

건축 프로젝트 특성을 고려한 초기 단계에서의 Off-Site Construction 공법 도입 여부 의사 결정 시스템 개발 - 공동주택 골조공사 중심으로 -

이성호¹ · 차희성^{2*} · 손보식³

¹아주대학교 대학원 스마트융합건축학과 석사과정 · ²아주대학교 건축학과 교수 · ³남서울대학교 건축공학과 교수

A Study of the Decision Making System in adopting Off-Site Construction Method in the Initial Stage Considering the Building Project Characteristics -Focused on Structure Work of Apartment Housing-

Lee, Sungho¹, Cha, Heesung^{2*}, Son, Bosik³

¹Graduate Student, Department of Smart Convergence Architecture, Ajou University

²Professor, Department of Architecture, Ajou University

³Professor, Department of Architectural Engineering, Namseoul University

Abstract : Recently, various problems such as reduced productivity, insufficient inflow of skilled manpower, reduced quality, and concerns about increasing safety accidents have appeared in the domestic construction industry. Stakeholder of construction project are considering the Off-Site Construction (OSC) method rather than the conventional on-site construction as an alternative. Despite the importance of decision making in the early stage of the adoption of OSC, there is a lack of methodologies for rational decision making. In this study, a decision making system has been developed to derive the final construction cost score by deriving the project characteristics, selecting the construction difficulty index, and developing a cost model for each construction method alternatives to calculate the standard construction cost. Using this system, the OSC method can be effectively evaluated in terms of its feasibility in the early stage of construction

Keywords : Off-Site Construction, OSC, Decision Making Tool, Project Characteristics

1. 서론

1.1 연구의 배경

Off-Site Construction(이하; OSC)이란, 건축시설물이 설치될 부지 이외의 장소에서 부재(Element), 부품(Part), 선조립 부분(Pre-assembly), 유닛(Unit, Modular) 등을 생산 후 현장에 운반하여 설치 및 시공하는 건설방식이다(Son & Lee, 2019). 해외에서는 prefabricated building, pre-assembly, industrialized construction, modular building

등 다양한 용어로 불리고 있다. 약 70년대부터 국내에 도입되었지만 기술과 품질의 부족으로 경쟁력을 상실하여 외면을 받아왔던 공법이지만, 최근 국내 건설산업의 생산성 저하, 기능 인력 유입 부족, 품질 저하, 안전사고 증대 우려 등 다양한 문제점들이 나타남에 따라, 이를 해결하기 위한 공법으로 주목을 받고 있다(Son & Lee, 2019).

OSC를 장려하는 이유에는 공기 단축, 숙련공 부족 문제 해결, 품질 향상 등이 대표적이며(Lee & Cha, 2020), 이외에도 안전사고 감소(Fard et al. 2017), 폐기물 배출량 감소(Cao et al., 2015) 또한 장점으로 꼽히고 있다. OSC는 국내외에서 확대 중인 시점에서 건설 프로젝트의 주체는 기존의 현장 타설 공법뿐만 아니라, OSC의 도입 또한 하나의 대안으로 고려를 하고 있지만, 합리적인 의사결정을 위한 도구와 방법론이 부족한 실정이다.

건설 관리 측면에서 초기 단계의 의사결정은 매우 중요

* **Corresponding author:** Cha, Heesung, Department of Architectural, Ajou University, 708 Sanhakwon, 206 Worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Korea

E-mail: hscha@ajou.ac.kr

Received November 10, 2021: **revised** -

accepted December 16, 2021

하다. O'Connor et al. (2014)의 연구에 따르면 조기 설계 확정이 대표적인 OSC 프로젝트의 성공 요인으로 나타났다. Hwang et al. (2018)은 반복적인 레이아웃의 존재와 OSC를 위한 설계의 적합성을 가장 중요한 의사 결정 요소로 꼽았으며, Lee and Cha (2020)의 연구에서는 설계 시 OSC를 반영하지 않는 점이 OSC 활성화를 위해 극복해야 할 장애요인으로 나타났다. 이는 설계 단계에서의 OSC에 대한 고려는 OSC 프로젝트의 성공에 지대한 영향을 끼침을 의미하며, OSC 공법의 도입 여부는 설계가 완료된 시공 단계에서 아닌 초기 단계에서 결정이 되어야 한다.

OSC의 무조건적인 활용이 정답은 아니다. 프로젝트의 특성을 고려하여 기존의 현장 타설 공법을 고수할지, OSC 공법을 도입할지에 대한 합리적인 의사결정이 필요하다(Chen et al., 2010). 이러한 의사결정은 효과적인 OSC 공법의 활용을 위해서 초기 단계에서 OSC 공법 도입 여부의 의사결정이 필수적이다.

1.2 연구의 목적 및 범위

본 연구는 OSC 프로젝트에 영향을 미치는 특성들을 고려하여 초기 단계에서 OSC 공법 도입 여부의 합리적인 의사결정을 할 수 있는 도구를 개발하는 것이 주된 목적이다. 이러한 의사결정 도구를 개발함으로써 건설산업에서 OSC 프로젝트를 보다 더 효율적으로 준비하여 성공할 수 있도록 하고 OSC의 보급 및 확산에 기여하고자 한다.

OSC의 건축 방식에는 Precast Concrete(이하; PC), 철골조립식 복합 부재, 건식 공법, 모듈러 시스템 등이 있으며(Yu, 2013), 본 연구에서는 PC 공법과 공동주택에 초점을 맞춘다. 또한, 계획, 설계, 시공, 유지관리로 이어지는 건축물의 생애 주기에서 OSC 공법 도입 여부가 결정되기 가장 적절한 시기인 실시설계가 완료되지 않은 초기 단계에 초점을 맞추고자 한다.

