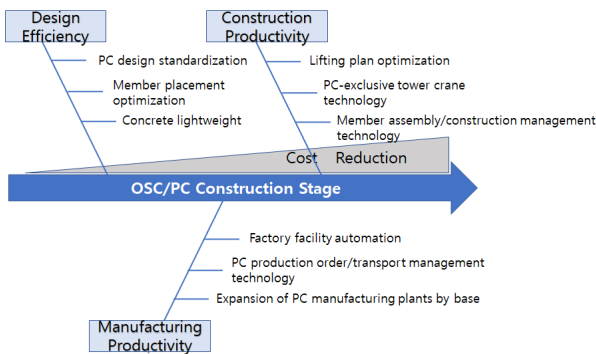


Fig. 1. Cost reduction strategy for PC construction

##### 4.1 설계효율성 개선

앞서 공사비 영향요인의 중요도 및 공사비 절감방안 효과 분석 결과에서 PC설계시 부재 설계 표준화로 몰드전용 횡수를 증가하는 것이 가장 높은 순위를 나타냈다. 공동주택 구조는 유사한 평면구조가 반복·연결되는 특징을 가지며 이를 구성하는 보·기둥·슬래브 등 부재들이 현장 여건에 상관없이 표준화된 수치 규격을 가지도록 설계될수록 공장제작시 콘크리트 거푸집이 되는 몰드를 한번 제작하여 여러번 재활

용하게 된다. 따라서 이러한 부재 설계 표준화는 제작 비용 중에서 비중이 높은 몰드 비용을 획기적으로 절감함으로써 제작기간 단축 및 경제성 개선에 큰 영향을 가지므로 평면 계획시 주택의 요구 성능을 유지하면서 동일 규격 부재 활용율을 높이는 설계 전략이 필요하다. 즉, PC제작사 및 건설사에서 설계단계부터 대량 생산을 고려하여 부재 설계 및 조립 과정을 간소화 및 표준화, 최적화하는 DfMA (Design for Manufacture and Assembly) 기술 활성화가 요구된다.

또한, 공동주택 초고층화에 따라 다수 PC부재의 현장 조립/시공 효율성 확보와 비용 절감을 위해 최적화된 부재 배치를 고려한 구조설계 및 경량 콘크리트 벽체 패널과 같은 콘크리트 경량화를 위한 기술 개발이 필요하다.

##### 4.2 제작생산성 개선

앞서 공사비 영향요인의 중요도 및 공사비 절감방안 효과 분석 결과에서 공장설비자동화로 생산성 증가 및 공정최적화로 인한 재료 낭비감소 역시 높게 나타났으며, 최근 국내·외 PC제작공장들에서는 기존 숙련기술자 중심의 인력 생산 방식을 탈피하고자 스마트팩토리와 같은 자동화된 방식 도입이 시작되고 있다(Son & Lee, 2019). 즉, 공장설비자동화로 인한 생산성 증가가 산업 경쟁력 확보의 핵심 방안으로 업계에서도 인식하고 있음을 나타내는 결과이다. 이러한 시스템을 도입한 PC제작업체에서는 미숙련자도 작업이 가능해 유연한 노무관리가 수행되며, 자동화된 설비를 통해 생산성 향상을 통한 원가 절감뿐만 아니라 제작 오류를 사전에 방지하는 등 품질관리의 일관성 개선에도 효과를 기대할 수 있다.

또한, 제작이 완료된 PC부재가 현장에 적기에 반입·설치되기 위해서는 사전에 공장에서 현장까지의 운반 경로·거리를 고려한 발주와 조달 관리 체계가 필요하며, 증가하고 있는 PC제작 물량 소화를 위해서는 지역 거점별 PC제작 공장 증설을 정책적으로 활성화하는 방안도 고려할 필요가 있다.

##### 4.3 시공생산성 개선

현장에서 PC부재의 조립/시공은 주로 크레인에 의한 양중을 통한 인양 및 연결이 주요 공정이 되며, 앞서 공사비 영향요인의 중요도 및 공사비 절감방안 효과 분석 결과에서도 장비 양중계획 최적화(이동식 크레인 활용 최소화)가 비교적 높은 순위를 나타냈다. 현재 기술 수준에서 부재 양중을 위한 장비 계획시 현재는 별도로 이동식크레인을 주로 활용하고 있으나, 향후 전체 또는 다수 주택동에 PC공법을 적용시 타워크레인 활용을 고려할 수 있다. 하지만 이때 RC공법 때보다는 양중 1회당 단위 중량이 크며, 부재간 연결 공정 순서를 반드시 고려하여야 하므로, 장비별 생산성과 장비들



간의 간섭을 고려한 장비배치 및 공정계획이 매우 중요하다. 또한, 향후 PC대중화를 고려한다면 적정 양중능력이 확보된 전용 타워크레인 기술 개발도 필요하다.