1.3 연구의 방법

다음의 <Fig. 1>은 본 연구의 방법론을 나타낸다. OSC 공법 도입 의사결정을 위해 공사 난이도 지수와 표준 공사비를 기초로 하여 진행하였다.

우선, 공사 난이도 지수 도출을 위해 선행 연구조사를 통해 프로젝트 특성을 정의하고, 전문가 자문을 거쳐 공사 난이도 지수를 정량화 하고자 하였다.

공사비 지수 도출을 위해서는 공법별 cost model 항목 및 단가를 도출하고 물량 산출법을 적용하여 항목별 단가와 물량을 토대로 표준 공사비를 산정하도록 하였다.

이를 토대로 공사 난이도 지수 알고리즘과 공사비 지수 알고리즘을 활용하여 프로그램을 개발하고 가상 데이터 입력

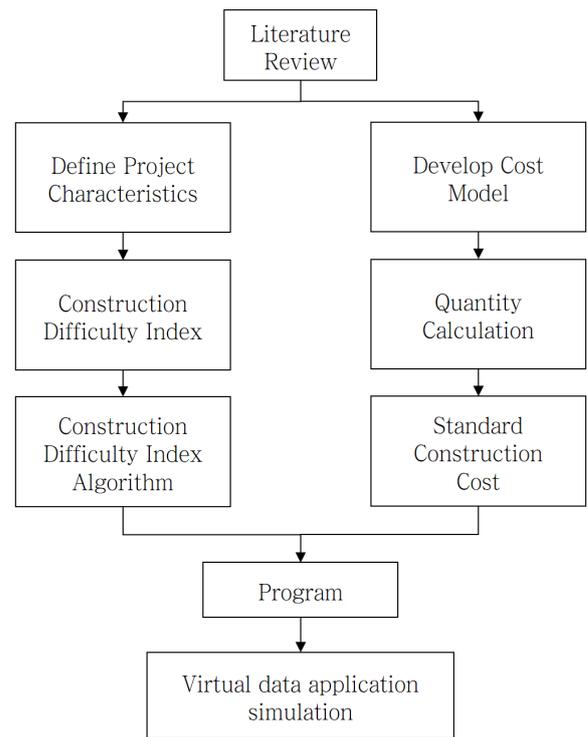


Fig. 1. Research procedure

시뮬레이션을 통해 프로그램의 적용 가능성을 검증하였다.

2. 선행 연구 조사

2.1 OSC 의사결정도구

1) Construction Industry Institute (2017)

CII (2017)는 PPMOF (Prefabrication, Preassembly, Modularization, Offsite Fabrication) 프로젝트의 도입 여부 의사 결정 도구를 개발한 바 있다. 이 도구에서는 PPMOF에 영향을 주는 항목들의 가중치를 직접 입력하고 공기, 사업비, 안전 등 다양한 요소들의 중요도 가중치를 사용자가 입력하여 가장 영향을 많이 주는 요소들을 도출하였다. 그러나 영향이 큰 요소들을 프로젝트 특성에 맞게 도출해준다는 장점이 있지만 매우 주관적이며, 프로젝트 특성에 따른 보정을 할 수 없다는 단점이 있다.

2) Chen et al. (2010)

Chen et al. (2010)은 건설 프로젝트의 특성, 대지 조건, 시장 특성, 지역 규제의 중요도를 점수화하여 일정 수치가 넘으면 OSC화를 검토하는 방안을 제안한 바 있다. 이후, 각 부재별 OSC 도입 여부를 통해 조합들을 생성하고 이를 각각 평가하여 콘크리트 건물의 공법을 선정하는 의사 결정 도구를 개발했다. 조합들을 평가항목들에 따라 20점 만점의 주관적인 평가를 한다는 한계점이 있다.

3) Hwang et al. (2018)

Hwang et al. (2018)은 PPVC (Prefabricated Prefinished Volumetric Construction) 채택을 위한 주요 의사결정 요소를 도출하여, 도입 가능성을 평가할 수 있는 점수 방식을 활용하여 의사결정 도구를 개발하였다. 그러나 공사비 기반이 아니라 주관적 요소에 입각한 방법이라는 한계가 있다.

2.2 Cost Model

Jung et al. (2021)의 연구에서는 리모델링 공사의 특징 및 설계요소를 반영한 공사비를 보정하는 공사 난이도를 정하여 공동주택 지하주차장 확대 리모델링 개략 공사비 산정 모델을 개발하였다. OSC 공법 관련 선행 연구는 아니지만, 공사 난이도를 활용하여 공사비를 보정하는 방법론을 적용한 모델로 평가된다.

2.3 PC공법

PC 공법이란, 기둥, 보, 슬라브, 벽 등의 부재들을 공장에서 제작하여 현장에서 조립하여 시공하는 공법을 뜻한다. Gibb (2001)의 연구에 따르면 공장 제작되는 부재들의 종류와 정도에 따라 세부적으로 구분된다. 본 연구에서는 PC 공법이라 함은 모든 부재를 공장 제작하여 현장에서 조립하는 All-PC 공법 혹은 Full-PC 공법으로 정의하였다.

PC 공법의 단점을 보완하기 위해 프리스트레스트 Half PC 슬래브 공법(이하; Half-PC 공법)이 개발되었다. Half-PC 공법이란, 슬라브의 하부를 먼저 공장에서 제작하여 거푸집을 대용하고, 현장에서 토핑 콘크리트를 타설하여 슬래브를 완성하는 공법이다(Jang et al., 2012). PC 슬라브와 토핑 콘크리트 두께의 비율은 반반 정도로 시공한다.

3. OSC 공법 도입 의사 결정 시스템 개발

OSC 공법 도입 의사 결정을 위해 공사 난이도 지수와 공사비 지수를 산정한다. 공법의 대안은 현재 가장 보편적으로 쓰이는 현장 타설 철근콘크리트 공법(이하; RC 공법), 공동주택에 적용될 수 있는 OSC 공법 중 대표적인 PC 공법, 그리고 PC 공법의 단점을 보완하여 개발된 Half-PC 공법으로 선정하였다. 공사 난이도 지수는 공법의 선택에 따라 공사 난이도에 영향을 주는 프로젝트 특성들을 정의하여 공사 난이도 지수를 산정한다. 공사비 지수는 문헌조사를 통해 공사비를 구성하는 항목들과 단가를 정의하고, 물량 산출법에 따라 산출한 물량을 곱해 산정한 표준 공사비를 공사 난이도 지수를 활용하여 보정한다. 공사 난이도 지수와 공사비 지수 알고리즘을 통해 Excel Visual Basic을 활용하여 의사 결정 시스템을 개발하였다.

Table 1. Construction difficulty index by project characteristics

Category	Subcategory	Option	Construction method			
			RC	PC	Half PC	
Project General Characteristics	Project size	Small	2	4	4	
		Medium	3	5	4	
		Big	3	5	5	
	Site condition	Bad	3	5	4	
		Normal	5	3	3	
		Good	4	2	3	
	Ground condition	Bad	4	5	4	
		Normal	2	4	3	
		Good	2	3	3	
	Climate condition	Bad	5	3	4	
		Normal	4	2	3	
	Distance between OSC factory and site	~50km	3	2	2	
51~100km		3	3	3		
100km~		3	4	4		
Project Risk Characteristics	Ease of labor supply	Low	5	3	4	
		Medium	4	3	3	
		High	3	2	3	
	Ease of equipment supply	Low	5	5	5	
		Medium	4	4	4	
		High	2	3	3	
	Ease of material supply	Low	5	5	5	
		Medium	4	4	4	
		High	3	3	3	
	Possibility of complaints	Low	3	1	2	
		Medium	4	2	3	
		High	5	2	4	
Possibility of labor dispute	Low	3	3	3		
	Medium	4	3	3		
	High	5	3	4		
Possibility of safety accident	Low	3	2	2		
	Medium	4	3	3		
	High	5	4	4		
Owner	Organization	Public	2	3	3	
		Private	2	3	3	
		Big	3	3	3	
	Organization size	Medium	3	3	3	
		Small	3	3	3	
		None	3	4	4	
	Similar project experience	Normal	3	3	3	
		Plenty	2	2	2	
		Not clear	4	4	4	
	Requirement	Normal	3	3	3	
		Clear	2	2	2	
		Bad	3	4	4	
Project Stakeholder's Characteristics	Attitude	Normal	3	3	3	
		Good	3	2	2	
		Big	2	3	3	
	Organization size	Medium	2	3	3	
		Small	2	3	3	
		None	3	4	4	
	Similar project experience	Normal	2	3	3	
		Plenty	2	2	2	
		Big	3	2	2	
	Manufacturer	Organization size	Medium	3	2	2
			Small	3	3	3
			None	3	3	3
Similar project experience		Normal	3	3	3	
	Plenty	3	2	2		
	Big	2	3	3		
G/C	Organization size	Medium	3	3	3	
		Small	3	3	3	
		None	3	3	3	
	Similar project experience	Normal	2	2	2	
		Plenty	1	1	1	
		Big	2	3	3	

3.1 프로젝트 특성 및 공사 난이도 지수

의사 결정에 건축 프로젝트의 특성을 반영하기 위하여 OSC 공법의 도입 여부에 따라 공사 난이도에 영향을 주는 특성을 정의하고 공사 난이도 지수를 산정했다(Table 1). Chen et al. (2010)과 Cho and Cha (2011)의 연구를 참고하여 프로젝트 일반 특성과 프로젝트 리스크 특성으로 구분하였다. OSC 공법의 사업비에 영향을 주는 인자들을 조사한 Xue et al. (2017)의 연구에서 프로젝트 참여자들의 특성과 역량, 경험에 대한 인자들이 중요도 순위에서 상위권을 차지하고 큰 영향을 끼친다는 연구결과에 따라 프로젝트 참여자 특성을 추가하였다. Cho and Cha (2011)의 연구에서는 제도 및 환경 특성도 추가하였으나, 국내 건설산업 특성상 큰 차이를 보이지 않는다고 판단하여 제외하였다. 1차적으로 프로젝트 일반 특성, 프로젝트 리스크 특성, 프로젝트 참여자 특성으로 구분하였다.

프로젝트 일반 특성으로는 프로젝트 규모, 대지 조건, 지반 조건, 기후 조건, OSC 공장과 현장과의 거리로 구분하였다. 이는, 예산 추가 투입 또는 프로젝트 참여자들의 노력으로 바꿀 수 없는 특성으로 구성되어 있다. 프로젝트 규모는 사업비 규모 300억 원과 1,000억 원을 기준으로 하며, 대지 조건은 주변 대지와 인접 정도, 사용 장비의 제한 정도, 가설 시설의 제한 정도 등을 기준으로 한다. 지반 조건은 기초 공사의 난이도를 기준으로 한다. 기후 조건은 폭우와 폭염이 잦은 경우, 그리고 OSC 공장과 현장과의 거리는 50km와 100km를 기준으로 한다.