## 5. 결론

본 연구는 최근 건설공사 노동 및 현장 여건 변화에 따른 OSC 공법 적용 확산 배경속에서, 공동주택을 대상으로 OSC 및 PC공법과 관련한 기술 현황과 연구 동향을 고찰하고, 관련업계 전문가를 대상으로 PC공법 공사비 영향요인에 관한 인식 조사를 수행하였다. 이를 통해 PC설계/제작, PC운반, PC조립/시공의 3개 단계별 총 10개 공사비 영향요인과 13개 공사비 절감방안을 도출하였다. 이러한 영향요인별 현재 기술 수준과 공사 환경속에서 중요도 및 절감방안의 효과 우선순위를 평가하기 위해 PC공법 전문가 그룹을 대상으로 의견조사 및 분석을 수행하였다.

우선, 공사비 영향요인 중요도 분석 결과로는 PC설계/제작단계 요인이 가장 높게 나타났으며, 세부 요인별로는 높은 몰드 제작 및 조립 단계(부재표준화, 제작수량 영향)(1순위), PC공사 대중화로 수요증가에 따른 단가상승(4순위)이 높게 나타났다. PC운반 단계에서는 지역의 운반(운반거리 증가 등)으로 인한 운송 추가비(3순위)가 높게 나타났으며, PC조립/시공 단계에서는 별도 전용 크레인(이동식 크레인) 사용(2순위), 현장타설(RC)부분과 PC의 접합 시공 난이도증가(5순위)가 높게 나타났다.

또한, 이러한 영향요인과 연관되어 공사비 절감방안 효과 분석 결과로는 설계와 제작공정 개선이 가장 높게 나타났으며, 세부 방안별로는 부재설계 표준화로 몰드전용 횡수 증가 및 현장 시공 생산성 증가(1순위), 구조설계 합리화로 투입 재료(철근, 콘크리트) 물량 감소(2순위), 공장설비자동화로 생산성 증가(2순위), 공정최적화로 인한 재료 낭비감소(4순위)의 순으로 장비 양중계획 최적화(이동식 크레인 활용 최소화(5순위)만이 높게 나타났다.

이 연구는 OSC 생산의 주체인 제작/건설업계를 중심으로 PC공법 경제성과 관련하여 공사비 개선 요인들만을 중점적으로 다룬 한계점이 있으나, 향후 발주자·학계 등 추가적인 조사를 수행하고 운영·유지관리 단계까지 포함한 경제성 평가 연구로 확대함으로써 보완할 수 있을 것이다.

공동주택 분야에서 OSC 시장 활성화를 위해서는 발주물량 확대, 관련 설계·시공기술 개발과 더불어 공사비 및 공기를 최적화하는 포괄적 기술 활용 전략 수립이 필요하다. 이에 본 연구에서 도출된 PC공법의 공사비 영향요인 및 개선 방안들이 고려된 경제성 향상을 위한 정부·산업계·연구소 공동의 기술 개발에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21ORPS-B158109-02)

## References

- Alazzaz, F., and Whyte, A. (2014). "Uptake of Off-site Construction: benefits and Future Application." World Academy of Science, *Engineering and Technology International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering* 8(12), pp. 1148-1152.
- Bae, B.Y., Kang, T.K., Shin, E.Y., and Kim, K.H. (2020). "A Study on the Policy Agenda for Activating PC Apartment using Focus Group Interview(FGI)." *Journal of Korea Academy Industrial Cooperation Society*, 21(12), pp. 888-895.
- Blismas, N., Pasquire, C., and Gibb, A. (2006). "Benefit evaluation for off-site production in construction." *Construction Management and Economics*, 24(2), pp. 121-130.
- Cho, B.H. (2014). "Eight Factors Affecting the Economics of Modular Construction", ARCHITECTURE(ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA), 58(05), pp. 42-46.
- Cho, M.J., and Kim, J.S. (2015). "Economic Evaluation of Underground Parking Lot PC Structural System that is Suitable for Long-Life Housing." *Journal of the Korean housing association*, 26(2), pp. 103-110.
- Gibb, A., and Isack, F. (2003). "Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers." *Building Research & Information*, 31(2), pp. 146-160.
- Hong, J., Shen, G.Q., Li, Z., Zhang, B., and Zhang, W. (2018). "Barriers to promoting prefabricated construction in China: a cost-benefit analysis." *J. Clean. Prod.*, 172(2018), pp. 649-660.
- Hwang, J.H. (2014). "Development of Integrated Management Process for Precast Concrete construction method based on BIM." MS thesis, University of Seoul.
- Hwang, Y.H. (2019). "Development of hybrid PC method for apartment underground parking lot." DAELIM TECHNICAL REVIEW 2004\_SUMMER, pp. 94-105.
- Jang, J.Y., Cho, K.W., Koo, C.W., Lee, C.S., and Kim, T.W. (2021). "Importance and Performance Analysis on Factors of PC Component Allocation and Loading Planning." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 22(2), pp 53-62.
- Jun, Y.H., Bae, B.Y., and Yun, W.G. (2021). "Derivation of the construction process of Precast concrete System based on Off-Site Construction." *Proceedings of the Korean*