프로젝트 리스크 특성은 노무 인력 수급 용이성, 장비 수급 용이성, 자재 수급 용이성, 민원 발생 가능성, 노무 분쟁 가능성, 안전사고 가능성으로 구분된다. 각 특성에 대한 리스크로 인해 공사 난이도에 영향을 줄 수 있는 특성들로 구성했다.

프로젝트 참여자들을 발주자, 설계사, 제작사, 시공사로

정의하고 발주자는 공공 또는 민간 발주자의 조직 특성과 시방서 및 도면의 상세조건 같은 요구 조건의 명확성을 고려한다. 설계사는 협의 태도를 고려하고, 모든 참여자들의 조직 규모와 유사 프로젝트 수행 경험으로 구성되어 있다.

각 프로젝트의 특성과 공법별 공사 난이도 지수는 전문가 자문을 통해 산정했다. 건설 현장에서 10년 이상 근무한 시공 전문가 및 OSC 연구 경험이 있는 박사급 이상의 전문가로 구성된 5인의 자문을 받았다. 1점: 매우 쉬움, 2점: 쉬움, 3점: 보통, 4점: 어려움, 5점: 매우 어려움의 5점 척도로 공사 난이도 지수를 정량화하였다.

3.2 OSC Cost Model 개발 및 표준 공사비 산정

실시 설계가 완료되지 않은 프로젝트의 초기 단계에서는 물량 산출 및 공사비 내역서가 완료되지 않아 공사비를 예측하는 cost model 개발이 필요하다. 공법별 cost model 항목 및 단가를 도출하여 cost model을 개발한다. 이후, 공법별 물량 산출식을 도출하여 프로젝트 특성에 따른 물량을 산출한다. Cost model의 항목별 단가에 산출된 물량을 곱해 표준 공사비를 산정한다. 골조 공사의 물량과 공사비에 초점을 맞춘다.

3.2.1 공법별 cost model 항목 및 단가 도출

기존 RC공법, PC 공법, Half-PC 공법에 대한 cost model 개발을 위해 공개된 데이터를 활용하여 골조공사에 포함되는 cost model 항목 및 단가를 도출하였다. RC 공법, PC 공법, Half-PC 공법의 cost model 항목별 자재비, 노무비, 경비에 대한 단가 및 단위는 다음과 같다.

RC 공법의 cost model 항목 및 단가 도출을 위하여 전라북도교육청에서 배포한 2021년 상반기 적용 일위대가(건축)을 참고하였다. 실제 사례에서 활용된 일위대가와 항목별 자재비, 노무비, 경비에 대한 단가 및 단위를 활용하기 위해서 경기주택공사에서 공개하는 건설공사 원가 정보 공개를 확

Table 2. Cost model category for RC method

Category	Unit	Material unit cost (KRW)	Labor unit cost (KRW)	Expense unit cost (KRW)
Concrete	m ³	66,300	-	-
Pumpcar for concrete	m ³	692	12,075	1,826
Other equipment for concrete	m ³	1,459	22,311	2,781
Rebar	ton	595,000	-	-
Rebar manufacture	ton	1,050	43,950	6,946
Rebar assembly	ton	1,050	338,950	-
Aluminum form	m ²	3,870	18,152	2,930
Gang form	m ²	153,427	-	-
Gang form wage	m ²	-	6,800	-
Gang form disassemble	m ²	-	6,800	-

Table 3. Cost model category for PC method

Category	Unit	Material unit cost (KRW)	Labor unit cost (KRW)	Expense unit cost (KRW)
PC exterior wall material cost	m ³	365,265	-	-
PC exterior wall transportation cost	ton	-	-	300,000
PC exterior wall assembly cost	m ³	5,715	42,338	16,848
PC interior wall material cost	m ³	365,625	-	-
PC interior wall transportation cost	ea	-	-	300,000
PC interior wall assembly cost	m ³	5,715	24,338	16,848
PC slab material cost	m ³	316,875	-	-
PC slab transportation cost	ea	-	300,000	300,000
PC slab assembly cost	m ³	3,275	18,056	15,706
PC mold	ea	30,000,000	-	-

인했다. 화성 동탄 2지구 A86BL 민간참여 공동주택 건설공사, 다산 진건 A1블록 민간참여 공공주택 사업의 원가 정보를 참고하여 RC 공법의 골조공사 cost model 항목 및 단가를 선정하였다.

RC 공법의 cost model은 레미콘, 콘크리트 펌프카 타설, 콘크리트 기타 장비 사용, 고강도철근, 철근 가공, 철근 조립, AL폼, 갱폼, 갱폼 공임, 갱폼 해체비, 항목으로 구성되어 있다. 각 항목별 재료비, 노무비, 경비의 단가는 <Table 2>와 같다.

PC 공법의 cost model은 외벽체, 내벽체, 슬래브의 자재비, 운반비, 설치비로 구성하였고 부재의 표준화 정도에 따른 몰드의 개수와 몰드 가동률은 PC 공법의 공사비에 많은 영향을 끼치므로 몰드 개수를 추가했다(Sharafi et al., 2018) <Table 3>. 각 항목의 자재비, 노무비, 경비의 단가는 경상북도 개발공사에서 공개한 샌드위치 Half PC Wall 구조의 친환경 우수저류조 일위대가를 활용했다. 운반비는 소요 물량을 25ton 트레일러 대수 기준의 단가를 활용했다.

Half-PC 공법의 cost model은 RC 공법과 PC 공법의 cost model을 활용했다. Half-PC 공법은 RC 공법과 PC 공법을 혼용하여 시공하는 공법이므로, 거푸집을 제외한 cost model의 항목 및 단가는 <Table 2>과 <Table 3>이 통합된 형태로 구성된다. 물량 대입에서 각 항목별 소요되는 물량의 차이가 표준 공사비를 결정한다.

3.2.2 물량 산출

아파트 지상층 물량 산출법을 활용하여 RC공법의 물량을 산출하고 이를 기준으로 PC, Half-PC 공법의 물량을 산출한다. 산출된 공법별 물량은 Cost model의 항목 및 단가에 곱하여 표준 공사비를 산출할 시 활용한다.

RC공법의 골조 물량은 대상 프로젝트의 연면적에 층별/평형별 단위 물량<Table 4>을 곱해 계산한다. 이를 통해 산출된 연면적, 층수, 평형에 따른 콘크리트, 거푸집, 철근의 물

Table 4. Unit quantity per floor area of apartment buildings

Story	Floor area(m ²)	Unit quantity per floor area 1m ²		
		Concrete(m ³)	Mold(m ²)	Steel(kg)
Average		0.36	3.43	40.03
~15 stories	66~98	0.35	3.47	35.92
	99~131	0.35	3.31	37.54
	132~164	0.32	3.11	32.42
	165~	-	-	-
16~20 stories	66~98	0.38	3.61	40.70
	99~131	0.38	3.61	40.51
	132~164	0.35	3.21	37.72
	165~	0.34	2.94	61.61
21~25 stories	66~98	0.40	3.66	44.39
	99~131	0.39	3.66	44.18
	132~164	0.36	3.26	41.13
	165~	0.35	2.99	37.75
26 stories ~	66~98	0.43	3.89	58.50
	99~131	0.43	3.89	58.22
	132~164	0.39	3.47	54.21
	165~	0.38	3.18	49.75

량은 RC 공법의 cost model의 항목 및 단가에 곱하여 표준 공사비를 산정한다. 콘크리트 물량은 레미콘, 콘크리트 펌프카 타설, 기타 장비 사용의 항목에 대입되고, 거푸집 물량은 AL폼, 갱폼, 갱폼 해체의 항목에 대입되며, 철근 물량은 ton 단위로 환산되어 고강도 철근, 철근 가공, 철근 조립의 항목에 대입된다.

PC 공법의 cost model 항목별 물량은 부재별 항목 직접비 단가가 다르므로 부재별 물량을 산출했다. 슬래브의 물량은 슬래브 두께를 200mm로 가정하고 연면적을 곱했다. 외벽체와 내벽체의 물량은 전체 물량에서 슬래브 물량을 제외하여 산정했다. 운반 물량은 부재별 물량에서 25ton으로 나누어

25톤 트레일러 기준 트레일러 대수로 산정했다. 몰드 수량은 기본 입력 사항에서 예상치를 입력하도록 한다.

Half-PC 공법의 항목별 물량은 공법의 특성에 맞게 산출했다. 레미콘, 콘크리트 장비 사용 타설, 콘크리트 펌프카에 대입되는 물량은 현장에서 타설되는 콘크리트의 물량인 연면적에 총 슬래브의 두께의 절반인 100mm를 곱하여 산출한다. 현장에서 배근되는 철근의 물량은 전체 철근의 물량에 슬래브의 콘크리트 물량과 전체 콘크리트 물량의 비를 곱해 전체 슬래브에 배근되는 철근의 양에 절반으로 산출한다. PC 벽체의 물량은 PC 공법 cost model에서의 물량과 같으며, PC 슬래브의 물량은 연면적에 총 슬래브의 두께의 절반인 100mm를 곱한다.

3.3 프로그램 개발

공사 난이도 지수를 활용해 표준 공사비를 보정하여 의사 결정을 지원하는 프로그램을 Excel Visual Basic을 활용하여 개발했다. OSC 공법 도입 여부 의사 결정 시스템의 흐름도

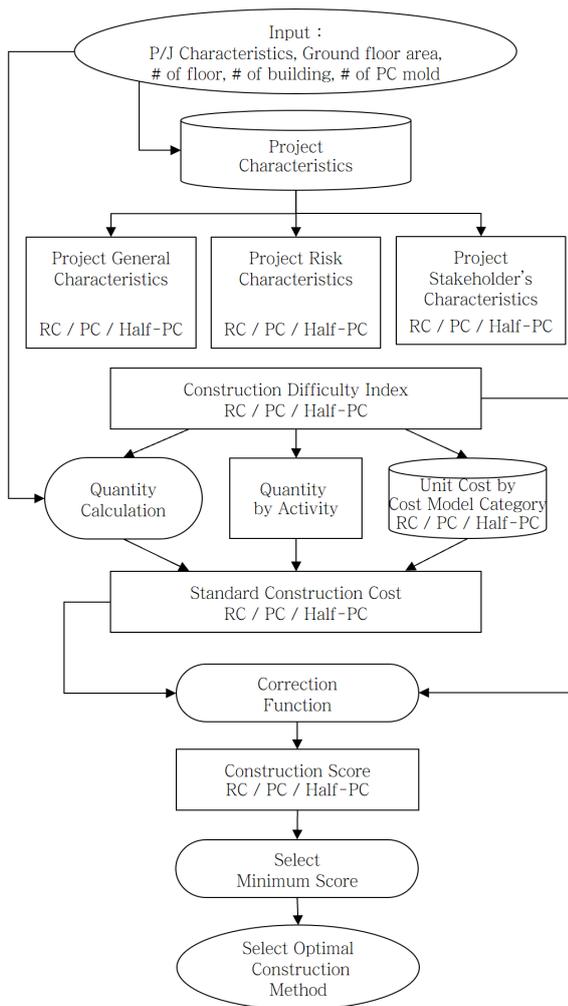


Fig. 2. Flow chart of decision support system

는 <Fig. 2>과 같다.