- Institute of Building Construction Conference*, South Korea, pp. 289-290.
- Kim, S.H. (2004). "Apartment basement parking lot PC conversion." *SSANGYONG CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW 2004\_SUMMER*, pp. 32-39.
- Kim, S.Y., Lee, B.S., Park, J.Y., Lee, S.B., and Yoon, Y.H. (2008). "Foreign Parking Structures and Practical Using Method of PC System for the Domestic Underground Parking Structures." *Magazine of the Korea Concrete Institute (Korea Concrete Institute)*, 20(1), pp. 34-40.
- Kim, S.Y., Lee, K.H., and Song, M.J. (2014). "Development of LH 1-way PC System for Underground Parking Structures." *Land and Housing Research Institute*.
- Kim, Y.N., and Yun, H.D. (2020). "Precast Concrete Method of Knowledge Industrial Building & Flatted Factory." *ARCHITECTURE (ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA)*, 64(7), pp. 21-26.
- Lee, S.H., and Cha, H.S. (2021). "A Study on Plans for Diffusion & Revitalization, and Developing Key Performance Indicator for OSC based PC Structure Apartment Housing." *Korean Journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 22(1), pp 98-105.
- Lee, J.S. (2021). "OSC role and development direction as an innovation engine." 2021 CMAK Webinar-Description of the construction industry and countermeasures in the post-coronavirus new normal era, 2021.05.26.
- Mao, C., Xie, F., Hou, L., Wu, P., Wang, J., and Wang, X. (2016). "Cost analysis for sustainable off-site construction based on a multiple-case study in China." *Habitat Int.*, 57(2016), pp. 215-222.
- Noh, H.C., and Lee, G.C. (2020). "Manufacture and Site Erection of Precast Elements." *ARCHITECTURE(ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA)*, 64(7), pp. 27-30.
- Pan, W., and Sidwell, R. (2011). "Demystifying the cost barriers to offsite construction in the UK." *Construction Management and Economics*, 29(11), pp. 1081-1099.
- Song, S.H., Park, J.Y., and Bang, J.D. (2014). "An Economic Evaluation Method on Demonstration Project of Cost-effective Long-life Housing." *Proceedings of the Korean Housing Association Conference*, South Korea, pp. 75-78.
- Son, J.W., and Lee, J.S. (2019). "Off-Site Construction : Innovation of construction production system." *Korean Journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 20(5), pp. 3-7.
- Seok, J.W. (2009). "Study on PC integrated performance system application effect of apartment house underground parking lot." MS thesis, Yeungnam University.
- Wuni, I.Y., and Shen, G.Q.P. (2019). "Holistic Review and Conceptual Framework for the Drivers of Offsite Construction: A Total Interpretive Structural Modelling Approach." *Buildings* 2019, 9(5), p. 117
- Yoo, K.J., and Oh, Y.H. (2020). "Application of Precast Concrete Construction Method in Logistics Center." *ARCHITECTURE (ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA)*, 64(7), pp. 16-20.

---

**요약 :** 최근 건설공사 노동 및 현장 여건 변화에 따라 전통적인 현장 노동집약적 건설생산방식의 문제가 제기됨에 따라 이에 대한 대안으로 OSC 공법이 점차 확산되고 있다. 공동주택에서도 PC공법 적용이 지하주차장을 중심으로 확대되고 있으나 재래식 거푸집 공법에 비해 높은 원가 구조가 문제가 되고 있다. 본 연구에서는 공동주택 공법 결정에 있어 핵심이 되는 경제성 평가에 있어 공사비 산정에 영향을 미치는 요인들을 국내·외 문헌고찰과 전문가자문을 통해 도출하고, PC공사 설계, 제작/운송, 시공 단계별 각 요인들의 중요도를 산업계 전문가를 대상으로한 의견조사를 통해 분석하였다. 공사비 절감 방안들은 설계 및 제작공정 개선에서 주로 도출되었으며, 이를 종합하여 PC공법 적용시 경제성 개선을 위한 주요 전략을 제시하였다. 본 연구에서 도출된 PC공법의 공사비 영향요인 및 개선 방안들은 향후 공동주택 PC공법 적용 확산을 위한 기술 개발에 방향성이 될 수 있을 것으로 기대된다.

**키워드 :** 탈 현장 공장생산 기반 건설(OSC), PC공법, 공사비, 공동주택, 심층면접조사(FGI)

---