기본 입력 사항에는 해당 프로젝트의 특성, 건축면적, 연면적, 층수, 동수, PC 몰드 개수 예측량을 입력한다.

프로젝트 특성을 통해 각 특성별 공법별 공사 난이도 지수를 산정하고 공사 난이도 지수 알고리즘을 통해 공법별 공사 난이도 지수를 산정한다. 공사 난이도 지수는 각 특성별 공사 난이도 지수 평균의 곱을 통해 산정한다.

건축면적, 연면적, 층수, 동수, PC 몰드 개수를 통해 항목별 물량 산출을 한다. 산출된 물량은 공법별 cost model의 항목별 단가에 곱해져서 공법별 표준공사비를 산출한다.

표준공사비는 공사 난이도 지수를 통해 프로젝트 특성에 따라 보정되어 최종 공사비 점수를 산출한다. RC 공법, PC 공법, Half-PC 공법 중 가장 작은 공사비 점수가 산출된 공법으로 최종 공법을 선정한다.

4. 가상 데이터 시뮬레이션

실제 데이터의 입력을 통한 검증을 실시하기에는 데이터

Decision Making System for Structure Work of Apartment Housing

Construction Name		Case B		
Project Name	Case B	Site Area (㎡)	46,200	
Site	888	Building Area (㎡)	12,200	
Size	40평형대	Ground Floor Area (㎡)	135,200	
# of Floor	30	Date	2021-08-21	
# of Building	15	# of PC Mold	50	

Project Info.					
Category	Subcategory	Option	Check		
1	Project General Characteristics	1.1 Project size	Small	<input type="checkbox"/>	
			Medium	<input type="checkbox"/>	
			Big	<input checked="" type="checkbox"/>	
		1.2 Site condition	Bad	<input type="checkbox"/>	
			Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	
	1.3 Ground condition	Bad	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Good	<input type="checkbox"/>		
	1.4 Climate condition	Bad	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Good	<input type="checkbox"/>		
	1.5 Distance between OSC factory and site	~50km	<input type="checkbox"/>		
		51~100km	<input checked="" type="checkbox"/>		
	2	Project Risk Characteristics	2.1 Ease of labor supply	Low	<input checked="" type="checkbox"/>
				Medium	<input type="checkbox"/>
				High	<input type="checkbox"/>
			2.2 Ease of equipment supply	Low	<input type="checkbox"/>
Medium				<input checked="" type="checkbox"/>	
High				<input type="checkbox"/>	
2.3 Ease of material supply		Low	<input type="checkbox"/>		
		Medium	<input checked="" type="checkbox"/>		
		High	<input type="checkbox"/>		
		2.4 Possibility of complaints	Low	<input type="checkbox"/>	
			High	<input checked="" type="checkbox"/>	
2.5 Possibility of labor dispute	Low	<input type="checkbox"/>			
	Medium	<input type="checkbox"/>			
	High	<input checked="" type="checkbox"/>			
	2.6 Possibility of safety accident	Low	<input type="checkbox"/>		
		High	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	3.1 Owner	3.1.1 Organization	Public	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Private	<input type="checkbox"/>	
		3.1.2 Organization size	Big	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Small	<input type="checkbox"/>	
	3.2 A/E	3.2.1 Attitude	None	<input type="checkbox"/>	
			Plenty	<input checked="" type="checkbox"/>	
		3.2.2 Organization size	Big	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Small	<input type="checkbox"/>	
	3.3 Manufacturer	3.3.1 Similar project experience	None	<input type="checkbox"/>	
			Plenty	<input checked="" type="checkbox"/>	
		3.3.2 Organization size	Big	<input type="checkbox"/>	
			Small	<input checked="" type="checkbox"/>	
3.4 G/C	3.4.1 Similar project experience	None	<input type="checkbox"/>		
		Plenty	<input checked="" type="checkbox"/>		
	3.4.2 Organization size	Big	<input type="checkbox"/>		
		Small	<input checked="" type="checkbox"/>		

Reset

Fig. 3. Input screen for decision support system

가 부족하여 가상 데이터 입력을 통해 시뮬레이션을 실시하여 개발된 의사 결정 시스템의 활용성을 검증했다.

기본 입력 사항 화면은 <Fig. 3>과 같다. 결과 도출을 위한 input data 이외에도 프로젝트 명, 프로젝트 위치, 작성 일자 등 다양한 정보를 기록할 수 있다. 연면적, 평형, 층수, 동 수 등 다양한 프로젝트 특성들을 다르게 하여 세 세트의 가상 데이터 조합을 만들어 입력했다.

각 case별 output 화면은 <Fig. 4>와 같다. 프로젝트 명과 각 공법별 표준 공사비 점수, 공사 난이도 지수, 공사비 점수가 집계되어 나타나며, 최종 추천 공법과 차순위의 공법들이 나타난다. 프로젝트의 특성과 공사 개요에 따라 표준 공사비 점수와 공사 난이도 지수가 변화하며 case A는 Half-PC 공법, case B는 RC 공법, case C는 PC 공법이 선정되는 점을

확인할 수 있다.

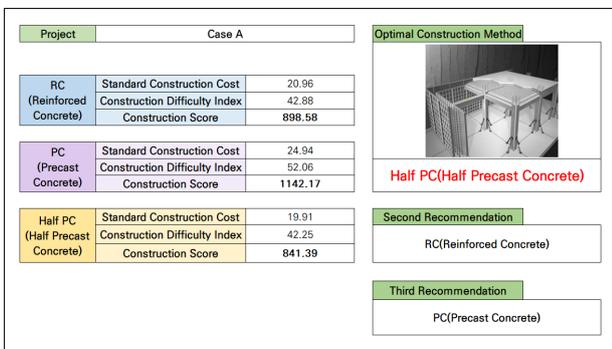
가상 데이터 시뮬레이션을 통해 입력되는 프로젝트 특성에 따라 표준 공사비 점수와 공사 난이도 지수가 산출되고 이를 통해 계산된 가장 작은 공사비 지수를 기록한 공법을 추천하는 의사 결정 시스템의 활용성을 검증했다. 실시 설계 이전 단계에서의 정보들을 바탕으로도 각 공법들의 공사비 점수를 계산하여 의사 결정을 지원할 수 있음을 확인했다.

5. 결론

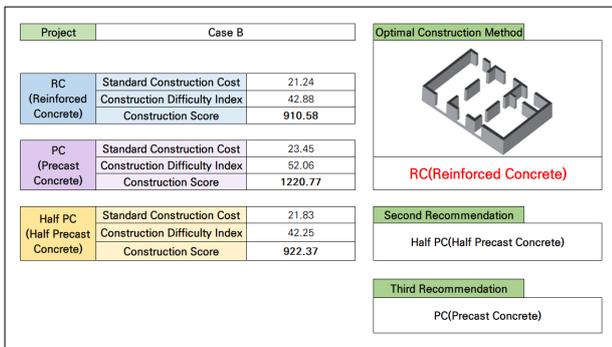
국내 건설 산업에 대한 숙련공 부족 문제, 품질 저하, 안전 사고 증대 우려 등 다양한 문제점들이 증가하면서 OSC에 대한 관심이 증가하고 있다. 그에 따라, 건설산업에서도 기존 현장 타설 공법 고수가 아닌 OSC의 도입에 대한 고려를 하고 있다. OSC의 효율적인 도입을 위해서는 초기 단계에서의 의사 결정이 필수적임에도 불구하고 의사 결정 도구에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 건축 프로젝트 특성을 고려한 초기 단계에서의 OSC 공법 도입 여부 의사 결정 시스템을 개발하였다.

선형 연구조사를 통해 공법의 선택에 따라 공사 난이도에 영향을 줄 수 있는 프로젝트 특성을 정의하고, 전문가 자문을 통해 공법별 공사 난이도 지수를 산정했다. 공법별 cost model을 개발 후, 산출된 물량을 대입하여 연면적, 층수, 동 수, 평형 등에 따른 표준 공사비를 산정한다. 표준 공사비는 프로젝트 특성에 따른 공법별 공사 난이도 지수로 보정되어 최종 공사비 점수를 산출한다. 이를 통해 해당 프로젝트의 특성을 고려한 공사비 기반 최적 공법을 선정할 수 있는 의사 결정 시스템을 개발하고 가상 데이터 입력 시뮬레이션을 실시하여 의사 결정 시스템의 활용성을 검증하였다.

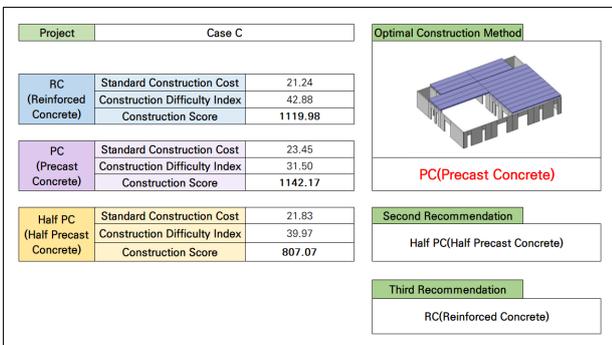
후회 연구 방향으로는 표준 공사비 산정의 정확성과 신뢰도를 높이는 방안이 있다. 골조공사에 초점을 맞춘 본 연구에서 개발한 cost model도 공법별 공사비를 비교할 수 있지만 마감공사, 토공사 등으로 cost model 항목을 확대한다면 표준 공사비의 정확도를 높일 수 있을 것으로 보인다. 또한, PC 공법과 Half-PC 공법의 표준 품셈 및 일위대가가 제정되고 공사 데이터가 쌓이면 cost model 고도화가 가능하다. RC 공법은 많은 공사비 데이터를 통해 표준 품셈, 일위대가 등 다양한 정보들이 있지만, PC 공법과 Half-PC 공법은 이제야 공동주택 실증사업이 진행 중에 있기에 신뢰 가능한 수준의 PC 공동주택의 데이터 확보에 어려움이 있어 우수저류조 프로젝트의 공사비 데이터를 활용했다. OSC 프로젝트가 증가하여 성과 데이터의 사후 평가 및 데이터를 모니터링하여 표준화된 일위대가를 활용한다면 더욱 정밀한 의사



(a) Case A



(b) Case B



(c) Case C

Fig. 4. Output screen for Case A, B, C

결정 시스템이 될 수 있다.

본 연구는 공법별 cost model을 개발하여 실시 설계가 완료되지 않은 초기 단계에서 OSC 공법 도입 여부에 대한 의사 결정을 위한 틀을 개발했다는 점에서 의의가 있다. 의사 결정 대안으로 PC 공법과 Half-PC 공법 이외에도 모듈러 공법이나 volumetric assembly 등으로 확대되면 광범위한 OSC 공법의 의사결정 시스템으로 활용될 수 있다. PC 공법이 최초에 보급될 당시에는 품질과 기술력의 부족으로 산업의 외면을 받았던 전례가 있다. 국내 건설산업의 각종 문제점들이 대두되며 최근에 다시금 주목을 받으며 산업, 학계, 정부 등 다양한 주체들로부터 관심을 받고 건설 프로젝트 수행 시 대안으로서 검토되고 있다. 본 연구에서 개발한 의사 결정 시스템은 초기 단계에서 의사 결정에 활용되어 OSC 공법의 성공적인 도입에 기여하고 더 나아가 OSC의 보급 및 확산에 기여할 것으로 보인다.

감사의 글

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

References

- Cao, X., Li, X., Zhu, Y., and Zhang, Z. (2015). "A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China." *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, 109, pp. 131-143.
- Chen, Y., Okudan, G.E., and Riley, D.R. (2010). "Decision support for construction method selection in concrete buildings: Prefabrication adoption and optimization." *Automation in Construction*, Elsevier, 19(6), pp. 665-675.
- Cho, Y.S., and Cha, H.S. (2010). "A Study of Project Characteristics and Project Performance Level of Difficulty." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 11(6), pp. 78-88.
- Construction Industry Institute (CII) (2017). *IR171-2 Prefabrication, Preassembly, Modularization, and Offsite Fabrication: Decision Framework and Tool, V*, 2017-01.
- Fard, M.M., Terouhid, S.A., Kibert, C.J., and Hakim, H. (2017). "Safety concerns related to modular/prefabricated building construction." *International journal of injury control and safety promotion*, 24(1), pp. 10-23.
- Gibb, A. (2001). "Preassembly in Construction: a Review of Recent and Current Industry and Research Initiatives on Pre-assembly in Construction." *Construction Research & Innovation Strategy Panel*, London.
- Gyeonggi Housing & Urban Development Corporation, GH (2018). "Hwasung Dongtan District 2 A86BL Private Participation Apartment Housing Project." *Construction cost information disclosure*, <https://www.gh.or.kr/infomation/openprice/openprice_list.do> (Sep. 15, 2021).
- Gyeonggi Housing & Urban Development Corporation, GH (2020). "Dasan Jingun A1 Block Private Participation Public Housing Project." *Construction cost information disclosure*, <https://www.gh.or.kr/infomation/openprice/openprice_list.do> (Sep. 15, 2021).
- Gyeongsangbuk-do Development Corporation (2017). "Sandwich Half PC Wall Structure Eco-Friendly Stormwater Reservoir." *Gyeongbuk Provincial Government New Town Construction Project Notice*, <<https://www.gbdc.co.kr/cmsboard/viewCmsBoardGbdc.do?brdId=B00040&no=28886>> (Oct. 13, 2021).
- Hwang, B.G., Shan, M., and Looi, K.Y. (2018). "Knowledge-based decision support system for prefabricated prefinished volumetric construction." *Automation in Construction*, Elsevier, 94, pp. 168-178.
- Jang H.J., Ryu, J.H., Kim, S.M., Ju, Y.K., and Kim, S.D. (2012). "An Evaluation on the Flexural Capacity of Void Slabs with Prestressed Half PC." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 28(2), pp. 11-18.
- Jeollabuk-do Office of Education (2021). "Breakdown Cost for the first half of 2021(Architecture)." *Facilities Department Archive*, <https://www.jbe.go.kr/office/board/view.jbe?boardId=BBS_0000449&menuCd=DOM_000000613003000000&paging=ok&startPage=1&searchOperation=AND&dataSid=781723> (Oct. 13, 2021).
- Lee, S.H., and Cha, H.S. (2020). "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, S.H., and Cha, H.S. (2021). "A study of Developing Performance Management System Framework by Phase/Criteria for OSC Project." *Proceedings of the Architectural Institute of Korea*, 41(1), pp. 466-467.
- Lim, B.L. (2004). "Apartment Estimation Program." *Construction Technology SsangYong*, 31, pp. 6-11.
- O'Connor, J.T., O'Brien, W.J., and Choi, J.O. (2014). "Critical success factors and enablers for optimum and maximum industrial modularization." *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 140(6), 04014012.

- Sharafi, P., Rashidi, M., Samali, B. Ronagh, H., and Mortazavi, M. (2018). "Identification of factors and decision analysis of the level of modularization in building construction." *Journal of Architectural Engineering*, ASCE, 24(2), 04018010.
- Son, J.W., and Lee, J.S. (2019). "Off-Site Construction: Innovation of construction production system." *Construction Engineering and Management*, KICEM, 20(5), pp. 3-7.
- Yu, I.H. (2013). "Plan to revitalize industrialized construction." *Construction Engineering and Management*, KICEM, 14(2), pp. 28-32
- Yu, I.H. (2019). "Activation of OSC industry and change and development direction for specialized contractors." *Construction Engineering and Management*, KICEM, 20(5), pp. 12-18.

요약 : 최근 국내 건설산업에는 생산성 저하, 기능 인력 유입 부족, 품질 저하, 안전사고 증대 우려 등 다양한 문제점들이 나타남에 따라, 이를 해결하기 위한 대안으로 Off-Site Construction (OSC)이 주목을 받고 있다. 그에 따라, 건설 프로젝트의 주체들은 기존의 현장 타설 공법뿐만 아니라, OSC의 도입 또한 하나의 대안으로 고려를 하고 있다. OSC의 도입은 초기 단계에서의 의사결정이 매우 중요함에도 불구하고, 합리적인 의사 결정을 위한 방법론이 부족한 실정이다. 본 연구에서는 프로젝트 특성을 도출하여 그에 대한 공사 난이도 지수를 선정하고 각 공법별 cost model을 개발하여 표준 공사비를 산정하여 최종 공사비 점수를 도출하는 의사 결정 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 의사 결정 시스템을 활용하여 초기 단계에서 OSC 공법의 효율적인 도입을 위한 의사 결정을 할 수 있을 것으로 기대한다.

키워드 : 공업화건축, OSC, 의사결정도구, 프로젝트 특성
